

科学的历程

上

吴国盛 著

湖南科学技术出版社

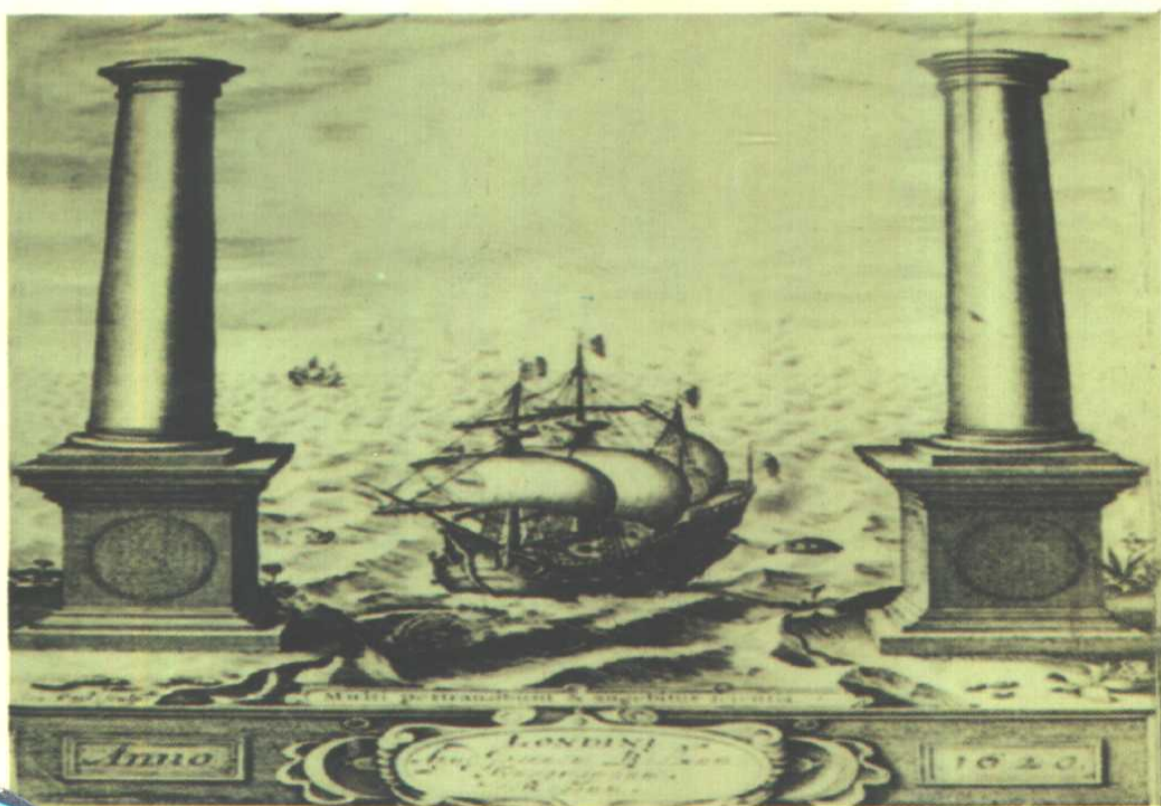


科学的历程

下

吴国盛 著

湖南科学技术出版社



吴国盛 著

科学的历程

①

湖南科学技术出版社

吴国盛 著

科学的历程

①
下

湖南科学技术出版社

科学的历程(普及本)上

著 者：吴国盛

选题策划：李永平

装帧设计：谢 颖

版式设计：李永平 谢 颖

图 片：李永平 谢 颖

审 阅：常绳生

责任编辑：李永平

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路 11 号

印 刷：湖南省新华印刷一厂
(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：长沙市芙蓉北路 564 号

邮 码：410008

经 销：湖南省新华书店

出版日期：1997 年 1 月第 1 版第 2 次

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：28

插 页：4

字 数：728,000

印 数：25351—45350

ISBN7—5357—1902—3/C·7

上下册套价：48.00 元

本书普及本大 32 开 珍藏本大 16 开

版权所有·翻印必究

科学的历程(普及本)下

著 者：吴国盛

选题策划：李永平

装帧设计：谢 颖

版式设计：李永平 谢 颖

图 片：李永平 谢 颖

审 阅：常绳生

责任编辑：李永平

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路 11 号

印 刷：湖南省新华印刷一厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：长沙市芙蓉北路 564 号

邮 码：410008

经 销：湖南省新华书店

出版日期：1997 年 1 月第 1 版第 2 次

开 本：850mm×1168mm 1/32

印 张：28

插 页：4

字 数：728,000

印 数：25351—45350

ISBN7—5357—1902—3/C·7

上下册套价：48.00 元

本书普及本大 32 开 珍藏本大 16 开

版权所有·翻印必究

序

周光召

科学技术是第一生产力，社会主义的现代化建设事业首先需要科学技术的现代化。大力发展科学技术已成为我国的基本国策。我们不仅需要广大科技工作者在各自的领域奋发努力赶超世界一流水平，而且需要提高全体国民的科学文化素质。唯有科学知识得以普及、科学精神深入人心，我们的社会才算真正走入了科学时代，科技才能真正推动各个方面的现代化。

应当看到，科学普及工作在当前仍然是一项相当艰巨的任务。不懂科学，不按科学办事，在我们的社会生活中屡见不鲜。另一方面，各种伪科学却借着科学的名义到处招摇撞骗。不仅是科普工作者，广大科技工作者和教育工作者都应加入到普及科学知识、宣传科学精神的行列中来。

总 目 录

绪 论	(1)
第一卷 东方:古老文明的源头	(41)
第二卷 希腊:科学精神的起源	(93)
第三卷 中世纪:西方不亮东方亮	(181)
第四卷 16、17 世纪:近代科学的诞生	(285)
第五卷 18 世纪:技术革命与理性启蒙	(427)
第六卷 19 世纪:古典科学的全面发展	(535)
第七卷 19 世纪:科学的技术化、社会化	(659)
第八卷 20 世纪:探究宇宙与生命之谜	(707)
第九卷 20 世纪:高技术时代	(789)
插图目录	(841)
后 记	(867)

目 录

绪 论

一、科学史的意义	(3)
1. 知识就是力量	(4)
2. 读史使人明智	(5)
3. 传奇式的科学故事	(7)
4. “古怪”科学概念的历史由来	(8)
5. “知道”不等于“理解”	(11)
6. 理科教学的缺憾	(12)
7. 教条的态度与批判的态度	(13)
8. 片面的理解与全面的理解	(15)
9. 人性的科学家形象与科学形象	(18)
二、科学史的编史方法	(22)
1. 科学与技术	(23)
2. 哲学家传统与工匠传统	(25)
3. 思想史与社会史	(27)
4. 分科史、国别史与综合史	(31)
三、五千年的曲折历程	(33)

第一卷 东方：古老文明的源头

第一章 从自然史到文明史	(44)
---------------------------	--------

1. 宇宙的起源与演化	(45)
2. 地球演化与生命起源	(49)
3. 人类的起源与进化	(51)
4. 文明史的序幕	(54)
第二章 东方的四大古老文明	(60)
1. 埃及	(60)
2. 美索不达米亚	(69)
3. 印度	(78)
4. 中国	(82)
 第二卷 希腊:科学精神的起源 	
第三章 希腊奇迹与科学精神的起源	(96)
1. 希腊奇迹	(96)
2. 光大东方科学遗产	(99)
3. 希腊奴隶制与城邦民主制	(102)
4. 希腊思维方式与科学精神的起源	(104)
第四章 希腊古典时代的科学	(107)
1. 第一个自然哲学家泰勒斯	(108)
2. 毕达哥拉斯及其学派	(114)
3. 芝诺的运动悖论	(118)
4. 原子论思想	(122)
5. 医学之父希波克拉底	(124)
6. 智者与希腊数学三大难题	(125)
7. 默冬周期的发现	(129)
8. 柏拉图学园:不懂数学者不得入内	(130)
9. 亚里士多德:百科全书式的学者	(134)
10. 希腊建筑	(139)
第五章 希腊化时期的科学	(142)
1. 亚历山大里亚	(143)

2. 欧几里得的《几何原本》	(145)
3. 阿里斯塔克:日心说的先驱	(147)
4. 古代科学巨匠阿基米德	(149)
5. 埃拉托色尼测定地球大小	(155)
6. 希帕克斯创立球面三角	(157)
7. 希罗与亚历山大里亚的技术成就	(158)
8. 希腊天文学的集大成者托勒密	(160)
9. 希腊医学的集大成者盖伦	(163)
10. 代数学的创始人刁番都	(165)
第六章 罗马帝国时期的科学	(166)
1. 罗马性格与希腊气质	(167)
2. 儒略历的诞生	(168)
3. 卢克莱修与《物性论》	(170)
4. 维特鲁维:建筑学之鼻祖	(171)
5. 塞尔苏斯与罗马医学的百科全书	(172)
6. 普林尼与《自然史》	(173)
7. 罗马人的技术成就	(175)

第三卷 中世纪:西方不亮东方亮

第七章 古典文化的衰落与欧洲黑暗年代	(184)
1. 基督教的兴起	(184)
2. 西罗马帝国灭亡	(187)
3. 柏拉图学园被封闭	(188)
4. 亚历山大图书馆被烧	(189)
5. 蛮族入侵与五百年黑暗年代	(191)
6. 波依修斯:漫漫长夜中的微弱星光	(192)
第八章 阿拉伯人的科学与技术	(194)
1. 阿拔斯朝与阿拉伯科学的兴盛	(195)
2. 贾比尔:炼金术之父	(196)

3. 花拉子模与阿拉伯数学	(200)
4. 阿尔·巴塔尼与阿拉伯天文学	(202)
5. 阿尔·哈曾与阿拉伯物理学	(204)
6. 阿维森纳与阿拉伯医学	(205)
7. 阿维罗意与亚里士多德学说的复活	(207)
第九章 中国独立发展的科技文明	(209)
1. 农学	(210)
2. 中医学	(215)
3. 天文学	(221)
4. 数学	(231)
5. 陶瓷技术	(237)
6. 丝织技术	(239)
7. 华夏建筑	(241)
第十章 中国对世界科学的贡献	(247)
1. 纸的发明与西传	(247)
2. 印刷术	(251)
3. 火药与炼丹术	(255)
4. 指南针与航海技术	(257)
第十一章 西学东渐与近代中国科学技术的落后	(263)
1. 明末四大科技名著与传统科学技术体系的终结	(263)
2. 清朝社会对中国科学发展的影响	(266)
3. 传教士与西学东渐	(268)
4. 近代中国科学技术的落后及其原因	(271)
第十二章 中世纪后期欧洲学术的复兴	(274)
1. 十字军东征与欧洲学术的复兴	(274)
2. 大学的出现	(277)
3. 托马斯·阿奎那:经院哲学的峰巅	(278)
4. 罗吉尔·培根:近代实验科学的先驱	(280)
5. 城市与教堂建筑	(282)

第四卷 16、17 世纪：近代科学的诞生

第十三章 文艺复兴、宗教改革与地理大发现	(288)
1. 意大利文艺复兴	(289)
2. 列奥那多·达·芬奇	(292)
3. 宗教改革与人的解放	(294)
4. 罗盘、枪炮、印刷术和钟表的出现	(295)
5. 地理大发现：哥伦布、达·迦马、麦哲伦	(297)
第十四章 哥白尼革命	(306)
1. 中世纪的宇宙结构	(306)
2. 哥白尼革命	(308)
3. 布鲁诺	(315)
4. 第谷·布拉赫：天才的观测家	(316)
5. 开普勒：天空立法者	(320)
第十五章 新物理学的诞生	(327)
1. 伽利略：近代物理学之父	(327)
2. 斯台文的静力学研究	(338)
3. 吉尔伯特的磁学研究	(339)
4. 真空问题：托里拆利、帕斯卡、盖里克与波义尔	(342)
5. 胡克与弹性定律	(351)
6. 惠更斯：摆的研究	(353)
7. 牛顿力学的建立	(357)
第十六章 从炼金术到化学	(366)
1. 帕拉塞尔苏斯：医药化学的创始者	(366)
2. 阿格里科拉：近代矿物学之父	(369)
3. 赫尔蒙特	(369)
4. 波义尔：近代化学的诞生	(371)
第十七章 近代生命科学的肇始	(375)
1. 维萨留斯的《人体结构》	(376)

2. 血液循环的发现:塞尔维特、法布里修斯和哈维	(379)
3. 显微镜下的新世界:马尔比基、列文虎克、胡克和斯旺麦丹	(386)
第十八章 机械自然观与科学方法论的确立	(392)
1. 弗兰西斯·培根:知识就是力量	(392)
2. 笛卡儿:我思故我在	(396)
3. 伽利略与牛顿的科学方法	(401)
4. 伽桑狄、波义尔与原子论的复兴	(403)
5. 自然的数学化与机械自然观的确立	(404)
第十九章 科学活动的组织化与科研机构的建立	(406)
1. 意大利:自然秘密研究会、林琴学院、齐曼托学院	(406)
2. 英国:哲学学会、皇家学会	(409)
3. 弗拉姆斯特德、哈雷与格林威治天文台	(413)
4. 法国:巴黎科学院	(418)
5. 皮卡尔、卡西尼与巴黎天文台	(419)
6. 莱布尼兹与柏林科学院	(422)

第五卷 18世纪:技术革命与理性启蒙

第二十章 技术发明与英国产业革命	(430)
1. 纺织业的发展与纺织机的发明和改进	(431)
2. 蒸汽动力机的发明、制造与使用:巴本、纽可门、瓦特	(433)
3. 钢铁冶炼技术的革新	(440)
4. 化工技术的发展	(441)
第二十一章 法国启蒙运动与科学精神的传播	(443)
1. 启蒙运动与牛顿原理在法国的传播	(443)
2. 《百科全书》	(447)
3. 大革命时期的法国科学	(449)
第二十二章 力学的分析化与热学电学的早期发展	(456)
1. 运动量守恒与活力守恒原理的建立	(456)

2. 从矢量力学到分析力学:达朗贝尔、莫培都、欧拉、拉格朗日	(459)
3. 计温学的发展:阿蒙顿、华伦海、摄尔修斯	(465)
4. 量热学与热质说:布莱克	(467)
5. 摩擦电研究:迪费、马森布罗克、富兰克林	(469)
6. 流电研究:伽伐尼、伏打	(475)
7. 静电的定量研究:卡文迪许与库仑	(480)
第二十三章 18 世纪的天文学	(483)
1. 拉普拉斯:集天体力学之大成	(483)
2. 布拉德雷与光行差	(487)
3. 赫舍尔的天文观测	(490)
第二十四章 化学革命	(496)
1. 燃素说:斯塔尔	(496)
2. 气体研究与氧的发现:普里斯特列、舍勒	(498)
3. 拉瓦锡的化学革命	(506)
第二十五章 进化思想的起源	(516)
1. 生物分类学:林奈	(516)
2. 进化思想的肇始:布丰	(521)
3. 地质学中的水火之争:维尔纳与赫顿	(525)
4. 拉马克:进化论的伟大先驱	(529)

第六卷 19 世纪:古典科学的全面发展

第二十六章 19 世纪的电磁学	(538)
1. 电流的磁效应:奥斯特、安培	(538)
2. 欧姆定律	(542)
3. 法拉第的电磁感应定律	(544)
4. 电磁理论之集大成:麦克斯韦	(551)
5. 电磁波的实验发现:赫兹	(554)
第二十七章 19 世纪的光学	(558)

1. 波动说与微粒说的对立	(559)
2. 波动说的复兴:托马斯·杨、菲涅尔	(560)
3. 光谱研究:夫琅和费、基尔霍夫	(562)
4. 光学与电磁学的统一	(566)
第二十八章 热力学与能量定律	(567)
1. 热之唯动说:伦福德伯爵、戴维	(567)
2. 热力学的建立:卡诺	(569)
3. 热力学第一定律(能量守恒定律):迈尔、焦耳、赫尔姆霍茨	(571)
4. 热力学第二定律(能量耗散定律):开尔文、克劳修斯	(576)
第二十九章 物理和化学中的原子论的兴起	(580)
1. 气体定律与气体模型	(580)
2. 分子运动论:克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼	(581)
3. 道尔顿的原子论	(585)
4. 原子量的测定	(587)
5. 元素周期律的发现:门捷列夫	(589)
6. 有机化学的诞生:维勒、李比希	(592)
第三十章 19 世纪的天文学	(596)
1. 恒星周年视差的发现	(596)
2. 海王星的发现	(597)
3. 光谱分析与天体物理学的诞生	(603)
第三十一章 进化论的创立	(608)
1. 居维叶的灾变说	(608)
2. 赖尔的地质渐变说	(612)
3. 生物进化论的创立:达尔文、华莱士	(614)
4. 达尔文主义的影响:赫胥黎、海克尔、斯宾塞	(626)
第三十二章 19 世纪的生物学与医学	(630)
1. 细胞学说:施莱登、施旺、微耳和	(630)
2. 实验生理学:马让迪、伯纳尔	(634)
3. 遗传学:孟德尔、魏斯曼	(638)

4. 微生物学与现代医学的诞生:巴斯德、科赫 (644)

第七卷 19 世纪:科学的技术化、社会化

第三十三章 科学强国的兴衰 (662)

1. 法国 (663)
2. 英国 (666)
3. 德国 (669)
4. 美国 (671)
5. 俄国 (673)

第三十四章 运输机械的革命 (676)

1. 汽船:菲奇、富尔顿 (676)
2. 铁路与火车:特里维西克、斯蒂芬逊 (682)
3. 从蒸汽机到内燃机:莱恩瓦、奥托、戴姆莱、狄塞尔 (685)

第三十五章 电力革命与电气时代 (690)

1. 电动机与发电机:皮克希、惠斯通、西门子 (691)
2. 发电站与远距离输电:德波里 (693)
3. 电灯、电影:爱迪生 (695)
4. 电报:亨利、莫尔斯 (701)
5. 电话:贝尔 (702)
6. 无线电:马可尼、波波夫 (704)

第八卷 20 世纪:探究宇宙与生命之谜

第三十六章 世纪之交的物理学革命 (711)

1. 第一朵乌云:以太漂移实验 (712)
2. 爱因斯坦与相对论 (715)
3. X 射线、放射性和电子的发现 (728)
4. 紫外灾难与量子理论的提出:普朗克、爱因斯坦 (736)
5. 量子力学的建立:玻尔、德布罗意、海森伯、薛定格、狄拉克

.....	(738)
第三十七章 穷宇宙之际	(747)
1. 河外星系的观测与红移的发现	(747)
2. 现代宇宙学的兴起	(751)
3. 射电望远镜与 60 年代的四大发现	(755)
第三十八章 探粒子之微	(759)
1. 中子、质子的发现	(760)
2. 原子核结构的研究与强、弱相互作用理论	(762)
3. 基本粒子群的发现与夸克模型	(766)
第三十九章 20 世纪的遗传学	(771)
1. 孟德尔的再发现	(771)
2. 染色体—基因遗传理论:摩尔根	(772)
3. DNA 双螺旋模型的建立与分子生物学的诞生	(775)
第四十章 现代地学革命	(781)
1. 大陆漂移说:魏格纳	(781)
2. 海底扩张说	(786)
3. 板块学说	(787)

第九卷 20 世纪:高技术时代

第四十一章 原子能时代	(792)
1. 核裂变链式反应的发现	(792)
2. 曼哈顿工程:第一颗原子弹的研制	(796)
3. 核能的和平利用	(802)
第四十二章 航空航天时代	(805)
1. 飞行:梦想成真	(805)
2. 火箭与导弹技术	(813)
3. 卫星上天	(816)
4. 人类飞向太空	(818)
5. 阿波罗计划:人类登上月球	(820)

第四十三章 电子技术与电子计算机	(825)
1. 电子管、晶体管和集成电路	(825)
2. 电子计算机与信息时代	(828)
第四十四章 科学与人类未来	(835)
插图目录	(841)
后 记	(867)

绪 论



图 0-0 培根《新工具》初版扉页

一艘巨轮正在穿过传说中的大西洋上的海格里斯柱，古代欧洲人认为它就是世界的界限，画面象征着科学正突破已知世界的界限，向未知世界进发。

一、科学史的意义

我坐在这里，应邀为正在或将要学习自然科学的年轻人写一部科学技术的历史。夏秋时节温暖的阳光从宽大的钢窗中投撒进来，使人感到几分安逸和慵倦。远处建筑工地上的轰鸣声和农贸市场上的嘈杂人声，显示了外面世界正发生的热烈的经济生活。虽然一想到科学的历史，我就会掠过一阵异样的激动，为摆脱观念的困扰，摆脱愚昧与无知所作的艰苦卓绝的斗争场面，以及为刷新文明社会的面貌，科学先贤们艰苦创业的景象，仿佛一部向大自然胜利进军的英雄史诗，勾起人的崇敬和景仰之情。但今天，在这个由科学自身造就的繁忙的世界上，谁还有闲暇来回顾过去呢？科学的历史就其作为猎奇的材料而言已甚至远远不如科幻作品。在当代，年轻的读者也许会提出这样的问题：学习科学史有什么意义？我们在学习科学知识的同时为什么还要了解科学的历史？这确实是一个必须首先回答的问题。

1. 知识就是力量

今天，不大可能有人问科学有什么用了，科学的实际用处随处可见。我们的社会生活、日常生活的每一细节都由科学支撑着，吃的是经科学栽培和科学的工艺烹制出的蔬菜、瓜果和食品，穿的是用科学工艺纺织加工出的衣服，住的是带有电梯、电灯、电话、电视、电冰箱、洗衣机、录像机、组合音响等电器的混凝土钢架高层建筑。我们享受着科技文明的成果，谁也不会怀疑科学的用处。相反，当代中国人正越来越意识到科技对于发展生产力、发展经济的决定性意义。

约四百年前，科学的用处远未变得像今天这样显明，当时英国哲学家弗兰西斯·培根提出了“知识就是力量”的口号。这是

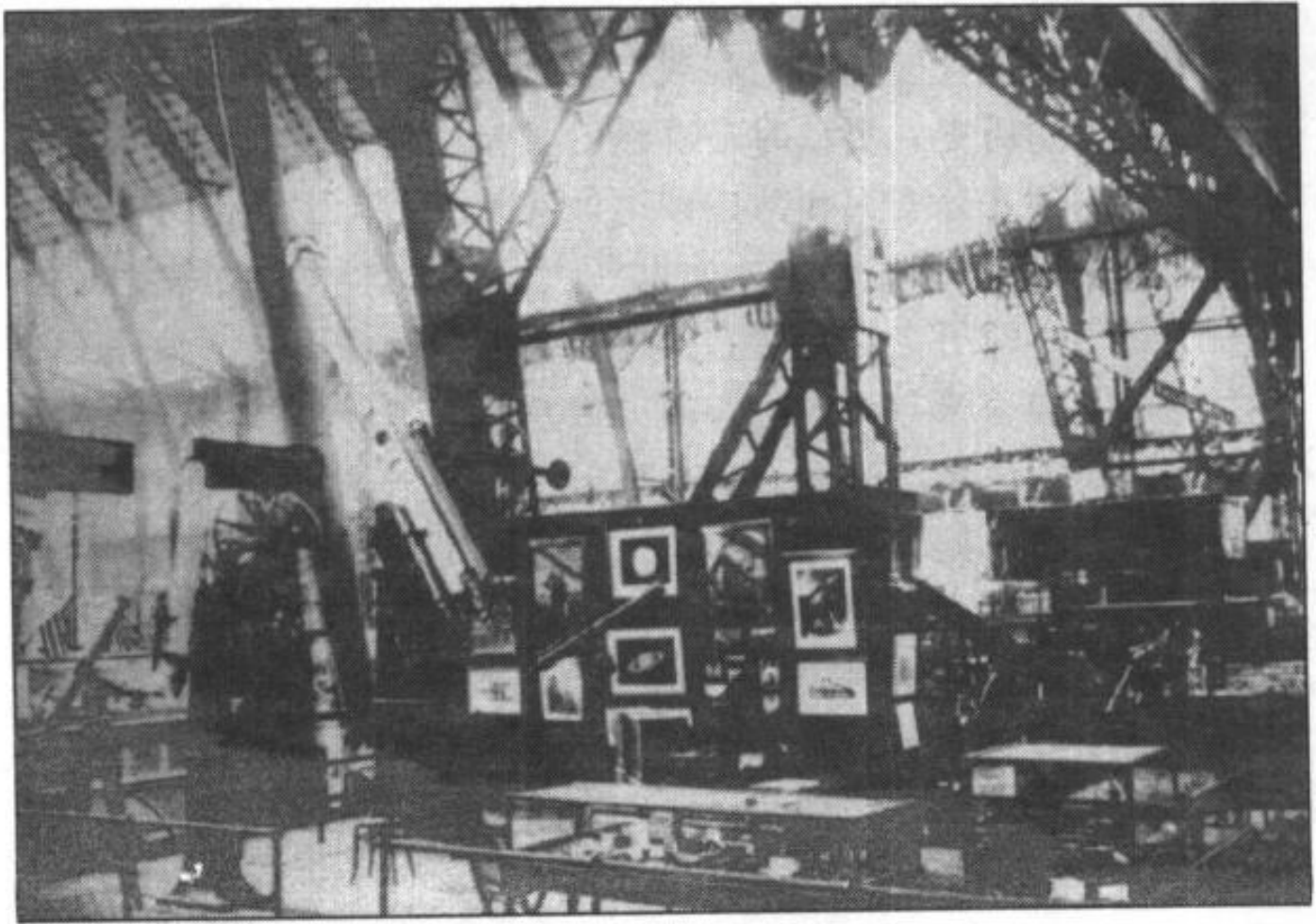


图 0-1 芝加哥 1893 年世界博览会场景

一句脍炙人口的名言。从巨大的吊车、起重機，牽引長龍似的列車的蒸汽機、內燃機和電動機，到一瞬間毀滅一個城市的原子武器和載人走上月球的航天器，近代自然科學已經一步步向世人顯示了這句名言的真理。不過，培根

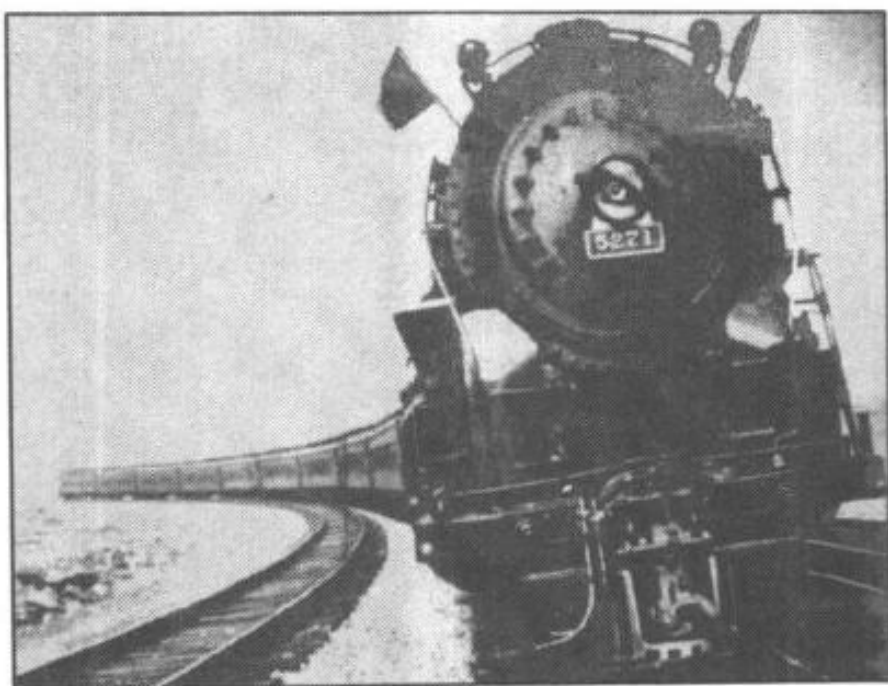


图 0-2 动力的雄姿

还有另外一段关于知识的名言值得引用：

“阅读使人充实，会谈使人敏捷，写作与笔记使人精确。……读史使人明智，诗歌使人巧慧，数学使人精细，博物使人深沉，伦理之学使人庄重，逻辑与修辞使人善辩。”（《培根论说文集·论学问》）

2. 读史使人明智

这位在近代科学创造时期为新时代高声呐喊的英国哲人，这位未来科学时代的预言家，同样说了一句对本书而言，很重要的话：“读史使人明智”。在科学已经无孔不入地渗透在人类生活各个层面的 20 世纪 90 年代，我们不再对我们身边的科学表现出惊奇，我们已经对科学无动于衷。而恰恰在此时，我们需要回顾科学的历史，因为读史使人明智，阅读科学的历史使科学时代的人明智。

也许，对科学史的重视首先是因为人们不再问科学有什么用。在人们还未认识到科学的用处时，也就是在科学远未成熟、远未



图 0-3 弗兰西斯·培根

进入社会生活之前，对科学历史的回顾的确只有有限的意义。往往只有各学科的科学家在向学生讲授该门学科时，为了增强趣味性而略微提一下。增加自然科学教学的趣味性确实是科学史的功能之一，今天依然有很多科学史教育工作者只是在这种意义上陈述科学史教学的必要性和理由，他们说，学习科学史能使自然科学课程变得生动有趣，它有助于理科教学。这的确是一个比较好的理由，也

是对科学史有什么用这个问题的一个较直接的回答。但是，这只是科学史用处的一个方面。另一个更重要的方面是理解科学本身。“熟知”往往并非“真知”，今天，科学渗透到人们日常生活的每一角落，为人们所“熟知”，但正因为这样，我们可能并不“真知”科学。科学对我们的社会、我们的未来、人类的命运影响如此之大，可我们并不真正懂得科学是怎么一回事，这当然是十分

危险的事情，应该引起高度警醒，这大概是科学史学科在本世纪迅速成长起来的重要原因。

3. 传奇式的科学故事

让我们先看看科学史对学习科学知识的用处。首先当然是使功课变得有趣，它把某些科学理论与某个非常有意思的历史故事相联系，这样使学习该理论变得更有吸引力一些。不过这些历史故事往往传说的成分很大，很难肯定是真实的科学历史事件。我们熟知的几个传奇故事有：阿基米德在浴盆里发现了浮力定律后，大喊大叫着跑上街道，赤身裸体地告诉每一个人他终于发现了浮力定律；伽利略为了证明落体定律，把一个木球和同样大小的一个铁球从比萨斜塔上扔下，结果是同时着地的，于是反驳了亚里

士多德派哲学家认为重者先落的理论；牛顿在一个炎热的午间躺在一棵苹果树下思考行星运动的规律，结果一个熟透了的苹果掉下来打中了他，使他茅塞顿开发现了万有引力定律；瓦特在他外祖母家度假，有一天他偶然发现烧水壶的壶盖被正在沸腾的开水所掀动，结果他发明了蒸汽机……等等，等等。这类

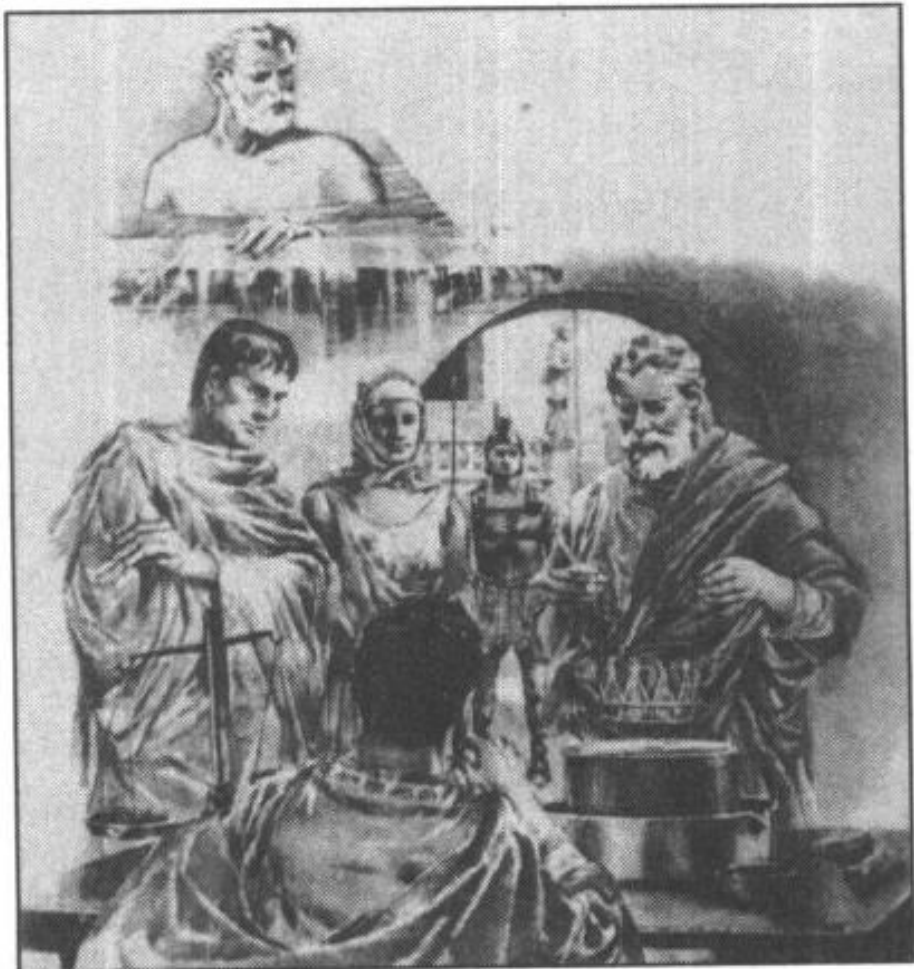


图 0-4 阿基米德发现浮力定律的故事



图 0-5 苹果落地的故事

科学传奇故事诱发了儿童对神奇的科学世界的向往，但对于学习理科课程并没有什么太大的帮助。倒是相反，某些传奇故事对于深入理解科学理论还是有害的。此外，传奇故事往往强调了科学发现的偶然性、机遇性，这使人们忽略了科学发现的真实历史条件和科学工作的极端艰苦性。本书将尽量搜集已知的一些传奇故事，但目的不是进一步渲染其传奇色彩，

而在于指出其真实亦或虚构，有益的启示亦或有害的误导。

4. “古怪”科学概念的历史由来

科学思想的逻辑行程和历史行程对学习科学理论是有益的。当我们开始学习物理学时，我们为那些与常识极为格格不入的观念而烦恼。这时候，如果我们了解一下这些物理学观念逐步建立的历史，接受这些观念就变得容易多了。科学家们并不是一开始就这样“古怪”地思考问题，他们建立“古怪”的科学概念的过程是极好理解而且极引人入胜的。最典型的例子之一是“运动”问题。物体为什么会运动呢？亚里士多德说，运动有两种，一是天然运动，一种是被迫运动。轻的东西如气、火向上走，重的东西如水、土向下跑，这是天然运动，这是由它们的本性决定的，就像俗语所说的“人往高处走，水往低处流”。轻的东西有“轻性”，重的东西有“重性”，但总的说来是向往它们各自的天然位置，也就是有所谓各归其所的倾向。轻的东西天然处所在上面，重的东

西天然处所在下面，在“各归其所”的倾向支配下，它们自动地、出自本性地向上升或向下运动。一旦物体到达了自己的天然位置，就不再具有运动的倾向了。这时候只有外来的力才能迫使物体运动，这样的运动是被动运动。地面上物体的运动都是被动运动，因为它们已经达到了最低处所。被动运动依赖于外力，外力一旦消失，被动运动也就停止了。

亚里士多德关于运动的这些观念很符合常识。比如从其天然运动理论可以得出重的东西下落得快，而轻的东西下落得慢的结论。这我们是有体会的，玻璃弹子当然比羽毛下落得快。又比如，由其被动运动理论可以得出，不推一个物体，物体是不动的，推力越大动得越快，突然撒手，运动就会停止，这一点我们也经常体验到。对这些结论，我们从常识的角度觉得很自然，很有道理。可是近代物理学首先要破除这些观念。“运动”观念上的变革首先是由伽利略作出的。

伽利略从一个逻辑推理开始批评亚里士多德的理论。他设想一个重物（如铁球）与一个轻物（如纸团）同时下落，按亚里士多德的理论，当然是铁球落得快，纸团落得慢，因为较重物含有更多的重性。现在，伽利略设想把重物与轻物绑在一起下落会发生什么情况。一方面，绑在一起的两个物体构成了一个新的更重的物体，因此，它的速度应该比原来的铁球还快，因为它比铁球更重。但另一方面，两个不同下落速度的物体绑在一起，快的物体必然被慢的物体拖住而不再那么快，同时，慢的物体也被快的物体所带动，比从前更快一些。这样，绑在一起的两个物体最终达到一个平衡速度，这个速度比原来的铁球速度慢，但比原来纸团速度快。这两方面的推理都是完全合乎情理的，但却是相互不一致的。因此，伽利略推测落体速度与其重量有关系的说法值得怀疑。从逻辑上讲，解决这个矛盾的唯一途径是：下落速度与重量无关，所有物体的下落速度都相同。伽利略这位真正的近代科

学之父，近代实验科学精神的创造者，并不满足于逻辑推理，而是继续做了斜面实验。他发现，斜面上的落体作加速运动，而且加速度与重量无关。他还发现，斜面越陡，加速度越大，斜面越平，则加速度越小。在极限情况下，斜面垂直，相当于自由下落，不同物体的加速度应该是一样的。斜面完全水平，加速度为零，这时一个运动物体就应该是沿直线永远运动下去。物体运动的保持并不需要力，需要力的是物体运动的改变。这实在是一个重大的观念更新。

伽利略没有直接观察落体运动状况，因为自由落体加速度太大，而当时准确的计时装置还未出现。想一想，伽利略发现摆的等时性时，是用自己的脉搏计时的，就可以明白当时科学仪器的缺乏。斜面可以使物体下落的加速度减小，因而可以对其进行观测，在此基础上，伽利略最终用“思想实验”由斜面的情形推到自由落体和水平运动的情形。所谓比萨斜塔实验大概是没有

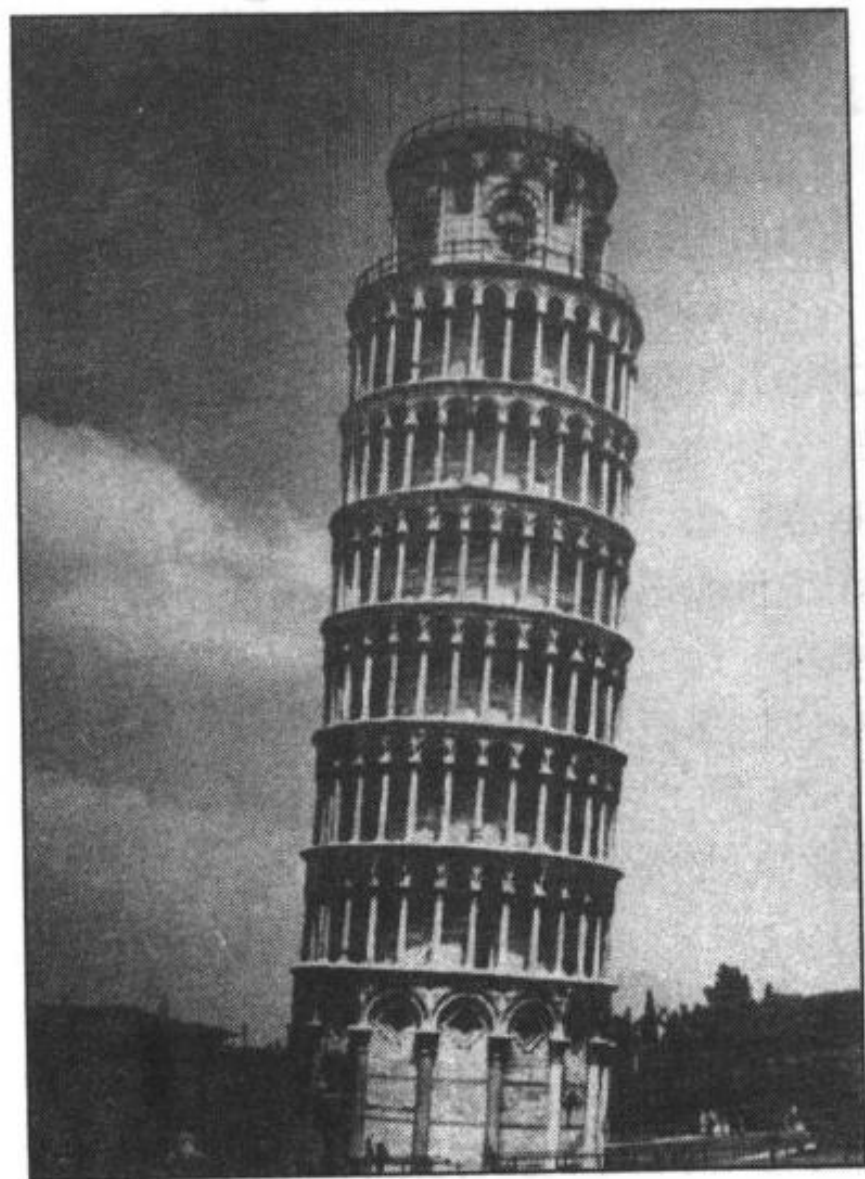


图 0-6 比萨斜塔

有什么根据的，因为：一，伽利略本人没有留下任何记载；二，这个实验当时也无法真的做出来；三，即使

真做出来了，其结论恐怕对伽利略也是不利的，因为，该实验的实验条件很复杂，有空气阻力，不是理想状态。对于这一点，读者运用中学学过的力学知识就可以理解。

这个关于“运动问题”的科学史故事，对读者深入学习牛顿力学知识是有好处的。因为在回顾这个观念更替的过程中，我们自己的观念也不知不觉地发生了改变，这比直接从概念、定律和公式出发去学习牛顿力学当然要生动有趣得多，而且印象深刻得多。当然，前面所讲极为简短，实际所发生的比这要复杂得多。

5. “知道”不等于“理解”

追究科学史的用处，使我们有必要在“知道”(Knowing)和“理解”(understanding)之间作出区别。为了掌握一门科学知识，我们大多不是从阅读这门学科的历史开始，相反，我们从记住一大堆陌生的符号、公式、定律开始。然后是在教师和课本的示范下，反复做各种情形下的练习题，直至能把这些陌生的公式、定律灵活运用到处理各种情况为止，我们才算掌握了这些知识。但我们真的“理解”这些知识吗？那可不一定。理解这些定律的含义可以完全是另一回事。我知道一位非常年轻的大学生，他高考的物理成绩几乎是满分，但是在兴高采烈地去大学报到的旅途上，他却一直在苦苦思考一个问题：为什么人从轮船和火车上跳起来时，仍能落回原处，而轮船和火车在他跳离的这段时间中并没有从他脚底下溜走一段距离。可怜的孩子，他在轮船上试了好几次，情况都差不多，轮船一点儿也没有溜走的意思。后来，他突然想起，地球时时刻刻都在转动，而且转速极大，也从来没有发生过跳起来后落不回原地的事情，这是怎么回事呢？想着想着，高分的大学生睡着了。后来，他读了一门有关的科学史书，懂得了牛顿第一定律的真实含义，他才恍然大悟，痛骂自己愚昧无知。

这个故事应该很恰当地说明“知道”与“理解”的区别。这个故事是真实的，因为这位年轻大学生的故事就是我自己早年的经历。有了知识并不等于理解，会解题不意味着掌握了物理概念。在深入地理解物理定律的本质方面，科学史是有用处的。

6. 理科教学的缺憾

不幸的是教科书大多不谈历史，如果有也只是历史知识方面的点缀，诸如牛顿的生卒年月等等。把科学史有机地揉进理科教科书中，是当代科学教育界所大力提倡的，但做起来很困难，而且效果不好。这是可以想见的。因为自然科学本身有很强的技术性，科学教育必须花大部分精力于训练学生的技能方面，而科学史的引入肯定会分散精力，削弱技能训练。但教育界仍在努力。当代美国著名的科学史家、哈佛大学物理学和科学史教授杰拉德·霍尔顿，从60年代以来主持“哈佛物理教学改革计划”，陆续编写出版了《改革物理教程》作为中学新的物理教科书。此外，他还写出过供大学文科学生阅读的物理教科书《物理科学的概念和理论导论》。这些书贯彻了史论结合的原则，而且是以史带论，极大地影响了美国的物理学教学。这两套书我国都出了中译本，前者由文化教育出版社出版，更名为《中学物理教程》，分“课本和手册”以及“学生读物”两部分，各六册，后者由人民教育出版社分上下两册出版。不过，似乎都未产生积极有效的反响。

也许是文化传统的关系，中国教育界盛行的依然是分数教育、技能型教育。这种教育的一个消极后果是培育了不少科学神话，树立了不正确的科学形象，以及对科学产生了不正确的看法。首先是将科学理论静止化、僵化，其次是将科学理论神圣化、教条化，再次是将科学技术化，最后是将科学实用化、工具化。

不用说，试图破除种种科学神话，纠正不正确的科学形象，正

是本书的重要使命。不过我们首先得仔细具体地看一看，这些科学神话是如何掩盖了真正的科学世界的面貌，以便心中有数，有的放矢。

与当代科学的专门化、专业化相适应，基础教育也实行分科。先是文理分科，再是数理化生分科，再是更细致的分科，如物理分成力学、热学、光学、电磁学等等。分科教育很显然是为了造就专门人才。但在中学时期，通才教育是更有实际意义的。只有极少数人将来成为科学家，但为了这极少数人的未来成长，所有学生都得接受极专门的训练，这是相当不合理而且是浪费智力资源的。大多数人真正需要的是树立恰如其分的科学形象，以便在这个科学时代理智地对待科学、对待社会、对待生活。

7. 教条的态度与批判的态度

在教科书中纷至沓来的新概念、新术语、新公式、新定律面前，学生逐渐形成了这样的观念：这就是真理，学习它、记住它。久而久之，历史性的、进化着的科学理论被神圣化、教条化，人们不知道这个理论从何而来，为什么会是这样。但我们还要相信它是真的，因为它是科学。这种教条的态度明显地与科学精神格格不入，但在科学教育中产生这样的态度又是相当普遍的。因为学生不知道一个理论源于哪些问题，有多少种解决问题的方案，以及为什么人们选择了其中一种并称之为科学理论。学生也不知道这种理论是可错的，并非万古不变的教条，也许学生自己经过思考就能对伟大科学家解决问题的方案提出异议。所有这一切，在以灌输知识为目的的教学中肯定是得不到应有反映的，它不自觉地剥夺了学生的怀疑和批判精神，而怀疑和批判精神对于科学发展恰恰是不可或缺的。我们毫不奇怪地看到，大多数人对科学理论永远怀着一种崇敬心情，这种心情无论对于理解该理论的真正价

值，还是理解该理论的条件性和局限性都没有益处。

在我的印象中，达尔文的进化论一直享受着真理的位置，达尔文之后生物学上对进化论的发展在普通教育界一直是模糊的，仿佛它已进入了绝对真理的行列。久为传颂的是达尔文主义所经受的责难以及对这些责难作成功地的驳斥的一段故事。那是在

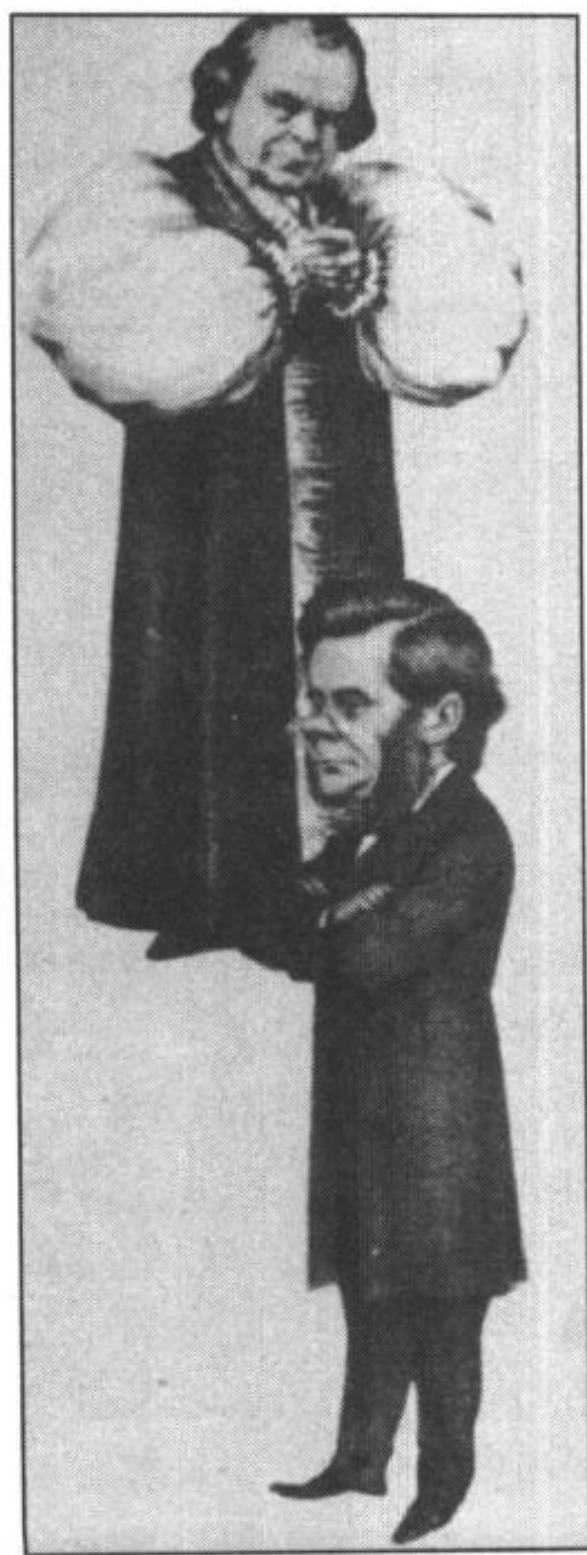


图 0-7 威尔伯福斯

1860年的英国牛津，达尔文的《物种起源》刚刚在上一年出版并引起广泛的注意和争论，学术界内部亦有分歧。达尔文主义的著名斗士赫胥黎坚定地捍卫进化论，遭到牛津大主教威尔伯福斯的讥讽，他责问道：我要请问一下坐在我的旁边，在我讲完以后会把我撕得粉碎的赫胥黎教授，请问“与猴子发生关系的是你祖父这一方，还是你祖母这一方？”面对这恶意中伤，赫胥黎从容不迫地先从科学事实方面进行驳斥，然后说：“我过去说过，现在再说一次，一个人没有理由因为猴子作他祖父而感到羞耻。在我的回忆中叫我感到羞耻的倒是这样一种人：他惯于信口雌黄，并且不满足于他自己活动范围里的那些令人怀疑的成就，却要粗暴地干涉他根本不理解的科学问题。所以他只能避开辩论的焦点，而用花言巧语和诡辩的辞令来转移听众的注意力，企图煽动一部分听众的宗教偏见来压倒别人。这才是真正的羞耻啊！”

这段故事确实是捍卫科学真理的典范。然而，如果从进化论本身的缺陷以及面临的发展角度看，威尔伯福斯主教的责问也有重要的科学意义。他实际上表达了这样一个问题：是否“存在一种通过特殊遗传而积累有利变异的能力，它与竞争规律以及所出现的有利变异一起在自然界中积极地起作用。”达尔文其时，细胞学说刚刚建立，遗传学尚未开始，这样的“能力”也就是在进化中起作用的遗传因子尚未出现，主教的讥讽中所包含的有意义的问题实际上无法回答。今天，进化论经过了新达尔文主义进入了综合进化论时期。威尔伯福斯的问题可以回答了，其作为恶意中伤已变得毫无力量，而这恰恰是生物学的进步和进化论本身的发展所带来的。

8. 片面的理解与全面的理解

科学理论不是一成不变的，它是发展的、进化着的。几乎没有什么比科学史更能使人认识到这一点了。不仅如此，自然科学各个分支领域相互联系的方面，在按学科分块的教科书中肯定也得不到体现。最典型的例子大概要数热力学第一定律，这个定律又称为能量守恒定律。就我自己的经验，从教科书中我始终未能获得关于这个定律的完整理解，因为它涉及的面太广了。从历史上看，它首先来自运动不灭原理，虽然古代哲学家们已经提出过运动不灭的思想，但只有给出了运动的量度，运动不灭原理才可成为一个科学原理并付诸应用。有意思的是，运动的量度一开始就出现了分歧，有人把质量与速度的乘积作为运动的量度，也有人认为运动量应由质量与速度的平方的乘积来标度。经过长时间的争论和力学本身的发展，人们在18世纪发现了机械能的守恒定律。

能量守恒原理的最终确立有赖于在更多领域里相关研究的出

现，第一是热与机械运动相互转换的研究。当时连热究竟是怎么回事大家都还不清楚。开始人们以为热也是一种物质，一种特殊的看不见无重量的流体。仿照物质守恒原理，有人还提出了热质守恒原理，这个原理还被用来解释热平衡过程。例如，热水和冷水混合，热水中的热质多，跑一部分到冷水中，结果温度降低了。可是美国物理学家本杰明·汤姆逊（又称伦福德伯爵）在德国从事炮膛钻孔实验时发现，只要不停地钻，几乎可以不停地放出热，这么多热从哪里来的呢？若用热质守恒说根本不可能解释，



图 0-8 上帝创造宇宙

这促使人们研究热量与作功之间的关系，并定量测定其转化系数，这一工作的最终完成，也就是能量守恒原理的正式确立。

第二是在化学和生物学上的研究上。德国化学家李比希设想，动物的体热和活动的机械能可能来自食物之中包括的化学能。此外，俄国化学家赫斯发现了化学反应过程中的能量守恒原理。

第三是电学和磁学的研究。德国物理学家楞次研究电流的热效应，发现通电导

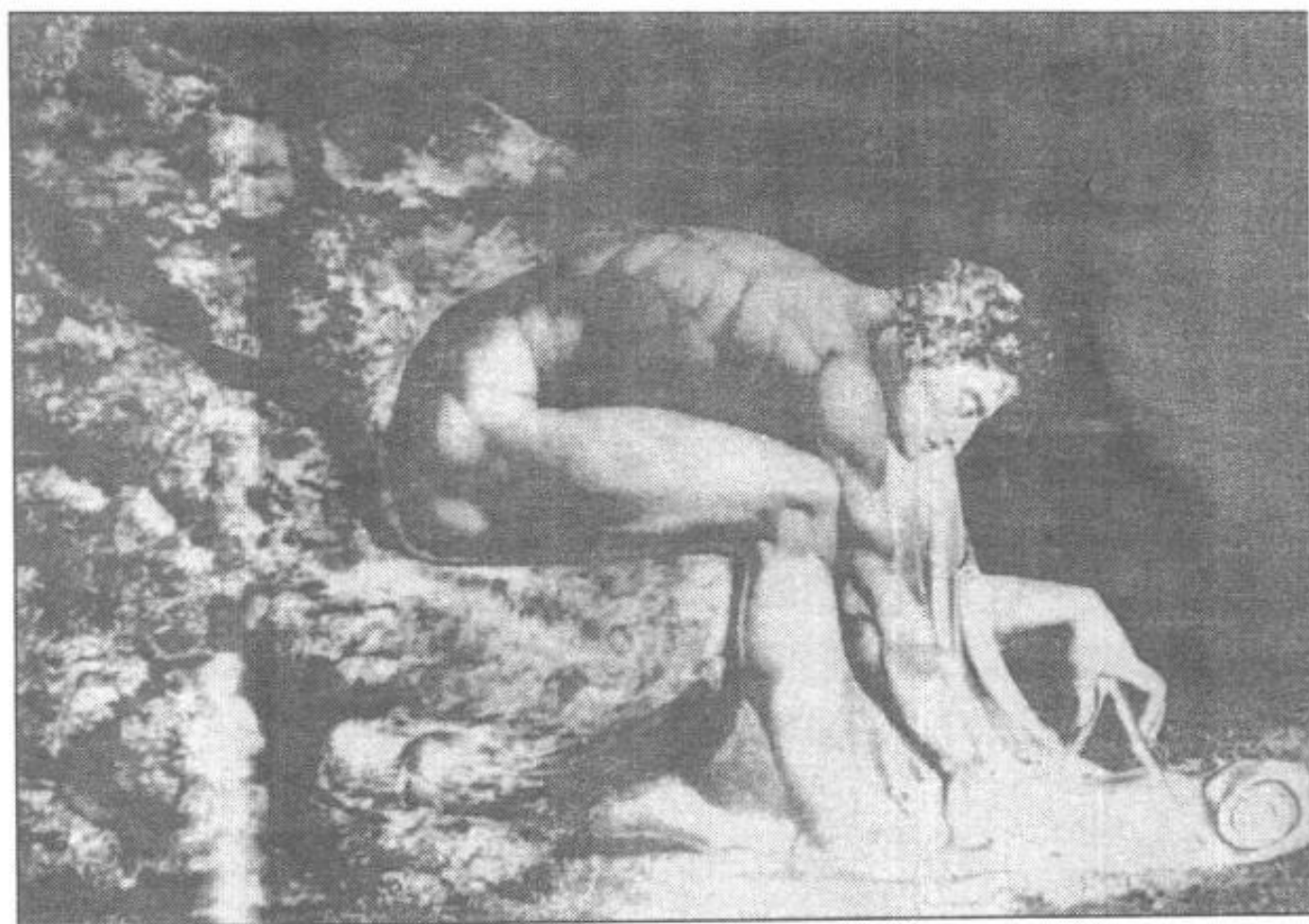


图 0-9 艺术家笔下的牛顿，他像神一样正在制定宇宙规律

体放出的热量与电流强度的平方、导体的电阻以及通电时间成正比。这在今天被称为焦耳—楞次定律，这一定律直接导向能量守恒定律的精确形式。

现在各路人马都在奔向一个伟大的原理。在提出或表述能量守恒原理的科学家行列中，有德国医生罗伯德·迈尔，他几乎是从哲学上明确地导出这个原理的；有德国物理学家赫尔姆兹；有英国物理学家焦尔，他是在测量热功当量中建立这一原理的；还有法国工程师卡诺，英国律师格罗夫，丹麦工程师柯尔丁。这么多人大致在同一时间里提出同一科学原理，真是科学史上罕见的事情。

如果不是科学史，我们肯定无法理解“能量”这一概念的普遍性，它在全部自然科学中的地位，它对于人类理解自然现象的意义。“能量”概念提醒我们自然科学的统一性，提醒我们不要深

陷在各门学科的技术细节中，忘记了自然科学的根本任务是为人类建立一个关于外在世界的整体的统一的图像，在学科分化愈演愈烈的今天，人们尤其需要这种统一的图像。

9. 人性的科学家形象与科学形象

在诸种科学神话中，关于科学家的神话也许是流传得最广的。很长时间来，科学家被看作在某一方面有惊人的天才，掌握了与自然界进行对话的神秘钥匙，但在日常生活中完全是低能儿，而且表现得离奇古怪。人们广泛传颂着诸如牛顿煮鸡蛋结果把手表煮进去了，爱因斯坦走路时头撞着一棵树还连声说对不起等等之类的故事。这些有趣的故事也许是真的，但不可把这看作科学家的本质特征。人们由于专注于某件事情而忘了周围的一切，这种情况并不罕见，并非只有科学家如此。另一方面，科学家在结束他的研究工作时，他与常人一样，而且在参与社会文化生活和从事艺术宗教活动方面，并不比一般人逊色。这一点有必要大大强调，因为我们陷入这类科学家神话中太深了，不仅歪曲了科学家的形象，而且对培养自己的科学家相当不利。年轻人往往照公认的科学家形象规范自己。危害倒不在于年轻人将来在日常生活中表现得无能、生活不能自理，而在于他可能不再关心社会、关心他人，不再关心道德和艺术，而甘于做一个对世事不闻不问、对人漠不关心、缺乏同情、只在某一狭窄领域当熟练工人的人。实际上，真正的科学家不仅能增长人类的自然知识，而且还传播一种在思想上独立思考、有条理的怀疑的科学精神，传播一种在人类生活中相当宝贵的协作、友爱和宽容精神，是最富有人性的。真实的人性的科学家形象只有在科学史中才能得到恢复。因为在学习科学理论时，我们可能完全不知道该理论的创造者是一个怎样的人。

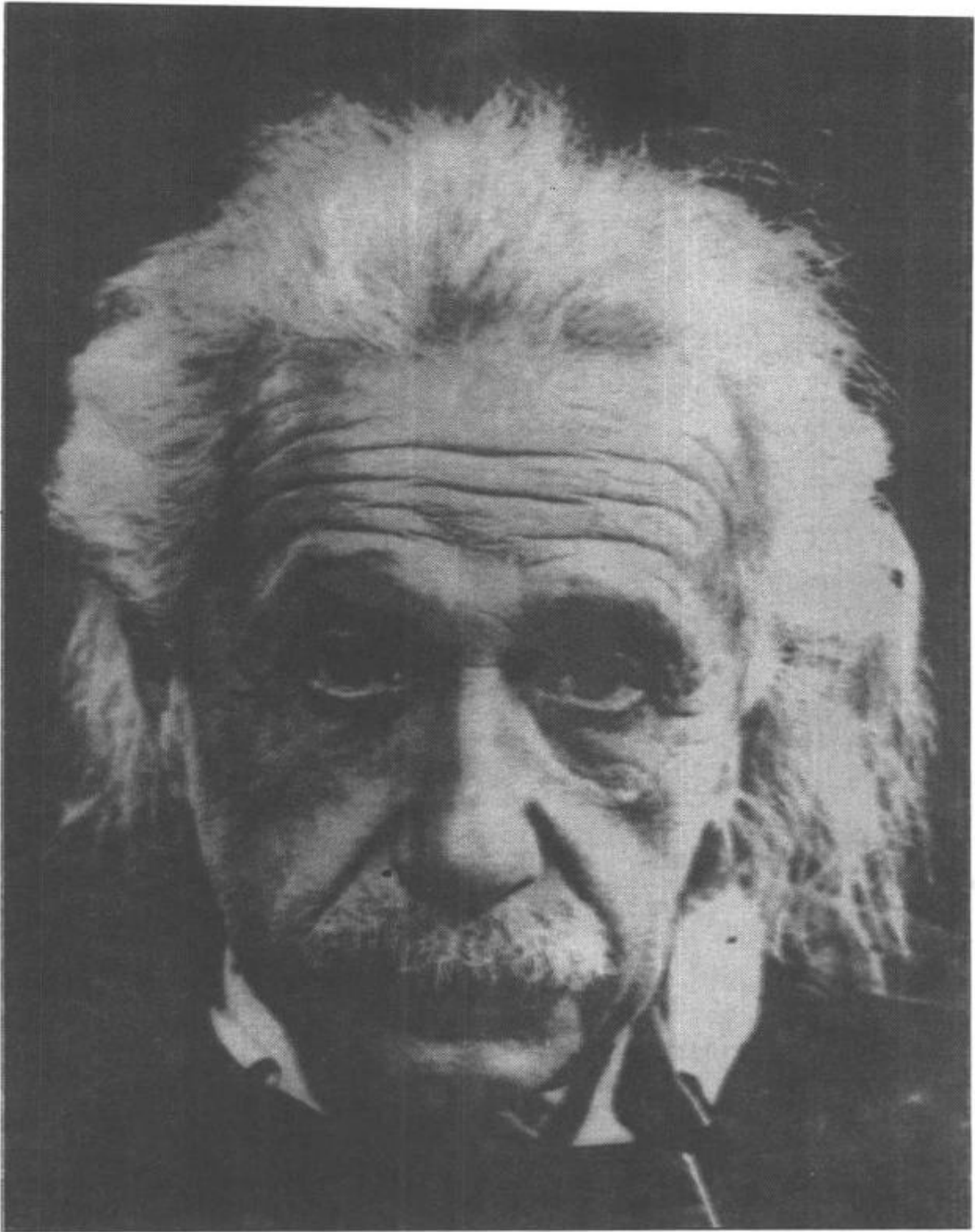


图 9-10 爱因斯坦

说到科学家的形象，我们不免会想起科学的技术化和科学的实用化、工具化问题。因为前面那种看似传奇实则愚蠢的科学家

形象，是与错误的非人性的科学形象相适应的。无疑，科学是有实用意义的，特别在当代，这种实用意义相当显著。但是科学不只是有实际用途，它既有物质的方面，也有精神的方面；它有改造世界的方面，也有认识世界的方面。一味强调一方面而忽视另一方面，科学的生命就要完结。在古代，科学的实际用处还未表现出来，注重实用的罗马人对科学不加重视，刚刚由希腊人创造出来的科学马上断送在罗马人手里。今天，科学正发挥着从前无论如何也意想不到的作用，科学召唤出来的力量已经大到令人类无法驾驭的程度。原子能的开发是一个伟大的科学成就，但造出的原子弹令人担忧，当今世界各国存有的原子武器足够把地球炸毁好几次。另外，科学带来了经济的高速增长，物质财富的极大丰富，但也带来了环境污染和能源短缺。大气污染有可能破坏数万年来保护人类和地球生命的大气层，陆地和海洋污染破坏了生态平衡，水污染危及人的生命之源。但把这一切都归罪于科学，是否与罗马人犯的是同样的错误？

技术上的不良后果也只有通过更新技术来克服，何况科学并不等于技术。首先，科学不只是一些方法上的、技巧性的东西，它是一种文化。它既面对自然，以理性的态度看待自然，它也深入人性，在科学活动中弘扬诚实、合作、为追求真理而不屈不挠献身的精神。其次，科学不可以视为一种手段，一种为达到它种目的（比如发展经济等）的手段，相反，科学自身就可以作为目的。“为科学而科学”长期以来受到批判，现在应该承认它有合理之处。诚然，生产上的需要将促进科学的产生和发展，同样，为了求知，为了解开自然界的奥秘，人类也致力于发展科学。亚里士多德提到科学和哲学产生的原因时说：

“当今人们开始从事哲理的思考和探求都是由于惊异。他们最初从明显的疑难感到惊异，便逐步进入到那些重大问题上的疑难，例如关于日月星辰的现象和宇宙创生的问题。感到困惑和惊异的

人想到自己无知，为了摆脱无知，他们就致力于思考，因此，他们这样做显然是为了求知而追求学术，而不是为了任何实用的目的。”（《形而上学》）

受中国传统文化中实用理性的支配，中国人不大能接受“为科学而科学”的提法。不过，对我们中国人而言，比较缺乏的也许恰恰是“为科学而科学”的精神。为了搞懂这些问题，我们需要求助于科学的历史。

今天，理解科学成了一项迫切的任务，因为科学在社会生活中已占据了太重要的位置，而人们对它又太缺乏了解，仅有的了解常常是片面的、不准确的。正成长着的一代年轻人，将主宰着未来的社会发展，如果一开始他们能通过熟悉科学的历史而全面地理解科学，那么科学就能更好地为人类造福。



图 6-11

爱因斯坦在朋友家的院子里骑自行车玩

二、科学史的编史方法

科学的历史是从什么时候开始的？包括哪些内容？对这两个问题的解决决定了本书的写法，也关系到科学史的不同编史方法。

就科学史学科而言，从何写起，写什么，的确是相当重大的问题，它涉及如何看待科学，如何回答“科学究竟是什么”这个问题，只有弄清楚了“科学”一词的外延和内涵，我们才能确定本书的写法。

我们至少可以举出如下几种关于科学的界说：一，科学是系统化了的自然知识；二，科学是生产力；三，科学是一种社会活动。如果分别按这三种科学定义来写科学史的话，可以分别写出理论自然科学史、技术史和科学社会史。我不想让其中的一种排斥另外的一种，全面理解科学需要同时了解这三种历史，因此，本书打算写成一部综合的科学技术与社会史。

科学的历史如同人类其它的历史一样，千头万绪，材料无限

丰富。一部综合科学史如何剪裁，如何布局，都是问题。不同的科学史书有不同的写法，有的专写观念发展的思想史，有的则专写科学活动的社会史；有的注重科学理论中的哲学家传统，有的则注重科学实验中的工匠传统；有的根本不涉及技术和工艺的历史，有的则根本不谈科学理论。此外，按照年代顺序的编年史写法与按照学科内在逻辑发展编史，或按照民族、国别的独立发展线索编史，均形成鲜明的对照。对种种不同的写法，我打算取一个折衷的态度。为了表明如何折衷，下面简单回顾一下科学史的种种不同写法。

1. 科学与技术

对当代科学史而言，不涉及技术史是不可想象的，因为科学与技术的关系太密切了，新科学不断导致新技术的出现，同时新技术又促进科学的发展。但在古代甚至近代早期，科学与技术的关系是不密切的。科学由一些有知识、有学问、有身分的人所掌握，而技术则由一些无名的工匠传授。科学没有为更新技术做什么，也很难做什么。这种情况使得早期的科学成就与技术成就只可能大致按照年代顺序简单地放在一起叙述。

人们常常说，科学是认识世界的学问，而技术则是改造世界的学问，这种说法大致说来是对的，不过反过来说就不一定对



图 0-12 炼金术士的作坊

了。认识世界的方式很多，神话、宗教和艺术亦提供对世界的认识，提供某种世界图像，但它们不是科学。科学是一种特殊的认知方式，它追求清晰和条理性，不像艺术家那样因激情而丧失明晰和条理；它强调知识来源于经验，不像宗教强调知识来源于圣典；它追求理论与观测经验上的一致，不像神话恣意妄为地构造世界图景而不顾经验上的事实。不过，科学的认知方式脱胎于原始的宗教神话诗的认知方式，对这些前科学的宇宙图景，我们也将提及，何况它们很富有诗意和想象力。



图 0-13 炼金术士

在古代，改造世界的工作包括建筑、水利、交通运输工程都谈不上学问，唯一谈得上学问的改造世界的工作是炼金术士们所做的那些事情，他们的目标是变贱金属为贵重金属，最终炼出黄金来。从根本上说，他们的目标是达不到的，

通过化学方法是不可能把一种金属转变为另一种金属的。但是，他们用烧杯和蒸馏器的确完成了物质的化合和变化，他们使自然界发生了改变。炼金术当然不能算技术科学的代表，但它里面包含了化学和化工的因素，虽然它不完全是科学的，也不完全是技术的。从现代的眼光看，可以认为炼金术是伪科学，是骗人的把戏，但它在科学史上必须占有一席之地。

2. 哲学家传统和工匠传统

今日所谓科学在人类历史上是非常晚近的东西。许多读者也许不信，“科学家”（Scientist）一词直到上个世纪才出现。那是在1833年剑桥召开的英国科学促进会的一次会议上，著名科学史和科学哲学家威廉·休厄尔建议仿照“艺术家”（Artist）一词创造出一个新词“科学家”，用来称呼像法拉第那样一些在实验室中探索自然奥秘、增进人类自然知识的人们。读者也许要问，在出现“科学家”一词之前，像牛顿那样的大科学家被称作什么呢？要知道，到了1833年，人类历史上出现的大科学家已经不计其数了。他们的名份是什么呢？原来，他们自称也被称为自然哲学家，他们自以为从事的是自然哲学研究。对这一点，我们从许多科学著作的标题就可以看出。牛顿创立牛顿力学体系的原著是《自然哲学的数学原理》（1687），进化论最伟大的先驱拉马克的代表作是《动物哲学》（1809），近代原子论在化学中的复兴者道尔顿的著作是《化学哲学的新系统》（1808），前面提到过的英国物理学家托马斯·杨写过《自然哲学讲义》（1807），而且以这个题目作为当时教科书的名字是比较普遍的。

这些情况说明了什么呢？它表明，独立的科学传统的形成是非常非常晚的事情，在这以前，科学寄附在别的传统之上。“在近代历史之前，很少有什么不同于哲学家传统，又不同于工匠传统的科学传统而言。但是，科学是源远流长的，可以追溯到文明出现以前。不管我们把历史追溯多远，总可以从工匠或学者的知识中发现某些带有科学性的技术、事实和见解；不过在近代以前，这些知识或服从于哲学传统，或服从于工艺传统要求。”（梅森语）因此，在人类漫长的文明史上，一直存在着两个传统，它们共同构成了科学的历史渊源。

科学一开始就有两个来源，首先是好奇心，以及获得一个整体世界观的内在要求。人类永远需要为自己的心灵创造一个家园，一个不会因为千变万化的眼前现象而经常改变的理解框架，一种系统的理解世界的方式。这种内在的要求构成科学史上的哲学家传统。第二个来源是，为满足人类的物质生活需要，人类必须提高自己制造、使用和改进工具的技艺和能力。广而言之，人类需要提高自己支配自然界为自己服务的能力，在这里形成了技术和工艺的进步，以及近代大工业的发展。这一方面构成了科学史上的工匠传统。

有很长一段时期，人们对工匠传统是不重视的，一提到科学史，往往会想到一些伟大的科学家如牛顿、爱因斯坦，想到科学理论如何在卓越天才的头脑中被创造出来。这些当然是科学史的重要部分，但不是全部。科学的进步在某些时候完全是被科学仪器的发明推动的，而科学仪器往往一开始是由工匠造出来的。近代天文学的进步肯定应该归功于望远镜的发明，而生物学和医学则应归功于显微镜的发明。这两样东西都是工匠而不是科学家发明的。

望远镜最早大概是在1608年的荷兰出现的，据说是眼镜制造商汉斯·里珀希发明的。故事讲到，有一次他偶然拿着两块眼镜片一前一后观看教堂的尖顶，结果看到了放大的景象，这使他十分震惊，望远镜就这样发明了。可以想见，在有着悠久制造眼镜历史的欧洲，望远镜完全可能在几年前就已被人发明出来，不过，认识到其使用价值并推广开来需要时间。天文学家马上看到了望远镜的重要意义。望远镜发明的消息传到意大利，伽利略立即动手制作了他自己的望远镜。通过望远镜，他发现了全新的宇宙景象：木星有卫星，月球上有山脉，太阳上有黑子，金星有转动周期。这些新现象大大不利于传统的亚里士多德的宇宙论，而强有力地支持了哥白尼的日心理论。

显微镜最早大概也是在荷兰出现的，据说它的发明者是阿姆斯特丹的商人列文虎克，还有其他第一批使用显微镜进行科学观察的人，例如英国的罗伯特·胡克。在显微镜底下，列文虎克看见了细菌、原生动物、精子、红血球和毛细血管，胡克则发现软木和其它的植物都有细胞状结构。可以想象，如果没有显微镜，近代生理学简直就无从谈起。

望远镜和显微镜的发现史可以作为工匠传统对科学的重要意义的典型例证，这样的例子还有许多，我们以后将更为详尽地讲述。同样重视科学历史上的哲学家传统和工匠传统，将是本书的一大写作原则，虽然在篇幅上后者会短一些，但这主要是因为史料来源方面的原因。哲学家传统中的科学，或所谓纯科学、理论科学、基础科学，往往通过著作的方式传到现在，而工匠传统中的科学，其实物随着时间的推移而湮灭，其发明的过程只在传说中极不可靠地流传到现在。

3. 思想史与社会史

科学思想史与科学社会史在编史原则上的对立，对于读者来说也许是一个过于学术气的问题。但由于它们决定了本书叙述的历史线索，这里也有必要多说几句。

编写科学的历史一开始是零散的、偶然的、属于个别人业余爱好的事情。在它成为一门有讲究的学问后，就出现了所谓科学的编史学。科学编史学大致经历了三个阶段，分别建立了三种类型的科学史编史原则和编史方法。

第一阶段是以萨顿为代表的实证主义的编年史方法。乔治·萨顿是科学史学科的创始人，国际最权威科学史杂志《爱雪斯》(Isis)的创办人，他1884年生于比利时的根特，第一次世界大战期间到了美国，一直在哈佛大学教授科学史。萨顿倡导实证主义

的编史方法，他强调，科学的历史实际上是实证知识积累的历史，科学史家的任务就是尽量无一遗漏地将历史上出现的所有科学知识都记录下来，按照年代的顺序编写出来。萨顿的巨著《科学史导论》就是按照这一思路来写的。他以半个世纪为一个单元，逐个考证过去年代在许多知识部门里出现过的实证知识。可以想见，编写这样的历史，其工作量是无比巨大的。在萨顿的有生之年，《科学史导论》出版了五大卷，但仍然只写到了14世纪。

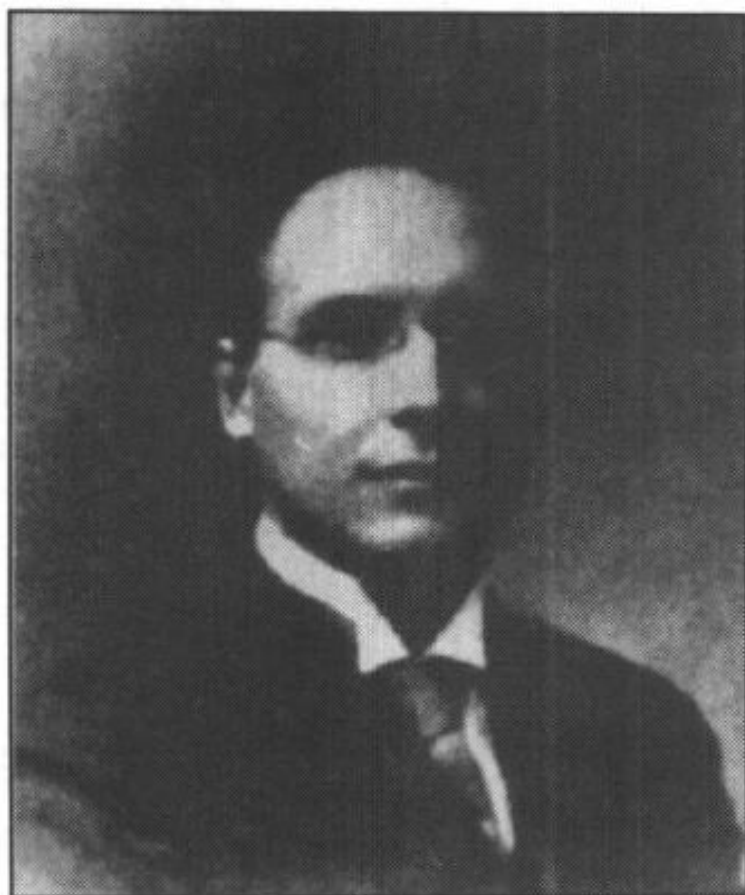


图 0-14 萨顿

萨顿的编年史是对他之前广泛流行的专科史的反拨。萨顿坚信，“科学史是人类统一的历史，人类崇高目标的历史和人类救赎的历史”，科学是一个统一的整体，因此，只有综合史才能反映科学史的真实面貌。这是一个非常有价值的思想，是萨顿科学的人文主义或新人文主义的具体体现，也是本书作者极为赞赏的。但是，完全抛开分科史的写法，纯以编年的方式写作，也存在不少问题。

特别是，实证知识的编年史掩盖了科学发展的逻辑线索，而且内容无边无际，很难最终完成。

编史学的第二阶段是以亚里山大·柯瓦雷为代表的思想史编史方法。思想史又称观念史或内史，它注重追溯科学概念的内在逻辑发展线索。在这个研究纲领下，出现了一大批极为杰出的研究成果，特别是关于近代科学起源的研究，以及16、17世纪科学革命的研究。柯瓦雷1892年出生于俄罗斯的塔冈洛克，20世纪20

年代后一直在法国生活，用法语写作。他的代表作是出版于1940年的《伽利略研究》。在这部著作中，柯瓦雷显示了“概念分析方法”的威力，揭示了近代科学形成过程中所发生的各种基本观念上的变化。第二次世界大战期间，柯瓦雷来到美国讲学，把他的“概念分析技术”带到了美国科学史界，产生了巨大的影响。迄今为止，大部分最优秀的科学史著作都贯彻思想史的编史纲领。

值得注意的是，思想史的编史方法获得成功的领域往往是数理科学，这主要是指天文学、力学和几何光学，在历史上，主要指从哥白尼到牛顿这段历史时期。这段时期，科学思想发生了戏剧性的变革，为迎接新思想的到来所需要的细节上的改变，一环紧扣一环，每一环节都由一个伟大的人物来完成，整个科学的进展仿佛是早已安排好了的一幕戏剧的开演。撰写这样的历史当然是极为有趣的，但这种情况在科学史上并不总是出现。到了18世纪，科学发展的线索就不那么分明了，科学史不再是少数几个成熟学科中观念的变革史，而是许多新学科的诞生史。当代著名科学史和科学哲学家托马斯·库恩曾提出过近代物理学史上数学传统和实验传统的对立。他认为，像天文学、和声学、数学、光学与静力学这五大学科是古典物理科学，从古代几乎连续地传到近代，这些学科的近代



图 0-15 柯瓦雷



图 0-16 贝尔纳

发展特征是观念革命，“古典科学在科学革命时期的转变，更多地归因于人们以新的眼光去看旧现象，而较少得力于一系列以前未预见到的实验发现”。另一方面，像电学、磁学、热学、化学等学科，极大地依赖实验，库恩称之为培根科学，因为培根曾在他的《新工具》一书中为这些学科的发展设计过蓝图。库恩指出，数学传统的古典科学和实验传统的培根科学直到 19 世纪仍然是分离的、独立发展的，不能单用一种发展模式来套全部的科学史。库恩的观点对克服思想史编史方法的局限性

很有益处。

编史学的第三阶段是以默顿和贝尔纳为代表的社会史编史方法。默顿的代表作《17 世纪英格兰的科学、技术与社会》被认为是科学社会学的奠基之作，而贝尔纳的《科学的社会功能》则被认为是科学学的奠基之作。不论是科学社会学还是科学学，都重视研究科学与社会的关系。科学社会学把科学活动本身作为社会学的研究对象，考察科学共同体的运作机制。科学学则注重研究科学发展与外部社会条件的相互制约关系。这两个方面在科学史研究中构成了所谓外史学派。

科学社会史的研究无疑是对科学思想史的极大补充，虽然内史学派与外史学派之间存在着很深的学术分歧，像柯瓦雷，就坚决反对社会经济因素在科学理论的发展中起决定性的作用。柯瓦雷的异议有他的道理。在近代早期，科学与技术还没有挂上勾，科学对技术的促进并不明显。另一方面，古典科学已形成其固有的

学术传统，技术对科学的促进虽然不是没有作用但也决不是决定性的。但是，在科学史的其它时期和其它领域，特别是技术中，生产和经济的因素可能起着决定性的作用。比如，蒸汽机的发明就明显来源于生产上的需要，一开始被用于矿井的抽水，后来曲轴发明后，蒸汽机成了万能动力机，被用于一切动力机械上。由此可见，对全面地理解科学史而言，思想史与社会史有和平共存的必要性和可能性。

作为一部通俗的科学技术通史，本书不敢妄称在方法上对内史学派和外史学派进行综合，本书所能做的只是简单地不忽略这两个方面，简单地同时顾及它们。

4. 分科史、国别史与综合史

一开始，所有的科学史著作都是分科史，大都是由著名科学家作为他们的讲义的第一章出现的。分科史内容集中，条理分明，容易满足学生的需要，并对他们熟悉正在学习的课程有一定的帮助。不过正如萨顿所说，分科史是不完善的科学史。它尤其不能反映科学作为统一的整体，以及科学作为人类文明这个统一整体中的一部分的历史事实。所以本书采取综合史的写法，但对于某个历史时期的带头学科，则以专门章节叙述一段该学科的专科史。

综合史常常以编年的方式出现，本书也不例外，年代的顺序是本书的基本框架，不过由于照顾到上述诸种关系，年代顺序不是严格的。除了分科的缘故外，各民族之间科学发展的不平衡也是年代顺序无法严格遵循的原因。古埃及和古巴比伦的科学文明持续到了公元纪年时代，但我们只好在第一卷一并写完，因为它与后来的科学发展主流丧失了联系，代表这种主流的是希腊科学。中国文明与世界其它文明比较隔绝，它独自发展，走着一条独特的路线，如果严格按照编年的顺序，则会破坏对中国科学史的完

整叙述,也使近代以来的世界科学史丧失了连续性,有鉴于此,中国的科学技术史基本上都在第三卷完成。

总的来讲,本书将写成一部综合各方面考虑的综合科学技术史。这种写法的弊病是显而易见的:它什么都写到了,但可能什么都没写好。近几十年来,国际科学史界致力于专题史、断代史、国别史、科学家传记的著述,少有大型通史的出版。这大概是因为,编写大型综合史常常吃力不讨好。不过,就广大读者而言,这样的通史的确是十分需要的。过去十多年间,我国流传最广的两本科学史书是丹皮尔的《科学史》(商务印书馆1975年出版)和梅森的《自然科学史》(上海人民出版社1971年出版,1980年由上海译文出版社出新版)。但这两本书的作者都不是专业科学史家。由专业科学史家编写的科学通史中,最好的大概要数塔顿主编的四卷本《科学通史》,第一卷《古代和中世纪科学》,1963年出版;第二卷《近代科学的开端,从1450年至1800年》,1964年出版;第三卷《十九世纪的科学》,1966年出版;第四卷《二十世纪的科学》,1966年出版。这四大卷科学通史可在相当程度上满足学术界的需要,可惜至今未译成中文。

本书力求保持的另一特色是插图丰富。对科学史著作而言,配以特定的历史图片,将使所叙述的历史事件变得生动、直观、亲切,使人仿佛身临其境、乐而忘返。能否达到这一效果,请读者明鉴。

三、五千年的曲折历程

人类的生存活动是一部永无休止的史诗，这部史诗流传下来已有五千年的历程。五千年的文明史充满了战争与和平、王朝兴盛与危机，也充满了物质生活的欣欣向荣和人类精神生活的奇异历险。科学和技术在文明史上始终占有一个非常重要的位置，它仿佛承载激流的河床，流水消逝了，河床留存下来，昔日的城堡、宫殿化为灰烬，昔日的赫赫战功已随岁月而烟消云散，但是支撑着每一时代人类物质生活方式的技艺一代代传了下来，显示人类对自然界知识增进的科学理论传了下来。正如乔治·萨顿所说，科学的历史虽然只是人类历史的一小部分，但却是本质的部分，是唯一能够解释人类社会的进步的那一部分。

科学，就其本质而言，是人类与周围的生活环境相协调的一种理性的手段。这样的手段是多样的，巫术、宗教、艺术、法律都是协调自然环境或社会环境的方式，但科学是一种理性的方式、是一种物质的方式，因而显示出绵延不绝的生命力。

数学、天文学和医学是一切原始民族都予以充分发展的科学，这大概是因为，它们与人类的基本社会生活密切相关。四大文明古国在这三门科学上都做出了开创性的贡献，埃及、巴比伦、印度和中国的成就各具特色，它们或服务于宗教的需要，或有强烈的实用倾向，均为后世开辟了不同的科学传统。巴比伦、印度的算术和占星术通过阿拉伯人流传到近代，导致了近世代数的大发展，以与日益发达的商业社会的计算需要相适应。中国则独自发展出了技术型、经验型、实用型的科学技术体系，在中古时期孕育出了伟大的四大发明。这四大技术成就通过阿拉伯人传到欧洲之后，促进了近代欧洲社会和近代科学的形成。

科学成为一种独立的精神活动，最早起源于希腊。希腊人最早对自然界形成了一种独立于神话而又系统的理性看法，而且创造了一套数学语言来把握自然界的规律。希腊第一个哲学家泰勒斯提出万物源于水的命题，奠定了西方哲学追究本源的形而上学精神。泰勒斯学生的学生阿那克西米尼指出，万物由气所构成，不同的物质由气的浓密稀疏所致，这开辟了把握世界的实体构成主义传统。这一传统主张，唯有找到自然现象背后的实体，并且通过这一实体将自然现象重新组合构造出来，才算是认识了自然。古代原子论实际上是第一个比较成熟的实体构成主义的模型，原子论者找到了原子作为基础，并将大千世界的多样性和复杂性还原为原子的不同排列组合。与构成主义传统相对照的是由毕达哥拉斯学派开辟的形式主义传统。在他们看来，理解世界的关键不在于找出构成实体，而在于找出构成方式。他们认为，数是万物构成的基本形式，因此，数有着至高无上的本体论地位。柏拉图学派后来进一步精致化了这些主张，从哲学的高度进一步强化了形式的重要性。实体构成主义和形式主义这两大传统后来为近代科学所继承。

希腊科学真正的大发展不在希腊古典时期，而在希腊化时期。

有三个杰出的人物代表了这一时期最高的科学成就，他们是欧几里德、阿基米德和托勒密。欧几里德因为《几何原本》，阿基米德因为杠杆原理和浮力原理，托勒密因为《至大论》而彪炳史册，他们是古代世界在几何学、力学和天文学上达到的三座高峰。

在公元元年左右的几个世纪，罗马人统治了西方世界。他们在政治、管理、法律和军事上有着杰出的成就，但在科学方面难以为人称道。虽然也出现过像普林尼这样百科全书式的博物学者，但罗马人总的来说没有对科学的发展做出过重大的贡献。希腊丰富的科学遗产被他们一点点地丢弃，直至文明的光辉完全熄灭，进入长达五百年的黑暗年代。

在欧洲黑暗年代（公元6世纪至11世纪），自然科学确实处于沙漠状态。但是同一时期，阿拉伯人却建立了经济繁荣、文化发达的阿拉伯帝国。他们继承了希腊人的科学遗产，大量翻译了包括欧几里德《几何原本》和托勒密《至大论》在内的希腊科学著作。到了公元8世纪，阿拉伯人使希腊传统的西方科学进入了一个新的繁荣时期。在炼金术（作为化学的先驱）、代数、天文学、光学等方面，阿拉伯人都作出了自己独特的贡献。今天的许多科学术语都来自阿拉伯文。这正是因为近代科学继承了阿拉伯人的科学遗产。

阿拉伯科学的辉煌时期只持续到了12世纪，而中国的科学技术的发展却持续上升到了17世纪。从盛唐（公元7世纪）到明末（17世纪）一千多年的时间里，由于中国政治的相对稳定，其独特的科学技术体系得以逐步完善和发展。构成这一体系的农、医、天、算四大学科以及陶瓷、丝织和建筑三大技术，是古代中国人聪明智慧的结晶。造纸、印刷术、火药和指南针这四大发明，经阿拉伯人传入欧洲后，对近代科学的诞生起了重要的推动作用，是中国人对近代世界文明的卓越贡献。

11世纪之后，欧洲开始从漫漫长夜苏醒。十字军东征从阿拉

伯人那里带回了中国的四大发明和希腊的学术。通过翻译希腊古典文献，欧洲学术得以复苏。大翻译运动在西班牙和意大利两个中心进行，因为它们离阿拉伯文化和希腊化文化区最接近。大翻译运动的结果是出现了经院哲学的新气象，这种本是通过理性论证来为神学辩护的哲学，与亚里士多德主义进行了成功的结合，产生了托马斯·阿奎那的哲学。此外，还诞生了实验科学的先驱罗吉尔·培根。

欧洲的第二次学术复兴也就是著名的文艺复兴。就科学史而言，这次的复兴在于更全面地恢复了希腊自然哲学的整体面貌，在于柏拉图主义重新支配了研究自然的学者们的思想，以对抗已占统治地位的托马斯—亚里士多德主义。这一时期航海罗盘、钟表、枪炮、印刷术的出现，以及美洲的发现，都为科学革命提供了合适的气氛和时代背景。人们即将从古代的知识范围里走出来，去探索无限的宇宙。

世界观的重大变革确实是从哥白尼革命开始的。希腊人以及中世纪的宇宙观，是一个层层相套的有限的球体，地球则居宇宙的中心。近代思想的一个革命性的变化就在于从有限封闭的世界，走向一个无限的宇宙。这一思想主题反映在许多方面：在天文学方面，最终抛弃了天球的概念，而将天体撒向一望无垠的宇宙空间。在物理学方面，最终抛弃了亚里士多德目的论的天然运动概念，而提出了惯性运动概念，这种运动除非受到干扰，将沿一条直线无限地运动下去；在视觉艺术的创作方面，定点透视代替全景透视，确立了欧几里德几何学在观察世界中作为先天形式的地位，人，随之被确立为观察世界的主体，世界即是观察者眼中的世界；在精神生活方面，对人类有限性的深刻意识以及从而对上帝的虔诚、恭敬，被无神论的狂妄、放肆以及对主体无限能力的崇拜所取代；在经济活动领域，对自然资源无限的开发和索取代替适度规模的小农经济。这一切，实际上都是“从封闭的世界走

向无限的宇宙”这一时代主题的表现。于是，我们就不难理解，为什么哥白尼革命对于近代世界这么重要。因为，这场宇宙论革命，既是天文学的也是人类学的，既带来了世界图景的改变，也导致了欧洲心灵的重建。

从哥白尼开始，近代物理科学的诞生仿佛一幕早已被编排好的巨剧，每一环节都天衣无缝。第谷、开普勒、伽利略、笛卡儿、牛顿，每一位人物都在为重铸新时代的思想范式而努力，虽然他们不是没有走过弯路：第谷不同意哥白尼体系，开普勒不同意无限宇宙观，伽利略不愿意放弃行星运动的正圆轨道。“科学革命”或“近代科学的起源”，确实是思想史家得心应手的处理对象。在这一历史过程中，概念的演变确实引人入胜。

近代物理科学的形成标志是所谓世界图景的机械化、机械论哲学的建立，这一主题也体现在近代生命科学的发展过程中。对生命世界的理解从来就有两种截然不同的传统。一是古已有之的博物学传统，它通过搜集生物界的多样化以及通过分类来把握生命、建立生物科学的知识体系，亚里士多德、普林尼是这一传统的杰出代表。近代以来，与物理科学相伴随，成长出了另一种理解生命的新的范式，这就是实验生理学传统。它把生物体看成一台机器，认为通过了解其生理结构就可以解释其生命功能。与哥白尼的《天体运行论》同年出版的维萨留斯的《人体结构》宣告了这一新传统的诞生，哈维的血液循环理论则是它产生的第一个重要成就。

17世纪末，古典科学的基本纲领已经建立，人们将在18世纪将之付诸进一步的实施。这个因为英国产业革命和法国大革命而闻名的新世纪，是一个技术革命与理性启蒙的世纪。在自然科学的大的理论框架方面，这个世纪并没有多大的突破。分析力学与天体力学可以看成是牛顿力学在新的数学工具下的精致化，而热学与电磁学尚处于积累实验材料阶段，进化论正在孕育之中，唯

有拉瓦锡发动的化学革命是真正革命性的，但这往往被看成是前一个世纪“科学革命”的延迟。尽管如此，理论科学的成就通过转化为实用技术以及通过启蒙运动的大力宣传，已成为一种重要的社会力量而登上历史的舞台。

19世纪经常被誉为科学的世纪。一方面，古典科学的各个门类均相继成熟，形成了空前严密和可靠的自然知识体系：物理学上，电学、磁学与光学统一起来了，热学则通过统计方法与牛顿力学相统一；原子论使化学真正走上了定量研究的发展道路，元素周期表则揭开了化学元素的奥秘；天文学走出了太阳系，把视野朝向无限的宇宙空间，研究宇宙的物质结构、成分；进化论在达尔文的手里瓜熟蒂落，对欧洲思想界产生了巨大的影响，成为博物学传统中最辉煌的成就；实验生理学传统则结出了它的硕果，细胞学说的建立，遗传学以及特别是微生物学的发展，使人类对生物本质的理解进入了一个新的阶段。

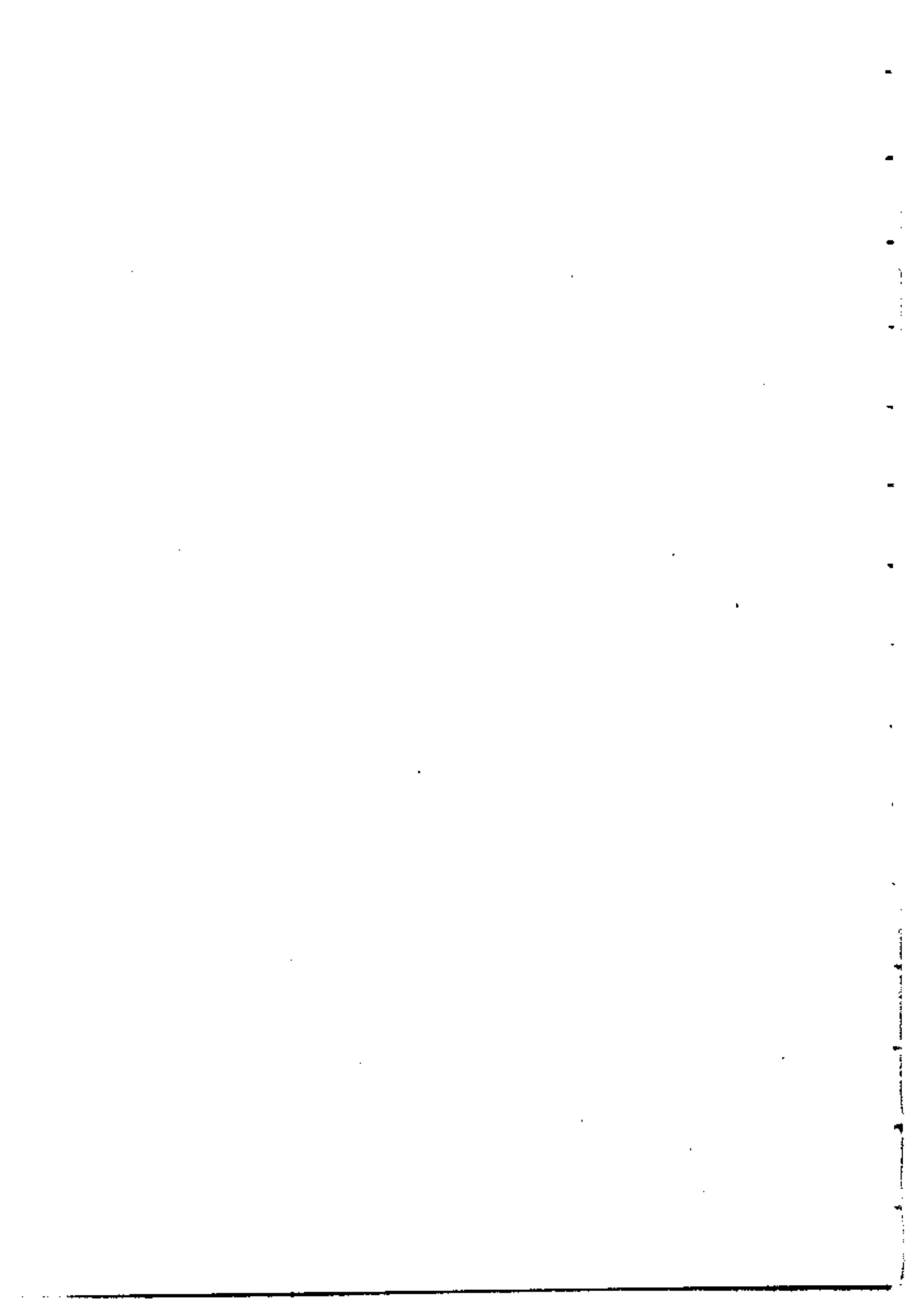
19世纪成为一个科学的世纪，更在于科学和技术已经开始深入人们的日常生活。自然科学的体制化和在大学教育中位置的突出，标志着它社会角色的确认。而运输工具、通讯技术、冶金技术、化学工业和电力工业，象征着人与自然关系完全进入了一个前所未闻的历史时期，人类正在高度地开发自然力，并创造着一切世代都不曾想象的物质文明。

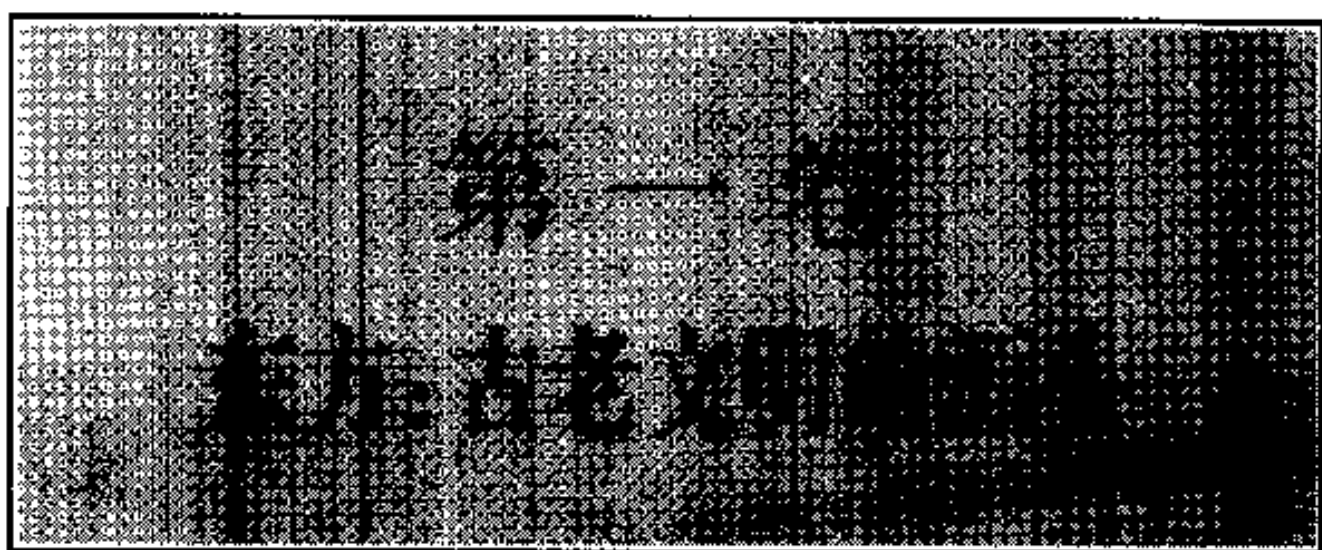
20世纪在两个方面显示了近代科学正处在一个转折点上。首先，传统的科学范式不再无条件地有效，世纪初年出现的物理学革命，改变了人们的世界观和科学观，使思想界经受了一次震荡。这一次革命的余波未了，物理学内部又在亚微观层次发现了新的规律性，这种规律性一反传统的机械论，强调世界的系统性、有机性、对未来的开发性、时间不可逆性，因此，有所谓“从存在的科学走向演化的科学”之说。在生物学中，情况有所不同，本世纪最杰出的成就是分子生物学的出现，它将生物学的实验研究

水平，推进到了分子层次，从而对生命的遗传现象有了富有成效的了解，这一成就恰恰是基于古典物理科学的还原论模式。此外，进化论在本世纪也经历了几次洗礼，从其中成长出了与还原论模型相对抗的生物学家。

20世纪科学处在转折点上的另一个标志是，全球性危机的出现导致人们重新反思近代形成的人与自然的关系，反思近代科学的哲学基础。生态科学、生态哲学和生态意识开始成为人们密切关注的话题。

我们正处在又一个世纪交替的年代，也处在科学发展的转折点上，未来的科学指向何方，回顾科学的历史也许能使我们有所省悟。





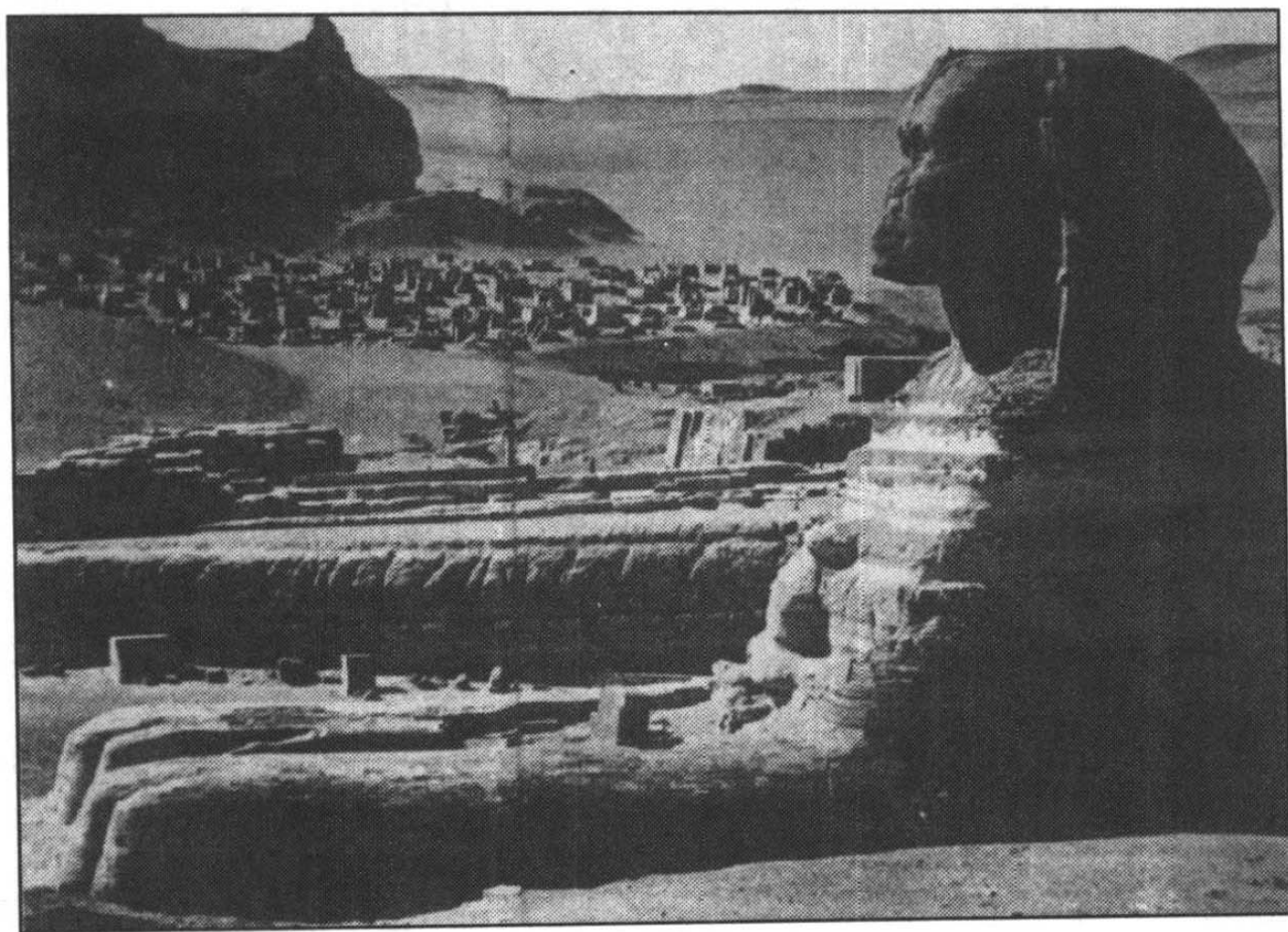


图 1—0
狮身人面像

回顾科学的历史就像一个人回顾自己的历史，记忆的大河蜿蜒伸向模糊朦胧的远方，年代愈是久远，回忆愈不确切。写一部科学的历史如同写一部个人自传，我们只能从童年时代写起，因为只是从童年时代才开始有故事。不过，简短地追寻一下自己的出生、父母和祖籍，也将会是有趣和有教益的。科学史是人类文明史的一部分，文明史之前是自然的历史，我们的科学史巡礼就从自然史开始。

第一章

从自然史到文明史

自然界经历了一个漫长的演化历程，这是现代人普遍持有的一个信念。科学在这个信念的支配下，不遗余力地描述刻画这个演化历程，使这个信念变得更为充实可信。宇宙、太阳系、地球、生命和人类相继演化的历史被称为自然史，自然史的概念是在文明的历史中浮现出来，并随着文明史的发展而变化的。我们以后将要讲到的许多历史，都是为描画自然史而奋斗的历史，但是在叙述文明史的开头，让我们把只有在文明史的结尾也就是今日才了解到的自然史讲述一番。

很明显，在人类存在之前地球就存在着，在地球形成之前宇宙就已形成，因此，演化时间顺序必然是宇宙——地球——生命——人类，让我们来依次简单地讲述现代科学所告诉我们的这四大起源的故事。

1. 宇宙的起源与演化

巨大的望远镜已将人类的视野扩展到了宇宙的纵深，把我们所在的地球附近的区域大体搞清楚。地球基本上是一个球体，但略微有些扁，主要是因为地球自己绕轴自转时将地球表面甩出去了一些。这样，南北两极方向的地球半径比赤道半径（6378公里）约短21公里。地球自转的周期当然是1天。除自转之外，地球还同太阳系其它行星一起绕太阳公转。公转的轨道是一个椭圆，其轨道半径约有1亿5千万公里，公转的平均速度为每秒约30公里。地球这个庞然大物，质量有 6×10^{24} 公斤，也就是有60万亿亿吨之巨。

地球只是太阳系家族中的一名成员。太阳系以太阳为核心，九大行星绕太阳转动，按轨道半径从小到大是：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。除水星和金星外，其它行星都有卫星，比如月亮就是地球的卫星。此外，在火星和木星轨道之间还有许多小行星。几乎所有行星都在大致同一平面上绕太阳公转，地球绕一周是1年，水星的公转周期是88天，金星是225天，火星则要687天。除了行星、小行星和各行星的卫星之外，太阳系中还有大量的彗星、流星体。太阳系如果以九大行星为主体，则半径不到地球与太阳间距离（所谓天文单位）的50倍，如果把非常遥远的彗星云也算作太阳系的领域，则可以一下子扩展到十几万个日地距离。

尽管这样，太阳系相对于宇宙依然是微不足道的。像太阳这样本身发光的天体被称为恒星，以区分那些自身不发光而靠反射恒星发光的行星。在我们的周边，大量的恒星聚集在一起，构成了我们最为熟悉的星系即银河系。银河系整体上就像一个透镜，中间厚、两边薄，其直径约为8万光年。光年是天文学中距离长度

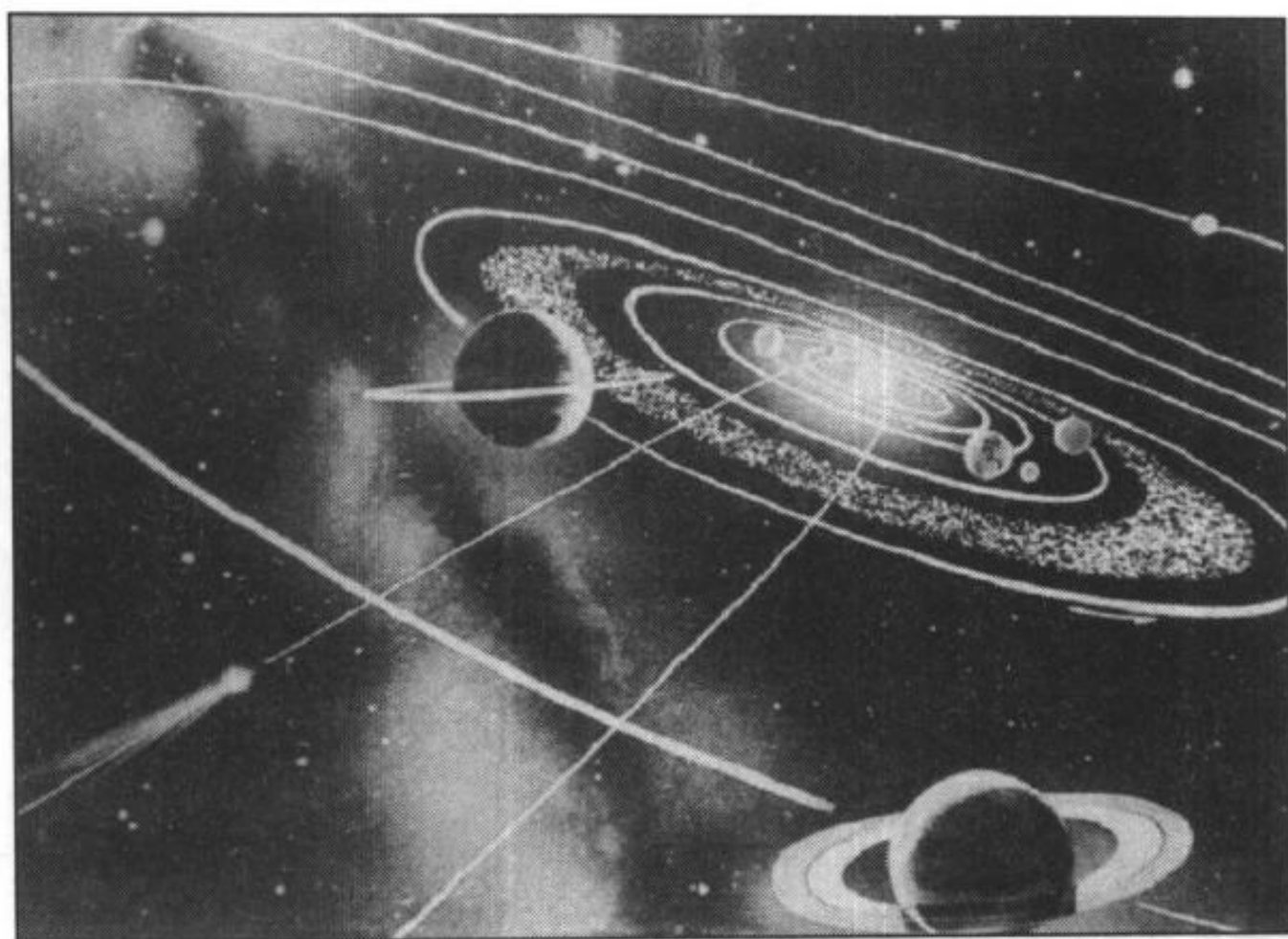


图 1-1 宇宙图景

的单位。天文学所涉及的空间跨度过大，用我们常用的公里、米等单位来量度很不方便，所以发明了光年。大家知道，光可是世界上跑得最快的东西，光速为每秒 30 万公里，它跑 1 年得跑 9 万 4 千 6 百亿公里，可见 1 光年是很遥远的距离，而银河系的直径居然就有 8 万光年。太阳离银河系的中心银核很近，但不处在中心。像太阳这样的恒星，银河系里差不多有两千亿颗。

银河系并未包括所有的恒星，在银河系外还有许多像银河系这样规模的星系。天文学家发现，若以银河系为中心，方圆 300 万光年之内，约有 40 个与银河系一样的星系，这些星系就构成了所谓的“本星系群”。本星系群松散地聚在一起，没有像银河系那样形成有核心的结构。不过在本星系群这样的尺度上，的确存在一些向中心聚集的星系群，叫做星系团。而且星系团和星系群，又在更高的一层上构成了本超星系团。它之所以叫做本超星系团，因

为它包括了本星系群，而本星系群包括了我们的银河系。本超星系团的尺度大约在3亿光年。

这是否就是我们迄今所知道的全部的宇宙空间呢？还不是。事实上，本超星系团之外还发现了星系，天文学家推测，我们的宇宙的空间尺度大约在200亿光年的量级。

所有的天体都像人一样有生老病死，宇宙亦然。宇宙学就是研究宇宙的起源和结构的一门学科。根据当今比较得到认可的大爆炸宇宙学理论，我们的宇宙是在大约200亿年前的一次大爆炸中诞生的。这个理论依据于这样一个事实，即几乎所有星系都以很高的速度相互逃离。这意味着整个宇宙都在膨胀着，这种膨胀是没有中心的，从任何一点看都能见到四周的天体远离我们而去。而且有意思的是，距离越远，退行速度越大，这就像一个正在充气的气球，表面上任何一点都会发现别的点正离它而去，而且距离越远，退离速度越大。

宇宙的膨胀现象必然导致一个问题，如果我们往回追溯，那么，宇宙会越来越小，就像胀大的气球放气一样，到最后就只能剩下一个点了，那么点之前是什么？宇宙何以会发生这样壮观的膨胀呢？宇宙学家设想，宇宙是从点状宇宙发生大爆炸而开始膨胀的。至于点之前是什么，还没有令人满意的回答。一种常见的回答是，时间空间正是在大爆炸中才产生的，在没有时间的情况下，就无所谓之前之后的问题了。这当然是一个有趣的回答。

还有一种可能，即有无限多个星系向无限的距离膨胀，如果是这样，就不存在什么起点问题了。但是根据前面所说的距离越远，退行速度越大的规律，无限遥远的天体将有无限大的退行速度，而这是不可思议的。而且相对论规定，物体运动的最大速度是光速，如果是这样，宇宙的范围事实上已被限定了，也就是说，可见宇宙的边缘可定在退行速度为光速的地方，即前面所说的200亿光年。

空间上的大小在天文学中同时意味着时间上的大小。所有的天文学理论都依赖于天文观测，而所有的天文观测都只是观测到是光信号或以光速传播的其它电磁波。我们每看到一样东西，都不是这个东西现在的样子。而是多少年前的样子，这个东西离我们越远，则我们看到的它就是它越早的样子。如果我们看到 300 亿光年的地方，那我们看到的就是 300 亿年前所发生的事情。

宇宙的时间尺度因此可以定为 200 亿年。不过，说 300 亿年与说 200 亿年，在这里都无关紧要，因为对如此之大的宇宙而言，重要的是了解它空间尺度的量级，而且，天文学实际无法在同一量级内部作出区别。

大爆炸宇宙理论表明，在最初的 3 分钟内，宇宙在大爆炸中诞生，温度由无穷高温降到了 10 亿度，基本粒子已经形成，并开始形成原子核。此后再经过 40 万年，温度降到 4000 度，宇宙由辐射状态变为物质状态，与物质脱离后的辐射慢慢形成了宇宙背景辐射，这种背景辐射已被天文学家观测到了。

再经过约 2 亿年，星系开始形成。也许再经过几亿年，星际物质在引力作用下逐渐收缩为球状星云，在收缩的过程中，温度逐步升高，内部压力增大与引力对抗，于是星云内部发生核反应成为恒星。天文学家已经相当清楚地了解到，几乎所有恒星都要先后经过主序星阶段、红巨星阶段、晚期阶段和临终阶段。在主序星阶段，核反应产生的巨大能量顶住了引力收缩，使恒星的表面温度升高并向外发射可见光。当大部分氢在核反应中变成氦之后，核能量变小，恒星再度收缩，这就是红巨星阶段。当恒星收缩到一定程度时，中心温度升高又引发了核聚变反应，再度顶住了引力收缩，这一过程持续约 10 亿年，核反应逐步停止，恒星进入晚期和临终阶段。

已经比较确切地知道，太阳系是在约 50 亿年前形成的，太阳正处在主序星阶段的后期，也就是说，它内部的氢燃料已燃烧了

约 50 亿年，即将进入红巨星阶段。地球差不多是与太阳同时开始形成的，由于重力的作用、碰撞、放射性衰变放热，使原始地球物质逐步收缩，重物质沉入核心，轻物质浮上来，最后形成今日的地壳、地幔和地核的分层结构。

2. 地球演化与生命起源

在地球演化史上，大气的演化具有特殊的意义，因为它为生命的出现创造了条件。地球大气有三代。第一代大气即原始大气在地球演化的早期就跑掉了。第二代大气是地球内部经物理化学反应而挤压出来的，称为还原大气。还原大气中缺氧，主要是由于后来出现了植物，植物的光合作用提供了大量的氧气，使得还原大气变成以氧和氮为主的现代大气即氧化大气。科学家们推测，氧化大气至少有 25 亿年了。

也就是说，在 25 亿年之前，地球上就已经出现了生命。不过，生命起源问题依然是一个没有解决的问题，我们只能谨慎地猜测。大约在 40 亿年前，地球上只有岩石和水，炽热的太阳光直射到地表，形成很高的温度，缺氧的大气使来自太阳的紫外线畅通无阻地射到地表，而紫外线具有极强的化学活性。在大气和地表中发生的各种化学反应，使本只有无机物的地球上出现了大量氨基酸、核苷酸、单糖等有机物。这些有机物又不断发生化学反应，逐渐由简单的有机物聚合成复杂的有机物，出现了生物大分子蛋白质和核酸。这些蛋白质和核酸在海水中慢慢储存聚集，经过数亿年的长期发展，终于出现了有自我复制功能的生命单体。

生命单体一旦出现，生命在自然选择过程中的进化也就开始了。生命单体向越来越复杂的方向进化，先是原始单细胞生物，然后向两个方向进化。一是自养功能加强而运动功能退化，进化到单细胞菌藻类植物，成为植物界的进化源头。另一方向则是运动

功能和异养功能增强，自养功能退化，进化到单细胞原生动物，成为动物界的进化源头。

早期的生命都是在水中成长的。后来海中植物率先登陆，使地球表面披上了一层绿毯。植物一旦覆盖大地，地球大气开始发生变化，生命成长的外在环境得到了极大地改善。为了方便叙述生物进化在时间上的历程，我们先引入地质学上关于地球演化的年代学术语。

地质学家根据古生物化石在地层上沉积的次序划分了地质年代，后又根据同位素放射性蜕变物的测定，确定了确切的距离现在的时间，可以将它们列举如下：

太古代		距今 45 亿年
元生代		距今 24 亿年
古生代	寒武纪	距今 5.7 亿年
	奥陶纪	距今 5 亿年
	志留纪	距今 4.4 亿年
	泥盆纪	距今 4 亿年
	石炭纪	距今 3.5 亿年
	二迭纪	距今 2.85 亿年
中生代	三迭纪	距今 2.3 亿年
	侏罗纪	距今 1.95 亿年
	白垩纪	距今 1.37 亿年
新生代	第三纪	距今 6700 万年
	第四纪	距今 250 万年

在寒武纪之前，确切的化石记录很难找到，因为那时的生物还没有较硬的身体。此外，那时地表温度太高，高温岩石流常常流出，将原始生命熔化掉。不过到了寒武纪之后，化石记录开始丰富起来。基本上可以肯定，从寒武纪开始，海水中出现无脊椎动物。到泥盆纪，鱼类出现。到石炭纪，两栖动物出现。整个中

生代，陆上爬行动物横行，哺乳类动物亦开始出现。到了新生代的第三纪哺乳类动物极为繁荣。而到第四纪，人类的祖先姗姗来迟了。

3. 人类的起源与进化

现代人与现代猿有着共同的祖先。现代猿也叫现代类人猿，共有四种，包括生活在赤道非洲的大猩猩和黑猩猩以及生活在东南亚的猩猩和长臂猿，它们与人类都是由古猿进化过来的，古猿是现代人与现代类人猿的共同祖先。

在考古学家和古生物学家共同努力下，关于人类进化的时间表有了大致的轮廓。在埃及开罗西南 60 英里的法尤姆地区，考古学家发现了迄今世界上最早的猿类化石，年代约在 3000 万年以前。那时现代人所属的人科与现代猿所属的猿科尚未分化，是人猿的共同祖先，被命名为埃及猿。在同一地区还发现了原上猿，年代比埃及猿更早。

从原上猿和埃及猿开始分化出两支，一支是猿科，通过森林古猿进化成现代的猿类，一支是人科。人科进化的谱系可据考古发现写成：腊玛古猿，距今 1400 万年到 800 万年；南方古猿，距今 500 万年到 100 万年；直立人，距今 300 万年到 30 万年；智人，距今 30 万年到 1 万年。

腊玛古猿的化石最早发现于巴基斯坦和印度交界的西瓦立克山区，那是在本世纪初。到了 70 年代，腊玛古猿化石又在希腊、土耳其、匈牙利、巴基斯坦和中国云南禄丰县石灰坝发现。1980 年 12 月 1 日，我国又在同一地方发现了腊玛古猿的第一个比较完整的头骨化石。研究表明，腊玛古猿已从树上下到了地面生活，但只是在森林的周边区域，大概开始学会直立行走。

南方古猿也是在本世纪初的 20 年代发现的，此后，在东非和

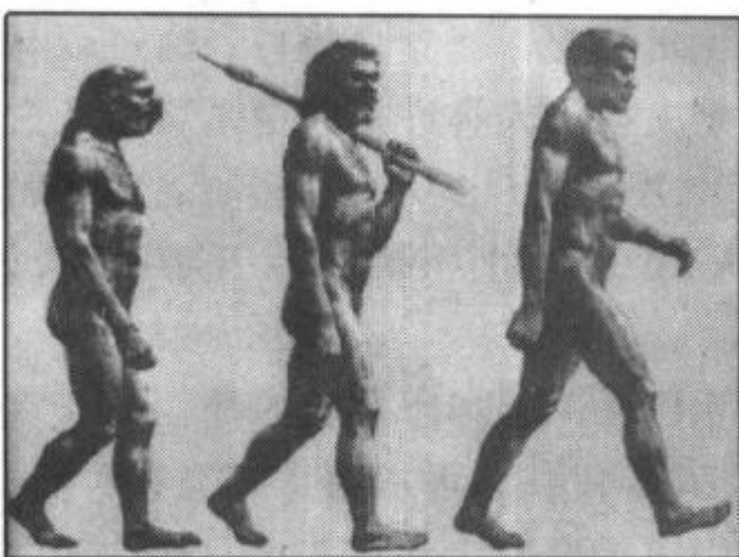
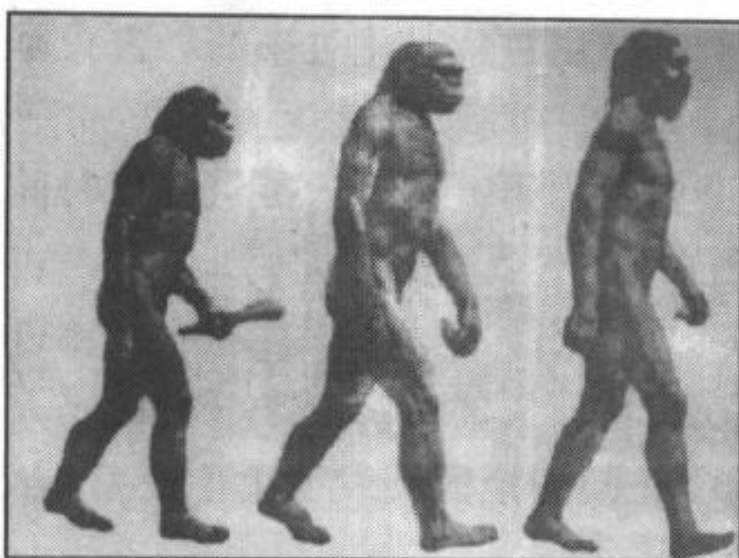
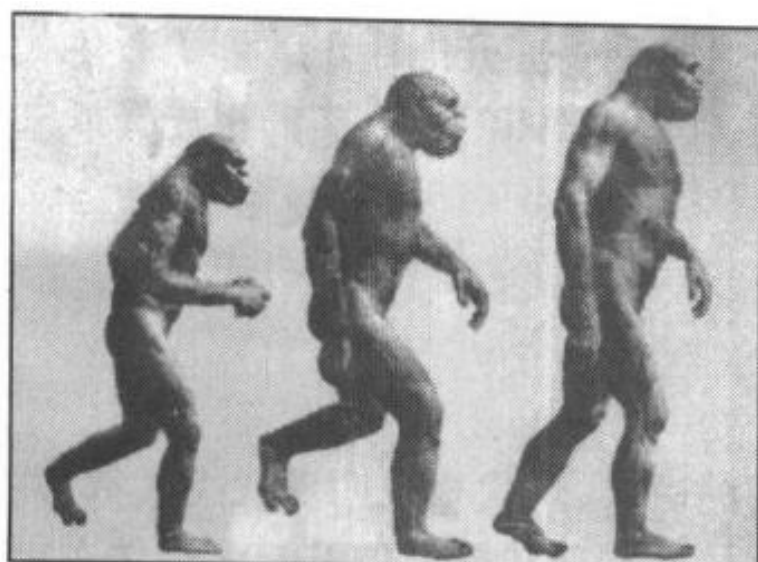


图 1-2 从猿到人的演化

南非出土了大量的化石和遗物。考古发现表明，南方古猿手足已经分工，自然工具的使用已属常见。

直立人可分为早期直立人和晚期直立人。早期直立人也称能人，是石器工具的制造者，而且能够建造最简陋的住所。1965年在我国云南元谋县发现的元谋人，就属于早期直立人，年代约在170万年前。在含元谋人牙齿化石的地层中，发现了很多炭屑，表明元谋人已经知道用火，这大概是人类使用火的最早证据。

有关晚期直立人的化石和出土材料极为丰富。在我国境内发现的北京人、蓝田人和新近（1980年）在安徽和县发现的龙潭洞人，便属于晚期直立人。晚期直立人会制造各种各样很精致的石器，肯定会使用火。在北京人的故居周口店山洞中，有厚

达6米的灰烬，表明北京人有持续的用火历史。

火的使用给人类带来了光明，这光明驱散了蒙昧、黑暗，带来了文明。有了火，人类就开始熟食，食物的种类和范围扩大了，

营养丰富了，人类的体质得到了加强，大脑进一步发达。火可以御寒，帮助人类在恶劣的气候环境中生存下来。火可以照亮洞穴，使人类由野居变成洞居，改善了居住条件。可以猜测，只是在使用火之后，人类才开始住进山洞的。火还可以用来保护自己，驱逐凶猛的野兽，甚至在围捕野兽时，也可起很大的作用。

正因为火的使用在人类进化史上有如此重大的意义，在许多民族的神话传说中，火被赋予某种特殊的意义。最有名的关于火的神话，是希腊神话中普罗米修斯为人类盗取天火的故事。普罗米修斯，希腊语原意是“先知先觉者”，是奥林波斯山上诸神之一。天帝宙斯派他到人间教会人类各种技术和技艺，但不许他把火传给人类，因为火只能由上天控制。普罗米修斯来到人间，教会了人类许多东西，但也看到人类没有火是多么的不便，没有火离理想幸福的生活是多么遥远。于是他偷偷把火种从奥林波斯山上带到了人间，并迅速教会人们使用和保存火。天帝宙斯看见人间有了火光，知道是普罗米修斯干的，他十分愤怒，将普罗米修斯抓起来锁在高加索山的悬崖上，每天让鹰啄食他的肝脏，使他经受永久的折磨。

普罗米修斯盗火的故事，是对为人类造福者、为追求光明与真理者大无畏的勇敢精神和献身精神的千古颂歌，也反映了火在人类发展史上所处的重要地位。火象征着能量和力量，人类一旦掌握了



图 1-3 北京人头盖骨及其复原像

火，就获得了改造世界从而创造自身的力量。

以北京人为代表的晚期直立人虽然已经学会了用火和保存火种，但他们还不会自己造火，只有到了智人才会人工取火。早期智人的典型是尼安德特人，故又通称智人为尼安德特人，它是1856年在德国杜塞多夫城附近的尼安德特河谷中发现的，距今约30万年到5万年。晚期智人的典型是克罗马农人，其化石最早是1868年在法国多尔多涅区克罗马农村发现的，距今约5万年。晚期智人已经遍布全球，今天全世界各色人种在那时已经分化。在体质性状上，晚期智人与现代人相差无几，而且开始创造文化。他们发明了弓箭，学会了有组织的狩猎，他们制造了比较复杂精致的石器和骨器，而且在居住的山洞中绘画、雕刻，真正的现代意义上的人开始出现了。

4. 文明史的序幕

这个时期正是考古学上所谓旧石器向新石器的转折时期，用现代纪年法约在公元前10000年。其时，地球上冰期已过，气候逐步变暖，地球上人类的人口大量增长，可食用的野生动物大大减少，蒙古利亚猎人从西伯利亚经过冰封的白令海峡进入美洲新大陆。这时发生了新石器革命，这个革命最重要的标志就是农业社会的出现。耕种代替或补充了狩猎，饲养家畜、栽培植物成为生存活动的主要内容，人类开始稳定地居住在一块土地上，在那里开垦、播种、繁衍生息。人类的文明史的序幕就这样徐徐拉开了。

只是到了公元前4000年，才有文字记载的人类文明史，此前上万年的人类文明发展情况，我们所知极为粗略，许多人类文明的远古之谜就发生在这段时期。我们不知道这段时期是否真的产生了像我们一样高级的文明，要知道，我们能有今天的文明程度，

建立摩天大楼、驾飞船登上月球，也只经历了几千年的时间。两千四百多年前，希腊哲学家柏拉图在他的《蒂迈欧篇》中讲述过阿特兰提斯即大西洲的文明。在柏拉图的笔下，大西洲是一个美丽富饶的

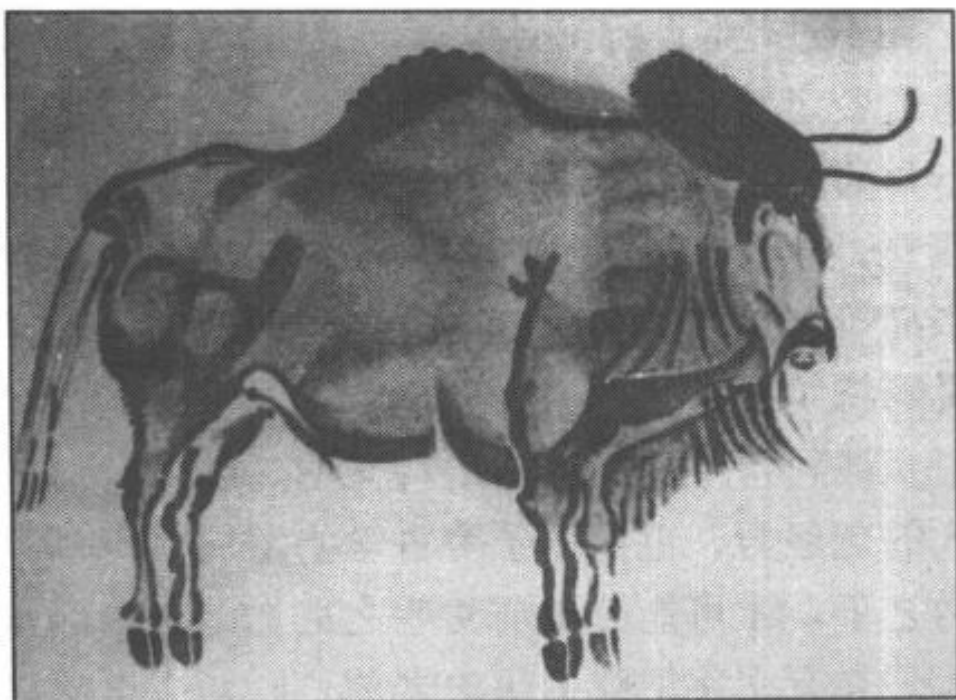


图 1-4 洞穴岩画：野牛

岛国，座落在直布罗陀海峡以西的大西洋中，那里气候温和，树木茂盛。大西洲居民在岛上建立了富丽堂皇的宫殿和庙宇，但后来大西洲人道德败坏，激怒了天神，终于在一次大地震和洪水中将大西洲沉入海底。柏拉图强调，这个文明比他早九千年，而且这段历史来自历代口传，并非虚构，据说是雅典著名政治家梭伦从埃及听说的。为了证实这个传说，柏拉图本人还去埃及请教过。可是，由于没有实物证据，长期以来被当作一个谜。

考古学发展起来之后，人们开始破解阿特兰提斯之谜。首先是克里特文明的发现，导致人们猜测的所谓大西洲实际上就是克里特岛。克里特岛位处爱琴海南端，考古表明，约在公元前 2000 年，克里特岛上已发展起了相当高级的文明，考古学家称之为米诺斯文明。但在公元前 15 世纪后不久，由于克里特岛以北 100 多公里的桑托林岛发生巨大的火山爆发和海啸，殃及克里特岛，几十上百米厚的火山灰毁灭了米诺斯文明。由于克里特文明与柏拉图所描述的大西洲非常相似，人们猜测，也许是柏拉图把 900 年错写成了 9000 年，他的所谓大西洲实际上就是克里特岛上的米诺斯文明。

不过，本世纪最近 30 年来，考古学家在大西洋的亚速尔群岛附近鉴定 800 米深的海底岩心，发现那地方在 12000 年前确实是一片陆地，而且水下摄影所得照片中，隐约有古代建筑物的断垣残壁。此外，在大西洋的百慕大海域、巴哈马群岛以及佛罗里达半岛等地都发现了史前文明的海底遗址，这样一来，就真的不好说阿特兰提斯是怎么一回事了。

像阿特兰提斯这样史前文明之谜还有很多，它们激发了现代人的想象力，也推动了考古学的发展。但是只有在考古学家的努力之下，才可能给史前文明之谜一个比较恰当的解释。

在有文字记载的历史之前，原始人类就已经创造了程度不一的文明，这些非文字的文明的遗迹主要是遗址、遗迹和遗物，考古学正是根据这些实物来再现人类文明的史前史。一般说来，史前史的考古学分期是按照制造工具的原料以及制造技术来划分的，可以与前者提到的人类进化谱系对照如下：

人类进化谱系	考古分期	绝对年代（万年）
直立人	旧石器时代早期	300—30
早期智人	旧石器时代中期	30—5
晚期智人	旧石器时代晚期	5—IB. C
现代人	新石器时代	1—0.4B. C
	青铜器时代	0.4—0.1B. C

工具的使用标志着人类创造自身的开始，也是原始技术的萌芽。人类一旦有意识地改造周围的世界，技术的进步就成为必然的前提。在旧石器时代早期也就是直立人阶段，开始有制造工具的痕迹。在此之前的南方古猿已开始使用天然木头和石块作为工具，但直到直立人阶段才有人工打制而成，有砍砸器、刮削器和手斧等。直立人的后期已懂得对不同的石料采用不同的加工方法，并开始使用天然火。在旧石器时代中期也就是早期智人阶段，石器工具开始专门化。到旧石器时代晚期，生产工具和生产技术都

有很大的发展，以动物骨头和角作为原料制造的工具开始大量出现。同时，用骨和角雕刻的各种装饰品如头饰、耳饰、项圈等开始出现。此外，工具和武器由单一走向组合，如石器装上木柄可以更方便使用，骨制的武器装上把柄之后，在捕鱼或狩猎时可发挥更大效力。

新石器时代约在距今一万多年开始，这个时代的标志是使用磨制石器。早期石器是打制石器，而新石器表面磨光，使其开关准确，刃部锋利。除了磨制石器的使用外，新石器时代另一个重要标志是定居生活以及与定居生活相伴随的陶器的使用，农业和畜牧业也随之产生。

考古发现，人类那时过着刀耕火种的生活，猪和狗已被驯化成为家养的主要家畜。弓箭发明了，人类聚群而居，村落开始形成。人们居住在木制的房子里，屋顶用茅草覆盖着，屋子中央有火塘，用来保存火种、照明、取暖和烧煮食物。在几个土地肥沃的地区，逐步兴起了发达的农业文明。人们学会了缝织衣服，储存食物，制作各种各样复杂的日常用具，创造美丽的陶器艺术，开垦土地，繁衍人口，驯养了越来越多的动物如狗、羊、猪、马、骆驼、鸡、鸽子、鸭子等等。在现代未开化的落后地区，我们能依稀看到那时人类生活的场面。

约在公元前4千年前，北非尼罗河流域的埃及率先进入金石并用时期，也就是出现了铜器。与铜器的出现相伴随的是农业由刀耕到锄耕再发展到犁耕。铜器的出现是金属加工技术长期发展的结果。有了金属工具，人类的文明就迈进了更高的阶段。

在人类与大自然作艰苦卓绝的斗争中，生产工具和生产技艺不断进步，与此同时，人类对自然界的认识也在不断积累。首先出现的肯定是天文和历法知识。为了获得生存的物质保障，农业民族和游牧民族都需要与自然界中的循环节律相谐调。人们日出而作，日落而息。人们发现月亮有圆有缺，气候从寒冷到温暖到

炎热循环变化，这一切都是从地球上的物候观测得来的。在史前文明的晚期，人类已经开始由物候观测进入天象观测。有智慧的头脑在晴朗的夜里看到满天星斗中有些规则的星体运行，诧异不止。多少代人的积累，终于使天象记录大大丰富，从规则的天文现象中制定与人间活动密切相关的时间秩序和生活节律。天象的变化微小而缓慢，如果不是拥有极大的热情和高度的耐心以及某种神秘的驱动力，很难设想会有天文学的出现。然而，几乎所有古老文明都有令人惊叹的天文知识。这表明，在远古时期，天象观测一定是与某种宗教上的需要密切关联。人们敬畏天，试图通过天象观测了解天神的旨意，了解命运的归宿，去灾避难。天文学一开始是占星术的一部分，而且很长时间是占星术的一部分，这是不应令人奇怪的。



图 1-5 英格兰南部公元前 1600 年建造的天文石柱碑

算术来源于交换活动，早期以物换物时必须计算各自的货物的数目以确定是否等价合理。在没有数目字之前，计数是与具体物体分不开的，如屈指计算，或用一堆小石子计算，英文“计

算”一词来自拉丁文 *calculus*，而后者的意思就是小石子。几何学来源于丈量土地，英文“几何”一词原义就是测地术。

在人类文明史的黎明时期，科学与技术的萌芽正在成长，与生存物质活动相关联的生产技术和自然知识在不断积累，与生存的精神活动相关联的宇宙学—天文学也在曲折艰难地发展。在人类的历史上，前者一直是逐渐地进化，成为文明进步的里程碑，而后者则经历了无数次的观念历险。现在，就让我们拉开五千年科学历史的帷幕，开始我们的历史巡礼吧！

第二章

东方的四大古老文明

西方第一个哲学家泰勒斯只留下了一句话：万物源于水。这句相当费解的话使他成了西方科学和哲学的鼻祖。从字面上看，这句话显见是成问题的。但若说生命源于水，又把万物都理解成有生命的，那么说万物源于水就相当正确了。在上一章，我们看到原始生命如何从海洋中诞生并逐步进化到人类这样的高级生命，而且任何脱离了海洋的陆地动物都不可能长时间离开水而生存下去。这一章我们还将看到，水也是人类文明的哺育者，正是在几个大河流域，成长出了最早期的发达文化。人类在这些古老文明的基础上，把自己推向更灿烂辉煌的科技时代。

1. 埃及

尼罗河流域的古埃及是世界上最古老的文明古国之一，在旧石器时代，那里就是人类安居乐业的地方。岁月流逝，气候变化，

尼罗河西面大片的土地变成了干燥的沙漠，人们逐渐聚居在尼罗河两岸的一条狭长的地带。每年尼罗河水的泛滥给河谷被上了一层厚厚的淤泥，使河谷区土地极其肥沃，庄稼在这里一年可以三熟。尼罗河养育了埃及人民，早在公元前 4000 年，那里就集居了几百万人。古希腊历史学家希罗多德（公元前 484—前 425 年）有一名言：“埃及是尼罗河的赠礼，”恰当地说明了尼罗河对于古埃及文明的重要意义。

古埃及的历史常常分为前王朝时期、早期王国（第一、第二王朝）、古王国时期（第二至第八王朝）、中王国时期（第九至第十七王朝）、新王国时期即帝国时期（第十八王朝至第二十王朝）、衰败时期（第二十一至第三十一王朝）。前王朝时期，埃及分上埃及（南部）和下埃及（北部）。大约在公元前 3500—前 3000 年之间，上埃及国王美尼斯统一埃及建立第一王朝，直到公元前 332 年亚历山大帝征服埃及为止，共经历了三十一个王朝。

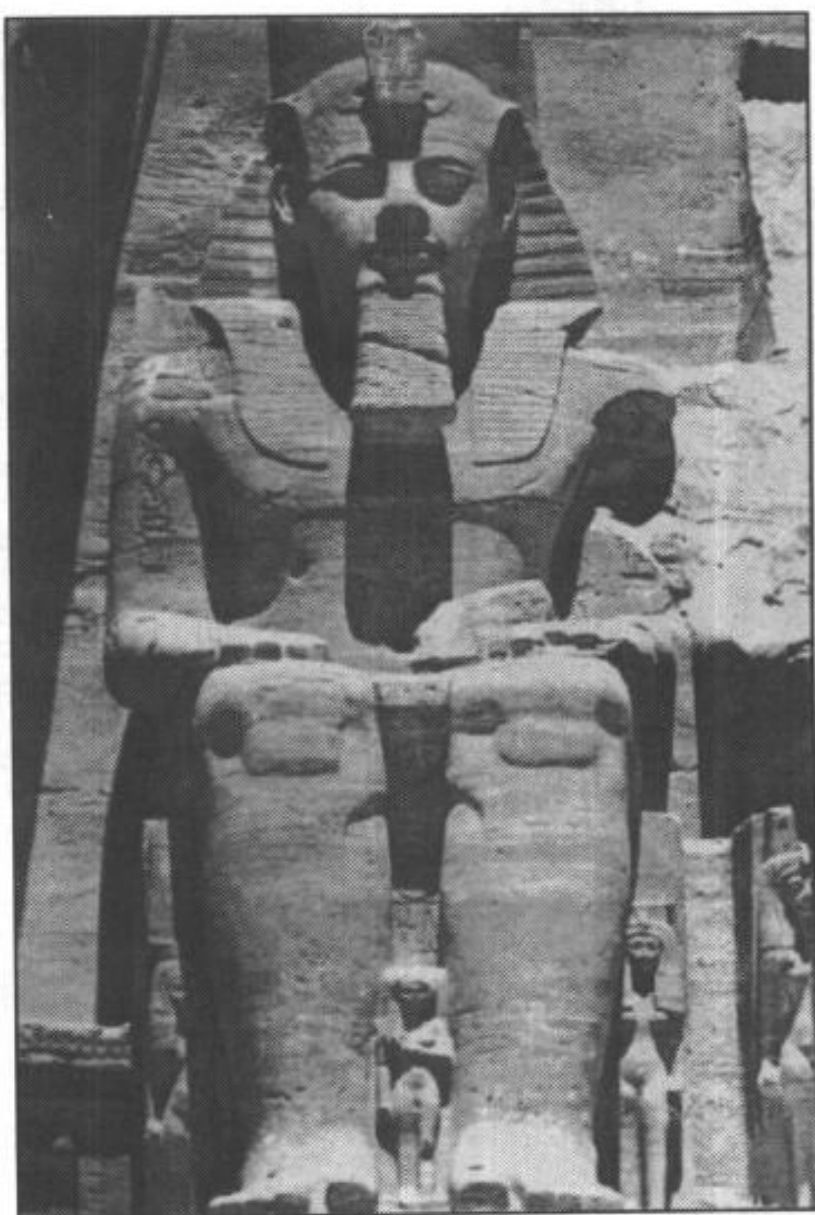


图 2-1 埃及法老拉姆西斯二世

在早期王国以前，埃及人就发明了图形文字，经过长时期的演变形成了由字母、音符和词组组成的复合象形文字体系。象形文字多刻于金字塔、方尖碑、庙宇墙壁和棺椁等一些神圣的地方。

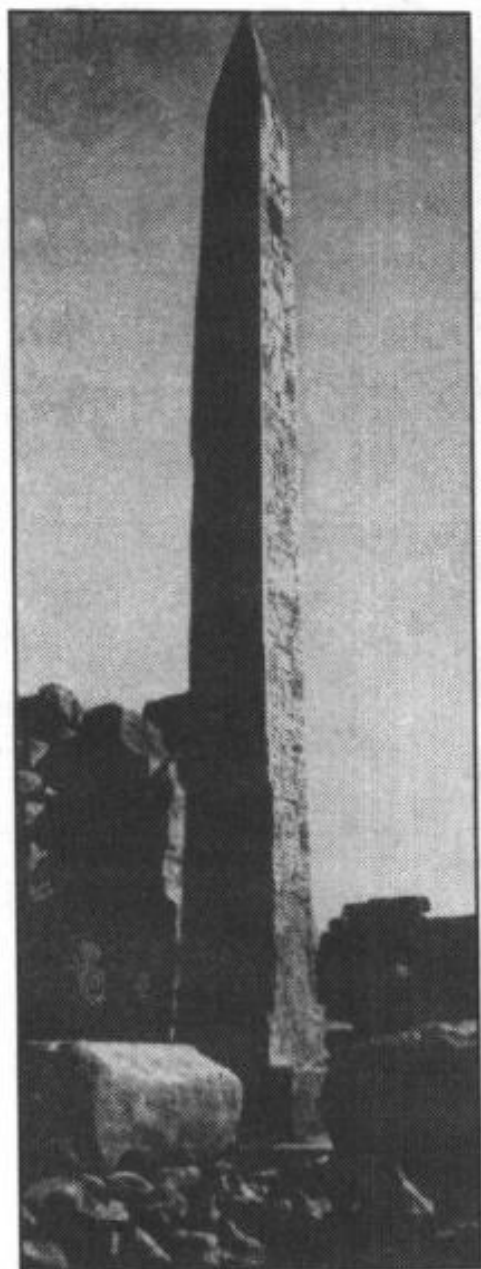


图 2-2 方尖碑

后来为了书写又发展出了简略的象形文字，称为僧侣体。古埃及盛产纸草（papyrus，英文纸一词 paper 来源于此），这是一种植物，将其茎杆部切成薄的长条后压平晒干，可以用作书写。纸草长时间干燥会裂成碎片，所以很少有保存下来的，不过还是有少数用僧侣体写作的纸草文书流存至今。有了文字和书写工具，就有了文化的延续和发展。

埃及人创造了人类历史上最早的太阳历。自然界有许多周期现象，如太阳从东边升起后又从西边降落，经过一个黑夜之后又从东边升起；如月亮由圆到缺，继由缺到圆；如经过了温暖的春天，便到了炎热的夏天，之后是凉爽的秋天和寒冷的冬天，而过了冬天后又回到了万物复苏的春天。这种种周期现象向人类提示了时间的进程，我们的时间单位正是由一些显著的周期现象来表示的。众所周知，上面提到的三类周期现象代表的是日、月、年三个时间单位。在这三个时间单位中日和月是比较容易确定的。因为其周期现象有非常显著的起止标志，而年则不那么容易准确确定。在农业社会中，确定年是非常必要的，因为耕作、播种、收获只有在一年中适当的时候进行才能保证丰收。确定年、月、日之间的关系便是历法的主要内容。今天我们知道，之所以出现四季的变化，主要是因为地球绕太阳公转。公转轨迹是一个椭圆，在地球到达长轴两端时，日地距离最远，地球上气候温和；当地球到达短轴端时，由于地球自转轴与公转轨道并不垂直，而是倾斜的，朝着太阳一面的北半



图 2-3 埃及人在纸草上写作

球是夏天，背着太阳一面的南半球是冬天，等地球转到另一短轴端时，北半球背着太阳是冬天，而南半球朝着太阳是夏天。因此，四季更替的一年实际上是地球公转一周，天文学上叫做回归年。回归年和月所包含的天数都不是整数，甚至不是有理数。如 1 回归年是 365.24220……日，而按照月之圆缺即月相变化所确定的月（天文学上叫做朔望月）是 29.53059 天。历法必须使一年的月数和日数成整数，所以人为地约定了许多历法规则。历史上出现过许多种历法，但归结起来不外乎如下三大类：阳历，其一年的日数平均约等于回归年，年的月数和月的日数则人为规定，如现今流行的公历；阴历，其月的日数平均约等于朔望月，年的月数则人为规定，如伊斯兰教历；阴阳历，其年的日数平均约等于回归年，月的日数平均约等于朔望月，如在我国现今依然流行的农历。

可以肯定，在公元前 4000 年，埃及人就已经把一年确定为 365 天。在古王国时代（公元前 3100—前 2200 年），当天狼星清晨出现在下埃及的地平线（也就是与太阳同时升起，天文学上称偕日升）上时，尼罗河就开始泛滥，埃及人把这一天定为一年的第一天。365 天的太阳历很显然是从对天狼星偕日升与尼罗河泛



图 2-4 埃及棺材内部的星图

滥周期的长期观察中总结出来的。埃及人还发现了，如果以天狼星偕日升那天作为某一年的开始，那么 120 年之后，偕日升的那一天与一年之始即差一个月，而到了第 1461 年，偕日升那天又成了一年之始。今天我们知道，回归年实际上有 365.25 天，若以 365 天为一年，则比实际一年回归年少 0.25 天，120 年过去后就少了 30 天，1460 年过去后就少了 365 天，正好一年。埃及人把 1460 年周期叫做天狗周，因为他们把天狼星叫做天狗。在那样遥远的年代，埃及人凭着长期细致的观察，居然定出了这样长的周期，真是了不起。

埃及人精确的历法与他们的天文观测密切相关，他们认识不少恒星。从出土的棺材盖上所画的星图可以知道，他们不仅认识北极星，还认识天鹅、牧夫、仙后、猎户、天蝎、白羊和昴星等。

埃及人在数学上也颇有成就。现存的莱因特纸草（由英国人亨利·莱因特于 1858 年发现故名，现藏于大英博物馆）和莫斯科纸草（现藏于莫斯科）上

记载了不少数学问题及解法。由此得知，埃及人很早就采用了 10 进制记数法，但不是 10 位制，因为表示 111 这个数的每一个高位都有一个特殊的符号，而不是将 1 重复三次。埃及人的算术主要是加减法，乘除法化成加减法做。埃及算术最具特色的是分数算法，所有的分数先拆成单位分数，单位分数是分子为 1 的分数。为

了便利拆分，他们造了一个数表，从表中可方便地查出拆分方法，如把 $7/29$ 拆成 $1/6 + 1/24 + 1/58 + 1/87 + 1/232$ 。用拆分方法可以做加减乘除四则运算。很显然，拆分方法过于繁琐复杂，不知道埃及人为什么要用这样的方法运算，但专家们认为，这种分数算法阻碍了埃及算术的发展。



图 2-5 莱因特纸草

据希腊历史学家希罗多德的说法，埃及因为尼罗河每年泛滥后需重新界定土地边界才产生了几何学。埃及人知道圆面积的计算方法，即直径减去它的九分之一后平方，这相当于用 3.1605 作为圆周率，不过他们并没有圆周率的概念。此外，埃及人还能计算矩形、三角形和梯形的面积以及立方体、箱体和柱体的体积。

如果同后面将要讲到的美索不达米亚人比的话，埃及人的天文学和数学都不算杰出。但埃及的医学成就比较突出，这与埃及人因为宗教上的需要而制作木乃伊有关。埃及人相信人的尸体是灵魂的安息处，要想死后继续在阴间生活，就必须把尸体保存好。他们发明了一种掏去尸体内部五脏，再用盐水、香料和树脂泡制风干，用麻布包扎使尸体得以保存的方法。用这种方法保存的尸体叫木乃伊。可以肯定，制作木乃伊增长了埃及人的解剖知识，促进了外科的发展。在公元前 2500 年左右的雕塑中，可以找到外科医生施行外科手术的证据。在公元前约 1700 年的埃德温·斯密斯纸草中，记载了身体各部分的损伤，从头部直讲到肩、胸膛和脊柱等。在公元前约 1600 年左右的埃伯斯纸草（因现代发现者而得

名)中,记述了47种疾病的症状及诊断处方,涉及到腹部疾病的吐泻剂疗法,以及肺病、痢疾、腹水、咽炎、眼病、喉头疾病、生发药、伤科疗法、血管神经疾病、妇科病、儿科病等,表明内科也有相当水平。

需要特别指出,在公元前几十世纪的古代埃及,人们最重要的精神生活是宗教,因此,所有的知识无不打上宗教的烙印。埃及人把他们所识别的星座庄严地雕刻在一些神圣的地方,表明他们把神话中的神与这些星座是视为一体的;他们的数学知识被用来建造神庙;其医学的很大一部分实际上是巫术,指望通过符咒

赶走邪魔,治好疾病。

埃及人崇拜太阳神。太阳神名叫“拉”(Ra,又译成“赖”),后来又叫阿蒙一拉。在古埃及的神话中,谈到过宇宙的结构。刻于公元前1350年至前1100年间法老陵墓的石壁上的天牛像,实际上就是一幅宇宙结构图。天牛的腹部是满天的星斗,牛腹为一男神所托,四肢各有两神扶持。在星际的边缘有一条大河,河上有两只船,一船为“日舟”,一船为“夜舟”,太阳神

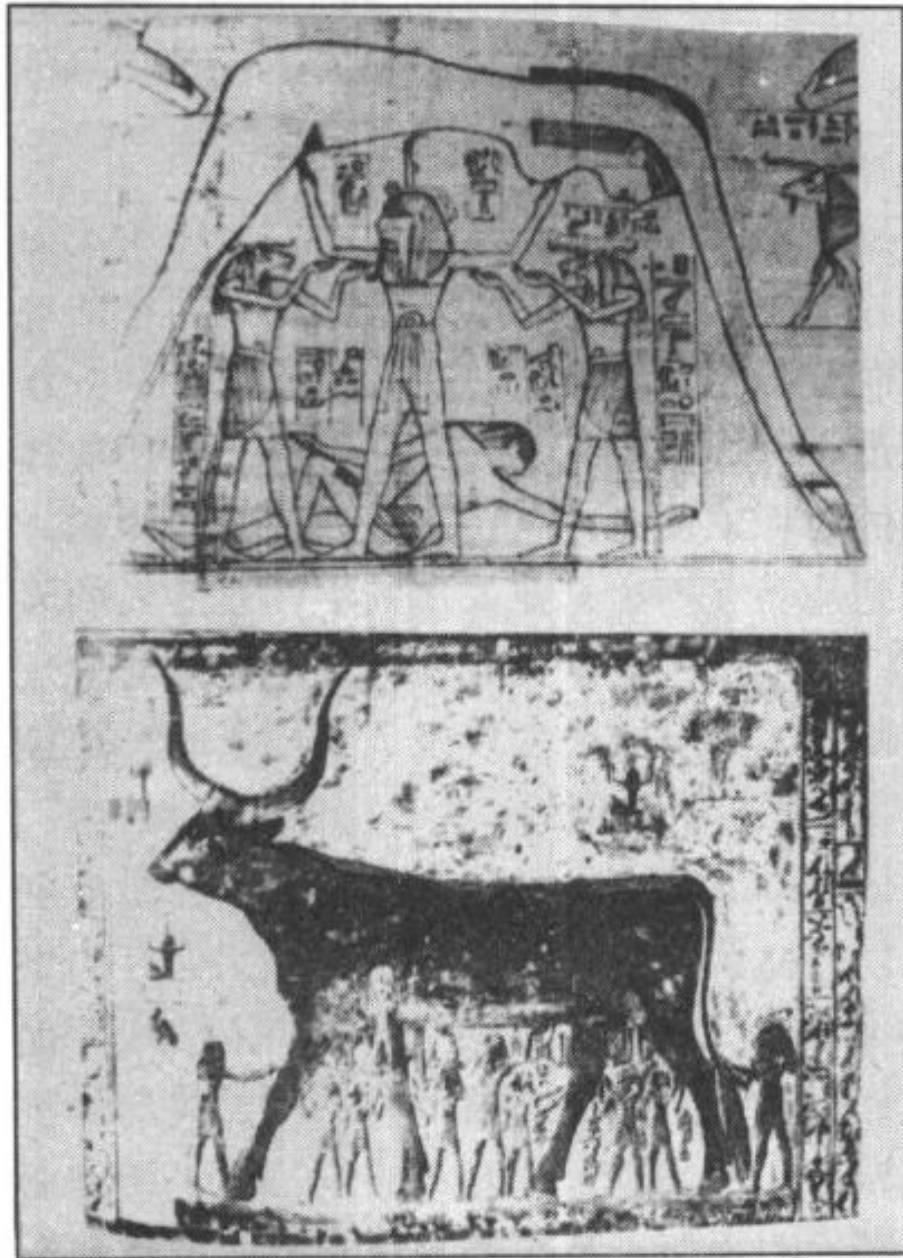


图 2-6 埃及天牛像

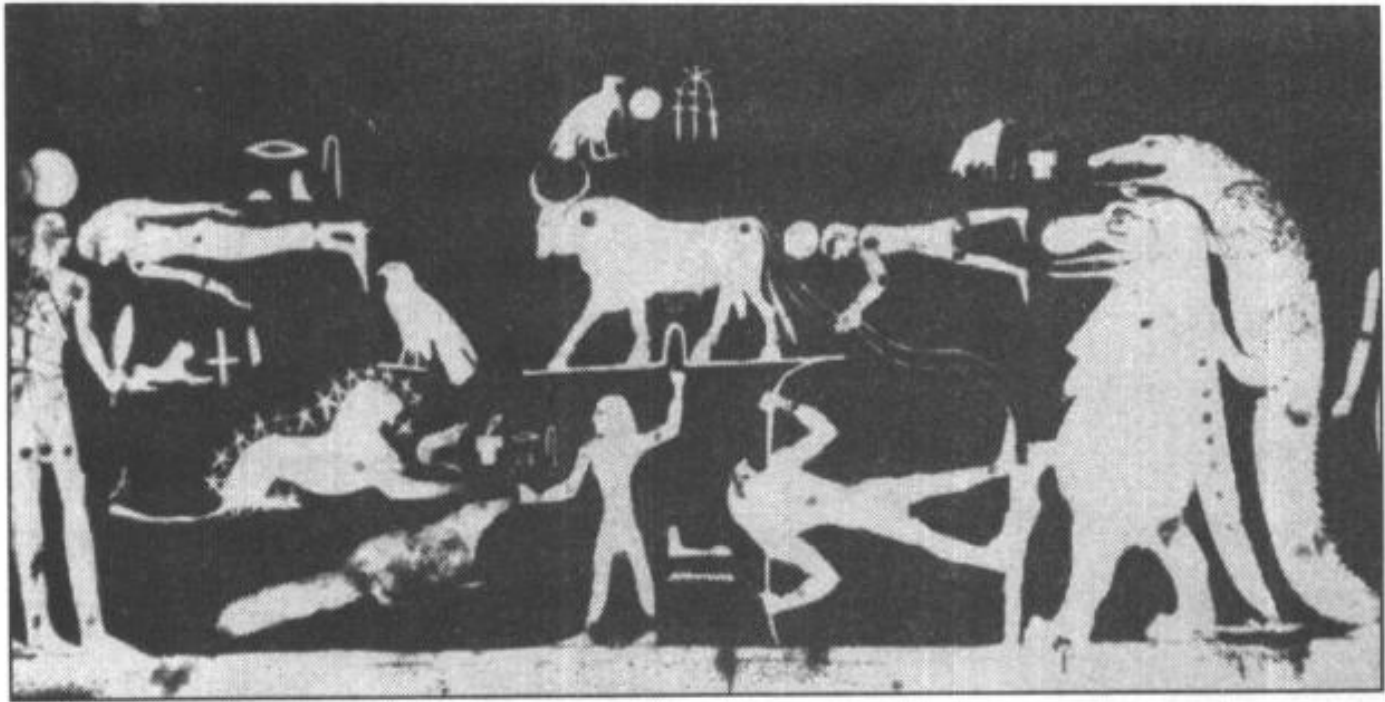


图 2-7 埃及星图

“拉”先后驾驶着两船在天空航行。

叙说古代埃及的科学技术史，不能不提到那举世闻名的金字塔。金字塔是古埃及国王（又叫法老，相当于我国称皇帝为陛下）在生前为自己建造的陵墓，其外形呈角锥体，形似“金”字，故称金字塔。现今知道的埃及金字塔共有 80 多座，最大的金字塔

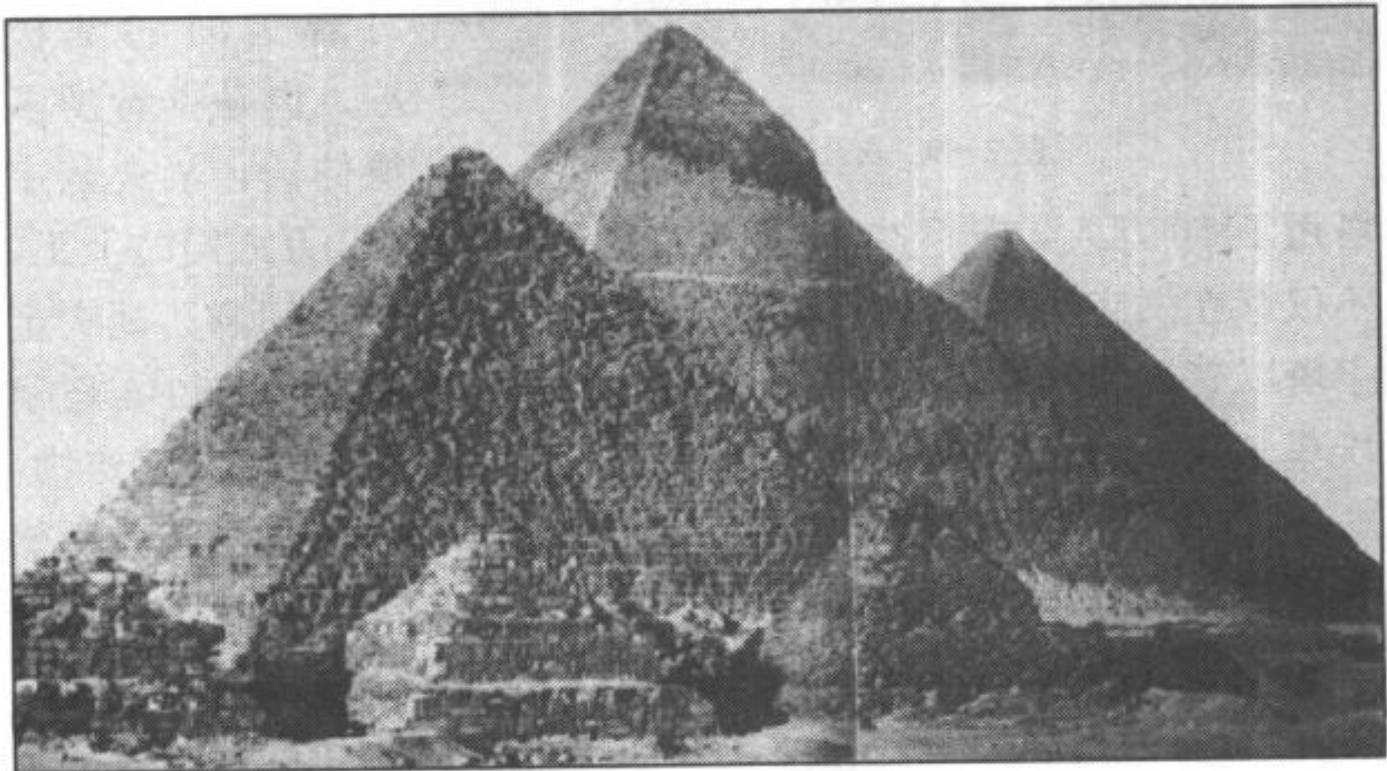


图 2-8 埃及金字塔

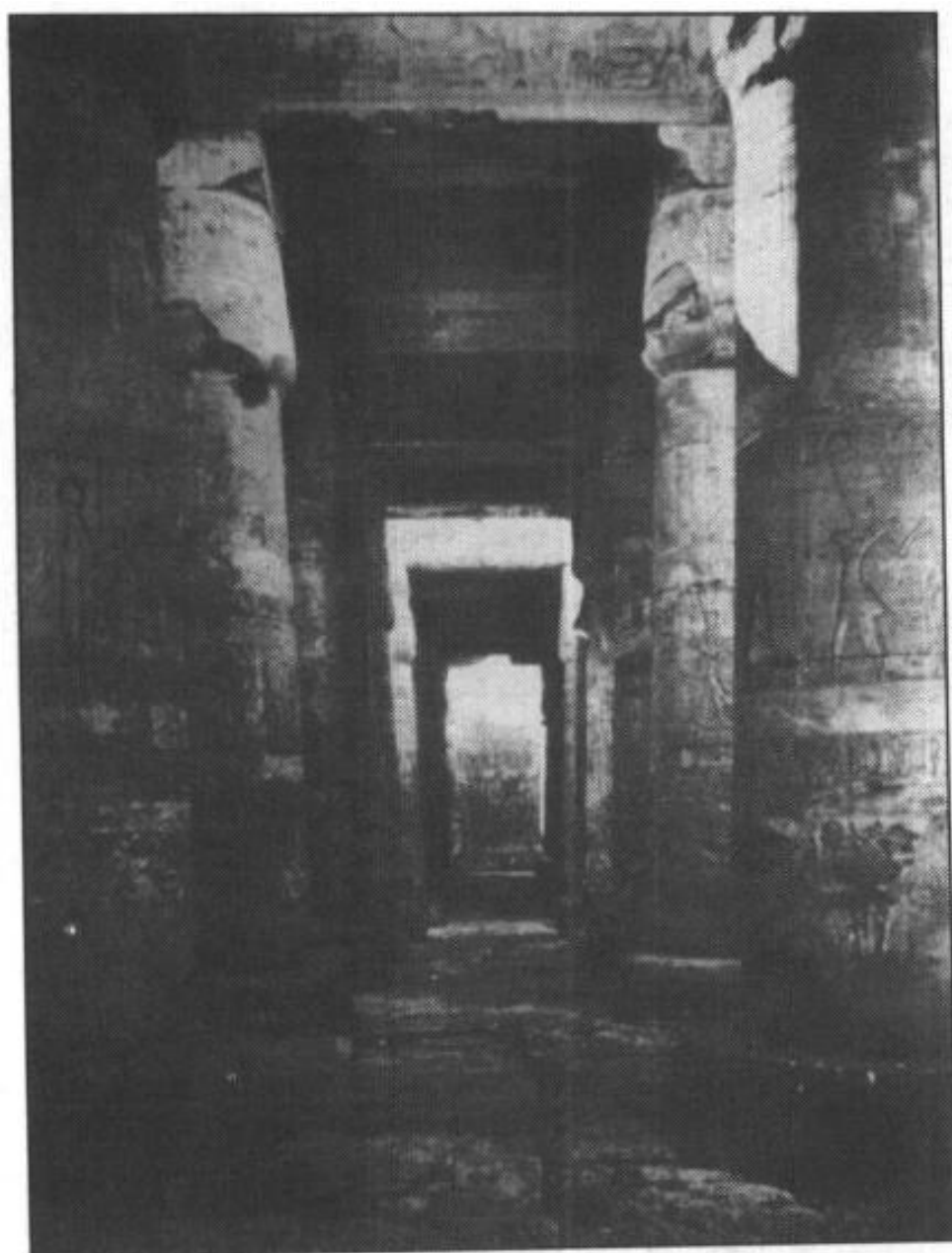


图 2-9 埃及神庙

是古王国第四王朝（公元前 2700 年）国王胡夫（希腊人叫他齐阿普斯）的墓。此墓高 146.5 米，底边宽 240 米，由 230 万块大石块叠垒而成，每块石头都经过精工磨平，堆叠后缝隙严密，连小刀也插不进去。塔的北面正中央有一入口，从入口进入地下宫殿的通道与地平线恰成 30 度倾角，正好对着当时的北极星。也是据希罗多德估计，胡夫金字

塔用了 10 万人，花了 30 年时间才建成。不过，10 万人同时上工，不仅存在供应问题，而且在现场也难以工作，恐不可靠，胡夫金字塔以其雄伟的身姿列入古代世界十大奇观之列。在 1889 年巴黎埃菲尔铁塔建成之前，四千多年来它一直是世界上最高的建筑物。

这是一个奇迹。在当时只有木制、石制和铜制的工具，所能利用的机械也不过是斜面、杠杆的条件下，把 230 万块平均重约 2.5 吨的石块堆成一个像 40 层楼那么高的角锥体，而且每块石头全部磨成正方体，几乎没有误差，每块石头四面全部分别面向东南西北四方，也几乎没有误差，这真是不可思议。难怪有许多人

猜想，胡夫金字塔其实不是胡夫之墓，而是天外来客在地球上的里程碑。近几十年来，考古学家在大西洋海底和美洲大陆都陆续发现了许多金字塔，特别是百慕大海底的金字塔底边长达300米，比胡夫金字塔还大。这许许多多的金字塔有什么内在的联系吗？现在我们还无法得知。

古埃及第四王朝极为兴盛，所建金字塔也大。胡夫的儿子哈夫拉（又叫齐夫林）的金字塔规模比胡夫略小，但它的前面有一座用整块石头雕刻而成的巨大的狮身人面像，希腊人称之为斯芬克斯。该像高20米，长约62米，据说其面容以哈夫拉为模特。大斯芬克斯与金字塔交相辉映，是古埃及人聪明智慧的象征。

埃及建筑到了中王国的帝国时期，神庙取代了金字塔成为主要的建筑形式。它保持了埃及建筑高大雄伟、气派恢宏的风格，许多雕刻华丽的大圆柱至今留存，让今日建筑家叹为观止。

2. 美索不达米亚

世界上最古老的另一文明发源于幼发拉底河和底格里斯河流域，在今天的伊拉克境内，希腊人称之为美索不达米亚，意思是两河之间的地方。在公元前数千年的漫长历史中，有好几个民族依次成为这里的主人，继承和创造了高度发达的文明。远在公元前5000—前4000年，在两河下游地区就有苏美尔人定居，苏美尔文化在公元前2250年达到顶峰，到公元前21世纪，苏美尔人的帝国被外来民族所灭。公元前19世纪中，地处两河中部的巴比伦王国兴盛起来，开创了美索不达米亚文明的第二阶段。巴比伦人最有名的是他们的国王汉谟拉比，他创制了一部法典，史称汉谟拉比法典。公元前1650年，巴比伦帝国被蛮族入侵。大约在公元前1300年，底格里斯河上游的亚述人开始崛起，到公元前8至7世纪，其帝国达到鼎盛时期，这是美索不达米亚文明的第三阶段。

亚述帝国于公元前 612 年被迦勒底人推翻，美索不达米亚文明进入最后阶段，这个阶段通常称新巴比伦时期。迦勒底人建都巴比伦，复兴巴比伦文化，但不到 100 年，于公元前 539 年又被波斯人征服。公元前 330 年，亚历山大大帝征服了美索不达米亚，希腊将领塞琉古统治该地区，自那以后直到公元年代，史称塞琉古时期。美索不达米亚的政治史终结了，但科学文化史却一直延续到了公元 3 世纪。苏美尔人、巴比伦人、亚述人和新巴比伦人（迦勒底人）共同创造了美索不达米亚的文明，有时人们也将之统称为巴比伦文明。

早在公元前 3500 年左右，苏美尔人就发明了象形文字，后来发展成表意和指意符号，到公元前 2800 年左右基本成形，叫做楔形文字。因为这种文字往往刻在砖、石或泥板上，笔画呈楔形，故名，又叫“钉头字”或“箭头字”。苏美尔人发明的这种文字后为巴比伦人、亚述人、波斯人所采用。有许多刻在泥板上的楔形文书流传到了现在，同埃及纸草一样，是追溯古老文明史的珍贵材料。

古老美索不达米亚地区有着极为发达的天文学，许多学者相信，这是因为那里的占星术极为盛行的缘故。近百年来的考古学更揭示出，在公元前的最后几个世纪，即塞琉古时期，美索不达米亚出现过高度发达的数理天文学体系，堪与同时代的希腊数理天文学媲美。

美索不达米亚同埃及一样很早就发展了农业，但自然条件与埃及很不一样。在埃及，尼罗河定期泛滥，相当规则，因此埃及人的天文学也相对较为简单。而在美索不达米亚，底格里斯河和幼发拉底河河水的涨落并不规则，确定一年四季全靠天象观测。此外，这里因无天然屏障所造成的频繁的蛮族入侵，也使当地居民的精神生活蒙上了一层悲剧的色彩。埃及人处世泰然，心平气和，而美索不达米亚人阴郁消沉，他们发达的占星术显然来自这种精

神状态，而他们对天象的极细致观测，又使他们极大地发展了天文学。

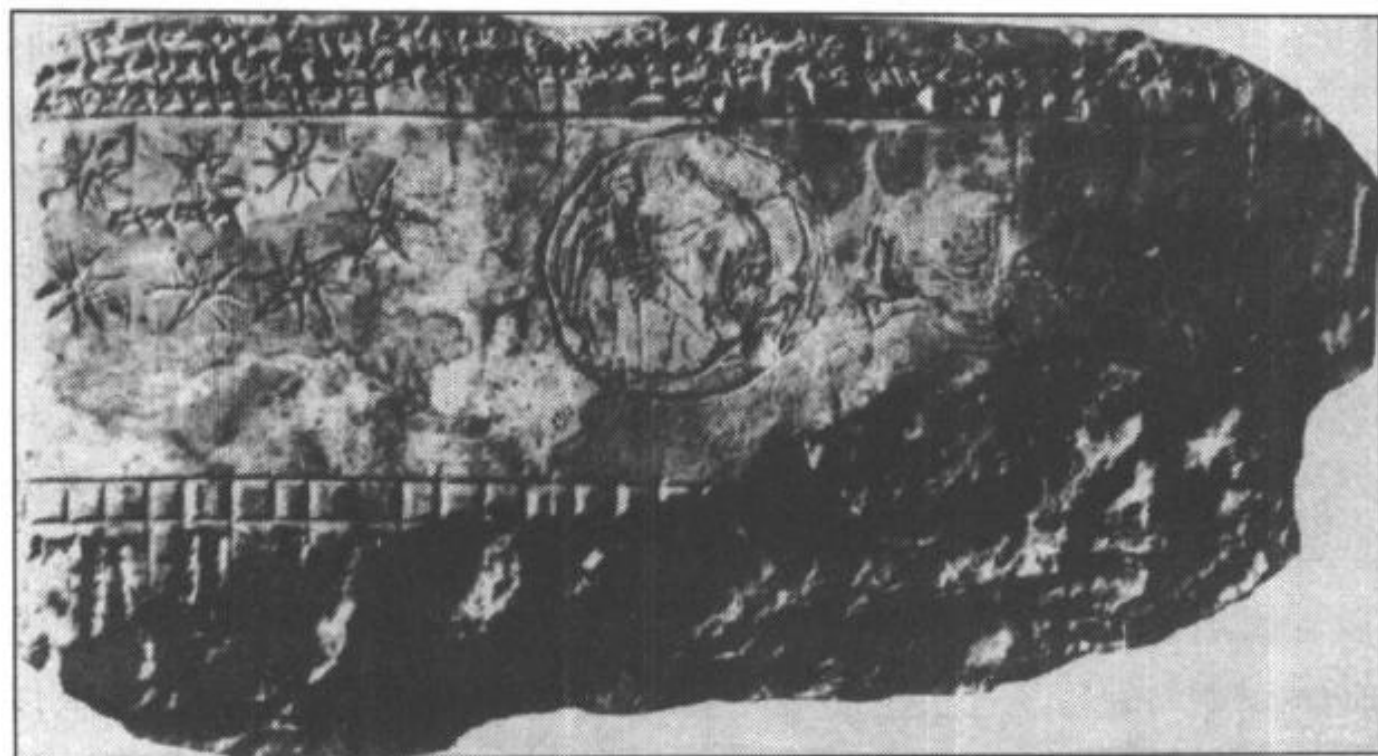


图 2-10 巴比伦观天图

大约在公元前 4000 年，苏美尔人就发明了阴历历法，以月亮的盈亏现象作为计时标准。到公元前 2000 年左右，他们已将一年定为 12 个月，大小月相间，大月 30 日，小月 29 日，一共 354 天。为了与回归年相吻合并将每年的第一天（即岁首）固定在春分时节，他们发明了置闰方法。很长时间，置闰无一定规律，由国王根据情况随时决定。到了公元前 500 年，开始有固定的置闰规则，开始是 8 年 3 闰，后是 27 年 10 闰，最后于公元前 383 年定为 19 年 7 闰。这个 19 年 7 闰规则即著名的默冬周期，是由古希腊天文学家默冬于公元前 432 年宣布的，不过，美索不达米亚在那时实际上已经开始使用了。

美索不达米亚空气清朗，夜空繁星密布，僧侣们日复一日、年复一年地观测，并在泥板上记下他们的观察结果。早在公元前 2000 年，他们就发现了金星运动的周期性，至于太阳在恒星背景下周年视运动自然早就知道。如果我们经常观察夜空的话就可以

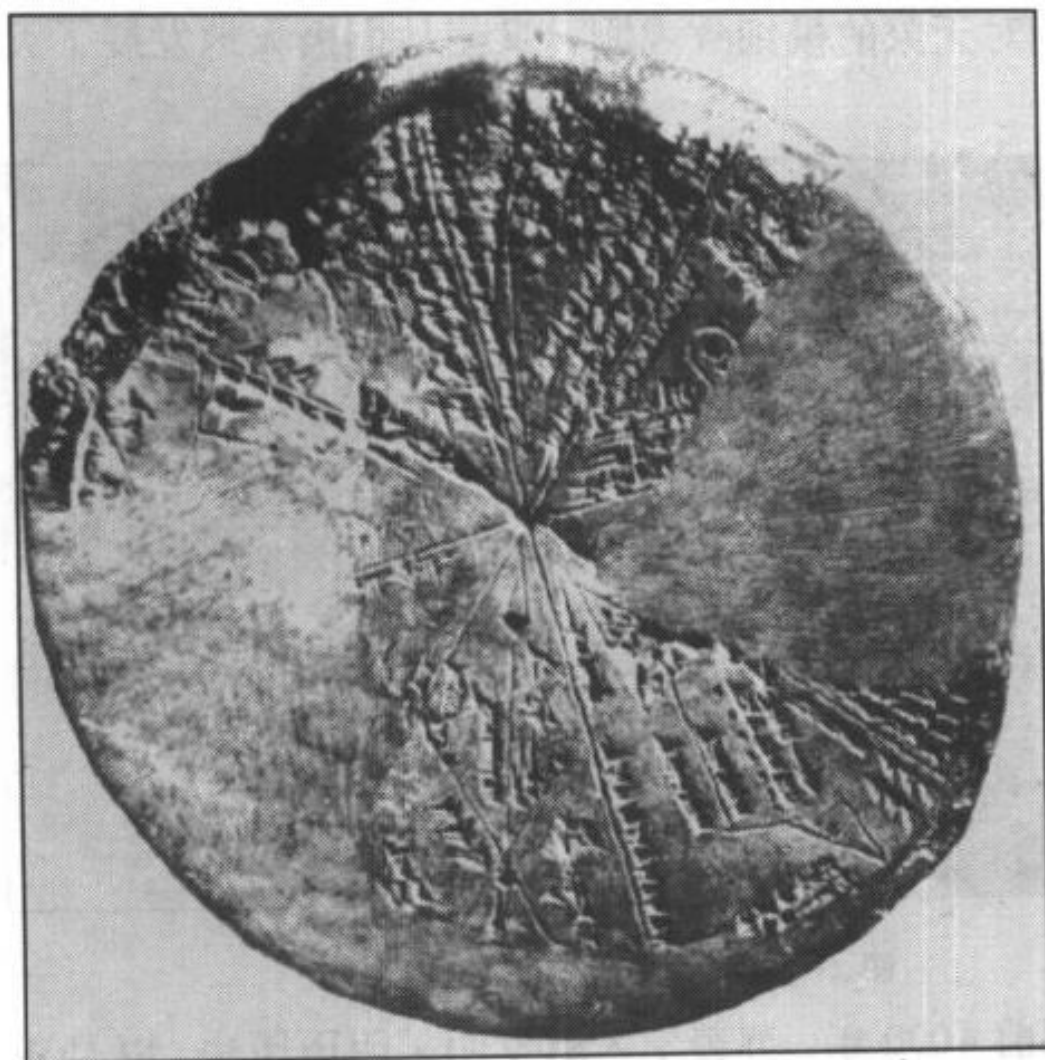


图 2-11 泥板上的星图

发现，夏夜天空的星星分布与冬夜是不同的，夏天纳凉时我们可以看到银河以及居银河两岸的牛郎星和织女星，而冬季的夜晚则可以看到天空最亮的恒星天狼星以及猎户座。这是因为，我们永远只能看到背对太阳那面

天空的星星（白天被太阳光所笼罩），由于地球有公转，故不同的季节，背对太阳的那面天空也不一样。在旭日方升的时候，人们可以看到太阳在恒星背景上的位置，这样也就知道，太阳的位置是周年变动的。太阳在恒星背景下所走的路径，天文学上叫做黄道，古代美索不达米亚人已经知道了黄道，并将黄道带划分为十二个星座，每月对应一个星座，每个星座都按神话中的神或动物命名，并用一个特殊的符号表示，它们是：

1. 双鱼座 ♓
2. 白羊座 ♈
3. 金牛座 ♉
4. 双子座 ♊
5. 巨蟹座 ♋
6. 狮子座 ♌
7. 处女座 ♍
8. 天秤座 ♎
9. 天蝎座 ♏
10. 人马座 ♐
11. 摩羯座 ♑
12. 宝瓶座 ♒

这套符号沿用至今，形成了所谓黄道十二宫，是占星术的常用术语。当时的春分点恰在白羊宫，故在天文学上一一直用它表示春分

点，虽然今日实际春分点已处在双鱼座，但人们还是沿用了当初的符号。美索不达米亚人的计时方法对后世产生了很大的影响，例如将圆周分成 360° ，1 小时分成 60 分，1 分为 60 秒，以 7 天为 1 星期等，就沿用至今。

美索不达米亚最重要的天文学成就是编制了日月运行表，从表中可查出太阳月运行度数（以天球坐标计）、昼夜长度、月行速度、朔望月长度、连续合朔日期、黄道对地平角的交角、月亮的纬度等。用日月运行表计算月食极为方便。考古发现，日月运行表大概是从公元前 311 年开始的，当然，在此之前很久，美索不达米亚人就可以预测月食了。此外，一般认为，远在公元前 600 年左右时，迦勒底人就已经发现了 223 个朔望月为一个日食周期。日食是月球正好处于日地之间造成的。天文学上把日地每两次相交称为一个交点年，而 223 个朔望月正好差不多等于 19 个交点年。这个周期史称沙罗（Saros 音译，巴比伦文中是“恢复”的意思）周期，沙罗周期的发现标志着相当高的天文学水平。

从考古发掘的泥板文书中，我们可以发现，美索不达米亚人有着更为丰富的数学知识。大约在公元前 1800 年，巴比伦人就发明了 60 进制的计数系统，他们有位制的概念，但没有表示零的记号，因此计数系统并不完善。比如 ∇ 表示 60， \llcorner 表示 20，由于没有零位， \llcorner 即可以表示 $60+20$ ，也可以表示 $60^2+0\times 60+20$ 。他们会做加减乘除四则运算，其中除法是通过将除数化成倒数来完成的。在出土的泥板文书中，有不少倒数表。

巴比伦人知道如何解一元二次方程，泥板文书中记载过一个基本的代数问题，即求一个数，使它与它的倒数之和等于一个已知数，用现代公式表示就是

$$x + 1/x = b$$

此式可化成一元二次方程 $x^2 - bx + 1 = 0$ ，他们的解法是先求出 $(b/2)$ ，再求出 $(b/2)^2$ ，再求 $\sqrt{(b/2)^2 - 1}$ ，然后得解答： $b/2 +$

$\sqrt{(b/2)^2-1}$ 和 $b/2 - \sqrt{(b/2)^2-1}$ 。这表明他们已知道了二次方程的求根公式，不过他们没有负数概念，只求正根。在公元前 1600 年的一块泥板上，记下了许多毕达哥拉斯三元数组（即勾股数组），取值方法是令 $a=u^2-v^2$ ， $b=2uv$ ， $c=u^2+v^2$ ，其中 u 、 v 是任取正整数，这样可得出 $a^2+b^2=c^2$ 。据考证，此取值方法与希腊代数学家刁番都的方法相同。

巴比伦人的几何略逊代数一筹，许多几何问题都被化为代数问题处理。在求圆面积时，他们用 3 代替 π ，其它地方又用 3.1 作为 π 值。在大约公元前 1600 年的一块泥板上，记有 π 的近似值。此外，巴比伦人还可以求一些简单立体的体积。

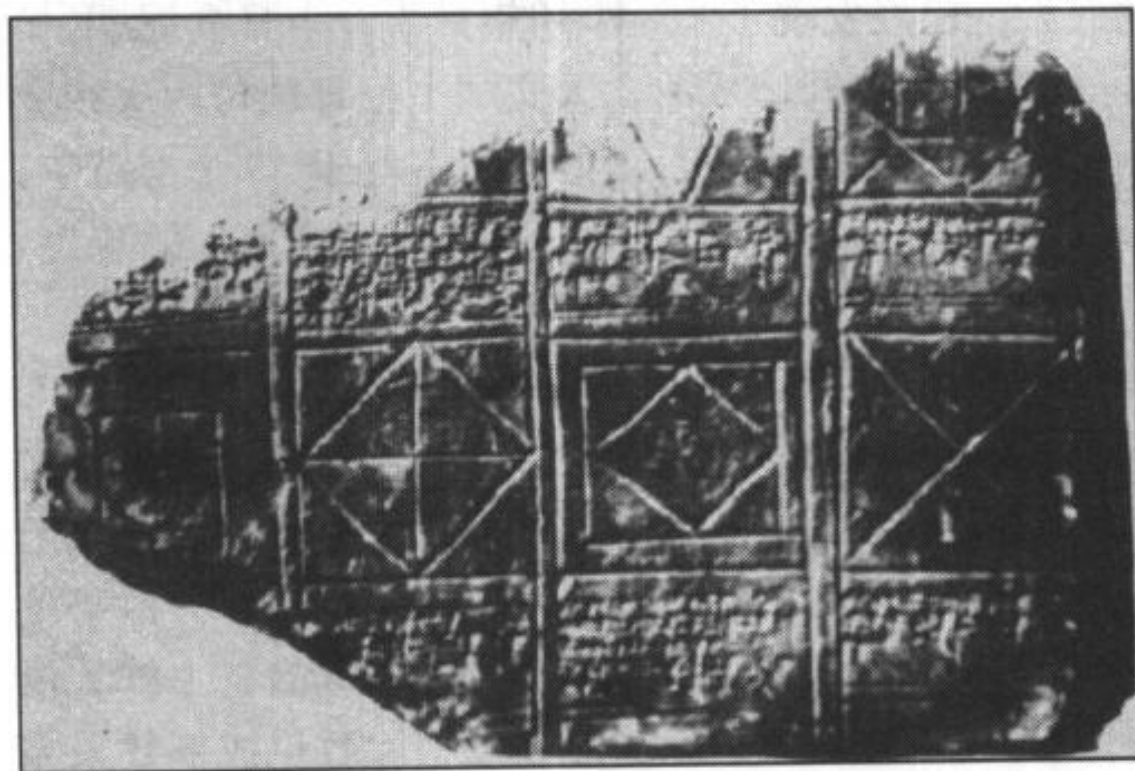


图 2-12 泥板上的数学式

像埃及人一样，巴比伦人虽然在天文观测上积累了相当丰富的经验知识，但他们的宇宙论却依然笼罩在神话的

气氛中，对宇宙结构和起源的总体构思尚未同日常的经验观察密切关联起来。巴比伦人设想地是浮在水上的扁盘，而天是一个半球状的天穹覆盖在水上，天地都被水所包围，水之外是众神的居所。天上的星星和太阳都是神，他们每天都出来走一趟，由于他们决定着世间的命运，所以他们的行踪即天体的运动尤其值得注意。占星术正是从天体轨迹中推测人间祸福，故而受到极大的尊

崇，在巴比伦的许多图书馆里，都藏有大量占星术著作。

美索不达米亚的医学很不起眼，现存泥板文书中没有比公元前10世纪更早的医学文献，不过汉谟拉比法典中提到，如外科手术失败则砍掉医生的手，这表明那里古代就有医生行业，而且不全是巫医。

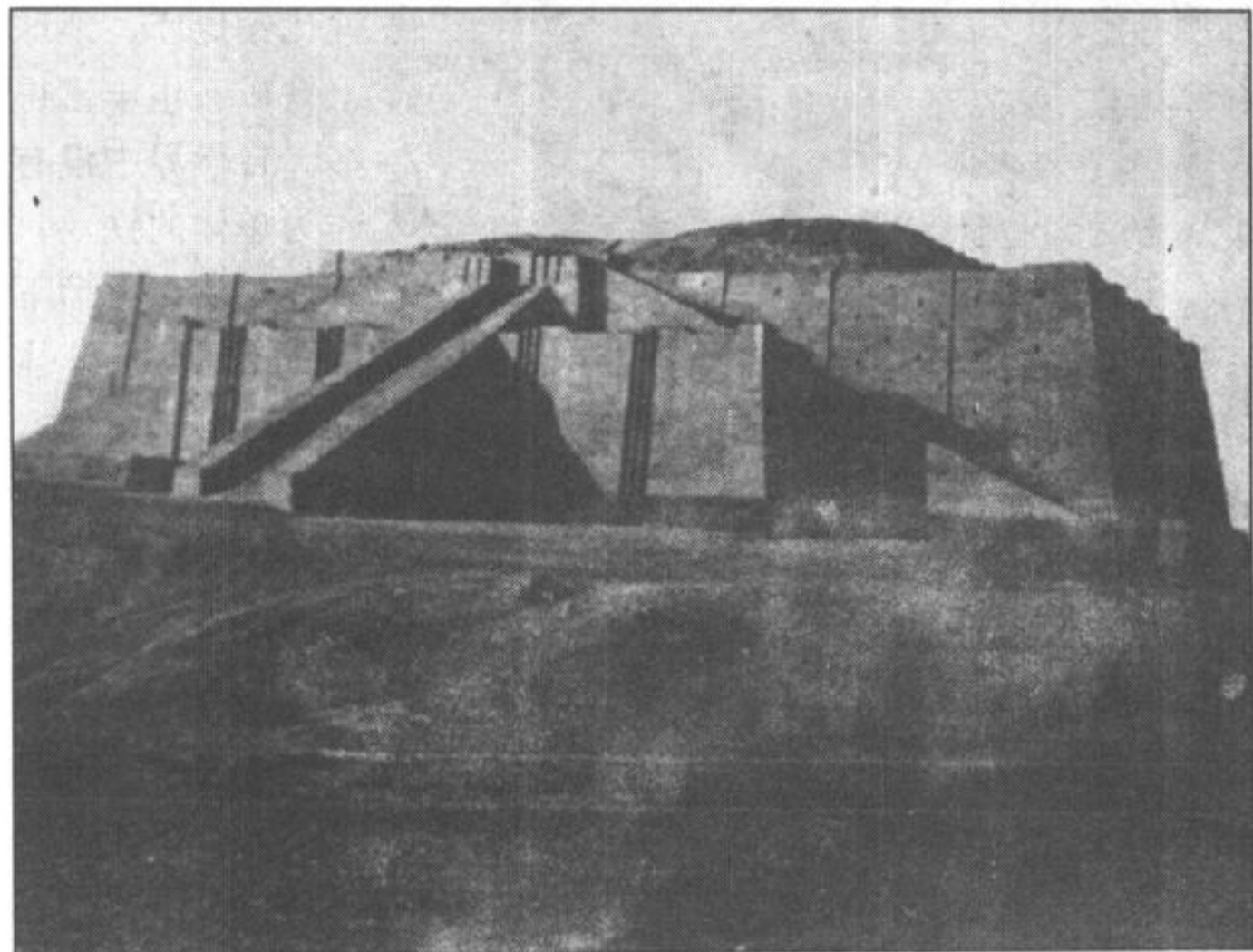


图 2-13 乌尔（今伊拉克）的圣塔

美索不达米亚最值得一提的技术成就是它的冶铁术和城市建设。大概在新石器时代，原始人类就在打制石器的过程中发现了天然的金属，金、银、铜可能是最先被发现的，因为它们在自然界中可以单体的方式存在。在新石器时代后期，由于天然铜即红铜也被用来作为工具，故出现了一个金石并用时代。红铜虽然便于打制，但不够坚硬，后来人们在长期的冶炼术实践中发现，在铜中加入锡可增加铜的硬度，铜锡合金即青铜的使用，标志着人

类进入一个新时代。在美索不达米亚，大约在公元前 4000 年就已开始应用青铜铸件。



图 2-14 巴别塔

铁器的出现是更为重要的科学史事件，因为铁的用途比铜更广，地球上铁矿石也丰富得多。自然界中没有作为单体的铁，只有偶尔从天上掉下来的陨铁是单体的，不过陨铁量少，而且大部分被作为圣物。最早的炼铁术是赫梯人发明的，大约在公元前 1500 年就已相当普及。考古学家曾发现过一封埃及国王公元前 1250 年

写给赫梯国王的信及回信，信中要求赫梯人供应铁，回信中答应给一把铁剑，并要求用黄金交换。这表明当时埃及用铁不多，相反，在美索不达米亚地区已相当普遍。大约在同一年代，亚述人从赫梯人那里学习了先进的冶铁技术，用铁制造的武器坚硬而又锋利，它造就了强大的亚述帝国。在考古发现的公元前 8 世纪的亚述宫殿中，发现有大量各式各样的铁制工具和武器，表明完全进入了铁器时代。要知道，到今天为止，人类还可以说处于铁器时代，钢铁产量依然是一个国家国力的象征，而 3000 多年前，

美索不达米亚人就已率先走进了这个文明时代。

古代美索不达米亚人很早就建立了城市，而且非常注重城市的建设。当时巴比伦城中用石板铺有宽阔的马路，地下设有地下水道，新巴比伦城城墙有三道，主墙每隔 44 米就有一座塔楼。全城共有 300 多座塔楼。据希罗多德记载，该城有 100 多座城门，城门的门框和横梁都用铜铸造，城门高达 12 米，城墙和塔楼上镶嵌有许多浮雕。城内有许多巴比伦的传统建筑塔庙，塔庙由一层层台子堆垒而成，供奉神的庙宇建在最顶层，高台周围有斜桥和阶梯，塔庙的建筑在巴比伦从公元前 3000 年就已开始了。新巴比伦城内还有富丽堂皇的王宫，王宫的旁边是号称世界七大奇观之一的巴比伦空中花园，该花园是当时的国王尼布甲尼撒为他的一位过惯了山村生活的外国宠妃而建的。在人工堆起的小山顶上，层层栽种着各种植物和花卉，顶上有灌溉用的水源和水管，由于人工小山平地拔起，远看花园仿佛悬在空中。新巴比伦城中最高的建筑物是巴别塔，该塔始建于公元前 3000 年，后历经战火，毁而又修，修而又毁，如今只剩一堆瓦砾残垣，但在新巴比伦时期，它被修整一新，希罗多德游览过这里，他写道：

“它有一座实心的主塔，一弗隆（合 201 米）见方。上面又有一层，再上是第三层，共有八层。外缘有条螺旋形通道，绕塔而上，直达塔顶。约在半途设有座位，可供歇脚。”塔顶“建有一座大神庙，里面有张精致的大睡椅，铺陈华丽，旁边有一张金桌子。神殿内并无偶像……神亲自进入庙里，躺在睡椅上休息。”

这段赞词被刻在一块古碑之上，后人在通天塔旁边的马都克神庙内发现，它真实地描绘了这座古老的建筑奇观。

美索不达米亚与埃及不一样，非常缺乏岩石，所以当地的建筑大都用砖和沥青构筑。由于中亚盛产石油，沥青常常从地面上天然渗出，而砖则烧制而成。聪明的美索不达米亚工匠们建设了当时世界上最雄伟气派、最富丽堂皇的城市。

3. 印度

今日南亚次大陆素称印度次大陆，它位于亚洲的南部，北枕喜马拉雅山，南接印度洋，东临孟加拉湾，西濒阿拉伯海，北广南狭。这里三面环海，一面靠山，有着天然的封闭地理环境，境内地形复杂，地理条件极为悬殊。西北部的印度河发源于冈底斯山以西，流入阿拉伯海，中北部的恒河发源于喜马拉雅山南坡，流入孟加拉湾。印度河和恒河所形成的冲积平原，土壤肥沃，气候湿润，是世界最古老文明的发源地之一。

印度是一个不容易直观把握的国度。直到殖民地时期，印度从来没有形成过高度统一的中央集权制国家，而是大小王国林立。与此相伴随，印度从来没有统一的语言，各民族和各部落所使用的语言和方言超过150种。而且由于印度次大陆本身就是世界三大人种（即尼格罗种、蒙古利亚种和高加索种，分别是黑种人，黄种人和白种人）的交汇处，加之累遭外族入侵、占领和殖民统治，所以印度人种繁多，血统混杂，素有“人种博物馆”之称。除了种族、民族繁多之外，印度还存在根深蒂固的种姓制度，全部印度人都被分为四个等级的种姓，等级从高到低是：婆罗门、刹帝利、吠舍和首陀罗。婆罗门即僧侣，从事文化教育和祭祀活动；刹帝利即武士，从事行政管理和打仗；吠舍即平民，经营商业贸易；首陀罗是所谓贱民，从事农业及各种手工业劳动。种姓世袭，而且不同种姓之间不得通婚。这种种特征使人感到印度好像一盘散沙。

印度是一个神秘的国度。此地到处笼罩着宗教气氛，处处有神庙，村村有神池，而且与上述文化多样性相伴随，印度人信奉的宗教极多，同一宗教还有许多教派。在印度，婆罗门教即印度教最为流行，而发源于此地的佛教却不太流行。相反，墙里开花

墙外香，在东亚和东南亚拥有广大信徒。印度人的历史也笼罩在云里雾里，古代印度人不注意记述自己的历史，他们喜欢讲神话故事，后世历史学家只得从神话故事中发掘考订印度的古代历史。

印度的历史大致可分为史前时代、吠陀时代与史诗时代、列国争雄时代、殖民时代和独立时期。史前时代又称哈拉巴文化时代，因为这个文明时代完全由在印度河畔的哈拉巴地区的考古发现而确定并定名，时间约在公元前 2500—前 2000 年，创造这一文化的是当地原始居民达罗毗荼人，这一文化不知由于什么原因在公元前 2000 年左右时消声匿迹。大约在公元前 1500 年，来自北方的游牧民族雅利安人征服了印度河和恒河流域，开创了吠陀文化时代。所谓“吠陀”，原意是“知识”，中国古人也译作“明”。由于有四部留传至今的以“吠陀”为名的神话诗集间接记述了那个时期的社会状况，故将那个时期称为吠陀时期，它们是《梨俱吠陀本集》（又名《赞诵明论本集》），《娑摩吠陀本集》（又名《歌咏明论本集》），《夜柔吠陀本集》（又名《祭祀明论本集》，包括《白祭祀明论》和《黑祭祀明论》两本）和《阿达婆吠陀本集》（又名《禳灾明论本集》），继吠陀之后又出现了与各吠陀本集相关的《梵书》以及与各《梵书》有关的《奥义书》。史诗时代是由于出现了两部重要的史诗而得名的，它们是《摩诃婆罗多》和《罗摩衍那》。吠陀和史诗时代大约于公元前 600 年结束，此后长达 2000 多年的历史是列国争雄时代，比较突出的王朝有摩揭陀王国（公元前 600 年左右）、难陀王朝（公元前 362—前 321 年）、孔雀王朝（公元前 321—前 185 年），特别突出的是阿育王时代（前 268—前 231）、贵霜王朝（约公元前 200 年—公元 3 世纪）、笈多王朝（320—约 5 世纪）、莫卧尔王朝（1526—1857 年）。莫卧尔王朝被英国的东印度公司灭亡后，印度沦为英国的殖民地，直到 1950 年独立。

印度文化主要是一种宗教文化，它推崇来世轻视今生，强调



图 2-15 印度的创造和生殖之神梵天雕像

人生的无常和空虚，主张清心寡欲，反对执着追求，这种心态无疑不利于科学的发展。不过，作为古老而又持续发展的文明，它不可能不在与人类的物质生存活动最密切的知识部门有所贡献，特别是在天文学、数学和医学上面。

印度早期的历法五花八门，但基本上是阴阳合历。在吠陀时代，印度人认识到月亮运行1周不到30日，所以有一月份要消失

1天，他们把一年定为360天。为了观察日月的运动，印度人把黄道划分为27宿。总的来说，印度早期的历法粗陋，天文学也无惊人成就。只是到了笈多王朝时期，希腊高度发达的天文学传入，使印度天文学有一些发展。首先是出现了天文学家圣使（又名阿耶波多）及其《圣使历数书》，后来又出现了天文学家毘日（又名伐罗希密希罗）及其《五大历数全书汇编》，这些天文著作使印度历法变得更为精致。印度天文学家不重视对天体的实际观测，所以也没有什么天文仪器传世，直到18世纪才在德里等地建立了天文

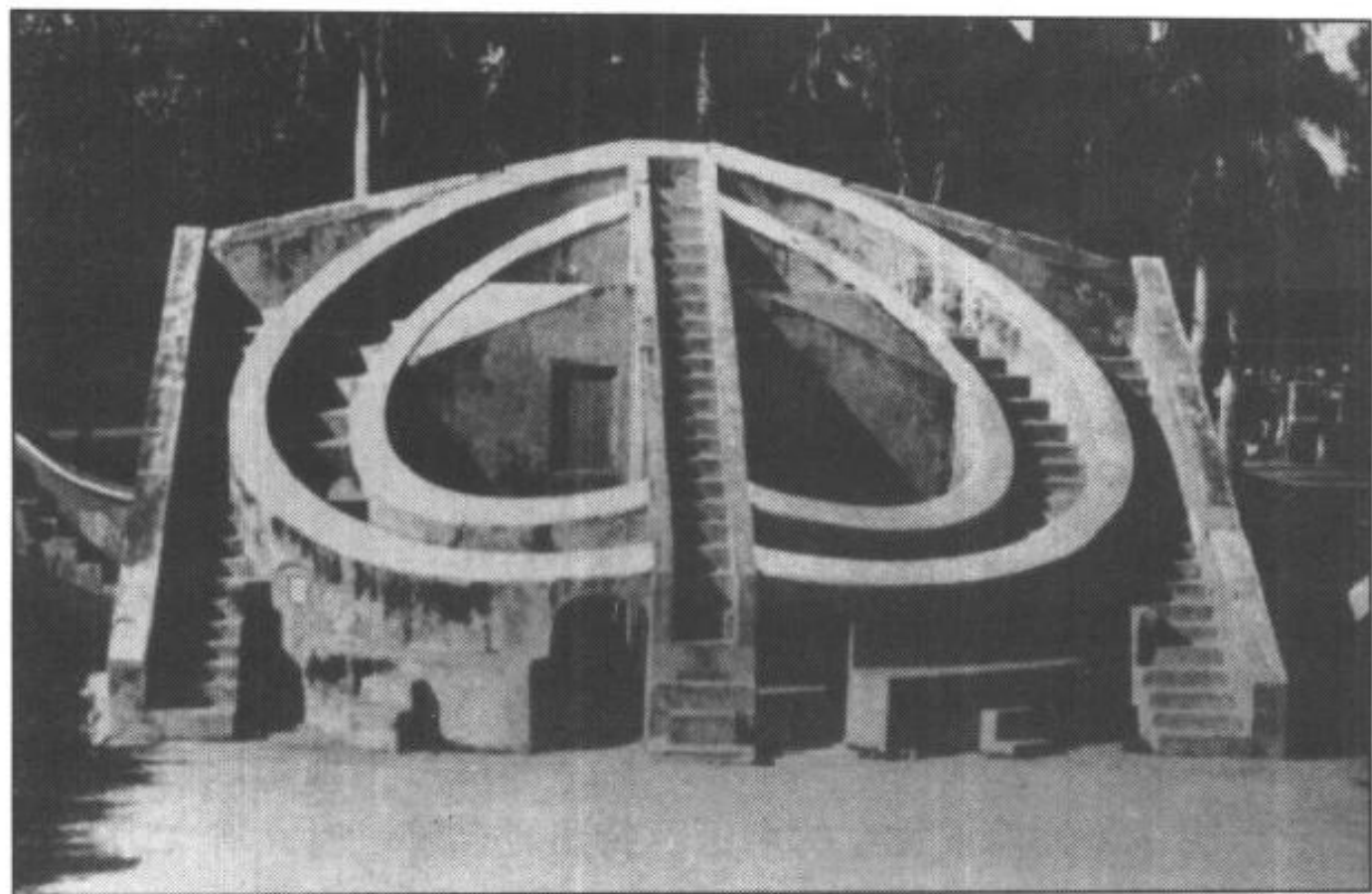


图 2-16 1724 年建成的德里天文台

台。

古代印度人认为宇宙像一只大锅盖在大地上，大地中央是须弥山支撑着天空，日月均绕须弥山转动，日绕行一周即为一昼夜，大地由四只大象驮着，四只大象则站立在一只浮在水上的龟背上。

大约在哈拉巴文化时期，印度人就采用了10进制记数制，到公元前3世纪前后，出现了数的记号，但没有零，也没有进位记法。在吠陀时代出现的《绳法经》中有若干几何学知识，耆那教经典中提到圆周率。公元前200年的《昌达经》中提出了印度最古老的帕斯卡三角形即二项式系数三角形。

公元3世纪以后，希腊数学传到了印度，使印度的几何学有很大进步，同时，印度人自己则发展了算术和代数。公元5世纪初，印度数学家创造了零的概念及其数字符号0，在《圣使历数书》中出现了平面图形的求积，以算术级数的求和方法算出了圆周率等于3.1416，《圣使历数书》中已出现了完备的10进位制数值体系。印度人引进了负数、无理数运算，学会了处理二次方程

的求根问题和解不定方程。这些都是中世纪很重要的数学成就，但印度人自己并不了解这些成就的意义。就在广泛采用 10 进制的同时，他们在天文学上又采用从美索不达米亚传过来的 60 进制。

与印度理论自然科学的极度贫乏相对照，印度的医学可以称得上相当发达，这或许与印度思想中的大慈大悲、普渡众生的仁爱思想相一致。印度古文献中很早就有医学知识的记载，在《阿达婆吠陀》中有关于临床治疗、人体解剖学、植物药学等方面的知识。古代印度人识别了黄疸、麻疯、天花、关节炎、小产和精神病，懂得如何使用驱虫药、免疫疫苗，外科医师可以做剖腹、断肢、眼科、耳鼻唇整容等手术。在佛陀时代（即佛祖释迦牟尼生活的年代，约公元前 563—前 483 年），印度已出现了医科学学校和专职医生。公元前 6 世纪的名医阿特里雅名噪一时，有《阿特里雅本集》医书传世。以后几千年间，印度医学逐渐发展，形成了自己独到的医学体系。

随着佛教的东传，印度的科学技术也影响了我国，特别在中古典籍中可看到这种影响的痕迹，此外，我们今日常用的表现无限大的词汇“恒河沙数”以及形容很短时刻的“一刹那”都来自印度。

4. 中国

我们的祖国也是世界上最古老的文明发源地之一，她地处亚洲的东部，太平洋的西岸，领土辽阔，人口众多，黄河长江像两条生命的纽带，哺育着华夏民族。

炎黄子孙繁衍生息的这块土地有着特殊的地理环境，北面是寒冷的西伯利亚荒原，东面南面是浩瀚的大海，西部是阿尔泰山、喀刺昆仑山以及沙漠、戈壁，西南是喜马拉雅山，沧海大洋与高山大漠形成了一个相当封闭的地理环境。中国先民在这个封闭的

地理环境中独自创造了辉煌的文明，而且这个古老的文明延续几千年一直没有中断，是世界文明史上罕见的奇迹。

大量的考古发现证明了中国是人类的发源地之一，从全国各地出土的化石，基本上可以独立地构成一个较完备的人类进化谱系。大约在公元前五六千年前，黄河、长江流域已开始了农耕作业。此后数千年，农业一直是中国的立国之本。华夏民族的远古历史可以追溯到约公元前 3000 年，那是在黄河流域的姬姓黄帝部落和姜姓炎帝部落，中国人常称自己为炎黄子孙即源于此。在初期的部落联盟中产生了像尧舜这样杰出的军事领袖。舜禅让位于禹之后，禹建立了中国历史上第一个王朝——夏朝。夏朝从禹开始，到桀灭亡，共传十四世，十七王，四百多年。约公元前 1700 年，商王汤推翻夏桀建立商朝，商朝直到纣亡，共传十七代，三十一王，六百年。因商王盘庚迁都到殷地（今河南安阳），后世在那里发掘了大量遗址、遗物，故又常称商为殷或殷商。约公元前 1100 年，周武王灭纣建立周朝，到公元前 770 年周平王东迁，史



图 2-17 大禹

称西周（西周共和元年即公元前 841 年，开始有正式的史书纪年，此前历史年代只能推算推测，无法准确确定）。西周末年，诸侯势力强盛，王室日益衰微，平王被迫东迁后，进入春秋战国时期，至

秦始皇公元前 221 年统一中国，这段时期延续了八百多年。



图 2-10 盘 古

中国先民是朴实的农业民族，他们不喜玄想，勤勉务实，在极为艰苦的条件下踏踏实实地从事农业劳动，使自己的民族不断繁衍壮大。与其它几大古老文明形成鲜明对照的是，中国先民的宗教意识极为淡薄，远古的神话传说中没有超越于人间的神的形象，相反，充满着对先祖杰出才能和

品质的赞颂。最有名的神话如盘古开天辟地，女娲补天，后羿射日，燧人氏钻木取火，有巢氏构木为巢，神农氏遍尝百草等等，都叙述的是先祖创业的英雄故事。可以说，中国的神话是人神同一的神话，神没有超越性，没有凌驾于人间之上的神的世界。还值得指出的是，考古学界从未发现商朝到战国时期有过大型的宗教建筑，这都说明，中国先民的精神生活中没有神的影子。无神论的民族重视现实，遵从生活经验，这个民族特性决定了中国科学的实用性、经验性。农（学）、医（学）、天（学）、算（学）是中国人独自创造的科学技术体系中的四大核心学科。

商代中期，农业已成为重要的社会生产部门。殷墟中出土的甲骨片中关于农业丰收的卜辞很多，而畜牧业的很少，表明在当

时农业的重要性已超过了畜牧业。到了西周时期，以农为主，以畜牧业为辅的生产格局已经形成，中华民族以植物为主的食物结构开始确立。春秋以来，有大量记载农业技术的文献出现，中国先民已懂得对土地精耕细作。此外，为了防止在我国境内最为常见的而又对农业生产影响最大的自然灾害——水灾和旱灾，春秋战国时期开始兴建大型水利工程，它们包括灌溉工程、运河工程和堤防工程。当时比较大的灌溉工程有芍陂、西门渠、漳水十二渠、都江堰和郑



图2-19 神农

国渠，其中芍陂和都江堰历经两千多年，至今仍在发挥作用。四川太守李冰主持修建的都江堰使成都平原成为“水旱从人”的沃野良田，四川由此成为“天府之国”。

在原始社会中，巫医不分，甲骨卜辞中有大量关于疾病的记载，治病方法主要是通过迷信活动，但也用一些药物。西周时期巫医已经分开，出现了专职的医生和医事制度。约在商代，中国人已经认识到某些植物的汤液对疾病的治疗作用，从此以后，汤液成为中药的主要剂型。此外，随着冶金术的发展，各种金属制造的医疗器具开始出现。经过几百上千年的积累，中国的医学体系在春秋战国时期得以初步建立。公元前五世纪的扁鹊代表了那个时代中国医学的最高成就，他所采用的切脉、望色、闻声、问病四诊法一直沿用至今，他熟练掌握当时广为流行的砭石、针灸、



图 2-20 甲骨文

按摩、汤液、熨贴、手术、吹耳、导引等方法，创造了不少为人传颂的“起死回生”的奇迹。战国晚期出现的《黄帝内经》是当时医学的集大成著作，它包括《素问》和《灵枢》两部分，共十八卷，一百六十二篇，广泛论述了医学理论的各个方面。它第一次提出了脏腑、经络学说，成为日后中医理论进一步发展的基础。它采用阴阳五行学说，作为处理医学中各种问题的总原理，为临床诊断提供了理论说明。《黄帝内经》是祖国医学的奠

基之作，两千多年来，一直指导着中医的临床实践，是极为宝贵的科学遗产。

发展农业生产离不开历法的制定，作为农业民族，华夏先民很早就注重天象观测，为农业生产和日常生活服务。考古发现以及文献记载表明，在约公元前 24 世纪的帝尧时代就有了专职的天文官，从事现象授时。当时人们已经知道一年有 366 天，懂得用黄昏时南方天空所看到的不同恒星来划分春夏秋冬四季。据说是



图 2-21 芍 陂

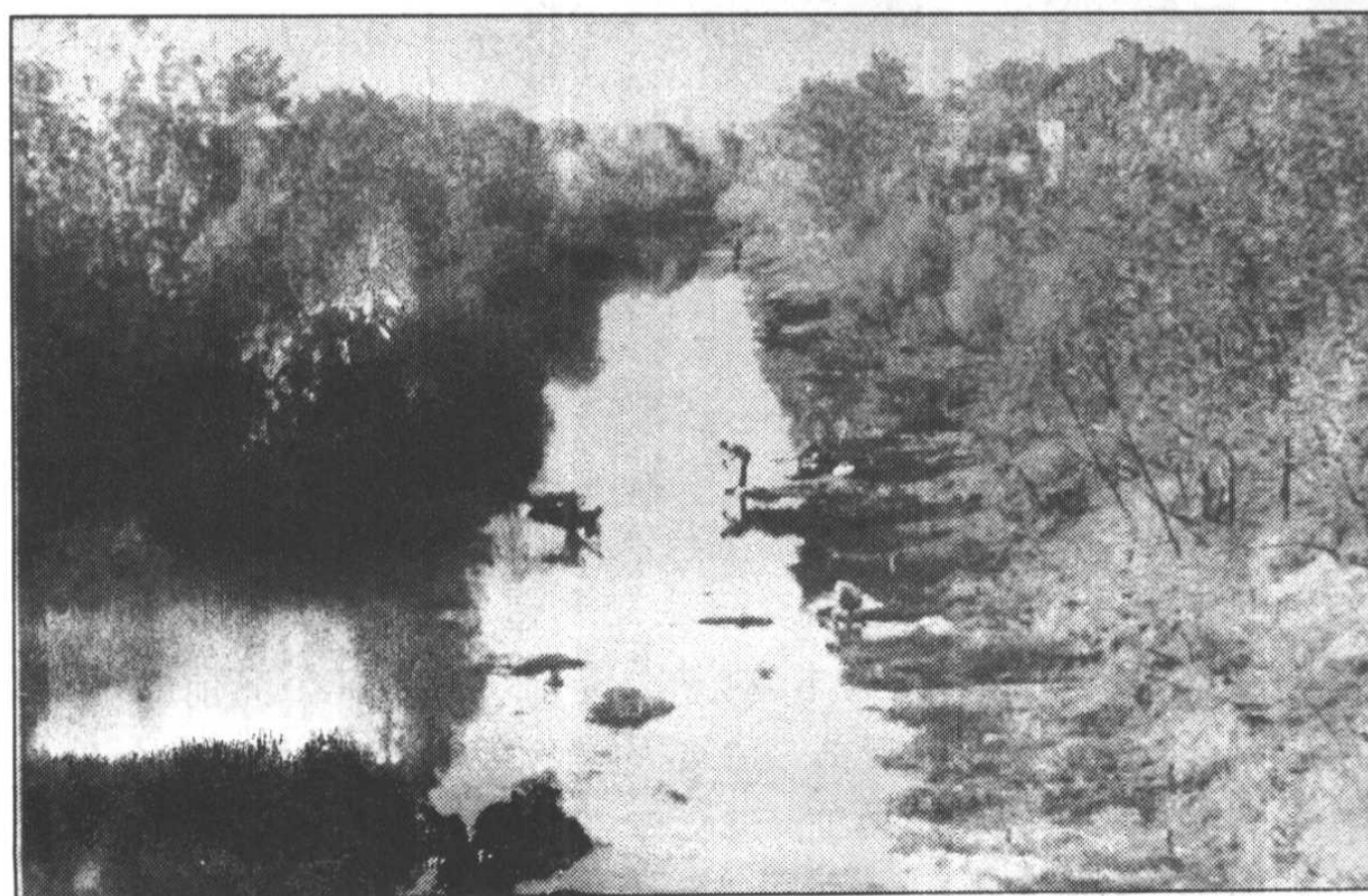


图 2-22 西门渠

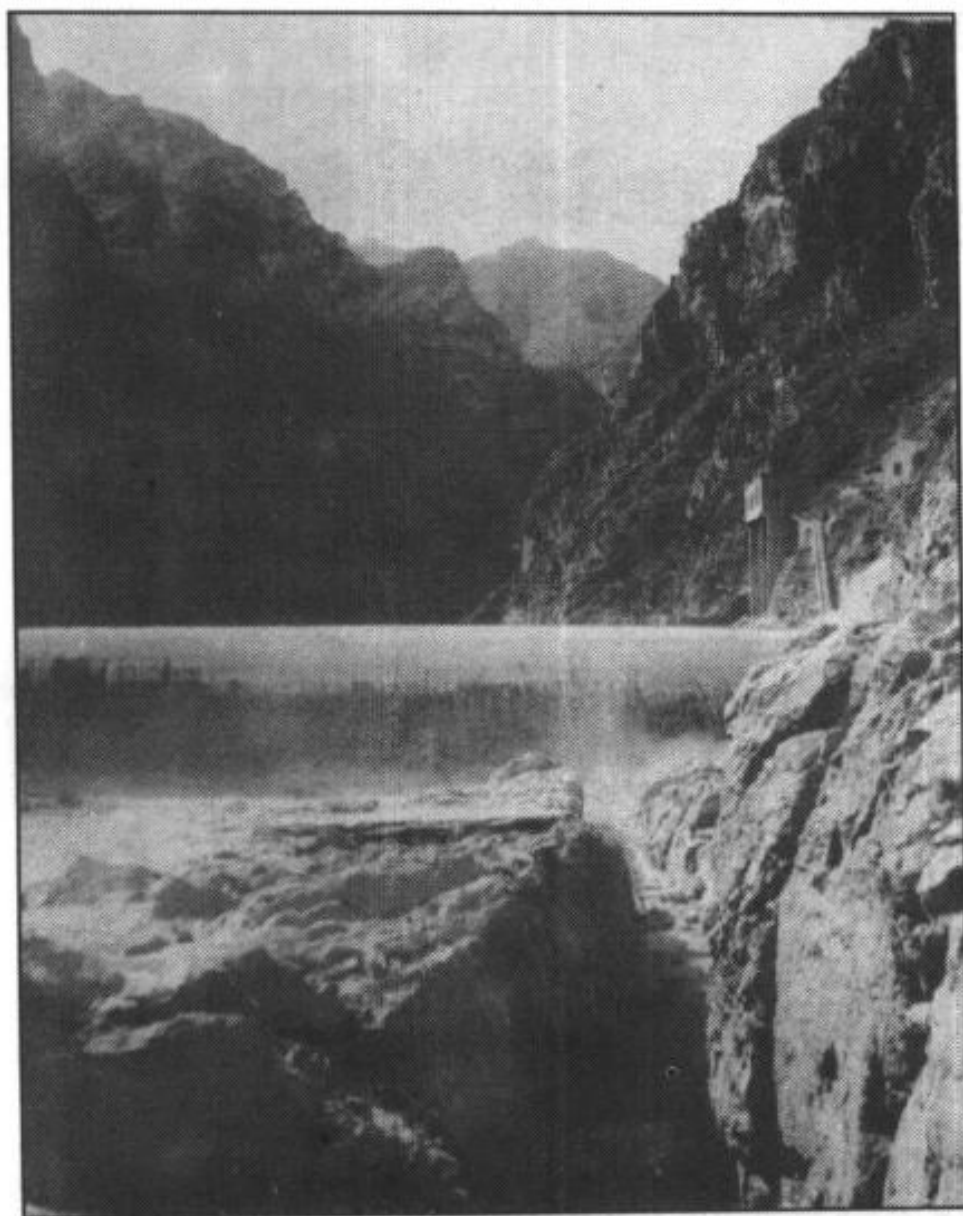


图 2-23 郑国渠

夏朝流传下来的《夏小正》一书，记录了许多天文知识，其中提到北斗斗柄每月所指方向有变化。从甲骨卜辞中可考证出殷商时代用干支记日，数字记月，月分大小，大月 30 日，小月 29 日，闰月置于年终。此外，甲骨卜辞中还有日食、月食和新星的记载。我国第一部文学圣典《诗经》中天文知识亦极为丰富，著名的如《诗

经·七月》中的“七月流火”（七月的大火星向西偏，大火星即指心宿二，天蝎座的 α 星），《诗经·绸缪》中的“三星在户”（抬头从门框里望见河鼓三星，河鼓三星即天鹰座三星）等。春秋战国时期，中国天文学开始由一般观察发展到数量化观测，《礼记·月令》以二十八宿为参照系描述了太阳和恒星的位置变化。《春秋》和《左传》中天文资料更为丰富，从公元前 722 年到公元前 481 年，共记有 37 次日食，公元前 613 年的哈雷彗星记录是世界上最早的。战国时期出现了专门的天文学著作，齐国甘德著《天文星占》，魏国石申著《天文》，后人将之辑成《甘石星经》，是当时天文观测资料的集大成，也是世界上最古老的星表。



图 2-24 李冰石像

是冶炼术和丝织技术。青铜器和铁器在我国的出现都不算最早，但冶炼和铸造技术发展很快，达到了相当高的水平。商周时期是使用青铜器的极盛时代，不仅有青铜农具等生产工具，还有祭祀用的礼器和大量的兵器，它们有的小巧精致，有的硕大无朋。1939年在河南安阳武官村出土的商代司母戊青铜鼎，器高133厘米，横长110厘米，宽78厘米，重875公斤，采用的是分铸法。在长期冶铜实践的基础上，我国人民已认识到了合金成分、性能和用途

商代甲骨文中开始有十进制的记数方法，春秋战国时期普遍运用的筹算完全建立在十进位制基础上，算筹分纵式和横式两种，纵式表示个位，百位，万位等等，横式表示十位，千位，十万位等等，遇零空位，这种方法可以摆出任意的自然数。十进制记数法是当时世界上最为先进的记数法，是我国人民对世界文明的重大贡献。但筹算有它的局限性，计算过程无法保存，从而不能得到检验。中国传统数学不善长逻辑推理也可能与筹算法有关。

中国上古时期最重要的技术成就



图 2-25 扁 鹊

之间的关系。成书于春秋战国时期的《考工记》详细记载了不同合金比例的“六齐”规律，所谓“齐”即“剂”，配方的意思。当时人们认识到，铜与锡的重量比为六比一时，最适合造钟鼎，五比一时，造斧头，四比一时，造戈戟，三比一时，造刀剑，五比二时，造箭头，二比一时，造铜镜。这些大体正确的合金配比规律，是世界冶金史上最早的经验总结。



图 2-26 导引图



图 2-27 夏小正

我国的人工铸铁技术起步较晚，但由于先前已发展了极为先进的青铜冶铸技术，铸铁术发展很快。春秋战国时期，我国出现了生铁冶铸技术和铸铁柔化术，这两项冶金史上的重大突破，远远领先了欧洲上千年。战国后期，冶铁业在全国各地广泛建立起来，使铁器的使用大为普及，极大地促进了社会生产力的发展。

中国是世界上最早利用蚕丝的国家，早在五千多年前，我国就有比较发达的养蚕和丝织业。远古文献中

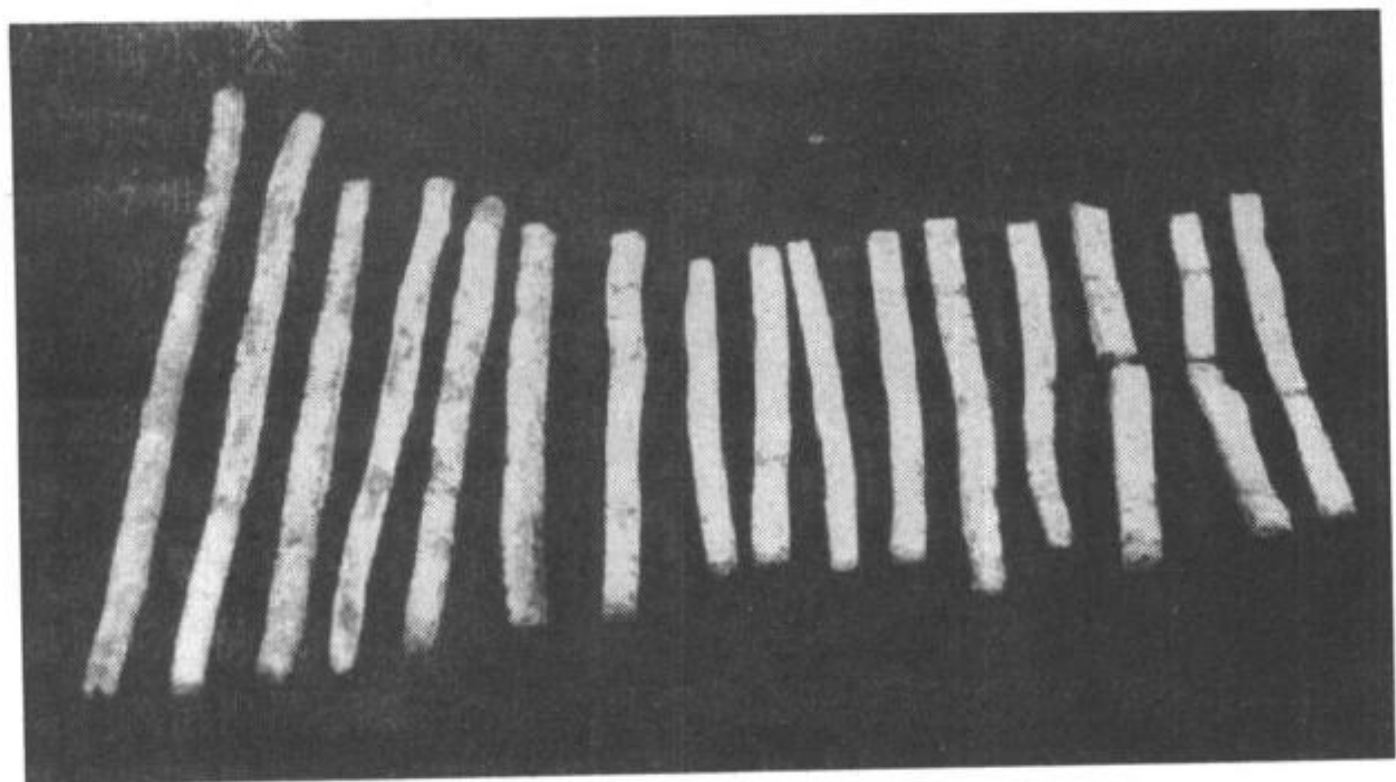


图 2-28 算 筹

记载了大量种桑养蚕的事情，如《诗经·七月》中就有这样的诗句：“蚕月条桑，取彼斧，以伐远扬，猗彼女桑”，说的正是在养蚕的三月修剪桑树，培育嫩小的桑叶。用蚕丝织出的丝绸轻软华丽，一直为全世界人民所喜爱，西方人了解中国很大程度上是通

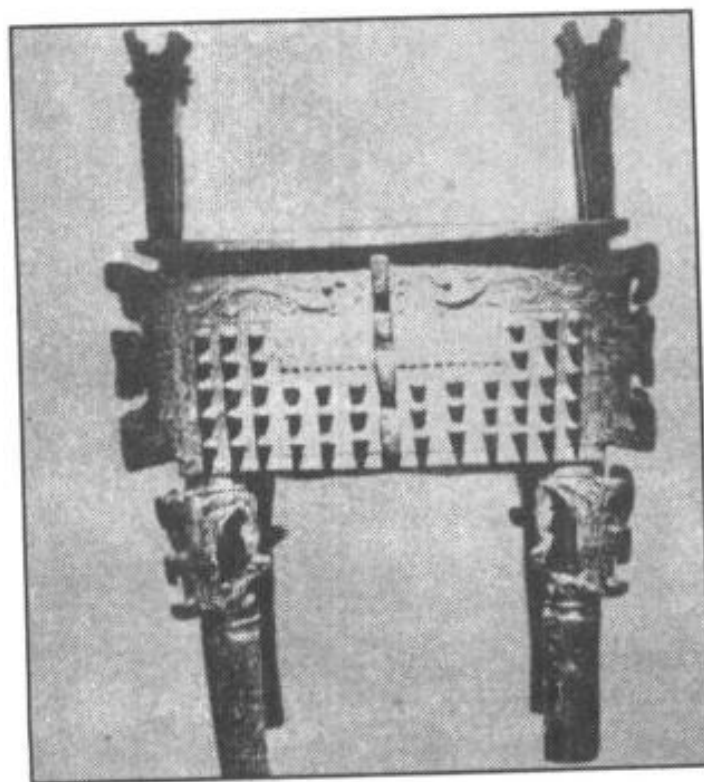


图 2-29 青铜器

过丝绸，丝绸开辟了中外交流的主要渠道丝绸之路。西文中的“中国”(sino)一词据说也与“丝绸”一词有关。

由于地理上的阻隔，古代中国人独自走着自己的文化发展道路，形成了有特色的技术型、经验型、实用型的科技体系。中国不是近代从而现代自然科学的发源地，但是近代科学的诞生得助于许多外在和内在的条件，中国文明正好为之

创造了条件。因此，在以后的篇章中，我们还要接着讲述中国在中古时期所达到的科技水平，以及中国人的伟大发明如何为近代世界开辟了道路。

第二卷

希腊：科学精神的起源

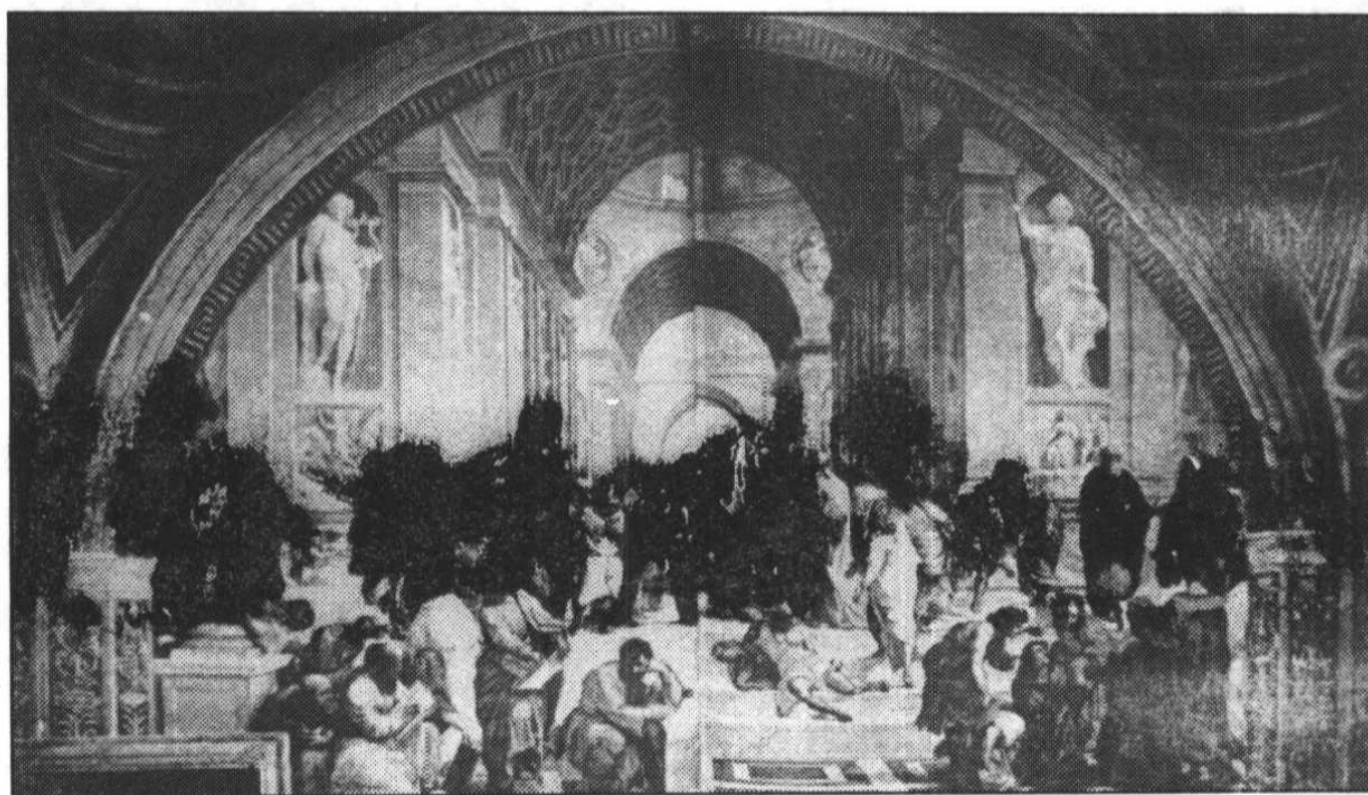


图 3—0
雅典学院

今日所谓科学，不简单是一种自然知识，从对待自然界的态度、研究自然界的方法，到所形成的各种关于自然界的理论，以及在这些理论之下对自然界的改造，都已形成了一套特定的体系，这个体系主要是在近代欧洲成长起来的，常常称作近代科学。世界上各古老的文明都有关于自然界的理论，或是神话的，或是经验的，但都没有形成像近代科学那样的体系，因而也没有像近代科学那样在世界历史上发挥如此大的作用。近代科学的诞生得益于许多条件，其中也包括中国人的伟大发明所起的作用，但它的思想根源来自希腊，两千多年前希腊人所创造的光辉夺目的文化成就为现代文明奠定了基础。希腊是科学精神的发源地。

第三章

希腊奇迹与科学精神的起源

古代希腊并不只是今天我们从地图上所看到的巴尔干半岛南端的希腊半岛这块地方。早在公元前一千多年，希腊人就向海外移民，在东方和西方建立了许多殖民地城邦：向东越过爱琴海在今天属于土耳其的西部沿海地带建立了爱奥尼亚（注意不要与希腊半岛西部的爱奥尼亚群岛相混淆）的希腊殖民城邦，向西越过爱奥尼亚海，在现在的意大利南部即亚平宁半岛及西西里岛建立了“大希腊”殖民地。总的来讲，创造科学奇迹的古代希腊人生活在包括希腊半岛本土、爱琴海东岸的爱奥尼亚地区、南部的克里特岛以及南意大利地区在内的这块地方。

1. 希腊奇迹

在古代世界所有的民族中，少有像希腊人那样对近代世界发生如此巨大的影响。不是在希腊人创造的物质文明方面——希腊

人既没有留下造福于后人的伟大工程，也没有作出什么杰出的技术发明——而是在精神文明方面。他们热爱自由，不肯屈服于暴君，其民主体制年轻而富有活力；他们热爱生活，天性乐观，每四年举行一次的奥林匹克竞技会是他们欢乐生活的写照；他们崇尚理性和智慧，热爱真理，对求知有一种异乎寻常的热忱。想一想当时周围的其它地区——不是处于未开化的原始蒙昧状态，就是处于专制暴君的统治之下，人民在苦难中生活，知识被少数人垄断——就能理解何以希腊人的出现更像是人类文明的一朵奇葩。

希腊人开启了西方哲学也开启了科学，因为哲学一开始主要关注的是自然界的问题，是自然哲学。公元前500年左右开始，希腊人中出现了一大批才智卓越的哲学家和科学家，他们是以后许多学科的鼻祖。在这些光辉灿烂的群星中，有最早期的自然哲学家泰勒斯、阿那克西曼德、阿那克西米尼、赫拉克利特、巴门尼德、芝诺、恩培多克勒、阿那克萨哥拉、留基伯、德谟克利特；有人文哲学家普罗泰哥拉、高尔吉亚、



图 3-1 希腊小孩玩铁环雕像

苏格拉底；有体系哲学家柏拉图、亚里士多德；有天文学家默冬、欧多克斯、阿克斯塔克、希帕克斯、托勒密；有数学家欧几里得、阿波罗尼、赫龙、刁番都；有物理学家阿基米德；有医学家希波克拉底、盖伦；有地理学家希西塔斯、埃拉托色尼；有生物学家



图 3-2 后世艺术家创作的希腊哲学家大聚会。坐在中间的是柏拉图(左三),围在四周的沿顺时针方向依次是:塞奥弗拉斯特(左四)、苏格拉底、伊壁鸠鲁、毕达哥拉斯、亚里士多德和芝诺。

塞奥弗拉斯特。这些天才人物不仅在一个领域作出他们的开创性工作,而且在许多个领域均有建树。像亚里士多德,几乎在每一个知识领域都发表了他卓越的见解,是一位不折不扣的百科全书式的学者。希腊科学是近代科学的真正先驱,几乎在每一领域、每一问题上,希腊人都留下了思

考,都是近代科学的老师。

不仅在哲学和科学领域,在文学、历史和艺术方面,希腊人同样毫不逊色,我们照样可以开出一长串天才的名字,诗人荷马、品达、萨福,寓言家伊索,悲剧大师埃斯库罗斯、索福克勒斯、欧里庇得斯,喜剧大师阿里斯托芬,历史学家希罗多德、修昔底德、色诺芬。哲学家柏拉图的《对话》是无与伦比的韵文,哲学家亚里士多德也是文艺理论家。著名的维纳斯雕像是光辉夺目的希腊雕刻艺术的写照。

任何一个时代出现这么多天才的人物,它都称得上是伟大的时代,但说希腊时代是伟大的时代还远远不够。在地中海域这样一个狭小的地方,在周边都处在无边的黑暗之中的时候,希腊人不仅在科学、哲学和艺术上作出了伟大的成就,而且创造了一种

全新的精神，而这种精神恰恰是真正的现代精神，这才是奇迹所在。

2. 光大东方科学遗产

希腊奇迹并非完全不可思议。只要考察一下希腊文化的历史根源，就可以发现，奇迹在某种程度上是可以理解的，虽然不可能完全说明它的独特性和唯一性。简单说来，希腊人之所以创造了那么辉煌的文化成就，是因为他们继承和光大了东方两河流域、尼罗河流域的科学遗产，将之发展到了一个更新的高度。

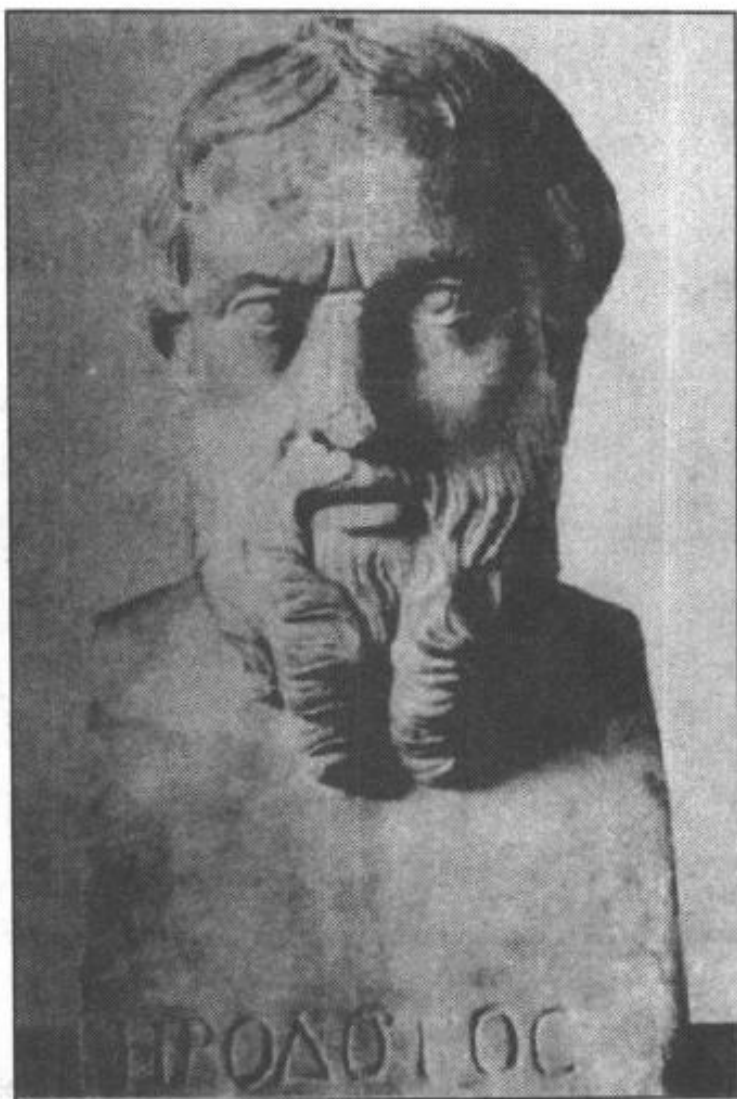


图 3-3 希罗多德

希腊古典文化是爱琴文明的后代。在欧洲，爱琴海地区是最早使用金属的地区，也是最早从蒙昧状态开化出来的地区。直到希腊古典时代（公元前 500 年左右）为止，这一地区出现的比较发达的文明，史称爱琴文明。爱琴文明分为两个阶段，一是克里特文明，再是迈锡尼文明。

远在公元前 3000 年的克里特岛上，当地居民已完成了由新石器时代向青铜时代的过渡。在克诺索斯等地，考古学家发掘出了规模庞大的王宫，人们猜想那就是克里特的统治者米诺斯王朝的宫殿，克里特文明也因之称为米诺斯文化。克里特岛扼地中海之要冲，海上交通极为便利，它与当时文明程度较高的埃及、小亚



图 3-4 维纳斯

细亚（亚细亚，意为东方，欧洲人以后把在他们东方的都叫亚细亚，即现在的亚洲。小亚细亚指亚洲最靠近欧洲的地方，即现在的土耳其，也称近东）、腓尼基有过极为密切的商业贸易往来，东方文化对于克里特文明的形成无疑有着重要的作用。近些年来，一大批考古学家、古文字学家、历史学家对克里特文明的渊源有进一步的推测，从语言、建筑、科技、艺术等方面的内在联系看，克里特岛甚至有可能是埃及人的殖民地。

也就是说，作为希腊古典文化之重要源头的克里特文明极有可能是埃及文明的一个分支。这当然更加表明了希腊文明的东方来源。

大约在公元前 1400 年，克诺索斯宫以及克里特岛其它地方突然遭到破坏，可能是地震和海啸造成的，但不管是什么原因，自从这次大灾难以后，克里特文明就逐渐衰落了。而此时，在希腊本土上，迈锡尼文化正如日中天，方兴未艾。

迈锡尼文化因其文化遗址在希腊本土的迈锡尼地区被发现而得名。创造迈锡尼文化的阿卡亚人大约在公元前 1600 年由北部山区进入希腊中部和南部，他们一开始向先进的克里特文化学习，引入先进的技术和工艺。后来，迈锡尼文化超过了克里特文化，公元前 1450 年到前 1400 年间迈锡尼人对克诺索斯王宫的占领，标志着迈锡尼文化的胜利。公元前 12 世纪初爆发了著名的特洛伊战

争，在迈锡尼人阿迦门农的率领下，散布在希腊各地的阿卡亚人组成希腊联军，远征小亚细亚西岸的特洛伊。经过十年战争终于攻陷该城，但这次战争也使迈锡尼人的力量大大削弱。公元前 1125 年左右，同属希腊语系的另一支希腊人多利安人南下摧毁了迈锡尼，结束了迈锡尼文明时代。落后野蛮的多利安人摧毁了先进的文化，但没有自己的建树，使希腊历史的这一段呈现出空白，史称“黑暗时期”，但由于留下了两部相传为荷马所作的史诗《伊利昂纪》和《奥德修纪》（旧译《伊利亚特》和《奥德塞》），故又称“荷马时期”。



图 3-5 迈锡尼的狮子之门

克里特文明时期，爱琴海地区已经相继出现了象形文字和线形文字 A。线形文字 A 属音节字，比象形文字高级，但不属印欧语系。阿卡亚人（迈锡尼人）吸取线形文字 A 的某些因素创造了线形文字 B。但自多利安人灭亡了迈锡尼文明以后，线形文字 B 中断了。“黑暗时期”的几百年里希腊地区没有文字，荷马史诗是盲诗人们的口头创作。直到公元前 9 世纪，腓尼基人发明的字母随着腓尼基商人一起传到了希腊各地，这才形成了后人所看到的希腊文字。

腓尼基地处地中海东岸，在今叙利亚境内，有优良港口，是一个善于航海和商业活动的民族。公元前 7 世纪，埃及法老曾命令腓尼基的水手们从红海出发环绕非洲大陆航行。腓尼基人克服

千难万险，花了三年时间完成了环航非洲的使命。这是人类航海史上一次空前的壮举，也是腓尼基人高超航海技术的见证。正是他们将自己的商业活动扩大到了地中海沿岸甚至大西洋沿岸，他们也是将埃及文化和西亚文化传播到希腊去的最重要使者。

“腓尼基”在希腊文中是紫红色的意思，由于腓尼基人从海生动物中提取紫红色染料，而且他们生产的紫红色的布在希腊颇为著名，故希腊人称他们腓尼基人。早在公元前 2000 年，腓尼基人就在小亚细亚沿岸建立了他们的商业据点。在迈锡尼时代，他们已经到达了希腊本土。埃及、巴比伦和亚述的货物通过腓尼基商人源源不断地运往希腊。腓尼基人改善和传播了以埃及文字为基本依据的字母表，而该字母表后来成了希腊字母文字的主体，用来书写科学和哲学史上最伟大的作品。

希腊人不仅与腓尼基人进行商业活动，而且直接与埃及和西亚地区往来。许多希腊哲学家都亲自游历西亚和埃及，学习那里的先进文化。希腊神话很大程度上受西亚和埃及的影响，从神的名字、神话典故到神的谱系，都可以找到东方的来源。至于埃及的测地术（几何学）、巴比伦的天文学和代数，远在希腊人之上，自然是希腊人的老师。但是，正如亚里士多德所说，东方人发展的科学知识和技术成就主要为的是实用的目的和宗教的需要，只有希腊人首先试图给出理性的理解，试图超越具体个别的现象进入一般的认识。这正是希腊思想的特质，也是希腊人对人类文明独特的贡献。

3. 希腊奴隶制与城邦民主制

亚里士多德在《形而上学》一书中说，哲学和科学的诞生有三个条件。第一是“惊异”，是人们对自然现象和社会现象所表现出来的困惑和惊奇，有了惊异也就感受到了自己的无知，自知其

无知者为了摆脱无知就求知识，求知并非为了实用的目的，而纯粹是一种对智慧的热爱，通俗地说，第一个条件是要求人们有好奇心和求知欲。第二个条件是“闲暇”，知识阶层不用为着生活而奔波劳碌，因为，整天从事繁重体力劳动没有闲暇的人，是无法从事求知这种脑力劳动的。第三个条件是“自由”，哲学知识是自足的，它不以别的什么目的而存在，而纯粹是为了自身而存在，它是一门自由的学问，它要求自由地思考、自由地发表意见，不受他种目的和利益的支配。总的来说，亚里士多德强调了哲学和科学之来源的非功利性，也说出了为何希腊成为科学和哲学的发源地的道理：因为它提供闲暇，提供自由，因为希腊人有着强烈的求知欲，对智慧无比地崇尚。

提供希腊人以闲暇的是希腊奴隶制，提供希腊人以自由的是希腊的城邦民主制。所谓城邦是指以某一个城市为核心与周围农村一起构成的小国家。核心城市建有城墙，起初为的是防止海盗的袭击，后来成了政府所在地。这些本来是各个部落的聚居场所，后来发展成了城邦小国。在希腊各地（本土或殖民地），遍布着大大小小数百个城邦，各城邦的经济政治发展也不平衡，有的强大，有的弱小。公元前500年左右，雅典和斯巴达是两个最大的城邦。城邦政治一开始都是君主制，以后演变为贵族寡头统治。约在公元前7世纪左右，许多城邦的贵族寡头都被某些独裁者所推翻。希腊人称这些独裁者为“僭主”，意指他们是以不正当途径取得统治权力的。僭主往往代表着广大自由民的利益，一开始受到更多人的拥护。约在公元前6到5世纪，僭主统治逐步被民主体制所代替，但有些城邦相反回到了贵族寡头统治。

无疑，民主制的城邦更有利于科学和哲学的繁荣和发展。爱奥尼亚人的城邦以雅典为代表，注重发展手工业、商业和海上贸易，政治上推行民主体制，所以在文化领域取得了光辉夺目的成就。希腊最为著名的政治家、演说家、哲学家、科学家、戏剧家、

雕刻家都是雅典人。与此相对照，希腊的另一个城邦斯巴达，地处伯罗奔尼撒半岛东南部，北部多山，与其它城邦隔绝，沿海没有优良港口，因此商业不发达，农业为主。而且，斯巴达人尚武，喜欢征服和武力解决，所以政治上推行一套强硬的军事寡头制度，社会生活中实行严格的纪律约束。在这样的社会体制下，斯巴达没有出现一样文化上出色的成就。就整个希腊而言，由于各邦独立自主，相互竞争，外邦人可以自由出入各邦，这就使整个希腊呈现出一派百花齐放、百家争鸣的局面，为科学和哲学的发展提供了良好的社会环境。

希腊奴隶制保证了贵族和自由民优裕的生活及闲暇。希腊的奴隶有两个来源，一是战争中的俘虏或者外邦人，一是城邦内部自由民因贫困潦倒沦为奴隶。奴隶从事农业和手工业，没有政治权利。不同的城邦中奴隶制的形式也不完全一样。奴隶和土地一起，有的归国家所有，有的归个人所有，但都是从事体力劳动，使自由民从体力劳动中解放出来。由于手工作业都由奴隶完成，希腊哲学家一般来说不重视亲自动手观察自然现象、亲手制造仪器工具。他们发展了高度发达的思维技巧，提出了极富天才的自然哲学理论，但在实验科学方面严重不足。这也是希腊科学的一大特点。

4. 希腊思维方式与科学精神的起源

在人类历史上，是希腊人第一次形成了独具特色的理性自然观，这正是科学精神最基本的因素。许多古老的民族，或者只有神话或宗教式的自然观，或者缺乏对自然界的系统看法。自然界常常被认为是混乱、神秘、变化无常的，人在自然面前完全只有听从命运的摆布。而希腊人，首先把自然作为一个独立于人的东西加以整体的看待；其次，他们把自然界看成一个有规律的、其规

律可以为人们把握的对象；再次，他们创造了一套数学语言力图把握自然界的规律。在这三个方面，希腊人都开了科学精神之先河。

像埃及和西亚地区一样，早期希腊人的自然观也是神话自然观，自然物被赋予神话色彩，自然现象被神话化为神的行为。但同是神话，也预示着不同的思维方式和思维结构。希腊科学和哲学是从希腊神话中脱胎而来的，它为后来西方哲学和科学的发展所奠定的基本观念，同样可以在希腊神话中找到根据。与中国神话相比较可以发现，希腊神话有两个突出特征。一是奥林波斯山上的诸神与人类相似但不是人，他们像人一样的有个性，有情欲，爱争斗，但同人有着严格的界限。在中国神话中，人神之别非常模糊，许多人中之杰象神农、伏羲、后羿即是神。所以，神话尽管都反映人类拟人的世界观，但希腊神话表现的是人神同构，而中国神话表现的是人神同一。同构与同一有着根本的差别，中西哲学传统之差别即已在此表露出来。同构意味着，首先这是两个东西，其次才是两个东西相似。区别具有更为根本的意义，同构只是希腊时代独有的。人神之别，反映了对象性思维的原始形式，而人神同构，则导致了希腊的有机自然观念。同是拟人，在希腊哲学中，事物是由于分有了宇宙机体的灵魂和心灵才变得能动和理智，也就是说，由于分有了某种结构，才变得类似。

希腊神话的第二个突出特征是它完备的诸神谱系，任何一个神都有其来龙去脉，其在神谱中的地位非常明白清楚。但在中国神话中，诸神几乎没有谱系，神的角色在不同的记载中往往不同，甚至在同一记载中，同一神扮演不同的角色，互相矛盾。这种完备的诸神谱系，实际上是逻辑系统的原始形式。如果把诸神进一步作为自然事物的象征，那么，神谱的系统性可以看作对自然之逻辑构造的原始象征。在这种神谱中，弘扬了秩序、规则的概念，是希腊理性精神的来源之一。

希腊神话这两大特征，人神相异同构和完备的诸神谱系，反

映了希腊思想的对象性和逻辑性，这正是自然科学赖以产生的基本前提。怀特海在《科学与近代世界》第一章中进一步指出，自然秩序的概念在希腊悲剧中亦有表现，他说：“古希腊伟大的悲剧家是今天所存在的科学思想的始祖，他们认为命运是冷酷无情的，驱使着悲剧性事件不可逃避地发生。希腊悲剧中的命运成了现代思想中的自然秩序。……悲剧的本质并不是不幸，而是事物无情活动的严肃性。但这种命运的必然性，只有通过人生真实的不幸遭遇才能说明。因为只有通过这些剧情才能说明逃避是无用的。这种无情的必然性充满了科学的思想。物理的定律就等于人生命运的律令。”怀特海所揭示的这一有趣现象，与希腊神话一起，为希腊自然观中大宇宙与小宇宙的类比提供了文化依据。

自然界不仅是有别于人的东西，也不仅是有规律、有秩序的，更重要的是其规律和秩序可以为人把握，因为它是数学的。对数学的重视，是希腊人最为天才的举动，也是他们留给近代科学最宝贵的财富。希腊人相信心灵是掌握自然规律最可靠的保证，因而极大地发展了逻辑演绎方法和逻辑思维。在几个特殊的科学领域里，希腊人成功地将它们数学化，并得出了高度量化的结论，这些领域是天文学、静力学、地理学和光学。它们不仅在古代世界达到了该领域最高的水平，更重要的是，对近代科学的诞生起了一种示范作用。

希腊科学是有缺陷的，这主要表现在它不重视对自然现象的实际的、细致的考察，它注重的是说明和理解自然，而不是支配和征服自然。因此，它本身未构成物质性的力量，这是与近代科学根本不同的。但是，如果我们坚持认为科学与技术是不同的两回事，坚持认为科学的最根本目的是认识和理解自然，而不顾及它是否对人类提供物质力量，那么，希腊科学的缺陷就不是根本性的，而只是时代性的。希腊人对待自然的理性态度是更为重要的，因为科学精神就源于此。

第四章

希腊古典时代的科学

从第一个自然哲学家泰勒斯开始，到马其顿王亚里山大大帝征服全希腊为止的二百多年，是希腊科学的古典时代。可以按时期和区域分为三个阶段，第一阶段是爱奥尼亚阶段，第二阶段是南意大利阶段，第三阶段是雅典阶段。公元前5世纪之前，希腊的殖民城邦文化比本土更为发达。首先是爱琴海东岸的爱奥尼亚地区，在那里，从泰勒斯开始直到阿那克萨哥拉，形成了以唯物主义自然哲学为特色的爱奥尼亚学派。几乎与此同时，在西方的意大利南部，从毕达哥拉斯开始直到恩培多克勒，形成了以数的哲学为主要特色的南意大利学派。后来，前两个古老的学派都相继随地区的衰落而衰落，雅典开始成了主要的活动舞台。著名的哲学家苏格拉底、柏拉图和亚里士多德都活跃在雅典的学术讲坛上。

在希腊诸城邦中，雅典本来不是很有名的，但自从公元前594年著名政治家梭伦被推举为执政官后，雅典逐步变得强大起来。梭

梭伦上任后推行了一系列的政治改革措施，其中包括提高中下等阶级的政治权利，组织最高法庭以遏制执政官的权力等。此外，梭伦还发动了经济改革，符合下层劳动群众的利益。步梭伦的后尘，另一位政治家克里斯提尼进行了更广泛深入的民主体制改革，被称为雅典民主制之父。到了伯里克利时代（公元前 461—前 429 年），雅典的民主体制进入了全盛时期。

公元前 493 年，波斯帝国向地中海东岸扩张，那里的希腊移民受到威胁。身处希腊本土的雅典人对同胞的遭遇极为同情，决心同波斯人开战，以支持爱奥尼亚地区的希腊殖民地。波斯人派出强大的陆军和海军进攻希腊本土，全希腊处在危险之中。雅典人勇敢地担负起领导、指挥打败侵略者的使命。这场战争持续了四十三年，直到公元前 449 年才缔结和约休战。在赢得这场艰苦的希一波战争中，雅典人起了重要的作用，同时也确立了自己在希腊世界中的霸主地位。但雅典的帝国主义不久即遭到斯巴达人的不满，引起了另一场与斯巴达人的战争，即著名的伯罗奔尼撒战争。这场连绵了二十七年的希腊内战自公元前 431 年开始到公元前 404 年为止，虽以雅典战败告终，但全希腊都受到了致命的打击。政治动荡加上经济凋敝，使希腊社会元气大伤，最后在政治上屈服于马其顿的统治，结束了古典时代。

1. 第一个自然哲学家泰勒斯

西方历史上第一个自然哲学家泰勒斯诞生于地中海东岸爱奥尼亚地区的希腊殖民城邦米利都，他既是第一个哲学家也是第一个科学家，是西方科学—哲学的开创者。他的学生阿那克西曼德和阿那克西米尼也是米利都人，他们形成了西方哲学史上第一个哲学学派——米利都学派。

米利都在今土耳其境内，地处入海口，公元前 8 至 6 世纪海

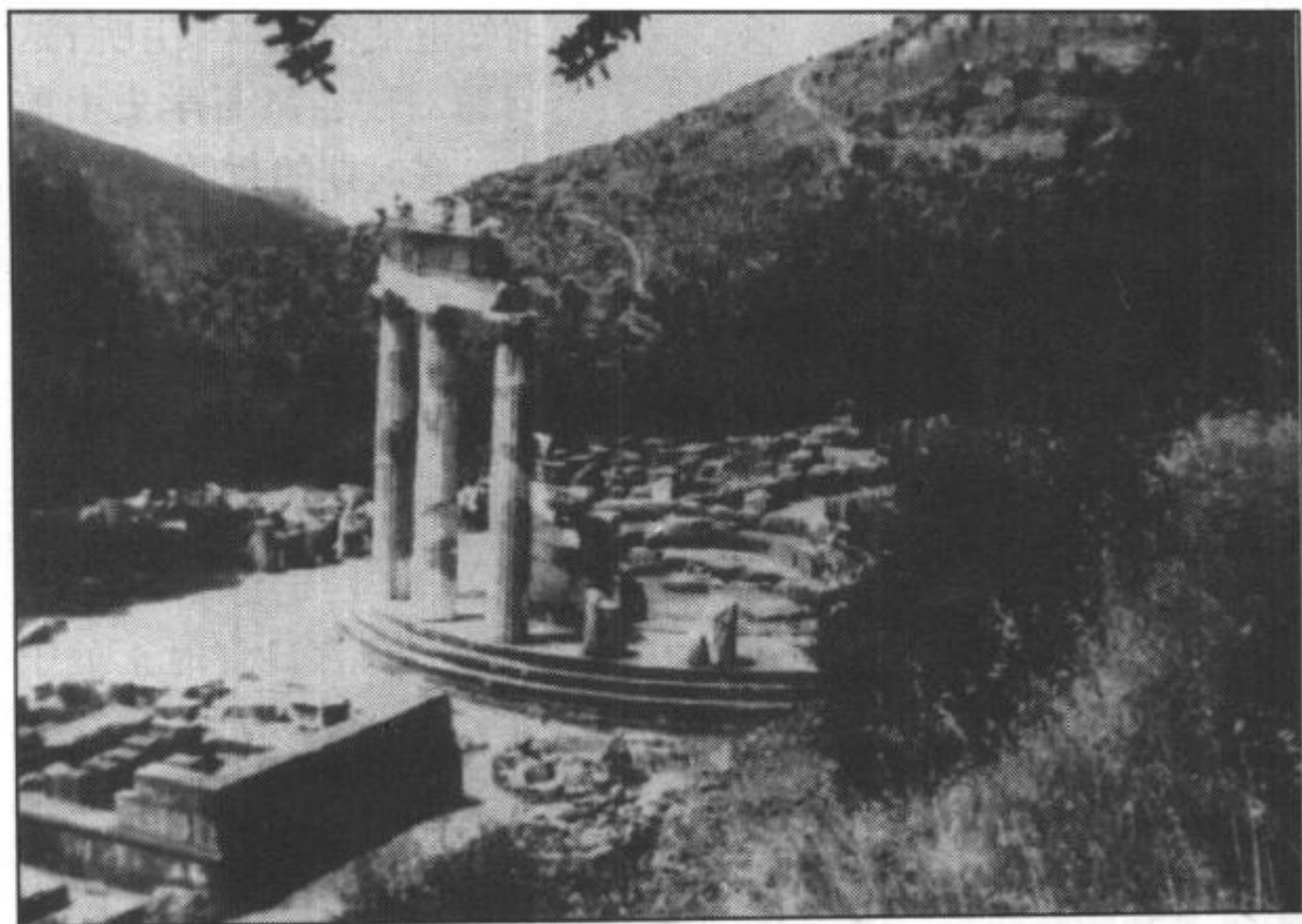


图 4-1 爱奥尼亚的爱菲索斯遗址

外贸易极为发达，希腊历史学家希罗多德多次说到“米利都是海上的霸主”。虽然到了泰勒斯生活的年代，其霸主地位已经遭到严重威胁，但它便利的交通条件以及与各国的频繁交往，依然孕育了第一朵希腊文明之花。

泰勒斯的详细生卒年月无法准确查考，一是因为年代过于久远，有关历史文献未能保存下来，二是因为那时世界上无统一纪年，参照不同事件的纪年所给出的年代彼此不一致。确定泰勒斯生卒年代最主要的依据是据说他曾经预言过一次日食。运用现代天文学成就就可以把该地区历史上所有发生日食的时间推算出来，有三次可能的时间，一次是公元前 610 年 9 月 30 日，一次是公元前 597 年 7 月 21 日，再一次是公元前 584 年 5 月 28 日。比较多的历史学家倾向于相信最后一次正是泰勒斯预言到的那一次。

即使能确定泰勒斯预言了公元前 584 年 5 月 28 日的日食，又



图 4-2 泰勒斯

如何知道他的生卒年月呢？这个问题对于希腊哲学史上前苏格拉底时期的哲学家来说，具有某种普遍性。哲学史家发明了“鼎盛年”的概念来解决这一问题，即假定某一哲学家在参与某一重大的历史事件时正处于其最成熟的年龄，而且把这一年龄定为 40 岁。如果泰勒斯预言日食时正处于鼎盛年，那么他大约生于公元前 624 年。但也有人转载希腊历史学家的看法，说他生于第 35 届奥林匹克竞技会（每四年一次的奥林匹克竞技会一

一直被历史学家作为希腊历史纪年的参照系）的第一年即公元前 640 年。他大概高寿，因为有人说他活了 90 岁。

泰勒斯生于米利都一个名门望族家庭，带有腓尼基人的血统，是当时希腊世界的著名人物，列为“七贤”之一。七贤中包括雅典的执政官梭伦，泰勒斯也是在担任执政官时被称为贤人的，但他与其他贤人不同的是，他不仅在政治事务中聪明、能干，而且懂得自然科学，是第一个天文学家、几何学家。在他的墓碑上刻着：“这里长眠的泰勒斯是最聪明的天文学家，米利都和爱奥尼亚的骄傲。”

泰勒斯年轻的时候曾经游历过巴比伦和埃及，从巴比伦人那里学习了先进的天文学理论，从埃及人那里学习了先进的几何学知识。为了航海的需要，米利都人很重视天象观测，而巴比伦的天文学在当时是最发达的。据说泰勒斯写过关于春分秋分和夏至

冬至的书，观测到太阳在冬至点和夏至点之间运行时速度并不均匀，还发现了小熊星座，方便了导航。这些都可能是他从巴比伦学来的。他之所以能预言日食，也显然是向巴比伦人学习的结果。第二章曾提到，大约在公元前 600 年巴比伦人已经发现了沙罗周期，即每过 223 个朔望月发生一次日食的规律，泰勒斯如果知道了这一规律，并且利用巴比伦人的天象记录，是完全可能预言日食的。泰勒斯本人还亲自观察星象，柏拉图在《泰阿泰德篇》中记述了一段故事，说的是泰勒斯夜里专注于观察天空，不小心掉进了井里，这场景被一位女奴看见了，她笑泰勒斯光热衷于天上发生的事情，却连脚底下的事情都没有看见。这个故事具有某种象征意义，它表明哲学和科学作为一种理论思维在某种意义上是脱离实际的，没有这种对身边俗务的超脱，没有对看似无实际意义的东西的爱好和关注，就没有哲学和理论自然科学。事情发生在西方第一个哲学家和科学家身上，这种象征意义尤为突出。

与此相关的还有另一个故事，那是亚里士多德在《政治学》中提到的。泰勒斯一度很贫困，遭到人们的轻视，大家说，哲学有什么用，知识有什么用，到头来还不是一贫如洗、囊中羞涩。泰勒斯对此态度不以为然，有一年冬天，他运用天文学知识预测到来年橄榄将大丰收，于是将手头所有的资金全部投入，租用了当地所有的榨房，由于没有人与他竞争，租金很低。到了收获季节，橄榄果然大丰收，榨房的租金一下子上去了，泰勒斯一举发了大财。他向人们表明，哲学家致富是容易的，只是他们的抱负不在此处而已。

泰勒斯第一个把埃及的测地术引进希腊，并将之发展成为比较一般性的几何学。这方面的具体细节已经无法考证，历史文献有片断的记述，有的说他成功地在圆内画出了直角三角形后，宰牛庆贺，还有的说他在埃及求学期间运用相似三角形原理求出了金字塔的高度，方法是，当人的影子与人的高度大小一样时，测

量金字塔的影子就得出了金字塔的高度。如下几何学定理被认为是泰勒斯提出的：

- (1) 圆周被直径等分
- (2) 等腰三角形的两底角相等
- (3) 两直线相交时对顶角相等
- (4) 两三角形中两角及其所夹之边相等则两三角形全等
- (5) 内接半圆的三角形是直角三角形

这表明，泰勒斯的确为演绎几何学作出了开创性的贡献。

泰勒斯作为第一个自然哲学家留下了一句名言：“万物源于水”。这句话的意义不能仅从字面上理解，因为表面看来，一切都来源于水并不正确，但有意义的是这种说话方式。首先，它是一个普遍性命题，它追究万物的共同本源，这是哲学思维的开始，也是科学地对待自然界的第一个原则：科学从具体、复杂、多样的现象中找出共同的原理，再从原理中解释、说明、预言更多的现象。其次，它开创了唯物主义传统，它所找到的本原是物质性的本原，而不是任何其它精神性的东西，这也是自然科学的伟大传统之一：力求从自然界本身说明自然界，而不求助于非自然界的事物。说万物源于水虽然粗糙朴素，但说话方式是完全新的，对后世科学和哲学的发展有导向性作用。

泰勒斯之所以得出万物源于水的结论，可能是因为他发现一切生命都离不开水。种子只有在潮湿的地方才能生根发芽，而且他一定也发现大地处于海洋的包围之中，而湿气总是充盈在大地的每一角落。基于对水是万物本原的认识，泰勒斯认为，大地浮在水上，是静止的，地震是由水的运动造成的，就像船在水面上随水晃动那样，水所蒸发出的湿气滋养着地上万物，也滋养着天上日月星辰甚至整个宇宙。

泰勒斯的学生阿那克西曼德提出宇宙是球状的，星辰镶嵌在圆球上，这是希腊球面天文学的开始。但他还没有地球的概念，因

为他认为大地是柱状的，像鼓一样，有两个彼此相反的表面，人就住在其中的一个表面上。阿那克西曼德的学生阿那克西米尼改进了这个宇宙模型，认为宇宙是个半球，像毡帽一样罩在大地上面，大地则像一个盘浮在气上。阿那克西米尼认为万物都由气组成，气的浓密和稀疏造成了不同的物体。在他的一则著作残篇中有这样的说法，为什么人嘴里可以吐出热气也可以吐出冷气呢？因为闭紧嘴唇压缩气就吐出冷气，放松嘴唇呼出热气。阿那克西米尼的万物由气组成的理论具有现代科学的特征，其呼气实验可以称为第一次真正的科学实验。

爱奥尼亚后来还出现过重要的哲学家，他就是阿那克萨哥拉。这位出生于米利都附近的希腊殖民城邦的年轻人，因爱奥尼亚被波斯人攻陷而逃往雅典，这次逃亡的结果是把米利都的文化带到了雅典。他继承了米利都学派的唯物主义传统，关注自然哲学问题，提出了独特的物质结构理论——种子论：任何感性的物质，都不可能互相归结，都只能由带有它本身特质的更小的种子来解释，万物的种子在宇宙创生时处于混沌的混为一体状态，只是在宇宙巨大漩涡运动中开始分离的。阿那克萨哥拉认识到，太阳、月亮和星辰不过就是火热的石头，它与地上的物体没有什么本质上的区别，太阳只比伯罗奔尼撒大一些。阿那克萨哥拉的这些天才的猜想具有灿烂夺目的理性光辉，今天我们听起来虽感幼稚，却很熟悉亲切。他的思维方式完全是科学的、理性的，在这里，没有神意的影子，有的却是对自然现象冷静的观察和理性的思考。但是，他的这些超群绝伦的思想在雅典被视为异端，他被抓进了监狱，几乎被处死，幸亏伯里克利的调解才免于死，后来被逐出雅典。

2. 毕达哥拉斯及其学派

毕达哥拉斯是西方历史上著名的数学家和哲学家，以他的名字命名的毕达哥拉斯定理在西方学童皆知。这个定理在我国称为勾股定理，它说的是任何一个直角三角形的两直角边的平方和等于其斜边的平方。许多民族都很早就发现了“勾三股四弦五”这一特殊的数学关系，但一般关系的发现和证明是毕达哥拉斯的功劳。二百年后欧几里得的《几何原本》中给出了证明，据说这一证明最早是由毕达哥拉斯作出的。

如此著名的毕达哥拉斯其人之生平却无法讲清楚。这不仅因为像泰勒斯等早期希腊哲学家一样，由于事久年湮，其历史生平变得模糊，而且因为毕达哥拉斯学派是一个宗教团体，其教义秘不外传，即使在当时，要了解他们的内部情况也是很不容易的。几乎所有的数学和哲学理论都很难指明是毕达哥拉斯本人提出的，还是他的学生门徒提出的。人们只能笼统以毕达哥拉斯学派概而称之，但就是这样也还过于笼统，因为毕达哥拉斯学派从公元前

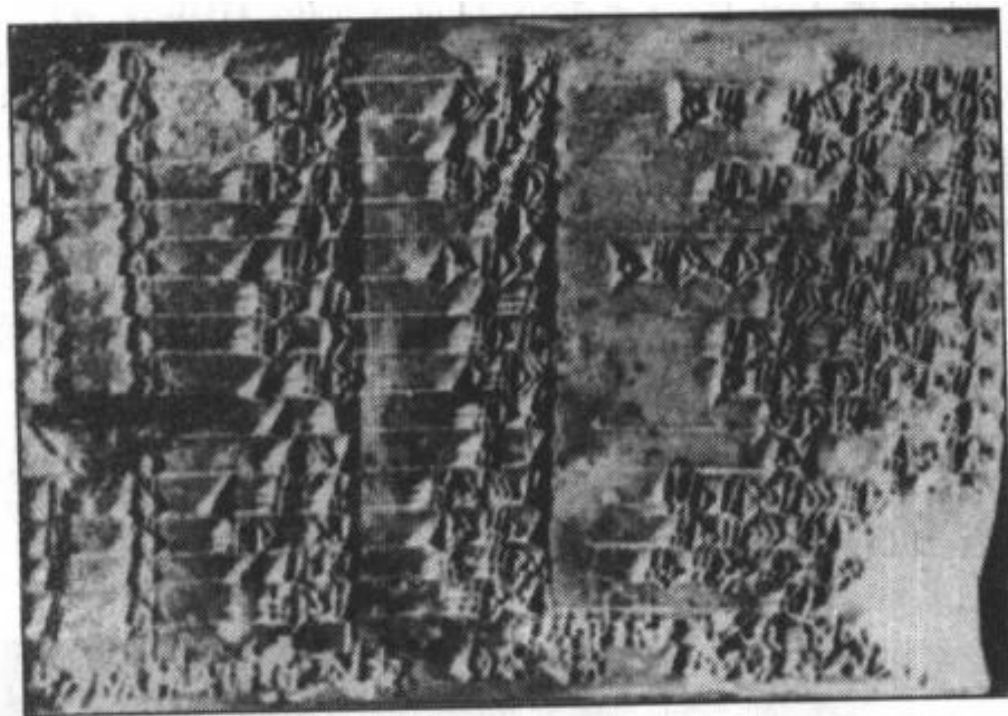


图 4-3 泥板上的毕达哥拉斯定律

6 世纪末到公元 3 世纪共延续了八百多年。因此，我们还需要限定这里所谓毕达哥拉斯学派只指公元前 4 世纪以前的早期学派，包括那些在希腊宇宙论发展中起过重要影响的毕达

哥拉斯的学生们。

毕达哥拉斯公元前 570 年左右出生于爱奥尼亚地区的萨莫斯，这是希腊人的殖民城邦之一，与米利都隔海相望。毕氏年轻时周游列国，曾向泰勒斯求学，泰勒斯把他介绍给自己的学生阿那克西曼德，并劝他象自己年轻时一样到埃及求学。毕氏听从了泰勒斯的教导，在埃及住了相当长的时间，在那里学习了数学和宗教知识。从埃及回来之



图 4-4 罗马帝国时期萨莫斯铜币上的毕达哥拉斯

后，他离开了家乡萨莫斯，移居南意大利的克罗顿，并在那里讲学收徒。他受到了当地人们的尊崇，其学派发展成了一个兼科学、宗教和政治三者于一身的庞大组织。毕达哥拉斯学派的主要贡献在数学方面。希腊时代的数学含义较广，包括算术、几何、天文学和音乐学。按照毕氏学派的划分，算术研究绝对的不连续量，音乐研究相对的不连续量，几何学研究静止的连续量，天文学研究运动的连续量。在算术中，他们研究了三角形数、四边形数以及多边形数，发现了三角形数和四边形数的求和规律。在几何学中，他们发现并证明了三角形内角之和等于 180° ，还研究了相似形的性质，发现平面可以用等边三角形、正方形和正六边形填满。

在音乐学研究的基础上，毕达哥拉斯学派提出了“数即万物”的学说。他们发现，决定不同谐音的是某种数量关系，而与物质构成无关。传说，毕达哥拉斯有一次路过铁匠铺，听到里面的打铁声时有变化，走过去一看，原来是不同重量的铁发出不同的谐音。回家后，他继续以琴弦做试验，发现了同一琴弦中不同张力与发音音程之间的数字关系。这些研究必定启发他想到，导致万物之差异的不是其物质组分，而是其包含的数量关系，故得出了数即万物的数本主义哲学。



图 4-5 毕达哥拉斯正在泥板上写作

说数即万物当然是荒谬的，但若说事物所遵循的规律是数学的，则相当正确。近代科学正是在追寻自然界的数学规律中取得长足进步的，而且可以说，许多次重大的突破都是由于发现了新的数学规律造成的。毕达哥拉斯主义传统确实是自然科学中最富有生命力的思想传统。

毕达哥拉斯学派把数只理解成正整数，他们相信万物之关系都可归结为整数与整数之比，但无理数的发现令他们很伤脑筋，因为无理数就不能归结为整数与整数之比。据说，在毕达哥拉斯学派的一次海上游玩时，该派成员希帕苏斯提出 $\sqrt{2}$ 不能表示成任何整数之比，其他成员认为他亵渎了老师的学说，竟将他扔入了海中。后来，毕氏学派确实认识到 $\sqrt{2}$ 是一个无理数，并且给出了证明。证明用的是归谬法：设 $\sqrt{2}$ 等于 $a:b$ ，其中 a 和 b 是不可通约的整数，可以得出 $a^2=2b^2$ 。由于 a^2 是偶数， a 必为偶数，因为任一奇数的平方必为奇数。 a 和 b 既不可通约， a 又是偶数， b 就必然是奇数。又， a 既是偶数就可令 $a=2c$ ，于是 $a^2=4c^2=2b^2$ ， $b^2=2c^2$ ，这样 b^2 就是一个偶数，同样道理 b 也是一个偶数。 b 既是一个奇数又是一个

偶数，这是矛盾的，所以一开始的假设不能成立，即 $\sqrt{2}$ 不能表示成两个不可通约整数之比。

在天文学领域，毕氏学派奠定了希腊数理天文学的基础。首先，毕达哥拉斯第一次提出了作为一个圆球的地球概念，人们从前只有大地的概念，地球的概念只是从他才开始有的。这个概念在今天受过科学教育的人看来似乎没有什么了不起，但在二千五百年前认识到这一点却非常了不起。因为即使是今天，也不是所有的人都认识到这一点，许多没有文化的人们一定在想，若地球是一个圆球，与我们相对那面的人岂不是要掉下去么？可见地球概念的提出是具有革命性意义的。因为直观上看，人们大多会得出天圆地方、天盖地承的结论，从直观上看，天高地低，天地判然有别。但地球概念的提出，打破了这种天地有别的观念，使地球成为天体之一。

其次，毕达哥拉斯进一步提出整个宇宙也是一个球体，它由一系列半径越来越小的同心球所组成，每个球都是一个行星的运行轨道。毕氏学派认为，位于宇宙中心的是“中心火”，所有的天体都绕中心火转动。10是最完美的数字，因此天球只能有10个，当时已经知道的天体有：地球、月亮、太阳、金星、水星、火星、木星、土星和恒星天，只有九个天球，不符合毕氏学派对“10”这一美的数字的理想追求，于是，他们就又假想出了一个天体

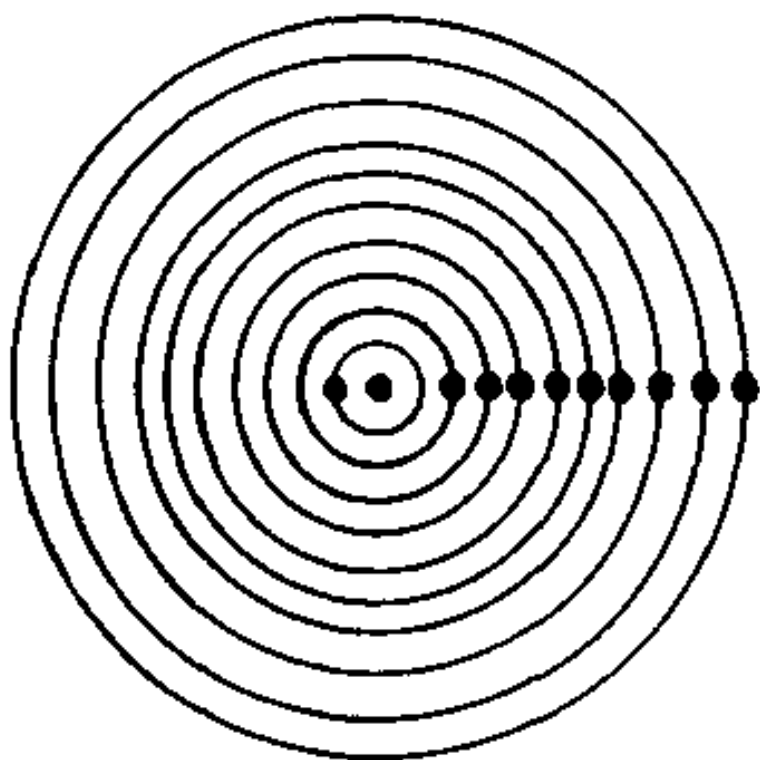


图 4-6 毕达哥拉斯学派的宇宙结构图

叫“对地”，意思是与地球相对的东西。我们在天空中看不见“对地”，因为它总处在中心火的那一边，与地球相对，我们人类居住在地球上背着中心火的一面，因此，既看不到中心火，也看不到“对地”。毕达哥拉斯学派的菲罗劳斯（生活于公元前5世纪的后半叶）留下了毕氏学派最早的残篇，在那里，他给出了一幅宇宙结构图。在图中，由里到外天体排列如下：中心火，对地，地球，月亮，太阳，金星，水星，火星，木星，土星，恒星天。

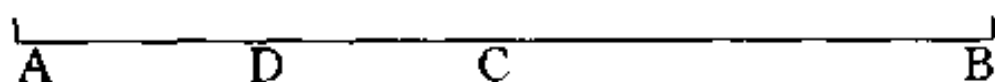
毕达哥拉斯学派既提出了地球概念，也提出了天球概念，这种地球一天球的两球宇宙论模式为希腊天文学奠定了基础。在天球转动的基础上，希腊天文学家运用几何学方法构造与观测相符合的宇宙模型，在宇宙模型基础上，又进一步促进观测的发展，使希腊数理天文学达到了世界古代科学的高峰。

3. 芝诺的运动悖论

继毕达哥拉斯学派之后，公元前5世纪左右在南意大利的爱利亚出现了一个新的哲学流派，史称爱利亚学派，他们的领袖是巴门尼德，重要的成员有芝诺。这派哲学主张存在是“一”，而“杂多”的现象世界是不真实的；他们主张世界本质上是静止的，运动只是假象。他们在科学史上本没有特别重要的位置，但是，由于芝诺提出过一个著名的关于运动是假象的论证，因而为科学史家所重视。这个论证虽说看起来很荒谬，但由于它触及到科学概念中的一些根本性问题，倒使数学家们为此苦恼了几千年。

芝诺关于运动的悖论一共有四个。第一个悖论叫做“二分法”。芝诺说，任何一个物体要想由A点运行到B点，必须首先到达AB的中点C，而要想到达C点，又必须首先到达AC的中点D，要想到达D点，则必须到达AD的中点，等等，这个二分过程

总是可以无限地进行下去，这样，该物体就不可能离开 A 点运动那怕一丁点。这个过程可以表示如下：

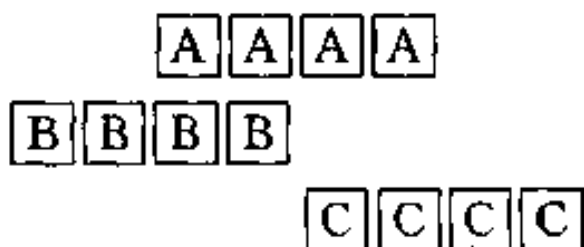


“二分法”还有一种说法，任何物体要想由 A 点运行到 B 点必先到达中点 C，到了 C 点之后，又必须到达 CB 的中点 D，到了 D 之后，又必须到达 DB 的中点，这样的中点总是有无限多个，所以，该物体无论如何是到不了终点 B 的。

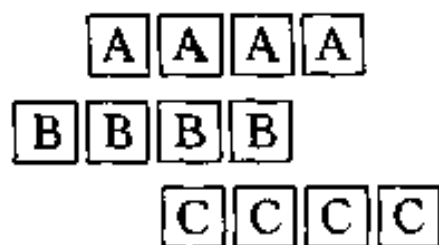
第二个悖论叫做“阿喀琉斯”。阿喀琉斯是希腊传说中的善跑者，是特洛伊战争中的英雄。芝诺现在论证他追不上乌龟：阿喀琉斯若想追上乌龟，首先必须到达乌龟开始跑的位置，因为乌龟起跑时在阿喀琉斯的前面，有一定的距离。这个要求是合理的，但当快腿阿喀琉斯到达乌龟开始跑的位置时，乌龟已经跑到前面去了，要知道，乌龟虽然跑得慢，但它毕竟在跑。好了，等阿喀琉斯到达乌龟起跑的位置时，他若想追上乌龟又面临一个同样的问题，他必须先要再次跑到乌龟此刻的位置才能追上乌龟，等他跑到了，完全同样的问题又摆在阿喀琉斯的面前，这样的问题可以无限地出现。虽然阿喀琉斯跑得快，他也只能一步一步逼近乌龟，但他却永远追不上它，因为乌龟总是在他前头，在他与乌龟之间总有一段距离需要跑，虽然这个距离越来越短，可“总有”。

第三个悖论叫做“飞矢不动”。芝诺说，任何一个东西老呆在一个地方那不叫运动，可是飞动着的箭在任何一个时刻不也是呆在一个地方吗？既然飞矢在任何一个时刻都呆在一个地方，那我们就可以说飞矢不动。因为运动是地方的变动，而在任何一个时刻飞矢的位置并不变化，所以任一时刻的飞矢是不动的，既然任一时刻的飞矢不动，那飞矢当然就是不动的。

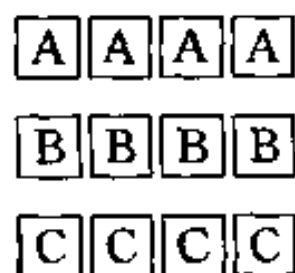
第四个悖论叫做“运动场”，说的是运动场上三列物体的相对运动所造成的谬误。假设有 A，B，C 三列物体按如下方式排列：



又假定每一时间单元 B 和 C 相对于 A 运动一个空间单元，于是，在一个时间单元之后三列物体排列如下：



两个时间单元之后排列如下：



问题出现在，在经过一个时间单元后，B 与 C 却有了两个空间单元的移动，经过两个时间单元后，B 与 C 却有了四个空间单元的移动。若想 B 与 C 只有一个空间单元的移动，那么对应的是半个时间单元，B 相对于 A 移动一个空间单元需要一个时间单元，而相对于 C 移动一个空间单元却需要半个时间单元，这表明一个时间单元等于半个时间单元。

芝诺的这四个悖论可分为两组，头两个是第一组，假定时间空间是连续的；后两个是第二组，假定时间空间是间断的。每组的第一个悖论表明孤立物体的运动是不可能的，第二个表明两个物体的相对运动是不可能的。芝诺意在表明，无论时空是连续的还是间断的，运动都不可能，都会出现荒谬的事情。

芝诺悖论的特点是道理简单，叙述不复杂，任何人一听就明白，但其结论鲜明，出人意料之外。人们免不了想到，这肯定是诡辩，一定可以找出其毛病所在。从亚里士多德开始，大多数哲

学家都力图指出芝诺的论证是错误的。可令人奇怪的是，这个问题至今也未能彻底解决，前人指出的错误，后人发现其实并不是错误。

举四个悖论中最为有趣的“阿喀琉斯”为例。小学生都懂得如何计算阿喀琉斯追上乌龟应花的时间。设他的速度是 V_1 ，它的速度是 V_2 ，他们的初始距离是 D ，那么追上乌龟的时间是 $D/(V_1 - V_2)$ ，既然我们都能算出需要多长时间才能追上，我们还有什么理由说他永远追不上它呢？芝诺如果听了这样的话，他一定会笑着说，我当然知道阿喀琉斯能够追上乌龟，可是问题在于这不合道理，从道理上讲是永远追不上的，你们若想说服我，就必须把道理说出来，光举日常生活中的例子，那是没有用的。小学生为什么能算出阿喀琉斯追上乌龟的时间？他们是用了一个公式，而这个公式是解如下方程得出的：

$$D + V_2 T = V_1 T$$

$$T = D / (V_1 - V_2)$$

列出这个方程是很容易的，但有一个假定，那就是假定阿喀琉斯最终追上了乌龟，因为只有这样才能设定追上的时间 T 。这也就是说，虽然我们求出了追上乌龟的时间，但那是我们先假定能追上才得出的，并不能因为我们求出了时间，就证明了能追上。

现代数学运用极限理论和微积分可以算出相同的结果。我们现在把阿喀琉斯要跑的距离全部列出来：第一步，到达乌龟的起点，要跑初始距离 D ，要花时间 D/V_1 ，这段时间内，乌龟又向前跑了一段距离 $V_2 \times D/V_1$ ，于是，第二步，再跑 $V_2 \times D/V_1$ ，跑这段距离要花时间 $V_2 \times D / (V_1 \times V_1)$ ，这段时间内，乌龟又向前跑了一段距离 $V_2 \times V_2 \times D / (V_1 \times V_1)$ ，这样，可以列出一个总距离的数列，这个数列有无穷多项，但其总和并不是一个无限大数目，而是一个有限数，用它除以 V_1 ，就与我们刚才运用简单公式算出的时间一样了。

这是不是就可以说明，芝诺只是把项的无穷多与总和的无穷大混为一谈，才造成阿喀琉斯追不上乌龟的荒谬结论呢？还不能这样说。芝诺确实知道，阿喀琉斯越来越接近乌龟，距离越来越小，可是，他的问题是，面对这无限多个步骤，尽管越来越容易完成，阿喀琉斯这个有限的人物，怎么可能完成？

芝诺悖论涉及到对时间、空间、无限、运动的看法，它至今还在困扰着哲学家和数学家，这个难题对数学的发展有着重要的积极意义。

4. 原子论思想

自泰勒斯提出“万物源于水”这个命题以来，自然哲学家们都相继发展了对自然现象进行说明的理论。早期的人们都把自然现象归于某种单一的自然物质，如水、气、火等，这种作法虽然完成了对自然界的统一解释，但并不令人信服。人们都知道，自然界中有水，也有火，它们分明是两种完全不同的东西，常言道，水火不相容，为什么水本质上就是火或者反过来火本质上就是水呢？因此，用单一的自然物质作为自然界统一的基础是行不通的。自然界的现象和事物是复杂多样的，将“多”统一成“一”是不大容易的，特别是在现象的层次上，更是不能服人。由于“多”与“一”的矛盾不能解决，科学思想的概念基础不能牢固建立，科学的大发展就不可能。

原子论者留基伯、德谟克利特是爱奥尼亚人，前者生于米利都，后者生于北部的阿布德拉，他们提出了科学思想史上极为重要的原子论思想。原子论主张，世界是统一的，自然现象可以得到统一的解释，但统一不是在宏观的层次上进行的，不是将一些自然物归结为另一些自然物，而是将宏观的东西归结为微观的东西，这些微观的东西就是原子。

把一个物体一分为二，它变得更小，但仍然是一个物体，它还可以被一分为二，这个过程是否可以无限地进行下去呢？原子论者说，不能。分割过程进行到最后，必然会有一个极限，这个极限就是原子。所谓原子，在希腊文中原意就是不可再分割的东西。原子太小，我们看不见，但世界上的万事万物都是由原子构成的，世界的共同基础是原子。

为什么世界上诸种事物会是彼此不一样的呢？原子论回答说，这是因为组成它们的原子在形状、大小、数量上不一样。这个回答看似平常，但非同一般。我们知道，世界上丰富多彩的事物之所以难于统一，原因在于，它们看起来彼此有质的区别，原子论把这些质的区别还原成一些量上的差异，就使统一的自然界可以用数的科学来描述。我们知

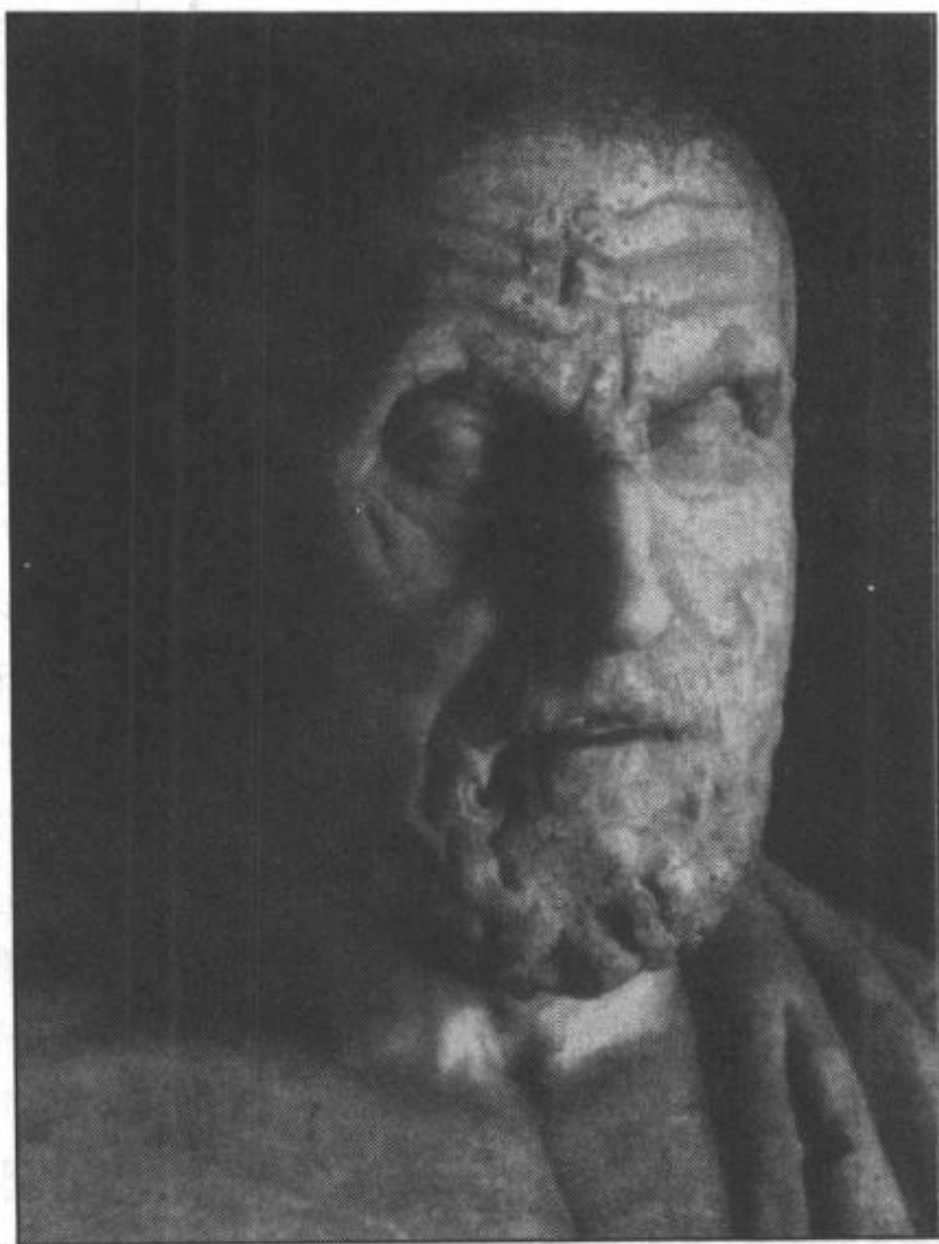


图 4-7 德谟克利特

道数学在今天对于自然科学是必不可少的，之所以会这样，是因为有原子论这样的思想基础。

原子论在希腊时代还只是思辨的产物，主要是一种哲学理论，

不是科学理论。原子论者留基伯和德谟克利特本人并不是科学家，但是作为一种杰出的科学思想，原子论是有其历史地位的。近代科学重新复兴了原子论，并在实验基础上构造了物质世界的原子结构。原子已经不再是一种哲学的思辨，而是一个物理学概念。物质由分子构成，分子由原子构成，而原子则由原子核和核外电子组成。20世纪，人们对原子核的内部组成又有了新的发现。这一切科学成就都根源于二千五百年前古希腊原子论者的天才构想。

5. 医学之父希波克拉底

有人类生活的地方就有医学，希腊文明作为一种高度发达的文明，不仅有医（医生和医药），而且有成系统的医学体系。创造医学体系最早的要数爱奥尼亚地区柯斯岛上的希波克拉底，以他的名义流传下来的著作集成《希波克拉底文集》，共有七十篇文章。人们倾向于认为，这些文章并不都是他一人写的，可能汇集了许多人的工作，但由于他生前即已德高望重、名闻遐迩，故都托他之名。

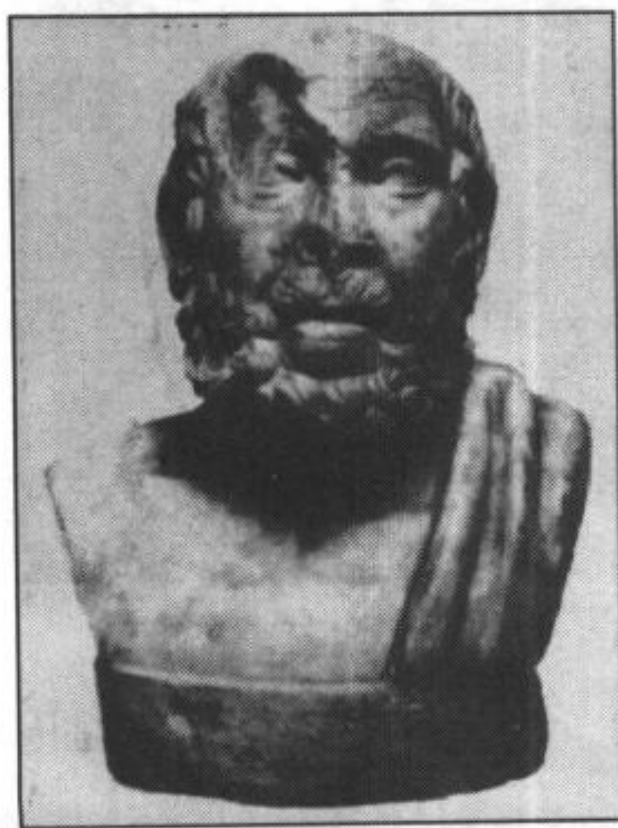


图 4-8 希波克拉底雕像

许多人的工作，但由于他生前即已德高望重、名闻遐迩，故都托他之名。

希波克拉底大约于公元前 460 年出生在柯斯的一个医生世家，柯斯是一个有着悠久医学传统的小岛，医生在那里受到尊重。希波克拉底从小就受到了良好的教育，据说他到处求学，是智者高尔吉亚的学生，还是原子论者德谟克利特的朋友。成年之后，他在希腊各地为人治病，由于他在从医方面的杰出贡献，雅典特别授予这位外邦人以雅典荣誉公民的称号。

希波克拉底的最大贡献是将医学从原始巫术中拯救出来，以理性的态度对待生病、治病。他注意从临床实践出发，总结规律，但他也创立了自己的理论，这就是体液理论。希波克拉底认为，人身上有四种体液，即血液、黄胆汁、黑胆汁和粘液，这四种体液的流动维系着人的生命，它们相互调和、平衡，人就健康，如果平衡破坏，人就生病。这种体液理论一直在西方医学中流传，就像中医的阴阳五行说一样，成了西医学的理论基础。



图 4-9 拜占廷艺术家笔下的希波克拉底

希波克拉底不仅以医术高超著称，而且以医德高尚为人称道。在他周围，形成了一个医学学派和医生团体，他首创了著名的希波克拉底誓词，每一个想当医生的人都要宣誓，誓词中说，医生要处处为病人着想，要保持自己行为和这一职业的神圣性。

6. 智者与希腊数学三大难题

希波战争使爱奥尼亚的希腊殖民城邦相继陷落，爱奥尼亚的

文化精英们大都逃到了雅典，这股东学西渐的潮流不久就导致了雅典文化的黄金时代。希波战争的胜利加强了雅典在希腊世界的地位，政治上的优势带来了经济上的繁荣，经济上的繁荣促进了文化的发展。这一时期，雅典的民主体制获得了空前的发展机会，人们热衷于谈论政治，谈论法律和规则。辩论术盛行，辩论术士也颇受青睐。在这种条件下，在雅典出现了智者学派（也称巧辩学派或诡辩学派）。这是一群靠搬弄口舌而谋生的人，他们依赖高超的辩才在法庭上为人辩护，很像我们今天律师的职业。在一般哲学史中，智者被认为是希腊哲学史上由自然哲学向人文哲学转变的一个转折点，从他们开始，希腊哲学家关注的主要问题由自然转向人。智者普罗泰哥拉的名言：“人是万物的尺度，是存在的事物存在的尺度，也是不存在的事物不存在的尺度”，表明了智者对于人的问题的关心已胜过自然问题。不过，这只是问题的一个方面，要知道，对于希腊人而言，自然与人的对立并不像近代世界那样严重，人的问题与自然的问题并无太大的区别。我们可以特别注意到智者在希腊数学史中的重要地位。

智者在巧妙、娴熟运用概念的过程中，促进了逻辑思维的发展。他们之中有许多是著名的几何学家，希腊数学三大难题就是他们提出来的。这三大难题是：

1. 化圆为方，或说，求圆面积。
2. 二倍立方，或说，求一立方体之边，使其体积等于已知边长的立方体的二倍。
3. 三等分任意角。

这三个题目看起来并不困难，为什么会成为希腊数学三大难题呢？实际上，所谓难题是相对于一定条件来说的，离开条件限制难题就不一定成为难题了。对这三个问题，希腊数学家要求只运用直尺和圆规两种工具来解决，这是难点之所在。

试看第二个难题二倍立方。这个问题可以等价于用尺规作出

长度 $\sqrt[3]{2}$ 来，但二千多年来几何学家都做不出来，笛卡儿最早指出这是不可能的，法国数学家范齐尔于1837年严格证明了用尺规不能作出 $\sqrt[3]{2}$ 来。但如运用别的几何工具，或运用别的数学方法，解决这个问题是不难的，读者可以作为一个智力游戏一试。

三等分任意角难在任意，并非不能用尺规三等分所有的角。比如90度角，就完全可以用尺规三等分。但可以证明存在无限多个不能用尺规三等分的角。当然，抛开尺规限制，用几何方法三等分任意角是不难的。

化圆为方，实际上是要作出 $\sqrt{\pi}$ ，可是 $\sqrt{\pi}$ 不是任何整系数代数方程的根，因而不可能用尺规作出，这个严格的证明是1882年由德国数学家林德曼作出的。据说，阿那克萨哥拉最先试图解这三个难题，他晚年在牢房里（上文提到，阿那克萨哥拉被雅典人视为异端，投入监狱）还在研究化圆为方问题。解这些问题最有名的是智者希匹阿斯（生于公元前460年），他设计了割圆曲线来完成三等分角的工作，但这种曲线并不能用尺规作出，所以不能真正解决问题。

为什么希腊数学家那么严格限制用尺规作图呢？一般解释为希腊人出于逻辑严密的要求，也有解释说，直线和圆周是最基本的几何图形，把所有的几何图形化成这两种基本几何图形的组合，是希腊几何学家的理想。实际情况是，在智者提出这三大难题时，对尺规作图的要求并不太严格，只是因为智者好出怪题，才定下这么一个要求。但后来这个要求之所以逐步成了希腊数学家自觉遵守的规则，可以与柏拉图的哲学相关联。柏拉图把几何图形理想化，反对用更多的机械工具来从事几何研究。受他的影响，希腊几何学家也尽量少用机械工具，但直线和圆周是最基本的几何构图，故限于直尺和圆规。

对作图的重视是希腊几何学的一大特色。一个图形必须构造出来，否则就不能成为几何研究的对象。有一个关于苏格拉底与



图 4-10 苏格拉底（右）与人交谈

几何学家的故事，可以对这一点提供佐证。苏格拉底（公元前 468—前 399 年）是柏拉图的老师，本人终生呆在雅典。他没有留下著述，但他的活动和学说都由他的学生柏拉图记了下来。他奔走于雅典的大街小巷，逢人便谈，对那些自命不凡者予以巧妙的讽刺和挖苦。他的最富传奇色彩的两套对话方法是“助产术”和“苏格拉底讽刺”。所谓“助产术”，是对待好学的年轻人的方法，苏格拉底从具体事例出发，逐步引导对方弄懂本来不知道的一般概念。据说苏格拉底的母亲是一个助产婆，这启发他发明这套谈论方法。所谓“苏格拉底讽刺”，是对待自觉有知而实则无知者的方法，苏格拉底佯装自己无知，从对方已经认定的概念出发，沿着对方的思路提出一系列问题，结果使对方陷于自相矛盾的境地。苏格拉底对这些方法的运用在柏拉图写的对话中得到了生动的反

映。

有一天苏格拉底与一位几何学家谈论“全体大于部分”这个几何学公理，他设计了这样一个题目，使几何学家大吃一惊：先画一个正方形 $ABCD$ ，然后在外侧引一条与 AB 等长并与之成锐角的线段 AE ，连 CE 并作 CB 、 CE 的中垂线，两条中垂线交于 O 点，连 OA 、 OE 、 OC 、 OD ，不难得知 $OD=OA$ ， $OC=OE$ ， $CD=AE$ ，因此 $\triangle OCD \cong \triangle OEA$ ，可以得出 $\angle ODC =$

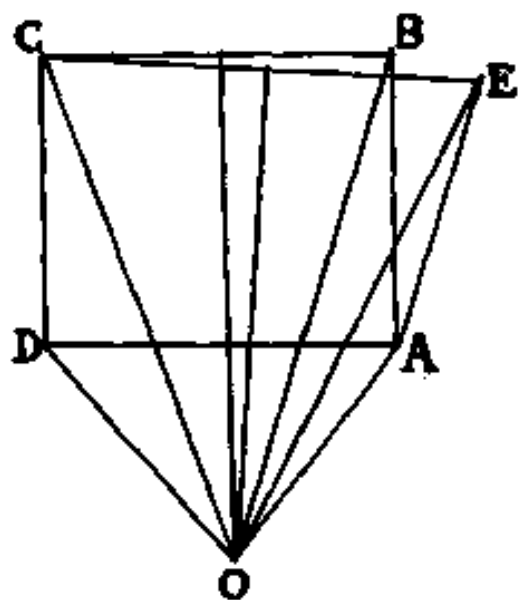


图 4-11 苏格拉底的证明

$\angle OAE$ ， $\angle ODC - \angle ODA = \angle OAE - \angle OAD$ ，因为 $\angle ODA = \angle OAD$ ，但这样一来就意味着 $\angle ADC = \angle DAE$ ，也就是 $\angle DAB = \angle DAE$ 。证明到了这一步，几何学家也不知如何是好，竟不得不承认有的时候全体并不是大于部分而是等于部分。他说：“啊，苏格拉底，看来数学上的真理也常常并不是那么一回事，有时竟是虚构的，这一点已经被你证明了！”

苏格拉底当然没有证明部分等于全体，在这里他不过是同几何学家开了一个玩笑。读者可以自己思考一下，苏格拉底的证明问题出在哪里？

7. 默冬周期的发现

雅典最著名的天文学家是默冬，他继阿那克萨哥拉之后从事天文观测。公元前 432 年的奥林匹克竞技会上，默冬宣布了他的发现，即 19 个太阳年与 235 个朔望月的日数相等。这个周期在我国称为章，所以默冬周期也常译成默冬章。有了这个周期，就可以确定阴阳历中的置闰规则。235 个朔望月的总日数是 6940 日，

19年中必有12年是平年，7年是闰年。19年7闰的置闰法在我国称为章法，它的发现标志着希腊天文观测已达到了很高的水平。

8. 柏拉图学院：不懂数学者不得入内

雅典学术在柏拉图这里走向系统化。柏拉图（公元前427—前347年）出生于雅典的名门世家，他的母亲是梭伦的后裔，父系则可以追溯到古雅典王卡德鲁斯，在这样一个高贵的家庭里，柏拉图从小就受到了当时可能受到的最好的教育。年轻的柏拉图立志从事政治，他参加过伯罗奔尼撒战争，表现得十分勇敢。他是苏格拉底最好的学生，传说在他成为苏格拉底学生的头天晚上，苏格拉底梦见一只天鹅来到膝上，很快羽翼丰满，唱着动听的歌儿飞走了。这个传说生动地反映了苏格拉底与柏拉图之间的亲密关系。柏拉图留下的众多对话，大都是以苏格拉底为主要角色。这位可亲可敬的老师，却因“败坏青年”等罪状被雅典的民主体制判处死刑。这件事对柏拉图影响很大，他从此不再打算参加政治活动，因为他觉得政治太丑恶肮脏了。

苏格拉底死后，柏拉图离开了雅典，周游世界。他到了埃及，后来又到了南意大利，在那里，他认真研究了毕达哥拉斯学派的理论。在外游历十年后，约于公元前387年，柏拉图回到了雅典。在雅典西北郊有一座以英雄阿卡德米命名的圣城，这里自古就是一个公共体育场，柏拉图在此附近有一座别墅。正当盛年的柏拉图决定在此开设学园，招生讲学。学园的主要目的是促进哲学的发展，但是为了进入哲学，还需要学习许多预备课程，这些课程包括希腊数学的诸种学科：几何学、天文学、音乐学、算术等。据说，柏拉图在学园的门口立了一块牌子：“不懂数学者不得入内”，表明他对数学的重视。

柏拉图本人的哲学受毕达哥拉斯学派影响很大，许多人甚至

把他作为一个毕达哥拉斯学派的人看待。在柏拉图的哲学中，有一种神圣和高贵的东西，追求纯粹的理想是他的一大特色。他相信，真正实在的不是我们日常所见、所闻的种种常识和感觉，这些东西千变万化，转瞬即逝，是不牢靠的。真正的实在是理念，这种理念具有超越的存在，它先于一切感性经验。日常世界只是理念世界不完善的摹本。哲学的目的就是把握理念。任何一张桌子都有这样或那样的缺陷，不足以代表真实的桌子，只有桌子的理念才是完美无缺的。在诸多自然事物中，数学的对象更具有理念的色彩，虽然它也还不是理念本身，如我们所见到的任何一个圆显然都不是真正的圆，谁也不能说自己画的足够圆；我们所见到的任何一条直线也不是真正的直线，因为真正的直线没有宽度，而且没有任何弯曲。但毕竟，通过研究直线和圆这些几何对象更容易进入理念世界一些。在柏拉图看来，数学是通向理念世界的准备工具，所以，在他的学园里，数学研究得到了极大的发展，他的学生中出了不少大数学家。

柏拉图本人对数学的贡献不详，但他对于数学演绎方法的建立和完善肯定起了重要的作用。在《理想国》中，柏拉图谈到应该重视对立体几何的研究，而且他们已经知道正多面体最多只有五种，即正四面体、立方体、正八面体、正十二面体和正二十面体。此外最重要的发现是圆锥曲线，他们对直角、锐角和钝角圆锥，依次用垂直于锥面一母线的平面来割每个锥面，这样便得出了抛物线、椭圆以及双曲线的一支。

柏拉图的学生中在数学上最有成就的是欧多克斯（公元前409—前356年），他大约于公元前368年才加入柏拉图的学园，那时，他已经功成名就，周围有一些弟子。欧多克斯在数学上的贡献主要是建立了比例论。越来越多的无理数的发现迫使希腊数学家不得不去研究这些特殊的量，欧多克斯的贡献正在于引入了“变量”的概念，把数与量区分开来。在他看来，数是不连续的，

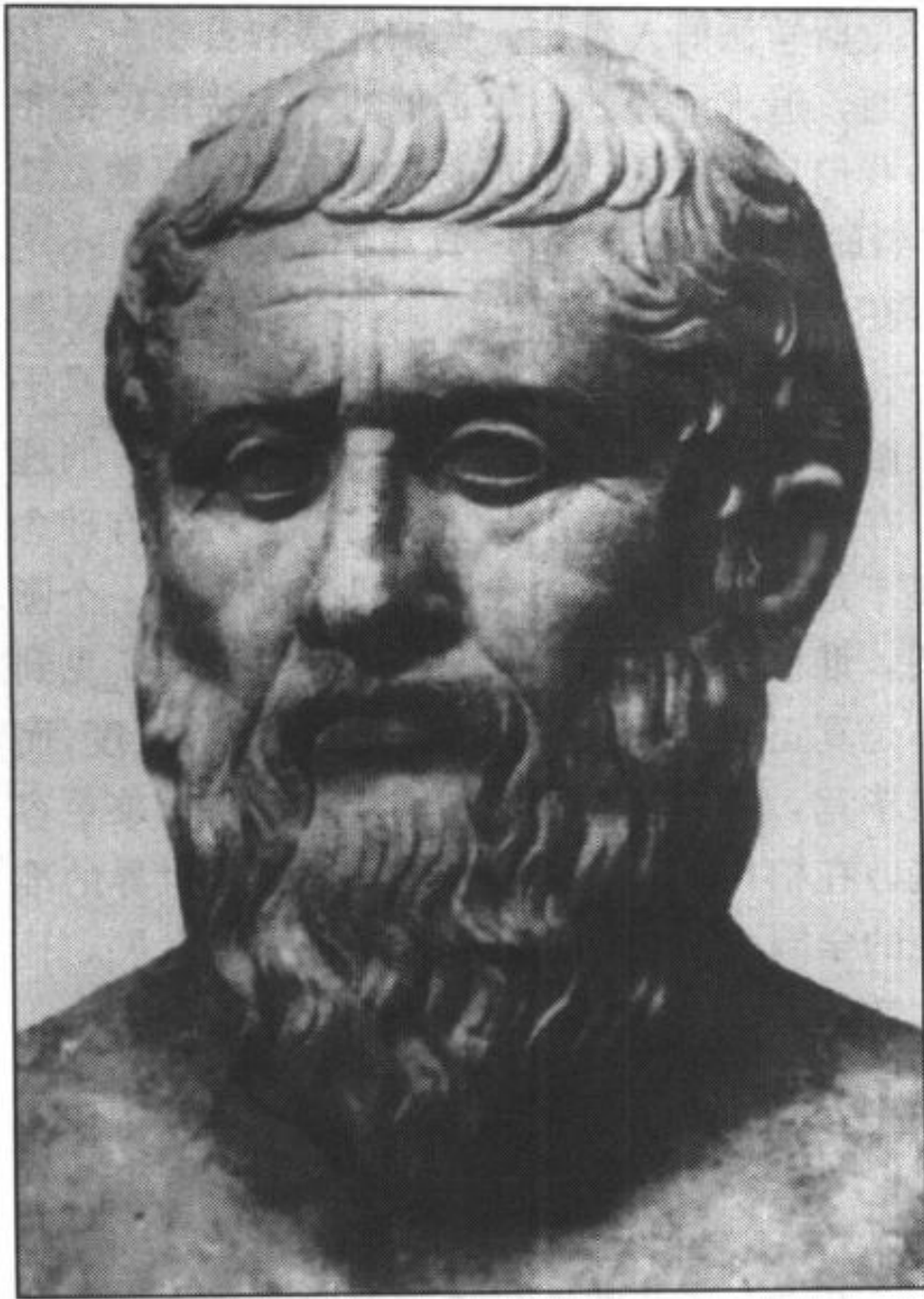


图 4-12 柏拉图

而量不一定如此，比如那些无理数都可由量来代表。数与量的区分方便了几何学的研究，为数学研究不可公度比提供了逻辑依据，但人为地将数从几何学中赶了出去。数学家们不再关心线的长度，不再关心算术，而把精力全部投入几何学。

欧多克斯更重要的贡献在天文学方面。柏拉图与毕达哥拉斯一样深信，天体是神圣和高贵的，而匀速圆

周运动又是一切运动之中最完美、最高贵的一种，所以，天体的运动应该是均匀圆周运动。可是，天文观测告诉我们，天空的有些星星是恒定不动地作周日运转，而有些星星却不是这样，它们有时向东，有时向西，时而快，时而慢，人们把这些星称做行星（在希腊文中，行星是漫游者的意思）。柏拉图对这种表观的现象和流行的叫法不以为然，他相信就是行星也一定在遵循着某种规律性，也一定象恒星一样沿着绝对完美的路径运行。因此，他给他的门徒提出了一个任务，即研究行星现在这个样子究竟是由哪

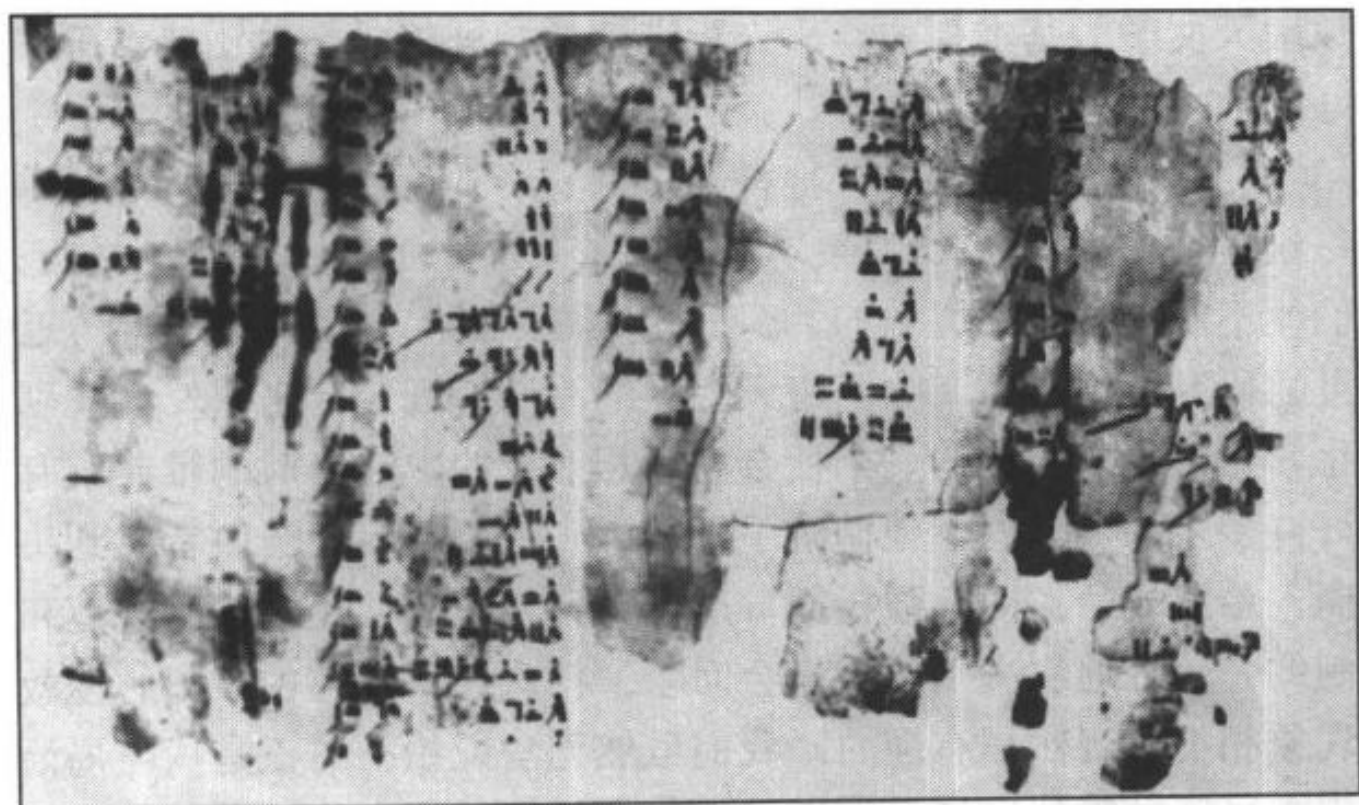


图 4-13 欧多克斯的纸草著作残篇

些均匀圆周运动叠加而成的。这就是著名的“拯救现象”方法。“拯救”的意思是，行星的现象如此的无规则、如此的堕落，只有找出其所遵循的规则的、高贵的运动方式，才能洗刷这种堕落的面目。

欧多克斯为柏拉图的理想提供了第一个有意义的方案，即同心球叠加。每个天体都由一个天球带动沿球的赤道运动，而这个天体的轴两端固定在第二个球上，第二个球又可以固定在第三个球上，这样组合出复杂的运动。欧多克斯发现，用三个球就可以复制出日月的运动，行星的运动则要用四个球，这样，五大行星加上日月和恒星天，一共需要 27 个球。通过适当选取这些球的旋转轴、旋转速度和球半径可以使这套天球体系比较准确地再现所观测到的天体运动情况。

欧多克斯设计的这套天球体系当然是在毕达哥拉斯学派的宇宙图景基础上作出的，它也存在很多不足之处。主要的不足之处在于它与实际情况符合得还不太好。但正是欧多克斯开创了希腊

数理天文学的基本模式，后人所进一步发展的只是他还做得不太好的地方，他这样做的方式，被完全继承下来了。

“拯救现象”方法是一种科学研究的纲领。我们面对的自然界，纷纭复杂、变化万千，如果不把它们纳入一个固定的框架之中，我们便不能很好地把握它们。拯救现象，正是将杂乱的现象归整。近世的研究者注意到，力图将天空中的漫游者固定起来或使其规则化，是与希腊当时的一个社会问题相对应的。在当时的雅典，有许许多多的流浪者，他们游手好闲，到处闯荡，使当政者感到头痛。希波战争期间，强行征募这些游民入伍，接受军队的规范和制约，较好地解决了这一社会问题。将这件事情与柏拉图的拯救现象相类比当然是有趣的，我们虽然无法说柏拉图正是从当局治理游民问题得到启发而提出拯救现象的纲领的，但希腊时代人事与自然并无严格的区分，对自然现象的“拯救”与对社会秩序的维持确实具有同样的意义。

柏拉图的学园培养了许多优秀的人物，亚里士多德就在这里当过学生。柏拉图在世时，一直亲任学长。他去世之后，由他的外甥斯彪西波担任第二代学长。学园后来虽然在学术上没有什么大的建树，但作为希腊文化的保存者存在了九百余年，直到公元529年才被东罗马皇帝查士丁尼勒令关闭。阿卡德米后来成了学院、研究院、学会的代名词。

9. 亚里士多德：百科全书式的学者

柏拉图之后，亚里士多德成为希腊世界最伟大的思想家、哲学家和科学家。公元前384年，亚里士多德生于希腊北部的斯塔吉拉，其父尼各马可是马其顿王阿明塔二世的御医。亚氏幼年时父母双亡，由亲戚抚养长大。17岁那年来到雅典，进柏拉图的学园学习，直到柏拉图去世才离开，前后达二十年。在这里，他受

到了良好的教育，柏拉图很器重他。但是，他后来自己创立了与柏拉图非常不同的哲学体系，对此他说了一句名言：“我敬爱柏拉图，但我更爱真理”，今日我们常说的：“吾爱吾师，吾尤爱真理”是这一名言的另一种翻译。公元前343年，马其顿王腓力邀请亚里士多德做太子亚历山大的私人教师，那年亚历山大才13岁，可就是这位亚历山大长大之

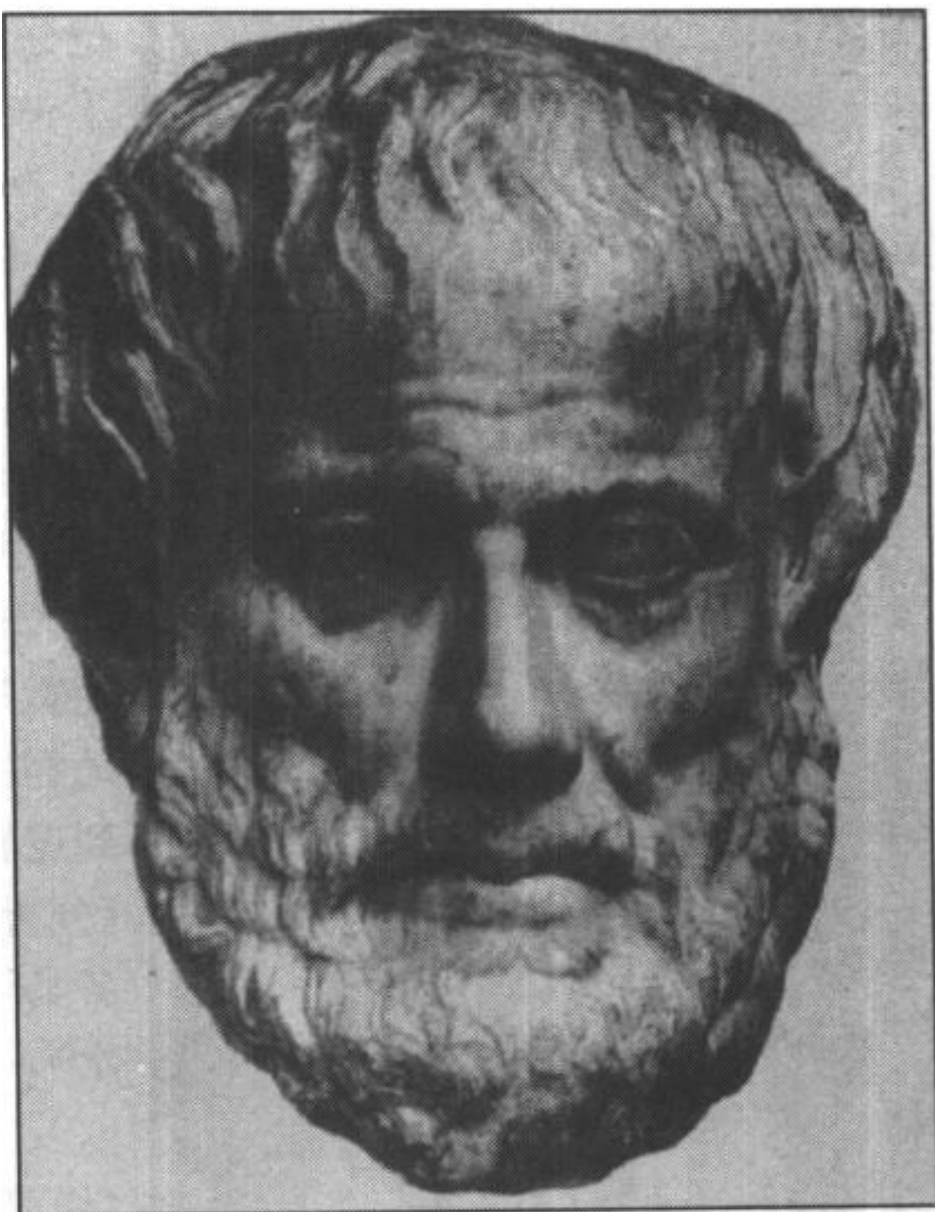


图4-14 亚里士多德

后，南征北战、所向披靡，成了世界历史上著名的亚历山大大帝。公元前335年，亚里士多德回到了雅典，在吕克昂建立了自己的学园，在这里，他从事教学和著述活动，创建了自己的学派。吕克昂里有一座花园，他和他的学生们常常是边散步边讨论学术，故人们称他们是逍遥学派。公元前323年，亚历山大大帝去世，雅典人开始密谋反马其顿的行动，由于亚里士多德曾经是亚历山大的老师，受到牵连，不得不离开雅典。他将学园托给了他的学生塞奥弗拉斯特，回到了他母亲的母邦卡尔西斯，次年病逝，终年63岁。

如果说，柏拉图是一位综合型的学者，那亚里士多德就是一



图 4-15 沉思着的亚里士多德

位分科型的学者。他总结了前人已经取得的成就，创造性地提出自己的理论，在几乎每一学术领域，亚里士多德都留下了自己的著作。从第一哲学著作《形而上学》，物理学著作《物理学》、《论生灭》、《论天》、《天象学》、《论宇宙》，生物学著作《动物志》、《论动物的历史》、《论灵魂》，到逻辑学著作《范畴篇》、《分析篇》，伦理学著作《尼各马可伦理学》、《大伦理学》、《欧德谟斯伦理学》，以及《政治学》、《诗学》、《修辞学》等，他的著作几乎遍及每一个学术领域，他是一位名符其实的百科

全书式的学者。

亚里士多德的哲学博大精深，自成一体。他不同意柏拉图的理念说，认为事物的本质寓于事物本身之中，是内在的，不是超越的。为了把握世界的真理，必须重视感性经验。就对待自然界的态度而言，这是与柏拉图完全不同的。柏拉图强调理念的超越性，蔑视经验世界，但他发展了数学。而亚里士多德重视经验考察，特别在生物学领域取得了卓越的成就。他的哲学目的在于找出事物的本性和原因，因而发展了一套“物理学”，以究事物之道理。

在天文学方面，亚里士多德走的还是欧多克斯的路子，即通

过天球的组合来解释天体的表观运动，但有所不同的是，亚里士多德不限于“拯救现象”，他还要给出天体运动以物理解释。欧多克斯的学生卡里普斯在原来 27 个天球的基础上，又添加了 7 个球，以获得更精确的相符。亚里士多德更在卡里普斯的基础上添了 22 个天球，为何一下子添这么多呢？并非全为了更准确地与观测相符，亚氏的目的在于通过新添的天球使这个天球体系联成一个有物理联系的整体，他要实现的是最外层天球作为原动天——也就是第一推动——对整个天球系统的物理支配。新添的天球既用以保证外层的天球将周日运动传给内层的天球，又防止将外层天球别的运动传给内层。亚里士多德认为，天体与地上物体是本质上不同的两种物质，天体是由纯洁的以太组成，是不朽和永恒的，它的运动是完美的匀速圆周运动。

至于地上物体，涉及的是物理学的内容。亚里士多德认为，地上物体由土、水、气、火四种元素组成，其运动是直线运动。地上物体都有其天然的处所，而所有的物体都有回到其天然处所的趋势，这一趋势即所谓的天然运动。土和水是重的，其天然处所在下，因此它们有向下的天然运动。气和火是轻的，其天然处所在上，因此它们有向上的天然运动。重性越多，下落速度越快。除了天然运动外，还有受迫运动，受迫运动是推动者加于被推动者的，推动者一旦停止推

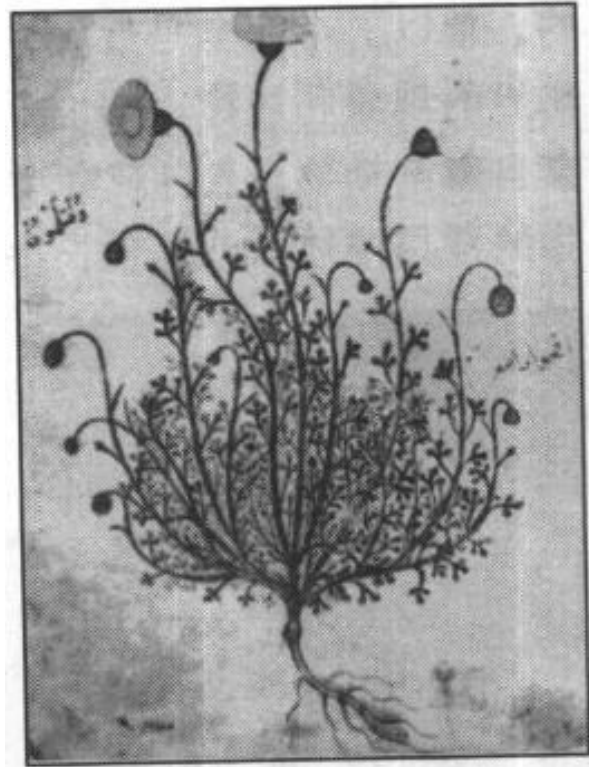


图 4-16
塞奥弗拉斯特植物学著作中的插图

动，运动就会立刻停止。比如马拉车，车运动，马一停止拉车，车就不再动了。在自然界中，亚里士多德也发现了等级之分，重的东西不如轻的东西高贵，天尊地卑，推动者比被推动者高贵，灵

魂比身体高贵。这是亚里士多德物理学中很有特色的东西。

亚里士多德哲学中的四因说对于理解他的生物学成就是有用的。他认为，事物变化的原因有四种，一是质料因，二是形式因，三是动力因，四是目的因。比如一座铜制的人物雕像，铜是它的质料因，原型是它的形式因，雕刻家是它的动力因，它的美学价值是它的目的因。目的因又称终极因，是最重要的，自然界的事物都可以用目的论来解释。重物下落是因为它要回到天然位置上去，植物向上长因为可以更接近太阳，吸收阳光，动物觅食因为饥饿，人放声大笑因为喜悦等等。这种目的论的解释具有很浓的拟人色彩，用于物理世界显得十分幼稚可笑，但对于生物学并不是完全没有意义的。

亚里士多德的生物学著作也许是他的科学工作中最有价值的，他以一个完全是近代生物学家的姿态去观察、实验，总结生物界的现象和规律。据说亚里士多德很注意搜集第一手材料，他亲自解剖动物，亲自观察动物的习性，《动物志》中对各种各样动物的详尽描述，就是他长期观察的结果。他注意到“长毛的四足

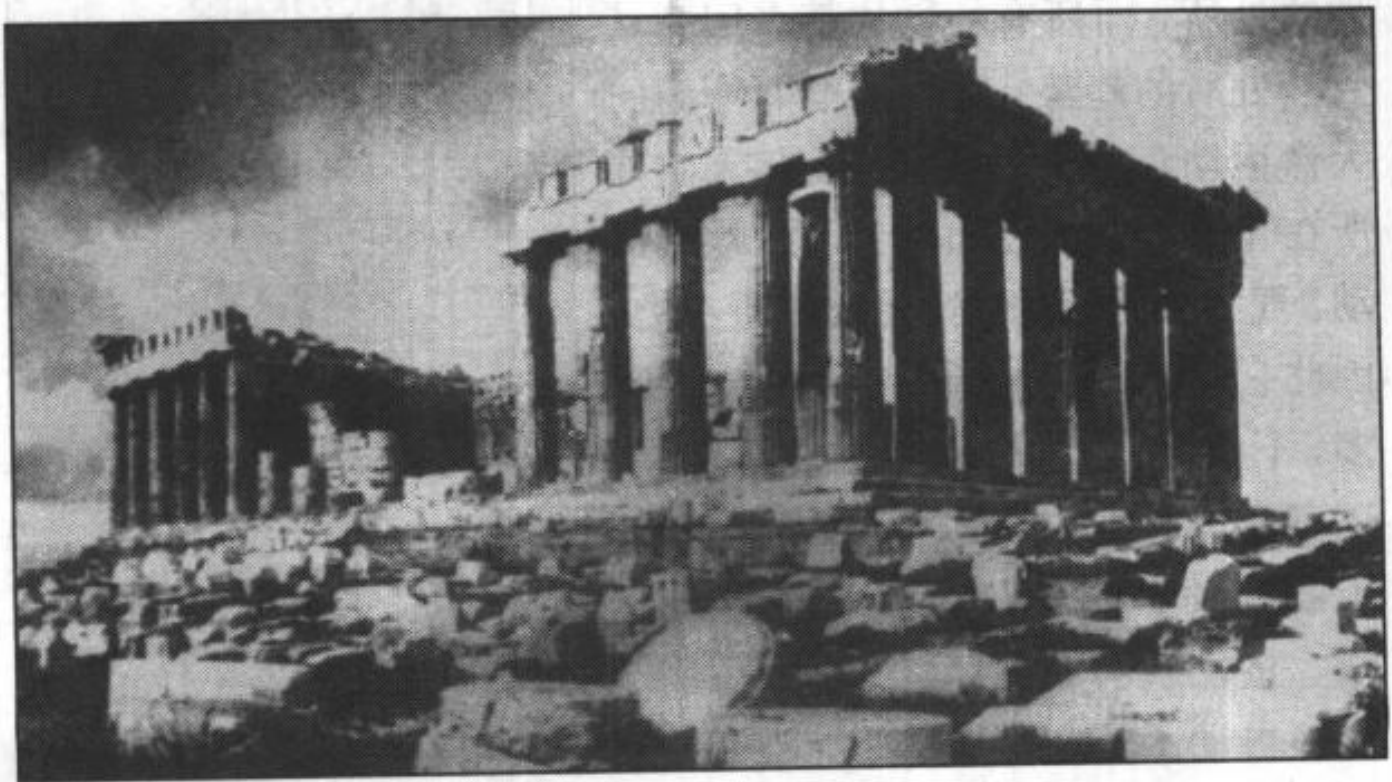


图 4-17 巴台农神庙

动物胎生，有鳞的四足动物卵生”，认识到“凡属无鳃而具有一喷水孔的鱼，全属胎生”。他还对人类的遗传现象作过细致的观察，如一个白人女子嫁给一个黑人，他们的子女的肤色全是白色的，但到孙子那一代，肤色有的是黑色的，有的是白色的。

亚里士多德去世后，吕克昂学园由塞奥弗拉斯特主持，塞氏继续了老师对生物学的研究工作，特别在植物学上作出了重要的贡献。塞奥弗拉斯特之后，学园由斯特拉图主持，斯氏主要发展了亚里士多德学说中物理学的方面，他把实验方法运用到了物理学领域。为了探讨真空问题，斯特拉图还动手制造了不少仪器，他的工作对亚里山大里亚时期的科学家们有重要影响。

10. 希腊建筑

任何一个古老的文明都可以通过其建筑反映出来，建筑不仅是技术的标志，也是精神风格的象征。从公元前 2000 年克利特文



图 4-18 雅典剧场

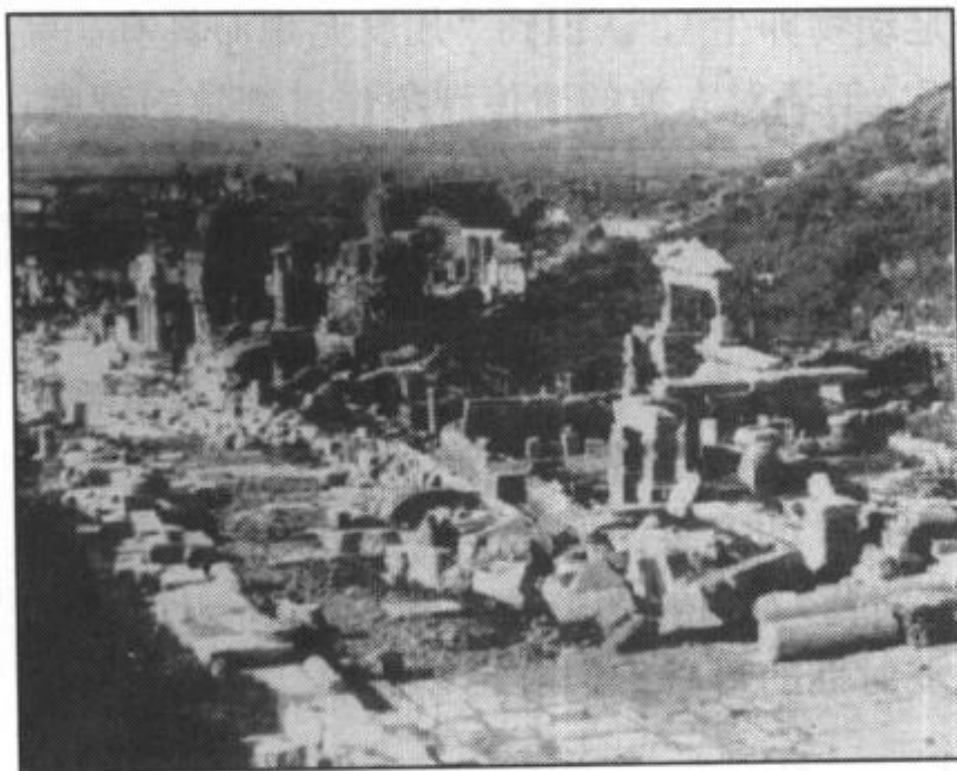


图 4-19 德尔菲神庙遗址

化时期的米诺斯王宫，到公元前 1400 年迈锡尼文化时期的卫城，可以依稀看出希腊建筑的宏伟气象。迈锡尼古城遗址——狮子之门那巨大的石块，给人以威风堂堂之感。古典时代最重要的建筑都出在雅典。当时雅典已成为

希腊各邦盟主，盟国的贡赋给雅典带来了大量的物质财富，雅典城南面的巴台农神庙（雅典娜处女庙）是雅典建筑最杰出的典范。巴台农神庙始建于公元前 480 年，因希波战争受损，再建于公元前 447 年，它的基座长 68 米，宽 30 米，基座上耸立着 56 根 10 多米的柱子，高大华丽的列柱是希腊建筑风格的反映。希腊人喜用柱廊，经长期发展形成了多利亚、爱奥尼亚和科林斯三种风格，到了雅典时期，多利亚式和爱奥尼亚式最为流行。多利亚式建筑庄严朴实，其石柱不设柱基，柱身上细下粗，并刻有凹槽，爱奥尼亚式建筑明快活泼，其石柱下有基座，上有盖盘，柱身细长，凹槽密集。巴台农神庙是典型的多利亚风格建筑。



图 4-20 Rhodes 岛上多林斯神庙的巨柱



图 4-21 希腊剧场遗址

希腊的柱式建筑别具一格，对日后整个西方建筑的发展有着重要的影响。

第五章

希腊化时期的科学

伯罗奔尼撒战争时期，希腊北部的马其顿王国发展壮大起来。国王腓力二世于公元前 356 年即位后，注意学习希腊先进的文化，同时富国强兵，扩军备战，成为希腊世界的一大军事强国。公元前 338 年，腓力二世击败反马其顿的联军，次年在科林斯召开泛希腊大会，确立了马其顿对于希腊各邦的统治地位。公元前 336 年，腓力二世在宫廷政变中遇刺身亡，20 岁的太子亚历山大即位，开始发动对东方的侵略战争。

亚历山大的东征首指波斯帝国，公元前 334 年大败波斯军队，次年又攻占叙利亚、腓尼基和埃及。公元前 331 年，亚历山大由埃及出发，与波斯军队再度决战，彻底击败了波斯帝国。亚历山大把巴比伦定为自己的新首都后，继续东征，铁蹄踏到了印度河流域。但因士兵水土不服，大军没再东进。

亚历山大十余年的南征北战，建立了一个横跨欧亚非的庞大帝国。这个帝国以东方为中心，但以希腊文化为统治文化。也不

枉为亚里士多德的学生，军事奇才亚历山大很重视学术事业的发展，在他金戈铁马生涯中，始终有一批学者跟随，每到一地，地理学家们绘制地图，博物学家们收集标本，据说亚里士多德的生物学研究大大得益于这些珍稀标本。像近代的拿破仑一样，亚历山大也重视科学技术在战争中的作用，工程师们的帮助使攻城战的水平达到了近代的高度。



图 5-1 亚历山大大帝

希腊文明就这样随着亚历山大的远征传播到了更广大的地区，从此，这些地区的文化也被称为希腊化文化。

希腊化文化中最辉煌的成就是亚历山大在埃及建立的城市亚历山大里亚。这个以亚历山大大帝名字命名的城市，产生了古代世界最杰出的科学家和科学成就，本章所谓希腊化时期的科学主要指的就是亚历山大里亚的科学。

1. 亚历山大里亚

亚历山大里亚位于尼罗河的出海口，是一个港口城市。亚历山大大帝公元前 323 年病逝后，他的帝国分裂成了三部分，一部分是安提柯统治下的马其顿，一部分是塞琉古统治下的叙利亚，再就是托勒密统治下的埃及。托勒密是亚历山大手下的一个将军，希腊人，也曾在亚里士多德门下学习过，非常重视希腊学术事业的发展。他将埃及首都设在亚历山大里亚，以政府力量扶助学术事业，造就了亚历山大里亚时代辉煌的科学文化。

亚历山大里亚或称亚历山大城是随着亚历山大大帝的到来才开始迅速发展的。马其顿的军事统帅们将希腊文化带到了这里，这表现在，他们在城里大量建造希腊式建筑，其中最为雄伟的是王宫，据说占整个城市的四分之一或三分之一。亚历山大港口的灯塔被誉为古代世界七大奇观之一。

托勒密王朝对科学发展最大的贡献是建立了当时世界上最大的学院缪塞昂，这是一所综合性的教育和研究机构，以传播和发展学术为目的。它就修建在王宫的附近，也有人说它就是王宫的一部分，托勒密王朝确实把它当成皇家学院。缪塞昂原意指祭祀智慧女神缪斯的寺庙，由于柏拉图的阿卡德米学园和亚里士多德的吕克昂学园里都设有缪塞昂，因此，亚历山大里亚把它的学术机构命名为缪塞昂，这个词后来演化成了英语的“博物馆”。因此，许多人也把缪塞昂称为博物馆。实际上，亚历山大里亚的缪塞昂里，不仅有收藏文物标本的博物馆，而且有动物园、植物园、天文台和实验室，根本不是近代意义上的博物馆，倒像是科学院。当然，最值得一提的是它的图书馆，藏书达七十万卷之多，是当时世界上最大的图书馆。埃及纸草很多，在亚历山大里亚比在希腊本土更易得到，这是收藏图书的有利条件之一。古代所谓藏书也就是抄书，因为古代没有印刷术，书都是一本一本抄下来的。托勒密王朝出重金让缪塞昂学院雇佣了一大批专门抄写的人员，这是使大量藏书成为可能的另一个重要条件。据说，当时政府命令，所有到亚历山大港的船只都要把携带的书交出供检验，如发现图书馆没有的书，则马上抄录，留下原件，将复制件奉还原主。只此一项，就可看出托勒密王朝何等重视文化积累，加上当时埃及经济比较发达，使得亚历山大里亚成为当时世界上最大的学术中心。各地的学者都到这里来进修、学习，当时最为著名的科学家几乎都在亚历山大里亚呆过。

缪塞昂学院持续了六百年之久，但只有最初的一百年是科学

史上的重要时期。这一时期，科学英才辈出、学术事业繁荣。后来，随着托勒密家族越来越埃及化，他们对希腊学术的兴趣也越来越淡漠了，据说托勒密七世（公元前146—前117年）甚至迫害希腊人。再以后，埃及被罗马人所征服，成了罗马的一个省份，希腊的科学遗产就逐步丧失殆尽。

2. 欧几里得的《几何原本》

在科学史上，没有哪一本书像欧几里得的《几何原本》那样把卓越的学术水平与广泛的普及性完美地相结合，它集希腊古典数学之大成，构造了世界数学史上第一个宏伟的演绎系统，对后世数学的发展起了不可估量的推动作用，同时，它又是一本出色的教科书，以至毫不变动地被使用了两千多年。在西方历史上，也许只有《圣经》在抄本数和印刷数上可与之相比，据估计，自印刷术传入欧洲后，《几何原本》被重版上千次，被翻译成各国文字。我国明代杰出的科学家徐光启于1607年与传教士利玛窦合作译出了《几何原本》的前六卷，这是我国最早的译本，“几何”一词与“几何原本”这一书名，都是徐光启第一次使用的。欧几里得的生



图 5-2 1482 年《几何原本》的拉丁文本

平不详，据普罗克罗（约410—485年）的记载，他大约于公元前300年应托勒密王的邀请来到亚历山大里亚的缪塞昂学院研究讲学，此前，他在雅典的柏拉图学园中受教育，深受柏拉图的影响。关于欧几里得只留下了两则小故事，第一则是普罗克罗记述的，说的是托勒密王请欧几里得为他讲授几何学，讲了半天，托勒密王也没有听懂，他问欧几里得有没有更便利的学习方法，欧几里得回答说：“在几何学中，没有专为国王设置捷径。”这句话后来成了传诵千古的治学箴言。第二则故事是斯托拜乌（约公元500年）记载的，说的是有一位青年向欧几里得学习几何学，刚学了一个命题，就问欧几里得学了儿何学后会有什么用处，欧氏很不满地对仆人说：“给这个学生三个钱币，让他走。他居然想从几何学中捞到实利。”这个故事说明，欧几里得很强调几何学的非功利性，这也反映了他受到柏拉图很深的影响。

《几何原本》共十三篇。第一篇讲直边形，包括全等定理、平行定理、毕达哥拉斯定理、初等作图法等；第二篇讲用几何方法解代数问题，即用几何方法做加减乘除法，包括求面积、体积等；第三篇讲圆，讨论了弦、切线、割线、圆心角、圆周角的一些性质；第四篇还是讲圆，主要讲圆的内接和外切图形；第五篇是比例论；第六篇运用已经建立的比例论讨论相似形；第七、八、九、十篇继续讨论数论，第十一、十二、十三篇讲立体几何，其中第十二篇主要讨论穷竭法，这是近代微积分思想的早期来源。全部十三篇几乎包括了今日初等几何课程中的所有内容。

一般认为，《几何原本》所述内容都属于希腊古典时代，几乎所有的定理都在那时候证明出来了，欧几里得的主要贡献是将它们汇集成一个完美的系统，并且对某些定理给出更简洁的证明。今天我们已无法知道哪些定理是由哪些数学家在什么时候发现的，据说亚里士多德的学生中有一位叫欧得谟斯（约公元前4世纪后半叶）的写过一部几何学史，记载了到他那时止希腊数学的发展

情况，但此书早已失传。但可以推知，爱奥尼亚的自然哲学家们如泰勒斯、阿那克西曼德、阿那克西米尼、阿那克萨哥拉，南意大利学派的毕达哥拉斯及其弟子——其中最为著名的有塔伦叶姆的阿尔基塔，爱利亚学派的巴门尼德、芝诺，智者学派，柏拉图学派的弟子们——其中最为著名的有欧多克斯，亚里士多德学派的弟子们，等等，对欧几里德的《几何原本》都做出过贡献。

欧几里德与阿波罗尼、阿基米德被并列称为希腊三大数学家，我们下面将要详细论述阿基米德的工作，这里只提一下阿波罗尼。阿波罗尼大约公元前 262 年生于小亚细亚西北部的帕加，比欧几里德晚了一个世纪。据说他青年时代到亚历山大里亚跟随欧几里德的学生学习数学，可以算得上是欧几里德的徒孙，此后一直在亚历山大城研究数学。他的主要工作是研究圆锥曲线。其研究领域似乎很专，不象欧几里德的《几何原本》所涉猎的那样广，但他之所以能与欧氏齐名，是因为他对圆锥曲线的研究水平极高，空前绝后，从几何角度，今人亦不能作得更好。所谓圆锥曲线就是用平面在圆锥体上截出的平面图形，上一章已经说到，是柏拉图学派发现的，不过，他们不知道双曲线有两支，但阿波罗尼却知道这一点。用纯几何的方法处理圆锥曲线问题相当复杂，今天我们不再这样做了，有关的定理我们完全可以用解析几何的方法很容易的得到，但阿婆罗尼的工作表现了高超的几何思维能力，是古典希腊数学的登峰造极之作，而且他对圆锥曲线的研究为后世奠定了基础。

3. 阿里斯塔克：日心说的先驱

几乎所有的中学生都知道，是哥白尼发现了地球绕太阳转动而不是相反，他使人们从人类中心论的迷梦中惊醒。其实，早在

希腊时代就有天文学家提出过日心地动学说，他就是亚历山大里亚的著名天文学家阿里斯塔克。

阿里斯塔克约公元前 310 年生于毕达哥拉斯的故乡，爱奥尼亚地区的萨莫斯，青年时代肯定到过雅典，据说他在吕克昂学园中学习过，受过学园第三代学长斯特拉托的指导，后来到了亚历山大里亚，在那里搞天文观测，并发表他的宇宙理论。不过，他的理论在当时看来太激进了，不为人们所看重，要不是阿基米德提到他，我们今天就会根本不知道这个人。

他的主要主张是，并非日月星辰绕地球转动，而是地球与星辰一起绕太阳转动。很显然，他的这个主张继承了毕达哥拉斯学派的中心火理论，只不过把太阳放在了中心火的位置。他说，恒星的周日转动，其实是地球绕轴自转的结果。这个思想确实是天才的，但也是过于革命性了，以至于当时的人们都不相信。

有几个理由导致人们反对阿里斯塔克的观点。第一，它与人们已经广泛承认的亚里士多德的物理学理论相矛盾，在亚氏看来，如果地球在运动，那么地球上的东西就都会落在地球的后面，可事实上没有发生这类事情。这个理由是很能为人们接受的，大家在常识中知道，从一个运动着的火车上掉下一个瓶子，火车很快就将瓶子抛在后头。这个问题只有在惯性定律发现之后才会有一个完满的解答。第二，有许多天文学家提出，如果地球在动，那么它相对于恒星的位置应该有变化，可是，我们并没有观测到这种位置的变化。我们不知道阿里斯塔克是如何回答第一个问题的，但据说，他很正确地回答了第二个问题。他说，恒星离我们太远，以至于地球轨道与之相比微不足道，所以，恒星位置的变化不为我们所察觉。

阿里斯塔克另一个重要的天文学成就是测量太阳、月亮与地球的距离以及相对大小，这个工作记载在他的《论日月的大小和距离》一书之中，该书流传到了现在。阿里斯塔克知道月光是月

亮对太阳光的反射，所以，当从地球上看到月亮正好半轮亮半轮暗时，太阳、月亮与地球组成了一个直角三角形，月亮处在直角顶点上，从地球上可以测出日地与月地之间的夹角，知道了夹角，就可以知道日地与月地之间的相对距离。阿里斯塔克测得的夹角是 87° ，因此，他估计日地距离是月地距离的20倍，实际上，夹角应该是 $89^\circ 52'$ ，日地距离是月地距离的340倍。但是，阿里斯塔克的方法是完全正确的。得出了相对距离后，他从地球上所看到的日轮与月轮的大小，推算出太阳与月亮的实际大小。同样，他因为没有足够精确的测量数据，其估计误差是很大的，但他至少认识到，太阳是比地球大很多的天体，因此，他确实有理由相信不是太阳绕地球转，而是地球绕太阳转，因为，让大的物体绕小的物体转动总不是很自然。近两千年后，哥白尼才又继承了阿里斯塔克的事业，主张日心地动说，他所遭遇到的驳难几乎是同样的，他为自己辩护的理由也几乎是同样的，细节我们以后再讲。

4. 古代科学巨匠阿基米德

古代世界最伟大的科学家阿基米德约于公元前287年生于南意大利西西里岛的叙拉古，他的父亲是一位天文学家，这使阿基米德从小就学到了许多天文知识。青年时代，同许多求学青年一样，他来到了古代世界的学术中心亚历山大里亚。在这里，他就学于欧几里德的弟子柯农门下，学习几何学，据说阿基米德螺线实际上是柯农的发现。几年之后，阿基米德没有继续呆在亚历山大城，而是回到了他的故乡叙拉古。据说，他与叙拉古国王希龙二世是亲戚，是希龙二世邀请他回去的。

阿基米德之伟大在于他不仅在数理科学上是第一流的天才，而且在工程技术上颇多建树，人们都说，大概只有牛顿才能与之相比。阿基米德也是希腊最富有传奇色彩的科学家，关于他的传



图 5-3 1544 年出版的希腊文版阿基米德著作

说很多，而且引人入胜。

前面已经说过，阿基米德与欧几里德、阿波罗尼并列为希腊三大数学家，也有人甚至说他是历史以来最伟大的三个数学家之一（其他二位是牛顿与高斯）。他的主要数学贡献是关于求面积和体积的工作。大家知道，此前的希腊数学不重视算术计算，关于面积和体积，数学家们顶多证明一下两个面积或体积的比例就完了，而不再算出每一个面积或体积究竟是多少，当时连圆面积都算不出来，因为比较精确的 π 值还不知道。从阿基米德开始，或者说以阿基米德为代表的亚历山大里亚的数学家开始，算术和代数开始成为一门独立的数学学科。

阿基米德发现的一个著名的定理是，任一球的面积是外切圆柱表面积的三分之二，而任一球的体积也是外切圆柱体积的三分之二，这个定理是从球面积等于大圆面积的四倍这一定理推来的，据说，该定理遵遗嘱被刻在阿基米德的墓碑上。

只有直边形的面积以及直边体的体积才可以用算术简单地算出，而曲面的面积和由曲面的运动构成的三维体的体积都无法直

接算出。欧多克斯发明了穷竭法来解决曲面面积问题，阿基米德更进一步发展了穷竭法，他关于球面面积和球体体积的定理大多是用穷竭法证明的。所谓穷竭法，就是用内接和外切的直边形不断逼近曲边形，这是近代极限概念的直接先驱。运用穷竭法，阿基米德从正 6 边形开始一直计算到正 96 边形周长，得到 $3\frac{10}{71} < \pi < 3\frac{1}{7}$ ，取两位小数得 $\pi = 3.14$ 。除球面积和球体积的计算外，阿基米德还在抛物面和旋转抛物体的求积方面做了许多杰出的工作。

阿基米德在数学方面的另一著名工作是创造了一套记大数方法，这种方法记载在他流传下来的《恒河沙数》（原名《砂粒计算者》）一书中。当时希腊人用字母记数，记大数尤其不方便，阿基米德对自己提出了一个任务：如果宇宙中充满了砂粒，如何表示这个惊人的数字？他把数字分为若干级，从 1 到 10^8 为第 1 级，从 10^8 到 10^{16} 为第 2 级，从 10^{16} 到 10^{24} 为第 3 级，直到 $10^{8 \times 10^8}$ ，以 P 表示。但 P 仍不过是记数法的第一位， P^2 是第 2 位， P^3 是第 3 位，直到 P^{10^8} 是第 10^8 位。阿基米德按照当时流行的宇宙论推测，宇宙中的砂粒是一个第 8 级数字，只用了第 1 位数字。

阿基米德在物理学方面的工作主要有两项，一是关于平衡问题的研究，杠杆原理即属于此，另一是关于浮力问题的研究，中学物理所学的浮力定律属于此类。阿基米德这两方面的工作记载于他的著作《论平板的平衡》和《论浮力》中，所幸的是这两部著作都流传下来了。在《论平板的平衡》中，阿基米德用数学公理的方式提出的杠杆原理，即杠杆如平衡，则支点两端力（重量）与力臂长度的乘积相等。在这里，重要的是建立杠杆的概念，其中包括支点、力臂等概念。对于一般的平面物即平板，为了使杠杆原理适用，阿基米德还建立了“重心”的概念，有了重心，任何平板的平衡问题都可以由杠杆原理解决，而求重心又恰恰可以

归结为一纯几何学的问题。

杠杆原理解释了为什么人可以用一根棍子抬起很大的石头，对此，阿基米德有一句名言：“给我支点，我可以撬动地球”。据说，国王希龙对此话生疑，阿基米德没有多加解释，只是请他到港口看了一次演示，阿基米德在那里事先安装了一组滑轮，他叫人把绳子的一端栓在港口里一只满载的船上，自己则坐在一张椅子上轻松地用一只手将它拖到了岸上。国王顿时为之折服。

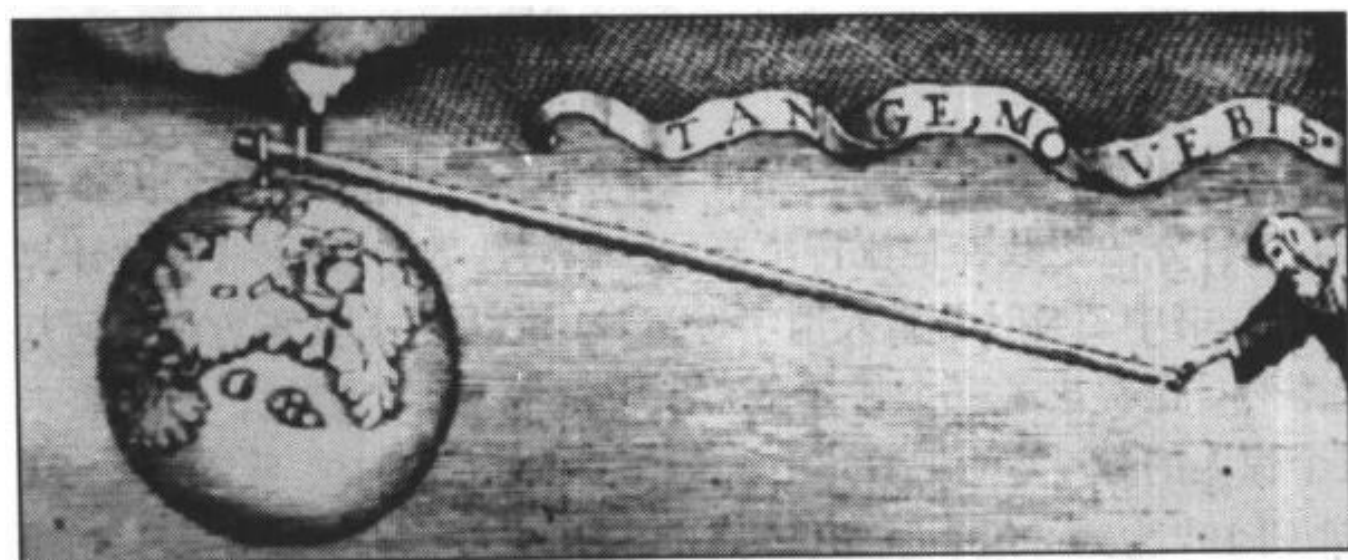


图 5-4 “给我支点，我可以撬动地球”

有关浮力定律的传说更为人熟知。希龙国王请金匠用纯金打了一顶王冠，王冠打好后，国王觉得不太象是纯金的，可是又没有办法证实这一点。他请阿基米德来做这一鉴定工作，而且要求不破坏王冠本身，因为并不能肯定其中掺有银子，要是把王冠毁坏了而其中又没有掺假，那代价又太大了。阿基米德一直在思考这一问题，但没有找到较好的鉴定方法。有一天，他正准备进浴盆里洗澡，这一次仆人把水放得太满了，当他坐进浴盆时有许多水溢了出来，这使他一下子想到溢出的水的体积正好应该等于他自身的体积，如果他把王冠浸在水中，根据水面上升的情况可以知道王冠的体积，拿与王冠同等重量的金子放在水里浸一下，就可以知道它的体积是否与王冠体积相同，如果王冠体积更大，则

说明其中掺了假。阿基米德想到这里，十分激动，他一下从浴盆里跳了起来，光着身子就跑了出去，一边跑还一边喊，“尤里卡（希腊语：发现了），尤里卡”。阿基米德的一声“尤里卡”，喊出了人类探寻到大自然奥秘时的惊喜，正是为了纪念这一事件，现代世界最著名的发明博览会以“尤里卡”命名。

也许在今人看来，阿基米德的这一发现并不惊人、十分平常，但我们必须注意到，古代希腊人既没有比重的概念，甚至也没有重量的概念，安排这样的实验确实是了不起。有意思的是，我国历史上著名的曹冲称象的故事，讲的也是少年曹冲运用浮力原理称大象体重。

阿基米德根据这一次浴盆经验进一步总结出了浮力原理：浸在液体中的物体所受到的向上的浮力，其大小等于物体所排开的液体的重量。这个原理定量地给出了浮力的大小，是流体静力学的基本原理之一。

据说，阿基米德在机械工程方面有许多创造发明。在亚历山大里亚求学期间，他曾发明了一种螺旋提水器，现今仍被称作阿基米德螺旋，而且到本世纪，埃及还有人使用这种器械。又据说，他制作了一个利用水力作动力的天象仪，它可以模拟天体的运动，演示日食和月食现象。

阿基米德的去世更具有传奇色彩。阿基米德晚年，也就是公元前3世纪末叶，正值罗马与迦太基开战，叙拉古也卷入其中。罗马是意大利北部新兴的国家，不久即征服了整个意大

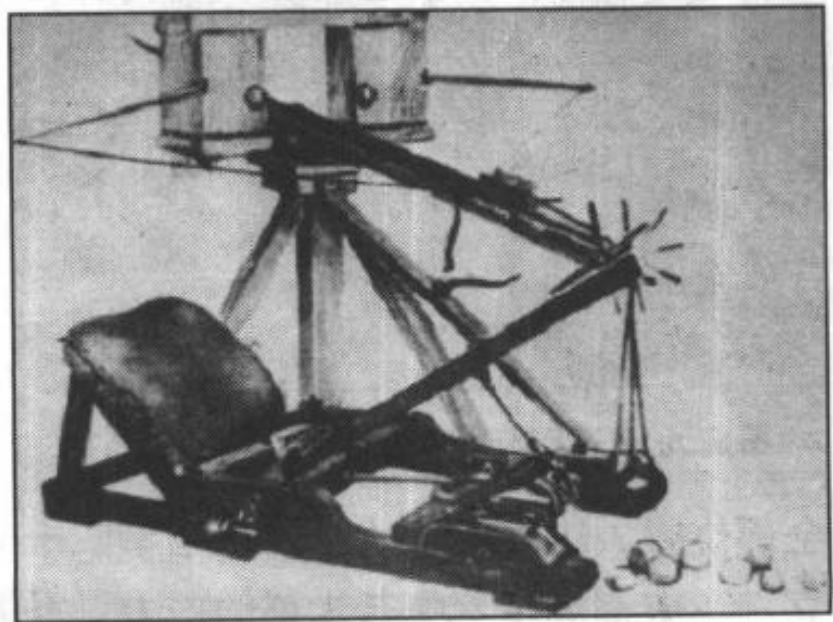


图 5-5 希腊投石机复原图

利，势力扩展到了地中海域。迦太基位于现在北非的突尼斯，也是一个强大的国家，垄断了全部西地中海的商业。起先，为了对付希腊人的殖民统治，迦太基曾与罗马联合，但希腊的势力一旦削弱之后，双方就为在西西里岛的霸权争斗起来了，爆发了历史上著名的布匿战争。身处西西里岛的叙拉古本来一直投靠罗马，但是自公元前 216 年迦太基著名的军事统帅汉尼拔大败罗马军队之后，叙拉古的新国王，希龙二世的孙子希龙尼姆急着与迦太基结盟。罗马虽然惨败，但很快恢复了元气，首先向叙拉古开刀。在这次保卫叙拉古的战争中，阿基米德大显身手，但也就在这次战争中献出了自己的生命。



图 5-6 阿基米德正在设计抗击罗马人进攻的方法

罗马军队在马塞拉斯将军率领下从海路和陆路同时进攻叙拉古。据说，阿基米德运用杠杆原理造出了一批投石机，有效地阻止了罗马人的攻城；还据说，阿基米德发明的大吊车将罗马军舰直接从水里提了起来，使海军根本接近不了叙拉古城。还有一次，阿基米德召集全城所有的妇女老幼手持镜子排成一个扇面形，将阳光汇聚到罗马军舰上，将敌人的舰只

全部烧毁。这些新式武器使罗马军队十分害怕，叙拉古城久攻不克。军中都流传着阿基米德的威力，马塞拉斯也苦笑着承认这是一场罗马舰队与阿基米德一人的战争。

围城三年后，由于内部有人投敌致使叙拉古被攻克，攻城前，马塞拉斯命令士兵一定要活捉阿基米德，不得伤害他，可是命令尚未下达，城池已经被攻陷。罗马士兵闯进阿基米德的居室时，他正在沙堆上专心研究一个几何问题，他刚刚说了一句“不要踩坏了我的圆”，就被罗马兵一剑刺死。事后，马塞拉斯十分悲痛，因为他深深知道阿基米德的价值。希腊科学精英就这样死在野蛮尚武的罗马士兵剑下，这一事件所具有的象征意义不久就显示了出来。



图 5-7 太阳光烧毁敌船

5. 埃拉托色尼测定地球大小

希腊人是最早相信地球是一个球体的民族。自毕达哥拉斯以来，天球—地球的两球宇宙模型一直是希腊宇宙理论的基础。地球的概念为解释不少近地天文现象如月食提供了可信的依据，而天球的概念则很好地满足了柏拉图学派“拯救现象”的要求。为科学的也即立足于经验观测和理性判断的确立这两个概念，亚历山大里亚学派有两位著名的学者作出了重要的贡献。一位是埃拉托色尼，他科学地确立了地球的概念，并定量地确定了地球的大

小；另一位是希帕克斯，他创立了球面几何，为定量地描述天体的运动提供了数学工具。

埃拉托色尼约公元前 276 年生于北非城市塞里尼（今利比亚的沙哈特），青年时代在柏拉图的学园学习过。他兴趣广泛、博学多闻，是古代世界仅次于亚里士多德的百科全书式的学者，只是因为他的著作全部失传，所以今人对他不了解。这样一位百科全书式的人物，当然为爱惜人才的托勒密王朝所青睐，他们邀请他到亚历山大里亚出任亚历山大图书馆馆长，这个职位很适合于他，他也很适合这个位置，于是他就来到了亚历山大，在这里一直呆到去世，享年 80 岁。

据旁人记载，埃拉托色尼的科学工作包括数学、天文学、地理学和科学史，数学上确定素数的埃拉托色尼筛法就是他发明的；在天文学上，他测定了黄道与赤道的交角，也许是利用图书馆馆长之便，他还编写了一部希腊科学的编年史；在地理学上，他绘制了当时世界最完整的地图，东到锡兰，西到英伦三岛，北到里海，南到埃塞俄比亚。

埃拉托色尼最著名的成就是测定地球的大小，他的方法完全是几何学的。假定地球真的是一个球体，那么，在地球上不同的地方，太阳光线与地平面的夹角是不一样的，只要测出这个夹角的差以及两地之间的距离，地球周长就可以算出来了。他听人说，在埃及的塞恩即今日的阿斯旺，夏至这天中午的阳光可以直射入井底，表明这时太阳正好垂直于塞恩的地面，他测出了塞恩到亚历山大城的距离，又测出了夏至正中午时亚历山大城垂直杆的杆长和影长，读者可以自己用代数式算一下地球周长的大小，埃拉托色尼算出的数值是 25 万希腊里，约合 4 万公里，与实际半径只差 100 多公里。在古代世界许多人还相信天圆地方的时候，埃拉托色尼如此准确地测算出了地球的周长，真是了不起，这是希腊理性科学的伟大胜利。

6. 希帕克斯创立球面三角

希帕克斯是希腊最伟大的天文学家，他的卓越贡献是创立了球面三角这门数学工具，使希腊天文学由定性的几何模型变成定量的数学描述，使天文观测有效地进入宇宙模型之中。自欧多克斯发明同心球模型用以“拯救”天文现象以来，通过球的组合再现行星的运动，已成为希腊理论天文学的基本方法，但有两个问题尚未解决，一是如何在球面上准确表示行星的位置变化，一是同心球模型不能解释行星亮度的变化，希帕克斯解决了这两个重要问题。

解决第一个问题是创立球面三角术。根据相似三角形的成比例的原理，以任一锐角为三角形一角所组成的任何直角三角形，其对边与斜边之比、对边与邻边之比、邻边与斜边之比是一个常数，所以它们是角的函数，与边长无关，人们为方便起见就把这些比分别称作正弦、正切、余弦。希帕克斯第一次全面运用三角函数，并推出了有关定理。更为重要的是，他制定了一张比较精确的三角函数表，以利于人们在实际中使用。把平面三角术推广到球面上去，也是希帕克斯的工作，因为他的最终目的在于计算行星的球面运动。

解决第二个问题是抛弃同心球模型，创立本轮——均轮体系。一般人都知道这套体系是托勒密体系，但最先发明的是希帕克斯。每个行星有一个大天球，它以地球为中心转动，这个天球叫均轮，但行星并不处在均轮上，而是处在另一个小天球之上，这个小天球的中心在均轮上，叫本轮，行星既随本轮转动，又随均轮转动，这样可以模拟出比较复杂的行星运动。此外，希帕克斯还引入了偏心运动，即行星并不绕地球转动，而是绕地球附近的某一空间点转动，这个空间点又绕地球转动。

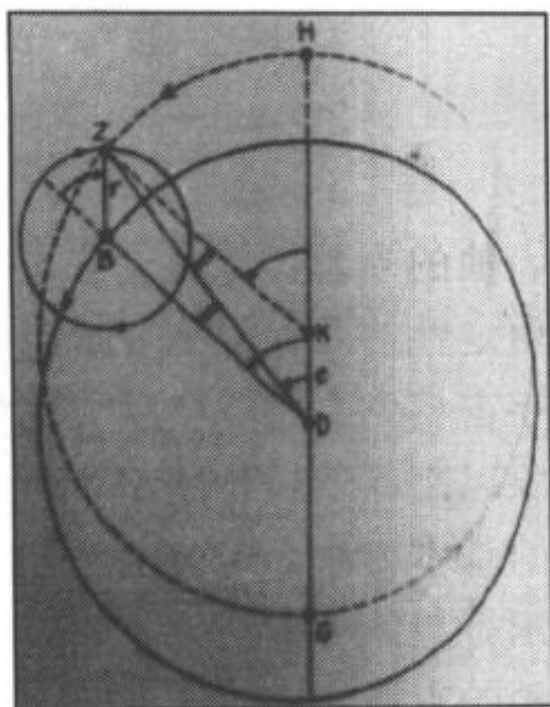


图 5-8 本轮—均轮运动

希帕克斯大约于公元前 190 年生于小亚细亚西北部的尼西亚（即今土耳其的伊兹尼克），像阿基米德一样，他在亚历山大里亚受过教育，但学成后又离开了这里。这个时期，亚历山大里亚不再是适于学者安心治学的地方了，托勒密王朝已不再像他们的祖先那样对科学事业有特殊的兴趣。据说，希帕克斯在爱琴海南部的罗得岛建立了一个观象台，制造了许多观测仪器，在那里，他做了大量的观测工作。利用

自己的观测资料和巴比伦人的观测数据，希帕克斯编制了一幅星图，星图使用了相当完善的经纬度，记载了一千多颗亮星，而且提出了星等的概念，将所有的恒星划为六级。这是当时最先进的星图，借助这幅星图，希帕克斯发现前人记录的恒星位置与他所发现的不一样，存在一个普遍的移动，这样他就发现了北天极并不固定，而是作缓慢的圆周运动，周期是二万六千七百年。由于存在北天极的移动，春分点也随之沿着黄道向西移动，这就使得太阳每年通过春分点的时间总比回到恒星天同一位置的时间早，也就是说，回归年总是短于恒星年，这就是“岁差”现象。

希帕克斯在天文学上的贡献都是划时代的，但我们今天只能从托勒密的著作中了解他的工作。他大约于公元前 125 年去世。

7. 希罗与亚历山大里亚的技术成就

在希腊古典时代，技术是不登大雅之堂的。以柏拉图为突出代表，哲学家们大都不屑于与物理的事情打交道，因为那是奴隶下人们的工作，因此，希腊科学局限于理论构想，与现实世界相

距甚远，科学没有发挥它对物质世界的改造作用，也未显示它的力量，如果说有力量的话，那也是在精神方面。在马其顿的将军们开辟的亚历山大城，气氛有所改变，科学被要求具有物质力量，时尚鼓励科学与技术结盟。因此在这一时期，亚历山大里亚出现了不少高超的技术成就，前面已经讲过的阿基米德就是一例。

由于没有著作传世，纯技术的成就大多随岁月的流逝而湮没。从各种历史著作的旁记中可以得知，亚历山大里亚在建筑工程、水路和陆路运输工程、军事工程方面都有很多建树，尤其在机械制造方面，更是有不少杰作问世。

早期的工程师有克特西布斯，他大概活跃于公元前 285 到 222 年间，他是理发师的儿子，对技术发明有浓厚的兴趣，并且开创了亚历山大里亚的工程传统。据说，他受阿基米德影响很大，因为他们是同一时代的人，而且都在亚历山大城学习和工作过。据历史记载，克特西布斯从小就利用平衡原理为他当理发师的父亲设计了一个可以自由升降的镜子。他发明了压力泵可以压缩空气，利用压缩空气作为动力，他制造了一种弹弓和风琴。克特西布斯最为著名的工作是改进了埃及的水钟。古代人没有近代才有的机械钟表，大多以漏壶计时，通过漏壶中均匀漏出的沙或水的多少作为计时标准。克特西布斯改进过的水钟让水滴入一个圆筒中，圆筒内有一浮标，浮标上的指针可以在筒壁上指示时间。

亚历山大里亚的工程传统在希罗那里达到了高峰，他大概是公元 1 世纪的人。这个时期，埃及已成为罗马的一个省份，从社会历史分期上讲已进入罗马时代，但是希腊的文明或希腊化的文明并未灭绝，它仍然在沿着自己的轨道发展，许多希腊籍的以及在希腊化文明区接受教育的科学家依然属于希腊文化而不属于罗马文化，希罗以及本章下面要讲的托勒密、盖伦、刁番都等人都是如此。

希罗有不少科学著作通过阿拉伯文而传世，他的数学著作有《测量术》、《几何学》，据说还有对《几何原本》的注释，这些著作主要是从应用方面重新整理前人的数学工作。他的开创性工作是在工程技术方面，在他的《机械术》中记载了许多机械发明，包括杠杆、滑轮、轮子、斜面、尖劈等机械工具的组合使用，这些都是杠杆原理的实际运用。在他的《气体论》中，他表明空气也是一种物质，水不能进入充满了空气的容器，他还认识到空气是可以压缩的。在利用空气动力方面，希罗制造了一个很著名的装置即蒸气机，这是一个带有两段弯管的空心球体，当球中的水被烧沸之后，蒸气通过弯管向外喷，产生一个反冲力使球体转动。这个装置只是一个玩具，蒸气动力一直没有真正用于生产上，因为大量奴隶的存在使人们想不到去开发自然力。这大概是古代科学重视理论不重视实际应用的根本原因。

8. 希腊天文学的集大成者托勒密

为近代人最为熟悉的古代天文学家托勒密大概生于公元 100 年，因为从公元 127 年到 151 年间，他在亚历山大城进行过天文观测。他的名字与亚历山大里亚的统治者一样，但并非他们的后裔，可能与托勒密的出生地有关，因此人们猜想他可能出生于上埃及的托勒密城。托勒密象欧几里德总结希腊古典时代的数学而写出著名的《几何原本》一样，系统总结了希腊天文学的优秀成果，写出了流传千古的《天文学大成》。这部十三卷的著作被阿拉伯人推为“伟大之至”，结果书名就成了《至大论》(Almagest)。

《至大论》的第一和第二卷给出了地心体系的基本构造，并用一系列观测事实论证这个模型。如地球是球形的，处在宇宙的中心，诸天体绕它旋转，依离地球的距离从小到大排列是月亮、水星、金星、太阳、火星、木星和土星等等，还讨论了描述这个体

系所必需的数学工具，如球面几何和球面三角。第三卷讨论太阳的运动以及与之相关的周年长度的计算。第四卷讨论月球的运动。第五卷计算月地距离和日地距离。他运用希帕克斯的视差法计算的结果是，月地距离是地球半径的 59 倍，日地距离是地球半径的 1210 倍，前者比较准确，后者则相差甚大。第六



图 5-9 拜占廷艺术家笔下的托勒密
(与国王托勒密混为一谈)

卷讨论日食和月食的计算方法。第七和第八卷讨论恒星和岁差现象，给出了比希帕克斯星图更详细的星图，而且将星按亮度分为六等。从第九卷开始到第十三卷，分别讨论了五大行星的运动，本轮和均轮的组合主要在这里得到运用。

托勒密体系基本上是对前人工作的一种综合，而且主要依据希帕克斯的著作，甚至有人说托勒密基本上是对希帕克斯的抄袭，这一点无法得到证实，因为希帕克斯的有关著作都已失传，但托



图 5-10 托勒密的地心体系

勒密也有自己的观测和自己的发现则是毫无疑问的。托勒密的体系由于较好地容纳了望远镜发现之前的天文观测，所以一直被作为最好的天文学体系，统治了西方天文学界一千多年。至于近代早期被宗教神学所僵化和利用，则是后话，托勒密也不能对此负责。托勒密体系作为一种天文学理论有其很高的历史地位。

托勒密还写过八卷本的《地理学入门》。在这本书中记述了罗马军团征服世界各地的情况，他以此为基础画出了更新的世界地图。他已经知道马来半岛和中国，他也计算了地球的大小，但比埃拉托色尼的比较准确的计算结果小许多。对古代人而言，埃拉托色尼算出的地球的大小太令人吃惊了，因为从当时已知的情况看，若埃拉托色尼是对的，那地球上的大部分都是海洋了，因此当时人们宁可相信比较小的数值。这个错误借着托勒密的权威流传了一千多年。不过有意思的是，正是因为哥伦布相信这个比较小的数值，他才有勇气从西班牙西航去寻找亚洲，要是他知道埃拉托色尼是对的，也许他就不会去完成这次伟大的航行。

9. 希腊医学的集大成者盖伦

盖伦于公元 130 年生于小亚细亚的帕尔加蒙(即今土耳其的贝加莫), 父亲是一位建筑家。早年受过良好的希腊文化教育, 17 岁时开始学医, 游历了许多地方, 其中包括亚历山大里亚的医科学学校。27 岁时回到了故乡, 被任命为斗竞技场的外科医生。公元 168 年被召为罗马皇帝的御医, 从此定居罗马, 著书立说, 大约于公元 200 年去世。

盖伦的主要贡献是系统总结了希腊医学自希波克拉底以来的成就, 创立了自成体系的医学理论。他的理论基于自己大量的解剖实践和临床实践, 对人体结构和器官的功能有比较正确的描述和说明。当时的社会禁止人体解剖, 盖伦就通过解剖各种动物来推测人体构造, 这些推测许多是正确的, 但也免不了有错误的地方。盖伦的



图 5-12 盖伦(右)与希波克拉底



图 5-11 希腊外科医生

生理学以肝脏、心脏和大脑为主要器官。他认识到肝脏的功能是造血, 并注以天然的灵气, 这些血液大部分通过静脉在人体全身中做潮汐运动, 但有一小部分到了心脏。在心脏中血液



图 5-13 盖伦在解剖猪

被注以生命灵气，生命灵气通过动脉送往全身，给全身以活力，大脑则将心脏生成的生命灵气转变为动物灵气，支配着肌肉的活动，也使人有表象、记忆和思维的能力。盖伦认识到动脉的功能是输送血液而不只是输送灵气，但他相信这些血液流到全身各个部位并被吸收。今天我们知道，这个说法当然是错误的，但只有等到哈维发现血液循环后人们才认识到这一点。

盖伦的病理学则主要继承了传统的四体液说，体液平衡人体则健康，平衡破坏则生病，因此治病主要靠调节、排除过剩的体液和腐败的体液。

由于盖伦的著作包括了医学的理论与实践的各个领域，很长时间以来一直被人们所尊崇。在欧洲，一千多年来他都是医学上的绝对权威，不过他确实为西方医学作出了杰出的贡献，正是他奠定了西方医学的基础。

10. 代数学的创始人刁番都

希腊数学几乎可以等同于希腊几何学，因为希腊数学家几乎都在几何学领域工作。直到希腊化时代的晚期，希腊文明的光辉将要耗尽的时候，才出现了一位伟大的代数学家，他就是刁番都。

他大概生活于公元3世纪中叶，在亚历山大里亚呆过。有一本希腊古书上这样记载他的生平：刁番都的一生，童年时代占六分之一，青少年时代占十二分之一，再过一生的七分之一他结婚，婚后5年有了孩子，孩子只活了他父亲一半的年纪就死了，孩子死后4年刁番都也死了。这个谜语一样的生平告诉我们，刁番都活了84岁。至于他的其他方面，我们一无所知。

所幸的是，刁番都六卷本的《数论》原书流传到了现在。书中收集了189个代数问题，与巴比伦时期纯应用性的算术解题不可，刁番都在第一卷中先给出了有关的定义和代数符号说明。特别有意义的是，他首先提出了三次以上的高次幂的表示法，这在希腊数学史上是划时代的，因为三次以上的高次幂没有几何意义，从前的希腊数学家是不会考虑它们的。这表明代数学作为一门独立的学科开始出现了。

《数论》中的问题除第一卷外大多是不定方程问题，主要是二次和三次的。例如将一个平方数分为两个平方数之和，对这类问题，刁番都并未给出一个一般的解法，但他确实是第一次如此大量的研究不定方程问题。今天人们都把整系数的不定方程称作“刁番都方程”，以表示对他的纪念。刁番都的工作以及亚历山大里亚时期其他数学家在算术和代数方面的工作，都与希腊几何学的研究风格迥然不同，前者注重研究个别问题，后者则注重演绎结构和推理规则。前者在亚历山大里亚时期的兴起，反映了东方科学对希腊化科学的渗透。

第六章

罗马帝国时期的科学

罗马人的祖先大约与希腊人的祖先同时进入地中海地区，正当希腊古典文化的繁荣时期，罗马人已经在意大利北部建立了自己共和制的国家。罗马很象希腊的斯巴达，主要是一个农业的民族，为了保护自己的土地和家园，罗马人向来崇尚武力。为了不断增多的居民找到土地，罗马又喜欢军事侵略。大约在公元前 265 年，罗马征服了整个意大利半岛。此后又向地中海其他地区扩张，与北非的迦太基帝国进行了三次大规模的战争，史称布匿战争，战争以公元前 146 年迦太基的毁灭而告终。布匿战争的胜利为罗马挥师东进铺平了道路，在不到半个世纪的时间里，罗马又实际上控制了整个地中海地区，广大希腊化地区被纳入罗马的版图。直到公元前 30 年，罗马共和国走完了二百多年腥风血雨的征战历程，虽然它的版图横跨欧亚非大陆，武功显赫，但这一时期很少有什么科学文化上的建树。

罗马的将军们越来越破坏共和制，最著名的军事统帅朱利亚

·凯撒（公元前100—40年）成了终身独裁官。凯撒死后，他的继承人屋大维（或称奥古斯都·凯撒，公元前63—公元14年）成了罗马皇帝，罗马共和国成了罗马帝国。此后二百年，罗马进入了比较和平稳定的时期，科学文化有一定的发展，本章主要叙述这段时期的成就。

1. 罗马性格与希腊气质

作为军事奇才和政治老手的罗马人，在科学方面却是十足的低能儿。他们的面前摆着希腊古典时代和希腊化时期留下的丰富的科学遗产，但他们却几乎没有在此基础上增添新的贡献，甚至将遗产逐步丢弃。这是科学史上值得深思的现象。

一般来说，罗马人专注于政治和军事问题，对法律、军事钻研较多，而对自然科学则缺乏兴趣和热情。由于这一外在的原因，罗马在有关军事工程和城市建设等方面的技术问题上有些创造发明，而对纯粹科学贡献很少。此外，还有某些内在的原因，这就是所谓的罗马人的性格。他们注重实际，不喜幻想，对待理性知识没有异乎寻常的热情，这是与希腊人完全不同的。希腊气质追求超越的理想，藐视现实的功利，对纯粹知识充满神圣的渴求，所以才会有演绎科学在古代世界

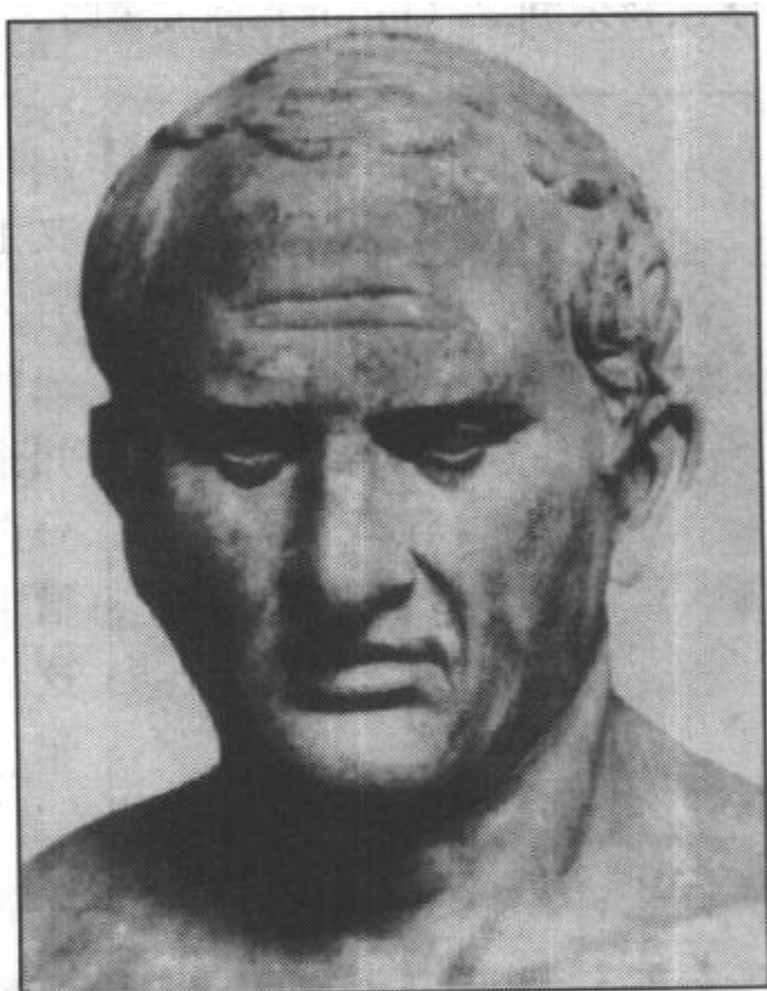


图 6-1 西塞罗

一花独放、一枝独秀。罗马共和时代最杰出的学者西塞罗（公元前106—前43）也不得不说，希腊人在纯粹数学上遥遥领先，而我们只能做点计算和测量工作。怀特海在评论阿基米德被罗马士兵杀害一事时说过一句更意味深长的话：“从没有一个罗马人是因全神贯注于对数学图形的冥想而丧生的”，这话点出了罗马性格与希腊气质的差别。

罗马人偏重实际的性格与东方民族有某些共同之处，罗马科学的衰落对当代中国来讲也是一个不容忽视的历史教训。

2. 儒略历的诞生

现行的公历直接来源于儒略历。所谓儒略历是以罗马统帅朱利亚·凯撒（Julius Caesar）之名命名的一种历法，我国前辈天文学家将朱利亚（Julius）译成儒略，故此名沿用至今。



图6-2 1576年提出格里高利历的
医学教授李利厄斯

古埃及人一直采用阳历，他们很早就发现一年的长度为365又 $\frac{1}{4}$ 天，因此埃及人1年12个月，每月30天，外加5天，这5天往往作为年终节日。虽然他们知道一年的实际天数比这要多一点（即四分之一天），但保守的僧侣阶层还是坚持每年365天，这样，每4年就少了1天，1460年后才与太阳的运动相吻合。

希腊人的历书受希帕克斯影响，坚持用阴历，即用月亮的周期作为纪年的标准，再加上默冬周期作为太阳年与太阴月的

换算规则，总的来说还是不太方便的。

凯撒征服埃及后，带回了埃及的阳历。原来的罗马使用的是阴历，十分混乱。与太阳历相差几个月，以至人们春秋难分。亚历山大里亚的希腊天文学家索西吉斯建议凯撒改用埃及现行阳历，并且注意4年置闰一次。凯撒接受了建议，决定在整个罗马推行阳历。此历规定每4年中头3年为平年，每年365天，第4年为闰年，1年366天，1年12个月，单数的月份31天，为大月，双数的月份30天，为小月。因为凯撒的生日是在7月，凯撒为了体现自己至高无上的威严，要求这个月必须是大月，故天文学家将单月定为大月。六个大月六个月小月使平年多出了一天，必须从某一个月中扣除一天。当时罗马的死刑都在2月份执行，人们认为这是不吉利的一个月，所以从2月份里减去一天。凯撒去世后，他的外侄孙屋大维继位。这位屋大维的生日偏偏在8月，他也要摆一摆谱，所以下令将8月份定为大月，并且从8月份以后双月定为大月。这样一来，一年就有7个大月，又多出一天，再从“不吉利”的2月份减去一天，使它成为28天。每逢闰年，将2月份加一天，使之成为29天。

儒略历是阳历，它比较精确地符合地球上节气的变化，对农业生产很有利，所以很受人们的欢迎。公元325年，基督教罗马教皇规定儒略历为教历。但儒略历还不十分精确，它以 $365\frac{1}{4}$ 天为一年，比实际回



图 6-3 倡导格里高里历的御用天文学家克拉维厄斯

归年要长 0.0078 天，这个差别不是很大，但时间久了，就显出来了。到了公元 1582 年罗马教皇格里高里十三世宣布改革历法时，日期已比实际上多了 10 天。在儒略历的基础上，教皇颁布了新的历法，称为格里高里历。它与儒略历主要的不同处有两点，一是去掉了 10 天，将公元 1582 年 10 月 5 日直接变成 15 日；二是逢百之年只有能被 400 整除的年份才算闰年。我们今日的公历就是格里高里历。我国从民国元年即 1912 年开始采用格里高里历，但同时保留我国自己的阴阳合历即农历。

历法的统一也是大一统国家政权的要求，像罗马帝国这样大的版图，命令要准确的上传下达，没有高度统一的历法是不可想象的。儒略历的诞生可以说是罗马时代比较重要的科学史事件。

3. 卢克莱修与《物性论》

卢克莱修是罗马人对希腊文化继承得比较好的学者，他以其长诗《物性论》而闻名近代。该书是古代原子论唯一留传下来的文献，因此具有重要的历史意义。

卢克莱修大约于公元前 99 年出生于罗马，公元前 55 年去世，据说是因为患精神病而服毒自杀的。他是凯撒的同代人，西塞罗校订过他的手稿，《物性论》是在卢克莱修死后才发表的，此后未引起人们的注意，直到公元 1473 年才又被重新发掘出来。

古代原子论经历了三个发展阶段：第一阶段是希腊古典时期，留基伯和德谟克利特首创原子论思想，对世界作一种唯物论的、机械论的解释，第二阶段是希腊化时期，雅典的伊壁鸠鲁（公元前 341—前 270 年）进一步发展了原子论，并将之运用到人生哲学之中，提出了著名的享乐主义哲学。在今天的西方词汇中，伊壁鸠鲁主义就被当作享乐主义的代名词。伊壁鸠鲁的哲学迎合了希腊古典文化江河日下时期希腊人的心态，有着长远的影响。

古代原子论的第三个阶段是罗马时期，主要由卢克莱修加以发展，很显然，卢克莱修深受伊壁鸠鲁的影响，因为在他的时代，伊壁鸠鲁的著作有近三百卷在流传，从《物性论》中也可以看出他对伊壁鸠鲁的赞颂。卢克莱修在书中不但全面叙述了原子论者的哲学立场，而且提出了某些新颖的观点，例如进化思想。

原子论思想在罗马时代的复活是非常不寻常的。当时宗教迷信盛行，社会精神萎靡不振，无神论的原子论，断然否定神界的存在，力排一切怀疑论和消极的情绪，充满着昂扬向上的精神风貌。这大概是罗马时代比较杰出的精神气质。

4. 维特鲁维：建筑学之鼻祖

如果说罗马人也有自己的科学的话，那维特鲁维就是最杰出的代表人物。这位凯撒大帝的军事工程师是罗马人，大约生活在公元前1世纪。他受过相当好的希腊教育，但作为罗马人，他热衷的是将希腊知识运用到实际上去。他最为有名的著作是十卷本的《论建筑》，这部书一直广为流传，被称为建筑学上的百科全书，维特鲁维也因此被称为西方建筑学之鼻祖。

《论建筑》共十卷，第一卷讲建筑原理。第二卷讲建筑史和建筑材料。第三卷和第四卷着重分析了希腊式神庙包括爱奥尼亚式神庙、多里亚神庙



图 6-4 罗马医生正在给小孩看病

和科林斯神庙的建筑结构，讨论了其中出现的工程技术问题。第五卷谈及城市整体规划，包括公共建筑、剧院、音乐厅、公共浴场、港口。第六卷论民居。第七卷谈居室设计。第八卷谈供水技术。第九卷论计时器。第十卷讨论一般工程技术问题。包括建筑工具如吊车的使用等问题。维特鲁维本意是想为建筑新手提供一部入门书，但《论建筑》确实是一部建筑学的百科全书。

维特鲁维也研究了不少天文学和数学问题，但在这方面，他表现了作为一个罗马人的不足之处。虽然他精通希腊的科学知识，并力图将它们运用到实际中去，但他的理论修养还不足以达到希腊人的水平。比如他算出的圆周率等于 3.125，远不如二百年前的阿基米德算得准确。

5. 塞尔苏斯与罗马医学的百科全书

罗马人在理论科学方面的工作基本上是复述希腊人的知识成就，在这方面比较突出的是塞尔苏斯。此人生活于公元元年左右，

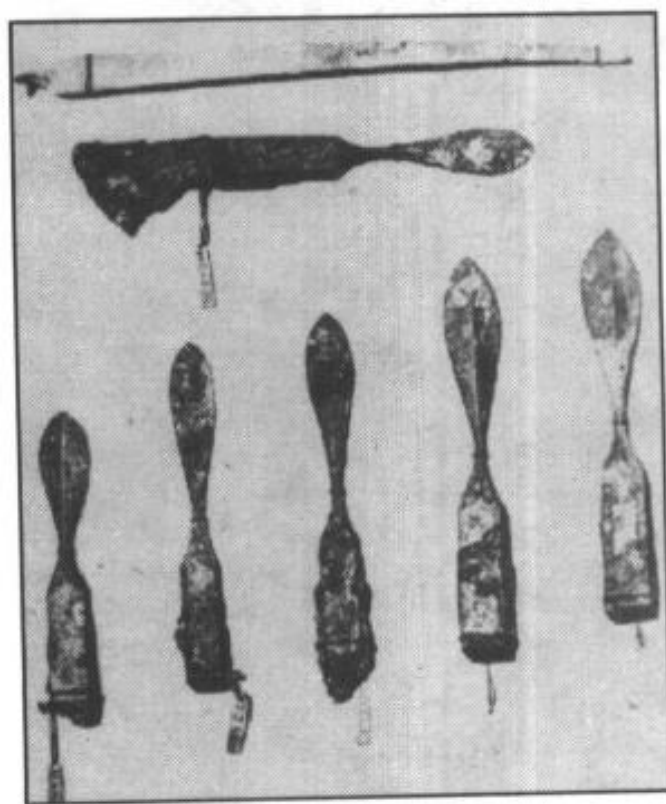


图 6-5 罗马人使用的外科手术刀

是一位罗马贵族，自小受过很好的希腊文化教育。他用拉丁文写过好几本书向罗马人介绍希腊的科学知识，但由于只有关于医学的著作留传下来了，所以他被看成了罗马医学百科全书的编写者，也有人称他为“医学上的西塞罗”，因为西塞罗是罗马著名的著作家。

说他是医学上的西塞罗倒也符合事实。在漫长的中世纪，唯有拉丁书籍在知识界流传，希

腊光辉夺目的知识成就被历史所湮没，只有那些有幸被罗马人用拉丁文介绍过来的希腊知识才得以在人类生活中发挥作用。塞尔苏斯的医学著作虽然得自希腊人，但确实自成体系地影响了西方医学的发展。特别有影响的是外科学和解剖学，他在书中谈到了扁桃体摘除术，白内障和甲状腺手术以及外科整形术。文艺复兴时期，他的著作被医学界大力推崇，许多解剖学术语都是从他那里来的。有意思的是，近代科学形成时期著名的化学家帕拉塞尔苏斯的名字就是得自塞尔苏斯，“帕拉”意思是“超过”、“胜过”，“帕拉塞尔苏斯”的意思就是比塞尔苏斯更高明。可见塞尔苏斯在当时是很有影响的人物。

6. 普林尼与《自然史》

罗马时期另一位重要的科学人物是普林尼。他是一位博物学家，公元 23 年生于意大利北部的新科莫（即今科莫），12 岁时赴罗马深造，学习当时罗马人流行的课程：文学、辩论术和法律。23 岁时参军，在莱茵河畔指挥军队，并周游欧洲各地。他兴趣广泛，学识渊博，在战争期间亦不忘写作，同时积累了大量的自然知识。公元 58 年，普林尼退役回到罗马，在这里从事法律工作达十年之久。公元 69 年，他的



图 6-6 《自然史》

朋友韦斯巴辛当了罗马皇帝，他也恢复官职，被任命为西班牙行政长官，后来又被任命为罗马海军司令。公元 79 年，意大利那不

勒斯附近的维苏威火山大爆发，附近的古城庞培被猛烈的火山灰全部淹没。普林尼率领的罗马舰队正驻留在那里，为了记录火山爆发的实况，普林尼独自一人上岸观察，由于时间太长，火山灰以及有毒气体使他窒息死亡。普林尼为了探索自然的奥秘而献出了自己的生命。

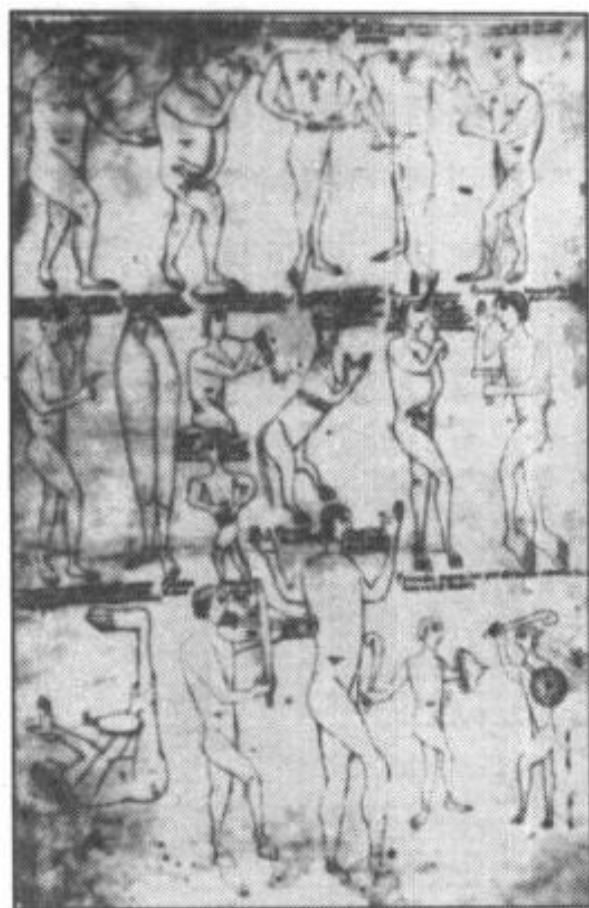


图 6-7
《自然史》中关于怪物的插图

普林尼最重要的著作是 37 卷的《自然史》，公元 77 年他死前不久才发表，是题献给韦斯巴辛的儿子、当时的罗马皇帝泰特的。这部巨著是对古代自然知识百科全书式的总结，内容涉及天文、地理、动物、植物、医学等科目。普林尼以古代世界近五百位作者的两千多本著作为基础，分 34707 个条目汇编自然知识。他在复述前人的观点时忠实而缺乏批判性，各种观点不论正确或荒谬一概得到反映，特别是谈到动物和人类时，许多神话鬼怪故事夹杂其中，像美人鱼、独角兽等传说中的动物也被普林尼当作真实的东西与其他生物并列。

《自然史》对二手材料的忠实，为后人研究古代人的自然知识提供了珍贵的依据，特别在它参照的绝大多数著作都已失传的情况下。

普林尼的基本哲学观点是人类中心论，在他编写《自然史》时，这一哲学立场得到了贯穿。也由于这一哲学立场，《自然史》被日益兴盛起来的基督教所认同，有助于它流传于世。无论如何，《自然史》是一位对大自然充满好奇心的人写的，它因其渊博的学识，诱使人们保持对大自然的新奇感，而这是自然科学发展的基本的

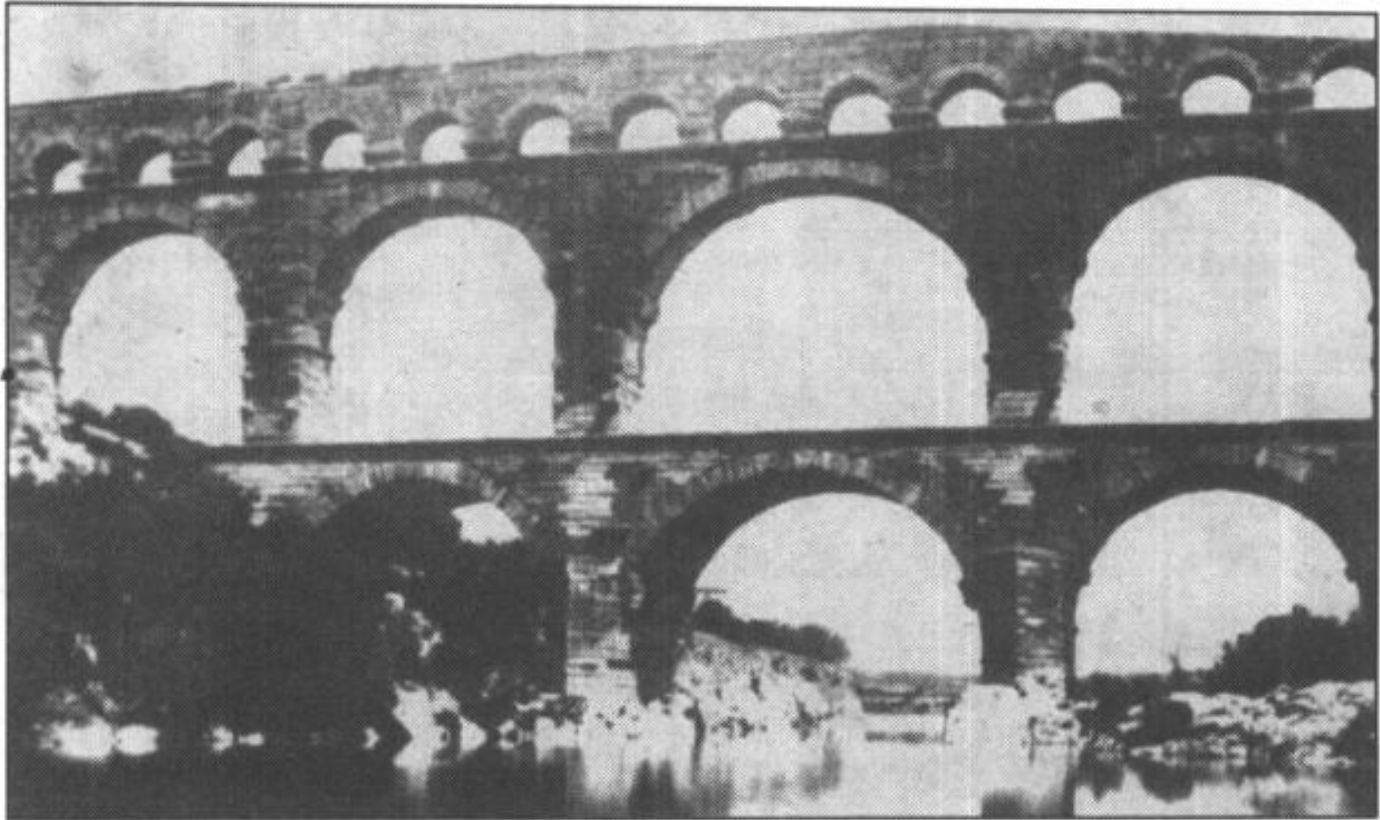


图 6-8 公元前 19 年罗马人在法国尼姆修建的高架引水桥
内在动力。

7. 罗马人的技术成就

罗马人在理论科学方面确实是不擅长的，他们能作得最好的便是准确转述希腊人的知识。但即使是这样，他们做得也并不令人满意。但是，在实用技术和公益事业方面，罗马人有非常杰出的创造和伟大的业绩，这特别反映在农学、建筑工程和公共医疗方面。

罗马人比较注重医疗卫生事业，希腊医学是罗马人学习得最好的一门科学。罗马政府在每个行省都设有医疗中心，城市有医院，开办有医学院，由政府给医学教师发薪水。只是到了罗马帝国的后期，骄奢淫逸的罗马人才开始放弃医生这一神圣的职业，让奴隶们去为病人做手术，自己则在一旁监督，这样一来，医学的发展就自然停止了。

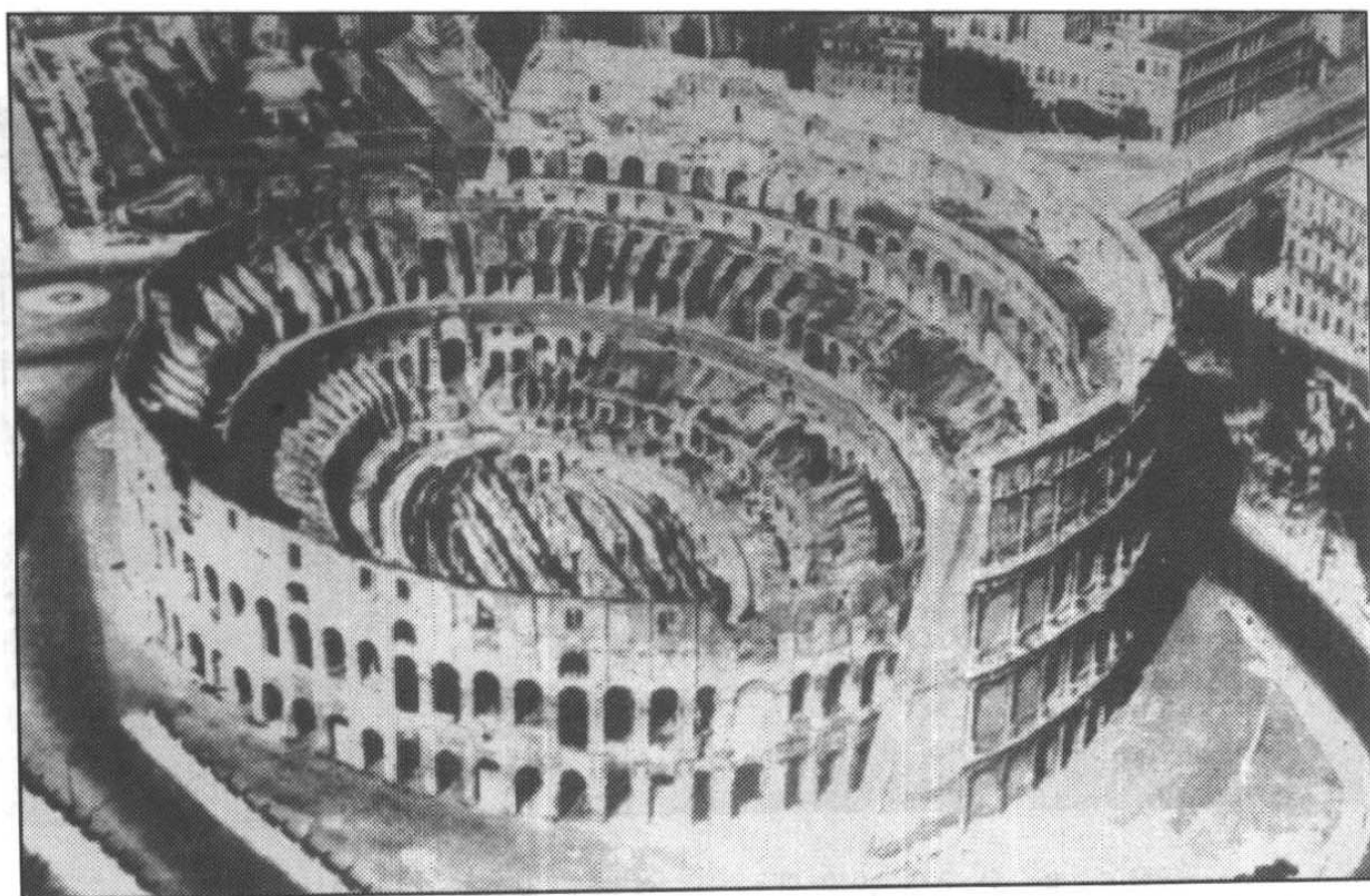


图 6-9 圆形竞技场



图 6-10 古罗马讲坛遗址

版图广大的罗马帝国为了巩固自己的统治，很重视交通运输、通信事业的发展。罗马人以首都罗马为中心，建立了通往各行省的公路网。罗马城内主要街道都用石子铺就，而公路网上遇河架桥、逢山凿洞，表现了高超的工程技术水平。罗马人的引水道工程尤其著名。为了给越来越多的城市人口供水（到公元1世纪时，罗马城的居民可能达到了一百万），罗马政府从水源处开始兴建引水渠到市内。据说，罗马城附近的引水道有近200公里长，引水道进入低洼地带便架桥，还采用了虹吸技术。

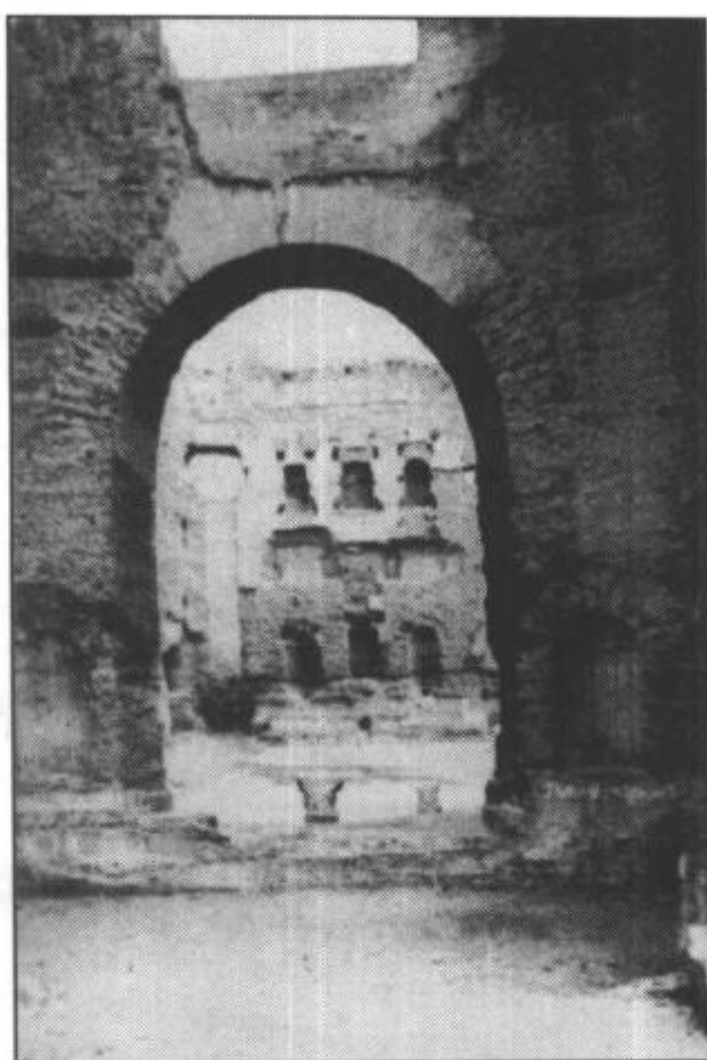


图 6-11 罗马浴室遗址

罗马的公共建筑也不亚于希腊建筑，它们规模宏大、结构坚固，用的是大理石和罗马人自己发明的速凝混凝土。最著名的建筑物中有万神庙和圆形竞技场，万神庙是罗马皇帝哈德良于公元120至124年建造的，它的屋顶是圆的，直径达42米，前门由两排16根列柱支撑，带有希腊式神庙的建筑风格。罗马可里西姆大圆形竞技场建于公元72至80年间，直径180米左右，四周是四层高高的看台，据说可容纳五万人观看奴隶角斗。除了神庙和竞技场外，罗马的公共建筑还有凯旋门、纪功柱、公共浴场等。罗马统治者以各种各样的建筑形式表现他们的赫赫武功。

罗马是一个农业的民族，以农立国，因此他们对农业科学比较重视，许多行政长官都写过农学的著作。公元前180年，罗马

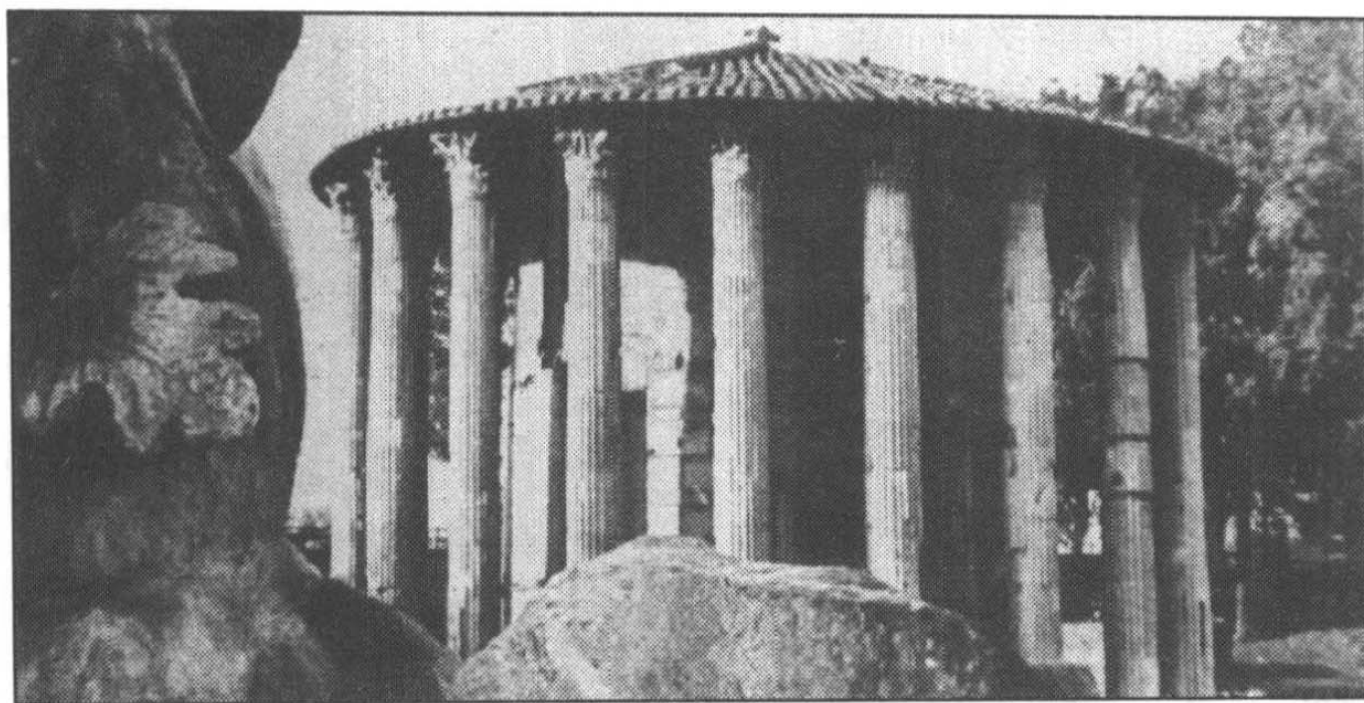


图 6-12 罗马神庙，有着希腊式的立柱

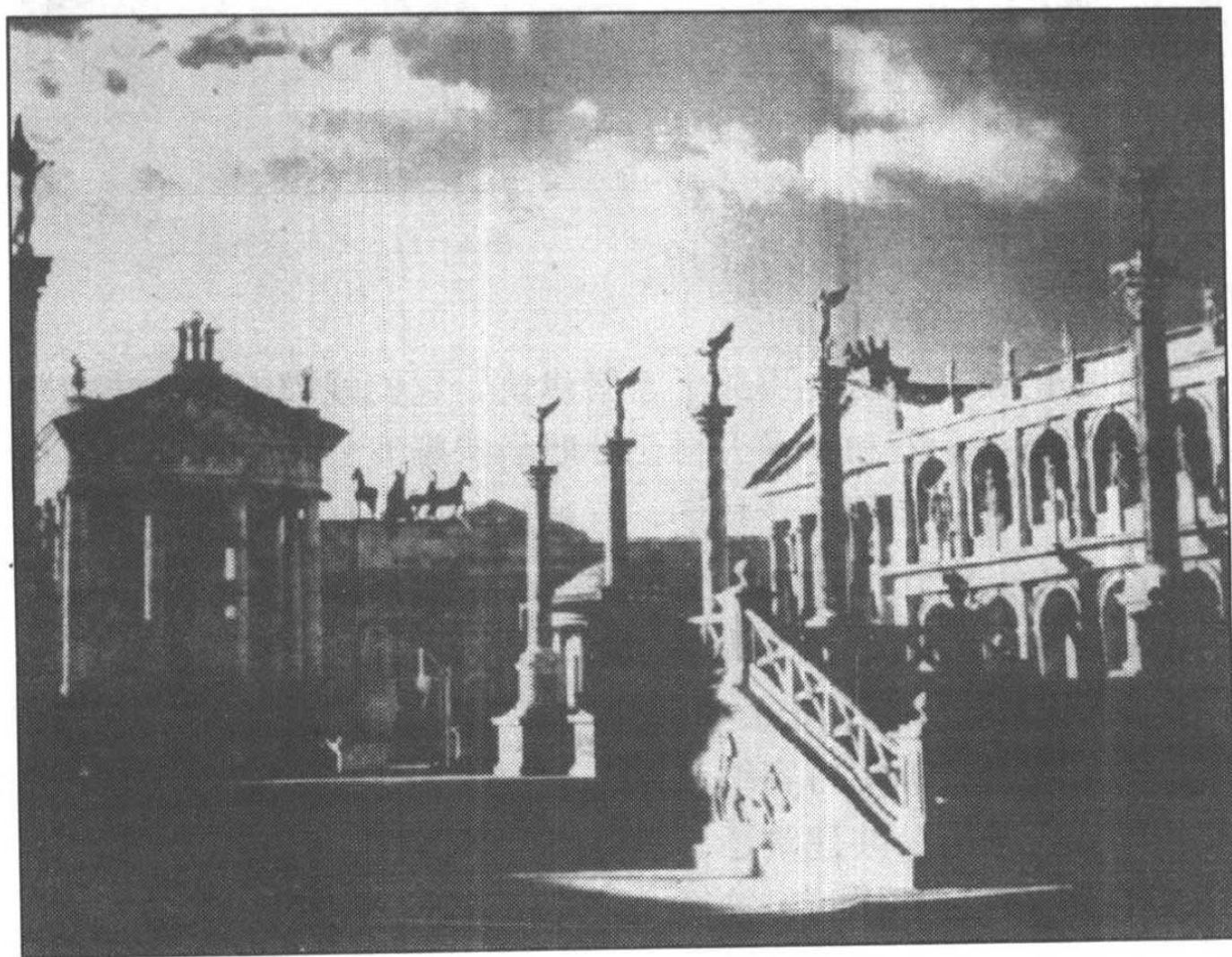
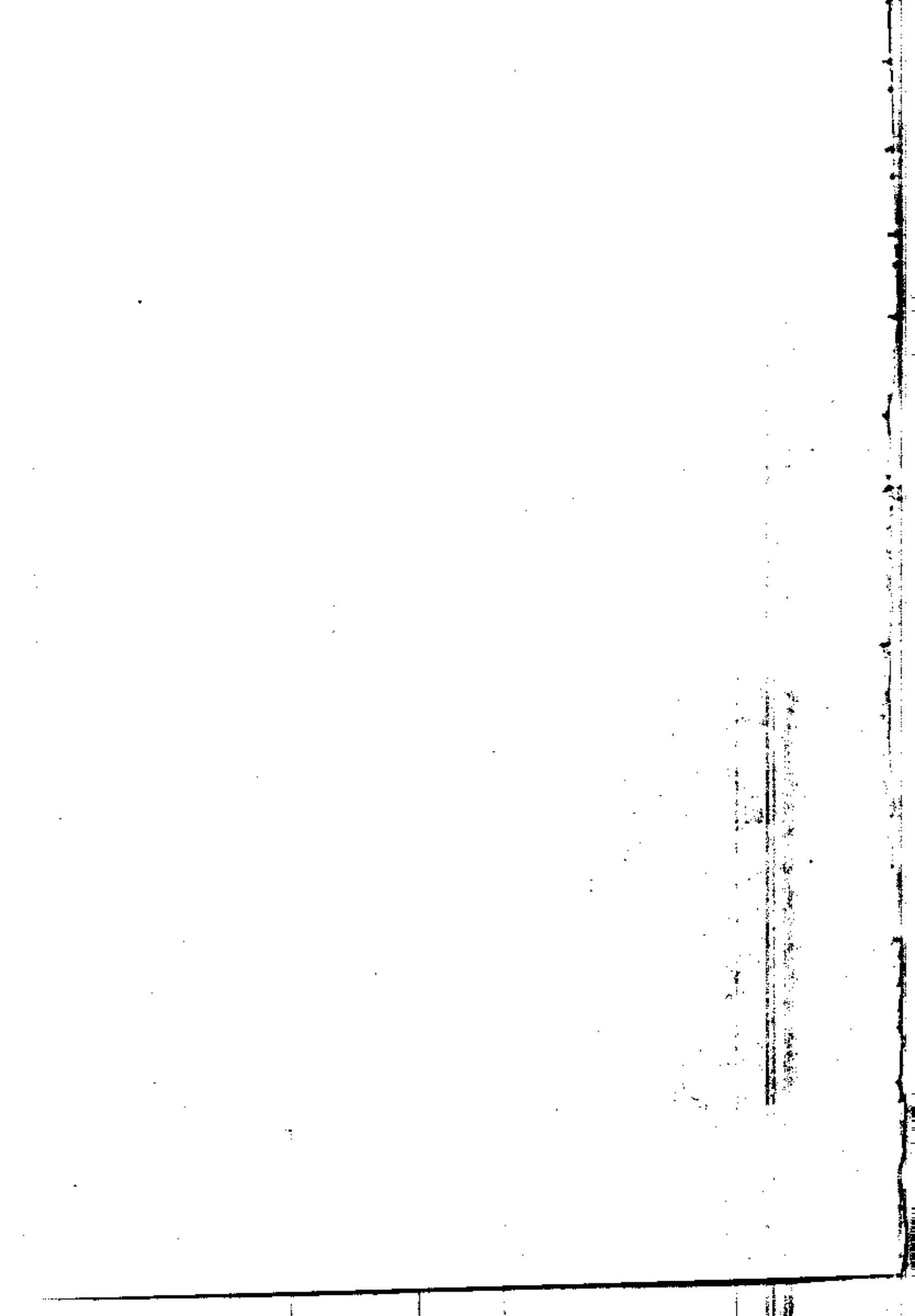


图 6-13 罗马会场

首席执政官卡图（公元前 234—前 149 年）发表其《论农业》。公元前 37 年，大法官瓦罗（公元前 116—前 27 年）发表了《农业论》，他是一位著名的拉丁语作家，据说是他开创了罗马时代的百科全书式写作传统，塞尔苏斯和普林尼实际上是步他的后尘。他最先将学问划分为九科，它们是文法、修辞、逻辑、几何、算术、天文、音乐以及医学、建筑，最后两门没有为中世纪的学者所接受，故在中世纪流传有“学问七科”的说法。瓦罗以后，还有不少罗马人写过农学著作，足见罗马人对农业和农学的重视。



图 6-14 图拉真纪念柱



第三卷

中世纪：西方不亮东方亮

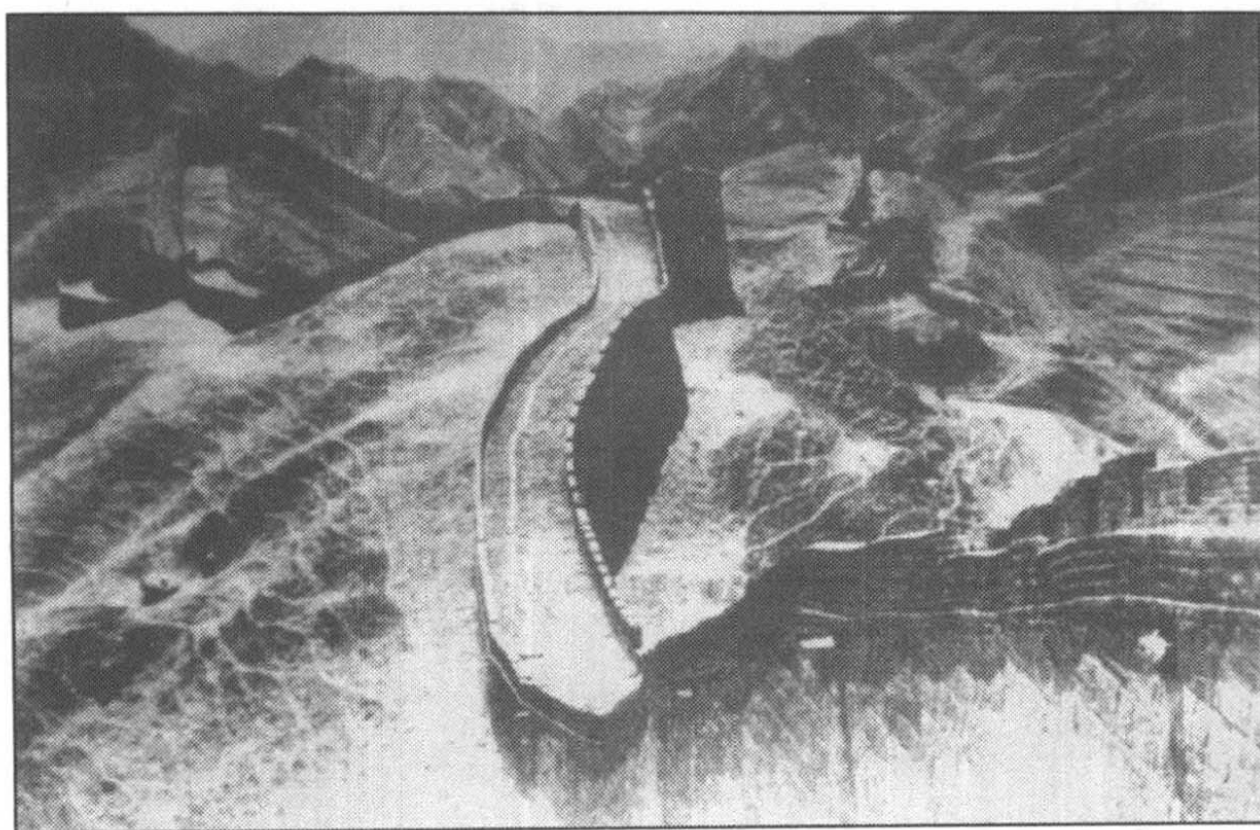


图 7—0

中国的万里长城

罗马帝国的后期，古典文化的光辉一点一点在消失，整个欧洲进入了暗淡无光的中世纪。但在东方，作为文明古国的中华帝国却放射着耀眼夺目的科学技术之光华，中国人的四大发明为欧洲的文艺复兴准备了条件。也是在欧洲的文化沙漠时代，阿拉伯人继承了希腊的科学遗产，成了科学火种的保存者，近代世界早期主要是从阿拉伯文了解希腊学术的。中国人与阿拉伯人在中古时期高度发达的科技水平与同时期欧洲的漫漫长夜恰成鲜明对比。

第七章

古典文化的衰落与欧洲黑暗年代

公元最初的五百多年，是古典文化持续衰落的时期。基督教的兴起、西罗马帝国的灭亡、柏拉图学园被封闭和亚历山大里亚图书馆被烧，可以看成是古典文化衰落的标志和里程碑。此后五百年，由于蛮族入侵，原西罗马帝国的大部区域即欧洲进入了黑暗年代，经济大倒退、文化跌入低谷、人们的精神陷于愚昧和迷信之中，希腊古典文化只有在拜占廷即东罗马帝国的首都苟且偷生、奄奄一息。

1. 基督教的兴起

生活在地中海东岸巴勒斯坦地区的犹太人又称以色列人或希伯来人，他们的祖先大概是公元前1200年从幼发拉底河迁到埃及尼罗河三角洲的，后不堪忍受埃及人的奴役，在传说的犹太人的领袖摩西带领下来到今巴勒斯坦的南部，以后在这里建立了自己

的国家，并定都耶路撒冷。公元前 930 年，希伯来国家分裂成了北部的以色列王国和南部的犹太王国。公元前 1 世纪，两个希伯来王国均被并入罗马帝国的版图。但在罗马人统治下，犹太人中出现了一位对世界历史产生过重大影响的人物，他就是诞生于公元元年的耶稣基督（“基督”即“救世主”的希腊文译音）。

作为被压迫、被剥削的犹太民族的代表，耶稣宣传上帝派救世主解救苦难深重的人类的思想，反对罗马的奴隶制度，反对罗马对待其他民族的统治和压迫。他所倡导的不是偶像崇拜，而是禁欲、忏悔和对唯一的主上帝的颂扬。耶稣言传身教，所以很有影响力。犹太教的教士们对耶稣的离经叛道思想大为不满，又害怕他的布道会激怒罗马人，所以干脆将他抓起来交给罗马地方长官彼多拉，彼多拉将耶稣钉死在十字架上，时年公元 30 年。

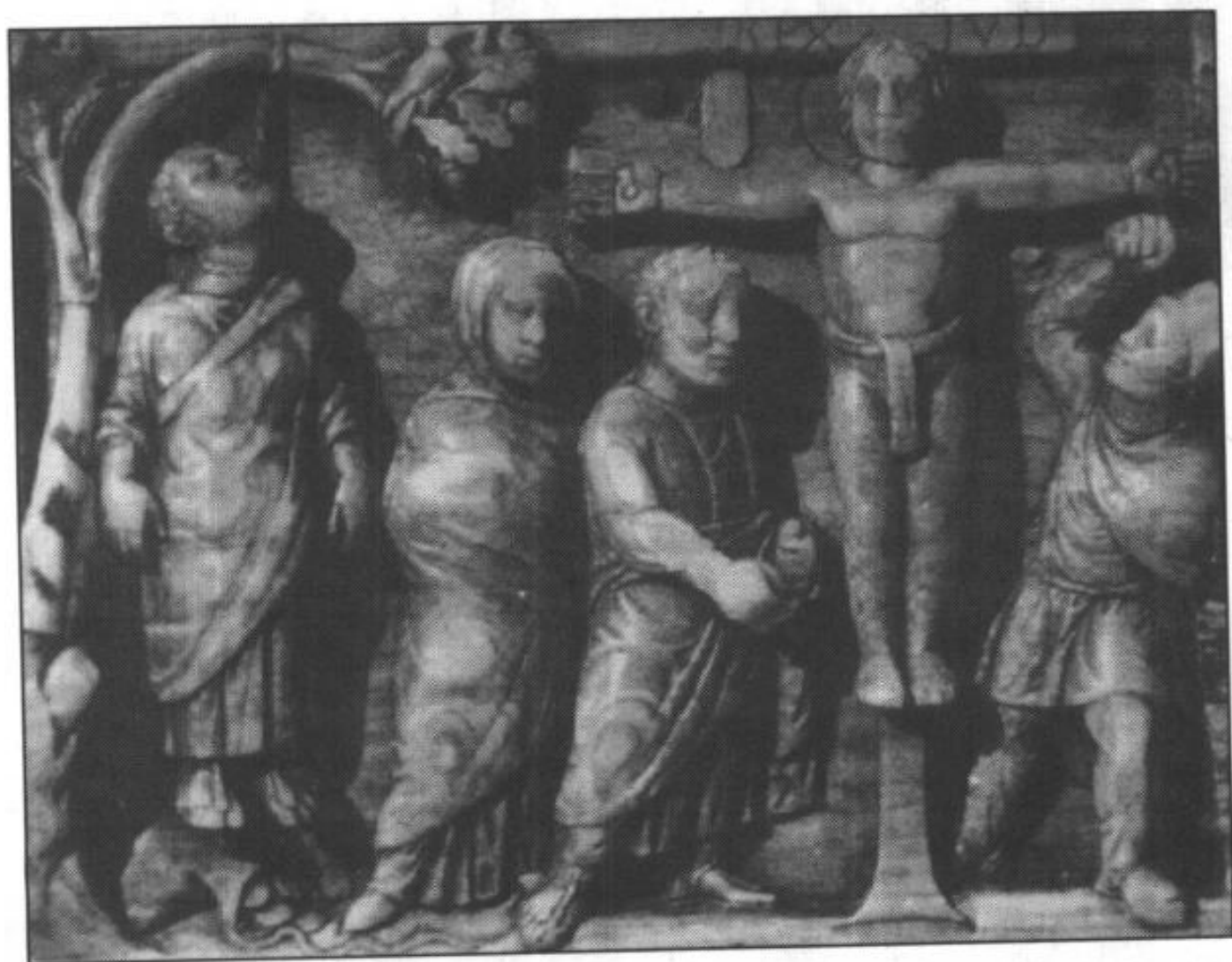


图 7-1 公元 420 年的一幅雕像，图中耶稣被钉在十字架上

耶稣死后，一些谣言在他的门徒中传播开来，有人说亲眼看见耶稣又复活了，他是真正的救世主。二十多年后，基督教的另一位创始人物保罗继续了耶稣的事业。他强调耶稣受难的象征意义是为人类赎罪，强调耶稣不只是犹太人的救世主，而是全人类的救世主。保罗还强化了信仰的作用，主张对于全能的上帝来说，一切都掌握在他的手中，只有他的意志才能决定人在来世的命运，唯有对他诚惶诚恐地信仰，此外没有别的办法能使人类得救。

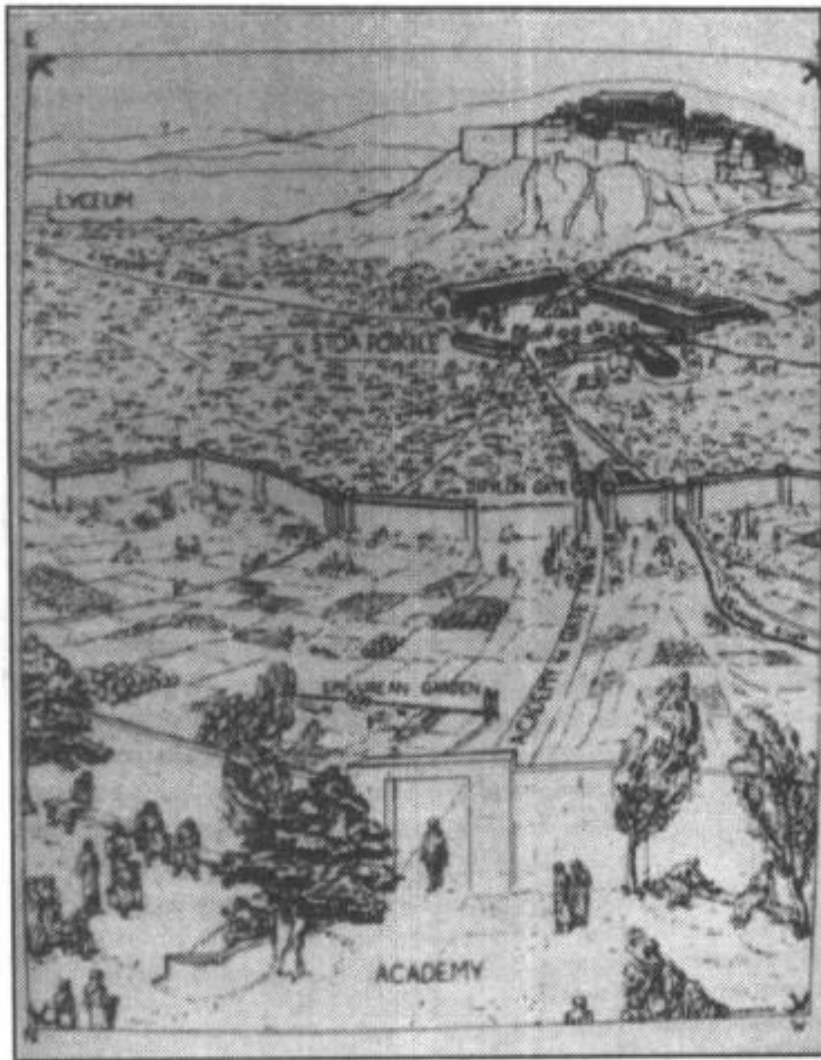


图 7-2 古代晚期的雅典学校

公元最初的两个多世纪，罗马帝国不得不对基督教采取压制和迫害，但是精神上穷途末路的那个时代的人民很快就被基督教“赎罪”、“拯救”的学说所吸引，特别是穷苦的人民，他们在基督教中看到了自己的理想和出路。物质的希望破灭了，但反过来顺受这些美德却是他们能够做到的。以至到了君士坦丁当政时代，罗马帝国正式承认基督教的合法性。公元 325 年，皇帝君士坦丁亲自主持了基督教世界的第一次全体主教会议，基督教开始作为一个重要的社会力量参与历史创造。公元 380 年，罗马皇帝狄奥多修将基督教定为国教。

基督教的兴起，标志着一种取代正在衰落中的古典文化的新型文化已经出现，古典文化被抛弃的历史命运已经注定。总的来

看，基督教的兴起在科学史上的意义是消极的，因为信仰和天启取代了对事物的钻研，探索自然的热情被窒息。基督教对待希腊文化特别是一种毁灭性的力量，因为希腊文化被它宣布为异教，必欲置之死地而后快。在整个基督教文化占支配地位的中世纪，欧洲在自然科学方面很少做出什么有意义的工作。但是，在五百年最黑暗年代，基督教会在保存学术方面也有一定的贡献。

2. 西罗马帝国灭亡

罗马帝国在皇帝图拉真（公元 98—117 年在位）统治时期达到了它的最大版图，除了今日德国和东欧南部的部分外，几乎包括了整个欧洲的版图。在今德国和东欧南部也就是罗马帝国的北部，很早就有蛮族部落克尔特人、日耳曼人和斯拉夫人生活着。到了公元前的最后一个世纪，住在西部的克尔特人被罗马所征服并与罗马人融合，但日耳曼人和斯拉夫人则一直大肆骚扰罗马。日耳曼人兵强马壮，老大的罗马帝国根本对付不了他们，只好允许他们进入境内，并担负防务工作。罗马帝国西部的蛮族化越来越厉害，军队几乎全由蛮族组成，蛮族首领进入统治阶层。

公元 330 年，君士坦丁大帝将罗马帝国的首都迁到了黑海和地中海之交的城市拜占廷，并改名为君士坦丁堡（即今土耳其境内的伊斯坦布尔）。这一举动是为了加强对帝国全境的控制，因为罗马作为首都不能发挥海洋的作用，而君士坦丁堡的地理位置比较优越。但迁都后，罗马帝国对于西部的控制便削弱了，西部蛮族闹得越来越起劲。公元 395 年，皇帝狄奥多修去世，他的两个儿子分别继承了帝国的东部和西部，罗马正式分成了东罗马帝国和西罗马帝国两部分。西罗马是真正的罗马帝国，因为帝国原来的大部分属地在这里。而东罗马则打算守住亚历山大大帝打下的基业，把自己的力量留在东方。公元 610 年，东罗马皇帝赫拉克

流开始帝国的希腊化时代，东罗马帝国改称拜占廷帝国，希腊语成为国语，希腊化的文明在这里得以延续，日后发展出了拜占廷文化。

在真正的罗马帝国（西罗马），蛮族入侵使帝国支离破碎，近代欧洲各民族、各国家开始形成，拉丁语被修改和地方化。公元410年，蛮族军队攻陷罗马，在罗马城进行了三天三夜的洗劫，罗马几成空城。公元476年，西罗马帝国最后一名皇帝被废，这个名存实亡了好几百年的罗马帝国终于正式解体了。

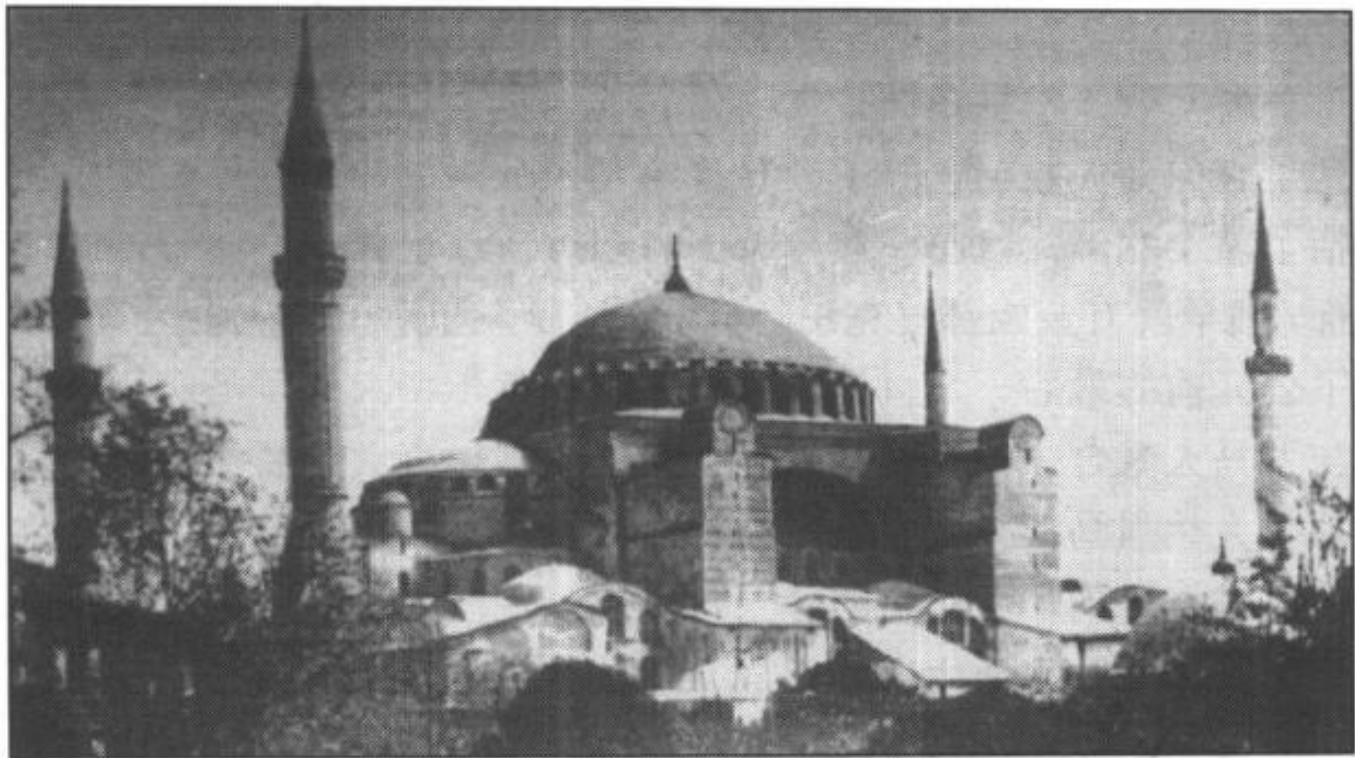


图 7-3 拜占廷的圣索菲亚大教堂（查士丁尼建于公元 6 世纪）

3. 柏拉图学园被封闭

西罗马帝国于公元 476 年瓦解后，东罗马皇帝查士丁尼（527—565 年在位）又一度统一了古罗马帝国。这位武功显赫的皇帝的确从蛮族手中夺回了帝国的大片领土，而且他还使拜占廷帝国的文化艺术兴盛一时。但又正是他于公元 529 年下令封闭了雅典的所有学校包括柏拉图学园，这一由柏拉图亲手创建、此后持续了

900 多年的希腊学术据点被拔掉了。

查士丁尼封闭柏拉图学园无疑是因为宗教原因，其时，基督教已成为拜占廷的国教，教会视希腊学术为异端邪说。不过，与西方的罗马教会不同，拜占廷的教会势力并不太大，敌不过世俗的政权，也未能垄断世俗文化的发展，因此，拜占廷文化带有很强的古典特色。拜占廷的建筑艺术特别被人称道，是这个黑暗年代罕见的星光。被封闭的柏拉图学园中的希腊哲学家们包括著名的亚里士多德的注释者辛普里丘都去了波斯，但不久后就发现，拜占廷比波斯更适合于他们，所以大部分人又来到了这里。

在君士坦丁堡，出现了古代世界最后一位希腊化科学家，他就是普罗克罗。此人 410 年生于君士坦丁堡，接受的是希腊式教育，是当时希腊化世界中广泛流行的新柏拉图主义的信徒。他后来到了雅典，在柏拉图的学园里教学，并成了那里的学长。普罗克罗留下了几部对托勒密和欧几里德的注释，这些注释有着重大的科学史意义。485 年 4 月 17 日，普罗克罗在雅典去世。

4. 亚历山大图书馆被烧

亚历山大里亚一直是希腊文化的避难所，它藏书巨丰的图书馆是古典学术的象征，但是罗马帝国的战火、基督教徒和伊斯兰教徒过火的宗教热情，不断地洗劫这个希腊化城市。公元前的最后几个世纪，埃及一直在托勒密王朝统治下，到了最后一位统治者克里奥帕特拉女王时，罗马的利剑已刺将过来。公元前 47 年，罗马大将凯撒纵火烧毁了停泊在亚历山大港的埃及舰队，大火殃及亚历山大图书馆，近三个世纪来收集的七十万卷图书付之一炬。但是由于收集的藏书过多，图书馆容纳不下，有一些图书存放在塞拉皮斯神庙，所以幸免于难。以后，罗马将军安东尼又将帕加蒙国王放在罗马的私人藏书送给了克里奥帕特拉女王，这使亚历

山大里亚保有的藏书量依然是可观的。

自从公元 380 年基督教成为罗马国教以来，已纳入罗马版图的埃及亚历山大里亚又开始遭受基督教文化的侵袭。罗马皇帝狄奥多修于 392 年下令拆毁希腊神庙，当时希腊学术著作最大的收藏所塞拉皮斯神庙，被德奥非罗斯主教为首的基督徒纵火焚烧，大约有 30 多万件希腊文手稿被毁，这是亚历山大城图书遭受的第二次大劫难。

基督徒在这里不仅烧毁了希腊的学术著作，而且残忍地杀害了亚历山大里亚缪塞昂学园最后一位重要的人物、古代世界唯一的一位女科学家希帕提娅。这位约于 370 年生于亚历山大里亚的女数学家是著名数学家塞翁之女，自小随父学习数学和天文学，成年后协助父亲整理和校订欧几里德、托勒密的著作，她本人还注释了刁番都的《数论》和阿波罗尼的《圆锥曲线》。她是一位坚定的新柏拉图主义者，是亚历山大里亚新柏拉图学派的领袖。这个学派在发展柏拉图的学说、批判亚里士多德主义方面做出了重要的贡献，在思想史上有突出的地位，是近代自然哲学的先驱。可是，由于希帕提娅不信基督教，基督教会一直视其为眼中钉肉中刺。当时的教长里尔与亚历山大城的行政长官奥雷斯蒂矛盾甚深，而希帕提娅与后者交往密切，所以里尔对希帕提娅恨之入骨。公元 415 年 3 月的一天，在里尔的指使下，一群基督暴徒在大街上她的马车中抓住了她，将她拖到教堂里活活撕个粉碎。这是基督教残害科学的血淋淋的罪证。

对亚历山大图书馆最后的毁灭是伊斯兰教完成的。公元 640 年，新兴的回教徒攻占了亚历山大城，回教首领奥马尔下令收缴全城所有的希腊著作予以焚毁，他说了一段闻名历史而又愚不可及的话：“这些书的内容或者是可兰经（即伊斯兰教圣典）中已有的，那我们就不需要它们，或者是违反可兰经的，那我们就不应该去读它们。”，所以，全部将它们烧毁。据说，亚历山大城的

公共浴室有半年以羊皮纸作燃料烧水，而这些羊皮纸上书写的是人类文明最宝贵的文化遗产。

亚历山大城陷落了，亚历山大里亚的图书馆被烧掉了，古代希腊化的学术中心不复存在了。

5. 蛮族入侵与五百年黑暗年代

一般提到中世纪，总认为是一团漆黑，这种看法是不完全的，只有从时间上和地域上作出界定，这样说才是正确的。一般将公元5世纪西罗马帝国灭亡到15世纪意大利文艺复兴这一千年来年称作中世纪，或中古时期。按这样的分期，中世纪就不能说是一团漆黑。因为，第一，只能说欧洲如此，而阿拉伯地区以及印度和中国并不黑暗；第二，在欧洲，也只有5世纪到11世纪这五百多年是真正的黑暗年代，而此后，有好几次学术复兴运动。

黑暗年代是蛮族入侵直接造成的。罗马文明的大厦摇摇欲坠久矣，最后终于自行倒塌，留下一堆废墟，蛮族只是将它们彻底清除掉。罗马帝国长期的战争，使人间的血债和相互仇恨像雨后春笋般地滋长，非人道的奴隶制度造就了奴隶与奴隶主之间的不共戴天，

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

I	II	III	IIII	V	VI	VII	VIII	IX	X
II	III	IIII	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
III	IIII	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
IIII	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX

图 7-4 14 世纪波依修斯算术著作的手抄本

每一次的蛮族入侵必定伴随着罗马奴隶们的起义，罗马帝国在腥风血雨中被毁灭几乎是命中注定的。随着阿拉伯人征服巴勒斯坦和埃及，斯拉夫人占领巴尔干半岛，拜占廷帝国与西方的联系彻底中断。西罗马帝国灭亡后的欧洲一盘散沙，蛮族没有高级文化，甚至没有语言和文字，更没有自然科学知识，他们只能在文化沙漠上重建新的文明，这就是黑暗年代的情况。但近代欧洲只是从这时才开始它的历史的。

在黑暗年代，唯有基督教会起了一点启蒙人心的作用，但它对于自然科学也没有任何贡献。早在罗马帝国灭亡之前，教会即已势力浩大，虽然内部教派众多，但总的来说比较有组织。在欧洲黑暗年代，教会是唯一起核心作用的统一力量。以君士坦丁堡为核心基督教中分出了东正教教派，而以罗马为核心，分出了天主教教派。由教士本尼狄克创立的并为天主教教皇格里高里一世所发展的修道院制度，为欧洲在黑暗年代保存了些许文化知识，其中包括医学和农学知识。本尼狄克修道院所属的学校，后来发展成为大学。

6. 波依修斯：漫漫长夜中的微弱星光

在黑暗年代，希腊的科学知识大多被人忘却，只有尚在流行的波依修斯的著作还有对古典知识的介绍，这位罗马贵族约于公元480年生于罗马，在雅典和亚历山大里亚受过希腊式教育，其时，罗马帝国已经解体，统治意大利的是东哥特人提奥多里克（493—526年在位），提氏与波依修斯相交甚好，并委任他当执政官，但后来，波依修斯被怀疑与东罗马皇帝有染，而东罗马帝国当时正欲恢复昔日的版图，所以，波依修斯被当作奸细关进了监狱，公元524年处死。

波依修斯是了解希腊学术的最后一位罗马人，他用拉丁文翻

译的柏拉图和亚里士多德的著作纲要和注释，是早期欧洲人所能了解的仅有的希腊科学，他根据希腊人的著作编写的学问四科，即算术、几何、音乐和天文的教程一直是中世纪大学的教本，在12世纪之前，人们关于亚里士多德的知识都是从波依修斯那里来的。

波依修斯在狱中写作的《哲学的慰安》是一部重要的哲学作

品，在中世纪广为流传，他是哲学史上连接古代与近代的桥梁。



图7-5 《哲学的慰安》的阿拉伯文本封面

第八章

阿拉伯人的科学与技术

生活在阿拉伯半岛的阿拉伯人，直到公元5世纪还过着部落游牧生活，并未作为一种重要的政治力量出现在人类历史的舞台上。公元570年，阿拉伯人的领袖穆罕默德在圣城麦加诞生，从610年开始，这位没落贵族商人的后代开始在麦加宣传伊斯兰教教义，把安拉奉为唯一的神，自己则自称“先知”。他反对偶像崇拜，追求今世善行，要求信徒听从真主安拉的指示。“伊斯兰”一词即“皈依”，伊斯兰教的信仰者被称为“穆斯林”，意即信仰安拉服从先知者。

伊斯兰的教义为麦加城的保守势力所反对，穆罕默德被迫率众门徒于公元622年7月16日离开麦加，来到今日称为“麦地那”的城市，在这里，穆罕默德建立了他的权威和武装力量，因此这一年标志着伊斯兰教的正式诞生，被定为回教纪元元年。630年，穆罕默德胜利地返回了麦加城，随后又轻易统一了整个阿拉伯半岛，632年病逝。

先知穆罕默德创立的伊斯兰教对统一阿拉伯民族起了重要的作用，他所创立的政教合一的阿拉伯国家亦因此而强盛起来。以宗教“圣战”的名义，穆罕默德的继承者即“哈里发”开始向半岛以外扩张。635年，阿拉伯人占领大马士革，636年，占领叙利亚，638年占领巴勒斯坦，642年同时灭亡了波斯帝国和埃及，整个西亚地区基本被阿拉伯人所征服。

新兴的阿拉伯帝国又把目光转向了西方。沿着地中海的南岸，阿拉伯人一鼓作气攻下了北非和西班牙，直到714年准备由西班牙沿地中海北岸东进时才受阻。在东方，到8世纪，阿拉伯人又征服了中亚的大片领土，开始威胁到中国。

8世纪中叶，一个版图辽阔的阿拉伯帝国已经形成，阿拉伯人的文化事业开始兴盛起来。

1. 阿拔斯朝与阿拉伯科学的兴盛

先知穆罕默德逝世后的几十年，他的门徒抢夺继承权，倭马亚家族出身的摩阿维亚获胜，建立阿拉伯帝国的第一个王朝倭马亚王朝（661年—750年），定都大马士革，我国古代称之为“白衣大食”国。倭马亚王朝南征北战，为阿拉伯人争得了东至印度北部，西至西班牙的大片领土。750年，伊拉克的阿布·阿拔斯推翻了倭马亚王朝，建立了阿拉伯的第二个王朝阿拔斯朝，762年迁都巴格达，我国历史上称之为“黑衣大食”国。与此同时，倭马亚王朝的后裔在西班牙宣布独立，成立了后倭马亚王朝，建都科尔多瓦。阿拔斯朝统治时期，阿拉伯的经济繁荣、文化发达，科学事业有了极大的发展。

希腊学者在遭受罗马帝国基督教迫害时，大多来到了波斯和拜占廷，阿拉伯人征服波斯后，继承了这些希腊的学术遗产；在阿拉伯帝国极盛时期，阿拉伯人也从拜占廷那里获得了许多希腊

书籍，其中包括欧几里德的《几何原本》。阿拔斯朝的哈里发们不仅鼓励搞商业和贸易，而且愿意支持科学事业，这就为科学的发展再次创造了良好的氛围。



图 8-1 阿拉伯图书馆

在阿拉伯文学巨著《一千零一夜》中被推为理想君主加以颂扬的哈里发哈伦·拉希德（764—809年），奖励翻译希腊学术著作，开翻译希腊典籍之风。后任哈里发阿尔·马蒙（786—833年）的贡献更为巨大，他于公元830年在巴格达创办了一所“智慧馆”，这所“智慧馆”与亚历山大里亚的缪塞昂十分相似，这里设有两座天文台、一座翻译馆和一个图书馆，招聘了一批专职翻译人员，从希腊语、波斯语、叙利亚语翻

译希腊科学著作，也从梵文翻译印度的数学和医学著作。欧几里德的《几何原本》大约于800年译成阿拉伯文，托勒密的《天文学大成》于827年译成阿拉伯文，成为著名的《至大论》。大翻译运动使阿拉伯人很快掌握了最先进的科学知识，为进一步的科学创造打下了基础。巴格达成了当时的学术中心。

2. 贾比尔：炼金术之父

在阿拉伯人所做的科学工作中，炼金术是首先要提到的，因为，炼金术正是在他们的手中发展成为一门较大的学科，西文

“炼金术 (alchemy)” 一词正来自阿拉伯文。

从今天的眼光看，炼金术无疑不能称做科学，它的目标即“使贱金属变成贵金属”用化学方法是根本不可能实现的。但从历史的角度看，它确实是一门“准科学”：与近代意义上的自然科学一样，它直接面对自然界，观察自然现象，做控制、改变自然物和自然过程的实验；它既有理论依据，又有实用目的，它确实是人类认识自然和改造自然活动的产物，是科学史的重要研究课题。近代化学就是从炼金术中脱胎而来的。



图 8-2 古代炼金术士

炼金术有两个来源。第一是工匠来源，第二是哲学家来源。自古以来，人类在制陶、染色、酿酒、冶金等生产活动中，逐步认识到自然界的物质形态是可以发生改变的，这种改变有的是天然发生的，但也可以人为地促成。工匠们最早懂得如何操作使物质的颜色、光泽发生改变，对黄金等贵重金属的渴望，驱使工匠们

去想办法制造赝品。19世纪在埃及底比斯墓穴中发现的纸草中，载有有关的工艺。这些纸草大约写于公元3世纪，表明了当时亚历山大里亚化学工艺的水平，纸草上介绍了好几种制造金银赝品的方法，而且保证它经得起检验。例如，保存在莱顿博物馆的莱顿纸草上有这样的工艺：以两份铅粉混合一份金粉，用胶调和涂在铜器表面，然后反复加热，铜器就成了金器，再用高温烧试也不能去掉其表面的金色。再如，保存在斯德哥尔摩的斯德哥尔摩纸草也载有类似的工艺：用四份锡，三份白铜和一份金银合金混和熔化，最后可以得到成色极好的金银合金，看不出异样来。

如果只有这些工匠来源，炼金术就不成其为炼金术，只可能是一些骗术，因为制造赝品的工匠本人并不相信经过加工的贱金属就真的变成了货真价实的黄金白银，骗术更不可能被当成正当的事业吸引大量有才智的人参与。炼金术之为炼金术，就在于它还有其哲学来源。

希腊古典哲学家为炼金术提供了理论依据。柏拉图在其对话《蒂迈欧篇》中提出了这样的看法，物质本身是没有任何性质的，是完全纯粹的，物质的性质是外在的可以变化的。亚里士多德目的论的自然哲学认为，万物都内在地向着尽善尽美的方向努力，有致善的趋势。希腊晚期的斯多亚派哲学家更鲜明地提出了万物有灵论的自然哲学理论，在他们看来，自然界一切物体包括金属，都是活的有机体，在它们内在灵气的带动下，都有生长的趋势。这些思想被综合成炼金术的基本指导思想。

按照柏拉图的思想，物性之间的相互变化是可能的；按照亚里士多德的思想，贱金属总有一种向贵金属转变的渴望和要求，即使没有人为的干预，这种转变的过程也会自然发生的，只不过比较慢而已，人为地加快这种过程是可能的；按照斯多亚学派的思想，贱金属可以接受贵重金属的灵气而成为贵金属。

今天我们知道，颜色只是物体的外在性质之一，并非本质的

物性。但炼金术士把颜色看成最本质的属性，是物的灵气之所在，这样，一旦通过某种化学方法改变了物质的颜色，他们就相信该物质确实换了灵气，脱胎换骨变成了另一种物质，这是炼金术的基本哲学信念之一。

亚历山大里亚时期，炼金术达到第一次高潮。最著名的炼金术士是佐西默斯，此人大概于公元 250 年生于埃及，留下了大量的著作。以佐西默斯为代表的亚历山大里亚炼金术，带有浓厚的神秘主义色彩，它与宗教教义和仪式混在一起，将不少真正的化学过程掩盖了。当时的一般操作程序是，将铜、锡、铅、铁四种贱金属熔合，变成无颜色的死物质，此过程称为“黑变”；然后，加入水银使合金表面变白，此过程称为“白变”或“成银”；第三步是加入少许金子，使合金表面变黄，此过程称为“黄变”或“成金”；最后一步是“净化”，通过泡洗，将表面的贱金属去掉，使合金呈现纯正的金色。这一步完成后，原先的贱金属经过衍变，失去了其原有的贱性灵魂，获得了高贵的灵魂，成了贵金属。

亚历山大里亚的炼金术活动，大大提高了当时的化工工艺水平，炼金术士们发明制造了蒸馏器、熔炉、加热锅、烧杯、过滤器等化学用具，这些器具到现在还是化学实验室的常用设备。

阿拉伯人掀起了炼金术的第二次高潮。阿拉伯人的炼金术的来源很多，主要受亚历山大里亚希腊化传统的影响，但中国炼丹术对他们的影响也不可低估。关于阿拉伯语“炼金术 (alkimiya)”一词的来源有两种看法，一种认为，它来源于埃及语 khem (黑色) 加上阿拉伯定冠词 al。前面说过，亚历山大里亚炼金术的第一个步骤是“黑变”，khem 指的就是“黑变之术”，alchemy 继承的是这一传统。另一种观点认为，kimiya 来源于汉语的“金液”一词，该词在福建方言中读 kimya，阿拉伯人正是在与福建通商时将这一术语带到了西方的。这两种观点分别反映了阿拉伯炼金术的

两个来源。

阿拉伯前期最著名的炼金术士是贾比尔·伊本·哈扬，他大约于 721 年生于伊拉克，815 年去世。他有大量的著作传世，但许多并不是他写的，而是别人托他之名出版的。在印刷术实行之前，只有很少的著作才可能有抄本，许多人为了使自己的著作传世，只好假借名人之作出版。这一点也表明，贾比尔在生前即已十分有名。

贾比尔对炼金术的最大贡献是提出了金属的两大组分理论。他认为，所有的金属都由硫和汞这两种物质按一定的比例化合而成，硫具有易燃性，汞具有可塑性和可溶性，黄金富含汞，贱金属则富含硫，改变金属中这两种物质的比例，就可以改变金属的贵贱。贾比尔组分理论的重要意义在于，在炼金术士的化学实验中引入了定量分析的方法。在贾比尔的著作中，记载了大量有价值的化学实验，他所开创的炼金术传统摒弃了传统炼金术的神秘主义成分，是近代化学的先驱。

阿拉伯的第二位炼金术大师是阿尔·拉兹（约 850—925 年），生前是巴格达一个非常著名的医生。他继承了贾比尔的炼金术传统，注重化学实验，少谈神秘之术。他的著作《秘密的秘密》记下了不少化学配方和化学方法，他发展了贾比尔的组分理论，增加盐为第三种组分。汞、硫、盐的三组分理论一直流行到 17 世纪波义尔的《怀疑的 chemist》出版为止。

阿拉伯炼金术是化学史上极为重要的一段，正是它为后来的化学奠定了基础，西文中许多化学名词都是从阿拉伯文来的，如碱 (alkali)、酒精 (alcohol)、糖 (sugar) 等。

3. 花拉子模与阿拉伯数学

阿拉伯人本来没有多少数学，但他们在吸收了印度和希腊人

的数学成就之后，创造了有自己特色的数学特别是代数。花拉子模是阿拉伯数学的开创者。

花拉子模原名伊本·穆萨，约790年生于波斯北部的花拉子模，约850年去世，后来人们为表示对他的尊重，用他的出生地称呼他。花氏生活的年代，正是哈里发马蒙大力鼓励发展学术事业之时，象一切好学的青年一样，花拉子模来到巴格达，进了智慧馆，起先从事天文观测工作，后来整理印度数学。

公元后的头七个世纪，印度数学有了较大的发展，发挥了以应用见长的算术和代数。首先，印度人引入了零这个数。从前亚历山大里亚的希腊人已使用零这一概念，但他们只是用零表示该位没有数，但印度人最先认识到零是一个数，可以参与运算，比如，任何数加减零后不变，乘零等于零，除零等于无穷大等；其次，印度人有了分数的表述法，把分子分母上下放置，但中间没有横线，后来阿拉伯人加了一道线，成了今天分数的一般表示方法；此外，与希腊人不同，印度人还自由使用负数、无理数参与运算。

花拉子模闻名于历史的工作是写了一部论印度数字的书和一部《复原和化简的科学》，将印度的算术和代数介绍给了西方，成为今日全人类的共同精神财富。我们常常称1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0这些数目字为阿拉伯数字，实际上它们是印度数字，不过西方人是通过阿拉伯人特别是花拉子模的第一本书知道的，因而误认为是阿拉伯数字，后来就一直按习惯叫下去了。可惜的是，这本重要的历史文献已经失传。他的第二本名著标题中“复原”(al-jabr)一词意指保持方程两边的平衡，从一边减去一项，另一边也应相应减去一项，也就是我们今天所谓的移项，这个词后来译成拉丁文成了algebra，即“代数”。这是代数学名称的来历。《复原和化简的科学》一书共分三部分，第一部分是关于一次和二次方程的解法，第二部分是实用测量计算，第三部分是用代数方法

解决阿拉伯民族特有的遗产分配问题，只有第一部分在 12 世纪译成了拉丁文。

花拉子模在天文学上的工作主要是研究了托勒密的体系，他写了一部《地球形状》，而且绘制一部世界地图。与托勒密相反，花拉子模把地球估计得过大，他计算出的地球周长是 6 万 4 千公里。

在阿拉伯数学史上，后来还出现过一位名叫奥马·卡亚（1048—1131 年）的天文学家，此人写过一本论代数的书，书中谈到了二次和三次方程的解法。

阿拉伯人虽然成功地引进了印度的数字系统，并且在代数方面有所建树，但他们的数学主要还是文字表述，像写文章一样，缺少代数符号，这一点与他们重实际应用、轻逻辑推理和演绎证明有关，这也可能是东方数学的共同特点。



图 8-3 13 世纪的也门星盘

4. 阿尔·巴塔尼与阿拉伯天文学

阿拉伯天文学一开始也是从印度和波斯引进的，主要是编制星表，并且学到了三角法。托勒密的《至大论》译出后，开始未引起大的反响，后来逐步成为阿拉伯天文学的圣典。在传播托勒密体系方面，阿尔·巴塔尼的工作最为杰出，他也是阿拉伯人在天文学方面最富有创造性的一位天文学家。

阿尔·巴塔尼大约 858 年生于土耳其，是一位天文仪器制造

商的儿子，青年时代来到巴格达天文台学习和工作，认真研究过托勒密的著作，并用相当精密的仪器和细致的观察检验托勒密的天文理论，在某些常数方面作了修正。例如，他发现了春分点对于地球近日点的相对移动，将托勒密所确定的位置作了改动；他所确定的回归年的长度非常准确，七百年后被作为格里高里改革儒略历的基本依据。929年，巴塔尼在伊拉克的萨马拉去世。

阿拉伯天文学的主要成就是在新的观察基础上对托勒密体系的完善。此外，他们运用印度天文学家发明的正弦表，使球面三角作为一种极有效的工具用于天文观测和天文计算。托勒密体系通过阿拉伯人延续到近代早期。



图 8-4 伊斯兰的人马座星图



图 8-5 阿拉伯天文学家

5. 阿尔·哈曾与阿拉伯物理学

阿尔·哈曾是继阿基米德以来又一个伟大的物理学家，965年生于伊拉克的巴士拉，1039年死于埃及的开罗。他留下了许多光学和天文学著作，其成就主要集中在七卷本的《论视觉》一书中。从前的人们认为，人能看见东西是因为从人眼睛里发射出的光线经过物体又反射回来了，包括托勒密在内都是这么看的。但阿尔哈曾指出，人的眼睛并不发射光线，所有的光线都来自太阳，人所以能看见物体，是因为物体反射了太阳光。这是光学史上一次大的观念变革。

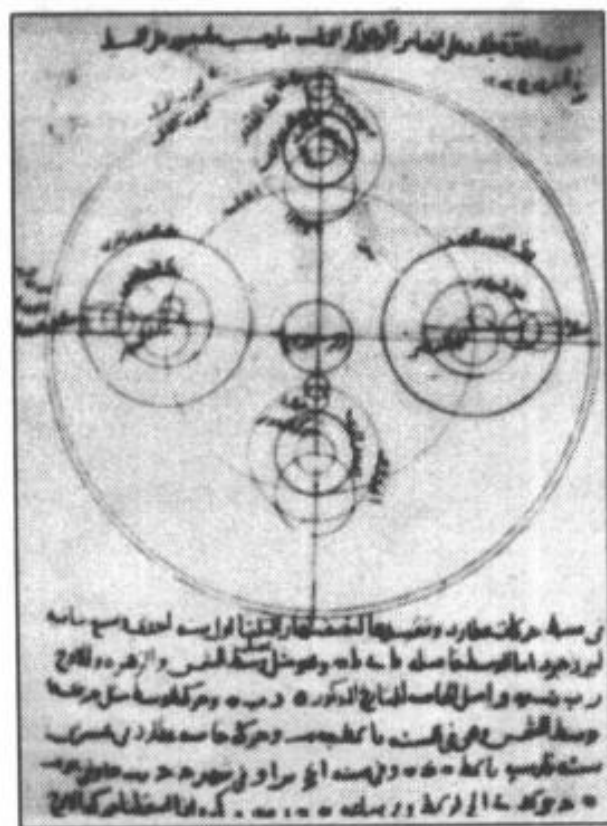


图 8-6 阿拉伯人画的水星运行图

在《论视觉》一书中，他研究了透镜的成像原理，发现透镜的曲面是造成光线折射的原因，并非组成透镜的物质有什么特殊的魔力；此外，他还广泛研究了光在各种情形中的折射和反射现象，特别探讨了大气中的光学现象。

据说，阿尔哈曾写过一本《论月光》的书，书中讨论了月亮如何反射太阳光的问题。像阿基米德一样，阿尔哈曾平时喜欢搞一些技术发明，为此他也遇到了一些麻烦。他曾经

向埃及的哈里发提出愿意发明一种治理尼罗河洪水的装置，但这位哈里发是一个无法无天的暴君，他要求阿尔哈曾立即造出这种机器，否则就很残忍地处死他，阿尔哈曾不得不装疯多年，直到那位哈里发死去。

阿尔哈曾的著作在文艺复兴时期被译成拉丁文，对近代早期

的科学家产生了巨大的影响，开普勒直接继承了阿尔哈曾在光学方面的研究工作。

6. 阿维森纳与阿拉伯医学

像许多古老的文明一样，阿拉伯民族很早就流传其特有的民间治病方法，如放血疗法，以及药物疗法。自伊斯兰教创立之后，精神疗法也引入医学之中。在大翻译运动中，希腊医学家希波克拉底和盖伦的著作被译成了阿拉伯文，为阿拉伯医生所熟悉，一时广为流传。

阿拔斯王朝时，阿拉伯世界人民安居乐业，政府对社会的医疗事业也非常关注。拉希德统治时期，巴格达建立了第一座医院，此后全国各地都仿而效之。医疗事业的发达可以通过当时药房的生意兴隆看出。阿拉伯人不仅整理开发了本民族传统的各种药物，还引进了不少外来的药物。得助于阿拉伯发达的炼金术，阿拉伯人还制造了不少无机药物。

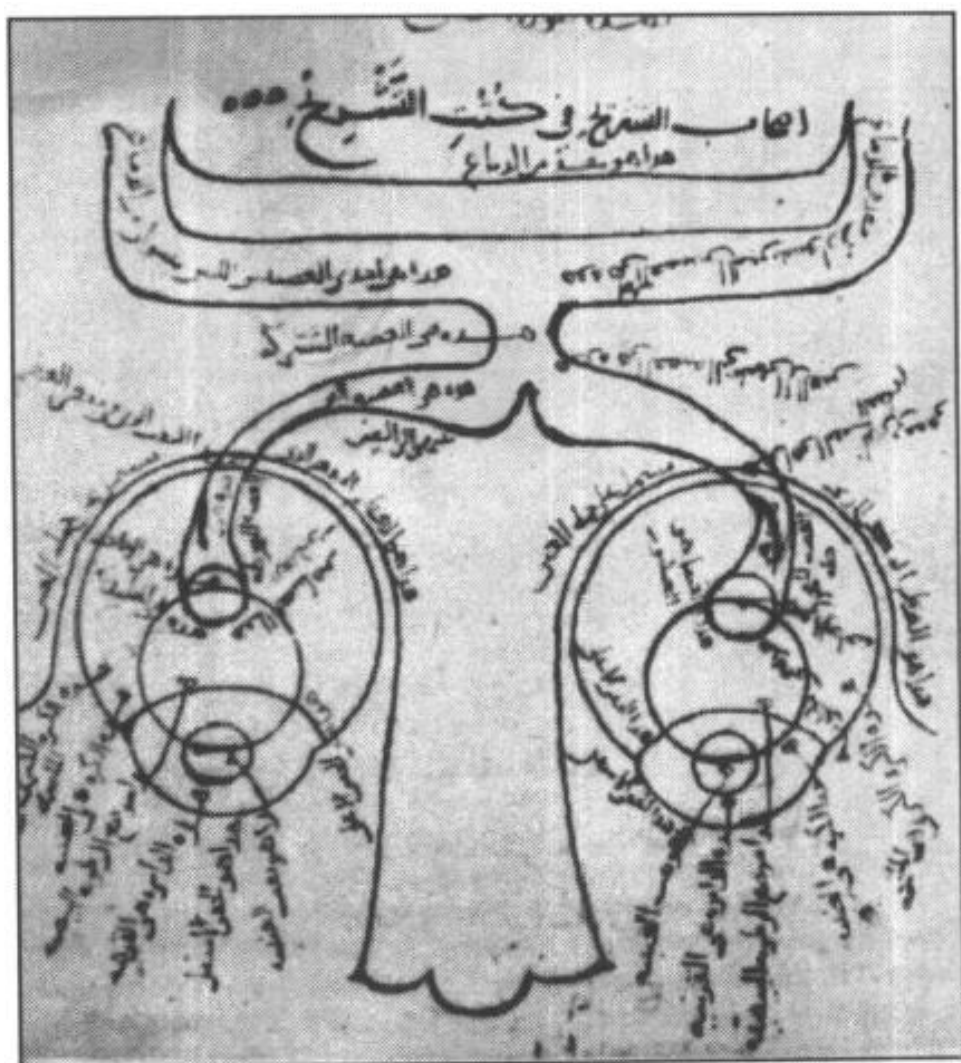


图 8-7 《论视觉》中的插图

正是在发达的社会医疗事业的背景下，阿拉伯的医学有了很



图 8-8 《论视觉》中的眼睛草图



图 8-9 阿拉伯外科医生

大的发展，出现了一大批才华卓越的医生和医学家，阿维森纳就是他们之中的代表。

阿维森纳原来的阿拉伯名字叫伊本·西那，阿维森纳是他的拉丁名字。他于 980 年出生在波斯的布哈拉（在今乌兹别克），父亲是一位税务官，家境不错，因而从小就受到了很好的教育。据说，阿维森纳是一位神童，很早就表现出聪明和才气，可是，他生活的年代已不是阿拉伯文化的黄金时代，帝国在政治上已有离散的趋势，地方割据日盛。阿维森纳先后在几个小国呆过，从一个宫廷到另一个宫廷，为君主们治病，

过着不稳定的生活。但他从小聪明好学，广泛阅读希腊作家的著作，知识非常渊博，在周游列国的同时勤奋著书。他把亚里士多德的一套理论全面系统地运用到医学中，写了一百多本哲学和医学著作，其中《医典》流传最为广泛，对欧洲医学有极为重要的影响，在17世纪以前一直是医科大学的教科书和主要参考书。《医典》内容丰富，是阿拉伯医学的一部百科全书，既广泛论述了卫生学、生理学和药理学，又记载了大量临床实例，对西方人而言，还是系统转述亚里士多德学说的一部重要著作。1037年，阿维森纳在哈马丹（即今伊朗北部）病逝。

7. 阿维罗意与亚里士多德学说的复活

公元750年，倭马亚的后裔在西班牙建立了后倭马亚王朝，经历代统治者的精心培育，首都科尔多瓦也成了欧洲的学术中心。但到了12世纪，阿拉伯文化面临挑战：东方的阿拔斯王朝面临着北方蒙古人的入侵，西方的后倭马亚王朝则面临着基督教文化的冲击。阿拉伯人的内战也消耗了他们的力量，结



图 8-10 亚里士多德《论天》的阿拉伯文译本

果，文化的繁荣局面此后就消失了。1126年出生于西班牙科尔多瓦的阿维罗意，既代表着阿拉伯哲学的一个高峰，也是它的终点，因为此后再没有出现过重要的阿拉伯哲学家。

阿维罗意的阿拉伯名字是伊本·拉希德，他的父亲是当时的高等法官，他本人受过良好的教育，也曾被任命为法官，后来作过宫廷御医，但他一直对哲学感兴趣，对亚里士多德的著作做过系统的整理和注释，并写了不少评注。在他的亚里士多德评注中，他力图运用希腊哲学大师的逻辑学为伊斯兰教提供哲学辩护，开创了伊斯兰教中的经院哲学，为基督教的经院哲学提供了示范。由于他首次对亚里士多德哲学作了系统、全面而又客观的评介，因而对欧洲中世纪后期的哲学影响极大。

可是，阿维罗意的同胞对他并不理解，伊斯兰教的保守人士对他传播希腊思想大为不满，以哈里发名义发布的诏书中说：“真主决定让那些只希望通过理性找到真理的人下火狱。”这就堵死了伊斯兰教中经院哲学发展的道路。结果，阿维罗意被放逐到摩洛哥，这位哲学家于1198年在当地去世。

12世纪之后，阿拉伯文化开始黯然失色。

第九章

中国独立发展的科技文明

公元前 221 年，地处中国西部的秦国国王嬴政征服了当时的列国，废分封、设郡县，开辟了中国长达两千多年的中央高度集权制的封建专制政治格局。自称始皇帝的秦嬴政统一货币、度量衡、文字，修万里长城，为统一的中华帝国奠定了基础。秦朝因其暴政而天怨人怒，秦始皇死后不久即土崩瓦解。秦朝虽然灭亡了，但秦所实行的皇帝一统天下的中央集权制却一直延续了下来。在日后两千多年的历史中，正是这种皇权政治保证了在大部分时间里中国版图的统一、中国经济和科学文化的稳定发展。中国历史上所建立的全国大体统一的封建王朝有：汉朝（公元前 206—公元 220 年），晋朝（265—420 年），隋朝（581—618 年），唐朝（618—907 年），宋朝（960—1279 年），元朝（1206—1368 年），明朝（1368—1644 年）和清朝（1616—1911 年）。在极大的时间尺度上中国政治的稳定性，使中国科学技术缓慢进步，从未间断。就在公元世纪欧洲开始进入黑暗时期的时候，中国却步入了历史上

极为辉煌的盛唐时期，并且随后在宋朝达到了科学技术的发展高峰。而此时，欧洲正刚刚开始文化的复兴。

由于地理上的相对隔绝、政治上的相对独立稳定，古代中国人所创造的科学技术也具有其独特的风格。构成这一独特的科技体系的有农、医、天、算四大学科，以及陶瓷、丝织和建筑三大技术。这四大学科和三大技术是中华民族先人在科学技术上的独特建树，至今仍保有其永恒的魅力。至于闻名遐迩的四大发明则对世界近代科学的诞生起了重要的推动作用，是古代中国人对近代世界文明的卓越贡献。

1. 农学

农业是中国社会的经济基础，历代统治者在他们的上升时期都极为重视农业生产。两千多年来，有不少政府官员深入农业实践之中，总结劳动人民所积累的农业生产知识，使之系统化成为有中国特色的农学体系。

中国农学重视天时、地利和人力三者对农业生产的决定性作用，对于有利作物生长的时令、土壤和施肥等环节分别都作过十分细致的研究。中国文化典籍中农书很多，涉及农业生产的各个方面，其中最著名的有《汜胜之书》、《齐民要术》、《陈旉农书》、《王桢农书》和《农政全书》。

《汜胜之书》是目前留传下来最早的农书，但也只是从《齐民要术》中选辑下来的残篇，原书已经失传。据说，该书的作者汜胜之原籍甘肃敦煌，祖姓凡，秦朝末年因战乱流落汜水之畔，后代改姓汜。汜胜之在汉成帝（公元前32—前6年）时官拜议郎，后来以轻车使者之职在关中三辅地区督民种麦。正是这段政史，使他能写出《汜胜之书》这部重要的农书。该书总结了我国北方地区主要是关中地区的耕作经验，提出了农业生产六环节理论，即



图 9-1 范胜之

及时耕作、改良和利用地力、施肥、灌溉、及时中耕除草、及时收获六个环节，并对每一个环节都作了具体的说明。此外，该书还对十数种农作物的种植过程做了经验性总结。

《齐民要术》是现今完整保存下来的最古的农书，作者是北魏的贾思勰，大约写于公元 533 至 544 年间，全书共 10 卷 92 篇，涉及到作物栽培、耕作技术和农具使用、畜牧兽医和食物加工等各个方面，几乎是一部农学百科全书。贾思勰当时担任北魏青州高阳（今山东临淄县）太守，在今天的华北一带实地考察过农业生产状况。为写作此书，他不仅阅读了大量的文献，而且游历民间，

向老农询问有关经验。《齐民要术》一书真实地反映了我国黄河中下游地区当时的农业生产水平。这些地区气候干旱少雨，为保持土壤水分即所谓保墒所进行的合理的整地和中耕，是农业生产很重要的一环，《齐民要术》详细地记述了不同的天时、地利情况下的不同耕地方法，非常符合实际。其次，《齐民要术》对种子的选择、收藏和种前处理给予了高度重视，它首先认识到种子的优劣及播种时间的迟早对作物的产量、品质都会产生极大的影响，因此

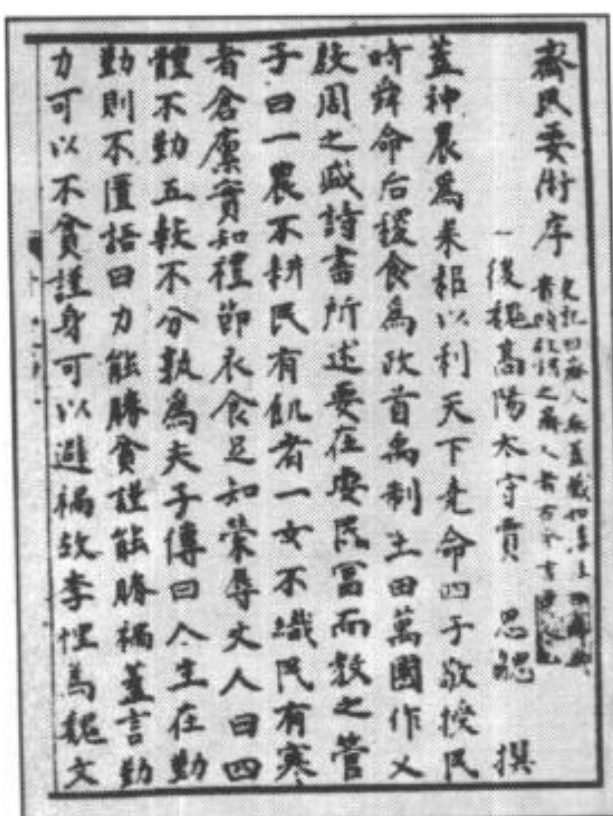


图 9-2 《齐民要术》

在书中比较系统地记载了当时已经掌握的种子种类。第三，贾思勰认真研究了长期种植而又保持地力问题，总结了施肥、合理轮作、轮作制和套作制等农业技术。此外，《齐民要术》还谈到了果木的育苗、嫁接，动物的饲养，以及造醋做酱等食物加工技术，反

映了比较丰富的生物学知识。这部约 1 万多字的著作，奠定了我国农学发展的基础。

写成于南宋初年的《陈旉农书》，是我国最早专门总结江南水田耕作的一部小型综合性农书，全书约 1 万 2 千字，分上、中、下 3 卷。上卷主要讲水稻的耕作方法，也谈到了麻、粟、芝麻等经济作物，中卷专门论述江南地区水田



图 9-3 耙耨图



图 9-4 车水图

耕作所使用的唯一牲畜水牛的喂养和使用；下卷则专谈蚕桑。作者陈旉（公元 1076 年—？）世居扬州，不求仕进，靠种药治圃为生，书中所述系以淮南地区耕作经验为基础，所以与基于中原地区的农书有诸多不同。

元代王桢的《王桢农书》是一部综合了黄河流域旱田耕作和江南水田耕作两方面生产经验而写成的大型农书，全书共 37 卷，270 目，约 136 千字，281 幅插图。全书由三部分组成，第一部分“农桑通诀”，概述了我国农业生产的起源和发展历史，系统讨论了农业生产的各个环节，还广泛涉及林、牧、副、渔的各项技术和经验，基本上是一部《农业总论》；第二部分“谷谱”，是农作物栽培技术的分论，分述谷子、水稻、麦子、瓜、果、

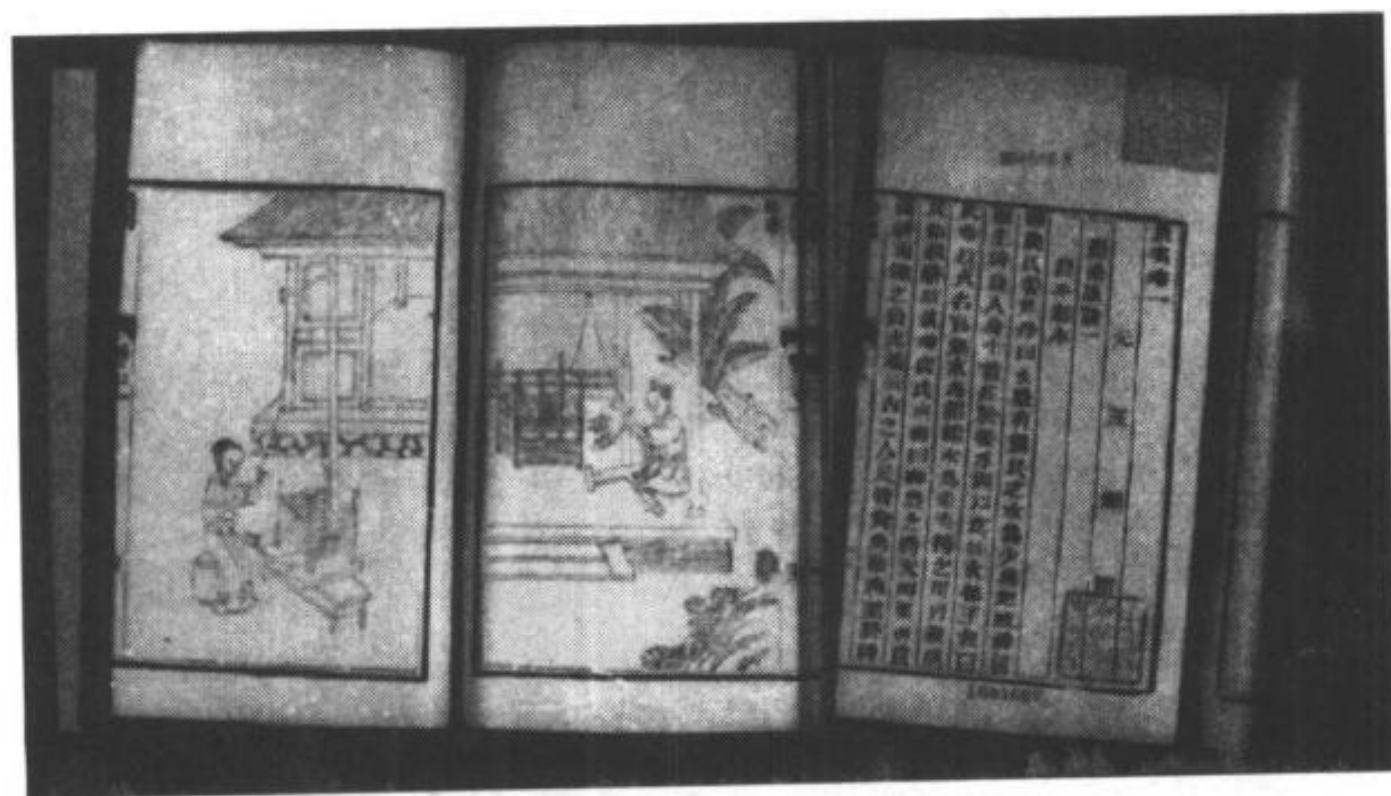


图 9-5 《王桢农书》

蔬菜等作物的起源、性能和栽培方法；第三部分“农器图谱”，介绍了农业生产工具和农业机械的构造和制造方法，这一部分占据了全书的大部分篇幅，也是最宝贵的部分，因为它真实地再现了当时的农具实物形象，连有些当时已失传的古代机械也经反复试制恢复原型，具有极高的科学史价值。

明末杰出的科学家徐光启(1563—1633年)编写的《农政全书》，是集我国古代农业科学之大成的一部巨著。全书共60卷，50多万字，分农本、田制、农事、水利、农器、树艺、蚕桑、蚕桑广类、种植、牧养、制造和荒政等12项。本书大多数内容是对古代和当时农书的转录和摘编，约有6万多字是他自己的研究成果。徐光启出生于上海一个小地主家庭，从小从事农业生产劳动，对农业技术问题



图9-6 徐光启

很有兴趣，为此他广泛阅读了大量的农书，并且留心收集、总结各种农作物的种植经验。1579年，徐光启在北京考中举人，之后又考中进士，成了明代翰林院的一名庶吉士。1617年后，因与外国传教士交往甚密，受到政敌攻击，他来到天津，在海河边组织农民做种植水稻试验。当时人们都相信北方不宜种稻，不是种不起来就是收成不高，徐光启从江南聘请种稻能手，一起研究种植技术，终于获得丰收。晚年辞官回家，他潜心编写《农政全书》，至死方初步编就。该书不仅对我国古代的农学成就作了系统总结，而且提出了许多新的思

想。

2. 中医学

战国时代的《黄帝内经》奠定了我国中医学的基础。汉代出现了两大名医，即外科医生华佗和内科医生张仲景，他们与扁鹊一起被称为中医三大祖师。

华佗字元化，沛国谯（今安徽亳县）人，大约生于公元2世纪初，生平不详，但在民间流传了大量关于他的神奇医术的故事。据说他曾为关羽括骨疗毒，又据说曹操经常患头痛病，只有华

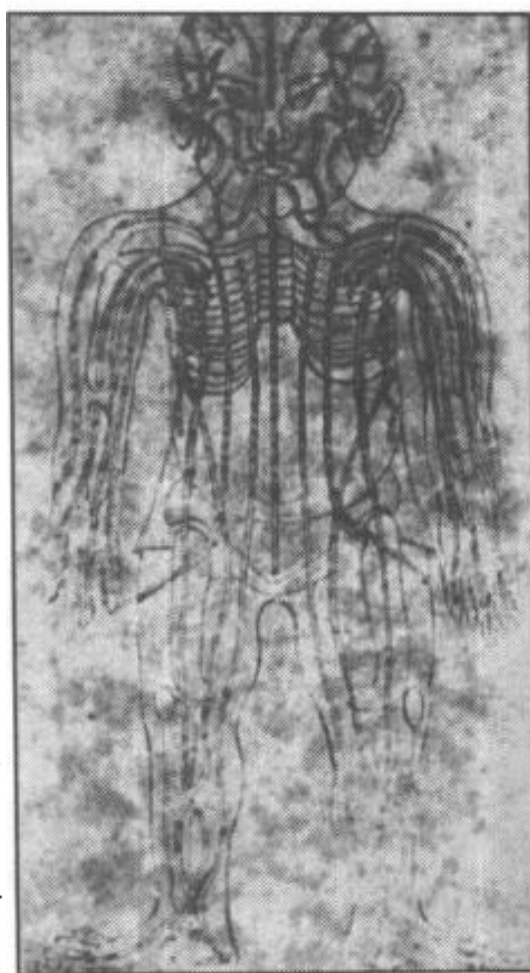


图 9-7 针灸穴位图



图 9-8 中医艾灸图

佗的针灸能够治好，曹操想让他成为自己的私人医生，但华佗想着世间更多的病人需要他去医治，所以没有答应。曹操一怒之下将华佗杀害了，其时公元208年。据史书记载，华佗最著名的医术是使用麻沸散作为麻醉剂做腹腔外科手术，先让病人和酒服下麻沸散，醉倒无知觉，后对腹腔施行手术，手术毕缝合并涂上神妙的膏药，四至五天伤口愈



图9-9 华佗

合，一个月内完全恢复正常。在那么遥远的年代成功地施行外科手术，是世界医学史上的一件大事，华佗被称为外科之祖是完全当之无愧的。

华佗在医学上的另一建树是提倡体育锻炼，以防止患病，他继承先秦以来的导引术传统，首创了模仿虎、鹿、熊、猿、鸟五种禽兽的自然动作而编创的“五禽戏”，华佗的弟子吴普一直练“五禽戏”。直到90岁还耳聪目明，牙齿完好。

作为一代名医，华佗不仅有高超的外科医术，而且懂脉象、会针灸、善处方。他注重察声观色，晋人王叔和的《脉经》中有一篇题为“扁鹊、华佗察声色要诀”的文字，记录了不少华佗处理过的病例。据说，华佗在曹操的牢狱中曾将其一生的医术总结成《青囊经》，并交与狱卒以流传后人。

可惜狱卒怕连累自己不敢接受这份稀世珍宝，华佗在无奈中将其烧毁，这真是千古遗憾。

与华佗大体同时，东汉末年还出了另一位名医张仲景（约150—219年），他生于南阳（今河南南阳市）一个地主家庭，从小有条件读书。但当时战火连天、人民挣扎在死亡线上的景象，给张

仲景以很深的触动，他内心很想学医。成年以后，他也因饱读诗书而官拜长沙太守，但官场上的黑暗使他不愿混迹其中，不久即辞官专心研究医学。自春秋战国以来，我国医药学有了很大的发展，出现了许多综合性的和专科的医书，据历史记载，到公元前26年皇家即已收藏医经7家，216卷，经方11家，274卷。张仲景广泛阅读这些著作，并加以总结概括，于3世纪初写成了《伤寒杂病论》。



图9-10 华佗墓

《伤寒杂病论》被晋人王叔和整理成《伤寒论》和《金匱要略方论》两部分，前者主要论述伤寒等急性传染病，后者主要论述内科病以及某些妇科病和外科病。该书创造性地提出了中医诊断学中的“六经辨证”（病分太阳、阳明、少阳、太阴、少阴、厥阴六类）和“八纲原理”（阴、阳、表、里、虚、实、寒、热），确立了中医传统的辨证论治的医疗原则，奠定了我国中医治疗学的基础。不仅如此，《伤寒杂病论》中还选收了三百多个药方，说明了配药、煎药和服药所遵循的原则，构成了一部非常有价值的经方。总的说来，在我国中医药史上，《伤寒杂病论》是一部里程碑式的著作。

图9-11 五禽戏之五
“鸟戏图”

秦汉以来，我国名医和医书层出不穷，体现了中医药学发展的延绵不绝和繁荣景

秦汉以来，我国名医和医书层出不穷，体现了中医药学发展的延绵不绝和繁荣景



图 9-12 张仲景

我国医学宝库中的珍品，是中医学理论体系的有机组成部分。

中医学整体上的进步体现在理论与实践两方面的水平的提高，唐代名医孙思邈正是在这两方面均极其重要的人物。他大约生于公元 581 年，京兆华原县（今陕西耀县）人，自幼钻研医术，又善谈老庄，使中医理论更富思辨色彩。在孙思

象。在中药学方面，现存最早的药物学专著是汉代的《神农本草经》，后有南朝陶弘景的《神农本草经集注》，唐代的《新修本草》，宋代唐慎微的《经史证类备急本草》，以及最为著名的明代李时珍的《本草纲目》；在针灸学方面，有皇甫谧及其《针灸甲乙经》，宋代王惟一及其《铜人腧穴针灸图经》，元代滑寿及其《十四经发挥》等；在其它方面，还有晋代王叔和的《脉经》，是中医传统的切脉诊断术的一部经典之作，葛洪的《肘后方》，巢元方的《诸病源候论》，孙思邈的《千金方》，王焘的《外台秘要》，都是



图 9-13 皇甫谧

邈的著作中，不仅有如何治病的临床手段和方法，而且贯穿着医德、养生和巫术理论。他的唯一幸存的著作《千金方》的第一卷讨论医德问题，在书中，他指出光读几本方书不能算好医生，还必须涉猎群书，读五经三史、诸子百家、道论释典等。他主张医生必须有高尚的品德，不能贪图财物，对求治病人无论贵贱一视同仁。《千金方》还谈到了养生问题，如提出去“五难”（去名利、喜怒、声色、滋味、神虑）、“十二少”（少思、少念、少欲、少事、少语、少笑、

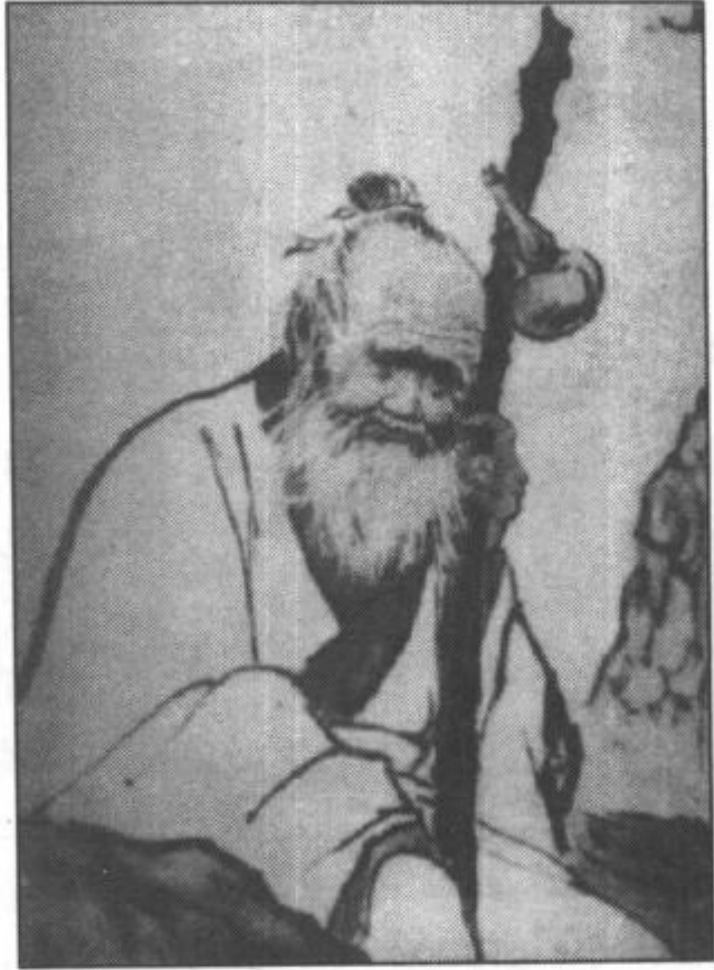


图 9-14 孙思邈

少愁、少荣、少喜、少怒、少好、少恶)，以及按摩、调气、适时服食等。《千金方》的疗法简单易行，是孙思邈取前人之精华巧工编制的，但都有很浓重的巫术色彩，如认为将斧柄置于产妇床下就能生男不生女等。此外，该书收集了八百多种药物的使用方法，



图 9-15 孙思邈骑虎扎针图

并对其中二百多种的采集和炮制都作了详细论述，这些内容既是孙思邈对前人药学知识的继承，更是他多年实地采药丰富经验的总结，在中药学上有极高的价值。他之被后世尊称为“药王”是当之无愧的。据说他活了 101 岁，于公元 682 年



图 9-16 李时珍

去世。

提到中国古代的大医学家，人们肯定都会想到李时珍（1518—1593年）。这位以巨著《本草纲目》传世的明代名医，生于湖北蕲州（今蕲春县内）一个医生世家，自幼多病，每每靠父亲的医术转危为安，因此对病人的痛苦和医生的重要性有切身的感受。像当时所有的青年人一样，李时珍也读诗书进科举，但自14岁考中秀才后始终未能中举，从此放弃科举之途潜心学医。在学医的过程

中，李时珍

见前人的《本草》错误很多，这些错误如不纠正将会产生严重的后果，便立志重新编纂一部新的《本草》。为了写好这本书，他不但阅读了800多种书籍，而且实地考察了许多地方，收集标本和单方，进行药物试验。在历时20多年后，终于写成52卷、190万字的巨著《本草纲目》。全书分16部（水、火、土、金石、草、谷、菜、果、木、服器、虫、鳞、介、禽、兽、人），62类，共收药物1892种，附方11096个，此外还配有插图1160幅。所收药物有近四分之一为新增，每一种药以正名为题，先释名，把各种异名解释清楚，再集解，说明其形状、出处、产地和采集方法，再列“修治”、“气味”、“主治”和



图 9-17 李时珍正在著书立说

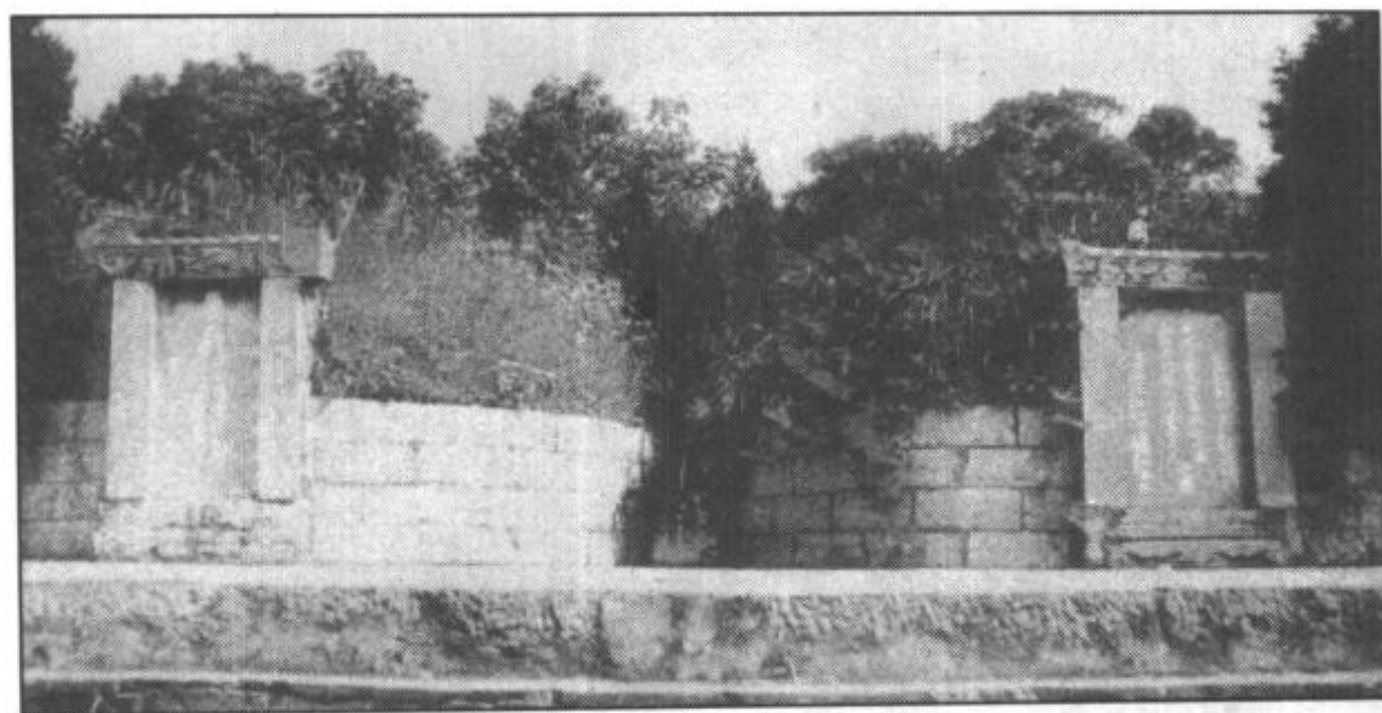


图 9-18 李时珍墓（左），百姓传说墓上长的草亦能治病

“发明”等项，最后附药方。本书规模宏大，内容准确严谨，是我国药学的集大成之作。不仅如此，《本草纲目》的所列部类反映了我国古代对自然界万物的分类思想，具有极高的思想史价值。正如李时珍的儿子李建元所说，该书“虽名医书，实该物理”，不仅是一部伟大的药物学著作，也是一部伟大的博物学、生物学和化学著作。《本草纲目》于 1596 年在南京出版时，李时珍已经去世，但他留下的这部巨著对中国和世界的科学事业都产生了重要的影响。在我国，此书被翻刻了 30 多次，有许多不同的版本传世，明万历年间传至日本后，在日本也翻刻了 9 次，以后逐步传向欧洲，被译成德文、法文、英文、拉丁文、俄文等，达尔文的《物种起源》就引用过《本草纲目》以说明动物的人工选择问题。

3. 天文学

中国古代的天文学成就包括阴阳历法的制定，天象观测，天文仪器的制造和使用以及构造宇宙理论。大概到了汉代，我国即已形成了自己独特的天文和历法体系，特别在天象观测记录的丰



图 9-19 我国现存最古老的登封观象台

富性、完整性方面，中国一直走在世界各文明古国的前列。

作为一个农业大国，制定历法是一项极为重要的工作。我国人民很早就认识到，要正确地制定历法就需要仔细地观测天象，制历必先测天，这个极为先进的制历原则在汉初即已确立。中国传统的历法是阴阳合历，即既考虑月亮运动（阴历）又考虑太阳运动（阳历）。它的三个基本要素是日、气、朔。气即二十四节气，按太阳运动编制，是阳历成分。朔就



图 9-20 星图

是月亮被地球完全挡住阳光变得不可视的时间，两朔之间称为一个朔望月，所以朔是阴历成分。由于日月运动的不均匀性，连续两个朔望月的长度是不相等的，经长期观测推算出来的平均长度称为平朔，对平朔进行修正所得到的真实的长度称为定朔。将日、朔望月与二十四节气编制到一起是中国历法的主要工作。

早在战国时期，中国就出现了以 $365 \frac{1}{4}$ 为 1 年的所谓“四分历”，它以 $29 \frac{499}{940}$ 为一朔望月，19 年设 7 个闰月。公元前 104 年由汉代天文学家邓平、落下闳等创制的“太初历”是现存最早有详细记载的历法，它典型地反映了我国历法的特点：除保持上述四分历的基本数据外，还规定以冬至所在的月固定为 11 月，正月为岁首，以没有中气（即从冬至开始每隔一个气如大寒、雨水、春分等为中气，其余为节气）的月份置闰。这些规定很好地调整了阳历与阴历的关系。以后，在天象观测的基础上，历代天文学家不断修正回归年长度、朔望月长度、置闰

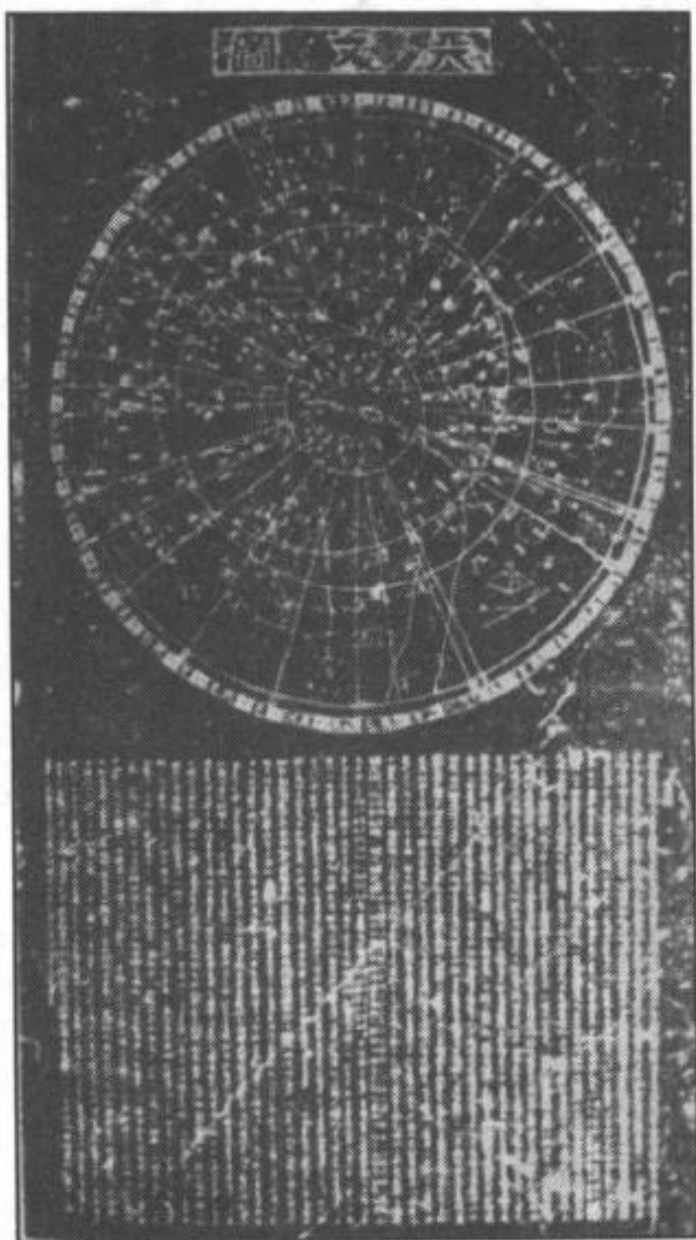


图 9-21 现存苏州孔庙的石刻天文图

规则，使历法不断改进。据统计，我国历代编制的历法近百个之多，反映了天文历法事业的发达。中国的天文历法工作一向为皇家所重视，中国传统思想中“天”享有至高无上之地位的观念，使天文学受到了很高的礼遇，天文学家本人即是政府高级官员，他

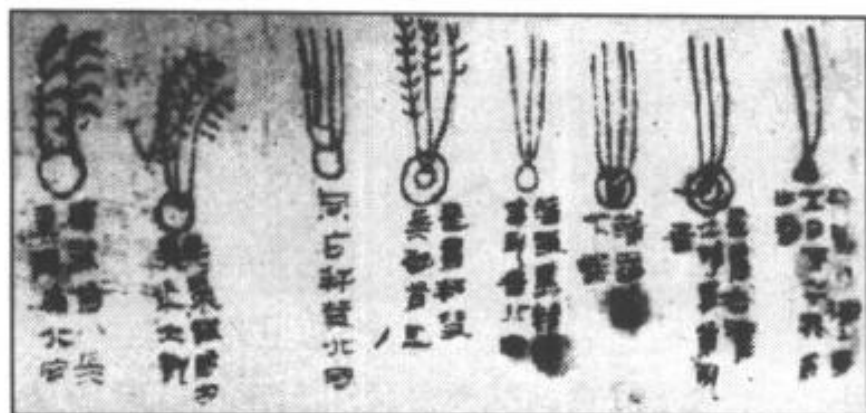


图 9-22 马王堆汉墓出土的帛书彗星图

不仅“敬授人时”，而且揭示“天”行之道，不仅为农业生产服务，而且为皇帝“天子”服务，这种特殊的地位可能是中国天文学比较发达的重要原因。

与制定历法工作密切相关的天象观测工作，构成了中国天文学的主要内容，在恒星、行星、日月和异常天象观测方面，我国都有杰出的成就，特别在日月运行规律的发现以及异常天象的观测与记录方面，尤为突出。在恒星观测方面，我国有世界上公认最早的星表“甘石星表”（公元前 4 世纪）。到了汉代可能已有了星图，从敦煌石窟中发现的一幅唐代绘制的星图载有 1300 多颗星。北宋时期于 11 世纪初进行了五次大规模的恒星观测，但当时绘制的星图均已失传。现存苏州的南宋石刻天文图（刻于 1247

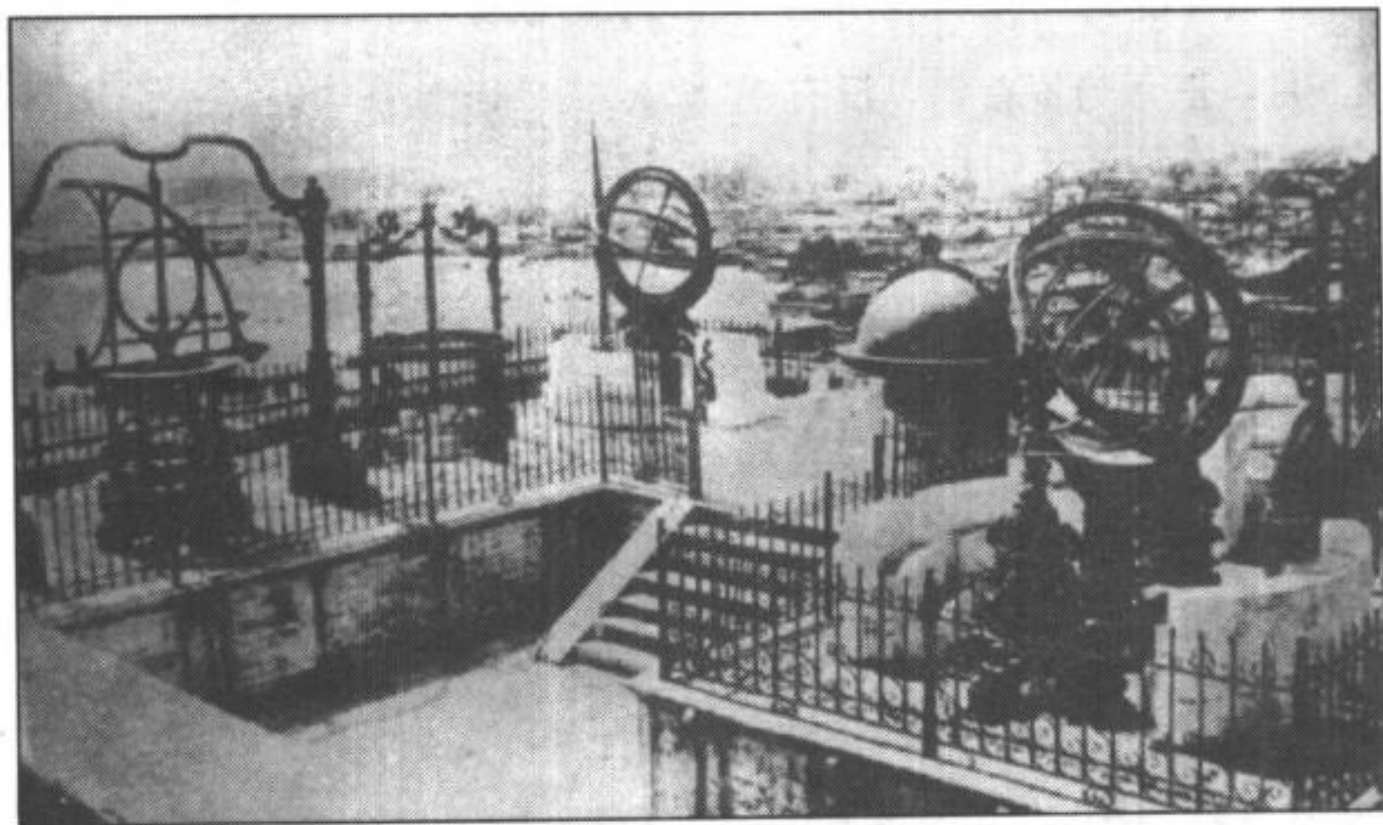


图 9-23 北京古观象台

年)被认为是按 1193 年的一幅星图刻制的,上面刻有 1434 颗星,是世界天文学史上珍贵的文物。因为除中国外 14 世纪之前的星图都未保存下来。在日月行星的观测方面,长沙马王堆汉墓中出土的帛书《五星占》详细记录了公元前 246 年到 177 年间金星、木星和土星的位置,记载金星的会合周期为 584.4 日(今测值 583.92 日)。特别对于日月食的观测记录,是我国天文学的一大特色,《汉书·五行志》对公元前 89 年的日食的记载非常详细,包括太阳位置、食分、初亏和复圆时刻等。从汉初到公元 1785 年,我国共记录有日食 925 次,月食 574 次,堪称世界之最。在异常天



图 9-24 黄道经纬仪



图 9-25 纪限仪(六分仪)

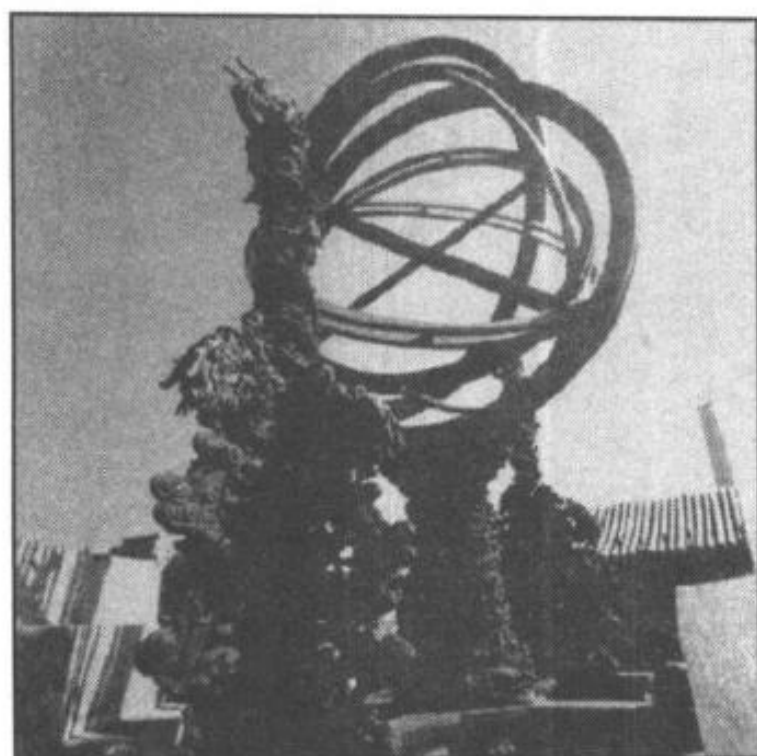


图 9-26 赤道浑仪

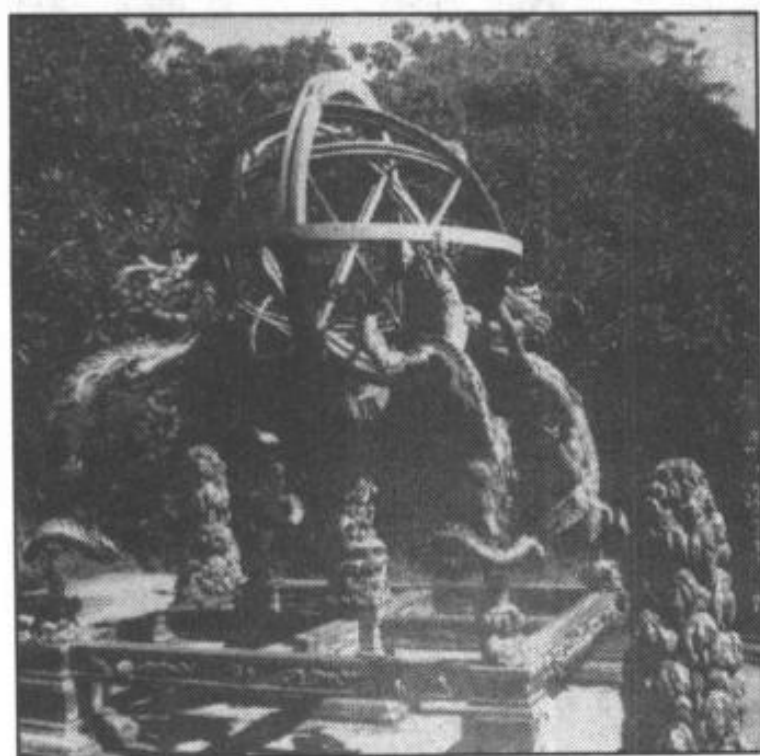


图 9-27 浑仪

象的观测记录方面，早在《汉书·五行志》中记录了公元前 28 年 3 月的太阳黑子现象；《汉书·天文志》记载了公元前 32 年 10 月 24 日的极光现象；马王堆出土的 29 幅彗星图表明当时对彗星的观测已非常细致，不仅注意到彗头、彗核和彗尾，而且还知道彗头和彗尾有不同的类型；《汉书·天文志》还记载了公元 134 年的一颗新星。所有这些异常天象记载都是世界上最早的记录。此外，在太阳黑子、新星、超新星等方面，我国都留下了世界上最为丰富的观测记录。

中国天文观测历史悠久，其观测仪器也独具特色。大约在西周时代，中国天文学家已开始使用漏壶记时，而浑仪和浑象是我国传统的天文观测仪器，有据

可考的最早的制造者是西汉的落下闳。浑指圆球；浑仪是由一系列同心圆组成的一种仪器，往往还加上窥管，以作实际观测用；而浑象则是一个球，上面刻上各种特征天象，用以演示实际天象。浑象和浑仪又统称浑天仪。东汉的著名科学家张衡在前人所造浑象

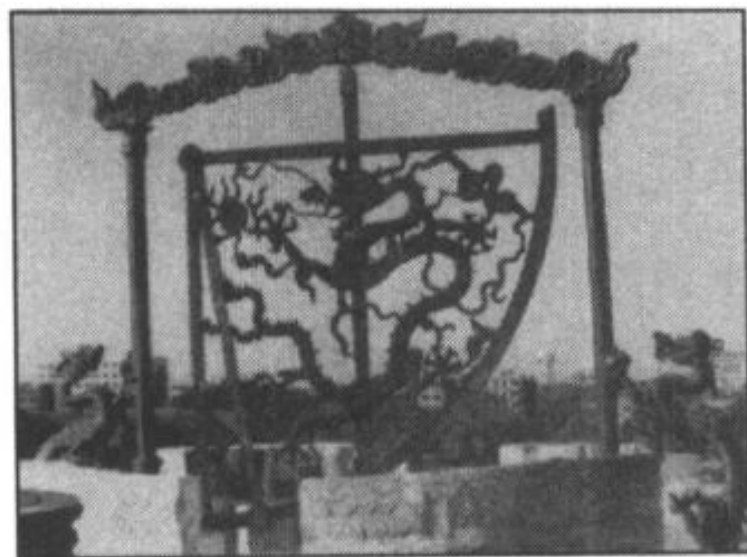


图 9-28 象限仪

的基础上，制成了漏水转浑天仪，它是由漏壶和浑天仪共同组成的。浑天仪是一个上刻有二十八宿、中外星官和黄赤道、南北极、二十四节气等的铜球，它被固定在一个轴上转动，其转动动力由漏壶的流水提供，这样可以模拟星空的周日视运动。张

衡以后，浑天仪朝更加精致和准确的方面发展。宋朝苏颂（1020—1101年）等人制造了第一台假天仪，它类似现代的天文馆中的天象厅，人们可以进入里面仰面观看模拟的天象。

浑天仪的制作基于某种宇宙理论。自远古以来，我国人民相信宇宙的基本结构是天盖地承，将这种看法精致化就成了一种盖天说的宇宙理论，它主张天和地是两个同心半球，之间相距八万里，北极是天球的中央，日月星辰绕之旋转。盖天说比较符合人们的常识直观，但不能很好地解释精确观测到的天象，因此后来又有了浑天说和宣夜说出现。浑天说的代表人物张衡认为，天不是一个半球形，而是一个完整的球，地球处天球之中，如同蛋黄居鸡蛋内部一样，恒星处在天球之上，而日月五星则游离于天球附近。采用浑天说可以更好地解释天象，并且被用于计算天体的位置，是球面天文学的原始形式。与浑天说对立的是所谓宣夜说，它反对有什么固体天球，主张宇宙处处充满无边无涯的气体，日月星辰在其中漂浮游动。宣



图 9-29 苏 颂

夜说的“气”论支持宇宙无限的概念，但与天文观测无法衔接，只是一种思辨的哲学理论。

自秦汉以来，我国出现了一大批杰出的天文学家，他们以精湛的观测技术、高超的计算水平，创造了精确的历法，发现了天体运行的规律，留下了极有价值的天象记录。他们中张衡、祖冲之、一行和郭守敬尤其值得一提。

张衡（78—139年）生于南阳西鄂（今河南南阳石桥



图 9-30 张 衡

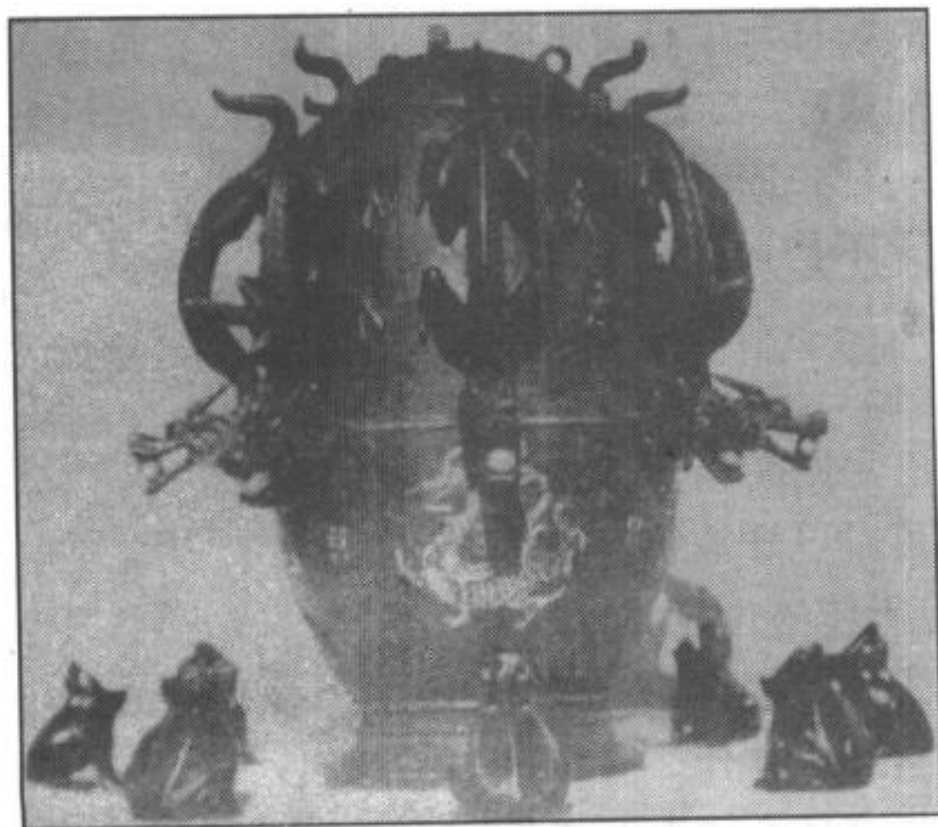


图 9-31 候风地动仪

镇)，是东汉时期著名的天文学家和文学家。他的《东京赋》和《西京赋》奠定了他在中国文学史上的地位，而他在科学上最为突出的工作要算他的浑天理论，以及他所制造的候风地动仪和漏水转浑天仪。张衡的浑天理论见于他的《灵宪》一书，在该书

中，他阐明了阴阳辩证的宇宙起源理论，指出虽有天球但宇宙无界，他还用距离的大小解释行星运动的快慢。在《浑天仪图注》和《漏水转运浑天仪记》中，张衡讲解了漏水转浑天仪的原理和应用，奠定了我国天文仪器的制造学基础。《后汉书·张衡传》中记载的候风地动仪更是中外驰名。据说，“地动仪以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒樽”，中有都柱，外有八道，八道连接八条口含小铜珠的龙，龙头下面的一只蟾蜍张口向上，一旦发生地震，都柱因受震动倒向八道之一，该道龙口张开，铜珠落入蟾蜍口中，观测者即可得知地震的时间和方向。据记载，该仪器确实探测到了公元138年在甘肃发生的一次地震，但可惜的是，该仪器已经失传，后人多方复原均未达到理想效果。

祖冲之(429—500年)既是伟大的数学家，也是伟大的天文学家，他在数学上的成就在我国已家喻户晓。他出生在一个学术世家，祖上数代人对天文、历法和算学都有很高的造诣，祖冲之本人从小专攻算术，技艺日精。他最为世人所知的科学工作是求圆周率。运用前辈伟大的数学家刘



图 9-32 祖冲之

徽的割圆术，祖冲之求出了精确到第七位有效数字的圆周率： $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ ，这一数字在世界远远领先了一千多年，直到15世纪后，才有阿拉伯数学家突破这一精度。为了计算方便，祖冲之还求出了用分数表示的密率 $355/113$ 和约率 $22/7$ 。在天文学上，祖冲之的主要贡献是制定了《大明历》，指出了前辈天算历法家的不足之处。首先，他把前人发现并测定的“岁差”现象纳入历法编制中；其次，他制定了每391年设144个闰月的置闰周期，这个置闰规则更为准确；再次，他推算出回归年长度为365.2428148日，与今日推算值只差46秒；他还明确提出交点月的长度为27.21223日，与今日推算比较只差1秒左右。《大明历》所用的一些基本天文常数普遍达到了相当高的精度，长时间被后世历法制定者沿用。祖冲之不仅是一位杰出的天算家，而且



图9-33 一行

还是一位多才多艺的机械发明家，据说他亲手制造了指南车、千里船和水碓磨等。

在中国历法史上，唐代僧一行（683—727年）所主持编制的《大衍历》具有特殊的意义。一行俗名张遂，魏州昌乐（今河南南乐县）人，精通历象、阴阳、五行之学，出家之后仍勤奋钻研数学。公元717年，唐玄宗令一行修改当时的历法，制定新历。为

此，他组织了一大批朝野天文学家进行系统的天象观测，特别是直接观测太阳在黄道上的视运动，以作为改历的基础。首先，一行运用梁令瓚设计的黄道游仪，系统观测记录了日月星辰运动的资料，废除了过时的数据，采用新的更加符合天象的数据；其次，为了使新历法在全国各地均能通行，一行领导了对全国的大地测量，结果之一是否定了长期以来为人信奉的“南北地隔千里，影长相差一寸”的说法，得出地球子午线一度相隔 129.22 公里（今日测量 111.2 公里）。从 725 年开始着手编制，直到 727 年一行死前不久方完成的《大衍历》，是当时最好的历法，它形成了我国成熟的历法体系，为后世所仿效。

我国的天文仪器在元代达到了其发展的高峰，而元代科学家郭守敬（1231—1316 年）正是这些仪器的监制者。在圭表制造上，郭守敬创造性地运用“高表”以及“景符”，使测影精度大大提高。在浑仪制造上，郭守敬发明了简仪，改变了过去旋环过多，不利于观测的状况，把浑仪分解为两个独立的装置（赤道装置和地平装置），并且在窥孔上加线，提高了观测精度。除此之外，郭守敬还设计制造了仰仪（观测太阳）、七宝灯漏（自动报时）、星晷定时仪（以恒星位置定时刻）、水运浑象、日月食仪等天文仪器。郭守敬不仅是一位杰出的仪器制造家，还是著名的天文观测家，他所参与创制的《授时历》是我国中古时期历法的最优秀典范，它定回归年长度为 365.2425 日（与今天世界通用的格里高利历一样），并正确地认识到回归年长度古大今小。他所首创的推算日月五星的运动的“创法五事”，将天象预测工作推向了高峰。

4. 数学

中国数学古称“算学”，侧重于解决实际应用问题。由于在天文历法的计算方面有不少艰深的数学问题需要解决，因而历法与



图 9-34 《周髀算经》

算学的发展密切相关，许多科学家兼天文学家和数学家于一身。

汉代出现的《周髀算经》(成书年代大约是公元前 1 世纪)是现存我国最古老的数学著作，其中叙述了勾三股四弦五的规律，此定理在西方被称为毕达哥拉斯定理，但我国人民认识到这一关系亦相当早。汉代出现的另一本著作《九章算术》标志着我国古代数学体系的初步形成，这本书也是我国最古老的数学著作，成书年代大约是公元 1 世纪，是对战国、秦、汉时期我国

人民所取得的数学知识的系统总结，其作者并非一人，而是历代学者修改、补充而成的。据考证，《九章算术》的原本在公元前 2 世纪以前就已存在，公元前 1 世纪基本定型。《九章算术》共分九章，主要是解决应用问题，有时先举个别问题，再谈解法，有时先谈一般解法，再举例说明。九章分别是：方田(计算田地的面积) 38 题、粟米(交换谷物的比例问题) 46 题、衰分(按等级比例分配问题) 20 题、少广(由已知面积体积求边长，即开平方和开立方) 24 题、商功(工程方面的体积计算) 28 题、均输(较复杂的比例分配问题) 28 题、盈不足(由盈和不足两个假设条件解一元二次方程) 20 题、方程(一次联立方程问题) 18 题、勾股(利用勾股定理进行测量计算) 24 题，共 246 个问题。书中广泛涉

及了分数计算法、比例计算法、面积体积计算法、开方术以及方程中的正负数运算等等，是那个时代世界上最先进的算术。

举书中盈不足第一题为例：“今有共买物，人出八，盈三，人出七，不足四，问人数、物价各几何？”意思是说，“今有众人共买一物，每人出 8 元，多出 3 元，每人出 7 元，少 4 元，问人数和物价各是多少？”《九章算术》的高明之处在于，它不仅解出了这一题，而且给出了解这类题目的普遍公式。设人出 a_1 盈 b_1 ，人出 a_2 不足 b_2 ，则

$$\text{物价} = (a_2 b_1 + a_1 b_2) / (a_1 - a_2)$$

$$\text{人数} = (b_1 + b_2) / (a_1 - a_2)$$

此外，它还能将那些本不属于盈不足的问题化成盈不足问题，使盈不足术广泛用于解算术应用问题。例如第 10 题：“今有垣高九尺，瓜生其上，蔓日长七寸，瓠生其下，蔓日生一尺，问几何日相逢，瓜瓠各长几何？”意思是说，“今有一墙高 9 尺，墙顶种瓜，瓜蔓每天向下长 7 寸，墙脚种瓠，瓠蔓每天向上长 1 尺，问几天后瓜蔓与瓠蔓相逢？相逢时瓜蔓与瓠蔓各有多长？”这个题可以这样化成盈不足问题：“今有墙高 9 尺，墙顶种瓜，墙脚种瓠，5 日后，瓜蔓瓠蔓还差 0.5 尺，6 日后则超过了 1.2 尺，问几日后它们正好相逢？相逢时各长多少？”

与希腊数学相比，《九章算术》所代表的数学体系注重实际的计算问题，而不考虑抽象的理论性和逻辑的系统性，特别是它采用 10 进位制的算筹算法，使它在计算方面具有当时无可比拟的优越性。两个数学体系确实是互补的，中国的数学经过印度和阿拉伯人传入欧洲，对欧洲代数学的复兴作出了贡献。对于中国数学的发展，《九章算术》也有着奠基式的重要意义，它所开创的体例和风格一直为后世沿用，中国数学家正是在对它的注释中推动了中国数学的发展。

公元 3 世纪和 5 世纪出现了我国早期伟大的数学家刘徽和祖

冲之。刘徽生活于曹魏和西晋时期，公元 263 年写作了著名的《九章算术注》，除了对《九章算术》的解法给出理论论证之外，还创立了“割圆术”这一新的数学方法。在刘徽之前，人们一般使用“周髀径一”来进行有关圆的计算，刘徽发现，“周髀径一”关系并不是圆周与直径的真实关系，而是圆内接正六边形周长与直径之比，以此计算出来的圆面积也不是圆面积的准确值，而是圆内接正十二边形的面积。他由此想到，当圆内接正多边形的边数无限增多时，其周长就会无限接近圆周长，通过求圆内接正多边形的边长与直径之比，可以越来越精确地得出圆周率（即圆周与直径之比），这就是所谓“割圆术”。运用“割圆术”，刘徽算出了圆内接正 192 边形的面积，得出了两个近似值 $157/50=3.14$ 和



图 9-35 《九章算术》

$3927/1250=3.1416$ ，这些是当时世界上最精确的圆周率值。运用刘徽所发明的“割圆术”，南北朝时期的著名数学家祖冲之及其儿子祖暅，将圆周率准确到了小数点后第七位，通过计算圆内接正 6144 边形和正 12288 边形的面积，得出 $3.1415926 < \pi < 3.1415927$ 。此外，祖暅还证明了“等高的两立体，若其任意高处的截面积相等，则它们的体积相等”（幂势既同则积不容异），今人称之为“祖暅定理”。

魏晋南北朝时期出现了一大批数学著作，被辑入

《算经十书》中的有：刘徽的《海岛算经》、《孙子算经》、《夏侯阳算经》、《张邱建算经》，祖冲之的《缀术》，甄鸾的《五曹算经》、《五经算术》（此外还有较早的《周髀算经》、《九章算术》和唐代王孝通的《缉古算经》，由于祖冲之的《缀术》到南宋时已失传，故又将甄鸾《数术记遗》补入）。这些书成了我国古代数学教育的教科书。到了唐代，随着社会经济的高度发达，解决实际计算问题的算术也有了较大的发展，除了又有一些数学专著问世外，在计算技术方面也有不少改革，传统的算筹逐步显示其缺陷，主要是操作速度受到限制，太快时也容易出错。作为一种改革方案，珠算就在这时出现了。

中国古代数学在宋元时期达到其繁荣的顶点，从 11 世纪到 14 世纪的 300 年间，出现了一批高水平的数学著作和著名的数学家，其中秦九韶、李冶、杨辉和朱世杰被誉为宋元数学四大家，代表了当时中国也是世界上最先进的数学水平。

秦九韶（1202—1261 年），生于南宋末年的四川安岳，曾经在湖北、安徽、江苏、浙江等地做官，但仕途不顺，最后被贬梅州。他写于 1247 年的《数书九章》，是中国数学史上一部重要的著作，全书共 18 卷，81 题，分 9 大类。第一，大衍类，主要阐述大衍求一术，即一次同余式组的解法；第二，天时类，讨论历法推算与气象测量；第三，田域类，讨论面积问题；第四，测望类，讨论勾股重差问题；第五，赋役类，讨论运输与税收筹划问题；第六，钱谷类，讨论粮谷运输与粮仓容积问题；第七，营建类，讨论建筑工程问题；第八，军旅类，讨论安营扎寨与军需供应等问题；第九，市易类，讨论市场交易及利息问题。秦九韶在这本书中所提出的“大衍求一术”和“正负开方术”（即以增乘开方法求高次方程正根的方法），是非凡的数学创造。

李冶（1192—1279 年），河北真定人，生活在金元交界的时代，据说，元世祖忽必烈慕名多次召见，许以高官，都被谢绝。李冶

一生隐居，潜心著述讲学，1248年完成《测圆海镜》，1259年又写成《益古演段》。前者12卷，170个问题，讲述由给定直角三角形求内切圆和旁切圆的直径，在此书中提出“天元术”。后一书是“天元术”的入门著作，力图向读者通俗解释天元术。所谓“天元术”即根据问题的已知条件列方程、解方程的方法，“天元一”相当于未知数 x 。天元术的出现标志着我国传统数学中符号代数学的诞生。

杨辉（活跃于13世纪中后期）是南宋末年著名的数学家，杭州人，其生平已不可考，但留下了十分丰富的数学著作。据说他写有5种21卷：《详解九章算法》12卷（1261年）、《日用算法》2卷（1262年）、《乘除通变本末》3卷（1274年）、《田亩比类乘除捷法》2卷（1275年）、《续古摘奇算法》2卷（1275年），后三种统称“《杨辉算法》”。杨辉毕生致力于改进计算技术，提高乘除法的运算速度。他主张以加减代乘除，以归除代商除，并创造了一套乘除捷法。在高阶等差级数的求和方面，杨辉发明了“垛积术”，此外，他还首创了“纵横图”研究。

朱世杰（活跃于13与14世纪之间），元代河北人，生平不可考。据说他以数学为业游学四方，著有《算学启蒙》（1299年）和《四元玉鉴》（1303年）。《算学启蒙》3卷259题，从四则运算开始一直到高次开方、天元术，是一部比较完善的数学教科书。《四元玉鉴》3卷288题，特别讨论了高次方程组的解法、高阶等差级数的求和以及高次内插法等。这些问题之高深、解决方法之精辟，在当时世界上首屈一指。

宋元时期除了在代数学上有突出的成就，计算技术也有很大的改进，最主要的表现就是珠算的正式出现以及普及应用。自明代开始，中国传统数学较少创造性发展，除了计算技术的普及与数学应用的广泛性上有所进步外，整个水平开始落后于欧洲。

5. 陶瓷技术

中国的瓷器驰名世界，西文的“中国”(China)一词又指“瓷器”，反映了在西方人眼里中国作为“瓷器之国”的形象。

中国瓷器经历了由从陶器到瓷器，从青瓷到白瓷，再从白瓷到彩瓷的发展阶段。考古发现，早在一万年前，中国人就开始制造陶器，所谓陶器就是用粘土制成一定的形状后用火焙烧所得到的经久耐用的容器。陶器的制造分手制和轮制，轮制陶器更为精致，反映了制造技术上的进步。单用陶土烧制的陶器表面粗糙，后来人们发现了“釉”。这是一种矽酸盐，涂在陶坯表面上，烧制后的陶器就能像玻璃那样光洁，如果在“釉”中加入带颜色的金属氧化物，则烧制成的陶器还能显示出美丽的色彩。商朝时我国即已出现内外涂釉的陶器，唐代出现的“唐三彩”是我国古代制陶技术的见证。

瓷器是陶器的高级形式。从外观上看，陶器吸水、不透明，而瓷器质地细密坚硬、不吸水、半透明。从物理构成上看，原料、温度和釉是区别陶与瓷的三要素：陶的原料陶土含有较多氧化铁，瓷的原料瓷土(或称高岭土)氧化铁含量低，氧化铝含量高；陶的焙烧温度低，约 900°C ，而瓷的焙烧温度在 1200°C 以上；瓷器表面有高温釉，而陶器无釉或只有低温釉。原始瓷器大约在商代即已出现，三国、两晋时期的瓷

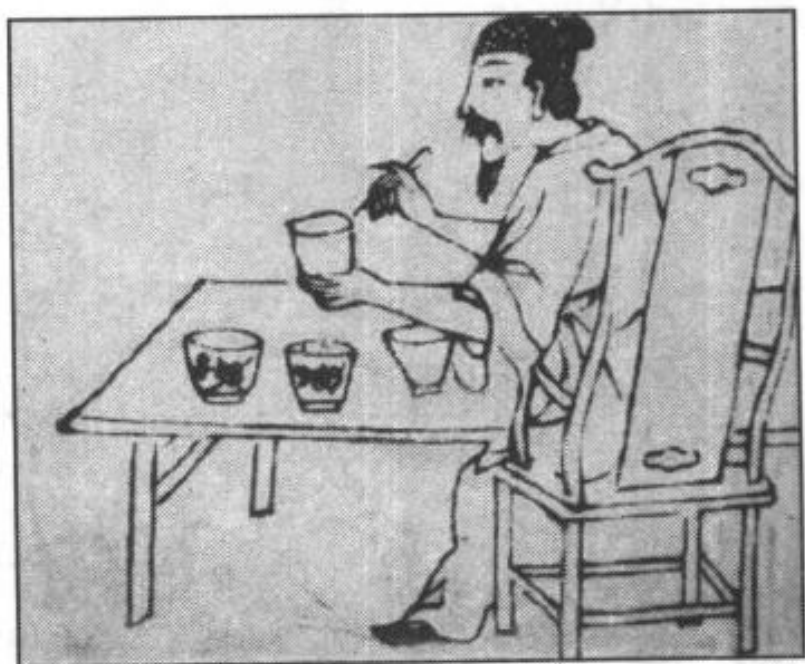


图 9-36 绘 瓷

器在釉质和光洁度方面已有了显著的改进和提高。东晋时代，青瓷在南方已形成独特的制造体系。

隋唐时期，北方白釉瓷的烧制技术日益成熟，南方的青瓷则进入炉火纯青状态。特别是到了唐末宋初，南方地区的青瓷极为细腻和匀润。后周世宗柴荣的御窑（又称“柴窑”）出产的青瓷器，颜色像雨后的青天，故被誉为“雨过天青”，人们形容它“青如天，明如镜，薄如纸，声如磬”。

宋代的瓷器业发展最快，早在唐代即已闻名于世的昌南镇于1004年被皇帝下令改为景德镇，因为那一年是景德元年，景德镇从此成为御窑。宋代以前发展得比较成熟的是青瓷、白瓷和黑瓷，从宋代开始出现彩瓷。彩瓷的前身是在单色瓷上刻印出花纹，后

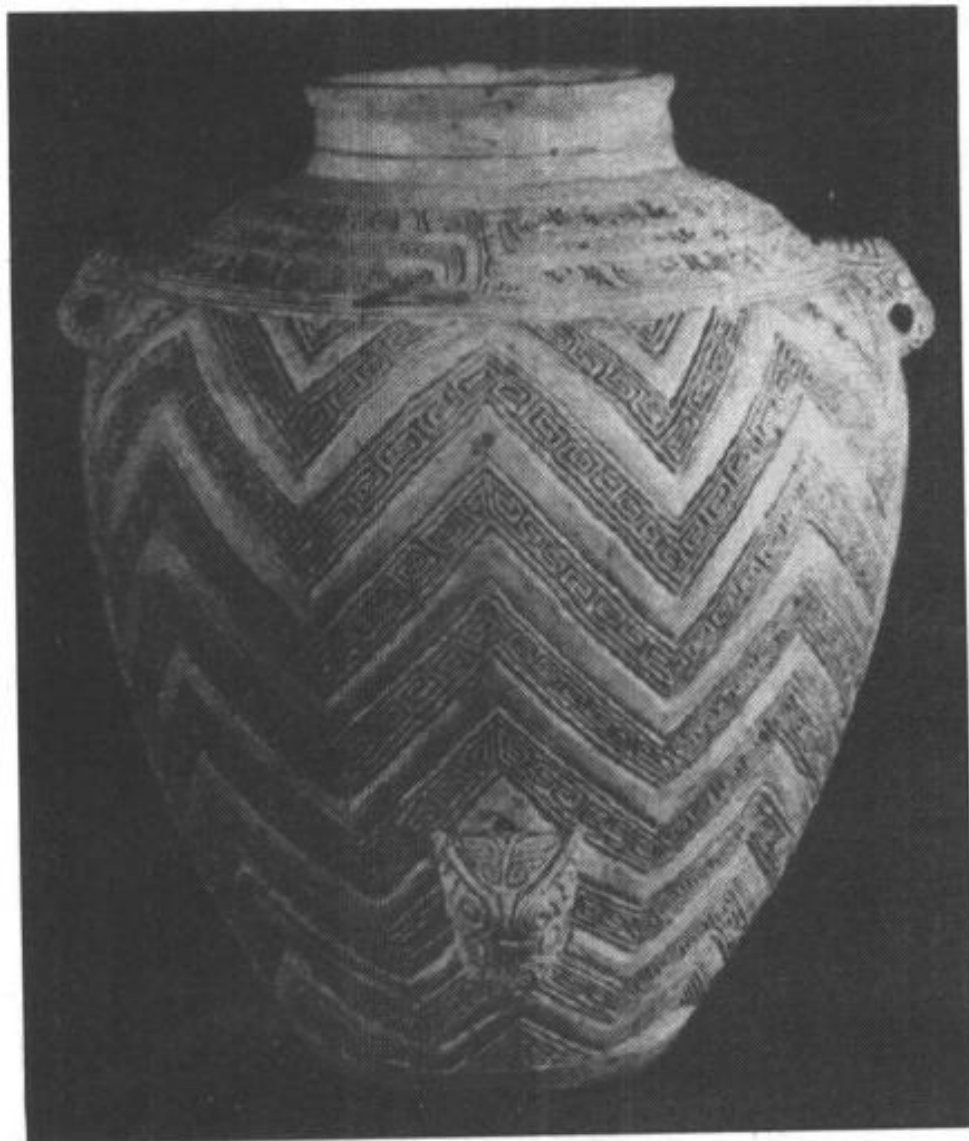


图 9-37 雷纹白陶

来发展出用彩笔在胎坯上画花纹，在胎坯上画好花纹再入窑烧制所得的叫“釉下彩”，在烧好了的瓷器上彩绘再经炉火烘烤而成的叫“釉上彩”。“釉下彩”中最著名的是“青花”瓷，它始于宋代，后成为我国瓷器的主流，而“斗彩”、“五彩”、“粉彩”瓷则属于“釉上彩”瓷。这些优质品类的瓷器，在后来不断发

展，推出了大量精品和传世之宝。

中国陶瓷大约于公元 8 世纪即唐代通过“丝绸之路”或东方的海路传到西亚和南亚，再由这些国家传到欧洲各国。中国瓷器以它瑰丽的色彩和高雅的气质深受各国人民的喜爱，成为高贵的艺术珍品。随着瓷器的西传，造瓷技术也于 11 世纪传到波斯和阿拉伯世界，1470 年传到意大利及西欧，但欧洲真正掌握造瓷技术是在 18 世纪初。

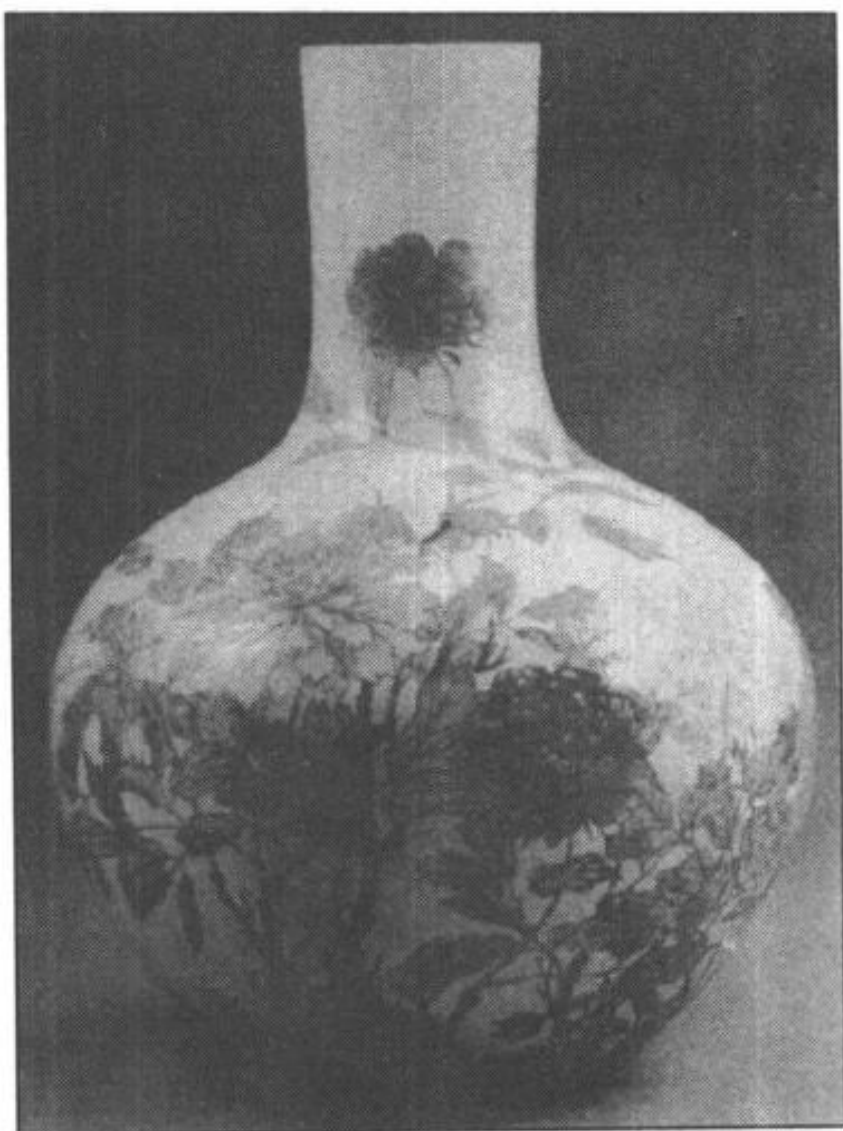


图 9-38 磁粉彩牡丹天球瓶

6. 丝织技术

中国是最早养蚕和织造丝绸的国家，美丽的丝织品是中国人民的光辉发明和创造。早在 3000 多年前的殷商时代，我国就已开始养蚕和织丝。周代出现官办的丝织业，规模很大，民间织丝业更是极为发达。长沙马王堆汉墓中发掘出的大量丝织品，展现了汉代初期我国丝织技术所达到的水平。从品种上讲，有绢、罗纱、锦、绣、绮；从颜色上讲，有茶褐、绛红、灰、黄棕、浅黄、青、绿、白；从制作方法上讲，有织、绣、绘等；图形极为丰富，有动物、云彩、花草、山水以及几何图案。

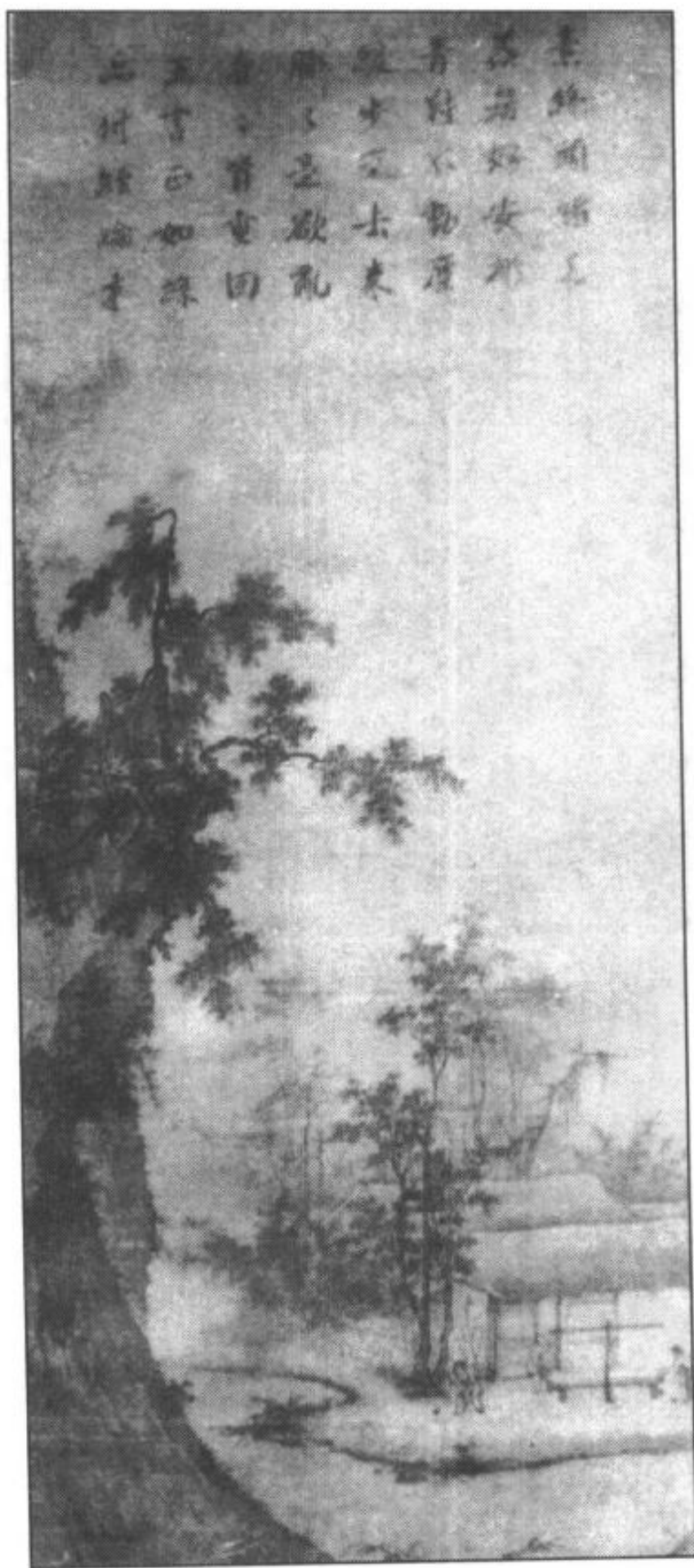


图9-39 丝纶图

唐代丝织品产地主要在北方。安史之乱之后，江南地区的丝织业也迅速发展起来。这一时期的丝织技术包括丝绸的染色、印花技术和纺织机械，都有了很大的改进，所出丝织品尤为精美。诗人白居易曾有诗赞道：“应似天台山上明亮前，四十五尺瀑布泉。中有文章又奇绝，地铺白烟花簇雪。”在唐代的基础上，宋代发展出了“织锦”和“缣丝”，元代发展出了“织金锦”，明清两代发展出了“妆花”。

丝绸是我国的名贵特产，也是古代与世界各国人民交往的信物，丝绸贸易沟通了中西文化交流的“丝绸之路”。丝绸大约在公元初年就传到了罗马，被那里的人民奉为至宝，只有皇帝和少数贵族才穿得起。与丝织品一起，我国的养蚕法和丝织技术也相继传到了世界

各地，公元6世纪传到东罗马帝国，12世纪末传到意大利，14世纪法国人开始养蚕，16世纪末传到英国，19世纪传到美国。养蚕和织造丝绸是中国人对世界文明的一大项献。

7. 华夏建筑

建筑反映了一个民族的科技水平和审美态度。中国古代建筑在技术上达到过很高的水平，在建筑式样上独具特色。雄伟壮丽的万里长城、历史悠久的赵州桥以及代表各时代建筑最高水平的宗教建筑和历代皇宫，都是华夏建筑的精品杰作。

举世闻名的万里长城是世界建筑史上的一个奇迹，它东起渤海之滨的山海关，西止甘肃的嘉峪关，全长四千二百多公里。长城本是防止外敌入侵的卫护性建筑，早在战国时期，各国即各自修建自己的卫城。秦始皇统一中国后，为防止北方匈奴族的军事侵扰开始修建统一的长城，以后历代都在此基础上重新修建。明代在公元1368至1500年间对长城作了一次规模浩大的重建，今天我们看到的就是这次重建的长城。明代以前的长城一般用泥土或石头砌墙，明代开始将大部分城墙都用砖头或石块镶砌，使之更加牢固。长城大多修筑在地形极其恶劣的地方，要建成坚固持久的防御工事，需要极高的工程技术。如今到八达岭看过那在丛山峻岭间蜿蜒起伏的长城的游客，都不能不惊叹我国古代设计师和

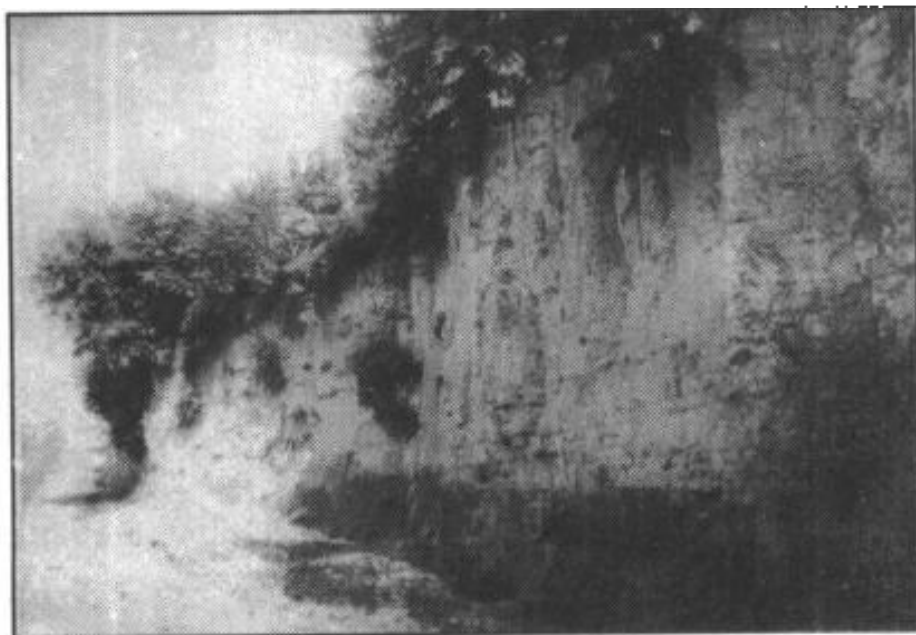


图 9-40 阿房宫遗址

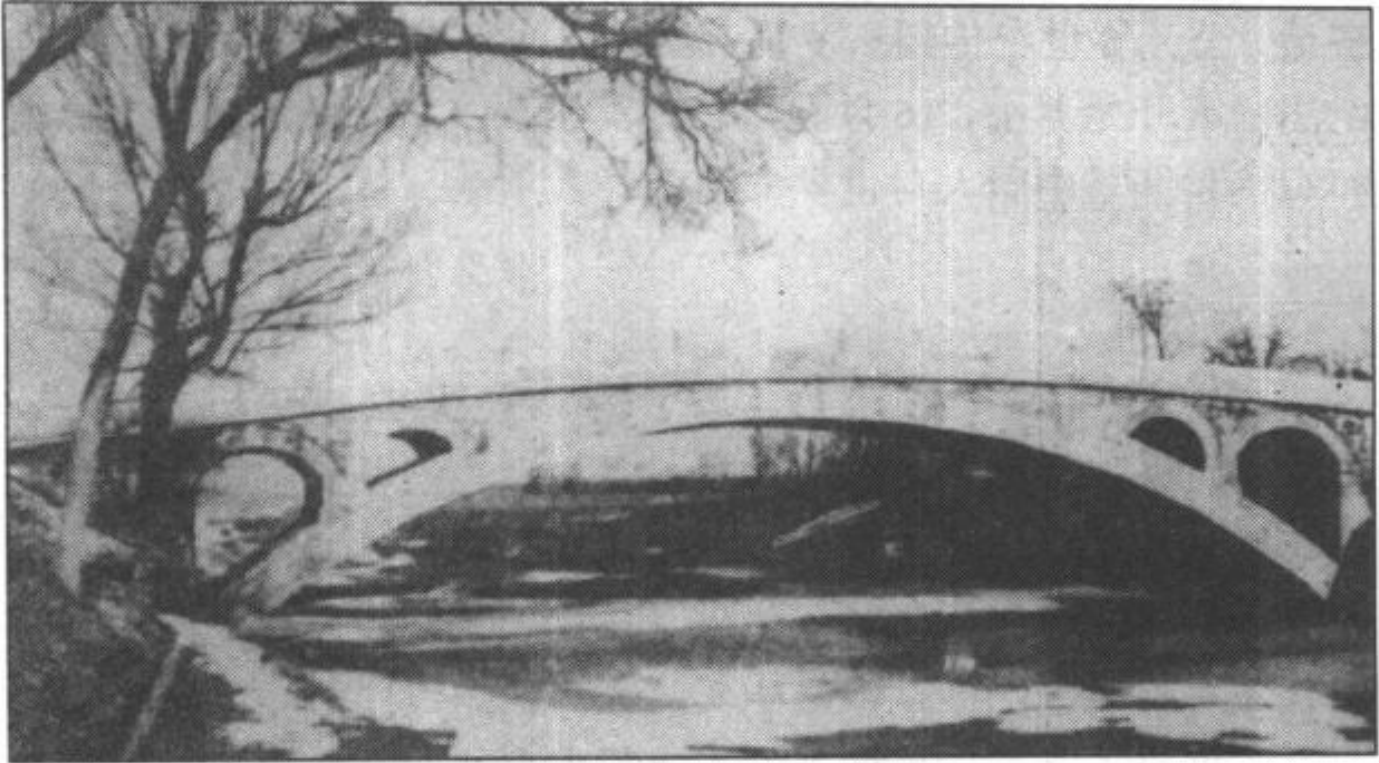


图 9-41 赵州桥

工匠的高超建筑水平。

赵州桥又名安济桥，位于我国河北省赵县城南的交河之上，建于公元 590 到 602 年间，是隋朝石匠李春的杰作。它是一座单孔弧圈桥，净跨度 37.02 米，而拱矢只有 7.23 米，没有较高的技术水平，这样的坦拱桥一般是很难造出的。它的高明之处还在于在主跨两肩上各造二小拱，以防洪水来临时增加泄水量，减小对桥的冲击力。实际上，加两小拱还可以减轻桥体自重，减少对主拱的压力。这种“敞肩拱”结构是世界造桥史上的创举，欧洲直到 14

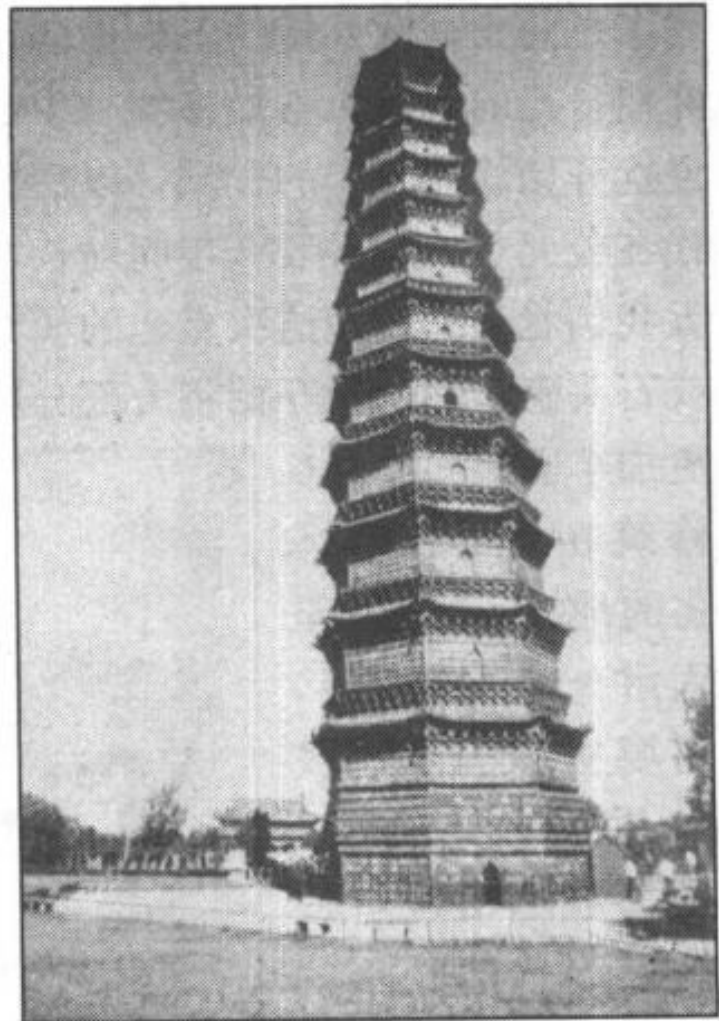


图 9-42 佑国寺



图 9-43 黄鹤楼

世纪才开始出现。由于结构合理，施工精良，赵州桥历一千多年而保存完好，堪称世界奇迹。

三国时期佛教在全国各地盛行，佛教建筑也开始兴起。寺庙基本上与官庭建筑类似，但增加一个佛塔。北魏时期，佛塔一般建在寺院中心，到了唐代则将大佛塔建在寺庙前面或侧面，形成塔殿并列的局面。再以后，佛塔超出佛教的范围，成了人文景观的一部分。现在我国最早的佛塔是嵩岳寺塔，它位于河南省登封县嵩山南麓，高40多米，15层，是一座砖塔。此塔建于公元500年左右

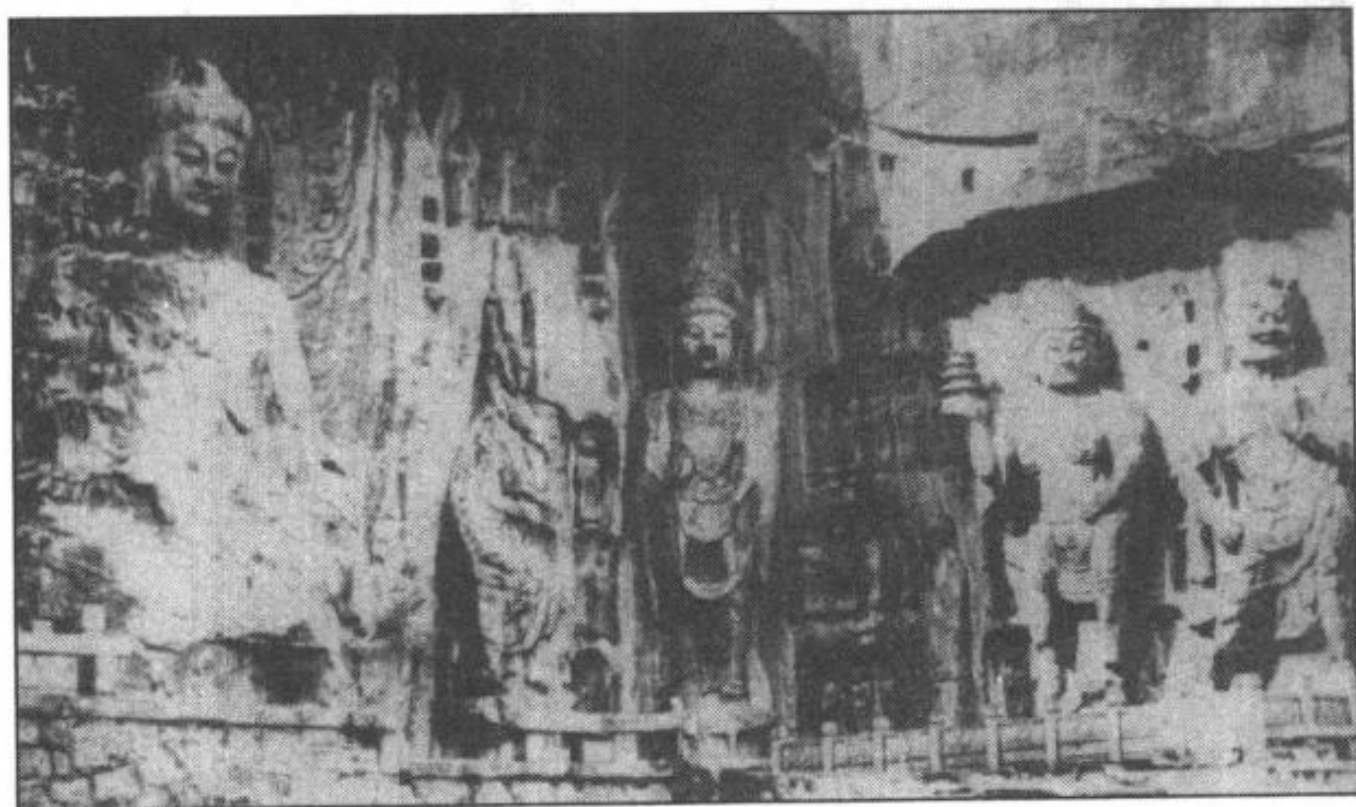


图 9-44 龙门石窟

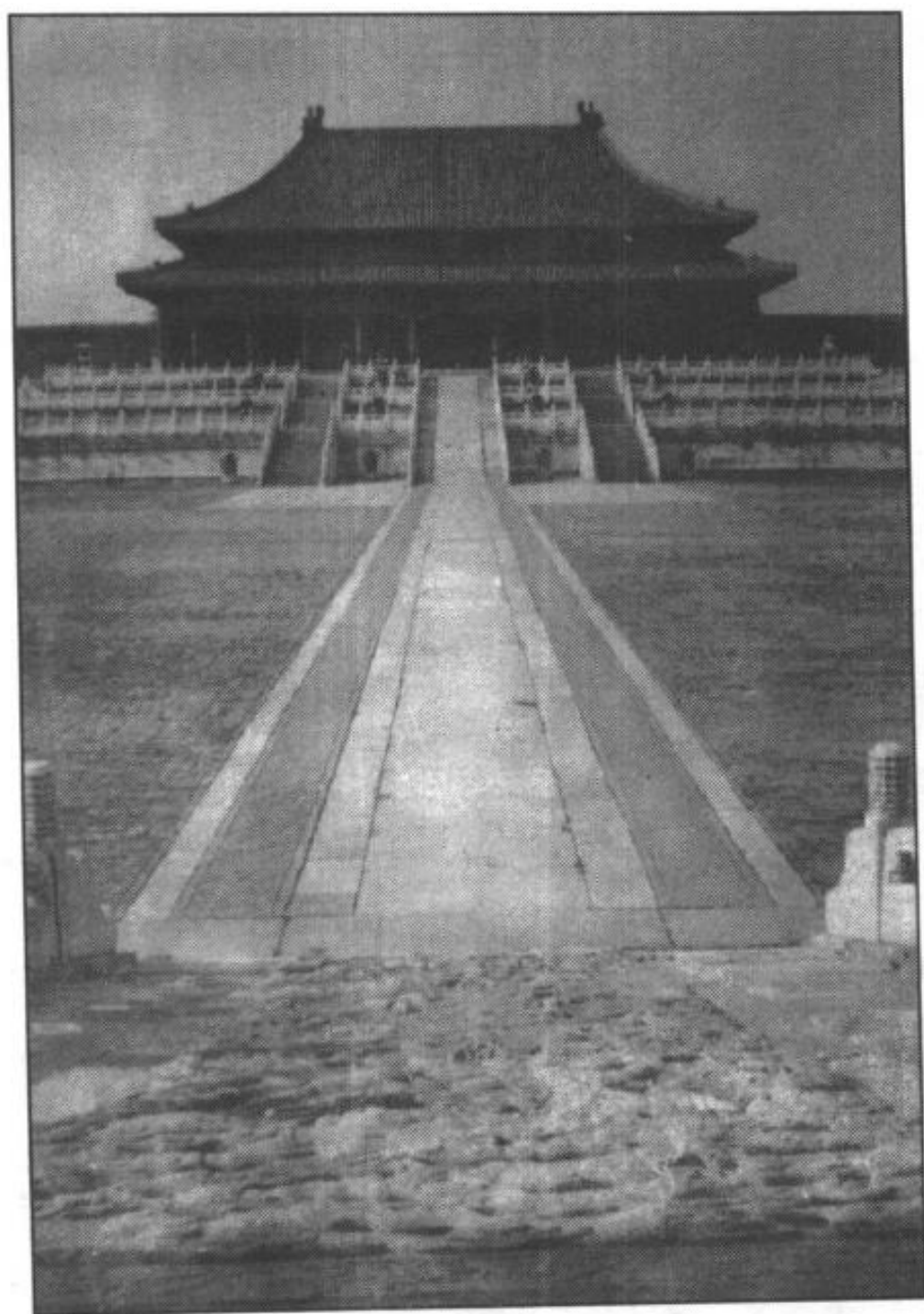


图9-45 故宫太和殿

的北魏时期，已历时一千四百多年，地震和风雨都没能摧毁它。唐代的塔主要是木塔，但均未留存至今，只有一些较小的砖塔幸存。宋代开始流行砖塔，大多呈八角形，个别为六角形和方形。这个时期塔内结构极为考究，有壁内折梯式、回廊式（如苏州大报恩寺塔）、穿壁式（如九江能仁寺塔）、穿心式（如定县开元寺塔）、旋梯式（如

开封佑国寺塔）。这些结构使塔壁、楼层和塔梯相互联结，共同结成一个牢固的整体，在佛塔建筑史上是重大的创新。建塔的材料也变得多样化，既有纯木制，也有砖木混合，砖石混合，纯砖制和纯石块制。现存木塔当以山西应县佛宫寺释迦塔最为著名，它是世界上现存最高的古代木结构高层建筑，高达67.31米，建于公元1056年，历九百多年风风雨雨和元明两代多次地震而不毁，足见其建筑水平之高超。佛教建筑另一大类别是石窟寺，它们一

般是在山崖陡壁上开凿出来的洞窟，其气势浩大、造型独特，最著名的是四大石窟群：云冈石窟、敦煌石窟、麦积山石窟和龙门石窟。它们大都建于公元5世纪中叶至6世纪末期，一般结构是前部开门，门外是木结构，后壁雕刻出一个巨大的佛像，左右则雕有较小的佛像，洞壁上还雕刻有大量反映宗教故事和社会生活的画面，具有极重要的历史考古价值。

中国传统建筑以木结构为主，这一风格大概在汉代即已形成。公元1100年，宋代建筑师李诫编成《营造法式》一书，对传统的



图 9-46 天坛祈年殿

建筑技术作了总结。该书共36卷，对中原地区官式建筑工程的各个环节都给出了条例性的规范，表明宋代建筑技术开始标准化。明代在北京修建的皇宫即故宫，是传统木结构建筑技术的最高体现。它修建于公元1406至1421年间，是一个庞大的建筑群，有房屋近万间，被高达10米的紫禁城围绕，紫禁城又被一条宽约52米的护城河所环绕。整个故宫建筑群布局严谨，由前部的外朝和后部的内廷组成。外朝是皇帝治理朝政的主要场所，以太和殿、中

和殿、保和殿三大殿为中心，文华殿、武英殿为两翼。以太和殿最大，它高 26.92 米，东西宽 63.96 米，南北进深 37.2 米，用了 72 根高 14.4 米直径 1.06 米的木柱作为支架，是“抬梁式”结构的代表作。三大殿分别位于一个等高（8.13 米）的基座上，显得气势宏伟。内廷是皇帝和后妃的住所，有乾清宫、坤宁宫和东西六宫，还有一个御花园，整个建筑群显得宁静、优雅。故宫中所使用的木材大都是从边远省区的崇山峻岭中砍来的，而石料则是从北京北部的山区采来的，有些巨石重达数百吨，运输这些建筑材料除了动用大量的人力外，还需要很高的技术水平。壮丽辉煌的故宫是中国古代工匠聪明智慧的结晶。

第十章

中国对世界科学的贡献

古代中国人创造了自己独特的科学技术体系。这些在中世纪最为耀眼夺目的科技成就通过阿拉伯人传到欧洲之后，对欧洲的近代科学革命产生了重要的影响，特别是中国的四大发明，对整个世界近代文明和科学的发展作出了突出的贡献。马克思曾写道：“这是预告资产阶级社会到来的三大发明，火药把骑士阶层炸得粉碎，指南针打开了世界市场并建立了殖民地，而印刷术则变成新教的工具，总的说来变成了科学复兴的手段，变成对精神发展创造必要前提的最强大的杠杆。”而纸的发明，更是对人类文明产生了深远的影响。

1. 纸的发明与西传

要明白纸对于人类文化的发展具有何等的意义，只要回顾一下在没有纸的年代文化的积累和传播有多困难就行了。各个古老

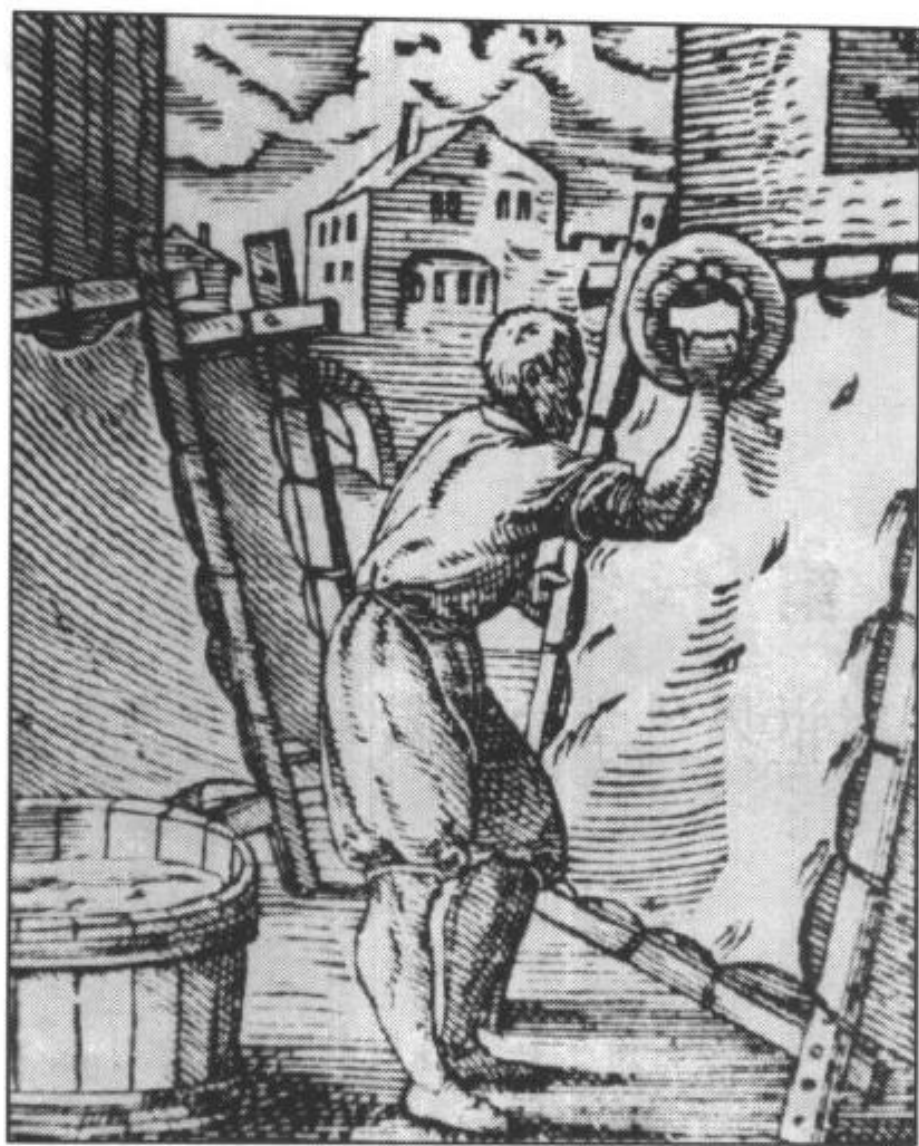


图 10-1 公元 1568 年的古画，画面显示羊皮纸的制造
曾是欧洲城市街头一种比较普遍的行业

的文明都有与其自然条件相适应的书写材料。古代埃及人用的是天然生长的植物纸草，但它容易发脆断裂，用它书写的作品很难保存；希腊人用羊皮作书写材料，但羊皮太贵，产量有限，不能广泛地使用；巴比伦人把文字刻在泥板上，但泥板笨重，不宜记录大量知识；印度用白树皮或多罗树的树叶，多罗树又叫贝多树，用这种叶子写成的佛经叫贝叶经，这些

材料与纸草一样不便保存。在纸出现之前的中国，先是把字刻在龟甲和动物的骨头上，那时候的文字因而也称为甲骨文。后来把文字铸在青铜器上，该文字因而被称为“金文”或“钟鼎文”。再以后比较流行的是将字写在竹片和木片上，这些刻有文字的竹片或木片用绳子穿起来就成了册。比起甲骨和青铜器，竹木简更方便而且能写上许多文字，但依然笨重。据说西汉时有一个叫东方朔的给汉武帝写了一封信，此信两个身强力壮的人都很难搬动，因为它整整用了三千根竹简，汉武帝花了两个多月才读完。与竹简同时使用的还有丝帛，但帛与羊皮一样太昂贵，一般人用不起。所有这些纸发明之前人类所使用的书写材料，不是笨重不便就是

昂贵不能普及或不能久存，这对人类文化知识的积累和传播所造成的困难是不难想象的。

我国人民自古养蚕种桑，用蚕的茧丝制造华贵漂亮的丝绸，正是在处理茧丝的过程中，纸作为一种副产品被发明出来。人们一般用好的茧子抽丝，而差的茧子用漂絮法做成丝绵；先将茧用水煮沸，然后放在浸入水中的篾席上反复捶打、漂洗，一旦蚕衣被捣碎、散开成丝絮即取下来，但篾席上还残留着一层薄薄的絮片，古代人发现用它写字很好便推广开来。这种絮纸是纸的原始形态。

絮纸只是丝织品的副产品，其原料仍然不太丰富。秦汉时期，人们又发明了制作麻料衣服的副产品即植物纤维纸，它原料丰富、便宜，很快就流行起来了。1957年，中国考古学家在陕西灞桥的一座古墓中发现了一批纸的残片，经鉴定，其原料是大麻纤维，年代大约在公元前140至前87年间，这批残片就是举世闻名的灞桥纸，是迄今世界上最早的纸张。

东汉时代的蔡伦在改进造纸技术方面作出了重要的贡献。蔡伦是一位太监，专门负责监制皇宫用的器物。据说他勤于钻研，经常与皇宫工场中的造纸工匠一起讨论造纸技术的改进，最后终于提出了用树皮、麻头、破布和鱼网作原料造纸的新技术，这一技术不仅使原料来源更为广泛，而且纸的质量也大大提高了。公元105年，蔡伦正式将这种纸献给朝廷，从此在全国推广，人称“蔡侯纸”。

蔡伦之后，造纸技术不断改进，造纸业也成为



图 10-2 羊皮纸做成的成品

一个大的行业而在全国繁荣起来。唐朝已经出现了多种名贵的纸张，如北方的桑皮纸、四川的蜀纸、安徽的宣纸以及江南的竹纸等。到了宋代，纸的品类和用途更多，材料来源更广。明代宋应星在其名著《天工开物》中详细记载了造纸的一般工序和相关技术。

我国纸张和造纸技术的西传几乎与纸的发明同时。这种方便而价廉的书写材料其好处是显而易见的，所以在“蔡侯纸”发明不久就流传到西域。唐初（7世纪中叶），当阿拉伯帝国的势力扩张到与我国西部接壤时，纸也就传到了阿拉伯。公元751年，大



图 10-3 蔡伦

唐帝国与阿拉伯（我国史称大食）帝国在怛罗斯城（今吉尔吉斯境内）开战，结果由大将高仙芝指挥的中国军队大败，大批士兵被俘，这批俘虏中恰好有许多造纸工匠。11世纪阿拉伯的旅行家贝鲁尼在其游记《印度》中写道：“中国的战俘把造纸法输入撒马尔罕（今乌兹别克境内），从那以后，许多地方都

造起纸来，以满足当时的存在着的需要。”中国的造纸术就这样进入了阿拉伯境内。8世纪末，巴格达开始建立造纸厂，随后造纸业在大马士革盛行，欧洲一直由此进口纸张。后来，造纸术也传到了欧洲各国，西班牙和法国于12世纪，意大利和德国于13世纪相继建立纸厂，16世纪则遍及整个欧洲。

2. 印刷术

与造纸术一样，印刷术也极大地改进了人类知识生活的设备条件。在不知道印刷术的古代，出版一本著作完全靠抄写，而抄写总是不能避免笔误，因此不能指望每一抄本是完全一样的。对于需要画图或作表的书，则出版质量更是无法保证。印刷术的原理确实非常简单，图章的使用在远古时期就已很普遍，但欧洲直到14世纪才开始采用印刷术印刷图像，15世纪开始活字印刷，这



图 10-4 最早的雕版印刷品（金刚经）

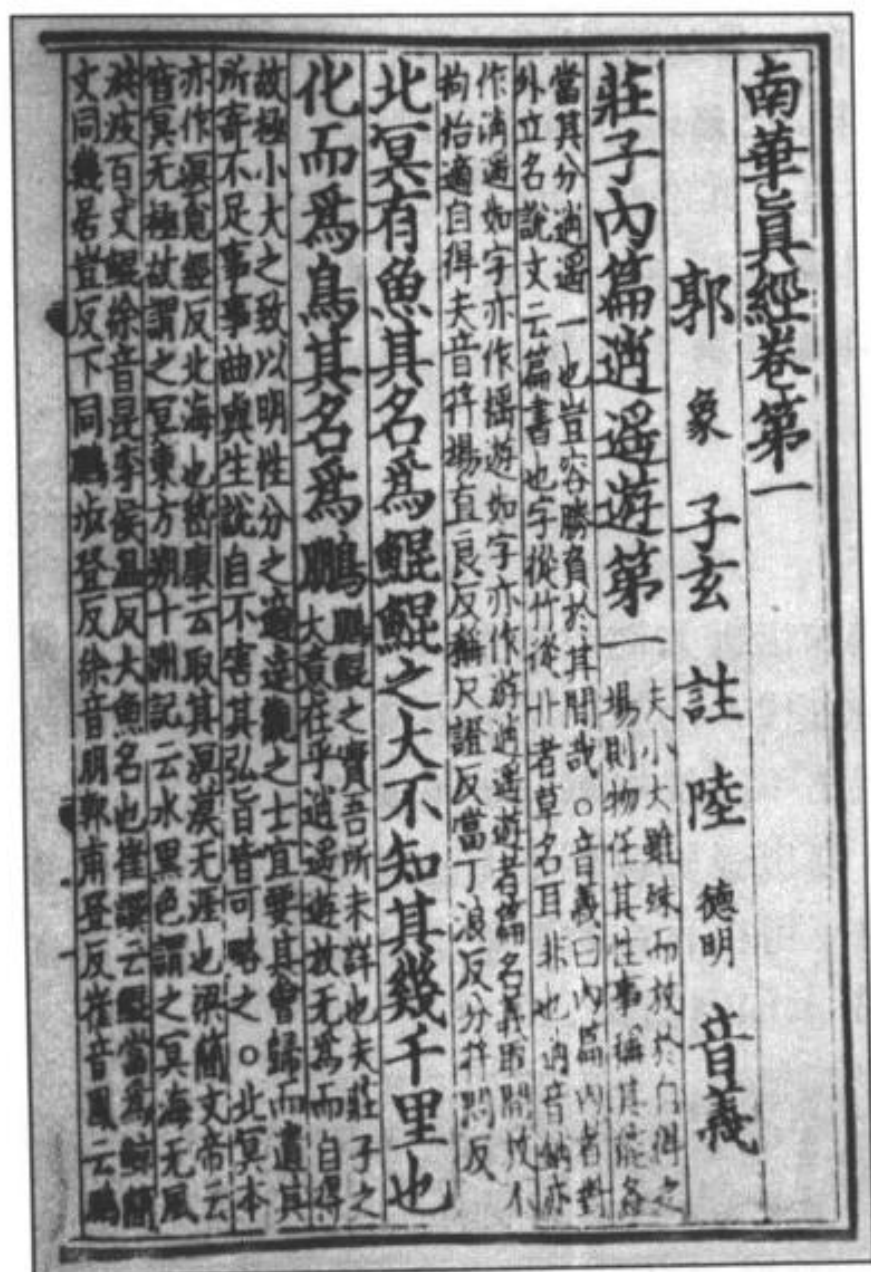


图 10-5 雕版印刷的《南华真经》

种状况对文化发展的妨碍是显然的，但原因谁也说不清楚。一个原因大概是，印刷首先需要质地相同的印刷材料，在中国的纸传入欧洲之前，印刷术的推行是不可想象的。

与纸的使用一样，中国印刷术的出现也非常早。隋朝时期，我国人民已经发明了雕版印刷术。雕版印刷即刻版印刷，它是将一篇文章用反手字刻在木板上，在木板上刷墨，凸起的字受墨，从而可以将文章印到纸上。用这种方法可以将一篇文章或一本书

印成完全一样的许多份。据我国历史记载，印刷术开始于隋文帝开皇 13 年（公元 593 年）。印刷术一旦问世，它对文化传播所起的作用立刻就显示出来了。唐代印刷业极为发达，四川成都几乎成了刻书的中心，大量农书、医书、历书、字帖由此流传到全国各地。佛教传入我国后，印刷术则被用于大量印制佛经和佛像。1900 年在敦煌发现了一部唐代刻印的《金刚经》，标明日期为“咸通九年四月十五日”也就是公元 868 年，这是目前世界上最早印有出版日期的印刷品。欧洲最早印有确切日期的印刷品是德国南部的“圣克利斯多夫画像”，日期是 1423 年。

雕版印刷术在宋代达到了极高的水平，留存至今的宋代刻本的书籍有七百多种，每本都十分精美。公元971年在成都刻印的全部《大藏经》共1046部，5048卷，雕版达13万块，花费了12年，这是世界印刷史上规模浩大的工程之一。

雕版印刷虽然比人工手抄是一个巨大的进步，但它依然在人力和材料方面浪费很大。每一部书都要重新刻版，大部头的书往往要历时数年，而将书印完后存放版片需占大量地方，如该书不再重印，则刻版就作废了。这些缺点随着雕版印刷术的兴盛日益显示出来，作为对雕版印刷术的改进，宋代庆历年间（1041—1048年）平民毕升发明了活字印刷术，使印刷技术产生了一个伟大的飞跃。

毕升是一位优秀的刻字工人，在长期的刻字实践中总结出了活字印刷术，其原理与现代印刷术完全相同，分三个步骤。先是制活字，毕升所用材料是胶泥，在胶泥方块上刻好字后用火焙烧，使之坚硬如瓷，所有的字用纸袋装好按韵排列。其次是排版，在铁板上放松香、蜡以及纸灰的混合物和一个铁框，装拣出来的字排在铁框中，等排满一框即对铁板



图 10-6 毕升

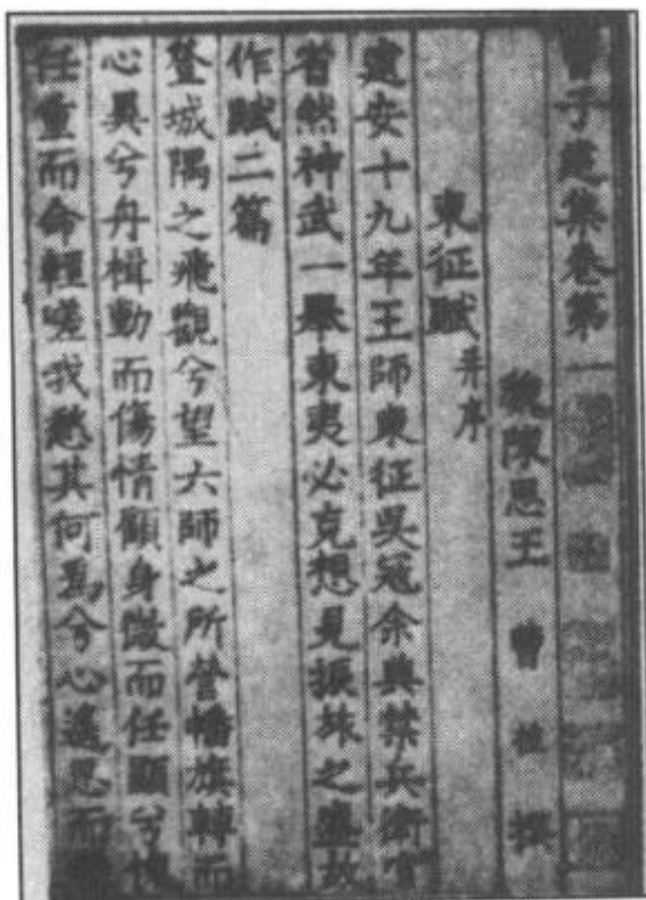


图 10-7 早期的活字本印刷品

都有不断改进。元代著名农学家王桢创造了木活字印刷术，并于1293年用此法试印了他本人的著作《旌德县志》，不到一个月的时间就印了一百部，印刷速度颇为可观。木活字改进了泥活字容易破损的缺点，是印刷技术的一次重大进步。王桢还创造了转轮排字架，将所有活字都按韵排在可以转动的轮盘上，大大提高了拣字速度，减轻了拣字工人的劳动强度。在他的农学名著《王桢农书》里，他还专门写了一节“造活字印书法”，这是世界上最早阐述

加热，使松脂熔化，用一平板将泥活字压平，等冷却之后，字就固定在铁板上了，版即制好。版制好后是印刷，方法与雕版印刷一样，印刷完毕再将铁板加热，使松香和蜡熔化，将泥活字取下放好，以备再用。毕升的活字印刷术确实克服了雕版印刷费工费时的缺点，1241年至1251年左右，也就是毕升发明活字印刷术之后二百来年，已有人试用活字印刷术印行儒教经典。

活字印刷术在毕升之后不断发展，在活字材料、拣字方法方面



图 10-8 葛洪

活字印刷工艺的著作。

除了泥活字、木活字外，还出现过磁活字、锡活字、铜活字等，今天流行的铅活字在我国的 15、16 世纪也已出现。中国的雕版印刷术大约于 12 世纪传到埃及，而活字印刷术则是通过维吾尔人传入高加索，再传到小亚细亚和埃及的亚历山大里亚以及欧洲，保存到今天的世界上最早的木活字是维吾尔文的，有好几百个。欧洲了解到我国的活字印刷术大约在元代，公元 1450 年，德国古腾堡仿照中国活字印刷术制成了用铅、锑、锡合金为材料的欧洲拼音文字的活字，开始了欧洲活字印刷的历史。

3. 火药与炼丹术

火药的主要原料是木炭、硝石和硫磺，它被火点着或用力敲打之后即刻发生化学反应，生成比原有体积大数千倍的气体，产生猛烈的爆炸。火药蕴藏着超常的能量，人类掌握了火药就意味着掌握了某种超常能量，正是这种能量开辟了近代世界的发展道路。

我国很早就掌握了伐木烧炭的技术，公元前后又发现了天然硫磺和硝石。这些基本原料虽然很早就有了，但将它们配制成火药则是炼丹家的功劳。

中国炼丹术与西方的炼金术一样，都来源于原始巫术，带有很浓重的神秘主义色彩。但它们的目标并不相同：炼金术追求黄金，炼丹术追求长生不老之丹。长生不老对中国帝王有很强烈的诱惑力，因此自战国以来，炼丹术士得以在皇帝支持下繁荣他们的炼丹事业。炼丹术相信，只有自身不腐不败的药物才能使人身体不腐不败，草药当然做不到这一点，唯有金石能充当这一角色。炼丹家发现，有一种名叫丹砂的药物（即红色硫化汞）烧之成水银，积变又成丹砂，变化极为奇妙，因而被列为不死药之上品，黄金和白银退居其后。

为了配制长生不死药，炼丹家必然要从事化学实验工作。在炼丹过程中，炼丹家认识到硫磺和硝石的若干化学特性，从而掌握了火药的基本配料。唐代著名医药学家孙思邈（581—682年）也是一个非常著名的炼丹大师。在他的《丹经》一书中，第一次记载了配制火药的基本方法，即将硫磺和硝石混合，加入点着火的皂角子即发生焰火。这个方子由于没有将炭与硝石和硫磺混合，所以反应不够剧烈，但已经是一副黑色火药的配方。唐代末期，三者相混的真正黑色火药方子肯定已经出现，而到了北宋年间，火药用于战争中的火器已比较普遍。

火药对于战争的用途十分明显，一开始的火药武器是名符其实的“火器”，主要目的是在敌人阵地制造大火，火箭、火炮也就是简单的将带有火药的火球抛到敌方。后来，唐福约于公元1000年发明了火蒺藜，里面除火药外还有砒霜、沥青、铁蒺藜等，杀伤力更大，是原始的炸弹。南宋初年的陈规于公元1132年发明火枪，南宋末年有人更造出了突火枪。突火枪是一根很粗的毛竹筒，内里的火药中夹着“子窠”，火药燃烧后将“子窠”发射出去。突火枪的出现是火药武器史上的一个突破，它是近代枪炮的前身。大约于公元13世纪，用金属管代替竹筒的銃枪出现，它的威力超过了从前所有的武器。

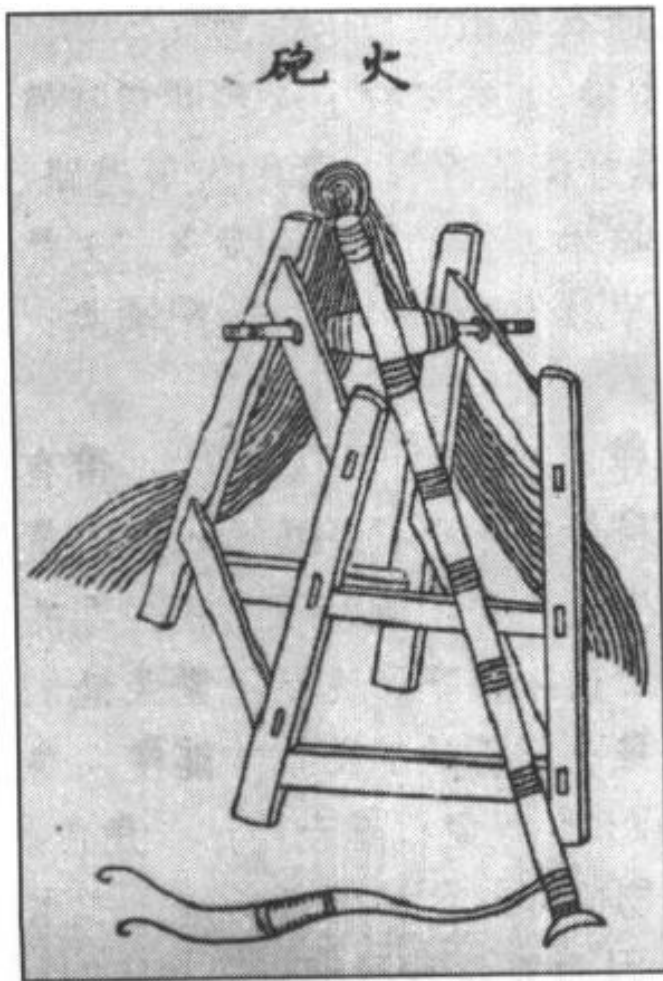


图 10-9 火 炮

中国的硝石、硫磺和火药配制技术大约于公元8世纪首先传到了阿拉伯和波斯，阿拉伯人称硝为“中国雪”，而波斯人则称其

为“中国盐”。再后来，也许是在双方的交战中，阿拉伯人掌握了火药武器的使用和制造。14世纪初，阿拉伯人又将火药技术传给了欧洲，使欧洲历史发生了重大的改变。

4. 指南针与航海技术

今天的社会生活也许不会让人感到指南针的必要性，但正是在指南针的指引下，欧洲新兴的资产阶级在海外开辟了一个又一个贸易市场，使近代世界联成一体；正是在指南针的指引下，哥伦布发现了美洲大陆，大大开阔了欧洲人的视野。航行需要辨向，但在茫茫的大海上，在一望无际的大沙漠中，在人迹罕至的深山老林里，人们只能凭太阳和北极星辨向。若是乌云遮住了星空和太阳，人们就会手足无措了。古代中国人发明的指南针解决了这一问题，尤其为海上远航创造了条件。

远古时期中国有所谓“指南车”，它通过齿轮传动使运动车子上的某物保持固定指向，指南车纯粹是一种机械装置，与指南针没有什么关系（除了均为指向工具外）。指南针的基本原理是磁针的指极性，中国人认识到这一点是在公元前3世纪的战国时

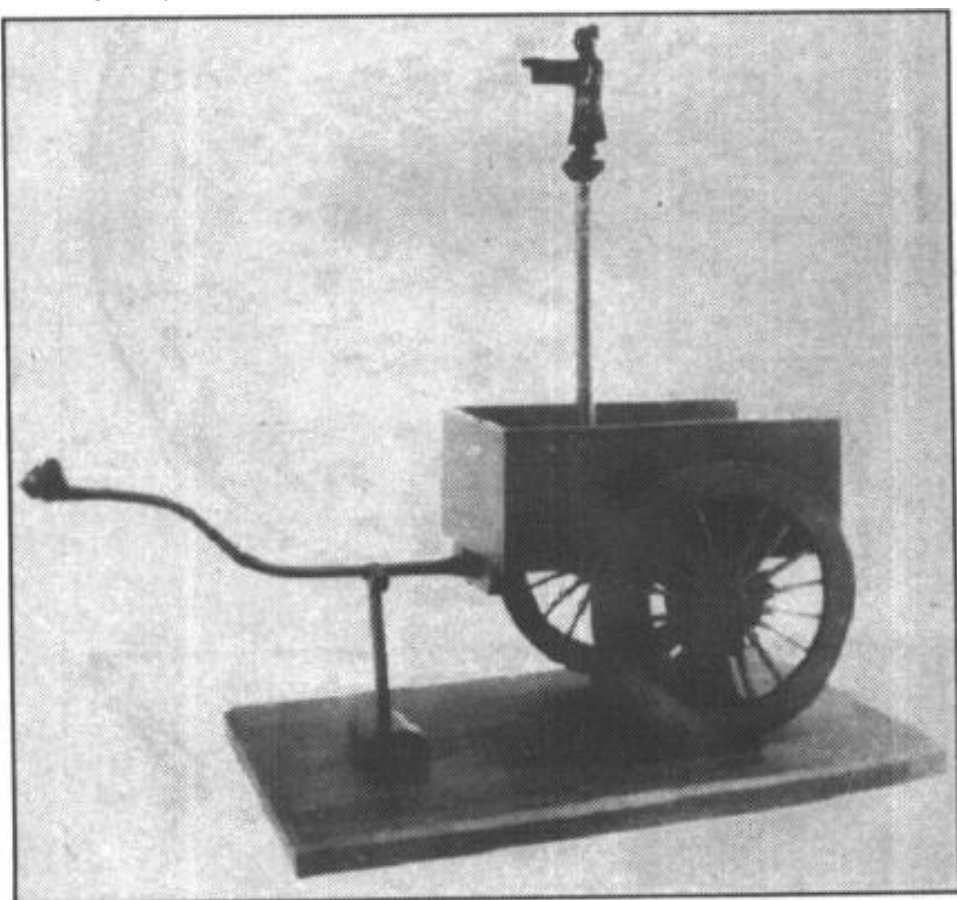


图 10-10 指南车复原图

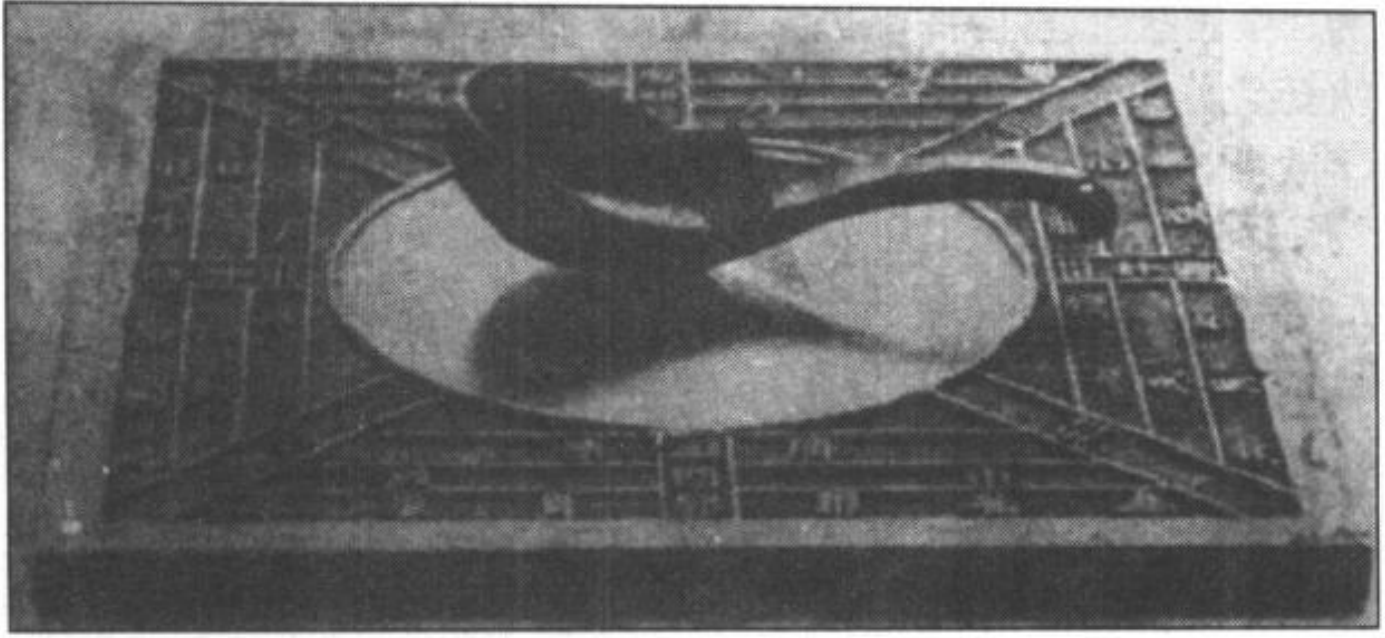


图 10-11 司南

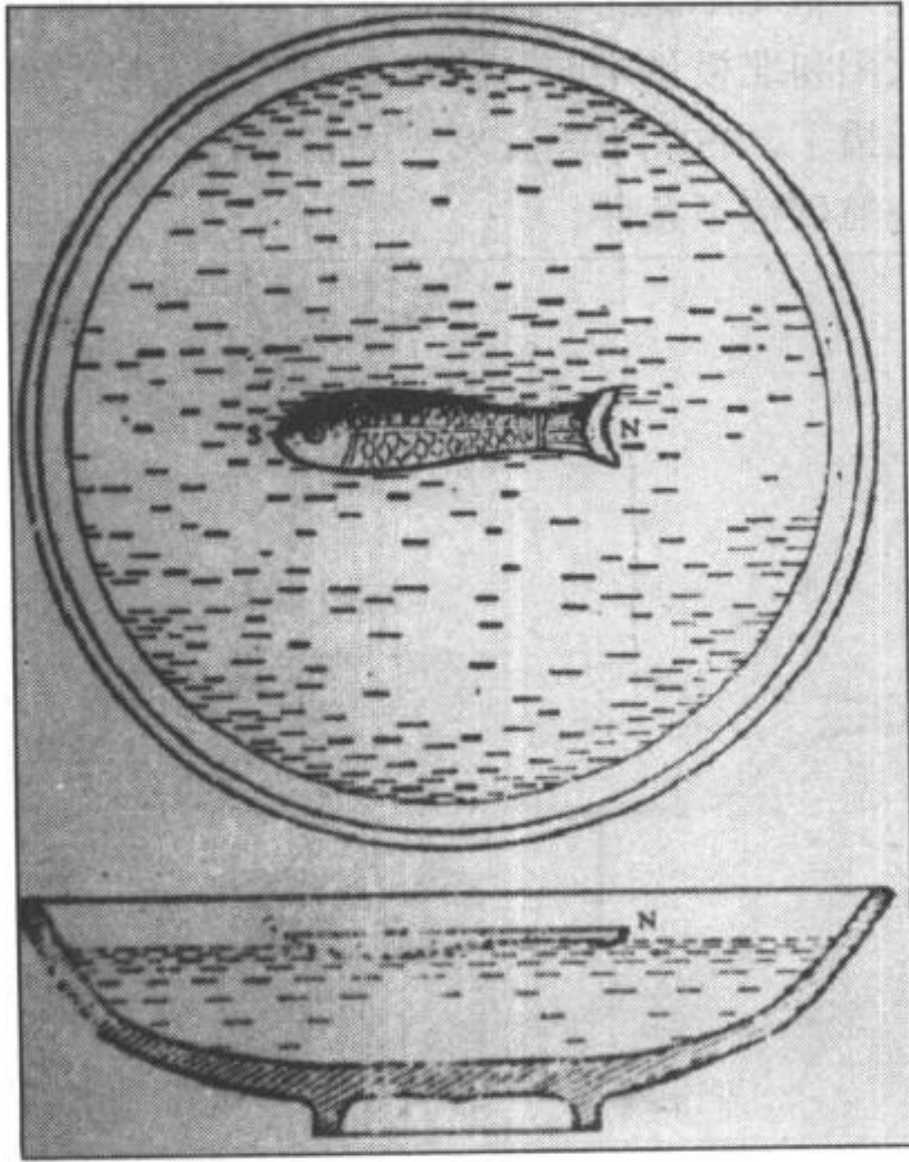


图 10-12 指南鱼

期。《韩非子·有度》中提到“先王立司南以端朝夕”，表明那时已经有了磁性指向工具，而且被称为“司南”。公元1世纪初东汉王充在《论衡》中有关于司南的详细记载：“司南之杓，投之于地，其柢指南。”表明司南的形状像一把汤匙，有一根长柄和光滑的圆底，它由磁石制成，静止时长柄所指方向为南方。司南可能是最早期的指南针。由于磁性指向工具常常被置于一个



图 10-13 沈括

标有方位的地盘之上，因此早期指南针也被称为“罗盘”。

天然磁石在强烈震动和高温时容易失去磁性，而司南与地盘接触的摩擦力又太大，所以指向效果并不很好。在司南之后，人们又进一步探索性能更稳定、携带更方便的磁性指向工具。公元 1044 年左右，北宋曾公亮和丁度在他们的军事著作《武经总要》中提到指南鱼，这是一种用人造磁钢片做成的鱼形指向标。造磁方法是利用高温使铁片内部磁畴激活，置于地磁场中排序，再迅速冷却使磁畴的有序排列固定。这种方法很符合物理学规律，但所得磁性较弱。指南鱼浮在水上，可以自由转动。

指南针的制造技术在沈括（1031—1095 年）的《梦溪笔谈》中最早提出。沈括指出，在磁石上磨过的小铁针具有较稳固的磁性，因此决定采用这种人造磁针代替天然磁石制造指向工具。沈括讨论了磁针装置的四种方法，即“水浮”、置“指爪”、置“碗唇”、

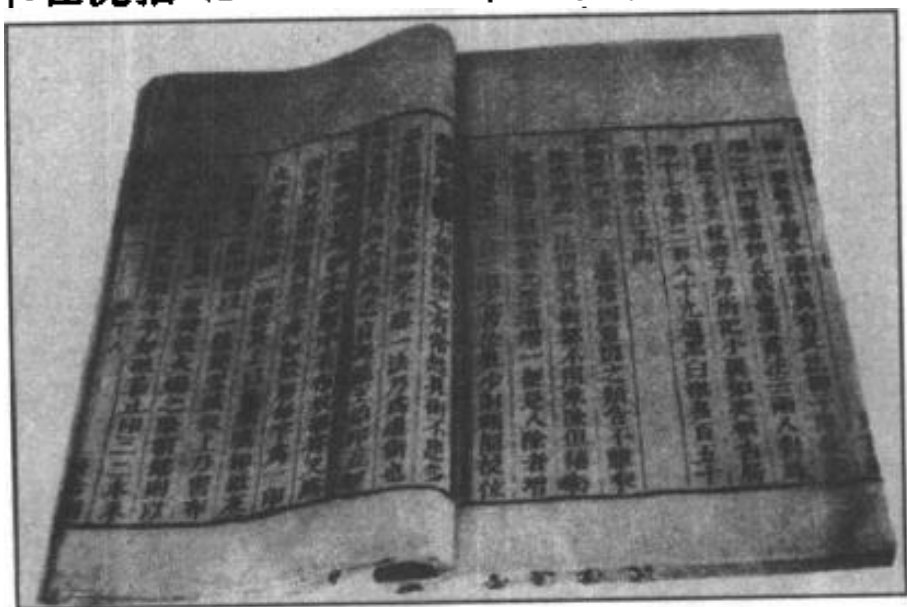


图 10-14 《梦溪笔谈》

“缕悬”。他认为，“水浮”法虽应用较广，但“水浮多荡摇”是一重大缺陷；置“指爪”和“碗唇”方法是指将磁针放在指甲或碗边，这样作虽然摩擦力很小，但太不稳定；只有“缕悬”法是比较好的，它是用细线将磁针悬吊，在无风的地方指向效果很好。南宋时期的陈元靓在其《事林广记》中介绍了他制造的指南龟，木刻的指南龟内部装上磁石，底部用一根极尖的竹针支撑，使其可以自由转动，这种指南龟日后发展成旱罗盘。



图 10-15 郑和

南宋时期的陈元靓在其《事林广记》中介绍了他制造的指南龟，木刻的指南龟内部装上磁石，底部用一根极尖的竹针支撑，使其可以自由转动，这种指南龟日后发展成旱罗盘。

沈括在制造指南针的过程中还发现了“磁偏角”。他写道：磁针“常微偏东，不全南也”，这是磁学史上一个极其重要的发现。欧洲人直到 400 年后才有关于这



图 10-16 郑和下西洋使用的三桅大船

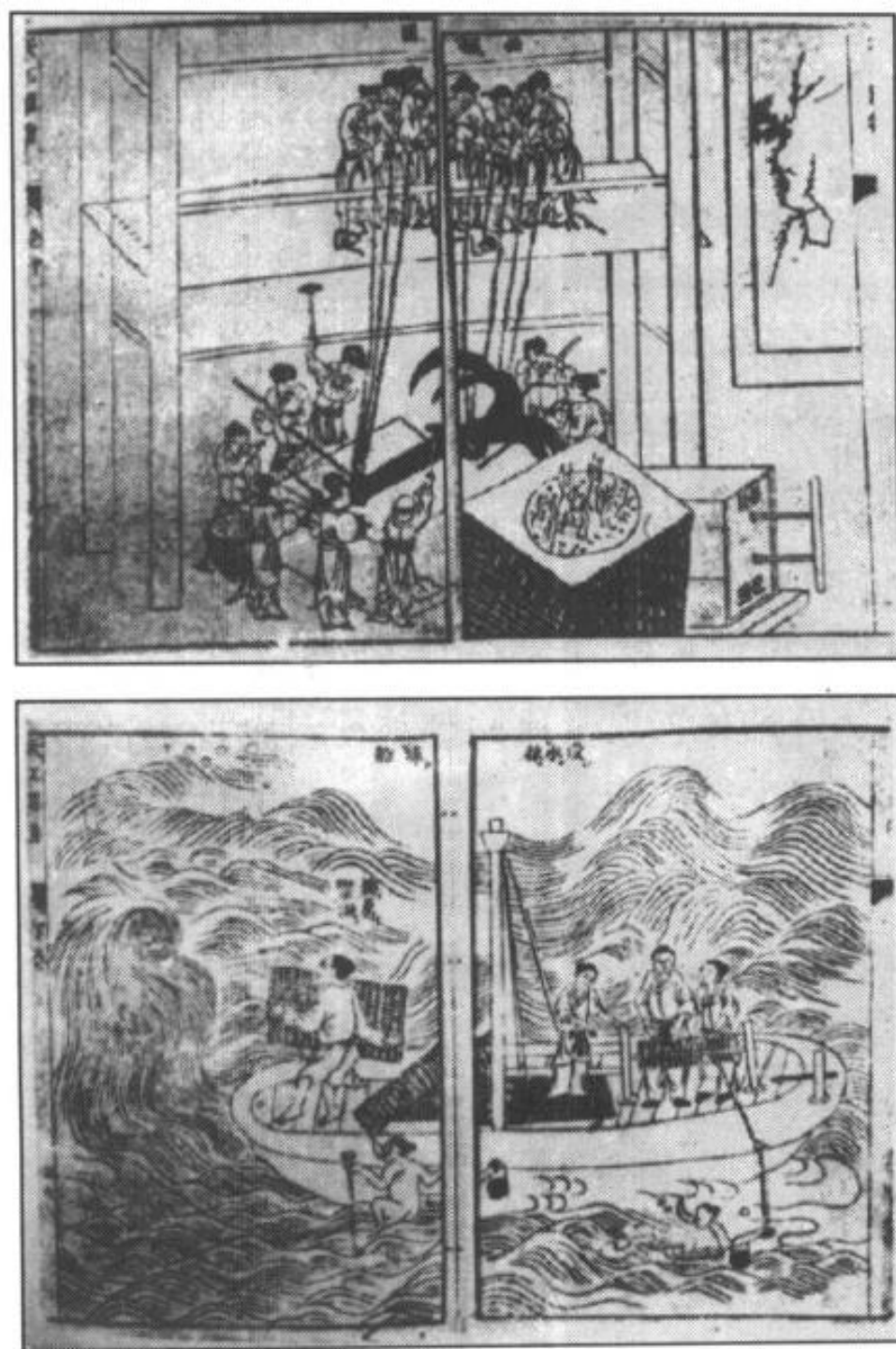


图 10-17 《天工开物》中关于船舶制造的插图

一现象的记载。

指南针发明之后即开始在宋代的航海业中发挥作用，成书于 1119 年的《萍洲可谈》中记录了中国海船上使用指南针的情况。海员起初还只是在阴雨天使用，但到了宋代末期以及元代，不论昼夜阴晴都使用指南针导航，实现了全天候航行。

宋元时期，中国的对外贸易和海上交通十分发达，广州、泉州、宁波、杭州都是对外港口，中国的船只远

达大西洋沿岸，指南针正是由这些远航水手传给阿拉伯和波斯的，通过他们，中国发明的航海罗盘为欧洲人所熟悉。13 世纪初，欧洲即开始有在航海中使用指南针的记载。

指南针的发明使中国的航海事业在中世纪达到了世界最高水平。早在公元 842 年，李邻德就曾驾驶木帆船从宁波启程沿海岸北上，经山东、辽宁和朝鲜到达日本。次年，李处人开辟了由日本嘉值岛直达浙江温州的新航线。1281 年，郑震率商船从泉州出

发，经3个月到达斯里兰卡，以后多次在印度洋上航行。明代郑和（1371—1435年）于15世纪初七下西洋（指南洋群岛和印度洋一带），所率舰队大小船只达200多艘，人员达两万多，其规模之大远胜半个世纪之后的哥伦布和达·伽马。哥伦布横渡大西洋时只有88人，分乘3只长19米的小船。达·伽马也只有100多人，4只船。而郑和的船队中长度超过100米的大船就有50多艘，足见当时造船技术之高明。当时的航海技术、航海仪器也是世界上最先进的，郑和所用的航海仪器包括罗盘、测深器和牵星板，后者是为计算船舶夜间所在的地理纬度而观测星辰（主要是北极星）地平高度的仪器。运用这些仪器，郑和详细绘制了航海地图，其中记载了沿岸地形、停泊位置以及航向、航程、牵星记录和水深等数据，是世界航海史上的杰作。

第十一章

西学东渐与近代中国科学技术的落后

中国科学技术在明代（1368—1644年）继续缓慢地发展，并且出现了四部集传统科学技术之大成的科技名著。但在清代特殊的社会历史条件下，即使按照中国传统科学技术固有的发展模式，其发展速度亦大大减慢，更何况与文艺复兴之后欧洲科学技术的加速发展相比，老大腐朽的清朝更是一落千丈。处于中国封建社会没落时期的清朝学者，以他们“没落”的心态抗拒传教士所带来的西方科学，使中国人对近代科学的创建贡献甚微。原有的传统科学技术得不到飞快的发展，对西方新兴的科学又予以抗拒，结果是中国科技大大落后于世界水平。

1. 明末四大科技名著与传统科学技术体系的终结

伴随着资本主义的萌芽，明代中国科学技术在固有的模式下继续全面发展，并在末期诞生了四大科技名著，它们是李时珍



图 11-1 徐霞客

(1518—1593 年)的《本草纲目》、徐光启(1562—1633 年)的《农政全书》、徐霞客(1586—1641 年)的《徐霞客游记》以及宋应星(1587 年—?)的《天工开物》。第九章已经介绍了李时珍的《本草纲目》以及徐光启的《农政全书》，这里只谈后两部著作。

徐霞客出生于江苏江阴县一个没落地主家庭。当时长江三角洲地区商品

经济发达，人们思想开明活跃，徐霞客在应试不第之后决意云游天下，得到母亲支持。自 22 岁开始直到去世前一年，他游历了江苏、浙江、山西、河北、山东、河南、安徽、江西、福建、陕西、广东、广西、湖南、湖北、贵州、云南 16 省以及北京、天津、上海等地，走遍了大半个中国，每到一地，徐霞客都注意记录山川地貌、物产风情，因此由他的旅游日记辑成的《徐霞客游记》是一部极为有价值的地理学著作，特别是在对西南各省地貌的考察方面，该书有许多开创性贡献，著名科学史家李约瑟称“他的游记读来并不象是 17 世纪的学者所写的东西，倒象是一位 20 世纪的野外勘测家所写的考察记录”。

宋应星生活于明清交会之际，江西奉新县人，对生产技术尤



图 11-2 《徐霞客游记》

有兴趣，47 岁时开始编写《天工开物》，三年乃成。全书分上中下三部分共 18 卷，内容包括农作物栽培、农产品加工、制盐、制糖、陶瓷、冶炼、养蚕、纺织、染色、造纸等诸多部门，是一部关于手工业生产技术的百科全书。中国是一个以农为本的国家，故而农书很多，但关于手工业的书很少，自春秋时期的《考工记》以来，几乎没有这方面的书籍出现，这正是《天工开物》的特殊价值所在。

《本草纲目》、《农政

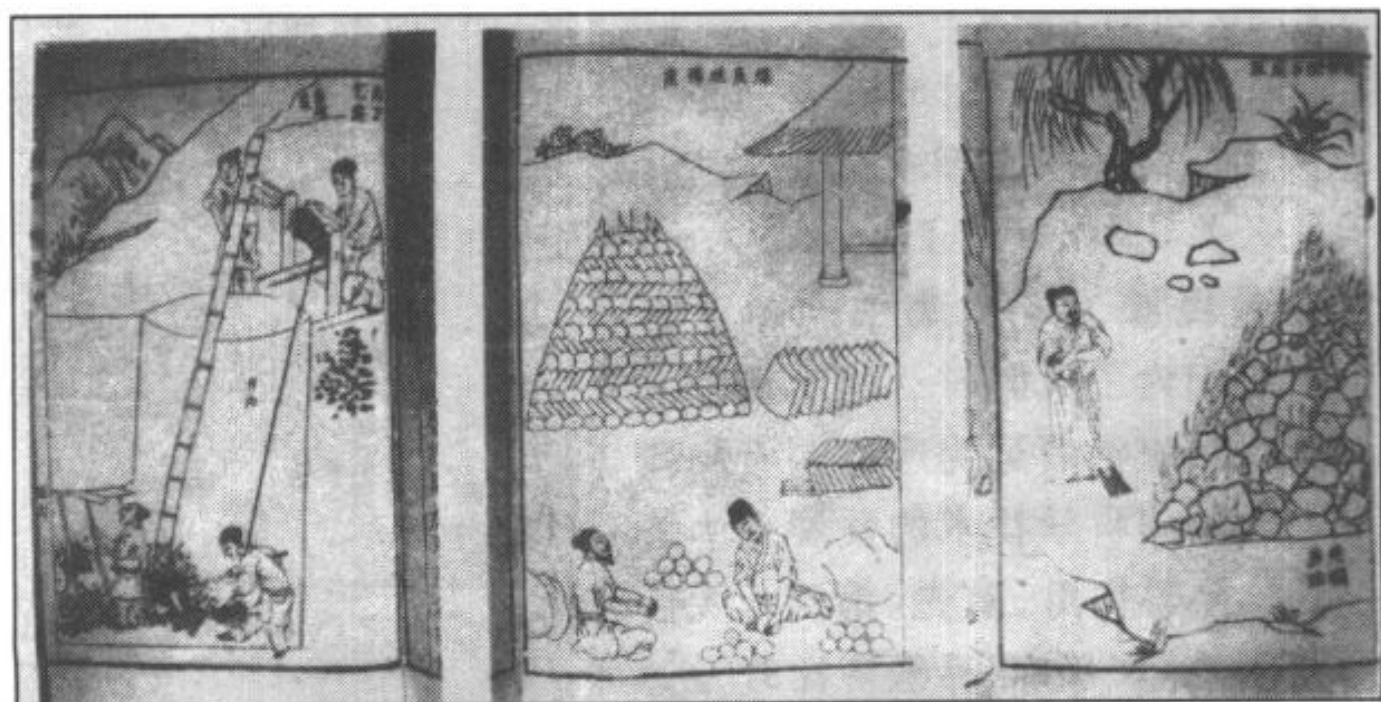


图 11-3 《天工开物》中关于用煤的插图



图 11-4 利玛窦与徐光启

突破和全面飞速发展。

2. 清朝社会对中国科学发展的影响

明朝末年，李自成率领的农民起义军摧毁了明王朝的统治，清兵乘机入关，建立了清王朝。作为一个以少数民族为统治集团的封建王朝，清朝为了巩固自己的统治采取了比汉族统治者远为严酷的专制政策，对中国科学技术的发展产生了巨大的阻碍作用。首先，清兵入关后对东南沿海一带商品经济比较发达地区实行大规模破坏，严重摧残了

全书》和《天工开物》都是百科全书式的著作，是对我国传统科技知识的集大成，但也预示了传统科技体系的终结。明代的中央集权统治达到了极点，思想专制严重地束缚了理论科学的发展。明朝恪守旧历而且严禁民间研究天文，结果导致天文学发展陷于停滞状态；理论数学也随天文学的停滞而不再有重大发展，连宋元时期已取得的杰出成就都未能继承下来。伴随着资本主义的萌芽，与生产有关的技术有广泛的发展，但资本主义的萌芽一再遭到扼杀，不可能出现技术上的重大



图 11-5 《几何原本》最早的中译本

原本十分脆弱的资本主义萌芽。清朝在稳定了局面之后，用了一百多年才赶上明代中期的手工业生产水平，大大延缓了技术发展的速度；其次，清朝因害怕汉族知识分子造反，大兴文字狱，对知识分子实行残酷镇压，一次大案所牵涉到的人不仅有著书人，还有刻书、印书、卖书之人，受牵连的数十人甚或数百人不是杀头就是充军，这种高压政策使得知识分子很少再关注现实问题，而宁可埋头故纸堆，做死学问；第



图 11-6 汤若望

三，因东南沿海反清力量强大，清朝实行海禁，严禁海上通商，这种闭关自守的政策严重阻碍了西方科学知识在中国的传播，使中国科学技术陷于越来越落后的境地。

清朝所维系的一个新的大一统中央政权，虽然保持了中国社会的稳定，使得传统科学技术有可能在原有模式下得以发展，但是发展的速度已大大减慢，而且闭关自守的政策使中国人未能及时接受西方愈来愈先进的科学，从而将中国与西方的差距越拉越大。

3. 传教士与西学东渐

西方科学技术最初是通过基督教会的传教士们传入中国的。传教士来华目的当然是传教，但为了达到这一目的，他们首先必须在中国这块土地上站稳脚跟，必须取得中国士大夫的信任，传教士很快就发现，注重实用的中国人对西方的科学比对西方的宗教更有兴趣，因此，为了取得信任，他们首先献上了西方的科学知识。

传教士大批来华是在明朝万历年间，他们之中比较有科学知识的因而在华影响也比较大的有 1582 年来华的意大利人利玛窦 (Matthoeus Ricci, 1552—1610 年)、1662 年来华的德国人汤若望 (1591—1666 年)、1659 年来华的比利时人南怀仁 (Rerdinandus



图 11-7 南怀仁

Verbiest, 1623—1688 年)、1613 年来华的意大利人艾儒略 (Julius Aleni, 1582—1649 年) 等，他们带到了西方的天文、数学、地学、物理学和机械学知识。

数学方面，利玛窦与徐光启合作翻译了《几何原本》前 6 卷，是传教士来中国翻译的

第一部科学著作；利玛窦与李之藻合作编译了《同文算指》，介绍西方的笔算；穆尼阁（Nicolas Smobolenski, 1611—1656年，波兰人，1646年来华）引入了对数，中国学生薛凤祚将其所传编成《历学会通》，其中包括对数表和三角函数对数表。

天文学方面，利玛窦与李之藻合作著述了《浑盖通宪图说》、《经天该》和《乾坤体义》，介绍西方当时的天文学理论如日、月蚀原理、七大行星与地球体积的比较等；徐光启在传教士们的协助下按照西方天文学理论重新



图 11-8 艾儒略所著《识方外记》

修订历法，编写了《崇祯历书》，由于保守势力的阻挠，新法未得实施。清朝时，汤若望将新法献给顺治皇帝，得以颁行，后南怀仁继续主持皇家天文历法工作，补造了 6 种天文仪器：天体仪、黄道经纬仪、赤道经纬仪、地平纬仪、地平经仪、纪限仪。

地学方面，利玛窦来华时给中国带来了第一张世界地图，该图后来多次修订和重印，诸版本中以《坤輿万国全图》最为著名，西方的经纬度制图法、大地的球状理论、五大洋、气候五带等就是这时传入中国的。当时在中国知识分子阶层引起了强烈的震动，人们不相信地球是一个球体，不相信中国之外的世界如此之大。利玛窦之后也有不少传教士将西方的地学知识进一步介绍给中国人。

物理学方面，汤若望作《远镜说》，介绍了望远镜的制造、用途和原理，以及有关的几何光学知识；邓玉函 (Joannes Terrenz,

1576—1630年，瑞士人，1621年来华）与王微合作的《远西奇器图说》，讲述了静力学的基本原理，描述了各种机械的静力学原理。此外，汤若望还将西方的火器制造技术介绍给了中国朝廷。

顺治和康熙两朝（1644—1722年）对传教士比较信任，西学大量传入。康熙四十七至五十七（1708—1718年）年间，由传教士的领导在全国开展地图测绘工作，并绘制成了《皇舆全图》，此图是当时世界上最精确的地图。传教士们将中国地图带回欧洲，使欧洲人对亚洲有了新认识。在康熙本人的支持下，传教士张诚（1654—1707年，法国人，1687年来华）和白晋（1656—1730年，法国人，1687年来华）和中国学者梅毂成主持编写了《数理精蕴》，这是一部介绍西方数学知识的百科全书。但雍正（1723年）以后，当局开始对传教士不满，西学传入受阻，1773年，因罗马教皇解散传教士们所属的耶稣会，西学东渐工作中止。

传教士带来的西洋科学，在中国的土地上并没有生根发芽，只是在符合封建统治者的需要时才得以传播，如修订精确的历法、对全国版图进行测绘，再如制造先进的军用火器以及宫廷中供观赏和摆设的自鸣钟等机械玩具。对我国传统的科学技术体系整体上没有什么触动，有时甚至遭到严厉的抵制。如杨光先对汤若望主持的新历法强烈地反对，理由是“宁可使中夏无好历法，不可使中夏有西洋人”。只有历法和算学有个别例外，历学家王锡阐（1628—1682年）和算学家梅文鼎（1633—1721年）注意吸取西学的长处，在历、算两方面取得了一些成就。但在当时知识分子中间普遍的心态是故步自封、夜郎自大，是传统文化对外来文化的排斥。他们或者认为西学在我国古已有之，只是后来失传，或者认为中学西学不分高下，或者认为西学还不如中学，或者认为西学实际上源于中学。包括徐光启、李之藻、梅文鼎这些接受西学比较积极的科学家都不能例外。

4. 近代中国科学技术的落后及其原因

近代中国科学技术的落后是与欧洲科学技术的先进相比较而言的，由于中国与欧洲长时期处在相互隔绝状态，各自独立地发展自己的科学技术，从而形成了各自的科学技术传统。但不同的传统之间是可比较的，如果不可比较，就谈不上先进与落后，谈不上中国在中世纪的遥遥领先和在近现代的落后。

落后并不意味着没有发展，它只意味着相比较的双方在发展速度上有快有慢。清朝在传统科学技术模式下仍有一些发展，只是速度较慢。与之相反，欧洲诞生了近代科学，这一新兴的科学传统有着极强的生命力，它与欧洲新兴的资本主义制度相互适应，使科学技术的发展速度达到了一个世界历史上前所未有的高峰。于是，两相比较中国近代科学技术显得十分落后。

近代中国科学技术为什么落后，原因可以分解为三个问题：第一，为什么中国传统的科学技术不能在清代励精图治，达到更快的发展速度？第二，为什么欧洲新兴的近代科学能以如此之快的速度发展？第三，为什么中国不能在清朝也诞生一个类似的近代科学？

假如中国科学技术能沿着自己的轨迹以自身传统的方式进一步加速发展，那么即使西方同时在大踏步前进，中国也决不至于大幅度落后。可事实是，整个清代，中国传统的科技不仅没有加速发展，相反，其发展速度比中国科技的黄金时代宋代低得多。为什么出现这种情况呢？主要应该从传统科学技术体系内部找原因，其次应该注意清朝特定的社会条件即科学技术发展的外部条件，前者是内因，后者是外因，前者具有决定性。中国古代的科学技术体系的突出特点是它极强的实用性，在封建社会中表现为直接满足封建王朝各方面的需要。由于它的极端实用性，一旦现实不

提出直接的要求，它就没有了发展的动力，这一点与希腊人所开创的科学体系是完全不同的。希腊人不讲实用，为理论而理论，这就为科学的发展开辟了无限的空间。希腊人的数学和自然哲学时隔一千多年后仍然能推动欧洲科学的发展，充分显示出理论的力量，而实用性科学眼光不够远大，为自己设定的发展空间是极小的。另一方面，由于中国科技直接服务于封建社会的需要，封建社会结构本身就为它设定了一个发展的极限，过了这个极限，除非社会结构发生重大变化，这种实用型科技就只有停滞不前。而不幸的是中国的封建社会太长，延续了两千多年，中国实用型科学技术体系实际上在宋元时期（10到14世纪）就达到了其高峰也就是达到了它的极限，此后在封建社会结构的约束下不再可能有太大的突破与发展，明朝和清朝发展的明显变慢就证明了这一点。

中国传统科学技术要想在清代突飞猛进，只有两条道路，或者从根本上改变实用性特征，或者改造社会结构，使其为科学技术开辟发展空间。但是这两条道路在当时都是行不通的。科学传统是整个民族文化的一部分，要想彻底改变是不可能的，如果没有巨大的历史变革（像中国近代史上多次残酷的流血战争），大的改变也是不可能的。正如李约瑟所说，中国科学“在公元3世纪到13世纪之间保持一个西方所望尘莫及”的水平，因此作为这一光辉传统的继承者的清朝学者们，根本不可能设想对自己传统的改革和突破，相反表现得最突出的倒是天朝大国的优越感。

至于改造社会结构更是不可能，反动的清朝统治者为了维护自己的封建专制统治，从政治、经济、思想、文化上实行极端严厉的控制，限制资本主义的发展、扼杀思想自由。直到19世纪中叶帝国主义用坚船利炮轰开国门，改造社会结构的外部力量出现，以及无数仁人志士普遍意识到中国社会必须变革的时候，打破封建制度的时机才真正出现，才真正有可能为科学技术的发展开辟道路，但这时中国的科学已经大大落后了。

为什么欧洲诞生的近代科学能如此富有活力、以如此快的速度发展呢？这个问题也是本书余下的部分所要着力探讨的，但可以简单地概括出如下几个原因：首先，近代科学的兴起是与欧洲资本主义的成长相伴随的，资本主义为自然科学创造了进行研究、观察、实验的物质手段，而资本主义的发展方式正好是一种滚雪球式的加速过程；其次，近代欧洲人继承了希腊数学化的科学遗产，使自然知识的追求在一个无限广阔的数学空间中进行；再次，近代理论科学与应用科学密切结合，相互加速，科学与技术相互促进；最后，与资本主义生产方式相适应的民主制度以及思想自由、言论自由、科学研究自由，解放了知识分子受约束的创造力，为科学的发展扫清了障碍。

人们一般把“为什么中国近代科学技术落后”问题等同于“为什么中国没能产生出近代欧洲所产生的那个科学”，这个等同不是特别适当，因为这两个问题并不完全一样，首先，“中国没产生出近代科学”并不意味着中国近代科学技术必然落后。其次，“为什么历史是这样（出现速度变慢现象）”的问题与“为什么历史不是这样（未出现近代科学）”的问题是完全不同的两种问题，前者可以从历史上找到积极的解答，而后者只能找到消极的解答。例如对后者的一般回答是，中国之所有没有产生近代科学，因为中国不具备欧洲产生近代科学的所有决定性条件。例如，中国缺乏足够强大的资本主义势力，因为封建传统过于雄厚；中国缺乏希腊式的数理自然观，知识界流行的是有机自然观；中国的理论科学（自然哲学）与应用科学（技术）缺乏密切的联系，士大夫阶层与工匠阶层有一道很难跨越的鸿沟等等。但前一问题是一个有意义的历史问题，对它的回答是：由于中国科学的发展速度变慢，西方发展变快，所以中国落后了。为什么中国科学在近代发展变慢了呢？答案是：因为其依附于封建社会结构的实用性本质。

第十二章

中世纪后期欧洲学术的复兴

在度过了五百年最黑暗年代之后，从 11 世纪开始，欧洲从漫长夜中苏醒，在教会学校基础上出现了大学这种近代的教育体制。十字军东征，从阿拉伯人那里带回了中国的四大发明和希腊的学术，通过翻译希腊古典文献，欧洲学术得以复苏，其表现之一是出现了托马斯·阿奎那这位最著名的经院哲学家和罗吉尔·培根这位近代实验科学的先驱。中世纪后期城市的大量崛起，为资本主义的发展准备了条件。

1. 十字军东征与欧洲学术的复兴

公元 6 世纪到 11 世纪，罗马帝国解体，欧洲大部分地区被来自北方的蛮族占领，不久分化为几大王国，如西哥特王国、东哥特王国以及法兰克王国。蛮族很快被基督教所教化，罗马教会成了欧洲中世纪的主要政治核心力量，也是唯一能保存一点学问的

场所。公元8世纪，法兰克王国的加洛林王朝出现了一位杰出的君主查理大帝，他建立了版图辽阔的查理曼帝国，而且尊重学问，渴望知识，在宫廷里收留有识之士，英国学者阿尔昆（Alcuin，732—804年），应邀于781年来到这里，将英国比较高水平的文化知识传授给查理大帝。据说，查理大帝在阿尔昆指导下学会了读书，但还不会写作。阿尔昆的到来使查理曼帝国露出了丝启蒙微光。



图 12-1 十字军攻打耶路撒冷

11世纪开始，欧洲发生了一场巨大的历史事件，这就是十字军东征。基督徒带着一种狂热的宗教情绪，开始是自发地继而组织地向东方进军，想夺回被异教徒占据的圣城耶路撒冷。十字军东征运动在诸多因素的支配下，延续了200多年，对欧洲历史产生了极大的影响。它促成了拜占廷所保有的希腊文明、阿拉伯文明以及它所保有的中国文明和欧洲人所继承的罗马文明的交流和融合。正是这场疯狂的宗教战争，推动了一种新的文明的铸造。

十字军从东方带回了阿拉伯人先进的科学、中国人的四大发明、希腊人的自然哲学文献。12世纪，欧洲掀起了翻译阿拉伯文献的热潮，希腊原始文献经过叙利亚文，到阿拉伯文，再被译成拉丁文。亚里士多德和柏拉图的哲学著作，欧几里德和托勒密的科学著作，开始为欧洲人所熟悉。



图 12-2 菲波那齐将 0 引入西欧



图 12-3 中世纪商人在算帐

大翻译的中心是西班牙和意大利，因为这两个地区离阿拉伯文化和希腊化文化区最接近。西班牙曾经被阿拉伯人所统治，后倭马亚王朝直到 1085 年才被推翻，基督教学者得到了大批阿拉伯语的希腊文献。至于意大利，由于地缘关系与拜占廷（君士坦丁堡）一直商务交往密切，而且当时许多人既精通阿拉伯语，又精通希腊语。大翻译运动导致了欧洲学术的

第一次复兴。

西班牙翻译中心最为杰出的人物是杰拉德（1114—1187年），他出生于意大利，但一生大部分时间都在西班牙的托莱多度过。他翻译了托勒密的《至大论》全书，以及亚里士多德、希波克拉底和盖伦的部分著作。据说，他一人所翻的阿拉伯文著作达92本，这样大的数目当然不是一人之力所能完成的，大概当时成立了一些翻译机构，杰拉德不过是这些翻译机构的监督者。

通过大翻译运动，当时已知的希腊科学与哲学文献都被译成当时欧洲学术界通用的拉丁文，为欧洲的学术复兴奠定了基础。1270年，亚里士多德的著作全部被译成拉丁文，为日后亚里士多德学说在经院哲学中统治地位的确立开辟了道路。

2. 大学的出现

对近代欧洲科学发展产生积极影响的另一个事件是大学的出现。11世纪之前，欧洲的教育机构主要是教会学校，这些学校的主要职能是为教会选送神父和教士。后来，随着城市的兴起，也出现了一些世俗的城市学校，但它们的规模和课程设置都很有局限性。

最早期的大学与今日大学含义不太一样，它实际上是当时诸行业协会中的一种，即教师和学生所组成的行会，这些行会自我管理，课程自行设置，与教会学校比起来，更代表着一种自由和开放的近代精神。世界上第一所大学是1158年创立的波伦亚大学，它起初就是一个以讲授罗马法而著名的讲学中心，后来由学生和教师组织成一个大学（行会）。仿照波伦亚大学的模式，欧洲各地先后出现了巴黎大学（1160年）、牛津大学（1167年）、剑桥大学（1209年）、帕多瓦大学（1222年）、那不勒斯大学（1224年）、阿雷佐大学（1209年）、里斯本大学（1290年）等。这些先后成立的大学，不仅有学生组织的所谓公立大学（如帕多瓦大

学)，也有教会开办的教会大学（如巴黎大学、牛津大学）和国王创办的国立大学（如那不勒斯大学）。大学成了欧洲学术活动的中心场所。

3. 托马斯·阿奎那：经院哲学的峰巅

大翻译运动最重要的学术成果是经院哲学的亚里士多德化。

整个中世纪的哲学是神学的婢女，但哲学之所以作为哲学存在，表明人们希望通过论证来支持教义，而不只是靠单纯的信仰。中世纪前期的哲学主流是所谓教父哲学，由罗马神父圣奥古斯丁（Augustinus, 354—430年）创立。教父哲学将柏拉图主义哲学与基督教教义结合起来，主张灵魂是实体，有独立的存在。大约在公元9世纪，教父哲学让位于经院哲学，所谓经院哲学就是用



图 12-4 奥古斯丁

推理的方式对基督教义给出分析和解释，由于解释方式的不同，引起了经院哲学家之间的争论，其中比较著名的争论是唯名论和唯实论的争论。唯名论主张，概念只是名称，没有实体，没有实在性；而唯实论主张，概念也是实体，有其独立的实在性。从学理上讲，唯名论与唯实论之争实际上是柏拉图主义与亚里士多德主义之争。

亚里士多德的思想一开始不为教会所欢迎，百科全书般的世俗知识令人眼花缭乱、耳目一新，教会很害怕它们冲击了神圣的信仰，因此曾在1210年、1219年和1230年三次发布禁令，禁止讲授亚里士多德的学说。但这些禁令无济于事，刚从蒙昧时期苏醒的人们渴望了解这位博学者的学识，亚里士多德的著作到处传播。教会

中杰出的人士开始将亚里士多德与基督教教义相结合，他们中首先值得一提的是大阿尔伯特（1193—1280年）。这位德国学者曾在意大利的帕多瓦大学学习，以后来到巴黎讲学，他最先试图将亚里士多德的学说与当时占统治地位的经院哲学相协调，他的学生托马斯·阿奎那将这一工作推向一个划时代的顶峰。

托马斯·阿奎那于1225年生于意大利南部的阿奎诺，1245



图 12-5 大阿尔伯特

年来到巴黎追随大阿尔伯特学习亚里士多德的理论，不久就因为对亚里士多德的注释而声名远扬。在他的巨著《神学大全》中，托马斯成功地建立了一种将亚里士多德的思想与天主教神学相协调的思想体系，这一体系后来成了天主教教义的哲学基础，因而在哲学史上有着极为重要的地位。对近代思想来说重要的是，托马斯崇尚理性，他将亚里士多德的逻辑学运用到对神学的解说上，为其它知识树立了理性的榜样。虽然近代科学最终是与亚里士多德格格不入的，但从天启信仰到理性判断这种思维习惯的转变，无疑为近代科学的诞生准备了条件。

4. 罗吉尔·培根：近代实验科学的先驱

13世纪欧洲最伟大的两位学者中的另一位是罗吉尔·培根（1220—1292年），他不是以奠定某个思想体系而闻名于世，但他是近代实验科学精神的先驱。像托马斯有一位伟大的老师大阿尔伯特一样，培根也有一位伟大的老师格罗塞特（1168—1253年），从某种意义上讲，托马斯和培根都只是将他们各自老师的工作继承下来，做得更为出色而已。格罗塞特是一位英国教士，1235年当上了林肯城的主教，他是将亚里士多德的著作最早介绍给欧洲的学者之一，而且正是他从拜占廷帝国带回了懂希腊语的学者，直接从希腊文翻译亚里士多德的作品，改变了当时盛行的从阿拉伯语转译的作法。格罗塞特虽然在介绍亚里士多德的著作方面做出了重要的贡献，但他本人并不迷信亚里士多德，相反，他十分推崇实验在认识自然界中的作用。据说，他本人在光学方面做了不少实验，将阿拉伯物理学家阿尔·哈曾的光学研究更加推进一步，基于这些研究，他还提出宇宙是由物质和光组成的。

格罗塞特的思想和研究工作无疑对培根有很重要的影响，在培根留下的著作中有这样的话：“只有林肯城的主教一个人才真正

懂得科学。”足见他对格罗塞特十分推崇。培根出身于一个十分富有的家庭，他本人先在牛津学习，后又到巴黎大学学习数年。他博览群书，眼界开阔，格罗塞特教给了他批判和怀疑的精神，因此这位才华横溢的青年人发出了中世纪从没有出现的独特的声音。他认为人们之所以常犯错误有四个原因，一是对权威过于崇拜，二是囿于习惯，三是囿于偏见，四是对有限知识的自负。因此，培根反对按照书本和权威来裁定真理，而主张靠“实验来弄懂自然科学、医药、炼金术和天上地下的一切事物”。这种科学精神在当时是完全不被理解的，幸而当时的教皇克莱门四世对他的工作很感兴趣，鼓励他将他的思想写出来，这样，培根才于1267年写出他的三部著作：《大著作》、《小著作》和《第三著作》。

在这些著作中，培根提出了数学教育的重要性。这在当时是需要足够勇气的，因为当时数学被认为与占星术密切相关，而占星术又被视为巫术。培根还继续了格罗塞特的光学研究，在书中，他叙述了光的反射定律的折射现



图 12-6 托马斯·阿奎那

象，谈到了放大镜的制造，还提出了一种对虹的解释。他发现儒略历的一年比实际的一年略长，每隔 130 年就会多出一天来，这一缺陷直到 300 年后才得以纠正。他主张地球是圆的，而且估计了地球的大小，提出了环球航行的设想，哥伦布曾受到这一思想的影响。培根还谈到许多机械的制造和各种发明，欧洲历史上第一次对火药的记载就是培根 1247 年的一封信中给出的。

培根的思想超越时代太远了，没有多少人理解他。教皇克莱门四世去世后，培根马上遭到迫害。1277 年，继任教皇将他投入监牢，直到 1292 年才获释放，出狱不久就在贫病交加中去世了。这位天才的命运是不幸的，他的思想没有人理解，他的著作一直没有得到足够的重视，《大著作》直到 1773 年才出版。虽然如此，罗吉尔·培根作为近代实验科学的思想先驱的历史地位是不可磨灭的。

5. 城市与教堂建筑

中世纪的理论科学是贫乏的，但技术却在缓慢地积累和进步。蛮族入侵给欧洲带来了不少前所未有的农业生产技术，欧洲北部的贸易发展带来了航海技术的革新，中国的四大发明在欧洲亦得以发扬光大。

新土地的开发导致农业的发展，而农业的剩余又进一步刺激了城市的发展。手工业者逐渐与农民分离，农产品的交换发展出了集市，手工业者和商人聚居形成了城市，而大量农民向城市的逃亡，为城市提供了大量劳动力，使城市规模越来越大。大约在 10 世纪左右，欧洲各地城市大量兴起，成了瓦解封建制度的坚强堡垒。

中世纪在技术方面比较突出的是教堂建筑，随着经济的复苏，建筑开始摆脱初期简单的木结构样式，而模仿往日罗马建筑恢宏

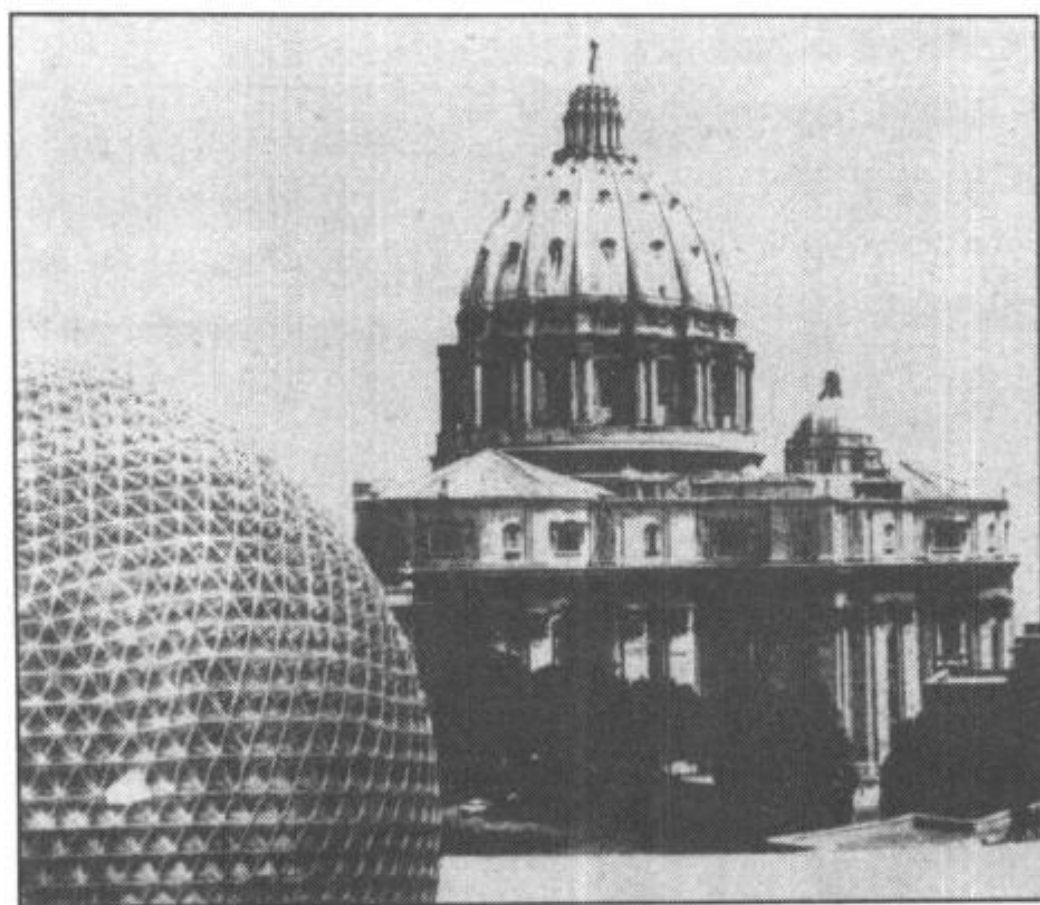


图 12-7 圣彼得大教堂

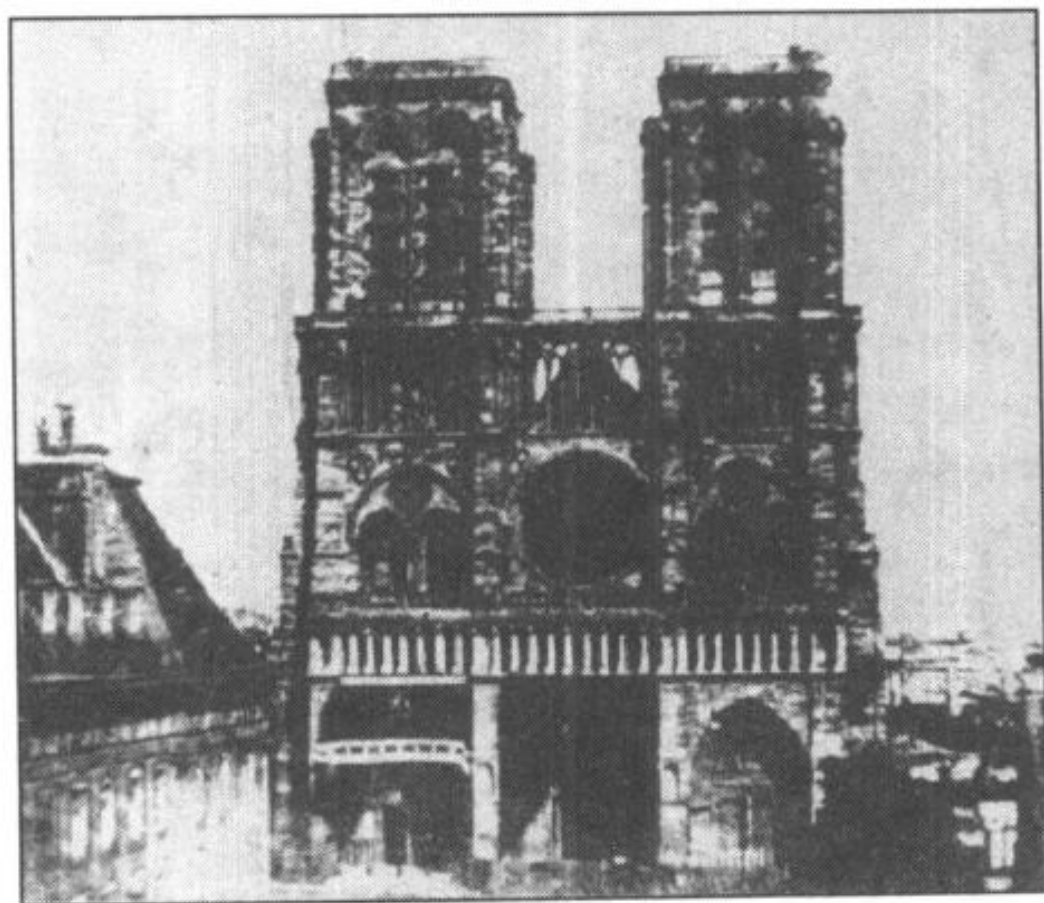


图 12-8 巴黎圣母院

的气势。罗马式建筑，圆屋顶，半圆的拱门，许多早期的教堂采用的正是这种式样。12世纪末叶，法国北部最早兴起哥特式建筑，它的主要特点是高大的尖形拱门，高耸的尖塔和高大的窗户。它比罗马式建筑气势更为宏大，意境更为远大，很快就流行起来。今日可以见到的法国巴黎圣母院和兰斯大教堂、德国的科伦大教堂、英国的林肯大教堂、意大利的米兰大教堂都是著名

的哥特式建筑。

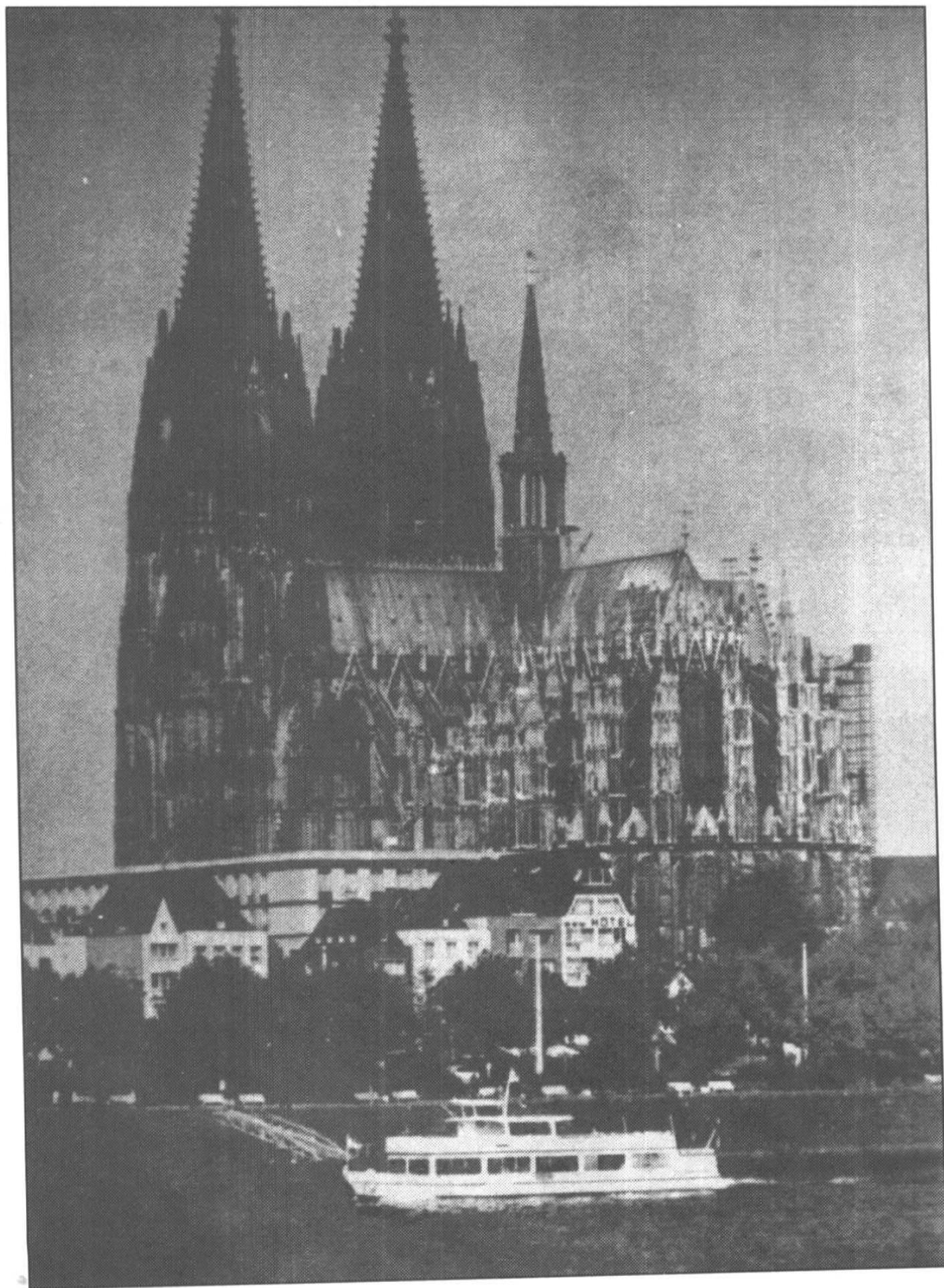


图 12—9 哥特式大教堂

第四卷

16、17 世纪：近代科学的诞生

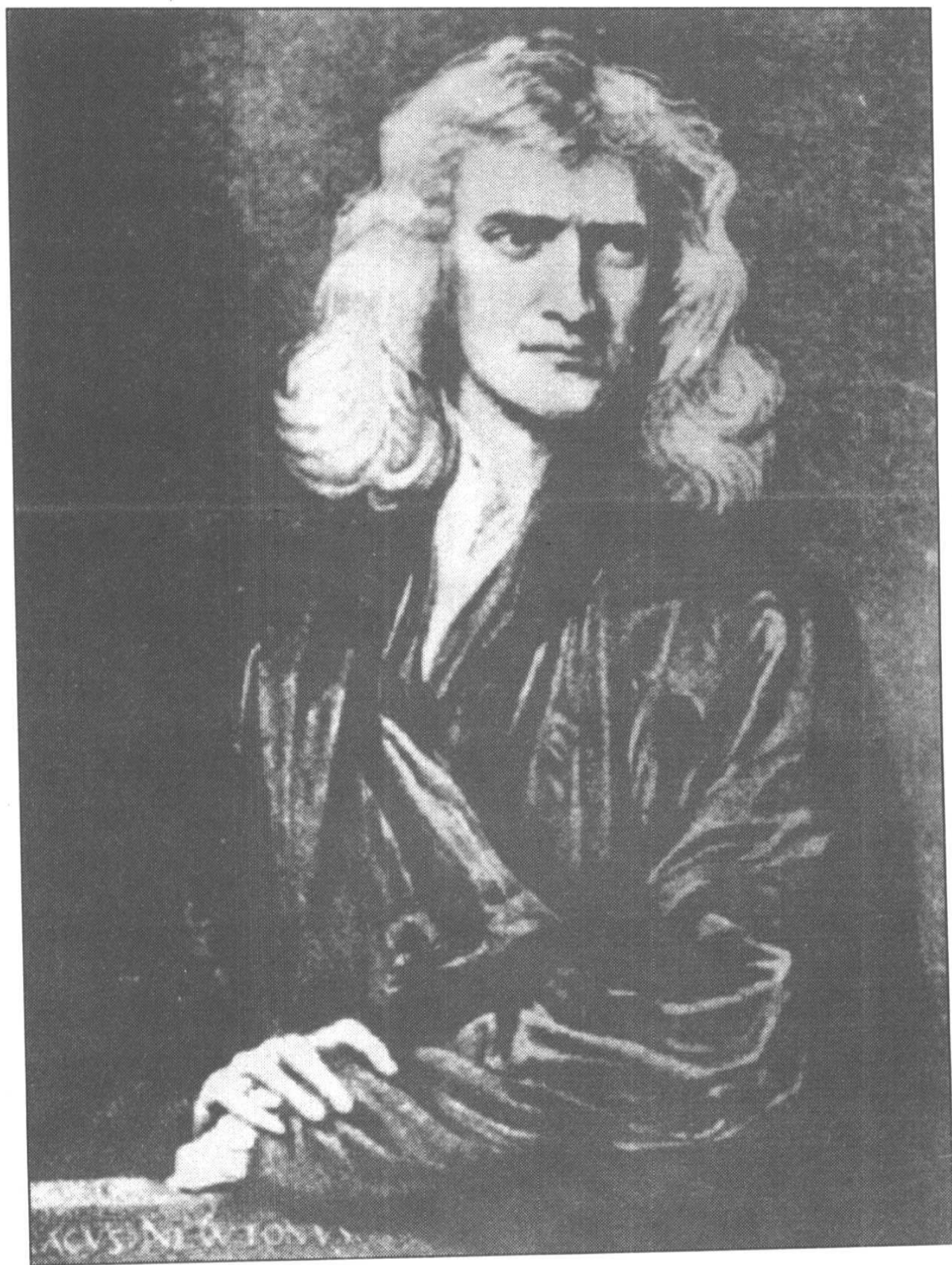


图 13—0 牛顿，一个时代的象征

经过 11 世纪以来的第一次学术复兴，西方世界继承了希腊的学术遗产，建立了以亚里士多德—阿奎那思想体系为基础的学术传统。但是，日益发展的资本主义生产方式解放了生产力、开阔了欧洲人的视野。希腊学术特别是柏拉图主义的进一步发掘，为欧洲人提供了开辟一门新的科学传统的机会，就是在 16 和 17 世纪，先进的欧洲学者们抓住了这一机会，创造了改变整个人类历史进程和人类生活的近代科学。

第十三章

文艺复兴、宗教改革与地理大发现

近代科学诞生的时代也是世界历史上发生巨大变革的时代。恩格斯说，“这个时代，我们德国人由于当时我们所遭遇的民族不幸而称之为宗教改革，法国人称之为文艺复兴，而意大利人则称之为五百年代（即 16 世纪），但这些名称没有一个能把这个时代充分地表达出来。这是从 15 世纪下半叶开始的时期。……拜占廷灭亡时抢救出来的手抄本，罗马废墟中发掘出来的古代雕像，在惊讶的西方面前展示了一个新世界——希腊的古代，在它的光辉的形象面前，中世纪的幽灵消逝了；意大利出现了前所未见的艺术繁荣，这种艺术繁荣好像是古典古代的反照，以后就再也不曾达到了。……旧的世界的界限被打破了；只是在这个时候才真正发现了地球，奠定了以后的世界贸易以及从手工业过渡到工场手工业的基础，而工场手工业又是现代大工业的出发点。教会的精神独裁被摧毁了，德意志诸民族大部分都直截了当地接受了新教，……”这就是近代科学诞生的历史背景。

1. 意大利文艺复兴

中世纪后期，封建制度逐步解体，资本主义文化正在孕育之中。在意大利的商业贸易中心佛罗伦萨，最早兴起了以弘扬人文主义为核心的文艺复兴运动。文艺复兴以复兴古典文化为手段，歌颂人性，反对神性，提倡人权，反对神权，提倡个性自由，反对宗教禁锢，赞颂世俗生活，反对来世观念和禁欲主义。文艺复兴不只是一场复兴古典文化的运动，更是一场新时代的启蒙运动。

早期文艺复兴主要表现在文学和艺术领域。佛罗伦萨著名的诗人但丁·阿利格里（1265—1321年）揭开了运动的序幕，他的著名的作品《神曲》将希腊古典时代的人物放在一个重要的位置，而教会显赫人士却被打入地狱，显示了一种新的精神态度。另一位诗人彼特



图 13-1 但丁



图 13-2 《蒙娜丽莎》

拉克（1304—1374 年）的作品更具人文主义特征，他的十四行体抒情诗，极力抒发人世间的感情，完全摆脱了经院哲学的束缚。彼特拉克还开创了搜集古代抄本的好古风气，奠定了文艺复兴运动的基本方向，掀起了研究古典学术的热潮。在绘画领域，意大利画家乔托（1266—1337 年）最早破除传统呆板和简单的绘画风格，创造生动鲜明的男女形

象。此后，玛萨乔（1401—1428 年）和阿尔伯提（1404—1472 年）发现远近透视规律，雕刻家吉伯尔提（1378—1455 年）和多那台罗（1386—1466 年）开始研究人体结构。这些都体现了一种新的视野，一种观察世界的新的眼光。

到了 16 世纪，意大利的文艺复兴运动进入全面成熟时期，杰出的人物不断涌现，特别在造型艺术方面，这个时期出现了空前

绝后的艺术作品。达·芬奇(1452—1519年)的《最后的晚餐》和《蒙娜丽莎》，米开朗基罗(1475—1564年)的《创世纪》和《末日审判》，拉斐尔的《西斯廷圣母像》和《雅典学院》，波提切利(1444—1510年)的《维纳斯的诞生》等千古流芳，它们不仅在创作技巧上炉火纯青，而且所表达的内容洋溢着新时代的气息。



图 13-3 达·芬奇《自画像》

由意大利发端的文艺复兴运

动传遍了整个欧洲，并且在文学艺术之外的领域得到反响，它所高扬的人文主义精神逐渐深入人心。西班牙的塞万提斯(1547—1616年)和英国的莎士比亚(1564—1616年)在文学领域将文艺复兴运动提上了又一个高峰。莎士比亚的名言：“人是一个什么样的杰作呀！人的理性多么高贵！人的能力无穷无尽！人的洞察力多么宛若神明！”是对人文主义思想的一个精彩的概括。

2. 列奥那多·达·芬奇

近代科学的基本特征之一是注重实验。近代实验传统可以追溯到罗古尔·培根,但直到文艺复兴时期,实验才开始为更多的人所接受,特别是当时的造型艺术大师们,为了准确地再现人体的千姿百态,率先研究人体结构,推动了实验科学的发展。他们之中最为杰出的是达·芬奇。

我们很难准确表达这位天才的超常过人之处。他是画家、雕塑家、工程师、建筑师,又是物理学家、生物学家、哲学家,而且在每一领域中都极为出众,在那个充满了创造的朝气蓬勃的年代,达·芬奇是许多新兴领域的开路先锋。

列奥那多1452年生于佛罗伦萨附近的芬奇,是一位名律师与农家女子的私生子,他没有受过正式的教育,主要在家里随父亲读书自学,但他从小才智过人,加上勤奋学习,很快在许多方面做出了令人惊叹的成绩。他的名画流传千古自不必说,他在工程技术、物理学、生理学、天文学方面的思



图 13-4 达·芬奇研究鸟类飞行原理所画的草图



图 13-5 达·芬奇设计的降落伞

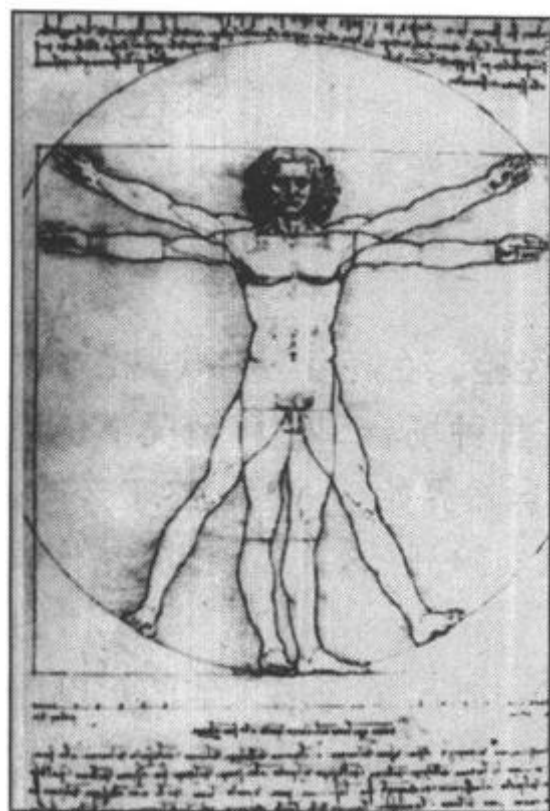


图 13-6 达·芬奇的人体结构图

地球也是诸多星体之一，整个宇宙是一部机器，按照自然规律运行，月球实际上也是由泥土组成的，靠反射太阳光而发光，而地球也一定像月球一样可以反射太阳光。在笔记本中，他还写到，地球的结构可能存在长期缓慢的变化。

列奥那多在生理解剖方面的工作影响更大，据说他不顾罗马教会的反对，解剖了约 30 具尸体。由于有了解剖学的经验，他能在哈维之前就提出血液循环的构想，研究了心脏的

想，在科学史上也具有划时代的意义。

据说列奥那多为米兰的天主教堂修建过一部升降机，设计过降落伞、坦克和飞机。为了设计飞机，他研究过鸟的飞行，为了设计潜水艇，他研究过鱼的游泳方式。他发现了杠杆的基本原理，重新证明了阿基米德所得到的许多流体静力学结论。他认识到人类的视觉来自于接受外界的光，而不是从眼睛里向外发射光线，并且绘制了一个眼睛模型，以说明外界光线如何在视网膜上形成图像。在天文学上，他认识到

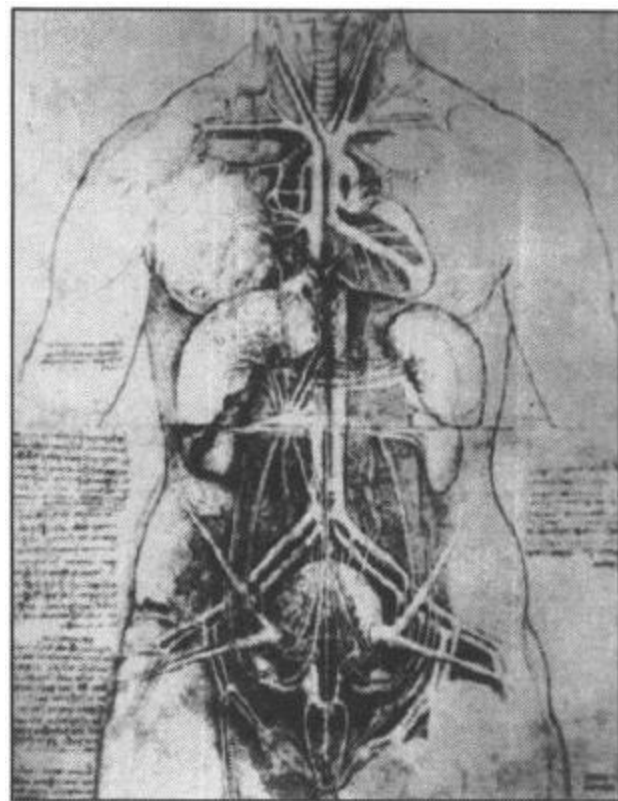


图 13-7 达·芬奇的人体解剖图

功能和构造。

列奥那多的工作的重要意义在于倡导了一种亲自动手实验的科学态度和作风，这对经院哲学所盛行的光看书本不观察事物本身的风气是一个纠正。写在他的笔记本上的这段话充分体现了近代科学的精神：

“自然界的不可思议的翻译者是经验。经验绝不会欺骗人，只是人们的解释往往欺骗自己。我们在种种场合和种种情况下谈论经验，由此才能够引出一般的规律。自然界始于原因，终于经验，我们必须反其道而行之。即人必须从实验开始，以实验探究其原因。”

达·芬奇以他名画家高超的手法，画出了许多人体的解剖图和物理实验示意图，这些图不仅是珍贵的艺术作品，也是重要的科学史文献。

达·芬奇在科学方面的重要思想大多记录在他的笔记本上，生前都没有公之于世，因此对近代科学的创建事业未产生直接的影响。但他生前是一位社会名流，与社会各界知名人士交往甚密，他所崇尚的实验精神无疑有助于近代自然科学的成熟和发展。

3. 宗教改革与人的解放

这个时期另一个重大的思想解放运动是发端于德国的宗教改革运动。整个中世纪，欧洲人的心灵被教会所禁锢，神恩、天启、权威的概念主宰着人类精神，而新时代日益深入人心的人文主义思想，则力图将人从神的统治下解放出来，宗教改革便是这种时代要求的反映。

基督教会本来只是一般的宗教集会，后来才演化为一个权势显赫的组织。在整个漫长的中世纪，罗马教会不断扩充自己的领地、增加自己的财富、扩大自己的政治影响，直到公元 11 世纪，

罗马教廷成了西欧至高无上的权力中心。这个权力中心虽然起着维系基督教文明发展的纽带作用，但它日益腐化，到了文艺复兴时期，已明显成了时代前进的绊脚石。

点燃这场运动之引信的是德国教士马丁·路德（1483—1546年）。1517年10月31日，路德在德国维滕贝格教堂门口贴出了九十五条论纲，对由来已久的赎罪券问题提出了不同的看法。他认为，赎罪券并不能赦免上帝的惩罚，而只能赦免教会的惩罚，它只代表教会的意见，而不代表上帝的意志。由于当时德国正在开始发行赎罪券，路德的论纲一出现，马上在全德引起反响，罗马教会方面亦反应十分强烈，不仅因为发行赎罪券是教会收入的一个重要途径，而且对赎罪券的攻击本身即是在蔑视教会的权威。在随后的大论战中，路德进一步认识到争论的要害在于罗马教会是否真正拥有至高无上的权威，猛烈地抨击了罗马教廷，提出了宗教改革的思想。

路德的新教学说，即所谓的“因信称义”学说，主张信仰高于一切，唯有人心中有信仰，才能得救。至于对教会的服从，则是完全不重要的，因为教会是人为制造的，它并不能真正代表天国的意志。路德以宗教的语言，表达了那个时代人们心中自由、平等的观念，在基督教世界播撒着人文主义的精神。路德一改中世纪愤怒的上帝形象，而使上帝成了可亲可敬的人类保护神，使人类与上帝和解，同时也使人与自然和解，自然界不再是此岸可诅咒的东西，而是上帝的杰作，是人应该予以关注的对象。对自然的兴趣是与人的自我解放相伴随而来的。

4. 罗盘、枪炮、印刷术和钟表的出现

在这个伟大的转折时代，由中国人的四大发明所推进的技术上的进步，也是欧洲产生近代科学的动力。在诸多技术发明中，罗

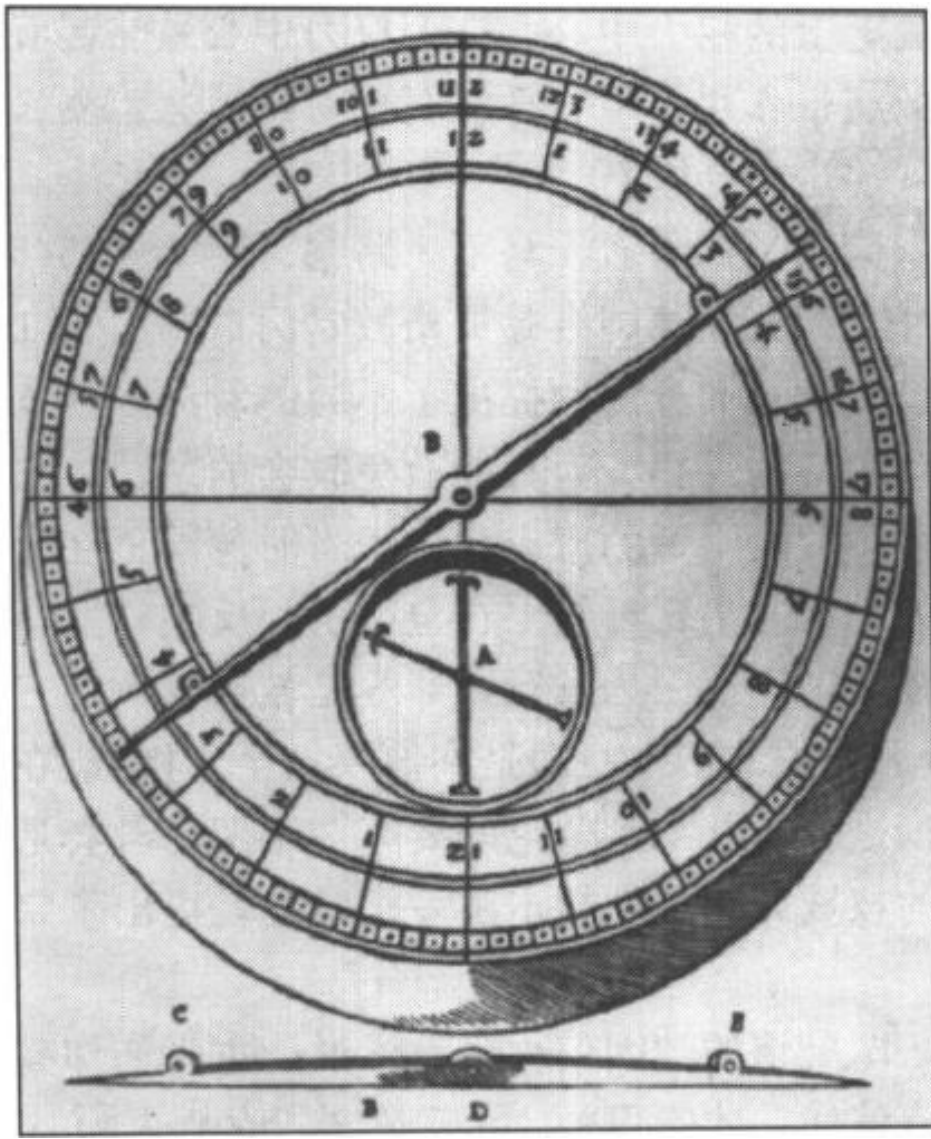


图 13-8 指南针

盘、枪炮、印刷术和钟表的出现具有特殊的意义：罗盘使航海事业如虎添翼，促使全球一体化；枪炮既摧毁了欧洲古城堡的封建割据，也打开了世界每一角落的大门；印刷术使知识不再为少数人所垄断，而真正成了全人类的财富；钟表则使人类的生活进入了一个高节奏的客观化时代。

磁针罗盘最早于 13 世纪在欧洲出现，

由于它对航海有特殊的用处，罗盘制造技术有了很快的发展，到了 15 世纪，用于航海的罗盘已非常普及，而且人们已经认识到磁针所指与真正的方向有一个微小的差异。枪炮的出现与铸铁技术的高度发展以及火药的配制技术的提高密切相关。中国人发明的火药大约通过阿拉伯人再通过十字军带回欧洲，罗吉尔·培根是最先提到火药的欧洲人，那是在 1247 年。早期的火炮类似一个瓶子，里面装有火药，点然后从喷射口发出有箭头的炮弹。这个瓶子式的装置起初用铁条箍成筒形，到了 1350 年已大部分用青铜浇铸，再过了几十年改用铁铸造。大约在同一时期，用引火线点燃的毛瑟枪也已制造出来，到了 16 世纪毛瑟枪被改进成用燧石板机打火。火器的出现促进了人们对弹道学的研究，而这方面的研

究是近代力学的基础性工作。此外，火器的大规模使用开近代技术的标准化、规范化之先河，因为枪弹要求高度的可互换性，这就导致了对枪支零件之标准化的注意。

中国的印刷术陆续通过蒙古人对欧洲的入侵而传到欧洲，欧洲人结合自己的文字形式进一步改进了印刷术。德国美因茨的古腾堡于1436年至1450年间用金属活字印刷术印出了极为精美的书籍，是近代印刷术的开山祖师。纸的大量生产以及印刷术的使用，使欧洲人更容易读到圣经，读到新教思想家的著作，使文艺复兴运动和宗教改革运动在更大范围内开展起来，并日益深入人心。

机械时钟是中世纪手工制作技术高度发达的产物。古代人的计时装置有日圭、漏壶（水漏和沙漏）以及刻有刻度的蜡烛或香。中世纪后期欧洲出现了摆轮钟，以重锤的重力作为动力，13世纪形成了一股风气，所有的大教堂尖顶上都安装这种摆钟。从1232年到1370年一百多年间，欧洲出现了39座这样的时钟。现存最早的教堂摆钟是多佛摆钟，它是1348年安装起来的。这些摆钟一般比较粗糙，走时不太准确。时钟的改进历史是与整个近代人类文明史同步的。16世纪，纽伦堡造出了怀表，以后出现了手表。直到20世纪中叶，机械钟都一直在改进之中。近代早期的科学先驱们如伽利略、惠更斯和胡克等都对此项伟大的事业作出过贡献。

5. 地理大发现：哥伦布、达·迦马、麦哲伦

很长时间以来，欧洲人对周围世界的了解十分有限，对北非和亚洲近东比较熟悉一些，对遥远的中国印象模糊，而对美洲则一无所知。1271年，意大利威尼斯出生的马可·波罗（1254—1323年）跟着父亲和叔叔沿陆路去东方旅行，花了四年时间，终于在1275年走到了当时的中国元朝上都（今内蒙的多伦）。在元帝国期

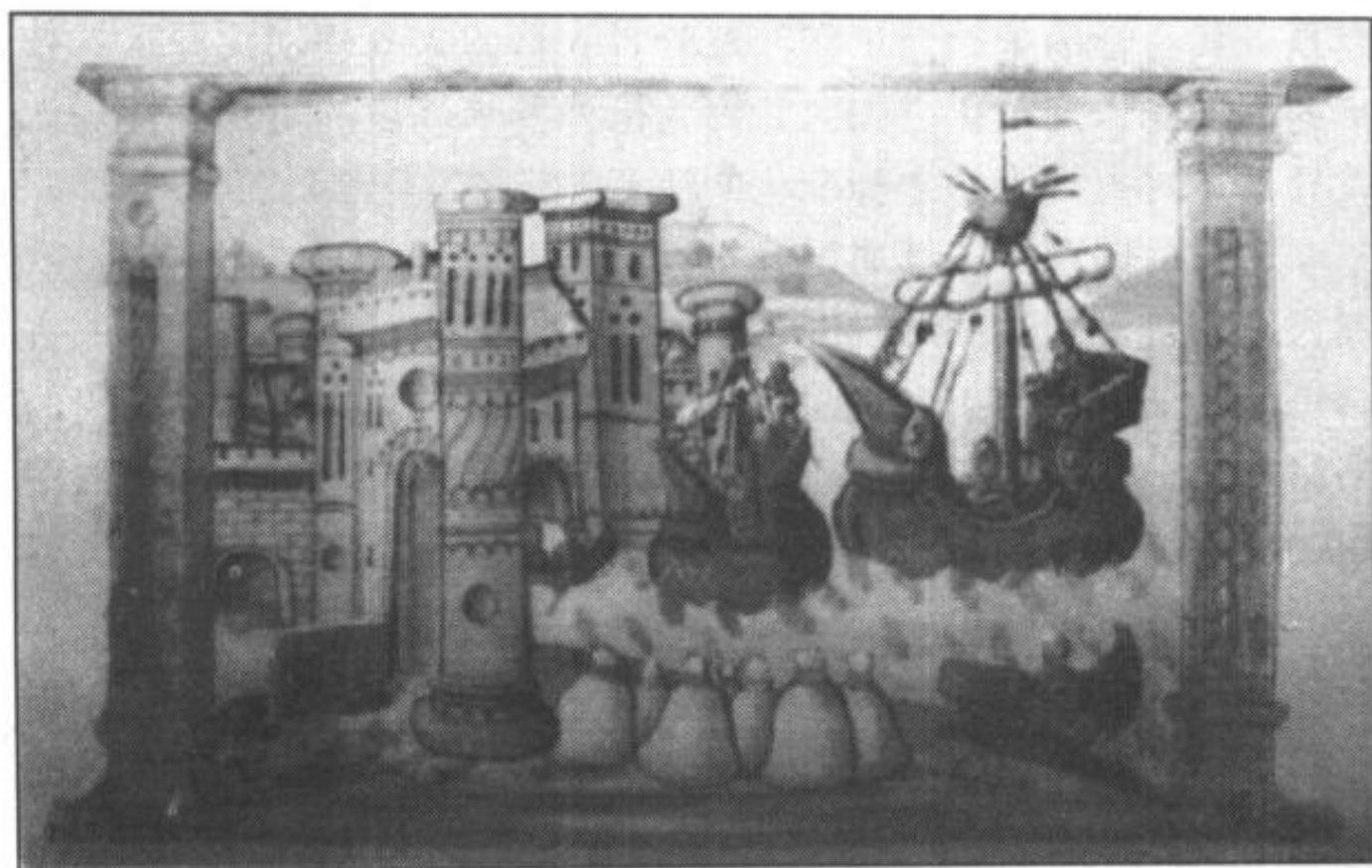


图 13-9 《马可·波罗游记》插图

间，马可·波罗游历了大半个中国，亲眼目睹了中华帝国的高度发达的文明景象。1292年，马可·波罗一家由海路回到了祖国，写下了著名的《马可·波罗游记》，其所记述的中国的繁荣和富足，给欧洲人留下了极为深刻的印象。

日益发达的商业贸易活动，对寻找东西方的航线有极为迫切的要求。当时东西方的往来都要经过阿拉伯世界，阿拉伯商人基本垄断了欧洲与东方的贸易。但马可·波罗所描绘的东方的财富对于狂热寻找黄金的欧洲商人太有诱惑力了，他们迫切要求寻找通往东方的新航路。

最初寻找直通印度航路的是葡萄牙人。地处伊比利亚半岛的葡萄牙在亲王亨利的大力倡导下，开始沿非洲西海岸南航，1419年占领了马德拉群岛，1432年占领亚速尔群岛，1445年到达非洲最西端佛德角，这时葡萄牙航海家已经离开他们的本土几千公里了。由于国内发生内乱，加上亨利亲王去世，航海探险活动中止



图 13-10 亨利王子

赫勒拿岛，当月 22 日绕过好望角驶入印度洋，次年 3 月 1 日到达非洲东岸莫桑比克，以后由精通航海技术的阿拉伯人阿马得·佑恩·马吉特领航，只用了 23 天就顺利地渡过了印度洋，于 5 月 21 日到达印度西南海岸的中心港口卡利库特。葡萄牙人从那里运回了大量的香料、丝绸、宝石和象牙，在国内高价脱手后，获纯利达航行费用的 60 倍。当他们一行于 1499 年 9 月初返回葡萄牙时，出发时的 170 人只剩下 55 人，大部分死于坏

了。四十多年后，新的葡萄牙国王裘安二世继承了亨利的事业，继续南航寻找新航路。1487 年，巴特罗缪·狄亚士率领的船队到达了非洲的最南端，当时正遇暴风雨，他们就将新发现的岬角称为“暴风角”，裘安二世不同意这一叫法，认为非洲南端的这个岬角正是通往东方世界的希望之标志，所以改称“好望角”。

1497 年 7 月 8 日，葡萄牙人瓦斯科·达·伽马率领四只船离开里斯本，开始探索由非洲到印度的航路。11 月 4 日到达圣



图 13-11 达·迦马

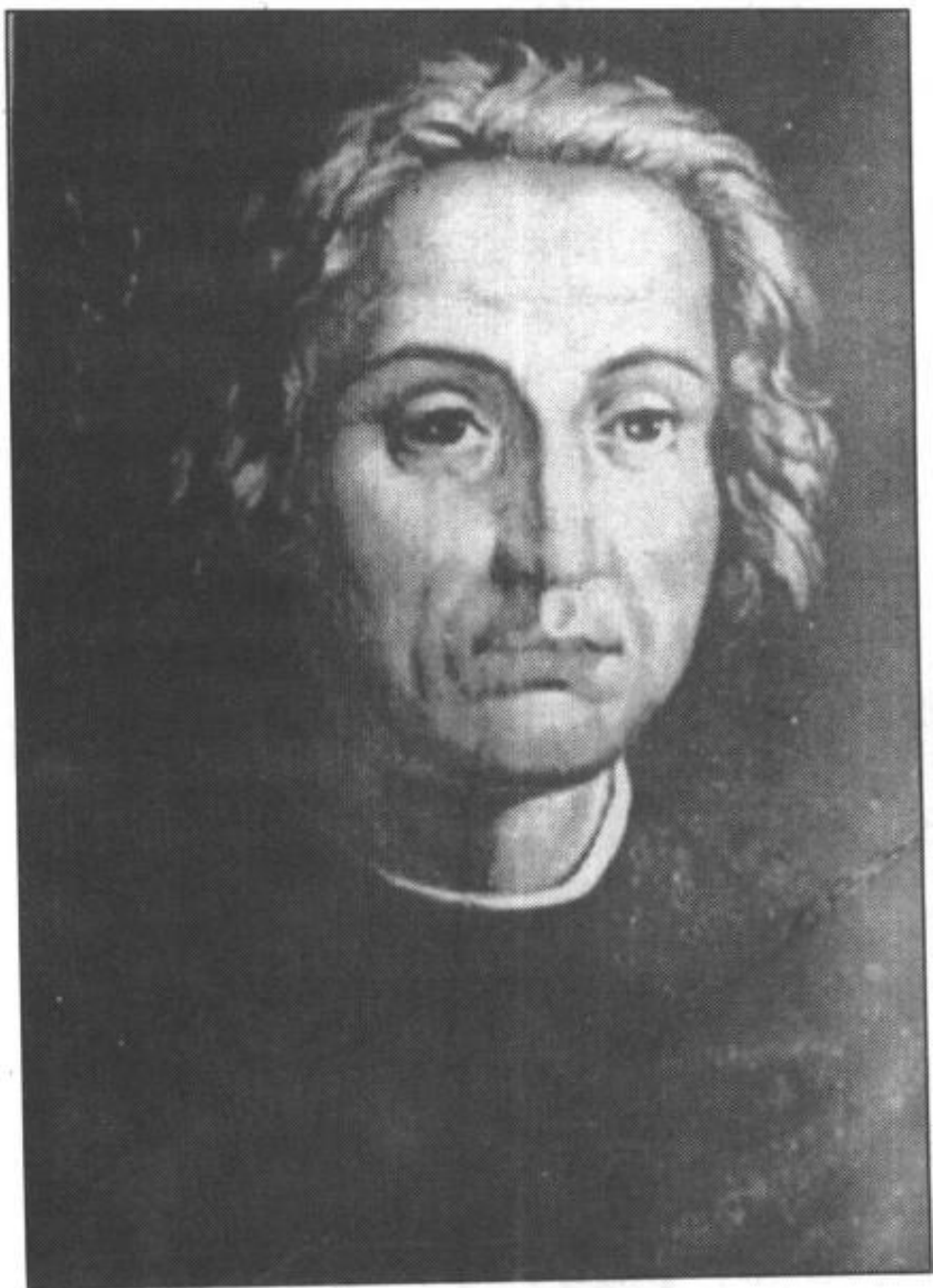


图 13-12 哥伦布

年出生的意大利热那亚一个纺织工人的儿子，从小就过着海上生活，没有受过正规的教育，但是他十分好学，利用闲暇时间读过许多书。《马可·波罗游记》使他对东方的富足产生了无比的向往，罗吉尔·培根关于大地球形的概念，以及从托勒密那里传下来的关于地球周长的数值，使他相信西行可以更快地到达亚洲。当时意大利著名的医生和地理学家托斯康内利（Paolo Toscanelli, 1397—1482 年）与哥伦布有过来往，托氏相信亚洲位于欧洲以西三千英里，中间隔着大西洋。1474 年，哥伦布曾写信给托氏请教

血病，其中包括伽马的弟弟。这次艰苦卓绝的航行，打破了阿拉伯帝国对东西方贸易的垄断，为葡萄牙人夺取了东西方贸易的控制权。

与葡萄牙人南下绕过非洲南岸直达印度的探航思路不同，同一时期西班牙人正被一个外国人鼓动着实施通过西航到达东方黄金之国的计划。这个外国人就是克利斯朵夫·哥伦布（Christopher Columbus）。这位 1451

从海上通往印度的最短路线，托氏回信说：“通过大西洋到黄金和香料之国，是一条比葡萄牙人所发现的沿非洲西海岸的道路更短的途径。”并给出了一幅地图。哥伦布自己根据《圣经》推算，欧亚非三个大陆应占地球表面的七分之六，海洋只占七分之一，再加上托勒密的构想（托勒密认为非洲南端与亚洲相连），可以得出结论：以整个地球经度为 360 度算，自西非以东到亚洲大陆应占 280 度，而西非与东亚海岸只占不到 80 度，这样算起来，西行到达东方确实是最短的路径。

1476 年，哥伦布在一次海盗行动中落水游上了葡萄牙的国土，从此在这个航海家的国度里学习航海知识，参加远洋航行，熟练掌握了多种航海技术。1478 年，他正式将自己的西航计划呈报给裘安王子。1482 年，裘安即位后召集了不少地理学家讨论哥伦布的计划，葡萄牙的地理学家们均认为欧亚大陆相距三千英里的估计过低，否决了这个计划。1485 年，哥伦布的葡萄牙妻子去世，他心灰意冷地带着自己的独生子来到了西班牙，向西班牙王室献出自己的计划。当时西班牙尚未完全统一，等到 7 年后的 1492 年，王室决定资助哥伦布的西航计划，是年 8 月 3 日，哥伦布统率三艘大船由巴罗士港顺风启航。

9 月 6 日，船队驶过加纳利群岛进入当时完全未知的大西洋海域，船员们心惊胆颤，唯有哥伦布充满着冒险的喜悦和对成功的自信。经过 37 天的艰难航行，终于在 11 月 12 日到达了陆地，也就是巴哈马群岛中的圣萨尔瓦多岛，但哥伦布以为自己终于到达了亚洲的土地，根据《马可波罗游记》，这里当是印度群岛，因此称当地居民为“印第安人”。但哥伦布没有找到他想要找的黄金，于 1493 年 3 月 15 日返回了西班牙。当年 9 月 25 日，哥伦布第二次西航来到北美大陆，但依然没有找到黄金之国，新发现的土地远不是那样富饶，西班牙国王不太满意，但还是同意他于 1498 年再作一次航行。这一次，哥伦布来到了南美，结果仍令人大失所

望，而与此同时，达·伽马绕非洲南端到达印度的消息传遍了整个欧洲，哥伦布一下子成了“骗子”，国王将其逮捕。虽然在许多朋友的请求之下，哥伦布获释并且又作了第四次西航，但始终未找到其梦寐以求的黄金和珠宝。1506年5月20日，哥伦布在贫病交加中悄然去世，至死他都认为自己到达了亚洲大陆。

哥伦布的西航虽然未达到其功利的目的，但空前地激发了欧洲人的探险热情和想象力。意大利航海家亚美利哥（1454—1512年）就是哥伦布的追随者之一，他起先为哥伦布做供应工作，后来亲自参加了去大西洋西岸的航行。他敏锐地感觉到哥伦布所发现的这块陆地并不是亚洲，而是一块新大陆，在这块新大陆与亚洲



图 13-13 亚美利哥

之间一定还有一个大洋。他在自己的游记以及给朋友的一封信中阐明了这一观点。法国一位地理学家偶尔读到这封信，误以为是亚美利哥发现了新大陆，便在他绘制的地图上将新大陆命名为“亚美利加”，此后以讹传讹，约定俗成。当西班牙人发现了哥伦布的伟大之

处，想以“哥伦比亚”代替“亚美利加”时，已经来不及了。不过，正是“新”大陆的观念导致了对古代世界图景的革命性突破，以“亚美利加”命名新大陆也是一种历史的公正。

伽马发现了真正的印度，哥伦布发现的“印度群岛”就被改称为“西印度群岛”。1513年9月，西班牙移民巴尔波亚（Balboa，1475—1517年）在当地土著的引导下穿过巴拿马海峡，从山顶上看到了西面的茫茫大海，他将之称为“大南海”，但是，这个隔绝了印度与“西印度群岛”的大海究竟有多大呢？这个问题需要由下一位探险家麦哲伦来回答。

费迪南多·麦哲伦（Ferdinand Magellan，1480—1521年）本是葡萄牙人，曾经在殖民战争中为祖国立过汗马功劳，而且还受了腿伤，但没有享受优良的待遇，反倒险些入狱。像当年哥伦布一样，在葡萄牙不得志的麦哲伦于1517年来到了西班牙，立志完成哥伦布当年没能完成的事业：从西面到达真正的东方，到达盛产香料的摩鹿古群岛，打破葡萄牙人对香料贸易的垄断。此前他已听到传闻，在新大陆的南端有一个海峡将大西洋和大南海相连，而且根据他的计算，“大南海”的东西宽度与大西洋差不多。麦哲伦的计划得到了西班牙国王的支持，于1519年9月20日率领五艘船由西班牙南海岸的圣卢卡尔港启航。六天后船队来到加纳利群岛，后向西南方向航行，于12月13日到达巴西的里约热内卢。以后一直南下，但天气越来越冷，食物越来越少，而通往大南海的海峡总也没有找到，船员们信心动摇，甚至准备发动叛乱。麦哲伦不得不在圣朱利安湾休整过冬，次年6月继续南下，终于在10月份发现并通过了南美大陆最南端的麦哲伦海峡，进入了广阔的“南海”。“南海”海面风平浪静，他们向西北方向航行了三个月，没有遇到过暴风雨和海浪的袭击，他们便将“大南海”改称“太平洋”。

时间已到了1521年的1月，麦哲伦的船队还没有发现他们的

目标香料群岛。食物和饮用水极度缺乏，最后他们不得不食用船板、喝污水，船上所有的人都病倒了，唯有麦哲伦意志坚强，挺过了饥饿和疾病，镇静地指挥着船队向既定的方向前进。3月6日，他们一行抵达了关岛，28日抵达马萨瓦岛，4月初到达宿务岛，这里离香料群岛已经不远了。但就在这时，麦哲伦介入了一场当地土著的内讧，在4月初的一次战斗中被杀身亡。余部死里逃生，于当年11月航行到了他们的目的地摩鹿古群岛。这一次历时两年多的西航历程太过艰难，船员们一个个心有余悸，谁也不



图 13-14 麦哲伦

愿意再走回头路，于是沿着葡萄牙人达·伽马已经开辟了的航线，经马六甲海峡横越印度洋，再绕好望角北上回国。1522年9月6日，在经历了近三年的航程之后，麦哲伦的船队绕地球一周回到了他们的出发地圣卢卡尔港。走时的五条船只回来了一只，260多名水手，只有18人生还，他们的

“远征队总司令”麦哲伦永远留在了探险征程的途中。

麦哲伦船队的环球航行，无可争辩地证明了大地球形理论的正确，也纠正了托勒密地球周长值的误差，向世人展现了地球真实的地理构成，在科学史上具有划时代的意义。在欢迎船队归来的庆功会上，发生了一件有趣的事情，当船员们被告知当日是9月6日时，他们极为惊讶，因为他们的航海日志上明明记的是9月5日，而且不可能发生差错。人们不久就明白了，这是因为他们向西航行地球一周造成的，今天，在太平洋上设立国际日期变更线，目的就是消除因环航地球造成的日期的不一致。

地理大发现所引起的观念革命与它所带来的经济后果一样巨大，它大大突破了亚里士多德和托勒密的知识范围，使欧洲的知识阶层能从古典作家的绝对权威中解放出来，为近代科学革命提供了优良的心理氛围和精神动力。

第十四章

哥白尼革命

近代科学是在一场科学革命中诞生的。这场革命首先是一场观念革命，是在既有的古典数理科学中的一场基本概念框架的变革。由哥白尼所发动的天文学领域的革命是整个近代科学革命的第一阶段。

1. 中世纪的宇宙结构

基督教兴盛之初直至黑暗年代终结，希腊精致的宇宙理论被当作异端加之抛弃，代之以犹太人原始粗陋的宇宙图景：宇宙是一个封闭的大盒子或大帐篷，天是盒（蓬）盖，地是盒（蓬）底，圣地耶路撒冷居盒（蓬）底的中央，日月星辰悬挂在盖上。这就是所谓宇宙帐篷说，它连大地球形的概念都没有。

随着欧洲第一次学术复兴，亚里士多德和托勒密所代表的希腊宇宙论开始深入人心，特别在托马斯·阿奎那将亚里士多德理

论融合入基督教神学之后,地球地心理论获得了正统的地位。地球居宇宙中心的思想被赋予了宗教意义,人类及其居住的地球被置于上帝的怀抱之中,它沐浴着上帝的光辉,被圣恩所笼罩,上帝位处宇宙的最外层,推动着宇宙的运行,注视着人类的一举一动。人生活在地球上,无比安稳,如同母腹中的胎儿,从母体吸收着营养。整个宇宙全都以地球为中心,朝着人类的地球闪烁星光。

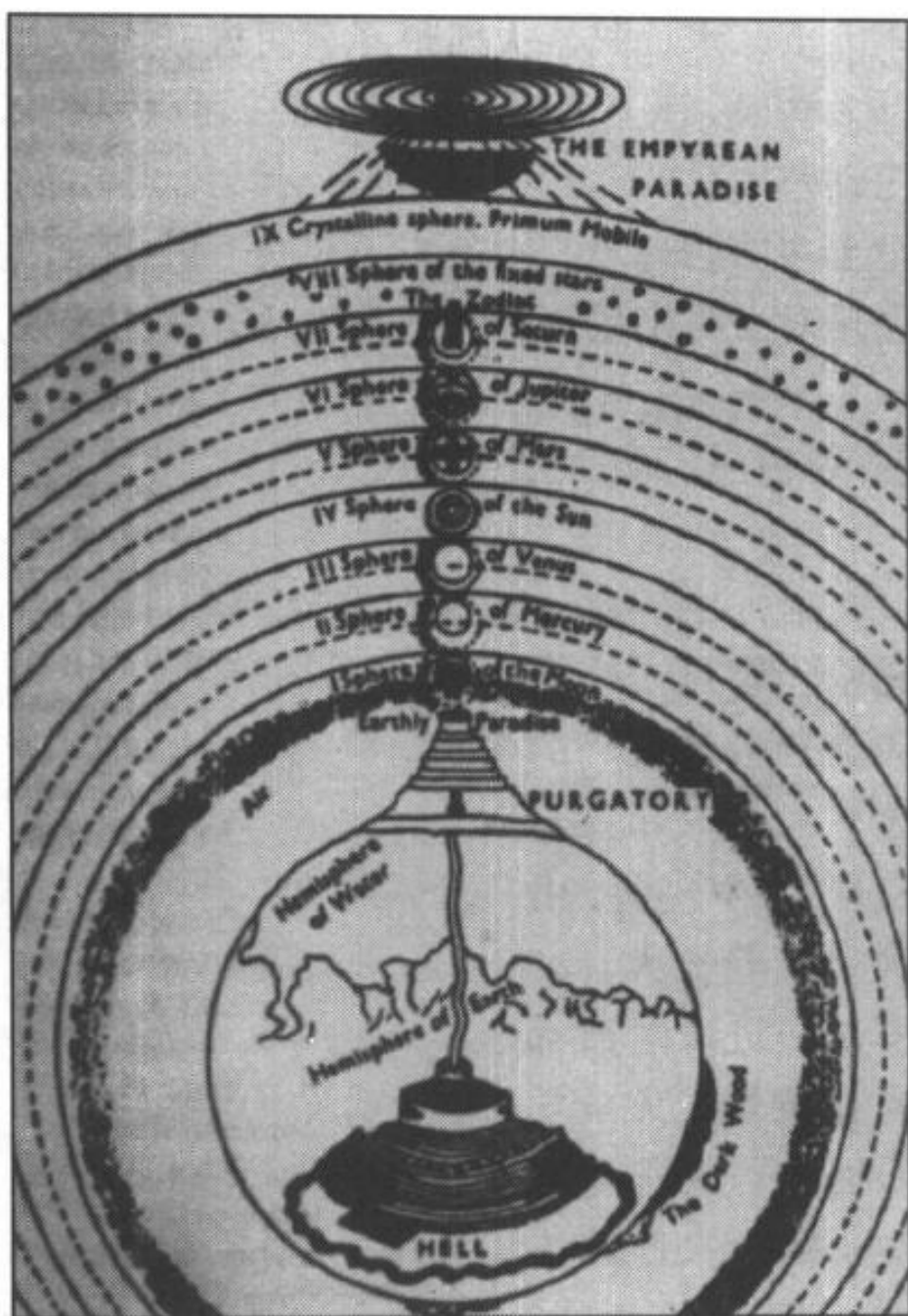


图 14-1 但丁《神曲》中的宇宙结构图

托勒密的宇宙体系还被附会于一种人间的等级结构,天上高贵,地下卑贱,越往高处越进入神圣美妙的境地。但丁的《神曲》对这一等级宇宙作了诗意的描述,在他的《天堂篇》中,但丁在少女贝亚德的引领下依次上升到了月球天、水星天、金星天、太阳天、火星天、木星天、土星天、恒星天、水晶天(原动天),并在原动天那里窥见了上帝的景象,沉浸在至高无上的幸福之中。实际上,经过亚里士多德物理学注释加工过的托勒密宇宙体系,正好是一种等级宇宙,这主要体现在它们的物质构成之中:地上物

体由土、水、气、火四种元素组成，而天上物体由透明无重量的以太构成，地上的物质是速朽的，而天上的以太是永恒不朽的。对托勒密体系的背叛，不仅是一种天文学上的变革，而且也是同亚里士多德物理学的决裂，不仅是一种宇宙图象方面的改变，而且也是对当时宗教情绪和精神生活方式的挑战。

2. 哥白尼革命

尼古拉·哥白尼 1473 年 2 月 19 日生于波兰维斯瓦纳河畔的托伦，这是一个水陆交通极为便利的著名商业城市。哥白尼 10 岁丧父，由舅父抚养长大。18 岁被送进波兰旧都的克拉科夫大学学习医学，在那里产生了对天文学的浓厚兴趣。1496 年，23 岁的哥白尼来到了文艺复兴的策源地意大利，先后在波伦亚大学和帕多瓦大学攻读法律、医学和神学。波伦亚大学的天文学家德·诺瓦拉(de Novara, 1454—1540 年)



图 14-2 哥白尼

对哥白尼影响极大，正是从他那里，哥白尼学到了天文观测技术以及希腊的天文学理论，对希腊自然哲学著作的钻研给了他批判托勒密理论的勇气。1506年，他回到阔别了十年的祖国波兰，开始构思他的新宇宙体系。

整个古代世界的天文学基本上是行星天文学。儿歌唱道：“天上的星星数不清”，其实肉眼可见的也就六千多颗。它们之中的大部分虽然“斗转星移”，但保持着固定的相对位置，仿佛全都镶嵌在一个巨大的透明天球上，随天球周日旋转。这些星被称为恒星。但除恒星外，天空上还有那么几个星，它们极为明亮、光芒稳定，而且并不固定在某一个相对位置上，几个星期观测下来，便能发现它们在众星之间穿行，不断地改变位置，这些星被称为“行星”，希腊人叫它们“漫游者”。肉眼能见的行星共五颗，它们是金星、木星、水星、火星和土星。所有的恒星都步调一致地每天由东往西转动，周而复始，决无例外。相比之下，行星的运动呈现出极度地不规则，它们有时往东，有时又向西，行踪诡秘。行星的这种奇特运动早就引起了古代天文学家的注意，希腊天文学将自己的任务规定为对行星运动给出合理的解释，特别按照毕达哥拉斯—柏拉图主义传统，用完美的正圆运动的复合来再现行星的表观（视）运动，即所谓“拯救现象”。托勒密的本轮—均轮的宇宙体系就是希腊人为“拯救行星运动”所做出的最大成就。

本轮和均轮的迭加，可以解释行星的逆行、亮度的变化，偏心点的引入，又进一步解释了行星运动速度的不均匀性。但是，随着观测材料的不断增多，为“拯救”这些现象所需要的轮子也不断增多，到了哥白尼时代，轮子数已增加到80多个。托勒密体系极为复杂。而且，为了与观测相一致，托勒密所采用的办法已越来越远离毕达哥拉斯主义的理想了：由于引入了偏心等距点，地球实际上并不处在宇宙的中心。托勒密所保留的只有匀速圆周运动的概念和静止不动的地球概念。

到了哥白尼的时代，由于航海事业的大发展，对于精确的天文历表的需要变得日益迫切，但用以编制历表的托勒密理论越来越繁琐，这种客观情势使人们关注天文学理论的变革。哥白尼也正是在这个紧要关头提出自己的革命性理论的。

1509年，哥白尼写出了关于日心体系的《概要》，并将之抄赠朋友们传阅。1512年，哥白尼被派往波罗的海海滨的弗洛恩堡教堂任职，此后三十年，一直为教区的穷人治病，深得人心。在业余时间，他继续他的天文观测，其居住的小角楼成了“天文台”。同时，进一步深入地思考新的宇宙体系，于1539年写出了天文学史上的伟大著作《论天球的旋转》，系统论述了他的日心地动学说。哥白尼深知这一理论太富于革命性，所以迟迟不敢公之于世。是年，他的朋友和学生、德国威丁堡大学的青年教授雷提卡斯（1514—1564年）专程到弗洛恩堡，劝他立即出版该书，哥白尼犹豫不决，只同意由雷提卡斯先写一本小册子简要介绍他的学说。于是，波兰的格但斯克于1540年出版了雷提卡斯写的《哥白尼〈论天球的旋转〉提纲》。之后，雷提卡斯还是力劝哥白尼出版《论天球的旋转》。经不住反复劝说，哥白尼终于动心了，决定由雷提卡斯负责出版事宜。后来，雷提卡斯不得不返回莱比锡大学就职，就把出版工作交给教长奥西安德办理。奥西安德是一个新教徒，他知道新教领袖马丁·路德坚决反对哥白尼的日心说，还说过这样一段很过激的话：“人们正在注意一个突然发迹的天文学家，他力图证明是地球在旋转，而不是日、月、星辰诸天在旋转。……这个蠢材竟想把整个天文学连底都翻过来，可是《圣经》明白写着，约书亚喝令停止不动的是太阳，而不是地球。”所以，奥西安德很害怕该书对教会刺激太大，结果，他擅自加了一个“关于本书的假设告读者”的序言，序言中说，哥白尼只是构造了一个宇宙的数学模型以方便计算，不一定是对实在世界的真实描写。由于这篇序言没有署名，人们一直以为是哥白尼本人写的，直到

1609年，开普勒才发现，哥白尼根本不知道加了这样一篇序言，而且他本人是绝不同意序言中的观点的。

1543年5月24日，刚刚印好的《论天球的旋转》送到了哥白尼面前，这时候他已经因中风卧床了很久，据说，他只用颤抖的手抚摸了一下这本书，就与世长辞了。

《论天球的旋转》(De revolutionibus orbium coelestium)的中译名是人所共知的《天体运行论》，将“天球”译成“天体”，是将现代人的看法强加于古人，因为在哥白尼看来，天空转动着的是“天球”，行星只不过附着在天球之上。全书共分六卷，第一卷是关于日心宇宙体系的总概说，其余各卷是将日心说具体运用来解释各大行星的视运动。

哥白尼在卷首献词中叙述了日心地动说的来由和大致思想：

“我对传统数学在研究各个天体运动中的可疑之处思索了很长时间之后，对于哲学家们不能对造物主为我们造成的美好而有秩序的宇宙机构提出正确的理论而感到气愤，……因此，我不辞辛苦重读了我所能得

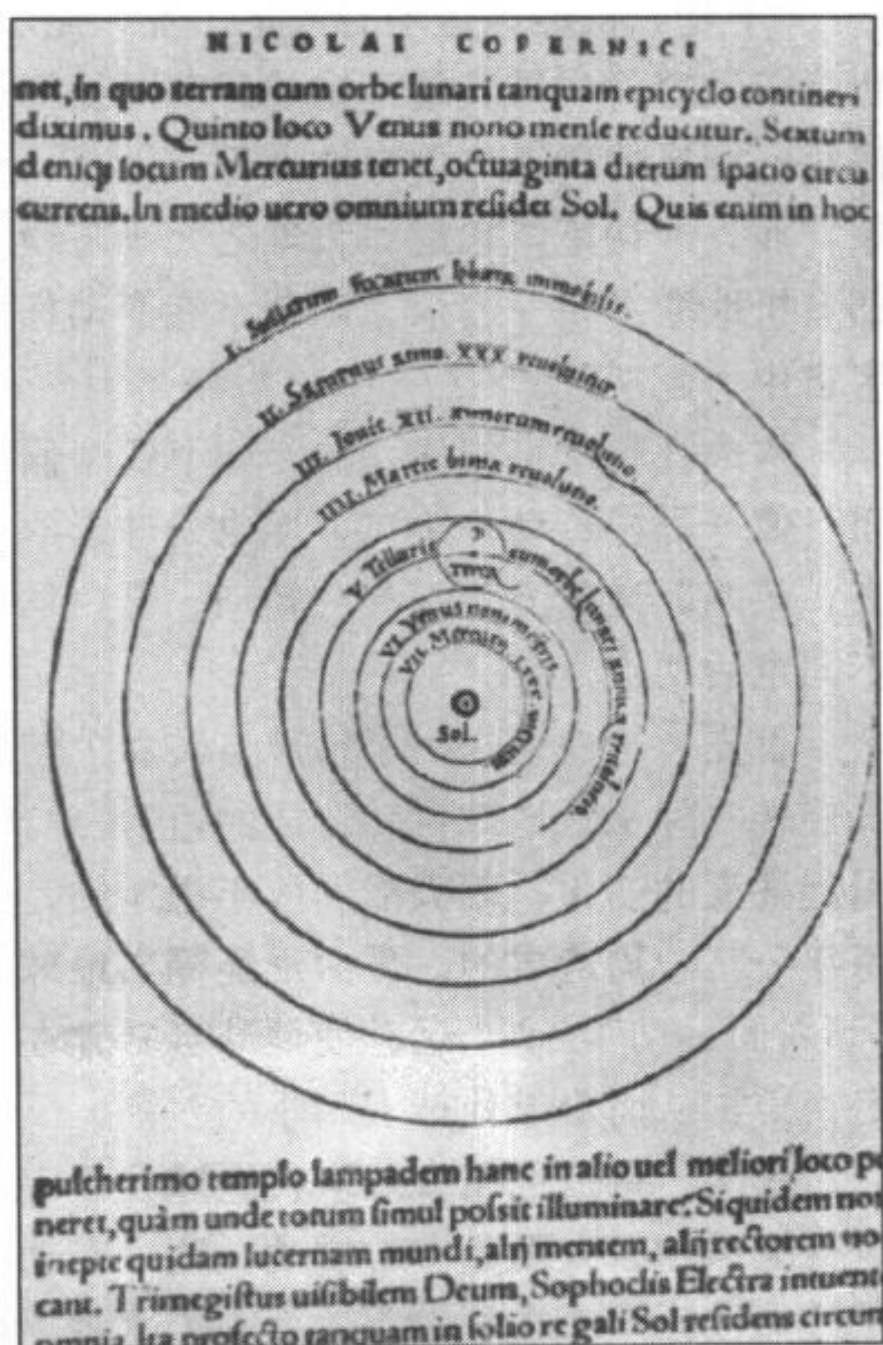


图 14-3 《论天球的旋转》书中的插图

到的哲学著作，看看在各天球运动方面有没有跟数学学派不同的假说。结果，在西塞罗的著作中发现了希西塔斯逼真地描写过地球的运动，后来又在普鲁塔克的著作中看到还有别的人也赞成与之类似的见解……

“这就启发我也开始考虑地球的运动。虽然这种看法似乎很荒唐，但前人既可以随意想象圆周运动来解释星空现象，那么我更应该尝试一下，是否假定地球有某种运动能比假定天球旋转得到更好的解释。

“于是，从地球运动的假定出发，经过长期的、反复的观测，我终于发现：如果其他行星的运动同地球运动联系起来考虑，并按每一行星的轨道比例来作计算，那么，不仅会得出各种观测现象，而且一切星体轨道和天球之大小与顺序以及天球本身，就全部有机地联系在一起了，以至不能变动任何一部分而不在众星和宇宙中引起混乱。”

构成托勒密宇宙体系的是如下四个假定：第一，天是球形的而且像球那样转动；第二，地也是球形的；第三，地位于天的中央；第四，地球静止不参与转动。哥白尼对前两点是赞同的，但不同意后两点。

首先，哥白尼提出了地球自转和公转的概念。全部星空的周日旋转实际上是地球自转造成的，正是地球由西向东绕轴自转，才引起昼夜的变化；而太阳的周年视运动，实际上是由地球绕太阳每年公转一周造成的。哥白尼还提出地球有第三种运动，即所谓“倾斜面运动”，这个运动使地球自转轴在公转时与黄道面保持固定交角，从而形成地球上四季的差别。

其次，哥白尼用太阳取代地球位于宇宙的中心，所有的行星包括地球均以太阳为中心转动。这一变动使得各大行星运动获得了统一性，本来在托勒密体系中，水星、金星是所谓内行星，它们在各自均轮上运行周期是一年；而火星、木星、土星这三个外

行星，它们的本轮运动周期为一年，这里实际上均包含了与太阳有关系的周年运动的因素，但得不到解释。将太阳置于宇宙中心之后，这一因素就成了诸行星绕共同的中心太阳运行的证据。此外，在托勒密体系中，无法解释内行星的本轮中心为何总是处在日地连线上，中心转换之后，也变得极为自然。总而言之，日心体系使行



图 14-4 哥白尼立于十字架与他的日心体系之间

星运动具有确定性和统一性，而地心体系中每颗行星各有其独特的运动结构，整体上可以有不同的几何构成，缺乏唯一性。

哥白尼最终构造的宇宙图景是：最外层是恒星天，它是静止不动的，构成了行星运动的参考背景。最远的行星是土星，其运行周期是 30 年，以后依次是木星，周期 12 年；火星，周期 2 年；地球，周期 1 年；金星，9 个月；最后是水星，88 天绕太阳一周。月亮是地球的卫星，它既随地球绕太阳转动，每月又绕地球旋转一周。

日心说受到的责难一开始完全是科学和常识上的。首先，人

们怀疑如果地球以如此大的速度运动，那必定会分崩离析，哥白尼的解释是，从前比地球大得多的天球以更大的速度旋转都不会瓦解，地球当然也不会；其次，有人质疑说，既然地球在运动，那地球上的物体为何没有被抛在后面，对这一点哥白尼的回答不是特别有力；最后，是一个老问题，地球如果相对于恒星运动，那么应该可以观察到恒星的周年视差，可实际上从来也没有观测到过恒星视差，哥白尼的回答是：“宇宙之大何其广阔：从太阳到地球的距离与某些行星轨道大小相比虽然已经显得非常巨大，但同恒星球的大小相比，简直微不足道。”因此，我们根本觉察不到恒星的周年视运动。

日心说比地心说最明显的优点是它的简洁性，这一点连哥白尼学说的反对者们也是承认的。大小轮子由 80 多个减少到约 34 个。此外，哥白尼成功地恢复了毕达哥拉斯主义的理想，正圆运动得以更好地保持，几乎所有的本轮和均轮都沿同一个方向运行，等距偏心点被取消。

哥白尼革命带动了一系列观念上的变革。首先，它使地球成为不断运动的行星之一，打破了亚里士多德物理学中天地截然有别的界限；其次，它破除了亚里士多德的绝对运动概念，引入了运动相对性观念；再次，宇宙中心的转变；暗示了宇宙可能根本就没有中心，而无中心的宇宙是与希腊古典的等级宇宙完全对立的；最后，由于地球运动起来了，恒星层反而可以静止不动，这样一来，诸恒星也就不必处在同一个球层之中，恒星层既然没有运动，从前借以论证宇宙有限的理由也就不再成立，因为人们一直认为，既然恒星层是转动的，那就不可能是无限的。最后两点观念变革，在哥白尼那里还只是隐含的，布鲁诺将它公开说了出来。

3. 布鲁诺

哥白尼体系与当时的宗教思想、占统治地位的亚里士多德物理学以及常识心理均相抵触，一开始遭到了许多人的反对，直到牛顿发现万有引力定律之后，才逐步为天文学家所公认。这一百多年，日心说经历了一段曲折的历程。布鲁诺的殉难是日心说经受的第一次考验。

乔尔丹诺·布鲁诺 (Giordano Bruno) 1548年1月出生于意大利那不勒斯附近的诺拉镇一个贫苦的家庭，17岁进那不勒斯的圣多米尼克修道院，全凭顽强的自学，成为当时知识渊博的学者。受当时文艺复兴思想的影响，他对基督教中世纪的一切传统均持怀疑态度，极力倡导思想自由，宣扬无神论。一接触到哥白尼的学说，他马上燃烧起了火一般的热情，哥白尼学说中的革命精神强烈地感染了布鲁诺，宣扬日心说以至进一步宣扬宇宙无限的思想，成了他终身的事业。大胆的思想、强烈的叛逆精神加上富有鼓动性的演讲才华，使教会感到异常害怕和愤怒。1576年，28岁的布鲁诺逃出了修道院，开始了长期的流亡生活。

1583年，布鲁诺来到伦敦，在这里度过了两年多比较安静的时期，他的哲学著作《论原因、本原和太一》以及《论无限的宇宙和多世界》就是在伦敦写作并于1584年出版的。在这些著作中，布鲁诺以天才的直觉，发展了哥白尼的宇宙学说，提出了宇宙无限的思想。布鲁诺认为，宇宙是统一的、物质的、无限的，太阳系之外还有无限多个世界，太阳并不静止，也处在运动之中，太阳并不是宇宙的中心，无限的宇宙根本没有中心。

布鲁诺本人并不是一位天文学家，但他通过哲学思辨得出的宇宙无限性观念，在思想史上具有无比的重要性。整个近代的宇宙论革命，就是从封闭的世界走向无限的宇宙。哥白尼的宇宙体

系是一个有限的体系，它依然保留了天球的概念。相比之下，布鲁诺超前于时代太多了，他所描述的与无限太阳系并存的无限宇宙图景，差不多三百年后才得到科学界的公认。

布鲁诺的激进思想使天主教会暴跳如雷、恼羞成怒，教会派人到处捕捉他，但一次次扑空。1592年5月23日，布鲁诺终于在意大利的威尼斯因被人出卖而被捕，次年2月被押解到罗马，囚禁在宗教裁判所的监狱里。在长达七年的审讯之中，布鲁诺始终没有屈服。教会最后判他火刑，布鲁诺听完宣判后轻蔑地说：“你们宣判时的恐惧甚于我走向火堆。”临刑前，罗马教廷再一次劝他忏悔，并说那样就可以免刑，布鲁诺镇静地走向鲜花广场上架好了的柴堆，豪迈地回答说：“我愿做烈士而牺牲！”1600年2月17日，布鲁诺因坚持真理而献出了自己的生命。

4. 第谷·布拉赫：天才的观测家

哥白尼学说一开始不仅受到天主教会的敌视，而且也遭到许多天文学家的反对，他们之中最著名是第谷·布拉赫(1546—1601年)。不过，也正是第谷的天文观测工作为哥白尼日心学说的发展开辟了道路。

第谷出身于丹麦一个贵族家庭，13岁进入哥本哈根大学学习法律和哲学，14岁因一次日食对天文学产生浓厚兴趣，后改学数学和天文学，从1563年开始，第谷自己购买仪器进行天文观测，首先发现了木星和土星的运动与当时流行的星表不一致。1572年11月11日，天空出现了一颗明亮的新星，这颗新星以前从未出现过，但这时成了全天最亮的一颗星，它是一颗行星吗？第谷仔细观测了这颗新星的行踪，但未发现有丝毫视运动，这就说明它不是一颗行星，而是一颗恒星。第谷将自己的观测结果写成了一本书，在书中，他首次发明了“新星”(Nova)一词，而且由视差的

测量结果证明新星距离相当遥远，这给亚里士多德的天空完美不变的观点以有力的驳斥。这本题为《论新星》的小书出版之后，第谷在天文学界的声望大增。丹麦国王腓特烈二世为了防止这位杰出的丹麦天文学家流失到当时的天文学中心德国，专门拨巨款为他在维文岛上修建了一个天文台，这是近代第一个真正的天文台，于1580年落成。

在这座皇家天文台里，第谷工作了近二十年。期间，第谷利用当时最先进的观测技术，广泛、系统、细致、精确地观测天象，达到了那个时代的最高峰，几乎包罗了望远镜发明之前肉眼所能观测到的全部天象。1577年，第谷仔细观测了当时出现的一个巨大的彗星，证明它也比月亮遥远，这就更沉重地打击了亚里士多德的天界完美观，因为亚里士多德从前也注意到了彗星现象，但解释说那只是大气现象，是月下世界的事情。第谷还发现，彗星的轨道不可能是正圆的，这样一来，希腊宇宙论中的水晶天球概念就成了问题，因为



图 14-5 第谷·布拉赫

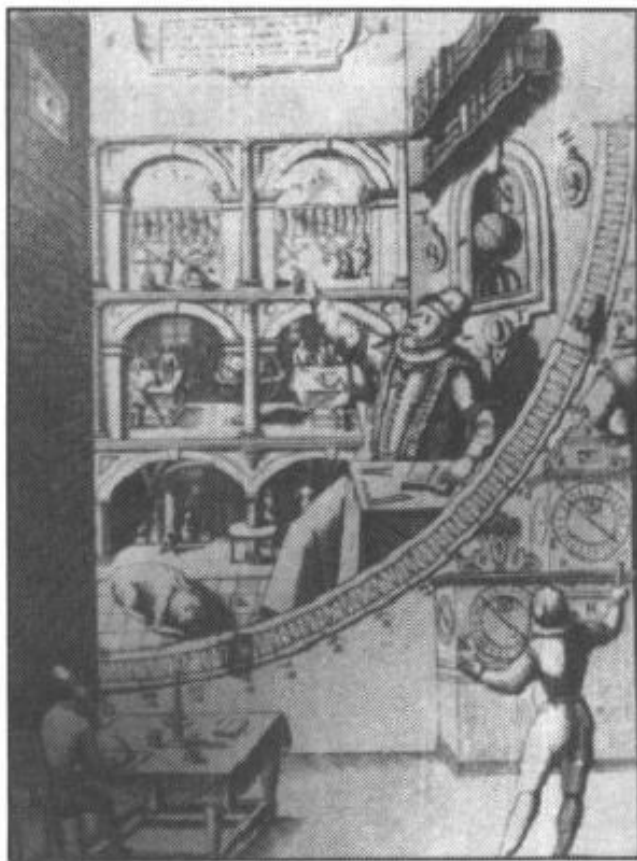


图 14-6 第谷在天文台工作



图 14-7 1577 年第谷观测到的彗星

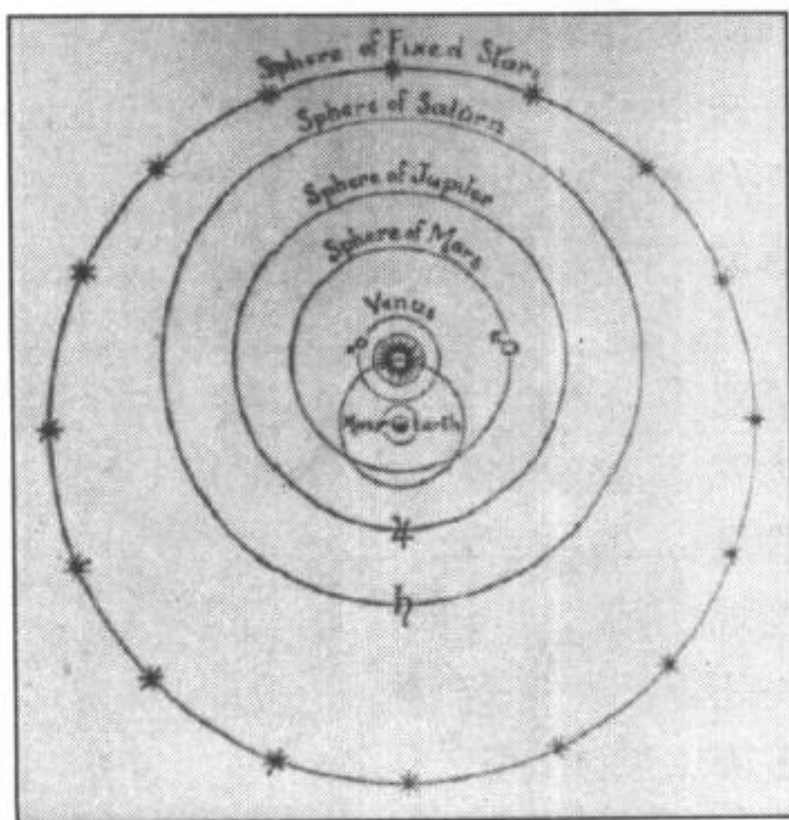


图 14-8 第谷折衷的宇宙体系

非正圆轨道的彗星必定要在各行星天球之间穿越。第谷本人在宇宙观上十分保守,他内心是不愿意打破水晶天球的,所以对彗星轨道的这一重要发现未作进一步的解释。

第谷是一个天才的观测家,但在理论上因循守旧,他完全清楚日心说的优点,而且赞美它是“美丽的几何构造”,但他不能同意地球运动的概念,因为他没

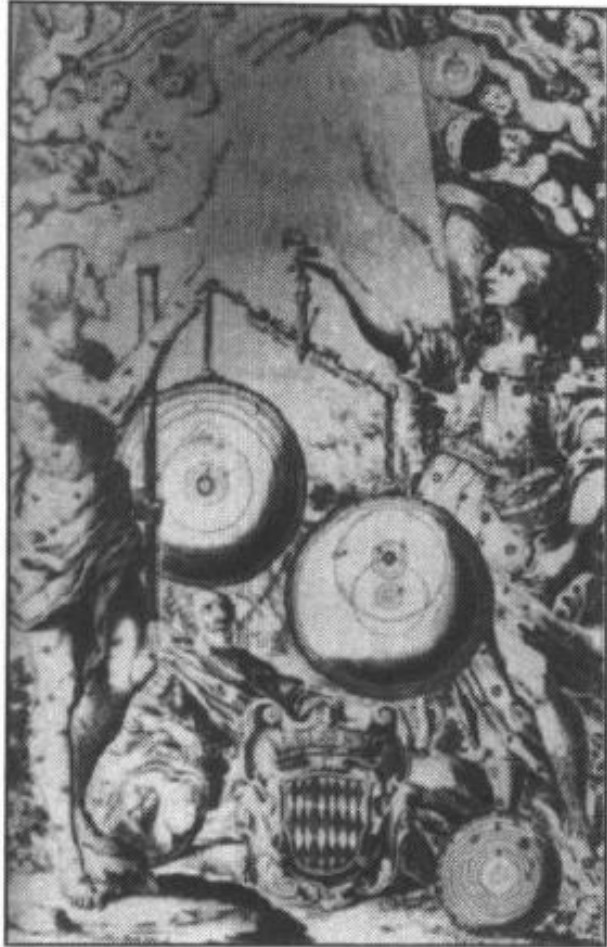


图 14-9 神在掂量两大宇宙体系的分量
左：哥白尼体系 右：第谷体系

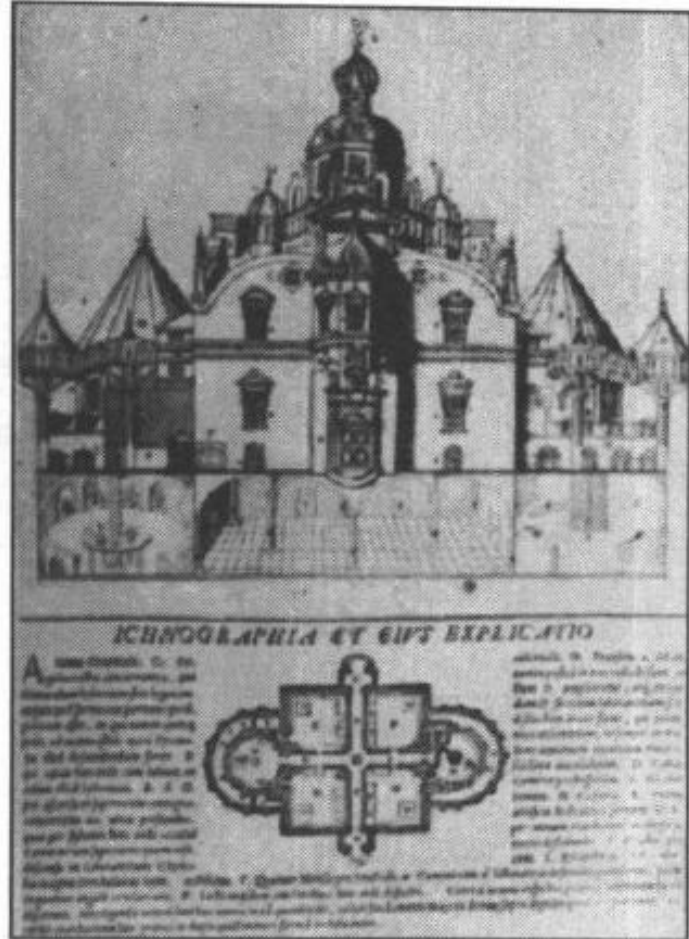


图 14-10 第谷的天文台

有观测到恒星的视差。这件事本有两种可能的解释，一是地球不动，一是恒星过于遥远，但第谷宁可相信前者，不相信行星与恒星之间有如此广阔的虚空空间。

第谷虽然不同意地动概念，但对托勒密体系也不满意。1583年，他出版了一本论彗星的书，在书中，他提出了自己设计的混合体系：“按照古人的说法和《圣经》的启示，我认为只能把地球安置在世界中心。但我不赞成托勒密那种主张。我想，只有太阳、月亮以及包含全部恒星的第八重天才以地球为中心而运行，五颗行星则绕太阳运行。太阳处在它们的轨道中心，它们像陪伴君王那样绕太阳作周年运动。”第谷的这个混合体系，从数学上与哥白尼体系完全等价。

第谷的系统、精确地观测材料，为历法改革奠定了基础，1582年在教皇格里高里十三世主持下，完成了对基督教世界沿用了一

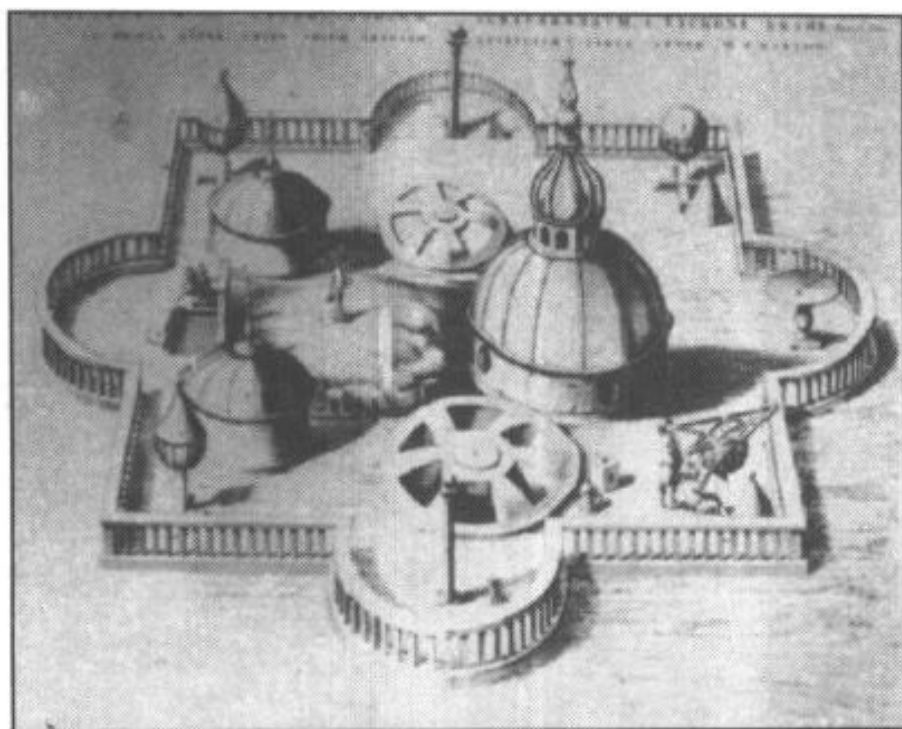


图 14-11 第谷正在观测

千多年的儒略历的改历工作，颁行了格里高里历。此外，第谷长期系统的观测资料直接导致了当时最先进的星表的出现。

据说第谷在日常生活中，脾气很不好，遇事好争斗，因为自己是贵族而骄傲自大。但丹麦国王腓特烈二世很宽容，对他的

的这些缺点毫不计较，1588 年腓特烈二世去世后，新国王克里斯蒂安不喜欢第谷的这种脾气，几年后便不再资助第谷的工作，这使他陷入困境。1597 年，德国国王鲁道夫二世邀请他去，第谷举家迁往德属的布拉格新区定居。在那里，他发现了开普勒并收为助手。他将自己毕生的观测所得材料全部交给了开普勒，并让他依此着手编制行星运行表。1601 年 10 月 24 日，第谷因病去世，临终前，他喃喃地说：“我多希望我这一生没有虚度啊！”1602 年，开普勒编辑出版了第谷遗留下来的观测资料，并从中探讨行星的运动规律。开普勒的伟大工作真正使第谷一生没有虚度。

5. 开普勒：天空立法者

哥白尼体系执着的坚持希腊古典的正圆运动观念，这使它不得不继续沿用本轮—均轮组合法，以获得与观测现象的相符。开普勒彻底抛弃了正圆运动的概念，确立了太阳系的观念。

约翰·开普勒 (Johann Kepler, 1571—1630 年) 生于德国南

部瓦尔城，父亲是位职业军人，祖父曾当过市长。开普勒三岁时得过天花，致使手眼留下轻度残疾。为了找到一个合适的工作，开普勒进杜宾根大学学习神学，指望将来当一个牧师。求学期间，他显示了出众的数学才华。杜宾根大学的天文学教授米切尔·麦斯特林（1550—1631年）是一位哥白尼学说的同情者，他在公开教学时讲授托勒密体系，但对自己亲近的学生则宣传哥白尼体系。开普勒从他那里得知哥白尼学说后，立即成为哥白尼的拥护者。大学毕业后，大多数学生都去当了牧师，而开普勒则到了奥地利，靠麦斯特林的推荐当上了格拉茨大学的教学和天文学讲师，当时的讲师薪水很少，开普勒不得不靠编制占星历书而养家糊口，他自我解嘲地说：“作为女儿的占星术若不为天文学母亲挣面包，母亲便要挨饿了。”

开普勒毕生是一个狂热的毕达哥拉斯主义者，对数学的爱好、对自然界数的和谐的神秘感受，始终支配着他对天空奥秘的探索活动。正是哥白尼体系那令人赞叹的数学的和谐和美，使他直觉到它就是真实的宇宙图景。在奥地利期间，开普勒致力于探测六大行星的轨道大小之间的数字关系，他惊喜地发现，用柏拉图的五种正多



图 14-12 开普勒

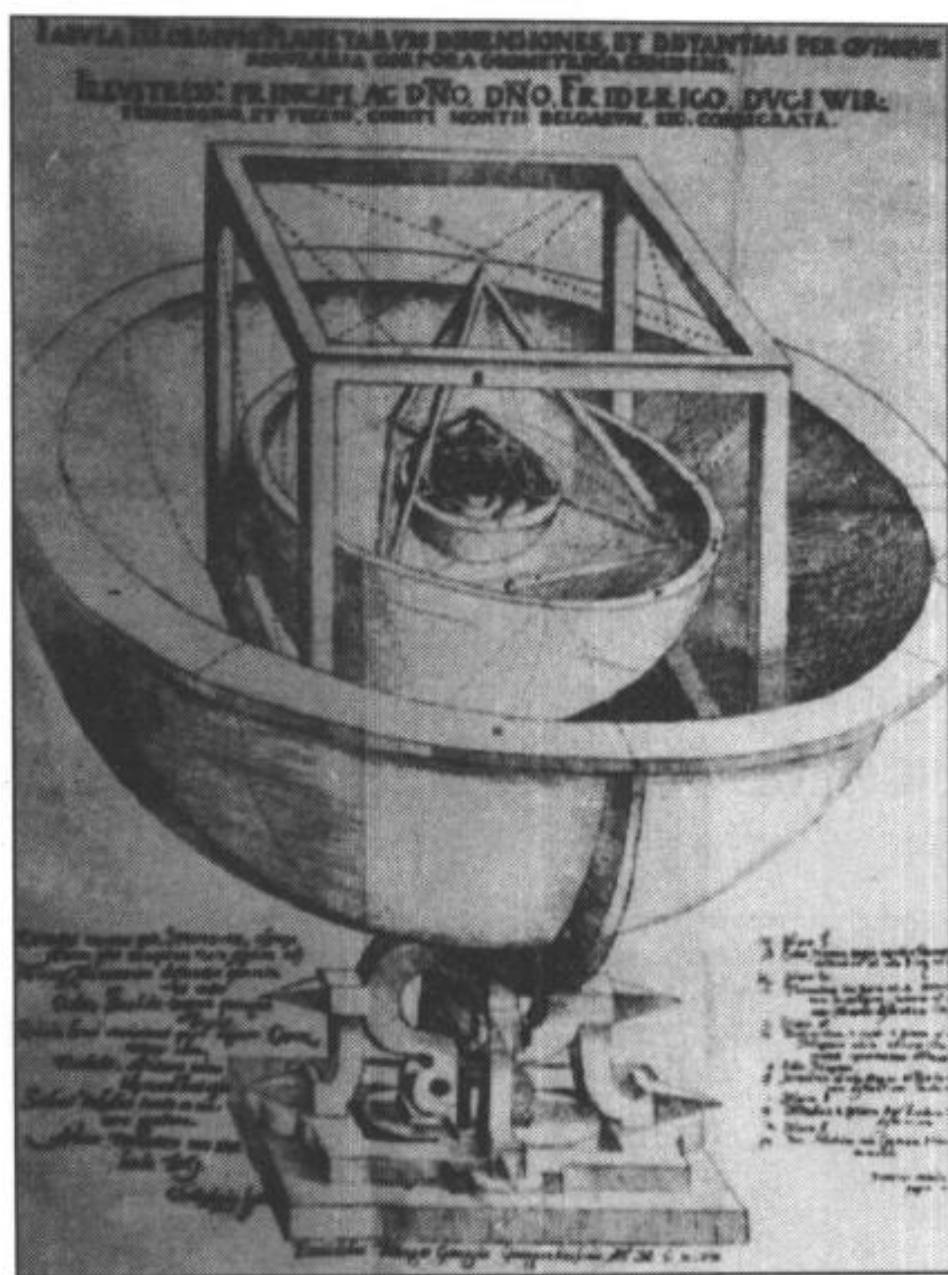


图 14-13 天体的几何和谐图

面体，正好可以表示出六大行星的轨道半径来；若土星的轨道在一个正六面体的外接球上，则木星轨道便在该正六面体的内切球上，在木星轨道内内接一个正四面体，则该正四面体的内切球便是火星的轨道，再在火星的轨道内内接一个正十二面体，其内切球是地球的轨道，依次办法，在地球轨道内内接一个正二十面体，其内切球是金星的轨道

在金星轨道内内接一个正八面体，其内切球是水星的轨道。这样设计出的行星轨道与当时的观测数据相当吻合，而且由于柏拉图已经证明正多面体只有五种，这就为宇宙中只有六颗行星找到了几何学的证据。开普勒把这一构想以《宇宙的神秘》为题发表于 1596 年，第谷读到了这本书，对作者的才华极为赏识。

1598 年，奥地利暴发了天主教与新教之间的宗教冲突，开普勒是一位新教徒，在那里受到迫害，只好跑到匈牙利。不久，他接到第谷的邀请，去布拉格的鲁道夫宫廷协助第谷整理观测资料，他便于 1600 年来到了布拉格。一接触到第谷无比丰富的天象资

料，开普勒从前构造的美妙的宇宙体系便显得漏洞百出，他只好放弃这一心爱的体系。在第谷的身边，开普勒学会了重视并处理大量的天文观测资料。可惜的是，他们相处了没多久，第谷便去世了，临终前第谷告诫开普勒：一定要尊重观测事实。

在第谷观测材料的基础上，开普勒继续寻找他的宇宙秩序。首先，他利用第谷的观测数据巧妙地算出了包括地球在内的六大行星的运行轨道，有了轨道数据，他进一步总结行星运动所遵循的数学规律。他选中了火星作为突破口，因为，第谷留下的资料中以火星最为丰富，而且，火星的运行与哥白尼理论出入最大。一开始，开普勒还是采用传统的偏心圆方法，在试探了七十多次后，终于找到了一个方案，但很快他就发现与第谷的其它数据不符。虽然只相差8分，但开普勒还是没有忽略这个微弱的差别，他坚信第谷在观测上的可靠性。开普勒曾无限深情地写道：“感谢上帝赐给我们一位像第谷这样的天才的观测者，这8分误差是不应该忽略的，它使我走上改革整个天文学的道路。”

经过紧张艰苦的归纳、整理、试探，开普勒先是发现了火星绕太阳的运动向径单位时间扫过的面积是一个固

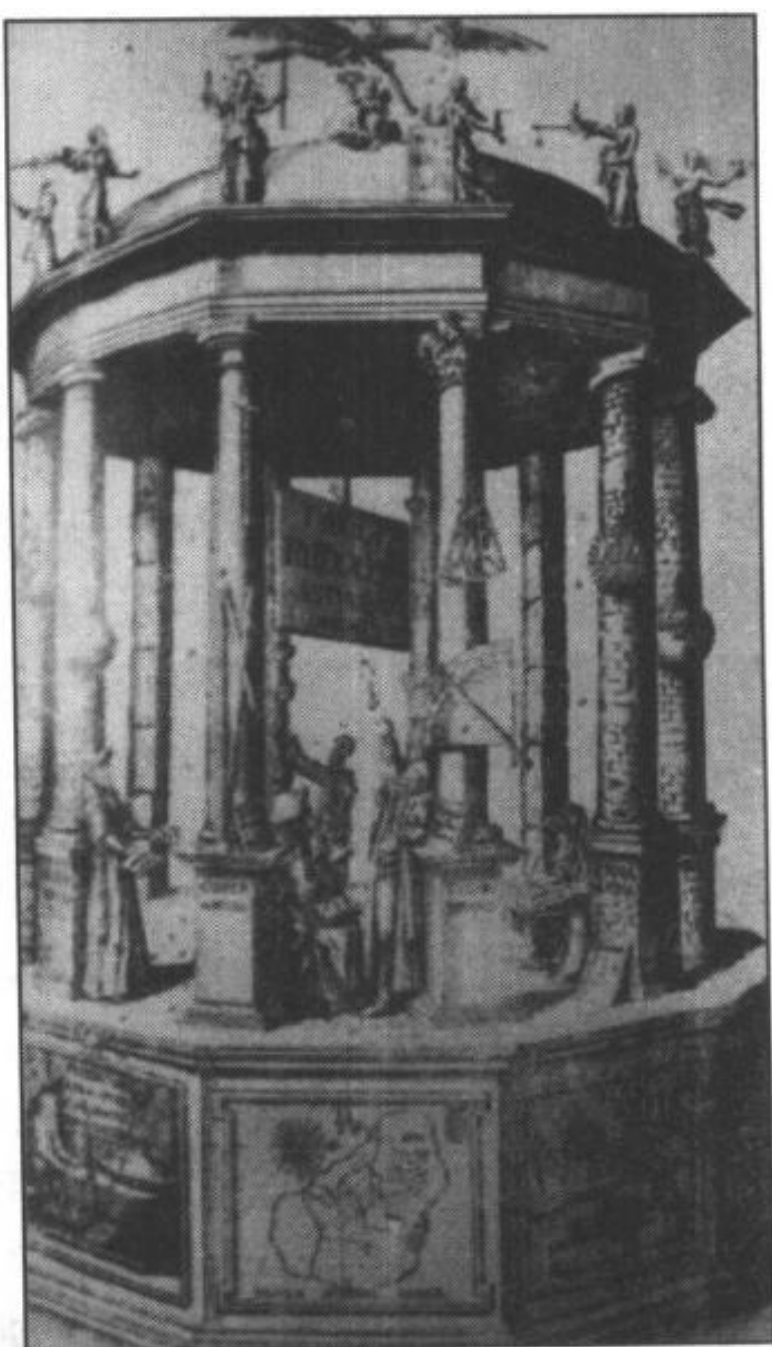


图 14-14 《鲁道夫星表》封面

定的数值，这意味着虽然火星的轨道线速度并不均匀，但面速度是均匀的，离太阳远时，线速度变小；离太阳近时，线速度变大，这就是后来被称为开普勒第二定律的面积定律。后来，他发现火星的轨道有点像卵形，先用卵形线界定轨道，没能成功，接着他想到了椭圆。椭圆是圆锥曲线的一种，早在希腊时代就已被阿波罗尼进行过细致的研究，开普勒利用阿波罗尼已经发现的那些椭圆性质，很快就确认火星运动的轨道是椭圆无疑。1609年，开普勒发表了《以对火星运动的评论表达的新天文学或天体物理学》（此书有时称作《新天文学》，有时被称作《论火星的运动》），阐述了他对火星运动规律的发现：火星划出一个以太阳为焦点的椭圆（即开普勒第一定律）；由太阳到火星的矢径在相等的时间内划出相等的面积（即开普勒第二定律）。

1618年，开普勒出版《哥白尼天文学概论》，将他已经发现的火星运动二大定律推广到了太阳系的所有行星，而且同时公布了他所发现的第三定律：行星公转周期的平方与它同太阳距离的立方成正比，将所有行星的运动与太阳紧密地联系在一起。至此，太阳系的观念已牢牢确立。托勒密和哥白尼所运用的一大堆本轮和均轮被彻底清除，行星按照开普勒定律有条不紊地遨游太空，开普勒成了“天空立法者”。

椭圆的引入给希腊古典天文学画上了句号：天体作完美的匀速圆周运动的概念被抛弃，行星天的水晶天球顿时化为乌有。太阳真正成了导引六大行星昼夜不舍运动不息的力量源泉，而在哥白尼体系中，太阳并未处在任何一个行星的轨道中心。

以椭圆代替正圆是宇宙学史上划时代的事件，但耐人寻味的是，正是希腊人自己最先在几何学领域发现了作为圆锥曲线的椭圆，也正是利用了阿波罗尼对椭圆几何性质的研究成果，开普勒才能作出这一重大的发现。这不禁使我们想起当代大哲怀特海的名言：“物质未曾来到，精神先已出现。”爱因斯坦对此更有深刻

的评价：“开普勒的惊人成就，是证实下面这条真理的一个特别美妙的例子，这条真理是：知识不能单从经验中得出，而只能从理智的发明同观察到的事实两者的比较中得出。”

开普勒虽然在太阳系内废除了水晶天球，但依然保留了恒星天球，他不同意布鲁诺的宇宙无限观，在他看来，宇宙是上帝的作品，应体现着数学的顺序与和谐，而一个无限的从而完全无形的宇宙是谈不上秩序与和谐的，况且，对一个天文学家有意义的只是观测到的现象，而任何被观测到的天体都处在有限的距离，所以宇宙无限论是一个形而上学的命题。

在为天空立法之后，开普勒很顺利地完成了第谷生前交给他的工作：制定行星运动表，开普勒将此表命名为《鲁道夫星表》（1627年出版），以答谢德国国王鲁道夫二世对他们工作的一贯支持。这是当时最完备最准确的一部星表，在以后的一百多年里几乎无修改地被天文学家和航海家尊为经典。

伽利略制造出望远镜之后，曾送



图 14-15 《鲁道夫星表》扉页

了一架给开普勒，开普勒用它观测到了木星的卫星。后来，他研究了透镜对光线的折射方式，改进了望远镜。伽利略用的是一个凸透镜和一个凹透镜，开普勒则用两个凸透镜。这一改进被后来的天文望远镜所接受。此外，开普勒还意识到光度随距离而平方减弱的规律。

开普勒一辈子都很贫困，身为宫廷天文学家，但薪水常常拖欠，鲁道夫二世于 1612 年死后，新国王保留了他的职位，但钱更难到手。1630 年 11 月 15 日，在他去索要拖欠了二十余年的欠薪时，染伤寒死于途中，伟大的天空立法者就这样离开了人世。

哥白尼革命尚未走完它的历史行程，须等到新物理学出现之后，日心说才为世人所公认。

第十五章

新物理学的诞生

哥白尼地动学说遇到两大困难，第一，即恒星视差问题，以当时的观测条件无法解决；第二，即地动抛物问题，这需要新的物理运动理论来加以解释。开普勒所发现的行星运动规律，也要求一个动力学的解释。哥白尼革命直接导致对新物理学的寻求，正是在将天空动力学与地上物理学相结合之后，有别于亚里士多德物理学的新物理学在伽利略和牛顿手中诞生了。

1. 伽利略：近代物理学之父

在近代科学的开创者行列里，伽利略最为突出，是他创造并示范了新的科学实验传统、以追究事物之量的数学关系为目标的研究纲领，以及将实验与数学相结合的科学方法，正是他的工作将近代物理学乃至近代科学引上了历史的舞台。

伽利略·伽利莱 1564 年 2 月 15 日生于意大利的比萨，文艺

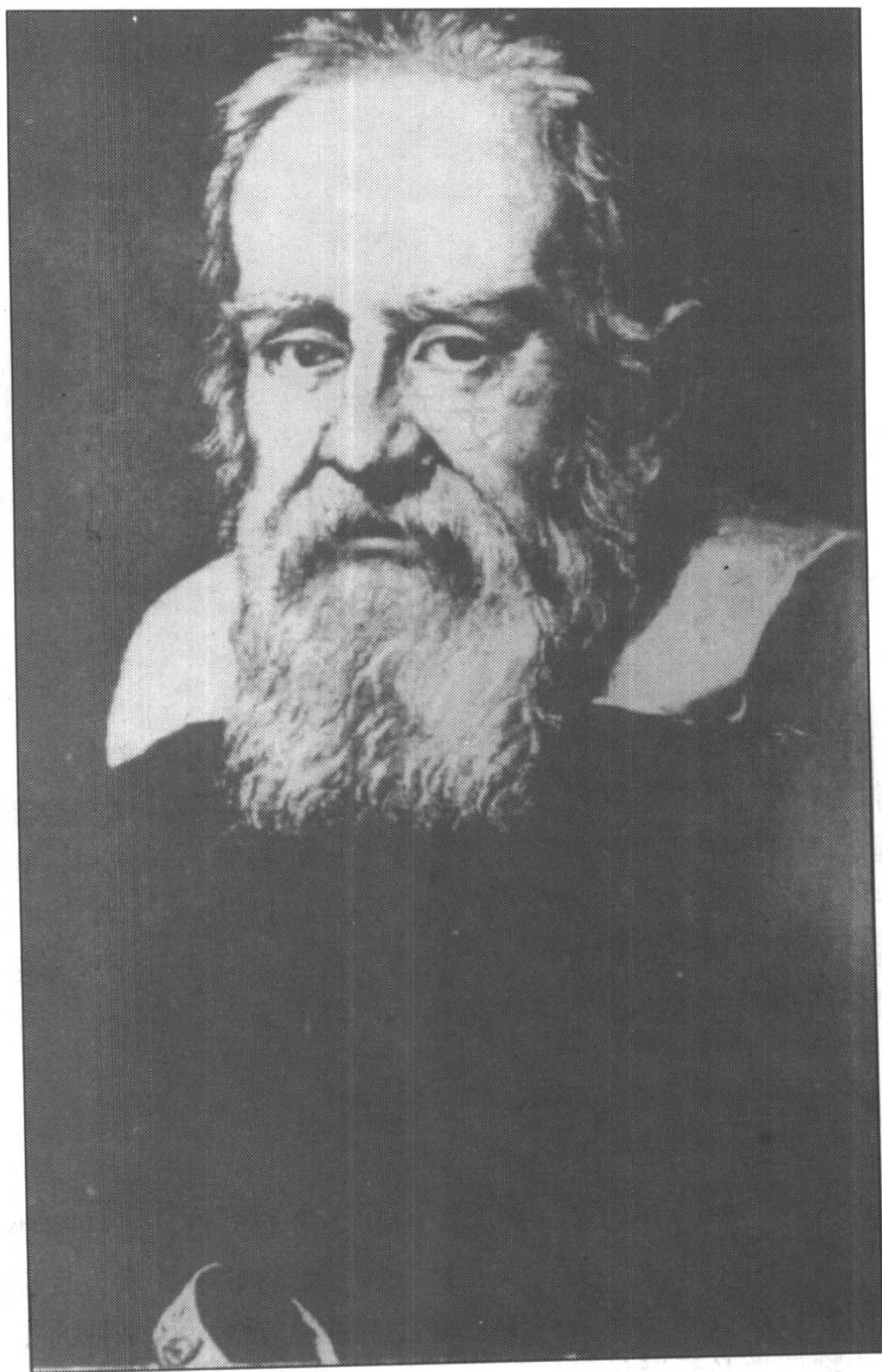


图 15-1 伽利略

复兴时期著名的艺术家米开朗其罗是在他出世后三天逝世的，这也许是文艺复兴由艺术转入科学的一种征兆。伽利略是他的名字，据说将姓氏略作变化作为长子的姓名是当地的一个风俗。伽利略的父亲文森西奥·伽利莱是当时一位著名的音乐家和数学家，他的学术研究对伽利略有很大的影响，但他希望儿子学医而不是数学，因为这样会有一个好的收入。1581年，伽利略被送进比萨大学学习医学。1583年，由于听了几次关于欧几里德几何学的演讲，伽利略很快对数学着迷，他执意不学习医学，结果未取得学位就于1585年离开了比萨大学。

伽利略倾心研究欧几里德几何学和阿基米德的物理学，很快声名远扬，朋友们都称他为“新时代的阿基米德”。1589年，伽利略获得了比萨大学数学教授的职位，三年后，转到帕多瓦大学，在这里度过了十八年比较稳定的生活。1610年回到了佛罗伦萨，继续从事他的物理学和天文学研究。由于望远镜的使用，使伽利略明确表示赞同哥白尼体系，结果引起麻烦。1624至1630年间，伽利略断断续续地写作他的著作《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，该书出版也颇费周折，最终于1632年问世，但很快就遭到罗马教会的传讯。1633年，教会判处他终生监禁。此后一直受监视住在佛罗伦萨城外阿切特里的一幢别墅里。在这里，伽利略继续他的力学研究。从1634年开始，他致力于撰写另外一部著作即《两门新科学》，书稿于1637年最终完成后，找不到地方出版，因为罗马教廷裁决任何人不得出版伽利略的任何著作。最后在朋友们的帮助下，该书于1638年在荷兰的莱顿出版。此时的伽利略已经双目失明，一位青年数学家维维安尼来到了伽利略的别墅，为他处理日常事务，并记录了伽利略口述的一些生平佚事。1642年1月9日，伽利略在阿切特里的别墅里安然去世。次年牛顿出生。

伽利略1610年以前的早期工作主要是有关动力学的，可能是

受父亲的影响，伽利略对物理实验十分着迷，传说他还是比萨大学的医科学生的时候，有一次在教堂里做礼拜，一盏吊灯的晃动引起了他的注意，因为有风，吊灯时而摆动幅度大一些，时而小一些，但是他发现，不管摆动幅度是大是小，摆动一次的时间总是相等的，当时还没有钟表之类的计时工具，伽利略用自己的脉搏计时验证了自己的发现，回到家后，他又亲自动手做了两个长度一样的摆，让一个摆幅大一些，另一个小一些，结果极为准确地证实了这个发现。这个传说一般来说是靠不住的，已经考证出，比萨教堂的这盏灯是 1587 年制造的，而此时伽利略已经离开了比萨。但是，在 1602 年的一封信中，伽利略的确提到这单摆实验。在以后的研究生涯中，伽利略一直保持着对实验的兴趣，他自己设计了不少科学仪器，其中包括测温器（1593 年）、比重秤（1586 年），望远镜当然是其中最为重要的。

还是一个比萨大学学生的时候，伽利略就对亚里士多德的运动理论深表怀疑。亚里士多德认为，在落体运动中，重的物体先于轻的物体落到地面，而且速度与重量成正比。这种看法在经验中确实可以找到证据，比如一根羽毛就比一块石头后落到地面，但是也不难找到反例，比如一个同样大小的铁球和木球从等高处下落，几乎无法区分哪一个先落下。伽利略晚年的学生维维安尼曾经在他写的伽利略传记中提到，伽利略在比萨斜塔上做过落体实验，证实了所有物体均同时下落，这成了这一著名历史传闻的根源。但历史学家考证，没有任何理由表明伽利略做过这一实验，因为伽利略本人从未提起过。但是此前类似的实验已有人做过。1586 年，荷兰物理学家斯台文用两个大小不同重量比为 1 比 10 的铅球，让它们从高 30 英尺的高度下落，结果两者几乎同时落在地面上的木板上，围观者可以清晰地听到两个铅球撞击木板时发出的声音。伽利略后来听说了这一实验，可能也亲自动手做过，但这种实验由于有空气阻力不太准确，而且真的做起来，结果不一定

对伽利略有利。事实是，一位亚里士多德派的物理学家为了反驳伽利略，真的于1612年在比萨斜塔做了一个实验，结果表明，相同材料但重量不同的物体并不是在同一时刻到达地面，伽利略在《两门新科学》中对此有一个辩护，意思是说，重量1比10的两个物体下落时只差很小的距离，可是亚里士多德却说差10倍，为什么忽视亚里士多德如此重大的失误却盯住我小小的误差不放呢？这就表明伽利略并没有在比萨斜塔上做过传说的那个著名的判决性实验。

解释摆的等时性是伽利略设计斜面实验的一个主要的动机，为什么不论摆幅多大，摆动一个周期的时间总是相等的，是什么使得它自动调节自己的速度？这真是一个令人着迷的问题。伽利略敏锐地感觉到单摆问题与自由落体问题有内在的联系，它们都是由于物体的重量造成的。他首先想到将单摆问题化为斜面问题，这相当于将摆弧的曲线化为斜面的直线来处理，斜面的倾角越大相当于摆幅越大，而斜面的倾角达到90度时，物体就成了自由落体。从1602年开始，伽利略着手研究这些相关的运动问题。1604年，伽利略设计了斜面实验，经过许多次努力之后，终于探清了在斜面上滚动的铜球的运动情况，他所面临的困难主要是没有准确的计时装置，先是用脉搏，再用音乐节拍，最后用水钟。他先发现球滚过全程四分之一所花的时间，正是滚过全程所花时间的一半，最后更为精确地知道，在斜面上下落物体的下落距离同所用时间的平方成正比，这就是著名的落体定律。这个定律表明，落体下落的时间与物体重量无关。

伽利略面临的另一个更为主要的困难是概念上的，当时人们连速度的定量定义都没有。起初，伽利略虽然发现了落体定律但还是错误地以为速度与距离成正比，直到后来才认识到速度与时间成正比。因此，对伽利略来说，必须首先建立匀速运动和匀加速运动的定量概念。在《两门新科学》中，这样的概念终于以公

理的形式被创造出来了：“匀速运动是指运动质点在任何相等的时间间隔里经过的距离也相等”，“匀加速运动是指运动质点在相等的时间间隔里获得相等的速率增量”。有了这两个新的概念，从斜面实验中可以获得更多的教益。当铜球从斜面上滚下后继续沿着桌面滚动，这时斜度为零重力的作用为零，不再有加速度，球就会永远保持它的匀速运动。这意味着，外力并不是维持运动状态的原因，而只是改变运动状态的原因，这是对亚里士多德运动观念的重大变革。牛顿后来将之概括为运动第一和第二定律。

有了匀速运动和匀加速运动的概念，解释抛物体的运动就变得极为容易。此前人们都相信，抛射体在发射后沿直线运动，等到推力耗尽才垂直下落。伽利略引入了合成速度的概念，将抛物运动分解为水平的匀速运动和垂直方向的匀加速运动，证明了意大利数学家塔尔塔利亚（1499—1557 年）早期的一个发现：抛物体的仰角为 45 度时，射程最远。

伽利略在力学上的一系列开创性工作，使他在捍卫哥白尼学说方面处于一个十分优越的位置。实际上，伽利略早期并不是一个哥白尼学说的信奉者（据他与开普勒的通信讲，他直到 1597 年才相信哥白尼理论，但即使从这时起他也对哥白尼体系保持很久的沉默），但他一直是亚里士多德自然哲学理论包括宇宙理论的怀疑和反对者。1604 年 10 月，天空出现了一颗超新星，亚里士多德派的自然哲学家们还是辩解说，这颗新星是某种静止的、没有彗尾的彗星，而彗星只是月下天的大气现象，而不是天界的变化，因为按照亚里士多德的理论，天界是纯净、没有变化的。实际上，早在 1572 年第谷就已经证明当时出现的一颗新星是一颗恒星。这一次，伽利略又以精确的测量证明它不是月下天的物体，而确实是一颗恒星，结果引起了与哲学家们的争论。

1608 年，荷兰的眼镜匠利帕希（1570—1619 年）造出了第一架望远镜。事情是极为偶然的，他的一个学徒没事干时拿两个透

镜片在眼前对着看，结果发现远处的物体变得近在眼前而且清晰，学徒将这件怪事告诉了利帕希，利帕希经试验证明确实有这种效果，他就将两个透镜片装在筒里，制成了人类历史上第一架望远镜。他将这架望远镜卖给了荷兰政府，荷兰政府意识到这种新玩意儿在战争中可能会有用途，故而保密，但消息还是传出去了，第二年（1609年），伽利略就从荷兰的朋友那里知道了这种新仪器，他立即动手制作了一架，并且不断改进，于12月造出一架放大20倍的望远镜。

用这架望远镜，伽利略首先发现了月亮上的山脉和火山口，次年（1610年）1月，又发现了木星的四颗卫星。这一发现对于支持哥白尼学说具有重大的意义，托勒密学说的维护者们有一个很强的理由，他们说只有地球才可能有天体绕着转动，因为这些天体是地球的仆从。3月，伽利略将他的新发现写成了《星界的报告》一书，在书中报告了他用望远镜观察到的新天象：月亮并不像亚里士多德所说的那样完美无缺；木星有四颗卫星，它们绕木星而不是绕地球转动；银河是由大量恒

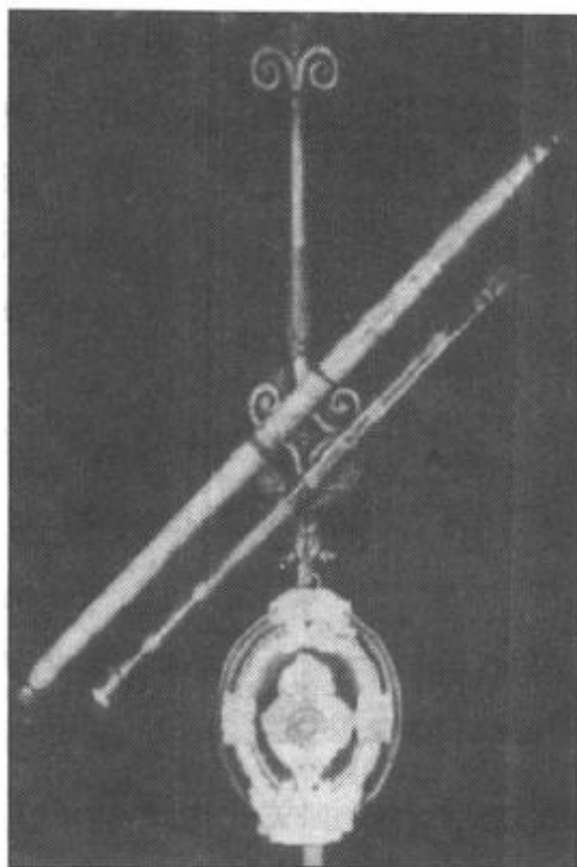


图 15-2 伽利略制造的望远镜

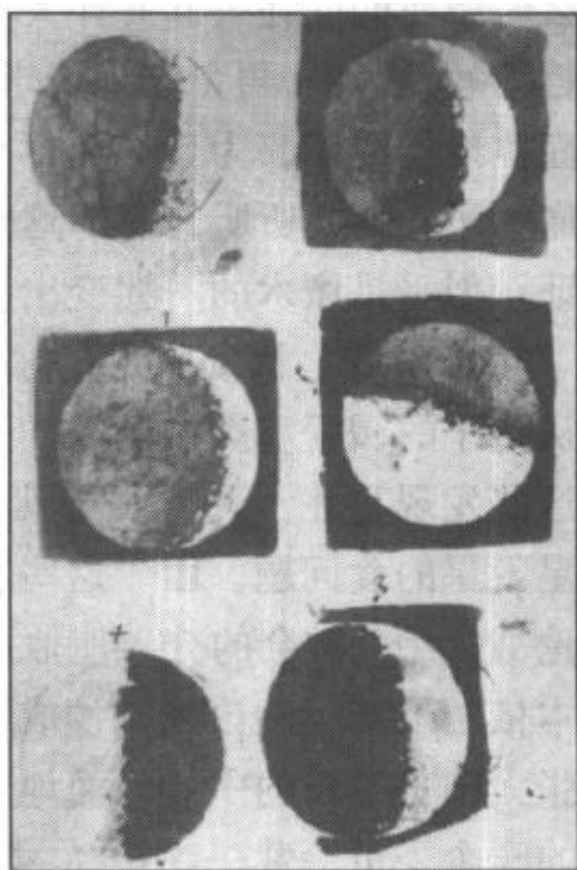


图 15-3 用望远镜看到的月面图（伽利略手稿）

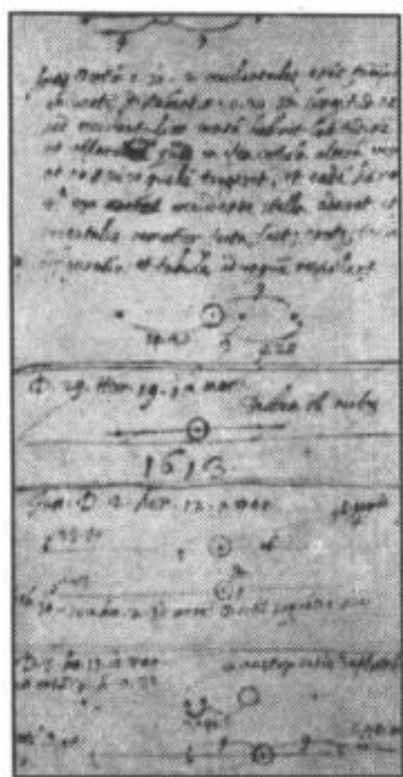


图 15-4 伽利略关于木星卫星的手稿

星组成的。《星界的报告》在知识界引起了巨大的反响，人们争相传诵：“哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙”，哥白尼学说一下子深入人心，但大多数传统的哲学家和天文学家对望远镜里看到的现象持嘲笑的态度，认为那是伽利略弄虚作假，许多顽固的学者甚至拒绝用望远镜看天空。只有开普勒例外，他当时是德国皇家天文学家，公开撰文承认伽利略的发现是真实的，此后，他使用伽利略送来的望远镜亲自进行了观察，再一次写文章证实木星卫星的存在。当时伽利略与开普勒一直有友好的通信关系，在一封信中，伽利略这样写道：“哦，我亲爱的开普勒，我多么希望我们能在一起开怀大笑！在帕多瓦这地方，有一位重要的哲学教授，我一再急切地请求他用我的望远镜看看月亮和行星，他固执地拒绝了。为什么你不在这里？对这种极顶的傻事我们将笑痛肚子！要是听听比萨的这个哲学教授在大众面前所作的逻辑论证，似乎是魔术的符咒变出天空中的新行星。”

1612 年，伽利略用望远镜观察太阳，发现了太阳黑子，并且从黑子的缓慢移动推断太阳是在自转，周期为 25 天，次年，他将这些发现写在《关于太阳黑子的信札》一书中，书中还谈到了木星卫星的食问题。由于这些新的天文发现，使伽利略陷入长期的论战之中，教会的介入使他面临更大的压力。1616 年，伽利略一本依据地球运动论述潮汐成因的书被教会谴责，书中，他明确主张太阳是宇宙的中心，而地球作周日和周年运动，宗教法庭委托的一个委员会裁决说：“大家一致认为，根据《圣经》经文和神父、神学博士的一般解释，‘太阳是宇宙的中心’这个命题在哲学上是愚蠢和荒谬的，它在许多地方与《圣经》所表达的意见相抵触，因

此在形式上是异端；大家一致认为，‘地球既非宇宙中心也非不动，而是作周日和周年运动。’这个命题在哲学上也是愚蠢和荒谬的，考虑到神学的真实性，它至少在信仰上是错误的。”教会让贝拉明主教转告伽利略不得再坚持、辩护或讲授这些观点，否则，教会将公开勒令他不得如此。

1623年，伽利略发表《试金者》一书，对当时学术界的治学态度和方法作了入木三分的评论，他批评了以权威而不是事实作为最终论据的作法。此外，他更发表了近代自然数学化运动的宣言，阐述了近代机械自然观的基本立场：

“哲学被写在宇宙这部永远在我们眼前打开着的大书上，我们只有学会并熟悉它的书写语言和符号以后，才能读懂这本书。它是用数学语言写成的，字母是三角形、圆以及其它几何图形，没有这些，人类连一个字也读不懂。”

1624年，乌尔班八世当上了教皇，由于他是佛罗伦萨人而且对伽利略比较赞赏，所以伽利略拜访了他，



图 15-5 《关于太阳黑子的信札》封面



图 15-6 《关于两大世界体系的对话》封面

乌尔班八世表示，只要说明地球运动只是一个资用假设，并无物理根据，运用它来解释一些现象还是可以的。听信了新教皇的话，伽利略开始撰写他的新著，历时六年直到 1630 年终于完成。伽利略原来准备将之命名为“关于潮汐的对话”，但教会反对，因为这强调了对地球运动进行物理学论证，所以最后改名为《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。

这部科学史上伟大的著作采用对话体，因为当时对话体被广

泛用于对普通民众进行教育的书籍中，此外，如果其中的观点受到谴责，作者也可以为自己开脱。书是用生动的意大利文写的，为的使更多的意大利人读懂而不只是为拉丁学者而写。书中有三个人参与对话：萨尔维阿蒂是伽利略的代言人，古代著名的亚里士多德注释者辛普里丘作为亚里士多德派学者出现，风趣而又无偏见的第三者是沙格列陀。对话分四天进行，第一天批评了亚里士多德自然哲学的基本原则，还讨论了月亮表面的地貌特征；第二天以运动的相对性，反驳了对地球自转的责难；第三天讨论了地

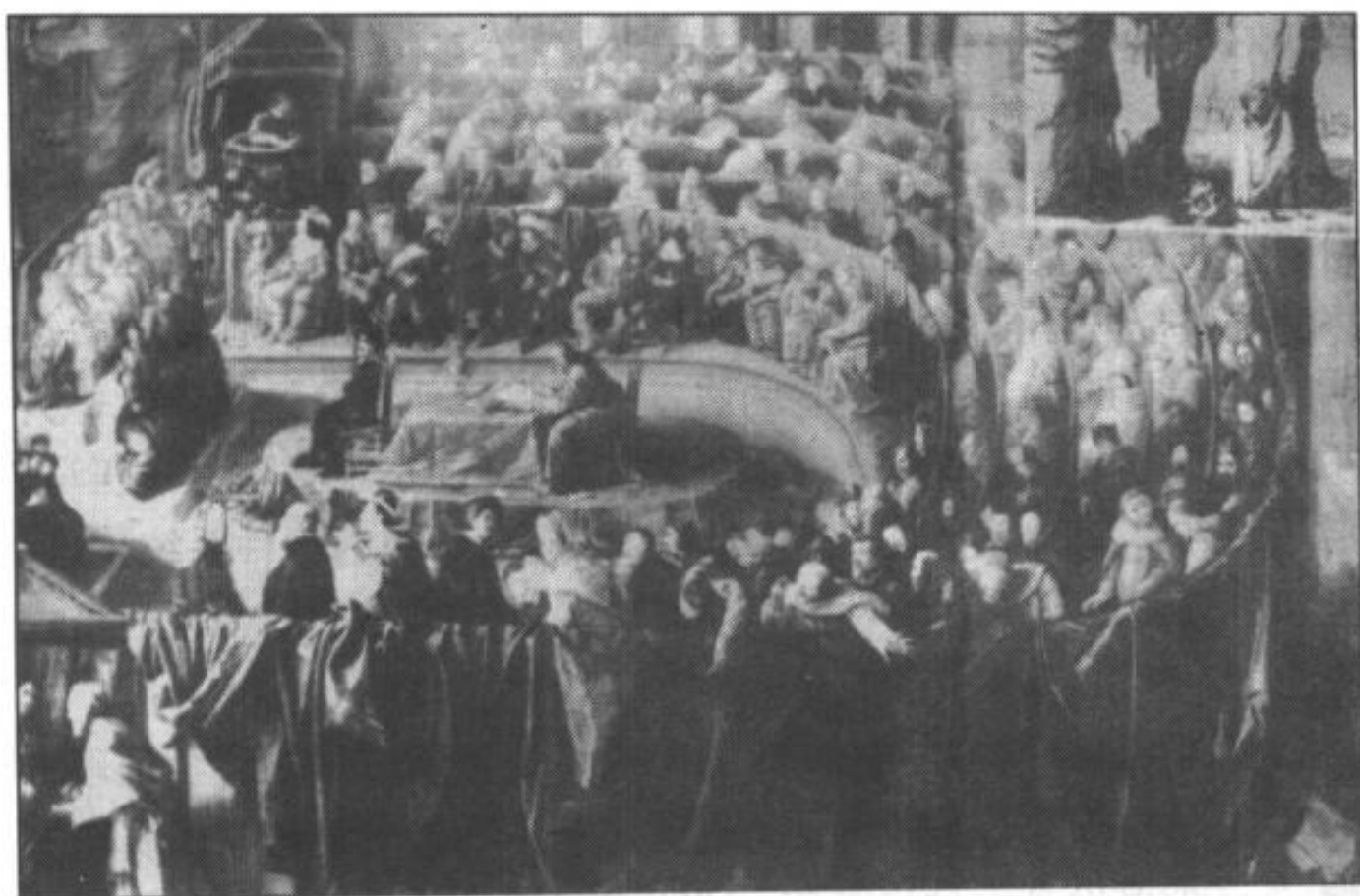


图 15-7 伽利略受审

球绕太阳的公转；第四天用地球的运动解释潮汐，伽利略的解释虽然是不正确的，但以此强调地球的运动却完全正确，因为要正确解释潮汐就必须首先承认地球的运动，虽然地球的运动尚不足以说明潮汐。

该书第三天的讨论只字没有提到开普勒的行星运动理论，这是令人感到惋惜的，行星的椭圆轨道没有为伽利略采纳。实际上，伽利略一直没有能将他创造的新力学运用到天体运动中，他还是相信天体作完美的正圆运动。惯性运动只是在局部地域才是可能的，天体并不作惯性运动。将天上的力学与地上的力学相统一是牛顿的工作。

《对话》于 1632 年 3 月获准出版，8 月教会突然下令禁书而且传讯伽利略，次年 2 月伽利略来到了罗马，3 月 12 日受到审判。伽利略为自己作了一些辩护，但无济于事。6 月 22 日法庭判他终生监禁。据说在宣判之后，这位 70 岁的老人喃喃自语：“可是，地

球仍在转动呀！”但这可能只是当时进步人士假托的心声。

被软禁后，伽利略继续早期从事的力学研究，于 1637 年写出了《两门新科学》，该书次年在荷兰出版。所谓两门新科学指的是材料力学和运动力学。关于第一门新科学，伽利略在书中提出物体的支撑能力不能依几何比例予以放大，例如，一只鹿如果按比例胀成大象那么大，那么它的腿肯定支撑不住自身的重量，一只小狗能背负两三只同自己一样重的狗，而马却很难驮动另一匹马。后一门新科学，就是他自己早年对落体运动研究的一种系统化。速度和加速度的概念、惯性的概念，就是在这本书中以公理的形式提出的。

爱因斯坦评论说：“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，标志着物理学的真正开端。”这个评价是十分恰当的。1979 年，罗马教皇保罗二世提出为伽利略平反，1980 年正式宣布当年教会压制伽利略的意见是错误的，虽然事隔了三百多年，但终究表明了真理是不可战胜的。

2. 斯台文的静力学研究

伽利略所开创的近代物理学莫基于当时一大批其他物理学家的的工作。前面提到，早在伽利略之前斯台文就在静力学中做出了重要的贡献。西蒙·斯台文 1548 年生于比利时的布鲁日。据说他早先是当地的税务官，后来进荷兰的莱顿大学任教，他曾经为荷兰



图 15-8 斯台文著作封面

军队设计了一套堤堰的水闸系统，这套系统可以在敌人入侵时将全国淹没。

斯台文的工作是多方面的，在数学上，他最早翻译了刁番都的著作，并引进了10进制小数。但他的主要贡献在静力学方面。他证明了液体中任一面积所受的压力只与液体的高度和面积有关，而与容器的形状无关，这实际上开创了流体静力学。他研究了斜面上物体的平衡问题，证明了两块连成三角形的斜面上搭着的铁链在何种条件下静止不动，这实际上继承了阿基米德关于静力学的工作。此外，前面已说过，他于1586年就做过落体实验，表明重物与轻物同时落地。1605年，他的《数学札记》在莱顿出版，书中记载了他的这些科学工作。1620年，斯台文在荷兰去世。

3. 吉尔伯特的磁学研究

威廉·吉尔伯特1544年5月24日生于英国埃塞克斯郡的科尔切斯特，1569年在剑桥大学获医学学位，1573年在伦敦定居，成为当时的名医，1600年被任命为皇家医学院院长，1601年被招为伊丽莎白女王的宫廷医生，享受丰厚的年薪。吉尔伯特终生独身，将闲暇全都用于搞物理实验。1600年出版的《论磁》一书，使他在物理学史上留下了不朽的位置。

中国人发明的指向磁针经由阿拉伯人传入欧洲之后，很快在航海业中得到广泛的使用，13世纪时，帕雷格里纳斯(Peter Peregrinus)曾对磁针进行过研究，但这项工作不久即被人遗忘。吉尔伯特大大发展了对磁针特性的了解，他用实验驳斥了当时人们的一种谬见，即将大蒜抹在磁铁上将破坏其磁性，实验表明，磁铁的磁力丝毫不受影响。他发现了磁倾角，当一个小磁针放在地球上除南北极之外的地方时，它有一个朝向地面的小小倾斜，这是



图 15-9 吉尔伯特

因为地磁极吸引的结果。吉尔伯特的天才之处就在于，他由磁倾角推测，地球是一块大磁石，而且用一个球形的磁石做了一个模拟实验，证明了磁倾角确实来源于球状大磁石。由于地球有磁极，因此吉尔伯特指出“所有的仪器制造师、航海家，在把天然磁石的北极当成磁石倾向于北方的部分时显然是错了”，磁针的北指极是南极。

吉尔伯特对近代物理学的重大贡

献还在于他提出了质量、力等新概念。牛顿物理学的一个基本要点是区分了质量和重量，有了这个区分，力学才突破了感性经验的范围进入纯理论的领域。在《论磁》中，吉尔伯特说，一个均匀磁石的磁力强度与其质量成正比，这大概是历史上第一次独立于重量而提到质量。除了研究磁力外，他还注意到了自然界中其他类型的吸引力。比如，人们早就知道摩擦琥珀，就能将细小物体吸起来，据说，泰勒斯就做过有关的实验，但是吉尔伯特发现，除琥珀外，还有许多物体经摩擦都有吸引力，他将这类吸引力归结为电力，并用希腊文琥珀（elektron）一词创造了“电”



图 15-10 吉尔伯特正在为伊丽莎白女王演示磁学实验

(electricity) 这个新词。他还通过实验具体测定了各种吸引力的大小，发现磁力只吸引铁，而电力则太微弱。

普遍的“力”的概念当然还不成熟，但通过“磁力”这一特殊的力，吉尔伯特揭示了自然界中某种普遍的相互作用。他对力的解释也是相当古典的，他像希腊人那样相信万物皆有灵魂，而地球的灵魂即是磁力，力像以太那样放射和弥漫，将四周的物体拖向自身。这种解释虽然不够近代，但对开辟近代新的物理学十分有用。因为，正是在他的思想激励下，人们才开始寻求行星规则运动的“力”的原因。

伊丽莎白女王死后，他接着被任命为詹姆斯一世的宫廷御医，但不久他本人也去世了，这一年是 1603 年。他生前赞同哥白尼学说，这对日心理论在英国的传播起了很大的作用，因为吉尔伯特毕竟是英国社会中有身份的人物。

4. 真空问题：托里拆利、帕斯卡、盖里克与波义尔

这个时期力学上另一重大的发展是流体力学。基于精心设计的实验，托里拆利、帕斯卡、盖里克与波义尔等人将流体力学提高到与固体力学同样高的水平，真空问题是当时流体力学研究的一个核心问题。

在亚里士多德的自然哲学中，真空即没有任何物质的空间是不可思议的，在《物理学》中，亚里士多德对虚空的不存在作过

系统的论证，因此，因袭了亚氏偏见的中世纪后期学术界流传着“自然界厌恶真空”的说法。伽利略的落体运动规律显然需要在真空中得到真正的验证，因为空气妨碍了落体的自然运动，但是否存在“真空”，连伽利略也是深表怀疑的。

意大利物理学家托里拆利 1608 年生于法恩扎，青年时代深受伽利略的影响。伽利略在被软禁时期读过他写的一本关于力学的书，对



图 15-11 托里拆利

他十分欣赏，并邀请他到佛罗伦萨来。伽利略临终之前，托里拆利一直呆在他的身边，伽利略死后，托氏接替了他的宫廷数学家职位。随着资本主义大生产的发展，水泵的使用已很普遍，按照亚里士多德派的观点，水之所以能往上抽是因为自然界不允许真空出现，活塞向上抽动所留下的空隙必须马上被水所充满。这种解释看起来还说得通，但深究起来就有这样的问题：是否可以将水无限提升？事实上，当时人们已经知道，水只能被抽升到约 33 英尺高。伽利略听到这个消息之后十分惊讶，据此他猜想对真空的排斥力并不是无限的而是有限的，并且应该可以测量出来。事实上，伽利略本人已经通过实验知道空气有重量，而且他也提出过可以由水柱的高度来标度对真空的排斥力，但他没有认识到这两者之间的关系，他把这个课题留给了他的学生托里拆利。

伽利略去世后的 1643 年，托里拆利与伽利略的另一个更年轻的学生维维安尼一起在佛罗伦萨做了著名的“托里拆利实验”。托里



图 15-12 帕斯卡

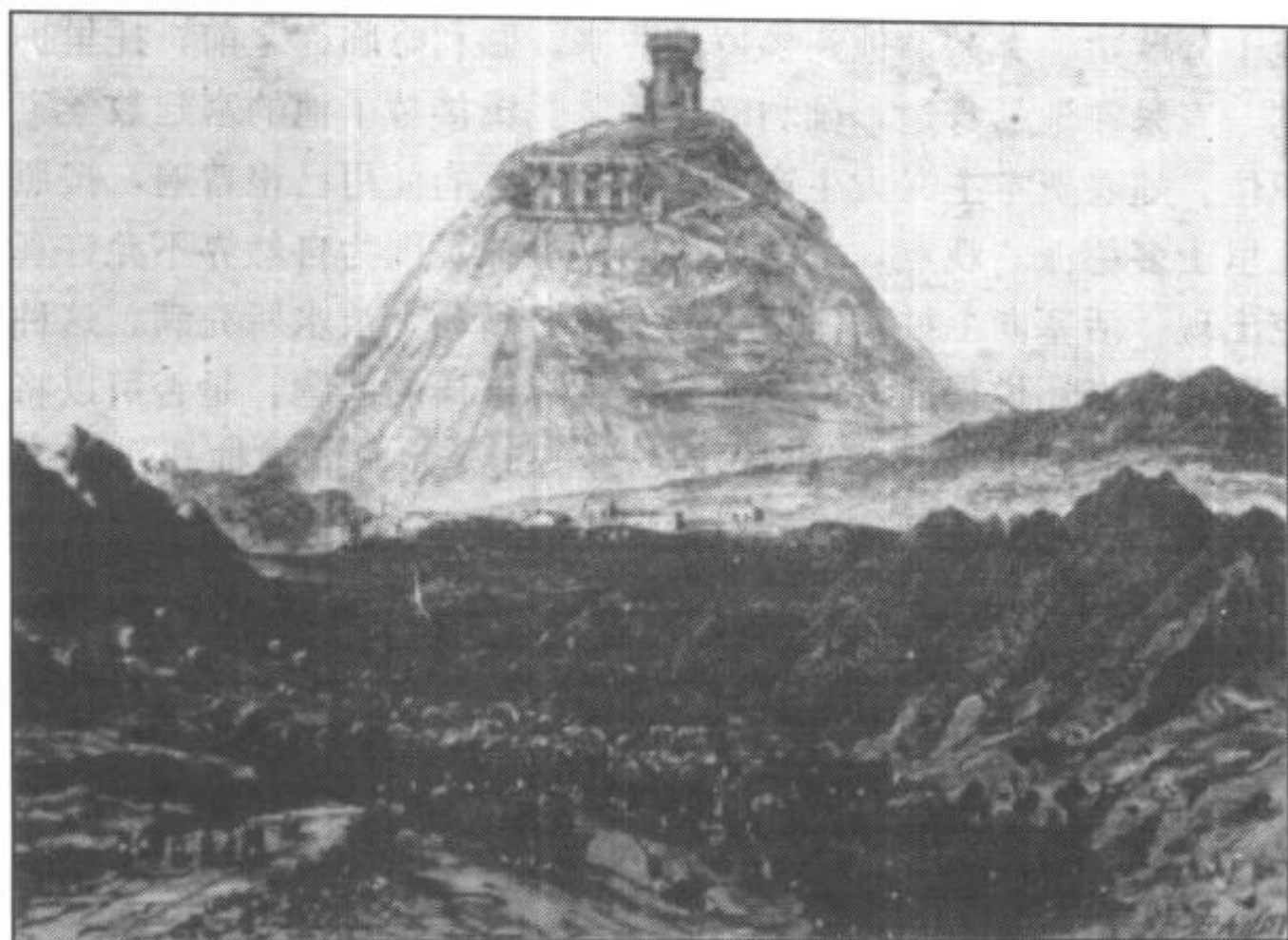


图 15-13 法国的多姆山

托里拆利在一根四英尺长、一端封闭的玻璃管内注满水银，用手堵住开口的一端将管子倒立着放入水银盘中，松开手水银果然向下流，但是当流到水银柱高约 30 英寸（760 毫米）时，水银不再下流了。托里拆利认识到，所谓排斥真空的力不是别的，正是空气的重量，由于空气的重量是有限的，所以能支撑的水银柱高也是有限的，而倒立着的管子里被水银空出来的那一段就是真空。托里拆利还注意到水银柱高每天略有变化，他正确地解释说，那是因为每日空气重量略有变化。这实际上使这根水银柱成了第一个气压计。

托里拆利的实验经通信传到了法国，在法国学术界引起强烈的反响。法兰西正有一位年轻人也在思考同样的问题，他就是布莱斯·帕斯卡。这位伟大的天才 1623 年生于奥弗涅的克莱蒙费朗，从小体弱多病，但智力发育超群绝伦。他只活了 39 岁，却在科学、哲学和文学上都创下了不朽的业绩。他的《致外省人信

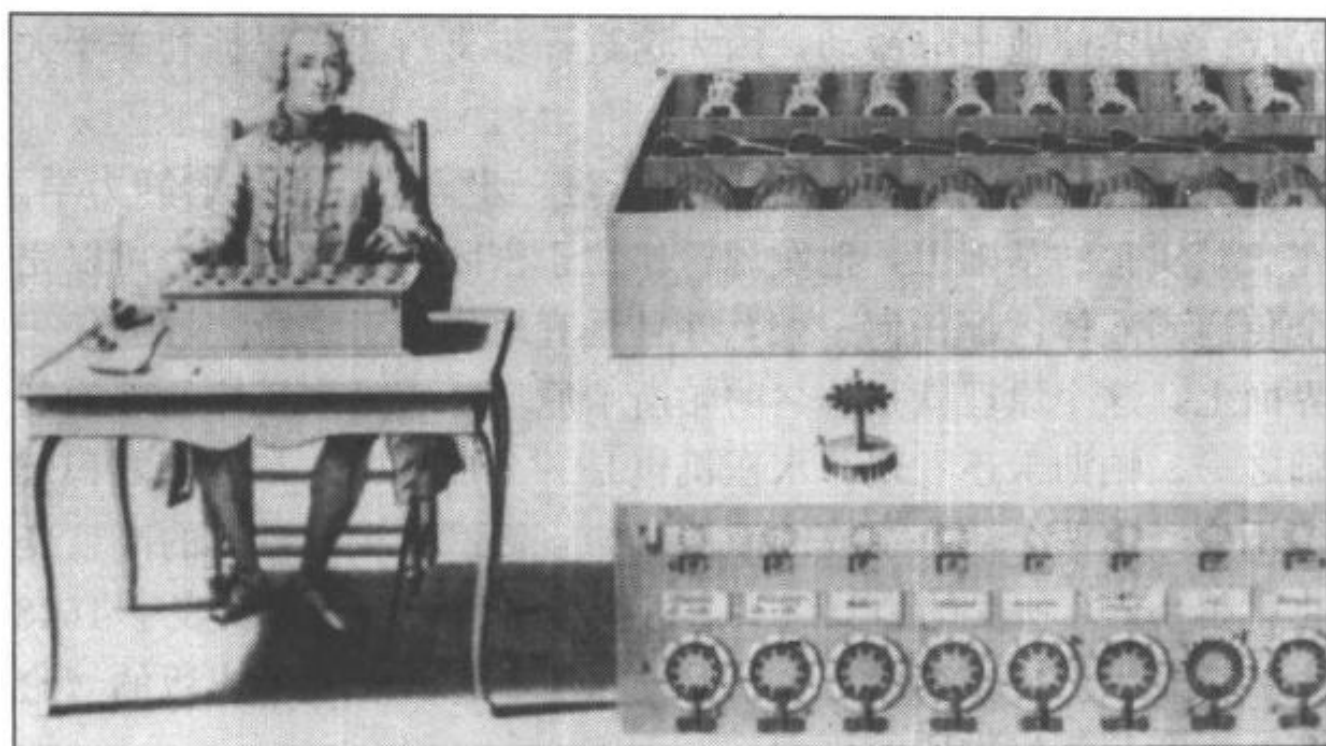


图 15-14 帕斯卡的计算机

札》和《思想录》既使他成为著名的思想家，也是法兰西文学中的杰作精品。帕斯卡从小酷爱数学，16岁出版论圆锥曲线的著作，提出了一条关于圆锥曲线内接六边形的重要性质的定理，将阿波罗尼的圆锥曲线研究向前推进一步。据说笛卡儿读到这本书后，绝不相信它出自一个16岁的孩子之手。1642年，年仅19岁的帕斯卡发明了一种可以做加减法的齿轮计算机，并取得专利。在数学上，帕斯卡还在摆线问题和概率论上做出过重要的贡献。

托里拆利实验辗转传到帕斯卡那里，使他深入思考真空问题。他相信“真空在自然界不是不可能的，自然界不是象许多人的想象那样以如此巨大的厌恶来避开真空”。他用红葡萄酒重复了托里拆利的实验，由于酒比水银比重小，他使用了一根46英尺长的玻璃管，结果得到了一段真空。帕斯卡不满足于此，他进一步想到，如果水银柱真的是被空气压力顶住的，那么在海拔较高的地方，空气压力小，水银柱高度应有变化。他自己身体太差，不能登山，他写信给他的内兄，请他带着两个水银气压计登上当地的多姆山，果然在1英里高处水银柱下降了3英寸。帕斯卡将这个实验重复了

五次，结果使他十分激动，因为这进一步支持了托里拆利关于大气压力的观点。

在空气静力学的基础上，帕斯卡进一步研究了液体的静力学。在大量实验的基础上，他发现，作用于密闭液体中的压力可以完全传递到液体内部任何一处，并且垂直地作用于它所接触的任一界面上，这个原理就是著名的帕斯卡原理，它是水压机的理论基础之一。帕斯卡还发现，水压机也是一个杠杆，力与力臂的积保持不变，由两个活塞组成的液压机中，活塞越大，液体的高度变化就越小，它所受的力就越大。这些工作载于帕斯卡发表于 1648 年的《关于液体平衡的重要实验的报告》以及他死后出版的《论液体平衡与气体物质的压力》。

几乎与意大利和法国同时，关于真空问题的研究也在德国独



图 15-15 盖里克

立地进行，它产生了著名的马德堡半球实验。实验是由盖里克(1602—1686 年)设计的，这位出身于名门望族的德国工程师，早年曾游学于荷兰、法国和英国，学习法律和数学，二三十年代的战争将他的家乡马德堡变成了废墟，1646 年他当上了该市的市长，在任 35 年。青年时代他对欧洲学界正关注的真空问题有所了解，而且产生了浓厚的兴趣，他很反感当时盛行的亚里士多德派学者的理论辩护，认为“雄辩术、优雅的语言或争论的技巧，在自然科学的领域中是没



图 15-16 盖里克的第一台空气泵



图 15-17 盖里克的第二台空气泵

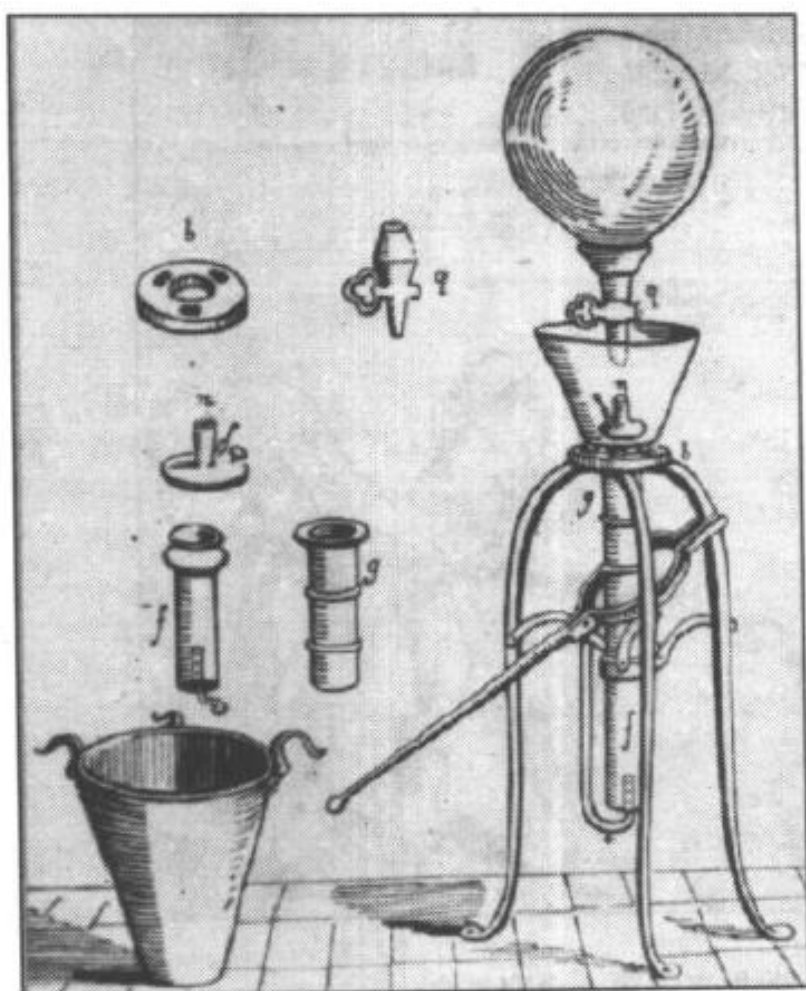


图 15-18 改进了的空气泵

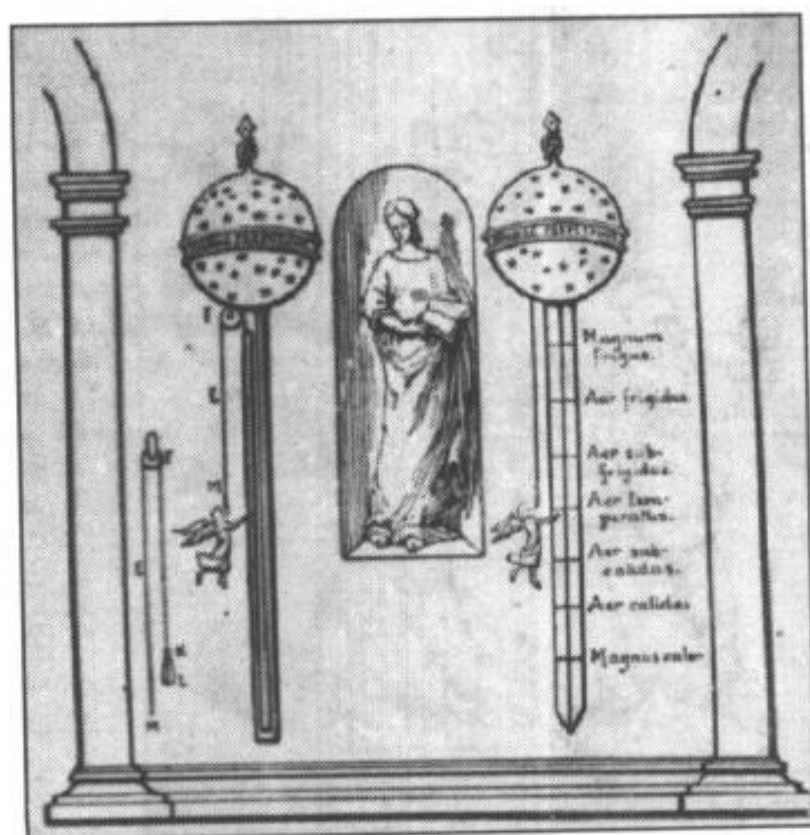


图 15-19 盖里克制造并使用的温度计

有用处的”，他决定用实验来解决这个问题。一开始，盖里克使用一个装满水的葡萄酒桶，用黄铜泵将桶内的水抽出，但桶不太严实，水抽出后，不久即有空气进入。盖里克用空心铜球代替木桶继续实验，起初抽起来比较轻松，后来活塞很难拉动了，再后来“扑”的一声巨响，铜球瘪了。盖里克又换上更结实的铜球，这一次铜球没有瘪，但抽完气后往里放气的场面十分吓人。盖里克改进了抽气机，制造了许多真空球，他发现，在真空中，火焰熄灭了，小动物不能存活，而水果却可以保鲜很长时间。运用他的抽气机，他测量了空气的重量。

1654 年，当着德皇斐迪南二世和国会议员们的面，盖里克演示了大气压力有多大。他用两个直径约 1.2 英尺的铜制半球涂上油脂对接上，再让球内

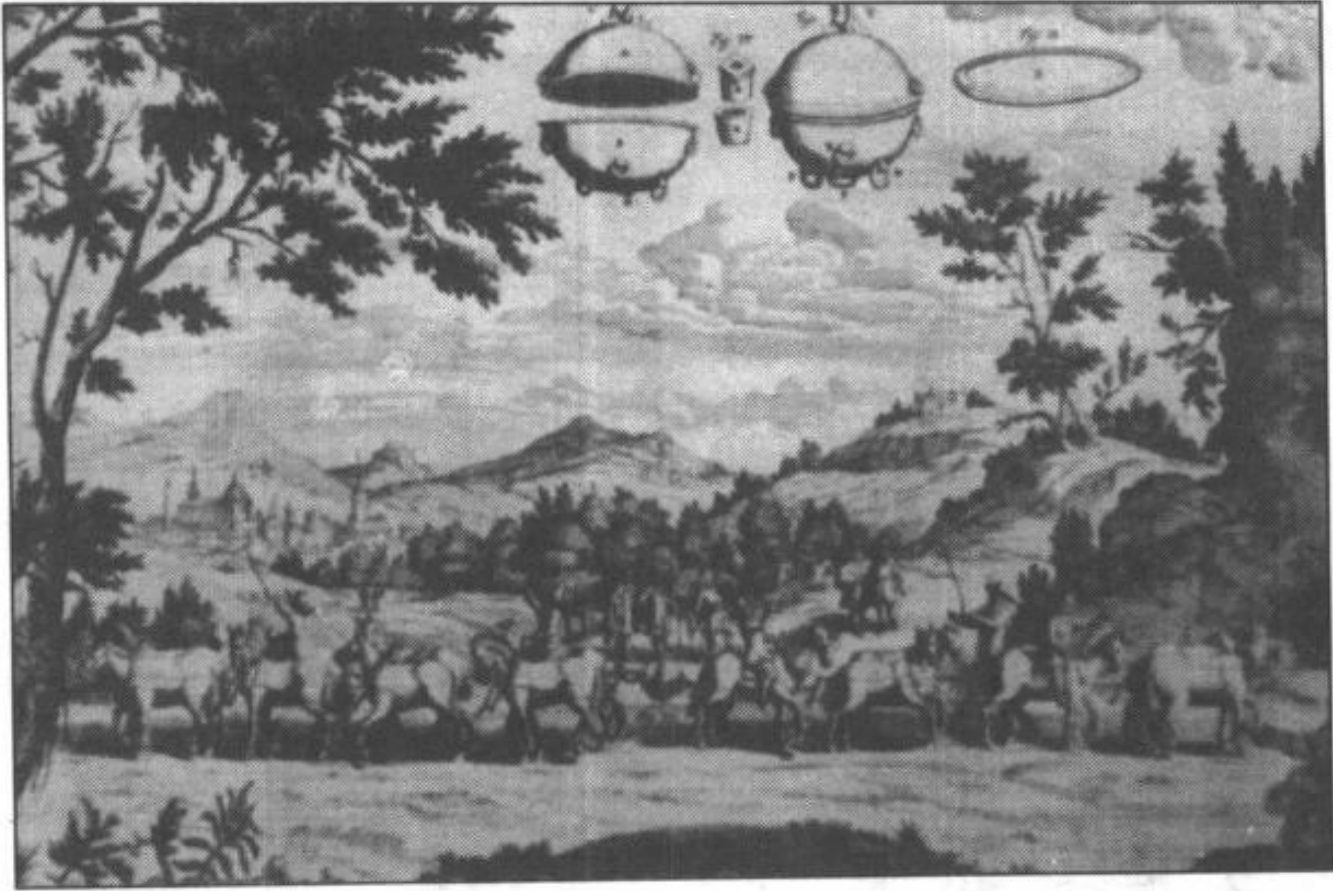


图 15-20 马德堡半球实验

抽成真空，这时让两个马队分别拉一个半球，直到用上了 16 匹马才将两个半球拉开。后人将这两个半球命名为马德堡半球，这个著名的实验使真空和大气压力的概念为世人所接受。

盖里克在电学方面也有重要的成就。他自己制造了一台摩擦起电机，它是用能在曲轴上旋转的硫磺球制成，每一次旋转都产生一些静电并贮存在硫磺球里，以致可以演示连续放电实验。运用这个仪器，他发现了静电感应现象，即一个小物体只要靠近带电物体它也会带电。此外，他还发现了同性电荷相排斥的现象。

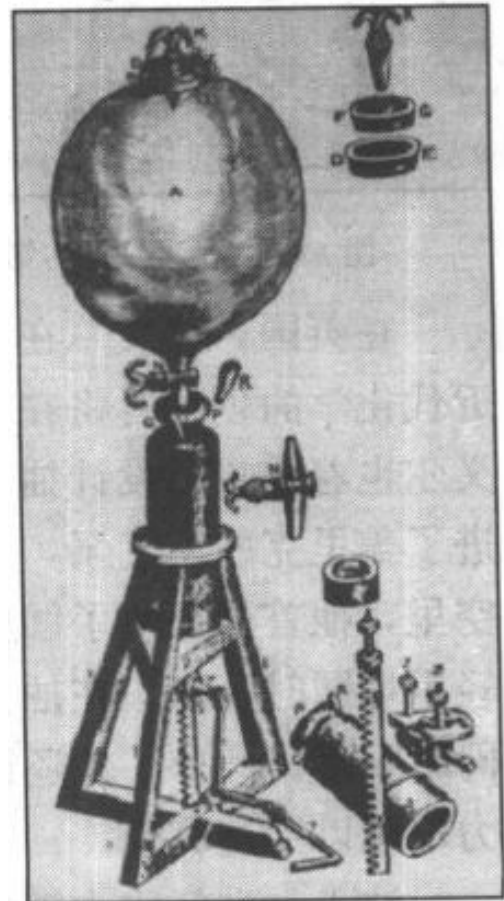


图 15-21 波义尔的第一个空气泵

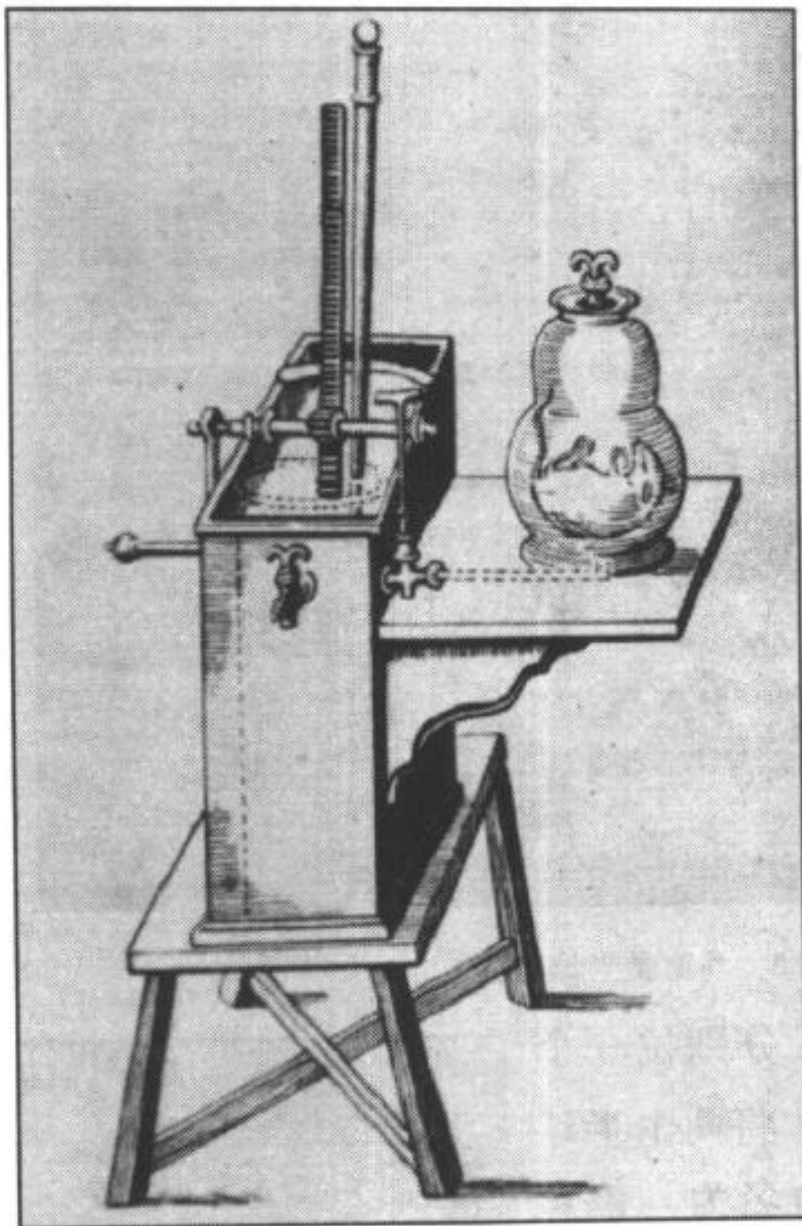
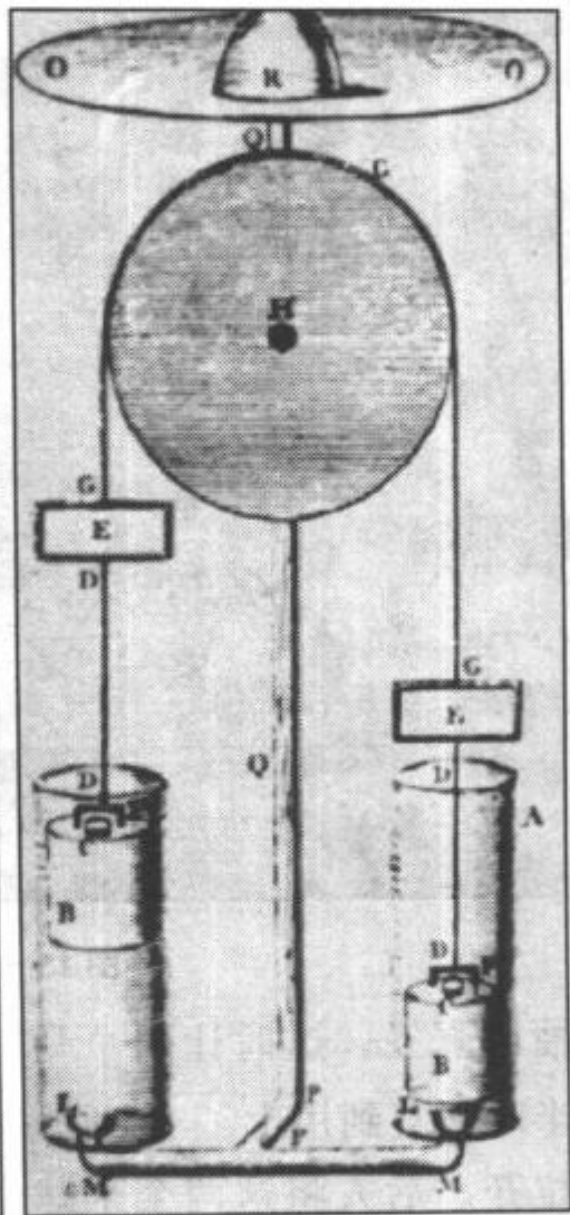


图 15-22 波义尔的第二个空气泵



15-23 波义尔的第三个空气泵

在英国，波义尔在流体力学方面作出了重要的贡献，他作为近代化学的创始者将在下章叙述。听说了盖里克的实验之后，波义尔也着手自己设计抽气机，在助手胡克的帮助下，他成功地改进了盖里克的空气泵，并获得了比较好的真空。在自己创造的真空里，他首先证明了伽里略关于落体运动的观点：一切物体不论轻重均同时下落，在抽去了空气的透明圆筒里，羽毛和铅块果然同时下落。此外，他还证实了声音在真空中不能传播，而电吸引力却可以穿透真空。

波义尔在气体力学中做出的最著名的工作是发现了所谓波义尔—马略特定律，这个定律因为在 14 年之后为法国物理学家马略

特所独立发现，故用他们两人的名字命名。中学生都知道这个定律：在压缩空气时，压强越大，空气体积越小，压强与体积成反比。波义尔发现这个定律是在1662年，当时有人对波义尔所宣扬的空气压力观点持反对态度，说支持水银柱的并不是空气压力，而是某种看不见的纤维线，这个批评意见促使波义尔进一步做实验，以表明空气的弹力比起在托里拆利实验中所表现的还要大。波义尔用了一端封闭的弯管，将水银从开口的一端倒入，使空气聚集在封闭的那一端，他不断地倒入水银，那端的空气柱只是受到了压力，体积变小，但其支持的水银柱更高了，这就表明空气在压缩时可以产生更大的压强。波义尔正是从这一实验中得出压强与体积成正比改变的。

真空问题的研究极大地促进了流体力学的发展，为下个世纪蒸汽机的出现、动力机械的广泛使用以及工业革命奠定了基础。

5. 胡克与弹性定律

罗伯特·胡克1635年生于怀特岛一个牧师的家庭，少年时体弱多病，并且因患天花而落得一脸麻子。他从小并未受过什么教育，但他聪明好学，对当时正在孕育的新物理学表现得十分有领悟力，所以波义尔在牛津一见到他就决定聘请他当自己的助手，那

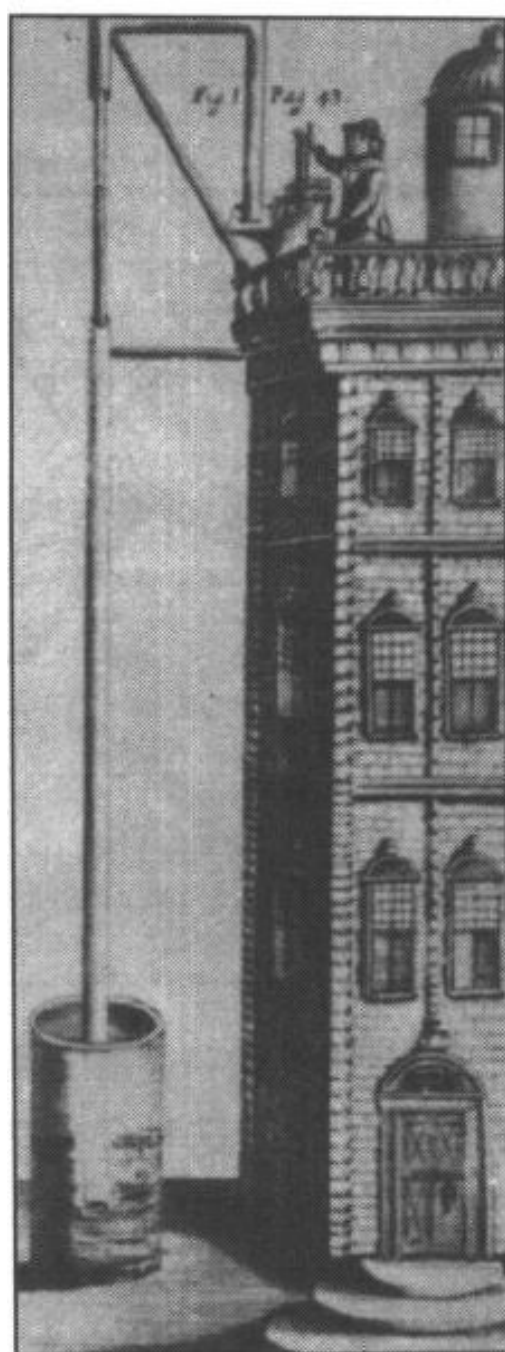


图 15-24 波义尔定律的实验

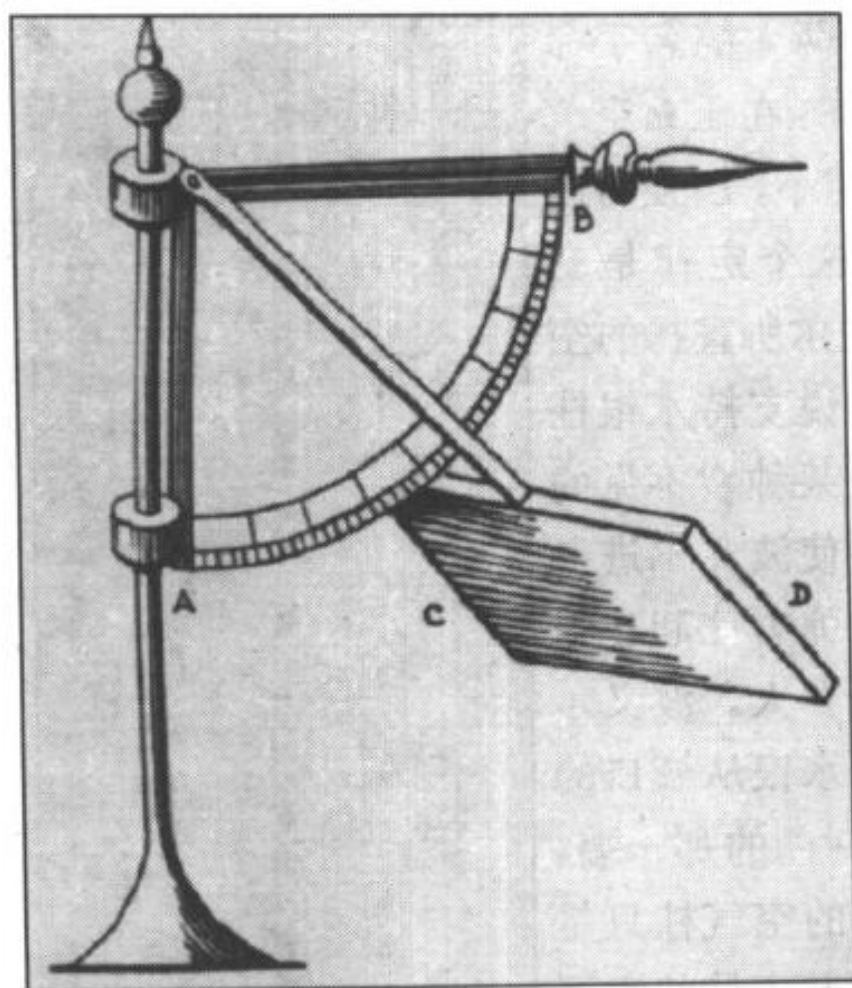


图 15-25 胡克制造的风速计

是在 1654 年。胡克心灵手巧，他帮助波义尔造出了一台精致的抽气机，自己则在物理、生物、天文学均有所发现，最著名的显微镜实验以及他的名著《显微图》将在以后叙述，但值得事先一提的是他在使用显微镜的过程中提出了光的波动学说。他的理论方面的工作往往是不完整的，只有弹性定律例外。他通过实验发现，弹簧总是倾向于回到自己的

平衡位置，这种倾向表现为一个弹性力，该力的大小与弹簧离开平衡位置的距离成正比，这就是现在众所周知的弹性定律。胡克

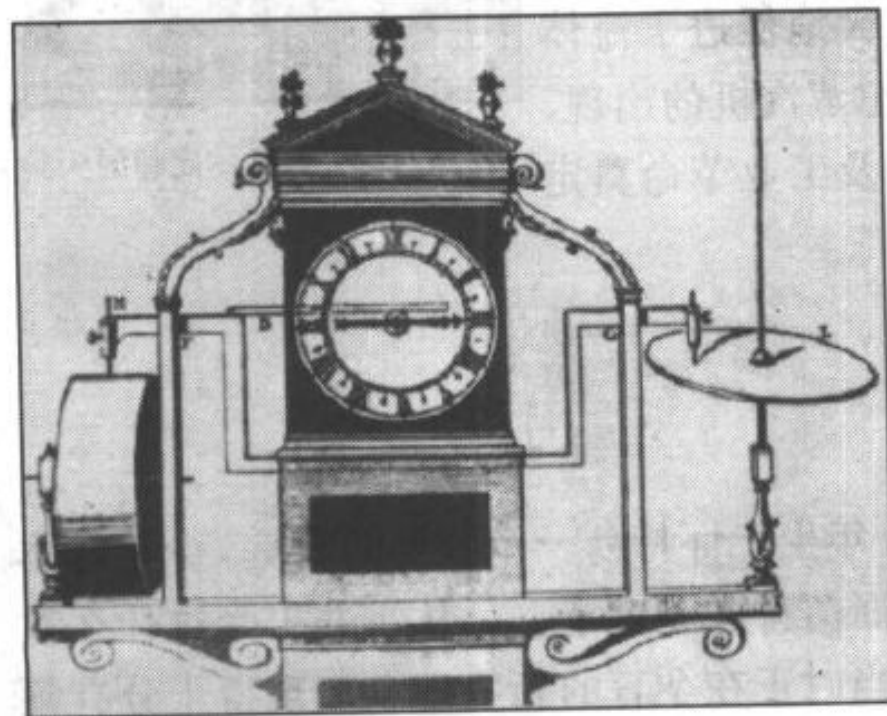
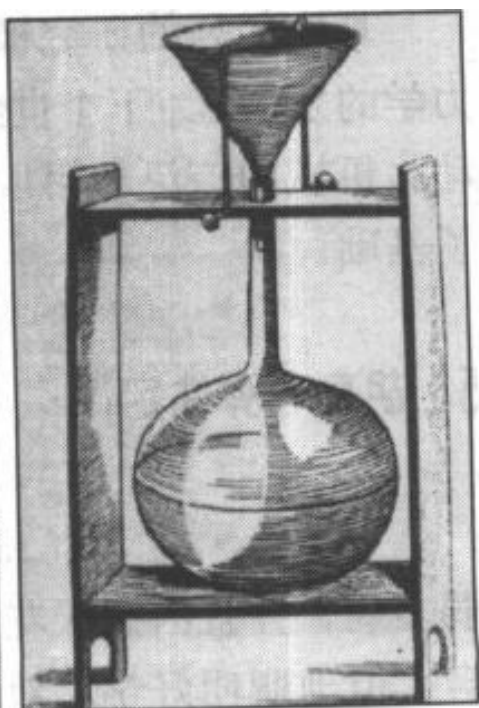


图 15-26 胡克制造的气候钟



15-27 胡克制造的雨量计

1678年公布了这项工作。此外，他还认识到，弹簧被外力拨离开平衡位置后撤除外力，则会在平衡位置附近作周期性的伸缩，伸缩的时间间隔相等。这一发现十分有意义，它为便携式钟表的制造提供

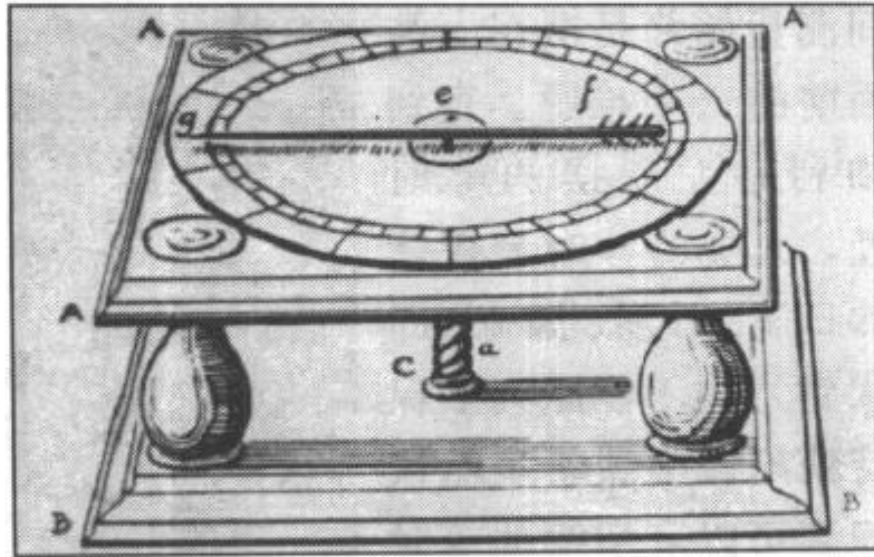


图 15-28 胡克制造的验湿器

了依据，人们可以不再用笨大的钟摆而用小弹簧作为等时装置，手表和小闹钟里的游丝就是这样的小弹簧。

6. 惠更斯：摆的研究

与牛顿同时代的另一位最伟大的物理学家当推克里斯蒂安·惠更斯。他 1629 年 4 月 14 日出生于荷兰海牙的一个政府要员之家，年轻时进莱顿大学，受过良好的教育。他在数学上有出众的天才，1657 年发表的关于概率论的著作显示了他在数学上的造诣。他在自然科学的一系列领域做出了重要的贡献。

1655 年，在其兄长康士坦丁以及著名哲学家斯宾诺莎的帮助下，惠更斯磨出了更好的透镜，并用自己新制的透镜装了一架清晰度和倍率更高的望远镜。次年，他用这架望远镜发现了猎户座星云，还发现了土星的一颗卫星，惠更斯将其命名为泰坦（希腊神话中大力神的名字），同年，他还发现了土星的光环，并且注意到光环面相对于地球轨道面倾斜，因而周期性地侧对地球，在地球上无法看清它。早在 1610 年，伽利略就曾注意到土星的这种特异现象，但当时的望远镜倍率不够，没能发现光环。

惠更斯对摆的研究是他最出色的物理学工作。多少世纪来，时

间测量始终是摆在人类面前的一个难题。直到伽利略发现摆的等时性，人类的计时装置诸如日规、沙漏、漏壶（即水钟）均不能原则上保持精确，伽利略虽然认识到可以利用摆的等时性制造时钟，而且还设计了图纸，但并未付诸实施。惠更斯继承了伽利略关于摆的研究，他发现，单摆只是近似等时，真正等时的摆动其轨迹不应是一段圆弧而

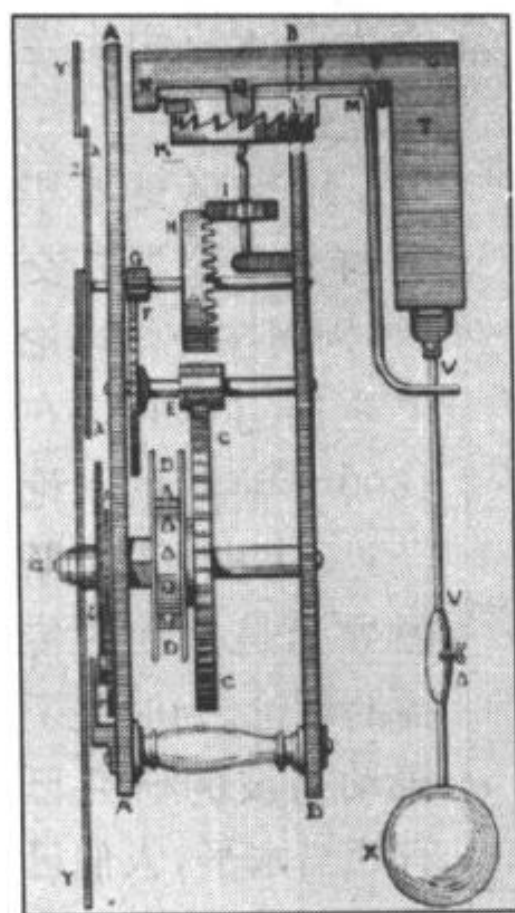


图 15-29 惠更斯

应是一段摆弧，他创造性地让悬线在两片摆线状夹板之间运动，这样的摆动就是一段摆弧。将这个发现运用于设计之中，惠更斯于 1656 年造出了人类历史上第一架摆钟。这台钟用一个下垂的重锤的重力作为驱动力，经多个齿轮传动向单摆施以周期性的、瞬时的冲力，使摆不致因空气阻力和摩擦而停止摆动，同时摆的等时运动又调节着重锤的下降和指针的运动。惠更斯将制成的第一台“有摆落地大座钟”献给了荷兰政府。这台钟的问世标志着人类进入了一个新的计时



图 15-30 惠更斯发现土星光环



时代。1657年，惠更斯取得了摆钟的专利，1658年，出版《钟表论》一书，对摆钟的结构作了说明。

1673年在巴黎出版的《摆钟论》一书，不但记述了摆钟的原理和具体设计，而且论述了惠更斯关于碰撞问题和离心力的研究成果。事实上，大约在1669年他就已提出解决碰撞问题的一个法则，即所谓“活力”守恒原理：由两个物体组成的系统中，物体质量与运动速度的平方之积被称为该物体的活力，在碰撞前后，两个物体的活力之和保持不变。惠更斯为此写出了《论碰撞引起的物体运动》

图 15-31 惠更斯制造的摆钟 一文，但该文直到1703年才出版。活力

守恒当然只是在完全弹性碰撞时才是正确的，惠更斯虽然没有明确强调这一点，但他给出的相关条件正好要求碰撞是完全弹性的。“活力”守恒法则是能量守恒原理的先驱。

大约在同一时期，惠更斯写出了“论离心力”一文，文中提出了著名的离心力公式：一个作圆周运动的物体具有飞离中心的倾向，它向中心施加的离心力与速度的平方成正比，与运动半径成反比。牛顿在14年后也独立地推出了这个公式，并很快成

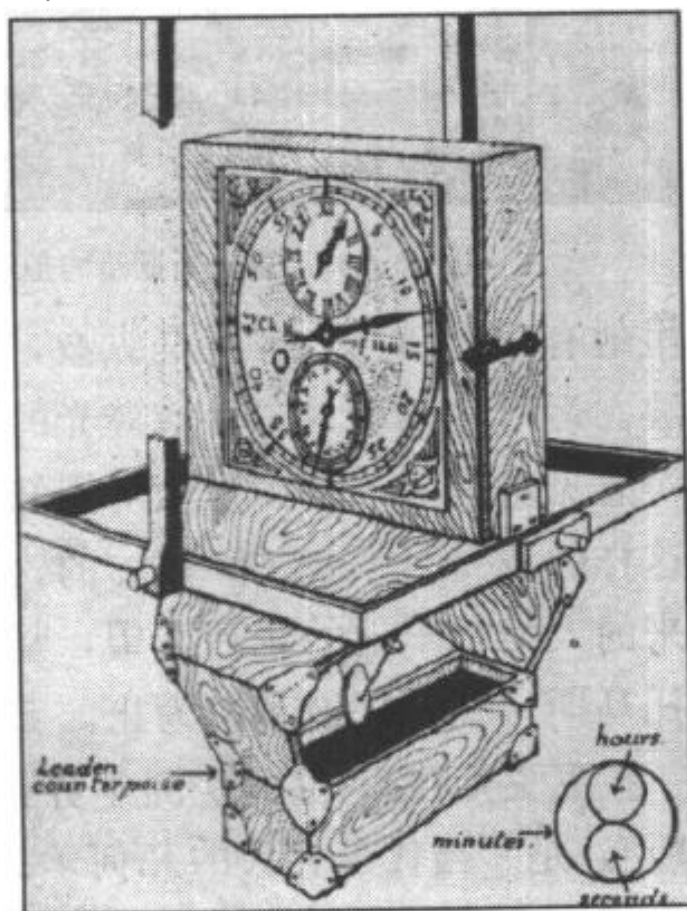


图 15-32 惠更斯制造的座钟

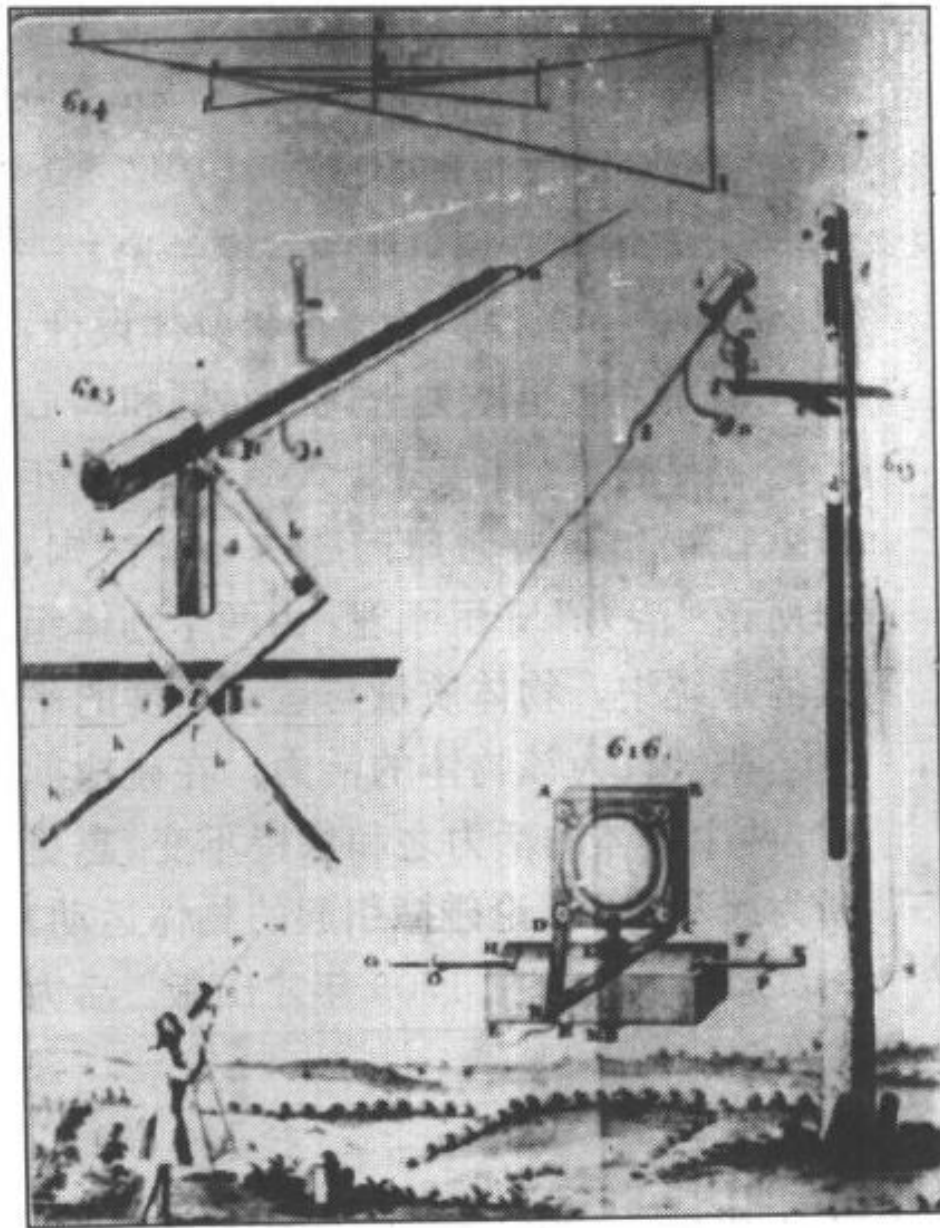


图 15-33 惠更斯制造的望远镜

为发现万有引力定律的桥梁。

由于惠更斯毕生与光学仪器打交道，因而在光学理论上也颇有建树。在 1690 年出版的《论光》一书中，惠更斯倡导光是振动的传播的理论。当时关于振动与波的研究已有相当水平，人们已经知道声音就是一种波，它通过空气这个媒介传播。惠更斯认为，光是一种通过以太介质传播的波，与声音类似，不过这

里他有一个错误，声音是纵波，但光是横波，他误以为光也是纵波。运用波动理论可以解释光的折射现象，但是像对波动说的反对意见也很强，理由是众所周知的光的直线传播现象，而像声波这样的波是可以绕过障碍物的。由于牛顿主张光是一种粒子流，后来的人们惯于他的崇高威望，坚持粒子说达一个世纪之久，直到托马斯·杨复兴波动说为止。

惠更斯生前名满欧洲学界，牛顿称他是“德高望重的惠更斯”，是“当代最伟大的几何学家”。1663 年，英国皇家学会选他为元老会员，法王路易十四重金聘请他到法国，但惠更斯是一个新教徒，在法国没呆多久就回到了故乡荷兰。1695 年 6 月 8 日，惠

更斯在海牙去世。

7. 牛顿力学的建立

从伽利略时代以来一个世纪的物理学工作，在牛顿手里得到了综合。从个人素质上讲，牛顿也许是有史以来最伟大的天才。在数学上，他发明了微积分；在天文学上，他发现了万有引力定律，开辟了天文学的新纪元；在物理学中，他系统总结了三大运动定律，创造了完整的新物理学体系；在光学中，他发现了太阳光的光谱，发明了反射式望远镜。一个人只要享有这里的任何一项成就，就足以名垂千古，而牛顿一个人做出了所有这些工作。

伊萨克·牛顿按旧历即儒略历生于1642年12月25日，这天是圣诞节，但按新历即现今通用的格里高里历生于1643年1月4日，因此，说他生于伽利略去世的那年或次年都行（英国采用新历较迟，故有此麻烦）。他是英国林肯郡伍尔索普乡村的一个遗腹子，而且早产，差一点夭亡。3岁时，母亲改嫁，将他留给了外祖父母。与伽利略年少时一样，牛顿喜欢摆弄一些机械零件，做一些小玩具，据说他做过一个以小老鼠为动力的磨坊模型，还在风车上挂着许多小灯笼，夜里看起来就像慧星一样。他特别喜欢做的是日规，以此查看时刻。在旁人眼里，他是一个性情孤僻、一心只摆弄自己那些个小器械的古怪的孩子。上小学时，他并



图 15-34 牛顿出生地

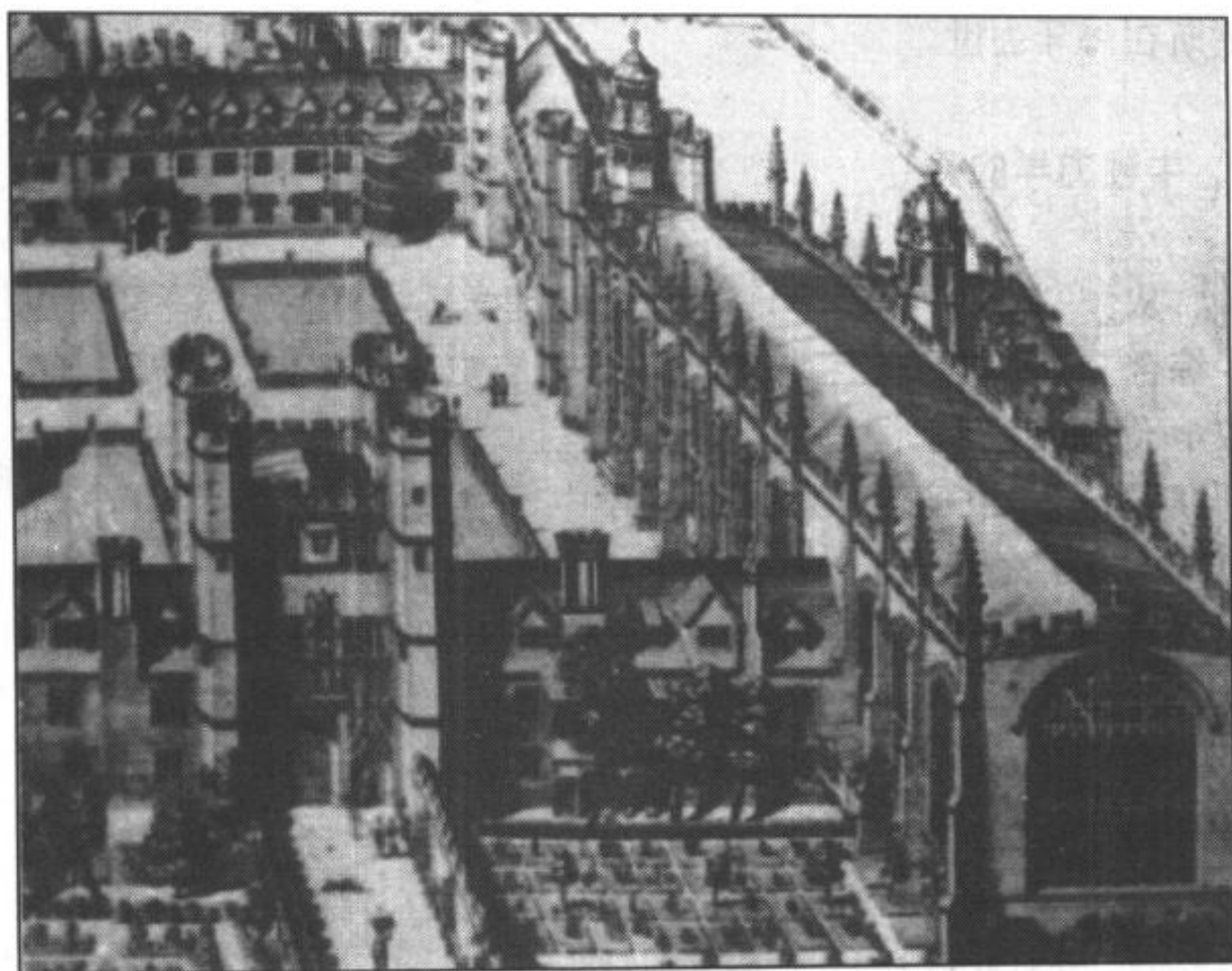


图 15-35 三一学院

不显得十分聪明，学习成绩也十分平常。12 岁时被送进格兰瑟姆的文科中学念书，在那里，他继续制作他的机械模型，而且由于寄宿在一位药剂师家里而学会了做化学实验，但终于在学习成绩方面成了一名佼佼者。

1656 年，牛顿的母亲再次成为寡妇，家里的农活需要人料理，牛顿被召回伍尔索普，帮助母亲务农。但他对农活太不在行，帮不上什么忙，只好又回到了格兰瑟姆。牛顿的舅舅注意到这位年轻人的学识不凡，极力推荐他去剑桥大学深造，于是 1661 年 6 月，牛顿以减费生的身份进入剑桥三一学院。当时的三一学院，讲授的大多还是一些古典课程。卢卡斯出资设立了一个数学教席，规定讲授自然科学知识，第一任卢卡斯数学教授是巴罗。他是一位博学的学者，正是他指导牛顿踏进了科学的大门。牛顿阅读了开

普勒的《光学》、笛卡儿的《几何学》和《哲学原理》、伽利略的《关于两大世界体系的对话》以及胡克的《显微图》等书籍，基本上掌握了当时的全部数学和光学知识。1665年初大学毕业获文学学士学位，当时伦敦正闹瘟疫，学校唯恐波及乃停课放假，牛顿于1665年6月回故乡伍尔索普躲避，在他母亲的农场里度过了两年。



图 15-36 巴 罗

1665至1666年的两年，是牛顿创造发明最为旺盛的时期。1665年初，他发明了级数近似法，并且将任何幂的

二项式化为一个级数展开，即二项式定理；同年11月，发明了正流数运算法即微分运算；1666年1月，研究颜色理论；5月着手研究反流数运算即积分运算，同年继续思考动力学和引力问题，从开普勒第三定律推出行星维持轨道运行所需要的力与它们到旋转中心的距离成平方反比关系。

1667年，牛顿回到剑桥，当选为三一学院的研究员，次年获得文学硕士学位。1669年，牛顿的数学老师巴罗辞职，举荐牛顿接替，于是年仅27岁的牛顿当上了剑桥大学的卢卡斯数学教授。

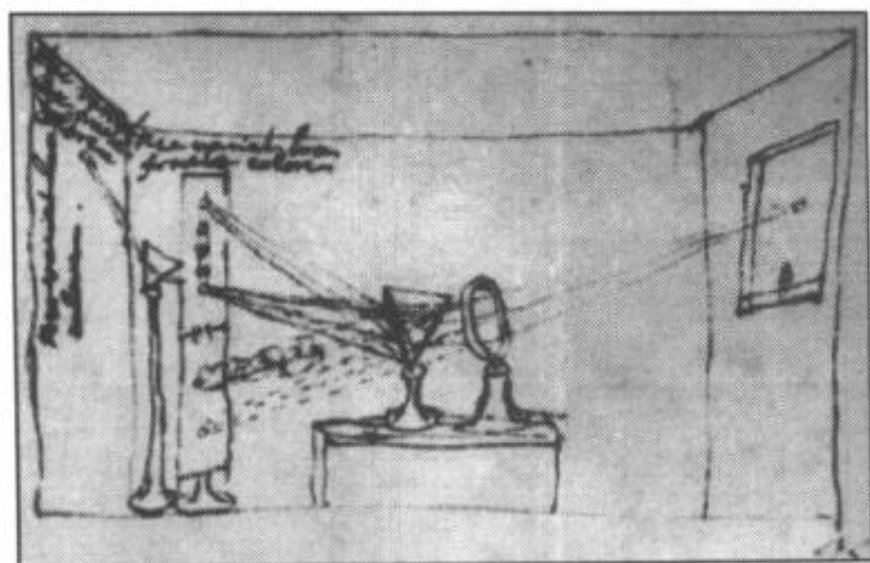


图 15-37 牛顿分光实验草图

他接着进行从前做的光学实验，发现了太阳光并非单色光，而是多种光的合成。光谱的发现使牛顿相信折射式望远镜必定会出现色差，即在透镜周围出现杂乱的彩色光轮，这促使他研究反射式望远

镜，反射镜可以成功地消除色差。1671 年，牛顿向皇家学会提交了他的反射式望远镜而被选为会员，这台望远镜筒长 6 英寸，可以放大 38 倍，而当时 2 英尺长的折射式望远镜只能放大 13 至 14 倍。1672 年，他向学会报告了他在光学方面的这些发现。胡克当时是皇家学会的会员兼实验总监，他本人有很高的实验天份，但理论素养相对差一些，他对许多问题有预见，但都未系统深入地钻下去，但他又是一个喜好争论的人，尤其喜欢同别人争优先权。牛顿的光学论文“论光与颜色”一送来就遭到胡克的批评，因为胡克不同意牛顿所持的光的粒子说。牛顿偏偏是一个对批评格外敏感的人，对胡克的批评十分不高兴，差一点因此向皇家学会辞职。此后，牛顿又相继发表了两篇光学论文。1678 年，因在光学问题上与胡克争论，牛顿深受刺激，性格内向的他不再发表文章，与学界隔绝，光学问题也被搁置一边，转而思考天文学问题。1679 年，胡克主动与牛顿通信讨论引力问题，这也促使牛顿重新研究早年的课题。

自行星运动的正圆轨道被打破后，天文学家开始关注这样的问题：行星为什么总是绕太阳作封闭曲线运动，而不是作直线运动跑离太阳呢？伽利略认识到力只是改变运动的原因而不是保持运动的原因，但他只把这一点限制在地面，对天体他还是相信正

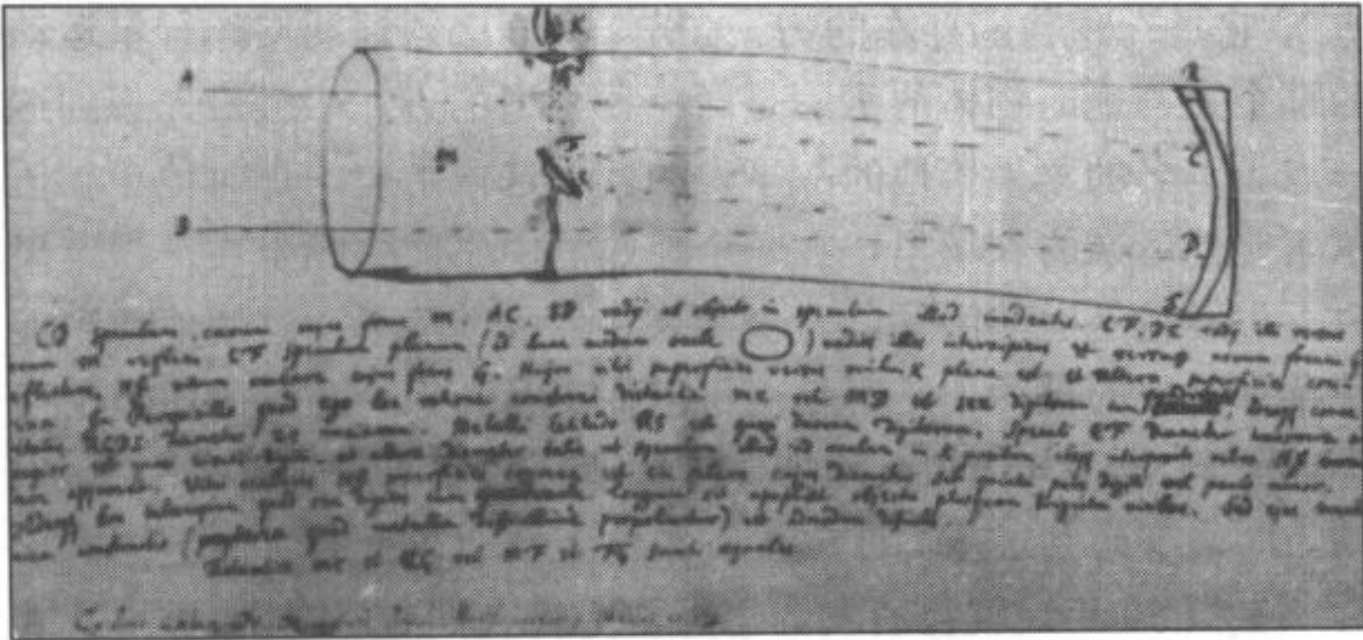


图 15-38 牛顿设计的反射式望远镜草图

圆的老观念。现在开普勒破除了正圆教条，人们开始思考支配天体运动的力的问题了。1684年1月，胡克向当时的皇家学会主席雷恩和天文学家哈雷声称，自己已经发现了天体在与距离平方反比的力作用下的轨道运行规律，但他给不出数学证明，雷恩因而决定悬赏征解。哈雷是牛顿的好朋友，他8月份专程去剑桥，请教牛顿在与距离平方反比的力作用下行星作何运动，牛顿肯定地回答说运动轨道是椭圆，并说他几年前就作过计算，但一时找不到，并答应三个月后将计算重写出来。当年11月，牛顿写出了《论运动》手稿，就行星运动轨道与按距离平方反比的作用力之关系作了透彻的数学证明。

事实上，从开普勒第三定律（行星运行周期的平方与轨道半径的立方之比是一个常数）和向心力公式，可以很容易推出向心力与半径的平方成反比。牛顿早在伍尔索普时期就得出了这一结论，到了80年代，胡克、雷恩和哈雷也都独自发现了这一关系。但他们都没能证明其逆命题：在平方反比于距离的力作用下，行星必作椭圆运动，只有牛顿给出了这一数学证明。

然而，即使确认了椭圆轨道与平方反比作用力之间的这种互推关系，也并不等于发现了万有引力。万有引力的关键在“万

有”，它是一种普遍存在的力。首先，人们必须证明支配行星运动的那个力与地面物体的重力是同一种类型的力。牛顿最先想到这一点，著名的苹果落地的故事说的就是这段历史。那时他正在伍尔索普他母亲的农场里，在一个炎热的中午，牛顿坐在一棵苹果树下思考行星运动问题，一个苹果在他眼前落下，这使他想到促使苹果落地的重力，是不是也可以促使月亮保持在它的轨道上而不掉下来。这个故事当时就传开了，真假已不可考。重要的是，牛顿当时确实想到过重力既支配苹果的下落也支配月亮的旋转。

牛顿 60 年代就已萌发的思想，为何直到 80 年代才重提，其间悬置了二十多年？从前比较盛行的一种说法是，牛顿当时未能获得准确的地球半径值，使计算的结果相差甚大，以致不得不放弃这个想法达二十年。后来的科学史家从牛顿的手稿中发现，当时的计算结果基本符合，排除了这种解释。事实上，牛顿面临的一个主要困难是，他不能肯定是否应该由地心开始计算月地距离，因为这牵涉到地球对月亮的引力是否正像它的全部质量都集中在中心点上那样，虽然在距离比较大的情况下，他这样作不会引起太大的误差，但对谨慎过人的牛顿而言，这一点足以使他放弃这种本来十分卓越的思想。

1685 年初，情况出现了转机，牛顿运用他自己发明的微积分证明了，地球吸引外部物体时，恰像全部的质量集中在球心一样。这个困难一旦解决，“宇宙的全部奥秘就展现在他的面前了”。在哈雷的鼓励下，牛顿全力投入写作一本著作，系统总结他关于动力学和引力问题的研究。花了不到 18 个月的时间，科学史上最伟大的一部著作《自然哲学的数学原理》（人们简称《原理》）于 1686 年完成。皇家学会当时资金不足，不能资助出版此书，哈雷便决定自己出资出版这部著作。不料出版过程中又出差错，胡克声称自己是平方反比定律的第一位发现者，而且牛顿的一系列研究工作都是由他发起的。这倒也不全是无理取闹，所以牛顿在书中插

入了一个声明，说胡克也是平方反比定律的独立发现者。这样，《原理》于1687年7月以拉丁文初版问世。

《原理》共分三篇。之前是极为重要的导论性部分，它包括“定义和注释”以及“运动的基本定理或定律”，八个定义分别是：“物质的量”、“运动的量”、“固有的力”、“外加的力”以及“向心力”（后四个定义），注释中给出了绝对时间、绝对空间、绝对运动和绝对静止的概念，并且为绝对运动提出了著名的“水桶实验”。在“运动的基本定理或定律”部分，牛顿给出了著名的运动三定律，以及力的合成和分解法则、运动迭加性原理、动量守恒原理、伽利略相对性原理等。这一部分是牛顿对前人工作的一种空前的系统化，也是牛顿力学的概念框架。

第一篇运用前面确立的基本定律研究引力问题。共十四章，第一章给出了无穷小算法的要点；第二章讨论向心力，并由开普勒第三定律和惠更斯向心力定律推出了引力的平方反比关系，第三章由平方反比的向心力推出受力作用的物体必作圆锥曲线运动；第四、五、六三章继续讨论圆锥曲线轨道的几何学问题；第七章论物体的直线上升和下降，扩充了伽利略的落体运动定律，并提出了“活力定律”；第八章“论物体受向心力的推动而运动时，求其轨道的方法”，第九章讨论物体运动轨道发生旋转时的运动情况；第十章研究摆的运动；第十一章正式提出引力的大小与物体质量成正比，第十二章证明了球形物体对球外质点的作用等效于球的全部质量集中于球心对该质点的作用；第十三章“论非球形物体的吸引力”；第十四章试图用刚建立的力学解释光的折射和反射问题。

第二篇讨论物体在介质中的运动。在这篇的结尾，牛顿批评了当时广泛流行的笛卡儿的宇宙旋涡假说，认为行星在旋涡中的运动不可能符合开普勒定律。

第三篇冠以总题目“论宇宙体系”，是牛顿力学在天文学中的

具体应用。该篇共五章，分别是：“论宇宙体系的原因”、“论月亮”、“论潮汐”、“论岁差”、“论彗星”，是天体力学的开篇之作。该篇的开始是一节“哲学中的推理法则”，讲述了牛顿所主张的科学方法论。第二篇之后是“总释”，对许多未知的问题作了有意思的推测。

《原理》的出版立即使牛顿声名大振，惠更斯读完该书之后专程去英国会见作者。《原理》开辟了一个全新的宇宙体系，是那樣的明澈和有條理，使守旧分子毫无抵挡的勇气和能力；说它开创了理性时代也不过份，正是从这里，人类思想获得了可以用理性解决面临的所有问题的自信。英国著名诗人波普有一首赞美牛顿的名诗，诗中写道：“大自然和它的规律/隐藏在黑暗之中/上帝说：让牛顿去吧/一切便灿然明朗”。

《原理》出版后，也许是太过劳累的缘故，牛顿不再考虑力学问题。朋友们拉他参与社会活动，1689年，牛顿代表剑桥大学当选为国会议员。据说，他从不发言，有一次他站了起来，议会厅里顿时静了下来，人们等待着这位伟人发言，可他只说了一句应把窗户关起来就又坐了下来。1690年，国会解散，牛顿又回到了剑桥，开始研究《圣经》。1695年，他被任命为造币厂督办，1699年被任命为造币厂厂长，在任期间，他运用他的冶金知识为英国铸造了成色十足的货币。

1701年，牛顿辞去了三一学院的教职，1703年当选为皇家学会主席，以后每年都连选连任，直到去世。1704年，他出版了《光学》一书，总结了他从前在光学方面的研究成果。与《原理》不同，该书是用英文写的，全书分三篇，第一篇记载了有关光谱的一些实验，第二篇讨论薄膜的颜色，第三篇讨论衍射现象和双折射现象。

牛顿的晚年为造币局的公务所繁，但其数学能力并未衰退，有两个故事证明这一点。第一次是1696年，瑞士数学家伯努利出了

两个问题，向欧洲数学家挑战，牛顿知道后，当天晚上就解决了，第二天匿名寄去了答案，伯努利一眼就看出是牛顿的手笔，叫道：“我一眼就认出了狮子的利爪”。再一次是1716年，牛顿已经75岁了，莱布尼兹出题刁难他，他一个下午就将题做出来了。

1727年3月20日凌晨一点多，牛顿在睡梦中安然长眠，终年85岁。他被安葬在威斯特明斯特教堂，那是安葬英国英雄们的地方。法国著名哲学家伏尔泰当时正在英国访问，他目睹了牛顿的葬礼，十分感叹牛顿所获得的殊荣。

牛顿生前有两句名言，第一句是：“如果我比别人看得远些，那是因为我站在巨人们的肩上。”第二句是：“我不知道世人怎么看，但在我自己看来，我只不过是一个在海滨玩耍的小孩，不时地为比别人找到一块更光滑、更美丽的卵石和贝壳而感到高兴，而在我面前的真理的海洋，却完全是个谜。”从这两句名言中，可以窥见他多么博大深邃的精神境界。



图 15-39 1730 年落成的牛顿纪念馆

第十六章

从炼金术到化学

炼金术的实用化导致了医药化学和矿物学的发展，而实用化学知识的增长最终促成了化学作为一门理论科学的诞生。帕拉塞尔苏斯、阿格里科拉、赫尔蒙特、波义尔是从炼金术向化学转化过程中的重要人物。

1. 帕拉塞尔苏斯：医药化学的创始者

文艺复兴时期，炼金术分成三个走向，一是继续传统的点石成金术，再是将炼金术知识用于医药方面，形成了所谓的医药化学运动，三是将炼金术知识用于矿物冶炼方面，形成了早期的矿物学。帕拉塞尔苏斯是医药化学运动的始祖。

帕拉塞尔苏斯原名特奥弗拉斯特斯·博姆巴斯特·冯·荷恩海姆，1493年5月1日生于瑞士，父亲是移居瑞士的德国医生，因此荷恩海姆从小学到了许多医学和化学知识。1510年，他进入巴

塞尔大学学习，后周游欧洲各国，在意大利的费拉拉城取得了医学博士学位，在奥地利的矿区研究矿石。1527年，他被任命为巴塞尔大学的医学教授，他不用当时课堂上流行的拉丁文而用德文讲课，结果引起非议。荷恩海姆自负而又傲慢，对从前的医生批评十分尖刻，他自称帕拉塞尔苏斯，意思是超过“塞尔苏



图 16-1 寻找哲人之石的炼金家发现磷时，昏暗的实验室突然被奇怪的光辉所照亮

斯”，后者是罗马时代一位著名的医生。据说，帕拉塞尔苏斯十分看不上当时被人们奉为权威的古代医生盖仑，有一次上课时，他把盖仑的著作连同硫黄和硝石一起放在黄铜盘子里烧了。这些过火的举动引起了学校当局的不满，结果在受聘任教的次年便被解聘。由于在巴塞尔还得罪了其他人，帕拉塞尔苏斯不得不离开了该城。以后一直在德奥等地流浪行医，1541年9月24日在奥地利的萨尔茨堡去世。由于生前树敌太多，他的著作直到逝世二十年后才得以问世。这些学说一出版，立即赢得了广大的追随者。

帕拉塞尔苏斯基本上还是炼金术的信奉者，例如他相信可以从矿物中提取到使人长生不老之药，他也相信可以将贱金属炼为贵金属，但他大大扩展了炼金术的概念，使其包括一切化学过程。他将炼金术定义为“将不纯净物质变为纯净物质的技艺”，而且他主张炼金术的主要目的在于制取满足人们需要的东西，特别是用于医疗事业。

帕拉塞尔苏斯在医学上的主要贡献是引进了矿物质作为药物。从前人们主要用植物作药，用无机矿物质治病是一大创举。为了制药，帕拉塞尔苏斯系统考察了许多金属的化学反应过程，并总结了标准反应的一般特征，这在化学发展史上具有重要的意义，



图 16-2 帕拉塞尔苏斯

它启发后人通过实验发现物质的化学性质，再由其化学性质进行分类。

帕拉塞尔苏斯不反对亚里士多德的四元素说，但认为在人的身体里起作用的实际上是如下三要素：硫、汞和盐，硫是代表颜色和可燃性的元素，汞是代表流动性的元素，盐则是代表坚固性的元素，它们分

别是人体的精神、灵魂和身体。三要素说实际上是关于物质三态（气、液、固）的一种形象说法。据说，帕拉塞尔苏斯第一个发现了锌，称它是“劣等金属”，给酒精正式命名的也是他。

2. 阿格里科拉：近代矿物学之父

阿格里科拉本名乔治·鲍尔，阿格里科拉是鲍尔的拉丁化，都是“农民”的意思。他1494年出生于德国的萨克森，1518年毕业于莱比锡大学，随后在意大利弗拉拉大学学医。受他的同代人帕拉塞尔苏斯影响，他也对矿物发生了兴趣。以后，利用在矿区行医的机会，他系统考察了采矿、冶金业，写出了著名的《论金属》，该书于1556年出版，这时他去世已经一年了。书中总结了当时采矿工人的实践知识，记述了当时已知的采矿和冶金方法。书中配有精致的插图，因此极受欢迎。阿格里科拉也因此赢得了近代矿物学之父的美称。



3. 赫尔蒙特

约翰·巴普蒂斯塔·冯·赫尔蒙特1577年生于比利时布鲁塞尔一个古老的贵

图 16-3 阿格里科拉



图 16-4 赫尔蒙特

族家庭，青年时代曾在卢汶大学学习古典著作，1594 年离开那里去欧洲旅行，并学习医学，1609 年在卢汶取得医学博士学位。此后毕生呆在家里做化学实验，他自称“火术哲学家”，也以人家称他为化学家而自豪。在定量实验方面，他是那个时代最伟大的人，波义尔每每提到他，总是赞不绝口。也许，他称得上是从炼金术向化学过渡时期最重要的人物。

赫尔蒙特是一个帕拉塞尔苏斯派的学者，但在理论上重大突破。他既不同意

亚里士多德的四元素说，也不同意帕拉塞尔苏斯的三要素说。在他看来，火和土都不是物质的基本成分，火根本没有物质的外形，而土可由水生成；气成分虽然是一种元素，但不能变成其它形式的物质，所以也不是基本组成。只有水才是所有化学物质的基础，“事实上，一切盐、粘土，实际上一切有形物体实质上都只是水的产物，而且都可以再由自然界或者人工还原为水”。为了论证“万物源于水”这个最古老的哲学命题，赫尔蒙特设计并动手做了许多实验，其中最著名的是“柳树实验”。

赫尔蒙特用一个瓦盆盛上干燥的土 200 磅，然后用水浇湿，种上 5 磅重的柳树干。五年后，柳树干长成了 169 磅 3 盎司多的大树，重新将瓦盆里的土加以干燥，发现原来的土只减少了 3 盎司。这样一来，新长出的 164 磅重的木头、树皮、树根只能是由水产

生的。

赫尔蒙特的另一个重要贡献是提出了“气体”概念。从前的人们只知道“空气”，因此说到气时指的都是空气。但赫尔蒙特认识到有许多种不同的气体。例如，动物排泄物发酵得到的是肥气，它可以燃烧，木头燃烧得到的是野气，它可以使火焰熄灭。实际上，他所谓的野气就是二氧化碳，但他没有能认识到这一点。他用帕拉塞尔苏斯用来称呼“空气”的希腊词 Chaos（混沌），造出了一个新词“气体”（gas）。

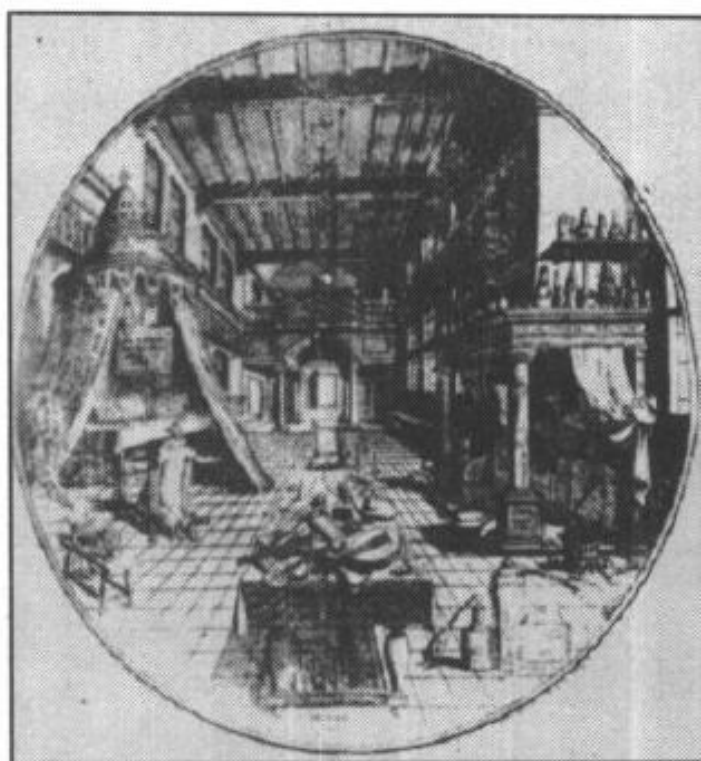


图 16-5 17 世纪的化学实验室

赫尔蒙特死于 1644 年，四年后，他的著作《医学精要》由他的儿子编辑出版。他在化学领域开创了新的定量实验精神。

赫尔蒙特死于 1644 年，四年后，他的著作《医学精要》由他的儿子编辑出版。他在化学领域开创了新的定量实验精神。

4. 波义尔：近代化学的诞生

罗伯特·波义尔 1627 年 1 月 25 日生于爱尔兰的伍特福德利斯莫尔城堡，他是一位贵族的后代，也是一位神童。8 岁时进入英国的贵族学校伊顿公学，据说当时他就已经会希腊文和拉丁文了。11 岁随同家庭教师周游欧洲，读到了伽利略和笛卡儿的著作。1644 年回国，父亲已经去世，给他留下了一份遗产。1654 年，波义尔移居牛津，在那里结识了胡克并收为助手，关于压缩空气的实验就是在这段时间做的。1668 年，波义尔移居伦敦，在那里建立了一家私人实验室，埋头从事化学实验，写出了许多实验报告和理论著作。1691 年在伦敦去世。

波义尔最重要的化学著作是 1661 年出版的《怀疑的化学家》，正是此书标志着近代化学从炼金术中脱胎而出。自帕拉塞尔苏斯以来的医药化学家们，虽然在物质分类和定量实验方面做了许多工作，但他们的工作依然是为着实用的目的。从波义尔开始，化学被看成一门理论科学，它不只是制造贵重金属或有用药物的经验技艺，而是自然哲学的一个分支，主要从事对物质现象的理论解释。确立这样的化学概念，是波义尔的第一个重要贡献。

他对旧的元素概念的清除是对近代化学的第二个贡献。波义



图 16-6 波义尔

尔既反对亚里士多德的四元素说，也反对帕拉塞尔苏斯的三要素说，在他看来，万物由不多几种元素组成的思想是不可靠的，这就好像读一本密码书只认识里头的几个字，这样的破译是不可能的。他认为，任何物体都不是真正的元素或要素，因为它们都处于化合状态，而元素是指“某些原初的和单纯的即丝毫没混合过的物体，这些物体不是由任何其他物体组成，也不是相互组成，而是作为配料，一切所谓的完全混和物体都直接由它们

化合而成，最终也分解成它们”。在确立了科学的元素概念之后，波义尔接着说，化学家的任务并不是思辨地考虑自然界是由多少种元素化合而成的，而应在实验中考察自然界是如何被化合出来的。他自己做了不少实验，证明四元素或三要素都是不够的，过去人们往往用同一个名称指许多种其实不同的物质，例如，植物盐和动物盐在晶体形状上并不相同，而且前者为固体后者易于挥发。

对火在化学分解中的作用所作的澄清，是波义尔对近代化学的第三个贡献。炼金术传统一直认为，火是万能的化学分析工具，所有的元素都预先混合在物质之中，火可以将它们分离开来。波义尔认识到“混合”与“化合”的不同，他把“混和”叫做“机械混和”，把“化合”叫做“完全混和”。在所谓混合物中，每个组分均保持自己的特性，能够相互分开，而化合物中的每个组分不再保有自己的特性。自然界的物质是由元素化合而成，不可能进行简单的分离。火可以分离许多混和物，但并不能分离一切混和物，玻璃就不能用火来分解，而我们知道它是由盐和土所组成。有些经火分离出来的物质也不一定是元素，而是另一种化合物。此外，火的作用是多种多样的，以燃烧或蒸馏的形式出现其效果是不一样的。火不能分解的物质可以通过别的方式加以分解。

对燃烧问题的研究是波义尔对化学的第四个贡献。由于他在胡克的帮助下造出了抽气机，这使得他有可能在真空中做燃烧实验。在发表于1673年的“关于火焰与空气的关系的新实验”一文中，波义尔叙述了在真空中硫磺燃烧的过程。他注意到，在没有空气的情况下，带有硫磺的纸卷只冒烟不着火，而一放进空气，纸卷马上着出蓝色的火焰。这个实验使他意识到空气对于燃烧的必要性。另一个实验使得他接近于发现氧，这是在一个未完全抽空的容器里，油仍然十分足够的灯不久就灭了，这表明，只有某一部分空气才是燃烧所必需的。波义尔还认识到，像灯火一样，动

物的生命也依靠空气中的某一部分来维持，但他还没有大胆地想到，维持灯火的那一部分空气恰恰就是维持动物生命的那一部分空气。

1664 年，胡克用压缩空气做实验表明，灯或者动物在高压空气中持续或存活的时间比在普通空气中更长，这就意味着它们所需要的是同一部分空气。胡克称这部分空气为“亚硝气”。对氧的认识标志着化学发展的水平，直到拉瓦锡时代，化学才变得真正成熟起来。

第十七章

近代生命科学的肇始

生物学是一个有着庞大分支的学科群，在古代，它的植物学和动物学部分从属于博物学，它的生理学部分从属于医学。希腊罗马时代，博物学有着伟大的成就，亚里士多德及其学生塞奥弗拉斯特、老普林尼等都是著名的博物学家，他们的著作记载了他们所知道的全部有机生命世界。基督教中世纪不关心大自然中多姿多彩的生命，对博物学无任何贡献，只是在古典文献得到了广泛传播后的文艺复兴时期，博物学才又得到了进一步的发展。作为近代生命科学之特征学科的不是博物学，因为近代博物学与古代相比，只是所积累的物种知识有了量的增加，并无质的差别。相反，受当时新兴的机械论传统影响之下的生理学，代表了近代生命科学新的发展方向。

1. 维萨留斯的《人体结构》

对人体的透彻了解是正确治病的前提，了解身体结构的学科是解剖学。但由于宗教上的原因，人体解剖工作长期受到阻挠。中世纪晚期，古代学术文献大量地发掘出来，盖仑关于人体生理构造的学说得到了教会的认可，并成为学术界的权威。但盖仑的人体学说主要基于对动物的解剖，因而存在许多错误，纠正盖仑的错误只有通过亲自动手解剖人体。

安德烈·维萨留斯 1514 年 12 月 31 日生于比利时布鲁塞尔



图 17-1 维萨留斯

的一个医生世家，他的曾祖父、祖父和父亲都曾 是宫廷御医。1533 年，维萨留斯进入巴黎大学医学院学习。当时的巴黎大学里，盛行着本本主义、教条主义，一切知识都只从古代学术权威的著作中寻找，不实地考察，不亲自动手实验。在解剖学的课堂上，教授们只重复盖仑的观点，有时候让屠夫或理发师作解剖动物的演示，自己则从不屑于动手操作。维萨留斯对这种学风十分不满，在系统学习盖仑的学说的

同时，自己偷着进行人体解剖。据说他发掘过无主墓地，夜间到绞刑架下偷过尸体，但正是在这些艰苦和冒险的活动中，他掌握了丰富的人体解剖学知识，也发现了盖仑学说中的诸多错误。

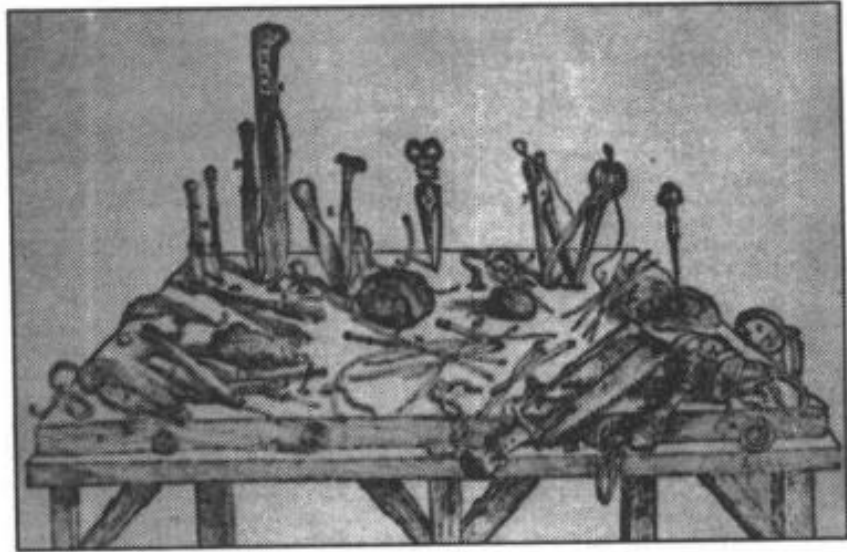
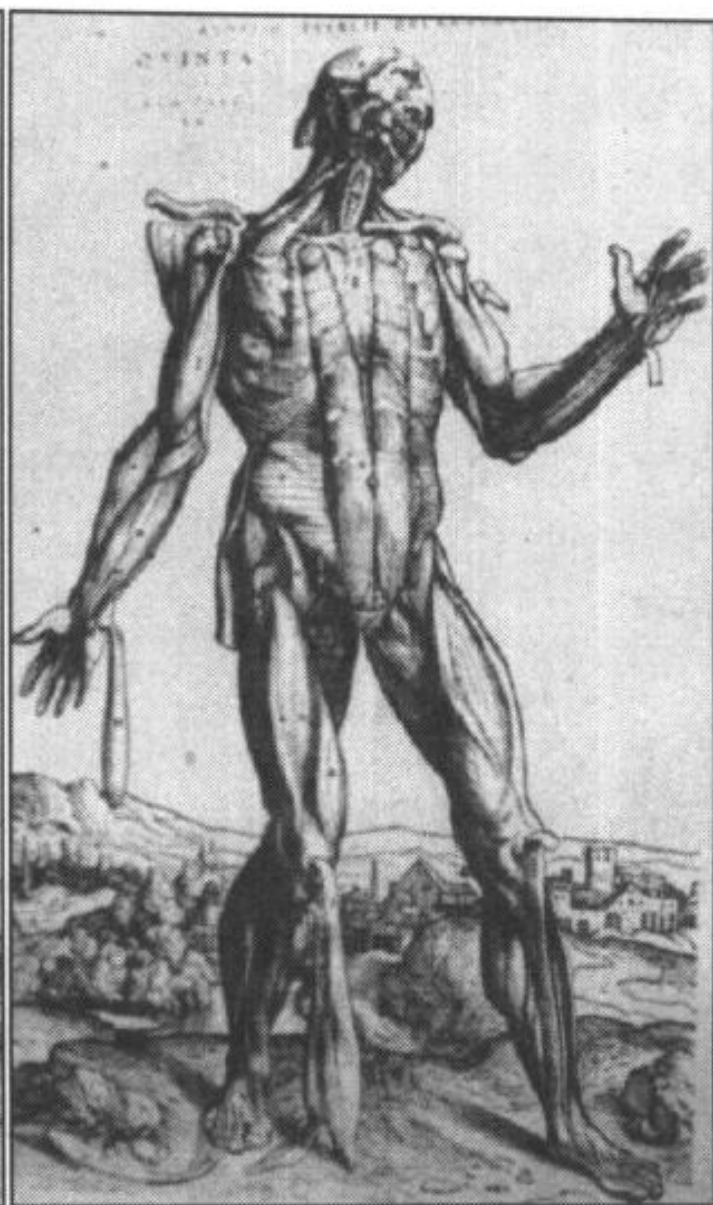
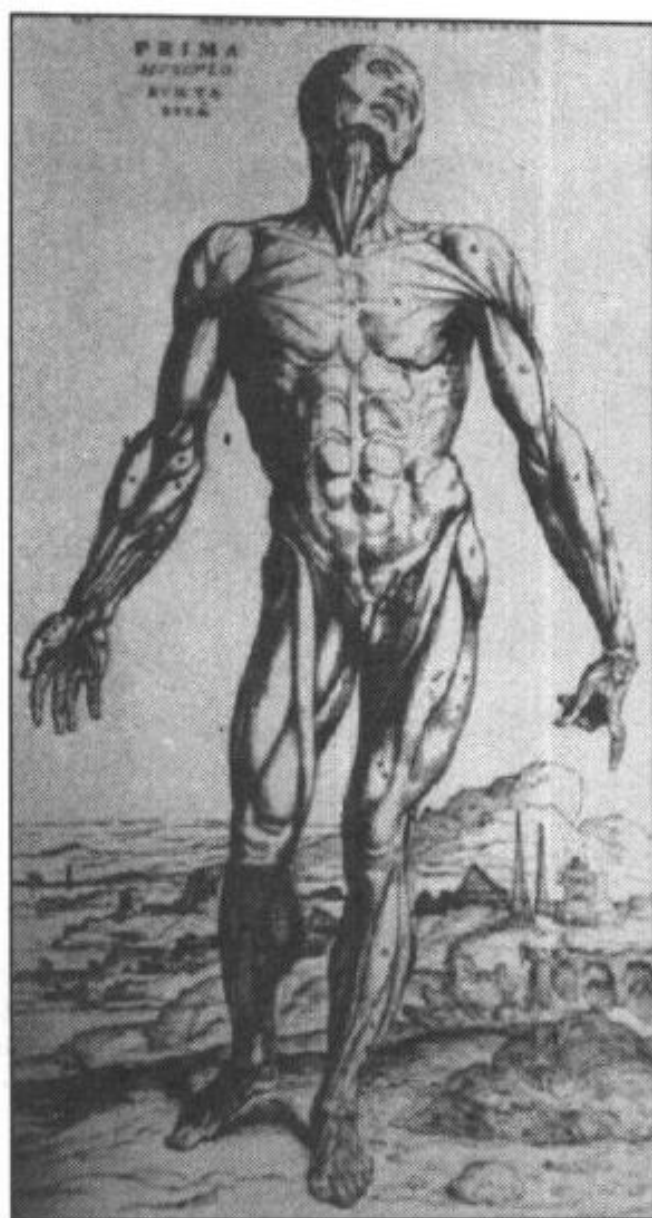


图 17-2 维萨留斯使用的解剖工具

由于在课堂上与教授们就盖仑学说的对错发生了争执，巴黎大学医学院在 1537 年维萨留斯毕业时没有授予他学位。但意大利的帕多瓦大学了解到维萨留斯在解剖学方面的独到工作，破例授予他医学博士学位，并聘请他为解剖学教授。同年，维萨留斯来到了帕多瓦大学任教。他打破了解剖学教授只动口不动手的教学风气，亲自为学生示范解剖过程，向学生展示人体的每一个部分、每一个器官，他依然使用盖仑的著作作为教科书，但在盖仑不对的地方，他都毫不含糊地指出来。据说，他的讲课十分受欢迎。

1543 年，也就是哥白尼出版《论天球的旋转》的这一年，维萨留斯出版了他的伟大著作《论人体构造》，系统阐述了他多年来的解剖学实践和研究。该书分为七卷，依次论述骨骼系统、肌肉系统、血液系统、神经系统、消化系统、内脏系统、脑感觉器官，最后有两个附录，介绍活体解剖的方法。书中继承了许多盖仑和亚里士多德的观点，但也提出了许多不同的看法，正如维萨留斯自己在该书序言里所说：“我在这里并不是无故挑剔盖仑缺点，相反地，我肯定盖仑是一位大解剖学家。他解剖过很多动物，但限于条件，就是没有解剖过人体，以至造成许多错误。在一门简单的解剖课程中，我能指出他的两百种错误。但我还是尊重他。”

该书最大的特点是插图多，这一点使其超过古代任何一本解



· 图 17-3 《论人体构造》插图一

图 17-4 《论人体构造》插图二

剖学著作，因为在印刷术推行之前，插图本书籍很难保持原样的流传，而对于解剖学来说，插图之重要是不须多说的。著名画家提香的一位高足担当了绘制的工作，在维萨留斯指导下，图画得极为精致和准确，以致到今天还令人叹为观止。

《论人体构造》引起了神学家和保守医学家的不满，因为它对许多流行观点提出了挑战。例如，盖仑认为人的腿骨像狗腿骨一样是弯的，维萨留斯却说人的腿骨是直的；《圣经》上说男人的肋骨比女人少一根，而维萨留斯却说男人和女人的肋骨一样多；《圣经》上还说，人身上都有一块不怕火烧、不会腐烂的复活骨，它支撑着整个人体骨架，而维萨留斯却否定有这样一块骨头存在；亚

里士多德认为心脏是生命、思想和感情活动的地方，维萨留斯则说大脑和神经系统才是发生这些高级活动的场所。在帕多瓦大学，维萨留斯遭到了猛烈的攻击，他不得不于1544年离开了这里。查理五世请他去做宫廷御医，他便到了西班牙。在那里为王室服务了近二十年。

维萨留斯的敌人还是没有放过他，他们诬告他搞活人体解剖，宗教裁判所立即判处他死刑。由于西班牙王室的调解，死刑改为去耶路撒冷朝圣。1564年，在朝圣回来的路上，他乘坐的船遭到破坏，全体乘客被困在赞特岛，维萨留斯在那里病死。

2. 血液循环的发现：塞尔维特、法布里修斯和哈维

在人体生理学中，血液的运动规律具有重要的地位，因为血液贯穿全身，是联系身体各部分的渠道，对它的正确认识有助于进一步了解人体的其他机能。在盖仑的生理学中，血液运动理论集中体现了他的关于人体结构和机能的学说。在他看来，人体的主要器官有三个，即肝脏、心脏和大脑。肝脏将人体所吸收的食物转化为血液并携带着“天然灵气”，肝脏所产生的血通过静脉系统流向身体各个部分，再通过同样的静脉系统流回肝脏，血液的这种运动很像是潮水的涨落。心脏的右心室是静脉系统的一部分，流到这里的血液大部分又回到肝脏，但其中有小部分透过心脏的隔膜进入左心室。在左心室里，血液与来自肺部的空气混合生成“生命灵气”，这些生命灵气通过动脉传送到身体各部分并被吸收，其中进入大脑的那部分又转化为“动物灵气”，通过神经将它们分布到身体各处。盖仑的血液运动理论概括起来是肝脏—静脉系统的潮汐运动与动脉系统—人体的单向吸收，这两大运动之间通过右心室与左心室之间互通的隔膜相联系。

维萨留斯在自己的解剖实验中已经发现盖仑关于左心室与右



图 17-5 塞尔维特

心室相通的观点是错误的，但他没有猜测到全身的血液是循环的。他在巴黎大学医学院的同学塞尔维特朝发现血液循环的道路上迈出了第一步。迈克尔·塞尔维特 1511 年生于西班牙纳瓦拉，最初就读于法国图卢兹大学，后进入巴黎大学，并在那里认识了维萨留斯，两人成为至交，据说，他曾与维萨留斯一道私下进行人体解剖研究。后来，维萨留斯被迫离开了巴

黎大学，但塞尔维特继续进行实验研究，这期间他做出了一生中最重要的科学发现即血液的肺循环：血液并不是通过心脏中的隔膜由右心室直接流入左心室，而是经由肺动脉进入肺静脉，与这里的空气相混合后流入左心室。这一发现通常称为小循环，它是导向全身循环的重要一步。

塞尔维特的这一发现首先发表在 1553 年秘密出版的《基督教的复兴》一书之中，该书主要是一部宣传唯一神教的神学著作，但塞尔维特使用他所发现的小循环来批评正统基督教的三位一体学



图 17-6 法布里修斯

他之前还残酷地烤了两个小时。

为发现血液循环而迈出下一步的是法布里修斯(1537—1619年),他是意大利人,在帕多瓦大学学习医学,是法娄皮欧(1523—1562年)的学生,而后者曾经是维萨留斯的学生,也是输卵管的发现者。法布里修斯1559年在帕多瓦大学获医学博士学位,1565年成了该校的外科教授。在出版于1603年的《论静脉瓣膜》一书中,法布里修斯描述了静脉内壁上的小瓣膜,它的奇异之处在

说。唯一神教是当时天主教和新教的共同敌人,《基督教的复兴》一书刚一出版,就触犯了这些人,宗教裁判所马上将塞尔维特逮捕并判处火刑,在朋友们的帮助下,塞尔维特逃了出来。但不过多久在日内瓦被新教领袖加尔文抓住,这位狂热的新教徒加尔文当年在巴黎时就是塞尔维特的论敌,这次落入他的魔掌真是凶多吉少。果不其然,加尔文不仅下令将塞尔维特活活烧死,而且在烧死

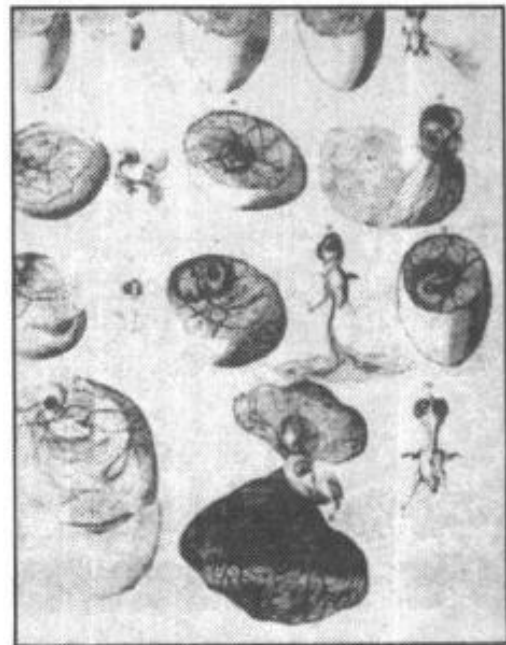


图 17-7 法布里修斯关于小鸡发育的研究

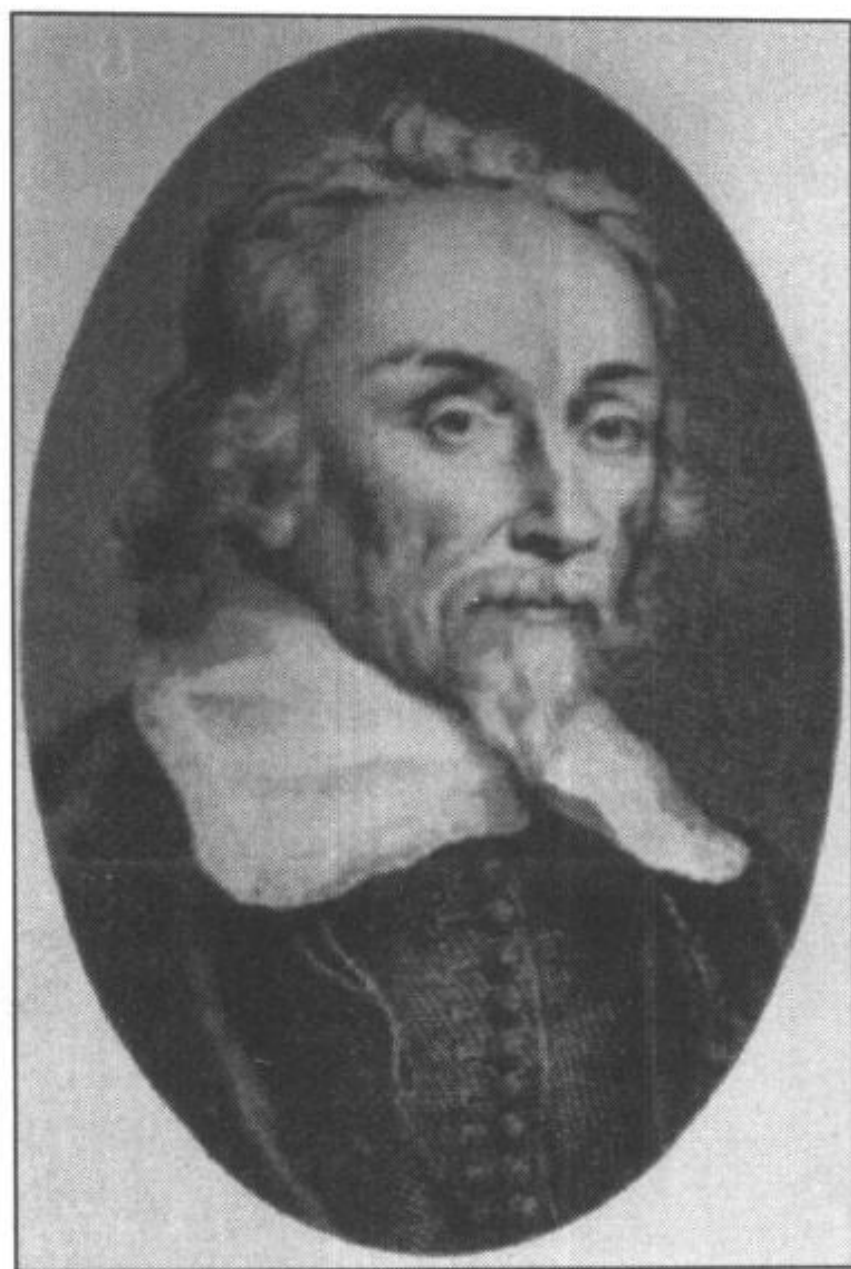


图 17-8 哈 维

于永远朝着心脏的方向打开，而向相反的方向关闭。法布里斯修斯没能认识到这些瓣膜的意义，他的学生哈维创立了血液循环理论，完成了自维萨留斯以来四代师生前赴后继的工作。

威廉·哈维 1578 年 4 月 1 日生于英国肯特郡福克斯通一个富农之家，早年曾就学于剑桥大学，1597 年取得剑桥的医学学士学位，之后周游欧洲，来到当时世界上最大的医学院意大利的帕多瓦大学医学院。帕多瓦大学素以政策开明、学术自由著称，

维萨留斯开创的亲自动手做解剖学实验的良好传统，使这所医学院吸引一大批热情好学的青年。哈维留学期间，伽利略正在帕多瓦任教，这位近代实验科学大师所倡导的实验—数学方法和力学自然观，影响了物理学之外的许多学科领域，哈维亦得益非浅，他懂得了：“无论是教解剖学或是学解剖学，都应以实验为根据，而不应当以书本为根据。”1602 年，哈维获得帕多瓦大学的医学博士学位，同年回伦敦定居开业行医，由于他医术高明，业务很是红火，据说著名的英国哲学家弗朗西斯·培根也经常找他看病。行医之余，哈维继续从事解剖学研究，特别是对心血管系统进行了细

致的解剖学考察。1607年，哈维被选为皇家医学院院士，1615年受聘为解剖学讲师，1616年为学院授课时，哈维公布了他所发现的血液循环理论。

盖仑关于血液运动的观点有三条，一是静脉系统的双向潮汐运动，一是动脉系统的单向吸收，三是静脉一部分通过左右心室之间的微孔输入到动脉。第三条随着肺循环的发现被抛弃，哈维面对的是前面两条。法布

里修斯发现的静脉瓣膜本来可以否定静脉双向潮汐运动说，但他没有指出这个近在眼前的真理。

哈维首先研究了心脏的结构和功能。他发现，心脏的每半边实际仍分为两个腔，上下腔之间有一个瓣膜相隔，它只允许上腔的血液流到下腔而不允许倒流，现在我们将上腔称为心房，下腔称为心室。大动脉与左心室相连，静脉与右心房相连，而肺动脉和肺静脉则将右心室和左心房连通，形成小循环。哈维还发现，心

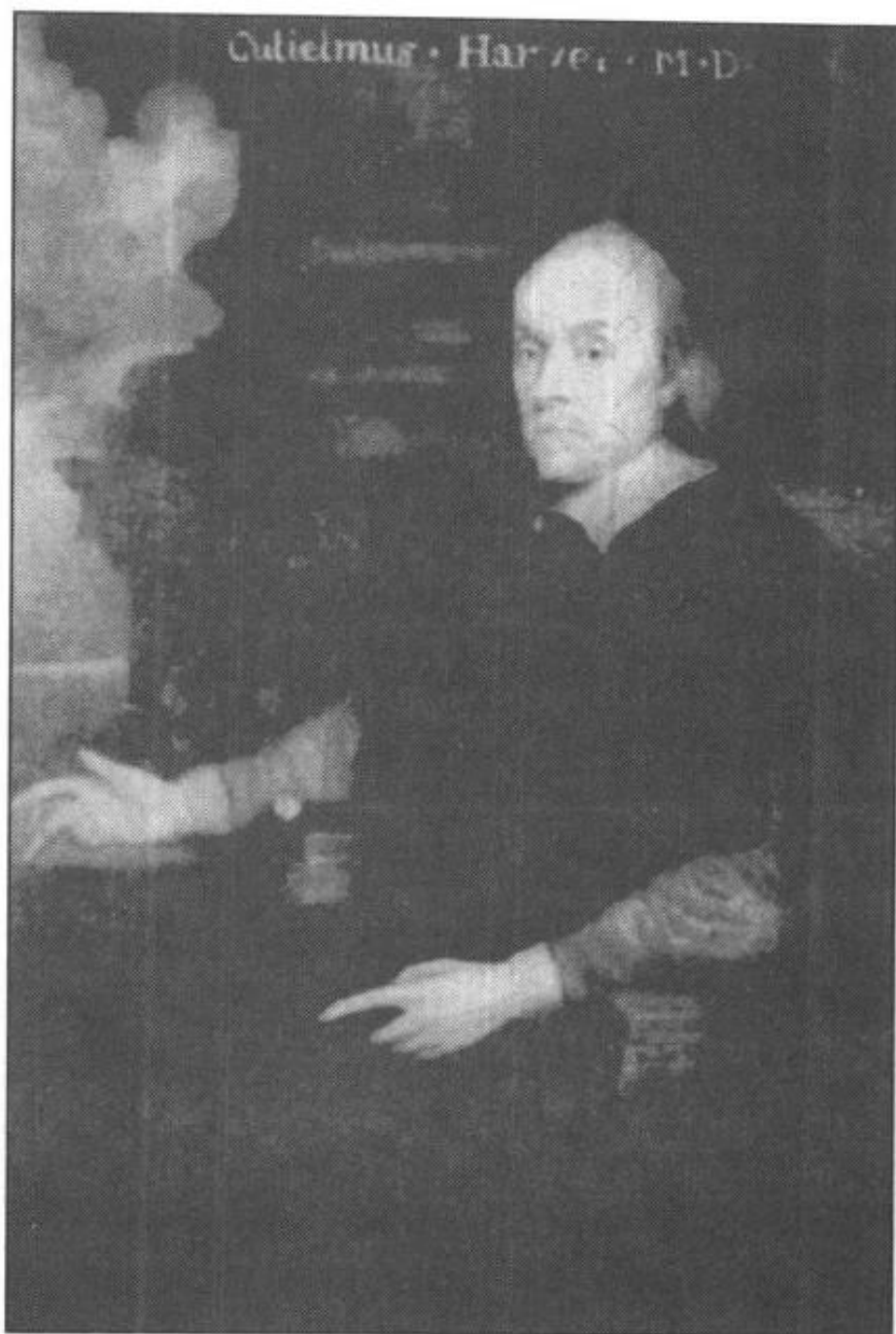


图 17-9 哈维工作像

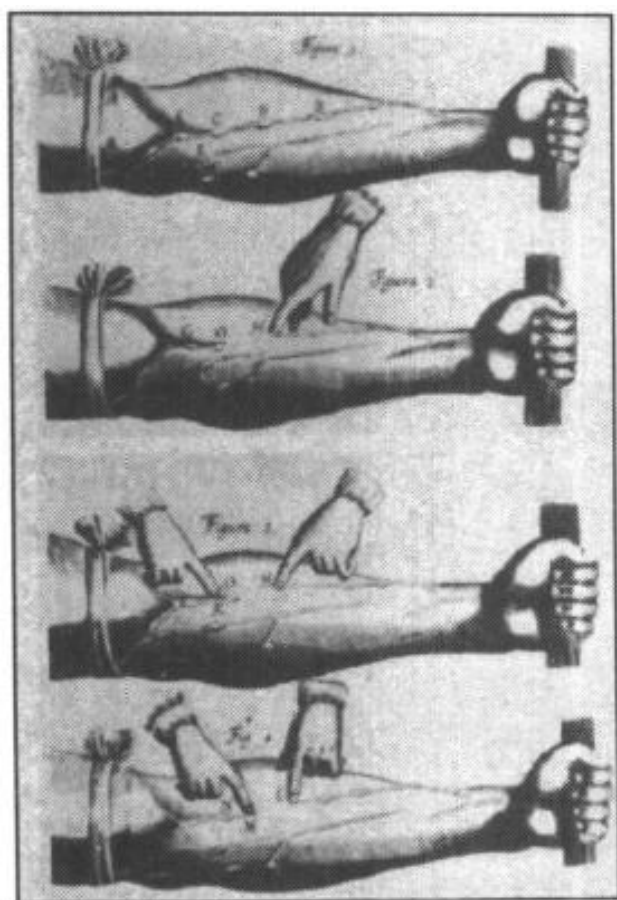


图 17-10 血液流动示意图

脏是一块中空的肌肉，不停地做收缩和扩张运动，收缩时将血液压出去，扩张时将血液吸进来。心脏的结构表明，它只可能吸收来自静脉的血液，也只可能将血液压往动脉。

哈维接着研究静脉与动脉的区别，他发现动脉的壁较厚，具有收缩和扩张的能力，而静脉壁较薄，里面的瓣膜使得血液只能单向流向心脏，结合心脏的结构，这意味着生物体内的血液总是单向流动的。为了证实这一点，哈维做了一个活体结扎实验，当他用绷带扎紧人手臂上的静脉时，心脏变得又空又小，而当



图 17-11 哈维向查理一世(左)和未来的查理二世(右)演示他的血液循环

扎紧手臂上的动脉时，心脏明显涨大，这表明静脉确实是心脏血液的来源，而动脉则是心脏向外喷吐血液的通道。体内血液的单向流动实验，证明了盖仑静脉系统双向潮汐运动观点是错误的。

哈维的另一个定量实验推翻了盖仑的动脉吸收理论。解剖发现，人的左心室容量约为 2 盎司，以每分钟心脏搏动 72 次计算，每小时由左心室进入主动脉的血液流量应为 8640 盎司，这个数字相当于普通人体重量的三倍，人体无论如何也不可能吸收这么多的血液。由于体内血液是单向流动的，这样多的血液是从静脉来的，而肝脏在这样短的时间内也决不可能造出这样多的血液来。唯一的解释就是，体内血液是循环运动的。哈维当时认为，动脉中的血液通过肌肉的微小孔隙流向静脉，这个机制当然只是一种宏观想象，真正的机理得等到显微镜发明之后才被认识。

哈维关于血液循环运动的讲演没有在伦敦医学界引起反响，但他并不气馁，继续进行他的解剖研究，终于 1628 年出版了《心血运动论》这部生理学史上划时代的巨著，系统总结他所发现的血液循环运动规律及其实验依据。这部只有 72 页的小书，确立了哈维在科学史上的不朽地位。它宣告了生命科学新纪元的到来，盖仑学说中形形色色的不可捉摸的“灵气”，被血液的机械运动所驱除，物理和化学的概念被引入生物学中，展示了生物学发展的崭新方向。

《心血运动论》的出版招致了保守学者和教会的攻击，但哈维不理睬这些无知的嘲讽和谩骂，继续进行他的生物学研究。1651 年，他又出版了第二部生物学著作《论动物的生殖》，对小鸡在鸡卵中的发育情况进行了仔细的研究。到了晚年，血液循环的观点逐步被大多数人所接受，在本来反对哈维最起劲的法国，由于笛卡儿的支持和影响也转变了态度。1654 年，皇家医学院选举他为院长，他谢绝了这一荣誉。1657 年 6 月 3 日，哈维在伦敦去世，他立下遗嘱将其全部财产捐赠给皇家医学院。

3. 显微镜下的新世界：马尔比基、列文虎克、胡克和斯旺麦丹

伽利略自己造出了望远镜（1609 年）并且用它发现了从未见过的天文现象后，也着手设计用来放大近距物像的显微镜，事实上，他确实用自己制造的显微镜对小动物的感觉器官进行了观察，发现了昆虫的复眼。哈维在《心血运动论》中也谈到用放大镜发现所有的动物，不管多小，都有心脏。但是真正用显微镜发现了有机体内新世界的，是马尔比基、列文虎克、胡克和斯旺麦丹。

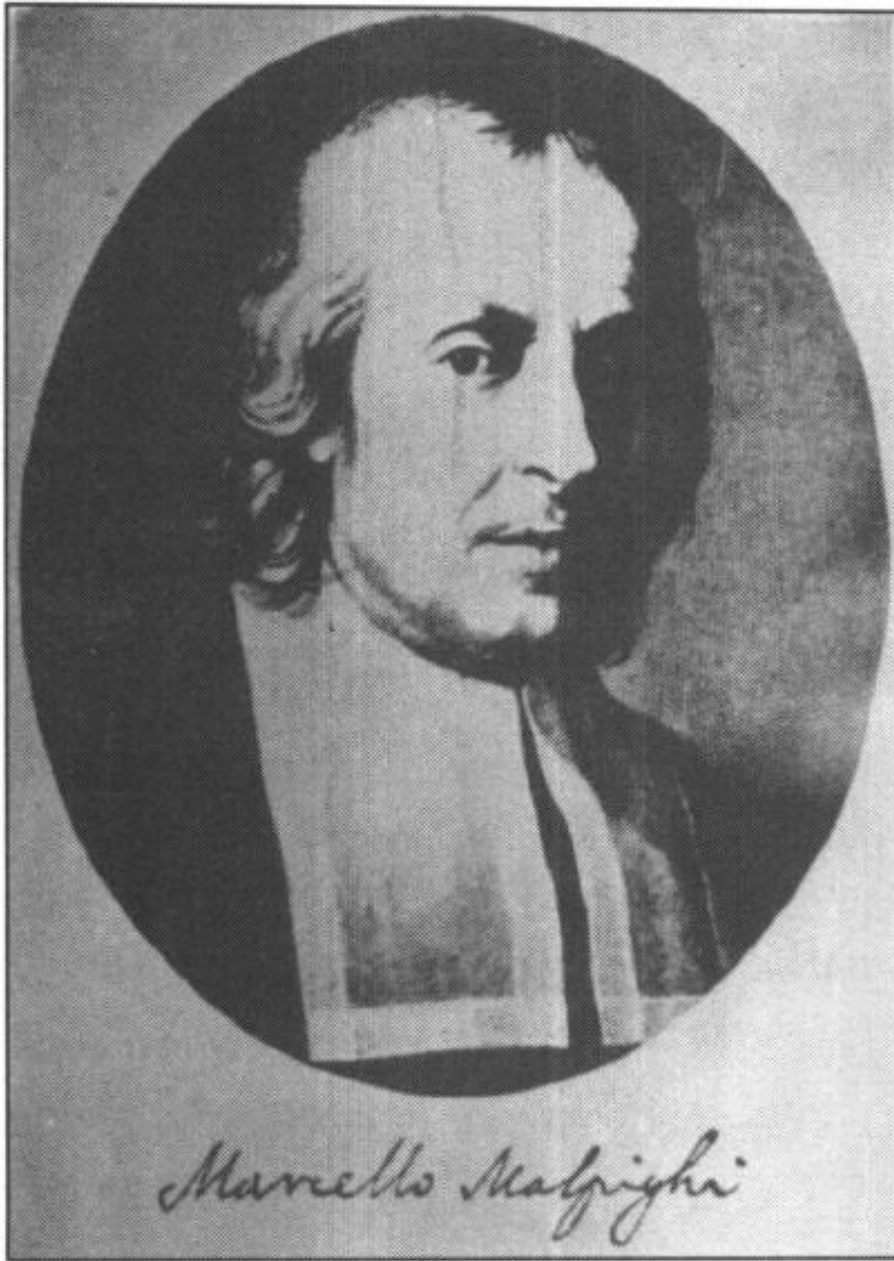


图 17-12 马尔比基

马尔切诺·马尔比基（1628—1694 年）是意大利人，1653 年曾在波洛尼亚大学获得医学学位。他早期从事的工作是用显微镜研究青蛙的肺。1660 年他发现，青蛙的肺里布满了复杂的血管网，这种结构使血液在肺内很容易将空气带走，而且正是这种血管网连接了肺动脉和肺静脉。后来，他又在蛙体的其他部位也发现了十分纤细的血管，这些血管尽管用肉眼看不见，但在显微镜下清晰可

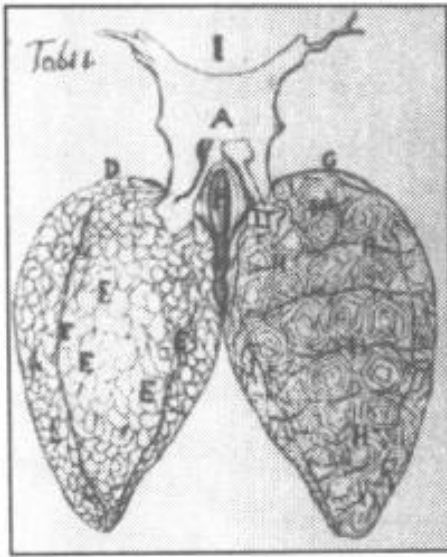


图 17-13 肺中的毛细血管

见。这些血管就是今日我们十分熟悉的毛细血管，正是它们将身体内部各处的动脉与静脉相连通。这解决了哈维血液循环理论中的一大遗留问题，可惜的是，毛细血管被发现时哈维已经去世了。

马尔比基还用显微镜研究了蚕，他发现这种小动物有一个十分复杂的呼吸系统，用来呼吸的小管遍布全身。后来，他发现植物茎秆内也有这样的小管，这使他发明了比较解剖学方法。

在大量观察的基础上，马尔比基提出，呼吸器官的大小与有机体的完善程度成反比，有机体越低级，呼吸器官比例就越大。

此外，马尔比基还用显微镜发展了法布里修斯和哈维所开创的胚胎学研究，对小鸡在鸡蛋中的发育过程做了仔细的观察。1668年，英国皇家学会接收他为会员并建议将其研究成果通报学会，马尔比基就将自己画的蚕和小鸡的内部结构图提交给



图 17-14 列文虎克



图 17-15 列文虎克正在用单显微镜观察

了学会。

列文虎克 1632 年生于荷兰代尔夫特一个贫穷的家庭，他从小没念过多少书，成年后自己经营服装店，后来谋到了代尔夫特市政大厅管理员的职位。这件差事十分轻松，使他有充足的时间从事自己感兴趣的研究。他的科学知识主要是自学的，但他心灵手巧，对磨制透镜着迷，而且自制的透镜质量极好。他没有多少光学知识，所以没能造出复式的



图 17-16 列文虎克在工作

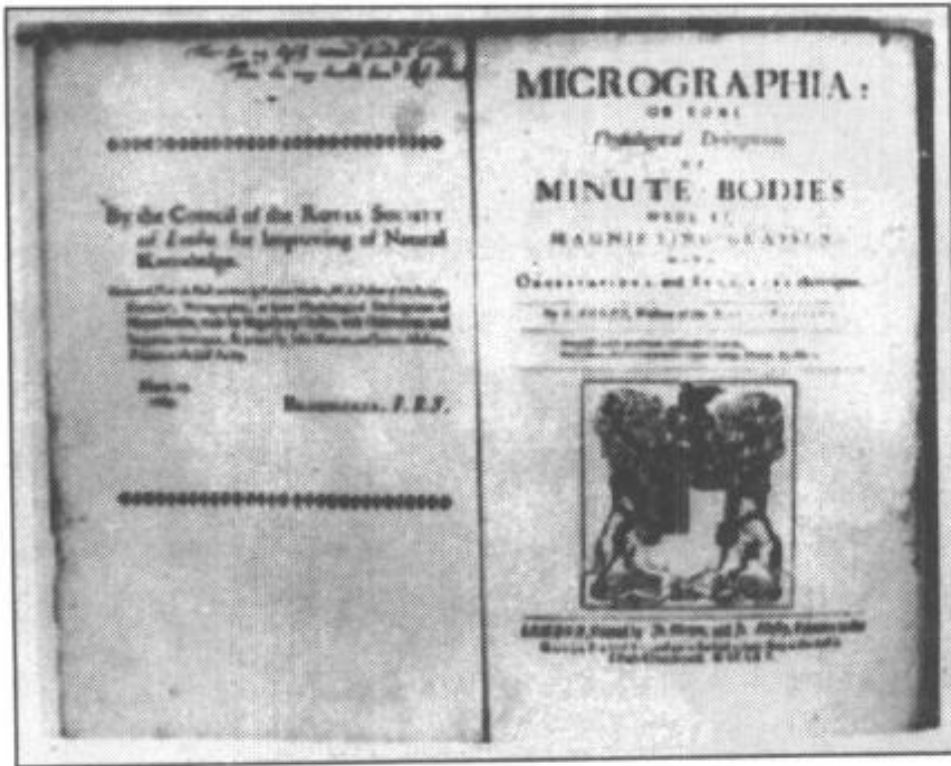


图 17-17 胡克《显微图》一书的封面

显微镜，但由于他的透镜放大倍率高，所以这种只用一个透镜的单显微镜也十分管用。在他的透镜下面真正出现了一个无比丰富复杂的世界，而他专注地探索这个世界，为每一个新发现而欢欣喜悦。

1675年，列文

虎克发现了单细胞有机体即原生动物，是在一只新瓦罐中盛的雨水里观察到的，它大约只有肉眼可以见到的水虱子的百分之一大。他还继续观察马尔比基所发现的毛细血管，在许多动物身上都如实地发现了血液循环现象。1688年，他用自制的显微镜观察蝌蚪的尾巴，发现了五十多个血液循环方式。此外，列文虎克还最早发现了红血球的存在，他指出在人血和哺乳动物的血液中，红血球是球形的，而在低等动物身上，红

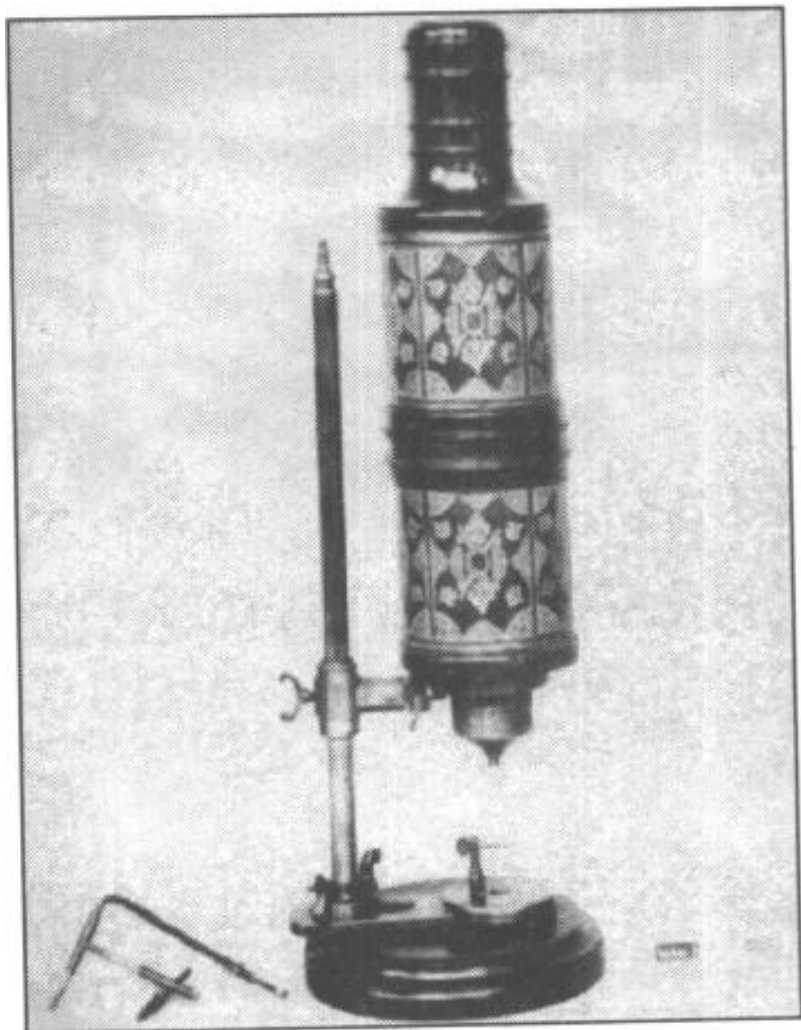


图 17-18 胡克的显微镜

血球是椭球形的。1683 年，列文虎克发现了比原生动物更小的细菌。

从 1673 年开始，列文虎克就不断地将自己的新发现写信告诉英国皇家学会，一开始学会对这些长长的信置之不理，后来列文虎克寄来了自制的显微

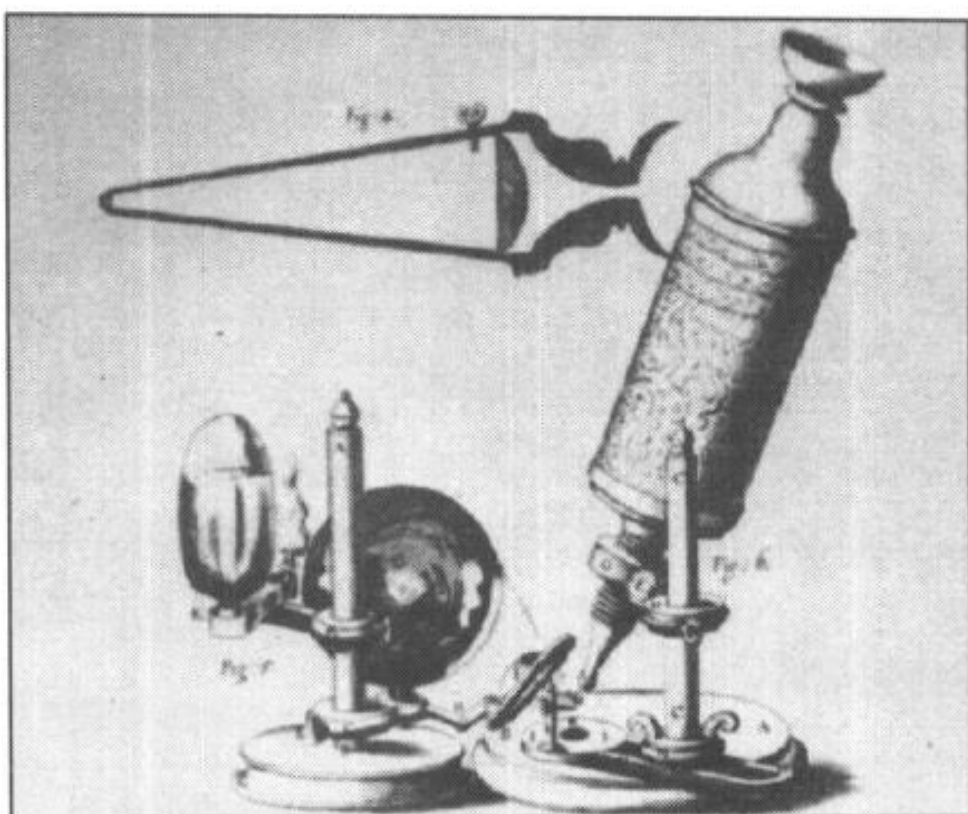


图 17-19 胡克的显微镜

镜，使学会的成员对新的微观世界十分吃惊。1680 年，学会选举他为会员，同年，他也被法国科学院选为院士。1723 年，列文虎克在故乡病逝，终年 91 岁。他的著作以《大自然的奥秘》为题出版，记录了他一辈子做出的诸多发现。

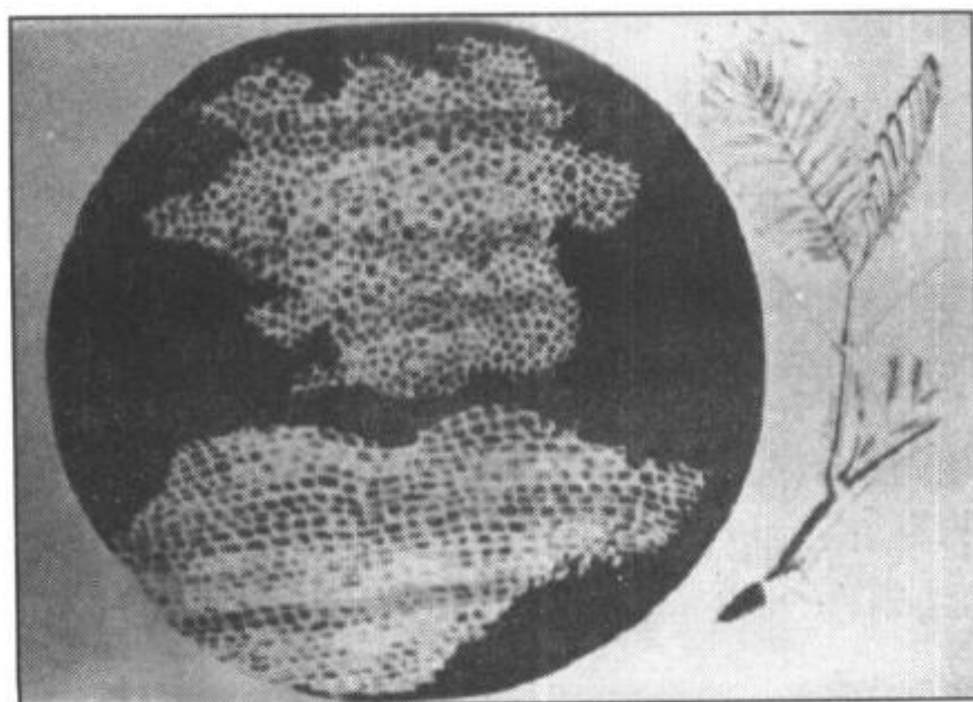


图 17-20 植物细胞的显微结构

另一位微生物学家是当时已颇负盛名的物理学家胡克，这位天才的实验大师把自己的才华运用到了许多方面，这其中就有显微学。他自己制造了复式的显微镜，虽然由于透镜质量

不好，未能获得较好的清晰度和倍率，但它开创了显微镜以后的发展方向。1665年，他发表了《显微图》一书，展示了他在显微镜底下看见的昆虫器官的精细图案。在科学史上，胡克首创了“细胞”(cell)一词，他本来用它称呼他在显微镜下发现的软木片上的那些小孔，但后来的人们发现，这些小孔本来充有复杂的液体，是生命组织的基本成分，即“细胞”，但那是一个多世纪以后的事情了。

比列文虎克较为年轻的斯旺麦丹(1637—1682年)在微生物学研究方面也做出了重要的贡献，他生于荷兰的阿姆斯特丹，是一位药商的儿子。他自幼爱好昆虫，以后又对显微解剖技术感兴趣，在这方面他表现了十分出色的天才。他采集了约三千种昆虫标本，用显微镜研究它们的解剖结构，他的这一工作奠定了近代昆虫学的基础。他还用显微镜证实生命自然发生说是错误的，因为在每一被认为是自然发生的地方，他都发现了更细小的卵预先存在。由于一心扑在显微研究上，他的视力受到了很大的损害，后来身体状况也不佳，45岁时就为自己热爱的科学研究事业而献出了生命。

显微镜的出现以及微生物学的产生，扩展了人类的视野，深化了人类对生物有机体的认识。

第十八章

机械自然观与科学方法论的确立

近代科学诞生的主要标志是建立了一套有别于古代和中世纪的自然观和方法论，在 17 世纪行将结束的时候，这样的一套崭新的自然观和方法论确实建立起来了，而且在飞速增长的自然知识领域发挥作用，它们就是机械自然观和实验—数学方法论。近代的自然科学家和哲学家共同铸造了这个新的知识系统。

1. 弗兰西斯·培根：知识就是力量

近代自然科学有别于中世纪知识传统的第一个特征就是注重实验，在强调这种差别以及倡导实验方法方面，英国著名哲学家弗兰西斯·培根起了引人注目的作用。培根 1561 年出生于伦敦一个贵族家庭，父亲是伊丽莎白女王的掌玺大臣。培根曾在剑桥三一学院学习法律，后来混入政界，学到了官场上的趋炎附势。培根 1584 年进入议院，1601 年开始受到女王的重用，1603 年成为



图 18-1 培 根

爵士，1607 年被新国王詹姆斯任命为副检察长，1613 年就任检察总长，1618 年成为大法官，1621 年被控受贿，政治生涯就此告终。以后五年埋头著书立说，1626 年在伦敦去世。培根的一生道德上颇多污点，但以其出色的文笔写出了许多脍炙人口的散文，批判经院哲学，宣传新的科学方法论，为促进人类的知识增长作出了积极的贡献。

1605 年，培根发表《学术的进展》，为即将到来的科学时代而欢呼，他高度评价印刷术、火药和指南针的发明，认为它们改变了整个世界的面貌，他意识到科学技术将成为一种最重要的历史力量，因此高度赞扬科技发明，认为“在所能给予人类的一切利益中，我认为最伟大的莫过于发现新的技术、新的才能和以改善人类生活为目的的物品”。“知识就是力量”这句名言就是在这样的背景下提出来的。

《学术的进展》出版以后，培根计划写一部巨著《伟大的复兴》，分六个部分。第一部分是导论，《学术的进展》可以充当；第二部分研究科学方法，1620 年出版的《新工具》即属这一部分；第三部分是一部关于工匠学问和实验事实的百科全书；第四部分运用新方法说明第三部分所罗列的事实；第五部分讨论科学的历史；第六部分综合前面提出的假说和理论，建立新的自然哲学。直到他去世，这部著作也没有写出来，1625 年出版的《新大西岛》补充了他关于科学方法和科学组织的观点。

《新工具》是培根阐述他的科学方法论的主要著作，在书中，培根批判了经院哲学所坚持的亚里士多德那一套科学推理程序，提出了自己的实验归纳方法论。书名取为《新工具》，意在与亚里士多德的《工具篇》相左。培根认为，经院哲学的学术传统完全丧失了与经验的接触，其思辨的方法充满了“难懂术语”、“烦琐的推理”、“冗长的论述”、“故弄玄虚”和“空洞的结论”，经院哲学家就像是蜘蛛织网那样，网丝和编织十分精细，但却是空洞

的，毫无益处。必须重视观察经验，自然的知识只有通过事物有效的观察才能发现。

培根提出，正确的认识方法首先是不带偏见，可是人心中总是为种种偏见所纠缠，他列举了四种“偶象”：为整个人类所共有的偏见是“种族偶象”，比如相信“人的感觉是万物的尺度”，在任何事物中都看到一种目的，总之，用拟人的方式解释自然现象等，都属于“种族偶象”；为个人所有的偏见是“洞穴偶象”，它们大多是由于个人偏爱某个问题导致的，如培根同时代人吉尔伯特，只是因为对磁有强烈的兴趣，就试图建立一个以磁为统帅的自然哲学；由于运用语言产生的偏见是“市场偶象”，例如有些语词其实没有指称，但人们却误以为有一个真实存在的对应物；由于接受了特殊的思想体系而产生的偏见是“剧场偶象”，事实上，所有的思想体系都不过是一场戏剧，它们以一种不真实的布景方式重新表达世界。

正确的认识方法既不能是单纯的经验主义，象蚂蚁那样虽忙忙碌碌但没有目标；也不能是单纯的理性主义，象蜘蛛那样虽织工精巧但空洞无物，必须将它们结合起来，像蜜蜂那样，从花园和田野里采集花朵然后用自己的力量消化和处理它们。培根主张，首先要尽量不带偏见地搜集事实，越多越好。他相信如果他手里有比普林尼的《自然史》篇幅大六倍的《自然史》，他就完全能够给出一种新的正确的自然哲学，解释自然界所有的现象。为此，他特意开列了一张他认为值得研究的课题表，其中包括了130多个问题，请求英王詹姆斯一世颁布命令去搜集这方面的知识，但国王不感兴趣，只得作罢。

在占有了足够的经验事实后，首先必须分类和鉴别，然后是归纳。培根给出科学研究的金字塔模型：塔底是自然史和实验史的观察经验，往上是事实之间的关系，起初是偶然的关系，再后是稳定的关系，最后是内容丰富的相关性。科学研究的方向是在

金字塔里自下而上的方向。

培根的方法论基本上还是亚里士多德的那一套，他所批评亚氏的只是事实不够、归纳匆忙等，而在定性观察、按形式分类等方面与亚里士多德毫无二致。培根反对假设演绎法，不重视数学在科学实验中的地位和作用，这使他对伽利略的科学工作毫无反应。培根本人搜集了一些事实，但许多不太可靠，做了很少的实验，但没有得出什么有意义的结论，最后一次关于雪能防腐的实验使他受寒，导致气管炎而身亡。培根发明的有条理的归纳法在 17 世纪的数理科学中发挥不了什么作用，但在以后主要靠搜集资料得出结论的生物科学和地质科学中有用武之地。

培根在科学方法上的另一个重大贡献是，他最先倡导有组织地集体协作研究。在《新大西岛》一书中，他虚构了一个科学技术高度发达的国度，它是由“所罗门宫”里的科学家进行管理。所罗门宫是一个有组织的科学研究机构，它是对未来科研机构的一个构想。事实上，《新大西岛》出版后不到半个世纪，英国的实验科学家们便仿照所罗门宫成立了一个“无形学院”，他们定期聚会讨论问题、交流最新研究成果，1663 年，无形学院被正式承认，成为著名的皇家学会。

培根由于本人并未投入当时的科学实践，精心设计的方法论也因不合时宜而未派上用场，但他的思想具有更为深远的意义。他是科学实验的鼓动家，他是未来科学时代的预言家，著名科学史家迪克斯特惠斯说他在近代科学史上的作用同希腊瘸腿诗人第泰尔斯相仿，第泰尔斯自己不能打仗，但他的诗篇鼓舞了士兵英勇作战，这个说法是很精辟的。

2. 笛卡儿：我思故我在

在科学方法论上与培根形成对照的是笛卡儿的数学演绎方

法，但与培根不同，笛卡儿在数学和力学上都做出了重要的开创性贡献，而且是机械自然观的第一个系统表述者，他还被誉为近代哲学的开创者，因此其地位和重要性更为突出。

勒内·笛卡儿 1596 年 3 月 31 日出生于法国的拉埃耶一个古老的贵族家庭，卡提修 (Cartesius) 是笛卡儿 (Descartes) 名字的拉丁化。他从小体弱多病，但十分好学，在耶稣会学院接受古典教育时，院长照顾他不必早起，这使他养成了早晨躺在床上思考问题的习惯。1616 年，笛卡儿厌倦了浪荡公子的生活，入伍参军，在欧洲许多军队里呆过，1620 年亲

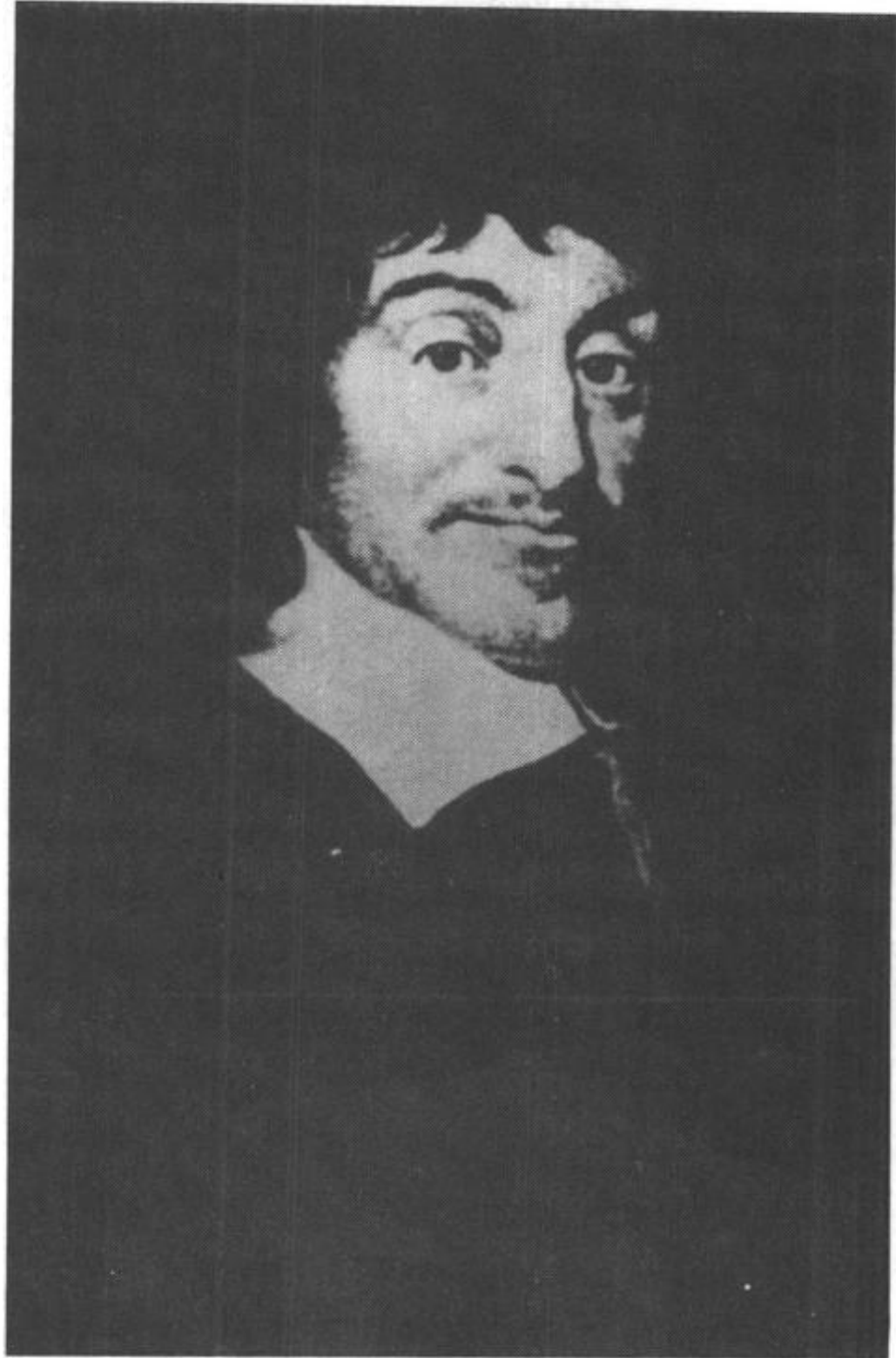


图 18-2 笛卡儿



图 18-3 笛卡儿在写作

身经历了布拉格战役。长期的行伍生涯也使笛卡儿感到疲惫,遂于 1628 年离开了军队来到荷兰,过着漂泊的生活,但他没有一刻停止过思索。在荷兰期间,他集中精力做了大量的研究工作,1634 年写出了他的重要著作《论世界》,书中总结了他在哲学、数学和诸多自然科学问题上的看法,但伽利略受审(1633 年)的消息传来后,使他打消了出版该书的念头,因为书中赞成哥白尼的学说。1637 年,在朋友们的劝说下,他出版了《关于科学中正确运用理性和追求真理的方法论的谈话。进而,关于这一方法的论文,屈光学、气象学、几何学》(简称《方法谈》)一书,书中提出了他的数学方法论、他发明的解析几何以及他关于光学的一些研究成果。1641 年出版《第一哲学沉思录》,1644 年出版《哲学原理》,进一步阐发了自己的哲学体系。1649 年,瑞典女王克里斯蒂娜执意邀请他成为宫廷哲学家,笛卡儿盛情难却,只好来到了斯德哥尔摩,这里寒冷的气候对长年患气管炎的笛卡儿十分不适,偏偏这位刚愎自用的 19 岁的女王认为凌晨 5 点钟学习哲学最合适,笛卡儿不

和追求真理的方法论的谈话。进而,关于这一方法的论文,屈光学、气象学、几何学》(简称《方法谈》)一书,书中提出了他的数学方法论、他发明的解析几何以及他关于光学的一些研究成果。1641 年出版《第一哲学沉思录》,1644 年出版《哲学原理》,进一步阐发了自己的哲学体系。1649 年,瑞典女王克里斯蒂娜执意邀请他成为宫廷哲学家,笛卡儿盛情难却,只好来到了斯德哥尔摩,这里寒冷的气候对长年患气管炎的笛卡儿十分不适,偏偏这位刚愎自用的 19 岁的女王认为凌晨 5 点钟学习哲学最合适,笛卡儿不

得不改变他一生睡懒觉的习惯，冒着严寒去王宫图书馆授课。不久他就染上了肺炎，1650年2月11日在斯德哥尔摩去世。1664年，他的《论世界》出版。

在《方法谈》中，笛卡儿提出了他的数学演绎方法论。在他看来，培根的《新工具》强调知识来自经验是正确的，但他将科学推理的程序弄颠倒了。经验诚然重要，但它面对的是十分复杂的对象，往往并不可靠，以它为基础进行推理很容易发生错误，但演绎法却不可能出错，只要其前提没有问题。如何才能得到一个真正可靠的前提呢？笛卡儿认为必须首先怀疑一切，然后在怀疑中找出那清楚明白、不证自明的东西。他找到的第一个自明的前提是“我在”，因为什么都可以怀疑，但对我正在怀疑这件事不能怀疑，怀疑即我思，而我思意味着我在，因此，“我思故我在”是一个清楚明白的命题。从这个命题出发，笛卡儿确认了上帝、外在世界的存在，提出物质—心灵的二元论：物质的本质属性是广延，心灵的本质属性是思维。

按照他的演绎推理方法，笛卡儿描画出了他的世界图景。世界充满了物质，而物质就是连续的广延，但我们眼前的世界分明到处是离散的物体，这是怎么回

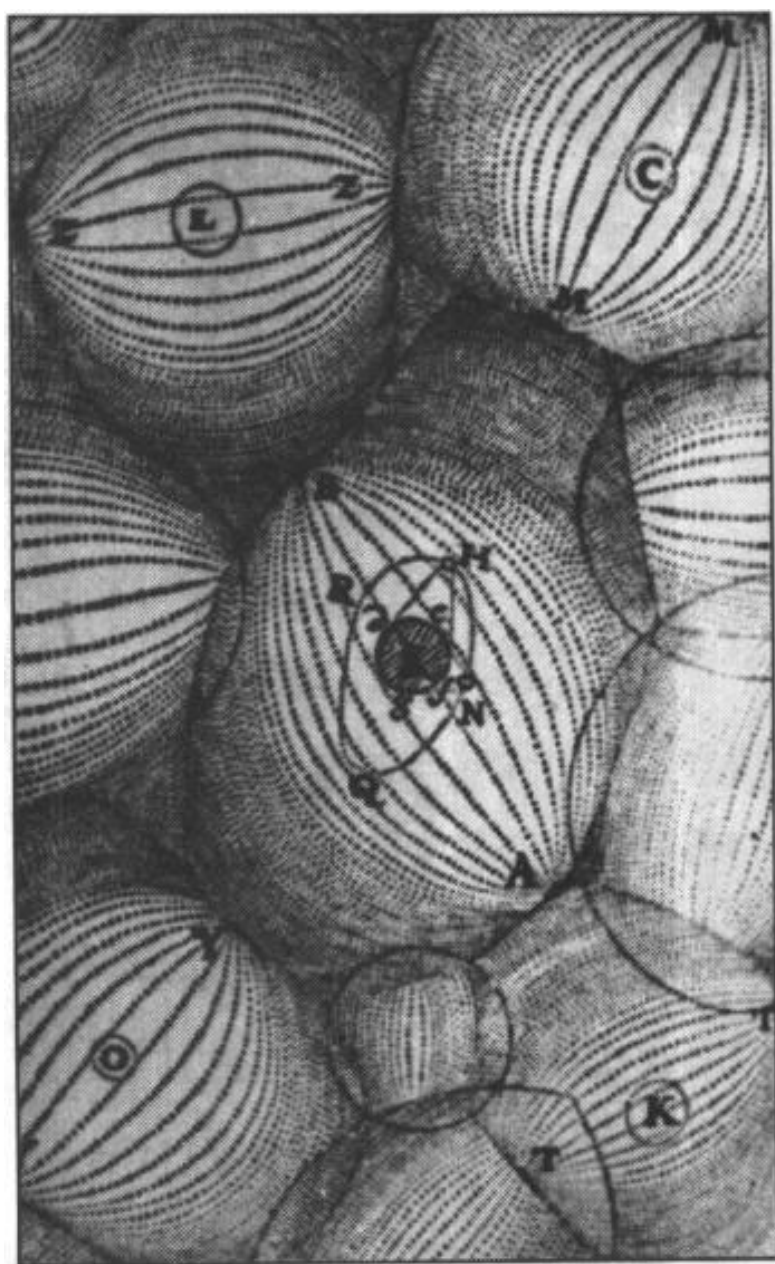
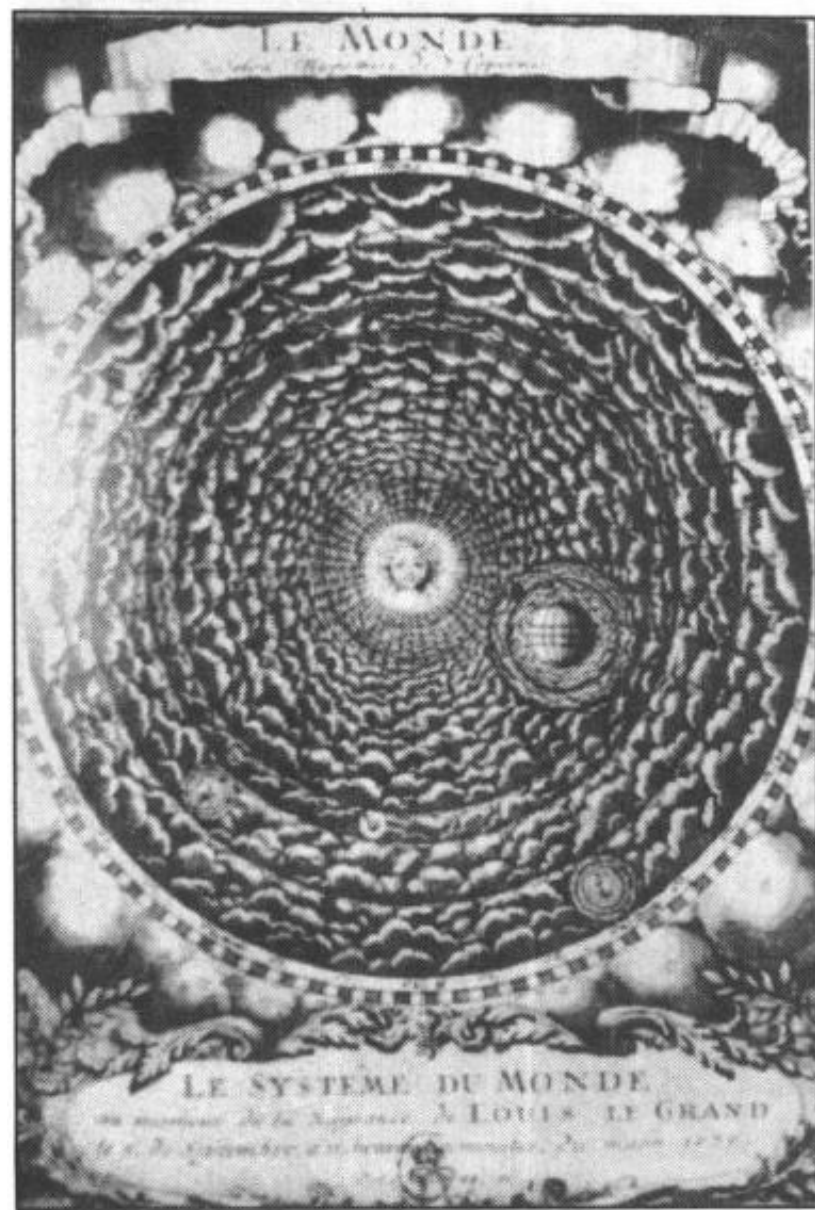


图 18-4 笛卡儿的宇宙旋涡

事呢？原来，物质处在不断地运动之中，而运动导致了局部的不均匀性。笛卡儿曾经宣称：“给我广延和运动，我将造出这个世界”。实际上他认为，整个世界处在一个巨大的旋涡运动之中。笛卡儿还直接演绎出了运动的惯性原理：“静止的物体依然静止，运动的物体依然运动，除非有其他物体作用；惯性运动是直线运动。”这条原理比伽利略通过实验所发现的原理更为明确。

在《方法谈》中，笛卡儿还给出了机械自然观的基本论点。“机械的”一词原义是“力学的”，但笛卡儿还赋予它另一层意思，即“可以用机械模型加以模仿的”。在前一种意义上，笛卡儿是很



彻底的机械论者，他认为宇宙中无论天上还是地下处处充满着同样的广延物质和运动，他又将运动定义为位移运动即力学运动，而且提出运动守恒原理，使宇宙处在永恒的机械运动之中；在第二种意义上，笛卡儿也是一位很突出的机械论者，他认为人造的机器与自然界中的物体没有本质的差别，所不同的是，前者的每一部分都是我们很明确地看到的。他相信，人体本质上是一架机器，它的机能均可以用力学加以解释。

图 16-5 与哥白尼体系相结合的笛卡儿宇宙模型

笛卡儿在数学上的伟大贡献是发明了直角坐标系，这一发明将代数和几何统一了起来，将几何曲线与代数方程相联系，为数学的发展开辟了无限广阔的前景。微积分出现可以说直接得益于解析几何的建立。这一天才的发明最先发表在《方法谈》的附录《几何学》中，在同一部书的另一附录《折光学》中，笛卡儿用演绎法证明了光线折射的正弦定律。

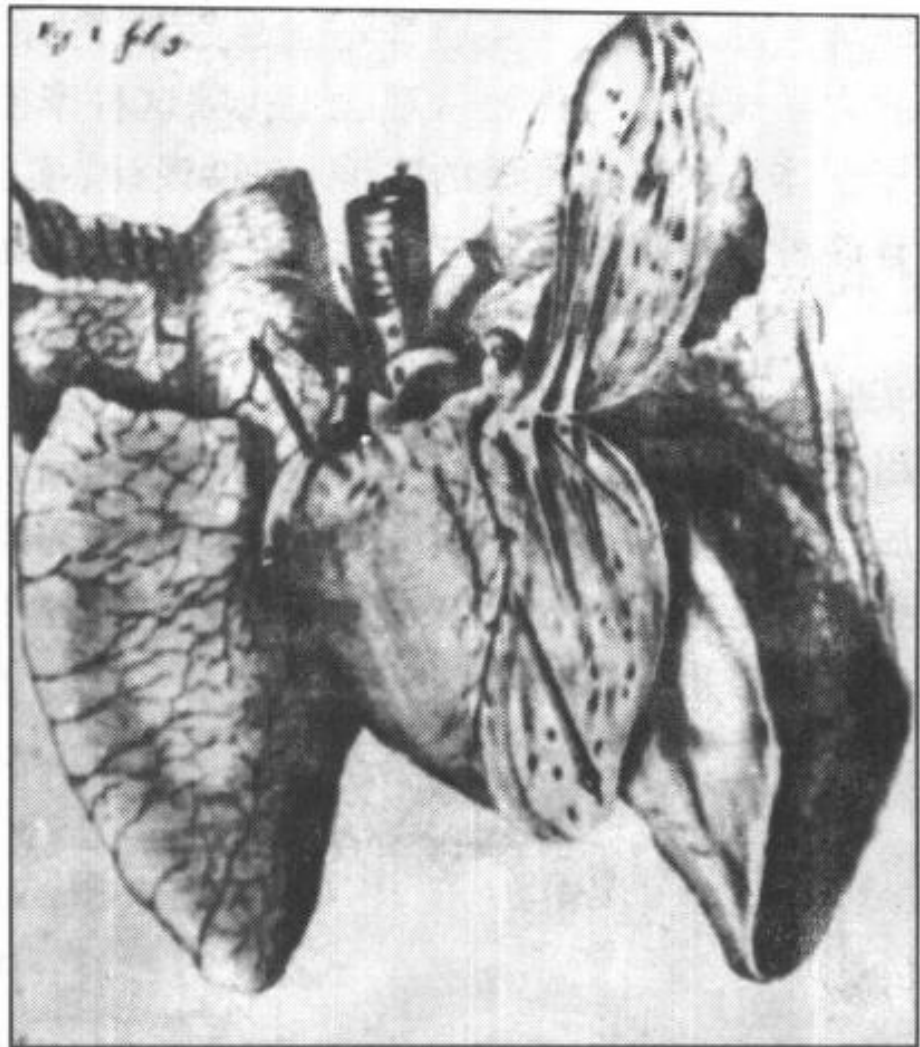


图 18-6 笛卡儿所画的心脏图

笛卡儿不太重视实验，当然也谈不上在实验中引入定量分析。他之重视数学，是因为数学是先天一演绎方法论的最好样版。但是，靠着天才的直觉加上严密的数学推理，笛卡儿居然在物理学原理方面做出了有益的贡献。他所构想的具体世界图景有许多是幼稚的，但他的机械论哲学却影响深远。

3. 伽利略与牛顿的科学方法

真正代表近代科学方法论精神的既不是培根也不是笛卡儿，而是伽利略和牛顿。伽利略最先倡导并实践实验加数学的方法，但是他所谓实验并不是培根意义上的观察经验，而是理想化的实验，

地球上的任何力学实验都不能避免摩擦力的影响，但要认识基本的力学规律，首先要从观念上排除这种摩擦力，这就需要全新的概念体系来支撑将做的实验，包括设计、实施和解释实验结果，只有这种理想化的实验才可能与数学处理相配套。

伽利略的研究程序可以分为三个阶段：直观分解、数学演绎、实验证明。面对着无比复杂的自然界，我们首先要通过直观隔离出一些标准样本，将这些样本完全翻译成数学上好处理的量，然后由这些量通过数学演绎推出其他一些现象，再用实验来验证这些现象是否确实如此。在伽利略的科学方法论中，第一步即直观分解相当重要，它意味着将一个无比丰富复杂的感性自然界通过



图 18-7 自然是哲学家的书本，画面上展示了 17 世纪和 18 世纪的诸多科学仪器

直观翻译成简单明了的数学世界，而这就是将自然数学化。全部近代物理科学都是建立在自然的数学化基础之上的，正是在这一点上伽利略当之无愧地成为近代物理学之父。

牛顿的方法论集中载于《自然哲学的数学原理》一书的第三篇的开头，名为“哲学中的推理法则”，共有四条：

法则 1，除那些真实而已足够说明其现象者外，不必去寻求自然界事物的其他原因。

法则 2, 对于自然界中同一类结果, 必须尽可能归之于同一种原因。

法则 3, 物体的属性, 凡既不能增强也不能减弱者, 又为我们实验所能及的范围内的一切物体所具有者, 就应视为所有物体的普遍属性。

法则 4, 在实验哲学中, 我们必须把那些从各种现象中运用一般归纳而导出的命题看作是完全正确的, 或者是非常接近于正确的; 虽然可能想象出任何与之相反的假说, 但是没有出现其他现象足以使之更为正确或者出现例外之前, 仍然应当给予如此的对待。

牛顿的方法可以称之为“归纳—演绎”法, 但是他完全不同意笛卡儿的先天—演绎法, 他认为, “尽管从实验和观察出发的归纳论证并不能证明一般性结论, 但它依然是事物的本性所容许的论证方法。”因此他十分重视归纳, 但这并不意味着他忽视数学演绎, 相反, 他的公理法是构成牛顿力学体系的根本方法, 与从前的演绎法不同的是, 牛顿认为演绎的结果必须重新诉诸实验确证。可以看出, 在伽利略和牛顿这样的近代科学大师那里, 实验观察与数学演绎是十分紧密地结合在一起的。

4. 伽桑狄、波义尔与原子论的复兴

希腊原子论者主张, 世界是由肉眼看不见的不可再分的微粒即原子组成, 原子的不可排列和组合形成了感性世界的丰富多样性, 这种将质的多样性还原为量的差异的原子论还原思想是与近代科学相吻合的, 但近代科学的先驱们一开始并未明确接受原子论思想, 伽利略持有类似的想法, 但很难说他是一个原子论者。

将古代原子论思想注入近代科学思想之中的是法国哲学家伽桑狄(1592—1655年), 他通过评介罗马著名的原子论哲学家伊壁

鸠鲁而宣传原子论思想，而且最先尝试用原子论来解释托里拆利的真空实验，但他对原子的认识并未超过古人多少。伽桑狄的著作影响了化学家波义尔，后者坚信的微粒哲学是原子论的第一个近代形式。波义尔设想自然界的物质是由一些细小坚实、用物理方法不可分割的微粒所组成，这些微粒结合成更大的微粒团参与化学反应。正是基于这一微粒哲学，波义尔才能对他做的每一化学实验作机械论的解释，而摒弃任何神秘主义。

原子论是机械自然观的一种具体形式，在 17 世纪它还是一种科学理论，科学的原子论直到 19 世纪才出现。

5. 自然的数学化与机械自然观的确立

近代科学的显著特征是它的数学化，但它根源于自然的数学化。哥白尼的宇宙体系只因比托勒密体系有着数学上的优越性，就激起了开普勒、伽利略等人为之辩护，最后导致了牛顿力学的诞生。自然的数学结构是近代科学的先驱们深信不疑的真理，它也是机械自然观的重要组成部分。

机械自然观作为一种全新的自然观，首先是与中世纪盛行的亚里士多德的自然观相对立的。它主张，自然界并不是处处充满了形式和质，而是由质上完全同一的微粒所组成。决定自然界物体千差万别的是微粒量和空间排列的不同，运动不是物质属性的一般变化，而本质上是位置的改变；一切运动包括生物的生长不是受神秘的力的驱使，而是机械位移和机械碰撞的结果。机械自然观还主张，科学的任务不是寻求最终的目的论的解释，而是对运动作出数学的描述；机械模型可以说明包括人体在内的一切自然事物，自然应该成为人类理性透彻研究的对象。

伽利略最早提出“第一性”与“第二性”之分。物体的颜色、气味、声响等是第二性，它们都依赖于人感官的参与。而广延、形

状是第一性，是物体的本质属性，它们是纯量的东西，可以用数学来处理。这个区分是自然数学化的基础，也是机械自然观的基础，因为正是将自然界完全还原为一个量的、数学的世界，质的东西才被抛置一边，自然界才表现出其机械性来。

笛卡儿第一次系统表述了机械自然观的基本思想：第一，自然与人是完全不同的两类东西，人是自然界的旁观者；第二，自然界中只有物质和运动，一切感性事物均由物质的运动造成；第三，所有的运动本质上都是机械位移运动；第四，宏观的感性事物由微观的物质微粒构成；第五，自然界一切物体包括人体都是某种机械；第六，自然这部大机器是上帝制造的，而且一旦造好并给予第一推动就不再干预。牛顿用自己的科学实践对笛卡儿的机械自然观作了一些局部的修改，例如，自然界中除了物质与运动外还有力的作用存在，但基本看法没有变化。

我们可以把机械自然观概括为四个方面：第一，人与自然相分离；第二，自然界的数学设计；第三，物理世界的还原论说明；第四，自然界与机器的类比。机械自然观随着牛顿力学的建立而确立，在近代生命科学中，它也取得了普遍的胜利，血液循环理论的创立，就可以看成机械学在人体结构和功能方面的运用。

第十九章

科学活动的组织化与科研机构的建立

新的实验科学精神激励了越来越多的才智出众的人士加入探究自然奥秘的行列，他们起初是单干，但后来感到了交流、讨论与协作的必要性。他们自己的个人成就也需要发表，需要得到承认，于是，他们自发组织起小团体，共同研究问题，科学共同体就这样悄悄地诞生了。

另一方面，新兴的资产阶级在发展生产和经济时，深深感到了掌握自然知识的迫切性。开明的君主和政府开始支持自然科学研究，他们出资建立科学社团、实验室、天文台，主持制订大规模的研究计划，这使科学活动的组织化迅速发展到了一个较高的水平。

1. 意大利：自然秘密研究会、林琴学院、齐曼托学院

意大利作为文艺复兴的发源地，也是近代科学的摇篮。近代



图 19-1 林琴学院院徽

物理科学和生物科学的真正始祖或者是意大利人，或者在意大利接受教育并完成其创造性工作，伽利略是意大利人，他为近代物理科学奠定了基础，血液循环理论则基本上是意大利的帕多瓦大学一手培育出来的。

意大利物理学家波尔塔（1535—1615年）于1560年创立的“自然秘密研究会”，是近代历史上第一个自然科学的学术组织。波尔塔本人在物理学上并无大的贡献，据说他研究过针孔成像机，发现了光线直线传播原理，他还最先指出光的热效应，但这些工作比起他在科学组织活动方面的贡献是微不足道的。这个在他家里定期聚会的“自然秘密研究会”，成立不久就被教会指为巫术团体予以取缔。波尔塔并未气馁，在他的活动下，取得了菲·凯亚公爵支持并赞助的另一个学会于1603年在罗马成立，取名为林琴学院，“林琴”原意是山猫（猯猫），这种动物目光锐利，以它为名象征着对自然奥秘

这个在他家里定期聚会的“自然秘密研究会”，成立不久就被教会指为巫术团体予以取缔。波尔塔并未气馁，在他的活动下，取得了菲·凯亚公爵支持并赞助的另一个学会于1603年在罗马成立，取名为林琴学院，“林琴”原意是山猫（猯猫），这种动物目光锐利，以它为名象征着对自然奥秘



图 19-2 齐曼托学院

的洞悉。波尔塔当然是院士之一，当时著名的物理学家伽利略也是院士，最繁荣时院士人数达到 32 人。1615 年，由于对哥白尼学说的看法产生了分歧，学院分为两派，1630 年，赞助人凯亚公爵去世，学院便解散了。

伽利略去世后，他的两个最著名的学生托里拆利和维维安尼发起了另一个实验科学的团体，他们取得了意大利显赫的美第奇家族的托斯坎尼大公斐迪南二世（1610—1670 年）及其兄弟利奥波尔德亲王的赞助。美第奇兄弟本来就对自然科学十分热衷，斐迪南二世自己也曾经制造过一种封闭式温度计，而且他们很早就组建了一个实验室。在他们的支持下，1657 年在佛罗伦萨成立了



图 19-3 波雷利

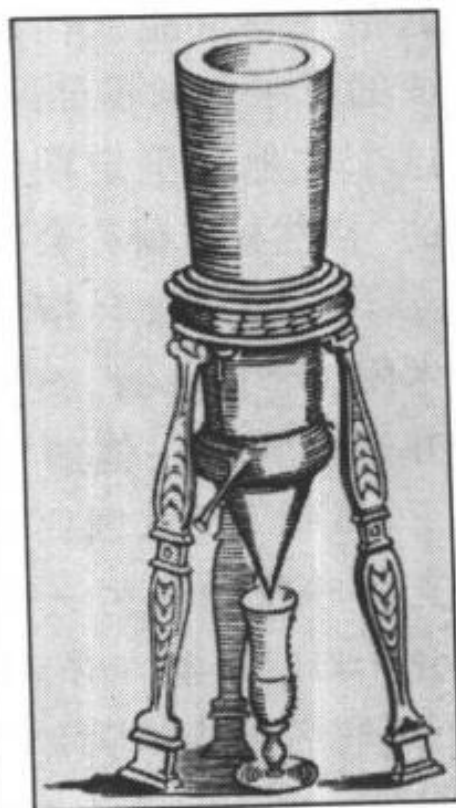


图 19-4 齐曼托学院的
验湿器

齐曼托（实验的意思）学院。最初有成员十多人，除了托里拆利和维维安尼之外，还有数学家及生理学家波雷利（1608—1679年），他是伽利略的朋友，曾试图将伽利略的工作与开普勒的工作结合起来，提出过彗星的轨道是抛物线，他还试图用机械学原理解释人体器官的运动，把胃看成是一个研磨，心脏是一个水泵；胚胎学家雷迪（1626—1697年），他通过实验证明象蛆这类小生命并不是自然发生的，而是由蝇产的卵形成的；



图 19-5 威尔金斯

天文学家卡西尼，他后来是新建立的巴黎天文台事实上的台长。1657—1667年间，齐曼托学院的成员们一起进行了许多次物理学实验，1667年于佛罗伦萨发表的《齐曼托学院自然实验文集》记载了这些实验，其中最重要的是关于空气压力的实验。1667年，利奥波尔德亲王当上了红衣主教，不再提供赞助，齐曼托学院便又解散了。

意大利学会的兴衰是它科学事业兴衰的标志，齐曼托学院解散后，意大利科学逐步走向衰落，英国继而成为科学发展之先锋。

2. 英国：哲学学会、皇家学会

英国科学团体的建立直接受到培根思想的影响，建立一个《新大西岛》中所描画的所罗门宫，一直是英国实验科学家们孜孜以求的理想。17世纪40年代，在著名的科学活动家约翰·威尔金



图 19-6 雷 恩

斯 (1614—1672 年) 的倡导下组织了一个学术团体, 他们自称“哲学学会”。威尔金斯本人是一位牧师, 一生主要从事神学研究, 但他的《新行星论》宣传哥白尼的日心说, 在英国起了很好的作用。哲学学会的会员有数学家瓦里士 (1616—1703 年) 和波义尔等, 他们主要在格雷山姆学院聚会。1646 年, 英国爆发资产阶级革命, 克伦威尔的军队攻占了牛津, 威尔金斯和瓦里士等人应邀到牛津大学任职, 原来的“哲学学会”便分为两

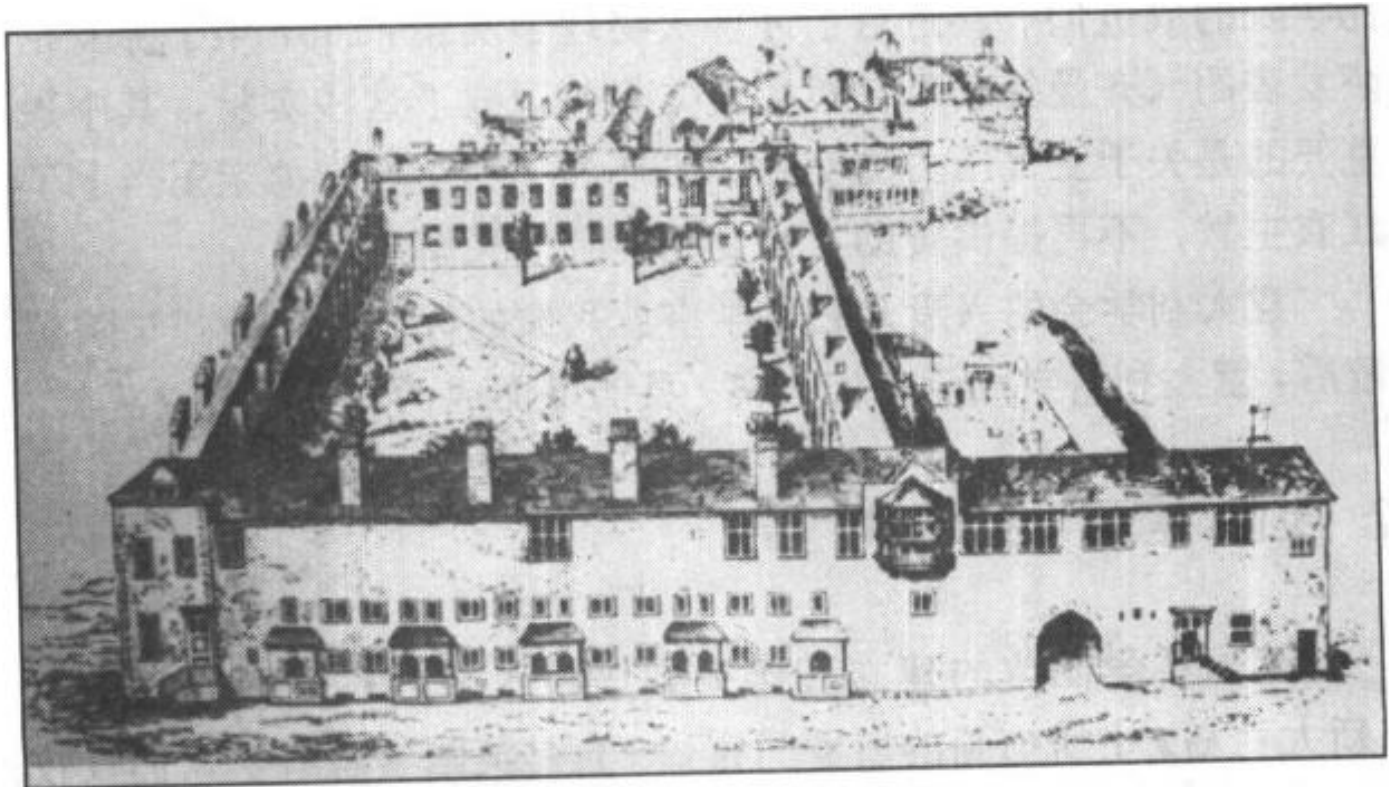


图 19-7 格雷山姆学院



图 19-8 奥尔登堡

半。在牛津的这一支因为会员流动性大，加之骨干会员的迁居，结果不了了之。而伦敦的那一支却越来越发达，威尔金斯、瓦里上、波义尔、雷恩后来都到了伦敦。

1660年11月，著名的建筑师雷恩（1632—1723年）在格雷山姆学院召集了一次会议，倡议建立一个新的学院，以促进物理和数学知识的增长。威尔金斯被推为学院主席，并拟出了第一批41名的成员名单。不久，复辟后的英国国王查理二世传话说

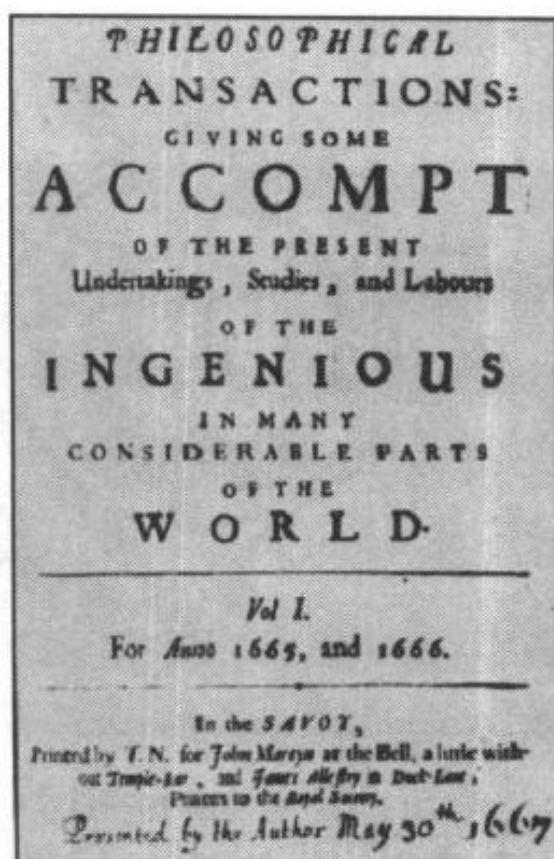


图 19-9 《皇家学会哲学学报》第一卷封面



图 19-10 《皇家学会史》封面，由左到右依次是布隆克尔、查理二世和培根



图 19-11 皇家学会颁发的科普利奖章

同意成立这样的团体,但须由他任命领导人,结果他的近臣莫里爵士任会长。两年后,查理二世正式批准成立“以促进自然知识为宗旨的皇家学会”,并委任另一位近臣布龙克尔勋爵为第一任会长,威尔金斯和奥尔登堡为学会秘书,胡克为总干事。这些人都是学会早期的热情参加者和有才干的活动家。

学会一开始基本贯彻了培根的学术思想,注重实验、发明和实效性的研究,胡克在为学会起草的章程中写道:“皇家学会的任务和宗旨是增进关于自然事物的知识,和一切有用的技艺、制造业、机械作业、引擎和用实验从事发明(神学、形而上

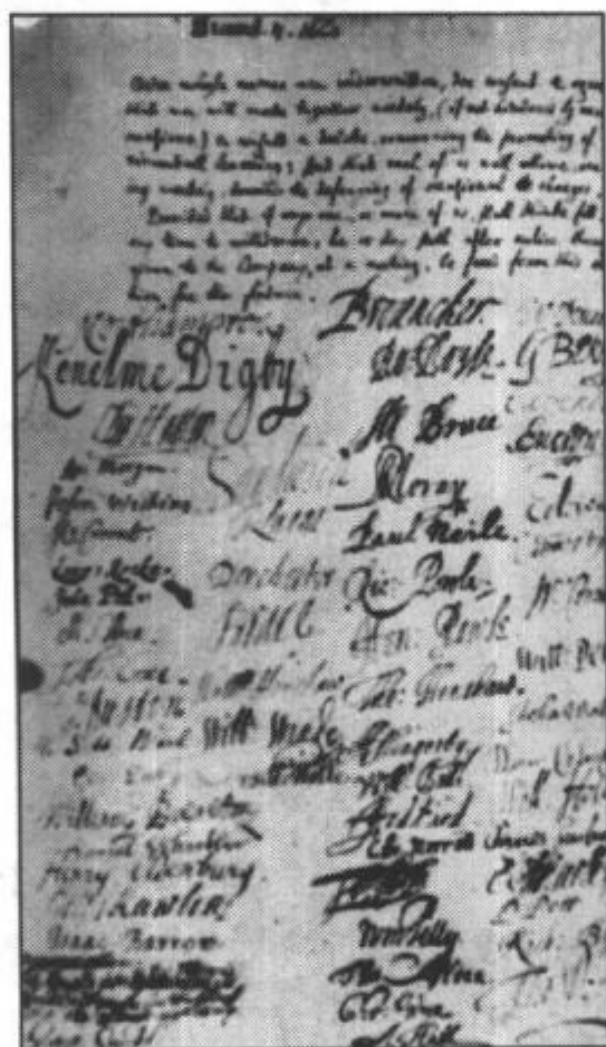


图 19-12 皇家学会会员签名

学、道德政治、文法、修辞学或者逻辑，则不去插手)；是试图恢复现在失传的这类可用的技艺和发明；是考察古代或近代任何重要作家在自然界方面、数学方面和机械方面所发明的，或者记录下来，或者实行的一切体系、理论、原理、假说、纲要、历史和实验；从而编成一个完整而踏实的哲学体系，来解决自然界的或者技艺所引起的一切现象，并将事物原因的理智解释记录下来。”为了实现这样的目的，皇家学会设立了不少委员会，有机械委员会研究机械发明，贸易史委员会研究工业技术原理，以及各专业委员会如天文学、解剖学、化学等。实用科学特别与商业贸易有关的科学知识最为皇家学会所重视。

学会的机关刊物《皇家学会哲学学报》于1665年3月由学会秘书奥尔登堡独自出版，奥尔登堡是一位富商，在欧洲大陆有广泛的联系。《学报》主要刊登会员提交的论文、研究报告、自然现象报道、学术通信和书刊信息。第一批会员中的斯普拉特是威尔金斯的学生，他的《皇家学会史》出版于1667年，是珍贵的科学史文献。

皇家学会在培根思想指引下，搜集了大量的实验事实、历史证据和奇异的自然现象，但没有在某一方向上做出开创性的贡献，这也说明了培根方法论的局限性。一度，伽利略的科学思想在学会中占了上风，特别在牛顿于1671年当上会员之后，对数学的重视变得显著，但总体上，皇家学会体现了典型的英国式经验主义风格。

皇家学会虽然有皇家许可证，但基本上是一个民间组织，王室并不提供津贴，它的经费主要来自会费和富商赞助。但皇家确实出资建立了一个重要的科研机构，它就是格林威治天文台。

3. 弗拉姆斯特德、哈雷与格林威治天文台

今天我们都知道，地理经度的零度线定为通过格林威治的这



图 19-13 弗拉姆斯特德

部分大圆弧(即子午线), 它的历史来由得从格林威治天文台说起。确定地球的纬度相对说来是比较容易的, 例如可以借助太阳光线入射角的变化, 但确定经度却不那么容易, 因为它要求更多更精确的天文观测。在海上贸易日益频繁的近代早期, 对当地经度的测定成了极为实际的问题, 许多国家的政府已意识到经度测定的重要性, 英国尤其如此, 因为它的商船队正在成

为当时世界上最大的船队。1714 年, 英国成立了经度局, 悬赏 2 万英镑, 征求经度测量法, 法国于 1716 也悬赏 10 万里拉, 征求解决办法。格林威治天文台的设立正与此有极大关系。

格林威治天文台于 1675 年正式成立, 它是一个由皇家出资修建的科研机构, 正式的领取年俸的工作人员只有一人, 他就是弗拉姆斯特德, 第一任皇家天文学家。

弗拉姆斯特德 1646 年生于英国德比郡, 15 岁时因身体不好而被迫退学, 以后依靠自学掌握了当时的数学和天文学理论, 他自己制造仪器并编制星历表, 1670 年向皇家学会提交过。此后, 他

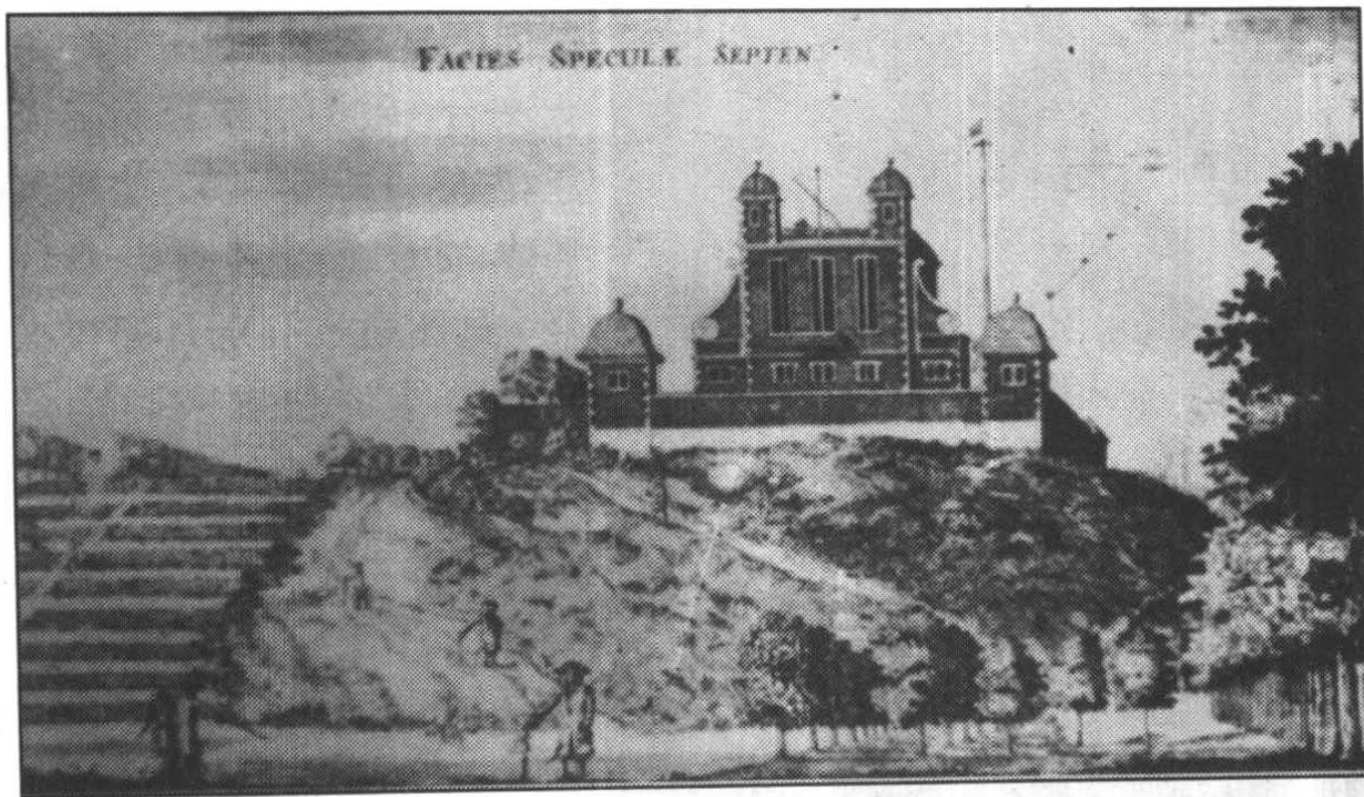


图 19-14 格林威治天文台外景

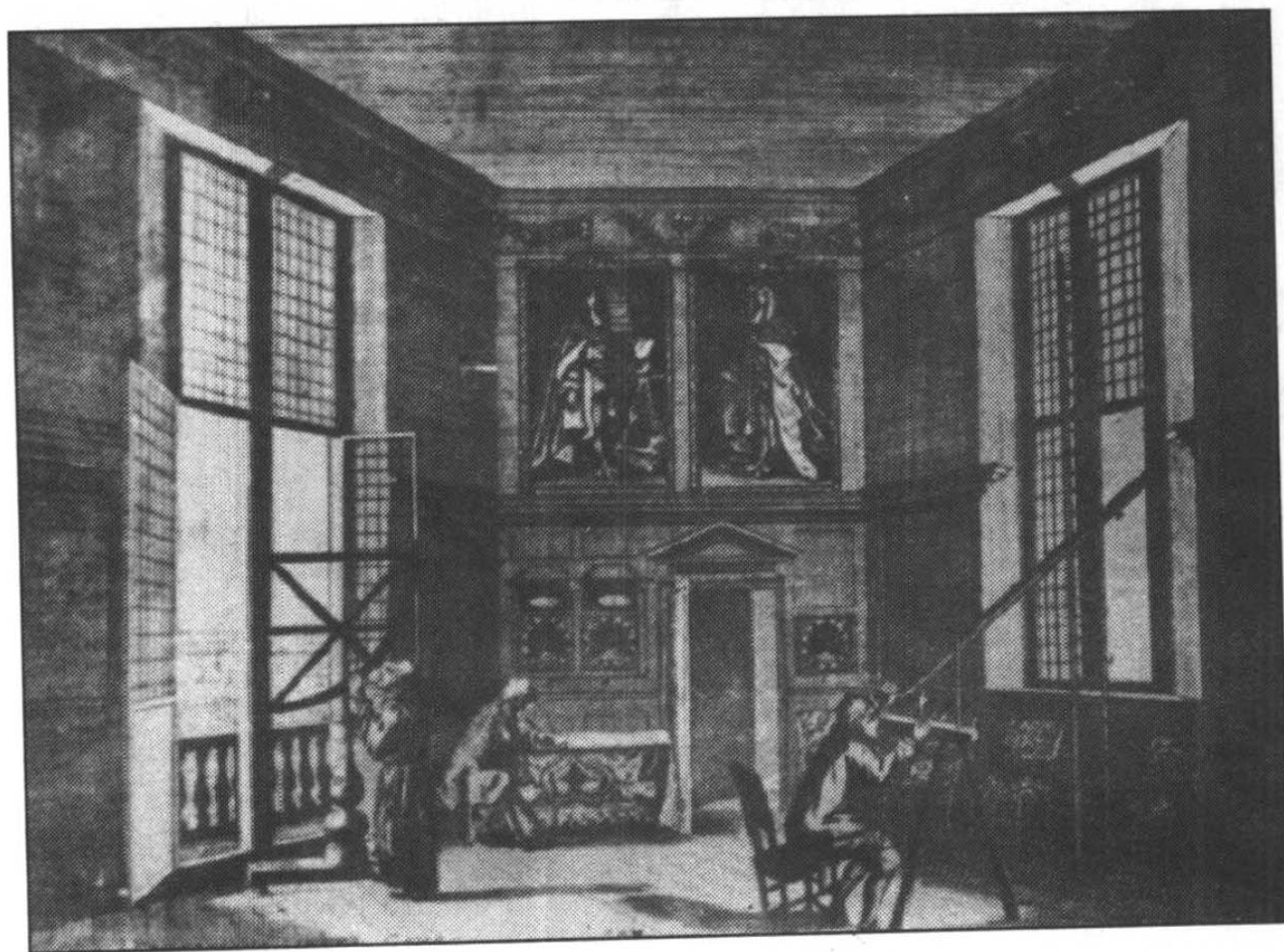


图 19-15 格林威治天文台内景

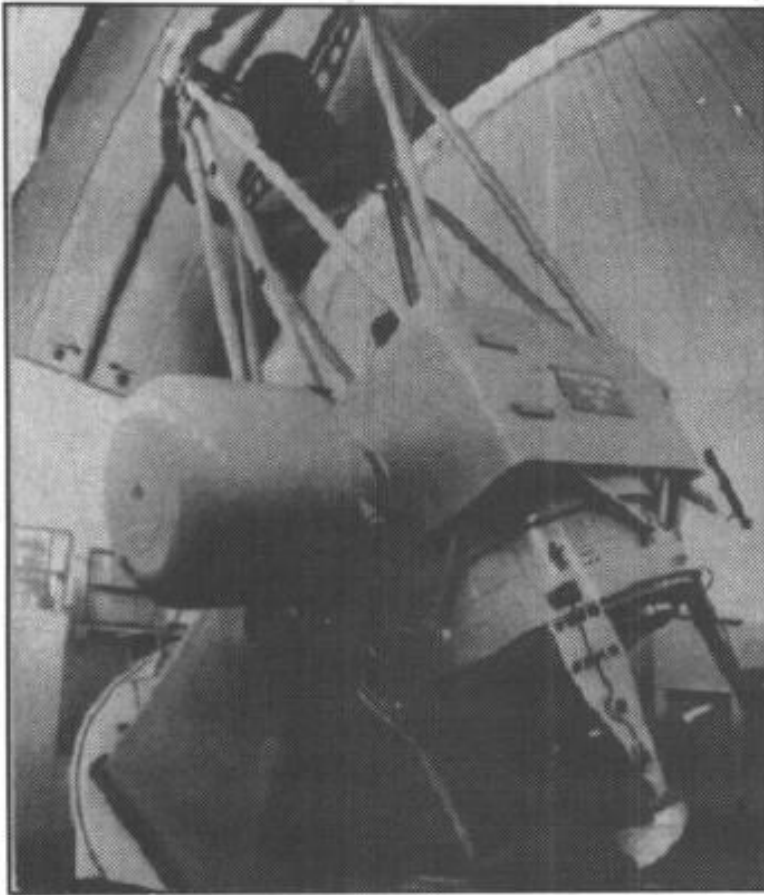


图 19-16 现代格林威治天文台配备的
牛顿式反射望远镜

在自己的家乡造了一所小天文台，致力于精确测定恒星位置。1675年初，他被邀请参加一个经度测定委员会，试图通过测定月亮在恒星背景中的位置来确定大海某处的经度。弗拉姆斯特德认为，当时可用的月历表和星历表太不可靠，这使英王查理二世下决心要建一个天文台，以准确地修订月历表和星历表，并任命弗拉姆斯特德为“观天家”，年薪100镑。台址最后确定在伦

敦附近的格林威治，查理二世在委任书中规定天文台的任务是“修订行星运动表和恒星方位表，寻求确定经度的精确方法，进一步改善航海术与天文学。”

弗拉姆斯特德首先想法装备自己的天文台，当时他已有了一台小型象限仪和一台六分仪以及两台时钟，但这远远不够，他还得有一台组合式的望远镜瞄准器及带刻度的天体角度度量装置。他既没有经费也没有助手，只有自己借钱自己动手制造，最好的一台仪器是一台可标140度的墙仪，花了120镑和一年的功夫。

弗拉姆斯特德克服了令人难以想象的困难，认真的观测、认真地计算，积累有用的数据。他对自己的工作要求很严，在未达到完善的程度之前不急于发表。牛顿等人催着他赶快公布有关的数据，认为他既是皇家天文学家，是政府官员，就有义务这样做，牛顿自己当然希望他的万有引力定律能早日得到精确天文观测的证实。弗拉姆斯特德则认为，自己为此破费了大量钱财，政府无

一分补贴，因此他有权决定何时发表这些成果，两人为此闹翻了。1712年，牛顿的朋友哈雷弄到了弗拉姆斯特德的部分观测资料，未经他的同意便立即出版了，弗氏十分气愤，将大部分印刷品买下烧毁。这件事促使他加紧工作，自己出版这些数据，但他没来得及将后来的一些资料付印，便于旧历1719年12月31日去世。死后出版的全部星表共三卷，是望远镜发明以来第一份完备的星



图 19-17 哈雷

历表，由于望远镜的使用，恒星定位的精度比第谷星表高六倍，包含的恒星数目近三千个，是第谷星表的三倍。

弗拉姆斯特德死后，哈雷接任了格林威治天文台皇家天文学家的职位。哈雷1656年生于伦敦，从小就热爱天文学，1676年，在弗拉姆斯特德的提议下，哈雷去南半球观察恒星，此前还没有一个天文学家看到过南半球天空。他在南大西洋的圣赫勒纳岛建立了一个天文台，经过一年多的观测，成功地测定了341颗恒星的位置，1678年回到英国时被誉为南方的第谷，并被选入皇家学会。

由于他的鼓励，牛顿写出了巨著《自然哲学的数学原理》，他还自己拿钱出版这本书的第一版，这一直被传为佳话。由于与牛顿的交往，哈雷对彗星问题发生了兴趣，因为引力定律对彗星的有效性尚不能确定。他开始系统整理1337至1698年间出现的24颗彗星的运动情况，并认真观测了1682年出现的彗星，到1705

年，他发现该彗星与 1456、1531 和 1607 年出现的彗星轨迹十分相似，它们出现的间隔正好都是 75 年，这使他认识到它们可能是同一颗彗星。在发表于当年《哲学学报》上的文章中，哈雷报告了这一发现，而且预言它将于 1758 年再次出现，但他没能亲眼目睹该彗星的再次回归，便于 1742 年去世了。当人们确实看到这颗彗星再次出现时，就将其命名为哈雷彗星。

哈雷 1720 年接任格林威治天文台时，弗拉姆斯特德制造的那些珍贵的观测仪器都被他的后人或债主搬走了，他只得重新装备。他在任期间，集中对月球进行观测，却成果不大。但是他在金星凌日的观测以及据此确定太阳系大小方面，做了十分有意义的工作。他还发现，恒星实际上并非固定不变，从托勒密时代以来，至少天狼星的位置就发生了改变。

4. 法国：巴黎科学院

与英国一样，法国的科学家和哲学家们起初也是自发聚会，巴黎的数学家费尔玛、哲学家伽桑迪和物理学家帕斯卡等人先是在修道士墨森（1588—1648 年）的修道室里，后是在行政院审查官蒙特莫尔（1600—1679 年）的家里集会，讨论自然科学问题，英国哲学家霍布斯、荷兰物理学家惠更斯也参加过这里的聚会。法国国王路易十四的近臣科尔培尔向路易十四建议成立一个新的科学团体，为国家服务。1666 年，巴黎科学院正式成立。与伦敦皇家学会不同，该院由国王提供经费，院士有津贴，官方色彩更浓一些。他们的研究分为数学（包括力学和天文学）和物理学（包括化学、植物学、解剖学和生理学）两大部分。外籍院士惠更斯将培根的思想带进了这所新成立的科学院，他领导了大量的物理学实验工作，著名物理学家马略特（1620—1684 年）的气体膨胀定律就是在这期间发现的。

5. 皮卡尔、卡西尼 与巴黎天文台

巴黎科学院的第一批天文院士皮卡尔（1620—1682年）是一位出色的天文观测家，他是第一个将望远镜用于精确测量微小角度的人，这一重大的观测技术革新使天文学步入了一个新的发展阶段。他的另一工作是测定地球的周长，一千八百多年前，埃拉托色尼曾经利用太阳光线在地球



图 19-18 1671 年路易十五参观巴黎科学院



图 19-19 1676 年巴黎科学院的化学实验室

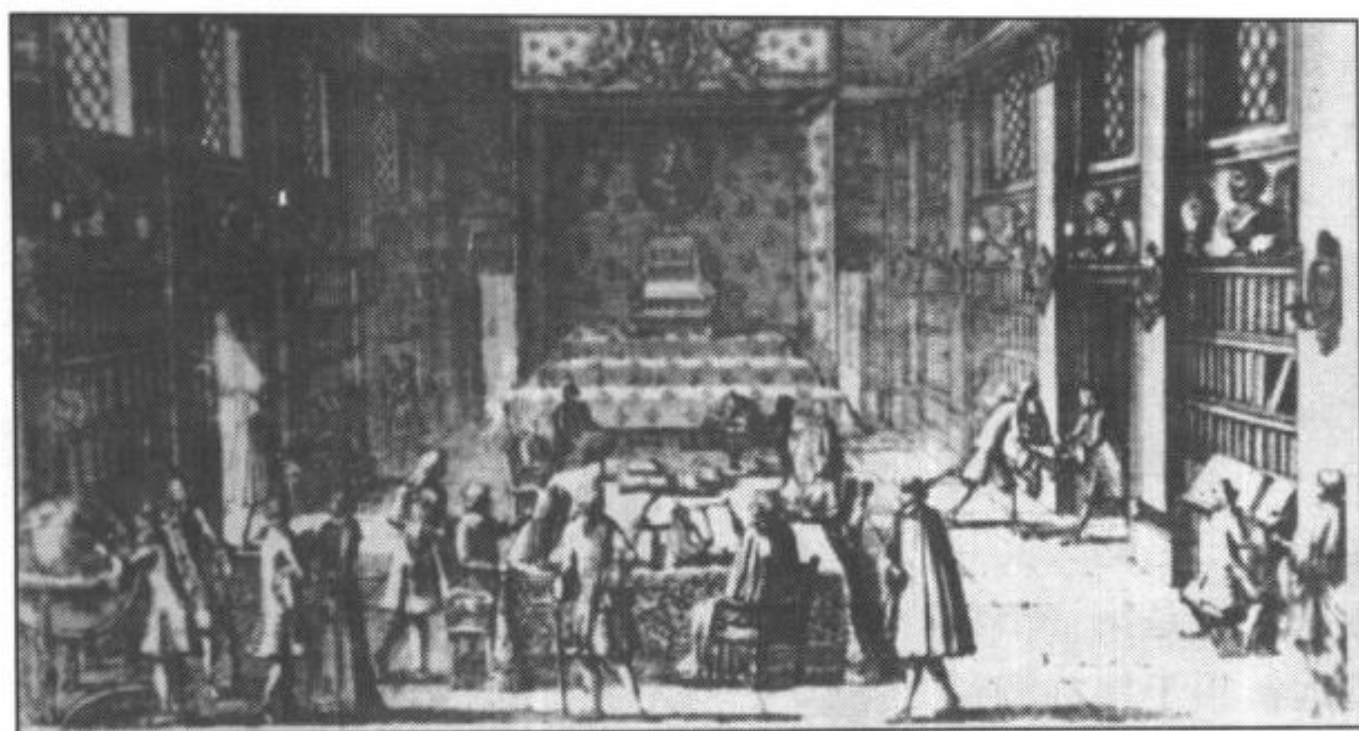


图 19-20 科学院在皇家图书馆开会

上不同地方所投射的不同角度算出了一个周长值，皮卡尔用恒星取代太阳作为参照物，算出地球的周长为 24876 英里，与今天通用值基本接近。

正是皮卡尔提出应该在科学院属下建立一个天文台。这一动

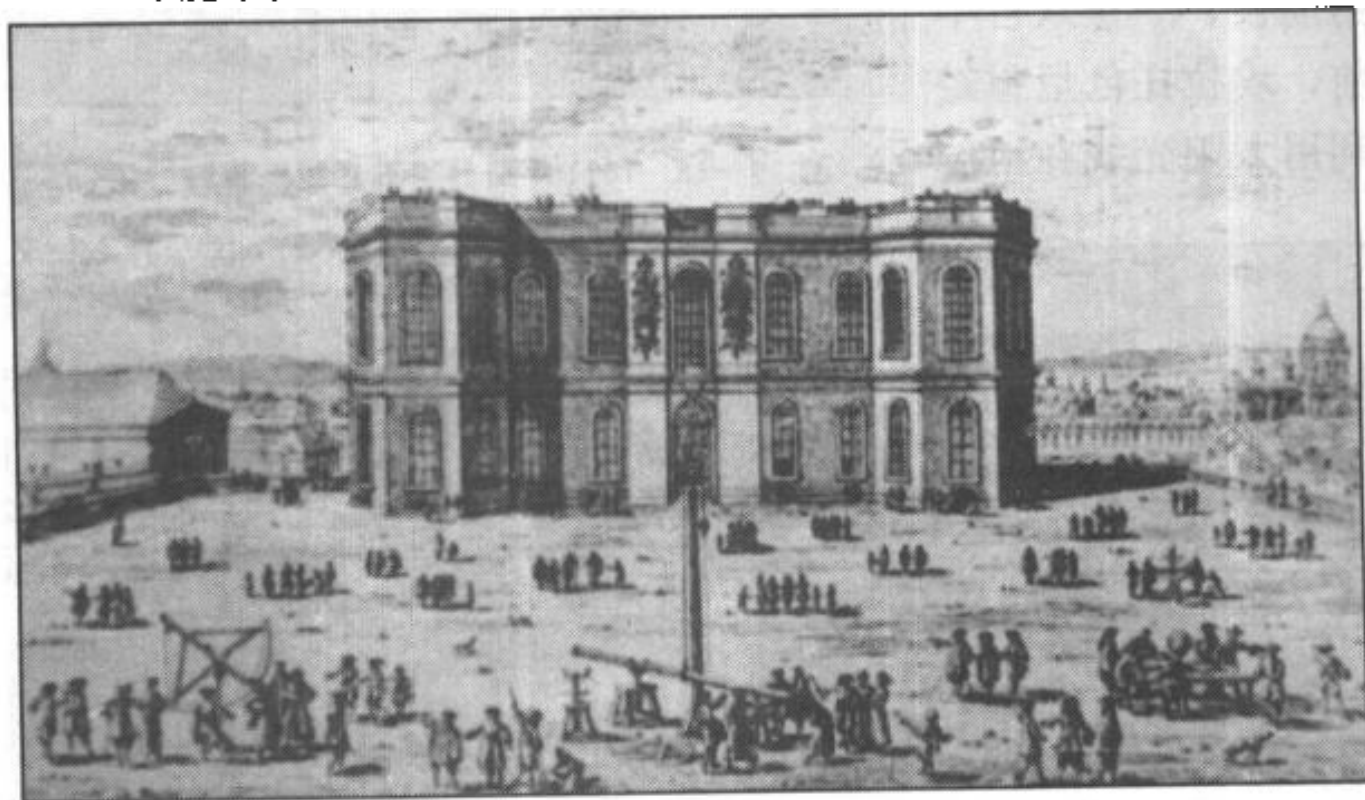


图 19-21 巴黎天文台

议马上被批准，天文台的建筑物 1667 年动工，1672 年建成。在修建过程中，皮卡尔同时在搜寻人才，他看中了当时因编制木星卫星运行表而相当著名的意大利天文学家卡西尼（1625—1712 年），遂于 1669 年将卡西尼请到巴黎主持这里的工作。



图 19-22 卡西尼

卡西尼来到巴黎天文台后，发明了一种物镜与目镜相分离的无筒望远镜，并用它发现了土星的四颗新卫星，1675 年，他进一步指出，为

惠更斯所发现的土星光环实际上是双重的，两环之间有一道缝隙。卡西尼猜想，光环可能由无数小颗粒组成，但当时的绝大多数天文学家主张光环是固体的，后来表明卡西尼是正确的。1672 年，他发现了火星的视差，这意味着可以算出火星的距离了，而且进一步可以推算日地距离。卡西尼还想进一步观测恒星视差，但因大气折射没能成功。这使他仍然不相信哥白尼的日心学说。

卡西尼的儿子、孙子和曾孙都是巴黎天文台的天文学家，而且一直统治着法国的天文学界，这种近亲繁殖产生了一些不好的影响，法国天文学的衰落可能与此有关。



图 19-23 罗伊默

丹麦天文学家罗伊默（1644—1710 年）在巴黎天文台工作期间，注意到木卫掩食的时间随地球的运动有所变化，这使他猜到光速可能是有限的：正是因为地球与木星的距离发生了变化，木卫掩食通过光传播到地球时的时间也发生了变化。据此，罗伊默计算了光的传播速度为每秒 227000 公里，这个数值小了，但作为

人类对光速的第一次测量和计算，已十分难能可贵。

6. 莱布尼兹与柏林科学院

德国著名的哲学家莱布尼兹 1646 年 7 月 1 日生于莱比锡一个名门世家，他的父亲是一位哲学教授，莱布尼兹从小好学，8 岁时自学拉丁文，12 岁已经掌握了它，并接着学习希腊文。他一生才华横溢，在多个领域做出不同凡响的成就，他是哲学家、数学家，又是外交家和科学活动家。在数学方面，他发明了 2 进制，并设计制造了一台计算机，这台计算机比帕斯卡的那台高级，它不



图 19-24 莱布尼兹

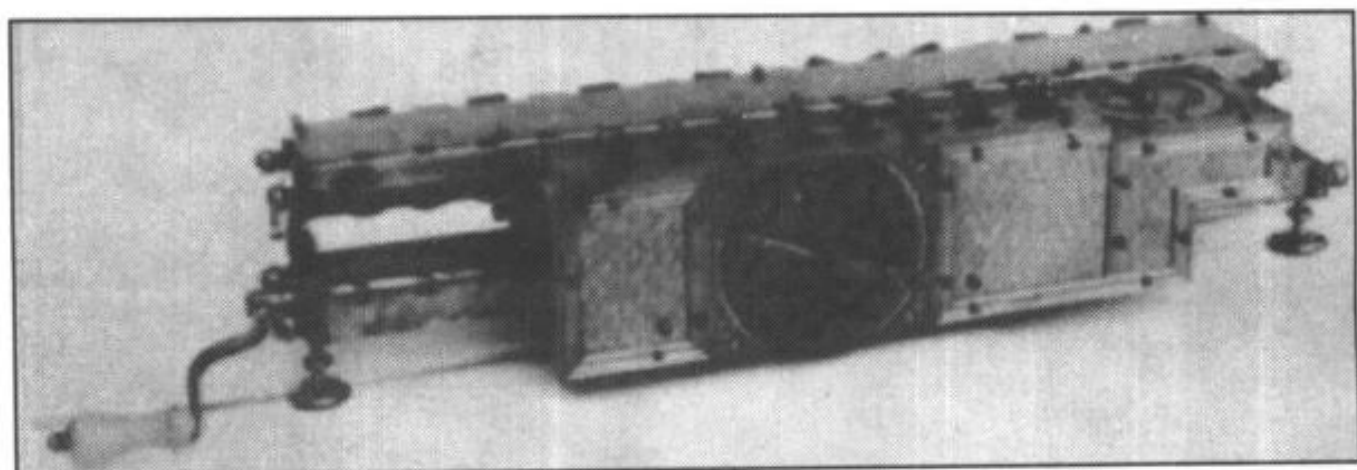


图 19-25 莱布尼兹设计的计算机

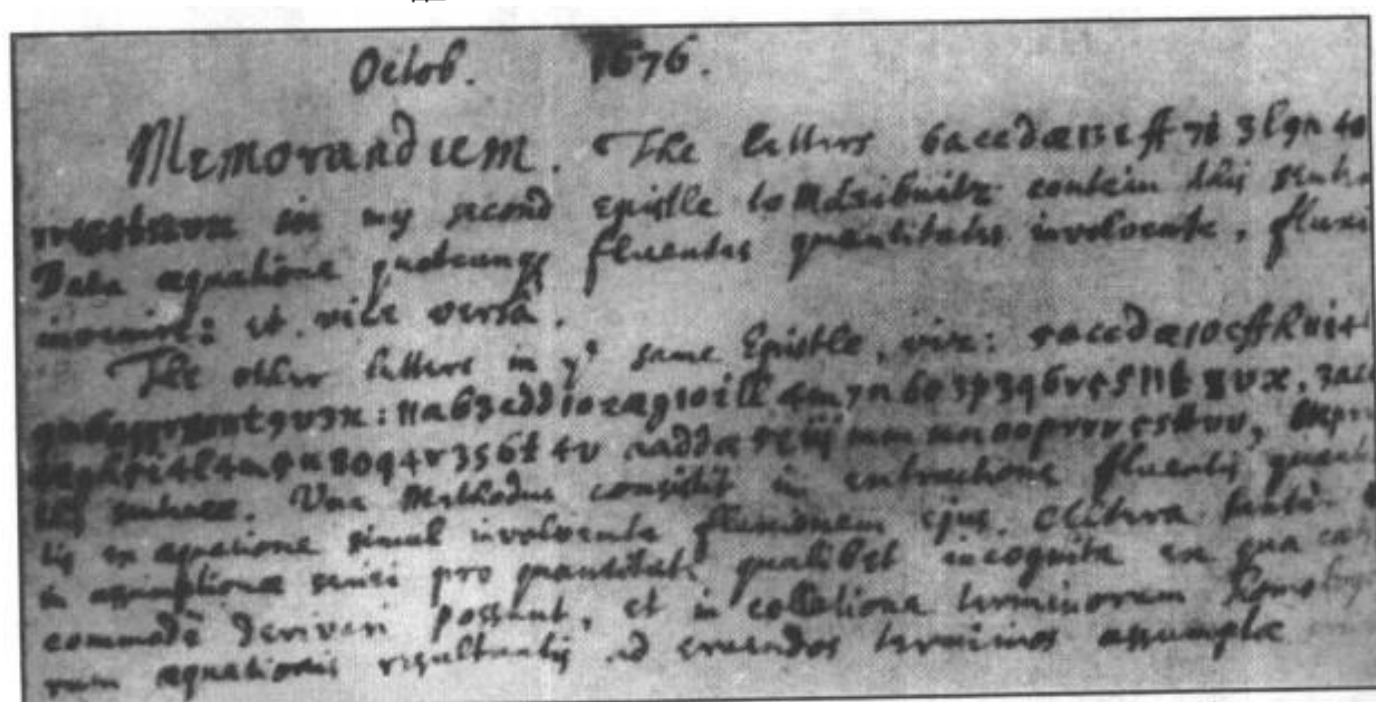


图 19-26 牛顿发表的微积分的密码手稿

仅能做加减法还可以做乘除法，由于这台计算机他被皇家学会选为会员。

他在数学方面最大的成就是与牛顿一样独立地发明了微积分，虽然后来为发明权问题进行了一场著名的争吵。莱布尼兹从求曲线上任一点的切线问题入手发明了微分，以后又研究了微分的逆运算积分。1684 年，他在德国《博物学报》上发表了一个简介，但未引起注意，1686 年又在同一刊物上发表了更详细的论文：“求极大、极小和切线的新方法，也能用于分数和无理量的情形以及这个方法的一个巧妙的计算”，文中首次使用了今日通用的微分

和积分符号 dx , dy , $\int dx$, $\int dy$ 等。该论文的发表引起了英国方面关于微积分发明权的议论，起初双方当事人并不在意，他们都承认各自的独立发明：牛顿称自己发明时间是 1665—1666 年，莱布尼兹称自己的发明时间为 1674 年。但后来，英国人越来越激动，牛顿也暗中怂恿，闹得不可开交，他们指责莱布尼兹剽窃。莱布尼兹只好于 1714 年写了“微分学的历史和起源”一文，陈述了他发明微积分的历史背景。这场争论使英国和欧洲大陆之间的数学交流中断，也使英国数学的发展受到严重影响，他们固守牛顿的流数法，拒不接受莱布尼兹先进的符号体系，英国数学自牛顿以后明显落后了。

1693 年，莱布尼兹发现了活力守恒定律即机械能守恒定律，这是他在力学领域作出的主要贡献。

建立柏林科学院是莱布尼兹鼓吹、筹划了很久的事情。早在 1670 年，他就在构想建立一个被称为“德国技术和科学促进学院或学会”的机构。在后来的外交官生涯中，他实地考察了伦敦的皇家学会和巴黎科学院，进一步完善了他早期的构想。在他一手筹划下，柏林科学院终于在 1700 年历史跨入 18 世纪时正式成立了，莱布尼兹本人出任第一任院长。学院不仅研究数学物理，还研究德语和文学，这种自然科学与人文科学相互关联的风格也一直是德国学术传统的一部分。

第五卷

18世纪：技术革命与理性启蒙



图 20—0 《百科全书》扉页

有两个伟大的历史事件使十八世纪成为一个光辉的世纪，它们是英国的产业革命和法国大革命。这两个事件虽然都发生于18世纪的后半叶，但却是整个世纪孕育出来的。工业革命基本上是在与理论科学研究完全无关的情况下发生的。但却马上带动了相应学科的发展，科学越来越面向实用技术，并形成科学—技术的相互加速的循环机制。另一方面，启蒙运动使近代的科学精神在法国广为传播，科学越来越为整个社会所了解，越来越成为一种推动历史的社会力量，大革命中诞生的民主政制充分认识到科学的进步意义，法国一跃取代英国成为科学强国。

第二十章

技术发明与英国产业革命

产业革命即工业革命，它表现在以机器代替人力、以大规模的工厂生产代替个体工场手工生产，即在生产力和生产关系方面均发生巨大的变革，它使人类历史进入了一个全新的时期。一座座工厂在从前绿色的原野上耸立起来，高大的烟囱冒出浓黑的烟雾，机器的轰隆声惊醒了沉寂的山坳，人类的生活方式在工业革命中发生着巨大的变化。

产业革命首先在英国发生不是偶然的。17 世纪后期，英国比较彻底地完成了资产阶级革命，最后确立了君主立宪政体，长期执政的自由党人通过了一系列有利于工商业发展的法律；农业的资本主义化已基本完成，圈地运动使大批农民成为城市无产者，为工业发展提供了人力资源；早期商业资本家在殖民和海外贸易过程中积累了大量的原始资本，他们中的大多数向工业资本家转化；英国的天然资源十分丰富，煤和铁矿储量尤其充足，广大的殖民地保障了广阔的商品市场。这些优越的条件使英国率先发起产业革命。

机器取代人力是产业革命的关键，正是一大批新机器的发明和运用，使劳动生产率大幅度提高，使工业发展突飞猛进，形成革命态势。产业革命实际上是工业技术革命。

1. 纺织业的发展与纺织机的发明和改进

英国产业革命从纺织业开始。毛纺织业是英国的传统手工业，但棉纺织业是新兴工业。英国社会十分喜爱棉布，一直从印度进口，这使传统的毛纺织业受到了冲击，国会于1700年颁布了禁止外国棉布进口的法令，英国人对棉布的喜好并没有改变，禁止进口的结果是给本国的棉纺织业以发展机会。

纺织分纺纱和织布两个环节。1733年，约翰·凯发明了飞梭，

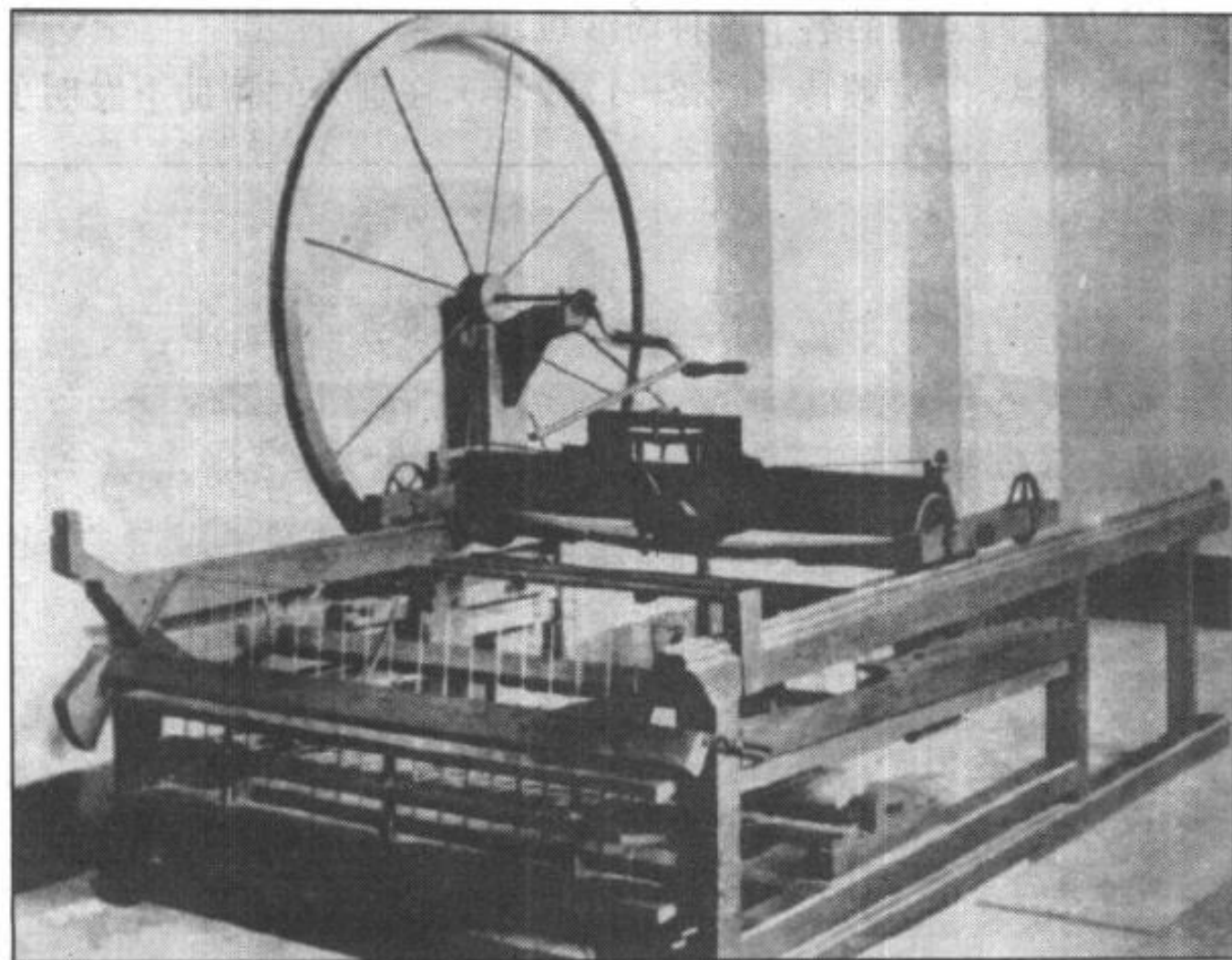


图 20—1 珍妮机

改进了织布技术。从前织工用手来回掷梭子，劳动强度大，效率低，而且因手臂长度有限布面不能太宽。飞梭实际上是安装在滑槽里带有小轮的梭子，滑槽两端装上弹簧，使梭子可以极快地来回穿行，布面也可以大大加宽。飞梭的发明使织布速度变快，纺纱方面便显得慢了。

生产的要求直接推动发明。1738年，约翰·惠特和路易斯·保罗发明滚轮式纺织机。1751年，皇家学会悬赏征求“发明一架出色的能同时纺6根棉纱或麻线而只需一人照管的机器”。1765年，詹姆斯·哈格里夫斯发明了锭子垂直放置的“珍妮机”。哈格里夫斯是一位纺纱工人同时又是一个木工，一次纺纱时不慎将纺车弄翻，他发现翻倒的纺车依然还在转动，这启发他搞出了立式的多滚轮纺纱机，一开始他安装了8根锭子，后来扩展成80根，他用他女儿的名字命名了这种纺纱机。

1769年，阿克赖特（1732—1792年）在别人的帮助下发明了

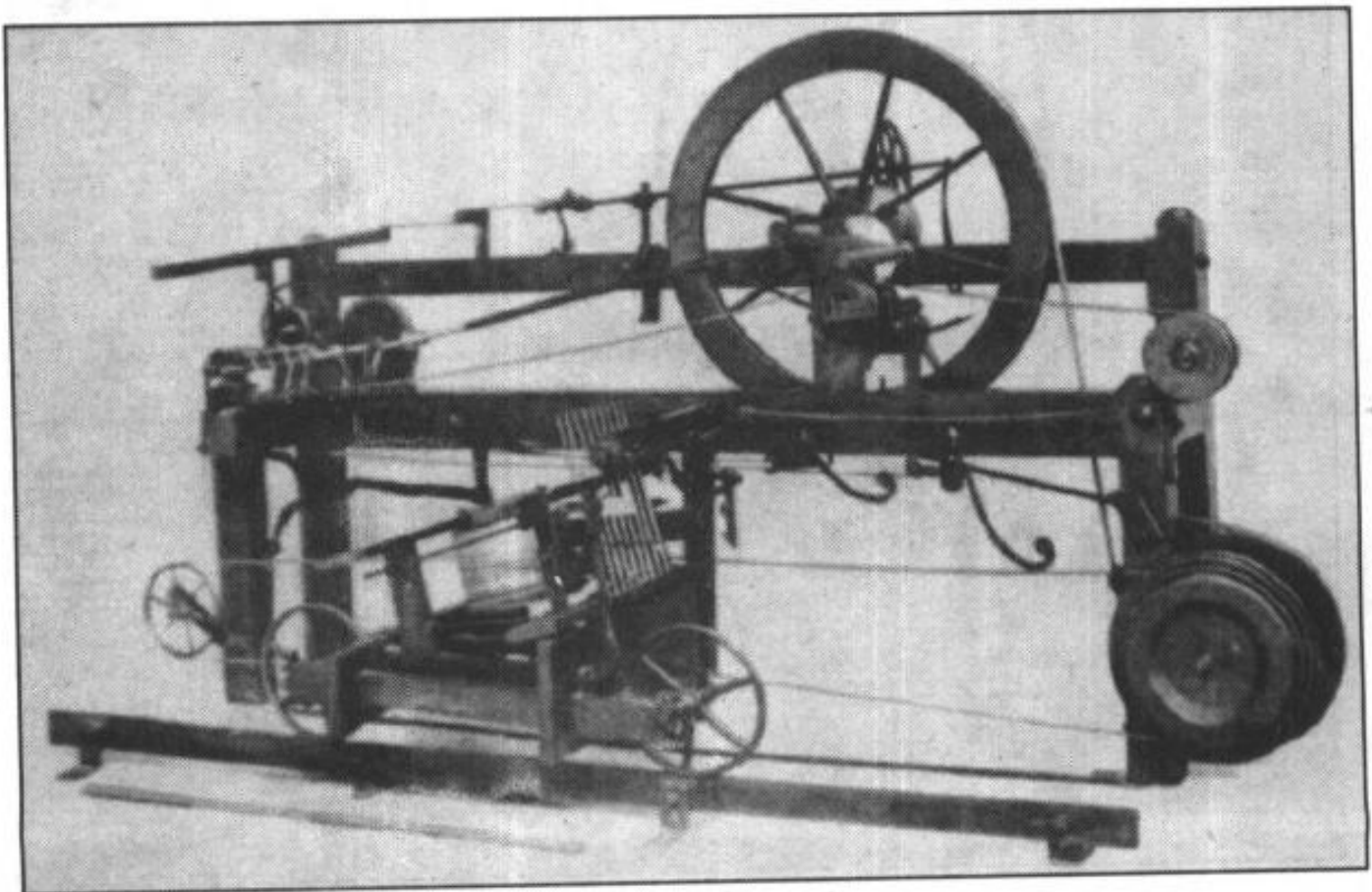


图 20—2 骡机

动力纺纱机，这种新机器可以机械的重复人工纺纱的动作，而且所纺棉纱十分结实，改变了从前棉纱只能作纬线不能做经线的局面。起初，阿克赖特用畜力作动力来源，1771年又改用水力，发明了“水力纺纱机”。阿克赖特作为发明家一直令人怀疑，因为他早先是一个剃头匠，对机械制造一窍不通，而且他曾被人揭露窃取他人发明成果。但阿克赖特是一个成功的事业家，他成功地使用了被认为是他发明的纺纱机，成了当时英国最大的纱厂主。

1779年，塞缪尔·康普顿将阿克赖特的水力纺纱机与哈格里夫斯的“珍妮机”相结合，发明了新一代的走锭纺纱机，称为“骡机”，意为通过杂交得来。最初的骡机有12个锭子，但纺得的纱线不仅结实而且十分精细。后来经过改进，骡机可装400枚纱锭。这种纺纱机的出现改变了纺纱业跟不上的局面，相反造成了织布业的困顿。

1785年，根特的一位牧师卡特赖特在一位木工和一位铁匠的帮助下造出了一架动力织机，可惜的是，他正欲用新研制的织布机开一家工厂，但在机器尚未安装好之前工厂发生了火灾。虽然如此，他的新织机还是被人使用。由于新式的动力纺纱机和织布机的发明，英国纺织业迅速成为世界第一大轻工业。

2. 蒸汽动力机的发明、制造与使用：巴本、 纽可门、瓦特

近代以来，由于木材缺乏，煤开始作为燃料被广泛使用，煤的开采业因而越来越热。但是，矿业主普遍面临一个头疼的问题是矿井的排水问题。由于矿井越开越深，越开越大，用传统的提水机械来排水需要动用大量的人力和畜力，据说17世纪晚期时，英国有些矿井的提水水泵需要500匹马才能开动。这种情况迫使人们尽快研制用于矿井排水的动力机械。

蒸汽用来作为动力古已有之，亚历山大里亚的希罗曾利用蒸汽的反冲力做过一个玩具。近代也有许多人动过这方面的脑筋，第一个比较有意义的尝试可能是罗马林琴学院的创始人之一波尔塔做的，他在1601年出版的《神灵三书》中提出，可以让蒸汽的压力使水提升，而蒸汽冷却后形成的真空又可以将水从低处吸进来。他设计的装置虽然只是一种实验器械，没有什么实际用途，但其叙述的构想以及他当时还未意识到的原理十分重要。

17世纪上半叶，大气压力和真空概念已广为人知，而法国工程师巴本（1647—1712年）在使蒸汽动力技术实用化方面迈出了一大步。巴本生于法国南部的布卢瓦，早年学医，1671年在巴黎结识惠更斯，并协助惠更斯做大气压力和真空实验，1674年改进了波义尔的空气泵。波义尔听到这个消息，便邀请巴本当他的助手。1675年，巴本来到伦敦跟随波义尔系统学习气体力学知识。

1679年，巴本研制出了一种“蒸煮器”，这种炊锅完全密封，水在里面煮沸后产生的蒸汽压使沸点升高，高温使食物极易煮烂，锅盖上还装有安全阀防止蒸汽压力过高。实际上，“蒸煮器”就是现代人们常用的高压锅。据说，巴本用这种高压锅给查理二世做了一道菜，平时不太容易熟的骨头这时变得烂熟，味道极其鲜美。因为发明了此蒸煮器，他于1680年当选为皇家学会会员。

巴本在蒸煮器的基础上制成了第一台带活塞的蒸汽机，设计以“一种获取廉价大动力的新方法”为题发表于1690年。这是一个单缸活塞式蒸汽机，汽缸底部放有少量的水，将汽缸加热时所产生的蒸汽推动活塞至顶端，再将热源撤除，里面的蒸汽必定冷凝形成真空，于是汽缸在大气压力作用下下落，这个过程可以提供动力。

继巴本的蒸汽机之后，英国工程师萨弗里（1650—1715年）又发明蒸汽泵。与巴本的蒸汽机不同，它没有活塞，因为它的直接目的是抽水。当时矿井排水问题已迫在眉睫，政府已多次悬赏解

决排水问题。萨弗里的蒸汽泵由汽缸和三根导管组成，一根导管通往蒸汽锅炉，另两根分别是进水管和出水管。蒸汽进入汽缸后注凉水冷却形成真空将水吸入，第二次通入蒸汽则将汽缸中的水压出。1698年，萨弗里获得了该项专利。蒸汽泵是第一台投入实用的蒸汽机，某些使用过的矿场都称

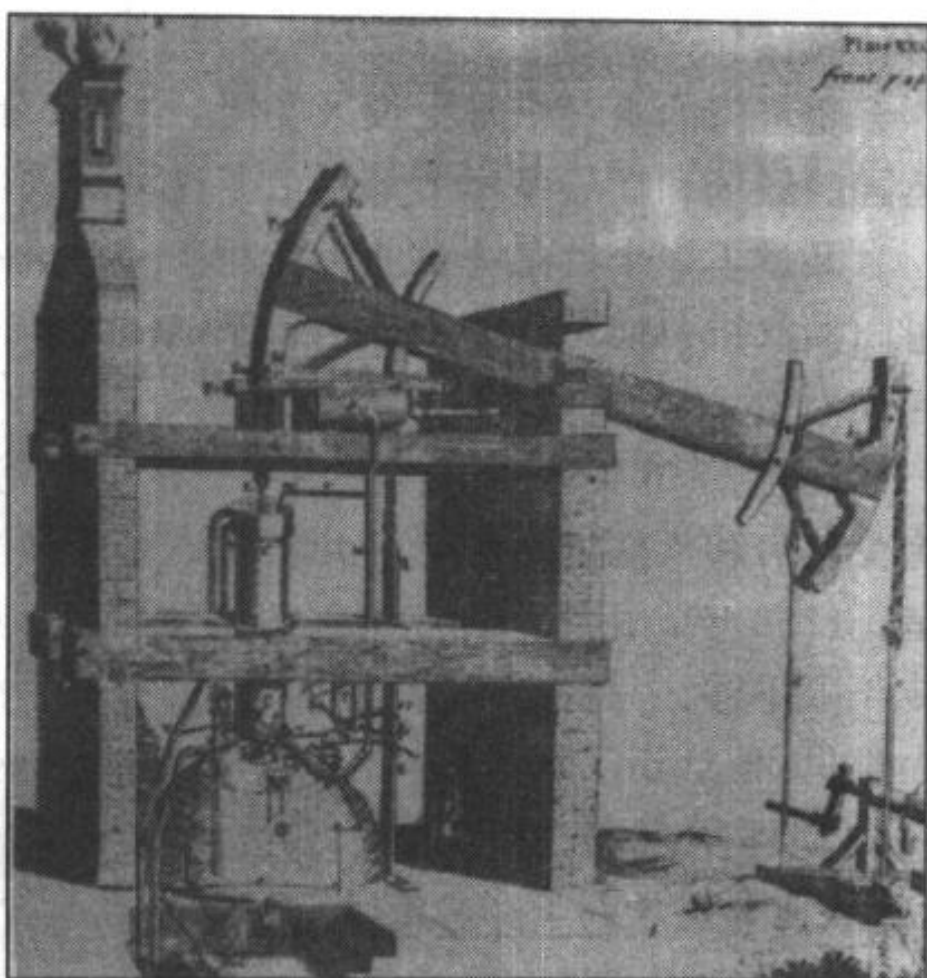


图 20-3 纽可门的提水蒸汽机

它为“矿工之友”。不过，它的缺点是十分显著的：它不可能将水提很高，因为那将需要较高的蒸汽压，而锅炉不能安全地提供这样高压的蒸汽，而且，它的热效率太低。

蒸汽机的下一步改进是由英国工程师纽可门（1663—1729年）完成的。萨弗里的蒸汽机问世后，马上吸引了当时还是铁匠的纽可门，他决心在此基础上造出更好的蒸汽机来。为此，纽可门专程拜访了年迈的胡克，胡克向他讲解了有关的知识。后来，他又与萨弗里本人一起探讨改进方案，于1705年造出了一台蒸汽机。这台机器吸取了巴本蒸汽机和萨弗里蒸汽泵的优点，它有一个带活塞的汽缸，但蒸气由另外的锅炉输入。纽可门的创造在于，为了提高冷凝速度，他在汽缸里装了一个冷水喷射器，这大大提高了热效率，据说这是胡克的主意。与萨弗里的蒸汽泵不同，纽可门的机器依靠大气压力而不是蒸汽压力工作，不存在高压蒸汽

的危险性。

纽可门的蒸汽机马上投入实用，效果十分良好，到了1712年，英国的煤场和矿场基本上都用上了这种新式蒸汽机。

又过了半个世纪，工业生产对于动力机的需要空前增长，纽可门蒸汽机只能用于矿山抽水，不能满足新的需要，瓦特蒸汽机应运而生。

瓦特1736年生于苏格兰西部的格里诺克一个工人家庭，从小饱受贫穷和疾病的折磨，十几岁即到来伦敦当学徒，学习机械制造。1756年，瓦特回到苏格兰的格拉斯哥，想自己开业，但因学徒年限不够，只得在格拉斯哥大学谋得了一个机修工的职位。在大学里，他认识了著名的物理学家布莱克，从他那里学到了许多热学知识。与此同时，他在思考如何改进纽可门蒸汽机。

1763年，他受命修理格拉斯哥大学的一台纽可门蒸汽机，得以仔细研究纽可门机的结构。他发现纽可门机的热量浪费太大，每一次蒸汽进入汽缸后，为了得到真空都要用冷水冷却，下一次蒸汽先得将已冷却的汽缸加热才能推动

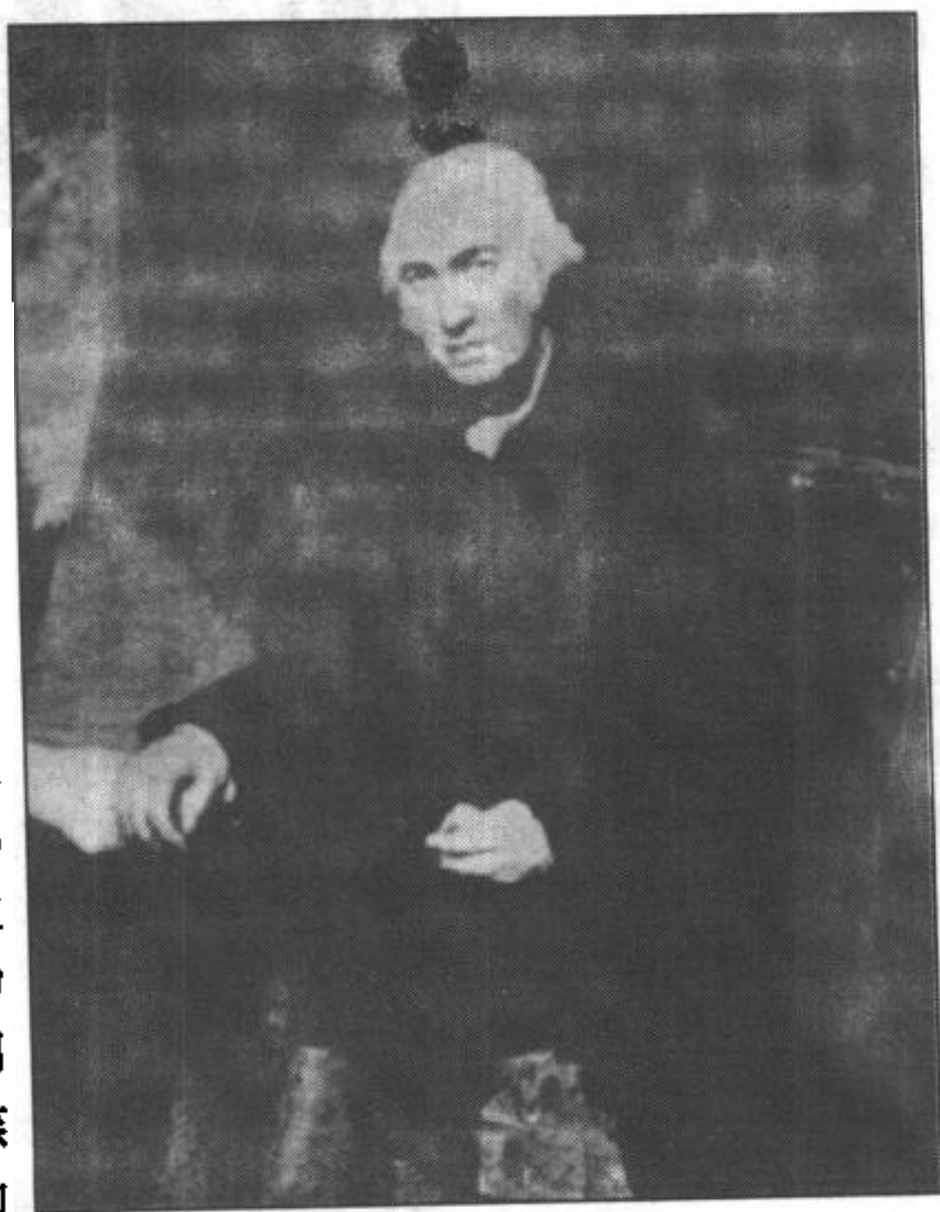


图 20—4 瓦 特

汽缸使汽缸充满高温蒸汽。在这一冷一热的过程中，热量损失太大。也就是煤矿里有大量品位较低的煤供纽可门机用，其它场合根本不可能使用这种如此消耗燃料的动力机。但是，如何改变这一缺点呢？

1765年，瓦特终于想出了在

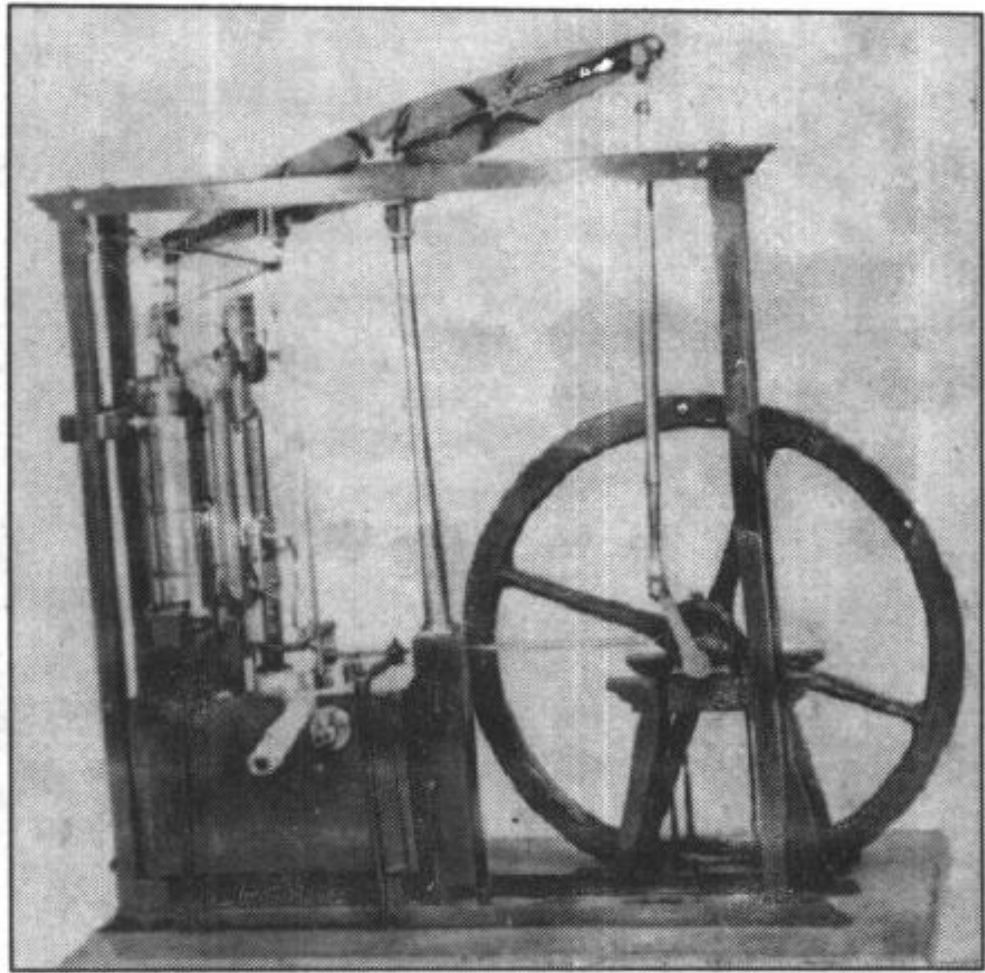


图 20—5 经瓦特改进过的纽可门蒸汽机

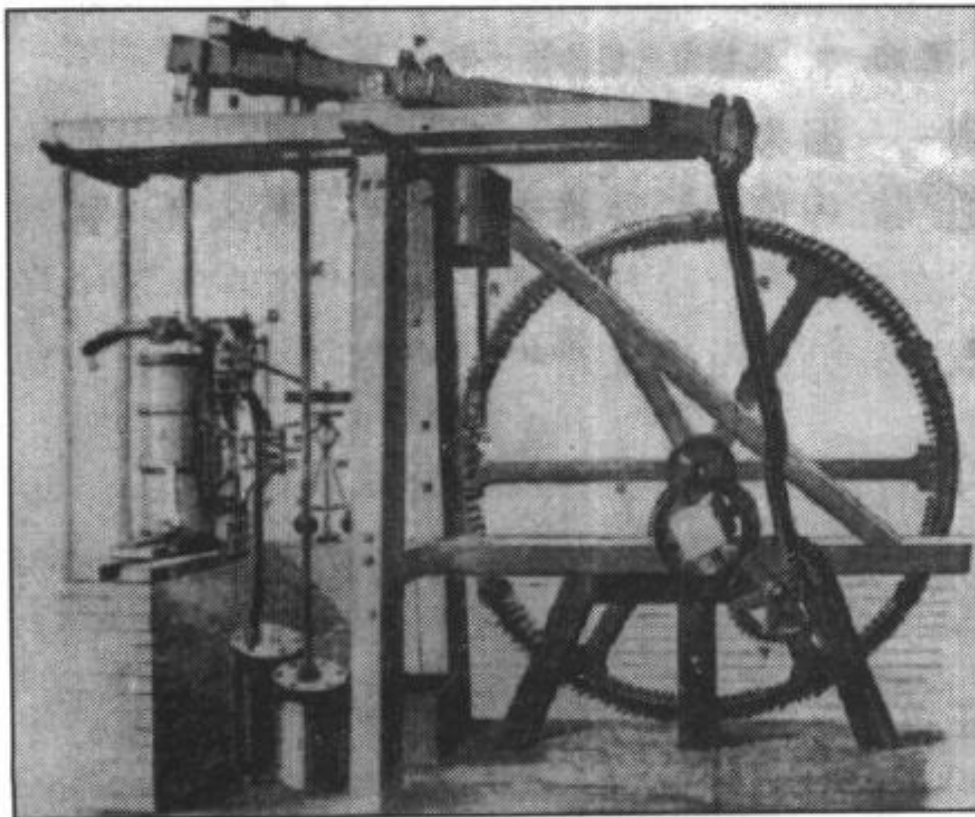


图 20—6 瓦特设计的往复式蒸汽机

汽缸之后再加一个冷凝器的主意。瓦特自述说：“那是一个晴朗的星期天下午，我出去散步。从察罗托街尽头的城门来到了草原，走过旧洗衣店。那时我正在继续考虑蒸汽机的事情。然后来到了牧人的茅

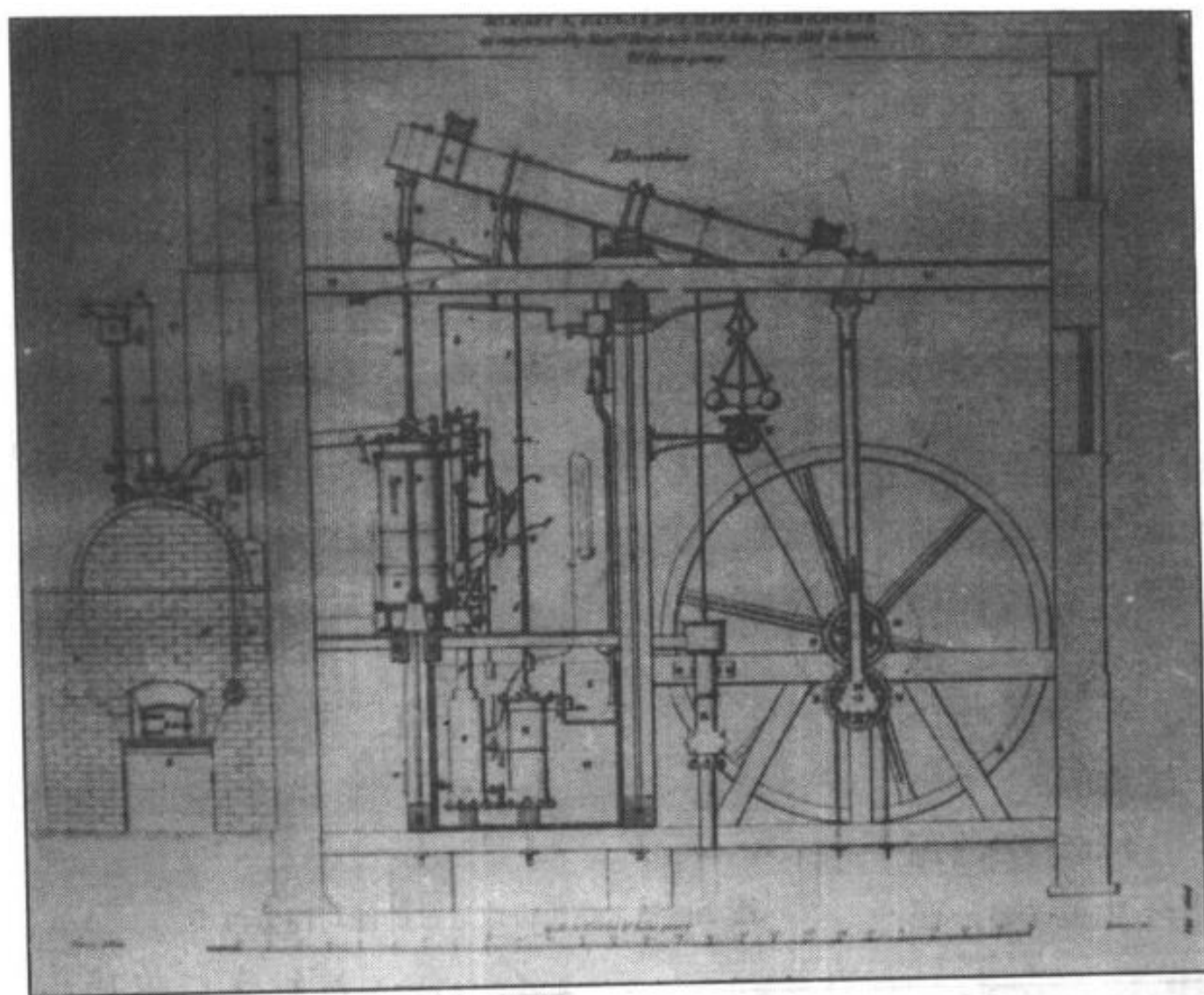


图 20—7 瓦特蒸汽机的设计图

舍。这时我突然想到——因为蒸汽是具有弹性的物质，所以能够冲进真空中。如果把汽缸和排气的容器连接的话，那么蒸汽猛然冲入容器里，就可以在不使汽缸冷却的情况下使蒸汽在容器中凝结了吧！当这些在我的头脑里考虑成熟的时候，我还没有走到高尔夫球场。”

冷凝器与汽缸之间用一个可调节阀门相连，高温蒸汽注入汽缸时阀门关上，做功后打开阀门，蒸汽则马上被引入冷凝器（冷凝器事先用一台抽气机抽成真空）冷却，之后在冷凝器和汽缸内均形成真空。活塞在大气压力下做功，之后关上阀门，重新将冷凝器抽成真空，重复前一过程。瓦特于 1669 年造出了第一台样机，并获得发明冷凝器的专利。

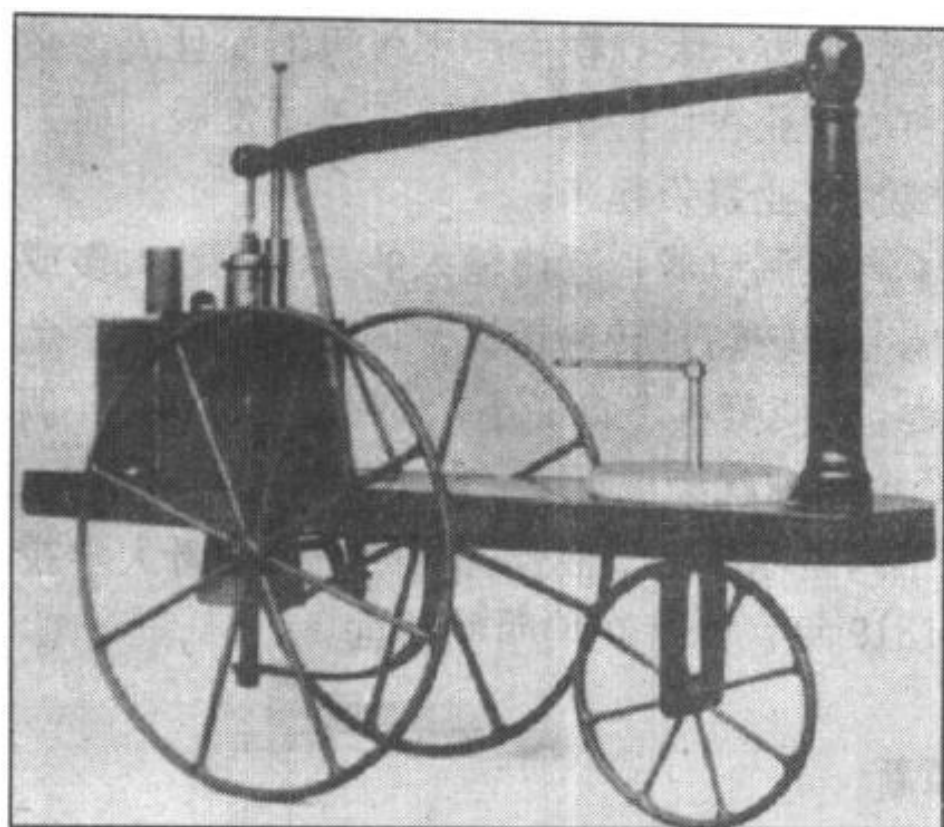


图 20—8 早期的蒸汽机之一

在汽缸外加冷
凝器后，蒸汽机的
效率成倍地提高。
但瓦特并不满足于
此，他继续改进自
己的蒸汽机。1781
年，他改变了蒸汽
机只能直线做功的
状态，用一个齿轮
装置将活塞的直线
往复运动转化为
轮轴的旋转运动。

1782年，他进一步

设计出了双向汽缸，使蒸汽轮流从活塞的两端进入，使热效率又增加了一倍。经过进一步改进后的瓦特蒸汽机，成了效率显著、可用于一切动力机械的万能“原动机”。蒸汽机改变整个世界的时代正式到来了。

到1790年，瓦特机几乎全部取代了老式的纽可门机，瓦特开始作为蒸汽机的发明人而受到尊崇。瓦特机的广泛利用使工业革命进入新的高潮，古老的人力、畜力和水力被蒸汽动力所代替，工

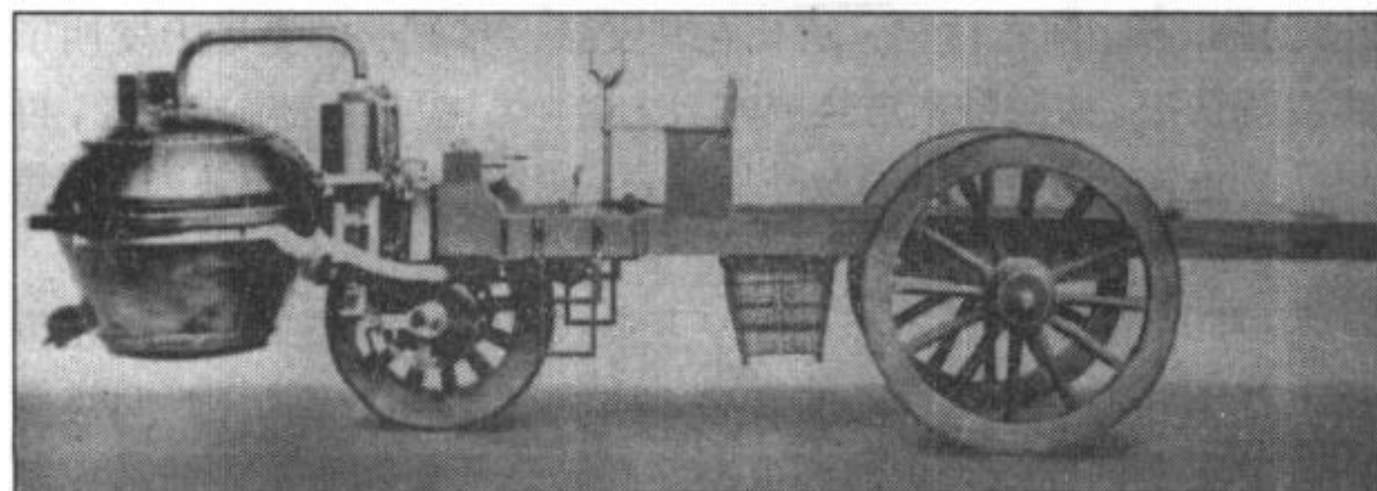


图 20—9 早期的蒸汽机之二

厂不必再建在水流湍急的地方，大规模生产不仅可能而且成为必要。纺织业、采矿业和冶金业在瓦特机的带动下迅猛发展，而为了制造瓦特机又使机械制造业繁荣起来。

瓦特后来又发明了离心调节器，它使输入的蒸汽不致太多或太少。蒸汽驱使一个调节杆转动，转得越快，调节杆上的两个金属球就相互飞离得越远，它使蒸汽出口变小，蒸汽输出减少后，调节杆转动就慢了，两个金属球就离得近了，它又使蒸汽出口变大。

1800年，瓦特被选入皇家学会，他曾就职的格拉斯哥大学授予他名誉博士学位。1819年，瓦特在伯明翰逝世。

3. 钢铁冶炼技术的革新

钢铁是发展重工业的首要原料，欧洲冶炼钢铁已有较长的历史，但主要限于小作坊生产，工艺粗糙。日益发展的工业对钢铁的需求也日益增大，英国在18世纪初时每年都要从国外进口钢铁，因为国内产量跟不上。大不列颠并不缺少铁矿，之所以铁产量不高主要是因为用来炼铁的燃料不够，当时的冶炼技术只知道用木炭炼铁，而英国的森林资源日见枯竭，用木炭炼铁成本越来越高。煤虽然已大量开采，但煤中含有硫化物，直接用煤冶炼不出质地好的铁来。

1735年，阿布拉罕·达比在其父亲多年试验的基础上发明了焦炭炼铁法。如同将木材烧成木炭一样，煤也可以先炼成焦炭，再用焦炭炼铁，这样炼出的铁品质优良，也解决了木炭短缺问题，焦炭炼铁法马上得以推广。

1750年，钟表匠本杰明·亨茨曼（1704—1776年）由于在市场上找不到适合制造发条的材料，决定自己试验炼钢，当时炼钢面临的主要问题是火炉的温度不够高，亨茨曼发明了用耐火泥制的坩埚炼钢，他将生铁投入坩埚后将坩埚封闭，再用焦炭维持高温。

使铁成为铁水，由于铁水与空气相隔绝，炼出的钢相当纯净。

1760年，工程师斯密顿发明了鼓风机，用水力驱动，它使焦炭温度大大升高，从而提高了炼铁的效率。瓦特蒸汽机发明之后，被广泛用于鼓风机上，使炼铁水平普遍提高。

1784年，工程师亨利·科特（1740—1800年）发明搅拌法，他使用搅炼炉在铁熔化后搅拌成团，冷却后锻压即成熟铁。此法省力而有效，使炼铁技术又上一个新台阶。

经过钢铁冶炼技术的不断革新，英国的钢铁产量大幅度上升，到18世纪末已成为欧洲重要的钢铁出口国，率先进入钢铁时代。

4. 化工技术的发展

纺织业的发展带动了一大批其他产业，化学工业就是被带动的产业之一。棉麻织物的后期加工包括漂白、洗涤和染色，这里每一道工序都包含着对硫磺和碱的需要。

炼金术士们早就发现了制造硫酸的两种方法，一是干馏矾，一是燃烧硫磺，前者所得称为“矾精”，后者所得称为“硫精”。起初人们还不知道这是同一种物质，17世纪始确定它们的同一性。这两种制造工艺的产量都不高。

1736年，英国医生乔舒亚·瓦尔特发明了新的硫酸制造法。他让硫磺和硝石在一个封闭的玻璃容器里燃烧，球里先放入水，燃烧后的气体被水吸收即生成了硫酸，这个方法大大提高了硫酸的产量。

1746年，化学家约翰·罗巴克（1718—1794年）改进了瓦尔特的方法，他用铅室代替了玻璃容器，这样避免了玻璃的易碎问题，体积也大了许多。硫酸的产量增加，成本大大下降，大规模的硫酸生产厂家出现了。罗巴克改进后的方法称为“室法”。

对碱的需求与漂白粉的发明有关。为了提高漂白织物的速度，

18世纪中期开始变酸处理为碱处理，自氯气被著名化学家舍勒发现之后，马上被发现有极强的漂白功能，它与碱相配可制成漂白粉。

制碱新法由法国医生勒布朗（1742—1806年）于1788年发明。法国当时碱奇缺，因为一直供应植物碱的西班牙与之断绝了往来，政府不得不悬赏征求制碱良法。勒布朗利用普通盐、硫酸、石灰石和煤作原料，先让硫酸与盐一起加热得到硫酸钠，再将硫酸钠与石灰石和煤一起加热，得到碱和硫化钙的混合物，被称为“黑灰”，加水得到碱溶液和不可溶硫化钙，从而将碱分离出来。勒布朗于1790年获得了巴黎科学院的奖金，但后来的法国革命政府没收了他的工厂，制碱新法未能在法国广泛推行。相反此法最先在英国大规模使用，形成了新的制碱工业体系。

第二十一章

法国启蒙运动与科学精神的传播

16、17 世纪，近代科学在少数杰出的人物手中诞生了，但很少为公众所了解，甚至在知识阶层，对新兴的自然哲学和科学方法论也所知甚少。18 世纪虽然在科学知识体系的建树方面不如上一个世纪，但它通过多种渠道使科学为社会中坚力量所认识，在社会活动方面发挥越来越重要的作用，为下一个世纪科学的全面社会化奠定了基础。法国启蒙运动在科学知识和科学精神的传播方面，起了举足轻重的作用。

1. 启蒙运动与牛顿原理在法国的传播

英国资产阶级革命成功之后，在法国出现了一批著作家，他们宣传人类社会进步的理想，把他们的时代比做一个人类由蒙昧进入文明、由黑暗进入光明的黎明时期，需要由知识来扫荡人心中的迷信和无知，需要由理性的力量来支配人类生活的一切方面。

只有理性，才能保证人类社会的进步，理性是衡量一切事物的尺度和准绳。他们的著作和思想长久地在法国以及欧洲流传并发挥影响，形成了近代史上著名的启蒙运动。

启蒙运动中高举着的“理性”旗帜与上个世纪新物理学即牛顿力学的建立大有关系。在伽利略—笛卡儿—牛顿的数理世界里，处处充满着井然有序的理性规律和法则，万有引力定律是它们的一个象征。在引力定律的支配下，行星无一例外地作椭圆运动，人类可以准确地预言它们在任一时刻的位置和速度。这给当时的知识界以深刻的印象。他们相信，不仅在物质世界有如此的自然规律，在人类社会的发展中，也应该有类似的规律，只要掌握了社会发展的规律，人类就可以掌握自己的命运。理性不仅是对待自然界的态度，而且应该是对待一切事物的态度。



图 21-1 伏尔泰

自然界的态度，而且应该是对待一切事物的态度。

法国也是近代科学的发源地之一，著名数学家和哲学家笛卡儿为法国特有的理性科学传统奠定了基础。但是，直到17世纪末期，笛卡儿的学说也还没有为法国学界所接受。著名作家丰特涅尔（1657—1757年）是一个坚定的笛卡儿信徒，他1691年被选入法国科学院，1697年担任科学院的常务秘书，后担任此职四十年，是法国科学界的活跃人物。他大力宣传笛卡儿的学说，其著作影响了法国读书界。丰特涅

尔曾经写道：“几何学精神并不只是与几何学结缘，它也可以脱离几何学而转移到别的知识方面去。一部道德的、或者政治学的、或者批评的著作，别的条件全都一样，如果能按照几何学者的风格来写，就会写得好些。”正是在丰特涅尔的努力下，笛卡儿的科学理性精神和机械自然观得到了极大的普及。

启蒙运动的代表人物是伏尔泰(1694—1778年)，这位思想敏锐、言辞犀利的法国作家出身于一个地位低下的政府官员之家，但他自小就表现出过人的才华和机智，他尤其喜欢对貌似神圣和高贵的东西冷嘲热讽，据说在一次晚会上因嘲笑一位绅士而遭到殴打。还有一次，他对那些贵族子弟们说：“我没有显赫的门第，但我的门第将因为我而显赫。”

1726年，伏尔泰来到英国，学习牛顿力学和英国哲学家洛克的社会政治理论。他亲眼目睹了1727年牛顿的隆重葬礼，对英国社会有极好的印象。1729年回国后，他写了著名的《哲学通信》(1734年出版)介绍英国进步的文化和思想，对法国当时的状况提出批评。他还特别以法国学界逐渐熟悉的笛卡儿作为背景，介绍牛顿的物理学。笛卡儿与牛顿有许多共同的地方，但他们的宇宙图景不同。前者认为宇宙是一个大旋涡，处处连续，不存在虚空；而牛顿认



图 21—2 夏特莱夫人

为宇宙是由广大虚空空间中运动着的微粒组成的，微粒的运动遵循牛顿运动定律。伏尔泰以通俗的方式，以与笛卡儿体系相对比的手法，向法国公众介绍了牛顿的宇宙体系。他还请他的女友夏特莱侯爵夫人（1706—1749年）用漂亮的法文将牛顿的《原理》由拉丁文翻译过来，译本于1759年出版，伏尔泰为法文本写了序言。此前，他即已写了《牛顿哲学原理》（1738年）、《牛顿的形而上学》（1740年），为在法国普及牛顿力学做出巨大的贡献。

法国科学家阵营对牛顿力学的接受与地球形状之争的解决有关。1671年，法国天文学家里歇（1630—1696年）率领远征队去法属圭亚那（靠近赤道）观测火星，协助卡西尼测定火星与地球



图 21-3 牛顿在法国成为时髦，宫中贵妇人正在阅读他的著作

的距离。在完成这项工作之余，他发现那里的摆钟普遍比巴黎的要慢，牛顿听到这个消息后解释说，摆钟之所以会变慢，是因为赤道离地心更远，重力减弱。第二代卡西尼则根据当时在法国北部的经线测量，主张地球在赤道处更扁。当时双方争执不下。后来科学院决定派出两支测量队分赴赤道和极地，用传统测地技术测定当地经线的一度弧长，从而确

定地球的形状。克莱罗(1713—1763年)率领的秘鲁远征队于1735年出发,莫培都率领的赴极地拉普兰地区考察队次年出发,测量结果表明牛顿是正确的。这次活动使牛顿力学很快在法国及欧洲大陆获得承认,法国因此出现了一批卓越的分析力学家。

2. 《百科全书》

启蒙运动的下一阶段由所谓“百科全书派”学者们唱主角,他们在狄德罗和达朗贝尔的主持下,编写了一部划时代的《百科全书》。这部巨著从1751年开始出版,1772年共出齐十七卷正文,十一卷图版,1777年又出版五卷增补卷,它的撰稿人几乎包括了所有在世的启蒙运动学者们,他们之中有哲学家狄德罗、霍尔巴赫、爱尔维修、孔迪亚克,政论家卢梭、孟德斯鸠,数学家达朗贝尔,博物学家布丰。

百科全书派的领袖狄德罗(1713—1784年)是一位杰出的思想家、天才的组织者和坚强的战士,青年时代就因思想出众而被指为异端,而且坐了三个月的牢房。出狱后,一位出版商建议他将英国人钱伯斯的《百科全



图 21—4 狄德罗

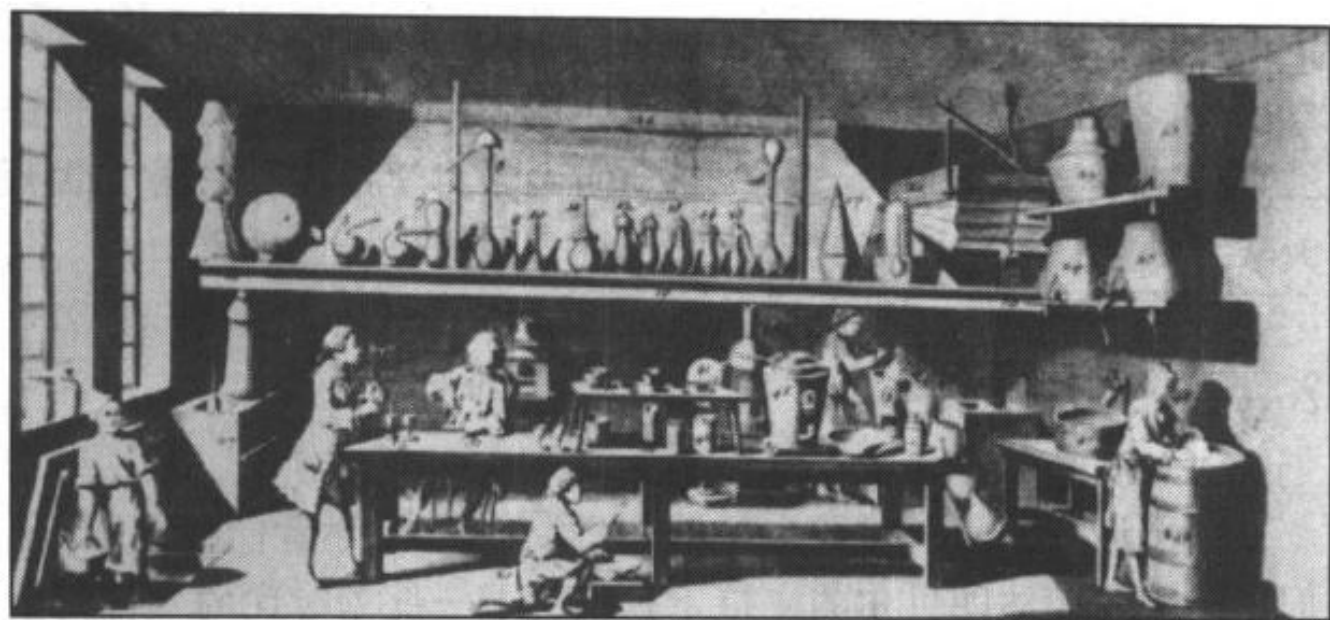


图 21—5 百科全书中的化学插图

书，或《艺术和科学百科辞典》(1728年)扩充，编一部法国人自己的百科全书。狄德罗意识到这是推动启蒙运动的一个有力措施，遂决定投入这一浩大工程的建设中。他约请数学家达兰贝尔一起操办此事，达兰贝尔也十分赞赏这项工作，因为他认为“指导和启蒙人的艺术是人类所能从事的事业中最高尚的部分，是最珍贵的礼物”。从1746年开始组织编写，到1772年出齐，经历了近三十年，其间遇到了数不清的困难。政府的查禁和出版家的刁难、撰稿人的意见分歧和艰巨的编辑任务，这一切都没能使狄德罗退却，1757年出版了第七卷后，达兰贝尔退出了编辑事务，狄德罗一人承担了全部的组织编

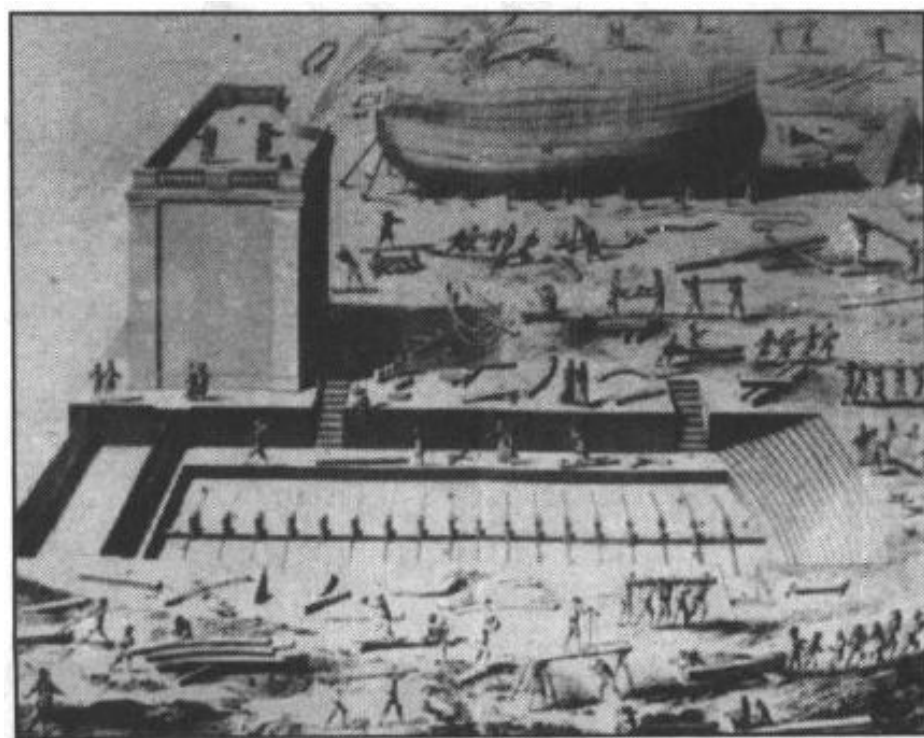


图 21—6 百科全书中的造船业插图

年，其间遇到了数不清的困难。政府的查禁和出版家的刁难、撰稿人的意见分歧和艰巨的编辑任务，这一切都没能使狄德罗退却，1757年出版了第七卷后，达兰贝尔退出了编辑事务，狄德罗一人承担了全部的组织编

辑工作以及大量辞条的编写工作，以巨大的勇气和坚韧不拔的毅力，完成了全部的出版任务。《百科全书》一出版，就立即成了启蒙运动最伟大的成果，对法国、对整个近代世界的历史进程都产生了巨大的影响。

《百科全书》高举人文主义旗帜，以增进人类的幸福和人类社会的进步为宗旨，正如狄德罗在《百科全书》条目中所言：“人是我们应当由之出发并应当把一切都追溯到他的独一无二的端点。如果你取消了我自己的存在和我的同胞们的幸福，那么，我以外的自然界的其余一切同我还有什么关系呢？”

《百科全书》继承了培根以知识为人类谋福利的思想，以大量的篇幅叙述人类已经取得的自然科学知识、技术和工艺过程。狄德罗特别强调技术在人类知识领域中的重大作用，将技术与科学、艺术并列为《百科全书》的三大类别。《百科全书》将各种零散的知识系统地整理，再以通俗的方式写出来，介绍给公众，是真正的启蒙伟业。

《百科全书》全部出版后，狄德罗声名远扬，但依然不富裕，为了给女儿置办嫁妆，他甚至不得不出卖他的藏书。俄国女皇叶卡捷林娜二世听说此事后，将藏书全部买下后又委托狄德罗保管，还每年付给他图书管理员薪金。叶卡捷林娜二世是一位专制君主，能如此对待狄德罗足见启蒙运动以及《百科全书》影响之大。

狄德罗和他的《百科全书》对于掀起 1789 年的大革命贡献很大，但他于 1784 年去世，没能亲眼目睹这场伟大的革命。

3. 大革命时期的法国科学

法国大革命有其复杂的政治和社会原因。革命前的法国，所有的公民被分为三个等级，第一等级是教士，第二等级是贵族，第三等级则是农民、城市商人和工匠。前两个等级占人口的 2%，却

占有35%的土地，而且享受免税权。当时法国债务沉重，第一第二等级不纳税，第三等级被压得喘不过气来。

1787年，国王路易十六迫于财政极度的困难，准备向所有的地产征税，这触犯了贵族和教士们的利益，他们要求召开三级会议来决定这一新的征税方案。三级会议即法国国家议会，它并不是全体国民的议会，而只是三个等级的议会，贵族、教士等级各有300名代表，平民等级有600名，各等级只有一票。贵族和教士阶层以为可以通过三级会议达到他们的目的，因为他们总归是多数票。

但是，1789年5月5日在凡尔赛召开的三级会议并未像头两个等级所设想的那样顺利，平民代表强烈要求将三级会议改变成国民议会，即所有的代表平等地组成一个议会。在强大的压力下，路易十六只好于6月23日同意成立国民议会。他表面上虽然妥协了，但背地里调动军队，准备武力解散凡尔赛的国民议会。

民众暴动拯救了国民议会。7月11日，国王解除了赞成改革的大臣雅克·内克的职务，这成了暴动的导火线。7月14日，巴黎市民攻占了巴士底狱。这座曾经是关押犯人的王室古堡，是封建统治者压迫人民的象征，它的摧毁极大地鼓舞了人民的革命热情。在法国外省各地，农民们自发地拿起了武器，与封建主拼命。在这样的形势下，8月4日，国民议会中的贵族和教士也不得不与平民代表一起投票赞成废除封建制度，通过了《人权和公民权宣言》。“自由、平等、博爱”的口号就是在这部宣言里提出的。

国王当然不愿意接受这一切变革，但是巴黎市民又一次起了作用。10月初，以妇女为主体的饥饿大军先是抢了巴黎所有的面包铺，然后向凡尔赛王宫进发，最后包围了王宫，将王室成员全部带回巴黎看管。

欧洲列强对法国大革命十分害怕，他们组织联军向法国开战。

1792年4月战争爆发，一开始法国大败，这进一步激起了民众反对国王的义愤。同年8月10日，国民议会决定停止国王的职权，由全体公民选举产生国民公会。9月21日新选出的国民公会召开，宣告成立法兰西共和国。在国民公会的领导下，法国人民同仇敌忾，他们高喊着“自由、平等、博爱”的口号，以不可抵挡之锐势，于1795年将敌国联军彻底击溃。

战争使国民公会的热情越来越失去控制，1793年初，国民公会中的激进派吉伦特派被更为激进的雅各宾派取代，法国国内出现了一个恐怖时期。国王和王后被送上了断头台后，不少革命领袖也在权力斗争中被害。直到战争结束，国内的局面才稳定下来。1799年，拿破仑成为第一执政者，开始了国内改革，进一步巩固大革命的成果。

大革命诞生的第一个科学成果是建立度量衡制度。1790年，国民议会责成巴黎科学院组成计量改革委员会。次年，委员会提议以赤道到北极的子午线的千万分之一为基本长度单位，并成立了测量、计算、试验摆的振动、研究蒸馏水的重量以及比较古代计量制度五个小组。1793年，委员会又提议暂用已有的测量结果尽快建立新的计量制度。1795年4月7日，国民议会颁布了新的度量衡制度：采用十进制；米的长度以经过巴黎的子午线自北极到赤道段的一千万分之一为标准，并铸出铂原器；一升等于一立方分米；一立方厘米温度为摄氏4度的纯水在真空中的重量为1克。1799年测地学家新的大地测量工作最终完成，铸出了纯铂米原器，上面写着：“永远为人类服务”。

革命之初，科学家受到尊重，卡西尼、拉瓦锡、巴伊被选为国民议会议员，拉瓦锡还担任了计量改革委员会主席。但是雅各宾党当权之后，实行独裁专政，对科学带有敌意。1793年8月8日，巴黎科学院被解散。那些被认为对共和制认识不够、对旧王朝憎恨不够的科学家如拉普拉斯、拉瓦锡、库仑等，从计量委员

会中开除出去。1794年，拉瓦锡因包税罪被送上断头台，在法庭上，拉瓦锡曾要求缓期执行死刑，因为他还有一个关于人汗的实验尚未作完，革命法庭拒绝了这一请求，并说了一句：“共和国不需要学者”。拉瓦锡被处决的第二天，拉格朗日悲愤地说：“他们砍下拉瓦锡的脑袋只需要一瞬间，可法国再过一百年也长不出这样一颗脑袋。”

1793年，革命政府还废除了天主教会制订的格里高里历，颁行革命历法，以旬日制代替周日制，一月分三旬，一年十二个月，并将1792年9月22日的共和国宣言日作为革命历的1月1日，多余的天数放在岁首，作为革命节日。改历造成了大量的混乱，直到拿破仑当政时，革命历才被废止，恢复了格里高里历。

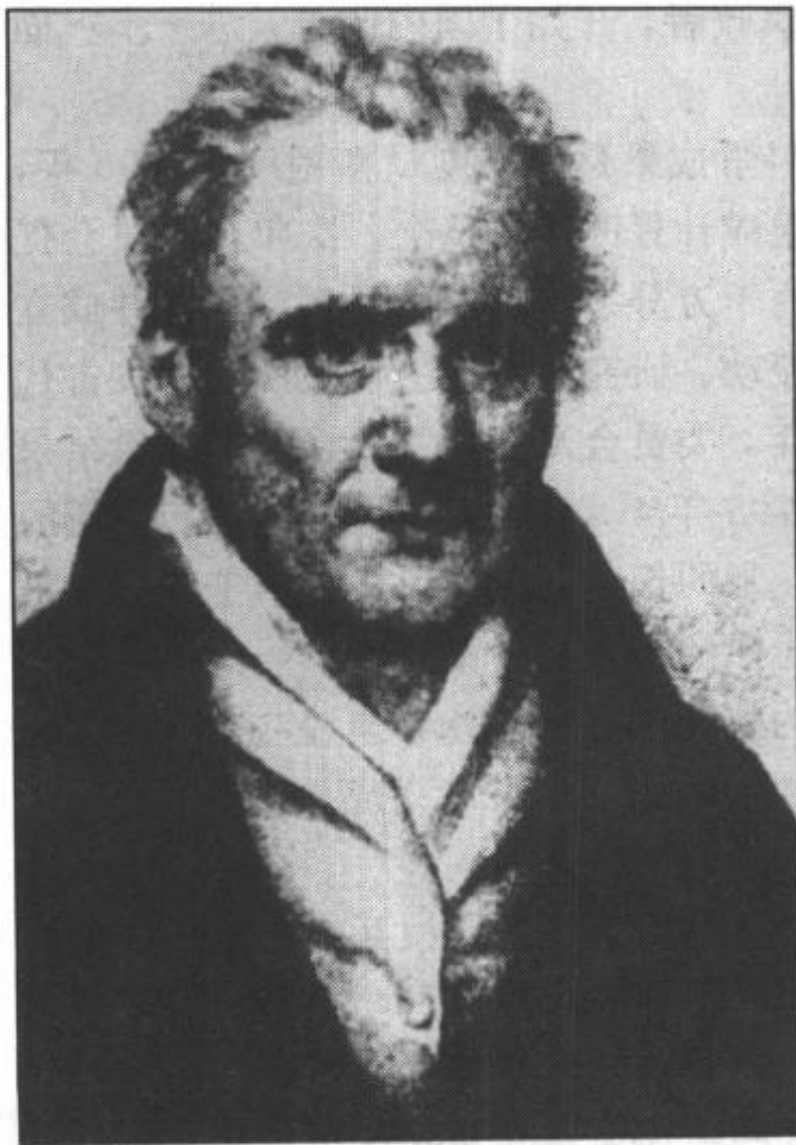


图 21-7 蒙 日

然而，在战争期间，科学的作用还是被充分认识到，许多科学家担任国民政府的重要职务，帮助解决军火问题。数学家蒙日（1746—1818年）被任命为海军部长，负责制造军火；另一位数学家卡诺（1753—1823年），著名的热力学之父，担任陆军部长；化学家富克鲁瓦（1755—1809年）担任火药制造局局长。科学家参与政治事务，在大革命时期表现得十分突

出。

蒙日是法国波纳一个小商人的儿子，虽出身贫贱，但极有数学天才，14岁时曾设计出救火机，16岁画了一幅波纳地图，受到一位军官的赏识，被雇为绘图师。就在早期的绘图生涯中，蒙日发明了画法几何，它使三维空间中的立体得以在平面上表示出来。画法几何在军事上十分有用，很长时间被作为军事机密。大革命爆发的时候，蒙日已经在海军里服役六年了，后被任命为海军部长。联军入侵时，法国武器弹药奇缺，蒙日指导人们从全国的每一角落里寻找硝石、铜、锡和钢，然后将它们制造成火药和铜炮。恐怖时期，蒙日也被检举，他只得偷偷离开了巴黎。后来，他成了拿破仑的朋友。

战争结束后，国民政府充分意识到科学和教育的重要性。当时教师奇缺，许多有学问的人在恐怖时期被处决，于1794年创办的高等师范学校首要目的是尽快为国家培养教师队伍，一时，著名的科学家纷纷前往任职讲学。只是由于财政困难，该校只办了三个月就夭折了。

1795年，另一所更为著名的学校综合工科学学校创办。国民政府委任蒙日为校长，并指示说：“共和国现在迫切需要的不是学者，而是技术专家和工程师”。蒙日深知基础研究与应用研究的相互依赖关系，不仅将学校办成一个工程师的摇篮，而且重视理论研究。当时最杰出的法国科学家都被聘为教授。这所新型的学校对任何出身的青年都敞开大门，鼓励他们为了共和国的未来努力学习。正是这所学校，为19世纪上半叶的法国，造就了一大批优秀的科学人才。

1795年，被解散了的法国科学院重新恢复活动，并进行了改革。原来的院士会议只有贵族出身的名誉院士才能参加，院长和副院长都由名誉院士担任。这些名誉院士并不懂科学，所以旧科学院缺少生机。国民政府废除了旧的贵族院士会议，组建了全体

院士均有发言权的新院士会议。科学院的改革使其在法国科学事业的发展中发挥更大的作用。

大革命后，拿破仑（1769—1821年）当政。这位战功盖世的军事家对科学文化事业十分关心和爱护，对法国科学的繁荣起了重要作用。1808年，拿破仑将曾因财政问题而夭折了的巴黎高等师范学校重新开办，为自己的国家培养教师。流传的关于他与科学家们的故事更是非常之多，特别是传说，这位不可一世的人对待科学家们的冒犯总表现出格外的宽容。拿破仑1804年称帝的时候，综合工科学校的学生们激烈反对，拿破仑对蒙日说：“你的学生怎么全都起来反对我？”蒙日不冷不热地回答说：“陛下，我们费了好大劲才把他们造就成共和派，要想让他们成为帝制派，总



图 21-8 拿破仑

得再给点时间吧。再说，恕我直言，您的弯子也转得太快了。”拿破仑没有因此生气，反而将一面绣有“为了祖国的科学和荣誉”的旗帜授予该校。1814年，欧洲反法联军兵临巴黎城下，综合工科学校的学生们要求参加保卫战。拿破仑为了保护法兰西未来的科学人才，拒绝了他们的请求，而且风趣地说了一句：“我不能为取金蛋而杀掉我的老母

鸡”。在他的政府部门，有不少科学家出任部长。1808年，虽然英法两国正在交战，拿破仑还是亲自在凡尔赛宫为英国化学家戴维颁奖。在他称帝时期，与巴黎科学院的院士们有着密切的往来关系。拿破仑的科学政策促进了法国科学的迅速发展。

第二十二章

力学的分析化与热学电学的早期发展

18世纪的物理学与之前或之后的世纪比起来，不是那么辉煌。在力学方面，创造性的时代已经过去，而在热学和电学方面，创造性的时代尚未到来。这个世纪是平稳发展的时期，天才的数学家们将力学发展成为一个完全分析化的数学演绎体系，使之成为理论物理学进一步发展的基本工具；热学和电学领域的实验物理学家们则辛勤地积累有关热和电的知识，为下个世纪的大发展作准备。

1. 运动量守恒与活力守恒原理的建立

牛顿三大运动定律及万有引力定律建立之后，天上地下的力学问题原则上都可以得到解决，但是，牛顿理论体系本身还有不完善之处，而且，应用实践中出现了越来越多、越来越复杂的力学问题，单用牛顿定律实际上无法解决。运动量守恒原理和活力

守恒原理就是对牛顿定律的补充。

运动量守恒原理最早是由笛卡儿提出的。他认为整个宇宙是由物质及其运动组成，碰撞是物体改变其运动的唯一原因，因此解决碰撞问题是新物理学的首要问题。为此他提出了运动量守恒原理，因为在他看来，宇宙是上帝创造的一台机器，对万能的上帝而言，这台机器一定是一旦启动就永无休止地运动，而这需要运动量守恒作保证。笛卡儿将运动量定义为质量与速率的乘积，但他的运动量守恒原理不能完全决定两物体碰撞后的速率。此外，他的运动量是一个标量，可是物体的运动是有方向的。

惠更斯进一步研究了碰撞问题，得出了正确的动量守恒原理。他将动量定义为物体的质量和速度的乘积，因速度是一个矢量，动量也是一个矢量。重新确立的动量守恒原理确实在任何碰撞情况下都成立，但单靠它依然不能完全决定碰撞后两物体的速度，还需要一个守恒原理。

动量守恒原理反而使笛卡儿神圣的宇宙机器遇到了麻烦。两个完全没有弹性的物体相撞后粘在一起，如果它们原来的质量相等，速度大小相等而方向相反，而粘在一起后的速度为零。这是符合动量守恒原理的，但它



图 22—1 丹尼尔·伯努利

意味着笛卡儿意义上的运动量会越来越小，除非所有的碰撞都是完全弹性碰撞。为了保持笛卡儿的宇宙机器理想，还需要另一个守恒原理。

这另一个守恒原理仍然是惠更斯发现的。他在作完全弹性碰撞实验时发现，除了动量守恒外，还有一个量也是守恒的，即质量与速度平方的乘积，他把这个量称为“活力”。德国数学家和哲学家莱布尼兹也大致同时发现了“活力”守恒原理。有了动量和活力守恒原理，完全弹性碰撞问题可以完全解决了。但是，活力守恒原理与动量守恒原理不同，它只对完全弹性碰撞情形成立。

17世纪末，莱布尼兹挑起了一场关于运动量度的争论。他在



图 22—2 雅克·伯努利

1686年发表“对可纪念的笛卡儿和其他人关于使上帝都希望永远保持运动的量守恒的自然定律的错误之简短证明”，指出笛卡儿形式的运动量守恒原理的错误，运动的量度应该是质量与速度平方之积而不是质量与速率之积。1695年，他提出力分“死力”和“活力”，“死力”指静力学的力，而“活力”则是动力学的力。莱布尼兹的观点得到了大部分科学家的支持，伯努利将之运用到流体力学领域得出了伯努利方程。

丹尼尔·伯努利(1700

—1782年)是瑞士巴塞尔一个著名的数学家族的第三代传人。这个家族祖籍荷兰,因信仰新教被迫迁居瑞士。第一代伯努利尼古拉斯(1623—1708年),第二代伯努利雅克(1654—1705年)、约翰(1667—1748年)均是当时著名的数学家,为微积分的发展作出过重要的贡献。丹尼尔是约翰的儿子,出生在荷兰的格罗宁根,因为当时父亲约翰正在格罗宁根大学教书。丹尼尔的两个兄弟、一个堂弟、两个侄子都是数学家。伯努利家族前后四代数十人形成了历史上罕见的数学大家族。

丹尼尔于1738年出版了《流体力学》一书,书中将微积分方法运用于流体力学和气体动力学研究中,建立了分析的流体力学理论体系。书中提出了著名的伯努利方程,即流体速度、压强、势能之和为一常量的流体运动方程。其实,它不过是活力守恒原理在流体运动中的具体体现而已。由方程可以推知,随流体的流速增加,其压力减小。这个原理也被称为伯努利原理。

2. 从矢量力学到分析力学: 达朗贝尔、莫培都、 欧拉、拉格朗日

牛顿定律加上一定条件下的动量和活力守恒原理,可以十分有效地解决质点力学问题。但是牛顿的矢量方法在处理多质点、多约束、非直角坐标系等复杂问题时显得不够。18世纪的数学家们创立了分析力学,以先进的数学工具重新表述牛顿力学体系。分析力学表现为三个方面:第一,以更为普遍的原理代替牛顿定律;第二,以“能量”和“功”等标量函数代替力和动量这样的几何矢量;第三,引入广义坐标,化欧氏几何问题为纯代数问题。

第一个值得一提的普遍原理是虚位移原理,他是由丹尼尔·伯努利的父亲约翰·伯努利于1717年的一封信中提出的。对于在任一组力作用下保持平衡的物体系统来说,我们可以假定它有一



图 22—3 约翰·伯努利

个小小的位移，显然随之每一个力的作用点都会相应有一个小小的位移，那么各个力与其相应位移的乘积之和应该为零。这个假定的小小位移就是虚位移，而这个原理就称为虚位移原理。后来人们知道，力与位移之乘积实际上就是功，因此虚位移原理后来也被称为虚功原理。

第二个普遍原理是达朗贝尔原

理。达朗贝尔（1717—1783年）是一位私生子，出生不久就被遗弃在圣让勒朗教堂，一对制玻璃工人夫妇收养了他，并随他们姓了达朗贝尔。长大后，他的生父出资让他受教育，结果在数学和哲学上显露出惊人的才能，他的生母试图认他，他回答说：“玻璃工人的妻子才是我的母亲。”达朗贝尔是当时法国学界的活跃人物，他与狄德罗一起主编《百科全书》，并撰写了“前言”等重要条目。1743年，在他年仅26岁时发表了《论动力学》一书，提出了分析力学中极为重要的达朗贝尔原理。正象虚位移原理处理静力学问题一样，达朗贝尔原理处理动力学问题。他把作用于物体系统所有质点的力分解为外力和内力，内力相互抵消，对整个系统的运动没有影响，而加于每一质点的外力就可以看成独立的决

定该质点的运动。他把这一原理作了大量的运用，其中包括用于流体运动。

第三个普遍原理是最小作用原理，对这一原理欧拉和莫培都均做出了贡献。欧拉（1707—1783年）出生于瑞士巴塞尔，从小就表现出非凡的数学天才。在巴塞尔大学就读时，约翰·伯努利是他的数学老师，很快就注意



图 22—4 达朗贝尔

到了这位数学奇才。伯努利家族后来应邀去了新成立的彼得堡科学院，他们也为欧拉谋了一个位置。欧拉在那里结婚生子，1741年至1766年间欧拉在柏林科学院任职，但与普鲁士国王腓特烈二世相处不好，结果又回到了彼得堡，并在此宁静地度过了一生。计算、运演如欧拉就像是一位作家给朋友写信，轻松自如。后人评论说：“欧拉计算毫不费力，就像人呼吸、或者鹰在风中保持平衡一样”。据说，他常常怀抱自己的婴儿写作数学论文。还据说，仅仅在家里人两次喊他吃饭的间隔里，他就写出了一篇数学文章。他具有惊人的记忆力和心算本领。再次回到彼得堡后不久他就双目

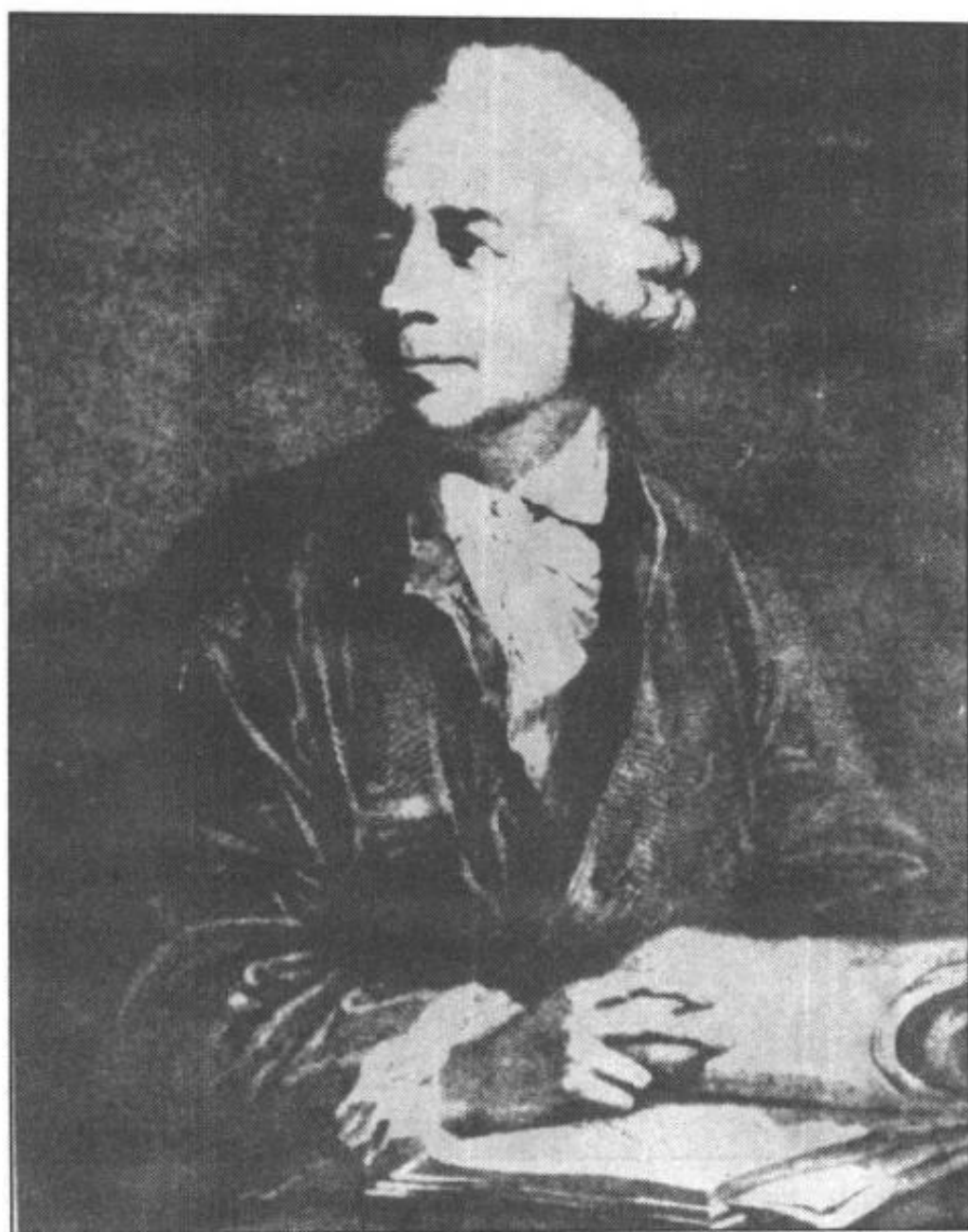


图 22—5 欧 拉

失明了，但这丝毫也没有影响他的数学创造工作。那个时代全部的数学公式都在他脑子里，他用心算部分解决了极为复杂的月球运动问题，而这个问题当时还没有一个明眼人能解决。

欧拉把他的数学天才广泛播撒于每一个他所碰到的应用

问题，他所发明的变分法直接孕育了力学中的最小作用原理。所谓最小作用原理，是指自然界的结构总是取一种最经济、最简便的方式。光线以直线的方式传播就是最小作用原理的一个直观体现，因为直线是最短的路径。法国数学家莫培都（1698—1759年）最早在力学上提出这一原理。他把“作用”定义为“质量、速度和所经距离的乘积的积分”，并且认为，在孤立系统中这一积分必定取极小值。用这个原理，莫培都证明了光的折射定律，而从前他是不相信这条定律的。欧拉十分赞同莫培都的这一原理，认

为上帝在创造宇宙时必定是按照这个原理的。欧拉证明了，对于沿着平面曲线的任何运动，莫培都意义上的“作用”确实是最小的。

分析力学最终的成就是拉格朗日方程。拉格朗日（1736—1813年）被拿破仑称为“数学科学高耸的金字塔”，被德皇腓特烈二世称为“欧洲最伟大的数学家”。他虽然生于意大利的都灵，但祖上是法国人。他的父亲本来非常富



图 22—6 莫培都

有，但搞投机买卖破产了，拉格朗日后来说，“要不是我一无所有，我可能就不会搞数学了。”

拉格朗日早期对古典文学感兴趣，当然也因此接触到欧几里得和阿基米德的几何学著作，但未有特殊的印象。一个偶然的机

会，他读到哈雷的一篇关于微积分计算方法优于几何方法的文章，顿时被迷住了。很快，他通过自学掌握了当时的数学分析，并于16岁时当上了都灵皇家炮兵学校的数学教授。他指导那些比他都大的学生们研究数学，并成立学会、出版杂志，这个学会后来发展成了都灵科学院。这个时期，他已经在构思他的“分析力学”：由分析的方法推出包括固体力学和流体力学在内的所有力学。他

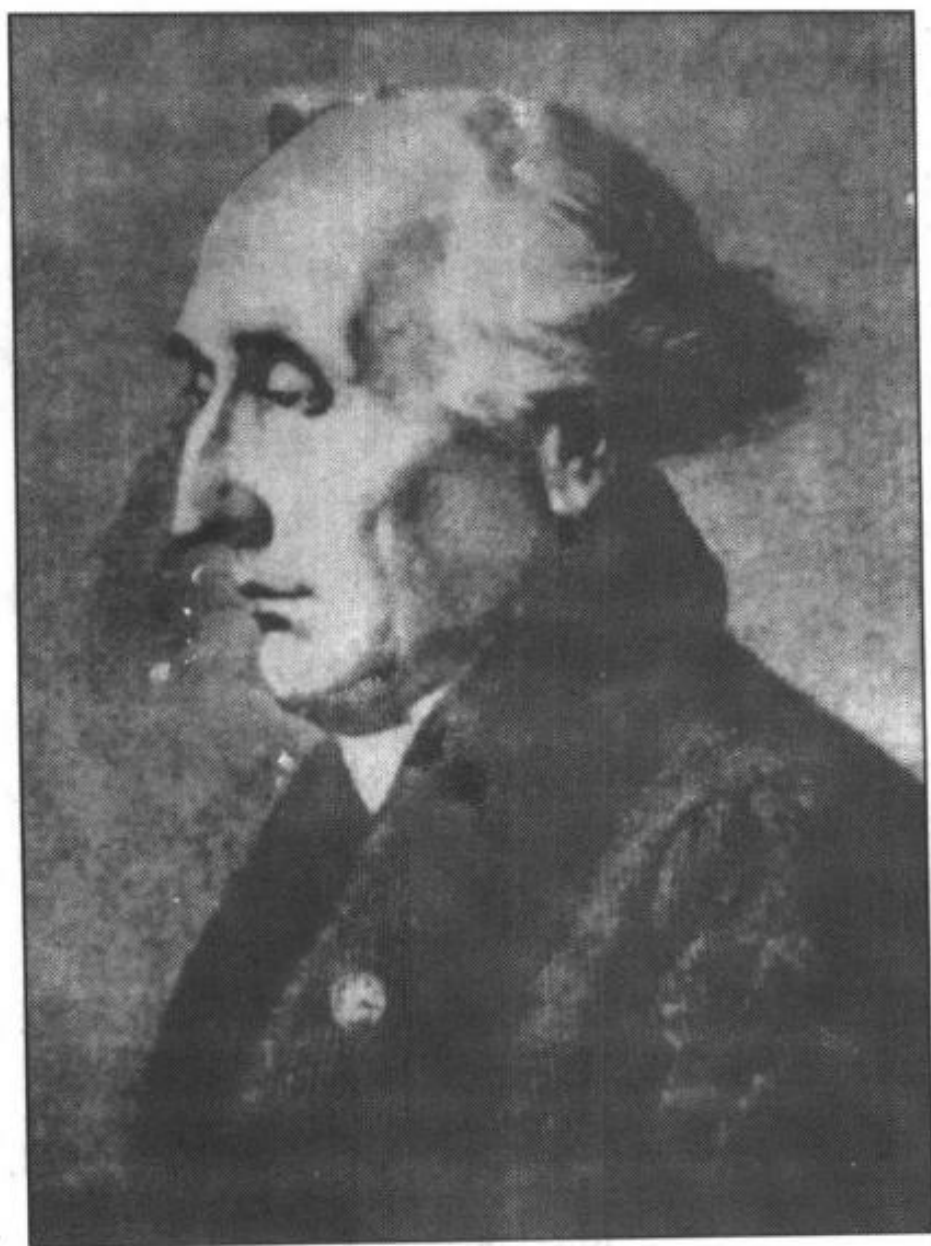


图 22—7 拉格朗日

独自发明的变分法正是分析力学的重要工具。

拉格朗日将自己关于变分法的论文送给欧拉时，欧拉也正在研究变分法问题。为了让这位年轻的数学家获得他自己应得的荣誉，欧拉谎称自己还没有解决这一问题，并鼓励他尽快发表论文。直到拉格朗日的论文发表后，欧拉才发表自己的论文。

1766年，拉格朗日应腓特烈二世邀请来到柏林就任

科学院的物理——数学部主任，并在那里结婚。在柏林的二十年间，他除了大量的数学研究工作外，还完成了他的杰作《分析力学》。书直到他已离开柏林的1788年才正式出版。1786年，腓特烈二世去世了，外籍科学家受到冷遇。拉格朗日应路易十六之邀于次年到达巴黎，在巴黎科学院继续从事数学研究。那时他已经50岁了，正处在声望的顶峰，但却因长期过度劳累患了严重的神经衰弱。他对数理科学的前途也失去了信心，他说牛顿不仅是天才，而且也是人类历史上最幸运的人，宇宙体系只可能被发现一次，而这一次就让他碰上了。他还说，数学辉煌的时期已经过去

了，下一阶段是物理学和化学等实证科学大显身手的时候。这种说法当然是太悲观了，牛顿之后，爱因斯坦又对宇宙体系作了一次惊人的发现。而拉格朗日之后，数学并未停滞不前，相反在高斯、阿贝尔、伽罗华和柯西等人的手中进入了一个新的天地。

法国大革命时期，拉格朗日没有受到什么冲击，他曾试图保护拉瓦锡，但未能成功。巴黎高等师范学校创办(1795年)时，他被任命为数学教授，巴黎综合工科学学校创办时，他又被委任为第一位数学教授。与当时其他著名科学家一样，他也是革命时期组建的计量委员会的委员，由于拉格朗日的坚持，长度度量衡选择了10进制，而当时有许多人主张用12进制。

在《分析力学》中，拉格朗日提出了著名的拉格朗日方程。由虚功原理和达朗贝尔原理，可以得到所谓的“力学普遍方程”。拉格朗日进一步引进了广义坐标、广义速度和广义力，将力学普遍方程改造成拉格朗日方程，这个方程相当于牛顿第二定律，但它更加普遍化、更加数学化，适用于几乎一切力学系统。

3. 测温学的发展：阿蒙顿、华伦海、摄尔修斯

热学是从对热现象的定量研究开始的。定量研究的第一个标志是测量物体的温度。早在上一个世纪，伽利略就已经造出了第一个温度计，以后齐曼托学社的成员们继续研究温度计。测温的基本依据是物质的热胀冷缩，其次还要有一个约定的标度系统。伽利略的温度计利用的是空气的受热膨胀和遇冷收缩，但没有固定的刻度。齐曼托学社将一年中最冷和最热的时候作为两个固定点，制定了一个大致的计量系统。他们发现，冷的熔点是一个常数，这启发后来的人们将此作为固定点。惠更斯在1665年即已提出以化冰或沸水的温度作为计量温度的参考点。

1702年，法国物理学家阿蒙顿(1663—1705年)改进了伽利

略的空气温度计，测温物质仍为空气，但整个装置完全封闭，不受外部大气压的影响。这个温度计比伽利略的准确一些，阿蒙顿选定水的沸点为一个固定点，但他不知道沸点也取决于大气压力，所以没有选好准确的固定点。阿蒙顿还提出了绝对零度的概念，他说，当空气完全没有弹性、收缩到不能再收缩的程度时，就一定是极冷点了。

继续阿蒙顿事业的是华伦海（1686—1736年），他出生在德国但泽（今波兰的格但斯克），青年时代移居荷兰阿姆斯特丹学习商业，以制造气象仪器为业。华伦海注意到阿蒙顿的工作，十分感兴趣。通过实验，他发现每一种液体都有一个属于自己的沸点；他还发现，沸点均随大气压的变化而变化。

1714年，华伦海用水银代替酒精作为测温物质，制作了自己的温度计，他发明的净化水银的新方法，使这件水银温度计成了真正可供应用的温度计。水银的使用大大扩展了测温范围，因为酒精的沸点太低，不能测量高温，而水银的沸点远远高于水。此外，水银的热胀冷缩变化率比较稳定，可以用作精密测温。

华伦海将盐加入水中，得到比任何冰点都低的最低冰点，并以此作为零度，这样做的目的是不想出现负温度。他又将人的体温作为另一个固定点，将这两个固定点之间划分为 $8 \times 12 = 96$ 个刻度，这样人的体温就是96度。后来，他作了调整，令水的沸点为212度，使纯水的冰点为32

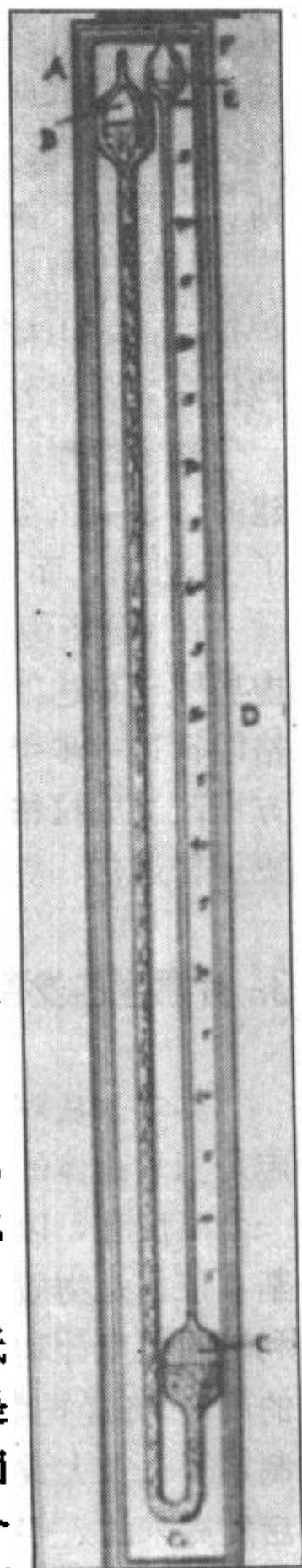


图 22-8

阿蒙顿的温度计

度。调整后的人体体温为 98.6 度。这套计温体系就是所谓华氏温标。

1724 年，华伦海公布了他的温度计，并在当年选为皇家学会会员。华氏温标很快被英国和荷兰采用。今天，许多英语国家仍在采用华氏温标。

1742 年，瑞典天文学家摄尔修斯 (1701—1744 年) 提出了一个新的测温系统。他以水银为测温物质，将水的沸点定为 0 度，冰的熔点定为 100 度。八年以后，摄尔修斯的同事建议把标度倒过来，于是形成了今日广为采用的摄氏温标。

4. 量热学与热质说：布莱克

在热学的早期发展中，与温度的测量同等重要的成就是热量的测量。但是，人们一开始并没有认识到温度与热量之间的区别，最早指出它们之间区别的是苏格兰化学家布莱克 (1728—1799 年)。大约在 1757 年，布莱克提出将热和温度分别称做“热的分量”和“热的强度”，并把物质在相同温度时的热量变化叫做“对热的亲和性”。在这个概念的基础上，后来出现了“热容量”和“比热”的概念。这两个概念奠定了热平衡理论的基础。

布莱克最著名的发现是“潜热”。他在实验中发现，把冰加热时冰缓慢熔化，但温度却不变；同样，水沸腾时化为蒸汽，需吸收更多的热量，但温度也不变。布莱克后来进一步发现许多物质在物态变化时都有这种现象，它们的逆过程也同样，而且由汽到水、由水到冰所放出的热量，正好等于由冰到水、由水到汽所吸收的热量。因此，布莱克提出了“潜热”概念，认为这些未对温度变化有所贡献的热是潜在的。布莱克的潜热概念导致了瓦特对蒸汽机的改进。当然，今天我们知道，所谓潜热实际上是分子系统的内能。

面对不断增多的对热现象的研究，人们很自然要求一个关于热的本质的理论。事实上，近代科学的创造者们均倾向于认为热是微粒的运动，但因没有足够的实验证据，只不过说说而已。古代原子论者倒是相信热也是一种物质，伽桑狄明确提出“热原子”和“冷原子”的概念，认为物体发热是因为“热原子”在起作用。伽桑狄的理论虽然

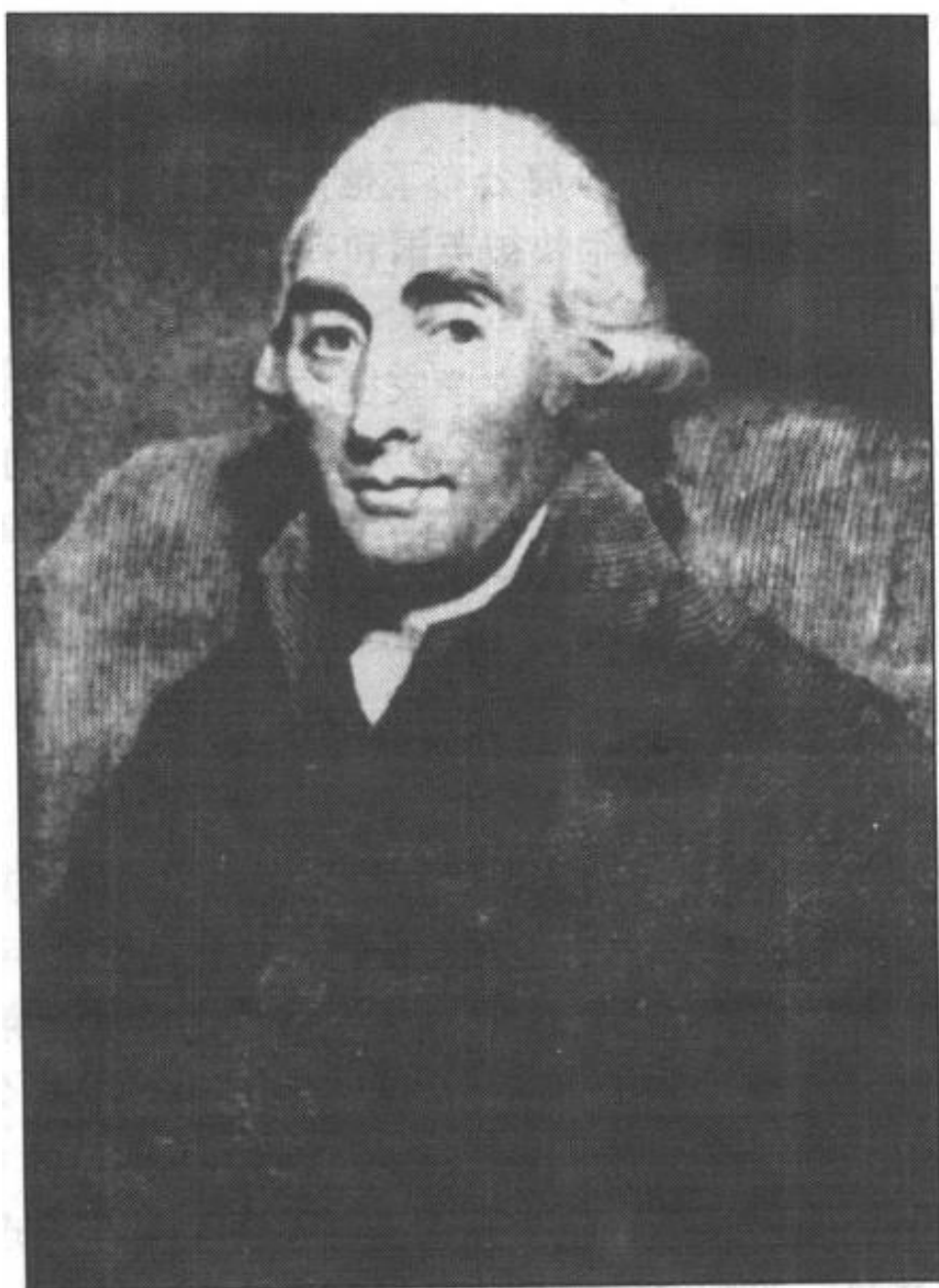


图 22—9 布莱克

只是思辨性的，但却受到 18 世纪物理学家的重视，并由此发展出了热质说。

热质说确实可以解释当时碰到的大部分热学现象：物体温度的变化可以看成是吸收或放出热质造成的，热传导是热质的流动，物体受热膨胀是因为热质粒子相互排斥，潜热是物质粒子与热质粒子产生化学反应的结果。由于热质是一种物质，它还遵守物质守恒定律，而这与已经知道的热量守恒现象是一致的。热质说的这些优点，赢得了当时大多数热学家的赞同。只是到了 18 世纪快

结束的时候，伦福德关于摩擦生热的研究才对之提出挑战。

5. 摩擦电研究：迪费、马森布罗克、塞兰克林

自吉尔伯特的开创性研究以来，电学一直处在盲目摸索阶段。基本的概念框架尚未建立，也缺乏定量实验。吉尔伯特已经认识到一切物体可以分为“电物体”和“非电物体”两类。所谓电物体就是通过摩擦可以带电的物体，非电物体则不可能带电。因马德堡半球实验而闻名于世的盖里克在电学发展的初期也贡献非凡，他发明的摩擦起电机为后人研究摩擦电打下了最重要的基础，因为任何研究都首先要求研究对象的大量存在。

1729年，英国卡尔特修道院的养老金领取者格雷（1675—1736年）通过实验发现了导电物质与非导电物质的区分。他先是偶然发现，当玻璃管经摩擦带电时，塞住玻璃管两端的软木塞也带电。进一步，他有意识地用一根木杆的一端插进软木塞，而另一端插进一个象牙球，结果发现，当玻璃管带电时，连象牙球都可以吸引羽毛。他继续用各种物质实验，终于得出结论：有些物质可以传送电，而有些物质不能传送，只能用来保存电荷。“电物体”不能传导电，而“非电物体”则可以导电。

格雷的实验引起了法国物理学家迪费（1698—1739年）的注意，他是皇家花园里的一位管家，因而有闲暇从事他所爱好的物理实验工作。1733年，他用带电的玻璃棒去接触几块悬挂着的软木，使它们带电。按吉尔伯特和格雷的说法，软木是“非电物体”，只能导电，不能带电，迪费的实验表明这种看法是错误的。迪费还进一步亲自试验，将自己悬吊在天花板上，让助手给自己带电，结果他们两人都被电击，这就说明人体这种“非电物体”也可以带电。因此，迪费大胆地否定了“电物体”与“非电物体”之区分，认为所有物体均可以通过摩擦带电。

迪费的另一工作是发现了两类电荷的不同。1734年，迪费发表了一封信，信中说：“机遇又赐予我一条原理，它更为普遍，也更为精彩，它给电学以新的启示。这条原理就是：存在着两种判然不同的电。一种我称之为玻璃电，另一种为树脂电。第一种是玻璃、水晶、宝石、动物毛发、羊毛和其他许多物体的电。第二种是琥珀、树脂、丝、线绳、纸和无数其他物质的电。这两种电的特征是，一个带玻璃电的物体排斥一切带同类电的物体，相反却吸引一切带树脂电的物体。”迪费实际上发现了正负电荷的不同，但他的命名不确切，后来人们发现，树脂质物体可以产生玻璃电，玻璃质物体也可以产生树脂电。

随着对摩擦电的研究，摩擦起电机的制造更趋精致，提供实验用的电荷不成问题，问题在于起电机一停，所产生的电荷就逐渐在空气中消失了。人们开始考虑如何保存电荷。莱顿瓶就是在这个背景下应运而生的。

事情是偶然发生的。1745年，荷兰莱顿大学的物理学教授马森布罗克（1692—1761年）做了一个试图使水带

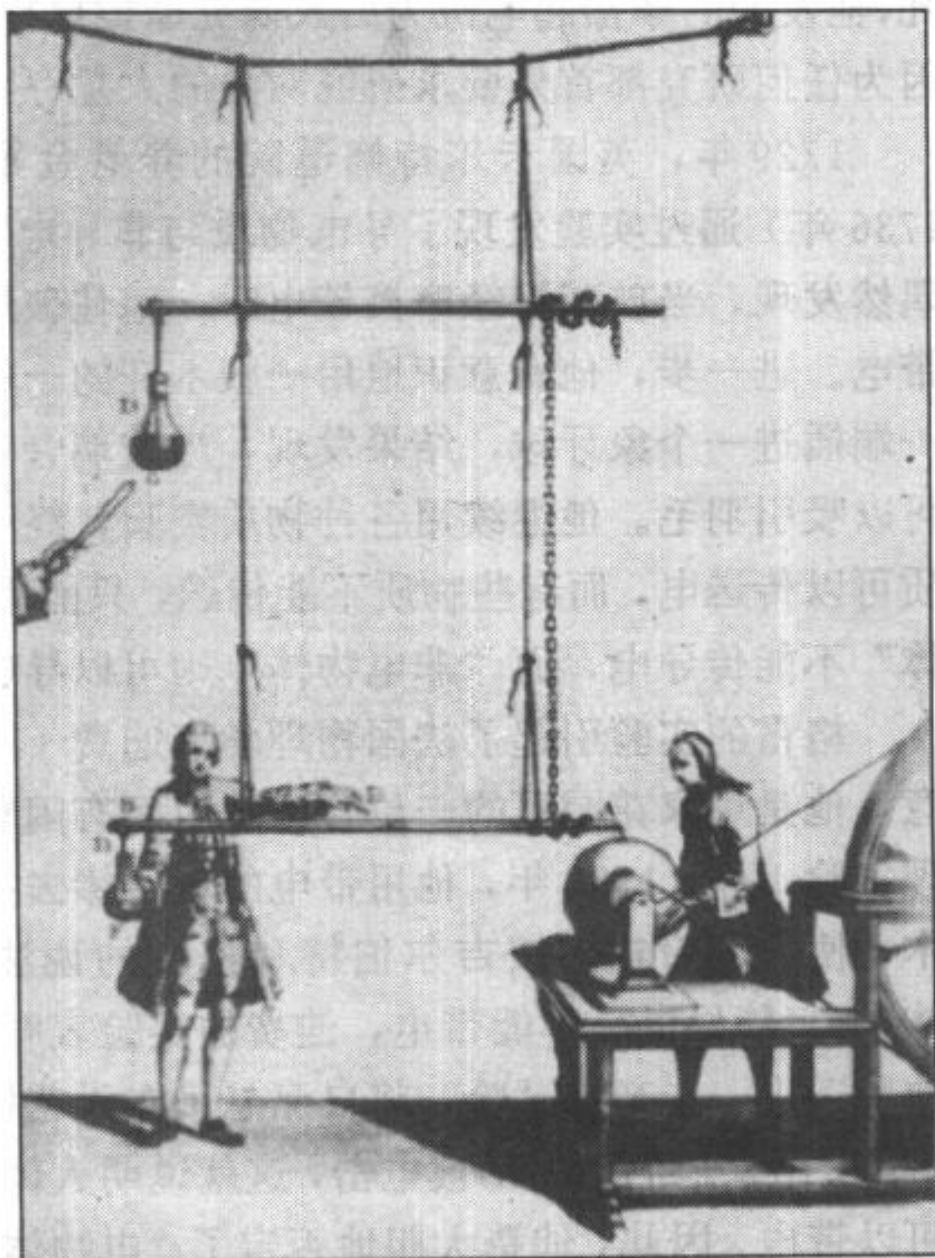


图 22-10 马森布罗克的实验

电的实验，结果令他震惊。他在一个玻璃瓶中倒进水，然后用软木塞塞住瓶口，一根铜丝从软木塞中通入瓶内的水中。马森布罗克摇动起电机使铜丝带电，他的助手拿着玻璃瓶，这时，这位助手不小心将另一只手碰着了黄铜丝，被猛烈地电了一下，大叫起来。马森布罗克于是与助手调换了分工，自己亲自试一试，结果，正如他后来描述的：“我的右手受到强烈冲击，令我浑身战栗，就象遭到雷电轰击一般，手臂乃至全身有一种难以名状的恐怖感受。总之，我以为我这下可完蛋了。”这一事实表明，玻璃瓶可以储存大量的电荷。消息很快传开了。虽然马森布罗克警告人们不要冒险作这个实验，但还是有不少勇士继续实验，并且纠正了马森布罗克的一些错误结论。例如，马氏曾认为只有德国产的玻璃瓶才行，后来发现只要是干燥的就行。由于是从莱顿大学传开的，这种储电瓶就被称为莱顿瓶。其实，比马森布罗克略早一些，德国波美拉尼亚的牧师克莱斯特（1700—1748年）也于1745年发现了玻璃瓶可以保存电，发现的过程也基本类似。

莱顿瓶轰动了整个欧洲，各地的业余爱好者均争相实验、示范、表演，有人用莱顿瓶放电杀死老鼠，有人用电点燃火药。最著名的一次电击表演是法国物理学家诺莱特做的。他在巴黎修道院门前调集了七百名修道士，让他们手拉手排成一行，全长达900英尺，规模十分壮观。法国国王路易十五及其皇室成员被邀请观看。诺莱特让队首的修道士拿住莱顿瓶，让队尾的修道士手握莱顿瓶的引线，当莱顿瓶放电时，一瞬间七百名修道士全都跳了起来，其滑稽的举动给人留下深刻的印象，也令人深切地感受到了电的力量。

1746年，美国著名的政治家、科学家富兰克林得到了伦敦友人赠送的一只莱顿瓶，便开始研究电现象，从而使人类对电的认识大大前进了一步。

本杰明·富兰克林1706年生于美国麻省波士顿市，是一位肥

皂商的第十个儿子，年轻时做个印刷业的学徒工，此后在费城创办报纸，成为政界名流。18世纪后半期，他致力于美国的独立斗争，是赢得独立战争的领袖，从而成了美国家喻户晓的民族英雄、立国之父。但是，当时他主要以一个科学家而闻名欧洲。



图 22-11 富兰克林

富兰克林最著名的发现是统一了天电和地电，破除了人们对雷电的迷信。在用莱顿瓶进行放电实验的过程中，富兰克林面对着电火花的闪光和劈啪声，总是禁不住与天空的雷电联想起来，他意识到莱顿瓶的电火花可能就是一种小型的雷电。为了验证这个想法，必须将天空中的雷电引到地面上来。1752年7月的一个雷雨天气，富兰克林用绸子做了一个大风筝，风筝顶上安上一根尖细的铁丝，又用丝线将铁丝联起来通向地面，丝线的末端拴一把铜钥匙，钥匙又插进一个莱顿瓶中。富兰克林将风筝放上天空，一阵雷电打下来，只见丝线上的毛毛头全都竖立起来，用手靠近铜

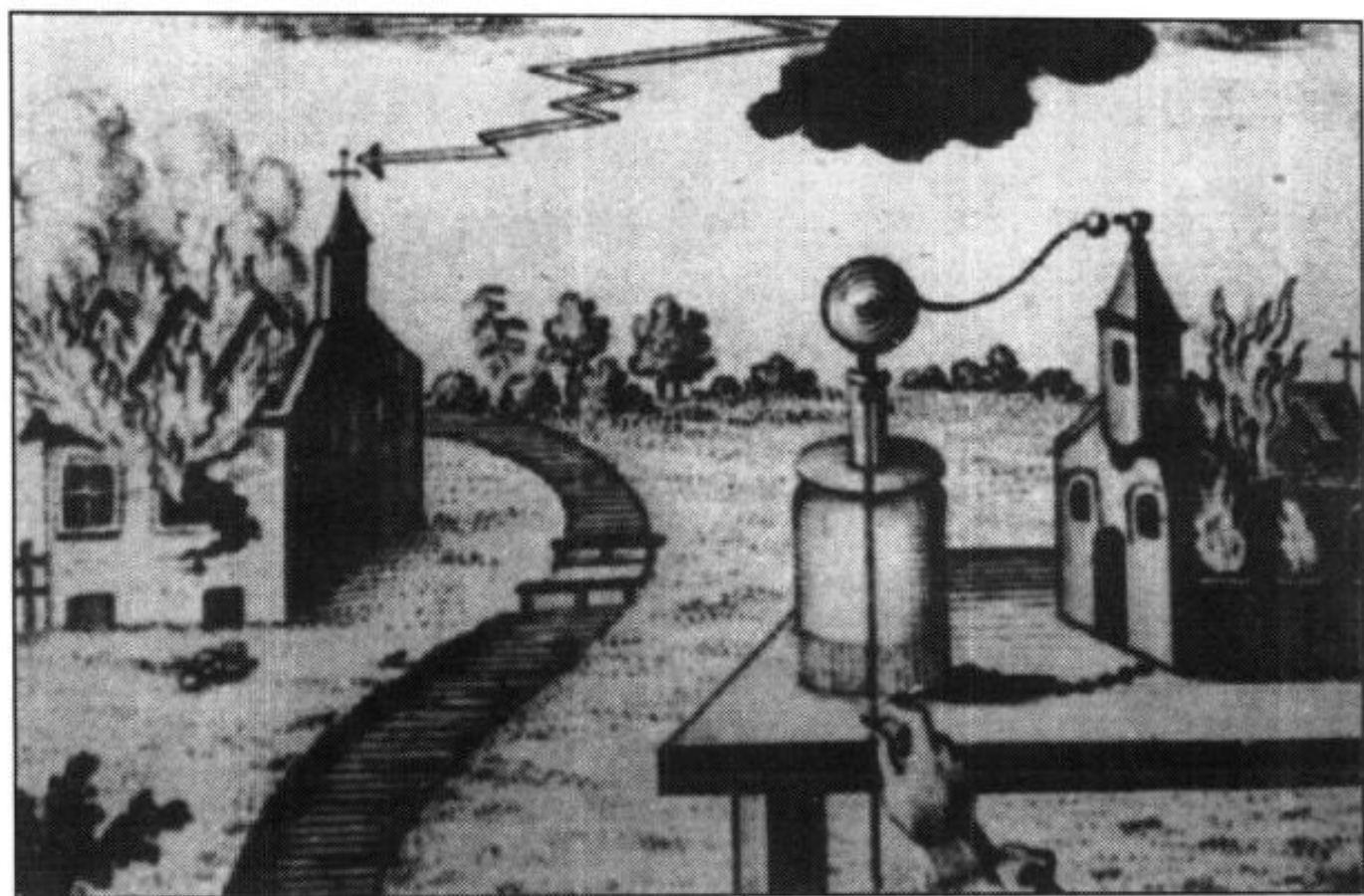


图 22-12 闪电摧毁一座教堂

钥匙，即发出电火花。天电终于被捉下来了。富兰克林发现，储存了天电的莱顿瓶可以产生一切地电所能产生的现象，这就证明了天电与地电是一样的。

富兰克林的第二大贡献是发明了避雷针。早在 1747 年，富兰克林就从莱顿瓶实验中发现了尖端更易放电的现象，等他发现了天电与地电的统一性后，就马上想到利用尖端放电原理将天空威力巨大的雷电引入地面，以避免建筑物遭雷击。1760 年，富兰克林在费城一座大楼上树起了一根避雷针，效果十分显著。费城各地竞相仿效，到 1782 年，全城已装了 400 根避雷针。教会起先反对装避雷针，说雷电是神表示的愤怒，不允许人们干涉它们的破坏力。但教会的反对不太起作用，据说过了一百多年，费城盖了一座教堂，教会也害怕遭雷击，去请教爱迪生要不要装避雷针，爱迪生说：“雷公也有疏忽大意的时候，你们说要不要装？”结果该教堂还是装上了由富兰克林发明的避雷针。

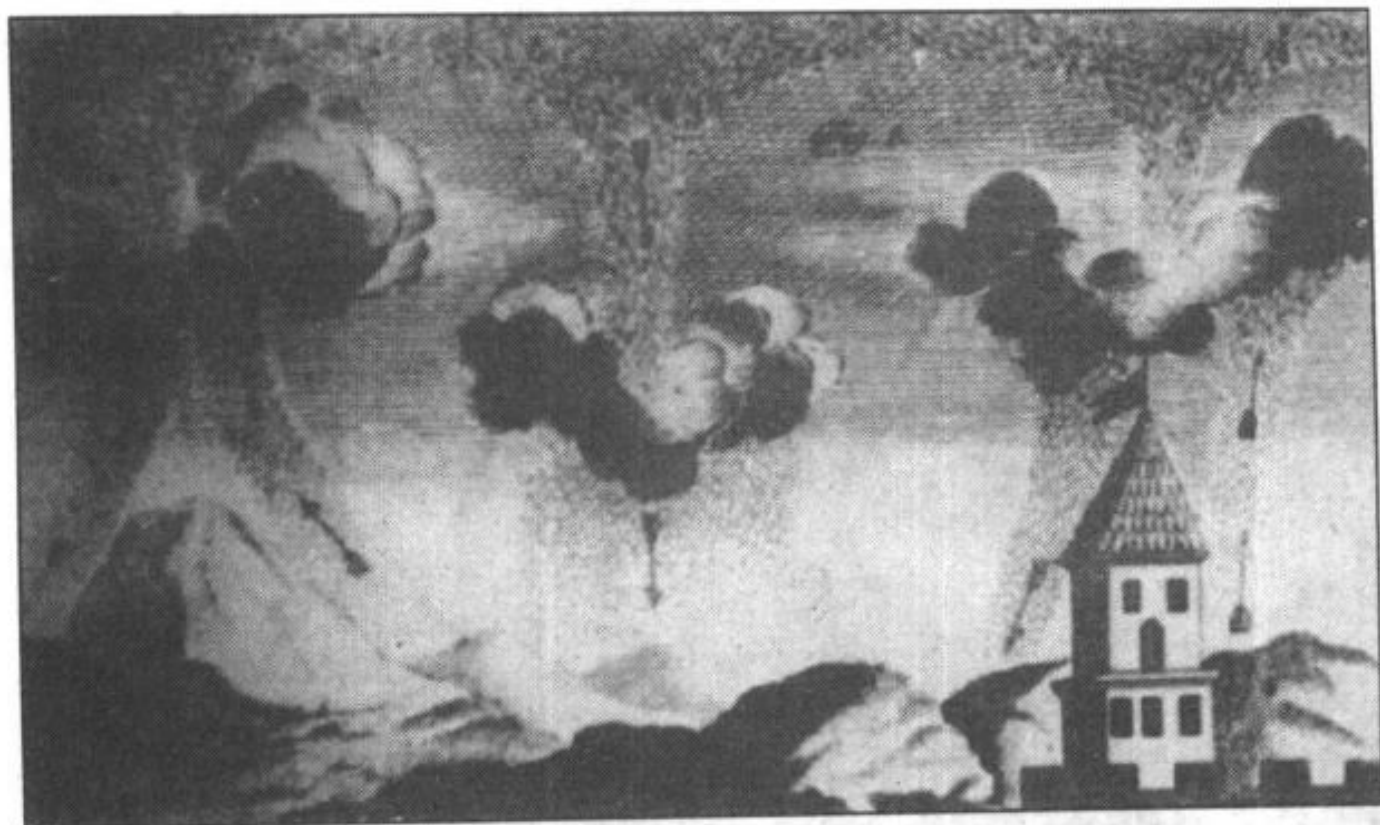


图 22—13 罗蒙诺索夫关于大气电的论文插图

富兰克林在电学上的第三大贡献是提出了正电和负电的概念。在 1747 年的一封信中，富兰克林提出了自己对电的本性的看法，他认为，电的本性是某种电液体，它不均匀地渗透在一切物体之中。当某物体内的电液体与其外界的电液体处于平衡时，该物体便呈电中性，当内部的电液体多于外界时，呈正电性，相反则呈负电性，正电与负电可以抵消。由于电液体总量不变，因此电荷总量不变，在摩擦过程中，电不是被创生而是被转移。迪费所谓的玻璃电和树脂电实际上分别是正电和负电。富兰克林的电性理论可以解释当时出现的绝大部分电现象，因而获得了公认。今天，我们知道，电实际上是带负电荷的电子造成的，正电恰好意味着电子的缺失，负电才是电子的多余。富兰克林正好弄反了，但他的“缺失”和“多余”模型被继承下来了。

早期的电学实验相当危险，几乎所有的电学家均有遭电击的经历。富兰克林有一次将几个莱顿瓶连接起来，准备用强电击杀死一只火鸡，不料，实验还未开始就碰到了莱顿瓶，结果当场被

击昏过去。等他醒来之后，说了一句：“好家伙，我本想电死一只火鸡，结果差一点电死一个傻瓜。”提取天电是更加危险的，富兰克林之所以没有遇难纯粹是侥幸。1753年7月26日，俄国物理学家里赫曼带领其学生罗蒙诺索夫（1711—1765年）在圣彼得堡做闪电实验，结果被雷电击中，当场牺牲。

6. 流电研究：伽伐尼、伏打

电流的发现纯属偶然。1752年，有一位名叫祖尔策（1720—1779年）的意大利学者，用一片铅片和一片银片放在舌尖上，当这两个金属片的另一头连在一起时，他发现舌尖的感觉很奇怪，既不是铅的味道，也不是银的味道。他反复试验，发现确实有这种现象。由于找不到解释，他就没有再把这件事情放在心上。实际上，他的舌尖上通了两个金属相接触而产生的接触电，味觉发生了变化。

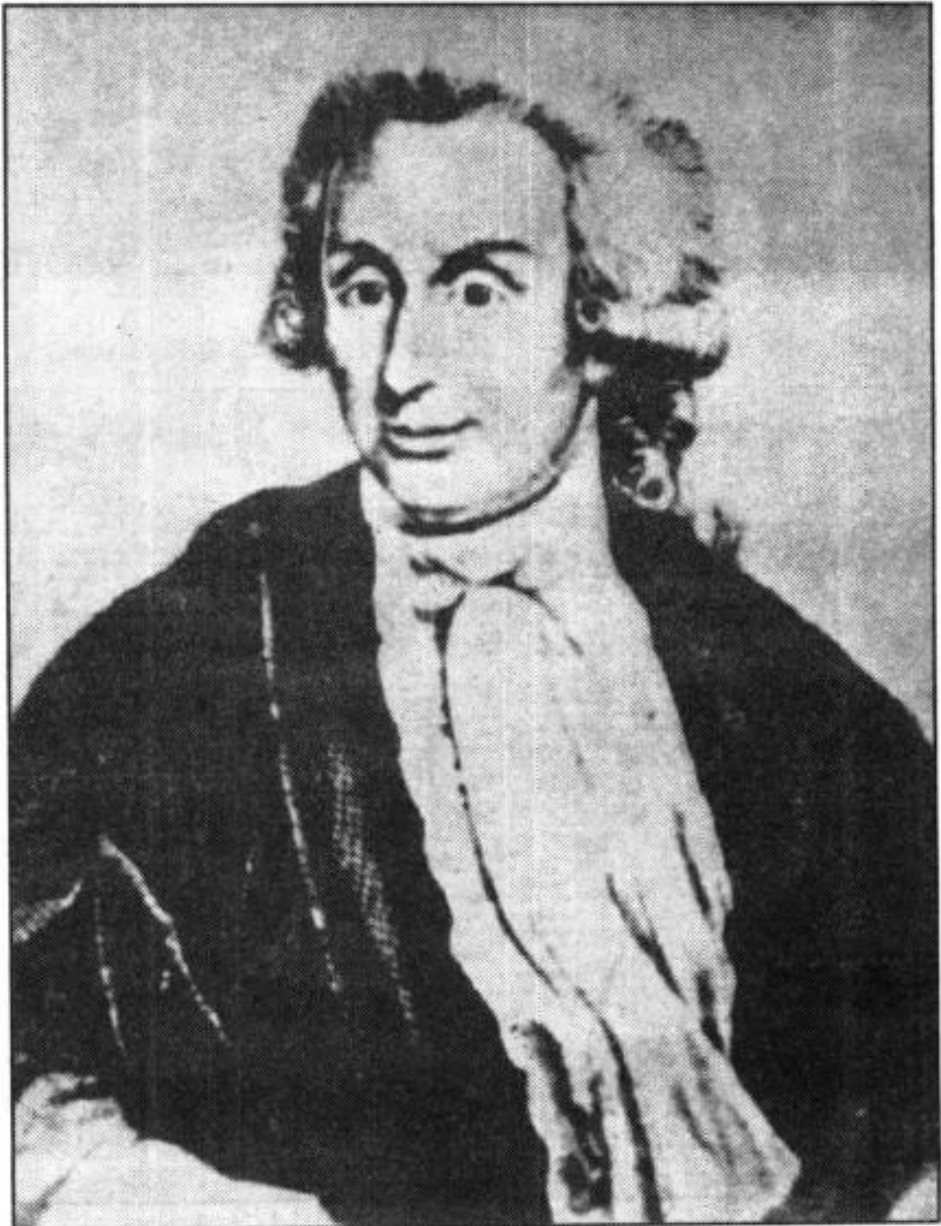


图 22—14 伽伐尼

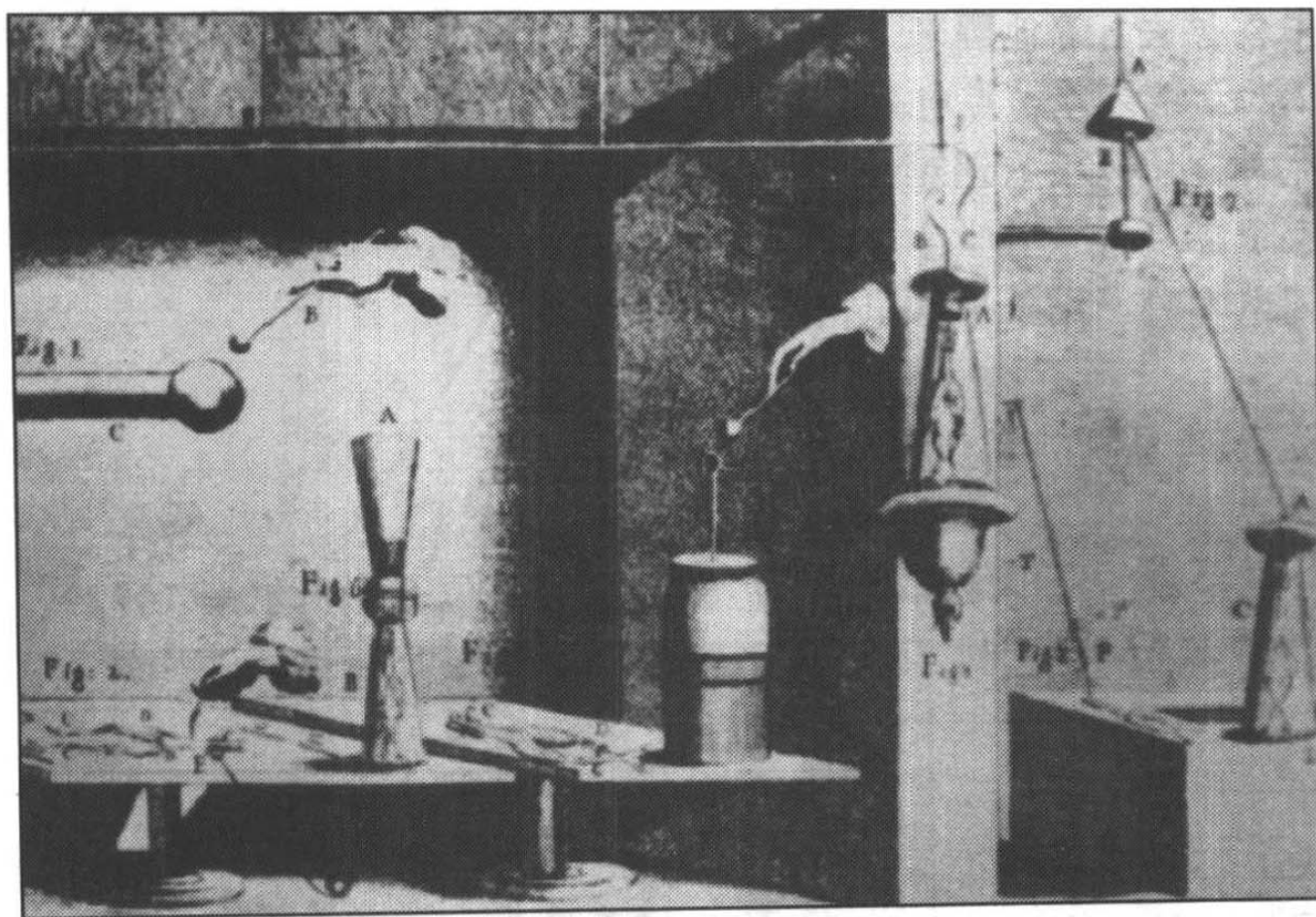


图 22—15 伽伐尼发现流电

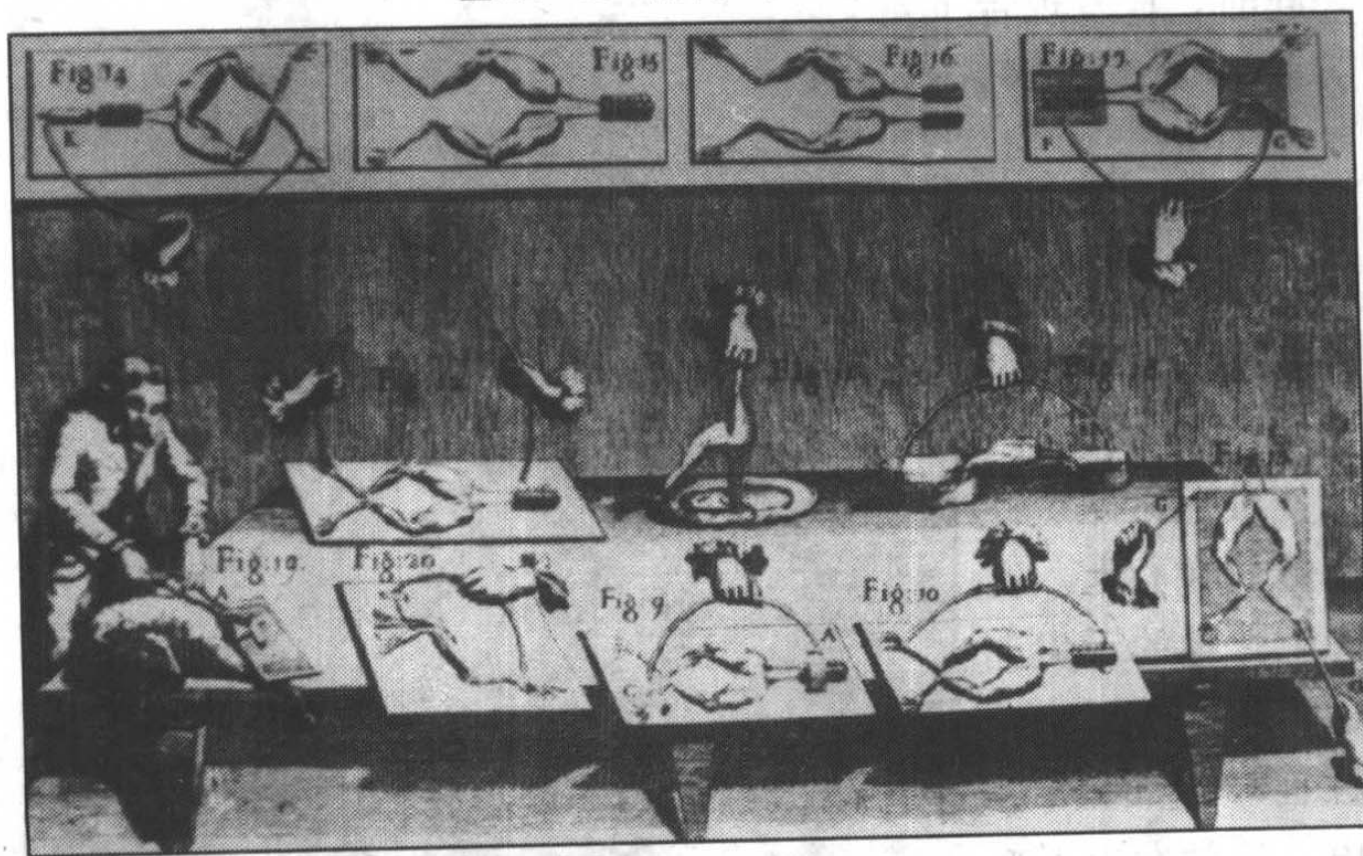


图 22—16 伽伐尼的流电实验

又过了近三十年，意大利波洛尼亚大学的医学教授伽伐尼（1737—1798年）重新遭遇了这种现象。伽伐尼是一位解剖学家，1780年9月20日，他正和他的两个助手做解剖青蛙的实验，他将解剖完了的青蛙放在解剖桌上，这时一名助手无意中將解剖刀碰到了一只蛙腿的神经上，顿时四只蛙腿猛烈地抽动。伽伐尼感到奇怪，又重复了这一实验，发现了同样的现象。他将蛙腿用铜丝挂在铁格窗上，想看看雷雨时蛙腿的反应。结果发现雷电发作时，蛙腿抽动，这表明蛙腿抽动是因为电击所致。后来又进一步发现，没有雷电时，蛙腿也抽动，无论晴天雨天。他又在封闭的屋子里做实验，发现用相同的金属不能使蛙腿抽动，而不同的金属则抽动，只是程度有所不同。

金属与蛙腿接触肯定有放电过程发生，但电来自何处呢？伽伐尼是一位解剖学家，他可能更相信来自有机体内部。因此，他提出，动物体内部存在着“动物电”，这种电只有用一种以上的金属与之接触时才能激发出来。他认为，这种电与摩擦电完全一样，只是起因不同。实际上，我们马上就可以看到，伽伐尼的这一看法是错误的，但他的工作极大地促进了人们对该问题的深入研究。

伽伐尼的发现轰动一时，特别引起了他的同胞、意大利物理学家伏打（1745—1827年）的注意。伏打当时是意大利帕维亚大学的自然哲学教授，已经在静电研究中初露头角。他发明的起电盘有储存电荷的作用，可以替代莱顿瓶。为此，他于1791年获得皇家学会的科普利奖，并被选为会员。伽伐尼的实验传开后，他也重复了该实验，但他对伽伐尼的解释不太满意。虽然当时的人们联想到海里的电鳗等带电的鱼，很快就接受了伽伐尼的“动物电”概念，但伏打对此深表怀疑。

1792年，他先从实验上证明了伽伐尼电本质上是因为两种金属与湿的动物体相联造成的，蛙腿只起验电器的作用。1794年，他

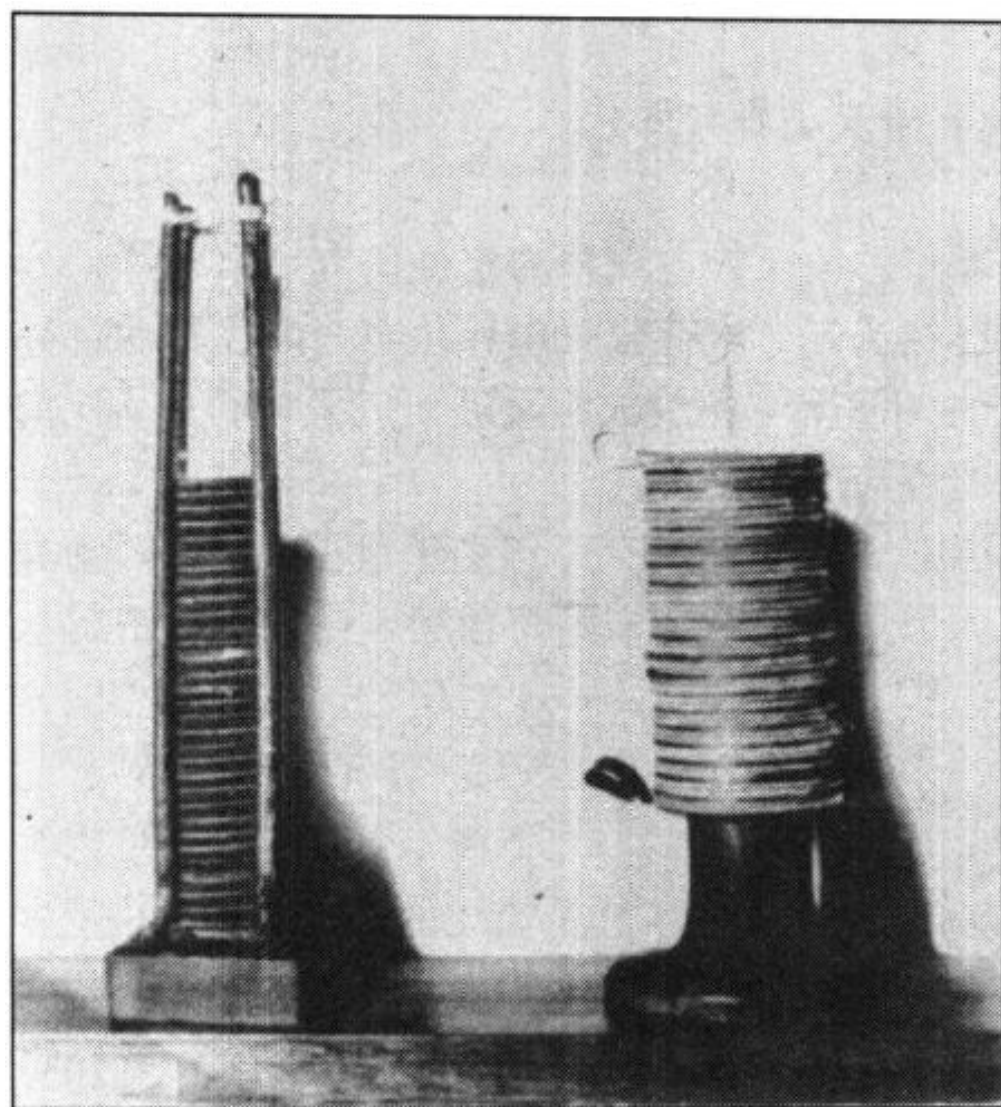
决定只用金属而不用肌肉组织进行试验，立即发现电流的产生与生物组织无关。这样一来，在伽伐尼与伏打之间发生了一场争论，双方都有支持者，但实验证据对伏打越来越有利。

伏打用各种金属做实验，结果得出了著名的伏打序列：锌、锡、铅、铜、银、金……。他发现，只要将这个序列里前面的金属与后面的金属相接触，前者就



图 22-17 伏打

带正电，后者带负电，在序列中的距离越远，带电越多。1800年，伏打制成了著名的伏打电堆，他在3月20日致皇家学会会长的信中说：在进行接触电实验的过程中，他制造了一种新装置，这种装置可以自发的生电。“取30块、40块、60块或更多块铜片，银片更好，使每一块都施加于一块锡片，或者锌片，那更好得多。取同样数目的水层或其他诸如盐水或碱液等导电性能优于纯水的液体层，或者同样数目在这些液体中浸泡过的卡纸或皮革等等，这些层夹在每对或每个组合所包含的两种不同金属之间。一个这种间隔的系列，并且这三种导体总是按同样顺序排列，就构成了我的装置。”以后，伏打又将他的电堆作了进一步的改进，使其更便



于使用。

伏打电堆的出现，使人们第一次有可能获得稳定而持续的电流，从而为研究动电现象打下了基础，同时，也推动了电化学的发展。电流的出现标志着一个电气时代的来临，因此伏打电堆在科学史上具有十分重要的地位。

图 22—18 伏打电堆

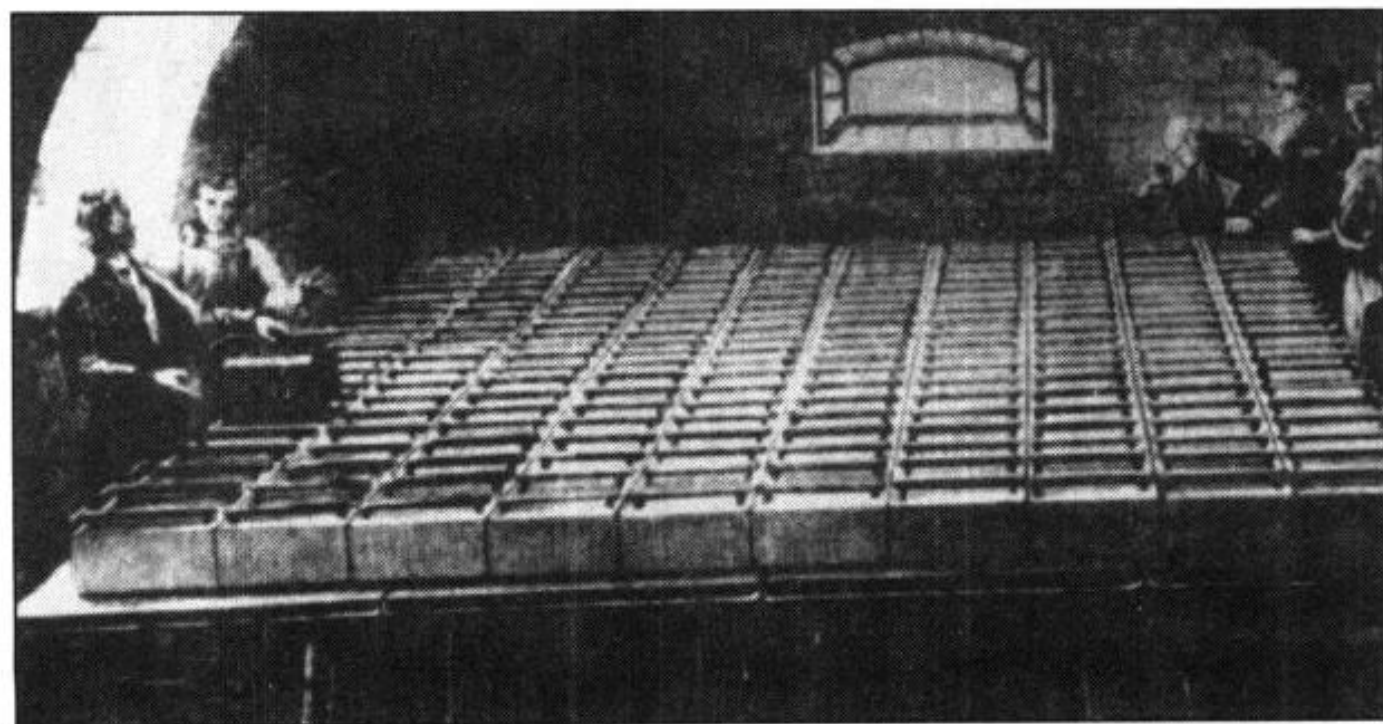


图 22—19 伽伐尼电池

7. 静电的定量研究：卡文迪许与库仑

自莱顿瓶出现以来，关于静电现象的定性研究已取得了十分突出的成就，人们已经认识到电荷分正电和负电，同性相斥，异性相吸。从18世纪中叶开始，不少人定量地研究了电荷力，他们中最著名的是卡文迪许与库仑。

卡文迪许是英国的一位贵族，1731年生于法国尼斯，因为那时候他母亲正在法国旅游。他终生未婚而独居，一心献身于科学研究事业。他性格孤僻，过分腼腆，一味地研究，从不关心发表



图 22-20 卡文迪许

自己的研究成果以及由此可能带来的荣誉。他被认为是氢气的发现者，他的论文表明他懂得如何将酸与金属相作用制备氢气，他还证明了氢气燃烧生成水。

卡文迪许还用英国地质学家密切尔（1724—1793年）发明的扭秤在实验室中测定了万有引力常数 G 。他用一根线将一根很轻的棒悬挂起来，棒两头各固定一个轻的铅球，棒可以绕线自由转动。卡文迪许测定了棒的扭转与棒所受力的定量关系后，将两个大球分别靠近两个小铅球，又从扭转程度算出了两对球之间的万

有引力，再用万有引力定律算出了万有引力常数 G 。

卡文迪许在电学方面也做出了开创性的贡献，但他在 18 世纪 70 年代所做的电学研究直到半个世纪后才被发现，生前只给皇家学会投寄了两篇论文。在 1777 年的论文里，他提出了电荷作用的平方反比律：“电的吸引力和排斥力很可能反比于电荷间距离的平方。如果是这样的话，那么物体中多余的电几乎

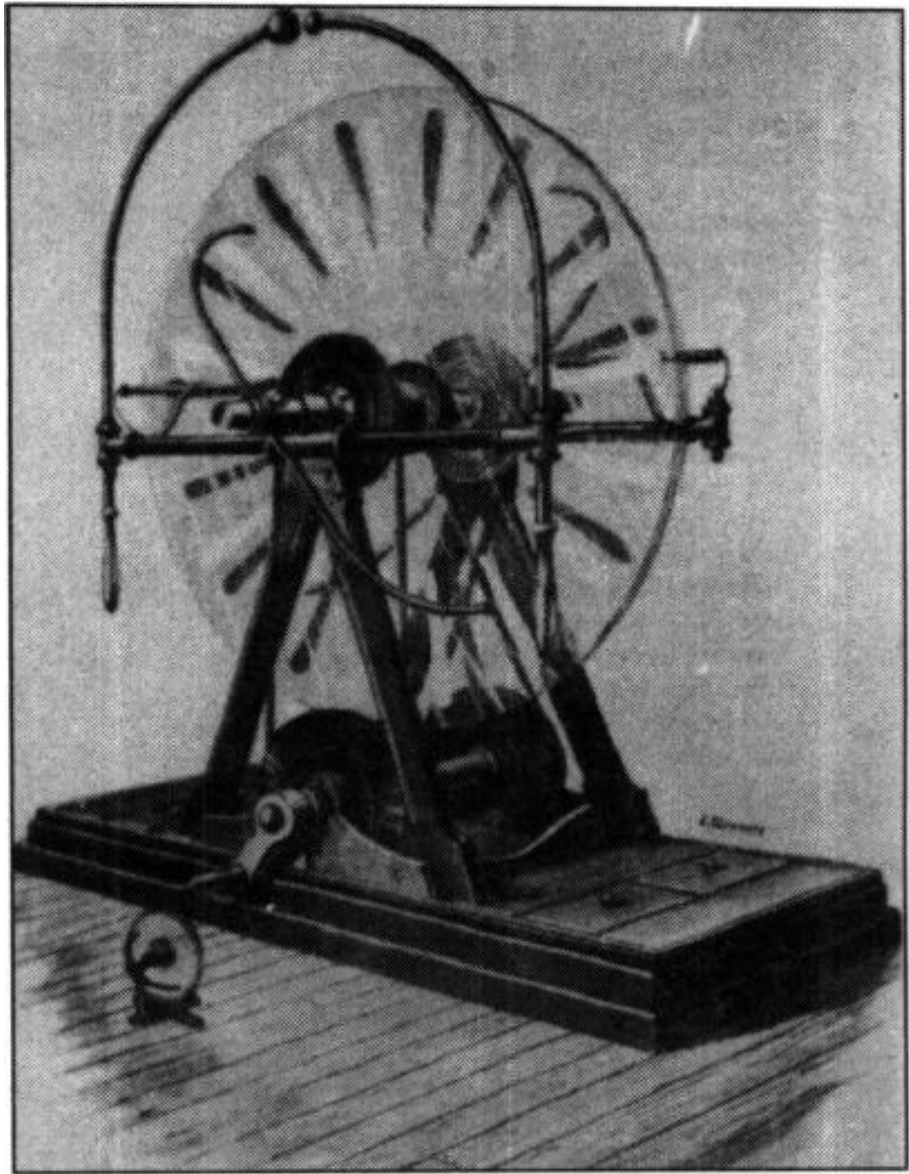


图 22-21 19 世纪最有效的起电机

全部堆积在紧靠物体表面的地方。而且这些电紧紧地压在一起，物体的其余部分处于中性状态。”他是这样设计实验的：先将一个金属球壳带电，结果发现所有的电荷均分布在表面，并且球腔中没有任何电作用，这意味着球腔内任何一点所受到的电力均相互抵消。电力与作用距离保持一种什么样的关系，才可能做到相互抵消呢？他用数学证明了只有当力与距离的平方成反比时才可能。

重新发表的卡文迪许的手稿表明，他已经提出了静电电容、电容率、电势等概念，这些在当时均为第一流的成就，可是他都没有发表。1810 年，卡文迪许在伦敦去世。当今最为著名的剑桥大

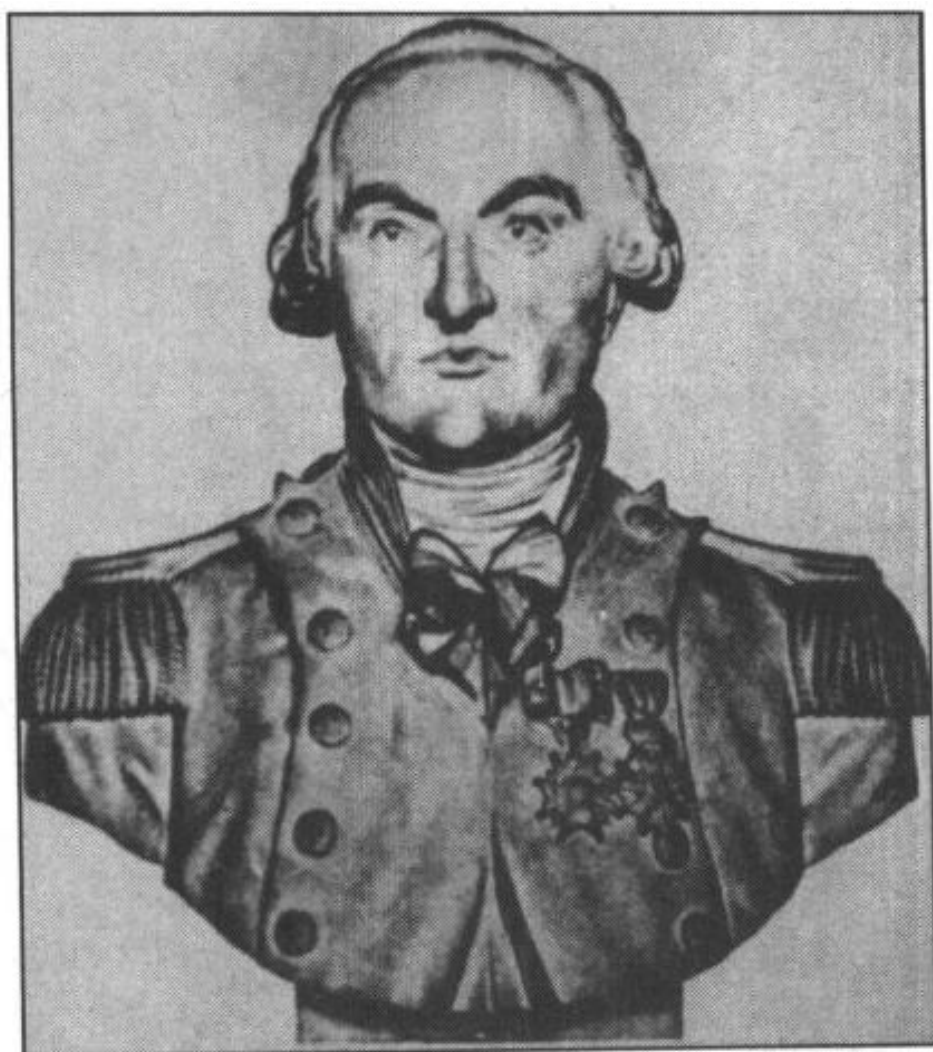


图 22-22 库 仑

现电的引力或斥力与两个小球上的电荷之积成正比，而与两小球球心之间的距离的平方成反比。这个规律现在被称为库仑定律。库仑也做过与卡文迪许同样的球壳实验，以此进一步证明平方反比律的正确。

库仑定律与牛顿的万有引力定律十分相似，它的发现，使人们对物理世界的普遍规律有了进一步的认识，为电磁学的大发展开辟了道路。

学卡文迪许实验室就是为了纪念这位伟大的科学家而命名的。卡文迪许用来测量万有引力常数的扭秤，被法国物理学家库仑（1736—1806年）用来测定电荷之间的相互作用力。不过库仑的扭秤是自己独自发明的，为此曾于1781年选为法国科学院院士。1785年，他使用自己的扭秤测定带电小球之间的作用力，发

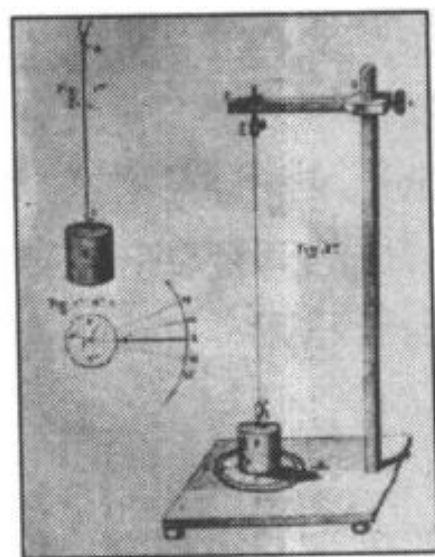


图 22-23 库仑的扭秤实验

第二十三章

18 世纪的天文学

18 世纪的天文学有两方面的发展。第一是在牛顿力学基础上，用分析的方法研究太阳系的力学运动规律，法国的数理科学家们贡献最大，拉普拉斯的《天体力学》达到了数理天文学的又一高峰。第二是英国的天文学家在天文观测方面又有新的进展，其中突出的有布拉德雷发现了光行差，赫舍尔发现了天王星和双星。

1. 拉普拉斯：集天体力学之大成

牛顿的万有引力定律解决了行星运动的轨道问题，但远没有解决太阳系内所有的力学问题。严格地说，他只考虑了两个天体在引力作用下的运动问题，即所谓二体问题。事实上太阳系内有许多个天体，它们之间均存在着引力作用，这么多个天体之间在引力作用下会有什么样的运动呢？这是个相当复杂但又是十分现实的问题，因为只考虑二体必定不能与天体的实际运行情况相符。

18世纪的数学力学家们首先尝试解决三体问题，因为就月球而言，起明显作用的是太阳和地球的引力，其他行星的引力作用要小得多，加之月球运动对于航海定向十分重要，因而以月球运动为特例的三体问题提到了首要位置。

与二体问题相比，三体问题要复杂得多，用已知的解析方法根本不可能一般地解决三体问题，只可能就某个特殊情形找近似解。欧拉最先就月球问题发展了天体力学中的摄动方法。所谓摄动方法是将三体问题化为一个二体问题加一个摄动，第三个天体的作用通过对二体轨道摄动修正的方式出现。达朗贝尔和拉格朗日都对摄动理论作过贡献，但天体力学最重要的成就是拉普拉斯

做出的。

拉普拉斯于1749年在法国博芒特出生，他是一个农民的儿子，家境贫寒，靠着邻居们的帮助受了初等教育，但在学校里，他表露出了非凡的才能。18岁时，他带着地方上著名人士的推荐信独自去了巴黎。他先去拜访达朗贝尔，递上了推荐信，但达朗贝尔没有理会。后来，拉普拉斯给达朗贝尔写了一封关于力学原理的信，这封信写得十分出色，达朗贝尔一读到它就立即

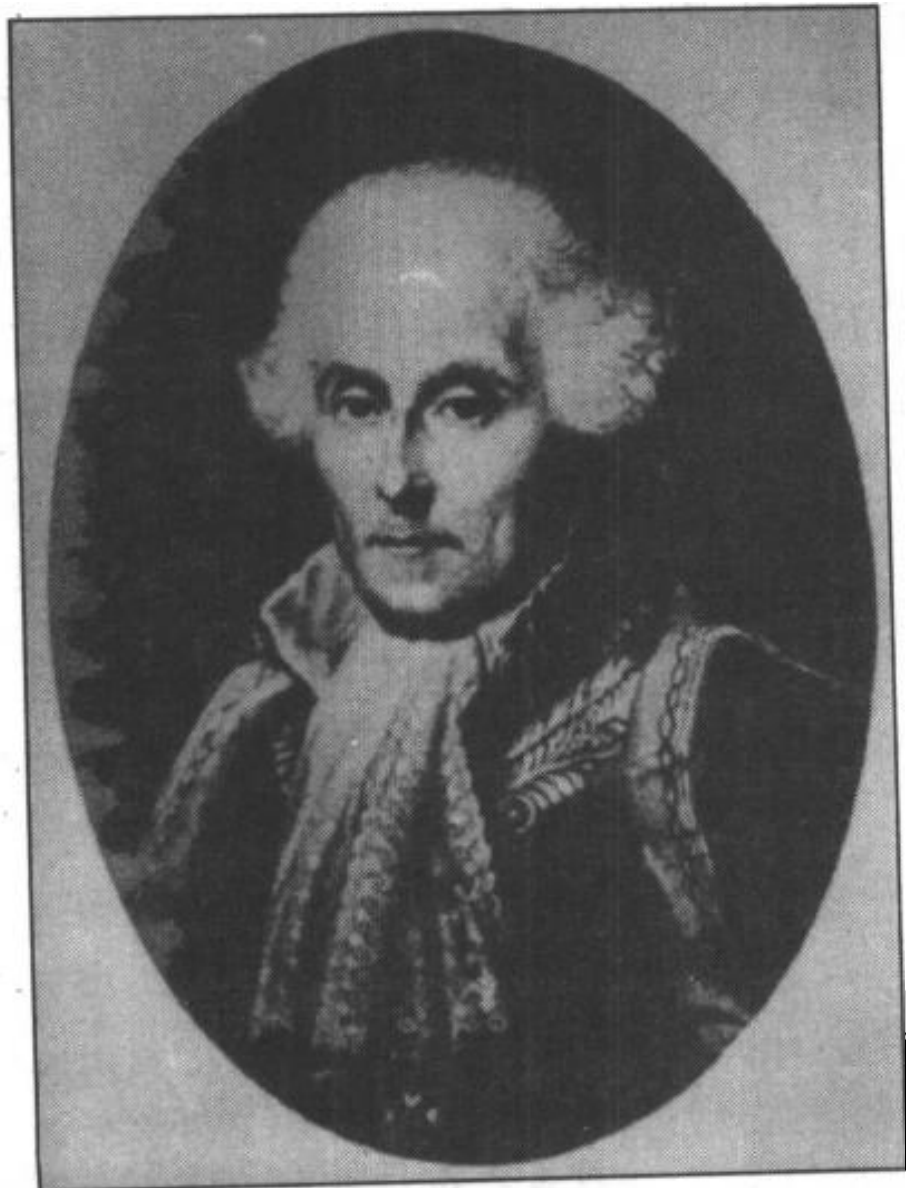


图 23-1 拉普拉斯

回了信，信中说：“我几乎没有注意你那些推荐信，你不需要什么推荐，你已经很好地介绍了你自己。”在达朗贝尔的推荐下，拉普拉斯被任命为巴黎军事学校的数学教授。1773 年，在他刚刚 24 岁时，拉普拉斯被选为科学院的副院士。从这一年开始，他致力于用艰深的数学解决太阳系内的多体力学问题，其中包括太阳系的稳定性问题。

经过了二十多年的研究，拉普拉斯开始系统整理自己在天体力学方面的研究工作，写作《天体力学》这部巨著。该书 1799 年出版了头两卷，论述了行星的运动、它们的形状以及潮汐；1802 年出版了第三卷，论述摄动理论；1805 年出版第四卷，论述木星四个卫星的运动及三体问题的特殊解；第五卷于 1825 年出版，补充了前面各卷的内容。这部著作汇集了天体力学自牛顿以来的全部成就，被誉为那个时代的《至大论》，他也因这本书被称为法国的牛顿。

拉普拉斯最著名的成果是证明了太阳系的稳定性。甚至在牛顿看来，光有万有引力定律尚不足以保证太阳系的稳定，上帝还有必要经常干预他的作品。1773 年，拉普拉斯解决了当时的一个著名的难题，即解释木星的轨道不断地收缩，而土星轨道又不断地膨胀。拉普拉斯证明了，行星轨道只有周期性变化，并非无限发展。以后，他又证明了太阳系的总偏心率将保持恒量，一个行星的偏心率变大，其他行星的偏心率就会减小，以与之平衡；类似地，轨道面的倾角虽然变化但相互牵制。这些结论虽然只在近似的意义下得到了证明，但依然可以视为可靠地证明了太阳系在一个相当长的时期内将保持现有的格局，上帝之手是不必要的。据说，拿破仑曾问拉普拉斯为何在他的书中一句也没有提到上帝，拉普拉斯回答说：“陛下，我不需要那个假设。”

拉普拉斯在天体力学研究中发展了许多新的数学方法，其中包括位势理论。在《天体力学》一书中，拉普拉斯经常省略去数

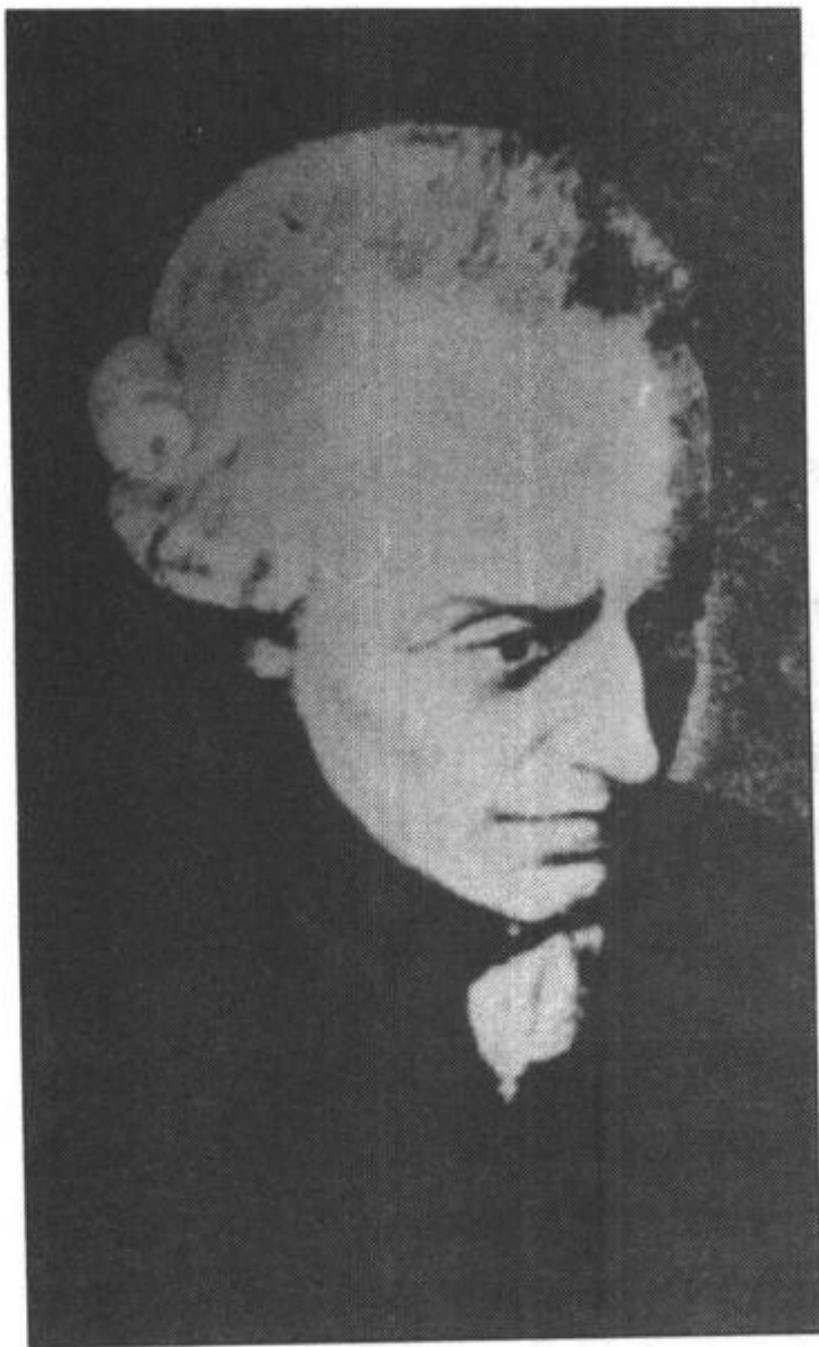


图 23-2 康 德

学论证，代之以一句“这是显而易见的”，这使许多读者为了能读下去而不得不费尽气力亲自动手演算。

在《天体力学》出版之前的 1796 年，拉普拉斯出版了一本完全没有数学公式的著作《宇宙体系论》，书中概述了《天体力学》的基本思想。在《宇宙体系论》的附录里，他提出了太阳系起源的星云假说。太阳系里的所有行星的运行方向完全相同，而且轨道面大致在同一个平面内，这是一个引人注目的特征。拉普拉斯猜测，太阳可能起源于一团旋转着的巨大星云，由于引力作用，星云气体不断收缩，较外围

的星云则因离心力的作用保持在外轨道上绕中心转动，并且自身继续在引力作用下收缩成行星，星云的核心则收缩成太阳。这一假说很好地解释了太阳系的旋转方向问题，在 19 世纪十分流行。实际上，拉普拉斯并不是第一个提出这种设想的。哲学家康德（1724—1804 年）早在 1755 年就发表了《自然通史和天体论》，提出了类似的但更为详细的星云假说，但未引起学界的注意。拉普拉斯也许并不是特别认真地看待这个猜想，但该猜想却格外地引人注目。直到本世纪，这个问题才有了新的解决。



图 23—3 太阳系的星云假说

1785 年，拉普拉斯成为法国科学院的院士。在法国大革命时期，他侥幸没有被迫害。拿破仑上台后，对这位从前军事学校的老师十分敬重，让他当了内政部长，但拉普拉斯显然不擅长此行，只当了六个星期就不再干了。1816 年，拉普拉斯当选为法兰西学院院士，次年被任命为院长。1872 年 3 月 5 日，拉普拉斯在巴黎郊区他自己的庄园里去世。

2. 布拉德雷与光行差

牛顿力学的成功使越来越多的人接受哥白尼的日心体系，但令人烦恼的是，日心地动学说所必然导致的恒星周年视差总也没

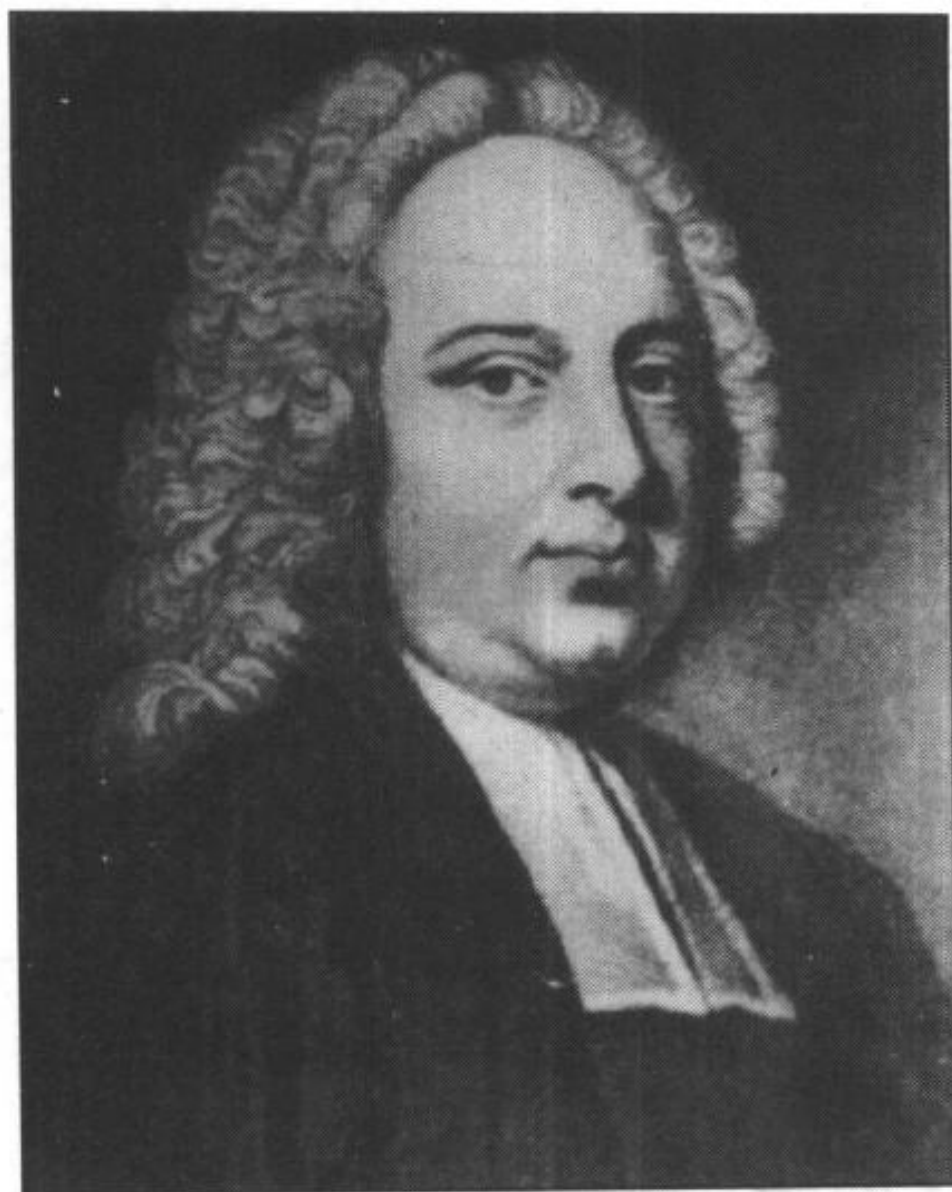


图 23—4 布拉德雷

有被观测到，有些著名的观测天文学家如老卡西尼，直到 1712 年临死都不同意哥白尼的学说，原因也是未观测到恒星周年视差。整个 18 世纪，观测天文学都在致力于发现这个至关重要的视差。

布拉德雷 (1693—1762 年) 出生于英国格洛斯特郡的舍伯恩，早年就读于牛津大学，受其天文学家的叔父影响，很早就对

天文学产生了兴趣。由于其卓越的数学才能深受牛顿和哈雷赏识，1718 年被选入皇家学会。1721 年，布拉德雷当上了牛津大学的天文学教授。

布拉德雷的早期理想也是观测恒星周年视差。按照哥白尼的日心体系，地球每年绕太阳一周公转，地球上的观察者必定可以看到较近的恒星相对于较远的恒星背景有一个周期性的位移，位移的方向与地球轨道的向径相平行。1725 年，布拉德雷利用一台 212 英尺长的望远镜确实发现了恒星位移。观测结果表明，通过格林威治天顶的天龙座 γ 星每年有约 20 弧秒的微小周期性位移。但奇怪的是，该位移的方向并不像预想的那样与地球轨道向径平行，

而是垂直，相差 90 度。

布拉德雷很久想不通这是怎么一回事。到了 1728 年，有一天他在泰晤士河上划船，发现船上飘着的旗帜飘动的方向不仅取决于风向，还取决于船前进的方向，这启发他解开了那奇怪的位移之谜。他称那个 20 弧秒的位移为光行差。

道理其实很简单，在一个完全没有风的下雨天，人们由于走动就必须将伞稍微向前倾斜一定的角度才能将雨完全挡住，这个角度只取决于雨的下落速度和人的步行速度。由于地球在运动，而光速又是有限的，遥远的星光到达地球也使得与望远镜有一个小小的倾角，这个倾角导致了一年之中恒星的视位移，而位移的方向恰好与地球轨道的径向垂直。

根据光行差的大小，布拉德雷可以重新计算光速。上个世纪时，丹麦天文学家罗伊默曾经依据木卫食推算过光速，这次布拉德雷可以得出更准确的数值。结果表明罗伊默的光速值基本上是对的。光行差的发现不仅证明了地球是运动的，而且也提供了测量光速的另一种方法。

布拉德雷虽然没有发现恒星周年视差，但证明地球在运动的目的已经达到。由于恒星出人意料地遥远，恒星周年视差还得等一百年才被发现。

为了观测光行差，布拉德雷系统细致地给整个星空定位，在这一过程中，他还发现恒星的赤纬除光行差外还有一处微小的变化。这显然是地球自转轴有微小的周期性移动所致，他称之为地球的章动。1732 年，他提出章动的原因是月球对地球各处引力不平衡造成地轴摆动。为了进一步研究章动问题，布拉德雷将自己的恒星观测精确到了 2 弧秒，在这样的精度内还没有发现恒星周年视差，足见恒星是相当遥远的。1748 年，布拉德雷公布了自己多年来对恒星的观测资料，系统分析了光行差和章动现象。为此皇家学会授予他科普利奖章。

1733年，布拉德雷测量了木星的直径，发现比地球直径大得多；1742年，哈雷去世，布拉德雷被任命为格林威治天文台第三任台长。据说，当国王准备给他提高薪水时，他拒绝了这一好意，他害怕皇家天文学家的薪水太高必导致许多投机钻营者覬覦，反而使真正的天文学家得不到这一职位。

3. 赫舍尔的天文观测

18世纪最伟大的天文观测家当推弗里德里希·威廉·赫舍尔。他1733年11月15日生于德国的汉诺威，父亲是汉诺威军队里一名双簧管吹奏手。赫舍尔刚满14岁就继承父业当了一名军乐

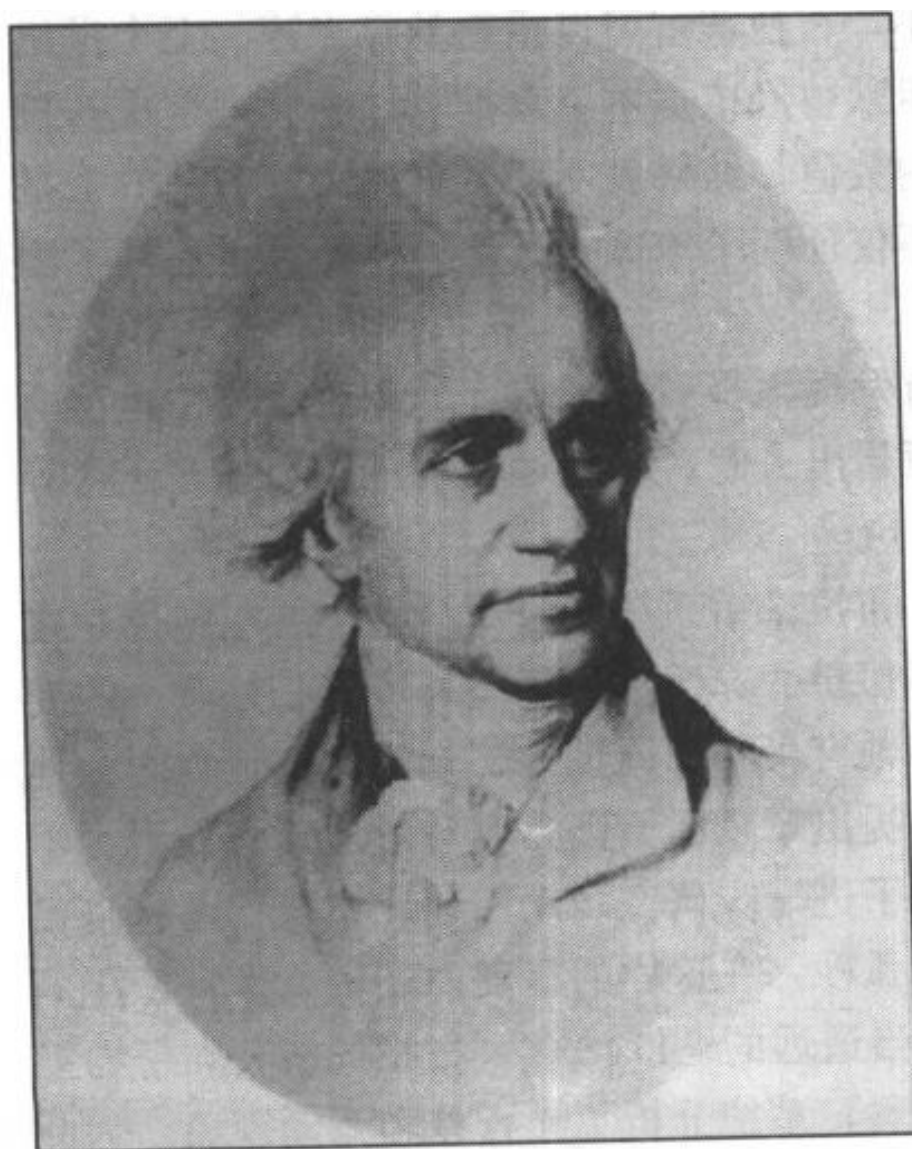


图 23-5 威廉·赫舍尔

师，成年之后不愿当兵便来到了英国，一直靠音乐谋生。先是当乐队指挥。1766年，他成了巴斯城八角小教堂里的风琴手。他靠教授音乐获取了丰厚的报酬。

从这时起，赫舍尔开始对天文学发生了兴趣。一开始他读了一本光学书籍，决定按书上所说自己做一架望远镜。他买不起昂贵的镜片便自己动手磨制，经过反复试验，终于造出了一

架比较满意的望远镜。1772 年，他回到汉诺威，将他的妹妹卡罗琳·赫舍尔（1750—1848 年）接到了英国。卡罗琳也是一位天文爱好者，后来协助其兄长作出了许多伟大的发现，是历史上第一个女天文学家。兄妹两人一起亲自动手磨制镜片、改进望远镜，终于在 1774 年造出了当时最好的



图 23—6 卡罗琳·赫舍尔

反射望远镜。据说，在那些漫长而又枯燥无味的工艺制作过程中，卡罗琳给赫舍尔读书，有时甚至喂他饭吃，因为他双手磨镜片腾不出空来。

有了最好的望远镜，赫舍尔决定系统地观测整个天空里的每一样东西。象当时所有的天文观测者一样，他最先想干的是发现恒星的周年视差。伽利略曾经提出过一个观测周年视差的方案，即特别观测那些成对的恒星之间位置的变化。这些成对的恒星亮度不同但又挨得很近，表明它们与地球的距离不同，但几乎处于同一条视线，因而很适合观察它们相对位置的变化。赫舍尔对伽利略这个方案印象很深，决定实施。正当他寻找星对，以便观察周年视差时，无意中作出了另一个伟大的发现。

那是在 1781 年 3 月 13 日，正当赫舍尔用望远镜在金牛座搜寻恒星时，一颗“星云状恒星或者彗星”显出了圆面。这就是说，

它并不是一颗遥远的恒星，因为没有任何一颗恒星能在望远镜里显出圆面，在望远镜里，恒星只可能增大亮度。过了几天，这颗星相对于周围恒星出现移动，表明它是太阳系里的天体。赫舍尔起初认为它是一颗彗星，并作了报道。但后来发现，它像行星那样有明朗的边缘，而且进一步观测表明，它的运行轨道像其它行星一样近似一个圆，这就说明，它是土星轨道之外的太阳系内又一颗行星。

这是人类自有史以来第一次发现新的行星。其实，这颗新行星从前也被人们看到过，但都被误认为或是恒星或是卫星而忽视，只有赫舍尔的望远镜才将之显出一个圆面，证实了它的真实身份。

新行星的命名是一个大事。赫舍尔本人想依照当时的英国国王乔治三世的姓氏命名为“乔治星”，还有人提议命名为“赫舍尔星”，最后大家一致同意继承前面五大行星的命名传统，即用希腊神话中的神的名字来命名，天文学家波德建议用萨都恩神（土星以此命名）的父亲、天神乌兰纳斯来命名新行星，后来得到了公认，中文译为天王星。

天王星的发现引起了极大的轰动，赫舍尔也因此而声名大振。1781年当年，皇家学会接纳他为会员，并颁发科普利奖章。次年，英王乔治三世亲自接见，并封他为国王私人天文学家，年俸200镑，专门从事天文学研究。赫舍尔当年由巴斯迁往达奇特，1786年定居于白金汉郡的斯劳，开始了职业天文学家的生涯。

赫舍尔继续观测并记录双星，1782年，他发表了有227对双星的星表，1784年，双星增到434对，1821年，又增添了145对双星。在观测到越来越多的双星时，他均没有发现周年视差，相反倒是发现有些双星未必只是看起来成双，其实就是成双的，它们之间有相互的绕动。这种绕动再一次证实了万有引力定律在宇宙空间也是成立的。因为根据引力定律，相互吸引的天体必定作绕公共质心的旋转运动。

赫舍尔的另一个重大贡献是恒星计数。他有计划地、不厌其烦地将他的望远镜对准天空的每一部分，并记下这一部分里恒星的数目。通过恒星计数，赫舍尔推测银河系是一个扁平状的圆盘，太阳系可能处在银河系中心附近的地方。后来发现，太阳系其实不在银河系的中心。在此之前，英国天文学家赖特（1711—1786年）、法国物理学家朗贝尔（1728—1777年）和康德，均提出过银河系的空间构形的设想。

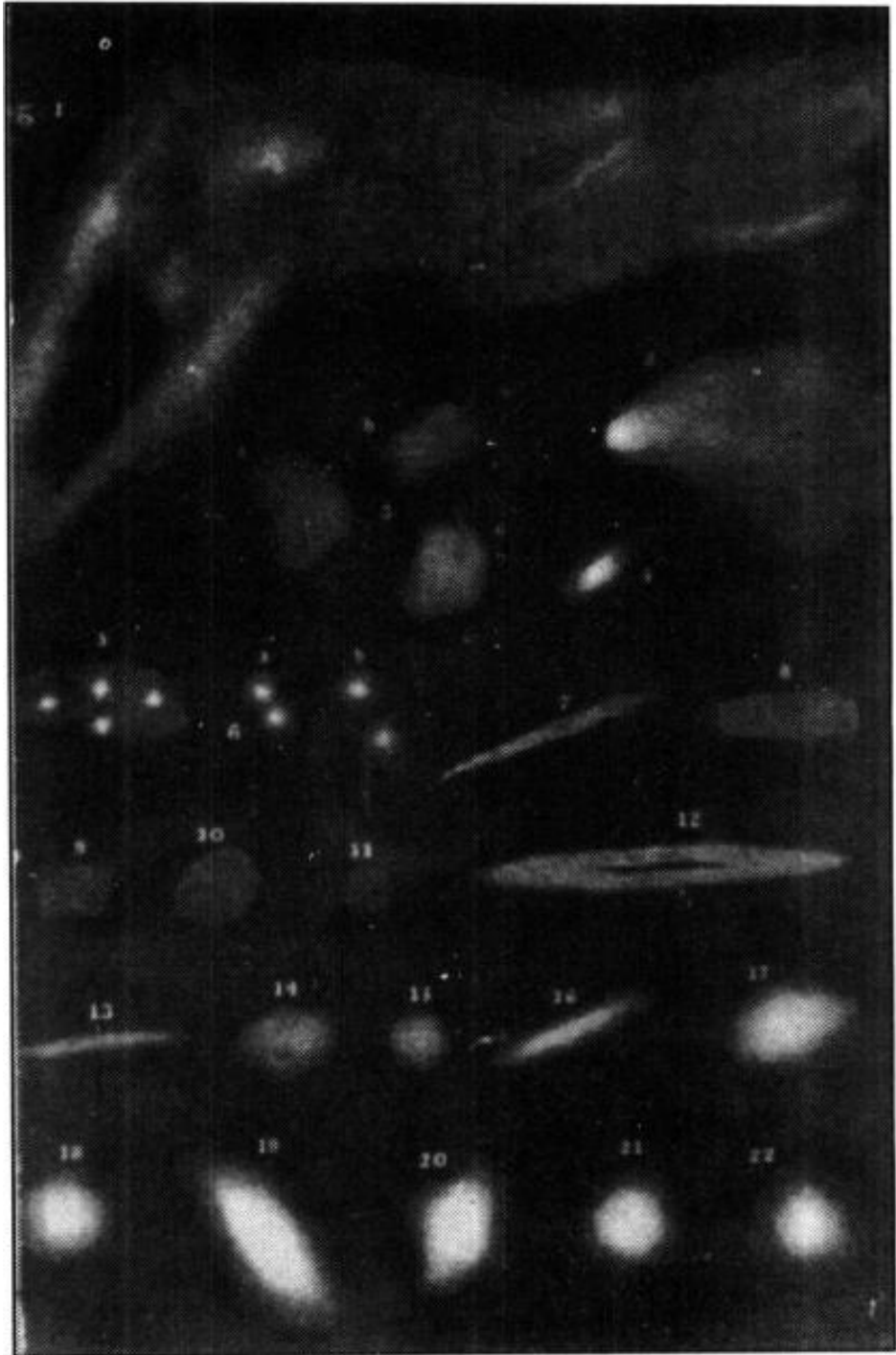


图 23—7 赫舍尔的银河图

赫舍尔在搜寻天空时，还开创了对星团和星云的研究。在计数中，他发现，有些区域中恒星密度明显高于其它天区，这意味着该地区的恒星有成团现象。通过他的高倍率望远镜，从前被认为是星云的现在显示成一群恒星，但他认识到，有些星云是不可分解的。

1783年，赫舍尔分析了7颗恒星的固有运动，推测太阳正向

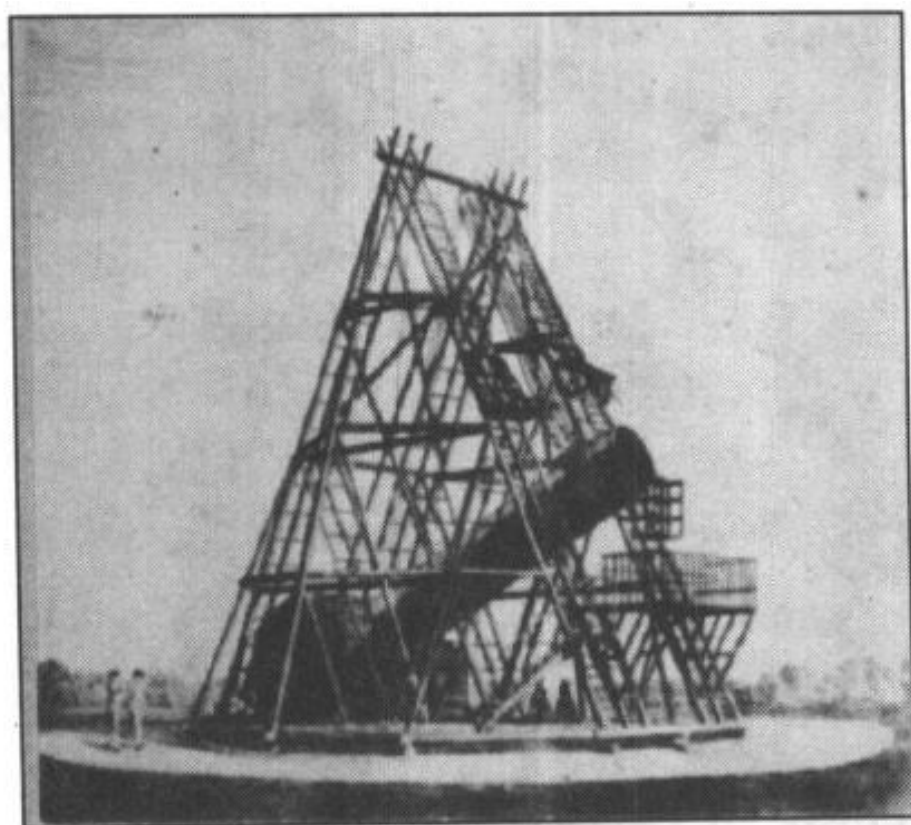


图 23—8 赫舍尔自制的望远镜

武仙座方向奔行，以后在更多观测事实支持下确认了这一推测。太阳自行的发现破除了太阳是宇宙固定不变的中心的观念。

赫舍尔的天文观测主要得益于他自制的望远镜。他一辈子都没有停止过改进和制造新的望远镜，在成为乔治三世的宫廷

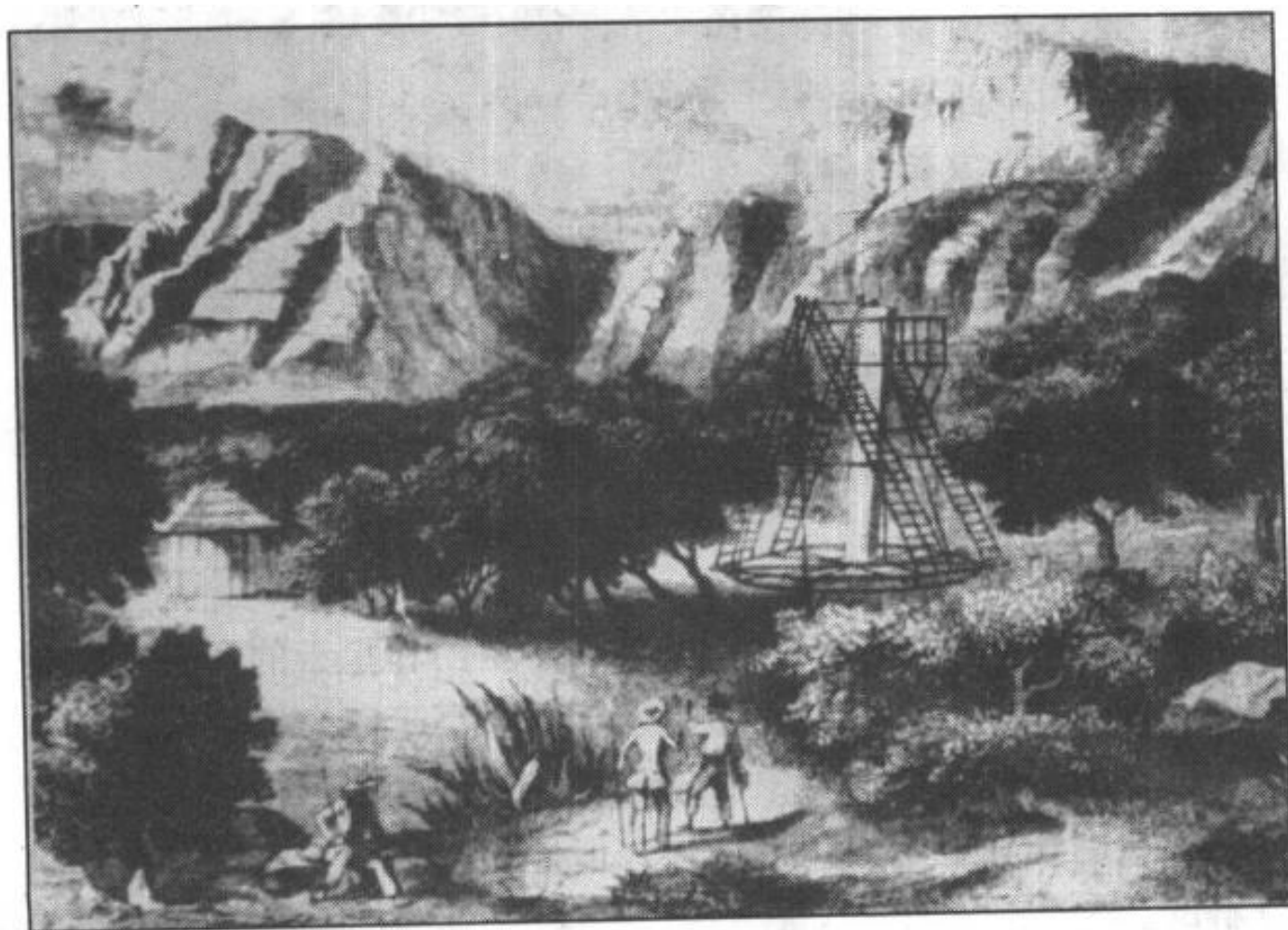


图 23—9 约翰·赫舍尔在南非好望角建立的天文台

天文学家之后，他还制造并出售望远镜以补充家用。迁居斯劳不久，赫舍尔计划建造一台大型的反射望远镜，乔治三世为此捐了四千英镑。在十个助手的协助下，赫舍尔花了四年建成了一台长40英尺、口径达48英寸的巨型望远镜。赫舍尔用这台望远镜发现了土星的两颗卫星：土卫一和土卫二。但这台大型望远镜使用效果不佳，自重使反射镜变形。赫舍尔大部分观测工作是在一台长20英尺的反射望远镜里做出的。

赫舍尔于1788年结婚，太太原是一位富有的寡妇，1792年他们的儿子约翰·赫舍尔出世，后来也成了英国著名的天文学家。1821年，赫舍尔与儿子一起创建了英国皇家天文学会，并成为第一任会长。1822年8月25日，赫舍尔在斯劳逝世，终年84岁。有趣的是，赫舍尔所发现的天王星的公转周期同样也是84年。

第二十四章

化学革命

18 世纪基础理论方面最重大的突破发生在化学领域，拉瓦锡完成了这场化学革命，但革命的起因则是对燃烧和气体问题的研究。

1. 燃素说：斯塔尔

自近代以来，燃烧问题一直是化学研究的一个核心问题，因为火和燃烧现象是自然界中极为常见的一种现象，许多化学过程都与之相关，特别是，只有通过燃烧才能从金属矿石中提炼出金属。人们大多注意到，在燃烧过程中有火焰进出，还注意到，木柴燃尽后的灰烬比原先的木柴轻了许多，这大概使人推测在燃烧过程中有某种东西离开了燃烧物，又由于燃烧完了的灰烬不再容易燃烧，人们又推测所逃离的东西是某种易燃的东西。这是燃素说的基本想法，那种在燃烧过程中逃离的易燃的东西后来就被称

为燃素。

17 世纪的化学家们大都发现了空气对于燃烧的必要性，但是易燃物在燃烧过程中逃离的想法仍然没有改变，燃素说倒是被进一步理论化、系统化。因为随着实用化学的发展，人们越来越相信，燃烧过程是一种分解过程而不是一种化合过程。

燃素理论的提出首先应追溯到德国化学家贝歇尔（1635—1682 年）。

在发表于 1669 年

的《地下物理学》一书中，他提出了三种土元素之分：玻璃状土、油状土、流质土。自然界所有化合物之所以不同，均在于所含有的土各各不同。实际上，他的三种土元素的划分与帕拉塞尔苏斯的盐、硫、汞三元素说是一一对应的，没有多少新鲜东西。有意义的只是，他提出在有机物燃烧过程中，其中所包含的油状土很快逸出，只有玻璃状土留下来。他的这种说法被他的学生斯塔尔加以发挥，提出了系统的燃素说。

燃素（phlogistou，来自希腊文，意为使火开始）一词早就出



图 24-1 斯塔尔

现过，但只是经过斯塔尔（1660—1734年）的解说才流行开来。斯塔尔受原子论的影响，并在原子论基础上建立了他的元素概念。他把贝歇尔的油状土叫做“燃素”。易燃物之所以易燃是因为含有较多的燃素，灰烬不能燃烧，因为其中不含有燃素。在燃烧过程中，被烧物体中的燃素被空气吸收，空气只起单纯的助燃作用，并且它的主要用途是带走燃素。

燃素理论确实解释了当时已知的许多化学现象，对今日被称为氧化—还原反应的各类化学过程，燃素说均作出了自洽但与今日理论完全相反的解释：凡是氧化过程，斯塔尔均认为是燃素逸出的过程。在燃素说的概念框架内，斯塔尔还认识到，金属生锈与木材燃烧是同一类化学过程，它们都是失去燃素的过程。必须看到，燃素说确实是化学史上第一个将各种化学现象统一起来的化学原理，它虽然是错误的，但却引导化学走向更广阔的领域。

燃素说有一个明显的困难，那就是燃素是否有重量，因为有机物在燃烧完后重量一般大大减少，而金属生锈后重量却往往增加。如果它们都伴随有燃素的逃离，那么燃素究竟有没有重量，如果有，是正重量还是负重量。对待这一困难，斯塔尔没有在意，他头脑里的定量观念还很淡薄，以后的人们力图解释这一困难，但无太大影响。在没有一个更有力的理论取代燃素说之前，它依然被大多数化学家所接受，因为它确实比较好地解释了众多的化学现象。

2. 气体研究与氧的发现：普里斯特列、舍勒

自古以来，人们只知道空气这一种气体，一提到气指的就是空气。只是从赫尔蒙特开始，人们才知道自然界中有许多种气体，“气体”一词就是赫尔蒙特发明的。赫尔蒙特虽然指出了有多种不同的气体存在，但由于缺乏实验手段来实际地区分各种气体，人

们的气体知识并无太大的长进。直到 18 世纪，由于实验室中收集气体成为可能，人们才发现了越来越多的气体，并且认识到气体原来也是一种物质元素。

1727 年，英国植物学家黑尔斯（1677—1761 年）出版了一本《植物静力学》，书中描述了他如何将各种物质加热后，在水面上收集它们放出的各种气体。黑尔斯受牛顿物理学的影响，只注重实验过程中定量的物理方面，而忽视定性的化学特征，所以他根本没有注意到他收集到的实际上是各种不同的气体。不过有意义的是，他第一次给出了在实验室里收集气体的方法。当然，黑尔斯的水面收集法只适合于那些不溶于水的气体。

曾经发现了“潜热”从而帮助瓦特改进蒸汽机的苏格兰化学



图 24—2 黑尔斯

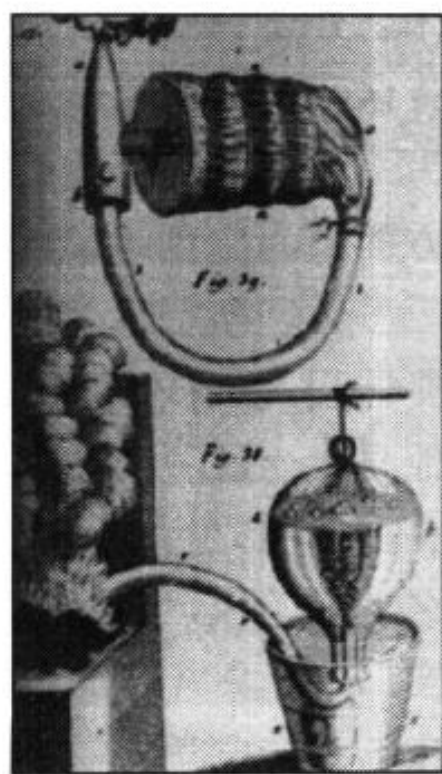


图 24—3 黑尔斯的实验

家布莱克（1728—1799年），在气体的化学研究方面首开先河。1756年，他发表了他的医学博士论文中的化学部分，题为《关于白镁氧、生石灰和其它一些碱性物质的实验》，书中说，白镁氧（碱性碳酸镁）加热后会放出某种气体而变成氧化镁，石灰石加热后也会放出类似的气体而变成生石灰。我们今天知道这种气体就是二氧化碳，赫尔蒙特曾经称它为“野气”。由于它被固定在白镁或石灰这些固体中，布莱克称它为“固定空气”。布莱克的发现在化学界引起了巨大的反响，人们均对固体物质中含有如此多的化学气体感到十分惊奇，气体从此被当成一种重要的化学物质，因为它确实可以参与化学反应。

布莱克继续研究了这种“固定空气”。他首先认识到，固定空气不同于普通空气，因为生石灰不吸收普通空气，但吸收这种空气。布莱克还认识到，燃烧和呼吸时放出的空气里一定含有固定空气。

继布莱克之后，许多种气体被发现。他的学生丹尼尔·卢瑟福（1749—1819年），发现了空气中除呼吸或燃烧时被消耗掉的气体之外还有一种气体，他称之为“浊气”，这实际上就是“氮气”。著名的英国物理学家卡文迪许后来也发现了二氧化碳（他仍称之为“固定空气”）和氢气（他称之为“可燃空气”）。但在气体研究方面最为出色的，当属英国化学家普里斯特列（1733—1804年）。

普里斯特列生于英国约克郡的菲尔德赫德，青年时代学习古典课程，并未受过自然科学训练。他的科学成就主要在实验方面。他早年当过牧师，但不信英国国教。他崇尚自由主义思想，支持美国的独立运动，反对奴隶制。1766年，他在伦敦遇见了美国著名的政治家、科学家富兰克林，这次会晤使普里斯特列对新兴的实验科学发生了兴趣。一开始，他研究了电学的历史，于1767年出版了《电学史》。当年，他移居利兹，他的住处隔壁是一家啤酒厂，这使他有研究“固定空气”问题。他以后的科学工作均

集中在气体化学方面。

普利斯特列认识到,啤酒厂里谷物发酵后产生的气体实际上就是布莱克所发现的“固定空气”。此后他又用多种方式采集到了这种气体。他发现,这种气体能部分溶解于水,而且溶解了这种气体的水是一种味道十分可口的饮料。据此,普利斯特列于1772年发明了“苏打水”。这项发明赢得了好评,英国海

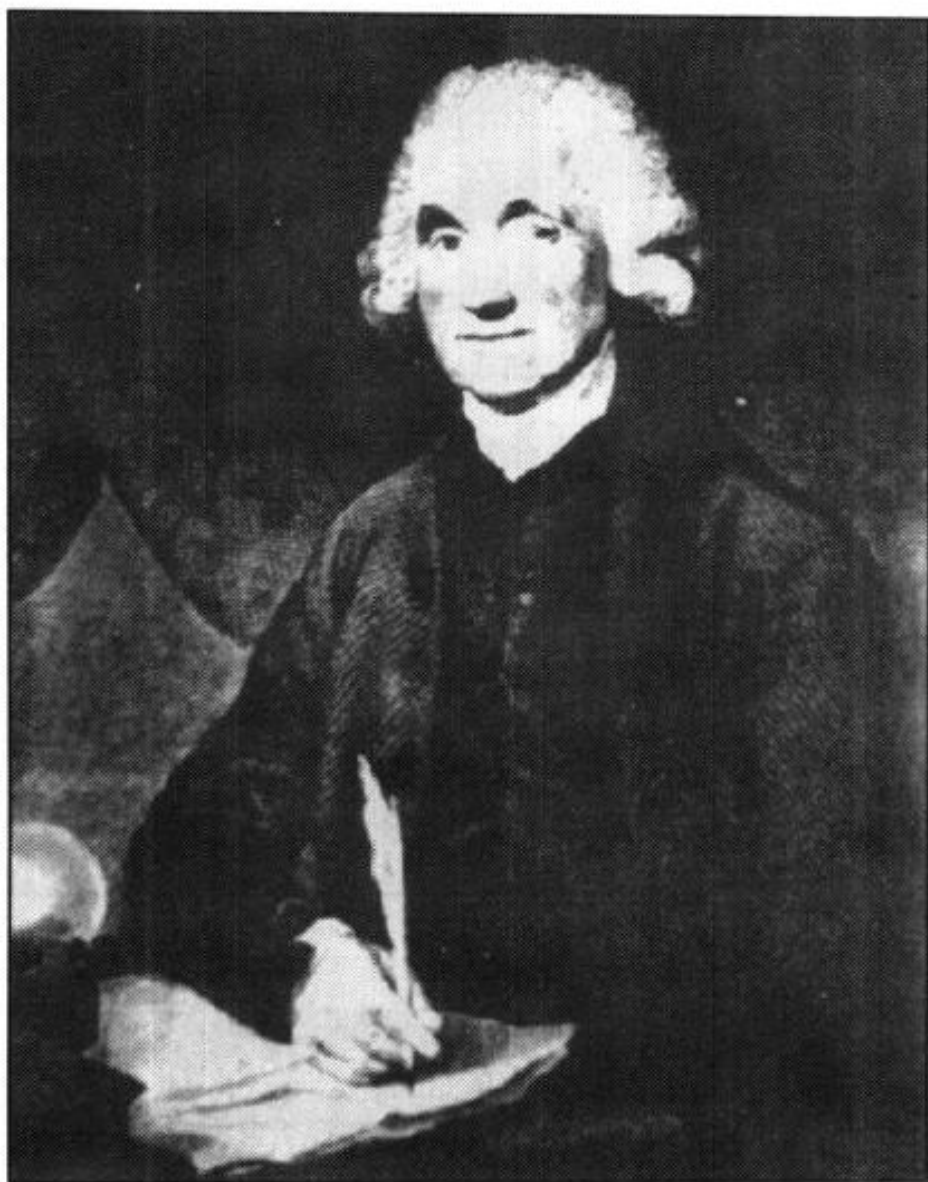


图 24—4 普利斯特列

军甚至将此作为军舰上的饮料。他可以被看成是现代软饮料工业的创始人。

在研究二氧化碳的过程中,他发现薄荷小枝在充满这种气体的环境里十分茁壮地生长。这使他想到,动物的呼吸不断地污染空气,植物则可能充当空气净化剂的角色。经过反复实验,他得出结论说:“许多动物的呼吸不断对大气的损害,以及许多植物和动物的腐败作用,至少部分地为植物的创生所补偿。”

1772年,普利斯特列发表了长篇论文“对各种空气的观察”,文中记载了他利用集气槽收集到的各种各样的气体:由铜、铁、银等金属与稀硝酸制取的“亚硝空气”(氧化氮)、“燃素化空气”

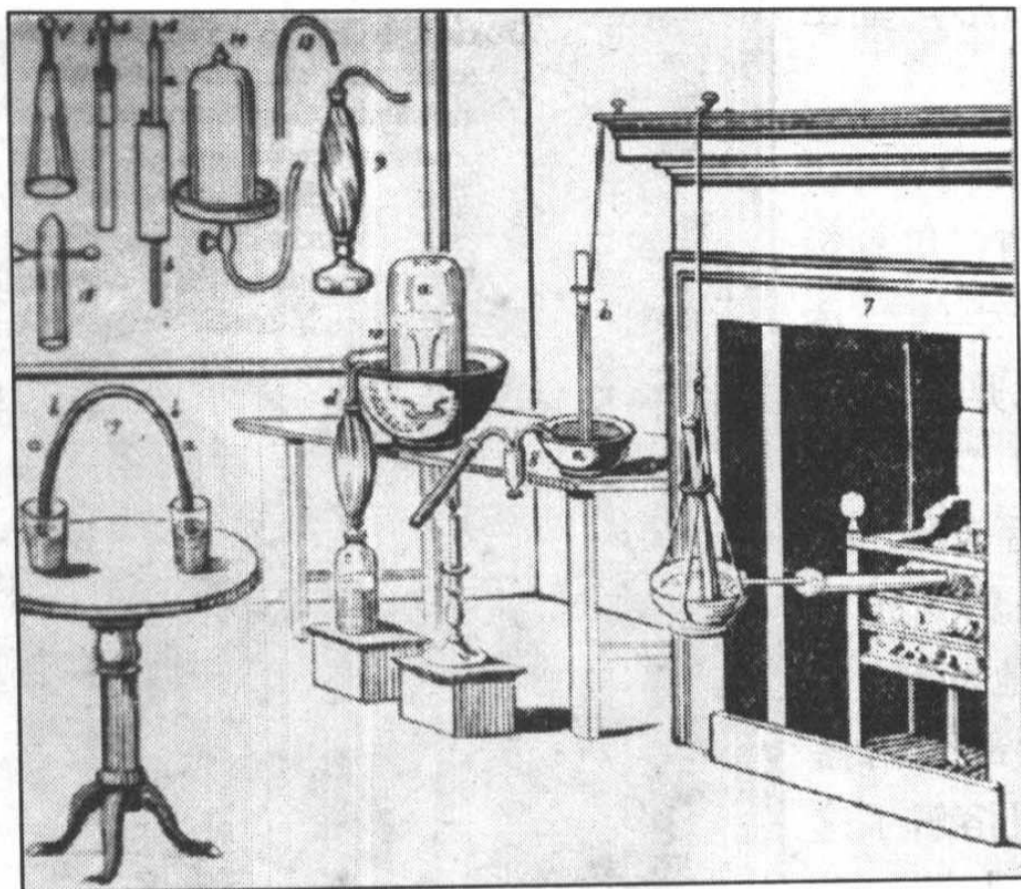


图 24—5 普里斯特列的实验装置之一

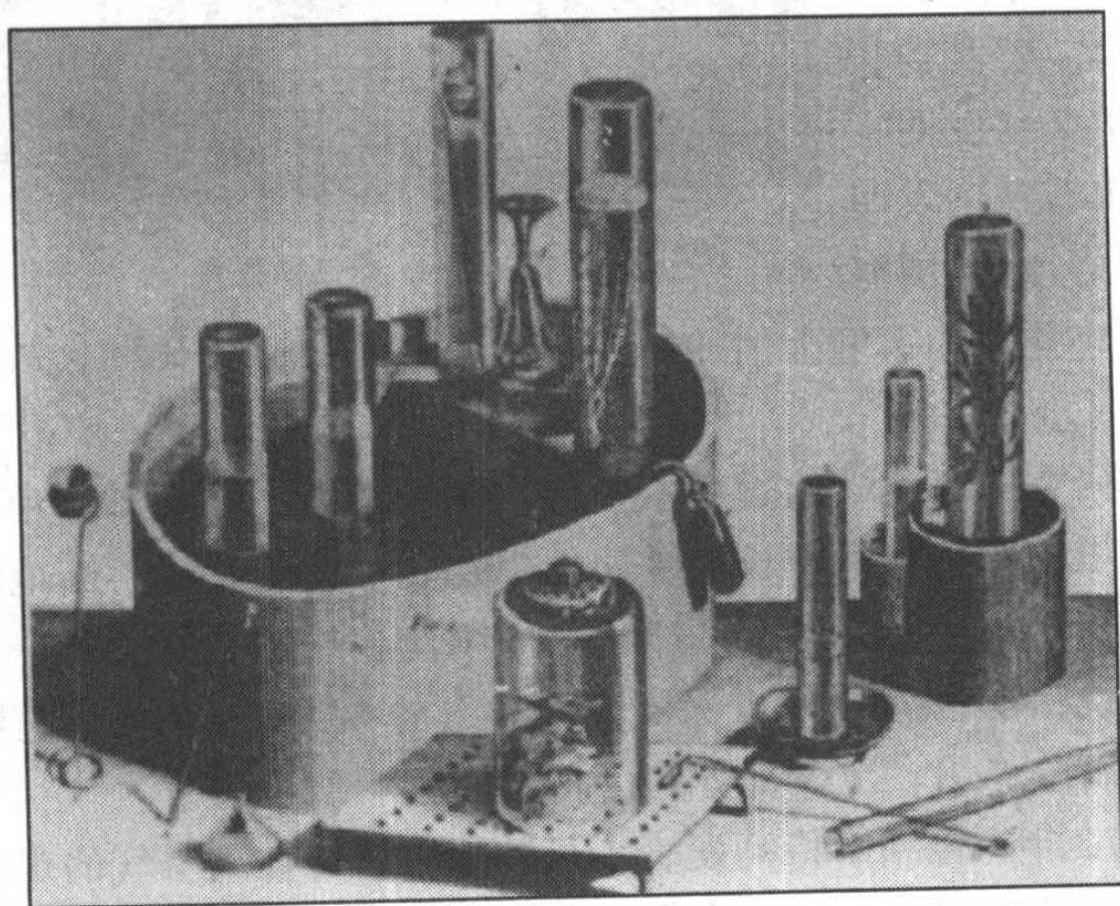


图 24—6 普里斯特列的实验装置之二

(氮)、与浓硝酸制取的“亚硝蒸气”(二氧化氮)、“减缩的亚硝空气”(氧化亚氮)、“酸性空气”(氢氟酸)。最后一种气体因为易溶于水,故是在水银面上收集的,这是对黑尔斯集气方法的一种改进。事实上,卡文迪许早在1766年已经使用水银面收集了这类气体。

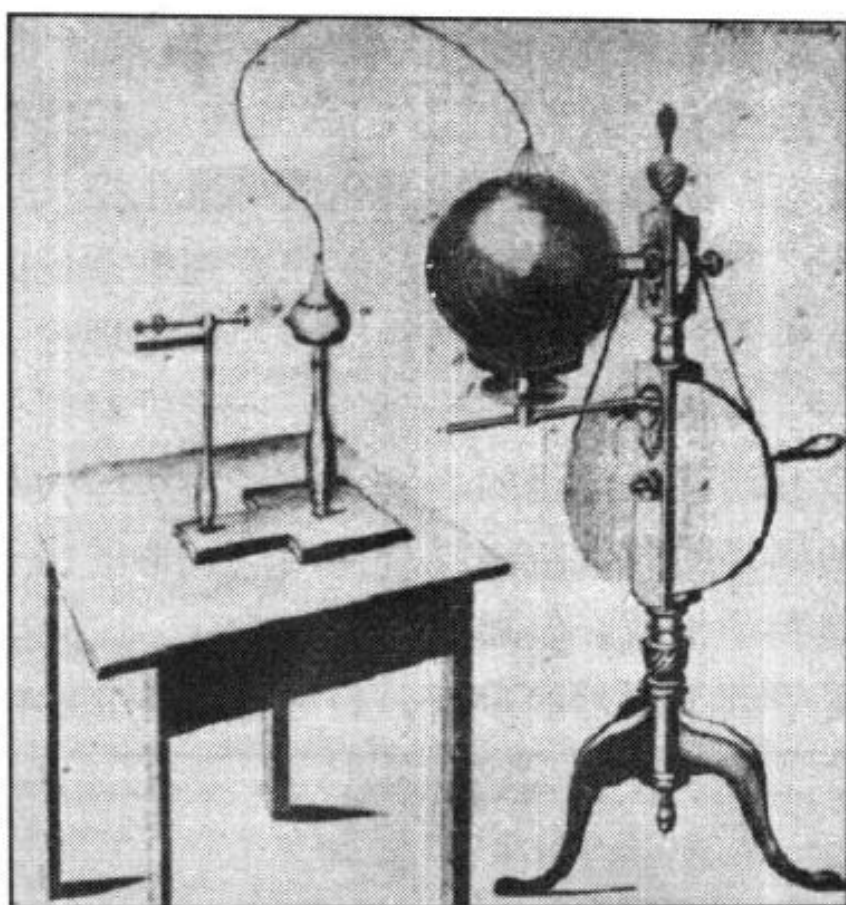


图 24—7 普利斯特列的电动机模型

1774年,普利斯特列作出了一个最重要的

发现。在空气里加热水银可以得到一种红色的矿灰,我们今天称之为氧化汞。普利斯特列将这种矿灰放在集气装置中加热,看能收集到什么气体。结果发现,这种新收集的气体不溶于水,但却使蜡烛以极强的火焰燃烧。次年,他又发现,老鼠在这种空气中比在普通空气中活的时间要长两倍,而他本人吸入这种空气后,胸部感到极为舒服,因此他猜测到这种气体可能在医学上有用处。他开玩笑说:“谁知道这种纯空气将来会不会变成一项时髦的奢侈品呢?但现在只有我和这两只老鼠有特权吸入这种气体”。普利斯特列是燃素说的信奉者,他相信燃烧就是损失燃素,燃素被支持燃烧的空气所吸收,空气里包含的燃素越少,吸收的燃素就越多。他所发现的这种新气体必定十分缺乏燃素才使燃烧这么猛烈的,因此他将此新气体命名为“脱燃素空气”。以后,他多次实验,从许多物质中都制取了这种“脱燃素空气”。1775年,普利斯特列向皇家学会宣布了这一发现。

像布莱克的学生卢瑟福一样，普利斯特列也认识到普通空气中包含有“燃素化空气”（氮气）。按照燃素说，物体在空气中燃烧后，脱燃素空气应转化成燃素化空气，但实际上并没有这一过程。普利斯特列显然没有注意到燃素说的这一弱点，他至死都坚持燃素说，反对拉瓦锡提出的氧化理论。

与他在化学理论上的保守形成对照，他在宗教和政治上是一个开明甚至激进的人物。他同情法国大革命，结果在法国大革命两周年的时候被一群暴徒攻击，他的房子也被烧毁。他死里逃生跑到了伦敦，但那里也不太安全。1794年，他来到了美国，在那里受到了热烈的欢迎，最后定居在宾夕法尼亚州直至逝世。

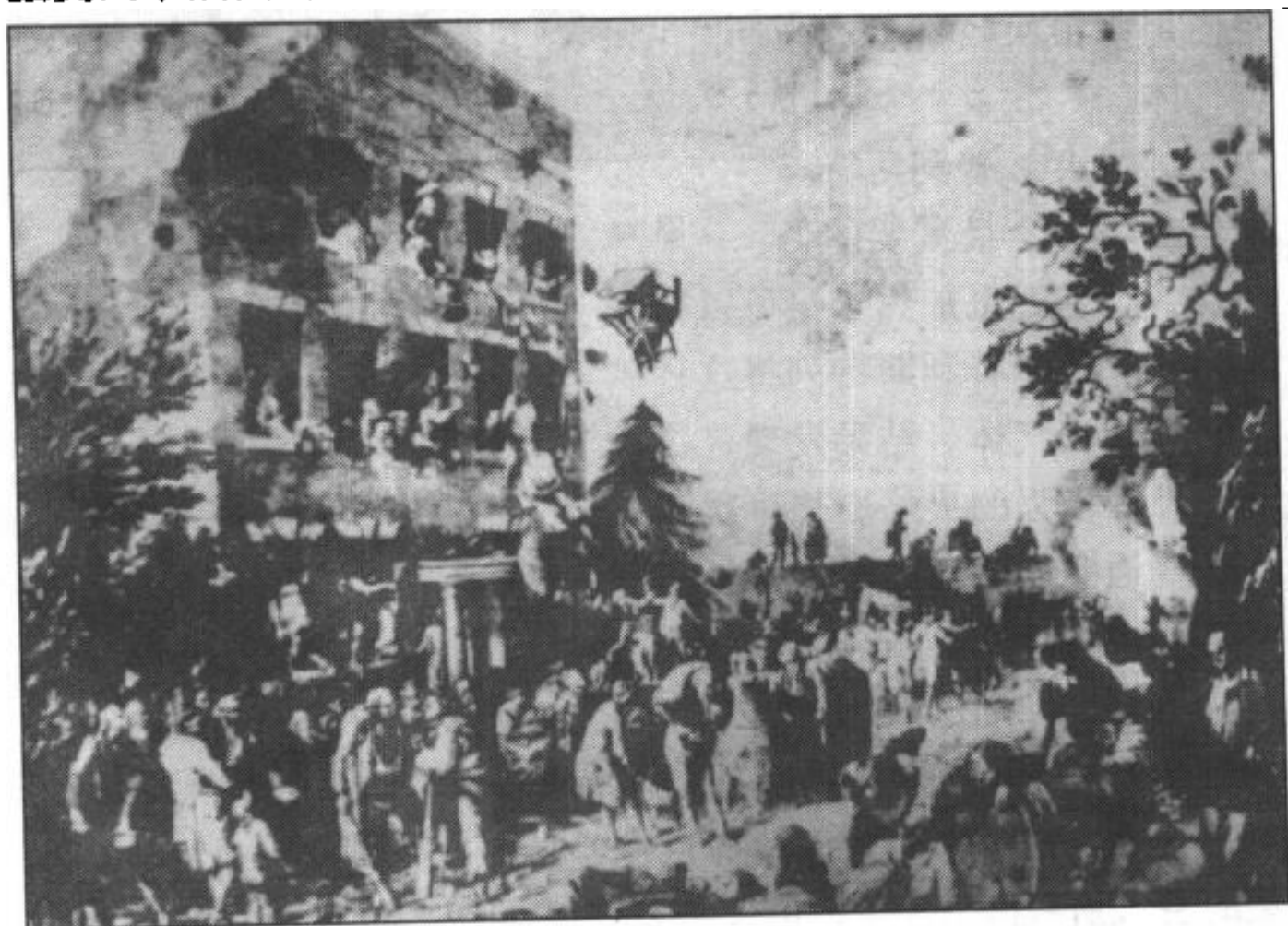


图 24—8 普利斯特列的家被抄

与普利斯特列分享发现“氧气”之荣誉的还有瑞典化学家舍勒（1742—1786年）。他出生在瑞典的波美拉尼亚，这个地方现在是德国的一部分。舍勒14岁在药房里当学徒，业余时间自学了

化学，成为一名卓越的药剂师。舍勒的一生他发现了大量的化学物质，但由于发表得比较晚，许多工作别人虽然稍后独立做出但却先于他发表，使他多次丧失了优先权。但历史是公正的，从他的原始记录中人们得知，有许多发现他是在先的。

舍勒在实验中也认识到，空气里包含有两种性质完全不同的成分，其中一种不吸引燃素，而另一种吸引燃素但只占空气中三分之一到四分之一的质量，他将之分别叫做“浊空气”和“火空气”。大约在1771年，他加热一些与氧结合不太



图 24-9 舍勒

紧密的物质制出了“火空气”（氧气），但同普利斯特列一样，他相信燃素说，没能正确地认识氧在化学反应中的作用。他叙述发现“火空气”的著作于1775年送到了印刷厂，但出版商没能及时付印，直到1777年才面世，而此时，世人全都知道普利斯特列发现了“脱燃素空气”。

“还有许多发现可以归于舍勒：硫化氢、氯、氢氟酸、氧化钡、氢氰酸、钨酸、砷酸、锰酸盐、高锰酸盐、亚砷酸铜等，后者至今仍被称为“舍勒绿”。他还可以被看成是有机化学的奠基人，因为他在那个时代是发现有机酸最多的人。由于劳累过度，舍勒年仅43岁就死了。也有人认为他可能死于药物中毒，因为他每制出

一种新的化学物质都要习惯性地尝一下。总之，他是为他所热爱的科学事业献身了。

3. 拉瓦锡的化学革命

气体化学已取得了长足的发展，实验室里揭示的化学现象越来越多，但是一套科学的化学概念体系尚未出现。氧气虽然已经被发现，但人们仍然相信燃素说。化学等待着一场系统深刻的概念革命。



图 24—10 拉瓦锡与夫人

安东·洛朗·拉瓦锡 1743 年 8 月 26 日生于巴黎一个富裕的家庭，父亲是一位律师，本来想让儿子继承他的事业，但拉瓦锡对科学表现出浓厚的兴趣。1754 年，拉瓦锡进了马扎林学院，这是一所高级的中等学校，达兰贝尔就在这里任教。受天文学家卡伊的影响，拉瓦锡也从事过天文观测，受到了实验



图 24—11 拉瓦锡在做实验，夫人做记录

科学的基本训练。化学家卢埃尔则使他对化学着迷。据说，卢埃尔是一位风趣的演说家，每次讲课他都是先讲一段原理，然后说：“先生们，让我现在用实验来证明它们。”可结果他的实验总是与他刚刚讲过的原理相矛盾。这时他就提醒大家，要尊重实验，而不能从原理出发。按父亲的安排，拉瓦锡 1664 年从法学院毕业，获得了法学硕士学位，但他内心里已经决定毕生致力于科学事业。

1665 年，巴黎科学院有奖征求解决街道照明问题的办法，22 岁的拉瓦锡也投交了一篇论文。他提交的方案虽然没有被采纳，但论文的才华还是引起了注意，科学院一致决定发表他的论文，并授予他金质奖章。1767 年，拉瓦锡随同地质学家盖达尔一起去野外绘制法国矿产图，旅行结束后撰写了论比重计的论文，结果被选入法国科学院，当时他才 24 岁。

拉瓦锡一开始他的化学研究生涯，就深刻地意识到定量测量

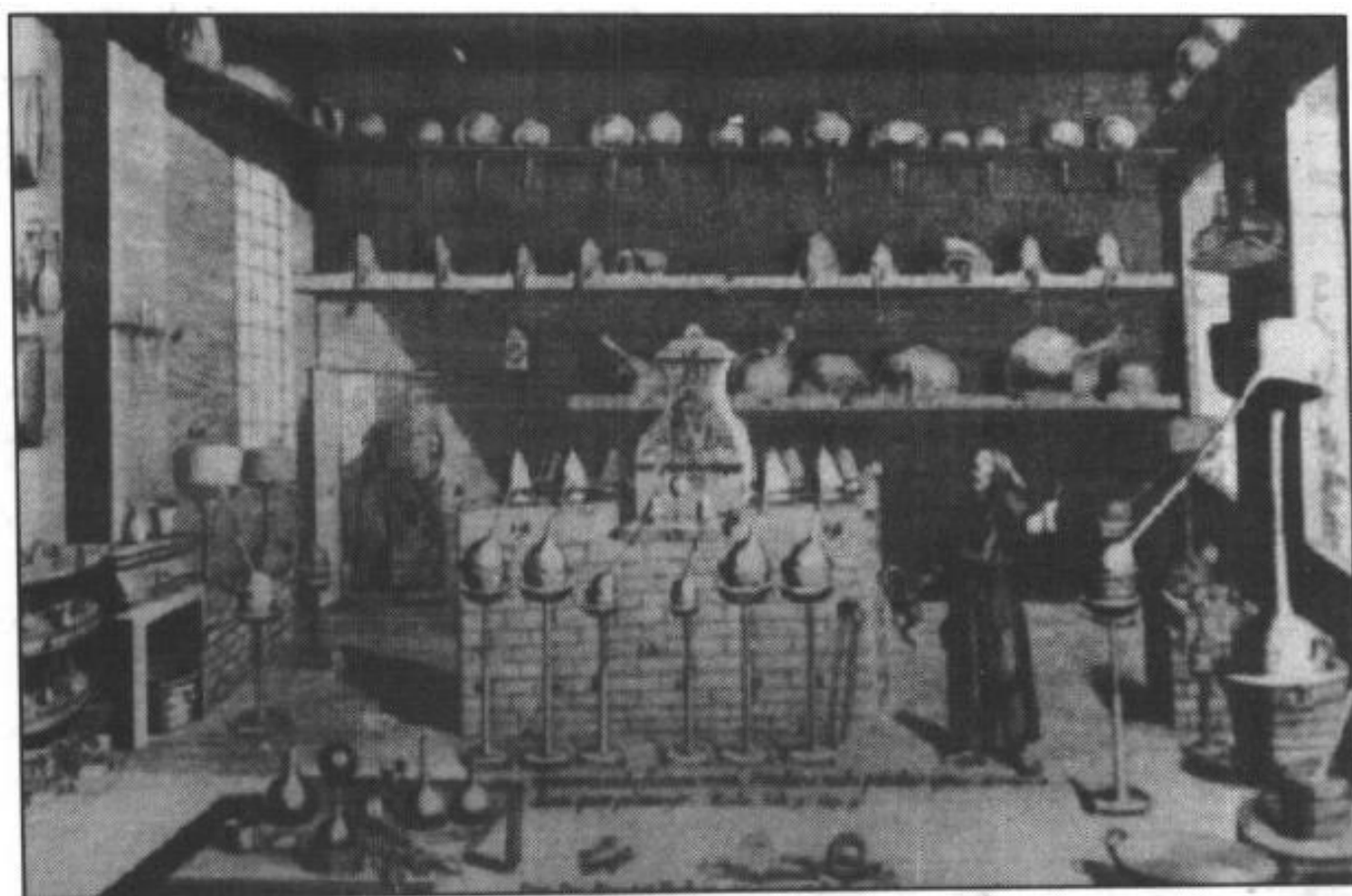


图 24-12 18 世纪法国的化学实验室

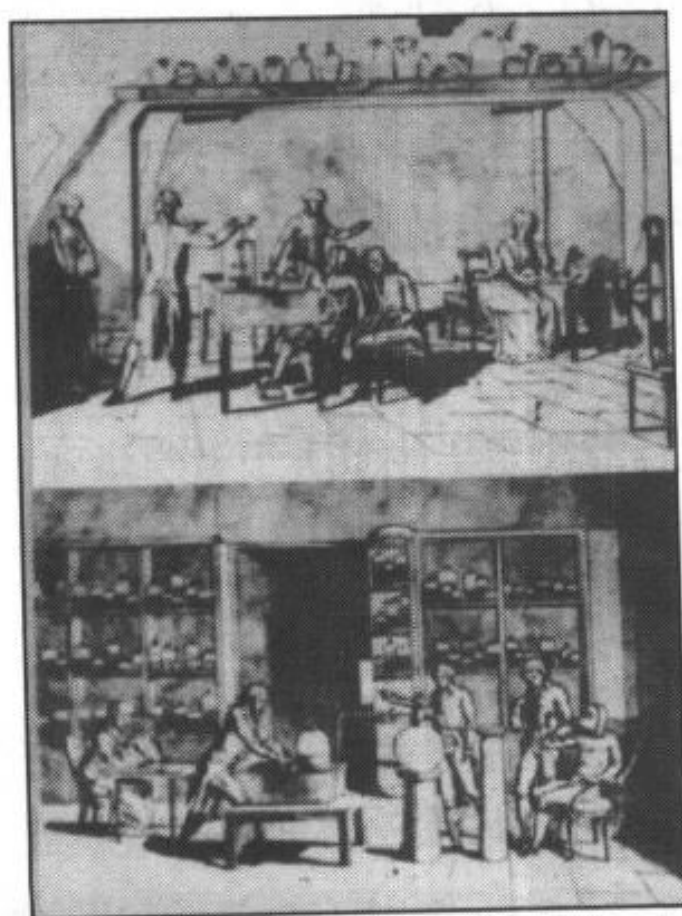


图 24-13 拉瓦锡的实验室

的重要性。很长时间人们一直持有水可以变土的观念，赫尔蒙特曾经做过一个有名的柳树实验，以证明水确实可以变为土。拉瓦锡不太相信这件事，便想用精确的定量实验来验证一下。1768年，他用8次蒸馏过的纯净水在封口玻璃容器内称重后加热，让水整整煮沸了100天，水的蒸气经冷凝再送回，整个过程水没有损耗。结果表明，虽有沉淀出现，但水的重量并没有改变，只是玻璃容器重量有所减少，而减少的重量正好等于沉淀物的重量。这

就说明，水并不能变土。

对燃烧问题的研究以及对燃素说的否定是拉瓦锡化学革命的核心问题。他重复了前人关于燃烧问题的一些实验，甚至不惜用金刚石做实验，以证明没有空气金刚石不会燃烧起来。在实验中，他发现燃烧磷和硫之后所得的物质比原来的磷和硫的重量之和要重，他推测一定是空气中某种东西加入了反应使反应物重量变重。

1774年，拉瓦锡设计了一个新的实验以验证这种看法。他在一个密闭的容器里加热锡和铅，两种金属表面均起了一层金属灰。从前的实验都表明带有金属灰的金属比原来的要重，但他发现，整个容器在加热后并不比从前更重，这就是说金属增加了重量，空气必定失去了重量。空气若有所失，便会在密闭容器里形成部分真空。果不其然，一打开容器，空气马上涌了进来，容器重量立见增加。这个实验充分证明了，金属燃烧的结果是与部分空气相化合。当时拉瓦锡并不知道空气是多种气体的混合物，在他向科



图 24—14 漫画：拉瓦锡正在用拿破仑（右）做呼吸实验，后面的助手是戴维

OF CHEMISTRY. 37	
TABLE OF SIMPLE SUBSTANCES.	
Simple substances belonging to all the kingdoms of nature, which may be considered as the elements of bodies.	
<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old Names.</i>
Light	Light.
Caloric	Heat.
	Principle or element of heat.
	Fire. Igneous fluid.
Oxygen	Matter of fire and of heat.
	Dephlogisticated air.
	Empyreal air.
Azote	Vital air, or
	Base of vital air.
Hydrogen	Phlogisticated air or gas.
	Mephitic, or its base.
	Inflammable air or gas,
	or the base of inflammable air.
Oxydable and Acidifiable simple Substances not Metallic.	
<i>New Names.</i>	<i>Correspondent old names.</i>
Sulphur	The same names.
Phosphorus	
Charcoal	
Muriatic radical	Still unknown.
Fluoric radical	
Boracic radical	
Oxydable and Acidifiable simple Metallic Bodies.	
<i>New Names.</i>	<i>Correspondent Old Names.</i>
Antimony	Antimony.
Arsenic	Arsenic.
Bismuth	Bismuth.
Cobalt	Cobalt.
Copper	Copper.
Gold	Gold.
Iron	Iron.
Lead	Lead.
Manganese	Manganese.
Mercury	Mercury.
Molybdena	Molybdena.
Nickel	Nickel.
Platina	Platina.
Silver	Silver.
Tin	Tin.
Tungstein	Tungstein.

图 24—15 拉瓦锡的周期表

学院的报告中也没有进一步的解释。但同年，普里斯特列访问巴黎，告诉了拉瓦锡他已发现“脱燃素空气”。次年，拉瓦锡重做了普里斯特列的实验，明确地得出燃烧即与空气的较纯净部分相化合的结论。这个部分他当时称为“最宜于呼吸的空气”，空气的其余部分则称为“硝”，即无生命的意思。1790年，化学家查普特尔改称为“氮”，沿用至今。1779年，拉瓦锡建议将“最宜于呼吸的空气”称做“氧”，意思是“可产生酸的东西”，因为他认为各种酸里都含有这种气体。

氧化的概念一旦建立，拉瓦锡就

能比他的同时代人更能深刻理解许多化学反应过程。所谓的“固定空气”，其实就是由碳和氧化合产生的。而许多燃烧实验其实就是与氧气的化合过程，关于燃烧“氢”生成水的实验再一次有力地说明了这一点。

早在1766年，卡文迪许就已经发现了所谓的“易燃空气”（氢）。1781年，普利斯特列发现，这种易燃空气在空气中燃烧之后形成小露珠。卡文迪许重做了燃烧实验，证明生成的是水。拉瓦锡听说了这个实验后，马上意识到水是氧和易燃空气的化合物，他也重做了这个实验，并且发表论文说，可燃空气与氧化合后生成的水的重量正好等于两种气体的重量。这充分证明，水不是一种单纯的物质，而是两种气体的化合物。

大量实验已经表明，燃烧现象是一种氧化现象，拉瓦锡开始向燃素说发起攻击。1783年，他向科学院提交了一篇论文，指出了燃素说的诸多困难，相反，氧化理论可以十分恰当地解释燃烧现象，燃素理论完全是一种不必要的学说。也是在这一年，拉瓦锡的家里举行了一个仪式以宣告燃素说的终结。拉瓦锡夫人身着长袍，扮作女祭司的样子，焚烧了斯塔尔和其他燃素论者的著作。

1787年，拉瓦锡与化学家德莫瓦、贝托莱等人一起出版了《化学命名法》一书，书中建立了一套全新的化学命名法：每种物质均有自己的固定名称，单质的名称反映其化学特征，化合物则由组成它的元素来标定。这个体系条理清晰、逻辑性强，马上被各地化学家采用，它使近代化学第一次有了严格、统一、科学的物质命名方法。

拉瓦锡的新理论得到了越来越多的人的拥护。他决定写一本教科书，系统阐述他的理论体系，与旧的化学理论彻底决裂，为未来的化学发展提供基本框架。从1778年开始，拉瓦锡陆续写作，全书最后于1889年以《化学纲要》为题出版。书中详尽地论述了推翻燃素说的各种实验证据，系统展开了以氧化理论为核心的新

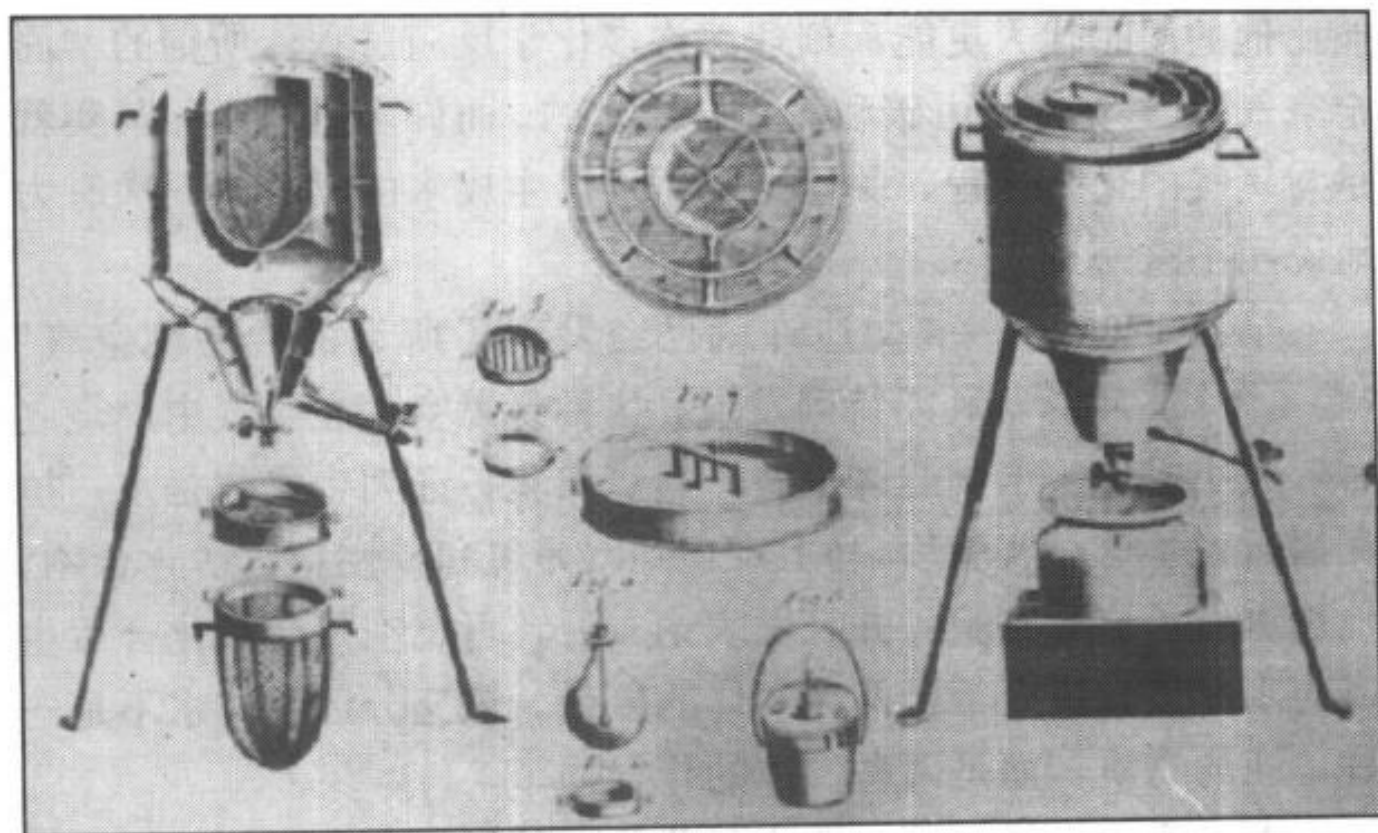


图 24—16 拉瓦锡和拉普拉斯使用的量热器

燃烧学说。他提出了化学的任务是将自然界的物质分解成基本的元素，并对元素的性质进行检验。在书中，他谨慎地列出了当时已知的元素表。所列每一种元素都由一系列实验加以确认，因此基本上都是正确的。他甚至天才地猜测到当时还不太清楚的钾碱和钠碱可能是化合物，因而不把它们当作元素。《化学纲要》还阐述了在化学反应过程中物质守恒的思想。按照物质守恒原理，拉瓦锡将化学反应过程写成了一个代数式，这样，“就可以用计算来检验我们的实验，再用实验来验证我们的计算。”

《化学纲要》一书的出版是化学史上划时代的事件，它对化学的贡献相当于《自然哲学的数学原理》对于物理学的贡献。有人称拉瓦锡是化学中的牛顿，还有人称他是近代化学之父，这些美誉都不过分，拉瓦锡确实开创了化学的新纪元。

80 年代，在拉普拉斯等人的协助下，拉瓦锡开始研究动物的呼吸过程以及生理现象的化学基础。他认识到，碳化合物和氧化合生成二氧化碳和水，是动物体温的真正来源。他本来可以在这



图 24—17 拉瓦锡被抓

个方向继续研究，但大革命中断了这一切。

《化学纲要》出版的这一年正值法国大革命爆发。革命初期，拉瓦锡并未受到冲击，他同其他著名科学家一起被选入计量改革委员会，他本人还参加了水的比重的测定工作。但革命越来越失去控制，1793年雅各宾党人当政，实行恐怖统治。不少科学家受到迫害，而拉瓦锡则不幸遇难。

拉瓦锡之死向来是一个众说纷纭的历史问题。导致他被送上断头台的主要原因是他曾经是包税公司的股东。包税公司是路易王朝极为腐败的产物。路易王朝不由政府直接征税，而是将税收承包给若干包税公司，授权他们征税，国家拿走一定数额的税款后，其余部分则归公司所有。很显然，这是公开鼓励包税人横征暴敛。毫无疑问，这些包税人肯定是敲诈勒索无所不用其极的，法国平民因而对他们恨之入骨。拉瓦锡本来十分富有，但维持化学实验室需要大量钱财，包税制度兴盛之时，他便将自己继承的遗产投进一家包税公司，每年可以收进数目极为可观的资金。他本人虽然没有亲自参与征税，但从包税公司获取了暴利却是事实。当然，这些资金都被他用来装备他的化学实验室、用来科学研究，并未被挥霍掉也是事实。

恐怖时期，包税人全被抓了起来。拉瓦锡作为一位著名的科学家，当然也有人人为之作保，但他终究没有保住性命，据说与当



图 24—18 拉瓦锡塑像

时的革命领袖之一马拉有关。马拉早年是一个记者，曾申请成为科学院的院士，恰好拉瓦锡负责审阅他写的关于火的本质的论文，而且因论文太差拒绝了他的申请。马拉对此事怀恨在心，所以当拉瓦锡成为阶下囚时，他极力主张处死。虽然马拉本人在1793年7月被暗杀，但恶劣的影响已经造成。革命法庭匆忙地宣告了他的死刑。此前，有些在当局中有影响的人士建议免除拉瓦锡的死刑，但未引起注意。拉瓦锡本人也要求死缓，

但法庭副庭长科芬霍尔说了一句：“共和国不需要学者”。1794年5月8日，拉瓦锡终于同其他包税商一起被处死。两个月后，雅各宾党被推翻，但拉瓦锡已经死了。无论如何，他的死是令人扼腕叹息的。拉格朗日说得不错，砍下他的头只不过一瞬间，而法国

再长出像他这样的脑袋恐怕一百年也不够。法国人完全懂得他的价值，拉瓦锡死后不到两年，巴黎就为他立了半身塑像。

拉瓦锡 1771 年与包税公司总经理的女儿玛丽·波尔兹结婚，婚后生活十分美满幸福。玛丽是位美丽而又贤惠的女人，她自始至终是拉瓦锡事业的好帮手，不仅打扫实验室、整理实验记录和笔记，还为拉瓦锡的论文绘制插图，《化学纲要》一书的全部插图均为玛丽的作品。她还学习英文，以便及时将英文文献翻译给不懂英文的丈夫看。拉瓦锡可能是科学家中间比较少见的拥有贤内助的人。玛丽后来与物理学家伦福德结婚，但相处不好。

第二十五章

进化思想的起源

第十七章讲到，近代之初的生物学中的革命性变化发生在生理学领域，而博物学则继续沿袭古代的作法，搜集材料。到了18世纪，博物学家所积累的物种数目大大增加，生物学客观上面临着由积累材料向整理材料、由经验向理论概括的过渡。这时候，生物分类学出现了，物种起源问题也被提出来了，生物进化思想开始了由萌芽状态不断成熟的历程。

1. 生物分类学：林奈

对各种生物进行分类是博物学的内在要求。早在希腊时期，亚里士多德便提出了“属”和“种”的概念，作为生物分类的依据。近代以来，博物学所积累的材料已十分惊人。亚里士多德本人曾描述过约500种动物，到1600年，人们知道约6000种植物，而仅仅过了一百年，植物学家又发现了12000个新种。动物学也面

临着同样的材料“爆炸”问题，对生物物种进行科学的分类变得极为迫切。

17世纪，生物学界逐渐形成了两套分类方法。一是所谓人为分类法，它依分类者的方便和考虑，选取植物和动物的少数甚至某一个器官的形态特征作为分类标准，将生物物种人为地划分为界限分明的、不连续的几类；二是所谓自然分类法，它依据生物的多个甚至全部器官的形态特征作为分类标准，将物种自然地划分为连续的、彼此有亲缘关系的多种类别。人为分类法的好处是标准简单明了，划分起来切实可行，但它忽视物种之间的亲缘关系，不能获得对自然物种构成的规律性认识；自然分类法虽然自然，但比较复杂，且难于操作，不够实用。曾在显微生物学上作出过重大贡献的意大利生物学家马尔比基是17世纪人为分类法的代表人物，而英国生物学家约翰·雷伊（1627—1705年）则是自然分类法的代表人物。到了18世纪，生物分类学在林奈的工作中达到了前所未有的高峰。

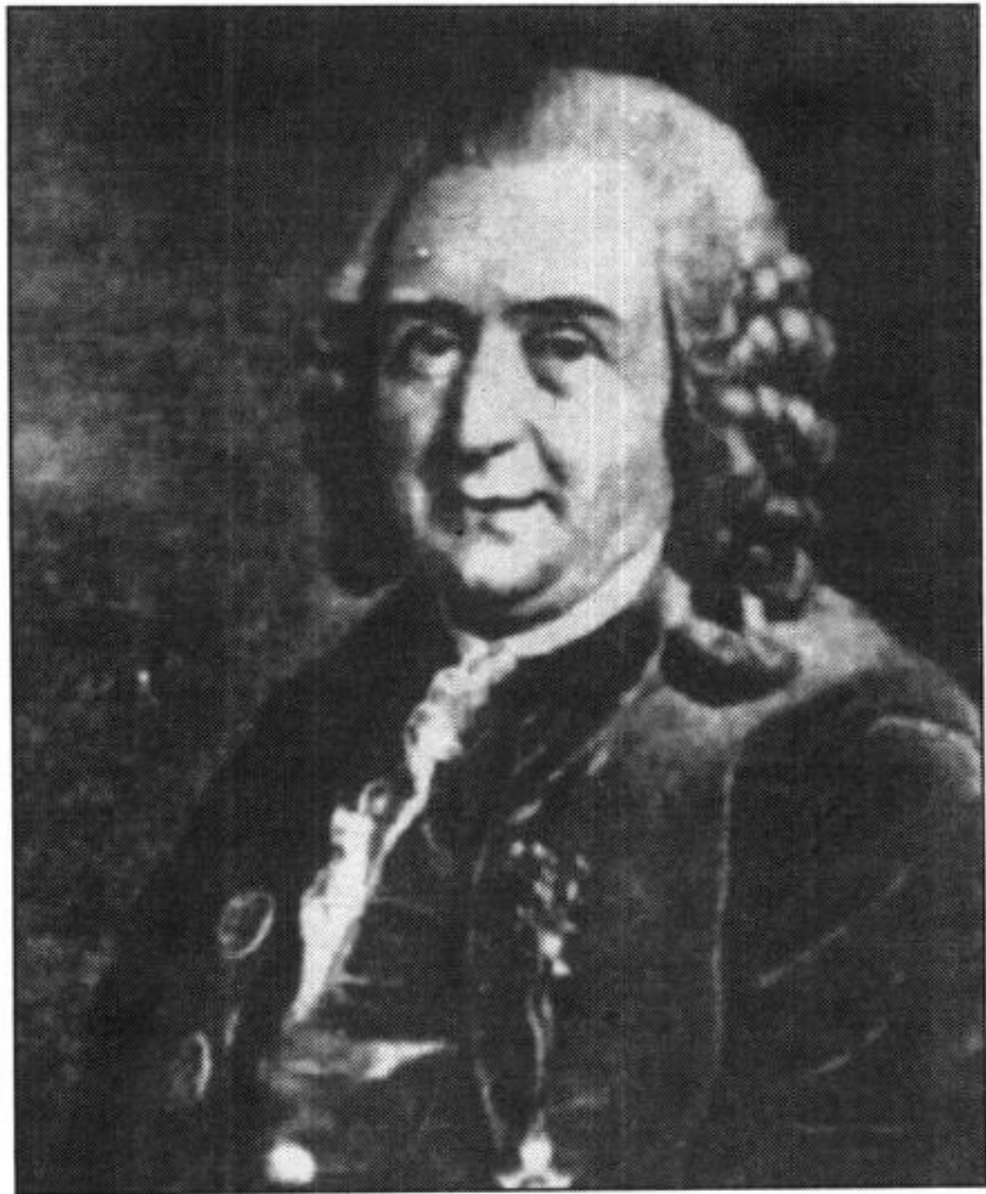


图 25—1 林 奈



图 25-2 身着民族服装的林奈

林奈 1705 年 5 月 23 日生于瑞典司马兰德省拉舒尔特村。父亲原先是一个农民，后来当上了乡村牧师。他们家本来没有姓氏，因家门口有一颗古老的菩提树 (Linden tree)，他们便由此姓林奈 (Linnaeus)。林奈的父亲十分热爱园艺，自己在家门口开辟了一座花园。这座花园给林奈影响很大，使他后来走上了博物学的道路。他虽然像同龄孩子一样上学接受教育，但学业不突出，只是对树木花草有异乎寻常的爱好。1727 年，林奈进入龙德大学，次年进乌帕萨拉大学。在大学期间，林奈系统学习了博物学以及采制生物标本的知识和方法，成为小有名气的博物学家。1732 年，林奈与一个探险队来到瑞典北部拉普兰地区进行野外考察，在这块方圆 4600 英里的荒凉地带，发现了 100 多种新植物，

收集了不少宝贵的资料。1735 年，林奈周游欧洲各国，先是在荷兰取得了医学博士学位，并于同年出版了《自然系统》第一版。在此书中，林奈首先提出了以植物的性器官进行分类的方法。第一版很薄，只有 12 页，但立即产生了影响。等他 1738 年回到故乡时，已经很有名气了。1739 年，他就任斯德哥尔摩科学院第一任主席。1741 年，他回到母校乌帕萨拉大学任教，著书立说，直到

1778年1月10日去世。

林奈在生物学中的最主要工作是建立了人为分类体系和双名制命名法。在他看来，“知识的第一步，就是要了解事物本身。这意味着对客观事物要具有确切的理解；通过有条理的分类和确切的命名，我们可以区分并认识客观物体；……分类和命名是科学的基础。”初版于1735年，以后多次再版，每一版都有大量增订的《自然系统》一书，是林奈人为分类体系的代表作。在书中，林奈把自然

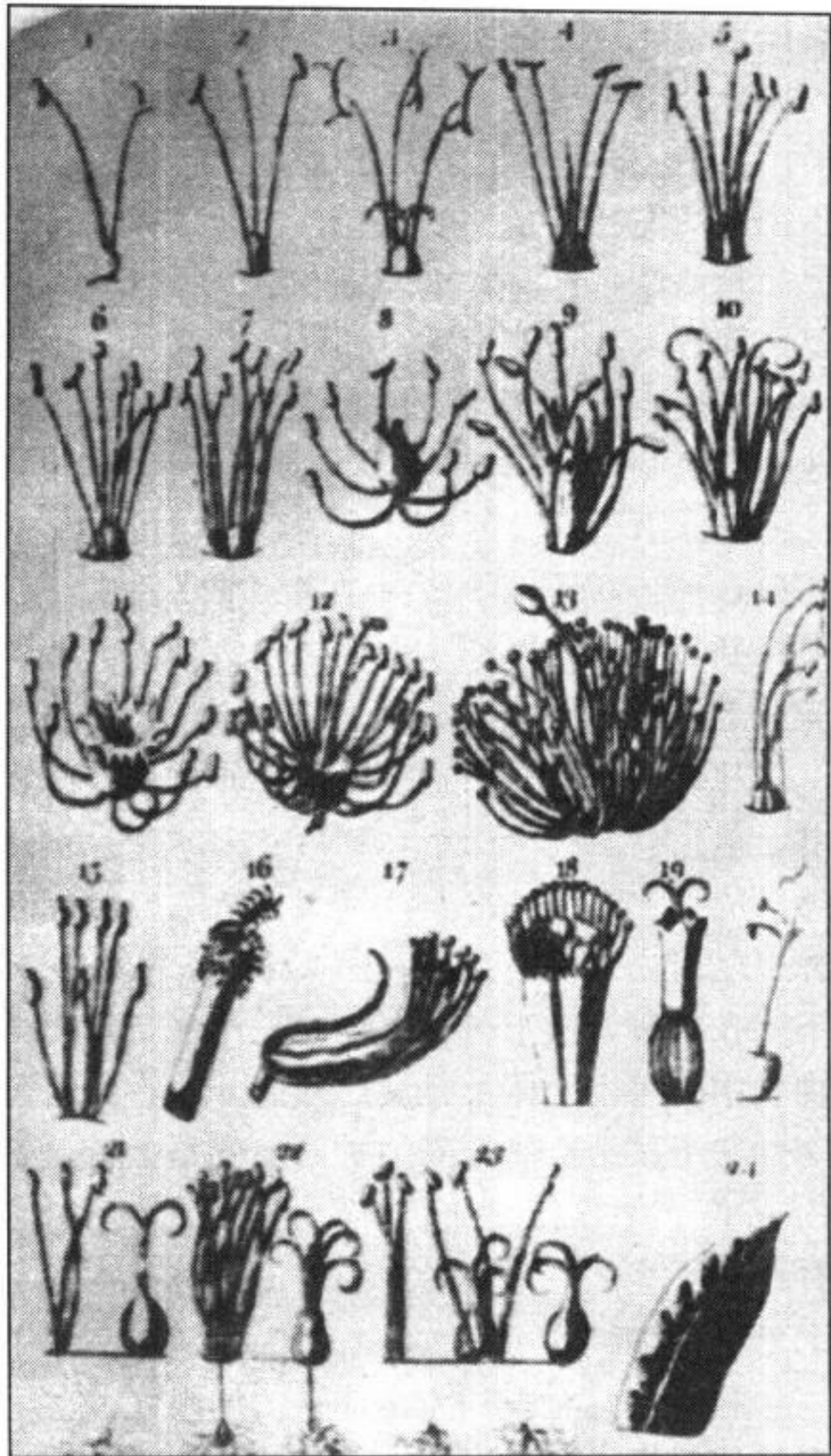


图 25—3 林奈的性别植物分类

界分为三界：即动物界、植物界和矿物界。对植物界，林奈依雄蕊和雌蕊的类型、大小、数量及相互排列等特征，将植物分为 24 纲、116 目、1000 多个属和 10000 多个种。纲、目、属、种的分

类概念是林奈的首创。他的主要工作虽然在植物学领域，但也将人为分类法运用到了动物界。在1746年出版的《瑞典动物志》一书中，林奈将动物分为6大纲（哺乳纲、鸟纲、两栖纲、鱼纲、昆虫纲及蠕虫纲），引人注目的是，他发现了人与类人猿在身体构造上的相似性，从而将猿类与人归入同一个属。这大概是近代以来首先确定人类在动物界的位置。

在发表于1745年的《欧兰及高特兰旅行记》中，林奈提出了他的双名制命名法，以后又在1753年的《植物种志》一书全面推广使用。所谓双名制即所有的物种均用两个拉丁字去命名，属名在前，种名在后，学名由属名和种名组成，这种命名方式简明而又精确，很快就得到了生物学界的公认，结束了从前在生物命名问题上的混乱局面。

林奈一直没有停止过根据新的材料增订修改《自然系统》一书。他生前出过十二版，初版才12页的小书到1768年第十二版时已成了1327页的巨著。其间林奈的思想也有不少变化。一开始，林奈坚信物种是不变的。在《自然系统》第一版中，他说：“由于不存在新种，由于一种生物总是产生与其同类的生物，由于每种物种中的每个个体总是其后代的开始，因此可以把这些祖先的不变性归于某个全能全知的神，他就是上帝，正是他创造了世界上的万事万物。”但是随着新种、亚种、杂种和变种不断发现，物种绝对不变的概念也受到了冲击，林奈本人后来还是在一定程度上承认了物种的可变性。

林奈自己意识到人为体系的局限性，他说：“人为体系只有在自然体系尚未发现以前才用得着；人为体系只告诉我们辨识植物，自然体系却能把植物的本性告诉我们。”但他又认为，自然体系过于复杂和随意，很难成功地建立。事实上，直到达尔文进化论创立之后，自然体系才有可能真正建立起来。

林奈生前在国内外学界享有崇高的威望，他被作为瑞典的骄

傲，人们不再让他冒险出去旅行考察。他的学生们从各地给他带回标本。不少青年学生在探险中丧生，使他十分悲伤。1761年，国王册封他为贵族，并获得今日“卡尔·冯·林奈”的尊贵名字。1778年去世时，葬礼极为隆重。林奈死后，他的书籍和收藏的标本被富有的英国博物学家史密斯买去了，等瑞典人意识到他们丢失了多么贵重的东西时已经迟了。据说瑞典海军曾接到命令派军舰追赶装载林奈遗物的英国船只，但英国船太快，未能追上。

林奈本人虽然抗拒进化思想，但他的生物分类工作客观上推动了进化思想的成长。

2. 进化思想的肇始：布丰

18世纪中叶，生物学进入了大发展的前夜，彼此对立的观点分别成熟起来，物种不变与物种可变的两派观点之对立亦开始形成。林奈可以看成是神创论、物种不变论的代表，而与林奈同时代的法国生物学家布丰则在生物学中引入了变化和发展的思想。

布丰生于1707年9月7日，比林奈只小几个月。他是法国勃艮第蒙巴尔一个贵族家庭的后代，先是在迪戎耶稣学院学习



图 25-4 布 丰

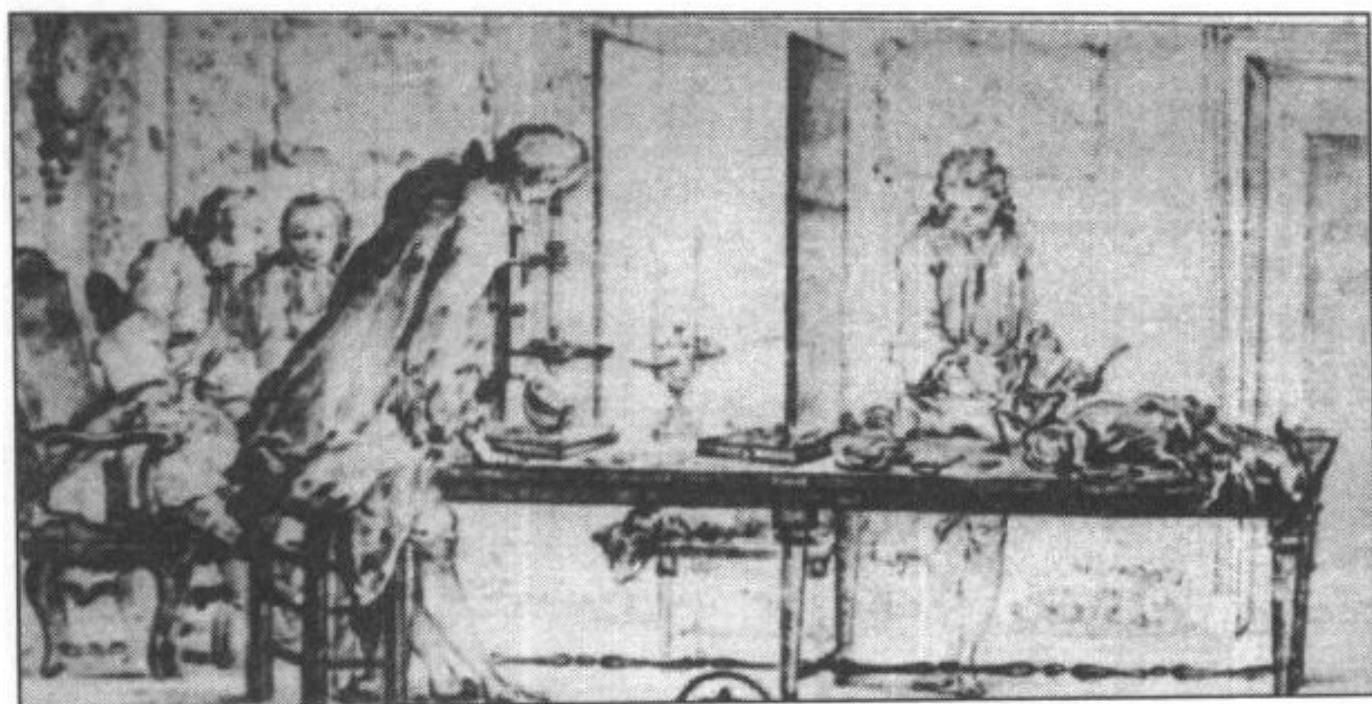


图 25-5 布丰正在做实验

法律，后因恋爱引起的决斗而离开法国到了英国。在英国，他强烈感到了实验科学特别是牛顿物理学的魅力，参与了英国科学家的数学、物理和植物学研究，1730年被选进皇家学会。1732年回到法国后，布丰以优美的法文翻译了黑尔斯的《植物静力学》和牛顿的《流数术》，向法国科学界介绍英国的科学成就。1739年，布丰被任命为皇家植物园园长，从此几十年如一日，以植物园为园地潜心研究自然史（即博物学）。据说他每天要在植物园的帐篷里工作十二个小时以上，正是在这里历时五十年写出了宏篇巨著《自然史》。

《自然史》全书共44卷，布丰生前完成了前36卷，后8卷由他的助手整理出版。这可能是自普林尼以来，人类又一次全面描述自然界的各个方面的百科全书式的著作。在第1至第3卷（1749年）里，布丰讨论了地球和各行星的形成，一般性地阐述了动物植物和矿物的关系。第4至第14卷（1753—1769年），主要论述了四足动物的生活习性。第15至第24卷（1770—1783年）讨论鸟纲动物。第25至第31卷（1774—1789年）则是关于各种自然现象的实验报告和论文。第32至第36卷（1783—1788年）论述



图 25-6 《自然史》封面

矿物史及电磁现象等。布丰以他优美的文笔和精美的插图，形象、生动、通俗地向公众介绍自然知识。该书一出版就成了当时读书界的一件大事，德国诗人歌德十分推崇布丰，认为布丰的《自然史》对他本人产生了深刻的影响。

《自然史》一书的重要意义不只是它在科学普及方面的重大影响，更主要是它里面所表达的自然界的进化思想。布丰不同意林奈的人为分类体系。在他看来，自然界的万事万物基本上是连续分布的，并不存在明显的间断性，所谓纲、目、属、种纯粹是人为引进的，在自然界并不存在这类东西。为了提高分类的真实性，人们就必须不断增加分类的等级，这就使少数几个分类范畴显得简单而武断。

布丰首次给出了自然界演化的图景。在《自然史》以及《地球理论》(1749年)和《自然的世代》(1778年)两本地质著作中，他大胆地猜测地球经历了七个发展阶段：第一阶段，太阳与彗星相撞形成太阳系，炽热的熔岩冷却形成地球；第二阶段，地球表面发生造山运动，形成山脉和海床；第三阶段，海洋出现；第四阶段，海水冲蚀地表面形成沉积层；第五阶段，出现陆地及陆上

植物；第六阶段，陆上动物出现；第七阶段，人类诞生。这个地质分期理论，在今天看来当然是十分幼稚的，但布丰根据它推测地球可能已经存在了长达七万五千年，而地球上的生命也至少在四万年前已经出现，这就是极为了不起的创见了。因为当时人们依据《圣经》普遍相信，地球及人类都是在大约六千年前被上帝创造出来的。

布丰的地球演化观果然遭到了宗教界的不满。1751年6月15日，巴黎大学神学院警告他，《自然史》的某些观点与宗教教义相违背，必须收回。在强大的压力面前，布丰只好公开表示放弃这些观点，但他内心并不服气，在后来的著作中，他继续阐发这些思想，只不过以更隐晦的方式。

由于观察到某些动物器官已经失去效用（如猪的侧趾），布丰相信物种是可以变化的，因为如果物种自创生以来一直不变，那么上帝一开始创造这些无用的器官就不可思议了。因此他相信，器

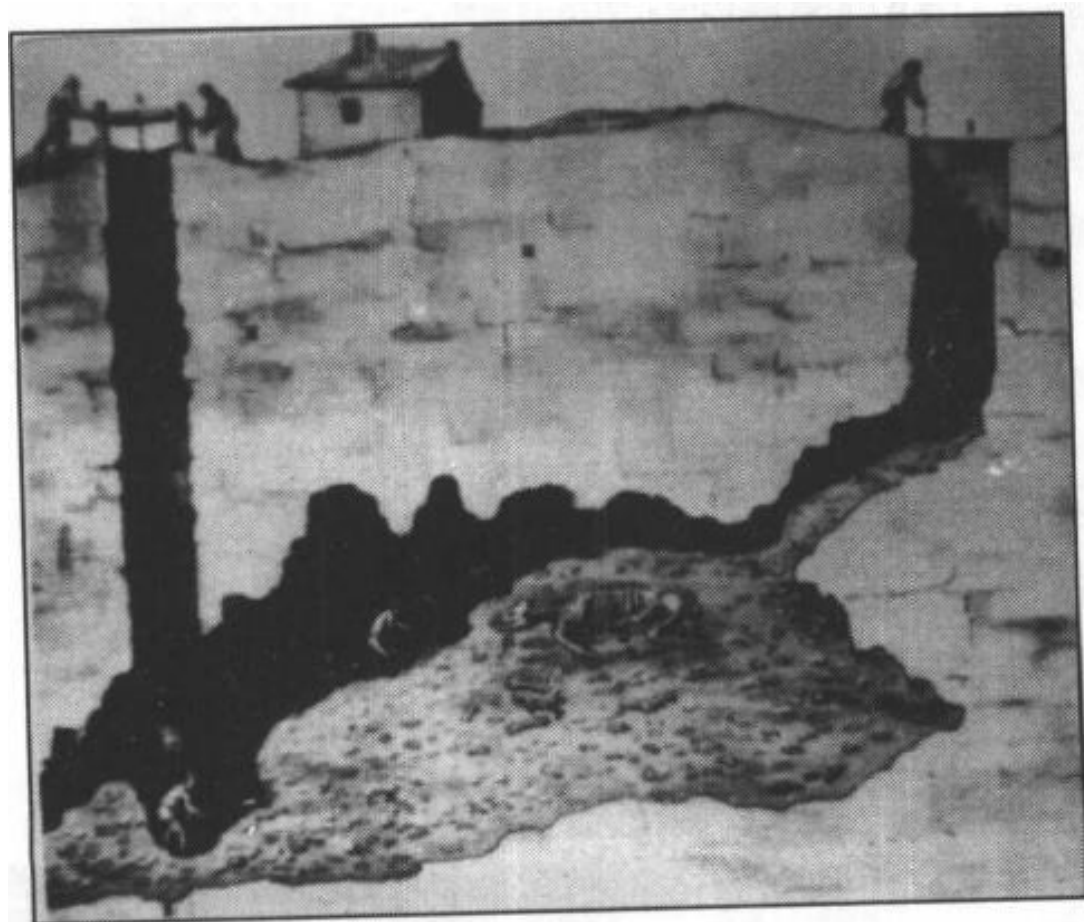


图 25—7 大洪水的遗迹

官都有可能退化，物种也有可能退化，类人猿可能是人退化的，而驴和斑马可能是马退化的结果。这样，布丰实际上提出了一种退化的物种发展观。

布丰还猜测到了生

物变异与环境的相关关系,提出了物种可能拥有共同祖先的看法。但他关于进化的思想基本上处于思辨和猜测的阶段,没有从物种谱系中具体加以论证。由于他最先提出这一革命性思想,因而受到的宗教压力也最大,他的思想也最不稳定和全面。达尔文正确地称他是“近代第一个以科学精神对待物种起源问题的学者”,但也指出他的思想经常动摇不定,是进化论的一个不太靠得住的同盟者。

布丰于1788年4月16日在巴黎去世,这年是林奈逝世十周年,法国大革命的前一年。革命的非常时期,布丰的陵墓被破坏,他的儿子也上了断头台。

3. 地质学中的水火之争: 维尔纳与赫顿

近代采煤业和采矿业的发展,丰富了人们的地质知识,也客观上要求科学地了解地球的地质状况,大量化石的发现,最终导致了地质学的出现。

希腊时代的地理学家色诺芬尼已经知道化石,并且认识到化石是古生物的遗迹。近代发现的化石越来越多、形态各异,神学家们解释说,化石是上帝创造生物时留下的废品,但真正的科学家不相信这些编造的神话。达·芬奇曾研究过化石。他认为化石是古生物的遗体,那些高山地层中的化石可能是今天海洋生物的祖先,由于地质运动,当年的海洋变成了今天的高山。17世纪出现了近代第一位真正的地质学家斯台诺(1638—1687年)。这位意大利的医学家在行医之余热心于化石研究,通过他所擅长的比较解剖研究,发现了化石与现代生物之间的相似之处,有把握地得出了化石是古生物遗迹的结论。他还提出,化石是鉴别地层的主要依据,含化石的地层是地层演化史的直接记录,通过化石鉴别可以识别地层的年代。斯台诺不仅开创了近代的地质学研究,而

且提出了地质演化的思想。

化石分布的奇异性特别是海生生物的化石出现在高山地层的现象，引起了17世纪地质学家的高度注意。英国的医学教授伍德沃德（1665—1728年）依据《圣经》中的摩西大洪水的说法，提出了地质构造的水成论。《圣经》上说，上帝创世后，人间充满了罪恶，为了惩罚人类，上帝让洪水泛滥了四十天，将地面上一切生物都毁灭了，只有挪亚一家和他们带着的其他一些生物在方舟里幸免遇难。伍德沃德认为，海生生物化石之所以出现在高山上，完全是大洪水冲积的结果。在出版于1695年的《地球自然历史试探》一书中，他系统地阐述了洪水泛滥对于地层变化的影响，提出了地层的沉积理论。

英国的植物学家雷伊（1627—1705年）不同意水成论，他注意到生物化石在地层中的新老迭加现象，这一层一层的堆积用洪水的一次冲积是不能解释的。他提出地层的形成是地球内部火山运动的结果，由于火山的不断爆发，地面上便形成了一层又一层熔岩，每一层中都有生物的遗体即化石。这就是所谓的火成论。它用地球内部的多次火山爆发而不是一次大洪水来解释地质结构的形成。

到了18世纪，随着地质考察活动的大规模发展，人们掌握了更多的地质知识。水成论和火成论分别掌握了更多的实证材料作为自己的证据，同时也不断修正和补充自己的理论。德国地质学家维尔纳（1749—1817年）使伍德沃德的洪水冲积说更为系统、精细。他出身于一个矿业世家，26岁成为德国著名的弗赖堡矿业学院教授，他是一位优秀的教师，周围吸引了一大批青年学生，他的水成论就是通过他的学生传播开来的。

维尔纳认为地球最初是一片原始海洋，所有的岩层都是在海水中通过结晶、化学沉淀和机械沉积而形成的，通过结晶形成的原始岩石里没有化石，是最古老的，通过沉淀形成的岩石只有少

量化石，通过沉积形成的岩石所含的化石最多。维尔纳也承认火山爆发是一种地质力量，但他认为火山是地底下的煤燃烧造成的，是在地质岩层已经形成之后才出现的，因此不起主要作用。维尔纳的水成论有其岩石学基础，但他更多地注意岩石中的矿物而不是其中的化石。他的水成论也没有解释，原始海洋后来是怎么消失的。

维尔纳的学说遭到了英国地质学家赫顿(1726—1797年)的反对。赫顿本来学医，

后来开办了一家工厂，获得了可观的收入，这使他能从此毫无顾虑地投身于地质学研究。在对苏格兰山脉的地质考察中，赫顿发现那些结晶型的岩石并不象维尔纳所说的在水中结晶，而是熔岩冷却的结果，这使他对水成论产生了怀疑。1785年，赫顿在爱丁堡皇家学会上宣读了他的第一篇地质学论文，文中论述了他的火成论思想。1795年，他出版了《地质学理论》一书，系统阐明了火成论的地质理论。

赫顿认为，地球内部是火热的熔岩，当它们从地缝中迸发出来时就成了火山。熔岩冷却后固化，就形成了结晶岩。结晶岩的

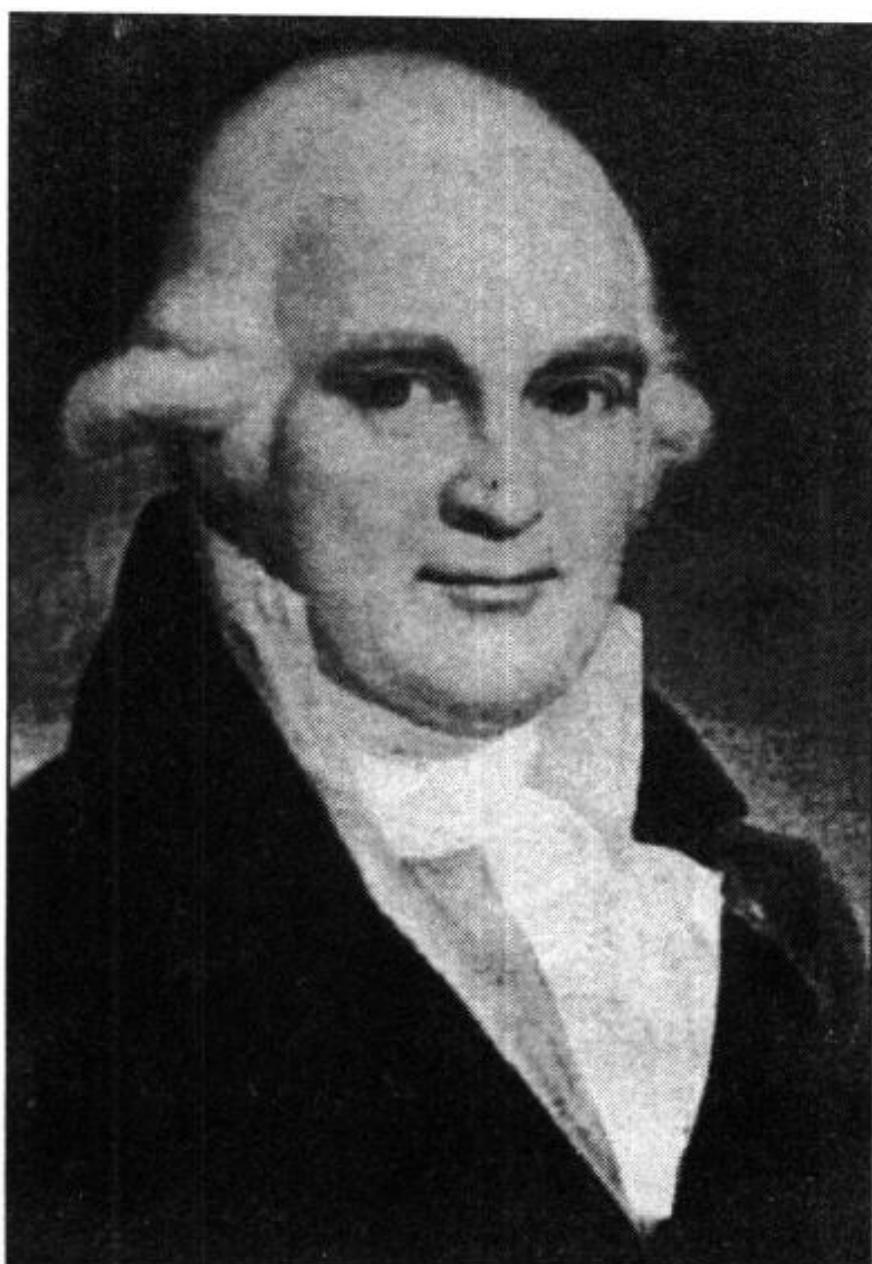


图 25—8 维尔纳



图 25—9 赫顿

表面是沉积岩。沉积岩是地球的内热与地面陆地和海洋的压力相结合形成的，它的多层次反映了地质形成时间的极度漫长。赫顿相信，地球内部的热量是造成地质变化的主要动力，因此，他属于已有的火成论传统。但他又强调地质变化的异常缓慢，所以是日后渐变论的先驱。

赫顿的地质演化学说与《圣经》显然不相符合，因而遭到了神学家和信教的地质学家的反对。此外，持

水成论的学者也从学理上对赫顿学说提出质疑，维尔纳的学生们就认为熔岩不会固化成晶体。赫顿的朋友、爱丁堡的业余科学家霍尔（1761—1832年）为此专门做了一个实验。他发现，让熔融的玻璃非常缓慢地冷却，就会变成不透明的晶体，只有快速冷却才能制成透明的玻璃。以熔岩做实验，情况依然如此，这就反驳了维尔纳派的质疑。

1790—1830年被称为地质学上的“英雄时代”，早期的水成论与火成论之争演化成了灾变说与渐变说之争，地球缓慢进化的思想最终取得了胜利。地质学的进步大大推动了进化论的建立。

4. 拉马克：进化论的伟大先驱

18世纪最后一位伟大的生物学家拉马克于1744年8月1日出生在法国索姆省的一个破落贵族家庭，他是这家里的第十一个孩子。前面十个均先后夭亡。父母亲希望他能过一个安定的日子，决意让他学习神学，以便将来成为一位牧师。拉马克不乐意担任神职，父亲一去世，他便离开了教会学校，投奔了法国志愿军。当时正值普法战争，拉克马在战场上表现得十分勇敢，被提升为上尉。1768年，战争结束了，他因患颈部淋巴腺炎被迫退役到了巴黎。

由于退役金很少，拉马克不得不在一家银行找了一份差事，其间研究了气象学，使他对科学研究产生了兴趣。一年后，他进巴

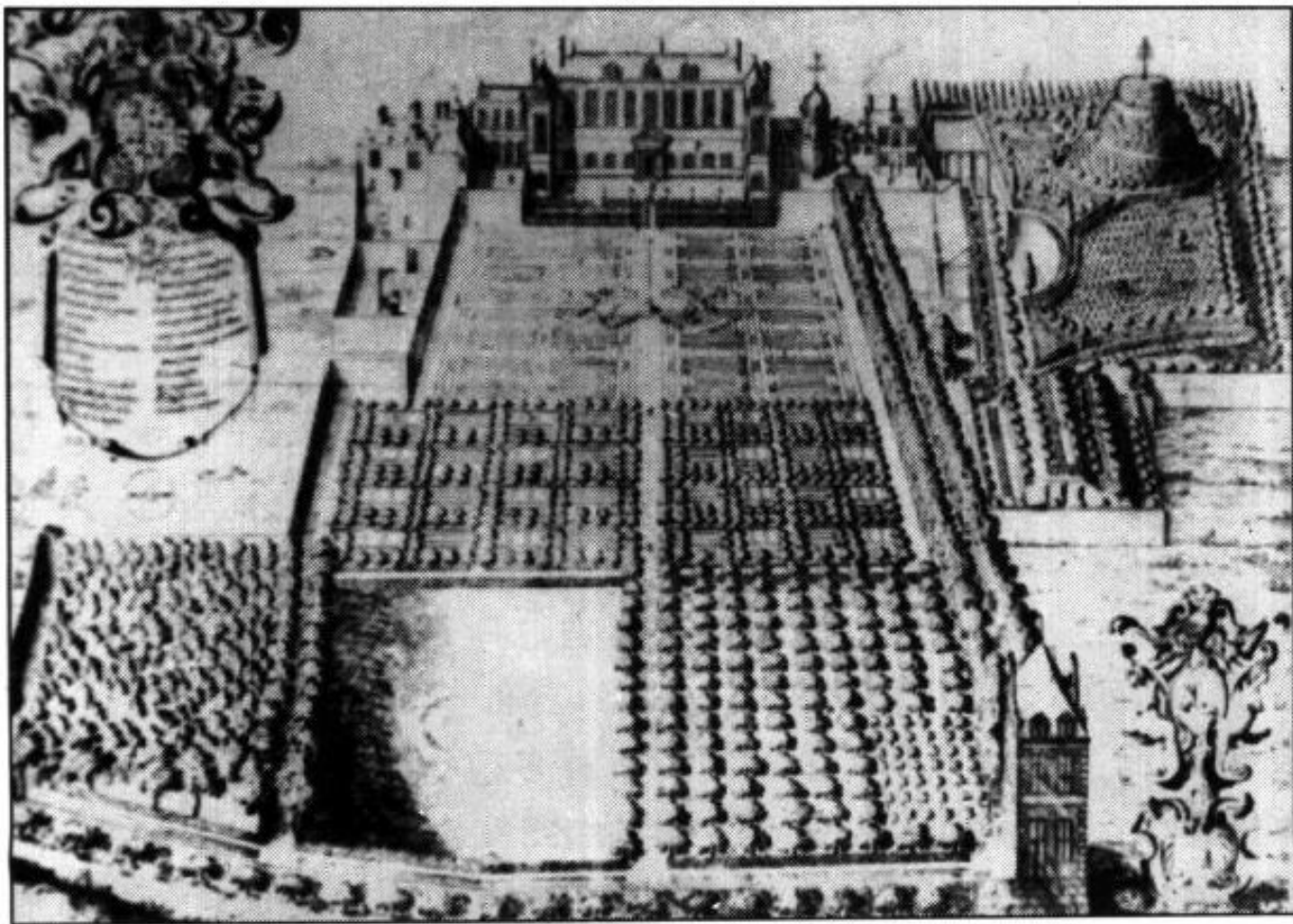


图 25-10 巴黎皇家花园



图 25-11 拉马克

黎高等医学院学习医学，作为必修课开始接触植物学，这时他已经25岁了。这期间，他经常到特里亚农皇家植物园和巴黎皇家植物园听讲，并在那里结识了启蒙运动的思想家卢梭（1712—1778年），他们曾一起外出采集标本。特里亚农皇家植物园的园长、著名的植物学家朱西厄（1699—1777年）对拉马克十分赏识，热情指导他研究植物学。朱西厄本人提出了一套自然分类法体系，这给拉

马克很深的影响。

1778年，拉马克出版了三卷本的《法兰西植物志》，为自己在植物学界赢得了地位。巴黎皇家植物园园长布丰十分重视，在他的提议下，巴黎科学院1779年选拉马克为院士，1781年为拉马克谋得了皇家植物学家的头衔，并聘请他作自己儿子的导师。拉马克从此有了去国外考察的机会。他带着布丰的儿子，到了德国、匈牙利、荷兰、奥地利等国，结识了许多植物学家，采集了许多植物标本。次年回国，拉马克被委托编写《植物学辞典》。1788年，布丰去世，布丰的继任者为拉马克谋到了皇家植物园植物标本管理员的职务。

法国大革命后，拉马克曾提议将皇家植物园改成“国立自然历史博物馆”，国民议会批准了这一提议，并增设了讲座教授。低等动物学的教授无人问津，拉马克只好补缺。这一年，拉马克50岁，已经在植物学领域工作了二十五年并取得了引人注目的成就，现在他又改行搞当时极为落后的动物学。

1801年，拉马克出版了《无脊椎动物的分类系统》，总结了五年多来对无脊椎动物的研究成果，第一次提出生物进化的思想。在书中，他首创了“脊椎动物”和“无脊椎动物”的概念，并且引进了“生物学”一词。1809年，拉马克的巨著《动物学哲学》出版，系统阐发了拉马克主义的进化理论。

拉马克以他在植物学和动物学方面多年的研究为基础，很有分量地提出了物种进化的学说。首先，他认为生物的进化遵循一条由低级到高级、由简单到复杂的阶梯发展序列，植物和动物的分类也应该遵循这种阶梯序列的原则；其次，他认识到生物的进化并不是严格的直线发展，而是不断分叉，形成树状谱系。系谱树描画了一幅生物界不断进化的图景。

在进化的机制方面，拉马克提出其独到的见解。他认为有两

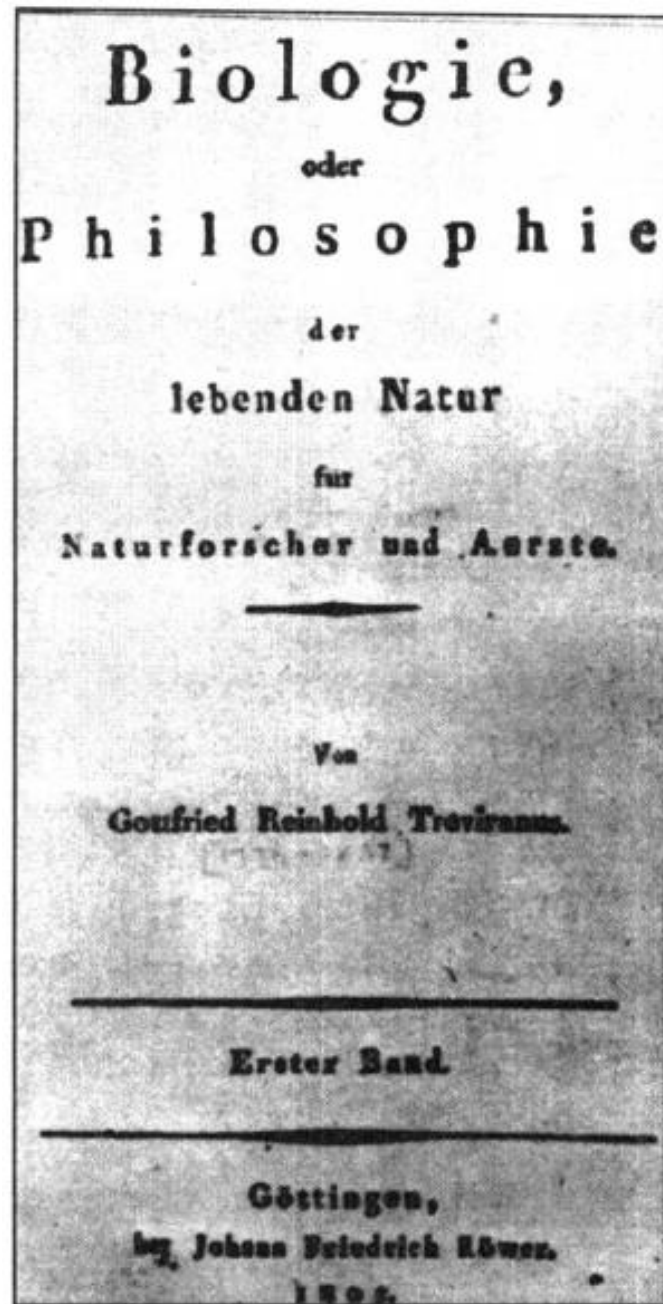


图 25—12 生物学一词最早在杂志上出现

种力量推动着生物的进化，一是生物体内部固有的进化倾向，再就是外部环境对进化的影响。如果只有前者，那么进化将严格地按一条直线进行。但实际上进化系列并不是直线的，而是充满着缺环和分支，它们完全是由环境变化造成的。正是在这里，拉马克提出了他著名的获得性遗传理论。拉马克认为，生活环境的变化必引起动物生活习性的变化，而生活习性的变化必导致器官的用进废退现象，器官的这些变化被遗传给后代，逐渐形成了新的物种。一个最著名的例子是长颈鹿。拉马克设想，古代某种爱吃树叶的羚羊为了更多地采集到树叶，便不断地伸长脖子、舌头和四肢，在这个过程中，脖子、舌头和四肢都确实会伸长一些，这一变化被传给了后代，以后日积月累，古代的羚羊就变成了今日的长颈鹿。

拉马克关于进化机制的设想今天看来是错误的。首先，将进化看成是动物意志的产物不能解释许多进化现象；其次，没有什么证据表明获得性确实可以遗传。尽管如此，拉马克还是首次系统地提出进化思想的人。达尔文赞扬拉马克是第一个在物种起源问题上得出结论的人，他的杰出贡献在于，“他最先认识到，有机界的变化就像无机界的变化一样，都是自然规律作用的结果，而不是神的干预造成的。”

拉马克毕生在生物学园地里辛勤耕作，写出了无数本著作，但生活对他始终不太公平。国立自然历史博物馆成立之时新设的植物学教席没有给他，只让他补缺了一个无人问津的动物学教席。这对生物学来说倒也可能是一件幸事。在他任动物学教授期间，他举荐年青的动物学家居维叶进该馆工作，但居维叶成大气候之后，恩将仇报，处处打击这位观点与之不同的前辈科学家。拿破仑听信居维叶的谗言，居然当面侮辱拉马克。对这一切不幸的遭遇，拉马克均处之泰然。可是命运还是不放过他。1821年，由于长期在显微镜底下观察低等动物，77岁的拉马克终于双目失明。当时他

正在撰写十一卷本的《无脊椎动物志》，已经完成了前九卷，后两卷只得在同事的协助下由他口述，他的女儿柯莱丽笔录完成。1829年12月25日，85岁高龄的拉马克在穷困中死去，连买一块基地的钱都没有，只好混葬在一个贫民公墓里。1909年，为纪念《动物学哲学》出版一百周年，巴黎植物园为拉马克立了一座铜像，底座上刻着他的女儿柯莱丽曾说过的一句话：“您未完成的事业，后人总会替您继续的；您已取得的成就，后世也总该有人赞赏吧！爸爸。”

第六卷

19世纪：古典科学的全面发展

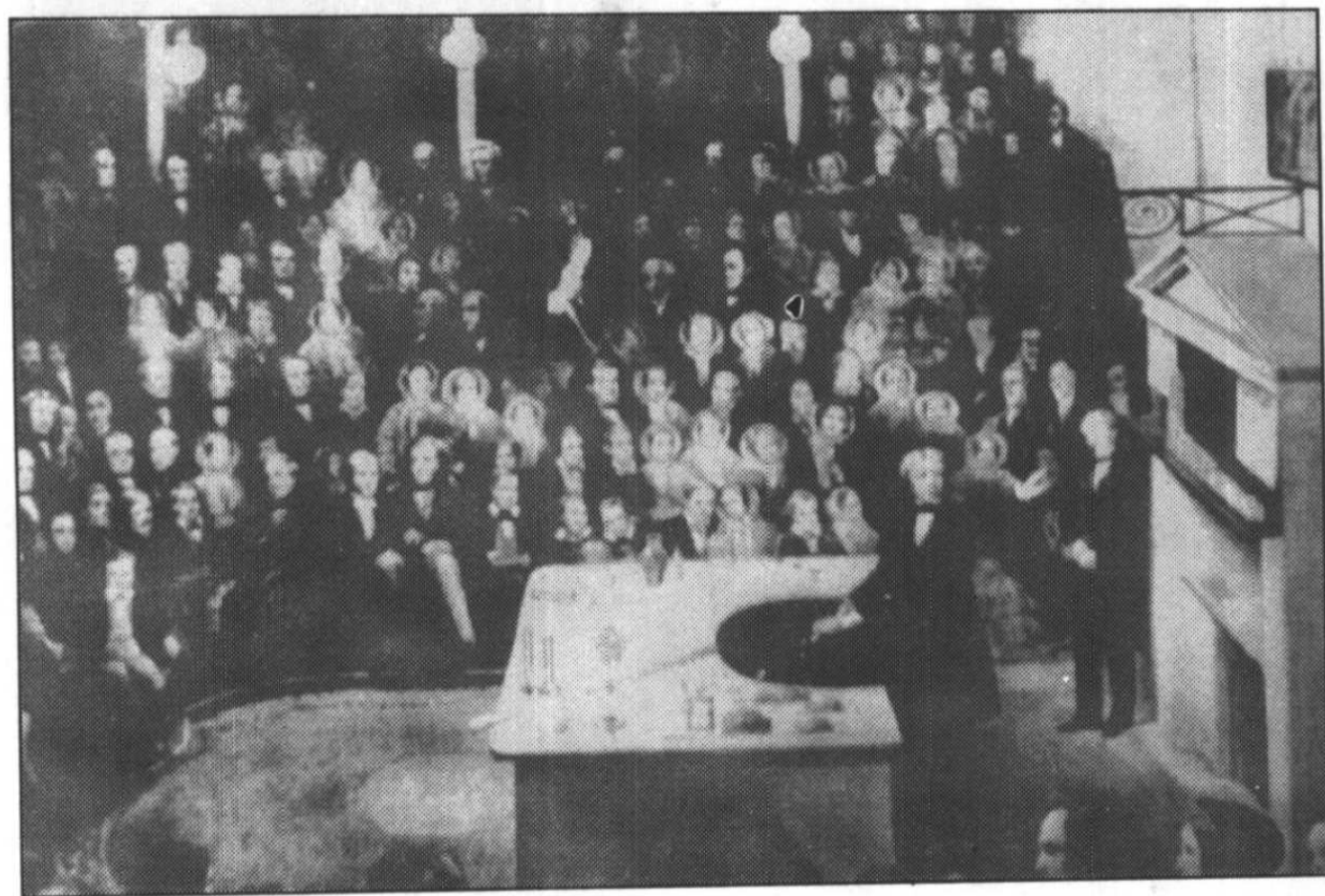


图 26—0 法拉第正在讲演

19世纪被誉为科学的世纪。在这个世纪里，自然科学的各个门类均相继成熟起来，形成了人类历史上空前严密和可靠的自然知识体系。16、17世纪近代科学革命中形成的机械自然观被大大修正，进化、发展的观念进入了自然科学理论之中。在世纪之末，不少科学家甚至认为，自然界一些根本的问题已经解决，以后所能做的就是对计算结果再精确一些而已。造成这种错觉并不是偶然的，19世纪的自然科学确实经历了突飞猛进的发展，使古典科学达到了几乎的完美的水平。

第二十六章

19世纪的电磁学

18世纪行将结束之际，电学达到了它的最高成就：库仑定律。但是，电与磁之间的联系依然未被正确地认识，吉尔伯特在当时实验的基础上认为电与磁没有什么共同性，这一看法延续了很长时间。库仑也探讨过电与磁的相关性，但在实验上一无所获，结果也相信电与磁没有什么关系。19世纪电磁学的大发展，正是从认识到电磁的内在统一性开始的。

1. 电流的磁效应：奥斯特、安培

18世纪后期在德国兴起的自然哲学思潮，弘扬自然界中联系、发展的观点，批评牛顿科学中机械论的成分，在当时的科学家中产生了重要的影响。丹麦物理学家奥斯特（1777—1851年）青年时代就是康德哲学的崇拜者，1799年的博士论文讨论的就是康德哲学。后来，他周游欧洲，成了德国自然哲学学派的追随者。1806

年回国后，奥斯特被母校哥本哈根大学聘为教授。

基于其哲学倾向，奥斯特一直坚信电磁之间一定有某种关系，电一定可以转化为磁。在 1812 年出版的《关于化学力和电力的统一的研究》一书中，奥斯特推测，既然电流通过较细的导线会产生热，那么通过更细的导线就可能发光，导线直径再小下去，就可能产生磁效应。沿着这个思路，奥斯特做了许多实验，但均没有成功。

1819 年冬天，他受命主持一个电磁讲座，有机会继续研究电流的磁效应问题。此时，他产生了一个新的想法，即电流的磁效应可能不在电流流动的方向上。为了验证这个想法，他于次年春设计了几个实验，但还是没有成功。1820 年 4 月，在一次讲座快结束时，他灵机一动又重复了这个实验，果然发现电流接通时附近的小磁针动了一下。奥斯特惊喜万分，又反复实验，终于在当年 7 月 21 日发表了“关于磁针上电流碰撞的实验”的论文。论文指出，电流所产生的磁力既不



图 26-1 奥斯特的电磁实验

与电流方向相同也不与之相反，而是与电流方向相垂直。此外，电流对周围磁针的影响可以透过各种非磁性物质。

奥斯特的发现马上轰动了整个欧洲科学界。当年8月，法国物理学家阿拉果（1786—1853年）在瑞士听到了这一消息，迅即返回法国，9月11日向科学院报告了奥斯特的新发现。阿拉果的报告使法国物理学界十分震惊，因为他们一直受库仑的影响，以为电与磁不可能相互作用。法国物理学家安培（1775—1836年）敏锐地感到这一发现的重要性，第二天即重复了奥斯特的实验，一周后向科学院提交了第一篇论文，提出了磁针转动方向与电流方向



图 26—2 安培

向相关判定的右手定则；再一周后，安培向科学院提交了第二篇论文，讨论了平行载流导线之间的相互作用问题。1820年底，安培提出了著名的安培定律。

安培生于一个富裕的商人之家，大革命时期父亲被处决，以后心情一直十分忧郁。拿破仑时期，他曾就任综合技术学校的数学教授。据说，他是一位心不在焉的“教授”，常常沉浸在思考中而忘记周围的一切，有一次连皇帝拿

破仑的宴会都忘了去。但安培是一位天才的物理学家，不仅有良好的数学基础，而且精于实验。奥斯特只是发现了电流对磁针有作用，安培却在极短的时间里将这一发现推广到电流与电流之间的相互作用，并接连发现了作用的方向和大小，给出了判定方向的方法及计算大小的公式。安培定律指出，两电流元之间的作用力与距离平方成反比。这一极为重要的定律，构成了电动力学的基础。“电动力学”这一名称也

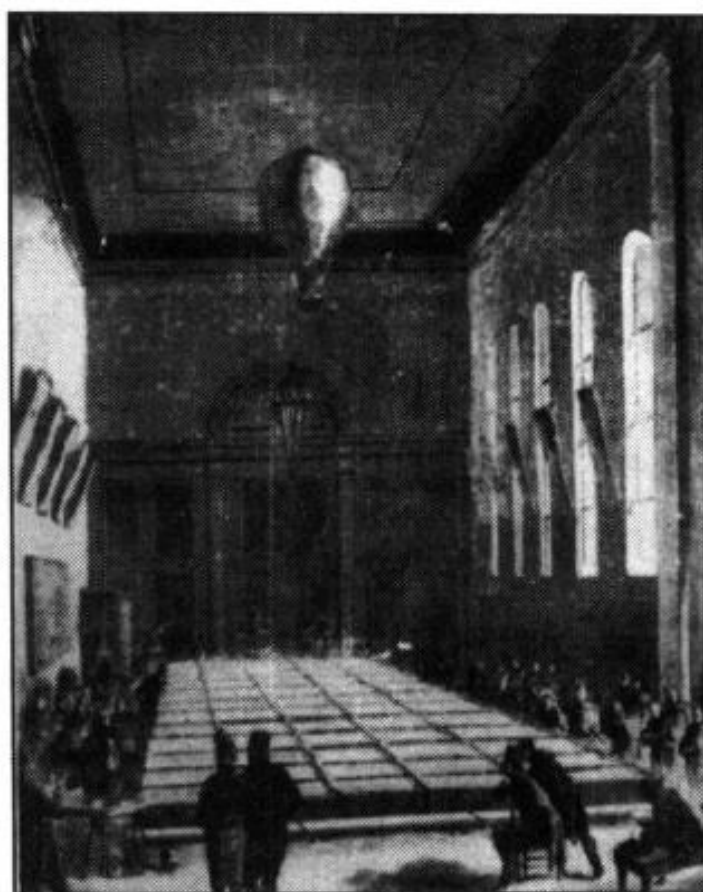


图 26—3 综合工业学校的电池

是安培首先提出来的，用来指研究运动电荷（电流）的科学。与之相对的是“电静力学”，库仑定律则是电静力学中的基本定律。

安培之前，“电流”的概念尚未成为一个科学的概念，正是安培首先规定了电流的方向。他大概受富兰克林影响，认为电流是电液体由正极向负极流动所致，因此，他把电流的方向规定为由正极指向负极。今天我们知道，电流的本质是电子由负极向正极的运动，安培正好规定反了。不过，只要彻底坚持这个规定，也不会带来什么麻烦，所以物理学界依然因袭了安培的这个规定。

电流磁效应的发现也使测量“电流”的大小成为可能，从而使电动力学真正走上了定量实验的发展道路。

1821年初，安培进一步提出了分子电流假说。他认为，物体内部的每一个分子中都带有回旋电流，因而构成了物体的宏观磁性。这一假说当时不为人所重视，直到七十多年后真的发现了这种带电粒子，人们才惊叹安培过人的天才。

2. 欧姆定律

欧姆定律今天已成为中学物理课本中最浅显的一个基本定律，许多人一定都感到它十分简单，可是当初发现它却不那么容易。要知道，构成欧姆定律的“电阻”、“电压”概念尚未出现，有待欧姆本人去创造，而“电流”概念也才刚刚由安培定量化。

德国物理学家欧姆（1789—1854年）生于埃尔兰根的一个匠人家里，从小就学到机械制造技能，他没有正式上过大学，只在

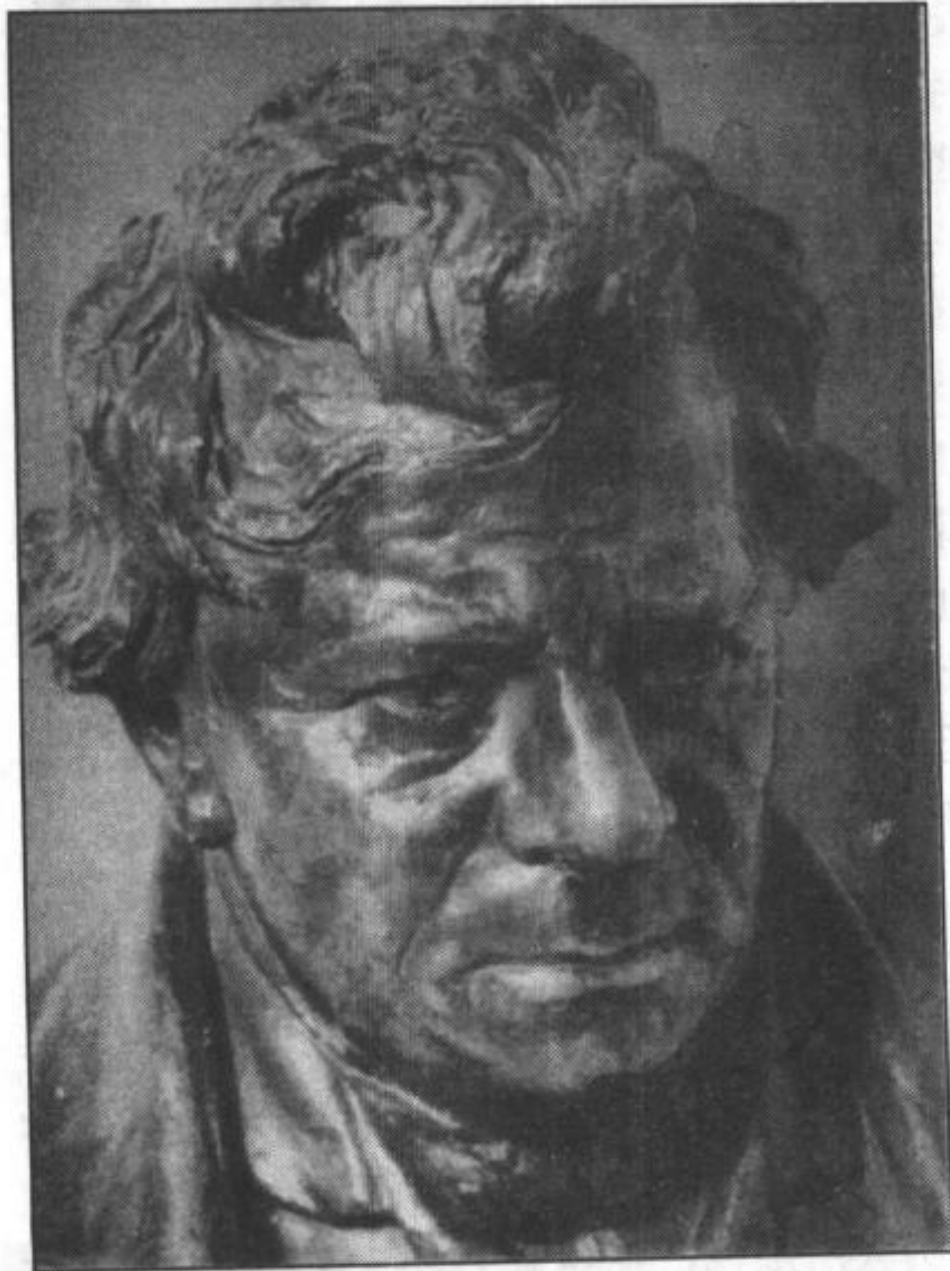


图 26-4 欧姆

埃尔兰根大学旁听过，以后一直当中学教师。他热心于电学研究，曾多次测量过不同金属的导电率。由于他所使用的伏打电堆的电流不太稳定，使他的研究总是不理想。1822年，由于德国物理学家塞班克（1770—1831年）发现了温差电效应，从而发明了温差电池。温差电池可以提供稳定的电流，这使欧姆的金属导电率研究有了重要的突破。

法国数学家傅

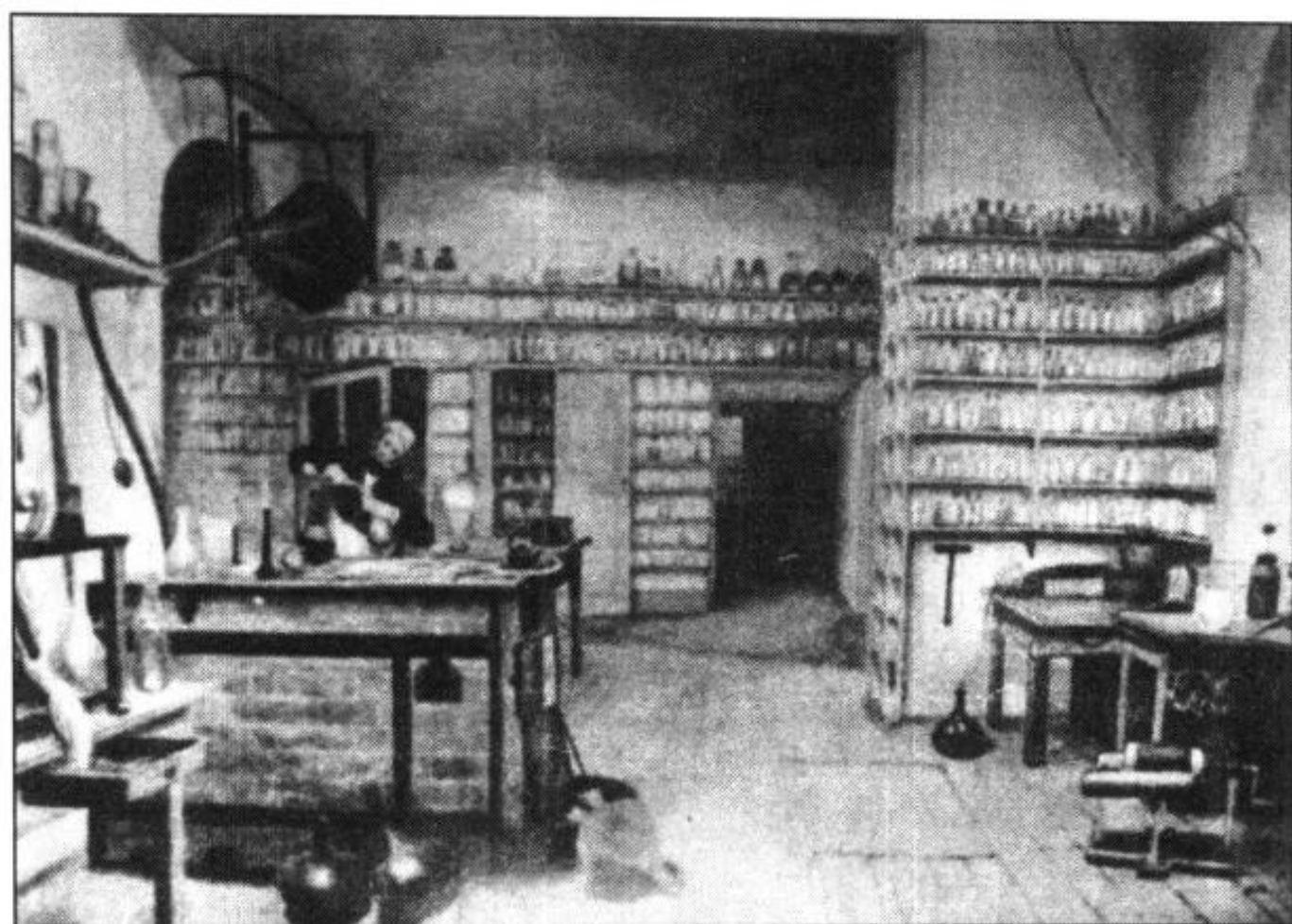


图 26—5 法拉第在戴维的实验室当小工

里叶已经发现,热传导过程中热流量与两点间的温度差成正比。受此启发,欧姆猜测电流也应该与导线两端之间的某种驱动力成正比。他把这种驱动力叫做“验电力”,今天称为电势差。要验证这一猜想,就必须测量电流的大小。欧姆起初利用电流的热效应导致的热胀冷缩来测量电流的大小,但实际操作起来效果很差。电流的磁效应发现后,欧姆依此原理设计了一个扭秤,可以很方便地测定电流的大小。这样,他利用温差电池和电磁扭秤继续进行金属的导电实验,终于得出了“通过导体的电流与电势差成正比,与电阻成反比”的结论,这就是著名的欧姆定律。

欧姆将他的实验结果发表于 1826 年,次年又出版了《关于电路的数学研究》,给出了欧姆定律的理论推导。他的实验论文少有人知,而这本数学著作又遭到了非难。人们认为它仅仅是一种理论推测,并没有实验依据。但他的工作在国外越来越受到重视,伦

敦皇家学会于1841年授予他科普利奖章，1842年接受他为会员。他的祖国终于认识到了他的价值。1849年，慕尼黑大学聘请他为教授，欧姆终于实现了他青年时代当一名大学教授的理想。

3. 法拉第的电磁感应定律

既然电流有磁效应，科学家自然想到磁可能也会有电流效应，许多人为此做了不少实验。但是，磁的电流效应并未立即被发现。直到奥斯特的发现十年后，英国物理学家法拉第和美国物理学家



图 26—6 研究电磁感应

亨利才完成了这一壮举。

19世纪最伟大的实验科学家当推法拉第。他的一生，是在逆境中顽强奋斗的一生。1791年9月22日，法拉第生于伦敦郊区的纽因顿的一个贫穷的家庭。父亲是个铁匠，有十个孩子，家境十分不佳。少年法拉第只学会了读书写字便失学了。1804年，他进了一家印刷厂当童工，次年成为装订学徒。利用工作之便，法拉第经常禁不住翻开他要装订的书籍，读读其中的内

容。正是在这样的条件下，法拉第学到了不少科学知识。业余时间，他也试着做了几个化学实验，还装了一台起电机。1812 年，当时著名的化学家戴维在皇家研究院做一系列化学讲演，法拉第得到了一张票。他发现自己完全能听懂戴维的讲演，十分惊喜，这说明多少年的苦读并非徒劳。整个讲座期间，法拉第认真听讲，并作了详细的

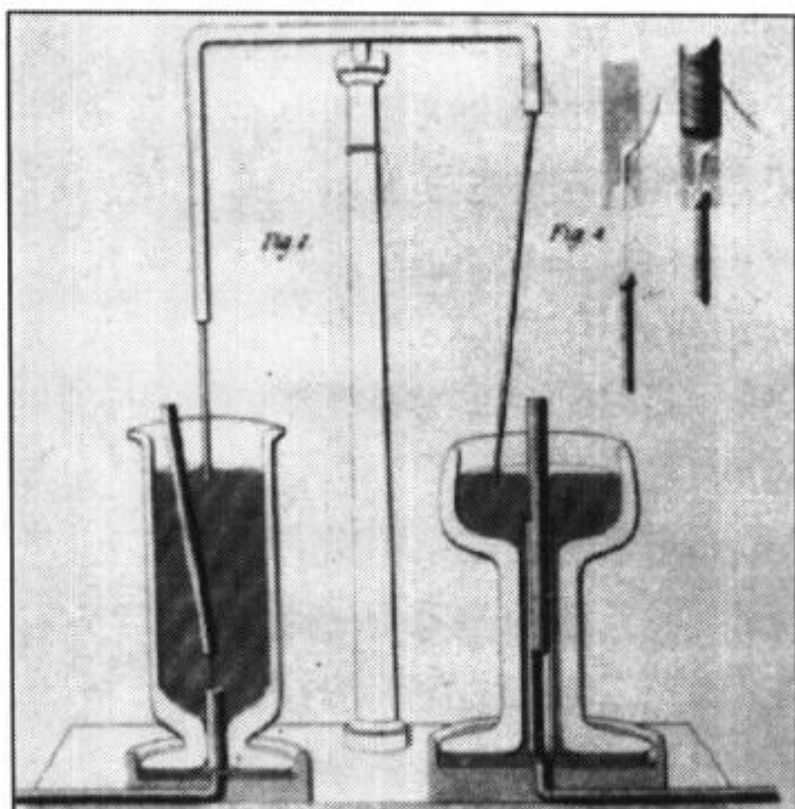


图 26—7 第一台电动机

笔记。这一年，他到了一家法国人开的印刷厂当正式装订工。工厂主对工人很不好，法拉第想到从事科学事业是多么光荣和崇高，可眼前的工作充满了欺诈和自私自利，遂决定离开这里。他先是给皇家学会的会长写了一封信，请求得到学会的推荐，在皇家研究院的化学实验室里找一份差使。这封信石沉大海，杳无音讯。法拉第又斗胆给大化学家戴维本人写信，他将自己记的戴维的讲演笔记装订得很漂亮，一并寄给了戴维。戴维为这位自学青年的才能和好学精神所感动，立即回了一封信予以鼓励，但没有答应法拉第的求职要求。后来，戴维与一位助手闹翻了，这位助手被解雇后，他想到法拉第的一再请求，便通知法拉第说实验室有一个刷洗瓶子的工作，法拉第愉快地接受了这个工作，虽然工资比当装订工时还低。

1813 年，22 岁的法拉第正式当上了戴维的助手，走进了他梦寐以求的科学殿堂。不久，戴维夫妇到欧洲大陆旅游，法拉第作为助手和仆人跟随。虽然戴维夫人甚至很不客气地将法拉第当奴

隶使唤，他也忍受了。这次旅行，大开了法拉第的眼界，他见到了电化学的始祖伏打和其他著名的科学家。1815年回国后，法拉第逐渐在实验室里显示了卓越的实验才能。他先是与戴维一起研究矿井使用的安全矿灯，后来又投入化学研究，1816年发表了第一篇学术论文。1823年，法拉第发现了加压液化二氧化碳、硫化氢、溴化氢和氯气等气体的方法，1825年，发现了苯，此外还在电化学方面做出了开创性工作，“电解”、“电极”以及阳极、阴极等名词就是法拉第最先使用的。由于他在实验方面的出色成就，1824年被选为皇家学会会员。1825年被任命为皇家研究院实验室主任。戴维很快发现法拉第有着极为出色的实验天才，对他产生了妒忌。据说在选举皇家学会新会员时，只有他一个人反对法拉第当选。但法拉第总是怀着敬慕的心情称颂戴维，感谢他早期对他的培养和教导。

奥斯特实验传到英国后，在英国物理学界也引起了强烈的反响。1821年，戴维和另一位英国物理学家沃拉斯通（1766—1828年）重复了奥斯的特的实验，并且试图用固定的强磁铁让载流导线绕自己的轴旋转，但是没有成功。法拉第受他们的启发，在同年成功地使一根小磁针绕着通电导线不停地转动。这使他相信，电流对磁铁的作用力本质上是圆形的。事实上，这个装置就是历史上的第一台电动机，虽然它还只是玩具，但不久就改变着世界。

法拉第也象许多其他科学家一样，相信不仅有电流的磁效应，而且也应有磁的电流效应。1824年，他曾设计了一个实验以检验这种效应。他让两根导线平行放置，然后在—根导线中通电，看看另一根导线中会不会有电流感应。他当时希望看到导线中产生稳定的电流，结果瞬间的电流感应未被注意。以后多次实验均无结果。

1831年8月29日，他又设计了一个新的实验。他在一个软铁环上绕了两段线圈，一段线圈与电池相连，另一个则与电流计相

连。这时他发现，当电池接通时，电流计产生强烈的振荡，但不久回复到零位置，当电池断开时，电流计又发生同样的现象。法拉第起先不明白这里的含义。9月24日，他将与电流计相连的线圈绕在一个铁圆筒上，又发现每当磁铁接近或离开圆筒时，电流计都有短暂的反应。这表明，磁确实可以产生电，虽然只是短暂的。

同年10月1日，法拉第又将两根绝缘铜线分别绕在同一根木头上，形成两组线圈，一组与电流计相连，另一组与电池相连。情况依旧，当电池接通或断开时，电流计指针跳动，随后就回到零位。17日，法拉第进一步发现，仅仅用一根永磁棒插入或拔出线圈，就能从与线圈相连的电流计中发现指针偏转。法拉第十分清楚，他已经用实验证明了感生电流的存在。11月24日，他向皇家学会提交了一篇论文，报告了他的重大发现。

感生电流的发现有着重大的意义，它意味着通过连续的运动磁体可以不间断地得到电流。据说法拉第本人很快就做了一个模型发电机。电动机和发电机的问世预示着人类电气时代的到来。

1834年，法拉第发现了自感现象。单独一个线圈在接通或断开电流的一瞬间总会产生一个很强的“额外”电流，这个额外电流在断电时与原电流方向相同，试图加强它，在通电时与通电流方向相反，试图反抗它。

应该提到，另外还有一个人与法拉第同时作出了电磁感应的伟大发现，他就是美国物理学家亨利（1799—1878年）。1827年8月，亨利因为试制电磁铁而发现了自感现象，1830年8月，他又初步发现了电流引起的磁场在通电或断电时能产生瞬间的电流。亨利的实验时间均在法拉第之前，但他的实验结果一直没有发表，人们还是将电磁感应现象的发现归于法拉第。

这本来也是历史的公正。法拉第不仅独自发现了电磁感应现象，其研究的深度和广度无人能及，而且运用他自己创造的

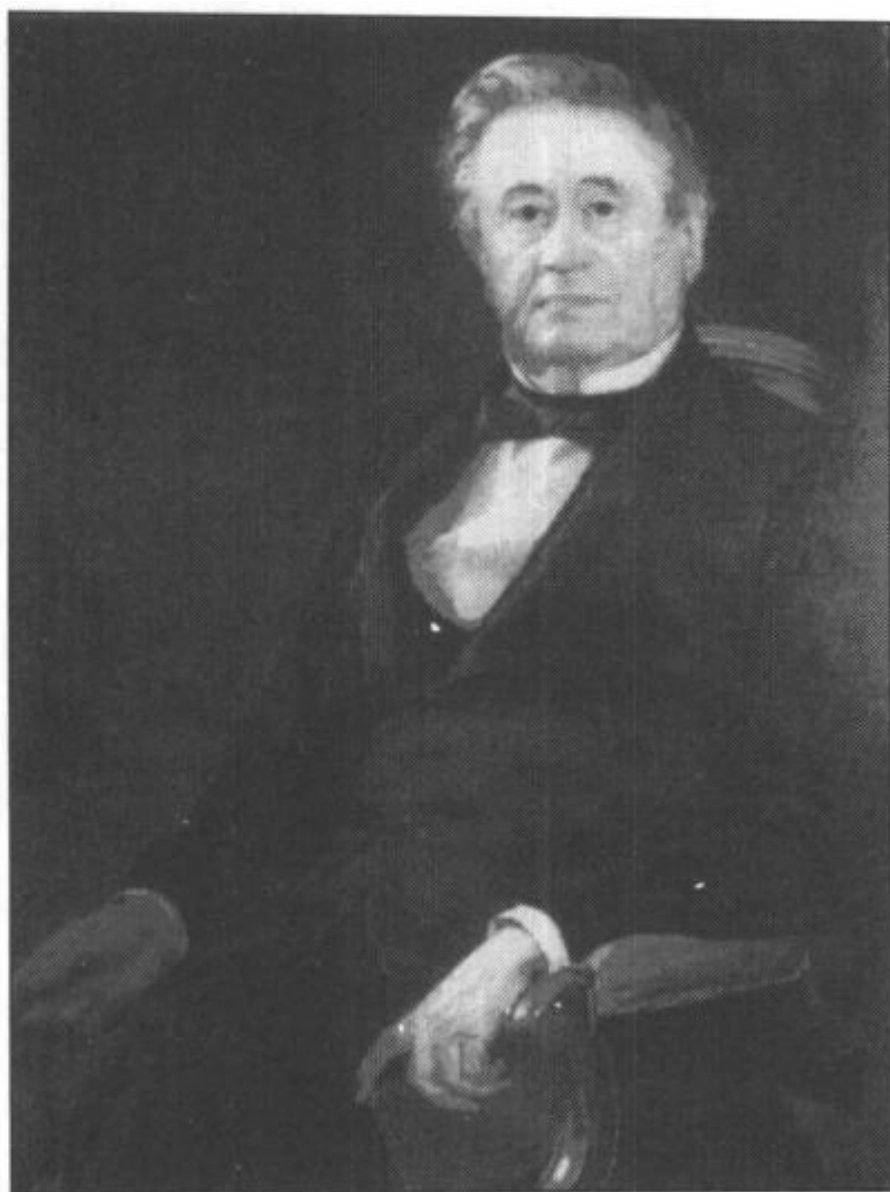


图 26-8 亨 利

“场”和“力线”概念，建立了电磁感应定律。在法拉第以前，人们已经发现了许多物理作用力不是通过直接接触实现的。如牛顿的万有引力、库仑的静电力、磁极之间的作用力，以及新近发现的电流之间的磁作用力等，而且它们均遵守距离的平方反比关系。牛顿本人相信，引力是即时作用即既不需要传播媒介也不需要时间，是一种超距作用，后来的科学家均持有这种观点。

法拉第不同意这种超距作用观，天才地创造了“场”和“力线”的图景。

法拉第认为，电磁作用力均需要媒介传递，因为他从实验中得知，电介质影响带电体之间的电磁作用，因此，他设想带电体或磁体周围有一种由电磁本身产生的连续的介质，来传递电磁相互作用。他把这种看不见、摸不着的介质叫做“场”。为了直观地显示“场”的存在，他又引入了“力线”的概念。电力线或磁力线由带电体或磁体发出，散布于空间，作用于其中的每一电磁物体。演示磁力线的实验今天已经家喻户晓，将铁屑撒在一张纸上，纸下放一块磁铁，轻轻弹动这张纸，纸上的铁屑就会排成一个规

则的图形。法拉第说，铁屑所排成的形状就是磁力线的形状。

有了力线的概念，法拉第就能够进一步解释电磁感应现象。他在发表于 1851 年的《论磁力线》一文中说，只要导线垂直地切割磁力线，导线中就有电流产生，电流的大小与所切割的磁力线数成正比。这就正式将电磁感应现象确立为一条



图 26—9 法拉第与夫人

定律。法拉第由于从小没受过正规教育，其数学能力十分欠缺，但他对物理世界天才的洞察力弥补了这一不足。“力线”概念就是一种极为出色的非数学化的图象式想象，至今仍为物理教学所喜用。

1938 年，在皇家学会的档案里发现了法拉第 1832 年 3 月 12 日写给皇家学会的一封信。信中，他先提到电力和磁力的传播需要时间，接着他说：“我认为，磁力从磁极出发的传播类似于起波纹的水面的振动或者空气粒子的声振动。也就是说，我打算把振动理论应用于磁现象，就像对声音所作的那样，而且这也是光现象最可能的解释。”在这封信里，法拉第实际上预言了电磁波的存在。

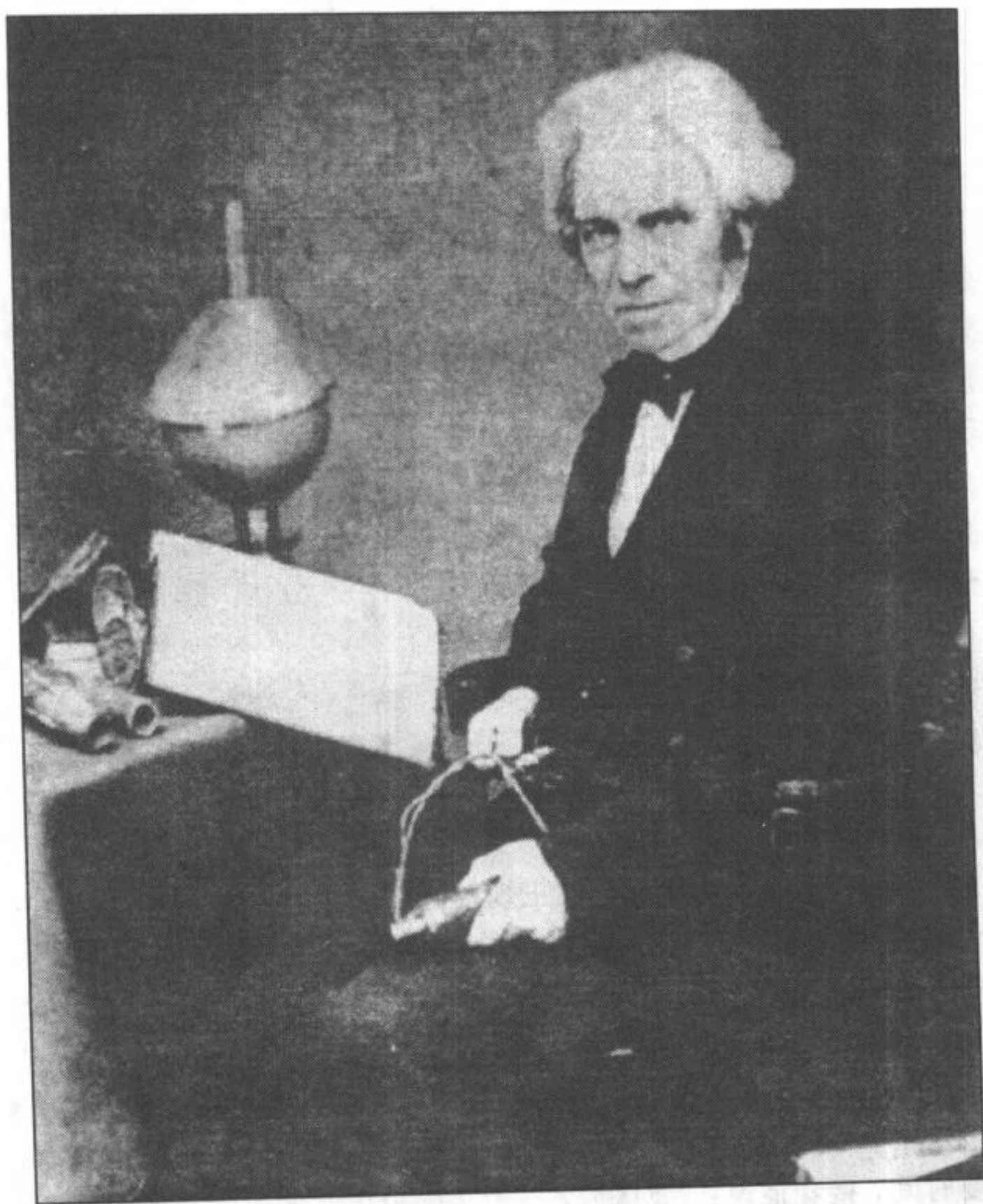


图 26—10 晚年的法拉第 (1836 年)

1845 年，法拉第发现了磁的旋光效应即著名的法拉第效应。次年，他又提出光的本性是电力线和磁力线的振动。这一看法后来被麦克斯韦发展成为光的电磁说。

法拉第声名大振，数不清的荣誉向他袭来，但他依然像当年那个学徒工那样对科学一往情深，而对金钱和地位不屑一顾。成名之后，他热情地给普通群众主办通俗科学讲座，希望科学能像当年在他心中引起崇高的理想那样教育下一代青年人。据说法拉第是一位很不错的演说家，作家狄更斯以及王室成员都是他忠实的听众。有人曾建议他当皇家学会的会长，他没有答应；国王要封他爵位，他也谢绝了。50 年代英俄交战时，英国政府曾请法拉第领导研制毒气，被法拉第断然拒绝。他临终前要求，葬礼尽量简朴，不要立纪念碑。1867 年 8 月 25 日，法拉第在伦敦逝世，遵遗嘱没有举行大的送葬仪式。他在长达四十二年（1820—1862 年）的科研生涯中，每天坚持对当天的实验情况作详细记录，这些日记于 1932 年为纪念他发现电磁感应 100 周年而出版。煌煌七大卷、长达 3236 页的巨著，记载了这位科学伟人的毕生心血。生活于电气化时代的人们，全都缅怀这位电学大师的丰功伟绩。

4. 电磁理论之集大成：麦克斯韦

法拉第的创造性工作奠定了电磁学的物理概念基础，但是由于法拉第不懂数学，不能用精确的数学语言表述他的物理思想，在他总结性的著作《电学实验研究》一书里，几乎找不到一条数学公式，以致有人认为它只是关于电磁实验的实验报告，谈不上是一部科学论著。另一方面，由于分析力学的高度发达，电磁学领域每取得一个突破性的定律，就有数学—物理学家将之用严密精确的数学公式数学化。库仑定律、安培定律和法拉第电磁感应定律均很快被表述成一般的数学形式。现在就等待着一个伟大的综合出现，英国物理学家麦克斯韦担负了这一使命。

麦克斯韦 1831 年 11 月 13 日出生于苏格兰爱丁堡的一个名



图 26-11 麦克斯韦的青年时代

门望族，从小便显露出数学天才。15岁时写了一篇论卵形曲线的论文，发表在爱丁堡皇家学会的刊物上，以致许多数学家不相信它出自一个孩子之手。1847年，麦克斯韦进入爱丁堡大学学习数学和物理学；1850年，考入剑桥大学三一学院，主攻数学、物理学；1854年大学毕业，数学成绩非常优秀。1856年麦克斯韦被阿伯丁马里歌尔学院聘为教授，

1860年转往伦敦皇

家学院，1871年回到母校剑桥大学任实验物理学教授。据说他不是一个好的教师，他的课深奥难懂，往往只有几个特别优秀的学生才能跟得上。在剑桥期间，他出版了卡文迪许的手稿，从而使世人认识到这位科学怪人曾取得了多少远远超出其时代的成就。他还亲自创办了著名的卡文迪许实验室，任实验室主任一直到去世。

麦克斯韦的科学成就是多方面的。1857年他曾提出土星光环的颗粒构成理论。这个光环从地球上看起来很象一个圆盘，但麦克斯韦认为，如果它真是一个固体或流体的结构，那么引力和离心力

等作用就会使它分崩离析，除非它是一条带状的小天体群，否则不会保持稳定。事实证明，麦克斯韦的看法是正确的。由于其杰出的数学才能，麦克斯韦还在新兴的分子运动论领域作出过重要的贡献，这一点将在第二十九章讲述，这里我们特别叙述他在电磁学理论方面的伟大工作。



图 26—12 麦克斯韦

1855 年，麦克斯韦写了“论法拉第的力线”一文，第一次试图将法拉第的力线概念赋予数学形式，从而初步建立了电与磁之间的数学关系。麦克斯韦的理论表明，电与磁不能孤立地存在，总是不可分离地结合在一起。这篇论文于次年发表在《英国科学促进会报告集》中，使法拉第的力线概念由一种直观的印象上升为科学的理论，引起了物理学界的重视。法拉第读过这篇论文后，大加赞扬。

1862 年，麦克斯韦发表了第二篇论文：“论物理学的力线”。在这篇论文中，他提出了自己首创的“位移电流”和“电磁场”等新概念，并在此基础上，给出了电磁场理论的更完整的数学表述。

电磁场中广泛存在的电场与磁场的交相变化，使麦克斯韦意识到它是一种新的波动过程。1864年，他向皇家学会宣读了另一篇著名的论文“电磁场的动力理论”，该文于次年发表在学会的机关刊物《哲学杂志》上。文中不仅给出了今天被称为麦克斯韦方程的电磁场方程，而且提出电磁波的概念。他认为，变化的电场必激发磁场，变化的磁场又激发电场，这种变化着的电场和磁场共同构成了统一的电磁场，电磁场以横波的形式在空间传播，形成所谓电磁波。

麦克斯韦推算出了电磁波的传播速度，发现与光速十分接近。他本来就猜测光与电磁现象有着内在的联系，在建立了完整的电磁理论之后，他更明确提出了光的电磁理论。麦克斯韦写道：“电磁波的这一速度与光速如此接近，看来我们有充分的理由断定，光本身是以波动形式在电磁场中按电磁波规律传播的一种电磁振动。”

1865年，麦克斯韦得了一场重病，不得不辞去皇家学院的职务回家养病。这以后，他把主要精力放在整理、总结电磁学理论已取得的成就上面。1873年，他出版了其伟大的著作《电磁通论》，这本书全面总结了一个世纪以来电磁学所取得的成果，是一部电磁学的百科全书，是集电磁理论之大成的经典著作。

1879年11月5日，麦克斯韦因长期患病，终于与世长辞，这年他才48岁。他没能看到他所预言的电磁波真的在实验室里被发现，但是今天，电磁波已经成了信息时代最基本的物质载体。

5. 电磁波实验发现：赫兹

1878年，德国著名的物理学家赫尔姆荷兹（1821—1894年）向他在柏林大学的学生们提出了一个竞赛题目，即用实验方法验证麦克斯韦的理论。赫尔姆荷兹的学生之一赫兹（1857—1894

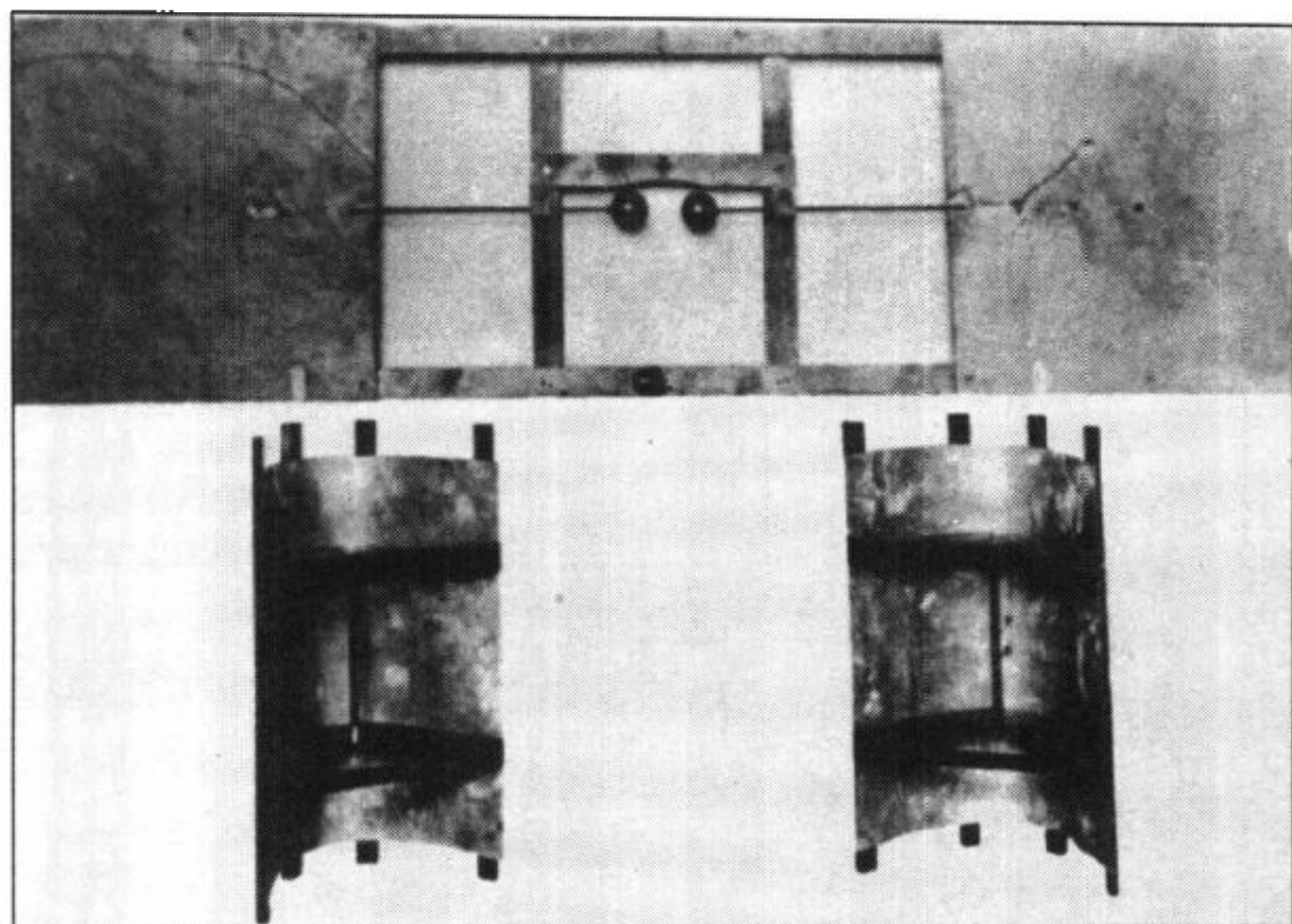


图 26—13 赫兹发射电磁波的装置

年)从那时起就致力于这个课题的研究。1886年,他在做放电实验时,发现近处的线圈也发出火花,所以感到这可能是电磁波在起作用。为了更好地确认这一点,赫兹再度布置实验。他设计了一个振荡电路用来在两个金属球之间周期性地发出电火花。按照麦克斯韦理论,在电火花出现时应该有电磁波发出。然后,赫兹又设计了一个有缺口的金属环状线圈,用来检测电磁波。结果,当振荡电路发出火花时,金属缺口处果然也有较小的火花出现。这就证明了电磁波的确是存在的。赫兹又进一步在不同的距离观测检测线圈,由电火花的强度的变化大致算出了电磁波的波长。1887年11月5日,赫兹给他的老师赫尔姆荷兹寄去了论文“论在绝缘体中电过程引起的感应现象”。1888年1月,赫兹发表了“论动电效应的传播速度”,证明了电磁波具有与光完全类似的特性。还证明了电磁波的传播速度与光速有相同的量级。赫兹的实验发现不

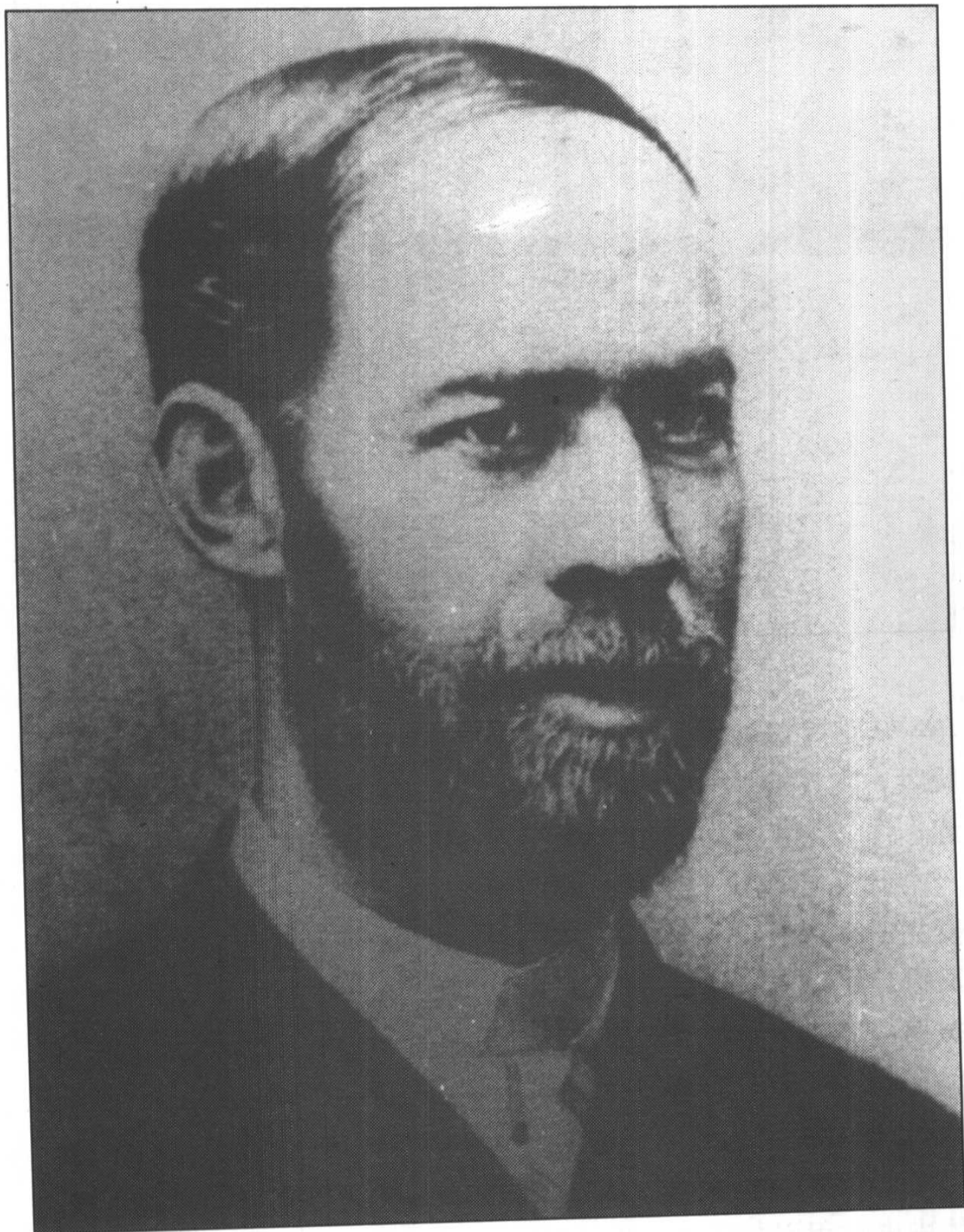


图 26—14 赫 兹

仅证明了麦克斯韦理论的正确，也为人类利用无线电波开辟了道路。可惜的是，赫兹英年早逝，没能在电磁波的应用技术方面做出他本来完全可能做出的重大贡献。不久以后，意大利青年物理学家马可尼就实现了无线电波通讯。

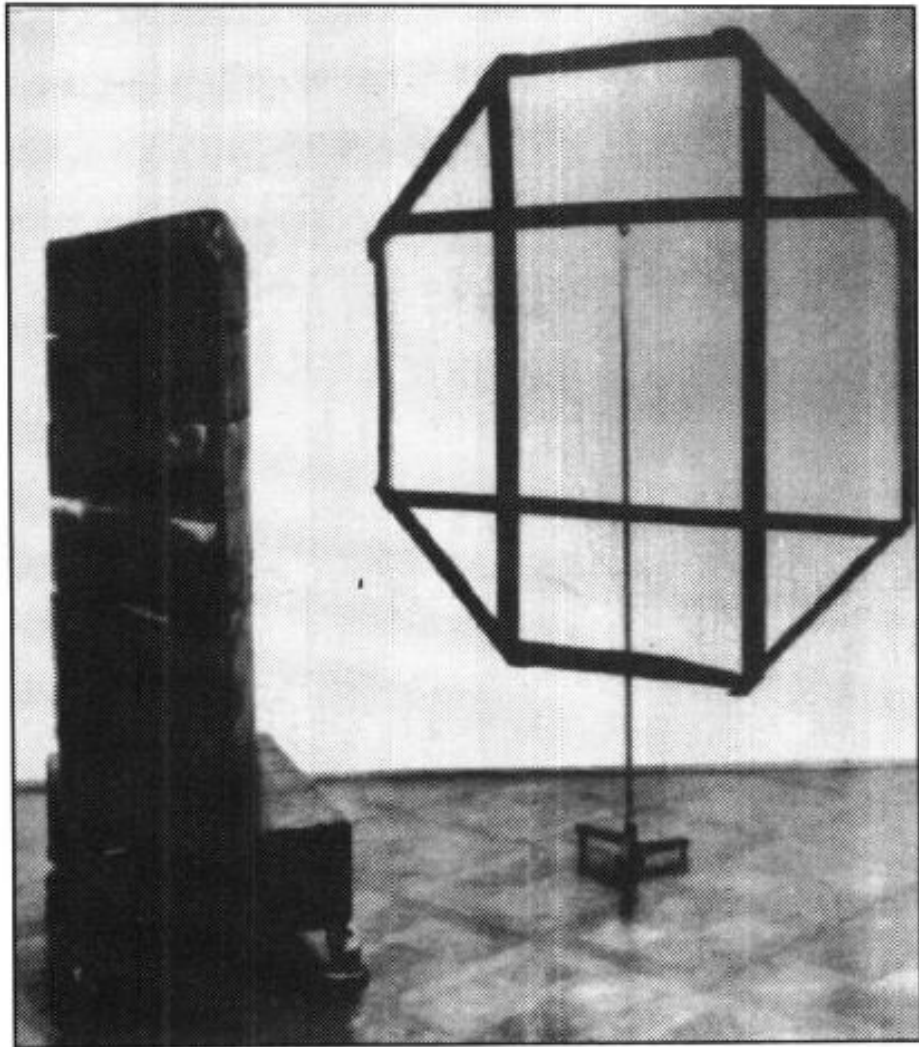


图 26—15 赫兹的电磁波接收装置

第二十七章

19 世纪的光学

光学是一门古老的科学，希腊时代欧几里德、托勒密都对此作出过贡献。到了 17 世纪，几何光学基本上得以确立。几何光学关注光线传播的几何性质的研究，如光线传播的直线性、光线的反射、折射性质等。由于制造光学仪器的需要，对光的折射性质的研究比较热门。开普勒曾修正了托勒密关于入射角与折射角成正比的结论，并指出玻璃的折射角不会超过 42 度。荷兰数学家斯涅尔（1591—1626 年）在大量实验的基础上于 1621 年得出折射定律：入射角与折射角的余割（正弦的倒数）之比为常数。笛卡儿在 1637 年出版的《折光学》一书中提出了折射定律的现代形式，即入射角与折射角的正弦之比为常数。后来，著名的法国数学家费尔马运用极值原理推出了光的反射定律和折射定律。

牛顿的分光实验以及牛顿环的发现，使光学由几何光学进入物理光学。但牛顿本人认为光本质上是运动的微粒，所以他不能正确地解释由他自己作出的伟大发现，与牛顿同时代的惠更斯主

张光是一种波动，由此展开了近两个世纪的光的本性之争，由于 19 世纪的光学以波动说的复兴为先导，因此有必要先回顾一下微粒说与波动说之争论。

1. 波动说与微粒说的对立

近代几何光学的奠基者之一笛卡儿在光的本性方面的看法是不一贯的。在谈到视觉问题时，他把光线比喻成脉冲波动，否认眼睛在看东西时有某种物质微粒进入。可是，他在解释光的折射和反射时又运用物体的碰撞运动来进行比喻，因此他在这个问题上的看法是不明朗的。

惠更斯最早比较明确地提出了光的波动说。在《论光》(1690 年)一书中，他认为光的运动不是物质微粒的运动而是媒质的运动即波动，其理由是，光线交叉穿过而没有任何相互影响，这只能解释为波动。运用波动说，惠更斯很好地解释了光的反射、折射以及方解石的双折射现象。但他的波动说是不完善的，他认为光像声音一样也是纵波，所以在解释光的干涉、衍射和偏振现象时遇到困难。

牛顿倾向于微粒说，在其《光学》(1704 年)中，他陈述了波动说的几种不足：第一，波动说不能很好地解释光的直线传播现象，因为如果光是一种波动，它就应该有绕射现象，就像声音可以绕过障碍物而传播一样，但没有观察到光有这种现象；第二，波动说不能令人满意地解释方解石的双折射现象；第三，波动说依赖于介质的存在，可是没有什么证据表明，天空中有这样的介质，因为从天体的运行看不出受到介质阻力的迹象。基于这些理由，牛顿怀疑波动说，而提出光是一种微粒的看法。不过，牛顿并不完全排斥波动思想，比如，他就提出过光粒子可能在以太中激起周期性振动。但这些思想被后人有意无意地忘记，牛顿结果成了坚

持微粒说的一面旗帜。

部分由于惠更斯波动说的不完善性，部分由于牛顿的崇高威望，微粒说在整个 18 世纪占据主导地位。但是，在折射问题的解释上，波动说和微粒说之间出现了一个判决性的实验：微粒说认为，密介质中的光速大于疏介质中的光速，波动说则认为，密介质中的光速小于疏介质中的光速。可是当时，在实验室中测定光速还不可能，这个判决性实验也起不了判决性作用。

2. 波动说的复兴：托马斯·杨、菲涅尔

19 世纪的光学是由英国医生托马斯·杨以复兴波动说的论文揭开序幕的。杨（1773—1829 年）生于英国的米斯维顿一个富裕的家庭，据说他 2 岁就能读书，4 岁已将《圣经》通读两遍，是一位神童。青年时代，他是一位多才多艺的人，他会十几门外语，能演奏多种乐器。他起先在爱丁堡大学学医，后在德国哥廷根大学取得了博士学位，1799 年开始在伦敦开办诊所。

杨的光学研究始自对视觉器官的研究。他第一个发现眼球在注视距离不同的物体时改变形状。1800 年，杨发表了《关于光和声的实验和问题》一文，对延续了一个世纪的微粒说提出异议。他说：“尽管我仰慕牛顿的大名，但我并不因此非得认为他是万无一失的。我遗憾地看到他也会弄错。而他的权威也许有时甚至阻碍了科学的进步。”在文章的光学部分，杨提出否定微粒说的几个理由：第一，强光和弱光源所发出的光线有同样的速度，这用微粒说不好解释；第二，光线由一种介质进入另一种介质时，一部分被反射，而另一部分被折射，用微粒说解释也很牵强。在文章的声学部分，杨依据水波的迭加现象，提出了声波的迭加理论。他把由迭加造成的声音的加强和减弱称为“干涉”。在声波干涉中，“拍”现象即迭加造成的声音时断时强的效果引起了杨的特别注

意，这使他想到，如果光是一种波动，也应该有干涉和拍现象，即两种光波迭加，应该出现明暗相间的条纹。

1801 年，杨向皇家学会宣读了关于薄片颜色的论文，文中正式将干涉原理引入到光学之中，并且用这一原理解释薄片上的色彩和条纹面的衍射。在这篇论文中，杨还系统提出了波动光学的基本原理，提出了光波长的概念，并给出了测定结果。正是由于光波长太短，以致遇障碍物拐弯能力不大，这也是人们很难观察到这类现象的原因。

杨的论文在英国学界引起了敌视。他的论文在阐述实验方面不够明晰（虽然他本人做过十分精确的实验），这使读者感到干涉理论只是一些没有实验根据的理论推测。杨没有气馁，继续进行实验研究，于 1803 年发表“物理光学的实验和计算”，对双缝干涉现象进一步做出了解释。在 1807 年出版的《自然哲学讲义》中，杨系统阐述了他提出的波动光学的基本原理。

1809 年，法国物理学家马吕斯（1775—1812 年）发现了光在双折射时的偏振现象，可是纵波不可能出现偏振现象，这使杨新近复兴的波动说遇到了极大的困难，微粒说的信奉者以此对波动说发起攻击。杨于 1811 年给马吕斯写信说：“你的实验证明了我的理论的不足，但并没有证明它是错的。”1817 年，杨终于发现了摆脱这个麻烦的途径。他在 1 月 12 日给法国物理学家阿拉哥写信说，光波不是一种纵波，而是一种横波，而偏振完全可以用横波加以解释。

几乎独立地提出光的波动学说的还有法国物理学家菲涅尔（1788—1827 年）。与杨相反，他从小非常迟钝，身体也不好，后来由于刻苦努力，成了一名工程师。由于反对拿破仑，他曾被关进监狱一段时间。1814 年，他对光学开始感到兴趣，1815 年向科学院提交了第一篇光学论文。文中仔细地研究了光的衍射现象，并提出了光的干涉原理。菲涅尔的论文实验证据确凿，很快在法国

物理学界获得支持。本来信奉微粒说的阿拉哥，在受命审查菲涅尔的论文之后，第一个改信波动说。菲涅尔与阿拉哥一起继续进行实验研究，于1819年证实了杨关于光是一种横波的主张。

菲涅尔在毫不了解杨的工作基础上独立地提出了光的波动理论。令人高兴的是，他与杨之间并未发生优先权之争。当阿拉哥将他的论文介绍给杨时，杨对此进行了高度的评价。由于他们的齐心协力，微粒说一统局面被打破，在波动学说基础上的光学实验大量涌现，使19世纪在物理光学方面取得了重大的进展。

1849年，法国物理学家菲索（1819—1896年）利用转动齿轮的方法，在实验室中测定了光的速度，数值虽然不太精确，但毕竟是在实验室里测定光速的第一次创举。1862年，另一位法国物理学家佛科（1819—1868年）改进了菲索的方法，用旋转镜方法准确地测定了光速，从而发现密介质中光的传播速度较小。这就在实验上对微粒说和波动说之争做了一次支持波动说的判决。

3. 光谱研究：夫琅和费、基尔霍夫

光的波动说被确立以后，物理光学中最突出的成就就是对光谱的研究。牛顿的棱镜已将太阳光分解成各种不同颜色的光线，他将之解释成不同光线具有不同的折

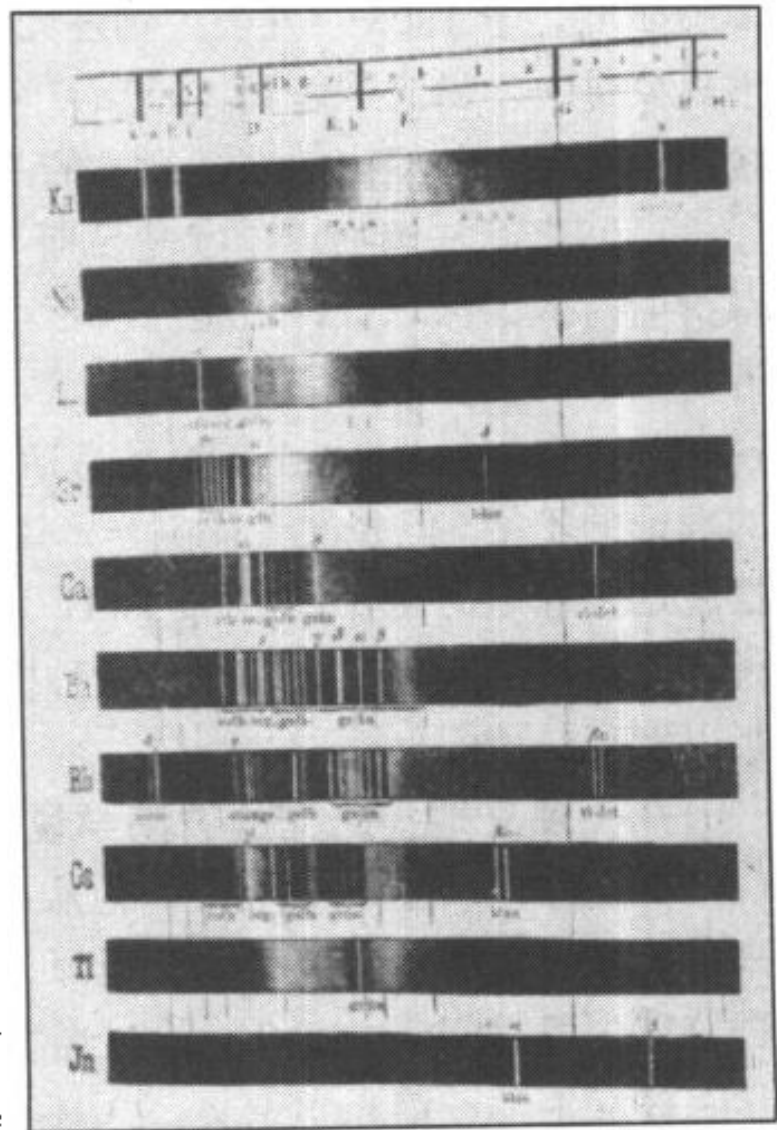


图 27-1 元素的特征光谱

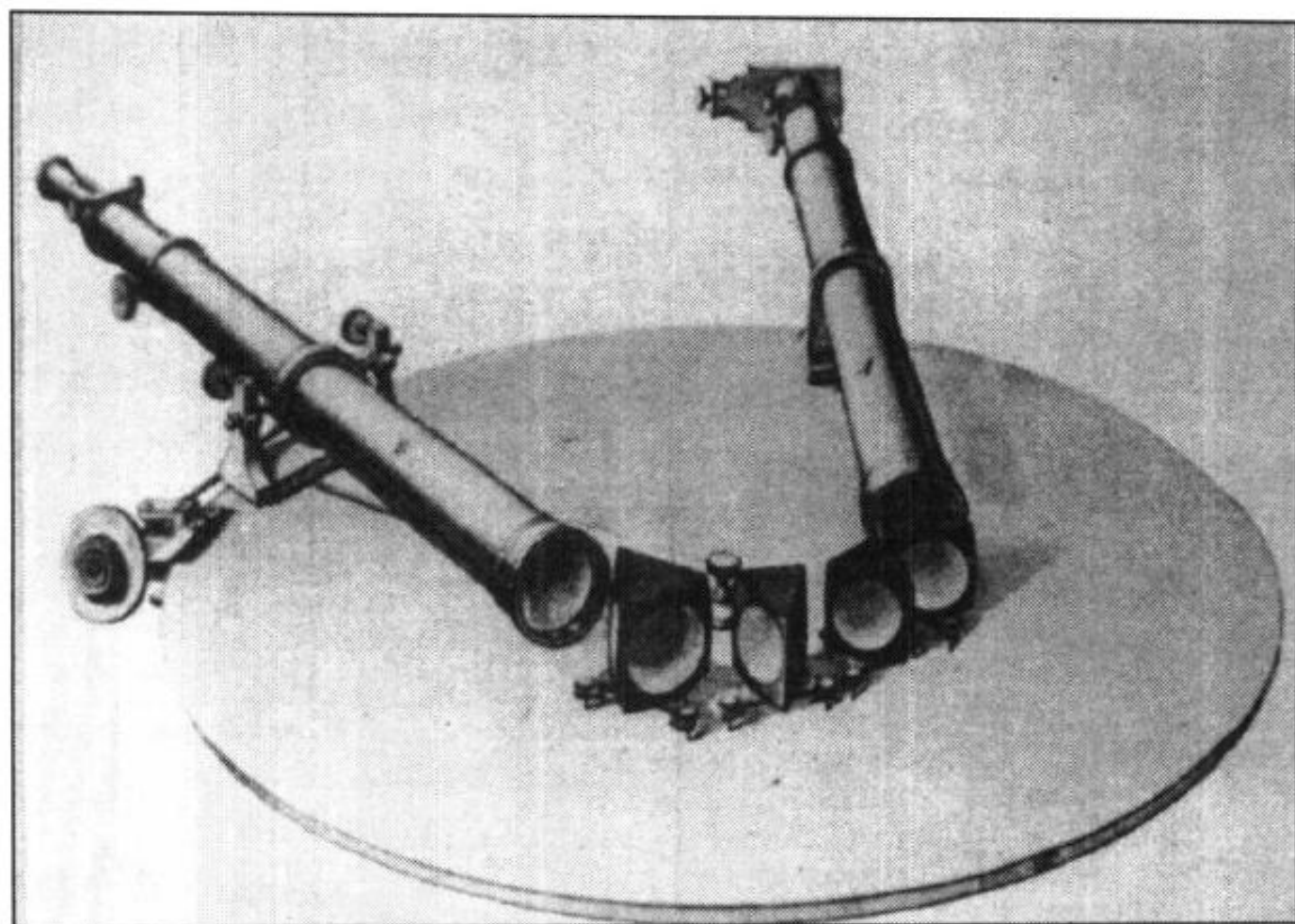


图 27-2 分光镜

射率引起的。现在人们又认识到不同的颜色其实对应于光的不同波长，不同波长的光的连续排列构成了所谓光谱。所有的自然光都可以通过棱镜展示自己的光谱。18 世纪，有人即已注意到各种化学物质在燃烧时发出的光彼此不同，后来又发现不同物质所发出的光其光谱各有显著的特征。

1814 年，德国物理学家夫琅和费（1787—1826 年）在测试新制造出的棱镜时，发现太阳光谱中有许多暗线。在此之前，他在灯光光谱中发现了钠的谱线，因此，他也希望在太阳中发现这些特征谱线。夫琅和费将太阳光谱记录下来，并将发现的暗线用字母标出，这些暗线今天被称为夫琅和费线。后来，他又多次观察月光和行星的反射光，发现其光谱与太阳光谱完全相同。1821 年，夫琅和费第一个用光栅（间隔很小的细丝）作为折射装置，使太阳光形成了一个更精细的光谱，利用光栅，他试着测定了太阳谱

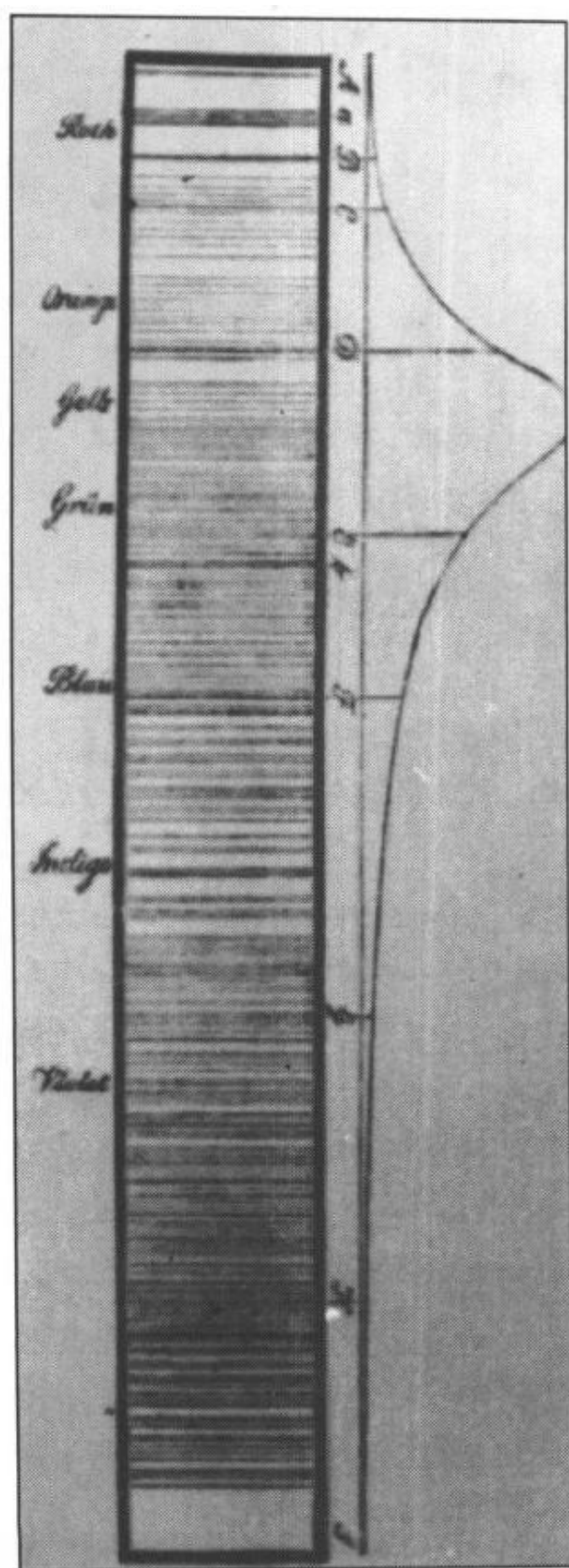


图 27-3 太阳光谱

线的波长。夫琅和费的工作当时没有受到重视，当然他本人也不太明白太阳光谱线中暗线的意义。

1859年，德国物理学家基尔霍夫(1824—1887年)解释了太阳光谱中暗线的含义。他发现，每一种单纯的物质有一种特征光谱，光谱里面必有一条明亮的谱线正好表征该物质。但是，如果在足够强的自然光下观察这个特征光谱，由于该光谱被同波长的物质所吸收，其明亮的特征谱线便变成了明显的暗线。因此，太阳光谱中的夫琅和费暗线正好就是各种物质的特征谱线。基尔霍夫因此断定，太阳中必存在钠、镁、铜、锌、镍等金属元素。

由基尔霍夫开创的光谱分析方法，对鉴别化学物质有着巨大的意义。有许多化学元素，像铯(1860年)、铷(1861年)、铊(1862年)、镓(1863年)、铟(1875年)，都是通过光谱分析而发现的。当天文学家将光谱分析方法应用于恒星宇宙时，马上就证明了宇宙之间物质构

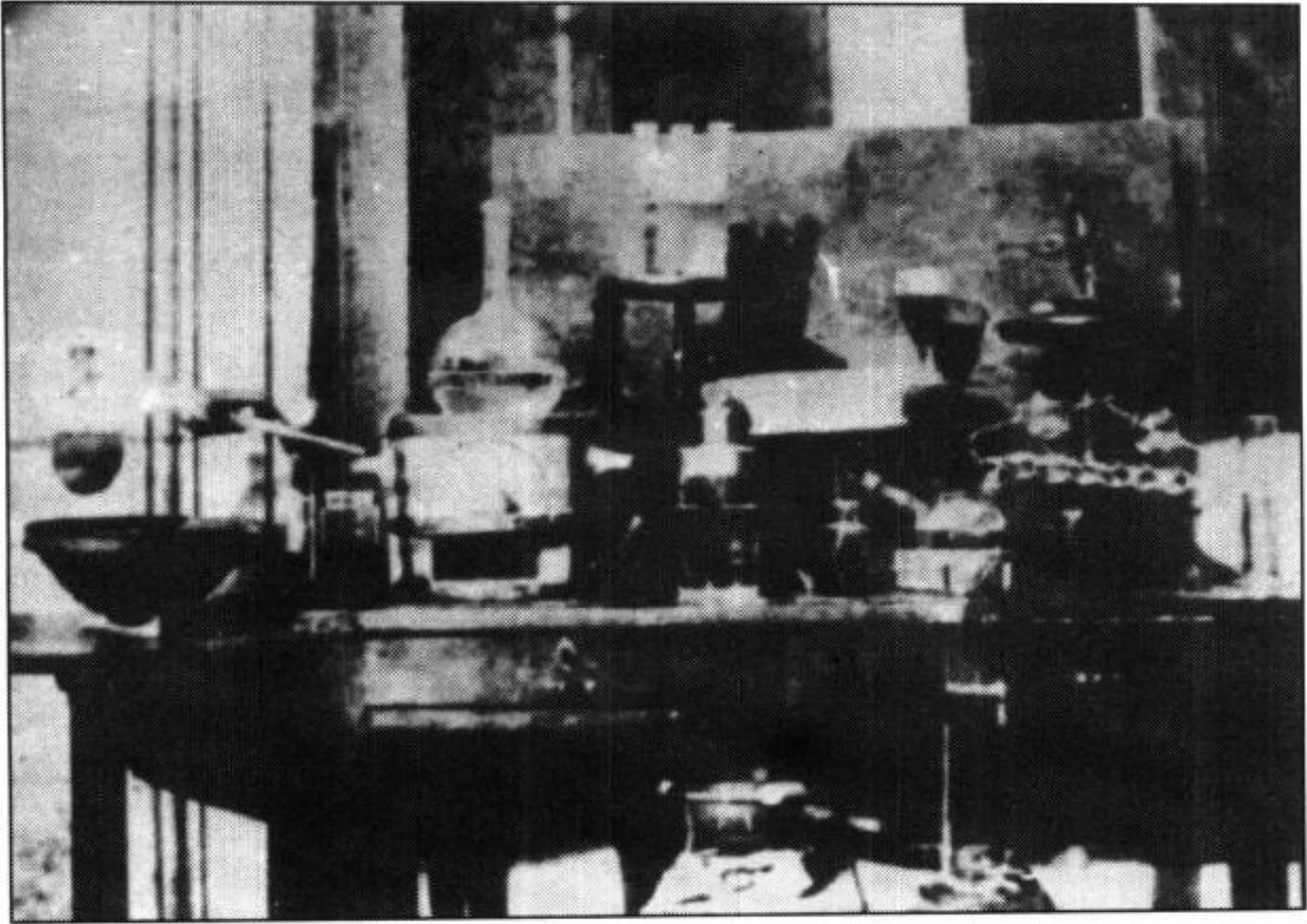


图 27-4 照相术发明不久的实验室照片

成的统一性。据说，正当基尔霍夫从夫琅和费线中考察太阳里是否有金子时，他的管家不以为然地说：“如果不能将太阳上的金子取下来，关心它又有有什么用？”后来，基尔霍夫因为他的伟大发现而被英国授予金质奖章，他将奖章拿给管家看，说：“你看，我不是已经从太阳上取了一点金子下来了吗？”

光谱分析不仅开辟了天体物理学的广阔前景，而且也深入原子世界打开了道路，近代原子物理学正是从原子光谱的研究中开始的。

在 19 世纪光学以及光谱学的发展过程中，照相术的发明也值得一提。它对人类日常生活的意义，是众所周知的。法国发明家涅普斯 (1765—1833 年) 和达盖尔 (1789—1851 年) 合作，于 1839 年造出了第一台实用照相机。它通过一个透镜在暗室里成像，由一块涂有银盐的铜片固定像，图象中明亮的部分使银盐变黑，没

有起变化的银盐被硫化钠溶解掉，于是得到一个不太清晰的永久图像。照相术一出现就引起了人们的极大兴趣，物理学家和天文学家则很快将之用于光谱分析，成了天文观测和光学实验中的重要工具。

4. 光学与电磁学的统一

波动说的确立使光传播的载体问题变得突出。按照水波和声波的类比，光波也应有它的传播媒介。人们一般将这种看不见、摸不着的媒介称为以太。当杨和非涅尔发现光是一种横波后，在以太问题上遇到了困难。对于纵波而言，流体就可以充当媒介，但对横波，其介质必须十分凝固。可是，这样十分坚固的以太为何又没有对天体运动产生阻碍呢？

物理学家们绞尽脑汁，对以太的机械特征进行各种各样的修正和补充，但总是出现新的问题。这些做法均基于一个前提，即把光看成一种机械波。麦克斯韦建立电磁统一理论之后，认为光就是一种波长极短的电磁波，从而在理论上统一了光学与电磁学。光的电磁理论建立之后，光不再被看成机械波，因而以太的机械特征问题就不复存在。但是在经典理论中，由于电磁波的传播同样需要被称为电磁以太的媒介，光的传播媒介不再是机械以太，但代之以电磁以太。

第二十八章

热力学与能量定律

热力学第一定律和热力学第二定律的发现，是 19 世纪物理学最伟大的成就之一。能量守恒定律深刻地显示了物质世界的普遍联系，能量耗散定律深刻地显示了物质世界的普遍发展。这两大定律植根于古典科学，但其有效性远远超出了古典科学的适用范围。它们甚至不仅是对经验事实的概括，而且成了科学理解的基本出发点。

1. 热之唯动说：伦福德伯爵、戴维

热质说支配着 18 世纪后期的热学。它能成功地解释热量守恒定律，还能解释与比热和潜热概念相关的实验事实。但它也有一个弱点，即人们不能肯定热质是否也像所有其它物质一样拥有质量。18 世纪快要结束的时候，一个美国出生的英国物理学家对热质说提出了挑战，他就是本杰明·汤普森，后人常称他为伦福德



图 28-1 伦福德伯爵

伯爵。

汤普森(1753—1814年)生于美国的马萨诸塞州的北沃本恩,他有一段传奇的冒险经历。其人从小没受过什么教育,13岁时在一家小店当学徒,因自制焰火而发生爆炸,本人险些丧命。独立战争爆发时,他站在英国王室一边,反对美国独立。战争以美国人民的胜利告终,汤普森只好背井离乡,随英军来到英国。在英国没呆多久,汤普森就感到没劲,于1783年去了德国,

在巴伐利亚选帝侯手下任要职。1790年,这位选帝侯准备封他为伯爵,请他自己定封号,汤普森选择了他妻子的出生地美国新罕布什尔州的伦福德作为封号,从此人们就叫他伦福德伯爵。

1798年,伦福德在慕尼黑一家兵工厂监督大炮镗孔工作。他在一个偶然的机会发现,被加工的黄铜炮身在短时间内得到了相当多的热量,而被刀具刮削下来的金属屑的温度更高,超过了水的沸点。这个现象显然不是伦福德最先发现的,但他却是最先将之与热质说联系起来考察的人。按照热质说,这些生发出来的热

量来自物质内部包含的热质。可事实上，从青铜中跑出来的热质太多了，以至可以将它本身熔化，这就说明这么多的热量并不像热质说所设想的那样以热质的形式由它自身包含着，热质说是成问题的。伦福德进一步的观察还发现，如果刀具很钝，不能切削出屑末，按照热质说，它就不会有热量流出，可事实上它依然有大量的热量流出，而且看起来，只要不停地钻，热量就可以源源不绝地流出来。这是热质说无论如何也不能解释的。

1799年，伦福德回到英国并创办了皇家学院。摩擦生热的实验促使他得出了热是一种运动的结论。他在《伦敦哲学学报》上发表文章说：“热不可能是一种物质的实体，它只可能是运动。”伦福德的看法引起了正在新创办的皇家学院任教的戴维（1778—1829年）的兴趣，这位未来的大化学家当时只有21岁。他精心设计了一个更有说服力的实验以证实伦福德的观点：在一个绝热装置里，让两块冰相互摩擦，结果两块冰都融化了。虽然有些科学史家认为戴维的实验是不成功的，冰实际上是因为装置漏热才融化的，但当时人们确实认可了他的实验，并认为该实验是对伦福德实验的进一步深化。

保守地说，伦福德和戴维的实验只是指出了热质说的困难，但并没有证明热质是不存在的。况且，他们也没有提出一套新的建设性的学说来取代热质说，去解释那些热质说可以很好解释的热现象。因此，热质说还延续了相当的一段时间。光和热的类比使人们相信，不仅光是一种物质微粒，热也是一种物质。光的波动说的确立，有助于热质说的消亡，而能量守恒定律则使热之唯动说真正取代热质说。

2. 热力学的建立：卡诺

19世纪初，蒸汽机在生产中起着越来越大的作用，但将热转

变为机械运动的理论研究一直未形成。工程师们如瓦特主要凭经验摸索并改进机器。第一次从理论上说明热机运行过程、建立热力学原理的是法国工程师卡诺（1796—1832年）。

卡诺生于名门世家。其父在法国大革命以及拿破仑时期是政界要人，也是一位著名的数学家，曾任政府陆军部长，成功地组织了对欧洲列强来犯的抗击，被誉为“胜利的组织者”。卡诺的弟弟也是一位著名的政治家，其侄儿后来成了法兰西第三共和国的总统。卡诺本人毕业于巴黎综合技术学校，受过良好的数学教育和工程技术训练。1814年，他成了一位军事工程师。1828年，由于拿破仑的倒台，卡诺的父亲被流放，他本人也被迫退役。

1824年，卡诺出版了生前发表的唯一一本著作《关于火的动力的思考》。在这本书中，卡诺提出了他的理想热机理论，奠定了热力学的理论基础。当时生产技术提出的比较紧迫的问题是如何提高蒸汽机的热效率，因为当时所有的热机效率都非常低，大量的热能白白浪费掉，卡诺想从理论上知道究竟热机能有多大的效率。他构造了一台理想热机，即由一个高温热源和低温热源组成、以理想循环工作的热机。他认为，所有的热机之所以能做功就因为热由高温流向了低温热源。他证明了，理想热机的热效率将是所有热机中热效率最高的。他还证明了，理想热机的热效率与高低温热源之差成正比，而与循环过程之中的温度变化无关。

卡诺的结论虽然都是正确的，但他借以论证的思想基础却是热质说。他认为，热机在两个热源之间做功，就相当于水由高处落下做功一样。“我们可以恰当地把热的动力与一个瀑布的动力相比。瀑布的动力依赖于它的高度和水量；热的动力依赖于所用的热质的量和我们称之为热质的下落高度，即交换热质的物体之间的温差。”由于信奉热质守恒原理，卡诺相信热机工作过程中热量并没有损失，这当然是错误的。

卡诺后来意识到将热机与水车类比是不确切的。从1830年

起，卡诺实际上已经抛弃了热质说而转向热之唯动说，并且得出了能量守恒原理。他在笔记中写道：“热不是别的东西，而是动力（能量），或者可以说是改变了形态的运动，它是一种运动。动力是自然界的一个不变量。准确地说，它既不能产生，也不能消灭。实际上它只改变它的形式，也就是说，它有时引起一种运动，有时则引起另一种运动，但决不消灭。”他还在手稿中计算了热功当量。但是由于突然染上霍乱，卡诺于1832年去世，其手稿和笔记直到1878年才由他的弟弟发现并发表。

卡诺的早期工作并未引起人们的注意，只是法国另一位工程师克拉佩龙（1799—1864年）在此基础上的继续努力，才使学界关注热力学的这一重大发展。

3. 热力学第一定律（能量守恒定律）：迈尔、焦耳、赫尔姆霍茨

18世纪，分析力学家们实际上已经得到并开始运用机械能守恒定律，但是，发现广义的能量守恒原理是19世纪40年代的事情。

最早提出这一原理的是德国医生迈尔（1814—1878年）。1840年，他曾经作为随船医生走过爪哇，他发现病人的静脉血比他预计的要红得多，因此开始思考动物热问题。可能就是在这些思考中萌发了能量的所有形式可以互相转换的想法。1840年，迈尔写了“关于无机界能量的说明”一文，以比较抽象的推理方法提出了能量守恒与转化原理。他说：“能量是原因，原因在数量上是不可灭的，在性质上是一些可转化的实体，所以，能量是不可灭的可转化的实体。”在文章的结尾部分，迈尔设计了一个简单的实验，粗略地求出了热功相互转化的当量关系。

迈尔文章的思辨风格使得学界不能接受，第一次投稿时被一

家科学杂志退了回来，后来虽然在另一家杂志上刊登了，但没有引起注意。此后，迈尔又写了几篇文章，继续阐述他的能量守恒和转化原理。他的计算和证明更加严格，推广的范围也越来越宽，包括了化学、天文学和生命科学。可是，他依然得不到人们的理解，长期的孤军奋战使他精神高度紧张。1848年，迈尔的两个孩子相继夭折，弟弟因参加革命活动而被捕，这使他几乎陷入绝境。1849年，他从三层楼上跳下自杀，人虽然没有死，但两腿严重骨折。1851年，他被送进精神病院接受原始而又残酷的治疗，身心遭受进一步的摧残。但是，迈尔的晚年终于看到了自己的工作得到了应得的荣誉，1871年他被英国皇家学会授予科普利奖章。

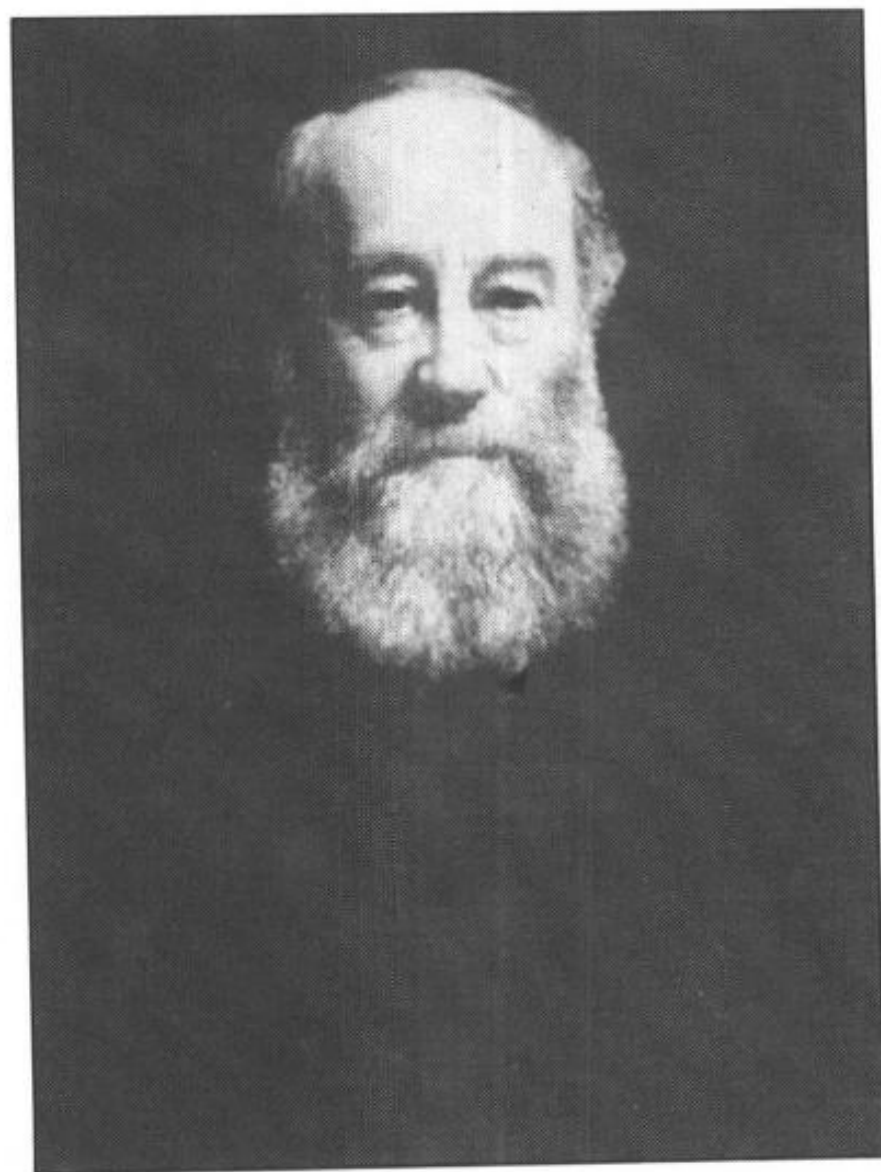


图 28-2 焦耳

与迈尔几乎同时提出能量守恒原理的英国物理学家焦耳，其遭遇也好不了多少。焦耳（1818—1889年）生于英国兰开夏尔，是一位富有的啤酒酿造商的儿子，幼年时因身体不好，一心在家里念书。父亲支持他搞科学研究，在家里为他搞了一个实验室，焦耳因而从小就对实验着迷，而且特别热衷于精密的测量工作。1833年，父亲退休，焦耳不得不经营他家的啤酒厂，但在业余时间，他继续进行

关于热量和机械功的测定工作。

1840年，焦耳测量电流通过电阻线所放出的热量，得出了焦耳定律：导体在单位时间内放出的热量与电路的电阻成正比，与电流强度的平方成正比。焦耳定律给出了电能向热能转化的定量关系，为发现普遍的能量守恒和转化原理打下了基础。

1843年，焦耳用手摇发电机发电，将电流通入线圈中，线圈又放在水中以测量所产生的热量。结果发现，热量与电流的平方成正比。这个实验显示了

机械做功如何转变为电能，最后转变为热。在此实验的基础上，焦耳进一步测定了机械功的量，从而第一次给出了热功当量的数值：每千卡热量相当于460千克米的功（即将460公斤物体提升1米或1公斤物体提升460米所做的功）。他认为，热功当量的测定是对热之唯动说的有力支持，也是对能量不灭原理的一个重要表述。

以后，焦耳又以多种方式测定热功当量。1845年，他设计了气体膨胀实验，测得热功当量为每千卡热量相当于436千克米的

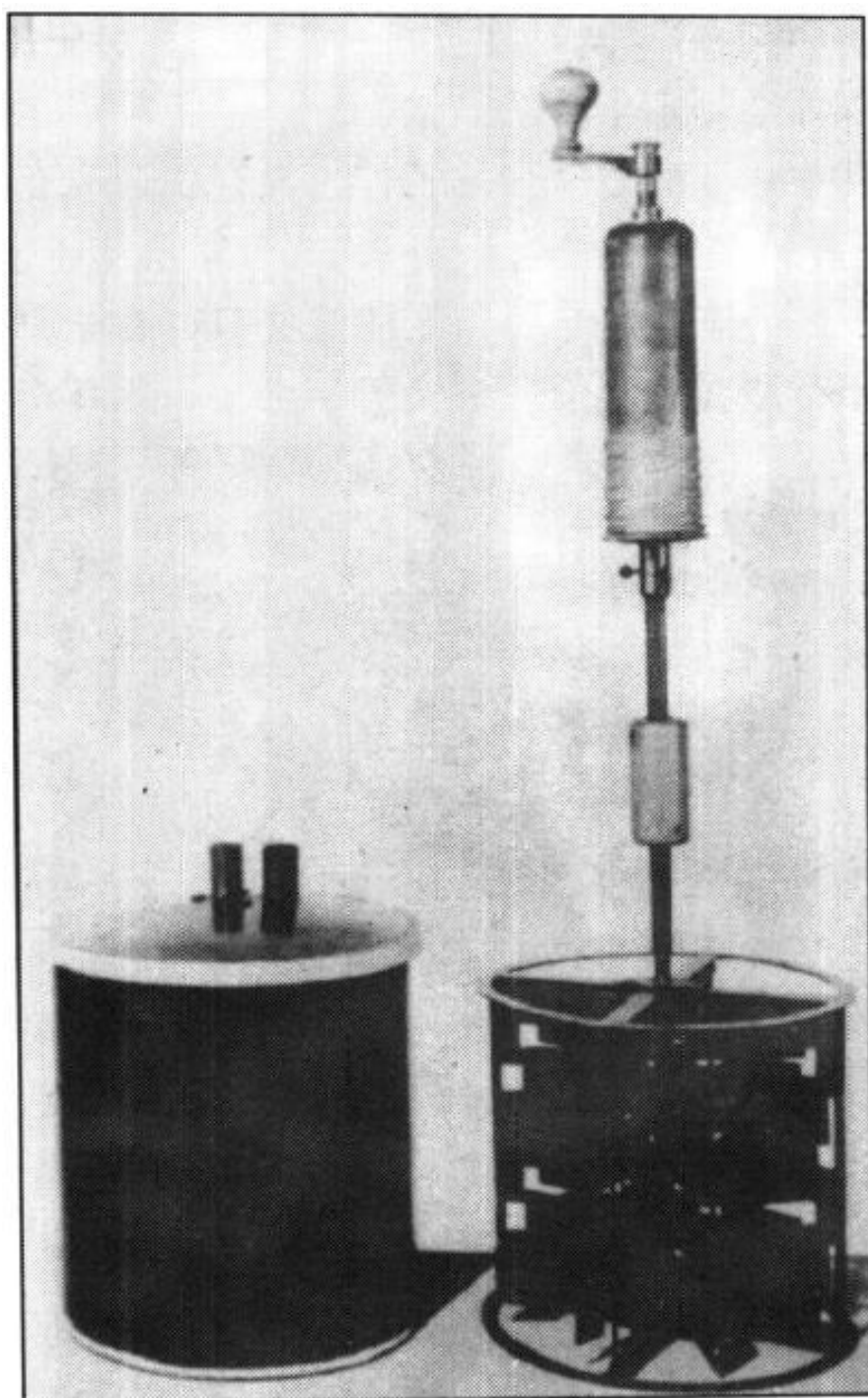


图 28-3 焦耳的搅水实验

功；1847年，他设计了在一个绝热容器中用叶轮搅动水的方法，更精确地测定了热功当量。

焦耳的划时代的工作也没有引起应有的注意。也许因为他只是一位业余的实验爱好者，皇家学会拒绝发表他早期的两篇论文。他的关于热功当量测定的论文只得在一家报纸上全文发表。1847年，在英国科学促进会的年会上，焦耳希望报告他正在做的测量



图 28-4 赫尔姆霍茨

热功当量的实验。会议主席只允许他作简短的口头描述。报告完后席间有一位青年人站起来，对报告进行了高度的评价，并以他雄辩的口才引起了与会者对焦耳报告的注意和兴趣。这位青年人就是当时23岁的威廉·汤姆逊，后来成了英国著名的物理学家，我们下面还要讲到他。

到了大约1850年，以焦耳实验为基础的能量守恒原理得到了公众

的认同。为争取这一局面，德国物理学家赫尔姆霍茨（1821—1894年）作出了重要的贡献。1847年，赫尔姆霍茨发表了“论力的守恒”一文，系统、严密地阐述了能量守恒原理（在德语中，“力”一词向来在“能量”的意义上被使用）。首先，他用数学化形式表述了在孤立系统中机械能的守恒。接着，他把能量的概念推广到热学、电磁学、天文学和生理学领域，提出能量的各种形式相互

转化和守恒的思想。他将能量守恒原理与永动机之不可能相提并论，使这一原理拥有更有效的说服力。

关于能量守恒原理的发现，也发生了优先权之争。事实上，从论文发表的时间上讲，迈尔占先，从提供确凿的实验证据上讲，焦耳占先，从全面而精确地阐发这一原理上讲，赫尔姆霍茨占先。除了这三个人以外，还有其他人也大致同时独立地提出这一原理，他们是：热力学的奠基者卡诺，虽然他的手稿直到死后 46 年才发表；英国律师格罗夫（1811—1896 年），他在 1842 年的一篇著名的讲演“自然界的各种力之间的相互关系”中，提到一切物理力以及化学力在一定条件下将相互转化；丹麦工程师柯尔丁（1815—1888 年），他于 1843 年向哥本哈根科学院提交了关于热功当量的实验报告。

能量守恒原理揭示了自然科学各个分支之间惊人的普遍联系，是自然科学内在统一性的第一个伟大的证据。由于它主要借助热功当量的测定而得以确立，故常常被称为热力学第一定律。由能量守恒和转化定律，我们可以发现，人类所能运用的能源除核电外均最终来源于太阳，煤和石油是远古时代的植物化石，其储存的能来自植物；人体象一架机器主要靠食物提供能源，肉食来源于其它动物，而所有动物的最终食物是植物。所有的植物均通过光合作用吸收太阳能，它所储存的能来自太阳。现代电力除火电外还有水力发电，它利用的是江河湖海的水位落差，这些落差之所以能不断保持，也是因为阳光对海水的不断蒸发。被蒸发的水落到高原地带，维持原有的水位落差。“万物生长靠太阳”确实是一句至理名言。

4. 热力学第二定律（能量耗散定律）：开尔文、克劳修斯

卡诺之后热力学的发展以及热力学第二定律的建立都与威廉汤姆森（1824—1907年）有关。这位后来以开尔文勋爵（1892年册封）而著称的英国物理学家从小是个神童，11岁就上格拉斯哥大学学习数学，并发表他的第一篇数学论文。开尔文1841年进入剑桥大学，1845年毕业，1846年当上了教授。这一年，开尔文研究地球年龄问题，

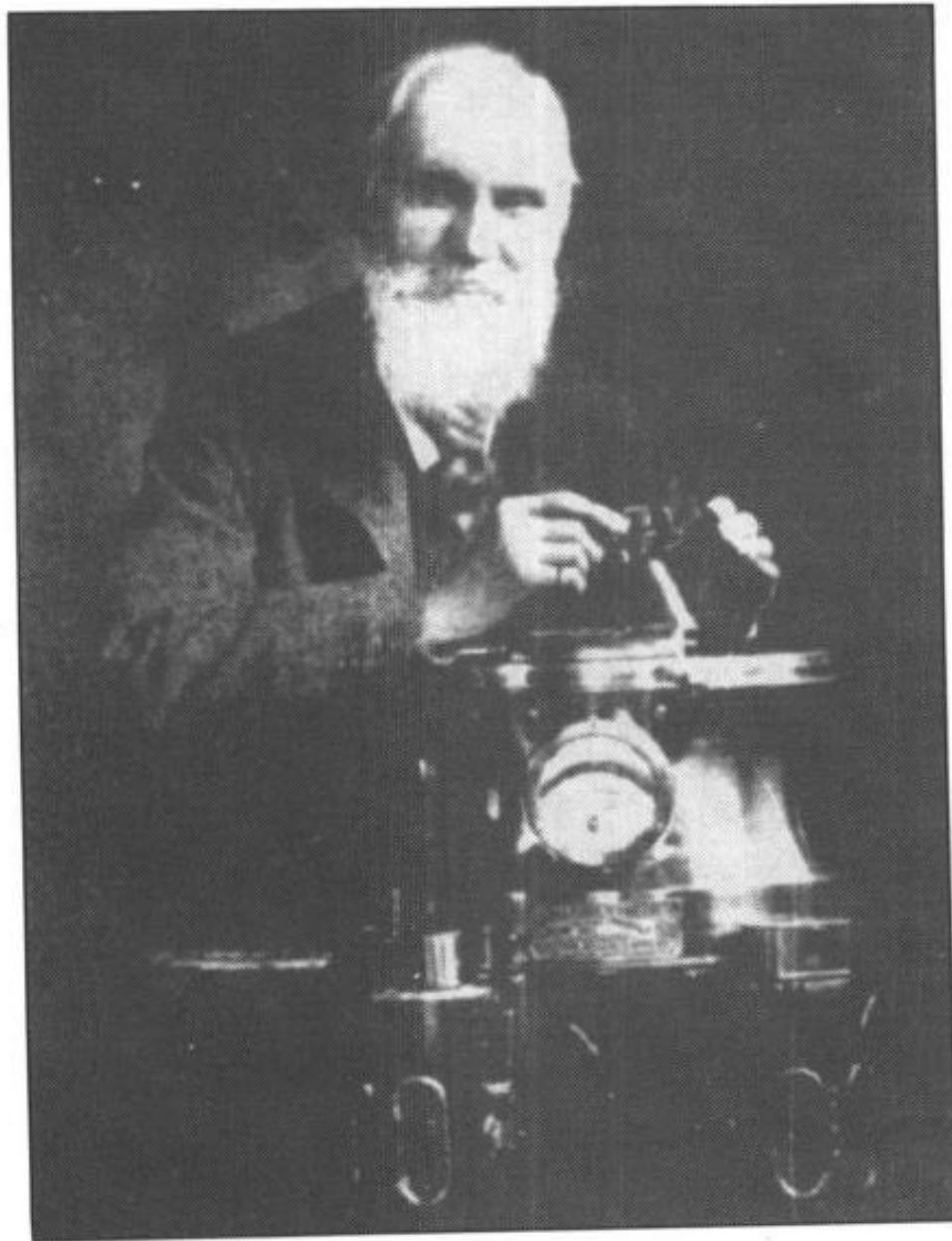


图 28-5 开尔文

他假定地球最初是从太阳中分离出来的，温度一样，以后慢慢冷却，他估计，要达到现在的温度可能需要数百万年。此外，他认为太阳的能量主要来自引力收缩，因此太阳照耀地球的时间也不会超过几亿年。当然，这些年龄值都太小了，原因是，开尔文不知道，地球在冷却过程中，内部还有热源，而且，太阳的能量主要来自

引力收缩，而来内部的核反应。

开尔文对地球冷却问题的研究涉及到能量耗散问题。在牛顿物理学的框架里，这个问题是无法处理的，因为从根本上讲，牛顿运动方程处理的是一些可逆过程，时间的倒流对牛顿力学而言是完全可能的。可是实际上，我们在现实的物理世界中，从未见过时间的倒流现象：打碎的镜子不会自动复原、泼出的水不会自动收回、人不可能越活越年轻、我们只记得过去的事情而不可能记得将来的事情。这些不可逆过程是牛顿力学所不能把握的。虽然牛顿本人并不把宇宙看成一架完美无缺的机器，他相信宇宙之中一定有耗散，因此需要上帝不时地予以修理，可是他的理论却客观上表明不需要上帝的干预。

卡诺在研究其理想热机做功的过程中，得出这样一个结论，即理想热机是所有实际热机中热效率最大的，而且这个热效率是不可能达到的。因为热从高温流向低温是一个必然的过程，但由于热机设计的不周到，不可能完全将这个过程利用起来做功。这里，实际上已经包含了热力学第二定律的基本思想：热总是不可避免地要从高温热源流向低温热源，虽然能量总量没有丧失，但它越来越丧失做功能力。

卡诺的工作最先引起开尔文的注意。1848年，开尔文发表“建立在热之动力的卡诺学说基础上和由卡诺的观察结果计算出来的一种绝对温标”的文章，文中指出，卡诺已经表明，热机中的热功关系只取决于热量和温度差，但温度差尚没有一绝对的量度。开尔文根据法国物理学家查理（1746—1823年）所发现的查理定律，即温度每降低一度，气体的体积就缩小零度时的体积的 $1/273$ ，得出结论说，在摄氏零下273度时，气体的动能为零，因而是真正的零温度。因此，开尔文建立了以摄氏零下273度为绝对零度的绝对温标。

1849年，开尔文发表“关于卡诺学说的说明”，指出卡诺关于

热机做功并不消耗热的看法是错误的，卡诺理论应该予以修改。1851年，他发表“论热的动力理论”，系统阐述了修改后的热力学理论，文中第一次提出了热力学第一定律和第二定律的概念。其中第二定律是：从单一热源吸取热量使之完全变为有用的功而不产生其它影响是不可能的。这个表述等价于一切永动机的不可能，这种永动机单靠从海水或土地中吸取热量而做功。

与此同时提出热力学第二定律的还有德国物理学家克劳修斯（1822—1888年）。1850年，他发表“论热的动力与由此可以得出的热学理论的普遍规律”一文，对卡诺的理想热机理论进行了新的修正和发展，提出了著名的克劳修斯等式，即热机从高温热源吸取的热量与该热源温度之比，等于向低温热源所放热量与该热源温度之比。由该等式可以直接推出理想热机的热效率与两热源之温差成正比的结论。为了论证所有实际的热机效率都不可能高于卡诺热机，他引入了另一种形式的热力学第二定律：热量不可能自动地从较冷的物体

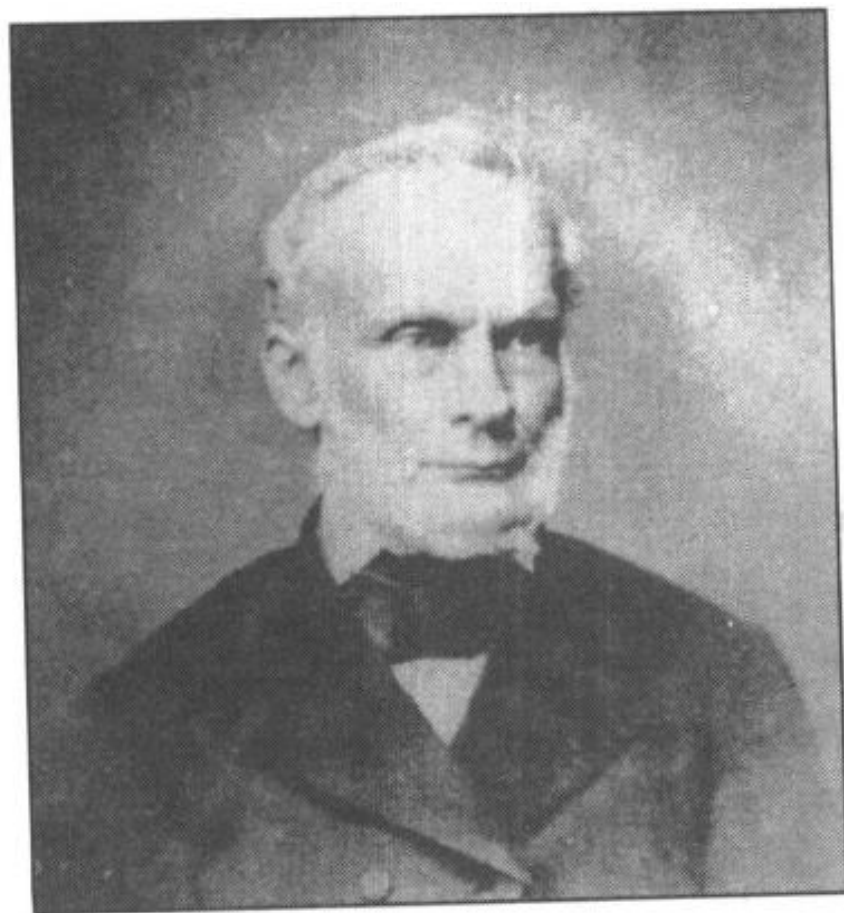


图 28-6 克劳修斯

转移到较热的物体，为了实现这一过程就必须消耗功。

1854年，克劳修斯又发表“论热的机械理论的第二原理的另一形式”，给出了热力学第二定律的数学表达式。1865年，他发现一个系统热含量与其绝对温度之比在系统孤立（不与外界发生能量交换）之时总是会增大，在理想状态下它将保

持不变，但在任何情况下都不会减少。克劳修斯将之命名为“熵”，热力学第二定律因而被说成是熵增定律。

熵其实是能量可以转化为有用功的量度，熵越大，则能量转化为有用功的可能性越小。这样，克劳修斯就将热力学的两个定律表述如下：第一定律，宇宙的总能量是守恒不变的；第二定律，宇宙的熵趋向于一个最大值。

热力学第二定律直接导致了所谓“宇宙热寂说”，由于宇宙中的能量转化为有用功的可能性越来越小，宇宙中热量分布的不平衡逐步消失，最后，整个宇宙就将达到热平衡状态，不再有能量形式的变化，不再有多种多样的生命形式，宇宙在热平衡中达到寂静和死亡。

这确实是一种悲观的看法，但现在还没有证据说热力学第二定律不能适用于整个宇宙，新的自然科学正在试图消除宇宙热寂说。

热力学第二定律一个有意义的突破在于，它突出了物理世界的演化性、方向性和不可逆性，给出了与牛顿宇宙机器图景完全不同的世界演化图景。尽管这个演化是向下的、越来越糟的演化，它与进化论所揭示的生命世界里向上的、越来越高级的演化形成对照，但它们共同发展了“演化”概念，深化了人类对宇宙的认识。“发展”和“演化”的概念越来越成为新自然观的主题。难怪有位著名作家会说，不了解热力学第二定律与不懂得莎士比亚同样糟糕。

第二十九章

物理和化学中的原子论的兴起

19 世纪，物质的原子结构学说获得了广泛的认同。在此基础上，物理学发展出了对热力学的分子运动论解释，化学原子论则引入了定量分析的方法，使无机化学走向系统化。

1. 气体定律与气体模型

人们虽然不知道气体的微观构成，但关于气体宏观性质的研究却已持续了几个世纪。17 世纪，英国化学家波义尔曾经发现了气体的压强与体积成反比的波义尔定律。18 世纪，人们开始进一步研究气体体积与温度之间的相互关系。法国物理学家阿蒙顿和查理均先后发现，一定质量的气体在一定压强之下，其体积的增加与温度的升高成正比。大约在 1800 年左右，法国的另一位化学家盖—吕萨克（1778—1850 年）对多种气体做了实验，最终确立了这一关系，后世称之为盖—吕萨克定律。

应该如何解释这些从实验中总结出来的经验定律呢？气体的弹性早就引起了人们的格外注意。波义尔曾经提出两种微粒模型来解释。第一种模型认为气体粒子相互挤在一起，但它们每一个都具有弹性，就像羊毛团放在一堆一样；第二种模型认为，气体粒子并不改变自己的大小，也不紧紧挨着，但都处于剧烈的运动之中。牛顿曾经比较倾向于第一种观点，他设想气体粒子也许受某种与距离成平方反比的斥力作用，这样就可以很好地解释波义尔定律。

1738年，瑞士数学物理学家丹尼尔·伯努利给上述第二种模型一个更为精确的说明。他认为，组成气体的微粒极其微小，以致数目无比巨大，它们以极高的速度彼此冲撞，作完全弹性碰撞，因此，容器壁所受到的气体压强可以看成是大量气体微粒冲撞的结果。这样，伯努利第一次提出了气体压强的碰撞理论，并且从这个理论推出了波义尔定律。

伯努利的理论没有引起足够的注意，以致伟大的思想延误了一个世纪之久。原因之一可能是，该理论所引为前提的热之唯动说在当时没有市场。到了19世纪，情况发生了改变，由于能量守恒定律的建立，热之唯动说受到了人们的重视和认同，伯努利的理论终于被再一次提出。

2. 分子运动论：克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼

1820年，英国一位铁道杂志的编辑赫拉派斯（1799—1868年）独立地提出了伯努利曾经提出的气体理论。他不仅认为气体压强是气体粒子碰撞的结果，而且明确提出气体温度取决于分子速度的思想。1848年，焦耳在赫拉派斯工作的基础上，测量了许多气体的分子速度。在他的推动下，分子运动论引起了越来越多人的重视。

1856年，德国物理学家克里尼希（1822—1879年）发表“气体理论概要”，对气体分子运动论的发展起了重要的推动作用。热力学第二定律的重要阐述者克劳修斯读到这篇文章后，于次年推出了自己的论文“论我们称之为热的那种运动”。文中创造性地引入了统计概念，将宏观的热现象与大量微观粒子运动的统计效应相联系。1858年，克劳修斯又发表“关于气体分子的平均自由程”，将气体分子运动论提高到了定量研究的水平。克劳修斯认为，由于分子很小，单独一次碰撞不可能为我们察觉，但由于分子数非常之多，碰撞次数也非常之多，其总体效应就不是一次次的撞击，而是一种比较稳定的作用力，即我们称之为压力的力。他假定，分子之间全都做完全弹性碰撞，并且分子的动能对应于气体的温度，这样，如果密度增加，碰撞的次数就要增加，压强因而也要增大，这就导出了波义尔定律；如果温度升高，则分子的动能增大，压强也要增大，这解释了盖-吕萨克定律。

在克劳修斯工作的基础上，19世纪伟大的物理学家、电磁理论的集大成者麦克斯韦继续将概率统计的方法引入分子运动理论中。1859年，他发表“气体分子运动论的阐明”一文，修正了克劳修斯关于给定气体中所有分子的速度均相等的概念，用平均动能作为温度的标志。

气体分子运动论的一个有意义的结果是给热力学第二定律一个微观的解释，它最先是由奥地利物理学家玻尔兹曼（1844—1906年）给出的。第二定律提出后，引起了物理学界的极大兴趣，分子运动论面临的一个问题就是如何解释这个定律。但完成这个任务存在一个根本的困难：微观分子的运动遵从牛顿运动定律，是一种可逆过程，而热力学第二定律却表明物理过程是不可逆的，这两者之间存在矛盾。玻尔兹曼表明，所谓热力学系统的“熵”，其实是分子排列的混乱程度。对大量数目的分子进行随机排列，几乎所有的排列都是会混乱的，但也不排除完全有序的排列。例如，

所有的分子全部跑到容器的一边，而让另一边完全空着。不过这种排列的可能性微乎其微，而最大的可能性是越来越混乱。因此，从分子运动论的角度看，热力学第二定律并不是绝对不可能违反，但违反的可能性极小极小。

麦克斯韦提出一个假想实验，以表明热力学第二定律是可能被违反的。把一个容器分成两部分，一部分



图 29-1 玻尔兹曼

充入高温气体，一部分充入低温气体，中间用一个薄膜隔开。如果在薄膜上开一个小洞，按照热力学第二定律，高温部分的热量必流向低温部分，最终在两者之间达成热平衡。但麦克斯韦设想有一个小精灵守在这个小洞旁边，当它发现高温部分的低速分子过来时，打开隔膜放行，当低温部分的高速分子过来时，也放行，其他时间将洞口封上。这样，高温部分温度越来越高，低温部分温度越来越低，热力学第二定律就被打破。这个小精灵被称为麦克斯韦妖。当然，这个破坏熵增定律的实验是不会成功的。麦克斯韦妖为了判断分子的速度大小以及打开和关闭洞口，都要消耗

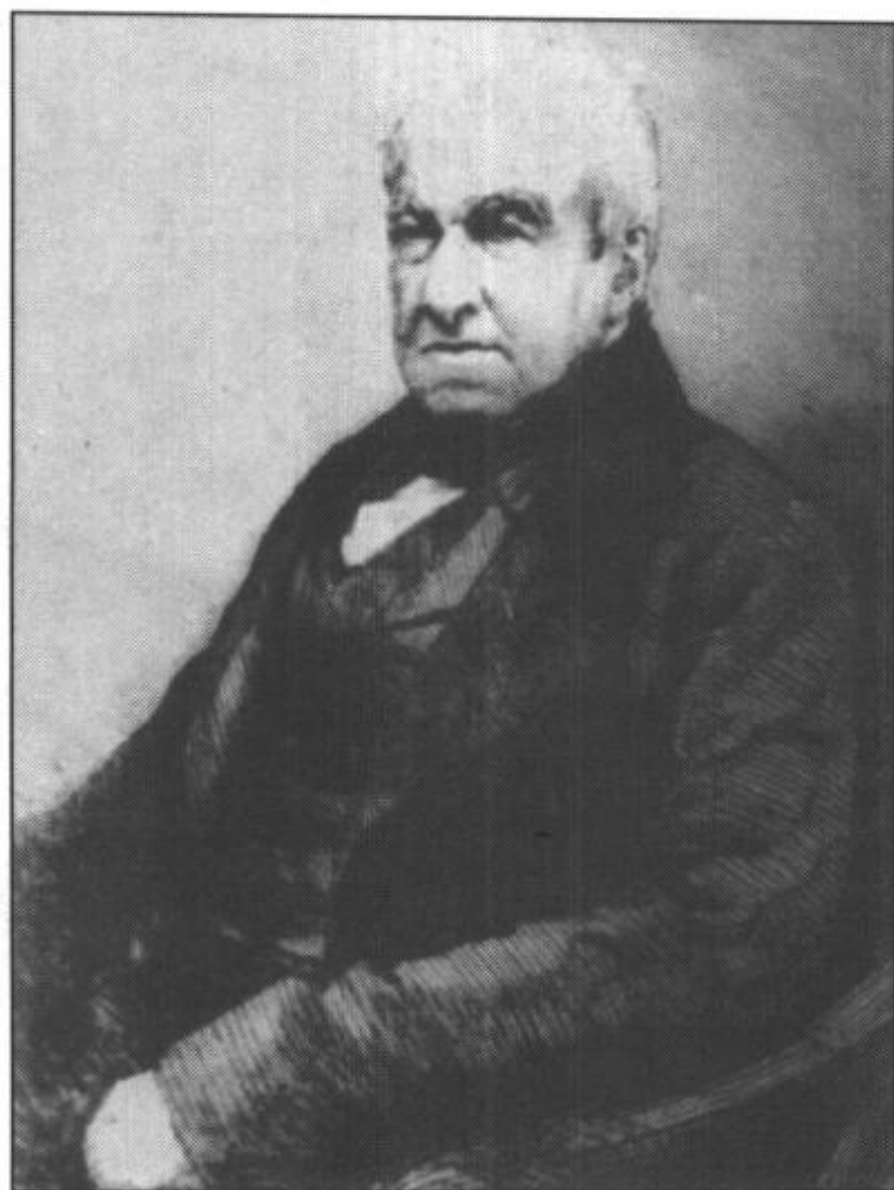


图 29-2 布 朗

能量，为了实现热量由低温向高温逆流，环境可能要付出更大的代价。

1889年，法国著名数学—物理学家彭加勒（1854—1912年）证明了，服从牛顿运动定律的任何力学体系，最终都将回到其起始状态，只要它的总能量保持不变。这一结论又引起了问题，究竟微观物理过程是不是可逆的过程？如果微观过程真的遵循牛顿定律，又如果彭加勒是对的，

那么它最终是可逆的。如果真是这样，宇宙热寂问题就解决了，但科学家对此的看法并不一致，迄今为止，这个问题也还没有解决。

分子运动论假定分子作为物质实体是存在的，但整个19世纪没有人见到过分子。1827年，英国植物学家布朗（1773—1858年）在显微镜下发现花粉颗粒有迅速而无规则的运动，这本来可以作为分子存在的一个证据，但未引起人们的注意。结果在19世纪末，虽然分子运动论有了这样大的发展，居然还有许多大科学家不相信分子、原子这些物质微粒的存在。争论直到20世纪初才由实验解决。

3. 道尔顿的原子论

19世纪化学的最重要的成就是道尔顿原子论的提出和确立。道尔顿(1766—1844年)生于英国坎伯兰,是一位纺织工人的儿子。他只上了两年学就退学了,不久,12岁的道尔顿就开始在教会学校教书,教会学校停办后又在一所中学教书。少年时代的这些教学生涯,使他对科学研究发生了兴趣。他早期主要关注气象学,由气象学走到了研究化学,而且在他成为一个著名的化学家之后,他对气象学的兴趣也未减弱,仍然保持记气象日记的习惯。据说他一生记了约20万次气象记录。道尔顿不是那种天资卓著的人,但他勤奋、刻苦,不折不挠,终于以原子论学说为现代化学奠基。

拉瓦锡已经给出了科学的元素概念,即通过化学反应所能分析出来的最基本的物质成分,而且也给出了化学反应方程式。后来的化学家进一步发展了定量的化学分析,得出了化合过程的定比定律:一种化合物中构成元素的重量之比一定是整数之比。例如,含两种元素的化合物,它们的



图 29-3 道尔顿

比例可能是3比2，而不可能是小数比。但是，这些经验定律缺乏更深层的理论基础。

1803年，道尔顿将希腊思辨的原子论改造成定量的化学原子论。他提出了下述命题：第一，化学元素是由非常微小的、不可再分的物质粒子即原子组成；第二，原子是不可改变的；第三，化合物由分子组成，而分子是由几种原子化合而成，是化合物的最小粒子；第四，同一元素的所有原子均相同，不同元素的原子不同，主要表现为重量的不同；第五，只有以整数比例的元素原子相结合时，才会发生化合；第六，在化学反应中，原子仅仅是重新排列，而不会创生或消失。这种新的原子论很好地解释了定比定律。1808年，道尔顿出版《化学哲学的新体系》，系统地阐述了他的化学原子论。

早在1801年，道尔顿就在气体研究中发现了所谓分压定律。定律说，在同样的温度下，混合气体所产生的压强等于各气体在单独占有整个混合气体体积时所产生的压强之和。有的科学史家认为，道尔顿提出原子论也是为了解释他自己发现的这个分压定律。

道尔顿的原子论提出之后，由于其高度的形象化和解释力，很快被化学家们接受。道尔顿获得了很高的荣誉。但这位自学出身的科学家同法拉第一样极为谦逊，乐意接受来自各方面的批评。据说他是个色盲，他本人还据此写了一篇有关色盲的论文。由于他是第一个描述这一生理现象的人，现在人们有时还将色盲叫做道尔顿现象。1832年，牛津大学授予他博士学位时，国王打算召见他。当时博士礼服是红色的，可他虔诚信仰的教派禁止穿红色衣服，所幸是他是个色盲，根本认不出来红色，结果他穿着他自己看来是灰色的礼服去见了国王。

4. 原子量的测定

道尔顿创立原子论的一个主要目标即确定单质和化合物中原子的相对重量，但是，由于他当时没有考虑到元素化合时定比的多样性，所以没有能测得准确的原子量。例如，他（以氢的原子量为1作为标准）根据水是由8份氧气和1份氢气化合而成，得出氧的原子量是8。实际上，他自己后来也发现，氧和氢化合成水有许多种定比方式，正确的化合方式是两个氢原子与一个氧原子相化合，这样氧的原子量应是16。

1808年，盖-吕萨克发现了气体化合前后体积有十分简单的比例关系，世称盖-吕萨克气体化合体积定律。如果化合反应后所产生的化合物在实验室温度下仍然是一种气体，那么化合物的体积与参与化合的元素体积有一种简单的关系。例如，2个体积的氢气加1个体积的氧气化合成2个体积的水蒸汽，1个体积的氮气加3个体积的氢气生成2个体积的氨气等等。这使他设想，相同体积中的不同气体所含原子数目均相同。他原以为这是对道尔顿原子论的支持，没想到，道尔顿坚决反对这一设想，因为在道尔顿看来，不同元素的原子大小并不相同，同体积的不同气体的原子数不可能相等。

为了解决这两人之间的矛盾，意大利物理学家阿伏加德罗（1776—1856年）于1811年提出分子概念，从而修正了盖-吕萨克的定律：所有相等体积的气体，无论是元素还是化合物，或者混合物，都有相等的分子数。他对道尔顿的解释是，气体元素的最小粒子不一定是单原子，很可能是由多个原子结合成的单一分子。这样就调解了道尔顿与盖-吕萨克之间的争端：同等体积里的气体原子虽然不一样多，但分子数目是一样的。

但是，阿伏加德罗的修正长期没有得到化学界的重视，一个



图 29-4 柏采留斯

原因是他的叙述有些含糊不清,另一个原因是与瑞典化学家柏采留斯(1779—1848年)的电化二元论相矛盾。柏采留斯认为,化合物中不同元素的原子带相反电荷,它们靠静电吸引力相互吸引,因此相同的原子不可能结合成分子。此后近半个世纪,化学家们虽然继续测定原子量,但彼此标准不

一样,测得的相对原子量也不一样。1860年9月,在德国卡尔斯鲁鲁举行了有各国化学家参加的国际化学会议,这是化学史上一次极重要的会议,就原子量问题展开了热烈的讨论,但彼此意见分歧很大,未取得一致。会议快结束时,意大利化学家坎尼查罗(1826—1910年)散发了他于1858年发表的论文,呼吁重新重视阿伏加德罗定律,只有接受它化学式问题和原子量问题才能真正解决。坎尼查罗的论文产生了决定性的影响,他的观点很快得到人们的赞同,原子—分子论才算最后确立了。

在这期间,柏采留斯从大量化学反应实验中,经验地测定了许多元素的相对原子量,其他化学家亦从化学实验中发现了不少新元素。原子—分子论确立之后,原子量的测定工作走上了正轨。

5. 元素周期律的发现：门捷列夫

随着大量元素的发现以及原子量的精确测定，人们开始探讨元素性质与原子量的变化关系。很早以来，化学家就知道了某一类元素具有相似的化学性质，将这些元素按原子量大小排成一列，则可以发现列中每一元素的原子量大致等于前后元素原子量的平均值。有关这类数值关系的探讨十分活跃，形成了发现元素周期律的先声。最终提出元素周期律的是俄国化学家门捷列夫（1834—1907年）。

门捷列夫生于西伯利亚，是一大家兄弟姐妹中的最后一个。父亲是当地一所



图 29-5 门捷列夫

中学的校长，但当门捷列夫很小的时候，父亲就因双目失明而退休。沉重的家庭负担落在了母亲的肩上，这位刚毅的女人开了一家玻璃厂以维持一家的生计，并且勉强带大了所有的孩子。1848年，门捷列夫的父亲去世了，母亲的工厂也因失火倒闭，他本人刚刚高中毕业，便随母亲来到了莫斯科。他们此行的目的是想进一所大学，可没有一所大学愿意对他敞开大门。1850年，母亲又带着他到圣彼得堡，在朋友们的帮助下终于进了彼得堡师范学院。在安排妥当小儿子的前途之后，这位伟大的母亲就去世了。门捷列夫后来将自己的著作献给自己的母亲时说：“她通过示范进行教育，用爱来纠正错误，她为了使儿子能献身于科学，远离西伯利亚陪伴着他，花掉了最后的钱财，耗尽了最后的精力。”门捷列夫没有辜负母亲的厚望，他在大学里刻苦学习，最终以第一名的成绩完成了学业，并赴法国和德国深造。他参加了1860年那次著名的卡尔斯鲁化学大会，坎尼查罗的论文给他留下了深刻的印象。次年，门捷列夫回国，在彼得堡工艺学院任教，1865年被彼得堡大学聘为化学教授。

1869年，门捷列夫发表了他关于元素周期性质的研究，提出元素性质与元素的原子量之间存在周期性变化规律，并给出了第一张元素周期表。在俄罗斯化学协会的例会上，门捷列夫请人宣读了他的论文“元素性质与原子量的关系”（他本人因病未能出席）。文中提出了元素周期律的两大基本要点：第一，元素按照原子量的大小排列后，呈现出明显的周期性，第二，原子量的大小决定元素的特征。门捷列夫运用了前人创造的原子价的概念对元素进行分类。所谓原子价就是该原子与其它原子结合的能力，原子价为1的原子可以与一个别的原子结合，原子价为2的原子可以与两个别的原子结合等等。门捷列夫发现，按原子量大小排下去，原子价的大小会出现周期性，这样，他将相同原子价的元素排在同一竖栏，形成了周期表。

门捷列夫在发表周期表的同时，将它们的副本寄给了欧洲各国的同行们，使他们及时地了解他的工作。其实，与门捷列夫同时，德国化学家迈耶尔（1830—1895年）也于1869年给出了他所得到的元素周期表，所开列的元素数目少一些，但揭示的规律性基本与门捷列夫相同。不同的是，门捷列夫除了将当时已知的所有63种元素全部列入表中外，还留下了一些空位，这些空位标有原子量，但没有名称，因为当时还没有发现这些元素。空位表现了门捷列夫周期表的预测性。

第一张周期表公布之后，门捷列夫继续深入研究，运用新发现的周期律反过来修正了不少元素的原子量。既然原子量决定了元素的化学性质，那么从其化学性质以及它在周期表中的相关位置，可以推测出它的实际原子量。1871年，门捷列夫发表了修正后的第二张元素周期表。

像所有新生事物一样，门捷列夫周期表一开始也遭遇了怀疑和嘲笑，但是，没过几年，化学家相继发现了门捷列夫在周期表的空位中所预言的那些元素，人们终于认识到了元素周期表的巨大意义。

门捷列夫一下子成了国际知名的大化学家、俄国人心目中的科学英雄，可是他并没有得意洋洋，依然保持着昔日平易近人和谦虚谨慎的作风。他没有与迈耶尔发生过优先权之争，虽然他的工作在后发表在先。他们两人后来很友好地会见过，门捷列夫高度称赞迈耶尔的成就。门氏还是一位进步的科学家，曾经公开抗议过沙皇迫害学生的行为，据说，因此他没有被选上俄罗斯帝国科学院的院士。1906年，他以一票之差未能获得诺贝尔化学奖，但他不朽的科学业绩已永远载入了科学史册。

6. 有机化学的诞生：维勒、李比希

19 世纪化学的另一个重大发展是有机化学的创立与发展，它与 18 世纪产业革命以来化学工业的迅速发展直接相关。有机物的分析、合成和提纯问题摆在了化学家的面前。化学原子论的确立，使无机化学奠定在坚实的理论基础之上，也为有机化学提供了示范。

早在 18 世纪，瑞典化学家席勒（1742—1786 年）即发明了提取有机酸的方法，使人们获得了更多纯粹的有机化合物；大化学家拉瓦锡也将他的氧化学说用于有机分析中，对有机物进行了初步的元素分析，得出了所有有机物均含有碳和氢的结论。拉瓦锡还提出，有机物与无机物没有什么本质上的不同，它们大多是氧与一个基团相化合的结果。瑞典著名化学家柏采留斯在拉瓦锡的基础上进一步提出，有机物实际上是某种复合基与氧化合形成的，复合基是本身不含氧的原子团，它有相对稳定性，可以在与其他元素结合时保持不变。

但是，有机化学尚处在概念不清阶段，连什么是有机物都不清楚。大多数人所谓有机物实际上专指动植物组织，加上 18 世纪末生物学界正流行着活力论，关于有机物的研究总带有某种神秘色彩。柏采留斯接受了活力论，并将之作了系统表述。他认为，化学物质分为两类，视其是否来源于有生命的组织而分为无机物和有机物。有机物中含有生命力，因此无机化学的一些定律并不都适合于有机化学。

德国化学家维勒（1800—1882 年）最先破除了有机物与无机物之间的天然鸿沟。1823 年，他从动物尿和人尿中分离出了尿素，并研究了它的化学性质，这项研究使他获得了海德堡大学的博士学位。随后一年，他在柏采留斯的实验室里做了一年研究工作。次

年，回到故乡法兰克福，继续从事他感兴趣的氰化物的研究。有一次，他用氰气和氨水发生反应，得到了两次生成物，一种是草酸，另一种是某种白色晶体，他发现该晶体并不是氰酸氨，进一步分析表明，它竟然是尿素。这使他大吃一惊，因为按照当时流行的活力论的看法，尿素这种有机物含有某种生命力，是不可能

在实验室里人工合成出来的。维勒进一步实验，用多种方法合成出尿素来，因此在1828年，他很有把握地发表了“论尿素的人工合成”一文，公布了他的重大成果。

柏采留斯先是不相信维勒的工作，后来承认了，但又认为尿素并不是真正的生命组织。但无论如何，维勒的工作大大鼓舞了化学家，他们开始在实验室里从无机物合成有机物，使人们对有机物的化学性质了解得越来越多，有机化学作为一门实验科学开始形成了。

被称为有机化学之父的是德国化学家

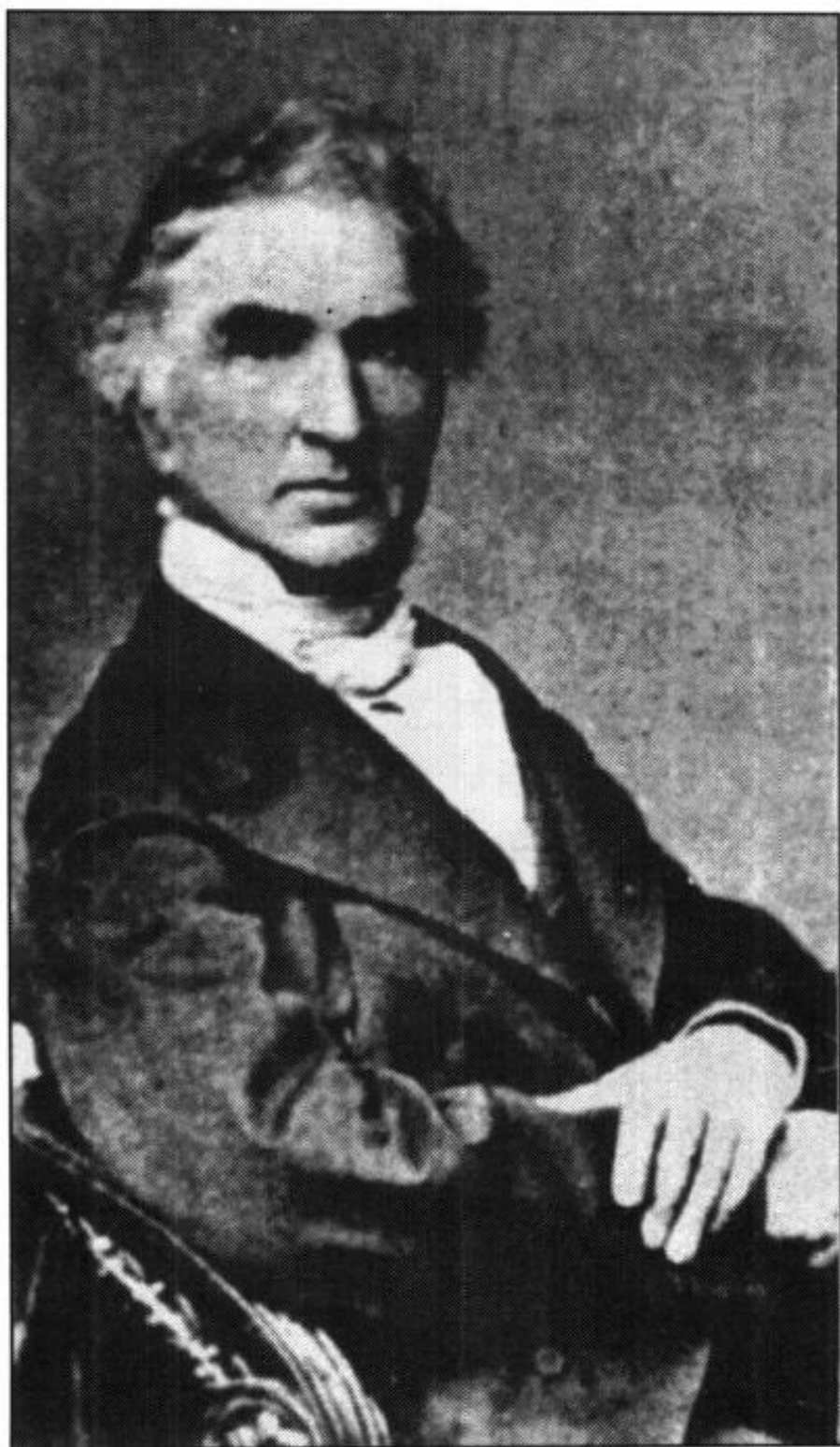


图 29-6 李比希

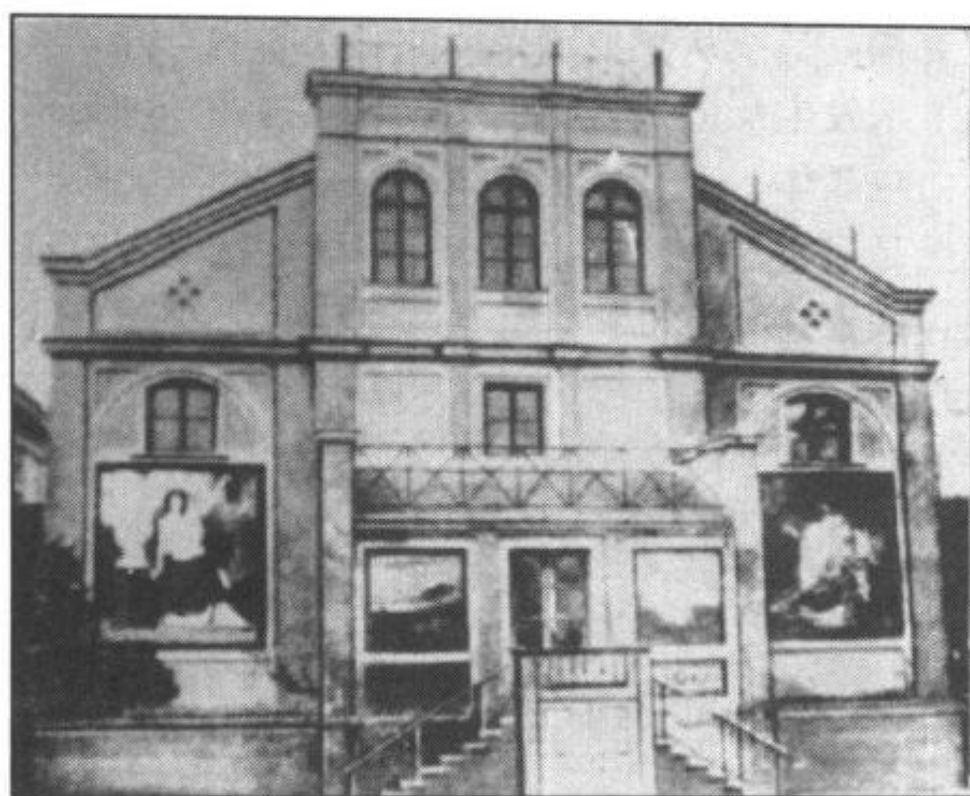


图 29-7 吉森实验室外景

李比希 (1803—1873 年)，他早年留学法国，在盖—吕萨克的实验室里工作。1823 年，他与维勒各自分离了一种氰酸，盖—吕萨克认为它们的分子式是相同的。柏采留斯先也是不信，后来自己作了

研究，证实了这种不同化合物具有相同分子式的现象，他把它们称之为同分异构体。这一概念表明，相同原子的不同排列将导致不同的化学性质，在这一概念引导下，后来发展出了结构化学。

李比希回国后，与维勒一起合作从事有机化肥的研究，使德国在这个领域遥遥领先。他热情而有号召力，周围聚集了一群青年学者，他自 1824 年开始任教的吉森大学成了德国化学的研究中



图 29-8 吉森实验室内景

心。李比希在那里开辟了一个学生使用的化学实验室，深受欢迎。世界各地的化学青年，均投奔德国一个名叫吉森的小城市，那里在很长时期也成了世界化学的中心。

李比希本人在有机化学领域的最重要贡献，是发展了有机化学的定量分析方法。他将有机物与氧化铜一起燃烧，然后精确测定生成



图 29-9 李比希正在做实验

物的各种元素的含量，从而推知有机物的元素结构。运用这种方法，他确定了不少有机物的化学式。李比希的定量分析方法，大大推进了有机化学的发展。

在李比希的领导下，德国化学在 19 世纪中期取得了举世瞩目的成就，同时也带动了德国化学工业的发展。19 世纪下半叶，德国以其化学工业雄踞欧洲列强之首，李比希功不可没。他是第一个尝试用化学肥料代替天然肥料的人，虽然不太成功，但不久就被证明是极为有效的，化肥的使用实际上掀起了一场农业革命，李比希正是这场革命的点火者。

第三十章

19 世纪的天文学

随着 19 世纪光学由几何光学向物理光学的发展，以光学仪器为主要观测工具的天文学也由方位天文学进入了天体物理学。天体物理学的诞生标志着人类对宇宙的认识又跨入了一个新阶段，它使人类对宇宙天体的认识发生了质的飞跃。海王星的发现以及恒星视差的发现，也是观测天文学中激动人心的事件。

1. 恒星周年视差的发现

哥白尼体系提出以来，至关重要的一个观测预言——恒星的周年视差，经过两个多世纪的努力，终于在 19 世纪上半叶被发现。布拉德雷虽然没有发现周年视差，但却意外地发现了光行差，他所达到的精度相当于在 10 公里远处看一根米尺，但这个精度对于周年视差来说还远远不够的。

1834 年，德裔俄国天文学家斯特鲁维（1793—1864 年）将新

制的天文望远镜对准了北天最亮的织女星（即天琴座阿尔法星），试图观测到它的周年视差。经过三年的观测，他得出了织女星有 0.25 角秒的周年视差。大体同时，德国天文学家白塞尔（1784—1846 年）发现，天鹅座 61 号星有 0.35 角秒的视差。英国亨德森（1798—1844 年）则观测到半人马座阿尔法星有 0.91 角秒的视差。这第一批视差的测定以白塞尔的最为准确，织女星和半人马座阿尔法星的准确视差值应为 0.13 和 0.76。虽然有这样大的误差，但其成就是巨大的。观察 0.25 角秒的视差，就像在 20 公里之外看一枚硬币，这样小的尺度，难怪天文学家几个世纪都没有发现。

恒星周年视差的发现不仅彻底证明了地球的运动以及哥白尼的日心地动学说，而且也测定了恒星与地球的距离。半人马座阿尔法星的视差最大，因而是离地球最近的一颗恒星，被人们称之为比邻星，它与地球的距离是日地距离的 272000 倍。如果把空间统统缩小，使地球与太阳的距离变成 1 米，那么太阳将成为一粒直径为 1 厘米的小玻璃球，几大行星均成了肉眼几乎看不见的微粒，太阳系最远的行星冥王星在 40 米远处绕太阳运行，而比邻星却在 270 公里远以外的地方。这幅缩小了的图景，使我们意识到在浩渺的宇宙空间之中，太阳系是何等的微不足道。

2. 海王星的发现

赫舍尔偶然发现天王星（1781 年）之后，天文学家根据天体力学给它编制了运行表。一开始，天王星的实际运动与运行表很符合，但到了 19 世纪 20 年代以后，之间的误差开始显现出来，而到 1830 年时，误差就更大了，想用力学规律预测它未来的位置总是不成功。

天王星的反常运行引起了天文学界的注意。有人怀疑万有引

力定律并不普遍适用，牛顿定律对于那些远离地球的天体也许并不可靠。另一些人则提出，在天王星之外可能还有一颗未知的行星，正是由于它的摄动作用，天王星偏离正常的轨道。在持后一种意见的天文学家中，最著名的有德国数学家和天文学家白塞尔，他曾因测量恒星的周年视差而誉满世界，他的看法因而也被认为有着重要的权威性。

白塞尔的看法虽然有道理，但如何才能找到那颗预想中的行星呢？星海茫茫，用望远镜满天搜寻无异于大海捞针（这也是赫舍尔仅仅“偶然”发现天王星的原因）。只有一个办法，那就是运用天体力学将造成天王星摄动的新行星算出来。

如果已知一个天体，要求它对另一个天体的摄动是很容易的，但反过来就不太容易了，因为该天体的一切均为未知数，不可能通过一次性计算加以确定。可能的办法是先假想一些条件，在这样的条件下计算它对天王星的摄动；再将计算结果与天王星的实际运行表对照，如果不符合，再修改条件，再计算、再核对、再修改，直至计算结果与实际运行吻合为止。这个计算量当然是十分巨大的，加上人们对是否真有这么一颗新行星没有把握，所以，搜寻新行星的工作并没有大张旗鼓地进行。

最先从事这一工作的是英国的青年天文学家亚当斯（1819—1892年）。这位贫苦农民的儿子，靠奖学金在剑桥大学攻读数学直至1843年大学毕业，在学生时代，他就开始研究天王星的运行问题。他沿着白塞尔的思路，在课余时间进行了大量计算，并在大学毕业那一年得出了一个计算结果。大学毕业后，他接着当剑桥的研究生，并继续改进他的计算结果。于1845年得出了新行星轨道的一个令人满意的计算结果，这一年他才26岁。

论文写好后，亚当斯来到伦敦求见皇家天文学家艾里，希望他能帮助确认这颗新行星。艾里拒绝见这位无名小辈，亚当斯只得将自己的论文写成了一篇摘要，请人转交给艾里。艾里接到了



图 30-1 巴黎天文台的望远镜

这篇论文摘要，但由于他本来就认为天王星之反常原因在于万有引力定律不完善，并非新行星的摄动作用，因此对亚当斯断言宝瓶座中一颗 9 等暗星就是新行星表示怀疑，论文摘要也被放置一边。

由于皇家天文台不理睬此事，亚当斯又求助于剑桥大学天文台。当时的天文台台长沙利愿意试一试，但他拖拖拉拉，直到 1846 年 7 月才开始进行观测，而且由于他手头没有该天区完备的星图，虽然两次看到了这颗新行星也未能证认出来。

就在亚当斯计算新行星轨道的同时，法国天文学家勒维烈 (1811—1877 年) 也在进行同样的工作。勒维烈出身也很贫寒，为了到巴黎念书，他父亲甚至卖掉了一间房子。在巴黎，勒维烈考上了综合技术学校。大学毕业后，他先是在盖-吕萨克的实验里当实验员，1836 年，又回到母校当天文教师。他越来越发现自己的特长在天文学方面，因此有意识地继承法国的天体力学传统，将数学分析运用于太阳系行星运动的研究之中。他重新研究了太阳系的稳定性问题，而且因为这一研究，他结识了法国著名的科学家阿拉哥。



图 30-2 勒维烈

家阿拉哥。

阿拉哥当时是巴黎天文台的台长，他希望勒维烈研究一下水星的运动，因为这颗离太阳最近的行星的近日点（即轨道上离太阳最近的一点）由于其它行星的摄动会产生移动，但是其移动量比根据牛顿理论计算出来的多出 40 角秒。

勒维烈提出，水星近日点进动的反常肯定是因为

尚有一颗行星未被人们发现，他将之命名为“火神星”。运用摄动理论，勒维烈算出了“火神星”的轨道与大小，但是天文学家始终没有观察到这颗假想的行星。今天我们知道，水星近日点进动问题在牛顿的框架里确实无法解决，只有爱因斯坦的广义相对论才能给以解释。

天王星的反常运动问题也引起了阿拉哥和勒维烈的注意，大约从 1841 年开始，勒维烈在研究水星问题的同时，也考虑另一颗新行星引起天王星摄动的问题。1846 年 8 月 31 日，他完成了对新行星轨道和大小的计算，写出了“论使天王星运行失常的行星，它的质量、轨道和现在位置的确定”，其结论与亚当斯基本相同。勒维烈将论文提交给了科学院，由于巴黎没有那一天区的详细星图，他又于当年 9 月 18 日将论文寄给了柏林天文台的天文学家加勒（1812—1910 年），还附上了一封信。信中说：“请您把你们的望远镜指向黄经 326 度处宝瓶座内的黄道的一点上，您就将在离此点约 1 度的区域内发现一个圆面明显的新行星，它的亮度约近 9 等……”

9 月 23 日，加勒收到了勒维烈的论文和信，当天晚上就将望远镜对准了勒维烈所说的天区，他仔细地记下了他所观察到的每一颗星，然后将新记录的诸星与不久前刚得到的一张详细的星图进行比较，发现在勒维烈所说的位置以外 52 角秒的地方有一颗星是星图上所没有的。为了可靠起见，第二天晚上他又仔细地进行了观察，发现这颗星果然移动了 70 角秒，正与勒维烈所预言的每天移动 69 角秒相符合。他心中涌起一阵狂喜：又一颗行星被发现了！

柏林天文台沉浸在巨大的欢乐之中。9 月 25 日，加勒给勒维烈复信说：“先生，你给我们指出所在位置的那颗新行星是确实存在的。”勒维烈接到信后欣喜若狂，真令人不可想象，柏林的望远镜真的看到了巴黎数学家笔下计算出来的天体。

消息传到英国，也引起了皇家天文台台长艾里的震惊，他马上从资料堆里找出了勒维烈的论文摘要，才知道亚当斯早就给出了同样准确的预言。后悔已经来不及了，艾里马上发表了亚当斯一年前交给他的这份论文摘要，使科学界得以知道事情的真相。

这一次的发现比上一次天王星的发现更富有戏剧性、更加激动人心，它不是观测天文学家偶然发现的，而是数学家“笔尖上的发现”，因而引起了更大的轰动。命名问题被提了出来，因为英法两国正为发现权争吵。阿拉哥坚决提议将新行星命名为“勒维烈星”。勒维烈本人明智一些，主张沿袭神话神名命名行星的作法，用海洋之神耐普顿（Neptune）命名。这一更少民族主义特色的主张马上得到了广泛的认同，名字就这样定下来了，中文译为海王星。

海王星发现之后，也出现了类似的摄动反常现象。1915年，美国天文学家洛韦尔（1855—1916年）预言海王星之外还有一颗行

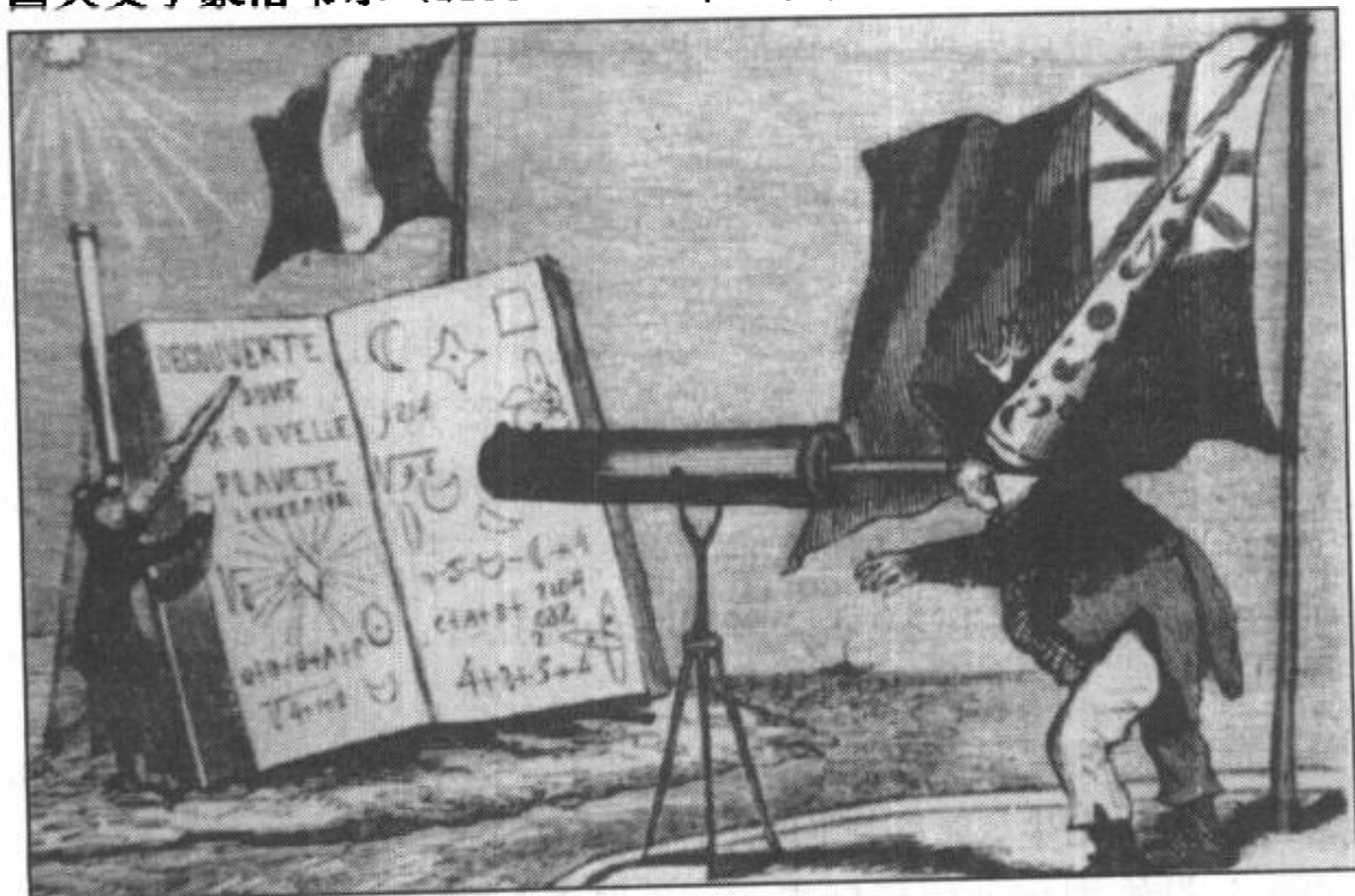


图 30-3 漫画，海王星的发现

星，这颗行星于 1930 年被发现，命名为冥王星。太阳系里还有没有新的行星呢？现在还没有最终的结论。

3. 光谱分析与天体物理学的诞生

恒星是那样的遥远，离我们最近的比邻星也有 4.22 光年，也就是说，以光的速度跑也要跑 4 年多，人类实际上无法亲临这样遥远的天体。如果不能实地考察，我们如何能知道它的物质构成和演化规律呢？确实无法想象。就连那些优秀的头脑也不能不感叹我们永远也不能知道恒星世界的真实情况。比如 1825 年，法国著名的哲学家孔德（1798—1857 年）在其《实证哲学讲义》中就写道：“恒星的化学组成是人类永远也不可能知道的。”

然而，人类对未知世界的洞察能力是人类自己都无法想象的。

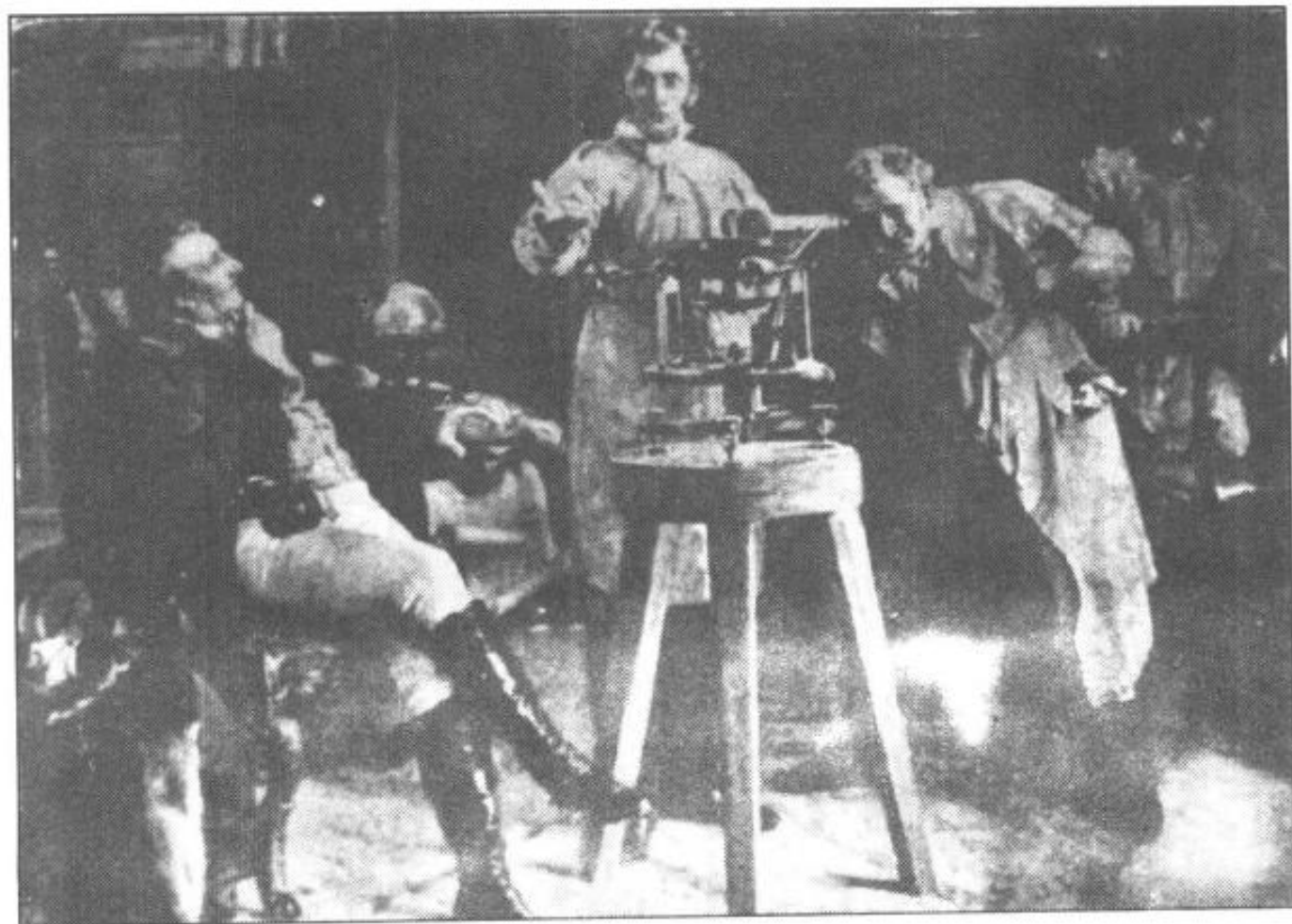


图 30-4 夫琅和费的光谱仪

就在孔德的断言之后还不到半个世纪，在物理光学基础之上新兴的天体物理学，就能够告诉恒星的化学组成以及更多的东西。天体物理学的产生依赖于如下三种光学方法的使用：分光学、光度学和照相术。

第二十七章讲到，德国物理学家夫琅和费最先在太阳光谱中发现了许多暗线，而且在行星光谱中也发现了类似的谱线排列。他还研究了恒星光谱，发现有些恒星谱线与太阳光谱不同，有些则相同。这些现象意味着什么，他当时还不太明白。但他通过将太阳光线与恒星光线在棱镜里折射，发现两类光线中相同颜色的折射率完全一样，这就证明了阳光与星光是同一类物质。

直到1859年，德国物理学家基尔霍夫与德国化学家本生(1811—1899年)合作研究火焰光谱，发现了分光学的两条基本定律，这才理解了太阳光谱中暗线的含义。分光学的两条基本定律被称做基尔霍夫定律：第一，每一种化学元素在燃烧时都发出一条明亮的特征谱线；第二，它也能够吸收它所属的特征谱线。按照这两个定律，太阳光谱中的暗线原来是太阳本身所发的连续光谱被太阳大气吸收的结果，每一条暗线都对应太阳大气中的一个特定的化学元素。这样，通过太阳光谱就可以确定太阳中有哪些地球上常见的元素。推而广之，用分光（将单一的光线用棱镜或光栅展开成光谱）的方法也可以发现恒星上有哪些化学元素。

光度学起源于确定恒星的亮度。希腊时代，希帕克斯曾将整个星空人眼所能见的星按感觉到的亮度分成6等。这样的亮度当然只是视亮度，因为恒星有远有近，有些恒星本来可能非常亮，但由于距离太远，故看起来很暗。按感觉亮度分的星等只是视星等，而且感觉总是带有主观随意性，由视星等进入关于恒星本身亮度的物理计算导致了光度学的发展。

德国生理学家费希纳(1801—1887年)曾提出了人类感觉的一个定律，即人类感受某种刺激之最小变化的能力与该刺激的强

度有恒定关系。比如，一个人可以区分 9 斤与 10 斤重的物体，但这并不意味着他可以区分 99 斤与 100 斤，他实际上只能区分 90 斤与 100 斤，也就是说，他的区分能力是总重量的 10%。这个定律也可以表述成：感觉度与刺激度的对数成正比。它虽然只在某种范围之内有效，但毕竟是将生理感觉还原成物理刺激的一种方法。费希纳将之运用到恒星光度学中，得出了视星等与视亮度的关系：星等按算术级数增加时，星的光度按几何级数增加。他根据当时天文学家关于光度的测量，得出两星等之间光度相差 2.5 倍的结论。1857 年，英国天文学家波格森（1829—1891 年）建立了光度星等的关系式。他指出，1 等星的平均亮度等于 6 等星的平均亮度的一百倍，因此每个星等差之间的光度比率等于 100 的开 5 次方即 2.512。

法国人涅普斯和达盖尔于 1839 年发明照相术后，阿拉哥当即指出它将在天文学上引起巨大的革命：它不仅大大提高天文学家的观测速度，而且对天文光度学和分光学起到无法替代的作用。达盖尔的铜板银盐方法不太灵敏，但还是照下了几张太阳照片。1845 年法国物理学家菲索和傅科拍得的太阳照片上有几颗太阳黑子。1849 年美国天文学家邦德（1789—1859 年）则拍下了织女星的图像。1851 年，斯科特—阿切尔发明了用柯格酞湿片作底片的照相术，灵敏度大大提高，更多的天象照片才大批出现。

分光学、光度学与照相术的综合运动，使考察恒星的温度分布、物质构成、物理结构和演化规律成为可能。基尔霍夫根据太阳光谱指出，金属在太阳大气中呈气体状态，说明那里温度非常之高，但由于太阳发光光球发连续光谱，表明内部温度更高。太阳黑子只是其中温度较低的部分。对太阳的研究是天体物理学诞生以来的第一个成就，在此之前，人们根本不知道太阳是一个高温的发光球，著名的天文学家阿拉哥甚至认为太阳上面可以住人。

对恒星的分光研究大大丰富了对恒星物理特征的了解。意大

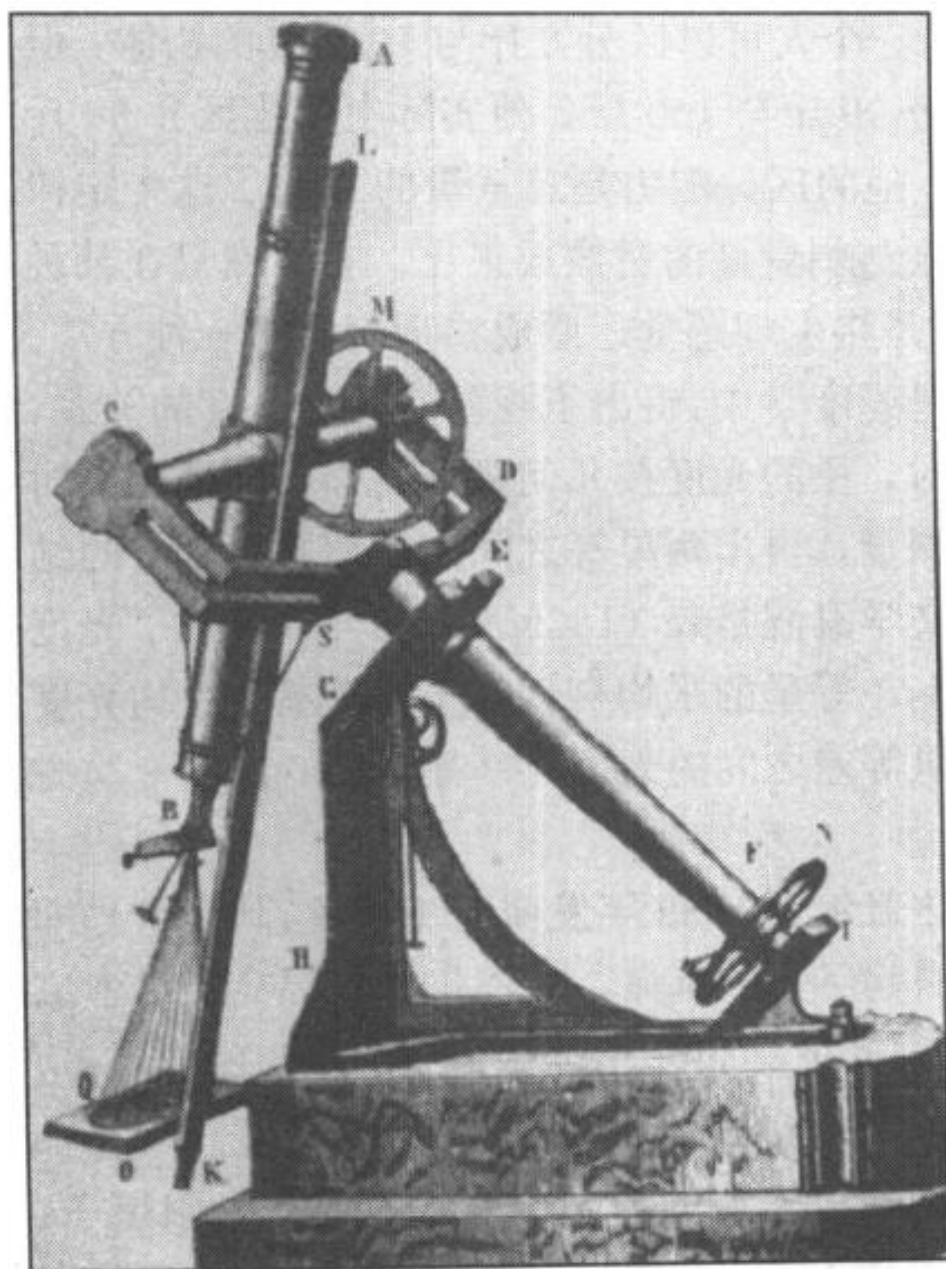


图 30-5 塞奇的照相望远镜

利天文学家塞奇(1818—1878年)于1864—1868年间,对四千颗恒星的光谱进行了研究。发现它们除了在位置、亮度和颜色方面彼此不同外,其光谱构成也各不相同,也就是说它们的化学组成并不完全相同。按照光谱特征,塞奇将恒星分成四类:白色星、黄色星、橙色和红色星、暗红色星。他相信,这四类恒星在表面温度方面是不同的。正像对生物物种的分类导致了

对进化事实的发现一样,恒星的分类不久也导致对恒星演化问题的研究。

英国天文学家哈金斯(1824—1910年)将太阳光谱的证认工作推广到了恒星领域。1863年,他发现在许多亮星里有属于钠、铁、钙、镁、铷等元素的谱线,表明遥远的恒星的化学组成并非与地球完全不同。此外,他还从光谱研究中得出了恒星运行的速度,这是天体物理学发展早期的又一项重大成就。这项成就主要基于多普勒效应理论。

1842年,奥地利物理学家多普勒(1803—1853年)发现了后

来被称为多普勒效应的声学现象：当声音源朝离开听者的方向运动时，其声调听起来要比静止时低一些。相反，若声源朝听者的方向接近时，其声调要高一些。而且，声源的运动速度越大，其声调偏离的程度越大。一个常见的例子是，当火车高速驶来时，我们会听到汽笛声越来越高，等火车驶过后，汽笛声则越来越低。多普勒指出，光作为一种波动也应有类似的现象：如果观察者与光源之间有相对运动，那么光的频率会发生变化，如果是相互接近，则频率升高，相互远离则频率降低。多普勒起初认为，星光应该表现出颜色的变化。但星的运动速度与光速比起来是太小了，以致频率改变不可能大到改变颜色的地步。但是曾测定过光速的法国著名物理学家菲索指出，通过将运动恒星的光谱线与太阳这种不运动的光源光谱进行比较，可以显示出这些微小的频率改变。

哈金斯正是利用谱线的微小位移得出了恒星在视方向（即光线的方向）的运动速度：如果光谱向红端移动（即频率变小，波长变长），则说明恒星在离开我们，如果光谱向紫端移动（即频率变大，波长变短）则说明恒星在向我们奔来。1868 年，他发现天狼星光谱中的氢谱线出现了红移，由此求出了天狼星的视向速度为每秒 29 英里。

通过光谱方法精确测定恒星的径向速度具有重要的意义，因为这种方法与恒星的距离无关，无论多远的天体，只要能够获得它们的光谱就可以知道它们的径向速度，而测量垂直于径向的横向速度，只有那些距离非常近的天体才有可能。

照相术用于光谱分析之后，天文学家如虎添翼，大量的天文照片记下了来自宇宙深处的每一零星信息，望远镜视野里的每一细微末节都不再逃脱。人类进入了认识宇宙的新阶段。

第三十一章

进化论的创立

18 世纪后期，生物物种进化的思想已经出现，拉马克建立了第一个用进废退、获得性状遗传的进化理论。但是，进化思想并未得到广泛的接受，地质学与生物学中反进化论的灾变说显赫一时。只是在达尔文发表《物种起源》一书之后，生物普遍进化的思想以及物竞天择、适者生存的进化机制才成为学术界、思想界的公论。

1. 居维叶的灾变说

法国大革命后，皇家植物园改为国家自然博物馆，并增设了一系列教席，其中动物学教授两名。拉马克当了其中的无脊椎动物学教授，高等动物学教授由另一位生物学家圣提雷尔（1772—1844 年）担任。由于圣提雷尔对古生物学比较陌生，他们推荐另一位青年生物学家来此工作，并专门为他增设了比较解剖学教授

一席。这位青年就是居维叶（1769—1832年），时年26岁。

居维叶是一位神童，他4岁能读书，14岁考入德国斯图加特大学学习生物学，法国大革命后回到法国，先是给一位贵族当家庭教师，业余时间从事海洋生物学的研究。他关于海洋生物的分类研究给圣提雷尔留下了深刻的印象，1795年便被任命为国家自然博物馆比较解剖学教授。任职期间，

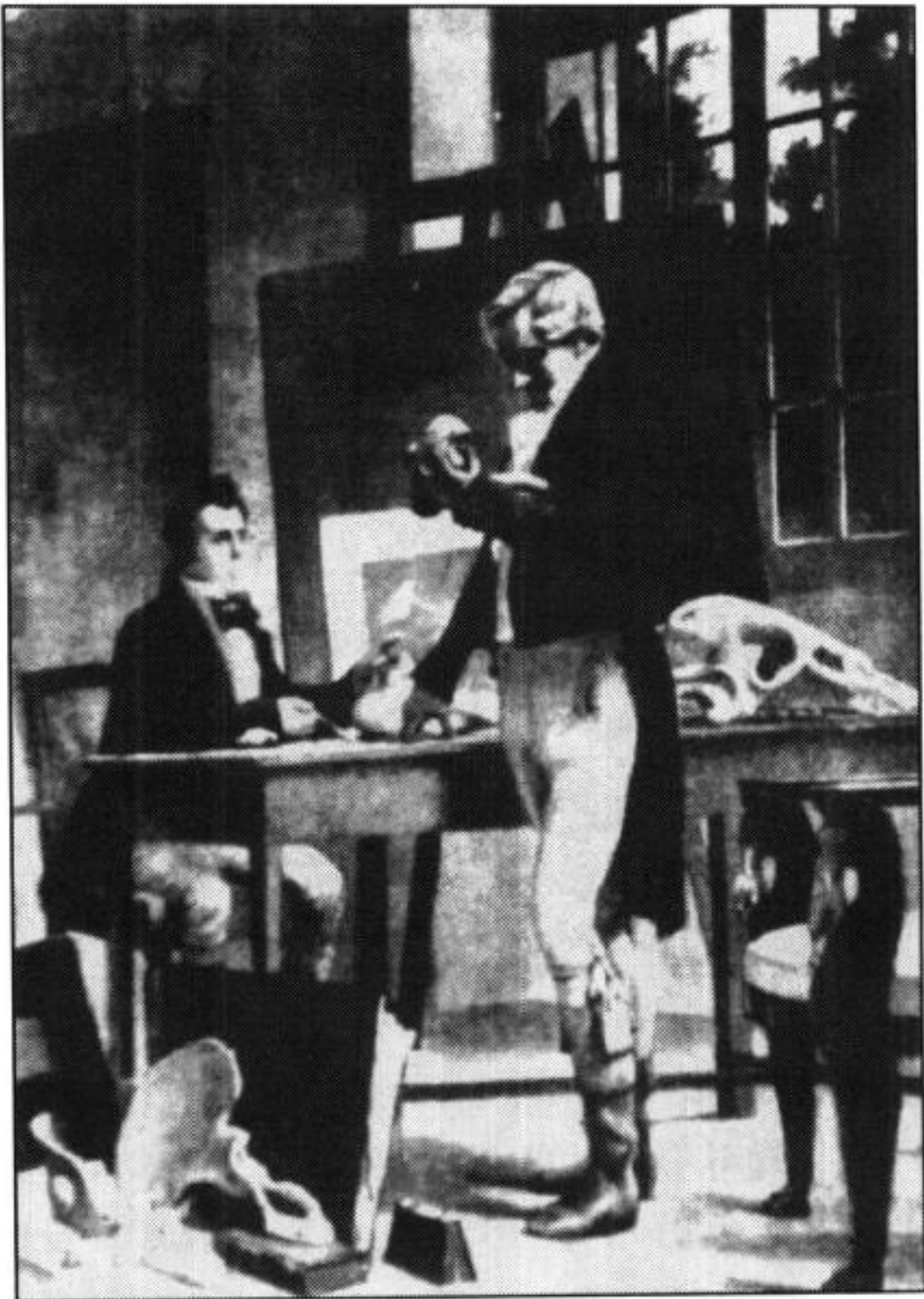


图 31-1 居维叶

他奠定了比较解剖学和古生物学的基础。

对物种之间比较解剖学的研究，是居维叶最为出众的工作。他创造了比较解剖学中的动物肢体的系统性原则和类比性原则。根据系统性原则，一个动物的各个器官之间有着密切的相互关系，由一个部分可以推断另一个部分，“牙齿的形状意味着颞的形状，肩胛骨的形状意味着爪的形状，正如一条曲线的方程式含有曲线的所有属性一样”。根据类比性原则，相似动物的各器官的结构和功能有类同之处，根据未知动物的局部结构，参照已知动物，可以

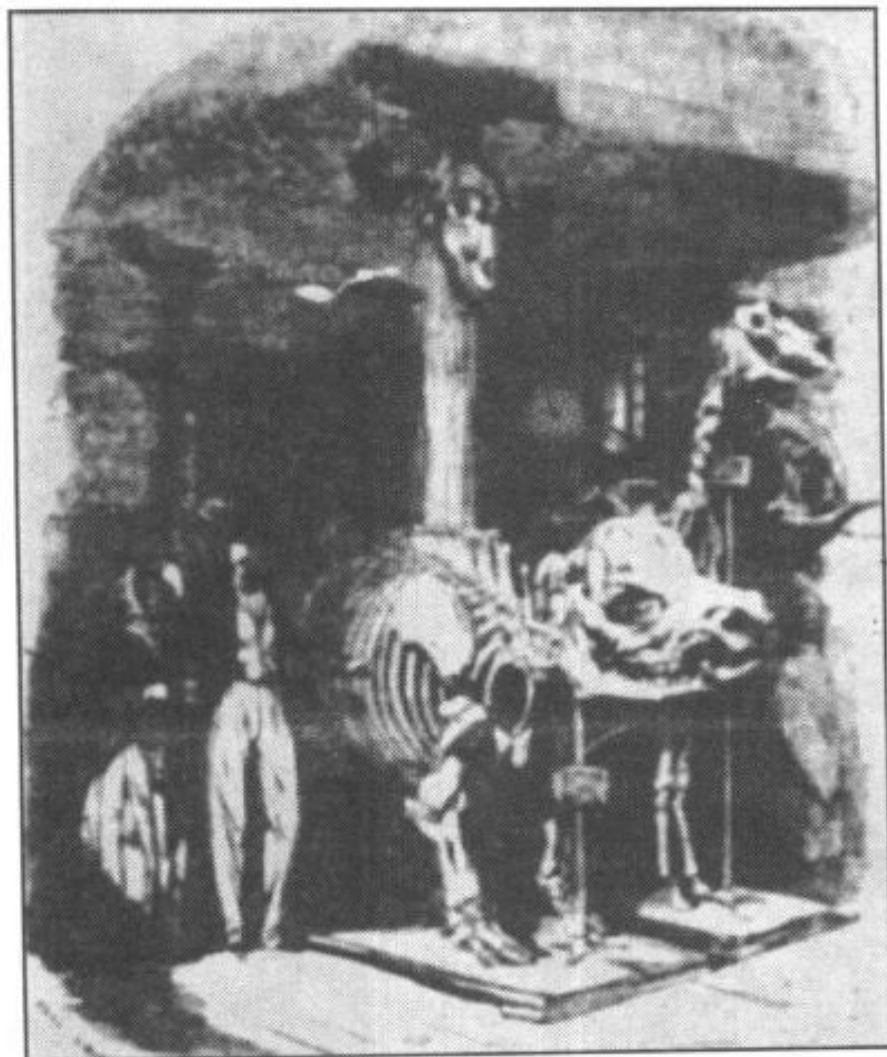


图 31-2 巴塞自然博物馆的比较解剖室

推知未知动物的其他器官和功能。居维叶运用他创造的类比原则，可以由动物残存的骨骼神奇地推知其他的骨骼，从而复原整个动物体。例如，如果我们发现了一副动物的尖牙利齿，我们就可以知道这是一个食肉类动物，它的消化道必定与食草类动物的不一样，它必定有锋利的爪子以便捕抓猎物，为了嚼碎肉食它必定有发达的咬肌，为了提供这样的咬肌就得有发达的颞骨弓等等。居维叶在这方面的能力使同时代人赞叹不已，有一个流传很广的故事，反映了他对于动物体整体相关性的无比熟悉。有一次，他的一群学生恶作剧，深夜穿着牛头马面的魔鬼面具闯进了他的居室，怪叫着：“居维叶，居维叶，我要吃你”，居维叶被惊醒后，瞧了一眼他们的打扮，便又闭上了眼睛，只说了一句：“长角长蹄子的动物必定吃草，你怎么能吃我？”便又睡着了。

根据比较解剖学，居维叶提出了一套动物界的分类系统，他将所有动物分成四个门：脊椎动物门、软体动物门、节肢动物门和辐射动物门。他的分类是按照动物的内部结构进行的，因而比仅从外表特征进行分类更为合理和深刻，更能指出动物之间的亲缘关系。

居维叶在比较解剖学上的卓越建树，使他有可能在古生物学领域大展其才。古生物学的所有证据都在化石里头，而化石往往是残缺不全的，在这里，正需要居维叶的比较解剖学方法。他开始着手将别人以及自己亲自搜集的化石进行复原，1796年，他得到了一幅古象的化石。他通过类比得出它本是一种长毛象的结论，并复制了长毛象的骨骼结构，指出它与印度象之间有亲密的亲缘关系，这种关系比印度象与非洲象之间的关系更为密切。此后，他辨认了一百五十多种哺乳动物的化石。

大量化石的证认使得居维叶有可能对其进行分类，化石的分类工作是居维叶的首创。他发现，虽然古生物与现存生物并不完全类似，但依然可以按他的四门分类系统进行分类。他还注意到，不同地层中的生物化石显现出明显的不同，地层越古老，化石越简单，地层越年轻，化石越复杂、越接近现存生物。这一事实本来可以使他走向进化论，但他是一位顽固的宗教信徒，物种不变论的坚决信奉者。他提出了“灾变说”来解释这些现象。

居维叶认为，历史上地球表面曾出现过几次大洪水，每次洪

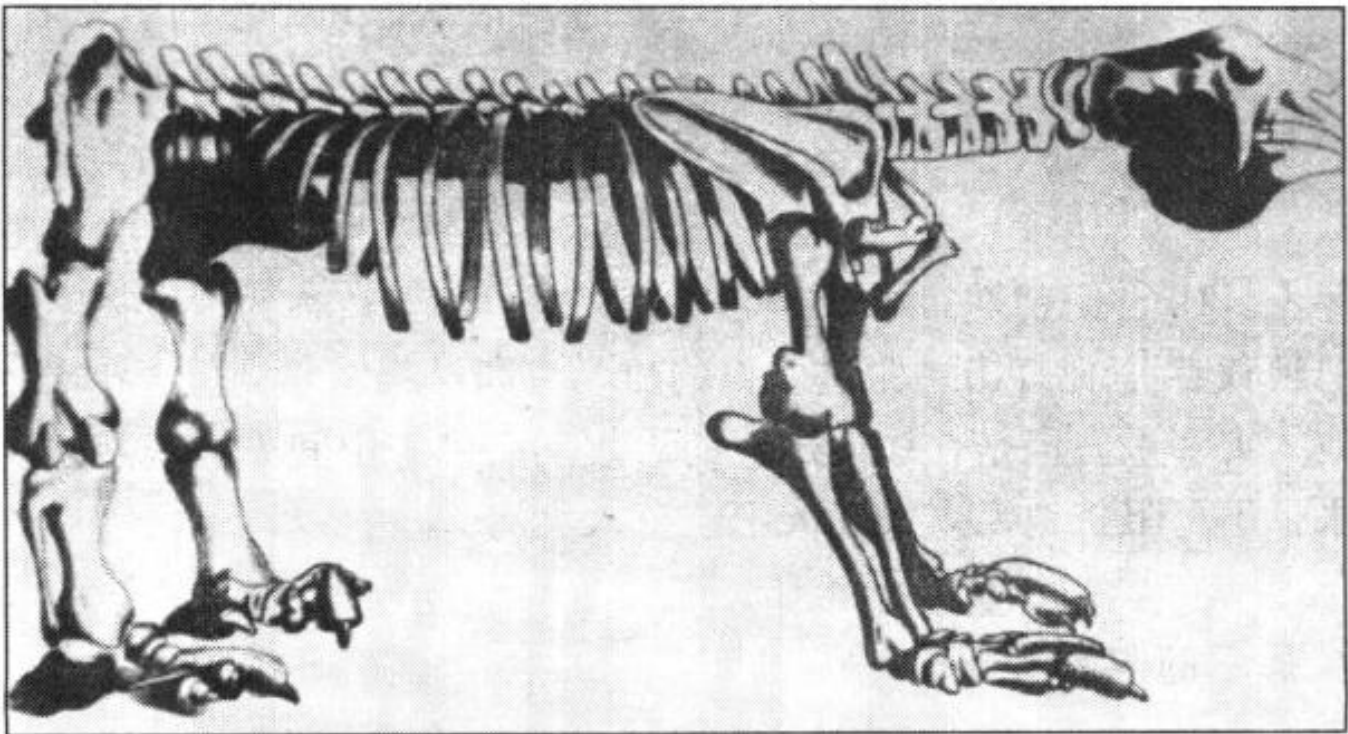


图 31-3 猛玛象化石



图 31-4 居维叶

水将所有生物全部毁灭，其遗骸在相应地层中形成今日所见的化石。大洪水后，造物主再次创造新的生命，只是，由于造物主的每次创造都有所不同，才导致了地层中化石形态的不同。他推测，历史上共发生过四次大洪水，其中最近的一次就是《圣经》上所说的发生于五、六千年前的诺亚洪水。这些灾变论思想记录在他于 1825 年出版的《地球表面的革命》一书中。

居维叶不仅是一位杰出的比较解剖学家和古生物学家，而且是一位能言善辩的天才的活动家和出色的组织者。在拿破仑时期，他出任教育部长，在波旁王朝复辟时期，他依然受到重用，被委任为内务

部长。19 世纪初期，居维叶的权势炙手可热，被称为“生物学界的独裁者”。他打击主张进化论的拉马克和圣提雷尔，在学界推行他的灾变说。但是，缓慢进化的思想潮流已如山间冰雪消融之春水，不可阻挡地汇入大江大河、汇入大海。

2. 赖尔的地质渐变说

18 世纪末期，英国地质学家赫顿已提出地球在地热作用下缓

慢进化的火成论。但是，由于水成论和灾变说符合人们习以为常的圣经故事，却拥有更广大的支持者。1807年，英国皇家地质学会成立时，13名会员中只有1名苏格兰会员是火成论者，其余全是水成论者。地质学家巴克兰（1784—1856年）的《洪水遗迹》一书，是当时水成论的代表作。

1829年，英国地质学家塞奇威克（1785—1873年）和默奇森（1792—1871年）在考察英国地质状况后，宣布水成论不能解释原生岩层的成因，相反，火成论却可以解释。他们本来都是坚定的水成论的信奉者，现在改持火成论的观点，大大改变了英国地质学界水成论一统天下的局面。

赖尔（1797—1875年）生于苏格兰一个贵族家庭，1819年毕业于牛津大学。他本来是学法律的，准备将来当一名律师，事实上，他于1827年也取得了律师资格。但他在大学期间对地质学很感兴趣，特别是听了牛津大学地质学教授巴克兰的地质学讲演之后，更加对之着迷。巴克兰也很喜欢这位年轻人，多次带他外出搞地质考察。这个时期，受巴克兰影响，赖尔是一位水成论者。

20年代中期，赖尔接触到了赫顿的火

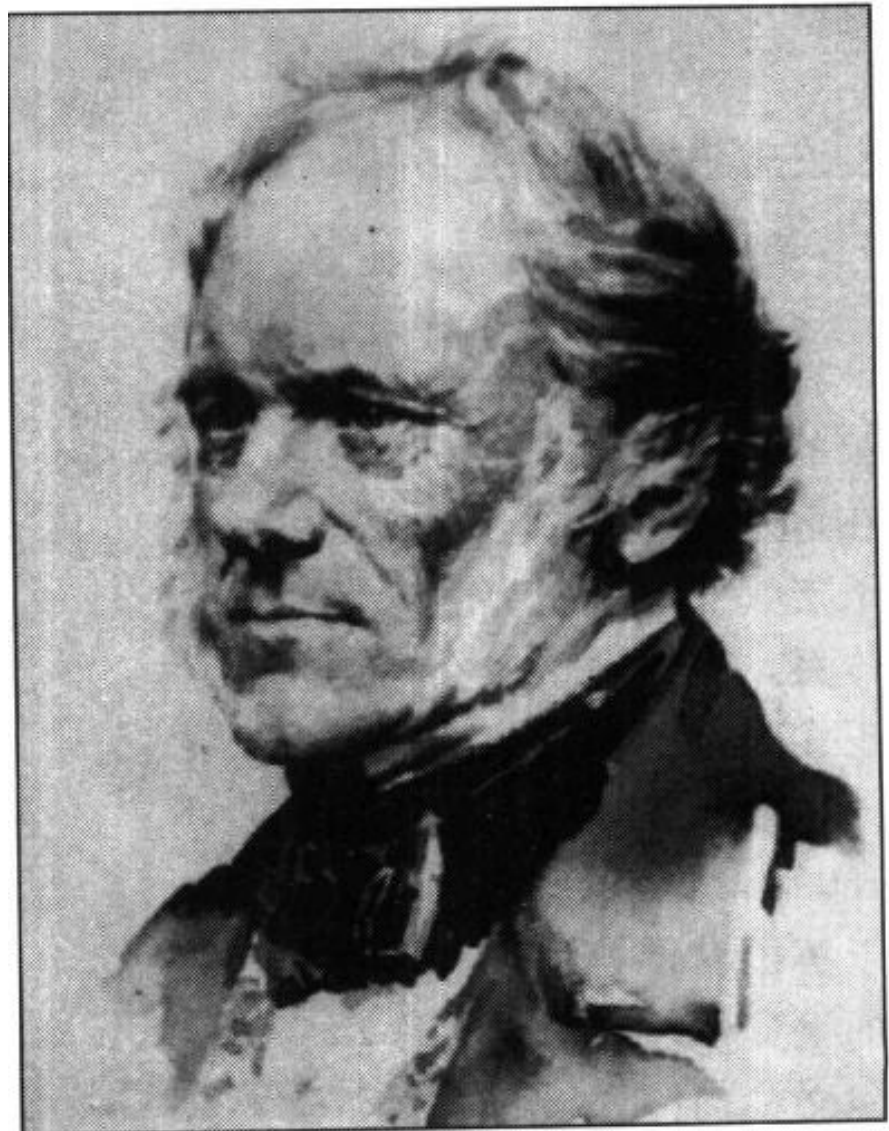


图 31-5 赖尔

成论以及拉马克的进化学说，加上更进一步的实地考察，使他逐渐产生了地质渐变的思想。1828年，他来到意大利的西西里岛，考察了著名的埃特纳火山，坚定了地质形态在多种自然力作用下缓慢变化的信念。从1829年开始，他致力于《地质学原理》的写作。该书1830年出版了第一卷，次年出版了第二卷，1833年出版了第三卷。赖尔以优美的文笔、严密的逻辑，将各种地质现象包罗在一个渐变论的体系之下。该书一出版，就产生了巨大的影响，赫顿的思想被广为传播，地质渐变的思想逐步深入人心。

3. 生物进化论的创立： 达尔文、华莱士

酝酿了近一个世纪的进化思想，终于在达尔文的手中形成了宏大而有说服力的体系，生物进化理论正式确立。

查理·达尔文1809年2月12日生于英国希罗普郡，他的祖父伊拉斯谟·达尔文(1731—1802年)曾经是18世纪英国

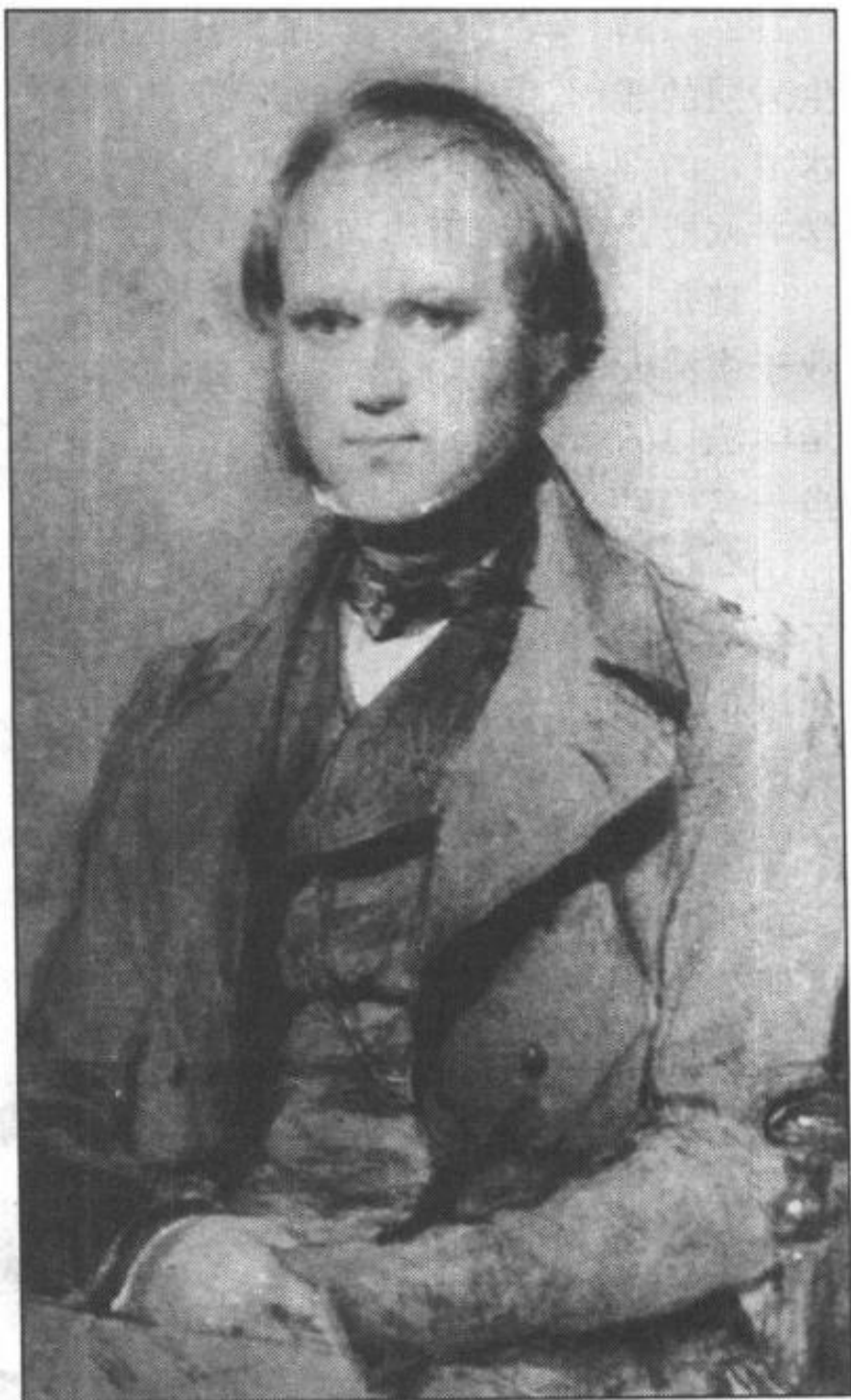


图 31-6 青年达尔文

著名的医生和博物学家，发表过《动物学》等多种生物学著作，也是进化论的先驱之一。在他的著作之中，充满了虽条理性不够但十分大胆的进化思想。达尔文的父亲罗伯特也是一位有名的医生，母亲苏珊娜是著名瓷器收藏家韦奇伍德（1730—1795年）的女儿。韦奇伍德和老达尔文当年都是伯明翰地区“太阴学社”的成员，该学社每逢满月那天聚会，直到月亮升起很高，社员们才乘着月光各自回家，“太阴学社”之名即得自于此。当时参加该学社的还有化学家普利斯特列、工程师博尔顿和发明家瓦特，太阴学社是英国科学史上一个十分重要的科学团体。总的来说，达尔文的身世有些来头。

然而，幼年时代的达尔文没有表现出什么特别的天分。8岁那年他被送进了一家教会学校，但对圣经故事一点也没有兴趣，倒是喜欢在河边钓鱼、上树摸鸟蛋，还喜欢搜集杂七杂八的物品。后来，他又上了一家很著名的中学，但他依然不喜欢学校里的教育，倒是迷上了打猎和养小动物，功课却很一般。老师对他很恼火，认为他“不可救药”，父亲对他更是不满意，经常训斥他：“你除了打鸟、玩狗和抓老鼠外什么也不会干，这样下去会给我们家庭丢脸的。”16岁时，达尔文提前离开了这所中学，被送去爱丁堡大学学医。这是他们家的家传职业。但达尔文完全没有学医的才能，一看见流血就感到不舒服。但在这期间，达尔文掌握了不少生物学知识，对拉马克的进化论亦有所接触，因为在生物学业余研究中的成绩，还被选为一个名叫普林尼学会的学生组织的书记。

父亲看他对医学确实没有兴趣，便决定让他学神学，以便将来能有一个体面的职业。1828年，达尔文进了剑桥大学的神学院，一开始学习倒很努力，考试成绩也不错，但不久他就发现他对神学其实也不感兴趣。他再次向父亲提出不学神学。但老达尔文岂能一次次依了这位没有出息的儿子。于是达尔文更加不好好学习，整天跟一些纨绔子弟一起赛马、打猎、酗酒，他自己后来也承认

“在剑桥的三年是完全浪费了”。但他在剑桥也结识了一些新的朋友，比如植物学教授亨斯洛。在亨斯洛介绍下他去听了著名的地质学家塞奇威克的地质学课，后来也与塞奇威克成了朋友。1831年暑期，塞奇威克带达尔文去北威尔士地区进行过一次地质考察，在这次考察中，达尔文收集了不少岩石标本，而且从塞奇威克那里学习到了一个科学家的工作方法，他认识到“所谓科学就是综合事实，从而根据事实得出一般的规律和结论。”

这年8月，英国海军的“贝格尔号”舰准备去南美进行科学考察，主要是测绘南美东西两岸和附近岛屿的水文地图，同时完成环球各地的时间测定工作。就在船即将启程时，还缺一个懂地质学的博物学家，以记录沿途看到的各种自然现象。亨斯洛得知此事后推荐达尔文去。达尔文本来就不想当牧师，自然很愿意随船外出考察，不料他父亲不同意，说这种事情与一个未来牧师的身份不相称。后来在达尔文的舅舅的劝说下，父亲终于同意了，但船长又不干了。这位船长是个对颅相学很迷信的人，他发现达尔

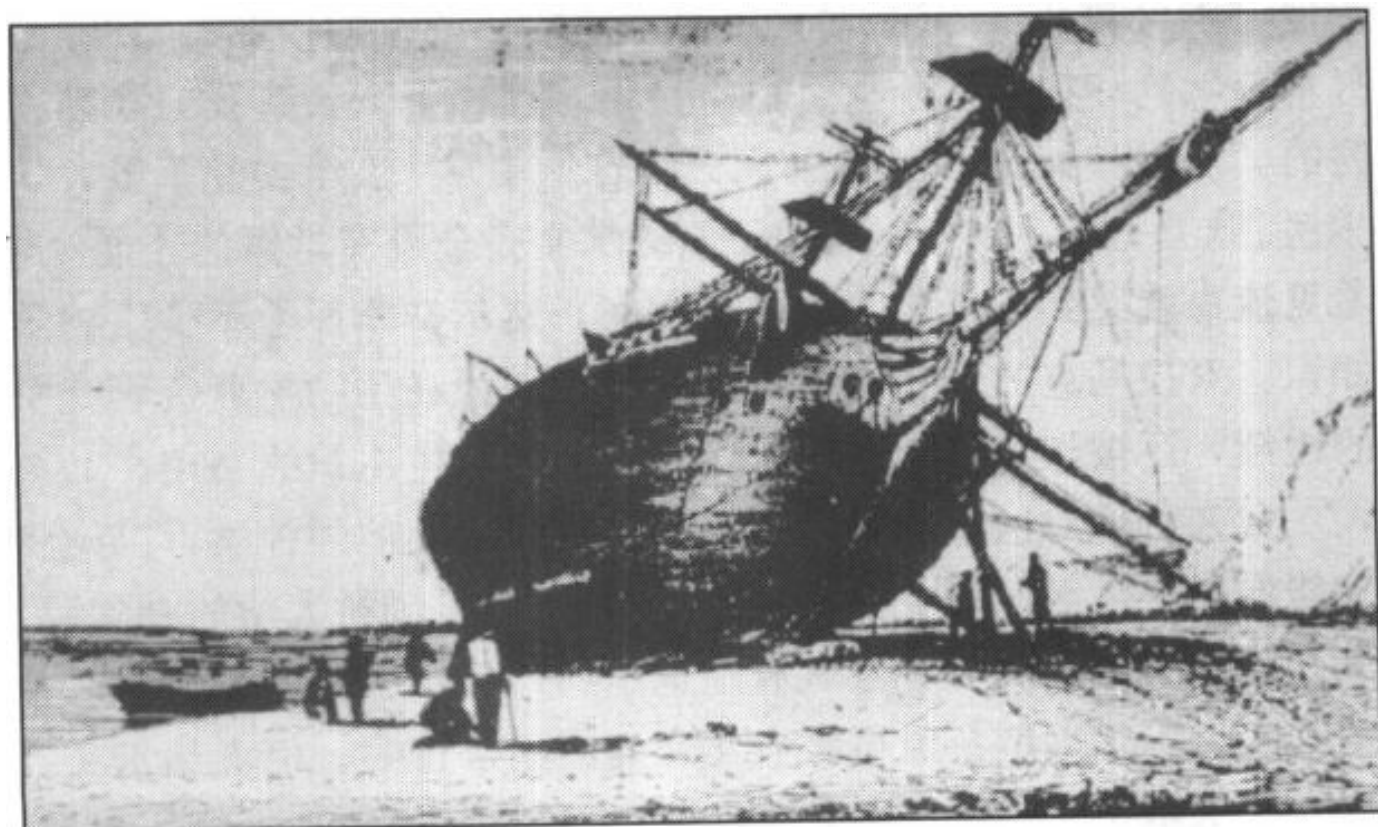


图 31-7 贝格尔号

文的长相有点怪。他总觉得达尔文鼻子的形状表明该人不是一个精力充沛的人，恐不能胜任这次旅程。幸好船长没有坚持这一点，只是心里有些不高兴。

12月27日，贝格尔号从英国普利茅斯港起航，先是南下非洲，从非洲西海岸西渡南大西洋，到达巴西；又从巴西南下绕过麦哲伦海峡到达南美洲西海岸的利马和加拉帕戈斯群岛；再从加拉帕戈斯群岛横渡太平洋去新西兰和澳洲；由澳洲穿越太平洋经过好望角再次回到巴西，然后从巴西直接回国。贝格尔号的环球航行历时5年，直到1836年10月才回到出发港普利茅斯。

达尔文被安排在船尾的顶部的海图室工作和居住，这里是船上颠簸最厉害的地方。达尔文起初晕船，后来慢慢适应了。他工作起来很卖劲，认为自己终于找到了自己热爱的事业。他克服了种种困难，随着考察团深入丛林、登上高山，收集各种动植物标本、挖掘古生物化石、记录地层情况。他坚持每天记日记、写报告，为他日后的研究工作积累了大量而丰富的材料。

休息的时候，达尔文阅读了随身带着的赖尔的《地质学原理》，地质渐变的思想使达尔文产生了强烈的认同感，而赖尔所倡导的地质学研究中的比较历史方法给达尔文以深刻的启迪。在南美洲东海岸，达尔文目睹了物种随地域分布而变化的明显规律性：有亲缘关系的物种总是分布在邻近的地域，随着距离的增大，一个物种为另一个物种所代替，两地距离越远，物种的差异越大。在南美西海岸的加拉帕戈斯群岛，达尔文发现此处的大部分生物都与大陆上的类似，但各岛又各有自己特有的物种，即使同一物种，各岛也呈现出微小的差异，例如有一群燕雀，它们之间十分相似，但由于某一器官特征而被划分为14个亚种。这些亚种分布在不同的岛上，而且在世界其他地方似乎也不存在，这是令人惊异的。

物种的巨大丰富性和连续性，使达尔文对流行的物种起源的上帝创造论产生了怀疑，他想到，为了创造这么些仅有微小差异

的生物变种，上帝要化去多少精力，上帝难道会做这样不经济的事情？赖尔的方法论和达尔文本人实地考察所接触到的活生生的事实，使他产生了生物逐渐进化的思想。

回到英国后，达尔文已经成了一个训练有素的博物学家，他的举止言行都不再是一位无所事事的小青年。父亲见到儿子发生



图 31-8 达尔文与儿子

了这么大的变化既十分惊讶也十分高兴。在休息了几个月时间后，达尔文即埋头整理他的考察报告，相继出版了《航海日志》、《地质报告》（包括《珊瑚礁》、《火山岛屿地质观测》、《南美地质观测》三部）和《贝格尔号航行中的动物学发现》。《地质报告》的出版使他很快成了一位闻名的地质学家，他被选入地质学会，1838年被任命为学会秘书。也是在这一年，达尔文与

他舅舅的女儿、表姐埃玛结婚。埃玛与达尔文青梅竹马，他们婚后生活也十分美满，只是到了晚年，达尔文常常为他们近亲结婚而不安。

结婚给达尔文带来了经济保障，老达尔文和老韦奇伍德给这对新人不少钱，使他们每年拥有一千多英镑的固定收入，这使达

尔文可以自由从事他所喜爱的研究事业。他们婚后定居在伦敦附近一个叫唐村的地方，达尔文继续整理他的地质和生物资料，进一步思考进化问题。

在唐村住下不久，达尔文就写出了《珊瑚礁的结构和分布》一书，提出环状珊瑚礁是珊瑚虫的残骸累积而成的。这一看法马上得到了认可。赖尔本来认为，珊瑚礁是水下的火山口，读了达尔文的著作后，他修改了他在《地质学原理》中的看法，而采纳了达尔文的观点。

1838年，达尔文偶然读到英国经济学家马尔萨斯（1766—1834年）的名著《人口论》。马尔萨斯在书中雄辩地证明，如果不加阻止的话，人口将以几何级数如1, 2, 4, 8, 16……那样增长，而粮食只可能以算术级数如1, 2, 3, 4……那样增长，这种增长比例上的失调，必导致人口过剩；为了调整人口与食物之间的平衡，必定会发生饥饿、瘟疫或战争以消灭过剩的人口。



图 31-9 唐村外景



图 31-10 唐村达尔文的写作间

马尔萨斯关于人类为争夺食物所导致的灾难性竞争的观点，给达尔文留下了深刻的印象。他自然想到在自然界中，生物一定也有类似的生存竞争，而且由于它们繁衍更迅速，这种生存斗争就尤其激烈。

贝格尔舰的环球考察已使达尔文完全接受了赖尔式的生物渐变思想，马尔萨斯的著作更使他对生物进化的机制有了某种领悟。1842年，达尔文将他的一些想法写成了一篇35页纸的提纲。1844年，他又写了一个更长的230页的《物种起源问题的论著提纲》，其中以自然选择为基础的生物进化论已经成型。但达尔文感觉材料还不够，论据还不充分，便没有立即着手写作他关于进化论的著作。直到1854年，他才又回到这个课题的研究上来。

达尔文意识到，生物界存在着极为巨大的繁殖力和大量的变种，但是只有那些在生存斗争中有适应能力的变种才存活了下来，并得以有最多的后代，其余的变种则被淘汰。这就是自然选择的

过程。为了证明这一过程，达尔文首先研究人工选择问题。事实上，人类一直在进行培育优良品种的工作，并且已经成功地培育出了强壮的马匹、产奶的奶牛、产毛的绵羊、产肉的肉鸡等等，但是有关人工育种的学术著作充满了谬误。达尔文自己亲自进行家鸽的育种实验，从而对变异和选择问题有了更深的了解。1856年，在赖尔的敦促下，达尔文准备开始写作《物种起源》。但他是一个十分严谨的人，还想等着收集更多的材料和证据，以写出一部卷帙浩繁、证据确凿的进化论巨著。

赖尔的敦促是有道理的。当时进化思想已经广为流传，如果达尔文不抓紧，很可能被人抢先。果不其然，正当达尔文慢慢吞吞地写作到了1858年夏天，突然有一天收到一封从马来半岛写来的信和一篇论文。信是一位名叫华莱士(1823—1913年)的青年生物学家写来的，论文的题目是“论变种无限地离开其原始模式的倾向”，华莱士征求达尔文对这篇论文的看法，并说如果有价值的话就请转交给赖尔发表。达尔文读完华莱士的短文如同遭受雷击，原来该文极为清晰地表达了达尔文二十多年来一直思考着的生物通过自然选择而进化的思想，其遣字造句甚至都与达尔文的

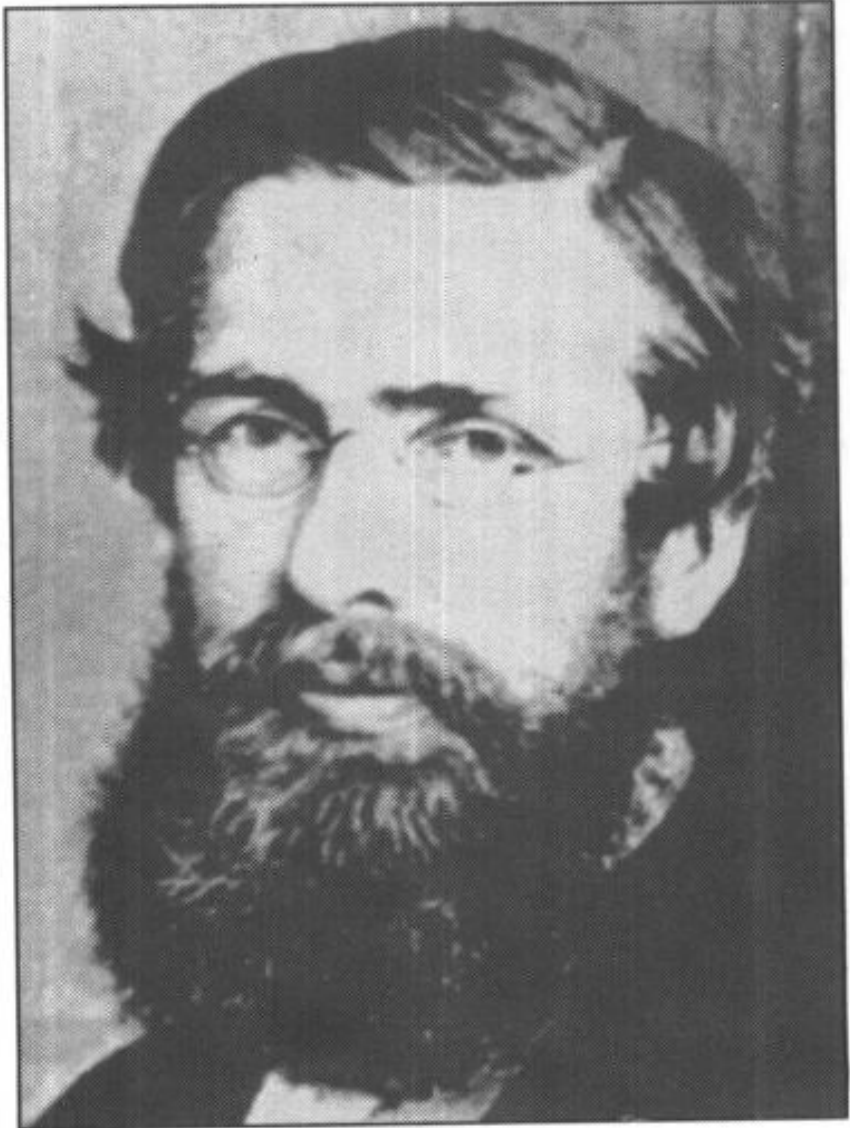


图 31-11 华莱士

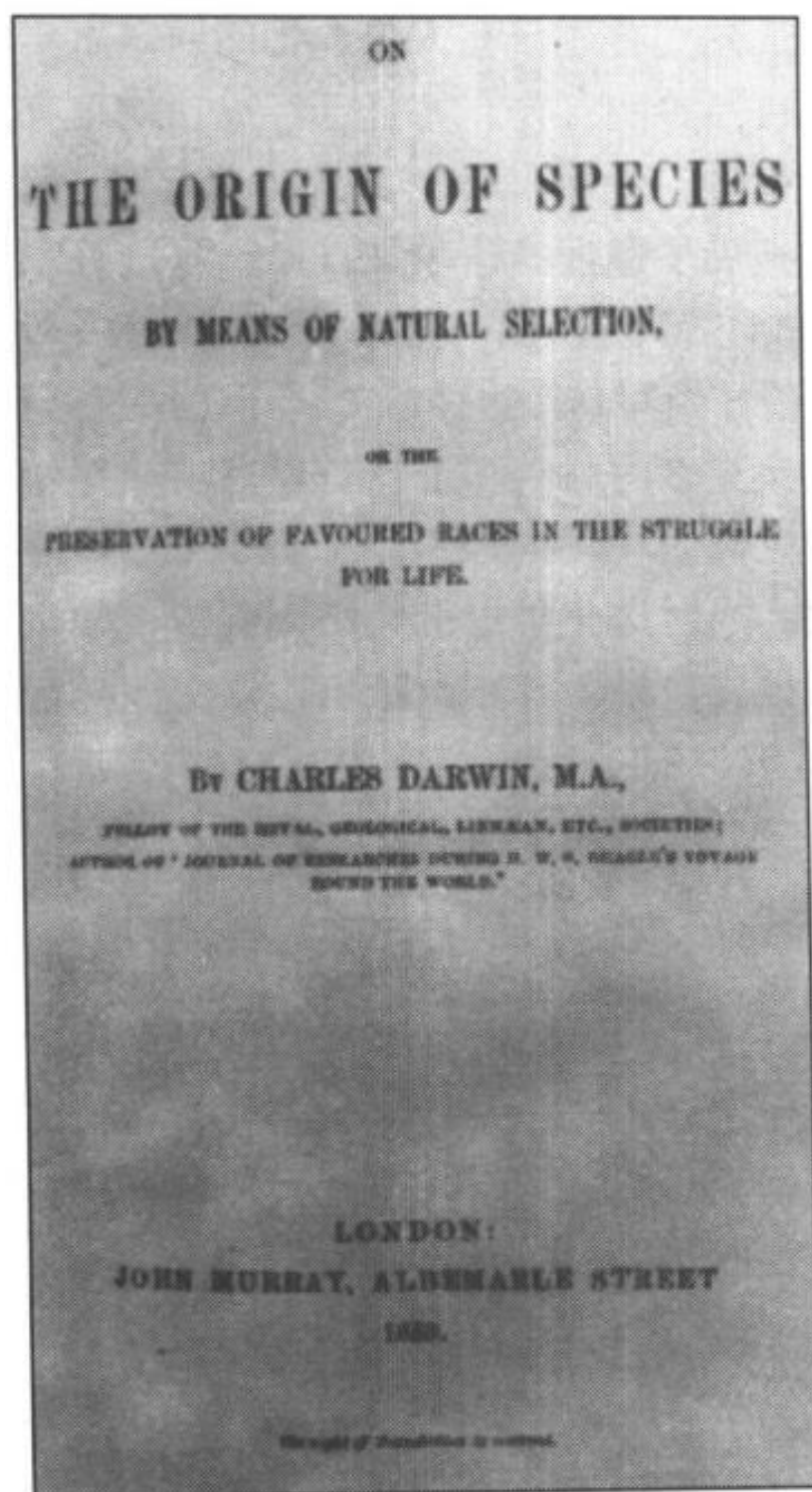


图 31-12 《物种起源》初版

达尔文 1842 年和 1844 年的提纲同时发表，然后力劝达尔文加快写作的速度。这样，达尔文才加紧写作，于 1859 年 11 月 24 日出版了生物学史上划时代的巨著《论通过自然选择的物种起源，或生存斗争中最适者生存》，（一般简称为《物种起源》）。由于学界事先已知道这本书的写作情况，均等待着该书的出版，结果新书问世的第一天，初版 1250 本就全部抢购一空。

提纲相同。达尔文说：“即使我将 1842 年写的提纲交给华莱士，他也写不出比现在这篇短文更类同的摘要来。”

华莱士比达尔文小 14 岁，但有着与达尔文相同的经历。他在马来半岛和印度尼西亚群岛考察时也发现了物种随地理位置发生变化的现象，在提出自然选择理论时也受到马尔萨斯人口论的影响。正因为如此，他才能独立地提出与达尔文理论极为相似的进化理论。

达尔文有点心灰意冷，打算停止《物种起源》的写作计划，让华莱士的论文单独发表了事。赖尔听说这件事后，主持了公道。他让华莱士的论文与

《物种起源》援引了大量的证据说明在自然选择作用下的物种进化规律。达尔文广泛引证了生物在人工培养下的进化现象、在自然条件下的多样性分布、生物化石所呈现的时间上的生物进化现象。达尔文认为，家养物种起源于少数几种野生物种，但由于物种本身有遗传和变异两种性质，其中对人类有用的变异就在人工选择过程中被保留了下来，被保留下来的有用的性状通过遗传继续传给后代，后代中又出现的变异则再一次被选择，这样，家养物种就沿着对人类越来越有用的方向进化。

人工选择是在一个相对较短的时间内，造就出适合于人类需要的物种。达尔文认为，自然界同样也可以在一个相对缓慢得多的时间内，以其自然条件，造就出与各种环境相适应的物种来，而且由于自然条件地理上的和历史性的多样性，自然界所造就的物种远比人工造就的多得多。

比如长颈鹿，并不是它经常伸长脖子导致它的后代脖子这么长，而是由于变异的缘故，有些鹿生来颈就长一些，这些长颈的鹿因能吃到更多的树叶，所以更能存活下来。漫长的岁月过去了，那些脖子变长的变异因素在生存竞争中总是保持着优势，因而不断积累，终于形成了我们今天看到的长颈鹿。

进化论一发表，达尔



图 31-13 漫画：人猿同祖

文就陷入了来自四面八方的批评之中，有些是来自宗教方面的，有些是来自科学界内部的。其中来自科学界内部的有两个批评最让达尔文头痛，一是物理学家开尔文勋爵提出的地球年龄问题。这位热力学理论的重要奠基者运用地球冷却理论计算过地球的年龄，他的结论是1000万年。这个时间对于进化过程来说显然是太短了。另一个难题是工程师詹金提出的，他根据当时广为流传的融合遗传理论证明，新的小小变异均会在与正常个体的交配中完全淹没。这两个难题达尔文都无法解决，以致他在重版《物种起源》时，观点变得越来越不明朗。他确实抱怨自己太急了。本来他要用更为充分的论据来使人们不得不接受进化观点，现在却陷入无休止的批评之中。事实上，达尔文的地球年龄计算中忽略了地球内部的热量，因而计算值太小，而融合遗传问题须得有孟德尔的遗传学才能解释。

在《物种起源》中，达尔文没有涉及人类的进化问题。有许多激进的进化论者如赫胥黎、海克尔和斯宾塞很快就将之用于说明人类在自然界的位置，但达尔文希望能有一些比较严肃的科学研究。他先是想让华莱士研究这个问题，并愿意提供有关的材料。但华莱士这位进化论的创始人根本就不同意将进化论推广到人类自身，达尔文只有自己亲自攻这个难题。1871年，他出版了《人类的由来及其性选择》，很谨慎地描述了人类进化的图景，得出结论说“人是与某些较低级的古老物种一起从同一个祖先进化而来的，人类的这些近亲现在已经灭绝了”。

社会上围绕着进化论问题闹得沸沸扬扬，论战此起彼伏，但达尔文是个不爱争吵的人，他一直避免任何论战，呆在唐村他的家里不断地研究新材料，完善和修改进化理论。1865年，达尔文获皇家学会的科普利奖，理由却不是因为他提出了讲化论。这很像半个多世纪后爱因斯坦获诺贝尔奖，理由却不是因为他提出相对论一样。达尔文的朋友赖尔一直忠实地站在他一边。1863年，赖



图 31-14 人类的由来

尔还发表了《古老的人类》一书，将进化论用于人类的起源问题上。

达尔文的晚年，科学界已经不再怀疑进化论了，但社会上就

此问题的辩论并没有平息。1882年4月19日，这位伟大的生物学家在家中与世长辞了。他被安葬在威斯特敏斯特大教堂牛顿墓旁，这当然是盖世殊荣，但在达尔文的生前，他的理论却不像牛顿理论那样受到举世的公认。

4. 达尔文主义的影响：赫胥黎、海克尔、斯宾塞

达尔文本人呆在家里，不理睬那些恶意的攻击，这对进化论来说并不是好事，所幸的是，达尔文主义有一批忠实的信徒。这些坚定的进化论者在公开的场合捍卫达尔文的进化思想，使进化论有效地传播开来。他们中最为著名的有赫胥黎、海克尔和斯宾塞。

赫胥黎（1825—1895年）以“达尔文的斗犬”而著名，他是一位精力充沛、头脑机敏、热情似火的人，虽然因为家里穷没受过多少教育，但通过自学成了一位很有成就的博物学家。《物种起源》出版后，英国上流社会掀起了一股反对进化论的浪潮。1860年6月，在保守派的大本营牛津大学召开了一次不列颠学会年会，会上达尔文进化论成了争论的焦点，虽然达尔文本人没有出席。赫胥黎原也不打算参加，因为他不喜欢牛津，但后来被朋友们说服去了。会上，先是著名的解剖学家欧文（1804—1892年）发难，他从比较解剖学的角度指出，人脑与大猩猩的脑之间的区别要比大猩猩与猕猴脑之间的区别大得多，因此说人由猿进化而来是缺乏根据的。在欧文的怂恿下，牛津大主教威尔伯福斯站了起来。这位大主教因为说话油腔滑调，一直被人称为“油嘴的山姆”。他本来不懂进化论，只是这次有欧文撑腰，便放肆起来。他先是煽动听众的宗教感情，将达尔文的理论攻击一番：“达尔文先生要我们相信的，是每一头四足兽、每一条爬虫、每一条鱼、每棵植物、每只苍蝇、真菌全都是第一个会呼吸的生命原生质细胞传下来的，这

简直就是在接受神的意志的干预的存在。我们怎么能背叛正统的宗教？那是上帝在伯利恒赏赐给我们的，在橄欖山上宣讲的，在耶稣复活日启示出来的，我们怎能抛弃它，去相信达尔文的理论呢？”威尔伯福斯接着转向赫胥黎，斯文地问道：“请问赫胥黎教授，您是通过祖父还是通过祖母接受猴子的血统的？”赫胥黎知道威尔伯福斯根本就不懂进化论，



图 31-15 威尔伯福斯

对打败他很有信心。他严肃地站起来，先是向公众通俗讲了一通进化论是怎么回事，指出“关于人类起源于猴子的问題，当然不能像主教大人那样粗浅地理解，它只是说，人类是由类似猴子那样的动物进化而来的”，随后，赫胥黎面向威尔伯福斯，犀利地说道：“我宁要一个可怜的猴子作为自己的祖先，也不要一个对他不懂的科学随便发表意见，把嘲讽和奚落带进庄严的科学讨论中的人作祖先。”赫胥黎把威尔伯福斯说得哑口无言，后者当时就退出了会场。

在将人类纳入生物界进化谱系方面，赫胥黎比达尔文本人激

进得多。他最先提出人猿同祖论，确定了人类在动物界的位置。他也是一位优秀的科普作家、演说家，为进化论的传播立下了汗马功劳。1893年出版的《进化论与伦理学》一书，被我国近代启蒙思想家严复译述成《天演论》，书中“物竞天择、优胜劣败”的观点，对正在封建社会的漫漫长夜中沉睡的我国人民，产生了巨大的警醒作用。

在德国为捍卫和传播进化论而战的是海克尔（1834—1919年）。他早年奉父母之命学医，但实际上爱好的是植物学。1865年，他关于放射虫的研究使他获得了耶拿大学教授的职位。《物种起源》一出版，海克尔就如饥似渴地阅读起来，并很快成了进化论的信奉者。在他早期发表的《关于放射虫的专论》（1862年）中，他赞扬达尔文的学说“从一个伟大的、统一的观点对整个有机界现象作了说明和解释，并且用可以理解的自然法则代替不可理解的奇迹”。1863年，在斯德丁举行的德国自然科学家和医生协会的集会上，海克尔发表了“关于达尔文的进化理论”的演说。1866年，海克尔在伦敦拜会了达尔文，这位进化论的伟大创始人给他留下了深刻的印象。在德国，生物学界与神学界联合起来反对达尔文，海克尔几乎是单枪匹马为进化论申辩。著名的病理解剖学家微耳和在罗马举行的一次著名的自由思想大会上，作了“现代国家的科学自由”的报告，指出人猿共祖理论并未得到证实，应该禁止讲授。海克尔也发表了一本题为《自由的科学和自由的讲授》的小册子，批驳这位早年的老师。1882年，达尔文逝世，在爱森纳赫举行的纪念会上，海克尔作了“达尔文、歌德和拉马克的自然观念”的演讲，进一步向公众讲述进化论与道德博爱原则不相背离。

除了发表文章和演讲宣传进化论外，海克尔也在自己的研究工作中，发展和深化进化理论。1866年，他出版了通俗讲演集《自然创造史》，在书中提出了著名的生物重演律：生物个体的胚

胎发育史，实际上是种族进化史的重演。1874年，他又出版了《人类的进化》（原名《人类发展史》），将其生物重演律运用到人类进化方面。通过援引大量古生物学、比较解剖学和胚胎学证据，进一步补充了达尔文关于进化理论的论据。1899年，海克尔出版了凝聚他毕生思想之精华的著作《宇宙之谜》，该书提出了一元论的唯物主义哲学体系，在当时有很大的反响。

与赫胥黎、海克尔不同，斯宾塞（1820—1903年）不是一位生物学家，而是英国的一位社会学家。他早年是一位铁路工程师，后来成了记者和撰稿人。虽没受过什么正规的教育，但是思想极为活跃。达尔文《物种起源》一出版，斯宾塞就像是见到了老朋友那样亲切，因为他从前也持有人类社会进化的思想，现在有了充分的自然科学证据，自然无比欣喜。他马上着手将达尔文的学说运用到社会历史领域，创立了社会达尔文主义。这种社会哲学认为，人类社会也像自然界一样，存在着生存竞争，在竞争中，强者生存了下来，而弱者则被淘汰，只有这样，人类社会才能进步。这种哲学显然是有害的，它可能为灭绝种族的战争辩护，而忽视人类之间应有的善良、同情、怜悯和博爱精神。另外，它在理论上也是不充分的，因为达尔文主义认为自然界中的适者将有更多的后代，但在人类社会中，情况也许正好相反。那些被认为“不适者”会有许多后代，而“适者”因忙于从事激烈的社会竞争，反而无暇生育自己的后代。

社会达尔文主义与达尔文主义没有必然的联系，与达尔文本人更是毫不相干。但是，正是斯宾塞的推广使“进化”一词家喻户晓，使进化论成为一种广泛的社会思潮，对进化论的深入人心起了重要的作用，尽管他的社会达尔文主义是不可取的。

第三十二章

19世纪的生物学与医学

由于实验条件的大大改善，作为一门实验科学的生物学在19世纪得以大大发展，与作为博物学的生物学的大发展形成对比。进化论的创立是作为博物学的生物学的最高成就，而细胞学说以及微生物学是这个世纪实验生物学的最伟大成就，它同时也使实验医学成为可能。

1. 细胞学说：施莱登、施旺、微耳和

早在17世纪，显微镜刚刚问世的时候，物理学家胡克就在植物切片中发现了一种蜂窝状的结构，它布满了气孔，而且看起来，植物的微观结构中除了由大大小小的盒子围成的气孔外，什么也没有。胡克将这些小盒子命名为细胞（cell，意思是“小室”），这是细胞一词的第一次出现。

与胡克同时或以后，其他生物学家更发现细胞内部并非空洞

的气孔，里面有柔软组织。18 世纪，生物的显微研究未取得什么新的成就，虽然许多显微镜爱好者在显微技术方面有所突破。这个世纪，生物学家热心关注着博物学的分类学研究，对生物微观的实验研究有所忽视。

复式显微镜的放大率提高到一定程度后，其色差和球面像差越来越厉害，以致根本搞不清图像所显现的是真是假。到了 19 世纪，从光学方面消除色差和球面差的技术有了发展，为考察动植物的微观结构准备了技术条件。当然，光学技术只是一个方面，事实上，英国植物学家布朗（1773—1858 年）只利用单显微镜（即单个镜片的放大镜）就发现了花粉颗粒的布朗运动，而且发现了细胞里面的细胞核。这个名字是 1831 年布朗起的，来自拉丁语，原意是“小坚果仁”。

到了 30 年代，人们已经在植物细胞中普遍发现了细胞核，而且在动物体内也发现了细胞。各种细胞很不一样，名称也很多，作为生命组织基本构成单位的统一的细胞概念尚未建立。这个时期盛行的德国自然哲学，倾向于在有机生命界寻找共同的基本单位即所谓的生命“原型”。自然哲学学派著名的代表人物、博物学家

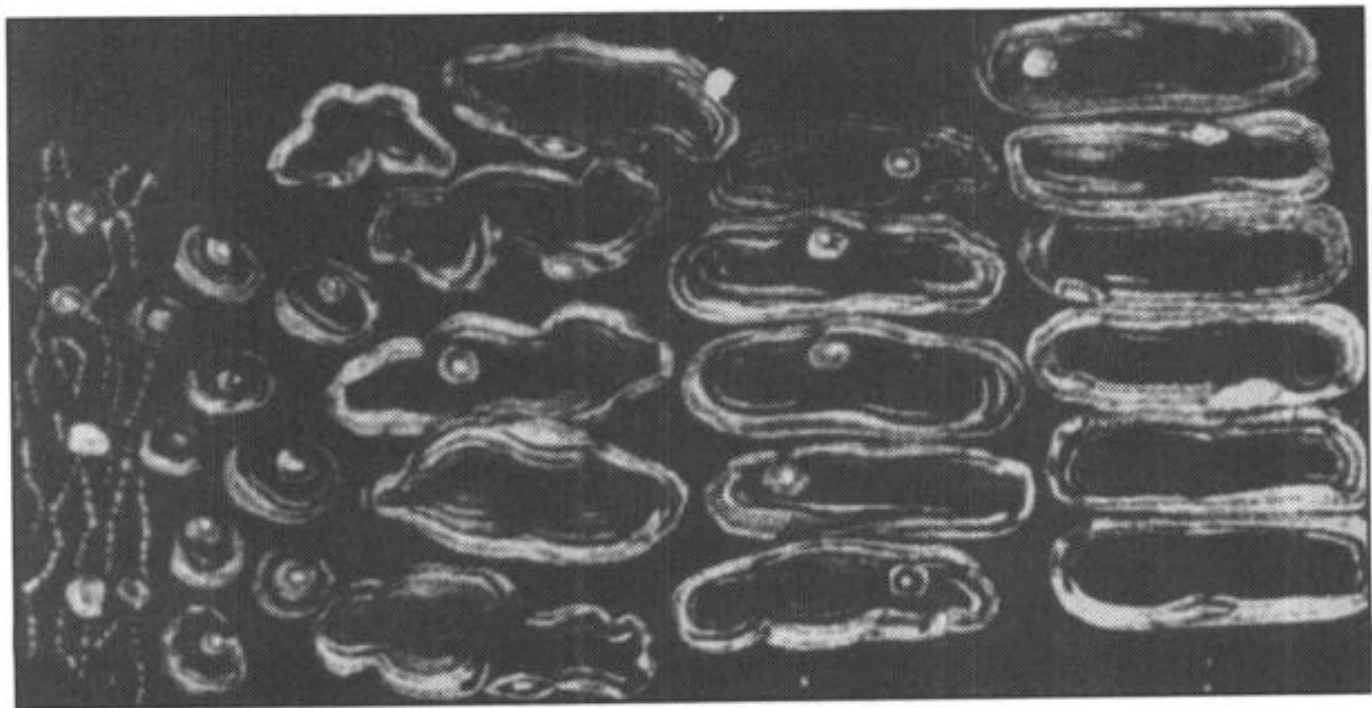


图 32-1 细胞存在的显微证据

奥肯（1779—1851年）推测生命起始于一种原始的粘液，这种粘液产生出球状小泡，它就是生命的基本单位。自然哲学的推测往往缺乏实验根据，但它激励人们去从事生命基本结构单位的研究。

细胞的存在已是众所周知的事实，但它的内在结构和功能以及在生物体中所处的地位，还不太清楚。细胞学说最终是由德国植物学家施莱登和动物学家施旺完成的。施莱登（1804—1881年）早年学的是法律，在汉堡做过一段律师，但他很不喜欢这个工作，几乎自杀。1831年，他决定改行在哥廷根大学和柏林大学学习植物学和医学，他很快就发现这个工作无比有趣。当时的植物学仍然在进行分类再分类的工作，施莱登认为这些工作意义不大，属于业余消遣，并不是真正的植物学，真正的植物学应当去研究植物的结构，从而发现植物生长的规律。

1838年，施莱登发表了“植物发生论”一文，重提布朗关于细胞核的发现，并认为细胞核是植物中普遍存在的基本构造。他提出，无论怎样复杂的植物体，都是由细胞组成的，细胞不仅自己是一种独立的生命，而且作为植物体生命的一部分维持着整个植物体的生命。施莱登还推测，细胞核是细胞的母体，因此在细胞的形成过程中，先形成的是细胞核。

将细胞学说推广到动物界，从而给出最一般的细胞学说的是施旺（1810—1882年）。施旺早年学医，是著名德国生理学家繆勒（1801—1858年）的得意门生。还在学生时代，他就发现了胃蛋白酶，这是胃酸消化食物的主要助手。他也反对生命的自然发生说，认为任何生物看起来是自然发生的，其实是从更微小的生物体发育而来。但他这个观点在当时受到嘲笑，直到巴斯德的工作出现后才为人们公认。施莱登的论文发表之后，繆勒提醒施旺注意细胞学说的重要意义。与施莱登的会面，使施旺猛然想起了自己从前在脊索动物标本中也发现过类似的有核单位，便意识到，也许在植物体中起着基本作用的细胞，在动物体内也有着相同的作用。

动物体比植物体远为复杂，类似细胞的东西已经被前人发现过，但彼此的差别胜过相似性。而且由于动物细胞的透明性，在显微镜下往往很难看到它们。施旺首先注意到动物体内的细胞核是普遍存在的，因而以有无细胞核作为有无细胞的判据。1839年，他发表了题为“动植物结构和生长的相似性的显微研究”的论文，指出一切动物组织，无论彼此如何不同，均由细胞组成。他写道：“我们已经推倒了分隔动植物界的巨大屏障，发现了基本结构的统一性。”他认为，所有的细胞无论植物细胞还是动物细胞，均由细胞膜、细胞质、细胞核组成。这样，他就建立了生物学中统一的细胞学说。

施莱登和施旺均探讨过细胞的发育过程，他们相信，既然所有的生命组织在结构上均由细胞组成，那所有的生命从发生学上也应该从细胞开始。他们都正确地认识到组织的发育是通过细胞的增殖进行的，但他们均认为，原始细胞是通过类似结晶的过程由原始母液中产生的，新细胞也是在细胞质中以类似的方式形成的。这种看法后来被修正，因为人们很快认识到，新细胞是原有细胞核分裂的结果。

细胞学说一旦确立，马上在生命科学中显示出生命力，其最显著的成就是德国生物学家微耳和（1821—1902年）在此基础上建立了细胞病理学，为现代医学奠定了基础。微耳和早年在缪勒指导下学习医学，于1843年获得柏林大学的博士学位，1845年发表了对白血病的研究论文，是历史上第一次对该病的系统研究。他是一位很有社会道德感的年轻人，1847—1848年间被派去调查西里西亚工业区正流行的斑疹伤寒，他深为亲眼目睹的卫生条件之恶劣所震惊，在调查报告中，他严厉谴责了政府的失职。为此，他被柏林大学解除了职务，直到1856年，他才又回到那里任病理解剖学教授。

微耳和认识到，细胞学说可以用来说明疾病现象，疾病组织

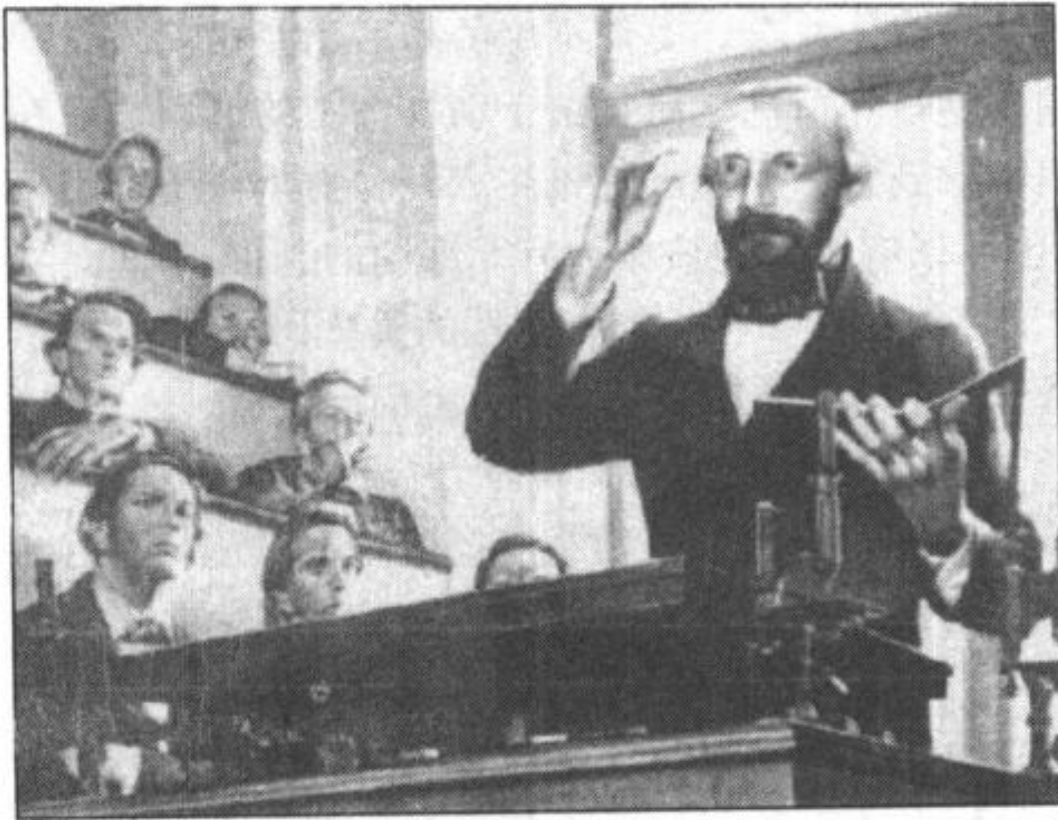


图 32-2 微耳和

的细胞是由健康组织的细胞慢慢演变而来的，由此，他开创了细胞病理学这门学科。进一步的研究发现，细胞并不能由原生粘液自然形成，相反，所有的细胞似

乎都是从已有细胞分裂而来。微耳和将之概括为一句名言：“一切细胞来自细胞。”这里暗含着“一切生命均来自生命”的信念。他坚定地反对生命的自然发生说，这一点很快被巴斯德所着力强调，虽然他们两人的观点也有若干分歧。

微耳和是一位自由主义人士，也是社会改革的倡导者。他一直是德国政界一位活跃的人物，也是一位热心社会公益事业的社会活动家。在他的努力下，柏林市改进了供水系统和排污系统，大大消除了许多流行病的传染；他还负责建立了第一批列车医院和军用医院。他亲自创建了柏林人类学、人种学和史前考古学学会，以及柏林人类文化博物馆和民俗学博物馆，但他反对达尔文的进化论，海克尔曾与他针锋相对地发生争论。

2. 实验生理学：马让迪、伯纳尔

生理学在 17 世纪曾有过辉煌的时期。那个时候，以血液循环

理论为代表，生理学家受新兴的机械力学影响，将生物体也看成一部机器，试图发现生物体各器官的物理作用规律。他们将嘴比作钳子，胃比作曲颈瓶，静脉和动脉比作水压管，心脏比作发条，肌肉和骨骼比作绳子和滑轮系统，肺比作风箱，肾脏比作筛子和过滤器等。后来发现，生物体比一部机器要复杂得多，上述比喻常常是肤浅和不恰当的。

生命科学本身面临着一个根本的原则性选择：生命现象究竟能不能用那些在非生命现象中发现的自然规律来解释，持肯定态度的被称为机械论，持否定态度的被称为活力论。这两者的争论恐怕永远不会停息，但卓有成效的生理学研究工作主要是那些机械论者做出的，活力论者则经常纠正机械论者的过激之处。

生命科学中的机械论传统本身也分成物理学派和化学学派两派。物理学派主张生命现象可以用物理规律来完全解释，化学学派则认为生命现象必须用化学规律来说明，物理规律是不够的。近代早期，物理学派占据优势，因为当时物理学正处在大发展时期，是所有学科的带头学科，况且化学尚未成熟。到了 19 世纪，情况发生了变化，拉瓦锡的氧化学说已将化学建立在真正科学的基础之上，生理化学的研究逐渐兴盛起来。拉瓦锡本人后期即已着手研究人体生理学问题，只是因为法国大革命中断了这项研究。

实验生理学最终在有着深厚化学基础的法国诞生，应归功于法国生理学家马让迪（1783—1855 年），这位医学博士起先是有名的解剖学家，后来，运用他高超的解剖技术研究生理学。1825 年，他用小狗做实验发现，脑脊髓的前神经根是运动神经，后神经根是感觉神经，前者引起肌肉运动，后者则引起感觉。他坚信物理化学原理足以解释生命现象，坚决反对各种形式的活力论。他还实验了许多药物对人体的作用，开创了实验药理学这门学科。

马让迪的学生伯纳尔（1813—1878 年）真正奠定了实验生理学的理论基础。伯纳尔出生于一个贫苦的农民家庭，在教会学校

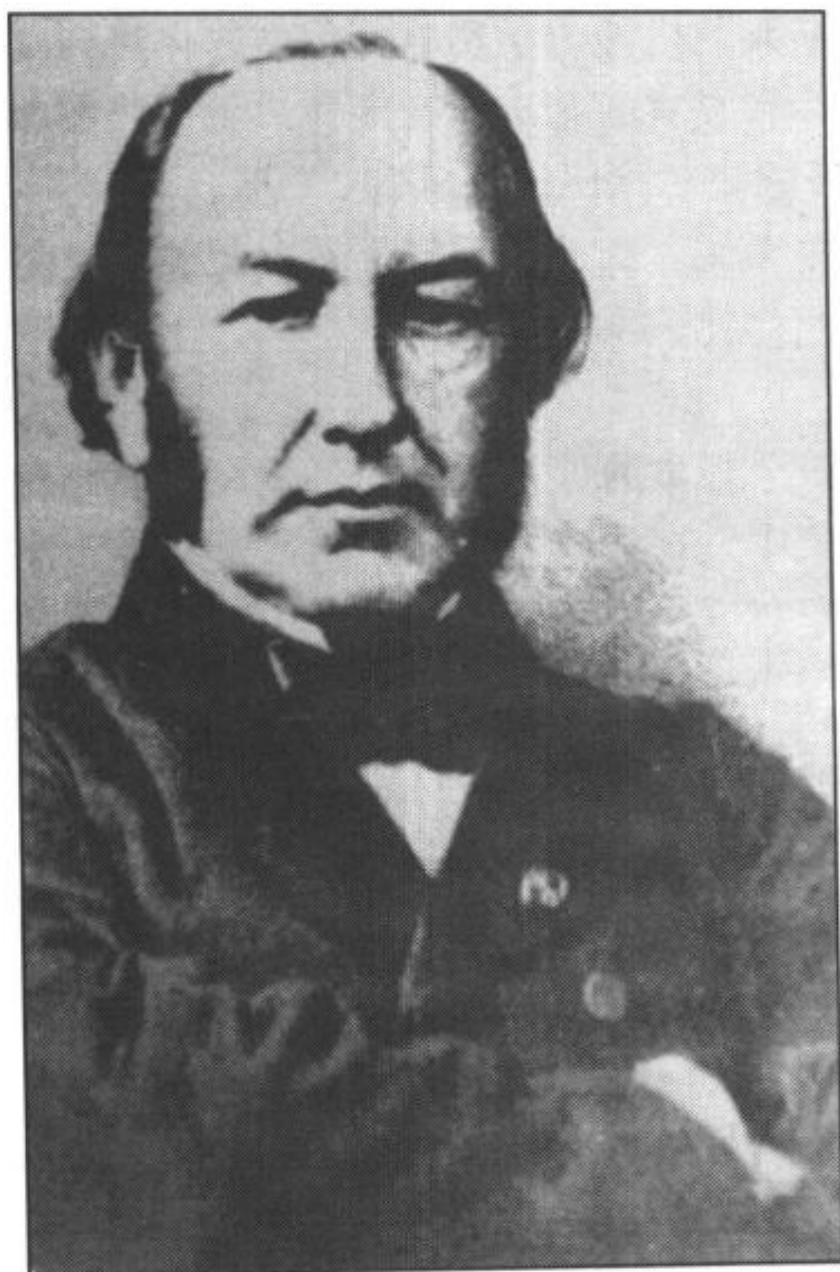


图 32-3 伯纳尔

接受他的初等教育。由于穷，他不得不在一家药店当店员。业余的时候，他喜欢写作，梦想有朝一日能成为一名作家。当时他们药店正生产万灵药，它是当时广为流行的一种大众化药品，类似于中国的万金油。他以此为题材写作了一部轻喜剧，结果获得了很大的成功。这激励他进一步创作出了五幕大型历史剧《布列塔尼的亚瑟》。由于专心创作，在制药技术上长进不大，药店主将他解聘了。1834年，伯纳尔带着自己的剧本来到巴黎，找到了当时著名的文学评论家吉拉丹。

吉拉丹劝告他，文学创作不能维持生存，为了活命必须先学会一门其他的职业。鉴于他在药店呆过，吉拉丹建议他学医。伯纳尔接受了吉拉丹的建议，边打工，边在巴黎医学院学习。他的成绩不太理想，但最后还是拿到了学位。

毕业后，伯纳尔有幸成为马让迪的助手，在那里，他的天才才真正展露出来。在活体解剖方面，连权威马让迪也不得不承认伯纳尔胜过自己。在马让迪那里，伯纳尔全面掌握了有关生理学的知识，并将它们推进到一个新的高度。

伯纳尔首先对消化作用进行了研究，他发现，胃并非消化的

唯一器官，十二指肠实际上在消化过程中起更为重要的作用。由胰腺分泌出的液体，在十二指肠里帮助消化许多胃不太能分解掉的食物，特别是肉食。

伯纳尔另一个重要的研究成就是发现了肝脏中糖原的合成和分解对身体的作用。糖原是肝脏中一种淀粉样的物质，他证明，它是由血糖即葡萄糖合成的，但它又可以随时分解成葡萄糖。因此，它像是一种保存在肝脏中的储备，微妙地调节体内的平衡，使血液里的糖含量保持稳定。

体内平衡还反映在其他方面。伯纳尔发现，有些神经使血管扩张，另一些则使血管收缩，这种扩张和收缩可以控制体热的分布和温度的高低：热的时候，皮肤的血管扩张可以帮助散热，冷的时候，血管收缩可以保存热量。

身体内部的自动平衡使伯纳尔提出了生物体的内环境与外环境概念。所谓内环境是生物体各部分赖以进行生命活动的处所，而外环境是整个生物体所处的场所。他认为，内环境的稳定和恒定是生命赖以维持的条件。

从 1847 年起，伯纳尔在法兰西学院任教。1855 年，马让迪去世，伯纳尔接替了教授的职位。他继承了马让迪活体解剖的传统，并卓有成效地用于研究生理学问题。他关于消化问题的研究得自给活动物人工造瘻（即将其消化管道通往体外），关于糖原的研究得自对狗进行活体解剖。伯纳尔的妻子是一位虔诚的教徒，对活体解剖十分反感，经常为此事与伯纳尔吵架。据说，她经常为反活体解剖协会提供大量资金，与他们一起反对她丈夫的事业。伯纳尔为此十分苦恼，但他坚信，“只有通过实验才能建立生命的科学，我们只有在牺牲了某些生命之后，才有可能将生命从死亡中拯救出来”。

1865 年，伯纳尔出版了划时代的巨著《实验医学导论》，书中总结了他在实验生理学上的重要成就，同时建立了崭新的生理学

思想。他清晰地指出，所有的生命现象均有其物理和化学基础，神秘的活力是不存在的。该书在实验生理学史上也在整个生命科学史上占有着重要的地位。

伯纳尔生前享有很高的声望，它是法国科学院的院士，也是拿破仑三世时的国会议员。他去世时，国会投票通过为他举行国葬。为一个科学家举行这样盛大的葬礼在法国还是头一回，著名作家福楼拜记述了这次葬礼，认为比教皇的葬礼都隆重、都壮观。

3. 遗传学：孟德尔、魏斯曼

达尔文进化论揭示了生物在自然条件选择下，其遗传和变异交互作用，形成进化过程；虽然每一代物种都出现某些变异，但只有那些与环境相适合的变异才被保留下来。达尔文的进化学说确实把遗传问题提了出来，并作为进化得以发生的一个重要因素。

但是，达尔文本人在进化机制方面更多地注意到变异，而对遗传则语焉不详。事实上，进化论一面世所受到的最有力的打击就是遗传方面的。自然选择毕竟缓慢，而物种的变异却一代接一代地发生，那些有利的变异会不会在自然选择尚未起作用之前就消失呢？当时流行着一种融合遗传理论，认为变种在与正常物种进行交配的过程中，各种性状变异将融合成一种中间状态。很显然，这种向中间状态的融合比起自然选择过程要迅速得多。因此，如果融合遗传理论是对的，那么自然选择对于进化将不起任何作用。

达尔文深知这一困难是极为致命的，所以后期他越来越采纳了拉马克的获得性遗传的观点，以此补充他的自然选择学说，但是他不知道，奥地利一位修道士正在从事的工作，完全可以帮助他解决这一致命的困难，而无须回过头去求助于拉马克。这位修道士就是孟德尔（1822—1884年）。

孟德尔出生于一个贫苦农民的家里，虽然天资卓越，但却无

钱接受良好的教育。少年时代为一家庄园主照看庄园里的果树，最后只得进了故乡的奥古斯丁修道院，先解决生存问题。1851年，他由修道院送进维也纳大学学习自然科学课程，这期间，他选修了数学、物理学、化学、动物学、植物学、昆虫学等，与著名的科学家有过来往。据说他曾为多普勒当过物理实验的演示助手。他还参加了维也纳大学的动植物学会，发表过一些生物学论文。1853年，孟德尔回修道院当了神父，并开始附近的教会学校任教。

1854年夏天，孟德尔在修道院的花园里种植了34个株系的豌豆，开始从事植物杂交育种的遗传研究。豌豆是一种自花授粉的植物，孟德尔同时进行自花授粉（即同一品种自我生殖）和人工杂交授粉（即用不同品种杂交生育），将授粉后的植株仔细包扎起来，以免发生其他意外的授粉。下一代生长出来后，继续进行同样的授粉实验。用这种方法，孟德尔能够仔细研究子代与亲本之间的遗传关系。

他首先考察株的高矮这两种性状的遗传情况，结果发现，矮株的种子永远只能生出矮株，因此它属于纯种；但高株不同，约占高株总数三分之一的高株属于纯种，一代代生育高株，其余的高株的种子生出一部分高株、一部分矮株，高矮的比例大约总是一比三。这就说明高株有两类，一类是纯种的，一类是非纯种的。将矮株与纯种高株杂交会出现什么现象呢？孟德尔吃惊地发现，杂交生出的全是高株，矮株的性状似乎全都消失了。但是，将这一代杂交出的高株进行自花授粉，结果新一代四分之一是纯矮种，四分之一是纯高种，四分之二是非纯高种。

这种规律性简直是太神奇了。孟德尔认识到，豌豆的高和矮性状在遗传时表现不同，前者是显性的，后者是隐性的，也就是说，在它们均存在时，只显现高性状，但矮性状并没有消失，等到在下一代出现没有高性状的植株时，矮性状就表现出来了。

这种显性和隐性的性状遗传是否具有普遍性呢？孟德尔接着

考察了其他一些性状，结果发现类似的遗传规律也在起作用。如圆皮豌豆与皱皮豌豆杂交，圆皮是显性性状，皱皮是隐性性状；紫花豌豆与白花豌豆杂交，紫花是显性性状，白花是隐性性状。其性状的分配规律恰成三比一。经过多年的育种实验，孟德尔掌握了大量的数据。1865 年，他总结了自己多年的研究工作，写出了“植物杂交试验”的实验报告。他在论文中指出，植物种子内存在稳定的遗传因子，它控制着物种的性状，每一性状由来自父本和母本的一对遗传因子所控制，它们只有一方表现出来，另一方不表现出来，不表现的一方并不消失，它在下一代会以四分之一的比例重新表现出来。孟德尔的论文首先在布隆的博物学会宣读，并于次年发表在该会的会议录上。

孟德尔将论文的副本寄给了当时德国著名的植物学家耐格里（1817—1891 年）。耐格里深受德国自然哲学的影响，早在 1844 年就提出过生物通过内在动力发生进化的理论，他还指出，细胞也具有其内在结构，还不是生命的基本单元，比细胞更小的分子团组成了细胞，是生命的基本单元。60 年代，他进一步指出，某些分子团里面含有遗传物质，它被称之为“细胞种质”。耐格里不相信单靠自然选择这样的外力就能发生进化，因此反对达尔文的进化论。

孟德尔读到耐格里的细胞种质学说深受启发。他认为，他关于豌豆的育种实验正好可以证明耐格里的细胞种质学说，因此把自己的论文寄给了耐格里。想不到，孟德尔的论文根本没有引起耐格里的注意。他只草草地看了一遍，对其中的复杂和数学计算感到十分厌烦。他只崇尚那些恢宏的体系和富有哲理的思辨，而孟德尔的论文看起来是那样琐碎而平凡，怎么可能对如此重要的遗传问题有所洞察呢？耐格里给孟德尔回了一封信，信中答应自己重复一下孟德尔的实验（耐格里只是说说而已，实际上后来根本没有做豌豆杂交实验），并建议用山柳菊再试试，因为耐格里怀

疑所谓纯种实际上仍然是杂种。孟德尔确实也花了几年时间从事山柳菊的杂交试验，但结果不尽如人意。这使他极为灰心丧气，加上他1868年被任命为修道院院长，不再有闲暇从事他所热爱的植物学研究，遗传学的发展就这样中断了。

孟德尔的工作是划时代的，其伟大之处在于把近代科学的实验加数学的方法运用到遗传问题的研究之中。植物的杂交试验当时非常普遍，但只有孟德尔对所有的杂交后代进行数学统计，也只有他用纯种进行试验，考察单个性状的遗传规律。正是这种特殊的科学方法使他将理性之光引入了遗传学领域，照亮了这长期漆黑一团的神秘领地，由于孟德尔像拉瓦锡将化学确立为科学一样将遗传学确立为科学，人们往往称他是“植物学上的拉瓦锡”。

令人叹息的是，孟德尔的工作一直默默无闻。当时的大多数生物学家关注的是进化论的博物学研究，感兴趣的是一些对人有利的生物优良性状的遗传问题，加上孟德尔的遗传定律过于简单，许多性状的遗传由于受多种因素控制，并不遵循这一定律，所以，连孟德尔自己也意识到自己的工作不会受到别人的理解。事实上，孟德尔自己后来可能都怀疑这个工作是否具有普遍意义。他读过达尔文的《物种起源》，甚至为之作注，但他也未意识到他的遗传学研究正好为达尔文的自然选择进化论提供了强有力的支持。

事实上，孟德尔的文章有许多人读到过，但读者或者是懂数学但不懂植物学，或者是懂植物学但不懂数学，文章都未引起他们的注意。达尔文1882年去世，他生前差一点接触到孟德尔的文章，但终究没能获知自己学说之中的最大漏洞已被填平；孟德尔1884年去世，他也不知道自己的开创性研究将会获得多么巨大的荣誉；耐格里1891年去世，他到死也不知道自己对遗传学犯了一个多么大的错误。直到1900年，孟德尔才被重新发现，遗传学重新开始大踏步前进。

就在孟德尔默默无闻时，德国遗传学继续沿着耐格里所开创

的细胞种质遗传理论方面发展。德国生物学家魏斯曼(1834—1914年)为此作出了重要的贡献。魏斯曼早年学医,后来成了弗莱堡大学的动物学教授,由于患眼疾无法从事显微镜的观察工作,他被迫放弃实验工作,转而从事理论研究。他是达尔文进化论的忠实信徒,但从一开始就表现出对达尔文学说的修正。例如,他认为影响变异的不仅有外部因素,而且有内部因素,内部因素更为重要。事实上,达尔文本人也接受了这一意见,他在《物种起源》的第六版里引用了魏斯曼的观点。

魏斯曼意识到,达尔文的进化论强调了变异而忽视了遗传的方面。实际上,遗传的稳定性对于进化而言是更为重要的。此外,与众不同的是,他不是从物种进化的层次上考虑遗传问题,而是在细胞和个体的层次上进行研究。魏斯曼首先发现生殖细胞从一开始就与躯体细胞相区分,生殖细胞并不能从躯体细胞中生长出来。基于这一发现,他提出了种质与体质的区别。在每一有机体内,种质是决定遗传的,是不会改变的,而体质只是种质生长出来以保护自己的外衣,它是易受生活环境的影响而改变的,它也会随着个体的消亡而消亡。种质代代相传,永不变化,这样,他就创立了他的种质连续性理论。

种质连续性理论否定获得性遗传,因为获得性状只对体质起作用,而体质的变化并不会影响种质的变化,因而不能遗传下来。为此,魏斯曼做了割老鼠尾巴的实验。他连续为 22 代 1592 只老鼠割去了尾巴,但这些老鼠生下的小老鼠仍然长着完整的长尾巴,这样,他就证明了获得性是不能遗传的。

魏斯曼的种质学说与耐格里种质论的不同在于,它不是一种停留在思辨层次的猜想,而是有着科学预言的实证性理论。魏斯曼强调,种质一定有它的化学实体,它就存在于细胞核中的线状染色体中。由于受精的过程是精子与卵子相结合的过程,那么在精子和卵子成熟的过程中,其中的染色体必须减少一半,以使结

多工厂主都不相信，觉得这种想法太荒唐。巴斯德向他们做了示范，给一些酒加热密封，另一些不加热，过了几个月，加热过的酒完好如初，那些没加热的都变酸了。这种温热杀菌法被称为巴斯德灭菌法，法国酿酒厂家很快就都采用了这种方法。今天我们饮用的牛奶就是采用这种方法灭菌的。

微生物在发酵过程中起决定作用的发现，使巴斯德卷入了一场关于自然发生说的争论。自然发生说主张，许多小生命是自然界随时自动产生的，像苍蝇、蛆甚至老鼠等都是在肮脏的自然环境中自然产生的。赫尔蒙特曾提出，把糠和旧破布塞进一个瓶子里，将瓶子放在阴暗的床底下，瓶子里就会生出小老鼠。这些看法普遍流行，到了巴斯德时代依然有许多著作的生物学家相信。有一位学者宣称，巴斯德的灭菌法不灵，因为酵母菌会在有机液



图 32-8 巴斯德为母亲画的像

(如酒、牛奶等)中自然发生。如果真是这样，巴斯德的灭菌法就从根本上无效。为此，巴斯德精心设计了实验，证明了自己的灭菌法完全有效。他将肉汤放入一个瓶内加热后密封起来，过了许多天，肉汤依然完好，他得出结论说，肉汤之所以变坏，是因为空气中的微生物进入了肉汤之中。

巴斯德的加热实验已是无可辩驳，自然发生论者又认为，并不是生命的自然发生说错了，而是加热过程破坏了生命自然发生的条件。

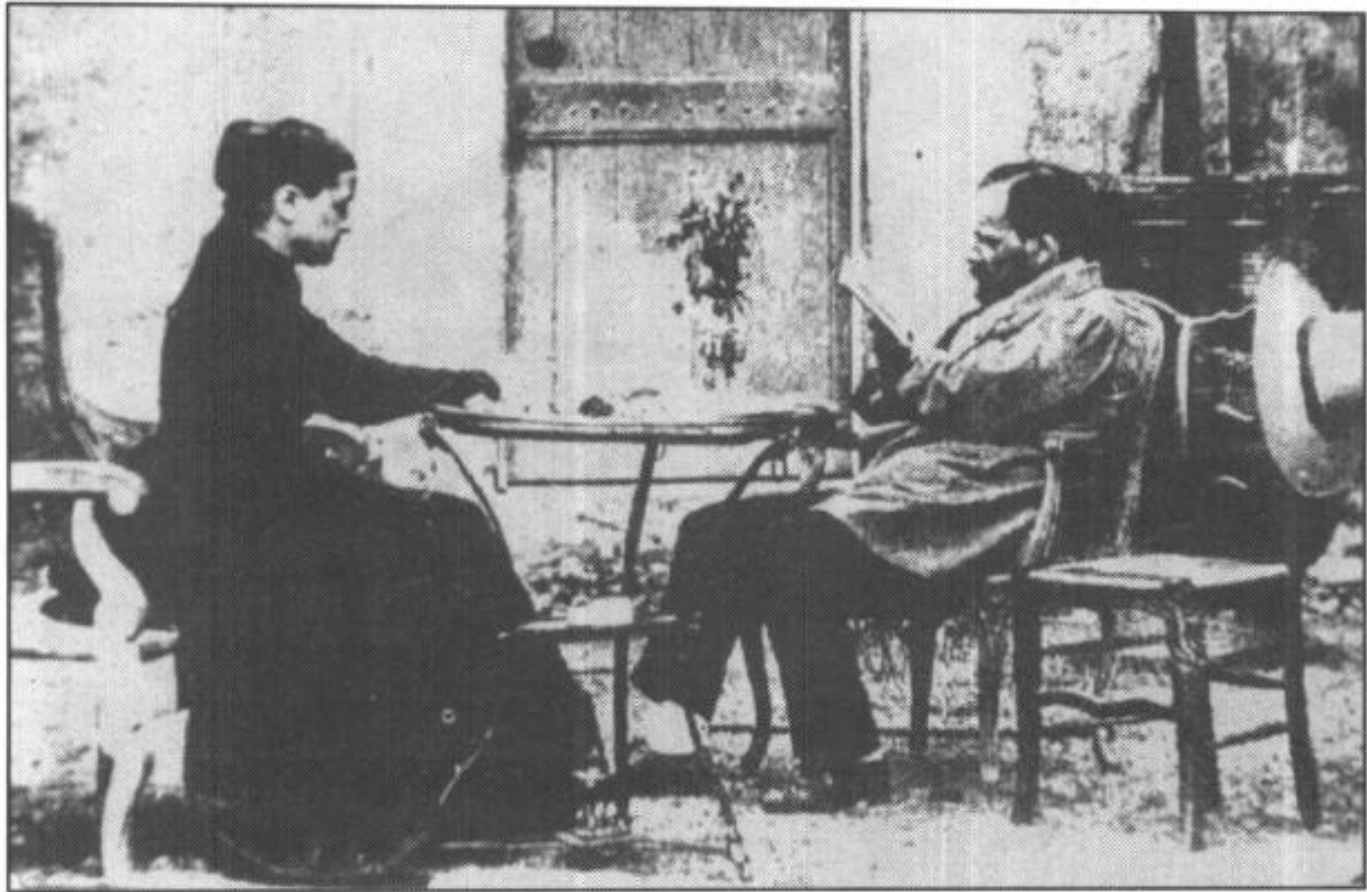


图 32-9 巴斯德与夫人在花园里

这种说法使关于自然发生说的争论变得非常复杂，巴斯德决心回避生命的最终起源问题，而把注意力用于证明：在消毒条件下，微生物是不可能自动产生出来的。他仔细地研究了空气中的微生物，设计了一个又一个新实验来说明微生物是如何从空气中进入有机溶液中。最著名的两个实验是曲颈实验和葡萄园实验。他将一个曲颈烧瓶在火上拉成一个弯曲的长颈，将有机液（如牛奶、肉汤等）放进去加热消毒。以后，由于瓶颈是弯曲的，空气虽然可以进入烧瓶内，但带菌的小颗粒被挡住了，有机液未受微生物侵害。一旦曲颈被划破，则有机液很快就变质了。葡萄园实验是专为著名生理学家伯纳尔做的，因为他相信发酵时不一定需要活的酵母菌。巴斯德建立了一座温室，将他的整个葡萄园全部封起来，等葡萄成熟后，如不添加酵母菌，它们根本不可能自动发酵。

在一系列公开的判决性实验之后，巴斯德已使自然发生说声名扫地，同时自己则成了神奇般的人物。1865 年，法国蔓延着一

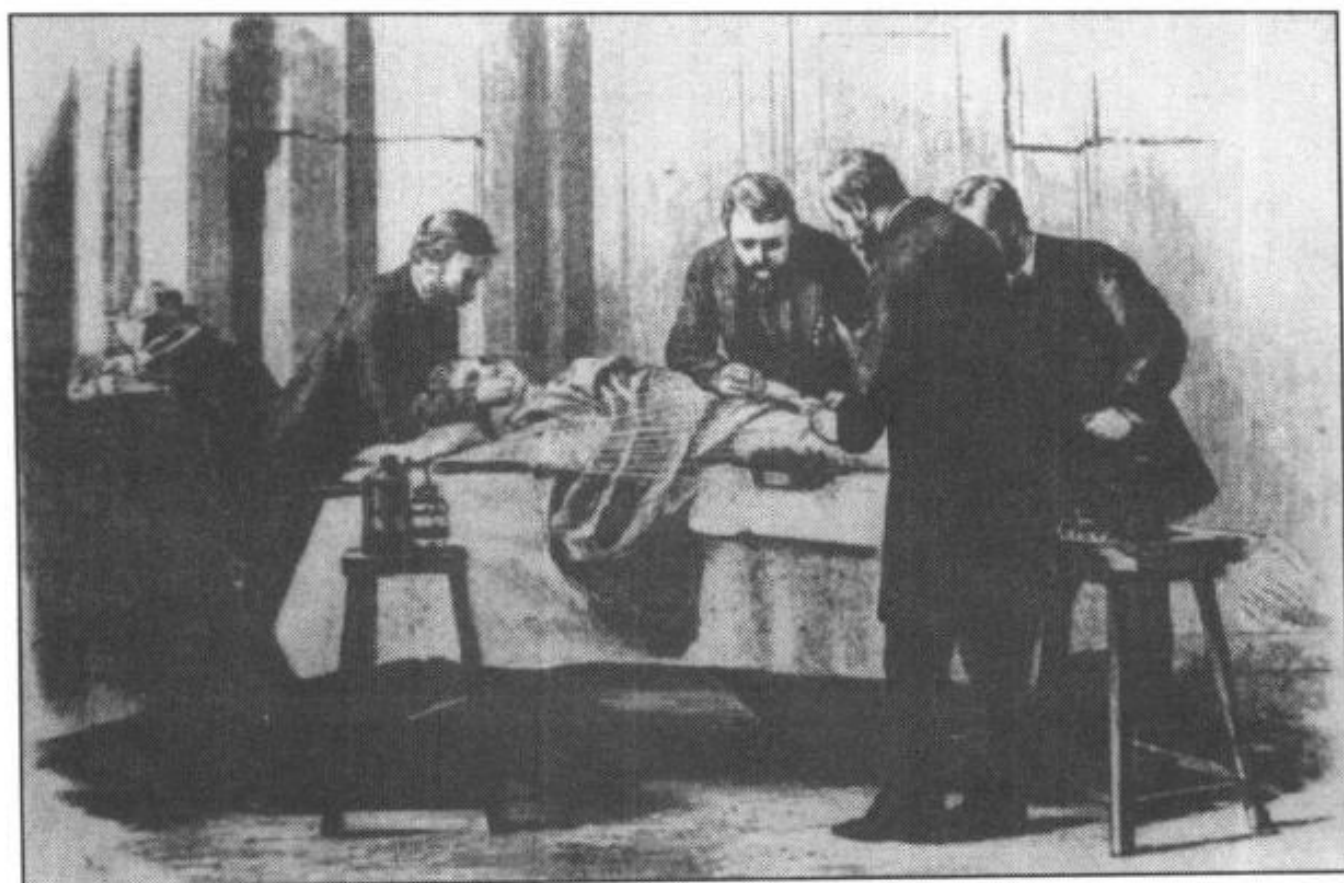


图 32-10 李斯特正在做外科手术

种丝蚕病，它使法国南部的养蚕业和丝绸工业蒙受巨大的损失。当时任农商部长的法国著名化学家杜马邀请巴斯德出面解决这个问题。巴斯德说自己从来没有与丝蚕打过交道，杜马则认为他肯定能完成这个任务。巴斯德带着显微镜来到南方，从患病的丝蚕以及桑叶中发现了两种微小的寄生物，正是它们导致丝蚕生病的。巴斯德向杜马提出，唯一的办法是将染病的蚕和桑叶全都毁掉。杜马采纳了巴斯德看似激进但简单易行的办法，结果挽救了法国的养蚕业和丝绸工业。

巴斯德的微生物理论获得了越来越大的影响。在英国，外科医生李斯特（1827—1912年）率先将巴斯德消毒法用于外科手术，从前，他的病人有45%死于手术后，其原因都是伤口发炎溃烂。李斯特意识到，伤口发炎一定是细菌在作怪。他发明了石碳酸消毒法，对手术器械和创口消毒，使术后死亡比例降到15%。在法国，医生们非常保守，他们不听巴斯德的劝说，不相信巴斯德这位连

医学学位都没有的人，能对医学有多大贡献。但是，巴斯德从事的工作正带来了医学领域的一场革命，这将使他成为历史上最伟大的医生。

解决了丝蚕病后，巴斯德进一步研究高等动物的传染病。当时法国农村正流行着一种炭疽病，大批的马、牛、羊很快死去。有些显微学家已经从病羊的血液里发现了致病细菌是一种丝状体，但学界争论很大。巴斯德很仔细地将这种病菌从动物体内分离出来，将其反复稀释、纯化，得



图 32-11 显微镜下面的炭疽病杆菌

到比较纯粹的炭疽病菌，从而证明了炭疽病的发病病因是这种炭疽病菌。巴斯德又一次提议，将那些患病的牲口全部杀掉，并烧掉尸体，深埋地下，以制止疾病蔓延。

细菌学发展到免疫学，是对人类文明的一个巨大贡献。免疫的概念是从预防天花开始的。天花是一种极为常见的流行病，那个年代几乎每个人都得过天花。此病极为可怕，许多人因此而丧失生命，幸存者，有的长满麻子，有的面容毁得不像样子。著名

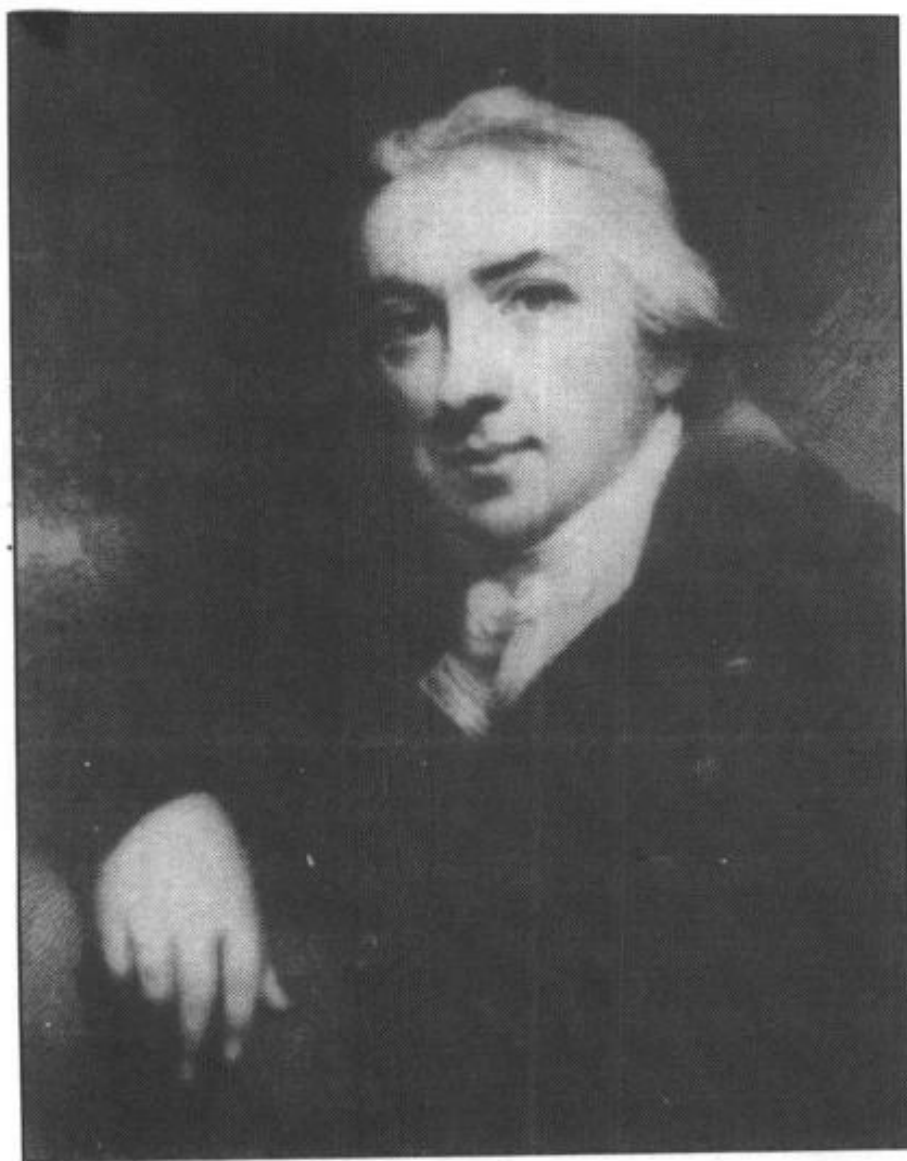


图 32-12 詹 纳

英国物理学家胡克就因患天花而满脸麻子。但人们也发现,那些得过轻微天花的人,一旦病好,以后就永不得此病,也就是说获得了免疫能力。这使人产生了人为接种的想法。16世纪,中国人就已经开始接种人痘,即从轻微天花病人身上人工接种此病,从而达到预防的目的。这个方法通过阿拉伯人传到了欧洲,一时流行开来。启蒙运动的领袖狄德罗

就大力鼓吹人痘接种法。但是,人痘接种非常不可靠,因为不能保证被接种者只患轻微的天花。英国医生詹纳(1749—1823年)注意到,有些得过牛痘(发生在牛身上类似于天花的一种轻微的病)的



图 32-13 种牛痘漫画

人也永不得天花。他大胆地做过几次实验，发现确实如此，1798 年，他公布了这一重要的发现。英国王室率先种了牛痘，接着很快在欧洲推广，天花从此被人类制服。有趣的是，伦敦医学会也因詹纳拒绝参加关于希波克拉底和盖伦理论的考试，而不让他入会。他们不知道，詹纳才是人类历史上第一次真正制服一种疾病的伟大医生。

詹纳虽然发明了种牛痘法，但他并不知道为什么种牛痘就可以预防天花。巴斯德的微生物理论对此提供了根据。他在对鸡霍乱

病的研究中发现，有毒病菌经过几代繁殖，毒性大大减弱。此外，他还发现，用这些毒力极弱的细菌给鸡接种，鸡就获得了对鸡霍乱病的免疫能力。巴斯德将之总结为接种免疫原理：接种什么病菌，就可以防治该病菌所引起的疾病。

在细菌层次上发现了免疫学的基本原理之后，巴斯德重新回到炭疽病的防治研究上来。他将自己提纯出来的炭疽病菌放在温热的鸡汤里培养。这样可以使病菌的毒性更快地减弱。然而最终



图 32-14 巴斯德研究所门前的雕像

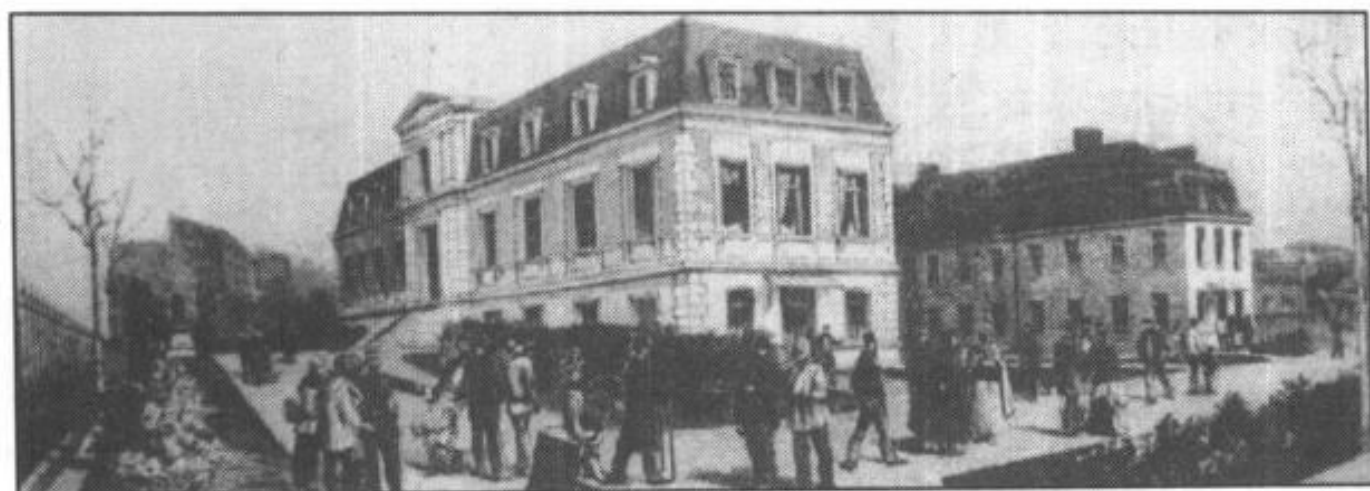


图 32-15 世界各地的狂犬病患者来到这里求治

培养出毒性极弱的疫苗后，却遭到许多人的反对和不信任，在实验室里进行反复试验并取得成功后，巴斯德决定公开试验。1881年5月5日，在一大群内科医生和兽医面前，巴斯德对48只绵羊中的24只、10头母牛中的6头、两只山羊中的一只进行接种。31日，试验主持人拿出了有毒的炭疽病菌液体，而且应观众的要求将病菌液体剧烈摇匀；庸医们又要求增大剂量，并交替对接种和未接种过的动物注射，以防巴斯德作弊。巴斯德一一按要求作了。一开始看到接种动物出现轻微反应，巴斯德也捏了一把汗。后来，没接种的动物一个接一个地死去，而接种过的动物全部没问题，他才松了一口气。结果，那些起先持怀疑态度的人全都转变了立场，巴斯德取得了巨大的胜利！

巴斯德最辉煌的工作是对狂犬病的征服。根据他的细菌免疫原理，巴斯德起初也认为狂犬病起因于一种细菌，但是在显微镜下，却怎么也看不到这种特殊的细菌，因此，他就无法将之分离出来加以培养（人们后来认识到，引起狂犬病的不是细菌而是比细菌小得多的病毒）。经多次试验，巴斯德创造性地发明了活体培养法制取疫苗。他将狂犬的毒液接种到兔子的脑膜下，兔子死后将其脊髓提取出，再接种到另一种兔子脑膜下，这样经多次培养，得到了毒性极微弱的狂犬病疫苗。巴斯德发现，被狂犬咬伤到发病有一至两个月的潜伏期，如果在这段时间内，直接给被咬伤者进

行脑膜下接种，疫苗就可以事先发生作用，从而有效地制止狂犬病的发作。

1885 年 7 月 6 日，一位名叫迈斯特的 9 岁男孩被狂犬病狗多处咬伤，几乎所有医生都断



图 32-16 巴斯德为人接种疫苗

定他无望生还。巴斯德只是给动物做过试验，尚未在人体身上试过。在迈斯特父母的要求下，他用毒性十分微弱的狂犬病疫苗给迈斯特进行注射，以后逐渐加大毒性，直至 7 月 16 日注射了刚使一只兔子致死的疫苗。巴斯德焦急地观察迈斯特，因为这毕竟是第一次给人体接种狂犬疫苗。但是，潜伏期过了，迈斯特却奇迹般地好了，狂犬病没有发作。

消息轰动了整个欧洲，人们纷纷把患者从世界各地送往法国巴黎，因为这里的巴斯德是唯一能解救他们的人。为了应付日益增多的患者，法国于 1888 年成立了巴斯德研究所。被巴斯德解救的第一个患者迈斯特当了这个研究所的看门人。1940 年，纳粹德国占领巴黎时，想让迈斯特打开巴斯德的墓室，迈斯特为保守墓室的秘密而自杀。

如果说詹纳第一次使人类真正征服了一种疾病，那巴斯德则引导人们真正征服了许多种疾病，他使医学在治病救人方面显示出无与伦比的威力。他使欧洲人的平均寿命由 40 岁提高到 70 岁。科学在征服大自然中的威力，科学对增进人类幸福的作用，在巴斯德这里得到了最好的体现。他放弃了能使他获得巨大财富的巴

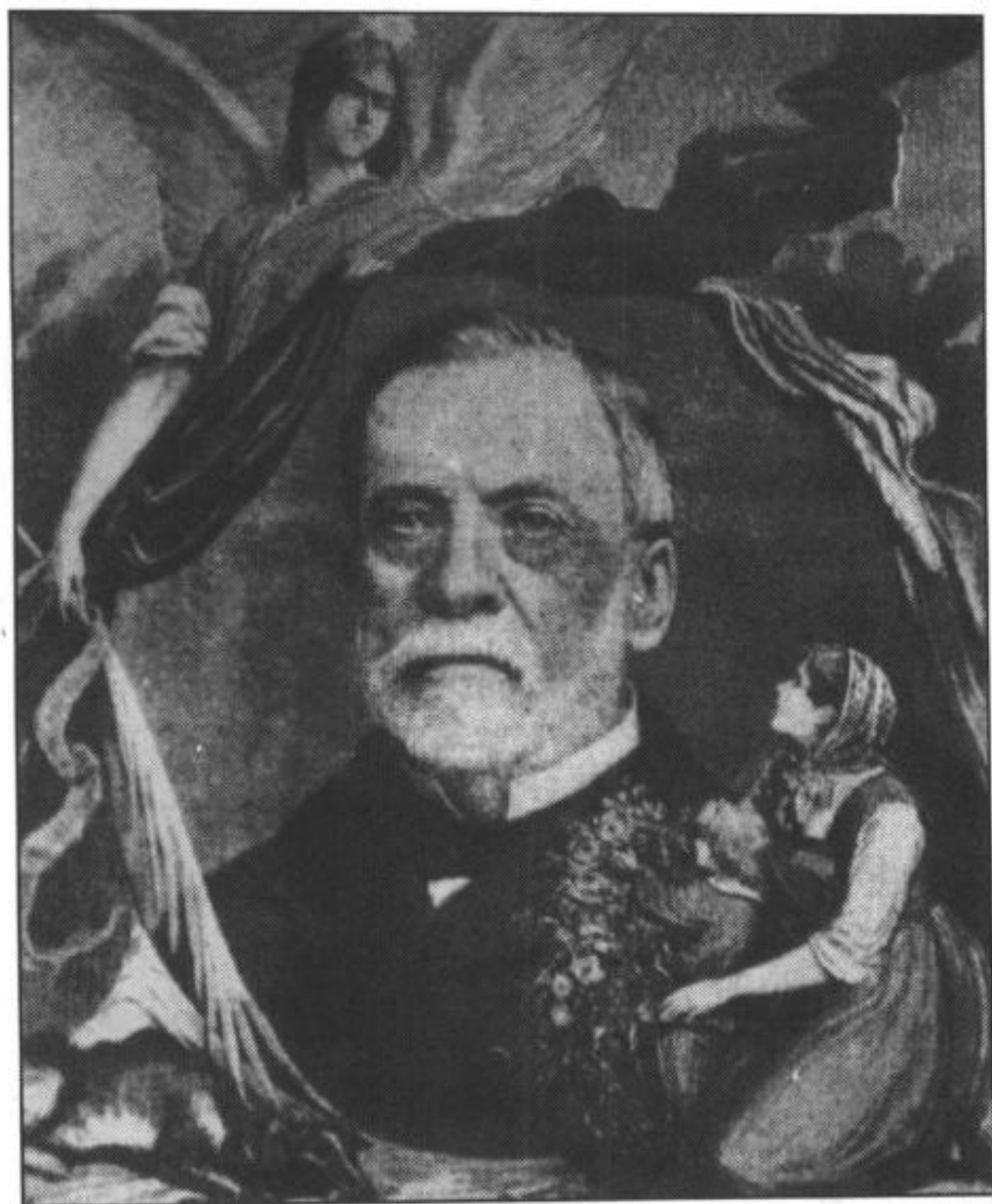


图 32-17 人类最大的赞扬和感谢

斯德消毒法的专利权，以使之更好地为人类服务，这是他高尚品德的见证。他毕生坚持不懈地与自然发生说作斗争，与一群又一群保守而又无知的著名人士公开辩论，表现了追求真理的勇气和胆识。著名英国物理学家丁铎尔（1820—1893年）曾给巴斯德写信

说：“在科学史上，我们首次有理由抱有确定的希望，就流行性疾病来说，医学不久将从庸医的医术中解放出来，而置于真正科学的基础上。当这一天到来时，我认为，人类将会知道，正是您才应得到人类最大的赞扬和感谢。”

1868年10月，巴斯德突然中风，身体左半侧丧失活动能力，以后病虽然好了，但元气大伤。1888年巴斯德研究所成立时，他都不能亲自出席成立典礼。但他一直顽强地工作，直到生命的最后一刻。1895年9月28日，巴斯德在巴黎去世，终年73岁。

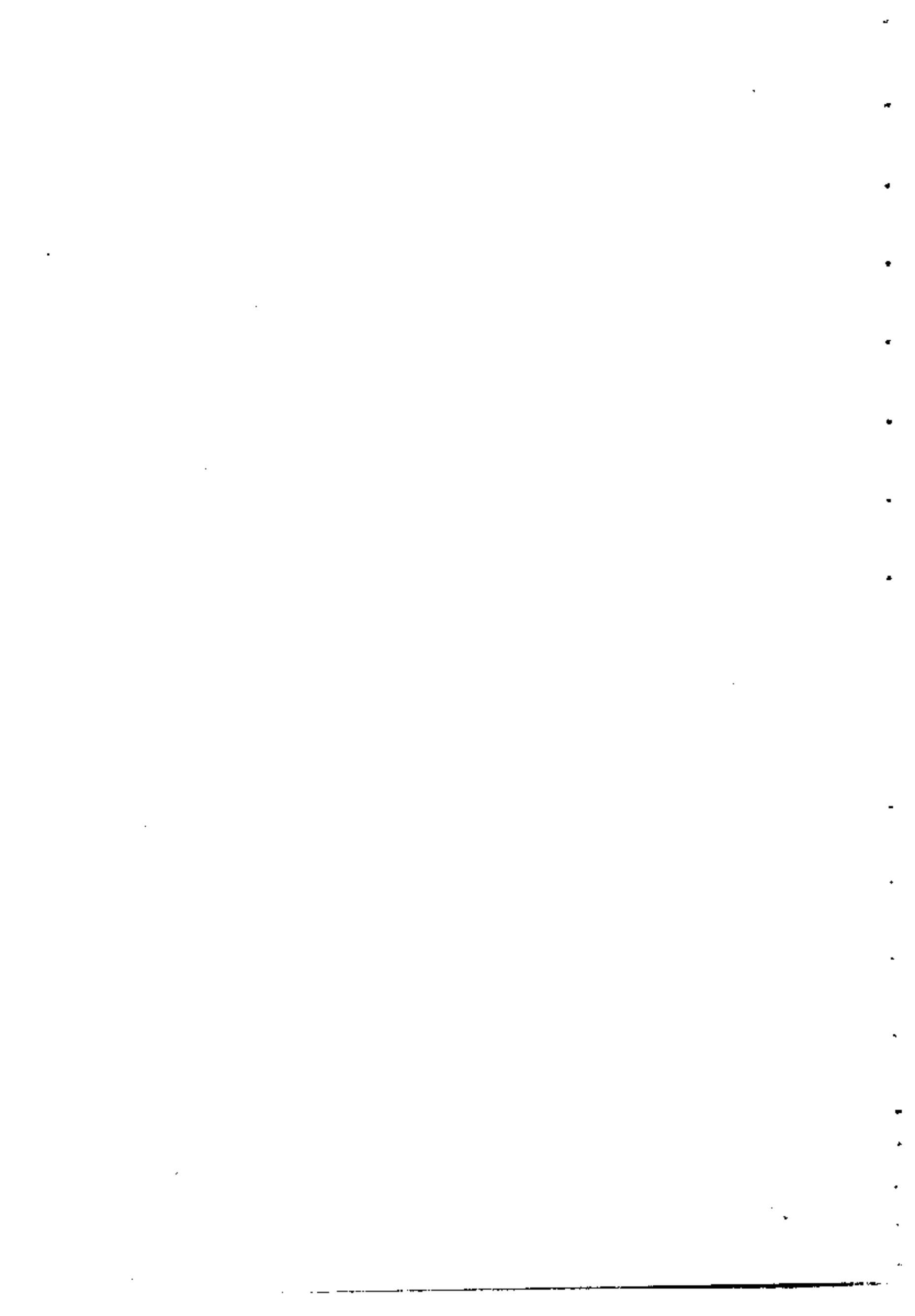
在现代医学的诞生过程中，德国医生科赫（1843—1910年）也

做出了重要的贡献。他在细菌学的原理和技术方面均做出了开创性的工作。当医学界就炭疽病的原因展开论战时，科赫用自己娴熟的技术分离出了炭疽杆菌，证明炭疽病正是由于炭疽杆菌引起的。他研究了该菌的生活规律，发现在 15°C 以下的干燥土壤中，可以防止炭



图 32-18 科 赫

疽病菌的传染和危害。科赫还发展了细菌染色方法和营养明胶培养法，使得在实验室里能更好地从事细菌学研究。1882年，他运用先进的细菌学技术分离出了结核杆菌，1884年又分离出了霍乱杆菌，这些杆菌极为细小，没有高超的技术根本分离不出来。1905年，科赫获得了诺贝尔医学和生理学奖，以表彰他在肺结核研究方面的成就。



第七卷

19世纪：科学的技术化、社会化

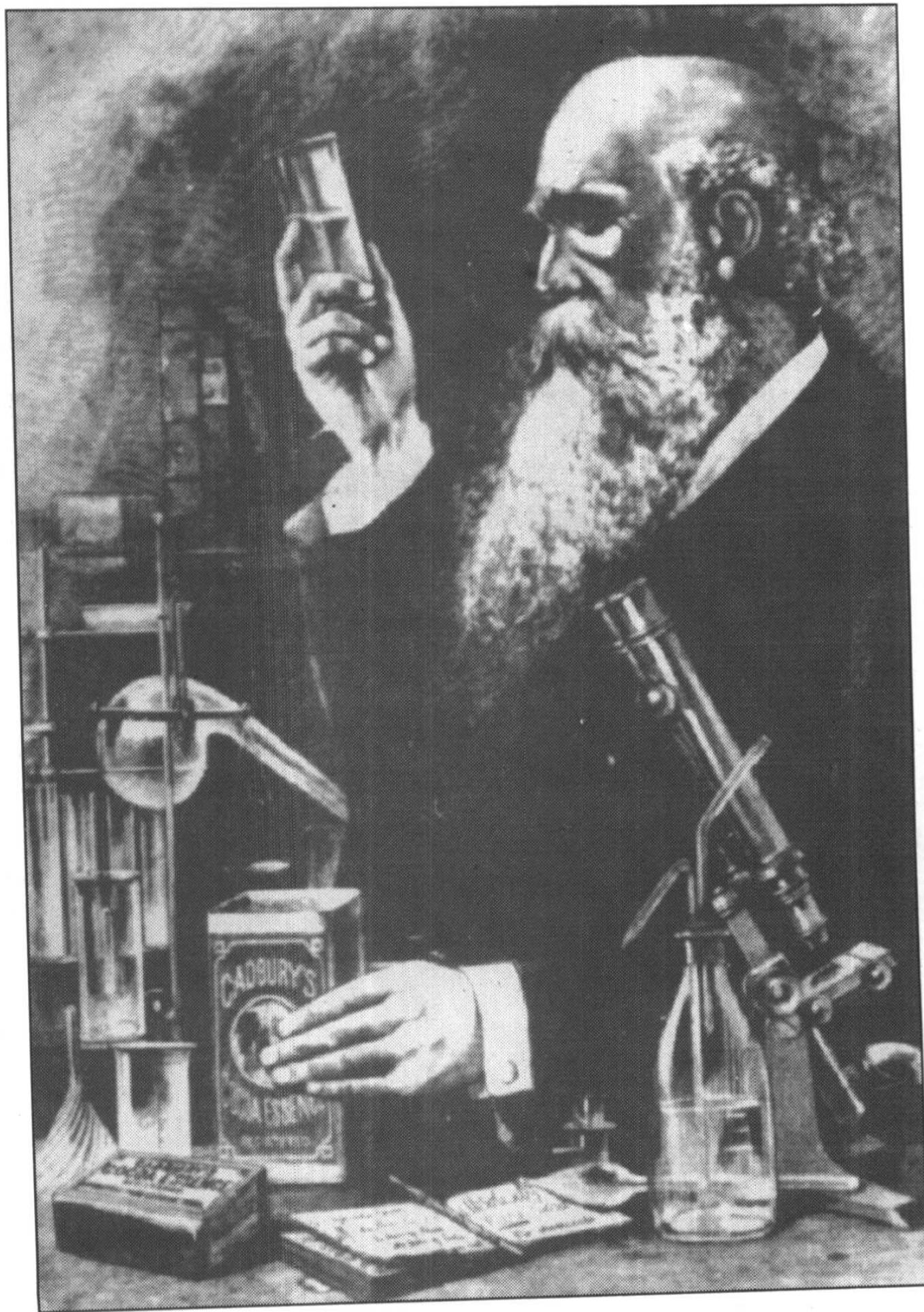


图 33-0 在这个科学的世纪，科学被用于商业广告

19世纪被誉为科学的世纪，不仅因为各门科学均相继成熟，宏伟的古典科学大厦已经耸立起来，而且因为，科学在这个世纪开始成为社会生活的一个重要组成部分，科学知识被大大普及，理论科学的伟大创新转变成为技术科学的无比威力。在这个世纪，蒸汽动力在社会生活的许多方面发挥作用，被马克思称为“世界的加冕式”的铁路成了世界经济的大动脉；法拉第—麦克斯韦的电磁理论宣告了电气时代的到来；巴斯德创立的微生物学则在工业和医学上立即发挥出神奇的作用。科学的技术化和社会化成了这个科学世纪的最突出特征。

第三十三章

科学强国的兴衰

在各种复杂的社会历史条件制约下，世界科学发展的中心表现出地域性的变化迁移。从大的尺度看，科学起源于东方，四大文明古国全是东方国家。地中海岸边的希腊人向东方的埃及和巴比伦学习，创立了古代高度发达的文明，成为欧洲文明的摇篮。文艺复兴以来，欧洲科学飞速发展，而老旧的东方国家则越来越落后，相继成了欧洲列强的殖民地。到了20世纪，科学又在新大陆美洲繁荣昌盛。本世纪末，亚洲太平洋地区更显出蒸蒸日上之势，以致有人预言，21世纪科学中心又将会重新回到亚洲。

从小的尺度看，在欧洲近代科学的昌盛时期，也有一个重心的转移过程。在地理大发现方面，西班牙和葡萄牙因为其优越的地理位置而独占鳌头。在希腊文化的复兴方面，意大利近水楼台先得月，成为文艺复兴运动的策源地。近代科学革命包括天文学革命和生理学革命也正是在这里开始的，实验科学的真正始祖伽利略就是意大利人。继意大利之后，英国成为欧洲科学的中心，吉

尔伯特、哈维、波义尔、胡克、牛顿等科学大师都是英国人。牛顿巨大的科学成就使英国人滋生了强烈的民族优越感和自满保守思想，到了18世纪，英国科学开始衰落。特别由于牛顿——莱布尼兹关于微积分的优先权之争，导致英国数学界与欧洲大陆之间出现人为的隔绝，英国数学停滞不前，18世纪最重要的成就如分析力学，大多不是英国人做出的。

19世纪，法国、英国、俄国、德国、美国各领风骚，使这个科学的世纪大放异彩。

1. 法国

启蒙运动与法国大革命为法国科学发展开辟了道路。大革命在科学体制和教育体制方面的直接后果是：改组了法国科学院，使其

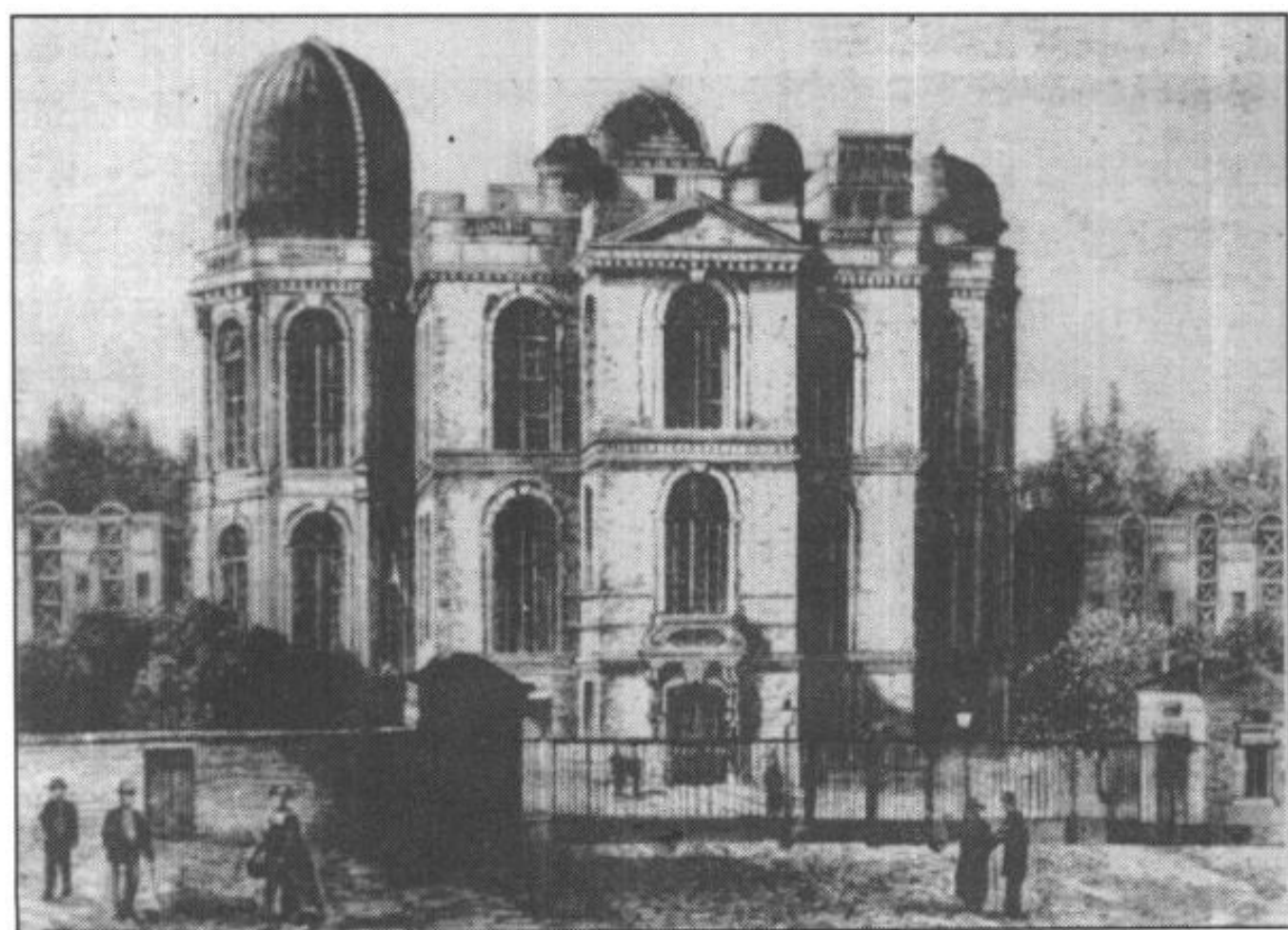


图 33-1 巴黎天文台

成为名符其实的科学研究中心，废除了贵族当权的名誉院士制度；统一了度量衡；创办了巴黎高等师范学校和巴黎综合工科学校。

综合工科学校为19世纪初的法国培养了大批优秀的科学人才，这只“下金蛋的母鸡”确实产下了当时最杰出的科学家：发现气体膨胀定律的著名物理学家、化学家盖—吕萨克，发现电流元磁力定律的著名物理学家比奥，发现偏振现象的著名物理学家马吕斯，著名的分析力学家泊松，发现偏振光干涉的著名物理学家阿拉哥，创立光之波动说的著名物理学家菲涅尔，著名数学家柯西，创立射影几何学的著名数学家彭塞列，均毕业于这所学校。

18世纪，法国在分析力学方面的工作是首屈一指的，大数学家达朗贝尔、蒙日、拉格朗日、拉普拉斯和傅里叶都是法国人。大革命后，法国科学转向实用性、技术性，在实验科学方面也跃居世界前列。卡诺关于热力学的研究是这一时期最出色的物理学工作。

由于近代化学之父拉瓦锡的缘故，法国一时成了化学的故乡。

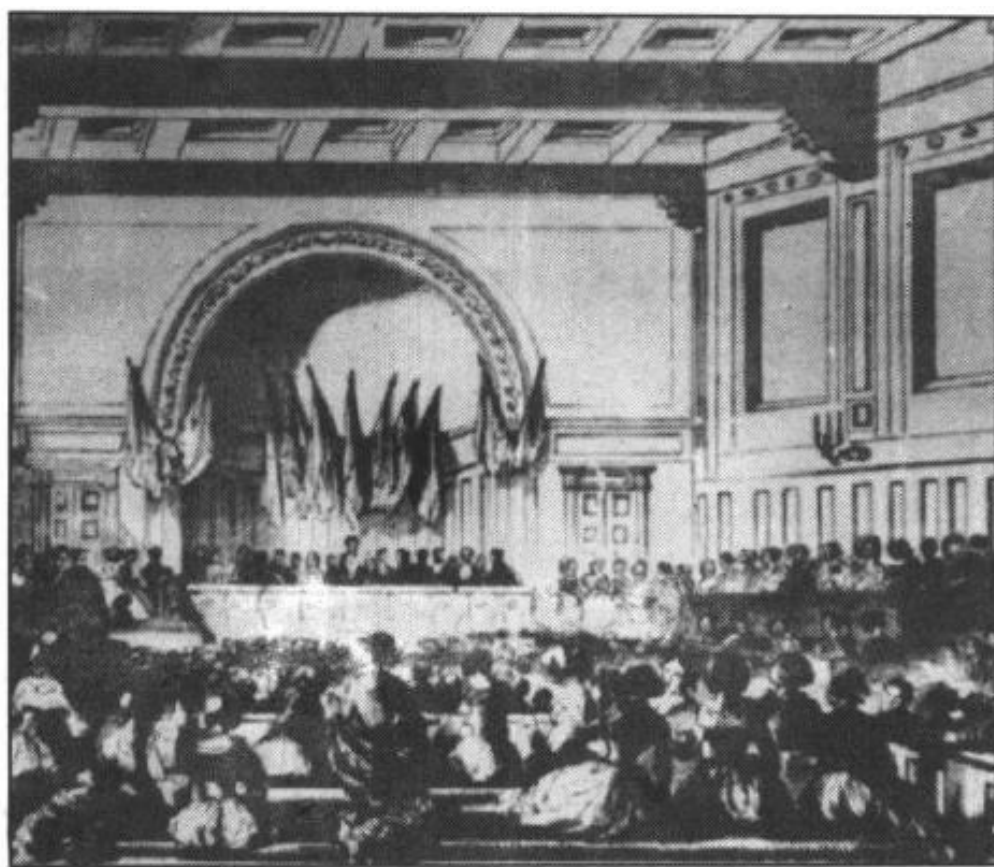


图 33-2 1847年在都尔的法国科学年会

拉瓦锡之后的法国大化学家们如盖—吕萨克、杜马等，吸引了大批外国学生。不仅在理论化学方面，就是在实用化工方面，法国也走在世界的前面，当时最先进的制碱和制糖工业均发源于法国。

在19世纪初兴盛一时的法国科学很快走向衰落，原因是多方面的。首先是法国政局的动荡多变。拿破仑当政时期热衷于征服世界，连年发动对外战争，国力大衰；拿破仑之后波旁王朝复辟又使国内陷于白色恐怖，这些政治上的不稳定在一定程度上影响了法国科学的发展。另一个也许是更直接的原因，是法国科学活动的高度集中性制约了它发展的活力。当时一切科学活动均受法国科学院控制，以致主要的科学工作都集中在巴黎进行；外省的科研条件十分差，那些有才华的科学家常常因为与巴黎的权威人士不和而不得不在外省耗费生命、无所作为。科学管理的高度集中也带来了可能出现的学阀作风。以生物学为例，由于居维叶一直担任教育部长和法国科学院的常务秘书，他对进化论的否定态度大大压制了法国在这方面的发展；在拿破仑时期，他打击拉马克，在波旁王朝时期，他又压制圣提雷尔，致使法国在生物进化论的发展中一无所为。再以化学为例，著名化学家罗朗由于与化学权威杜马关系不好，无法在科学院谋得一个职位，而在外省几所条件极为恶劣的大学里虚度光阴，他在有机化学方面提出的许多正确理论未能发挥应有的影响。



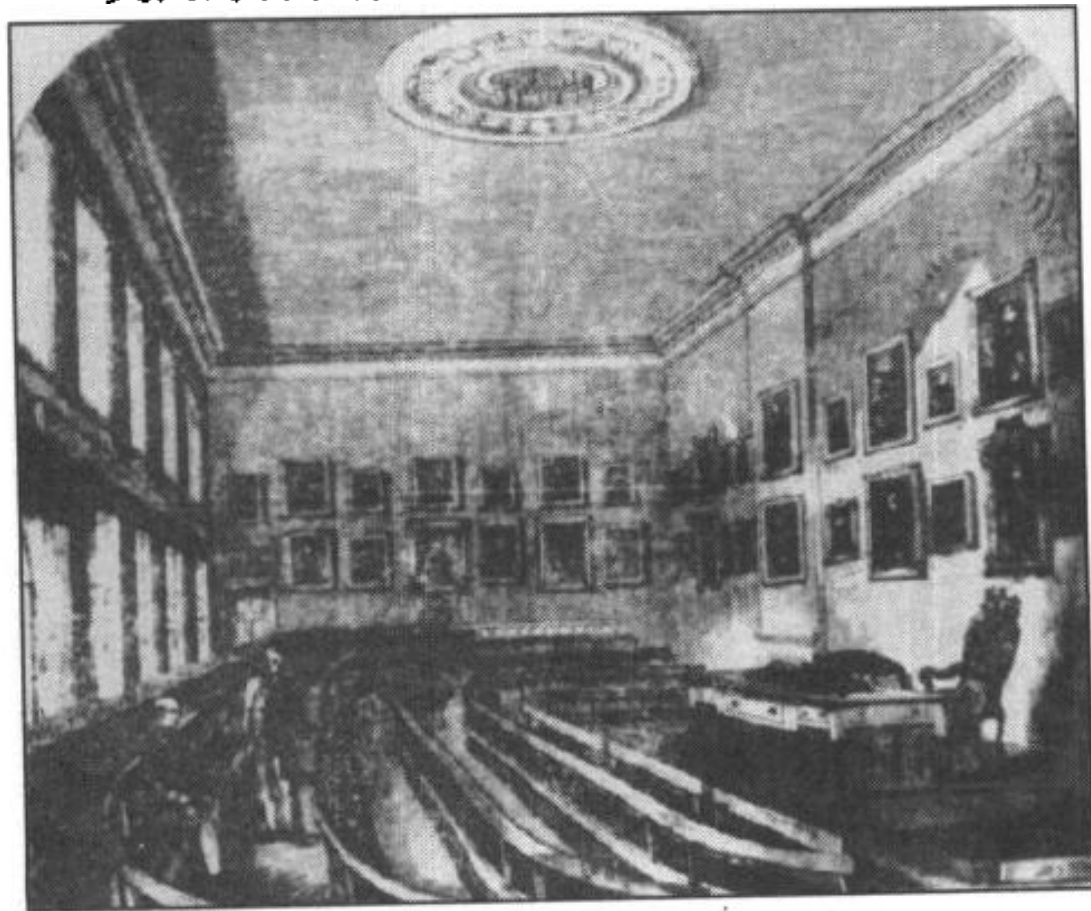
图 33-3 皇家学会 18 世纪开会的地方

2. 英国

英国曾是近代科学的主要策源地，是牛顿力学的故乡。它有着良好的民间业余科研传统，几乎源源不绝地向世界贡献优秀的科学家。也许是牛顿巨大的身影的遮蔽，18世纪上半叶英国的理论科学出现过暂时的低落，但第一次工业革命使英国在技术科学方面突飞猛进。当然，即使在这一时期，也出现了杰出的物理学家卡文迪许、化学家普里斯特列、天文学家赫舍尔。

19世纪上半叶，英国科学家在理论科学的诸多方面均有非凡建树，道尔顿对于化学、戴维对于电化学、托马斯·杨对于波动光学、赖尔对于地质学、焦耳、法拉第和麦克斯韦对于电学、达尔文对生物学，都起着划时代的作用。英国科学呈现出欣欣向荣的新气象。

英国的科技体制与法国不太一样；第一，它的科研工作分散



在全国各地，并不集中于伦敦一地，其标志是各地自发创办的各种科学团体，如利物浦文哲学会、利兹文哲学会、谢菲尔德哲学学会等；第二，政府对科学事业支持不够，几乎一

图 33-4 1857 年以后的皇家学会

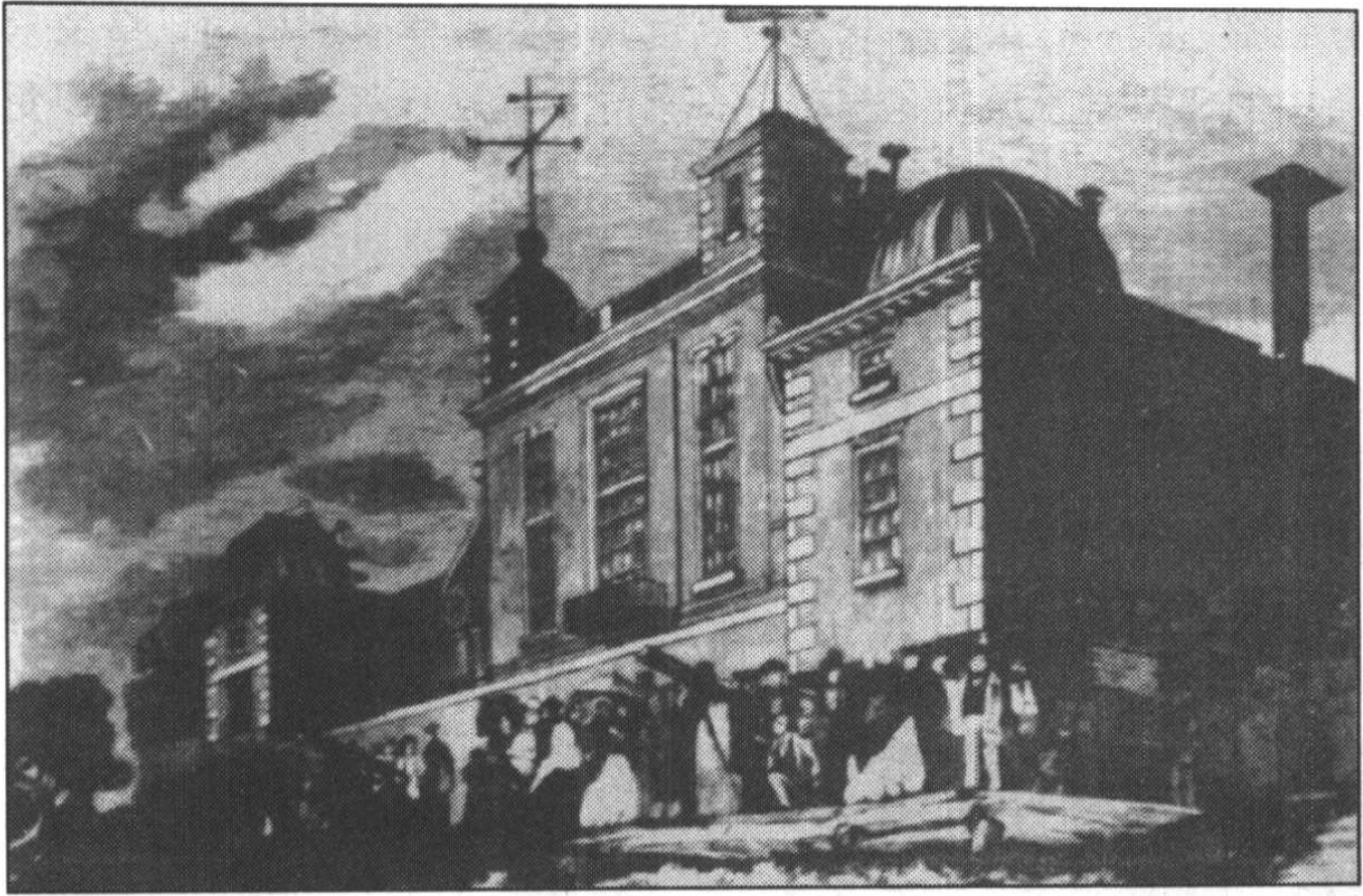


图 33-5 格林威治天文台



图 33-6 英国科学促进会在布里顿的会议

分钱都不投资；第三，它没有高度集中的科学管理机构，皇家学会中的非科学家成员越来越多，领导权也逐步落入贵族之手，变得像大革命前的法国科学院那样死气沉沉。

这样的科技体制对英国科学发展的影响是双方面的。一方面，科学管理的非集中性使得英国各地区均保持一定的发展活力，业余研究者层出不穷，不致因某些权威的个人喜好而窒息天才的创造。另一方面，政府对科学事业的冷漠也使英国科学从整体上赶不上邻近的法国和德国。

英国的有识之士深切地意识到老大的英国在科学日益重要的时代面临日益落伍的危险。1830年，剑桥大学的数学教授查尔斯



图 33-7 科学促进会的成员各式各样

·巴伯奇出版了《论英国科学的衰退》一书，分析了欧洲各国的科学状况，指出英国的业余科研传统正在使英国丧失曾经拥有的优势，英国人必须将科学作为一项事业来加以关注，科学家应该受到良好的培养和教育，并成为一种职业。该书引起了广泛的好评，并推动了英国科研体制和教育体制的改革。

科研体制改革的几项重要措施包括：成立了一个新的全国性的科学团体“英国科学

促进会”，而皇家学会运作机制也有所改进；创办了一些新的学校，与牛津和剑桥这些老牌大学相比，这些新的大学更少受等级制度的束缚，更多的鼓励发展自然科学，直接培养科学人才；此外还创办了许多技工学校，它们直接服务于工业生产，使第一次工业革命得以在英国充分实现。

在整个 19 世纪，英国科学处于稳步发展的局面。旧的传统迎合新时代的需要毕竟是不容易的，英国人虽然在电磁理论方面做出了开创性的工作，但以电力革命为核心的第二次技术革命却在最新崛起的德国率先开始，德国很快成为科技大国。

3. 德国

19 世纪以前，德国一直是一个相对落后的封建国家，它长期处在四分五裂的状态，境内有数百个相对独立的小邦，普鲁士和奥地利是其中比较大的邦国。这种封建割据大大制约了德国经济和文化的繁荣和发展。近代史上，德意志民族也不乏杰出的科学家，象开普勒、莱布尼兹就是德国人，但这些杰出人物未能改变德国因社会历史原因所带来的总体上的科学落后局面。莱布尼兹亲手创办的柏林科学院因未受到普鲁士国王腓特烈一世的重视几成虚设。

1740 年，腓特烈一世的儿子腓特烈二世继位，这位新君王实行“开明专制”的政策，重视发展商品经济，保护科学文化事业。他从法国及欧洲各地重金聘请了一大批著名的科学家，象法国的莫培都、拉格朗日以及瑞士数学家欧拉均被请到柏林科学院任职，这些举措使科学院充满了活力。

18 世纪以后，一批新的大学在德国境内诞生了，如柏林大学（1809 年）、波恩大学（1818 年）、它们像当时一切新兴的学校一样，直接面向科学技术，为工业发展培养科技人才。

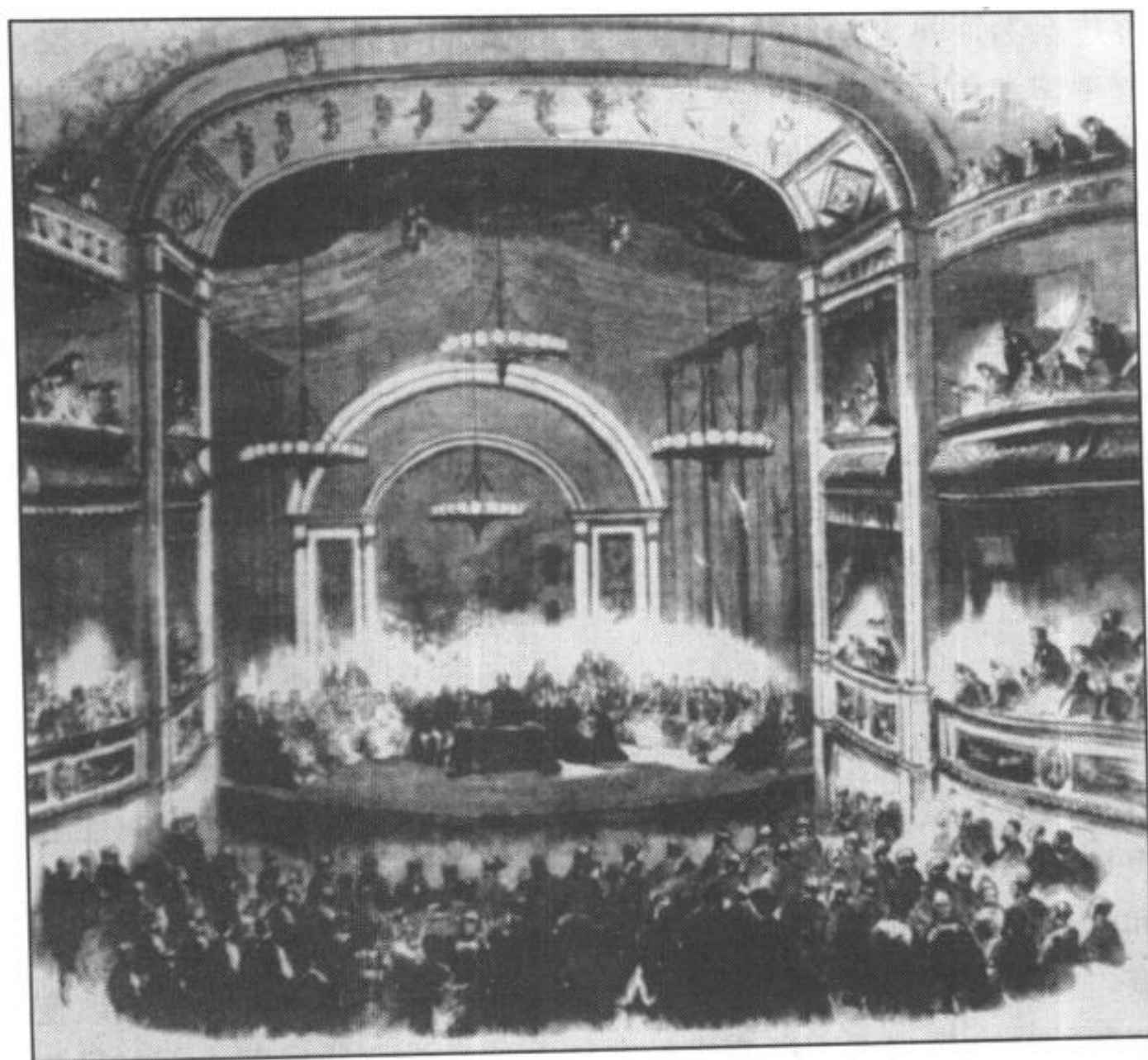


图 33-8 德国科学家聚会

德国科学的大发展是从化学开始的。1824年，著名化学家李比希从巴黎学成回国，担任吉森大学化学教授。这位有机化学之父在吉森大学创立了一套新的化学教学方法。首先他建立了一个专供学生使用的实验室，让学生们自己在实验室里动手解决教授所提出的问题，这打破了学生们在教授的实验室里打下手、当门徒的传统。这种先进的教学方法吸引了大批的青年学生来到吉森；聚集在李比希身边，使吉森成了当时欧洲的化学研究中心。李比希的学生们很快分散到了德国各地，在各大学和新兴的化工企业担任职务，使德国的化学和化工首先走在世界的前列。

1834年，德意志各邦建立了以普鲁士为首的关税同盟，使德国第一次有了自己统一的市场，这为德国的经济发展创造了优越的条件。1871年，德国在政治上完成了统一，建立了德意志帝国。政治经济上的这些变化，为德国科学事业的大发展开辟了道路。19世纪下半叶，在理论和应用科学两方面，德国突飞猛进，相继超过了法国和英国。在生物学领域，施旺、施莱登和微耳和建立细胞理论，耐格里、魏斯曼建立细胞遗传学；在物理学领域，欧姆、楞次、赫尔姆霍茨是电磁理论的创始者之一；在化学领域，继李比希之后出现了本生、霍夫曼、凯库勒、拜尔、菲夏等化学大师。据科学史家统计，从1851年到1900年的50年间，理论科学和技术科学上的重大成果计数，英国占106项、法国占65项、美国占33项，而德国占202项，表明已居明显领先地位。

德国后来居上，不仅用极短的时间完成了第一次以蒸汽动力为标志的技术革命，而且率先发起了以电力技术和内燃技术为标志的第二次技术革命。第二次技术革命进一步解放了生产力，使世界科学技术进入了一个新的发展时期。德国雄厚的科技实力以及在各门科学上的领先地位，一直持续到20世纪前半期，直到两次世界大战严重削弱德国的科技实力，德国才将冠军宝座让位于美国。

4. 美国

美国是一个年轻的国家。美洲被欧洲人发现之后，大量的移民涌入这块新大陆，当地的印第安人或被消灭或被驱逐，欧洲列强均在此建立了殖民地。英国作为当时的头号经济强国，在北美拥有最大的殖民地。几个世纪过去了，移民们开始在北美安居乐业，科学文化事业亦开始起步。电学家富兰克林可以看成美国的科学先驱。

1783年，经过近十年艰苦的独立战争，美国人赶跑了英国殖民当局，建立了自己独立的国家美利坚合众国。建国初期，美国的科学基础几乎是零。这个新兴的国家大量从欧洲引进技术和工业，很快在应用科学方面初具规模。他们修铁路、开钢铁厂、造汽船，在基础工业方面成效显著。

富兰克林不仅是美国的第一位科学家，也是独立战争的杰出领袖。1743年，他创立了美国哲学会，这是殖民地时期出现的第一个科学组织，学会宗旨是促进有用知识的探求和传播，实际上，在相当长的一段时期内，该学会充当了美国科学院的角色。

新大陆的人民忙于在一片荒漠上建立自己的家园，几乎无暇从事科学研究工作，即使当他们意识到科学对于他们生活的重要性之后，他们也只看到了技术科学和应用科学。这很可以解释在整个19世纪，美国科学的发展何以偏重于实用的方面。他们热衷于技术发明，而对理论科学却敬而远之。历史上第一艘汽船是由美国工程师富尔顿发明的，这也是美国历史上第一项重要的技术发明。

美国人信奉的实用主义在科学事业的发展上表现得淋漓尽致。著名的美国物理学家约瑟夫·亨利因为美国当时的学术条件所限未能及时地发表他的成果，而把发现电磁感应的优先权拱手让给了法拉第，这使他曾大声疾呼要重视基础理论研究，但收效甚微。美国人急于解决实际问题，因而鼓励发明，这使他们在19世纪末积累了世界上最丰富的技术发明。莫尔斯发明的电报以及爱迪生的诸多天才的发明是美国人实用智慧的写照。有人感叹说：“就是这些并没有发现过力学上任何一条一般定律的美国人，却将使世界面貌大为改观的蒸汽机引进了海上航行事业。”

1861年，美国爆发了闻名于世的南北战争，持续四年的内战以南方奴隶主彻底失败而告终。内战之后，美国的工业奇迹般地跃居世界先进行列，但其基础科学依然十分落后。少数有识之士

如洛克菲勒和卡内基私人投资在美国兴建了当时一流的天文台，这为日后美国成为世界天文观测的大本营奠定了基础。但总的来看，在基础理论方面，美国人不太出色。70年代，物理学家迈克尔逊设计出了一种测量光速的方法，后来因此获得了1907年的诺贝尔物理奖，这也是美国人第一次获此项殊荣，19世纪末美国最伟大的物理学家当推吉布斯，他在热力学上做出了一系列重要的贡献。在整个美国实用主义的文化背景，这些科学巨人寥若晨星。

直到第二次世界大战后，许多欧洲最优秀的科学家来到美国，才极大地推动了美国理论科学的发展。此时的美国，借着它在两次大战中积攒下来的庞大的经济实力，由联邦出巨资支持基础理论研究，它才成为名符其实的头号科技强国。

5. 俄国

沙皇俄国是从“基辅罗斯”即以基辅为中心的大公国发展而来的。15世纪末形成以莫斯科为中心的俄罗斯中央集权国家，16世纪中叶伊凡四世改称沙皇并开始向东扩张。这时期的俄国是一个十分落后的封建农奴制国家。1682年，年仅十岁的彼得一世即位，7年后亲政。这位雄才大略的君主决心实行全盘西化政策，向西方学习，引进科学技术，发展工业经济，建立近代教育体制。经数十年的励精图治，俄国有了一定的科学基础。1712年，彼得一世将首都从莫斯科迁往彼得堡。1724年，彼得大帝接受莱布尼兹生前的建议，成立了圣彼得堡科学院。

科学院虽然成立了，但俄国人没有自己的科学家，因此院士只好从欧洲聘请。瑞士数学家伯努利和欧拉是第一批被招聘来的。不幸的是，科学院成立的第二年，彼得一世就死了，他一死，宫廷里乱了套，发生了七次政变，换了七个沙皇，没有人再去关心

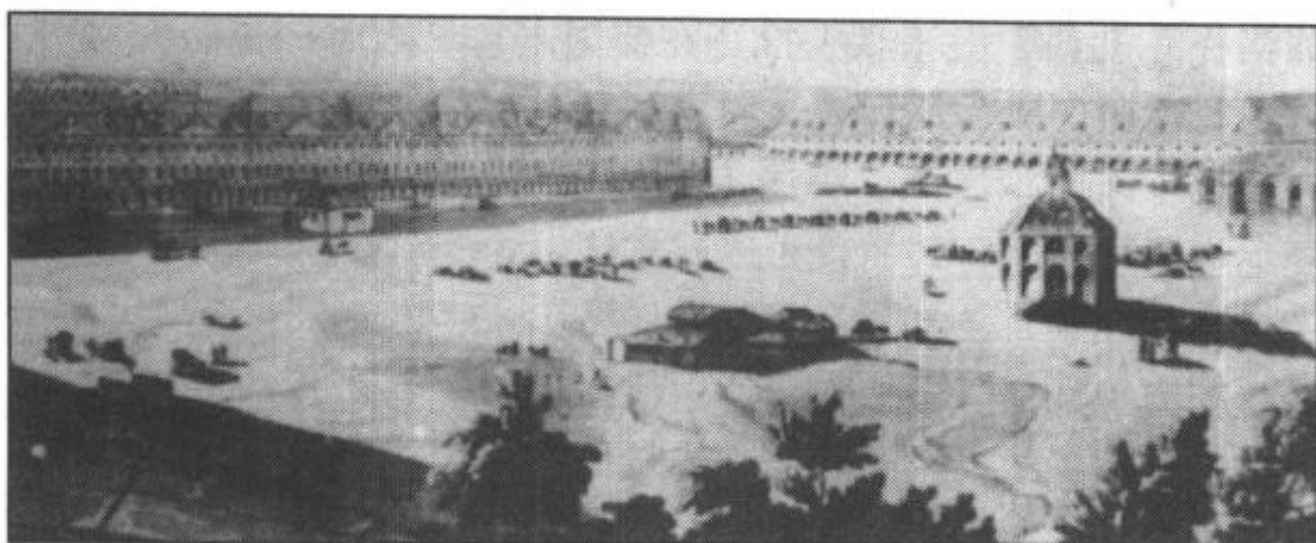


图 33-9 彼得堡科学院

科学院的事情。这种局面直到 1762 年叶卡特琳娜二世即位才告结束，这位女皇也仿效德皇腓特烈二世的“开明专制”，对科学文化事业推崇备至，她邀请狄德罗访问过彼得堡，又重新聘请了一大批欧洲科学家来彼得堡科学院任职。叶卡特琳娜二世在位期间（1762—1796 年），俄国的科学有了进一步的发展。

18 世纪，俄国也产生了自己伟大的科学先驱罗蒙诺索夫（1711—1765 年），这位渔民的儿子先是冒充贵族在彼得堡接受教育，后来被送到德国的马堡大学学习化学，1745 年学成回国。他几乎是一个全才。在科学方面，他反对燃素说，并提出了化学反应中的质量守恒定律；他支持热之唯动说和光的波动理论；他独立地重复了富兰克林的风引电实验，其老师在实验中被电击身亡；他第一个观测并记录下水银凝结的现象；他也是第一个发现金星上有大气存在的人。罗蒙诺索夫还是一位优秀的诗人和文学家。像富兰克林一样，他为自己的祖国建立了莫斯科大学（1755 年）。但罗氏生前，德国籍的科学家统治着圣彼得堡科学院及俄国的科学界，罗蒙诺索夫 1742 年当选为科学院院士，使该院第一次有了俄国人自己的院士，但他与德国同行们经常发生争吵，其学术影响受到了极大的限制。

19 世纪，俄国的工业已有长足的发展，制约科学发展的教育

事业也有了新的起色。1804年，莫斯科大学进行改组和重建，在原来的哲学、法律和医学三个系的基础上增设了数学物理系，俄国还创办了一些新的大学，如彼得堡大学（1819年）、喀山大学（1804年）、敖得萨大学（1807年）、基辅大学（1834年）。这些新兴的大学对于俄国科学技术的发展起了直接的推动作用。

俄国数个世纪的学习引进工作，终于在19世纪结出了果实。1826年，俄国数学家罗巴切夫斯基独立地创立了非欧几何；1869年，俄国化学家门捷列夫发现了化学元素周期律。这是俄国人第一次在科学史上写下的壮丽篇章。

第三十四章

运输机械的革命

18 世纪中叶在英国发起的第一次工业革命，诞生了瓦特的蒸汽动力机，这种机器一出现，马上使世界的工业格局和发展速度发生了翻天覆地的变化。使用蒸汽机之后，纺织品、煤炭、钢铁产量成倍甚至成十倍地增长。市场商品的激增、社会经济生活的极大活跃，向交通运输业的发展提出了迫切的要求。也正是蒸汽动力的运用，使运输机械发生了重大的变革，将文明社会推向一个热火朝天的新世界。

1. 汽船：菲奇、富尔顿

有史以来的几千年，人类的交通运输工具基本上是两种：水上靠船，陆地靠车，车或用人力或用畜力，而船或借风力或靠人力。由于水路运输运载量大，古代人都很重视这一运输工具，有些国家还在内陆人为地开辟运河，以创造水路运输的条件。中国的大运河以

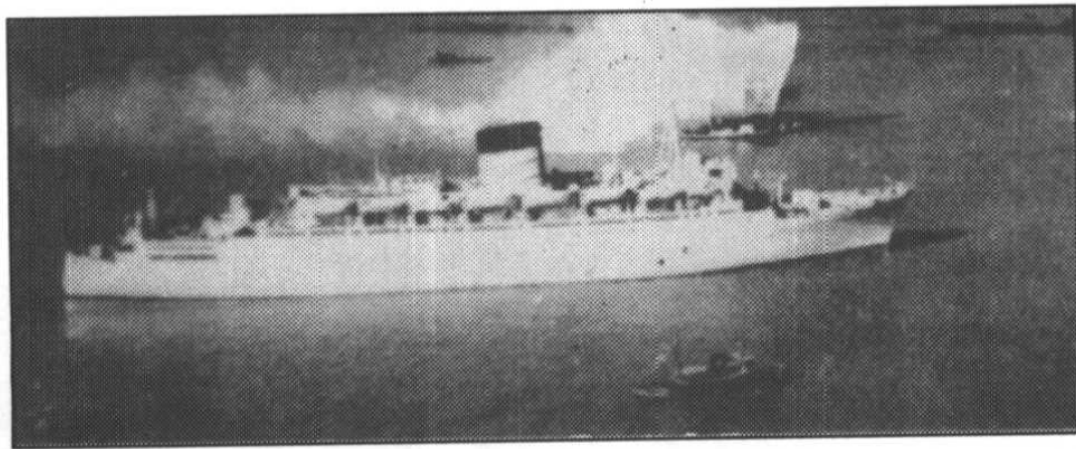
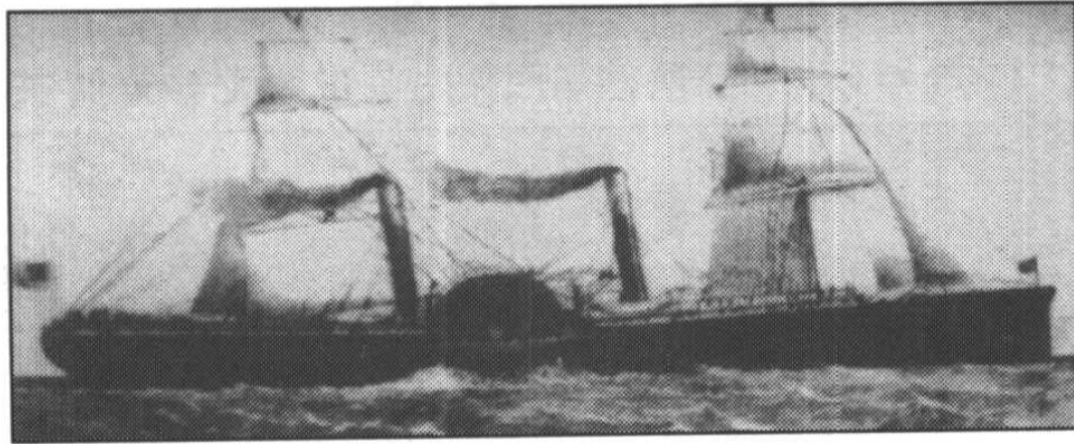
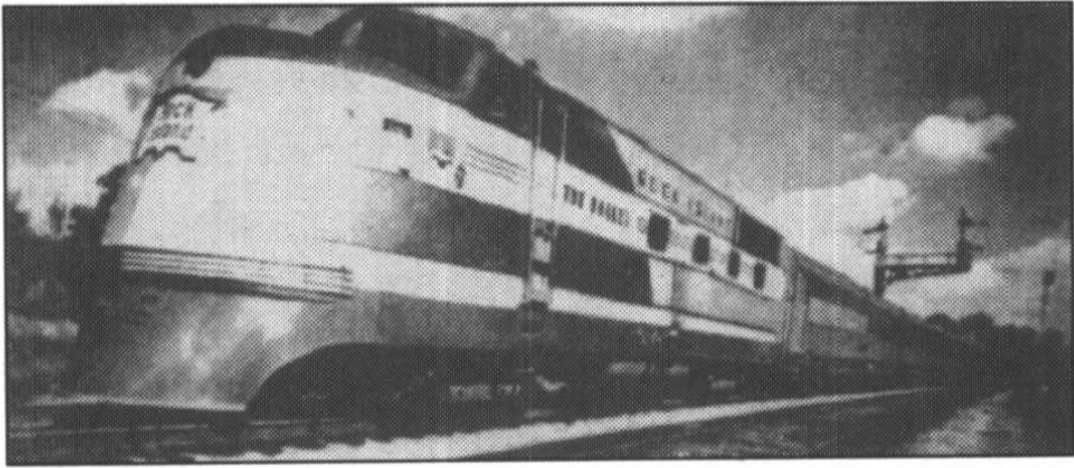
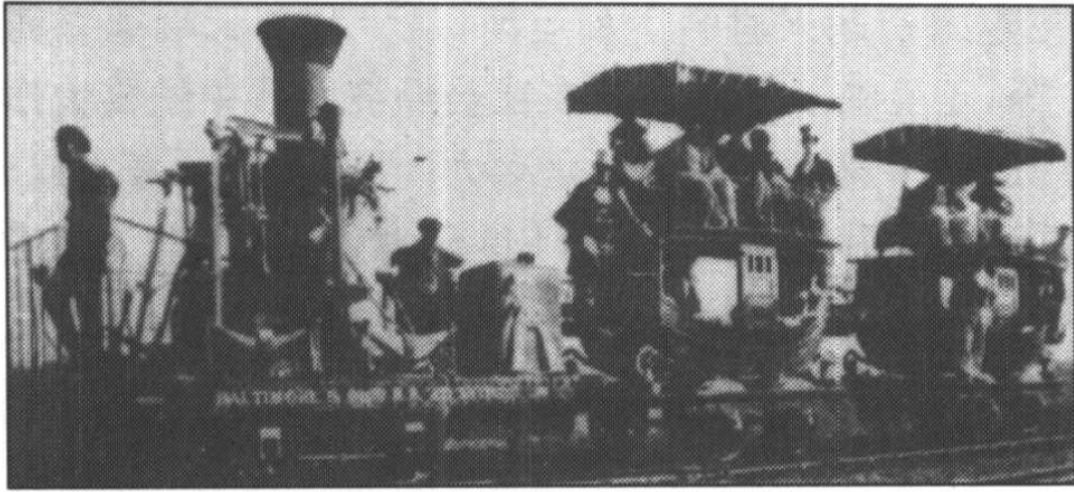


图 34-1 运输机械的革命

及美国在建国初期兴建的伊利运河(从伊利湖到哈德森河畔的奥尔巴尼)等,正反映了水路运输在社会经济发展中的重大作用。

制约运输事业发展的主要是动力问题。人力、畜力或风力,它们或者过于弱小(如人力),或者不能随意使用(如畜力之于海运),或者不能加以控制(如风向和风速)。以它们为动力,无法进一步提高船的载重量和航速。蒸汽机一问世,人们马上想到以之作为船的动力。在瓦特提交的新式蒸汽机专利书上,他曾提到了蒸汽机的各种可能的用途,其中特别指出可用于车辆、船只和锻锤,只是他一心扑在蒸汽机的改进和革新上,并未真地去实现这些可能性。

第一个将蒸汽动力用于船运的是美国工程师菲奇(1743—1798年)。这位美国发明家从1785年开始动手将瓦特刚刚推出的双向式蒸汽机装在帆船上,花了三年的功夫,他终于筹到了资金和有关的专利转让证书,并造出了四艘第一代汽船。不幸的是,他的汽船没有引起极大的关注,投入使用时乘客不多。1790年,他最好的一艘汽船在从费城到特伦顿的途中操作失灵,宣告了这项事业的失败。1793年,他来到法国,试图找到新的机会继续造他的汽

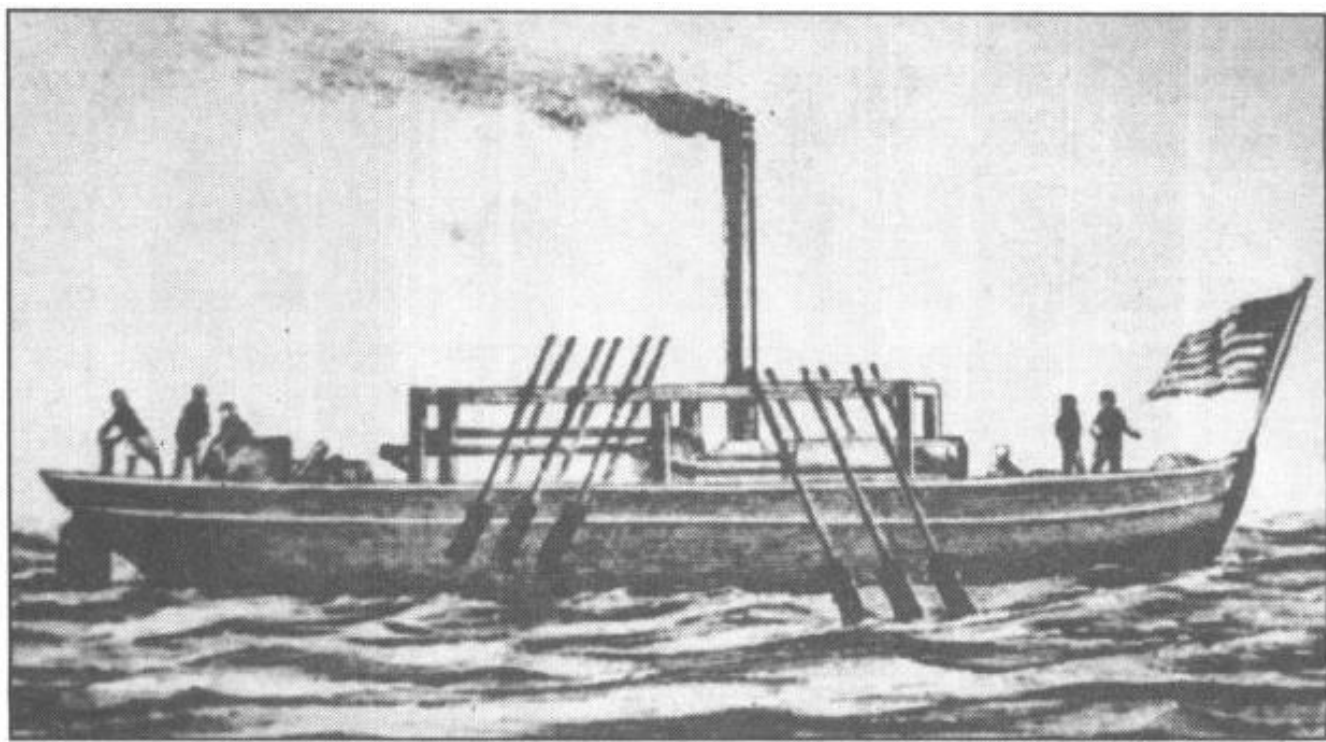


图 34-2 菲奇的桨式汽船

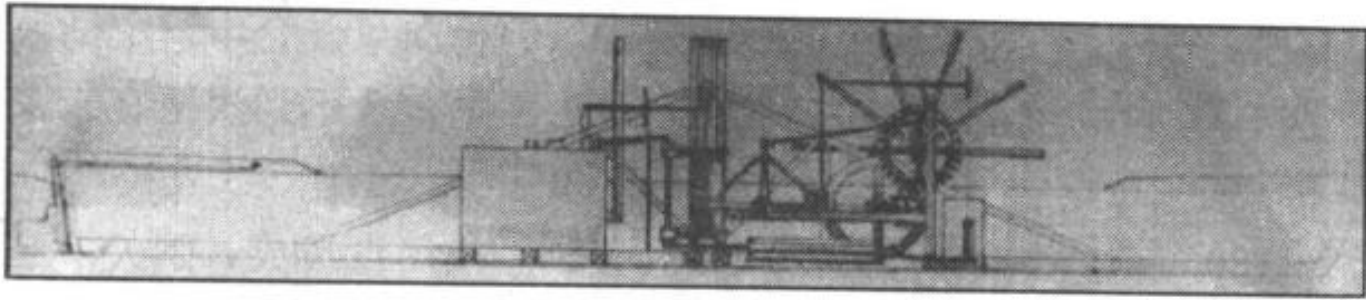


图 34-3 富尔顿的第一艘汽船 (1803 年)

船,也没有成功。他灰心丧气地回到美国,最后默默无闻地死去。

真正产生重大影响,并最终使蒸汽动力用于水运的是美国另一位工程师富尔顿(1765—1815年),他早年在一家珠宝商那里当学徒,后来成了一名不错的画家,据说,在费城时他还给富兰克林画过像。1786年,富尔顿去了英国,在那里结识了许多工程师,他们从事的许多工程技术研究使他格外着迷,以致决心放弃艺术而投身技术发明。起初,他跟着朋友们一起去考察英国的运河工程,这期间萌发了制造汽船的想法。1797年,富尔顿又到了法国,在那里潜心研制潜水艇,法国海军曾一度对此有兴趣,富尔顿也确实造出了一艘,并命名为“螺号”,但投入使用时效果不佳。不过,富尔顿开创性的研制,激励后来的法国科学幻想作家凡尔纳写出了他的名著《海底两万里》,这部出版于1870年的小说描述了一艘奇特的潜水船在海底旅行的神奇故事,有趣的是,这艘潜水船的名字也叫“螺号”。正是凡尔纳的作品,重新激发人们制造真正的潜水艇。

在法国期间,富尔顿也造了一艘汽船,它用瓦特蒸汽机作为动力,用明轮桨推进,在塞纳河上逆水行驶,速度可追上岸上行

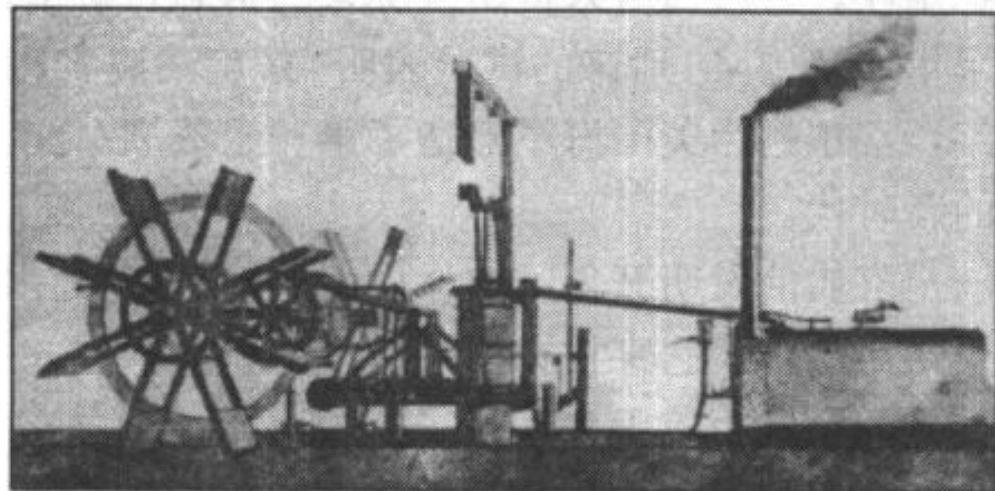


图 34-4 富尔顿的第二艘汽船 (1807 年)

人。这个速度当然不太理想。据说富尔顿曾向拿破仑申请资助改进这一重要的运输工具，但拿破仑缺乏远见，看不到汽艇在未来军事战争中的重要作用，没有理会富尔顿的这一建议。

1806年，富尔顿离开法国回到美国，汽艇没造成，倒欠了一屁股债。但他并未死心，继续在美国寻找合伙人。这次他十分幸运，找到了一位富有的农场主列文斯顿。这位富翁本人也是个发明家，他一眼就看出了富尔顿的工作的价值和前途，便决定全力支持。富尔顿继续试验，解决了船的吨位与动力的比例等难题，同时用钢铁材料代替木质材料作为基本的船体材料，用铁板做船体材料不仅可以大大提高船的排水量和载重量，而且有助于与蒸汽动力机实现有效的动力传动。

1807年，富尔顿成功地造出了一艘新汽船，命名为“克莱蒙特号”。在哈德森河上的试航非常成功，从纽约到奥尔巴尼（由于伊利运河的开凿，奥尔巴尼成为一个重要的港口城市）只用了32个小时，比一般帆船还快，又由于它十分平稳，吸引了许多旅客。富尔顿一鼓作气，生产了一批汽船投入使用，很快声名大振，并逐渐被人们看作是第一艘蒸汽汽船的发明人，菲奇反被人遗忘。

克莱蒙特号采用的是明轮的推进系统，这种装置本来是模仿陆路上的马车车轮，但在波涛汹涌的水面上，它反而有损于船的稳定性。当时已有人提出螺旋桨的构思，富尔顿在后来的设计也采用了螺旋桨。后来的试验表明，螺旋桨确实比明轮桨优越。1814年，富尔顿为美国海军建造了第一艘蒸汽军舰，开创了海上战争的新时代。

汽船的发明开创了航运史上的新时代，在风暴面前，水手不再望而却步。它穿梭在河海湖面，将全球连成一体，使人类生活世界的空间距离大大缩小。

汽船最先由两位美国人发明，不是偶然的。当时的美国身处大洋包围之中，一切物资均要从外面运来，自己丰富的自然资源

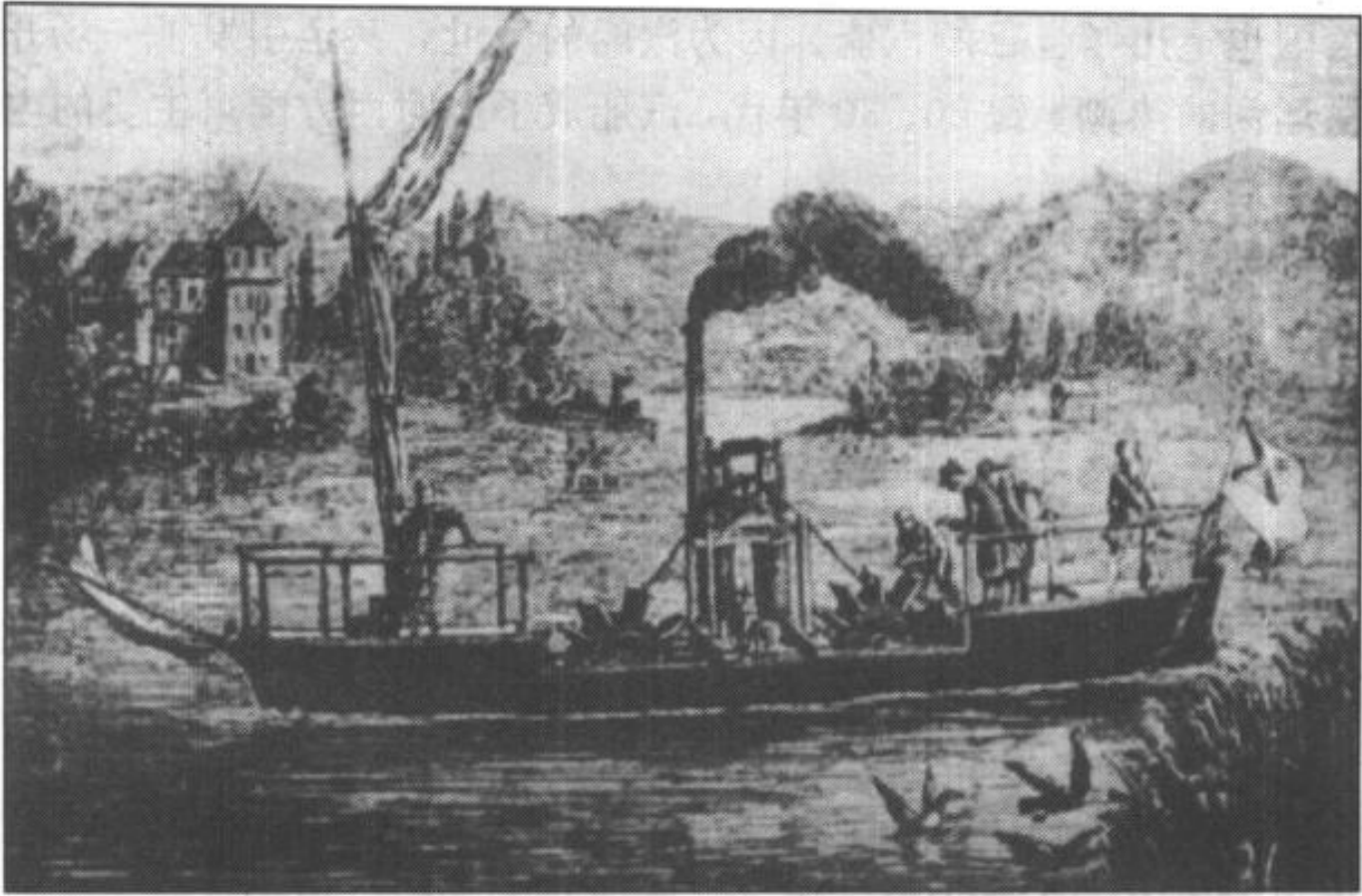


图 34-5 早期的明轮汽船

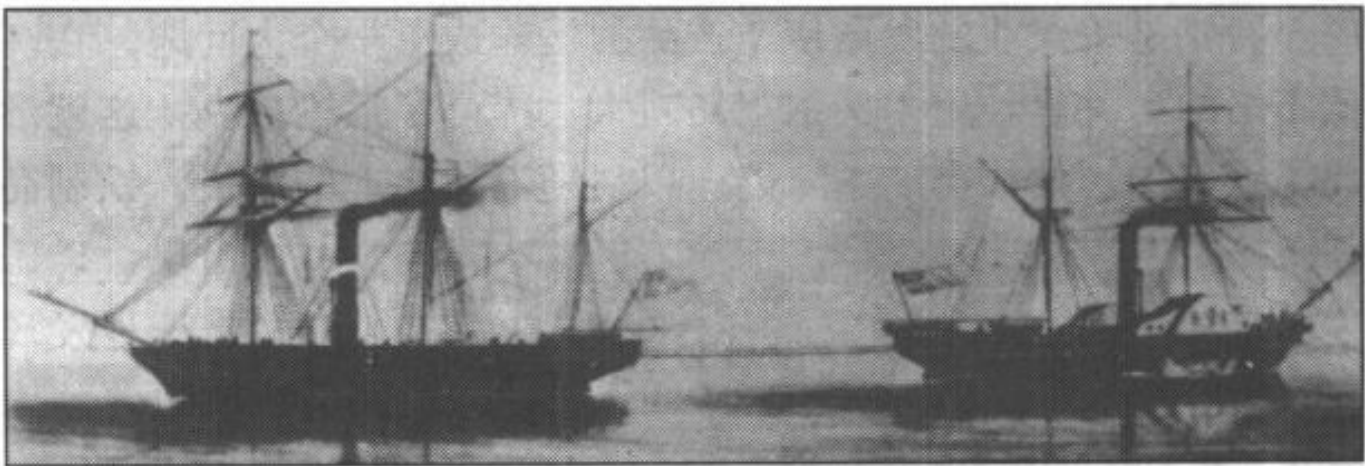


图 34-6 1897 年响尾蛇号（螺旋桨）与爱里克托号（明轮）比赛，动力均为 200 匹，但前者很快超过了后者，并将其倒拖过来。

和矿产也需要运出，因此对运输技术格外敏感。美国人民崇尚技术发明，成功的发明家不仅受人尊重，而且财源滚滚而来，顷刻可成百万富翁。

汽船航运的成功导致汽船制造业的兴盛。继美国之后，1812 年，英国的第一艘汽船“彗星号”胜利下水，大致同时，法国和

德国也造出了自己的汽船。因为汽船的问世，甚至引发了一场开凿运河的热潮。到20、30年代，汽船成了当时西方国家主要的内河航运工具。

1819年，美国的蒸汽帆船“萨凡纳号”利用蒸汽动力横渡大西洋取得成功，它满载棉花从美国的萨凡纳港出发，用了29天到达英国的利物浦。这是一艘带有风帆的帆船，还不是完全的利用蒸汽动力。1838年，英国商船“天狼星号”完全利用蒸汽动力横渡大西洋成功，宣告海上远航也进入了蒸汽时代。

2. 铁路与火车：特里维西克、斯蒂芬逊

蒸汽动力用于陆路运输的主要标志是火车的出现。要有火车，先得有铁路，历史上也是这样，铁路先于火车而出现。

欧洲历史上，马车一直是主要的陆路运输工具。近代以来，采矿业特别是采煤业的发展使矿产品的运输成了一个大问题。在高低不平的矿井里，用木头铺上路轨大大提高了运输效率，这就形成了铁路的原始形态“木”路。以后随着冶金业的发展，铁制品

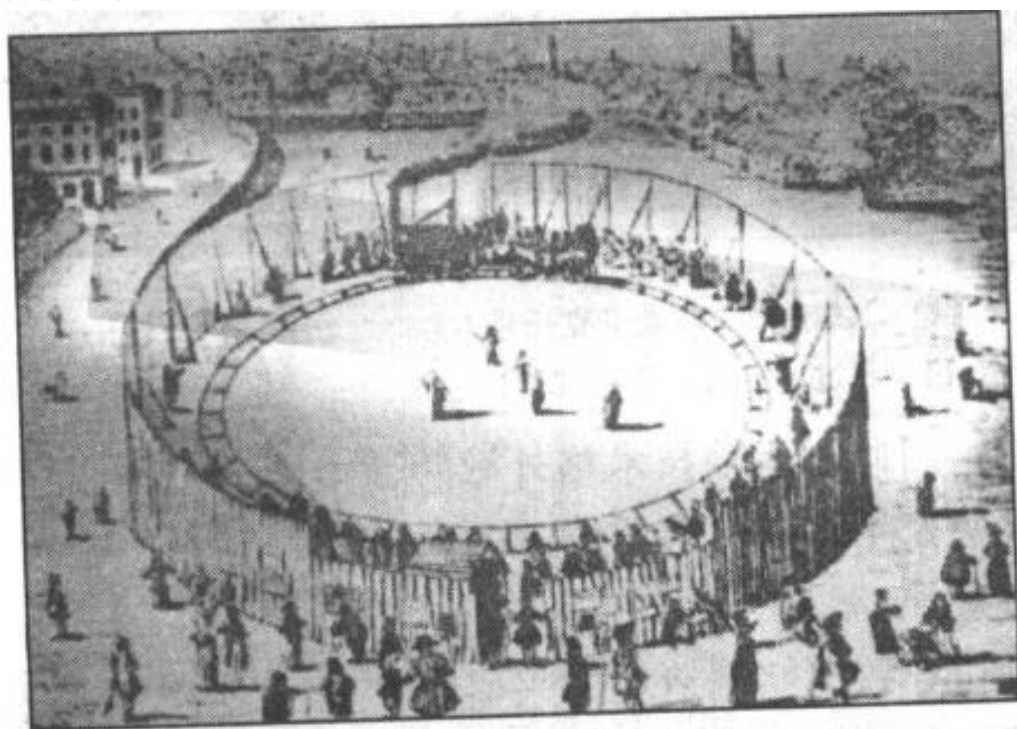


图 34-7 火车表演

大量出现，矿工们又进一步发现用铁皮包着的木轨摩擦力更小，运输量更大，后来，铁皮包着的木轨又被完全的铁轨代替，就这样，木轨一步步过渡到铁轨，木路变成了铁路。

这是 18 世纪前半期的事情。

蒸汽机问世后，自然有人想到将它用于驱动车子。1769 年，法国工程师居纽造出了第一辆用蒸汽机推动的三轮汽车。1787 年，瓦特的合作者之一英国工程师默多克（1754—1839 年）也发明了一辆用蒸汽机驱动的非轨火车。但将铁路与蒸汽机车相联系，并造出第一辆真正意义上的火车的，是英国人特里维西克（1771—1833 年）。

1796 年，特里维西克做出了一辆蒸汽机车模型，1802 年，造出了第一辆真正的蒸汽机车。他用事实证明了，光滑的金属轮子在光滑的金属轨道上完全可以产生足够的牵引力。象所有开创性

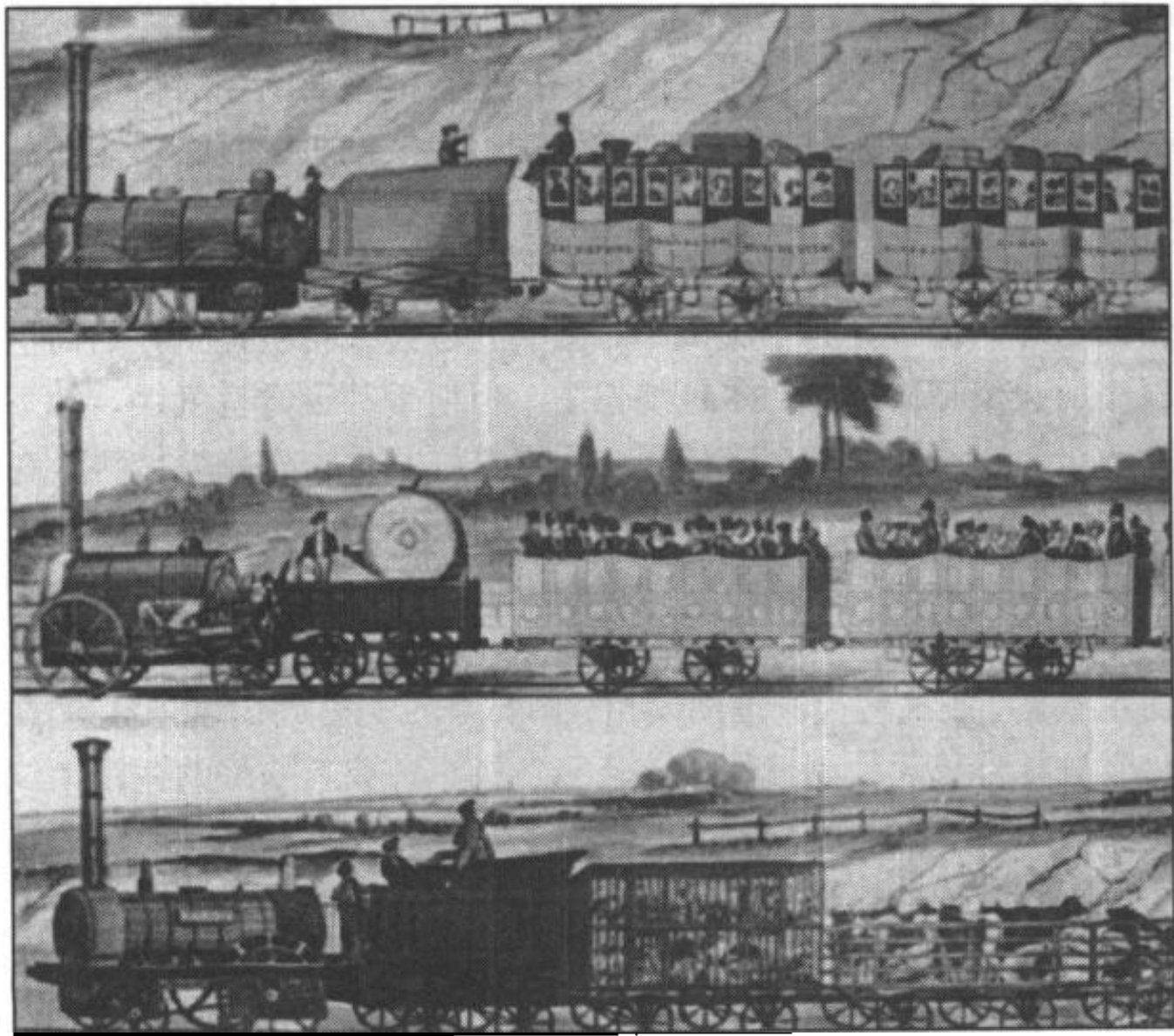


图 34-8 利物浦到曼彻斯特的火车，上为包厢，中为二等厢，下为敞棚

的发明家一样，特里维西克也面临着一大堆难题：动力不足、车轴断裂、铁轨断裂、振动太大等等。由于得不到应有的支持，伟大的发明最后悄无声息地湮没了。

特里维西克虽然没有最后成功，但他的蒸汽机车在伦敦的工业博览会上展出后，激发了另一位后继者斯蒂芬逊（1781—1848年）的雄心壮志。这位煤矿工人的儿子从小就在煤矿里与蒸汽机打交道，非常熟悉这种新的动力机械。他热爱发明，喜欢动脑筋，几乎与戴维同时发明过安全矿灯。自从1812年在博览会上见到特里维西克的蒸汽机车后，他就立志完成这项伟大的发明。他认真研究了车轮与路轨的摩擦力，首次运用凸边轮作为火车的车轮。1814年，他研制的第一辆蒸汽机车在达林顿的矿区铁路上试运行，效果不错，运货量与速度都很理想，但主要的毛病在于噪音太大、振动太大、对铁轨的破坏太厉害，蒸汽机也存在爆炸的危险。今天我们已经很难想象当时的情景：火车开动时，浓烟滚滚，火星四溅，有地动山摇之势，坐在车上的人则满面烟尘，被颠得精疲力尽，据说，第一次试车时就有几位大人物被摔伤，烟筒里冒出的火焰把附近的树木也烧焦了。但斯蒂芬逊没有气馁，他不断改进，在车厢下加减震弹簧，用熟铁代替生铁作路轨材料，在枕木下加铺小石块，增加车轮分散机车的重量，将锅炉安在车头以减小万一爆炸后可能造成的危害等等，使机车更趋完善。

1823年，斯蒂芬逊主持修建斯多克顿至达林顿之间的第一条商用铁路，正式将火车推向实用。1825年9月27日，斯蒂芬逊亲自驾驶他自己设计制造的“旅行号”机车，在新铺好的铁路上试车。为了可靠起见，他还同时采用了马作为动力。这次隆重的试车取得了空前的成功，机车牵引着6节煤车，20节挤满乘客的客车厢，载重达90吨，时速达15公里。这是一次盛况空前的试车典礼。铁路两旁人山人海，有人骑马跟着火车奔跑，欢呼这一奇迹的出现。1830年，斯蒂芬逊修建的第二条铁路即利物浦至曼彻

斯特大铁路贯通，这一次，他驾驶的“火箭号”完全使用的是蒸汽动力，平均时速达到了 29 公里，全线没出任何故障。

正象美国人将蒸汽动力用于水上运输一样，英国人则用蒸汽机大大推进了陆上运输。斯蒂芬逊的火车的鸣叫，召唤了一个“铁路时代”的到来。正是他，使世界真正认识到铁路运输的巨大的优越性。从此巨龙奔驰在地球各地，极大地促进了世界经济的发展，正是“火车一响，黄金万两。”

继英国之后，美国于 1828 年修建了第一条铁路，法国于 1830 年，德国于 1835 年均推出了自己的铁路。此后兴起的“铁路热”在不到 20 年的时间内，使欧洲发达国家建起了遍布全国的铁路网。铁路使世界经济联成一体，隆隆的火车声宣告了第一次工业革命的胜利完成。

3. 从蒸汽机到内燃机：莱恩瓦、奥托、戴姆莱、狄塞尔

随着冶金技术和机器制造业的发展，蒸汽机本身也经历了许多改变。首先是加大了蒸汽压，使双向式无冷凝器蒸汽机得以实现。但是，随着工业生产的进一步发展，对动力机械要求也越来越高，蒸汽机则越来越暴露出它固有的缺陷。蒸汽机将热量转化为机械能是通过外燃的方式，即热量主要在气缸外流通，锅炉和烟囱几乎将大部分热量都散发出去了，这样它的热效率非常之低。当时的蒸汽机一般都在 5%—8% 之间。此外，为了得到高温高压蒸汽，起动之前还需要一段时间的预热，使用起来很不方便。

外燃是提高热效率的固有障碍，因此很早就有人提出过内燃机的设想。蒸汽机的先驱、法国物理学家巴本一开始研究的正是用火药作燃料的内燃动力技术，但是内燃机对气缸材料、活塞加工精度、内燃燃料等均有很高的要求，气缸材料如不结实，则容易发生爆炸，活塞加工如不够精密，则不能产生应有的高压驱动

力，当然最重要的还是燃料，它必须是气体或者至少是易于蒸发的液体，使废气易于排出气缸。这些条件在巴本的时代均不具备，所以他不可能实现他的设想。

18 世纪末，在蒸馏煤炭中生成的煤气成了一种廉价的燃料，发明家们马上注意到这是一种可以用来作为内燃材料的新燃料。1799 年，法国工程师勒朋设计了一种以煤气作燃料，用电火花作点火装置的内燃机。1820 年，英国工程师西塞尔构画了更完整的设计蓝图。他试图让煤气在气缸内燃烧产生高温气体，尔后冷却形成真空由大气对活塞做功。这种设计思想还局限于大气机的框架。1833 年，英国另一位工程师赖特提出了单靠燃烧气体的压力推动活塞做功的爆发式内燃机设计蓝图。这些设计思想最后在法国发明家莱努瓦（1822—1900 年）的手里得以首次实现。1860 年，莱恩瓦首次造出了一台用煤气作燃料、用电火花作点火装置的内燃机。世界历史上的这第一台内燃机完全可以投入使用，莱恩瓦用它装了一辆车子，还装了一只汽船，效果很好。但它的燃料消耗量很大，热效率只有 4%，体积也很大。

1862 年，法国工程师德罗夏总结卡诺的热机理论和内燃机的研制实践，提出了内燃机的四冲程理论。该理论指出，通过如下四个冲程（快速往复的过程）内燃热机可取得最大的热效率：第一冲程是外冲程也即吸收冲程，它通过汽缸的向外运动造成的真空将混合气体燃料吸入气缸；第二冲程是内冲程也即压缩冲程，它通过汽缸的向内运动对进入汽缸里的燃料进行压缩，并在最后的瞬间点火，产生最大的爆发力；第三冲程是外冲程称为爆发冲程，它是由高压燃烧气体产生的巨大爆发力做功的过程；第四冲程是内冲程称为排气冲程，它将已经燃烧的废气从气缸中排出去，为下一次第一冲程做准备。

德罗夏的四冲程理论未引起当时的注意。这以后，发明家们还在苦苦地试验，在他们中间有一位德国工程师叫奥托（1832—

1891年),他从1854年就开始研制内燃机,但屡次失败,1876年初,他偶然看到刊物上登载的德罗夏的四冲程理论,受到很大启发,决心以此理论为基础重新研制,年底他就造出了一台新的以四冲程理论为依据的煤气内燃机。他第一次发现,利用飞轮的惯性可以使四冲程自动实现循环往复,这就成功地将德罗夏的四冲程理论付诸实践,这台内燃机的热效率一下子提高到了14%。

奥托继续试验和改进,内燃机的性能更趋稳定和完美,到1880年,机器功率已由原来的4马力提高到20马力。他的公司生产的内燃机成了热门货,直到1890年,世界各地已到处是奥托公司的内燃机,大有取代蒸汽机之势。由于奥托声名大振,人们往往认为他就是四冲程理论的创始人,把四冲程循环称为奥托循环,而德罗夏往往不为人提及。

奥托内燃机采用的是煤气作为燃料,而煤气必须由煤气发生炉这样大的装置提供,这就产生了许多不便之处,例如,这种内燃机无法用在车、船这种远程移动性机械上。

无巧不成书,19世纪中叶以来,燃料

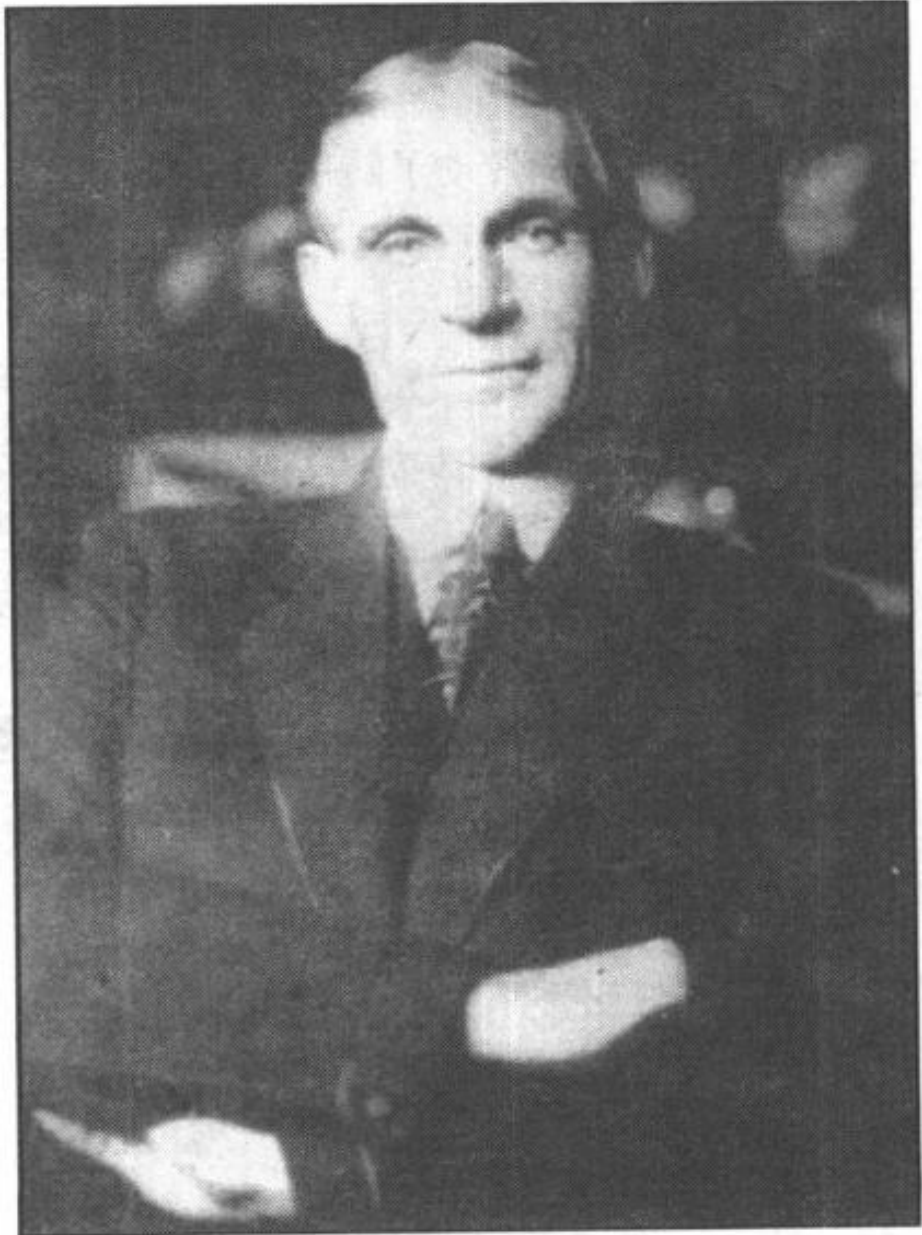


图 34-9 福特

工业正好发生了一次巨大的变革。1854年，美国工程师西里曼成功地发明了石油的分馏方法，汽油、煤油、柴油等优质燃油投入应用。1859年，美国人在宾夕法尼亚州打出了世界上第一口油井，从此开始了对石油的大量开采和利用。1883年，德国发明家戴姆莱研制成功了第一台以汽油为燃料的内燃机，由于汽油的燃烧值远远高于煤气，所产生的动力也远大于煤气内燃机。1892年，另一位德国工程师狄塞尔造出了一台用柴油作燃料的高压缩型自动点火内燃机，这种机器由于增加了压缩过程，使热效率进一步提高，达到27%—32%。从此，柴油机这种马力大、体积小、重量轻、效率高的新式动力机逐渐取代蒸汽机，成为工业上的主要动力机。

内燃机的问世带动了陆路运输的另一场革命。1885年，汽油

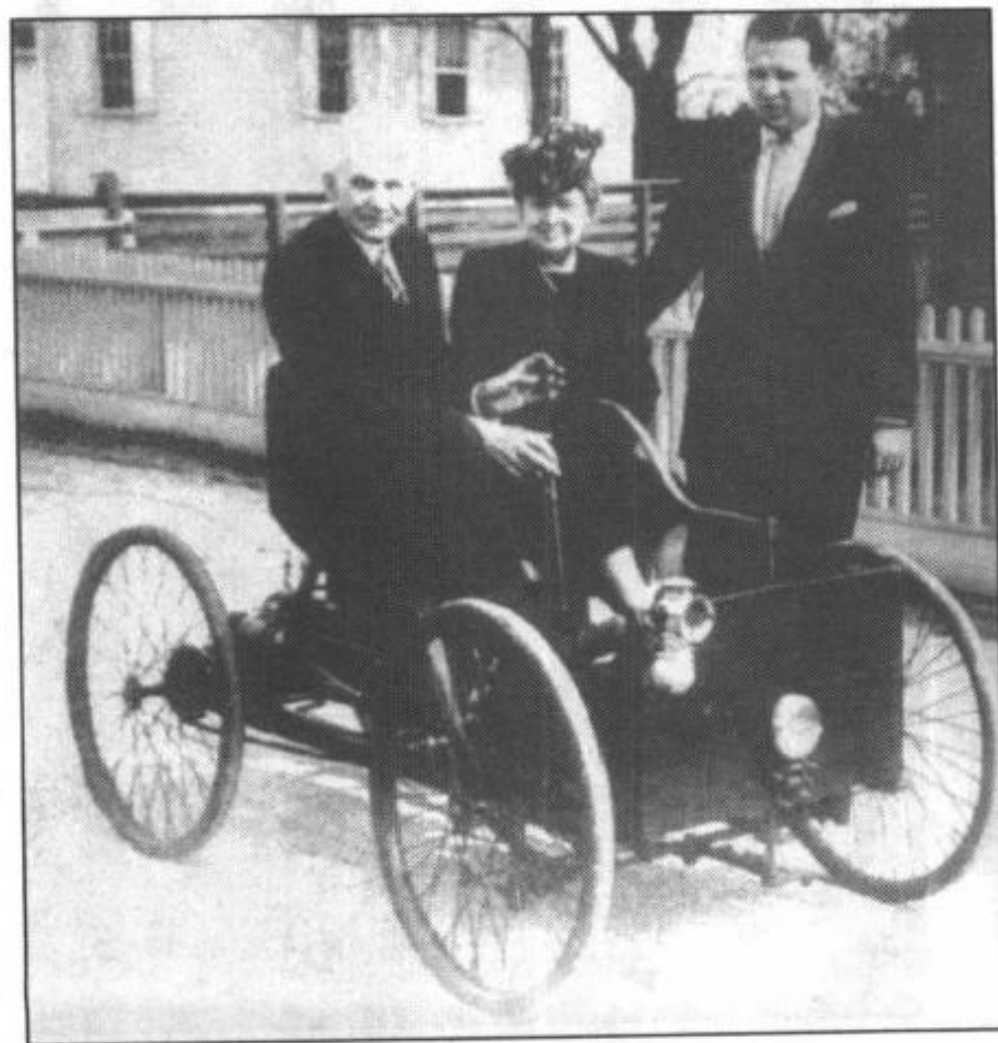


图 34-10 福特制造的汽车

内燃机的发明人戴姆莱与另一名德国工程师本茨（1844—1929年）又各自独立地发明了以汽油内燃机作引擎的三轮汽车。此后，本茨致力于汽车的研制，于1890年制成了四轮汽油内燃机汽车。1892年，美国人福特也研制了美国第一

部汽车。以后本茨与福特均成立了自己的汽车公司，成批量的生产，形成了一门新的工业部门：汽车工业。

内燃机的问世还使人类飞上天空之千年美梦成真，1903年，美国工程师赖特兄弟以一台8马力的汽油内燃机为引擎制造了一架飞机，并成功地在天上停留了59秒，飞行260米。飞机使人类进入了航空运输时代，这已经是20世纪的事情了。

正象蒸汽机的发明及其实用化构成了第一次技术革命的主要内容一样，内燃机作为一种新的动力机械与电动机一起掀起第二次技术革命的高潮。

第三十五章

电力革命与电气时代

19世纪之前，人们对电的认识是极为有限的，1820年，丹麦物理学奥斯特和法国物理学家安培发现电流的磁效应，十多年后，法拉第等人又发现了电磁感应现象。在世纪的前半叶，电磁学理论得到了巨大的发展。与此相呼应，工程技术专家敏锐地意识到电力技术对人类生活的意义，纷纷投身于电力开发、传输和利用方面的研究，推出了一个前人从未想过的电气时代。

电是人类面临的一种前所未用的新型的能。所谓电力革命指的是，新兴的电能开始作为一种主要的能量形式支配着社会经济生活。电能的突出优点在于：第一，它是一种易于传输的工业动力，第二，它还是极为有效可靠的信息载体，因此电力革命主要体现在动力传输与信息传输两方面。与动力传输系统相关联，出现了大型发电机、高压输电网、各种各样的电动机（马达）和照明电灯。与信息传输相关联，出现了电报、电话和无线电通讯。这些伟大的发明使人类的生活进入了一个更光明、更美好的新时期。

1. 电动机与发电机：皮克希、惠斯通、西门子

从逻辑上讲，先得有发电机而后才有电动机，但从历史上看，最先出现的倒是电动机，因为伏打电池已经提供了电能来源。不过，大型的实用的电动机与发电机是在你追我赶、相互激励中不断研制和持续改进的。

最早发现电流磁效应的那些实验装置，均可以看成是原始的电动机：小磁针在电流导线所形成的磁场中运动，是电能转变为磁能再转变为机械能的真实的写照。法拉第使小磁针绕载流导线连续运动的装置，是第一台电动机，在最初展出时，曾有人问法拉第这个玩意儿有什么用，法拉第机智地反问说：“新生的婴儿有什么用？”的确，这个婴儿不久就长成了巨人。

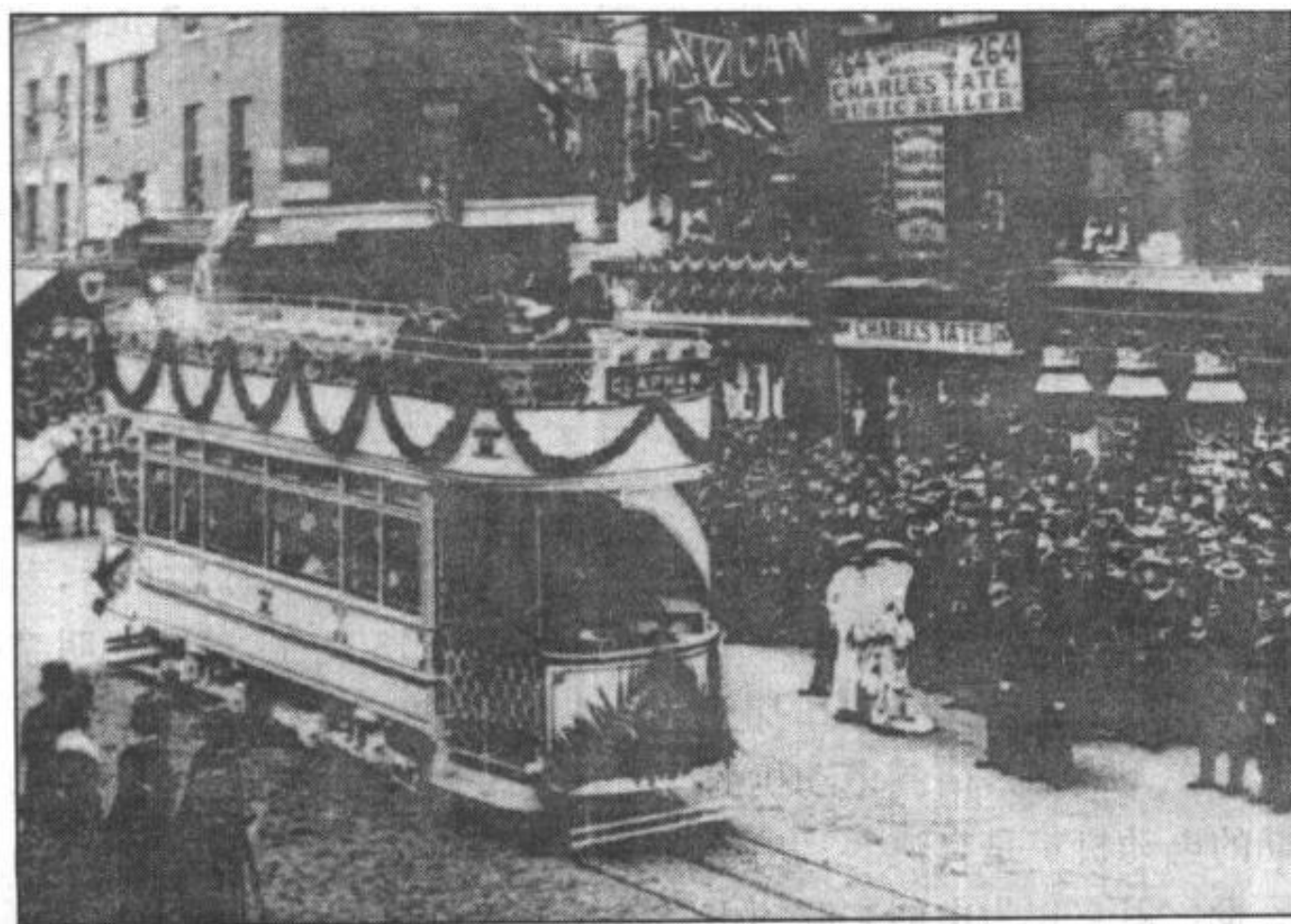


图 35-1 伦敦第一辆电车通车仪式

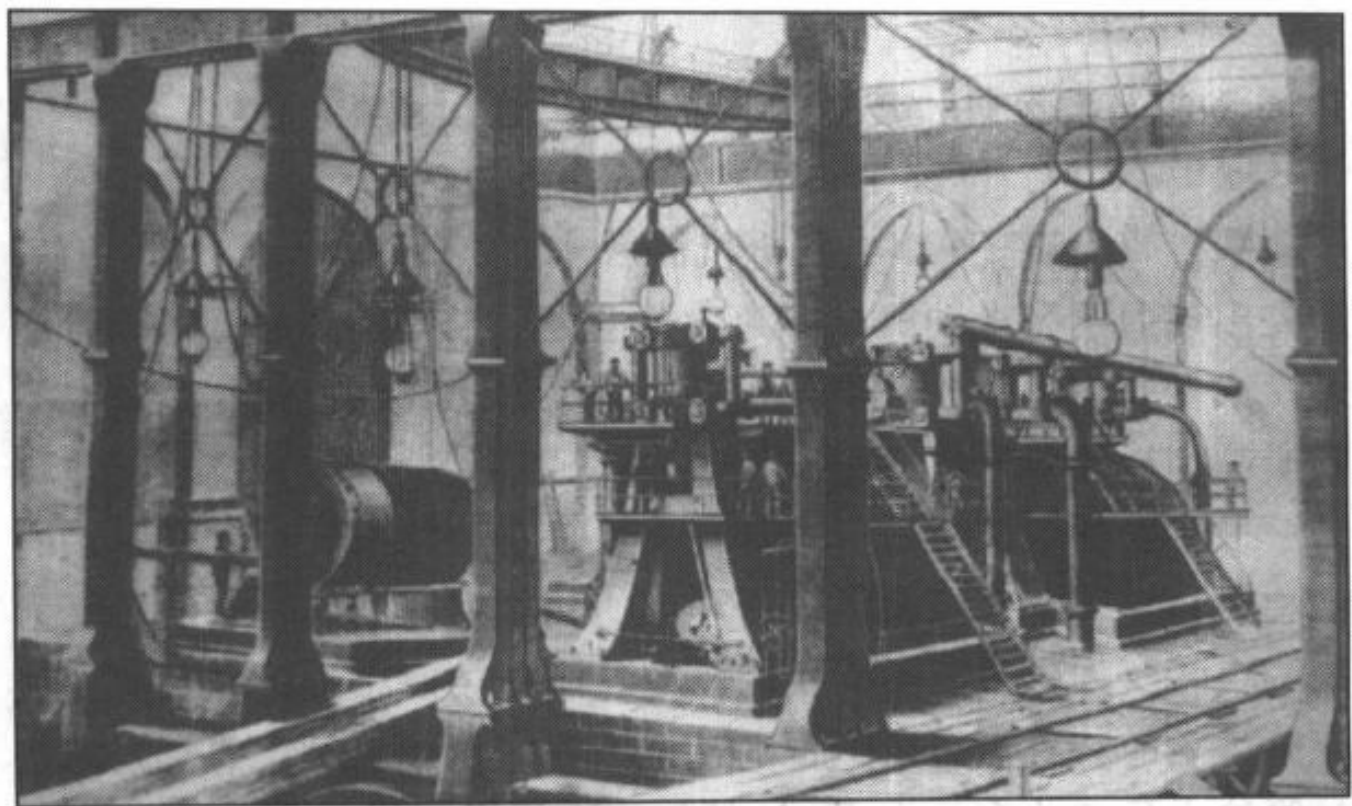


图 35-2 19 世纪的发电站

一台实用的电动机必须有强大的磁场，早期的玩具式的电动机大多用的是天然的永磁体，其磁场强度往往不大，1822 年，法国物理学家阿拉哥发现，将导线绕在铁块上，当导线通电时，铁块也能被磁化，而且使该匝线圈的磁场强度变大，这种铁块就是所谓电磁铁。1829 年，美国物理学家亨利用绝缘导线取代裸铜线，进一步加强了电磁铁的磁场强度。1831 年，他用一块电磁铁居然吸起了 1 吨重的铁，使世人为之震惊。1834 年，德国物理学家雅可比采用电磁铁做转子，制成了第一台实用的电动机，1838 年，他将这台经进一步改进的电动机装在一艘小船上，成功地进行了航行。此后，发明家纷至沓来，使电动机研制进入一个高潮，1850 年，美国发明家佩奇制造了一台 10 马力的电动机，并准备用它来驱动有轨电车。

在人们加紧研制电动机的同时，发电机也处在研制阶段。早期的电动机都是直流的，由伏打电池提供，但伏打电池费用极为昂贵，用它作为电能来源的电动机几乎看不到其商用意义。有人计算过，1850 年的电能要比蒸汽能贵 25 倍。这也促使人们寻找伏

打电池之外的电能来源。

电磁感应理论已经建立，人们已经知道动磁可以生电，1832年，法国发明家皮克希（1808—1835年）成功地制造了一台手摇发电机，其转子为永磁铁，用了一个换向器，所以输出的是直线电。但这台最初的发电机，输出电流极为微弱，无实用价值。1857年，英国电学家惠斯通（1802—1875年）用电磁铁代替永磁铁，发明了自激式发电机，但这台自激式发电机中的电磁铁靠的是伏打电池励磁，本质上还不是自激，而是它激。这种它激方式，使发电机在结构和发电量均受制于伏打电池：既笨重、又不经济。

真正的自激式在于将发电机本身所产生的电流用来为自身的电磁铁励磁，它的发明者是德国工程师西门子（1816—1892年）。这位电业大王几乎在电气技术的每一方面都作出过贡献。他曾经发明了电镀法，将电能引入化学工业；他自己开了一家电报设备公司，生产电报业所需的电器设置。1867年，他制造了第一台自馈式的发电机，使发电机的发电量大大提高。由于甩掉了伏打电池，发电机本身也变得轻巧。自此以后，电能开始以大量、廉价而赢得青睐。

早期的发电机和电动机均采用直流电，因为最早的电源——伏打电池提供的是直流电，交流电机反被人们忽视。到了1880年左右，电动机已被大量地用于各行各业，对电的需求也日益加大，直流电机的局限性开始表现出来。最主要是远距离供电问题在直流发电机上得不到解决，高压既使路耗太大，也使发电机的线圈无法承受。换向器工作不良，还给用户带来困难。交流电就在这时被重新发现。

2. 发电站与远距输电：德波里

最初的发电站主要解决民用照明问题，一台发电机基本上只

1891年，三相交流发电机、三相异步电动机以及变压器均已发明出来并投入使用。这一年，在德奥地区建成了世界上第一个三相交流输电系统。奥地利劳芬水电站发出的三相交流电经升压通过170公里的线路，传到德国法兰克福的变电所降压，再供给法兰克福正在举办的国际工业展览会照明用。8月25日初次运行成功，输电效率达到80%，充分显示了三相交流电在远距输电中的优越性。

由于早期投资兴办的主要是直流电，将直流改交流需要一大笔开支，电气工业的老板们不愿意拿出这笔钱，故出现抵制现象。交流电虽然越来越被证明有着无比的优越性，大力发展交流电仍然拖到了20世纪。

3. 电灯、电影：爱迪生

电向人类最早的馈赠是光明。1809年，英国化学家戴维曾以两千多组伏打电池为电源，发明了在一根碳棒之间进行强电流放电的弧光灯，这是人类最早利用电照明的成功尝试。但戴维的弧光灯，成本太高，光线太强，只能用于灯塔或公共场合的照明，不可能大规模推向民用。电灯的发明关键是找到合用的灯丝，它首先得在通电状态下发光，其次要经久耐用。

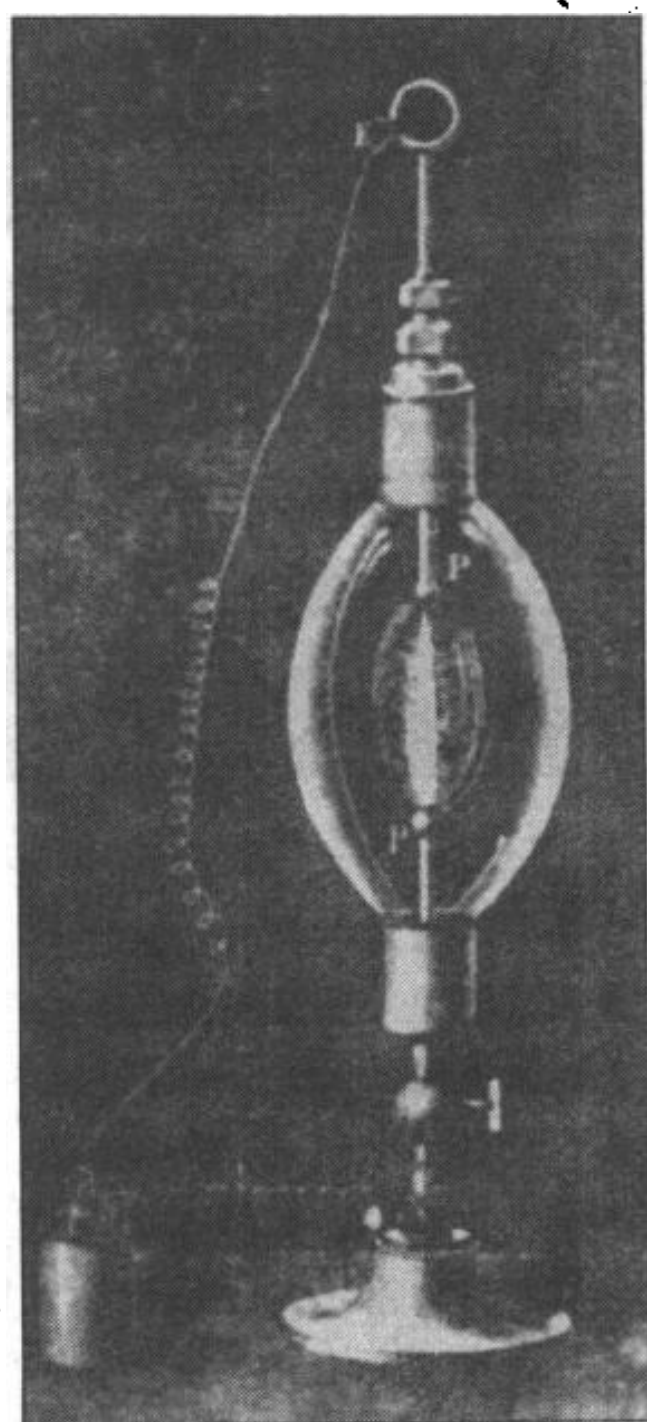


图 35-3 戴维制造的电弧光灯



图 35-4 爱迪生

电灯的发明人首推美国大发明家爱迪生（1847—1931年），他是一位传奇般的人物，美利坚民族崇尚的那种传奇般的人物——没有受过良好的学校教育，但凭个人奋斗和非凡才智获得巨大成功。像许多天才人物一样，少年时代的爱迪生喜欢苦思冥想，爱提古怪的问题，在学校

得不到老师的赞赏。据说在五岁那年，父亲看到他一声不吭地蹲在鸡窝里，原来他是在模仿母鸡孵小鸡。上小学时，老师因为总被他古怪的问题问得张口结舌，当他母亲的面说他是个傻瓜，将来不会有什么出息。母亲一气之下让他退学，由她亲自教育。这时候，爱迪生的天资得到了充分的展露，在母亲指导下，他阅读了大量的书籍，并在家中自己建了一个小实验室。

爱迪生家境并不富裕，为了能支撑一个实验室的必要开支，爱迪生只好自己出去挣钱。一开始，他去火车上当报童。在这里，他也不忘干点什么有益的事情。先是自己办了一份报纸，自己印刷、

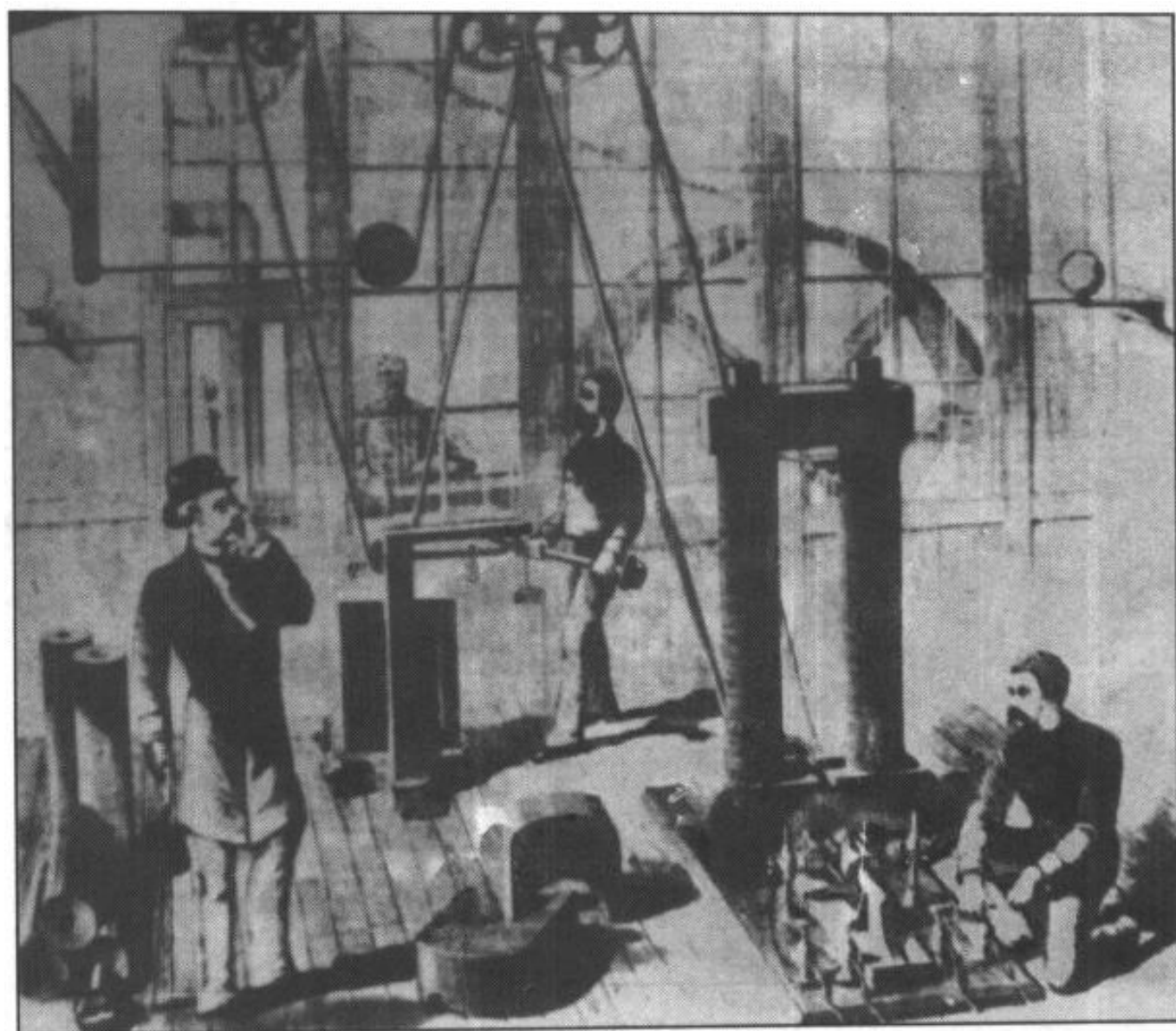


图 35-5 爱迪生的机器车间

自己发行，后来他又用积攒的钱在火车的行李车厢建立了一个小的实验室，继续从事其化学实验研究。不幸的是，有一次化学药品着了火，差一点把这节车厢都烧了，暴怒的行李员把爱迪生的实验设备都扔下了车，还打了他几个耳光。据说就是这几个耳光使爱迪生终生致聋。

1862年，15岁的爱迪生做了一件见义勇为的大事，他在火车即将来临之时，从铁轨上救下了一个小孩。后来知道，这个小孩是车站站长的儿子。站长为此感激不尽，但无以回报，决定教他学习收发电报技术。爱迪生学得很快，不久成了最熟练的报务员。

19世纪60年代，电气开发热正席卷美国，就在爱迪生终于有



35-6 早期的电报电传工作

钱买到一部法拉第的电学著作之后，他也很快被卷入了这股开发的热流之中。1869年，爱迪生去纽约一家经纪人处找工作，正逢电报机坏了，谁都没有办法，爱迪生自告奋勇很快将它修好了，于是他得到了一份满意的工作。几个月后，他为华尔街的老板们设计了一台股票行情自动收报机。他本来想向感兴趣者索要五万美元，结果一家大公司的经理给了他四万美元。这项发明的成功促使爱迪生决意当一名职业发明家。次年，他辞去了原来的工作，自己开了一家咨询公司，专门从事发明和技术开发工作。他改进了电报机，发明了腊纸和油印机，将公司办得有声有色。

1876年，他做出了一个使他声名鹊起的伟大发明：留声机。他将一张锡纸包在圆筒上，再让一根小针浮在滚筒的表面，将话筒

后面的声波振动装置与小针固定相联，当人说话时转动圆筒，声波的振动通过小针在锡纸滚筒上划出一条刻痕，这条刻痕就将人声记录了下来。下一次当小针沿着它移动时，就将原先的人声再现出来。留声机被称为“会说话的机器”，在当时非常轰动，人们均惊叹人类居然能够创造这样神妙的东西来。当时爱迪生才 29 岁。

1878 年，爱迪生将兴趣转到电灯的研制上来。这时候的爱迪生已经是家喻户晓的大发明家，他只是在报上预告将发明一种家用电灯，煤气公司的股票就猛然下跌，因为如果真的出现了日用电灯，将意味着当时普遍使用的煤气灯要被淘汰。股票下跌确实反映当时的民众对爱迪生非常信任。

研制电灯的关键是找灯丝材料。已经有不少人在这方面攻关，著名的有英国电机工程师斯旺，他从 40 年代末就开始研制，花了近 30 年的努力，最后在 1878 年终于发现碳丝很适合做灯丝材料。爱迪生先是独立地工作，但每每失败，许多可发光材料或者一亮即灭，或者寿命不长。当时人们已经知道，在真空中灯丝可以保持更长的寿命，但能长到投入日常使用的材料还是没有找到。据说爱迪生试验了 1600 多种耐热材料和 6000 种植物纤维，但还是没有成功。1879 年 10 月，爱迪生在一本杂志上看到斯旺用碳丝制成了白炽灯的报告，深受启发。10 月 21 日，他用棉线烧成碳丝，再将碳丝装进灯泡，小心地抽成真空，当电灯通上电流时，灯丝发出明亮的光辉，而且持续了 45 个小时，这只灯终于成功了。

爱迪生并未满足，因为这只灯的寿命还太短。经过一次又一次的反复实验，终于发现，竹子纤维在碳化后可以做灯丝，其寿命长达 1200 小时。爱迪生马上派人到世界各地选择最好的竹子，最后选定了日本生产的一种竹子。爱迪生马上大批量生产这种灯泡，并且为此专门开直流电站、架设电网。到 1882 年，爱迪生已经在纽约建成了一个当时世界上最大规模的电力系统。他的直流

发电机功率达到 600 多千瓦，为几千用户提供照明用电。

电灯的发明以及为此发明所作的重要推广，可能是爱迪生一生中最杰出的成就。正是他独自建立的电力系统为后来各国的电力建设提供了示范，推动了电力事业的发展。因此，人们常说，爱迪生创建的配套的供电系统甚至比他发明的电灯还要重要、还要伟大。

爱迪生在电气领域的另一项著名的发明是电影。早在 1824 年，英国医生罗吉特就曾发现视觉暂留现象，即人眼睛里的物像能在物体消失后继续保持一个短暂的时间。根据这个原理，不连续的画面快速变动时可以在人眼中形成连续的景象。1889 年，爱迪生开始着手研制电影机。他仔细研究了视觉暂留现象，并考察了法国人此前根据暂留原理制作的动画片，搞清楚了电影放映机的基本原理。1894 年，他用电灯光和电动机制成了世界上第一台电影放映机，它可以将动画用电灯光投射到屏幕上。同年，他的公司拍摄了世界上第一部电影“列车抢劫”。

爱迪生在研制电灯泡的过程中，曾发现了一个重要的物理现象：通电时的灯丝与灯泡内的金属板之间有电流流过。他当时并未意识到该发现有什么实用价值，但还是记录在案，并取得了发现专利，后人称之为爱迪生效应。实际上十多年后这个现象就得到了解释：灯丝发热时有电子发射出来，它与金属板之间正好形成回路。利用爱迪生效应，英国物理学家弗莱明于 20 世纪初发明了电子二极管，而电子管的出现引发了另一次技术革命。

爱迪生被称为“发明大王”是当之无愧的，他一生取得了 1300 多项的发明专利。特别在电气应用领域，他更是成果累累、功勋卓著。人们说，他是把电的福音传播人间的天使，这是毫不过分的赞词。爱迪生的成功的背后经历了许多失败：为寻找灯丝，他试验了数千种材料；为了试制一种新的蓄电池，他失败了八千次。因此爱迪生常常说：“天才不过是百分之一的灵感，再加上百分之

九十九的汗水。”

4. 电报：亨利、莫尔斯

最早将电作为一种信息传媒利用的是电报。早在奥斯特发现电流的磁效应之时，安培就试制过一种电报。他用 26 根导线连接两处 26 个相对应的字母，发报端控制电流的开关，收报端的每个字母旁各有一个小磁针，可以感应出联接该字母的导线是否通电。最初的电报就是通过这种电磁方式来完成信息的传递工作的。

美国物理学家亨利在电报的发展过程中起了重要的作用。当时电报面临的主要问题是电流太弱，很难将信息准确传递到较远的距离，亨利创造性地提出在线路的中间加装电源，采用接力的方式传送信息。

进一步的改进是由美国人莫尔斯（1791—1872 年）作出的。莫尔斯本来是一位画家，由于一个偶然的机会有对电报产生了兴趣，遂放弃作

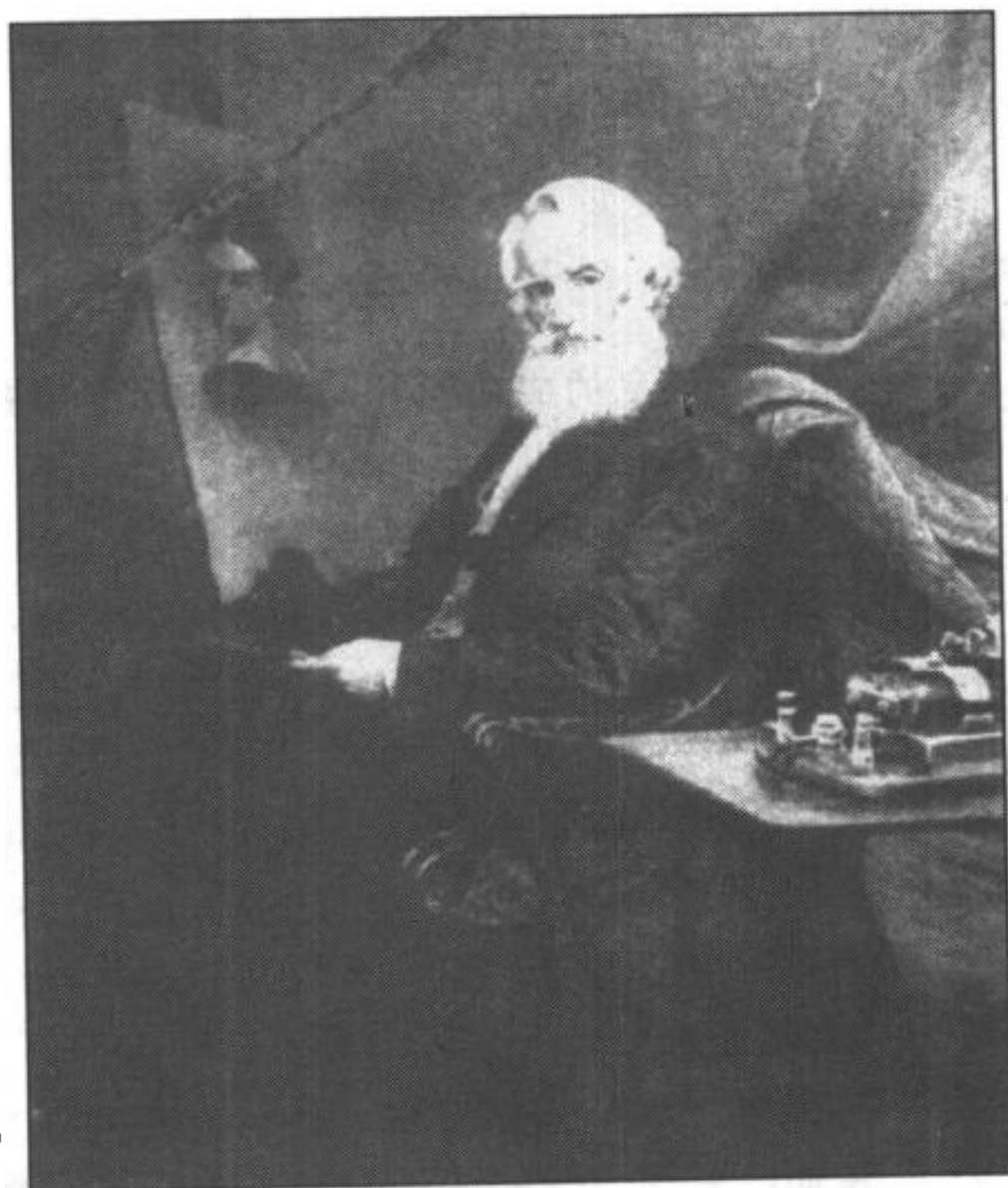


图 35-7 莫尔斯

画改学电报。他结识了亨利，从他那里学得了基本的电报理论和技术。后来，莫尔斯又改革了字母发报方式，发明了一套新的莫尔斯电码。新电码废除了 26 个字母符号，只由点和横两种符号组成，大大简化了电报系统。1844 年，莫尔斯鼓动美国国会架设了一条由华盛顿到巴尔的摩的电报线路，从此，电报由实验阶段进入了实用阶段。由于电报通讯明显的优越性，各国起而效之。1846 年，英国紧接着成立了第一家电报公司。在一个不长的时间内，欧洲各大城市均办起了电报公司。

随着社会经济的发展，国际电报事业也提上了日程。1847 年，英国和法国在英吉利海峡铺设了第一条海底电缆，构通了两国的电报通讯。1856 年，更长的海底电缆在大西洋底铺就，英美两国之间也建立了电报通讯网。

5. 电话：贝尔

电报传递信息的成功激发人们去思考，电是否也可以直接传送人的声音。这个设想最后被美国人贝尔（1847—1922 年）实现了，他于 1876 年发明了电话。

贝尔本是苏格兰人，一家均爱好声学研究，后来全家移居加拿大。贝尔本人则于 1873 年被波士顿大学聘为教授，来到了美国。早在爱丁堡大学学习期间，他就对电磁发声装置很感兴趣，到美国之后，他又参加了电报的改进研究工作，对电讯技术有了一定的了解，逐步产生了发明电话的念头。原理很简单，只要将声波的振动转化成电流的振动，人声就可以通过电线传送出去。关键在于在物理上实现这种转化。

经过多次实验，贝尔发现，碳粉的密度可以较大幅度地改变电阻，从而改变通过它的电流强度。如果用钢膜夹住碳粉做话筒，那么当人说话时，声波对钢膜的冲击将改变被夹碳粉的密度。根

据这一物理原理，贝尔制造出了送话器与受话器，1876年2月成功地造出了第一部电话。据说，当时他正在楼上调试送话器，一不小心将蓄电池中的酸液打翻了，他脱口叫道：“华生，快来帮帮我”，他的助手华生正在楼上的受话器端，听到声音后高兴地跑下楼来。世界历史上第一部电话就是这样接通的。

贝尔的电话在博览会上引起了大人物的兴趣，新闻界则推波助澜，于是很快在美国社会得以推广。1877年，已经有些报社用电话传发电讯稿。1880年，美国的电话用户增加到了5万家，1881年，贝尔建立了自己的电话公司，致力于开发和推广电话事业。

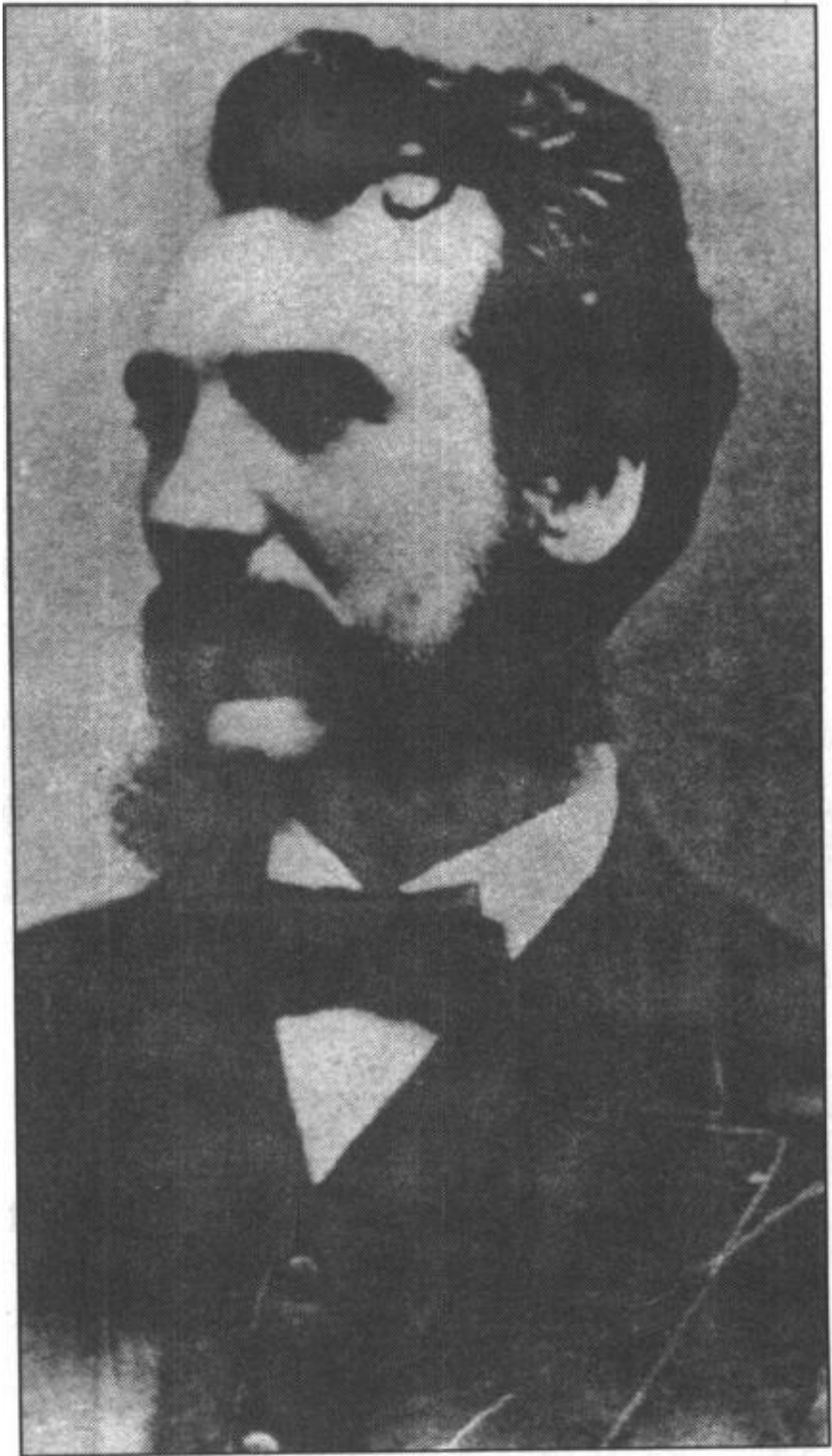


图 35-8 贝尔

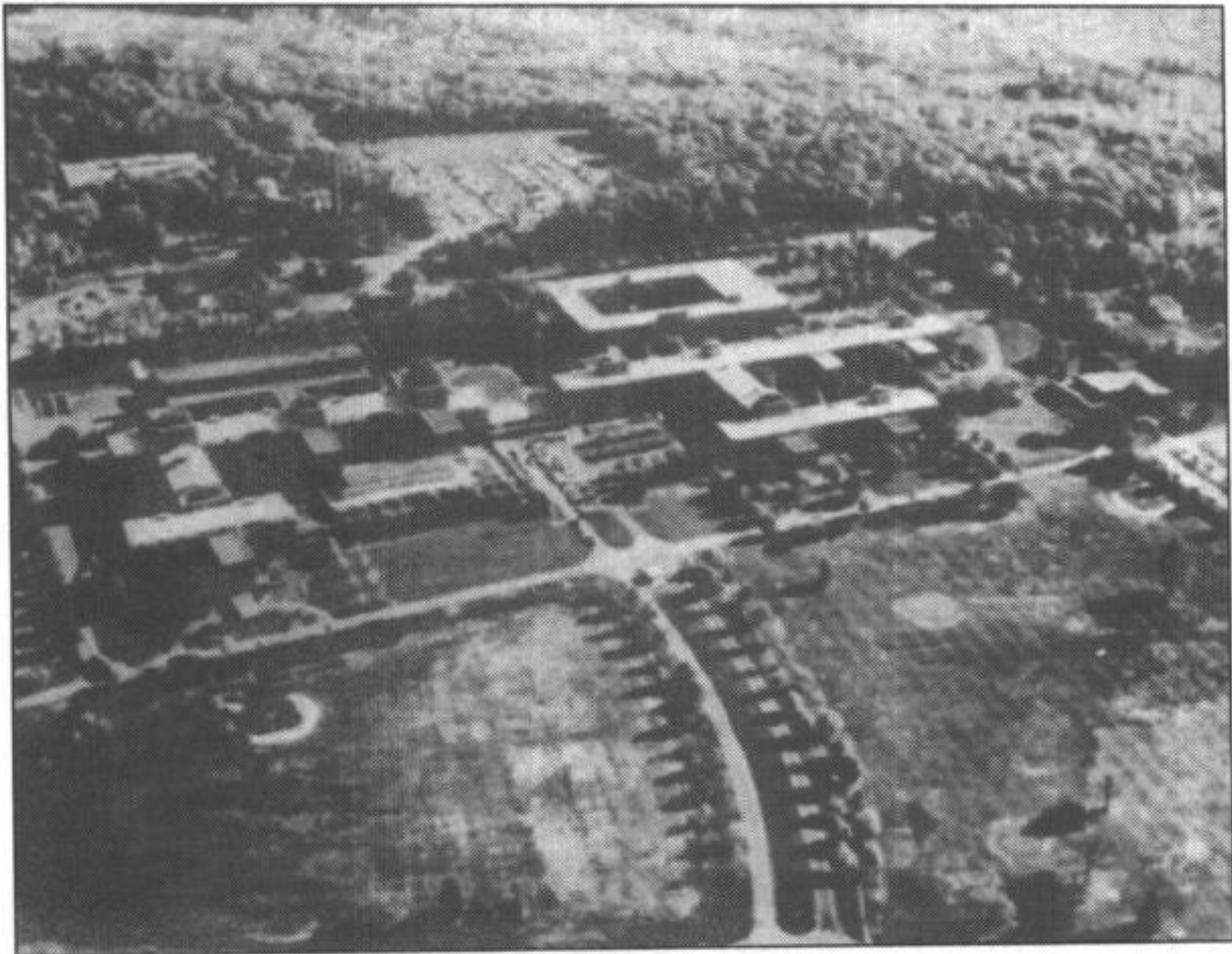


图 35-9 贝尔电话实验室

6. 无线电：马可尼、波波夫

1865年，英国物理学家麦克斯韦从理论上预言了电磁波的存在。1886年，德国物理学家赫兹在实验室里证实了电磁波的存在。由于赫兹英年早逝，没能在电磁波的应用技术方面做些工作。

敏感的发明家们已经意识到电磁波可以用于无线电通讯。英国物理学家洛奇研制了一种电磁波接受器，能够接受到800米以外地方的电波信号。意大利工程师可马尼（1874—1937年）也参与到无线电通讯的研究中。1894年，他制成了金属粉屑检波器，又在发射机和接收机上安装了天线和地线，使接收和发射的效率大大提高。1895年，他已经能够实现1英里远的无线电通讯。1896

年,距离又增加到了9英里,1897年到12英里。1898年到18英里,这时候,他开始将自己的发明付诸商业化。1900年,他获得了英国政府的第7777号专利,1901年,他用无线电将英国与加拿大沟通了。1909年,马可尼获诺贝尔物理学奖。

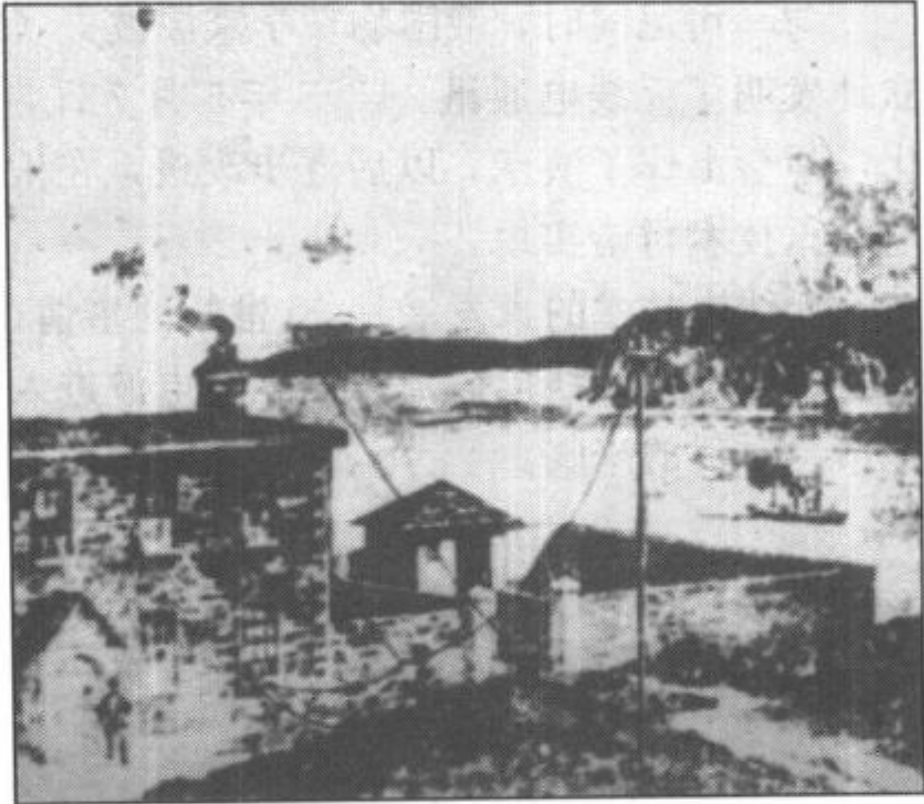


图 35-10 马可尼的接收天线



图 35-11 马可尼(右)正在调试无线电装置

与马可尼同时，俄国物理学家波波夫（1859—1906年）也独立地发明了无线电通讯。1895年5月7日，波波夫在彼得堡物理化学学会上作了演示，以后逐步改进，在俄国政府支持下将无线电通讯技术付诸实用。

无线电技术的大发展是20世纪的事情。1906年，美国物理学家费森登发明无线电广播，使无线电波进入千家万户，预示着一个信息时代的来临。

第八卷

20世纪：探究宇宙与生命之谜

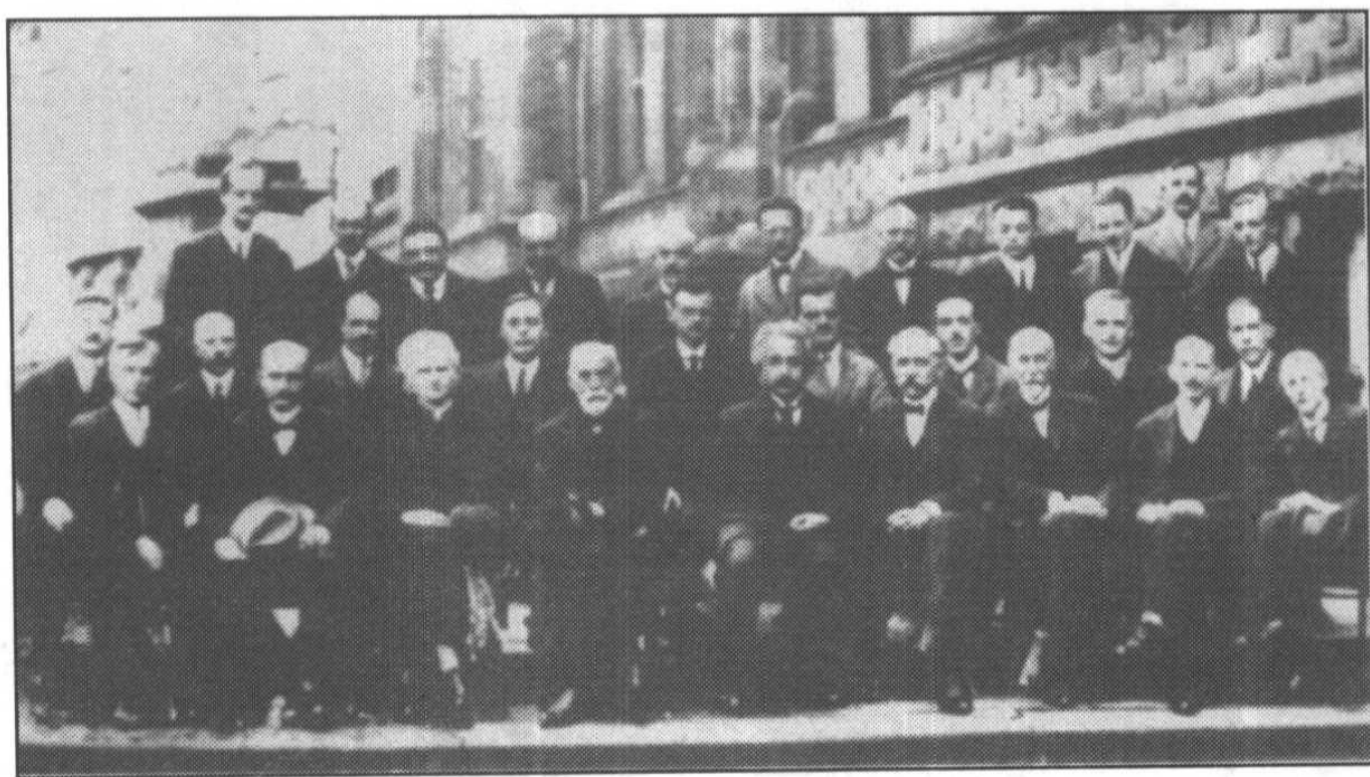
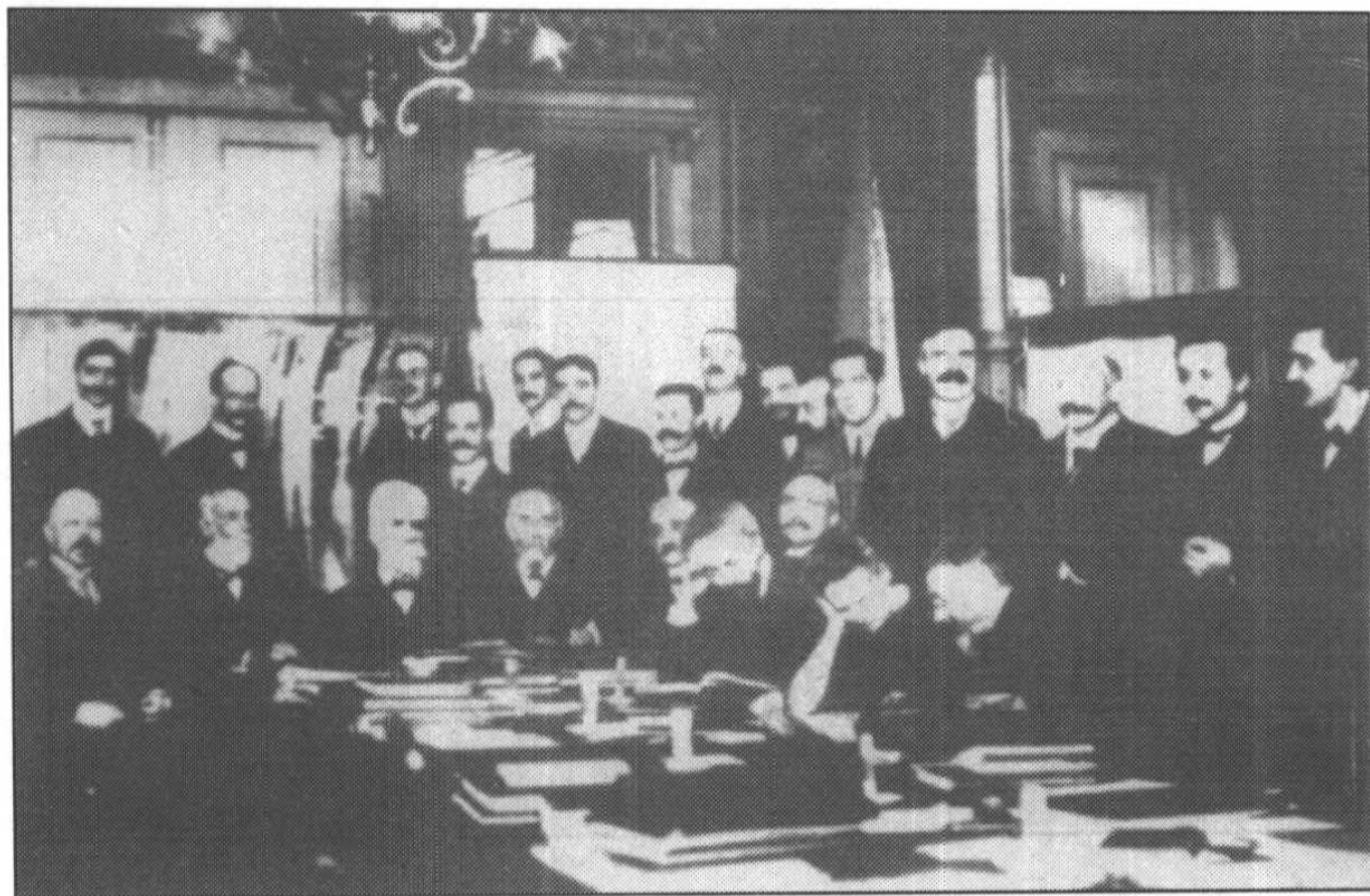


图 36-0 第一次索尔末会议与第五次索尔末会议

19 世纪，古典科学得到了极大的发展。在物理科学领域，以牛顿力学为基础统一了声学、光学、电磁学和热学，有效地支配着小到超显微粒子、大到宇宙天体的物理世界。在生命科学领域，以细胞学说和生物进化论为基础，统一了生物学的诸分支，乃至确立了人在自然界中的位置。这些巨大的成就使人们相信，古典科学已发展到了顶峰，剩下的事情只是将已经建立起来的原理用于自然界中的种种现象上去。但是，大多数人还没有看到，在理论科学的内部已潜伏着深刻的危机。

正是为了解决上一个世纪留下来的种种科学危机，20 世纪的理论科学经历了一系列的革命。以世纪之交的物理学革命为先导，在天文学、地质学和生物学领域均发生了重大的理论变革。在物理学中，出现了相对论、量子力学，取代牛顿力学成为物理世界更普适的基础理论。粒子物理学中的夸克模型、宇宙学中的大爆炸模型、分子生物学中的 DNA 双螺旋模型和地质学中的板块模型，被认为是 20 世纪理论科学中最重要的四大模型，它们均代表

了本领域里的一场理论革命，因此，20世纪也被称为科学革命的世纪。经过一系列的观念变革，人类对宇宙和生命的认识大大深化了。

Q



第三十六章

世纪之交的物理学革命

19 世纪理论科学的巅峰状态以及其中隐含的危机以物理学最为典型。海王星的发现显示了牛顿力学无比强大的理论威力，光学、电磁学与力学的统一使物理学显示出一种形式上的完整，被誉为“一座庄严雄伟的建筑体系和动人心弦的美丽的庙堂”。有一个故事很可以说明在人们心目中古典物理学的完善程度。德国著名的物理学家普朗克年轻时曾向他的老师表示要献身于理论物理学，老师劝他说：“年轻人，物理学是一门已经完成了的科学，不会再有多大的发展了，将一生献给这门学科，太可惜了。”

1900 年 4 月 27 日，英国著名的物理学家开尔文勋爵作了题为“热和光的动力理论上空的 19 世纪之乌云”的长篇讲演，指出古典物理学本来十分晴朗的天空上出现了两朵乌云。实际上，物理学天空上乌云何止两朵，大量新现象与已成完美体系的古典理论之间的矛盾日渐突出，酿成了深刻的危机。正是这朵朵乌云带来了世纪之交的一场物理学革命，在这场革命中诞生了相对论和

量子论。

1. 第一朵乌云：以太漂移实验

开尔文所称第一朵乌云指的是以太漂移实验。古典物理学统一诸种物理现象的主要方式是，找出该类物理现象的一个力学模型。例如，当我们把声音看成是声源振动在物质媒介中的纵向传播时，我们就将声学统一在关于振动的力学之中；当我们把热看成是细微分子的运动之后，我们就将热学统一在关于大量分子运动的力学之中。电磁学似乎与力学距离较远，但也有统一它们的方式。比如，我们同样可以将电磁波看成是某种电磁振荡在某种物质媒介中的传播，如果这种模型是成立的，那么，电磁学与力学



图 36-1 测定光速

学之间也可以统一起来了。事实上，物理学家们就是这么做的，因为在他们看来，“一切物理现象都能够从力学的角度来说明，这是一条公理，整个物理学就建造在这条公理之上”（J. J. 汤姆逊语）。后来的开尔文勋爵也说：“我的目标就是要证明，如何建造一

个力学模型，这个模型在我们所思考的无论什么物理现象中，都将满足所要求的条件。在我没有给一种事物建立起一个力学模型之前，我是永远也不会满足的。如果我能够成功地建立起一个模型，我就能理解它，否则我就不能理解。”

用力学振荡模型来理解电磁现象面临的一个主要问题是，它是在什么物质媒介中振荡传播的。我们知道，声音的媒介可以是许多物质，如空气、水、铁轨道，没有这些东西，声音便不能传播，但人们还没有发现电磁振荡靠的是什么媒介。有实验表明，它在真空中也能传播，这就说明，这种媒介不是我们所能看得见、摸得着的物质。法国哲学家笛卡儿曾经借用希腊词“以太”，提出过一种处处充满以太的宇宙模型。在他那里，以太正好就是看不见、摸不着的一种新物质。物理学家们于是认为，电磁传播的媒介是以太。

问题在于以太将具有什么样的物理性质，比如，它有重量吗？它对物体的运动会产生阻力吗？它的密度有多大？但这些问题都非常难于回答。电磁波是一种横波，为了能传播这样一种波，以太媒介必得很硬，但行星运动中又看不出受到阻力的迹象，这使物理学家们感到很难办。

更困难的问题是以太漂移问题。如果确实有以太存在，那么最好是假定它相对于太阳静止而相对于地球运动，因为只有这样才能很好地解释光行差现象。如果以太相对于地球运动，那么我们就应该可以通过某种方式探测出来。1879年，著名物理学家麦克斯韦提出了一种探测方法：让光线分别在平行和垂直于地球运动方向等距离地往返传播，平行于地球运动的方向所花的时间将会略大于垂直方向的时间。1881年，美国实验物理学家迈克尔逊（1852—1931年）依此原理设计了一个极为精密的实验，未发现任何时间差。1887年，迈克尔逊再度与美国化学家莫雷（1838—1923年）合作，以更高精度重复实验，得到的依然是“零结果”。作为

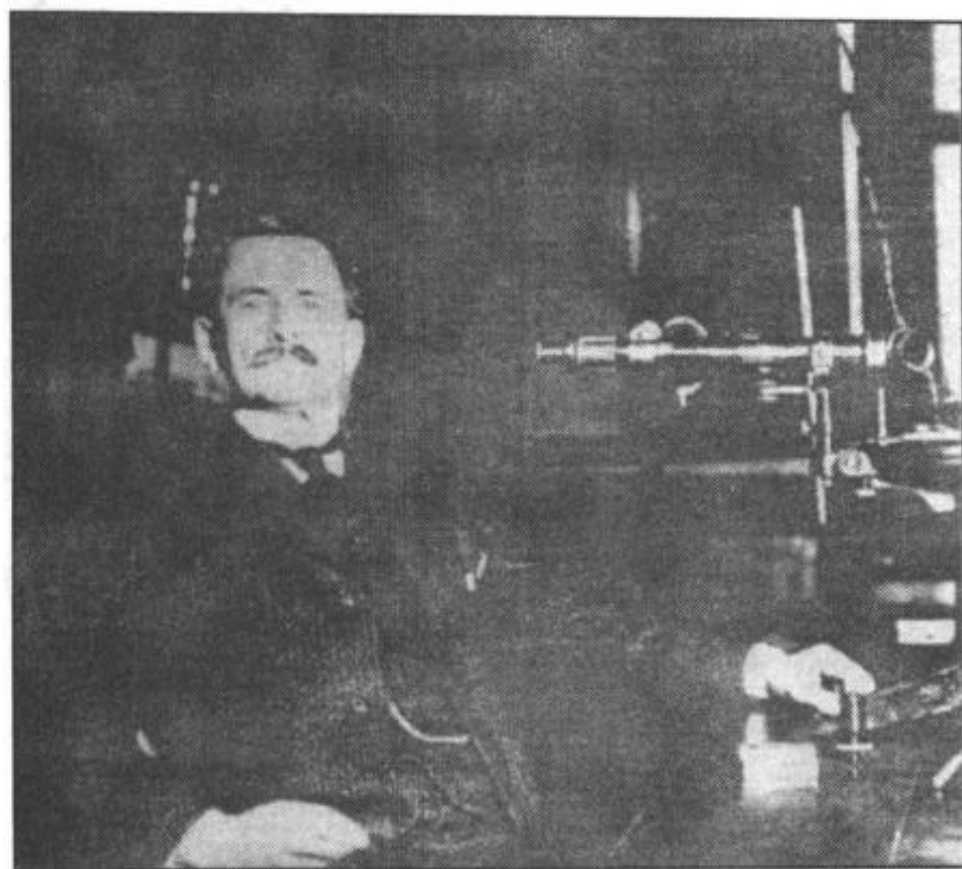


图 36-2 迈克尔逊

一名以“探测以太漂移”为目的的实验物理学家，迈克尔逊认为自己的实验是失败的。

为了解释“零结果”，1889年爱尔兰物理学家菲兹杰拉德（1851—1901年），提出了物体在以太风中的收缩假说，他认为，在运

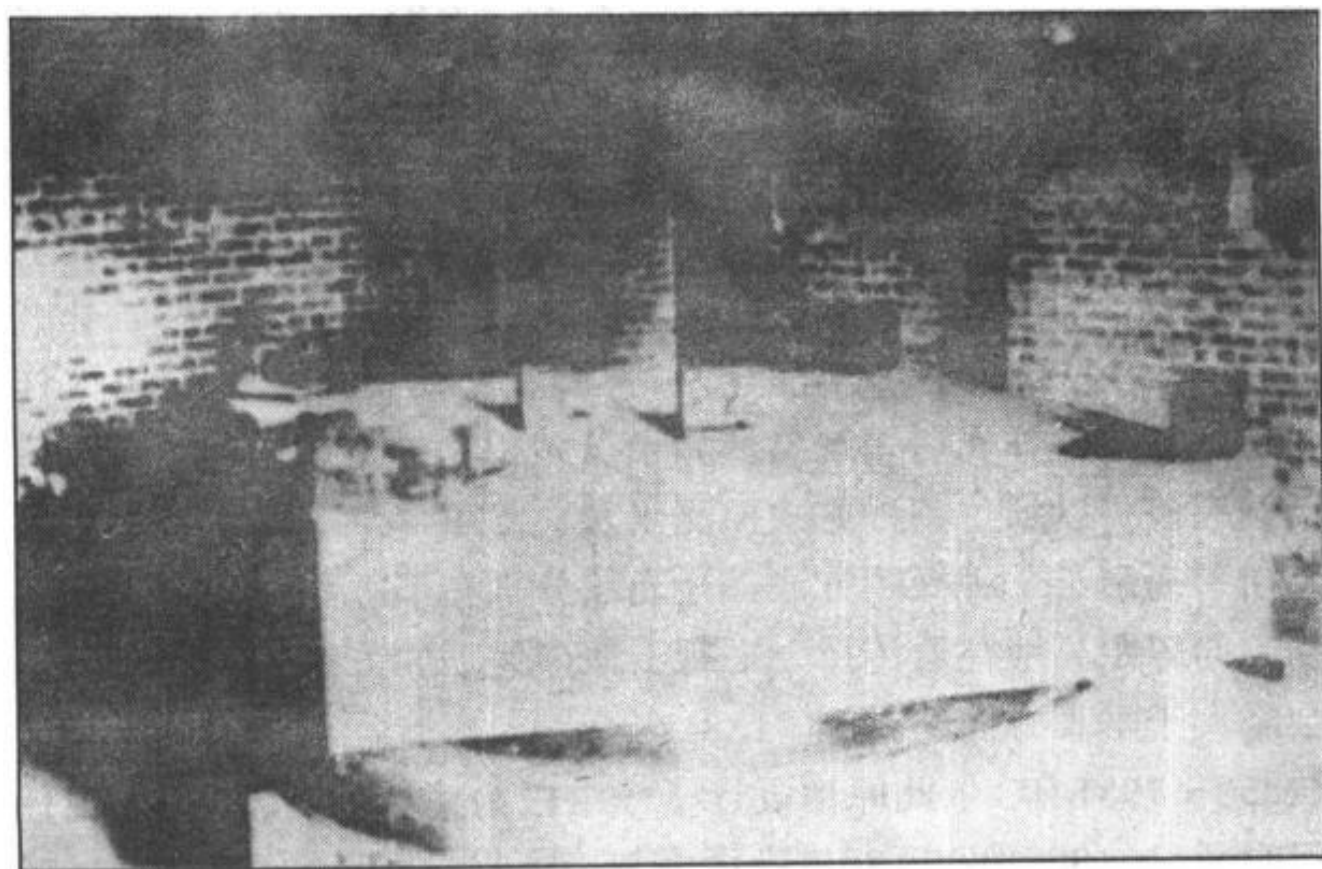


图 36-3 迈克尔逊—莫雷实验

动方向上，物体长度将会缩短，以致我们无法在光学实验中探测出以太漂移的迹象。1892年，荷兰物理学家洛伦兹（1852—1928年）也独立地提出了收缩假说，并且给出了著名的洛伦兹变换。该变换使相对于以太运动以及相对于以太静止的两种坐标系均满足同样形式的麦克斯韦方程，使经典物理学得以消除乌云，保全形式上的完美。但洛伦兹的工作已经大大修改了许多传统的观念，例如，运动粒子的质量不再是不变的，速度均以光速为上限等。

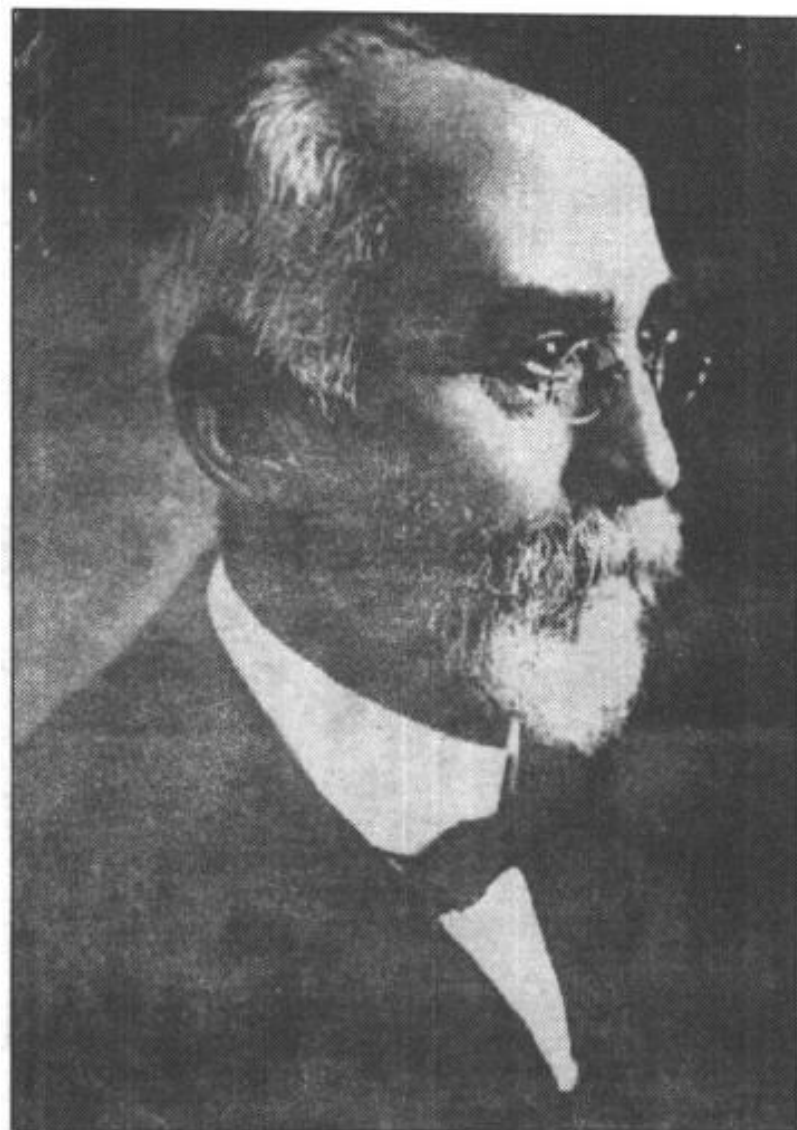


图 36-4 洛伦兹

2. 爱因斯坦与相对论

洛伦兹的工作主要是对旧体系的修正，而揭开物理学革命之序幕的是爱因斯坦。这位犹太血统的物理学家 1879 年 3 月 14 日生于德国南部的小城乌尔姆，和牛顿一样，爱因斯坦年幼时也未表现出智力超群。相反，到了四岁多他还不会说话，家里人甚至担心他是个低能儿。上中学之后，他的学业也不突出，除了数学很好外，其他功课都不怎么样，尤其是拉丁文和希腊文课，爱因斯坦学得一塌糊涂。他对这些古典语言太不感兴趣了。老师劝他



图 36-5 专利局时代的爱因斯坦

退学算了，说他不会有大的出息的，就这样，人类历史上最伟大的天才中途退学了。

1895年，16岁的爱因斯坦来到了瑞士苏黎世，准备投考苏黎世的联邦工业大学。本来他的年龄不够，不能参加报考，但家里考虑到爱因斯坦失学在家总不是个事，便托了点关系。第一次爱因斯坦没有考上，那些需要死记硬背的功课象德文、法文、动物学、植物学等都没有考好，但他的数学和物理课考得很不错。教

授们安慰他还年轻，下次再来，先找个中学上。这样，爱因斯坦又进了离苏黎世不远的阿劳镇中学。在阿劳期间是爱因斯坦人生中比较快乐的一段时光，他尝到了瑞士自由的空气和阳光，决心放弃德国国籍。1896年1月28日，爱因斯坦正式成为一个无国籍者。当年，他终于考进了联邦工业大学。

在大学期间，爱因斯坦还是只对自己感兴趣的学科着迷，而忽视其他科目。这时候，他迷上了物理学而对数学反而冷落了，数学课全凭一位叫格罗斯曼的同学的笔记来应付。1900年，他大学毕业了，但一时找不到工作。1901年2月，他取得了瑞士国籍，但工作依然没有着落。后来依然是格罗斯曼在帮他的忙。格罗斯曼的父亲有位朋友在伯尔尼专利局当局长，经说情爱因斯坦在那里

找到了一份固定职业——当技术员。1902年，爱因斯坦在伯尔尼定居了，而且在那里与几个朋友组织了一个学习小组，讨论科学和哲学的前沿问题。因常在一个叫奥林匹亚的小咖啡馆聚会，他们把自己的小组称做奥林匹亚科学院。

早在16岁时爱因斯坦就在想一个问题，如果一个人以光速运行，他将看到一幅什么样的世界景象呢？电磁波是不是就像凝固了那样静止不动呢？如果是那样，电动力学就完了。看起来，电动力学的麦克斯韦方程只对一个绝对静止不动的参考系即以太参考系是成立的。可是这与牛顿力学所遵从的惯性系等效原理相矛盾。所有的牛顿定律对于所有的惯性系都是成立的，伽利略恰当地称之为相对性原理。他的著名实验是，一个坐在船舱里的人无论用什么物理实验，也无法确定该船是否在相对于河流作均匀直线运动即惯性运动。可是，电动力学为什么不遵从伽利略的相对性原理呢？

在伯尔尼专利局的岁月里，爱因斯坦广泛关注着物理学界的前沿动态，在许多问题上深入思考，形成了自己独特的见解。1905年是科学史上值得记取的一年，这一年中，爱因斯坦在德国物理学年鉴上发表了五篇论文，其中的三篇每篇均

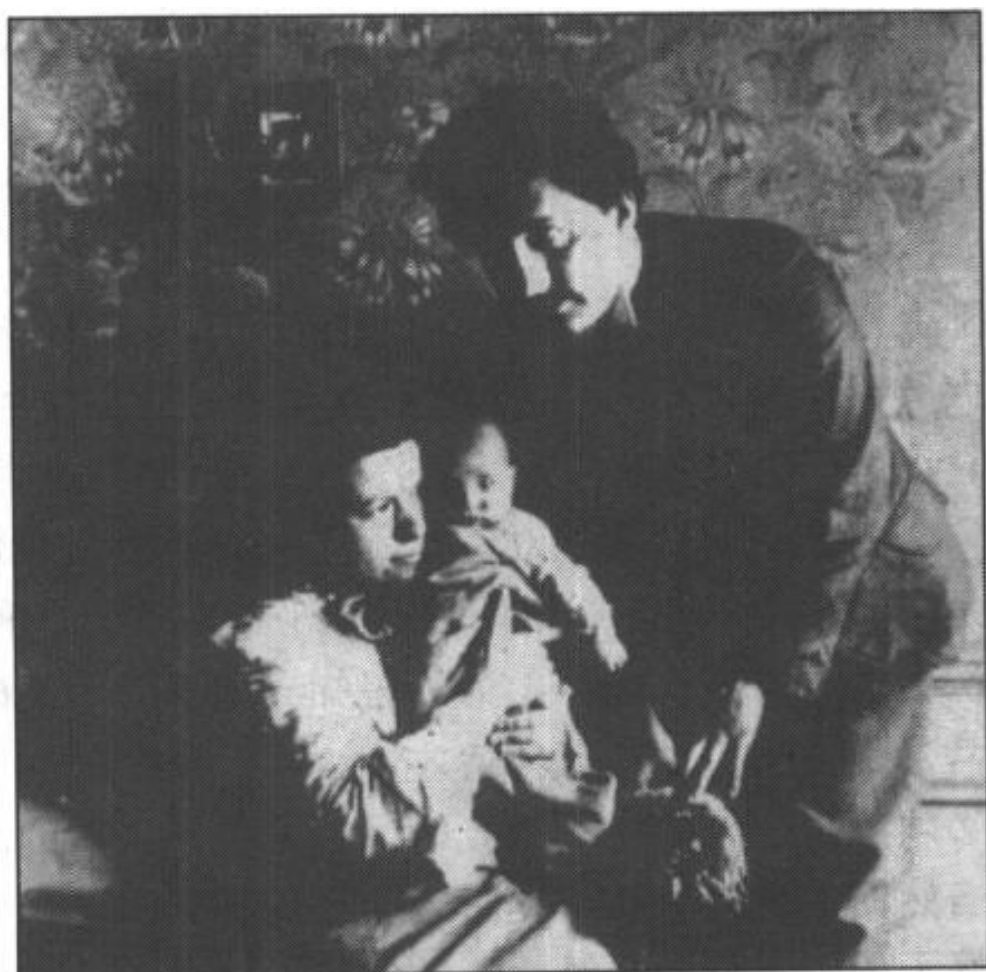


图 36-6 爱因斯坦与妻子（米列娃）、儿子于1904年

是划时代的成就。

一篇论文是关于光电效应的。当时人们已经发现，金属在光的照射下可以发射出电子，而且奇怪的是，光的强度只与电子的多少有关，而不能使电子的发射能量变大。对这一点古典物理学无法解释，爱因斯坦将德国物理学家普朗克在此之前提出的量子观点大胆推广，指出光是由一定能量的光量子组成，正是这些光量子激发了金属内部的电子，只有一定能量的光量子能被金属所吸收并激发一定能量的电子。这就解释了光电效应。由于这篇论文，爱因斯坦获得了1921年的诺贝尔物理奖。另一篇论文是关于布朗运动的。布朗运动是1827年英国植物学家布朗发现的，显微镜下花粉颗粒的无规则运动，长期以来得不到解释，分子运动论建立之后曾有人从大量分子无规则运动的观点解释布朗运动，但爱因斯坦第一个从数学上详尽地解决了这一问题。

最伟大的成就是第三篇论文“论动体的电动力学”，在这篇论文中，爱因斯坦提出了他举世闻名的相对性理论即相对论，它是他多年来思考以太与电动力学问题的结果。他从同时性的相对性这一点作为突破口，建立了全新的时间和空间理论，并在新的时空理论基础上给动体的电动力学以完整的形式，以太概念不再是必要的，以太漂移问题也不再存在，如果迈克尔逊的实验导致了零结果，那么它正是一次成功的实验，证明所谓以太漂移根本就是虚幻的。

何谓同时性的相对性？不同地方的两个事件我们何以知道它是同时发生的呢，这个问题看似平常，却至关重要。一般来说，我们会通过信号来确认。为了得知异地事件的同时性我们就得知道信号传递的速度，但如何才能测出一个信号的传递速度呢？我们必须测出两地的空间距离以及信号传递所需的时间。测空间距离当然简单，麻烦在于测时间，我们必须假定两地各有一只已经对好了的钟，从两只钟的读数差可以知道信号传播的时间。但我们如何才能将两只处在不同地方的钟对好呢？答案是还需要一种信

号。这个信号能否将钟对好？如果按我们先前的思路，它又需要一种新信号，这样无穷后退，两地事件的同时性实际上无法确认。不过有一点倒是明确的，同时性必与一种信号相联系，否则我们说两件事情同时发生是没有意义的。

光信号可能是用来对钟的最合适的信号，但光速不是无限大，这就会产生一个新奇的结论：对于静止的观察者同时的两事件，对于运动的观察者就不是同时的。设 AB 两地各发生了一个事件（比如发生了一次闪光），在 AB 的中点 C 处的观察者，从 AB 两地发来的光信号同时到达这一点，推测两事件是同时发生的，按定义，它的确是同时发生的，地面上的每一位静止的观察者均会同意。但一个由 A 向 B 运动的观察者却不同意，因为也是在 C 点，他却发现 B 点的闪光先于 A 点到达，按定义，B 事件先于 A 事件，它们是不同时的。也就是说，同时性不是绝对的，而取决于观察者的运动状态。这一结论否定了牛顿力学所引以为基础的绝对时间和绝对空间框架。

爱因斯坦正是在时空观的彻底变革的基础上，建立了他的相对论力学。相对论认为，光速在所有惯性参考系中不变，它是物体运动的最大速度。由于相对论效应，运动的尺子会缩短，运动的钟将变慢。这些与日常经验大相径庭的结论，并未引起科学界的注意，爱因斯坦的论文只在德国有所反响。幸运的是，德国物理学的权威人物普朗克很重视，认为爱因斯坦的工作可以与哥白尼相媲美。可是这样的人还在伯尔尼的专利局里干些杂事。普朗克的学生劳厄来伯尔尼找爱因斯坦，他直奔伯尔尼大学找一位叫爱因斯坦的教授，可料想不到，这位“教授”还是一名公务员。

1907 年，爱因斯坦听从友人的建议，提交那篇著名的论文申请联邦工业大学的编外讲师职位，但得到的答复是论文无法理解。德国物理学界对爱因斯坦已经耳熟能详，可在瑞士，新时代的哥白尼还是得不到一个大学教职，许多有名望的人开始为他鸣不平

了,1908年10月23日,爱因斯坦终于得到了编外讲师的职位,次年,当上了副教授。

1912年,爱因斯坦当上了教授,1913年,应普朗克之邀担任新成立的威廉皇帝物理研究所所长和柏林大学教授。这时期,爱因斯坦在考虑将已经建立起来的相对论推广,原先的理论只涉及惯性参考系,没有考虑到加速运动,因而被称为狭义相对论。狭义相对论很难解释所谓双生子佯谬,该佯谬说的是,有一对孪生兄弟,哥哥乘宇宙飞船以接近光速的速度做宇宙航行,根据相对论效应,高速运动的时钟变慢,等哥哥转了几天回来时,弟弟已经变得很老了,因为地球上已经历了几十年了。按照相对性原理,飞船相对于地球高速运动,地球相对于飞船也高速运动,弟弟看哥哥变年轻了,哥哥也应该看弟弟年轻了,等他们相聚到一起会怎么样呢?这个问题简直没法回答。实际上,狭义相对论只处理匀速直线运动,

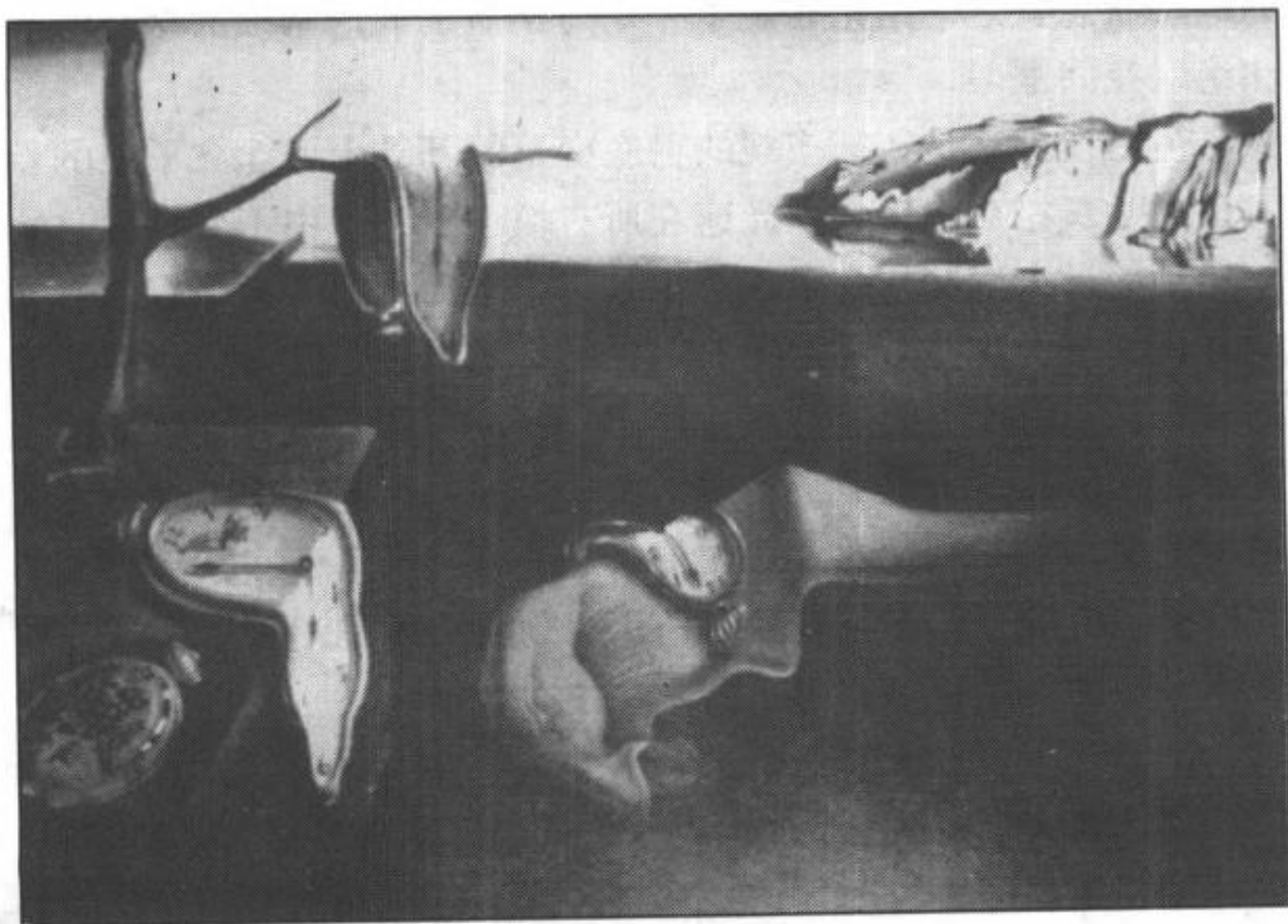


图 36-7 时空连续统

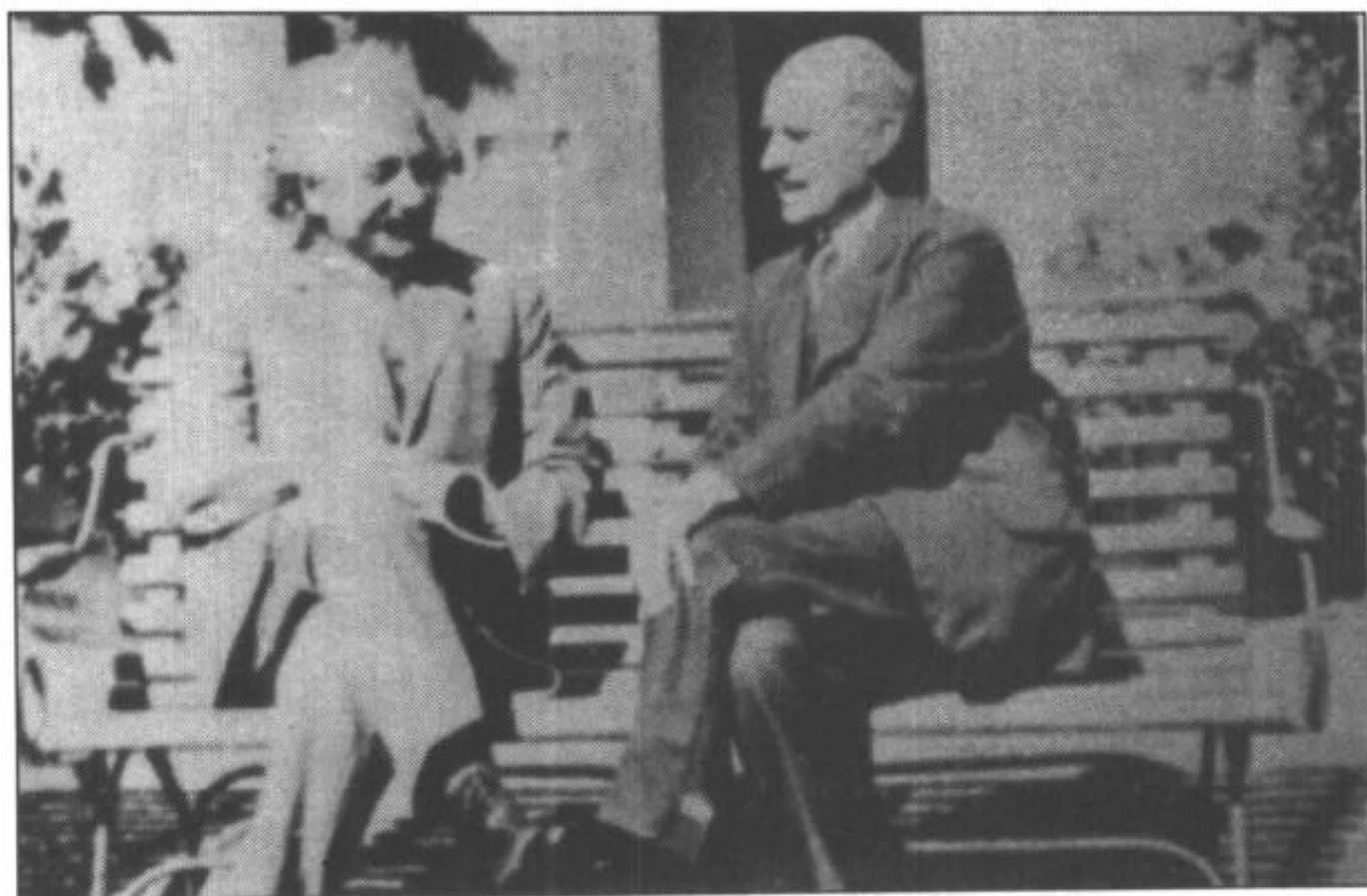


图 36-8 爱因斯坦与爱丁顿

而哥哥要想回来必须经过一个变速(至少要改变运动方向)运动过程,在这个变速过程中的相对论效应,狭义相对论无法处理。正在人们忙于理解狭义相对论时,爱因斯坦正接近完成广义相对论。

1916年,爱因斯坦在老同学格罗斯曼的帮助下,完成了广义相对论,在这个理论中,引力是被考虑的主要问题。按照牛顿力学,任何物体既有惯性质量,也有引力质量,牛顿第二定律中的质量是惯性质量,而万有引力定律中的质量是引力质量,但人们理所当然地认为它们是相等的,把它们统称为质量。可是,这种相等是偶然的吗?

狭义相对论与牛顿的万有引力理论也存在矛盾。在牛顿看来,引力是即时作用,引力场就像是一个绝对时空的载体,这为时空的相对性观念所不容。爱因斯坦将相对性原理推广到引力场中,指出引力场就相当于一个非惯性系,人们对一个物体是正被加速,还是正处在引力场中无法作出区分。这一点被称为等效原理,而惯

性质量与引力质量相等是等效原理的一个自然的推论。广义相对论认为，由于有物质的存在，空间和时间会发生弯曲，而引力场实际上是一个弯曲的时空。

广义相对论首先解释了水星近日点的进动，这个进动曾经被勒维列用行星摄动方法来解释，但谁也没有发现有“火神星”在那里摄动。爱因斯坦用太阳引力使空间弯曲的理论，很好地解释了水星近日点进动中无法解释的43秒。

广义相对论的第二大预言是引力红移，即在强引力场中光谱应向红端移动，20年代，天文学家在天文观测中证实了这一点。

广义相对论的第三大预言是引力场使光线偏转，这一预言最

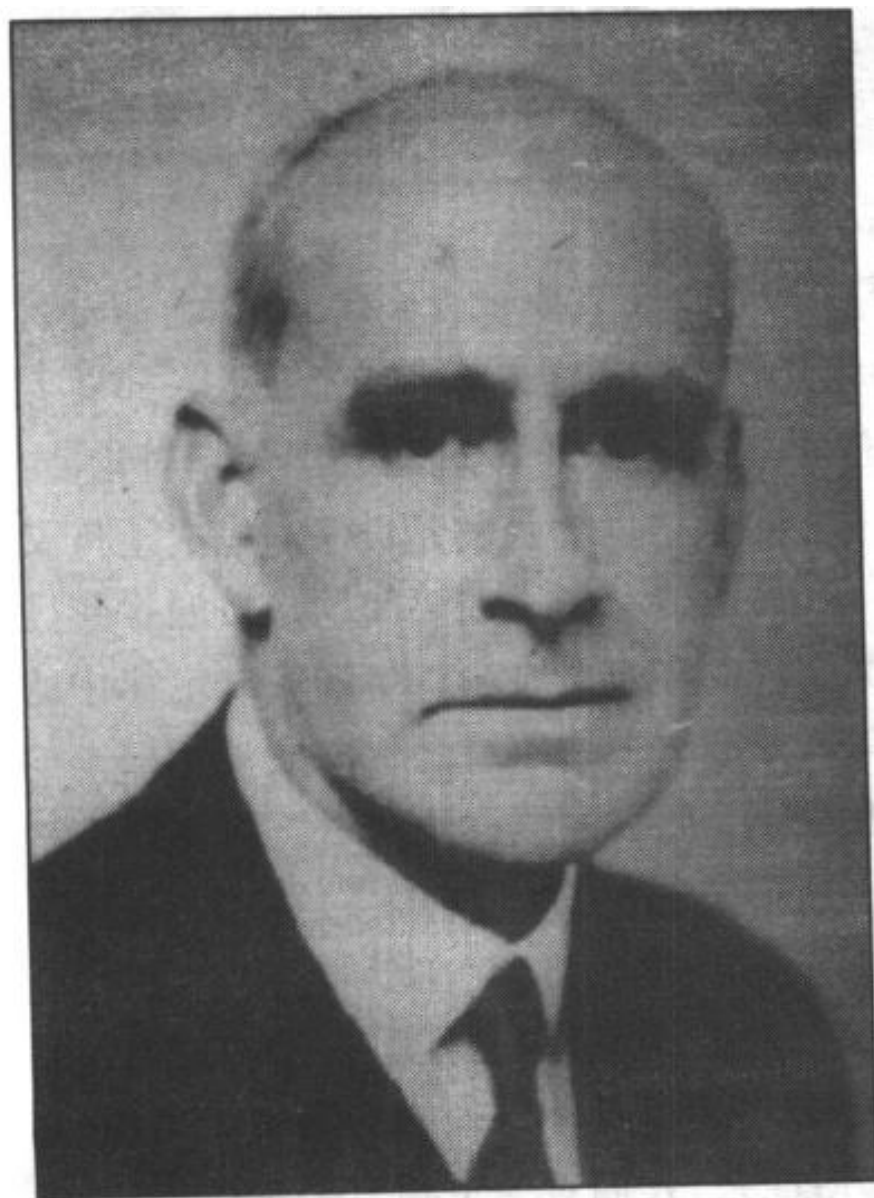


图 36-9 爱丁顿

为引人注目，因为它最终得到了天文验证。最靠近地球的大引力场是太阳引力场。爱因斯坦预言，遥远的星光如果掠过太阳表面，将会发生一点七秒的偏转。这个预言很难验证，因为大白天太阳太亮，看不到星光，晚上能看到星光太阳又下山了。但也有机会，那就是日全食的时候。1919年5月29日，这个机会终于来了。在英国天文学家爱丁顿（1882—1944年）的鼓动下，英国人派出了两支远征队，一支到非洲



图 36-10 爱因斯坦与夫人爱尔莎

西部的普林西比岛,由爱丁顿本人率领,另一支到南美的索布腊尔,由另一位天文学家克劳姆林带队。两支队伍不久就带回了全食时的太阳照片,经反复核对和比较,最终结论是,星光在太阳附近的确发生了一点七秒的偏转。1919年11月6日,皇家学会和皇学天文学会正式宣读了两支队伍的观测报告,确认了广义相对论的结论是正确的。当时的皇家学会会长汤姆逊致词说:“爱因斯坦的相对论是人类思想史上最伟大的成就之一,也许就是最伟大的成就,它不是发现一个孤岛,而是发现了新的科学思想的新大陆。”

11月7日,新闻媒介报道了英国天文学家的观测结果,爱因



图 36-11 爱因斯坦在美国讲学

斯坦一下子成了世界名人。记者蜂涌而至，索求签名照片的信件像雪片一般飞来。各国均向他发出访问邀请，每到一地，均受到国王才能得到的礼遇。

在德国，日益高涨的排犹运动使爱因斯坦忧心忡忡，在德国科学家之中也有人反对相对论。1921年爱因斯坦获得了诺贝尔奖金。这奖来得十分不易。当时有不少德国的诺贝尔奖获得者威胁说，如果给相对论授奖，

他们就要退回已获的奖章，结果评选委员会找到了一个办法，让爱因斯坦作为光电效应理论的建立者而得奖，相对论始终没有获诺贝尔奖。

从1930年开始，应加州理工学院院长密立根的邀请，爱因斯坦每年冬天去美国访问讲学，最后一次是在1932年。他在那里得知，希特勒上台了，他的家也被抄了。他决定不再回德国了，新泽西州普林斯顿高等研究所给了他一个高级研究员的职位，他便在普林斯顿定居下来。

爱因斯坦最后十年，将全部精力投入到统一场论的研究中，他希望将引力与电磁现象统一起来，但到头没有能成功。他总是孤身一人在物理学的最前沿拼杀，用他自己的话说，总是选木板中那些最厚的地方钻孔。他永远只做最难做的开创性工作，这种性



图 36-12 爱因斯坦宣誓成为美国公民

格也使他远离当时最火热的量子力学的发展。

在他的后半生，爱因斯坦卷入了当时复杂的国际政治，对到处弥漫的战争气氛感到十分不安和担忧。他从小就厌恶战争，热爱和平，因此一直持一种极端的和平主义立场。他号召青年人不要当兵，兵工厂应该罢工。但在第二次世界大战中，爱因斯坦眼看由一小撮法西斯主义者发起的战争完全不可避免时，他改变了自己的态度，认为应该拿起枪来，与法西斯主义者作斗争，尽早结束战争。为了防止德国纳粹最先造出原子弹给人类带来巨大的危害，爱因斯坦亲自给当时的美国总统罗斯福写信，建议尽早研制原子弹。美国终于进行了曼哈顿工程，于1945年7月16日成功地试爆了第一颗原子弹。这时德国人已经战败，第二和第三颗原子弹投到了日本，很快使日本投降，结束了第二次世界大战。爱



图 36-13 爱因斯坦与以色列总理本古龙

因斯坦眼看战后愈演愈烈的核军备竞赛，忧心忡忡，感到自己有责任制止核武器的扩散。他参加了无数的会议，发表了无数的宣言，致力于消灭原子弹的政治活动，但收效甚微。他的狭义相对论中著名的公式 $E=mc^2$ 是释放原子能的理论依据，他写给罗斯福的信是研制原子弹的直接动因，在某种意义上爱因斯坦可以被称为原子弹之父，但当他发现原子武器是人类的瘟神时，他的痛苦是无法形容的。

1955 年 4 月 18 日，爱因斯坦在普林斯顿的家中病逝。遵照遗嘱，没有举行公开的葬礼，火化时只有几位最亲近的朋友在场。他的骨灰被秘密保存，因为爱因斯坦生前反复强调不设立坟墓，不立纪念碑。法国物理学家朗之万曾经对爱因斯坦有一个评价：“在我们这一时代的物理学家中，爱因斯坦将位于最前列。他现在是，将来也还是人类宇宙中有头等光辉的一颗巨星。很难说，他究竟

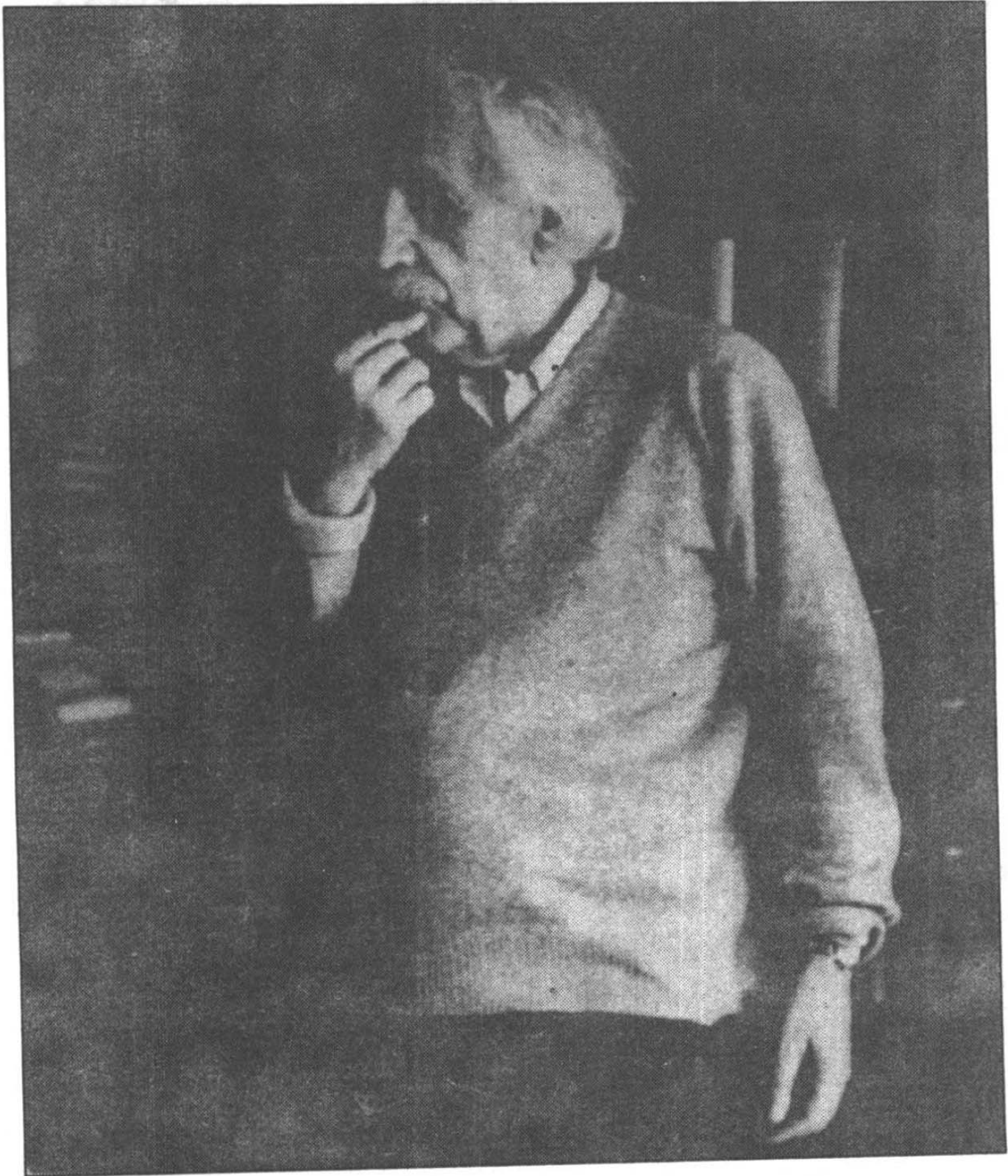


图 36-14 晚年的爱因斯坦



图 36-15 爱因斯坦临终之前的办公室

是同牛顿一样伟大，还是比牛顿更伟大；不过，可以肯定地说，他的伟大是可以同牛顿相比拟的。按照我的见解，他也许比牛顿更伟大，因为他对于科学的贡献，更加深刻地进入了人类思想基本概念的结构中。”

3. X 射线、放射性和电子的发现

早在 19 世纪 30 年代，法拉第就发现真空中放电会发生辉光现象。随着真空技术的发展，物理学家进一步发现，真空管内的金属电极在通电时其阴极会发出某种射线，这种射线受磁场影响，

具有能量，被称为阴极射线。

1895年11月8日晚，德国物理学家伦琴（1845—1923年）在做阴极射线实验时，意外地发现了一种新的射线，它具有极强的穿透力。由于不了解其本性，伦琴权且称它为X射线。由于X射线可以穿透皮肉透视骨骼，在医疗上很有用处。因此，这个发现一公布，就引



图 36-16 伦 琴

起了很大的轰动，但物理学家对该神秘射线的本性一下子还搞不清楚。伦琴由于发现X射线而成为世界上第一个荣获诺贝尔物理奖（1901年颁发）的人。

有关X射线的消息引起了法国物理学家贝克勒尔（1852—1908年）的注意。他出生在一个研究荧光的世家，因此马上联想到X射线是否与荧光有关。但多次实验表明，发荧光的物质并不产生X射线。后来，他又用一种铀盐做实验，因为铀盐也属于荧光物质，在太阳下曝晒后会发出荧光。实验结果表明，这种荧光物质确实可以像X射线那样使用黑纸包着的照相底片感光。事有

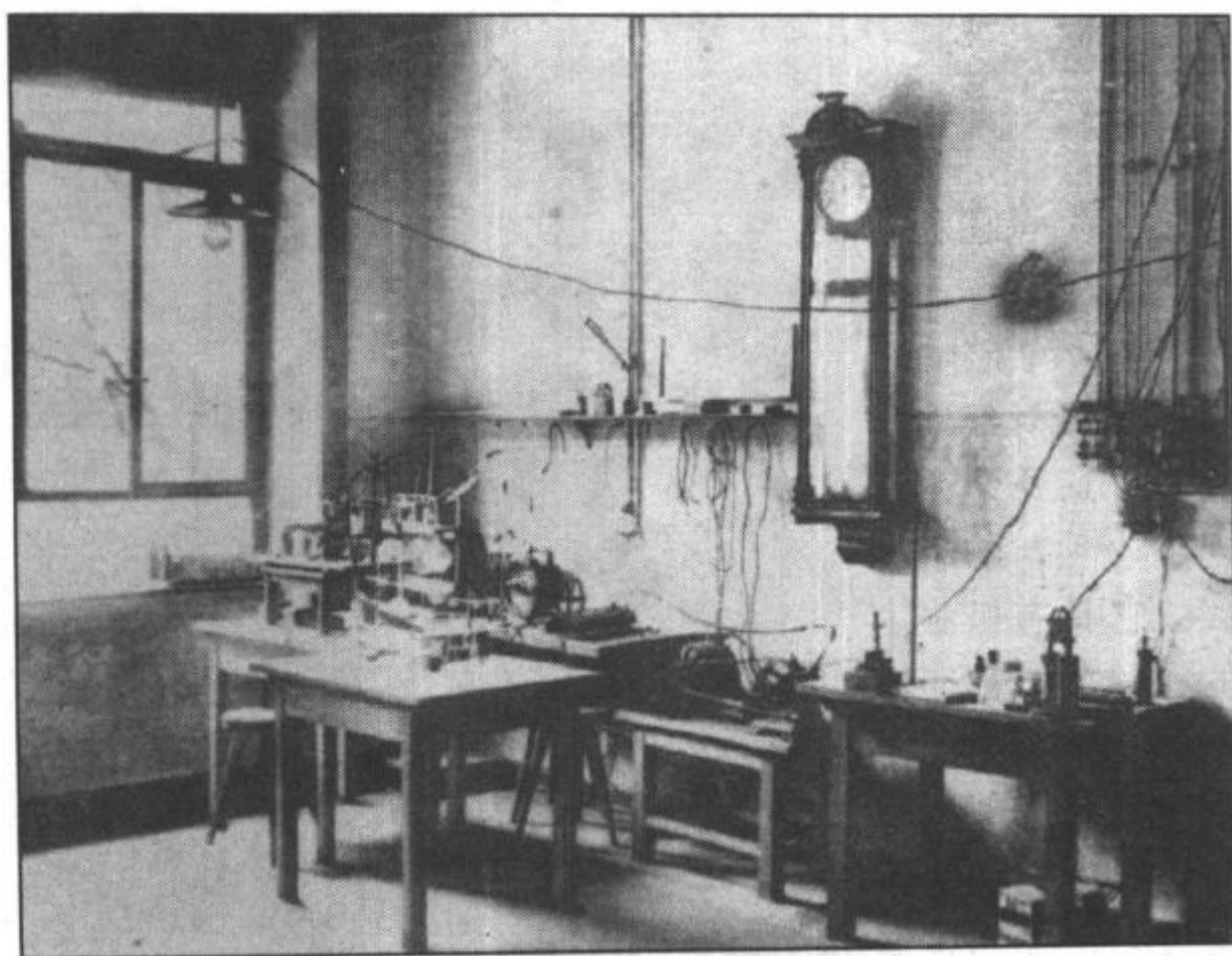


图 36-17 伦琴的实验室

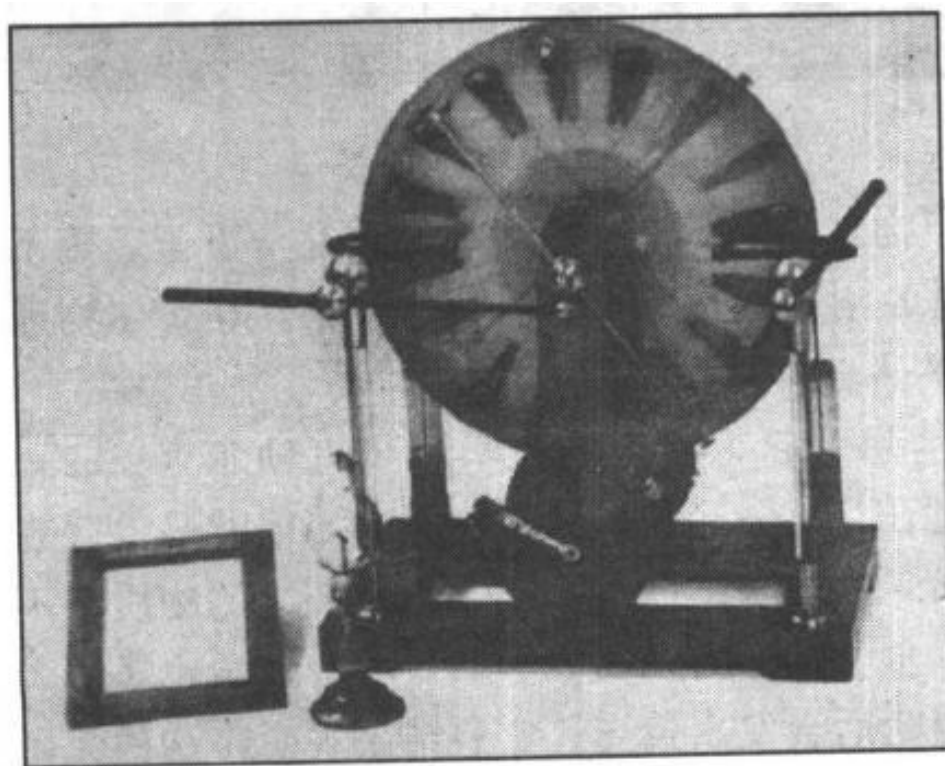


图 36-18 X射线装置

凑巧，接下来的几天都是阴天，铀盐无法在阳光底下曝晒发出荧光，但奇怪的是，它照样能使底片感光，这就说明使底片感光的是一种射线，而且与荧光无关。进一步研究之后，贝克勒尔得出结论，这种新射线是从铀原

子本身发出的，不受外界条件的影响。

铀盐具有发出新射线的能力的发现没有像 X 射线那样轰动一时，对它的研究也没有及时的展开，这可能是因为，它不像 X 射线那样具有医学价值，再说得到铀盐也不容易，而人们当时普遍认为，只有铀盐才具有这种特殊的放射能力。

将放射性的研究推向一个新的高度的

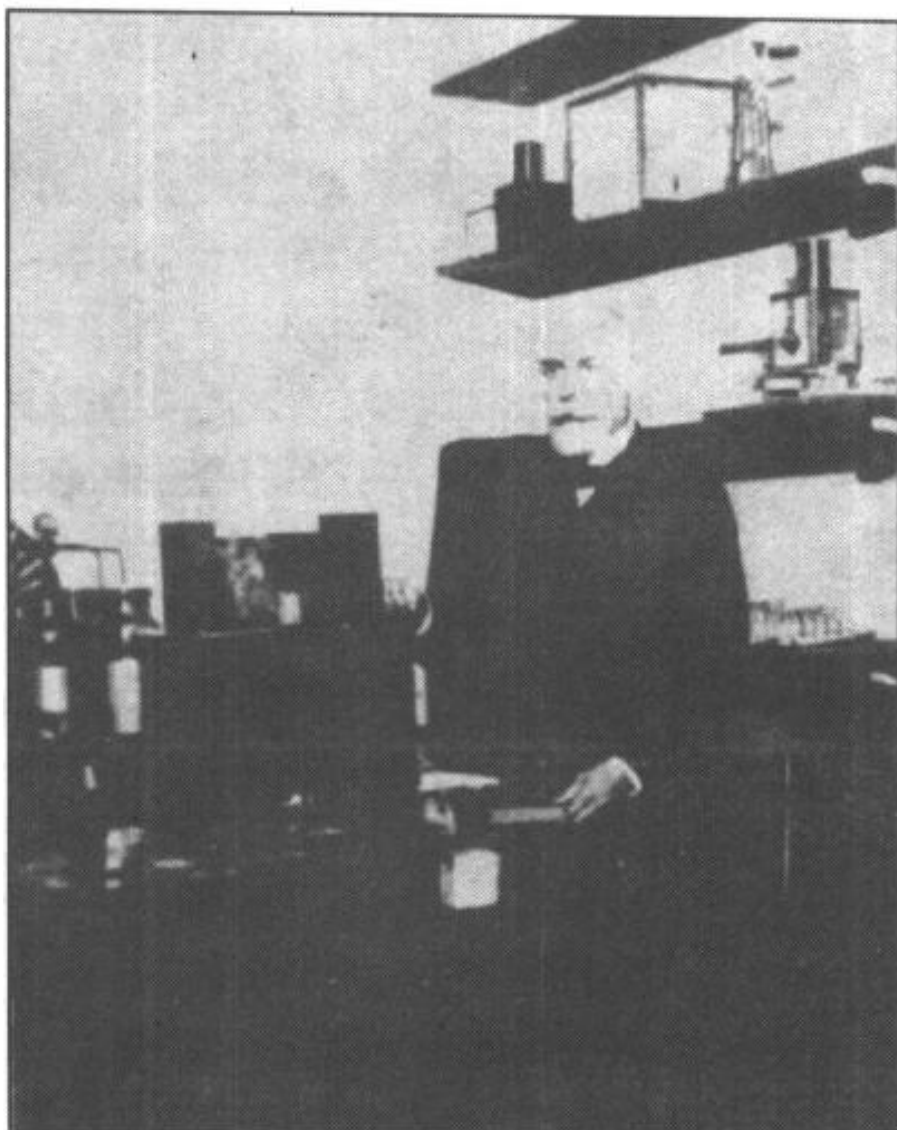


图 36-19 贝克勒尔

是波兰籍女科学家居里夫人。居里夫人原名玛丽·斯克罗多夫斯卡，1867 年 11 月 7 日生于波兰华沙一个教师家庭。1891 年，她考入巴黎索邦大学攻读物理学，在此期间遇上了著名的法国实验物理学家皮埃尔·居里，并于 1895 年结婚。贝克勒尔新射线的发现使她意识到该问题的重要性，当即将“放射性物质的研究”作为其博士论文题目，“放射性”一词就是她首先使用的。

1898 年 4 月 12 日，居里夫人宣布钍像铀一样具有放射性，从而表明放射性决不只是某个元素独有的现象。她还指出，沥青铀矿和铜铀云母的放射性比根据铀的含量计算出的要强得多，说明这些矿石里还存在着更强放射性的元素。为了寻找这些新的元素，居里夫妇付出了令人难以置信的艰苦劳动。在一座极为简陋的实



图 36-20 X 射线用于医疗事业

提炼出了 0.12 克纯镭，测定出镭的原子量为 225，放射性比铀强二百多万倍。

居里夫人的博士论文直到 1903 年才最后完成，就在这一年她

验室里，他们将奥地利政府提供的几吨废铀渣，进行反复的化学分离和物理测定。1898 年 7 月 18 日，他们先发现了比铀的放射性强 400 倍的新物质，为纪念居里夫人的祖国波兰，命名为“钋”。当年 12 月 26 日，他们又发现了另一种放射性更强的新物质，命名为“镭”。其放射性大约是铀的 900 倍，次年又定为 7500 倍，不久又发现为 10 万倍。这一发现在物理学界引起了轰动，但化学家们还持怀疑态度。为了确定镭的原子量，居里夫妇又花了三年时间，



图 36-21 居里夫人

与丈夫及贝克勒尔共同分享了诺贝尔物理学奖,可是,她们夫妇太累了,没有力气亲自去领奖。在过去的四年多中,居里夫人体重减了 10 公斤,健康受到严重的损害。1911 年,她因为发现两种新元素而再度获诺贝尔奖,这一次是化学奖,化学家们终于承认了居里



图 36-22 居里夫妇

夫人的工作。她成了第一位两次获诺贝尔奖殊荣的人物。巨大的荣誉并没有使她成为一个不可一世的人物。第一次世界大战期间，她亲自驾驶一辆战地救护车，做人道主义救护工作。由于她在放射性方面的研究，使这一领域呈现了新的热闹景象。不少新的放射性



图 36-23 居里夫人参加战地救护

学家 J. J. 汤姆逊 (1856—1940 年) 用实验证明了, 阴极射线在电场和磁场作用下均可发生偏转, 其偏转方式与带负电粒子相同, 这就说明阴极射线确实是一种带负电的粒子流。汤姆逊测出了这种粒子流的质量与电荷的比, 其值只有氢离子的千分之一。1898 年, 汤姆逊进一步证明了该粒子流所带电荷与氢离子属同一量级, 这就表明, 其质量只有氢离子的千分之一。汤姆逊将之命名为

元素被发现, 放射性在医学上可能的应用也被开发出来。由于长期受放射线的照射, 居里夫人染上了白血症, 1934 年 7 月 4 日于法国去世。

X 射线不仅导致了放射性物质的发现, 也促进了电子的发现。阴极射线的本性问题在物理学界争论已久, 德国物理学家大多认为是一种以太波, 英国人则认为是一种带电粒子流。1897 年, 英国物理



图 36-24 J. J. 汤姆逊

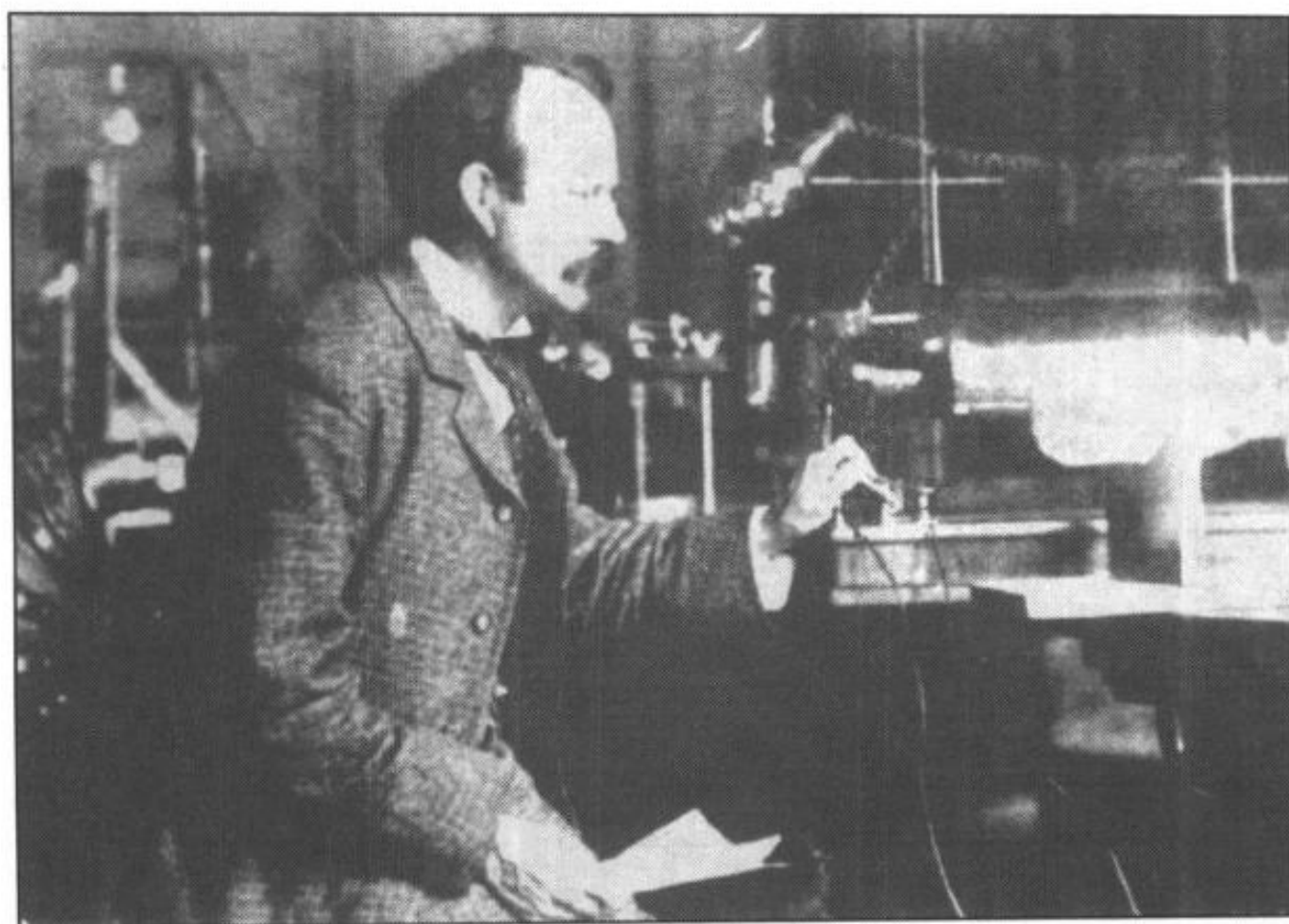


图 36-25 汤姆逊在实验室

“微粒”，后来又称“电子”，意即它是电荷的最小单位。汤姆逊指出，它比原子更小，是一切化学原子的共同组分。

X 射线以及随之而来的放射性与电子的发现，给新世纪的人们打开了一个新的奇妙的微观世界，世纪之交的另一革命性理论量子力学，就是在原子物理学的基础上建立起来的。

4. 紫外灾难与量子理论的提出：普朗克、爱因斯坦

导致量子论出现的倒不是原子世界的新鲜事物，而是一个古典热力学难题即黑体辐射问题。1900 年，英国物理学家瑞利根据经典统计力学和电磁理论，推出了黑体辐射的能量分布公式。该理论在长波部分与实验比较符合，但在短波部分却出现了无穷值，而实验结果是趋于零。这部分严重的背离，被称之为“紫外灾

难”（紫外指短波部分）。

1900年，德国物理学家普朗克（1858—1947年）采用拼凑的办法，得出了一个在长波和短波部分均与实验相吻合的公式，但该公式的理论依据尚不清楚。不久，普朗克发现，只要假定物体的辐射能不是连续变化，而是以一定的整数倍跳跃式的变化，就可以对该公式作出合理的解释。普朗克将最小的不可再分的能量单元称做“能量子”或“量子”。当年12月14日，他将这一假说报告了德国物理学会，宣告了量子论的诞生。

量子假说与物理学界几百年来信奉的“自然界无跳跃”直接矛盾。因此量子论出现之后，许多物理学家不予接受。普朗克本人也非常动摇，后悔当初的大胆举动，甚至放弃了量子论继续用能量的连续变化来解决辐射问题。但是，历史已经将量子论推上了物理学新纪元的开路先锋的位置，量子论的发展已是锐不可挡。

第一个意识到量子概念的普遍意义，并将其运用到其他问题上的是爱因斯坦。他建立了光量子论以



图 36-26 普朗克

解释光电效应中出现的新现象。光量子论的提出使光的本性的历史争论进入了一个新的阶段。自牛顿以来，光的微粒说和波动说此起彼伏，爱因斯坦的理论重新肯定了微粒说和波动说对于描述光的行为的意义，它们均反映了光的本质的一个侧面：光有时表现出波动性，有时表现出粒子性，但它既非经典的粒子也非经典的波，这就是光的波粒二象性。主要由于爱因斯坦的工作，使量子论在提出之后最初的十年中得以进一步的发展。

5. 量子力学的建立：玻尔、德布罗意、海森伯、薛定格、狄拉克

量子力学起源于原子结构的研究。元素的放射性和电子的发现，促使人们去

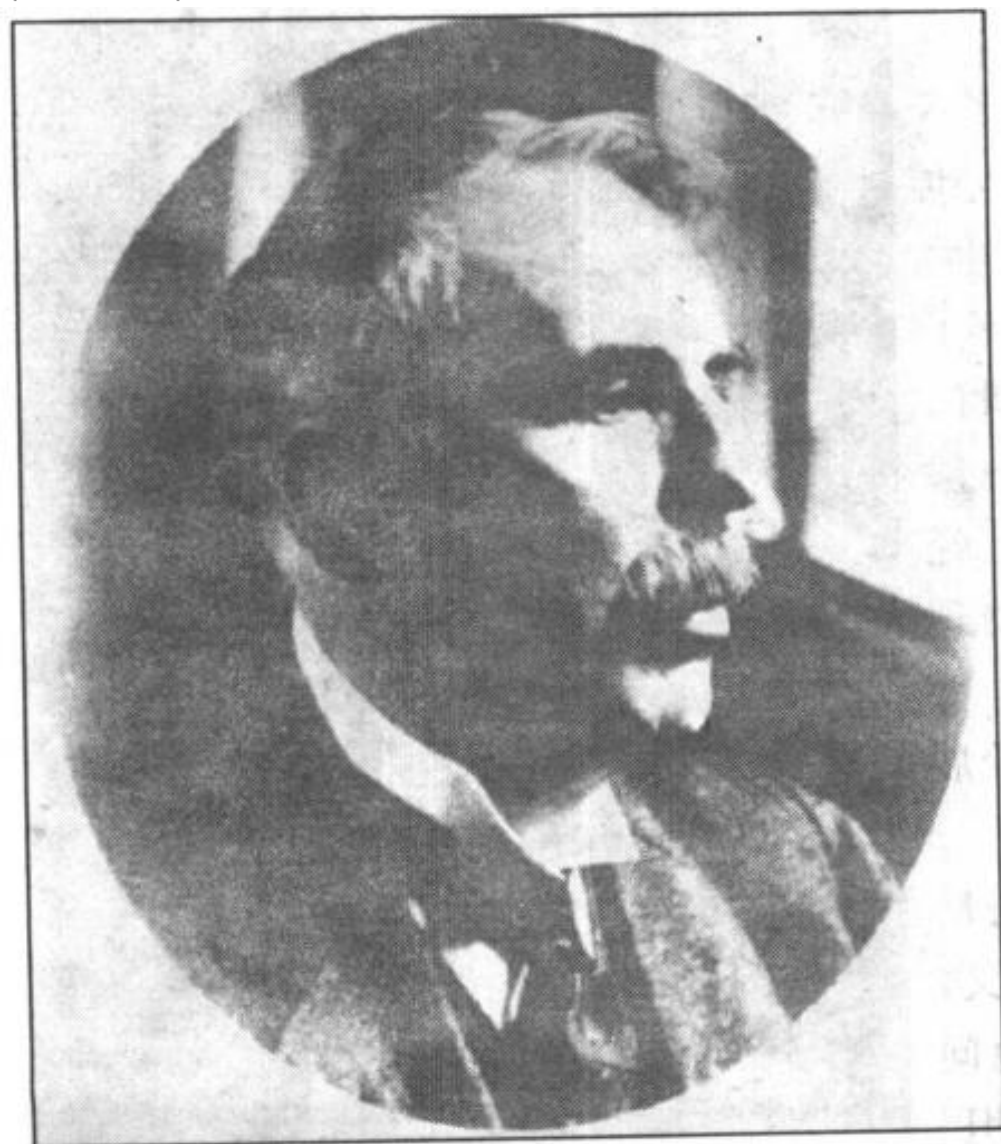


图 36-27 卢瑟福

研究原子的内部结构。当时出现了不少原子结构模型，著名的有开尔芬提出的布丁（即面包之中嵌有葡萄等物）模型，电子就象布丁之中的葡萄，此外还有土星环模型等。大约在1909年，实验表明布丁模型的某些理论预言与实验观测不符。1911年，新西

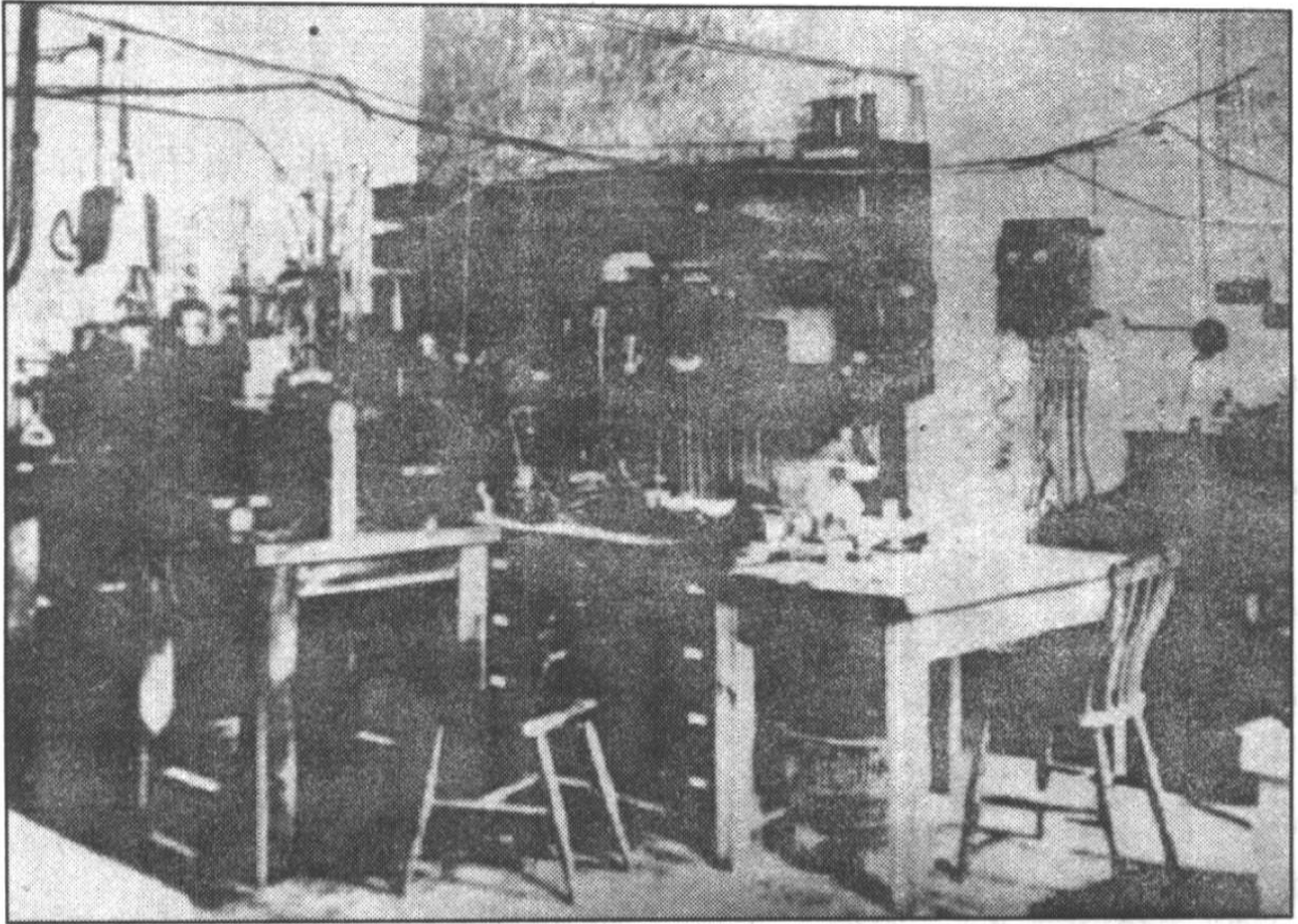


图 36-28 卢瑟福的实验室

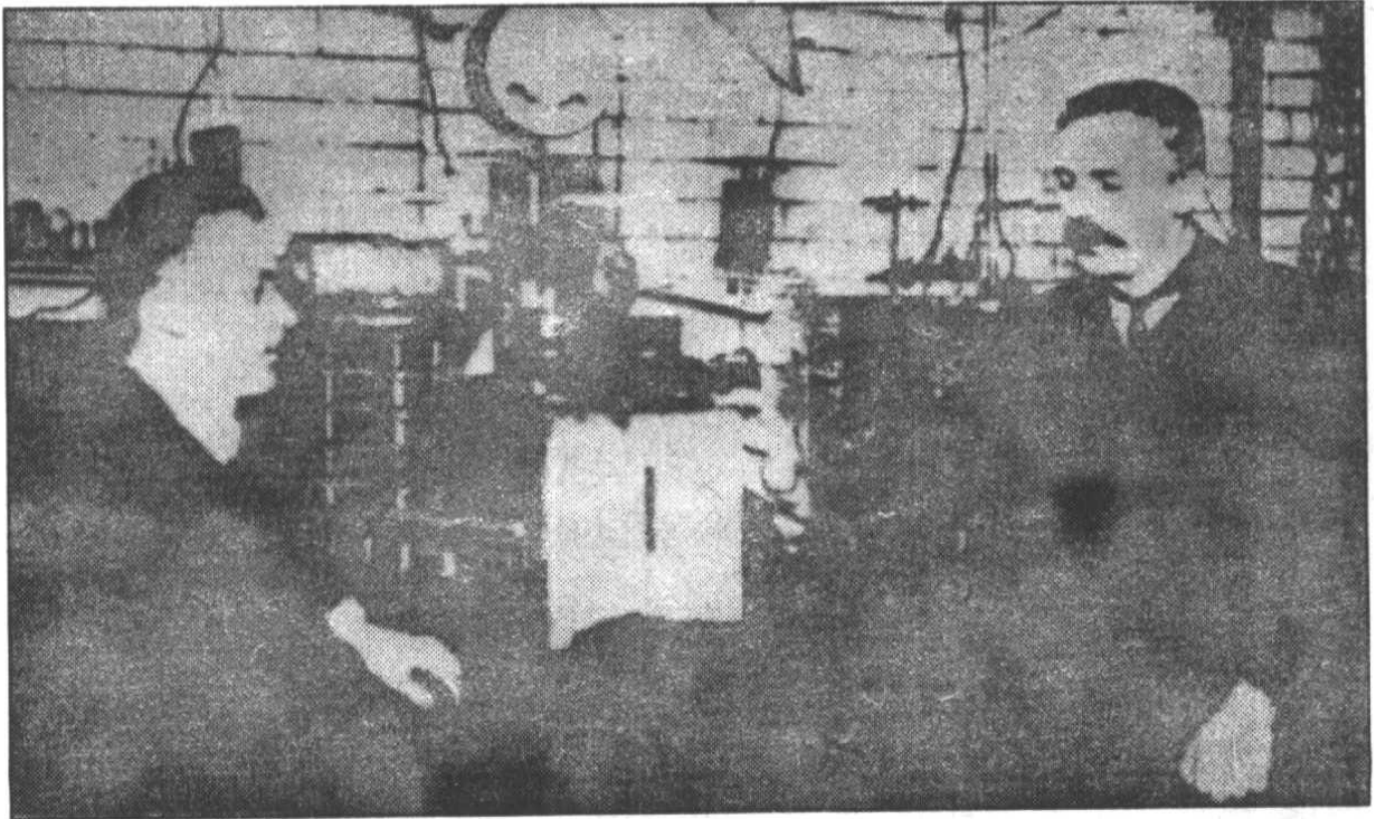


图 36-29 卢瑟福与盖革



图 36-30 卢瑟福与玻尔（后排）

兰物理学家卢瑟福（1871—1937年）提出了原子的有核模型。次年，一系列 α 粒子对金箔的散射实验，完全证实了有核模型所提出的理论预言。卢瑟福因此而获1908年的诺贝尔化学奖。据说他对此不以为然，他认为他的伟大工作是一项物理学成就。

卢瑟福的有核模型假定，原子的质量基本上集中于核上，绕核旋转的电子所带负电正好与核所带的正电相等量，

原子表现出电中性。根据经典的电磁理论，旋转的电子必定向外发射电磁波，从而损失能量，使电子最终落入原子核中。这样，卢瑟福的原子模型就是一个不稳定的模型。

正在曼彻斯特卢瑟福的实验室里从事研究工作的丹麦物理学家玻尔（1885—1962年）解决了这一问题。玻尔本来想去剑桥的卡文迪许实验室随汤姆逊研究电子，但汤姆逊对电子已经不感兴趣，他才来到了卢瑟福这里。他在曼彻斯特虽然只呆了四个月，但却做出了一生最重要的工作，即提出了一种量子化的原子结构理论。他认为，电子只是一些特定的圆轨道上绕核运行。在这些特

定的轨道上运行时并不发射能量，只当它从一个较高能量的轨道上向一个较低能量的轨道跃迁时才发出辐射，反过来则吸收辐射能。这个理论不仅在卢瑟福模型基础上解决了原子的稳定性问题，而且用于氢原子时，与光谱分析所得实验结果完全符合，因此引起了物理学界的震动。因为在此以前，光谱从来只有经验研究，而没有进行理论说明。

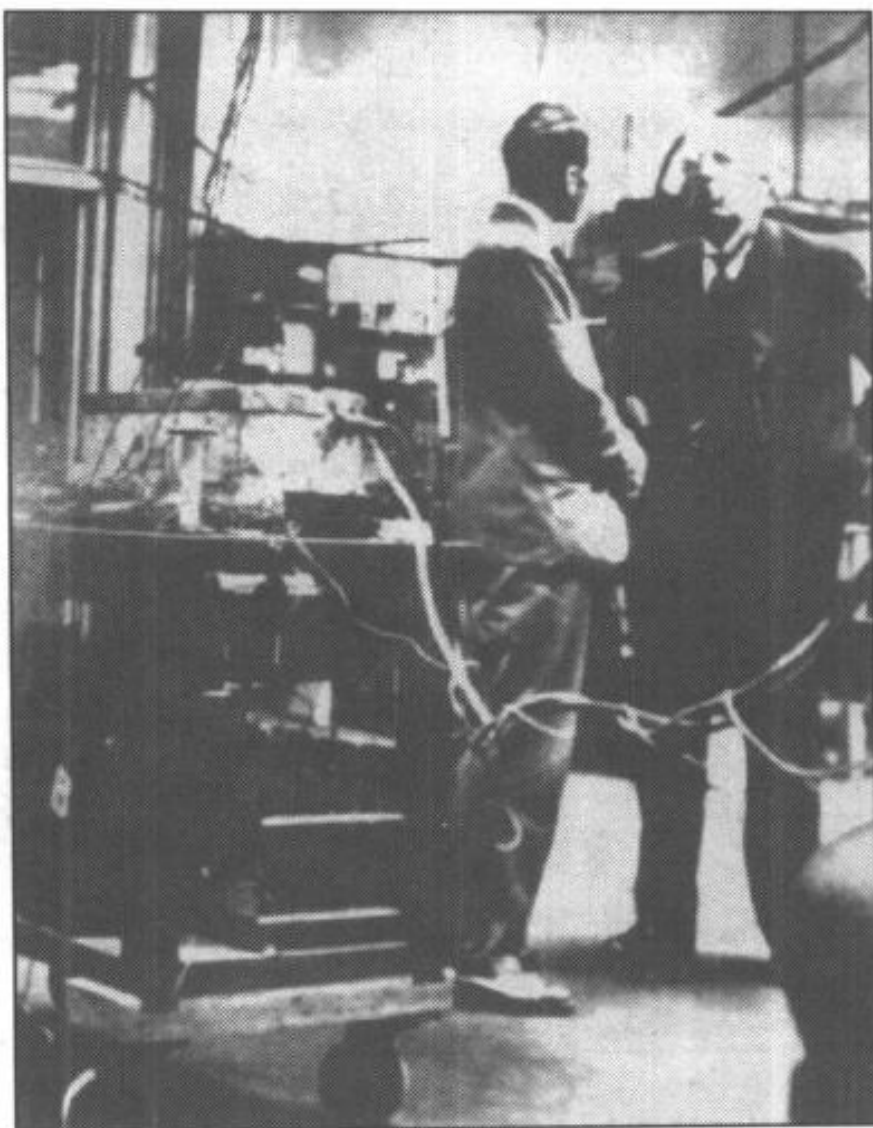


图 36-31 卢瑟福在实验室里

玻尔的量子化的原子结构理论明显违背古典理论，同样遭致了许多科学家的不满，但它在解释光谱分布的经验规律方面意外地成功，使它赢得了很高的声誉，大大推动了量子理论的发展。不过玻尔的理论只能用于氢原子这样比较简单的情形，对于多电子的原子光谱便无法解释。以后，玻尔又想出了一些办法以弥补这些缺陷，但结果是使理论基础变得更加逻辑不一致，以致有人认为量子论也出现了危机。

旧量子论确实面临着困境，但不久就被突破。1923年，法国物理学家路易·德布罗意(1892—1987年)提出了物质波理论，将量子论发展到一个新的高度。德布罗意本来是学历史的，其兄是研究X射线的著名物理学家。受其兄长的影响，德布罗意大学毕业之后改学物理，并一起研究X射线的波动性与粒子性问题。德

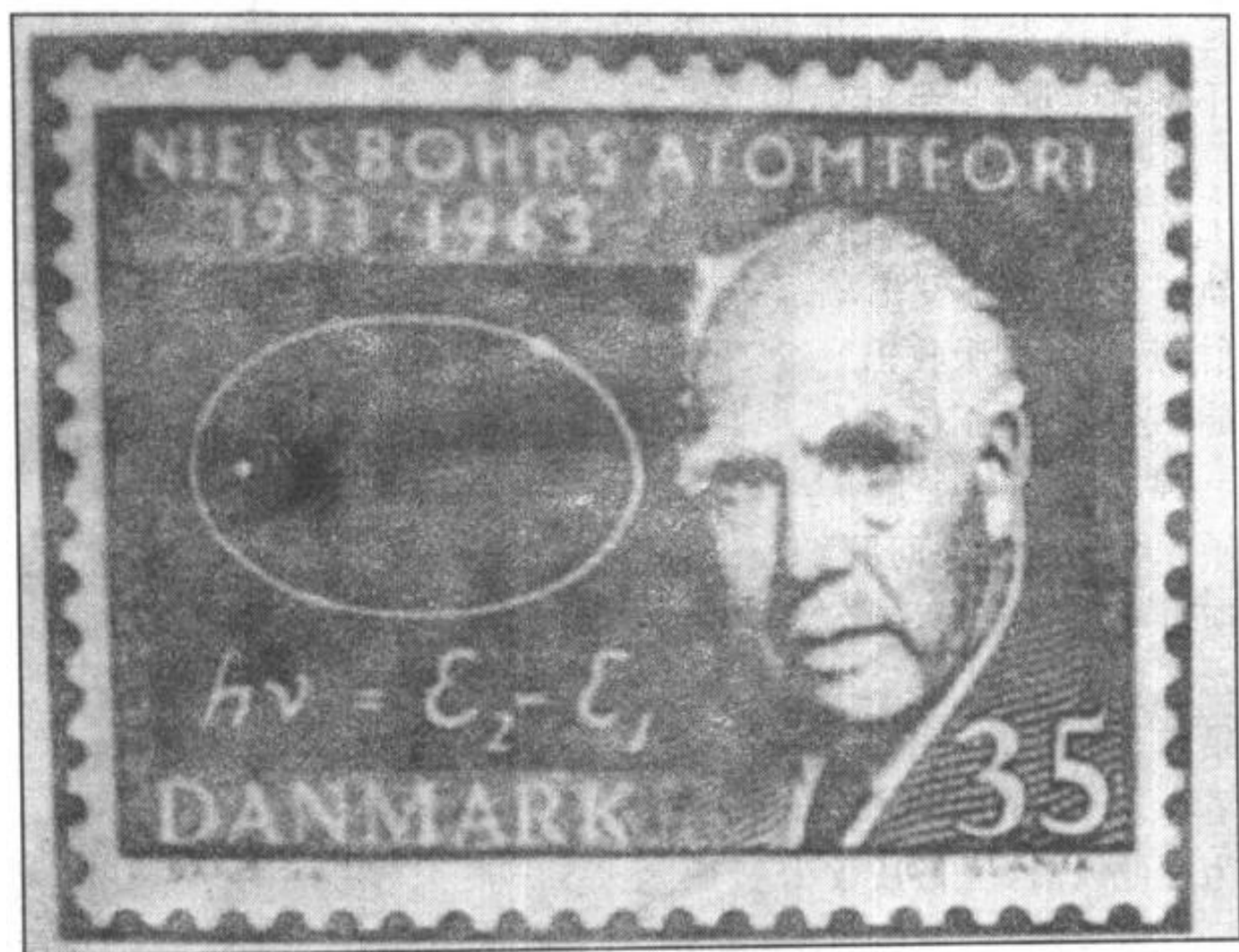


图 36-32 玻尔

布罗意在长期的思考之后，突然意识到爱因斯坦的光量子理论应该推广到一切物质粒子，特别是电子。1923年9月至10月，他连续发表了三篇论文，提出了电子也是一种波的理论。他还预言，电子束穿过小孔时也会发生衍射现象。1924年，他写出博士论文“关于量子理论的研究”，更系统地阐述了物质波理论，爱因斯坦对此十分赞赏。不出几年，实验物理学家真的观测到了电子的衍射现象，证实了德布罗意物质波的存在。

沿着物质波概念继续前进并创立了波动力学的，是奥地利物理学家薛定格（1887—1961年）。当他从爱因斯坦的一篇报告中得知德布罗意的物质波概念时，正在研究热力学中的统计问题的他马上接受了物质波的观点并提出粒子不过是波动辐射上的泡沫。在一次讲课时，德国物理学家德拜（1884—1966年）提出，如果

电子是波，那么它将服从什么波动方程？薛定格经过反复思考，于1925年推出了一个相对论的波动方程，但与实验不太符合。1926年，他改而处理非相对论的电子问题，得出的波动方程与实验证据非常吻合。波动力学就此诞生了。

1925年，德国青年物理学家海森伯（1901—1976年）写出了以“关于运动学和力学关系的量子论的重新解释”为题的论文，创立了解决量子波动理论的矩阵方法。它完全抛弃了玻尔理论中的电子轨道、运行周期这种古典的但却是不可观测的概念，代之以可观察量

如辐射频率和强度。论文写出后，海森伯请他的老师玻恩（1882—1970年）审查，玻恩发现海森伯的方法正是数学家早已创造出的矩阵运算。当年9月，玻恩与另一位物理学家约丹合作，将海森伯的思想发展成为系统的矩阵力学理论。在英国，另一位年轻人狄拉克（1902—1984年）改进了矩阵力学的数学形式，使其成为一个概念完整、逻辑自洽的理论体系。

波动力学和矩阵力学的创始者们一开始还互相敌视，认为对



图 36-33 薛定格

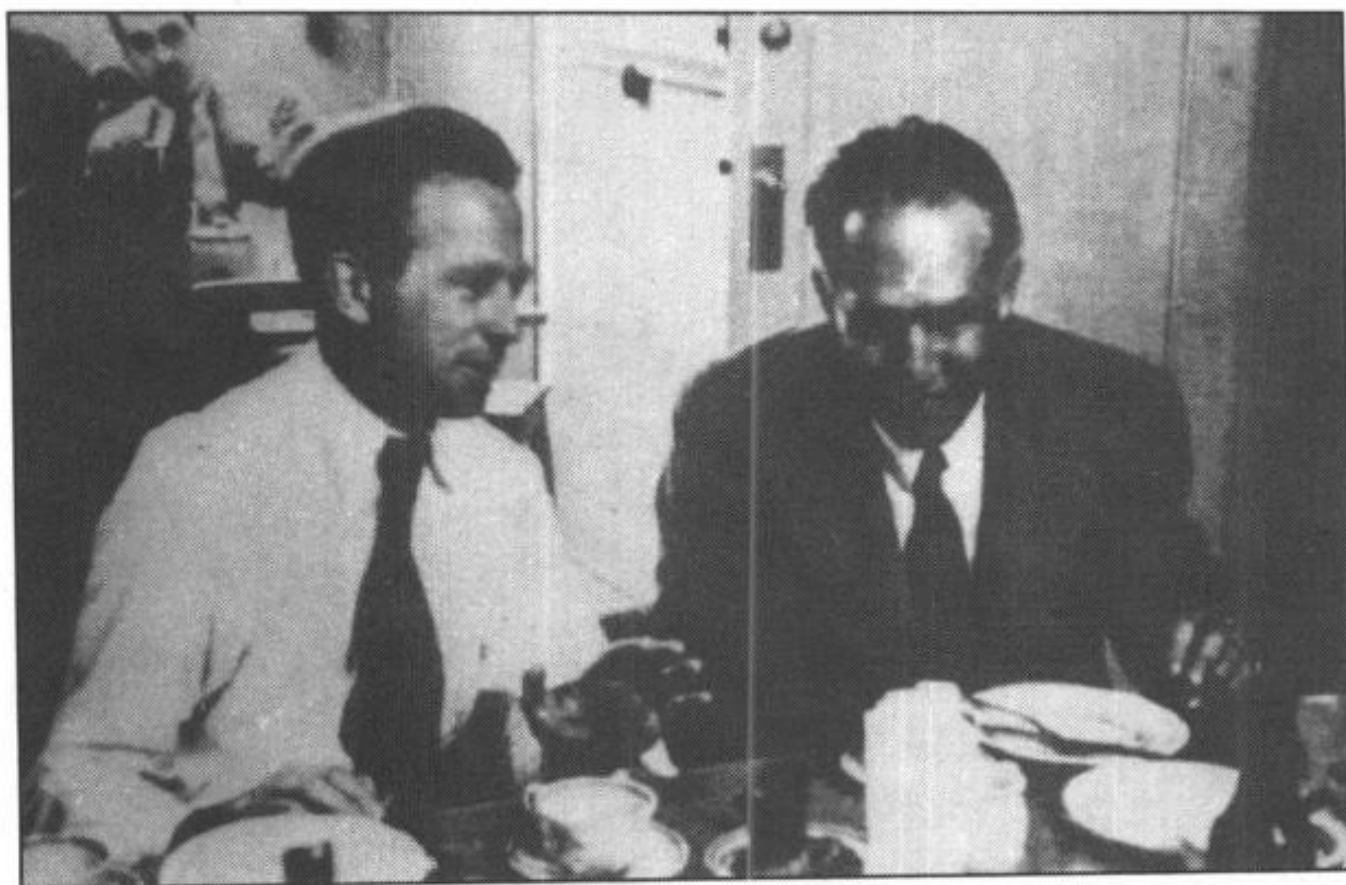


图 36-34 玻尔与海森伯



图 36-35 1931 年罗马会议期间，密立根、居里夫人与海森伯

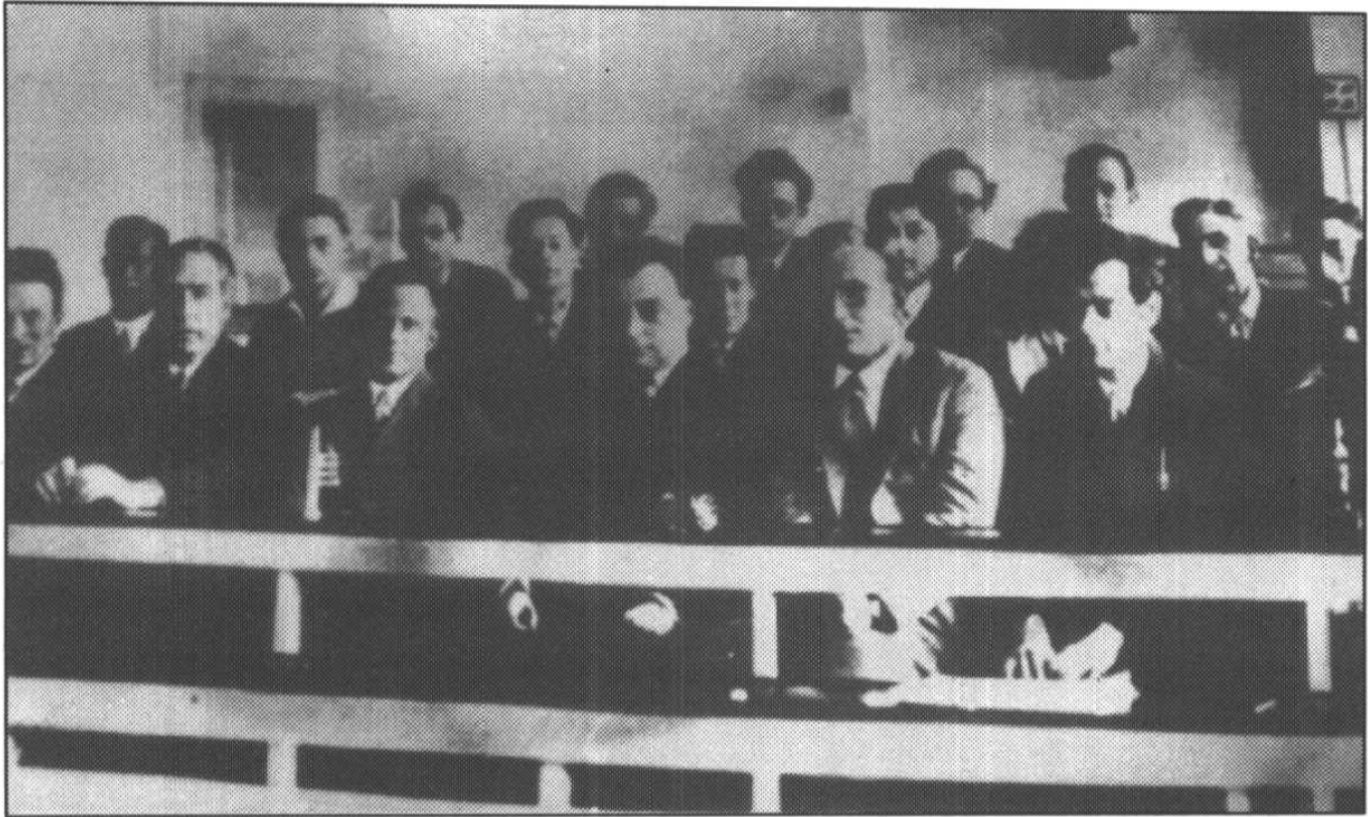


图 36-36 1930 年哥本哈根会议



图 36-37 爱因斯坦与玻尔

方的理论有缺陷。到了1926年3月，薛定格发现这两种理论从数学上是完全等价的，方才消除了双方的敌意。从此以后，两大理论统称量子力学，而薛定格的波动方程由于更易为物理学家掌握，成为量子力学的基本方程。

量子力学虽然建立了，但关于它的物理解释却众说纷纭，莫衷一是。波动方程中的所谓波究竟是什么？薛定格本人认为，它就是一种物质波，而其粒子性只是波的某种密集，即“波包”。玻恩则认为，电子的粒子性是基本的，它的波函数表征的是电子这种粒子在某时某地出现的几率。1927年，海森伯提出了微观领域里的测不准关系，即任何一个粒子的位置和动量不可能同时准确测量，要准确测量一个，另一个就完全测不准。海森伯称它为“测不准原理”。玻尔敏锐地意识到它正表征了经典概念的局根性，因此以之为基础提出了“互补原理”。认为在量子领域里总是存在互相排斥的两套经典特征，正是它们的互补构成了量子力学的基本特征。玻尔的互补原理被称为正统的哥本哈根解释，但爱因斯坦不同意。他始终认为统计性的量子力学是不完备的，而互补原理是一种“绥靖哲学”。爱因斯坦与玻尔之间的争论持续了半个世纪，直到他们本人各自去世也没有完结。

第三十七章

穷宇宙之际

20 世纪的天文学，由于观测手段更为先进，将人类的视野扩展到了 150 亿光年的空间距离。除了传统的光学望远镜随光学材料的改进和加工能力的提高，出现了空前大的口径外，无线电接收技术的发展，导致了可见光之外各波段的天文观测，射电望远镜冲破了银河系内星云尘埃等设置的光学屏障，把目光射向了河外星系。天文学进入了全波时代。

天体物理学在 20 世纪发展成了天文学的主流，它最引人注目的成就就是诞生了将整个宇宙作为自己的研究对象的现代宇宙学。以爱因斯坦的相对论为理论基础，以大尺度的天文观测特别是河外星系的普遍红移和宇宙背景辐射为事实依据，宇宙学展示了宇宙整体的物理特征。

1. 河外星系的观测与红移的发现

在浩瀚的太空中，除了有无数发光的星星外，还有弥散状的

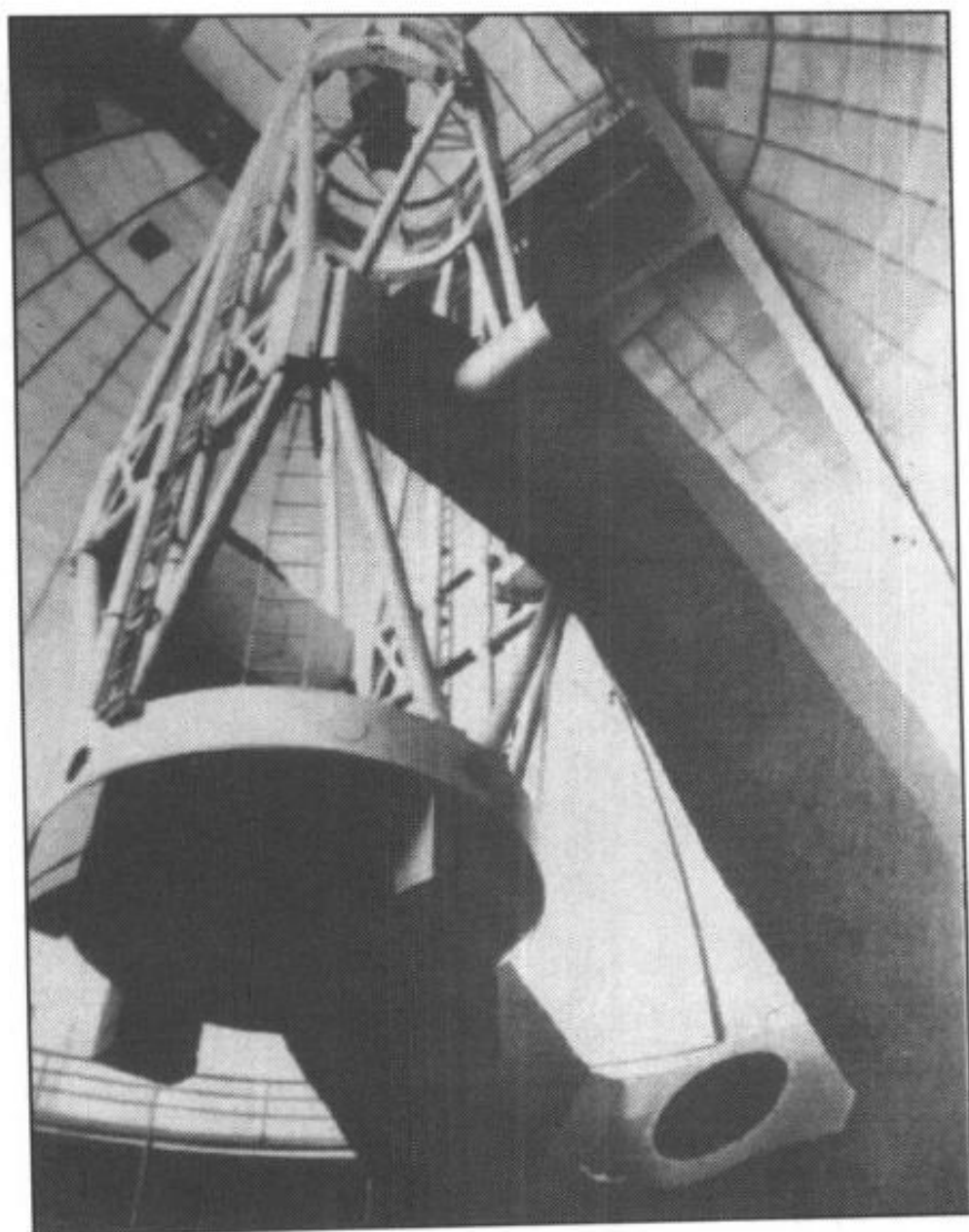


图 37-1 里克天文台的反射望远镜

星云。关于星云的本质长时期存在争论，一种观点认为星云是银河系内的星际物质，另一种观点则认为，星云实际上是像银河系一样巨大的恒星集团，只是因为太远而看起来像“云”，由于观测手段的限制，这两种观点孰是孰非无法得到最后的判明。

到了 20 世纪，观测手段有了较大的发展，

美国在威尔逊山上建造了当时世界上最大的 2.5 米口径的反射望远镜，确定空间距离的天体物理方法也发展了起来。人们对星云的本质有所说明了。

宇宙空间的尺度是太大了，不同的尺度范围要采用不同的方法，因为在某个范围有效的方法进一步扩展就失效了。对于较邻近的天体，可以用三角法测距。三角法也就是传统的视差法，距离太阳最近的比邻星（即半人马座 α 星，我国古代称之为南门二）就是通过视差法测出的，距离为 4.3 光年。使用三角法已经测定了 500 光年的空间距离，但更大的距离三角法就无能为力了。

更大的距离往往采用光度方法确定,我们知道,恒星的视亮度、距离与本身的光度三者之间存在某种确定的关系,视亮度是可以在地球上测定的,因此只要知道了某恒星的光度就可以知道它的距离。天体物理学已经得知,从光谱分布可以相对地确定恒星的光度。因此,光度方法可以用来大致地确定更远的

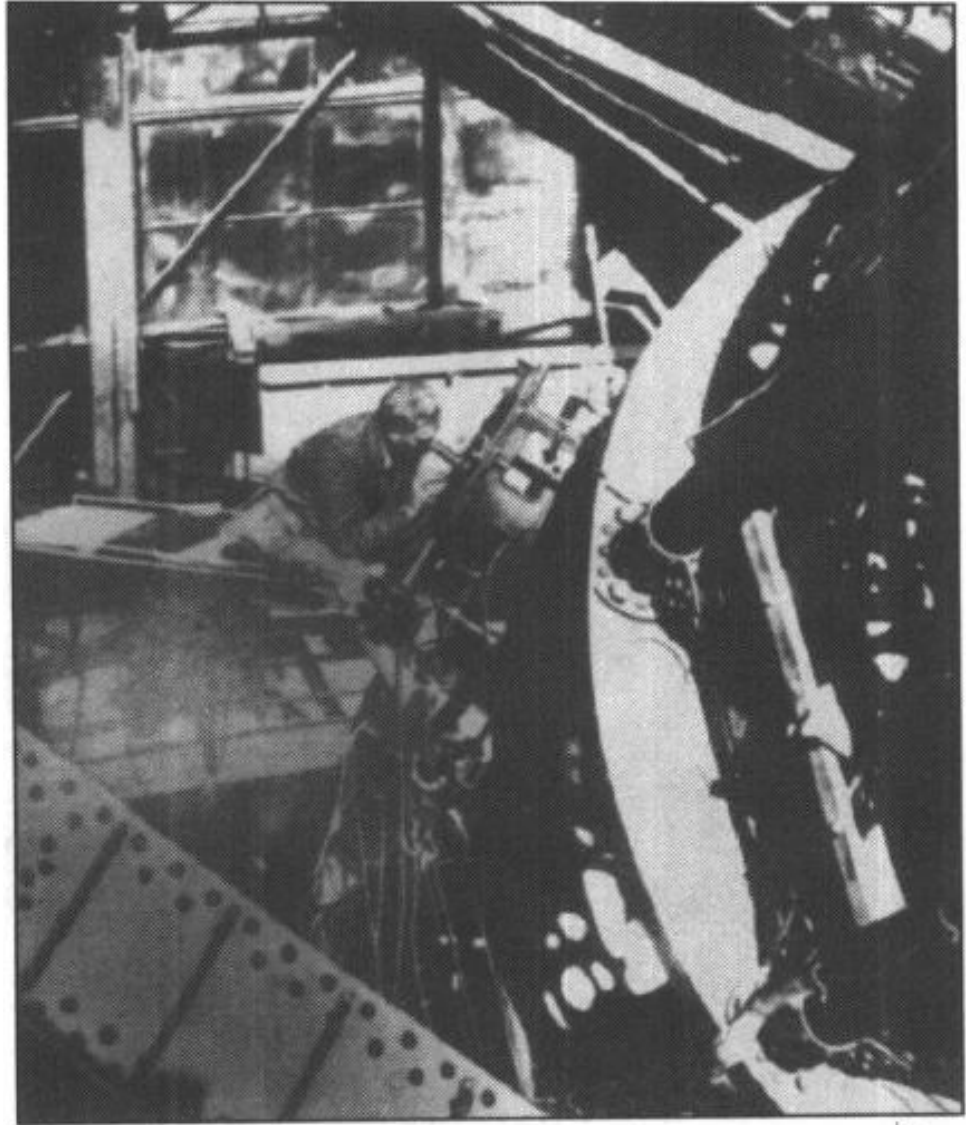


图 37-2 威尔逊山的大望远镜

空间距离。使用主序星作为标准,天文学家测出了 10 万光年的空间距离,大致搞清楚了银河系的空间结构。

超出 10 万光年之外,主序星的光度就显得太小而不为我们所见,天文学家又找到了造父变星作为标准,利用这个新的光度标准,可以确定星云的本质了。

1924 年,美国天文学家哈勃(1889—1953 年)利用威尔逊山的大望远镜观察仙女座大星云,第一次发现它实际上由许多恒星组成,而且其中有造父变星,这样就可以运用光度方法来确定它的距离了。计算的结果是,仙女座星云位于 70 万光年之外,远远超出了银河系的范围,这就最终证明了某些星云确实是遥远的星系。哈勃一鼓作气,此后十年致力于观测河外星云,并找到了测

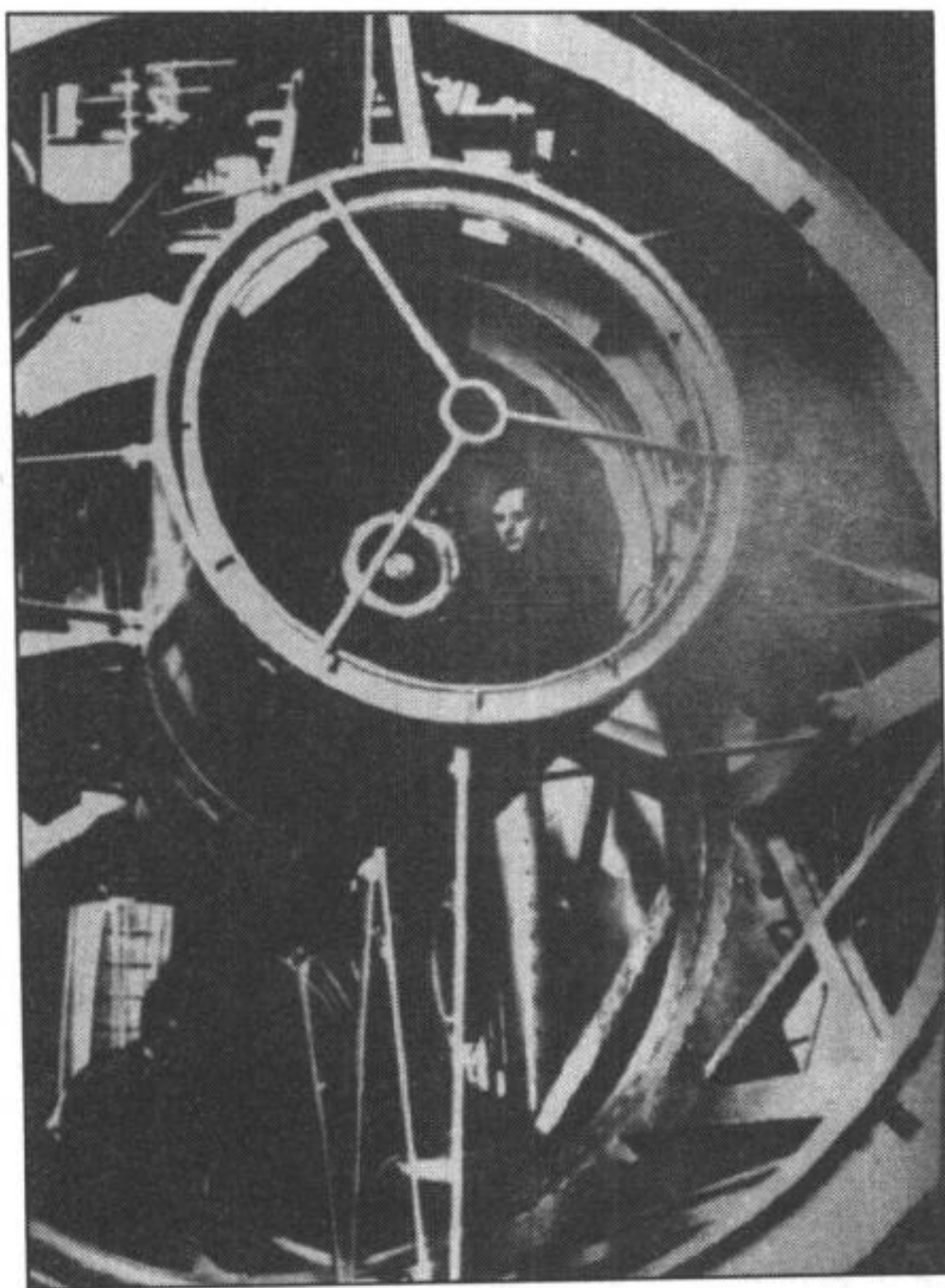


图 37-3 哈勃正在望远镜里工作

定更远距离的新的光度标准，将人类的视野扩展到了 5 亿光年的范围。

与此同时，美国另一位天文学家斯莱弗（1875—1969 年）正致力于恒星光谱的研究。从 1912 年开始，他将视线对准了河外星云，发现它们的光谱线普遍存在着向红端移动的现象。随着观测的进展，积累的数据越来越多，除个别例外，

几乎所有的河外星系（此时哈勃已经表明这些星云确实是河外星系）的光谱都有红移现象。如果按照多普勒效应解释，这就意味着这些星系都在远离地球而去，而且退移的速度相当大，比如室女座星云的速度达到了每秒 1000 公里，这样大的速度是令人称奇的。

1929 年，哈勃考察了斯莱弗的工作，并结合自己对河外星系距离的测定，提出了著名的哈勃定律：星系的红移量与它们离地球的距离成正比。这一定律被随后的进一步观测所证实。哈勃定律指出了河外星系的系统性红移，反映了整个宇宙的整体特征，特

别是当红移作多普勒效应解释时，哈勃定律就展示了一幅宇宙整体退移也就是整体膨胀的图景：从宇宙中任何一点看，观察者四周的天体均在四处逃散，这就像是一个正在胀大的气球，气球上的每两点之间的距离均在变大。

2. 现代宇宙学的兴起

红移带来了宇宙学研究的勃兴，但现代宇宙学的源头还得从牛顿宇宙学讲起。在牛顿世界里，空间和时间都是无限的。

但空间的无限性却带来了许多佯谬，首先一个佯谬是所谓夜黑佯谬，它是由德国天文学家奥尔伯斯（1758—1840年）于1820年提出的，有时也称奥尔伯斯佯谬。它指出，如果太空中均匀地

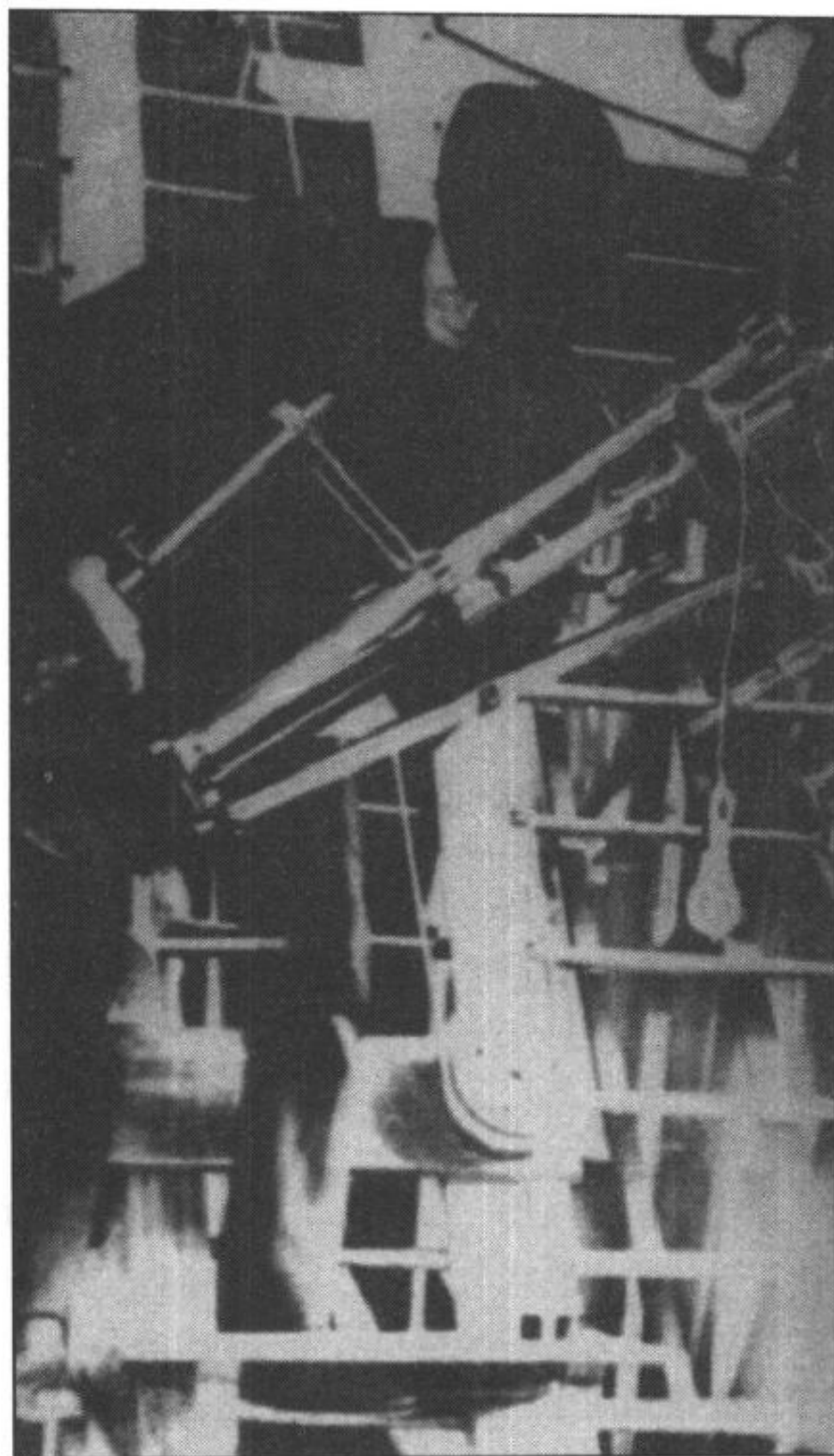


图 37-4 斯莱弗

分布着无穷多个恒星，那么宇宙中任一点将会感受到无穷大的亮度，考虑到恒星之间的相互遮光之后，这一亮度可以变成一个有限值，但相当恒定，这就是说，夜空也将有一个均匀的亮度，而不是黑的。这一推论显然与事实不符，因此构成了佯谬。奥尔伯斯本人提出了解释佯谬的一种方法，即星际尘埃遮住了大部分星光。但这一解释是不够的，无限宇宙在物理上面临困难。

1917年，也就是广义相对论提出的次年，爱因斯坦发展了“根据广义相对论对宇宙学所作的考查”一文，将广义相对论用于宇宙学问题，并建立了一个有限无边的静态宇宙模型。这个模型有两大特征，第一，它是有限无边的，第二，它是静态的。前一特征来源于广义相对论。在相对论看来，有物质存在就会出现时空弯曲，整个宇宙的平均物质密度不为零，那么，它整体上必然是一个封闭的体系，它是有限的，但没有边界、没有尽头，就像二维球面是一个有限但无边的二维空间一样。后一特征来自于爱因斯坦的一时猜想，他当时相信，宇宙整体上应该是静态的，但他的引力场方程只能得出一个动态解，所以他人为地加了一个宇宙常数，以维持宇宙的静态的。

爱因斯坦的广义相对论出来之后，马上就有许多人据此构造宇宙模型。几乎与爱因斯坦同时，荷兰天文学家德西特得出了一个膨胀的宇宙模型。1922年，苏联物理学家弗里德曼得出了均匀各向同性的膨胀或收缩模型。1927年，比利时天文学家勒梅特再次独立地得到这一模型。后来人们发现，基于爱因斯坦的引力场方程所得到的宇宙模型必定是动态的，或者膨胀，或者收缩，而且膨胀和收缩的速度与距离成正比。

以弗里德曼模型为代表的相对论宇宙学一开始并不为人重视，因为它主要是一些数学推导，看不到物理内容。到了1929年，情况发生了变化。哈勃定律公布后，人们才惊喜地发现，它所展示的宇宙大尺度膨胀现象正是弗里德曼模型所预言了的。科学界

一下子被震动了，原来研究整个宇宙的宇宙学确实是可能的，它的预言居然被证实了。作为相对论宇宙学之鼻祖的爱因斯坦也为这一发现欢呼，认为自己在宇宙模型中人为地引进宇宙常数是犯下了一个大错误。

宇宙学变得热闹起来了。人们想到，既然宇宙是膨胀的，那么越往早去，宇宙体积就越小，在某一个时间之前，宇宙就应该极为密集，现有的天体都不可能以现在的状态存在。照哈勃当时提供的数据估计，这个时间大概是 20 亿年。

事有凑巧，当时的地质学已经能够利用放射性同位素来测定地球上岩石的年龄，初步估计，大约是 20 亿到 50 亿年。相比之下，宇宙膨胀的年限也太短了。这使许多宇宙学家感到很为难，爱因斯坦也表态了：“既然由这些矿物所测定的年龄在任何方面都是可靠的，那么，如果发觉这里所提出的宇宙学理论同任何这样的结果有矛盾，它就要被推翻。”

为了既保留宇宙膨胀的观念，又回避年龄困难，英国天文学家邦迪、哥尔得和霍伊尔在 1948 年分别提出了稳恒态宇宙模型。他们认为，宇宙虽然在不断膨胀，但其中的物质密度并不变小，因为有物质不断地凭空产生出来。由于物质密度不变，所以不存在一个宇宙的密集时期，因而也不存在星体的年龄上限问题。

稳恒态宇宙模型预言了一个极其微小的物质产生率，它在地面实验室里无法验证，但可以通过天文观测检验，因为如果宇宙是稳恒的，那么恒星的分布密度应该是不变的，在地球上的所有天文观测都有一个特点，它完全依赖电磁信号（光是其中最重要的一种），而电磁信号的传播需要时间，因此，你看到的越远也就看得越古老，其空间分布就是时间分布。如果恒星的空间分布是均匀的，那就意味着它在时间上是稳恒的。反之，就不稳恒。通过 30 年代的星系计数和 60 年代的射电源计数，结论有了，天体的空间分布是不均匀的。这就是说，稳恒态宇宙模型有问题。

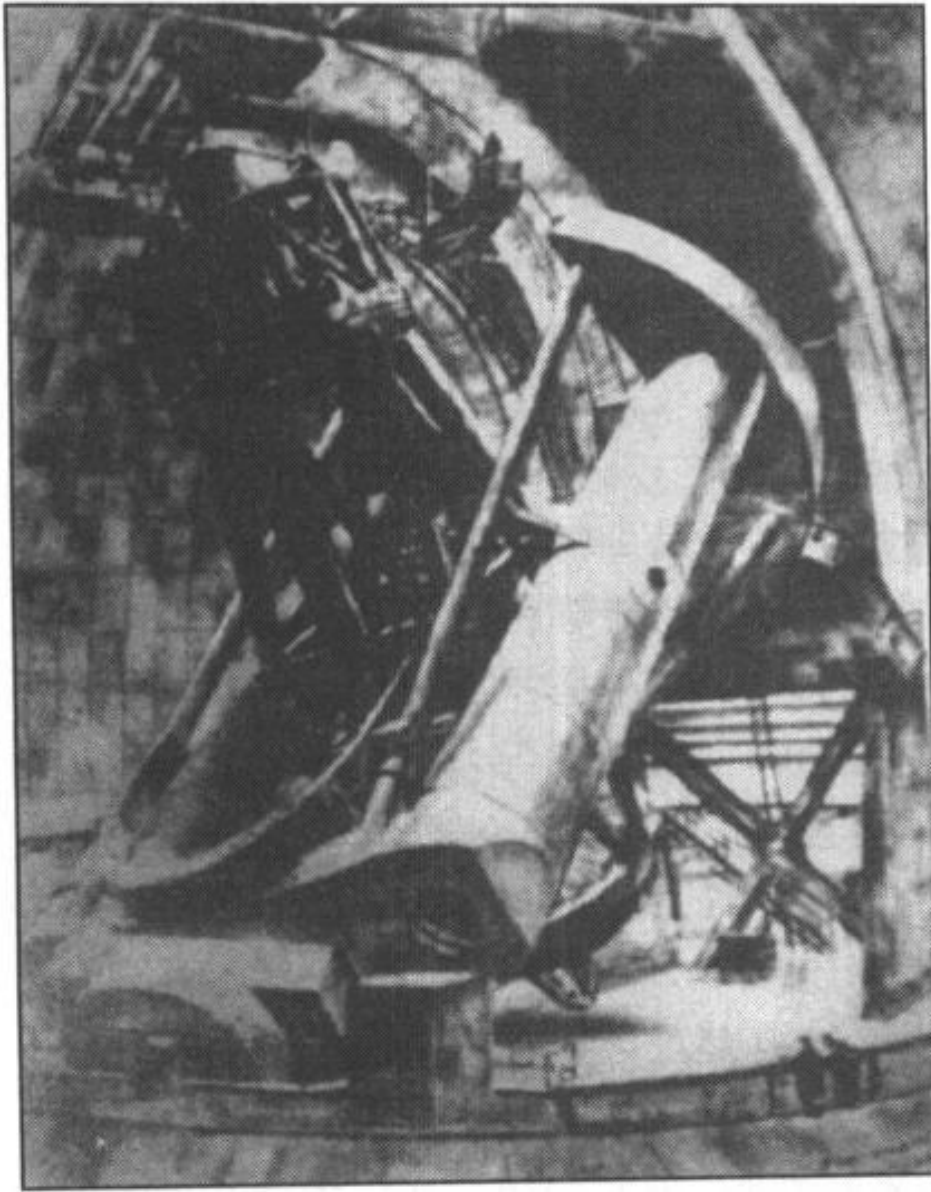


图 37-5 帕洛马山的光学望远镜

1948年，美国帕洛马山天文台建成了当时世界最大的光学望远镜，其口径达到5米，远远超过了此前哈勃使用的威尔逊山天文台的2.5米口径。天文学家利用新的望远镜继续证实了哈勃定律，但对哈勃关系中的哈勃常数提出了疑问，经认真仔细地校订，发现哈勃常数比实际数值小了10倍。按新的常数估计宇宙的年龄应当是200亿年，这样

星体年龄问题就迎刃而解了。

年龄问题解决之后，理论宇宙学家当即着手研究宇宙早期的密集状态。从40年代末开始，俄裔美籍物理学家伽莫夫（1904—1968年）等人提出了热大爆炸宇宙模型。他们认为，宇宙起源于一次巨大的爆炸，之后不仅连续膨胀，而且温度也在由热到冷地逐步降低。在宇宙早期，不仅密度很高，而且温度也很高，所有的天体以及化学元素都是在膨胀过程中逐步生成的。

大爆炸模型有一个重要的预言，即随着宇宙的不断膨胀，温度不断下降，各类元素开始形成，但原初辐射与物质元素脱离耦合后仍保持黑体谱，黑体辐射的温度大约是5k。60年代，天文学

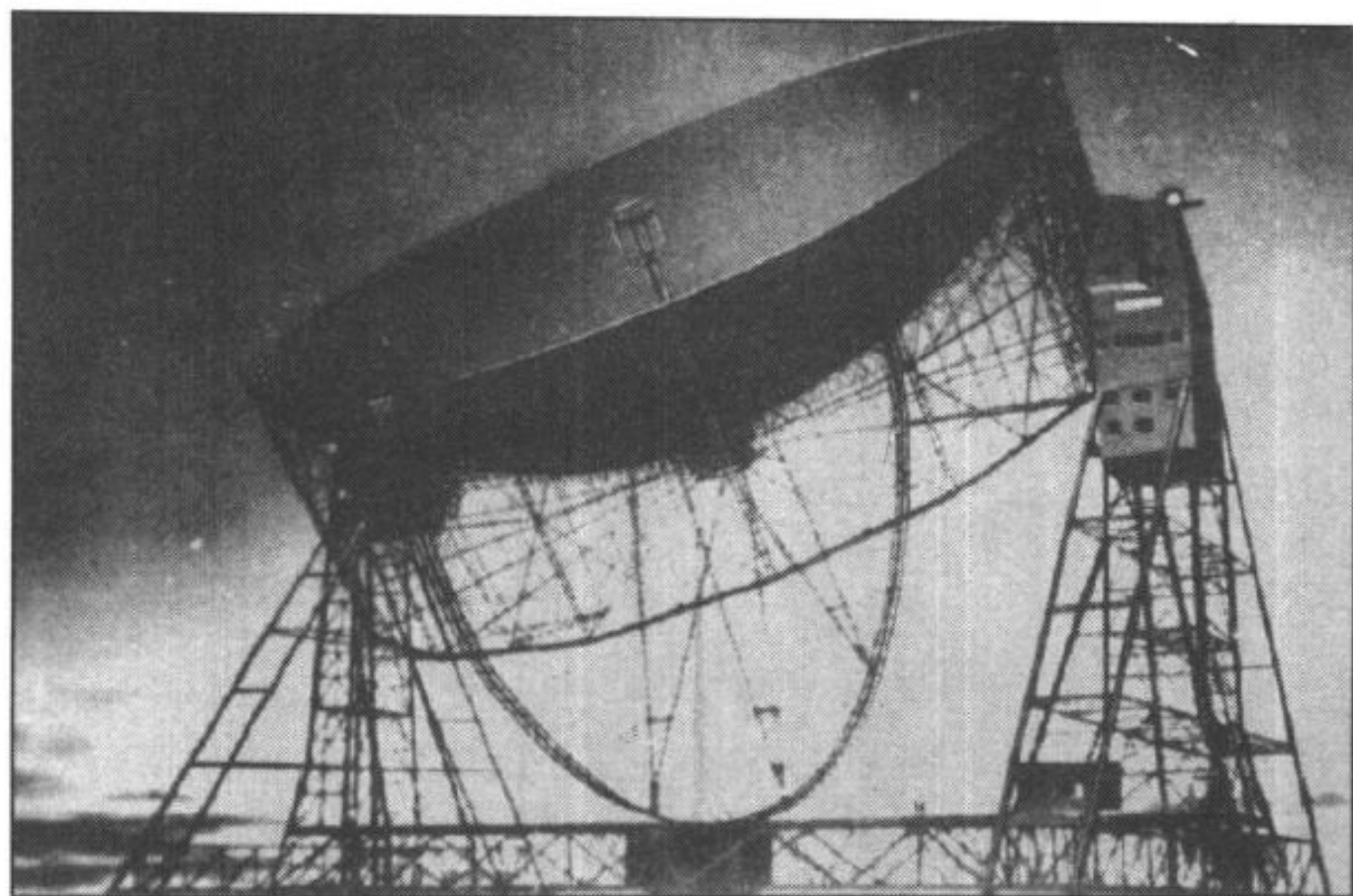


图 37-6 英国乔特尔沿岸的射电望远镜

家真的观测到了这种宇宙背景辐射，从而使大爆炸宇宙模型被广泛地接受，成为宇宙学界的标准模型。

3. 射电望远镜与 60 年代的四大发现

传统的天文观测均是收集宇宙天体发来的可见光信息，但这只是它们所发射的大量电磁波的一个极小的部分。这些电磁波依波长从短到长有 γ 射线、X 射线、紫外线、光波、红外线和无线电波，地球大气严重地吸收了它们之中的紫外和红外的大部分，只留下了一个狭窄的可见光段的窗口，人们常称它是大气的小天窗。当然，在电磁学理论未建立之前，人们也不知道还有其他的窗口。

电磁波发现以来，很快在各个领域得到了应用。无线电是最引人注目的重大应用成就。马可尼已经发现，地球上空的电离层可以反射无线电波，这促使他开通了英国与加拿大之间的无线电

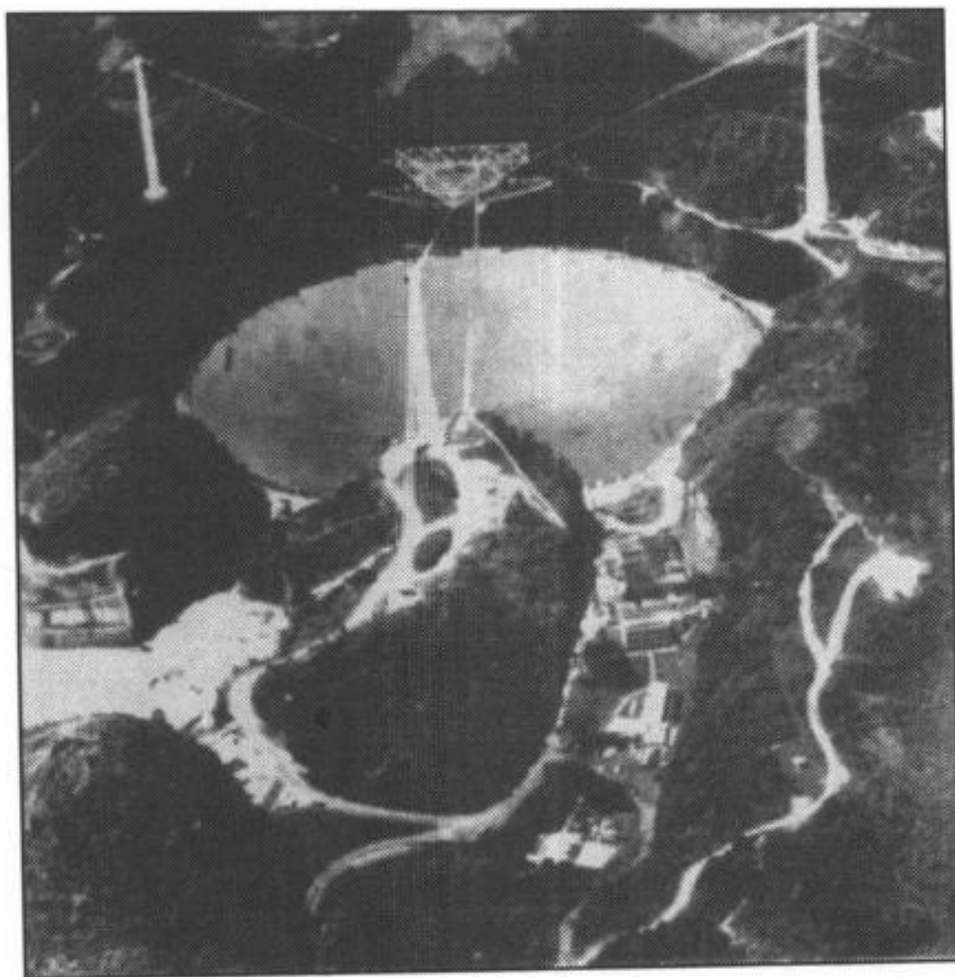


图 37-7 射电天文台

报。1924 年，在一次测定电离层高度的无线电实验中，人们偶然发现，当发射的电波波长小于 40 米时，电波便一去不回了，开始以为是被吸收了，后来才知道它透过地球大气层飞出了外层空间。既然地球内部的电波可以跑出去，宇宙空间中的电波也就可以飞进来。天文观测

的另一窗口就这样不知不觉被打开了。

窗口虽然已经打开，但由于仪器的灵敏度不高，一直也没有接受到来自天外的电磁信号。1932 年，美国电信工程师央斯基（1905—1950 年）在做无线电通讯干扰实验时，偶然发现了来自银河系中心人马座的电波讯号。这一发现公布后并未引起人们的注意，无线电工作者认为其干扰不大，不予理会，而天文学家则均没有意识到它的重大意义。只是随着宇宙射电讯号的不断发现，天文学家才开始关注这一新的观测方法。

1946 年，英国曼彻斯特大学开始建造直径 66 米的固定抛物面射电望远镜，1955 年又建成了世界上当时最大的 76 米直径的可转抛物面射电望远镜。以后，射电技术有了长足的发展，射电望远镜发展出了射电干涉仪，它由一组射电望远镜组成一个天线阵，可以观测到很微弱的射电源。

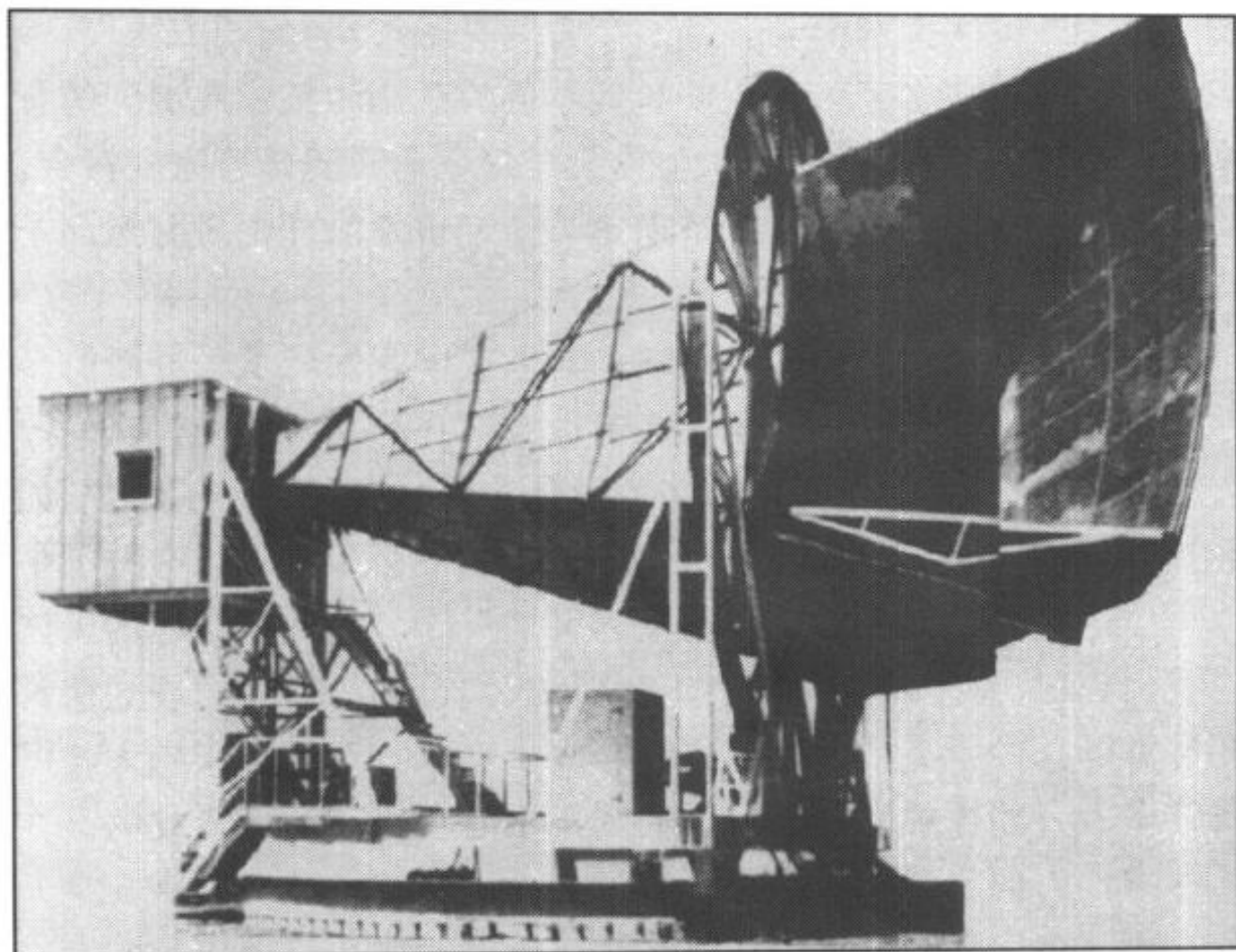


图 37-8 彭齐亚斯和威尔逊发现宇宙微波背景辐射所用的天线

第二次世界大战之后迅速兴起的射电天文学成了天文学中最有活力的新领域，60年代出现的四大发现就是在射电天文学观测中做出的。

第一个发现是宇宙微波背景辐射。1964年，贝尔电话实验室在新泽西州的克劳福德山上建立了一架供人造卫星用的天线，射电天文学家彭齐亚斯（1933年—）和威尔逊（1936年—）正在调试这架天线，以测定银河系平面以外区域的射电波强度。当他们想出办法避免地面噪声，而且提高了灵敏度后，发现总有一个原因不明的噪声消除不掉。该噪声十分稳定，相当于3.5K的射电辐射温度。他们开始很不理解，因而也没有立即公布自己的发现。消息传到了普林斯顿大学，那里的天体物理学家迪克等人正在准备做实验验证大爆炸模型所预言的背景辐射，听到这个消息之后，立

即断定这个无法理解的噪声就是宇宙背景辐射。他们通力协作，继续观测，终于证实了彭齐亚斯和威尔逊的观测结果。观测到的背景辐射是黑体谱且各向同性，与热大爆炸宇宙说的预言完全符合。这就强烈地支持了大爆炸宇宙理论，使宇宙学的理论研究掀起了一个新的高潮。

第二个发现是类星体。1963年，天文学家发现了一种新的奇异的星体，它体积极小、辐射能量极大。更为奇特的是，它们的红移量都相当巨大。这类新天体的发现给红移问题带来了麻烦。如果按红移的多普勒解释，类星体应该离我们极为遥远，有些类星体可以达到上百亿光年。但它们的亮度又十分大，这样远的天体向我们辐射出如此巨大的能量，这用我们已知的任何物理规律都无法解释。由于类星体发现得越来越多，红移量也越来越大，以致许多人开始怀疑红移的本性究竟是不是多普勒效应造成的。在红移本性方面出现的争论至今也没有平息。

第三个发现是脉冲星。1968年，天文学家用射电望远镜发现了又一种新型的天体，它以很短的周期有规律地发出短促的射电脉冲。天体物理学家已经证认出，它是一种超高温、超高压、超高密、超强磁场、超强辐射的中子星，脉冲星的发现对于进一步了解宇宙的物理本质有很高的价值。

第四个发现是星际分子。1963年，射电天文学家在仙后座发现了羟基分子的光谱，1968年又在人马座方向发现了氨分子的发射谱线。更值得注意的是，1969年在人马座上还发现了一个多原子的有机分子：甲醛分子。这个发现引起了科学界的高度重视，因为甲醛分子在适当的条件下可以转化为氨基酸，而氨基酸是生命物质的基本组成形式。这意味着，在宇宙空间确实存在着生命发生的适宜条件。随着星际分子发现得越来越多，一门星际分子天文学也诞生了。

宇宙是神秘的，它正在等待着未来的天文学家去识破、猜度。

第三十八章

探 粒 子 之 微

20 世纪的理论科学在至大和至小的两个方向深入探究物质的奥秘。在天文学领域，望远镜为人类打开了越来越大的空间视野，在原子物理学中，高能实验揭示了越来越深层的物质结构和物理规律。

原子物理学所涉及的领域空间尺寸很小，一个原子的直径大约是 10^{-8} 厘米，原子核就更小了，只有原子直径的万分之一那么大。这样微小的粒子用普通的光学显微镜是看不见的，就是用威力更大上千倍的电子显微镜也难以直接看到，因此需要借用特殊的仪器。实验物理学已经发明了云室、气泡室、火花室，用以记录粒子的运动轨迹。还发明了盖革计数器、闪烁计数器，用以记录粒子的数目。正是借助这些仪器，原子物理学家揭开了原子世界一个又一个的奥秘。

1. 中子、质子的发现

在早期的放射性研究中，卢瑟福已经发现放射性物质所发出的射线实际属于不同的种类，他把带正电的命名为 α 射线，把带负电的命名为 β 射线，把那些不受磁场影响的电磁波称为 γ 射线。1910年，卢瑟福用 α 粒子轰击原子，发现了原子核的存在。从而建立了原子的有核模型。

如果原子有核，那么原子核是由什么构成的呢？由于原子表现出电中性，它一定是带正电的，其带电量与核外电子所带负电量一样。1914年，卢瑟福用阴极射线轰击氢，结果使氢原子的电子被打掉，变成了带正电的阳离子，它实际上就是氢的原子核。卢瑟福推测，它就是人们从前所发现的与阴极射线相对的阳极射线，它的电荷量为一个单位，质量也为一个单位，卢瑟福将之命名为质子。

1919年，卢瑟福用加速了的高能 α 粒子轰击氮原子，结果发



图 38-1 费米实验室

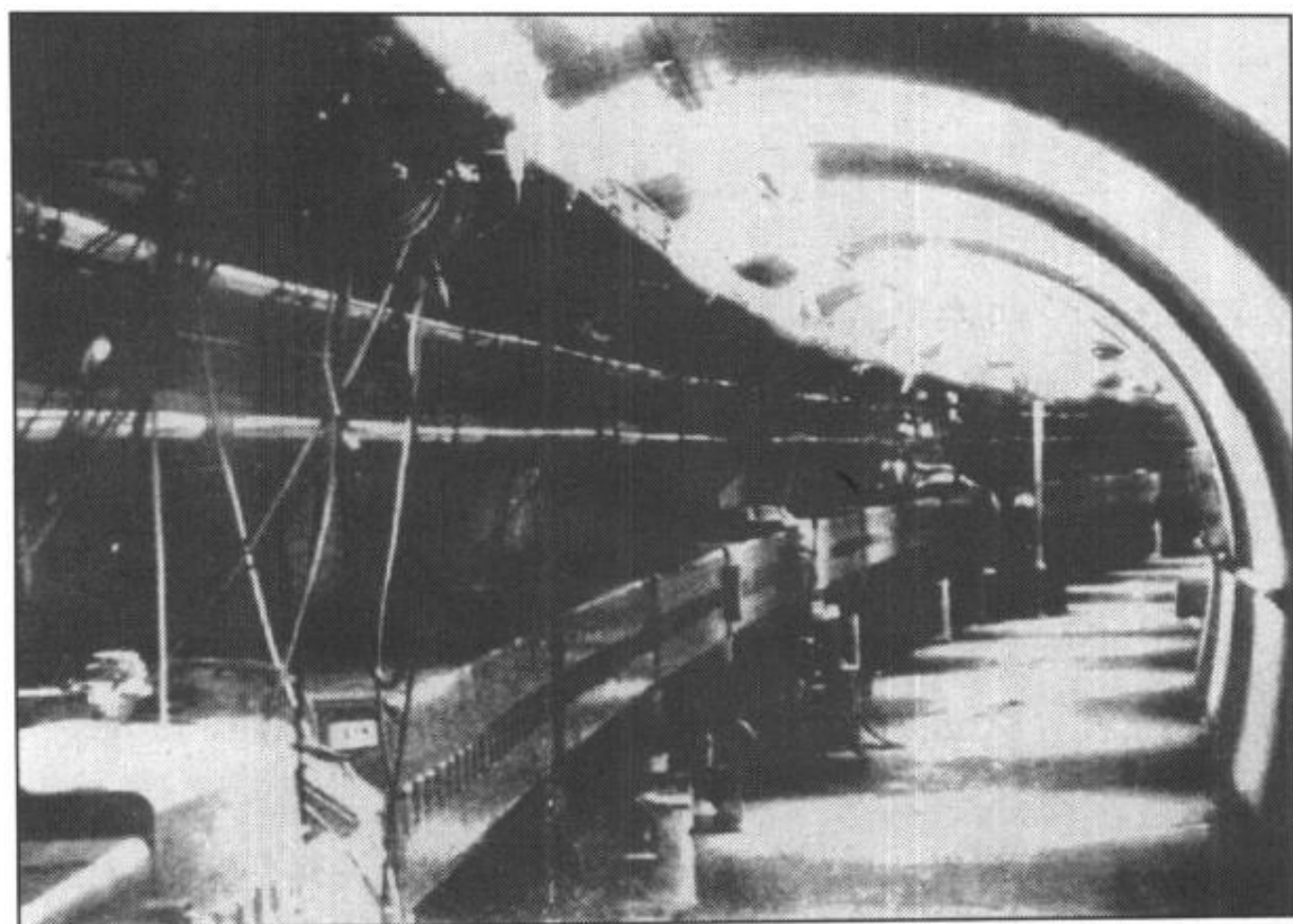


图 38-2 费米实验室加速器的地下坑道

现有质子从氮原子核中被打出，而氮原子也变成了氧原子。这可能是人类第一次真正将一种元素变成另一种元素，几千年来炼金术士的梦想第一次成为现实。但是，这种元素的嬗变暂时还没有实用价值，因为几十万粒子中才有一个被高能粒子打中。到1924年，卢瑟福已经从许多种轻元素的原子核中打出了质子，进一步证实了质子的存在。

发现了电子和质子之后，人们一开始猜测原子核由电子和质子组成，因为 α 粒子和 β 粒子都是从原子核里放射出来的。但卢瑟福的学生莫塞莱（1887—1915年）注意到，原子核所带正电数与原子序数相等，但原子量却比原子序数大，这说明，如果原子核光由质子和电子组成，它的质量将是不够的，因为电子的质量相比起来可以忽略不计。基于此，卢瑟福早在1920年就猜测可能还有一种电中性的粒子。

卢瑟福的另一位学生查德威克（1891—1974年）就在卡文迪许实验室里寻找这种电中性粒子，他一直在设计一种加速办法使质子获得高能，从而撞击原子核，以发现有关中性粒子的证据。1929年，他准备对铍原子进行轰击，因为它在 α 粒子的撞击下不发射质子，有可能分裂成两个 α 粒子和一个中子。

与此同时，德国物理学家波特及其学生贝克尔已经先走一步。从1928年开始，他们就在做对铍原子核的轰击实验，结果发现，当用 α 粒子轰击它时，它能发射出穿透力极强的射线，而且该射线呈电中性。但他们断定这是一种特殊的 γ 射线。在法国，居里夫人的女婿和女儿约里奥—居里夫妇也正在做类似的实验，波特的结果一发表，就被他们进一步证实了，但他们也误认为新射线是一种 γ 射线。

这一年是1932年，见到德国和法国同行的实验结果后，查德威克意识到这种新射线很可能就是多年来苦苦寻找的中子。他立即着手实验，花了不到一个月的时间，就发表了“中子可能存在”的论文。他指出， γ 射线没有质量，根本就不可能将质子从原子核里撞出来，只有那些与质子质量大体相当的粒子才有这种可能。其次，查德威克用云室方法测量了中子的质量，还确证了中子确实是电中性的。中子就这样被发现了。约里奥—居里后来谈到，如果他们去听了卢瑟福于1932年在法国的一次演讲，就不会坐失这次重大发现的良机，因为卢瑟福那次正好讲到自己关于中子存在的猜想。查德威克由于发现中子而获1935年度诺贝尔物理奖。

2. 原子核结构的研究与强、弱相互作用理论

就在查德威克发现中子的当年，海森伯当即提出，原子核是由质子和中子组成的，从前的质子—电子模型不能解释许多实验

现象,而质子—中子模型可以很好地说明原子量与原子序数问题。新模型很快为人们接受,质子和中子统称为核子。

核子是如何组构成原子核的呢?这又是一个新的问题。起初人们相信,核内并没有中心,中子和质子以弥漫的云雾状均匀地分布于核内。1936年,玻尔发现原子核的密度几乎都相同,因此提出了液滴模型,他认为每个核粒子就像液滴那样紧密地压在一起,就像水由水滴组成那样。这个模型比较好地解释了核裂变现象。

二次世界大战后,物理学家在实验室里发现了一个奇妙的现象,即当核内质子和中子数等于某些特定的数值如2、8、20、50等等时,原子核表现得特别稳定。为了解释这一现象,美籍德国物理学家迈耶尔和詹森分别提出了原子核的壳层结构模型理论,他们认为,质子和中子以壳层的方式层层相套,当层的数目与上述特定数值相等时,核就表现得特别稳定。可是,该模型不能说明,原子核的放射性是如何可能的。为了解释核的放射和吸收现象,有人又提出了半透明模型。

1953年,玻尔的儿子建立了一个综合模型,认为当核子数等于某数值时,核表现为壳层结构,而其它时候则表现为液滴结构。这些层出不穷的结构模型,反映了对于原子核的结构,人们尚未有足够的认识。

最主要的原因是人们尚不知道核子的相互作用情况,我们已经知道宇宙间有两种普遍的相互作用,一是引力,一是电磁力。但这两种力均不足以解释核内质子与中子的结构情况。中子是电中性的,因此,它们之间不可能有电磁相互作用,而引力过于微弱,靠它绝无可能保持原子核的稳定性。在核内部必定存在着一种新的作用力,它具有吸引力,而且与电荷无关。

1935年,日本物理学家汤川秀树(1907—1981年)提出了“交换粒子”的概念,作为新相互作用理论的基本概念。他认为,



图 38-3 安德森

电磁相互作用的本性在于电磁场之间相互交换场量子 γ 粒子,而核力也是通过这种方式进行的,它所交换的是一种新的粒子,其质量约为电子的 200 倍,介于质子与电子之间,因此可以称为介子。不久,美国物理学家安德森 (1905 年—) 真的在宇宙线的研究中发现了一种质量约为电子 207 倍的粒子,开始人们以为它就是汤川秀树所预言的那种介子,将之命名为 μ 介子,但后来发现,它并不是传递核力的那种介子。1947 年,英国物理学家鲍威尔 (1903—1969 年) 终于在宇宙线中发现了

了另一类介子,其质量为电子的 273 倍,经反复检测,确定是汤川秀树所预言的介子,被命名为 π 介子。

汤川的理论被确立之后,原子核内相互作用的理论研究开始

活跃起来。人们发现，以 π 介子传递方式产生的相互作用具有这样的特点：强度极大、独立于电荷、作用距离和作用时间均极短。这种相互作用被称为强相互作用。1933年，意大利物理学家费米（1901—1954年）在研究原子核的 β 衰变时，发现了另一种不同性质的相互作用，后来被称之为弱相互作用。

随着实验的发展，人们认识到弱作用和强作用有很大的不同，其中一个著名的差异是，有些守恒定律在强作用下成立，而在弱作用下并不成立。华裔美国物理学家李政道（1926年—）、杨振宁（1922年—）于1956年提出了弱相互作用下的宇称不守恒定律，被认为大大深化了人类对微观世界的认识。不久之后，另一位华裔美国物理学家吴健雄女士以其出色的实验证实了这一理论。



图 38-4 李政道



图 38-5 杨振宁



图 38-6 吴健峰

现在我们知道了宇宙间的四种相互作用力：引力、电磁力、强作用和弱作用，这四种力之间是否存在一种更深层次的统一性呢？爱因斯坦生前致力于统一电磁力与引力，明显由于条件尚不具备而收效甚微。1961—1968 年间，美国物理学家格拉肖、温伯格和巴基斯坦物理学家萨拉姆先后提出了弱相互作用与电磁力的统一模型，这个模型很好地解释了已知的许多基本规律，而且提出了后来得到实验验证的预言，被认为是一个成功的统一。格拉肖、温伯格和萨拉姆共同荣获了 1979 年的诺贝尔物理奖。

3. 基本粒子群的发现与夸克模型

本世纪 30 年代初，构成原子以及在原子层次上活跃的那些微小粒子只有电子、质子、中子和光子几个，人们称它们为基本粒子。但是没过多久，先是在宇宙线中，后是在高能加速器中，发

现了一大批基本粒子。到目前为止,比较稳定、寿命长的基本粒子有三十多个,而那些不太稳定、寿命较短的基本粒子则有四百多个。

最先发现的是正电子。早在1928年,狄拉克在建立相对论性电子运动方程时,从理论上预见正电子的存在。所谓正电子



图 38-7 费 米

就是除了带负电外,其余性质与电子完全一样。1932年,美国物理学家安德森在宇宙线的研究中证实了正电子的存在。不久又发现,正负电子相遇迅速湮灭,而转化为两个光子。

正电子的发现启示人们思考,是否所有的粒子均有其反粒子。高能加速器的问世揭示了微观领域一大批新现象,其中包括许多粒子的反粒子。迄今为止,几乎所有的粒子都有它的反粒子被找到。

第二项重要的发现是中微子。1922年,在研究原子核的 β 衰变时发现能量莫名其妙地消失了,为此,玻尔曾一度猜想能量守恒定律是否在微观领域不再适用。但大多数物理学家不同意玻尔的意见。1931年,玻尔的学生、奥地利物理学家泡利(1900—

1958 年) 提出了中微子假说, 认为在衰变中放出了一种静止质量为零、电中性、与光子有所不同的粒子, 所以出现了能量亏损。由于这种新粒子质量为零, 又不带电, 所以很难被观测到。泡利的中微子假说因而被认为只是为了挽救能量守恒定律而提出的一种特设性假说。但到了 50 年代, 高能实验室发展起来了, 中微子终于被观测到了, 泡利的假说最终得到了证实。

60 年代以后, 大型和超大型的高能加速器相继建立起来了, 人们能够观测那些寿命较短的粒子 (即所谓共振态粒子), 这样, 一大批基本粒子被发现。今天, 随着高能加速器的改进和发展, 几乎每年都有新的基本粒子被发现。

这么多基本粒子的出现, 使物质的微观结构和规律又变得复杂了。首先必须有一套办法将它们区别开来, 物理学家为此引入了量子数的概念以标记每种基本粒子的特性。在标记这些基本粒子的时候, 人们常常想起门捷列夫给化学元素列表, 结果发现了周期律, 从而为认识深一层次的规律奠定了基础。但给基本粒子排序很不容易。为了排出某种序列来, 不得不增加它们的量子数种类, 但同时不断增多的新粒子又不能纳入已经排定的序列中来。

50 年代, 美国物理学家在用高能电子轰击质子时, 发现质子的电荷分布并不均匀, 这意味着它也有内部结构, 但究竟有什么样的内部结构呢? 早在 1949 年, 费米和杨振宁就提出了基本粒子的复合结构模型, 指出 π 介子是由质子和中子复合而成。当然, 这个模型过于简单, 与不少新出现的现象矛盾, 但“复合”的概念被认为是有意义的。1956 年, 日本物理学家坂田昌一改进了费米—杨模型, 与实验取得了更大的一致。但人们发现, 由该模型复合出来的基本粒子与作为复合基础的粒子在性质上非常相似, 很难说明, 哪个更为基本。复合必须在更深层次上进行。

1961 年, 美国物理学家盖尔曼 (1929 年—) 等人排出了一张基本粒子的“周期表”, 这张表揭示了基本粒子在许多性质上存在

着的对称性，所以是一张对称图。有意义的是，依据对称图对有关空位做出的预言，于1964年被实验证明是成立的。1964年，盖尔曼正式提出了基本粒子结构的“夸克模型”。

在这一模型中，三种不同类型（被称为具有三种“气味”）的夸克（即上夸克、下夸克和旁夸克）及其反夸克，代替坂田模型中的基础粒子。经巧妙地组合，所有的强子（即静质量比较大的基本粒子）均可以由这三个夸克组成，在相互作用中强子的生成、湮灭和转化均可以归结为夸克的重新组合。该模型还指出了某些不允许出现的组合，而且这些被禁止的组合果然没有在实验中发现。夸克模型出现后，很快吸引了理论物理学家的注意力，被认为是统一基本粒子的一个卓有成效的方向。

新的实验事实层出不穷，夸克模型也就一直处在修改完善之中。模型刚提出不久，夸克就被认为性征过于单一，于是又增加了一维参数，称为“颜色”，每个夸克都具有红、黄、蓝三种基色，当然，这里的“色”均是一种借喻，并非它真有什么我们人类能看得见的颜色。正像电子拥有“电荷”而出现了电动力学以及量子电动力学一样，关于夸克的“色荷”也出现了一门量子色动力学。

1970年，美国物理学家格拉肖指出，还必须加一味夸克才能解释新的实验现象，于是在上、下、旁之外又出现了一种“粲”夸克。1977年，新的事实迫使人们提出第五种夸克“底夸克”（因“底”与“美丽”的英文第一个字母均为b，故又称“美丽”夸克）。以及第六种夸克“顶夸克”（因“顶”与“真理”的英文第一字母均为t，故又称“真理”夸克），究竟是否还会有多少夸克出现，现在还不清楚。

众多夸克的出现，使人们觉得在这一物质层次上，物理性质似乎也不是单纯的，似乎还存在着另一更深层次的规律在起作用。但是，这还只是事情的一个方面。事情的另一方面是，尽管人们

提出了这么多的夸克，但这些夸克究竟是些什么东西并没有搞清楚。盖尔曼起初并没有将夸克当成物质实体，只不过是些数学模型而已，但由于夸克模型在解释实验事实上越来越成功，人们开始越来越相信夸克确实就是存在于更深层次物质实体。但可惜的是，高能实验中从未发现有单个的自由夸克。也就是说，虽然人们提出了这么多的夸克，但实验中从未发现过一个。

如果夸克确实是更深层次的粒子，为什么实验总是发现不了呢？为此有人提出了夸克禁闭假说，其意思是说，之所以看不到单独的夸克，可能是因为自然界中根本就不可能有自由夸克。所有的夸克都有色，但由它们复合的强子却是无色的，从实验中只可能看到不带色的粒子，因此所有的夸克均因其“色”而被禁闭在强子之中。但也有人认为，之所以没有发现自由夸克，是由于现今的高能粒子能量还不够高，不足以从强子中打出自由夸克来。只有继续发展高能加速器，大大提高能量才有可能找到自由夸克。今天多数物理学家倾向于认为，由于夸克间的相互结合力随距离的增大而急剧增大趋向无穷，夸克可能永远被禁闭。

夸克可能会永远禁闭，也可能被打出来，但是，人类对微观世界的认识岂有穷乎？

第三十九章

20 世纪的遗传学

20 世纪生物学最重大的成就是分子生物学的诞生，它将人类认识生物界的水平深入到分子层次。借助先进的物理和化学方法，它重新找到了生命现象的统一基础，并逐步揭示了生命遗传、进化的奥秘。遗传学既孕育了分子生物学，又是分子生物学中最核心的学科。

1. 孟德尔的再发现

1866 年，孟德尔发表了他的“植物的杂交实验”一文，首次阐明了生物界有规律的遗传现象。但由于各种各样的原因，这篇划时代的论文未引起人们的注意，孟德尔于 1884 年默默无闻地去世。

新世纪的第一个年头，三位互不相识的生物学家各自独立地发现了孟德尔的意义，他们是荷兰的德弗里斯（1848—1935 年）、

德国的柯林斯（1864—1933 年）和奥地利的切马克（1871—1962 年）。当时，他们都正在从事植物的杂交实验工作，正当自己的工作快要结束时，他们都偶然发现了孟德尔的论文，而且发现孟德尔早就得出了自己正要得出的结论。1900 年，德弗里斯第一个发表了关于杂种的两篇论文。文中写道：“孟德尔的这项重要的研究竟极少被人引用，以致在我总结我们的主要试验，并从试验中推导出孟德尔论文中已经给出的原理之前，竟然不知道有这项研究。”柯林斯在他的论文中则直接提出了孟德尔定律的说法，他也说：“我还以为自己发现了新东西。但是，不久我就发现在上个世纪的 60 年代，布隆镇修道院的孟德尔院长经过一系列深入的豌豆试验，不仅获得了与我完全一致的结论，而且提出完全相同的解释。而这一切居然发生在几十年前的 1866 年。”

三个植物学家不约而同地发现了孟德尔曾经发现过的遗传定律，这个戏剧性的事件被历史学家称为孟德尔的再发现。1901 年，孟德尔的两篇论文“植物杂交试验”及“人工授粉得到的山柳菊属的杂种”重新以德文发表，当年，英国生物学家贝特森（1861—1926 年）将之译成英文，并向英国生物学界传播孟德尔的学说。1906 年，贝特森第一次提出了“遗传学”一词，以称呼这门研究生物遗传问题的新学科。孟德尔的再发现，开辟了遗传学的新纪元。20 世纪成了名副其实的遗传学的世纪。

2. 染色体—基因遗传理论：摩尔根

孟德尔学说的一个核心概念是“遗传因子”。由于有遗传因子的遗传作用，生物在进化过程中就不是连续的变异，而是不连续的变异，这与达尔文的连续变异的进化思想是不同的。正因如此，孟德尔虽然被发现了，一开始并没有得到普遍的理解，特别在英国，达尔文的影响比较大，对孟德尔的抵触更多。幸亏贝特森反

复用杂交实验证实孟德尔的理论,人们才逐步接受了遗传的事实。

如果孟德尔的理论是正确的,那么他所谓“遗传因子”究竟在细胞中的什么地方呢?当时关于细胞的生物化学研究已经有一定的深度。1879年,德国解剖学家弗莱明(1843—1905年)运用染色的方法观察细胞,发现细胞中的有些部分能吸收某些染料,有些则不吸收。在细胞核中,有一些物质大量吸收他当时所用的碱性苯胺染料,他便称这些物质为染色质。1882年,弗莱明在观察细胞分裂过程中,发现染色质扮演一个十分特殊的角色。分裂一开始,染色质缩成短短的线状体(后来被称为染色体),在分裂的过程中,染色体数目增加一倍,分裂完毕后,两个子细胞各分得与母细胞相同数目的染色质。由于当时他不知道孟德尔的工作,所以也未深究染色体在遗传学上的意义。

孟德尔被发现之后,人们马上想到染色体可能就是遗传因子。1904年,美国生物学家萨顿(1877—1916年)证明了染色体总是成对存在的,而每个性细胞只具有每一对染色体中的一个,这就指明了染色体与孟德尔遗传因子的平行性。但是,染色体数目很少,如豌豆只有7对,人也只有23对,但遗传特征却是多样的,因此,萨顿猜想,每条染色体上带有多个遗传因子。1906年,贝特森发现,豌豆的某些特征确实总是与另一些特征一起遗传,这就说明萨顿的猜想是有道理的。1909年,丹麦植物学家约翰逊(1857—1927年)提议用原意为“发生”的希腊词“基因”一词代替孟德尔的遗传因子,这个建议被采纳。

染色体显然不是“基因”,但基因就存在于染色体内,那么它们是如何排列的呢?对于这一问题的深入研究是由美国生物学家摩尔根(1866—1945年)作出的。摩尔根青年时代是一位博物学家,后来才转向实验生物学家。起初他对孟德尔理论和染色体学说不太相信,认为缺少实验证据。1908年,他读到德弗里斯的《突变论》一书,受到了很大的震动。此后,他亲自动手做有关遗



图 39-1 摩尔根

传问题的实验，结果使他越来越相信染色体确实是遗传物质的载体，特别是决定性别的唯一因素。

1909年，摩尔根开始用果蝇做遗传学试验。后来证明，用果蝇做材料是十分有利的！它生活周期只有10到14天，又易于饲养，而且它的染色体不多，只有4对，很适合做实验分析。1910年，他在一群红眼果蝇中发现了一只白眼雄果蝇，当他用这只白眼果蝇同这些

红眼果蝇交配时，发现第二代白眼果蝇全都是雄性的。这就说明，决定白眼的基因与决定性别的基因是联系在一起的。由于实验已经证明性别是由染色体决定的，因此，白眼基因也一定在染色体上，这是染色体作为基因载体所获得的第一个实验证据。

更进一步的实验表明了，一条染色体上可以有许许多个基因。摩尔根和他的学生们经十多年的努力，终于建立了基因遗传学说。他们认为，染色体是基因的物质载体，基因在染色体上作直线排列；不同染色体上的基因可以自由组合，但同一染色体上的基因却不能自由组合，而遵守连锁遗传法则。连锁遗传定律的建立是对孟德尔遗传学的新贡献。

摩尔根还发明了测定基因相对位置的方法，给出了第一个果蝇染色体的连锁图，即确定了每一特定性状的基因在染色体上的位置，从而确立了基因作为遗传基本单位的概念。1915 年，摩尔根和他的合作者们出版了《孟德尔遗传学原理》，1919 年和 1926 年又相继出版了《遗传的物质基础》和《基因论》，建立了完整的基因遗传理论体系，将孟德尔的性状遗传学推进到细胞遗传学的新阶段。摩尔根因此而获 1933 年的诺贝尔生理和医学奖。

基因遗传理论虽然确立了，但基因究竟是不是一种物质实体尚不清楚。摩尔根本人倾向于基因“代表一个有机的化学实体”的看法，他在《基因论》中说：“像化学和物理学家假设看不见的原子和电子一样，遗传学家也假设了看不见的要素——基因。三者主要的共同点，在于物理化学家和遗传学家都根据数据得出各人的结论。只有当这些理论能帮助我们作出特种数字的和定量的预测时，它们才有存在的价值。”显然，他相信基因与原子和电子一样，都是一种物质实体，虽然是看不见的。确定基因的物质性需要等到生物化学发展到一定程度之后才有可能。

3. DNA 双螺旋模型的建立与分子生物学的诞生

分子生物学起源于细胞化学的研究。

大约在 1836 年，著名瑞典化学家柏采留斯已经提出了“蛋白质”的概念。1842 年，李比希也证实了蛋白质是生命的基本构成物质。后来发现，蛋白质由 20 种氨基酸组成，而氨基酸则是由氨基和羧基联成的肽链。蛋白质越来越被证明是生物体内的主要组成部分。

1869 年，瑞士生物化学家米歇尔（1844—1895 年）从病人绷带上取下来的脓细胞中，发现了一种与蛋白质不同的物质，称之为核素，由于它呈酸性，故后来改称核酸。1911 年，俄裔美国化

学家列文（1869—1940 年）查明核酸有两种，一种是所谓核糖核酸（学术界俗称 RNA），另一种是所谓脱氧核糖核酸（学术界俗称 DNA）。列文还建立了核酸的结构模型，但这个模型过于简单，以致不能设想核酸在遗传中能起什么作用。受该模型的影响，许多人只好设想可能是蛋白质的 20 种氨基酸的不同组合构成了遗传信息。

摩尔根的基因学说建立之后，许多生物化学家致力于确定基因的物质基础。事实上，从 19 世纪末开始，就已经有人提出染色体的主要成分就是核酸。但受列文的核酸结构模型的影响，人们不相信遗传物质是由核酸构成的。这些观点因而也得不到学界的承认。

打开这一僵化局面的是关于肺炎双球菌的研究。这种病菌有两种，一种有外膜，有传染性，另一种没有外膜，没有传染性。1928 年，英国生物学家格里菲思发现有一种转化因子能使有膜病菌变为无膜病菌，这令他感到非常奇怪，当时谁也不能解释这种现象，因而称为格里菲思之谜。1944 年，美国细菌学家艾弗里（1877—1955 年）领导的研究小组花了十年时间，最终证明了这种转化因子就是 DNA，这就首次用铁的实验事实证明了 DNA 确实是遗传信息的载体。

艾弗里的工作也没有马上得到公认，人们甚至怀疑艾弗里提取的转化因子并不是纯粹的 DNA，可能还含有蛋白质。但德裔美国生物学家德尔布吕克（1906—1981 年）对此坚信不疑。不久，他关于噬菌体的研究强有力地支持了艾弗里的结论。德尔布吕克少年时喜爱天文学，后改学理论物理学，是玻尔的学生，薛定格的好友，由于逐渐对生命的本质感兴趣，遂于 1938 年改行到美国组建了一个小组专门研究基因问题。他选择噬菌体作为研究对象，因为这种小生命只由一个蛋白质组成，其中含有的 DNA 结构简单，繁殖又快。他们研究了噬菌体的繁殖过程，发现它并不钻入细菌

体内，而只是将自己的 DNA 注入细菌体内，这就证明了，在噬菌体的繁殖过程中，传递遗传物质的是 DNA 而不是蛋白质。

在艾弗里和德尔布吕克工作的鼓励下，生物化学家重新考察核酸的结构。列文已经指出 RNA 有 4 种碱基，但他认为这 4 种碱基的含量相等，因而提出了一种简单的核酸结构模型。1952 年，奥地利生物化学家查哥夫（1905 年—）通过精密地测定，发现 4 种碱基的含量并不相等，从而彻底动摇了束缚了人们数十年的列文模型。人们不再怀疑 DNA 就是遗传物质的载体。

下一步就是要搞清楚 DNA 的化学结构以及它在蛋白质中产生什么样的化学作用，从而支配着蛋白质的合成。时间已经到了本世纪的 50 年代，不仅关于生物大分子化学的研究已有一定水平，运用 X 射线等先进的物理学方法研究生物大分子的晶体结构也取得了重大的突破。这一工作主要是在英国进行的。1951 年，英国生物物理学家威尔金斯（1916 年—）研究了 DNA 的晶体结构，给出了关于 DNA 纤维的 X 射线衍射图。这些工作为 DNA 双螺旋结构的发现打下了基础。

完成这一伟大工作的是美国生物学家沃森（1928 年—）和英国生物学家克里克（1916 年—），沃森本来是艾弗里创立的闻名世界的噬菌体研究小组的年轻成员，克里克则是英国结构学派的成员，1951 年 11 月，两人在剑桥大学的卡文迪许实验室相遇，很快发现双方都对 DNA 的分子结构极感兴趣，遂决定合作研究。

当时已经有好几个小组在做类似的工作，一是英国的威尔金斯和女生物物理学家弗兰克林（1920—1958 年），他们已经拍下了非常清晰的 X 射线衍射图，一是美国的著名化学家鲍林（1901 年—）。这两个小组实际上已经搞清楚了 DNA 的螺旋结构。

沃森和克里克抓紧时间研究已经获得的数据，于 1951 年底提出了第一个模型。这个模型是一个由三股链组成的螺旋结构，但后来发现，由于算少了 DNA 的含水量而设想的三股链是不对的，



图 39-2 沃森与克里克

第一个模型失败了。

1952 年 7 月，克里克从查哥夫处得知 DNA 所含 4 种碱基含量并不相等，提出了碱基配对的思想。1953 年 2 月，他们又得到了维尔金斯和弗兰克林关于 DNA 结构的新照片和新数据。沃森决定建立一个二链成对的 DNA 双螺旋模型。1953 年 4 月，他们终于将新的 DNA 结构模型在《自然》杂志上公之于世。

这是一个成功的 DNA 分子结构模型，它由两条右旋但反向的链绕同一个轴盘绕而成，活像一个螺旋形的梯子，生命的遗传密码就刻在梯子的横档上。

DNA 双螺旋结构模型的提出是生物学史上划时代的事件，它宣告了分子生物学的诞生，生物学已经进入了分子水平。以此为

开端,生物学各个领域均发生了巨大的变化。沃森、克里克和维尔金斯因此获得了 1962 年的诺贝尔医学与生理学奖。

DNA 结构的发现给解决遗传信息的传递问题带来了新的希望。DNA 是由 4 种碱基组成,而蛋白质由 20 种氨基酸组成,4 种碱基如何才能决定 20 种氨基酸的排列组合呢? 1944 年,著名量子物理学家薛定格出版了《生命是什么》

一书,提出遗传密码的思想。他认为,莫尔斯电码只用了点和划两种符号,通过排列组合就可以产生几十种代号,基因分子一定也可以以如此方式进行编码。

1954 年,曾提出大爆炸模型的著名物理学家伽莫夫提出,DNA 的 4 种碱基可能就是基本的密码符号,如果只用 2 个碱基进行组合,四种碱基只能得到 16 种可能性,比氨基酸的数目还少。如果用 3 个碱基进行组合,则能得到 64 种可能性,又比氨基酸的数目多,于是他假定有些氨基酸可以对应几种碱基密码。这就是著名的三联密码假说。它是由一个业余的生物学爱好者提出的,但后来证明是最具科学价值的科学假说。



图 39-3 诺贝尔

1959 年，克里克声明支持伽莫夫三联密码假说。他认为，DNA 通过信使 RNA 将遗传信息由细胞核传送到细胞质，再在细胞质中决定蛋白质的合成。这个假说被后来的一系列实验证实，人们已经能够破译许多遗传密码，并排出一张遗传密码表来。

遗传密码的破译导致了一门新的学科即遗传工程的出现。所谓遗传工程就是用人工的方法将生物体内的 DNA 分离出来，重新组合搭配，再放回生物体中，创造新的生物品种。70 年代以来，遗传工程取得了重大的突破，它将在农业生产和医疗卫生领域产生巨大的影响。

在分子水平上探索生命的奥秘成了 20 世纪后半叶生命科学的主流，由于搞清了遗传密码、阐明了蛋白质的合成机制，为生物学的大发展奠定了良好的基础。但是生命的奥秘是无穷的，人类对生命本质的探索也将永无穷尽。

第四十章

现代地学革命

在地质学发展的历史上，曾经出现过三次著名的争论。第一次是以赫顿为代表的火成论与维尔纳为代表的水成论之间的争论，第二次是以居维叶为代表的灾变论与以赖尔为代表的渐变论之间的争论，第三次则是发生在本世纪的地壳构造的固定论与活动论之争的争论。第三次争论以活动论最后取得胜利告终，被认为完成了地学领域的一次伟大的革命。

1. 大陆漂移说：魏格纳

19世纪之前，人们尚未开始系统地研究地球整体的地质构造，对海洋与大陆是否变动，并没有形成固定的看法。由于有许多迹象表明，欧、非、美洲三大陆起初可能是连在一起的，因此不少人提出过大陆变迁的思想。随着地质学的发展，对地球整体的地质构造的研究开始提上了日程，19世纪后期，地质学出现了

所谓“槽台说”，地壳构造的固定论思想反而占了统治地位。

槽台说认为，地壳的基本运动形式是地槽和地台的运动。所谓地槽就是地壳中活动强烈的地带，而地台是地壳中比较稳定的地带。槽台说认为，地槽开始缓慢的下沉，沉积成厚厚的地层，继而上升，使地层发生皱褶而形成山脉，地台作为地槽发展到一定阶段的产物，具有相对的稳定性。槽台说在 19 世纪下半期得到了重大的发展，到 20 世纪初年牢固确立了自己的权威地位。槽台说基本上只承认有垂直方向的运动（地槽运动），而否定有水平方面的运动（地台不动）。

作为地壳固定论之代表的槽台说当然有许多地质观察证据，但欧非大陆与美洲大陆之间在地质构造上、在古生物化石分布上以及在现存生物的习性上之惊人的相似性也一直为人们所注目。很显然，任何人只要看一看南大西洋的两对岸，一定就能发现巴西与非洲间海岸线轮廓的相似性。某些特定的动植物如肺鱼、鸵鸟，只有在纬度相同的南美、非洲和澳大利亚才能发现，而与此间邻近的大陆反而没有。

大陆固定论的支持者们提出过两种假说，一是为了解释生物亲缘关系的所谓“陆桥说”，一是为了解释地球造山运动的所谓地球冷缩说。

人们相信，隔洋的大陆之间之所以存在这样多和这样明显的生物亲缘关系，是因为生物迁徙造成的，而生物之所以能发生这种迁徙，是因为过去有一种狭窄的陆地作为联系大陆的桥梁，后来这种陆桥沉入海底，两大陆才被海洋隔开。陆桥说在一定程度上解释了两大陆之间生物的亲缘关系，但却无法解释它们在气候、地层构造以及岩相方面的相似性和连续性，更重要的是，人们并没有在海底发现过陆桥的痕迹，起初发现了海岭，但它同海岸线是平行的，不可能是陆桥。

19 世纪中期，有人提出过地球冷缩理论，认为地球会因冷却

而收缩，收缩时像个干瘪的苹果产生皱纹那样产生褶皱山脉。这个理论由于形成了一种物理模型，因而颇受学界的好评，它显然是对槽台说的有力支持。根据地球上发现的褶皱山脉的大小，人们可以算出地球降温的量，结果发现相当之大，这使人对地球冷缩说产生了怀疑。本世纪初，有人在地壳岩石中发现了放射性元素，它们所产生的热量足以抵销地壳向太空的散热量，因此，地球也许根本就不存在一个地质上的冷缩过程。冷缩理论也遇到了麻烦。

大陆固定论所遇到的困难，正是促使人们提出大陆活动论的动力。其实大陆漂移的思想古已有之，西方第一个自然哲学家泰勒士就认为地球像一个圆盘，浮在水面上；英国哲学家弗兰西斯·培根已经注意到了非洲西部和南美东部海岸线的吻合不是偶然的，自此以后的几百年中，有不少著名的科学家提出美洲大陆和欧洲非洲大陆本来是连在一起的猜想，但由于没有更多有说服力的证据，这些猜想依然只是猜想。

1889年，美国地质学家达顿（1841—1912年）提出地壳均衡理论，他认为，大陆下面岩石的密度比海洋下面岩石的密度小，所以大陆就象一个浮体，浮在海洋地壳上。地壳均衡理论是通向大陆漂移说的重要桥梁，因为，既然大陆是一个浮体，在某种水平力的作用下就必然会发生漂移。

最终提出大陆漂移说的是德国地质学家魏格纳（1880—1930年）。魏格纳少年时便向往到北极去探险，由于父亲的阻止，他没能高中毕业后就加入探险的行列，而是上了大学学习气象学。1905年，他以优异的成绩获得气象学博士学位后，致力于高空气象学的研究。1906年，他和弟弟两人驾驶高空气球在空中连续飞行了52个小时，打破了当时的世界记录。后来他又参加了去格陵兰岛的探险队，岛上巨大的冰山的缓慢运动给了他极深的印象。

1910年的一天，魏格纳偶然翻阅世界地图，发现大西洋两岸

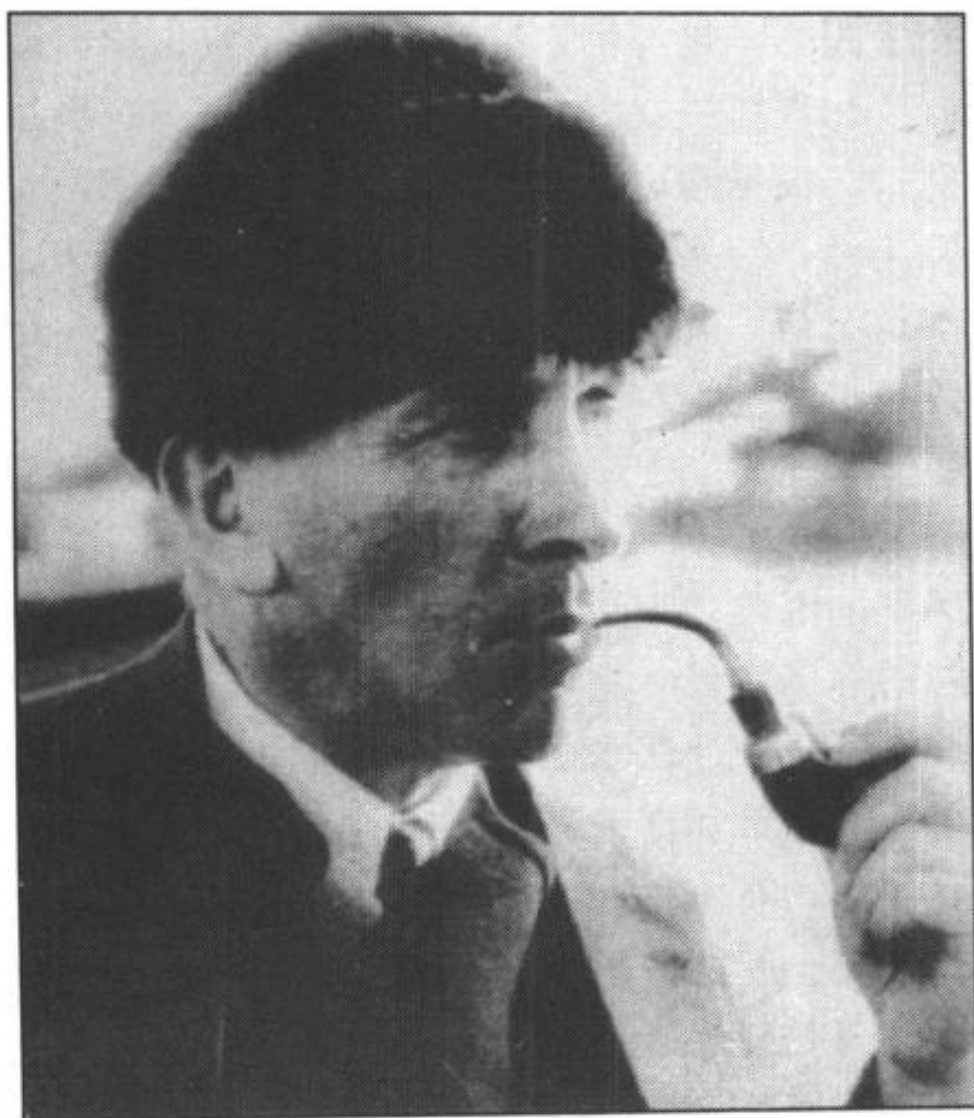


图 40—1 魏格纳

轮廓线有惊人的相似性，次年秋天，他又在一本文献中看到有人根据古生物学的证据，提出巴西和非洲曾有过陆地连接的观点，这引起了她莫大的兴趣。他开始利用业余时间搜集地学资料，查找海陆漂移的证据。1912年1月6日，魏格纳在法兰克福地质学会上做了题为“大

陆与海洋的起源”的讲演，提出了大陆漂移的假说。此后，由于研究冰川学和古气候学第二次去了格陵兰，以及随后的第一次世界大战，魏格纳的关于大陆漂移理论的研究工作中断了。在战场上，他负了重伤，被送回后方养伤。养病期间，他着手系统整理从前的研究工作，于1915年出版了《海陆的起源》一书，系统地阐述了大陆漂移说。

魏格纳认为，在地质历史上距今三亿年的古生代，地球上只有一块大陆，即所谓泛大陆，大约在两亿年前，由于太阳和月亮的引潮力作用以及地球自转产生的离心力作用，浮在大洋壳上的大陆壳便相对落后并分崩离析，花岗岩层在玄武岩层上做水平漂移，到了距今三百万年前，大陆最终漂移到我们今天所看到的位

置。

魏格纳从古生物学、地质学、古气候学三个方面收集了大量的证据。在古生物学方面，主要是大西洋两岸存在的许多生物亲缘关系，在地质学方面，主要是大西洋两岸岩石、地层和褶皱构造的相似性和连续性，在古气候学方面，主要是指出两极地区曾有热带沙漠、而赤道地区有冰川的痕迹。

大陆漂移说一提出，便在地质学界引起了轩然大波，因为它明确地向当时在地质界占统治地位的大陆固定论提出挑战。年轻一代地质学家热情为此理论欢呼，认为开创了地质学的新时代，魏格纳所在的汉堡附近的德国海洋观象台，成了世界各地大陆漂移说支持者朝拜的圣地。但老一代地质学家均不承认这一新的学说，在他们看来，它只依据了一些表面现象，而提不出一个有说服力的物理模型。确实，在魏格纳学说中有一个最致命的弱点，即它没有提出一个令人信服的关于漂移动力的说明。地球自转的离心力和日月的引潮力太弱，根本不足以推动如此巨大的陆地作如此长距离的漂移。魏格纳本人也意识到这个问题，虽然他强调了这些力虽然小但上亿年的积累将产生可观的效应，他依然对此没有信心，以致不得不承认“形成大陆漂移的动力问题一直是处在游移不定的状态中，还不许可得出一个能满足各个细节的完整答案。”地质学家们抓住这一弱点，给新理论以猛烈的打击。再加上魏格纳本人不是专业的地质学家，人们更容易对他的理论产生不信任感。1926年，在美国召开了一次大陆漂移理论讨论会，与会的14位著名的地质学家只有5人支持漂移理论，2人弃权，7人反对，结果大陆漂移理论遭到了否定。

魏格纳在一片反对声中继续坚持为自己的理论搜集证据，特别是直接的第一手证据。为此，他又两次去格陵兰考察，发现格陵兰岛相对于欧洲大陆依然有漂移运动，他测定出漂移的速度是每年1米左右。1930年11月2日，魏格纳第四次考察格陵兰，由

于疲劳过度，心力衰竭，倒在了茫茫雪原上，直到次年4月，一支庞大的搜索队才找到了他的遗体。

魏格纳的不幸去世，使大陆漂移说失去了一位坚定的倡导者，30年代以后，漂移理论逐渐悄无声息。

2. 海底扩张说

导致大陆漂移说复活的首先是古地磁学的研究。许多岩石都具有稳定的磁性，它是在岩石形成时期由地磁场励磁的，它的磁化方向与地磁方向相同，因此根据岩石中磁极方向可以判定岩石形成时期地磁的方向。研究结果表明，地球的磁极在不断变迁，并且北美和欧洲各有一条形状相同但方向不同的磁极迁移曲线，由于地球只有一个地磁场，这种双重曲线只能被解释成大陆漂移造成的。

对大陆漂移学说的复兴起极大推动作用的是关于海洋地质学的研究。魏格纳的漂移学说假定了海底是完全平坦的，大陆漂移是在平坦的海底上进行的，但当时人们对海底的地质情况并不了解。后来，人们用超声波探知海底并不平坦，而是沟壑纵横、起伏不平。进一步人们又发现一个奇怪的现象，海底的岩石相当年轻，只有1亿多年，而海洋动物至少有5亿年历史，这就是说，海底比海水年轻。

关于海底的地质探测虽然否定了魏格纳关于海底平坦的假定，从而对他的大陆漂移机制提出了质疑，但却从根本上否定了大陆固定论关于海陆同样古老的思想。海底如此年轻，说明它处在一个变动过程中。1961年，美国地质学家赫斯（1906—1969年）等人提出了海底扩张理论，他们认为，在大洋的中脊有一条裂谷，地幔中的炽热的溶岩从这个裂缝溢出，到达顶部后向两侧分流。深岩冷却后形成新的海底。并推动原来的海底向两边扩张，

大陆和海底一起随着地幔流体漂移。海底扩张说进一步支持了大陆漂移说,并将漂移的传送带由海底深入到更深的地幔对流体,解决了漂移机制问题。

海底扩张说提出时,也面临着强大保守势力的攻击,主要创立者赫斯也不相信很快能得到承认。但他比魏格纳幸运多了,不到几年,洋底磁异常现象的发现、关于横断大洋中脊转换断层的研究,以及深海钻探所获得的大量资料,均进一步证实了海底扩张说。到了1967年,地质学界大多数人已接受了该理论,活动论终于开始成了地学的主导思想。

3. 板块学说

随着海底扩张说的确立,人们开始重新思考大陆漂移问题。由于海底扩张,地壳在水平方向上发生了较大的位移,但大陆的整体形状并没有大的改变,非洲与巴西海岸线的相似性就证明了这一点,这促使地质学家们进一步提出了板块学说。

1965年,加拿大地球物理学家威尔逊最早提出了“板块”一词。当年,他同赫斯一起访问剑桥,同那里的地质学家们共同讨论了大陆漂移说的发展问题,其间,板块构造学说在海底扩张说的基础上脱颖而出。

板块构造理论主张,整个地球表面是由几个坚硬的板块构成的。由于地球内部温度和密度的不均匀分布,地幔内的物质发生了热对流,在热对流的带动下,各大板块之间发生相对运动,它们或被拉开,或被挤压,在板块之间被拉开的地方出现了裂谷,海底扩张运动实际上是在地幔流的推动下板块向海洋裂谷两侧的运动。所谓大陆漂移,其实是板块在地幔流上漂移,即不仅大陆漂移,大陆所附着于其上的海地板地也在漂移。板块学说是大陆漂移学说和海底扩张说的新形式。

1968年，法国地质学家勒比雄在前人研究的基础上提出了六大板块的主张，这六大板块是：欧亚板块、非洲板块、美洲板块、印度板块、南极板块和太平洋板块。后来，为了解释新出现的地质现象，人们对此又有所修正，但没有重大的更改。

板块学说很好地解决了魏格纳生前一直没有解决的漂移动力问题，使地质学在一个新的高度上获得了全面的综合。威尔逊在1967年出版的《地球科学的革命》一书中指出：“地学进行重大的科学革命的时机已经成熟，至少，它现在的状况，很像是哥白尼和伽利略的思想被广泛接受之前的天文学，原子分子被引入之前的化学，进化论之前的生物学，量子力学之前的物理学所处的境况。”但是，无论如何，随着板块运动被确立为地球地质运动的基本形式，地学也进入了一个新的发展阶段。大陆分久必合、合久必分，海洋时而扩张、时而封闭，已成为广为人们接受的地壳构造图景。到了80年代，人们确实相信，从大陆漂移说的提出到板块学说的确立，构成了一场名符其实的现代地学革命。

第九卷

20世纪:高技术时代

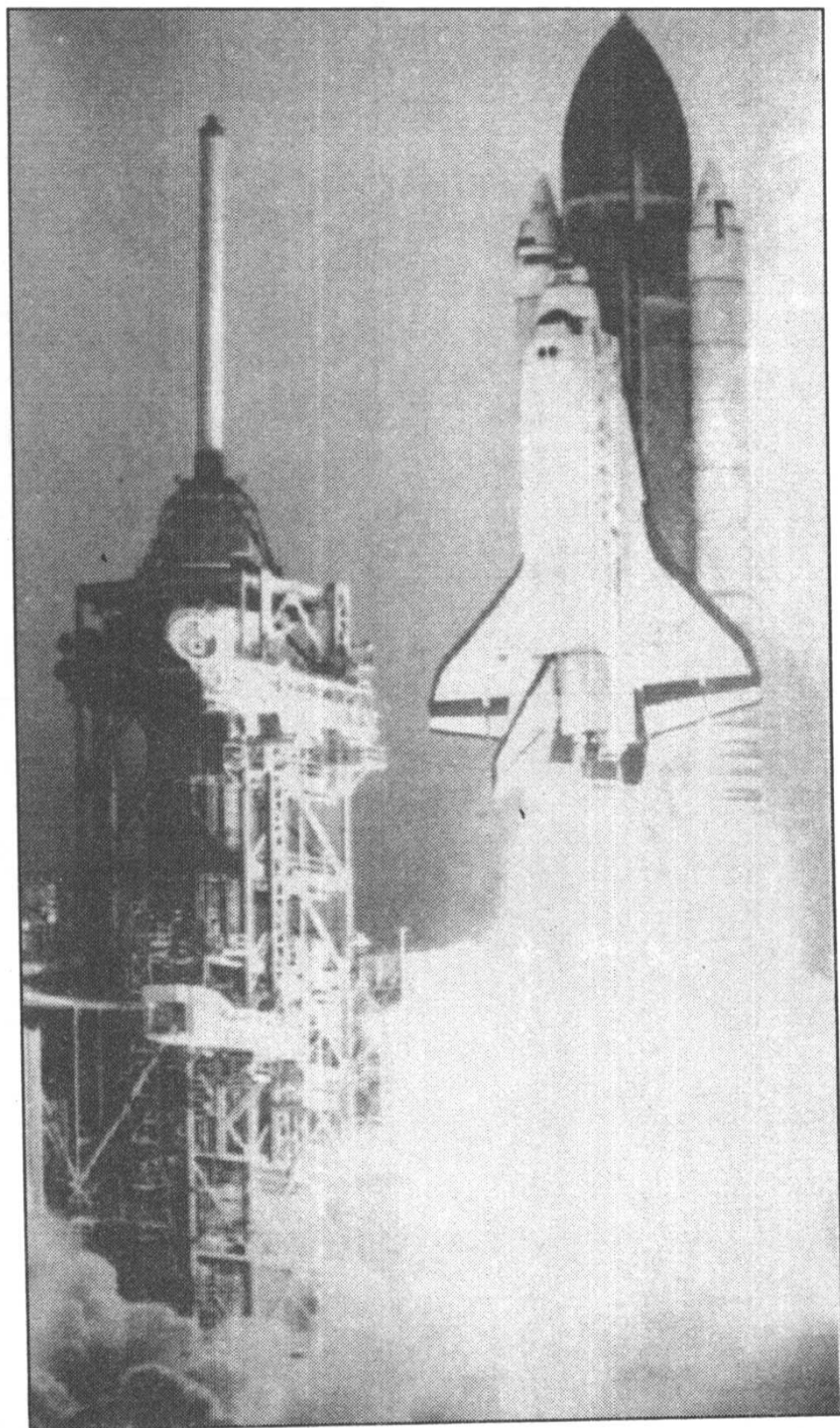


图 41—0 太空时代

与 19 世纪一样，20 世纪的重大科学成就很快就转变成相应的技术，在经济活动和社会生活中发挥作用。但与 19 世纪不同的是：20 世纪的科学更加高深、更加远离我们的日常生活经验，相应地，它所转化的技术实际威力更大、也更难被人类所控制。20 世纪进入了一个高技术时代，在这个时代，由于运输和通讯等高技术的发展，地球的空间距离变小了，人类的生存环境变得息息相关了，但随之而来的是一系列全球问题的出现：能源问题、核扩散问题、环境污染问题。等等，等等。高技术将地球上的人们结成一体，让全人类面临共同的挑战。

第四十一章

原子能时代

自古以来，人类所使用的一切能源都来自太阳，作为燃料的木材是通过植物的光合作用而获得的，作为动力的水力是太阳蒸发造成的水位差带来的，近代以来大力开采的新能源煤炭，其实是造山运动中原始树木变成的，是地底下的太阳。但是人们总要追问，太阳为何能发出如此巨大的能量，人类要是掌握了像太阳那样的产能方式，该有多好。到了 20 世纪，这种美好的愿望终于实现了。人们弄明白了，太阳能来自原子核的核能，而这种核能，人类在地球上也能造就，也能加以利用。人类终于进入了一个原子能时代。

1. 核裂变链式反应的发现

1919 年，卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核，使氮原子嬗变成了氧原子，首次实现了原子核人工嬗变，把一种化学元素变成了另

一种化学元素，被誉为当代炼金术。卢瑟福的一部著作取名就叫《新炼金术》。1932年，卢瑟福的学生查得威克发现中子。由于中子是电中性的，不受静电力的影响，因此很适合作为“炮弹”去轰击原子核。

1934年，约里奥-居里夫妇用 α 粒子轰击铝，产生了一个天然不存在的放射性元素即磷的同位素，这个同位素是不稳定的，产生之后很快蜕变为稳定元素硅，同时放出正电子。这一实验的重大意义在于，它首次人工产生了放射性元素。

迄今为止，虽然原子物理学仍在很快发展，但人们还看不到原子能广泛利用的可能性。最先敲开原子大门的卢瑟福在1933年的一次演说时说：“一般说来，我们不能指望通过这种途径来取得能量，这种生产能的方法是极端可怜的，效率也是极低的。把原子嬗变看成是一种动力来源，只不过是纸上谈

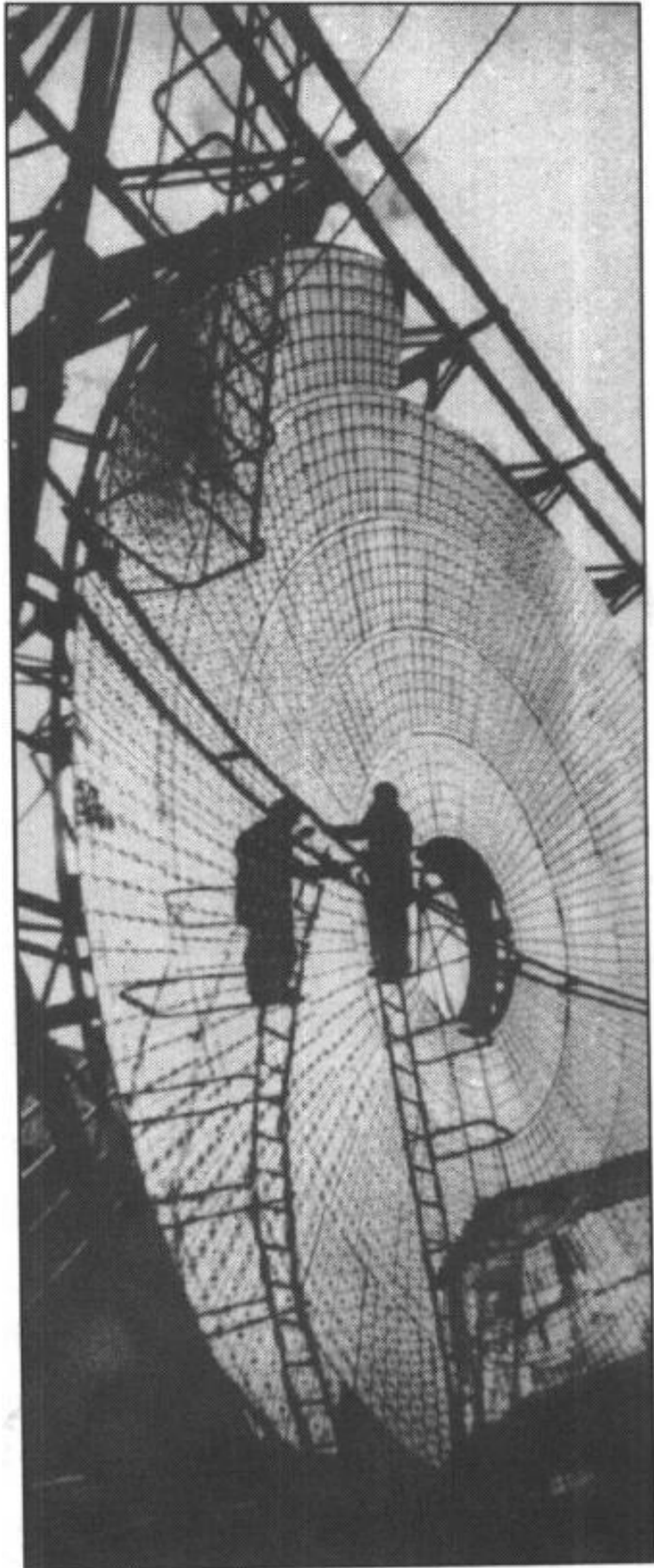


图 41-1 法国的一座太阳灶，中间温度可达 5400 度，几乎是太阳表面温度的一半

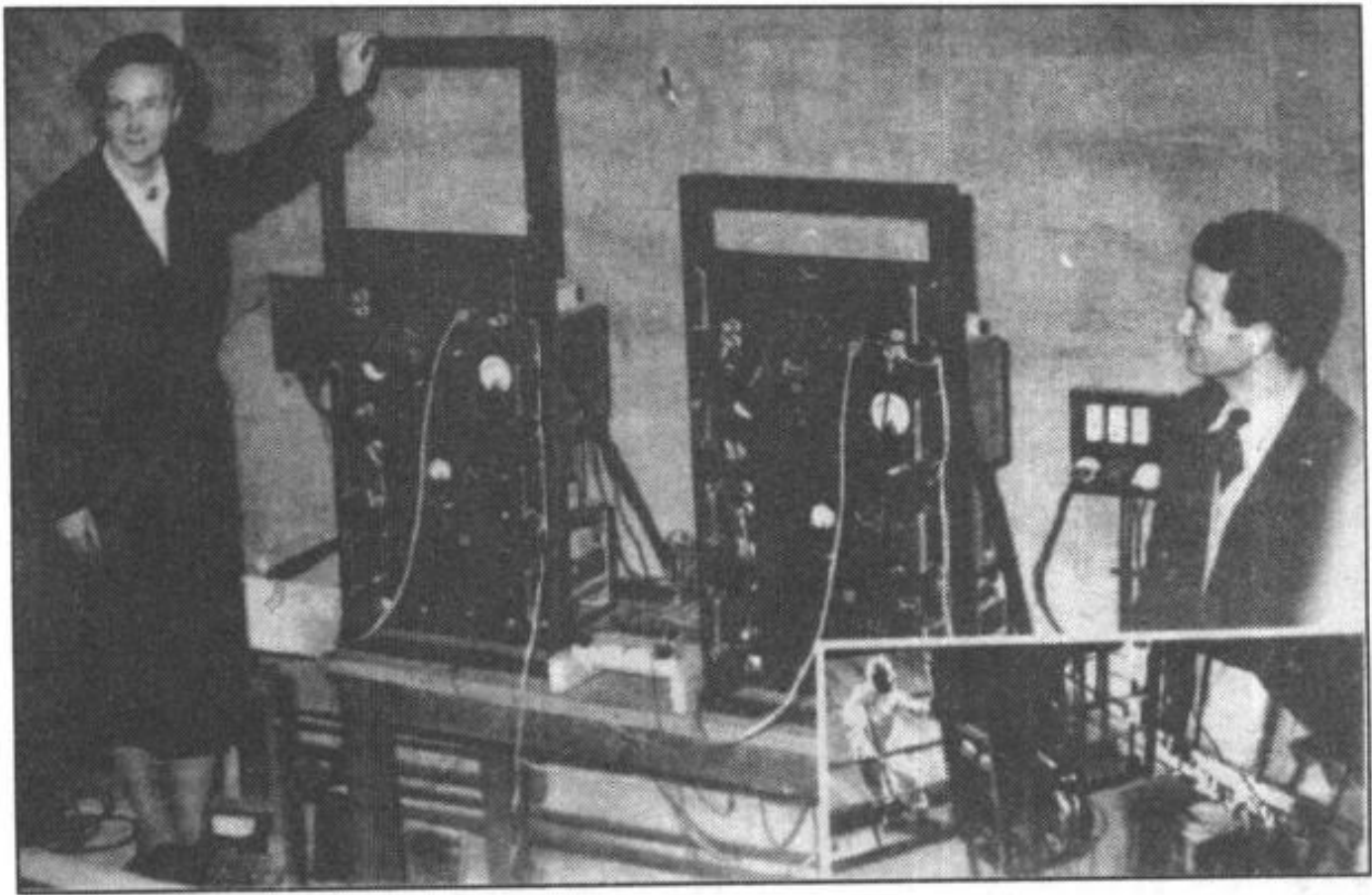


图 41-2 约里奥-居里夫人在实验室

兵而已。”爱因斯坦也作如是观，当记者问他原子能是否可能被实际利用，他回答说：“那就像夜里在鸟类稀少的野外捕鸟一样。”最伟大的科学家都没料到原子能时代已经近在咫尺。

约里奥-居里夫妇的实验激励实验物理学家们致力于轰击原子核的工作。1934年，意大利物理学家费米（1901—1954年）改用新发现的中子去逐个轰击元素周期表上的元素原子，到氟时终于得到了放射性同位素，在短短几个月内发现了数十种放射性同位素。费米还意外地发现，在中子源与被轰击的银金属之间放一块石蜡后，所激发的核反应更为强烈，这就是说，经过减速后，中子引致核反应的能力更强了。这一发现被认为是原子时代的“真正起点”。费米因此而获1938年诺贝尔物理学奖。

费米的研究小组继续沿着元素周期表往下实验，轰到铀时，他们猜想应该能得到一个原子序数为93的超铀元素，虽结果有些异常，但他们还是以为出现了超铀元素，未对异常现象进一步深究。

后来，有不少其他核物理学家同时发现了异常现象，主要的异常是，用中子轰击之后的铀产生了许多新的放射性元素，而这些元素在周期表中并不与铀邻近。德国女化学家诺达克提出，在中子轰击下，铀分裂成几块，只有这样才能解释新出现的放射性元素与铀并不邻近的“奇怪”现象。但这一观点不被人们接受，因为看起来，慢中子能量这样小，怎么能将铀的核打碎呢？1938年，德国物理学家哈恩（1879—1968年）受约里奥—居里夫人实验报告的启发，也重做了有关的实验，并且确信铀嬗变后出现的确实是钡、镧等这样一些与铀相距甚远的元素，哈恩对实验结果感到十分迷惑，便将这些结果和疑问写信告诉了奥地利女物理学家迈特纳（1878—1968年），迈特纳提出了一个大胆的猜想，铀核在俘获了一个中子后分裂成两个大致相等的部分，她称这一过程为“分裂核”，玻尔后来改称为“核裂变”，她认为裂变过程要发生质量亏损，根据爱因斯坦的质能关系式，裂变应将放出大量的能量。迈特纳的侄儿弗里希将姑母的这个想法告诉了玻尔，并说自己要着手验证这个想法，玻尔当时正准备起程去美国开会，刚一到美国，弗里希就电告实验已经证实了迈特纳的想法。玻尔立即将消息告诉了与会的物理学家们，引起了强烈的轰动，有的人连报告都没有听完就赶回去做实验。原子核裂变的实验事实很快就得到了公认。哈恩为此获1944年诺贝尔物理奖。

核裂变的发现很自然促使人们想到链式反应的可能性，所谓链式反应就是，当中子轰击铀核使核发生分裂时，又有新的中子产生从而再轰击别的铀核，使这一反应像链条一样一环扣一环地持续下去。费米在得到核裂变的消息后，当即提出了链式反应的概念，并预言一个重核裂变成两个轻核时一定会出现多余的中子。约里奥—居里夫妇率先证实了链式反应的可能性，他们发现，链式反应速度非常之快。

就在第二次世界大战爆发前两天，玻尔和惠勒指出，铀235比

铀 238 更能发生裂变，而慢中子更能引起裂变。释放原子核能的理论和实验依据已经齐备，科学家们已经清楚地认识到，只要链式反应一开始，无比巨大的能量就会在极短的时间内爆发出来。

2. 曼哈顿工程：第一颗原子弹的研制

早在 1933 年，匈牙利物理学家西拉德（1898—1964 年）就预见，链式反应一旦实现，其释放的巨大能量很可能被用来制造杀人武器。第二次世界大战爆发后，西拉德流亡到了美国，当他得知德国正在加紧研究链式反应，并禁止被其占领的捷克铀矿石出口时，他马上意识到德国可能正在研制原子弹，要是让希特勒这样的战争狂人拥有了原子弹，那人类的未来将不堪设想。1939 年 8 月，西拉德和其他两位物理学家找到了爱因斯坦，希望他以自己的威望给美国总统写信，说服美国政府率先研制。爱因斯坦很赞同他们的看法，在西拉德草拟的信上签了名，并委托罗斯福总统的朋友和顾问萨克斯面交总统。1939 年 10 月 11 日，萨克斯亲自将爱因斯坦签署的信交给了罗斯福，据说罗斯福一开始没有在意，只说了一句，这倒是个有意思的想法，不过现在政府没有精力考虑这个事情。萨克斯一看总统无意支持此事，很是着急，一夜都在想如何才能说服罗斯福，后来他终于想到了拿破仑当年拒绝富尔顿建造汽船的历史故事，决心以此来打动总统。次日，罗斯福请萨克斯共进早餐，萨克斯说了这样一席话：

“在拿破仑战争时代，一个年轻的美国发明家富尔顿来到了这位法国皇帝面前，他建议建立一支由蒸汽机舰艇组成的舰队，他说这样的舰队，无论在什么天气下都能在英国登陆。军舰没有帆能走吗？这对于那个伟大的科西嘉人来说简直是不可思议的，因此他竟把富尔顿赶了出去。根据英国历史学家阿克顿爵士的意见，这是由于敌人缺乏见识而使英国得以幸免的一个例子。如果当时拿破仑

稍稍动一动脑筋,再慎重考虑一下,那么19世纪的历史进程也许完全会是另外一个样子。”

这个故事果然打动了罗斯福。他立即叫来了随从,命令组成了一个铀咨询委员会。12月6日,亦即日本偷袭珍珠港的前一天,美国政府正式大量拨款研制原子弹。政府成立了一个军政委员会,实施制造



图 41-3 奥本海默

原子武器的计划。该计划被命名为“曼哈顿工程”。

1941年12月,已逃亡到美国并定居下来的费米来到芝加哥。领导美国第一个原子反应堆的建造。这是一个可控的链式反应装置,用石墨作为中子的减速剂,用镉棒来吸收中子以控制裂变反应的速度。经近一年的努力,反应堆于1942年12月2日正式开始运转,它第一次实现了输出能大于输入能的核反应,宣告了人类利用核能时代的开始。

费米反应堆的建成为原子弹的研制提供了大量有用的数据,但制造核弹还有许多技术方面的困难,最主要的问题是铀的提纯

问题。当时认为，最好的裂变材料是铀 235，但这种铀的天然含量很低，只占 0.7%，必须用某种方法将铀 235 分离出来，获得高含量的铀 235。当时提出了好几种方法，美国政府决定不惜工本，几种方法同时进行试验，尽快分离出足够的高纯度铀 235。

由于分离铀的成本太高，后来又发现了一种新的元素钚 239 也是一种良好的裂变材料，钚是由铀 238 嬗变而来，因此，可以将分离中剩下的大量铀 238 用来制造钚。

原子弹的研制工作由美国物理学家奥本海默（1904—1967 年）负责，在新墨西哥州一个叫洛斯阿拉莫斯的荒凉高地上秘密



图 41—4 奥本海默与格罗夫将军

进行。1943 年，工程进入了具体设计阶段，1945 年春，三颗原子弹造出来了。1945 年 7 月 16 日 5 时 30 分，第一颗铀原子弹试爆成功，爆炸力相当于两万吨 TNT 炸药。

在不到四年的时间里，美国就成功地试制了原子弹，完全取决于两个因素，一是希特勒将一大批极有才华的欧洲核物理学家赶到了美国，使美国当时拥有世界

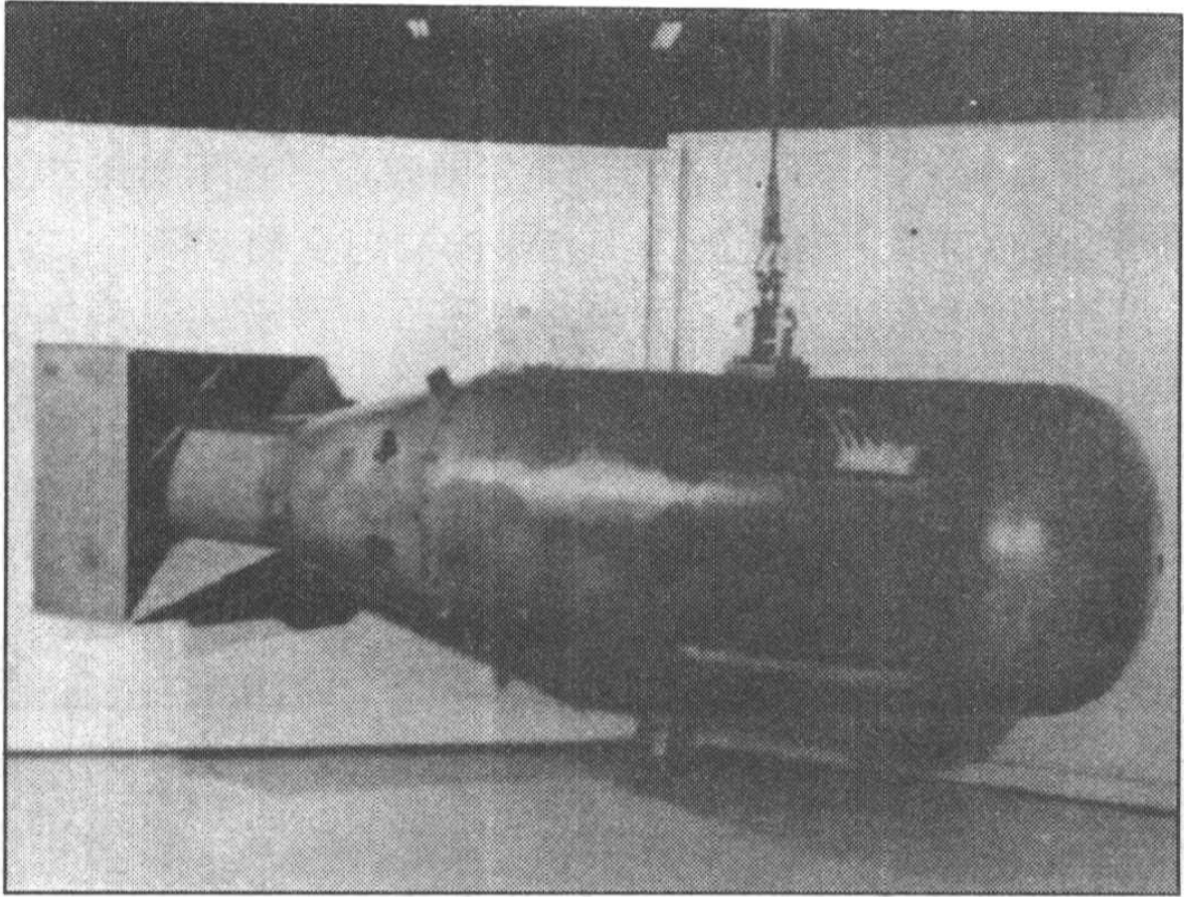


图 41—5 代号为“小男孩”的原子弹

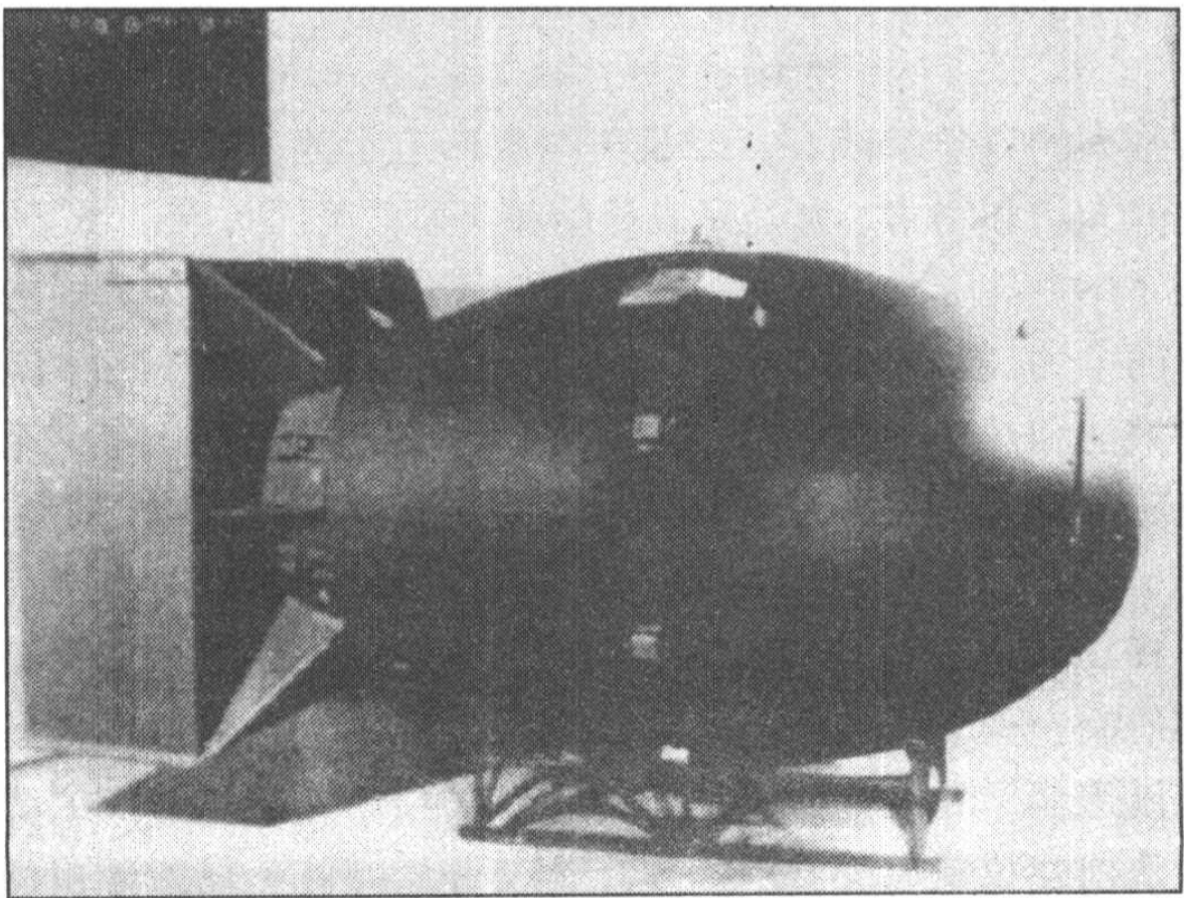


图 41—6 代号为“胖子”的原子弹

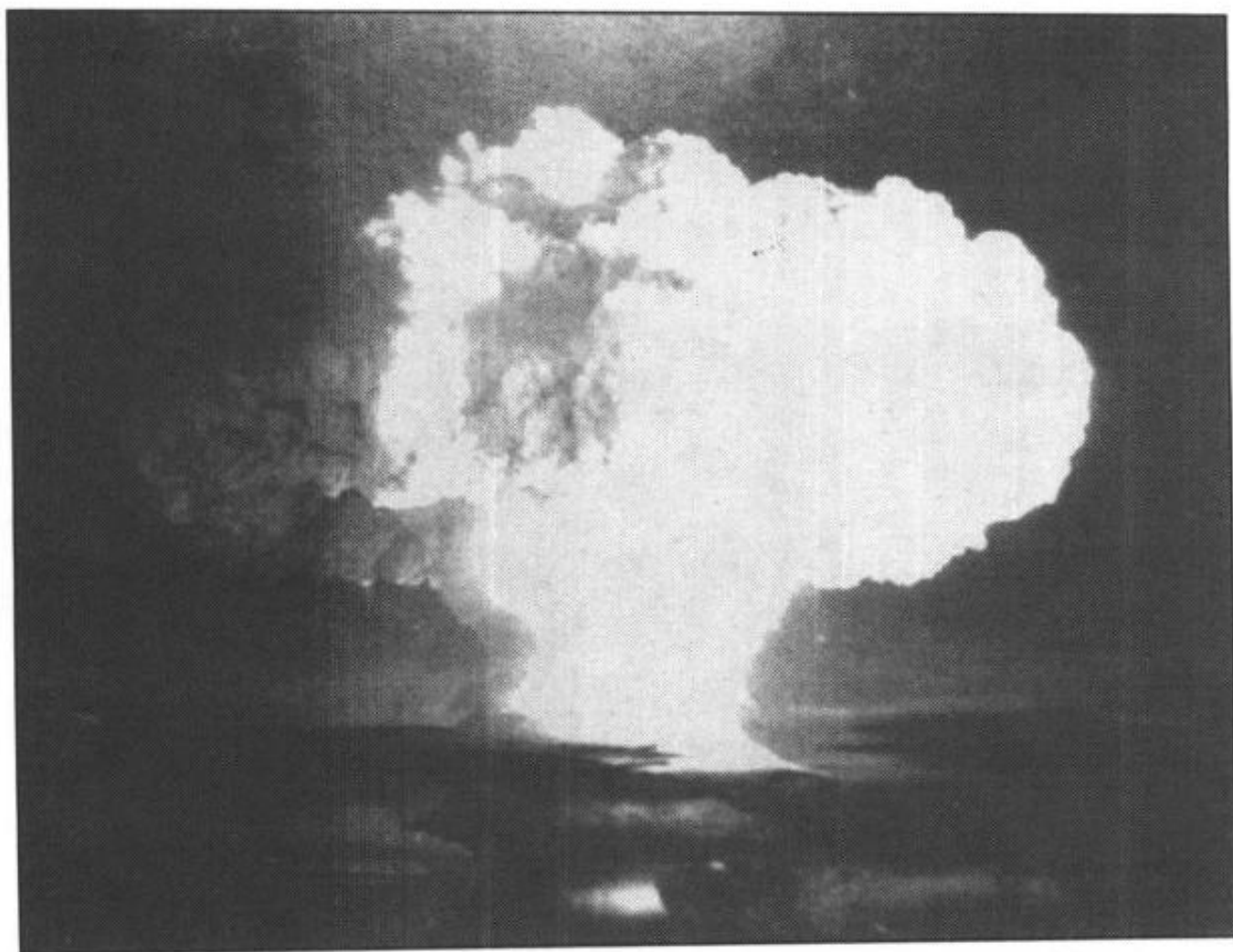


图 41-7 原子弹爆炸时的情景

上最强大的科学家阵容，二是美国政府迫于战争的需要，投入了巨大的人力和物力。为了完成曼哈顿工程，美国政府动员了 50 多万人（其中科研人员 15 万），耗费 22 亿美元，占用了全国近三分之一的电力。为分离高纯度铀，试用了三种方法：电磁分离法、气体扩散法和热扩散法，每种方法各建一个大型工厂。第一个建起的电磁分离工厂，建造费用达 3 亿零 4 万美元，有 2 万多人在此工作。原子弹的研制是 20 世纪大科学的典型范例。

1945 年 5 月，德国宣布无条件投降，人们才知道德国虽然一直在研制，但离造出真正的原子弹还远着呢，他们研制核反应的设施屡遭盟军和抵抗运动战士的破坏，根本无法制造原子弹。这时，从前建议造原子弹的科学家们又开始呼吁，反对使用原子武器。但科学理论一旦变成了技术，并且又被政治家所掌握，科学

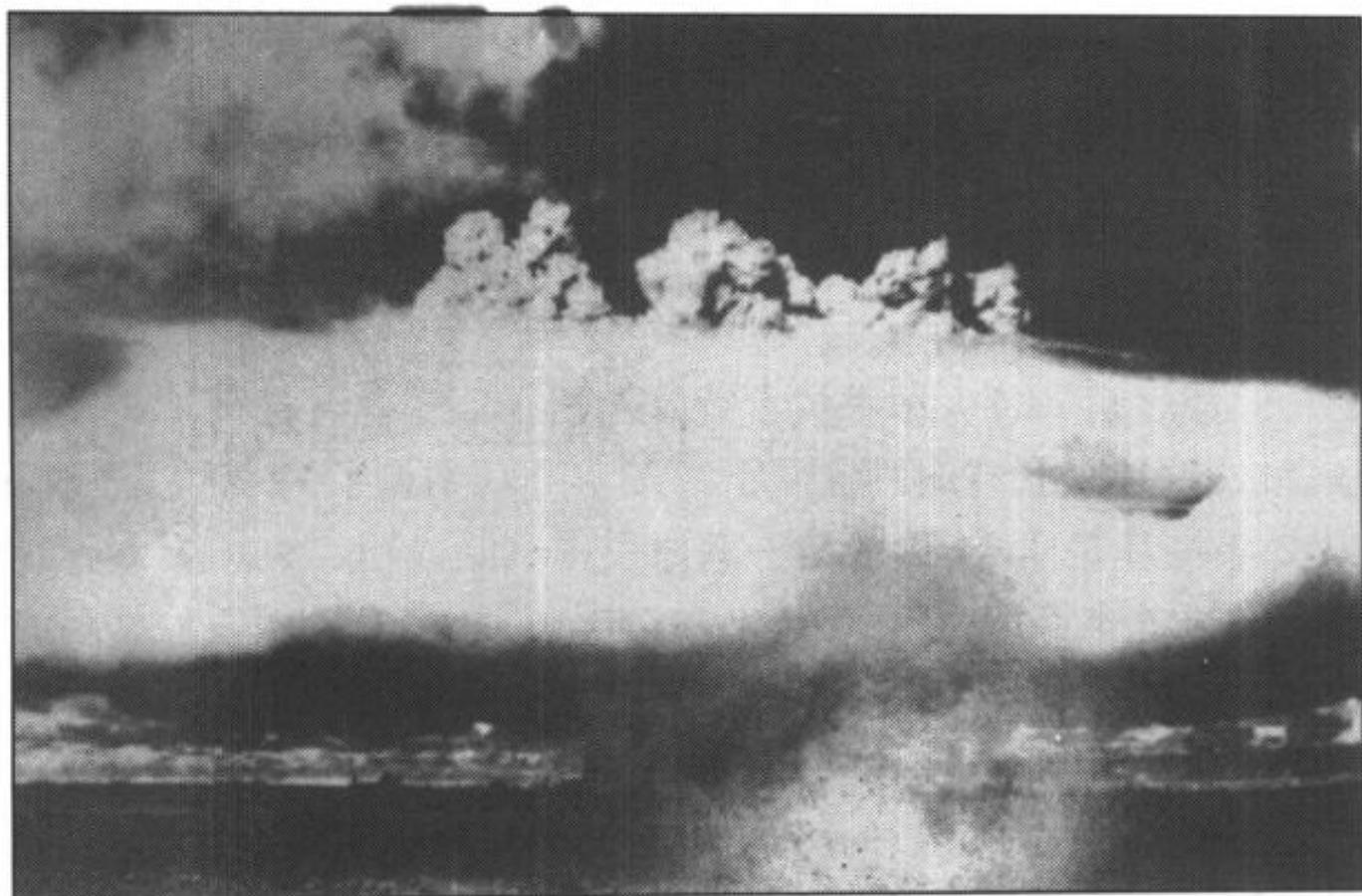


图 41—8 氢弹爆炸时的情景

家就无法改变它的命运了。6月，以西拉德为首的七名科学家联名给美国防部长写信，指出原子弹会引起核军备竞赛，7月，西拉德又起草了给白宫的紧急请愿书。但这一切根本无法改变原子弹被使用的命运。

1945年7月26日，中、美、英三国联合发表“波茨坦宣言”，命令日本立即无条件投降，否则将遭到毁灭性打击。当时的美国总统杜鲁门下令，如果在最后通牒到期（8月3日）后日本没有答复就使用原子弹。1945年8月6日，一颗重4吨、外号“小男孩”的铀弹投到了日本的军港城市广岛，摧毁了这座有35万人口的城市。这颗原子弹还是没能使日本人接受波茨坦宣言，他们甚至怀疑原子弹已经研制出来，因为他们也正在搞，知道困难很多，不容易一下子搞出来。美国见日本拒绝投降，便决定继续投原子弹，9日，另一颗重5吨、外号“胖子”的钚弹在长崎上空爆炸，使该城在瞬间化为废墟。原子弹的巨大威力令世人惊恐，日本天

皇在长崎被炸后的第二天便命令其首相接受波茨坦宣言，8月14日，日本政府正式宣布无条件投降。

3. 核能的和平利用

二战之后，各大国很快自行制造出了原子弹，打破了美国的核垄断和核威慑。1949年9月22日，苏联爆炸了第一颗原子弹，1952年1月3日，英国的第一颗原子弹试制成功，1960年2月13日，法国爆炸了第一颗钷弹，1964年10月16日，中国也试爆成功了第一颗原子弹。由于原子武器的巨大摧毁性以及核垄断的打破，造成了谁也不敢首先使用核武器的局面，这倒使世界局势反而趋于缓和，世界大战的可能性相反变小了。

原子能的和平利用提到了议事日程。核能的效率是惊人的，1公斤核燃料(如浓缩铀)所释放的能量相当于2500吨煤或2000吨石油燃料，如果将它用于和平事业，那将大大地造福人类。实际上，有了反应堆就可以建核电站，这在技术上是困难的。1954年，苏联建成了第一座小型的原子能发电站，装机容量为5万千瓦，1956年和1957年，英国和美国也相继建成了核电站。

经过60年代的反复摸索实践，核电技术已经比较成熟了，其成本比火电低，正常运转时环境污染也比火电小得多，对环境的放射性污染微乎其微。核电站主要的问题是可能出现事故，在正常情况下，它是相当安全的，但一出事故，如发生爆炸，其危害性就非常严重了。因此，现代核电技术中安全防护技术是一个重要的环节。从几十年的核电站运行记录看，核电安全技术是过关的，几次核电站事故均属人为造成，与核电技术无关。最著名的核电站事故是1986年4月26日在苏联切尔诺贝利核电站发生的第四号机组的爆炸事件，事后经查证，证明这是一起由于工作人员违反操作规定造成的事故，他们将控制棒、自动保护系统和蒸

汽安全系统三道安全阀门全部切断，结果导致爆炸，数十人丧生，对周围环境产生了严重的放射性污染。相比之下，1979年3月28日美国三里岛核电站发生的二号堆由于操作失误导致的事故，由于多种安全系统同时发挥了作用，没有造成人身伤亡和环境污染。

60年代以来，全球出现的能源危机给发展核电事业以更大的推动力，煤、石油和天然气的开采量总是有限的，以目前的消耗量计算，石油还能采几十年，煤顶多能采二百年。由于人口和经济增长，对能源的消耗量逐年增加，因此，这一计算还要大打折扣。太阳能的利用成本太高，近期内看不到大规模使用的可能性。相比之下，发展核电是解决能源危机的一个有希望的途径。

目前的核电站都是依靠核裂变反应获得能量，但裂变反应会产生大量的核废料，而这些核废料会产生严重的放射性污染。随着核电的发展，核废料会越积越多，到现在为止还没有找到对这些废料的永久性处理办法，它是发展核电事业的一个潜在的危险。

为了克服核裂变反应这一棘手的问题，科学家们正在探讨利用核聚变反应获取核能。所谓核聚变就是几个轻核（如氢）聚合成一个重核，在这个过程中会放出远大于裂变反应所放出的能量。天文学家发现，太阳上80%是氢，如果太阳能真是核反应提供的，那这种核反应很可能就是氢核聚变。1938年，美国物理学家贝特证明了，在太阳的高温下，失去了电子的氢核会结合成一个双质子，但这种核不稳定，其中的一个质子会马上放出一个正电子而变成中子，使双质子核变成氢的同位素氘，在高温动能的驱使下，两个氘核又会合成一个氦核，并放出巨大的能量。这种反应不仅能量更大，而且反应的生成物是稳定的元素，没有放射性污染，如果能利用这个能源，是再好不过的了。

但是，核聚变反应的超高温条件是人类在地球上所达不到的。要想在地球上使氢发生聚变，需10亿度以上的高温。1944年，费米指出用氢的同位素氘和氚做燃料，只需5千万度就可以发生核

聚变，这样的高温在实验室里当然还是达不到的。但在第一个原子弹爆炸之后，人们立刻想到，可以用裂变反应所产生的超高温来实现核聚变反应，这也就是氢弹的原理。1952年10月31日，美国在马绍尔群岛爆炸了第一颗氢弹，次年8月，苏联也爆炸了一颗氢弹；中国在原子弹研制成功三年之后也爆炸了第一颗氢弹。

与裂变反应不同，聚变反应的原料氘就存在于普通水中，而海水在地球上应有尽有，取之不尽，用之不竭，据计算，一桶海水中能提取的氘的能量相当于300桶汽油。可见，一旦核聚变能被利用起来，将使人类彻底摆脱能源危机。现在的关键问题是高温问题和控制问题，科学家们已经发明了几种有效的方法，例如用激光点火，用强磁场约束反应材料等，但这些方法还在进一步的发展之中。据估计，在下世纪初第一家核聚变发电站就能建立起来。

第四十二章

航空航天时代

自古以来,人类就向往像鸟儿一样自由地在天空展翅飞翔,留传于各民族神话和传说中的飞天的故事,就是人类渴望在蓝天飞行的真实写照。几千年来,许多发明勇士做了种种努力,试图通过人自身的力量实现飞行的梦想,但均没有成功。到了20世纪,人类终于依靠高度发达的科学技术飞上了天空,不仅如此,人类还登上了月球,完成了从前只有在神话中才能想象的伟大壮举。

1. 飞行: 梦想成真

人类受地球重力的约束,只能在地表上活动,他是多么羡慕鸟类的自由,古代人认为人之所以不能飞起来,是因为没有翅膀,因此,只要造出一个合适的翅膀来,大概就可以像鸟一样飞。据说,在中国汉代曾有人用鸟的羽毛制成翅膀,绑在身上,然后从高台上跳下,滑翔飞行了几百步,在近代欧洲,更是有许多将翅



图 42—1 卫星上天之前人类心目中的地球形象



图 42—2 卫星上天之后人类心目中的地球形象

膀绑在身上做飞行试验的记载。这些人类飞行事业的先驱，不是摔死，就是残废，留下了一串飞行失败的记录。

实际上，由于天赋的身体素质方面的限制，人只靠自身的力量是飞不起来的。人的手臂能产生的力量与其体重之比太小，即使有翅膀也飞不起来。人要想飞上天空，必须依靠飞行器械。

至今仍为儿童们喜爱的风筝，可能是人类最原始的飞行器械，据说，有些风筝确实将人载上了天空。风筝实际上是利用流动空气所产生的举力而上升的最简单装置，也是后来飞机机翼的原始模型。人类最早自由升空靠的是热气球。1782年11月，法国一位名叫蒙特哥菲尔的造纸工人受烟火上升的启

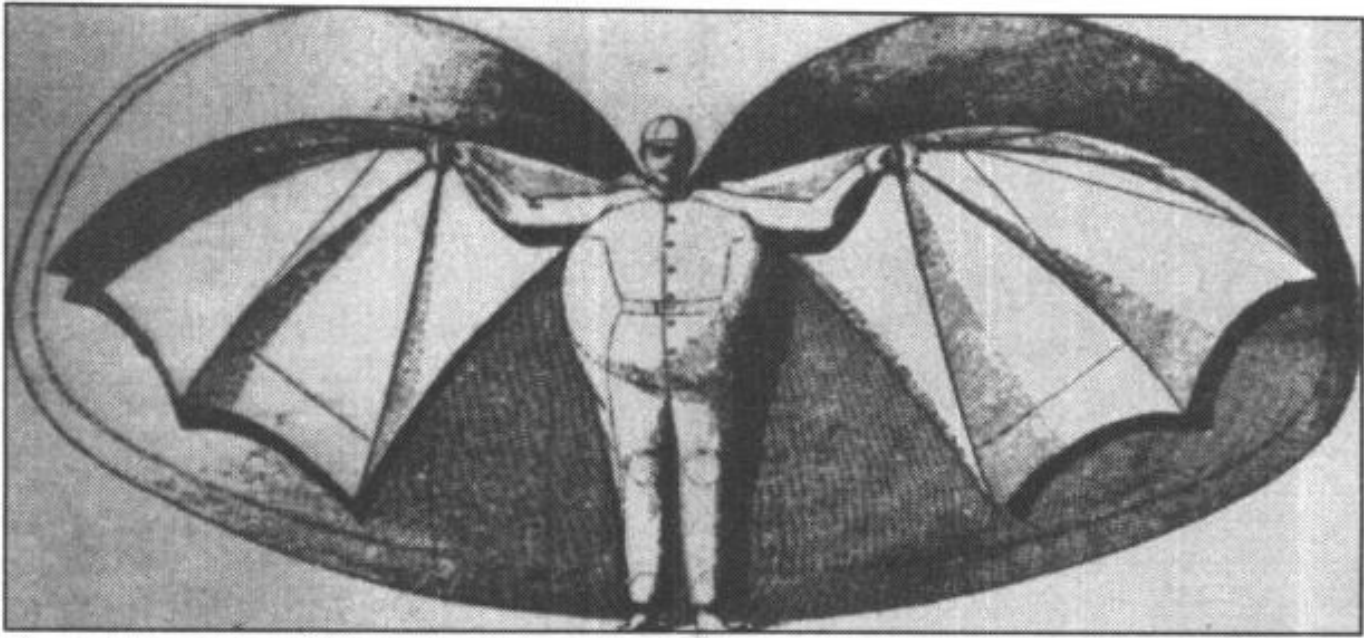


图 42-3 带翅膀的飞人

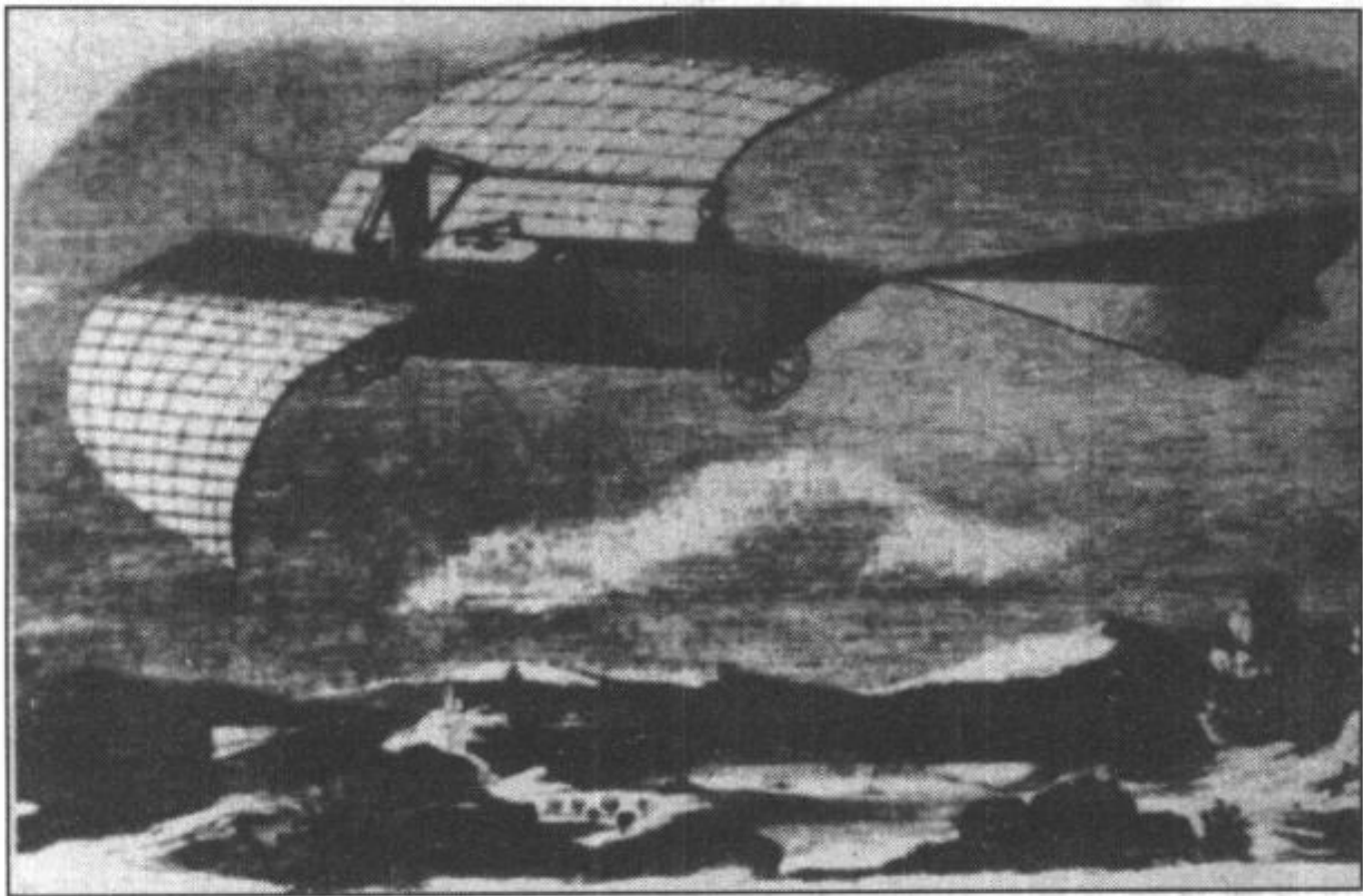


图 42-4 带翅膀的飞船

发，设计了一个热气球，经多次试验，于次年在巴黎进行了载人升空表演，这次气球升空激发了飞行爱好者的热情，使气球飞行活动在 18 世纪末一时掀起高潮。

热气球在高空中如不继续加热，会冷却下来，从而最终自动

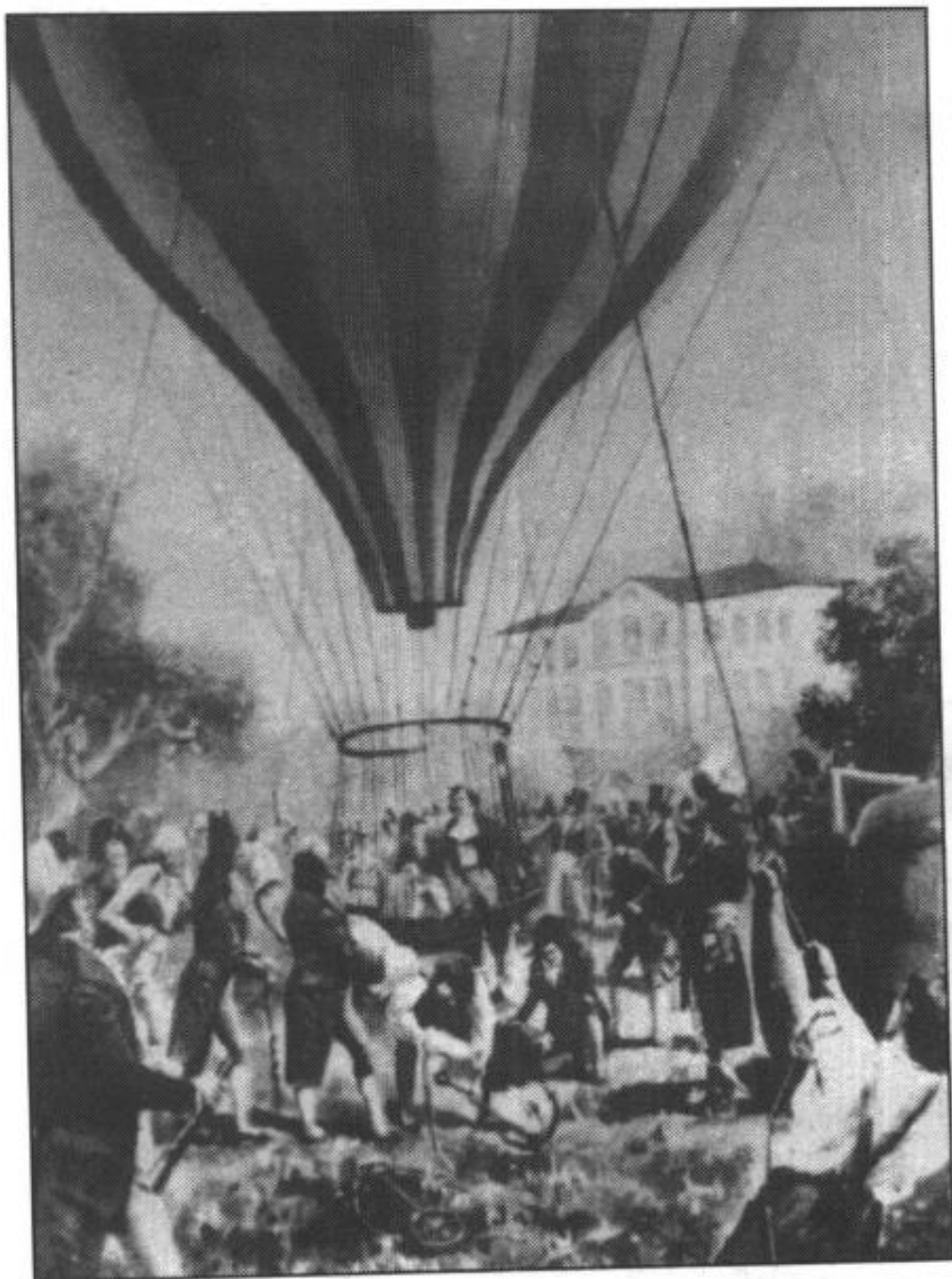


图 42—5 巨大的载人气球

降落到地面，后来出现的氢气球没有这一问题。在气球的基础上，人们又设计了螺旋桨空气推进系统，使气球成了飞艇。飞艇可以载多人有目的地飞行，是一种有效的空中运载工具。内燃机发明之后，飞艇的动力更有保障，到了 19 世纪末 20 世纪初，飞艇已经发展得相当可观。

气球靠的是空气浮力升空的

，也就是说，它的总比重要比空气小、比空气轻。能不能造出比空气重的飞行器械呢？人们从风筝中得到启发，开始了滑翔机的研制。在滑翔机研制方面最重要的先锋人物是德国的工程师李林塔尔（1848—1893 年），1889 年，他出版了《论作为航空基础的鸟类飞行》一书，仔细地分析了鸟翼的形状和结构，给出了许多重要的数据。1891 年，李林塔尔制造了一架滑翔机，以取得进一步的人工飞行经验数据，1896 年 8 月 9 日，他驾驶的一架滑翔机不幸坠落，从 15 米高处摔了下来，第二天在医院死去，临终遗

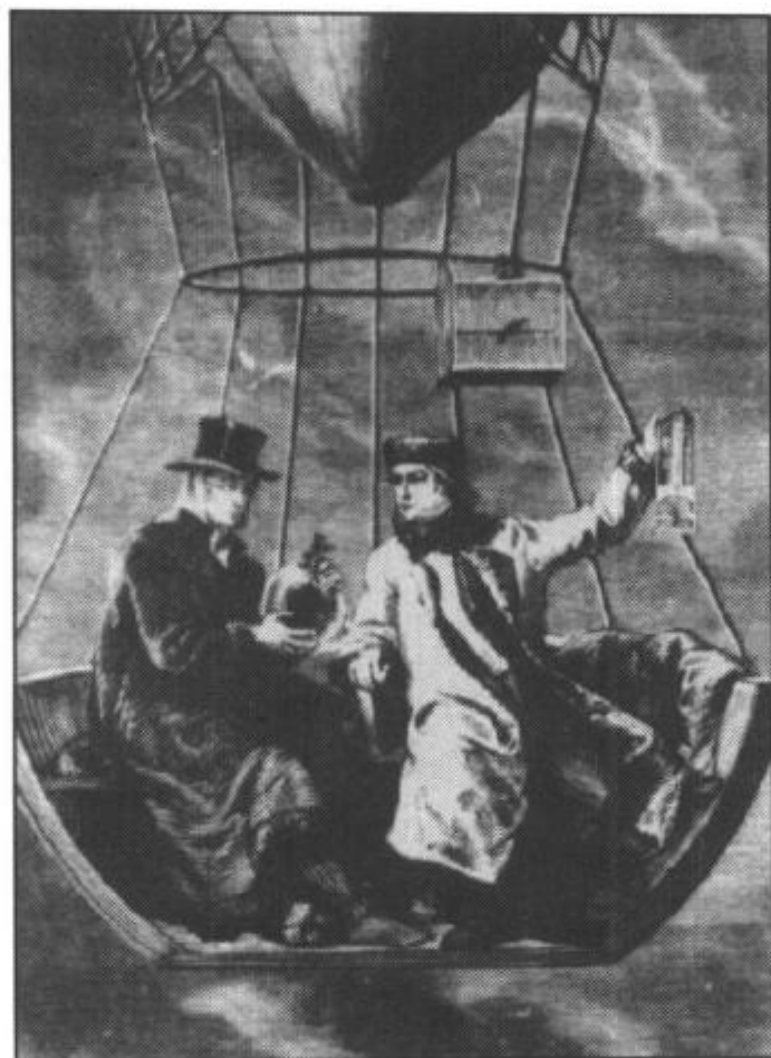


图 42—6 法国物理学家盖·吕萨克与比奥
在探空气球上



图 42—7 飞行员因翅膀折断从
空中坠落下来

言是：“要想学会飞行，就要做出牺牲。”

李林塔尔在 1891 至 1896 年的六年时间里，亲自进行了 2000 多次滑翔飞行试验，积累了丰富的经验和飞行数据，是航空发展史上划时代的人物。虽然他本人还是相信人必须模仿鸟类的飞行动作，因此目标在设计扑翼机，但他为设计扑翼机所做的滑翔机实验，为飞机的问世奠定了坚实的基础。在李林塔尔的影响下，世界各地于 19 世纪末掀起了一股飞行试验热，恰如上个世纪末气球热一样。

现代意义上的第一架飞机是由美国人奥维尔·莱特（1871—1948 年）和威尔伯·莱特（1867—1912 年）兄弟俩制造的，莱特兄弟本来经营自行车，对机械制造技术十分在行，是当时众多的



图 42-8 莱特兄弟

飞行爱好者之一。他们从 1896 年开始研究飞行，并立志制造出一架用引擎驱动飞机来。与其他飞行设计爱好者不同，他们很重视理论，因此阅读了空气动力学方面的有关文献，为了读李林塔尔的著作，他们还顽强地学会了德文。经过数年的反复摸索，终于造出了第一架飞机“飞行者 1 号”，1903 年 12 月 17 日上午

10 时 30 分，奥维尔驾驶该机在北卡罗莱纳州的基蒂霍克海滩成功地进行了一次动力飞行，飞行距离为 36 米，在空中逗留了 12 秒，随后，又由哥哥威尔伯做了一次飞行，结果在 59 秒内飞行了 200 米。第一架飞机就这样诞生了。

莱特兄弟继续改进，于 1904 和 1905 年分别造出了“飞行者 2 号”和“飞行者 3 号”，1905 年 10 月 5 日，威尔伯驾驶飞行者 3 号持续飞行了 38 分钟，航程达 39 公里，也就是说，“飞行者 3 号”实际上已经具有实用效能。莱特兄弟确信一个飞行器的时代



图 42-9 莱特兄弟的办公室

已经来临，之后的几年，他们一面改进飞机性能，一面向世界各国做飞行表演，向人们显示古来人类飞行之梦已经成真。

第一次世界大战前后，由于军事上的需要，航空技术得以大大发展。1909年，美国开始生产军用飞机，到1914年大战爆发时，各国已有千架飞机参战，1918年大战结束时，飞机总数增加到10201架。飞机虽多，但并无独立的编制，1918年4月1日，饱尝德军飞机轰炸之苦的英国率先成立了世界上第一支独立的空军。由于战争的要求，飞机的品种越来越多，性能越来越优良，随着发动机的改进，在飞机的飞行速度、高度、飞行距离、操纵性能等方面均出现了重大的突破。

第二次世界大战使飞机制造技术进入了一个新的兴盛时期，各种各样新式的战斗机不断涌现，二战期间，参战的军用飞机达

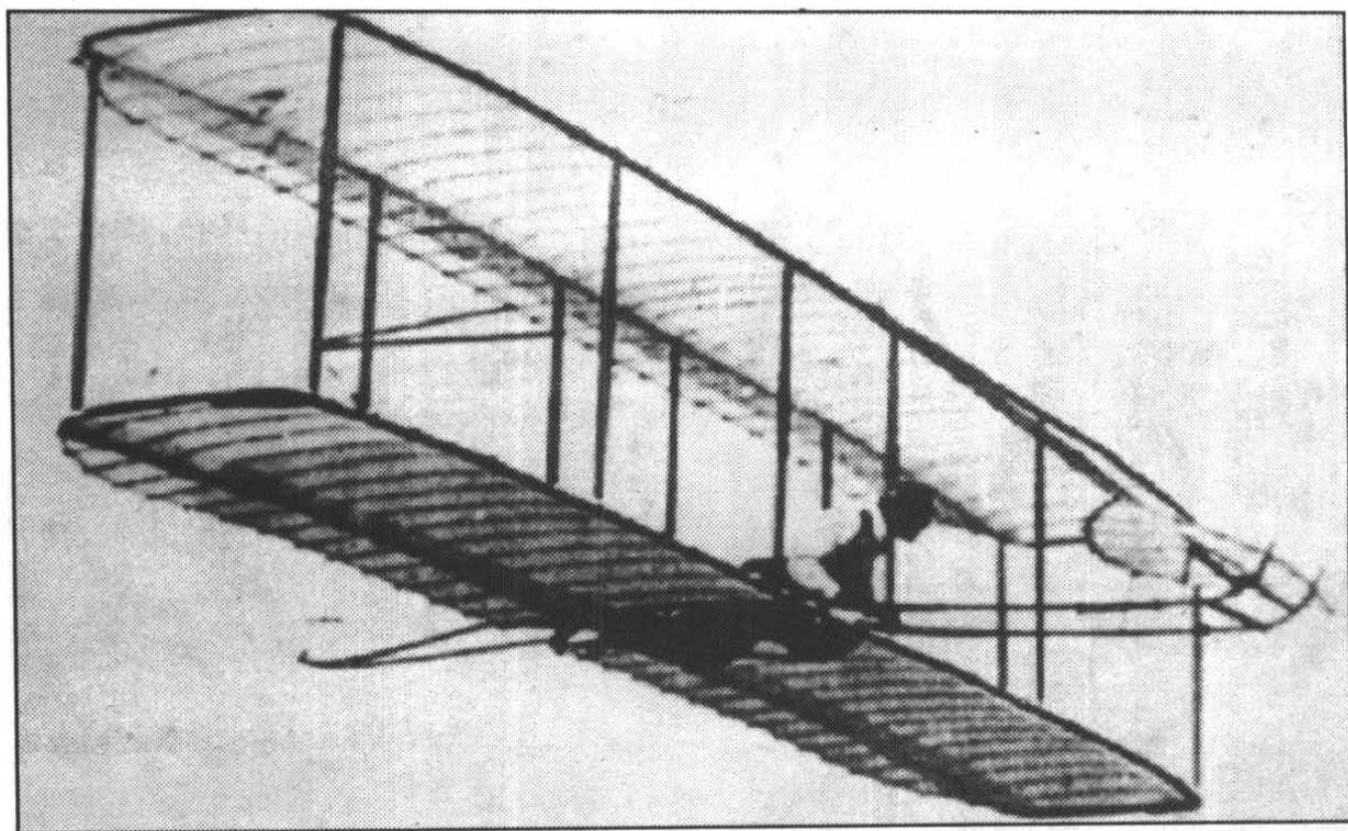


图 42—10 莱特兄弟制造的滑翔机

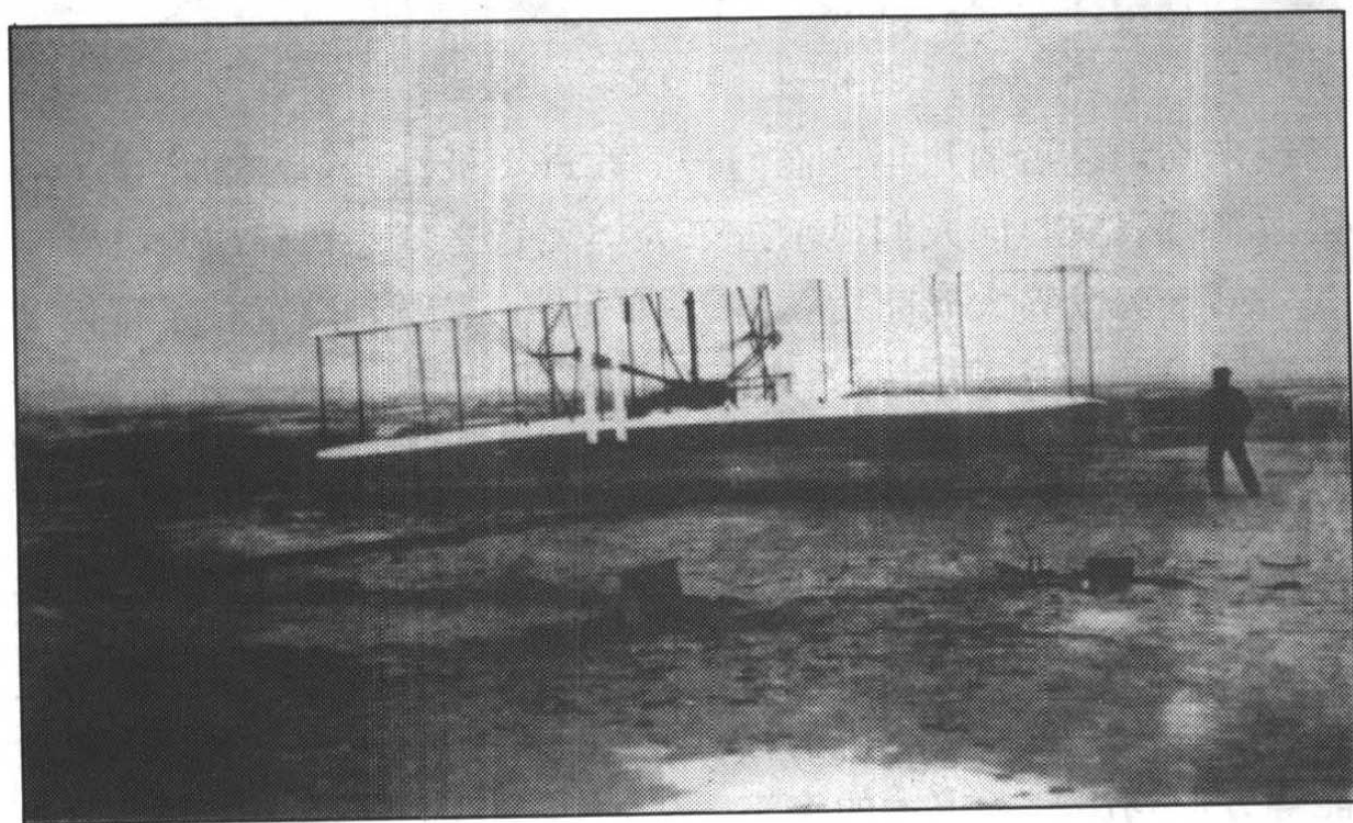


图 42—11 莱特兄弟制造的第一架飞机

七十多万架，战斗机飞行高度达 7000 米，时速达 200 公里，续航能力达一千公里以上。

战后飞机在动力方式上有重要改变，原先使用的活塞式发动机无法满足更高速飞机的要求，结果出现了以喷气式发动机为动力的喷气式飞机。现在，飞机的最高时速可达数千公里，载重量最大的达 600 吨。民用航空事业在战后有了大大发展，飞机已经成为最重要的交通工具。

2. 火箭与导弹技术

飞机必须在大气层内飞行，因为它是依靠空气动力升空的，但如果想飞到大气层外面去，飞机就不行了，必须依靠新的动力装置，这就是火箭。

火箭是古代中国人的发明，至迟到宋代，中国民间已出现了利用燃烧火药产生的高速气体推进箭枝的技术，朝廷接受了民间人士的奉献，并加以改进而用于军事，据说，1083 年宋朝与西夏的兰州之战便大量使用了火箭。

利用火箭作动力制造飞天装置也是中国人的发明创造。明代有一位木匠叫万户，喜好钻研，精通制造火箭的技术，他在几个徒弟的帮助下，造出了一只“飞鸟”，飞鸟由一只椅子做主体，在四只椅脚上绑上了四支大火箭，以提供向上的推力，在椅背上绑了 49 支小火箭，以提供向前的推力，椅子两侧还安装了翅膀。万户让人把他也绑在椅子上，并点着火箭，只见飞鸟急速上升，冲入半空，不一会儿，火箭点完了，飞鸟又急速向下坠落，在下落时翅膀也掉了一只，万户不幸坠地身亡。这虽然是一只失败的飞行，但却是人类有史以来第一次以火箭作动力飞向天空，是一次伟大的壮举。国际天文学会将月球上的一座环形山命名为万户，以纪念这位勇士。

现代火箭航天技术的先驱是俄国科学家齐奥尔科夫斯基(1857—1935年)，1903年，他发表“以喷气装置探测宇宙空间”的论文，第一次提出以火箭作为动力航天的思想，并指出由于固体燃料振动太大，无法控制，航天火箭必须使用液体燃料，他还证明了为脱离地球引力必须使用多级火箭。在他的《在地球之外》这本科学幻想小说里，他系统完整地描述了宇宙航行的全过程，他提到了宇航服、太空失重状态、登月车，令人吃惊的是，他的设想与现代太空技术完全一样。可惜的是，齐奥尔科夫斯基的这些科学设想在当时没有得到应有的重视，当时的技术条件也不允许实现他的构想，他的理论被埋没了很久，生前始终没能亲自造出一枚火箭来。但齐奥尔科夫斯基对空间技术的未来充满了信心，他的墓碑上刻着这样一句话：“人类不会永远将自己束缚在地球上”。

齐奥尔科夫斯基设想的液体火箭由美国人高达德(1882—1945年)首先研制成功。他几乎是独自一人设计、制造和进行试验，是真正的孤胆航天英雄。1918年11月，他成功地发射了一枚固体火箭，为液体火箭做好了技术准备，1919年，他发表了“到达超高空的方法”一文，指出火箭可以在没有空气的太空中飞行，它既不需要空气的举力，也不需要空气作为氧化剂。1926年3月16日，第一枚以液体氧和汽油为燃料的液体火箭在麻省发射成功，高达德兴奋地对助手们说：“这一下我可创造了历史”。

与齐奥尔科夫斯基的情况类似，高达德的试验也没有引起美国政府的重视，当时世界各国正致力于大力发展飞机，对这种新型的飞行工具尚没有足够的认识。但高达德试验成功的消息在德国引起了反响，德国作为第一次世界大战的战败国，被禁止研制飞机这种进攻性武器，因此对火箭十分重视。罗马尼亚出生的德国科学家奥伯特一直在从事火箭的研究，并于1923年出版了《向星际空间发射火箭》一书，建立了航宇火箭的数学理论，在高达德试验的鼓舞下，他于1929年开始研制液体火箭。

1930年，奥伯特的学生冯布劳恩（1912—1977年）发明了液氧和煤油混合燃料，1933年制成了A-1火箭，次年制成了A-2火箭，1936年又制成了A-3火箭，射程已达18公里，1942年，A-4火箭问世，其速度已达每秒2公里，射程达190公里。当时，二次世界大战已经爆发，火箭马上被作为一



图 42—12 高达德

种新式武器投入研制和使用，这就引致了导弹的出现。

在火箭上装弹头，将附加上良好的导向装备，就成了导弹，也叫弹导火箭。1939年，冯布劳恩和他的研究小组被迁往皮曼德组建一个研究所和发射场，专门研制远距离导弹。在这位杰出的青年火箭专家（只有20多岁！）的带领下，德国于1943年造出了V-2导弹，它是在A-4火箭的基础上改进过来的，重约6吨，射程达300多公里，速度是音速的6倍。1944年，德国用新型导弹袭击英国，令英国手足无措，虽然命中率还不高，但由于找不到办法对付它，因此产生了极强的威慑力。

德国战败后，冯布劳恩等一百多名德国火箭专家被美国人捕获，转到了美国继续从事火箭的研究，苏联迟到一步，没抓到重

要的专家，但得到了一些V-2火箭和工厂设备。战后，两国展开了激烈的太空争夺战。苏联科学家在科罗列夫（1907—）领导下，很快掌握了V-2导弹的制造技术，1956年，发射成功了第一枚洲际导弹“苏联1号”，使苏联的火箭技术领先于美国。

3. 卫星上天

苏联在研制洲际导弹的过程中，火箭技术有了极大的发展，1957年，他们研制的火箭速度已达每秒8公里，已具有摆脱地球引力飞出地球的轨道速度，齐奥尔科夫斯基的航天计划可以实施了。

1957年10月4日，苏联用“苏联一号”三级火箭成功地发射了第一颗人造地球卫星，这颗被命名为“旅行者一号”的卫星实际上只是一个空心小球，它重83.6公斤，直径58厘米，中间装

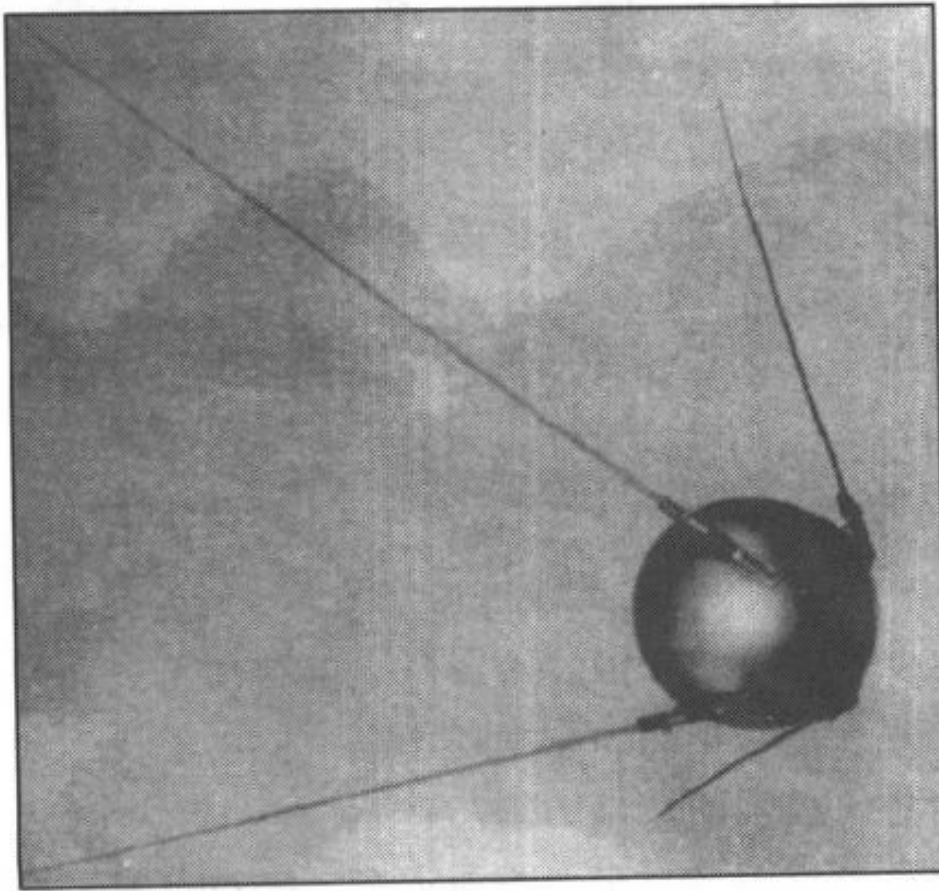


图 42-13 第一颗人造地球卫星

有一个能发射电码的发报机，以证明卫星的存在。

第一颗卫星一上天，世界各地的监测站便立即收到了来自太空的电码，各国科学家纷纷向苏联表示祝贺。美国可就乱成一团了，苏联发射卫星的消息一传到美国，举国上下为之震惊，社会各界

纷纷指责政府的无能和失策，新闻传媒掀起了一场声讨美国政府的空间技术政策的运动，政界一片慌乱。美国的航天技术基础本来比苏联雄厚，但战后政府认为自己拥有核武器，又有高速飞机，无须大力发展空间技术，后来虽然调整了政策，但起步已晚，让苏联占了先。

正当美国人乱成一锅粥，政府要员到处演讲，声称要立即在空间技术上赶上苏联时，苏联又于12月4日发射了第二颗卫星，这一次，卫星不但重了许多（达500公斤），而且在上面装了一只名叫“莱伊卡”的小狗。美国人真急了，艾森豪威尔总统立即制定了一系列的计划，成立了各种专门委员会和机构，集中人力物力研制卫星。由于急于求成，12月6日，美国由海军试发射了一颗卫星，但只上升了2米就爆炸了。

1958年1月31日，由陆军的导弹顾问冯布莱恩设计的“丘比特-C”火箭将美国的第一颗人造地球卫星“探险者1号”送上了轨道，这颗卫星只有8.3公斤，远比不上苏联的第一颗卫星，但美国人能在这么短的时间内就突击将卫星送上天，反映了它雄厚的技术基础。

美苏的空间竞赛拉开了序幕。1958年3月15日，苏联发射了第三颗卫星，美国紧随其后，也发射了一颗“先锋1号”卫星。7月，美国成立了国家航天局，开始研究载人飞行问题，10月11日，美国发射了“先驱者1号”，12月18日，发射了“成功计划”。苏联一路领先，于1959年1月2日发射了第一颗人造行星“梦想1号”，又一次将美国甩在后头，3月3日，美国也发射了一颗人造行星“先驱者4号”。9月12日，苏联发射的“梦想2号”在月球硬着陆（即撞在月球上），使月亮上第一次出现了人造物体。1960年10月4日即第一颗人造地球卫星上天三周年的日子，苏联发射了“梦想3号”成为月球的卫星。8月10日，美国成功地回收了卫星，8月15日，苏联也将载有两条狗等动植物的“太空舱2

号”卫星回收。在这阶段的竞赛中，苏联一直跑在前面。

4. 人类飞向太空

经过多次的生物太空飞行实验，苏联造出了实用可行的载人

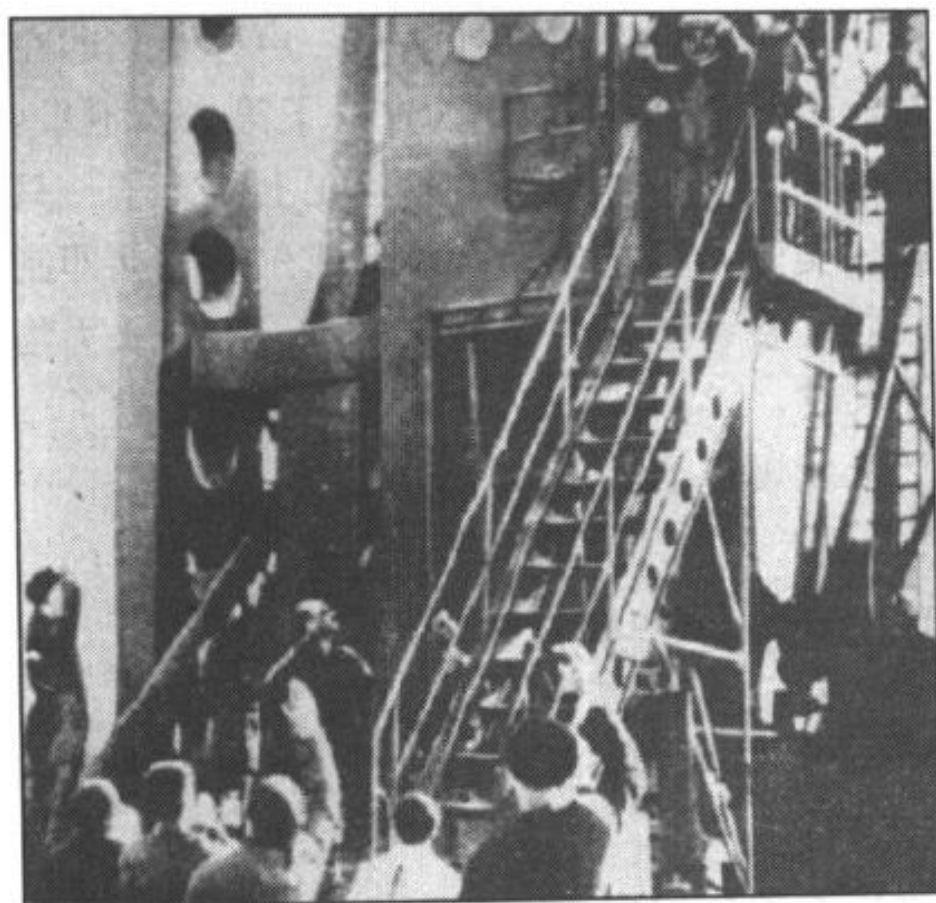


图 42—14 加加林在发射台上向观众致意

飞船，但火箭动力不够，科罗列夫决定将 5 枚当时苏联最大的火箭组合起来，抢先将载人飞船发射出去，很快，世界上第一艘载人飞船“东方 1 号”造了出来。

1961 年 4 月 21 日上午 9 时 7 分，苏联宇航员加加林（1934—1968 年）少校驾驶着“东方 1 号”飞上了太空，在

327 公里的高空上，加加林逐步适应了失重的环境，有条不紊地做各种科学实验。上午 10 时 25 分，飞船从北非上空返回大气层，机械舱已自动脱落，只剩生活舱在大气层中下降，离地面 7700 米时，加加林与座椅一起被弹出，随降落伞徐徐下落，加加林安全地漂落到地面，成功地实现了人类历史上的第一次太空飞行。

加加林的太空飞行又一次轰动了全球，美国总统肯尼迪十分沮丧地说：“看到苏联在太空方面比我们领先一步，没有人比我更泄气了。……但无论如何，加加林的飞行终止了人是否能在太空生存的争论。”5 月 5 日，美国也发射了“自由 7 号”飞船，宇航

员艾伦·谢伯特在空中逗留了 15 分 23 秒，但该飞船并未作环球飞行，只是在太空中划了一道大弧。

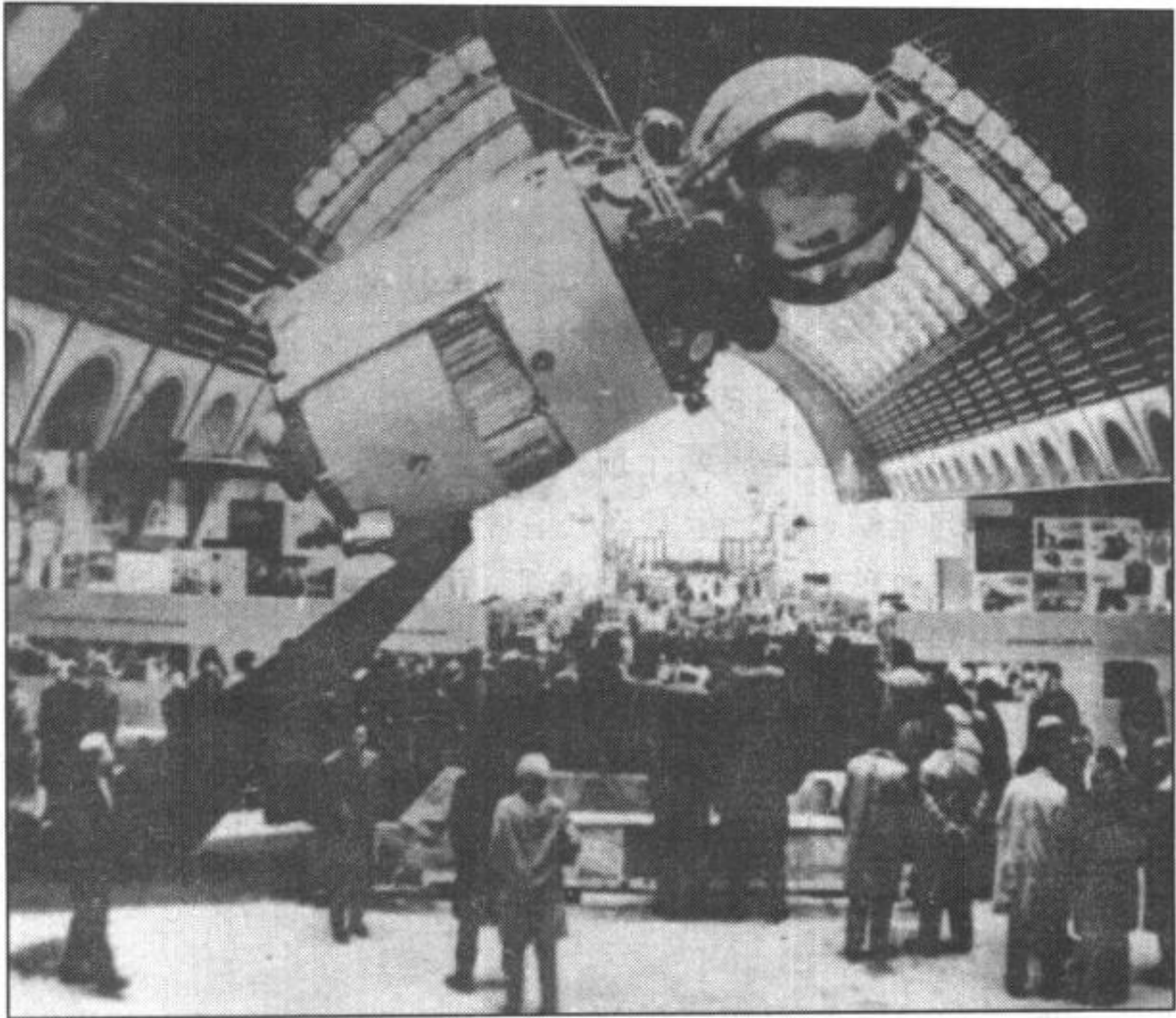


图 42—15 第一艘载人飞船

从那以后，美苏两国的载人宇宙飞船不断地将宇航员送上太空，飞船性能越来越强，宇航员在太空中的生活越来越方便。1965 年 3 月 18 日，苏联宇航员从座舱里走了出来，在太空中做了 10 分钟的漫步。3 个月后，美国宇航员也从舱内走出，在太空中逗留了 20 分钟。失重状态下的太空漫步不再是人们的幻想，而变成了现实，全世界的人们都从电视机里看到了他们的具有历史意义的漫步。

5. 阿波罗计划：人类登上月球

在加加林飞出地球的43天之后，美国总统肯尼迪宣布，“美国要在十年内，把一个美国人送上月球，将使他重新回到地面。”这就是著名的“阿波罗计划”。

阿波罗计划分三步，第一步是“水星计划”，即将宇航员送上太空，以测试人在太空中的活动能力；第二步是“双子座计划”，这个计划有两个目的，一是测试人在太空中长时间停留可能引起的生理问题，一是将两个航天器在太空中进行对接，从而奠定登月技术的基础；第三步是“土星计划”，即制造能将载人飞船送出地球进入月球轨道的大动力火箭，最终完成登月行动计划。

水星计划很快就成功了，1963年5月15日“水星9号”载人发射，飞行了34小时，绕地球21圈，宣告水星计划结束。接着实施的“双子座计划”也较顺利，1965年，“双子座3号”飞船做了变轨实验，同年，“双子座7号”和“双子座6号”做了太空会合实验，其中双子座7号在太空中飞行了14天，宇航员的身体安然无恙。

1965年4月，在冯布劳恩领导下研制出了“土星5号”火箭，它总长85米，竖起来有30层楼那么高，由三级组成，其第一级推力达3500吨。土星5号是阿波罗计划中最关键的一环，它的出现标志着在运载火箭技术方面，美国已经超过了苏联。阿波罗计划可以最终实施了。

阿波罗飞船由指令舱、服务舱和登月舱三部分组成。指令舱是飞船的核心部分，而且最终由它将宇航员送回地球，服务舱主要装燃料和宇航员的生活资料包括氧气、食物和水，登月舱是最终登上月球的部分，它最后也要将登月宇航员送回到指令舱。1967年1月27日，第一艘阿波罗飞船正作模拟实验，为2月份的正式

发射做准备，不料太空舱着火，使三名宇航员丧生，为此，阿波罗飞船推迟了一年发射。次年，阿波罗7号环绕地球飞行；阿波罗8号成功地绕月球飞行，并顺利返回地球。

1969年3月3日，阿波罗9号发射成功，在太空中做了登月舱与母舱的分离与对接试验。5月18日，阿波罗10号飞向太空，再次进入了月球轨道，宇航员驾驶着与母舱分离了的登月舱，在离月面仅14公里的低空飞行，并且向地球转播了29分钟的月球风光。26日，全体宇航员平安返回了地球。这次被认为是“登月总排练”的成功飞行，使人们对登月计划充满信心。

1969年7月16日美国东部时间9时23分，阿波罗11号载着阿姆斯特朗、奥尔德林和柯林斯三名宇航员于佛罗里达州的肯尼迪航天中心起飞了。飞船很快到达地球轨道，飞行了3个小时后，飞船改变轨道进入奔月轨道。第三天中午12时，宇航员感觉身体舒服多了，原来，月球的引力开始起作用了。阿姆斯特朗和奥尔德林爬进登月舱做登月准备。在月球上空100公里处，地面控制中心指示登月行动开始。阿姆斯特朗和奥尔德林驾

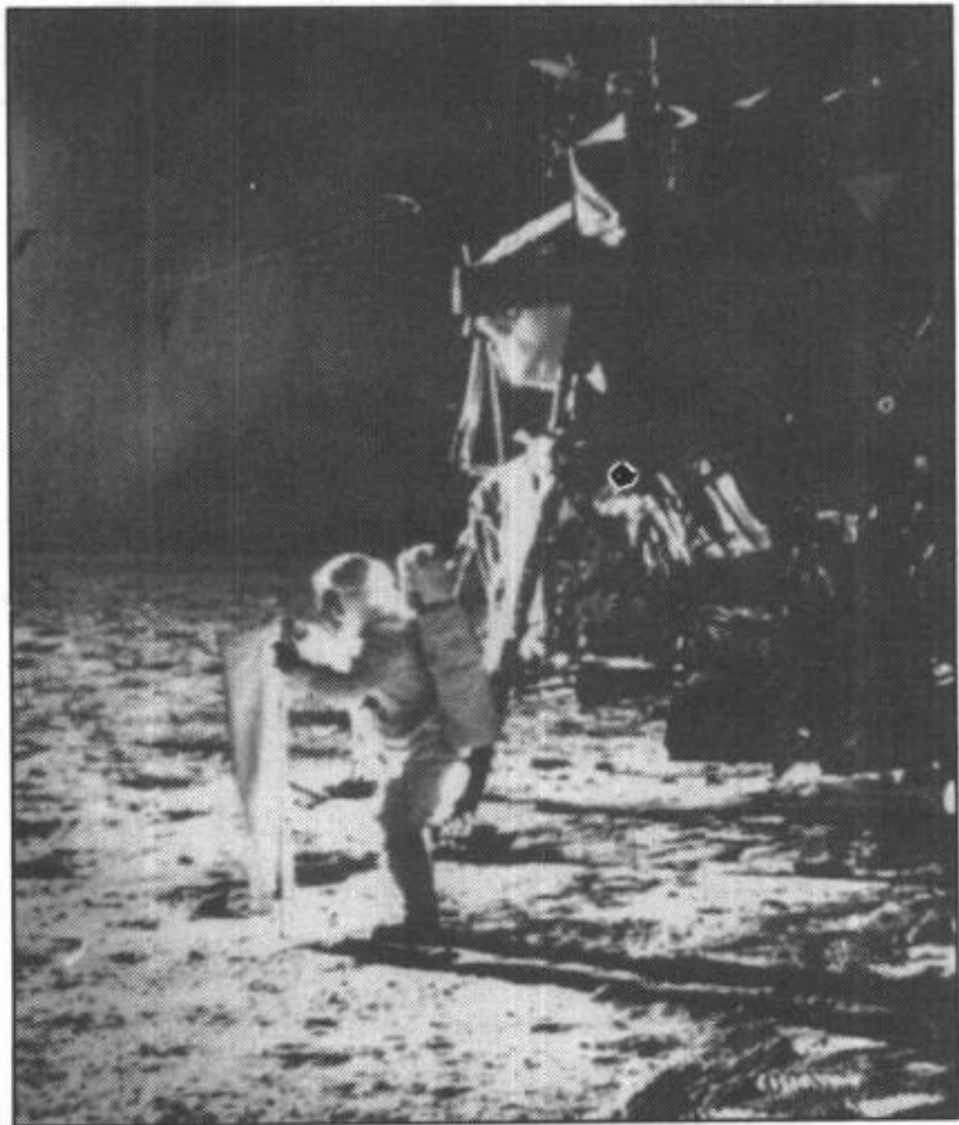


图 42—16 奥尔德林在月球上做太阳风实验

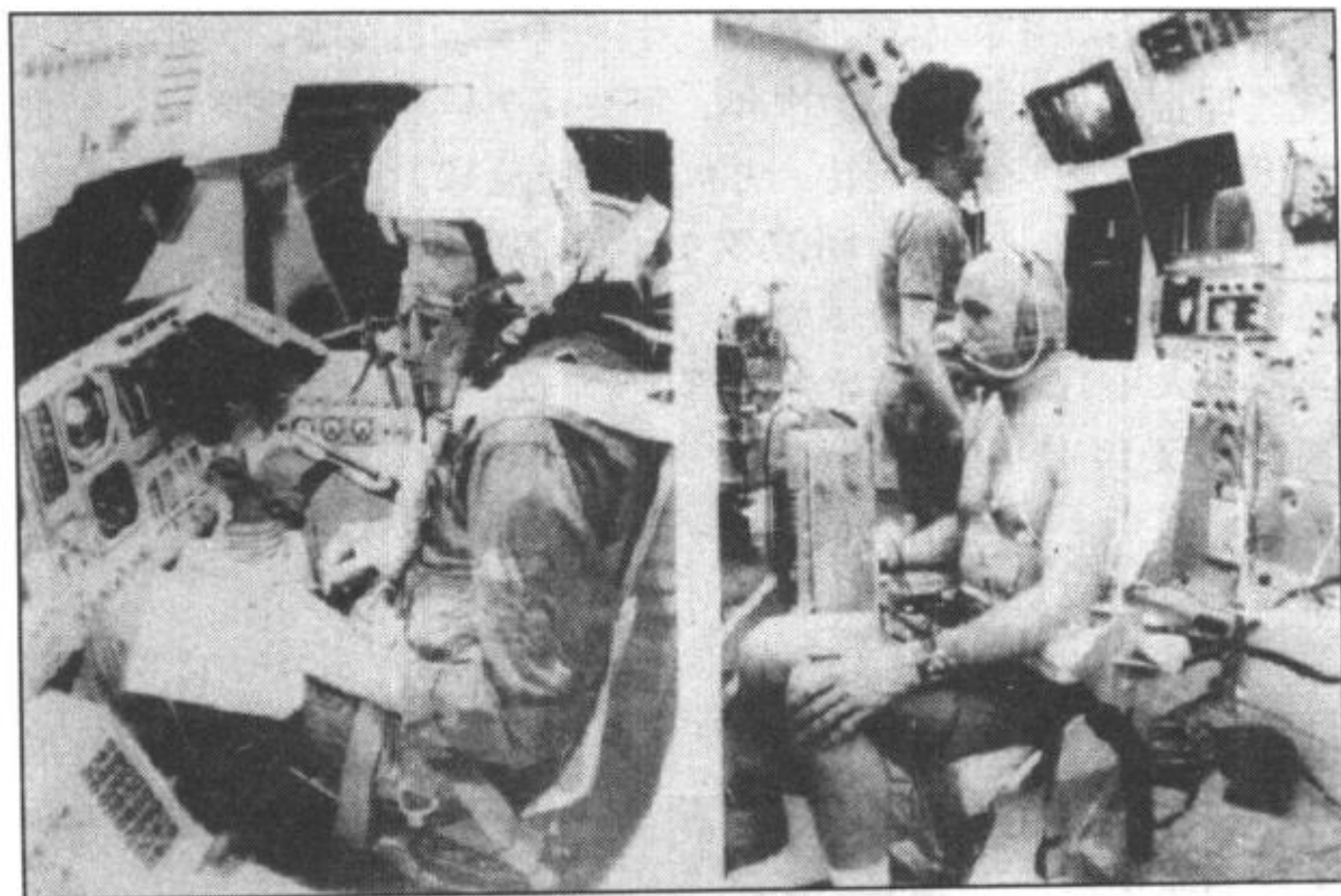


图 42—17 太空人受训

驶着被称为“鹰”的登月舱与被称为“哥伦比亚号”的母船分离，向月球飞去。

美国东部时间下午4时17分40秒，“鹰”在月面上“静海”西南部安全降落。阿姆斯特朗率先走出了登月舱。一步一步走下了阶梯，在月球上留下了地球人的第一个脚印，他后来说：“这一步，对一个人来讲只是一小步，而对整个人类却是一次飞跃。”

奥尔德林紧跟其后也踏上了月球，他们在月球微弱引力下一跳一跳的走动。这是一个荒凉冷寂的世界，没有生命，没有一些绿色，故乡地球象一个明亮的圆盘悬挂在月球上林立的高山丛中。他们俩将一块特制的金属牌竖立在月面上，并默念：“公元1969年7月，来自行星地球上的人类首次登上月球，我们为和平而来。”金属牌下放置了5个遇难宇航员的金质像章，他们是苏联的加加林、科马罗夫和美国的格里索姆、怀特和查菲。

在月面上逗留了两个半小时后，阿姆斯特朗两人驾驶“鹰”离

开了月球，与柯林斯驾驶的“哥伦比亚号”会合，并开始返回地球。24日，指令舱重新进入大气层，安全溅落在太平洋上。阿波罗载人登月计划成功了！

自阿波罗11号登月成功之后，美国又相继进行了5次登月飞行（阿波罗12号、14号、15号、16号和17号），共有12名宇航员登上了月球。阿波罗



图 42—18 宇航员收集月球岩石标本

15号登月最为有趣，宇航员斯科特驾驶着一辆月球车在月面上行驶了28公里，他在月球上表演了羽毛和铁球同时下落的自由落体实验，他还拿出邮戳盖了几个纪念封，开设了第一家月球邮局，月球车上的电视系统将这一切都转播给了地球。

经检查从月球上带回来的岩石，发现月球上没有任何生命的迹象，连最低级的微生物也没有，这就使多年来关于月球是否存在生命的争论得到了最终答案。

阿波罗计划是20世纪大科学的又一典型，美国政府为了实施

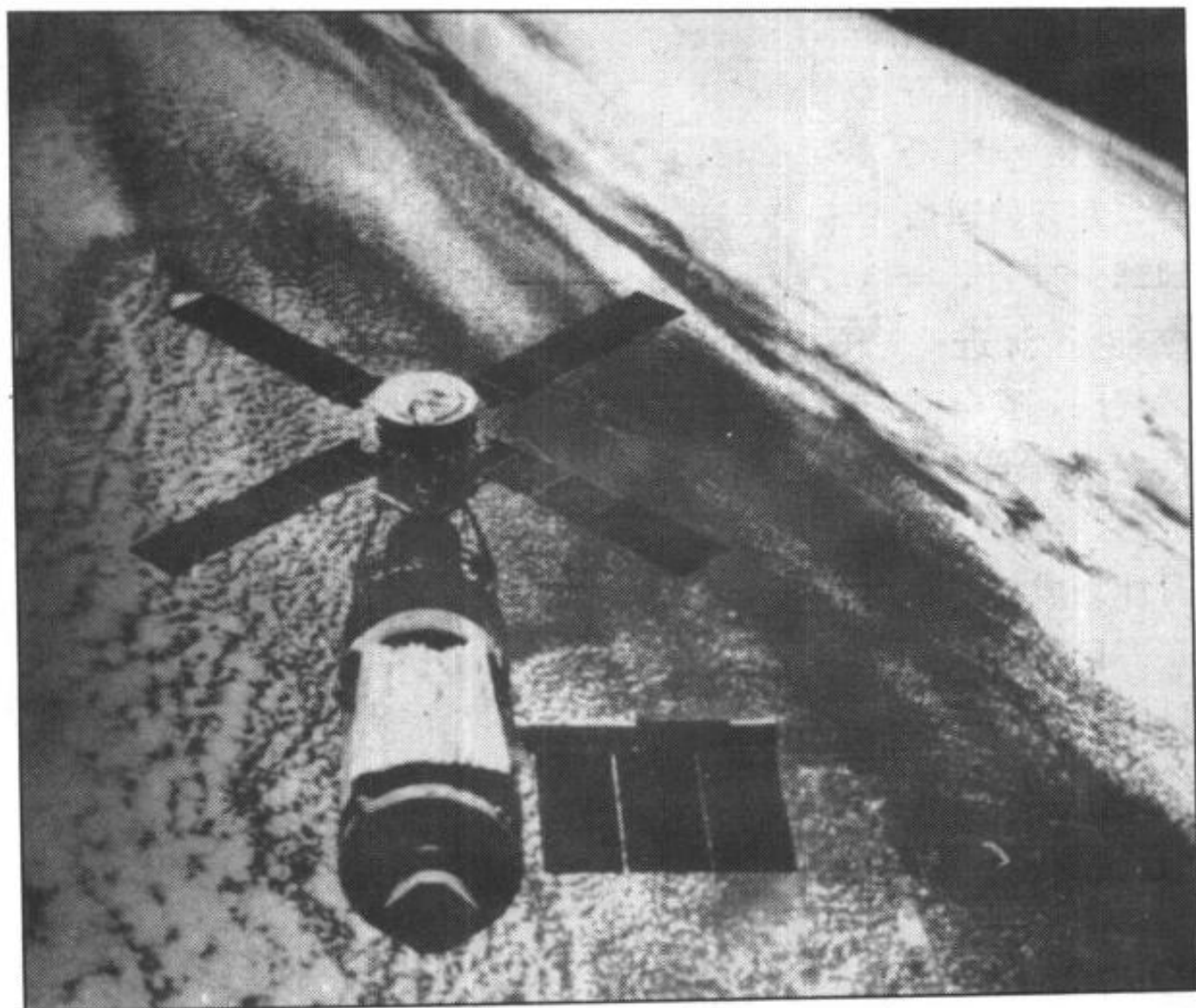


图 42-19 空间站

这一计划，动员了 40 多万人、约 2 万家公司和研究机构、120 多所大学，耗费了 250 亿美元，这样规模的科研项目，如果不是政府尽全力支持，是决不可能完成的。

阿波罗登月计划在人类文明史上具有划时代的意义，它首次将人类文明带进了地外空间，显示了人类文明的伟大成就，使人类真正进入了一个空间时代。

70 年代以来，航天器中又出现了轨道空间站和航天飞机，使空间技术又进入了一个新的发展时期。

第四十三章

电子技术与电子计算机

继以蒸汽机为代表的第一次技术革命和以电动机为代表的第二次技术革命后,世界近代史上的第三次技术革命于20世纪中叶爆发,其核心技术是电子计算机技术。电子计算机是一种代替人的脑力劳动的机器,它不仅运算速度快,处理数据量大,而且能部分模拟人的智能活动,它的出现,使人类社会的信息处理方式发生了翻天覆地的变化,从而根本上改变了现代社会的运作结构。为电子计算机奠定基础的是电子技术,而计算机的出现则带动了一大批高新技术的发展,使人类进入了信息时代。

1. 电子管、晶体管和集成电路

1883年,美国大发明家爱迪生在研制灯泡中无意发现一个有趣的现象,当把一块金属板与灯丝一起密封在灯泡内,给灯泡通电后,如给金属板加正电压,则发热的灯丝与金属板之间有电流

流过，相反则没有电流流过。这一现象后来被称为爱迪生效应，但当时爱迪生没有更多地去研究它。直到 1897 年汤姆逊发现电子，人们才知道，原来灯丝加热后有电子射出。1904 年，英国发明家弗莱明（1849—1945 年）经过多年的研究和实验，终于造出了一只二极管，他在真空管中放置两块金属板，一个当正极，一个当负极，当加热负极时，就有电子射向正极。利用它，可以检测到无线电信号，但电信号非常微弱。主要原因是，人们无法控制二极管内的电子流大小。

1905 年，美国物理学家德福雷斯特（1873—1961 年）制成了第一只三极管，它是在二极管的正极和负极之间加一个金属栅网（即金属栅极）构成的，其特点是电子流更大，检波更灵敏。后来认识到，改变栅极电压，即可以改变电子流的大小，这样，三极管就有了放大作用。

三极管的发明为无线电通讯和广播开辟了道路。1906 年，美国物理学家费丁生（1866—1932 年）发明了调幅波，使高频信号带着声音的振幅发射出去，这年底，他成功地进行了首次无线电广播。收音机诞生了。

由于早期的三极管真空度不高，收音质量不好，直到 1914 年，高真空管问世，无线电广播方有大规模发展。1920 年 11 月 2 日，美国威斯汀豪斯公司在匹兹堡建成了第一座广播电台，1926 年，美国成立全国广播公司，使无线电广播在全美普及。

电子管元件在三极管发明后又有了很大的发展，四极管、五极管、微波管相继问世，使可利用的电波频率区段大大扩展，电子设备功率大大增加。1928 年，美国发明家兹沃里金发明了电视显像管，到 1939 年，美国无线电公司推出了现代意义上的电子电视。第二次世界大战后，电视技术突飞猛进，今天，彩色电视机已经进入了千家万户，成为现代生活的一个不可缺少的部分。

本世纪初，有些无线电爱好者发现有些半导体矿石有单向导



图 43-1 巴丁、肖克莱、沃特尔 (从左至右)

电性，因此很适合做检波器，这使科学家们想到，用半导体可以制作与电子管同样性能的晶体管，由于许多理论和技术问题没有解决，真正发明晶体管时已经到了 40 年代末。美国贝尔电话实验室的肖克莱（1910 年—）、巴丁（1908 年—）和布拉坦（1902 年—）经十几年的努力，终于在 1947 年 12 月 23 日研制成功了第一只晶体管，1950 年，肖克莱等人又发明了晶体三极管。

与电子管相比，晶体管具有体积小、重量轻、耗能低、寿命长、制造工艺简单、使用时不需预热等优点，它的问世大大加速了电子技术的发展。

晶体管出现后，50 年代人们又推出了集成电路。所谓集成电路就是将电子元件（即晶体管）与电子线路组合起来，构成一个整体。它能完成从前需要几个分立电子元件才能完成的功能。集成电路是在晶体管的微型化基础上出现的，它开创了晶体管微型

化的新思路和新方向。随着工艺水平的不断提高，集成电路的集成度不断上升，价格则不断下降。1959 年，美国德克萨斯仪器公司率先推出了第一块集成电路。

60 年代以来，集成电路向大规模集成电路甚至超大规模集成电路发展，其集成度越来越高，功能越来越强，70 年代中期，出现了在一块硅片上包含有十万个晶体管的超大规模集成电路。由于电子元件的变革，电子产品的价格性能比急剧下降，达到了空前的普及，使人类进入了电子化时代。电子技术扶持了一大批高精尖技术的发展，其中包括航空航天技术、自动化技术、激光技术，电子计算机是电子技术的最高成就。

2. 电子计算机与信息时代

让机器从事数学运算，从而制造计算机，并不是从本世纪才开始的。17 世纪法国数学家、物理学家帕斯卡曾造出了一台能进行加减法的手动计算机，他意识到计算机的深远意义，在《沉思录》中写道：“这种计算机所从事的工作，比动物的行为更接近人类的思维。”

18 世纪出现了一股研制计算机热，但所造出的都不是自动计算机，它们与中国古代的算筹及算盘并没有质的区别。第一个提出自动计算机设计思想的是英国数学家拜比吉（1792—1871 年），1822 年，他设计制造了一台差分机模型，它不但每次能完成一个算术运算，而且可以自动完成一套运算。1834 年，他借用提花机中穿孔卡片的自动控制功能，设计出了一台分析机模型。由于当时技术条件的限制，拜比吉的模型都没能最终实现，但他关于自动计算机的设计思想是现代计算机的先驱。

19 世纪末期，由于电动技术的发展，计算机的动力方式得以改进。在美国统计局工作的工程师霍勒里斯（1860—1929 年）为

了应付繁重的人口统计工作，对手动机械计算器进行了改进，于1884年造出了第一台电动计算机，1890年，他又用电磁继电器部分替代机械元件控制穿孔卡片，造出了第一台机电式自动计算机。1941年，德国工程师苏泽（1910年—）全部使用继电器，造出了一台完全程序控制的机电式计算机。美国科学家艾

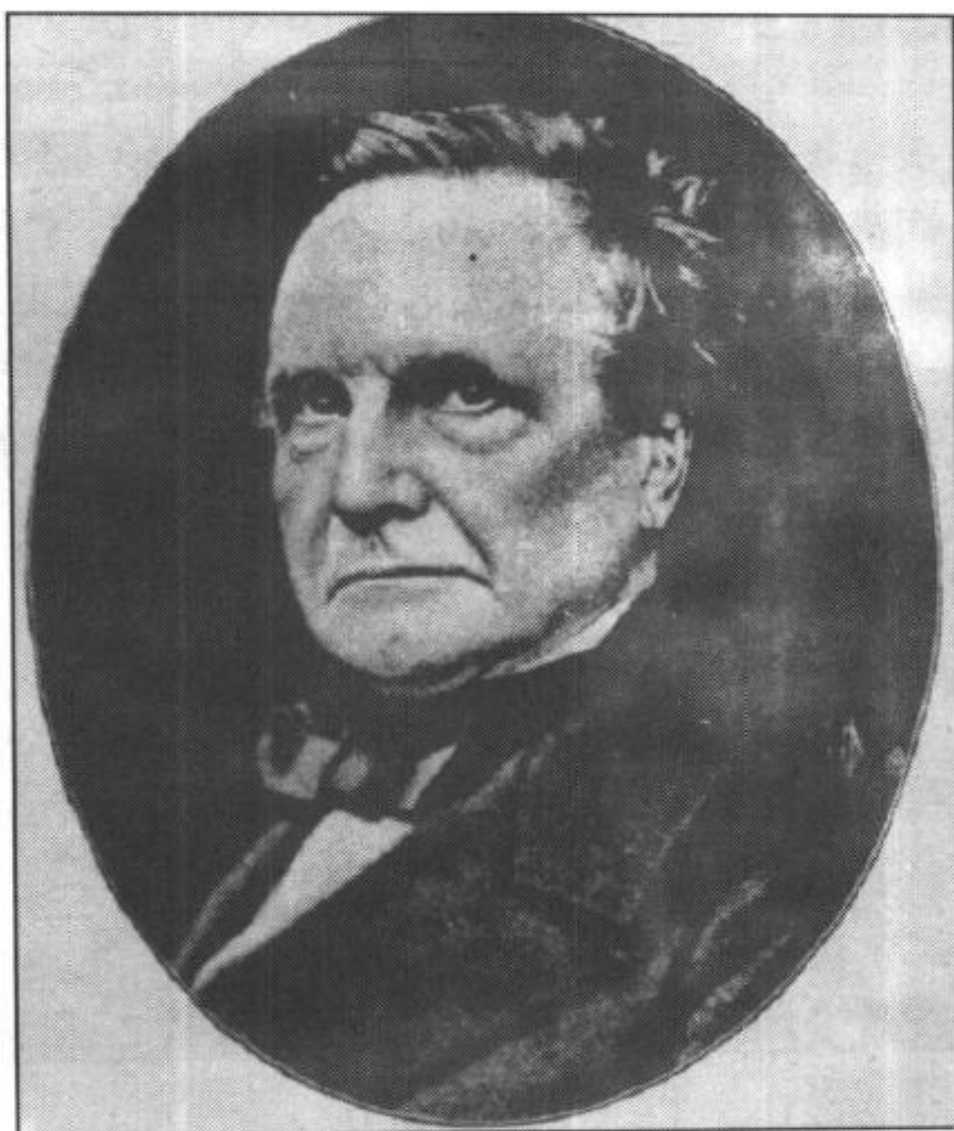


图 43—2 拜比吉

肯（1900—1973年）也于1944年和1946年造出了两台全继电器操作的计算机，它用穿孔卡片进行输入和输出，两个23位的加减法只需0.3秒，而相乘则需6秒。

机电计算机在程序自动控制和数据存贮方面为计算机的进一步发展奠定了基础，但它速度还是很慢，也容易出错。当时正是第二次世界大战进入决战阶段，有许多新式武器为了提高命中率需进行大量的计算，而且要求在很短的时间内得出结果。这个时候，原有的计算机就显得太慢了，研制更高速的计算机迫在眉睫，电子计算机就在这种情况下诞生了。

实际上，电子管一问世，有些目光敏锐的发明家和科学家就意识到它可以被用于制造计算机，因为它的开闭速度比继电器快

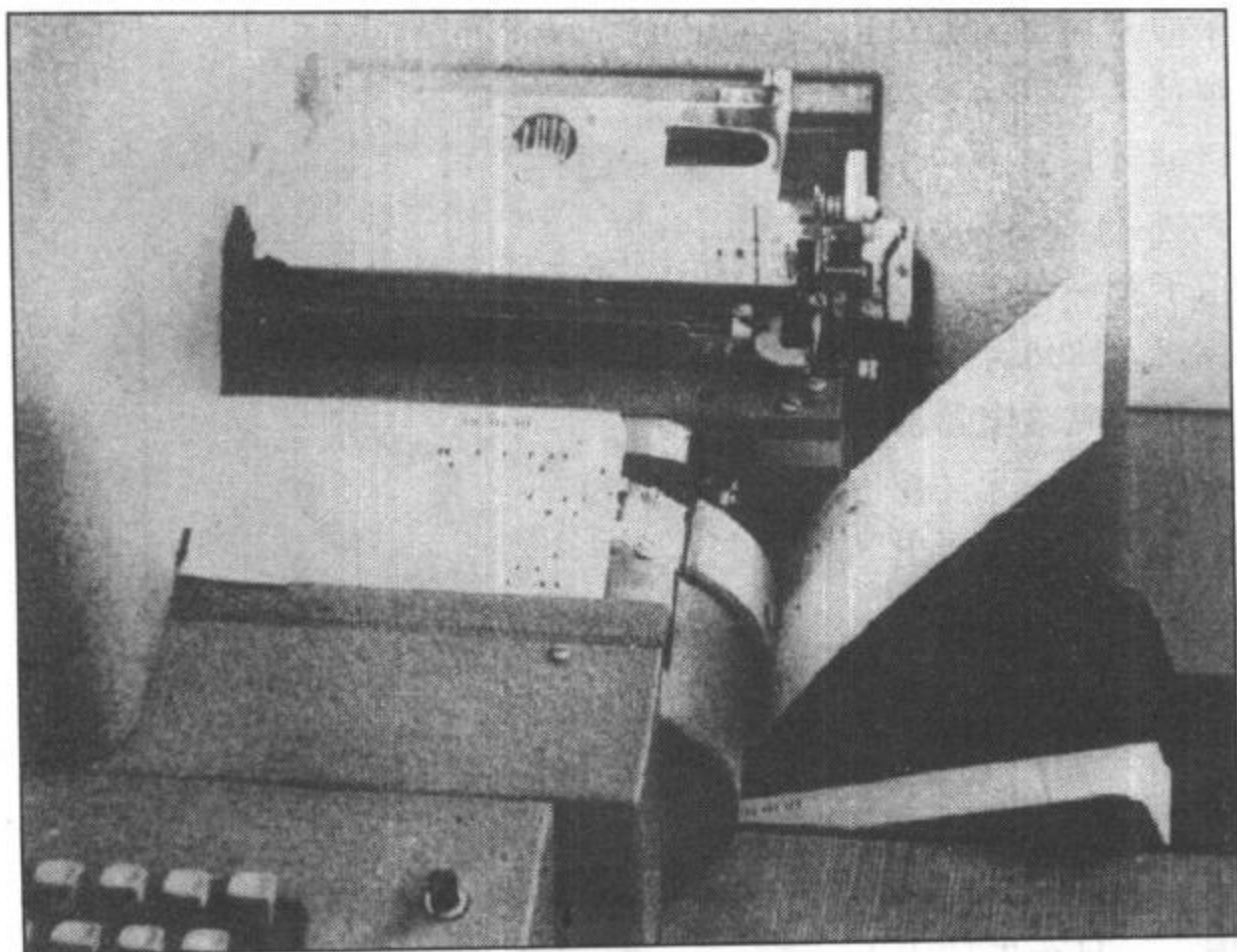


图 43—3 打孔机

一万倍，性能也可靠得多，而且它能被方便地控制，易于实现复杂的运算。因此，制造电子计算机几乎是与制造机电计算机同步进行的，但由于电子技术本身还不成熟，加上找不到资助，一开始它的发展速度相对慢一些。

第一台电子计算机是由美国宾州大学莫尔学院的莫克莱（1907—1980 年）负责研制成功的。第二次世界大战期间，他受命为美国的阿伯丁试炮场制定火力表，每天用计算机不停地计算各种弹道，深感改进计算机之必要。1942 年 8 月，他提出了试制电子计算机的爱尼阿克（ENIAC，意即电子数值积分计算机）方案，次年得到空军方面的支持，6 月，成立了由莫克莱和埃克特（1919 年—）领导的莫尔研制小组，经过近三年的努力，花费了 48 万美元，终于在 1945 年底制成了世界上第一台电子计算机。1946 年 2

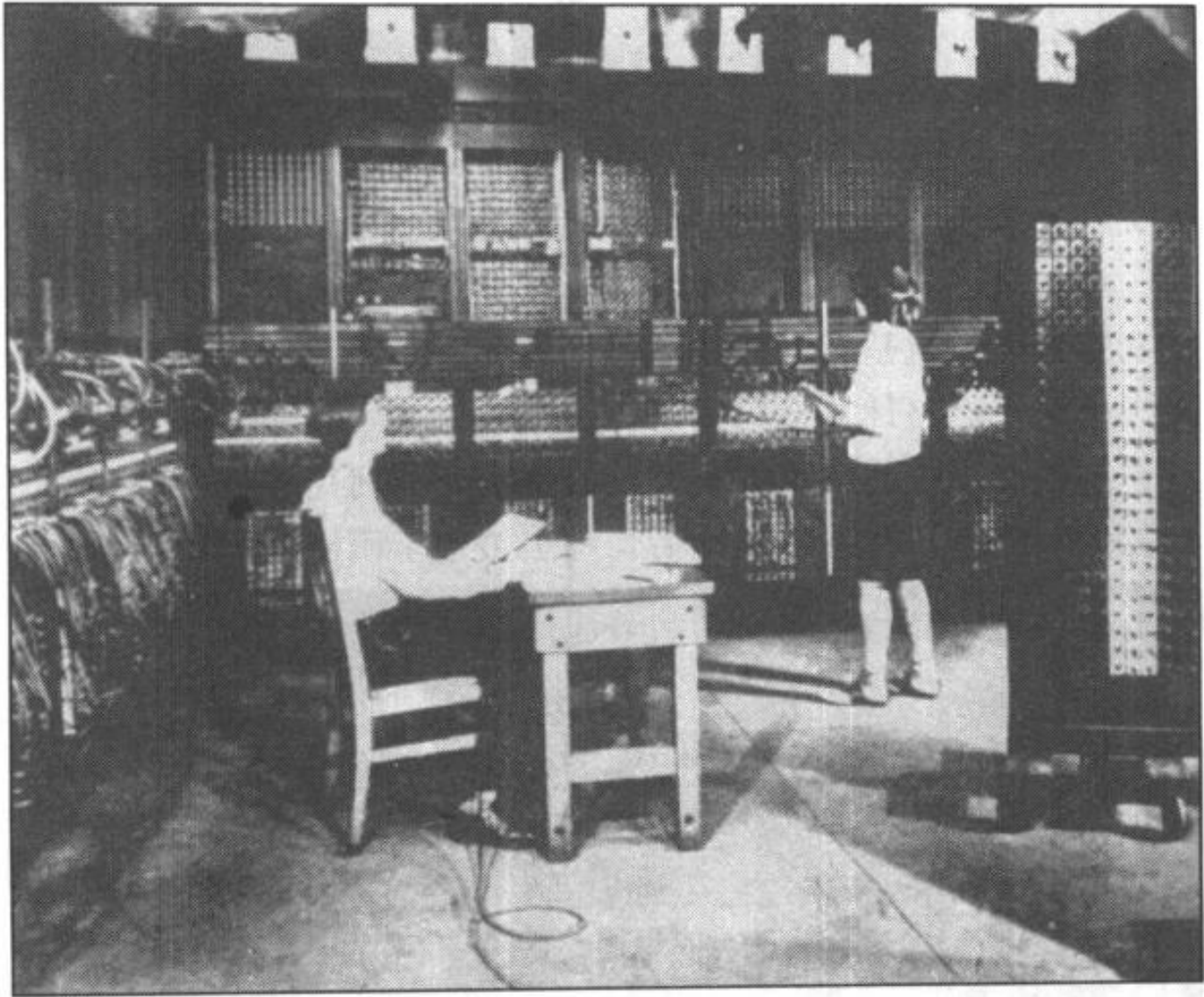


图 43-4 爱尼阿克电子计算机

月 15 日举行了公开表演, 1947 年运往阿伯丁做科学计算。这台电子计算机, 使用了 1 万 8 千个电子管, 比当时最好的机电计算机快千倍, 显示了电子计算机的巨大优越性。

“爱尼阿克”计算机有一个最大的问题即计算程序是外插型的, 需要花很多时间先将程序准备好, 这样便大大影响了运算速度, 这一弱点也正是机电计算机的弱点。1946 年, 美国数学家冯诺意曼 (1903—1957 年) 提出了一个新的改进方案, 这个被称为 EDVAC (意即离散变量自动电子计算机) 的方案主要有两大改进, 一是用二进制代替十进制, 进一步发挥电子元件的速度潜力, 二是将程序存贮起来, 使运算的全过程均由电子自动控制, 进一步提高运算速度。EDVAC 也称冯诺意曼机, 是现代电子计算机的

基础。

1949年，第一台冯诺意曼机在英国剑桥大学试制成功，以后电子计算机进入了工业生产阶段，世界各国相继都推出了自己的电子管计算机。我国在50年代末也造出了第一台电子计算机。

随着电子技术的发展，计算机也出现了数次较重大的变革。电子真空管计算机是第一代，晶体管计算机是第二代，集成电路和大规模集成电路计算机则为第三和第四代。

冯诺意曼机的改革方案并没有解决爱尼阿克体积大、重量大、功耗大等缺点，晶体管问世后，马上被用于研制新一代的电子计



图 43—5 奥本海默与冯·诺意曼

算机。1959年，美国菲尔克公司造出了第一台晶体管计算机，其运算速度比第一代高两个数量级，达到每秒几十万次。1961年，美国IBM公司生产了一台大型的电子计算机，使用了16万9千支晶体管，运算速度达每秒百万次。

由集成电路和大型集成电路组成的第三和第四代电子计算机，其速度更快、存贮量更大、体积更小、价格更低。1964年4月7日，IBM公司生产的3690系列计算机标志着第三代计算机的开始，为了研制和开发这个系列的计算机，该公司耗费了50亿美元，比美国研制第一颗原子弹的曼哈顿计划还多，它的速度达到了每秒千万次，内存量达几百K。

70年代以来，由于大规模集成电路的问世，使微型计算机迅速发展起来。到1980年，全世界拥有的微机超过了1亿。微机进入了各个生产环节，并开始向办公室和家庭渗透。进入90年代，发达国家的微型电脑已经像彩色电视机一样普及了。

与微型机的发展同时，巨型机也取得了令人瞩目的成就。1976年由美国CDC公司研制的计算机速度达每秒2.5亿次，到80年代，巨型机的速度又提高了一个数量级。

自第一台电子计算机问世以来，计算机的发展速度大致是，平均每5年速度提高10倍，体积和成本降低10倍，这种发展势头至今仍无减弱。

电子计算机的出现使人类认识自然和改造自然的能力大大提高，由于它能模拟人脑的部分思维功能，使人的智力得以物化和放大，解决了从前只靠人的脑力根本无法解决的问题。依靠它快速的运算能力，能使气象预报建立在大量数据的统计分析基础之上；它可以模拟科学实验，节省财力、物力和人力；它证明了四色定律，这一定律的证明由于运算过于繁复，从前无人敢于问津。

计算机的出现不仅在数学和科学技术研究方面发挥了智能作用，而且开辟了一个信息化时代，对人类社会的政治、经济、法

律、教育等发生重大的影响。信息的传输、接受和处理过程是一个社会的基本运行方式之一，计算机在这方面具有高效能和通用性，它不仅准确迅速，而且对任何信息处理都敞开大门，难怪美国的未来学家托夫勒称电子计算机掀起了人类历史上的第三次浪潮。无论如何，由于计算机越来越普及，在社会生活中发挥越来越大的作用，我们确实进入了一个信息时代。

第四十四章

科学与人类未来

在当代中国人的眼里，科学无疑是一盏神灯，它带给了人类那么多不可思议的东西。1945年7月16日，第一颗原子弹在美国试爆成功，爆炸力相当于两万吨TNT炸药。同年8月6日和9日，两颗原子弹分别投向了日本的广岛和长崎，使两个城市瞬间化为废墟，举世震惊。1957年10月4日，苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星，宣告了航天时代的到来。1969年7月，美国的阿波罗号飞船将两名美国宇航员送上了月球，第一次实现了人类数千年来月亮旅行之梦。1945年底，世界上第一台电子管电子计算机在美国问世，1948年美国贝尔实验室发明晶体管后，电子计算机以惊人的速度发展，每5年运算速度提高10倍，体积和成本降低10倍，把人类带入了电脑化时代。

20世纪的科学技术同样走进了千家万户的日常生活之中，高分子化学材料、生物技术、遗传工程、新型的建筑材料、先进的交通工具和通讯技术，都在点缀着现代生活的方方面面。



图 44—1 科学与生活。科学家聚精会神地研究摆的物理运动，对在一旁悠然自得地荡秋千的少女视而不见，科学忽视了生活吗？

面对这异彩纷呈的科技文明，我们不禁会产生这样一个信念：科学简直是万能的，它会有什么做不了的事情呢？如果它现在无

能为力，那肯定是因为它还不发达，只要继续发展科学，人类的征服自然和改造自然的能力就会越来越强，人类的生活就会越来越美好。

然而，在科学成功的背后，我们必须看到一个潜在的危險正在显露出来：人类通过大规模的开发大自然，虽然掌握了更高的能量，有了支配自然界的能力，但也破坏了人类生存的根基。

现代工业和现代生活所需的能源绝大部分来自煤和石油，但是，地球花了 30 亿年积攒下的非再生能源总归是有限的。以目前的开采速度，在一个不远的将来，也许在本书读者的有生之年，我们就能看到它被彻底耗光。如果到时候没有新的能源供应，文明社会就会土崩瓦解。

当然，我们可以用核能，也许到那时候，核能的开发水平达到了我们现在无法想象的地步，但也正是核能，时刻像一把利剑倒悬在人类的头顶。人类的非理性行为总是存在的，即使是理性的行为也难免有失误。处理常规能源，个别的失误造成的危害是有限的，而使用核能，一旦失误，就会造成不可挽回的、无限的灾难。现在世界上拥有数万个核弹头，其威力相当于投在广岛的原子弹的 100 万倍，如果发生核战争，其结果就是人类文明的毁灭。难怪有人说，知识确实是力量，但今天我们却不能控制这种力量。科学家们制造了原子弹，却不能阻止人们使用原子弹，这已经表明了，掌握了知识力量的人们并不能控制这种力量的运用。

象征着第一次技术革命的蒸汽机，放出浓浓地遮天蔽日的烟雾，发出震耳欲聋的吼声。这曾经是新时代的强劲的声音，是人类向大自然宣战的象征。但它排出的废气和发出的噪音污染了人类的生存环境，造成生态平衡的破坏。

由于大量燃烧石化燃料，大气的二氧化碳含量急剧增加，这些二氧化碳将形成一个具有温室效应的隔热层，使地球表面温度逐渐上升，而温度上升必将导致南北极冰雪融化，海平面上升，淹



图 44—2 科学（电）带来光明

没大片陆地。此外，全球气候也将发生变化，从而影响森林和农作物的生长，使生态环境恶化。

由大工业带来的还有大气臭氧层的破坏、酸雨污染、化学品污染、城市垃圾泛滥，以及由于使用化肥带来的土壤肥力递减，由于生态环境恶化导致的森林锐减、水源短缺和物种灭绝。这些问题触目惊心，不能不引起人们的深思。

早在西方资本主义国家产业革命的初期就出现过环境污染问题。煤炭的大量开采和普遍使用，使大气中的烟尘和二氧化硫急剧增多，伦敦发生过多毒雾事件，日本也因矿区废气毁坏过大片的山林和庄稼。

化学工业的发展带来了更强烈的大气污染和水质污染，石油这天然气的开采又雪上加霜，使污染问题达到了空前严重的程度。各种污染直接或间接、明显或潜在地危害着人类的身体健康。

环境污染直接破坏了地球的生态平衡，大片大片的森林被滥砍滥伐，大片大片的草地因过度放牧而荒芜，大片大片的湖面因围湖造田而干涸，地球上的物种大量减少，许多珍稀动物濒临灭绝，农药化肥的广泛使用损害了土地的肥力，破坏了食物的营养。

科学在带来福音的同时，也造就了危害人类的魔鬼。科学的未来如何，人类的未来如何，这是一个引起现代人深思的问题。

有的人深信，由科学所带来的问题还需由科学的进一步发展来解决，人类不能舍弃目前的生活方式，不能舍弃我们赖以生存的现代科学技术。

有的人认为，我们固然能指望，科学通过进一步的发展来消除它所带来的一切已知的危害，但谁能保证，它不给我们带来新的更严重的灾难？如果科学的每一步发展，每一次解决旧问题的能力提高，都以危及人类的生存根基为代价，那么，人类的生活方式确实应该改变了，科学的发展方向确实应该改变了。

在全人类面临共同的难题的时候，我们的耳边响起了中国伟



图 44—3 核弹爆炸时令人心悸的场景

大智者的声音，老子说：“无为，则无不治。”庄子说，“无为也，则用天下而有余；有为也，则为天下用而不足。”无为就是不违反自然的行为和活动，人类只要顺应自然，与自然适应、协作，则自然资源供人类使用绰绰有余，否则就将破坏人与自然的平衡关系。在决定全人类命运的时刻，中国哲人所教导的生活方式具有巨大的启发意义。

亲爱的读者，对这个事关全人类命运的问题，也请您认真地思考。

插图目录

绪 论

图 0-0

培根《新工具》初版扉页

一艘巨轮正在穿过传说中的大西洋上的海格里斯柱，古代欧洲人认为它就是世界的界限，画面象征着科学正在突破已知世界的界限，向未知世界进发。

图 0-1

芝加哥 1893 年世界博览会场景

图 0-2

动力的雄姿

图 0-3

弗兰西斯·培根

图 0-4

阿基米德发现浮力定律的故事

图 0-5

苹果落地的故事

图 0-6

比萨斜塔

图 0-7

威尔伯福斯

图 0-8

上帝创造宇宙

图 0-9

艺术家笔下的牛顿，他像神一样正在制定宇宙规律

图 0-10

- | | |
|-------------------|--------|
| 爱因斯坦 | 图 0-14 |
| 图 0-11 | 萨 顿 |
| 爱因斯坦在朋友家的院子里骑自行车玩 | 图 0-15 |
| 图 0-12 | 柯瓦雷 |
| 炼金术士的作坊 | 图 0-16 |
| 图 0-13 | 贝尔纳 |
| 炼金术士 | |

第 一 卷

第 一 章

- | | |
|---------|-------------------------|
| 图 1-0 | 北京人头盖骨及其复原像 |
| 狮身人面像 | 图 1-4 |
| 图 1-1 | 洞穴岩画：野牛 |
| 宇宙图景 | 图 1-5 |
| 图 1-2 | 英格兰南部公元前 1600 年建造的天文石柱碑 |
| 从猿到人的演化 | |
| 图 1-3 | |

第 二 章

- | | |
|------------|--------|
| 图 2-1 | 图 2-6 |
| 埃及法老拉姆西斯二世 | 埃及天牛像 |
| 图 2-2 | 图 2-7 |
| 方尖碑 | 埃及星图 |
| 图 2-3 | 图 2-8 |
| 埃及人在纸草上写作 | 埃及金字塔 |
| 图 2-4 | 图 2-9 |
| 埃及棺材内部的星图 | 埃及神庙 |
| 图 2-5 | 图 2-10 |
| 莱因特纸草 | 巴比伦观天图 |

- | | |
|-----------------|--------|
| 图 2-11 | 甲骨文 |
| 泥板上的星图 | 图 2-21 |
| 图 2-12 | 芍 鼓 |
| 泥板上的数学式 | 图 2-22 |
| 图 2-13 | 西门渠 |
| 乌尔（今伊拉克）的圣塔 | 图 2-23 |
| 图 2-14 | 郑国渠 |
| 巴别塔 | 图 2-24 |
| 图 2-15 | 李冰石像 |
| 印度的创造和生殖之神梵天的雕像 | 图 2-25 |
| 图 2-16 | 扁 鹊 |
| 1724 年建成的德里天文台 | 图 2-26 |
| 图 2-17 | 导引图 |
| 大 禹 | 图 2-27 |
| 图 2-18 | 夏小正 |
| 盘 古 | 图 2-28 |
| 图 2-19 | 算 筹 |
| 神 农 | 图 2-29 |
| 图 2-20 | 青铜器 |

第 二 卷

第 三 章

- | | |
|---------------------------------------|---------------------|
| 图 3-0 | 四)、苏格拉底、伊壁鸠鲁、毕达哥拉斯、 |
| 雅典学院 | 亚里士多德和芝诺。 |
| 图 3-1 | 图 3-3 |
| 希腊小孩玩铁环雕像 | 希罗多德 |
| 图 3-2 | 图 3-4 |
| 后世艺术家创作的希腊哲学家大聚会。坐在中间的是柏拉图（左三），围在四周的沿 | 维纳斯 |
| 顺时针方向依次是：塞奥弗拉斯特（左 | 图 3-5 |
| | 迈锡尼的狮子之门 |

第四章

- 图 4-1
爱奥尼亚的爱菲索斯遗址
- 图 4-2
泰勒斯
- 图 4-3
泥板上的毕达哥拉斯定律
- 图 4-4
罗马帝国时期萨莫斯铜币上的毕达哥拉斯
- 图 4-5
毕达哥拉斯正在泥板上写作
- 图 4-6
毕达哥拉斯学派的宇宙结构图
- 图 4-7
德谟克利特
- 图 4-8
希波克拉底雕像
- 图 4-9
拜占廷艺术家笔下的希波克拉底
- 图 4-10
苏格拉底（右）与人交谈
- 图 4-11
苏格拉底的证明
- 图 4-12
柏拉图
- 图 4-13
欧多克斯的纸草著作残篇
- 图 4-14
亚里士多德
- 图 4-15
沉思着的亚里士多德
- 图 4-16
塞奥弗拉斯特植物学著作中的插图
- 图 4-17
巴台农神庙
- 图 4-18
雅典剧场
- 图 4-19
德尔菲神庙遗址
- 图 4-20
罗德斯岛上多林斯神庙的巨柱
- 图 4-21
希腊剧场遗址

第五章

- 图 5-1
亚历山大大帝
- 图 5-2
1482年《几何原本》的拉丁文本
- 图 5-3
1544年出版的希腊文版阿基米德著作
- 图 5-4
“给我支点，我可以撬动地球”
- 图 5-5
希腊投石机复原图

- | | | |
|-------|---------------------|--------------------|
| 图 5-6 | 阿基米德正在设计抗击罗马人进攻的武器 | 密混为一谈) |
| 图 5-7 | 太阳光烧毁敌船 | 图 5-10 |
| 图 5-8 | 本轮—均轮运动 | 托勒密的地心体系 |
| 图 5-9 | 拜占廷艺术家笔下的托勒密 (与国王托勒 | 图 5-11 |
| | | 希腊外科医生 |
| | | 图 5-12 |
| | | 盖伦 (右) 与希波克拉底 (画像) |
| | | 图 5-13 |
| | | 盖伦在解剖猪 |

第 六 章

- | | | | |
|-------|------------------------|--------|--------------------------|
| 图 6-1 | 西塞罗 | 图 6-8 | 公元前 19 年罗马人在法国尼姆修建的高架引水桥 |
| 图 6-2 | 1576 年提出格里高里历的医学教授李利厄斯 | 图 6-9 | 圆形竞技场 |
| 图 6-3 | 倡导格里高里历的御用天文学家克拉维厄斯 | 图 6-10 | 古罗马讲坛遗址 |
| 图 6-4 | 罗马医生正在给小孩看病 | 图 6-11 | 罗马浴室遗址 |
| 图 6-5 | 罗马人使用的外科手术刀 | 图 6-12 | 罗马神庙, 有着希腊式的立柱 |
| 图 6-6 | 《自然史》 | 图 6-13 | 罗马会场 |
| 图 6-7 | 《自然史》中关于怪物的插图 | 图 6-14 | 图拉真纪念柱 |

第三卷

第七章

图 7-0

中国的万里长城

图 7-1

公元 420 年的一幅雕像，图中耶稣被钉在十字架上

图 7-2

古代晚期的雅典学校

图 7-3

拜占廷的圣索菲亚大教堂（查士丁尼建于公元 6 世纪）

图 7-4

14 世纪波依修斯算术著作的手抄本

图 7-5

《哲学的慰安》的阿拉伯文本封面

第八章

图 8-1

阿拉伯图书馆

图 8-2

古代炼金术士

图 8-3

13 世纪的也门星盘

图 8-4

伊斯兰的人马座星图

图 8-5

阿拉伯天文学家

图 8-6

阿拉伯人画的水星运行图

图 8-7

《论视觉》中的插图

图 8-8

《论视觉》中的眼睛草图

图 8-9

阿拉伯外科医生

图 8-10

亚里士多德《论天》的阿拉伯文译本

第九章

图 9-1

汜胜之

图 9-2

《齐民要术》

图 9-3

耙耨图

图 9-4

车水图

- 图 9-5
《王祯农书》
- 图 9-6
徐光启
- 图 9-7
针灸穴位图
- 图 9-8
中医艾灸图
- 图 9-9
华佗
- 图 9-10
华佗墓
- 图 9-11
五禽戏之五“鸟戏图”
- 图 9-12
张仲景
- 图 9-13
皇甫谧
- 图 9-14
孙思邈
- 图 9-15
孙思邈骑虎扎针图
- 图 9-16
李时珍
- 图 9-17
李时珍正在著书立说
- 图 9-18
李时珍墓(左), 百姓传说墓上长的草亦能治病
- 图 9-19
我国现存最古老的登封观象台
- 图 9-20
星图
- 图 9-21
现存苏州孔庙的石刻天文图
- 图 9-22
马王堆汉墓出土的帛书星图
- 图 9-23
北京古观象台
- 图 9-24
黄道经纬仪
- 图 9-25
纪限仪(六分仪)
- 图 9-26
赤道浑仪
- 图 9-27
浑仪
- 图 9-28
象限仪
- 图 9-29
苏颂
- 图 9-30
张衡
- 图 9-31
候风地动仪
- 图 9-32
祖冲之
- 图 9-33
一行
- 图 9-34
《周髀算经》
- 图 9-35
《九章算术》
- 图 9-36
绘瓷
- 图 9-37

雷纹白陶

图 9-38

磁粉彩牡丹天球瓶

图 9-39

丝纶图

图 9-40

阿房宫遗址

图 9-41

赵州桥

图 9-42

佑国寺

图 9-43

黄鹤楼

图 9-44

龙门石窟

图 9-45

故宫太和殿

图 9-46

天坛祈年殿

第 十 章

图 10-1

公元 1568 年的古画，画面显示羊皮纸的制造曾是欧洲城市街头一种比较普遍的行业

图 10-2

羊皮纸做成的成品

图 10-3

蔡 伦

图 10-4

最早的雕版印刷品《金刚经》

图 10-5

雕版印刷的《南华真经》

图 10-6

毕 升

图 10-7

早期的活字本印刷品

图 10-8

葛 洪

图 10-9

火 炮

图 10-10

指南车复原图

图 10-11

司 南

图 10-12

指南鱼

图 10-13

沈 括

图 10-14

《梦溪笔谈》

图 10-15

郑 和

图 10-16

郑和下西洋使用的三桅大船

图 10-17

《天工开物》中关于船舶制造的插图

第十一章

图 11-1

徐霞客

图 11-2

《徐霞客游记》

图 11-3

《天工开物》中关于用煤的插图

图 11-4

利玛窦与徐光启

图 11-5

《几何原本》最早的中译本

图 11-6

汤若望

图 11-7

南怀仁

图 11-8

艾儒略所著《识方外记》

第十二章

图 12-1

十字军攻打耶路撒冷

图 12-2

菲波那齐将 0 引入西欧

图 12-3

中世纪商人在算帐

图 12-4

奥古斯丁

图 12-5

大阿尔伯特

图 12-6

托马斯·阿奎那

图 12-7

圣彼得大教堂

图 12-8

巴黎圣母院

图 12-9

哥特式大教堂

第四卷

第十三章

图 13-0

牛顿，一个时代的象征

图 13-1

但丁

图 13-2

《蒙娜丽莎》

图 13-3

达·芬奇《自画像》

- 图 13-4 达·芬奇研究鸟类飞行原理所画的草图
- 图 13-5 达·芬奇设计的降落伞
- 图 13-6 达·芬奇的人体结构图
- 图 13-7 达·芬奇的人体解剖图
- 图 13-8 指南针
- 图 13-9 《马可·波罗游记》插图
- 图 13-10 亨利王子
- 图 13-11 达·迦马
- 图 13-12 哥伦布
- 图 13-13 亚美利哥
- 图 13-14 麦哲伦

第十四章

- 图 14-1 但丁《神曲》中的宇宙结构图
- 图 14-2 哥白尼
- 图 14-3 《论天球的旋转》书中的插图
- 图 14-4 哥白尼立于十字架与他的日心体系之间
- 图 14-5 第谷·布拉赫
- 图 14-6 第谷在天文台工作
- 图 14-7 1577 年第谷观测到的彗星
- 图 14-8 第谷折衷的宇宙体系
- 图 14-9 神在掂量两大宇宙体系的分量
左：哥白尼体系 右：第谷体系
- 图 14-10 第谷的天文台
- 图 14-11 第谷正在观测
- 图 14-12 开普勒
- 图 14-13 天体的几何和谐图
- 图 14-14 《鲁道夫星表》封面
- 图 14-15 《鲁道夫星表》扉页

第十五章

- 图 15-1
伽利略
- 图 15-2
伽利略制造的望远镜
- 图 15-3
用望远镜看到的月面图 (伽利略手稿)
- 图 15-4
伽利略关于木星卫星的手稿
- 图 15-5
《关于太阳黑子的信札》封面
- 图 15-6
《关于两大世界体系的对话》封面
- 图 15-7
伽利略受审
- 图 15-8
斯台文著作封面
- 图 15-9
吉尔伯特
- 图 15-10
吉尔伯特正在为伊丽莎白女王演示磁学实验
- 图 15-11
托里拆利
- 图 15-12
帕斯卡
- 图 15-13
法国的多姆山
- 图 15-14
帕斯卡的计算机
- 图 15-15
盖里克
- 图 15-16
盖里克的第一台空气泵
- 图 15-17
盖里克的第二台空气泵
- 图 15-18
改进了的空气泵
- 图 15-19
盖里克制造并使用的温度计
- 图 15-20
马德堡半球实验
- 图 15-21
波义尔的第一个空气泵
- 图 15-22
波义尔的第二个空气泵
- 图 15-23
波义尔的第三个空气泵
- 图 15-24
波义尔定律的实验演示
- 图 15-25
胡克制造的风速计
- 图 15-26
胡克制造的气候钟
- 图 15-27
胡克制造的雨量计
- 图 15-28
胡克制造的验湿器
- 图 15-29
惠更斯
- 图 15-30

惠更斯发现土星光环

图 15-31

惠更斯制造的摆钟

图 15-32

惠更斯制造的座钟

图 15-33

惠更斯制造的望远镜

图 15-34

牛顿出生地

图 15-35

三一学院

图 15-36

巴 罗

图 15-37

牛顿分光实验草图

图 15-38

牛顿设计的反射式望远镜草图

图 15-39

1730 年落成的牛顿纪念馆

第十六章

图 16-1

寻找哲人之石的炼金家发现磷时，昏暗的实验室突然被奇怪的光辉所照亮

图 16-2

帕拉塞尔苏斯

图 16-3

阿格里科拉

图 16-4

赫尔蒙特

图 16-5

17 世纪的化学实验室

图 16-6

波义尔

第十七章

图 17-1

维萨留斯

图 17-2

维萨留斯使用的解剖工具

图 17-3

《论人体构造》插图一

图 17-4

《论人体构造》插图二

图 17-5

塞尔维特

图 17-6

法布里修斯

图 17-7

法布里修斯关于小鸡发育的研究

图 17-8

哈 维

图 17-9

哈维工作像

图 17-10

血液流动示意图

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| 图 17-11 | 图 17-16 |
| 哈维向查理一世（左）和未来的查理二世（右）演示鹿的血液循环 | 列文虎克在工作 |
| 图 17-12 | 图 17-17 |
| 马尔比基 | 胡克《显微图》一书的封面 |
| 图 17-13 | 图 17-18 |
| 肺中的毛细血管 | 胡克的显微镜 |
| 图 17-14 | 图 17-19 |
| 列文虎克 | 胡克的显微镜 |
| 图 17-15 | 图 17-20 |
| 列文虎克正在用单显微镜观察 | 植物细胞的显微结构 |

第十八章

- | | |
|----------|--------------------------------------|
| 图 18-1 | 图 18-5 |
| 培根 | 与哥白尼体系相结合的笛卡儿宇宙模型 |
| 图 18-2 | 图 18-6 |
| 笛卡儿 | 笛卡儿所画的心脏图 |
| 图 18-3 | 图 18-7 |
| 笛卡儿在写作 | 自然是哲学家的书本，画面上展示了 17 世纪和 18 世纪的诸多科学仪器 |
| 图 18-4 | |
| 笛卡儿的宇宙漩涡 | |

第十九章

- | | |
|-----------|--------|
| 图 19-1 | 图 19-5 |
| 林琴学院院徽 | 威尔金斯 |
| 图 19-2 | 图 19-6 |
| 齐曼托学院 | 雷恩 |
| 图 19-3 | 图 19-7 |
| 波雷利 | 格雷山姆学院 |
| 图 19-4 | 图 19-8 |
| 齐曼托学院的验湿器 | 奥尔登堡 |

- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| 图 19-9 | 哈 雷 |
| 《皇家学会哲学学报》第一卷封面 | 图 19-18 |
| 图 19-10 | 1671 年路易十五参观巴黎科学院 |
| 《皇家学会史》封面, 由左到右依次是布隆
克尔、查理二世和培根 | 图 19-19 |
| 图 19-11 | 1676 年巴黎科学院的化学实验室 |
| 皇家学会颁发的科普利奖章 | 图 19-20 |
| 图 19-12 | 科学院在皇家图书馆开会 |
| 皇家学会会员签名 | 图 19-21 |
| 图 19-13 | 巴黎天文台 |
| 弗拉姆斯特德 | 图 19-22 |
| 图 19-14 | 卡西尼 |
| 格林威治天文台外景 | 图 19-23 |
| 图 19-15 | 罗伊默 |
| 格林威治天文台内景 | 图 19-24 |
| 图 19-16 | 莱布尼兹 |
| 现代格林威治天文台配备的牛顿式反射
望远镜 | 图 19-25 |
| 图 19-17 | 莱布尼兹设计的计算机 |
| | 图 19-26 |
| | 牛顿发表的微积分的密码手稿 |

第 五 卷

第 二 十 章

- | | |
|-----------|---------------|
| 图 20-0 | 图 20-4 |
| 《百科全书》扉页 | 瓦 特 |
| 图 20-1 | 图 20-5 |
| 珍妮机 | 经瓦特改进过的纽可门蒸汽机 |
| 图 20-2 | 图 20-6 |
| 骡 机 | 瓦特设计的往复式蒸汽机 |
| 图 20-3 | 图 20-7 |
| 纽可门的提水蒸汽机 | 瓦特蒸汽机的设计图 |

图 20-8
早期的蒸汽机之一

图 20-9
早期的蒸汽机之二

第二十一章

图 21-1

伏尔泰

图 21-2

夏特莱夫人

图 21-3

牛顿在法国成为时髦，官中贵妇人正在阅读他的著作

图 21-4

狄德罗

图 21-5

《百科全书》中的化学插图

图 21-6

《百科全书》中的造船业插图

图 21-7

蒙 日

图 21-8

拿破仑

第二十二章

图 22-1

丹尼尔·伯努利

图 22-2

雅克·伯努利

图 22-3

约翰·伯努利

图 22-4

达朗贝尔

图 22-5

欧 拉

图 22-6

莫培都

图 22-7

拉格朗日

图 22-8

阿蒙顿的温度计

图 22-9

布莱克

图 22-10

马森布罗克的实验

图 22-11

富兰克林

图 22-12

闪电摧毁一座教堂

图 22-13

罗蒙诺索夫关于大气电的论文插图

图 22-14

伽伐尼

图 22-15

伽伐尼发现流电

图 22-16

伽伐尼的流电实验

图 22-17

伏打

图 22-18

伏打电堆

图 22-19

伽伐尼电池

图 22-20

卡文迪许

图 22-21

19 世纪最有效的起电机

图 22-22

库仑

图 22-23

库仑的扭秤实验

第二十三章

图 23-1

拉普拉斯

图 23-2

康德

图 23-3

太阳系的星云假说

图 23-4

布拉德雷

图 23-5

威廉·赫舍尔

图 23-6

卡罗琳·赫舍尔

图 23-7

赫舍尔的银河图

图 23-8

赫舍尔自制的望远镜

图 23-9

约翰·赫舍尔在南非好望角建立的天文台

第二十四章

图 24-1

斯塔尔

图 24-2

黑尔斯

图 24-3

黑尔斯的实验

图 24-4

普利斯特列

图 24-5

普利斯特列的实验装置之一

图 24-6

普利斯特列的实验装置之二

图 24-7

普利斯特列的电动机模型

图 24-8

普利斯特列的家被抄

图 24-9

舍勒

图 24-10

拉瓦锡与夫人

图 24-11
拉瓦锡在做实验，夫人做记录

图 24-12
18 世纪法国的化学实验室

图 24-13
拉瓦锡的实验室

图 24-14
漫画：拉瓦锡正在用拿破仑（右）做呼吸
实验，后面的助手是戴维

图 24-15
拉瓦锡的周期表

图 24-16
拉瓦锡和拉普拉斯使用的量热器

图 24-17
拉瓦锡被抓

图 24-18
拉瓦锡塑像

第二十五章

图 25-1
林 奈
图 25-2
身着民族服装的林奈

图 25-3
林奈的性别植物分类

图 25-4
布 丰

图 25-5
布丰正在做实验

图 25-6
《自然史》封面

图 25-7
大洪水的遗迹

图 25-8
维尔纳

图 25-9
赫 顿

图 25-10
巴黎皇家花园

图 25-11
拉马克

图 25-12
生物学一词最早在杂志上出现

第 六 卷

第二十六章

图 26-0
法拉第正在讲演

图 26-1

奥斯特的电磁实验

图 26-2

安 培

- | | |
|---------------|-----------------|
| 图 26-3 | 法拉第与夫人 |
| 综合工业学校的电池 | 图 26-10 |
| 图 26-4 | 晚年的法拉第 (1863 年) |
| 欧 姆 | 图 26-11 |
| 图 26-5 | 麦克斯韦的青年时代 |
| 法拉第在戴维的实验室当小工 | 图 26-12 |
| 图 26-6 | 麦克斯韦 |
| 研究电磁感应 | 图 26-13 |
| 图 26-7 | 赫兹发射电磁波的装置 |
| 第一台电动机 | 图 26-14 |
| 图 26-8 | 赫 兹 |
| 亨 利 | 图 26-15 |
| 图 26-9 | 赫兹的电磁波接收装置 |

第二十七章

- | | |
|---------|---------------|
| 图 27-1 | 图 27-3 |
| 元素的特征光谱 | 太阳光谱 |
| 图 27-2 | 图 27-4 |
| 分光镜 | 照相术发明不久的实验室照片 |

第二十八章

- | | |
|---------|--------|
| 图 28-1 | 图 28-4 |
| 伦福德伯爵 | 赫尔姆霍茨 |
| 图 28-2 | 图 28-5 |
| 焦 耳 | 开尔文 |
| 图 28-3 | 图 28-6 |
| 焦耳的搅水实验 | 克劳修斯 |

第二十九章

- | | | |
|--------|------|----------|
| 图 29-1 | 玻尔兹曼 | 门捷列夫 |
| 图 29-2 | 布 朗 | 图 29-6 |
| 图 29-3 | 道尔顿 | 李比希 |
| 图 29-4 | 柏采留斯 | 图 29-7 |
| 图 29-5 | | 吉森实验室外景 |
| | | 图 29-8 |
| | | 吉森实验室内景 |
| | | 图 29-9 |
| | | 李比希正在做实验 |

第三十章

- | | | |
|--------|-----------|-----------|
| 图 30-1 | 巴黎天文台的望远镜 | 漫画：海王星的发现 |
| 图 30-2 | 勒维烈 | 图 30-4 |
| 图 30-3 | | 夫琅和费的光谱仪 |
| | | 图 30-5 |
| | | 塞奇的照相望远镜 |

第三十一章

- | | | |
|--------|---------------|-----------|
| 图 31-1 | 居维叶 | 图 31-6 |
| 图 31-2 | 巴黎自然博物馆的比较解剖室 | 青年达尔文 |
| 图 31-3 | 猛犸象化石 | 图 31-7 |
| 图 31-4 | 默奇森 | 贝格尔号 |
| 图 31-5 | 赖 尔 | 图 31-8 |
| | | 达尔文与儿子 |
| | | 图 31-9 |
| | | 唐村外景 |
| | | 图 31-10 |
| | | 唐村达尔文的写作间 |

图 31-11

华莱士

图 31-12

《物种起源》初版

图 31-13

漫画：人猿同祖

图 31-14

人类的由来

图 31-15

威尔伯福斯

第三十二章

图 32-1

细胞存在的显微证据

图 32-2

微耳和

图 32-3

伯纳尔

图 32-4

孟德尔

图 32-5

巴斯德

图 32-6

巴斯德在工作

图 32-7

巴斯德在巴黎高师实验室

图 32-8

巴斯德为母亲画的像

图 32-9

巴斯德与夫人在花园里

图 32-10

李斯特正在做外科手术

图 32-11

显微镜下面的炭疽病杆菌

图 32-12

詹纳

图 32-13

种牛痘漫画

图 32-14

巴斯德研究所门前的雕像

图 32-15

世界各地的狂犬病患者来到这里求治

图 32-16

巴斯德为人接种疫苗

图 32-17

人类最大的赞扬和感谢

图 32-18

科赫

第七卷

第三十三章

图 33-0

在这个科学的世纪，科学被用于商业广告

- 图 33-1
巴黎天文台
- 图 33-2
1847 年在奥尔的法国科学年会
- 图 33-3
皇家学会 18 世纪开会的地方
- 图 33-4
1857 年以后的皇家学会
- 图 33-5

- 格林威治天文台
- 图 33-6
英国科学促进会在布里顿的会议
- 图 33-7
科学促进会的成员各式各样
- 图 33-8
德国科学家聚会
- 图 33-9
彼得堡科学院

第三十四章

- 图 34-1
运输机械的革命
- 图 34-2
菲奇的桨式汽船
- 图 34-3
富尔顿的第一艘汽船 (1803 年)
- 图 34-4
富尔顿的第二艘汽船 (1807 年)
- 图 34-5
早期的明轮汽船
- 图 34-6
1897 年响尾蛇号 (螺旋桨) 与爱里克托号

- (明轮) 比赛, 动力均为 200 马力, 但前者很快超过了后者, 将其倒拖过来。
- 图 34-7
火车表演
- 图 34-8
利物浦到曼彻斯特的火车, 上为包厢, 中为二等厢, 下为敞棚
- 图 34-9
福特
- 图 34-10
福特制造的汽车

第三十五章

- 图 35-1
伦敦第一辆电车通车仪式
- 图 35-2
19 世纪的发电站
- 图 35-3
戴维制造的电弧光灯

- 图 35-4
爱迪生
- 图 35-5
爱迪生的机器车间
- 图 35-6
早期的电报电传工作

- | | |
|--------|----------------|
| 图 35-7 | 贝尔电话实验室 |
| 莫尔斯 | 图 35-10 |
| 图 35-8 | 马可尼的接收天线 |
| 贝尔 | 图 35-11 |
| 图 35-9 | 马可尼(右)正在调试无线装置 |

第 八 卷

第三十六章

- | | |
|-------------------------|---------------|
| 图 36-0 | 爱因斯坦与夫人爱尔莎 |
| 第一次索尔末会议与第五次索尔末会议 | 图 36-11 |
| 图 36-1 | 爱因斯坦在美国讲学 |
| 测定光速 | 图 36-12 |
| 图 36-2 | 爱因斯坦宣誓成为美国公民 |
| 迈克尔逊 | 图 36-13 |
| 图 36-3 | 爱因斯坦与以色列总理本古龙 |
| 迈克尔逊-莫雷实验 | 图 36-14 |
| 图 36-4 | 晚年的爱因斯坦 |
| 洛伦兹 | 图 36-15 |
| 图 36-5 | 爱因斯坦临终之前的办公室 |
| 专利局时代的爱因斯坦 | 图 36-16 |
| 图 36-6 | 伦 琴 |
| 爱因斯坦与妻子(米列娃)、儿子于 1904 年 | 图 36-17 |
| 图 36-7 | 伦琴的实验室 |
| 版画: 时空连续统 | 图 36-18 |
| 图 36-8 | X 射线装置 |
| 爱因斯坦与爱丁顿 | 图 36-19 |
| 图 36-9 | 贝克勒尔 |
| 爱丁顿 | 图 36-20 |
| 图 36-10 | X 射线用于医疗事业 |
| | 图 36-21 |

- 居里夫人
图 36-22
- 居里夫妇
图 36-23
- 居里夫人参加战地救护
图 36-24
- J. J. 汤姆逊
图 36-25
- 汤姆逊在实验室
图 36-26
- 普朗克
图 36-27
- 卢瑟福
图 36-28
- 卢瑟福的实验室
图 36-29
- 卢瑟福与盖革
图 36-30
- 卢瑟福与玻尔 (后排)
图 36-31
- 卢瑟福在实验室里
图 36-32
- 玻尔
图 36-33
- 薛定谔
图 36-34
- 玻尔与海森伯
图 36-35
- 1931 年罗马会议期间, 密立根、居里夫人与海森伯
图 36-36
- 1930 年哥本哈根会议
图 36-37
- 爱因斯坦与玻尔

第三十七章

- 图 37-1
里克天文台的反射望远镜
- 图 37-2
威尔逊山的大望远镜
- 图 37-3
哈勃正在望远镜里工作
- 图 37-4
斯莱弗
- 图 37-5
帕洛马山的光学望远镜
- 图 37-6
英国乔特尔沿岸的射电望远镜
- 图 37-7
射电天文台
- 图 37-8
彭齐亚斯和威尔逊发现宇宙微波背景辐射所用的天线

第三十八章

- | | |
|---------------|--------|
| 图 38-1 | 李政道 |
| 费米实验室 | 图 38-5 |
| 图 38-2 | 杨振宁 |
| 费米实验室加速器的地下坑道 | 图 38-6 |
| 图 38-3 | 吴健雄 |
| 安德森 | 图 38-7 |
| 图 38-4 | 费米 |

第三十九章

- | | |
|--------|--------|
| 图 39-1 | 沃森与克里克 |
| 摩尔根 | 图 39-3 |
| 图 39-2 | 诺贝尔 |

第四十章

- 40-1
魏格纳

第九卷

第四十一章

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| 图 41-0 | 约里奥-居里夫人在实验室 |
| 太空时代 | 图 41-3 |
| 图 41-1 | 奥本海默 |
| 法国的一座太阳灶，中间温度可达 5400 度，几乎是太阳表面温度的一半 | 图 41-4 |
| 图 41-2 | 奥本海默与格罗夫将军 |
| | 图 41-5 |

代号为“小男孩”的原子弹

图 41-6

代号为“胖子”的原子弹

图 41-7

原子弹爆炸时的情景

图 41-8

氢弹爆炸时的情景

第四十二章

图 42-1

卫星上天之前人类心目中的地球形象

图 42-2

卫星上天之后人类心目中的地球形象

图 42-3

带翅膀的飞人

图 42-4

带翅膀的飞船

图 42-5

巨大的载人气球

图 42-6

法国物理学家董·吕萨克与比奥在探空气球上

图 42-7

飞行员因翅膀折断从空中坠落下来

图 42-8

莱特兄弟

图 42-9

莱特兄弟的办公室

图 42-10

莱特兄弟制造的滑翔机

图 42-11

莱特兄弟制造的第一架飞机

图 42-12

高达德

图 42-13

第一颗人造地球卫星

图 42-14

加加林在发射台上向观众致意

图 42-15

第一艘载人飞船

图 42-16

奥尔德林在月球上做太阳风实验

图 42-17

太空人受训

图 42-18

宇航员收集月球岩石标本

图 42-19

空间站

第四十三章

图 43-1

巴丁、肖克莱、沃特爾（从左至右）

图 43-2

拜比吉

图 43-3

打孔机

图 43-4

爱尼阿克电子计算机

图 43-5

奥本海默与冯·诺意曼

第四十四章

图 44-1

科学与生活。

科学家聚精会神地研究摆的物理运动，对在一旁悠然自得地荡秋千的少女视而不见，科学忽视了生活吗？

图 44-2

科学（电）带来光明

图 44-3

核弹爆炸时令人心悸的场景

后 记

花了近两年的功夫，这部书稿总算完成了，我如释重负。这首先得感谢责任编辑李永平先生，没有他无比耐心的督促，还不知道要拖到何年何月才能完稿。

1992年的夏天，当永平先生把他们关于本书的策划向我出示时，我立即感到这是一件很有吸引力的工作。首先，深入钻研历史，特别是科学的历史，正是我一直提倡的。我认为，哲学研究如果脱离了历史，就会失去根基。为此，我曾经组织编译过一本《科学思想史指南》（四川教育出版社1994年出版），试图改变我国自然哲学和科学哲学研究中对历史的忽视。写现在这样一本书，正好将多年来对科学史的了解和看法整理一下，是一个有意义的编史实践。

其次，安排大量插图这一点也很使人心动。就我所知，国内还没有一部科学通史著作带有这样丰富而精美的插图。对科学史著作而言，配以特定历史图片，将使所叙述的历史事件变得生动、

直观、亲切，使人仿佛身临其境，乐而忘返。但是，配大量插图成本就上去了。一般出版社不愿作此项投资，这可能也是图片本科学通史著作未能问世的原因。因此，湖南科学技术出版社的这一有魄力的策划就显得极为难能可贵。

我想象我的读者是那些至少具有中学文化水平的人，他们对基本的数、理、化、生知识有所了解，但又渴望深入了解这些知识的来历。事实上，由于这是国内第一次出版系统的科学史图片，本书对理科教师（中学的、大学的）和专业科学史工作者，也会有些参考价值。

科学史对于形成或者纠正科学的形象至关重要。但在我们国家，科学史的研究以及科学史的普及工作尚未受到应有的重视。本书只是一位非职业的科学史工作者写的一部普及型的科学史读物，表达了一些个人的看法，错误和不当之处一定很多，希望读者和专家批评指正。

吴国盛

1995年4月于北京劲松四区

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 未命名图书

作者 =

页数 = 8 6 8

S S 号 = 0

出版日期 =

封面
书名
版权
前言
目录
正文