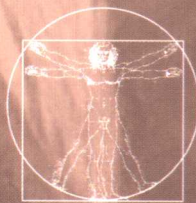


刘兵 杨舰 戴吾三 主编

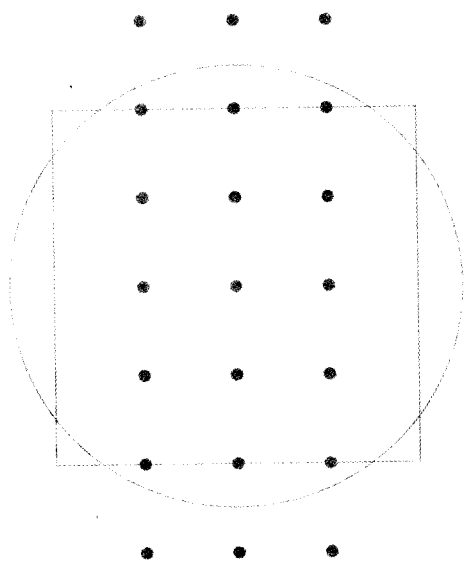
科学技术史二十一讲

清华大学出版社



科学技术史二十一讲

刘兵 杨舰 戴吾三 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《科学技术史二十一讲》是在清华大学近年来面向本科生开设的科学技术史系列讲座的基础上,根据多位参与授课教师的讲稿修订而成的。内容涉及从古到今科学技术在各个不同文明中的成长和发展。本书定位于大学生素质教育,旨在开拓视野,打破文理藩篱,增强科学技术的历史感,注意运用科学技术史研究的新材料,反映新的成果和观点,各讲既相对独立,又有整体的联系。

该书适用于大学生、研究生学习,也可供从事本课程教学的教师及对科学技术史有兴趣的人士阅读、参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

科学技术史二十一讲/刘兵,杨舰,戴吾三主编. —北京:清华大学出版社,2006.10
ISBN 7-302-13933-4

I. 科… II. ①刘… ②杨… ③戴… III. 自然科学史—世界 IV. N091

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 117426 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:方 洁

文稿编辑:王巧珍

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:23 字数:471千字

版 次:2006年10月第1版 2006年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13933-4/K·46

印 数:1~4000

定 价:30.00元

出版说明

科学技术史的教育,在清华大学有着非常悠久的历史。近些年来,随着科学技术史学科建设在清华大学的逐步完善,清华大学在科学技术史的教学方面又有了进一步的发展。目前,除面向科学技术史和科学技术哲学专业研究生的系列课程之外,面向一般理工和文科研究生及本科生的不同类型的科学技术史课程也在陆续开设中,其中包括面向诸如文科实验班和新闻传播学本科生的科学技术史必修课等。尤其是面向全校学生开设的“科学技术史系列讲座”,更是受到普遍的欢迎,也取得了较好的效果。此课程近来又经推荐和审定,成为清华大学文化素质教育核心课程。在这个系列讲座中,我们聘请了清华大学人文社会科学学院科学技术与社会研究所和清华大学科学技术史暨古文獻研究所从事科学史教学和研究的多位教师,清华大学其他院系对科学技术史素有研究的教师,以及校外专家就自己专长的研究领域进行专题讲授,使整个系列讲座构成了一幅相对完整的科学技术史的图景。这本《科学技术史二十一讲》就是在此基础上,由相关讲授者撰写而成。此书可作为大学各专业研究生和本科生学习科学技术史的参考教材,也可供其他对科学技术史感兴趣的读者阅读。

本书组织分工如下(按姓氏笔划):

- | | |
|-----|-------------|
| 王蒲生 | 第十三讲 |
| 刘兵 | 第一讲,第二十一讲 |
| 冯立昇 | 第七讲,第十二讲 |
| 李正风 | 第二十讲 |
| 张藜 | 第十四讲 |
| 杨舰 | 第九讲,第十讲 |
| 郭奕玲 | 第十六讲,第十九讲 |
| 高瑄 | 第十一讲 |
| 游战洪 | 第八讲 |
| 鲍欧 | 第十七讲 |
| 蒋劲松 | 第四讲,第六讲 |
| 雷毅 | 第十五讲,第十八讲 |
| 戴吾三 | 第二讲,第三讲,第五讲 |

此外,为了向学习本门课程的学生强调科学技术的进步与社会历史发展的诸多联系,我们在全书的最后,以附录的形式整理了“科技史大事对照年表”。这项工作主要由

曾经担任本门课程助教的清华大学科技与社会研究中心的研究生屠聪艳同学整理完成。

本书的撰写出版得到清华大学科技与社会研究中心的姚雅欣博士、白欣博士以及清华大学科技史暨古文献研究所工作人员刘素宁小姐的帮助,谨借此机会对他们表示衷心的感谢。

最后,全体作者还要一致向清华大学出版社的编辑表示由衷的谢意。

目 录

出版说明	I
第一讲 科学技术史导论	1
第二讲 人类文明背景下的科学溯源	14
第三讲 中华文明的形成	27
第四讲 希腊人的科学与自然	41
第五讲 罗马时代的技术和科学	60
第六讲 中世纪及其宗教与科学	71
第七讲 伊斯兰文明对科学的贡献	87
第八讲 中国古代的科学技术及其世界意义	101
第九讲 欧洲的文艺复兴	129
第十讲 近代科学的诞生	142
第十一讲 产业革命	156
第十二讲 变量数学的建立与科学的数学化	173
第十三讲 地质学的形成及其职业化	186
第十四讲 从经验科学到实验科学：拉瓦锡与化学革命	201
第十五讲 进化论与达尔文	217
第十六讲 第二次产业革命与经典物理学大厦的完成	232
第十七讲 西方科学的移植与中国近现代科技的起步	255
第十八讲 分子生物学与科学的新时代	271
第十九讲 现代物理学革命	287
第二十讲 科学体制化与科学政策	308
第二十一讲 科学史与科学文化	326
附录：科技史大事对照年表	337

科学技术史导论

对我们来说明白易知的,起初是一些未经分析的整体事物。而元素和本原,是在从这些整体事物里把它们分析出来以后才为人们所认识的。

——亚里士多德《物理学》

第一节 概 说

科学史是研究科学的历史发展的一门学科。正像人类的各种活动均有其历史一样,科学的发展,也有它的历史。

讲到科学史,首先涉及对“历史”概念的理解。事实上,“历史”是一个多义的概念。在英语中 history(历史)一词至少可以在两种层次上来理解。首先,在最常见的用法中,它指人类的过去。而在专业性的用法中,它或是指人类的过去,或是指对人类的过去的本质的探索。同时,不论是在通常的用法中还是在专业的用法中,这一概念也还指对于过去所发生的事件的说明和描述,也即由人所写出的“历史”。当然,需要注意的是,仅仅对于一个事件的各个方面作出按时间顺序的说明还不一定是真正的历史。

至于谈到科学史,则除了历史的概念之外,还涉及“科学”(Science)的概念。“科学”同样也是一个有多重含义的概念。在对此做专门研究的科学哲学界,关于何谓科学,也一直是争论的焦点问题,而且尚无让所有科学哲学家一致认可的“科学”的定义。但是,在一般的理解中,“科学”至少也有两层含义。其一,是被看做关于自然的经验陈述和形式陈述的集合,是在时间中某一给定时刻构成公认的科学知识的理论与数据,是典型的已完成的产品。在另一层含义中,科学是由科学家的活动或行为所构成的,也就是说,它是作为人类的一种行动,而不论这种行动是否带来了关于自然的真的、客观的知识。一般地讲,在科学史家所关注、所研究的“科学史”中所涉及的“科学”,主要是后一种意义上的科学,当然,也是不能完全地将前一种意义上的科学完全地排斥出科学史的领域。

要学习科学史,自然需要对于什么是科学史有所理解。这种理解,一方面是通过不断的对于具体的科学史的学习而得到的,另一方面,也可以先以历史的方法,通过对于科学史这门学科本身的发展的了解,来得到一种粗略的概念。因为科学史在其长期的发展过程中,从形态、研究方法、侧重点到总的科学史观都经历了种种变化。正像有人为理

解科学的最好方式之一是学习科学史一样,通过对于科学史这门学科的历史发展的考察,也会有助于我们更加深入地理解科学史本身。

第二节 科学史学科的历史发展简述

一、科学史与中国

中国的史学传统源远流长。在众多古代史书中,很早就有了与科学史有关的史料记载。从宋代开始,还出现了像周守忠的《历代名医蒙术》这样的医史著作,而到了清代,甚至有了由阮元等人撰写的《畴人传》这样专门的天文学家、数学家传记专著(其中并有若干重要的西方科学家之传记)。有人认为,我国学者对科学史(主要是中国科学史)的真正研究(而不仅仅是对史料的汇集和简单记述),始于20世纪前后。^①但是,近代科学产生于西方,一般认为,与近代科学诞生直接相关的文化传统也是西方的。相应的,科学史在其作为一门学科这种意义上,基本上也是产生于西方的文化土壤。因此,在概要地回顾科学史的发展时,我们可以暂时集中关注科学史在西方的发展。当然,这并不是说在中国的历史上绝无科学史的工作。

二、科学史的早期发展

如果从分类的角度而言,可以说科学史是历史学的一个子分支。当然,对于科学史与历史学的关系,直到20世纪才开始有人予以认真的考虑,而在相当长的时间中,一般的历史学与科学史的发展彼此几乎没有联系。西方的历史学源于古希腊,但科学史最初的形态亦出现于古希腊时期。几乎从一开始,历史的描述和分析就伴随着科学(当然是广义的科学)的发展。早在公元前5世纪,古希腊的希波克拉底(Hippocrates)就已描述了到他那个时代为止的医学发展的历史[就医学史来说,生活在公元前2世纪的古罗马名医盖伦(Galen)也做过类似的工作]。公元前4世纪,亚里士多德(Aristotle)在他的著作中,就经常对所述课题的历史回顾开始论述,他在《形而上学》一书中留下了关于早期希腊哲学的历史。当他想要谈论原子与虚空的问题时,他就先描述原子论的历史,并在想象中与已去世的德谟克利特进行讨论。亚里士多德的这种历史方法还影响了逍遥学派,例如,他的学生、植物学家德奥弗拉斯特(Theophrastus,公元前372—前287年)就创立了搜集汇编和注释古代希腊哲学家著作这种历史撰写的方式。尤其应当提到的

^① 郭金彬、王渝生:《自然科学史导论》,第258~259页,福州,福建教育出版社,1988。

是生活在公元前4世纪的埃德谟(Eudmos),他甚至撰写过天文学史和数学史!遗憾的是,这些著作都已遗失,只是从古代末期和中世纪初期其他一些人的著作中,我们才知道其片断。事实上,当古希腊的数学家们想要解决问题时,一种很自然的方法就是从说明这个特殊课题的历史开始,这被看成是问题的一个内在组成部分。再后一些,在公元5世纪,普洛克劳斯(Proclus)曾撰写过欧几里得几何学的历史,在公元6世纪,辛普利修斯(Simplicius)撰写了关于亚里士多德自然哲学著作的注释,并对更早期的自然哲学家们的观点给出了说明。

到中世纪时,一些阿拉伯的学者也对科学的历史表现出了兴趣,例如,在11世纪,赛义德·阿尔·安达卢西(Said al-Andalusi)在其撰写的科学史中,就已将世界各国的科学作为一个整体来考虑,强调了科学的整体性概念、科学的国际定义和科学作为一种智力冒险的重要性。此后在13世纪左右,一些埃及、叙利亚的学者们也对科学史表现出了相当大的兴趣。^①

在16~17世纪,伴随着近代科学的产生,有关科学史方面的著作开始不断增多。其中尤其重要的是帕拉塞尔苏斯(Paracelsus)的信徒们在医学史和化学史方面的著作,如丹麦化学家和医生博里修斯(O. Borrichius)于1668年写成的化学史。这些著作与当时宗教、医学和化学的改革运动有着密切的联系。此外,此期间斯普拉特(T. Sprat)的《皇家学会史》(1667)的出现也与当时的形势有关,是为了保护皇家会员免受鼓吹亚里士多德哲学的人士的攻击,以辩护的方式写成的。在1673年,英国数学家沃利斯(J. Wallis)关于几何学的历史与实践的论著,被称做是英国第一部严肃的数学史著作。而沃顿(W. Wotton)于1694年出版的《对古代与近代学术的反思》一书,虽然涉及了人类知识的主要领域,但特别关注一些科学学科,其中尤以对生命科学的论述最为出色,包括对血液循环的发现和近代解剖学的发展的论述。它被称做是英语中在很大程度上致力于科学史的最早的单卷本著作。^②

当然,从现代的观点来看,上述这些早期的工作似乎还只能算是科学史的雏形,实际上,直到18世纪之前,对于科学史细致的、系统的研究几乎还不存在。因此,从古希腊到18世纪以前,可以说是科学史发展的史前时期。

三、学科史的出现

从18世纪开始,伴随着启蒙运动和近代科学的兴起,人们将历史看做是一种工具,

① S. N. Sen, Changing Patterns of the History of Science. *Science and Culture*. 1965, 31(5): 214-219.

② H. Guerlac. The Landmarks of the Literature. *The Times Literary Supplement*. 1974, (Apr. 26): 449-450.

认为它在反对古老的封建秩序的斗争中非常重要,18世纪文化的特征是科学与进步,是把科学看做社会进步的源泉,这种对科学与进步的强烈信念也反映在当时的科学史著作中。在启蒙时期科学史的标志是:在科学与社会问题方面一种朴素的乐观主义。随着科学的发展,人们感到,如果不懂科学的历史,就不可能理解科学,因为只有了解一门科学的历史,才能使一个对这门科学感兴趣的人知道,在此之前人们已做了些什么工作,以及还留下什么要去做。这个时期的科学史也不是一种现代意义上对科学发展真正的历史透视,而更多强调对有关课题的编年细节与概览,科学史研究的典型做法是选择某一个已经确立的学科或学科分支作为对象,并描述构成了该学科当代主题的各种因素是在何时、何地形成以及怎样形成的。在这种背景下,一些细致的学科史研究开始出现。

要追溯学科史的发展,可以沿着两条不同的线索。一条线索是,从更早的时期以来,甚至从古代开始,许多专业学术文献和著作中就包含有叙述该学科历史的章节。而到了18世纪之后,随着科学的蓬勃发展,科学家们更经常地在其著作中包括了“历史导言”,而且当时这样做是为了将自己的工作置于该学科的历史传统背景中,以强调其独创性和重要性。例如,达尔文(C. R. Darwin)在其《物种起源》后期的版本中,就对从拉马克到他自己进化概念上的贡献给出了历史的说明,类似的例子还有像拉格朗日(J. L. Lagrange)在其数学著作中、赖尔(C. Lyell)在其地质学著作中对历史的叙述等等。从18世纪以来,这种传统一直被继承下来。今天,在许多科学专著和教科书中,仍常常是以“历史导言”作为开始,这种“历史”主要是为了叙述和理解专著中所涉及的专业内容而服务的。它们也常常包括有重要的观点,因而对于科学史的研究者们来说,这种“历史导言”是一类重要的文献,但由于作者是科学家而非专业的科学史家,所以,从现代的某种观点来看,一些科学史家不认为它们是真正意义上的科学史,或至少以为需要批判地阅读才行。

学科史发展的另一条线索是,从18世纪中叶开始,出现了一批对一些专业学科的发展作了较系统研究的著作,当然,作者们仍是科学家,而不是(而且在当时也还没有)职业科学史家。在这些开创性的研究中,首推以发现氧气而闻名的英国化学家普里斯特利(J. Priestley)的两部著作:《电学的历史与现状》(1767)和《关于视觉、光和颜色发现的历史与现状》(1772);另外还有法国数学家蒙蒂克拉(J. E. Montucla)的《数学史》(1758)(这是到当时为止对此课题最详尽、准确的研究,事实上,此书包括了力学、天文学、光学和音乐的内容,因为当时这些学科被认为是数学的分支)以及天文学家巴伊(J. S. Bailly)的《古代天文学史》(1775)和《近代天文学史》(3卷,1779—1782)。像这样一些著作在今天的科学史研究中还常常为人们所参考使用。普里斯特利本人曾表述过他研究科学史的动机,他认为,与欧洲文明的任何其他特征相比,除了它综合性的力量之外,科学更能以进步的思想使启蒙运动让人满意,历史显示出来的这种进步不仅令人愉快,而且更为道德,人们可以从历史中学到,过去的伟大发现并非是无与伦比的天才们的工作,而是由

像他们自己一样的人们所做的工作。^①

但是,此时的科学史还不具有自身独立的价值标准,而是更多地要为当时的需要服务,例如,普里斯特利更把科学史看做是对尚未解决的问题已研究到了什么程度的一种估量,而巴伊则认为科学史往往是关于我们已做了些什么,以及我们还能够做些什么的报告而已。此外,从18世纪末期到19世纪初期,一批德国的学者们对学科史的发展也作出了重要的贡献,写出了一批较有影响的著作。在这种传统后来的发展中,我们尤其可以提到著名的科学家、科学哲学家和科学史家马赫(E. Mach)所撰写的《力学史评》(1883)、《热学史评》(1896)和《物理光学史评》(1921)等学科史著作。马赫的史学著作最突出的特点,是将科学、哲学和史学的思考融为一体。

这样一种学科史的研究传统直到今日也仍未中断,其发展的趋势是研究得更加深入、更加细致。当然,这与19世纪以前的学科史相比,在研究方法、目的等方面又是相当不同的。

四、综合性科学史的出现

就科学史的总体发展来看,一个重大的转折是综合性科学史的出现。要追溯这一转变的出现,首先可以从哲学观点对于科学史研究的影响谈起。

早在17世纪,培根(F. Bacon)就指出,对于那些想要发现人类理性本质和作用的人来说,学习历史是有目的的。培根的研究者罗西(P. Rossi)曾评论说:“按照培根的观点,如果我们想建立一种符合当代需要的新哲学,那么,我们必须首先获得一种坚实的知识,即关于我们所要取代的哲学的起源和信仰的知识。因此,在进步和增长中,他引伸出来一种历史探究的方法,就是把现存的每一种哲学都作为一个整体,通过它的发展以及它同产生它的那个时代的联系来进行描述。”^②

在19世纪,出现了第一部综合科学史,即英国科学史家休厄耳(W. Whewell)的《归纳科学的历史》(1837)。正是从综合史的角度,有时人们评价说这是近代最早的一本科学史著作,它在整个维多利亚时代都保持了经典的地位。这本书的书名也反映了休厄耳对培根的观点的信奉,即强调以观察和实验为基础的科学——归纳的科学。休厄耳试图对归纳科学的历史发展作出综合的估价。但他的科学史是在许多甚至当时就已过时了的二手文献基础上写成的,是一种为了哲学的目的而写的科学史,他的目的是要发展一种对于科学的哲学理解,试图以历史为基础,从中提出一种准确的科学方法论,而不是要

^① A. R. Hall. Can the History of Science be History?. *British Journal for the History of Science*, 1969, 4 (15): 207-220.

^② 转引自: A. R. Hall. Can the History of Science be History?. *British Journal for the History of Science*, 1969, 4(15): 207-220.

在历史背景中去理解科学。此外,休厄耳的《归纳科学的历史》虽然表面上是一部综合科学史,包括有许多的科学学科的历史发展,但他这部著作实际上并未将所有这些门科学作为一个有机的整体,而只不过是各门科学的历史汇集、堆砌在一起而已。还不能算是严格现代意义上的综合科学史。在休厄耳之后,这种以哲学为主要目的的科学史在19世纪后期有了更进一步的发展。像马赫、奥斯特瓦尔德(F. W. Ostwald)、贝特洛(P. E. M. Berthelot)和迪昂(P. Duhem)这样一些信奉实证主义哲学观点的杰出科学家和科学史家,他们一方面具有专业的知识,一方面又出于哲学的动机而进行科学史研究,并将这两者出色地结合起来。顺便可以提到的是,迪昂的一个重要贡献是纠正了休厄耳对中世纪的看法,强调了中世纪对现代科学起源的重要意义。

综合科学发展的另一线索可以从法国实证主义者孔德(A. Comte)讲起。美国的科学史学科奠基人萨顿(G. Sarton)甚至评价说,“应该把奥古斯特·孔德看做科学史的创始人,或者至少可以说他是一个对于科学史具有清晰准确(如果不完全的话)认识的人”。^① 因为孔德在1830—1842年出版的《实证哲学教程》中,明确提出了三个基本思想:①像实证哲学这样一部著作,如果不紧紧依靠科学史是不可能完成的;②为要了解人类思想和人类历史的发展,就必须研究不同科学的进化;③仅仅研究一个或多个具体学科是不够的,还必须从总体上研究所有学科的历史。由此可见,与实证主义的哲学纲领相一致,孔德强调了统一的科学和统一的、综合性的科学史。作为孔德的纲领的实践者,在这方面首先作出了重要贡献的,是19世纪中叶出生的法国科学史家坦纳里(P. Tannery),坦纳里本人对科学史进行了大量的深入研究,而且认真地区分了学科史与综合科学史(或称“通史”)的区别。他强调指出,科学是一般人类历史的一个内在组成部分,而不仅仅是从属于特殊科学的一系列科学学科,科学通史并不仅仅是许多专科史的一种汇总或精炼,科学通史涉及的问题是:科学的社会环境、各学科之间的关系、科学家的传记、科学的交流和科学的教育等等。由于他的贡献,坦纳里还在综合性科学史的意义被称为“第一位科学史家”。

五、独立的科学史学科的形成

要使科学史变成一门独立的学科,除了在史学思想和研究方法方面的准备之外,还需要将分散的研究活动变得有组织,并使科学史的研究和教学变成一种专门的职业。到19世纪末、20世纪初时,已经有许多迹象表明科学史在开始形成一门独立的学科。但对于科学史的发展、对于确立了科学史作为一门独立学科的地位作出最大贡献的,应该说是萨顿(图1-1)这位杰出的科学史家。在科学史作为一门现代的、独立的专业学科这种

^① 萨顿:《科学的生命》,刘珣珺译,第27页,北京,商务印书馆,1987。

意义上,萨顿是真正的奠基者。

萨顿于 1884 年出生于比利时,他早期对于文学、艺术和哲学有很大兴趣,先是在根特大学学习哲学,但很快就转学自然科学。他学习了化学、结晶学和数学,在 1910 年立志献身于科学史的研究。萨顿的第一个创举是在 1912 年办起了综合性的科学史杂志《爱西斯》(Isis)。1913 年,该杂志的第一期正式由出版社发行。到目前为止,这份杂志仍是科学史领域中最权威的杂志之一。



图 1-1 萨顿

萨顿在哲学上受到了实证主义者孔德的极大影响,可以说是孔德和坦纳里的继承者,并将这两位先验者的理想付诸实施。他坚信科学史是唯一可以反映出人类进步的历史。正是由于有这种信念以及他最高的目标——建立以科学为基础的新人文主义,即科学的人文主义,萨顿将整个一生都贡献给了科学史的事业。他一生共写有 300 多篇论文和札记,15 部著作,编写了 79 篇科学史研究文献的目录(这种编写详尽文献目录的传统至今仍为《爱西斯》杂志所继续,成了科学史家们重要的索引工具)。1915 年,萨顿到了美国,并在那里继续他的奋斗。在萨顿等人的努力下,1924 年在美国创建了以学科为基础的学会——科学史学会。由于萨顿相信科学史研究最根本的原则是统一性原则,认为自然界是统一的,科学是统一的,人类是统一的,他本人还着手撰写《科学史导论》,以期实现他所追求的综合性科学史。

萨顿对于使科学史成为一门独立学科所作的另一重大贡献,是他致力于建立科学史的教学体系。从 1920 年起,他开始在美国哈佛大学开设系统的科学史课程,他不但为科学史课程的建设 and 科学史学位研究生的培养作出了开创性的贡献,而且也对科学史教学的意义和目的、对科学史教师的要求以及科学教学的许多具体技术性问题都作了大量的论述。

从 20 世纪初科学史作为一个独立学科的确立到现在,国际上科学史研究人员的队伍、有关机构、刊物的数目、科学史教学的普及程度、科学史研究的方法和理论,以及科学史研究的领域等等都有了极大的发展。例如,在 1983 年《爱西斯》出版的《科学史指南》专刊中,所提到的与科学史有关的刊物就达 100 种,^①而这份清单还并不是十分完备的。目前发表科学史论文的刊物的数目又有了很大的增加。尤其是,目前的科学史早已超越了萨顿的时代。从孔德到坦纳里到萨顿,占主导地位的主要是一种实证主义的科学史观,现在人们已经感到了这种传统的局限。美国科学史家和科学哲学家库恩(T. S.

① R. E. Goodman. Guide to Scholarly Journals. *Isis: Guide to the History of Science*, 1983, 71-85.

Kuhn)曾说:“科学史家由于去世不久的乔治·萨顿在建立科学史专业中的作用,对他极为感激,但是他所传播的科学史专业的形象继续造成了许多损害,即使这种形象早就被摒弃了。”^①此外,英国科学史家霍尔(A. R. Hall)的一段论述也是有代表性的:

现在我们大大超过坦纳里的最重要的一点,就是认识到,尽管实证主义对编史学可以有很大的帮助,但它也可以有很大的危害,就像它对坦纳里本人的专业的影响一样。它是一种帮助,因为它能认识到成就的一种时间次序的意义;它是一种危害,因为它完全忽视了在科学中的主观性和理论的负载,更不用说带有特性的要素了。实证主义与优秀的常识完全一致,但是也与对历史的最精细结构的轻视相符合。它太容易产生编年史了,并且在受过训练的人们中鼓舞了这样的信念:科学是必须理解的,而历史是某种人们总可以查出来的东西。^②

在有限的篇幅中,是不可能一一讨论在萨顿之后科学史在各个方面详细发展情况的。但在这里回顾一下撒克里(A. Thackray)在其有关科学史现状的综述中所总结的科学史研究的核心领域,或许可使读者对目前科学史研究的范围有一初步的印象。这些领域是:①科学的社会根源与社会史;②科学革命;③古代与中世纪的科学;④在非西方文化中的科学;⑤国别研究;⑥学科史;⑦科学与宗教;⑧科学、医学与技术;⑨科学哲学、科学心理学和科学社会学;⑩“伟人”研究。^③虽然,对这些核心领域的罗列是个人的看法,但它也大致地反映了目前国际上科学史家们的主要兴趣所在。

第三节 内史与外史

如前所述,萨顿虽然对于将科学史建立成为一个独立的学科作出了重要的贡献,但他的那种研究方法和历史观却在科学史界没有延续多长时间,而且对于后来科学史家们的实际工作影响不大。在谈到对于美国在萨顿之后新成长起来的一代科学史家们的实际影响时,我们不能不提到科瓦雷(A. Koyré)的名字。科瓦雷是一位作为俄国移民的法国科学史家,他具有引人注目的哲学研究背景。从20世纪30年代起,他对于科学史的研究[尤其是以其名著《伽利略研究》(1939)为代表],开创了“观念论”(idealist)的科学

① 库恩:《必要的张力》,纪树立等译,第147~148页,福州,福建人民出版社,1981。

② A. R. Hall. Can the History of Science be History?. *British Journal for the History of Science*, 1969, 4 (15): 207-220.

③ A. Thackray. History of Science. In: P. T. Durbin, ed., *A Guide to the Culture of Science, Technology, and Medicine*. The Free Press, 1980. 3-69.

史研究传统。这种传统视科学在本质上是理论性的,是对真理的探索,而且是有着“内在和自主的”发展的探索。50年代以后,科瓦雷的著作逐步地被译成英文,加上他在美国的讲学活动,使这种观念论的科学史研究传统在美国的科学史家中产生了巨大而深远的影响。

虽然像萨顿等人也曾提到要注意科学发展的社会文化背景,但他们却没有在这些方面进行认真、系统的研究。按照现代的划分标准,不论是萨顿的那种实证主义科学史,还是科瓦雷式的观念论科学史,都属于标准的“内史”范畴,与之相应的科学史观可以称为内史论。按内史论进行研究的科学史家认为,科学主要是一种至高无上的、理性的、抽象的智力活动,而与社会的、政治的和经济的环境无关。他们关注的是科学自身独立的发展,注重科学发展中的概念框架、方法程序、理论的阐述、实验的完成以及理论与实验的关系等等,关心科学事实在历史中的前后联系。在某种程度上,对于比较成熟的科学学科来说,按这种方式来进行历史研究也许相对更合适些,因为成熟的科学学科本身的发展相对具有更大一些的自主性和独立性。内史虽然忽视了外部环境对科学发展的影响,但这并不一定意味着这种研究方式就很容易,事实上,以这种方式从事历史研究的科学史家们要对所研究的科学问题有深刻的理解。这种科学的内史对于科学教学来说,也有重要的意义。在内史研究传统下,产生了许多出色的成果。

与内史论的观点相对,在20世纪的科学史发展中,外史论的观点逐步兴起,形成了一种新的研究传统。按照库恩在为《国际社会科学百科全书》(1968)所写的科学史条目中的看法,这就是指“把科学家的活动作为一个更大文化范围中的社会集团来考虑”,主要的三种形式是研究科学制度史、科学思想史,以及以通过前两种研究的结合来考察某一地理区域中的科学,以加深人们对科学的社会作用和背景的理解。^①按照目前更广义的理解,外史论认为社会、文化、政治、经济、宗教、军事等等环境对科学的发展有影响,这些环境影响了科学发展的方向和速度,因此在研究科学史时,要把科学的发展置于更复杂的背景中。

伴随着20世纪50年代以后美国科学史的职业化运动(在对科学史的发展的研究中,这是一个极为值得注意的转折),对科学的外史研究越来越蓬勃发展起来。随着这种新的发展趋势,新的问题也接踵而来。因为,在科学史这门学科的早期发展中,人们撰写的科学史基本上是内史,只有当20世纪出现了外史论的观点和以这种观点指导而写出外史著作后,内史与外史的区别才出现,人们才开始将这两种不同的研究方式对立起来。正如库恩所说:怎样把这二者结合起来,也许就是这个学科现在所面临的最大挑战。

当然,内史和外史有着明显的区别,它们研究的角度不同,关注的重点也不同,但它

^① 库恩:《必要的张力》,纪树立等译,第108~113页,福州,福建人民出版社,1981。

们各自却具有自身的价值和重要性,这一点在前面已经分别论述了,因此并不能简单地说明谁优谁劣。尤其是,在许多情况下,内史与外史可以是一种人为的划分,但另一方面,内史与外史显然又都有着自己的不足和片面之处。只有通过两者相互补充,才可能使我们对科学的发展获得一种全面的透视。虽然不同的研究者由于工作的目的、思想方式及所受的训练不同,在科学史研究中对内史研究和外史研究的侧重也有所不同。就内史而言,科学的发展与社会、文化、军事、经济等等外部环境密切相关,但科学的发展也在一定的程度上具有相对独立性,尤其是当读者的兴趣和着眼点主要放在科学自身的内容时。因此,“如果认识到内史论只不过是历史学家们为其自身的目的和方便而发明的一种分类的话,那么,作为一种非教条的方法,内史论仍将在科学史中继续作为一种必不可少的传统。”^①但总的来说,外史论的观点对于当代科学史家是颇有吸引力的,它代表了科学史发展的一个方面,人们正变得越来越注重外史的研究。“虽然关于历史方法的争论从未达成最终的一致,但在当代的编史学中,社会史似乎提供了最有影响的研究方法,也就是说,众多的历史学家相信社会史提供了通向实在的最佳途径。”^②从前面我们所引撒克里总结的目前科学史研究的中心领域的清单中,我们也可以看出这种趋势。

国内曾有研究者将科学史的外史研究之动因进行了总结^③,认为可以简要地归纳为三重,即:

- (1) 科学史研究自身深入发展的需要;
- (2) 科学史研究者拓展新的研究领域的需要;
- (3) 将人类文明视为一个整体,着眼于沟通自然科学与人文科学。

除了这些动因之外,我们还可以指出,科学史中外史的研究,更是一种对科学的更全面的理解,更关注科学的发展与社会因素之不可分割的关系的结果。与内史相比,科学史的外史研究使得科学史的人文特色得以更加鲜明地展示出来。

我们还可以简要地提到,对于那种萨顿式的将科学史视为客观知识的理性积累的实证主义科学史观更加有力的挑战,在某种程度上可以说是由美国科学哲学家和科学史家库恩在60年代出版的名著《科学革命的结构》所提供的。随着多数科学史家对实证主义科学史观的抛弃,科学史领域又生发出了所谓“与境主义”(contextualist,既包括内史的,也包括外史的)、“后现代主义”、“社会建构论”、“女性主义”、“后殖民主义”等形形色色的新的科学史观与研究方法。对于这些更新的发展,这里就只能点到为止了。

① W. Bynum. *Dictionary of the History of Science*. Princeton University Press, 1981. 211

② R. Jones. *The Historiography of Science: Retrospect and Future Challenge*. In: M. Shortland, A. Warwick, eds., *Teaching the History of Science*. British Society for the History of Science, 1989. 80-99.

③ 江晓原主编:《简明科学技术史》,第8页,上海,上海交通大学出版社,2001。

第四节 科学史的功能

为什么要学习科学史？对于科学史的学习者来说，这是一个首先需要回答的问题。当然，为什么要研究科学史，也是与之相关的。这个问题，也就是科学史功能问题，或者说，是研究和学习科学史的目的问题。

关于科学史的功能，在学界，不同的时期，有着不同的说法。例如，克拉(H. Kragh)就曾在其《科学编史学导论》一书中，总结了历史上有代表性的若干观点^①，例如：

(1) 科学史可以对今天的科学研究产生有益的影响；

(2) 科学史可以增进我们对今天所拥有的科学的赏识；

(3) 科学史可以在科学和人文的鸿沟间架构桥梁；

(4) 科学史可以满足一些科学家要了解科学理论的起源的愿望，并在此过程中获得智力和美学的愉悦；

(5) 科学史可以对于一些“元”科学研究(如科学哲学和科学社会学)起到一种背景的重要功能；

(6) 科学史可以在展示科学知识的真正本质方面有一种重要的辩证的功能；

(7) 科学史可以反映科学的人性；

.....

当然，克拉还提到了科学史也具有意识形态功能等。在我国，过去也曾对于中国科学史的研究与学习，提出过其宣传爱国主义的功能等。同时，更多的在一些专业人士中，也有人认为，并不需要对科学史的功能以实用性的目标来进行辩护，而倡导一种“为历史而历史”的态度。

其实，对于以上提到的科学史的那些功能，不同的学者也有不同的看法，对于各种说法，也都有着不同的批评和辩护。例如，在一篇专门讲述科学史学科状况的文章中，美国科学史家库恩就明确地指出，“在与科学史相关的领域中，最少有重要影响的看来就是科学研究本身。科学史的鼓吹者们常常把他们的学科描述成一个被遗忘了的思想和方法的丰富宝库，其中的一些可以很好地解决当代的科学。当一个新概念或新理论在科学中成功地被使用时，某些从前被忽视的先例常常在该领域的早期文献中被发现出来。很自然会问到，专注于历史能不能加速革新。但几乎可以肯定，答案是不能。供研究的材料数量少，缺乏合适的分类索引以及在预期和实际革新之间不可捉摸但常常极为巨大的差异，所有这一切综合起来使人想到，再发明而非再发现依然是科学中新东西的最有效的

^① H. Kragh. An Introduction to the Historiography of Science. Cambridge University Press, 1987. 32-37.

来源。”^①像这样的对于我们通常以一种朴素的理解而赋予科学史的功能的否定,其实,并不就是对这门学科的研究之意义的否定。虽然科学史的研究极少对科学研究本身产生直接的影响,但即使仍然关注这个方面的话,如果不那么急功近利地看,间接的、更深层的影响仍是可能的。而且,科学史的作用更突出地表现在其他一些方面。因而,就今天的现实来看,就科学史的功能问题,还是可以把一些我们大致可以接受的说法和我们自己的观点进行一些梳理和总结。就此而言,科学史的功能可以分为四类^②:

(1) 科学史具有帮助人们理解科学本身和认识应如何应用科学的功能。也就是说,科学史可以带来对于科学本身以及与其内外相关因素更全面、更深刻的认识。

(2) 科学史具有作为其他相关人文学科之基础的功能,也即作为诸如像科学哲学、科学社会学等相关学科的知识背景、研究基础,或者说认识平台。

(3) 科学史具有教育功能,特别是其在一般普及性教育方面的功能。这包括对人类自身的认识和对“两种文化”之分裂的弥合。不过,关于科学史在科学教育中的功能,相对说来还一直存在有较多的争议。

(4) 科学史具有作为科学决策之基础的功能,在这方面,国外近年来逐渐兴起的科技政策史的研究尤为值得我们关注。

至于像那种强调在意识形态方面的功能,诸如像对宣传爱国主义的作用,或作为其他前提已不容修改的观点的佐证等,对于此学科来说,显然是不应被认可的,而且,强调这样的功能也极易导致像以今天的成败和标准来评判过去的科学史的研究,导致对历史的歪曲。

因为就未来可能的发展前景来说,关注、强调并突出科学史研究对于决策的意义,将为科学史在经济和体制方面得到更大、更多的支持关系重大,所以对此,仍然有必要指出的是,我们应该清楚地意识到这种意义的限度,也就是说,科学史研究对于决策主要是一种“背景”和“借鉴”的意义,而绝非准确地预测或指导的意义。对此要有清醒的认识,要区分基础性的学术积累对此功能的重要性,以及此项功能在实际意义上的有限性,因为为了生存,此项功能可能被过分夸大,但我们不应在此过程中自欺欺人。

此外,还应特别重视的是那种认为科学史并无“实际”或“实用”的功能,并相应地提倡“为历史而历史”的观点。其实,像这样的观点也正是为众多西方科学史家所持有的。虽然过分倡导这种观点在短期内显然不利于科学史学科的生存,但就长远的发展来说,它对于保持科学史的学术水准却是至关重要的,尽管在现实中它可能不是充分条件,却显然是一种必要条件。一个学科维持其高水准,对于长远的发展是不可缺少的基础,否则,即使在短期内可以繁荣一时,长远一些就必然会走向衰落。在科学史这门学科中,这

① 库恩:《科学史》,载吴国盛编:《科学思想史指南》,第18~19页,成都,四川教育出版社,1997。

② 刘兵:《科学史的功能与生存策略》,载《自然科学史研究》,2000(1),第8~9页。

种基础性研究与应用性研究的关系,很有些类似于纯数学与应用数学之间的关系。

讲述以上这些与科学史学科有关的理论问题,是为了帮助同学们对科学史有很好的理解,可以在相对理性的基础上进行学习。在有了这些有关科学史的最基础性的理论准备之后,当我们开始学习科学技术史的具体内容时,同学们就可以尝试着把它们应用到所学的内容里,尝试着对所学的内容进行分类,并尝试着进行一些自己独立的思考了。

思考题

1. 关注科学史学史的意义何在?
2. 科学史中的“内史”和“外史”之间的关系是什么?
3. 科学史的功能是什么?

参考书目

1. 刘兵:《克丽奥眼中的科学——科学编史学初论》,济南,山东教育出版社,1996。
2. 克拉夫:《科学史学导论》,任定成译,北京,北京大学出版社,2005。

第二讲

人类文明背景下的科学溯源

我们必须相互熟识,这意味着我们需要逐步熟悉彼此的历史,因为人类并非仅仅生存于直接的现在。我们生活在一条思想的河流中,我们在不断地记忆过去,同时又怀着希望或恐惧的心情展望着未来。

——[英]阿诺德·汤因比

说到近代科学如何,学术界没有疑义。然而提及古代科学,则有不同声音。若按照某种严格的“科学”界定,科学史只能从欧洲文艺复兴时期讲起,可是这样的理解无形会使人类的早期技术成果、科学思想萌发得不到合理的说明,从而成为一幅有残缺的历史图像。我们不妨取宽泛的“科学”观点,承认各文明地区早期的科学技术起源,尽力描绘出完整的历史图像。就像追溯长江、黄河的源头一样,在人类文明演进的大背景下,考察那些导致后来汇成科学技术狂澜的涓涓细流。

按 19 世纪美国人类学家摩尔根(L. H. Morgan, 1818—1881)的观点,人类的文明阶段从标音字母的发明和文字的使用开始。20 世纪有学者认为,早期文明还应包括有一定规模的城市、金属工具使用等要素。以这样的理解,英国著名历史学家汤因比(A. J. Toynbee, 1889—1975)统计出人类曾有过 21 种文明(后来扩展为 31 种)。遗憾的是,大多数文明都已衰亡消逝。

学术界公认,对后世产生重要影响的是如下几大文明:古两河流域、古埃及、古希腊、古印度和古中国。古希腊和古中国文明的内容见其他章节,这里主要介绍古两河流域、古埃及和古印度文明中的技术与科学。

第一节 古两河流域、古埃及的技术与科学

发源于今土耳其境内的亚美尼亚高原的幼发拉底河和底格里斯河,由西北蜿蜒东南流入波斯湾,两大河流经的土地孕育出古代的两河流域文明。非洲的尼罗河自南向北流向地中海,在它广阔的三角洲即今埃及的土地上,产生了古埃及文明。约在公元前 3000 多年时,这两个地区分别出现了许多奴隶制城邦,随后又发展成为奴隶制国家。在两河流域,相继有苏美尔人、阿卡德人、亚摩利人、喀西特人等建立的王国。到公元前 6 世纪,

这里为波斯人占据,并入波斯帝国的版图,从此两河流域文明终结。数千年中,以苏美尔人和亚摩利人的影响最大。亚摩利人于公元前 19 世纪中期统一了两河流域南部,以巴比伦城(在今伊拉克首都巴格达以南)为中心建立了古巴比伦王国,稍后在两河流域北部,崛起了以亚述尔城为基地的亚述王国。古巴比伦强盛了 200 年后衰落,先是喀西特人统治,公元前 13 世纪又被亚述人占领。公元前 10 世纪的亚述王国辉煌数世,一朝灭亡再无声息。在古埃及地区,数千年间基本上都由古埃及人统治,一共经历了 30 多个王朝,至公元前 525 年,沦为波斯帝国的一部分,其后又为希腊人统治,自此古埃及文明告终。18 世纪末期以来,诸多的考古发现和文献破译,使我们重新认识一段尘封的历史,了解到这两个地区的人民创造的文化 and 科学技术成果。

一、古两河流域、古埃及的技术

古两河流域和古埃及地区与农业生产相关的水利技术发展较早;手工业中的陶器、玻璃制作、黄金加工富有特色;建筑技术以金字塔兴建为代表,透射出魅力。

1. 农业生产和农业技术

农业生产在两河流域和古埃及地区出现较早,大河水利不仅是这里农业经济的命脉,甚至也促成了这两个地区奴隶制王国的建立。公元前 30 世纪中期,在两河流域南部首次出现了阿卡德王国,王国建立后即展开大规模的水利渠道网的建设。古巴比伦王国是古两河流域经济繁荣的时期,第六代国王汉谟拉比在位时制定了著名的法典《汉谟拉比法典》。法典中数条内容都与水利有关,即以国家法律的形式保障水利设施的合理利用。当时的王国政府还设有专管水利的官职。在古埃及,自第一王朝起便把尼罗河水利系统置于中央政府管辖之下,王朝的官吏负责对尼罗河水情和水位变化定期做观测记录。相传第一王朝的第一法老美尼斯(一译米那)的一大功绩是建造了孟斐斯城外的水库和大坝。古代的农业生产对灌溉有很大的依赖,由于河流自然改道和战争破坏等原因,兴修水利被视为兴国安邦的重要措施。

畜耕是发展农业生产的重要标志之一。两河流域和古埃及的先民用牛和驴代替人力牵犁耕地,最早使用的犁是木石结构,即在木制的犁架上装配石制犁头,后来随着冶铜业发展,便采用铜犁头。用畜力代替人力拉犁,有利于深翻土地,提高效率,促进农作物种植。在两河流域,古埃及人还发明了一种畜力牵引的播种机具,这在当时是一种先进农具。

这时期两地区的主要粮食作物是小麦和大麦。蔬菜和水果也多有种植。古埃及人的蔬菜有胡萝卜、葱、蒜、黄瓜、莴苣等品种。葡萄、枣椰、无花果也是这两个地区适宜种植而又为人们喜爱的作物。当时两个地区饲养的牲畜主要有牛、羊、驴、马等。

2. 制陶、玻璃技术

两河流域、古埃及孕育出古老的陶器。这些地区历经兴衰和东、西方文化的交汇,制陶形成某些鲜明的特征,如曲线造型、重复式图案、对称结构和生动的色彩。距今 4000 至 5000 年在两河流域的哈斯苏(Hassuna)和萨马拉(Sammara)出现的刻花黑陶器是这一时期的杰作。大约同一时期,用快轮制作的彩陶在这些地区发展,出产的陶器起初是几何图案,后来引入写实的动植物及人物图案。有代表性的陶器是用复杂的细小线条、自然及几何的重复图案装饰的大型平盘,烧制成的器物轻巧。这些陶器厚度不同,用光亮的棕色、黄褐色、红色和黑白对比色土绘制。

古埃及拜达里(Badarian)等地早期生产磨光红陶和黑陶及刻有白色的几何、动植物图案的陶器。后来陶杯等容器已施用蓝色釉。古埃及制作的陶器着重实用,法老和贵族更喜欢石雕和金银制品,这无形影响了陶器发展。

玻璃最早出现于两河流域地区,距今已有 5000 多年的历史。当地的陶工在制作陶器中发现,由石英砂和天然碱(碱酸钠)混合在高温中熔化后,能产生一种光彩夺目的物质,由此有意识地选择原料,加工成玻璃器皿(图 2-1)。

玻璃初始的制作是“型芯法”:先用沙和粘土做出器物造型,然后用金属棒的一头撑着,浸入玻璃溶液中旋转,使之附上一层厚薄均匀的玻璃溶液,还可以熔上其他颜色的玻璃,或趁热用工具刻画波纹,或冷却后除去沙土即成容器。这种工艺最早在两河流域广为运用,以后传到东地中海地区和埃及。后来也常用“铸造法”,分模浇、模压和模烧三种。其中“模烧”法稍复杂一些,先用耐烧的材料做出内、外模子,然后把玻璃碎片或玻璃棒的切片填充在内、外模子间,高温加热后,玻璃片会熔化充溢其中,冷却后除去模子,再加以打磨即成。



图 2-1 玻璃杯

3. 金属技术

两河流域、古埃及的冶铜技术在世界上不算最早,但富有特色。在两河流域,青铜器的大量出现是在古巴比伦王国时期(约公元前 16 世纪),古埃及要晚一些。从古埃及墓葬中的壁画和浮雕可以大致了解当时的冶铜情况。冶金技术中的一个关键是改进鼓风机提高炉温。由绘画资料可见,早先工匠是用嘴借助管子吹风,后来发明了一种脚踏鼓风机,使鼓风效率提高。这两个地区留下的铜器不少,不乏制作精美的装饰物。值得注意的是这两个地区的铜矿资源都不丰富,铜料需从外地输入,两河流域的人们主要靠贸易手段来取得,而古埃及人为了获得邻近地区的铜矿甚至不惜发动战争。

因为铁的熔点比铜高,冶铜技术达到一定阶段时才出现炼铁。古人最早用过陨铁,但陨铁稀少,被称为“天堂里的金属”。留传下来的文物可见用陨铁敲砸而成的饰物镶嵌有黄金的边。据说亚美尼亚山区的基兹温达人最早发明了炼铁,距今 4000 多年前炼出了铁。原始的炼铁方法是块炼法,即把成块的富铁矿石放在炉内烧至半融状然后取出锤炼,经过多次反复而炼成铁,因为这样的铁质地松软,杂质较多,称为海绵铁。随着冶铁技术的改进,铁器发展起来,并逐渐取代了青铜器的地位,这个转变在这两个地区大约出现于公元前 7 世纪左右。

在这两个地区都出产黄金。由于绝大部分黄金都是天然金,因而黄金的生产几乎只是组织人力而不是提高冶炼技术。黄金主要用于装饰品,由于它抗腐蚀,非常耐久,可以不断地重复使用,今天所见到的古代许多金器,很可能就是用过多次的。

黄金容易加工,许多金器用很薄的金片或金叶制成。把金片切成方块,一块压一块地叠起来,每两片中间夹一薄片动物皮张。叠好的金片再用锤敲打,使之变得更薄,而皮子则防止金片相互粘到一起。这一工艺过程反复进行多次,直到每一叠金片都变成百分之几毫米厚的金叶为止。19 世纪以来,在这两个地区考古发现了大量的金器,如 1922 年在古埃及第十八王朝法老图坦卡蒙(Tutenkhamon,约公元前 1361—前 1352)墓中出土了金面罩、金棺;1989 年在亚述帝国都城(今伊拉克摩苏尔对岸)一个墓葬中出土黄金制品达 440 件,总重量约 51 磅。其中有一顶奇异的王冠,形若葡萄树,其上饰有葡萄藤,还有带翅的裸体女神。

4. 建筑技术

古两河流域和古埃及地区都有一些大型建筑遗址留存至今,使我们可以了解当时的建筑技术和推知其他的技术水平。早期两河流域的主要建筑材料是木材和泥砖,少用石块,泥砖一般不经烧制,有时用火烘烤,这种建筑难于长期保存。后来逐步采用石材和烧制砖,在公元前 7 世纪的新巴比伦王国时期,建筑技术达到顶峰。尼布甲尼撒二世统治时期(公元前 604—前 562),巴比伦城是当时世界上数一数二的壮观的城市,该城有内外三道城墙,共有塔楼三百多座,在穿过市区的幼发拉底河上有石墩桥梁,贯通全城的笔直大道上铺砌了白色、玫瑰色的石板,主要城门的北门墙上有用琉璃砖砌的美丽图案。

在古埃及,由于石材易得,人们多用石料建筑,留存后世的遗迹也多。为世人惊叹的有众多的金字塔,其中最著名的是第四王朝(公元前 26 世纪)法老胡夫和他的儿子哈夫拉的金字塔。胡夫金字塔底为正方形,边长约 232 米,高约 146.5 米,用 230 万块巨石叠成,每块的平均重量为 2.5 吨。这些石块都经过认真打制,角度精确,石块间未施灰泥,砌缝严密。金字塔内有甬道、阶梯、墓室等复杂结构;据说由农民、战俘历时 30 年筑成。古埃及留存下来的许多神庙建筑也非常惊人,尼罗河畔的卡纳克有一座约建于公元前 14 世纪的神庙,其主殿矗立着 134 根巨大的圆形石柱,其中最大的 12 根石柱,直径约为 3.6

米,高约 21 米,巍峨壮观,令人惊叹。

二、古两河流域、古埃及的科学知识

古两河流域和古埃及地区的人们在生产劳动和生活中,逐渐形成对自然的认识,孕育出科学知识的萌芽,这体现在天象观察、时间划分、计算、几何、防病治病和动植物的认识方面。

1. 天文学知识

日月出没,星辰运行。当古人发现季节的变化与天文现象有关,有意识地观察天象时,最早的天文学就诞生了。为了合理地安排农业生产和日常活动,历法逐步地建立起来。月亮的盈亏容易观察,两河流域的人们很早就以月亮盈亏的周期确定“月”。他们注意到该周期约为 29 天半。因此他们把一个月定 29 天或 30 天,大小相间,一年 12 个月即为 354 日,这个数值比实际数值小,所以每隔几年就要加一个闰月,即有些年份有十三个月。他们还把 7 天作为一个星期,又把一天分为 12 个小时,每小时 60 分,每分 60 秒。今天实际上仍然沿用这种计时法,不过现在是一天 24 个小时,分和秒也都缩短了一半。在古埃及,尼罗河与人们的生产和生活密切相关,因而历法也和水情的变化相联系。人们发现,在尼罗河三角洲地区每当看到天狼星与太阳同时在地平线上升起时,尼罗河的汛期就要到来,他们便把这一天定为一年的始,规定一年为 12 个月,每月 30 日,年终再加 5 日,即一年为 365 日。这是一种完全的太阳历。当然这样的历法有失准确,后来通过置闰改进。



图 2-2 泥板上的金星观测记录(公元前 19 世纪—前 18 世纪)

在两河流域出土有大量的刻满楔形文字的泥板,上面有不同时期的天文观测记录。如图 2-2 的这块泥板,记录了公元前 19 世纪和 18 世纪在古巴比伦城观察金星(即所谓的伊西塔的星辰)的升落情况。

到公元前 8 世纪左右,古巴比伦人对天象的观测已十分精确。他们利用自己复杂的数学知识,积累了大量的天文记录,他们能够预测日食和月食以及星辰的运动,如他们测得土星的会合周期为 378.06 日,今测值为 378.09 日;他们测得木星的会合周期为 398.96 日,今测值为 398.88 日等。他们对恒星也进行了认真的观测,绘成了世界上最早的星图。他们还把黄道附近的一些恒星划分为若干星座并给他们命名,这些名称一直沿用到现在。相比较而言,古埃及留存的天文观测记录少,对当时的情况还不

甚了解。

2. 数学知识

数学源出于古代财物分配、贸易和天文学计算的需要。在两河流域和古埃及地区很早萌发了数学。两河流域的记数法是十进制与六十位制并用。为了计算方便,两河流域的数学家还编制了许多数学表,在出土的泥板上我们可见乘法表、倒数表、平方表、立方表、平方根表、立方根表等。其中的倒数表一直计算到 60^{19} 这样大数的倒数。两河流域的数学家在代数学方面的工作很有成绩,他们不但能解一元一次方程、多元一次方程,也能解一些一元二次方程,甚至一些较为特殊的三次方程和四次方程。一块泥板的记载表明,他们竟然解了这样一个指数方程: $(1 + 0.2)^x = 2$, 得出 $x = 3.8$ 的正确答案。在几何学方面,他们知道半圆的圆周角是直角,所用的圆周率为 $\pi = 3.125$ 。他们把周角分为 360° , 1° 分为 $60'$, $1'$ 分为 $60''$, 这种方法一直为后世沿用。

古埃及人在数学方面的工作今人了解得不多,这可能是纸草书不如泥板书能长期保存的缘故。古埃及人记数采用十进制,他们也能解一些代数方程,有比较简单的一元二次方程。相对说来,古埃及人在几何学的成绩要大一些,这与尼罗河每年泛滥,过后需要重新丈量土地以确定归属和赋税等因素有关,这也是几何学在古埃及发展的重要原因之一。古埃及人所用的圆周率为 $\pi = 3.1605$ 。他们也有用计算平截头正方锥体体积的公式,和今天我们所用的公式完全一致。虽然所见古埃及人留存的数学文献不多,但是古埃及人的大金字塔和神庙建筑表明,那些石块、圆柱的尺寸无疑是经过计算的,建筑的整体是要周密考虑的,没有一定的数学知识,这些巨大的工程不可能完成。

3. 医学、生物学知识

医学知识的发展有一个从经验到理性的缓慢过程,早期有巫术迷信的纠缠。从所留存的医学文献可见,医疗技术越是发展,它和巫术迷信的关系越远离,科学的成分增加。迄今所见两河流域涉及医学的泥板书有 800 多块,《汉谟拉比法典》有许多条文与医疗有关。如规定施行手术成功时应付施手术者多少钱,因医术不良发生医疗事故时应受到处罚等。学术界认为这是世界上最早的医疗立法,同时也表明当时医生已是相对独立的职业。从记载有关医学的泥板书中可以看到,当时的医生采用药物、按摩等许多方法治病,所用的植物药物有 150 多种,一些动物的油脂也被制成为药膏以用于治疗。在泥板的记载中有咳嗽、胃病、黄疸、中风、眼病等许多疾病的名称。从古埃及保存的文献看,传世有一些医学草纸书,比较完整的有六七部。最大的当属“埃伯斯草纸书”之作,它宽 30 厘米,长 20.2 米,约完成于第十八王朝(公元前 1584—前 1320)。该书记述了许多病的症状和治疗方法,包括内科、眼科、妇科等许多方面,也有一些外科的内容,还记有解剖学、生理学和病理学方面的一些知识,所载药方达 877 个。该书虽有巫术迷信成分,但医学内

容占主体。古埃及人还有制作木乃伊的传统,尸体要用多种药物进行处理,涉及解剖知识和防腐知识,对后世有重要的影响。

生物学的知识也逐步积累。在两河流域的泥板上可以看到约 100 多种动物和 250 种植物的名称,古埃及人对动物作了世界上最早的分类。还值得注意的是他们在实践中已经知道当枣椰树开花时进行人工授粉以增加椰枣的产量,虽然还不能认为他们已经具备了关于植物性别的真正知识。古埃及人对动物也作过许多解剖,他们用以表示内脏的象形文字大多都似动物的器官。

第二节 古印度的技术与科学

古印度区域包括今天的巴基斯坦、印度、孟加拉、尼泊尔、锡金、斯里兰卡诸国,该区域在我国古籍中统称印度。西北部的印度河和东北部的恒河是次大陆境内最大的河流,它们都发源于喜马拉雅山脉。这两条河流的中下游土地肥沃,气候温暖,雨量充沛,为农业生产提供了优良条件。

古印度文化发展的过程是一个多民族融合的过程,曾在这里生活的有达罗毗荼人、雅利安人,也有来到这里的希腊人、波斯人、突厥人和阿拉伯人,他们共同创造了有特色的古印度的技术与科学。

约公元前 3000 年中期,在印度河中下游生活的达罗毗荼人所创造的文化被史学界称为哈拉巴文化。约在公元前 1750 年,哈拉巴文化突然消亡,原因不明。后来雅利安人在这一带出现,约公元前 9 到前 8 世纪,其活动范围逐渐扩展到恒河流域。这个时期的史料主要反映在他们的宗教文献《吠陀》以及解释性的文献《圣书》中,因而被称为“吠陀时代”。公元前 6 世纪,波斯帝国侵入印度河流域,公元前 4 世纪末,希腊和马其顿也一度占领该地区。其后,本地的摩揭陀人兴起,建立孔雀王朝,统一了次大陆的大部,形成古印度历史上第一个大帝国。后来,次大陆屡经统一和分裂,公元 1 至 3 世纪为贵霜帝国统治,4 世纪中叶至 5 世纪中叶是笈多王朝,7 世纪有曷利沙帝国,后来又有蒙古人后裔所建立的莫卧儿帝国。自 16 世纪起,欧洲殖民者相继来到这里,古印度的历史结束。

一、古印度的技术

哈拉巴时期的农业生产一度繁荣,烧砖技术独步古代世界,城市规划建设井然有序。哈拉巴文明中断以后,有些技术再度起步或从外面传入(如炼铁技术),也达到较高的水平。

1. 农业生产和农业技术

南亚次大陆北部地区是世界上最早的小麦和大麦栽培地,距今 6000 年前,这里的居民就已种植小麦和大麦。哈拉巴文化时期的农业生产已有相当水平,这时期的一些城镇遗址中发现有规模不小的粮仓,这是当时农业生产发达的反映。那时人们已经使用畜耕,同时使用青铜锄、镰等较先进的金属农具。种植作物除小麦、大麦外,还有水稻、豌豆、甜瓜、枣椰、棉花和胡麻等。当时畜牧业也有一定的规模,家畜有水牛、山羊、绵羊、猪、狗等,可能也饲养大象。哈拉巴文化中断后,较落后的原以畜牧业为主的雅利安人重新开始发展农业生产的过程。到吠陀时代,使用畜耕,利用人工灌溉和施肥。吠陀时代末期,由于铁器的出现,农业生产有较大的发展。孔雀王朝统一后,王朝政府设有高级官吏管理全国水利事业,水利建设形成较大的规模。曷利沙帝国时期,即进入封建社会以后,农业生产的水平有新的提高。中国唐代僧人玄奘 7 世纪间曾往印度,居住多年,归国后写成《大唐西域记》,其中许多记载反映了古印度封建社会在农业经济基础上的繁荣。后来,当地的农业生产继续有所发展,但总的说来进步缓慢,在生产工具等方面无多大改变。

2. 手工业技术

早在哈拉巴文化时期,古印度的冶金技术就达到相当的水平,人们广泛地用铜或青铜制造斧、锯、凿、锄、鱼钩、剑、矛头、匕首、箭镞等工具和兵器。对出土器物的分析表明,古印度人已经掌握了锻打、铸造和焊接等技术,并且可能已经应用熔模铸法。哈拉巴文化时期的工匠也擅长制作金银饰物。古遗址中出土这类器物很多,有些做工十分精致。吠陀时代,古印度人开始用铁。冶铁技术看来是从外面传入的。据史料记载,大约公元前 4 世纪的古印度人也能炼钢。今天在印度次大陆还能看到不少古印度遗留的金属制品,在德里矗立着一根铁柱,高达 7.25 米,重约 6.5 吨,全身几乎没有锈蚀,是公元 5 世纪初笈多王朝时期制造。属笈多王朝时期制造的铜佛像很多,有不少在一两米高,这都反映了古印度人所达到的冶金水平。

相比其他民族,古印度人最早种植棉花,因而古印度是棉纺技术的发源地。在哈拉巴文化时期的遗址发现棉花残片,那时的织物尚粗糙,不过已有棉布染色。孔雀王朝时期的棉纺技术达到较高的水平,那时许多城市都以棉纺织业发达而著称,它们的产品远销国外地区,成为出口的大宗货物。古印度的养蚕和丝织技术传自中国,贵霜帝国时期在印度境内逐步发展,到笈多王朝时期已能织出精美的丝织品。

处于运输和贸易的需要,古印度的造船业也比较发达。哈拉巴文化遗址中发现一座造船台。笈多王朝时期已能建造可容数百人的海船。

3. 建筑技术

从世界建筑技术发展史看,烧砖是一个重要发明,而最早使用烧砖建造房屋的当推古印度人。在印度河流域的考古发现中,最引人注目的是哈拉巴文化时期的建筑遗迹,所发现的当时的建筑物大多都是砖木结构。哈拉巴和莫亨焦达罗是已知那个时期最大的两座城市,占地面积均约有二三百公顷。莫亨焦达罗城保存得比较完整,它分卫城和下城两个部分,卫城的城墙高大厚实,用烧砖砌筑,上面建有塔楼。城内有许多公用建筑物,颇具规模。如一座大浴室,建筑面积超过 1 800 平方米。下城为居民区,建有平民和贵族的许多住宅,其中有两三层的楼房。城内有平直相交的道路网,还有完整的供排水系统,整个遗迹所展示出的是一座经过规划并且精心建设的城市。

哈拉巴文化时期的砌砖技术已见精湛,如上面说的大浴池,为使池子不透水,工匠们砌了一道紧密的砖墙,砖缝只有几毫米宽,并用一层 2 厘米多厚的沥青将缝隙封住。这道墙外面还有一道支撑墙。在砌筒形井时,工匠设计了一种截面似梯形的砖,以砌在周长逐渐收小的井内壁里。在城堡拐角处,修建的阴沟(图 2-3)以平缓的角度转过,以防止污物排泄不畅。



图 2-3 城堡拐角的砖砌阴沟(哈拉巴文化时期,距今约 5500 年)

哈拉巴文化消亡以后,建筑技术似乎没能继承下来。从建筑遗迹看,相当长的时期内技术水平竟表现出倒退。孔雀王朝以后佛教盛行,在该地区相继出现了许多佛教建筑,主要是庙宇和佛塔,还有一些开山凿石而成的石窟,有许多建筑保存至今,其中不少以宏大和精致著称。

二、古印度的科学知识

古印度的天文学、数学知识富有特色,记数法 etc 知识通过阿拉伯传入欧洲,为近代科学提供了基础。医学中的许多内容来自经验总结,至今仍在民间发挥作用。

1. 天文学知识

随着社会发展的需要,古印度人对天象注意观测,逐步形成天文历法方面的知识。吠陀时代,古天文学家把一年定为 360 日,分 12 个月,并有置闰方法,对恒星也作了认真的观测记录。他们把黄道附近的恒星划分为 27 宿,“宿”梵文为“月站”,即月亮停留之

意,这是为了区分月亮在天空中所处的位置。

公元1世纪后,古印度陆续出现了一批天文历法的著作,其中著名的一部为《太阳悉檀多》,该书的主体内容形成于公元前6世纪,流传中后人多有增改,留存本明显有一些后世的内容。该书讲述了时间测量、分至点、日月食、行星的运动和测量仪器等问题,成为古印度天文学著作的范本。由于书中有不少数学知识,该书也被认为是古印度重要的数学著作之一。约在公元5世纪末,阿耶波多编著了一部培养学生用的天文学教材,书中讨论了日月、行星的运行以及推算日月食的方法,并提出一个新颖的观点,认为地球每日绕轴自转。一个世纪后,天文学家婆罗摩笈多(也译梵藏, Brahmagupta, 598—?)则在自己的书中批驳了阿耶波多的地动观,认为这种观点与常识不符,若地动的话,鸟雀绝不会朝哪个方向飞翔都一样自如。

古印度人在天文历法方面做了许多工作,但是他们不太重视实际的天文观测,因此在长时间内都还只使用一些较简单的观测仪器,这种情况直到近代西方天文仪器的传入才得到改变。

由于古印度的哲学相对发达,形成很多对宇宙的看法,吠陀时代,人们认为天地的中央是一座名为须弥山的大山,日月都绕此山运行,太阳绕行一周即为一昼夜。《太阳悉檀多》则说大地是球形,北极为一称作墨路山的山顶,那里是神的住所,日月和五星的运行是一股宇宙风所驱使,一股更大的宇宙风则使所有天体一起旋转。

2. 数学知识

古印度在数学方面的成就突出,在世界数学史上占有重要地位。自哈拉巴文化时期起,古印度人就采用十进制记数,不过早期没有位值法。约在公元7世纪出现位值法记数,起初没有“零”的符号,只用空格来表示。公元9世纪后期始有零的符号,写作“·”,到这时古印度的十进制位值法记数完备。这种记数法为中亚地区许多民族所采用,又经阿拉伯人传到欧洲,逐渐演变成为现今世界上通用的“阿拉伯记数法”,这要归功于古印度的贡献。

笈多时代的学者阿耶波多是一位科学奇才,他的《圣使集》中不仅有天文学内容,也讨论了算术运算、乘方、开方以及代数学、几何学和三角学的规则。阿耶波多还研究了两个无理数相加的问题,得出正确的公式,对于简单一元二次方程求解和简单代数恒等式的证明也有一定研究,他给出的圆周率 $\pi=3.1416$ 。

公元7到13世纪是古印度数学成就辉煌的时期。这时期著名人物有梵藏(即婆罗摩笈多)、大雄(Mahāvira, 9世纪)等人。梵藏约于628年写成《梵明满悉檀多》,对许多数学问题作了深入探讨。梵藏是古印度最早引进负数概念的人,并提出了负数的运算方法。他还提出解一般二次方程的规则,得出二次方程 $x^2+px-q=0$ 的根为:

$$x = \frac{\sqrt{p^2 + 4q} - p}{2}$$

他给出了不定方程 $ax+by=0$ 的整数解和处理不定方程 $ax^2+1=y^2$ 的方法。他还得出求等差数列末项以及数列之和的正确公式。在几何方面,他有以四边形之边长求四边形面积的正确公式,即:

$S = \sqrt{(s-a)(s-b)(s-c)(s-d)}$ (S 为四边形的面积, a, b, c, d 为各边之长, s 为四边之和的一半)。他所用的圆周率为 $\pi = \sqrt{10} \approx 3.1623$ 。

大雄继续前人的工作,他的主要著作是《计算精华》(约 830 年)。大雄认识到零乘以任一数都等于零,他对分数的研究也很有意义,他认识到以一个分数除另外一个分数,等于把这个分数的分子分母颠倒后与那个分数相乘。

3. 医学知识

在长期认识自然和同疾病作斗争的过程中,古印度形成了自己的特色医学,这集中体现于《阇罗迦集》(Caraka Samhitā)与《妙闻集》(Susruta Samhitā)两大古典医著中,这也是最古老的阿育吠陀经典。“阿育吠陀”是梵文 Ayurveda 一词的音译。从语言学讲,“阿育吠陀”源于 Ayus(生命)与 Veda(知识)的组合。因此可以说“阿育吠陀”的基本含义是有关生命的知识。

《阇罗迦集》与《妙闻集》的成书约在公元前数世纪至公元后数世纪中,经不断补充修改始成为今天所见面目,两书的历史地位基本与中国的《黄帝内经》相当。

自吠陀时代起,印度已然形成了中东部的瓦拉纳西(Varanasi)与西北部之塔克西拉(Taxila)这样两个学术中心。从《阇罗迦集》中屡屡谈及与迦腻色伽王的关系看,一般认为此书应形成于西北印度;在“完全采用内科治疗”与“对婆罗门的尊崇”之间,应该说具有某种内在的联系。另一方面,从《妙闻集》所奉医圣德罕温塔里(Dhnavantariya)是迦尸地区之王这种传承关系看,《妙闻集》应形成于印度的中东部;其中丰富的外科知识,被认为与生活于此地的刹帝利(武士王族)有密切关系。因此《妙闻集》并非所谓的“外科学专著”,而不过是采用了在婆罗门的伦理观看来属于不得不采用的外科疗法,并使其在自身的治疗体系中获得了充分的发展。

《妙闻集》的作者为苏斯鲁塔(Susruta)。《阇罗迦集》的作者是阇罗迦(Caraka),据传他是古印度迦腻色伽王的御医,由此推断他可能生活在公元 1 至 2 世纪。

《阇罗迦集》是一部庞大的百科全书式的著作,全书由八大卷所构成。第一卷“总论”,第二卷“病因”,第三卷“判断”,第四卷“身体”,第五卷“感觉器官”,第六卷“治疗”,第七卷“制药”,第八卷“总结”。其中,第一卷的“总论”也可以理解为是对全书的概括。“总论”包括 30 章。第 29 章是第一卷全书的总结,第 30 章给出全书八卷中各卷的简单目录。第 1 章到第 28 章分成了 7 个组,每组围绕着一个专题由 4 章构成。其中第 1 组的议论,

涉及了印度医学的哲学基础。而第4、5、6、7组,则展示了印度医学中内科学的基本理论和思想。

古印度医学对其他国家产生有影响。《阇罗迦集》与《妙闻集》大约在公元9世纪间就被译成波斯文和阿拉伯文,公元8~9世纪时阿拉伯人也曾请去印度医生主持医院工作和担任教学。我国西藏地区的藏医有受古印度医学深刻影响的痕迹。

4. 自然观

古印度人善于思辨,在自然观方面提出不少有价值的思想。吠陀时代后期,古印度人就对世界本原问题进行探讨。有学者认为世界万物的本原是“风”,有学者认为是“水”,也有学者说是水、地、火、风四元素,还有学者认为应加上“空”,一共五大元素。在纷纭的争辩中,逐渐归为自然说、自性说和转变说等有影响的说法。自然说认为物质世界是永恒的,它不为其他什么东西所创造,具体事物的形成也不受任何外界的原则所支配,它们完全是在不同的情况下偶然凑合而成。此说虽坚持世界的物质性,却盲目地反对客观的规律性。自性说则既坚持世界的物质性,也强调客观的规律性。它认为所有事物的运动变化都是由其内在的本性(“自性”)所驱使,但它又认为一切变化只是数量上的简单增减,有明显的机械论倾向。转变说相对地进一步,它认为物质世界是永恒的唯一实在,它的原始状态是无定形和无差别的,由于其自身所具有的三种矛盾的成分的作用而得以变化和发展。

耆那教在印度是一个古老的派别。该派别认为物质世界是由地、水、火、风四大元素构成,这些元素的组成部分是“极微”(paramānu,原子),极微都是同质的,它们有“粘的”、“干的”之别。粘的和干的可以结合在一起而成为复合物,这些复合物又与其他复合物结合而构成更为复杂的复合物,因而形成元素,形成万物。分析其学说,可以说它是古印度的原子论。

数论派也是古印度颇有影响的派别,该派别主张世界是由客观存在的一切原初物质发展而来的,发展的动因是其内部的矛盾,在发展过程中生成“五大”,即地、水、火、风、空五种物质元素,从而构成万物。

佛教产生于公元前5世纪。早期的佛教把自我和物质世界分别比喻为水流和“自生自灭的火焰”,认为一切就是永无休止的变化,是无穷无尽的生和灭,存在就是不断的生成。所以恩格斯曾说早期的佛教有自发的辩证思维。^①

正理派和胜论派是古印度重要的两个哲学派别,他们早期的关系就很密切,后来两派合而为一。正理-胜论派继承古印度的原子说,主张世界万物是由地、水、火、风、空五大元素在时(时间)和方(空间)中构成的,而这些元素又是由极微所组成。极微不能被感官

^① 《马克思恩格斯选集》,第3卷,第545页,北京,人民出版社,1972。

所感觉到,它们是永恒的,不可被创造也不可被破坏,它们有不同的质,不同的极微组成不同的元素。正理-胜论派还讨论到认识论问题,他们认为真知是存在的,衡量知识真伪的标准只有一个,即实践。某种知识在实践中得到成功的结果即为真知。在遥远的古代能有这样的认识是难能可贵的。

古印度科学文化的发展历史,与两河流域和古埃及的情况大有不同。那两个地区曾盛极一时,但是发展进程却因后来外族的入侵而中断,代之而起的基本上是异于本土的外族文化。而在古印度早期虽也发生过哈拉巴文化中断的情况,但后来重新发展的本土文化则基本延续下来。

比较起来,古代两河流域和古埃及的自然科学知识可以说刚刚跨上理论性的门槛,而在古印度,几个学科(如数学、医学)的理论性知识都已有厚实的积累,从哲学角度对自然界所做的思辨也有丰富的内容。当然,限于历史条件,当时的理论知识还属于初创状态,总体发展水平有限。

思考题

1. 早期的玻璃制作工艺如何?
2. 古埃及、古印度的科学知识有哪些为近代科学提供了基础?
3. 试述古印度自然观的主要内容。

参考书目

1. [英]詹姆斯·E. 麦克莱伦第三等:《世界史上的科学技术》,王鸣阳译,上海,上海科技教育出版社,2003。
2. 戴尔·布朗:《美索不达米亚——强有力的国王》,李旭影等译,北京,华夏出版社,2002。

第三讲

中华文明的形成

由于考古学家的发现,各个文明对于历史学家来说已不再是难以接近的了,它们增加了已知文明的数量,使得比较研究各个文明成为可能。

——[英]阿诺德·汤因比

中国地处欧亚大陆东隅,北临戈壁大漠,西接帕米尔高原,西南是喜马拉雅山脉,东方和东南为海洋,由此构成一个相对独立的地理大单元。中国的地势是从西北向东南倾斜,山脉、水流多呈西东走向,从而形成四个与纬度大致平行的自然经济区域,即塞北牧区或农牧区、华北旱作区、华中稻作区和华南稻作与热带作物区。

幅员辽阔的中国拥有丰富多样的地质构造、地形地貌、气候物候,为人们的生产活动和科技创造提供了丰富多样的生态环境和矿物、动植物资源。其中,尤以黄河和长江的中下游地区水土宜人、物产丰饶,更适于早期人类的繁衍、生息和发展。

这样的地理环境和自然条件,在相当程度上决定了中国上古文明及科技发展的独特风貌和自成体系,也使得中原与长江中下游地区得天独厚地成为中华文明的主要发祥地。

中华民族尽管存在多种语系、方言与文字,但绝大多数中国人习常使用和认同的是同一种书面文字——汉语。这对于中国文化,包括中国传统科学技术的延续与传习也起了非常重要的作用。

第一节 原始农业与家畜饲养

农耕文化是中华文明的重要组成部分。原始遗址中工具和农作物的发现,一些偏远地区沿用的耕作方式,都使我们看到古老农业的投影。

一、原始农业

世界上许多民族的神话传说中都有自己的农业始祖,如古巴比伦的伊施塔尔、古希腊的阿娜希塔、古罗马的萨图尔努斯等,中国的农业始祖是神农氏。

作为农业始祖,神农氏的贡献是“尝百草之实,察酸苦之味,教民食五谷”,借天时之利,制作耒耜,教民农作。关于神农氏的传说反映出先民通过艰苦的努力才产生了农业。农业起源从驯化栽培野生植物开始,把自然界的野生植物驯化为人工栽培的农作物,需要很长时间,这称为“前农业”时期。在此期间,先民把野生植物种子反复地播种繁殖,形成半野生、半栽培的“稻生植物”,即今年落,明年自生的植物。进一步的驯化由这些植物开始,这就是农业的初始阶段。

农具对农业的发展自是重要。由考古发现知,原始农具有一个从木棒的尖头演变为扁平板状的过程,前者称为“耒”,后者称为“耜”(形状与今天的铲相似)。在距今七八千年前的新石器时代已出现耜,耜多用石片打造加磨制而成。器身扁平,刃部呈圆弧或尖锐状,便于入地翻土。耜也用兽骨制作。在浙江余姚河姆渡遗址发现 200 多件骨耜(图3-1),成为河姆渡遗址区别于其他同时期文化遗址的一大特色。其骨耜用偶蹄类哺乳动物(如水牛、水鹿等)的肩胛骨制成,肩部挖有方孔,可穿过绳子绑住木柄。骨耜的中部磨有一道凹槽以安装木柄,槽两边开两个孔,穿过绳子绑紧木柄末端。

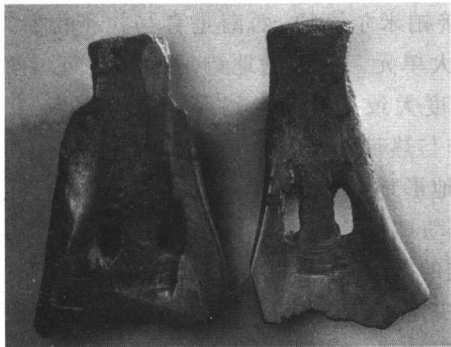


图 3-1 浙江河姆渡出土的骨耜

在用耜的基础上,古人发明了“耦耕”,即两人并肩用耜,这可以提高劳动效率。周代时,耜已是重要的农具。《诗经》中不少诗篇描写到耜,如:“翼翼良耜,俶载南亩”(《周颂·良耜》);“有略有耜,俶载南亩”(《周颂·载芣》)。这说明到西周时期,耜的使用广泛而普遍。

农史专家认为,中国最早的耕地农具就是耒和耜,因而古代农业的早期形态可叫做“耜耕农业”。

传说神农氏还发明了凿井、制陶。井的开凿既有利农田灌溉,也用于日常生活。由浙江河姆渡遗址的发现可见,距今 7000 多年前已有水井。

几千年来,神农氏作为田祖先农,一直受到中华民族的崇敬,历代所修的先农坛,就表达了对神农氏的纪念。

二、五谷种植

五谷的种植和食用对中华民族的体质有重要影响。“五谷”在不同时期所指不一,归纳起来,最主要的是黍、粟、稻、麦和菽五种。

1. 黍

黍是生长于黄河流域的一种旱作物。在甘肃秦安大地湾、山西万县荆村等新石器时代的遗址中都有发现,其种植历史至少有六七千年之久。黍生长于黄河流域,这与其耐旱、耐瘠、生长期短的特性分不开,另外也与当时耕作粗放,缺乏施肥、灌溉的栽培条件有关,因此在原始农业中,黍就成了黄河流域重要的粮食作物。

2. 粟

粟是由野生植物狗尾草驯化、培育而成的。中国是世界上最早培育、生产粟的国家。考古发现,在河北武安磁山和河南新郑裴李岗遗址有许多储粟窖穴,距今已有七八千年的历史。对磁山遗址的粟储存量进行推算,其存粟有十几万斤。储存规模之大实属罕见。这说明粟的种植历史非常悠久。

3. 稻

考古发掘表明,新石器时代中国的水稻种植已普遍分布于长江流域及广大华南地区。南方属热带、亚热带地区,雨量充沛,很适合水稻栽培。目前所发现的最早的稻谷出土于浙江余姚河姆渡遗址,距今已有 7000 多年,说明水稻种植历史久远。

4. 麦

古籍中所载的麦往往包括小麦和大麦。麦类在黄河流域中下游的种植比粟、黍晚,也比水稻晚,可能是后来引进的。中国早期禾谷类作物在汉字中都从“禾”旁,如黍、稷、稻等,唯麦(麥)字从“來”。迄今为止,所发现最早的麦作遗址在新疆。新疆孔雀河畔的小麦,距今有 3800 年。国际上公认西亚是小麦的原产地。据农学专家认为,小麦很可能是从西亚通过新疆传入中原地区的。文献表明,我国大量推广种植麦子是在春秋战国时期。

5. 菽

菽即大豆。原产于中国,现今世界各国的大豆都是直接或间接由中国传去的。野生大豆在中国分布广泛,约在新石器时代晚期被逐渐驯化为栽培种。栽培大豆与野生大豆相比,种子变大,油分增加,植株从蔓生变为直立。

总的看来,原始农业中稻和粟种植的时间最早,分布的地域最广,稻主要分布在长江流域,粟主要分布在黄河流域。中国南稻北粟的农作物分布状况,在原始社会时期已经形成。

三、家畜饲养

家畜饲养与农业密切相关,也是原始社会经济的重要组成部分。中国上古时代饲养的家畜主要有猪、羊、牛、马、狗等。

1. 猪

家猪由野猪驯化而来,中国是世界上最早养猪的国家,据考古发现,至今已有 9000 多年的历史。最早的原始家猪遗骸在广西桂林甑皮崖新石器时代遗址中发现。家猪与野猪相比,体型有很大不同。经过数千年的喂养,现代家猪的头部已明显缩短,犬齿退化,胴体延长,前躯缩小占全身的 30%,后躯增大到占 70%。

猪最早养在哪里?初看这一问题简单,其实耐人思考。猪不同于马、牛、羊之类的牲畜,不适宜做远距离放牧,因而古人常把猪圈起来喂养。甲骨文有“口”字加“豕”字,文字学家释作“圉”,就指养猪圈棚。《诗经·大雅·公刘》有“执豕於牢”的诗句,也说明猪在商周时实行圈养。

2. 羊

羊较早被驯化,这与羊的温顺性情有关。在距今约 8000 年的河南裴李岗遗址中,有羊的牙齿、头骨和陶羊头发现,这表明我国饲养羊有久远的历史。

中国(尤其是中原地区)绵羊的起源问题,曾长期众说纷纭。近年来根据文献记载和科学检测分析(动物染色体),证实中国绵羊来源于本土的古盘羊,最早是为西部地区氏羌民族驯养成功的,当时驯养的绵羊称为羌羊。随着氏羌、华夏民族的形成及流动、融合,羌羊从渭水流域呈放射状扩散到全中国。羊被古人驯养后,不仅作为主要食用畜之一,还用于祭祀和殉葬。

3. 牛

中国通常所说的“牛”,一般指黄牛,而通常所说的“耕牛”,则包括黄牛和水牛。黄牛和水牛在生物学上是两种不同“属”的动物,二者之间不能杂交。黄牛、水牛都是我国独立驯化的有角大家畜。

据考古资料,在河南、山东、内蒙古、甘肃等地的新石器时代遗址中都有牛骨发现,在浙江河姆渡遗址中出土有水牛的骨骸,表明水牛的饲养在我国至少已有 7000 年的历史。

常说的甲骨文,其“甲”指龟甲,“骨”指牛骨。河南安阳殷墟出土大量的卜骨,就多取材于牛的肩胛骨。牛在商代也大量用于祭祀,动辄数十数百、甚至上千条,这在卜辞里有明确的记载。

4. 马

马的驯化饲养要比牛、羊时间晚,这大概与马不易被驯服有关。考古发现,山东历城城子崖龙山文化遗址(距今有 5000 多年)有马遗骨出土,推想那时马已被驯化饲养。

由于马有耐力,奔跑速度快,给古人骑乘、田猎带来很大方便,而双轮车的发明更是给马找到了用武之地。

周代时王公贵族喜欢田猎,当时田猎都是乘马车进行。《诗经》中有许多诗篇描写了王公贵族乘车田猎的场景。如《郑风·大叔于田》唱道:“叔于田,乘乘马。执轡如组,两骖如舞。”诗句中的“轡”指驾马的缰绳,“骖”是指驾在车两旁的马。

第二节 早期手工艺

一、和泥制陶

中国是世界上最早制陶的国家之一。中国古陶器遗存以黄河流域和长江流域发现的较多,并且比较完整。在河南新郑裴李岗文化遗址出土有距今 8000 年至 10000 年的陶器,浙江河姆渡文化、西安仰韶文化、山东大汶口文化等遗址出土有距今 5000 年至 7000 年的陶器。新石器时代早、中期的陶器以泥质红陶或夹砂红陶为主,采用手工制作,分为捏塑、泥条盘筑等制法。泥条盘筑是先制成泥条,然后一圈圈盘筑成形,再用手将外面抹平。这种方法至今在我国某些少数民族地区仍在使

用。新石器时代中期的陶器制作讲究,在这时期的文化遗址中已发现不少精美的陶器。如甘肃永靖出土一件新石器时代中期的涡纹彩陶罐,高 50 厘米,口径 18.4 厘米,泥质红陶,外表光滑,绘黑褐色水波纹与流水涡纹,看去十分引人注目。

新石器时代晚期,先民发明了轮制法,用陶轮制作陶器。陶轮是一个装有直立转轴的圆盘工作台,把坯料放在陶轮的中央,当陶轮转动时,用手捏或工具使陶土成形,并使坯面光洁。用陶轮制成的陶器胎壁均匀,外型美观,还可提高生产率。轮制陶器往往在器壁表里留有平行密集的轮纹,器底部分也保留有线割的偏心纹。在山东龙山文化遗址出土有大量用陶轮制出的单色、无彩的新型陶器,器物通体黝黑,胎体薄如蛋壳,被称为“蛋壳陶”(图 3-2),这类陶器代表了该时期陶器制作的最高水平。

陶窑随着陶器制作也在不断改进。早期陶窑用木柴作燃料,使用自然通风。它所以能得到较高温度,主要在于结构的合理性。西安半坡仰韶文化遗址的陶窑有横穴式和竖穴式两种,窑在地面或沿坡侧挖出,由火口、火道、窑台、窑室组成,拱形窑室用草拌泥修筑。龙山文化时期的陶窑,其火膛靠近窑室下方,窑算由草拌泥制作,火焰经多条火道从算孔通往窑室。



图 3-2 黑陶双耳杯(龙山文化时期)

在长期制陶的基础上,商代出现了印纹硬陶和原始瓷器。原始瓷器是用高岭土制成,烧成温度在 1200°C 以上,质地坚硬,已具备瓷器的基本特征。

二、琢制玉器

在世界古代技术史中,中国的琢玉技术放射异彩。玉器在中国至少有六七千年的历史,在属于新石器时代中晚期的东北红山文化、太湖地区良渚文化、四川大溪文化、山东大汶口文化遗址中,都出土有造型讲究、制作精美的玉器。

大量上古时代玉器的发现,使学术界倾向认为,中国历史上曾有一个玉器时代。

上古时代,技术工具极为简陋,制作一件玉器实属不易。从工序讲,要经过下料作胎、钻孔、浮雕、划线刻纹、抛光等多道工序,每一道工序都耗时费力。

1. 下料作胎

根据玉器形状要求,先用劈切或锯的方法,把玉材大致弄成片形、方形或圆柱形。最早没有锯,所谓的锯是用细绳加硬砂拉磨出来的。良渚文化玉器上留有开片的锯痕。从锯痕看,宽度不大,据分析就是用细线加硬砂拉磨开片的。良渚文化的多节大玉琮(图 3-3),高 49.7 厘米。玉琮每一面都呈上大下小的梯形,四个面的上下宽度都一致,每个面的同位角基本相等。这不仅需要反复琢磨校正,还必须对角度关系有一定的理解。

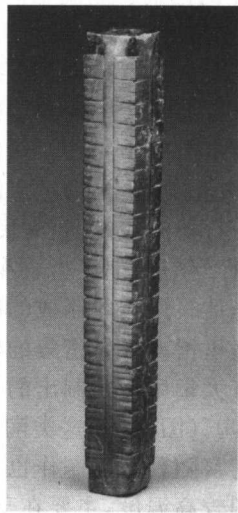


图 3-3 良渚文化多节玉琮
(距今约 5000 余年)

2. 钻孔

新石器时代的玉器，一般都为有孔玉器，有些是造型本身的孔，如琮、璧，有些是为了穿绳佩戴而打的孔，如璜、玦上的小孔。这时期穿孔方法有：一是马蹄形孔，即从一面钻孔，孔径越来越小，待孔打透时，径已很小，孔纵横面呈梯形。二是对穿孔，较厚的玉器或筒状玉器穿孔时采用两端对钻的方法，但钻头与玉器的位置固定的不牢固，且钻杆在钻孔时不断磨细，因而孔钻得不圆、不直。三是带有螺旋纹的孔，如四川广汉出土的大量玉璧，穿孔无论大小，都带有螺旋纹。螺旋纹可能是用某种管钻钻孔时，角度和钻位发生变化造成的。

3. 浮雕、刻线

新石器时代晚期玉器出现浅浮雕和精细刻线，表明玉器制作已达到较高的工艺水平。如良渚文化玉器上兽面纹有的兽嘴部为凸雕，有的眼部为凸雕，有的凸雕分为几个不同层次的平面。龙山文化玉器上变形兽面纹的雕刻，纹饰结构复杂，转折变化巧妙自如，很多是用凸起的线条构成。

殷商时代，制玉技术有更大的发展，近几十年的考古发掘为我们了解商代制玉技术提供了依据。以1976年河南安阳小屯村殷墟妇好墓为例，一次就出土玉器500多件，分礼器、仪仗器、工具、装饰、艺术品、杂器等多种品类。其中琢磨最精的，是各种立体和浮雕的雕像。有全身人像和人头像10余件，其发型服饰各不相同，有的跪坐戴冠，有的赤足盘发，衣纹清晰，腰带紧束。还有数十件虎、象、猴、鹰、螳螂等动物雕像，制作十分生动。

专家们认为，制玉工艺从早期的平面雕到圆雕，进而发展到商代复杂的圆雕，这不是一个简单的过程，它需要工匠具有较高的立体造型能力，对玉料的认识要有更丰富的经验。

三、纺坠、腰机

先民早先用兽皮蔽体和御寒。随着社会演进，逐步用植物纤维做织物。纺坠就是最古老的纺纱工具，大约出现于旧石器时代晚期。纺坠是在用手搓转和捻合纤维的基础上产生的，起初可能只是坠拉纤维的木棍、兽骨，后来为便于绕纱，又加上一根横的短木棒，以充捻兼绕纱棒。进一步，为增加转动的稳定性和速度，横棒改为小圆盘，成为“中”的形式。

所说的圆盘，也叫纺轮，在新石器时代早期是用石片打磨成的，外径较大，偏厚重。新石器时代中期，多用黏土专门烧制，外径缩小，已偏轻薄，有的还加上纹饰和彩绘。

在河北磁山新石器时代遗址,已发现距今约 7000 年的纺轮。在年代稍晚些的浙江河姆渡遗址、陕西西安半坡遗址等处也发现多只纺轮。发现数量最多的,是 1974 年发掘青海乐都柳湾遗址,一次出土有 100 多只纺轮。

纺坠在工作时由操作者一手转动捻,一手牵扯纤维续接,称做转锭纺纱。纺坠的形制和操作虽然简单,但它的工作原理与现代纺纱机上的纱锭是类似的。直至近代,在农村和少数民族地区,仍有这种原始的纺纱方法。

20 世纪 70 年代后期,在浙江河姆渡遗址先后发现了多枚骨针、骨匕、木刀和木棒。研究表明,骨针是用来引纬的,骨匕的作用是将织物打紧。使用工具编织,较之原始的“手经指挂”提高了效率和编织物的质量。木刀、带凹槽的木棍和硬木圆棒,应是原始腰机上打纬刀、提综杆和卷布辊。这种足蹬式的腰机没有机架,卷布轴的一端系于操作者的腰部,以双脚将另一端即经轴蹬住并张紧织物。利用分经棍将经纱按奇偶数分为两层,形成梭口,以骨针或绕着纬纱的纤子引纬,以打纬刀打纬。织第二梭时,以提综杆提起下层经纱,将打纬刀立于梭口再引纬并打纬。腰机织造最重要的技术成就就在于利用了提综杆、分经棍和打纬刀。提综杆可将需要的经纱同时吊起,纬纱一次引入,打纬刀将织物打紧。这样,就使原始腰机具有了机械的功能。

四、木构建筑

在世界建筑史上,中国古代的建筑独具特色。与西方古建筑的砖石结构体系相比,中国古代建筑采用的是木结构体系。这个体系的特点是:一个高起的台基,在台基上立木柱,在柱子上架设梁枋,再在梁枋上盖屋顶。屋顶的重量由梁枋传到柱子和地面。柱子之间的墙壁只起隔断作用,而不承受房屋的重量。根据考古发现,中国这种木结构体系的形成至少已有 4000 余年的历史。

中国古代建筑木结构体系在考古中可以找到渊源。西安半坡遗址距今已有 6000 余年,该遗址居住区的房屋布局:在中间一座大房屋,北边有许多小房屋,小房屋的房门都朝向大房屋,形成不甚规整的半圆形房屋群。对房屋遗迹构造进行排比,可以看到一个由半穴居到地面建筑的发展过程。根据学者研究,这个过程大约用了三四百年的时间,从历史上看,这一发展速度是惊人的。

半穴居的内部使用空间,下部是挖出来的,上部是构筑起来的。就地取土形成“四壁”;利用树木枝干和其他植物茎叶之类构成顶部围护结构。从结构学上讲,半坡一类木骨涂泥的构筑方式,是土木合构的中国古代建筑的始祖。

由半穴居发展,逐步有了墙体,承重的木骨泥墙出现,是地面建筑大发展的一个技术关键。直立的墙体,倾斜的屋盖,奠定了后世建筑的基本体形。这一转变,被认为在建筑

史上有着重要的意义^①。在墙上架屋的体形,要比在地面上架屋(半穴居)高大得多,即使到了夏代,仍被看做是先进的形式。

初期屋盖与墙体的构造大致相同,进而采用密排板椽,减去椽间的填充材料,合理地承受屋面垂直载荷。墙体进一步发展,支柱木骨分化成为承重与填充两部分,最后形成较规整柱网,由此奠定了中国古代建筑木框架结构体系的基础。

中国古代建筑用榫卯联结也是一大特点,它的产生和发展反映了先民的智慧和技巧。考古发现,距今约 7000 年前的浙江余姚河姆渡遗址中,有大量干阑式房屋建筑,这是适应南方湿地特点建造的。房屋由桩、柱、板、梁、枋等许多构件组成,在这些构件上大都带有榫卯。其榫卯的式样有多种,如燕尾榫、梁头榫、双凸榫、柱头榫、柱根榫(管脚榫)、企口榫等,如图 3-4 所示。其中企口板两侧各凿出一道宽 1~2.5 厘米,深 2.3 厘米的企口,口内插入砍削成梯形截面的木块,衔接不见通缝,是一种较高级的密接拼版工艺。这些榫卯当时是用石斧、石凿、骨凿之类的工具制作,可想很不容易。正是在这样的基础上,中国古代的榫卯联结不断完善,发展出复杂多样的方式。

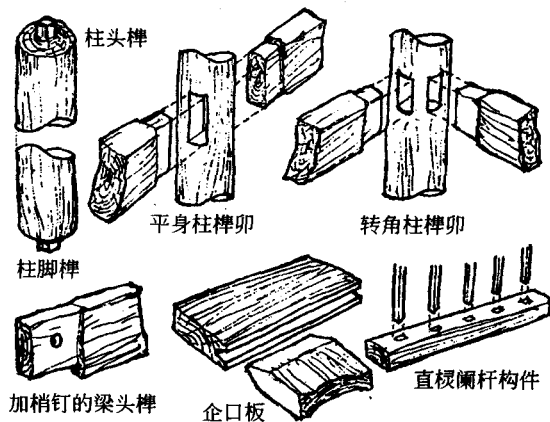


图 3-4 河姆渡遗址所见部分木构榫卯类型

五、冶铜发端

冶铜是人类进入文明社会的重要标志。冶铜的发明是在多种技艺积累的基础上的突破,与之关系最密切的是矿石开采和制陶。

采石是矿物开采的开端。经过长期实践,先民对石料有了更多的认识,从而有意识

^① 杨鸿勋:《建筑考古学论文集》,第 30 页,北京,文物出版社,1987。

地开凿质地较坚韧的燧石和硅质岩。内蒙古呼和浩特大窑村发现的一处旧石器时代的采石场,分布面积达 200 万平方米;广东南海西樵山发现了七个采石洞,其中的滴水岩纵深达 37 米,反映出这一时期采石的宏大规模和开采水平。新石器时代采矿技能的提高,突出地表现于玉石和绿松石的开采,这些矿物的硬度大、开采困难。但从大汶口文化、红山文化和良渚文化所出土的大量玉石制品看,当时的开采和加工水平都有较大的提高。而孔雀石本身就是氧化铜矿物。

新石器时代中晚期的大汶口文化和龙山文化在烧制黑陶时,已能获得 1000℃ 以上的高温,这就使冶铜的产生有了一定的技术前提。

由考古发现,迄今最早的冶铜遗物是陕西临潼姜寨仰韶文化遗址出土的黄铜片和黄铜管。黄铜片残缺成为半圆形,直径约 48 毫米,厚约 1 毫米,含锌约 25.5%,由铸造成形。黄铜管含锌约 32%,有少量的硫,系卷制成形。这两件黄铜制品距今 6000 多年,据专家分析是用天然铜和含锌矿石混合炼成的,它们的获得有偶然性。山东胶州三里河龙山文化遗址出土有黄铜锥,也可看做冶铜在萌生时期的例证。

距今 5000 多年的红山文化,主要分布于西辽河上游。辽宁建平牛河梁出土有红铜环,证明红山文化时期已开始冶铜。分布于黄河上游的马家窑文化,在甘肃东乡林家遗址曾发现一把青铜刀,由双合范铸造而成。

进入龙山文化时期,冶铜器物明显增加。在河南淮阳平粮台、郑州牛寨村、临汝煤山、登封王城岗,山东诸城呈子、长岛北长山岛、日照安尧等地的文化遗址,都曾发现冶铜坩埚、炼渣或铜片。登封王城岗出土的一件铜片含锡 7%,被认为是容器的残片。这表明龙山文化晚期冶铜有较大突破,开始从铜、石并用时代走向青铜时代。

中国史前时代冶铜呈现初始阶段的特征,既用坩埚炼铜,又用天然铜直接加工或重熔,既锻打红铜,也铸造青铜,但多属小件刀具、饰品。仰韶文化时期的冶铜处于萌生状态,也许有来自域外文明的某种诱发或影响。到龙山文化时期,冶铜术扎下根基,并很快形成自己的技术特色,这为即将到来的青铜时代辉煌提供了充分准备。

第三节 科学知识萌始

先民在生产劳动和生活中适应自然,同时也逐渐增加对自然的认识。从发生学的角度看,早期主要有天象观察,日月年确定,数目观念,对疾病和动植物的认识。

一、天象观察

先民日出而作,日落而息。白天户外活动以太阳为依据,夜晚靠星星做指南。人们

观察日月星辰等天象变化,逐渐产生了方向和时间的概念。从古遗址出土文物中,我们可以了解到先民对天象的一些认识。

20世纪60至70年代,在山东莒县陵阳河和诸城前寨分别出土了4件陶尊,属距今约5000年的大汶口文化时期。尊上刻有符号,有学者释为象征太阳、云气和山岗的复体会意的“旦”字;也有学者释为“烜”和“炅”字。关于“烜”的象形字依据,王树明先生解释说,他曾到莒县陵阳河实地考察,发现在遗址东5华里处,有一座山,五峰并立,中间主峰突起。春秋两季八九点钟时,太阳从正东升起,恰好高悬于主峰之上,如象形字“”的五个山头^①。据《山海经》记载,“日月所出之山凡六”,“日月所入之山凡六”。由东向西,两两对应。由于地球绕太阳的公转,一年中日月的升落点并非固定在一个山头,会逐渐地南移和北移。这就是《山海经》所记日月出入的山头非一个而为六个的缘故。如果这一说法可信,似可说明大汶口文化时期的先民已利用“山头纪历”的原始方法,也表明当时人们初步掌握了季节概念。

夏商时代,天象观测资料由积累而丰富,由甲骨文可见许多相关记载。甲骨卜辞载有大火星、鸟星等星的名称,这些都是殷商人经常观测用以定季节并用以祭祀的星座。卜辞中的天象记录也很多,经常有“日有食”、“夕月食”之类的记载,说明商人很重视日食、月食现象的发生和观测。有一块卜辞载有“新大星并火”,就是指在大火星旁出现了一颗新的亮星,时间在公元前14世纪。这是中国也是世界上观测到的最早的新星记录。

商代卜辞中,已明确见干支纪日,以甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸10个天干,同子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥12个地支连续相配,组成甲子、乙丑、丙寅等60个纪序单位,用以循环纪日。殷墟甲骨中有一块兽骨上刻有从甲子到癸亥共60个完整的干支名称。商代的纪月通常以序数进行,一年分为12个月,间或也有“十三月”的记载,乃是闰月。由此可见殷商历法的大致情况,即以干支纪日,以朔望月纪月,初见新月之日为初一,大月30天,小月29天,大小月相间,以实际观测偶然加进一个连大月,并无确定规则,同样以实测天象决定设置闰月以调整季节,闰月设在年终,称为十三月。

二、数目观念

数目观念的发展经历了漫长的过程。先民对数目的认识,是从“一”和“多”开始,后来才逐渐有了“二”和“三”等数目的概念。最初认识数目都是和具体的对象联系在一起,如一只羊、两只陶罐等,还没有形成抽象的数概念。通常情况下,古人可以通过手指等简单地对应关系“数”(shǔ)出物体的个数。

① 《东夷古国史研究》第一辑,第29页,西安,三秦出版社,1988。

计(或记)数的方法有许多种,见于古文献记载的有两种,一是结绳,一是刻画。古籍《易经·系辞》说:“上古结绳而治,后世圣人易之以书契”,就是说的这两种方法,它们都很古老。

结绳一般是用麻、毛、草之类材料,不易保存,所以今天很难找到古代的结绳实物。刻画与结绳不同,刻画所用材料骨、石、陶等都能长期保存,在考古中已发现不少有关材料。目前所见最早的实证资料是山西朔县峪村旧石器时代遗址出土的兽骨,距今已近3万年。其中许多兽骨片上有数目不等的刻画,5以内的斜纹出现不少,表明当时已知简单数目并能运用。

新石器时代,刻画记数逐步演化为符号记数,并最终与原来的刻画分离。在西安半坡、青海柳湾、山东城子崖等新石器时代中晚期遗址中的器物上都有个数不等的数学符号。分析看出,这些数目符号和后来甲骨文中的数目字大致衔接,反映了字形演变的脉络。如山东城子崖遗址出土的陶器上有数字七、十、十二、二十和三十,写法明确(图3-5)。

商代时,逐步发展起比较系统的文字,从甲骨文可以看出,所记录的数目字很多(图3-6),已有数学知识的运用。

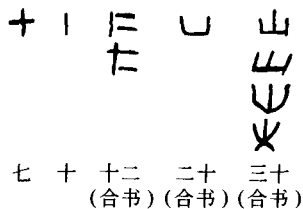


图 3-5 山东城子崖遗址陶器上的数目字(距今约 5000 年)

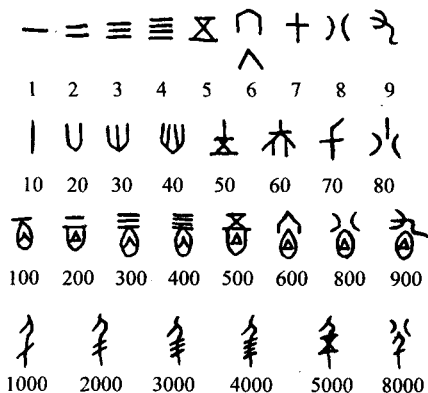


图 3-6 甲骨文中的数目字

甲骨文中数字符号与早先陶文出现的刻画符号有一定联系,有些就是原来的形状,有的稍有变化。值得注意的是,由于实际需要,甲骨文中首次出现了“百”、“千”、“万”三个数名。另外,同一个数目的符号有的并不一样,如“六”、“九”等书写就有差别。



图 3-7 甲骨文中的“一万”、“二万”、“三万”

甲骨文中“万”字是毒蝎子的象形(图3-7),说起来有点耸人听闻,然而这是真实的。

为什么古人要用蝎子形表示“万”？据说在古代中原地区，这种小动物随处可见，成千上万地存在，给人以深刻的印象。再有，蝎子的头胸部有许多对螯肢和脚，一时数不清到底有多少，总起来看就是“多”，古人就取蝎子的形象为“万”的符号。当然，以这种数目字实际演算会有许多不便，但是在此基础上不断改进，中国古代数学终于从幼稚走向成熟。

三、医学知识

人类在与大自然的斗争中成长，其中必然包括同各种危害人体健康的疾病作斗争。长期的生产劳动和生活中先民积累起治疗的经验，发展出具有中国特色的医学。

翻查汉语字典的部首可知，“疒”是一大类，通称病字旁，和疾病有关的字都带“疒”，这反映出古人对疾病以及疾病给人造成痛苦的认识。

关于中国医学的起源，文献中有不少记载，如《史记·三皇本纪》说：“神农……始尝百草，始有医药。”《黄帝内经》记：“上古圣人，作汤液醪醴。”神农、圣人创造医药是传说，难以查考。现在能作为研究的最早的可靠文字材料，是殷墟出土的甲骨文记载。对这些记载的深入研究可知，殷商时代已形成一些医学知识，甚至可以说已有中国最早的病历和医案。

“疒”的甲骨文形象人有病躺卧于床，本义指人生病之“病”。古代字典《说文》解释“疒”是“倚也，人有疾病，象倚箸之形”。

“疾”也表示“病”。根据甲骨文刻画(图3-8)看，“疾”像一个人的腋下有一枝箭，表示中箭负伤。“矢伤人”，这是“外伤”性急病，与表示内科、慢性的“病”意义有区别。后来二字逐渐通用，都表示疾病。

甲骨卜辞中对疾病的描述都带有“疒”，除了对疾病状况的一般性记录外，还保留有大量有关各种疾病的具体记录。据统计，记录的疾病达20多种，如疒首(头病)、疒目(眼病)、疒耳(耳病)、疒自(鼻病)、疒口(口病)、疒齿(牙病)、疒腹(腹病)、疒子(小儿病)、疒育(产科病)等，大部分是按人体不同部位来区分的。如“疒目”，

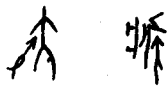


图3-8 甲骨文“疾”字

就是眼有病。古代医学认为，眼病分“外障”、“内障”二类。凡暴赤肿痛，畏光惧明，名曰外障，多由风热所致。凡久病昏花，视力衰减，名曰内障，乃是虚症。卜辞记载：“贞：王其疒目？”“贞：王弗疒目？”或问眼是否会得病，是眼睛已感到不舒服时所占卜；或问眼病是否延续，则是病后所占卜。

又如“自”字，在甲骨文作，是鼻子的象形，为“鼻”的初文。《说文》解释：“自，鼻也，象鼻形。”“疒自”即鼻子有病，当时是以鼻腔或鼻窦炎症为主。有卜辞记载：“贞：帚(妇)

好𠂔佳出，𠂔？”“𠂔”以前不得其解，按此字从自从肉，有鼻中长肉之意。可认为指的是鼻息肉。卜辞的大意是：妇好（殷王武丁之妻）鼻中长出了息肉，是疾病吗？至今医学仍称突出于黏膜表面的增生组织团块为“息肉”，鼻息肉在中医又称为“鼻痔”，它堵塞鼻腔，妨碍呼吸，并且常伴发鼻炎或鼻窦炎。医学史研究者认为，该卜辞是世界上关于鼻息肉这一病例的最早记录，加之患者的身份明确，故该记载甚为宝贵。

有些疾病在甲骨文中是根据它的主要特征，而给以专门命名的，如疔、疥等。这些材料，表明了殷人对疾病的观察和认识已达到一定水平，对于医学史的研究也有参考的价值。

传统医学中针灸是一大特色。追溯针灸可知，其前身是砭石。可以想象，远古时代人若得了病，缺医少药，只能主动尝试，看什么方法有效。对脓疱一类容易想到用尖利物或石刀割破，放出脓血。或者身上有痛处，刺一刺就感觉舒服。治疗有效，久而久之就成了专用医疗工具。

根据文献结合考古文物知，砭石是一种医疗工具，用砭石治病后来称为砭术。《黄帝内经·素问》记载：“东方之域……其病为痈疡，其治宜砭石。”“故其已成脓血者，岂唯砭石铍锋之所取也。”由记载可知，先民最初就是用“砭石”，即用石头尖刺身体的某个部位，或石片的利刃切割脓疱。随着青铜冶炼出现，才逐步改用金属针。砭石不限用于刺或切割，如棒状砭石就是利用滚压方法来治疗。

中药汤剂也是古代重要的治病剂型之一。传说商王成汤有病，伊尹为之煎煮药液服用。最早汤药的应用应是来自民间的认识总结，在长期的生活中先民通过混合多种植物煎煮，认识到某些植物有医疗作用。后来，行医者有意识地对汤剂的药物进行了整理和筛选。

思考题

1. 古代琢制玉器主要有哪些工序？
2. 中国古代木构建筑的特点是什么？
3. 比较甲骨文“疔”和“疾”的异同。

参考书目

1. 华觉明等主编：《中华科技五千年》，济南，山东教育出版社，1997。
2. 戴吾三：《汉字中的古代科技》，天津，百花文艺出版社，2004。



希腊人的科学与自然

在希腊哲学的多种多样的形式中,差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。因此,如果理论自然科学想要追溯自己一般原理发生和发展的历史,它也不得不回到希腊人那里去。

——恩格斯

只是在希腊人那里我们才发现一种普遍的(“宇宙论的”)活生生的兴趣,它所感兴趣的是本质上创新的纯粹“理论性的”态度的形式。也只有在希腊人那儿我们才发现一种特有的群居形式,他们的理论兴趣正是在这种群居形式中推出了哲学家、科学家(数学家、天文学家等等)的相应的全新态度。他们是追求和实践理论并且只追求和实践理论的人。

——胡塞尔《现象学与哲学的危机》

第一节 希腊科学兴起的背景

科学史上我们经常谈的希腊并非是仅仅指今天作为欧盟成员国之一的希腊所在地区,古代希腊的范围要大很多。因为早在 3000 多年前,希腊人就越过希腊半岛向海外进行大规模的移民,所以希腊地区实际上指的是包括希腊半岛本土、爱琴海东岸的爱奥尼亚地区、南意大利地区以及克里特岛等的广大地域。

从今天世界的主流文化看,希腊人的贡献和影响是其他古代文明难以企及的。尽管希腊文明在发生的时间上无法与埃及、巴比伦、印度、美索不达米亚等文明古国相提并论,尽管希腊人的文明也有许多致命的缺陷,尽管希腊人并没有做出什么了不起的技术发明,也没有留下多少宏伟的惊世工程,但是希腊人的伟大贡献是创造了西方科学和哲学的伟大传统。

从公元前 500 年左右开始,希腊就出现了最早的哲学,这也是最早系统的理论化的科学的开始。希腊哲学是以对自然的系统研究开始的。虽然希腊人的科学研究是在继承和融汇埃及和两河流域等东方地区的科学成就基础上发展起来的,但希腊人强调理性,强调逻辑,重视真理本身价值的态度,使得原先零散的、实用的自然知识成为一种

对于世界的体系化的理性建构。自然哲学,关于自然界及其内在本质的哲学研究,在古代指的是自然知识的总汇和统称,其目的是获得自然界的完整图像。

古希腊自然哲学在人类历史上第一次形成了独具特色的理性自然观:把自然看做是一个独立于人的对象而加以整体地看待;把自然界看做是有规律且可以认识的对象;力图用哲学的概念和语言来把握自然界的规律。

希腊人独特的科学成就及其传统之产生有其自然和社会等各方面的条件。在进入铁器时代、实现文化变革之时,希腊人最为成功。在自然条件方面,希腊地区港口众多,适于航海和贸易,为向希腊本土之外的陆地和岛屿移民提供了方便。希腊殖民地从本土到小亚细亚沿岸,延伸到埃及、西西里、意大利南部和直布罗陀海峡两岸,构成了一条连绵不断的链条。这些殖民地与不同传统、风俗、制度的民族经常接触,吸收其他文化的精华非常方便,同时殖民地也没有丧失和希腊文化母体的联系。

由于航海和贸易的发达,经济的繁荣,城市的兴起,给希腊人创造新文化提供了坚实的物质基础。亚里士多德在《形而上学》中说,哲学和科学的发展需要三个必不可少的条件:好奇、闲暇和自由。幸运的是,希腊人具备全部三种条件。好奇,是指人们纯粹为了摆脱无知而进行研究,并非是由于外在的功利性目标驱使。这样可以保证科学研究的系统性和纯粹性,知识的探求不至于因为暂时的“无用”而被搁置。闲暇和自由是保证好奇心的重要社会条件。闲暇要求社会上有相当一批人不需要为衣食担忧,不必从事繁重的体力劳动,从而好奇心不至于被生活的压力所压制。而自由则是强调在探索知识的过程中,不必因为政治、习俗等因素的影响而受到限制。

希腊人的奴隶制为自由民提供了闲暇,而希腊的城邦民主制则为科学研究提供了非常宝贵的自由。希腊人的殖民传统,使得传统习俗受到削弱,为思想自由提供了条件。而希腊独特的地理环境使得希腊难以建立类似中国那样的大一统国家,也为不同思想流派的自由争鸣提供了可能。但是最重要的还是希腊文化中最为可贵的对知识和真理的不懈追求,这种对知识本身的渴望并不是人类历史上其他民族在具备了闲暇和自由时都能表现出来的。

虽然希腊科学的理性传统对后世影响极大,但是希腊的科学也是有严重局限性的。最突出的是,希腊科学过度重视理性,而轻视经验。希腊科学重视理论建设,而轻视知识的应用,重视理论科学,轻视技术研究。这当然也是和希腊的奴隶制度及对劳动的蔑视紧密相关的。

一、米利都学派

公元前6世纪,希腊科学和哲学首先从处于小亚细亚的希腊殖民地爱奥尼亚地区兴起。这里与希腊本土、埃及和巴比伦都不远。叙利亚和路底亚的许多商路都与爱奥尼亚

相连,它还是希腊本土与克里特文化联系的一个纽带,所以容易吸收各种文化的影响。

第一个自然哲学家和科学家是泰勒斯(Thales of Miletus, 公元前 580 年左右),他是商人、政治家、工程师、数学家和天文学家。他曾经游学埃及和巴比伦,学习了那里的天文学、几何学与哲学,曾经预言过日食,把埃及经验性的测量土地的几何学变成了希腊演绎的几何学,并且证明了一些几何定理。据说他写过关于春分、秋分和冬至、夏至的书,他观测到了太阳运行速度并不均匀,还发现了小熊星座等等。

作为第一位自然哲学家,他的主要思想体现在“万物本原是水”这句名言中。罗素在《西方哲学史》中说,所有学习哲学史的学生当学到第一位哲学家的理论时都不禁有所失望,但是他说关键不是这句话说的内容,重要的是说话的方式。它是人类第一次用理性的方式寻求万物的统一本质,也就是要透过气象万千的现象中寻找共同的普遍因素,再从这一普遍本质来说明更多的现象,包括过去经验中没有接触过的现象。这是科学研究的基本思路,体现了理性思维的特点。更进一步的,它是用自然内部的因素来解释自然现象,而不是像神话或者宗教那样诉诸超自然或者自然之外的神灵、精神,这样人类就可以通过经验来批评和改进科学知识,而不是像神话和宗教那样难以取得确定的知识进步。所以这句话本身虽然很粗糙,但是它开创了一种很有前途的研究传统。

泰勒斯将万物本原定位于水,倒并不奇怪。水的形态多变,适合作为一种解释各种现象的普遍原则。另外,水对于生命的极端重要性也是给人以深刻印象的。再加上泰勒斯所生活的地区处于海洋包围之中,对水的存在的普遍性应该有很深的感性体验。此前许多民族关于洪水的古老传说估计也提供了重要思想背景。泰勒斯提出大地是个浮在水面的扁平的盘子,地震是由水的运动造成的。水蒸气滋养地上的万物,也滋养着整个宇宙,包括天上的日月星辰。在这里,万物本原的理论被用来构造宇宙模型。

泰勒斯的弟子阿那克西曼德(Anaximander, 公元前 610—前 545),是第一个把已知的世界绘成地图的人,他首先认识到天空是围绕北极星旋转的,所以他提出可见的天空是完整球体的一半,大地是一个圆柱体,处于宇宙中心。他认为整个宇宙有一个演化的过程,生物也是演化的,如动物是从海泥中产生的,人是从鱼衍生的等等。但是一切万物,包括天体在内都要毁灭并复归于原始未分的混沌状态。所以他理解的万物始基是浑朴未分的“无定形”,内部蕴含着分化的可能性,可以产生一切具体物质的形态。

阿那克西曼德的学生阿那克西米尼(Anaximenes, 卒于公元前 526 年左右),认为万物的始基是“气”。灵魂就是气,火是稀薄的气,气凝聚时就变成了水,继续凝聚就变成了土,进一步就成了石头,这样把事物的质的区别归结为量的差别,也是科学研究常用的思路。他认为大地和行星都浮游在空气中,仿佛世界也是在呼吸着的。

泰勒斯、阿那克西曼德、阿那克西米尼三位有师承关系的学者构成了最早的自然哲学学派——米利都学派,其特点是寻找构成万物的基本材料。这种从物质结构来解释自然现象的思路在古希腊原子论乃至近代科学中都大行其道,产生了深刻的影响。

二、毕达哥拉斯学派

与此相对,毕达哥拉斯学派则更重视对于事物的形式研究,它与米利都学派构成了相辅相成的两大研究路线,在后世西方科学中共同发挥了积极的作用。毕达哥拉斯学派是希腊哲学史乃至整个西方哲学史上一个奇特的案例。它首先是一个秘密宗教团体。毕达哥拉斯(Pythagoras)公元前 570 年左右出生于萨莫斯,约于公元前 530 年左右移居意大利南部的克罗顿。年轻时四处游学,曾在埃及长期学习,学习的主要内容是数学和宗教知识,学成后到克罗顿开始聚众讲学,最后发展了一个高度组织化的带有政治、伦理关怀的秘密宗教教派。由于教派的教义是秘不外传的,所以人们对学派内部的情形了解不多,不知道具体成就是谁做出来的,只能笼统地归之于毕达哥拉斯教派。他们一度在南意大利许多城邦掌权,后来公元前 500 年左右受到对手的攻击,作为教派的毕达哥拉斯学派覆灭。但是教派中有少数人幸免于难,并且逐渐将教义传播出来。

毕达哥拉斯学派在学术上的成就主要是数学,他们大大地推进了演绎方法在几何学上的运用,并按照逻辑顺序建立了某种体系,证明了著名的毕达哥拉斯定理,发现并证明了三角形内角之和等于 180° ,研究了相似形的性质,发现平面可以用正方形、等边三角形以及正六边形所填满。毕达哥拉斯应该是数论的创始人,通过将数理解为在沙滩上的石子,他们发现了所谓三角形数、正方形数、和正多边形数的规律,总结发现了三角形数与正方形数的求和规律。他们研究了质数、递进数列以及他们认为美的一些比例关系,如算术平均值、几何平均值、调和平均值等等。在研究数字的因数时,他们提出了完全数(数等于其因数之和)、盈数(数超过因数之和)、亏数(数小于因数之和)、亲和数(两数分别等于对方因数之和)等概念。

毕达哥拉斯学派认为,决定音乐和谐关系的是合乎比例的数量关系(图 4-1)。传说毕达哥拉斯在街上听到铁匠铺里打铁声非常悦耳,发现与铁锤的重量有关,回来后经试验发现,琴弦受力不同,其音调高低也不同,如受力为 $2:1$ 则音相差八音程, $3:2$ 则为五音程, $4:3$ 则为四音程。对此现代物理学家伽莫夫给予了高度的评价,他说,“这一发现大概是物理定律的第一次的数学公式的表示,完全可以认为是今天所谓理论物理学的第一步”。^①

从哲学和科学发展的角度看,毕达哥拉斯学派最伟大的贡献还不是那些具体的数学和科学成就,而是其对数的高度重视。他们认为万物皆数,数是万物的本原。他们说具体的事物固然可以用水、气之类的东西来解释,但是抽象的事物如“正义”、“理性”或者“灵魂”之类的存在就难以解释了,只有用抽象的原则来进行解释才比较合理。更进一

① 伽莫夫:《物理学发展史》,第 4 页,北京,商务印书馆,1981。

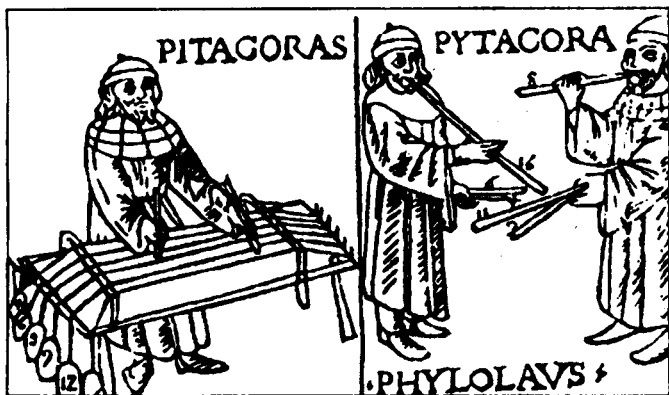


图 4-1 毕达哥拉斯与数的和谐

步,他们发现了万物之中都有某种数量关系。这样用抽象的形式来解释世界,与米利都学派只能用质料来解释相比,是认识能力的一次伟大进步。毕达哥拉斯学派率先提出宇宙和谐的观点。据说是他们最早使用 *cosmos*(原意秩序)来指称宇宙,意思是说宇宙万物本质上是和谐的,而这种和谐的具体表现就是各种比例关系,例如黄金分割之类。从原来认为是一片混沌的世界到认为世界是有秩序、有规律,而且表现为比例关系,这是认识史上一次大的飞跃。

毕达哥拉斯学派认为万物都是数,这个数当时理解就是整数,所以无理数的发现引起了他们的不安,据说他们把发现了 $\sqrt{2}$ 不能表达为任何整数比的西帕苏斯(Hippasus)扔进了大海,后来他们证明了 $\sqrt{2}$ 确实就是无理数。从此以后,希腊数学走上了以几何学为中心的道路。

在天文学方面,毕达哥拉斯学派首先提出大地是一个球体,并且宇宙也是一个球体,它是由一组同心圆球所构成的,每层天球都是天体运动的轨道。宇宙的中心是中心火,所有的天体都围绕它运动。当时所知道的天体共有 9 个,他们为了达到 10 这个完美的数字提出还有一个与地球相对的天体叫“对地”,我们看不到它,因为它在中心火另一侧。我们看不到中心火是因为我们居住在地球上背对着中心火一侧。这个高度几何化的宇宙模型为希腊的数理天文学奠定了基础。

毕达哥拉斯学派之所以如此强调数学的研究,在很大程度上是因为其宗教的追求。他们信奉灵魂轮回的教条,他们宗教努力的目标是要净化灵魂,让灵魂从肉体的束缚中解脱出来。而数学的研究,现象背后数的和谐关系的发现,尤其是只有通过心灵才能聆听天体的谐音,可以帮助人类净化灵魂,实现解脱。在这里我们看到科学与宗教在探索宇宙人生奥秘上某些奇妙的一致性。

三、赫拉克利特

赫拉克利特(Heraclitus,约公元前536—前470)是西方哲学史上辩证法思想的奠基人。他是伊奥尼亚地方的爱菲斯人。此人恃才傲物,愤世嫉俗,文字晦涩难懂,古希腊时即以“晦涩哲人”名世,但文笔非常优美。他的主要观点是强调世界的永恒变化,而且并无神灵主宰。他说:“这个有秩序的宇宙(cosmos)对万物都是相同的,它既不是神也不是人创造的,它过去、现在和将来永远是一团永恒的活火,按照一定的分寸燃烧,按照一定的分寸熄灭。”他认为万物皆流、无物常驻。他曾经说过,“太阳每天都是新的。人不能两次踏入同一条河流。”

海森伯对于赫拉克利特火的隐喻给予了很高的评价:“变化本身并不是质料因,因而在赫拉克利特的哲学中用火来代表它,把它当作一个基本元素,它既是物质,又是一种动力。在这里我们可以看到,现代物理学在某些方面非常接近赫拉克利特的学说。如果我们用‘能量’一词来替换‘火’一词,我们差不多就能用我们现在的观点一字不差地来重述(赫拉克利特)的命题。”^①

他认为事物内部的对立冲突矛盾是事物发展变化之动力,“对立产生结合,从不一致的音调里产生出完美的和谐;一切事物都是通过斗争产生的”。他说,“应该领悟:战争是普遍的,斗争就是正义,一切事物都是由斗争产生的。战争是一切之父,它使一些人成为神,另一些人成为奴隶,另一些人成为自由人”。

值得注意的是,赫拉克利特非常强调逻各斯,轻视经验感觉。他说,“这道(即逻各斯——引者)虽然万古长存,可是人们在听到它之前,以及刚听到它的时候,却对它理解不了。一切都遵循着道,然而人们试图像我告诉他们的那样,对某些言语和行为按本性一一加以分析,说出它们与道的关系时,却立刻显得毫无经验。”^②实际上他可能是希腊哲学史上第一个强调理性认识和感性认识差别,并强调理性认识重要性的人。而且逻各斯的词根是言语,所以他开创了希腊哲学和科学重视逻辑、重视概念界定、重视理论构建的传统。这和中国文化强调语言不足以表达真理的态度,重视体悟言外之意,弦外之音的传统迥然不同。例如《道德经》云:“道可道,非常道,名可名,非常名。”孔子云:“天何言哉?”

恩格斯把赫拉克利特当做是希腊辩证世界观的代表,他说:“当我们深思熟虑地考察自然界或人类历史或我们自己的精神活动的时候,首先呈现在我们眼前的,是一幅由种种联系和相互作用无穷无尽地交织起来的画面,其中没有任何东西是不动的和不变的,

^① W. 海森伯:《物理学和哲学》,范岱年译,第28页,北京,商务印书馆,1984。

^② 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译:《西方哲学原著选读》,第22页,北京,商务印书馆,1982。

而是一切都在运动、变化、产生和消失。这个原始的素朴的但实质上正确的世界观是古希腊哲学的世界观,而且是由赫拉克利特第一次明白地表述出来的:“一切都存在,同时又不存在,因为一切都在流动,都在不断变化,不断地产生和消失。”^①

四、爱利亚学派

赫拉克利特强调万物常变,而爱利亚学派却针锋相对主张变化只是假象,不变才是本真。这看上去似乎是相互对立,其实不妨认为两者相辅相成。巴门尼德(Parmenides, 约公元前520—前445),是西方哲学史上形而上学的鼻祖,他创立了存在论(Ontology,或译本体论),这是西方哲学发展史上一次非常重要的突破。它表明科学和哲学研究不能仅仅停留在变动不居的现象的描述上,必须要透过现象来认识事物不变的本质,要真正认识和理解变化,必须要把握作为变化之主体的存在。这种把握不是借助于感觉器官进行的,是要借助理性才能的。所以真理是通过思想获得的,感官只能获得意见。

他说,“作为思想和作为存在是一回事”。意思是说,思想与存在同一。其内涵是说:思想是可靠的,感觉不可靠。因为,思想可以对存在进行理论的论证,而感觉则只根据感官接触到的材料进行猜测,提供意见。所谓思想和存在是同一的,还意味着感觉和非存在是一致的。因为如果要用感觉看存在,存在就是没有的,而非存在是有的;用思想去想非存在,非存在就是虚假的,没有真实信念的;用思想去想存在,就是真实可靠的。这里他把现象明确说成是虚幻不实的非存在,鲜明体现出他对现象和本质的巨大差别的强调。从此以后,西方科学和哲学一直以高举理性认识旗帜,注重现象背后本质的研究,强调从变化万端的现象中寻找不变量或不变者。

针对变动不居、纷繁多样的现象世界,巴门尼德认为,“存在者不是产生出来的,也不能消灭。存在者是连续不可分的‘一’。存在者是不动的”。这些看似极端荒谬的言论,只有在现象背后的本质层次上才能理解其价值。可以说,巴门尼德的工作使得西方的科学和哲学具有了真正的深度,具有了超越表面现象的研究能力。如果说像赫拉克利特那样对变化现象的描述在不同的文化当中并不鲜见的话,巴门尼德的创见确实是很有希腊特色的重要成果。

巴门尼德的惊世骇俗的言论,与人的直观不符合,所以受到大家的批评是可以想见的。然而他的弟子芝诺勇敢地接受挑战,试图完成似乎不可能的任务,用严格的逻辑推理证明:存在者是不动的,存在者是“一”。这就是哲学史著名的芝诺悖论。

芝诺(Zeno,约公元前504—前500年生),爱利亚本地人。他为巴门尼德辩护的策略是应用归谬法,即如果坚持与巴门尼德不同的观点必然会导致自相矛盾。他的论证大体

^① 《马克思恩格斯选集》,第3卷,第60页,北京,人民出版社,1972。

思路举例如下：

反对多的论证，有几种路径，有一种是这样的：如果事物是多，它们必定在数量上或者是有限的，或者是无限的，但不可能既是有限的，又是无限的。

如果事物是多，它们必定是和它们存在的一样多，既不多一点也不少一点。但是如果它们正是和它们存在的一样多，它们在数量上就是有限的。

如果事物是多，它们在数量上就是无限的。因为在那些存在的東西之間總還有別的東西，而在那些東西之間還會再有別的東西。所以事物是無限的。

這樣承認事物是多，則事物既是有限的，又是無限的，所以事物不可能是多，只能是一。

反对运动的论证有四种之多，它们分别是：

(1) 移动位置的东西在达到目的地之前必须到达途程的一半，而此一半路途到达前又必须到达一半的一半，这样的程序是无限的，而有限时间是无法实现无限多的程序的，所以任何东西都不可能到达其想要达到的位置。

(2) 希腊人中跑得最快的阿基里斯追不上乌龟。因为当阿基里斯赶上乌龟原先的位置时，乌龟又已经向前爬了一小段路程；而当阿基里斯再赶到乌龟新的位置时，乌龟又向前爬了一小段距离，这样的过程也是无限的、不可穷尽的，所以阿基里斯追不上乌龟。

(3) 飞矢不动。飞行的箭任何时候都只能占据它那时刻所占据的空间，不多不少，不前不后，也就是说它是静止的。每一时刻都是如此，它如何能动呢？

(4) 运动场。(略)

这些论证的结果显然是错误的，但是问题在于这些论证是利用了大家共同接受的假定、按照大家可以接受的规则推出的。所以，它的价值在于揭示了我们平常习焉不察的思维方式中其实是有漏洞的，或者说我们使用的概念本身是包含着矛盾的。芝诺只是揭示了概念中固有的矛盾，并非是凭空制造了矛盾。

因此辩证法大师黑格尔对芝诺大加赞赏，他说，“芝诺的出色之点是辩证法。他是爱利亚学派的大师，在他那里，爱利亚学派的纯思维成为概念本身的运动，成为科学的纯灵魂——他是辩证法的创始者。”^①

芝诺的意义在于，赫拉克利特对事物的观察还停留在感觉现象上，发现了一些对立统一和互相转化的现象。而芝诺不仅看到了一与多、运动和静止、有限和无限等等是相互矛盾的，并且看到多、运动、有限本身也包含着矛盾。更重要的是，这种矛盾不是感官经验所能把握的，而是依据当时自然哲学和数学得到的成就，靠巴门尼德奠定的理论思维和逻辑推论才能认识的。芝诺论证的最大特点，就是诉诸理性的思维，正是一种主观的辩证意识，造成概念的运动和矛盾，靠理性思维揭示本质领域的矛盾。

^① 黑格尔：《哲学史讲演录》，第一卷，第272页，北京，商务印书馆，1959。

五、恩培多克勒

恩培多克勒(Empedokles, 约公元前495—前435),生于西西里的阿格里根顿。他不仅是政治家和演说家,也是医生、诗人、哲学家。流传下来的作品是诗歌。他认为严格说来,既没有生成,也没有毁灭,只有混合与分离。他提倡四根说,万物由四种元素所组成,即火(照耀万物的宙斯)、气(哺育万物的赫拉)、土(地狱神埃多涅乌,Aidoneus)、水(西西里水神涅司蒂,Nestis)。这些因素的组合与分离是靠了爱和恨两种力量。

他说,他们通过“爱”的结合生成万物,通过“恨”的分解使得事物消亡。宇宙之初,爱的力量融合一切,出现混沌之球(sphere)。后来争的力量崛起,从混沌中分离出以太(天空),接着是火(太阳),是土,土中有水,水和土一起形成大地,水被火蒸化产生气,火和气又形成星辰,宇宙万物由此化生。

在恩培多克勒这里,我们发现他已经开始用多元素来代替单一元素来解释世界,并且用元素的组合而不是元素本身的形态变化来解释变化的现象了。在某种程度上,可以说是原子论的先驱。

六、原子论

原子论是希腊科学和哲学中最为接近于近代科学理论的成就。由留基伯(Leukippos, 约公元前500—前440)与德谟克利特(Democritus, 约公元前460—前370)所创立的。前者据说来自米利都,曾在爱利亚跟随芝诺学习,后在阿布德拉建立原子论学派,这个学派最为著名的人物是德谟克利特。德谟克利特生于色雷斯沿岸的阿布德拉商业城,周游各地,著作宏富,涉及物理学、形而上学、伦理学和历史学,还是一个出色的数学家。他被后人称为是经验的自然科学家和希腊人中第一个百科全书式的学者。

原子论者同意爱利亚学派的观点,认为绝对的变化是不可能的,实在在本质上是永恒的,不可毁灭的和不变的。但与此同时,他们又同意变化确实是在发生,万物也在不停地运动。他们相信,如果没有空洞的空间,或者如果没有巴门尼德称之为非存在的东西,那么运动和变化就难以想象。所以他们下结论说,确实存在着“非存在”,这就是虚空。虚空虽然不像有形体的存在那样,但是它同样是实在的。

而存在不像爱利亚学派认为的那样是“一”,相反它是“多”。许许多多极小的原子在虚空中的组合与分离是世界上生住坏灭各种现象的真正原因。原子和虚空作为存在和非存在,都是构造自然万物的本原。原子是构造万物的基本粒子,虚空为原子提供位移运动的场所。其中原子是不可分割的,不可穿透的,即它内部不再有空间,是实实在在的。所有的原子性质都一致,它们只有量的差别,即形状、大小、重量、排列、位置等等的

差别。

原子论的意义在于,它开始用抽象的物质实体而不是用某一种特定属性的物质来解释世界,这样在解释力上要强得多,否则总是会遇到以火解释水,或以水解释火这样必须解释对立属性的尴尬局面。另外,通过原子的量的差别来解释现实世界中质的差别,便于克服杂多在性质上的冲突,使得从统一性出发具体解释世界的多样性得以成功。这也是后来西方科学研究的基本思路,因为只有将质的差别转化为量的差别,统一性才能真正实现。这也是后来西方科学之所以如此依赖数学的一个重要原因。原子论的解释方式还开创了以微观结构解释宏观现象的路线,这种思路在近代科学中大行其道,也推动了还原论的发展。

七、苏格拉底

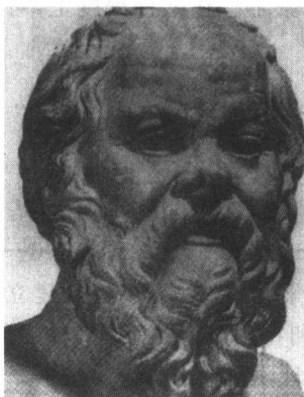


图 4-2 苏格拉底

苏格拉底(Sokrates,约公元前 469—前 399,图 4-2)生于雅典,父亲是雕刻匠,母亲是助产士,虽然父母是穷人,但在文化发达的雅典,他有机会发展他的才智。他推动了希腊哲学的转型,即从自然哲学过渡为伦理学,将哲学从自然拉回到人间。因此,苏格拉底常常被认为是反对科学研究的,但是他是古希腊第一个从逻辑思想方面研究概念定义的思想家,归纳思想是他从事概念定义的逻辑手段,他研究了什么是定义,如何做正确的定义,以及定义的功能作用等等。概念定义和归纳论证是科学思维方式的基本要素,是科学研究的出发点,从这个角度看,苏格拉底对于西方科学的发展是有重要贡献的。

苏格拉底在谈到为什么他对经验观察不感兴趣时,提到“我决定格外小心以免遭到那些在日食时观看太阳的人们所遭到的不幸。除非他们只看反照在水中的影子或其他类似的事物,不然有些人定要损坏眼睛。我想到这类危险,害怕如果我用眼睛观察事物或借助于其他感官来把握事物,我的灵魂之眼会致瞎。所以我想最好还是去进行推理,在推理中寻找存在物的真理”。^① 这里苏格拉底将希腊人推崇理性知识、贬斥经验知识的特点表现得淋漓尽致。

苏格拉底的名言“我只知道自己一无所知”,广为传颂,但我们往往只理解为一种谦虚言辞,未能抓住其思想的独特内容。苏格拉底说,他向许多专业人士请教,例如向政治家请教什么是善,向诗人、画家请教什么是美,结果这些自以为拥有知识的人只能告诉他

^① 苗力田主编:《古希腊哲学》,第 205 页,北京,中国人民大学出版社,1989。

善的具体行为和美的具体事物,无法告诉他普遍的善和美是什么,善和美的本质是什么。“我就对自己说:我比这个人有智慧;虽然我们两个人都不真正知道善的和美的东西,但他并不知道,却自以为知道,而我既不知道,也不自以为知道。看起来,正是在不知道的事情也不自以为知道这一点上,我比这个人要有智慧些。”^①苏格拉底强调只有对普遍原则的把握才算是真正的知识,给西方科学和哲学的发展指明了方向。

八、柏拉图

苏格拉底的思想主要是经其弟子柏拉图的对话录流传下来的。柏拉图(Plato,约公元前 427—前 347,图 4-3)和他的老师不同,出生于雅典世家,受到了良好的教育,年轻时立志从事政治。但后来苏格拉底因所谓“腐蚀青少年”的罪名于公元前 399 年被民主政体判处死刑,这个事件对他影响很大,他离开了雅典,到埃及、小亚细亚、意大利游历,与毕达哥拉斯学派的后人有深入的交流,认真学习了他们的理论,受到很大影响。公元前 387 年,柏拉图在外游学 10 年左右后回到雅典,在雅典郊外阿卡德穆(Academus)处开设了著名的学园。这是欧洲历史上第一所综合性的传授知识、进行学术研究、提供政治咨询以及培养学者和政治人才的学校。这所学校对西方的学术产生了巨大的影响。学园直到公元 529 年被关闭,持续了 900 年之久。以后西方各国的主要学术研究机构都沿袭它的名称 Academy。柏拉图在西方哲学和科学上的影响极大,以至于怀特海曾说,整个西方哲学史都是柏拉图的注脚。

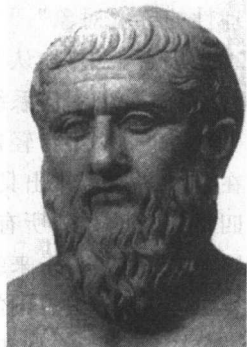


图 4-3 柏拉图

柏拉图的学园为许多城邦的政治家提供政治咨询并帮助他们立法,柏拉图还派遣学生参与各城邦的立法和政治活动,所以从这个角度看,柏拉图是想通过学园传播自己的政治哲学,希望通过学生来实现自己的政治理想,与中国孔子的做法大体相同。但是区别在于柏拉图特别重视科学知识的传授和训练。据说在柏拉图学园门上写着“不懂几何者不得入内”,这充分反映了柏拉图的教育思想,也是其哲学观念理念论的最大特点所在。

受毕达哥拉斯学派很深的影响,柏拉图对感觉经验比较轻视,注重理性所把握的理念世界。正如现实中的三角形,不管是用什么材质做的,都不可能十分标准;可是我们要研究三角形的规律,不应该通过感官经验对现实的三角形进行测量,而是应该利用纯粹的逻辑推理。而且现实的三角形是否标准还要通过来自抽象的三角形的知识进行判断。

^① 苗力田主编:《古希腊哲学》,第 207 页,北京,中国人民大学出版社,1989。

同理,柏拉图认为,要推行理想的政治,必须要政治家对善、公正等等理念有所认识才可以。这种认识应该通过理性的运作,而非经验的研究可以获得。正是在这层意义上,他认为只有精通哲学者才可治国。几何学的意义就在于它能够帮助学生领会到如何超越感官经验的层次来把握抽象的理念,或者说几何学是一种帮助人们掌握哲学思维方式的手段。

所以,柏拉图哲学的核心是其理念论。他所谓的理念(form)是同个别事物分离的、永恒不变地独立存在的一种本体,而流动变易的自然事物只是对理念的摹仿与分有。他认为,“如果世界确实是完美的,创造者确实是善良的,那么很明显,他必定是观照那永恒的范型的。否则(这是一个不虔诚的假设),他便注视那生灭不已的事物”。所以他强调理念对于现实事物的优先关系。与此相关的是他坚持理性对于感觉的优先性,“处于同一存在状态的东西,是理性的思想所把握;处于变动和生灭的过程而从未实在的东西,是无理性的感觉对象”。^①

在宇宙论中,他认为作为创造者的神以混沌为质料,使之与空间结合,并以理念为范型,创造出整个宇宙系统和自然界。因此,柏拉图学派的研究传统是强调通过理性来把握事物的形式关系,轻视质料的。所以在学园中数学、数理天文学非常受到重视。他本人在数学上是否作出具体的贡献不很清楚,但是他极力鼓励学生钻研数学,以至于公元前四世纪时的几乎所有重要的数学工作几乎都是柏拉图的朋友和学生完成的。他在《理想国》一书中认为未来统治者应该学习的学科前几门按照次序应该是:算术、几何、天文、立体几何。柏拉图学园研究了立体几何,证明了许多新的定理,他们研究了棱柱、棱锥、圆柱和圆锥,并且知道正多面体只能有五种。柏拉图学园重要的数学贡献是柏拉图的再传弟子 Menaechmus 做的圆锥曲线,他用垂直于锥面母线的平面来切割锥面,对于不同夹角的圆锥,可以得到抛物线、椭圆以及双曲线的一支。

在天文学研究方面,柏拉图反对人们满足于用眼睛观看和记录天体运行的轨迹,认为应该只把天空的图画当做说明图,要像研究几何学那样研究天文学,而不管天空中的那些可见事物。他深信天体是最高贵和神圣的,所以其运动方式一定是均匀的圆周运动。但是天文观测的结果却告诉我们,有的星体运动不规则。柏拉图提出一个解决方法,就是设法将看上去不规则的运动拆解为不同的均匀圆周运动的叠加,这就是著名的“拯救现象”方法。

他的学生欧多克斯(Eudoxus,公元前408—前355)是古希腊时代最伟大的数学家之一。他按照柏拉图建议的方法,构造了一个同心球叠加的天文模型。按照这个模型,每个天体都由一个天球带动着沿球的赤道运动,而这个天球的轴两端固定在第二个天球上,第二个天球又可以固定在第三个上。通过这样组合,欧多克斯发现三个球足以模拟

^① 苗力田主编:《古希腊哲学》,第375页,北京,中国人民大学出版社,1989。

日月的运动,四个球则可以模拟行星的运动,五大行星与日、月以及恒星天,总共需要 27 个天球。只要适当地选取天球的旋转轴、旋转速度以及球半径等等参数,就可以使得这个体系比较准确地模拟当时所观测到的天体运动情况了。欧多克斯的工作在符合观测资料方面还有不足,但是这种方法后来一直是西方天文学家们所使用的基本方法,只不过在具体细节方面有所改进而已。

虽然柏拉图过分轻视感觉经验这一点与近代科学的精神颇有抵牾,但是他强调数学的作用,强调演绎推理,重视理想化方法,也是近代科学传统非常重要的组成部分。

九、亚里士多德

亚里士多德(Aristotle,公元前 384—前 322,图 4-4)是柏拉图学园最出色的弟子,虽然他后来构造了自己的独特体系,在许多地方与柏拉图的风格明显不同。也许这就是亚里士多德的名言“我爱我师,更爱真理”的现身说法吧。他出生于希腊北部的斯塔吉拉(Stageira),父亲是马其顿王的御医。17 岁进入学园学习,直到柏拉图去世后才离开,长达 20 年之久。公元前 343 年起,担任马其顿王子——13 岁的亚历山大的私人教师,这位王子后来成为著名的征服者亚历山大大帝。公元前 335 年,亚里士多德到雅典,成立了自己的吕克昂(Lyceum)学校,创建了著名的逍遥学派,其得名是因为他常和学生们一起边散步边讨论学术。

与柏拉图喜爱综合研究的风格相比,亚里士多德更像是一位分门别类研究的近代科学家。他的著作涉及力学、物理学、数学、逻辑学、气象学、植物学、动物学、心理学、伦理学、文学、形而上学、经济学等等领域,几乎囊括了当时人类的一切学科。

如果说柏拉图本质上是一位数学家,关注的是超越经验世界之上的理念世界的话,那么亚里士多德本质是一位物理学家。他更加重视经验研究,他认为事物的本质就内在于事物本身之中,而非离开具体事物之外有一个什么独立的本质或理念。所以他的哲学就是要通过经验研究来寻找包含在现象中的本性和原因,所以他发展了一套“物理学”,以探求事物之道理。

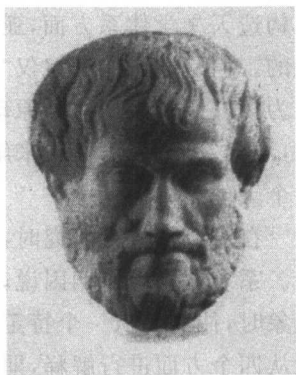


图 4-4 亚里士多德

但是,从今天现代学科分类的角度上讲,他在生物学方面的造诣也许最大。他的研究方法与近代生物学家非常接近。他总是亲自观察生物,亲自解剖动物,特别重视搜集第一手资料来进行研究。他的研究也得到了他的学生亚历山大大帝的有力支持,他命令手下在征服异域时,如果发现什么希腊所没有的动植物都要设法采集标本,送给亚里士

多德进行研究。所以,亚里士多德的生物学研究水准最高,大多数成果为近代生物学所接纳,成为人类知识宝库的重要组成部分。

亚里士多德对于今天我们称之为物理学现象的研究,在很大程度上也是采用了生物学的思路。例如,他把物体的运动理解为性质的变化,所以轻重、上下这些范畴,在他看来首先是性质的不同,因此我们今天读他的《物理学》往往难以理解他的思路。在他看来,地上的物体都是由土、水、火、气四种元素所构成。地上物体都有其天然的位置,所有的物体都要回到其天然位置的倾向。例如,土、水比较重,其天然位置在下,火、气比较轻,其天然位置在上,因此含土、水元素较多者具有向下运动的倾向,而含气、火较多的物体则具有向上运动的倾向。越重的物体之所以下落越快,是因为其所包含的重元素较多。

除了这种由于物体本性所决定的运动之外,还有受到外力作用的受迫运动,这是由推动者施与被动者的,一旦推动者停止推动,运动则会立刻停止。例如马车,一旦马停止拉动,则车立刻停止前进。在不同的物体当中,亚里士多德认为越重的物体包含越多的土和水的元素,物体也就越卑贱,反之越轻的物体就越尊贵。

天上的天球与天体自然要比地上的物体尊贵得多。天地的界限是以月亮所在的天球划界的。月下世界为地,物体由四种元素组合而成,所以物体有生灭变化。而月上世界则仅仅由所谓的第五元素即以太组成,所以是永恒不变、非常完美的。其运动方式也和月下世界不一样,地上物体是直线运动,而天上星球则是做最为完美的均匀圆周运动。在构造天文学体系方面,亚里士多德也是采用欧多克斯用天球组合的方法来解释天体运动的。但是和柏拉图仅仅“拯救现象”不同,亚里士多德试图给出一个物理的解释,即他认为最外层的天球作为原动天,它的运动传给里层的天球,这样一层层传动进来,很有秩序,不会发生混乱,依次来解释天体运动的来源。为此,他在原有的天球体系上又加了几十个天球。

在对自然进行研究时,亚里士多德对此前的自然哲学进行了系统的整理、批评和综合。系统地提出了四因说,成为希腊自然哲学集大成者。过去的自然哲学家在解释自然现象时,往往只从一个特定的角度解释,只有亚里士多德才提出,要作出全面的解释必须从四个方面进行解释,即①质料因(事物由什么东西形成),②形式因(事物按照什么形式形成),③动力因(事物形成的动力是什么),④目的因(指事物为什么而形成)。像米利都学派注重质料因,毕达哥拉斯学派注重形式因,恩培多克勒注重动力因等等,大家各执一词,到了亚里士多德形成了一次伟大的综合。

亚里士多德对于科学发展的最大贡献也许是他系统地总结了科学研究的方法论与逻辑学。逻辑学在他手上达到了一个非常成熟的高度,以至于直到数理逻辑兴起之前,西方 2000 年逻辑学都没有太大的发展。亚里士多德对归纳法和演绎法都进行了系统的

研究,可是由于其演绎法(尤其是三段论)的成就和影响太大,人们往往忽视了他在归纳法上的贡献。

柏拉图和亚里士多德两位最伟大的希腊哲学家和科学家,开创了两种不同的研究风格,对后世影响极大。整个中世纪的神学可以说就是柏拉图和亚里士多德两种哲学的角力。有哲学家称,每一个在西方科学和哲学传统中进行研究的学者,在本质上不是柏拉图就是亚里士多德。

十、希波克拉底

希腊医学的巅峰是希波克拉底(Hippocrates),他出生于科斯的一个医生世家,他不仅家学渊源,而且到处游学,是智者高尔吉亚的学生,也是原子论者德谟克利特的朋友。由于接受了希腊自然哲学的影响,希波克拉底更加彻底地清洗了医学的巫术成分,构建了理性的医学理论。他提出人具有四种体液,即血液、黄胆汁、黑胆汁以及粘液。这四种体液支配了人的生理活动,它们必须平衡、调和,否则人就会生病。长期以来,四种体液学说主导了西方的医学实践活动,构成了西方医学的理论基础。

希波克拉底不仅医术高超,而且医德高尚,由于他在医学上的成就以及声誉,雅典特别授予他这位外邦人以雅典荣誉公民的称号。他在医学教育上也很有影响,在他周围形成了一个很有影响的医学学派。他还首创了著名的希波克拉底誓言,直到今天西方医学院学生毕业时仍然以此宣誓,保证自己要全心全意为病人着想,要捍卫医生的荣誉等等。

第二节 希腊化时期的科学

希腊化时期,应该从公元前 336 年亚历山大的东征开始算起。亚历山大在短短 10 余年的时间里,就建立了一个横跨欧亚非的庞大帝国,这个帝国从北部非洲一直到印度、巴基斯坦、阿富汗一带,虽然在亚历山大死后不久帝国分裂,但是东征给东方各国带去的希腊文化的影响却长期留存下来了。当然东方的文化,包括科学、宗教、巫术也因此传到了希腊世界。希腊化时期的科学发展就是建立在这样一种国际化的文化交流基础上的。

希腊古典时期的科学与哲学是高度结合在一起的,以至于我们很难把它们彻底分开。但是到了希腊化时期,科学的进一步发展使得科学已经开始具有独立的品格了。确定的、有限度的问题与哲学问题分开单独研究。从我们今天的角度看,希腊化时期的科学更具有近代科学的专业化特点。在希腊化时期的科学成就中,主要是希腊成分的科学,但是巴比伦的天文学成就也被介绍到希腊世界,随之而来的是巴比伦的占星术。

一、学术中心亚历山大城

希腊化时期的科学中心无疑是非洲埃及的亚历山大城,它位于尼罗河的出海口,是个港口城市(图 4-5)。亚历山大公元前 323 年病逝之后,帝国分裂为三,其中之一是托勒密统治的埃及,亚历山大就是首都。托勒密本人曾在亚历山大门下求学,他非常重视希腊学术事业的发展,以政府的力量支持学术发展,创造了希腊科学发展的黄金时代。

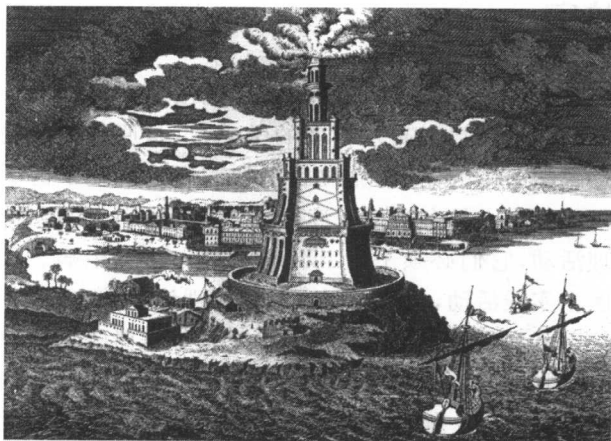


图 4-5 亚历山大里亚港口的灯塔

托勒密王朝对于学术发展的最大贡献在于创建了世界上当时规模最大的、也是第一个由国家筹建支持的综合性的学术结构——缪赛昂(Museum)。缪赛昂后来译为博物馆,其本意是祭祀智慧女神缪斯的寺庙,但是亚历山大城的缪赛昂不仅包括了收藏文物和标本的博物馆,还有动物园、植物园、天文台与实验室,与现在的博物馆不同,倒是很像现在的科学院。

其中最令人惊叹的是其庞大的图书馆,藏书竟然高达 70 万部之多,在当时是世界上最大的图书馆。埃及纸草较多,这是亚历山大收藏图书的有利条件,但是最重要的还是托勒密王朝的高度重视和支持。他们出重金雇用一批人专门抄写书籍,据说当时王朝下令,所有到亚历山大港的船只必须将其携带的所有书籍上交检查,如发现有图书馆没有的书,则马上抄录,留下原件,只将抄写件还给原主。仅从此一端就可以看出统治者对学术发展的重视程度。由于埃及当时经济发达,亚历山大成为当时世界上最大的文化中心,各国学者都到这里交流进修,更加促进了学术的发展。缪赛昂持续了 600 年,但是学术上的鼎盛期只有最初的 100 年左右,那是因为后来的统治者逐渐丧失了对于学术的兴趣。

二、欧几里得及其《几何原本》

欧几里得(Euclid)的生平不太清楚,他可能曾在柏拉图的学园学习过,可以肯定的是,公元前300年左右他在亚历山大城居住并开讲授徒。他所编辑的《几何原本》共13卷,以内容翔实、逻辑严谨而著称。长期以来一直是学习几何的标准教科书。到19世纪该书已出版了1000多个不同文字的版本,堪与《圣经》媲美。《几何原本》中的内容大多是前人已经证明了的,但是对于公理的特定的选择,把定理按照一定的次序排列起来,以及一些定理的证明都应该归功于欧几里得。

需要指出的是,几何原本的内容不仅包括了我们今天学习的初等几何、立体几何,还包括了数论、穷竭法、比例等方面的内容。穷竭法是后来发展起来的微积分思想的早期来源,而美国数学家M. 克莱因甚至认为欧几里得关于面积和体积的工作比牛顿和莱布尼兹更加严格。^① 后来让几何学家们头疼不已的第五公设是欧几里得提出的,仅从这点就可以看出其眼光之敏锐。

三、阿里斯塔克及其日心说

阿里斯塔克(Aristarchus,约公元前310年出生)是第一个提出日心说的天文学家,据说在吕克昂学校中学习过,后来来到亚历山大城进行天文学研究。他提出恒星不动,其视运动是由于地球运动所造成的结果,月亮绕地球运动,自己不发光,只反射太阳光。他还测量过太阳和月亮与地球之间的距离的比例。由于日心说的观点过于大胆超前,再加上一系列的问题当时没有办法回答,所以当时的天文学家们没人接受他的观点。

四、阿基米德

阿基米德(Archimedes,公元前287—前212,图4-6)应该是希腊科学史上最伟大的科学家了。他父亲是一位天文学家,生于西西里岛的一个希腊殖民地叙拉古(Syracuse),青年时代去亚历山大学习,后来回到叙拉古,但一直与亚历山大保持密切联系。他在数学、天文学和物理学(尤其是力学)方面都有出色的成就。他善于理论联系实际,是古代把数学和力学结合得最好的人。他发现了浮力定律、杠杆原



图4-6 阿基米德

^① M. 克莱因:《古今数学思想》,张理京、张锦炎译,第94页,上海,上海科学技术出版社,1979。

理,发明了滑轮起重机和螺旋推进器。他创立的穷竭法是微积分的基础,应用穷竭法他计算了 π 的值。他制作了一个利用水力驱动的天象仪,可以模拟天体运动,演示日食和月食的产生。

他的死亡预示了希腊世界将要遭受的命运,罗马人在攻入叙拉古城时,他正在沙盘上画数学图形,一个罗马士兵向他喝问,他过于专注而没有理会,因此被杀害,虽然罗马主将事前曾下令士兵不得杀害阿基米德。罗马人后来为他建造了一个陵墓,墓碑上铭刻了他的一个著名定理。

五、阿波罗尼乌斯和希帕克斯

阿波罗尼乌斯(Appollonius, 公元前 262—前 190)生于小亚细亚西北部的拍加(Perga),青年时代去亚历山大城向欧几里得门人学习数学,后来在亚历山大城研究数学。他著有 8 卷本的《圆锥曲线》,其中共含有 487 条定理,证明了在 $q < 0$ 、 $q > 0$ 、 $q = 0$ 时,锥线方程 $y^2 = 2px + qx^2$ 分别为椭圆、双曲线和抛物线,在这一领域 1500 年左右的时间里其他学者没有什么新进展。在天文学方面,他创立了本轮-均轮体系,后来被希帕克斯(Hipparchus)所继承。

希帕克斯(Hipparchus, 公元前 190—前 125)出生于小亚细亚西北部的尼西亚,在亚历山大受过教育后离开了。据说到了爱琴海的罗得岛,在那儿建了一个观象台,制造了许多观测仪器,做了大量的观测工作。他编制了一幅星图,第一次引入了星等的概念。通过比较前人对恒星的记录,他发现恒星在整体移动,因此确定北天极在作缓慢的圆周运动。

他是希腊最伟大的天文学家,其主要贡献是创立了球面三角学,使得希腊天文学从定性的几何模型变成了定量的数学描述,从而使得天文观测更加有效地成为构造宇宙模型的组成部分。他制定了一个比较精确的三角函数表,便于人们实际使用。他第一次全面应用三角函数,推演出有关定理,而且将平面三角应用到球面上。这样他就能够计算出行星在球面上的位置变化。

六、埃拉托色尼

地理学家埃拉托色尼(Eratosthenes, 公元前 276—前 196)曾在柏拉图学园求学,担任过亚历山大图书馆馆长。他根据当时的地理学知识对地球周长进行了一次科学测量,结果是周长为 40 000 公里,直径约为 12 800 公里,与今天的值很接近。他所写的《地理学》一书记载了许多测量方法和计算结果,流传后世,影响深远。

七、技术与科学应用

托勒密王朝执行亚历山大大帝提倡的鼓励民族融合的政策,不同种族与民族的人可以自由进入亚历山大城混居。古代希腊社会的阶级差别崩溃了。再加上远程的航海和贸易,以及专门为了了解外部世界而组织的远征考察队所带来的知识,使得希腊文明受到外部更多的影响。亚历山大城的航海贸易,需要更多的地理知识,更好的报时方法和航海技术。与此同时,商业竞争也使得人们更加注重物质材料、生产效能,注意改进技术。古典希腊时期被人们所轻视的工艺技术又得到了重视,培训技术的学校也开办起来了。

亚历山大城的机械设备,即使是按现代标准看也是令人惊讶的。例如,当时普遍使用着从井槽来抽水的水泵、滑车、渔具、联动齿轮、与现代汽车使用的相差不多的里程计等等。水力被用来弹奏乐器。人们发明新的机械仪器来做更加精密的天文测量。

对于声和光这现象有着比过去深刻的理解。他们知道光的反射定律,对折射也有经验体会,并利用这些知识来设计镜子和透镜。在这一段时间里第一次出现了关于冶金著作,所包含的化学知识比埃及和希腊学者过去知道的知识要丰富了很多。医学也很发达,古典希腊时期不允许的人体解剖那时也可以进行了。总之,技术和科学应用比古典希腊时期有了很大的发展。

恩格斯对希腊的科学成就评价极高,他说:“在希腊哲学的多种多样的形式中,差不多可以找到以后各种观点的胚胎、萌芽。因此,如果理论自然科学想要追溯自己一般原理发生和发展的历史,它也不得不回到希腊人那里去。”^①希腊的科学虽然也有其不足,但其在人类发展史上的地位是无可怀疑的。

思考题

1. 试述希腊科学的主要特点及其产生和发展的自然和文化条件。
2. 希腊科学与近代科学的异同点表现在什么地方?
3. 为什么希腊科学会相对来说轻视经验?

参考书目

1. 贝尔纳:《历史上的科学》,伍况甫等译,北京,科学出版社,1959。
2. 宋子良等编:《理论科技史》,武汉,湖北科学技术出版社,1989。
3. 莱昂·罗斑:《希腊思想和科学精神的起源》,陈修斋译,段德智修订,桂林,广西师范大学出版社,2003。
4. 梯利:《西方哲学史》,北京,商务印书馆,1975。
5. M. 克莱因:《古今数学思想》,张理京、张锦炎译,上海,上海科学技术出版社,1979。

^① 恩格斯:《自然辩证法》,第30~31页,北京,人民出版社,1971。

第五讲

罗马时代的技术和科学

能驱散这个恐怖、这心灵中的黑暗的，不是初升太阳炫目的光芒，也不是早晨闪亮的箭头，而是自然的面貌和规律。这个教导我们的规律乃开始于：未有任何事物从无中生出。

——[古罗马]卢克莱修

罗马文化对人类历史有重要的影响。罗马文化源于意大利，意大利所在的亚平宁半岛是地中海三大半岛之一，境内多山地，富含火山灰，水系丰富，海路交通方便。罗马文化是由拉丁人建立的，此前意大利有多种类型的文化，多是移民文化。最早在意大利建立奴隶制城邦的是伊特鲁里亚人。公元前7世纪后半期罗马人建城，趁伊特鲁里亚人与希腊人纷争之机而不断扩张，公元前6世纪末征服了伊特鲁里亚而成为意大利境内最强大的势力，公元前3世纪初统治了整个意大利半岛。公元前2世纪中期罗马人继续扩张，先后战败了迦太基和马其顿，公元前30年又摧毁希腊人的埃及托勒密王朝，古希腊人的地域悉为罗马人所占，自此罗马形成为跨越欧、非、亚的奴隶制大帝国。在其极盛的公元1至2世纪期间，罗马帝国的版图北面囊括现在的英国、德国、匈牙利、罗马尼亚等地，东翼到达两河流域一带，南面据有了整个北非。自公元3世纪开始，罗马帝国走向衰落。395年帝国分裂为东西两部，东罗马以君士坦丁堡（拜占庭，即今土耳其境内的伊斯坦布尔）为首都，西罗马则仍以罗马为首都。476年自中欧南下的日耳曼人和起义的奴隶们一起摧毁了西罗马帝国。东罗马帝国在这个时期也逐渐封建化而改变了社会的性质，最后演变成为封建制的拜占庭帝国。

第一节 古罗马时代的技术

罗马时代的农业生产有显著进步，重视农业生产管理、土地耕种，重视水果栽培、养蜂的研究，出现多部重要的农学著作。罗马的手工业发达，希腊人的各种发明悉数为罗马人所用，意大利半岛和其他一些城市成为当时世界的手工业制造中心。罗马建筑在拱券结构、混凝土运用上展示了新技术成就。

一、农业技术与农书

意大利有丰富的水系,亚平宁半岛肥沃的土壤为农业提供良好的条件,罗马也因此保持了长期的小规模自由土地占有制。在伊特鲁里亚城邦时期,这里的农业和畜牧业生产即已有相当水平。那一时期的许多排水工程遗址表明水利事业有了一定的规模。罗马城邦统治时期农业生产有显著的进步,人们使用牛耕,农具有铁制的锄、耙、锹、镰、弯刀(用于割果树)等。为了保持地力,已开始实行二圃制,即把耕地分为两部分,每年轮流耕种其中的一部分,其余休耕养地。种植的主要农作物有小麦、大麦、油橄榄等。

罗马时代,当时几乎所有的欧洲的蔬菜在意大利半岛都有种植,果树品种更是繁多。如波斯桃子、亚美尼亚的杏子、叙利亚的葡萄、小亚细亚的梅子、榛子、希腊的胡桃,可以说应有尽有。果树的嫁接技术也十分流行,如胡桃接杨梅、梅子接法国梧桐、樱桃接榆树等,普林尼列举了 29 种不同的无花果树在意大利种植。罗马社会对葡萄酒和橄榄油的需求增大,也使大量农田变成了葡萄园和果树园。当时意大利出产的名酒有 50 种之多,仅罗马一地,每年销售酒达到 2500 万加仑(1 加仑为 0.22 升,合 550 万升)。

罗马时代,社会对农业生产普遍关注,无论是土地制度、农作物种类、农业生产技术都有专门的讨论,学者撰写了多部农业著作。

罗马第一部农书是老加图(M. P. Cato,公元前 234—前 149)写的《农业志》,这是罗马吸收迦太基农业成就后的结果。《农业志》涉及农庄管理、土地耕种、水果栽培、养蜂、葡萄修剪等多方面的内容。其他重要的农学家有:瓦罗(Varro)、科琉麦拉(Columella)、帕雷狄乌斯(Palladius)。瓦罗生活在恺撒和庞培时代的极盛期,活了 90 多岁,他一生撰写了 74 种书,可惜大多散失,只有 3 卷本的《农业论》和一本文法书流传下来。《农业论》是对话体,第 1 卷讲耕种方法,第 2 卷讲饲养牲畜,第 3 卷讲家禽和鱼类。科琉麦拉是罗马化的西班牙人,生活在尼禄(Nero)时代。其父传给他在西班牙和意大利的庄园,他非常感兴趣耕种,因此努力研究一切有关农牧业的知识。他撰写的《论农业》有 12 卷,文笔优美、实践性强、完整地流传下来。帕雷狄乌斯生活于 4 世纪,著有《农业论》14 卷。该书的特点是不仅引用罗马的农书,也引用希腊的农书,可以说它是整个罗马古代世界的农业总结,直到中世纪,该书对农业生产仍是重要的著作。

二、手工业和手工业技术

罗马时代的手工业发达,制陶、制革、木工等行业在罗马城邦时期即有相当的基础。帝国时期手工业更见繁荣。希腊人的各种发明创造都为罗马人所用。意大利半岛和其他许多地区的城市成了著名的手工业中心。意大利半岛以青铜铸造、制陶、毛纺织、玻璃

制造闻名,莱茵河沿岸则以冶金和纺织业著称。意大利半岛的庞贝城在公元79年的火山爆发中被掩埋,近代考古发掘使这座古城重见天日,那里有许多手工作坊,包括呢绒、珠宝、石工、香料、玻璃、铁器、磨面、食品加工等,其中仅面包作坊即已发现40家,展示了罗马手工业城市的繁荣景象。

罗马手工业的总体水平没有希腊世界高,但在几个方面比较突出,例如银器工艺、玻璃工艺和玉石工艺。

1. 银器工艺

罗马银器工艺的发达是由于罗马对贵重金属尤其是白银的需求。帝国时代因银币作为帝国统一货币,需求量增大。罗马接二连三地将矿产地并入帝国,由帝国统一发行铸币。银矿的开采规模也十分惊人,生产出来的白银除了满足铸币外,大量地用于制造银制工艺品,这成为罗马手工艺品最有特色的一个部分。杰出的代表作是1895年在坎帕尼亚(Campania)发现的一批银器,其中16件有浮雕图案的银杯是为帝国宫廷制作的,这些浮雕上刻有历史故事、仪式大典、宗教哲理和动物图案。浮雕银器制作时,多用双层银板加工,外层浮雕图案,内层则光滑明亮。因其做工精湛,往往被视为有地位身份人物的拥有品。帝国后期,银器的浮雕工艺被线刻纹样取代,工匠们用银、铜、铅的合金在银器上进行镶嵌,形成华丽的图案。

2. 玻璃工艺

罗马的玻璃制作利用了埃及和两河流域的工艺积累,而贵族奢侈的物质生活需求,又成为玻璃工艺发展的促进因素。

罗马时代发明了玻璃吹制技术,这是世界玻璃技术发展上的第一次重大革新,从此玻璃的成型工艺大为简化,使得器皿造型优美,线条流畅,器壁匀称。

罗马的玻璃制作技法主要有三种,一是“铸造法”,即器物与纹饰直接模铸成型。二是“热融镶嵌法”,即马赛克玻璃。这种工艺早在古埃及时代就已出现,是把各种花色的玻璃棒加热拉成细条状,再切成片状加热压扁,制成的容器多种颜色相互交融,常常镶嵌出各种图案,色彩明丽,视觉效果极佳。三是“浮雕法”,这是一种在玻璃器的外壁浮雕写实或装饰图案的工艺,使得玻璃器更显华丽(图5-1)。

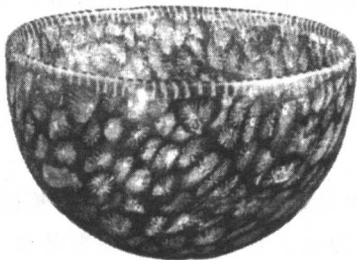


图5-1 罗马繁花碗

公元1世纪时,无色玻璃比早先的着色玻璃更为流行,因为它适合于切削和雕刻。为了改善玻璃的质地,罗马人进行了技术革新,他们以熔炉取代以往使用的烧锅,提高了熔烧温度,使玻璃溶液呈清稀的液态,再加上铁、铜、铅等金属着色技术的运用,产品明净透

彻,颜色亮丽,极为美观。

3. 玉石工艺

罗马帝国早期,刻有各种纹样的印章成为公民个人特征的荣誉标志。有些操守严谨的元老宁可不带玉坠也一定戴印章戒指。这些戒指设计独特,雕刻精湛,佩戴它成为罗马社交的必备。这也使得印章石刻成为罗马手工业中十分兴隆的行业。

罗马鼎盛时期,传统玉饰或石刻印章戒指的辟邪功能和身份标志功能逐渐隐退,追求奢华成为玉石手工业进步的主要动力。贵族、妇女都佩戴各类玉饰,贵重家具、用品上也镶嵌玉饰,收藏雕刻玉石、宝石制品是富人的时尚。将饰玉纯粹作为工艺品收藏,打破了饰玉本身的文化禁忌,更加拓宽了制玉手工艺的题材和促进了技巧的发展。

三、建筑技术

罗马强盛后,罗马的几代统治者都以巨大的人力、物力营造建筑。在早期希腊建筑观念的基础上,为公众娱乐之需,他们修建了圆形和椭圆形竞技场,如古罗马斗兽场(科洛西姆斗兽场)、古罗马大竞技场(用于战车竞赛)。他们还建造了有拱顶的公共浴池、长方形大会堂、圆拱墓穴、带柱廊的半圆形拱顶教堂。罗马建筑有两个主要的技术特点:一是拱门建筑的进步,这导致带拱顶的公共浴场和穹顶建筑出现;二是混凝土的发明。

希腊时期已把拱券结构用于各种各样的建设项目,但罗马人把它发展到登峰造极的地步,拱门成为古罗马建筑的标志。其有力而又优雅的弧线在今天的罗马建筑遗址上依然可见——引水渠、桥梁、艺术馆和门廊,最富有罗马独特表现力的是纪念胜利的拱门——凯旋门,它们独立于其他建筑群,矗立于欢迎凯旋队伍经过的大道两旁。凯旋门意在表示:罗马是不可征服的。

为了建成坚实的拱门,建筑工匠们搭起承重墙和支柱,在它们之间铺上木制脚手架和一个弧线形的框架。然后,从两边同时开工,往框架上码放砖头和石头,渐渐形成拱门。到中间会合时,插入最后一块砖——拱顶石。这时建筑工匠便可撤掉框架和脚手架,拱门仍保持原状,石头的力量呈放射状扩散到外侧及下方,由立柱吸收。

早在公元前10世纪时,克里特人就使用沙、石灰和水的混合灰浆。此后的几个世纪里,这种材料也在意大利南部的希腊殖民地得到使用。但是直到公元前2世纪,罗马人才完善了自己具有抗压和具防水功效的混凝土,它由水、碎石、石灰及一种红紫色的细沙混合而成,细沙粒就是火山喷发出的白榴火山灰。这种火山灰对液压硅酸盐的形成产生作用,使混凝土在水下成形。混凝土不仅备料容易,使用方便,而且胜过以往任何时期的灰浆。

随着混凝土的应用,建筑工匠建造出更高、更雄伟的建筑。他们巧妙地利用穹棱拱

券(图 5-2),根据与建造拱门相同的原理,但能产生更威严的效果,大型建筑的出现,改变了罗马的城市面貌。采用混凝土结构的大型建筑有阿米利亚拱顶廊柱仓库,它于公元前 174 年前后完成,目前部分仍保存完好,位于古代商业中心附近。在公元 1 世纪初期之后,混凝土用于修建罗马的巨大的公共浴场,整套建筑包括花园、讲座大厅、体育设施、休息室和图书馆等。

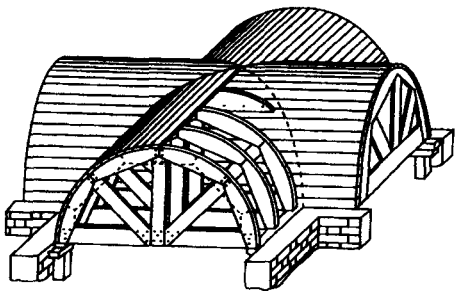


图 5-2 穹棱拱券

罗马的水道建筑也是一大特色。修建水道是为了从城外水源处引水入城内供劳动和生活之用,罗马帝国的许多城市都建有这种水

道。首都罗马的水道约建于公元前 4 世纪—前 2 世纪,共有 9 条,总长达 90 多公里,纵横交错,穿山越岭,至低洼地带则以石块砌筑成拱券渡槽,工程宏大而壮观。在法国尼姆地区一处水道渡槽离地面高达 48 米,在叙利亚地区的一处渡槽更高达 64 米,颇为壮观。

第二节 古罗马时代的技术科学

罗马时代大量吸收古希腊的技术成果,重视对技术作专门化的研究,在建筑技术、机械技术方面成果突出,出现了一些有影响的著作和发明。

一、维特鲁威《建筑十篇》

维特鲁威(Marcus, Vitruvius Pollio, 公元前 1 世纪初—前 20 年),古罗马著名建筑家,出身富有家庭,受过良好的文化和工程技术方面的教育,熟悉希腊语,能直接阅读有关文献。他的学识渊博,通晓建筑、市政、机械等技术,也钻研过几何学、天文学、哲学、历史、美学等方面的知识。他先后为两代统治者恺撒和奥古斯都服务过。其著作《建筑十篇》(De Architectura Libri Decem)在世界建筑史、工程技术史上有重要的地位。

《建筑十篇》一书的各篇没有具体名称,从内容上看,第一篇是有关建筑家和建筑的基本问题;第二篇谈各种建筑材料的性质和用法;第三篇是关于神殿的式样,重点谈爱奥尼亚式(Ionia)建筑;第四篇谈的仍然是神殿的样式,主要是关于多里克式(Doric)和科林斯式(Corinthian)建筑;第五篇谈王宫、剧场、浴池、港湾设施等公共建筑;第六篇谈个人宅邸的建筑;第七篇谈建筑完成后的内装饰和壁画的问题;第八篇谈建筑的上下水道问题;第九篇谈天文学和日晷的制作;第十篇谈建筑机械,重点是攻城器械。

在西方建筑史上,《建筑十篇》一书最大的意义在于,它被发现于 15 世纪初。当时,中世纪的欧洲由于受到百年战争和黑死病所带来的大瘟疫的困扰而衰退,取而代之,意大利北部的文艺复兴新文化开始抬头。1414 年,在瑞士的修道院中发现了本书的手抄本。它的内容为当时的人们对罗马残留下来的古罗马遗迹进行实地研究并进而修复提供了有力的帮助。

维特鲁威在《建筑十篇》中提出了建筑三原则:建筑必须是坚固的(firmitas),实用的(utilitas)和美的(venustas)。这三项原则作为一切建筑活动的最高境界,长期存在于建筑师的心目中。即便是现代的建筑家,也在拥有的新技术下,孜孜去寻求上述三原则在其创造中的完美结合。

二、赫伦的发明

罗马时期亚历山大城的赫伦(Heron of Alexandria, 公元 1 世纪)是著名的技术科学家和工程师,他一生写过不少著作,也有许多发明创造。他制造了复杂的滑轮系统、双缸单程鼓风机、计里程器、虹吸管、测量用的照准仪等许多实用机械和器具,也发明过许多精巧的玩器。例如,他发明的蒸汽反冲球是一个空心金属球,两侧各有一根管子连通(还起托架的作用),水蒸气顺着管子进入球内时,水蒸气从球上另外两个反向安装的细管冲出,由于反冲的作用,金属球可高速地转动。这在当时虽然还只是一件玩具,但却可以认为是以蒸汽为动力的机械的雏形。赫伦在《论气体力学》一书的前言中说,他的一些发明“在日常生活中很有用处”,其他发明则产生了“引人瞩目的效果”。根据他的描述来判断,这台蒸汽机似乎被归入赫伦所划定的第二个类别,只具有新颖的效果。

赫伦发明了世界上第一台老虎机(图 5-3),它成为亚历山大城最令人惊叹的奇观之一。这台老虎机是为满足神庙的需要而设计的。赫伦的设计思想如下:在进入神庙之前,拜神者必须按照礼仪用水清洗面部和双手,将 5 德拉克马铜币投入老虎机中,然后得到一点儿洗涤用水。一天结束时,要把机器中的铜币掏出来,祭司们将这些收入清点。这同今天某些天主教堂的做法非常相似,进教堂时人们将硬币放到投币式电蜡烛中。

赫伦还设计制作了一个微型自动剧场,小木门打开后,几个机械人便开始表演一台名叫《纳夫普利乌斯》的悲剧。整个机械装置隐藏在基座内,由重物提供动力。赫伦在他的著作里详细解释了从海豚跳跃到仙女举锤子等动作靠机械进行控制的过程。

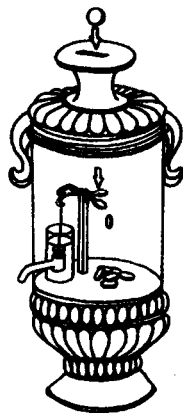


图 5-3 赫伦设计的老虎机

第三节 罗马时代的科学

罗马时代重视技术,对科学知识的贡献总体上说不如希腊,在此列举的有原子论、天文学、医学方面的工作,从中可以看出和古希腊科学的联系。

一、卢克莱修的“原子论”

卢克莱修(Carus Lucretius,约公元前99—前55),古罗马诗人、唯物主义哲学家,他的学术观点体现于《物性论》(*De Rerum Natura*),这是一首长达7400行的长篇叙事诗,卢克莱修在诗中怀着赞美的心情详尽论述了古希腊的原子论。

《物性论》共有六卷。第一卷论述了物质永恒和虚空;第二卷论述了原子的运动;第三卷用原子论观点论述生命和心灵问题;第四卷谈各种感觉及心灵问题;第五卷阐明了宇宙的创造与神无关的见解。将生命的发生、社会的出现和文明的发展看做是自然历史相互关联的各个环节。第六卷揭示了天文、地质、磁石、瘟疫等现象的发生并非神的意旨,而是自然的原因。

关于物质永恒的原理被卢克莱修置于首位。在第一卷开篇就是这样的诗句:

能驱散这个恐怖、这心灵中的黑暗的,
不是初升太阳炫目的光芒,
也不是早晨闪亮的箭头,
而是自然的面貌和规律。
这个教导我们的规律乃开始于:
未有任何事物从无中生。①

卢克莱修强调自然界是由原子构成的这一命题。自然界不论怎样分解,都不会变成无。可是,我们又是如何知道这样一些用眼看不到的原子的存在呢?借助身边发生的事情,卢克莱修这样吟诵道:

衣裳挂在白浪拍岸的海边慢慢就变湿,
湿了的衣服晒在太阳底下又会变干;
但是没有人看见湿气如何侵入衣裳,
也无人看见它如何被阳光赶走。

① 参见[古罗马]卢克莱修:《物性论》,方书春译,第9页,北京,商务印书馆,1999。

可见湿气是分散的许许多多的小点，
小得眼睛看不见。^①

原子论的另一条原理是物质与运动不可分离。卢克莱修在本书第二卷的开篇表述了这一思想。如果原子的运动停下来的话，从没有运动的地方产生运动，就如同从无中生出有一样。因此原子以运动为其本性。它的证据就在于宇宙中不存在使原子静止下来的场所。如此说来，这个宇宙起初是在像雨水那样降临到真空中的原子的结合与分离中被创生出来的。在真空中，由于原子以同样的速度下落而与其重量无关，在这种状态下的原子的结合是无法发生的。照这样看来，原子在落下之时，在某一位置上一定发生了偏斜。而这种偏斜则正是宇宙生成的关键所在。沿着这样的思考，卢克莱修以为，在这种所谓的偏斜中，蕴含了一种“偶然”的客观性，进而意味着存在某种开拓命运之路的“自由意志”的存在。

卢克莱修是古希腊原子论的集大成者，他意在以原子论来构造一幅完整的世界图景，这种思想对后世有一定影响，正如科学史家丹皮尔评价说：“古希腊的原子论在卢克莱修的长诗《物性论》中得到了阐释和赞美。这篇长诗，像西塞罗的某些散文一样，目的在于打倒迷信，推崇以原子哲学和机械哲学为代表的理性。从一个方面来看，卢克莱修加上伊壁鸠鲁，还不及留基伯和德莫克利特富于现代精神。因为他的原始原子不向四面八方运动，而是靠自己的重量，穿过有限的真空，以同等速度，向一起聚拢。卢克莱修的诗篇中没有任何新的思想，但是，它利用原子论者的见解，以富丽堂皇的辞藻宣布，因果性原理支配着万物，从看不见的水蒸汽的蒸发，一直到为宇宙中天体的庄严运动都是如此。”^②

二、托勒密的《至大论》

生活在罗马人统治下的亚历山大城的最著名科学家是托勒密(Claudius Ptolemaeus, 90?—168)，他的工作实际上也是古希腊人最后的遗产。

托勒密一生撰有多部著作，其中以《至大论》影响最大。该书又被转译为《天文学大全》，在希腊文中其表述是 *Mathematike Syntaxis*，意思是《数学集成》。*Almagest* 是后来阿拉伯学者赋予它的名字。原书写在纸莎草制的草纸上，共有 13 卷。

《至大论》第一、二卷记载了日常观测到的天上的事实，包括各地昼夜的长短，大地是球形的证据以及角和弦的关系的计算方法，托勒密的宇宙观采取了地球中心说的形式。第三卷主要谈一年的长短和人们所看到的太阳的运动。第四卷谈一个月的长短和人们

① [古罗马]卢克莱修：《物性论》，方书春译，第 17 页，北京：商务印书馆，1999。

② [英]W. C. 丹皮尔：《科学史及其与哲学和宗教的关系》，李斯译，第 100 页，北京，商务印书馆，1975。

观察到的月球的运动；尤其是托勒密本人所发现的半月左右，月球的速度会慢大约 1 度 16 分，即所谓的“出差”现象。第五卷说明各种观测器械的构造和用法。第六卷谈关于日食和月食的理论，并记载了巴比伦以来的预报技术。第七、八卷是关于恒星的位置及其岁差的说明，所记载的黄道 12 星座以外的 48 星座，至今仍被叫做托勒密星座。从第九卷到第十三卷的五卷是关于行星运行的理论。为了说明行星运行中的迟缓、停留、逆行等不规则现象，托勒密引进周转圆的概念，即用均轮和本轮运动的合成来解释。至此，可

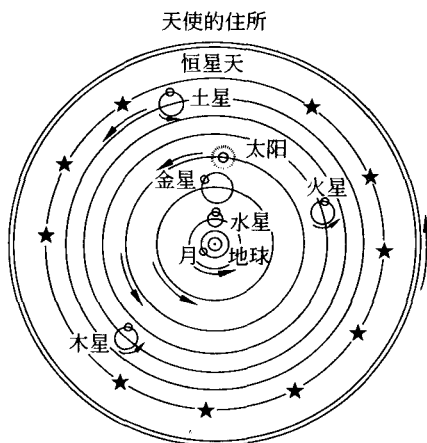


图 5-4 托勒密的地球中心说示意图

以认为托勒密的地心说体系已经形成。

托勒密的地球中心说(图 5-4)，将地球置于宇宙的中心。围绕着这个中心，各个行星都被赋予了一个属于自己的同心圆(即主圆或均轮)轨道。在这些轨道上，又被设置了一些副圆(或本轮)，行星则被安置在这些本轮上，一方面围绕着本轮的圆心作圆运动，同时又随着本轮的圆心一同绕着地球作圆运动。

托勒密的学说在西方影响长达 1400 年之久，直到哥白尼提出“日心说”后才被推翻。今天我们分析托勒密“地心说”，似乎很容易就能指出他的错误所在，其实问题没有这么简单。事实上，不论古代还是现代科学家，他的每项研究总是从对宇宙性质的一个强有力信念，以及

关于可被合理用于描绘宇宙模型的明确观念开始。在托勒密的模型中，研究的性质决定了匀速圆周运动这个要求是最恰当的。他的目的，不仅是为了描绘行星所有的复杂运动而阐明相关的观测资料；而且为了将复杂的行星运动还原为最简单的运动——为了发现表面的无序之下真正的有序。代表最终秩序的最简单运动当然是匀速圆周运动。

历史上，科学家之所以长期拘泥于“地心说”，还有很多其他方面的考虑。首先是传统的权威力量，因为天文现象的周期性、重复性预示着天文运动在本质上必定是匀速圆周运动。若没有匀速圆周运动的概念，定量预测就是不可能的。另外还有美学、哲学和宗教方面的考虑：天空的独特性质要求天体具有最完美的运动和形状。最后一点也不无启发意义，哥白尼推翻托勒密的地心说，并不是因为他不同意匀速圆周运动，而是(部分)因为，他觉得托勒密没有真正履行这个承诺。

三、盖伦的医学著述

罗马时代先后出过几位医学家，而名气最大的是盖伦，他把希腊解剖知识和医学知

识加以系统化,并把一些分裂的医学学派统一起来,使之达到了西方古代医学的顶峰。

盖伦(Glandis Galen, 129—199)出生于佩尔加蒙(当时希腊化世界的学术中心之一)。他早年学医,曾担任角斗士的医生,最终在罗马定居。盖伦一生著述极丰,流传后世的部分著作在19世纪的标准版本中汇编成22卷,这些著作系统总结了古代医学传统知识并评判了其中的主要争论。

盖伦是一位技艺精湛、观察敏锐的解剖学家,他的工作在《论解剖过程》和《论身体各部器官的功能》两书中有完整的阐述,非常适合于学生使用。然而,盖伦的解剖学有明显的缺点,因为罗马时代人体解剖被严格禁止,盖伦只能通过解剖猪、山羊、猴子和猿类来学习解剖,再就是利用毁坏的坟墓暴露出的尸骨来观察。盖伦把动物身上得到的知识类推应用到人的身上,这就难以避免缺点和错误。

盖伦把解剖研究从人体的结构发展到器官的功能,从纯粹的解剖学发展到实验性的生理学,他通过实验否定了在活体动脉内只有空气的说法,通过结扎输尿管证明了尿液是在肾脏里形成的,与膀胱无关。不过,盖伦的生理学有着明显错误,例如他关于血管系统的论述,认为肝脏是静脉的源泉,并且教条地断言心脏的中隔有穿孔。之所以如此,与盖伦的生理学理论有关。

盖伦生理学的基础是这样一种学说:生命过程被分成三个层次,分别由植物性灵魂、动物性灵魂和理性灵魂来控制,而生命最终是靠作为宇宙呼吸的“元气”维持的。盖伦把他的解剖学知识、生理学知识与这种哲学系统结合起来,把人体看成了精心制作和分配元气的三种适应性的改变物的场所。这些改变物又分别与体内的三个主要器官:肝脏、心脏和脑,三种类型的管道:静脉、动脉与神经相联系。在本质上,元气被肝改造成“自然灵气”,它能引起生长。控制运动的“活力灵气”是在心脏中形成的。适应于思想活动的第三种改变物“灵魂灵气”是在脑子里发生的。这样,盖伦就精巧地使他所知道的解剖学知识与他所信奉的哲学原理相符合。要得出这三种“灵气”是如何精心制作出来又怎样在全身合理分布的结论,需要进行某些有独创性的研究,还要对身体各器官的功能作大量推测性的思索。

按照盖伦的说法,血液由消化了的食物不断地合成出来。食物的有用部分变成的“乳糜”,从肠经过肝门静脉进入肝脏。肝脏具有把乳糜转变成暗色的静脉血的功能。肝是与营养和生长有关的植物性生命场所,它充满了带有自然灵气的血液。食物中元气和营养物质从肝脏出发,沿着静脉系统分布到全身。他认为心脏的右边是静脉系统的主要分支。血液从心脏的右边出来后进入不同的分支。部分血液通过动脉样的静脉肺动脉向肺里排出“烟气”,这些烟气就被呼出体外。部分血液通过盖伦想象中的中隔上的孔进入左心。在这里,静脉血碰到了由气管和静脉样的动脉肺静脉从外界带进来的元气,两者混和,就产生了颜色鲜艳的动脉血和活力灵气,再通过动脉系统分布到全身。某些动脉中的血液流到位于大脑基部叫做“迷网”的血管网中。在这里,活力灵气变成了灵魂灵

气,然后通过中空的神经分布到全身。

虽然盖伦的医学体系是以不完善的观察和不正确的推理为基础,它却对后世产生了重要的影响,直到16世纪他的学说才受到挑战。为什么盖伦的影响如此长久?某种程度上是由于盖伦的体系包罗万象。盖伦论述了当时所有主要的医学问题,他既能从实践的角度论述,像他的药学那样;也能从理论的角度论述,像他的生理学那样。盖伦有着深厚的哲学思想和精深的方法论。他的工作体现了最好的希腊病理学和医疗理论,包含了对人体解剖学的细致描述和对希腊生理学思想的卓越综合。简言之,盖伦提出了一套完整的医学哲学,出色地说明了健康、疾病和医疗现象。还有一个原因可解释盖伦的威望,盖伦将大量目的论成分引入他的解剖学和生理学,这就使他得到了伊斯兰和基督教读者的喜爱。尽管盖伦本人不是基督徒,他的目的论没有基督教的根源,而是受到柏拉图和亚里士多德以及斯多葛派思想的影响。

自公元3世纪起,罗马帝国由于政治腐败、道德堕落,加上内战不停、疾病流行等多种原因,而不可避免地走向衰落,科学和文化发展也由此受到严重阻滞,直到文艺复兴时期科学才揭开新的篇章。

思考题

1. 罗马建筑技术有哪些重要的技术进步?
2. 维特鲁威《建筑十篇》的主要内容和价值是什么?
3. 为什么说对托勒密的“地心说”不能止于简单批评?

参考书目

1. [英]詹姆斯·E. 麦克莱伦第三:《世界史上的科学技术》,王鸣阳译,上海,上海科技教育出版社,2003。
2. [古罗马]卢克莱修撰:《物性论》,方书春译,北京,商务印书馆,1999。

第六讲

中世纪及其宗教与科学

科学只能由那些全心全意追求真理和向往理解事物的人来创造。然而这种感情的源泉却来自宗教的领域。同样属于这个源泉的是这样的一种信仰：相信那些现存世界有效的规律是合乎理性的，也就是说可以由理性来理解的。我不能设想真正的科学家会没有这样深挚的信仰。这情况可以用这样一个形象来比喻：科学没有宗教就象瘸子，宗教没有科学就象瞎子。

——爱因斯坦

倘若我们将科学比喻为人体的话，其肉体组成部分是希腊的遗产，而促进其生长的维他命与荷尔蒙，则是圣经的因素。

——霍伊卡

在辉煌的希腊科学与近代科学之间，中世纪向来被认为是在科学发展史上最为黑暗的年代，而科学的衰败往往也简单地被归之于基督教在中世纪的统治地位，并常常作为科学与宗教不共戴天、势不两立的历史佐证。这样一种流行的观点不能说没有一定的根据，但是更加细致和深入的历史研究表明，中世纪在西方科学发展史上具有其独特的价值，并非一无是处，而科学与宗教的关系则比我们过去所想象得要复杂得多。

第一节 基督教

所谓中世纪，是指从古典文化的衰落到意大利文艺复兴之间长达 1000 年左右的漫长的历史阶段。整个中世纪的历史阶段中，欧洲的发展都深深地打上了基督教的烙印。在学术上、思想上占统治地位的是基督教神学立场，其主要关注点不是研究现实的世界和人，其目的也不是为了现世人的快乐和利益，关注的重点是人与上帝的关系，其最高的目标是人从罪恶中拯救出来，到达绝对快乐的天堂。这应该是中世纪科学无法得到很好发展的根本原因所在。

基督教是从地中海东岸巴勒斯坦地区的犹太人所创立的宗教演变而来。犹太民族原本生活在幼发拉底河一带，公元前 1200 年左右迁徙到埃及，后来无法忍受法老的统

治,在摩西率领下离开埃及,来到巴勒斯坦南部地区,建立了自己的国家。后来被并入罗马帝国,成为罗马庞大帝国所统治的诸多民族之一。然而就是这个在古代政治、军事上微不足道的民族,却诞生了一位对人类历史和文化产生了重大影响的人物,他就是耶稣。

耶稣所创立的基督教脱胎于犹太人的传统的民族宗教,但是得出了重大的发展。其关键点就是宣称自己就是犹太教旧约中所预言的将犹太人拯救出来的基督(救世主),是上帝的独生子。耶稣批评注重外在律法的法利塞人,强调内心的洁净远远胜过外在戒律的遵守。和犹太教提倡以牙还牙,以眼还眼不同,耶稣提倡宽恕敌人。犹太教的耶和华是威严、有绝对控制权的父亲的形象,而耶稣则突出地强调了上帝慈爱、普施恩惠、庇护一切的父亲的新形象。耶稣宣布自己的国在天上,强调上帝的归上帝,凯撒的归凯撒,坚持基督教的拯救不是在现实的政治军事层面上的斗争,而是灵魂的得救。由于耶稣所传播的新教义,对传统的犹太教构成了有力的挑战,所以犹太教的保守派将他抓起来送给罗马地方长官彼拉多,彼拉多将耶稣钉死在十字架上。

耶稣死后不久,他的门徒和崇拜者便传言说耶稣复活,并开始传播其教义,作为宗教的基督教开始诞生。后来在门徒保罗等人的极力弘扬之下,基督教开始走出犹太民族的狭小范围,向各民族传教,成为普世宗教。在基督教创立的前200年中,罗马帝国为了捍卫自己宗教的地位,对基督徒进行压制和迫害,但效果甚微,基督教迅速传播。另一方面,基督教提倡的忍让精神,服从世俗统治者的教义,也让罗马统治者觉得可以利用,所以君士坦丁正式承认了基督教的合法地位,后来成为罗马帝国的国教。

早期的基督教都是在社会下层传播,风格是朴实无华的。但是由于基督教传播的地区恰好处于希腊文明的教化地区,所以在基督教教义的形成和传播过程中就不断地和希腊哲学相结合,用哲学的术语来表达和解释教义,这成为早期教父神学的主要任务,而他们的资源则是柏拉图哲学。

一、教父哲学

在基督教历史上通常把在思想上直接继承了使徒教导的基督徒称为教父。教父是基督教实现经文、组织和教义统一过程中教义的传播和解释者以及教会组织者。一般来说,教父具有这些特征:相信正统观点,生活圣洁,为教会所认可,活动于基督教早期阶段(主要在公元2—4世纪)。

严格说来教父们并未提出系统的完整的哲学理论,人们一般也不把他们看做是哲学家,但是为了研究方便起见,人们习惯于把他们的著作中所包含的哲学因素抽提出来,称为教父哲学。其中奥里留·奥古斯丁(Aureliu Augustinus, 354—430)是教父哲学的集大成者。他原先为摩尼教徒,年轻时生活放荡,后来经过一次神秘的宗教体验后成为基

信徒。他在罗马的教育体制下受过良好的教育,精通修辞学与雄辩术,一度醉心于柏拉图主义和怀疑论,皈依基督教后勤奋著述,影响极大。他把柏拉图哲学和保罗的《使徒行传》结合起来,形成了基督教对知识的第一次大综合,他的《忏悔录》和《上帝之城》是基督教最重要的两大经典著作。他的思想在13世纪前亚里士多德主义兴起之前一直支配基督教神学与哲学,后来对新教神学也有极大的影响。

柏拉图哲学的核心思想是理念论,他认为,我们感官所能认识的外界事实,无论是社会的还是自然的,都是转瞬即逝的,都不是真正的实在。真正的实在是理念,日常世界不过是理念不完美的摹板而已。到了新柏拉图主义那里,这种对现实世界的轻视愈演愈烈,宗教情怀和迷信色彩都有所发展,其努力目标是要设法达到神人交融的神秘境界。所以现实存在本身越来越不重要,其存在的价值都体现在其对最高的存在“太一”的象征上。这样的观念和基督教的末世审判说结合起来,直接产生了对于自然和现实相当冷漠的态度,甚至狂热的教徒会认为从事科学研究可能产生违背圣经和教义的异端邪说,这当然不利于科学的发展。

圣安布罗斯(Saint Ambrose)说,“讨论地球的性质与位置,并不能帮助我们实现对于来世所怀的希望。”基督教思想甚至会敌视世俗学术,因为早期狂热的基督徒往往会把世俗学术当成是必须要战胜的异教,尤其是基督教变成了大众的宗教之后更是如此。公元390年,亚历山大亚图书馆的一个分馆就被德奥菲罗斯主教放火烧光。公元415年,亚历山大亚最后一位数学家西帕西亚(Hypatia)——天文学家赛翁(Theon)的女儿,被狂热的基督徒残忍地杀害。

象征主义的普遍应用,同样也给科学发展带来影响。教父们为了调和《旧约》与《新约》的矛盾,为了将圣经与当时流行的世俗思想相协调,普遍使用象征主义的手法。如果《圣经》中的说法或者自然界中的一切与教父所理解的教义相合的话,则作为事实来接受,如果不合,则只承认其象征意义。一切现象都不过是给定的思维和认识框架的例证而已。这样的思维习惯,会使得中世纪的人们在观察自然现象时,不能像我们今天这样实事求是地冷静观察。

基督教在中世纪对科学发展的另一个最重要的阻碍作用表现在权威主义和缺乏宽容上。基督教在传播过程中,总是处于和各种异教乃至教内各种异端的激烈思想斗争之中。再加上基督教教义的一大特色是高度强调神的唯一性,否定其他一切事物的神圣性,强调唯有信仰耶稣基督才能得到拯救,所以基督教在基本教义上总是表现出极强的战斗性和排他性。尤其是后来中世纪欧洲教会对于世俗政权具有压倒性的统治地位时,思想的垄断和专制就不可避免了,例如宗教裁判所的存在,这当然与希腊人所熟悉的自由、理性讨论的气氛完全不同。作为探索性活动的科学在这样的环境中自然难以发展了。

第二节 黑暗时代

从公元 5 世纪西罗马帝国灭亡到 11 世纪被称为黑暗时代,这个黑暗时代是因为蛮族入侵破坏罗马文明所致。罗马帝国的武力统治以及非人的奴隶制,在蛮族入侵之下不可避免地走向崩溃。西罗马帝国灭亡后,西欧地区在蛮族统治下,分化为不同的王国,如东哥特王国、西哥特王国、法兰克王国等。政治上统一的罗马帝国分崩离析,原有的社会秩序荡然无存。来自北方的蛮族文化非常落后,更谈不上什么自然科学知识,他们没有能力欣赏和保留古典文化,所能做的只是摧毁古典文化。

精致的希腊罗马文化对于好勇斗狠的蛮族人的心灵起不到任何作用,唯有来自社会底层的基督教产生教化的作用,使得他们逐渐适应文明的生活方式。在政治分裂的西欧地区,已经成为人们普遍接受的信仰的罗马教会成为了唯一的组织力量,维系着社会文明的交流,也是唯一能够保留一点文明的场所。本尼狄克特所创立的修道院制度,在西欧地区走出黑暗时代的过程中发挥了非常重要的作用。修道士们在一片文化沙漠之中,默默地抄写着古代经典文献(图 6-1),使得古典文化得以传承和保存;修道士们在“劳动和祈祷”的口号下,开垦荒芜的土地,铺平道路,整治水渠,为中世纪中后期经济发展作出了贡献。



图 6-1 中世纪的抄写员

在此过程中,古典文明不绝如缕,像黑夜中的微弱的灯光,仍然闪烁着知识的光芒。例如罗马贵族波伊修斯(Boethius, 480—524)用拉丁文翻译的柏拉图和亚里士多德的著作纲要及其注释,是中世纪早期欧洲人对古典文化认识的主要来源,而他根据希腊人的著作编写的算术、几何、音乐和天文学的教程,则成为了中世纪大学的教科书。8 世纪,查理曼帝国的缔造者查理大帝尊重学者,渴求知识,广求学问之士,英国学者阿尔昆(Alcuin, 732—804)教导查理大帝读书,这是黑暗时代难得的景象。

中世纪中后期,西欧地区逐渐从黑暗时代中走出来,其原因是多方面的。从 11 世纪开始的长达 200 年的十字军东征,作为带有宗教狂热情绪战争活动,本来是野蛮和仇恨的产物,却在历史上奇妙地促进了新文明的产生。十字军东征的最初动机是基督徒想

要夺回被穆斯林占领的圣地耶路撒冷,十字军由乌合之众所组成,纪律散漫,甚至常常会抢掠同为基督徒的东正教徒,所以十字军东征每次都以失败告终,并没有实现其想要达到的目标。然而在漫长的 200 年中,通过战争的交往,反而促进了基督教文明、阿拉伯文明以及东罗马帝国所保存的希腊文明的交流和融合。通过十字军东征,西方世界获得了阿拉伯世界的科学、中国的四大发明,古希腊人的哲学文献。12 世纪,欧洲人投入了极大的热情来翻译阿拉伯文献,结果希腊人的原始文献通过阿拉伯世界辗转翻译为拉丁文,这样在欧洲人的视野中再次出现了希腊人的智慧结晶。在此过程中阿拉伯世界学者的解释乃至新的创造也深刻地渗透其中,以至于很难分清哪些是希腊人自己的工作,哪些是阿拉伯人的创造。

大翻译运动的中心是西班牙与意大利,因为这两个地方接近于阿拉伯文化和希腊文化流行的地区。西班牙曾经为阿拉伯人所占领,直到 1085 年后倭马亚王朝才被推翻,基督教学者得到了许多已经翻译成阿拉伯语的希腊文献。翻译的著作范围很广,诸如亚里士多德、托勒密、欧几里得以及希腊医学著作,以及阿维森纳、阿维罗伊和一些阿拉伯天文学家与数学家的著作、炼金术、占星术著作等等都是。意大利则是因为邻近东罗马帝国首都拜占庭,所以外交和商业交往密切,而且居住了一些阿拉伯人和希腊人,因此许多人既精通阿拉伯语又精通希腊语。这里翻译的有:亚里士多德的《动物学》、《形而上学》、《物理学》、托勒密的《光学》以及其他一些医学、地理著作等等。

最重要的希腊文献的翻译和介绍是亚里士多德的著作。大约到了 1220—1225 年左右,发现了亚里士多德全集,并翻译成拉丁语。早期基督教世界中占统治地位的教父哲学主要是基督教教义与柏拉图哲学的结合。当时人们认为教会作为天启的接受者和解释着,在学术上的权威性是毋庸置疑的,而新柏拉图主义作为世俗学问与天启的真理是协调一致的。

相比之下亚里士多德的哲学和科学思想更富于经验特色,更加系统,知识面更加宽广,更加富有条理性,所以亚里士多德思想的引入,对于中世纪思想界来说既是开启知识和思想的宝库,更是一个巨大的挑战和刺激。因此,亚里士多德的著作刚开始时被教会认为是危险的学说,1209 年巴黎的大主教管区会议禁止亚里士多德的著作,后来其一再被禁,可是仅仅到了 1225 年时,巴黎大学就已经把亚里士多德的著作列为必读书籍了。亚里士多德著作翻译先是从阿拉伯语转译,后来才从希腊语直接译出,其中格罗塞特(Robert Grosseteste)的贡献作为突出。他是牛津大学校长,林肯区的主教,写过研究彗星成因的论文。他邀请希腊人到英国来,并输入希腊书籍。他的弟子罗吉尔·培根则写了一部希腊语语法。

而在解释亚里士多德方面最主要的学者是大阿尔伯特(Albertus Magnus of Cologne, 1206—1280),他堪称为中世纪最富有科学思想的一位学者。他把亚里士多德、阿拉伯和犹太等各种文化要素融合成一个整体,其论述的范围包括当时的天文学、地理

学、植物学、动物学与医学等各种知识。

一、大学的兴起

欧洲大学的诞生是中世纪文化生活中最为辉煌的一页,是欧洲对人类文化作出的最大贡献之一。原先的教育主要是在教会学校中开展的,随着城市的兴起,世俗的城市学校也随之应运而生。到了12世纪全新的教育组织开始产生,波伦亚(Bologna)的法律、医学和哲学学校的外国学生为了对付本地人的歧视并且互相保护起见,成立了学生的自治组织 Universitas,这就是最早的大



图 6-2 中世纪的大学讲坛

学(图 6-2),而巴黎的辩论术学校的教师也组织了类似的教师组织 Universitas,以捍卫自己的利益。后来各地的学生和教师纷纷效仿,成立了许多大学。

从大学起源上看,大学实际上是教师和学生自由组织的行会,自主管理,自行设置课程,注重保护学生和教师的权利,与传统学校相比体现了一种自由开放的精神。作为学术共同体,它不依附其他权力机构,重视学术独立自主,重视学术传统的维护,这给学术长期稳定自主的发展提供了一个很好的制度保障。

在课程设置方面,在加罗林王朝(Carolingian)时代,学校课程确定为初等三科:文法、修辞与辩论,这些和语言有关;高等四科:音乐、算术、几何与天文,这些与数学相关。这就是作为基本素养的所谓自由七艺(liberal arts)。在早期大学的四个学院中,艺学院的本科教育是所有学生都必须通过的。获得艺学院的学士学位后,才可以开始学习神学、法学和医学的专科。与古希腊柏拉图的学园相比,中世纪大学学习时间更长,学制更加规范、严格,为知识的学习和研究提供了稳定的环境和充裕的时间。以作为欧洲各地大学效仿的榜样巴黎大学为例,它规定只有经过不少于6年时间的学习、年龄不小于21岁者才能讲授艺学院课程;至少再经过8年时间的学习,年龄不小于34岁者才能讲授神学院课程。

大学的艺学院与神学院分立的体制,为中世纪不断爆发的神学与哲学、科学的冲突制造了机会。艺学院传授的主要是所有学生必须的世俗知识,这些知识一般是与基督教关系不大的古典文化,主要是亚里士多德的著作,他的逻辑学著作是正式教材,他的伦理学著作也被当做教材使用,而《物理学》和《形而上学》等著作则冲破禁令广泛流传。绝大多数的艺学院毕业生无法进入神学院学习,他们因此往往并不把这些知识当做将来钻研

神学所需要的知识准备,而是作为认识世界的基本指南。另外,像哲学系的学生较少受到神学教条的束缚,更多地利用人类的理性来从事学术活动,所以学术气氛比较活跃自由。在中世纪思想发展中,艺学院常常变成异端思想的发祥地。

无论是艺学院,还是神学院,其教学方法都是固定不变的程式化的经院方法。主要包括“授课”和“争辩”两种教学环节。其中“授课”是阅读指定教材,由教师解释教材,解释内容常常被记录整理。而“争辩”有两种,一种作为课堂练习,学生和教师参与,最后由教师裁决;一种是在公开场所举行的“自由争辩”,参加者可以提出任何问题,经教师甄别为“可以解决的问题”后,按照相关的固定程序展开辩论过程。虽然以今天的观点看,这种仅仅以权威著作为基础,利用逻辑进行推导,不依靠实验检验的辩论是很难真正促进知识进步的。但是,这种教学方法对于锻炼逻辑推理能力、提高概念的辨析能力大有裨益,实际上为近代科学必不可少的逻辑推理能力提供了学术训练和知识储备。

二、经院哲学

正是天主教神学家们将亚里士多德的学说与基督教教义结合的艰苦努力,导致天主教经院哲学的产生和发展,其巅峰之作是托马斯·阿奎那(Aquinas, 1225—1274, 图 6-3)的宏大著作。阿奎那出生于意大利南部,是伯爵之子,18岁时加入多明我会为修士,后来师从著名神学家、科隆的大阿尔伯特,在巴黎和罗马教书,一生勤奋著述,虽然仅仅活了49岁,但是却著作等身,全集有48卷之多,其中最具影响的是两大主要著作《神学大全》与《反异教大全》。



图 6-3 阿奎那

阿奎那一方面在当时的认识条件下,在信守基督教教义的前提下,构造了一个尽可能理性和科学的宏大体系,堪称人类认识史上伟大的杰作,直到今天托马斯主义还是天主教教会的官方哲学,仍然保持了很大的影响;另一方面也正是因为其无所不包的宏大框架,以及作为教会官方哲学的权威地位,不可避免地沦为进一步探索自然奥秘的障碍。

所以近代自然科学的每一步发展几乎都是以反叛阿奎那建立的庞大体系为标志的。但这并不能抹杀阿奎那经院哲学在当时历史条件下的历史功绩和认识功能。

阿奎那的体系是按照亚里士多德的逻辑学和科学建立的。在理性和信仰关系上,阿奎那忠于其基督教的信仰,和早期的教父哲学家一样,他同样认为信仰高于理性,基督教教义高于世俗哲学家的认识。但是不同的是,与教父哲学家相比阿奎那更加重视理性,他强调人的理性原本就是为了了解和检验自然而形成的,应用理性是人的天职,他主张要对整个存在的体系给予理性的说明,虽然人们不能接受其整个体系的基本前提。这样

一种理性和信仰的观念,虽然以今天流行的眼光看,过度强调信仰,理性的地位不够高,但是在当时已经算是为理性提供了相当大的应用空间了。中世纪经院哲学非常显著的特点是普遍应用逻辑推理,注重概念分析,其分析推理之细为其赢得了“烦琐哲学”的名声。其缺点自然是一味依赖逻辑推理,尤其是演绎推理,缺乏经验和实验研究,忽视归纳推理,所以难以取得实质性的知识进步。

阿奎那的哲学继承了亚里士多德的观点,认为人是万物的中心,世界可以按人的感觉和心理来描述。因此在他看来,物体不像希腊原子论者认为的那样是原子的集合体,也不是像我们今天所认为的那样,是由质量、惯性及其他物理、化学、生理学特性的东西。物体是个主体或者实体,具有归入某些范畴的特性。这些特性中有本质属性和偶然的属性等等。这种思路用今天科学的视角看来似乎毫无意义,但是却是中世纪考虑问题的基本出发点。如果我们相信轻重是不同的自然特性,那么关于事物各有其天然位置,事物都倾向于回到其天然位置的说法就很容易理解了。

在天文学方面,阿奎那接受了托勒密的学说,但是仅仅是作为一个有用的工作假说。然而后来这种谨慎却普遍被忽视,其根本原因还是地心说与当时人们理解的基督教教义之间有非常巧妙的配合。人是上帝创造万物的根本目的,所以人所居住的地球自然成了宇宙的中心,围绕着地球旋转的有充满着气、以太以及火的同心天球,这些天球负载着太阳、恒星与行星作圆周运动。这种天文学图景与中世纪非常流行的末日审判图景是高度一致的,大家可以想象出天堂在苍穹之上,而地狱则埋藏在大地之下。托勒密天文学体系构造了复杂的均轮—本轮体系以解释太阳系行星运动的不规则现象。总之,在当时大家接受亚里士多德物理学和基督教教义的情况下,整个体系是一个高度可信的,没有明显矛盾的体系。

阿奎那并没有完全接受亚里士多德的哲学观点,像亚里士多德认为世界是永恒存在的观点,因为与上帝创造世界的观点不符被抛弃,但是阿奎那尽可能地使得亚里士多德哲学和基督教教义相互吻合,充分利用亚里士多德的理论推导出符合基督教教义和神学观点的结论,一旦实现了这一点,又成为证明亚里士多德哲学正确的新的论据。例如,亚里士多德认为凡是运动必有推动者,这样不断追溯上去,就得出了一定存在一个第一推动者的结论。阿奎那下结论说,这个第一推动者就是上帝本人。如此一来亚里士多德哲学和基督教教义就紧密结合成一体了,以至于谁要是再反对和攻击这位过去曾被教会和神学家查禁著作的异教徒就会被认为是在攻击基督教神学。

经院哲学与近代科学最大的不同点在于其强烈的唯理论色彩,即把一切自然知识都要纳入到一个既定的框架体系中去,这显然是不利于实验科学发展的。但是经院哲学从希腊人那里继承了一个非常重要的思想:自然是有规律的、整齐划一的。这个观念从希腊悲剧中不可抵抗的命运开始,经过斯多葛哲学,传给了罗马法,一直传给了经院哲学的唯理论。怀特海认为,“这种习惯在经院哲学被否定以后仍然一直流传下来。这就是寻

求严格的论点,并在找到之后坚持这种论点的可贵习惯。伽利略得益于亚里士多德的地方我们在他那部‘关于两大体系的对话’中所看到的要多一些。他那条理清晰和分析入微的头脑便是从亚里士多德那里学来的。”^①

三、经院哲学的衰落

如果说托马斯·阿奎那代表了经院哲学的主流的话,那么像同时代的罗吉尔·培根(Roger Bacon, 1214—1292, 图 6-4)就代表了中世纪欧洲在精神上更接近近代科学的先驱人物。罗吉尔·培根出生于英国索默斯特(Somerst)郡的上流社会家庭,后来在牛津学习,1236 年在巴黎大学任教,是第一批教授被禁的《物理学》和《形而上学》的教师,成为亚里士多德著作的著名评注者。他受到数学家亚当·马什(Adam Marsh)和牛津大学校长罗伯特·格罗塞特(Robert Grosseteste)的深刻影响。格罗塞特是英国乃至欧洲最早从东罗马帝国邀请学者来教授希腊文的第一人。受格罗塞特影响,罗杰尔·培根强调研究亚里士多德原著与圣经语言的重要性,并编辑了一部希腊语语法。他批评当时的神学家们因为不懂希腊原文所以常常误读乃至篡改哲学原著。



图 6-4 罗吉尔·培根

培根思想最大的特点是,他明确地提出了只有实验方法才能给科学带来确实可靠的进步,这是科学观念的伟大革命。他虽然博览群书,知识渊博,但却并不满足于转述权威人士的观点,或者仅仅从权威观点中推出逻辑结论,而是强调只有实验和观察才能证明前人的观点是否正确。他认为产生错误的原因有四种,即对权威的过分崇拜、习惯、偏见以及对于知识的自负等,这种分析与 350 年之后英国另外一位名声更为显赫的弗兰西斯·培根(Francis Bacon)著名的四种偶像的说法非常类似,后者极有可能是受到罗吉尔·培根的直接影响。

尽管罗吉尔·培根在思想上非常强调实验的意义,但是实际上他本人并未做过太多的实验,也没有获得多少有意义的实验结果。相比之下,他在光学上作的实验比较多一些。他对光学特别感兴趣,可能是由于他学习了阿拉伯物理学家伊本-阿尔-黑森著作的拉丁译本的缘故。从培根的著作中可以看出他了解反射定律和一般的折射现象,直到反射镜、透镜并且谈到了望远镜,尽管他可能并没有制造过一部望远镜。作为归纳推理的一个案例,他还提出过一种虹的理论。

^① 怀特海:《科学与近代世界》,何钦译,第 12 页,北京,商务印书馆,1959。

他介绍了许多机械发明方面,其中有些是他实际见过的,有些则是他认为未来可能发明出来的,例如机械推进的车船与可以飞行的机器等等。他还谈及过魔术镜、取火镜、火药、希腊火、磁石、人造金、点金石等等——其中既有事实和预言,也有道听途说。他和当时的人一样,也相信炼金术,认为所有事物都在向提高方面努力,自然不断走向完善,即转化为黄金。

培根另外一个与近代科学思想比较接近的方面是对数学的高度重视,这一点是他比350年后弗兰西斯·培根高明的地方。当时在基督教世界,数学的名声并不好,因为从阿拉伯世界翻译过来的数学著作中,数学常常被应用于占星术,而占星术的宿命论或者决定论的立场和基督教所坚持的意志自由论是不一致的,再加上研究占星术和数学的专家大多是伊斯兰教徒以及犹太人,所以数学和占星术两门学科当时都背负恶名,被认为是一种邪恶的“黑巫术”。但是培根充满自信和勇气,坚持数学和透视学(即光学)是其他学科之基础。他认为虽然数学的表格和仪器费用昂贵且容易损坏,但却是必不可少的。他批评当时的历法有误,每130年会误差一天,他估计了世界的大小,认为大地是球形的,这一点后来对于哥伦布产生了影响。

培根在巴黎获得博士学位后回到牛津,但是他的异端思想逐渐引起他人的怀疑,不久之后便被遣送回巴黎,让他所在的修会严加管教,禁止其继续写作传播其有违主流的理论。但是后来教皇克里门四世(Clement IV)对他的工作很感兴趣,要求他将研究成果写成著作呈送给自己,但是要求他保守秘密。于是他在缺乏资金支持的困难条件下,通过借贷准备了写作材料,花费了15个月左右的时间,于1267年向教皇提交了三部著作,阐述全面观点的《大著作》、作为提要的《小著作》以及担心前两部著作遗失而补送的《第三著作》。我们今天对他的观点的了解主要就是通过这三部著作获得的。

但是教皇克里门四世去世之后,培根就失去了保护的力量,随即被后来成为教皇(Nicholas IV)的杰罗姆(Jerome of Ascoli)处以监禁并不得申诉。一直到教皇去世后,培根才得以释放。培根的悲惨命运,既有外在的原因,也有内在的原因。一方面是因为在当时的学术环境中他的思想方法本身的局限性所致,一方面是由于中世纪教会思想控制的结果。就其本人而言,虽然培根比当时的学术界眼光超前,但是仍然接受了许多流行的教条。如他对神经的绝对权威,以及基督教独断的神学体系的权威性都是不加怀疑地接受的。虽然在许多方面他激烈攻击经院哲学,但是他也同样认为,一切科学和哲学的目的都是为了解释和荣耀至高无上的神学。所以,在他的思想中混乱和矛盾是随处可见的,而且这些混乱和矛盾总是与他杰出的创见纠缠在一起,难以分开。

虽然罗吉尔·培根的思想今天看起来是那样的富有科学精神,但是他的工作在当时却没有产生太大的影响。真正实际影响了当时思想发展的却是看起来更加具有经院哲学气质的神学家的工作。邓斯·司各特(Duns Scotus,约1265—1308)打破了托马斯·阿奎那所构造的哲学和宗教的完美结合,开启了经院哲学不可避免的衰落过程。司各特

本人绝无发展实验科学的动机,也并无抬高理性地位以反对和限制宗教的念头,相反他是认为阿奎那给予理性的地位过高。他要把主要的基督教教义建立在神的独断意志基础上,认为自由意志是人的基本属性,地位远在理性之上。这样一来,托马斯·阿奎那在信仰和理性、宗教和哲学之间建立的优美的和谐就被彻底打破了,对于经院哲学的发展来说,固然是一种威胁,同样,理性和哲学的地位也遭到了贬斥。但是,这样一来,应用理性的哲学和神学的结合慢慢地就开始松动了,理性既然不再能证明上帝的存在,不再能为神学充当“婢女”,理性和哲学自由独立发展的可能性也就开启了。哲学就有可能与实验结合,而产生独立的科学。

理想和哲学自由独立发展所开启的过程,在威廉·奥卡姆(William of Occam, ? — 1374)那里得到了进一步的发展。奥卡姆同样认为神学教义不可以用理性来证明,并且举出许多实例证明教会教义是不符合理性的。因此,他主张双重真理,即一方面凭借信仰得到的教会的真理,另一方面凭借理性获得哲学的真理。两方面的真理是并行不悖的。

在对待共相问题上,奥卡姆提倡唯名论反对实在论。他认为个体是唯一的实在,普遍性的观念不过是名称或者心理概念而已。著名的奥卡姆的剃刀——“不要增加不必要的实体”,正是这一思想的生动体现。由于唯名论的复兴,人们不再重视抽象的概念,转而重视感官直接认知的对象,因而间接地促进了对于直接观察和实验的重视,提高了归纳法在认识活动中的地位。

唯名论的传播和弘扬,当然引起了经院哲学中传统势力的反弹。巴黎大学谴责了奥卡姆的著作,甚至直到1473年还试图用强制的方式推广实在论。但是唯名论传播之势无法阻挡,很快连大学校长、教会主教等都变成了唯名论者。虽然后来罗马还是回到了经过修改的亚里士多德的实在论上,但是奥卡姆的工作还是导致了经院哲学独霸中世纪学术界局面的结束。一方面,哲学摆脱了宗教教义的束缚,可以更加自由地讨论,不是一定要达到神学预定的结论不可。而另一方面,宗教也不需要受到唯理论的束缚,不必仅仅从理智的角度来发挥,可以更加尽情地发展同样重要的情感和神秘因素。所以,14世纪到15世纪中,尤其是在德国神秘主义与各种基于宗教经验的教派蓬勃发展,对后来的宗教乃至整个文化发展产生了深刻的影响。

在促使经院哲学向近代思想转变过程中发挥重要作用的另外一位神学家是库萨的尼古拉(Nicholas of Cusa, 1401—1464)主教。他的代表作是《有学识的无知》,他认为在全知全能的上帝面前,人的一切学识实际上只是无知的表现。库萨在具体科学上同样也有独特的贡献,如他用天平证明植物生长是从空气里吸取了一些有重量的物质。他建议改良历法,尝试将圆化为正方形来计算面积,拥护地球自转的观点,主张宇宙无限等等,在许多观点上成为哥白尼和布鲁诺的先驱者。他认为运动是相对的,而数是绝对的,这就为近代数理科学的发展铺平了道路。

第三节 中世纪的技术发明

和中世纪理论化科学相对暗淡的成就相比,在技术上中世纪的成绩要好了许多。首先技术在从古典时期到中世纪过程中,没有任何证据能够说明重要的技术曾经失传过。在农业技术、动力技术、交通运输、建筑工艺、纺织、冶金、印刷、机械钟表以及日常生活的其他技术方面,都呈现出善于学习借鉴、承上启下,不断进步的特征。中国的四大发明传入欧洲,有力地推动了欧洲经济和社会的发展。

从6世纪上半叶到9世纪末,欧洲接受了一系列的发明,很快创造了崭新的农业生产体制(图6-5)。新的封建制度在促进生产力发展上发挥了作用,所以许多来自东方国



图 6-5 中世纪的农业革命

家、北方蛮族的发明在欧洲得到了很好的应用和发展。例如来自北方蛮族的重轮犁,耕出的沟更深,但是比较笨重,需要用牛来耕作。9世纪时,利用马来耕作逐渐在北欧地区普及。把项圈套上马肩以代替容易使马感到气闷窒息的胸带,轻而易举地使得马的拉力提高了5倍。这项发明自中国的技术11世纪时传入欧洲,使得马可以代替牛来耕作,不适合牛耕的地方也可以得到耕种。农业、交通、商业都大蒙其利。

三圃轮作制(三年两种)取代了两圃轮作(两年一种),使得产量提高了1/3,从而使得农业得到了很大的进步,导致小村庄的衰落和大农业村落的兴起。从10世纪起,西欧人开始向森林、沼泽、海洋进军开垦,在北方地区的低地国家许多地方,通过种植欧洲蓬子、星状海草以及盐滩芦苇等等改造土壤,再通过修筑堤坝围垦了大片的耕地。

10世纪之后欧洲普遍开始利用水力或风力来推动水磨、风磨,来加工粮食、榨糖、榨油、抽水、制革、采矿、锯木等等。15世纪英国率先使用水力来鼓风炼铁,改变了原有的炼铁工艺,出现了竖炉炼铁技术。英法地区于9到10世纪发现了煤的燃烧价值,12世纪欧洲开始将煤用作家庭燃料,13世纪英国国王准许开采煤矿,煤炭开始普遍使用。

建筑技术是中世纪技术璀璨的明珠。10世纪之后,西欧城市开始兴起,市场经济的发展,市民审美心理的变化,使得建筑技术突飞猛进。教堂作为城市的建筑的主要代表,体现了当时最高的建筑技术和艺术成就。10世纪开始,教堂建筑采用拱券结构,风格模仿罗马建筑。早期的教堂建筑反映了当时人们厌世心情,朴素简单,少有装饰。后来由于市民文化的兴起,人们越来越多地在教堂建筑上增加装饰性,增加雕塑、浮雕和壁画,

虽然题材仍然主要是宗教性的,但是市民阶层的审美趣味也产生了很大的影响。12 世纪末开始,从法国北部地区兴起了哥特式的教堂。其主要特点是有尖角的拱门、肋形拱顶和飞拱、高耸的尖塔以及高大的窗户(图 6-6)。它独特的结构设计使得重量都分布在有垂直轴的骨架结构上,从而使得墙壁成为嵌板,充分利用了垂直线的视角效果,其高耸入云的感觉很好表达了中世纪基督徒对上帝的膜拜和对天堂向往的情感。

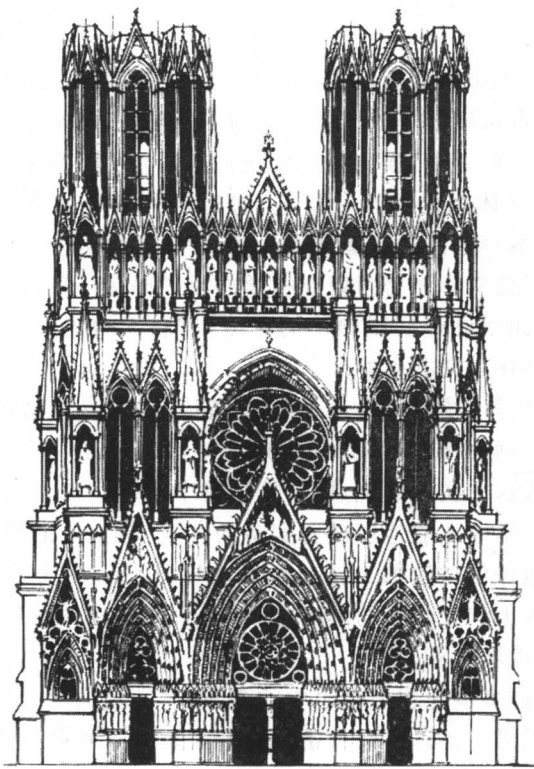


图 6-6 巴黎圣母院

值得注意的是,在中世纪技术进步的背后,我们可以发现对待技术态度的微妙变化。古希腊流行的奴隶制度,以及希腊人唯理论对自然的神化与歌颂,都是产生了一种轻视技术和手工劳动的态度,这显然是对实验和技术发展不利的。然而,犹太-基督教传统中对待技术和手工劳动却有着不同的态度。按照圣经的观点,自然也是上帝的创造物,而非永恒存在的、也不是神圣的存在,物质并不比非物质地位低下,因为都是上帝的创造物。希腊人推崇闲暇,而基督徒认为劳作是神圣的,连耶稣本人也是一位做木匠活的手艺人。《圣经》中上帝认可了人对自然的支配和改造,《圣经》本身虽然并没有包含机械论的世界图景,但是它对自然非神化的态度,为后来机械论的发展扫清了思想上的障碍。

因此,虽然中世纪由于仍然深深地受到希腊思想的影响,由于当时更注重人与上帝的关系,不太关心对自然的认识和控制,但是基督教的新自然观为近代注重实验和技术提供了重要的思想资源。

第四节 科学与宗教的关系

过去在科学与宗教关系上流行的是简单的二者你死我活的对立关系。但是实际情况要复杂得多。例如,古希腊的毕达哥拉斯学派,在数学、天文学上取得了杰出的贡献,堪称古代科学发展的典范。他们强调通过发现自然现象中的数量关系去认识规律,坚信自然是和谐的,强调数学体系的公理化构造;对近现代科学的发展产生了巨大的影响。但是,毕达哥拉斯学派本身还是并且首先是一个秘密宗教团体,其宗教关怀是其科学努力的根本原因。毕达哥拉斯学派努力研究科学的目的是为了聆听自然之中神秘的音乐,以净化自己的灵魂,从而使灵魂摆脱肉体的束缚,摆脱无穷无尽的轮回。毕达哥拉斯学派堪称是科学与宗教神秘主义共生的典范。

我们在谈到西方科学传统时往往会称赞希腊传统,对基督教的影响评价很低,然而著名科学史家乔治·萨顿(George Sarton, 1884—1956)指出:“无论人们多么景仰希腊科学,但必须认识到,从这个实验的观点看,希腊科学实不足以转变为现代科学的基本精神。虽然希腊的伟大医学家本能地遵循着实验的方法,但他们的哲学家们或者研究自然的学者从来没有恰当地评价过这些方法。医学史以外的希腊实验科学历史是非常短促的。在阿拉伯的炼金术士和光学家的影响之下,以后在基督教的工匠和物理学家的影响下,实验精神非常缓慢地增长着。”^①

他认为,中世纪是许多世纪在黑暗之中的摸索。“大量的努力用于解决虚假的问题,主要是把希腊哲学的成果与各种宗教教条调和起来。就这种努力的主要目标而言,这当然是徒劳无益的,但它们带来了许多意外的结果。主要的成果……是实验精神的孕育。”^②

对于科学和宗教在历史出现的相互冲突的关系,爱因斯坦认为关键在于人格化神的理念会阻碍科学的发展。他说,与科学相冲突的宗教,无论是出于恐惧,还是出于道德的需要,尽管本身有高下之分,其所共有的是它们的上帝概念的拟人化的特征。但是,某些“具有非凡天才的个人和具有特别高尚品格的集体,……大大超出这个水平。……尽管它的纯粹形式是难以找到的,我把它叫作宇宙宗教感情……宇宙宗教感情的开端早已出

① 乔治·萨顿:《科学的生命》,刘珣珺译,第137页,北京,商务印书馆,1987。

② 乔治·萨顿:《科学的生命》,刘珣珺译,第138页,北京,商务印书馆,1987。

现在早期的历史发展阶段中,比如在大卫的许多诗篇中,以及在某些犹太教的先知那里。佛教所包含的这种成分还要强烈得多。”^①

爱因斯坦认为正是在宇宙宗教感情这里,科学和宗教可以产生相互促进的关系:“科学只能由那些全心全意追求真理和向往理解事物的人来创造。然而这种感情的源泉却来自宗教的领域。同样属于这个源泉的是这样的一种信仰:相信那些现存世界有效的规律是合乎理性的,也就是说可以由理性来理解的。我不能设想真正的科学家会没有这样深挚的信仰。这情况可以用这样一个形象来比喻:科学没有宗教就象瘸子,宗教没有科学就象瞎子。”^②

不仅西方的宗教如此,东方的宗教同样与科学的发展也有千丝万缕的联系。英国著名中国科技史泰斗李约瑟先生对道教在中国科学史上的意义大加推崇,甚至以道家自居,并为自己起了道号“十宿道人”和“胜冗子”。李约瑟先生认为,中国道教的自然观远比哥白尼-伽利略-牛顿体系的机械唯物主义更加高明。他甚至说:如果没有西方近代科学的冲击,听任中国道教的自然观发展,完全可以直接发展出更强调整体、联系、演化和复杂性的当代科学思想。

反对神灵主宰世界、创造世界,强调因果作用的佛教,与科学的关系更加亲和,例如中国唐代著名的天文学家和数学家一行,同时又身兼密宗上师,是著名的佛教理论家和翻译家。清末佛教唯识学的复兴对近代科学思想的接引,更是居功甚伟。以至于梁启超说“晚清所谓新学家者,殆无一不与佛学有关系。”^③

除了宗教与科学的一致性关系外,科学与宗教的和谐关系还体现在宗教与科学的互补性上,例如宗教向科学提出终极关怀的要求,提出伦理目标的限制和引导,而科学则帮助宗教放弃那些与终极关怀关系不大的现实世界的描述等等。因此,宗教与科学的关系,在不同的时代、不同的地区甚至不同的学科领域其表现是不一样的。我们既要清醒地看到二者的区别以及分歧乃至紧张关系和冲突,也要注意二者的一致性与和谐关系。

思考题

1. 中世纪不同时期基督教神学与希腊哲学思想的关系如何?
2. 经院哲学中哪些因素为近代科学所继承,哪些因素为近代科学所扬弃?
3. 基督教思想对于近代重视实验和技术观念的影响有哪些?
4. 为什么近代科学革命会在宗教势力很大的西欧兴起,却没有发生在无神论传统发达的中国?

① 《爱因斯坦文集》第一卷,第279~281页,北京,商务印书馆,1976。

② 《爱因斯坦文集》第三卷,第182~183页,北京,商务印书馆,1976。

③ 梁启超:《清代学术概论》,见石峻等编:《中国佛教思想资料选编》,第三卷第四册,第106页,中华书局,1990。

参考书目

1. 贝尔纳:《历史上的科学》,伍况甫等译,北京,科学出版社,1959。
2. 吴国盛:《科学的历程》(上、下),长沙,湖南科学技术出版社,1997。
3. 赵敦华:《基督教哲学 1500 年》,北京,人民出版社,1994。
4. 乔治·萨顿:《科学的生命》,刘珺珺译,北京,商务印书馆,1987。
5. R. 霍伊卡:《宗教与现代科学的兴趣》,钱福庭、丘仲辉、许列名译,成都,四川人民出版社,1991。

第七讲

伊斯兰文明对科学的贡献

如果把阿拉伯人放在他们自己所处的环境中,并且把他们的成就与其他中世纪成就相比较,阿拉伯人显然大大地领先。我们可以说,从八世纪中叶到十一世纪末,操阿拉伯语的人民(其中确实也包括许多犹太人和基督徒)走在人类的最前头。由于它们阿拉伯语不只是《古兰经》的神圣语言和表达上帝本身思想的工具,而且成了科学的国际性语言,人类进步的手段。

——乔治·萨顿《科学的生命》

伊斯兰文化是指7世纪伊斯兰教兴起后,崛起于阿拉伯半岛,建立在横跨亚、非、欧三洲的阿拉伯帝国统治下多民族所开创的文化。通常所谓伊斯兰国家的科学也指阿拉伯科学。在伊斯兰国家和地区,科学文化的发展是许多民族共同创造的成果,他们包括阿拉伯人、波斯人、花拉子模人、塔吉克人、希腊人、叙利亚人、摩尔人和犹太人,等等。对于这一时期这一文化区域的科学,难以用准确的词语来概括。正像伊斯兰教是这一文化圈的主要宗教一样,阿拉伯文也是其官方语言文字。由于当时的科学著作大都是用阿拉伯文撰写的,因此一般也称为阿拉伯科学。而伊斯兰文化圈中各民族的学者也常常被统称为阿拉伯人。

阿拉伯半岛位于亚洲西南部,境内除少部分为绿洲外,大部分地方为沙漠,土地贫瘠,气候干燥。早期,除绿洲上的少数居民从事农业外,大多数阿拉伯人过着原始游牧部落式的生活。公元五、六世纪期间,阿拉伯半岛盛行多神崇拜,各部落间战争连绵不断。由于东西商路改道,社会经济日趋衰落,各部落迫切要求改变这种社会状况和实现政治统一。伊斯兰教的创立对阿拉伯民族的统一起了重要的作用。伊斯兰教的创始人穆罕默德(Muhammad,约570—632),出生于阿拉伯半岛西部麦加城的一个没落贵族家庭,早年曾随商队到过叙利亚等地,后来回到麦加城经商。公元610年,他在麦加开始创传以信仰一神为中心的伊斯兰教。后因遭到多神教徒的反对和迫害,于公元622年秘密出走麦地那。他在那里组织了一个接受伊斯兰教的阿拉伯部落联盟,号召所有伊斯兰教徒——穆斯林,不分部落,都是兄弟,使各部落的人超越血缘的狭隘界限以共同的信仰为纽带团结起来。伊斯兰教就这样在阿拉伯半岛创立并得到迅速传播,成为团结阿拉伯人的主要力量。

伊斯兰教兴起后,阿拉伯部落很快统一,形成了一个强大的军事力量。在“与异教斗

争”的神圣口号下,迅速向东方和西方的富饶国家入侵,并在被征服的国家里推行了伊斯兰教。穆罕默德的继承人称为哈里发,是集宗教、军事、政治大权为一身的国家首领。第一任哈里发建立起了统一的阿拉伯国家。不到一个世纪的时间,阿拉伯人就占领并统治了几乎整个比利留斯半岛、所有地中海沿岸的非洲国家、近东地区、高加索和中亚细亚,形成了一个幅员辽阔的阿拉伯大帝国。其第一个王朝倭马亚王朝(661—750)的建立,标志着阿拉伯世界的征服事业告一段落,进入内部整合、发展阶段。倭马亚王朝在我国历史上称之为白衣大食国。公元750年,这一王朝又被推翻,取而代之的是阿拔斯王朝。我国历史上称之为黑衣大食国。不久,前朝后裔又在西班牙建立了一个独立王国——后倭马亚王朝,形成东、西两个帝国,我国历史上称之为东大食和西大食。东大食的首都是巴格达(Bogdad),西大食的首都是科尔多瓦(Cordova)。

阿拉伯人在建立起强大的国家后,很快就关心起文化和科学来。东、西两个帝国都很重视发展科学事业。东帝国首都巴格达是当时除中国以外的世界科学文化中心,那里设有学院、图书馆、天文台等机构。阿拉伯人的科学文化起点虽然很低,但他们注意保存和吸收被征服地区的文化,在短时期内赶上了世界先进水平。在阿拉伯帝国的统治下,被征服的民族很快转向伊斯兰教。同时,阿拉伯语很快成为各国通行的语言,在知识界成为学术交流的工具,这和中世纪西方各国把拉丁语作为通用语言一样。阿拉伯帝国辽阔的疆域包括不少古代文明的发祥地,又与中国、印度、罗马等文化昌盛的大国接壤。在继承和交流科学文化的基础上,阿拉伯人和帝国境内其他各族人民共同创造了新的、别具一格的文化,对人类文明作出了重大贡献。

阿拔斯王朝的前几代哈里发积极支持和提倡科学研究,很多杰出的科学家被召到巴格达,许许多多希腊及印度的天文学、数学、医学著作被译成阿拉伯文。第二代哈里发阿尔-曼苏尔(Al-Mansur, 712—775)曾邀请印度数学家到巴格达,不少印度数学书被译成阿拉伯文,印度数码就是这时被引入阿拉伯数学。第四代哈里发阿尔-马蒙(Al-Mamun, 786—833)是一位科学爱好者,他创立了一个名为“智能馆”的学术机构,附设有藏书丰富的图书馆,还附设一座天文台。这里是自公元前3世纪亚历山大博物馆之后最重要的学术机关,云集了来自不同地区的学者和翻译家。在马蒙的直接支持下,托勒密的天文数学著作《至大论》、欧几里得的《几何原本》等被译成阿拉伯文。阿拔斯王朝还与东罗马的希腊人建立了联系,从拜占庭收买到许多希腊手稿,并译成阿拉伯文。从8世纪至9世纪中叶,大批古代科学书籍被译成阿拉伯文,其中包括欧几里得、阿基米德、阿波罗尼、海伦、托勒密和丢番图等人的著作。有些著作以后又被多次翻译,不少文献被重新校订、勘误、增补和注解。阿拉伯文译本使大量希腊科学文献得以保存,后来希腊原著大多散佚,欧洲人是在阿拉伯人那里重新发现古希腊学术的。就这样,东西方的科学文化被融合在一起,出现了一个学术繁荣时期。

阿拉伯人在引进希腊科学与印度科学的同时,也开始了自己的研究工作。马蒙时

期,就有学者写了数学和天文学著作,代表人物是花拉子模,他的代数和算术著作在 12 世纪被译成拉丁文,对欧洲数学产生了很大影响。此后又涌现出不少著名天文学家和数学家,如阿尔-巴塔尼、阿布尔·维法、阿尔-比鲁尼、奥玛尔·海雅姆等,他们分别在三角、算术、代数等方面作出了重要贡献(图 7-1)。

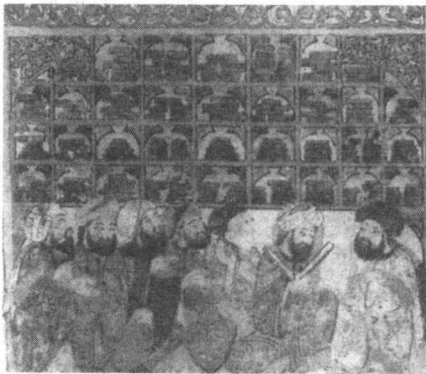


图 7-1 巴格达某书店内的情景

从 9 世纪起,阿拉伯帝国内出现了许多独立的封建政权。从阿拔斯王朝最早分裂出去的国家是建立在中亚细亚地区的萨曼王朝(819—1005),它以布哈拉为政治和科学文化中心。这一王朝持续了约 200 年的时间,这期间涌现出众多的优秀学者和科学家,其中最杰出的代表人物是大科学家阿维森纳(Avicenna, 980—1037)。

公元 10 世纪初,在突尼斯一带建立了法提玛王朝(Fatimid, 909—1171 年),我国历史上称之为绿衣大食。这个王朝在阿尔-哈基姆(Al-Hakim)统治时期于 10 世纪末迁都埃及开罗后,在开罗形成了一个伊斯兰科学中心。在那里工作过的著名科学家有天文学学家伊本·尤努斯(Ibn Yunis, 1009 年卒)和物理学家阿尔-哈曾(Al-Hazen, 965—1038)。此外,后倭马亚王朝在 10 世纪也迎来了它的全盛期,以科尔多瓦为中心的科学文化十分繁荣。10 世纪前后,在伊斯兰文化圈形成了数个文化中心,科学技术的发展非常显著。

公元 1055 年塞尔柱土耳其人占领巴格达。公元 1000 年到 1300 年之间,基督教十字军东侵,把穆斯林逐出圣地。13 世纪初,成吉思汗率蒙古部队西征。13 世纪中叶,成吉思汗之孙旭烈兀再次率兵西征,占领了原来阿拉伯哈里发在亚洲的所有领土。1258 年,旭烈兀攻入巴格达,并建立了伊儿汗国。旭烈兀攻占巴格达后,在附近的马拉加城建立了一座规模很大的天文台,由著名天文学家兼数学家纳速拉丁主持工作。14、15 世纪出现了另一个蒙古帝国——帖木耳帝国。蒙古统治者在征服这些地区后,自己也皈依了伊斯兰教,自然也接受了阿拉伯文化。帖木耳帝国的首都撒马尔罕是当时伊斯兰国家的科学中心,这里聚集了很多有名的天文学家和数学家。其中最杰出的数学家是阿尔·卡西。他在算术、代数、三角、几何等方面都有贡献。

从 12 世纪开始,阿拉伯科学连同希腊科学一起经北非的地中海沿岸逐渐传入西班牙和欧洲,对欧洲数学的发展产生了重要影响。古希腊的原著失传后,它们的阿拉伯文译本成为欧洲人了解希腊数学的主要源泉,因此阿拉伯人在保存和传播古代科学遗产方面作出了重大贡献。与此同时,阿拉伯人自己也开创了一个独具特色的伊斯兰科学文化的时代。到 11 世纪,形成了大马士革、撒马尔罕、开罗、西西里、科尔多瓦等多个伊斯兰科学文化中心,学者辈出,百家争鸣,创造了庞大的学术文化体系,他们出

色的科学工作使欧洲人大开眼界。阿拉伯人在东西科学交流中扮演了特殊的角色,中国和印度古代科学技术的不少重要成果在中世纪传入阿拉伯世界,并通过阿拉伯再传入欧洲,对欧洲近代科学的兴起发挥了重要作用。因此,阿拉伯科学在世界科学史上占有重要的位置。

一、阿拉伯的数学

8、9 世纪是阿拉伯数学的翻译时期。首先被翻译的重要著作是欧几里得的《几何原本》,不久,印度数学家婆罗摩笈多的著作被译成阿拉伯文,随后,阿基米德、阿波罗尼奥斯、门纳劳斯、海伦、托勒密和丢番图等许多希腊学者的数学著作先后被译成阿拉伯文。在翻译过程中,许多典籍文献被重新校订、考证和增补,这样,大量的数学知识得以保存和进一步传播,从而使古代数学文化遗产重获新生。

十进制位值记数法的传播与阿拉伯世界也有着密切的关系。阿拉伯人原来只有数词,没有数的记号,在征服埃及和叙利亚之后才使用希腊字母记数法。8 世纪末,印度数码、十进位值制记数法及算术运算传入伊斯兰世界。因为当时印刷术还没有发明,书籍全用手抄,字体因人因地而异,出入很大。在埃及、叙利亚和伊朗等国形成了东阿拉伯数字,而在比利留斯半岛一带形成了西阿拉伯数字。12 世纪以后,两种形式逐渐合流(以西阿拉伯数字为主体),并开始传入欧洲,又经过几百年的演变,这种数字成为现今我们使用的阿拉伯数字。印度数字及其记数法主要是通过著名数学家花拉子模的算术著作传入欧洲的。

阿拉伯数学在经历翻译时期之后,进入了兴盛时期。出现了许多位著名的数学家,其中花拉子模是阿拉伯第一位伟大的数学家。他出生于花拉子模城(现乌兹别克共和国黑瓦城附近),应阿尔马蒙之邀到智能馆工作,并居住在巴格达。花拉子模一生著述较多,内容涉及数学、天文、地理、历史等方面,^①以数学和天文学成就最为突出。他的数学著作流传下来的只有《印度数字的计算法》及《还原和对消计算》两部。前者是一部用阿拉伯语在伊斯兰世界介绍印度数字和记数法的算术著作,我们今天唯一能见到的是 14 世纪中叶的拉丁文译本,收藏于剑桥大学图书馆。在这本书中,花拉子模叙述了十进位值制记数法及其运算法则,特别提出“0”号及“0”号在十进位值制记数法中的应用及其乘法性质,论述了分数运算法则。它以“Dixit Algoritmi…”开头,后人根据译文的内容,把它定名为《印度数字的计算法》。Algoritmi 本是花拉子模的名字,后来竟演变成表示任何系统和计算程序的“算法”的专业术语。

^① 高洪林:《中世纪阿拉伯大数学家阿尔-花拉子模》,载《中国数学史论文集》(三),第 145~151 页,济南,山东教育出版社,1987。

《还原和对消计算》(阿拉伯书名为 *al-jabr wa'l muqabala*, 约 825 年) 是花拉子模著名的代数学著作(图 7-2)。“还原”的意思是说在方程的一边去掉一项就必须在另一边加上这一项使之恢复平衡,“对消”是指把方程两端相同的项消去或合并同类项。12 世纪这部书被译成拉丁文,后被简称 *algebrae*,译为汉语即“代数学”,这就是代数学这门学科名

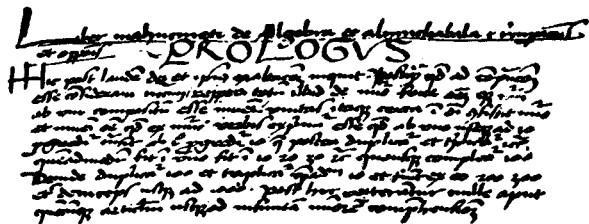


图 7-2 花拉子模的《还原和对消计算》拉丁文译本(1456 年)中的第一页

称的来源。《代数学》系统地讨论了一次或二次方程的解法,花拉子模讲述的解法程序相当于给出了求根公式,他还指出了其解法的普遍性。他已经知道二次方程有两个根,但只取正根。花拉子模给出了方程解法的几何证明,这些证明深受希腊几何学的影响。花拉子模还讨论了实际应用计算问题和阿拉伯民族特有的遗产继承问题。花拉子模的“还原”与“对消”作为数学的基本方法,被长期保留下来,他的工作为代数学指明了发展方向,因而被誉为“代数学之父”。代数学作为解方程的学说,在奥马·海雅姆的《代数学》中达到了新的高度。该书把一次、二次、三次方程加以分类,并规定了方程的次数以及它们的排列。还对三次方程作了系统的研究。海雅姆采用几何方法解决代数问题,认为只有圆锥曲线才能解三次方程。他明确地把代数学定义为解方程的科学,海雅姆的定义一直保持到 19 世纪末。阿拉伯人还解决了大量的不定方程问题。艾布·卡米勒就写过专门论述线性不定方程整数解的著作,讨论了方程有唯一解、无解和多组解三种情形。他所举的 6 个例子均以中国古代算书《张邱建算经》中百鸡问题的形式出现。印度 9 世纪的数学家也曾研究过百鸡问题。中国数学史家猜测,百鸡问题可能是从中国经印度传入阿拉伯国家的。

阿拉伯数学家在三角学方面也有重要贡献,他们在印度人和希腊人工作的基础上发展了三角学。他们引进了几种新的三角量,揭示了它们的性质和关系,建立了一些重要的三角恒等式,给出了球面三角形和平面三角形的各种解法,编制了更为精密的三角函数表。土库曼学者哈巴士(Habash al-Hasib,约卒于 870 年)最早把正切和余切作为直角三角形两条直角边的比来研究。他利用日晷仪确定了正切和余切的值,制造了每隔 1 度的正切表和余切表。哈巴士之后,最重要的是巴塔尼和比鲁尼的工作:巴塔尼发现了球面三角中重要的余弦定理,给出了平面各种斜三角形的解法等;比鲁尼在他的天文学著作《马苏德天文学和占星学原理》(1030)中给出了三角学的独立篇章,对三角学的内容和

方法加以总结。系统而完整地论述三角学的著作是由 13 世纪学者纳速拉丁完成的,他的《论完全四边形》在三角学史上具有重要意义,它非常完整地建立了三角学的系统,从基本概念开始论述到所有类型问题的解法,并特别指出了球面三角与平面三角的重要差异。这部著作使三角学脱离天文学而成为数学的独立分支,它对三角学在欧洲的发展有很大影响。一般认为,德国数学家雷格蒙塔努斯的工作是欧洲三角学的开始,但他的著作比纳速拉丁要晚两个世纪。

阿拉伯在几何学方面的成就不及代数和三角。尽管欧几里得《几何原本》被译成阿拉伯文并经过一些学者的注释,但希腊几何学严密的逻辑论证没有被很好地接受。其中有两项几何学工作值得称道:一是塔比·伊本·库拉、奥马·海雅姆和纳速拉丁等学者对平行公设所做的研究推动了平行线理论的发展,他们的工作在非欧几何学前史中占有重要位置;另外一项是海雅姆所创立的用圆锥曲线来解三次方程的几何方法,其实质是把代数与几何结合起来解决问题,可视为解析几何学的先驱性工作。

纳速拉丁之后,伊斯兰世界最杰出的数学家是阿尔·卡西。他的《算术之钥》和《圆周论》是两部重要的数学著作。前者详细论述了十进分数的理论,并得到了任意自然数幂的二项式展开式。而后者中给出了圆周率 π 的十分精彩的计算程序,结果精确到 17 位数字,这是当时世界上最好的 π 值纪录。

二、阿拉伯的天文学和物理学

阿拉伯天文学也称伊斯兰天文学,一般是指公元 7 世纪伊斯兰教兴起后直到 15 世纪左右各伊斯兰文化地区的天文学。阿拉伯人早期除了接受了巴比伦和波斯的天文学遗产以外,还引进了印度的天文学,编制星表是最主要的工作。阿拔斯王朝时期翻译了托勒密著的《至大论》等希腊天文学书籍,奠定了进一步发展的基础。

9 世纪前期阿拔斯王朝在巴格达建立了天文台,著名天文学家法干尼等在那里工作。法干尼著有《天文学基础》一书,对托勒密学说作了简明扼要的介绍。贾法尔·阿布·马舍尔著有《星占学巨引》,后来在欧洲传播甚广,是 1486 年奥格斯堡印刷的第一批书籍之一。塔比·伊本·库拉发现岁差常数比托勒密提出的每百年移动一度要大;而黄赤交角从托勒密时的 $23^{\circ}51'$ 减小到 $23^{\circ}35'$ 。把这两个现象结合起来,他提出了进动理论(the theory of trepidation),认为黄道和赤道的交点除了沿黄道西移以外,还以 4° 为半径,以 4000 年为周期,作一小圆运动。为了解释这个运动,他又在托勒密的八重天(日、月、五星和恒星)之上加上了第九重。塔比·伊本·库拉的进动理论,曾为后来许多的穆斯林天文学家所采用,但是他的继承者巴塔尼倒是没有采用。现在知道这种理论是错误的。

阿尔-巴塔尼(Al-Battānī, 约 858—929)是伊斯兰世界最伟大的天文学家。他生于美索不达米亚西北部哈兰附近,卒于今巴勒斯坦境内的基斯堡。巴塔尼的家族信奉萨比

教,熟知天文学和占星术。他本人从 877 年开始在拉卡城做过长达 41 年的天文观测工作,并据此改进了古希腊托勒密《至大论》中的若干数据。他的最著名的发现是太阳远地点的进动。他的全集《论星的科学》被译为多种文字在欧洲广泛流传。他用三角学取代几何方法,改进了托勒密的天文计算,在球面三角学方面有重要贡献。^① 书中的天文成就包括较精密的年长度、季长度、黄赤交角及岁差的值、地球远日点的运动等,指出发生日环食的可能性,这些成果被哥白尼大量吸收到《天体运行论》中。他在天文计算中引入正切和余切概念。将一根杆子立在地上,日影长度叫“直阴影”,将杆子水平插在墙上,则杆在墙上的阴影叫“反阴影”,这两个词演变成余切和正切。他用半弦代替古希腊人的整弦,制作了 $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 相隔 1° 的正弦表和余弦表(约 920 年)。

比巴塔尼稍晚的苏非所著《恒星图象》一书,被认为是伊斯兰观测天文学的三大杰作之一。书中绘有精美的星图,星等是根据他本人的观测画出的,因而它是关于恒星亮度的早期宝贵资料,现在世界通用的许多星名,如 Altair(中名牛郎星)、Aldebaran(中名毕宿五)、Deneb(中名天津四)等,都是从这里来的。此后的著名天文学人物是阿布·瓦法,他曾对黄赤交角和分至点进行过测定,为托勒密的《天文学大成》写过简编本。

1272 年,伊尔汗国建立马拉盖天文台(在今伊朗西北部大不里士城南),并任命担任首相职务的天文学家纳速拉丁·图西主持天文台工作。这个天文台拥有来自中国和西班牙的学者,他们通力合作,用了 12 年时间,完成了一部《伊尔汗历数书》(也称《伊尔汗天文表》)。中国元朝商企翁、王士点撰的《秘书监志》中有“积尺诸家历”,^②指的就是各种阿拉伯历数书或天文表。《伊尔汗历数书》中测定岁差常数为每年 $51'$,相当准确。纳速拉丁对托勒密体系进行了批评,并提出了自己的新设想:用一个球在另一个球内的滚动来解释行星的视运动。100 多年后,帖木儿的孙子乌鲁伯格又在撒马尔罕建立一座天文台。乌鲁伯格(Ulugh Beg, 1394—1449)是一位出色的天文学家。他在天文台安装了半径达 40 米的巨型象限仪和其他仪器。在他的领导和参加下,对 1000 多颗恒星进行了长时间的位置观测,据此编成了《新古拉干历数书》(今通称《乌鲁伯格天文表》),这是托勒密以后第一种独立的星表,代表了 16 世纪第谷以前最高的天文观测水平。

在法提玛王朝工作过的最著名的天文学家是伊本·尤努斯(Ibn Yunis, 1009 年卒),他编撰了《哈基姆天文表》,其中不但有天文观测数据,而且有计算的理论和方法。书中汇编了自 829 年至 1004 年间阿拉伯天文学家和他本人的许多观测记录。包括 977 年和 978 年他在开罗所作的日食观测和 979 年所作的月食观测,为近代研究月球的长期加速

① 伊東俊太郎:《文明における科学》,第 94 页,东京,劲草书房,1976。

② 商企翁、王士点《秘书监志》卷七“回回书籍”。

度提供了重要天文学资料。他还用正交投影的方法解决了许多球面三角学的问题。

后倭马亚王朝最早的天文学家是科尔多瓦的查尔卡利。他的最大贡献是于1080年编制了《托莱多天文表》。这个天文表的特点是其中包括有关仪器结构与用法的说明,特别是对阿拉伯人特有的仪器——星盘有详细的说明。《托莱多天文表》还对托勒密体系作了较大的修正,以一个椭圆形的均轮代替水星的本轮。由此引发了反托勒密的思潮,这种思潮由阿芬巴塞发端,为阿布巴克尔和比特鲁吉所继承。他们反对托勒密的本轮假说的理由是,行星必须环绕一个真正物质的中心体,而不是环绕一个几何点运行。因此,他们就以亚里士多德所采用的欧多克斯的同心球体系作为学说基础,提出一种旋涡运动理论,认为行星的轨道呈螺旋形。其后,信奉基督教的西班牙国王阿尔方斯十世,于1252年召集许多阿拉伯和犹太天文学家,编成《阿尔方斯天文表》。也有学者认为这个表基本上是《托莱多天文表》的新版。

与此同时,中亚一带的伊斯兰天文学家阿尔-比鲁尼提出了地球绕太阳旋转的学说。比鲁尼(Al-Birūnī, Abū Rayhān Muhammad ibn Anmad, 973—1050)生于咸海南部的花拉子模(今属乌兹别克斯坦),卒于伽色尼(今阿富汗加兹尼)。曾随天文学家艾布纳苏学习,17岁即开始从事测量工作,并制作了一些测量工具。测量内容包括各地的纬度、月食、地球大小等。后来又到处旅行和居住,认真整理和总结过当地的科学成就,特别是数学方面的成果。他在写给著名医学家、天文爱好者阿维森纳的信中,曾经说到行星的轨道可能是椭圆形而不是圆形。14世纪大马士革的天文学家伊本·沙提尔在对月球运动进行计算时,更是抛弃了偏心均轮,引进了二级本轮。后来哥白尼在对月球运动进行计算时,所用方法与此一致。阿拉伯天文学家们处在托勒密和哥白尼之间,在世界天文学史上起了承前启后的作用。

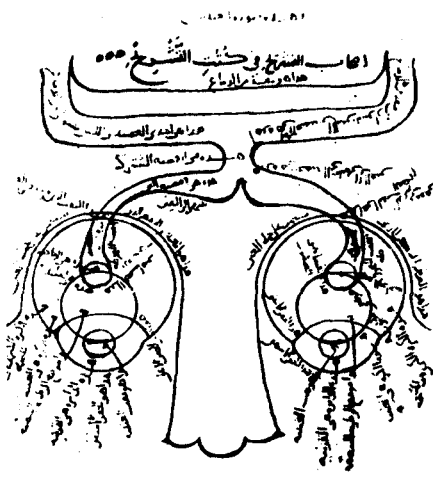


图 7-3 《论光学》中的一页

伊斯兰科学家在物理学方面的工作主要是在光学方面,其中成就最为突出的是阿尔-哈曾(Al-Hazen, 965—1038)。阿尔-哈曾是从伊拉克的巴士拉来到埃及为法提玛王朝工作的学者,曾与伊本·尤努斯同时在开罗从事科学活动。他留下了许多天文学和光学著作,其中最重要的是《论光学》一书(图7-3)。该书增进了有关眼球构造和视觉光学原理方面的知识。阿尔-哈曾反对欧几里得、托勒密和其他一些学者关于人的视觉的学说。对于人眼观察物体,以往人们普遍认为,人能看到物体,是因为眼睛发出光线经物体又反射了回来。阿尔-哈曾指出,光线来自所观察的物体而不是眼睛,人的眼睛并不发射光线,人

所以能够看到物体,是因物体反射了太阳光线到人眼。阿尔-哈曾的这一认识在光学史上无疑是重要的突破。

《论光学》一书还讨论了透镜成像原理,他对放大镜的实验研究实际已接近了凸透镜的近代理论。他研究了球面像差、透镜的放大率、反射与折射以及大气光学现象。对于光的一般折射现象,他指出,托勒密给出的在给定接口上入射角与折射角成正比的定律,只是在小角度的情况下才是正确的。^①

阿尔-哈曾的著作后被译成拉丁文,通过 R. 培根和开普勒的介绍,对欧洲科学的发展产生了很大的影响。

与阿尔-哈曾同时代的一些伊斯兰学者也有一些物理学方面的工作。如阿尔-比鲁尼曾测量过一些宝石和金属的比重,在他的书中留下了金、银和宝石等 18 种固体的比重测定值。12 世纪的物理学者阿尔-哈吉尼(Al-Khazini)比较准确地测定了金(19.05)、水银(13.56)、铜(8.66)、铁(7.74)、锡(7.32)、铅(11.32)和温水(1.00)、热水(0.958)、冰点冷水(0.956)、海水(1.041)及人血(1.033)的比重。^② 阿尔-哈吉尼原为奴隶,被解放出来成为学者,是一位出色的天文学家。他的物理工作除了比重测定外,在毛细管现象、杠杆原理、时间测量和重力理论等方面均很有建树。

三、阿拉伯的炼金术与化学

早期的实用化学主要与炼金术和冶金、制药等技术有关(图 7-4)。阿拉伯炼金术出现在 8 世纪阿拔斯朝,最初从不同来源获得有关的知识。由于西方古希腊文化和东方中国、印度等的文化这时都输入了伊斯兰世界,因此,阿拉伯炼金术既受到希腊哲学、炼金术以及波斯的学术思想影响,也受到了中国炼丹术的影响。炼金家主要目标都是要把贱金属变为黄金,或要炼成能医一切疾病的“仙丹”。尽管他们的钻研以失败告终,两个目标无法实现,但却因此得到许多可靠的化学知识,并发现了许多有用的药品。炼金术经阿拉伯炼金家之手,被发展成为实用化学,并对欧洲中世纪后期的化学发展产生了直接的影响。

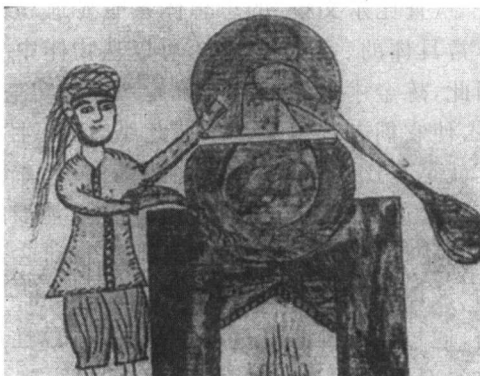


图 7-4 阿拉伯人的炼金炉

① 矢岛佑利:《アラビア科学の話》,第 110~111 页,东京,岩波书店,1974。

② 矢岛佑利:《アラビア科学の話》,第 114 页,东京,岩波书店,1974。

后世的阿拉伯炼金术士一般认为他们的开山始祖是哈利德·伊本·牙兹德(Khalid ibn Yazid)。史书记载,牙兹德是倭马亚王朝的一位王子,生卒年代大约是公元665—704年,但关于他的工作只是一些传说,缺乏史料依据。阿拉伯早期炼金术的真正代表人物应当是查比尔-伊本-哈扬(Jabir-ibn-Hayyan,约721—815)。哈扬是一位学识渊博的医生,著有《物性大典》、《七十书》、《东方水银》等书。他的这些著作为阿拉伯炼金术奠定了基础。后来穆斯林的伊斯梅利亚派编成了一部包罗万象的巨典——《查比尔文集》,据说是汇集了查比尔·伊本·海扬所写的各种著作。其中包括研究炼金术、占星术、宇宙论和神秘主义的著作。

《查比尔文集》包括炼金术理论和实践两方面的内容。其基本思想的渊源,可以追溯到亚历山大里亚的希腊炼金术士,甚至可以上溯到亚里士多德的学说。其中“物质”概念的基础,就是基于亚里士多德的冷、热、干、湿四要素学说,组成物质的四要素的两两互相配合,便形成各种不同的金属,并使它们具有相应的特性。例如,黄金与白银的内质是冷和干,只要使白银内质中的冷干比例调整得与黄金一样,就能使它变成黄金。要想实现这结果,必须使用所谓的“点金药”。“点金药”这种东西,在希腊书中从未提到过,而中国炼丹家却经常谈到它。在中国炼丹术中,制取“点化药”正是其主要目标之一。由此可知,中国炼丹术和希腊炼金术在伊斯兰世界融合了起来。考虑到中国炼丹家认为硫磺属“阳”,水银属“阴”;而希腊哲人认为硫磺含有热和干的内质,水银含有冷和湿的内质,所以查比尔提出硫和水银是构成各种金属甚至于各种物质的基本成分。

《查比尔文集》的思想体系明显地超越了亚里士多德的学说。认为四大要素都是非常具体的、实在的性质,可以从物体中分离出来,按一定比例结合,可再次形成物体。因此,炼金术士的任务被确定为:测定它们在物体中所占的比例,设法将它们提炼出来,使它们各以适量数量彼此结合,以生成他们预期得到的产物。所以这些“素”实质上就是查比尔追求的“点金药”。查比尔设法从物质实体中游离出四要素所采取的手段是蒸馏。这是查比尔炼金术直接涉及的化学操作。查比尔的著作中论述了对一大批动物性物料的分解蒸馏。他注意到这类物质被蒸馏的结果几乎总是生成气体、易燃物、液体和灰烬,结果正与气、火、水、土一一对应,与四元素观念正相吻合。所以他相信,通过连续的蒸馏过程,就能将各种性质要素即“点金药”分离出来。既然将这些纯粹的要素按适当数量互相结合即可得到预期的物质,也可用来调整某物质中各要素的比例,使之转变成另一物质,所以查比尔认为这些“纯素”是可用来“治疗患病的”金属,亦即不完美的金属,使之达到黄金的完善程度。他做了大量实验,企图实现将普通金属转变为贵金属。

查比尔-伊本-哈扬对硫和汞的研究达到了很高的水平,他提出了所有的金属皆能由硫和汞按不同比例组成的炼金学说。他一生从事炼金术和医学研究,注意实验技术的研

究,改进了古代的煅烧、蒸馏、升华、熔化和结晶等方法。他的工作丰富了金属、矿物、盐类等方面的知识。他的大量著作(包括许多冒名的拉丁文著作)传入欧洲,对中世纪欧洲的发展有着较大影响,一直到17、18世纪近代化学开始时仍在流传。

伊斯兰炼金术方面的第二位大师是阿尔·拉兹(Al·Razi,865—925)。他是波斯人,拉丁名叫拉茨(Rhazes)。他是一位杰出的伊斯兰医生,其大部分著作是有关医学方面的,但他也非常关心炼金术和化学,在研究中运用了前所未见的研究方法。他这方面的著作以《秘典》(也译作《秘中之秘》)最为驰名,该书实为一部关于化学工艺制作、配方的书。虽然他也相信金属可能相互演变,但他首先是一位重视实际的化学家。该书共分3部分,分别讨论了物质、仪器和方法。对物质的分类法与查比尔大体相似。书中载有各类物质的大量配方,例如由硫磺、石灰合成多硫化钙,由苏打和生石灰制造苛性钠及氨水,非常翔实,是化学史上的珍贵资料。阿尔的著作中对炼金术士使用的仪器设备作过详细地介绍,其中包括风箱、坩埚、勺子、铁剪、烧杯、平底蒸发皿、沙浴、焙烧炉、锉等等。他的著作对后世阿拉伯和欧洲炼金家都有很大影响。

与查比尔·伊本·哈扬和阿尔·拉兹都认同金属衍变具有现实的可能性有所不同,10世纪伊斯兰世界杰出的医生阿维森纳对金属衍变说持否定观点。他认为不可能使金属的种类发生任何真正的转化,只能造出出色的仿制品。炼金家可能除去金属的大部分缺陷和杂质,但那种染了色的金属实质上并没有发生变化,只是由于那些外来的性质在金属中占了优势。阿维森纳对许多化学现象进行过研究,其观测资料被收录于《医药手册》一书中。他探讨了矿物的分类,把它们划分为岩石、可熔物、硫和盐四大类。水银被划入可熔物,即金属类,并认为“它是有延展性物体的基本成分”,“因为所有金属都可以熔化为水银”。按照他的见解,一切金属都是由水银和硫磺及决定金属本质的其他成分所组成;水银是金属的精英,硫使金属外观有可变性。

伊斯兰世界的炼金术与中国古老炼丹术之间,存在着许多相似之处,以制作可使人“长生不老”、同时又具有“点铁成金”效能的药剂“神丹”为目的,是中国炼丹术的特点,金属可以互相“转化”,也是中国古代炼金家的基本理论。阿拉伯炼金术士所追求的耶黎克色(elixir)或哲人石,正与中国炼丹家所追求的“神丹”相同,而他们也同样相信金属可以互相转化,不过把古希腊的物质组成学说加上,用以解释“转化”的机理而已。此外,阿拉伯炼金术所用的药品大部与中国炼丹术相同,并且使用“中国金属”(khar sini)、“中国铜”、中国产的输石(tutia),以及中国使用已久而不为西方所知的硝砂等物,这些事实也证明阿拉伯炼金术曾经直接受到中国炼丹术的影响。

伊斯兰炼金术在10世纪又有了很大的进展,后来传到科尔多瓦哈里发王朝统治下的西班牙,在那里出现了一批炼金术士,并写了不少有关炼金术的书。从这些炼金术著作来看,他们的工作已出现原始的化学定量倾向。11—13世纪,虽然伊斯兰炼金

家继续写了不少著述和古典的注释,但并没有为炼金术增加多少新的内容。这时由于神秘主义思想盛行,阿拉伯人未能把炼金术发展成为一门真正的科学。但是,他们把这门古老的方术传入了欧洲,在那里经过一番传播和发展后,成为近代化学发生和发展的基础。

四、阿拉伯的医药学

阿拉伯民族很早就民间流行一些放血和药物疗法,但尚未形成一门学问。阿拉伯医学是在继承希腊和印度医学的基础上发展起来的。像阿拉伯的其他学问一样,阿拉伯的医学工作也是开始于翻译活动。阿拔斯王朝时期,希波克拉底和盖仑的医学著作与其他一些希腊医药学著作被译成了阿拉伯文。当时,主持医学翻译工作的是著名学者休南伊本·依沙克(Hunain Isaq, 809—873)。依沙克本人也写了许多著作,其中最负盛名的是《医学问答》。阿拉伯早期的医学也受到印度医学的影响。9世纪的阿利-伊本-塔巴利(Ali-ibn-Tabali)在9世纪中叶写了一部名为《智能的乐园》医书。这是早期的医学百科全书之一,其中有两章的内容介绍印度医学和药理学。

公元10世纪前后伊斯兰世界的医学进入了繁荣时期。这一时期出现了大批卓越的医学家和医生,他们的工作显示出了创新精神和独立性。阿尔·拉兹是其中的杰出代表人物之一,我们对他在炼金术和化学方面的工作已有介绍。阿尔·拉兹流传下来的医学著作有三部非常重要。第一部是有关实用医学的百科全书式著作《医学集成》,西方文献称之为《全书》。这是一部巨著,包括了10世纪伊斯兰世界的各种知识,对当时新的医学知识和医疗经验作了比较系统的总结。第二部著作是《献给阿尔曼苏的医书》,内容分为十篇,讨论了各种重要的医学内容。其中有两篇尤为重要,第七篇论述一般外科,第九篇论述各种疾病的治疗,后来成为欧洲大学里医学生的标准读本,常与盖仑的医书合在一起刊印。第三部著作是论天花著作《说疫》,该书是最早从医学上对天花和麻疹进行正确区别的著作。阿尔·拉兹著作在几个世纪为东西方的医生所学习,并作为权威的经典加以引述。

在伊斯兰医学家中,对后世影响更大的是阿维森纳(Avicenna, 980—1037, 图7-5)。他是中世纪伊斯兰世界最伟大的医生,也是世界医史上杰出的医生之一。他最著名的医学著作是《医典》,12世纪由西班牙人杰拉德译成拉丁文,经犹太学者注释后,流行于欧亚两洲。15世纪和16世纪曾多次出版,长期被阿拉伯语国家和欧洲医校采用为教材,并不断被传播和引用,成为医药学的经典。

阿维森纳原名伊本·西拿。980年生于布哈拉附近的哈梅森(在今乌兹别克),1037年卒于哈马丹(在今伊朗)。他自幼受到良好教育,18岁在医学界显露头角。因

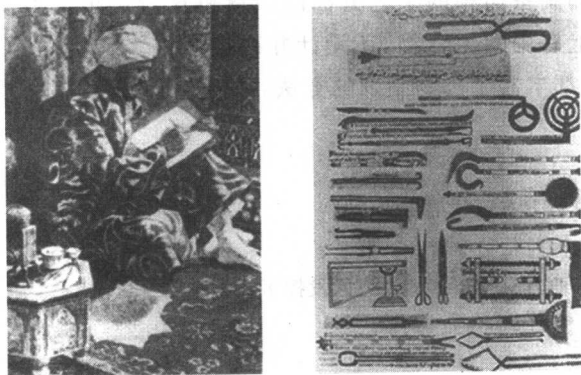


图 7-5 阿维森纳(左)和当时使用的外科用具(右)

治愈萨曼王朝努哈·伊本·曼苏尔王子的病,被获准使用皇家图书馆各种稀有书籍。阿维森纳博学多闻,除医学外,在哲学、文学、法学等领域都有成就。他一生历经几度兴衰,伽色尼的马哈茂德战胜萨曼王朝后,他流亡在外,曾任行政官员,曾被囚禁,几遭暗杀,仍坚持学术工作。一生的最后 14 年在伊斯法罕度过。终因生活放荡不羁和过度疲劳而去世。

阿维森纳一生著作甚丰,据说有 90 多种。其中最著名的是《医典》。该书约有 100 万字,分为 5 大卷,每卷内容又分若干章。第一卷总论,阐述了医学的定义与范围、健康失调与摄生等医学理论问题,并介绍了四行体液学说、解剖学、宇宙论和普通生理学等内容。第 2 卷论药物,包括草药的药性、药理和药物治疗学等内容。第 3 卷按身体部位叙述疾病和治疗方法,包括头痛、中风、偏瘫、癫痫等疾病,还涉及一些身体特殊部位的病理。第 4 卷论外科和全身疾病,介绍了外伤、神经损伤、骨折、脱臼、溃疡的治疗,还有发热的治疗。第 5 卷论药剂的制备和配合,记载了多种草药组成的复方,是较完整的方书。^① 医学理论主要还是以希波克拉底的四体液学说为基础,但就其医学内容看来,也吸收了东方的医学,如中国的医学和印度的医学。在治疗方面,阿维森纳很重视药物治疗,《医典》用了很大的篇幅讨论药物治疗问题。他不但采用了希腊、印度的药物,也收录了中国产的药物。他还采用了泥疗、水疗、日光疗法和空气疗法。在诊断方面,他很注意切脉,将脉搏区别为 48 种。药物学部分介绍了 760 多种药物的性能和用途。书中有大量化学方面的知识和论述,包括作者对矿物组成和金属组成的看法。他把矿物划分为岩石、可熔物、硫和盐四类;认为金属由硫、汞及决定金属本质的其他成分组成,汞是金属的精英,硫使金属外观有可变性。

① 朱明、王伟东:《中医西传的历史脉络——阿维森纳《医典》之研究》,《北京中医药大学学报》,2004(1)。

阿拉伯药物学和制备药物的工艺方面的成就也比较突出。不仅发现了许多对人类有用的物质和医疗上有用的化合物,还设计并改进了很多实验操作方法,如蒸馏、升华、结晶、过滤等。这些都丰富了药物制剂的方法,并促进了药房事业的发展。

思考题

1. 伊斯兰国家在科学上有哪些重要的贡献?
2. 近代欧洲科学与阿拉伯科学有什么联系?
3. 阿拉伯世界在东西方科学技术交流方面发挥了什么作用?

参考书目

1. 纳忠、朱凯、史希同:《传承与交融:阿拉伯文化》,杭州,浙江人民出版社,1993。
2. Encyclopedia of the History of Science, Technology, and medicine in Non-Western Cultures. Kluwer Academic Publishers, 1997.

第八讲

中国古代的科学技术及其世界意义

不闻不若闻之，闻之不若见之，见之不若知之，知之不若行之。学至于行之而止矣，行之明也。

——《荀子·儒效篇第八》

第一节 中国古代科学技术的世界发现

中华民族有 5000 年的文明史。16 世纪前，在一个相当长的历史时期内，中国古代科学技术持续稳步地向前发展，一直处于世界的先进行列，甚至某些学科居于领先地位。中国古代若干技术成就和科学知识曾传播到朝鲜、日本、印度、波斯、阿拉伯和欧洲，为世界文明的进步作出了重要贡献。

不过，由于中国的历史文化传统，科技成就多蕴藏在浩如烟海的古籍中，或者沉淀在文物中，或者传承于民间传统工艺中，曾经很长时间没有被揭示出来，不为世人所知。

早在 18 世纪时，欧洲一度兴起中国热，出版了不少介绍中国的著作，但是，西方汉学家的研究多侧重于文史，较少系统地介绍中国的科学技术。西方科学史家则不懂中文，对中国的科学技术并不了解。因此，大多数西方人只知道中国是造纸、印刷、罗盘、火药四大发明的发源地，此外似乎就没有什么重要的发明了。他们认为中国人只懂技术，没有可称之为科学的东西，近代科学起源于西方。他们也不相信中国科学对西方产生过影响。李约瑟(Joseph Needham, 1900—1995)博士为英国学者罗伯特·坦普尔(Robert Temple)的著作《中国：发明与发现的国度——中国的 100 个世界第一》作序时指出：尽管弗朗西斯·培根(Francis Bacon, 约 1214—约 1292)知道“造纸、印刷、火药、指南针这四项发明对于彻底改造近代世界并使之与古代及中世纪划分开来，比任何宗教信念、任何占星术的影响或任何征服者的成功所起的作用更大”，但是，“他至死也不知道所有这些都是中国的发明”^①。

曾几何时，中国人自己对古代的科学成就也不甚了了。1840 年鸦片战争后，中国长

^① [美]罗伯特·K. G. 坦普尔：《中国：发明与发现的国度——中国的 100 个世界第一》，英文版序言第 7 页，陈养正、陈小慧等译，南昌，21 世纪出版社，1996。

期落后挨打,一部分知识分子因而产生自卑心理,觉得中国在各种科学技术的发明上都不如西方,甚至认为什么也没有。即使到了20世纪50年代初,很多刚入校的理工科大学生在旧中国念完中学,也只知道古希腊数学家欧几里德及其几何学、阿基米德及其定律,却不知道中国古代科学家有谁。还有一部分读书人则走向另一个极端,妄自尊大,认为中国什么都有,“在古书里找到同西洋某种科学技术影似的一两句话,就加以穿凿附会,说这些东西中国早已发明过。甚至说西洋的许多发明都是由中国传去的”。^①

中国学者对古代科技文明的研究始自20世纪二三十年代。当时一批受过近代科学教育的科学家,如物理学家叶企孙(1898—1977)、数学家李俨(1892—1963)、钱宝琮(1892—1974)、气象学家竺可桢(1890—1974)、物理学家钱临照(1906—1999)、机械工程学家刘仙洲(1890—1975)、建筑学家梁思成(1901—1972)、化学家张子高(1886—1976)、水利专家张含英(1900—2002)等,开始分门别类地研究中国古代天文学史、数学史、物理学史、化学史、机械工程发明史、建筑史和水利史。这些科学家既懂近代科学,又有一定的国学基础。他们把近代科学体系、分类方法和研究方法与传统国学的文献考证、考古发掘和器物复原结合起来,从古文献中寻找中国古代的科学发现和技术发明。

从20世纪50年代开始,中国科学史研究开始进入体制化、职业化时期。1957年,中国科学院自然科学史研究室成立,1975年扩建为研究所。80年代起先后在中国科技大学等高校成立科学史教学和研究机构。

西方学者全面系统地研究中国古代科学技术,让世界了解中国古代科技文明,当首推英国皇家科学院院士李约瑟博士。他主编的多卷本英文版《中国科学技术史》(Science and Civilisation in China)从1954年开始由剑桥大学出版社陆续出版,被认为是20世纪完成的重大学术成果之一,他第一次以令人信服的史料和证据,全面而又系统地阐明了4000年来中国科学技术的发展历史,展示了中国在古代和中世纪科技方面的成就及其对世界文明所做的贡献。李约瑟主编的巨著分为七大卷,34分册,至今仍在陆续出版中。

可以说,正是李约瑟让世界了解了中国古代的科技文明。李约瑟研究所原所长何丙郁先生指出:中国老一辈科学家在20世纪二三十年代研究中国科技史的一切有关研究成果,并没有唤起国际学术界对中国科技史的注意,直到李约瑟主编的《中国科学技术史》第1、2、3卷相继问世,中国科技史才开始获得世界学术界的公认^②。

1982年,在比利时鲁汶大学召开了第一届中国科学史国际会议,此后连续举行。2004年8月,第十届中国科学史国际会议在哈尔滨工业大学举行。中国科学史国际会议成了各国学者交流研究成果的大舞台。

正是由于中外学者长期辛勤耕耘,中国古代科学技术的辉煌成就才逐渐被揭示出

① 刘仙洲:《中国机械工程发明史(第一编)》,第1页,北京,科学出版社,1962。

② 何丙郁:《李约瑟的成功与他的特殊机缘》,《中华读书报》,2000年8月9日,第24版。

来,而且研究越来越深入,从专史到通史,从内史到外史,众多的论著和研究成果大大方便了今天我们去了解中国古代的科学技术成就,也成为我们进一步研究中国古代科学技术史的重要基础。

第二节 中国古代科学技术的主要成就

李约瑟博士认为,西方学者研究中国科学技术史,必须具备六个条件:有一定的科学素养;很熟悉欧洲科学史;对欧洲科学发展的社会背景和经济背景有所了解;亲身体验过中国人民的生活;懂中文;得到中国科学家和学者们的广泛支持和指导。他觉得自己恰好具备了这些难得的综合条件。中国著名考古学家夏鼐先生(1910—1985)又补充了两个条件,即必须对中国考古学有所了解,还必须活到80岁以上。

对研究中国科学史来说,这些条件并不是绝对的。如果只是对中国科学史知识做一个大致的了解的话,就只需把握两条主线,即首先纵向了解中国古代科学技术的发展脉络及其阶段特点,然后横向了解各个学科发展的主要成就,就可以管窥中国古代科学技术发展的全貌。

一、中国古代科学技术的发展脉络

中国古代科学技术的发展开始于远古时代,至春秋战国时奠基,秦汉时形成体系,经过魏晋南北朝时的充实提高和隋唐五代的持续发展,宋元时达到了顶峰,明末出现了一批集大成的科技典籍,但至15世纪末开始比同时期的西方落后。各个时期科学技术发展的特点如下。

距今约180万年前,为史前时期。这一时期绝大部分时间属于旧石器时代,大约在距今1万年前过渡到新石器时代。打制石器、磨制石器、钻孔技术、农业技术、陶瓷制作、发明弓箭是这个时期的主要技术。

夏商周时期(约公元前21世纪—前770)是中国的青铜时代,青铜冶铸业成为当时最主要的手工业部门,所见出土这一时期的青铜器种类繁多,工艺高超。天文学、算学、农学和医学等科学知识也在孕育之中。“阴阳”、“五行”、“八卦”等学说开始出现,此后长期影响古代科学技术的发展。

春秋战国时期(公元前770—前221)是一个百家争鸣、百工争妍的时代,也是中国历史上科学技术发展的第一个高潮。铁器的使用和逐步推广,是这个时期生产力发展的重要标志,为农业和手工业提供了前所未有的高效率工具。牛耕和铁农具的使用,加快了农田开发和精耕细作传统的形成。手工业出现了冶铁业、煮盐业和漆器业等新行业,分

工细密,工艺和技术逐步规范化。诸子百家开始研讨天人关系、世界本原、天何不坠、地何不陷等问题,科学知识抽象的初步尝试也由此产生。

秦汉时期(公元前 221—220)是中国古代科学技术发展史上极其重要的时期,古代各学科体系开始形成,许多生产技术趋于成熟。这个时期普遍使用铁器,确立了主要的农作物品种及栽培技术,奠定了中药的本草学基础及中医的医疗原则,产生了历法的主要内容和宇宙理论,形成了以“九数”为骨干、以计算为中心的数学框架,并发明了造纸术。秦汉时期确立了此后近 2000 年间中国科学技术的基本框架、形态与风格。这一时期科学技术发展的一个特点是,中外科技文化交流开始兴起。

三国两晋南北朝时期(220—581)是一个古代科学家群星灿烂的时期。这个时期科学技术取得了一系列重大的进展,出现了一批著名的科学家。刘徽、祖冲之(429—500)、张子信发展并充实了数学、天文学体系;贾思勰著《齐民要术》,农学体系开始成熟;王叔和著《脉经》,皇甫谧(215—282)著《针灸甲乙经》,陶弘景(456—536)编《神农本草经集注》等,从不同侧面丰富了中医药学体系;裴秀(224—271)提出制图六体,创立了中国古代地图学的基本理论;马钧、葛洪(约 281—341)等人分别在机械、炼丹等方面取得了重大成就。

隋唐五代时期(581—960),特别是盛唐时代,是一个南北交汇、中外兼容的时代,属于中国古代科学技术发展的第二个高潮。隋代开通了闻名于世的南北大运河。唐代天文学家一行(673—727)组织了大规模的大地测量,在世界上首次运用科学方法测量了子午线的长度。中国第一部国家药典《新修本草》问世,杰出医学家孙思邈(581—682)编著了医学巨著《千金方》。雕版印刷和火药也已问世。同时,中外科技交流得到了前所未有的发展,为世界文明的发展作出了贡献。

宋元时期(960—1368),中国古代科学技术发展到了顶峰:指南针被用于航海;火药火器被用于战争;发明活字印刷术;筹算数学达到最高峰;建造集机械制造、天文历算、冶金铸造、建筑工程等多方面的科技成果于一体的水运仪象台;创制中国古代最为精密的历法《授时历》;医学分科更加细密,妇产科、小儿科、法医学、不同医学流派开始诞生。这个时期流传下来大批科技著作,如《木经》、《营造法式》、《农书》、《梓人遗制》、《武经总要》等。西方学者认为,宋元时期,中国已经具备近代工业革命的关键性因素:大规模生产和机械化^①。

明朝数学、天文学停滞不前,甚至倒退,但中医药、农学、技术等继续发展。李时珍(1518—1593)著《本草纲目》,徐光启(1562—1633)著《农政全书》,徐霞客(1587—1641)

^① 澳大利亚大学研究中国历史的教授马克·埃尔文发表《中国历史上为何未能实现工业革命》的论文,译文见于《参考消息》1999年9月1日第10版。这个时期发明的水转大纺车利用水轮驱动,可同时带动30~50余枚锭,纺麻产量比一般纺车提高30~50倍,已经具备了近代纺纱机器的雏形。

著《徐霞客游记》，为传统科学技术的综合和升华作出了重要贡献。明末清初（16 世纪末至 18 世纪初），从明万历到清康熙的 100 多年间，欧洲天主教耶稣会传教士受罗马教皇的派遣来华传教，也相继传入了西方的天文历法、数学、地学、物理学等近代科学知识和火炮制造技术。1582 年，意大利传教士利玛窦（Mattheoeus Ricci, 1552—1610）来华，可视为中国科学近代化起点的标志^①。但是，西方近代科学技术知识只在中国上层少数知识分子中间传播，并没有在社会上普及，为更多官员和民众所掌握。而清中叶实行文化专制和闭关自守政策，导致乾嘉学派大兴考据学，阻碍了近代科学技术的传播与发展。总体上，从明末到晚清，中国传统科学技术停滞不前，甚至倒退失传，落后于世界先进水平，与西方的差距越来越大。

二、中国古代科学技术的主要成就

关于中国古代科学技术的成就，前辈学者已经做了很多研究，取得了丰硕的成果。例如，刘仙洲先生通过长期的研究，证明在过去几千年里，中国有不少有价值的发明创造，而且发明年代都比较早。

在风力方面，中国在 3000 多年以前就发明了帆，900 多年前发明了风磨。在水力方面，2000 多年以前发明了水碓，1900 多年以前发明了水排，600 多年以前发明了水力纺纱。在热力方面，1200 多年以前发明了雏形的燃气轮，700 多年以前发明了用火药喷射力推进的火箭，14 世纪发明了雏形的飞弹，17 世纪初发明了雏形的两级火箭。在齿轮系传动方面，公元前 2 世纪发明了用齿轮系传动的记道车和司南车，1800 年以前张衡发明了采用齿轮系的天文仪器及自动指出每月日数的计时器，1200 多年以前一行和梁令瓚发明了更复杂的天文仪器和计时器，600 多年以前詹希元发明了与近代钟表相似的计时器^②。

又如，李约瑟博士站在世界科学史、比较科学史和中外科学交流史的高度，把中国科学文明置于世界史中应有的地位。他说：“我时常觉得，写出这样的一章文字，与在暗室红色灯光下显影观察照相底片非常相似。起先，看见的都是一片灰色的混乱状态，然后慢慢地明显起来，最后才出现了上千个精确细节。一旦图像变得清晰而且固定下来，人们就会情不自禁地对西方科学技术史家的反应觉得有些可笑。当中国人的优先权已被证实时，他们便都乖乖地打起退堂鼓来，说他们原来并不完全是那个意思。”^③他通过中西比较，从更广泛的角度证明，古代的中国人一点也不亚于希腊、罗马时代的欧洲人，在许

① 董光璧：《中国近现代科学技术史》，导言第 2 页，长沙，湖南教育出版社，1995。

② 刘仙洲：《中国机械工程发明史（第一编）》，第 129 页，北京，科学出版社，1962。

③ 潘吉星：《李约瑟文集》，第 30 页，沈阳，辽宁科学技术出版社，1986。

多领域甚至远在欧洲人之上;有些成就是从中国传到西方,中国古代科学是世界科学的一部分。

英国学者罗伯特·坦普尔在《中国:发明与发现的国度——中国的100个世界第一》一书中,分农业、天文学和制图学、工程技术、家庭用品和工业技术、医学和卫生、数学、磁学、物理学、运输和探索、声音和音乐、战争11大类,列举了100项世界第一的科学发现和技术发明。

总体说来,中国古代科学技术成就主要集中在天文、算学、农学、医学四大传统学科和四大发明(造纸、印刷、指南针、火药)、陶瓷、冶铸、丝织、机械、建筑等技术领域。正是这些重要的发明创造,构成了中华文明绵延5000多年、一直没有中断的物质技术基础。

1. 古代数学

数学是中国古代最发达的学科之一,古时称为算术,后来又称为算学、数学。寓理于算,理论高度精练;形数结合,以算法见长;侧重实用性,理论技术化,是中国古代数学的显著特点^①。中国古代算学典籍现存1900多种。以《九章算术》为核心,以算筹为计算工具,以十进位值制的记数系统来进行各种运算,形成了一个包括算术、代数、几何等各科数学知识的体系,在分数四则运算、比例问题、正负数、方程、一次方程组、高次方程和高次方程组的数值解法、高阶等差级数求和、内插法、一次同余式等方面取得了突出的成就,并发明了古代世界最好的计算工具——珠算盘。

(1)《九章算术》体系

《九章算术》是《九章算经》的通称,为中国传统数学最主要的典籍,大约在西汉末年编定,共分九章,约百条相当抽象的算法,246个例题,在分数运算、盈不足术、开方术、方程术、正负术、解勾股形等方面成就突出。各章主要内容如下:

第一章“方田”介绍田亩面积的计算方法,提出了分数运算法则,包括了分数的约简、加、减、乘、除及求平均值的法则,与今天的方法基本一致;给出了正方形、三角形、梯形、圆形、弓形、圆环、宛田等各种图形的面积公式。

第二章“粟米”介绍了今有术,即古代在物物及物与货币的交换中的比例算法。

第三章“衰分”提出衰分术,即比例分配算法,解决依等级分配物资或按等级摊派税收的比例分配问题。

第四章“少广”提出了开平方术、开立方术,与现今求解一元方程的方法基本一致,是

^① 李继闵:《试论中国传统数学的特点》,见吴文俊主编:《中国数学史论文集》,第9~18页,济南,山东教育出版社,1986。

世界上最早的开方程序。

第五章“商功”给出了长方体、堑、堑七者、阳马、鳖臑、方亭、方锥、刍童、刍薨、羨除等多面体及圆柱、圆亭、圆锥等圆体的体积公式。

第六章“均输”提出均输术，计算距离、户(人)数、工(米)价不等的地区的劳役赋税，使之按户(人)的负担均等，合理摊派赋税和徭役。

第七章“盈不足”提出盈不足术，即解决今之盈亏类问题；“良弩二马”问首次给出了等差级数的前 n 项和公式。

第八章“方程”提出方程术，即今之线性方程组解法。使用直除法消元，是世界上最早的线性方程组解法。列方程的方法叫损益术，就是移项与合并同类项，列出的方程相当于今之矩阵。还提出正负术，即正负数加减法则。

第九章“勾股”应用了由股弦差及勾求股、弦的公式，测量计算“高、深、广、远”的问题。持竿出户问应用了由勾弦差、股弦差求勾、股、弦的算法。户高多于广问应用了已知勾股差及弦求勾、股的公式。

《九章算术》奠定了中国传统数学的特点与风格。历代数学家基本上都是按着九章体例，阐述数学理论和方法。历代也不乏学者对《九章算术》加以校注，特别是魏晋时刘徽和唐代李淳风的注释最有名，并流传至今。从 20 世纪中叶起，《九章算术》被翻译成俄文、德文、日文和法文等多种文字，成为世界古代科学名著。

(2) 宋元数学高峰

中国传统数学在宋元时期达到最高峰，贾宪、秦九韶、李冶、朱世杰等数学家取得了领先于世界的数学成就。同时，改进筹算乘除法，发明珠算盘，完成了计算工具的改革。

贾宪是北宋数学家，著有《黄帝九章算经细草》九卷，创造贾宪三角和增乘开方法，将整次幂二项式的系数摆成一个三角形，将传统开方法推广到任意高次。贾宪三角，超前其他文明 4~6 个世纪，西方叫帕斯卡三角。

秦九韶是南宋数学家，1247 年著成《数书九章》，分大衍、天时、田域、测望、赋役、钱谷、营造、军旅、市易九类 81 题。其军事问题之多且复杂，反映当时社会经济状况之翔实，超过以往任何数学著作。其中大衍总术与正负开方术是其主要贡献。大衍总术是系统的一次同余式组解法，其核心部分是大衍求一术。欧洲 18、19 世纪数学大师欧拉、高斯才达到或超过秦九韶的水平。正负开方术把高次方程正根的解法发展到十分完备的程度，欧洲 19 世纪初才出现同类方法。

李冶(1192—1279)是金元数学家，1248 年著《测圆海镜》，1259 年著《益古演段》，是现存最早使用天元术的数学著作。天元术是中国传统数学列方程的方法。立天元一相当于设未知数 x ，在一次项旁记一“元”字表示天元多项式。根据问题的条件列出两个等价的天元式，两者相消便得到一个一元方程式。

杨辉是南宋数学教育家,著有《详解九章算法》、《杨辉算法》,在总结民间乘除捷算法、幻方造法上有贡献。

朱世杰是元代数学家,著有《四元玉鉴》,创造四元消法,即多元高次方程组解法,对垛积术、招差术的发展是本书最大的贡献,代表中国传统数学最高水平的著作。

2. 古代天文学

天文学是中国古代最重要的学科之一。历代不断改进天文观测和计时仪器,提高观测的精确度,推算天文数据和天体具体位置,以修订和完善新的历法。中国古代天文学独具特色,自成体系,在天文仪器、观测推算与历法方面成就最突出。

(1) 天文仪器

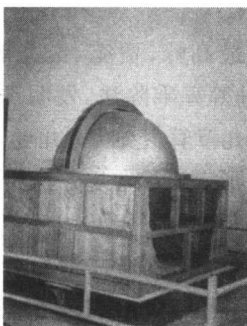
东汉天文学家张衡(78—139)创制了漏水转浑天仪,其主体是一架浑象。浑象是一种天文演示仪器,用于演示天体的变化,类似现代的天球仪。

唐代天文学家一行(683—727)和梁令瓚设计制造的开元水运浑天仪,兼具天象演示和计时功能,即它不仅是水控天象演示仪,而且是一台水力机械天文钟。

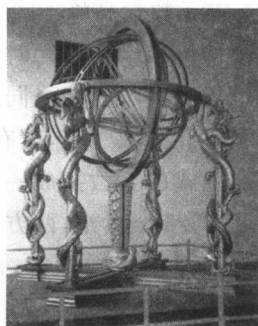
北宋天文学家苏颂和韩公廉等人于1088至1092年间制成集浑仪、浑象、刻漏于一体的大型水运仪象台(图8-1),开启了近代钟表锚状擒纵器的先声,还是近代控制望远镜随天球同步运转的转仪钟的先驱,又是现代天文台观测室活动屋顶的始祖。



(a)



(b)



(c)

图8-1 水运仪象台

(a) 仪象台模型; (b) 浑象模型; (c) 浑仪模型

元代天文学家郭守敬(1231—1316)于1279年创制简仪,在中国传统浑仪基础上,将众多环圈简化,只保留两组最基本的环圈系统,使之成为当时最先进的天文观测仪器。西方直到1598年才由丹麦天文学家第谷(Tycho Brahe, 1546—1601)最早制成类似简仪的赤道装置,比郭守敬晚了3个多世纪。

(2) 观测与历法

中国最早的物候天文历是《夏小正》。《夏小正》原文只不过几百字,但却记载了一年里每个月的物候、天象情况和相应的生产活动安排,其中有几个月还有关于气象的记述。

战国时期著名的星占家齐国的甘德和魏国的石申分别著有《天文星占》8卷和《天文》8卷,后世合称《甘石星经》。石申曾测记了120颗恒星的位置,比古希腊著名的依巴谷星表约早两个世纪。甘德则在观察岁星(即木星)时发现“若有小赤星附于其侧”,这是早于伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)2000年对木卫的观察。

《汉书·五行志》有世界上最早的太阳黑子记录;《续汉书·天文志》有世界上最早的超新星爆发记录。

南朝刘宋时期著名数学家、天文学家祖冲之于462年制定《大明历》,首次将岁差引入历法,把回归年和恒星年区别开来。他实测冬至点时刻,推算出来的回归年长度为365.2428148日,比现今推值只多46秒。他提出的交点月数据为27.21223日,同现代所测值相比只差1/10万日。

北齐天文学家张子信为避战乱,隐居于海岛,以自制的浑仪潜心观测天象达30年,取得了太阳运动不均匀性、五星运动不均匀性和月亮视差对日食的影响三大天文学发现。

隋朝天文学家刘焯于600年制定《皇极历》,首创等间距二次差内插法计算日月合朔时刻,开创了历法计算的新局面。

唐代一行创立《大衍历》,分“步中朔”、“步发敛”、“步日躔”、“步月离”、“步轨漏”、“步交会”、“步五星”七章,编制结构合理,逻辑严密,层次清楚,成为后世历法编次的经典模式。公元724年,一行为制定精确的历法《大衍历》,发起组织大规模的大地测量,首次实测了子午线1(长约129.2公里,与现代测量数值111.2公里相比,只有18公里的误差)。

宋代《宋会要》关于超新星的记录,被现代天文学家确认为超新星爆发,其留下的遗迹就是著名的蟹状星云。

郭守敬、王恂等人于1280年编制成《授时历》,根据精密的天文观测,考证了冬至、岁余等多项天文数据和黄赤交角值,创立了三次差内插等新的计算方法,使之成为中国古代最精密的历法,在明清时延用了364年,是中国古代行用时间最久的一部历法。

3. 古代农学

中国自古以农为本,是历史悠久的农业文明古国,被世界公认为农业起源中心之一,曾经创造了灿烂的古代农业文明和辉煌的农业科学技术成就,总结了一整套适合中国特点的精耕细作技术体系,使中国传统农业在一个相当长的历史时期内居于世界领先

地位。

中国古代农学发展的特点是：历代农学家和官府编纂农书，推广和普及农业生产技术；从选种、整地、播种、中耕除草、灌溉施肥，防治病虫害到收获，逐渐建立了一套完善的精耕细作技术体系。

(1) 农书体系

中国古代农学著作约有五六百种之多，数量堪称世界第一。其中综合性农书以农业通论、谷物栽培、园艺、畜牧、蚕桑为基本内容，大都由官府组织纂修，或由地方官、朝廷农官亲自动手编写，篇幅较大，适用的地区较广。明清时期，出现了大量由民间私人编写的小型地方性农书和论述农作物、畜牧、园艺、蚕桑等专业性农书。这些农书代代相传，构成了中国古代农学体系。著名农书如下：

《吕氏春秋》，战国末年秦吕不韦召集门客编撰，其中《上农》、《任地》、《辨土》、《审时》四篇是现存最早的农业政策和生产技术论文，对土地的利用、土壤耕作技术、作物栽培的时节和方法等有较详细的论述。

《汜胜之书》，西汉末年农学家汜胜之撰，记录了十几种作物的栽培方法，特别是记载了合理利用水肥、保证小面积高产的“区种法”和对种子进行先期处理、达到防虫防旱增产效果的“溲种法”。

《四民月令》，东汉农学家崔实著，首创以月令写作农书的体例，逐月记载当时的农业及其他方面生产和生活活动。

《齐民要术》，北魏农学家贾思勰著，全面地记录了中国北方旱作农业技术，内容涉及作物栽培、耕作技术和农具、畜牧兽医、食物加工等方面。该书在中国农学史上占有非常重要的地位，后世综合性农书基本上都采用其体例。

《陈旉农书》，北宋末农学家陈旉撰。全书分三卷，上卷讲农业经验与栽培总论，中卷讲养牛，下卷讲桑蚕。属现存最早的谈论南方农业的书，认为任何土壤只要治得其宜，都可用以栽培作物，并可经常保持肥沃。

《农桑辑要》，成书于元代，是中国现存最早的官修农书。主要介绍蚕桑业成就，积极提倡种植苧麻和棉花。

王桢《农书》，成书于元代，是一部大型农学著作，全书共 36 卷，包括“农桑通诀”、“百谷谱”和“农器图谱”三部分，其中“农器图谱”有 100 多幅农具图。

《农政全书》，明徐光启撰，60 卷，50 余万字。是中国古代篇幅最大的一部农书，有农业技术百科全书之称。包括农本、田制、农事、水利、农田、树艺、种植等内容，系统地总结了中国传统农业的成就。

这些农学著作流传至今，其中所描述的有些农业技术仍然有生命力。

(2) 精耕细作技术

在中国北方逐渐形成完整的农业旱作技术体系。这一体系的核心是耕、耙、耨相互

配合的土壤耕作技术,加之一系列配套的农业技术规范,精耕细作,达到抗旱保墒,从而提高粮食产量。耕耙耨耕作技术是适应北方旱作农业的一整套农田技术。

在中国南方则形成了水田精耕细作技术体系,包括整地、育秧和田间管理三方面内容。整地技术以耕、耙、耖为核心,育秧技术包括浸种、播种、移栽等步骤,田间管理则有耘田、荡田、烤田等内容。三方面相辅相成,形成了一个技术整体。

土地是农业生产的根本。古代整地技术包括垄作、畎亩法、代田法、区田法、开发梯田、圩田和涂田、改良盐碱地和桑基鱼塘。

垄作是农作物的一种分行栽培技术,商周时期已出现。战国时期又形成完善的“畎亩法”,将农田做成高低相间的行。高处称垄,即亩;低处为沟,即畎。“畎亩法”有利于农田的中耕除草、抗旱防涝,又有利于农作物通风透光,生长发育,可提高农田的生产能力。

代田法是西汉农学家赵过发明推广的一种农田耕作方法。主要技术特点是沟垄相间,沟垄互换,耕耨结合,克服了广种薄收的耕作方式的弊病,能合理地利用地力,达到抗旱防风保墒、提高作物产量的效果。

区田法又称区种法,是西汉《汜胜之书》中记载的一种抗旱高产的栽培方法。将农田分作若干宽幅或小区,在区内综合运用深耕细作、合理密植、施肥灌水、加强管理等措施。区田法对北方旱作农业技术体系的形成产生了重要影响。

梯田是利用山坡地形开发出的一层层大小不等的平地。南宋时期,福建、江苏、安徽、浙江、江西等地已有较多的梯田分布,在一定程度上弥补了平地良田的不足。

圩田是在长江下游水网密布地区,利用季节性浅水滩地、湖泊淤地围水造田。先筑围堰,再将围堰内水排出。圩田在唐代有新的发展,到宋代达到空前规模,一圩之田,常达千顷。

宋元时期,沿海地区利用海边滩涂,围垦造田,并利用雨水冲洗灌溉,改良土质,称为涂田;利用浮在水面的木排,在上面铺一层泥土,以种植庄稼或其他作物,称为架田。

改良盐碱地是明清时期土地开发利用的成就。除了继承引水洗盐、放淤压盐、种稻治盐等传统方法外,还出现了绿肥治碱、种树治盐、深翻压盐,甘肃地区还使用砂田覆盖等治理盐碱地的新措施,这些措施采取生物方法和耕作方法治盐,成本低,见效快。

约从明代中期开始,珠江三角洲地区出现了一种新型农作方式:在低洼处挖水塘,塘堤栽种桑树,桑叶喂鱼,蚕粪养鱼,称为“桑基鱼塘”,这是一种生态农业方式。桑基鱼塘到清代又发展出桑、蚕、猪、鱼混养,其后又发展出蔗基鱼塘,形成了内容丰富的基塘生态农业。

明清时期发展间作套种,一岁数收,以充分利用地力、增加粮食产量。北方地区多采用麦豆、桑豆、麦棉等间作套种,可达三年四熟或二年三熟。南方地区则发展了水旱轮作制,很多地区实行双季稻种植,达到一年二熟,华南地区、长江流域等地区则达到一年三熟。

4. 古代医学

医学是中国古代四大传统学科之一。经过长期医疗实践和积累,中国古代医学发展成具有鲜明民族特色的医药体系:生理病理学以脏腑、经络、气血、津液为内容;治疗学强调以“四诊”(望、闻、问、切)进行临床诊断,以“八纲”(阴阳、表里、虚实、寒热)辨证施治;药物学以“四气”(寒、热、温、凉)、“五味”(酸、甘、苦、辛、咸)来概括药物性能;方剂学以“君臣佐使”、“七情和合”来配药;针灸学以经络、腧穴为主要内容;还发明推拿术、气功、导引等治疗方法。

中国古代医学的突出特点是:以阴阳五行学说为指导,从生理、病理、诊断、药物、治疗、预防等各方面考虑,强调整体治疗,不是简单地“头痛医头”、“脚痛医脚”。中医学代代相传,不断得到充实和提高,至今仍是重要学科。

正如其他传统学科一样,中国古代医药学的重要成就也与一批著名医学家和医书典籍紧密联系在一起,并流传至今。

中国正史上记载的第一位著名医学家是扁鹊,约生活于春秋末年。他医术高超,通内、外、妇、儿、五官各科,擅长针灸,精于望诊、脉诊,并创立了脉学理论。

迄今已知中国最早的一批医学著作是1973年在湖南长沙马王堆汉墓出土的帛书与竹简《足臂十一脉灸经》、《阴阳十一脉灸经》、《脉法》、《五十二病方》、《养生方》、《杂疗方》等10余种医书。

《黄帝内经》是托名于“黄帝”的医学著作,是先秦至汉医学家的成果总结。内容包括人类的生理、病理、医理、药理等理论和诊断、针灸、预防等方法,对后世中医学发展具有深远的影响。

《难经》又称《八十一问》、《黄帝八十一难经》,约成书于东汉时期,以自问自答的方式,提出了医学中存在的八十一个问题,包括脉诊、经络、脏腑、病候、腧穴等方面。该书将中国传统的阴阳五行学说应用于医学理论与治疗方法,构成完整的理论体系。

《神农本草经》是中国最早的药理学著作,约成书于东汉,记载药物365种,分上、中、下三品,上品为营养滋补药物,中品为抑制疾病药物,下品为作用较强的猛药。其中许多药物经临床实践验证有很好的疗效。

张仲景,著名医学家,撰《伤寒杂病论》,将外感热病分成六个阶段,论述了每个阶段的症候、病理与施治方法,提出辨症施治的原则;总结了复方配伍,对后世医学产生有很大影响。

华佗(约145—208),著名医学家,精通内科、外科、妇产科、针灸科,尤其擅长外科。发明全身麻醉术,用酒服麻沸散,配合外科手术施用。创造“五禽戏”,即模仿虎、鹿、猿、熊、鸟五种禽兽的动作姿态,做保健操。

王叔和,汉末晋初的医学家。精通脉学,撰《脉经》10卷,总结归纳为24种脉象,该书

是现存最早的脉学著作。

皇甫谧,魏晋间医学家,撰《针灸甲乙经》,该书对前人的针灸理论进行加工整理,并提出了将穴位与经脉理论体系贯通的主张,对针灸学的发展起了重要作用。

《诸病源候论》成书于610年,由隋太医博士巢元方等人受命编写,专述内、外、妇、儿、五官、传染等科疾病的病因、病理和症状,是中国历史上最早也是内容最丰富的一部病因病理著作。

《新修本草》是由唐高宗敕令撰著的药典,完成于公元659年,这是中国也是世界上最早由国家颁布的药典。全书共54卷,分正文、药图、图注三部分,收载药物844种,在药物收集的广泛性、可靠性和实用性方面,均超过了以前的本草著作。

孙思邈是唐代杰出的医学家,医药学著述近百卷,名著为《千金方》。《千金方》是《千金要方》和《二金方》的合称,主要内容包括中医理论和临床各科的诊疗、预防等,特点是重视妇科、儿科、食疗、民间方药、医德;《千金翼方》除对《千金要方》进行补充外,还收载中药物800多种。

公元8世纪,藏医学家宇妥·元旦贡布曾多次到中国内地及印度等邻近国家学习医学,与其他几位藏医学家一起编写出《四部医典》,该书包括医学理论与临床实践,讲述病因病理、诊疗方法、药物方剂等,奠定了藏医学的理论基础。

道家著作《正统道藏》中收录有烟梦子的六幅《内境图》,绘于10世纪中叶之前,是中国现存最早的人体解剖图。宋代解剖医学有重大的发展,在刑场实际解剖基础上绘制的《欧希范五脏图》和《存真环中图》,纠正了前人解剖图若干谬误。特别是《存真环中图》,对人体的胸腔、腹腔、消化、泌尿、生殖系统等都有较详细的描述,对元明解剖学的发展产生了重要的影响。

南宋淳祐七年(1247)宋慈(1186—1249)写成的《洗冤集录》,被誉为世界上最早的法医学著作。对人体解剖、尸体外表检验、现场勘察等有较全面的记载,并列举近20种死亡情况的特征与检验要点。该书被传播到朝鲜、日本和西欧。

金元时期,医学界形成“金元四大家”学派:刘完素认为大部病因是火热造成,提倡用寒凉药物,被称做“寒凉派”;李杲主张脾胃伤害是致病的主因,要以补脾胃为主,被称做“补土派”;张从正认为邪气是病因,被称为“攻下派”;朱震亨治疗善用滋阴降火之剂,称“滋阴派”。

宋代出现专门的儿科医家,编成《小儿药证直诀》、《小儿卫生总微论方》等著作。著名医师陈自明撰写的《外科精要》,反映了当时的外科学成就。元代的骨伤科有长足发展,《世医得效方》在骨折整复方面富有建树。

李时珍是明代著名医药学家,著《本草纲目》,收录药物1892种,插图1109幅,附方11096首。创立了本草学接近现代科学分类的纲目体系,纠正了前代本草学中的讹误。《本草纲目》被认为是药物学的集大成之作,也是一部百科全书式的博物学巨著。

人痘接种法是明代中医学的一项重要发明,其目的是预防天花。人痘接种是通过痘衣、痘浆、旱苗等方法使人受到天花的轻微感染,从而达到免疫的目的。这种方法对预防天花有显著的效果,发明后影响逐步扩展,对欧洲牛痘接种法的发明有重要的启示作用。

5. 造纸术

造纸术是中国古代科学技术的四大发明之一,它使书写材料发生了根本的变化。

考古出土的纸残片表明,在西汉时期已经有纸存在。西汉纸用大麻和苧麻作原料,是世界上最早的植物纤维纸。公元105年前后,东汉宦官蔡伦总结了造纸经验,用树皮、麻头、破布和渔网造纸,完成了对造纸术的重大改革,创制了“蔡侯纸”,使纸的质量大大提高,开创了造纸技术的新时代。

魏晋南北朝时期,造纸技术得到进一步的发展,纸张变薄,表面光洁平滑,结构紧密,白净度有所改进,并发明施胶纸,增强了纸张的抗透水性。

隋唐时期,造纸技术逐步走向成熟。唐代造纸采用各种韧皮纤维作原料,能生产出品位极高的纸张,如竹纸、手工纸和皮纸。

宋元时期,造纸技术已达到成熟阶段。造纸的原料从麻皮、韧皮纤维扩大到稻、麦等植物的茎干,能生产大幅纸、加工纸。

明清时期,造纸材料不断丰富,技术不断完善,纸张的质地和韧性大大提高。万年红表面涂有朱红色铅丹,有杀虫驱虫的作用,是明清纸张中最具有实用价值的加工纸。染色纸表面涂布蜡质,撒金银屑,绘金银花,成为明清时一种高档艺术品。而产于安徽泾县的宣纸,以青檀皮为原料,掺入定量的楮皮与稻草制浆抄造而成,至今仍享有盛誉。

中国造纸术发明后,随着中外交通和交流的发展,公元4世纪前后首先传入朝鲜和越南,公元7世纪初传往日本,唐初传入印度和巴基斯坦,12世纪经阿拉伯传入欧洲,对人类文明的发展作出了重大贡献。

6. 印刷术

印刷术是中国古代科学技术的四大发明之一。中国古代印刷术包括雕版印刷和活字印刷两种技术。

雕版印刷一般以纸为载体,利用反刻原理,将文字或图画原稿制成印刷品。雕版印刷术的发明,可追溯到西周时期的图章印符和战国时期的纺织品印花版。中国大约在隋唐时期或更早已经发明了雕版印刷术。在韩国庆州佛国寺释迦塔内发现唐代早期印刷的《天垢净光大陀罗尼经》。该经大约印于公元702—751年间,是中国雕版印刷的早期实物。在敦煌发现的《金刚经》,刻印于唐咸通九年(868),镂刻精致,标志着雕版印刷术已经成熟。宋代印刷业空前繁荣,雕版印刷技术进一步提高,用彩色套印技术印刷纸币。元代至元年间(1264—1294)发明了朱墨双色套印技术。明代发明了短版和拱花技术。

明末刊印的《十竹斋画谱》和清初刻印的《芥子园画谱》，是明清时期雕版印刷的精品。

活字印刷术，首创于北宋庆历年间(1041—1048)毕昇发明的泥活字印刷术(图 8-2)。毕昇发明的泥活字印刷术，包括活字印作、拣字、排版、印刷、拆版、还字等工序，与现代铅活字印刷的原理和工序完全相同。泥活字印刷术大大提高了印刷的效率，是印刷史上的一次革命。出土的西夏印刷品表明，这个时期掌握了成熟的木活字印刷技术。元初，王祜组织刻制 3 万个木活字，并发明了轮转排字架，印刷了 100 部《旌德县志》，印刷效率比雕版印刷高出许多。王祜所撰《造活字印书法》，成为研究印刷技术史的珍贵文献。元代还出现了世界上最早的金属活字——锡活字。明代开始用铜活字和铅活字印刷书籍。清代大规模使用活字印刷技术，排印鸿篇巨著。雍正初，内府用 25 万枚铜活字，排印了《古今图书集成》1 万卷；乾隆年间，用 25 万多个木活字，印刷了《武英殿聚珍版丛书》2300 卷。



图 8-2 泥活字印刷术发明者毕昇

中国印刷术的发明，对世界文化的传播、交流与发展产生了巨大的推动作用。印刷术首先传入日本、朝鲜、越南等东亚国家，后经阿拉伯传入欧洲。

7. 火药

火药即黑火药，又称有烟火药，是一种混合炸药，以硝石、硫磺、木炭或其他可燃物为主要成分，点燃后能迅速燃烧或猛烈爆炸，为中国古代科学技术四大发明之一。因硝石、硫磺等在中国古代都是药物，混合后易点燃并猛烈燃烧，故称为火药。火药是人类掌握的第一种爆炸物，对于世界文明的发展曾起重大作用。

火药为在没有外界助燃剂的参加下能迅速燃烧并产生大量气体的药剂，属于不太猛烈的炸药，一般由 75% 硝酸钾、10% 硫磺和 15% 木炭研成极细的粉末，均匀混合而成。硝石，即现代化学上所说的硝酸钾，在火药中扮演着氧化剂的角色，遇有机物易引起燃烧和爆炸。硫磺，是一种化学元素，在火药燃烧过程中，扮演还原剂的角色，是火药能够爆炸的重要因素。木炭在火药中作为燃烧剂，相当于黑火药中的燃料。

在火药发明的过程中，中国古代医药学家和炼丹家发挥了特殊的作用。早在春秋战国时代，古代医药学家和炼丹家就已使用硝石和硫磺炼制长生不老的丹药。秦汉时期，中国最早的药物典籍《神农本草经》，将硝石列为 120 种上品药中的第 6 种，硫磺列为 120 种中品药中的第 2 种。东晋的葛洪在《抱朴子·仙药》篇中记载了用硝石、玄胴肠、松脂三物合炼雄黄的试验。南朝齐梁时的陶弘景(456—536)在《神农本草经集注》中记载了

硝石燃烧后有紫青色火焰升起的试验。隋末唐初医学家、炼丹家孙思邈所撰《孙真人丹经》记载有“伏火硫磺法”。唐元和三年(808)炼丹家清虚子所著《太上圣祖金丹秘诀》记载“伏火矾法”,炼制了最原始的火药。

宋仁宗庆历四年(1044),曾公亮(999—1078)、丁度(990—1053)主编《武经总要》,记载三种火药的详细配方:毒药烟毬火药法、火砲火药法、蒺藜火毬火药法。其中蒺藜火毬火药配方规定:火药法,用硫磺一斤四两、焰硝二斤半、粗炭末五两、沥青二两半、干漆二两半捣为末,竹茹一两一分、麻茹一两一分剪碎,用桐油、小油各二两半、醋二两半熔汁和之。换算成硝酸钾、硫与炭的克数和组成:硝酸钾 1500g, 61.5%;硫 750g, 30.8%, 碳 187.5g, 7.7%。

明代鸟銃火药配方,戚继光(1528—1587)《纪效新书》(1560年成书)卷十五《诸器篇》记载有“制合鸟銃药方”:硝一两,磺一钱四分,柳炭一钱八分。通共硝四十两,磺五两六钱,柳炭七两二钱。换算成硝酸钾、硫与炭的克数和组成:硝酸钾 1500g, 75.8%;硫 210g, 10.6%, 碳 270g, 13.6%。明代火药配方与现代标准军用黑火药基本相同(含硝石 75%, 硫磺 10%, 炭 15%),并制作细而均匀的颗粒状火药,进一步改进火药的燃烧爆炸性能。

从宋代到明代,火药配方中,硝酸钾的含量逐渐增加,从 61.5%到 75.8%,其燃烧速度也在不断增加,爆炸力增强,残渣减少。随着硝酸钾、碳成分含量的增加,燃烧速度、放热量、对外界作功的能量等燃烧爆炸性能示性数都在增加。由于硫在受热后出现晶型转变,要吸收大量热量,使黑火药的燃烧初始点火阶段不易进行,因此,在火药配方中,硫的含量在组成中逐渐减少,燃烧性能逐渐增强。

火药的发明和发展促进了各种军用燃烧爆炸器材和管型射击武器的发明和发展。公元 10 世纪,中国开始将火药应用于军事。从北宋到明代,火药箭、火球、炸弹、地雷、水雷、火枪、铜火铳、铁管火炮等大批火器相继问世,火器在战争中的作用和地位日益上升,使传统冷兵器在战争中的作用和地位逐渐下降。

中国火药火器技术的发明和传播,对世界军事技术的发展和人类历史的变革,产生了巨大而又深远的影响。从 13 世纪开始,中国发明的火药技术传入阿拉伯地区,又由阿拉伯人传入欧洲。元初,蒙古骑兵大规模西征,中国发明的火药和火器技术进一步传入阿拉伯地区。大约在 1280 年,哈桑·阿里曼(Al Hassan al Rummab, 1264—1295)用阿拉伯文撰写的《马术与军事策略大全》记载有火药方“飞火”、“中国箭”、“中国火轮”、“中国花”等。大约在 13 世纪后半期,火药由阿拉伯地区传入欧洲。1320 年,西方首先使用黑火药做枪炮发射火药。14 世纪,铁炮已经在欧洲各国应用。15 世纪具有科学配比的粒状火药在欧洲出现。1600 年,欧洲开始用黑火药做炸药。直到 19 世纪末,黑火药一直是标准的枪炮发射火药和炸药,后来才逐渐被能量更高的无烟火药及猛炸药所取代。

8. 指南针

指南针也是中国古代科学技术四大发明之一。早在战国时期,人们就已经发现了磁石吸铁以及磁石“司南”的现象,并有制成“司南”用来定方向的记载。据古文献记载,汉代制作的“司南”由青铜地盘与磁勺组成,地盘上标示有东、南、西、北四个方向的 24 个方位,磁勺由天然磁体制成,置于地盘中心,勺把常指南方。这种类型的“司南”在中国曾被长期使用。科技考古专家王振铎先生(1912—1992),曾根据历史记载及考古发现,复原了汉代“司南”的模型。

北宋时,利用磁性指南的工具与方法有了很大发展,出现了指南鱼、指南针等指南工具及多种指南方法,其中有代表性的有缕悬法、水浮法等。缕悬法是用蚕丝将磁针悬挂在木架上,架下放置方位盘;水浮法是用灯草与磁针一起漂浮在盛水的瓷碗中,简便实用,被最早用于航海。在当时的两部重要著作《武经总要》、《梦溪笔谈》中,对指南针的功能和制作进行了较为详细的记载,记录了人工制造磁体以加强磁性的方法,并首次记录了对地磁偏角的认识。

指南针一经发明,很快就被应用于航海,在北宋就有用指南针航海的最早的记载。到了南宋,已经出现了用磁针与划分方位的装置组装成的完整的仪器,当时称盘针、经盘、地螺,后改称罗盘。南宋时还有用水浮法的水罗盘和用尖状物支撑磁针的旱罗盘。

指南针在航海上的应用,推动了中国古代航海事业的发展。大约在 12 世纪末到 13 世纪初,指南针传入阿拉伯、并经阿拉伯传到欧洲及世界各地,促进了世界航海事业的兴旺,增进了各国人民之间的文化交流与贸易往来,对世界文明的发展作出了重要贡献。

9. 陶瓷制作

陶瓷是人类通过化学变化改变物体的自然性质使之成为新物体(人造物体)的一种创造性活动。早在距今约 1 万年前的新石器时代早期,中国的先民们已开始制作并使用陶器。

商代,制陶技术有了新的突破,出现印纹硬陶和原始瓷器。印纹硬陶在烧制时需要比一般陶器较高的温度,其胎质多呈灰色。原始瓷器是用高岭土制成,烧成温度在 1200 度以上,质地坚硬,吸水性弱,器外涂青绿色釉,已具备了瓷器的基本特征。

原始瓷经过商至西汉 1000 多年的发展,质量和产量都有了明显的提高。但这一时期的青釉瓷器仍属原始青瓷,其特点是胎质坚硬,釉层较厚,釉色较深,一般呈青绿或黄褐色。到东汉时期,青瓷烧制技术趋于成熟。

从三国到南北朝的 300 多年间,中国青瓷的烧制技术进入了重要的发展时期,制瓷区域由南方扩大到北方,逐渐形成了南北两大系统。产量、种类都急剧增加,装饰性花纹丰富繁多。最迟在 6 世纪前期,北方烧制出白瓷,这是制瓷技术的一个新的突破。烧制

白瓷必须将胎土及釉料中所含铁的成分提炼出去,使其含量不得超过1%;而且在烧制过程中还要有效地把握与使用氧化焰。白瓷的出现为后世的青花、釉里红、五彩、斗彩、粉彩等彩瓷的出现准备了条件。这一时期,在炉窑中还使用了匣钵,使坯件避开了明火。这一创举为以后历代烧制瓷器所沿袭。

隋、唐、五代时期,中国瓷器进入了一个重要的转折时期。生产规模扩大,一些新的技术和风格开始萌芽。南方越窑的青瓷和北方邢窑的白瓷代表了这一时期瓷器烧制技术的最高成就。越窑青瓷胎质细薄,色泽晶莹;邢窑白瓷如雪似银,纯净高贵。而色彩斑斓、绚丽多姿的三彩釉陶,以其丰富的内涵显示出盛唐文化的风貌。

宋、元时期是中国瓷器制造的辉煌期,特别体现在人们把造型艺术与实用相结合,生产出精美绝伦的陶瓷器。除官窑外,各地兴办了若干民窑。宋代工匠熟练地掌握了配釉技术和窑炉内的火焰变化,成功地烧制出各种色彩的瓷器。此外还开发了“窑变”、“开片”等具有特殊工艺水平的新产品。宋代的瓷窑结构和制瓷工具都有所改进。窑炉设计的进步以钧窑、耀州窑和龙泉窑最具代表性。在窑具上,普遍采用匣钵,内装瓷器,使瓷器在烧制过程中受热均匀。

明、清两代制瓷技术进一步发展,景德镇已成为全国制瓷业的中心,拥有众多的民窑和官办御窑,并形成整套的制瓷工艺流程。制坯时以转轮旋刀代替了竹刀,提高了制坯效率。又以吹釉法代替蘸釉法,提高了施釉质量。单色釉出现了祭红、宝石红、孔雀蓝、翠绿、娇黄、甜白等新品种。青花和釉里红烧制技术完全成熟,成为瓷器生产的主流。

中国是瓷器的发明地和主要产地,素有“瓷器之国”的美称。自汉唐以来中国的瓷器源源不断地销往国外,其制作技术也随之传向世界各地,对世界人民的生活发生了一定的影响。中国的瓷器不仅是实用的日用器皿,而且是价值很高的艺术品。

10. 提花技术

中国自古还是“丝绸之国”。从旧石器时代晚期到战国时期,发明了纺轮、原始缫车、原始手摇纺车、原始腰机和鲁机,纺纱织布从纯粹的手工操作“绩麻索缕,手经指挂”发展到利用简单原始的器械,明显地提高了工效。从秦汉到明清时期,采用脚踏传动装置,手摇缫车演变成脚踏缫车,手摇纺车演变成脚踏多锭纺车,单、双蹑织机演变成多综多蹑织机。这一时期还发明机构最复杂的水力-畜力大纺车和花楼式束综提花机,使纺纱织布的产量和质量有了前所未有的提高。提花机技术是中国古代丝织技术的精粹,织造最为复杂,包括两个技术关键:

一是纹样设计技术和结花本工艺。纹样是指提花织物上的花纹图案。中国古代传统的纹样设计主要取材于自然景观、各种几何图形(包括变体汉字等),有写实、写意、变形等表现手法。先由画师设计纹样,然后由工匠根据纹样画出单位意匠图,即将花形放大并点绘在一定规格的格子纸上,再用经纬线根据意匠图做成挑花结本,构成整个织花

过程的全息缩影。

二是使用花楼束综提花机织造。花楼束综提花机是一种带花楼装置、用线综提经、织造复杂花纹的大型织机。花楼束综提花机底座又长又宽,并在底座中间顶部安装一个坚固的木架,即花楼。由一名挽花工坐在花楼上,用线综提升经线开口。挽花工按提经纹样要求,把升降运动相同的线另外用线串在一起成为束综。拉线便可牵吊起相应的一组经纱,形成一个织口。这样经纱就可分为几百组到上千组,由几百至上千条线综来控制。这些线综便构成花本,控制提综程序。织造时,挽花工按照花纹既定程序拉线提经,织工随之引纬打纬,把花纹织得很大而又复杂。织工同时用少量脚踏杆,控制相应的综框升降,提经开口,织造素纹。

早在春秋战国时,中国已经掌握提花技术。这个时期的纹样呈几何形、对称纹,多是由直线和折线组成的菱形、回纹形,造型质朴大方。出土的织锦织有组织相当复杂的大型花纹,如在湖南长沙的战国楚墓中出土有对龙对凤锦和填花燕纹锦,色彩斑斓。这样复杂的织锦纹样,是通过花楼束综提花机织造而成的。

秦汉至魏晋的纹样在几何纹的基础上,采用鸟兽、云气、山水、文字等,穿插组合,豪放活泼。西汉时发明一百二十蹶的多综多蹶织机,用于织造比平纹、斜纹和缎纹更复杂的花纹。东汉王逸的《机妇赋》最早描绘了花楼束综提花机的形象。三国时,著名机械制造专家马钧改进绫机,设 12 根脚踏杆,采用“组合提综法”,控制 60 多片综,既操作方便,又能织出奇妙无穷的花纹。

隋唐流行缠枝、团花、小朵花、小簇花等纹样,丰满肥硕,浓厚艳丽。出土的唐锦大量使用通经通纬的纬线显花,证明唐代已经出现束综和多综多蹶相结合的提花机。

宋元时纹样转向清秀精细,配色文静素雅,写生折枝式的花纹别具一格。南宋楼琬精心绘制的《耕织图》,首次揭示了古代花楼式束综提花机的具体形象。元代薛景石的《梓人遗制》称花楼束综提花机为“华机子”,该机已将束综提花技术与多综多蹶织纹技术有机地结合起来,成为多用途的提花机,可加减机件,织纱、织素物或织花。

明清时纹样设计更注重形象的刻画和布局的合理,多用金线显花。明代花楼式束综提花机见于宋应星的《天工开物》和徐光启的《农政全书》(图 8-3),在三个方面进行了技术改进:一是花楼式束综装置设有花楼、衢盘和衢脚,可将 1800 根提经拉线分组,便于提花工束综拉线提经;二是在机座顶设“涩木”,以利织地纹和缎纹,与提花相结合,使花纹多姿多彩;三是将机架分作两节,前节从经轴到花楼木架前的导经辊,经面呈水平放置,后节从导经辊到织品,

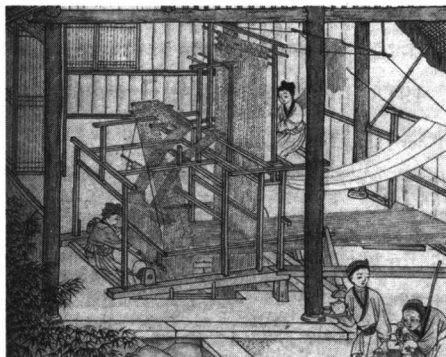


图 8-3 明代提花机

经面向织口倾斜,使经面保持一定张力,同时便于借用叠助木的重力惯性打纬。

11. 冶金技术

冶金技术与金属工艺是其他技术和生产制作的技术基础,青铜冶铸与钢铁技术体现了中国古代的冶金技术水平。

(1) 青铜冶铸

早在距今约 4000~5000 年前的人类活动遗址中,就发现有利用自然铜制作的红铜工具。商代曾大量开采铜矿和炼铜,采矿技术已达到一定的水平。

西周、春秋时期,铜矿开采技术又有较大提高。在湖北大冶铜绿山和安徽铜陵、南陵等地,都发现了这一时期的古铜矿遗址。此外,还发现多座春秋时期的古炼炉。这是目前已知最早的炼铜竖炉。

铸造是人类掌握较早的一种金属热加工技术。夏代已铸造青铜器。山西夏县东下冯夏代遗址中出土有铸造铜器的石范,河南偃师二里头遗址中出土有夏代时期的铜爵。商代,青铜铸造业进入全盛时期。河南郑州出土的乳钉纹铜方鼎,是商代早期的大型铸件。商代中晚期,青铜器大量铸造。在河南安阳殷墟等地发现有种类繁多、造型复杂、花纹繁缛、工艺高超的青铜铸件。体魄硕大的司母戊鼎,重达 832.84 公斤,是目前已发现的最重的青铜器。司母戊鼎用块范法分铸铸接成形,用多个竖炉同时熔炼浇注。而造型精细的四羊尊、龙虎尊、虎食人卣等,把人与动物形象塑造得栩栩如生。商代青铜铸件举不胜举,反映了商代青铜铸造业的生产能力和技术水平。

商代的青铜器多为陶范铸造。其工艺是先雕刻器物原型,再分别翻制内范、外范,最后熔铜浇注。方彝铸范是在河南安阳殷墟遗址中发现的较完整的铸范,反映了商代制范工艺的先进水平。

现代的熔模铸造在中国古代称失蜡铸造。失蜡铸造是中国古代铸造技术的一大发明,对世界铸造技术作出了重大贡献。最迟在春秋时期,中国已开始采用失蜡铸造技术。河南浙川楚墓出土的铜禁就是用失蜡法铸造而成的。

中国古代青铜冶铸技术首先用于制作礼器和兵器。

1978 年在湖北随县出土、约铸造于公元前 433 年左右的曾侯乙青铜编钟是中国特有的乐器,也是古代国之重器(图 8-4)。在出土和传世的编钟中,其组别、数量最多,音律最为齐备,铸造精美,纹饰华丽,气势最雄伟。其横截面呈合瓦形,从而能发两个乐音,一为正鼓音,一为侧鼓音,且衰减较快。其音域达五个半八度,中间三个半八度,十二个半音齐备,可旋宫转调,演奏各种乐曲,证明早在战国初期,中国已有七声音阶,具备较完备的乐律学知识。

吴越之剑,名闻天下,代表中国历史上青铜剑铸作的最高水平。著名的越王剑和吴王剑,近年多有出土。吴越铜剑从形制、选材、铸造、磨砺到装饰,都十分讲究。在剑身的

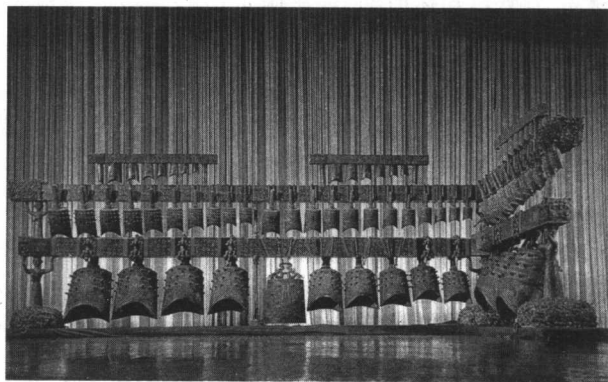


图 8-4 战国曾侯乙编钟

不同部位浇注了不同成分的铜合金,刃部锋利,且不易折断。越王勾践剑的暗花纹,经检测是天然腐蚀生成,而无花纹的部分则因用高锡膏剂做过表面处理,得以保存原貌。

(2) 钢铁技术

早在春秋时期,中国已发明了生铁冶铸术。战国时期,用生铁铸成的农具和手工工具已被广泛应用。早期的生铁都是白口铁,含碳量约 4.3% 或更多一些,碳以碳化铁的形式存在,性脆易折。为此,古代工匠发明了铸铁柔化术,将成形铸铁器件在高温下进行柔化处理,可得到强度、韧性大为改善的黑心韧性铸铁和白心韧性铸铁,铁器件得以在战国时期广为应用。

西汉实行盐铁官营,全国设铁官 49 处。这一措施对推广冶铁技术,增加国库收入,增强国力,起了重大作用。从西汉到东汉,冶铁生产的规模不断扩大,铁范、铸铁柔化术等先进工艺更加普及,农事生产中广泛地使用铁制工具。

汉代出现大型炼铁竖炉,采用粒度均匀的富铁矿,用木炭做燃料和还原剂,石灰石做熔剂,渣铁分离较好,因炉温较高,可以得到液态的生铁。

鼓风技术是生铁冶炼的关键,早期使用皮囊鼓风。至迟在东汉,已采用水力鼓风装置——水排,从而大大节约了人力,提高了生产效率和铁产量。

汉代已出现有球状石墨的高强度韧性铸铁,其石墨性状和现代球墨铸铁相类似。

汉代还盛行叠铸技术。河南温县东汉烘范窑出土叠铸范 500 多套,用于成批铸造车马器。所铸器件规格齐整,尺寸精确,成本低廉,质优量大。这种工艺到南北朝仍广泛用于钱币铸造。

把生铁片加热到半熔状态,不断搅拌,促使碳含量降低,再经挤渣操作,就能得到成分、组织较为均匀的炒铁。将炒铁反复锻打,调整其碳分,得到的钢材习称为百炼钢,可用来锻制优质刀剑。“千锤百炼”、“百炼成钢”也成为人们熟知的习语。

早期冶铁都以木炭为燃料和还原剂,铁矿附近山岭常被砍伐成童山。魏晋南北朝时用煤炼铁,使冶铁业能在更大规模上得到发展。

北齐时发明灌钢工艺。把熔融的生铁灌注到熟铁料中再加锻打,使碳分得到调整,渣滓被挤出,可得到含碳量较高的优质钢料。这是中国古代特有的灌钢工艺,对后代钢铁生产和经济发展具有重要意义。北齐綦母怀文制作的宿铁是灌钢的一种,可用作刃钢,外用熟铁包裹,刚柔兼备,既锐利又坚固,成为后世夹钢、贴钢的先河。

唐代钢铁技术趋于定型,形成以蒸石取铁、炒生为熟、生熟相和、炼成则钢为主干,辅以渗碳制钢、夹钢、贴钢等加工工艺的传统钢铁技术体系,其后被长期沿用,成为定式。

明代已用焦炭炼铁。河北遵化铁冶的高炉高达1丈2尺,由机车装料,每6小时出铁一次,日产铁3600斤。用焦炭炼铁和用机车为高炉装料,是明清时期冶铁技术的重大改进,也是传统冶铁业向现代转化的端倪。

从隋唐至明清,随着矿冶业的发展,大型、特大型铸件和金属建筑明显增多。隋代在山西晋阳铸造高达70尺的大铁佛。唐代武则天当政时铸天柜,高105尺,用铜和铁200万斤。留存至今的沧州铁狮,铸于北周广顺三年(953年),长、高各5米多,堪称煌煌巨作。宋代著名的当阳铁塔位于湖北当阳玉泉寺,铸于宋嘉祐六年(1061年),塔由44个部件分铸叠装而成,高七丈,用铁76600斤。永乐大钟铸于明永乐十八年前后(1418—1422年),高近7米,直径3.3米,重约46吨,含锡16.4%、铅1.1%,钟体内外铸经文22万字。著名的铜铁建筑物有明武当山金殿、清颐和园铜亭等。拉萨大昭寺,西宁塔尔寺,承德须弥福寿金顶,均用鍍金铜瓦盖顶,金光闪闪,蔚为奇观。

明代宋应星著《天工开物》18篇,介绍农桑、矿冶、铸锻、纺织、制革、颜料、食品加工制作、陶瓷、造纸、舟车、兵器制造等生产技术和工艺流程,内容极其翔实丰富。其中讲述金属加工工艺的主要章节有五金(冶金)、冶炼(铸造)、锤锻(锻造)三章,记载了一些非常具体的工艺和技术参数。如“冶铸”篇有“凡油蜡一斤虚位,填铜十斤”,意即用失蜡法铸造时,每由模型中熔出蜡一斤,则在浇铸铜件时,要注入铜合金十斤,给出了失蜡铸造法的重要工艺数据。又如“燔石”篇介绍了煤的种类和采煤时所采取的防毒、防崩等安全措施:“初见煤端时,毒气灼人。有将巨竹凿去中节,尖锐其末,插入炭中,其毒烟从竹中透上。”所附插图反映了许多工艺的细节。例如,铸千斤钟与仙佛像表明,利用多个熔炉,同时熔化合金,铸造大型铸件;锻造千斤重锚图给出了加热、锤锻、起重、翻转所用的工具和加工方法;加工针图描绘了所用的钻孔工具、锻打、渗炭等工艺及加工设备。

《天工开物》作为中国古代科学名著,早就流传到世界各地。1771年在日本刊行,影响很大,成为许多日本学者的参考书。1830年法国人儒莲(Stanislas Julien, 1797—1873)将《天工开物》的“丹青”一章译成法文,发表于巴黎的《化学年鉴》上。同年在该刊还发表了“五金”一章中的有关铜合金、白铜和乐器制造的译文。该文1847年被译成德文,发表于柏林。受译文的启发,欧洲人在仿制中国发明的白铜(铜镍合金)方面取得了突破性的进展。此后《天

工开物》中的“丹青”、“五金”、“乃服”、“彰施”、“杀青”五章又被相继译成法文发表,其中有些再被转译成英、德、意、俄等国文字,引起欧洲学界的极大兴趣。

12. 木塔建筑

中国古代建筑以其宏大的气势、科学合理的结构和精妙的建筑技巧而闻名于世,形成了具有鲜明民族特色的木结构建筑体系,其中山西应县佛宫寺木塔反映了中国古代木结构建筑的技术水平。

佛宫寺木塔,又名释迦塔,位于山西应县县城内,建于辽道宗清宁二年(1056年),迄今有900多年。木塔平面呈八边形,外观5层,内部实为9层,有4个暗层,5个明层。塔身首层带有副阶,故为重檐形式,其余各层为单檐。每层由平座、柱、斗拱、屋檐组成。塔自地面至刹顶总高67.3米,是世界上现存最早、最高的木塔,也是唯一的巨型木塔。

木塔属木构建筑,历史上曾多次经受地震侵袭和炮击,得以幸存至今,缘于其科学的木结构体系。塔坐落在双层多边形的石砌台基上,塔结构采用内外两槽双层套筒式结构,由立柱层、斗拱层、暗层相叠而成。

木塔于正八边形平面中布置了内外两圈柱子,内柱以内为塔心室,布置有佛坛,为礼佛场所。内外柱之间为走廊,并按顺时针方向于四个斜方位隔层布置登塔楼梯,以保证塔体受力均匀。外柱以外设平座,供信众登高远眺。在木塔四个暗层,内柱之间,内外柱之间即塔身的弦向和径向之间,皆设有倒三角形式样的斜撑支架,增强了四个暗层的抗侧移刚度。在弦上支架的上部,又有多层重叠的木方施之于柱头之上,形成闭合的圈梁。在内外柱间并设有与弦上相交的木方。在外柱的斗拱部位也有多层木方,沿八边环绕,构成若干个闭合的八边形环状圈梁。木塔各层柱头使用斗拱为节点,斗拱由斗和拱通过榫卯连成整体,遇到地震,榫卯产生错动,从而可以大大吸收地震能量。正是这些措施使木塔在经受地震、炮击之后仍能屹然壁立。它所采用的结构体系堪称现代高层间筒结构的先驱,其斗拱节点犹如现代高层建筑中的阻尼装置。

木塔不仅结构合理,而且立面造型精致。按模数调整各层层高,减缩各层平面尺寸,调整各层建筑体量,并通过斗拱组合的变化调整出檐长短。整个塔上使用了54种不同组合形式的斗拱。经过这些细密的设计,使木塔出现了层层收缩的外轮廓,产生了“突兀碧空”、“高出云表”的艺术效果。

应县佛宫寺木塔无论在建筑艺术方面,还是在建筑技术、工程抗震方面,都是中国古代木构建筑史上的杰作。

13. 水力机械

中国是古代使用和发展机械最早的国家之一,在机械制造方面有许多发明创造,发明了战车、战船、军用机械、记里鼓车、指南车、农业机械、纺织机械等机械。

中国古代很早就利用水力作原动力,发明水轮机,用来带动鼓风机械、灌溉机械、谷物加工机械、纺纱机械,以提高生产功效。

水力鼓风机械始于东汉初南阳太守杜诗发明的水排。元代王祯《农书》记载,水排分卧轮式和立轮式两种,依靠连杆、曲拐和绳索的传动,把旋转运动变成直线往复运动,利用箱盖启闭来实现鼓风。欧洲直到 12 世纪才发明水力鼓风机械。水力鼓风机械的发明对于中国古代冶铸业的发展起了重要作用。

水力灌溉机械以唐代发明的水转筒车和元代发明的水转翻车最为先进。水转筒车是在一个水轮的周围装置若干倾斜的小水筒。当水轮被水冲着转的时候,装满水的小水筒也随着转动。当小水筒转到一定高度时,就自动把水倒在一个接水的槽里,水流顺着水槽流到田里去。水转翻车在一条木板槽中架设一条行道板,两端安装大小木轮,行道板由刮板逐节用木梢子联接起来,通过一个大水轮和两个齿轮,传到翻车的转轴上,带动刮板,将水刮到木槽上端,连续不断地流入田间。

水力谷物加工机械以西晋杜预(222—284)发明的连机碓和水转连磨最为先进。连机碓的原动轮是一个大型卧式水轮,轮轴上装有一排互相错开的拨板,用以拨动碓杆,使几个碓头间断地相继舂米。水转连磨的原动轮是一具大型卧式水轮(图 8-5),水轮的长轴上有 3 个齿轮,各联动 3 台石磨,共 9 台石磨,提高了粮食粉碎功效。

水力纺纱机械以南宋时发明的水转大纺车最为先进(图 8-6)。水转大纺车专供长纤维加拈,主要用于加工麻纱和蚕丝。麻纺车装有 32 枚锭子,结构复杂庞大,有转锭、加拈、水轮和传动装置四个部分,用两条皮绳传动,使 32 枚纱锭运转,大大提高了纺纱功效。

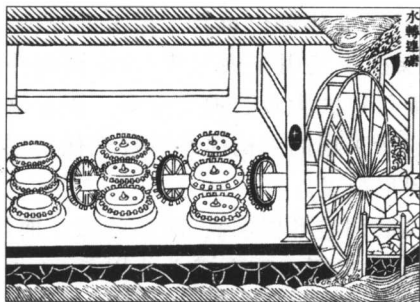


图 8-5 水转连磨[采自(元)王祯《农书》]

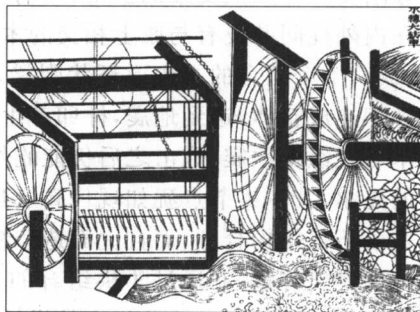


图 8-6 水转大纺车[采自(元)王祯《农书》]

第三节 中国古代科学技术的特点和局限

中国古代科学技术的突出特点表现为实用性、继承性与官府主办。这些特点正是中国古代科学技术能够取得许多辉煌成就、为中华文明的兴旺发达提供物质技术基础的主

要原因。在没有外在压力和竞争的条件下,这些特点曾经长期保证中国传统科学技术在一个相对封闭的状态下,按着“天人合一”的田园牧歌式道路,缓慢地向前发展。但是,随着西方国家借助近代科学革命带来的优势成为强国而对外武力扩张,中国传统科学技术的特点反而成了妨碍中国科学近代化、导致近代落后挨打的主要因素。

一、实用性

中国古代的科学形态属于实用型,注重于实用性。无论是自然科学,还是工程技术,都强调为政治、军事和经济服务。“经实致用”,利国利民,是中国古代科学技术不断发展的主要动力。

例如,中国自古以农业立国,民以食为天,历代农学家都是在农本思想的指导下,潜心研究农学,编纂农书,指导农业生产。《吕氏春秋·上农篇》云:“古先圣王之所以导其民者,先务于农。民农非徒为地利也,贵其志也。民农则朴,朴则易用,易用则边境安,主位尊。”唐代农学家韩鄂之在《四时纂要》中说:“夫有国者,莫不以农为本;有家者,莫不以食为先。”

数学自古作为一门工具性学科,广泛用于地图的测绘、土地的丈量、赋税的计算、财政的收支、货物的交易、建筑与水利工程的设计和施工、音律的制定等,非常实用。《后汉书·历律上》题:“故体有长短,检以度;物有多少,受以量;量有轻重,平以权衡;声有清浊,协以律吕;三光运行,纪以历数。”数学被列为“士”必受训的“六艺”之一。元代数学家李冶《测圆海镜·序》指出:“数术虽居六艺之末,而施之人事,则最为切务。”

自古至今,医学在战胜疾病特别是瘟疫、保证民族繁衍生息方面发挥了关键性的作用。东汉张仲景《伤寒杂病论·自序》指出,医学“上以疗君亲之疾,下以救贫贱之厄,中以保身长全,以养其生”。据不完全统计,现存中医药文献近 8000 种,其中以临床医学占绝大多数,详细记载了几千年来所积累的医药科学知识和医疗实践经验。

古代天文学的实用性表现为,编造历法,授民以时,指导农耕,直接为农业生产服务。朱文鑫在《史记天官书恒星图考·序》中指出:“天文之学,治历者得之以定岁时,测地者得之以正疆域,航海者得之以辨方向。”中国传统的宇宙论相信,存在着一个有意志的“天”,天地万物乃至人事间的一切事务,都受着“天”的支配和主宰;人事间的帝王是“天子”,代表“天”的意志行事,并受着“天”的制约。古人相信,天文现象与世间人事之间存在着相互对应的关系,星占学由此应用而生,卜知天意,沟通天人关系,直接为皇帝服务。

二、继承性

总体上,中国传统科学技术代代相传,从未因为朝代更迭、外族入侵和战火而中断,

具有独特的连续性和继承性。

造纸术和印刷术为中国古代科学技术知识的传承提供了技术手段。历代知识分子引经据典,调查研究,著书立说,使传统科学和技术不致湮没。同时,能工巧匠通过血统延嗣,使工艺代代相传。

在科技典籍的流传过程中,历代科学家和学者特别重视前人的研究成果,遵循经典著作的体例和方法,总是在前人著述的基础上继承、沿袭、注疏、注解、补充和改进。

例如,历代医学家把《黄帝内经》奉为经典,历代修历都仿效《大衍历》,地学家们奉《汉书·地理志》为经典,数学家们把《九章算术》尊为经典,农学家们把《齐民要术》视为经典。

张仲景编著《伤寒杂病论》,非常重视“求古训,博采众方”(《自序》)。孙思邈研究医学,“白首之年,未尝释卷……事长于己者,不远千里,服膺取决”(《千金要方·自序》)。李时珍著《本草纲目》,深入民间,向农民、渔民、猎人、樵夫、药农、老圃、工匠等请教,引用文献 800 多种。贾思勰编著《齐民要术》,“采摭经传,爰及歌谣,询之老成”(《序》),引用文献 180 多种。郭守敬编制《授时历》,“遍考自汉以来历书四十余家”(《元史·杨恭懿传》)。徐光启著《农政全书》,“考古证今,广咨博讯,遇一人则问,问则随闻随笔,一事一物,必讲究精研,不穷其极不已”,引用文献 225 种(徐骥《文定公行实》,《徐光启集》下册)。清代著名学者吴其濬(1789—1847)辑录历代有关植物的文献 800 余种,编著《植物名实图考长篇》。这些例子都说明了中国古代科学技术的继承性。

三、官办为主

中国古代科学技术发展的另一个突出特点是官办为主,即许多科学活动和技术发明都是由历代官府集中大量人力、物力和财力来完成的;许多科学家与技术发明家同时是官员或曾经做过官,而且不少是朝廷高官,官府手工业代表着最先进的技术和工艺水平。

例如,历朝历代都对天文历法非常重视,设有专门的机构——司天监,由中央政府直接控制,研制大型天文仪器,在各地设置观象台,任命一批官吏日夜观测天象,并加以记录,以报告异常天象,或预测日、月食以及五星运行的特殊现象。中国拥有世界上最丰富的天象记录,主要应归功于中央集权国家的支持和组织。

又如,造纸技术的改进、丝绸之路和大运河的开辟、万里长城和大型宫殿的构筑、《营造法式》的颁布、大规模的大地和天体测量、炼丹和火药的发明、大型药典和历法的修纂、《劝农文》和《耕织图》的颁布、宝船制造与郑和下西洋,等等,都是由朝廷和官府组织和落实的。

另外,官府手工业集中了全国的能工巧匠,控制了兵工、铸钱、丝绸、瓷器、盐业、炼铁、造船、建筑等重要行业。官营工场分工非常细致,工匠各司其职,技术熟练高超。内

府制作直接为皇帝及其周围的人服务,许多制作是秘密的,需要特殊技术,因此代表着手工业和传统工艺的最高水平。

例如,明代建立了一套庞大、复杂、严密的官手工业管理组织机构,由工部、内府、户部、都司卫所、地方官府、都察院与刑部监察分工领导,对手工业生产的各个环节进行管理和监督,以确保皇帝及皇室、中央和地方官府、军队所需物品的生产和供应,保证土木建筑工程的营造和维护。

四、中国古代科技发展的局限

中国古代科学技术曾有过辉煌的成就,为世界文明的进步作出过贡献。但是从近代开始,随着西方近代科学的飞速发展,中国传统科学开始暴露出明显的局限性。

首先是强大的务实精神冲淡了知识分子和工匠对自然界进行理性探索的精神,很难产生专门化的科学理论,传统科学技术只能是滞留在经验性的认识阶段。中国古代流行的元气学说、阴阳学说、五行学说、天人合一等理论,属于高度普适性的理论,只能用来笼统模糊地解释一些自然现象,反而束缚了对自然界进行具体的、有分析地探讨的科学精神。实用性导致浅尝辄止,固步自封。进入近代科学时期,曾经领先于世界先进水平的中国传统科学被远远地抛在后面。

其次是崇尚先哲和经典有余,发展创新不足。中国古代知识分子和工匠尊奉经典,擅长继承、沿袭、注疏、注解,在原来的基础上补充、改进,缺乏创新精神和变革动力。同时,能工巧匠通过师傅带徒弟来传授技艺,但祖传秘方和绝技只传嫡系,不传外人,结果使有些绝活在流传过程中失传。继承性导致墨守成规,排斥异己。因此,中国古代科学技术只能沿着传统的道路缓慢地发展,难以进入近代理性的科学阶段。

再次是读书做官、治国平天下的传统价值观一直阻碍知识分子献身科学事业。尽管墨子(约前 468—前 376)研究科学技术是为了“兴天下之利,除天下之害”,宋应星钻研各种技术问题“与功名进取毫不相关”,但是,这样的知识分子毕竟属凤毛麟角。绝大多数知识分子崇尚“修身,齐家,治国,平天下”,大多把精力耗费在寻章摘句、皓首穷经之上。清代著名学者顾炎武(1613—1682)在《日知录·博学于文》中说:“君子博学于文,自身而至于家国天下,制之为度数,发之为音容,莫非文也。”官僚知识分子即使从事科学技术工作,也并非要探索自然界的奥秘,很少把科学研究作为终身事业。他们缺乏独立探索的科学思想和科学精神,对科学技术问题常常不求甚解。例如,清阮元(1764—1849)《畴人传》卷 46 题:“良以天道渊微,非人力所能窥测,故但言其所当然,而不复强求其所以然。此古人立言之慎也。”更有甚者,他们不能理解前代创建的科学知识体系,特别是天文学和数学知识,在科学上一代不如一代。

如果没有近代来自西方的压力和挑战,中国传统科学技术也许仍能沿着低能耗、低

污染、可持续发展、“天人合一”的独特道路,继续缓慢地向前发展,用科学技术手段解决中国自身面临的难题,其局限性可以忽略不计。但是,随着近代科学革命和工业革命带来的巨大变化,中国不可能永远在一个相对封闭的状态下生存和发展。在 21 世纪,如何继承中国传统科学的优良传统,吸收外来先进科学文化,融入世界科学发展的主流,为人类文明的进步作出新的贡献,是当今中国科学界面临的艰巨任务。

思考题

1. 为什么在 16 世纪以前中国能取得先进的科技成就?
2. 为什么中国传统科学没有自发地向近代模式科学转变?
3. 为什么中国学习西方先进科技已经 400 余年而科技水平整体上至今仍然落后于西方?

参考书目

1. 杜石然、范楚玉等:《中国科学技术史稿》,北京,科学出版社,1983。
2. 卢嘉锡总主编:《中国科学技术史》,《人物卷》(金秋鹏主编),《科学思想卷》(席泽宗主编),北京,科学出版社,1998、2001。
3. [英]罗伯特 K. G. 坦普尔:《中国:发明与发现的国度——中国的 100 个世界第一》,陈养正、陈小慧等译,南昌,21 世纪出版社,1996。
4. 潘吉星.《李约瑟文集》,沈阳,辽宁科学技术出版社,1986。
5. 华觉明.《中华科学五千年》,济南,山东教育出版社,1997。

第九讲

欧洲的文艺复兴

这是一次人类从来没有经历过的最伟大的、进步的变革，是一个需要巨人而且产生了巨人——在思维能力、热情和性格方面，在多才多艺和学识渊博方面的巨人的时代。^①

——恩格斯

文艺复兴绝不限于文学。有许多因素结合起来造成了一次空前未有的智识发酵，虽然文学是最早而且最重要的一个因素。^②

——丹皮尔

本讲将着重探讨近代科学在欧洲产生的前提和背景。众所周知，发生在14、15世纪的文艺复兴运动，在欧洲历史上泛指一个特定的时期。在这个时期中，欧洲的历史经历了一次从未有过的伟大变革，由此拉开了从中世纪走向近代世界的序幕。我们很难简单地概括“文艺复兴”所拥有的丰富含义，但无可置疑的是，这一时期人们在物质与精神上的求索与创造，在诸多意义上也构成了科学技术史上的一场重要变革的开端。

第一节 起源及其特征

文艺复兴(Renaissance)一词，仅就字面而言，在法语中由“再”(re)和“生”(naitre)两词复合而成，因而包含了某种“再生”的含义。需要强调的是，这里的所谓再生，不仅仅局限在文学和艺术，它泛指那个时代中古代希腊与罗马学术与思想所获得的再度弘扬。

事实上早在13世纪，即通常所说的欧洲中世纪鼎盛时期，欧洲人就已经通过阿拉伯语或直接诉诸希腊语的翻译，获得了包括亚里士多德著作在内的许多古希腊和罗马时代的典籍。然而那些早期的工作，其影响大都仅限于知识界十分有限的范围内。相比之下，在15、16世纪的文艺复兴运动中，人们开始看到，当时那种对古代著作的翻译及其兴趣，在广度和深度上均已大大超过以往。尤其是随着这种兴趣体现在愈来愈多的文学艺

① 恩格斯：《自然辩证法》，第7页，北京，人民出版社，1971。

② 丹皮尔：《科学史及其与哲学和宗教的关系》，第156页，北京，商务印书馆，1997。

术作品中,它的影响迅速地普及开来。而此时对古代学术与思想的弘扬,已更多地体现为弘扬作为那个时代中学术与思想的载体——人格,于是展现在我们面前的更本质的画面,便成为一场以人文主义为旗帜的思想解放运动。

文艺复兴运动的发源地在今天意大利国家的北部。从地理上说来,这里拥有威尼斯和热那亚这两大欧洲著名的商业港口。它们不仅为当地的经济带来异常繁荣的局面,而且造就了一个新兴的上流阶层。这个阶层凭借着经商所带来的财富而上升到社会的统治地位。与传统欧洲的贵族们将生活的重心放在乡村,以便管理庄园事务的那种相对来说较为闭塞的生活方式不同,意大利北部的新兴贵族们为了商业、贸易事务的便利,他们的活动集中在像佛罗伦萨和米兰这样一些大都市中。他们在城里建起了豪宅(图 9-1)。这些豪宅不仅是他们从事商业和贸易活动的中心,而且成为人们增进知识和思想交流的重要场所。

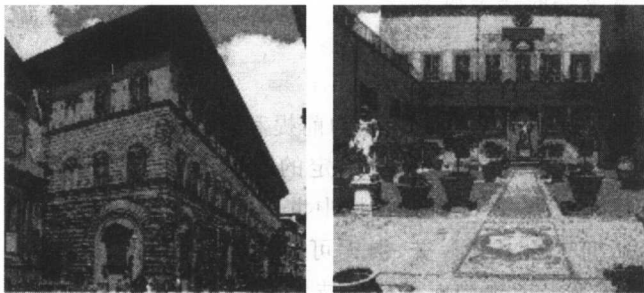


图 9-1 佛罗伦萨市内的梅第奇家族的豪宅

意大利的北部成为文艺复兴发源地的另一个契机是,1453 年土耳其人攻入了东罗马帝国的首都君士坦丁堡。一批希腊学者带着大批古希腊的典籍逃到了这里。他们使那些洋溢着自由探讨精神的古代思想和语言,在经过了近千年之后,又重新展现在人们面前,并使得搜集、整理、翻译和研究这些典籍成为那个时代人们的时尚和需求。在争相获得并收藏那些珍贵的古代手稿的同时,人们也感受到了其中所蕴含着的那种自由探索的活力。尤其在中世纪那个封闭、僵化的思想世界里,对于渴望冲破精神禁锢的人们说来,这种活力充满了反抗现实和开创未来的强大动力。

人们将那个时代的思想解放运动称之为文艺复兴,其主要原因是那个时代的精神与思想集中体现在当时的文学和艺术作品里。在此我们仅仅简单地列举几位当初有名的画家的代表作,从中去领略文艺复兴时代的精神和思想上的新气息。

首先,让我们看看著名的佛罗伦萨画家波堤切利(Sandro Botticelli, 1445—1510)完成于 1478 年的名作《维纳斯的诞生》(图 9-2)。这幅预示着新时代到来的伟大作品——展示在佛罗伦萨乌菲齐美术馆那豁然明亮的大厅中——势必给每一位到访者留下深刻的印象。在这里,画家使维纳斯这位古希腊罗马艺术中的美丽女神重新从贝壳中站起,

她那洋溢着青春与活力的形象将美丽重新带给人间,体现了那个时代人们对中世纪禁欲主义的抗争和追求现世幸福的愿望。

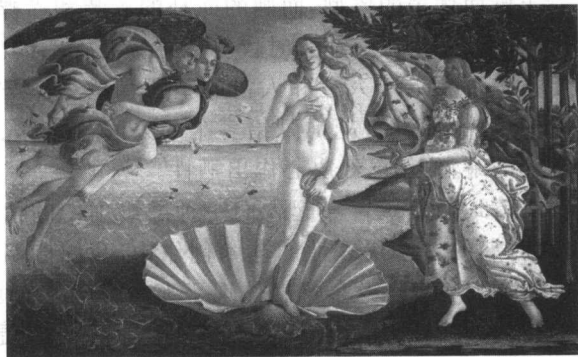


图 9-2 波堤切利所绘的《维纳斯的诞生》

接下来让我们看看文艺复兴巨匠达·芬奇(Leonardo Da Vinci, 1452—1519)的杰作《蒙娜丽莎》(图 9-3)。这幅作品完满而充分地表达了作者的人文主义思想。禁欲主义时代视人的肉体为“灵魂的牢狱”、“罪恶欲念的根源”,而在达·芬奇看来,人是最神圣之物,人体是自然中最美的对象。他以为,不尊重生命的人,就不配拥有生命。因此在《蒙娜丽莎》这幅作品中,作者以一个年轻女性温雅的微笑,赞颂了生命的可爱和新时代人性的觉醒。作品中蒙娜丽莎的右手,被誉为美术史上最美的一只手。

最后让我们再看看拉斐尔(Raphael, 1483—1520)的代表作《西斯庭圣母》(图 9-4)。这



图 9-3 达·芬奇的《蒙娜丽莎》



图 9-4 拉斐尔的《西斯庭圣母》

位比达·芬奇年轻了 30 岁的画家虽然只活了 37 岁,但其天才的创作却使他成为文艺复兴时期最负盛名的画家。《西斯庭圣母》反映了作者的人道精神和那个时代人们的审美趣味。圣母玛利亚有着丰健而优美的体型,而她的简朴的衣装和赤裸的双足又让人感到她的确是一位人间的慈母。尽管宗教在那个时代仍然主导着人们的生活,然而拉斐尔在这里所带给人们的却已是一种更近于人性和人情的基督和圣母。圣母带着她那温柔而又悲悯的目光托起怀中的婴儿,似准备把他献给多难的人间;而逗人喜爱的圣婴眼中似乎也含有一种非同寻常的严肃,仿佛已经决心作出牺牲。

如果说中世纪那些哥特式的建筑曾唤起人们一种缥缈虚幻的情绪和向往天堂的感觉,那么从上述文艺复兴时期的这些代表性的艺术创作中,我们已明显地感受到了一种关怀人性与注重现实的崭新的气息。这种气息体现了那个时代人们心理态度上的变化,对科学史上正在揭开的新的的一幕说来,这种变化既是明显的前兆,又是必要的前提。

第二节 实证倾向的形成

对于文艺复兴时期人们的心理态度所发生的上述变化,应从更广阔的视野中去探究其渊源和背景。诸如与前面的讲座相关联的基督教神学在欧洲大陆的发展;大学作为一种新型教育体制的出现;工匠传统中经验技术的不断累积;古希腊的科学经过伊斯兰文明的继承和发展之后又再度被传回到欧洲大陆;以及我们下面还将提到的来自其他文明——诸如中国文明——的影响,等等。而在那些复杂因素的综合作用中,一系列重大事件的发生,亦被认为对人们心理态度的变化,尤其是实证倾向的形成产生了深远的影响和作用。

首先是 14 世纪上半叶的那场席卷欧洲的大瘟疫——黑死病——的发生(图 9-5),其波及范围之广,持续时间之长,造成的损害之大,均超过了历史上的任何记载,因而带给人们心灵和思想的震撼也尤其巨大。

黑死病发端于俄罗斯或中亚,据说是里海源头周围地区在飞鼠和其他小啮齿类动物间流传的一种疾病在人体上发病的结果。一艘驶往热那亚的商船将这种病菌带到了西欧,接下来又蔓延到小亚细亚、埃及、北非和英国。据英国历史学家 H. G. 韦尔斯所说,这次瘟疫最终导致了占欧洲总人口 1/4 到 1/3 的 2500 万人口的死亡,英国的牛津大学死了 2/3 的学生。“在比较大的城镇里,黑死病的灾害最为猛烈,那里的肮脏和没有阴沟的街道是麻疯病和热病不断肆虐的场所。沃尔特·曼尼爵士出于慈悲为伦敦市民购置的墓地里,埋葬了五万多具尸体……在诺里季有几千人死亡,同时在布里斯托尔活着的人都来不及去埋葬死人。”

“黑死病袭击农村时和它袭击城镇时一样可怕。据说约克郡一半以上的教士是染上



图 9-5 画家笔下的欧洲瘟疫图

这个病死去的……有一个时期耕种已不可能。一个当时的人说,‘牛羊在田野和玉米地上游荡,竟没有剩下一个能够把它们赶走的人’。”^①

黑死病造成的这场大灾难前后持续了 20 年之久。在那个崇尚神灵、传统与权威的年代,面对眼前出现的恐惧与困境,人们开始意识到那些神灵和无所不通的权威几乎发挥不了任何作用。在那些创办于中世纪的大学中,医学作为至高无上的学问,教授们一向只注重对希波克拉底和盖伦等古代先贤的阐释;医生们也总习惯于根据权威来行医论道。然而在黑死病所带来的严重局面中人们却发现,从那些经典作家们的著述中寻找不到任何解决问题的答案。解决问题的唯一的办法只能是诉诸经验,即从病人的发病状况和治疗效果的实际状况中去寻找预防和处置疾病的措施。为此人们走了许许多多的弯路,起初到星相上去寻找黑死病的发病原因,也考虑到了饮食或腐烂物导致的空气污染现象,对于黑死病在人与人之间相互传染的这一事实是后来才逐渐认识到的。据说直到黑死病爆发的 20 年之后,人们才考虑到去采取我们今天已经熟知的大规模隔离与防御措施。

黑死病给医生们带来的教训是深刻的。尤其是在中世纪的大学当中,医学同神学和法学一道,被看做是学术世界的重要组成部分。严峻的现实迫使那些医学家们的目光开始关注到希波克拉底和盖伦等古代权威经典以外的经验事物,尽管这种关注或许还谈不上彻底的转变,但毕竟将那种注重实证的精神或面向实际经验的倾向,带到了传统的学术世界中,从而使中世纪的医学乃至整个学术开始了向近代的转变。

① 参见 H. G. 韦尔斯:《世界史纲》,第 803~805 页,北京,人民出版社,1982。

第三节 地理大发现

如果说 14 世纪那场席卷欧洲的大瘟疫所导致的悲剧,以一种极其消极的形式迫使人们的目光开始关注经验事实,那么接下来将要叙述的 15、16 世纪的航海探险及其所导致的地理大发现,则以积极的结果振奋起人们的精神,并将人们的注意力引向了不断带给人们以新希望的现实世界。

在 15、16 世纪的航海探险及其随之而来的地理大发现中,人们经常谈论着如下三个伟大壮举。首先是葡萄牙人达·伽马(Vasco da Gama, 1460—1524)率领的船队成功地绕过非洲,由此开拓了通往东方的新航路;其次是哥伦布(Christopher Columbus, 1451—1506)勇敢地横跨大西洋,登上了美洲——这块当时还不为人们所知的新大陆;接下来麦哲伦(Ferdinand Magellan, 1480—1521)率领的船队环球航行一周,从而实实在在地证明了大地是球形的学说。



图 9-6 亨利王子

葡萄牙人的航海活动开始得最早。15 世纪初,在著名航海家亨利王子(the Navigator Henry, 1394—1460)(图 9-6)的倡导下,他们开始了沿非洲海岸的探险航行。其理由一方面出于宗教上的原因,同时也追逐着贩卖黑奴和南部非洲的物产所带来的商业利益。1419 年他们占领了马德拉群岛,接下来 1432 年又发现了亚速尔群岛,1445 年葡萄牙水手们将航线进一步推进到非洲的最西端佛得角。此时由于国内发生内乱和亨利王子的去世等原因,该方向上的探险停顿了一个时期。直到前面提到的 1453 年君士坦丁堡的陷落,导致传统欧洲与东方贸易的通道被控制在土耳其人手中,由此迫使欧洲商人和水手们去谋求开辟新的航道,以从红海以外的路线进入印度洋。1487 年,葡萄牙人巴特罗缪·狄亚士(Bartholomeu Dias, 约 1450—1500)率领的船队终于到达了非洲的最南端,从而使人们真正看到了绕过非洲大陆前往东方的希望。作为纪念,葡萄牙国王裘安二世(John II, 1455—1495)将那个非洲最南端的岬角命名为好望角(Cape of Good Hope)。

就在葡萄牙人沿着非洲大陆的海岸线开始向东推进的时候,另一个方向上的航海探险——向西横越大西洋的探险也在悄悄地准备和进行。1478 年,航海家克里斯托弗尔·哥伦布将自己的计划呈报到葡萄牙宫廷,这是一项朝正西方航行横越大西洋的计划。这个计划在今天看来已十分自然,因为它基于大地是球形的信念。然而在当初,这个计划的实行的确需要些勇气和胆识,经济上的保障也十分重要。难怪葡萄牙国王裘安二世起

初对哥伦布的计划并没有表示出很大的兴趣。因为一方面在理论上,葡萄牙宫廷的学者们并不认同哥伦布对地球大小的估算,他们以为将欧亚大陆间的距离定为 3000 英里这个估计过低;另一方面在实践中,他们又看到当时许多到达亚速尔群岛的水手们都不敢继续向西行驶而纷纷折回。与此同时,沿非洲西岸向南航行的船队则已成功地越过赤道,乘胜驶向非洲大陆的南端。它不仅使“热带无法居住”的神话不攻自破,同时又将非洲南部的黄金、胡椒和黑奴等等源源不绝地运往欧洲。于是哥伦布只好转而求助于西班牙王室。后者直到 1492 年攻陷穆斯林的最后据点格拉纳达之后,才转回头来认真考虑哥伦布的请求。

1492 年 8 月 3 日,哥伦布率领他的船队从帕洛斯港口启航,这支船队共 88 人,由三艘船只组成。其中只有圣马利亚号拥有甲板,载重 100 吨。其他两艘都没有甲板,且载重量只相当于前者的一半。哥伦布率领他的船队先向南沿岸行驶到了加那利群岛,稍事修整后,于 9 月 6 日调头西去。当最后一块陆地视线中消失时,随之而来的恐惧可想而知。一些船员很快就变得忐忑不安,甚至有人哭泣起来。哥伦布为了给水手们打气,对航程中见到的所有迹象,都给予乐观的解释。如见到鸟朝西飞去时,他告诉水手们,这是因为他们要到陆地去过夜,可见陆地已不很遥远。遇到逆风和逆流时,他又说这会使回程更方便。为了避免水手们知道实情后加重恐惧心理,他还尽可能地将每日的航程说少些。即便如此,日复一日地仍不见陆地时,水手们还是骚动起来。有人要求立即返航。哥伦布只好软硬兼施,一方面威胁他们,另一方面又许下新的诺言。好在最后几天天气晴朗,船队加速航行,未出现任何意外故障。10 月 7 日,人们见到空中出现了成群的鸟儿,哥伦布对航向作了适当调整。11 日,他们又看见海面漂着绿色芦苇和树枝,到了傍晚,他看到了陆地。第二天,经过 36 天的艰苦航行,他们终于登上了今天人们称之为巴哈马群岛中的一个小岛。

哥伦布横跨大西洋的成功,无疑是人类探索未知世界的一次伟大壮举。受到他的鼓舞和刺激,葡萄牙人华斯科·达·伽马率领的船队亦加快了绕过非洲前往印度的航程。1497 年 7 月 8 日他们从里斯本出发,11 月 22 日就绕过了好望角驶入印度洋。第二年的 3 月他们到达了非洲东海岸的莫桑比克,从那里找到了经验丰富的阿拉伯水手领航,接下来仅用 23 天的时间就渡过了印度洋,并于 5 月 21 日顺利抵达印度西南海岸的卡利库特港。

以后到了 1519 年 9 月 20 日,葡萄牙人麦哲伦率领的船队由西班牙的圣卢卡港出发,经过两个多月的航行,船队来到了南美的里约热内卢。然后沿着海岸南下到南美洲的南部,穿过狭长而危险的麦哲伦海峡,进入太平洋。在浩瀚无边的大海上行进了 98 天,据说除了两个荒凉的小岛外什么也没有看到。1521 年 3 月,船队到达了菲律宾。同年 11 月抵达了目的地马鲁古群岛。由此,船队继续向西航行,穿过马六甲海峡进入印度洋,再绕过非洲南端的好望角,于 1522 年 9 月 6 日返回出发地圣卢卡港。

地理大发现推动了欧洲经济、技术和社会的变革。尤其是葡萄牙人航海事业的成

功,为他们带来了巨大的经济利益。在开拓了通往东方的新航路之后,船队运回的大量香料、丝绸、宝石和象牙等等,经倒手在欧洲市场高价卖出,获得的纯利竟相当于航行费用的数十倍。相比之下,哥伦布和麦哲伦的航海未能导致直接的经济利益。前者在胜利横跨大西洋之后,又接连四次往返于两块大陆之间寻找黄金之国,但除了落后和贫瘠的陆地之外,始终未能找到传说中的黄金和珠宝。哥伦布甚至至死也不知道自己发现的是一块新大陆。^①而作为后者的麦哲伦更是未能带领船队走完那次著名的环球之旅。他在菲律宾群岛同当地土人的冲突中不幸被杀。出发时的五条大船和260人的庞大船队,返回故乡时只剩下了一条残破不堪的船只和18名水手。然而,我们不能由此而低估哥伦布和麦哲伦的壮举对于日后世界市场的开拓所拥有的意义。尤其在科学史上,这些伟大的成功在技术进步和观念变革方面都同样具有划时代的意义。在科学史上,葡萄牙人环绕非洲的成功与哥伦布和麦哲伦的壮举在性格上形成了鲜明的对照。前者显然是在经验的积累和对技术的逐步改善这一典型的工匠传统中得以实现;而后者则一开始便立足于关于大地球形的认识,因而可以看做是在学者传统的直接影响下所取得的成功。

无论如何如前面所说,地理大发现在地理上和精神上都极大地拓展了那个时代人们的视野,它本身亦是经验技术的积累和知识进步中的重要产物。随着那些勇敢者们在地理上不断跨越新的疆界,人们的思想和生活赢得了更加广阔的空间,而被禁锢着的心灵也由此开始挣脱枷锁,从而将更多的注意力从天堂转向了现实生活。

第四节 中国文明的贡献

在欧洲走向近代文明的里程中,我们尤其要强调来自东方的中华文明也曾扮演了重要的角色。近些年来东西方学者的研究,向我们揭示出愈来愈多这方面的线索。其中,时常被人们提起的指南针、造纸术、印刷术和火药这众所周知的中国古代四大发明,在欧洲中世纪向近代的变革中也被公认发挥过巨大的作用。

首先是指南针。不言而喻,指南针在地理大发现时代的航海事业中发挥了重要的作用。中国早在战国时期,就有关于“司南”的记载。所谓“司南”,被认为是指南针的前身,它由天然磁石制成,样子像勺。将其圆底置于刻有方位的“地盘”上,其勺柄指向南方。《论衡》中记载有,“司南之勺,投之于地,其柢指南”。由于天然磁石的磁性较弱,又因加工过程中的受热等因素容易导致失磁,使司南常常难以达到预期效果。经过长期摸索,到了宋代,人们终于在磁化方法和磁针装置这两方面都取得了显著的进步。《武经总要》

^① 今天的美洲作为新大陆的事实,是若干年后佛罗伦萨人亚美利坚·韦斯普奇(Amerigo Vespucci, 1454—1512)发现的,因而以他的名字来命名。

中记载着人们利用地磁场的作用,通过将铁片烧红,令其“正对子位”,然后“蘸水盆中”的制作指南鱼的方法。《梦溪笔谈》卷 24 中也提到:“方家以磁石磨针锋,则能指南”。这表明此时人们在人工磁化方法上,已经向前迈进了一大步。关于磁针的装置方法,此时的人们也已经有了诸如“水浮”,置“指爪及碗唇”以及“缕悬”等多种方法。这些既简便又有效的方法的发明,为指南针的出现和普及创造了条件。

造纸技术出现于中国的秦汉时期(图 9-7),东汉时期的蔡伦在改进造纸技术并使之得到推广方面作出了重要的贡献。蔡伦等人开发出来的以树皮、麻头、破布等原料制作纸张的新技术。由于扩大了造纸的原料来源并提高了生产出来的纸张质量,因而使得纸张的制造和使用很快普及开来。公元 8 世纪,在大唐帝国同阿拉伯的交战中,中国的造纸技术传到了中东,以后欧洲人开始从大马士革购买纸张,到了公元 12、13 世纪,西班牙、法国、意大利和德国相继出现了造纸厂。



图 9-7 汉朝造纸工艺流程图

与造纸技术密切相关的是印刷技术。事实上,纸的出现也为印刷技术的产生奠定了基础。大约在隋朝时期(大约公元 6 世纪前后),中国开始出现了雕版(或刻版)印刷技术。其过程是将书稿的写样写好后,使有字的一面贴在板上。接下来刻工将木板上的反体字黑迹刻成凸起的阳文。然后在木板上刷墨,凸起的文字在受墨后,便可将文章印到纸上。人们用这样的方法印制农书、医书、历书和字帖等等。在佛教传入中国后,人们更是用这种方法印制了大量的佛经。雕版印刷技术在宋代达到了相当高的水平。随着这个行业的不断繁荣,一些问题也开始突显出来,比如制作雕版时所带来的人力和材料的耗费非常大,等等。为了克服这些问题,宋代刻字工人毕昇以胶泥为材料,发明了活字印刷技术。以后该项技术在中国又取得了一系列的发展。比如在制作活字的材料方面,继毕昇的泥活字之后,又出现了木活字、瓷活字、锡活字和铜活字;在与活字印刷相关的检字技术方面也出现了转轮排字架,等等。中国的雕版印刷技术大约在公元 12 世纪传到埃及,活字印刷技术则经过新疆、小亚细亚传到了欧洲。1450 年,德国古登堡仿照中国的

活字印刷术,用铅、锑、锡合金为材料,制成了欧洲的拼音活字,从此印刷技术在欧洲便很快流行起来。

火药最早来自中国炼丹术士的发明,而将火药用于战争,则是大约公元10世纪(宋代)前后的事。人们在战场上使用火药,起初想到的仅仅是用它来放火;以后又想到了将它用在发射动力和爆破方面。火药的制造技术经由阿拉伯传入欧洲。大约在公元14世纪中叶,欧洲开始出现了使用火药的大炮,紧接着到了14世纪末,又出现了使用火药的金属枪支。枪支和大炮的普及,尤其在政治动荡的欧洲,迅速推动了各种相关知识和技术的发展,其中有对与弹道学等相关的运动原理的研究,或者对金属的冶炼、火药的配制等化学知识的探究,以及关于防御枪炮攻击的新的筑城技术及相关材料问题的研究,在医学上关于救治枪伤的外科学的开创(在那以前,外科不属于医学的范畴,它是属于工匠当中理发师们的工作。从14世纪中叶起,到16世纪初,外科学逐步发展成为医学中的一个重要分支。而这段时间刚好与枪炮在欧洲的普及相重合。在东方,外科的发展落后于西方,这同欧洲在枪炮的实用化方面领先于东方的事实不无关系)。因此,火药和枪炮技术的普及,不仅开创了军事技术的新纪元,它在极其广泛的领域中,刺激了技术和知识的进步和发展。

关于上述中国古代文明中,火药、指南针和印刷术给欧洲进步所带来的影响,马克思曾经写道:“这是预告资产阶级社会到来的三大发明,火药把骑士阶级炸得粉碎,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。”^①而近代科学的奠基人之一培根也曾在其著名的《新工具》中谈道:“我们还该注意到发现的力量、效能和后果。这几点是再明显不过地表现在古人所不知、较近才发现、而起源却还暧昧不彰的三种发明上,那就是印刷、火药和磁石。这三种发明已经在世界范围内把事物的全部面貌和情况都改变了:第一种是在学术方面,第二种是在战事方面,第三种是在航行方面;并由此又引起难以数计的变化来;竟至任何帝国、任何教派、任何星辰对人类事物的力量和影响都仿佛无过于这些机械性的发现了。”^②

第五节 达·芬奇——时代造就的巨人

文艺复兴不仅在精神和物质两个方面为近代科学的诞生奠定了基础,更重要的是在那个呼唤巨人的变革时代,它的确为时代造就了一批开拓未来的巨人,前面提到的达·芬奇即是一位杰出的代表。

① 马克思:《机器、自然力和科学的应用》,第67页,北京,人民出版社,1978。

② 培根:《新工具》,第103页,北京,商务印书馆,1984。

1452年,达·芬奇出生于佛罗伦萨郊外的一个名叫芬奇的小镇上,这里曾因制作农具而远近闻名。至今镇上还有一家规模不大,但十分有特色的古代农具博物馆。在这里,你会为达·芬奇日后在器械制作方面显示的才能多少找到一些根据。达·芬奇的父亲是当地颇有名望的律师,而母亲则是贫苦的农家女。达·芬奇是他们的私生子。达·芬奇出生后不久,父亲便遗弃了母亲。5岁那年,达·芬奇被带到了祖父家中,14岁起,他成为佛罗伦萨著名画家兼雕塑家维罗琪奥的弟子。20岁那年,达·芬奇参加了佛罗伦萨的画家联合会。以后,他先是为佛罗伦萨的当政者梅迪奇家族服务,后来又为米兰和罗马的宫廷服务。1516年,达·芬奇应弗朗西斯一世(Francois I,1494—1547)之邀,迁居安波斯城克鲁堡,任宫廷首席画家、建筑师、工程师。1519年客死在那里,享年67岁。

人们知道达·芬奇,通常由于他是一位伟大的画家,并且为后人留下了诸如《蒙娜丽莎》、《最后的晚餐》和《岩间圣母》等不朽的作品。然而事实上,作为文艺复兴时代所造就的巨人,达·芬奇的贡献绝不仅限于艺术方面。“他对各种知识无不研究,对于各种艺术无不擅长。他是画家、雕塑家、工程师、建筑师、物理学家、生物学家、哲学家,而且在每一学科里他都登峰造极。在世界历史上可能没有人有过这样的记录”。^①

达·芬奇一生留下了5000页以上的手稿。这些手稿全面地展现了这位文艺复兴巨匠一生的求索,也反映了文艺复兴时期人们的进取精神和创造生活。达·芬奇手稿的内容涉及文学、绘画、数学、力学、天文学和建筑学等诸多领域。耐人寻味的是这部手稿的所有文字都自右向左排列,并被写成了反写体。人们只有在镜中去读才能看清楚。关于其理由研究者们说法不一。有人认为它只单纯地表明了达·芬奇是左撇子;但也有人认为,它是由于达·芬奇不愿别人了解自己的思想,因而写成了反写体;还有人认为,这是达·芬奇要以此来向读者传递一个信号,即人们愈是去探索自然,就愈会走向与《圣经》所教导的那些知识的反面。

达·芬奇的手稿中充满了诸如“再二再三地进行实验,并观察这实验是否产生同样的结果”、“不要相信那些仅凭想象来充当自然和人之间的译者的艺术家”、“从实验开始做起,并用它来检验理论”等等记载。作为那个时代伟大的思想家,达·芬奇反对把圣经上的教义和权威的言论作为知识基础,他鼓励人们向大自然学习,到自然界中寻求知识和真理。他认为知识应当从实践中产生,同时也只有实践才是确实性之母。

达·芬奇的上述哲学贯穿于他的艺术实践与创作中。作为杰出的画家,达·芬奇意识到了深入了解人体知识的必要。为此他不顾教会传统的戒条,对弄来的许多尸体加以解剖。他在手稿中曾这样写道:“为了对这些血管得到准确完备的知识,我已经解剖过十个以上的尸体了。”^②他将人体的各个肢体分解开来,并使除去毛细血管流出的肉眼看不

① [英]W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,第163页,北京,商务印书馆,1977。

② [英]W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,第167~168页,北京,商务印书馆,1977。

见的血以外,各处都已不再出血。接下来将血管周围的肉仔细地剥离开来,进行细致的分析和观察。像这样,在解剖中所获得的准确完备的知识,不仅使他的艺术登峰造极,同时也使他的生理学知识,比起同时代的人们大大前进了一步。他在哈维发现血液循环前100余年,既已探讨过血液在人体新陈代谢方面的功能,并通过与大自然中水从高山流入江河,汇入大海,又上升为云,再转化为雨而返回到山上这一循环现象的类比,对血液在身体中的运行做了精彩的说明。

达·芬奇不满足于仅从艺术的角度去考虑光的问题,他花费了大量时间和精力研究视力的机制,或许这使他成为第一个懂得透镜作用的实验者。经过实验,他放弃了视力是通过眼睛中发射的粒子来获得的错误概念,取而代之的是一种简单的描述,即光以类似波的方式运动。达·芬奇的笔记还显示出他是历史上最早描写立体视觉原理以及双眼搜集关于物体信息所采用的方式的人。他明白这些信息随后被交由“灵魂”(我们今所称的大脑皮质层)处理。他还将眼镜的功能与针孔暗箱联系在一起,并进而制作了一些可以扩大视野的奇怪光学仪器。

凭着长期对各种鸟的身体与飞翔所做的认真观察,达·芬奇研究了鸟的躯体结构及其如何展翅以及在空中盘旋的机制,他的笔记展现了这方面的心得。既有速写,也有带注释的复杂绘画和观察记录。他制作了简单的试验装置,把小鸟吊起来,借以考察鸟的不同飞行姿态和身体各部位的功能。他还使用各种材料模仿制作鸟、蝙蝠的翅膀。通过这些仔细的观察研究,达·芬奇得出结论:“鸟是遵循数学法则活动的器械。人们可以制造出完全像鸟一样运动的器械,只是眼下这种器械在保持平衡方面性能还达不到鸟的程度。因此,在人类制造的这种飞行器上,可以说除了鸟的生命以外,并不缺少任何东西。而这种生命,人们则必须用自己的生命替代之。”为此,达·芬奇设想了许多关于制造人力飞行器(图9-8)、降落伞等方案。在这里,他的观察与思考成为我们今天仿生学的先声。

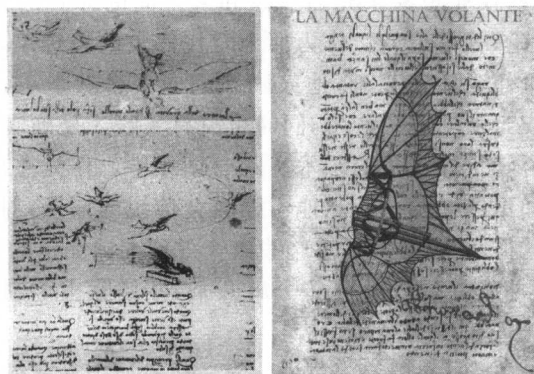


图9-8 达·芬奇笔记中飞鸟的各种姿态(左)和他设计的飞行器(右)

此外,达·芬奇还研究发明了许多用于各种用途的机械。比如,由滑轮和齿轮构成的起重机械,自动印刷机械,铗、锯机械;烤肉机械,纺织机械等等。而作为军事工程师,他还在写给米兰公爵的自荐信中,强调自己在建造桥梁、攻城用的云梯和制造装甲车、大炮、迫击炮以及各种美观实用的轻武器等用于攻击或防守的器械方面的才能。今天,在佛罗伦萨的达·芬奇博物馆中,我们仍可以看到许多根据他手稿中的文字和草图制作的模型,这些模型展现出的达·芬奇的多种才能和奇思妙想无不让人叹为观止,更重要的是从这些充满创意的发明中,我们可以领略到文艺复兴时代的艺术与科学、理智与情感、形体和精神在一位杰出的开拓者的身上所达成的完美结合和统一。

思考题

1. 文艺复兴何以发源于意大利?
2. 文艺复兴为近代科学的诞生提供了怎样的前提和基础?

参考书目

1. W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,北京,商务印书馆,1977。
2. H. G. 韦尔斯:《世界史纲》,北京,人民出版社,1982。
3. C. 尼科尔:《达·芬奇传》,武汉,长江文艺出版社,2006。

第十讲

近代科学的诞生

这个革命改变了物理世界的图景和人类生活本身的结构,同时也就改变甚至处在非物质科学中的人们的惯常的精神活动的特点。因而它作为现代世界和现代精神的真正起源赫然耸现出来。

——巴特菲尔德

牛顿啊……你所发现的道路,在你的那个时代,是一位具有最高思维能力和创造力的人才能发现的唯一道路,你所创造的概念,至今仍然指导着我们的物理学思想……

——爱因斯坦

文艺复兴的精神向中世纪的权威提出了挑战,而生产和生活中出现的新技术与新发明,亦使得愈来愈多的人们更加尊重经验和事实。近代科学在这种背景中拉开了序幕。这是一个内容十分丰富的话题,它使我们想起了哥白尼、开普勒、伽利略、吉尔伯特、维萨留斯、哈维、波义耳、培根、笛卡儿、帕斯卡、惠更斯、胡克、牛顿等等一连串伟大的名字,进而又从这些名字联想到那个时代中的科学、技术及其与之相关联的思想与社会中兴起的广泛变革和一系列震撼性的事件(图 10-1)。在此我们不可能对所有那些人物和事件一一进行细致的描述,而只能选择若干重要且具有代表性的话题。

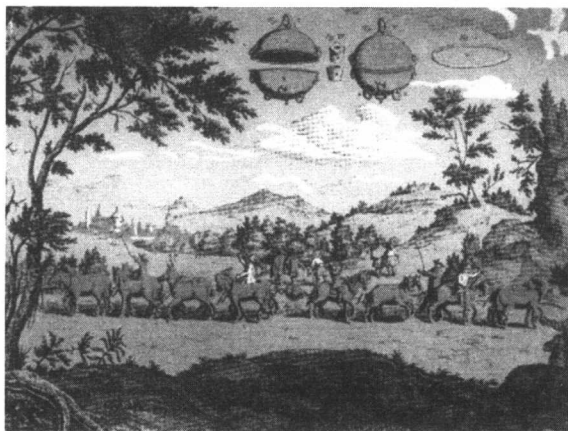


图 10-1 马德堡半球实验

第一节 哥白尼革命

“哥白尼革命”一词通常有着狭义和广义之分,前者围绕哥白尼本人的工作而后者则泛指哥白尼开始的近代科学的诞生。作为本节的标题,我们无疑是在前者的意义上使用这个概念。

即便是狭义地探讨哥白尼的革命,这里面也需要有一个明确的区分,这就是作为自然科学中一个特定领域的天文学问题和人们应当怎样去看待宇宙这样一个与宗教、哲学相关联的宇宙观的问题。这两个问题无疑是相互紧密关联的,但是我们不能将它们混同在一起。尤其是当我们看待哥白尼成果的科学史意义的时候。

探讨哥白尼的革命,当然必须从古代·中世纪的宇宙观及其天文学的基础谈起。古代·中世纪宇宙观简单说来,包括了如下三个要点:首先是地球处在宇宙的中心,且它的位置不发生任何变化。其次是所有天体都处在一个透明的天球上,它们无一例外地进行着圆周运动。其中恒星镶嵌在天球最外层的界面上,并环绕地球作周日运动,而太阳、月球和其他水、金、火、木、土五大行星则在各自的轨道上进行着固有的运动。接下来是月球以下的月下界(即地上)的物体同月球以上的所谓天界的物体由不同的元素所构成。天界的物体是由高贵的元素以太构成的,因而其运动简单和谐,能以圆周运动来加以表示;而地上的物体是由普通元素构成的,因而其运动相对说来杂乱无章,我们只能物理地说明其运动的原因,而不可能对其运动轨迹进行简洁的描述。这种宇宙观主要起源于古希腊哲学家亚里士多德,而天文学体系的建立则由希腊晚期的天文学家托勒密(Claudius Ptolemaeus, 90—168)来完成。到了中世纪经院哲学的鼎盛时期,托马斯·阿奎纳把亚里士多德思想和托勒密的宇宙体系同基督教的教义结合起来,从而建立起一个更加权威化了的宇宙体系。

上述宇宙体系尽管可以对宇宙乃至与之相关的自然现象给出一个看似普遍而合理的说明,然而,从天文学所应具备的功能说来,它还必须在预测行星的运行以及日食、月食等天文现象方面给出满意的答案。古希腊罗马以来的天文学理论,其核心问题都在于试图合理、简洁地说明和预测行星的运动。然而在那周而复始地进行着均匀的周日运动的恒星当中,行星的运动最令人感到捉摸不定。它们忽而在恒星队列中拼命地向前追赶,忽而又返回头来向相反方向进行着所谓逆行运动(图 10-2)。在亮度上,它们也都有时亮,有时暗。对于这些相对说来很不规则的行为,上面提到的古代天文学家托勒密建立了一个充满智慧的模型(图 10-3),从而对上述现象在圆运动的框架中给出了一个统一的解释。

托勒密理论的要点之一,是建立了行星运动的本轮-均轮体系。即设想行星在各自轨

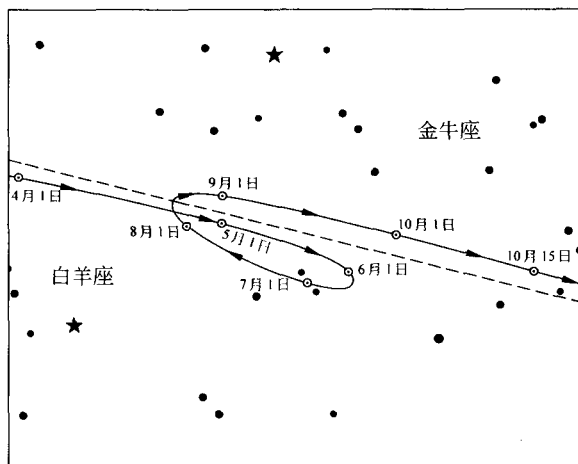


图 10-2 以恒星为背景观察到的火星的逆行

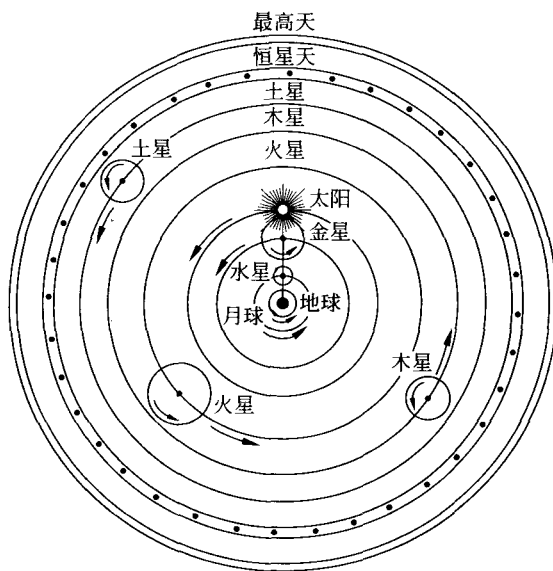


图 10-3 托勒密的地心说体系

道(均轮)上,做环绕地球的圆周运动的同时,又沿着一个较小的圆周轨道(本轮)做另一个圆周运动。本轮的中心在均轮的某一点上。这样一来,用本轮和均轮运动的叠加,就使上述行星的顺行、逆行以及忽明忽暗的现象用复合圆运动的观点得到了说明。

托勒密的理论在其形成初期,尚能较好地预测行星将要到达的位置。然而当它被用来进行历法的计算时,随着时间的推移,其误差便渐渐显著起来。为了消除这种误差,人

们沿着托勒密的思路,采取了在本轮之上又套上新的本轮的方法来对理论加以修正。经过了将近 1500 年的时间,托勒密体系中的本轮竟然已增加到了八十几个。这样一来,理论本身就变得格外复杂,而它与实际观测间出现的误差也在逐渐加大。历法的计算对天文学理论提出了更高的要求。除此之外,蓬勃兴起的大航海运动,以及大变革时代所带给人们的对命运的担忧,也导致人们对长期以来的占星活动变得格外关注。哥白尼的天文学工作,在很大的程度上是为了解决上述实际中的具体问题。他本人在其不朽著作《天体运行论》(*De revolutionibus orbium coelestium*)的序中也明确地提到了“不久前在里奥十世治下,在拉特兰(Lactantius)会议上讨论了教会历书的修改问题”。^①

尼古拉·哥白尼(Nikolaus Copernicus, 1473—1543, 图 10-4)出生于波兰维斯瓦河上游托伦城的一个殷实的商人家庭。父亲是波兰人,名字叫尼古拉。母亲是德国人,出身名门。幼年丧父的哥白尼是由其舅父抚养大的。他的舅父是地区的主教,在他的庇护下,哥白尼从小受到了良好的教育。18 岁那年,哥白尼进入波兰著名的学府克拉科夫大学读书。这里是当时欧洲的学术中心之一,哥白尼的老师沃依捷赫·勃鲁泽夫(斯基, 1445—1497)是一位著名的数学家和天文学家,他使哥白尼获得了良好的启蒙教育。



图 10-4 哥白尼

大学毕业后,哥白尼又被送到意大利留学。作为文艺复兴的发源地,这里是当时欧洲学术的中心,哥白尼先后在波伦亚和帕多瓦等大学攻读法律、医学和神学,并在数学方面受到了良好教育和训练。哥白尼在波伦亚大学时代的老师迪诺瓦拉(Maria de Novara, 1454—1504)对当时占支配地位的托勒密地心体系就持批判的态度。他认为这个体系太复杂,不符合数学和谐的原理。

哥白尼于 1506 年回到波兰,他一边担任舅父的医生和秘书,一边考虑着他的新天文学。1530 年,哥白尼写了一篇论文叙述他的研究成果,同年又以通俗的形式发表了这篇论文的提要。教皇克力门七世(对这一工作表示赞许),他要求作者发表全文。可哥白尼直到 1540 年才开始着手做这项工作。1543 年,当《天球运行论》的第一册拿到跟前时,哥白尼已躺倒在临终的病榻上了。

在着手创建新天文学之际,“哥白尼心中最重要的问题是:行星应该有怎样的运动,才会产生最简单而最和谐的天体几何学”。^② 受到文艺复兴时期那被再度强化了古代学术的感染,他力图使这项工作回到毕达哥拉斯与柏拉图的传统当中。他深信:①宇宙

① 哥白尼:《天体运行论》,第 22 页,北京,北京大学出版社,2006。

② W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,第 172 页,北京,商务印书馆,1997。

是球形的；②地球是球形的；③天体的运动都是在圆形轨道上进行。这三条体现了均匀运动基本原则的假设，并力图由此出发，去寻找对天体及行星运动的更加简洁的说明。

哥白尼对宇宙和谐的坚定信仰最终导致其放弃了长期以来占据着支配地位的托勒

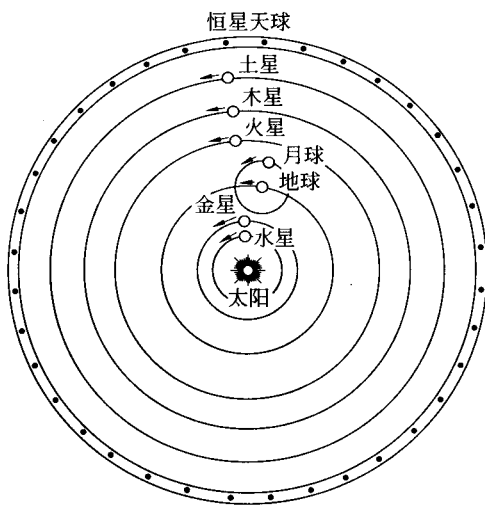


图 10-5 哥白尼的日心体系

密体系，代之以地球和其他行星一道环绕太阳运转的地动学说。这个学说将太阳置于宇宙的中心（是哲学和宗教意义上的，而非数学上的），而所有行星则层层环绕太阳运行。只有地球的运行中伴随有月亮。月亮环绕着地球旋转，同时又伴随地球作环绕太阳的运行。最后在所有行星之外遥远的地方，是无所不包的恒星天球（图 10-5）。

哥白尼的学说将古代的世界体系彻底颠倒了过来，这个壮举至少在部分天文学家看来，虽有荒唐之处，但毕竟大大简化了对天体位置的推算。可是在一般公众的眼中，由于哥白尼使地球同其他星球一同环绕太阳运动，那曾经在亚里士多德和托勒密体系中被回避的问题，便骤然变得尖锐

起来。自古以来人们便出于常识和经验对地动说抱有疑惑。比如，假使地球环绕太阳公转，为什么看不到恒星的周年视差？假使地球本身在自转，又为什么见不到空中的云彩和飞鸟被旋转的大地抛向西去？而抛出的物体又为什么依然垂直落回到原地？哥白尼对前一个问题的回答是，宇宙比人们设想的要大得多；而对后者的回答，他却不得不退回到亚里士多德的学说当中，指出这是因为地球周围的空气带动它们一起向前运动的结果。这样的回答即便是对同时代的天文学家说来，实在难以经得起推敲。

无论如何，地动说的提出，对近代科学的诞生有着格外重要的意义。尤其在文艺复兴时期，那澎湃着自由与探索激情的激流中，“哥白尼教人用新的眼光去观察世界”。从此，“地球从宇宙的中心降到行星之一的较低地位。这样一个改变不一定意味着把人类从万物之灵的高傲地位贬降下来，但却肯定使人对于那个信念的可靠性发生怀疑。”这样一来，“哥白尼的天文学不但把被经院学派纳入自己体系内的托勒密的学说摧毁了，而且还在更重要的方面影响了人们的思想与信仰”。^① 因此，恩格斯称之为自然科学借以宣布其独立的革命行为。^②

① W. C. 丹皮尔：《科学史及其与哲学和宗教的关系》，第 174 页，北京，商务印书馆，1997。

② 恩格斯：《自然辩证法》，第 8 页，北京，人民出版社，1972。

第二节 椭圆轨道的发现

在天文学走向近代的变革中,第二项重要的突破是由开普勒(图 10-6)来完成的。今天我们知道,由于哥白尼坚持了天体沿圆形轨道运动的观点,这就使他的理论在实际运用到观测中时,仍然会出现很大的误差。而回避这些误差的唯一办法,就是保留托勒密体系中的本轮-均轮体系。但这样一来,又不可避免地使计算变得复杂起来。直到开普勒提出了椭圆轨道模型和与之相关的三大定律,地动说才真正迎来了新的局面。



图 10-6 开普勒

开普勒(Johann Kepler, 1571—1630)出生于德国南部符腾堡州的魏尔城。他是一个新教徒,早年进入新教学学校——图宾根大学主攻神学,后来兴趣渐渐转移到数学和天文学方面。同哥白尼一样,或许对数学的陶醉使他也成为一个狂热的毕达哥拉斯和柏拉图主义在新时期的传人。在图宾根大学学习期间,他从老师迈克尔·马斯特林(Michael Maestlin, 1550—1631)那里了解了哥白尼的学说,他为这个理论在形式上所拥有的简单与和谐而深受感染。他说:“我从灵魂的最深处证明它是真实的,我以难于相信的欢乐心情去欣赏它的美。”^①

开普勒深信上帝是按照完美的数的原则创造世界的,而他所追求的也正是这种造物主心中的数学的和谐。1600 年那个世纪之交,对开普勒说来,是他的人生中的一个重要转机,在这一年他来到了著名的丹麦天文学家第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 1546—1601)手下,担任后者的助理。第谷由于在观测方面的杰出才能而赢得了欧洲天文学界的普遍认同,丹麦王室在滨海的赫文(Hveen)岛上为他修建了一座堪称一流的观测台(图 10-7),在那里第谷亲自设计、安装了在当时说来精度最高的仪器。第谷率领着他的助手们 20 年如一日,对行星的位置进行了大量观测并做了准确地记录。其观测的精度据说达到了误差不超过 0.067 度。这个角度大致相当于把一枚针举到一臂远处,用眼睛看针尖所张的角度,因此可以说几乎已达到了肉眼观测的极限。^②

开普勒成为第谷的助手时,后者已经离开了赫文,并辗转来到了布拉格——这个当时欧洲重要的知识中心。1601 年,亦即开普勒来到布拉格的第二年第谷便去世了。去世

① W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,第 193 页,北京,商务印书馆,1997。

② 参见陈自悟:《从哥白尼到牛顿》,第 47 页,北京,科学普及出版社,1980。

前这位杰出的观测家将自己多年来积累的大量观测资料留给了开普勒。利用这些资料，

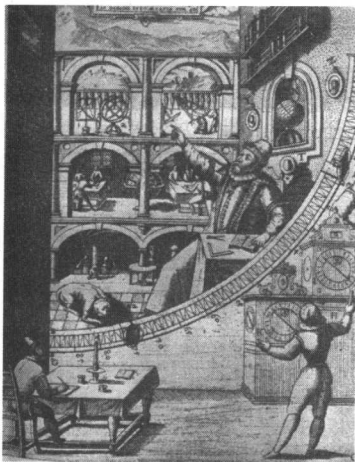


图 10-7 第谷的天文台

开普勒首先对火星轨道进行了集中的研究。其结果导致他在古希腊以来，代表天穹完美和宇宙和谐的圆形轨道与第谷的精密观测之间，作出了倾向于后者的抉择。他在 1609 年出版的《新天文学》(Astronomia Nova)中宣布了他的两个重要发现，即我们今天所知道的开普勒第一定律和开普勒第二定律。前者表述为：行星运行的轨道是椭圆，太阳在椭圆的一个焦点上。而后者的表述是：太阳中心与行星中心间的连线在轨道上所扫过的面积与时间成正比。对当时一般的人们说来，放弃圆形轨道无疑是痛苦而难以想象的，因为即便是在哥白尼那里，圆周运动也体现了均匀运动的基本特征和原则。然而在开普勒心目中，第二定律给他带来了无限的安慰，因为它以椭圆运动中“扫过面积”的均匀取代了圆运动中的轨迹均匀，从而拓展了他

心目中神圣的均匀与和谐的观念。

1619 年开普勒在其出版的《宇宙的和谐》(Harmonices Mundi)一书中，再进一步提出了他的第三定律，即“行星在轨道上运行一周的时间的平方与其至太阳的平均距离的立方成正比”。这个定律给出了所有环绕太阳运转的行星之半径与周期间的数学关系，但在开普勒看来，它揭示了宇宙中环绕太阳运行的各个行星之间内在的相关性。他始终坚信这种相关性的存在，并且为了找到它而奋斗多年，百折不挠。而当它终于呈现在开普勒眼前时，他亦仿佛听到了宇宙中最和谐、美妙的旋律。

为了回到古代毕达哥拉斯和柏拉图的和谐传统中，哥白尼将希腊和中世纪的宇宙观颠倒过来；而为了使这一努力获得更大的成效，开普勒又不得不宣布放弃自古以来象征完美与和谐的圆形轨道。他把和谐的理想拓展到了一个更宽泛的概念当中，而在此过程中一个十分重要的变化是，我们看到了由观察所得来的事实及其不可避免的推论都按照本来的面貌被加以接受。

第三节 伽利略及其望远镜

与开普勒在理论上推进哥白尼的学说齐头并进，伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642, 图 10-8)通过用望远镜进行天文观测，从而以大量新发现的事实，在捍卫哥白尼的学说中发挥了至关重要的作用。

伽利略出生于意大利北部城市比萨。17岁那年入比萨大学学医,后来兴趣转到了数理科学方面。由于这方面的成绩突出,伽利略在25岁那年被聘为母校比萨大学的教师,以后又转到威尼斯方面的帕多瓦大学任教。也正是在帕多瓦大学任教期间,伽利略听到了关于荷兰眼镜商人发明望远镜的传闻,他立刻自己动手制作并组装,很快便完成了一台放大倍数为30的望远镜(图10-9)。

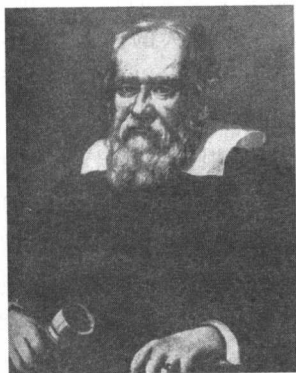


图 10-8 伽利略

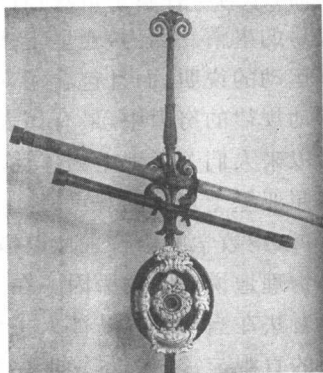


图 10-9 伽利略的望远镜

伽利略用自己制作的望远镜进行了大量的天文观察,他将观察中所获得的重要结果汇总到了《星界的报告》(Siderus Nuncios)这部著作中。1610年,当这部用拉丁文写成的29页的小册子出版时,在欧洲知识界引起了极大的震动。在此之前,尽管人们已经相当了解望远镜,但用它来进行天文观测,并把结果以出版物的形式发表出来者,伽利略当数第一个。在《星界的报告》一书中,伽利略介绍了如下重要的事实。即①望远镜中看到的天空中恒星的数目比通常肉眼看上去的要多得多。即便如此,恒星的视差依然难以察觉,这说明这个宇宙的确如哥白尼所预言,远远大于我们从前的想象。②行星的大小是可以观测到的,这说明它们到地球的距离比起恒星要近得多。③行星本身不会发光,这个事实印证了太阳系的存在。④太阳上存在着黑子而且可以推测出它们随着太阳的自转在发生着移动,由此削弱了天空完美无缺的信条。⑤月亮表面凹凸不平,有山谷和平原。这表明天上与地上的世界十分类似。⑥木星周围环绕着卫星,它们使木星看上去分明就像是一个太阳系的缩影。在《星界的报告》出版后,接下来的几年中,伽利略进一步观察到了金星存在着像月亮一样的位相变化,这表明它的确在环绕着太阳运动。伽利略以这些诉诸望远镜观察到的新事实,支持了哥白尼的学说。然而他在此所强调的天界与地上的同一,若想得到人们的认同,就必须更深入地去探讨地上的运动。

第四节 近代动力学的形成

哥白尼的学说经过上述开普勒和伽利略的努力,在天文学领域得到了愈来愈广泛的认同。然而,作为一种新宇宙观,若想取代中世纪以来亚里士多德的权威地位,却依然不是一件容易的事情。因为,亚里士多德的理论说起来是一个庞大的体系,它不仅曾经涉及对天体运动的说明,而且包含了对地上运动的解释。文艺复兴以后,在用新的眼光探讨地上运动规律的努力中,最有代表性的工作也是由伽利略来完成的。

希腊以来人们关于地上物体运动的理解和说明,大都是根据亚里士多德的理论来进行的。按照亚里士多德的观点,地上物体的运动与天体运动截然不同。天体的运动是和谐的,它可以用数学的语言来加以描述;而地上物体的运动则杂乱无章,人们只能从因果关系中去物理地说明它的原因。在亚里士多德看来,所有运动着的物体都需要靠力来维持。这种看法在当初很容易被人接受,因为它如同天文学中的托勒密体系一样,总体上符合人们的直观与常识。尽管也存在一些似乎不尽如人意的方面,比如下落中的物体和射出去的箭就很难说明其运动依靠怎样的力来维持。

前面提到伽利略利用望远镜所观测到的天体及其运动的事实,强调了天壤无别的思想。事实上,同哥白尼和开普勒一样,伽利略也受到了毕达哥拉斯和柏拉图的影响,并且由此出发,毕生致力于在更广的意义上探寻宇宙的和谐及其数学原则。在他看来,“上帝把这种严格的数学必然性赋予自然,而后通过自然创造人类的理解力,使人类的理解力在通过付出了极大的努力之后,可以探寻出一点自然的秘密。”^①与哥白尼和开普勒所不同的是,后者的工作就其仅仅力图将天文学归结到几何学当中而言,他们只是延续了希腊人的追求与传统;而伽利略毕生中更主要的工作及其成就则是,他揭示了在天体现象中有着根本意义的数学简单性,也同样存在于地上物体的运动当中。

伽利略是从研究落体问题着手,开始其为近代力学奠定基础的工作的。按照亚里士多德的理论,重物体下落的速度比轻物体要快。伽利略对此展开了批判。人们常常提到他的两项工作。其一是从逻辑上来论证,即如果将一个重物体和轻物体缚到一起,按照亚里士多德的见解,将得出相互矛盾的两种结论。即如果我们把此种情形看做是两个物体合到一处成为一个更重的物体,那么其下落速度应比原来的任何一个物体都要快;而如果我们把此种情形看做是重物体下落时拖上了一个比它慢的(轻)物体,那么重物体的下落速度则显然比原来要慢。其二是通过实验来说明,即伽利略拿了大小两个不同重量的球体到比萨斜塔(图 10-10)上去做实验,当他令两者从斜塔上自由落下时,发现它们几

① W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,第 199 页,北京,商务印书馆,1997。

乎同时落到了地面。

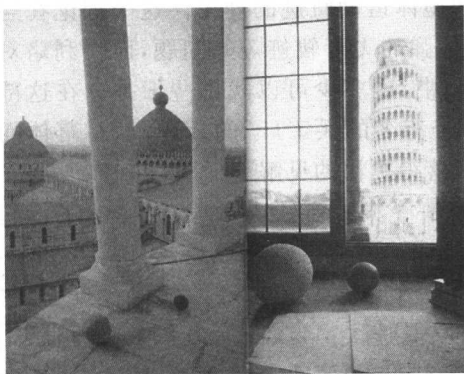


图 10-10 比萨斜塔

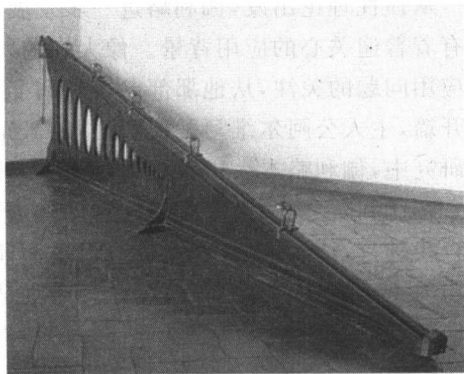


图 10-11 伽利略制作的斜面装置

关于伽利略是否亲手做过比萨斜塔的实验,目前说法不一。重要的是对伽利略说来,问题不仅仅在于两个小球是否同时落地。如上面所提到的那样,他力图搞清物体的下落究竟依照着一种怎样的数学关系。这样一来就使得时间、空间、位置和速度等这样一些以往仅仅在天文学中才被视为重要的概念,也成为地上物体运动研究中的重要范畴。

然而,对于那个时代的伽利略来说,搞清物体下落过程中时间、空间(长度、位置)等物理量的变化及其数学关系又谈何容易。那钟表尚未完善,伽利略只能用简单的水钟甚至自己的脉搏来计时。而我们知道,物体的坠落过于迅速,目不暇接,在有限的时间内对其进行测量,实在力不从心。伽利略在解决这个问题中,向新科学迈出了重要的一步。他以斜面来延缓重力,并以种种技术手段使在斜面上对下滑物体的测量成为可能(图 10-11)。他将斜面制作得尽可能平滑,以使光滑的金属球滚过它时所产生的摩擦力可以忽略不计。在斜面装置上伽利略不仅发现了无论大球还是小球,轻球还是重球,都在相同的时间内滚过相同的距离;而且经过测量,进一步推论出物体下落经过的空间按时间的平方而增加的结论。

经过对斜面的改进,伽利略还发现,如果使斜面的摩擦力对滚动的金属小球说来,小到可以忽略不计,那么当小球从某一高度的斜面上滚下之后,它还可以继续滚上另一个斜面,直到和出发时同一高度的地方,其滚动的距离同斜面的倾斜度无关。由此又可以进一步推论出,如果另一个斜面的倾斜度为零,或者说是水平的,那么小球将以滚上这个面时的初始速度一直不停地滚动下去。这个结论使人们终于认识到,物体的运动并非如亚里士多德所说,需要一个力来维持。物体拥有速度,这并不能表明有无外力作用于物体,表明物体是否受到外力作用的根据应当是速度的变化。这就是我们今天所理解的惯

性问题。

从惯性理论出发,伽利略进一步发展出他的抛体运动轨迹的理论。这个理论在当时亦有着普遍关心的应用背景。像大炮的射程和炮弹的飞行轨迹等等问题,而伽利略对这类应用问题的关注,从他那部名著《两门新科学》中,也多少可以找到些根据。在这部书的开篇,主人公阿尔维阿蒂便引出了“威尼斯那个有名的兵工厂”的话题;而在落体问题的研究中,伽利略本人也曾表述过炮弹不比枪弹落得更快的见解。

在伽利略之前,人们对待抛体问题普遍持有一个糊涂看法,即以为抛体的飞行起初沿直线进行,待到推力耗尽之后,它便垂直坠落下来。对此伽利略设想,假使让一个小球以均匀速度滚过平滑的桌面并在边缘处坠落,那么小球在坠落轨迹的任何一点上,它的运动都可以被分解为两个成分:一个在水平方向,其速度恒定不变;另一个在垂直方向,其速度的变化遵从落体定律。这两种速度的合成结果,决定小球坠落时经过的轨迹为抛物线。伽利略认为当炮弹出膛后,其飞行路线也可作这样的分解,他还从理论上推得当大炮的仰角抬到 45 度时,炮弹的射程可达到最远的地方。

人们把伽利略看做是近代科学的奠基人,不仅因为他在研究中达成了以上重要的结论,而且由于他在达成上述结论的过程中,提示给人们一套实验与数学相结合的方法。没有实验,我们很难想象将地上的动力学像天文学那样变为数学的一个部门。而离开了数学,也同样很难想象将那个时代人们广泛的实践中所获得的零散知识,会如此迅速地融合成近代科学的统一体。

遗憾的是,伽利略本人并没有把他在力学研究中发现的惯性理论推广到对行星轨道的分析中,并对天体运动停留在圆形轨道的认识上。而另一方面,尽管开普勒在天体的研究中发现了椭圆轨道,但他却未能运用伽利略提出的惯性理论来对其给出力学的阐释。这两位科学的巨人生活在同一个时代并相互间有着通信联系,然而,在理论上真正使他们走到一起,却还需要迈出新的一步。

第五节 牛顿的综合

近代科学发展到 17 世纪,开始走向了第一次伟大的综合,这就在我们熟悉的伟大科学家——艾萨克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727, 图 10-12)的业绩中实现的物理学上的综合。

按西方旧历,就在伽利略逝世的那一天(1642 年 12 月 25 日),牛顿诞生在英国林肯郡伍耳索浦(Woolsthorpe in Lincolnshire)的一个农民家庭。他的父亲是一个拥有 120 英亩土地的小地主,但在牛顿出生时,他已离开了人世。

牛顿早年并没有表现出任何日后成为伟人的迹象。他多病而腼腆,小学时的学习成

绩也很一般。1661年他进入剑桥大学的三一学院,他的老师中有卢卡斯教授、数学家巴罗(Isaac Barrow, 1630—1677)。1665年仲夏,大规模的瘟疫在伦敦流行,剑桥大学因为接近疫病流行中心而被迫关闭,学生则休假回家。牛顿回到林肯郡家中呆了18个月,据说这段时期几乎孕育了牛顿后来那些令全世界倍感崇敬的全部思想。牛顿自己就曾经说过:

“1665年初,我发现了……把任意指数(幂次)的二项式化简为级数的法则。同年五月我发现了正切方法。……十一月发现了直接流数法(即现在称之为微积分学的原理),次年一月发现了色彩理论,接着,五月着手研究流数法的逆运算(即微积分学)。同一年,我开始考虑如何把重力推广到月球轨道……以及将维持月球在其轨道上运动所需的力与地球表面上的重力加以比较。”^①

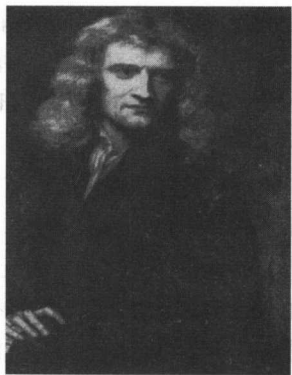


图 10-12 牛顿

关于牛顿回到家乡后那一时期的工作,值得提到的是那个流传着的听上去多少有些浪漫的传说。它出自法国启蒙运动主将伏尔泰(Voltaire, 1694—1778)的笔下。说的是1665年,牛顿从剑桥大学返回林肯郡老家的那个夏天。一个美丽的黄昏,牛顿坐在后院的长凳上思索,此时一只苹果坠落下来,它使得牛顿得到了一个重要的线索。他想到,这个导致苹果落到地上的原因能否也伸展到月球?它既然使地上物体无一幸免地下坠,是否也可以成为导致月球环绕地球运动(而没有飞出轨道)的原因?尽管这个故事的真实性至今尚未得到证实,但它的确体现了牛顿对引力问题的关注和综合地去考虑着天、地运动的倾向。

在亚里士多德的体系当中,引力更多地被看做是位置的一种性质。万物都拥有自己的位置,而对于那些脱离自己位置的物体说来,它们也都拥有返回到自己原来位置去的倾向。因此,天体在各自的位置上环绕地球运动,而地球上物体的下落,也出自它们要返回到自己原来位置上的原因。

牛顿之前,吉尔伯特(W. Gilbert, 1540—1603)在他的实验中发现,磁石对铁的吸引力的大小取决于磁石本身的大小。这个实验使人联想到,引力并非位置的属性,而是物质的属性,它的大小也应当随物质的增加而增加。牛顿的引力观无疑受到了吉尔伯特的影响,但吉尔伯特对于引力仅仅局限于对实验进行定性说明,而牛顿若想用引力的观点去阐明开普勒的轨道和伽利略的惯性,就必须对各种相关的物理量给出严格的定义,并找出它们之间的数学关系。

^① G. 伽莫夫:《物理学发展史》,第54页,北京,商务印书馆,1981。

17 世纪的三四十年代,在伽利略所开辟的道路上,愈来愈多的人们开始学会了运用数学工具处理地上物体运动的力学问题。笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650)讨论了惯性原理、碰撞的数学表达方式和动量守恒等问题、惠更斯(C. Huygens, 1629—1695)对单摆问题、离心力问题以及弹性运动问题运用高度的数学方法予以澄清。在天体运动的研究中,随着开普勒提出行星运动的三个定律,到了 1675 年前后,波雷里(G. A. Borelli, 1608—1679)和胡克(R. Hooke, 1635—1703)等人又提出了“重力的大小是行星到太阳的距离平方的反比”的猜想。牛顿就是在上述背景和前提中走向其创造性的伟大综合,正如他本人在临终前所说:“如果说我比笛卡儿看得远一点,那是因为我是站在巨人的肩膀上。”

前面提到早在 17 世纪 60 年代,牛顿就已经想到了导致地面物体坠落和保持天体沿轨道运动的力之间有着某种本质上的联系,甚至他已推测出两个物体之间的引力的大小同物体间距离的平方成反比。然而牛顿并没有立刻发表他的研究成果,因为在他的考虑中,尚包含了一些不得已的特殊因素。比如,在考虑地球和月球间的引力时,将它们各自的全部质量看做是集中在中心的一点上,这个考虑即便对太阳和行星的运动说来是合理的,但对相互距离没有那么大的地球和月球说来,似乎就有些问题。同样,在考虑地球与地上物体的相互吸引时,计算地球表面各个部分对物体的引力之和十分困难,以至于牛顿不得不把注意力转向数学,去探讨微积分问题。

直到 17 世纪 80 年代,随着微积分的创立,上述问题才大部迎刃而解。在哈雷等皇家学会同仁的鼓动下,牛顿又重新回过头来探讨引力问题。他不仅证明了一个拥有万有

引力的球体对其表面物体的吸引力与其所有质量集中在其中心时所拥有的引力等价,而且证明了引力必然导致行星运行的轨道成为椭圆,而圆形不过是极为特殊情况下的特例。这样一来,就为把太阳与行星、地球与月球间相互吸引化简为今天所说的质点问题,并进而为开普勒的椭圆轨道提供了令人信服的依据。

1887 年,牛顿出版了他的不朽名著《自然哲学的数学原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 图 10-13) 该书以一种标准的公理化体系写成,它从最基本的定义和公理出发,推导出一系列普遍适用的命题,接下来又示范性地将它们用来阐明天体的运动。最后牛顿在全书的“总释”中,指出了整个太阳系的错综复杂的运动,都可以归结于一个原因——即我们今天所说的万有引力。

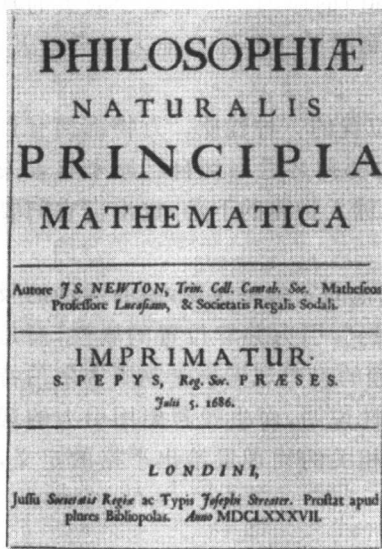


图 10-13 《自然哲学的数学原理》封面

他认为这个引力“所发生的作用与它所作用着的粒子表面的量(像力学原因所惯常的那样)无关,而是取决于它们所包含的固体物质的量,并可向所有方向传递到极远距离,总是反比于距离的平方……”^①

牛顿《自然哲学的数学原理》一书的出版,不仅意味着人们在引力的研究中向前迈出了一大步。更重要的是它实现了哥白尼以来,近代科学在不同领域中的发展实现了第一次伟大的综合。而从更广泛的意义来看,“牛顿在近代科学史上无与伦比的重要性不只是由于他对当时的科学所作出的那些贡献,还在于他在塑造后来形成的科学传统上所起到的不可磨灭的作用。牛顿的工作代表了科学革命的顶峰,同时还为天文学、力学、光学以及其他一些科学领域确定了研究的方向”。^②

思考题

1. 你如何看待近代科学诞生过程中的继承与发展?
2. 你如何看待近代科学的诞生对人类历史的进步意义?

参考书目

1. 巴特菲尔德:《近代科学的起源》,北京,华夏出版社,1988。
2. E. 麦克莱伦:《世界史上的科学技术》,上海,上海科技教育出版社,2003。
3. G. 狄博斯:《文艺复兴时期的人与自然》,上海,复旦大学出版社,2000。

① 牛顿:《自然哲学的数学原理》,王克迪译,第614页,西安,陕西人民出版社,2001。

② E. 麦克莱伦第三等:《世界史上的科学技术》,第290~291页,上海,上海科技教育出版社,2003。

第十一讲

产业革命

产业革命的本质,是以竞争取代了先前中世纪的规则,这一规则制约了生产的发展和财富的分配。

——阿诺德·汤因比《18世纪英国产业革命演讲集》

谈到西方科学技术发展的历史,就不能不提开始于18世纪60年代英国的所谓“产业革命”。应该说,产业革命不仅是一个对于西方科学技术史具有重大意义的事件,它也是一个对于整个人类发展史具有重大意义的事件。产业革命开始了英国从农业社会向工业社会的转变,并带动欧洲大陆乃至后来的整个世界进行了这一转变。在这一转变的过程中,科学技术特别是新技术的发展突飞猛进,并且以其与工业化生产紧密结合的特点,推动了生产力的发展和生产方式的变革。而在这一转变进行中和完成后,人类社会不仅进入了一个与以前完全不同的工业化大生产的时代,而且在生产关系、城市化发展乃至日常的生活方式等方面都产生了许多重大而又意义深远的变化。在科学技术方面,这一时期除了科学技术特别是技术取得了迅速的发展之外,更为重要的是,科学技术的进步与社会生产的发展之间出现了联结更加紧密的一种新型关系,科学技术与社会生产以前所未有的程度紧密结合,互相促进,推动着西方世界达到了一个前所未有的发展速度。经过了这个特殊的时期之后,西方的科学技术和社会生产力、经济实力等方面大大地超越了曾经领先的以中国为代表的东亚地区。

第一节 产业革命的含义及其与技术革命的关系

“产业革命”英文即为“Industrial Revolution”,在中文里亦被译为“工业革命”,所指的是同一个对象。

产业革命,或称工业革命一词,最早应该是出现在法国。在1827年8月27日《世界箴言报》的一篇文章中,就有“伟大的产业革命”这个词组(*grande revolution industrielle*),而且这个词组以斜体的形式出现在那一页的中间。普罗斯佩·德洛内在1829年,把甜菜取代亚麻栽培形容为“这场产业革命的另一个牺牲品”,作为例证也提到了产业革命。甚至更早,就有人提到“工业领域中的一次革命”,尽管并没有明确使用“产

业革命”(revolution industrielle)这个术语。^①当时提到产业革命的人,敏锐地感觉到了这一时期发生的一系列现象具有与以往所不同的特点,但是还未能对此进行深入的研究,而且他们虽然已经看到了这些现象的作用和力量,但也只是把这些现象的影响局限在工业生产领域之内。

弗利德里希·恩格斯(Friedrich Engels, 1820—1895)指出了产业革命在工业生产领域之外的重要意义,他在1845年出版的德文版的《英国工人阶级状况》一书中提到:

“英国工人阶级的历史是从18世纪后半期,从蒸汽机和棉花加工机的发明开始的。大家知道,这些发明推动了产业革命,产业革命同时又引起了市民社会中的全面变革,而它的历史意义只是在现在才开始被认识清楚。”^②

在恩格斯的论断中,产业革命已经不仅仅是一场以机器制造业——蒸汽机和棉花加工机为代表的工业化取代农业和手工业的革命,而且是一场经济革命和社会革命。正因为在这场革命中诞生了资本主义的社会制度,从而实现了欧洲的社会制度的变革。

恩格斯之后,“产业革命”一词在1848年被约翰·斯图亚特·穆勒(John Stuart Mill, 1806—1873)在《政治经济学原理》初版中用过,^③特别是卡尔·马克思(Karl H. Marx, 1818—1883)在1867年出版的德文版《资本论》第1卷第13章“机器与大工业”里,对其提到的“产业革命”与机械化工业生产的关系进行了较为系统的分析。^④

而第一位以“产业革命”作为对象,对其进行了系统地专门研究的是英国经济历史学家阿诺德·汤因比(Arnold Toynbee, 1852—1883),他的代表著作是《18世纪英国产业革命演讲集》。该书在他死后的1884年出版,全书共分四篇,收录了他1881年至1882年在牛津大学的几次演讲。书中,汤因比用产业革命一词来描述1760—1840年间英国经济的发展。从此,这个词就被广泛地使用了。西方对产业革命的研究也逐渐形成了一种潮流。因此,汤因比应该是使“产业革命”这个词变得广受关注起来的人。

另一位对产业革命做出了深入研究的人是出生于法国,后又执教于英国的著名经济历史学家保尔·芒图(Paul Mantoux, 1877—1956)。他的著作《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》,产生了较大的影响。该书以英国为代表,全面分析了产业革命的发生及其发展过程,以及导致的直接后果。保尔·芒图对产业革命的特征进行了深入的分析,他提出:从技术观点上看,产业革命就在于发明和使用那些能够加速生产和经常增加产量的方法,例如纺织工业中的机械方法,冶金工业中的化学方法;从经济观点上看,产业革命的特点就是资本的集中和大企业的形成;从社会观点上看,产业革命使一

① 科恩:《科学中的革命》,鲁旭东、赵培杰、宋振山译,第333页,北京,商务印书馆,1998。

② 恩格斯:《英国工人阶级状况》,中共中央马克思、恩格斯、列宁、斯大林著作编译局译,第35页,北京,人民出版社,1956。

③ John Stuart Mill. The principles of political economy, Kitchener, Ont. Batoche, 2001. 581.

④ 卡尔·马克思:《资本论》,第1卷,郭大力、王亚南译,第394~410页,北京,人民出版社,1953。

些阶级诞生,并且使阶级的发展和对抗占满了我们的历史。^①

关于产业革命的定义,《不列颠百科全书》里有如下的解释:

产业革命——指现代历史中从农业和手工业经济转变为以工业和机器制造业为主的经济的过程。这一过程是18世纪在英国开始的,又从英国传播到世界各地。^②

当然,《不列颠百科全书》的撰稿者也意识到了产业革命不仅只是一个生产方式的转变过程,它同时也是一个引起社会重大变革的转变过程。因此,在定义后面的解释中,也提到了产业革命的技术特征、经济特征和社会特征。

产业革命不单纯是一场起源于英国,而后蔓延到欧洲大陆乃至整个世界的工业化变革。由于产业革命的发生,直接导致了起源于欧洲的社会生产力的迅速发展,以及西方国家经济的重大变革和社会形态的变革。这也是工业化实现的同时,为我们这个世界所带来的一系列预想不到的重大的变化,从社会形态、社会心理直到人们的生产和生活方式,都产生了意义深远的变化。因此,产业革命既是技术方面的,也是社会经济和文化方面的变革。

产业革命或称工业革命对西方世界产生了如此巨大的影响,以至于所有研究西方历史的著作都不能忽视它的存在。不仅是研究科学技术史的人研究它,研究经济史、社会史或者是文化史的学者也把产业革命作为重要的内容加以研究。《剑桥欧洲经济史》整个第六卷的内容,就是“工业革命及其以后的经济发展:收入、人口及技术变迁”。^③迄今西方关于产业革命的研究论著,多是由经济学家或经济历史学家撰写,从经济发展的角度进行研究的。

而作为科学技术史教材中的一个章节,我们在这里更为关心的是科学技术的发明和发展与产业革命之间的关系,希望探讨科学技术特别是技术的发明创新,是如何推动产业革命的发生和发展的;而社会生产的需求,又是怎样反过来带动了技术的创新和发展。讨论科学技术和产业革命之间的相互作用,是本章的中心内容,因为,在产业革命的发生和发展过程中,科学技术特别是技术的发明创造在其中发挥了非常重要的作用。而技术本身借着产业革命的巨大的变革力量,自身也发生了革命性的变革,这就是通常我们所说的第一次技术革命。在从18世纪中叶到19世纪中叶的这一段时期里,技术革命与产业革命交织在一起,不是一种偶然的現象,而是一种相互作用的必然结果。世界近代史上的三次技术革命就是指蒸汽动力技术、电力技术和电子计算机技术作为主导的重大的技术变革与革新,所引起的在相应的各历史时期的技术体系中,起主导作用的技术群的

① [法]保尔·芒图:《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》,杨人梗、陈希秦、吴绪译,第386~388页,北京,商务印书馆,1997。

② 《不列颠百科全书》,第8卷,第364~365页,北京,中国大百科全书出版社,1999。

③ M. M. 波斯坦、H. J. 哈巴库克:《剑桥欧洲经济史》,第六卷,王春法主译,工业革命及其以后的经济发展:收入、人口及技术的变迁,北京,经济科学出版社,2002。

更迭过程。而这三次技术革命,都在不同程度上引发了某一工业生产领域的巨大的发展与革命性的变革。其直接后果,甚至是引发了整个社会的经济和社会其他因素的重大的改变。

所谓技术革命,就其本身的含义,是指人类改造世界的主导技术或主导技术群的重大变革;就其延伸的含义来说,也指使社会的技术系统和技术结构发生根本变化的重大变革。在18世纪中叶从英国开始的第一次产业革命中,技术的发展与创新成为了产业革命的发动机,《发明与发现的世界》系列丛书中把这一时期称为“推动革命的时期”。^①正是因为一系列技术的变革和革命,推动了产业革命的产生和发展,这是我们在下面要重点探讨的内容。

第二节 产业革命产生的基础和背景

产业革命最早产生于英国,或者说,英国是产业革命的发源地。正是由于17世纪英国出现的产业革命,导致工业化的出现和迅速发展,尔后才蔓延到欧洲大陆以及美洲,并引起了整个西方的产业革命,其巨大的影响力甚至波及了整个世界。

因此,要认识产业革命产生的基础,就不仅要考察整个欧洲当时的社会政治、经济和科学技术的状况,而首先特别要考察产业革命之前的英国在政治、经济、科学技术等方面的新发展,以及这些发展是怎样直接或间接地引发了意义深远的产业革命。

一、产业革命的经济背景

15世纪末,欧洲人发起了三次著名的冒险远航。正是这三次远航,导致了后来所谓的“地理大发现”。地理大发现大大地加强了西方世界对我们所居住的地球的认识,使他们对世界的了解真正贴近了原貌。而且,人们随着对世界认识的眼界的开阔,也把世界发展的重心从地中海一带转到了大西洋。这样,位于大西洋中的英国的地理优势就更加突出。

在地理大发现之前,西方社会对世界的认识是模糊而不准确的。虽然对遥远的东方充满着认识的期待和财富的渴望,但地理位置的遥远和神奇传说的震慑,使得西方人一直无法真正地接触东方。而随着对世界地理认识的深入,蒙在神话与传说的迷雾中的遥远的东方世界变得不再神秘,而且,不仅是东方,世界各地都可以通过航行到达,虽然航

^① Chris Woodford. Power and Energy, History of Invention. London: The Brown Reference Group plc, 2004. 30.

行的过程十分艰难,但是,诱人的财富仍具有无比的吸引力。从香港科技大学图书馆收藏的15~19世纪西方所绘制的东方地图来看,在地理大发现之前,对东方地图的描绘是极不准确的,而且充满怪诞的想象。而在16、17世纪绘制的地图上,世界的轮廓已经与今天的认识很接近了。^①很快,西方世界掀起了疯狂的掠夺世界各地财富的狂潮。英国在这场瓜分世界财富的争夺中虽然起步比较晚,但是它在1588年的一场海战中一举击溃了西班牙的“无敌舰队”,又在17世纪中期发动了三次对荷兰的战争,最终,依靠分别在北美殖民地和印度的战场上进行的“七年战争”(1756—1763)打败了最后一个对手——法国,终于确立了它的殖民霸主的地位。而成为霸主的最直接的利益就是对殖民地的大肆掠夺。仅设立在印度的东印度公司,在七年战争后的55年里,就通过各种手段从印度攫走了数量达50亿英镑的财富。有人说:“印度的财富就象洪水一样滔滔不绝地涌进了英国”。^②军队的抢掠和商贸活动的聚敛,使英国资本的积累和集聚达到了很高的程度,而这些积累起来的巨额资本,就成为开展工业化大规模生产的基础。

著名的“圈地运动”是英国产业革命产生的另一个重要背景。这场从15世纪末年开始的运动,实质上是在农村进行的资本的原始积累。由于当时毛纺织业的发展,对羊毛的需求激增,导致价格急剧上涨,从而引发英国的部分贵族以暴力手段剥夺农民的土地,将耕地圈占起来以放牧羊群。这场被托马斯·莫尔(Thomas More, 1478—1535)称做“羊吃人”的圈地运动引发了英国的农业的变革,传统的自耕农失去了土地,其中的部分人员以及手工业者被迫进入城市谋生,成为未来产业工人的储备,促进了城市化的发展。而“圈地运动”的最重要的结果,就是彻底打破了英国原先的小农经营的农业经济,使生产方式向工业化的社会化生产方式变革。

二、产业革命的社会背景

在西方国家中,英国最早进行了资产阶级革命,从1640年“长期国会”产生开始,到1688年“光荣革命”为结束的标志,英国的资产阶级革命清除了封建割据的等级制度等不利于资本主义发展的种种束缚,实现了君主立宪的资产阶级政体。资产阶级通过国家政权推行符合自己利益的土地政策、殖民政策,并且随着英国逐步走上法制社会的道路,资产阶级从法律上保证了资本主义经济发展各要素的自由流通,从而为工业革命创造了前提。

由于经济的发展以及“圈地运动”导致的城市劳动者的增加,使英国的手工工场得到了发展。原先分散式的手工工场逐渐被集中手工工场所取代,虽然这种手工工场的技术

^① 见香港科技大学图书馆主页栏目: <http://library.ust.hk/info/exhibit>.

^② 林华岱:《英国工业革命史》,第22页,上海,上海人民出版社,1979。

基础仍然是手工劳动,但是它与过去最大的分别是实现了劳动分工,整个的生产过程被分解为许多独立的工序,每道工序由专门的工人操作。这样,使工人专业化,也使劳动工具专业化,不仅劳动生产率大大提高,而且劳动工具的改进也显得更为迫切和可能。更为重要的是,手工工场训练了大量的熟练的技术工人和机械师,这些不断壮大的产业工人队伍,正是产业革命的重要力量。

三、产业革命的科学技术背景

从中世纪“黑暗时代”挣脱出来之后的欧洲,经过了文艺复兴和宗教改革运动的启迪,迎来了17世纪的科学技术的大发展。天文学、地理学、数学、力学、物理学等学科取得了一系列令人瞩目的成就,其中的一些成果对于产业革命的产生具有重要的推动作用。例如,由于天文学的发展,使更多的人相信了地圆说,并由航海家们完成了地理大发现。地理大发现之后的殖民地掠夺和黑奴贩卖虽然十分肮脏和血腥,但也为产业革命积累了资本。从17世纪的中后期开始,英国成为欧洲科学技术领先的国家,而牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)则成为英国屹立于欧洲科学技术最高水平的象征,他的《自然哲学的数学原理》奠定了经典力学的理论基础。而经典力学的理论大厦,不仅对经典科学本身的发展产生了深远的影响,也为产业革命的发生和发展提供了有力的理论指导。也是从这一时期开始,对于真空和气体压力的研究也取得了很大的发展,这一科学发现成为产业革命的标志——蒸汽机改进和发展的理论基础。1653年,德国人格里凯(Otto Guericke, 1602—1685)在德国马格德堡市的大街上做了著名的马拉半球实验——用了16匹马仍不能把一个真空的合成球分开,证明了真空状态的存在以及大气压力的巨大力量。1660年,英国人罗伯特·波义耳(Robert Boyle, 1627—1691)提出了解释气体在不同温度和压力下的表现的定律:“当气体在一个密闭的容器中被加热时,它的压力会升高,如果紧接着把这些气体释放出来,它可以驱动一台机器。”^①波义耳不仅以他的科学理论为后来的蒸汽机制造指明了方向,而且,很可能他还以他的大气压力知识影响了后来成为蒸汽机发明人之二的法国人丹尼斯·巴本(Deuis Papin, 1647—1712)(他们两人曾经在一起进行合作研究)。

与此同时,技术的发展也为产业革命打下了基础。由于手工工场的专业化分工,推动了工具的改革和专业化工具的发展。例如金属加工工具得到了发展,研制出了车床、镗床和磨床,而工具机的发展也为机械制造创造了条件。

^① Chris Woodford. Power and Energy, History of Invention. London: The Brown Reference Group plc, 2004. 31.

17 世纪中,计量观测仪器制作取得了长足的发展。1606 年,伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)发明望远镜;1620 年,伽利略发明温度计;1643 年,法国人帕斯卡发明计算机;同年,意大利人托里拆利(Evangelista Torricelli, 1608—1647)发明水银气压计;1665 年,英国人胡克(Robert Hooke, 1635—1703)发明显微镜;1668 年,牛顿发明反射式望远镜,等等。其中,钟表制作的进步对其后的机械制造有重要的影响,先是 1657 年,荷兰人惠更斯(Christiaan Huygens, 1629—1695)根据伽利略发现的单摆的等时性原理做成第一台摆钟,后来又发明了游丝和发条,使钟表进一步小型化。而钟表中的精密的齿轮和部件制造的高要求,训练与造就了一大批技术高超的钟表技师,而一些技师则把某些制造工艺应用到了机械制造当中,推动了产业革命中机械制造业的迅速发展。因此,有人将钟表称为“产业革命之母”。

科学技术体制的建立和发展对产业革命的发生具有重要的意义。英国资产阶级取得政权后采取了保护和奖励科学技术创造的政策,他们没有把培根的“知识就是力量”的名言仅仅当做口号招摇过市,而是把它转化为可操作的政策和行动。1624 年,英国政府颁布了“技术垄断法”,即后来的专利法,率先建立了专利制度。1662 年,英国皇家学会成立,其章程中规定“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、机械行业、引擎和用实验从事发明,试图恢复现在失传的这类可用的技艺和发明”。1754 年,英国“技艺、制造业及商业奖励会”成立。在 18 世纪,英国政府不仅实行了专利制度,而且重金悬赏征求技术的革新与发明,例如精密的经度测量法、纺纱机的改革等等。这些政策的实施,大大地促进了科学技术的发展,特别是应用技术的创新和发明,更重要的,是它们促进了技术发明向产业化转移,使科学技术转化为社会生产力。当时的美国、法国,以及 19 世纪的德、日等国也先后效仿,使工业化的浪潮迅速推广到世界各地。

第三节 产业革命的兴起和发展

如果非要给产业革命划分一个时间段,一般认为,英国的产业革命开始于 1760 年前后,完成于 1840 年前后。产业革命的过程,实际上是许多行业和领域同时迅速发展的过程。由于各种条件的鼓励以及需求的促进,使英国出现了许多相关行业自身以及行业之间相互推动、技术革新与发明创造不断产生这样一种“自激”的局面。其中,在产业革命发展中具有重要意义的是纺织业、采矿业、冶金业和交通运输业等的兴起和繁荣。同时,随着这些新兴行业或重新兴盛的行业的发展,带动了一大批技术革新与发明创造被广泛地应用于其他行业之中,并促进了整个产业界的迅速发展。

一、产业革命的发端——纺织业的兴盛

英国的产业革命起源于纺织业的发展。从18世纪30年代开始,通过一系列标志性的技术革新和发明创造、机械化生产的引入和工业化工厂的建立,使劳动生产率大幅度提高,带动英国的棉纺织业从一个新兴的小规模行业以将近10%的高增长率迅速发展成为英国最大的产业部门,并垄断了国际棉纺织品市场。

实际上,在产业革命发生之前,英国的毛纺织业已经有了相当的发展基础,产品占据了国际市场,生产技术也有一定的积累,并且有小规模手工机械的发明,只是没有形成分工明确的机械化生产。保尔·芒图在《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》一书中就曾经用一幅地图对当时英国(主要是英格兰)毛纺织业的分布做了形象的描述。^①而作为一个新兴的行业,棉纺织业既吸取了毛纺织业的许多经验,又避免了传统的生产方式的桎梏,可以更加顺利地进行技术的革新。1733年,位于英格兰北部纺织业中心兰开夏郡的织布工约翰·凯伊(John Kay,1704—1774)发明了飞梭。具体说就是在织布的梭子上安装了一个滑轮,改变了以前的用人手操作的方式。这种改革不仅使织布效率大大提高,而且使织物的幅面大大加宽。这是一项被产业革命的研究者们看做具有十分重大意义的发明,它开启了纺织业技术革新和发明创造的潮流。此后,为了解决飞梭发明后纺纱速度慢于织布速度的矛盾,先是约翰·怀亚特(John Wyatt,1700—1766)和刘易斯·保尔(Lewis Paul,?—1759)发明了纺纱机,后有哈格里夫斯发明多轴纺纱机和阿克赖特发明水力纺纱机。1767年,曾当过木工的织布工人詹姆斯·哈格里夫斯(James Hargreaves,约1720—1778)发明了可以同时纺多根纱的多轴纺纱机——他用自己女儿的名字取名为“珍妮纺纱机”,并于1770年获得了专利。这项发明大大提高了纺纱的速度,此后在英国得到了广泛的应用,成为产业革命的一个标志性事件。1768年,理查德·阿克赖特(Richard Arkwright,1732—1792)使纺纱的过程机械化,他制造的水力纺纱机以水力替代了人力;1771年,他在克罗姆福德开办了第一家工业化组织形式的纺纱厂,雇用了数百名工人,开始了利用水力纺纱机进行的以机械操作为主的纺织生产。此后,他又在诺丁汉、德比、贝尔珀、乔利、曼彻斯特等地建立了工厂。阿克赖特不像其他发明者一样是工匠出身,他可以说是一个商人,搞过假发经销,而且,围绕水力纺纱机的发明权,还存在着争议,他被看成剽窃别人成果的人,名声不好。但是,作为一个成功的经营者,他在建立新型的机械化生产的工厂方面取得了成功,并产生了巨大的影响,18世纪末和19世纪初英国兰开夏郡和德比郡的所有工厂都是按照他所建立的纱厂的模式建造的

① [法]保尔·芒图:《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》,杨人梗、陈希泰、吴绪译,第35页,北京,商务印书馆,1997。

(图 11-1)。阿克赖特开创了纺织业工厂化生产的时代,对产业革命的发展具有重要的推动作用。

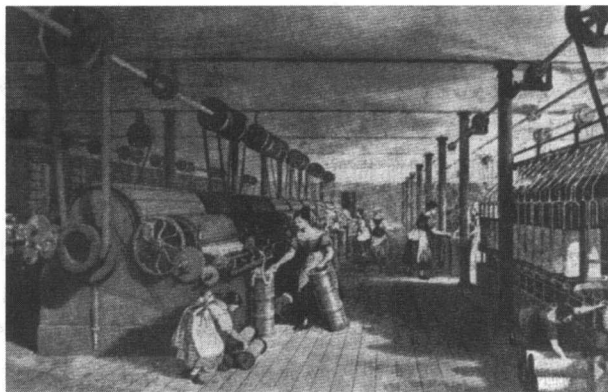


图 11-1 19 世纪初英格兰的一家纺纱厂

1779 年,工匠赛缪尔·康普顿(Samuel Crompton, 1753—1827)发明了综合珍妮纺纱机和水力纺纱机特点的“骡机”。该项改进的纺纱机不仅速度快,而且使纱线质量得到了大大改善。1785 年,乡村牧师卡特莱特(Edmund Cartwright, 1743—1823)发明了水力带动的自动织布机,将织布的工作效率又提高了许多倍。

就这样,在棉纺织业中,由于织和纺两个环节的相互制约和促进,使机械化生产在纺织业中被引入并迅速普及,而动力的改进又进一步提高了效率,在行业不断产生的新的需求的推动下和你追我赶的技术发明中,英国的纺织业成为工业革命的龙头产业。而在纺织业的带动下,漂白、染色、印花等相关行业也发生了连锁反应,化学方法的应用,漂白机、滚筒印刷机、染整机等机械的发明,将这些领域也从手工劳动带入了机械化。

二、产业革命的动力——蒸汽机的利用

对蒸汽动力的利用是非常早的事情。公元 1 世纪时,古希腊亚历山大的发明家希罗制作了一个可以被加热的蒸汽推动旋转的铜球,因而被认为是最早制造了利用蒸汽动力的“蒸汽机”的人。而在产业革命前和产业革命进行过程中,由于科学技术的发展以及社会生产的迫切需求,导致蒸汽机的设计和制造取得了一系列的改进,并应用在新型工厂中,成为推动产业革命的动力之源。

在将蒸汽机作为制造能量的机械的过程中,有一系列重大的技术改造和发明,推动了蒸汽机的发展。1690 年,法国物理学家丹尼斯·巴本设计出了利用蒸汽推动汽缸中的活塞的装置,汽缸中的蒸汽加热膨胀后,推动活塞上升做功,蒸汽冷却后形成真空,活塞

就会下降,这应该是后来得到广泛应用的蒸汽机的基本结构雏形。1698年,英国机械工程师托马斯·萨弗里(Thomas Savery,1650—1715)为了矿井排水的需要,设计了一款用煤作燃料,利用真空将水抽出矿井的蒸汽机,萨弗里的机器在矿山得到了应用,成为最早的实用蒸汽机,被称为“矿工的朋友”。但他的机器没有使用汽缸装置,而是用两个容器直接抽水。1705年,英国铁匠托马斯·纽可门(Thomas Newcomen,1663—1729)对萨弗里的蒸汽机进行了改进,恢复了巴本的汽缸活塞装置。他利用一个锅炉生产蒸汽,然后蒸汽再在汽缸里推动活塞做功,汽缸冷却后利用真空作用使活塞复位,从而实现抽水的功能,这样蒸汽压力、大气压力和真空即可在交互作用下推动活塞作往复式的机械运动。纽可门的蒸汽机在矿井抽水应用方面取得了很大成功,当时建造了大约1000台这样的蒸汽机应用于矿山(图11-2)。

但是纽可门蒸汽机仍然存在很大的不足,首先是效率低下,其次是能耗高,第三是用途有局限。因为煤的消耗严重,所以只能用在煤矿这类当地具有燃料资源的地方。而要作为工业化生产迫切需要的、具有普遍实用价值的动力,蒸汽机必须能够满足各类工厂作为驱动机械的动力需要,这需要克服以往设计制造的蒸汽机的许多不足。而跨出这一大步,使蒸汽机真正成为推动产业革命的动力机械的,则是英国的发明家詹姆斯·瓦特(James Watt,1736—1819,图11-3)。

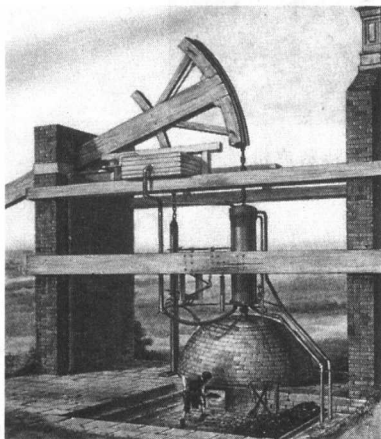


图 11-2 纽可门蒸汽机应用于矿山



图 11-3 瓦特在进行改进蒸汽机的研究

1763年,苏格兰格拉斯哥大学的仪器维修员瓦特接受了一项修理纽可门蒸汽机的工作,在修理的过程中,瓦特发现这种机器燃料消耗量大而且效率低,另外就是它只能作往返的直线动作。因此,除了用于矿井抽水之外,纽可门蒸汽机不太容易用在其他方面,而

且有 $4/5$ 的蒸气被浪费掉了。

瓦特决定对纽可门蒸汽机进行改进。经过多年持续不懈的努力,瓦特先后对蒸汽机进行了多项改进。1765年,设计出了将冷凝器单独设置的单动式蒸汽机;1782年,又设计出了将蒸汽从汽缸两侧交替送汽的双动式蒸汽机;1784年,再设计出使用飞轮和曲轴把活塞的往复运动变成旋转运动的机构,后来又进一步改进为行星齿轮机构,该项发明改变了纽可门蒸汽机只能做直线往复运动的缺陷。瓦特对蒸汽机所做的这一系列改进,使蒸汽机的作用再也不仅仅限于矿井抽水,而成为可以驱动机械化工厂的动力源泉(图11-4)。1785年,设在诺丁汉郡帕尔维克的鲁宾逊纺纱厂首先使用了蒸汽机作为工厂的动力,此后,蒸汽机作为一种动力源,被大量用在了产业革命后兴起的工厂之中。

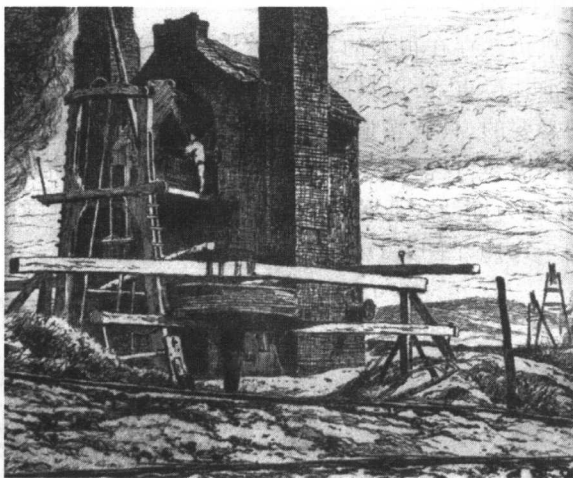


图 11-4 矿山抽水装置中的瓦特蒸汽机

三、产业革命的发展——蒸汽动力的应用

随着蒸汽机在工厂的广泛使用,英国工业的生产力大大提高,带动着许多行业从手工业生产为主的时代进入了以机器生产为特征的工业化时代。在采矿业中,1783年,英国著名的康沃尔矿区的所有纽可门蒸汽机开始为瓦特蒸汽机所取代,随后,其他矿区的纽可门蒸汽机也相继被瓦特蒸汽机所取代。在纺织业中,由于采用瓦特蒸汽机作为动力,使纺织厂打破了原先依靠水力必须建在靠近河流地带的限制,使纺织业的发展进入了一个新的时期。

冶金业是随着纺织业、采矿业之后,在产业革命影响下得到迅速发展的行业。1760年,约翰·斯密顿(John Smeaton, 1724—1792)发明了“蒸汽鼓风法”,利用蒸汽压力向熔

炉送风;1776年,约翰·惠更生(John Wilkinson,1728—1808)开始利用瓦特创制的先进的蒸汽机给熔铁炉鼓风;1782年开始,冶金业利用蒸汽机带动汽锤、碾压机和切铁机;1784年,工程师亨利·科特(Henry Cort,1740—1800)获得了“搅拌式炼铁法”专利,并于1788年发明了利用蒸汽机驱动的轧钢机。冶金工业生产技术的不断革新,带动了英国钢铁产量的迅速增长,使英国的钢铁工业迅速成为世界第一。

产业革命在其发生的第一个阶段,即大大地推动了英国的工业化进程,以纺织、采矿、冶金等行业为代表,实行机械化生产的工厂迅速普及,生产原料、产品等的运输压力,使对交通运输业的需求超过以前的任何一个时期。从1755年开始,英国有计划地在国内开凿运河,以保障工业化企业的需要,例如,英国的第一条较为重要的运河——布利奇瓦特公爵运河,将纺织业中心曼彻斯特和它附近的煤矿连接了起来,从而大大降低了纺织品的成本。仅从1790年到1794年,英国政府就颁布了81道开凿运河的法令,水路运输成为推动英国工业发展的重要环节。1807年,美国人富尔顿(Robert Fulton,1765—1815)设计制造了第一艘以蒸汽机作为动力的客轮“克莱门特号”,首航哈德逊河(图11-5)。1812年,英国人亨利·贝尔(Henry Bell,1767—1830)吸取了美国人的经验,设计制造了英国第一艘利用蒸汽机驱动的轮船“彗星号”,从1814年开始在泰晤士河上航行。从此以后,蒸汽轮船开始占据英国水上运输的重要地位,成立了许多家轮船公司,制造出了“天狼星号”、“大西方号”、“大不列颠号”等多艘著名轮船,水路交通进入了新的时代。

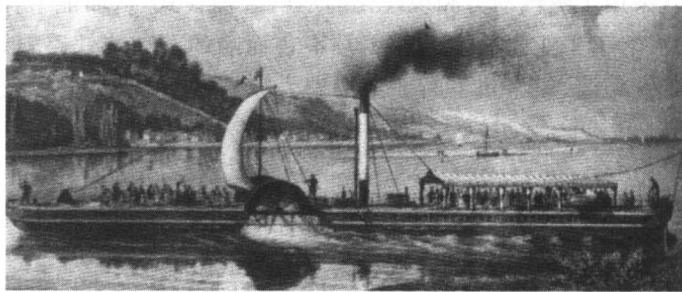


图 11-5 1807 年富尔顿建造的“克莱门特”号蒸汽船在哈德逊河上开始从纽约到奥尔巴尼的首航

英国陆路交通的巨大发展来自铁路机车的发明。工业革命之前,英国的陆路交通的主要工具是马车。产业革命初期,随着采矿业的发展,人们在矿山铺设木轨,由马拉车辆轨道上行驶,后来,逐渐改造为铁轨。随着蒸汽机的改进和在工厂里广泛投入使用,也有人开始考虑把蒸汽机用在轨道机车上。1804年,英国牧师理查德·特里维西克(Richard Trevithick,1771—1833)改造了瓦特的蒸汽机,使之利用压力更高的蒸汽,并且体积更小,并将其装在一台在轨道上行驶的蒸汽机车上,特里维西克的机车在9.75英里

(14 公里)长的铁轨上牵引 5 辆装载着 10 吨铁的货车,平均速度约为每小时 5 英里(8 公里),速度很慢,但在那时候,它足以引起轰动。1808 年,特里维西克又建造了一辆名为“谁能赶上我”的蒸汽机车,牵引着一小列车厢,在一个环形铁轨上跑,以招徕观众收取门票。

真正使蒸汽机车成为实用的载运工具,是英国工人乔治·史蒂文森(George Stephenson,1781—1848)的贡献。他于 1814 年建造了他的第一辆机车——“我的上帝”,速度为每小时 6 英里(9.6 公里)。1821 年,史蒂文森承担了为由斯托克顿到达林顿的铁路制造蒸汽机车的任务。1825 年 9 月 27 日是铁路发展史上的一个重要的日子,这一天,史蒂文森驾驶着他设计的“自动号”铁路机车首航,在沿途观众的注目下,这辆载重 90 吨,时速 24 公里的机车顺利地行驶到达了终点。此后,史蒂文森又对蒸汽机车进行了改进,减少了故障率,提高了运行速度。更为重要的是,史蒂文森还非常关注铁路的标准化、实用化建设,他提出的铁轨的铺轨标准、拐弯半径、轨距等等,后来都被采纳。史蒂文森虽然不是最早设计制作蒸汽机车的人,但正是由于他提出的这一系列可操作性措施的实行,才使得铁路运输业能够克服许多问题,得到迅速发展,使 19 世纪的世界进入了“铁路时代”。

铁路运输业克服了地域距离这一原先人们面临的巨大障碍,使人类在很大程度上摆脱了自然的限制,极大地加强了生产的沟通和交流。这一行业完全是在产业革命过程中新生的,一开始就采用了蒸汽动力和现代化的运营管理模式,从而能够保证顺利地发展。铁路运输业的发展对于工业化的推进作用是不言而喻的。随着铁路轨道铺设的不断延伸,一批城市沿着铁路线兴起,并不断地聚集着人口,从某种意义上说,它改变了人类的工作和生活状态。

四、产业革命的扩散——工业化时代

英国的工业革命始于 18 世纪 60 年代,以棉纺织业的技术革新为始,以瓦特蒸汽机的发明和广泛使用为枢纽,以 19 世纪三四十年代机器制造业机械化的实现为基本完成的标志。到了 19 世纪中叶,机械化的大工业生产占据了英国国民经济的主要地位,英国已经成为一个发达的工业化国家,出现了一批烟囱林立、工厂集中的工业化大城市,形成了较为完备的工业生产体系。

英国工业革命中物质财富生产的迅速增长,使它的影响迅速扩散。很快,工业革命就扩散到了欧洲大陆,比利时、荷兰、法国、德国等国家的工业化进程也接续展开。法国在 19 世纪初的经济实力曾经高于英国,随着英国发生了产业革命,工业生产疾风骤雨式地推进,落后的法国看到了产业革命的巨大力量,并很快地从英国汲取了有价值的经验。

一批英国产业革命中的新发明创造如纺纱机、织布机、蒸汽机等很快传到了法国,一批掌握了新技术的工匠从英国流动到法国工作,使法国的产业革命虽然比英国晚,但是却更加顺利。从19世纪初期开始,到1860年前后结束。与此类似,德国也从英国的工业革命中获益良多。德国的工业革命开始于18世纪30年代。自第一条铁路在巴伐利亚的修建开始,铁路带动了德国的工业革命。而随着采矿业中心鲁尔区的迅速崛起,德国的煤炭、钢铁、兵工等行业迅猛发展,到19世纪后期,后进的德国很快赶超上来,跨入了世界先进国家的行列。

欧洲大陆国家的工业革命起步比英国要晚,但是,一方面它们充分吸取了英国工业革命的经验教训,避免了走弯路;另一方面,则是由于他们充分利用了英国已经发明出来的技术。例如,英国经过了几代人,前后七八十年的努力,才由瓦特在1769年获得了实用蒸汽机的发明专利,而法国人在1779年就从英国获得了在法国制造实用蒸汽机的权利,等等。因此,这些国家完成工业革命,实现工业化的时间就比英国缩短了许多。

从18世纪末期开始,英国产业革命的影响就不断地传入美洲大陆,陆续有一些新的技术被带到了美国,如纺纱机、织布机、蒸汽机等等,而美国的发明家们也创造出了一些重要的技术发明,如轧棉机、造纸机、蒸汽轮船等等。到18世纪中期,纺织业、冶铁业、机械制造业和交通运输业在美国都取得了较大的发展。而经过了4年的南北战争之后,美国的工业得到了迅猛发展,特别是几条贯通美国东西部的铁路大动脉的建成和移民向西部的不断拓展,城镇和工厂像野火一样在美国蔓延。幅员辽阔、资源丰富的美国,虽然产业革命开始的步伐迟于英国,但是却依靠着自身的优势,显示出了成为世界头号经济强国的发展势头。

产业革命的浪潮不仅席卷了西欧和北美,而且扩散到了东欧和亚洲,俄国和日本此后也出现了产业革命的高潮。其他地区的一些落后的农业国家也纷纷把实现工业化当做自己追求的目标,世界进入了工业化的时代。

第四节 产业革命的意义和影响

产业革命对人类社会发展的推动作用远远超出了以前任何一个时期,仅仅用了100年左右的时间,整个西方世界的面貌就发生了巨大的变化。有一个形象的比喻说:人类社会在缓慢地爬行了上百万年,步行了上万年之后,从那一瞬间起,突然加快脚步向前奔跑了起来。^①也就是说,产业革命的发生,使人类从步行前进转而开始了迅速奔跑。

^① 刘笑盈:《推动历史进程的工业革命》,第1页,北京,中国青年出版社,1999。

一、产业革命带来了生产力发展的巨大飞跃,引起了近代社会的深刻变革

产业革命的标志——蒸汽动力的使用和机械化大生产的开展,使社会生产力以前所未有的速度迅速提高,机械化生产使劳动生产率比起以前的人力手工操作提高了许多倍,而工业化的管理模式以及分工协作的生产方式,也起到了解放生产力的作用。这些改变造成的结果就是工业化国家的生产迅速提高,产品以迅猛的速度激增。如英国从工业革命开始的18世纪60年代,到工业革命基本结束的19世纪40年代,前后80年的时间里,纺织品产量提高了100多倍,煤炭产量增加了10多倍,生铁产量增加了近100倍。生产力发展的速度与前代相比是惊人的。

产业革命在极大地提高了生产力的同时,也巩固了资本主义国家的统治基础。产业革命还引起了整个社会的深刻变革,造就了相互对立的两大阶级——工业资产阶级和无产阶级。

产业革命把劳动力从农村引向城市,开始了城市化进程。在这过程中,人们的生活方式、思想形态、价值观念也发生了较大的变化。一些明显带有工业社会特征的观念和原则为人们所接受,正如著名的研究英国产业革命的经济历史学家阿诺德·汤因比所指出的那样:“产业革命的本质,是以竞争取代了先前中世纪的规则,这一规则制约了生产的发展和财富的分配。”^①

二、产业革命促进了世界各地经济联系的加强,加速了世界市场的形成

产业革命引起了交通运输业的革命。轮船、火车诞生于产业革命时期,再加上后来的汽车、飞机等的发明,以及这些交通工具的不断发展改进,使城市之间、地区之间乃至国家之间的交往日趋密切,这种变化更加有利于先进科学技术和先进生产方式的传播,有助于人口的流动、产品的交易和资本的流通,从而进一步扩大了分工的规模。某一地区的产品可以通过一个更大的市场与其他地区的产品实现流通,这样,更大规模的工业化生产可以依赖更大的市场,从而实现分工更明确、更有优势的专业化生产。

由濒临大西洋的英国开始的这场产业革命,打破了国界、洲界,越过大西洋向欧、美和亚洲扩展。在工业革命深入和扩展的过程中,先进技术、设备和先进生产方式的传播,促进了不同地区、不同国家的生产和经济联系,进一步强化了国际分工,逐渐形成了一个

^① Arnold Toynbee. Lectures on the Industrial Revolution of the Eighteenth Century in England. <http://www.chinesebook.info>.

世界市场。例如：美国南方地区土地广阔，有良好的基础，生产大量的优质棉花，销往英国成为棉纺织业的生产原料；而英国出产的工业品，又把该地区作为广阔的销售市场。这样，美国的棉花生产与英国的工业品生产相互流通，成为两地经济发展的重要因素，使两地经济休戚相关。

产业革命之后形成的世界市场，带动了世界经济的变化与发展。

三、产业革命改变了世界格局，影响着现代世界体系的形成

随着英国产业革命的深入和扩散，资本主义生产方式在欧美先进国家确立，在强大的经济实力与军事技术的支持下，这些发达国家进一步加强对世界广大地区贫穷落后国家的殖民掠夺。像中国一样，许多未能实现工业化的落后国家则在西方列强的坚船利炮的轰击下失去了抵御能力，几乎无一幸免，纷纷被迫打开国门，沦为欧美资本主义列强的殖民地、半殖民地，成为发达资本主义国家的国际市场、原料产地和劳动力的供应地，成为他们投资的场所、牟利的乐园，成为资本主义经济的附属。

资本主义列强的扩张，对其他地区的落后国家带来了双重影响：一方面，列强的血腥侵略和残酷的殖民掠夺，使当地人民蒙受了深重的灾难，造成了这些地区长期的贫穷。另一方面，列强在经济侵略的同时，不可避免地把先进的工业生产技术、科学知识和先进的思想观念一并带入这些国家和地区，而这一切也带动着这些落后地区以很快的速度脱离农业时代，进入了工业化时代，在一定程度上推动了经济的发展。

四、产业革命受到科学技术的影响，又反过来推动科学技术的发展

如前文所述，英国产业革命的发生受到了科学技术的影响，包括理论科学与实验科学的发展，都为这场革命的到来奠定了基础。天文学的发展、经典力学大厦的建立，为产业革命打下了理论基础；而真空和热力学等实验科学的发展，则为产业革命的动力——蒸汽机的发明指明了方向。产业革命前手工机械制造技术（如钟表制造技术）的发展，培养了一批具有创造性的技艺高超的工匠，他们以自身的经验和发明创造，推动了产业革命的产生和发展。一大批对产业革命发挥了重要作用的机械出自他们之手，如飞梭、珍妮纺纱机、蒸汽机、螺纹车床、水力鼓风机等等。

而产业革命在轰轰烈烈发展的同时，也反过来推动了科学技术的发展。例如，蒸汽机的发明和改进，为能量守恒和转化定律的发现及热力学的完成奠定了基础。又如，纺织业的发展带动了印染业，而印染业则促进了化学的发展。而机械制造业在产业革命中的迅速发展使精密仪器的制造取得了长足的进步，从而大大推动了实验科学的发展繁荣。

产业革命中间,技术的发明和应用与社会化的工业生产达成了一种新型的结合。技术的发明和创新可以直接推动生产以前所未有的速度增长,而以机器大工业为基础的工业生产必须不断地革新技术,提高竞争力,才能保持生存。这样的关系,必然使科学技术与社会生产之间产生更加紧密的结合,相互依赖,相互促进。产业革命成功后,世界性的工业化浪潮也为科学技术的迅速发展提供了更大的需求空间,从而促进科学技术在其后的19、20世纪里以前所未有的速度迅猛发展。

思考题

1. 产业革命发生的原因是什么?为什么产业革命首先在英国发生?
2. 为什么把蒸汽机称为产业革命的动力?
3. 试分析产业革命与科学技术发展之间的关系。

参考书目

1. 阿·汤因比:《十八世纪产业革命史》,周宪文译,台北,台湾银行经济研究室,1970。网上电子书地址: <http://www.chinesebook.info>。
2. 清华大学自然辩证法教研组编:《科学技术史讲义》,北京,清华大学出版社,1982。
3. [法]保尔·芒图:《十八世纪产业革命——英国近代大工业初期的概况》,杨人梗、陈希秦、吴绪译,北京,商务印书馆,1997。
4. 刘笑盈:《推动历史进程的工业革命》,北京,中国青年出版社,1999。
5. M. M. 波斯坦、H. J. 哈巴库克主编:《剑桥欧洲经济史》(第六卷),《工业革命及其以后的经济发展:收入、人口及技术的变迁》,王春法主译,北京,经济科学出版社,2002。
6. Chris Woodford. Power and Energy, History of Invention. London: The Brown Reference Group plc, 2004.

第十二讲

变量数学的建立与科学的数学化

古人在自然事物的研究中,把力学推崇到极端重要的地位,而近代人则排除物体的形式和玄妙的质,努力把自然现象放在数学的控制之下。

——牛顿

数学中的转折点是笛卡儿的变数。有了变数,运动进入了数学;有了变数,微分和积分也就立刻成为必要的了。

——恩格斯

文艺复兴以来生产力的发展和资本主义生产方式的兴起,对科学技术提出了全新的要求。机械的普遍使用引起了对机械运动的研究,世界贸易的高涨促使航海事业的空前发达,而测定船舶位置问题要求准确地研究天体运行的规律。火器技术的发展,刺激了力学中弹道问题的探讨,要求能够从数学上正确描述抛体运动的轨道,并给予定量分析。而自然科学研究中,也面临着要用新的原理解释地球和太阳等天体的运动问题。这样,对地面物体运动和天体运动的研究,都向数学提出了用运动的观点来处理各种曲线的要求。到了17世纪前期,对运动与变化的研究已变成自然科学的中心问题,这就迫切地需要新的数学工具。解析几何就是在这样的氛围下诞生的,微积分的一些先驱工作也是在这种背景下开展的。

文艺复兴促成的东西方数学的融合,为近代数学的兴起及以后的惊人发展奠定了基础。从16世纪后期到17世纪末,欧洲数学所取得的成果,远远超过了初等数学在十多个世纪内的全部成果。对数的发明使过去繁琐的计算得到极大的简化,计算技术取得了重要进步;代数学的理论与方法被大大扩展,开始成为一门现代意义下的学科;紧接着射影几何、概率论等新的数学领域被开拓;近代数论的研究工作也被开创。然而,这一时期数学上最重大的进展是解析几何的创立和微积分的诞生,这两门学科的建立使整个数学发生了深刻的变革,从思想方法和内容上都发生了根本性变化,从此数学进入了一个崭新的时期——变量数学时期。近代数学的诞生,把数学和科学紧密地结合了起来,不仅改变了整个数学面貌,而且通过数学的应用,对精密科学的发展起了巨大的促进作用。

第一节 解析几何的创立

变量数学的第一个里程碑是解析几何的诞生。解析几何的创立,主要归功于法国的两位数学家笛卡儿和费尔玛。他们都用代数来研究几何,为数学引进了新的思想,使代数方程和曲线、曲面等联系了起来。他们将变量引进了数学,从而改变了数学的性质,对以后数学的发展产生了深远的影响。

笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650, 图 12-1)是 17 世纪杰出的哲学家和数学家,通常



图 12-1 笛卡儿诞生 400 周年纪念邮票

把他看成是近代哲学的开创者,他在生物学和物理学方面也作出了许多重要的贡献,但是本章所关心的是他在数学方面的主要贡献。笛卡儿对数学的伟大贡献是发明了坐标几何,即解析几何。笛卡儿有关解析几何的著述,最初是作为他在 1637 年发表的哲学著作《更好地指导推理和寻求科学真理的方法论》的附录出现的。

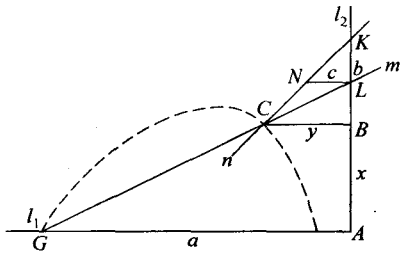
该书有三个附录:《几何学》、《折光》和《陨星》。《几何学》包括了他的几何坐标几何方法和代数思想。他在《几何学》中指出:“当要解决某一问题时,我们首先假定解已经得到,并给为了作出此解而似乎要用到的所有线段指定名称,不论它们是已知的还是未知的。然后,在不对知和未知线段作区分的情况下,利用这些线段间最自然的关系,将难点化解,直到找到这样一种可能,即两种方式表示同一个量。这将引出一个方程,因为这两个表达式之一的各项合在一起等于另一个的各项。”^①这表明笛卡儿的几何学是以“解析”作为基本方法的,即把对图形的研究转化为对方程式的研究。《几何学》共分三卷,第一卷的前半部分讨论如何把代数用于解决尺、规等经典作图问题。在后半部分包含了笛卡儿解析几何的一些基本思想,笛卡儿通过讨论帕普斯的问题,引进了曲线方程的思想。他引入了比较明确的“坐标”概念,即用坐标确定平面上一点的方法,在一给定的直线上标出 x , 在过这一点与该轴成固定角的线上标出 y 。根据笛卡儿的思想,线被看做是点运动的结果。当满足方程式的变数 $f(x, y)$ 变化的时候,坐标 (x, y) 的点画出的是曲线。第二卷讨论曲线方程的推导及曲线性质,提出按方程幂的次数对曲线进行分类的方法。笛卡儿将以往希腊人反对的许多曲线都列入了研究范围。第三卷主要讨论方程问题,目的是解决更复杂的作图问题。其中

① [法]笛卡儿:《几何》,袁向东译,第 5 页,武汉,武汉出版社,1992。

包括了有关代数学上著名的“笛卡儿符号法则”的论述。

在《几何》的第二卷中,笛卡儿通过实例讨论了各种曲线方程的推导过程和曲线的性质等问题,下面仅举其中一例说明他的思想方法。^①

如右图所示,直线 $l_1 \perp l_2$ 于 A , G 是 l_1 上的定点,射线 m (笛卡儿称为直尺) 绕端点 G 旋转,交 l_2 于 L ,射线 n 的端点 K 沿 l_2 滑动, LK 为定长。笛卡儿目的是求出 m 与 n 的交点的轨迹方程。设 C 为轨迹上任一点,他的做法是:“过 C 画直线 CB 平行于 GA 。因 CB 和 BA 是未知的和不确定,我称其中之一为 x ,另一个为 y ”。显然,他选择了以 A 为原点的坐标系。又过 L 作 LN 平行于 GA ,交 n 于 N 。他称 GA 、 LK 和 NL 为已知量,它们分别为 a 、 b 、 c 。因此有



$$\frac{BC}{BK} = \frac{NL}{LK},$$

$$BK = \frac{by}{c}$$

$$BL = \frac{b}{c}y - b$$

故

$$AL = x + \frac{b}{c}y - b$$

又

$$\frac{BC}{BL} = \frac{GA}{AL}, \quad \frac{y}{\frac{by}{c} - b} = \frac{a}{x + \frac{by}{c} - b}$$

化简后得

$$y = cy - \frac{c}{b}xy + ay - ac$$

这显然是双曲线的方程。

笛卡儿在这里是利用“坐标法”将曲线表示成方程,线被视为点运动的结果,方程的 x 、 y 值无穷多, x 变化时 y 随之变化, x 、 y 不同数值所确定的平面上许多不同的点,便构成了一条曲线。这样一个方程就可以通过几何上的直观来采用合适的方法去处理。笛卡儿还进一步利用方程表示曲线,即运用代数方法研究曲线的性质。这种思维方法对以后的数学家有非常大的影响。

《几何学》作为笛卡儿哲学著作《方法论》的附录,意味着他的几何学发现是在其方法论原理指导下获得的。其方法论原理的本旨是寻求发现真理的一般方法,他认为在一切领域中可以建立一种普适的推证真理的方法,这个方法就是数学方法,称之为“通用数

① [法]笛卡儿:《几何》,袁向东译,第24~26页,武汉,武汉出版社,1992。

学”。因为立足于公理之上的证明是无懈可击的。同时他认为,代数具有作为一门普遍的科学方法的潜力,强调了代数的一般性以及它在推理程序机械化和减小解题工作量方面的价值。他认为通过“广延”(extension)(笛卡儿对有形物广延的一种推广)的比较可将一切度量问题化为代数方程问题,为此需要确定比较的基础,即定义“广延”单位,以及建立“广延”符号系统及其算术运算,特别是要给出算术运算与几何图形之间的对应。这就是笛卡儿几何学的方法论背景。



图 12-2 费尔玛

费尔玛(Pierre de Fermat, 1601—1665, 图 12-2)是解析几何的另一位创立者。从他
与帕斯卡等人的通信中可知,早在笛卡儿的《几何学》发表以前,费尔玛已经提出了研究曲线问题的一般方法。他从希腊几何学的成就出发,用他所提出的一般方法,对阿波罗尼斯关于轨迹的某些失传的证明作出补充。他曾力图恢复失传的阿波罗尼斯的著作《论平面轨迹》,从而写了一本题为《论平面和立体的轨迹引论》(1629)的书,在书中他清晰地阐述了他的解析几何思想方法和基本原理。他指出:“只要是在最后的方程中出现两个未知量,我们就有一条轨迹,这两个量之一的末端描绘出一条直线或曲线。直线只有一种,曲线的种类则是无限的,有圆、抛物线、椭圆等等。”

费尔玛在书中还提出并使用了坐标的概念。两条成一定角的直线一般可构成一斜角坐标。为了方便,他常选取直角坐标。他所称的未知量 a, e 实际上就是“变量”。^①

费尔玛在书中讨论了各种曲线的轨迹方程,包括直线方程、圆、椭圆、抛物线、双曲线以及新曲线。他把二次以内的曲线分为平面轨迹和立体轨迹两类,说:“每当构成轨迹的未知数的顶端所描出的是直线或圆时,这轨迹就称为平面轨迹;当它描出的是抛物线、双曲线或椭圆时,它就称为立体轨迹。”他对高次曲线也进行了卓有成效的研究,如研究了被后人称为费尔玛抛物线、费尔玛双曲线和费尔玛螺线。费尔玛还产生了空间解析几何的思想,探讨了三维空间的轨迹问题。他正确指出:一元方程确定一个点,二元方程确定一条曲线(包括直线),而三元方程则确定一个曲面。这类曲面包括平面、球面、椭球面、抛物面和双曲面。但是,他没有用解析方法对这些曲面进行具体研究。

解析几何的意义并不限于数学本身,它提供了科学技术和社会发展迫切需要的数量工具,从而对整个科技事业及社会经济的发展起到了促进作用。研究物理学离不开几何学知识的应用。物体具有不同的几何形状,而运动物体的路线则是几何曲线。笛卡儿认为全部物理可归结到几何,但传统几何对于运动的物体是无能为力的。在与变量有关的

^① 冯立升:《费马和他的数学工作》,载《数学的实践与认识》,1987(2)。

广阔天地里,解析几何却大有用武之地。无论是航海学、测地学和天文预测,还是抛射体运动及机械与仪器的设计与制造,都需要数量知识。而解析几何恰恰能把物体的形状和运行路线表为代数形式,从而导出数量关系。直到现在,解析几何仍然是科学研究及工业生产中不可缺少的数学工具。

第二节 微积分的先驱工作

微积分的确立是在 17 世纪后期由牛顿和莱布尼兹完成,但是,他们并不是在平地上创造这一业绩的。许多微积分先驱者的工作为他们铺平了道路。

微分学起源于对切线、极值和运动速度问题的处理。费尔玛是最早应用了本质上具有微分学性质的方法,他的工作已接近了微积分的发明。1629 年,他在《求最大值和最小值的方法》一文中,用下面的例子说明了自己的方法。问题是:已知一条直线段,要找出其上的一点,使被该点分成的两部分直线段构成的矩形面积最大。他设整条线段长为 B ,其一部分为 A ,则另一部分为 $B-A$,两部分围成的矩形面积为 $AB-A^2$ 。然后他用 $A+E$ 代替 A ,另一部分为 $B-(A+E)$,矩形面积遂成 $(A+E)(B-A-E)$ 。费尔玛认为,当 A 取最大值时这两个面积值(函数值)应相等,即

$$(A+E)(B-A-E) = AB - A^2$$

这可整理为 $BE-2AE-E^2=0$,约去 E ,得 $B=2A+E$ 。然后令 $E=0$ (费尔玛称略去 E),得 $B=2A$,因此,正方形将获得最大面积。尽管费尔玛的说明还存在一些问题,但这与现在微分学的方法非常相似。如以 Δx 代替 E ,他的处理与令

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x} = 0$$

相等价。费尔玛在这里隐约地引进了无穷小的概念。他还用类似的方法研究了曲线的切线问题。

英国数学家巴罗(I. Barrow, 1630—1677)利用微分三角形来解决切线问题,他的基本思想和费尔玛差不多,也是先将 x 增扩为 $x+\Delta x$,然后代入函数,然后再略去 Δx 。微分三角形是指微小增量组成的三角形,即由自变量增量 Δx 与函数增量 Δy 为直角边所构成的直角三角形。巴罗首先认识到微分三角形两边之商对于决定切线的重要性。他还最早认识到作切线与求积的互逆关系,说明已对微积分基本定理有了一些初步的认识。

积分学的工作起源很早,是由求面积问题开始的。阿基米德就求过抛物线下的弓形面积的方法,我国三国时刘徽创立的割圆术,都包含了积分的萌芽思想。但比较系统的工作开始于开普勒(J. Kepler, 1571—1630),他在 1615 年的《测量酒桶体积的新科学》—

书中,把曲线形看成边数无限增大的直线形,圆的面积就是无穷多个顶点在圆心、底在圆周上的三角形面积之和。同样,球体积是无穷多小圆锥的体积之和。意大利数学家卡瓦列里(B. Cavalieri, 1598—1647)提出了更一般性的方法——不可分量法。他在1635年出版《连续不可分几何》中,把几何图形看成由维数较低的无穷小元素所组成,并把这些无穷小元素称为“不可分量”。如把曲线形看成无限多条线段(不可分量)拼成的。他通过两个给定几何图形(或立体)的不可分量的比较,来确定平面图形的面积或立体的体积的对应关系。若每对量的比都等于同一个常数,则他断定两个图形的面积或体积也具有同样比例。这便是所谓的卡瓦列里原理。这一原理与中国古代数学家刘徽、祖暅早已应用的截面比较原理是一致的。这些工作为后来的微积分学的建立作了思想上的准备。

费马也提出一种新的求积方法。他讨论了曲线 $y = xp/q$ 之下从 0 到 x 之间的一块面积的求法。他先用统一的竖直矩形条来分割曲线形,并用这些矩形面积之和近似代替曲边三角形的面积。然后通过类似于取极限的方法获得精确的结果。他的求积过程已经包括了我们的定积分的主要方面。

在牛顿和莱布尼茨之前,在发明微积分方面做出工作最多的是英国的沃利斯(J. Wallis, 1616—1703)。他在《无限算术》(Arithmetica Infinitorum, 1655)一书中,运用分析法和可分量法求出了许多曲边形面积并得到广泛而有价值的结果。他还将不可分量法译成了数的语言,从而把几何方法算术化,此外又首次引入变量极限的概念,从而把有限算术变成无限算术,为微积分的确立准备了必要的条件。

第三节 牛顿、莱布尼兹与微积分学的建立

艾萨克·牛顿(Isaac Newton, 1642—1727, 图 12-3), 出生于英格兰乌尔斯托帕的一个农民家庭。早年所受教育很平常。他于 1661 年夏天入

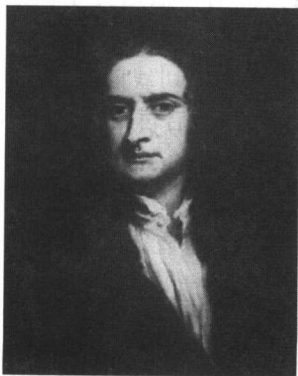


图 12-3 牛顿

剑桥大学三一学院学习,这期间,他攻读了欧几里得的《几何原本》及笛卡儿、开普勒和沃利斯等人的数学和物理著作。他的才智开始显露,并获得他的老师巴罗的赏识。1665 年初获得文学学士学位。这一年他为躲避鼠疫回乡,在乡下的两年中做出了流数法、万有引力和光的色散分析等重大发明和发现。他在 1667 年返回剑桥在三一学院执教,并在 1669 年继巴罗之后任卢卡斯数学教授职位。1701 年,牛顿辞去三一学院的教职,1703 年当选为英国皇家学会主席,后一直连任,直到去世。牛顿是历史上最伟大的科学家,其最突出的贡献是创立了经典力学的理论体系。他不

仅在前人工作的基础上总结出了著名的运动三定律,还发现了万有引力定律,并据此解释了行星运行成椭圆轨道的原因。1666年用三棱镜实验光的色散现象,1668年发明并亲手制作了第一具反射望远镜。牛顿坚持用观察和实验方法发现自然界的规律,并力求用数学定量方法表述的定律说明自然现象,其科学研究方法影响了后世近300年的科学研究。

他在数学上以创建微积分学而著称,其流数法始于1665年。在最初的发明微积分方法之前的1664—1665年间,对二项式进行过研究。这一研究是由曲线形面积的求积问题引起的。在研究中,牛顿尝试用无穷级数的方法进行计算。随着研究的深入,牛顿发明了著名的二项式定理。而这一定理作为曲线形面积的最直接最简便的求积方法,对牛顿发明微积分方法起了直接的促进作用。牛顿关于微积分的手稿表明,大约在1665年秋天,他已能用“ o ”表示无限小增量,求出瞬时变化率。但他要反复深思熟虑后,才肯将自己的成果公布于众。1687年7月,牛顿用拉丁文发表了其巨著《自然哲学的数学原理》,该书是第一本公开载有牛顿微积分思想的书。1669年在朋友中散发的《运用无穷多项的分析学》是他的第一部关于微积分的论著,它直到1711年才出版。他称变量的无穷小增量为“瞬”,讨论了求一个变量(关于时间的)瞬时变化率的普遍方法,并且证明了面积可以由求变化率的逆过程得到。牛顿对其微积分思想所作的更系统的叙述和广泛的应用见于1671年完成的《流数法和无穷级数》,但该书直到他去世后的1736年才出版。牛顿在这部书中是从运动学的角度来考虑问题的,认为变量就是量的连续运动,因此他称变量为流量(fluent),称其变化率为流数(fluxion)。对于流量 x 和 y 的流数,他记为 $\dot{x}$ 和 $\dot{y}$ 。 $\dot{x}$ 的流数记作 $\ddot{x}$ 。如果 o 是“无穷小的时间间隔”, $\dot{x}o$ 和 $\dot{y}o$ 则为 x 和 y 的无穷小增量。如已知两个流量的关系为

$$y^n = x^m, \text{ 即 } y = x^{\frac{m}{n}}$$

牛顿的方法是先建立

$$y + \dot{y}o = (x + \dot{x}o)^{\frac{m}{n}}$$

然后运用二项式定理于右边,得到一无穷级数。消去等式两边相等的项 y 和 $x^{\frac{m}{n}}$,用 o 除方程的两边,略去 o 的项,便得到

$$\dot{y} = \frac{m}{n} x^{\frac{m}{n}-1} \dot{x}$$

他还阐明了流数法的基本问题,即从已知量流之间的关系求它们的流数间的关系以及其逆运算。这实际上确立了微分与积分这两类运算的互逆关系,即微积分学基本定理。

在1676年的论文《曲线求积法》(作为《光学》的附录发表于1704年)中,牛顿放弃了无穷小量(即“瞬”)的提法,而试图把流数法建立在极限概念的基础上。为此,他引进了最初比和最末比的概念,并给出它们的几何解释。

微积分的另一位创立者莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646—1716, 图12-4)是一个千古

卓绝的大智者,也是伟大的哲学家、科学家和数学家。他生于莱比锡,父亲是莱比锡大学的教授,家中藏书丰富,为他早年的学习创造了良好条件。莱布尼兹于 1661 年入莱比锡大学,学习哲学、修辞学、数学及多种语言,后选择攻读法学。他在 1666 年转学至阿尔特多夫大学,次年获博士学位。他于 1676 年出任汉诺威公爵顾问及图书馆馆长,后在那里任过多种职位。莱布尼兹的研究工作涉及逻辑学、数学、力学、地质学、法学、历史、语言及神学等多种领域,在数学上以创立微积分学著称。



图 12-4 莱布尼兹

莱布尼兹对微积分的研究,比牛顿开始的时间要晚一些。他早期的成果主要包含在他写于 1673 年到 1676 年的笔记手稿中。这期间他发明了无穷小算法,当时他并不知道牛顿关于同一问题已完成了“流数术”。莱布尼兹是通过几何上求曲线切线的研究得到一般的微分理论的,他把切线斜率看成是无限小增量 dy 和 dx 之比。他的微积分工作第一次公开发表是在 1684 年,这比牛顿首次发表的微积分结果早好些年。

在 1675 年 10 月 29 日的手稿中,莱布尼兹引入符号“ $\int$ ”表示变量的求和过程,并看到 d 和 s 是互逆的运算。在同年 11 月的手稿中,他用 x/d 表示差,并说 x/d 可以写成 dx ,是两个相邻 x 值的差。他将 y 的微差写作 dy 。他把 dx 看做常数,且等于 1。莱布尼兹这时已在探索 $\int$ 的运算和 d 的运算的关系,并看出它们是相反的。在 1676 年 11 月的手稿中,他给出了一般性法则

$$dx^n = nx^{n-1}dx \quad \text{和} \quad \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}$$

其中 n 为整数或分数。

1684 年,莱布尼兹在《博学学报》(Acta Eruditorum)杂志上发表了《一种求极大、极小值与切线的新方法》一文,这是首次公开发表的微分学论文。该文通过几何上求曲线切线的研究讨论了一般的微分法则,把切线斜率看成是无限小增量 dy 和 dx 之比,得到微分学的一系列基本结果。1686 年他又发表第一篇积分学论文,讨论求出原函数的方法。莱布尼兹此后进一步补充了微积分结果。他创设的数学符号非常优良,对微积分的发展有极大影响。

牛顿和莱布尼兹对微积分作出了同样重要的贡献。牛顿从力学着眼,考虑变量的运动速度——流数,更注重推广成果的应用。他把微积分方法应用于各种问题,取得了巨大的成功,刺激了整个 18 世纪分析学的发展。他的工作完成得较早,但发表很晚。莱布尼兹则一直更关心运算符号和法则系统,力图创造广泛意义下的微积分。他比牛顿更注重符号的选择,其引入的符号一直使用到今天。莱布尼兹的工作虽较牛顿稍晚,但发表

的时间却较早。遗憾的是,英国和欧洲大陆的数学家为两人发明微积分的优先权进行了长期的争论。英国的数学家捍卫牛顿,而欧洲大陆的数学家支持莱布尼兹。这一事件的结果,导致英国和欧洲大陆的数学家在一段时期终止了数学思想的交流。因不承认莱布尼兹的工作以及发展,英国相当一段时间内脱离了数学主流的发展,而使一些最有才能的数学家未能作出应有的贡献。

第四节 力学的分析化

17 世纪经典力学体系的建立,使力学成为一门全面研究运动的学科。力学在自然科学中获得了一种特殊的中心地位。牛顿之后很长时期,力学在自然科学领域中一直保持着它的特殊地位。力学在哲学和思想领域中,也起了支配作用,形成了关于自然界的机械论观点。哲学家和科学家都力图用力学语言来描述自然界的运动,并以力学理论为基础来对物体的运动和变化作出解释。由于力学愈来愈适于进行数学处理,吸引了许多天才的数学家投身于力学研究。正如牛顿已阐明的那样,力学被数学家看做是一种公理化的系统,力学问题可用数学方法定量地解出。因此,力学不再被看成是物理学的一个部分,而被视为数学的一个分支。牛顿等早期科学家研究力学问题时主要采用的是几何与矢量方法,到了 18 世纪,随着微积分和数学分析中新分支的发展,用分析方法重新系统研究力学的条件已经成熟。数学家们以先进的数学方法重新表述经典力学的理论体系,解决力学系统中更为复杂的问题,将力学发展成为相当完备的分析化的数学演绎体系。力学的发展也是与数学分析相结合的过程。

18 世纪力学的分析化主要表现在两个方面:第一,建立与牛顿三大定律并行的其他一般性原理,并使普遍定律、原理公式化;第二引入广义坐标系统,化欧式几何问题为纯代数问题,使力学问题用代数方法解决。

首先应提到的是虚位移原理,它的普遍性公式是 18 世纪初提出的。1715 年,在约翰·伯努利(Johann Bernoulli, 1667—1748)给瓦里尼翁的信(该信件于 1725 年由瓦里尼翁在他的《新力学》中发表)中,这个原理首次获得明确的、普遍的公式化表达。如果将表达方式现代化,则可重新陈述如下:在理想的约束中,主动力在虚位移上所做的总功为零。约翰·伯努利对进一步改进微积分作出了重要贡献,并促进了力学的发展。

第二个普遍性原理是达朗贝尔原理。这一原理是在达朗贝尔(图 12-5)1743 年发表的《论动力学》一书中最早提



图 12-5 达朗贝尔

出的。该书开创研究约束运动物体的先河,以公式化形式给出了著名的“达朗贝尔原理”。达朗贝尔从对单摆和复摆的运动开始展开讨论,他将作用于物体系统上的力分为外力(外加力)和质点间的内部反作用(即现在所谓的约束力)。就整个物体系统而言,内部反作用相互抵消了,因而对物体运动不产生影响,而另一组力把运动传递给系统,使得有效力静态地等于外力。这里有效力即为惯性力。达朗贝尔原理将动力学和静力学用统一的观点进行处理,它与下面介绍的最小作用原理一起为分析力学的发展奠定了基础。

最小作用原理是第三个普遍性原理。这一原理可以追溯到费尔玛讨论的光传播路径问题。费尔玛证明了如下结果:光线折射时,光从一种介质中某点到另一介质中的某点所花的时间取最小值。现在被称为费尔玛原理。将最小作用原理确立为一个普遍的原理,主要归功于法国数学家莫泊丢(Pierre Louis Moreau de Maupertuis)和瑞士数学家欧拉(Leonhard Euler, 1707—1783)。莫泊丢在 1744 年首先给出这一原理的一般表述,他认为这一原理支配着自然界的一切运动。他把质量、所通过的距离和速度三者的乘积的积分定义为动点的作用量,并认为在任何实际上发生的运动中,这个乘积总是比相同点之间可想象的其他运动为小。他利用该原理成功推导出光的折射定律,两物体碰撞法则和杠杆定律。欧拉是有史以来最伟大的数学家之一,他把自己的数学天才广泛播撒于各种力学问题之中,他用自己创立的变分法给出了最小作用原理的一般数学表达公式。欧拉将这个原理表示为:

$$\delta \int v ds = 0$$

它表示与邻近的假设路径相比,实际路径的 $\int v ds$ 为稳定值,这样一来,这个原理就用变分法来处理了。欧拉同时提出了公式的有效性条件,这就是 v 必须决定于 s 。欧拉还用这个原理解决了抛体问题 and 有心力作用下的质点运动问题。

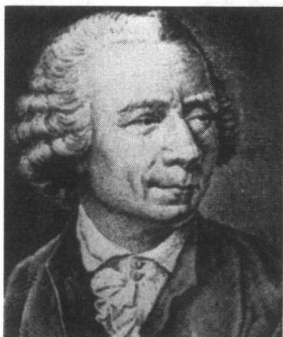


图 12-6 欧拉

欧拉(图 12-6)是继牛顿以后对力学贡献最多的学者之一。他对刚体运动列出运动方程和动力学方程并求得一些解外,还对弹性稳定性作了开创性的研究,并开辟了流体力学的理论分析,奠定了理想流体力学的基础。他的《分析力学或分析的运动学》(二卷本, 1736)是第一部系统的力学教科书。在这本书中,我们看到牛顿经常用以排斥所有其他方法的几何方法已被分析法所取代。这是一种转变,力学问题的处理变得更加清晰。1750 年欧拉给出了牛顿第二定律的分析形式:

$$f_x = m \frac{d^2 x}{dt^2}, f_y = m \frac{d^2 y}{dt^2}, f_z = m \frac{d^2 z}{dt^2}$$

分析力学的集大成者是法国数学家拉格朗日(J. L.

Lagrange, 1736—1813, 图 12-7)。1788 年, 拉格朗日发表了他的伟大著作《分析力学》。在书中, 他提出了动力学的一个普遍原理, 即著名的拉格朗日方程。这个方程是由虚位移原理和达朗贝尔原理相结合而得到的。该书完全摆脱了牛顿的几何方法, 而采用严格的分析方法, 被誉为运用分析学的典范。在前言中, 他特意提醒读者, 书中没有一张几何图形。他声称: “我在本书所叙述的方法既不需要作图, 也不需要几何或力学的推理, 只需统一而有规则的代数(指分析)运算。爱好分析的人会高兴地看到力学已成为分析的一门新的分支, 并将感谢我扩大了分析的应用范围。”^①他还进一步引入广义坐标和广义力, 其意义不像新的坐标那样是坐标面的距离, 广义力不再是牛顿力学术语意义下的力。在此基础上, 他建立了一套完全新的运动方程组——第二类拉格朗日方程。拉格朗日方程可以表示为

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) + \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (T \text{ 为动能, 当时称做活力; } V \text{ 为势函数})$$

该方程等价于牛顿第二定律, 但更加普遍化和数学化, 适用于各种力学系统。采用广义坐标, 它可表示为

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3)$$

分析力学的建立, 使力学问题化归为分析运算成为可能。拉格朗日从诸多力学原理中选出达朗贝尔原理和最小作用原理作为整个力学的最本质原理, 应用分析的工具完成了经典力学体系的重建工作, 使力学成为当时最完备的一门自然科学学科。

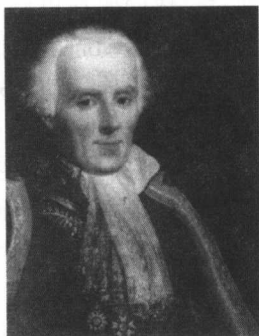


图 12-7 拉格朗日

第五节 天文学与数学和力学的结合

18 世纪的天文学的发展主要在两个方面。一是由于技术的发展, 天文望远镜及其各种仪器设备的性能越来越好, 使天体测量的精确度日益提高, 从而导致了一系列重大发现, 如恒星自行、光行差等。二是天文学与数学和力学的结合, 推动了天文学的进步, 法国的数学家和天文学家运用数学分析的方法研究天体的力学运动规律, 建立了天体力学的体系, 使天文学的理论水平达到了一个新的高度。18 世纪, 英国天文学家在天文观测方面成果巨大, 被视为一个测量天文学的国家, 而法国科学家专心致力于应用数学方法解决天体运动的力学问题, 因此被认为是计算天文学的国家。

^① R. Dugas. A History of Mechanics. Dover Publications, inc, 1988. 333.

牛顿时代的科学家只研究了两个天体在引力作用下的运动问题,既解决了行星和月球运行的二体问题。但计算结果与实际观测结果误差还很大。太阳系实际有多个天体,只考虑二体则难与天体实际运行情况相符。18 世纪的科学家开始尝试处理三体问题,他们的方法是在二体问题解的基础上,添加第三个天体,通过讨论该天体在引力作用下的运动对二体问题加以修正。他们使用的方法,主要也是分析的方法,也称为摄动方法。由于对月球运动起主要作用的天体是地球和太阳,加之航海对精确历表的需要,以月球运动为例的三体运动首先受到关注。此外,太阳系中大行星间的摄动也是科学家特别关心的问题。

天文学家们在处理三体问题时发现,三体问题比二体问题复杂得多,天文学中遇到的三体问题根本不可能得到精确解,只能用逐次逼近法得到近似解。1748 年和 1752 年,欧拉最先将分析方法应用于摄动问题,他在研究木星和土星的相互摄动中首创任意常数变易法。

法国数学家克莱尔特在 1752 年又利用微分方程和级数理论对三体问题进行了研究,给出了近似解,对天体力学的早期研究也作出了有意义的贡献。克莱尔特早在 1743 年就发表了他的专题论文《地球外形的理论》,讨论了旋转椭球的构成,涉及赤道处表面上各点的与重力与压力和离心力的关系,描绘了地球各部分相互间在万有引力作用下的形状。他是最早将数学分析理论应用于天体研究的数学家。

还有不少科学家研究过天体力学问题。如拉格朗日发展了欧拉的摄动方法,导出描述轨道要素变化的拉格朗日方程。他还对三体问题作过深入研究,在 1772 年证明三体问题中有拉格朗日特解。达朗贝尔对摄动理论和其他天体运动问题也有过研究。但是,对天体力学的建立作出最重要贡献的是法国数学家和天文学家拉普拉斯(Pierre Simom Laplace, 1749—1827, 图 12-8)。

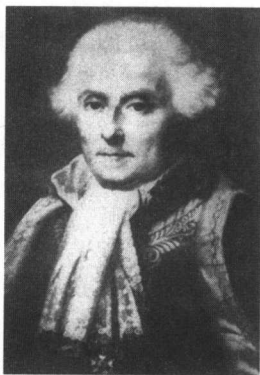


图 12-8 拉普拉斯

拉普拉斯长期致力于用数学方法解决太阳系内多体问题,经过 20 多年的辛勤研究和写作,完成了巨著《天体力学》。该书第一、二卷出版于 1799 年,第三卷出版于 1802 年,第四卷出版于 1805 年,第五卷完成于 1824 年—1825 年,并补充了以前各卷的内容。拉普拉斯在书中首次使用了天体力学的名称,并给出了天体力学的定义。该书集 18 世纪天文学和力学之大成,以严格的数学方法论述了有关天体力学不同方面的问题,

包括天体的视运动与真运动、行星运动和月球运动理论、摄动理论、天体的形状、地球的形状、彗星的运动、卫星的运动、潮汐问题以及天文学中的历史考证问题等。

拉普拉斯获得了许多重要的成果,如他成功解释了所谓月球的长期加速问题。他对木星和土星运动所观测到的不规则现象的处理,表明行星轨道有周期性的变化,并非无

限扩展;太阳系在相当长的时期内保持稳定格局,即太阳系是稳定的。他系统化了摄动理论,使摄动方法成为天体轨道计算中的常规方法。为了解决天体力学问题,拉普拉斯还发展了许多重要的数学方法,如解常微分方程的常数变异法、三角级数展开法和位势论等。

拉普拉斯在完成《天体力学》之前还出版了一部没有数学公式的《宇宙体系论》,书中除了概述某些与《天体力学》相同的思想和结果外,最重要的是提出了天体演化的思想。在书中他还独立于康德提出了太阳系起源于星云的假说。由于该书比较通俗易懂,产生了很大影响。但是,拉普拉斯的天体演化思想是由于他利用摄动方法计算天体轨道后,发现轨道可以缓慢变化而产生的。因此可以说,他与天文学有关的重要成果,都是天文学与数学和力学相结合的产物。

思考题

1. 解析几何的创立有什么重要意义?
2. 变量数学的创立与近代科学的发展有什么关系?
3. 数学在近代科学发展中扮演了什么样的角色?

参考书目

1. [美] 克莱因:《古今数学思想》(第二册),北京大学数学系数学史翻译组译,上海,上海科学技术出版社,1979。
2. [美] 卡尔·B. 波耶:《微积分概念史》,上海师范大学数学系翻译组译,上海,上海人民出版社,1977。
3. [美] 塞路蒙·波克纳:《数学在科学起源中的作用》,李家良译,长沙,湖南教育出版社,1991。

第十三讲

地质学的形成及其职业化

只有赖尔才第一次把理性带进地质学中,因为他以地球缓慢的变化这样一种渐进作用,代替了由于造物主的一时兴发所引起的突然革命。

——恩格斯

我喜欢地质学式的探险与游侠行为,胜过喜爱富饶的城堡和奢侈的享乐。

——科尼比尔

第一节 科学地质学的形成

一、绵延数千年的悬疑、难题及种种解答

人类从古代就开始了采矿、采煤等活动,接触到各种各样的矿物、岩石和化石。但受认识能力的限制,直到300年前,对这些东西是怎样形成的,仍不能给出满意解释。巨大的山脉和奇形怪状的岩石令人疑惑,而包含在岩层中的呈现出动物或植物形态的石质的化石,更让人惊奇、迷惘而不免产生诸多猜想。人们一度曾以为从地下开采出来的无机物是有生命的,并受一种内在力量的推动或日月星辰的外来影响而成长。当时的矿山会不时地停工,以便使新的矿藏能够重新成长起来,代替开采了的矿物。至于化石,则普遍认为是自然界或神在产生动植物时伴生出来的废品,或者是“造物的游戏”。

历史上也有一些人睿智的贤哲,如古希腊时期的哲人色诺芬尼(Xenophanes)、文艺复兴时期的达·芬奇(L. da Vinci, 1452—1519)和布鲁诺(G. Bruno, 1548—1600)等,曾经猜测化石就是生物遗体。然而,这种今天看起来不同凡响的观点,在18世纪之前并不被人们普遍接受。一方面是因为它与神学中的许多解释不一致,最根本的还在于,这些洞见在当时尚找不到足够的经验证据,对某些观察现象也难以给出合理解释,比如海洋中生活的贝壳和鱼类化石怎么会到了山顶上,那些在地表生存活动的生物死后为何没有腐烂却成为深深埋藏在岩层中的化石(图13-1)。

1695年,英国医学教授约翰·伍德沃德(J. Woodward, 1666—1728)发表了《地球自然历史试探》,再度论证化石是一度存在过的生物遗骸。他解释说,历史上曾经发生过巨

大洪水,不仅消灭了地上大部分生物,而且还冲毁了地球表面,并使地面上的无机物卷入水中。后来通过沉积,形成了新的岩石;卷入洪水的动植物遗体,则在地层中变成化石。重的物质如金属、矿物和比较重的骨骼化石沉积在最底下的地层中,其上是比较轻的海生动物化石。这种解释可以看做“水成说”的雏形。由于他用圣经中的摩西洪水,对现实中的自然现象给出了比较完善的解释,这一创见在18世纪还是比较普遍地为人们所接受,从而在整个这段时期引起人们收集化石的兴趣。



图 13-1 激起人们好奇心的大地懒化石

与强调水成说相对应,还存在着一个强调火和火山活动的“火成论”学派。公元1740年威尼斯的一个修道院的院长安顿·莫罗(A. Moro)就提出,地质形成纯粹是地球内部热力所致。他并不认为摩西洪水在地质学上是一个重要事件。他认为所有岩层都是由一系列火山爆发的熔岩流所造成的,每一次火山爆发都把当时的动植物埋葬在新形成的地层中,所以岩层内才有化石存在。这种解释可以看作是“火成说”的雏形。

不难看出,伍德沃德和莫罗的理论仍多多少少的和神学上的解释混杂在一起,并像那个时期的大多数自然哲学家、博物学家或业余爱好者一样,往往脱离实际,各自形成一些思辨性的理论,这些理论缺乏足够的可观察事实的支持,仍然属于自然哲学传统而非科学传统。但无论如何,他们已经开始尝试以自然界本身来解释地质现象了。

二、地质学的英雄时代

在科学史上,上起1790年,下迄1830年,被称做地质学发展中的“英雄时代”(也有人将这一时段划分为1790—1820年,并称之为地质学的“黄金时代”)。在这个时期,地质学逐步发展成为一门严谨的归纳科学,与早先盛行的有关地球和宇宙的思辨性推测判然有别。普莱费尔甚至轻蔑地将此前那些从事地质学或宇宙学研究的人,称为“精神错乱”症患者。菲顿(W. H. Fitton)也认为,地质学最初谈论彗星、大洪水、地震及海陆的形成,如同痴人说梦。^①

1. 水成论和火成论

18世纪下半叶,随着资本主义经济的迅速发展和工业革命的兴起,开发矿山、挖掘运

^① C. C. 吉利思俾:《〈创世纪〉与地质学》,杨静一译,第84页,南昌,江西教育出版社,1999。

河的社会实践日益普遍,在此过程中获得的岩石和化石的资料越来越多,为地质学提供了大量可观察的证据,同时由于牛顿力学的建立和完善,依据经验证据和严格因果模式解释自然现象的机械论广泛盛行,理性的批判超越和取代了神学权威,地质学也开始由思辨走向诉诸经验与观察。英国地质学会甚至将“收集实证材料而不急于构建理论”作为学会的宗旨,在这种注重实证的学术背景下,水成说与火成说经过 100 多年的发展,在 18 世纪末期由思辨衍变成了以确定的地质观察为基础的科学学派,出现了以德国矿物学维尔纳(A. Werner, 1750—1817)为代表的水成说学派和以英国的赫顿(J. Hutton, 1726—1797)为代表的火成说学派。

维尔纳对矿物的形态、成分、分类和用途作了大量的考察和研究,在 1791 年系统地阐发了水成说。他认为,地球生成初期,表面被原始海洋所掩盖,溶解在其中的矿物质通过结晶,逐渐形成了岩层。首先形成的是没有化石的花岗岩,然后是只有少量化石的板岩、石英岩,接着是含有大量化石的石灰岩和煤,最后是沙石和粘土。维尔纳并不否定热力的作用,但他认为地下的热如火山是煤的燃烧引起的,因而只是一种较晚的、辅助的地质力量。

英国地质学家赫顿在 1795 年则系统论述了火成说。他认为地球内部是熔融的岩浆,它通过火山迸发出来固化为岩石。依照这种说法,玄武岩、花岗岩是火成的。赫顿并不完全否定水的作用,但他认为河水只是把风化了了的岩石碎屑冲到海里才逐渐积累,形成石砾砂土和泥土。赫顿认为地球既没有开始,也没有结束;维尔纳的原始海洋的观点没有根据。赫顿还认为不能用设想的原始海洋来解释地质形成的过程,而要用“现在还在起作用”的地质力量来解释。

水成说和火成说各执一端,争论热烈,在争论过程中,人们倾向于用各自观察到的经验证据来支持自己的地质理论。但受到观察范围的限制,各学派又难免局限于区域性或地方性的证据。大凡居住于沉积岩地区或专门从事沉积岩研究的人倾向于水成说;而居住于火山地区和专门考究火山的人则倾向于火成说。由于赫顿的地球永恒性观点违反了传统宗教观念,开始并未得到人们认同,甚至受到一些人的攻诘。水成说在初始时占据上风,即使英国地质学会的大部分会员也赞成德国人维尔纳的观点。但由于火成说不断得到观察和实验的证实、补充,到 1830 年赖尔的《地质学原理》出版以后,人们普遍转而支持火成说。

地质学史上的水成说与火成说之争是一个重大的事件,它激发许多人投身于地质考察和研究之中,并出现了一大批璀璨夺目的地质学家。

2. 灾变论和均变论

在地质学的英雄时代,还出现了与地质力的作用方式有关的灾变论与均变论(也有

人称之为渐变论)的争论。不过这个争论是与火成说和水成说联系在一起的。灾变论者通常是水成论者,而均变论者则通常持有火成论的观点。

所谓灾变论,就是相信在造成现在这种地质构造与地貌形态的力是一种突然性的灾难,如圣经中的摩西洪水。即使不涉及神学的因素,那么当前能够看到的巨大山脉和谷壑江河,也必然是由某种巨大的突发性的自然力塑造而成的,且连续的灾变引起了物种的灭绝。法国的居维叶(G. Cuvier, 1769—1832)是灾变论的代表人物,他的门徒博蒙(E. Beaumont, 1798—1874)则光大了灾变论,将其用于解释造山运动。

火成论的先驱赫顿是个均变论者,他认为,没有证据能够证明,历史上曾经发生过所谓的引起巨大地质变动的灾变。而更可能的是,过去与现在并无区别;地质作用是一种逐渐、缓慢的过程,正如我们今天看到的那样。相应的,他还创立的地质学研究的历史比较法,即由观察现今正在进行的地质作用过程,如现代风化、剥蚀、搬运、沉积等外动力地质作用,推知发生在亿万年前、现在无法观察的沉积地层形成的地质作用过程。这种“将今论古”的考察地质现象的科学方法,通常也被称为现实主义方法论。

无论灾变还是均变,最初都只是一种形而上学的假设。均变论无疑是受到了早期的机械论哲学的影响;机械论自然观的假定之一就是,物质体系在整个地球历史时期是守恒的,或者说是不变的。均变论只是将非历史性的机械论做了一点变通,认为守恒的不是自然界的物质体系,而是自然界的那些作用力。地球上的物质通过永恒不变的力的作用而改变着。灾变论则假定过去的作用力可以是与现在不同的,更确切地说是假定远古时代的地质作用力远比现在的要剧烈,相比而言,灾变论含有更多“辩证法”的成分。但是,在各自的假定和推理的前提皆没有经验证据的情况下,以现在起作用的地质力解释远古时代的自然过程,更容易同当代人的经验联系起来,其解释模式更易于为当代人所接受,因而均变论很快就取得了统治地位。

在地质学开始形成的时候,许多人认为,由于地质学所研究的对象是我们现在没有经历过的,也是过去任何人都没有经历过的过程,准确地解释地质现象是不可能的,地质学永远不会成为精确可靠的科学。但均变论创立的以现在起作用的地质力来解释过去发生过的事件的现实主义的方法论,显然为地质学提供了有效的方法论工具。赫顿的研究,可以看做是理性思辨与经验常识在地质学中完美交融的标志。可惜的是,不尚功利的赫顿生前只是漫不经心地出版了他的三卷本巨著中的两卷,而且文笔枯燥乏味,艰涩难懂,缺乏一以贯之的论述,在地质学界影响极其有限。只是由于他的学生和朋友普莱费尔以浅白晓畅的语言,将赫顿的思想阐释得清清楚楚,令人信服的地质科学才算真正建立起来了。^①

① J. S. Flett. The First Hundred Years of the Geological survey of Great Britain. London, 1937. 12, 13.

3. 地质演化理论

到了 19 世纪,岩石学、地层学和古生物学皆取得了重大突破。当时的地质学家和博物学家基本上都承认,化石是一度存在过的生物遗骸,是地质和生物过程结合的产物。英国的地层学之父史密斯(W. Smith, 1769—1839)还进一步发现,地层及其所含化石呈现出有规律地叠置,因此,即使相隔很远的地层,也可以根据所含化石来确定其上下关系和生成的地质年代。而史密斯的外甥菲利普斯(Phillips, 1800—1874)正是根据这一原理将岩层进行了划分,建立了岩层划分的基本框架。在这里,地层是在不同时期逐渐形成的地质学演化思想,已经明显地存在于他们的头脑中了。

标志近代地质学演化理论体系化的,是英国地质学家赖尔(C. Lyell, 1797—1875, 图 13-2)在 1830—1833 年间出版的三卷本的著作《地质学原理》,其副标题是《以现在还在起作用的原因试释地球表面上以前的变化》。赖尔吸纳了同时代诸多地质学家特别是赫顿的思想,总结了大量的地质学知识,考察了火山、洪水、冰川和地壳升降等地质作用,在“均变论”概念方法的基础上,系统阐述了他的不同凡响的地质演化理论。他认为,一个地区的火山岩往往是多期形成的,每一期内往往又是多次喷发和溢流的火山物质造成岩石。考虑到时间长、次数多的因素,每次火山爆发并不都是很强烈的。他还认为,散布在沉积岩地层中的无数同类化石,意味着同一物种曾经继续了许多世代,与其同时生成的地层不会是短期内形成的。这清楚地表明,地质形成是一个长期的演化过程。

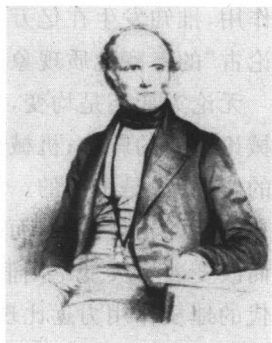


图 13-2 赖尔

该著作不仅将历史的、发展的因素带入地质形成理论之中,还间接地论证了生物进化的思想。不难理解,既然地层有它的演化历史,地球表面上生活的动植物也必然有其演化历史。作为古代地质过程的见证者和古代生物发展的信使,岩石中的化石顺序已明白无误地表明,同演化着的地质过程一样,生物现象也有一个演化过程。尽管赖尔及其同时代的地质学家囿于传统观念,没有正面论证生物进化的观点,但科学的生物进化理论却实实在在是呼之欲出了。^①可以说,赖尔的《地质学原理》,永久性地改变了地球的历史图景,也间接地改变了生命历史的图景,对人在自然界中的地位的现代认识产生了深刻影响,完成了地质学发展史的一次理论综合。该著作以翔实可靠的观察证据,令人心悦诚服的逻辑论证,以及浅显易懂、流动生辉的文字,成为地质科学的旷世经典。

^① 王蒲生:《划时代的地质演化理论》,载《科学学与科学技术管理》,1999(6):第 56 页。

第二节 地质学的职业化

一、17、18 世纪流行的业余传统

19 世纪以前,业余传统在英国的科学界一直占据着统治地位。从事科学研究的人虽然为数诿诿,从科学中获得谋生手段的人却寥寥无几。

地质学也不例外。在 17 世纪以及更早时期的,有关地球的经验知识和理论知识,只是些零星分散的片段,地质学还远称不上一个独立、系统的学科,地质学(geology)这个术语也未形成;^①有关地质学的内容往往包含在博物学、古文物研究、地形学、矿物学和浸染着宗教色彩的宇宙学之中。没有地质学科,自然也就没有地质学家这个名称了。这些地球科学研究者们通常的称谓是理论家、矿物学家或博物学家。由于他们往往也涉足其他知识领域,因而常常自称是学者、睿智的作者、有才华有价值的男子汉,将理性与感性完美地结合起来的人、博学多闻的智者、大师、求索者、热衷于以理性从自然中认识真理的人。^②

从事地球研究的人主要有三类:一类是牧师,一类是医师,一类是优游富裕的绅士^③。当然这只是大体的分类,因为有人可能会有两种以上的行当或身份,行业关系可能会彼此交叉重叠。这三类人中没有哪一类人仅限于研究地球,没有哪一类人将他们的全部时间用于探索地球。他们实际上不依靠研究地球为生:没有人以专门教授地球科学为业;大部头的教科书也没有市场;为农业、矿业、采石业等行业提供调查、咨询服务,将有关知识和技巧应用于实践,在当时也为数寥寥,鲜有所闻。规范和支持着这个群体的,是一些自由研习的机构如大学、医学联谊会、国教教堂、皇家学会,甚至牛津和都柏林的哲学协会。很多博物学家最初就是通过这些场所进入科学界的。

这些早期的地学探索者们虽然接受过药剂学、古典学、宗教编年学等方面的培训,但由于缺少专门化的教育机构,新的肄习者得不到正式训练,主要的博物学家也培养不出

① 吴凤鸣:《世界地质学史》,第 160~163 页,长春,吉林教育出版社,1996。

② Roy Porter. *Gentlemen and Geology: the Emergence of a Scientific Career, 1660—1920. the Historical Journal*, 1978, 21(4): 809-836.

③ 绅士是一个很宽泛的概念。它既不是爵位,也不是严格的社会阶级,而是一种很不确定的社会等级。在 16 世纪的英国,通常将人民分为四等。第一等人就是绅士,绅士又可分为贵族、骑士、乡绅。绅士是那些“因其出身和血统或至少因其美德而变得高贵知名的人”。绅士的地位因其出身或美德而获得。不过,绅士应拥有财产而“毋需自食其力,因而能够并愿意为绅士身份和行为举止支付费用的人”。见王觉非主编:《近代英国史》,第 18 页,南京,南京大学出版社,1979。

优良的后继者,学者们不可能在统一的学术规范下从事研究,因而地学在这一时期几乎没有取得智力上内在一贯的成就,没有牛顿式的科学巨擘构筑统一的地学理论。相反,他们各执一端,彼此争论不休。激烈争论的主题是化石的意义、洪水的成因,以及生物埋藏是否与诺亚洪水有关。^① 格雷山姆学院医学教授伍德沃德(J. Woodward, 1665—1728)主张洪积说,认为有机体遗骸是被诺亚洪水淹没后,埋藏在沉积地层中的。物理学家胡克(Hooke, 1635—1703)则认出化石是过去曾经生存过而今已经灭绝的生物物种。^② 在方法论上,经验论的博物学家认为,构造整体的地球理论是幼稚的臆想。受批评的一方则反驳说,仅仅收集化石和古生物资料的经验论博物学家的头脑过于单纯。由于双方均囿入了宗教与政治的因素,于是争论变得繁缛冗杂,除了不休的争辩和制造出几辑笑料,他们没有构建起坚实的地质学科。

到了18世纪,地学知识获得较大拓展,但从事地学研究的社会活动方式却依然如故:大多数探索者仍然是些牧师、医生或是拥有地产的绅士;依然没有出现卓尔超群的智力领袖;地学仍旧与地形学、古物考证学和强调证据的神学联系在一起;不同地学传统间的冲突依然绵延不绝;潜在的经济刺激长期以来处于无所作为的休眠状态;抱残守缺、不思进取的英国大学也没有为地学指定新的发展方向。

特别是,由绅士在业余时间从事地学研究的流风遗俗,在18世纪非但没有减弱,反而得到巩固和加强,成了占统治地位的科学活动方式。地学上有重要贡献的人当中,地主、绅士、富商和官吏所占比例越来越高。他们家道殷实,能够到欧洲的地质热点区域调查访游。他们从事地质学,并非为了探索科学真理这一唯一目的,同时还把地质旅行当做积极向上的户外活动和骑马文化的一部分,把收集岩石和化石标本,视做一种适合业主身份或绅士身份的体面行为。地学知识和地学研究,无论在文学、美学还是宗教文化中,皆得到承认和褒扬,几乎成了上等人实现精神价值的一种时尚,因而研究者很少涉及物质利益,甚至排斥有功利倾向的应用研究。例如,集医生、工场主和农场主为一身的J. 赫顿(J. Hutton, 1726—1797)虽然热衷社会实践,但在学术上却轻视应用学科,在他看来,尽管纯粹的科学(可能有直接的经济实用性)肯定是有用的,而只有哲学,如追求有关人在宇宙中的位置这种与个人利益无关的学问,才能真正令一个自由、达观和理性的人心驰神往。^③ 在这个时代,地学仍只是增长学识和文化教养的一个途径。

显然,有这种胸怀与雅趣的人,都是财富的拥有者;财富赋予人从事地学的机会。J. 霍尔(J. Hall, 1762—1831)之所以能成为实验地质学家,是因为他能购置极其昂贵的熔

① C. C. 吉利思俾:《〈创世纪〉与地质学》,杨静一译,第70~94页,南昌,江西教育出版社,1999。

② 王子贤、王恒礼:《简明地质学史》,第63页,郑州,河南科学技术出版社,1985。

③ Roy Porter. *Gentlemen and Geology: the Emergence of a Scientific Career, 1660—1920. the Historical Journal*, 1978, 21(4): 809-836.

炉设备。W. 汉密尔顿勋爵之所以能够研究维苏威火山,是他有能力支付旅行费用和雇用各种帮手。虽说并非人人高车骏马,豪宅广厦,但经济状况至少可以保证稳固的社会地位和思想上的独立。有了这样的保证,自然哲学家们,如赫顿、汉密尔顿和 E. 达尔文等,才可以无所顾忌地挑起争论,提出离经叛道的理论,引起宗教界一片哗然。正是有了这样的保证,他们彼此间才更容易维持友情、合作与坦诚。在有“北雅典”之称的爱丁堡,赫顿才可以和地质学家霍尔、自然哲学普雷费尔(J. Playfair, 1748—1819)、化学家 J. 布兰克(J. Black)、海军战术家 J. 爱尔丁(J. Eldin)等过从甚密,才可以和古典经济学家亚当·斯密(Adam Smith)、哲学家休谟(D. Hume)阔谈形而上学。^①

这些业余学者也没有出版压力。M. 麦克尔后期的作品一部也没有出版。H. 卡文迪什也没有出版作品,倘若没有绅士研究机构——爱丁堡皇家学会的建立,赫顿也许永远也不会出版他那打破地质学沉寂的著作。甚至新出现的为数不多的一些职业学者也沿袭了业余者的风习。剑桥大学“伍德沃德地质学讲座”教授 C. 梅森(C. Mason)和 J. 米歇尔(J. Michell)都不讲课,只是以个人的形式与朋友、学生和来访者轻松随意地讨论问题。这个时期的地质学家们似乎没有强烈的愿望要得到共同体的承认,出版研究成果似乎也不是在学术圈立足的根基。

二、“英雄时代”地质学家的活动方式

地质学进入其英雄时代后,逐渐形成了自己的系统理论和研究方法。这时候的英国,地质学家的社会活动方式也有积极的变化,而这种变化动因主要来自于 1807 年成立的伦敦地质学会(图 13-3)。伦敦地质学会建立伊始,就以传教士般的热情,领导和统治英国地质学。学会力图整饰地质学界良莠不一的局面,以维护英国地质学共同体的整体形象,因为地质学这门新兴科学在拿破仑战争期曾声誉不佳,有倡导宗教怀疑论的恶名,加之地质学会与皇家学会的分离,维纳博物学会与爱丁堡皇家学会的分离,要求地质学家证明自身的有效性与可信度。为此,伦敦地质学会煞费苦心提出了“收集材料,而不构建理论”的会训,并希望通过组织绘制全英地质图,将满身业余风习



图 13-3 英国地质学会盾形徽章

^① A. 哈勒姆:《地质学大争论》,诸大建等译,第 13 页,西安,西北大学出版社,1991。

的会员们规范在统一的方法规范之下。^①这一目标的确有一定的规范作用,它策励更多研究者走向野外,将科学活动的重心放在野外观察和实证研究上,而不是闲适地坐在扶手椅里,面对标本随意畅想。由于绅士地质学家大多未受过正式训练,野外工作成为更适合他们的科学方式,用这种方式,他们凭借旺盛的精力、敏锐的知觉和对本地情况的熟悉,可以轻而易举地获得成功。于是,野外调查受到了业余地质学家的狂热膜拜(图 13-3)。剑桥的地质学家 N. 阿伯(Newell Arber)说,“我想我应该过一个假日,沉迷于田野的梦想里……在野外好好地度过一天,是人世上的至福”。赖尔的地质学心得就是:旅行,旅行,旅行。德拉贝奇在牙买加管理庄园期间,足迹踏遍了整个岛屿。

学会还致力于维护会员之间的友善和团结。因为在新出现的专业地质学家之间,特别容易就科学研究的公正性与诚实性、科学的性质与划界、文章抄袭剽窃的断定、命名法的规范化等问题,发生严重对峙。如费顿与格里诺成了仇敌;默奇森尽管不赞成因学术争论而造成地质学家之间的敌对,他最终还是与挑剔好斗的塞奇威克一道,成了德拉贝奇对手。^②很多地质学家对赖尔的《原理》也是剑拔弩张。^③因此,学会常常要调停个人矛盾,纾解私人恩怨,采取各种防范步骤,防止爆发宗派式的论战。

地质学会的学报还为共同体成员发表成果提供了条件。新精英们不同于他们的前辈,他们定期地发表自己的成果,并在不定期召开的学术会议上,就某些问题展开讨论。为保证研究成果的质量,学会还为地质学图和文字作品设立标准和体例,并通过同行评议的方法,履行强有力的裁决者职能。无论如何,地质学会将彼此疏远和相对沉寂的地球科学家,凝聚成了一个共同体。其后不久,学会的地质学家们在建立英国科学促进会的过程中发挥了突出作用。

在 19 世纪上半叶,无论在认知的维度还是就社会的维度,英国地质学皆成就卓著。在这一时段里,英国地质学逐渐完成了由自然哲学向科学学科转化的专业化过程。

三、业余方式向职业化的衍变

英国历经了工业革命后,文化知识迅速扩展,商业化、城市化进程加快,消费主义与休闲生活方式逐渐泛化,教科书、百科全书、科学讲座和博物馆等科学传播形式蓬勃兴起,这一切扩展了大众化科学的需求、供应和市场。闲暇时间的增多,道路交通和旅馆酒店的改善,旅游胜地的开发,掀起了广泛的旅行热潮,并激发出大量描述乡野景观的作

① Rachel Lauan. Ideas and Organizations in British Geology: A Case Study in Institutional History. *ISIS*, 1977, 244: 257-238.

② F. G. North. The Ordnance Geological Survey: Its First Memoir. 1839, *Nature*, 1936, 143: 1053.

③ M. Rudwich. Caricature as a Source for the History of Science: De La Beche Anti-Lyellian Sketches of 1831. *ISIS*, 1976, 66: 534-560.

家、诗人和风景画家。地方经济的需求,使英国产生出一批专家级的科学观察者、煤矿探寻者,矿产咨询和管理者、运河工程师、博物馆看守人、标本分析人员等。他们以地质学技能为谋生手段,靠提供科学服务获取报酬,英国地质学之父 W. 史密斯(W. Smith, 1769—1839)就位列其中。

还有一批地质学家在有意地推进职业化。19 世纪伊始,由地质调查者和工程师组成的院外活动集团(企图说服议员支持或反对某项方案的团体)就表示,职业专家、应用性机构里拿薪资的职员和国家管理人员之间的相互影响与相互作用,决定着地质学未来的发展和前途。德国弗莱堡矿业学校和法国矿业机构的有效运行,更强化了英国人的这种职业化的理想——德拉贝奇的职业化思想就深受德法两国的影响。调查者们认为,要保证采矿效率,就需要有足够的专家,因此极力呼吁,国家应该资助应用地质学的研究和实践。为了这一目标,他们确实采取了一些具体步骤:1799 年创立英国矿物学学会,学会设立地质学和矿物学讲座、建有供地质学或矿物分析的实验室和标本收藏室;康沃尔皇家地质学会于 1814 年成立,并提出设立一个矿业教授职位的议题;J. 麦克劳克受政府任命,在北苏格兰开始地质勘察;在 19 世纪早期,古老的大学也开始了正常的地质学教学。

然而,英国 19 世纪早期的职业化步伐相当迟缓,职业化在英国地质学上没有取得明显优势。那些试图借地质学养家糊口的主要是技师、见习者、下层劳动者、民营机构职员,有些甚至是侍奉官员、贵族、发明家或地质学精英的仆佣;而很少有人是以认知为目标的理论创造者或研究者。地质学职业化萌芽期,除史密斯和法里(Farey)外,职业调查员和矿工几乎没有创造什么新的地质学概念。冀望社会上出现大量付薪职位的梦想,远看不到实现的可能。在政府机构中建设矿物实验室的计划岌岌可危;建立国家矿业学校和地区性矿物学教授席位的计划,在前半个世纪遇到了工业界与政府部门一致冷落。

业余传统依然活跃。在地质学英雄时代,除了史密斯等个别人外,英国著名的地质学家几乎都是财力丰厚的绅士或社会名流。地质学会的创立者格里诺是财阀之子;赖尔和默奇森皆出身于富贵之家,常出入于上流社会和各种社交晚会;德拉贝奇和法国人埃德华兹(Milne-Edwards)在加勒比海地区都有种植园。菲顿和斯科罗普(Scrope),则是娶了富家小姐而跻身于富有阶层。有的地质学家在教会中身居要职,如塞基威克是诺威奇的受俸牧师,巴克兰则是西敏寺教堂的教长。有的是衣食无忧的医师,如 H. 霍兰(Henry Holland)——他后来成了维多利亚女王的医师。还有地质学家是权位颇高的学术政治家或学者型官员,如三一学院的 W. 惠威尔(William Whewell)和国会议员格里诺、斯科罗普和沃伯顿(Warburton)等。这些人经济上独立,精神上超然,视财富如秋风过耳,因而不屑于为争取学院中收入菲薄的席位而伤脑劳神。一些人甚至公然放弃成为职业者的机会,如亚瑟·艾金(Arthur Aikin)就拒绝了都柏林学会 1813 年提供的职位,宁愿以自己的心愿追求他的地质学理想,而不愿为岗位职责所捆束。

这些业余人士从事地质学,不是出于生计需要,而是完全出于兴趣。这群“以锤为剑

的骑士”们把地质学研究看做是消遣、娱乐的一种方式,是在逃避浮世之烦扰,追求崇高的精神境界。默奇森发现,地质学比之骑马捕猎等锻炼与娱乐,有更多智力上的刺激。赖尔痴迷地质学,是为了逃避索然无味的律师生涯,塞奇威克则把地质学当做枯燥的数学教学之外的一个宁静港湾。地质学则可使普里斯维奇从庸俗的酒商生活中解脱出来。在他们看来,研究、探索广袤而永恒的自然界,是超然于旅游、冒险和户外活动之上的更高境界,它不但可以强身健体,不断挑战自身的生理机能;还可以强化追求自由的伦理理想,体现绅士的崇高情感与浪漫情怀。

绅士地质学一时间成了盛行社会的时尚,成为一种不同凡响的社会亚文化。在有些人,地质学探索提供了表现个性的舞台。如巴克兰在野外时总是带着他那蓝色标本袋,披着白色的外氅,骑马在野外考察,并得到了“亚扪骑士”^①之誉。在另一些人,从事地质学还能表现英雄主义的气质,科尼比尔就把自己视做唐·吉珂德,认为自己是典型、纯粹、无私、冷漠的绅士。他表示,他“喜欢地质学式的探险和游侠行为,胜过喜爱富饶的城堡和奢侈的享乐”。他们是持锤游荡的骑士,是田野里辛勤劳作的茁壮、快乐、独立的精灵,他们以兄弟般的情谊探索梦寐以求的岩层和巨石,以全部的精神和善意驳诘辩难,评判论争。在他们看来,地质学可以展示人的激情和生命忍耐力,展示人的永不衰竭的幽默、率直与真诚,是对英雄主义品质的活生生的验证。不同于平庸、狭隘和物质主义的化学、矿物学和分类学,光彩四溢的地质学是一种精神活动,是高尚灵魂的食粮。古生物学根据化石复原了远古时期巨大的动物大象、犀牛和河马,更使人们确信地质学如一部宏大的史诗,能将想象引入现实之中。

正规的地质学教育在19世纪早期依然没有建立起来。地质学的巨头们没有那个受到过大学里的地质学训练。赖尔原是学习法律的;C. 达尔文原是学医的;默奇森和德拉贝奇则出自军校,^②后来偃武修文,潜心研习地质。他们以自由的绅士方式学习和研究地质学。有人甚至认为缺少教育未尝不是一个优势,因为他可以自由地提出创新性思想,不会因先前接受的某一准则而持有偏见,不会受高层权威影响而偏离自己的经验可以达到的判断。地质学会的会员们正是由于缺少系统的指导,反而得益良多。塞奇威克在得到伍德沃德的教授席位时,不无自豪地宣称,他迄未动过一个石头,因而更适合这个地质学教席,因为他还保留着一个开放的、没有注入教条的头脑。没有经受过专业化训练,没有严格规范的自由实践,使每个人都可以选择自己的研究项目、体系与方法,从而表现出多元化和多样性。

因此,地质学的科学化、专业化,以及地质学会促成学科规范化的努力和作用,还不能与职业化混为一谈。科学职业化,是指科学家向社会或客户提供服务并因此获得酬

① 基督教《圣经》中 lot 之子;古埃及神话中的主神,相当于希腊、罗马神话中的宙斯或朱庇特。

② Paul J. McCartney. Henry De La Beche: Observations on an observer. Cardiff, 1977. 4.

金,从事科学研究成了一种有报酬的行业,一种可以谋生的手段,而且社会普遍认同科学家这种社会角色,并给予物质上的支持。有的史家将这一阶段称为“职业认同”。^①而这一时期的英国,虽有人从地质学中获得了物质利益,但只从地质学中获得象征性的一小份收入,并不以科学为职业,霍纳(Horner)、格里诺、费顿、科尼比尔、W. 菲利普斯、斯格罗普、赖尔、曼特尔(Mantell)、C. 达尔文、默奇森等人的情况,皆可证实这一论点。能够长期从地质学中获得报酬的人寥寥可数,更多的人是浅尝辄止。还有很多人是因为他们的地质学著作脍炙人口,因而从中获得有限的润资。但是,这些地质学畅销书主要是关于最新研究和地学哲学的陈述,写这样的书只能表明其事业上的成就,不只是可以挣饭吃的有利可图的行业。特别是对于那些雄心勃勃的想以地质学家谋生的业余学者,科学的职业化尚处于昏暗不清的晨曦之中。

四、维多利亚时代早期地质学职业化的形成

英国地质学真正的职业化,始于维多利亚时代早期政府对地质调查局的慷慨资助。^②

19 世纪 30 年代,由于地质学家德拉贝奇(Henry Thomas De La Beche, 1796—1855,图 13-4)的呼吁和多方游说,英国政府在 1835 年成立了世界上第一个官方出资维持的科学机构——地质调查局。其后,地质调查局的人员编制不断扩大,1880 年人员数最多时曾达到 73 人。它是英国政府在 19 世纪创建并一直保留下来的最大的科学机构。

调查局的主要工作是绘制的大比例尺的地质图、地质剖面图和其他地质调查工作,这些工作为国家提供了有关能源和矿产分布的非常有用的信息,还为从事理论研究的地质学家提供了丰富的第一手资料。英国地质调查局卓有成效的工作,引起了世界许多国家的竞相仿效,这种地质调查机构很快就在世界范围内风靡起来:1849 年在澳大利亚,1855 年在法国,1867 年在美国,1873 年在德国,相继成立了类似的机构。^③如果说赖尔在 19 世纪 30 年代初出版《地质学原理》,标志着英国理论地质学已领先于世界的话,英国地质调查局的成立则标志着英国的应用地质学也已走到了世界的前列。^④



图 13-4 德拉贝奇

① 袁江洋、刘钝:《科学史在中国的再建制化问题之探讨》,载《自然辩证法研究》,2000(2),59 页。

② 维多利亚时代是指 1830—1901 年,一些英国史家称这为英国历史上的“黄金时代”。

③ [日]小林英夫:《地质学发展史》,第 90 页,北京,地质出版社,1983。

④ 王蒲生:《德拉贝奇:英国科学职业化的先驱,杰出的地质学家》,载《自然辩证法通讯》,1996(4),第 62~73 页。

然而,从科学社会史的维度看,英国地质调查局的创建,意义远不止其直接的功能和产品。一方面,作为英国第一个由政府财政部出资维持的官方科学机构,地质调查局的成员可以得到稳定的薪水,完全不同于自费或靠他人赞助从事科学研究的业余传统,是对英国传统的科学活动方式的一次重大突破,可以看做是英国科学职业化的嚆矢。另一方面,调查局首任局长德拉贝奇还在调查局组建了一个别具特色的科学学派,在完成地质调查任务的基础上,开展历史地质学的理论研究。这种智力上紧密团结的集体研究方式,又是对英国流行的个人独立研究和科学活动方式的挑战。^①当时的伦敦地质学会主席霍尔纳(L. Horner)赞扬道,调查局的科学活动方式体现了一股“合力”:野外地质学家、矿物学家、自然哲学家和动物学家,“为了完成一个伟大的工作而组合到一起了……这是任何国家的任何相似的机构都不能比拟的”。^②

根据前面的讨论,地质学这样一个业余性的学科,却能在英国早于其他学科实现了职业化,看起来似乎有些自相矛盾。如何解释这种情况呢?

实际上,尽管职业化给业余传统赋予了愉快而生气勃勃的新气象。很多绅士地质学家仍然难以接受这种模式。赖尔之类的博物学家,公然蔑视以居维叶为典范的职业化、政府化或官僚式的法国科学形象。默奇森认为,德拉贝奇在地质调查局享用官俸,是一种假公济私的秽行,赖尔对德拉贝奇早有怨怼,现在更是很少屈尊提及德拉贝奇的调查工作。^③默奇森和塞奇威克则认为德拉贝奇正在威胁着他们从事的科学性质。^④对职业化的抵触,固然有忌妒心态作祟,但绅士地质学确实担心,与业余传统格格不入的利益追求的兴起,如对职业的考虑如薪水、著作权、指令约束、不平等关系和营私舞弊假公济私等,会影响对科学真理的真诚追求。

然而,无论绅士地质学家是否愿意,社会以及地质学学科的发展,对科学的职业化提出了要求,也为职业化提供了条件。

19世纪40年代的英国已是民智大开。当时人们组成了各种科学学会,许多人在这些民间科学组织中讲述科学新发现。上到富贾政要,下到普通民众,都对科学表示出极大的热情,受过教育的大众争相购买和阅读许多通俗的及深奥的科学出版物,地质学方面的书籍更是炙手可热。那时撰写通俗的政治和历史文章的女作家马蒂诺(Harriet Martineau),在19世纪40年代曾以夸大的口气写道:“中产阶级一般人士宁愿买五本价钱很贵的地质学书籍,而不愿买一本当时很流行的小说。”业余人士们拿着捕虫网和地质

① 王蒲生:《独具特色的地质学研究学派》,载《科学学研究》,1996(1),第22~27页。

② J. A. Secord. The Geological Survey of Great Breat Britain as a Research School 1839—1855. History of Science. 1986, 24: 223-275.

③ L. G. Wilson, Charles Lyell. The Year to 1840: The Revolution in Geology. Yale University, 1972. 343.

④ Roy Porter. Gentlemen and Geology; the Emergence of a Scientific Career, 1660—1920. the Historical Journal. 1978, 21(4): 823.

锤蜂涌入乡间,^①爱好地质学几乎成了一种时尚。社会也基本接受了科学家乃至地质学家这种社会角色。

职业化还顺应了当时发生在英国的改革潮流。19世纪三四十年代,由于工业及城市化社会的发展,中产阶级和工人阶级政治力量的增长,人道主义与理性主义等进步思想的发展以及政府机构本身的改革需要,形成了一股强劲的改革浪潮。政府批准了一系列改革英国社会机构的方案,它包括:成立健康调查局,开展卫生调查工作;成立大学委员会,协助牛津和剑桥大学自我改良;1829年先后通过新济贫法和地方治安条例,改善社会福利制度和治安状况。这一行政改革的目的,就是要使公共机构更合理,更有效率,更文明。它不仅要抑制工业的剥削、改良公共机构,并且希望能为保证公民良好的教育、健康及安全建立一个更好的社会。^②而在全社会倡导和支持科学,是与这股改革浪潮的思想相吻合的。

英国的科学职业化肇始于地质学而不是其他学科,则在于地质学特别是应用地质学家可以满足不同阶层的利益和需要。创建职业地质学机构的设想,之所以能得到政府眷顾,是因为它符合国家利益。对于政府而言,由于工业迅速发展,要求急剧扩展可开采的有用矿物藏,为了保护国家在矿区采掘权方面所享有的利益,有必要展开全国范围的地质调查和矿产普查,为矿产的产地和贮存条件提供详细的资料。^③因此,几任政府都希望调查局能提供一份完整的、按连贯的分类原则着色的、高度精美和便于使用的地质图。不同于普通的文学性文献,地质图具有形象、鲜明的特点,它对于政治家、行政官员来说,具有不容置疑的直观性。此外,制图还能与政府已经支持过的一系列工作,特别是有关测量海岸线、殖民地和恒星等方面的工作联系起来。因此,地质调查工作较容易获得政府的支持。

地质调查工作特别受到地主和矿产企业主的支持。他们觉得全英地层普查对他们简直太有利了:地主们相信,对土地类型更充分的了解会给他们带来好处;工场主和矿业主则寻找煤层和铁矿资源方面更有价值的知识。因而,在野外地质调查期间,当地的地主和矿业主们热情款待调查局的职员,为他们的工作提供了一切便利条件。调查局首任局长德拉贝奇则常常在一些贵族的城堡里长期居住。

最关键的是,科学共同体内部已产生了对职业化的强烈要求。随着科学的日益普及,科学的荣耀、声誉和成就,吸引了更多社会人群投入和献身科学的热情。但在业余传统统治下,一些家无巨财的中产阶级人士和出身寒微下层阶级人士,因经济原因被迫选择律师或牧师等对自身生活更有利的职业。显然,从科学进步来说,财富不应成为换取

① S. F. 梅森:《自然科学史》,第385页,上海,上海译文出版社,1980。

② C. 罗伯特等:《英国史》,第787~798页,台北,五南图书出版公司,1986。

③ B. B. 齐霍米罗夫等:《地质学简史》,第82~83页,北京,地质出版社,1959。

科学殿堂门票的唯一方式。大量才华横溢的年轻人冀望跻身科学行业,希望在有稳定薪酬的科学机构求得一枝之栖。因而,虽然遭到一些业余传统的固守者的反对,更多的人士却虔心希望能既从事心爱的科学,又不致引起生活上的困境。此外,从学科的严肃性上讲,职业化也是有利的:地质学家以普遍认可的方式接受培训,并获得经过专家评定的可靠的技能与证书,这是进入成熟期的、可以自我维系、自主繁衍的地质学所不可避免的选择。

然而,在这一切之外,地质学家德拉贝奇在英国地质学的职业化过程所起的作用是不可低估的。德拉贝奇曾经是富有的绅士地质学家,后来家道中落,而不得不求助于政府的支持。但他没有满足于给自己找一个饭碗,而是披荆劈草,殚心竭智,凭借着维多利亚时代早期的强劲改革潮流和社会各阶层对地质学的支持,利用自己纵横捭阖的社交才能和通达变通的办事技巧,敦促英国政府成立了世界上第一个官方地质调查机构,为英国的科学职业化立起了一个不朽的碑碣。

但是,相对于在科学史上光芒四射的赖尔,德拉贝奇身为英国科学活动方式的改革者,却长期受到科学史家的冷落,他的名字、他的业绩至今仍鲜为人知,他亲手缔造的英国地质调查局以及在这个类似政府机构的科学机构中组合起来的研究学派,也很少有人研究。甚至一些专事地质学史的专家对此亦不甚了解。或许以内史为主导的科学史研究,注定要冷落德拉贝奇以及那些和德拉贝奇一样未能在今日之教科书上留下一笔的人们。本讲的目标之一,就是试图走出传统科学史研究的狭窄视野,将地质学的形成发展,放置在更广阔深远的社会历史背景中,使同学们头脑中能够形成一个地质学发展的整体图景。

思考题

1. 简述科学地质学的形成过程。
2. 英国地质学由业余传统走向职业化的社会原因是什么?

参考书目

1. 吴凤鸣:《世界地质学史》,长春,吉林教育出版社,1996。
2. C. C. 吉利思俾:《〈创世纪〉与地质学》,杨静一译,南昌,江西教育出版社。
3. 王子贤、王恒礼:《简明地质学史》,郑州,河南科学技术出版社,1985。
4. 王蒲生:《英国地质学的创建与德拉贝奇学派》,武汉,武汉出版社,2002。
5. A. 哈勒姆:《地质学大争论》,诸大建等译,西安,西北大学出版社,1991。
6. [日]小林英夫:《地质学发展史》,北京,地质出版社,1983。

第十四讲

从经验科学到实验科学： 拉瓦锡与化学革命

我和许多同辈都认为，由施塔尔所引介的假说以及后来被修正过的都是错的，而且其中观念里的燃素并不存在，我着手这篇随函附寄的论述主要目的也是希望能将我对此一主题的想法明白地表示出来。

——引自 1790 年拉瓦锡致弗兰克林的一封信

所有的科学彼此相互帮助以建构出人类知识的大厦。

——引自 1793 年 7 月由拉瓦锡起草的一份备忘录

化学是逐渐地作为一门独立的科学而出现的。在 17 世纪，它只是附属于炼金术、矿物学、冶金学、药理学或医学。这一时期，许多科学家都很自然地关注化学问题，尤其是燃烧的性质问题和化合物的聚合力问题。到 17 世纪后半叶和 18 世纪，冶金化学、医药化学等实用化学的发展大大丰富了人们关于元素和化合物的知识；定量方法被公认为化学研究的主要方法；并且开拓出了一个新的领域——气体化学。所有这些因素结合起来，终于在 18 世纪末期的法国引发了一场以揭示燃烧过程本质为起点的全面而深刻的“化学革命”。作为 18 世纪化学的最伟大成就，这场革命不仅仅是燃烧理论的革新，而且也是对过去整个化学的一次系统总结，进而为现代化学的发展奠定了基础。

安东尼·拉瓦锡(Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794)领导了 18 世纪这场影响深远的化学革命。他发展出一套崭新的理论，因而改变了化学这门学科。他的成就可与哥白尼、加利略、牛顿、达尔文和爱因斯坦比肩，长期以来被认为是近代史中古典科学革命的领导者。他的贡献为他赢得了近代化学奠基者的称号，也为他在科学殿堂中赢得了不朽的一席之地。

拉瓦锡在 1794 年法国大革命时期上了断头台，因此他又被人们凭吊为法国大革命著名的受难者之一。他的被处决，显示出科学与政治之间的关联性，这也一直是个颇具争议的事件。当我们思考拉瓦锡的科学生命与政治生命间的关系时，有一点必须注意的是，他除了是位伟大的科学家和政治受难者之外，在古老的法国王朝最后 10 年期间，他还是位著名的行政官员。他曾深入地参与了政府事务，担任过租税承包官员及财务官、火药管理部门主任、科学院发言人，等等。他从一开始就乐观地期盼政治革命的到来，最

后却又因之而付出了生命。

第一节 化学革命产生的背景

一、燃素论主宰百年

物质的燃烧现象,是古代和近代化学的重要研究对象。古代哲学家把火看做是宇宙的“本质”;炼金术士和医药化学家则视火为构成世界万物的“要素”;化学一度被称为“火术”。燃烧过程的本质到底是什么?

1669年,德国化学家贝克(Johann Joachim Becher,1635—1682)在一本书里提出了燃素学说的基本思想,指出物体的组成部分是空气、水和土,它们虽然都是元素,但作用并不相同。气不能参加化学反应,水仅仅表现为一种确定的性质,而土才是造成化合物千差万别的根源。他认为土有三类:一类是可燃的油状土,第二类是汞状的,第三类是可溶的或玻璃状的。这三种土分别与炼金家的硫磺、水银和盐相对应,燃烧时油状土被烧掉了(图14-1)。

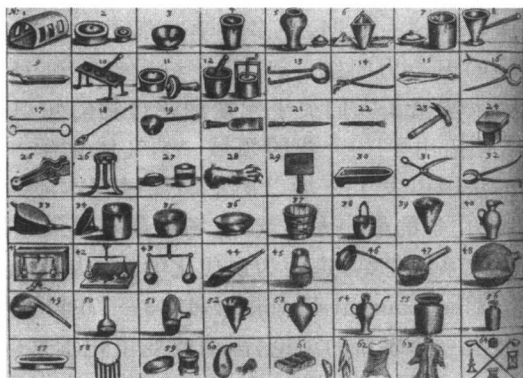


图 14-1 贝克的“便携式实验室”

贝克的学生施塔尔(Georg Ernst Stahl,1660—1734)是一位医生兼化学家。1703年,他对他的老师的思想加以补充和发展,提出了一个比较完整的燃烧理论,被称之为“燃素学说”。他认为“油状土”并不是“硫要素”所代表的可燃性,而是一种实实在在的物质元素,即“油质元素”或“硫质元素”,他把这种元素命名为“燃素”。据此他提出,一切可燃物均含有燃素,可燃物是由燃素和灰渣构成的化合物,燃烧时分解,放出燃素,留下灰渣;燃素和灰渣结合又可复原为可燃物。他以此来解释一切燃烧现象以及所有的化学变

化,例如金属煅烧,逸去燃素而留下灰渣;灰渣同富有燃素的木炭共热,又还原为金属。金属溶于酸,则放出燃素(氢气),而留下灰渣(盐),等等。这一理论足以说明当时所知道的大多数化学现象,这就使施塔尔深信,燃素是一切化学变化的根本,化学反应正是燃素作用的各种表现形式。这样,燃素说已不只是燃烧理论,而是已扩展为整个化学反应过程的普遍理论了。

“燃素”一词虽然在很早以前就由海尔蒙特(Johann Baptista van Helmont, 1579—1644)等人在同一定义下使用过,然而只是在施塔尔提出了系统的燃素学说以后才得以广泛应用,特别是由于它似乎能较合理地说明从矿石提炼金属等生产过程而得到了更迅速的传播。1723年后燃素说在法国得到普及,并逐步培养了一批包括拉瓦锡等在内的化学家。

燃素学说是化学上最早提出的反应理论。当时,处于17世纪中叶的化学,还没有一个反应理论来统一解释所有的化学变化,化学反应的知识是支离破碎的、经验性的(图14-2)。在这种情况下,只要能够提出一个理论对所有的化学反应过程给予概括,无疑就是一个巨大的进步。燃素学说提出的历史意义就在于此。它把当时大量零星片断的反应知识集中在一起,用统一的概念联系起来,并依照燃素的放出和吸入的逻辑加以分析、协调和解释,使化学反应知识形成了乍看起来井然有序的体系,这在一定程度上促进了化学的发展。在燃素学说流行的长达100年间,化学家为了解释各种现象,积累了相当丰富的资料,为拉瓦锡和以后的化学家在一定程度上利用燃素学说信奉者所做过的实验、建立正确的燃烧理论做好了准备。



图 14-2 17 世纪人们眼中的化学实验室

二、气体化学的突破

燃素学说的被推翻是以气体化学的突破为线索的。

1630年前后,海尔蒙特发明了气体(gas)这个名词,并描述了“野气”(即二氧化碳)和

“油气”(即沼气)等,他还认为气体不能容纳在器皿里。而在他之后不久的波义耳(Robert Boyle, 1627—1691)就对气体进行了收集,并且还知道了氢气的可燃性。

到了18世纪后半叶,化学逐渐形成了我们今天所了解的形态。这一时期,化学一个典型的、不同于以往的特征,就是研究气体的方法有了很大的发展。1727年,牧师黑尔斯(Stephen Hales, 1677—1761)发明了集气槽,这是在气体研究中一个极为有用的工具(后来普里斯特利和拉瓦锡又改进了它)。但他满足于测量气体的体积而不去研究它们的性质,忽略了所研究物质的定性化学特征,因而没能发现任何气体,但他的实验启发了布莱克和普里斯特利。

1754年,苏格兰化学家布莱克(Joseph Black, 1728—1799)在加热石灰石时得到了一种具有重量、可与碱性物质相结合而被固定的气体,因此称为“固定空气”(即二氧化碳)。他注意到这种气体具有不助燃和可使动物窒息等性质,并证明在空气、天然水和一些盐类(如碳酸盐)中都含有“固定空气”等等。这就说明“固定空气”确是一种不同于普通空气的新发现的气体。这一发现,从根本上改变了人们对于气体的认识,推翻了海尔蒙特关于气体不能参加化学反应的结论;而且由于它表明石灰石煅烧重量的变化仅由“固定空气”引起,与燃素无关,从而在燃烧过程中第一次排除了燃素的地位。但遗憾的是,重视实验而不重视假说的布莱克没有意识到自己的发现所具有的重要意义,没能在新发现的事实基础上提出新的科学假说。

1766年,富有的英国化学家卡文迪什(Henry Cavendish, 1731—1810)发表论文,提出各种空气都可以用人工的方法从它所存在的物质中提取出来。他用金属与稀硫酸作用得到了一种可燃的气体(氢气),但他误认为这种气体是来自金属而不是酸,因此命名为“来自金属”的“易燃空气”。而且由于受到燃素学说的束缚,他甚至认为“易燃空气”本身就是“燃素”,以为当金属在酸中溶解时所含的燃素便释放出来,形成了易燃空气。直到他本人精确测出了氢气的比重,并认清了空气浮力的实质后才否定了原有的看法。卡文迪什被公认为氢气的发现人,但他同样没能在此基础上有更深入的认识。

1772年,苏格兰的医生兼化学家、布莱克的学生卢瑟福(Daniel Rutherford, 1749—1819)依照老师的指导研究了物质在空气中燃烧后剩余气体的性质,从而得到了被称之为“毒气”或“浊气”的氮气,并发表了研究成果(其实,卡文迪什等也先后发现了氮气,但未及时公布)。这一发现对于人们认识空气的组成和本质,揭示物质燃烧的奥秘具有重要意义。然而,由于卢瑟福受燃素说的影响,并未认识到氮是一种元素并且是空气的一个组成部分,只以为是被燃烧物质吸去燃素后的空气。

氧气的发现对于推翻燃素说具有决定性的意义。它最早是由瑞典化学家舍勒(Karl Wilhelm Scheele, 1742—1786)发现。他在加热硝石时得到一种气体,能强烈地助燃,使点燃的蜡烛发出耀眼的光芒。他认为这就是存在于空气中的“火空气”。随后他写出论文宣告氧气的发现,但这篇论文直到1777年才得以公开发表。与此同时,英国的普里斯

特利也独立地发现了氧气,时间虽较舍勒晚,但早在 1774 年就公开发表了成果,较早产生了重大的实际影响。

普里斯特利(Joseph Priestley,1733—1804)是英国非国教教派的牧师。他利用空闲时间进行科学研究,从 1770 年起,他发明了许多气体操作装置,有好些现在还在应用(图 14-3 和图 14-4);他相继发现了氧气、氧化氮、一氧化碳、二氧化硫、氯化氢和氨气等多种气体,被誉为“气体化学之父”。当他得知布莱克发现“固定空气”后,深受启发。1774 年,他用凸透镜作为工具加热所保存的各种固体物质,以驱赶出存在于其中的各种“空气”。当他加热红色的三仙丹(氧化汞)时,看到从中放出了大量气体,经研究,发现它具有助燃和有益于动物呼吸的性质。作为虔诚的燃素说信奉者,他把这种气体称为“脱燃素空气”,实际上就是氧气,并把在一般空气中物质燃烧完后剩下的气体命名为“燃素化空气”。这样,他同舍勒一样,也未认识到氧气在燃烧过程中的作用。

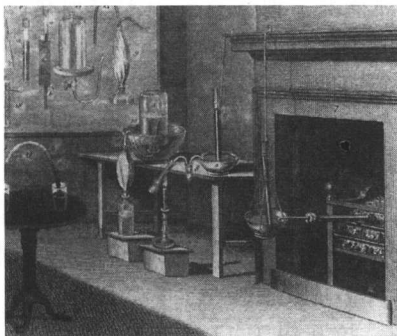


图 14-3 普里斯特利的实验室

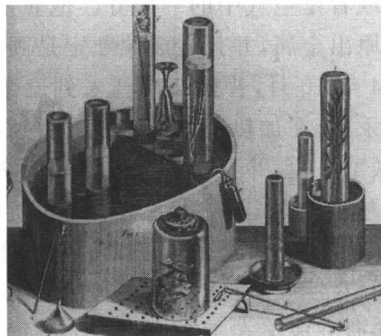


图 14-4 普里斯特利用于研究空气化学成分的设备

以上种种气体化学的成就,成为建立新的科学的燃烧理论的基础。

第二节 燃烧的氧化学说与化学革命

18 世纪后半叶,化学思想空前混乱。新发现的化学事实层出不穷,燃素说已经无法应付。化学家们一般都承认原子是有形的,并各自具有独特的性质,但每人都力图用斯塔尔的学说对各种化学反应作出自己的解释。气体化学的成就和定量方法的应用,从化学内部不断地冲击着旧有的燃素学说。

燃烧过程的本质是什么? 这个长期未解的化学之谜,终于为法国化学家拉瓦锡所揭示。

1772 年,拉瓦锡开始研究燃烧问题。他发现金刚石燃烧后竟变得无影无踪,由此想

到燃烧可能是物质同空气的结合。不久,他又研究了磷和硫的燃烧生成物。1772年底,他在向法国皇家科学院提出的报告中指出,磷燃烧时与空气结合,生成“磷的酸精”(即磷酸),比原来的磷要重。硫经过同样的反应可生成“硫酸”。拉瓦锡用当时人们完全意想不到的方式,将布莱克观测气体起化合作用的结果推进了一步。更令人惊奇的是,他在开始工作的最初阶段就已认识到金属的煅烧是与磷和硫的燃烧十分类似的现象,金属煅烧后也和空气发生化合作用。

他紧接着用锡和铅进行了一系列重要实验,首先证明波义耳关于金属煅烧后重量有所增加是由于吸收了火微粒的观点是错误的。锡在密封容器中煅烧时,只有一部分变成了金属灰(即氧化锡),但在容器启封前,重量并没有增加。启封时,可以听到空气冲进容器的声音。毫无疑问,金属灰重量的增加是由于金属与空气发生化合的缘故。拉瓦锡最初不能断定同金属发生化合的气体到底是布莱克所说的固定空气(即二氧化碳)还是普通空气,或者是空气中的一部分。他非常倾向于后一种情况。他注意到用木炭加热金属灰,能还原出金属,并且生成他断定是固定空气的某种气体。

1774年10月,普里斯特利来到巴黎与拉瓦锡会晤,他谈到自己研究了红色沉淀物(即氧化汞)及在加热这种沉淀物时得到的一种奇特结果。拉瓦锡于1775年4月把上述实验重做了一遍,并且初步写成了一份实验报告。他指出,用木炭加热红色沉淀物,能还原为汞,并生成固定空气,可见红色沉淀物是一种真正的金属灰。后来他又用凸透镜单独加热红色沉淀物,进一步证实了普里斯特利等的意见,反应生成物是汞和一种新气体,而不是固定空气。由此可见,在煅烧过程中与金属化合的,可能是空气的“纯净部分”。

这些研究成果在1776年和1777年又有了新发现。拉瓦锡于1774年送交皇家科学院院刊的报告,直到1778年才被刊载。这期间拉瓦锡修改了已提交的报告,赶在刊物出版之前把他的新成果和新观点写了进去。这时他确信普通空气中只有一部分与空气化合,可见他已认识到空气是两种物质的混合物。呼吸和煅烧金属时消耗的是比较纯净的部分。他把剩余部分借用一个希腊词,称之为 azote(即氮),也就是“无生命”的意思。1790年,查普特(Chaptal)又把它命名为 nitrogen。(顺便说一下,卢瑟福最初曾把氮叫做臭气。)

拉瓦锡接着用纯净的空气(他这时称之为“最宜于呼吸的空气”)来做实验,这些实验表明,把木炭和金属灰一起加热时,这种空气即与木炭化合,这样生成的固定空气只能是木炭和最宜于呼吸的空气中的化合物。

差不多与此同时,对动物的种种实验研究使拉瓦锡确信,最宜于呼吸的空气在动物体中,特别是在肺中与碳化合,有热散发出来。他觉得这和实验室里的情况完全一样。动物体温的热源问题从而得到了解释,虽然当时还无法说明这种热的生成机制。不过,这是生物化学在发展过程中迈出的最初一步。

磷和硫的燃烧已被看成是这些元素和最宜于呼吸的空气起化合作用的结果,而且拉

瓦锡还认为各种酸里都含有这种气体。1779年11月,他建议将这种气体命名为 *principe oxygine* (即氧),该词来自希腊语,意思是“可构成酸类”。

拉瓦锡通过金属煅烧实验,向皇家科学院提出了一篇报告《燃烧概论》,阐明了燃烧作用的氧化学说,要点为:①燃烧时放出光和热;②只有在氧存在时,物质才会燃烧;③空气是由两种成分组成的,物质在空气中燃烧时,吸收了空气中的氧,因此重量增加,物质所增加的重量恰恰就是它所吸收氧的重量;④一般的可燃物质(非金属)燃烧后通常变为酸,氧是酸的本原,一切酸中都含有氧。金属煅烧后变为煅灰,它们是金属的氧化物。他还通过精确的定量实验,证明物质虽然在一系列化学反应中改变了状态,但参与反应的物质的总量在反应前后都是相同的。于是拉瓦锡用实验证明了化学反应中的质量守恒定律。拉瓦锡的氧化学说彻底推翻了燃素说,使化学开始蓬勃发展起来。

拉瓦锡的理论走向成熟的最后一步是弄清水的组成。这一步是在英国迈出的。1766年,卡文迪什就已经发现他所说的“易燃空气”在普通空气中可以燃烧,但他没有对燃烧的生成物进行鉴定。1781年,普里斯特利发现,这种气体燃烧时会在空气中凝成露珠。卡文迪什重做了普里斯特利的实验,收集了燃烧时产生的露珠。他指出,这是纯净的水,同时还发现用电火花将易燃气体和普通空气的混合物引爆时,会生成某种酸。他迟迟没有公布自己的实验结果,而是继续对这种反应进行研究。他发现,普通空气和适量的易燃空气的混合物爆炸时,会消耗殆尽,剩下的只有一个很小的气泡,并有硝酸生成。(1894年,小气泡被确认为是氩。对微量的惰性气体能作出这样出色的观察,全要归功于卡文迪什的高明精湛的实验技巧。)

卡文迪什认为易燃空气几乎就是纯净的燃素,而氧则是脱燃素的空气,于是他把水的生成说成是这两种气体的化合,也就是脱燃素空气和燃素结合的结果。实验结果虽说到1784年才正式公布,但拉瓦锡在1783年就已听说有这种实验。他立即领悟到这种实验的重要意义,并作出了正确的解释:水是易燃空气和氧的化合物。他重新进行这个实验,并在1784年正式公布了上述结论。由于付印屡遭拖延以及某些刊物记载的时间有误,因而造成一片混乱,再加上普里斯特利、瓦特、卡文迪什、蒙日和拉瓦锡几乎是同时研究水的组成问题的,结果在谁是真正的最早发现者这个问题上引起了很大争执。各地的科学家虽说就彼此的工作情况经常互通声气,但对解决这一争议仍然无济于事,他们往往拒不承认互通声气这一事实。意见不同的人士各执一端,纷纷卷入这场所谓“水的争论”,唇枪舌剑的争吵时有所闻。姑且不论真正的最早发现者究竟是谁,有一点是毋庸置疑的:对水的成分做出最出色的实验证明者是卡文迪什,第一个提出正确解释的是拉瓦锡。戴莫维(Guyton de Morveau, 1737—1816)在新命名法中建议把易燃空气命名为 *hydrogen* (即氢),也就是能生成水的意思。

1785年,拉瓦锡提出了一篇在化学史上占有重要地位的论文“对于燃素的回顾”,这份精心之作被认为是对燃素学说作出了决定性的结论。在较早的论文里,拉瓦锡曾论证

道：燃素所扮演的重要角色已不再需要，而自己的新理论应该被接受，因为它比燃素学说好。在1785年的“对于燃素的回顾”中，拉瓦锡更进一步大胆地提出他那精心推敲出来的燃烧理论无疑是正确的，而所有燃素理论的说法已被证实是错误的。

拉瓦锡的工作为化学带来了前所未有的条理性 and 系统性，但化学物质的命名法依然混乱不堪。拉瓦锡所用的物质，一直沿用着与物质的实际成分毫不相干的炼金术符号。学生只有靠死记硬背才能掌握住他所接触的物质名称，而这些物质的种类正在不断增多。戴莫维感到这确实是一个亟待解决的问题。他最初信仰燃素说，但很快就转而支持拉瓦锡的理论体系。1782年，他发表了一篇论述统一化学命名法的论文。拉瓦锡对于任何能使化学变得有条不紊的方案自然会大感兴趣，所以同戴莫维建立了合作关系。另外，还有两位支持拉瓦锡学说的人，巴多雷(Claude Louis Berthollet, 1748—1822)和佛克洛依(A. F. de Fourcroy, 1755—1809)，也一同为创立新概念而努力。他们把自己的研究成果写成《化学命名法》(*Méthode de nomenclature chimique*)一书。该书于1787年夏天在巴黎出版，向广大读者介绍了化学的新命名法。这本书包括了拉瓦锡介绍性的研究报告，然后是戴莫维解释新命名法的原则，之后是佛克洛依列出了一份关于某些单质及化合物的新旧名称对应表，最后是两个长篇的附录，分别是同义字的名单和词典。这本书论述的物质命名原则，今天基本上仍为我们所沿用：每种物质必须有一个固定名称；单质的名称必须尽可能表达出它们的特征，化合物的名称必须根据所含的单质表示出它们的组成。书中还建议，酸类和碱类用它们所含的元素命名，盐类用构成它们的酸和碱命名。这个体系简单明了，各地的化学家都乐于采用。这本书很快被译成了所有各主要国家的文字。随着拉瓦锡化学理论体系的传播，这一新命名法甚至在当时还算是科学边缘地区的美洲，也占有了牢固的地位。

与此同时，以拉瓦锡为领袖的法国反燃素论者也在为自己的新理论寻找其他的出路。当时，《物理杂志》(*Journal de Physique*)因快速发表新科学信息而成为巴黎最著名的刊物，但它的编辑是一位坚定的燃素论者，因此随着拉瓦锡新燃烧理论的被接受，《物理杂志》的批判之声却越来越激烈。于是，拉瓦锡及其同伴们考虑出版一份法文版的化学年报。两年后，他们正式向皇家科学院提交了《化学年报》(*Annales de Chimie*)的第一册。新期刊的编辑委员有拉瓦锡、戴莫维、巴多雷、佛克洛依、蒙日以及三位新加入的委员。这份新的化学期刊正好是在法国的政治革命开始时创刊，它在对抗燃素论者联盟方面所呈现出的效果被证明是极具有价值的。

这时，拉瓦锡的理论已经相当完备，而且有了一种新的语言来表达这一理论。同拉瓦锡密切交往的一大批法国化学家接受了这些新思想，但科学界的其他许多人却仍在尽力弥补燃素说的种种缺陷。因此，拉瓦锡决定根据新原理写出一部化学教科书。它要和化学教科书的旧传统彻底决裂，为未来几代化学家的工作打下新的基础。1778—1780年间，他写出了书的提纲。1789年，该书在巴黎问世。这就是著名的《化学基础论》(*Traité*

élémentaire de chimie)。它对化学的贡献,完全可以和牛顿的《自然哲学的数学原理》对物理学作出的贡献相媲美。

在这本书中,拉瓦锡十分详尽地论述了推翻燃素说的各种实验依据和以氧为中心的新燃烧学说。他的观点基本上也就是现代化学家的观点。他曾经这样写道:“化学实验的首要目的是分解中性盐,以便分别检验成为其组成部分的不同物质。”^①他根据这种说法,终于列出一张“简单物质表”,认为它们属于整个自然界,是构成物体的元素。他承认这只是一张凭经验列出的表格,还有待于用新发现的事实加以修正,但它的基础却是可靠的化学原理,因而被公认是第一张真正的化学元素表(图 14-5)。它显示出作者对酸性氧化物和碱性氧化物的性质都有了相当深刻的认识,拉瓦锡甚至已在表中指出不易蒸发的钾碱和苏打可能都是化合物,而组成这些化合物的基本元素还是未知的。

拉瓦锡为《化学基础论》所写的序文,是以回顾其早期关于化学命名法的研究为开端,目标是要使想从事科学研究的初学者能顺利走完这条他曾经经历尽艰辛的道路。拉瓦锡不仅清除了普遍存在的错误化学观念,还以一套广泛的新理论来代替它们,坚持这门科学必须遵照实验物理学的方法,将化学转变成了真正的科学。

事实上,拉瓦锡花了数年时间在想如何撰写一本专供化学初学者使用的教材。1788 年,当拉瓦锡开始草拟《化学基础论》时,他就决定强调区别和方法而忽略完整性,目的在于“要排除任何一个会让学生分心的观点”。他将这本教材分成三节,第一节完全是基于他自己的研究,以热量理论为开端。他解释了卡路里(即热量)是如何引起状态的改变,以及卡路里又是如何与物质结合而形成气状的流体(气体),并将讨论转移至大气的组成上。在描述了氧气后,拉瓦锡介绍了许多可将该气体分解的方法:通过与硫酸和磷的结合可形成酸性物质;通过与金属的结合可形成金属灰;以及通过与氢的结合可形成水。这一节的其余部分是用于讨论特殊的例子,如燃烧、酸化、分解、发酵、酸碱中和以及基团和金属的特性。

在第二节中,则审查了酸性物质与基团的结合以及中性盐类的形成。拉瓦锡直接承认此部分没有任何自己的工作,之所以在书中写进这部分,主要是因为盐类的实验研究

OF CHEMISTRY. 175		
TABLE OF SIMPLE SUBSTANCES.		
Simple substances belonging to all the kingdoms of nature, which may be considered as the elements of bodies.		
New Names.		Correspondent old Names.
Light	- - -	Light.
Caloric	- - -	Heat.
		Principle or element of heat.
		Fire. Igneous fluid.
		Matter of fire and of heat.
		Dephlogisticated air.
Oxygen	- - -	Empyreal air.
		Vital air, or
		Base of vital air.
Azote	- - -	Phlogisticated air or gas.
		Mephitic, or its base.
Hydrogen	- - -	Inflammable air or gas,
		or the base of inflammable air.
Oxydable and Acidifiable simple Substances not Metallic.		
New Names.		Correspondent old names.
Sulphur	- - -	The same names.
Phosphorus	- - -	
Charcoal	- - -	Still unknown.
Muriatic radical	- - -	
Fluoric radical	- - -	
Boracic radical	- - -	
Oxydable and Acidifiable simple Metallic Bodies.		
New Names.		Correspondent Old Names.
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.
Zinc	- - -	Zinc.
		Saltifiable

图 14-5 拉瓦锡的元素表

① [法]安托万·拉瓦锡:《化学基础论》,任定成译,第 106 页,武汉,武汉出版社,1993。

是早期化学里唯一有根据的。这节一开始,拉瓦锡就以表的形式列出了一些无法以化学方法再进一步分解的简单物质,认为化学实验的主要目的是要分解自然物体,如此才能分别检验不同成分的各种物质。

在《化学基础论》里,拉瓦锡提出简单物质表可被区分为四部分,第一部分包含了“属于整个自然界,是构成物体的元素的简单物质”,另外也涵括了光、卡路里、氧、氮和氢,这些都是广布在自然界的化学组成,在化学革命末期时就有理论方面的研究工作,其中空气、水和火都是以前曾研究过的。表中的第二部分包含了6种可酸化的非金属物质,前3种是硫、磷、碳,后3种是关于拉瓦锡所说的物质:“我们只知道这些物质易于氧化,易于形成盐酸、氟化物和硼酸性物质。”第三部分包括了17种“可氧化也可酸化的简单金属物体”,所涵盖的范围从铈到锌等物质。第四部分则包括了5种“可形成盐类的简单土质物质”,前两种是石灰与氧化镁,后3种则是早期通称为土的物质。

《化学基础论》第二节的主体是由简单物质特性以及对化合物的详细研讨所组成,第三节则是一种推广式的“仪器与化学操作描述”,拉瓦锡在这部分及所附加的插图里很自豪地展示了他在研究中所采用的众多昂贵设备(图14-6),宣称从事实验的方法,特别是近代化学的实验方法,“并非如一般所知道的那样”。该节与第一节一样,牢牢地奠基于他的研究工作之上,拉瓦锡深信自己在将实验物理学的方法引入化学时扮演了重要角色。

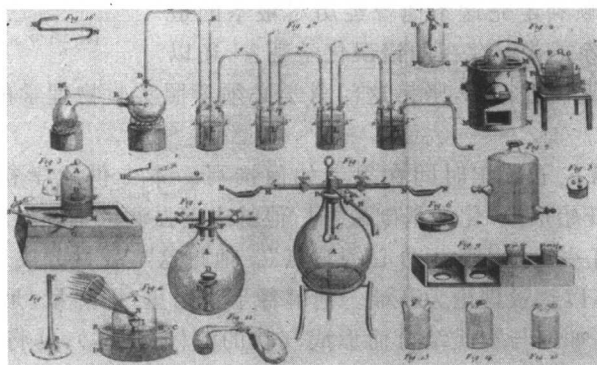
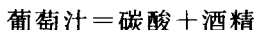


图14-6 拉瓦锡使用的部分仪器

《化学基础论》一书包含有极为重要的深刻思想。自17世纪初期以来,许多化学家都曾经隐约提到物质不灭的思想,俄国大化学家罗蒙诺索夫(Mikhail Vasilievich Lomonosov, 1711—1765)甚至已讲得一清二楚,但西方对他的大部分著作不甚了解,因而他在这一方面对科学思想的进步没有产生什么影响。拉瓦锡最早阐述了这一思想,并且指出在化学中应怎样应用这一思想。他的论述产生了实际影响。在论述糖变酒精的发酵过程时,他指出:“我们可以将此作为一个无可争辩的公理确定下来,即在一切人工

操作和自然造化之中皆无物产生；实验前后存在着等量的物质；元素的质和量仍然完全相同，除了这些元素在化合中的变化和变更之外什么事情都不发生。”^①根据这一原理，他终于能写出下面的式子，显而易见，这正是现代化学方程式的雏形：



他自己已经意识到这种表述方式的重要性，所以又写道：“我们可以认为，经受发酵的物质与由该操作引起的产物形成一个代数方程；而且通过逐次设定该方程中每个元素是未知的，我们就能相继计算它们的值，这样就能用计算来验证我们的实验，并且相应地用实验来验证我们的计算。我经常成功地使用这个方法更正我的实验的最初结果，并指导我按更加合适的途径重复它们。”^②

《化学基础论》成为化学史上的经典之作，产生了迅速而又广泛的影响，很快被译成各主要国家的文字，并多次再版。法国化学家分为了新旧两派，拉瓦锡的盟友包括了戴莫维、巴多雷、佛克洛依、拉普拉斯、蒙日以及皇家科学院的大部分物理学家。只有少数老顽固像英国的普里斯特利、法国的马凯、德国的威克里布坚决不改变旧观点。而德国化学家也同别人一样接纳新学说。《化学基础论》把化学革命引向了胜利，化学科学开始进入一个新纪元，取得了令人几乎难以置信的进步。而此后当拉瓦锡再度从事化学研究时，他将自己的注意力转向了哲学与有机化学的研究上。

拉瓦锡在这本巨著出版后仅仅活了5年，而且是社会政治剧烈动荡的5年，当时，人们从事科学活动相当困难，但他却继续通过各种方式坚持化学研究工作。他和数学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749—1827)一起研究动物的呼吸过程，后来又和青年同事阿芒·塞魁恩(Armand Séguin, 1765—1835)一起继续工作，结果证明碳的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，人在从事体力劳动时氧的消耗量会有所增大。这项工作成为现代营养学的基础。拉瓦锡在这项工作中研究过各种碳化物，并设计出一套先在氧气中燃烧碳化物，然后测定生成的二氧化碳和水的方法，这一方法现在仍然是有机分析的基础，只是他测得的数据很不精确。

拉瓦锡的实验方法是以观察开始，特别是将实验物理方法应用于解决化学中的理论问题。他对仪器的精确掌握、对分析的热衷，以及对理论的实验论证建构的自信，均表现出他独特的科学研究风格。当然，他并不是第一个掌握实验技术的化学家，但他把实验物理方法视为一项特别有效的工具。

尽管热衷于实验物理的仪器、分析与理论方法，拉瓦锡还是意识到若仅仅局限于这些是不足以改革化学的。拉瓦锡的科学成就属于化学范畴而非物理，因为他在将自己的理论与实验方法学融入重大化学问题的解决上是相当成功的，他的研究风格和独特的理

① [法]安托万·拉瓦锡：《化学基础论》，任定成译，第74页，武汉，武汉出版社，1993。

② [法]安托万·拉瓦锡：《化学基础论》，任定成译，第80页，武汉，武汉出版社，1993。

念反映出他对化学的专精。而他对实验物理学方法的依赖,促使后人在解释化合物的化学性质时必须注意到参考它们的物理性质。

拉瓦锡没有发现过新物质,没有设计过真正的新仪器,也没有改进过制备方法,他本质上是一个理论家。虽然他没有发现氧,但他的确是第一个理解了这个发现的意义,认识到氧作为一个元素的真正本性,并通过精巧的实验,建立起已被前人预示过的燃烧和金属煅烧的正确的化学理论。他的伟大功绩在于:他能够把别人完成的实验工作接受下来,并用自己的定量实验补充、加强,通过严格的合乎逻辑的步骤,对所得实验结果的正确性进行解释。他的研究工作的特点在于特别注意定量方法和使用天平,使得化学家能够把从气体性质中推导出来的物理概念应用到传统的化学中去,建立新的氧化学说。这样,化学也就从传统的经验技术性的学科,转变为一门像力学一样的、可以用数学进行定量计算的科学了。至此,化学终于发生了全面的革命。拉瓦锡自己也清楚地知道,他在科学界所引起的革命不逊于使法国产生骚动的政治革命,1773年,他在自己的实验本上写了一句话:“我所做的实验使物理和化学发生了根本性的变化。”

第三节 拉瓦锡与法国大革命

就在传世的经典之作《化学基础论》发表仅仅5年之后,拉瓦锡这位18世纪最杰出的化学家,在法国大革命中被送上了断头台,年仅51岁。

在近代政治史上,法国大革命是一个具有划时代重要性的事件。拉瓦锡曾是革命的支持者,他相信法国需要革命,需要现代化,以具有更加充沛的活力;然而,他又被视为了革命的敌人,最终以“叛国罪”被处以死刑。他的一生,与法国历史紧密地联系着,他是那个时代及特殊文化的代表人物。

拉瓦锡1743年出生于巴黎,是一个富有律师的儿子。他从一些法国优秀学者那里受到科学的熏陶,一开始从事科研活动,就认识到精确的科学测量的重要意义。在青年时代,他细致地研究过城市街道的夜间照明问题,尤其重视路灯燃料的燃烧情况。1772年,他开始研究燃烧和焙烧现象,进行了一系列极为重要的工作,最后直接导致了新化学的创立。这一年,他和其他一些化学家证明,如果能获得足够的高温,金刚石也能在空气中燃烧。大凸透镜是当时获取高温的最好器具。利用这种工具,不论有无空气,都能在预定的位置上获得高温(图14-7)。

21岁时,他开始进行第一次实验,研究石膏矿的特性,他对石膏矿石加热时失去的水分和变成熟石膏时重新吸收的水分进行了定量测定。24岁时,他对法国进行了一次地质勘察,旅途中用自行设计制造的精密比重计反复研究了各地区水的比重。他进行各种实验,事先都要仔细查阅有关文献,对实验的目的和步骤作出周密的安排。拉瓦锡和他的

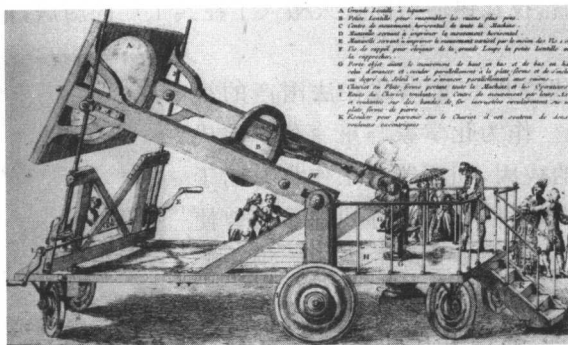


图 14-7 皇家科学院的大透镜(1782 年)

许多同时代人都非常重视天平,只是他比别人走得更远,因为别人主要用定量测定法分析矿物,而他却用来证明自然界的基本规律。拉瓦锡的研究领域主要是化学,可是实际采用的却是物理学家的方法。1768 年,他成为皇家科学院的成员,同年成为征税官的助理,不久接任征税官职位,后来又被任命为火药与硝石的监督官。法国大革命开始后,他是米制委员会委员;1791 年任财务秘书,等等。拉瓦锡是位足智多谋的战略家,直到路易十五王朝晚期,他才将自己的时间分配在两个方面:作为一位科学家,他探讨了多个研究领域,这些工作几乎都是在皇家科学院的支持下进行的,而他也顺利地成为知名的皇家科学院成员与化学家;身为租税承包公司的一员,他付出相当多的时间与精力在管理问题上,在成为有名的管理者与财务人员的同时,也累积了不少个人财富。而在接受火药局的职务后,他实际所做的技术与管理工作比他应该承担的工作要多。

17 世纪 60 年代,当拉瓦锡进入公职生涯的时候,波旁王朝已统治了法国一个世纪,给法国带来了极大的权势与繁荣。国王被视为国家的唯一代表,国王的权力被认为是绝对不可侵犯的。然而,启蒙运动之后,政党政治已在法国逐渐萌芽,但波旁王朝的国王们并不能容忍任何政治异己,有意地将富有的和日益扩大的资产阶级排除在政治权力之外;而另一方面,主张进行政治改革和社会改革的哲学著作广泛流传。而且,由于这时法国已成为欧洲人口最多的国家,已有的资源已不能做到自给自足;农民越来越不愿意忍受压榨和剥削,反对封建制度的呼声日益增长。加之法国参加了美国国内革命战争,进而促使了国家财政彻底破产。

拉瓦锡深信法国极需经济与行政的改革,因此,1775 年,他欣然接受任命担任新成立的火药局的四位主任之一,接手革新法国火药生产的工作。他知道身兼他职将影响用于化学研究的时间和精力,但他相信改革者必须善于把握机会,为皇家政府彻底的革新措施而尽自己所能。(几年后,他又同样积极地为提高法国农业的产量而开展研究。)他迅速地拟订火药局的工作计划,并布置巴黎兵工厂分配给他的新宿舍和化学实验室。次年

春天,这些工作完成后,拉瓦锡便偕同夫人搬入了在兵工厂的新居,他们在那儿生活了16个年头(图14-8)。

上任之后,拉瓦锡立即将重点放在法国产的智利硝石的产量问题上。作为化学家与皇家科学院成员,他试图研究硝石的成因,期望这项工作将有助于提高产量;作为一位自然科学家,在寻找先前未曾使用过的硝石时,他充分应用自己对于法国矿物资源的广博知识;作为实验家,他则通过大规模的研究项目教导法国人如何在人工基床上培养硝石;作为一位管理者,他更试图去改进智利硝石的生产程序,以实行更精确的指导和监督。经过拉瓦锡的努力,整个情况在非常短的时间内有了巨大的改观。1775年7月火药局成立时,每年只生产不到180万磅的火药;而在1776年至1777年,法国已有能力为美洲殖民地提供超过其火药厂全年生产能力的粉末,而且质量方面也有所提高,法国火药粉逐渐成为全欧洲质量最好而价格更便宜的火药。



图14-8 拉瓦锡与他的妻子

1778年,拉瓦锡在皇家科学院被晋升为评议委员。这一年他在一个山谷买了一大片土地,希望能展开一项大规模的研究计划,即如何在贫瘠的而且没有什么动物的农田上使得农产量得到最佳的改进。这不是一个临时或投机的计划,在整个研究结果公开以前,拉瓦锡对自己所采用的方法与所得产品进行了长达9年之久的持续观察。最后他提出,农业必须通过科学与管理的结合来予以改进。这项提议并不是来源于政治经济理论,而是以实验事实为立论根据所提出的政策建议。在拉瓦锡的科学生涯早期,他热心地长期加入矿物学研究之中;为租税承包公司所做的巡回视察以及为勘探新的硝石矿源所做的旅行,也给了他许多得以了解各种资源并观察法国农村生活方式的机会。因此,当拉瓦锡进行农业研究时,他便能大量地提出有关法国各省份土地的丰富资料,而这些都是在对科学好奇心的驱使下通过长期累积而形成的。

震撼法国的革命运动于1787年爆发,并在1789年达到第一个高潮,7月14日巴黎群众攻进了国王暴政的象征——巴士底狱。8月,国民制宪议会下令废除封建制度和什一税,发表人权和公民权利宣言,宣布公民有自由、平等、财产不可侵犯以及反抗压迫的权利,要建立君主制政权,其立法权和行政权由国王和议会分享。

大革命使法国的政治在最初几年里有所转变,拉瓦锡和其他许多著名的公众人物一样,欢迎由于革命所释放出的新活力,期待着以合理的社会制度来取代旧的专制体制。在1791年的国民会议上,拉瓦锡被要求发表一篇有关法国年度财富累积的报告。在介

绍这篇报告时,拉瓦锡坦率地提出可以通过科学的方法将政治问题转变成易于控制的行政管理问题。他坚信科学是以思考为始,以事实为终;以争辩开始,以共识为终,成熟的科学与政治权威结合时会带来和平。

拉瓦锡认为,不管政府的形态如何,国民会议最终都将面对财政问题、行政管理的挑战与军备需求等等,这是新政权所无法长期避免的问题。因此在革命初期,他专注于财政与行政问题的研究。在1789年7月所发生的重大事件后,拉瓦锡向那些追逐政治权力的人描述了他所知道的财政真相。尽管对国家经济问题研究多年,但他发现自己在向革命者解释这些问题时却是那样的软弱无力,而且也没有任何效果出现,他所擅长的经济研究还被革命者讥评为沉闷的学问。

1791年4月,拉瓦锡被任命为刚成立的国家财政部的最高行政长官。但为避免领取两份薪俸,尤其是为了确保在火药局的职务,拉瓦锡谢绝了这个新职务的薪俸。然而,随着战事的逼近以及国家税赋情况的不断恶化,拉瓦锡对于政府的失望日益加深,他在1792年2月辞离了财政部,而且不久之后又拒绝了担任税务机关最高行政长官的新任命。

大革命遭到欧洲许多国家的反对,法国终于在1792年4月向奥地利和普鲁士宣战,阻挡奥普联军进入法国。在国内,同年9月新的议会即国民公会召开,宣布废除君主制,建立共和国,国王路易十六受到国民公会审讯,以叛国罪被处决。君主政体的结束以及国王的被处决,终于打碎了大革命可能在君主立宪政体下实行制衡体制的希望。1793年8月,皇家科学院等机构被正式宣告解散。科学院被查禁,就等于是拉瓦锡失去了发现并展示其科学理论的重要场所;而他早已在1792年8月离开火药局,这也等于是封锁了他曾从事许多科学研究的实验室。虽然火药局为国家贡献良多,但仍无法消除它曾附属于旧王朝机构的烙印。既然已无法再从事生理化学方面的研究,拉瓦锡只好转向其他不需要良好设备的工作,将隐退后的时间用来思考、整理以前的工作。

1793年,法国军队在战争中失败,奥地利、普鲁士和英国结成联盟,欧洲大多数统治者均加入,欧洲侵略军威胁着巴黎。在国内,大革命的新领导群宣布今后的法国会是个廉正的共和政体,而他们为确保廉正政体的权势所采取的便是恐怖手段,任何被认为对共和政体以及对革命的忠诚有问题的人都可以逮捕。政治态度上的分歧与叛国和犯罪间的区别被混淆了,至少有30万名嫌疑犯被逮捕,其中17000人被判死刑并予处决,死于狱中或未经审讯即予处死的人更多些。拉瓦锡因租税承包者的身份而被逮捕。1794年5月8日,32位被告人中有28位被判有罪,罪名是图谋背叛法国人民,拉瓦锡是第四位上断头台的人。

拉瓦锡的化学研究活动从此终止。如果让他继续从事科研工作,或许还能取得一些成就,现在也只能凭空臆测。不过,他实际作出的贡献,已足以使法国的化学在许多年里

居于世界领先地位,并且使化学走上了在很多方面都能大大发挥潜力的康庄大道。

思考题

1. 为什么说拉瓦锡领导了一场化学革命?
2. 简要叙述你所了解的拉瓦锡。
3. 简要叙述你所了解的法国大革命及其对于科学发展的影响。

参考书目

1. Arthur Donovan:《拉瓦锡:化学改革与法国革命的先锋》,屈子铎译,台北,牛顿出版股份有限公司,1997。
2. [法]拉瓦锡:《化学基础论》,任定成译,武汉,武汉出版社,1993。
3. [英]J. R. 帕廷顿:《化学简史》,胡作玄译,桂林,广西师范大学出版社,2003。
4. 袁翰青、应礼文合编:《化学重要史实》,北京,人民教育出版社,1989。
5. [美]H. M. 莱斯特:《化学的历史背景》,吴忠译,北京,商务印书馆,1982。
6. 《化学发展简史》编写组编:《化学发展简史》,北京,科学出版社,1980。

第十五讲

进化论与达尔文

查尔斯·达尔文这一名字是同牛顿和法拉第的名字并肩而立的；同他们一样，这个名字使我们想起了一位真理寻求者和自然解释者的崇高理想。

——赫胥黎

在生物学的领域中，迄今为止还没有哪一个科学理论能像进化论那样对人类文明的观念形态产生如此重大的影响，以至于只有透过它，我们才能认识自己的真实来源和在世界中的位置，而这却一直是萦绕在我们心头的谜。这一切都得益于一位科学巨人，他的名字与他的学说一样被人们铭记，他就是查尔斯·达尔文(C. Darwin, 1809—1882)。

澳大利亚哲学家约翰·帕斯莫尔(J. Passmore)指出，人类历史上只有一次知识革命能被赋“主义”的殊荣，这便是达尔文主义。“达尔文主义的重要意义在于达尔文瓦解了当时的某些最基本的信念。此外，直到现在才充分认识到他还为全新的哲学观点奠定了基础。”^①

生物进化理论到今天已经发展出各种不同的理论形态，以至于需要用进化生物学才能囊括。但是，无论达尔文以后的哪一种进化理论都无法解开达尔文进化论的内在联系，因此，系统认识达尔文进化论有助于我们理解今天呈现的各种进化理论形态。

第一节 存在与演化

在西方文化中，自然的含义是多重的，但在多重的自然理解中，秩序与和谐是主流。赫拉克里特相信一切皆流变，毕达哥拉斯学派认为宇宙的和谐存在于数量关系之中。

古希腊哲学家亚里士多德是第一位认识到生命世界存在等级现象的人，他相信“自然界从无生物通过植物到动物是一个不可割裂的序列”，这是一个从植物到人类构成 11 个等级的连续的序列。他将这个序列称为“存在的巨大链条”(great chain of being)^②，这种“自然的阶梯”或“存在的巨大链条”概念，在 18 世纪促进了进化思想的产生。

① 恩斯特·迈尔：《生物学哲学》，涂长晟等译，第 159 页，沈阳，辽宁教育出版社，1992。

② 恩斯特·迈尔：《生物学思想的发展》，刘珺珺等译，第 323 页，长沙，湖南教育出版社，1990。

然而,从希腊时代直到18世纪,流行的世界观与进化思想是相抵触的。静止不变的理念和宇宙在每个细节上都是由明智的造物主设计的观念在18世纪以前的西方思想界是根深蒂固的。亚里士多德认为,自然界中的任何事物都有其自身的目的,所有生物从生到死的运动只不过是稳定状态的延续,并不导致永恒的变化。尽管他并不赞同进化的观点,但他所创立的博物学却为生物进化论奠定了基础。今天,我们可以看到,亚里士多德的自然阶梯思想对后世生物学家至少产生了两方面的影响:一是在“自然的阶梯”上,不同等级的生物物种之间存在着较大的不连续性;二是这些不连续的生物物种构成了一个连续的生物链条。这种连续与间断的思想成为了生物分类法的基本思想。

强调生物物种不连续性和等级次序的观点产生了瑞典博物学家林奈(C. Linnaeus, 1707—1778)的人为分类法;而强调物种连续性和亲缘关系的观点导致了法国博物学家布丰(G. Buffon, 1707—1788)的自然分类法的产生。

尽管林奈发明了一个等级结构的分类体系,但林奈并不认为上帝会造出“存在的巨大链条”,因而在他的分类系统中并没有体现出“自然的阶梯”。他的分类系统是分支式的,这种分支式的分类系统无意中为达尔文的共同起源学说奠定了基础。

与林奈不同,布丰从大量的博物学证据中看到了物种是可变的,而环境则是造成这种变化的重要原因。因此,他坚持认为,自然界生物物种不连续的思想完全是人为的,物种生存环境的改变,尤其是气候与食物来源的变化可以导致生物机体的改变。从布丰的思想中我们可以看到一幅生物演化的动态图景。

事实上,自18世纪以后,人们在自然观上经历了一个重大的转变:科学新发现否定了《圣经》的解释,自然的规律取代了上帝的意志。在近代科学发展的背景下,宇宙演化的观念逐渐建立起来。把宇宙看做整体并认为宇宙是演化生产的思想则最早来自德国哲学家康德(E. Kant, 1724—1804)。他在早期著作《自然通史》中令人信服地给出了一个能动的、不断发展进化的世界,这就是著名的星云假说。在生物学的领域,动植物区系异源论的提出、深层地层化石的差异增大、灭绝的证据日渐增多、林奈等级结构分类、形态模式的发现、微生物的发现、生物惊人的适应能力、种群思想,所有这些对神创论者、干预论者的观点提出了严峻的挑战。时空无限和宇宙演化观点正在被人们接受。

当进步的思想被引入进化领域以后,人们逐渐相信生物构成的巨大链条不再是一个静止的等级,而是随时间变化的一个自下而上的阶梯。特别是18世纪法国的启蒙思想与博物学传统相结合,使博物学家们看到了自然阶梯的动态演化性和物种的可变异性,在这种条件下,作为科学的进化学说首先由一位法国人提出就不会使人感到意外了。

第二节 拉马克的进化论

历史上,最早对生物进化的思想作出科学说明的是法国博物学家拉马克(Jean-Baptiste de Lamarck, 1744—1829, 图 15-1)。他出身破落的贵族家庭,17 岁当兵,22 岁退伍后迁居巴黎。曾在高等医科学学校学习,因 1778 年出版《法国植物志》而得到博物学家布丰的赏识。1779 年被选为法国科学院会员。他的进化理论主要体现在 1809 年出版的《动物学哲学》中。

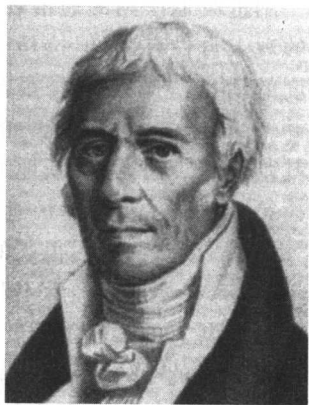


图 15-1 拉马克

拉马克的进化理论是建立在传统的自然等级观念上的,自然界中的生物存在着从简单到复杂的差异,这种差异构成了生物从低等到高等的序列。同 18 世纪大多数博物学家一样,拉马克是一位均变论者。他相信生物本质上是变化的,这种变化是连续的、缓慢的,因此,他所理解的自然等级序列不可能是静态的。这样一来,拉马克的进化理论必须解决两个关键问题:一是为什么生物会出现由简单到复杂的完美序列?二是为什么生命现象会表现出惊人的多样性?

拉马克认为解释这两个问题并不复杂,只要将它们看成是生物进化的两个方向便可以解决。生物的进化包含了垂直进化和水平进化,垂直进化导致生物由简单向复杂转变,水平进化则表现为多样性的分化。引起进化演变有两个原因:

(1) 生物具有谋求更加复杂化(完善)的天赋。“在相继产生各种各样的动物时,自然从最不完善或最简单的开始,以最完善的结束,这样就使得动物的结构逐渐变得更加复杂。”

在拉马克看来,取得使结构日益复杂化的权力是动物生命的内在潜力,即它们具有一种朝着增加结构复杂性方向进化的趋势。这是自然的规律,无需特别解释。在生物进化过程中功能是主导性的,形态变化是功能变化的结果。

(2) 生物具有对环境的变化作出反应的能力。动物必须永远与其环境协调,当某种协调遭到破坏时,动物就会通过它的行为来重新建立协调关系。因此,适应是生物为了应付环境变化所必需的生理过程(连同获得性状遗传)的不可避免的产物。

自我能力的进步是导致生物机能复杂化的根本原因,环境对生物的影响则主要表现在水平进化上。不过,不同生物对环境的适应能力不同,一些简单的无神经系统的低等动物和植物可以通过“环境 → 机能 → 形态构造”的方式直接适应环境;而对于对有神经系统和习性复杂的动物来说,则是以“环境 → 需要 → 习性 → 机能 → 形态构造”的方式

来间接适应环境。

尽管拉马克看到了环境对生物的影响,但他认为环境的改变只是引起动物机能变化的诱因,只有动物具有了稳定持久的改变机能的内在要求,才能使动物产生出新的习性,这种新的习性最终会导致器官的改变。他把动物进化的原因概括成两条基本法则:

第一法则:用进废退

用进废退法则的通俗表达就是经常使用的器官就发达,不使用就退化。器官用进废退的观点自古有之,但拉马克给予了严密的生理学解释。他指出:“凡是没有达到其发展限度的动物,它的任何一个器官经常利用的次数越多,就会促使这个器官逐渐地巩固、发展并增大起来,而且其能力的进步与使用的时间成正比例。同时,器官经常地不使用,会使其削弱和衰退,并不断地缩小它的能力,最后必会引起器官的消灭。”^①

第二法则:获得性状遗传

“凡是在动物居住很久的自然环境的影响下,也就是说在某一器官的更多运动的影响下,或者在某部分经常不利用的影响下,使个体得到或失去的一切,只要所获得的变异是两性所共有的,或者是产生这两性的个体所共有的,那么这一切变异就能通过繁殖而保持在新生的个体上。”^②这段话旨在说明,动物在环境长期的影响下,器官使用越频繁就会变得越发达,相反,器官使用越少就越容易发生退化,这种变化若是双亲共有,便可以通过遗传而保存下来。

这两条法则是拉马克解释生物进化的主要原理(图 15-2)。他用了大量的事例来说明动物器官的用进废退和获得的性状可以遗传的法则。如脊椎动物牙齿与食性的关系;食草动物臼牙因长期咀嚼植物纤维而变化发达;鼯鼠因长年生活于地下而使眼睛退化;水禽因用力张开足趾划水而形成蹼;长颈鹿因经常引颈取食高树枝叶而形成长颈等等。不过,这种解释引来许多的争论。德国遗传学家魏斯曼(A. Weismann, 1833—1914)曾做过一个有趣的实验:他将新生的老鼠尾巴切掉,并让它交配产生后代,此后每代均切掉尾巴,一连做了 21 代,新生的老鼠仍长出尾巴来,由此证明获得性状不可遗传。这里有一点很关键,即拉马克所说的获得性状一定是来自动物自身主动的机体适应性改变,而不是消极或强迫性的反应。

由此我们可以看到,拉马克的进化学说强调了生物具有天生的向上发展的内在趋向,它是造成生物进化由低级

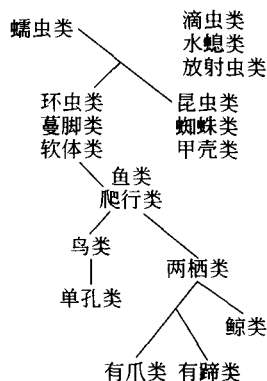


图 15-2 拉马克动物起源表

^{①②} 拉马克:《动物哲学》第七章《论环境约束对动物的影响》。转引自李难:《进化论教程》,第 15 页,北京,高等教育出版社,1990。

向高级、由简单向复杂方向逐渐演化的根本原因。不过,向上的演化方式既可以是直线式的,也可以是分枝式的,纷繁多样的生物种类,就是这种演化方式与环境互相作用的结果。

在今天看来,拉马克的进化理论确实有些粗浅并存在着许多错误,许多的表述得不到现代科学的支持,如有机体趋向完善的能力、低等生物源于自然发生、变异与适应无差别的论述等等。但我们不能忘记,在拉马克所处的那个时代,科学认识有限的进度和观念束缚,使得他的学说不可能达到完善的程度。他毕竟是历史上第一个系统论述生物进化理论的学者,他的进化学说客观上否定了上帝的干预,并为后世理论的发展与完善提供了重要启示。

第三节 达尔文进化论的建立

拉马克在建立他的进化理论时没能摆脱“存在的巨大链条”的观念,他把生物进化过程理解为生物在这个链条上向着更高级或更完善的阶段发展。然而,拉马克的“获得性遗传”法则并没有科学地解释一个物种是如何能够转变成另一个物种这一关键问题。直到查尔斯·达尔文(图 15-3)《物种起源》的出版,这一问题才得到很好的说明。恩格斯把达尔文进化理论创立看成是 19 世纪三大发现之一,而今天我们谈论进化论时也常常与达尔文的名字联系在一起。

1809 年 2 月 12 日,伟大的英国科学家查尔斯·达尔文在距离伦敦 220 公里英格兰什罗蒲郡的首府希鲁兹伯里诞生。达尔文的祖父艾拉丝姆·达尔文(E. Darwin, 1731—1802),是一位医生、诗人和动物学家,写过《动物生理学》一书,提倡生物进化的观点。查尔斯·达尔文是家里的第五个孩子。母亲在他 8 岁时因病去世,他是在三个姐姐的照看下长大的。

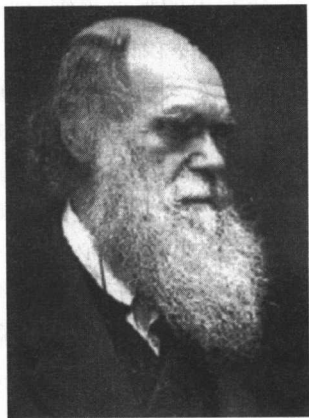


图 15-3 达尔文

1825 年 10 月,达尔文进入爱丁堡大学学习,两年后又转到剑桥大学。在那里他结识了植物学教授亨斯洛(J. Henslow),两人很快成为了好朋友。受德国博物学家洪堡(A. Von. Humboldt, 1769—1859)著的《新大陆热带地区旅行记》以及英国天文学家惠威尔(W. Whewell, 1738—1822)著的《自然哲学入门》的影响,他开始钻研地质学。

1831 年 12 月 27 日,达尔文以博物学家的身份参加了“贝格尔”号军舰历时 5 年的环球科学考察,期间收集了大量的岩石标本,其所见所闻使得他的思想经历了深刻的转变,即由神学自然观向演变论自然观的转变。达尔文在晚年回顾这 5 年的经历时,意味深长

地说：“贝格尔舰的航行，在我一生中是极其重要的一件事，它决定了我的整个事业。”

事实上，大约在 1839 年，达尔文就已经形成了他的物种起源理论，只是出于严谨而没有写成著作。他认为，在没有获得充足材料的情况下就发表结果是“十分不明智的”行动。的确，在神创论、物种不变论、目的论、灾变论等观念占统治地位的情况下，要说服人们接受进化论观点，必须有大量的事实证据；同时理论的论证也必须逻辑严密。因此，在这以后的 20 年里，达尔文把主要精力放在了各种生物实验，补充证据和检验理论方面；并加强了与国内外的科学家就有关生物进化问题的通信交流。

直到 1842 年 6 月，达尔文才草拟了一份相当完整的物种进化理论提纲。1844 年夏天，达尔文把它扩充为 231 页的概要，非常完整地提出了后来包括在《物种起源》中的论点。但由于他对科学持审慎的态度，没有轻易将它公开发表。这份手稿直到达尔文死后 14 年才被发现。在纪念达尔文诞辰 100 周年时，达尔文之子弗朗西斯·达尔文把它加上自己的注释后出版。

1858 年 6 月，达尔文收到了青年生物学家华莱士(A. Wallace)寄来的一篇论文手稿，题目是《论变种与其原始形态永久分化的倾向》。读过华莱士的论文后，达尔文大为惊异，感叹道：“我从来没有看到过比这件事更为显著的巧合；即使华莱士手中有过我在 1842 年写出的那份提纲，他也不会写出一个较此更好的摘要来，甚至他用的术语现在都成了我那些章段的标题。”在赖尔、霍克等朋友的劝说下，达尔文最终将自己的论文与华莱士的论文一同发表在《林耐学会》期刊上。当达尔文把事情经过如实地告诉华莱士时，他马上回信表示满意，并将进化论称为“达尔文学说”。

达尔文很清楚，《物种起源》的出版必然引起一场激烈的论战，为了搜集更完善的资料，该书的出版竟然延迟了 15 年。现在，他必须尽快完成书稿。《物种起源》(图 15-4)一书终于在 1859 年 11 月 24 日出版了。出版前，大家都认为此书内容丰富而艰深，销售前景不佳。然而，出乎意料的是，第一版 1250 册在出版当天就被抢购一空。一个半月后又发行了 3000 册，也很快被抢购殆尽。

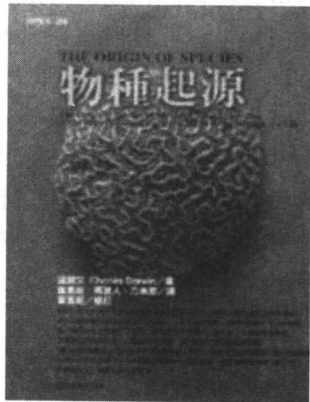


图 15-4 《物种起源》中文版封面

从 1859 年到 1872 年，《物种起源》一共出了六版。第二至四版(于 1860—1866 年先后出版)没有作重大修订，第五版(1869)稍有变动，最后一版(第六版，1872)增加了一章。该著作共有十五章，包含了两个主要内容：

一是用人工选择过程来阐明生物进化的事实；二是论证了自然界生物的进化是通过自然选择实现的。这是达尔文研究生物进化过程的一个系统总结。人们普遍认为，《物种起源》的诞生，是生物学上的一场伟大的革命，它的意义不仅对 19 世纪的生物科学各个分

支学科的发展起了积极的推动作用,而且远远超出了生物学范畴,在世界观的层面上给予了神创论、物种不变论、目的论和灾变论以致命的打击。

与达尔文预想的一样,《物种起源》问世初期,果然遭到了猛烈的攻击。思想进步的学者,特别是青年科学家都热烈拥护这一学说,而教会人士以及保守的学者则极力反对它,双方展开了激烈的斗争。在英国,除了对达尔文进行书面攻击外,还出现过一场激烈的舌战,这就是科学史上著名的“牛津论战”。尽管社会上对达尔文进化论争论激烈,但达尔文本人却很少介入论战。他知道需要用更多的事实材料来加强他的观点。《物种起源》问世不久,达尔文便开始撰写另一部规模更大的著作《动物和植物在家养下的变异》,阐述他对于家养野生动物和植物的全部观察,以及从各方面搜集来的大量事实,同时探讨变异和遗传的原因及其规律。经过8年的不懈努力,《动物和植物在家养下的变异》两卷本终于正式出版。

达尔文一生著述颇丰,仅正式出版的科学著作就达20部。而这些著作几乎都是在病中坚持写成的。1882年4月19日,达尔文逝世于达温,享年73岁,被安葬在威斯敏斯特大教堂墓地大科学家牛顿墓的近旁。墓碑的碑文上刻着一句话:“我曾不断地追随了科学,并且把我的一生献给了科学。”

第四节 达尔文进化论的主要思想

达尔文以前的进化学说大多强调单一的进化因素,如布丰强调环境直接诱发生物的遗传改变,拉马克强调生物内在的自我改进的力量,瓦格勒(M. Wagner)强调环境隔离因素等等。达尔文在建构进化理论时吸收了他们的思想,但在解释生物进化的机制时,他却强调了自然选择的核心作用。

在达尔文的进化理论中,共同起源和自然选择是两大基石,而进化的结果生物性状出现分歧,最终导致新物种的形成。

就共同起源问题而言,达尔文所做的工作和他所处的时代对他揭开物种起源的奥秘是非常有利的。一方面,他通过历时5年的极有意义的环球旅行,积累了丰富的生物学知识和大量的化石证据;另一方面,19世纪的生物学成就,如发现动植物细胞的共同构成;各种动物(如鱼、鸡、猪、人)的胚胎在发育初期的相似性;比较解剖学发现同一类群的动物在骨骼、肌肉、神经和血管构造上的类似特征,都揭示出生物的共同起源与亲缘关系。它们为进化理论的创立提供了科学的根据。为弄清物种起源的机制,达尔文考察了当时关于物种起源的种种观点,收集和分析了地质学、地理学、形态学和胚胎学的各种证据,达尔文相信,地球的历史远不止当时人们所认为的只有1亿年,化石记录的不连续性乃是记录的不完全所致。随着日后化石资料的增多,尤其是始祖鸟化石的发现,向人们

提供了由爬行类动物向鸟类过渡类型的证据;在南非发掘出的大批类似哺乳动物的蜥蜴化石,也表明了存在着过渡物种。达尔文指出,尽管物种具有相对的稳定性,但它们毕竟是由变种(或亚种)演化而来的。现存的不同物种由共同的血缘联系在一起。无论两个物种相隔多远,都如同一个物种的两个成员一样,因为它们具有共同的祖先。

达尔文在论证物种的共同起源时,还大量地列举了地理学、形态学和胚胎学证据。在“贝格尔”号的环球旅行中,达尔文考察了加拉帕戈斯群岛上的鸚鸟和海龟,发现与邻近大陆的物种有明显的关系,而与其他即使距离不太远的地方的类群没有明显关系,这意味着它们与大陆相关的动物具有共同的祖先。此外,对于同源性器官和同功性器官,以及各类脊椎动物脊椎、四肢和头骨的相似构造等等问题,只能用物种的共同起源理论才能得到清楚的说明。这些证据还表明,物种不仅倾向于互相取代,还会产生出分支。年代久远的物种演化到今天,往往会留下不止一个物种的后代。这种现象只能用物种的共同起源理论才能解释。因此,共同起源构成了达尔文进化论的一大基石。

物种共同起源的理论,把一个缤纷多彩的生命世界联系在了一起。直到今天,这一理论仍然是对自然的最合理的解释。正如迈尔所说的那样,在拉马克的进化理论中,“没有物种起源的理论,没有考虑共同由来的问题重要的是,作为 19 世纪的博物学家,拉马克全然不考虑生物的地理分布,而这方面的知识恰恰是达尔文共同由来学说最丰富的源泉”。然而,要想说明物种形成的机制,仅凭自己 5 年旅行考察所得到的事实和知识,显然还是不够的。因此,达尔文把目光转向了人工培育的物种。他认为,除了动物和植物的人工培育之外,再也没有更好的观察场所了。

他做了大量的工作。他先后研究 150 种家鸽、15 种黄牛、11 种绵羊以及鸡、马、猪、狗、家兔等的品种,这一点从他的大部头著作《动物和植物在家养下的变异》也能看到。当时大多数学者都认为,每一种家养的动物品种,都有其野生的祖先;有多少种家养动物品种,就能找到多少种野生动物的标本。达尔文却发现,家养动物实际上只起源于极少数的同类野生祖先。例如,所有家鸽的品种,都起源于岩鸽;所有家鸡的品种,都起源于原鸡;猪,大概也只起源于两种野生的祖先。

那么,这同一祖先,又怎么产生出千差万别的后裔呢?达尔文重点选择鸽子作为研究对象。对众多品种的家鸽的研究使达尔文得出结论:家鸽新品种的产生,是饲养过程中人工选择的结果。

如果我们发现了某只鸽子胸部有突出嗦囊,并让它只与异性的胸部突出的鸽子交配;再从它们的后代中,选择出胸部最突出者,将它与相似性状特征的鸽子配对;这样一代一代选择下去,胸部突出的性状就会越来越明显,最后就会形成一个新的品种——“球胸鸽”。如果变异的鸽子是鼻子上长一个鼓包,经过同样方法的人工选择,就能产生“瘤鼻鸽”。这就是家鸽特殊品种的由来。

不仅鸽子可以人工选择,其他动物和植物也是如此。各种优良的观赏植物(菊花、牡

丹)和农作物都是人工选择的结果。人工选择无疑是家养动物和栽培植物不同物种的起源途径。

由此可以看出,新物种生产最根本的原因是变异。所谓变异是指同种生物世代之间或同代不同个体之间性状的差异。达尔文发现,变异既可以在自然状态下发生,也能在家养下发生。变异本身并不能作为决定进化方向的直接力量而起作用,但它是进化的必要条件。没有变异就无生物的进化。

达尔文发现,变异的情形在自然条件下也大量存在,这些原理同样也适用于自然界中的野生物种类型。的确,自然界动植物的变异是普遍的,一个物种往往会产生多个的变种。即使在分类上不能确定位置的物种,也是变异的结果。但是,变异并不必然导致新物种的最终产生,变异的结果必须能够传递给后代才能发挥作用。在达尔文看来,生物的变异可分为两类:一定变异和不定变异。^①前者性质和方向主要由生活条件决定,后者则是由生物的本性决定的。尽管变异的形态多种多样,但都遵循着一定的规律。如器官是否使用会产生相应的变异;相关变异、延续性变异,等等。在达尔文进化理论中,变异的可遗传性是进化的一个基本条件。不遗传的变异则毫无意义。生物个体在环境选择下的各种微小变异,遗传的作用则把这些变异的品质固定下来,长期积累的结果最终导致差异明显的不同个体,这就是新品种的形成。

在广泛地研究了自然生长和家养的动物和植物后,达尔文注意到任何有性繁殖的生物都不能免除变异。变异不仅表现在形态构造上,而且也见于生理功能、本能、习性和心理作用等方面。达尔文指出,生物的变异与环境条件的改变紧密相关,根据在于:①家养的动物和栽培植物比野生的动植物呈现出较多、较显著的变异;②地域分布广泛的物种比分布狭隘的物种呈现出较多的变异。这是因为“它们是处在各种不同的物理条件之下,并且要跟各种不同的生物进行竞争”。当动物的生活条件发生了改变,动物的习性就可能发生改变,就会出现某些器官的使用和不使用,由此产生变异。

达尔文认为,物种的形态结构、生理机能、本能习性乃至心理作用等诸方面的变异皆能遗传,因此,无论在自然状况下还是家养状况下,也无论是生理上重要还是微小,可遗传的变异在数量和多样性上是无限的。为此,达尔文从人和动物的遗传病、植物矮生性、果实、花的颜色、动植物的返祖现象和杂交等方面,探讨了物种的遗传问题。为了合理地解释这种获得性遗传,达尔文提出了泛生说。生物体的各部分及各细胞均会产生代表自己特性的物质颗粒——“泛生子”或“胚芽”,它们能自我分裂,随血液循环汇集在生殖器官里,形成生殖细胞后代的发育受到这些颗粒的控制,由此性状得到遗传。尽管这种假说在今天已被证明是错误的,但在当时人们尚未深刻认识遗传机制的情况下,乃是一种积极的探索,况且,从达尔文的进化理论体系来看,应被理解为是合理的。

① 达尔文:《物种起源》,周建人、叶笃庄、方宗熙译,第22页,北京,商务印书馆,1995。

在对变异作用的理解上,达尔文与拉马克存在着明显的差别。拉马克认为变异直接导致适应;而达尔文则认为变异须经自然选择才能产生适应性状。

在达尔文进化理论中,自然选择是一个核心概念,是物种形成最根本的动力。达尔文根据自己的多年观察,发现生物普遍具有按照几何级数迅速繁殖后代的能力。对于地球上任何一种动物或植物来说,如果按照它本身的繁殖能力来推算,那么,总有一天,整个地球都要被它所独占。事实却并非如此,地球上的每一种动物或植物都不可能完全按照本身的繁殖能力来繁殖。达尔文从英国经济学家马尔萨斯(T. Malthus, 1766—1834)的《人口论》中得到启发,用“生存斗争”来解释进化的机制。达尔文认为,生存斗争是普遍存在的。任何生物要能生存和繁殖,必须同它所生长的自然环境作斗争,包括取得日光、水分、空气和养料,避免其他动物和植物的危害,以及跟同种生物的其他个体作斗争。结果,适应的就能生存下去,不适应的就被淘汰了。其中,“最适者生存”的作用,与人工选择的情形相似。达尔文称它为“自然选择”。^①

至此,达尔文终于发现了生物进化的规律,这就是:自然界的生物,普遍地具有变异的可能。当生活条件改变时,生物会在构造上、机能上、习性上发生变异;变异几乎都有遗传的倾向,因而能代代累加,产生显著的性状分歧;经过相当长的时间,不适应外界环境条件的个体就被淘汰,以致灭绝;而适应外界环境条件的个体就得以生存,其有利于生存的变异通过逐代遗传的积累,终于形成新的类型或物种。自然界的生物由简单到复杂、由低级到高级的进化,便是这样通过自然选择、适者生存而进行的。

根据这个理论,长久萦绕在达尔文脑际的两个问题,也得到了较为满意的解释:形成南美洲巨大化石的古代动物,是现代某些动物的祖先,它们由变异而逐渐产生明显的性状分歧,不利于生存的绝了种,有利于生存的延续到现在。加拉帕戈斯群岛上与南美大陆相似而又不同的生物,则是在不太长的时间内,生物由变异而产生的新物种,可以说是自然界亿万年历史物种起源的一个雏形。

自然选择是进化的机制,是变异、选择和遗传三种因素相互作用的过程。当生物的高度的繁殖率与有限的食物和空间发生矛盾时,生物之间的生存斗争就会表现出来,生物本身的某些变异,都会在适应环境的斗争中被保存或淘汰,这个过程就是自然选择。在自然状态下,自然选择是一个缓慢、渐变的过程。虽然不易直接观察到,但它可以从其其他观察结论中推断出来的。这种推论依据了三个基本的前提:

- (1) 任何物种的个体,在形态与内部结构上均存在着差异;
- (2) 这种差异是可以遗传的;
- (3) 生物个体的增殖速度超过了环境承受的能力,就会导致许多个体的死亡。

虽然自然界中的每一个生物都要承受自然选择的压力,但生物的进化是以种群为单

^① 达尔文:《物种起源》,周建人、叶笃庄、方宗熙译,第76页,北京,商务印书馆,1995。

位的。变异对进化的作用必须通过生殖过程传递给后代,并逐渐在群体中扩散开来才能发生,因此,生殖作用是自然选择的一个重要方面。

自然选择的创造性作用主要有三个方面:①通过生存斗争,保存对生存有利的变异,淘汰有害的变异;②通过生殖作用和生存斗争,累积有利的变异;③通过环境的变化,控制生物发展的方向,由此产生适应环境的新生物类型。自然选择不仅仅指通过生存斗争淘汰不适者,更重要的作用还在于使生物产生适应环境的能力,通过个体之间的生存斗争来达到群体的平稳与和谐。

由此,我们看到,自然选择的过程就是生存斗争及适者生存的过程,在自然界中这个过程是长期的、缓慢的和连续的。生物的同源性特征源于它们的共同起源,而生物不断地变异,被选择和积累则是生物多样性的根源。

达尔文通过对人类由来的研究发现,人类也是动物演化的结果,导致人类出现的机制并没有什么特别之处,也是随机的逐渐变异与自然选择。他设想,人类的祖先可能起源于非洲,起源于森林,环境和竞争压力迫使人类来到草原,从而发展出直立行走的姿式。人与动物之间的联系不仅体现在形态结构上,而且体现在长期以来人们自诩为独特的表情及一些心理活动中。

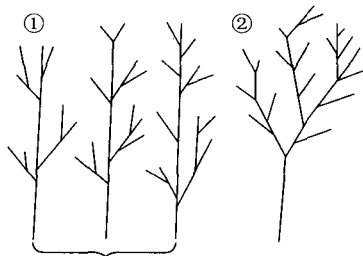
语言作为人类的最高社会属性,来源于两性关系所带来的社会交往。达尔文把人的语言能力与智力联系起来,认为人能够构成新的智力上的联系,这种能力是相对稳固而确定的本能行为的更为复杂的转化。人的语言能力来自一种天生的和极其特殊的适应性,它与智力的高度发展相关。

对于达尔文来说,重要的是对复杂的智能诸如语言、天赋、美感、道德和宗教意识的产生与进化作出说明,因为正是这些智能才把人类从动物中分离了出来。在探讨一般的社会行为的进化时,达尔文确信,社会行为的进化只能产生在含有许多密切相关的个体的扩大了的家庭群体中,因此,人类的早期进化一定是在这种群体里进行的。如某种道德必定是产生于特定的社会背景之中。

达尔文理论的一个明显特征在于它阐明了动物和人的行为具有同源的类似性。人与动物的区别仅仅是程度上的,而非本质上的。人的无数微小性状容易发生可遗传的变异,其生殖能力在正常情况下,不能超过环境的承受限度。因此,人必须经受自然选择。像其他许多物种一样,人类随着生存空间的扩展而分成了在地理上相互隔离的不同种族。进化的过程必然会导致差异,由于中介物种的灭绝,人们永远无法窥测到物种之间的完整连续。

按照达尔文的学说,所有生物物种都有共同的祖先,它们通过变异、选择和遗传的作用,最终形成多样性的物种。我们从家养动植物中可以看到,选择方向的不同会造成性状歧异的品种。事实上,在一个物种内部,个体之间在结构习性上歧异性越强,就越有利于适应不同的环境,这种歧异性状越积累就越容易形成新的物种。达尔文非常形象地描

述了物种形成的路径,他说:“同一纲中一切生物的亲缘关系常常用一株大树来表示。我相信这种比拟在很大程度上表达了真实情况。绿色的、生芽的小枝可以代表现存的物种;以往年代生长出来的枝条可以代表长期的、连续的绝灭物种。在每一生长期中,一切生长着的小枝都试图向各方分枝,并且试图遮盖和弄死周围的新枝和枝条,同样的物种和物种的群在巨大的生活斗争中,随时都在压倒其他物种。……正如我们在这里或那里看到的,一个细小的、孤立的枝条从树的下部分叉处生出来,并且由于某种有利的机会,至今还在旺盛地生长着,正如有时我们看到如鸭嘴兽或肺鱼之类的动物,它们由亲缘关系把生物的两条大枝连结起来,并由于生活在有庇护的地点,乃从致命的竞争里得到幸免。芽由于生长而生出新芽,这些新芽如果健壮,就会分出枝条遮盖四周许多较弱枝条,所以我相信,这巨大的“生命之树”(tree of life)在其传代中也是这样,这株大树用它的枯落的枝条填充了地壳,并且用它的分生不息的美丽的枝条遮盖了地面。^①这就是我们今天所说的生物进化系统树(图15-5)。



拉马克的一元论与达尔文的多元论(仿方宗熙)

- ① 拉马克观点:生物起源和进化的多元系统。各系统在开始时,源于自然发生;
② 达尔文观点:生物起源的一元系统。最早生命由化学进化产生

图 15-5 “生命之树”

达尔文进化论从科学上对生命的存在与演化过程作出了合理的说明,从而结束了生物学各分支学科彼此分离的局面。它的意义远远超越了科学理论本身而具有了深刻的哲学意蕴。它结束了生物学中目的论和物种不变论的观念,并使人类不再用高贵的神态俯视其他物种。正如科学史家丹皮尔所说,由于达尔文进化论的提出:“地位仅次于天使的人类本来是从宇宙的中心地球上来俯览万物的,而今却变成了围绕着千万颗恒星之一旋转的一个偶然的小行星上面有机发展锁链中的一环。他是一个微不足道的存在物,是盲目的、不可抵抗的造化力量的玩物,这些力量和人类的愿望和幸福是毫不相干的。”^②

第五节 达尔文之后

《物种起源》出版后产生了巨大的社会影响,但大多数人对达尔文的自然选择学说仍持有很大异议。只有少数博物学家,如华莱士、胡克(J. Hooker)、赖尔(C. Lyell)、海克尔(E. Haeckel)以及某些昆虫学家接受达尔文的进化论,然而,在实验生物学的领域却

① 达尔文:《物种起源》,周建人、叶笃庄、方宗熙译,第147~148页,北京,商务印书馆,1995。

② [英]W. C. 丹皮尔:《科学史及其与哲学和宗教的关系》,李珣译,第14页,北京,商务印书馆,1975。

没有人承认它。例如早期的孟德尔学派对进化的解释是：(1)进化中的每一变化都是由于出现了一种新的突变，也就是说，出现或发生了新的遗传不连续性。因此进化的动力是突变压力；(2)选择在进化中是无关紧要的力量，至多也不过是在淘汰有害突变中发挥作用；(3)由于突变能够解释一切进化现象；而个体变异与重组又都不能产生任何新的事态，所以可以不予考虑。大多数连续个体变异不是遗传性的。这种解释对达尔文进化论是相当不利的。

直到 20 世纪 30 年代，随着种群遗传学研究的进展，人们才发现自然选择可以导致基因库发生重大变化，一些生物学家开始用统计生物学和种群遗传学的研究成果来重新解释达尔文的自然选择理论，并通过精确地研究种群基因频率在各代中的变化来研究自然选择是如何起作用的，从而逐步填补了达尔文自然选择理论的某些缺陷，使达尔文理论在逻辑上趋于完善。如 1908 年，数学家哈代(G. H. Hardy)和医生温伯格(W. Weinberg)发现，一个有性生殖的自然种群，只要满足五个条件：种群大、种群中个体间随机交配、没有突变发生、没有新基因加入、没有自然选择，那么，这个种群的各等位基因的频率就会保持一定的稳定性。这种把现代遗传学(突变、基因漂移及基因交流)与达尔文的自然选择结合起来作为进化的主要机制的思想被称之为“现代综合进化论”(the modern synthetic theory)。

达尔文创立的进化学说所采用的方法基本上是描述和比较的方法。现代综合进化论则是建立在实验和定量分析的基础上，因而要比达尔文学说更为精确。在达尔文时代，自然选择还只是一种经验的推测，而 20 世纪以后则可以通过实验来证明。现代综合进化论者对进化论的贡献不仅表现在研究手段上，更重要的是他们对达尔文学说中的一些缺陷给予了正确的说明，从而使进化理论更加精致。

例如，达尔文认为进化的改变仅仅是个体上的，而综合进化论则认为，由于基因分离和重组，有性繁殖的个体不可能使其基因型恒定地延续下去，只有交互繁殖的种群才能保持一个相对恒定的基因库。因此，进化体现在种群的遗传组成的改变上，不是个体在进化，而是种群在进化。

按照达尔文学说，自然选择来自繁殖过剩和生存斗争，它是基于繁殖过剩和生存斗争作出的一个推论。而在综合进化论中，自然选择被归结为不同基因型的延续。生物之间的一切相互作用(如捕食、竞争、寄生、共生、合作，等等)，只要影响基因频率和基因型频率的变化都具有进化价值，而不只是在种间或种内的生存斗争中，竞争的胜利者的基因型有进化价值。此外，在没有生存斗争的情况下，个体的繁殖机会的差异也能造成后代遗传组成的改变，也可以进行自然选择。

达尔文相信，没有隔离，自然选择和进化演变也能够进行，而且明确认为隔离并不是物种形成的必要条件。现代综合进化论者杜布赞斯基(T. Dobzhansky)、迈尔(E. Mayr)、辛普森(G. Simpson)等人在群体遗传学的基础强调了生殖隔离对物种形成的重

要意义,由此进一步完善了达尔文的进化论思想。

无论是达尔文进化论还是现代综合进化论,它们都主张渐变进化,即进化是靠微小变异的积累来实现的。然而,在物种水平上生物化石的记录所显示的大多不是渐变式的进化,而呈现出跳跃式的进化。例如始祖鸟化石(图 15-6)所揭示的始祖鸟是介于爬行类和鸟类之间的动物,它被看成是鸟类从爬行类的一支进化发展而来的有力证据,但人们一直未能找到爬行动物是怎样逐步进化成鸟类的证据。为解决这类难题,一些学者提出了新进化主张,如辛普森认为,在多数时期中,生物的进化是缓慢的,但有时会产生一个突然的大改变,这种快速变化可以迅速产生与原来的物种有巨大不同的新物种,这些新物种在原物种的生活环境中不再适应,于是它们开拓新的环境,适应新的生活。而戈德施米特(R. Goldschmidt)则认为,虽然多数突变只引起小的变化,但是某些基因会发生大的突变(如调节基因),从而造成跳跃式进化。

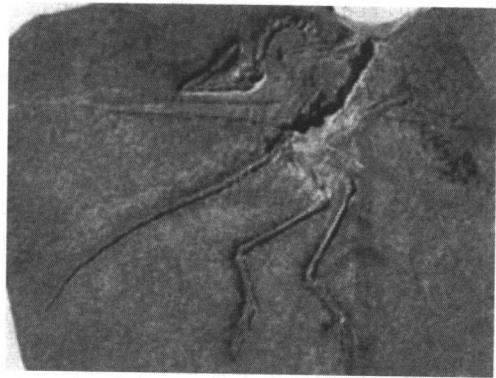


图 15-6 始祖鸟化石

1968 年日本学者木村资生(M. Kimura),根据分子生物学研究中核酸、蛋白质中的核苷酸及氨基酸的置换速率,以及这些置换所造成的核酸及蛋白质分子的改变并不影响生物大分子的功能等事实,提出了分子进化中性学说(natural theory of molecular evolution)。1969 年美国学者金(J. L. King)和朱克斯(T. H. Jukes)用大量的分子生物学资料进一步充实了这一学说。

这一学说认为多数或绝大多数突变都是中性的。即无所谓有利或不利,因此对于这些中性突变不会发生自然选择与适者生存的情况。生物的进化主要是中性突变在自然群体中进行随机的“遗传漂变”的结果,而与选择无关。这是中性学说和达尔文进化论的不同之处。

中性学说是从分子水平上揭示进化机制的一种新的学说,它不是对达尔文表型进化理论的否定,而是达尔文进化论在微观水平上的进一步发展和补充。

除了上述的学说以外,还有很多其他的学说和学派,如间断平衡学说、新达尔文主

义、新拉马克主义、社会达尔文主义等等。由于进化现象极其复杂,自然界能够提供的化石证据又十分有限,因而给我们建立起一个完整的生物进化图景带来了不小的困难,这也是导致生物进化研究领域中学派甚多的一个重要原因。这些学说、学派的研究和争论对于我们深入认识生物进化现象有积极意义。今天,进化的思想已经深入人心,并且成为生物学中最大的统一理论,有的生物学家甚至认为“没有进化论,生物学便是不可理解的”。事实上,进化论的贡献不仅限于生物学,它的影响已经超越了生物学本身而扩展到了社会的诸多层面。20 世纪以来的人类文明已经在很大程度上与进化的观念紧密地联系在一起了。

思考题

1. 试述拉马克进化学说与达尔文进化学说的联系和区别。
2. 达尔文进化论的核心思想是什么?
3. 如何认识达尔文进化论在当代的意义?

参考书目

1. [英]达尔文:《物种起源》,周建人等译,北京,商务印书馆,1995。
2. [美]恩斯特·迈尔:《生物学思想的发展》,刘珺珺等译,长沙,湖南教育出版社,1990。
3. [英]皮特·鲍勒:《进化思想史》,田沼译,南昌,江西教育出版社,1999。
4. 张昉:《生物进化》,北京,北京大学出版社,1998。

第十六讲

第二次产业革命与经典物理学大厦的完成

自从牛顿奠定理论物理学的基础以来,物理学的公理基础的最伟大的变革,是由法拉第和麦克斯韦在电磁现象方面的工作所引起的。

——爱因斯坦

电工技术革命……实际上是一次巨大的革命。蒸汽机教我们把热变成机械运动,而电的利用将为我们开辟一条道路,使一切形式的能——热、机械运动、电、磁、光——互相转化,并在工业中加以利用。循环完成了。

——恩格斯

第一节 历史概述

从18世纪中叶到19世纪中叶,蒸汽机的广泛使用,引起了第一次产业革命,产生了机器大工业,促使生产力大大地发展,同时也为科学技术的发展开辟了道路。这一发展的模式基本上是:“生产—技术—科学”。

19世纪电磁学的创立为电能的开发和应用奠定了理论基础。从19世纪中叶开始,电能人类社会生产和社会生活的各个方面得到了广泛应用,形成了以电能的开发和应用为主要标志的第二次产业革命,这一革命对人类社会产生了巨大影响。与此同时,建立了以电磁理论和热力学、统计力学为核心的经典物理学的完整的理论体系,科学技术登上了前所未有的高度。

在第二次产业革命时期,人类开发和完善了钢铁、化工和电力生产三大技术,建立和发展了汽车、飞机和无线电技术三大产业,生产力的发展实现了一次更大的飞跃。

第二次产业革命的特点是:科学技术和生产的关系日益紧密,和传统的“生产—技术—科学”发展模式并行地出现了“科学—技术—生产”的发展趋势。而且这一新趋势日益成为发展的主导形式。

下面列表分述经典物理学,特别是热学(热力学与统计物理学)和电磁学的发展历程

以及电磁学的应用(电气工业)所经历的过程。

一、热力学和统计物理学的发展历程

热学(热力学和统计物理学)是在人类利用热能的实践活动之基础上逐步发展起来的,实验和理论研究明显地落后于生产和技术,具有滞后的特征。见表 16.1。

表 16.1 热力学和统计物理学的发展历程

年代	人物	贡 献
1765—1788	瓦特	改进蒸汽机
1798	伦福德	做摩擦生热实验,证明热的运动说
1824	卡诺	提出卡诺循环理论
1827	布朗	发现布朗运动,为分子运动论提供有力证据
1834	克拉珀龙	导出相变的克拉珀龙方程
1840	焦耳	发现电流热效应的电流平方定律
1843—1878	焦耳	测量热功当量,历经 30 余年,共进行 400 多次实验
1842	迈尔	提出能量守恒与转化的基本思想
1846	瓦特斯顿	提出能量均分定理
1848	W. 汤姆生	提出绝对温标
1850	克劳修斯	提出热力学第一定律的完整数学形式,同时第一次定性表述热力学第二定律
1851	W. 汤姆生	全面表述热力学第一定律和第二定律
1858	克劳修斯	引进气体分子的自由程概念
1859	麦克斯韦	提出气体分子的速度分布律
1860	麦克斯韦	发表气体中输运过程的初级理论
1865	克劳修斯	提出熵的概念
1868	玻尔兹曼	推广麦克斯韦的分子速度分布律,建立平衡态气体分子的能量分布律
1872	玻尔兹曼	提出输运方程、H 定理和熵的统计诠释
1876—1878	吉布斯	提出化学势的概念、相平衡定律,建立粒子数可变系统的热力学基本方程
1902	吉布斯	创立统计系综理论,实现了热力学与分子动理论的理论综合
1906	能斯特	提出热力学第三定律

二、电磁学的发展历程

电现象和磁现象很早就受到人类注意,留下了许多文字记载。不过在 17 世纪之前,大多属于定性的观察和零碎的知识,17 世纪开始,才有一些系统的研究,而定量的研究则更晚。18 世纪中叶以后,磁力和电力的平方反比定律相继发现,静电学和静磁学开始沿着牛顿力学的发展模式登上科学舞台。这时人们还把电和磁当做两种独立的现象来对待。18 世纪末,随着电堆的发明,人们有可能人为地产生和控制电流,才为进一步研究电流的运动规律,特别是为研究电运动和其他运动形式的联系及转化,创造了条件。19 世纪,电流的磁效应、化学效应和热效应相继发现,其规律得到了定量的表述,建立起了统一的电磁理论,证实了电磁波的存在,并证明了光和热辐射的本质也是电磁波。简言之,电磁学继牛顿力学之后,历经几个世纪的准备,终于在 20 世纪前夜成为经典物理学大厦的又一支柱。其发展历程如表 16.2 所示。

表 16.2 电磁学的发展历程

年代	人物	贡 献
1745	克莱斯特和马森布洛克	发明莱顿瓶
1747	弗兰克林	发表电的单流质理论
1752	弗兰克林	做风筝实验,引天电到地面
1780	伽伐尼	发现蛙腿肌肉收缩现象
1785	库仑	扭秤实验得到静电力的平方反比定律
1792	伏打	研究伽伐尼现象,认为是两种金属接触所致
1800	伏打	发明伏打电堆
1820	奥斯特	发现导线通电产生磁效应
1820	毕奥和沙伐	由实验归纳出电流元的磁场定律
1820—1826	安培	由实验发现电流之间的相互作用力定律
1826	欧姆	确立欧姆定律
1831	法拉第	发现电磁感应现象
1832	亨利	发现自感
1833	法拉第	提出电解定律
1834	楞次	建立楞次定则

续表

年代	人物	贡 献
1843	法拉第	从实验证明电荷守恒定律
1845—1846	纽曼和韦伯	在安培理论的基础上发展电动力学
1861	麦克斯韦	引进位移电流概念
1864	麦克斯韦	建立电磁场理论,提出光是一种电磁波
1887	赫兹	做电磁波实验,证实麦克斯韦的电磁场理论
1896	洛伦兹	创立经典电子论,发展了麦克斯韦的电磁场理论

三、电磁学的应用

从伏打发明化学电堆和法拉第发现电磁感应现象开始,电磁学的成果(包括实验和理论两方面)就与实际应用紧密结合,取得了累累硕果。见表 16.3。

表 16.3 电磁学应用(电气工程)的发展历程

年代	人物	贡 献
1821	法拉第	制成用化学电源驱动的电磁旋转机,是电动机的雏形
1831	法拉第	做铜盘旋转实验,制成第一台直流发电机
1832	发明单相、同步、多极发电机	
1834	雅科比	制成回转运动的直流电动机
1845	基尔霍夫	提出两个基本电路定律(也称基尔霍夫定律)
1853	W. 汤姆生	推出电路振荡方程,解决了海底电缆的信号衰减问题
1857	基尔霍夫	提出电报员方程(或称基尔霍夫方程)
1866	W. 汤姆生	指导第四次大西洋海底电缆铺设成功
1867	西门子	制成自激式直流发电机
1875	巴黎北火车站建成世界上第一座火电厂	
1876	贝尔	发明电话
1878	亚布洛契可夫	发明多相交流发电机
1879	爱迪生	发明碳丝白炽灯,开创人类电气照明时代

续表

年代	人物	贡 献
1882	德普勒	远距离高压直流输电试验
1885	费拉里斯	提出交流电机的旋转磁场理论
1886	特斯拉	发明二相异步电动机
1889	英国	建成特普夫电站,它是现代大型中心发电站的先驱
1891	布洛	制成高压油浸变压器
1895	马可尼等	发明无线电报
1901	美国密西西比河建成 50 千伏的高压输电线	

比较表 16.2 和表 16.3,可以看出电磁学的实验和理论研究领先于实际应用。下面重点阐述电磁学实验和理论研究的发展历程。

第二节 电流的磁效应

电流磁效应的发现,在电磁学的发展史中占有重要地位。在这项发现以前,电和磁在人们看来是截然无关的两件事。电和磁究竟有没有联系?这是前人经常思索的问题。“顿牟缀芥、磁石引针”说明电现象和磁现象的相似性,库仑先后建立电力和磁力的平方反比定律,说明它们有类似的规律。但是相似性不等于本质上有联系。17 世纪初,吉伯就作过断言,认为两者没有关系,库仑也持同样观点。然而,实际事例不断吸引人们的注意。例如,1731 年有一名英国商人述说,雷闪过他一箱新的刀叉竟带上了磁性。1751 年弗兰克林发现在莱顿瓶放电后,缝纫针磁化了。

电真的会产生磁吗?这个疑问促使 1774 年德国有一家研究所悬奖征解,题目是“电力和磁力是否存在着实际的和物理的相似性?”许多人纷纷做实验进行研究,但是,在伏打发明电堆以前,这类实验是很难有希望成功的,因为没有产生稳恒电流的条件。不过,即使有了伏打电堆,也不一定能立即找到电和磁的联系。

例如,1805 年有两个德国人,他们把伏打电堆悬挂起来,企图观察电堆在地磁的作用下会不会改变取向。这类实验当然得不到结果。

这时丹麦有一位物理学家,名叫奥斯特(H. C. Oersted, 1771—1851),他在坚定的信念支持下,反复探索,终于揭示了自然界这一令人困惑的奥秘。

一、奥斯特发现电流的磁效应

奥斯特是丹麦哥本哈根大学的物理学教授。他信奉康德的哲学思想,认为自然界各种基本力是可以相互转化的。早在1812年,奥斯特就发表过一篇论文,论证化学力和电力的等价性,文中写道:“我们应该检验的是:究竟电是否以其最隐蔽的方式对磁体有类似的作用”,在奥斯特的大脑里,经常盘踞着这个疑问。他深信电和磁有某种联系,只是不知道应该怎样来实现它。当时,电流的研究早已揭示导体通过电流时会发热,甚至会发光。他推测,既然电流通过细导体会发热,通过更细的导体甚至会发光,进一步减小导体的直径,为什么不能指望激发出磁来呢?于是他拿一根细白金丝,让它接到电源上,在它前面放一根磁针,他和别人一样,企图用白金丝的尖端吸引磁针。然而,尽管白金丝灼热了,烧红了,发光了,磁针也纹丝不动。奥斯特没有灰心,边思考,边试验。他从发热和发光的现象推测,既然热和光都是向四周扩展的,会不会磁的作用也是向四周扩展?

1820年4月的一个晚上,奥斯特正在向听众演讲有关电和磁的问题。他准备了实物表演,一边讲,一边做。他在讲演中讲到上述想法。随即即兴地把导线和磁针平行放置作个示范。没有想到,正当他把磁针移向导线下方,助手接通电池的一瞬间,他看到磁针有一轻微晃动。这正是他盼望多年的反应。

演讲会后奥斯特接连几个月研究这一新现象。开始他还是用细铂丝做实验,后来他终于认识到,磁效应强的不是细金属丝,而是直径大的金属丝,更不必用贵重的白金,任何金属都可以。后来,他用了更强大的伏打电池,终于查明电流的磁效应是沿着围绕导线的螺旋方向。

1820年7月21日,奥斯特用拉丁文以四页的篇幅简洁地报告了他60多次实验的结果。这一篇历史性文献立即轰动了整个欧洲。

奥斯特发现电流的磁效应,是电学史上的新篇章,由于他的发现,引导出电学一系列新发现,在这以后的一二十年,成了电磁学大发展的辉煌时期。

二、电流磁效应的研究热潮

奥斯特发现电流磁效应的消息很快就传到德国和瑞士,法国科学院院士阿拉果(D. F. J. Arago, 1786—1853)正在日内瓦访问,听到这一消息马上认识到它的重要意义,立刻回到巴黎,于1820年9月4日向法国科学院报告并演示了奥斯特实验。这引起法国科学界的极大兴趣。安培(A. M. Ampère, 1775—1836)、比奥(J. B. Biot, 1774—1862)和沙伐(F. Savart, 1791—1841)等人立即行动,重复了奥斯特实验,并且进一步发展了奥

斯特的成果。

就在9月18日至10月9日之间,安培连续报告了他的实验研究,其中包括确定磁针偏转方向的右手定则;他提出磁棒类似于有电流流通的线圈、磁性是由于磁体内“分子电流”产生磁效应,以及地球的磁性是由从东向西绕地球作圆周运动的电流所引起。为了说明磁性与电流的关系,他又考察了线圈之间的相互作用,并进而研究直线电流之间的相互作用。他指出两电流方向相同时相互吸引,方向相反时互相排斥。

安培的分子电流假说把一切磁效应都归功于电流与电流的相互作用,他的所谓分子,并不是指真正的分子,分子电流也不是指的微观带电粒子的运动,他的假说只不过是一种模型。磁性的本质,只有到20世纪才能在量子理论的基础上得到较为满意的解释。

当时,安培的学说遭到来自不同角度的反对。例如,塞贝克(T. J. Seebeck, 1770—1831)就不同意把磁归结为电,他认为磁比电更为根本。1821年塞贝克通过实验证明有一种特殊的物质——“磁雾”存在。他在用纸做成的平板上撒上一层细细的铁屑,让一根导线垂直穿过这块纸板;当接通电源后,铁屑就以纸板上的导线为中心形成一圈一圈的同心圆;并且离中心越近,这些同心圆就越密集。他认为,这个实验说明了通电导线周围存在着一种“磁雾”,所以铁屑才形成同心圆。

1825年塞贝克又做了一个实验,他用丝线吊起一块磁铁,把它当做单摆,然后在它旁边放上一块金属。他发现,当这块磁铁摆动起来时,很快就会衰减下去,他认为这是受到“磁雾”的阻碍作用。如果拿走金属块,磁铁的摆动会持续很长时间,就像没有受到任何阻力一样。塞贝克还用其他的方法证明“磁雾”的阻尼作用。他取一块铜片做成单摆,让它在磁铁的两极上方摆动,发现它比没有放磁铁时衰减得快得多。这实际是在金属和铜片中产生了感应电流,感应电流反过来又受磁力的阻碍作用。塞贝克当时不可能明白这个道理,而是认为这正是他的“磁雾”理论的证据。

1821年,毕奥和沙伐通过磁针周期振荡的方法发现了直线电流对磁针作用的定律,这个作用正比于电流的强度,反比于它们之间的距离,作用力的方向则垂直于磁针到导线的连线。(拉普拉斯假设电流的作用可以看做为各个电流元单独作用的总和,把这个定律表示为微分形式。这就是现在我们熟悉的毕奥-沙伐-拉普拉斯定律)。毕奥也不同意安培的电动力理论和分子电流学说,他反对安培把一切电磁作用都归结于电流之间的相互作用,认为电磁力也是一种基本力;而安培认为毕奥没有认清磁的本质。

关于电与磁的关系,一时间众说纷纭,莫衷一是。

奥斯特和安培等人的研究成果传到英国,引起了广泛注意。1821年英国哲学学报(Annal of Philosophy)杂志编辑约法拉第(Michael Faraday, 1791—1867)写一篇关于电磁问题的述评,这件事导致法拉第开始了电磁学的研究。

法拉第当时正在英国皇家研究所做化学研究工作。他原来是文具店学徒工,从小热爱科学,奋发自学。由于化学家戴维(H. Davy, 1778—1829)的帮助,进到皇家研究所的

实验室当了戴维的助手,1821 年被委任为皇家研究所实验室主任。

法拉第在整理电磁学文献时,为了判断各种学说的真伪,亲自做了许多实验,其中包括奥斯特和安培的实验。在实验过程中他发现了一个新现象:如果在载流导线附近只有磁铁的一个极,磁铁就会围绕导线旋转;反之,如果在磁极周围有载流导线,这导线也会绕磁极旋转,如图 16-1 所示。这就是电磁旋转现象。实际上,它也是最早的电动机雏形。

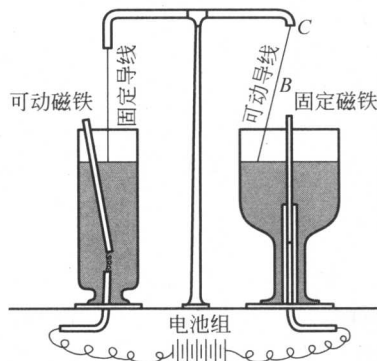


图 16-1 法拉第的电磁旋转器

第三节 安培奠定电动力学基础

在电磁学规律的定量表述方面,安培作出了特殊贡献。为了定量研究电流之间的相互作用,他从 1820 年开始,做了一系列实验和理论研究,其中尤以四个精巧的零值实验最为突出。所谓零值实验,是指两个电流同时作用于第三个电流而彼此平衡,从而判断电流相互作用的特性。他在这些实验的基础上进行数学推导,得到普遍的电动力公式,为电动力学奠定了基础。

第一个实验证明强度相等、方向相反的两个靠得很近的电流对另一电流产生的吸力和斥力在绝对值是相等的。安培用一无定向秤检验对折的通电导线有无磁力作用。所谓无定向秤,实际上是悬吊在水银槽下两个方向相反的通电线圈(图 16-2)。如果这两个线圈受力不均衡,就会发生偏转。实验结果是:当对折导线通电时,无定向秤丝毫不动。既然吸力和斥力在绝对值上相等,就可以用统一的公式来表示两种力。于是,安培就进一步设想两个电流元 ids 和 $i'ds'$ 的相互作用力可以表示成 $\rho \frac{ii'dsds'}{r^n}$, 这里 r 表示两个电流元的距离, ρ 是决定于电流元与距离的夹角 θ, θ' 和电流元所在平面的夹角 ω 的函数, n 为一待定常数。

第二个实验证明电动力的矢量性。安培仍用无定向秤,将对折导线中的一根绕成螺

旋状(如图 16-3),结果也是作用相互抵消,说明弯曲的电流和直线的电流是等效的,因此可以把弯曲电流看成是许多小段电流(即电流元)组成,它的作用就是各小段电流的矢量和。

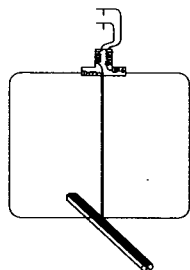


图 16-2 安培的无定向秤
(下方是一根对折导线)

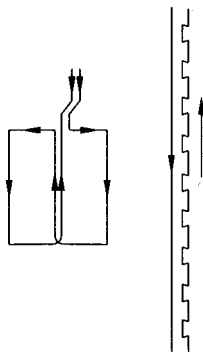


图 16-3 无定向秤实验之二

第三个实验研究电动力的方向。安培把圆弧形导体架在水银槽上,经水银槽通电(如图 16-4)。改变通电回路或用各种通电线圈对它作用,圆弧导体都不动,说明电动力一定垂直于载流导体。

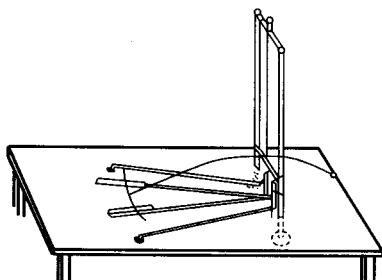


图 16-4 圆弧导线受力方向

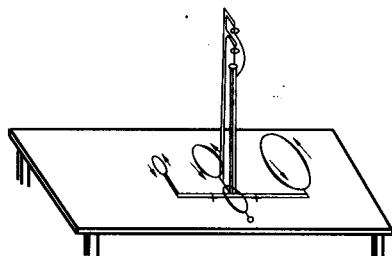


图 16-5 三个线圈相互作用

第四个实验检验电动力与电流及距离的关系。安培用三个相似的线圈(如图 16-5),其半径之比分别等于其距离之比。通电后,中间的线圈丝毫不动,说明第一个线圈和第三个线圈对第二个线圈的作用相互抵消。由此得出结论:载流导线的长度与作用距离增加相同倍数时,作用不变。据此,安培证明,电流元相互作用力的公式中的 $n=2$,而

$$\rho = \sin\theta \cdot \sin\theta' \cdot \cos\omega + k\cos\theta \cdot \cos\theta', \text{ 其中 } k \text{ 为一常数。}$$

1827 年,安培通过数学推导,确定 $k = -\frac{1}{2}$ 。

于是,安培就在实验的基础上,推出了普遍的电力公式,即:两电流元之间的作用力为:

$$f = \frac{ii' ds ds'}{r^2} \left(\sin\theta \cdot \sin\theta' \cdot \cos\omega - \frac{1}{2} \cos\theta \cdot \cos\theta' \right)$$

这个公式为电动力学提供了基础。值得注意的是,安培的电力公式从形式上看,与牛顿的万有引力定律非常相似。安培正是遵循牛顿的路线,仿照力学的理论体系,创建了电动力学。他认为电流元之间的相互作用力——电力是电磁现象的核心。在他的理论中,电流元相当于力学中的质点,电流元之间存在电力,而电力是一种超距作用,就像牛顿力学中的万有引力一样。

第四节 欧姆定律的发现

欧姆定律是电学中又一条基本定律,是欧姆(G. S. Ohm, 1789—1854)在 1826 年发现的。欧姆原是一名中学的数学、物理教师,在傅里叶(J. B. J. Fourier, 1768—1830)的热传导理论的启发下进行电学研究。傅里叶假设导热杆中两点之间的热流量与这两点的温度差成正比,然后用数学方法建立了热传导定律。欧姆认为电流现象与此类似,猜想导线中两点之间电流也许正比于这两点的某种推动力之差。欧姆称之为电张力(electric tension)。这实际上是电势概念。

为了证实自己的观念,欧姆下了很大工夫进行实验研究。开始欧姆所用电源是伏打电堆,由于这种电源不稳定,给欧姆的实验带来很大困难。1821 年塞贝克发明温差电偶。波根道夫(J. C. Poggendorff)建议欧姆采用温差电偶做电源,这才得到稳定的电源。

当时,电流强度的测量还是一个技术难题。1820 年电流的磁效应刚刚发现,次年,施魏格(J. S. C. Schweiger)根据电流的磁效应做成最早的电流计,当时叫做倍加器,但是灵敏度很低。欧姆先是打算用电流的热效应,从热膨胀的效应来测量电流强度。后来,欧姆在施魏格倍加器的启发下,设计了一种电流扭秤,把电流的磁效应和库仑扭秤结合在一起,测量电流强度是通过挂在扭丝下的磁针所偏转的角度。这一装置如图 16-6 所示。欧姆取八根粗细相同,长度不同的板状铜丝,分别接入电路,测出每次的电流磁作用强度

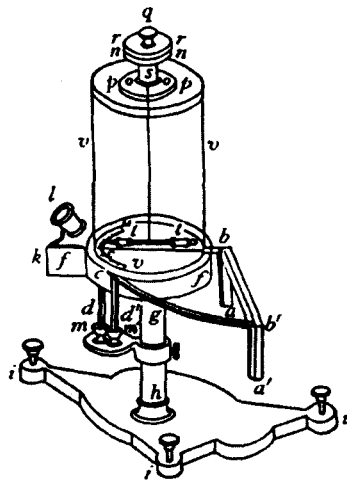


图 16-6 欧姆的电流扭秤

(实际上是与电流强度成比例关系的磁针偏转角度)。最后表示成:

$$X = \frac{a}{b+x}$$

其中 X 表示长度为 x 的导体所对应的磁作用强度, a 与 b 是依赖于电路的两个常数。我们现在可以判断, 欧姆的 a 相当于电动势, b 相当于除待测导体之外的回路电阻, X 相当于电流强度。

1826 年, 欧姆先后发表了两篇论文。第一篇题为:《论金属传导接触电的定律及伏打仪器和施魏格倍加器的理论》, 报道了他的实验结果。第二篇题为《由伽伐尼电力产生的电现象的理论》。他仿照傅里叶的热传导理论, 从理论上推出如下公式:

$$X = kw \left(\frac{a}{l} \right)$$

及

$$u - c = \pm \left(\frac{x}{l} \right) a$$

其中 X 是长度为 l 、截面为 w 、导电率为 k 的导体中的电流强度, a 为导体两端的电张力(势)差, u 为导体中某一点(位置为 x)的电张力(即电势), c 为一与 x 无关的常数。

接着, 欧姆以等效长度 $L = \frac{l}{kw}$ 代入第一个公式, 得到:

$$X = \frac{a}{L}$$

这就是现在的欧姆定律, 等效长度实际上就是电阻。

次年, 欧姆发表《用数学推导的伽伐尼电路》一书, 严格推导了电路定律。

欧姆定律的建立, 在电学发展史中有重要意义。但是当时欧姆的研究成果并没有得到德国科学界的重视。直到 1841 年, 英国皇家学会才肯定欧姆的功绩, 那一年, 欧姆获得了英国皇家学会的科普利奖。

第五节 电磁感应的发现

电流的磁效应得到发现之后, 人们自然会想到, 既然电能生磁, 为什么磁不能生电? 这件事成了很多科学家共同关心的问题。

1820 年, 就在奥斯特发现电流磁效应之后不久, 就有人宣布“成功地”实现了磁生电。这一消息虽然轰动一时, 却很快就被别人否定了。人们设计了各种实验, 试图找到磁生电的踪迹, 但无不以失败告终。例如, 瑞士物理学家科拉顿(J. D. Colladon)在 1825 年做过这样的实验, 他把磁铁插入闭合线圈, 试图观察线圈是否会产生感应电流。然而, 他为

为了避免磁铁对电流计的影响，特意把电流计放在隔壁房间里，他一个人做实验，只能来回奔跑。他先在一个房间里把磁铁插入线圈，再跑到另一房间里去观察电流计的偏转。每次得到的都是零结果，他已经接近发现的边缘，但实验的安排有问题，失去了观察到瞬时变化的良机。

也有人遭遇到了涉及电磁感应的现象，却无力抓住现象的本质，上面提到过的塞贝克 1825 年所做的磁摆衰减实验其实就是一种电磁阻尼现象。这一现象实际上三年前阿拉果就已经发现了。阿拉果 1822 年在格林威治附近的山上用磁针测量地磁时，偶然发现放在磁针下面的金属块对磁针的振荡会产生阻碍作用。1824 年阿拉果把磁针当做单摆，让它在铜盘上方摆动，发现磁针的摆动会很快衰减；如果让磁针停下不动，转动下面的铜盘，就会发现磁针也跟着转动。这些实验实际上都是电磁感应的具体例证，因为正是导体在运动中切割了磁力线，从而在导体内部产生了感应电流。阿拉果当时并不了解这一点，只是如实地向公众宣布了这一实验结果。第二年他因此获得了科普勒金质奖章，这足以说明这一实验在当时受到何等的关注。然而，不但阿拉果不明白其中的机理，其他许多人也没有得出正确的答案。毕奥认为铜盘在运动中产生了磁性，而安培提出铜盘在运动中产生了电流，都没有找到问题的实质。

上述这些实验经过法拉第一一重复，作了研究，尽管当时法拉第也无法作出明确的解释，但是所有这些实验事实都成了他的佐证，坚定了他磁生电的信念，并最终导致他在 1831 年发现了电磁感应现象。

法拉第和奥斯特一样，笃信自然力的统一，很早就开始寻找“磁生电”的迹象。从 1824 年到 1828 年，法拉第多次进行电磁学实验。他仔细分析了电流的磁效应，认为电流与磁的相互作用除了电流对磁、磁对磁、电流对电流，还应有磁对电流的作用。他想，既然电荷可以感应周围的导体使之带电，磁铁可以感应铁质物体使之磁化，为什么电流不可以在周围导体中感应出电流来呢？

于是他做了一系列实验，企图寻找导体中的感应电流。例如，1824 年 11 月，法拉第第一次试图观察磁生电的现象，这次实验没有成功。1825 年 7 月，法拉第又做了一次实验来寻找磁生电现象，再次得到否定的结果。同年 11 月，法拉第做了第三次实验。这次差一点获得成功。他把一根 4 英尺长的导线接在电池的两极上，把另一根导线接在电流计上，两根导线平行放置，中间只隔两张薄纸。当前一根导线中通入电流时，他没有观察到另一根导线上的电流计指针有任何动静。然后，他又把前一根导线弯曲成螺线管，把另一根导线放入线圈中。当前一根导线接通电源时，仍未能发现第二根导线上的电流计指针的偏转。

如果电流计足够灵敏，如果电源足够强，在接通电源或者切断电源的瞬间，法拉第应该能够看到电流计发生偏转。尽管如此，法拉第对磁生电的信念并没有动摇，他逐步领悟到，必须加大电源的强度，并且注意瞬间的变化。

上述失败的尝试,法拉第都在他的实验日记里留下了记录,也多次表达了自己的信念。

就在 1831 年 8 月 29 日这一天,法拉第终于取得了突破性的进展。

这次他是用一个软铁圆环(如图 16-7 中的插图),环上绕两个互相绝缘的线圈 A 和 B。线圈 A 和电池连接,线圈 B 用一导线连通,导线下面平行放置一只小磁针,充当检验电流通过的指示器。

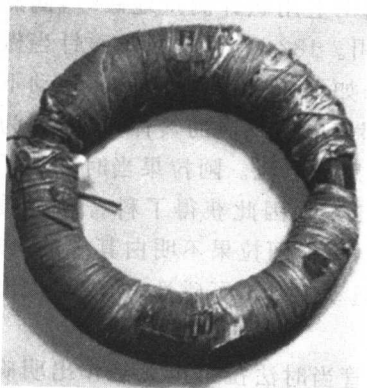


图 16-7 法拉第用过的圆铁环线圈

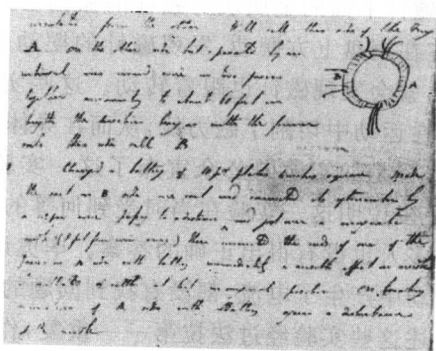


图 16-8 1831 年 8 月 29 日法拉第的日记:发现电磁感应

法拉第在日记中写道(部分原文见图 16-8):

(1) 关于磁生电的实验等等。

(2) 用软铁做一个圆铁环,它的厚度(圆铁条直径)是 $7/8$ 英寸,它的外直径(圆环直径)是 6 英寸。在圆铁环的一个半边绕了许多匝铜线,每匝之间用麻线和白布隔开,其中共绕有 3 个线圈,每个线圈都用 24 英尺长左右的铜线绕成。它们可以联在一起使用,也可以分别使用。这 3 个线圈彼此之间是绝缘的,我们把铁环的这半边称为 A。中间隔开一段距离,再在圆铁环的另一半边用两根铜线绕成两个线圈,铜线的总长度大约是 60 英尺,缠绕方向与前面的线圈相同,我们把这半边称为 B。

(3) 把 10 个电池联在一起,每个电池电极板的面积是 4 平方英寸。把 B 边的线圈连成一个线圈并将它的两个端点用一根铜线联结起来,铜线经过一段距离(离圆铁环 3 英尺),刚好越过一个磁针的上面一点。然后把 A 边的一个线圈的两端同电池接通,立即就对磁针产生了可以观察到的影响。磁针摆动着,最后又回复到原来的位置上。当切断 A 边线圈与电池的连线时,磁针又一次受到了扰动。

(4) 把 A 边 3 个线圈联成 1 个线圈,使电池的电流流过所有的线圈,对磁

针的影响比以前强得多。^①

这是法拉第第一个成功的电磁感应实验,但是他并没有完全明白其中的道理。因为他尚未明确指出这一现象的瞬时性。

法拉第分析这个实验成功的关键。如果没有铁质,还会有这类现象? 于是他用木料做 A、B 线圈的芯子,线圈 A 改接强大的电池组,结果依然有感应,说明电磁感应只和电流的变化有关。如果电流不变,即使电流大到使导线灼热,也不会产生感应。

接着,法拉第又做了一个实验。他取来一根铁棒,在铁棒上绕以线圈,再和电流计相接,铁棒两端各放一根条形磁铁,如图 16-9 所示。当磁铁与铁棒的接触时断时合之际,电流计的指针(即磁针)会不断摆动。

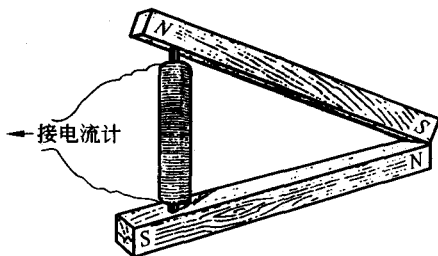


图 16-9 法拉第用两根磁铁夹着铁棒

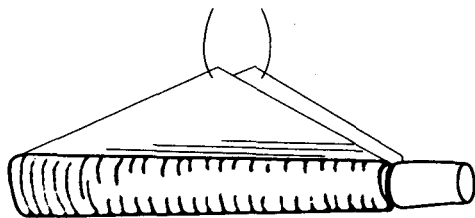


图 16-10 法拉第进一步研究电磁感应

法拉第继续做实验,他于 1831 年 10 月 17 日以条形磁铁插入线圈,如图 16-10 所示,发现在条形磁铁插入和拔出的瞬间,线圈会产生感应电流。

他把铁棒运动和磁铁运动引起的感应称为“磁电感应”,而把先前发现的两个线圈间的感应称为“伏打电感应”,因为两个线圈中有一个是接到伏打电池上的。

同年 10 月 28 日,法拉第把铜盘置于马蹄形磁极之间,如图 16-11 所示。从铜盘的轴心和边沿引两根导线接于电流计旋转铜盘,就从这两根导线引出了持续的电流。

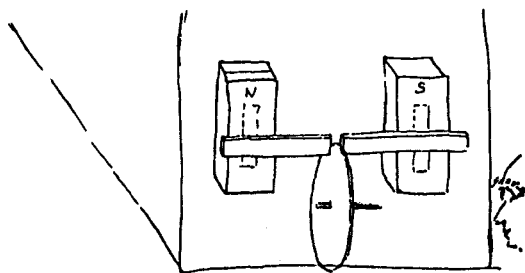


图 16-11 1831 年 10 月 28 日法拉第日记中的一张图

① Faraday's Diary, Bell, 1932, 1: 279.

于是,法拉第创造出了第一台最原始的直流发电机。

到此为止,法拉第不仅实现了磁生电的理想,而且完全搞清了这一过程的基本规律,明确了电磁感应现象的瞬时性。同时,也给阿拉果和塞贝克的铜盘实验作出了满意的解释。

同年 11 月 24 日,法拉第对各种试验做了总结,向英国皇家学会报告说:他可以把产生感应电流的情况分为五类:(1)变化中的电流;(2)变化中的磁场;(3)运动的稳恒电流;(4)运动中的磁铁;(5)运动中的导线。

法拉第宣布发现电磁感应之后不久,又有两项有关电磁感应现象的重大发现问世。一是美国的亨利(J. Henry)发现了自感现象。他实际上是在 1829 年 8 月在用电磁铁的装置进行电报机实验时,发现通电线圈在断开时会产生强烈的电火花。这就是所谓的自感现象。但他无法作出解释,就没有公开发表自己的结果,直到得知法拉第发现电磁感应后,才明白了其中的道理,乃于 1832 年 7 月发表第一篇有关电磁感应的论文,其中包括自感现象的发现。二是 1833 年楞茨(H. F. E. Lenz, 1804—1865)进一步研究了法拉第对电磁感应现象的说明,他把法拉第的说明与安培的电动力理论结合在一起,提出了确定感生电流方向的基本判据,这就是所谓的楞茨定则。

法拉第、亨利和楞茨都是用文字定性地表述电磁感应现象的。1845 年才由纽曼(F. E. Neumann, 1798—1895)以定律的形式提出电磁感应的定量规律,即感应电动势为:

$$\epsilon = - \int \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \cdot d\mathbf{l}$$

其中, $\mathbf{A}$ 为纽曼引入的描述电流的位置函数,取名为磁矢。

法拉第对电磁学的贡献不仅是发现了电磁感应,他还发现了光磁效应(也叫法拉第效应)、电解定律和物质的抗磁性。他在大量实验的基础上创建了力线思想和场的概念,为麦克斯韦电磁场理论奠定了基础。

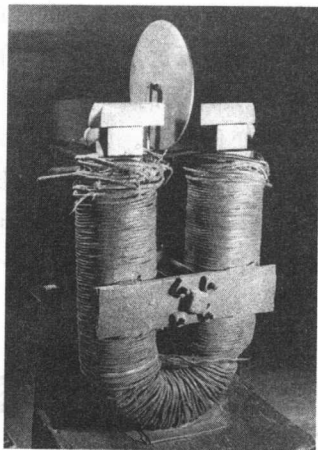


图 16-12 法拉第的原始直流发电机

第六节 电磁理论的两大学派

安培把自己的理论称为电动力学,这个理论的基础是电荷间的超距作用力。他的学说传到德国,形成了大陆派电动力学。纽曼和韦伯(W. Weber, 1804—1891)是这个学派

的代表。安培的电动力学能够说明许多电磁现象,并且能够严格地进行定量计算,因此受到人们的肯定。但是它还不能说明电磁感应,也没有包括库仑定律,对静电领域无能为力。1846年韦伯继纽曼的电磁感应定律之后发展了安培的理论,他采纳了一年前费希纳(G. T. Fechner, 1801—1887)提出的假说,把电流看成是由沿相反方向以相同速度运动的同样数量的正负电荷组成,在安培定律的基础上,提出了更一般的电作用力公式:

$$F = \frac{e_1 e_2}{r^2} \left[1 - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{2r}{c^2} \cdot \frac{d^2 r}{dt^2} \right]$$

式中 e_1, e_2 表示两个电荷的电量, r 表示它们之间的距离, c 为一常数。这个公式的第一项表示静电力,可见它包括了库仑定律。进一步推导,可以引出安培定律和纽曼电磁感应公式。于是韦伯的电动力公式成了电动力学的基础。

但是,韦伯公式中包含了依赖于速度 $\frac{dr}{dt}$ 的力,所以屡遭反对。亥姆霍兹曾多次批评它不遵守能量守恒定律,大大影响了它的声誉。

与之对立的另有一学派,主张近距作用。法拉第就是其突出代表。高斯(C. F. Gauss, 1777—1855)也曾企图把通过介质传递电作用的过程表示成数学公式,没有取得成功。1853年,数学家黎曼(B. Riemann, 1826—1866)曾用弹性以太模型说明电磁现象,提出了电力传播方程:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + \alpha^2 \cdot 4\pi\rho = 0$$

其中 U 是电势, ρ 是 (x, y, z) 点上的电荷密度, $\alpha = \frac{1}{2}c$, c 是光速。不过,他的论文发表于1867年,比麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)的电磁理论发表得还要晚。而麦克斯韦则继承了法拉第的力线思想,坚持近距作用,同时又正确地吸取了大陆派电动力学的成果。他就是在两种不同学说争论的背景下,创建了电磁场理论的。

第七节 麦克斯韦电磁场理论的建立

一、法拉第的力线思想

法拉第从广泛的实验研究中构想出描绘电磁作用的“力线”图像。他认为电荷和磁极周围的空间充满了力线,靠力线(包括电力线和磁力线)将电荷(或磁极)联系在一起。力线就像是电荷(或磁极)发出、又落到电荷(或磁极)的一根根皮筋一样,具有在长度方向力图收缩,在侧向力图扩张的趋势。他以丰富的想象力阐述电磁作用的本质。

法拉第研究了电介质对电力作用的影响,认识到这一影响表明电力不可能是超距作

用,而是通过电介质状态的变化;即使没有电介质,空间也会产生某种变化,布满了力线。后来,法拉第又进一步研究了磁介质,解释了顺磁性和反磁性。电磁感应现象则解释为磁铁周围存在某种“电应力状态”(electro-*tonic* state),当导线在其附近运动时,受到应力作用而有电荷作定向运动;回路中产生电动势则是由于穿过回路的磁力线数目发生了变化。

法拉第的力线思想实际上就是场的观念,这是近距理论的核心内容。

二、W. 汤姆生的类比研究

在法拉第力线思想的激励下,W. 汤姆生(W. Thomson, 1824—1907,即开尔文勋爵)对电磁作用的规律也进行过有益的研究。他从法国科学家傅里叶的热传导理论得到启示。傅里叶在 1824 年发表《热的分析理论》一书,详细地研究了在介质中热流的传播问题,建立了热传导方程。这本书对 W. 汤姆生有很深的影响。

1842 年,W. 汤姆生发表了第一篇关于热和电的数学论文,题为《论热在均匀固体中的均匀运动及其与电的数学理论的联系》,他论述了热在均匀固体中的传导和法拉第电应力在均匀介质中传递这两种现象之间的相似性。他指出电的等势面对应于热的等温面,而电荷对应于热源。利用傅里叶的热分析方法,他把法拉第的力线思想和拉普拉斯、泊松等人已经建立的完整的静电理论结合在一起,初步形成了电磁作用的统一理论。

1847 年,W. 汤姆生进一步研究了电磁现象与弹性现象的相似性,在题为《论电力、磁力和伽伐尼力的力学表征》一文中,以不可压缩流体的流线连续性为基础,论述了电磁现象和流体力学现象的共性。1851 年,他给出了磁场的定义,1856 年,根据磁致旋光效应提出磁具有旋转的特性,这样就为进一步借用流体力学中关于涡旋运动的理论,作好了准备。

W. 汤姆生运用类比方法,把法拉第的力线思想转变为定量的表述,为麦克斯韦的工作提供了十分有益的经验。

三、麦克斯韦建立电磁场理论的第一步

麦克斯韦在电磁理论方面的工作可以和牛顿在力学理论方面的工作相媲美。他和牛顿一样,是“站在巨人的肩上”,看得更深更远,从而作出了伟大的历史综合;他也和牛顿一样,其丰硕的成果是一步一步提炼出来的。

对于麦克斯韦来说,他是站在法拉第和 W. 汤姆生这两位巨人的肩上。他面对众说纷纭的电磁现象,以深邃的洞察力开创了物理学的新领域。然而,他也不是一蹴而就的。他在创建电磁场理论的奋斗中作了三次飞跃,前后历程达 10 余年。

麦克斯韦是英国人,1831年生于爱丁堡,自幼聪慧过人,得到了精心培养。10岁进爱丁堡学院(Edinburgh Academy)学习。15岁就有几何学论文发表。1850年入剑桥大学,这时W. 汤姆生已是那里的研究员(fellow)。W. 汤姆生比麦克斯韦大7岁,他们先后荣获数学竞赛优胜者称号。W. 汤姆生对电磁理论的看法,麦克斯韦早有了解。在W. 汤姆生的影响下,麦克斯韦特别注意斯托克斯(G. G. Stokes, 1818—1903)的工作,这为以后的研究作了准备。从1855年起,麦克斯韦学习电学,认真阅读了法拉第的著作,特别是《电学实验研究》一书。他大学刚毕业,就着手把法拉第的力线思想用数学分析方法进行表述。

W. 汤姆生那两篇关于电磁现象与力、热现象相似性的论文对他很有影响。不但使他认识到类比方法的重要性,而且体验到法拉第的思想与传统的静电理论是协调的,有可能进一步建立统一的电磁理论。

1856年,麦克斯韦发表了第一篇关于电磁理论的论文,题为《论法拉第力线》。在这篇论文中,他发展了W. 汤姆生的类比方法,用不可压缩的流体的流线类比于法拉第的力线,把流线的数学表达式用到静电理论中。流线不会中断,力线也不会中断,只能发源于电荷或磁极,或者形成闭合曲线。麦克斯韦通过类比,明确了两类不同的概念:一类相当于流体中的力, E 和 H 就是;另一类相当于流体的流量, D 和 B 属于这一类。麦克斯韦进一步讨论了这两类量的性质。流量遵从连续性方程,可以沿曲面积分,而力则应线段积分。

关于类比方法,麦克斯韦写道:

“为了采用某种物理理论而获得物理思想,我们应当了解物理相似性的存在。所谓物理相似性,我指的是在一门科学的定律和另一门科学的定律之间的局部类似。利用这种局部类似可以用其中之一说明其中之二。”麦克斯韦还特别注意到数学公式的类比。“精确科学的宗旨就是要把自然界的问题归结为通过数学计算来确定各个量。”^①

这篇论文的第二部分专门讨论法拉第的“电应力状态”,对电磁感应作了理论解释。麦克斯韦指出,纽曼的矢势 A 正是表示“电应力状态”的一个函数,两者是一致的。不过,纽曼的矢势是建立在超距作用上的数学函数,缺乏实际含义,而法拉第的“电应力状态”则是根据大量实验发现并认真作出的精湛假设。麦克斯韦写道:

“也许有人会认为,多种现象的定量观测还未严密到足以形成数学理论的基础,但是法拉第并不满足于简单地叙述其实验的数学结果,也不希望靠计算

① Scientific Papers of J. C. Maxwell. Vol.1. Cambridge, 1890. 156

来发现定律。当他掌握住一个定律时,他立即像对纯粹数学的定律一样,毫不含糊地讲出来;如果数学家把这个定律当做物理真理接受下来,从它推出其他可以用实验检验的定律,这位数学家只不过起了帮助物理学家整理自己思想的作用。当然,也要承认这是科学推理的必要步骤。”^①

这里麦克斯韦提到的数学家实际上就是指他自己。

接着,麦克斯韦推出了6个定律:

“定律Ⅰ 沿面积元边界电应力强度的总和等于穿过该面积的磁感应或等于穿过该面积的磁力线总数”;

“定律Ⅱ 任一点的磁(场)强度经一组叫做传导方程的线性方程与磁感应相联系”;

“定律Ⅲ 沿任一面积边界的磁(场)强度等于穿过该面积的电流”;

“定律Ⅳ 电流的量与强度由一系列传导方程联系”;

“定律Ⅴ 闭合电流的总电磁势等于电流之量与沿同一方向围绕电路的电应力强度的乘积”;

“定律Ⅵ 任一导体元中的电动势等于该导体元上电应力强度的瞬时变化率”。

对于这6个定律,麦克斯韦写道:“在这6个定律中,我要表达的思想,我相信是(法拉第的)《电学实验研究》中所提示的思想模式的数学基础。”

四、麦克斯韦建立电磁场理论的第二步

隔了5年以后,麦克斯韦又回过来研究电磁理论,写了第二篇论文,题为《论物理力线》。内分四个部分,分别载于1861年和1862年的《哲学杂志》上。他的“目的是研究介质中的应力和运动的某些状态的力学效果,并将它们与观察到的电磁现象加以比较,从而为了解力线的实质作准备”。^②

两件事使麦克斯韦重新考虑他的研究方法:

一件是根据伯努利(D. Bernoulli, 1700—1782)的流体力学,流线越密的地方压力越小,流速越快,而根据法拉第的力线思想,力线有纵向收缩、横向扩张的趋势,力线越密,应力越大,两者不宜类比。

另一件是电的运动和磁的运动也无法简单类比。从电解质现象中知道电的运动是平移运动,而从偏振光在透明晶体中旋转的现象看,磁的运动好像是介质中分子的旋转运动。

可见,电磁现象与流体力学现象有很大差别,电现象与磁现象不尽相同,靠几何上的

^① Scientific Papers of J. C. Maxwell. Vol. 1. Cambridge, 1890. 156

^② Scientific Papers of J. C. Maxwell, Vol. 1. Cambridge, 1890. 491.

类比无法洞察事物的本质。

于是麦克斯韦转向运用模型来建立假说。他借用兰金(W. J. M. Rankine, 1820—1872)的“分子涡流”假设,提出自己的模型。他假设在磁场作用下的介质中,有规则地排列着许多分子涡旋,绕磁力线旋转,旋转角速度与磁场强度成正比,涡旋物质的密度正比于介质的磁导率。

这个模型很容易解释电荷间或磁场间的相互作用,并清晰地体现了近距作用。

但是在进一步解释变化电场或变化磁场之间的关系时又遇到了困难。分子涡旋在旋转中相邻的边界沿相反的方向运动,这怎么可能呢?麦克斯韦从一种滑轮机构中想出了解决方案。他假设在涡旋之间有一层细微的带电粒子,将各涡旋隔开。带电粒子非常小,可在原地滚动(图 16-13),电流就相当于带电粒子的移动。图中六角形代表分子涡旋,小圆圈代表带电粒子。当电流流过 AB 时,AB 上面一排涡旋 gh 按逆时针方向旋转,通过中间粒子的啮合作用,逐一地传到各层涡旋,使它们都按逆时针方向旋转。AB 下面的涡旋则按顺时针方向旋转。当 AB 中电流发生变化,例如突然停止时, gh 中的涡旋旋转受到障碍,如果这时 kl 排的涡旋仍维持原来的运转速度,则 pq 中的粒子层就会从 p 向 q 运动,也就是在 pq 中产生同向感应电流。这样就很好地解释了电磁感应。

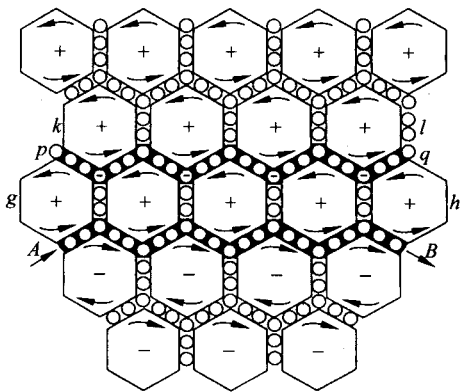


图 16-13 麦克斯韦的分子涡旋模型

就在讨论“应用于静电的分子涡旋理论”这个问题时,麦克斯韦抓住了要害。他假设分子涡旋具有弹性。当分子涡旋之间的粒子受电力作用产生位移时,给涡旋以切向力,使涡旋发生形变,反过来涡旋又给粒子以弹性力。当激发粒子的力撤去后,涡旋恢复原来的形状,粒子也返回原位。这样,带电体之间的力就归结为弹性形变在介质中储存的势能,而磁力则归结为储存的转动能。位移的变化形成了电流。麦克斯韦称之为“位移电流”,他写道:

“只要导体上有电动势作用,就会产生电流,电流遇到电阻,就会将电能转化为热。这一过程的逆向却不可能将热重新储存为电能。

“电动势作用于电介质,会使电介质的一部分产生一种极化状态,有如铁的颗粒在磁体的影响下极化一样分布,并且和磁极化一样,可以看成是每个粒子以对立状态产生(电)极。

“在一个受到感应的电介质中,我们可以想象每个分子中的电都发生这样的位移,一端为正电,另一端为负电,而这些电仍然完全同分子联系在一起,不

会从一个分子转移到另一个分子。

“这种作用对于整个电介质是沿某一方面产生了总的位移。这一位移并不形成电流,因为它达到一定值时就保持不变了。但当电流开始时,和当位移时增时减因而形成不断变化时,就会根据位移的增加或减少,形成沿正方向或负方向的电流。”^①

以 r 表示由于位移产生的电流值, h 表示位移值,麦克斯韦得出:

$$r = \frac{dh}{dt}, \quad \text{即 } i_{\text{位移}} = \frac{dD}{dt}$$

麦克斯韦提出的“位移电流”的假设在电磁场理论中具有非常重要的地位。这是一个重大的突破,在这以前,甚至在麦克斯韦去世时(1879年)还没有人做出过可靠的实验,证明位移电流的存在。这说明了麦克斯韦具有何等的理论胆略!

还有一件事表明了麦克斯韦的理论威力,就是他预见到光是起源于电磁现象的一种横波。

既然电介质中的粒子位移可以看成是电流,就可以把电流与磁力线的相互作用推广到绝缘体,甚至是充填于真空的以太。在这些介质中任一点产生的电粒子的振动,就可以通过相互作用在介质中扩展开去。

设弹性介质密度为 ρ , 切变模量为 m , 这种介质可以传播速度为 $v = \sqrt{\frac{m}{\rho}}$ 的横波。根据分子涡旋假设,麦克斯韦得到 $v = E/\sqrt{\mu}$, 其中 E 是取决于介质性质的一个特殊系数, μ 为磁导率,对于真空或空气, $\mu = 1$ 。

柯尔劳胥(R. H. A. Kohlrausch, 1809—1858)和 W. 韦伯在 1857 年从莱顿瓶上测量电荷,根据静电单位和绝对单位的比值求出 E 值为: 310 740 千米/秒。麦克斯韦以之与斐索(A. H. Fizeau, 1819—1896)1849 年用齿轮法测到的光速 $c = 315\,000$ 千米/秒比较,认为相符甚好。于是,麦克斯韦在论文中用斜体字写道:

“我们难以排除如下的推论:光是由引起电现象和磁现象的同一介质中的横波组成的。”^②

五、麦克斯韦建立电磁场理论的第三步

1865 年麦克斯韦发表了关于电磁场理论的第三篇论文:《电磁场的动力学理论》,全面地论述了电磁场理论。这时他已放弃分子涡旋的假设,然而他并没有放弃近距作用,

① Scientific Papers of J. C. Maxwell. Vol.1. Cambridge, 1890. 491.

② Scientific Papers of J. C. Maxwell. Vol.1. Cambridge, 1890. 500.

而是把近距作用理论引向深入。

在这篇论文的引言中,他再次强调超距作用理论的困难,坚持假设电磁作用是由物体周围介质引起的。他明确地说:

“我提出的理论可以称为电磁场理论,因为它必须涉及电体和磁体附近的
空间;它也可以称为动力理论,因为它假设在这一空间存在着运动的物质,观测
到的电磁现象正是这一运动物质引起的。”^①

接着,麦克斯韦全面阐述了电磁场的含义,他指出:“电磁场是包含和围绕着处于电
或磁状态的物体的那部分空间,它可能充有任何一种物质”,“介质可以接收和贮存两类
能量,即由于各部分运动的‘实际能’(按:即动能)和介质因弹性从位移恢复时要作功的
‘势能’。”

然后,麦克斯韦讨论了电磁感应。他再次运用类比方法来说明电流的电磁动量,这
个量代表了“电应力状态”。

在这篇论文中,麦克斯韦提出了电磁场的普遍方程组,共 20 个方程,包括 20 个变
量。现在经常在教科书中见到的麦克斯韦方程,是经过赫兹(H. Hertz)等人整理和简化
了的,是如下的四个矢量方程:

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = 4\pi\rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0$$

$$\operatorname{curl} \mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}$$

$$\operatorname{curl} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

1887 年赫兹(H. Hertz, 1857—1894)用实验证明了电磁波的存在,使麦克斯韦的预
言得到证实。麦克斯韦电磁场理论揭示了电磁场的基本规律,为电工技术和无线电技术
提供了基本依据,在以电能利用为核心的第二次产业革命中发挥了巨大威力。

从电磁场理论的建立过程,我们又一次领会到壮伟的经典物理学大厦是怎样一层一
层地修筑起来的。麦克斯韦受到法拉第力线思想的鼓舞,又得到 W. 汤姆生类比研究的
启发;他深刻地洞察了以纽曼和韦伯为代表的大陆派电动力学的困难和不协调因素,看
穿那种力图把电磁现象归结于力学体系的超距作用理论的根本弱点,决心致力于近距作
用理论。他从类比研究入手,开始只是借用适当的数学工具定量地表述法拉第的力线图

^① Scientific Papers of J. C. Maxwell. Vol. 1. Cambridge, 1890. 527.

像。后来,他感到有必要对力线的分布及其应力性质给予机理性的说明,乃转而运用模型理论。在这个过程中,他敏锐地抓住了位移电流和电磁波这两个关键概念。最后,他终于甩掉一切机械论点,径直把电磁场作为客体摆在电磁理论的核心地位,从而开创了物理学又一个新的起点。对麦克斯韦的功绩,爱因斯坦作了很高的评价,他在纪念麦克斯韦 100 周年的文集中写道:“自从牛顿奠定理论物理学的基础以来,物理学的公理基础的最伟大的变革,是由法拉第和麦克斯韦在电磁现象方面的工作所引起的。”“这样一次伟大的变革是同法拉第、麦克斯韦和赫兹的名字永远联在一起的。这次革命的最大部分出自麦克斯韦。”^①

我们可以用一图表显示电磁场理论的渊源和发展历程,如图 16-14 所示:

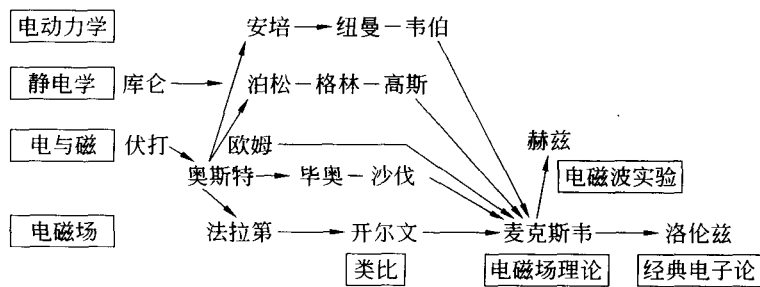


图 16-14 电磁场理论的渊源

思考题

1. 19 世纪中叶开始发生的第二次产业革命有什么时代背景和特点?
2. 试分析电磁学发展史中的实验和理论的关系。
3. 为什么说麦克斯韦电磁场理论是物理学又一次大综合?

参考书目

1. 郭奕玲、沈慧君:《物理学史》(第二版),北京,清华大学出版社,2005。
2. 郭奕玲、沈慧君:《著名经典物理实验》,北京,北京科技出版社,1991。
3. 郭奕玲、沈慧君:《电磁场理论的奠基人——麦克斯韦》,台北,凡异出版社,1999。
4. 宋德生、李国栋:《电磁学发展史》,南宁,广西人民出版社,1987。

^① 许良英等编译:《爱因斯坦文集》第一卷,第 292 页,北京,商务印书馆,1977。

第十七讲

西方科学的移植与中国 近现代科技的起步

“欲求超胜，必先会通。”

——徐光启

“不觉到有我，焉知物为贵？”

——陶渊明

第一节 背 景

一、历史分期问题

在开始本讲内容之前，首先有必要明确中国近现代科学技术史的分期问题。虽然在科技史编史学中对这个问题目前尚存争议，但是无法回避。因为它既直接关系到如何把握中国近现代科技发展的整体脉络，又涉及如何理解中国近现代科技发展的内在原因。

需要说明的是：第一，由于讨论的对象不同，所以科学技术史的分期不等同于人类社会史的分期；第二，如果把中国科技史纳入世界科技史的逻辑术语框架之内进行讨论的话，那么，与西方近现代科技史最显著的差别在于，中国近现代科技史实际上是西方科学向中国的移植和中西科学思想融合、发展的历史；第三，本讲已把中国近现代技术史包括在科学史的时间范围之内，不另作划分；第四，在此仅陈述作者所赞同的观点，不做学理论证。

中国近代科学史的上限为16世纪末至17世纪初，以意大利传教士利玛窦给中国带来西方科学知识为标志；下限为20世纪初期，各种学术团体乃至中央研究院（1928）的诞生标志着中国科学从近代的“西学东渐”开始步入自我发展的体制化道路。20世纪初期到1937年抗日战争前夕是中国科学从近代向现代的过渡期。在此之后，10多年的战火中止了中国科学的正常发展进程。直至20世纪中期，中国现代科学才真正起步。

二、中国传统文化的延续

公元 16 世纪末以前,诞生在华夏中原的中国文明由于受到历代皇权的支持,由于拥有内陆地域天然屏障的阻隔,从而沿着以儒学为中心、以统一的文字规范为基础的传统道路自我发展、传承延续。她几乎与当时世界上的其他人类文明相隔离,犹如一颗灿烂的明珠孤傲地闪烁着耀眼的光芒。

作为中国文明的重要组成部分,农、医、天、算四大学科和陶瓷、丝绸、建筑三大技术构成既传统又独特的中国古代科学技术的主要内涵。

在明朝末期(16~17 世纪中期),具有中国古代科学技术传统的代表性成就有:

李时珍(1518—1593)著作《本草纲目》(共 52 卷,约 190 万字)。该书采纳以往 41 本本草之精华,“辨其可疑,正其谬误”,共收录 1892 种药物,绘制 1109 幅药图,附医方 11096 首,并首次采用了“振纲分目”的分类方法,堪称中国近代药物百科全书。

朱载堉(1536—1611)首次用“新法密率”(1.059...,即 $12\sqrt[12]{2}$)求得各律音之间音程相等的十二平均律(1567—1581),标志着中国在律学和声学上达到了当时世界最高水平。

程大位(1533—1606)的《直指算法统宗》(简称《算法统宗》,共 17 卷,1592 年完成)奠定了珠算理论和方法基础,标志着中国算法从筹算过渡到珠算。

屠本峻(生卒年不祥,主要活动在 1573—1619 年间)的《闽中海错疏》(1596 年出版,共 3 卷)收录了福建沿海的 200 多种海产动物,是中国当时对水产动物最专业化的研究著作。

茅元仪(1594—约 1644)的《武备志》(1619—1621,共分 5 门,240 卷,200 余万字,附图 738 幅)囊括了火药学理论、使用火器的战术以及火器资料,可谓中国近代火器制造技术百科全书。

徐光启(1562—1633)在《农政全书》(共分 12 目,60 卷。大约完成于 1625—1628 年间,1639 年出版,其孙徐尔斗于 1643 年进呈崇祯帝)中提出了通过各种具体措施以达到“宽民力、祛民害”目的的农政思想,并且详细著述了提高南方旱作技术、推广种植甘薯、治理蝗虫和兴修水利等农业技术,是当时既“杂采众家”又“兼出独见”的农业百科全书。

徐弘祖(即宏祖,字振之,号霞客,1587—1641)的《徐霞客游记》(1607—1640,历时 30 余年)不愧为中国近代自然地理和人文地理百科全书。书中记载了其踪迹遍布的 16 个省区的山川地貌、水道源流、生物矿藏乃至风土人情。其中,对岩溶地貌的考察和描述堪称当时世界之最。

宋应星(1587—约 1661)的《天工开物》(1637 年刻印首版,共 3 册,18 章,123 幅图)是中国近代农业、手工业技术百科全书。涉及五谷栽培、农产品加工技术;棉麻丝毛纺织技术;植物染料及染色技术;食盐、食糖和植物油的制造技术;各种金属及合金的冶炼、加

工技术和各种金属器物的制造方法;采煤、烧制石灰和砒矾的技术;砖瓦及瓷器、纸、水陆交通工具、冷武器、火药和火器、墨、矿物性颜料和酒麴等器物的制造技术,以及珠宝的开采、玉器和水晶的制作。该书不仅在中国得到广泛传播,而且在17世纪末期东传日本,在18世纪影响到朝鲜,同期先后被翻译成英、法、意、德、俄文,“西渐”到欧洲。可以说《天工开物》是中国近代对世界文明产生重大影响的一部不朽之作。

起始于明末清初(16~18世纪)的西学东渐彻底改变了中国传统文明的延续进程,使中国开始融入人类近代文明发展史中。

第二节 西学东渐的史实

在16世纪中期以前,纵然有汉武帝时的张骞出使西域(公元1世纪前);有威尼斯商人尼古拉·波罗将儿子马可·波罗引见给元世祖忽必烈作为“汗之臣仆”,“在中国任职凡十七年”(1275~1291);有明代郑和七次下西洋(1405—1433);同时也有作为西方文明形式之一的基督教在唐朝和元朝两次传入中国,然而中国文明与欧洲文明的实质性交融始于明末(16世纪末期~17世纪中期)。其时,有备而来的、代表欧洲宗教改革和基督教人文主义思想新潮流的耶稣会传教士充当了两种文明交融的媒介。从基督教传播史的角度来看,这是基督教第三次传入中国。就科技史而言,这是西方近代科学技术向中国移植的西学东渐过程。西学东渐在中国近代有两次高潮。第一次从16世纪末期到18世纪中期,第二次从19世纪中期到20世纪初期。

一、第一次西学东渐高潮(16世纪末~18世纪中期)

1582年,意大利的耶稣会传教士利玛窦(Matteo Ricci, 1552—1610)登陆澳门。“紫髯碧眼,面色如朝华”的利玛窦不远万里到中国为了传播上帝的福音。随着对中国人不断加深观察与了解,他发现中国人对本国以外的事物有着强烈的畏惧和憎恨,“这种倾向像终年流淌的溪水一样时涨时落”。他清楚地认识到:儒家文化已经渗入中国人的血脉之中,这是基督教文化根本无法取代的。然而与此同时,具有远见卓识的利玛窦也看到了中国文化的宽容与智慧,找到了将基督教融入中国人心灵的途径和方法。他采取了以传播西方知识为切入点、以依靠皇权为支柱的传教策略。他身着中式服装、学讲汉语和行中国礼仪;不仅游说于中国宫廷官员和学者之间,而且专程到北京,向中国皇帝敬献了报时自鸣钟、万国舆图和西琴等物。他成为第一位进入明都北京、敲开中国皇宫大门、取得合法地位的外国传教士。万历皇帝不仅钦赐房地给利玛窦作为墓地,而且在其去世后颁旨“以陪臣礼”下葬。这既是对利玛窦个人功绩的认可,也是中国皇权开始接纳西方近

代文明的标志。

据统计,从1552—1807年,来中国的西方传教士大约有1200至1500名。遵循利玛窦的传教策略成为在华传教士成功的捷径。尽管基督教并没有撼动中国儒家文明,但传教士辛勤劳作的“副产品”——西方近代科学和技术却在中国皇帝的支持和学者们的帮助下被移植到中国文明中。这种由西方传教士引进、靠中国皇权支持的模式是第一次西学东渐的典型模式。当然,在两种文明的交融过程中,也历经激烈的思想冲撞,甚至生死搏斗。

第一次西学东渐的重要史实有:

1. 刻印世界地图

1584年,利玛窦首次向中国官员们展示了从欧洲带来的世界地图——《万国舆图》,同时介绍了大地球形说、五大洲四大洋说、地球气象结构五带说等知识,并讲解了投影作图法、经纬度测量法等西方测绘技术。考虑到中国人的自尊心,利玛窦在自己所绘制的《万国舆图》中特意把中国在原来世界地图中的位置往中央部分移动了一些。即便如此,首次看到世界地图的中国人也全部为之震惊。因为在这之前,中国人不相信外部还存在着比中国更好的国家。没有受过教育的人,嘲笑《万国舆图》的真实性;有涵养的学者则在听了对南北纬度、子午线、赤道及南北回归线的讲解之后,不仅进一步深思,而且其中一些人还帮助利玛窦把地图中的说明文字翻译成中文。仅在1584—1608年间就有12种不同的《万国舆图》中文版本。由此可见,西学东渐的源头是破除门户之见。利玛窦带来的世界地图为曾经闭目塞听的中国人开启了了解未知世界的窗口,提供了扩大视野、改变世界观的机会。

2. 翻译出版西方科学著作

利玛窦的智慧、博学和仁爱感动了当时诸如徐光启、李之藻等中国官员。他们不仅成为虔诚的天主教教徒,而且和利玛窦等传教士一起,合作翻译、写作、出版了首批西学东渐著作。其中包括:利玛窦、徐光启合译欧几里得的《几何原本》前6卷(1605—1607);熊三拔(Sabatino de Ursis, 1575—1620)、徐光启编著介绍天文仪器的《简平仪说》(1611—1613);熊三拔、徐光启合译介绍西方水利工程方法和水利机械的《泰西水法》(1612);利玛窦、李之藻合编介绍西方笔算数学的著作《同文算指》(1614);利玛窦、徐光启(图17-1)合译介绍应用几何学的《测量法义》;利玛窦、李之藻合编几何计算题《浑盖通宪图说》(1614)等。参与译介工作的中国学者不愧为中国第一代融会中西文明的先驱。中国官员在解译西方科学奥秘的同时,领略到中西文明的差距,深感到西为中用的必要。正如徐光启对《几何原本》的评价:“此书为益,能令学理者祛其浮气,练其精心,学事者资

其定法,发其巧思,故举世无一人不当学。”^①可惜的是,徐光启的远见卓识过了两个半世纪才得到真正实现。



图 17-1 利玛窦与徐光启

3. 编写《崇祯历书》

由于天文历法不仅直接影响农业生产,而且关系到国家社稷,所以受到中国历代王朝的高度重视。从 1629 年起,为解决历法多年失修的问题,明崇祯皇帝批准设立历局。徐光启主持历局工作,招聘在京的外国传教士^②服务于中国朝廷,用西方历法修改中国传统历法。经过多年的努力(1629—1634),中外学者终于制成《崇祯历书》(崇祯皇帝赐名,共计 46 种、137 卷)。这是中国第一部系统介绍西方天文、历法和数学知识的巨著。书中以第谷体系为基础,采用了地球、地理经纬度等欧洲通行的概念;介绍了西方的度量单位;并且用欧洲几何学体系替换了中国传统天算的代数体系。由于明朝灭亡,崇祯皇帝启用《崇祯历书》的愿望没能实现。

4. 汤若望与明崇祯皇帝和清顺治皇帝

德国传教士汤若望不仅参与了《崇祯历书》的编纂工作,而且在 1634 年曾向明崇祯帝进献日冕、星冕、望远镜等天文观测仪器。1641 年汤若望受崇祯皇帝之命督造大小火炮 520 门,之后与人合编了 3 卷本关于制造兵器原理的《火攻挈要》,还参与翻译了 12 卷《矿冶全书》、《测绘说》、《浑天仪说》等 30 多部著作。崇祯帝对汤若望所作的贡献多次给

^① 金秋鹏主编:《中国科学技术史(人物卷)》,第 589 页,北京,科学出版社,1998。

^② 其中包括龙华民(Nichola Longobardi, 1565—1655)、邓玉函(Johann Terrenz Schreck, 1576—1630)、罗雅古(Jacques Rho, 1592—1638)、汤若望(Johann Adam Schall von Bell, 1592—1666)等。后三位均为意大利灵采研究院院士。

予嘉奖,不仅赐予财物,而且钦题“钦褒天学”匾,送给在中国的天主教堂,并允许悬挂。这说明,当时传教士对中国皇帝的影晌首先不是依靠基督教的教义,而是利用西方近代科学技术成果。

1644年,明朝灭亡,清军入京。汤若望被清廷特准留京效力。同年,汤若望用西历准确推算出中国各地的日食时刻,促使清廷决定采用西历作为新王朝的历法,定名为“时宪历”,从1645年起实施。1645年,汤若望把《崇祯历书》删改为103卷,题名《西洋新法历书》(后更名为《西洋新法算书》)献给顺治皇帝,因而被赐予钦天监监正——中国朝廷命官。这标志着外国传教士在中国朝廷机构中的地位发生了本质性的改变。1653—1659年,汤若望被赐为“通玄教师”,负责给顺治皇帝讲解日食、月食和星辰变化等现象和一般科学知识,成为第一位直接教导中国皇帝的外国传教士。顺治皇帝则是第一位亲自较为系统地接受西方知识教育的中国皇帝。他不仅接纳了西方历法,同时认可了当时所接触到的西方知识。汤若望使中国朝廷第一次和欧洲建立了直接联系,无形中为西学东渐构筑了政治平台。

5. 历法之争

近代围绕历法问题,始终体现了中国传统文明与西方近代文明的争执与磨合。发生在1664年至1669年的“历法之争”则把这种争执与磨合推向极点。

汤若望与顺治皇帝的私人关系形如“祖孙”。这一关系不仅提升了外国传教士在中国的地位,而且扩充了天主教在中国的势力。到1664年,全国共有教徒254800人。由于绝大多数中国人并不了解基督教,再加上一些教徒的不良行为,从而招致众多官员和学者对传教士怨恨有加。1661年底顺治皇帝去世,刚继位的康熙皇帝年仅8岁,没有实权。汤若望顿时失去靠山。1664年杨光先(1595—1669)状告汤若望等传教士假借编修历法而藏在京城,窥视朝廷机密。结果,钦天监的汤若望、南怀仁(Ferdinandus Verbiest, 1623—1688)等外国官员以及李祖白等中国官员被捕受审。在此期间,原告与被告就“天地主宰者”、“新法的十大谬误”等论题展开公堂辩论。这就是中国近代史上有名的“历法之争”。杨光先依据中国传统历法,汤若望等人依据西历。如果以天文观测的结果作为判断依据,中负西胜结局显然。但杨光先主张“宁可使中夏无好历法,不可使中夏有洋人”。他代表了当时一些实权派官员的心态和强硬态度。因此汤若望等人败诉,被以“修建教堂、传播宗教”等罪名分别判凌迟、斩首或充军。在准备行刑之际,恰逢天空彗星划过,北京发生地震。在孝庄皇太后的坚决反对下,汤若望、南怀仁等外国传教士获释,而李祖白等5名信教的中国钦天监官员被斩首。汤若望出狱后于1666年病逝。杨光先随后升任钦天监监正,废止西历,恢复大统历。但杨光先主持测算的天象结果屡屡出错。1668年亲政后的康熙皇帝对杨光先、南怀仁等人进行三天实地考察,证实南怀仁用西历测算的结果与天象结果一致,随即罢免杨光先,提升南怀仁为钦天监监副,重新启用西

历。1669年,南怀仁上任之后,为汤若望等人翻案,杨光先被判死刑(因其已患重病未行刑),从此结束了“历法之争”。

6. 康熙皇帝和传教士

“历法之争”给当时年少的康熙皇帝留下了深刻影响。日后,他把通晓知识和技巧的传教士当作学者和宫廷大臣予以重用,并开始学习西方科学知识,以便能够亲自判断事实真伪。可以说,康熙皇帝是中国近代唯一较为深入了解西方科学知识的皇帝。他对传教士以及西方科学的宽容态度使第一次西学东渐达到顶峰。

1708年康熙皇帝批准实施中国第一次大规模土地勘测(1708—1726)。参与合作的外国传教士和中国官员东涉黑龙江以东、西至哈密、北到塞外平原、南抵广东、广西。最终绘制成第一幅当时最完整、最精确的中国地图——《皇舆全图》。

为了培养掌握西方知识的中国人,1713年,康熙皇帝设立蒙养斋。蒙养斋是一个独立于钦天监、供中国学者研究乐律历算、相当于皇家研究院的机构。蒙养斋的学者参与编纂了巨著《古今图书集成》和《律历渊源》。

《古今图书集成》(1701年初稿,1726年排制,1728年印成)收取了从公元前770年至公元后18世纪初期的文献,按照历象、方輿、明伦、博物、理学、经济分为6编,包括64部、10040卷,是中国迄今为止最大的一部分类文摘。

《律历渊源》(1721年全部修成,1725年刊印)是一部理论性很强的乐律历算全书。包括5卷《律历正义》(乐律)、42卷《历象考成》(天文历法)和53卷《数理精蕴》。书中介绍了西方几何学、三角学、代数和算术、对数法以及计算尺知识。

南怀仁是继汤若望之后第二位获得钦天监监正(1674)职位的外国人。他多次通过实验证实西历的正确性;制成赤道经纬仪、黄道经纬仪、地平经仪、地平纬仪、纪限仪和天体仪六件大型观象仪器(现存于北京古观象台);撰著了《仪象志》(1673年,又名《新制灵台仪象志》,共有14卷、117幅图。内容包括:制作六件观象仪的方法,自由落体运动、折射原理、色散现象等最新的科学知识,关于单摆、空气温度计、湿度计等仪器的知识)、《康熙永年历法》(1678年,共32卷)、《简平规总星图》——总星辰简明图表、《坤舆全图》(1674年,直径为1.65米的地球图。图上标有42个陆地国家、21个岛国、27个海洋的名称以及两条连接中西的航海线地区,还标有各国的物产、政治体制以及到中国的距离等)、2卷本《坤舆图说》(1674年)、《康熙年代在中国造的欧洲天文学机械》(拉丁文,包括125幅插图,1668年北京出版)等。1678年,南怀仁在皇宫中试制了蒸汽机模型。南怀仁对培养康熙皇帝的科学素养起到重要作用,从而赢得康熙皇帝的尊重。1688年南怀仁去世。康熙皇帝派专人为其举行葬礼,并赐谥号“勤敏”。表面上看,这是对南怀仁个人品行所给予的高度评价,实际上却反映了康熙皇帝广纳贤人的治国之道。

白晋(P. Joachilm Bouvet, 1656—1730)和张诚(P. Jean-Francois Gerbillion, 1654—

1707)是南怀仁向康熙帝举荐的法国传教士。由于他们精通天文、历法知识和大地测量技术,因此被安排作宫廷教师。他们曾在中国皇宫中设立了第一个化学实验室,用西法制药。白晋曾用满汉两种文字编成《几何原理》(1689年)、《实用几何学纲要》;把法国科学院编写的《哲学原理》译成满文,专供康熙皇帝阅读;还用汉文编写了《测量器用法》。除此之外,白晋和其他传教士共同编写了近20部教科书,供朝廷专用。1693年,康熙皇帝批准白晋回法国,并请他再邀请一些会技艺的传教士来华。1699年白晋从法国带来了经过耶稣会特选的10名传教士,其中包括雷孝思(Jean Baptiste Regis, 1663—1738)和巴多明(P. Dominique Parrenin, 1665—1741)。对中国国情进行深刻分析并向法国科学院作了详细汇报前者后来成为《皇舆全图》的主要勘测者,后者后来从1708年起,白晋与杜德美(Perlus Pierre Jartoux, 1668—1720)、雷孝思等传教士主持了从北部长城开始的测绘工作(白晋因病中途退出,由其他人完成)。白晋曾多次与莱布尼兹通信,介绍中国的语言、哲学,介绍康熙皇帝本人的情况。他认为《易经》中的八卦与毕达哥拉斯数、柏拉图数来源于同一系统,与莱布尼兹的二进制级数有相同的基础。白晋与莱布尼兹的通信不仅为当时欧洲学者提供了关于中国的重要资料,也为后来的学者提供了引证来源。

7. “西学中原”说

在传教士把欧洲近代知识移植到中国的同时,中国学者也开始对中西两种不同文明进行对比研究。最有代表性的是王锡阐(1628—1682)和梅文鼎(1633—1721)对“西学中原”说的论证性研究。

明朝遗民王锡阐拒不仕清。他特别鄙夷清廷以西历取代大统历。他认为:西历虽然“测候精详”,但不及中国历法的道理深刻;西历来源于中国历法。他决心“取西历之材质,归大统之型范”。他在《西历启蒙》和《大统历法启蒙》中论述了中西历法的优缺点。他在6卷本《晓庵新法》(1663)中一方面用纯文字表述并在计算中应用了西方的三角知识,另一方面避开西方历法的小轮体系和必须建立宇宙模型的途径,而沿用中国传统天体模型,独创了确定日心和月心连线的方法,大大提高了观测天体的准确度。由此可见,王锡阐所做工作的意义是“融中西学说于一炉的一种尝试”。

梅文鼎与王锡阐同期齐名。有评价为“王氏精而核,梅氏博而大”。在对待西方科学知识的态度上,尽管梅文鼎也倡导“西学中原”说,但他不像王锡阐那样激进,而是“去中西之见,以平心观理”,有效地促进了近代科学在中国的发展。例如:梅文鼎解读并详细介绍了《崇祯历书》。他不是按照地域和民族进行划分,而是按照学说的内容加以归纳,得出西历来源于九种不同的历法。他把中国传统天算的概念与西方天文学的概念加以对照、沟通,以说明二者的异同。他在把《几何原本》和《九章算术》进行比较研究后,受到西方数学演绎体系的启发,首次对中国古代数学体系从“算术”和“量法”的角度进行分类,为中国数学从传统的九章体系转为“数”与“形”的体系奠定了基础。梅文鼎遗留了许

多著作,在他去世后,出版了30种、75卷的《梅氏历算全书》(1723)和23种、60卷的《梅氏丛书辑要》(1759)。这些著作代表了中国18世纪中期的数学最高水平。

“西学中源”说由于既符合中国皇帝们的统治利益,又能满足中国知识分子唯我独尊的心理,因而得到上至皇帝、下至学者的普遍认可,成为中国近代思想的主流和理论根据,在很大程度上限制了中国人全面彻底地吸收西方的先进思想和方法。

8. “闭关锁国”

1704年罗马教廷和宗教裁判所正式判定中国教徒祭祖祭孔的活动即“中国礼仪”为异端,否定了沿用100多年被证明为行之有效的利玛窦对华传教策略。这一行为不仅使在华传教士处于在教廷旨意和中国习俗之间进退维谷的两难境地,同时也招致中国皇室的不满。值得注意的是:罗马教廷对华传教政策的改变是导致中国“闭关锁国”的一个不容忽视的重要原因。康熙皇帝对天主教原来具有好感,但随着罗马教廷策略的转变,在晚年也表示了对天主教的厌恶态度。雍正皇帝则于1724年7月11日批准禁教令(直至1844年弛禁)。在此之后,乾隆皇帝虽然也歧视天主教,但仍然尊重掌握技艺的外国传教士、尊重西方知识。他组织了有传教士参加的第二次大地测量和地图绘制工作(1756—1759)。测量地域为新疆的伊犁和南疆,成果为《皇舆西域图志》(1782)和《增补坤舆全图》。他组织了巨著《四库全书》的编纂工作(于1782年编成,共计79337卷,一共只有7部手抄本。其中不仅包括大量中国古典著作,而且收纳了《泰西水法》、《奇器图说》、《坤舆图说》等西方科学著作)。

这个时期传教士对中国朝廷的影响已经大大削弱。但有两位传教士的工作很值得介绍。

宋君荣(Antonius Goubil, 1689—1759, 1723年来华)精通汉语,不仅系统研究了中国古籍记述的天文算学资料,从事天象观测,而且把自己的研究成果介绍到欧洲。他所著的30多种天文著述,例如:《中国天文学简史》(1729年在巴黎刊行),至今仍是研究中国古代天文学不可缺少的参考资料。宋君荣还参与了第二次大地测量工作。

蒋友仁(Michel Benoist, 1715—1774, 1745年进京)首次把哥白尼日心说、开普勒的行星运行三大定律、地球是椭圆的等新知识介绍给乾隆皇帝。从1747年起,在12年内参与设计并亲自督造了圆明园大水法工程。1761年他制成《增补坤舆全图》,奠定了日后中国版图的基准。

1742年罗马教皇宣布在中国教区内禁止一切祭祖祭孔活动。中国的对外政策逐渐从康熙皇帝在位时的开放、开明,转为“闭关锁国”。这个时期中国朝廷只允许少数懂技艺的传教士留在北京,在中国其他各地开始禁止传播基督教。至此,第一次西学东渐高潮落下帷幕。

纵观第一次西学东渐历程,西方传教士的策略和中国皇帝的态度决定了西学东渐的

内容以及影响范围。传教士的策略在于“曲线”传教,而中国皇帝大多对奇技淫巧抱有好奇。因此,第一次西学东渐仅局部、零散地引进了西方科学知识,只影响到少数达官贵人。即便是最开明的康熙皇帝也因为受到皇权和地域的局限,既没有全面了解西方近代文明,也不知道科学技术改造社会的巨大功效,更没有启迪民众的意愿,从而错过了与西方近代文明同步进取、发展中国近代科学技术的宝贵时机。在西方向工业化迈进的同时,中国文明再次孤立于世界先进文明之外,以至最后落入被动挨打的屈辱地位。

二、第二次西学东渐高潮(19 世纪中期~20 世纪初期)

1840 年,当英国军队用大炮轰开封闭的中国大门时,已经暴露出中国与西方在科学技术和商贸观念上的极大落差以及在军事装备和财力上的悬殊对比。但是清政府仍然闭目塞听,消极应战。从而不仅导致第一次鸦片战争的失败,而且,1860 年第二次鸦片战争中国一败再败。至此,中国门户被迫开放。随之逐渐掀起以“洋务运动”为代表的第二次西学东渐高潮。

两次鸦片战争惨败的结局,震惊朝野上下。在以奕訢为代表、掌管实权的“洋务派”策划下,清政府重新调整国策。对外,设立总理各国事务衙门及南、北洋大臣,并外派公使;对内,全面展开以“中学为体,西学为用”为原则、以“图强求富”为目的、以“官督商办”为形式的“洋务运动”。其主要成果有:

(1) 在军事上“图强”——创办军工企业、建立海军。主要的军工企业包括:由曾国藩于 1861 年创建的最早的兵工厂——安庆军械所;由李鸿章于 1865 年创建的金陵制造局和江南制造总局(图 17-2);由左宗棠于 1866 年建于福州的最大的兵船修造厂——马尾船政局;由崇厚于 1867 年创建的天津机器制造局以及由张之洞于 1890 年创建的湖北枪炮厂。从 1885 年起李鸿章主管海军衙门,于 1888 年建立拥有 20 多艘战舰,由英、德教官任教的北洋水师,修建了旅顺、威海卫军港及炮台。

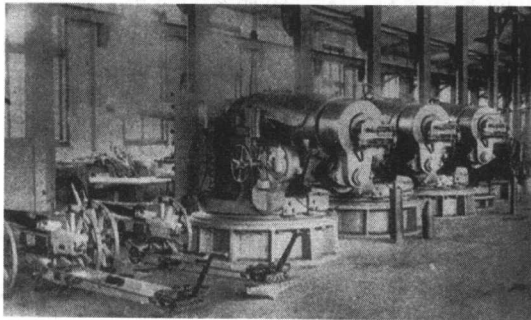


图 17-2 江南制造局总局机器

(2) 在经济上“求富”——发展民用企业。主要有：李鸿章于 1872 年在上海建轮船招商局，于 1878 年建开平矿务局，于 1882 年建天津电报总局；张之洞于 1891 年建湖北铁政局、开办大冶铁厂和汉阳炼铁厂等。

(3) 在知识上“容纳百川”——系统译介西方科技书籍。在曾国藩和李鸿章的资助下，由中国学者和外国传教士共同翻译的一系列西方科技书籍得以问世。在此过程中，1868 年江南制造局开设翻译馆，高质量、大规模地实施了西学东渐的知识引进计划。这个时期出版的具有代表性的西方科技译著有：《几何原本》(1865, 15 卷)、《重学》(1867, 8 卷)、《圆锥曲线说》(1867)、《汽机发轫》(1868)、《化学鉴原》(1871)、《化学鉴原续编》(1875)、《化学鉴原补编》(1879)、《化学考质》(1883)、《化学求数》(1883)等。这些科技书籍为中国近代开展科学教育、普及科技知识奠定了理论基础。

(4) 在人才方面“广开学源”——兴办新式学校、外派留学生。在 1862 年建于北京的同文馆内开设了外语、史地等课程，讲习天文、数学、化学等西方科学知识；在上海的广方言馆(1863 年建)内设外语、自然科学等课程。除此之外，还相继开办了福建船政学堂、天津北洋水师学堂、天津北洋武备学堂、广东陆师学堂、广东水师学堂、南京水师学堂、上海电报学堂、上海机械学堂、山海关铁路学堂、南京矿务学堂等新式技术学校。这些学堂培养了中国近代第一批外交和科技人才。从 1872 年起，清政府正式向欧美及日本陆续派遣留学生(图 17-3)。其中的佼佼者(例如：中国近代铁路之父詹天佑、新文化运动的先驱严复等)为推动中国近代科学技术的发展作出了杰出贡献。



图 17-3 1872 年第一批赴美留学幼童

1894 年，中日甲午战争以中方失败而告终。这不能简单地归结为“洋务运动”的失败，只能说明“洋务运动”在 40 多年所获得的成果远远不能填补中国百余年“闭关锁国”与西方工业社会之间所落下的差距，还不足以撼动 2000 多年的封建帝制和与先进文明

格格不入的传统观念。“洋务运动”为西学东渐注入了更充实的内容,奠定了中国近代科技、教育、工业和军事的文化和物质基础,为日后发展提供了宝贵的经验和样板。

1898年6月11日,光绪皇帝颁布“明定国事诏”,效仿西方立宪,宣布变法维新。尽管这把燃自清廷内部的革新之火只烧了103天便被慈禧太后等保守势力所扑灭,变法中所推行的政策和措施也很快被废止,但它却成为引发中国社会“大震荡”的导火索。到1911年辛亥革命之前,政府颁布的《振兴工艺给奖章程》(1898)和《奖励公司章程》(1903)推动了机器使用率占90%以上的民族工业的发展。从1881—1911年,在中国大地上已铺设了9417.5公里的铁路,其中由詹天佑设计建造、难度极大的京张铁路(1905—1909,全长201公里、架设桥梁125座、开凿涵洞200多个、穿山隧道总长1645米)完全由中国政府投资并管理。京师大学堂(1898)的成立、《钦定学堂章程》(1902)和《奏定学堂章程》(1903)的制定以及科举制的废除(1905)标志着中国近代教育体系的形成。到1911年,大专院校已达百所,在校生4万人。数万人以官费和自费的形式出国留学,形成第二次西学东渐的另一个重要的中介群体。“欲振中国,在广人才。欲广人才,在兴学会”。^①1895—1898年有50多个学会纷纷成立。1908年颁布的《宪法大纲》赋予各种科技学会合法存在权。其中,中国药学会(1907)和中国地学会(1908)是最早成立的正规学术团体,对中国药学和地学的现代化起到了决定性作用。

在这个时期,西方传教士再次扩充了在华传教势力,他们把主要精力投入到中国民间,仍然把科学技术作为传教的内容之一。1850年,上海耶稣会创立了近代中国最早的新式学校——徐汇公学,1872年设立了徐家汇天文台。1876年2月,英国传教士傅兰雅在上海格致书院创立中文科技期刊《格致汇编》,中国著名翻译家徐寿撰写了发刊词。《格致汇编》是清朝末年最早的科普杂志,由于发行量较大,使其在第二次西学东渐中起到了比科技书籍还要直接、快速的重要传播作用。到1911年以前,传教士开办了1000多所教会学校,在校生达数十万人,其中包括:汇文大学(北京,1890)、震旦大学(上海,1903)、金陵大学(南京,1910)等著名教会大学,为中国系统地承接西方教育和科学技术文明起到了不可估量的作用。

抗日战争以前的中华民国时期(1911—1937),是中国社会从近代走向现代的黄金发展期。西学东渐尽显成效,中国科学技术自我发展的雏形初现端倪。主要表现在:

(1) 中国近代科学技术教育体系逐渐完善。中国官方的理学教育起源于1903年。1910年京师大学堂首次招收化学、地质学和土木、矿冶专业学生。1912年,南京临时政府制定了新的学校体制,不断加强培养理、工、农、医类学生。到1937年,这类学生已占高校学生总数的40%以上。教会大学同期的自然科学课程占1/3以上,送出的留学生归国以后大多从事科技工作。近代科技教育事业的发展为中国科学体制化提供了人才和

^① 《时务报》,第10册,光绪二十二年十月初一日。

知识保障。

(2) 中国科学进入体制化阶段。科学的体制化表现在专业科研工作者群体的形成和科研机构的建立。1911年以后,相继涌现出一批近代学术团体。例如:中华工程师学会(1913,广州)、中国科学社(1915年在美国成立,同年出版《科学》月刊,随后迁回国,图17-4)、国立中央地质学调查所(1916)、丙辰学社(1916年由留日学生创办)、中国科学社生物研究所(1922)和黄海化学工业研究社(1922)、西北科学考察团(1927年由14个文化团体和机关联合成立)等。这些团体聚集了一批中国近代科研工作者,促进了中国本土化科研体系的形成。1928年,中国第一个国家级科研机构——中央研究院在上海成立(蔡元培为首任院长,1935年设评议制,1948年实行院士制,到1949年前,共有13个研究所,图17-5),标志着中国科学体制化的开端。在此之后,北平研究院(1929年,共有10个研究所)、中央工业试验所(1930,南京)、中央农业试验所(1931,建于南京,后迁至长沙、重庆)、全国医药总会(1929—1931)、中央国医馆(1933,上海)和中国第一个大型现代化天文台——紫金山天文台(1934,南京)相继诞生。进而有北京猿人头盖骨的发现(1929年裴文中,1936年贾兰坡)、《中华民国新地图》的绘制(1934,上海申报馆出版)、作为中国历法天文学史的《历法通志》(1934,朱文鑫)和中药工具书《中国医药大辞典》(1934,中国医药研究社)的出版等。上述事件及重大成果都表明中国近代科学技术已经纳入奔向现代化的良性发展轨道之中。

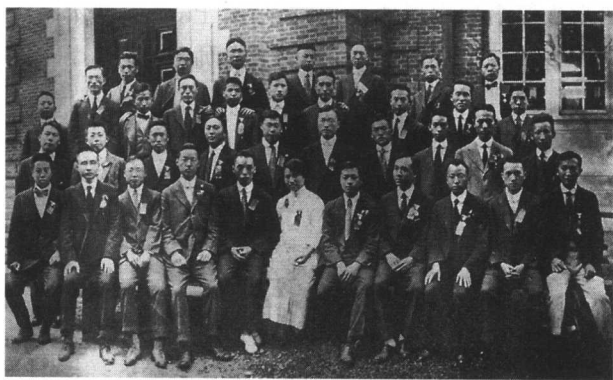


图 17-4 中国科学社第一次年会合影(1916年9月美国麻省)

(3) 标准计量制度实现国际化。标准计量制度不仅标志着国家的生产工艺水平和规范,同时也标志着国家的检验技术水平。1915年北洋政府发布了《权度法》,规定中国原有的营造尺制和西方的米制并行使用,从而成为向国际公制的过渡形式。1930年1月1日起实施的《中华民国度量衡法》规定了市用制和万国公制的换算标准,使中国计量制度与国际公制有效地衔接起来,为《中国工业标准草案》(1935)和《中华民国标准法》(1946)



图 17-5 中央研究院总办事处

以及加入国际标准化组织(ISO)(1947)奠定了基础,为中国商品国际化以及西方工业产品中国化创造了可靠的接轨条件。

上述历史过程表明:两次西学东渐既有差别又有内在关联性。在内容上,从零散的科学知识扩展到系统的公众教育和专业化研究,从一般技术常识发展到企业生产设施、工艺和法规、制度的建立;在形式上,从非官方的传播上升到政府间的官方行为与民间交流相结合;在交流中介上,从以传教士单一群体为主变为由中外政府官员、商人、外国传教士和中国学者、留学生等多层次群体参与;在效果上,中国基本结束了西方近代科技的移植过程,重新回到世界科技文明的公共舞台。然而,八年抗日战争和多年内战中中断了中国科技现代化的进程,使刚刚起步的中国现代科学技术事业功亏一篑。到1949年11月中国科学院建立时,留在大陆的专业科研人员仅存500余人,全国科技人员不到5万人。中国现代科技百废待兴,重新创业,开始书写新的历史篇章。

第三节 “李约瑟之谜”

李约瑟博士(Joseph Needhan, 1900—1995)是英国著名科技史学家。他毕生钻研中国科技史,给后人留下了享誉全球的多卷本巨著《中国的科学与文明》。基于长期对中国科技史50年的研究与思考,李约瑟提出:“为什么现代科学只在欧洲文明中发展,而未在中国(或印度)文明中成长?”“为什么在公元前1世纪到公元15世纪期间,中国文明在获取自然知识并将其应用于人的实际需要方面要比西方文明有成效得多?”^①这就是萦绕在

^① 李约瑟:《东西方的科学与社会》,摘自刘钝、王扬宗编:《中国科学与科学革命》,第83页,沈阳,辽宁教育出版社,2002。

中外科学史学家心中既挥之不去、又未能完全破译的“李约瑟之谜”(图 17-6)。

李约瑟先生认为,如果从寻找中国和欧洲之间社会与经济类型的根本差异入手,把社会制度、社会发展形态、人们的思维和行为方式作为影响科学技术发展的主要因素,或许可以破译这个谜。

其实,早在 300 年前,利玛窦在融入中国社会之后,就对中国既拥有悠久文明史却丝毫不了解西方科学体系的原因进行了深思。传教士巴多明在 1730 年写给法国科学院的信中也曾阐述道:不对科学研究的成功者给予报偿;没有刺激与竞争;没有促使科学进步的远见、紧迫感等因素阻碍了中国在科学技术方面的发展。20 世纪初期,任鸿隽、竺可桢、陈立、徐模等人分别从方法论、心理学、科举制度等方面探讨了中国没有产生西方科学的原因。梁启超道:“吾常言:欲一国文化之进展,必也社会对于学者有相当之敬礼,学者



图 17-6 李约瑟博士

恃其学足以自养,无忧饥寒,然后能有余欲以从事于更深的研究,而学乃日新焉。近世欧洲学问多在此种环境之下培养出来,而前清乾、嘉时代,则亦无几矣。”^①同期,德国历史学家和汉学家魏特夫(Karl August Wittfogel, 1896—1988)则认为由于中国人的智慧主要集中在到了直接和农业秩序有关的或在观念上反映着农业秩序的各种课题,因而获得了不同于西方的知识成果。

由此可见,众多中外学者从不同角度探讨了中国近代科学技术的历史性空缺问题。尽管中外学术界至今对“李约瑟之谜”的“谜面”是否成立、最终能否完全破译这个复杂性难题还存在着多元化的见解,但是,“李约瑟之谜”不仅代表了人们对中国近代科技史根源问题的追寻,而且启发了人们对人类多种文明的差异和发展模式等问题的进一步深思。

思考题

1. 通过学习,你对中国近代西学东渐的过程和特点有什么新的见解?
2. 中国学者在西学东渐中起到了什么作用?
3. 我们能否最终破译“李约瑟之谜”?

参考书目

1. 吴熙敬:《中国近现代技术史》,北京,科学出版社,2000。

^① 梁启超:《清代学术概论》,第 67 页,商务印书馆,1930。

2. 刘钝、王扬宗编：《中国科学与科学革命——李约瑟难题及其相关问题研究论著选》，沈阳，辽宁教育出版社，2002。
3. 顾卫民：《中国天主教编年史》，上海，上海书店出版社，2003。
4. [美]孟德卫：《莱布尼兹和儒学》，张学智译，南京，江苏人民出版社，1998。
5. 顾卫民：《中国与罗马教廷关系史略》，北京，东方出版社，2000。
6. 张承友、张普、王淑华：《明末清初中外科技交流研究》，北京，学苑出版社，1999。

第十八讲

分子生物学与科学的新时代

1953 年春天 DNA 结构的发现,犹如穿过云层的万道霞光,照亮了整个分子生物学领域。人们看到了即将获得的丰硕成果,惊喜得目瞪口呆。这个发现给生物功能的探索开辟了更加广阔的前景。

——M. 霍格兰

生命与非生命的本质区别就在于,生命能够生长、发育和繁殖,生命对代谢过程有一个自我调节的功能。生物宏观上表现出来的生长、发育,乃至生殖过程都有其微观机制,都是细胞分裂、分化与融合的过程。然而,对生命现象的微观机制的认识,直到 19 世纪才建立起来,正是细胞学说的提出才使人们能够认识到所有生物都有一个共同的基本结构——细胞,所有生命现象都与细胞相联系。因此,人们可以推测,生物繁殖方式的多样性和个体发育的差异性一定与细胞,尤其是生殖细胞密切相关。

第一节 生命本质遗传学探索

关于生命本质的探索一直是生物学领域研究的核心问题。长期以来,生物生长发育的差异性与繁殖方式的多样性使自然哲学家们迷惑不解。生物是怎样发生性状变异?又是如何将自己的性状遗传给后代的?遗传与变异的本质是什么?这些问题始终困扰着人们。然而,19 世纪后半叶奥地利神父戈里果·孟德尔(G. Mendel, 1822—1884, 图 18-1)所做的工作却把人们生物遗传的本质与规律的认识大大地向前推进了一步。

孟德尔生于奥地利西里西亚附近的农民家庭。从小就显示出异常的才能,由于家庭困境和疾病,他没有念完大学便去了布隆的奥古斯丁修道院。1847 年获得牧师职位。在朋友的资助下,于 1850 年到维也纳大学理学院深造,在那里,他学习了物理学、化学、动物学、昆虫学、古生物学和数学,1853 年回到布隆修道院。此后,他开始了豌豆的杂交实



图 18-1 孟德尔

验工作(图 18-2)。在长达 8 年的时间里,他用了 34 个豌豆株系进行实验,并运用了数量统计方法,终于发现了遗传规律。然而,孟德尔把这一极其出色的实验成果写论文并送给著名的植物学教授耐格里时,他对孟德尔的工作却不能理解,也没有给予重视。事实上,19 世纪的生物学家中没有人能够理解孟德尔在遗传问题上所用实验方法和数学方法。他的研究成果最后只发表在 1865 年的布隆地方志上,就这样,孟德尔的成果被埋没了。直到 20 世纪初重新被发现后,孟德尔在遗传学上的地位得以确认。

性状	种子形状	种子颜色	种皮颜色	豆荚形状	豆荚颜色	花的位置	茎的高度
显性							
	圆滑	黄色	灰色	平滑	绿色	侧枝	高茎
	5474	6022	705	882	428	651	787
隐性							
	皱缩	绿色	白色	皱缩	黄色	顶枝	矮茎
	1850	2001	224	299	152	207	277

图 18-2 豌豆杂交实验示意

孟德尔依据他所获得的豌豆杂交实验中对对应性状大约 3 : 1 的结果,运用溯因方法,最终发现了遗传学三定律中的二条定律(图 18-3)。

(1) 分离定律: 个体性状是由独立的遗传因子决定的; 其强弱不同导致遗传性状有显性与隐性之分。

遗传因子是作为独立单元存在并代代相传的。细胞中有成对的遗传因子,在形成配子的过程中这些遗传因子彼此分离。

(2) 自由组合定律: 在生殖过程中,控制性状的遗传因子以随机组合的方式进入合子中。孟德尔定律的发现开创了现代遗传学研究的新起点,孟德尔也因此被后人称为现代遗传学的奠基人。

按照孟德尔的遗传学说,生物体表现出来的大小、高矮、颜色等形状,只是人们感觉到的表面现象,这些现象有规律的出现必定存在某些内在的原因。由于当时的认识水平,孟德尔并不清楚这种决定性因素的确切含义,因此把这种决定性状的内在原因称为“遗传因子”。他明确指出,生物体的每种形状是由两个遗传因

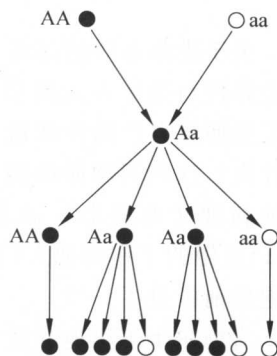


图 18-3 遗传学定律图示

子决定的。当决定某一形状的两个因子完全相同时,遗传因子的组合方式为纯种组合;若两个遗传因子只是相似,那么遗传因子的组合就是杂种组合。孟德尔认为每个生殖细胞中只有一对遗传因子中的一个,成对遗传因子在生物体形成生殖细胞时必然分离,被称做遗传学第一定律,即“分离定律”。孟德尔将各对基因的独立分离和不同对基因的自由组合称为遗传学第二定律,即“自由组合定律”,也就是说生物体在形成生殖细胞时,每一对遗传因子都要分离,再次组合时会以随机组合的方式与其他细胞的遗传因子自由搭配,组成一个新的细胞。

孟德尔遗传定律的发现关键在于他选取了一个好的实验系统和数学方法的引入,这在观念上是一种新的突破。他一改生物学界流行的只专注经验描述而忽视推理运算的研究范式。正是因为他引入了数学演绎方法才有了伟大的发现,然而,也正是这一点又使他的成果不被当时的生物学家们认同。

孟德尔遗传定律在 20 世纪的重新发现,为遗传学研究打开了一扇大门。然而,孟德尔当时并没有细究遗传因子的成分,更没有说明如何才能找这些因子,他只是将遗传因子视为亲代传递给子代的遗传单位。遗传因子到底是什么便成为人们考虑的焦点。在此期间,遗传学的工作主要是在细胞水平上展开,生物学家相继探讨了有关细胞分裂与受精等微观生理过程,进而发现细胞核内的染色体是遗传因子的物质承担者,并在此基础上建立了染色体遗传学。1909 年丹麦生物学家约翰森(W. L. Johannsen, 1857—1927)提出“基因”(gene)概念来取代抽象的遗传因子概念。此后,美国遗传学家摩尔根(T. Morgan, 1866—1945, 图 18-4)在总结遗传学发展成果基础上,通过果蝇杂交实验,发现了伴性遗传的规律,随后还发现了连锁、交换和不分离规律等,并证明了基因在染色体上呈线性排列。摩尔根还绘制出了第一个果蝇染色体连锁图(图 18-5),从而确立了基因作为性状遗传基本单位的概念。1919 年和 1928 年摩尔根相继出版了《遗传学的物质基础》和《基因论》,建立了完整的基因遗传理论体系。摩尔根指出,遗传基因位于染色体上并呈直线排列状,染色体可以自由组合,而每一条染色体上有若干基因,这些基因如同链条上的环一样不能自由组合,只能随着染色体而变化。摩尔根把这种现象称为基因的“连锁”。由于同源染色体的断离与结合,从而发生了基因的“互换”。这就是摩尔根创立的遗传学的第三定律,即基因连锁与互换定律。摩尔根의基因学说,揭示了基因是组成染色体的遗传单位,它的突变、重组、交换决定了生物的遗传性状。孟德尔的遗传理论揭示了生物的遗传与变异是由遗传因子(即基因)决定的,摩尔根则进一步发展了孟德尔遗传学理论,他证明了染色体是遗传性状传递过程的物质基础,染色体上的基因突变会导致生物体遗传特性发生变化。由于摩尔根等人对基因的研究,使得遗传学成为 20 世纪生物学领域中发展最快的一门学科。摩尔根也因此获得了 1933 年诺贝尔生理学 and 医学奖。



图 18-4 摩尔根

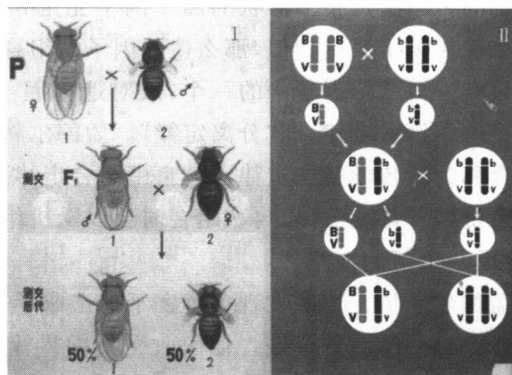


图 18-5 果蝇染色体连锁图

作为现代遗传学的奠基者,摩尔根的发现意义重大。在他所做出的成就中,有一点与孟德尔相同,就是用了一个十分出色的果蝇实验系统。就是这个不起眼的小昆虫却具有一般实验系统无法比拟的优势:它不仅形体小,繁殖力强而且饲养方便,更重要的是果蝇大部分的遗传物质构成简单,只有四条染色体,尤其是在幼虫的唾液腺细胞的染色体巨大,这些都给研究带来了巨大的便利。

摩尔根等人对果蝇的遗传学研究具有深远意义。人们对遗传机制,特别是对突变产生和分析研究得越详细,就越会促使人们了解基因的实际物理化学性质。事实上,就在遗传学家们对遗传机制进行研究的同时,化学家们也在对遗传物质的化学性质进行研究,但遗憾的是,由于学科之间缺乏交流,尤其是化学家和遗传学家彼此之间不能很好地认识对方进展的意义,不能分享彼此的成果,基因的化学基础研究在 20 世纪 30 年代一直进展很缓慢。

第二节 基因的化学性质

基因究竟是一种物质实体还是纯粹的信息? 遗传学的研究表明它应该是物质实体。既然基因位于染色体上,而染色体的主要成分为蛋白质和核酸,那么,基因的主要成分就只能是蛋白质或核酸了。于是,人们开始了对核酸和蛋白质的研究。

早在 1869 年,瑞士有一位名叫米歇尔(J. F. Miescher, 1844—1895)的化学家在研究脓细胞的时候,从中分离出含磷很高的酸性物质,此后又从鲑鱼精子中发现类似物质,他怀疑这种物质可能在细胞发育过程中起着极为重要的作用,并称这种物质为“核素”。然而,与孟德尔一样,米歇尔的工作没有受到同时代人的注意。直到后来更多的科学家研究核素以后,核素的化学性质才变得更为清楚了。我们现在已经知道米歇尔发现的物

质其实就是脱氧核糖核酸(DNA),它作为染色体的一个组成部分而存在于细胞核内,是决定生物性状的遗传物质。这是人类首次分离出来的DNA物质。

虽然人们很快就认识到核素就是细胞学家所说的染色质,但是米歇尔和当时的生物学家并没有把它看做是遗传物质。以后的研究更进一步地强化了遗传物质是蛋白质而非核酸的观念,因为从化学构成上,蛋白质的多样性与复杂性远比核酸高,作为遗传物质,蛋白质是更合理的。

早在1893年德国化学家科赛尔(A. Kossel, 1853—1927)在研究来胸腺和酵母的核酸时,就发现戊糖是酵母核酸的成分之一。此后,他的学生,美国洛克菲勒医学研究所的生物化学家莱文(P. A. T. Levene, 1869—1940)通过实验测定戊糖就是核糖。在1910年到1930年间人们对核酸的化学组成了解得不少,但对核酸分子的整体了解和它的生物学功能的认识却进展很小。科塞尔和莱文在分析核酸的化学组分时所采用的实验方法,常常会破坏核酸大分子,以至于得到的结果使他们认为核酸就是分子质量不超过1500的小分子。

莱文在对不同来源的核酸分析时发现,核酸具有四种碱基,并且它们的克分子数相等。这些数据导致了“四核苷酸假说”。这一理论在开始时作为一种在研究工作中所应用的假设,但不久便成了生物化学的一条原理。

按照“四核苷酸假说”,所有核酸的四种碱基都是等量的,而每一种碱基位于一个核苷酸上,核酸是由核苷酸组成的聚合体,这就意味着核酸是由四种核苷酸依照某种确定不变顺序组成的。于是在这种假说之下,核酸只是一种与糖原类似的重复的多聚体,这种结构不可能产生那种对于遗传物质来说必不可少的多样性。这就使得核酸丧失了作为遗传物质所具备的复杂性,因此“四核苷酸假说”实际上否定了核酸是遗传物质的设想。

另一方面,蛋白质化学的研究揭示出的蛋白质构成的多样性与生命的多样性呈现出某种平等的关系。1902年,德国化学家费歇尔(E. Fisher)提出氨基酸之间以肽链相连接而形成蛋白质的理论。1917年他合成了由15个甘氨酸和3个亮氨酸组成的18个肽的长链。到1940年已经发现组成蛋白质氨基酸可以达到20种之多,这与单调的4种核苷酸形成了鲜明的对照。染色体遗传学的研究表明,染色体的主要物质构成是蛋白质和核酸,而生物化学研究似乎也表明含有20种不同氨基酸的蛋白质大分子似乎能够提供无限数量的排列与组合来解释基因的多样性。于是,大多数专家认为,蛋白质很可能在遗传中起主要作用。如果核酸参与遗传作用,也必然是与蛋白质连在一起的核蛋白在起作用。因此,生物界普遍倾向于认为蛋白质是遗传信息的载体。基因是由蛋白质组成的,而核酸只不过在遗传过程中发挥某些辅助的生理作用罢了。

事实上,从生化途径来研究基因是怎样控制和调节生物代谢的问题,在孟德尔定律重新发现不久就已开始。早在1908年,英国医生伽罗德(A. Garrod)对黑尿症进行了研

究。在《代谢的先天性缺陷》一文中,他阐述了这种疾病起因于基因突变所引起的一种酶缺失症,即在正常的生化代谢中间某一点上因基因突变引起尿黑酸氧化酶(一种功能蛋白质)的缺失,导致代谢故障,从而产生黑尿症。伽罗德因此认为,基因的变化会以某种方式影响到机体特定代谢物的产生。此后,生物化学家和遗传学家们的工作都表明基因以某种方式控制着生物细胞的代谢过程,在此过程中,起着特定催化作用的酶,起到了使前后两个相关分子间的代谢反应达到平衡状态的功能。

基因与蛋白质(酶)之间的关系问题最后是由比德尔(G. Beadle)和塔特姆(E. Tatum)的工作所揭示的。比德尔和塔特姆在对链孢霉进行生化遗传学研究后指出,从遗传学观点来看,一个生物体的发育和功能主要是由一个完整的生化反应系统构成的,这些生化反应以某种方式受到某些基因的控制,据推测,这些基因本身就是这个系统的一个部分,它们或者是以酶的方式直接起作用,或者是决定着酶的特异性,从而控制或调节这个系统中的特异反应。于是,他们在1946年提出了“一个基因一个酶”的假说。该假说奠定了基因和酶之间控制关系的概念,开创了现代生物化学遗传学。1958年比德尔和塔特姆获得诺贝尔生理学和医学奖。

第三节 遗传物质 DNA

大家知道,肺炎双球菌是一种致病的细菌,它有两种类型:一种叫S型,其菌体细胞周围有一层厚厚的荚膜,其主要成分是多糖。S型肺炎双球菌毒性很强。如果人体感染了S型肺炎双球菌就会患肺炎,治疗不及时还会导致死亡。这种细菌如果寄生在小家鼠体内,小家鼠就会患败血症而死亡。另一种叫R型。它是无荚膜且毒性弱的肺炎双球菌。

1928年,英国微生物学家格里菲斯(F. Griffith, 1877—1941)用S型和R型肺炎双球菌给小家鼠做实验。当他把S型肺炎双球菌注入小家鼠的体内,小家鼠发病致死。当把R型肺炎双球菌注入小家鼠的体内,小家鼠正常。然后,他把S型病菌加热杀死,将杀死后的病菌注入小家鼠体内,小家鼠安然无恙。这是容易理解的,因为注射进去的是死的病菌。然而,当他又把加热杀死的S型病菌和活的R型病菌混合在一起,注入小家鼠体内,结果小家鼠发病死了。小家鼠是怎么死的?格里菲斯进行了分析,并从死鼠体内分离出了活的S型肺炎双球菌。这说明无荚膜的R型菌肯定从死的有荚膜的S型菌中获得了物质,使无荚膜菌转化成了有荚膜菌了。为了验证这种假设的正确性,格里菲斯又在试管中做了实验。他发现把死了的有荚膜菌与活的无荚膜菌同时放在试管中培养,无荚膜菌全部变成了有荚膜菌。这意味着某些遗传信息被“转化因子”转移了,然而,“转化因子”又是什么呢?当时的科学水平还不能回答。

到了 20 世纪 40 年代,生物化学有了较大的进步,人们最终知道决定生物代谢的性状的主要是蛋白质和核酸,它们都是生物大分子。核酸包括脱氧核糖核酸(DNA)和核糖核酸(RNA)两大类。构成 DNA 或 RNA 的主要成分是核苷酸,而核苷酸又是由核糖、磷酸和碱基组成。DNA 主要分布在细胞核里,而蛋白质在细胞核和细胞质中均有分布。这样一来,“转化因子”究竟是蛋白质还是核酸?

这个谜终于在 1944 年被解开。1944 年美国细菌学家艾弗里(O. T. Avery, 1877—1955)、麦克劳德(C. Macleod)和麦卡蒂(M. McCarty)在格里菲斯的肺炎双球菌转化实验的基础上进行了细致的工作。他们把有荚膜的 S 型肺炎双球菌杀死,磨碎细胞后从中提出了 5 种成分——多糖、脂质、蛋白质、RNA 和 DNA。它们都是性质各不相同的有机物。他们把这些成分提出来以后,分别加入到培养着的活的无荚膜 R 型肺炎双球菌的试管里。经过培养后,他们从各试管里取出细菌的样品,进行观察。最终发现,只有 DNA 能够使无荚膜 R 型病菌转化成有荚膜 S 型病菌。这就意味着格里菲斯发现的“转化因子”就是 DNA。艾弗里等人的工作雄辩地说明了: DNA 就是遗传信息的载体。

艾弗里的工作是革命性的,它预示了生物学的新时代即将到来。然而,遗憾的是,艾弗里的工作并没有得到公认,人们甚至怀疑艾弗里提取的转化因子并不是纯粹的 DNA,可能还有蛋白质。怀疑论者大多仍然沉湎于“四核苷酸假说”,他们不相信 DNA 能够具有遗传物质所必需的复杂性。

几乎与此同时,奥地利生物化学家查伽夫(E. Chargaff)对核酸中的 4 种碱基的含量进行了重新测定。在艾弗里工作的影响下,他认为如果生物物种是由 DNA 来决定的,那么 DNA 的结构必定十分复杂,否则难以适应生物界的多样性。查伽夫从一开始就假定核酸可能像蛋白质一样高度聚合、非常复杂。因此,他对莱文的“四核苷酸假说”产生了怀疑。在 1948—1952 年的 4 年间,他对各种来源的核酸进行了精细的分析,他运用了新的纸层析、紫外分光光度测量和离子交换层析技术反复实验,终于得出了不同于莱文的结果。实验结果表明,在 DNA 大分子中嘌呤碱和嘧啶碱的总分子数量是不相等的,但其中腺嘌呤 A 与胸腺嘧啶 T 数量相等,鸟嘌呤 G 与胞嘧啶 C 数量相等。查伽夫的发现彻底否定了莱文的“四核苷酸假说”,并为探索 DNA 分子结构提供了重要的线索和依据。

为 DNA 是遗传物质提供令人信服的直接证据是美国噬菌体小组中的两位成员赫尔希(A. Hershey, 1908—1997)和蔡斯(M. Chase)。1952 年,他们为了排除艾弗里、麦克劳德和麦卡蒂实验中的不确定成分,采用了先进的同位素标记技术做噬菌体侵染大肠杆菌的实验。他们用放射磷标记噬菌体中的 DNA;用放射硫标记噬菌体的蛋白质外壳,然后让这种噬菌体去感染大肠杆菌,再把受了感染的大肠杆菌放在搅拌器内旋转、离心,使受感染的大肠杆菌和更小的颗粒分离开来。实验结果显示,大多数噬菌体 DNA 仍然同细菌细胞在一起,而噬菌体的蛋白质则被释放到细胞外的溶液中。这说明噬菌体颗粒感

染寄主细菌时,实际上仅有噬菌体 DNA 进入细菌,而噬菌体蛋白质却留在细菌外边,对于后来发生在细菌体内的噬菌体再生进程并未发生任何作用。因此,这个实验证明 DNA 有传递遗传信息的功能,而蛋白质则是由 DNA 的指令合成的。这一结果立即为学术界所接受。

赫尔希和蔡斯的实验为建立 DNA 是遗传物质的观念扫清了障碍,接下来的工作便是弄清 DNA 的结构和功能了,即 DNA 的化学结构为什么会在复杂生物机体中担当如此重要的职责? 20 世纪 40 年代末期以来,核酸结构与功能的研究日益引起学术界的重视,一些物理学家、化学家和生物学家纷纷投入到对 DNA 结构和功能的探索之中。

第四节 DNA 双螺旋结构的发现

在 20 世纪 50 年代初,查伽夫对核苷酸的研究已经暗示了 DNA 分子中的腺嘌呤与胸腺嘧啶、鸟嘌呤与胞嘧啶是互补关系。它们的排列秩序意味着其中储存着遗传信息的编码。然而,有关 DNA 传导遗传信息、控制或调节生物的生化反应、表达生物性状以及实现自我复制等等问题,只有在彻底弄清 DNA 三维结构以后才有可能解答。1953 年是生物学发展历史上的一道分界线,它标志着细菌遗传学时代的结束和分子生物学时代的到来。开启分子生物学大门的是当时还没有名气的两位年轻人沃森(J. Watson)和克里克(F. Crick)。

沃森 15 岁进入芝加哥大学,后师从印第安纳大学卢里亚(S. Luria)教授,22 岁获得博士学位后到欧洲继续深造。在意大利那不勒斯的一次生物大分子会议上,他听了英国生物学家威尔金斯(M. Wilkins)的演讲并看到了威尔金斯展示的 DNA 结晶 X 射线衍射照片。从此,对 DNA 结构产生浓厚兴趣。为此,他又到英国剑桥大学卡文迪什实验室学习,在此期间认识了克里克。

克里克 1938 年在伦敦大学学院获得物理学硕士学位后,继续在那里跟随安德拉德博士做研究,但是第二次世界大战中断了他的学习。战后克里克仍然留在海军部,打算从事粒子物理的基础性研究或者研究物理学在生物学中的应用。在受到薛定谔(E. Schrödinger, 1887—1961)《生命是什么?》一书的启发后决定转向生物学。1947 年,克里克进入剑桥大学,两年后加入佩鲁兹小组用 X 射线技术研究蛋白质及蛋白质分子结构。在那里他遇到了沃森。克里克比沃森大 12 岁,当时还没有取得博士学位。但在沃森看来,克里克是一位懂得 DNA 比蛋白质更重要的人,他不仅了解 X 射线结晶学,而且对基因的结构与生物学功能也很内行;而在克里克眼里,沃森是一位对遗传学了如指掌的人,于是,两人一拍即合,决定合作研究 DNA 分子结构。

DNA 双螺旋结构的建立是一个时代的产物,它与结构化学的兴起,特别是与生物大

分子晶体 X 衍射分析技术的发展密切相关。X 衍射晶体技术应用于晶体蛋白质和核酸上,对人们认识有机大分子的性质和推定它的三维结构起了重要作用。这项工作 20 世纪 30 年代就已经开始了,到了 50 年代初,有化学键之父之称的美国加州理工学院教授鲍林(L. Pauling, 1901—1994)等人建立了蛋白质的 α 螺旋结构模型,这对认识蛋白质三维结构内在联系及其功能起到十分重要的作用。大约在同一时间,伦敦大学皇家学院的威尔金斯及其同事弗兰克林(R. Franklin, 1920—1958)也正在用 X 衍射方法进行 DNA 的研究,他们拍摄了当时最好的 DNA 衍射图片(图 18-6),积累了大量分析资料,为 DNA 模型的建立提供了极其重要的根据。

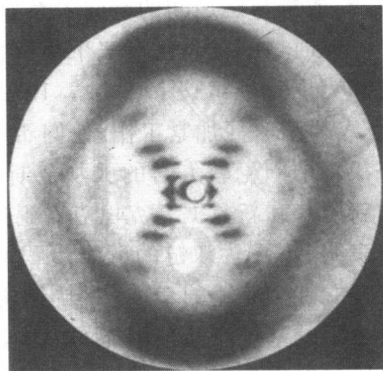


图 18-6 DNA 衍射图片

在人们清楚地了解了 DNA 的化学以后,弗兰克林拍摄的 DNA 结晶 X 射线衍射照片至少提出了下列问题,即 DNA 分子的骨架是呈直线状还是螺旋状?若是螺旋的,那么是单链还是多链?碱基在骨架上的构成如何,是在内还是在外?等等。这些问题在当时并没有得到解决,直到沃森、克里克建立了 DNA 双螺旋结构以后,上述问题才迎刃而解。

到 1951 年底,沃森和克里克建立了一个 DNA 结构模型。他们设想:作为一种结晶聚合体, DNA 可能是一种含有多个核苷酸并作有规则直线排列的分子, DNA 的糖和磷酸骨架是有规律地排布着的,这种情况能很好地解释 DNA 分子结构。然而,威尔金斯的 DNA 衍射图谱却表明: DNA 分子直径比一条单一核苷酸链直径大。从衍射图谱上看,很可能是两条、三条或四条多核苷酸链。根据当时所得到的资料,他们设计制作了由三条多核苷酸链纠缠在一起的螺旋模型,并确定沿螺旋轴每隔 $28\text{\AA}$ 绕一周。他们当时认为这个设计图案和 X 衍射图谱相符,还用了弗兰克林的定量分析法加以验证,螺旋参数的选择与弗兰克林提出的数据相吻合。但后来发现,若以糖和磷酸骨架为中心,要把参差不齐的碱基排列和组装在这个骨架上,原子就会堆集过密,这显然不符合化学规律,第一个模型因此失败了。

然而不久以后,沃森和克里克偶然遇到了剑桥年轻的数学家约翰·格里菲斯(J. Griffith),格里菲斯也对他们的问题感兴趣,便答应帮沃森和克里克计算 DNA 分子间同类碱基之间的引力。从格里菲斯计算的结果中克里克受到启发,立刻想到了另一种可能性,即互补配对,这样就可以很好地解释复制了。然而根据这个发现仍然不能说明 DNA 分子的整个三维性质。此时,查伽夫访问剑桥并与沃森和克里克相识。在谈话中,他们得知 DNA 所含四种碱基含量不相等,嘌呤与嘧啶的比例总是 $1:1$,于是他们设想碱基配对可能是 DNA 分子结构的基础。这个认识极为重要,因为它能够很好说明 DNA

分子是怎样被维系在一起、怎样复制自己的。然而,还没有证据表明 DNA 分子由几条链组成,或链与链之间的空间关系如何。

此时,在英国,已有三个小组在同时研究 DNA 结构:鲍林小组、威尔金斯小组和沃森和克里克小组(图 18-7)。1952 年冬,沃森和克里克得知鲍林可能不久将建立一个 DNA 模型时便加紧工作,他们希望赶在他们之前拿出一个精确的 DNA 模型。不久,恰好沃森访问伦敦大学的威尔金斯小组,从威尔金斯那里得到了弗兰克林关于 DNA 结构的新照片和新数据。克里克看到这张照片后敏锐地发现,X 射线的数据与密度的测量结果表明 DNA 为双链的可能性最大,核糖磷酸骨架一定位于 DNA 链的外侧。于是他们决定建立一个双链的 DNA 螺旋结构。方案制定以后,接下来的问题就是碱基的分布,他们设想了碱基排列几种可能的形式,但都没有成功。在请教了化学家多诺休(J. Donohue)以后才发现他们一直使用的是错误的分子形式,并很快作了更正。在一周以后,他们拿出了一个完整的 DNA 结构模型。



图 18-7 沃森和克里克

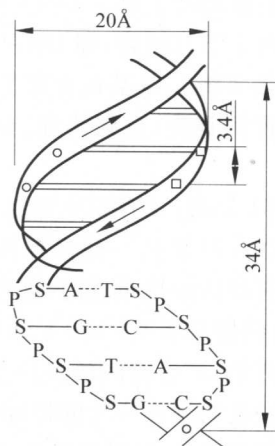


图 18-8 DNA 双螺旋结构模型

1953 年 4 月 25 日,沃森和克里克在《自然》杂志上公布了他们的 DNA 双螺旋结构模型(图 18-8)。

简短而清晰,全部内容仅仅浓缩在 900 多个单词和一个简单图解之中。沃森和克里克指出:“在这种结构中两条链围绕着一共同的轴线缠绕,并通过核苷酸碱基之间的氢键彼此连接起来……。两条链都是右手旋转的螺旋,但原子在糖—磷主链上的顺序是反方向的,并成对地垂直于螺旋轴线。糖和磷酸基团在外侧,而碱基在内侧。”^①碱基的组合

^① 沃森、克里克:《核酸的分子结构》,载 G. 孟德尔等:《遗传学经典论文选集》,梁宏、王斌译,第 148 页,北京,科学出版社,1984。

严格遵循着 A-T、G-C 的规则,这一规则被称之为碱基配对原则。这一原则很好地解释了 DNA 的遗传功能。

DNA 双螺旋结构模型的建立是生物学史上划时代的事件,这个 20 世纪生物学领域最伟大的发现宣告了分子生物学时代的到来。此后,在分子生物学的带领下,生物学的各个领域都随之发生了巨大变化。沃森、克里克和威尔金斯因此获得了 1962 年的诺贝尔医学与生理学奖。

现在看来,DNA 结构模型由沃森和克里克建立似乎蕴含着某种必然性。因为该模型的建立不只是单纯地考虑它的化学结构,还必须考虑它所遗传物质应具备的生物学特性。因此,DNA 结构模型至少要解决四个方面的问题:①模型要反映出具有携带和传递遗传信息的功能;②模型能说明 DNA 自我复制机制;③模型能说明引起生物突变的原因;④模型必须符合化学规律,特别是要符合查伽夫规则。要深刻理解这四方面的问题,仅有物理化学知识是不够的,遗传学背景在其中起着重要作用,而沃森与克里克的组合恰好满足了建立模型所要求的知识结构。在这种情况下,DNA 双螺旋模型由沃森和克里克发现则是顺理成章的事了。

第五节 遗传密码与中心法则

现在,生物遗传的根本问题可以在分子水平上来理解。DNA 双螺旋结构模型的提出,从生物学角度很好地解释了 DNA 分子的两种不同的功能:自我复制功能和异体催化功能,并为 DNA 储存遗传信息作出了很好的说明。

沃森和克里克在制作 DNA 模型时已经想到 DNA 的自行催化的繁殖机制。由于双螺旋的对称性,它们的互补性质十分明显,当基因增殖时两条链分开,每条链实现自我复制,即各自成为配对物的模板,借助其互补特性形成新的双链,构成了新的 DNA 分子链。沃森和克里克指出:“更令人激动的是,这种双螺旋结构还提出了一种比我原先设想同类配对机制更加令人满意 DNA 复制机制。腺嘌呤总是与胸腺嘧啶配对,鸟嘌呤总是与胞嘧啶配对,这表明在两条相互缠绕的链上碱基顺序彼此互补。只要确定其中一条链的碱基顺序,另一条链的碱基顺序也就自然确定了。因此,也就很容易设想到一条链怎样作为模板合成另一条具有互补碱基顺序的链。”^①这种复制称半保留复制,即原先的链保留,而后分开来分别到子分子中成为新链的模板。由于 DNA 在复制过程中严格遵循碱基配对原则,(即 A-T、G-C),每一条旧链与新链所形成的 DNA 分子与母链完全一致,它保证了亲代 DNA 分子能够按照严格的碱基顺序,将自身的遗传信息稳定地传递给后代,从而

① J. 沃森:《双螺旋:发现 DNA 结构的个人经历》,田沼译,第 156 页,北京,三联书店,2001。

使子代表现出亲代的生物学特征。

不过,当时他们还弄不清复制过程究竟是需要一种特异的酶还是单链本身能像酶那样有效地作用,对半保留模型大多持怀疑态度。要弄清这些,必须得找到一种能测量出个体 DNA 分子微小放射性含量的方法才行。直到 1958 年,梅塞尔森(M. Meselson)和斯塔尔(F. W. Stahl)用稳定的同位素 ^{15}N 作 DNA 标记,才证明 DNA 的复制正是如沃森和克里克所描述的那样,是一种半保留式的复制。此后,泰勒(H. Taylor)用 ^3H 标记蚕豆根尖细胞的 DNA,通过放射自显影证实了真核生物的 DNA 复制也符合半保留模型。

此后,人们发现 DNA 不仅具有自我催化功能还具有异体催化功能,即 DNA 作为遗传物质决定着蛋白质的合成并控制代谢过程。这一时期分子生物学主要围绕着 4 种碱基怎样排列组合进行编码才能表达出 20 种氨基酸为中心开展实验研究的,而弄清异体仿催化机制要比自我复制过程的解释复杂得多。

DNA 中的碱基只有 4 种,而蛋白质中的氨基酸却有 20 种,如何才能把 DNA 的核苷酸顺序与相应的多肽链氨基酸顺序联系了起来? 物理学家伽莫夫(G. Gamow, 1904—1968)提出了只有 3 个碱基才能组成对应一个氨基酸的密码的观点(称之为密码子)。于是问题一下子变得简单起来,即 4 种核苷酸每次取 3 个,则总共有 $4^3 = 64$ 个不同的密码。由于密码子的种类比氨基酸的种类多,一种氨基酸就不可能只对应于一种密码。1961 年,生物学家尼伦伯格(M. Nirenberg)用实验证明了 UUU(U 为尿嘧啶核苷酸)三联体为苯丙氨酸的密码子。这个结果一经宣布,立刻引起了轰动。于是一场破译遗传密码的竞赛由此展开,结果很快就将 64 种密码子全部破译。到了 20 世纪 60 年代中期, DNA 自我催化和异体催化功能的一般性质已经基本弄清。

随后人们弄清了异体催化需要核糖核酸(RNA)参与。RNA 有三种,分别称为信使 RNA(mRNA)、转运 RNA(tRNA)和核糖体 RNA(rRNA),它们各自担负着特定的功能。异体催化分两步进行(图 18-11)。第一步是以 DNA 作为模板合成一个 mRNA,这

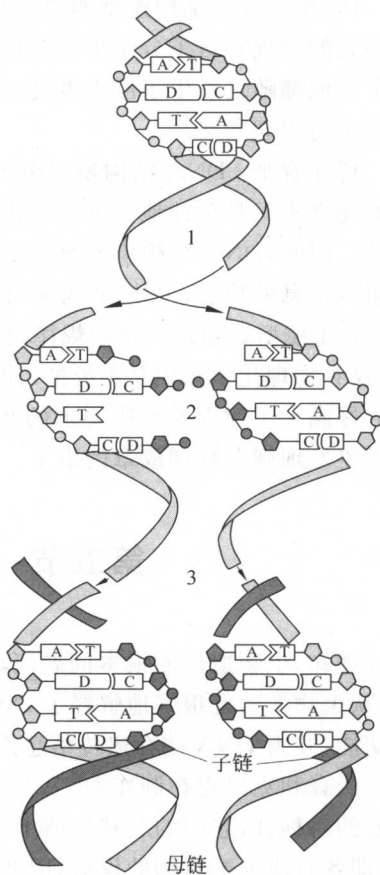


图 18-9 DNA 复制

第一个字母	第二个字母				第三个字母
	U	C	A	G	
U	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	U
	苯丙氨酸	丝氨酸	酪氨酸	半胱氨酸	C
	亮氨酸	丝氨酸	终止	终止	A
	亮氨酸	丝氨酸	终止	色氨酸	G
C	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	U
	亮氨酸	脯氨酸	组氨酸	精氨酸	C
	亮氨酸	脯氨酸	谷氨酰胺	精氨酸	A
	亮氨酸	脯氨酸	谷氨酰胺	精氨酸	G
A	异亮氨酸	苏氨酸	天冬酰胺	丝氨酸	U
	异亮氨酸	苏氨酸	天冬酰胺	丝氨酸	C
	异亮氨酸	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	A
	甲硫氨酸 (起始)	苏氨酸	赖氨酸	精氨酸	G
G	缬氨酸	丙氨酸	天冬氨酸	甘氨酸	U
	缬氨酸	丙氨酸	天冬氨酸	甘氨酸	C
	缬氨酸	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	A
	缬氨酸 (起始)	丙氨酸	谷氨酸	甘氨酸	G

图 18-10 遗传密码表

这个过程被称为转录；由于碱基配对原则，rRNA 上的碱基排列顺序与 DNA 上的碱基排列顺序互补（其中 T 被 U 取代），rRNA 就成为了 DNA 的“副本”。接下来便是 mRNA 在 rRNA 上将转录来的信息变换成一定结构的多肽链（蛋白质），这个过程叫翻译。当 mRNA 穿过核糖核蛋白体时，它是如何指导氨基酸排列成确定的顺序的呢？早在信使 RNA 的概念尚未明确提出以前，克里克就指出，20 种不同的氨基酸不可能以一种特别方式与 RNA 模板的核苷酸三联体直接发生作用，氨基酸在进入多肽链以前先要装配在“适应子”上。这种适应子被认为含有一个三联体核苷酸，即“反密码子”。tRNA 呈三叶草结构，其上都有一个特定的“反密码子”，能识别遗传密码，它的另一端和特定的氨基酸相结合。处在核糖体内的 mRNA，由每个特定的 tRNA 携带着某种氨酸，借助反密码子在 mRNA 上找到自己的位置，按照 mRNA 核苷酸排列顺序，把不同的氨基酸排列起来组成多肽（蛋白质或酶）。遗传信息从 DNA 经过 RNA 到蛋白质的流动规则被称为“中心法则”。

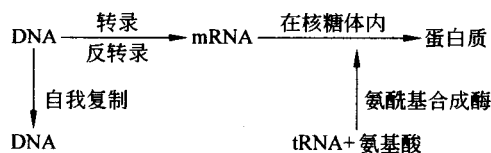


图 18-11 中心法则

则”。此后,有人发现在有些病毒中存在由 RNA 向 DNA 流动的情况,这一过程被称为反转录。

自 20 世纪 60 年代中期以来,DNA 决定生物代谢的性状的微观机制已基本弄清,人们清楚地认识到:基因实际上就是 DNA 大分子中的一个片段,是控制生物性状的遗传物质的功能单位和结构单位。基因对性状的控制是通过 DNA 控制蛋白质的合成来实现的。一旦人们认清了生命活动的本质,便可以在此基础上对基因进行操作,按照人类的意志定向改造生物,使之造福人类。正是在分子生物学的基础上,产生了现代的生物工程。

第六节 开创科学的新时代

20 世纪 50 年代自沃森和克里克建立 DNA 双螺旋结构模型以来,以 DNA 双螺旋结构的发现为标志的分子生物学的建立和发展成为现代生物学的一个重要发展方向。分子生物学经过 20 多年的研究和探索,终于在 70 年代初期取得了决定性的突破。70 年代初 DNA 限制性内切酶和 DNA 连接酶的发现以及一整套 DNA 体外重组技术的建立使得基因工程开始发展。1972 年世界上第一批重组 DNA 分子诞生,次年几种不同来源的 DNA 分子装入载体后被转入到大肠杆菌中表达,标志着基因工程正式登上历史舞台。1982 年,科学家发现 RNA 能够起到酶的作用,促使化学反应的发生,而在此之前,人们普遍认为只有蛋白质才具有酶的功能。这一发现拓宽了人们对酶的认识。1985 年穆利斯(K. Mullis)等人首创了一种称为聚合酶链式反应(PCR)的 DNA 扩增技术,能够以极微量的 DNA 为模板进行 DNA 的大量扩增,这项技术的发明使得对微量 DNA 的检测和研究成为可能,成为分子生物学领域一项极为重要的研究工具。这些重要的技术被迅速地广泛应用于生物、医学、农业等各个领域,在基础科学及应用技术的研究中取得了巨大的成功,也由此带动和促进了现代生物技术的蓬勃发展。在半个世纪的时间内,分子生物学取得了众多激动人心的成就,使工业、农业、医疗卫生事业以及生物科学本身都面临一场空前的变革。

原核生物是包括细菌、噬菌体和病毒等在内的低等生物,由于其结构和功能都相对简单,因而很多科学家都在利用原核生物来研究生命的基本规律。在 70 年代初出现 DNA 重组技术的同时,科学家们就开始对大肠杆菌的基因组进行深入地研究和分析,包括揭示新的基因,寻找 DNA 序列和基因结构的特点以及对基因功能和基因间调控关系的研究。这一技术路线也成为了人类基因组研究的技术路线。至 1997 年 9 月大肠杆菌完整的基因组图谱绘制完成,分析表明,大肠杆菌单个染色体上共有 4288 个基因,其中 62% 的基因功能已经阐明,仍有大量基因功能有待进一步研究。至 90 年代初,已有十多

种原核生物的基因组完成测序,这一数字还在不断增加。对于原核生物基因组的研究对于探讨致病微生物致病机制及其防治策略、寻找新基因的应用领域等都具有重要作用。

随着分子生物学在微生物领域的应用,越来越多的基因工程微生物被构建出来并被应用于工业生产当中。例如利用碳霉素 4'-异戊酰化酶基因改造螺旋霉素,获得了二酰螺旋霉素这种新的抗生素。将红霉素的调节基因转入红霉素产生菌菌体中,可使单位产量提高 10~15 倍。利用基因工程和细胞融合技术可以培育出合成苏氨酸、谷氨酸、赖氨酸等等各种氨基酸的优良生产菌。基因工程的微生物还能够用于生物可降解塑料聚羟基脂肪酸酯(PHA)、神经酰胺、透明质酸等多种化学化工品的合成,对这些微生物的分子生物学改造在提高产量或缩短发酵周期方面取得了巨大成效。

基因工程彻底改变了传统生物科技的被动状态,使得人们可以克服物种间的遗传障碍,定向培养或创造出自然界所没有的新的生命形态,以满足人类社会的需要。定向控制生物遗传的技术,也就是基因重新组合的技术,用改变遗传方向的方法,获得新的遗传个体,从而改变物种或创造新物种。转基因生物就是将外源基因转入动物或植物,使其表达出原来没有的某种性状,得到的新型生物称为转基因动物或转基因植物。世界科学家已在 54 种植物试验转基因成功,如水稻、玉米、马铃薯、棉花、大豆、油菜、番茄、黄瓜等等。

医学领域的研究是分子生物学技术与开发最活跃、成就最大的领域。其突出进展主要包括基因工程多肽药物和疫苗的开发和应用、基因诊断和基因治疗、疾病相关基因的发现及功能研究等。目前在全世界范围内正在开发的医用活性多肽和疫苗估计有 500 种左右,例如多肽药物中的人胰岛素、人生长激素、干扰素、表皮生长因子、红细胞生成素等等,基因工程的疫苗有麻风杆菌、脑膜炎球菌、乙型肝炎病毒、流感病毒、疟原虫和血吸虫等的疫苗。通过分子生物学手段从基因水平上进行遗传性疾病及其他疾病分析也获得了成功,当前运用 RFLP、DNA 探针和 PCR 等方法已经能够进行镰刀型贫血等遗传性疾病和乙肝、AIDS 及某些白血病和恶性肿瘤的基因诊断。在基因治疗方面,第一次成功地进行的临床基因治疗是对腺苷酸脱氨酶(ADA)缺陷症的治疗。在此之后,对多种遗传性疾病、恶性肿瘤及传染病的基因治疗研究也广泛展开。目前,关于肿瘤发生、艾滋病、高血压、高血脂和动脉硬化、糖尿病、精神分裂症等多种疾病的相关基因研究正在全球领域广泛展开,并发现了一系列的相关基因或因子。针对这些基因或因子进行相应的靶向药物或基因治疗方案的设计也取得了相当的成就。据统计,自 20 世纪 70 年代以来,世界上获准上市的治疗疑难病基因工程药品有 120 种,还有 3400 多种处于研究与开发阶段。医学家们分析认为,生物药在化学药、生物药、天然药这三大类药物中的比重会大幅度上升,在重大疫病包括天花、乙肝以及各种细菌型、病毒型的大型传染病防治等方面,生物药都将发挥其他药物不可替代的作用。分子生物学使科学家能更深入地研究基因等遗传因素在疾病发作中的作用,为设计药物提供了新的手段,同时也催生了基因诊

断以及基于 DNA 技术的治疗新方法。用基因工程技术开发出的干扰素、胰岛素和抗体等,成为近年来增速最快的新型治疗手段。

解自身之谜一直是人类追求的目标,这一目标在分子生物学建立后已经成为可能。1986 年 3 月 7 日,美国《科学》杂志发表了一篇题为《癌症研究的转折点——测定人类基因组序列》的论文,指出癌症和其他疾病的发生都与基因有关。1991 年,人类基因组计划正式实施。2004 年 4 月这项生命科学史上绝无仅有的“大科学”计划——人类基因组序列测定完成,一本人类遗传信息的天书呈现在世人面前。科学家认为,人类基因组测序的完成和公布,标志着生物产业进入成长阶段。生命科学被称为 21 世纪的科学,建立分子生物学基础上的生物技术已经成为许多国家研究与开发的重点,成为国际科技竞争、经济竞争的新热点,生物产业已经成为继信息产业之后的又一个新的经济增长点。

思考题

1. 简述遗传学三定律的内容。
2. 为什么说 DNA 双螺旋结构模型的建立具有划时代的意义?
3. DNA 是怎样决定生物的代谢过程的?

参考书目

1. E. 薛定谔:《生命是什么?》,上海,上海人民出版社,1973。
2. J. 沃森:《双螺旋:发现 DNA 结构的个人经历》,田沼译,北京,三联书店,2001。
3. M. 霍格兰:《探索 DNA 的奥秘》,彭秀玲译,上海,上海翻译出版公司,1986。
4. 加兰·艾伦:《20 世纪的生命科学史》,田沼译,上海,复旦大学出版社,2000。

现代物理学革命

热力学和光学已发展到这样的程度,以至它们俩的结合能够产生一个“婴儿”,它注定会引起物理学的最大的革命。

——马克斯·冯·劳厄

在物理学的全部发展史中,从没有哪个时期像从 1895 年到 1905 年的 10 年这样,发生过那么急剧、那么难以预料和那么广泛的转变。

——阿布拉罕·派斯

19 世纪末,经典物理学已经有了相当的发展,几个主要部门——力学、热力学和统计物理学、电磁学以及光学已经建立了完整的理论体系,在应用上也取得了巨大成果。这时物理学家普遍认为,物理学已经发展到顶,伟大的发现不会再有了,以后的任务无非是在细节上作些补充和修正,使常数测得更精确而已。

然而,事实打破了物理学家的乐观。实验陆续发现一系列经典物理学难以解释的事实,把人们的注意力引向更深广的求知世界。从 1895 年伦琴(W. K. Röntgen, 1845—1923)发现 X 射线,到 1905 年爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)创建狭义相对论,具有重大意义的物理实验发现相继出现: 1896 年贝克勒尔(A. H. Becquerel, 1852—1908)发现放射性,塞曼(P. Zeeman, 1865—1943)发现磁场使光谱分裂,1897 年 J. J. 汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940)发现电子,1898 年卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)发现 α 、 β 射线,居里夫妇发现放射性元素钋和镭,1899 至 1900 年卢梅尔(Otto Richard Lummer, 1860—1925)和鲁本斯(Heinrich Rubens, 1865—1922)等人发现热辐射能量分布曲线偏离维恩分布律,1900 年维拉德(P. Villard, 1860—1934)发现 γ 射线,1901 年考夫曼(W. Kaufmann, 1871—1947)发现电子的质量随速度增加,1902 年勒纳(P. Lenard, 1862—1947)发现光电效应基本规律,1902 年理查森(O. W. Richardson, 1879—1959)发现热电子发射规律,1903 年卢瑟福和索迪(F. Soddy, 1877—1956)发现放射性元素蜕变规律……

这一系列发现引致的物理学革命,集中在 19、20 世纪之交不是偶然的,是生产和技术发展的必然产物,有其深刻的社会背景和历史根源。

第一节 19、20 世纪之交物理学三大实验发现

X 射线、放射性和电子的发现,是世纪之交物理学的三大实验发现,它们都直接或间接地与阴极射线的研究有关。19 世纪是电的世纪,发电机、变压器和高压输电线路在生产中应用,然而,漏电和放电损耗非常严重,成为亟待解决的问题。电气照明也吸引了许多科学家的注意。这些问题都涉及低压气体放电现象,于是,人们竞相研究与低压气体放电现象有关的问题,从中发现了阴极射线,并且引起一场旷日持久的科学争论。主张以太说的多数是德国人,主张微粒说的多数是英国人,双方激烈争论持续近 20 年。这一争论促使人们做了许多实验和理论研究,引出了一系列重大成果。

一、X 射线的发现

德国维尔茨堡大学的伦琴(W. K. Röntgen)教授在研究阴极射线的过程中发现了 X 射线。伦琴是一位治学严谨、造诣很深的实验物理学家。1895 年 11 月 8 日,他正在实验室中研究阴极射线,突然,他的注意力被一块荧光屏的微弱闪烁吸引。当时,房间一片漆黑,放电管用黑纸包严,亚铂氰化钡做成的荧光屏离开放电管大约一米远。他移远荧光屏继续试验,只见荧光屏的闪光仍随放电过程的节拍断续出现。

他取来各种不同的物品,包括书本、木板、铝片等等,放在放电管和荧光屏之间一一进行试验,发现荧光屏的闪光仍然出现,只是明亮程度有所不同,于是他认定是有某种穿透力很强的射线从放电管发送出来。为了确证这一新射线的存在,并且尽可能了解它的特性,伦琴用了 6 个星期深入地研究这一现象。1895 年底,他发表了题名《一种新射线(初步通信)》的论文,把这一发现公诸于众。伦琴在这篇论文中还描述了 X 射线的一些性质,如直线传播、不产生干涉现象、在磁场中不受偏转等等,他猜测 X 射线可能是以太中的纵振动。

伦琴宣布 X 射线发现之后不久,很快就被医学界广泛利用,成为透视人体、检查伤病的有力工具,后来又发展到用于金属探伤,对工业技术也有一定的促进作用。更重要的,这一热潮吸引了许多科学家研究 X 射线和阴极射线,从而导致了放射性、电子以及 α 、 β 射线的发现,为原子科学的发展奠定了基础。同时,由于科学家探索 X 射线的本质,发现了 X 射线的衍射现象,并由此打开了研究晶体结构的大门。根据晶体衍射的数据,可以精确地求出阿伏加德罗常数。在研究 X 射线的性质时,还发现 X 射线具有特征谱线,其波长有特定值,和 X 射线管阳极元素的原子内层电子的状态有关,由此可以确定原子序数,进而了解原子内层电子的分布情况。此外,X 射线的性质也为波粒二象性提供了重

要证据。1901年伦琴荣获首届诺贝尔物理学奖。

二、放射性的发现

1895年底,伦琴将他的第一篇描述X射线的论文《初步通信:一种新射线》和一些用X射线拍摄的照片分别寄送给各国知名学者。其中有一位是法国的彭加勒(H. Poincaré, 1854—1912),他是著名的数学物理学家,当时任法国科学院院士,对物理学的基础研究和新进展非常关心。法国科学院每周有一例会,物理学家在会上报告各自的成果并进行讨论。1896年1月20日彭加勒参加了这天的例会,他带去了伦琴寄给他的论文和照片,展示给与会者看。正好在这个会上有两位法国医生。将他们拍到的人手X射线照片提交科学院审查。正在研究荧光的物理学家亨利·贝克勒尔(Henri A. Becquerel)对这一现象很感兴趣,问彭加勒,这种射线是怎样产生的?彭加勒回答说,也许是从阴极对面发荧光的那部分管壁发出的,很可能跟您研究的荧光是出于同一机理。不过他不太有把握。第二天,贝克勒尔就开始试验荧光物质在发荧光的同时会不会发出X射线。可是试来试去,却没有任何迹象。正当贝克勒尔准备放弃试验时,读到彭加勒的一篇科普文章介绍X射线,文中又一次提到荧光和X射线可能同时产生的看法。贝克勒尔很受鼓舞,于是再次投入试验,终于发现了铀盐有这种效应,他在1896年2月24日向法国科学院报告说:

“我用两张厚黑纸……包了一张感光底片,纸非常厚,即使放在太阳光下晒一整天也不致使底片变色。我在黑纸上面放一层磷光物质,然后一起拿到太阳光下晒几小时。显影之后,我在底片上看到了磷光物质的黑影。……在磷光物质和黑纸之间夹一层玻璃,也作出了同样的实验。这样就排除了由于太阳光线的热从磷光物质发出某种蒸气而产生化学作用的可能性。所以从这些实验可作如下结论:所研究的磷光物质会发射一种辐射,能贯穿对光不透明的纸而使银盐还原。”^①

贝克勒尔所指的磷光物质就是铀盐。当时人们以为,荧光和磷光没有什么本质上的不同,只是发光时间的长短有区别而已。这里,贝克勒尔误以为X射线的产生是由于太阳光照射铀盐的结果。

一个星期以后,当法国科学院于3月2日再次例会时,贝克勒尔已经找到了正确的答案。这也许是偶然的机遇,但偶然中有必然。他本想在会前再做一些实验,可是2月26、27日连续阴天,他只好把所有器材放在抽屉里,铀盐也搁在包好的底片上,等待好天

① 转引自 E. Segré. From X-rays to Quarks. Freeman & Co., 1980. 28.

气。在对科学院的第二次报告中,贝克勒尔写道:

“由于好几天没有出太阳,我在3月1日把底片冲了出来,原想也许会得到非常微弱的影子。相反,底片的廓影十分强烈(图19-1)。我立即想到,这一作用很可能在黑暗中也能进行。”^①

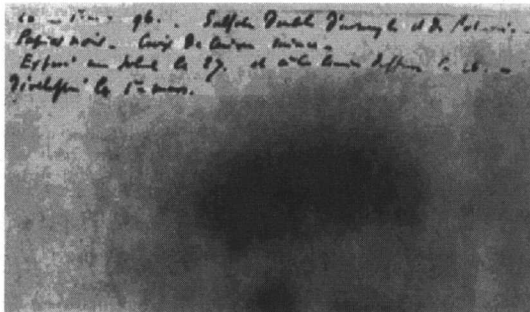


图19-1 贝克勒尔的第一张放射性照片

贝克勒尔意识到这一发现非常重要,说明原来以为荧光(和磷光)与X射线属于同一机理的设想不符合实际。他立即放弃了这种想法,转而试验各种因素,例如铀盐的状态(是晶体还是溶液)、温度、放电等等对这种辐射的影响,证明与磷光效应无关。他发现,纯金属铀的辐射比铀化合物强好多倍,铀盐的这种辐射不仅能使底片感光,还能使气体电离变成导体。这为继续研究放射性提供了一种新方法。此后,贝克勒尔在科学院例会上再次宣布这种贯穿辐射是自发现象,只要有铀元素存在,就会产生贯穿辐射。因此,这种辐射被称做贝克勒尔射线,或铀辐射,以区别于当时普遍称为伦琴射线的X射线。

贝克勒尔发现放射性是人类第一次接触到核现象,居里夫妇(P. Curie, 1859—1906; M. Curie, 1867—1934)的工作深化了贝克勒尔发现的影响。居里夫人首先证实了贝克勒尔关于铀盐辐射的强度与化合物中铀的含量成正比的结论,但她不满足于局限在铀盐,决定对已知的各种元素进行普查。她找来各种矿石和化学品,经过测试,断定钍也是一种放射性元素。她还发现沥青铀矿和辉铜矿比纯金属铀的活性强得多。通过对铀矿渣的提纯分离出钍的成分带强烈的放射性,比同样质量的铀强400倍,而且钍的放射性是来自混在钍中的一种微量元素。经过反复试验,终于从沉淀物中找到又一种放射性物质——钋(Polonium)。他们继续试验,又发现在钍盐中有更强的放射性。经过一系列分离,得到放射性更强的新元素——镭(Radium)(图19-2)。居里夫妇历尽辛苦,用分离结

^① 转引自 E. Segré. From X-rays to Quarks. Freeman & Co., 1980. 29.

晶的方法不断提高含镭的氯化钡中镭的含量。1899 年得到比铀的放射性强 7500 倍的晶体,后来竟达到了 10 万倍,然而仍然不是纯粹的镭盐。居里夫妇经过 4 年的奋斗,终于从 8 吨矿渣石提取了 0.1 克的纯镭盐。1902 年宣布测得镭的原子量为 225,找到两根非常明亮的特征光谱线,这时,镭的存在才得到公认。

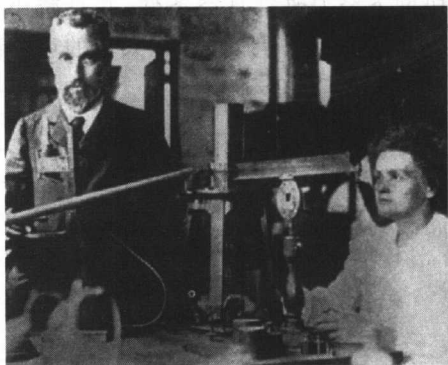


图 19-2 居里夫妇在测试镭盐的放射性

钋和镭的发现大大促进了放射性的研究,而放射性的研究为核物理学的发展奠定了基础。1898 年,卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871—1937)通过吸收实验证明铀辐射具有两种穿透本领不同的成分,他把穿透力弱的称为 α 射线,穿透力强的称为 β 射线。1899 年,贝克勒尔证实 β 射线能被磁场偏转,其行为与阴极射线相似。1900 年,法国化学家维拉德(P. Villard)发现在铀辐射中还有另一种成分,穿透力更强,称为 γ 射线。从 1902 年起,卢瑟福和他的合作者索第(F. Soddy)等人研究 α 射线和放射性物质的规律,终于导致原子核嬗变规律和原子核的发现。

三、电子的发现

对阴极射线是以太的波动还是带电粒子流的争论给出正确答案的,是英国剑桥大学卡文迪什实验室教授 J. J. 汤姆生(Joseph John Thomson)。他从 1890 年起,一直带领自己的学生研究阴极射线。克鲁克斯和舒斯特的思想对他很有影响。他认为带电微粒说更符合实际,决心用实验进行周密考察,找出确凿证据。为此,他进行了以下几方面的实验:

(1) 直接测阴极射线携带的电荷。J. J. 汤姆生把联到静电计的电荷接受器(法拉第圆桶)安装在真空管的一侧(如图 19-3),平时没有电荷进入接收器。用磁场使射线偏折,当磁场达到某一值时,接收器接收到的电荷猛增,说明电荷来自阴极射线。

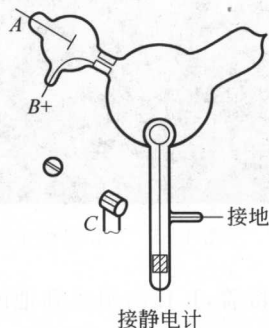


图 19-3 J. J. 汤姆生测阴极射线所带电荷的实验装置

(2) 使阴极射线受静电偏转。J. J. 汤姆生重复了赫兹的静电场偏转实验(图 19-4),起初也得不到任何偏转。后来经仔细观察,注意到在刚加上电压的瞬间,射束轻微摆动。他马上领悟到,这是由于残余气体分子在电场的作用下发生了电离,正负离子把电极上射线所带电荷的

实验装置的电压抵消掉了。显然这是由于真空度不够高的原因。于是,他在实验室技师的协助下努力改善真空条件,并且减小极间电压,终于获得了稳定的静电偏转。这样,J.J. 汤姆生就获得了驳斥以太说的重要证据。

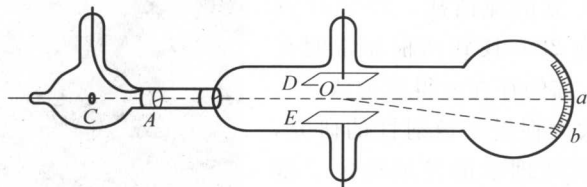


图 19-4 J.J. 汤姆生静电偏转管

(3) 用不同方法测阴极射线的荷质比。一种方法是在图 19-6 的管子两侧各加一通电线圈,以产生垂直于电场方向的磁场,然后根据电场和磁场分别造成的偏转,计算出阴极射线的荷质比 e/m 与微粒运动的速度。另一种方法是测量阳极的温升,因为阴极射线撞击到阳极,会引起阳极的温度升高。J.J. 汤姆生把热电偶接到阳极,测量它的温度变化。根据温升和阳极的热容量可以计算粒子的动能,再从阴极射线在磁场中偏转的曲率半径,推算出阴极射线的荷质比与速度。两种不同的方法得到的结果相近,荷质比都是 $e/m \approx 10^{11} \text{ c/kg}$ 。

(4) 证明电子存在的普遍性。J.J. 汤姆生还用不同的阴极和不同的气体做实验,所得荷质比数量级相同,证明各种条件下的粒子流都是相同的,不因电极材料和气体成分而异。(图 19-5 和图 19-6)

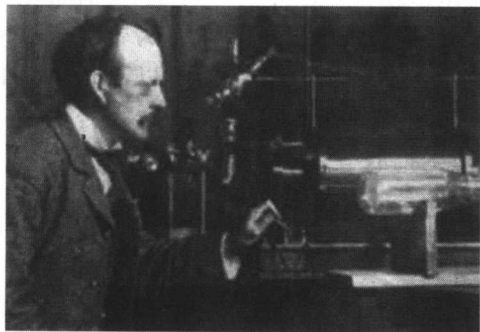


图 19-5 J.J. 汤姆生在做实验

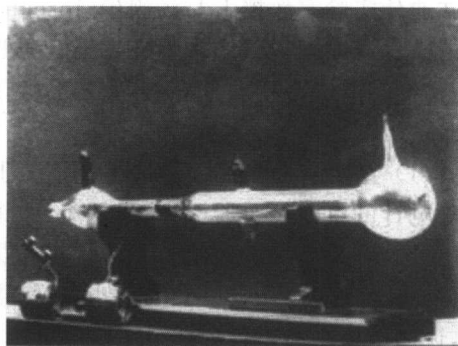


图 19-6 J.J. 汤姆生的实验装置

接着,J.J. 汤姆生和他的学生们用几种方法直接测到了阴极射线载荷子所带的电量,证明与氢离子带电量相同。1899 年,J.J. 汤姆生采用斯坦尼(G. T. Stoney, 1826—1911)的“电子”一词来表示他的“载荷子”。

J. J. 汤姆生根据大量实验事实作出判断：不论是阴极射线、 β 射线还是光电流，都是电子组成的；不论是由于强电场的电离、正离子的轰击、紫外光的照射、金属受灼热还是放射性物质的自发辐射，都发射出同样的带电粒子——电子。这种带电粒子比原子小千倍，电子是原子的组成部分，是物质的更基本的单元。这是一个非常重要的结论，原子不可分的传统观念从此彻底破灭了。

第二节 黑体辐射的研究

一、为什么“能量子”这一自然界最基本的物理概念首先出现在 19 世纪末的热辐射领域？

热辐射是 19 世纪发展起来的一个物理学新领域，它的研究得到了热力学和光谱学的支持，同时用到了电磁学和光学的新兴技术，在实验上、理论上都得到了长足的发展（见表 19-1）。

表 19-1 热辐射研究的发展历程（实验发现与理论分析的比较）

年代	人 物	实验发现	理论分析
1800	赫谢尔	观察太阳光谱的热效应时发现了红外线	
1815	夫琅和费	测绘出太阳光谱的能量分布曲线	
1821	塞贝克	发现温差电现象并用之于测量温度	
1830	诺比利	发明热辐射测量仪，制成适用于热辐射的光学器件	
1858	缪勒	测绘热辐射的能量分布	
1859	基尔霍夫		提出热辐射定律：任何物体的发射本领和吸收本领的比值与物体特性无关，是波长和温度的普适函数
1862	基尔霍夫		提出绝对黑体的概念
1865	丁铎尔	测绘热辐射的能量分布曲线	
1879	斯忒藩	根据实验得出黑体辐射总能量 E 与黑体温度 T 的关系： $E = \sigma T^4$ 。	

续表

年代	人 物	实验发现	理论分析
1881	兰利	精密热辐射测量仪	
1884	玻尔兹曼		从电磁学和热力学理论证明了斯忒藩定律
1886	兰利	精确测量热辐射能量分布曲线	
1887	米切尔松	为辐射能量分布提出经验公式 $u = b\lambda^{-6} T^{3/2} e^{-a/\lambda^2 T^2}$	
1893	维恩(W. Wien)		提出辐射能量分布定律: $u = b\lambda^{-5} e^{-a/\lambda T}$ (维恩定律) 及位移定律: $\lambda_m T = \text{const.}$, 解释了兰利能量分布曲线
1890 年代初	普林舍姆 (E. Pringsheim)	改进了热辐射计	
1890 年代初	波伊斯	创制了微量辐射计	
1895	维恩和卢梅尔 (Otto Lummer)	建议用加热的空腔替换涂黑的铂片来代表黑体	
1895	卢梅尔和普林舍姆	用专门设计的空腔炉进行实验	
1896	帕邢(F. Paschen)	提高微量辐射计的灵敏度, 并根据实验得到经验公式 $u = b\lambda^{-n} e^{-a/\lambda T}$, (其中 $n=5-6$)	
1897—1899	普朗克		经过二三年的努力, 从基本理论推导出了维恩定律
1899 年 2 月	卢梅尔与普林舍姆	实验证实维恩定律	
1899 年 11 月	卢梅尔	注意到实验与理论(维恩定律)有偏差	
1900 年 2 月	卢梅尔与普林舍姆	发现在长波方向($\lambda < 8\mu\text{m}$)实验与维恩定律有系统偏差	
1900	鲁本斯(H. Habens) 和库尔班(Kurbaum)	发现在长波区域($\lambda < 51.2\mu\text{m}$)能量密度与绝对温度成正比	
1900 年 6 月	瑞利		认为在高温和长波的情况下, 麦克斯韦-玻尔兹曼的能量均分原理仍然有效, 据此提出瑞利定律, 即能量密度 $u \propto \nu^2 T$ 或 $u \propto \lambda^{-4} T$, 这样就可以解释鲁本斯的实验结果

续表

年代	人 物	实验发现	理论分析
1900 年 10 月	普朗克		根据维恩定律和瑞利定律推得新的辐射能量分布定律 $u = b\lambda^{-5} \cdot \frac{1}{e^{a/\lambda T} - 1}$
1900 年 10 月	鲁本斯	实验证实普朗克能量分布定律	
1900 年 12 月	普朗克		提出能量子假设: $\epsilon = h\nu$, 量子概念从此诞生

热辐射作为一种原子现象,其基本规律必然涉及量子概念。按理说,人类认识量子规律的机会是很多的,因为凡是涉及微观过程的现象都毫无例外地要服从量子理论。可是,许多涉及微观过程的现象实际上都很复杂,难以透过表面现象里显露其本质。

热辐射之所以能成为量子假说的突破口,正是由于 19 世纪末物理学的几大分支——热力学、统计物理学和电磁学都已成熟,热辐射研究基于光谱学高度精密的实验技术和热力学及电磁学严格理论体系的支持,到 19 世纪末已经处于物理学的顶峰,这就使得基尔霍夫有可能提出热辐射定律和黑体概念,维恩和普朗克有可能从经典理论推导黑体辐射定律。而在实验上,此时测量仪器和实验条件也达到了前所未有的高度。在热辐射领域中有可能利用光谱学中最为精密的凹面光栅进行红外分谱,运用电桥方法和电阻温度计测量温差和辐射能量。可见,热辐射虽然是一门后起的学科,19 世纪末却处于物理学的高峰。正如马克斯·冯·劳厄(Max von Laue)在他的《物理学史》上说的:这时“热力学和光学已发展到这样的程度,以至它们俩的结合能够产生一个‘婴儿’,它注定会引起物理学的最大的革命。”^①

二、普朗克与量子理论在德国的创立

19 世纪末,德国的科学技术居世界前列,物理学的中心已经转移到了德国,不论在理论方面,还是在实验方面,它都处于世界领先地位。热力学、光学和电磁学的许多先驱都出生于德国或德语国家。后来成为量子理论的重要实验依据的光谱学在德国拥有牢固的基础,热辐射能谱研究德国更是领先。

19 世纪末,德国刚刚完成统一,又由于普法战争的胜利,从法国割取了阿尔萨斯和洛林两个重要矿区,由农业国一跃而成资本主义的先进工业国,最迫切的莫过于重工业和

^① 劳厄:《物理学史》,戴念祖译,第 117 页,北京,商务印书馆,1978。

化学工业的技术改造,其中包括炼钢炉的改造。测量高温是当时最突出的难题之一。此时,由西门子公司捐资兴建的帝国技术物理研究所(Physikalisch-Technische Reichsanstalt, PTR)在柏林近郊创立了。这个研究所相当于国家计量局,主要任务是研究基本量度基准。内分两个小组,第一组从事基本量热学研究,特别是高温测量,也进行电阻测量、大电流测量等研究课题。第二组从事技术方面的课题,例如建立光学单位。PTR虽然没有正式安排热辐射研究任务,但是上述这些课题几乎都与温度的测量有关,因此,研究人员的兴趣很自然地引向热辐射这一新兴领域。在这个研究集体中,有好几位出色的实验物理学家,他们都对热辐射作出了重大贡献。其中有:卢梅尔、库尔班、普林舍姆(改进了热辐射计)和鲁本斯(红外技术的先驱)。在这一研究集体的外围还有帕邢(光谱学家)和万勒(Wanner——光测高温计的发明者)。维恩则是一位对实验、理论都很擅长的物理学家。他是该研究所创始人(所长)亥姆霍兹的学生和助手,从1884年建所就在这里工作。1893年,维恩提出辐射能量分布定律(也称维恩辐射定律):

$$u = b\lambda^{-5} e^{-a/\lambda T} \quad (19-1)$$

其中 u 是能量随波长 λ 分布的函数,称作能量密度, T 表示绝对温度, a 、 b 为两个任意常数。从公式(19-1)可得维恩位移定律:

$$\lambda_m T = \text{const.} \quad (19-2)$$

即,对应于能量密度 u 最大值的波长 λ_m 与温度 T 成反比。

1895年,维恩和卢梅尔建议用加热的空腔替换涂黑的铂片来代表黑体,使得热辐射的实验研究又大大地推进了一步。随后,卢梅尔和普林舍姆用专门设计的空腔炉进行实验,初步结果基本与维恩理论相符。维恩在推导能量分布定律时,有意识地模仿分子运动论的方法,把辐射看成是一个一个谐振子,这正是后来普朗克采用的方法。如果维恩沿着这一方向继续走下去,很可能发现能量子的桂冠会属于他,但是不巧,1894年的9月所长亥姆霍兹去世,新任所长反对大家业余做基础研究,维恩因此于1895年辞职转任亚琛大学电磁学教授。原来维恩和卢梅尔的合作,改由普林舍姆和卢梅尔合作。这时,鲁本斯推荐他的好友、柏林大学著名理论物理学家普朗克来参加讨论。普朗克对热辐射的研究也很有兴趣,由于他在热力学领域有深厚造诣,很快就接替维恩,成为该研究小组的核心。

维恩分布定律在1893年发表后引起物理学界的注意。实验物理学家力图用更精确的实验检验,理论物理学家则希望把它纳入热力学的理论体系。普朗克认为维恩的推导过程假设太多,难令人信服。于是从1897年转向这一问题的研究。终于在1899年用更系统的方法以尽量少的假设从基本理论推出维恩公式。普朗克把电磁理论用于热辐射和谐振子的相互作用,通过熵的计算,得到了维恩分布定律,从而使这个定律获得了普遍的意义。

然而就在这时, PTR 成员的实验结果表明维恩分布定律与实验有偏差。1899 年卢梅尔与普林舍姆向德国物理学会报告, 他们把空腔加热到 $800 \sim 1400\text{K}$, 所测波长为 $0.2 \sim 6\mu\text{m}$, 得到的能量分布曲线基本上与维恩公式相符, 但公式中的常数似乎随温度的升高略有增加。不久他们再次报告, 在长波方向(他们的实验测到 $8\mu\text{m}$)有系统偏差。温度越高, 偏离得越厉害。接着, 鲁本斯和库尔班将长波测量扩展到 $51.2\mu\text{m}$, 发现在长波区域辐射能量分布函数(即能量密度)与绝对温度成正比。普朗克刚刚从经典理论严格推导得出的维恩分布定律, 看来并没有得到实验的完全支持。正在这时, 瑞利从另一途径提出了能量分布定律。

英国著名物理学家瑞利看到维恩分布定律在高温和长波情况下的偏离, 感到有必要提醒人们, 在高温和长波的情况下, 麦克斯韦-玻尔兹曼的能量均分原理似乎仍然有效。于是他假设在辐射空腔中, 电磁谐振的能量密度按自由度平均分配, 由此得出:

$$u \propto \nu^2 T \quad \text{或} \quad u \propto \lambda^{-4} T$$

也就是说, 在高温和长波情况下, 能量密度可与绝对温度成正比, 这个结果要比维恩分布定律更能反映高温下长波辐射的情况, 因为当 $\lambda T \rightarrow \infty$ 时, (19-1) 式 $u = b\lambda^{-5} e^{-a/\lambda T} \propto \lambda^{-5}$, 与温度无关, 可是实验证明, 此时 u 与 T 成正比。1900 年瑞利提出上述公式代表了热辐射的一种极端情况, 有利于普朗克提出全面的辐射公式。

理论物理学家普朗克也密切注意实验的进展, 并保持与实验物理学家的联系。正当他准备重新研究维恩分布定律时, 他的好友鲁本斯告诉他, 自己新近红外测量的结果, 确证长波方向能量密度 u 与绝对温度 T 有正比关系, “对于(所达到的)最长波长(即 $51.2\mu\text{m}$), 瑞利提出的定律是正确的。”这个情况立即引起了普朗克的重视。他试图找到一个公式, 把代表短波方向的维恩公式和代表长波方向的瑞利公式综合在一起:

$$u = b\lambda^{-5} \cdot \frac{1}{e^{a/\lambda T} - 1} \quad (19-3)$$

这就是普朗克辐射定律, 跟维恩辐射定律相比, 仅在指数函数后多了一个 (-1) 。

得知这一公式后的鲁本斯立即把自己的实验结果跟这个公式比较, 发现完全符合。于是 1900 年 10 月 19 日, 普朗克和鲁本斯向德国物理学会汇报, 普朗克以《维恩光谱方程的改进》为题报告了他得到的经验公式。

三、普朗克提出能量子假设

作为理论物理学家, 普朗克当然并不满足于找到一个经验公式。他在 1900 年底用一个能量不连续的谐振子假设, 按照玻尔兹曼的统计方法, 推导出黑体辐射公式。关于这个过程, 普朗克后来回忆: “即使这个新的辐射公式证明是绝对精确的, 如果仅仅是一

个侥幸揣测出来的内插公式,它的价值也只能是有限的。因此,从10月19日提出这个公式开始,我就致力于找出这个公式的真正物理意义。这个问题使我直接去考虑熵和几率之间的关系,也就是说,把我引到了玻尔兹曼的思想。”^①

这里指的熵和几率的关系就是玻尔兹曼对热力学第二定律的统计解释。玻尔兹曼早在1877年提出,一个系统的任意状态的熵 S 和该系统的热力学概率 W 的对数成正比,即

$$S \propto \ln W$$

“系统的热力学概率”指的是对应于宏观状态的微观状态数。每种微观状态表示能量在分子中的一种分配方式(也称为配容),各种分配方式的机会均等,即配容数相等。普朗克不同意统计观点,认为几率定律每一条都有例外,而热力学第二定律则普遍有效,就此曾与玻尔兹曼进行论战。但是,普朗克从热力学的普遍理论没有直接推出新的辐射定律,只好用玻尔兹曼的统计方法来最后一试。玻尔兹曼的方法首先要求把能量分给有限个数的谐振子,就像分配给单个的分子原子那样。设能量 E 划分为 P 个相等的小份额 ϵ (能量元),即

$$E = P\epsilon$$

这些能量元 ϵ 在 N 个谐振子中可以按不同的比例分给单个谐振子。假设有 W 种分配方式(配容数),根据排列组合法则,可得:

$$W = \frac{(N+P-1)!}{(N-1)!P!}$$

由于 N, P 均 $\gg 1$,利用斯特林公式, $\ln x! = x \ln x - x$, 得:

$$W = (N+P)^{N+P} / N^N P^P \quad (19-4)$$

将(19-4)式取对数,得:

$$\ln W = (N+P) \ln(N+P) - N \ln N - P \ln P.$$

因为 N 个谐振子系统的熵 S_N 是单个谐振子的熵的 N 倍,即 $S_N = NS$, 单个谐振子的平均能量

$$U = \frac{E}{N} = \frac{P\epsilon}{N}, \quad \text{而 } S_N = k \ln W$$

其中 k 称为玻尔兹曼常数,得:

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) - \frac{U}{\epsilon} \ln \frac{U}{\epsilon} \right] \quad (19-5)$$

从热力学公式 $\frac{1}{T} = \frac{dS}{dU}$ 可求出:

^① 赫尔曼:《量子论初期史》,周昌忠译,第19页,北京,商务印书馆,1980。

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{\epsilon} \left[\ln \left(1 + \frac{U}{\epsilon} \right) - \ln \frac{U}{\epsilon} \right]$$

于是得：

$$U = \frac{\epsilon}{e^{\epsilon/kT} - 1} \quad (19-6)$$

另一方面，普朗克通过熵的运算，得到与维恩位移定律相当的熵函数，对于一个谐振子系统，熵 S 是系统能量 U 与频率 ν 之商的函数，即 $S = f\left(\frac{U}{\nu}\right)$ 。普朗克于 1900 年 12 月 14 日在德意志物理学会会上宣读了题为《论正常光谱中的能量分布定律》的论文，文中写道：

“可见，对于在任意透热介质中振动的振子而言，决定其熵值的，除了一些普适常数外，只有一个变量 $\frac{U}{\nu}$ 。这个方程是我所知的维恩位移定律的最简单的形式。”^①

接着，普朗克作出具有历史意义的决断：

“如果将维恩定律的这一公式和关于 S 的方程(19-5)一起考虑，就会发现能量单元 ϵ 一定和频率成正比，即：

$$\epsilon = h\nu$$

因此有：

$$S = k \left[\left(1 + \frac{U}{h\nu} \right) \ln \left(1 + \frac{U}{h\nu} \right) - \frac{U}{h\nu} \ln \frac{U}{h\nu} \right]$$

这里 h 和 k 是普适常数”。

于是，公式(19-5)就可改写为：

$$U = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

或能量密度

$$u = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}。$$

普朗克还根据黑体辐射的测量数据，计算出普适常数 h 值：

$$h = 6.65 \times 10^{-27} \text{ 尔格} \cdot \text{秒} = 6.65 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

人们称这个常数为普朗克常数(即普朗克所谓的“作用量子”)，而把能量元称为能量子。1918 年诺贝尔物理学奖授予普朗克，以承认他发现能量子对物理学的贡献。1900 年 12 月 14 日成为量子物理学的誕生日。能量子假设的提出，为量子理论的建立奠定了第一块基石，引发以后的一系列进展(见表 19-2)。

① 沙摩斯：《物理史上的重要实验》，史耀远等译，第 374 页，北京，科学出版社，1985。

表 19-2 量子理论的发展历程

年代	人 物	贡 献
1900	普朗克**	提出能量子假设
1905	爱因斯坦*	提出光量子假说,解释了光电效应等现象
1906	爱因斯坦	发表关于固体热容的量子理论
1913	玻尔*	提出轨道跃迁原子模型
1914	密立根*	实验验证爱因斯坦光电方程
1916	爱因斯坦	提出受激辐射理论
1922	斯特恩* 与 盖拉赫	观测到分立的磁矩,从而证实空间量子化理论
1923	康普顿*	发现康普顿效应
1924	德布罗意*	提出微观粒子具有波粒二象性的假设
1924	玻色和爱因斯坦	提出玻色-爱因斯坦统计方法
1925	泡利*	提出不相容原理
1925	乌伦贝克和高斯密特	提出电子自旋假设
1926	薛定谔*	发表波动力学,证明矩阵力学和波动力学的等价性
1926	费米* 与 狄拉克*	独立提出费米-狄拉克统计
1926	玻恩*	发表波函数的统计诠释
1927	海森伯*	提出不确定原理
1927	玻尔	提出量子力学的互补原理
1927	戴维森* 与 G. P. 汤姆生*	发现电子衍射
1928	拉曼*	发现散射光的频率变化,即拉曼效应
1928	狄拉克*	发表相对论电子波动方程
1931	狄拉克	提出正电子的空穴理论

* 表示是诺贝尔奖获得者。

第三节 相对论的建立和发展

相对论是现代物理学的重要基石,是 20 世纪自然科学最伟大的成就之一,对物理学、天文学乃至哲学思想都有深远影响。创建这一理论的是年仅 26 岁的理论物理学家

爱因斯坦。1905 年头几个月,爱因斯坦一连发表了四篇重要论文,分别在辐射理论、分子动理论和力学与电动力学的基础理论三个不同的领域提出了新的见解。其中《论动体的电动力学》一文具有划时代的意义,首次提出崭新的时间空间理论,解决了光速的不变性与速度合成法则之间的矛盾以及电磁理论中的不对称等难题。爱因斯坦把这个理论称为相对性理论,即狭义相对论。

一、相对论创立的先导

迈克耳逊-莫雷实验往往被人们看成是爱因斯坦相对论的先导。这个实验试图测量地球相对于“以太”的漂移速度,却得到零结果,成为笼罩在 19 世纪经典物理学上空的乌云。19 世纪人们从不同途径测定地球相对于“以太”的漂移速度,都毫无例外地无功而返,因而促使人们对以太和绝对坐标系的存在产生怀疑。其实,相对论是科学技术发展到一定阶段的必然产物,是经典物理学,特别是电磁理论合乎逻辑的发展,是物理学相关分支包括力学、电磁学、光学再次综合的结果。

19 世纪后半叶,光速的精确测定为光速的不变性的提供了实验依据,这也是相对论的重要支柱。电磁理论为光速的不变性的提供了理论依据。1865 年麦克斯韦在《电磁场的动力学理论》一文中,从波动方程得出了电磁波的传播速度,并且证明电磁波的传播速度只取决于传播介质的性质。1890 年赫兹把麦克斯韦电磁场方程改造得更为简洁。指出,电磁波的波速(即光速) c 与波源的运动速度无关。可见,从电磁理论出发,光速的不变性的很自然的结论,然而这个结论与力学中的伽利略变换抵触。

为解决这些矛盾,费兹杰惹(G. F. Fitz Gerald, 1851—1901)在 1889 年、洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)在 1892 年分别提出长度收缩假说来解释以太漂移的零结果。接着,洛伦兹发展动体的电动力学,假设以太是绝对静止的,从他的电磁理论推出菲涅耳曳引系数。在 1895 年与 1904 年先后提出一阶与二阶变换理论,建立一组变换方程(洛伦兹变换):

$$\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2} \quad (19-7)$$

$$x' = \gamma(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma(t - vx/c^2) \quad (19-8)$$

从而把一个时空坐标系 (x', y', z', t') 与另一个以不变速度 v 相对于它运动的时空坐标系 (x, y, z, t) 联系起来。

洛伦兹的理论尽管能够解释一些现象,例如为什么探测不到地球相对于以太的运动,但却是在保留以太的前提下,采取修补的办法,人为引入大量假设,致使概念繁琐而缺乏逻辑的完备性和体系的严密性。洛伦兹提出的时空变换方程在形式上与后来爱因斯坦的狭义相对论几乎完全相同,但是没有跳出绝对时空观的框架。他已经走到了狭义

相对论的边缘,却没有能够创立狭义相对论。

英国物理学家拉摩(J. Larmor, 1859—1942)也是相对论的先驱,他以 1895 年发现在外磁场中转动的电子的进动闻名于世,1898 年完成《以太和物质》一文,文中不仅包含精确的变换方程,而且还推出费兹杰惹-洛伦兹长度收缩公式。

法国科学家彭加勒在 1895 年就对用长度收缩假说解释以太漂移的零结果表示不同看法。1902 年,他在《科学的假设》一书中,对牛顿的绝对时空提出质疑。1904 年彭加勒提出“相对性原理”已非常接近狭义相对论的实质,但是在最关键的地方,他却声明“还没有任何东西证明(旧原理)不会胜出”。

总之,20 世纪初大量的实验和理论研究,为狭义相对论的创建准备了必要的条件,正如后来爱因斯坦在一封信中所说:“毫无疑问,要是我们从回顾中去看狭义相对论的发展的话,那么它在 1905 年已到了发现的成熟阶段。洛伦兹已经注意到,为了分析麦克斯韦方程,那些后来以他的名字而闻名的变换是重要的;彭加勒在有关方面甚至更深入钻研了一步”。^① 但是经典理论尚无法摆脱绝对时空观的束缚,历史的重任只能由具有独立批判精神的爱因斯坦来承担。

二、爱因斯坦创立狭义相对论的经过

爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955)是犹太人,诞生于德国的乌尔姆。父亲是一小业主,经营一家电器作坊。爱因斯坦小时并不显得才华出众,说话很晚,直到 5 岁话还说不清楚,曾被医生认为发育不正常。不过,他很爱思考,有强烈的求知欲和好奇心。爱因斯坦不喜欢当年德国的教育制度,中学没有毕业就退学在家自修,16 岁自学掌握了微积分。在自学中,爱因斯坦从伯恩斯坦(A. Bernstein)著《自然科学通俗读本》中了解了整个自然科学领域的主要成果和方法。16 岁,爱因斯坦来到瑞士的苏黎世,目的是上那里的联邦工业大学,却因不善记忆而未被录取,转到阿劳(Aarau)州立中学补习功课。他在自述中写道:“这所学校以它的自由精神和那些毫不仰赖外界权威的教师们的纯朴热情给我留下了难忘的印象。”当他 17 岁作为学习数学和物理学的学生进入苏黎世工业大学时,已经有了一些理论物理学基础。

爱因斯坦在他的《自述片断》中写道:

“在阿劳这一年中,我想到这样一个问题:倘若一个人以光速跟着光波跑,那么他就处在一个不随时间而改变的波场之中。但看来不会有这种事情! 这

^① 玻恩:《我这一代的物理学》,第 232 页,北京,商务印书馆,1964。

是同狭义相对论有关的第一个朴素的思想实验。”^①

“经过十年沉思之后，我从一个悖论中得到了这样一个原理，这个悖论我在16岁时就已经无意中想到了：如果我以速度 c （真空中的光速）追随一条光线运动，那么我就应当看到，这样一条光线就好像一个在空间里振荡着而停滞不前的电磁场。可是，无论是依据经验，还是按照麦克斯韦方程，看来都不会有这样的事情。从一开始，在我直觉地看来就很清楚，从这样一个观察者的观点来判断，一切都应当像一个相对于地球是静止的观察者所看到的那样按照同样的一些定律进行。因为，第一个观察者怎么会知道或者能够判明他是处在均匀的快速运动状态中呢？”^②

爱因斯坦在1922年的讲演中回忆：“最初当我有这个想法时，我并不怀疑以太的存在，不怀疑地球相对以太的运动。”甚至还设想用热电偶做一个实验，比较沿不同方向的两束光线所放出的热量。^③

不久，爱因斯坦得知迈克耳逊-莫雷实验的零结果，由此认识到地球相对于以太的运动是不能用任何仪器测量的。他继续回忆说：“如果承认迈克耳逊的零结果是事实，那么地球相对于以太运动的想法就是错的，这是引导我走向狭义相对论的第一步。”^④

爱因斯坦很欣赏洛伦兹方程不但适用于真空中的参照系，而且适用于运动物体的参照系。他试图用洛伦兹方程讨论斐索的流水中光速实验。当时他坚信麦克斯韦和洛伦兹电动力学方程是正确的，进一步推算却发现要保持这些方程对动体参照系同样有效，必然导致光速不变性的概念，而光速的不变性明显地与力学的速度合成法则相抵触。爱因斯坦起初想修改洛伦兹的观念，以解决这个矛盾，结果却是一年未取得进展。

经过10的思考，当时在瑞士专利局工作的爱因斯坦终于在1905年的一天，找到解决问题的关键。他在1922年回忆：“这个问题的答案来自对时间概念的分析，不可能绝对地确定时间，在时间和信号速度之间有着不可分割的联系。利用这一新概念，我第一次彻底地解决了这个难题。”1905年9月，《论动体的电动力学》发表在德文《物理学年鉴》上，开头是这样说的：

“大家知道，麦克斯韦电动力学——像现在通常为人们所理解的那样——应用到运动的物体上时，就要引起一些不对称，而这种不对称似乎不是现象所固有的。比如设想一个磁体同一个导体之间的电动力的相互作用。在这里，可观察到的现象只同导体和磁体的相对运动有关，可是按照通常的看法，这两个

① 《爱因斯坦文集》第一卷，第44页，北京，商务印书馆，1976。

② 《爱因斯坦文集》第一卷，第24页，北京，商务印书馆，1976。

③ A. Einstein. How I Created the Theory of Relativity. *Phys. Today*. 1982, 8:45.

④ A. Einstein. How I Created the Theory of Relativity. *Phys. Today*. 1982, 8:45.

物体之中,究竟是这个在运动,还是那个在运动,却是截然不同的两回事。

“诸如此类的例子,以及企图证实地球相对于‘光媒质’运动的实验的失败,引起了这样一种猜想:绝对静止这概念,不仅在力学中,而且在电动力学中也不符合现象的特性,倒是应当认为,凡是对力学方程适用的一切坐标系,对于上述电动力学和光学的定律也一样适用,对于第一级微量来说,这是已经证明了的。”

在爱因斯坦的理论里,不需要特设的绝对静止参照系,因而以太的概念是多余的。爱因斯坦不是像洛伦兹那样,事先假设某种时空变换关系,而是以两个公设(相对性原理和光速不变原理)为出发点,推导出时空变换关系。他非常简洁地建立了一系列新的时空变换公式之后,立即推导出运动物体的“长度收缩”、运动时间的“时钟变慢”、同时性的相对性以及新的速度合成法则,由此形成一套崭新的时空观。

读到这里,读者也许要问:爱因斯坦本人在回忆往事时多次提到他的“追光”思考,可是在他的原作中却笼统地用“诸如此类的例子”来表示,引出问题是从麦克斯韦电动力学的不对称性入手,这是怎么回事?

根据史料和爱因斯坦的原著可以判断,引导爱因斯坦创建狭义相对论的最基本线索还是电磁学。从他 1919 年写的一篇从未发表过的手稿反映出他的思路:

“在构思狭义相对论的过程中,关于法拉第电磁感应(实验)的思考对我起了主导作用。按照法拉第的说法,当磁体对于导体回路有相对运动时,导体回路就会感应出电流。不管是磁体运动还是导体回路运动,结果都一样。依照麦克斯韦-洛伦兹理论,只需计及相对运动。然而,对这两种情况理论上的解释截然不同……想到面对着的竟是两种根本不同的情况,我实在无法忍受。这两种情况不会有根本的差别,我深信只不过是选择参考点的差别。从磁体看,肯定没有电场;可是从导体回路看,却肯定有电场。于是电场的有无就成为相对的了,取决于所用坐标系的运动状况。只能假设电场与磁场的总和是客观现实。电磁感应现象迫使我假设(狭义)相对性原理。必须克服的困难在于真空中光速的不变性,我最初还不得不想要放弃它。只是在经过若干年的探索之后,我才注意到这个困难在于运动学上一些基本概念中的任意性上。”^①

这里所谓的任意性,大概是指“同时性”这类概念。爱因斯坦追求的目标是普遍性的自然法则,他在《自述》中写道:

“不论是力学还是热力学(除非在极限情况下)都不能要求严格有效。渐渐

^① 转引自 G. Holton. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Harvard Univ. Press, 1973. 363.

地我对那种根据已知事实用构造性的努力去发现真实定律的可能性感到绝望了。我努力得愈久,就愈加失望,也就愈加确信,只有发现一个普遍形式的原理,才能使我们得到可靠的结果。我认为热力学就是放在我面前的一个范例。”^①

哲学的思考也是引导爱因斯坦前进的重要因素。康德的《纯粹理性批判》,马赫的《力学史评》对少年爱因斯坦产生了深刻的影响。1902年前后,爱因斯坦和几个年轻朋友组成“奥林比亚科学院”(图 19-7),研读斯宾诺莎、休谟、彭加勒等人的科学和哲学著作。斯宾诺莎关于自然界统一的思想,休谟的时空观,马赫对牛顿绝对时空观的批判都引起爱因斯坦极大的兴趣。在《自述》中他说:“只要时间的绝对性或同时性的绝对性这条公理不知不觉地留在潜意识里,任何想要令人满意地澄清这个悖论的尝试都是注定要失败的。清楚地认识到公理以及它的任意性实际上就意味着问题的解决。对于发现这个中心点所需要的批判思想,就我的情况来说特别是由于阅读了戴维、休谟、恩斯特、马赫的哲学著作而得到决定性的进展。”^②

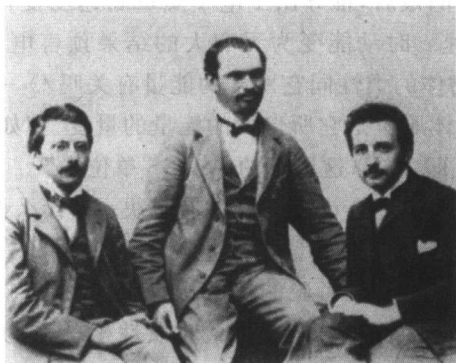


图 19-7 爱因斯坦(右)和几个年轻朋友组成“奥林比亚科学院”

三、从狭义相对论到广义相对论

爱因斯坦关于狭义相对论的工作经历了以下几个阶段:

- (1) 从洛伦兹的动体电动力学理论,他开始相信,如同力学现象一样,在测定电磁和光学现象方面,只有有质物体的相对运动才有意义;
- (2) 他对洛伦兹动体电动力学很是失望;

^① 《爱因斯坦文集》第一卷,第 23 页,北京,商务印书馆,1976。

^② 《爱因斯坦文集》第一卷,第 24 页,北京,商务印书馆,1976。

- (3) 他试图建立另一种电动力学理论,没有取得成功;
- (4) 他重新考察洛伦兹理论,集中关注光速不依赖于光源的速度之类的问题;
- (5) 他认识到有关时空间隔的假设,导致他去考察遥远事件的同时性概念;
- (6) 他从物理学上定义同时性,并且根据相对性原理和光速原理,建构了一个新的运动学理论。

爱因斯坦在《论动体的电动力学》一文中,首先讨论了“同时性”的定义。然后,以两个公设为依据来考察长度和时间的相对性:

“公设 1 物理体系的状态据以变化的定律,同描述这些状态变化时所参照的坐标系究竟是用两个在互相匀速移动着的坐标系中的哪一个并无关系。”(相对性原理)

“公设 2 任何光线在‘静止的’坐标系中都是以确定的速度 V 运动着,不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的。”^①(光速不变原理)

爱因斯坦在这篇论文的最后,推导出了电子质量随速度变化的关系和电子的动能公式,并由电子速度等于光速 c 时动能变为无穷大的结果预言电子速度不可能大于光速。1905 年,爱因斯坦发表《物体的惯性同它所含的能量有关吗?》一文,首次提出相对论的质能转化关系 $E=mc^2$: “物体质量是它所包含的能量的量度”,“如果能量改变 L ,则质量也要同时改变 $L/(9 \times 10^{20})$ (即 L/c^2 ,这里用的是 CGS 单位)。”

爱因斯坦认为狭义相对论还有许多问题没有解决:为什么惯性坐标系在物理学中比其他坐标系更为优越?为什么惯性质量随能量变化?为什么一切物体在引力场中下落都具有同样的加速度?刚刚经受住考验的狭义相对论,为什么一用到引力场中就遇到了矛盾?他坚信自然界的和谐和统一,认为要么对惯性坐标系为什么会特别优越作出解释,要么放弃惯性坐标系的特殊优越地位。1907 年他认识到:“在狭义相对论的框子里,是不可能有人满意的引力理论的。”

1907 年,爱因斯坦发表第一篇有关广义相对论的论文《关于相对论原理和由此得出的结论》,首次提出等价原理(等效原理)的假设:“引力场同参照系的相当的加速度在物理上完全等价。”文中还提出广义相对性原理:“迄今为止,我们只把相对论原理,即认为自然规律同参照系的状态无关这一假设应用于非加速参照系。是否可以设想,相对性运动原理对于相互作用加速运动的参照系也依然成立?”他假设可以用一个均匀加速的参照系来代替均匀引力场。

跟狭义相对论的两条看似矛盾的基本公设一样,广义相对论的两条基本原理也存在一定的矛盾。正如他在《自述》中说的:“其主要原因在于:要使人们从坐标必须具有直

^① 《爱因斯坦文集》第一卷,第 247 页,北京,商务印书馆,1976。

接度规意义这一观念中解放出来,可不是那么容易。”所谓直接度规,指的是坐标差等于可量度的长度或时间。这是又一条自古以来的传统观念,现在必须用柔性度规来代替直接度规,也就是要把洛伦兹变换推广为非线性变换。

爱因斯坦研究广义相对论,经历了一个比建立狭义相对论还更漫长的探索道路,主要困难是缺乏合适的数学工具。1913年,他与格罗斯曼(M. Grossmann)合作建立了引力的度规场理论,发表《广义相对论和引力论》,系统论述广义相对论的物理原理和数学方法,引入黎曼张量,把平直空间的张量运算推广到弯曲的黎曼空间。

1915年,爱因斯坦连续发表了几篇有关广义相对论的论文,其中《用广义相对论解释水星近日点运动》第一次用广义相对论计算出水星的剩余进动,并且声明:“在本文中我找到了这种最彻底和最完全的相对论的一个重要证明。”同年发表《引力的场方程》,提出广义相对论引力场方程的完整形式。

1916年,爱因斯坦发表《广义相对论的基础》,对广义相对论的研究作了全面总结。爱因斯坦证明了牛顿理论可以作为相对论引力理论的第一级近似,并且给出谱线红移、光线弯曲、行星轨道近日点进动的理论预言。这些预言在以后的岁月里都相继得到实验和天文观测的验证。

思考题

1. 19世纪末发生的物理学革命有什么时代背景?
2. 为什么说X射线、放射性和电子的发现有其必然性?
3. 为什么说量子假设是光学和热力学结合的产物?
4. 怎样理解爱因斯坦说的“相对论是一条可回溯几世纪的路线的自然继续”?

参考书目

1. 郭奕玲、沈慧君:《物理学史》(第二版),北京,清华大学出版社,2005。
2. 郭奕玲:《大学物理中的著名实验》,北京,科学出版社,1994。
3. 郭奕玲、沈慧君:《著名经典物理实验》,北京,北京科技出版社,1991。
4. 李醒民:《激动人心的年代》,成都,四川人民出版社,1984。
5. 郭奕玲、沈慧君:《诺贝尔物理学奖一百年》,上海,上海科普出版社,2002。

第二十讲

科学体制化与科学政策

和别的社会体制一样,科学体制有它特有的价值、规范和组织,其中强调创新的价值显然是合理的,因为只有创新才大大推动科学向前。

——R. J. 默顿

政府应该承担起促进新科学知识流动以及从青年人中培养科学人才的新责任。这是政府义不容辞的责任,因为这对于我们的健康、我们的工作和我们的国家安全至关重要。

——V. 布什

近代科学革命和工业革命使科学知识生产成为具有自身价值的相对独立的社会活动,如马克思所说,“科学作为应用于生产的科学同时就和直接劳动相分离”^①。科学与直接劳动的分离和独立既是科学迅速发展的必要前提,也使科学逐渐成为独特的社会建制。在这个科学体制化的过程中,不但在科学共同体内部形成了特定的规范,而且科学与政治之间也发生了日益密切的联系。社会在对科学家的知识生产提出特定要求的同时,也需要为科学的发展提供必要的制度保证和物质条件,国家的科学政策成为影响科学发展的重要因素。

第一节 科学的体制化及其历程

科学的体制化是逐步形成一种维系科学知识生产的相对稳定的社会模式和制度安排的过程。美国著名科学社会学家本-戴维(Ben-David Joseph, 1920—1986)在《科学家在社会中的角色》中,指出了体制化的三方面含义:(1)社会把一种特定的活动接受下来作为一种重要的社会功能,它是因其本身的价值才得到承认的;(2)存在着一些调整该特定活动领域中的行为规范,以实现其目标和有别于其他活动的自主权;(3)调整其他活动领域中的社会规范,以在某种程度上与该活动领域的社会规范相适应。他认为,科学的体

^① 《马克思恩格斯全集》,第47卷,第569页,北京,人民出版社,1979.

制化不但意味着承认精确的以及经验的科学研究是一种探索方法,它导致了重要的新知识的发现,而且意味着为科学研究提供各种各样的条件,如言论和出版自由、宗教与政治上的宽容以及使社会和文化适应不断变革的某种灵活性等。

一般来说,科学的体制化包括四个主要方面。

第一,形成有利于科学发展的价值观。作为一种社会建制,科学的体制目标是要不断生产新的知识,推进人类知识的进步。这种价值观要明确科学知识生产的特殊功能,表明科学作为一种社会建制存在的意义,以形成广泛的社会共识,使增进科学知识的生产、传播和应用成为得到社会充分肯定和支持的具有独特价值的社会活动。

第二,塑造促进科学进步的制度安排。形成与科学知识的产生、传播与应用相适应的社会秩序,包括科学家和工程师的行为规范,与科学活动相关联的制度安排;目的不但在于激励科学研究活动,而且在于规范相关社会角色的行为。

第三,建立适宜的组织形式。建构以科学家和其他科研人员为主要行动者的社会组织,包括学会、研究院、工业实验室、国家实验室、大学等组织形式,科学知识生产的社会组织结构的形成,是科学家成为职业化社会角色的基本条件。

第四,提供必要的物质条件。与制度安排和组织设计相适应,形成科学活动所必要的物质支撑体系,包括科学研究所需要的资金投入以及仪器设备与基础设施等。

科学体制化的上述四方面是相互联系和相互促进的。价值观的确立,是科学技术社会建制化的思想基础,物质支撑和支持体系的建立是科学社会建制化的重要保障,组织、制度体系的形成则是科学社会建制化的基本标志,构成了科学社会建制化的核心。

科学体制化包括“内部”体制化和“外部”体制化两个层面。

科学的“内部”体制化形成和建构了科学共同体内部的社会秩序。这种建制化主要是通过科学家之间的紧密的社会交往自组织地形成的,由于科学家的这种社会交往主要体现在理性认知的成果和方法的交流上,因此,这种建制化的基本特征是科学知识生产者之间的频繁互动。通过这种内部建制化,在科学共同体内部形成了知识生产和消费上的交换关系,也在科学共同体内部对不同科学家的知识成果进行有效的交流和评价,并通过“引用”等形式形成对不同科学家知识贡献的判定,导致“承认”的差异,由此形成了科学共同体中以科学贡献为基础的分层结构。

科学的“外部”体制化是科学知识生产在整个社会分工体系中的社会建制化,涉及科学系统与外部社会之间的联系,涉及科学知识生产者与其他社会角色(如政治家、企业家或其他社会集团等)之间的互动关系。这种制度化试图形成一种稳定的社会秩序,解决科学知识生产过程中的资源供给和条件支撑,试图通过同时关联着科学共同体和其他社会角色的社会制度和组织形式为科学知识生产提供更加强劲的动力和更加稳定的社会支持,并高效地利用科学共同体生产出来的科学知识。通过这种外部建制化,科学知识生产被纳入社会的物质和资源交换系统之中。

科学体制化的根据是科学活动具有重要的社会价值和社会功能,这种社会功能是不同的社会建制无法替代的。在形成这种价值观的过程中,英国思想家弗朗西斯·培根(Francis Bacon, 1561—1626)发挥了重要作用。在培根看来,“科学的真正合法目标,就只是给人类生活提供新的发现和力量。”^①但是长期以来,大多数人对于这一点是没有足够的认识的,人们不但不把增加科学技术知识作为解决现实社会中的实际问题的手段,而且反对把求知的目标与实用的目的结合起来。培根认为,要改变这种状况,需要倡导一种使科学服务于人类进步的、并在经验能力和理性能力之间永远建立起“真正合法的婚姻”的新观念。

培根“知识就是力量”的思想和以他为主要代表人物所倡导的“实验哲学”,对英国皇家学会的成立有重要影响(图 20-1)。1660 年英国皇家学会正式宣布成立并确认了第一批会员,1662 年 7 月 15 日皇家学会得到了英国国王查理二世的特许状,该特许状这样写道:“朕决定对这一杰出团体和如此有益且堪称颂之事业授予皇室恩典,保护和一切应有的鼓励。”^②1663 年正式公布了皇家学会会章。皇家学会会章基于培根社会功利主义观念和实验哲学思想,明确宣布了科学知识生产的目的和社会功能,科学家的任务与职责;明确指出了科学研究是以精确探索自然规律为特征的,区别于宗教、政治等活动的独特的社会活动;充分肯定了实验方法在科学知识生产中的中心地位。



图 20-1 《皇家学会史》(1667)卷首页
(右边为培根)

皇家学会的成立成为科学体制化的重要标志。皇家学会等科学社团的成立,一方面表明科学活动在一定程度上得到了社会的认可,另一方面则表明从事科学活动的人,不再是一些孤立的个体,而是属于一个有共同目的和宗旨并恪守一定规范的科学组织。以皇家学会为中心,英国科学出现了飞速的发展,成为近代科学的摇篮。据统计,1662—1730 年期间,英国皇家学会集中了全世界 1/3 以上的杰出科学家,如牛顿、哈雷、波义耳、胡克等。

1666 年法国成立了法兰西科学院。法兰西科学院明显受到英国皇家学会的影响,但不是皇家学会的仿制品。法兰西科学院是一个更为专业化的科学机构,不但其成员数量

① 北京大学哲学系外国哲学史教研室编译:《十六—十八世纪西欧各国哲学》,第 30 页,北京,商务印书馆,1961。

② J. D. 贝尔纳:《科学的社会功能》,陈体芳译,第 61 页,北京,商务印书馆,1982。

受到严格限制,第一批院士仅 15 人,而且局限于各个领域声望较高的科学家。法兰西科学院的院士可以从国家得到比较丰厚的年薪,并配有助手,这是与皇家学会不同的一种制度设计。这种制度设计成为国家建制化地支持科学知识生产的一种制度创新(图 20-2)。尽管领取薪金的科学院院士仅限于少数精英人物,和后来发展起来的以科学为职业的大量的一般科学家还有所区别,但是作为从业余科学家向职业科学家转变的一种过渡形态,法国科学院的成立及领取国家薪俸的院士制度的出现是科学活动体制化和科学家社会角色形成的重要步骤。

19 世纪,科学开始发展成为一种具有广泛性的专门职业。科学的广泛职业化首先发生在德国。如本-戴维所说:“使科学获得一个与专门职业很接近的地位,并且使它变成一种有组织的科层性质的活动,这种转变发生在 1825 年到 1900 年间的德国。”^①

作为德国科学职业化的标志,通过创立研究型大学实现科学知识生产与教学的结合,最能够体现德国科学职业化的特点和德国科学职业化过程中的制度创新。在柏林大学、波恩大学和慕尼黑大学等新型的研究型大学中,科学知识生产和教学结合的原则,在不断发展的过程中寻找新的组织和制度形式,这种新的制度形式就是附属于教授讲席的教学-科研研讨班(teaching-research seminar)和教学-科研实验室(teaching-research laboratory)。

教学-科研研讨班充分体现了“科学研究和教学”结合起来的理念和原则。研讨班中不仅有担任指导的教授,还包括取得教学与研究资格的“收费讲师”作为教授的研究助手,以及来自全国和世界各地的学生,他们与教授和研究助手一起进行前沿的科学研究,并通过研讨接受科学研究的严格训练。

教学-科研实验室体现了近代科学革命以来科学研究以实验为基础的特点,以及这种实验研究对科学研究组织方式的内在要求。这种教学实验室不仅进行精密科学的教学和训练,而且是真正进行科学实验研究的基地。最具影响和典范意义的教学-科研实验室,是由李比希(Justus Von Liebig, 1803—1873) 1826 年在一所规模较小的省立大学——吉森大学建立的。李比希在吉森实验室(图 20-3)培养出 19 世纪最杰出的化学家,如煤焦油化学化工之父霍夫曼年代(August Wilhelm Von Hofmann, 1818—1892),



图 20-2 路易十四视察法兰西科学院

^① Joseph Ben-David. *The Scientist's Role in Society: A Comparative Study*. N. J.: Prentice-Hall, Inc., 1971.

苯环结构理论的创始人刻库勒(August Kekule, 1829—1986)。此后,德国其他大学包括工艺学校,以及其他国家的大学纷纷建立实验室,卓有成效地进行科学教育和技术教育。

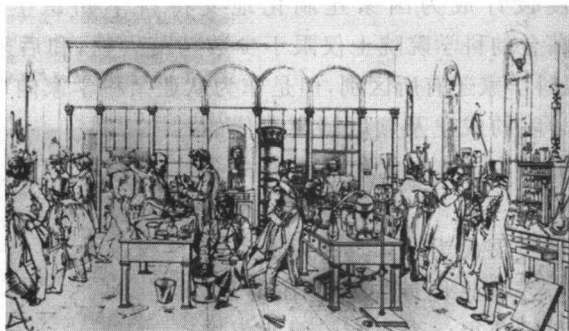


图 20-3 李比希在吉森大学的实验室

德国大学中隶属于教授讲席的教学-科研研讨班和教学-科研实验室,成为科学职业化的重要载体,也成为科学研究的真正实体和基础组织。它既不同于 17 世纪英国的皇家学会,不是业余的科学讨论,更不是消闲的绅士追求科学时尚的场所;它也不同于 18 世纪的法兰西科学院,不是领取国家高薪的少数科学精英的活动空间。在这里从事科学研究的是真正具有职业特点的科学家的集体,是集体进行实验研究的科研组织。

19 世纪德国科学的体制化和职业化,还表现在工业研究实验室的建立和工业研发人员的出现。1865 年建立的巴迪舍苯胺和苏打工厂(BASF)以年薪 5000 英镑聘用了当时的著名有机化学家卡罗(H. Von. Caro)。卡罗建立了 BASF 公司的实验室,奠定了公司的科学研究基础。至 1898 年,BASF 公司已经拥有 116 名化学家。同一时期,拜耳公司也投巨资兴建了大型实验室。除了化学工业创建实验室以外,德国的电气工业(如西门子公司)和钢铁工业(如克虏伯公司)也创建了实验室。到 20 世纪初,德国工业实验室已经相当普及。工业实验室聚集了大量职业化的科学家,他们既分工又协作,既竞争又合作,大规模地“生产”发明,效率很高。有人称之为“发明的工业化”(industrialization of invention)。

德国科学的全面职业化,是导致在 19 世纪德国科学从相对落后到全面崛起,直至成为世界科学新的中心的关键因素。从 19 世纪中叶到 20 世纪 30 年代,德国在几乎所有的科学领域实现了全面领先,与德国科学的职业化密切相关。德国科学的职业化及其成功的实践,对世界范围内科学的职业化具有重要的示范效应。

德国走出了迈向研究型大学的第一步,后来的发展主要是由美国完成的。这主要表现在美国大学中系的建立和研究生院制度的形成。美国的工业实验室在 19 世纪后期也开始发展起来,1876 年著名发明家爱迪生建立了进行研究与开发的实验室。19 世纪 90 年代之后,贝尔电话公司和通用电器公司相继建立工业实验室,工业实验室的规模也迅

速扩大。以美国贝尔实验室为例,该实验室 1912 年雇用科学家 50 人,1919 年雇用 200 人,1925 年 350 人,1947 年科学家人数达到 5000 人。

在 19 世纪之前,德国和俄罗斯都曾仿效法兰西科学院的模式建立过柏林科学院(1700 年,莱布尼兹任第一任院长)和圣彼得堡帝国科学院(1725 年),但具有广泛职业化特征的政府研究机构的体制化依然发生在 19 世纪。这种研究机构的发展具体表现为三个趋向:(1)政府资助的制度化;(2)研究机构职能的明晰化;(3)研究人员来源的广泛化。当然,这个过程并没有统一的模式,不同国家政府研究机构的规模也因为历史传统、政治体制和资源禀赋等原因存在较大的差异。从德国的情况看,在以大学作为科学职业化的主要渠道的同时,政府研究机构也作为相对独立的职业化途径发展了起来,如 1873 年德国建立“国立物理技术研究所”,1877 年建立“国立化学研究所”,1879 年建立“国立机械研究所”,1887 年在“电器西门子”支持下,又建立了“国立物理技术研究所”(图 20-4)。从美国的情况看,19 世纪末某些政府部门开始聘用少数科学家,但到 20 世纪中期已经有大批科学家在政府部门工作,一些重要的国家研究机构在美国科技和社会发展中也开始扮演越来越重要的角色。如与公共卫生事业联系密切的美国国立卫生研究院,与国防事业联系密切的相关科研机构等。

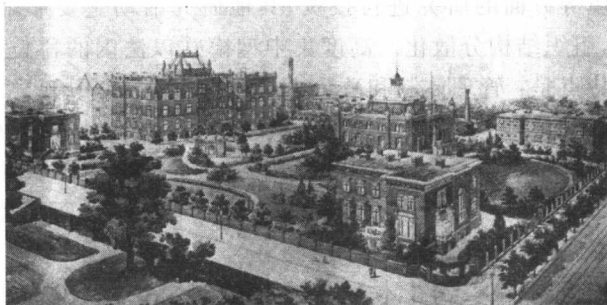


图 20-4 德国“国立物理技术研究所”

到 20 世纪,国家科技体制开始在世界范围内普遍形成。这与各国政府越来越认识到科学技术对于国家安全和国家竞争力具有日益重要的作用密切相关。20 世纪出现的两次世界大战强化了人们的这种认识。在第一次世界大战期间,英国教育大臣向议会提出《科学与工业研究的组织和发展计划》。这一被称为“历史性文件”的著名白皮书明确指出:“如果我们要提高或维持我国的工业地位,就必须将科学与工业研究的发展立为国家目标。”第二次世界大战之后,科学是重要的国家资源的思想有了扎实的现实基础,更成为各国政府制定战略和政策的基本出发点。

1945 年,万尼瓦尔·布什(Vannevar. Bush, 1890—1974)提交的著名科技政策报告《科学——没有止境的前沿:提交总统的战后科学研究计划》中指出:科学进步是,也必

须是政府的根本利益所在。没有科学进步,国民健康将会恶化;没有科学进步,我们无法指望改善生活水平或增加公民就业;没有科学进步,我们无法维持我们的自由,反对暴政。因此,各国政府开始以不同的方式促进和支持科学技术事业。

一方面,政府纷纷建立和扩大政府支持的科学研究机构。如美国建立了 850 多个国家实验室,雇员达到 20 万人;法国的国家科研中心包括了 1300 多个科研机构;日本各省厅大多设有科研机构,科技厅所属理化研究所主要进行先导性、探索性和独创性的基础研究,通产省所属工业技术研究院则主要进行有关工业科学技术的研究与开发。另一方面,各国先后建立了支持大学和其他研究机构中的科学研究人员进行科研的资助机制,如 20 世纪 50 年代初成立的美国科学基金会。政府不断加大对科学技术活动的投入力度,使得政府和企业逐渐成为科技投入主体,改变了以前科学技术活动主要依赖社会捐助和科学家个人资产的状况。

各国的科学技术体制表现出显著的国家特征。但从总体上看,可以把各国的科学技术体制分为三种类型:多元分散型、高度集中型和集中协调型。多元分散型模式以美国和英国的科技体制为代表。其特点是:政府用间接的手段(如法律、政策等)对国家科技的发展实行宏观调控,没有统一、确定的科技政策和宏观指导方针;政府只对基础性的、关系国防和社会环境等方面的研究进行投资,其他研究活动主要靠市场机制来调节,因此管理方式多元化,组织结构分散化。高度集中型模式以法国的科技体制和计划经济体制国家为代表。其特点是:管理体制和政策方针的一元化,集中领导并有金字塔式的层次分明的管理机构;政府是国家科技活动的主要投资者。集中协调式模式以德国和日本的科技体制为代表。其特点是:在市场引导集中为主的社会经济条件下,对科技开发实行集中管理;产业界是国家科技活动的投资主体,政府通过统一而配套的方针政策,将政府与民间的各种要素纳入统一的科技发展轨道。

国家科技体制的形成,使科学技术与国际和国内政治、经济和军事活动更加紧密地结合在一起。使科学的体制化进入到愈益复杂的新阶段。这种高度复杂的科学建制为以科学家个人兴趣驱动和个人研究为主的“小科学”向以国家或企业利益推动和集体研究为主的“大科学”发展提供了制度和组织基础,也使一个或数个国家联合为军事、经济竞争而投入巨大的人力、物力进行关键的、重大科技领域的研究与开发,成为现当代科学技术发展的重要特点。

第二节 科学共同体的行为规范及其演变

科学的“内部”体制化以形成和建构科学共同体内部的社会秩序和行为规范为特征。科学共同体的概念是在 20 世纪 40 年代提出的。英国物理化学家波朗依在与贝尔纳的

论战中,抨击了计划科学的观点,力主学术自由、科学自由,进而提出了科学共同体概念。波朗依认为,今天的科学家不能孤立地实践他的使命。他必须在各种体制的结构中占据一个确定的位置……每一个人都属于专门化了的科学家的一个特定集团。科学家的这些不同的集团共同形成了科学共同体。……这个共同体的意见,对于每一个科学家个人的研究过程产生很深刻的影响。科学共同体有自己的组织机构,有自己的规则,有自己的权威,这些权威通过自己的成就按照普遍承认与接受的标准而发生作用,并不需要强迫。

尽管对科学共同体的概念有不同的理解和界定,一般来说,人们往往在下面三种意义上使用这一概念。

第一,是价值观意义上的科学共同体。认为从事科学研究的科学家具有共同信念、共同价值、共同规范,科学系统构成了具有自主性的自我调节的共同体。强调科学作为独特自主的社会事业,主张科学是自由的,科学共同体需要自治。

第二,是社会学意义上的科学共同体。强调科学作为独特的社会建制,科学共同体作为非实体的组织方式,是科学这种社会建制的重要方面。它体现着在科学的社会建制中科学家的交往和互动模式与机制。在这种意义上,科学共同体是由科学交流维系的科学家群体;科学共同体的主要功能是进行评价,分配承认,对科学成果的质量进行社会控制,并由此保证科学这个社会系统的有效运行。

第三,是认识论意义上的科学共同体。强调作为共同体成员的科学家在认识选择上的一致性。比如,库恩把“科学共同体”与“范式”概念联系在一起。他认为:“范式”一词无论在实际上,还是在逻辑上都更接近于“科学共同体”这个词,范式代表了科学共同体的共同信念和共同约定。而科学共同体则由一些学有专长的科学家所组成。在这里,拥护共同的范式成为把科学家凝聚为科学共同体的认识论基础。

比较而言,第一种和第二种意义上的科学共同体是人们更为关注的。

科学共同体与科学家的行为规范是在科学的社会建制中相互联系并相互依赖的两个方面。具体地说,一方面,要实现科学建制的体制目标,科学家需要遵循共同的行为规范,共同的行为规范把科学家从分立的个体结合为互动的社会群体而形成科学共同体;另一方面,科学共同体则发挥着维护科学建制体制目标和行为规范的功能,离开了通过科学家的自律、相互之间的交流与监督而构成的科学共同体,科学建制体制目标的实现、规范的维护和奖励的分配是无法完成的。

科学社会学创始人之一罗伯特·金·默顿(Rober J. Mertor, 1910—2003, 图 20-5)对科学家行为规范的分析产生了广泛的影响。早在 1938 年发表的《科学与社会秩序》



图 20-5 罗伯特·金·默顿

一文中,默顿就指出:科学的持续发展只会发生在具有某种秩序的社会中,它受一组特定的隐含性预设和制度因素的制约。1942年,默顿在《法律社会学与政治社会学杂志》以《论科学与民主》为题首次对科学家的行为规范进行了系统的研究^①,这篇文章被认为是科学社会学史中最为重要的文献之一。1957年默顿又对这个问题进行了进一步的讨论。

默顿认为,像其他建制一样,科学也有自身共享和传递的观念、价值和标准,它们是经过设计的,并用来指导那些科学建制里的人的行为。1942年,默顿把科学家的行为规范概括为普遍主义、公有性、祛私利性和有组织的怀疑主义。在1957年《科学发现的优先权》中,默顿进一步提出了“独创性”规范和“谦恭的制度规范”。默顿认为,这些规范之所以是必需的,不只是因为它们在程序上是有效的,还因为它们被认为是正确的和有益的。

(1) 普遍主义(universalism)。普遍主义规范有两方面含义,其一,关于真理的断言,无论其来源如何,都必须服务于先定的非个人性的标准:即要与观察和以前被证实的知识相一致。其二,科学职业对所有有才能的人开放。除了缺乏能力外,以任何其他理由限制人们从事科学都不利于知识的进步。普遍主义既排除了科学体制化初期赋予科学职业的特权色彩,也为科学的自主性和科学的自治提供了理论根据。正是由于科学的普遍主义的规则深深地根植于科学的非个人性特征之中,而且这种普遍主义以科学所研究的自然对象及其规律的客观性为支撑,因此科学排斥任何把特殊的有效性标准加于其上的做法。可以说默顿的普遍主义规范既包含着民主的愿望,也包含着科学自治的理想。

(2) 公有主义(communalism)。公有主义要求科学家公开发表自己的研究成果,而且科学家对自己的科研成果不具有独占权,科学发现是“公共知识”的一部分,其他社会成员都可以自由地学习和利用这种知识,而不必向知识的生产者付出任何代价。在默顿看来,科学是公共领域的一部分,这种制度性概念,是与科学发现应该交流这一规则联系在一起的事实也是如此,在自然状态下,公开化的程度往往决定着科学交流的充分程度,从科学家之间交互消费知识并在此基础上进行科学知识再生产的意义上讲,充分的科学交流不仅意味着科学知识的高效利用,而且意味着高效的科学知识再生产。

(3) 祛私利性(disinterestedness)。祛私利性(有学者翻译为“无私利性”)要求从事科学活动的科学家不应该因为对个人私利的追求影响科学事业,科学家不应为牟取私利而破坏科学共同体扩展公共知识的职业目标。祛私利性主要不是对科学家行为的一种道德上的要求,而是一种基本的制度性要素。祛私利既不等于利他主义,也不等于利己主义。把祛私利性等同于利他或利己主义是混淆了制度层面与动机层面的问题。尽管科学家具有多种多样的动机,如求知的热情、无尽的好奇心、对人类利益的无私关怀或

^① 该文后以《科学与民主的社会结构》为题收录于默顿的《社会理论与社会结构》。在芝加哥大学出版社1973年出版的《科学社会学:理论与经验研究》中,改名为《科学的规范结构》。

许多其他特殊动机,但把问题放在不同的动机方面并没有把握住祛私利性的根本内容。默顿认为,没有令人满意的证据证明科学家是从那些具有不寻常的完美道德的人中招募的,但作为一种制度性的要求,祛私利性却可以抑制科学家的欺骗或违规行为,因为一旦制度要求祛私利的行为,遵从这些规范是符合科学家的利益的,违者将受到惩罚,而当这个规范被内化之后,违者就要承受心理冲突的煎熬。而科学成果的公开化和可检验性,以及科学共同体中科学家的相互监督为这种祛私利的制度安排提供了基础。

(4) 有组织的怀疑主义(organized skepticism)。研究者有责任对他人的研究成果提出批评,也要允许别人对自己的研究成果提出怀疑,只要这种怀疑或批评是有根据、有条理的,而不是毫无道理的妄加揣测。默顿认为,有组织的怀疑主义与科学的精神特质的其他要素都有不同的关联,它既是方法论的要求,也是制度性的要求。从方法论的角度看,由怀疑而发现问题,被当代科学哲学家视为科学研究的重要起点,也是高效生产科学知识“技术性要求”;从制度性的规范角度看,这种有组织的怀疑意味着对科学家同行工作的批评态度,是对科学共同体自治的内在要求。这种怀疑体现在两个方面。其一,对科学知识成果的怀疑,避免错误的知识成为“公共知识”,由此有组织的怀疑成为科学知识生产过程中质量控制的重要环节;其二,科学家之间的相互监督,防止出现并及时纠正错误的行为。

(5) 独创性(originality)。独创性规范是默顿 1957 年补充的行为规范。对科学发现优先权问题的分析,使默顿意识到在职业化的科学知识生产活动中,科学家同样有个人的利益追求,同样是需要激励的,而因为具有独创性的研究取得科学发现的优先权,是获得这种激励的必要条件。他认为,正是在这个特定意义上,可以说,独创性是现代科学的一个主要的制度化目标,有时可以说是至高无上的目标。科学的奖励系统进一步在制度上加强了对独创性的强调并使之体制化了。独创性要求科学家只有发现了前人未曾发现的东西,作出了别人未曾作出的贡献,其工作才被认为对科学的发展具有实质意义。从科学活动的特点看,科学是对未知的发现,科学成果应该是新颖的,科学知识的可共享性和公有性内在要求把独创性作为科学建制的制度性要求。这种观点也得到了其他学者的支持,如英国著名科学家和科学社会学家齐曼(John Ziman, 1925—2005)认为,在科学中应该首先强调创新。

默顿关于科学家行为规范的分析引起广泛的关注,也引起很大的争议,人们也从不同的角度提出其他的新的规范。如 1952 年在默顿学派内部,美国学者巴伯增加了理性精神和感情中立的要求。1974 年米特洛夫提出了反对默顿学派的标准,并列出了六种标准以与默顿学派的标准进行比较:

- (1) 非合理性(合理性,巴伯,1952);
- (2) 感情倾向(感情中立,巴伯,1952);
- (3) 特殊主义(普遍主义,默顿,1942);

- (4) 私有主义(公有主义,默顿,1942);
- (5) 私利性(祛私利性,默顿,1942);
- (6) 有组织的教条主义(有组织的怀疑主义,默顿,1942)。

米特洛夫并没有要用他提出的反标准代替默顿学派的标准,他主张上面的标准都是彼此相关共同存在的,究竟是何种标准具有主导作用,取决于环境。尽管存在争议,但默顿对科学家行为规范的分析仍然是有重要意义的。

一方面,默顿的分析解释了从“个人性的知识生产活动”如何形成了“社会性的知识生产制度”,回答了这个自组织的社会过程应该有什么样的机制和条件的问题。另一方面,默顿关于科学家行为规范的分析揭示了科学知识生产制度中的一种质量控制的机制。科学家的行为规范中的每一条规范,都以不同的方式为科学知识的质量提供制度性的保障,通过公开化、制度性的检验和监督等机制,使得在科学的社会建制中,投机和不正当行为能够更有效地得到控制。

默顿提出的科学规范结构更多的是针对“学院科学”而言的。这种“学院科学”的特点可以概括为三个方面:第一,科学知识生产主要是以知识的内部演进为线索,以知识自身的进步为主要的考量。第二,科学知识生产的专业化分工,主要是按照所研究的对象的特点展开,即主要表现为基于研究对象的差异性的学科分工,因此,科学知识生产主要体现为“学科知识”的生产。第三,“学院科学”是一种以“学院”这类远离应用场景的组织建制为依托的科学知识生产模式。

如果说在 20 世纪中叶,“学院科学”仍然可以被当做是现实的科学的一种合理近似,那么当代科学已经在很多方面表现出完全不同的特征。齐曼认为,我们正在经历着从“学院科学”到“后学院科学”(post-academic science)的转变,他认为这是“一场悄然的革命”:真实的科学正在越来越脱离原来的学术模式。我们关于“科学”的总体概念正在经历一个根本性转变。亨利·埃兹科维茨(Henry Etzkowitz,1940—)等人认为,一种“企业化科学”(entrepreneurial science)正在兴起并对传统科学形成冲击。学院科学与后学院科学的关系并不是非此即彼的对立关系,从历史的观点看,后学院科学产生于学院科学,与后者交迭,保持了后者的许多特征,执行了许多同样的功能,并位于极其相似的社会空间里,如大学、研究机构和其他典型的知识生产机构。尽管学院科学和后学院科学彼此交融,但它们的文化差异和认识差异足够重要,使得我们可以认为后学院科学是科学的新形态。后学院科学不仅仅是知识生产的一种新模式,而且“它是一种全新的生活方式”。

在后学院科学产生的过程中,传统的科学共同体图景正在改变。一方面,传统的科学共同体正在产生着分化;另一方面,新的要素正在融入到科学共同体之中,并导致科学共同体的重构。首先,在当代社会发展和国际竞争的新格局下,政府要求科学系统的科学知识生产不仅要在一般意义上通过生产“公共知识”服务于社会公众和人类的利益,而

且要更加紧密地与国家利益相联系。其次,大学和企业间的边界变得模糊,企业作为具有强烈影响力和渗透力的因素,更加广泛地介入到科学系统之中,使科学系统的知识生产与企业利益发生着多方面的、越来越密切的关联。企业不仅希望能够从科学家生产的“公共知识”中获益,而且期待科学家通过生产“非公共知识”或“局域公共知识”以在竞争的环境中服务于企业利益。

由此,传统的科学共同体开始分化为不同的利益集团。具体地说,在体制目标上产生分化的科学家或科学家群体,与不同的利益集团相结合,重构出不同的、新的共同体存在形态。如“科学-政治”共同体、“科学-经济”共同体、和“科学-政治-经济”共同体等。这个过程是一个从单一价值和“共同利益”走向多元价值和多元利益的过程,也是一个内在的隐含着利益冲突的竞争过程。

这个变化的过程,同时伴随着科学规范结构的不断调整。可以说,随着“后学院科学”或“企业化科学”的出现,科学共同体的分化和重构与科学规范结构的变化,构成了同一个历史过程的两个侧面。

当代科学规范结构的变化,首先体现在科学的制度化目标的变化。在依然保持传统的生产新的科学知识的使命外,科学的制度性目标中包含了新的要素。具体地说,传统的观点认为,科学建制的制度性目标就是“扩展证实无误的知识”,对这一点的追求构成科学家的最高奋斗目标。而在“后学院科学”和“企业性科学”中,在“扩展知识”的同时,促进知识“资本化”在一定条件下成为科学新的制度性目标,试图建立两者之间的相容关系也因此成为科学规范的一次深刻变革。

与这种制度性目标的变化相适应,制度性的规范也在发生变化。比如,保密、部分公开、保护性专利以及保护知识产权的其他形式,明确地向科学的社会建制的两个核心规范——“祛私利性”和“公有性”提出了挑战。齐曼 1994 年提出了一套关于“产业科学”的规范,并认为这种产业科学的规范可以具有一般工业或者部分政府研究的特点。齐曼把这种产业科学的规范总结为五个方面,即“所有者的”(proprietary)、“局部的”(local)、“权威的”(authoritarian)、“定向的”(commissioned)、“专门的”(expert)。这些规范特征正好可以被缩写为“PLACE”。在齐曼看来,这似非偶然,寓意着为了做好产业科学,适用的是“PLACE”,而不是“CUDOS”^①。

当然,PLACE 这种新的行为方式的出现,绝不意味着在科学建制中默顿 CUDOS 的行为规范失去了意义。事实上,后学院科学并没有取代学院科学,更多表现出自由探索和兴趣驱动特征的学院科学永远是科学的重要方面,默顿所分析的行为规范仍然会在这些科学活动中发挥重要作用。PLACE 这种行为方式的出现只是表明,当代科学活动正

① “CUDOS”是默顿提出的五条科学规范英文词首字母的缩写,与英文 kudos 相近,齐曼在这里将“CUDOS”与“PLACE”相比较,寓意默顿的规范更强调科学家的“荣誉”、“声望”。

在表现出多样性和复杂性,单纯从默顿的行为规范出发,无法全面理解当代科学社会建制的复杂性和新的特点。换言之,“后学院科学”是一种多元规范并存的科学形态,也是不同的规范结构在相互补充和相互冲突中各自得到完善和协调的科学形态,通过这些多样化的规范,科学共同体在与政府和企业的新型关系中履行着自己多样化的职责和使命,并以此更加直接高效地展现科学知识生产的多种社会功能。

后学院科学的产生,也导致科学家获得社会承认的方式的变化,知识资本化不断提高的可能性,使得科学家不仅可以通过生产“公共知识”,获得科学共同体的承认而得到社会报赏,而且可以通过生产“非公共知识”或“局域公共知识”以在竞争的环境中服务于特定集团利益来获得社会报赏。逐渐增多的学科和科学领域里发生的变革为科学家们同时达到两种目标提供了机会:对真理的追求和对利润的追求。这样,“独创性”规范成为中心,“公有主义”和“祛私利性”规范的约束作用正在淡化,科学知识生产的质量控制更加制度化。

第三节 科学与政府关系的变化与科技政策的走向

科学的“外部”体制化涉及科学与政府、科学与企业之间的关系,其中,科学与政府之间关系及其变化又与科技政策密切关联。处理科学与政府之间的关系要解决的核心问题是:政府是否应该支持科学?政府应该如何支持科学?科学是否应该服务于国家目标?科学如何服务于国家目标?从历史的发展看,科学与政府之间的关系经历了从模糊而有弹性的实践探索上升到明晰而有理论根据的科学政策的历史演进。对科学与政府之间传统契约的认识,是理解当代科学与政府关系的新变化的基础。

基于对科学、科学与政府关系的不同理解,从不同的社会制度框架和发展模式等现实条件出发,不同国家解决这些问题的方式不同。在计划经济体制条件下,生产资料的公有制以及政府的无限责任,往往使支持科学发展完全是政府的责任,科学共同体在政府计划的整体框架下进行科学研究活动;政府建立相应的研究机构,提供科学知识生产所必需的经费、基础设施以及相关的制度安排。

在市场经济体制条件下,支持科学是否是政府的职责?政府应该在什么意义上支持科学,以及政府应该如何支持科学?在这些问题上长期以来存在着争议。科学研究活动的特殊性,特别是其探索性、创造性,基础研究与应用之间关系的不确定性,使得政府对科学的支持和期求同科学共同体对政府的希望之间始终存在着矛盾。在第二次世界大战之后,万尼瓦尔·布什的著名报告《科学——没有止境的前沿》,对基于市场经济体制下的科学与政府之间的传统契约关系进行了相对系统化的理论阐述。

万尼瓦尔·布什二战期间担任美国国家科学研究与发展局(OSRD)主席,负责协调

全国的军事研究与发展工作(图 20-6)。OSRD 不仅把美国相关的大学、研究机构的力量结合为一个整体,而且促成了美国军方、科学界与工业界之间的合作关系,并由此在使科学技术高效地服务于军事的需要中发挥了至关重要的作用。

1944 年 11 月 17 日,美国总统 F. D. 罗斯福致信万尼瓦尔·布什,要求布什研究如何把 OSRD 战时的经验“有效地应用于和平时期”,以增进国民的健康,创办新企业以增加新的就业机会,提高国民的生活水准。在由杰出的科学家和其他相关专家组成的四个顾问委员会的协助下,布什主持起草的《科学——没有止境的前沿》于 1945 年 7 月 19 日发表。该报告受到了高度的关注,一经发表便被有些学者们称为经典文件,认为是“划时代的报告”。《科学——没有止境的前沿》试图回答的关键问题正是:政府与科学应当具有的关系以及如何维护这种关系。这是该报告引起人们高度关注的原因。正如美国科学基金会第一任主任 A. T. 沃特曼所描述的,它是“美国政府与科学的理想关系的经典表达”。

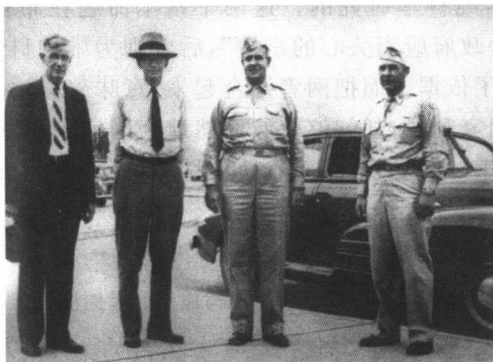


图 20-6 V. 布什(左一)与曼哈顿工程的组织者们

布什的报告,为推进美国政府支持科学提供了新的基础。

一方面,该报告指出,科学不仅是科学家个人的事业,而且是国家的事业。政府支持科学是极其必要的。科学对于国家安全的意义已经在两次世界大战中得到充分的证明,科学对于国家经济发展的意义同样不可忽视。因此,政府应当承担新的责任:鼓励新科学知识的涌现和青年人的科学才能的培育。

另一方面,该报告强调要保证科学的真正繁荣,政府必须在科学研究(特别是基础研究)中保障科学家探索的自由。V. 布什认为,科学在广阔前沿的进步来自于自由学者的不受约束的活动,在政府的任何科学资助计划下面,探索的自由必须受到保护。这种政策设想在该报告中提出的关于建立国家科学研究基金会的建议中有充分的体现。V. 布什对该基金会行政结构的设想是基金会主任应由基金会的理事会聘任,“从而不受政治

的控制。”^①尽管这个设想没有得到杜鲁门总统的认可，^①但科学共同体自治的思想却成为科学与政府关系中非常重要的精神理念。

万尼瓦尔·布什的上述观念和政策设想是以他对科学、技术与社会生产之间相互作用的线性模式的理论思考为根基的。对此，正如美国科技政策专家 D. E. 司托克斯在反思 V. 布什报告时所概括的：布什报告有深远影响的原因，不单单在于他制定了详细的政策蓝图，更在于当他和他的同事们争取让政府在和平时代加强对基础科学的支持，对研究进程的政府干预明显减少时，提出了对科学与技术的框架的思考。

这种线性模式的理论框架如下图 20-7 所示。这种线性模式在本质上坚持了两个基本命题。命题 1：基础研究是技术进步的先行官。从事基础研究的科学家对他的工作的实际应用可能完全没有兴趣，但是，如果基础研究长期被忽视，工业研制的更大进展最终将终止。命题 2：基础研究是应用研究的知识源泉，但应用研究对于基础研究的反向作用却是消极的。“除非制定审慎的政策来防止这一点，否则，在立刻要得到结果的压力下，应用研究总是要排斥纯科学研究的。这两个基本命题在布什的论证中是相互关联的。前者决定了“科学是政府应当关心的事情”，后者则为维护科学共同体的自治理想和传统的科学价值观提供了依据。而把两者结合起来，意味着科学共同体可以不必关心应用目标，可以不必关心国家利益，却能够自然而然地为国家利益服务，国家也可以放心地资助科学并且不干预科学，却能够自然而然地从科学的发展中全面获益。

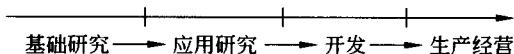


图 20-7 科学知识生产与应用的线性模式

V. 布什对科学与政府之间这种传统关系的分析，对基础科学的特点及其与技术创新之间关系的观点，以及对美国国家科学基金会功能和机制的设想，深刻影响了二战后的科学政策，成为战后几十年里诸多国家科学政策的基础。

进入 20 世纪后期，政府进一步加大了对科学研究的投入。如 1994 年美国科技政策报告《科学与国家利益》明确指出，科学是国家利益中的一种关键性投资，国家应当更加支持科学事业，强调“对科学的投资是一项重要的国家资源，政府应当增加对科学的投入。

与此同时，各国更加强调加强科学与国家利益之间的联系。这也是当代社会发展和

^① 杜鲁门总统主张国家科学基金会主任必须由总统提名，他否决了国会 1947 年通过的一个法案，该法案不同意总统控制任命。1950 年 5 月 10 日杜鲁门总统签署的国家科学基金会法是一个折衷的产物：基金会应由一个有 24 个理事的国家科学理事会和一个主任组成，他们全由总统任命但要听取参议院的意见并得到参议院的同意。主任对总统负责，并对兼职的杰出公民的理事会提出建议。这个科学政策史上的典型案例，也说明了科学与政府关系的复杂性。

国际竞争的内在要求。事实上,冷战的结束,并没有减缓国家之间竞争的激烈程度,只是改变了国际竞争的格局和国家竞争的方式;全球化也没有改变民族国家的本质,只是使竞争更加直接和更加多元化;社会的广泛知识化,则使激烈的国际竞争越来越依赖科学技术的进步。在这种新的发展空间中,国家利益有了新的内涵,政府希望科学发挥的功能和作用也发生了显著的变化,也要求科学更好地为国家利益服务。美国《科学与国家利益》明确指出:“科学——既是无尽的前沿也是无尽的资源——是国家利益中的一种关键性投资。”不但“美国对基础研究的投资必须与国家目标相适应”,而且联邦实验室“必须成为基础研究与演变中的国家目标这种牢固联系中的一部分”。该报告确定了美国科学发展的五大国家目标,即:①保持在所有科学知识前沿的领先地位;②增进基础研究和国家目标之间的联系;③鼓励大学、研究机构与产业界的合作伙伴关系,这种关系应促进产业界对基础科学与工程学的投资,促进对物质、人力和资金资源的有效利用;④造就21世纪的最优秀的科学家和工程师;⑤提高所有美国人的科技知识水平。

我国政府1995年发布的《中共中央国务院关于加强科学技术进步的决定》提出和全面阐述了“科教兴国”发展战略,并明确强调“基础性研究要把国家目标放在重要位置”,把为国民经济和社会发展提供动力作为中心任务,重点解决未来经济和社会发展的基础理论和技术问题,创立新的技术和方法。

突出科学与国家利益之间的联系,也导致政府资助科学的原则发生了变化。对此,美国科学、工程与公共政策委员会的报告《科学技术和联邦政府:新时代的国家目标》有非常明确的论述:政府资助科学技术的原理发生了实质上的改变。新原理的基础在于:科学技术和国家宏观目标之间在产业发展、卫生保健、环境保护和军事安全等领域的关系越来越密切。为了从这种密切关系中充分获得利益,国家应该采纳明确的关于科学和技术的国家目标。这里所谓的“新原理”,既体现了对科学社会功能的新认识,也体现了对国家目标的新界定。

特别需要指出的是,各国政府在制定新的科技政策时,越来越多地注意到关于科学、技术与创新之间关系的线性模式的局限性。如《科学与国家利益》认为,今天的科学技术事业更像一个生态系统,而不是一个生产线。“在这里我们远离了万尼瓦尔·布什的信条,他提出的是一种在基础研究和应用研究之间的竞争。与此相反,我们承认在基础研究、应用研究和技术之间的密切关联以及它们的相互依赖性,认为其中一方面的进步有赖于另一方面的进展。”^①

英国政府1993年发布了题为《发掘我们的潜力:科学、工程和技术战略》的白皮书,其中对英国传统科学政策的反思也揭示了传统的线性模式的不足。英国拥有悠久的科

^① 威廉·J.克林顿、小阿伯特·戈尔:《科学与国家利益》,第27页,曾国屏等译,北京,科学技术文献出版社,1999。

学传统和雄厚的科学实力,英国政府首席科学顾问罗伯特·梅爵士曾自豪地宣称:英国拥有世界1%的人口,贡献了8%的科学出版物,取得了9.1%的世界科技引文。但与此恰成对比的是,“二战”之后,英国经济竞争力持续下降,而且与主要经济大国之间的差距不断拉大。反思上述事实,问题并不在于可以因此怀疑科学知识生产在当代的重要性,而在于要改变关于科学知识与技术创新关系的传统观念。对此,英国工程委员会和科学技术开发中心主席,1986—1990年内阁办公室首席科学顾问费尔克拉多爵士1992年明确承认:我开始认同这样的观点了,即人们对“线性模型”的广泛信任只能彻底阻碍政策的有效发展。这也正是《发掘我们的潜力:科学、工程和技术战略》这一报告的基本结论:政府认为,单纯地相信基础研究的应用结果会自行出现,然后再为工业所用的观点是不够好的。

人们意识到要用一种关于科学与技术之间的“非线性的交互作用模式”来替代布什提出的“线性作用模式”,以此作为科技政策的理论根据。从科学与技术相互作用的“非线性交互作用模式”出发,要求人们放弃一种理想化的信念,即:科学共同体对认识目标的追求终将自动地满足政府的应用目标和政府对科学的期望。相反,它主张处理好科学与政府关系的关键是把对科学研究前景的判断和对社会需要的判断结合起来。科学家不应为了认识目标而排斥应用目标,或者有意识地回避应用目标。而是应该能够理解和适应必须符合社会需要的要求。应使科学家洞悉与他或她相关的社会目标的本质。

这种观念的变化,使国家的科技政策在两个方面发生了重要变化。

第一,政府越来越强化了管理科学系统的职能。以前政府在资助科学之后,往往将资源配置的决定权和大部分控制权委托给科学家自己,不但使科学家具有学术探索的自主性和相对的独立性,而且由科学家进行科学系统的自治和管理。但随着历史条件的变化,政府资助科学却将所资助的公共研究管理完全委托给科学共同体的方式明显地正在发生变化,政府正在从资助科学事业向管理科学系统转变。为了强化政府对科学技术的管理和领导职能,美国于1993年成立了国家科学技术委员会,由总统兼任主席,成员包括政府各相关部门领导。同时,还成立了总统科学技术顾问委员会,吸收学术界和产业界的人士参与科技决策。

加强对政府资助的科学活动和科技计划的评估也成为当代科研管理的重要手段。比如,从20世纪90年代开始,各国政府普遍开始在广泛的范围内意识到加强科学研究绩效评估的重要性,并在国家法律和政策的层次上实践之。1993年美国国会通过了“政府绩效与结果法案”(Government Performance and Result Act, GPRA),明确要求包括NSF在内的每个联邦机构制定战略计划,根据绩效指标提出年度报告,在其战略计划和绩效报告中进行绩效评估。

第二,政府越来越强调科学政策与技术政策、创新政策的协调和整合。把科技政策纳入国家创新系统的分析框架,使科技政策和创新政策成为连贯的、统一的政策体系正

在成为科技政策的新走向。国家创新系统的概念直接使决策者注意到可能的系统失灵,这种系统失灵会与一般被人们更多认识到的市场失灵相伴而生。系统中活动者之间缺乏相互作用,公共部门的基础研究与工业界的应用研究之间配置不当,技术转移机构的失效以及产业部门信息获取与吸收能力的不足,都会限制创新和知识的扩散。寻求改进这些相互作用,政府能够为系统中各要素之间有效的合作提供基础。

高效的创新系统需要综合的、连贯的政策体系。这种政策体系以单个的手段与整体的目标的很好配合为特征,也以不同政策领域中的手段与目标的兼顾、协调为特征。这不仅包括同时间的政策行为的协调,而且也包括对与原本追求其他目标的政策之间的可能发生的相互作用的估价,而这意味着要在国家创新系统的分析框架下,使以往相互分离的科学政策、技术政策与产业政策和经济政策等相互协调和整合为具有综合性和连贯性的创新政策。这也体现了近年来各国调整科技政策的基本趋向。

思考题

1. 如何理解科学体制化的过程?
2. 如何理解科学家行为规范的变化?
3. 如何理解科学与政府的关系及其变化?

参考书目

1. J. D. 贝尔纳:《科学的社会功能》,陈体芳译,北京,商务印书馆,1995。
2. D. E. 司托克斯:《基础科学与技术创新:巴斯德象限》,周春彦等译,北京,科学出版社,1999。
3. 威廉·J. 克林顿、小阿伯特·戈尔:《科学与国家利益》,曾国屏等译,北京,科学技术文献出版社,1999。
4. 约翰·齐曼:《真科学》,曾国屏等译,上海,上海科技教育出版社,2002。
5. R. J. 默顿:《科学社会学》,鲁旭东等译,北京,商务印书馆,2003。
6. V. 布什:《科学——没有止境的前沿》,范岱年等译,北京,商务印书馆,2004。
7. 李正风:《科学知识生产方式及其演变》,北京,清华大学出版社,2006。
8. 吴必康:《权力与知识:英美科技政策史》,福州,福建人民出版社,1998。

第二十一讲

科学史与科学文化

自然科学和自然哲学不是两个天然排斥的领域。它们住在一起。它们是通向同一目标的两条道路。

——奥斯特瓦尔德《自然哲学概论》

第一节 背景

早在1948年,美国科学史学科的奠基人萨顿就曾说过,科学史的“主要任务就是建造桥梁——在国际间建造起桥梁,而且同样重要的是,在每个国家之内,在生活(好的生活)和技术之间,在科学和人文学科之间建造起桥梁”。^①

在萨顿讲过此话的十来年后,另一件里程碑式的事件出现了:1959年5月7日下午5时许,英国学者斯诺(C. P. Snow)在英国剑桥大学做了一次题为“两种文化与科学革命”的演讲(后来据此出版的《两种文化》一书见图21-1)。按照后来有人所做的回顾,斯诺在他的这次演讲中,“至少做成了三件事:第一,他像发射导弹一样发射出一个词,不,应该说是一个‘概念’,从此不可阻挡地在国际间传播开来;第二,他阐述了一个问题(后来化成为若干问题),现代社会里任何有头脑的观察家都不能回避;第三,他引发了一场争论,其范围之广、持续时间之长,程度之激烈,可以说都异乎寻常”。^②

斯诺在他的这次演讲中,首先指出,他相信整个西方社会的知识生活日益被分化成两极的群体,其中一极,是所谓的文学知识分子,而另一极,就是科学家。在这两极之间是一条充满互不理解的鸿沟,彼此缺乏了解,甚至于形成反感和敌意。非科学家大都认为科学傲慢和自大,认为科学家是肤浅的乐观主义者,不知

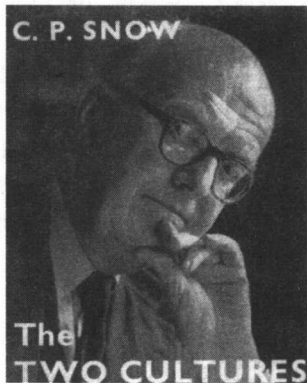


图 21-1 斯诺的《两种文化》原版封面

^① 萨顿:《科学的历史研究》,刘兵等译,第92~93页,北京,科学出版社,1990。

^② 见科里尼为斯诺的《两种文化》一书新写的导言,载斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,第1~2页,上海,上海科学技术出版社,2003。

道人类的状况,而科学家则认为文学知识分子完全缺乏远见,尤其是不关心他们的同胞,在深层次上是反知识的,并且极力想把艺术思想限制在有限的时空里。相应的,这两群人分别代表了不同的文化,即科学文化和人文文化。以科学家一方为例,虽然其阵营的成员间也并不是完全地相互理解,但他们又的确有共同的态度、共同的行为标准和行为模式、共同研究方法和假设,这种共同性是十分深远和广泛的,甚至能够穿越其他精神模式,如宗教、政治或阶级模式。但是,在对于当下社会产生了如此深远影响的科学与相应的科学文化,另一方却有着完全的不理解,而且他相信这种不理解会将其影响扩散到其他方面。这种不理解使整个“传统”文化有一种非科学的味道,而且这种非科学的味道经常会变成反科学,从而对一极的感情就变成了对另一极的反感。

斯诺在详细地论证了科学文化和人文文化这两种对立的文化的存在之后,明确地指出了这种文化上的分裂将会给社会带来巨大的损失。因为文化的分裂会使受过高等教育的人再也无法在同一水平上共同就任何重大社会问题开展认真的讨论。由于大多数知识分子都只了解一种文化,因而会使我们对现代社会作出错误的解释,对过去进行适当的描述,对未来作出错误的估计。

对于两种文化分裂的原因,斯诺认为主要在于人们对于专业化教育的过分推崇和人们要把社会模式固定下来的倾向。因此,要改变这种状况,只有一条出路,即改变我们的教育。

这里需要注意的有两点。其一,斯诺的演讲像许多其他重要的、开创性的文献一样,其形式还是比较粗糙的,一些定义也并不很清晰。例如,他将其与科学家相对立的,其实还主要是他更为熟悉的“文学知识分子”,而非更广泛意义上的人文知识分子。其二,是由于当时特定的历史环境和斯诺本人的立场,其实在他讨论两种文化的分裂时,自己更是站在科学这一边。但无论如何,在斯诺的演讲出版之后,在世界性的范围内产生了极大的影响,引起了长达几十年之久的争论,也带动来在教育 and 学术研究中的种种新的发展动向。

我们今天在回顾斯诺那次经典的演讲时,在原著中仅有四五万字的内容里,究竟有多少文字是直接与我们现实直接相关的呢?这个比例似乎并不很大。当然我们可以说阅读原著可以加深我们对历史发展的理解,但历史上的东西实在是太多了,我们不可能对所有的问题都有如此浓厚的兴趣。我们之所以会特别地关注对两种文化问题的理解,其原因就在于这个被斯诺提出的问题在不同的时代可以有不同的内涵,但却总是成为某种核心的社会文化焦点。关注这一问题的提出及其争论的历史,除了有其自身的史学意义之外,重要的是可以帮助我们理解今天的现状是如何形成的,并进而在这种认识 and 理解的背景中更好地、更恰当地解决当下的问题。

因此可以说,斯诺所提出的问题的在今天的实际的重要意义正在于,无论斯诺当时所讲的是什么,他的立场如何,在经过几十年的争论之后,实际上那些最初的说法已经并

不是最重要的了,最重要的在于,在斯诺之后,随着时代的发展,两种文化已经具有了与其最早提出时有所不同的内容,其间的沟通、融合问题,也表现出相应的发展与变化,而在不同的时期,这些不同的表现形式与内容仍然在不断地引起人们的注意力,成为斯诺命题的延伸。

第二节 科学史与教育改革

一、早期的状况

如上所述,斯诺关于两种文化的演讲虽然存在着这样或那样的不完善之处,但在其中,有这样一段话还是值得我们在此回顾的。他说:

“我在此前说过这种文化分裂不仅仅是英国,也存在于整个西方世界。但是似乎有两个原因使这种现象在英国更明显,一个是我们对教育专业化的狂热信仰,比起世界上东西方任何国家都根深蒂固。另一个是我们倾向于社会形态具体化。我们越想消除经济不平等,这种倾向就表现得越强,而不是越弱,在教育上尤其如此。这意味着像文化分裂这种现象一旦建立起来,所有的社会力量不是促使其减弱,而是使得它变得更僵化。”^①

在斯诺的这段话中,明确地表现出他认为导致两种文化分裂的根源之所在,以及解决两种文化的分裂必须要通过改革教育来实现。在他在剑桥做了最初的关于两种文化演讲的4年之后,在他的“再看两种文化”一文中,在谈到纯科学和应用科学之间的关系时,有这样一段文字:

“纯科学和应用科学之间复杂辩证法是科学史中的最深刻的问题之一。目前还有很多我们不能理解的东西。有时引发一项发明的现实需要十分明显。谁都知道为什么英国、美国和德国科学家在彼此互不知道的情况下突然在1935年到1945年间在电子学上取得了巨大进步。同样显而易见的是,这一十分强有力的技术武器将很快用在从天文到控制论的纯科学研究上。但到底是什么外部刺激或社会关系使鲍耶、高斯和罗巴切夫斯在开始互不知道的情况下,几乎同时研究非欧几里德几何学,而这显然所有概念想象的领域中最抽象领域之一。找到一个令人满意的答案将会是困难的。”^②

① 斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,第15页,上海,上海科学技术出版社,2003。

② 斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,第57页,上海,上海科学技术出版社,2003。

如果我们把这两段前后相距了4年出现的文字联起来阅读的话,会得到一个也许并不十分清晰但却仍然可以在逻辑上联系起来的推论:为了弥合两种文化的分裂而要在教育中进行的改革,显然是与科学史的研究联系在一起的!

我们在第一讲中曾提到,最初较为成形的学科史形态的科学史大约出现在18世纪。但比较明确地将科学史与教育联系起来,还要更晚一些。这里我们可以例举几个相关(但绝不是全部)的重要人物、观点和事件。

至少在19世纪下半叶,著名科学家和科学史家马赫便已意识到了科学史教育的问题。马赫除了著有影响广泛的关于力学、热学和光学等的历史著作之外,他在自己的科学教学中,也加进了历史的材料,并开设了一些较专门化的关于特殊领域发展和课程。在1873—1876年间,他还支持帮助其助手开设了题为“斯蒂芬和伽利略的物理学”、“惠更斯和牛顿的光学”和“牛顿时代力学的发展”等课程。^①马赫在于1895年发表的一篇题为“论古典学和科学的教育”的向中学教师的演讲中,也特别提倡在中学的科学教学中应用哲学和历史的方法。稍后,在20世纪初,法国科学家和科学史家迪昂也大力倡导在物理学的教学中使用历史的方法,认为在让学生们接受物理假说方法,显然历史的方法是合法而且富有成效的方法。更值得注意的是,迪昂还是最初在科学的发展和个体理解的发展之间发现类同的人。到了20世纪,1922年,法国物理学家郎之万(P. Langevin)在一次演讲中,专门论述了科学史的教育价值的问题,着重分析了历史观点在科学教学上所能够 and 应该起的作用,以及历史观点在将来从事科学教学工作的师资的培养上的重要性。他注意到,在当时法国的中学和大学的科学教学中,人们往往略去了这些课程的历史的一面,而仅注意到它实用的一面,从而使科学教学表现出一种“教条式的畸形发展”的倾向。“但是,为了对一般文化有所贡献,并尽量发挥科学教学对思想的养成所能起的作用,那么,再也没有比过去努力的历史更好的去西了,这一历史由于它触及到著名学者的生平和思想的逐渐演进,其内容是很生动的。”“只有通过这种方法才可以培养出承继科学事业的人们,使他们体会到科学的永恒运动和它的人道价值。这种需要对于将来创造新科学的人们是很明显的,对于教育家和对于各种事业的先导者们也是同样重要的,而对于广大群众,对于那些只能满足于在学校读书的那几年所获得的一点文化的人们则是更为重要的。”再者,他认为,研究科学的历史不仅是对于教育学方面和纯科学方面具有上述种种益处,“这种研究还能补充和明确同科学相接近的其他学科的教学”。^②

除了这种个人的观点之外,在科学团体方面,早在1917年,英国的科学促进会就在其一份报告中敦促将历史的方法用于科学教学,认为科学史是一种“溶剂”,能“溶解由学

① Bluh O. Ernst Mach as a Historian of Physics. Centarurus. 1968, 13: 62-84

② 郎之万:《思想与行动》,何理路译,第113~124页,北京,三联书店,1957。

校课程表带来的在文学和科学之间人为的壁垒”。^①

当然,类似的事例还有一些。正是在这样的有关科学史教育发展的前期背景下,在第二次世界大战后,斯诺提出的两种文化及其分裂的问题,直接地与科学史的教育功能联系在一起。实际上,斯诺并不是第一个提出两种文化及其分裂问题的人,但他是第一位使这一问题引起了人们广泛重视和广泛争论的人。而且,在斯诺提出这一问题之前和之后,许多科学史家和教育家都是将科学史视为联结科学文化和人文文化之间的一座重要的“桥梁”。

在斯诺之前,第一次世界大战前夕,科学史这一学科就已在美国的大学中被广泛引进,并编写出了既包括“科学通史”也包括专科史的教科书。最有代表性的,就是前面提到的那位美国科学史学科的奠基人萨顿的实践。萨顿在于1915年因战争从比利时流亡美国后,从1912年起在哈佛大学系统地面向各专业的学生开设科学史课程。如前所述,他早在1948年,就已认识到科学史家和科学史教师的主要任务是在国际间、在科学和人文学科之间“建造桥梁”。哈佛大学这种注重科学史教育的传统在其校长、物理学家和科学史家柯南特(J. B. Conant)的支持下,得到继承和发展。柯南特提出了三个特别重要的观点。其一,是他相信,无论是教育机构还是社会,都在面临一个严峻的问题,即非科学专业的学生缺乏对于科学的理解,而这些将作为未来的选举投票者甚至可能会成为政治家的学生,却是需要理解科学,才能对科学的问题作出明智的决策。其二,是他认为,这种对于理解科学的需求,并不一定就是要教给学生数量更多的科学事实,恰恰相反,他所强调的,是要让学科理解科学与社会的关系。其三,也是最重要的一点,就是他认为,历史案例的教学,才是让学生获得这种对科学的必要理解的教育手段。^② 在这些观点的指导下,由柯南特主编并于1948年出版的两卷本《哈佛实验科学中的案例研究》,也成为教学史教学方面非常有影响的经典文献。柯南特尤其是强调通过科学史教育而使人文-社会科学专业的学生感受到所谓“科学的战术和策略”。在这方面重要的背景是,第二次世界大战后,在美、苏的冷战中,由于苏联出乎美国人意料首先成功发射了人造卫星,使美国人为加强自己在科学技术方法的实力而重新思考其科技政策,包括对科学教育的改革。人们开始更普遍地相信,科学史这座“桥梁”可以把科学学科和人文学科的“两种文化”统一起来,并认为在学术专业划分越来越细的情况下,科学史完全有权利成为一个独立的专业领域。

在此之后,在美国、法国和英国,在科学史教育方面,还有许多其他的重要进展,这里略去不谈。只是需要指出,在后来的进展中,不仅仅是针对大学和研究生的教育,科学史

① Matthews M R. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. *Interchange*, 1989, 20: 3-15

② Hendrick, R. M. The Role of History in Teaching Science: A Case Study. *Science and Education*. 1992, 1: 15-162.

的教育甚至开始全面地渗透到了基础教育之中。

二、基础教育与科学史：三个近期进展的实例

关于科学史在基础教育中的渗透,在近 10 多年来进展最为迅速。这里,只以近年来英国和美国最有影响的三份基础科学教育改革文献所反映的观点为例来进行一些说明。

首先,是 1989 年,在英国教育与科学部和威尔士事务部新公布的国家规定的中学科学课程中,对科学史教学有做出了比以往更多的要求。^① 这份法规性的文件,要求学生和教师了解“科学的本质”。在国家课程设置委员会发表的相应的指南中,甚至出现了“科学是一种人类的建构”这样的提法,这样,从法律上,便要求“学生应逐渐认识和理解科学思想随时间的变革,以及这些思想的本质和它们所得到和利用是怎样受到了社会、道德、精神和文化与境的影响,而它们是在这样的与境中发展起来的;在这样做时,他们应开始认识到虽然科学是对经验进行思想的一种重要方式,但却不是唯一的方式。”“科学的本质”就是此课程设置所要求达到的 17 个目标中的最后一项。这一目标中还包括若干具体条款,如“学生应……能够给出在诸如像医学的、农业的、工业的或工程的与境中某些科学的进展的说明,描述新的思想、探索或发明,以及所涉及的主要科学家的生平时代;……能够给出对所接受的理论或解释的变革的历史说明,表明理解这些理论或解释对人们的物质、社会、精神和道德生活的影响,例如理解生态平衡和对环境的更多的关注,理解对木星卫星运动的观察和伽利略与教会的争端;……能够说明来自不同的文化和不同时代的科学解释怎样对我们目前的认识有所贡献”。等等。除了这些与科学史直接相关的内容之外,这份文件还有一些更多与科学哲学相关的要求,例如:学生应“能够清楚地与他人讨论,以他们自己的方式来思考某些对于他们来说是新的实验;……能够表明,对于他们收集的实验证据,可能有不同的解释;……能够利用一种或两种在他们的科学学习中学到的解释模型,来表明那些刺激了新的实验的预言是如何做出的;……能够描述和解释科学史中的一个事件,其中为确立新的模式而做出了成功的预言,例如像科学家们关于空气中带有的有机物(巴斯德)或大气压的证据(帕斯卡)的工作;……能够表明对科学的证据和富于想象力的思想的不同功能的意识,例如在对 DNA 结构的发现中,弗兰克林与华生和克里克所用的不同方法;……能够区分概括性的理论和预言式的理论,并给出它们各自的例子,例如像如下这些成对的例子:‘所有的金属都导电’和‘预言了这一性质的自由电子气理论’,或‘冬天的晴空总是意味着夜间的严寒’和‘没有云层把地球的辐射反射回去是这种预言的基础’;……通过研究相关的文献,能够表明对

① Pumfrey S. History of Science in the National Curriculum: A Critical Review of Resources and their Aims. *British Journal for the History of Science*, 1991, 24: 61-78.

一些课题(过去的或现在的)科学观点中的差异的理解,例如像板块构造和收缩的地球的褶皱,或有生命的东西繁殖与自己相同的后代和物种的自发产生……能够把科学观点的差异同科学证据不确定的本性联系起来,例如:‘婴儿猝死症’的原因是什么,或欧洲森林中树木死亡的原因是什么?”从这些要求中,我们可以看出,在目前的科学教学中,科学哲学也像科学史一样得到重视,被提到议事日程上来,并与科学史的教学密切相关。这是一种新的动向和潮流。

其次,是美国科学促进会为力图彻底改革美国中学的科学教育,于1985年开始进行了一项名为“2061计划”的全国性研究。4年后,1989年,此计划在一份题为“面向全体美国人的科学”的报告中发表了其建议(图21-2)。在此报告的12章中,第1章就是关于“科学的本质”,涉及一些科学哲学、科学伦理学和科学社会学的内容;而第10章则是关于“历史展望”,在这一部分,包括了对于一些与科学史有关的知识的教学建议,并指出,有两个理由将某些科学史的知识包括在此建议中。“第一个原因是假如离开了具体事例,对科学事业的发展所作的概括则会很空泛。例如,,让我们考虑这样的命题:新的思想受制于它们所产生的环境;它们经常被现行科学所排斥;它们有时会从偶然的发现中跳出来;它们通常发展缓慢,是许多不同研究人员共同努力的结果。没有历史实例,这些概括无非只是些口号,无论它们提得多么响亮入耳。”“第二个原因是,科学发展史上的某些阶段具有超越时代的意义。这



图 21-2 “2061计划”中文版封面

些阶段毫无疑问地包括:伽利略的作用转变了我们对地球在宇宙中位置的认识;牛顿证明物体在空中和地球上的运动都有同样的规律,达尔文通过长期观察各种生命的形式以及它们之间的联系,提出了生物产生的机制;赖尔仔细地记录了地球那令人难以置信的年龄;巴斯德证实了传染病是由那些在显微镜下才看得见的微生物传播的。在西方文明中,这些故事是矗立在其全部思想发展过程中的里程碑。”相应的,这份报告具体地建议了“对科学知识演进和其影响力具有典范意义的10个重大发现与变革”的科学史教学,它们就是:作为行星的地球、万有引力、相对论、地质时期、地球板块结构学说、物质守恒、放射性的核裂变、物种进化、疾病的性质以及工业革命。^①

最后一个实例,是1996年美国国家科学院推出的《美国国家科学教育标准》(图21-3)。在其中“科学内容标准”的第8部分,题为“科学史和科学的性质”。在对这部分内

^① 美国科学促进会:《面向全体美国人的科学》,中国科学技术协会译,第123页,北京,科学普及出版社,2001。

容的解释中,此文献提到:“学生学习科学的过程中需要理解,科学是它的历史的反映,科学一个处在不断变化之中的事业。科学的历史与本质之标准建议在科学教学计划中包括科学史的内容,借以阐明科学探究的不同侧面、科学的人性侧面以及科学在各种文化的发展过程中的作用。”在这份科学教育标准中,规定了从幼稚园到12年级所要学习的科学内容,有关科学史的部分,在5~8年级阶段,要求学生掌握的是:“许多个人对科学传统作出了贡献。学习其中的某些典范人物可以进一步理解科学探究,理解作为人类奋斗目标的科学,理解科学的本质及科学与社会之间的关系。从历史的观点看来,科学是同文化背景的不同个人的实践活动。纵观诸多民族的历史就可以发现,那些成就斐然的科学家和工程师都被看成是对本民族的文化作出最杰出贡献的人。跟随科学史的足迹可以发现,科学创新人物要打破当时被普遍接受



图 21-3 《美国国家科学教育标准》
中文版封面

观念得出我们今天认为理所当然的结论是多么的困难。”而对于9~12年级的学生,要求掌握的是:“在历史上,形形色色的文化都对科学知识技术发明作出了贡献。数百年前,现代科学开始欧洲迅速发展。在过去的200年间,科学对西方和非西方的工业化作出了巨大贡献。然而,其他非欧洲文化也发展了科学概念,也通过技术解决了人类的许多问题。通常科学中的变革是作为对现有知识的微小修改出现的。科学和工程的日常工作导致了我们为世界理解和我们满足人类需要和抱负的能力的渐进式进步。通过研究科学家个体,研究他们的日常工作和他们在自己研究领域推动科学知识进步的努力,可以学到许多关于科学内部运作和科学本质的知识。”^①

从以上几份国际上有重要影响的科学教育改革文献可以看出,在中小学(甚至于幼儿园)阶段,科学史都已经被列为所要学习重要内容。这可以说是在沟通两种文化方面明显的努力之一。

第三节 “第三种文化”

在这里,我们首先需要再回过头来澄清几个基本的概念。

在斯诺最原始的关于两种文化的演讲中,他提出的“科学文化”和“人文文化”,本来

^① [美]国家研究理事会:《美国国家科学教育标准》,戴守志等译,第131、199、241~242页,北京,科学技术文献出版社,1999。

是指为科学家共同体和文学知识分子这两个群体所分别拥有的“文化”，后来，在许多其他人的用法中，与人文文化相关的群体，被扩大到范围更广的人文知识分子，或者说，人文文化是指与人文社会科学研究领域密切相关的文化。而且，斯诺在其《再看两种文化》一文中，还曾提到了“第三种文化”的概念。虽然对之他并没有给出确切的定义，但从他呼吁要沟通被分裂的两种文化来看，第三种文化大致应该是一种融合了科学文化和人文文化的“新文化”。他这样讲：“说第三种文化已经存在可能为时尚早。但我现在确信它将到来。当它来的时候，一些交流的困难将最终被软化……。然后，如我所说，这场争论的焦点将转向对我们所有人更有利的方向。”^①

但是，早在斯诺之前，科学史的奠基者萨顿就已经提出了另一个概念，即他几乎终生为之奋斗的“新人文主义”，或者说以科学为基础的新人文主义，即科学的人文主义。他的学术活动就是为了要实现“全部知识的综合”，使科学史成为联系自然科学和人文科学的桥梁。简单地讲，新人文主义包括了人文主义和科学两个方面，而且是这两者有机的结合其重要的性质，就是对人类、文化、自然和知识的统一性的强调。在斯诺看来，要改变文化分裂的现状，唯一的方法就是要改变现有的教育制度和教育方法。而同样的，萨顿本人恰恰从观念上到实践上都正是这种做法的先行者。如果说有什么差别的话，那就是萨顿结合本人的科学史研究与教学，更明确、更具体地将科学史作为联结科学文化和人文文化之间的一座重要的“桥梁”。

在后来的发展中，也经常有人提及“第三种文化”，例如，几年前一本标题直接名为《第三种文化：洞察世界的新途径》的书，作者认为，“第三种文化的思想家们引起人们广泛的注意，靠的并不仅仅是他们的写作能力，那个传统上被称做‘科学’的东西，今天已经变成了‘大众文化’。”^②由此可见，此书作者实际上是将来与一般公众直接进行交流的科学家们的思想和工作与“正在浮现的第三种文化”相联系。但这显然并不是斯诺原来意义上的第三种文化。甚至于因为其更偏重于科学一方面，忽略了人文的立场，因而，并不一定有利于解决两种文化分裂问题。

近些年来，国内一些学者则在另外一种意义上使用“科学文化”这个词，即立足于对科学的人文研究，以人文的视角来考察科学，尤其关注科学在社会、文化和大众传播方面的内容。而这样一种含义的“科学文化”，也非斯诺原来所用的“科学文化”的所指，而与他所说的“第三种文化”，以及萨顿的“新人文主义”（或科学的人文主义）有相近之处。这里所说的人文视角，或者说对科学的人文研究，所指的，主要是基于科学哲学、科学史、科学社会学、科技政策以及科学传播等领域中的学术积累。在这当中，科学史仍然可以说是处于一种非常核心的重要位置。

① 斯诺：《两种文化》，陈克艰、秦小虎译，第59页，上海，上海科学技术出版社，2003。

② 布罗克曼：《第三种文化：洞察世界的新途径》，吕芳译，第2页，海口，海南出版社，2003。

我们在第一讲中,曾列举了人们对于科学史的功能的各种看法,包括这个学科在教育方面的意义,当然,其中的一些提法,目前在学界也还是有争议的。例如,为什么科学教师在教授“科学的本质”时要考虑“历史的维度”?就有人提出,至少可以提出三种教育的目的,这就是:①通过科学的参与而达到一种社会意识形态的改变和设计,如反对反科学思潮和恢复科学人性的方面等;②加强方法论的训练;③使学生具有作为公民的社会责任感,实现对科学合理的社会控制。^①在这几种目的当中,既包括反对反科学的立场的形成,也包括了对于那种极端的缺乏人文立场的“科学主义”的批判性认识。

其实,斯诺在他那篇“再看两种文化”中,曾这样讲:“重大的科学突破,尤其是那些像分子生物学这样与人体紧密相联的重大突破,或者甚至是今后可能在高级神经系统上的突破,将必然同时激起我们的希望和无奈……没有人能预见这样的知识革命将意味着什么,但我相信结果之一将是让我们对我们的同类承担更多的而不是更少的责任。”^②斯诺虽然在这里讲的并不是十分清楚,虽然他本人在当时对两种文化的分裂的分析中更倾向于科学一方,但他还是颇有远见的,还是有着某种有限度的人文意识的。在斯诺之后,当人们隔开几十年再进行回顾时,对于那种过于绝对地固守当下科学的科学主义,显然是有着相当的反思的。例如,那位重新以回顾的方式为新版的斯诺的两种文化演讲做了长篇序言的作者,就曾指出:“由于经常要面对如何下定义的问题,人们常常不免为了不同的目的,而希望把一些活动命之曰‘科学’,别的则一概宣布为‘非科学’,对此我们必须有所警惕。将19世纪下半叶称为科学的全盛时代,这就可能意味着,只把能获得‘真正’知识的方法和研究当作科学,其余则非。许多工作中的科学家心底里一直是这样的想法,偶尔则会有自封的科学发言人把这种想法极度骄纵地宣布出来。但是这一自大而又盲目的实证主义,如今已不像过去那样具有权威性了,人们已经普遍地接受,智力探索的不同方式都能够提供不同类型的知识和理解,其中无论谁都不是别人必须向之看齐的典型。”^③也曾有人在近些年来在八种国际科学标准文献中总结出来的对于科学的本质的一些一致性看法,其中第一条,就是认为科学知识是多元的,而且,还包括像科学知识在很大程度上依赖于观察、实验证据、理性的论据和怀疑,但又不完全依赖于这些东西;来自一切文化背景的人都对科学作出贡献;科学思想受到其社会和历史环境的影响,等等^④。而当代像这样的多元的科学观的形成,自然也是以在斯诺之后的像科学史、科学哲学和科学社会学等领域中的研究成果为基础的。

① Pumfrey S. History of Science in the National Curriculum: A Critical Review of Resources and their Aims. *British Journal for the History of Science*. 1991, 24: 61-78

② 斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,第63页,上海,上海科学技术出版社,2003。

③ 斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,第40页,上海,上海科学技术出版社,2003。

④ W. F. McComas, H. Almazroa. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education*. 1998, 7:511-532.

实际上,在国际范围内,在今天,人文学科及其相关的文化的地位也仍是充满了争议的,在一些比较极端的唯科学主义人士的眼中,也仍然具有着对人文的蔑视。当然,在中国,这个问题可能表现得更突出,而且在表现形式和意识形态背景上也与西方有所不同。如果说在斯诺生活的时代,在斯诺的眼中,两种文化的分裂更主要地表现在人文知识分子那方对科学文化的无知与轻视,那么在今天,随着科学在人们的社会生活中和意识形态中所产生的更为巨大的影响,其所导致的对于人文文化的轻视也许比斯诺的时代要更为突出。例如,近些年来,在西方的像“科学大战”,一些科学家对于像“科学知识社会学”等对科学的人文研究成果的反对,也大致属于此类,但在此暂不详细介绍。在学习了这门科学史课程的同学,如果有兴趣的话,同学们可以继续深入地研读有关的文献。

最后,我们还可以回想起萨顿的一段话,尽管他在主导倾向上也还是更为早期的实证主义科学史观的代表者,他说:“科学是必需的,但只有它却是很不够的……科学史证明,科学对任何人和任何社会都是有价值的;同时它也证明了科学的不足。”^①

这也许就是对于兼顾了科学与人文的“第三种文化”,或者说在当今更多地被谈论的那种意义上的“科学文化”的认识的最初的代表性观点之一。

思考题

1. 斯诺提出“两种文化”及其分裂这一命题的意义是什么?
2. 如何才能弥合两种文化的分裂?在这种工作中科学史有什么作用?
3. 你理解的“第三种文化”是什么样的?

参考书目

1. 斯诺:《两种文化》,陈克艰、秦小虎译,上海,上海科学技术出版社,2003。
2. 萨顿:《科学的历史研究》,刘兵等译,北京,科学出版社,1990。
3. 詹姆斯·E. 麦克莱伦第三、哈罗德·多恩:《世界史上的科学技术》,王鸣阳译,上海,上海科技教育出版社,2003。

^① 萨顿:《科学的历史研究》,刘兵等译,第8页,北京,科学出版社,1990。

附录

科技史大事对照年表

公元	科学技术史	大事记
前 7 世 纪	公元前 624 年,希腊哲学鼻祖泰勒斯出生(公元前 546*)	希腊各城邦出现新兴工商阶级;奴隶制度形成 公元前 606 年,亚述王国灭亡
	公元前 700 年,希腊三层船出现——造船术取得重大进步 约公元前 625 年,希腊出现最早的货币铸造 公元前 620 年,腓尼基人经红海绕过好望角环游非洲;建设马赛港	
前 6 世 纪	泰勒斯用琥珀摩擦生电,发现磁现象 阿那克西曼德(公元前 610—前 546)绘制最初的世界地图 毕达哥拉斯(公元前 571—前 497)创立毕达哥拉斯定理,发现无理数——希腊数学的确立;提出地圆思想 巴门尼德(公元前 540—前 470*)在《论自然》中提出大地球形论 赫克特斯(公元前 550*—前 475*)的《世界地志》标志着地理学的开始	公元前 594 年,梭伦制定宪法(确立民主政治);希腊、斯巴达等城邦国家发达 公元前 586 年,犹太王国灭亡 公元前 564 年,伊索歿 公元前 550 年,波斯帝国建立 公元前 538 年,巴比伦尼亚灭亡 公元前 527 年,雅典图书馆建成 公元前 509 年,罗马王政废除,共和制开始 孔子(公元前 552—前 479)活跃时期
	公元前 585 年,巴比伦引水道工程开始 公元前 540 年,卡里马古斯运用了最初的科林斯式建筑技术 公元前 532 年,萨莫斯的特奥多鲁斯发明水准器、三角规、车床、贵金属研磨器	
前 5 世 纪	公元前 480 年,留基伯(公元前 460*—?)创立原子论 开奥斯的希波克拉底,编写了最初的几何学教科书,提出了求圆面积的方法 梅通(公元前 460*—?)发现梅通周期(19 年),提出一年为 365.263 日 公元前 420 年,德漠克利特(公元前 460*—前 370)完成古代原子论 科斯的医学之父希波克拉底(公元前 460*—前 377)集希腊医学之大成,写成了《希波克拉底全集》,共 59 篇	公元前 442—前 429 年,伯里克利执政时期(雅典文化极盛时期诡辩家活跃时期) 公元前 500—前 449 年,波斯战役 公元前 490 年,马拉松战役 公元前 480 年,萨拉米海战,希腊军队大败波斯 公元前 404 年,希腊霸权从雅典移至斯巴达 中国进入战国时期
	西欧进入拉登型铁器时代(—公元前 100 年) 公元前 476 年,重建雅典城墙 出现可容纳 200 人的三层船 公元前 438 年,雅典的帕特农神庙建成(公元前 447 年—)	

续表

公元	科学技术史	大事记
前4世纪	菲洛劳斯提出中心火说——日心说的萌芽 欧多克索(公元前408*—前355)进行了天文观测,解释了行星运动的不规则性——科学天文学的开始 阿开塔斯提出圆锥曲线和比例论 公元前361年,柏拉图在《蒂迈欧篇》中提出宇宙论思想,后又开创了重解析轻计算的数学思想 赫拉克利特活跃于此时,他是日心说的先驱 亚里士多德在物理学、天体论、气象学、宇宙论、动物志、植物论等方面都作出了重要贡献,开创了亚里士多德的自然哲学,从此支配世界约2000年 罗马开始制造军舰	柏拉图活跃时期(公元前427—前347);孟子活跃时期(公元前372—前289) 公元前338年,克罗尼亚战役后希腊丧失独立 公元前331年,亚历山大王实现统一,创建亚历山大城 公元前330年,波斯灭亡 公元前327年,亚历山大国王远征印度(摄取东方文化) 公元前322年,亚里士多德歿
前3世纪	几何学鼻祖欧几里得的活跃期 公元前280年,人体解剖学之鼻祖,赫罗菲拉斯歿 公元前280年,日心说的先驱,阿利斯塔克(公元前310—前230)测定太阳和月球对地球距离的比例 阿基米德(公元前287—前212),希腊最大的实验物理学家、数学家,积分的先驱,算出圆周率值$\frac{31}{7} < \pi < \frac{310}{71}$;提出杠杆原理和阿基米德原理(流体静力学);测定简单平面图形的重心 公元前230年,埃拉托色尼(公元前276—前194)在埃及测定地球的大小(比现在值大13%)——测地学的开始 公元前225年,阿波洛尼(公元前260—前200)写成《圆锥曲线论》 公元前283年,亚历山大城进行灯塔建设 公元前267年,埃及国王在尼罗河与红海之间开凿运河 公元前245年(另说公元前175年),亚历山大城的克达席布斯(希)发明灭水泵、压力泵、气枪、水钟等 公元前220年,弗拉米尼乌斯在罗马和阿里米努姆之间建造公路	亚历山大城成为当时的文化商业中心 将希伯来语的旧约全书译为希腊语 公元前272年,罗马全面平定意大利 公元前269年,改革罗马货币制度,自此埃及和罗马开始正式交通 第一次布匿战争(公元前264—公元前241) 秦始皇统一中国 第二次布匿战争(公元前219—公元前201) 秦始皇修筑万里长城
前2世纪	公元前180*年,依普西克提出数论 希帕克(公元前190—前125)集希腊天文学之大成,创始球面三角法《弦数表》;发现春分点岁差(制作恒星目录的副产品);测定太阳年(比现在值仅大12秒) 希罗(公元前130—前75)提出平滑面的反射法则和希罗三角公式 公元前180年,老喀托(公元前234—前149)写成《农业论》 公元前159年,斯吉皮奥·纳西卡(罗)把水钟引进罗马,代替了过去的日晷 公元前120年,希罗发明虹吸器和反冲力蒸汽机	西汉兴盛时期 第三次布匿战争(公元前149—前146) 公元前146年,希腊灭亡 公元前135年,第一次奴隶暴乱 此时地中海海盗横行 张骞(中)通西域——开始中西文化交流

续表

公元	科学技术史	大事记
前 1 世 纪	公元前 70 年, 卢克莱修在《物性论》中提出原子分子概念 公元前 46 年, 恺撒创制“儒略历”(现在阳历的基础) 阿古里帕测量罗马各地领土	公元前 65 年, 叙利亚王国灭亡 公元前 58—前 50 年, 恺撒征战
	公元前 100 年, 萨塞尔父子完成《农业论》 此时埃及已使用玻璃制的镜子 维特鲁维奥完成《建筑学》(现存最早的建筑学著作) 公元前 37 年, 瓦罗完成《论农业》	公元前 44 年, 恺撒遇刺 奥古斯都时代(公元前 31 ~ 14)——罗马文化的黄金时代 公元前 27 年, 罗马实行帝制
1 世 纪	18 年, 斯特拉波完成《地理学》18 卷 20 年, 塞尔苏斯完成《医学集书》8 卷 63 年, 塞尼加完成《自然的探究》 77 年, 老普林尼完成《自然史》37 卷; 尼科马卡斯完成《算术引论》	64 年, 皇帝尼禄虐杀基督教徒 70 年, 犹太国灭亡 98 年, 禁止基督教徒集会
	60 年, 科路美拉完成《论农业》 70—80 年, 罗马建成圆形大剧场	
2 世 纪	125 年, 土麦拿的塞翁完成《算术书》 克罗狄斯·托勒密发表地心说, 发现大气折射; 完成《至大论》13 卷	135 年, 犹太人被驱逐出耶路撒冷 中国发明造纸术
	罗马开始设置路标(各地点之间的距离表)	
3 世 纪	医学家盖伦(129—200)的活跃时期, 他在医学、解剖学和生理学上都作出了重大贡献 巴普士完成《数学集成》8 卷 丢蕃图(246—330)创始代数学	新约圣经大致完成——基督教僧侣阶级形成 246 年, 罗马内乱, 并从此开始走向衰退
	271—276 年为防止蛮族侵略建造罗马新城墙	226 年, 成立新波斯王国
4 世 纪	佐西摩斯完成有关炼金术的百科全书 26 卷 325 年, 杨布利柯提出数论 390 年, 亚历山大城的塞翁注释《至大论》	323 年, 君士坦丁大帝统一罗马帝国 375 年, 日耳曼人大迁徙
	312 年, 罗马建成凯旋门 巴西利卡式建筑盛行	392 年, 基督教成为罗马国教 395 年, 罗马分为东西两部分
5、 6 世 纪	460 年, 普罗克拉斯为欧几里得几何原本注释 510 年, 博埃修斯完成《算术入门》、《几何学》; 大量注释及翻译亚里士多德等人的书籍 伊西多尔完成《物的由来》百科全书	拜占庭文化兴盛时期 476 年, 西罗马帝国灭亡; 创建法兰克王国
	特奥多鲁斯的希腊建筑法传到意大利 这一时期养蚕法传到东罗马	529 年, 创立本尼狄克特教会(修道院的先驱)

续表

公元	科学技术史	大事记
7、8世纪	641年,亚历山大图书馆被烧毁——希腊学术的终结 杰伯尔(702—765)炼金术之父,制取硝酸、硫酸、王水,用铋冶金法制取金属 775年,阿尔昆(725—804)完成《数学问题集》 667年,东罗马制造“希腊火” 中国发明罗盘 阿拉伯人将造纸术传入欧洲	622年,穆罕默德从麦加逃到麦地那(回教纪元) 641年,学术中心亚历山大城陷落 786年,哈伦·阿尔·拉施德即位,标志着阿拉伯文化的黄金时代
9、10世纪	819年,哈里发阿尔·马蒙在阿拉伯测定地球的大小 830年,阿尔·花拉子模完成《代数学》 833年,阿布拉达赫·阿尔·马蒙(786—833)建造天文台,翻译希腊经典 南意大利的萨勒诺医学校成立——中世纪医学中心 腊泽斯(853—923)完成《医学府库》,内载硫酸、酒精的制造 阿尔·巴塔尼发现近地点对春分点的移动 阿尔哈曾——阿拉伯最大的物理学家,研究光反射,在天文、数学、光学上都作出了重要贡献 850年,意大利在维罗那制作齿轮机械钟 905年,诺曼人发现格陵兰岛 诺曼人列夫自格陵兰岛经过纽芬兰到北美大陆	欧洲封建制度普及 870年,签订《凡尔登条约》,法兰克王国分裂为东法兰克(德意志)、西法兰克(法)和意大利——封建制度确立 907年,唐朝灭亡 962年,建立神圣罗马帝国 此时在波伦尼亚办法律学校——中世纪大学的先驱
11、12世纪	阿尔布卡西斯完成《外科学》 阿维森纳完成《医典》——集阿拉伯医学之大成,注解亚里士多德著作 阿尔·比鲁尼测地球周长 非洲人康斯坦太因将希腊及罗马医学书译为拉丁文;科多瓦的迈蒙尼德把医学、天文学书籍译为拉丁文;克雷莫纳的杰勒德把《至大论》、《医典》译为拉丁文 阿维罗伊注释亚里士多德著作 仿罗马式建筑盛行——威尼斯的圣马可教堂、比萨斜塔建成 炼金术传入欧洲(~18世纪) 法国出现风车 勾西科式建筑兴起(13世纪全盛)	1096年,开始十字军远征(前后共八次, —1270) 1169年,牛津大学创立——各国开始创办大学 阿拉伯文化的翻译时代 经院哲学发展时期
13世纪	1250年,斐波那契《算经》将阿拉伯数学移入欧洲 大阿尔伯特致力于炼金术,认识到有神存在;完成《植物学》 1252年,出版阿耳方梭星表,欧洲天文学兴起 1267年,罗吉尔·培根——实验科学的先驱,从事光学研究,完成《大著作》 1269年,帕雷格伦纳斯发现磁的两极及两极间的斥力和引力 纳索埃丁(1201—1274)将欧几里得原本译为阿拉伯语,制作伊朗星表 雷蒙德·拉尔(1235—1315)制造硝酸	1198—1216年,英诺森三世在位——教皇权力达到顶峰 1224年,蒙古侵略东欧 各国大学创立——那不勒斯、帕多瓦、罗马、索邦等 1271年,马可波罗到中亚细亚、中国、印度旅行 1282年,意大利佛罗伦萨建立自由城市国家(最早的近代国家)

续表

公元	科学技术史	大事记
13世纪	哥特式建筑兴盛期 此时意大利威尼斯出现玻璃制镜 1272年,波尔吉萨诺完成生丝纺车和捻丝机 1234年,此时期意大利发明眼镜 此时期法国制造彩色玻璃、瓶玻璃	1284年,英国发布行会条令 经院哲学的最盛期,代表人物 托马斯·阿奎那 罗吉尔·培根提倡实验,强调 批判权威,反对经院哲学
14世纪	1350年,麦根伯尔完成《自然之书》 1363年,肖利克完成《大外科学》 1302年,弗拉维奥乔亚创制航海用罗盘针(另说1310年) 1306年,纽伦堡的鲁道夫发明金属丝抽丝机 1313年,贝特霍尔德·舍贝尔兹发明枪炮用火药 1325年,意大利佛罗伦萨市出现铣铁炮及炮弹 1338年,英国军舰贝尔纳·德茨尔号首次装备大炮 1346年,克勒西战役——最初将火药用于战争 1370年,德·维克发明实用的齿轮时钟 1381年,德国奥格斯堡发明步枪	意大利文艺复兴开始 1302年,法国召开三级会议 1309年,阿维尼翁教皇被囚, 教皇权衰落 1318年,但丁的《神曲》出版 1339年,英、法开始百年战争 1348—1451年,黑死病流行 1352年,薄迦丘著《十日谈》; 经院哲学衰亡,人文主义兴 起(彼德拉克、薄迦丘)
15世纪	1413年,瓦郎提恩·巴西尔发现镉 1420年,乌鲁贝格完成恒星目录(1018颗星) 古萨的尼古拉建立实验静力学 泡耶白克(1423—1461)翻译《至大论》 1471年,雷纪奥蒙塔拉斯观测彗星,制作航海历,开拓远洋航海术,完成三角学著作 1478年,世界最早的印刷算术著作在意大利特雷维佐出版 列奥纳多·达·芬奇发明湿度计、风力计 1492年,哥伦布发现磁针的方位角 此时铸造业发展,火炮进步,步枪普及 1414年,在翁弗勒围攻战中出现地雷 1450年,(德)古腾堡发明活版印刷术,1455年印成“42行拉丁语圣经” 此时发明火绳式发火装置 1492年,梅廷·贝海姆制作地球仪 纽伦堡出现怀表制造 列奥纳多·达·芬奇在航空学、透视法、燃烧论等方面都作出了研究,成为近代科学和技术的先驱	佛罗伦萨美第奇家族奖励 学术 1414年,君斯坦斯宗教会议 1453年,君士坦丁堡陷落(东 罗马帝国灭亡) 米开朗基罗(1475—1564),拉 斐尔(1483—1520)在世 地理上的“大发现时代” 1486年,发现好望角 1492年,哥伦布发现新大陆 1498年,达·迦马发现印度 航线 中世纪自然观崩溃,近代科学 精神兴起 列奥纳多·达·芬奇活跃期
16世纪	1520年,帕拉塞斯认识到锌 1528年,费内尔测定地球大小(误差小于1%) 1529年,阿格里科认识到铋 1532年,布吕费尔斯完成《植物生态图》 哈尔特曼1536年发现磁偏角,1544年发现磁倾角 1540年,雷科德完成《技术的基础》 1541年,塔塔格里亚提出三次方程的一般解法	文艺复兴兴盛期(著名人物有 拉斐尔、米开朗基罗、达· 芬奇等) 1505年,葡萄牙开始控制印 度,夺取阿拉伯人的贸易权 1516年,托马斯·莫尔发表 《乌托邦》,批判私有制

续表

公元	科学技术史	大事记
16 世 纪	1543 年,哥白尼发表《天体运行论》,确立日心说 1543 年,维萨留斯的《人体结构》推翻了盖伦的权威,确立了近代解剖学 1551 年,格斯内发表《动物学》5 卷 1560 年,那不勒斯创立自然科学社——近代学会之始 1564 年,伽利略诞生(—1642) 1569 年,墨卡托发明墨卡托投影法 1570 年,奥泰利乌斯绘制世界地图 1571 年,约翰·开普勒诞生(—1630) 1572 年,第谷·布拉赫发现新星;1576 年在汶岛建立观测站,进行最早的有规则的天体观测 1582 年,格里高利八世制定格里历 1589 年,伽利略发现摆的对称性 1589 年,斯蒂芬发现力的平行四边形法则 1590 年,伽利略在《论运动》中提出落体法则 1596 年,法本里夏斯发现第一颗变星 1597 年,伽利略发现空气温度计 1600 年,吉尔伯特发表《磁铁》(磁学与电学的基础)	1517 年,马丁·路德提倡宗教改革 西班牙向新大陆扩张 1527 年,抢劫罗马——意大利文艺复兴开始衰落 此时里斯本成为世界贸易中心 1532 年,加尔文提倡宗教改革 1542 年,沙勿略开始向东方传教 此时意大利商业资本活跃期结束,德意志商业资本兴起 1558 年,伊丽莎白女王即位,确立英国新教,设高利率的保护关税(重商主义政策) 1566 年,设立伦敦交易所 1578 年,荷兰与英国结盟,商业资本趋向活跃 1581 年,荷兰独立宣言;利玛窦到中国传教 1585 年,英国向北美殖民 1588 年,英国消灭西班牙无敌舰队,确保制海权 英国伊丽莎白时代文化兴起(莎士比亚、培根、斯宾塞等) 1600 年,英国设立东印度公司;“异端”布鲁诺被烧死
	1506 年,文艺复兴的代表性建筑圣彼得大教堂动工 1522 年,麦哲伦完成最早的环球航行 1530 年,阿格里科拉发表《冶金学》 1540 年,皮斯托亚的卡米奈勒奥·比特利创制手枪 自此到 17 世纪前半叶进行大规模生产和技术革新 1590 年,翰斯和詹森发明复式显微镜	
17 世 纪	1603 年,罗马结成科学社 1604 年,伽利略发现自由落体的法则 1609 年,伽利略发明天文望远镜,观测发现木星的卫星、月斑、太阳黑子;开普勒《新天文学》发表关于行星运动的开普勒第一及第二定律 1611 年,法本里夏斯发现太阳自转 1614 年,耐普尔发明最初的对数表 1615 年,斯涅尔发现光的折射定律 1619 年,开普勒发表关于行星运动的第三定律 1620 年,德雷倍尔发明酒精温度计 1624 年,伽桑狄创始近代原子论 1628 年,哈维发现血液循环(《心血运动论》) 1632 年,伽利略发表《天文对话》 1635 年,费尔马提出数论 1637 年,笛卡儿创始解析几何	1602 年,荷兰设立东印度公司——最早的近代股份公司;莎士比亚发表《哈姆雷特》——英国文学的最高峰 1603 年,英格兰和苏格兰合并 1607 年,荷兰击败西班牙舰队 1614 年,荷兰人在北美建立新阿姆斯特丹(后改名纽约) 1619 年,德国魏玛发布世界最早的强制教育命令 1620 年,弗朗西斯·培根发表《科学的新工具》——科学方法论的确立

续表

公元	科学技术史	大事记
17 世 纪	1638 年,伽利略发表《力学对话》	1637 年,笛卡儿发表《方法论》,1641 年发表《哲学原理》(近代哲学唯理派之祖),这期间霍布斯发表《哲学纲要》(英国经验派代表)
	1642 年,伽利略歿;牛顿(—1727)诞生	
	1643 年,基歇尔发明最初的水银温度计;托里拆利进行大气压试验	
	1644 年,笛卡儿提出动量概念	
	1648 年,帕斯卡提出气压随高度变化	
	1658 年,施旺麦丹发现蛙的血球	
	1660 年,波义耳发现关于气体的波义耳法则;格里马耳迪发现光的衍射现象	
	1661 年,波义耳发表《怀疑派的化学家》;马尔比基开始研究蛙肺的构造	
	1662 年,英国皇家学会创立	
	1666 年法国皇家科学院创立	
	1665 年,胡克发现细胞	
	1669 年,牛顿发明微积分;孔克尔发现磷;巴塞林发现双折射;柏克尔提出燃素说;斯梯诺开创结晶学	
	1673 年,列文虎克发现红血球	
	1676 年,雷默最初测定光速,英国格林威治天文台建立	
	1678 年,惠更斯提出光的波动说,引入以太概念	
	1680 年,莱布尼兹发明微分法;1686 年发明积分法	
	1682 年,哈雷发现哈雷彗星的周期性;列文虎克这时期发现微生物	
	1687 年,牛顿发表《自然哲学的数学原理》,载有万有引力定律、运动三定律等	
	1694 年,施利特分离砷;卡梅腊鲁斯区分植物的雌雄性	
	此时英国棉纺织业兴起——近代工业组织的发生	
	桑特利奥在此时期发明体温计、脉搏计	
	1615 年,考司发明利用蒸汽动力的喷水装置	
	1620 年,达德利使煤用于炼铁(过去用木炭)	
	1623 年,英制定世界最早的发明专利法	
	这时期法国出现优秀的火炮——引入火石击发器	
	1642 年,帕斯卡发明计算器	
	1646 年,基歇尔发明幻灯	
	1649 年,德国在萨克森开创染色工业	
	1650 年,帕斯卡发现帕斯卡原理(流体力学)	
	1652 年,格里凯发明空气泵	
	1654 年,格里凯进行马德堡半球试验	
	1658 年,惠更斯发明摆钟	
	1678 年,惠更斯发明火药发动机	
	1686 年,德国的哈勒和马格德堡纺织工业兴起	
		1638 年,美国创立哈佛大学
		1640 年,荷兰脱离西班牙独立
		1642—1646 年,英国内乱(国王与议会之争)
		1649—1660 年,克伦威尔上台,英国进入共和政府时代
		1652—1654 年,英荷战争,英确保了海上优势
		1655—1659 年,英西战争
		1660 年,英国复辟帝制
		1661—1715 年,法国路易亲政时代,确立专制王权;此时王国古典主义文艺兴盛(高乃依、莫里哀、拉辛、拉封丹)
		1676 年,班扬创作《天路历程》;英国两大政党开始立宪政党政治
		1682 年,俄国彼得大帝即位,国家开始兴盛
		1685 年,巴黎设立世界最初的师范学校——初等教育发达之始
		1685 年,近代音乐之父巴赫诞生
		1687 年左右,英法争夺美国殖民地
		1688 年,英国“光荣革命”成功
		1689 年,英国发表人权宣言;法国启蒙思想家孟德斯鸠诞生
		1694 年,伏尔泰诞生

续表

公元	科学技术史	大事记
17 世纪	1695 年,帕潘发明最初的附活塞的蒸汽机(用作排水) 1698 年,萨弗里发明蒸汽抽水机	
18 世纪	1701 年,雅·贝努利创始变分法 1705 年,哈雷确定哈雷彗星的周期 1708 年,波尔哈夫发表《医学论》 1711 年,肖尔发明音叉 1712 年,弗兰斯提德绘制恒星表 1714 年,华伦海特发明水银温度计 1715 年,泰勒提出关于级数展开的泰勒定律 1720 年,德莫瓦佛发现复数,提出概率论 1723 年,斯塔尔完成燃素说 1724 年,舒尔茨发现银化合物的感光性 1727 年,布拉德莱发现光行差 1729 年,布盖发明光度计 1730 年,弗罗贝纽斯发现乙醚 1933 年,林耐发表《自然的体系》;杜费伊区分正负电荷;布兰特发现钴 1736 年,莫佩尔蒂·库雷罗等到拉普兰做大地测量,证明地球是椭圆形 1738 年,法国科学院测定音速;德乌略亚发现铂 1740 年,达尼艾尔·贝尔完成静力学的潮汐论 1742 年,马克劳林提出级数展开法;摄尔修斯发明摄氏温标 1743 年,达兰贝尔发表《力学原理》 1745 年,布拉德莱发现章动现象 1746 年,穆欣布罗克发明莱顿瓶 1749 年,布丰发表《自然史》 1750 年,弗兰克林发明避雷针 1751 年,克隆斯塔特发现镍 1752 年,多兰发明消色差透镜 1753 年,康吞发现静电感应 1755 年,康德提出星云说 1758 年,欧勒提出刚体运动方程式 1761 年,摩于宜开创病理解剖学 1763 年,布拉克定义并测定比热 1766 年,卡文迪什发现氢 1769 年,舍勒发现酒石酸 1772 年,丹·卢塞福发现氮;舍勒发现氧气;拉瓦锡发现质量守恒定律 1772—1773 年,卡文迪什提出关于静电力的平方反比定律;发现媒介物影响蓄电器的电容量	1701 年,创建普鲁士王国;美国创立耶鲁大学 1703 年,彼得大帝建设彼得堡市 1707 年,英国组成大不列颠王国;波旁王朝征收“什一税” 1719 年,笛福发表《鲁滨孙漂流记》 此时英国设立许多有限公司,形成投机热、泡沫潮(成立后迅速倒闭) 1723 年,亚当·斯密诞生(—1790) 1724 年,康德诞生(—1804) 1725 年,签订维也纳条约,形成西奥同盟 1731 年,从英国开始各国相继承认女子的继承权 40 年代,英法殖民地政策发生冲突;以巴黎为中心出现启蒙文学 1747 年,俄国彼得堡大学创立,1755 年创立莫斯科大学 1749 年,歌德诞生(—1832) 1751 年,美国创立宾夕法尼亚大学,1754 年创立哥伦比亚大学 1756 年,莫扎特诞生(—1791) 1757 年,英法在印度争夺势力 1759 年,席勒诞生(—1805);葡萄牙在里斯本建立世界最早的商业学校 60 年代开始了工业革命,以英国为中心波及到各国,近代资本主义社会成长

续表

公元	科学技术史	大事记
18 世 纪	1774 年,普里斯特利与舍勒分别制取氧气;加恩发现锰;布拉克发现冰的融解热	1762 年,卢梭发表《民约论》、《爱弥儿》;自此唯心主义哲学发展(康德、费希特、黑格尔等)
	1775 年,布鲁门巴哈发表《人类的先天差异》	1769—1771 年,俄土战争
	1777 年,舍勒、丰塔纳发现木炭对气体的吸附性	1770 年,霍尔巴赫发表《自然体系》——法国唯物论的代表作;黑格尔诞生(—1831);贝多芬诞生(—1827)
	1777—1778 年,拉瓦锡确立新燃烧理论	1772 年,第一次瓜分波兰;《法国大百科全书》(21 卷)完成——普及启蒙思想
	1780 年,伽伐尼发现动物电(蛙腿)	1774 年,歌德发表《少年维特的烦恼》,并与席勒一起发表了一场“狂飙突进”运动(新文学运动)
	1781 年,卡文迪什由氧气和氢气合成水;赫舍尔发现天王星	1776 年,美国发表《独立宣言》——宣扬“天赋人权”,给欧洲社会和政治制度以深刻打击;亚当·斯密发表《国富论》——自由主义经济思想的普及
	1782 年,埃尔米发现铝	1781 年,康德发表《纯粹理性批判》,1788 年发表《实践理性批判》,1790 年发表《判断力批判》
	1783 年,德卢亚尔兄弟发现钨	1783 年,美国签订凡尔赛条约;欧文诞生,司汤达诞生
	1785 年,库仑提出库仑定律	1785 年,英国《时代》周刊创刊
	1786 年,斯帕郎扎尼进行犬的人工授精	1788 年,拜伦诞生
	1787 年,查理提出关于气体膨胀的查理定律	1789 年,法国大革命开始;华盛顿任美国总统
	1788 年,拉格朗日发表《解析力学》;贝尔托莱发现氯酸钾,用于炸药;拉瓦锡将 33 种元素分为四大类(新元素观的确立)	此时,各列强建立全球战略,争夺殖民地
	1789 年,克拉普罗特在沥青铀矿中发现铀	1792 年,路易十六被处死刑,法国宣布共和制(近代市民社会的形成与确立)
	1790 年,路布兰从食盐中制碱	1793 年,法国进行雅各宾派专政,1794 年,罗伯斯庇尔被处死
	1791 年,格累高尔发现钛	
	1793 年,阿雨提出晶体结构说	
	1794 年,加多林最初发现稀土元素钇	
	1795 年,高斯发现最小二乘法;蒙日创始画法几何学	
	1796 年,詹纳发明牛痘接种法	
	1797 年,拉格朗日发表《解析函数论》	
	1798 年,卡文迪什测定万有引力的常数;朗福尔德提出摩擦生热	
	1799 年,伏打发明电堆及电池;拉普拉斯发表《天体力学》;普鲁斯特提出定比定律;居维叶发表《比较解剖学》	
	1705 年,纽可门改进蒸汽机(常压蒸汽机)	
	1713 年,达尔比利用焦炭炼铁成功	
	1714 年,亨利·密斯发明打字机	
	1718 年,邦梅巴尔发明推茎式后装炮	
	1720 年,莱奥波尔德发明高压蒸汽机	
	1725 年,巴克发明反冲式水轮机	
	1726 年,哈里森发明时钟校正摆	
	1728 年,贝恩发明炼铁用轧机	
	1733 年,凯依改进织机,发明飞梭	
	1735 年,哈里森发明最早的精密计时器	
	1738 年,惠特·鲍尔发明滚轮式纺织机	
	1740 年,亨茨曼发明坩埚炼钢法	
	1746 年,罗巴克根据铅室法制造工业硫酸	
	1760 年,斯米顿改进水车和风车	
	1762 年,波美发表《药学初步》	

续表

公元	科学技术史	大事记
18世纪	1764年,哈格里夫斯发明珍妮纺织机 1765年,瓦特改进蒸汽机 1766年,库列内齐兄弟发明反射炉 1768年,阿克莱特发明浆叶式纺织机 1769年,居纽发明蒸汽三轮车;1785年,默多克发明蒸汽四轮车 1771年,布士涅尔出现用于实战的潜艇 1774年,勒萨热用摩擦起电实现最早的有线通讯 1775年,威尔金森发明圆筒镗床 1779年,克朗普顿发明走锭精纺机 1782年,威季伍德发明高温计(冶金技术) 1783年,蒙哥弗兄弟发明热空气气球;查理发明氢气球 1784年,科特发明搅拌法(用于炼铁) 1786年,勒邦发明热煤气灯;费齐发明蒸汽帆船 1790年,确立米制 1791年,夏普发明光学信号通讯装置 1792年,默多克制造照明用煤气;威季伍德曝光得氯化银照片 1794年,怀特尼发明皮棉机 1795年,布拉默发明布拉默水压机 1797年,莫兹利发明莫兹利车床 1798年,森奈菲尔德发明石版印刷术 1800年,洛贝尔发明机械造纸技术 1800年,斯坦霍普发明斯坦霍普印刷机	此时德国兴起了一场浪漫主义文学运动和新人文主义教育思潮(反对启蒙主义) 1795年,波兰灭亡 1796年,拿破仑远征意大利,1798年,远征埃及 1797年,舒伯特诞生;谢林发表《有关自然哲学的一些概念》 1798年,马尔萨斯发表《人口论》 1800年,拿破仑征伐奥国
19世纪	1801年,高斯发表《算术研究》;杨提出光干涉概念;拉马克发表《无脊椎动物的系统》 1802年,盖·吕萨克提出关于气体膨胀的盖·吕萨克定律;居维叶从西伯利亚的冰原中发现猛犸化石 1803年,道尔顿提出分子原子说、分压定律、倍比定律;亨利提出关于稀溶液的亨利定律 1805年,拉普拉斯提出毛细管理论;杨提出表面张力理论;洪堡开辟植物地理学;瑟吐拉从鸦片中提取纯吗啡 1806年,洪堡提出高层大气中气温递减法则 1807年,杨引入能量概念;戴维用电解法制取钠及钾,次年制取镁;博西尼创制内窥镜;平克顿发表《近代地理学》 1808年,马吕斯发现反射光的偏振现象;盖·吕萨克提出气体反应定律 1809年,拉马克发表《动物哲学》;达尔文诞生(—1882);麦尔道尔首次成功摘除卵巢	1803年,萨伊发表《经济学》(亚当·斯密经济学的普及) 1804年,拿破仑即位,康德歿 1805年,特拉法加角海战;奥斯特立兹“三帝之战” 1806年,赫尔巴特发表《普通教育学》;神圣罗马帝国灭亡 1807年,黑格尔发表《精神现象学》 1808年,歌德《浮士德》第一部发表 1810年,浪漫派音乐家肖邦、舒曼诞生;柏林大学创立

续表

公元	科学技术史	大事记
19 世纪	1811年,傅里叶提出并应用傅里叶级数;泊松发表《力学》;阿伏伽德罗提出阿伏伽德罗假说	1812年,英国格拉斯哥发生大罢工;拿破仑侵俄败退
	1812年,拉普拉斯发表《分析概率论》;阿拉果发现偏振光干涉现象;库图瓦发现碘;居维叶发表《四足动物的骨化石研究》	1813年,欧洲各国的独立战争
	1815年,布儒斯特提出偏振角定律	1815年,拿破仑百日政变,滑铁卢之战,拿破仑被流放圣赫勒拿岛;维也纳会议;法国路易十八复辟;马尔萨斯发表《地租论》
	1816年,拉普拉斯提出声速理论	1816年,英国实行金本位制;各国掀起自由主义及国民主义运动
	1817年,阿尔费特逊发现锂;斯特罗迈厄发现镉	1817年,李嘉图发表《政治经济学及赋税原理》——建立科学的经济学;黑格尔发表《哲学全书》
	1818年,美国《科学》杂志创刊	1819年,叔本华发表《世界即意志和观念》;德国关税同盟成立
	1819年,杜隆和珀替提出原子热定律	1820年,马尔萨斯发表《政治经济学原理》
	1820年,奥斯特发现电流的磁作用;安培提出电流产生磁场	1821年,圣西门发表《论实业制度》(社会主义思想的先驱);希腊独立战争(—1829);波德莱尔、福楼拜、陀思妥耶夫斯基诞生
	1822年,彭赛列创设射影几何学;夫琅和费发现光的衍射现象	1822年,普希金发表《高加索的俘虏》;舒伯特发表《未完成的交响曲》(浪漫派音乐的代表)
	1823年,皮尔克内首创指纹法	1823年,美国发表《门罗主义宣言》
	1826年,布雷东记载白喉	1824年,英国购入新加坡;墨西哥共和国成立
	1827年,布朗发现布朗运动;欧姆提出欧姆定律	1825年,最初的周期性经济危机开始
	1828年,维勒人工合成尿素(最先把无机物和有机物联系起来);贝齐里乌斯发现钍;近代胚胎学之祖贝尔发现哺乳类的卵	1826年,伦敦大学创立
	1829年,罗巴切夫斯基创立非欧几何学	1828年,易卜生诞生
	1830年,亨利发现自感现象;赖尔发表《地质学原理》	
	1831年,法拉第发现电磁感应电流;李比希合成三氯甲烷;布朗发现细胞核	
	1832年,高斯提倡各种测定量的“绝对单位”;李比希和韦勒发现苯甲酰基;格雷厄姆提出气体扩散定律	
	1834年,楞次提出楞次定律(感应电流)	
	1835年,施旺在胃液中发现胃蛋白酶	
	1836年,柯西提出光的弥散理论;高斯提出“势能”概念;弗兰肯海姆提出最初的晶体空间点阵说;戴维发现乙炔;休埃尔提出潮汐理论	
	1838年,贝塞尔发现恒星视差;佩奇制作感应线圈;法拉第发现法拉第暗区;施莱登提出细胞说;阿伯特记载急性盲肠炎;约尔丹发明日照计	
	1839年,高斯提出地磁理论	
	1840年,高斯提出关于势能的高斯定理;焦耳发现电流通过导体时的热效应;盖斯提出盖斯定律(热效应);舍恩拜内发现臭氧	
	1841年,德·拉·瑞夫发现稀薄气体内的放电现象;特罗默尔发明尿糖检定法;杰克逊首倡乙醚麻醉法;英国创立药学会	

续表

公元	科学技术史	大事记
19 世 纪	1842年,多普勒发现多普勒效应;热拉尔对有机化合物进行分类;多内发现血小板	1830年,孔德创作《实证哲学》(—1942)——浪漫主义思想的衰退和实证主义精神的勃兴;法国爆发七月革命,影响到世界各地(比利时独立,波兰独立运动,德、意、西等的自由运动)
	1843年,施瓦贝测定太阳黑子的周期(约11年);焦耳测定热功当量;杜比尼发现钩虫;克劳克发现结核病的传染性	1831年,达尔文乘贝格尔号环球航行(—1836)(进化论思想的酝酿);歌德完成《浮士德》
	1844年,贝迪发明最初的无液气压表;黑伯拉发现疥癣虫	1833年,杜林诞生
	1845年,法拉第发现法拉第效应;诺意曼提出关于感应电流的诺意曼定律;休雷塔发现红磷	1835—1826年,经济危机(以英美为主)
	1846年,亚当斯、勒维烈各自预测海王星;莫顿和沃伦在手术上使用乙醚麻醉	1838年,库尔诺发表《财富理论数学原理之研究》——数理经济学之始
	1848年,开尔芬提出绝对温度的概念;伯莱多创始催眠术	1840年,鸦片战争(—1842,欧洲经济势力侵入中国);左拉、塞尚、莫奈、罗丹、哈代诞生
	1850年,克劳修斯提出热力学第二定律;傅科确认光的波动说;威廉森提出醚生成理论(原于价概念)	此时英国确立自由贸易
	1851年,傅科用傅科摆证明地球自转	1843年,穆勒发表《推力及归纳的逻辑体系》
	1852年,斯托克(英)提出关于萤光的斯托克定律;沃勒提出关于神经传导和变性的法则	1845年,马克思、恩格斯发表《德意志意识形态》
	1853年,哈密顿引入四元数;开尔芬发现放电的周期性;维劳得特设计脉搏计	1846年,美墨战争(—1848)
	1854年,黎曼提出黎曼几何学;焦耳和开尔芬提出关于气体内部能量交换的定律	1847年,经济危机(英、德、法,翌年美)
	1855年,傅科发现涡电流;伯尔纳发现肝脏中肝糖的形成机制(内分泌学说的先驱)	1848年,马克思、恩格斯发表《共产党宣言》;法国爆发二月革命,影响涉及欧洲;美国联合通讯社成立
	1856年,雅曼发明光干涉计;勒维烈制作天气图,开始天气预报业务	1849年,英国撤销航海法令(自由贸易政策)
	1857年,巴斯德证实发酵由微生物引起	1850年,太平天国起义(—1864);莫泊桑诞生(自然主义文学奠基人)
	1858年,普吕克发现阴极射线及其在磁场中的弯曲	1851年,路易·拿破仑武装政变后即帝位
	1859年,达尔文发表《物种起源》;本生和基尔霍夫发现元素各具固有的光谱线;基尔霍夫提出关于热辐射定律(引入绝对黑体)	
	1860年,本生和基尔霍夫发现铷和铯;麦克斯韦提出气体分子速度分布律;舒尔兹、巴利提出原生质说	
	1861年,基尔霍夫进行太阳光谱分析;麦克斯韦提出电场理论;克鲁克斯发现铊;布洛卡在大脑皮质中发现语言中枢	
	1863年,赖赫和李希特发现镭	
	1864年,麦克斯韦提出电磁场的基础方程式,预见电磁波的存在;纽兰兹提出元素八音律	
	1865年,克劳修斯提出熵增大原理;劳施米特推算出1克分子气体的分子数;凯库勒确定苯的化学结构式;孟德尔提出孟德尔遗传法则;伯尔纳发表《实验医学序论》;高尔顿提倡优生学	
	1867年,巴斯德发明低温杀菌法	

续表

公元	科学技术史	大 事 记
19 世 纪	1869 年,安德鲁斯发现临界温度和临界压力;希托夫发现阴极射线;门捷列夫发现元素周期律;布朗·塞卡尔首创内分泌学;朗格尔汉斯发现胰岛细胞	1852 年,英国议会成立 1853 年,俄土战争(—1856) 1854 年,克里米亚战争(—1856);彭加勒诞生(—1912)
	1870 年,弗里奇和希奇格发现脑的运动中枢	1856 年,第二次鸦片战争(—1860)
	1871 年,麦克斯韦提出光的电磁说;达尔文发表《人类的起源》	1857 年,爆发最初的世界经济危机;莫卧儿帝国灭亡
	1872 年,代德金提出无理数论	1859 年,马克思发表《经济学批判》;杜威诞生
	1873 年,麦克斯韦发表《电和磁》	1861 年,美国南北战争(—1865);建立意大利王国;俄国颁布解放农奴令
	1874 年,克鲁克斯提出阴极射线是具负电荷的微粒子流	1862 年,德国开始俾斯麦的铁腕政治
	1875 年,开尔芬提出潮汐理论;魏斯曼区别生殖细胞和体细胞;施特拉斯布格发表《细胞形成和细胞分裂》;保罗完成剖腹产手术	1863 年,林肯颁布解放黑奴令,1865 年被暗杀
	1877 年,霍尔发现火星的卫星;卡累特、皮克特(各自独立)完成氧气、氮气、一氧化碳及甲烷的液化;佩弗研究渗透压;斐累尔提出大气环流论	1864 年,创立红十字会;第一国际创立
	1878 年,法布尔写作《昆虫记》(—1910)	1866 年,爆发世界经济危机;爆发普奥战争
	1879 年,斯蒂藩提出斯蒂藩定律(黑体辐射)	1867 年,马克思发表《资本论》第一卷;美从俄购入阿拉斯加
	1880 年,克劳修斯提出气体状态分析式;P. 居里发现压电效应;艾伯特发现伤寒杆菌;拉维兰发现疟原虫;尤因发明地震计	1868 年,明治维新开始
	1881 年,迈克耳逊完成关于地球和以太相对运动的实验;O. W. 鲁鲁始实验胚胎学;科赫提倡细菌学的新方法(确立细菌学);巴斯德提出狂犬病的预防法	1871 年,普法战争(—1870),意大利统一;列宁诞生
	1882 年,科赫发现结核杆菌	1871 年,德意志帝国成立;巴黎公社起义
	1883 年,克雷布发现白喉杆菌;欧利希发现迭氮反应;库尔贝林发表《精神病学教程》(近代实验精神病学的基础)	1872 年,德、奥、俄三国同盟;恩格斯发表《自然辩证法》
	1884 年,爱迪生发现爱迪生效应(研究热电子的开端);乌罗布莱乌斯基和奥鲁切乌斯基完成氢的液化;费歇尔合成糖类;科赫发现霍乱弧菌;尼古拉尔发现破伤风杆菌;寇本进行气候分类	1873 年,发生世界经济危机
	1885 年,巴尔默发现元素光谱系列;欧利希发现大肠杆菌	1877 年,俄土战争(—1878)
	1886 年,戈尔兹坦发现阴极射线;莫瓦桑发现氟;弗伦克尔发现肝炎球菌	1878 年,柏林会议召开;恩格斯发表《反杜林论》
	1887 年,进行迈克尔逊-莫雷实验;阿贝提出显微镜理论	1879 年,德奥同盟成立
	1888 年,霍尔瓦希斯发现光电效应;赫兹证明电磁波的试验;瓦尔代耶发现染色体;奥贝尔贝克提出大气环流理论	1881 年,亚历山大二世被暗杀
	1889 年,埃尔斯特和盖特尔引进光电子概念;伦麦和伯尔约翰发明光度计	1882 年,发生世界经济危机
	1890 年,斯通最初使用“电子”一词;科赫发现结核菌素	
	1891 年,伯格曼提倡无菌法(改进防腐法)	

续表

公元	科学技术史	大事记
19 世 纪	1892 年,勒纳研究勒纳射线;梅契尼柯夫发现白血球的噬菌现象	
	1893 年,洛伦兹、斐兹杰惹提出洛伦兹、斐兹杰惹收缩假说	
	1894 年,瑞利和拉姆塞发现氩;耶尔森发现鼠疫杆菌	
	1895 年,伦琴发现 X 射线;洛伦兹提出运动物体的电磁光学理论;弗洛伊德开创精神分析学	1883 年,德、奥、意三国同盟成立
	1896 年,贝克勒尔发现放射性;塞曼发现塞曼效应	自此出现新理想主义、新浪漫主义思潮,世纪末思想泛滥
	1897 年,J.J. 汤姆逊发现阴极射线由电子组成;志贺洁发现痢疾杆菌;古尔马赫、罗森费尔德创始 X 射线诊疗法	1886 年,英国合并缅甸
	1898 年,居里夫妇发现镭、钋;拉姆塞、特拉弗斯发现氦、氖、氩	1887 年,万国公法会议(伦敦)召开
	1899 年,希尔伯特发表《几何学基础》	1889 年,巴西供合同成立;第二国际成立(—1914)
	1900 年,普朗克确立量子论的基础;巴甫洛夫研究条件反射	1890 年,首次举行五一劳动节
	1802 年,特里维西克发明蒸汽机车;英国颁布世界最早的工厂法	1891 年,俄法结成同盟;俄开始经营远东(—1905,日俄战争受挫)
	1804 年,康格里夫制实用火箭	1892 年,欧洲各地无政府主义者起义
	1807 年,伦敦使用煤气灯(1814 年普及);富尔顿制造使用轮船	1894 年,俄皇尼古拉二世即位;中日甲午战争(—1895)
	1809 年,佐迈林发明最初的发报机	1895 年,列宁创立工人阶级解放斗争协会,1897 年被流放到西伯利亚东部(—1900)
	1814 年,史蒂文森火车头试车成功;富尔顿发明最初的蒸汽军舰	1896 年,此时德国实施海军扩张计划,图谋称霸世界;近代第一届奥林匹克运动会(雅典)召开
	1815 年,戴维发现安全灯	1897 年,希土战争
	1820 年,阿拉果发现电磁铁;施魏格尔制造电流计	1898 年,美西战争,美吞并夏威夷和菲律宾
	1821 年,戴维发明弧光灯;	1899 年,布尔战争(—1902);海牙国际和平会议
	1822 年,拜比吉发明计算器	1900 年,八国联军侵华;美国采用金本位制;胡塞尔发表《逻辑研究》
	1823 年,布朗发明最初的实用内燃机	
	1824 年,阿斯佩丁制造硅酸盐水泥	
	1825 年,世界最初的铁路通车	
	1826 年,贝尔发明收割机	
	1827 年,沃克发明磷制火柴	
	1828 年,尼尔松发明鼓风加热炼铁法	
	1833 年,高斯和韦伯最早利用电磁作用制作有线发报机	
	1835 年,莫尔斯发明有线发报机;1838 年发明莫尔斯电码;科尔特发明连发手枪	
	1836 年,雅可比发明电镀法	
	1838 年,达盖尔完成银板照相法——近代照相技术的创始;巴尼特发明压缩式内燃机	
	1839 年,纳斯密士发明汽锤	
	1840 年,阿姆斯特朗制作水力发电机;古德伊尔发明橡胶硬化法	
	1841 年,道尔普特发明珂罗版照像法(照像发明者);西门子发明金银电镀法	

续表

公元	科学技术史	大事记
19 世 纪	1844年,贝思发明电钟;美国华盛顿——巴尔的摩之间最初使用莫尔斯收报机	
	1845年,赫威最早完成实用的缝纫机;舍拜恩和博特格发明硝化棉火药;阿姆斯特朗发明水压起重机;麦考密克发明自动收割机	
	1846年,索将勒洛发明硝化甘油;德国设立卡尔·蔡斯光学仪器公司	
	1847年,德国设立西门子公司	
	1848年,阿切尔发明湿板照像法	
	1850年,本生发明本生灯;惠特沃斯制作用于精密工作的测定器	
	1851年,辛格发明辛格缝纫机;兰金设计兰金自行车	
	1852年,吉法尔建造飞船(利用蒸汽发动机)	
	1853年,贝塞麦发明旋转式子弹;科尔特在哈佛建立兵工厂	
	1855年,贝塞麦提倡贝塞麦炼钢法;兰德斯特伦发明安全火柴	
	1853年,盖斯勒发明低压放电管(盖斯勒管)	
	1859年,库罗曼兄弟设立铁工厂(后来的卡纳基钢铁公司);石油工业开始发展	
	1860年,普朗泰发明铅蓄电池	
	1861年,西门子发明煤气发生炉和蓄热式煤气燃烧法	
	1862年,索尔维发明氨碱法;德罗夏提出四冲程循环原理	
	1863年,布留希制造应用机械动力的潜水艇	
	1864年,萧尔采发明打猎用的无烟火药;惠彻特制造自动式鱼雷	
	1865年,马丁发明平炉炼钢法	
	1867年,诺贝尔发明安全炸药;莫尼埃发明钢筋混凝土	
	1869年,黑特、派克斯各自独立发明璐珞	
	1870年,格拉默发明环状电枢	
	1871年,爱迪生发明打字发报机;马度克斯发明利用明胶的照像干片	
	1876年,贝尔发明实用电话;奥托发明四冲程内燃机	
	1877年,休斯发明碳麦克风;爱迪生发明腊筒留声机;利林塔尔研究滑翔机	
	1878年,拜尔合成靛蓝	
	1879年,爱迪生发明真空炭丝灯泡;西门子发明最早的电车	
	1881年,纽约建立火力发电站	
	1883年,戴姆勒发明最初的汽车	
	1884年,帕森制造汽轮发电机	
	1885年,伊斯特曼制造成功照像胶片	

续表

公元	科学技术史	大 事 记
19 世 纪	1886 年, E. 汤姆逊发明电焊法 1887 年, 达松伐创始高频电疗法; 爱迪生发明圆盘留声机; 巴黎——布鲁塞尔首次接通国际电话 1888 年, 伊斯曼完成柯达式照相机 1889 年, 霍利斯发明统计机 1890 年, E. 汤姆逊创制高频发电机 1891 年, 李普曼完成天然色照相法 1892 年, 克伦斯、比旺及比德尔发明粘胶人造丝; 美国成立通用电气公司 1893 年, 布隆代尔制作示波器; 爱迪生发明电影; 狄塞尔发明狄塞尔柴油机; 泰斯勒设计泰斯勒变压器 1894 年, 利哈发明自动手枪 1895 年, 林德发明空气液化装置 1896 年, 马可尼发明无线电; 吉洛姆发明镍合金钢 1897 年, 布劳恩发明布劳恩管; 帕森完成世界最初的汽轮机轮船; 英国成立马可尼无线电讯公司 1898 年, 泰勒、怀特发明高速钢 1899 年, 英法之间无线电通讯成功	
20 世 纪	1901 年, 德·弗里斯发表《突变学说》; 兰德斯坦纳发现血型(三种) 1902 年, 肯内利、海维赛德各自独立发现电离层; 德博特阿斯曼各自独立发现同温层 1903 年, 威尔逊测定电子的电荷 1904 年, 洛伦兹提出洛伦兹变换式; J. J. 汤姆逊提出原子模型 1905 年, 爱因斯坦提出狭义相对论和光量子假说; 哈恩发现钚 1906 年, 考夫曼测定电子的质量; 奈恩斯特提出热力学第三定律; 斯特林提出激素说 1907 年, 爱因斯坦提出固体比热的理论; J. J. 汤姆逊提出阴极射线分析法; 普尔伍德发现钚 230 1908 年, 闵可夫斯基提出四维空间的概念; 佩兰完成证明分子存在的实验 1909 年, 卢瑟福和路易斯证实 α 粒子是氦核; 密立根用油滴法精密测定电子电荷 1910 年, 罗素提出恒星进化说; 摩尔根从事果蝇的遗传研究 1911 年, 爱因斯坦提出光线在万有引力场中弯曲的理论; 昂纳斯发现金属低温超导现象; 卢瑟福提出原子模型	1901 年, 颁诺贝尔奖(物理、化学、医学或生理学、文学、和平) 1902 年, 南非战争结束(1899—); 日英结盟; 彭加勒发表《科学与假设》 1903 年, 《巴拿马运河条约》签订; 俄国社会民主党分裂为布尔什维克和孟什维克两派 1904 年, 日俄战争(—1905); 英法订立协定 1905 年, 俄国第一次革命; 马克思发表《剩余价值理论》 1906 年, 英国工党成立; 签订英俄协定 1907 年, 出现世界性的经济危机

续表

公元	科学技术史	大事记
20 世 纪	1912年,海斯确认宇宙线;劳厄发现晶体的X射线衍射;布拉克发现晶体的X射线反射;爱因斯坦提出光化当量定律;魏格纳提出大陆漂移说	1908年,土耳其政变;彭加勒发表《科学与方法》;列宁《唯物主义与经验批判主义》;普朗克发表《物理世界图景的统一性》
	1913年,阿斯顿进行同位素的分离;玻尔提出原子模型	1909年,俄德协约(摩洛哥问题);杜里舒发表《有机哲学》(新活力论)
	1914年,莫塞莱发现元素的X射线光谱和原子序数的关系	1910年,南非联盟成立;葡萄牙成立共和国
	1915年,爱因斯坦提出广义相对论;弗洛伊德发表《精神分析学》;肯德尔发现甲状腺素;托特发现溶菌现象	1911年,意土战争(—1912);中国辛亥革命
	1916年,亚当斯、科塞尔提出价电子说	1912年,清朝灭亡,中华民国成立;巴尔干战争(—1913);德国兴起泛日耳曼主义;俄国兴起泛斯拉夫主义;克鲁泡特金发表《现代科学和无政府主义》
	1917年,爱因斯坦、德希特提出相对论的宇宙论;德文列尔阐明溶菌现象	1914年,第一次世界大战爆发(—1918);马恩河战役
	1918年,夏普列提出银河系模型;波尔提出经典理论与量子论的对应原理	1915年,意大利参战
	1919年,阿斯顿用质谱仪研究同位素;卢瑟福用 α 粒子实现人工核反应;确证广义相对论;皮叶克尼斯提出暖锋、冷锋	1917年,俄国爆发十月社会主义革命,苏维埃政权诞生
	1920年,班廷、贝斯特提取胰岛素;皮叶克尼斯父子提出锋面和气旋学说	1918年,印度民族解放运动高涨(—1922)
	1921年,费希尔创立推断统计学;阿博恩斯、伦格发现脑下垂体前叶激素的促进生长作用	1919年,土耳其凯末尔革命(—1922);朝鲜三一运动;共产国际成立;巴黎和会
	1922年,科斯特、赫维西发现钷;阿博恩斯、贝沙普发现维生素E;麦克拉姆把维生素D作为佝偻病的治疗预防药物	1921年,华盛顿会议;中国共产党成立
	1923年,康普顿发现康普顿效应(光量子假说的有力证明);L.德布罗意导入物质波概念;德拜、休克尔提出强电解质溶液离子互吸理论	1922年,苏联成立;墨索里尼上台
	1924年,德布罗意奠定了波动力学的基础;卡尔梅特、盖兰提倡用接种卡介苗预防结核病	1925年,洛伽诺会议
	1925年,海森堡创立量子力学;狄拉克确立量子力学的基础方程式;玻恩、约尔丹确立矩阵量子力学的基础;诺达克、塔克和贝尔格发现铈	1929年,纽约股市崩溃,引发全球经济危机(—1933)
	1926年,薛定谔创立波动力学;费米提出费米统计法则	1931年,日军发动侵华的“九一八”事件
	1927年,玻尔提出互补原理;海森堡提出测不准原理;戴维逊、杰默最早证实电子的波动性;缪勒完成基因的人工诱变	1933年,希特勒上台,实施法西斯专政;罗斯福任总统,实施“新政”
	1928年,拉曼发现拉曼效应;狄拉克提出相对论的电子运动方程式;弗莱明发现青霉素;确定血型分类名称(A、B、AB、O)	
	1929年,爱因斯坦提出电磁场及万有引力场的统一理论;海森堡、泡利创设量子电动力学;柏格发现脑电波;斐文中发现北京人的头盖骨	
	1930年,亚历山大洛夫创设拓扑学;汤姆堡发现冥王星;博特、贝克尔确认 γ 衰变;劳伦斯发明回旋加速器;狄拉克提出正电子的理论;林克倡导气团论	

续表

公元	科学技术史	大事记
20 世 纪	1931年,杨斯基发现宇宙无线电波;范·德·格拉夫发明静电加速器;泡利提出中微子假说;温道斯合成维生素D;森特·格尔吉确定维生素C	1935年,共产国际第七次代表大会召开;埃塞俄比亚开展抗击意大利侵略的民族解放运动
	1932年,查德威克发现中子;安德逊发现正电子;尤里发现重氢;考克饶夫特、沃尔顿完成人工核嬗变;海森堡提出原子核结构的理论;艾林提出化学反应速度的理论	1936年,西班牙反法西斯的民族革命战争(—1939)
	1933年,费米提出原子核 β 衰变的量子理论 1934年,约里奥夫妇发现人工放射能;费米用中子做轰击原子核的实验	1937年,侵华日军策划“卢沟桥事变”,中国抗日战争全面爆发
	1935年,汤川秀树导入介子概念;斯坦莱提纯烟草花叶病毒并获得病毒体结晶;黑贝希利用人工放射性元素研究物质代谢	1938年,慕尼黑会议召开
	1936年,玻尔、卡尔卡提出原子核反应的理论;休密特发现超声波的化学作用	1939年,德军入侵波兰,第二次世界大战爆发
	1937年,内特麦耶、安德逊发现介子;佩利亚、塞古勒通过回旋加速器获得钨;布雷克斯利、阿弗利用秋水仙素使染色体加倍	1940年,法国投降
	1938年,尼科尔森发现木卫十和木卫十一;哈恩、史特拉斯曼发现铀原子核裂变;欧勒、海森堡提出宇宙线理论;缪勒发明DDT	1941年,苏德战争爆发;太平洋战争爆发
	1939年,玻尔、惠勒提出原子核裂变的理论;佩雷发现钨;约洛阐明宇宙线对生物突变的影响	1942年,中途岛海战;斯大林格勒战役(—1943)
	1940年,塞格勒、科松、麦坎基通过回旋加速器合成钷;麦克米伦、艾贝尔森获得镎、钚;博林提出抗体抗原反应的理论	1943年,中、美、英发表《开罗宣言》;苏、美、英举行德黑兰会议
	1941年,卡斯特发明电子感应加速器	1944年,美英军在诺曼底登陆,开辟欧洲第二战场
	1942年,费米等实现原子核链式反应	1945年,美、英、苏首脑罗斯福、丘吉尔、斯大林举行雅尔塔会议,对战后世界格局作出安排;苏、美、英举行波茨坦会议;美国在日本广岛和长崎投下原子弹;第二次世界大战结束;联合国成立
	1944年,西博格制取钼、铜;瓦克斯曼发现链霉素	1947年,印巴分治
	1945年,美研制原子弹;麦克米伦、贝库斯拉(各自独立)发明稳相加速器;苏联进行温血动物的心脏移植法	1948年,以色列建国,与叙利亚、黎巴嫩、约旦、伊拉克、埃及等阿拉伯国家发生第一次中东战争;美国实施“马歇尔计划”
	1946年,黑尔休贝格利用雷达探测月球表面;劳伦斯制成同步回旋加速器	1949年,北大西洋公约组织成立;中华人民共和国成立
	1947年,莱茨、鲍威尔、奥基亚利尼发现 π 、 μ 两种介子;美国利用火箭探测电离层	20世纪四五十年代,第三次科技革命开始
	1948年,柯伊伯发现天王卫五;伽莫夫发展恒星进化论;加特纳、莱茨人工制造介子;伍德沃德合成多肽;博格贺斯特发现氯霉素;达格发现金霉素	
	1949年,柯伊伯发现海王卫二;美国发现 τ 介子;莱布托克合成氯霉素;美国发现对氨基水杨酸(结核病特效药)	
	1950年,毕约尔克兰德、麦耶·古兰道尔发现中性 π 介子;西博格发现钷	
	1951年,曾纳、斯勒特各自提出强磁性材料理论;巴纳尔发表《生命的物理学基础》;桑格分析胰岛素分子中的氨基酸序列	

续表

公元	科学技术史	大事记
20 世 纪	1952 年,摩尔根证明银河系有旋涡状结构存在;巴德校正造父变星周光关系零点值,原定宇宙界线增加一倍;美国建成质子同步稳相加速器;奥乔亚阐明光合作用过程和发酵过程的关系	1950 年,朝鲜战争爆发,中国抗美援朝(—1953)
	1953 年,沃森、克里克阐明 DNA 的螺旋结构;分离和确认小儿麻痹病毒	20 世纪 50 年代初至 70 年代初,资本主义经济发展的黄金时期
	1954 年,夏因发现反质子;纽伯利、萨米斯发明 X 射线显微镜;焦尔索等发现镓、镓;艾贝尔森从各种化石中发现氨基酸	1955 年,亚非国家召开万隆会议;华沙条约组织成立
	1955 年,焦尔索、哈维、乔班、汤姆逊、西博格发现钷;索科发现预防小儿麻痹的接种疫苗	1956 年,第二次中东战争
	1957 年,吴健雄证实李杨理论(弱相互作用下宇称不守恒)	1959 年,古巴革命胜利
	1958 年,海森堡确定基于统一场理论的基本方程式;美、英发表受控热核反应的研究结果;苏联制作质子显微镜(60 万倍)	1960 年,非洲 17 国独立
	1959 年,美国通过人造卫星发现辐射带;苏联成功拍摄月球背面照片;美国低温处理狗心脏移植成功	20 世纪 60 年代初,不结盟运动形成;美国侵越越南(—1973)
	1960 年,梅曼发明激光器;泽特勒、科尔亚诺夫,伍德沃德合成叶绿素	20 世纪 60 年代中期,“七十七国集团”产生
	1961 年,豪阿德合成萤火虫发光物质;深度为 15000 公里的地壳钻孔成功(莫霍计划)	1967 年,欧洲共同体产生
	1962 年,美国水手 2 号测定金星表面温度、磁场等 1963 年,美国帕罗玛山天文台发现类星体	1968 年,苏联占领捷克斯洛伐克
	1964 年,美国徘徊者 7 号拍摄月球表面近镜头照片;艾尔宾等用高等植物的纤维素合成酶;利基在东非发现 200 万年前的能人化石	1971 年,中国恢复在联合国的合法席位
	1965 年,雷德曼等在实验室制取反质子	1972 年,美国总统尼克松访华
	1966 年,美国确定组成蛋白质的 20 种氨基酸的全部遗传密码	1973 年,第四次中东战争后,阿拉伯石油输出国实行石油减产等措施,引发“第一次石油危机”
	1969 年,普里戈金明确提出耗散结构理论	1978 年,中国共产党召开十一届三中全会,中国实施改革开放
	1974 年,转基因动物诞生	1979 年,中美建交
	1975 年,制造单克隆抗体	20 世纪 80 年代末 东欧剧变
	1977 年,中子弹研制成功	1990 年,东德与西德统一
	1978 年,“试管婴儿”路易丝在英国出世	1991 年,以美国为首的多国部队对入侵科威特的伊拉克实施“沙漠风暴”军事打击;苏联解体
	1983 年,发明“聚合酶链式反应”法分离出艾滋病病毒	1993 年,关于欧洲一体化的《马斯特里赫特条约》生效,一个包括欧共体 12 国、人口逾 3.4 亿的欧洲联盟诞生
	1985 年,南极上空发现臭氧洞	
	1987 年,发现超新星	
	1988 年,人类基因组测序计划开始	
	1990 年,哈勃望远镜进入轨道;美国国家卫生研究院进行世界首例基因治疗	
	1994 年,发现艾滋病病毒蛋白酶抑制剂	
	1995 年,顶夸克被证实;日本无人海底探测器创潜入海底 10911 米的世界纪录;人工制造“反物质”	

续表

公元	科学技术史	大事记
20 世 纪	1996 年,发现火星陨石有生命迹象	
	1997 年,成功克隆绵羊“多莉”;探测车成功登陆火星	
	1999 年,人体第 22 对染色体密码被破译;科学家将光速降低到每秒 17 米	
	2000 年,人类基因组测序完成	
	1901 年,马可尼横跨大西洋的无线电通讯成功;美国建立美国钢铁公司	
	1902 年,美国农业上使用拖拉机	
	1903 年,莱特兄弟发明飞机并进行最初的飞行;波尔森发明电弧式无线电话机;德成立德律风根无线电讯公司;美成立福特汽车公司	
	1904 年,弗莱明发明二极真空管;科伦发明电传真技术;卢贝尔发明胶版印刷法;自此铁路开始电气化	
	1905 年,伯克兰德和法第用电弧法固氮	
	1906 年,维尔姆发明硬铝	1994 年,北美自由贸易区正式形成
	1907 年,德·福雷斯特发明三极真空管	1995 年,在关贸总协定的基础上,世界贸易组织成立
	1908 年,齐柏林发明飞艇;贝尔奇研制人造短纤维;池田菊苗提取味精	1997 年,东南亚爆发经济危机;中国恢复对香港行使主权
	1909 年,贝克兰德发明酚醛塑料	1999 年,北约轰炸南斯拉夫联盟共和国
	1910 年,库利奇发明钨丝灯泡	1999 年,中国恢复对澳门行使主权
	1911 年,福特开始大量生产汽车	
	1913 年,伯戈斯进行煤的液化	
	1914 年,兰格缪尔制作高真空管	
	1916 年,英国军队在索姆河会战中最早使用坦克	
	1918 年,美(纽约—华盛顿)、英法(伦敦—巴黎)开始航空邮递;自此无线电从火花式时代转为真空管时代	
	1919 年,英国开始世界最初的定期旅客航班	
	1920 年,美国匹兹堡 KDKA 台最早开始无线电广播;巴尔克豪森、库尔茨发现电子震动	
	1921 年,赫尔发明磁控管	
	1924 年,美国无线电公司传真照相成功;韦斯顿公司试制成功有声电影	
	1925 年,培尔德发明最初的实用电视;阿普尔顿发现电离层由 E 层、F 层组成	
	1926 年,希利法凯创始超短波疗法	
	1927 年,确定国际温标	
	1928 年,莫尔切诺夫提出最早的无线电探空仪设计方案(利用无线电进行高层气象观测)	
	1929 年,瓦特利用空电探测仪进行广地域气象观测	

续表

公元	科学技术史	大事记
20 世 纪	1931 年, 卡洛扎斯发明合成橡胶	
	1933 年, 佐鲁金发明光电摄像管	
	1934 年, 箱木一郎发明曲面印刷机; 勒施克发明反射式电子显微镜	
	1935 年, 无线电探空仪在高层气象观测中实用化	
	1936 年, 索斯沃斯研究波导管(微波实用化的先驱); 德林杰发现德林杰现象	
	1937 年, 克劳塞发明超越光学显微镜性能的电子显微镜, 1938 年得到最早的病毒照片	
	1938 年, 卡洛扎斯合成纤维尼龙	
	1944 年, 德国出现 V1 号和 V2 号实用火箭; 美完成同温层轰炸机 B29	
	1946 年, 美国在比基尼岛进行原子弹爆炸试验	
	1948 年, 美国发明晶体管	
	1949 年, 喷气式飞机实用化; 美国发明原子钟	
	1950 年, 美国制造第一台原子能发动机和无人轰炸机(斗牛士号)	
	1951 年, 美国制造原子炮	
	1952 年, 美氢弹试验成功; 建造最初的核潜艇鹦鹉螺号(1954 年 1 月下水)	
	1953 年, 苏联制造锂弹; 美国播放彩色电视	
	1954 年, 苏联建成世界最早的原子能发电站	
	1955 年, 和平利用原子能国际会议召开	
	1957 年, 苏联洲际弹道火箭发射试验成功; 第一颗人造卫星发射成功; 原子能破冰船列宁号下水	
	1958 年, 美国人造卫星发射成功	
	1959 年, 苏联发射星际宇宙火箭; 苏联发射火箭首次到达月球表面	
	1960 年, 美国发射最初的气象卫星“泰罗斯一号”	
	1961 年, 苏联第一艘载人宇宙飞船(人造卫星)东方一号发射返回成功	
	1962 年, 美国发射通讯卫星泰尔斯塔 1 号	
	1965 年, 中国合成结晶牛胰岛素	
	1969 年, 美国“阿波罗 11 号”飞船首次登月成功;	
	1971 年, 英特尔公司推出第一代微处理器; 世界上第一个空间站升空	
	1972 年, CT 研制成功	
	1975 年, 个人计算机问世	
	1981 年, “哥伦比亚”号航天飞机发射成功	
	1983 年, 蜂窝式移动电话网络出现	

续表

公元	科学技术史	大 事 记
20 世 纪	1989 年,全球卫星定位系统投入使用;万维网创立;高清晰度电视机问世 1993 年,“奔腾”型计算机微处理器问世 1994 年,英吉利海峡隧道建成通车 1998 年,国际空间站开始装配	

说明:带*的表示某个时间左右;灰色底纹的为技术史部分,事实上与科学史是紧密相关的,故只作简单区分。

(屠聪艳整理)

作者简介

王蒲生 男,哲学博士,清华大学中国发展规划研究中心深圳分部执行主任。主要从事科技史、科技政策与战略等领域的研究,著有《轿车交通批判》、《英国地质调查局的创建与德拉贝奇学派》等。

刘兵 男,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所教授,博士生导师。主要从事科学编史学、科学史、科学文化等方面的研究。著有《克丽奥眼中的科学》、《刘兵自选集》等专著多种。

冯立昇 男,理学博士,清华大学科技史暨古文献研究所所长,研究员。主要从事中国科技史、数学史研究。著有《中国古代测量学史》等。

李正风 男,哲学博士,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所副所长,教授,博士生导师。主要从事科学技术政策及国家创新系统等领域的研究。著有《科学知识生产方式及其演变》、《中国创新系统研究》等。

张藜 女,哲学博士,中国科学院自然科学史研究所研究员,主要从事中国现代科学社会史、近现代化学史研究。著有《新中国与新科学:高分子科学在现代中国的建立》等。

杨舰 男,哲学博士,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所副教授。主要从事中国近现代科技史及中日比较科技史研究。著有《近代中国における物理学者集団の形成》、《历史上的科学名著》等。

郭奕玲 男,清华大学物理系教授。从事物理教育和实验物理学史研究多年,著有《近代物理发展中的著名实验》、《诺贝尔物理学奖一百年》、《物理学史》等 30 余部著作。

高瑄 男,工学博士。清华大学科技史暨古文献研究所副研究员。主要从事古代机械史、科技历史文献研究。发表相关研究论文 20 余篇。

游战洪 男,理学博士,清华大学科技史暨古文献研究所副研究员。主要从事古籍编目与科技史研究工作,侧重军事技术史与科技战略领域的研究。合著《中国军事百科全

书》、《中国机械工程发明史》(第二编)。

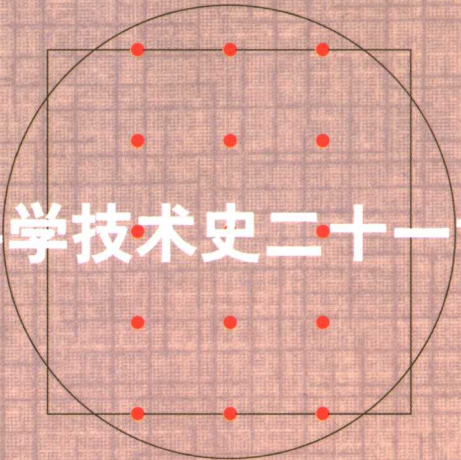
鲍鸥 女,哲学博士,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所副教授。主要从事科学技术哲学、科学技术史、科技战略及其政策、中俄科学技术与社会的比较等方面的研究,并在中外学术杂志发表相关论文数十篇。

蒋劲松 男,哲学博士,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所副教授,主要从事科学哲学、科学和宗教的关系等领域的研究,并发表相关研究论文多篇。

雷毅 男,哲学博士,清华大学人文与社会科学学院科学技术与社会研究所副教授;中国环境伦理学研究会秘书长,国际生命伦理学学会会员;研究领域为生态哲学。著有《深层生态学思想研究》、《生态伦理学》等。

戴吾三 男,理学博士,清华大学科技史暨古文献研究所副所长,研究员。主要从事中国科技史、技术与文化研究。著有《考工记图说》、《汉字中的古代科技》等。





科学技术史二十一讲

ISBN 7-302-13933-4



9 787302 139331 >

ISBN 7-302-13933-4

定价：30.00元