

科学技术史

李思孟 宋子良 主编

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学技术史/李思孟 宋子良 主编

武汉:华中科技大学出版社,2000年11月

ISBN 7-5609-2323-2

I. 科…

II. ①李… ②宋…

III. 技术史-世界-高等学校-教材

IV. N091

科学技术史

李思孟 宋子良 主编

责任编辑:施效颀

封面设计:刘 卉

责任校对:郭有林

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:武汉市恒吉印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:12

字数:287 000

版次:2000年11月第1版 印次:2001年6月第2次印刷 印数:3 001—7 000

ISBN 7-5609-2323-2/N·18

定价:13.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是原华中工学院出版社出版的《科学技术史》的修订本。这次修订,吸收了近年来科技史学科方面的最新研究成果,注重从整体上论述世界范围内科学技术的起源与发展规律,尤其注重考察近代和现代科学兴起、发展的经验教训,同时更注重发挥科技史沟通科技文化与人文文化的功能,更注意加强科学思想史的内容,使其更适合素质教育的要求,并从中提取了从事科学研究和进行科学技术产业化的一些很有借鉴意义的思路和方法,对培养当代大学生的科学思维方法,提升当代大学生的科学素养,帮助当代大学生深入理解科学理论和提高科研兴趣,有很大的现实意义。

本书既可以作为大学相关课程的教材和课外参考书,也适合作为一般科技工作者和管理人员学习科技史的入门读物。

目 录

绪论	(1)
第一章 科学技术的起源与早期发展	(9)
一 技术的起源与早期发展	(9)
二 科学知识的萌芽	(16)
第二章 文明的摇篮——四大文明古国的 古代科技	(21)
一 古埃及的科学技术	(21)
二 古代两河流域的科学技术	(27)
三 古代印度的科学技术	(32)
四 古代中国的科学技术	(38)
第三章 古希腊、罗马的科学技术	(46)
一 古希腊的自然哲学	(46)
二 古希腊的科学技术	(55)
三 古罗马的科学技术	(61)
第四章 中世纪西方的科学技术	(67)
一 欧洲中世纪前期科学的衰落及原因	(68)
二 中世纪西方的科学思想与科学技术发展	(74)
三 几个问题的说明	(74)
第五章 古代阿拉伯的科学技术	(84)
一 阿拉伯帝国发展科学技术的有利因素	(85)
二 阿拉伯帝国科学技术的发展	(90)
三 阿拉伯帝国科学的特征及其地位	(97)

四	阿拉伯帝国科学的衰落·····	(101)
第六章	中国封建社会的科学技术 ·····	(102)
一	中国古代科学技术发展的概况·····	(102)
二	中国古代科学技术的特点·····	(112)
三	中国古代科学技术的衰落·····	(121)
第七章	近代科学产生的条件及早期发展 ·····	(130)
一	近代科学产生的条件·····	(130)
二	近代科学的早期发展·····	(142)
第八章	近代科学的发展 ·····	(163)
一	最早成熟的学科——经典力学:伽利略和牛顿 ···	(163)
二	其他学科的全面发展:数学、光学、化学 和生物学·····	(170)
三	科学中心的产生和转移·····	(178)
第九章	工业革命 ·····	(185)
一	工业革命的背景·····	(185)
二	蒸汽机的发明·····	(189)
三	蒸汽机时代技术的发展·····	(193)
四	科学技术的体制化·····	(202)
第十章	自然科学的全面发展及新自然观的确立 ·····	(210)
一	自然科学的全面发展·····	(210)
二	辩证唯物主义自然观的确立·····	(234)
第十一章	电力革命 ·····	(240)
一	电力革命的科学基础·····	(240)
二	电力革命的技术发展·····	(247)
三	电力革命的影响及启示·····	(252)
第十二章	物理学革命 ·····	(260)
一	山雨欲来风满楼·····	(260)

二	对物质结构的探索·····	(262)
三	量子力学的建立·····	(270)
四	相对论的创立·····	(276)
第十三章	物理学革命带动自然科学全面发展·····	(284)
一	化学发展的新时代·····	(284)
二	分子生物学的诞生与发展·····	(289)
三	天文学的新发展·····	(295)
四	现代地学的发展·····	(302)
第十四章	新技术革命·····	(308)
一	新技术革命产生的历史背景·····	(308)
二	新技术革命的主要内容·····	(314)
三	新技术革命与社会发展·····	(322)
第十五章	系统科学的兴起及影响·····	(329)
一	系统科学思想的渊源·····	(329)
二	现代系统科学的兴起·····	(335)
三	系统科学思想体系的形成和影响·····	(343)
第十六章	现代科学技术的发展趋势·····	(350)
一	科学技术研究规模日益扩大·····	(350)
二	科学技术呈加速发展趋势·····	(353)
三	科学技术的高度分化与高度综合·····	(356)
四	科学技术与生产一体化·····	(359)
五	科学技术竞争日趋激烈·····	(361)
六	科学技术发展战略问题倍受重视·····	(364)
七	科学技术管理法制化·····	(368)
编后记	·····	(372)

绪 论

(一)科技史——古老而又年轻的学科

科技史是一门古老的学科,它如历史学一样古老。亚里士多德的学生欧德谟(Eudemus of Rhodes)著有《算术史》、《几何学史》和《天文学史》,堪称是最早的科学史著作。这种编史的传统在近代科学诞生以后进一步发扬,18 世纪时出现了专门搞科学史研究的人,出现了一批著名的科学史著作,法国蒙塔克拉(J .E .Montucla, 1725~1799)撰写的《数学史》(1758)和贝利(J .S .Bailly, 1736~1793)撰写的四卷本《天文学史》(1755~1782)可以作为代表。在中国,清代阮元(1764~1849)编写了《畴人传》,这是数学家传记集。

在 19 世纪,随着科学对人类生产生活和思想的影响愈来愈强,一些人感到仅有各学科的历史是不够的,还需要从总体上研究科学发展的历史,综合性的科学史应时而生。英国科学哲学家和科学史学家惠威尔(W .Whewell, 1794~1866)撰写的《归纳科学史》(1837),是世界第一部综合性的科学史著作。

19 世纪末,科学史开始走进大学课堂。法兰西学院 1892 年设置科学史课程,在全世界第一个聘请了科学史教授。德国丹内曼(F .Dan_neman, 1859~1936)的四卷本《自然科学的发展及融合》(1910~1913),是第一部影响比较大的科学史教科书。

自 20 世纪初开始,科学史研究更加活跃。1912 年,萨顿(G .Sarton, 1884~1956)创办科学史刊物,以古埃及自然女神 Isis 命名。此刊物至今已出版 80 多年,为促进科学史研究与学术交流发

挥了重大作用。1924 年,美国科学史学会成立,这是世界上第一个科学史学术组织。1929 年,第一届国际科学史代表大会召开。这样,科学史这一学科正式诞生的几项主要标志(刊物、组织、课程)至此才算齐备,所以它又是一个非常年轻的学科。

从各学科史到综合性的科学史,是科学史发展历程中的一个重要转变;从内史到外史,是科学史发展历程中的又一个重要转变。所谓内史,是指把科学史的研究对象局限于科学内部,把科学史仅看做是科学知识体系形成和发展的历史。所谓外史,是把科学看作社会的一个组成部分,研究它与社会其他部分的相互关系,诸如与经济、教育、政治、思想文化等方面的关系。

英国皇家学会成立仅仅七年,该学会的发起人之一斯普拉特(T. Sprat, 1635~1713)就撰写了一部《皇家学会史》(1667),这可以说是开辟了科学史外史的第一个研究方向——对科学组织和科学机构的研究。但这一研究方向很长时期没有多少人响应,直到现在它在科学史领域仍然是比较弱小的一个方向。

1931 年召开了第二次国际科学史代表大会,莫斯科大学教授黑森(B. Hessen, 1893~1938)在会上做了题为《牛顿力学的社会经济根源》的报告,分析了 17 世纪时欧洲社会经济和技术的发展状况,提出牛顿力学的建立是时代和社会的产物。虽然有人抨击他是把历史唯物主义观点简单地套用于科学史研究,但这一报告确实是开辟了科学史外史研究的第二个研究方向——研究影响科学发展的社会因素,研究科学与社会的相互作用。默顿(R. K. Merton, 1910~)的名著《17 世纪英国的科学、技术与社会》(1938),贝尔纳(J. D. Bernal, 1901~1971)的名著《科学的社会功能》(1939)、《历史上的科学》(1954),都是受了黑森报告的影响而写出的。如今这一方向已是科学史领域的一个重要方面,人们常称之为“科学社会史”。

随着科学的技术化、技术的科学化、科学与技术联成一体,技术史研究也日益受到重视,科学史逐渐演变为科学技术史。

(二)科技史的研究对象和内容

一般地说,科技史就是研究科学技术发展的历史。这种说法简单明了,然而如果深入想一下,就会引发一连串的问题:什么是科学?什么是技术?什么是历史?于是我们发现,“科技史的研究对象和内容究竟是什么”,这并不是一个很容易回答的问题。我们对科学技术可以从不同的方面理解,我们对历史可能有不同的看法,相应地对科学技术史研究的对象和内容就有不同的见解。

人们常把科学理解为关于自然界的知识体系,是对自然界各种运动的规律性的认识,是对自然界各种物质性质的认识,是对自然界各种现象的因果关系的认识。现代技术在很大程度上是科学知识的运用,是把对自然规律的认识转化为在生产中和其他方面可以应用的工具与手段,它同样也包含着一个知识体系。从这个角度理解科学技术,科学技术史就是研究人类的这个知识体系是如何不断发展的,人类如何从不知到知,先知道什么后知道什么,何人何时何地有何发现或发明,等等。这样写出的科学技术史主要是记述性的,它是科学技术史中的基本内容。但是仅有这样的内容还不够,历史作为一门“科学”,它应具有“解释”和“预见”功能,仅仅记述历史事件不能担负起历史学的功能。

科学技术还可以理解为人的一种活动、人的一种行为,它是人们观察自然、研究自然、认识自然并应用这种认识为人类某种目的服务的活动 and 行为。人的活动和行为都要受一定的思想指导,需要采用一定的方法。从这个角度理解科学技术,科学技术史就需要研究科学家的思想和方法,研究他们“为什么”搞研究,“怎么样”搞研究。这样的科学技术史是分析性的,而且不仅要分析科学技术研究工作中的成功者,也要分析失败者。

科学技术活动是人类活动的一部分,它与人类的其他活动相互关联。科学技术系统是人类社会的一个组成部分,它与社会其他方面相互影响。要真正认清人的科学技术活动的目的和动机,

要完整地把握科学技术的发展规律,必须把它放在社会大背景中,而不能孤立地研究它。这样的科技史研究,较多地注意了科学技术之外的社会因素,与普通的史学研究有更多的关联。

具体的某一项科学技术史研究工作、某个人的研究工作、某一部科学技术史论著,大多是侧重于上述某一方面。这些方面的有机结合,构成了科学技术史完整的内容体系。科学技术史这一学科的发展历史,也正是经历了从记述性到分析性、从内史到外史的发展过程,从侧重于某个方面逐渐形成完整的科学技术史内容体系,历史发展的过程与其自身的逻辑是统一的。

(三)科学技术史的学科性质和学习方法

科学技术是人类知识体系的一部分,科学技术研究是人类活动的一部分,科学技术系统是人类社会的一部分,所以,科学技术史的研究对象是社会的人,是人的知识、人的活动、人类社会发展的一个方面,它的学科性质应是历史学的一个组成部分,属于社会科学而不是属于自然科学,更不属于技术,这是应当肯定的。从研究对象来说,它与生物史、地球史、天体史等有着根本不同,前者是以人类社会为研究对象,后者则是以自然界为研究对象。

然而科学技术史又不同于历史学中的其他分支学科,它与自然科学及技术科学有着千丝万缕的联系。

欲研究科学技术史,必须懂科学技术。如果你对一个科学理论本身根本不理解,没有真正搞懂,就很难想象你能搞清它是如何产生和发展的,也难以想象你能分析这个理论的提出者的思想和研究方法。正因为如此,科技史研究者必须具有较高的科学技术知识素养,这与对科技工作者的要求是一样的。科技史工作者大多是理工农医科毕业并有从事过科学技术研究工作的背景,有一些甚至是本学科的著名科学家。科学家从事研究科学技术史,尤其是研究科学技术史的内史,他本专业的学术造诣是极为有用的条件。学习科学技术史也应首先搞懂涉及到的科学原理,否则对

科学技术史的理解只能限于皮毛,不可能深入;只能人云亦云,不可能有自己的深刻理解。具有科学技术知识基础才能学习和研究科学技术史,这是它与科学技术的第一个联系。

科学技术史与科学技术的第二个联系,是它可以直接促进科学技术的发展。熟悉有关科学技术的发展历程,了解前人的科学思想和研究方法,可使科学技术工作者少走弯路,可以给他们很多有益的启示,在有些研究中甚至还可以直接提供必需的科学资料,例如天文学史研究之于现代天文学、建筑学史研究之于现代建筑学。

科学技术史研究中有时还需采用实验方法,与从事科学技术研究相似,这是它与科学技术的又一个重要联系,也是与其他历史学科的一个重要不同。埃及的金字塔是如何修起来的,中国古代精美的青铜器是如何铸造出来的,许多诸如此类的科技史问题或是根本无文献可查,或是文献记载过于简略。如不进行科学实验而仅凭推测,所得出的结论的可靠性是要大打折扣的。辅之以科学实验,虽然可能仍得不出完全可靠的结论,但结论的可靠性程度肯定可以大为提高。

(四)科学技术史的功能

在商品经济大潮的冲击之下,史学因被许多人视为“无用”而大受冷落。科学技术史也与史学其他分支学科一样步履维艰,尽管因它与“科学技术”直接相关而情况稍好一点。

科学技术史真的无用吗?我们先看看它为何被视为“无用”。弗兰西斯·培根说过:“知识就是力量。”他这里所说的“知识”是指科学技术知识,他认为“要命令自然就必须服从自然”,认识了自然才能主宰自然。近现代科学技术的发展和社会的进步验证了培根的话,“知识就是力量”成为广泛流传的名言。“知识经济时代”、“科学技术是第一生产力”,当代的这些说法是对“知识就是力量”这句名言的继承和发展,这些话语中的“知识”也是指科学技术知

识,这些知识能和经济发展直接联系起来。在科学技术知识大受重视的同时,文史哲知识则因不能直接产生经济效益而被视为“无用”。越是重视经济效益,越是重视实用的科学技术知识,也就越是轻视文史哲,这似乎可以说是规律。商品经济带来了人的财富和地位的不平等,也带来了知识的地位不平等。

然而这是不公平的。很多人只知道培根说过“知识就是力量”,却不知道他还说过“史鉴使人明智”。他认为:要使科学沿着正确的方向发展,要使科学以较快的速度发展,仅靠科学自己是不够的,还必须有另外的力量协调它、作用于它。正如从平地上不能纵览一个乡村的全景一样,在科学之中也不能看出科学的深远之处,必须站在科学之外的高处。哲学和历史,就是培根说的能给科学指明方向、能使科学少走弯路的学科。现在科学技术发达了,受重视了,而哲学与历史却被轻视了,这真有点是数典而忘其祖了。

科学技术史有什么用?

科学技术是推动社会前进的重要力量,科学技术史是人类文明发展史的一个重要部分,不懂科学技术史就不能真正理解社会发展历史。懂得中国天文学在明末清初时的困境,才可以理解基督教文化怎样传入了中国;了解蒸汽机和轮船发展的历史,才可知道鸦片战争为什么发生在1840年而不会更早;了解20世纪科学技术的发展史,才能知道资本主义制度为何“垂而不死”。诸如此类的许多事实都说明科技史是文明史的重要组成部分,了解科技史才能更深刻地理解政治史、经济史、军事史、社会史。读史使人明智,这“明智”主要是使人能看清天下大势,这是大智。

学习与研究科技史能使人更善于思维,使人变得更聪明、更睿智。科学技术各学科一般只传授当今认为正确的那些科技知识,只讲科学技术研究得到的成果而不讲其研究过程,学生接受这些

① 培根 培根论说文集 北京:商务印书馆,1983.180.

知识,学会如何应用这些知识,而不知它是如何得来的。学生仰慕那些伟大的科学家,而不知他们是如何思维的,他们是如何成为科学家的。从培养创新型人才的大目标考虑,仅仅是掌握的科技知识多是不够的。

从完成一项具体的科研课题来说,熟悉有关的科技史可以帮助你少走弯路,可以帮助你开拓思路。前人对这个问题有过什么思考,哪些思路曾经提出过而没有成功,现在的条件与以前有何不同,能否做成前人做不成的事,实现前人实现不了的想法,诸如此类的科技史问题想透彻了,解决问题的思路可能也就有了。

学习和研究科技史能帮助理解科学理论。知道不等于理解,理解了的东西才能真正掌握它。任何一个科学理论的提出都是继承与创新的统一,都是对原有理论的批判地继承。一个理论是怎样提出来的,在它提出之前原有的理论认识怎样,是什么原因使人对原有理论发生了怀疑,新理论批判了旧理论中的什么观点,把这些有关的科学史问题搞清楚了,才可以真正理解这一科学理论,这种理解效果仅靠讲这个理论本身是无法达到的。学生可以通过学习科技史更好地学习科技理论,专家也可通过研究科技史达到更深刻的理解,在理论认识上更上一层楼。

学习科技史,了解科学家的精神世界,可以有助于陶冶情操,净化心灵,培养科学精神。科学家富于独立思考精神,不迷信权威,不轻信他人,但又不是无根据地胡乱怀疑,而是多问几个为什么,是合理地怀疑。如果大家都能富于科学的怀疑精神,减少盲从,减少迷信,遇事深入地想一想,我们的事情一定能办得更好一些。从修养方面说,科学家一般来说物欲比较淡泊,这也是我们应当学习的。按亚里士多德的话说,基本生活所需得到满足,同时又不追求世俗享受的人,才能潜心于科学研究。

总之,我们可以说科学技术史是很有用的,但科学技术史之“用”主要是启示性的、精神性的,它是无形的。单靠它可能解决不了你所面临的任何具体的现实问题,但它对解决许多问题都有帮

助。政治家从政治史中受到许多教益和启发,军事家从战争史中得到许多教益和启发,科学技术工作者、一切从事与科技有关工作的人,也可以从科学技术史中受到许多教益和启发。《老子》中说:“大成若缺,其用不弊。大盈若冲,其用无穷。大直若屈,大巧若拙,大辩若讷,大赢若绌。”最完美的好像是有缺陷的,最充实的好像是空虚的,最直的好像是弯曲的,最灵巧的好像是笨拙的,最有用的好像是最无用的。似乎什么问题也解决不了,实际上解决什么问题也离不了;似乎没有什么用处,实际上时时处处它都可以发挥作用,科技史的作用就是这样。以科学技术史为专业者只有少数人,但许许多多人都应当学习和研究科学技术史。

第一章 科学技术的起源 与早期发展

一 技术的起源与早期发展

(一)技术的起源

技术是一个涉及自然、社会和人类的复杂事物。作为一种历史现象,它贯穿于人类社会发展的过程;作为一种社会现象,它充当着文明进步的使者;作为一种文化现象,它根植于人类的理性与智慧之中。那么什么是技术?对这个问题的讨论便形成了一部技术哲学发展史:最初把技术理解为劳动的技巧、技艺——这是对技术进行初始的哲理性思考;后来,渐渐地把技术作为一个独立的认识对象加以研究;最后随着技术的不断发展,把技术和社会作为一个系统来加以探讨,因而也就产生了对技术本质的狭义理解和广义理解。

狭义的技术是指“工艺技术”(technique),即某种工艺方法。技术活动的效率基本上取决于所用的工具,而工具本身又是其他技术过程的产品,所以一般又把技术工艺和技术对象统称为技术,这是把技术看成是工程学的现象。如《考工记》中所谓的“天有时,地有气,材有美,工有巧,合此四者然后可以为良”,这其中的“工有巧”,就是把技术看做是制造的技艺和技巧。古希腊的亚里士多德,也是把技术看做是制造的智慧。英国的弗朗西斯·培根提出要把技术作为操作性学问来研究,这种研究逐渐发展为“技术论”。

到 18 世纪末时,法国狄德罗(D .Diderot, 1713~1784)在他主编的《百科全书》中列入了“技术”条目,认为技术是为了某一目的而共同协作所组成的工具和规则体系。他的这一定义是狭义技术定义中的权威定义,其他的狭义技术定义基本上没有超出其技术概念范畴。

广义的技术定义,不是仅从工程学角度,而是从人类活动程序的方法论特点来探讨技术的本质;如德国的卡普(E .Kapp, 1808~1896)在《技术哲学纲要》中认为:“技术是人类自身器官结构和功能变换的外部世界工具的手段和方法总和。”埃吕尔(J .Ellul, 1912~1994)则将技术定义为:“在一切人类活动领域中通过理性得到的、具有绝对有效性的各种方法的整体。”按照对技术的最初理解——劳动的技巧、技艺,它和人类的历史同样的久远。有了人,有了人类的生产劳动,也就有了技术的萌芽。

现代科学证明:地球的产生已有 45 亿年的历史,而人类的出现只是二三百万年前的事情,是由古猿进化而来的,考古学家在埃及开罗西南 60 英里的法尤姆地区已发现了迄今为止世界上最古老的猿类化石——埃及猿,在由埃及猿向人类进化的过程中大致经历了:腊玛古猿,距今 1 400 万年至 800 万年;南方古猿,距今 500 万年至 100 万年;直立人,距今 300 万年至 30 万年,又分为早期直立人(如我国云南的元谋人)、晚期直立人(如北京周口店的北京人,印度尼西亚的莫佐克托人);智人,距今 30 万年至 1 万年,又分为早期智人(如德国的尼安德特人)、晚期智人(如法国的克罗马农人)。

人类的出现是自然界长期演化的结果,而劳动在从古猿转变成人类的过程中起了决定性作用。人类的劳动是一种自觉的、有目的的、能动的活动,他必须以自己认识自然的一定知识和改造自然的一定技能作为进行这些活动的依据和手段,正是在这个意义

① 陈昌曙.技术哲学引论.北京:科学出版社,1999.41.

上我们可以说:自从有了人类劳动也就有了技术的萌芽,自从有了人类的历史也就有了技术发生和发展的历史。不过,技术的历史也和整个人类的历史一样,经过了漫长的幼年时期。技术成为一种系统化的知识,那是很久以后的事情了。

考察最原始的技术,最主要的依据是考古发现的原始人的工具——石器。

(二)技术的早期发展

1. 石器的发展

人类和其他动物的区别在于“动物仅仅利用外部自然界,单纯地以自己的存在来使自然界改变;而人则通过他所作出的改变来使自然界为自己的目的服务,来支配自然界”。人类改造自然界的劳动过程,是从制造工具开始的,人类祖先最初制造出来的劳动工具,就是石器。石器的制造也就成了古代技术发端的第一标志,由此便揭开了人类征服自然的第一个时代——石器时代的序幕。石器时代又分为旧石器时代、中石器时代和新石器时代。

现已发现的最早的石器出土于东非肯尼亚的库彼弗拉,距今已有 260 万年,在我国云南元谋出土的石器也有 170 万年的历史了。在旧石器时代初期,即早期猿人时期,人们制造的典型石器是经打击形成的,加工比较粗糙,没有什么标准的形状,也没有固定的用途,到了晚期猿人时期,已经懂得对不同的石料采用不同的加工方法,主要有锤击、碰砧、砸击等直接打制法,标准化的工具此时已开始出现,主要有砸器、刮削器和尖状器等几大类。早期智人阶段,石器的打制技术更为发展,有了第二步的加工,类型固定,种类增多,分工明显;到了晚期智人阶段,石器打制技术达到了相当完善的地步,形状更加多样,并使用了间接打制法,在制造装饰品时,还使用了钻孔、磨尖等新技术。

① 恩格斯.自然辩证法 北京:人民出版社,1971.158.

从旧石器时代到新石器时代,中间一段时期称为中石器时代,它约存在于距今 15 000 年至 10 000 年间,这一时期的石器发展成了镶嵌工具,即在石刀、石斧、石矛、石镞上装上木制或骨制把柄的工具,这一方面标志着人类已经学会利用杠杆等最简单的力学原理,另一方面也说明石器本身已开始走向复合化了;弓箭是中石器时代出现的更复杂的复合工具,它是在旧石器时代晚期投掷武器的基础上发展起来的,弓箭的制造是原始技术显著进步的一个标志。由于复杂工具的制造和大量使用,使狩猎经济的生产效率大为提高。

大约在 10 000 年前,人类进入了新石器时代,其主要标志之一是大量磨光石器的出现。旧石器时代人们打制石器的技术虽然不断有所发展,但毕竟有很大的局限性,要得到效率更高的工具,必须在技术上来一次革命,这就是采用琢磨和打光的技术,这种技术在旧石器时代晚期已被用来加工装饰品,但是到新石器时代才被应用于制造石器工具。磨光石器的优点在于具有明确的用途和锋利的石刃。新石器时代最有代表性的工具是石斧、石镰和石刀,有了这些工具,就可以进一步改造世界的模样,并为人类由长期的采集、狩猎生活过渡到原始农业生产创造了条件,从而促进了原始社会生产力不断地向前发展。

从旧石器到新石器,虽然仅仅是石器加工技术方面的改进,而且这种改进依今天的技术标准来看是非常微不足道的,但是从原始技术水平出发进行考察,从它对人类社会进步的重大作用考察,这无疑是一场技术革命。

2. 火的利用

自然界发生火的原因很多,如长期干旱、雷电、火山爆发和易燃物质的自燃。野生动物普遍怕火,最原始的人也应该是怕火的。只有人类社会发展到一定阶段,火才被人利用和控制。在发现早期直立人元谋猿人牙齿化石的地层中,也发现了很多炭屑,表明元谋人可能已经知道用火,这大概是人类使用火的最早证明。晚期

直立人北京猿人使用火的遗迹,是现有人类明确用火的最早的遗迹之一。在北京猿人居住的洞穴里发现了灰烬层,最厚的地方达6米,表明篝火在这里连续燃烧的时间很长。灰烬中有许多被烧过的兽骨、石块和朴树子,这是他们已开始吃熟食的证据。最上一层的灰烬还分成两大堆,灰烬成堆,说明北京人不但懂得用火,而且已有保存火种和管理火的能力。但是,这时可能还只是利用天然火,只有当人们从利用天然火并保持火种不灭到能够人工取火,这才算是真正控制了这种变革物质的强大的自然力。

人工取火技术可能是在旧石器时代末期随着钻孔技术的出现而发明的,是在新石器时代随着磨制工具的使用而逐渐普及的。在《庄子·外物篇》中有“燧人氏钻木取火,造火者燧人也,因以为名”的说法;韩非子在《五蠹》中也提到:“钻燧取火以化腥臊,而民悦之,使王天下,号之曰燧人氏。”人们钻木取火的故事,在其他古籍中也都有记载。居住在中国南方的某些少数民族人民,直到解放前还使用钻木取火这种非常古老的方法。

摩擦生火是又一种人工取火的方法,在《庄子·外物篇》中记有“木与木相摩则燃”。另外在加工燧石时,有时会有火花溅出,火花落在易燃的纤维上即可取火。火地岛的印第安人和格陵兰岛的爱斯基摩人都曾用这种方法生过火。

火的使用给人类带来了光明,驱散了蒙昧和黑暗。有了火,人类就能从“茹毛饮血”的生食变为熟食,食物的种类和范围扩大了,营养丰富了,人类的体质得到了加强,大脑进一步发达;火可以御寒,帮助人类在恶劣的气候环境中生存下来;火给人以光明,增加了人类活动的时间;火可以照亮洞穴,使人由野居变成洞居,火可以用来防止野兽的侵袭,又能用来围攻猎取野兽;火可以用来烧烤木料,烧裂石块以制作工具和武器,火还可以用来开垦土地,烧制陶器,冶炼金属……

正因为火的使用在人类进化史上有如此重大的意义,在许多民族的神话传说中,火被赋予某种特殊的意义。“燧人氏”无疑是

我国祖先心目中的英雄,在希腊神话中则有普罗米修斯背着天神宙斯,把火从天上偷偷地带给人间的故事。没有火就不可能有文明世界的出现,所以恩格斯说:“ 尽管蒸汽机在社会领域中实现了巨大的解放性的变革……但是,毫无疑问,就世界性的解放作用而言,摩擦生火还是超过了蒸汽机,因为摩擦生火第一次使人支配了一种自然力,从而最终把人同动物分开。”

3.手工业的发展

新石器时代,由于劳动工具的不断改善,人们的生产经验不断丰富,出现了分别以植物种植和动物驯养为主的原始农业和畜牧业,其进一步发展,又促使了制陶和纺织等原始手工业的发展。

制陶技术大约产生于公元前八九千年,它的出现,第一次使人类对材料的加工超出了仅仅是改变材料几何形状的范围,开始改变材料的物理、化学属性;第一次通过一套复杂的工艺过程,创造出一种自然界所没有的人工材料;第一次使材料加工不仅利用人的体力,而且利用火这种自然能源。制陶技术的意义还远不限于制陶本身,它为以后的冶金技术的发展奠定了基础,同时又具有新的经济意义:它使人们处理食物的方法除烧烤外,增添了煮蒸的方法,而陶制储存器则可以使谷物、水和液态食物便于存放。

古人最初是在编制或木制的容器上涂上粘土以使之能够耐火,经过一段时间,人们发现成型的粘土可以烧制成陶器。陶器的制造工艺是一个很复杂的过程:首先是淘洗,除去陶土中所含的杂质;其次是制坯,早期是用手捏成坯,或用泥条盘筑而成,这统称为手制,后来逐步发展为采用制陶轮盘,这是古代轮子在手工技艺方面的重大应用,它使各种陶坯加工得更加规矩匀称,并大大地提高了生产效率;再次是装饰,在陶坯上涂上不同颜料或刻划不同的花纹;最后是烧制,早期是在露天下烧制的,后来发展为陶窑,陶窑的出现不仅保持烧制所需要的高温,而且使陶坯在烧制中受热均匀,

① 恩格斯 .反杜林论 .北京:人民出版社,1970 .112 .

因此制成的陶器不易变形破裂,颜色也较一致。

人类穿衣服大约也有几十万年的历史。开始时只是把兽皮披在身上,目的是为了御寒,后来发明了针,人们学会了缝制衣服。在北京周口店山顶洞所发现的一根约 13 000 年前的骨针即是人类缝制衣服的最早的证据,这根针长 3.2 厘米,最粗处直径约 3.3 毫米,针身光滑,针眼狭小,它表明人类学会缝制衣服已有相当长的历史。利用植物纤维制成纺织品,大约发明于新石器时代的早期。原始人最初是利用野生葛、苧麻等做纺织原料,其纺纱方法有两种:一是搓捻和续接,用双手把准备纺制的纤维搓合和连接在一起;另一种是使用原始的纺纱工具——纺轮,它已具有能够完成加捻和合股的能力。而原始的织造方法则是在编席和结网的基础上发展起来的机织工艺,织机没有架子,操作者席地而坐,像编席子一样地编织,故叫踞织机。古代西亚的织机是有架子的,架子的一根杆扣着一组平排的纱,每根纱挂一重锤,是为经线,然后再以纬线穿过拉直的经线进行织造,这种形式的织布机称之为“经线锤织布机”。在利用植物纤维进行纺织的同时,畜牧地区也开始利用羊毛进行纺织。用丝纺织最早起源于我国,1962 年在山西夏县西阴村新石器时代的遗址里即发现了五六千年前的蚕茧,浙江钱山漾新石器时代遗址里出土了几块 4 700 年前的苧麻布,同时也有丝织品。

4. 技术的发展与社会的进步

冶金工艺也是产生在新石器时代末期,它与制陶有密切的关系。人类最早使用的金属大概是天然铜。人们在烧制陶器的长期实践中发现,用木炭代替木材作燃料,可以获得更高的温度(可达 $950\sim 1\,050\text{ }^{\circ}\text{C}$),这样的高温已接近铜的熔点,因而为铜的熔铸和冶炼准备了条件。由于青铜(铜、锡、铅合金)比纯铜熔点更低,硬度更大,也更容易加工成锋利的刃器,就使青铜比纯铜获得了更为广泛地应用。不过,此时青铜主要被用于制造武器、祭器和装饰品,青铜还不能取代石器作为生产工具被普遍使用;与青铜相关的

冶金术的出现,为人类转入金属工具的制造和使用开辟了道路,考古学上称这个时期为“金石并用时代”。约在 5 500 年前,埃及尼罗河流域和美索不达米亚的底格里斯河、幼发拉底河流域率先进入了金石并用时期。在此时期,由于生产工具的进步带来了生产力水平的提高,农业逐渐脱离了“刀耕火种”的状态,发展为锄耕和犁耕,耕地面积在各个大河流域的冲积平原上得到了空前的扩展,同时,居于草原地带的部落也从小规模地驯养牲畜发展到较大畜群的牧放和繁殖,这样就使新石器时代的一些农牧兼营的村落,改变为或以农业为主或以畜牧为主的村落,从而发生了农业与畜牧业的第一次社会大分工,接着手工业也分离出来,金工工匠可能是历史上最早出现的职业工匠。社会分工的出现,必然会促进交换的发展,从而引起私有制的出现,所以就全世界范围而言,金石并用标志着原始社会进入末期,处于瓦解的阶段。从公元前 4000 年至公元前 2000 年间,尼罗河流域的埃及人、底格里斯河和幼发拉底河的苏美尔人和阿卡德人,印度河流域的印度人以及黄河流域的中国人,相继进入了奴隶社会,从此,人类文明也就迈进了更高的阶段——奴隶社会。

二 科学知识的萌芽

(一)科学知识的萌芽

什么是科学呢?各派学者众说纷纭,各国的百科全书给科学的定义也各异,如英文中,科学指通过观察和实验研究获得的关于自然界的系统知识,是自然科学的简称;德文中的科学则指一切系统的知识和学问,既包括自然科学,又包括社会科学。他们虽然对科学概念的理解互有差别,但把科学归属于知识的范畴,看做是人们的认识活动和认识成果,则没有多大分歧。结合科学的产生、发

展过程及科学活动的特点,现在一般认为科学是在社会实践基础上探索客观世界的活动,它是以正确地反映客观现实及其规律为内容,并通过概念、判断和推理等思维形式表现出来的知识系统,是形成理论体系的自然知识、社会知识和思维知识的总称。

在原始社会里,由于认识的局限性,科学只能是以萌芽状态存在于生产技术之中:石器的加工、人工取火、弓箭的发明、捕鱼、打猎、驯养家畜、栽培植物、建造房屋桥梁、制陶、纺织印染、冶炼金属等,无一不是科学知识萌发的土壤。最先产生的是天文学知识。人们为了获得生存所需要的物质资料,农业民族和游牧民族都需要与自然界的循环节律相谐调,日出而作,日落而息,渐渐地发现了月亮有圆有缺,气候从寒冷到温暖到炎热循环变化,这一切都是从天象变化和地上的物候观测中得到的,经不断地积累便产生了天文学知识的萌芽。

我国是天文学研究开展最早的国家之一。我们的祖先在以采集和渔猎为主的旧石器时代,已经对寒来暑往的变化、动物活动的规律、植物生长和成熟的时间逐渐有了一定的认识。在新石器时代,社会经济逐渐进入以农、牧生产为主的阶段,人们更加需要掌握季节,以便不误农时,我国古代的天文历法知识就是在生产实践的迫切需要中产生出来的。在新石器时代的中期,我们的祖先已开始注意观测天象,并用以定方位、定时间、定季节了。方位的确定,对于人们的生产、生活有着重要的意义,所以人们很早就使用了一定的方法来定位。半坡及其他许多文化遗址中,房屋都有一定方向。在氏族的墓地上,墓穴和人骨架的头部也都朝着一定的方向,或朝南或向西北。确定方位大多以日出处为东,日没处为西,日正午时所在为南。在农牧业产生的初期,人们是根据天象和物候现象来掌握农牧的时节的,我们的祖先最早大约很重视对红色亮星“大火”(心宿二)的观测。传说早在颛顼时代就有了“火正”的官,专门负责观测“大火”,根据其出没来指导农业生产,后来曾有一段时间,由于氏族混战,观测中止,结果造成了很大的混乱。

到帝尧时设立羲和之官,恢复了火正的职责,因而风调雨顺,国泰民安。据推算约在公元前 2400 年左右,黄昏在东方地平线见到“大火”时,正是春分前后,即正是春播的时节,所以关于“火正”的传说当是可信的,像这样以观测天象来确定四时季节的方法叫“观象授时”。

数学知识的萌芽是与人们认识“数”和“形”分不开的。人们认识“数”是从“有”开始的,起初略知一二,以后在社会生产和社会实践中不断积累,知道的数目才逐渐增多。在没有数目字之前,计数是与具体事物相联系的,如屈指计算,或用一堆小石子计算。英文“计算”一词来自拉丁文 Calculus,而后者的意思就是小石子,在我国古代也有“结绳记事”和“契木为文”的传说。人们对“形”的认识也很早,当原始人制造出了背厚刃薄的石斧、尖的骨针、圆的石球、弯的弓箭等形状各不相同的工具时,说明那时人们对各种几何图形已经有了一定的认识和应用,而且为了制作不同形状的物体,还创造了画方、圆和直线的简单工具和方法,几何学就是来源于丈量土地,英文“几何”一词,原义就是测地术。

其他自然科学知识的萌芽也是存在于技术之中:石器的制造和利用,产生了力学知识的萌芽;火的保存与获取,出现了热学知识的萌芽;陶器的烧制与应用,促进了酿酒、染色技术的相继发展,从而促使了化学、生物知识的萌芽;原始农业和畜牧业的发展,促使了植物栽培、动物驯养等农学知识的萌芽;对野果的采集、植物的辨认促使了医药知识的萌芽。

(二)原始的科学 with 宗教

原始社会,人们通过制造和使用工具与自然界作斗争,解决吃、穿、住、用的问题,已经取得了在当时来说是伟大的技术进步,但是,由于原始生产力毕竟有限,人类能够控制和说明的事情还不多,仅有的经验还不能上升到科学理论的高度,对威严奇妙的自然过程的畏惧与迷惑又造成了歪曲、虚幻的反映,他们对自然的解释

更多的是采用了神话和迷信崇拜,即宗教的形式。

马克思把阶级社会以前的宗教称为原始宗教(或自发宗教、自然宗教),而把阶级社会产生以后的宗教称为人为宗教。

原始宗教是自发的宗教,以自然物为主要崇拜对象,它相信万物有灵,相信灵魂不死,从而构成了与各种崇拜对象相应的宗教仪式。如为了求雨,就学蛙鸣;为了五谷丰收,就表演季节的循环,由此而产生了原始的巫术和祭典仪式。原始宗教以其对象和内容来分,可分为两大类型:一是对自然物和自然力的直接崇拜,二是对精灵和灵魂的崇拜。原始宗教大都经历了自然崇拜、动物崇拜、图腾崇拜、鬼魂崇拜和祖先崇拜,这些宗教形式往往又是同时并存的。

原始人在同自然斗争中无能为力,对自然现象如日月星辰、风雨雷电、春夏秋冬、火山爆发等无法理解,对自然的威力产生恐惧,从而产生了对大自然的崇拜,于是出现了太阳神、月亮神、风神、雷神等自然神。

图腾崇拜亦称民族崇拜,它由动物崇拜演变而来,是最早的氏族宗教形式之一。“图腾”系北美阿耳贡金人的奥季布瓦部族方言totem的音译,意为“他的族”和“他的族的标志”,指一个民族分别源于各种特定的物类,其中大多数为动物。图腾既是维系氏族成员团结一致的纽带,又是氏族社会的人们用以区别婚姻界限的标志,如龙就是中华民族的图腾。

祖先崇拜则是对祖先之灵的崇拜。祖先崇拜的出现,是人类将在征服自然的过程中涌现的英雄、原始社会的氏族首领、宗教族长的权威作为其崇拜的对象。由于人类还没脱离动物崇拜,因此原始人认为这些英雄人物是人和动物交合产生的,于是出现半人半兽神。如埃及神话中的墓地之神阿纽比斯是豹面人身,尼罗河神赫比是虎面人身,中国的女媧伏羲是人身蛇尾。

宗教的本质是对于超自然力的崇拜。宗教观念产生于原始时代,是由于对自然力和社会力的不理解所造成的,而科学是建立在

认识自然、并利用这种认识控制自然的基础之上的。科学的起源是来自原始人类的各项技术实践,尽管他们的知识还非常幼稚,并且这些片断知识常常与宗教迷信混杂在一起,不易区分。但从科学史角度来看,原始宗教和科学都是当时人们企图从自己的认识水平来对自然加以说明和解释的一种尝试。原始科学从某种意义上来说,正是从原始的宗教、神话中萌发出来的,但不能因此来模糊它们在起源和作用上的根本区别,宗教的说明和解释远远不能科学地反映自然的本来面貌。只有随着生产力的不断发展,人们对自然的解释才能从神话、迷信和唯心主义的影响中摆脱出来,逐渐产生符合科学的观念。当社会分化为阶级以后,宗教的性质也随之起了变化,各个时期都有该时期的宗教与科学的关系。原始科学的产生发展离不开原始宗教,但是,科学的成长是在与宗教的不断斗争中前进的。

第二章 文明的摇篮——四大文明古国的古代科技

最古老的文明是农业文明。温暖的气候、充沛的雨水、肥沃的土地,是农业文明发达的必要条件。位于东半球北纬 30° 线两侧、几条大河中下游的古埃及、两河流域、古印度和古代中国,是世界上文明产生最早的地区,发展出了发达的与农业文明相关的古代科学技术。

一 古埃及的科学技术

尼罗河由南向北奔腾而下,注入地中海。南起尼罗河第一瀑布(位于阿斯旺以南约 70 千米,阿斯旺高坝修起后被水库淹没),北至孟菲斯,有一条长达 700 多千米、宽约十几千米到几十千米的狭长河滩,两旁是高山和沙漠。孟菲斯以北至入海口是三角洲。这样一个狭长的地带,土地肥沃,适于农耕,它就是古埃及人休养生息之地,在这里创造出了古埃及农业文明。

埃及常年雨量稀少,农业生产得以发展离不开尼罗河的作用。每年 7 月尼罗河涨水,携带着大量泥沙、矿物质和有机物质的尼罗河水淹没了两岸谷地。至 10 月份泛滥期过去,居民开始排除积水播种谷物,下一年洪水到来之前全部庄稼收割完毕。古希腊历史学家希罗多德(Herodotus, BC484~BC425)说过:“埃及是尼罗河的赠礼。”还有历史学家说:“埃及是尼罗河的女儿。”

古埃及是世界上农业文明发达最早的地区之一,据传说,在公元前 4000 年以前就已进入农耕社会。大约在公元前 3500 年左

右,尼罗河三角洲地区形成一个王国,人称下埃及;孟菲斯以南的河谷地带形成另一个王国,人称上埃及。大约在公元前 3200 年左右,上埃及国王美尼斯把上下埃及统一起来,是为古埃及王国第一王朝的开始。以后埃及王国的势力不断扩张,现今的埃塞俄比亚、苏丹、利比亚、叙利亚、以色列等地,都曾在埃及王国控制之下。公元前 525 年,埃及亡于波斯帝国。公元前 332 年,马其顿王亚历山大打败波斯,占领埃及,在尼罗河口附近建亚历山大城,成为希腊化世界的经济文化中心。

讲古埃及的历史,一般是至公元前 525 年止,有的著作中讲到公元前 332 年止。按照公元前 3 世纪的埃及历史学家马尼托 (Manetho, 公元前 3 世纪)的记载,从第一王朝到公元前 525 年,埃及共经历了 26 个王朝;到公元前 332 年,共经历了 31 个王朝。

(一)古埃及的文字和书写技术

大约在公元前 3500 年或更早一些,古埃及开始有了文字。最初的文字是图形文字,例如一个圆圈中间加一点表示太阳,三条波形横线上下排列起来表示水。后来出现了标示音节的符号——24 个辅音字母,以便人们阅读。在第一王朝和第二王朝时期,形成了以表形符号、表意符号和标声符号相结合的象形文字,但始终没有发展为纯粹的拼音文字。在书写的形式上,古埃及文字有“祭司体”(草书)和“世俗体”两种。

古埃及人的庙宇和墓室的墙壁上、纪念碑上,以及他们的棺槨上,保留下了他们的文字。他们还常使用纸草作为书写材料。纸草是一种与芦苇相似的植物,把它的秆制成薄片压制成“纸”,用烟黑制成墨汁便可在上面书写。这种“纸”易裂成碎片,难以久存,现在保存下来的为数不多的纸草“书”是从古墓中发掘出来的。纸草“书”一般宽约 30 多厘米,长度则可达数米甚至一二十米,视书写内容多少而定,写好以后卷起来保存,所以人们又称它为“纸草卷”。我们现在对古埃及数学和医学的了解,主要是依据几部纸草

卷。

古埃及王国灭亡以后,古埃及的文字逐渐成为“死文字”,到了近代时已经无人可以识读。1799年,法国人布萨(Boussard)在尼罗河口小城罗塞达发现一块公元前195年刻的石碑,内容是赞颂托勒密五世即位,同样的内容用古希腊文、古埃及文祭司体、古埃及文世俗体三种文字书写。通过研究这块石碑,人们读通了古埃及文字。如今,“罗塞达石碑”已经成了西方的一个典故,意为赖以破译某种秘密的材料。

(二)古埃及的天文学

定向、定时(制订历法)、星象观测,是天文学中最古老的内容。

地球绕太阳公转一周为一年,在古人看来是太阳在以恒星为背景的天上走了一圈。季节的变化是由于地球公转引起的,确定一年的天数,即季节变化的周期,对农业生产至关重要。古埃及的历法是阳历,一年分3季:洪水季、冬季和夏季,冬季播种,夏季收获,洪水季尼罗河泛滥;一季4个月,一月30天。另有5天为节日,每年共365天。

根据考古发现知道,古埃及人把天球赤道附近的恒星分成36组,每组有恒星一颗或数颗不等,太阳每10天走过一组,故称之为“旬星”。当某一组星黎明前夕恰巧升到地平线时,就标志着它代表的那一句的开始。这样一年是360天,可能是早期的很不准确的历法。以后古埃及人认识到一年是365天,就在年终时加上5天过节的日子。

尼罗河的泛滥是相当有规律的,古埃及人曾以洪水到来的日子为一岁之首。但是,这样确定岁首毕竟是比较粗糙的,每年尼罗河水泛滥的日子不可能规律到一天不差的程度。以后埃及人又把观察天狼星(全天最亮的恒星)与太阳同时升起的日子用于计年,这样就提高了历法的准确度。由于一年约365.25日,古埃及历法是一年365日,每年相差0.25日,每120年会相差一个月,每

1460 年相差一年。古埃及人经过长期观测发现,如果某年第一天天狼星与太阳同时升起,以后每 120 年这个日子就会相差一个月,第 1461 年的第一天天狼星又与太阳同时升起,他们把这个周期叫“天狗周”(因为他们把天狼星叫天狗)。

埃及最大的金字塔是胡夫金字塔,是第四王朝国王胡夫的墓,修建于公元前 2700 年左右。其两条南北方向的底边,方向偏差一为 $2^{\circ}30'$,一为 $5^{\circ}30'$ 。那时没有指南针,肯定是靠天文定向,能达到这种精确度实在不易。此塔的北面正中有一入口,下地宫的通道与地平面成 30° 倾向,从地宫向外看恰好对着北极星,可能是精心设计的。

从金字塔中的壁画和棺材上的星图可知,古埃及人对 5 大行星和天蝎座、白羊座等恒星也有一定认识。

(三)古埃及的数学

我们现在对古埃及数学的了解,主要是依据两份数学纸草卷。一份名为“莱因特纸草”,发现于埃及古都底比斯,1858 年被英国人莱因特得到,现存于伦敦大英博物馆。另一份名为“莫斯科纸草”,俄国收藏家 1893 年得到,现存于莫斯科博物馆。莱因特纸草上有 85 个题目,莫斯科纸草上有 25 个题目。据研究,这两份纸草写成的年代在公元前 2000 年左右。另外还有一些书写年代较晚的古埃及数学纸草卷,然而数学水平无很大进步。

古埃及的数学是十进制,然而没有位值制。要表示“111”这个数字,他们要依次写一个“100”的符号、一个“10”的符号、一个“1”的符号。要表示“999”这个数字,他们要依次写 9 个“100”的符号、9 个“10”的符号、9 个“1”的符号。

古埃及人可以做乘法,但是必须要把乘法转换成某种连加的形式才行,例如:

$$11 \times 13 = 11 \times 8 + 11 \times 4 + 11$$

古埃及人会分数运算,但是除了“ $\frac{2}{3}$ ”以外,所有分子不是“1”的分数,他们都要先化成分子为“1”的形式,然后再进行运算,例如:

$$\frac{2}{7} = \frac{1}{4} + \frac{1}{28}$$

$$\frac{7}{29} = \frac{1}{6} + \frac{1}{24} + \frac{1}{58} + \frac{1}{87} + \frac{1}{232}$$

他们有专门的表,可以查如何进行这种转化。他们为什么要这样化?他们是怎样找到这种化法的?这些问题仍是不解之谜。但是人们一般认为,这种做法使古埃及的分数运算走上了一条错误的路,它太麻烦了。

古埃及数学中有这样的题目:一个数加上它的 $\frac{2}{3}$,再加上它的 $\frac{1}{2}$,再加上它的 $\frac{1}{7}$ 等于97,求这个数。这说明他们已会解一元一次方程的题目。

古埃及的数学成就突出表现在几何方面。西文“几何”一词的本意为“测地学”,人们认为它起源于古埃及的土地测量。古埃及人计算圆面积的方法是直径减去其 $\frac{1}{9}$ 以后再平方,这相当于 π 值为3.16,相当精确。古埃及人有计算四棱台体积的公式,其结果与现代计算方法相同。巍巍的金字塔,是古埃及人精于计算四棱台体积的物证。

(四)古埃及的医学

古埃及人相信灵魂不死、人有来生,人死后灵魂仍需要肉体作为安息之处,直至转世。他们不仅给死者提供食物、饮料、武器,甚至还为死者准备了化妆品。他们精心制作木乃伊,希望尸体长存,灵魂需要它多久,它就能存在多久。制作木乃伊时先掏出内脏,再

涂盐和香料、油脂,然后风干。这种风俗使古埃及人积累了一些解剖学知识,对人体大器官的形态和位置比较了解。

1862 年发现的被称为“ 史密斯医学纸草 ”的古埃及纸草书,写于公元前 1700 年,人称是世界第一部外科学著作。此书中记述了 48 种外伤的诊断与治疗方法,所使用的药物有植物药、矿物药、动物药,还有人体的分泌物;药物制剂有涂抹的药膏、内服药,还有■蒸剂、嗅药等。

另一份重要的古埃及医学纸草书——“ 埃伯斯纸草 ”,写于公元前 1500 年,长 20.23 米,宽 30 厘米,记述了 700 种病的疗法,有药方 877 个,还包括一些生理学、病理学内容。此书中记述的疾病,按今天的分科方式包括内科、外科、妇科、眼科等方面。对有些疾病,书中已论述得相当详细,譬如肚子痛,书中就列出了 20 种类型。

(五)古埃及的建筑

考古发现的古埃及文物和壁画,说明古埃及有发达的手工业。他们发明了玻璃,发明了给陶器上釉,他们有精美的金银器,他们会制造青铜器,他们会用铁、会酿造啤酒,手工业的各个部门基本上都有了。有资料说,古埃及有数以万计的石匠、木匠、铜匠、金匠、陶匠、珠宝匠。

最引起现代人注意的古埃及技术成就,当是他们的建筑。古埃及的金字塔世界闻名,古埃及的神庙建筑也极其辉煌。

金字塔是古埃及国王的陵墓。和制木乃伊一样,修建宏伟的金字塔也是出于他们的宗教信仰。现在知道的埃及金字塔有 80 多座,分布于开罗以南 10 多千米的地区,修建于公元前 20 多世纪,即古埃及的第三至第六王朝。金字塔的底座是正方形,以巨石垒起,整个金字塔是一个四棱锥形。因为它每一面都是三角形,看上去如汉字的“ 金 ”字,所以汉语译为“ 金字塔 ”。

最大的金字塔是第四王朝第二代法老胡夫的金字塔。原来塔

高 146.5 米,底边边长 230 米,用大约 230 万块巨石垒成,每块石头平均重约 2.5 吨。由于数千年的风化剥落,现在它高为 138 米,底边边长 220 多米。这么一座雄伟非凡的金字塔的建造,有很多难解之谜。这么大的石块是怎样从遥远的采石场搬运来的?又是怎样垒上去的?从古代的技术水平看,似乎难以想象。科技史专家对此做过很多研究,并且实际做了试验,如今已形成一些看法。金字塔底边的周长恰是以其高为半径画圆的周长;金字塔地宫北面出口的斜坡的仰角,恰是当时当地看到北极星的仰角;金字塔修起后石缝严密,显然预先有精确的计算;金字塔地宫中物品可以保存得非常长久,这些问题也都很神秘,科技史专家一直在努力探讨。有人说金字塔是外星人修建的;有人说金字塔修建者所创造的人类文明已经灭绝,现今的文明是重新发展起来的。如果我们通过科技史研究能够探明金字塔的秘密,这些说法就站不住了。

古埃及的神庙建筑也非常著名。古埃及人是多神教徒,他们信很多的神。有些神是以鸟兽等生物命名,如鹰神、鳄鱼神;有些神是以其他自然物命名,如太阳神、月亮神、河神。神的名字反映了古埃及人对生物与自然力量的恐惧和崇拜,神庙建筑主要是为了显耀神的力量。最雄伟的古埃及神庙是卡纳克庙,位于开罗以南 600 多千米的卢克索,这里是古埃及新王国时期都城底比斯所在地。此庙祭祀太阳神和月亮神,庙中的尖塔高约 30 米,重 320 吨,是用一整块大理石雕成的,其本来的石料估计重达千吨。古埃及的神庙建筑使用了柱廊和拱门结构,雕刻精美,雕像栩栩如生。古希腊的建筑风格,可能是受到了古埃及的影响。

二 古代两河流域的科学技术

两河流域的中心地带在现今的伊拉克境内,这是世界上另一个最古老文明的发源地。两河指的是幼发拉底河和底格里斯河,

它们发源于托罗斯山脉,流出山岭地区后平行地向东南方向流去,最后汇合起来流进波斯湾。两河之间的肥沃平原,史称美索不达米亚,这是一个希腊名词,意为“两河之间的地方”。

在两河流域,古代曾先后由不同民族建立起多个王国。公元前 3500 年以前,苏美尔人在两河流域就已建立起一些奴隶制城邦国家,那时他们就已经知道用铜,已经有了文字。大约在公元前 3000 年代初期,来自西方的闪米特人侵入两河流域,他们在现今的巴格达附近建立起一个名叫阿卡德的城邦国。阿卡德最伟大的国王叫萨尔贡,他统治了两河流域。大约在公元前 2000 年代初,巴比伦城发达起来,它位于幼发拉底河中游东岸,现今巴格达以南 100 多千米。阿摩利人以巴比伦为都城建立起巴比伦王国(史称“古巴比伦王国”),它的第六代国王汉谟拉比(Hammurabi,约 BC1728~BC1686)统一了两河流域,建立起了高度中央集权的奴隶制国家,科技文化都有很大发展。汉谟拉比制订的法典(史称“汉谟拉比法典”),是现代人了解古巴比伦王国的重要文献。公元前 16 世纪中叶,巴比伦王国遭外族入侵。公元前 13 世纪末,两河流域进入了亚述帝国称霸的时期。到公元前 7 世纪末,迦勒底人在两河流域又建立起新巴比伦王国。公元前 538 年,新巴比伦王国亡于波斯帝国。

两河流域的古代文明史,是从公元前 3500 年前苏美尔王国的文明起,到公元前 538 年止。苏美尔王国、古巴比伦王国、亚述帝国、新巴比伦王国,是其文明发达的四个阶段。有时,又将古代两河流域的文明简称为巴比伦文明。

(一)古代两河流域的文字

公元前 3500 年前(亦有人说在公元前 4000 年前),苏美尔人就创造出了象形文字。从象形文字又发展出表意文字,用一个图像或多个图像结合起来表达一定的概念。以后又发展出谐声文字,即用符号表示某种声音,同声的字用同样的符号表示。

苏美尔人书写是以泥版做“纸”，以削尖的木棒或芦苇当笔。用这种笔在湿润的泥版上压刻出各种图形符号，起笔处压痕较深广，抽出时压痕则较细较浅，每一笔划都形如木楔，故被称为“楔形文字”。书写以后，将泥版晒干或烧成砖。

在苏美尔王国之后相继统治两河流域的阿卡德、巴比伦、亚述、新巴比伦等王国，继承了苏美尔人的文字与书写方式。

用泥版写出的“书”很笨重，只能是“摆着读”，而不可能“捧着读”。然而这种泥版书能长久储存，近现代正是通过这种泥版书得以了解古代两河流域文明。

古代两河流域的楔形文字使用到公元前后，以后逐渐成为死文字。19 世纪中叶，借助于研究位于伊朗西部的贝希斯敦摩崖石刻（该石刻用古波斯语、依蓝语、巴比伦语三种文字记述同一内容，歌颂波斯国王大流士的功绩），人们才得以识读巴比伦的文字。

（二）古代两河流域的天文学

古代两河流域的天文学成就非常突出，对以后的天文学发展影响很大。

据说两河流域在公元前 30 世纪就有了历法。古埃及的历法是阳历，每年的平均日数依回归年长度确定，每年的月数和每月的日数是人为规定。而古代两河流域的历法是阴阳历，每年的平均日数与阳历同，每月的平均日数依朔望月长度确定。由于既要考虑回归年，又要考虑朔望月，而且回归年的长度并非朔望月长度的整数倍，阴阳历需采取设置闰月的办法加以调整，这就使得历法的制订复杂得多了。古巴比伦王国时代，一年 12 个月的月名现在已经发现，那时是大月 30 日，小月 29 日，大小月相间，岁首定在春分，置闰尚无规律，由国王根据情况发布命令置闰。大约在公元前 6 世纪后期，才开始有固定的闰周，先是实行 8 年 3 闰，而后又实行 27 年 10 闰，到公元前 383 年定为 19 年 7 闰，这是精度很高的置闰方法，每 19 年误差还不到一日。

古代两河流域是以新月初见为一个月的开始。一个朔望月 29 5 天,晚上能见到月亮的有 28 天。把 28 天四等分,每一部分 7 天。他们把这 7 天依次分配给太阳、月亮、火星、水星、木星、金星和土星,这是“星期”的起源。

古埃及人把一昼夜分为 24 时,他们以日出为昼的开始,正午为昼 6 时,日没为夜的开始,夜半为夜 6 时,他们的 24 时是不等长的。而古巴比伦人则是把一昼夜分为等长的 24 时,这种计时制度也被继承下来,直到现代仍在采用。

古代两河流域人已经知道了“黄道”——太阳一年之中在恒星背景上走过的道路。他们把黄道分为 12 段,每一段中的恒星为一个星座,这些星座名称被沿用下来,并形成了占星术上所说的“黄道十二宫”这一术语。

古代两河流域人对日、月和五大行星的运行规律也有比较精确的观测结果。他们在公元前 9 世纪时就已知月食必定发生在望。他们从公元前 311 年开始编制的日月运行表,包括了太阳在黄道上的位置、昼夜长度、合朔日期、月亮的纬度等多项内容。据说,他们在公元前 600 年左右已发现了沙罗周期——223 个朔望月是一个日食周期。他们观测的五大行星会合周期,比后来希腊人的观测结果还要精确,与近代的观测结果非常接近。

古代天文学的发展一是与历法制订密切相关,二是与占星术密切相关。古代两河流域占星术发达,是其天文学发达的重要促进因素。为什么这里古代占星术发达?据说是因为底格里斯河和幼发拉底河涨水不像尼罗河那样规律,经常泛滥成灾,再加上战争频仍,使这里的古人更觉得命运难以把握。

(三)古代两河流域的数学

古代两河流域的数学成就也很突出,尤其是在算术与代数方面。

在公元前 18 世纪的泥版书上,有这样一道题目:两正方形的

面积之和是 1 000, 其中一个正方形的边长比另一个的 $\frac{2}{3}$ 还少 10, 求两个正方形的边长。人称这是世界上已知的最早的代数题目, 现在解这个题目需要列二元二次方程组。我们还不能肯定古巴比伦人怎样解这个题目, 但他们确实解出来了。

古代两河流域的泥版书上, 有世界最早的平方数表、立方数表、倒数表、勾股弦数表。

有了平方数表, 他们会做开平方。如果一个数不是自然数的平方, 他们就把它分解, 方法是:

若 $A = a^2 + b$ (a 为自然数)

则 $\sqrt{A} = a + \frac{b}{2a}$

这样求出的值是非常近似的。

勾股弦数表是 3 个数字一组的数, 每一组的数字都满足

$$a^2 + b^2 = c^2$$

的要求, 如 3, 4, 5; 65, 72, 97; 12709, 13500, 18541。像“3, 4, 5”这样一组数字可以凭经验得出, 那些很大的数字则很难说是直接来自实践经验, 一定是掌握了某种数学方法推导出来的。据研究, 他们推导的方法是:

令 $a = x^2 - y^2$

$$b = 2xy$$

$$c = x^2 + y^2$$

则 $a^2 + b^2 = c^2$

这样, 在平方数表的基础上就可得出勾股弦数表。

古代两河流域的数学实行了位值制,即一个数字符号实际表示的值与其所在的位相关,这是其进步的地方。但是他们采用的进位制度是十进制和六十进制并用。

古代两河流域数学发达,可能与其天文学发达相关。在古代,最复杂的数学问题应当是天文学中的计算问题。他们实行六十进制,也可能是与天文学中的计算相关。

(四)古代两河流域的技术

从许多旁证材料可知,古代两河流域的技术也相当发达。

古巴比伦的汉谟拉比法典中提到了许多种手工业行业,包括制砖、青铜冶炼、缝纫、宝石加工、皮革、酿造、木工、造船、建筑等,说明手工业的分工已相当细,都已形成了专门的行业。从其法律条文也可看出,其手工业已相当高超,如果质量不合标准或弄虚作假,要受到相应的法律制裁。

古巴比伦王国在公元前 16 世纪被赫梯人灭亡,赫梯人在大约公元前 15 世纪发明了炼铁。考古学家发现了一封公元前 13 世纪的埃及国王致赫梯国王的信,信中要求赫梯人给他们铁。在公元前 8 世纪的亚述帝国的都城,考古发现了大量铁制工具和武器,表明此时两河流域已肯定进入铁器时代,这在世界上是比较早的。进入铁器时代,是古代生产力发展的重要里程碑之一。

古代两河流域的城市建筑也非常著名。据记载,新巴比伦王国都城有三道城墙,城墙上有很多塔楼,城门高达 12 米,城内宽阔的道路用石板铺成,当时人称它是世界上最雄伟壮观的城市。城内的王宫富丽堂皇,王宫旁的空中花园被称为世界七大奇观之一。城中最高的建筑是供奉神灵的巴比伦塔,其遗迹现在仍存。

三 古代印度的科学技术

古印度是世界四大文明古国之一。我国西汉时称之为“身毒”，东汉时称之为“天竺”，唐玄奘取经归来以后始称之为印度。从地理上说，古代印度与现在说的印度次大陆相当，包括尼泊尔、印度、巴基斯坦、孟加拉等国。发源于喜马拉雅山脉的印度河和恒河，分别从次大陆的两边流入印度洋，在次大陆北部形成两大平原，这里是世界上农耕发达最早的地区之一。次大陆的南部是一个半岛，中央是德干高原，沿海是狭长的平原。

依据 20 世纪 30 年代以来的考古成果，发现印度河流域从公元前 3000 年代中期已形成相当发达的农业文明。这种文明的遗址首先发现于巴基斯坦旁遮普省蒙哥马利县的哈拉巴，故称之为“哈拉巴文明”。其年代大约是公元前 2500 年至公元前 1500 年，这个时代也被称为古印度的哈拉巴时代。

大约在公元前 1500 年左右，来自中亚细亚的游牧部落南下进入印度河与恒河流域。他们在这里逐渐学会从事农业生产，公元前 1000 年后学会用铁，生产力有明显发展。从北方来的那些部落处于统治地位，他们自称为“雅利安”人，意为“高贵者”，而把肤色较黑的土著称为“达萨”，这是印度种姓制度的起源。雅利安人的宗教是婆罗门教，他们的宗教经典“吠陀”是了解这一时期古印度历史的主要依据，故人称古印度的这个时代为“吠陀时代”。

大约在公元前 500 年左右，印度河与恒河流域形成了 20 个左右的奴隶制国家，古印度进入列国时代，各国之间争战不已，经历了多次分裂与统一。公元前 4 世纪到公元前 2 世纪的孔雀王朝、公元 1 世纪到 3 世纪的贵霜帝国、公元 4 世纪的笈多王朝，是古印度列国时代比较著名的王朝和帝国。

在列国时代，又发生多次外族入侵印度的事件。公元前 6 世

纪时波斯帝国、公元前 4 世纪时亚历山大帝国,其势力都曾进入印度。公元 5 世纪,匈奴人的一支又侵入印度。公元 13 到 16 世纪初,又先后有突厥人在印度建立德里苏丹国、蒙古人后裔在印度建立莫卧儿帝国。到 19 世纪中期,印度次大陆成为英国殖民地。

由于历史的原因,使得古代印度的人种、宗教、文化类型都非常复杂。

(一)古代印度的哈拉巴文化

公元前 2500 年至公元前 1500 年的哈拉巴文化,其分布地域东起印度德里,西至巴基斯坦与伊朗边界,南达坎贝湾东岸,北抵西姆拉丘陵南麓,已发现城市遗址 100 多处,其中规模最大的遗址是哈拉巴和摩亨佐·达罗两处。

哈拉巴城和摩亨佐·达罗城都是由卫城和下城两部分组成。摩亨佐·达罗城占地 260 公顷,街道布局整齐,主要街道宽达 10 米,卫城有砖砌的又高又厚的城墙。卫城内最大的建筑物是一个大浴池,其中心是一个长 12 米、宽 7 米、深 2.4 米的浴池,四周有房屋与走廊,整个建筑占地长 55 米、宽 33 米,外墙厚达 2.4 米。下城是居民区,有的房屋是砖砌的两层楼房。摩亨佐·达罗遗迹清楚地说明,这里曾是一个繁荣的城市。

依据考古学的成果可知,哈拉巴文化的农业已比较发达,主要农作物是小麦,辅以大麦和椰枣,已经开始饲养猪羊和家禽。其服装主要是棉织品,古印度是世界上植棉最早的地区。考古还发现了青铜兵器和工具,表明它已进入青铜时代。

哈拉巴文化遗址中发现了几百枚印章,是用赤陶制成的,形体很小,其上有动物图案与象形文字,可惜现在还未能识读这些文字。人们认为,印章的使用可能是与贸易有关,也可能是用于签署文件。

哈拉巴文化与古代埃及和两河流域的文明有许多相似之处,它们是否有共同起源,现在还不得而知。

哈拉巴文化在公元前 2000 年代中期突然消失,可能是与雅利安人的入侵有关。哈拉巴文化是农业文明,而雅利安人是游牧部落;哈拉巴文化不能肯定已经养马,雅利安人则是骑着马杀进来的。哈拉巴文化的衰亡,在古印度文明发展史上是一个倒退。

(二)古代印度的数学

古代印度的数学发展也比较早。在公元前 10 世纪以前的吠陀经中,就已经在使用十进制。在公元 1 或 2 世纪的耆那教著作中,明确地出现了位值制。

古印度现存的最早数学著作是《准绳经》,大约写于公元前 6 世纪。它实际上是吠陀经中的一篇附文,讲述祭祀活动中各种祭坛的形状、大小、如何建造,以及座位如何布置。《准绳经》中讲到了可以满足“勾方加股方等于弦方”的正整数组,还讲到如果一个正方形边长为 1,那么它的对角线长度是:

$$1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3 \times 4} - \frac{1}{3 \times 4 \times 34}$$

这相当于求出了 $\sqrt{2} = 1.4142$, 非常精确。

《准绳经》中还讲到,若圆的直径为 1,则其周长为:

$$4 \times \left[1 - \frac{1}{8} + \frac{1}{8 \times 29} - \frac{1}{8 \times 29 \times 6} + \frac{1}{8 \times 29 \times 6 \times 8} \right]^2$$

这相当于求出圆周率 $\pi = 3.14159$, 这个值也相当准确。从其复杂的算式,显示出了古印度人探索圆周率的艰苦努力。

约公元前 1 世纪的《昌达经》中,有相当于二项式定理的内容。

在《昌达经》之后,古印度长时间没有产生水平更高的数学著作,直至公元 5 世纪出现《阿利耶毗陀历书》(又称《圣使历书》)。

此书是阿利耶毗陀(Aryabhata, 约 476~550)所著,他是现在知道名字的古印度最早的数学家和天文学家。这部书中说,直径为 20 000 的圆,其周长是:

$$(100 + 4) \times 8 + 62\,000$$

这相当于求出 $\pi = 3.1416$,很准确。

在公元 7~13 世纪,古印度数学有了较大发展。婆罗摩及多(Brahmagupta, 约 598~约 660)在公元 628 年写成《梵明满悉檀多》,该书中包括了整数运算、分数运算、数列、比例问题、平面几何、立体几何等内容,还讨论了负数运算法则。尤其值得提出的是,该书中不再把“零”仅视为空位,而是也把它看做一个数字,讨论了“零”的运算法则。除了“零除以零等于零”这个说法,他关于“零”的论述都是正确的。有了十进制、位值制、零的符号,使得古印度可以用 10 个数码符号表示所有数字。古印度数码符号在 8 世纪传入阿拉伯,以后又传入欧洲,成为世界通用的数码符号,这是古印度数学对世界数学发展的一大贡献。

(三)古代印度的天文学

像古代埃及、两河流域一样,古代印度的天文学也是主要服务于历法制订和占星,但是它与宗教活动的联系显得更为密切,我们现在主要是从宗教著作中了解古代印度的天文学。

在《吠陀经》中,已经讲到了祭日的推算问题,这是现在知道的古代印度最早的天文学知识。

现存最早的古代印度天文学著作是《太阳悉檀多》,“悉檀多”的意思是“知识”。据说此书是写于公元前 6 世纪,但是据考证有许多内容是后来添加进去的。公元 505 年,有人汇集了五部古代印度天文学著作,编成《五大历书》。在《阿利耶毗陀历书》中,讨论了日月和五大行星的运动以及推算日食月食的方法,是印度公元

6 世纪初时天文学水平的代表作。

古代印度一年分为 6 季: 冬、春、夏、雨、秋、露, 每季两个月。我国唐代时传入的印度《九执历》, 定一个朔望月为 29 .53 日, 19 年设 7 个闰月, 与我国的历法很相似。

印度在吠陀时代认为天地之间有一座大山, 叫须弥山。天如伞盖, 由须弥山支撑着, 日月五星都绕着须弥山运行。大地是由 4 只大象驮着, 大象则又站立在浮于水中的乌龟背上。这种认识与中国古代的“盖天说”有相似之处, 但是又有印度自己的特点。我们从中看得出地理环境与物产对人的宇宙认识的影响, 也可以看出这种认识与印度神话的联系。公元 5、6 世纪之际, 阿利耶毗陀曾说过大地在转动着, 但这种观点未被大众接受。12 世纪时, 婆会迦罗说有 7 重天, 日月五星分别位于一重天上, 这种观点显然已经受了古希腊天文学的影响。

古代印度也把天球赤道附近的恒星分为二十八宿, 与中国古代相似。“二十八宿”究竟源于中国还是源于印度, 是天文学史上的一大悬案。依据现在掌握的资料, 中国的二十八宿体系形成要比印度早。

(四) 古代印度的医学

印度古代医学知识既古老又丰富。属于医学的知识体系, 在印度古代称为“阿柔吠陀”(ayurveda), 意为“长寿的知识”。它与现在的医学知识体系的侧重面有些不同, 不仅关心治病, 还很重视防病和养生。

在吠陀时代, 印度人认为人体与万物一样都是由“五大”, 即“空、风、火、水、地”五大元素组成。其中“地”和“空”分别对应于躯体和空腔, 比较稳定, 而“水、火、风”分别对应于体液、胆汁和气, 它们比较不稳定, 人体生病是这三大元素失去平衡的缘故, 治病就是恢复平衡, 防病和养生就是维持它们的平衡。佛教时代认为万物由“地、水、火、风”四大元素组成, 人体内任何一大元素不调就会引

起疾病。

印度古代医学分为“八科”：内科、外科、五官科、精神病科（由魔鬼引起的疾病）、小儿科、老年科、毒物科（毒蛇咬伤或食物中毒）、保健科。据印度古代医学的说法，这种分科方式始于吠陀时代。在较早医学文献中，巫术的成分很重，以后才逐渐发展为以医学治疗为核心。《旃罗迦集》（Caraka-samhita）和《妙闻集》（Susruta-samhita）这两部医学经典的出现，是古代印度医学知识体系成熟的标志。《旃罗迦集》以药物治疗为主，被认为是内科体系的经典；《妙闻集》以手术疗法为主，被认为是外科体系的经典。但是，这两部书究竟成书于何时仍不得而知，其基本内容被上溯至公元前5~6世纪，而最后成书时间可能晚至公元后5~6世纪。

印度古代医学有些疗法很特殊，如用水蛭吸脓，用各种药物制成湿布驱风去寒等。古代印度医学的外科也很有成就，据说很早就会用外科手术治疗疝气、痔疮，能进行剖腹产。金针拨眼白内障，更是印度古代医学的一朵奇葩，这种技术唐代传入中国。

从养生到追求长生，于是发展出了炼丹术，印度古代医学的这种发展与中国道家是一样的，而且也是以硫磺和汞为炼丹基本原料。印度的医学和炼丹术，对阿拉伯帝国有重要影响。

四 古代中国的科学技术

我们中国也是世界四大文明古国之一。考古资料表明，中国是人类发源地之一。大约在七八千年前，长江和黄河流域已进入农业社会。

从地理环境上看，中国的北面是寒冷的沙漠和西伯利亚荒原，古籍中泛称之为“北海”；东南方面是辽阔的海洋，古人以为那是大地的尽头；西面有喀喇昆仑山脉、喜马拉雅山脉，阻断了中国与西方的交通。由于这样的地理环境决定，使得中国的先民与其他文

明古国长时间缺少交往,中国的文明独立发展,自成体系。

中华民族自称炎黄子孙,有 5 000 年文明史。中国历史上第一个王朝是夏朝,约建立于公元前 21 世纪。第二个王朝是商朝,约建立于公元前 18 世纪,自商代起有了文字。自西周共和元年(公元前 841 年)起,中国开始有正式的史书纪年,中国历史上的年代可以与公元纪年准确对照。中国古代文明一直延续至今没有中断,这是世界历史上的奇迹,绝无仅有。中国有近 3 000 年的准确记载的史料,使得中国的史料格外有价值。

中国目前可考的科学萌芽于商代,甲骨文记载了中国最早的科学知识。一直到西周,中国没有科学著作流传下来。比起古埃及和两河流域,中国科学的发展要晚很多。春秋战国时期,随着社会的大动荡、大变革,中国出现了“士”这个社会阶层,思想空前活跃,科学有了迅猛发展。从战国末年到汉代,中国的天文学、数学、医学和农学都形成了自己的知识体系,出现了一批经典著作,为中国以后的科学发展奠定了基础。魏晋南北朝之后,中国的科技逐渐走到了世界的前列,到宋元时代达到高峰。按照李约瑟的观点,中国从公元 3 世纪到 13 世纪的大约 1 000 年间,科学技术的水平为西方望尘莫及,各种发明和发现远远超过同时代的欧洲,促使西方走向近代的发明大约一半是自中国传入的。

中国古代科技史的内容浩如烟海,我们在本节将只能简要论述它的发展与特点。

(一)中国古代的天文学

中国古代天文学在星象观测和历法制订方面都有辉煌的成就。

统治者的重视是中国古代天文学发达的重要原因。中国以农立国,历法与农业生产关系极大;中国古代迷信占星术,认为星象的变化预兆着人世间的变化,这两个因素使得中国历代统治者都非常重视天文观测。《尚书·尧典》中说:“乃命羲和,钦若昊天,历

象日月星辰,敬授人时”,表明中国从传说中的帝尧时代开始就已有专职的天文官员了。在后来,朝廷中一直有管天文的官员,这也可算是中国古代的一个特色。

中国从远古时代就已开始根据星象观测确定季节。《尚书·尧典》中说,根据黄昏时位于南方天空的是什么恒星,可以确定一年的四季。据传反映夏代知识的《夏小正》中讲到,一年12个月都有一些显著的天象为标志。殷商甲骨文准确地告诉我们,商代的历法是阴阳历。战国时的四分历,已经把一年的长度精确到365.25日,所以中国古代分圆周为365.25度,太阳在天上每天移动一度。这个规定是中国古代天文学体系的一个特点,是中国古代天文学自成体系的标志之一。

到汉代时,中国的历法基本定型。从内容上说,它不仅是确定年、月和二十四节气,安排闰月,还包括日月食和五大行星运行的推算,类似于现在的天文年历。以后的历法制订工作,主要是进一步提高精度。古希腊天文学以讨论宇宙结构为主要内容,古代中国、古代印度都是以历法制订为天文学的主要内容。

天象观测是中国古代天文学另一项主要内容。在二十四史中,历法制订的内容在《律历志》中,而天象观测结果记载在《天文志》中。中国史籍中保存有2000多年来关于日食、月食、彗星、新星、太阳黑子等天象的丰富观测记载,是现代天文学研究难得的宝贵资料。

中国古代对恒星的观测成果,反映在历代的星表和星图中。战国时代的“石氏星表”,是世界现存最早的星表。在敦煌发现的唐代星图,是世界现存的最早星图。

中国古代为了认识恒星和观测天象,把恒星几个几个地组合起来,这样的组合叫星官,每个星官都有名字,其中最重要的三垣二十八宿,成为中国古代的星空区划体系,这也是中国古代天文学的一大特点。二十八宿中部分星宿的名字,在《诗经》中就已经出现了。根据考古资料,中国至迟在公元前5世纪已形成完整的二

十八宿体系。

到元代时,中国古代天文学成就达到高峰。元代历法《授时历》定一年长度为 365.2425 日,是世界历法史上最精确的数值,比欧洲早采用 400 年。

由于腐朽的封建统治者害怕有的天文学家“妖言惑众”,于自己的统治不利,严令禁止在民间进行天文学研究。这种政策造成明代天文学人才极缺,使中国天文学开始走下坡路。统治者对天文学的重视曾是促进中国古代天文学发展的原因,到后来又转化为中国古代天文学发展的桎梏,真是“成也萧何,败也萧何”。到明朝末年,中国人自己已经没有能力修订历法了,只好请西洋人帮忙。

(二)中国古代的数学

中国古代数学有据可查的资料始于商代,比古代埃及和两河流域要晚。从殷商甲骨文反映的数学水平也可看出,那时中国数学还在萌芽阶段。但自汉代以后,中国数学逐渐走到世界前列。

中国数学较早实行了十进位值制,这是一个特点,也是一个优点。商代甲骨文中 有 13 个基本的数字符号,是一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、百、千、万,表明是十进制。表示几十、几百、几千、几万的方法,商代是用合文书写,如上边一个五字、下边一个百字,合起来表示五百。这样的书写方式较容易向位值制演变。李约瑟曾说:“商代的数字系统总的说来要比同时代的古埃及和巴比伦更先进,更科学。”

春秋战国时代是中国数学迅速进步的时代,乘法运算和分数运算,在这个时代都肯定出现了。最早的数学著作,可能也是在战国末年出现的。

筹算制度是中国古代数学特有的制度。它的计算工具是算

① 李约瑟.中国科学技术史(第3卷)北京.科学出版社,1978.29.

筹,不需纸和笔就可进行数学计算。珠算制度是到宋元时代从筹算制度演变出来的。筹算制度有方便快捷的优点,但是它不保留运算过程,对进行数学研究有不利之处。它对中国数学的发展可能有过促进作用,但到后来是妨碍中国数学向更高层次发展的限制因素。

《九章算术》是中国古代数学的经典著作,其成书年代不晚于西汉。全书共讲述了 246 个问题的解法,它们被分为九章即九大类。对于每一个问题,书中都是先给出问题,再给出答案,又介绍算式。至于为什么应当这样列算式,书中没有明示,所以明代徐光启说这是“鸳鸯绣出从君看,不把金针度于人”。书中的解题方法涉及到分数四则运算、负数运算、解联立方程组、双设法、开平方和开立方等,表明那时中国数学已有较高水平,某些解法已走到世界前列。

《九章算术》的编撰方式、解题方式,对以后中国的数学著作影响很大,可以说是起到了楷模的作用。此书的出现,既是汉代中国数学水平的代表,又是中国数学体系形成的标志。从重实用、以实际问题为纲编撰数学著作这个方面说,中国古代与古埃及、两河流域和古代印度是相同的,这些地区古代都没有出现像欧几里德《几何原本》那样的重理论、重演绎推理的数学著作。

隋唐宋元时代中国数学水平不断提高。元代朱世杰著的《四元玉鉴》中有解多元高次方程组的方法,对高阶等差级数的研究已得出关于高次招差的一般公式,在这些方面都已走到世界最前列。

可能是中国封建社会缺少推动数学发展的动力,还可能有中国数学体系自身的原因,使得明代没有产生出更高水平的数学著作,甚至无人能懂朱世杰的著作。中国数学悲壮地衰落下去了,实用的商业数学和珠算倒是发展起来了。

(三)中国古代医学

中医是中国古代科学的奇葩,至今仍在发挥重要作用。

中国有个传说:神农尝百草,始有医药。这个传说告诉我们,医学始于农耕社会,医食同源。按这种传说,中医史应当与中华文明史一样古老。

中医史可靠的文字资料始于商代,殷商甲骨文记载了许多与医有关的卜辞。那时医巫不分,人们认为疾病是天意,是妖魔作祟,是神对人的惩罚,有病要求拜神灵,逐妖驱魔,同时也服药调养。

到了周朝,医与巫已开始分离,朝廷中有巫祝又有医师,各负其责。据《周礼·天官·冢宰》载:“医师掌医之政令,聚毒药以供医事。”在医师之下,有食医、疾医、疡医、兽医,各有所司,这是中医学开始分科的证据。在《诗经》、《尚书》、《易经》等经典中记载有一些病例和药物学知识,也表明周代医学已开始独立发展。

春秋战国时期,中国的医学也有了大发展。由于医学经验的积累,医学水平的提高,使得医生敢于与巫斗争。《左传》中记述的晋景公病重、先是求巫后是求医的故事,是医巫斗争的生动写照。扁鹊也曾明确提出,“信巫不信医”是疾病“六不治”之一。

医学是从经验积累开始的,从经验上升到理论是医学的一个飞跃。战国时期成书的《黄帝内经》,是中医现存的最早理论著作,是中医理论体系形成的标志。

《黄帝内经》包括《素问》和《灵枢》两大部分。《素问》内容偏重于论述人体生理和病理学及药物治疗学的基本理论、“望、闻、问、切”四种诊断方法、各种疾病的治疗原则与方法,《灵枢》则着重论述针灸的基本理论、经络学说和人体解剖、针灸的方法等。从理论上说,《黄帝内经》的特色在于把哲学的阴阳五行学说与医学的脏腑经络学说结合起来,以有机的整体自然观指导防病治病,用以论述各种疾病和种种致病因素之间的复杂微妙关系。虽然这些论述

包含有一些不科学之处,但它确实起到了指导中医发展的作用,而且相对于近现代西医的机械自然观有某些优势之处。从治疗方法上说,中医除了像其他地区古代医学一样主要使用自然药物之外,针灸治疗是它的特色。

东汉末年张仲景撰写的《伤寒杂病论》提出了“辨证施治”,成为中医诊断疾病的基本原则,是中医理论的又一重要发展。

汉代以后至今,中医涌现出众多名医,治病的效果不断提高,但是在理论上仍然是奉《黄帝内经》和《伤寒杂病论》为圭臬。

(四)中国古代的技术

中国上古时代的技术,最突出的是在冶金铸造、丝织和农业技术方面。

我国自新石器晚期就进入铜石并用时代,考古发现的早期铜器,有锻打成形的,也有熔铸成形的,说明我国的金属铸造技术起源很早。传说大禹铸九鼎,近年来的考古发掘也表明我国夏代已掌握青铜铸造技术。最初的青铜铸造是使用石范,后来在制陶技术发达的基础上改用泥范。

我国商周时代的青铜器令世人赞叹不已。有的青铜器硕大无比,如商代司母戊大方鼎重达 875 千克。这样大的青铜器铸造时肯定需要许多炉子同时熔化青铜,“冶石为器,千炉齐设”,那场面一定很壮观。鼎的附件与鼎身是分别铸造再合为一体,这需要有高超的技术。有的青铜器结构非常精美,小巧玲珑,极具艺术性。

春秋战国时代的技术典籍《考工记》中记载有青铜“六齐”,即六种不同的铜与锡比例,分别适用于铸造不同用途的青铜器,这是世界上最早的对金属铸造经验的总结。

湖北随州曾侯乙墓出土的战国早期铸造的编钟,如今已闻名世界,它是青铜铸造技术的光辉成就,也是音乐史上的奇迹。

中国炼铁在世界上不是最早,按现在的考古发现是始于春秋晚期,但是中国的铸铁技术却是最早。西方从块炼铁发展到铸铁

经历了上千年的时间,但是中国在炼铁技术出现后很快就掌握了铸铁技术。这可能是高超的青铜铸造技术促进了铸铁技术的诞生,也有人认为中国炼铁技术可能起源更早。

我国是世界养蚕、种桑、织丝最早的国家。传说黄帝之妻嫫祖发明养蚕织丝,虽然不可全信,但是考古已发现了 4 000 年前的丝织品,与这个传说在时间上相近。《诗经》中有“春日载阳,有鸣仓庚。女执懿筐,遵彼微行,爰求柔桑”之句,生动描绘了妇女春日采桑养蚕的劳动情景。汉代时中国丝绸已享誉世界,中国与西方物资交流的通道则被称为“丝绸之路”。

中国农业技术的传统是精耕细作。古代西方农业用二圃制、三圃制,通过休闲来恢复地力,中国农业技术则是靠精心用地养地使土地常壮不衰。兴修水利,改良土壤,选育良种,精耕细作,中国古代在这些方面都积累了丰富经验,有许多农学著作传世,先秦时代的水利工程有的至今仍存。犁、耒、锄、耙等农业生产工具,中国在汉代时就发明了,与 20 世纪中期的中国农民仍在普遍使用的没有什么大的不同。这些工具有这么悠久的历史固然也是一种光荣,但长期没有根本性的发展也令人悲哀。

汉代以后,中国各个方面的技术发明很多,这里就不一一赘述了。

第三章 古希腊、罗马的科学技术

近代科学的诞生得益于诸多条件,但追溯其思想根源却不能不说是来自古希腊。2 000 多年前,古希腊人所创造的光彩夺目的科学文化成就为现代文明奠定了基础,古希腊是名副其实的科学精神发源地。正如著名科学史专家丹皮尔所言:古代世界的各条知识之流都在希腊汇合起来,并且在那里由欧洲的首先摆脱蒙昧状态的种族所产生的惊人的天才加以过滤和澄清,然后导入更加有成果的新的途径。

相对而言,“罗马人虽然擅长治理国家,在军事、行政和立法方面有优异的能力,但在学术方面却没有多少创造力。当然,他们也编纂了许多著作,说明他们对自然界的对象也有很大的好奇心。他们的艺术,他们的科学,甚至他们的医学,都是从希腊人那里借来的……罗马人似乎只是为了完成医学、农业、建筑或工程方面的实际工作才对科学关心的。他们使用知识之流,而不培其源”^②。

一 古希腊的自然哲学

古代希腊并不只是今天我们从地图上所看到的巴尔干半岛南端的希腊半岛这块地方。创造科学奇迹的古希腊人生活在包括希腊半岛本土、爱琴海东岸的爱奥尼亚地区、南部的克里特岛以及南意大利地区在内的这些地方。这一地区似乎是欧洲同时伸向亚洲

① ② W.C.丹皮尔.科学史.北京:商务印书馆,1975.40,99.

和非洲的触角,而古代非洲文明的中心埃及和亚洲古老的巴比伦文明正处于它的面前。

公元前 8~前 4 世纪是古希腊的城邦奴隶制时期,在几万平方公里的土地上遍布着 200 多个城邦。自公元前 5 世纪起,雅典在各城邦中取得盟主地位,建立了奴隶主民主政治,这是古希腊经济文化的大繁荣时期,史称“雅典时期”。公元前 4~前 2 世纪中叶,是亚历山大帝国时期,又称“希腊化时期”。这时,北方马其顿王国征服了希腊,建立了地跨欧、亚、非的大帝国,在所属埃及境内建立了一个希腊化的亚历山大城,这一时期的科学技术发展达到了高峰。

从城邦奴隶制到雅典时期,产生了科学和哲学融为一体的自然哲学,它既是希腊人对自然界的哲学思考,又是早期自然科学的一种特殊形态。到亚历山大时期(希腊化时期),科学则又从哲学中分化出来,产生了自然科学早期理论,尤其是天文学、数学和物理学达到了古代的最高水平。

(一)古希腊科学的特点及形成原因

在人类历史上,希腊人第一次形成了独具特色的理性自然观,这正是科学精神最基本的因素。许多古老的民族,或者只有神话、宗教式的自然观,或者缺乏对自然界的系统看法。自然界被认为是混乱、神秘、变化无常的,人在自然面前完全只有听从命运的摆布。而希腊人则不同,他们把自然作为一个独立于人的东西加以整体看待;把自然界看成一个有规律的、其规律可以为人们把握的对象,他们还创造了一套数学语言力图把握自然界的规律。

像世界其他地区一样,早期希腊人的自然观也是神话自然观,自然物被赋予神话色彩,自然现象被神化为神的行为。就此而言,古希腊科学和哲学是从希腊神话中脱胎而来的,它为后来西方哲学和科学的发展所奠定的基本观念,同样可以在希腊神话中找到根据。

与其他民族和地区相比较,古希腊神话有两个突出的特征。一是奥林匹斯山上的诸神与人类相似但不是人,即人神相异同构。他们像人一样有个性,有情欲,爱争斗,但同人有严格的界限。人神之别,反映了对象性思维的原始形式,而人神同构,则导致了古希腊的有机自然观念。希腊神话的第二个突出特征是它完备的诸神谱系,任何一个神都有其来龙去脉,在神谱中的地位非常清楚明白。这种完备的诸神谱系,实际上是逻辑系统的原始形式。如果把诸神进一步作为自然事物的象征,那么,神谱的系统性可以看作对自然之逻辑构造的原始象征。在这种神谱中,弘扬了秩序、规则的概念,是古希腊理性精神的来源之一。希腊神话的这两大特征,不仅表现出希腊人特有的思维方式(思想的对象性和逻辑性),同时也正是自然科学赖以产生的基本前提。

在希腊人看来,自然界不仅是有别于人的东西,也不仅是有规律、有秩序的,更重要的是其规律和秩序可以为人把握,因为它是数学的。对数学的重视,是希腊人最为天才的举动,也是他们留给近代科学最宝贵的财富。希腊人相信心灵是掌握自然规律最可靠的保证,因而极大地发展了逻辑演绎方法和逻辑思维。在一些特殊的科学领域,希腊人成功地将它们数学化,并得出高度量化的结论,这些领域包括天文学、静力学、地理学和光学。它们不仅在古代世界达到了该领域最高的水平,而且对近代科学的诞生起了一种示范作用。

可以说,科学成为一种独立的精神活动,最早起源于希腊。希腊人最早对自然界形成了一种独立于神话而又系统的理性看法,而且创造了一套数学语言来把握自然界的规律。希腊第一个哲学家泰勒斯(Thales,约BC624~BC547)提出万物源于水的命题,奠定了西方哲学追究本源的形而上学精神。泰勒斯学生的学生阿那克西米尼(Anaximanes,约BC550~BC475)进一步提出,万物由气构成,不同的物质由气的浓密稀疏所致,由此开辟了把握世界的实体构成主义传统。这一传统主张,只有找到自然现象背后的实

体,并且通过这一实体将自然现象重新组合构造出来,才算是认识了自然。古代原子论实际上是第一个比较成熟的实体构成主义模型,原子论者找到了原子作为基础,并将大千世界的多样性和复杂性还原为原子的不同排列组合。与此相对照的是由毕达哥拉斯(Pythagoras, 约 BC582~BC500)学派开辟的形式主义传统。在他们看来,理解世界的关键不在于找出构成实体,而在于找出构成方式。他们认为,数是万物构成的基本形式,因此,数有着至高无上的本体论地位。柏拉图(Plato, BC427~BC347)学派后来进一步精致化了这些主张,从哲学的高度进一步强化了形式的重要性。实体构成主义和形式主义这两大传统后来为近代科学所继承。

古希腊圣贤之一亚里士多德(Aristotle, BC384~BC322)在其《形而上学》一书中说,哲学和科学的诞生有三个条件。第一是“惊异”(即好奇心和求知欲),是人们对自然现象和社会现象所表现出来的困惑和惊奇。有了惊异也就感受到了自己的无知,自知其无知者为了摆脱无知就求知识,求知并非为了实用的目的,而纯粹是一种对智慧的热爱。第二个条件是“闲暇”,知识阶层不用为了生活而劳碌奔波,整天从事繁重体力劳动没有闲暇的人是无法从事求知这种脑力劳动的。第三个条件是“自由”,哲学知识是自足的,它不以别的什么目的而存在,纯粹是为了自身而存在,它是一门自由的学问,自由地思考、自由地发表意见,不受他种目的和利益所支配。总的来说,亚里士多德强调了哲学和科学之来源的非功利性,也说出了古希腊成为科学和哲学发祥地的道理:因为她提供闲暇,提供自由,因为希腊人有着强烈的求知欲,对智慧无比地崇尚。

希腊奴隶制保证了贵族和自由民优裕的生活及闲暇,但也正由于手工作业都由奴隶完成,希腊哲学家一般来说不重视亲自动手观察自然现象、亲手制造仪器工具。他们发展了高度发达的思

① 转引自吴国盛.科学的历程.长沙:湖南科学技术出版社,1995.103.

维技巧,提出了极富天才的自然哲学理论,在实验科学方面却严重不足。因此,古希腊科学是有缺陷的,这主要表现在它不重视对自然现象实际、细致入微的考察,它注重的是说明和理解自然,不是支配和征服自然,因而它本身未构成物质性的力量,这是与近代科学根本不同的。如果说东方人发展的科学知识和技术成就主要为的是实用目的和宗教的需要,那么只有希腊人才试图用科学技术给出自然界的理性理解,试图超越具体个别的现象进入一般的认识。

(二)古希腊自然哲学的主要流派

希腊人开启了西方哲学也开启了科学,因为哲学一开始主要关注的是自然界的问题,是自然哲学。从公元前 500 年左右开始,希腊人中出了一大批才智卓越的哲学家和科学家,他们是以后许多学科的鼻祖。在这些光辉灿烂的群星中,有最早期的自然哲学家泰勒斯、阿那克西曼德(Anaximande, 约 BC611~BC547)、阿那克西米尼、赫拉克利特(Heraclitus, 约 BC550~BC475)、巴门尼德(Parmenides, 公元前 5 世纪)、芝诺(Chnod, 约 BC490~BC430)、恩培多克勒(Empedokles, 约 BC495~BC435)、阿那克萨哥拉(Anaxagoras, 约 BC500~BC428)、留基伯(Leucippus, 约活动于公元前 5 世纪中期)、德谟克利特(Democritus, 约 BC460~BC370);有人文哲学家普罗泰哥拉、高尔吉亚、苏格拉底(Socrates, BC469~BC399);有体系哲学家柏拉图、亚里士多德;有天文学家欧多克斯(Eudoxus, BC409~BC356)、阿里斯塔克(Aristarchus, 约 BC310~BC230)、希帕克斯(Hipparchos, 约 BC190~BC120)、托勒密(Ptolemy, 约 AD90~AD168);有数学家欧几里德(Eukleides, 活跃于公元前 4 世纪)、阿波罗尼乌斯(Apollonius, 约 BC262~BC190)、希罗(Hero, BC2~BC1 世纪或 AD1 世纪)、刁番都(Diophantus, BC300?~BC250?);有物理学家阿基米德(Archimedes, 约 BC287~BC212);有医学家希波克

那底 (Hippokrates, BC460 ~ BC377)、盖伦 (Galens, AD129 ~ AD199); 有地理学家埃拉托色尼 (Eratosthenes, 约 BC273 ~ BC192); 有生物学家塞奥弗拉斯特 (Theophrastus, BC372 ~ BC287)。这些天才人物不仅在某一个领域作出了他们的开创性工作, 而且在许多领域均有建树。如亚里士多德, 几乎在每一个知识领域都发表了他卓越的见解, 是一位不折不扣的百科全书式人物。希腊科学在每一领域、每一问题上几乎都留下了思考, 是近代科学的真正先驱。

古希腊人最先从哲学的角度明确地思考了以下两个问题: 万物的本原是什么? 事物运动变化的原因是什么? 这也是人类意识产生以来, 理性最早摆脱神的困扰, 试图独立解决自己所面临的一个根本的谜。由此, 不同程度、不同方式的思考与探索, 使得古希腊自然哲学形成了不同的流派。

1. 古希腊最早出现的哲学派别——米利都学派

这个派别主张世界万物都是由一种原初的物质变化而来的。泰勒斯创立了这一学派, 他认为水是万物的始基。古巴比伦虽有过类似的神话, 但泰勒斯至少在三个方面是高于前人的: 第一, 假定宇宙是自然的, 用普通知识和理性可以探讨和解释, 从而把超自然的鬼神逐出了宇宙论; 第二, 形成了一个变化循环的观念, 认为水、土、空气经过动植物本身, 复归于空气、土、水, 提供了一个能激发人们观察与思考问题的模式; 第三, 用这个假说(命题)解释其他自然现象, 认为地球像一个扁平圆盘在海水中飘动, 回答了大地靠什么支持这个古老的问题。

米利都学派的第二个学者是阿那克西曼德, 他认为大地形状像一个圆柱, 人是由鱼衍生出来的。万物都出于一种简单的始基, 但不是水, 而是一种混沌状态的具体物质“阿培隆”, 即“无限”, 其内部蕴藏着对立倾向, 能产生一切事物。

米利都学派三杰中的最后一个是阿那克西米尼, 他说万物的始基是气。灵魂是气, 火是稀薄化的气, 气凝聚时变成水, 再凝聚

就变为土,最后变为石头,由此即把万物间一切区别解释成量的变化。他还认为大地的形状像一个圆桌,而且气包围着万物,仿佛世界也是呼吸着似的。

稍后的赫拉克利特仍然遵循着米利都学派的思路,他说世界万物的始基是“火”,因为“火”的性质最活泼并且变化无定。他最有影响的论断是“一切皆流,万物常新”,即万物永远处于运动变化之中。

2. 毕达哥拉斯主义

一种单纯的物质如何能演化出如此丰富多彩的世界万物呢?这当然是个难以回答的问题,于是有人提出了另外一些想法。继米利都学派之后,在意大利的克罗顿出现了一个带有神秘色彩的新学派,创始人是毕达哥拉斯。他们不是从感觉对象出发解释自然界,而是从抽象的“数”出发构造宇宙模型。

这个学派从圆和球是完善图形的观念出发,首次倡导地球说,并认为日、月、行星也是球形的。从 10 是最完善的数出发,认为天上发光体必然也是 10 个,由于只看到 9 个,便臆造了一个看不见的“对地星”。该学派也认识到,如果假定地球是运动的,就可以更简单地解释天体的视运动。地球绕着空间中一个固定点转动,这个点是宇宙的祭坛,中央有火。正如在琴弦的张力相同时弦长之间成比例才能发出和谐悦耳的声音一样,各个行星与地球间的距离也应符合比例关系,从而奏出和谐的“天体音乐”。他们已经知道用正三角形和正方形可以构成四种正多面体,并用来代表火、土、气、水“四大元素”,后来又发现了正十二面体,就代表宇宙气体,即“以太”。

在毕达哥拉斯学派看来,作为万物本原的应当不是任何一种具体的物,但它又为万物所具有、可以准确认识,这种东西就是“数”。数不仅是万物的本原,而且决定着万物的性质和状态,万物的运动变化也都服从数。虽然毕达哥拉斯学派颠倒了物和数(物的属性)的关系,但他们重视数的思想,把世界上的一切都看做是

可以用数来表述的秩序的观念,在科学史上有着极为重要的影响。

3.“四根说”、“种子说”

把某一种物或者抽象的数看做是万物的本原并不都能使人们信服。于是恩培多克勒提出了“四根说”。他认为世界万物都是由水、火、土、气这四种基本物质所构成,犹如画家用几种颜色就能描绘出绚丽多彩的图画那样。在一定意义上,“四根说”也就是早期的元素说。

大约与恩培多克勒同时,阿那克萨哥拉提出了“种子说”。他认为构成万物的是无限小的、种类又无限多的“种子”。一些物由同类种子构成,另一些物则由多种类种子所构成,种子的结合与分离就是万物的变化。实物有生有灭,种子则是永恒的。

4.原子论思想

“原子论”可以说是古希腊自然哲学的最大成就之一。这个派别的创始人是留基伯,主要阐述者是德谟克利特和伊壁鸠鲁(Epikouros, BC341~BC270)。这个派别认为世界万物都是由“原子”组成的,原子是肉眼所不能看见的物质微粒。原子自身是密实的,不可分割的,它在种类上和数量上都是无限的。永恒的运动是原子的本性,自然界中一切变化的实质就是原子的聚散和原子的运动。德谟克利特认为原子的运动遵循着某种必然性,后来伊壁鸠鲁又补充说还存在着偶然性。在原子论者看来,整个世界由原子和虚空所构成。所谓虚空就是不存在任何原子的绝对的空,那是原子的运动场所。从这样一种世界图景出发,原子论派的学者们在解释自然现象上作过许多努力,有过许多猜测。

5.亚里士多德主义

把经验资料作为科学研究的真正目的,这种认识起源于亚里士多德学说,结果形成了对于自然界的彻底经验主义态度。寻找一般规律特别是关于运动的一般规律,探索规律的起因的种种努力,以及把观察到的物质多样性归结为由有限量的基本物质组成的复合物的思想,都源发于亚里士多德这里。没有任何一个希腊

哲学流派像亚里士多德学派这样长期有力地影响了科学的实践,即使在中世纪实际上也没有限制住它对欧洲思想的影响。对天文学和物理学的影响一直到 17 世纪仍可感觉出来,而对化学的影响则延续到 18 世纪。

亚里士多德的哲学博大精深,自成一统。他不同意柏拉图的“理念说”,认为事物的本质寓于事物自身,是内在的,不是超越的。为了把握世界的真理,必须重视感性经验。亚里士多德重视经验考察,特别在生物学领域取得了卓越的成就。他的哲学目的在于找出事物的本性和原因,因而发展了一套“物理学”,以究事物之道理。

作为雅典时期最后一位哲学家和古希腊最博学的人物,亚里士多德对许多领域进行过系统的探讨,提出许多权威性的思想。他所处的时代决定了他承前启后的研究方向,他最后一个提出了完整的世界体系,又率先着眼于具体问题的研究,在他的著作中哲学和自然科学已开始分化。在关于世界本原的问题上,他提出两种“实体”说,即第一性的实在(具体的感觉对象)和第二性的实在(共相或理念)。由此在一般与个别的关系问题上陷入混乱,把一般与个别作为两种并列的实体。为论证实体说,他还进一步提出关于物质之所以存在的“四因说”,即质料因、形式因、动力因、目的因,却又将形式因和目的因放在最重要的决定性地位。在讨论世界的物质组成时,他把天上世界与地上世界作了严格区分,认为地上世界由热、冷、干、湿四种性质结合而成火、土、气、水四元素,其运动是直线运动;而天上世界则由另一种神圣纯洁的“以太”组成,是不朽和永恒的,其运动是完美的匀速圆周运动。地上物体都有其天然的处所,而所有的物体都有回到其天然处所的趋势,这一趋势即所谓的天然运动。土和水是重的,其天然处所在下,因此它们有向下的天然运动;气和火是轻的,其天然处所在上,因此它们有向上的天然运动。重性越多,下落速度越快。除了天然运动外,还有受迫运动,受迫运动是推动者加于被推动者的,推动者一旦停止

推动,运动就会立刻停止。在自然界中也有等级之分,重的东西不如轻的东西高贵,天尊地卑,推动者比被推动者高贵,灵魂比身体高贵。此外,亚里士多德在科学史上最大的贡献是创立了古典形式逻辑,探讨了思维规律,提供了科学研究的方法。

二 古希腊的科学技术

古希腊人面向自然界,注重于对基本规律的探索,并崇尚理论思维,促使其自然科学最早走向理论化、系统化。希腊科学的历史延续了近 10 个世纪,从爱奥尼亚的思想火种、雅典的哲学睿智到亚历山大城的科学精英,浓缩着古希腊自然科学的历史沿革与成就。

(一)天文学

与世界上其他地区一样,古希腊人也需要制订自己的历法,也有自己的占星术,为此他们也观测天象。不过,注重数理的希腊人在天文学方面的兴趣更多地集中在宇宙模型的构思上。

除了了解和学习埃及、巴比伦人的天文学知识,希腊人在天文学方面有自己独特的创见,他们是以更清醒的态度来看待迷人的宇宙,并以更大的理论热情来探索天体运行规律。据说泰勒斯能够预言日食,还发现了北极星,腓尼基人是根据他的发现在海上航行的。阿那克萨哥拉设想月亮上有山,月光是日光的反射,用月影盖着地球的设想解释日食,用地影盖着月亮的设想来解释月食。毕达哥拉斯学派关于天体和整个宇宙都是球形、均匀地按圆周运动的设想一直主宰着天文学,甚至还主宰了哥白尼的思想,只是开普勒(Keppler, 1571~1630)才把它推翻。这些早先的大胆设想给天文学的数学和几何模型提供了一个基础。由此,柏拉图创办的学校里的学生欧多克斯依据对天体的观察,建立了一个同心球宇

宙几何模型,第一次把几何学同天文学结合起来。他的宇宙模型是以地球为中心的,日月和五大行星及恒星分别附在一些透明的同心球壳层上围绕地球匀速旋转,行星的运动由四个大小不等的同心球的复合运动所致,而整个宇宙中的同心球共有 27 个,继承其工作的亚里士多德更把同心球数量增加到 55 个。这个模型能够解释日食和月食,但对日月视运动的变化不能作很好解释,而且繁琐得令一般人不敢问津。当然,它用数学和几何学方法描述天体运动的思路是正确的,开创了希腊数理天文学的基本模式。

希腊化时期的天文学家希帕克斯抛弃了这一同心球壳模型,提出了以地球为中心的“本轮—均轮”说。他认为天体沿本轮作匀速圆周运动,这些本轮的中心又沿着各自的更大的均轮以地球为中心作匀速圆周运动。为了解释日、月、行星运动的变化,他规定日月在本轮上的运动方向与本轮本身沿均轮运动的方向相反而速度相同,行星在本轮上的运动方向则与其本轮本身在均轮上的运动方向相同而速度不同。

阿利斯塔克是当时唯一提出地球绕太阳运动的人,被后人誉为古代的哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543),对哥白尼创立日心说有直接影响,但当时没有被人们所接受。

(二)数学

古希腊的数学成就与毕达哥拉斯学派的数理思想直接相关,他们的主要兴趣集中在几何学方面。毕达哥拉斯学派没有留下任何数学著作,据传他们已经证明了几何学中关于平行线、三角形、圆、球和多面体的许多定理,包括勾股定理在内。

希腊人对几何学比较重视,可能与无理数的发现(即所谓“第一次数学危机”)有一定关系。毕达哥拉斯学派在研究等腰直角三角形时发现斜边是每一直角边的 $\sqrt{2}$ 倍,它不能用该学派所认识到的任何数(有理数)表示出来,这样就产生了严重的矛盾。后来他们从可以用几何方法(一固定线段)表示这一数看到了几何的优越

性,从而促使人们将注意力转移到几何学方面。

希腊人在几何学方面的成就是惊人的。他们把埃及人、巴比伦人的经验及智慧提炼并升华为一种新的体系,有了这一体系,后人便不再必须通过经验而只须通过书本和逻辑就能够掌握几何学了。

在雅典时期,智者学派(也称巧辩学派或诡辩学派)中对数学感兴趣的人们提出了有名的三个几何作图难题,即要求只运用直尺和圆规两种工具来解决:化圆为方;二倍立方;三等分任意角。虽然这三个难题后来被证明是不能解决的,但在试图解决这三个难题的过程中,希匹阿斯(生于 BC460 年)发明了割圆曲线;安提丰(BC5 世纪)提出了把圆看成无穷多边的正多边形的思想;布莱生(BC5 世纪)则以圆外接正多边形的方法来思考。当欧多克斯把他们的工作进一步推进之后,已经预示着微积分思想的萌芽了。此外,欧多克斯的学生美尼克谟(约 BC375~BC325)在解决这三个难题时发现了圆锥曲线:抛物线、椭圆和双曲线。这些曲线后来成了伽利略(Galileo, 1564~1642)、开普勒、牛顿(Newton, 1642~1727)等人一系列伟大发现的工具。

数学在希腊化时期达到了最高水平,产生了一批较为系统的理论成果。首先,由欧几里德将演绎推理应用于数学,以公理为基础,将初等几何学知识构成一个严密完整的体系,其名著《几何原本》是古代数学知识系统化的重要标志。其次,阿波罗尼乌斯对圆锥曲线作了详尽的研究,使后人在这一领域几乎无插足之地,他的著作《圆锥曲线论》是古希腊最杰出的著作之一。他证明三种圆锥曲线(抛物线、椭圆、双曲线)可以由同一个圆锥体的不同剖面得到。而阿基米德在数学上的成就被认为是古希腊数学的顶峰。他着重研究了一些形状比较复杂的面积和体积的计算方法,如发现球体的体积和表面积均是其外切圆柱体的体积和表面积的 $\frac{2}{3}$,

① 王鸿生.世界科学技术史.北京:中国人民大学出版社,1996.52~53.

后人在他的墓碑上刻上了这个题的图形,以纪念他的卓越贡献;他计算了螺旋线($\rho = \alpha\theta$)所围面积;他还运用穷竭法(增加圆内接与外切正多边形边数的方法)求得圆周率 π 值大于 $3\frac{10}{71}$ 、小于 $3\frac{10}{70}$;他首次系统处理了高阶等差数列,创造了一套记大数的方法等等。在研究方法上,阿基米德比前人高明之处在于把抽象的理论与解决实际问题相结合、把计算技巧与严格的逻辑证明相结合,从而对数学的发展有深远影响。

(三)生物学和医学

希腊人对生物学贡献最大的要数亚里士多德。亚里士多德所采用的解剖和观察方法,在生物学史上是首创的,而且他的许多研究结论都有一定科学价值。他对动物进行过认真的观察和解剖工作,按照动物的外部形态和胚胎的差异,对 540 种动物进行了初步的等级分类,并指出等级间有连续性,植物趋向于动物,动物趋向于人类。他还发现了类似“生长相关律”的现象:没有一个动物同时具有长牙和角,反刍动物有几个胃,但牙齿不锋利。他还观察了小鸡胚胎的发育,提出了生命起源的“自然发生说”。

有人类生活的地方就有医学,希腊文明作为一种高度发达的文明,不仅有医(医生和医药),而且有成系统的医学体系。

毕达哥拉斯学派的阿尔克芒(Alcmaen, BC6~BC5 世纪)被称为希腊的医学之父,他在了解古埃及人知识的基础上解剖过人体。他这样做是为了研究人的生理构造,埃及人却是为了制作木乃伊。在解剖中,阿尔克芒发现了视觉神经以及联系耳朵和口腔的欧氏管(咽鼓管),还认识到大脑是感觉和思维的器官;他的工作实际上为西方解剖生理学的传统开了先河。阿尔克芒主张医学的研究应当重视哲理,认为人体的健康就是体内各种物质的和谐,人体是一个小宇宙,是大宇宙的缩影,这一说法曾长期影响着西方医学界。

古希腊最著名的医生是希波克拉底,以他的名义流传下来的著作《希波克拉底文集》,共有 70 篇文章。希波克拉底最大贡献是将医学从原始巫术中拯救出来,以理性的态度对待疾病、治病,注意从临床实践出发总结规律;由此他也创立了自己的理论,这就是体液理论。希波克拉底认为,人身上有四种体液,即血液、黄胆汁、黑胆汁和粘液,这四种体液的流动维系着人的生命,它们相互协调,人便健康,不协调则产生疾病。这种体液理论一直在西方医学中流传,就像中医的阴阳五行说一样,成了西医学的理论基础。

此外,希波克拉底不仅以医术高超著称,而且以医德高尚为人称道。在他周围,形成了一个医学学派和医生团体。著名的希波克拉底誓词,强调医生的道德责任,是医德教育的经典,后世许多医生都是比照此誓词宣誓。

(四)物理学

亚里士多德是古希腊第一个最认真研究物理现象的人,他所著的《物理学》也是世界上最早的物理学专著。他着重研究了有关力学即机械运动的问题,对后世影响较大的有两个重要观点:一是认为物体在不受外力作用时将保持自然状态(静止、重者下落或轻者上升);一是认为重物比轻物下落快。这两个观点在物理学上一度被奉为经典,但后来都被伽利略通过实验而推翻。

在物理学上取得最大成就的是古代科学巨匠阿基米德,后人称他为“静力学之父”。在理论方面,他的主要贡献是通过观察和数学推理证明了浮力定律和杠杆原理,还解决了许多形状复杂的物体求重心的问题。从研究方法上看,他是古代世界第一位也是最伟大的重视实验和推理的物理学家。

古希腊人对光现象也有所研究。随着对光线的几何研究,精通几何学的欧几里德以几何学的方法研究光学现象,从而开创了“几何光学”。

(五)工程技术

建筑是一项综合性技术,很能反映一个社会的总体技术水平,任何一个古老的文明都可以通过其建筑反映出来。古希腊的建筑具有一定的艺术风格,渗透了不少几何学知识,为后来欧洲建筑所沿袭。从公元前 2000 年克里特文化时期的米诺斯王宫,到公元前 1400 年迈锡尼文化时期的卫城,可以依稀看出希腊建筑的宏伟气象。古典时代最重要的建筑多出在雅典,雅典城南面的巴台农神庙(雅典娜处女庙)是雅典建筑最杰出的典范,其基座长 68 米,宽 30 米,基座上耸立着 56 根 10 多米高的柱子,高大华丽的列柱是希腊建筑别具一格的反映。希腊人喜用柱廊,经长期发展形成了多利亚、爱奥尼亚和科林斯三种风格,到了雅典时期,多利亚式和爱奥尼亚式最为流行。多利亚式建筑庄严朴实,其石柱不设柱基,柱身上细下粗,并刻有凹槽;爱奥尼亚式建筑明快活泼,其石柱下有基座,上有盖盘,柱身细长,凹槽密集。

到亚历山大时期,时尚鼓励科学与技术结盟,除了建筑工程,在水路和陆路运输工程、军事工程等方面也都有很多建树,尤其在机械制造方面,更是有不少杰作问世。

例如,古代科学巨匠阿基米德在亚历山大城求学期间,曾发明了一种螺旋提水器,现今仍被称作阿基米德螺旋,而且到 20 世纪,埃及还有人使用这种器械。据说他还制作了一个利用水力作动力的天象仪,它可以模拟天体的运动,演示日食和月食现象。

更具传奇色彩的是,在阿基米德晚年,也就是公元前 3 世纪末叶,罗马军队从海路和陆路同时进攻叙拉古。阿基米德运用杠杆原理造出了一批投石机,有效地阻止了罗马人的攻城;而阿基米德发明的大吊车更将罗马军舰直接从水里提了起来,使海军根本接近不了叙拉古城。还有一次,阿基米德召集全城所有的妇女老幼手持镜子排成一个扇面形,将阳光汇聚到罗马军舰上,将敌人的舰只全部烧毁。这些新式武器使罗马军队十分害怕,叙拉古城久攻

未克,攻城的罗马军队统帅也苦笑着承认这是一场罗马舰队与阿基米德一人的战争。

此外,早期的工程师克特西布斯(活跃于 BC285~BC222 年间),对技术发明有浓厚的兴趣,并且开创了亚历山大时期的工程传统。据历史记载,克特西布斯曾利用平衡原理为他当理发师的父亲设计了一个可以自由升降的镜子。他发明了压力泵可以压缩空气;利用压缩空气作为动力,他制造了一种弹弓和风琴。克特西布斯最为著名的工作是改进了埃及的水钟,让水滴入一个圆筒中,圆筒内有一浮标,浮标上的指针可以在筒壁上指示时间。

亚历山大的工程传统在希罗那里达到了高峰,他大约是公元 1 世纪的人,有不少科学著作通过阿拉伯文而传世。在他的《机械术》中记载了许多机械发明,包括杠杆、滑轮、轮子、斜面、尖劈等机械工具的组合使用,这些都是杠杆原理的实际运用。在他的《气体论》中,他指明空气也是一种物质,水不能进入充满了空气的容器,他还认识到空气是可以压缩的。在利用空气动力方面,希罗制造了一个很著名的装置即蒸汽机,这是一个带有两段弯管的空心球体,当球中的水被烧沸之后,蒸汽通过弯管向外喷,产生一个反冲力使球体转动。由于时代的局限性,这个装置只是一个玩具,并没有真正用于生产上。

三 古罗马的科学技术

罗马人的祖先大约与希腊人的祖先同时进入地中海地区,正当希腊古典文化处于繁荣之时,罗马人在意大利北部建立了自己共和制的国家。

(一)古罗马帝国的建立与自然哲学的衰落

罗马帝国的前史同一系列的对外战争联系在一起。公元前

390 年,高卢人越过阿尔卑斯山劫掠了爱达鲁斯坦人的城市和罗马,罗马人在屈辱地用重金赎回城市之后,便重整旗鼓,大约在公元前 265 年,首先征服了整个意大利半岛,接着开始向地中海其他地区扩张。

当时同罗马人对立的是希腊人和北非的迦太基人。希腊人用步兵方阵征服了波斯帝国,罗马人却在总结了以往作战经验的基础上,于公元前 312 年完成了一场军事技术的改革:建立了以小分队组成的军团。这种战斗队形比方阵机动灵活,能够适应较复杂的地形作战。罗马人首先打败了迦太基,随后运用军事力量 and 老练的外交手段,征服了四分五裂的希腊世界,到公元前 30 年,罗马共和国走完了 200 多年腥风血雨的征战历程,建立了横跨欧亚非三洲的环地中海大帝国——罗马帝国。

作为军事奇才和政治行家的罗马人,在科学(自然哲学)方面实在是令人不敢恭维。他们的面前摆着希腊古典时代和希腊化时期留下的丰富的科学遗产,但他们却几乎没有在此基础上增添新的贡献,甚至将遗产逐步丢弃。

罗马人总的国民性格是重技术轻科学,重政治轻艺术,重实际轻思想,重国家轻个人。在罗马帝国兴起的过程中,紧张而频繁的内外政治事务和军事斗争使他们忙于应付和解决实际问题,而很少把精力放在抽象的理论和学术方面。罗马人侧重于政治、法律和军事问题的钻研,帝国初期的公共工程建设和管理同样必须全力以赴。因此,古罗马人在有关军事工程和城市建设等方面的技术上有些发明创造,而对纯粹科学则贡献很少,使得代表希腊人自由探索精神的哲学和科学渐趋衰落,以致罗马帝国初期的杰出学者西塞罗(BC106~BC43)也不得不说,希腊人在纯粹数学上遥遥领先,而我们只能做点计算和测量工作。有学者在评论阿基米德被罗马士兵杀害一事时说过一句更意味深长的话:“从没有一个罗

马人是因为全神贯注于对数学图形的冥想而丧生的。”

意大利半岛上的罗马人虽然不像希腊人那样去研究科学和纯粹的理论,但他们也尊重希腊人的学术成就。在这个包括古埃及、两河流域大部 and 希腊世界的环地中海大国里,希腊时代已经培育出来的灿烂科学花朵没有完全枯萎,它在帝国的土地上散发着余香,并从这里吸收新的养料而存活,直到把勉强成熟了的种子洒落下来,最后深埋在中世纪欧洲社会的深层土壤里。

(二) 希腊科学的余辉:托勒密学说和盖伦学说

罗马人在自然哲学或理论科学方面的工作基本上是复述希腊人的知识成就。如果说他们也有自己的科学的话,那么维特鲁维(Vitruvius, 活跃于公元前1世纪)就是最杰出的代表人物。这位凯撒大帝的军事工程师是罗马人,他受过相当好的希腊教育,但作为罗马人,他热衷的是将希腊知识运用到实际中去。他最为有名的著作是10卷本的《论建筑》,这部一直广为流传的著作被称为建筑学上的百科全书,维特鲁维也因此被称为西方建筑学之鼻祖。虽然维特鲁维研究了不少天文学和数学问题,但在这方面他表现出罗马人的不足之处,其理论修养还不足以达到希腊人的水平,比如他算出的圆周率远不如早他200年的阿基米德算得准确。

自然哲学家卢克莱修(Lucretius, BC99~BC55)是罗马人中对希腊文化继承得比较好的学者,他以其长诗《物性论》闻名后世。该书是古代原子论唯一流传下来的文献,因而具有重要的历史意义。

罗马时期另一位重要的科学人物是博物学家普林尼(23~79),著有37卷的《自然史》。这部巨著是对古代自然科学知识百科全书式的总结,内容涉及天文、地理、动物、植物、医学等科目。普林尼以古代世界近500位作者的2000多本著作为基础,分

① 转引自吴国盛.科学的历程.长沙:湖南科学技术出版社,1995.168.

34 707个条目汇编自然知识。他在复述前人的观点时忠实而缺乏批判性,各种观点不论正确与否一概得到反映,特别是谈到动物和人类时,许多神话鬼怪故事夹杂其中,像美人鱼、独角兽等传说中的动物也被当做真实的东西与其他生物并列。《自然史》对第二手材料的忠实,为后人研究古代人的自然知识提供了珍贵的依据。

然而,在整个罗马时期最出色、称得上古代科学余辉的科学家应该是天文学家托勒密和医学家盖伦。

托勒密沿着欧多克斯、希帕克斯等人的道路,集古希腊天文学的大成,把地心说发展到了最高峰。在托勒密体系中,地球位于宇宙的中心静止不动,地球之外有 11 层天,依次是月亮天、水星天、金星天、太阳天、火星天、木星天、土星天、恒星天、晶莹天、最高天、净火天。太阳和月亮直接绕地球运转;最高天即原动天,全部球层受原动天推动,自东向西绕地球作周日旋转;除恒星之外,恒星以内的七重天又都有各自的与周日旋转相反的运动,周期从月亮的一月、太阳的一年……到土星的 30 年。地球坐落在宇宙的中心,一切重物都被吸到地球上,日、月、星辰如果不是被固定在各自的天球上,也会趋向宇宙的中心。

托勒密设想,行星仍在本轮上匀速运行,本轮中心在均轮上运行则是不等速的,但对于偏心圆周内某一点仍保持角速度相等,这一点不是均轮的中心,而是另一个叫做“等距偏心点”。这个点位于圆心的另一侧,与偏心点对称。为了回答水星和金星附日而行、受太阳控制的问题,托勒密假定水星、金星本轮的中心总是处在地球—太阳的连线上。

托勒密在亚历山大城完成了系统总结希腊天文学优秀成果的名著《天文学大成》,这部 13 卷的著作被阿拉伯人推为“伟大之至”,结果书名就成了《至大论》。其中,第 1、2 卷描述了地心体系的基本构造,并用一系列观测事实论证这个模型;第 3 卷讨论太阳的运动以及与之相关的周年长度的计算;第 4 卷讨论月球的运动;第 5 卷计算月地、日地距离;第 6 卷讨论日食和月食的计算方法;

第 7、8 卷讨论恒星和岁差现象;第 9~13 卷,分别讨论了五大行星的运动,本轮和均轮的组合主要在这里得到了运用。

托勒密的体系(地心说)由于较好地容纳了望远镜发明之前的天文观测,所以一直被作为最好的天文学体系,统治了西方天文学界 1 000 多年。

出生于小亚细亚帕尔加蒙(今土耳其的贝加莫)的盖伦,他在医学中的地位就像托勒密在天文学中的地位一样,曾经统治西方医学 1 000 多年。作为希腊医学的集大成者,盖伦的主要贡献是系统总结了希腊医学自阿尔克芒、希波克拉底以来的成就,创立了自成体系的医学理论。他的理论基于自己大量的解剖实践和临床实践,对人体结构和器官的功能有比较正确的描述和说明。他的人体生理模型(“三灵气说”)是这样的:人自食物中所摄取的营养至肝脏内变成静脉血,静脉血带着支配生长的“自然灵气”经心脏右侧流向全身又沿原路返回;流经心脏的静脉血的一部分穿过心脏隔膜上的微细孔道进入心脏左侧,从那里流经肺与空气接触并带上支配运动的“生命灵气”转变成为动脉血,循动脉流向全身也沿原路返回;流经大脑的动脉血中的生命灵气又在那里变成“动物灵气”,动物灵气通过神经系统支配全身的思想活动。虽然这个模型没有血液循环的概念并且带有许多臆测成分,但它终究是企图全面阐明人体生理的早期尝试。由于盖伦的学说包括了医学理论与实践的各个领域,很长时间以来一直被人们遵从,由此也奠定了西方医学的基础。

(三)古罗马的技术成就

在实用技术和公益事业上,罗马人有非常杰出的创造和伟大的业绩,这特别反映在农业、建筑工程等方面。

古罗马是一个以农业为主要生计的国家。帝国时期的农庄、果园和牧场规模增大,埃及地区的灌溉系统也得到了改善。带轮的铁犁,改进了的锄、耙、锹、镰和打谷工具以及二圃制和粪肥,标

志着这个奴隶制帝国的农业技术水平。

版图广大的罗马帝国为了巩固自己的统治,非常重视交通运输和通信事业的发展。罗马帝国时期四通八达的道路网总长达到8万公里,干线和分支延伸盘绕在以今意大利为中心的帝国身躯上。这些公路的设计有一定的标准,多数地段以石板铺地面,并在沿途竖有里程碑,遇河架桥、逢山凿洞,它们的残迹今天还依然可见,“条条道路通罗马”的成语正是当时的写照。

罗马人的引水工程尤其著名。从公元前4世纪起,罗马人为供应城市用水,逐步修筑了9条总长达90公里的水道工程。在帝国时期,水道工程扩展到其他区域,并且还用于灌溉。引水渠通过洼地的时候以石块砌成高架拱槽,在法国和叙利亚境内的引水渡槽有的高达50~60多米,还采用了虹吸技术。

罗马的公共建筑也不亚于希腊建筑,它们规模宏大、结构坚固,用的是大理石和罗马人自己发明的速凝混凝土。最著名的建筑物中有万神庙和圆形竞技场,万神庙是罗马皇帝哈德良于公元120至124年建造的,它的屋顶是圆的,直径达42米,前门由两排16根列柱支撑,带有希腊式神庙的建筑风格。罗马可里西姆大圆形竞技场建于公元72年至80年间,直径180米左右,四周是四层高高的看台,据说可容纳5万人观看奴隶角斗。除了神庙和竞技场外,罗马的公共建筑还有凯旋门、纪功柱、公共浴场等。

第四章 中世纪 西方的 科学技术

公元 476 年西罗马灭亡(东罗马直到 1453 年土耳其人攻占君士坦丁堡时才灭亡),属今意大利、法国、伊比利亚半岛、德国南部、荷兰、比利时等国的地盘由日耳曼人占领,他们建立了若干个王国。8 世纪末法兰克国王查理统一了西欧大部分地区,但公元 843 年又分裂为三个王国,由查理的三个儿子当国王。西边是法兰克王国,东边是东法兰克王国,中间叫“神圣罗马帝国”。国王把土地分封给有战功的将领,成为西欧中世纪的大贵族,贵族们再把土地分封给自己家臣,这种领地就是采邑(manor)。原来的奴隶转化为农奴(serf)。这种采邑经济制度完全是自给自足的自然经济。从生产关系来说,这种采邑经济比奴隶制更有利于生产的发展。这主要表现在三个方面:(1)农奴比起奴隶更自由一些,他们有自己的小块土地、生产工具、家畜、住宅,可以经营小的产业,他们比奴隶有更大的生产积极性。(2)奴隶制时代,由于奴隶大量存在,除了通过战俘、还可以通过买卖获得奴隶,奴隶主既不把奴隶当人看,又不关心可以减轻劳动的技术发明。采邑制下,农奴通过改进技术不但可以减轻劳动强度,还可节省出更多的时间,使自己兼营更多的副业,农奴们改进技术的积极性比以前提高了。在新形势下采邑领主不可能拥有随用随有的奴隶,也不可能占有奴隶的全

* “中世纪”一词为 15 世纪西方的人文主义者首先使用。它的最早拉丁文形式为: media tempestas, 意为希腊和现代之间的中间时代。1518 年演变成为 media etas; 1604 年又演变为 medium aevum, 英文中的 Middle ages 即由该词变化而来。中世纪一词通常指 476 年至文艺复兴这一历史时期,时间跨度为 10 个世纪。

部劳动时间,他们对技术改进的需要也比以前迫切了。所以两方面都增加了对技术改进的需要。(3)采邑制的生产规模比奴隶制小得多,采邑领主比奴隶主会更直接地了解生产上的事务,也有可能了解技术上的进步。比如挽具的使用使马耕代替了牛耕(中国使用挽具比欧洲早 800 年),用三圃制〔每年 1/3 土地休耕〕代替两圃制〔每年 1/2 耕地休耕〕,使用带轮子的铁头犁等都是农奴、采邑领主注意(或接受)技术改进的证据。

从社会形态上看,封建制取代奴隶制是一种社会进步,有利于科学技术发展,这是中世纪后期欧洲科技进步的原因之一。

一 欧洲中世纪前期科学的衰落及原因

欧洲科学的发展有一个明显的特点,就是大起大落:公元 476 年以前为希腊、罗马时期,科学技术发展处于世界高峰。但到了 476 年以后,随着西罗马的灭亡,科学技术也衰落下去,直到 12 世纪。12 世纪以后,欧洲科学又开始发展,并在此基础上形成近代科学。

贝尔纳(J.D.Bernal, 1901~1971)认为,“科学在所有基督教国家里进展迟缓,这主要不是由于教会本身,而是由于若干经济条件,它们如此长久地维持教会充当了蒙昧主义者的角色。在封建环境下,进步不可能再快一些。”这种观点值得商榷,因为封建制的经济条件一定会比奴隶制高,在封建时期起码科学应保持过去的水平,但事实情况是倒退。也有人把这种倒退看成是战争的结果,但战争并未毁灭一切城市文明,亚历山大城、安提阿城、君士坦丁堡都没有遭到破坏,而且还维持着有秩序的行政,这些是当时希腊科学繁荣的地方。就是战争毁了其他地方,尚存的这些地方的

① J.D.贝尔纳.历史上的科学.北京:科学出版社,1959.155.

文明也应会很快传播开去,所以,仅用战争使欧洲文明倒退的观点也说不通。对欧洲中世纪前期科学衰落的原因,应当进行综合分析,即综合考虑战争、政治、宗教等因素的共同影响。

(一)战争使古希腊文明大部分遭到破坏

查阅翦伯赞主编的《中外历史年表》一书可以发现,从公元476年开始到欧洲中世纪晚期,几乎年年都有战争,有的是内战,有的是国家间的战争。其中比较重要的有波斯和拜占庭帝国之间的战争;阿拉伯人和拜占庭之间的战争;查理曼同萨克森人之间的战争(804年结束);神圣罗马帝国的奥托一世(Otto I, 912~973)的三次意大利远征;十字军东征(1099~1291);英法之战(1109~1113,1224~1227年)等。连年的战争必然带来环境动荡,物质生产难以为继。

(二)日耳曼民族的入侵

公元4~5世纪,由于从东方来的匈奴人的逼迫,原来居住在中欧一带的日耳曼人大批南下,与罗马帝国境内起义的奴隶相呼应,于476年摧毁了西罗马帝国,在南欧、西欧建立了一批小国,开始向封建制过渡。日耳曼人入侵前处在氏族制刚解体阶段,远远落后于罗马的奴隶制;加上随后建立的一批小国很快进入自给自足的自然经济,政治上的分裂使文化交流受到阻碍。我们知道,古希腊文明是围绕地中海展开的,他们凭借地中海互相沟通,并传播各地的思想、文化与商品。罗马人统治时期,仍把地中海作为帝国的中心,各行省的活动仍集中于此,以致罗马人把地中海称为“我们的私海”。文化与商品的交流一旦受阻,城市也只能衰落下去。

帝国的解体使长途贩运的商业停止了,每一个采邑只好自己发展手工业生产;帝国的灭亡又使原有的奢侈品工业失去了市场,这方面的技术渐渐中断;帝国的灭亡也使大规模的引水工程、灌溉工程、道路系统成为多余的。这些与希腊时代相比都是倒退。

(三) 基督教的兴起

罗马帝国时期,罗马皇帝实行了一系列的军事暴政,造成广大奴隶生活困苦,阶级矛盾尖锐,代表没落奴隶主思想的斯多葛派、新柏拉图主义、怀疑论学派应运而生。他们悲观失望,只好求救于宗教。从公元2世纪起,炼金术和宗教势力抬头。

基督教最初出现在犹太人中,犹太人在公元前11世纪在现今的以色列和巴勒斯坦建立了以色列王国。它处于西亚到北非的狭长走廊地带,是历史上的兵家必争之地。亚述帝国、新巴比伦、波斯、马其顿、罗马都多次蹂躏过这个国家,致使这个地区的人民,尤其是下层人士、奴隶,不得不长期远离家园。他们生活很悲惨,需要精神上的安慰,基督教就是适应这一需要建立起来的。基督教摆脱了原先犹太教的犹太民族神宠论(认为犹太人是神的选民,特殊受到神宠),又保留了犹太教中为群众所倾心的一切,并创造出耶稣为了人类不再受难而牺牲自己的动人故事,这不仅具有情感的动员力,而且改变了许多宗教中都有的不断向神献出动物祭品和与之相关的繁琐的宗教仪式,减轻了信徒的精神和实践压力(比如他们无法拿出祭品时)。

基督教宣扬的灵魂不灭、可升入天堂的引诱作用也是相当大的,尤其是罗马统治下的平民、奴隶,他们受的压迫最严酷,对尘世中的未来他们不抱希望,也不畏惧日后被天火烧光的结局。这些人参加基督教的很多。到了2世纪,随着人数增加,就成立了与国家相平行的教会组织,政府多次迫害,都不能摧毁它。于是政府变镇压为利用,给以基督教合法地位,后来竟连皇帝君士坦丁自己也加入了该教。教会有了权力,能赏能罚,它就对不赞同基督教的其他哲学进行迫害。529年,信奉基督教的皇帝查士丁尼(Justinian, 483~565)又封闭了雅典学校,赶走了教授。以后的发展是知识要服从于信仰。当然科学之成为神学的婢女,并不全是认识论或意识形态上的原因,主要还由于科学自身还不够强大,还没有成

为足以和宗教势力相抗衡的社会力量。从科学产生过程中它和宗教之间的亲密关系以及从基督教势力的蓬勃发展看,科学依附于宗教是必然的一个阶段。

从本质上看,宗教和科学是对立的,宗教的活跃意味着科学退步。这是由四个方面的原因决定的:

(1)教会使用暴力来统治人们的思想。1220 年教皇洪诺留三世(Honorius III ? ~1227)下令设立宗教裁判所,并规定,只要有两人作证,控告即可成立,一切有利于被告的证词将不再起作用。证人若想收回证词,就视为同谋;被告不认罪,就反复用刑拷问;再不认罪就处以火刑;认罪后终身监禁。也可不经审判就将被告处死。这种高压政策对科学发展是不利的。

(2)宗教把圣经看作一切知识的集合,完全排斥了世俗文化。他们宣传说,只有基督教才代表真理。正如奥古斯丁(Saint Augustine, 354~430)说,从圣经以外获得的任何知识,如果它是有害的,理应加以排斥;如果它是有益的,那它是会包含在圣经里的。早期基督教神学家德奥图良(Tertullianus, 约 150~222)说得更直接,在有教会以后,我们不需要任何求知欲,不需要作任何研究。正因为如此,389 年基督教人捣毁了公元 2 世纪重建的亚历山大图书馆,392 年焚烧了存有大量图书的塞拉庇斯神庙;在教会宣布“数学是魔鬼的艺术”的同时,公元 415 年亚历山大最后一位数学家希帕亚(Hypatia, 约 370~415)被西里耳教长指使狂徒将他处以裂刑。

但圣经总不能包含一切知识,也无法扼杀人的好奇心。当人被经验事实所吸引后,奥古斯丁就告诫人们,在家里坐着的时候,与其将注意力被蜥蜴抓住苍蝇或者蜘蛛用网套住苍蝇这些小事吸引过去,不如不要忘记赞美无所不能地创造出万物的神。当这种告诫不起作用时,他们就动用宗教裁判所的力量:1327 年意大利的阿斯科里(Ascoli, ? ~1327)说地球是球形的,被宗教裁判所用火烧死;1611 年有一个主教说虹是水滴反光的结果,被开除教

籍,死于狱中,死后尸体还被砍碎。有人甚至因为说事物会变化,过去人们的生活同现在不同,也被割了舌头并烧死。15 世纪西班牙宗教裁判官托尔奎马达一人就判了 1 万多人火刑,平均每天要烧死一个异教徒。

在这种圣经就是一切的思想指导下,许多修道院把古代学者写在羊皮纸上的著作刮去,改抄圣经。到 7 世纪末,西班牙首府托利多的主教图书馆内,古希腊罗马的著作只剩下西塞罗一个人的作品了。他们的认识水平早已倒退到毕达哥拉斯以前的水平,如 535 年基督教徒科兹梅写了一本《基督教的宇宙形象图》(全名叫“以基督教徒所不容怀疑的圣经证据为基础的基督教的宇宙形象图”),其中提到,我们要跟先知者以赛亚同样地说,笼罩着宇宙的天具有圆穹的形状;我们要跟约翰同样地说,天和地是连成一片的;而跟摩西同样地说,地球长比宽大一些。这是典型的天圆地方说,是早期的宇宙理论。

就连最有用的医学也倒退到蛮荒时代的水平。6 世纪下半叶法国格列高利(Saint Gregory, 539~594)主教说,敬拜死去的圣徒能治百病,吃神龛上的一撮土能治胃病,舐圣徒墓前的栏杆能治喉痛,任何东西只要放在圣徒墓周围,就能得到神奇的能力,能治百病,驱百邪。难怪中世纪每年死于天花的就有 150 万人,人的平均寿命只有 25 岁。

992 年,在罗马举行宗教会议时,竟找不到识字的神职人员来作记录,这足证基督教统治下的文化荒漠化现象十分严重。

(3)把智力引导到无用的求证上。一方面经院哲学用抽象、繁琐的推理来论证神学教条,另一方面又引诱人们从概念到概念,沉溺于玄想空谈之中。如天使是否要睡觉?一个针尖上能站几个天使?都成了他们长篇论文的主题。对鼯鼠是否长眼睛的问题也可以引经据典,争论不休,就是不肯捉一个来看个究竟。

(4)把亚里士多德神化。1200~1225 年,亚里士多德(Aristotle, BC384~BC322)的著作被重新发现,书中深奥的哲理和丰富

的内容,给中世纪的欧洲展示了一个新的思想世界。若由此发展下去,也许会很快导致复兴运动的到来。但 1209 年,巴黎教会把亚里士多德的著作列为禁书。见禁止无效时,教会又改变了策略,1231 年教皇格列高利九世下令重新修订与评注亚氏的著作,加以歪曲,并使之与神学教义相一致。正如列宁(V. I. Lenin, 1870~1924)说:“僧侣主义扼杀了亚里士多德学说中活生生的东西,而使其其中僵死的东西万古不朽。”

把亚氏神化,则使他的错误思想得以广泛流传。如直到 1614 年,研究亚氏的著名学者凯克尔曼仍然把亚氏如下话当做经典:“重力起因于寒冷、密度和大小”;“水在水中或水面上没有重量,因为它在自己所在的地方”;“水在水泵里的上升是因为自然界厌恶真空……”当波义耳(R. Boyle, 1627~1691)发表他的跟亚氏观点相矛盾的流体力学的实验结果时,也不得不在“流体静力学佯谬”这一标题下提出。

伽利略(G. Galilei, 1564~1642)也曾讲过一个故事,能说明亚氏的错误思想阻碍了人们对新事物的接受:一个经院哲学家从亚氏书中读到“神经会合于心脏”,在解剖学实验室中他又看到,“神经会合于大脑”。他宁愿相信亚氏的话,也不相信事实。他说:“这件事情使你我看得非常清楚,如果不是因为亚里士多德的课本上讲的和这相反,我将不得不承认它是事实。”在事实和书本面前,究竟应该以什么作判据,这个十分明白的问题居然被完全颠倒过来了。

① 列宁 列宁全集(第 38 卷) .北京:人民出版社,1959 .415 .

② 陈昌曙 .自然科学的发展与认识论 .北京:人民出版社,1983 .54 .

二 中世纪西方科学思想与科学技术的发展

中世纪西方科学的发展基本上分为三个阶段,一是真正的黑暗时期;二是重新了解古希腊科学成就的阶段,在这一时期,阿拉伯人将古希腊人的著作译成阿拉伯文,然后这些著作又被欧洲人重新发现;三是 12 世纪以后,科技重新发展时期。发展的主要表现有:(1)对古代先哲错误思想的纠正,如维塔罗 1270 年提出,虹的形成不是像亚氏说的只是由于反射的结果,而是由于反射和折射共同形成的。(2)炼金术的兴起。在炼金术活动中人们学会了一些化学方法,现代化学就是由此兴起的。(3)一些新技术的出现和广泛应用。首先,通过阿拉伯人之手,东方国家大量的发明传入欧洲,其中包括中国的指南针(12 世纪传入欧洲)、火药(12~13 世纪传入欧洲)、造纸术(12~13 世纪传入欧洲)。外国技术的输入促进了欧洲技术的发展。其次,由于欧洲种植业的增加,贵族对土地的需求不断增加,使中古时代大部分岁月缺少劳动力,这就需要采用技术发明,即用机械代替人,用畜力、风力、水力代替人力。第三,一些进取的地主、牧师发现,仅依靠压榨农奴积累财富总是有限的,他们就寻找其他办法更快致富,如靠磨坊、纺织厂、矿山、外贸等。这也刺激了技术进步。

三 几个问题的说明

(一)对基督教的评价问题

这是一个很复杂的问题。上文在回答中世纪的科学何以一下子跌入低谷时已经涉及到评价问题,在那里主要谈了它对科学发

展不利的一面。这里再说几点其他方面的评价。

1. 教会的存在导致西欧中世纪政治力量多元化

在欧洲,教会是一个政治实体,他拥有法庭、监狱、军队,完全可以与世俗权力抗衡,这使得西欧中世纪社会有多种矛盾并存。其中有国王和教皇的矛盾和互相利用。当教皇受到意大利世俗贵族威胁的时候常向国王求援,国王为能受到教皇加冕也拉拢教皇。但双方更多的是矛盾。这种矛盾严重的时候,教皇可以开除皇帝或国王的教籍,皇帝和国王可以自己任命主教而不受罗马教廷的管辖,16 世纪 60 年代,英国就脱离罗马教廷自立以国王为首的国教。基督教内部的矛盾也存在。1054 年罗马教皇和君士坦丁堡大主教互相开除对方教籍,分裂为互不相容的两个部分,罗马教廷自称公教(公共的、普遍的,我国译为天主教),东部自称正教(正统的意思)。另外,还有企图加强王权的国王和坚持割据地方的大贵族之间的矛盾。这种政治力量的多元化在以后为新的生产关系和代表它的新的社会力量——资产阶级提供了有利的成长条件。近代科学和资产阶级是同时出现的,从这个意义上可以说政治多元化有利于近代科学产生。从公元 10 世纪起,西欧城市兴起,商人力量逐渐发展壮大,各派政治力量为了加强各自在斗争中的地位而纷纷争取商人和资产阶级。有的国家的皇帝为了对付教皇,竟容忍新兴城市在自己的腹心之地获得自治;法国国王为了加强王权削弱地方割据势力而去联合资产阶级,使法国在西欧最早建立了中央集权的封建专制国家。同时,这也为资本主义发展扫清了障碍,等法国国王意识到资产阶级日益壮大对自己是个威胁时已经晚了,资产阶级联合劳动群众推翻了国王的统治,使法国革命成为历史上仅有的一次最彻底的资产阶级民主革命。

2. 知识的保存、延续作用

在整个中古时代里,至少到 13 世纪初,教会通过祭司和僧侣几乎享有求学甚至识字的垄断,直到今天,英文中的 clerk 一词还兼有牧师和书记两个词义,它的古代涵义则是“识字的人”。教会

面对着蛮族的入侵,利用蛮族首领以及他们的家属对神奇事物的轻信和喜爱,把他们争取到基督教方面来,这就大大减少了他们对古代文化的破坏。可以说教会是古代文化对抗蛮族冲击的唯一保护人。

古文化中有些东西还能保存下来也多亏爱尔兰和诺森伯利亚(Northumbria)地方的早期传道会。是他们的僧人,像比德(Bede, 673~735)、伊烈基都(Erigena, 约800~约877)保存了古典时代的文化和哲学。

3. 为了论证教义,宗教也要借助逻辑的力量

比如他们论证说:天堂是美好的,那里不可能有带刺的东西;天堂里有一切,那里不可能没有玫瑰花;所以天堂里的玫瑰花没有刺。这里运用的就是典型的三段论。又如在上帝的创造力、推动力是否无限的争论中,他们认为,上帝的创造力是无限的,可以创造一切,包括创造重物;上帝的推动力量是无限的,可以推动一切,包括推动重物;但这两种信仰间是有矛盾的:上帝既然能创造一切,它能否创造一块连它自己也推不动的石头呢?如果回答不能,那上帝的创造力就不是无限的;如果回答能,则上帝的推力又不是无限的,这也与他们的信仰不相符合。这就是二难推理,究竟该如何看,经院哲学家们争论不休,这种争论就推动了逻辑的发展。而逻辑是科学发展所必需的。因此,贝尔纳认为:“今天还把古典文明在经济或文化上的崩溃归罪于基督教,是错误的。”

(二)对中世纪的评价问题

恩格斯(F. Engels, 1820~1895)在《自然辩证法》一书中提到中世纪时曾用了“中世纪的黑夜”和“基督教的中世纪什么也没

① J.D. 贝尔纳. 历史上的科学. 北京: 科学出版社, 1959. 151.

② 恩格斯. 自然辩证法. 北京: 人民出版社, 1984. 27.

有流传下来”等说法,在《德国农民战争》一文中又说:“中世纪是从粗野的原始状态发展而来的。它把古代文明、古代哲学、政治和法律一扫而光,以便一切都从头做起。它从没落了的古代世界承受下来的唯一事物就是基督教和一些残破不全而且失掉文明的城市。其结果正如一切原始发展阶段中的情形一样,僧侣们获得了知识教育的垄断地位,因而教育本身也渗透了神学的性质。”由此,人们把中世纪称为“黑暗的中世纪”。对中世纪是否是黑暗的?有不同看法,有人说,“黑暗的中世纪仍有月光”;有人说“中世纪并非一片黑暗”。究竟该如何看中世纪?先不作结论,看几件事例。

1.伟大的实验科学的预言家——罗吉尔·培根(R.Bacon,约1214~1294)

原为牛津大学教授。他首先拿起了批判的武器,并将批判矛头指向阿奎那的体系。他称这个体系是摇摇欲坠的,因为它缺少数学和自然科学基础。他称这是一个无根据的权威,是认识真理的巨大障碍。他反对盲从,对于前人的说法,无论它的推论如何有力,都不能盲目。他指出无知有四大来源:对权威的尊崇,习惯势力,无知群众的感觉,我们性格中的骄傲自负。只要克服了这些,一个有力量的世界就会向人们敞开。他呼吁:“不要再受教条和权威的统治了,看看这个世界吧!”如何才能不盲从呢?他说,做到不盲从的最好办法是进行实验,他称实验科学是科学之王。他说:“假若预先不知道磁铁吸引铁,在念咒语和密谋之前先作一个实验,那么他们决不会把现象描述为自然的吸引了。”还指出,真正的知识是通过实验得到的,“有两种认识的方法:一种是通过论证,一种是通过实验。”论证可以总结一个问题,但它不能使我们感到放心或承认其为真理,除非通过实验而表明其确为真理。”他大声呼

① 恩格斯.自然辩证法.北京:人民出版社,1984.8.

② 恩格斯.德国农民战争.马克思恩格斯全集(第7卷).北京:人民出版社,1962.400.

吁：“靠实验来弄懂自然科学、医药、炼金术和天上地下的一切事物。”科学实验上的进展将导致最重大的技术发明。”这里我们看到的是既不同于古希腊的科学，又不同于中世纪科学的新的实验科学的预言家的形象。

培根自己还身体力行，进行了不少实验，比如他著有光学方面的论文，进行过许多实验；发现了火药的成分；找到了获取磷、镁的方法；研究过蒸汽的作用；又是暗室的发明者；他研究过球面镜的作用，从球面镜的反射光线不汇聚在一点而发现了球象差；他用光线在雨滴中的折射现象来解释虹，他建议视力弱的人配戴凸透镜。他预言了真正的实验科学必将到来。他说：“我们可以造一些不要桨手的航行工具，河船和海船，使它们在一个人的操作下可以比许多人推它走要快得多。也可以造出以不平常的速度行进的、不要马的大马车，也可以造出这样的飞行装置，人坐在装置中，借助于某些机器，它可推动像鸟翼一样的设备；也可以这样制造出一些透明体，它使遥远的物体看起来好像变近了，或者相反，即在令人难以置信的距离上能看清很小的字母和区分极小的东西，也同样能像我们所希望的那样看到星星。”由于这一段的误译，人们认为他发明了折射望远镜。他曾想到设计这种仪器的可能性，但他并不曾着手制造它。

罗吉尔·培根的言论引起了教会的惊恐，他们说罗吉尔·培根把魔鬼释放出来了，以“妖言惑众”的罪名两次被关进裁判所（第一次 10 年，第二次 1278 年入狱，又住了 14 年），共囚禁 20 多年，当他第二次出狱时已是 74 岁了，2 年后去世。他的三本书《大著作》、《小著作》、《第三部著作》是他第一次在狱中时（1267 年前后）写成的，共用 18 个月。

① 罗吉尔·培根·大著作·西方哲学原著选读（上卷）·北京：商务印书馆，1981·285～287·

② 王玉仓·科学技术史·北京：中国人民大学出版社，1993·298·

2. 大学的出现

这是中世纪对人类文明的杰出贡献之一。一些著名大学的成立时间为:1150 年,巴黎大学;1158 年,波伦亚大学;1167 年,牛津大学;1209 年,剑桥大学;1222 年,帕杜亚大学;1224 年,那不勒斯大学;1348 年,布拉格大学;1365 年,维也纳大学;1386 年,海德堡大学;1388 年,科隆大学;1392 年,爱尔福特大学;1409 年,莱比锡大学。

中世纪大学在课程设置上,除哲学、神学外,还有算术、几何、音乐、天文、医学及其应用。这后面的课程尽管不是主要的,但它们充当着科学连续发展的桥梁作用,正是保留了这些课程,才为后代的研究者进一步地从事科学研究奠定了基础。在大学里,有科学发展所必需的科学研究者之间的相互交流和批评,从而在一个较小的范围内形成一个适宜于科学发展的氛围。总之,大学的出现使中世纪的科学思想有了发育成长之地,并使这些思想的传播成为可能。近代意义上的大学和科学教育体制也正是建立在中世纪大学的基础上的。

3. 冲力理论的问世

公元 6 世纪时,菲罗本(J. Philoponus, 生卒不详)首先向亚里士多德的抛射体理论发起了攻击。亚氏认为,被抛出的物体离开抛物者的手后仍能继续向前运动,是因为自然界厌恶真空。抛射体从一个位置运动到另一个位置时,原来的位置就空了出来,周围的空气就过来补充(自然界厌恶真空),正是这些空气推动了抛射体继续运动。菲罗本反对这种看法。他认为,抛出一物体时,同时有一个内在的推动力被压入物体,物体后来的运动靠的就是这种被压入的内在推动力,但这种推动力是短暂的,它会自行消失。

14 世纪,巴黎的让·布里丹(J. Buridan, 1300~1358)、威廉·奥卡姆(W. Ockham, 约 1300~1350)、奥雷斯姆(N. Oresme, 1325~1382)进一步发展了菲罗本的观点。布里丹明确提出了“冲力”概念,并用它分析了抛射体运动、落体运动和天体运动。布里

丹以陀螺的转动为例,说它运动时并没有排开空气,因此亚氏说的空气填补真空才使物体持续运动的说法没有根据。抛射体为什么会继续运动呢?布里丹说,这是由于起始运动给予物体一个冲力。由于空气阻力和物体重力的影响,冲力最终被克服,以这种方式开始的运动不可能在有限的时间之外得到保持,这不是因为运动本身消耗尽了冲力,而是因为重力和空气阻力消耗尽了冲力。

布里丹的学生阿尔伯特(Albert of Saxony, 生卒不详)还进一步把抛射运动分为三个阶段:开始阶段冲力占主导地位,重力影响未显现,运动在抛射方向上成直线运动;中间阶段,重力影响开始显现,运动在原来的轨道上下滑,形成一个类似圆形的轨迹;最后阶段,冲力已竭,只有重力使其垂直下落,直至地面。这里对抛射体运动轨迹的描述和现代的认识是一致的,可以说是为伽利略的抛射体运动研究奠定了基础。

在布里丹的冲力理论中,由于保留了圆周运动的概念,自然可以推广到天体。他认为天体运动也是由于冲力作用的结果,不同的是天体不会遇到阻力和反方向的重力,因而不会耗尽冲力,天体会一直运动下去。这实际上已包括有对惯性定律的朴素描述。

布里丹还用冲力理论解释了自由落体何以会作加速运动。他说,这是由于下落物体的重力产生出速度的增量和冲力的增量。由于这种增量是连续积累起来的,所以下落运动是连续加速的。他明确意识到下落物体的运动是匀加速运动,为以后伽利略进行运动的分类准备了基础。

冲力学派的另一个代表人物奥雷斯姆从冲力理论出发还提出了地球自转的想法,这是因为地球也受到冲力,这种冲力使它自转。而且,奥雷斯姆是把几何学引进力学研究的第一个人,从而为变量研究找到了一种数学方法,这对以后伽利略、牛顿(I. Newton, 1642~1727)、笛卡儿(R. Descartes, 1596~1650)都有广泛影响。比如伽利略就在《关于两门新科学的对话》中,把这种论证方法作为第三天对话的第一个命题。

冲力学派的第三个代表人物威廉·奥卡姆还提出了著名的“剃刀”理论,这是针对繁琐的经院哲学的。经院哲学为了使他们的理论能说明问题,就不断地给事物加上越来越多的条款,以至生出许多繁琐又无聊的臆造。奥卡姆指出,用较少的即可做到的,用较多的反而无益;不要增加超过需要的实体。这把剃刀是反对经院哲学的有效方法,也是现代人反对不必要假设的先声。后来自然科学有一条准则:“减少不必要的假设,使理论表述简要清晰”,应该说其根源正是奥卡姆的剃刀原理。

4.中世纪基督教自然观所具有的作用

希腊的自然观是泛自然主义的,人类是自然的一部分,和自然界是同质的,人可以从自然界内部对自然界直观地加以理解。但中世纪基督教的自然观是,上帝、人类、自然三者具有截然不同的层次秩序,自然和人类都是上帝创造的,但人类已经不是自然的一部分,自然只是人的“外在之物”,是上帝为了人类创造的东西,人已高出自然,超出自然变成支配自然的主人。这样由于人和自然的对立,人已无法从内部对自然进行直观的理解,人只有根据经验或用实验的方法从外界对自然界加以掌握。既然自然是上帝为人类创造的,人类也就有了支配利用自然的想法。这种实践的自然观才使近代的实验科学和技术成为可能,所以是中世纪基督教的自然观大大改变了古希腊的自然观,也为近代科学铺平了道路。

(三)中世纪科技史研究的历史

长期以来,科学史工作者每当谈起中世纪,常把它描绘成漆黑一团,且常常把近代科学的光环套在笛卡儿、伽利略等 17 世纪的“天才们”的头上。这是文艺复兴以来的一种偏见,因为 16~18 世纪西欧完全沉浸在启蒙思想中。所谓启蒙,就是从最简单的知识开始。这种叫法已经暗含着一个前提,即中世纪是一片空白,什么也没有留下,那时的人什么也不知道。到了 19 世纪出现了一股反启蒙思潮,使人们对中世纪试图重新认识。格里姆兄弟首先对中

世纪德国文学和抒情诗进行了研究;接着,人们又开始了对中世纪历史和中世纪哲学的研究。在这股思潮影响下,查尔斯·瑟特发表了《关于阿基米德原理历史的研究》(1868~1869),乔维恩·维尔特研究了希腊以来的静力学的历史,发表《从亚里士多德到亚历山大里亚的关于静力做功的原理》(1897年)一文,把中世纪的科学成就第一次展现出来。

20世纪初,对中世纪研究最有成绩者当属法国的杜恒(P. M. M. Duhem, 1861~1916)。1905~1906年他出版《静力学的起源》,发现近代力学的传统和中世纪静力学研究有着直接的联系。他在该书序言中说:“近代值得夸耀的力学和物理学科学的成就中,我们几乎没有觉察到它的改良和进展,实际上,这一系列的连续过程,在中世纪学派的内部进行说教过程中,早已流露出来。”

1906~1913年,杜恒又出版《列奥纳多·达芬奇研究》,提出列奥纳多·达芬奇并不具有人们所设想的天才独创性,他只不过是14世纪经院自然学者理论的一个继承者。

1913~1916年,杜恒又完成《宇宙体系》一书,研究了从柏拉图到哥白尼的宇宙论的历史,展现了中世纪科学传统的全貌。该书在他死后由联合国教科文组织资助出版。

1927年哈斯金斯出版《中世纪科学史研究》;从1923年起,至1958年,林恩·桑代克完成《魔术和实验科学的历史》,对从普林尼(Pliny, 23~79)到17世纪的科学史进行了研究。

这是有关中世纪研究的第一阶段。研究特点为:过分追求经院哲学理论科学的内容,而过分忽视自然哲学的背景;孤立地抽出科学理论,并急于和近代科学的成果相对照;只注重了中世纪和近代科学的联系,忽视了非连续的一面。

从1949年起,安娜利泽·梅尔陆续出版五卷本的《后期经院

① 转引自丁福让.欧洲中世纪是黑暗的吗.1984年全国科学社会史学术会议论文.5.

自然哲学研究》，比较注意克服第一阶段研究的问题，加强了对中世纪自然哲学的背景研究，分析了中世纪和近代不连续的一面。但仍有一个缺点，他对作为第一手资料的手抄本内容的引用都是不完整的，是片断，别人只能生吞活剥这些权威的论点。现在对中世纪的研究已进入第三阶段，普林斯顿高级研究所的克拉杰特教授，准备把中世纪的手抄本全文的原文及译文都公开刊行，供一般研究工作者使用。同时他撰写了《中世纪的力学》一书，并于 1959 年出版。该书主要对手抄本的内容加以分析、评价、批判。

目前对中世纪的认识是：中世纪决不全是黑暗时代；它并不像人们以往常常认为的那样，整个中世纪都是处在思想闭塞的环境中，只是进行语言繁琐的辩论，对近代科学的形成只起了阻止的反动的作用。在西欧的近代科学得以发展的背后，有过一个漫长的基督教世界的长期思想进展。特别是在 12 世纪，通过阿拉伯传入希腊科学新知识以来，出现了活跃的自然研究新动向，这些新动向和 1277 年以后的亚里士多德批判相结合，在 14 世纪达到顶点。像关于几何学的表述、动量概念、惯性原理、落体法则、地动说等一般认为在 16～17 世纪第一次提出的近代科学的方法和各种原理，似乎都在中世纪以萌芽的状态出现了。近代科学不是在 17 世纪突然产生的，近代科学的奠基人如达芬奇（L. da Vinci, 1452～1519）、伽利略、笛卡儿、牛顿都曾以某种方式接触过中世纪留下的遗产。在谈到这个问题时，科学史家萨顿（G. Sarton, 1884～1956）曾在《科学史导论》一书中说：“中世纪不是黑暗的，说中世纪黑暗，实际是我们有关中世纪的知识太贫乏了。”

① 转引自丁福让《欧洲中世纪是黑暗的吗》，1984 年全国科学社会史学术会议论文 9。

第五章 古代阿拉伯的科学技术

古代阿拉伯半岛是一个发展极不平衡的地区,半岛西南部的也门地区较为发达,在公元前 13 世纪即已形成奴隶制国家。公元 5 世纪,这些奴隶制小国相继衰落,而内陆的居民这时还处在原始公社阶段末期。公元 6 世纪,阿拉伯社会矛盾激化,各氏族、部落之间连年混战,奴隶和平民不满于氏族贵族的统治,加上东罗马帝国、埃塞俄比亚、伊朗的先后入侵,阿拉伯半岛要求统一各部落,以抵御外族入侵、保护商路的呼声日高。穆罕默德(Muhammad, 约 570~632)就是在这种要求日益强烈的情况下来到人世的。他所面临的使命是清楚的,困难在于用什么力量统一阿拉伯半岛,他想到的是宗教。但当时阿拉伯半岛处在基督教势力的威胁之下,无论是波斯的国教拜火教,或阿拉伯各部落的地方神都无力和基督教相抗衡,这就需要创立一种新的、易于为大众所接受的宗教。在公元 3 世纪摩尼(Mani, 216~?)传道所留影响的基础上,穆罕默德于 610 年创立伊斯兰教。这是一神教,真主为阿拉(Allah)。提倡人相互间应有兄弟般的爱,宣传天堂是现实的,从而获得了阿拉伯人的广泛拥护,并于 622 年在麦地那建立了一个神权国家。他接着又进行了统一阿拉伯半岛的工作,到 632 年去世时,基本上完成了这一使命。他的后继者继续向外扩张,636 年向北击溃拜占庭军队,占领了大马士革,638 年进入耶路撒冷;640 年攻占叙利亚、巴勒斯坦等地;642 年东进伊朗;同年西进占领埃及,直入开罗、亚历山大。至 661 年建立倭马亚王朝,又继续向外扩张,750 年建立阿拔斯王朝,这时其领土已东南至印度河,东北与唐朝时的中国接壤,西至伊比利亚半岛,包括罗马在非洲和亚洲的领土,还

有整个波斯帝国都落入王朝的统治。一个横跨欧、亚、非的大帝国最后形成。

一 阿拉伯帝国发展科学技术的有利因素

阿拉伯民族的繁荣是突然奇迹式产生的,她的北部是已从古希腊科学发展的高峰上跌落下来、正处在黑暗之中的东罗马帝国,这使她的奇迹的闪光在欧洲和世界更加灿烂夺目,可以说只有中国才有资格和她比辉。阿拉伯民族的繁荣,科学技术的辉煌成就的取得,有深刻的内在背景,这主要表现在如下几个方面。

(一)辽阔的疆域

阿拉伯帝国的疆土横跨欧亚非三大洲,帝国内有一条在哥伦布发现新大陆前一直十分兴旺的世界贸易商路。这里商业活跃,海外贸易可遍及欧、亚、非三洲,因商业、贸易给古希腊带来繁荣的那些条件一下子全部转移到了阿拉伯人的控制之下。航海给古希腊科学技术带来的促进因素也转而为阿拉伯帝国拥有。这个幅员辽阔的帝国充分利用这些条件,尽力享用世界各地创造的精神财富、科学技术成就和物质文明。如果说古希腊得利于各民族知识之流的汇合,那么阿拉伯帝国也同样使世界各地的知识之流汇集其内。

另一方面,辽阔的帝国疆土内遍布着古文明的发源地和科学技术曾高度繁荣过的地方,如两河流域、埃及、希腊、意大利。尤其4世纪以后,罗马帝国开始排斥异教,其中包括景教徒和上帝一性论者(相信基督的凡人性 and 神圣性是统一的)。他们从罗马帝国逃到了波斯,由于他们具有医药和天文知识,受到波斯帝国的优待,为他们研究科学创造条件。他们在那里建造了一座著名的天文台,从事天文观测,并着手将希腊哲学著作译成叙利亚文,这就是

后来阿拉伯人翻译希腊著作的范本之一。这种宗教上的迫害使波斯成了保存希腊、罗马文化的新的集中地,而波斯后来又成了阿拉伯帝国的领土,所以也为以后阿拉伯人翻译希腊著作准备了条件。古埃及、巴比伦、古希腊的文明,波斯帝国的文化,以及保存这些文明的城市都给阿拉伯帝国带来了取之不尽的精神和物质宝藏,他们不仅可直接享用这里的文明,还可直接看到代表这些文明的学者的著作。阿拉伯帝国的国民也有一种以古代文明国民的继承者自居的强烈感情。这是阿拉伯帝国得天独厚的地方,是阿拉伯文明得以迅速产生的思想和物质基础。

(二)不甘心落后的民族意识

阿拉伯民族在崛起的初期,由于刚从原始社会进入奴隶社会,一时没有发现古代文明的价值,也曾干过破坏文化典籍的蠢事,但阿拉伯人很快就意识到这是错误的,因为他们在比较中发现了自己的落后。不甘心落后的民族意识,使他们努力吸收和消化比他们先进的科学、技术及文化。当时的一句穆斯林“圣训”说:“学问虽远在中国,亦当求之。”这充分体现了这种虚心学习精神。许多阿拉伯人不辞长途跋涉劳苦去国外学习,中国史料上的记载和唐朝永泰公主墓中的壁画都反映出这一时期有大批阿拉伯人曾来中国求学。对因求学而献身的人,阿拉伯人也给他们极高的荣誉,把他们与“圣战”中死难的人同样看待。他们不仅派人出去学习,还采取请进来的办法学习外国的先进科学技术。如公元988年那底姆(Ibn-Nadim)的一本著作中曾提到,有一位中国医生曾和当时巴格达医院的院长、著名医药学家阿尔拉兹(Al-Rhazes,约854~925)一起共同研究医术达一年之久,这个中国医生还把阿拉伯文的盖伦著作译成中文。其他如印度的天文学家也有在阿拉伯工作过的历史记载。

阿拉伯人向外国学习的热情是不分时间、地点和场合的。不管在哪里,不管是谁,只要发现你有一技之长,就要决心学到手。

公元 751 年,阿拉伯人曾与唐朝将领高仙芝在今哈萨克斯坦境内的江布尔城激战,许多中国士兵被俘。当阿拉伯人发现这些战俘中有一些人会造纸、织丝的时候,就把他们请到巴格达,让他们传授造纸、丝织技术。阿拉伯人的造纸技术、提花纺织技术就是这样发展起来的。尤其是造纸,它结束了阿拉伯人使用羊皮纸的时代,极大地推动了阿拉伯帝国内科学技术知识的传播。其他如阿拉伯天文学曾受过巴比伦占星术的影响;印度数字在阿拉伯世界里取代了繁杂的罗马数字;炼丹术受到中国的影响,并在许多物质的名称前都冠以“中国”二字(如把硝称为“中国雪”);医学中明显带有希腊、印度、中国、波斯传统的印记,等等,这都充分说明阿拉伯民族虚心好学的态度。

(三)统治者、有产者的大力支持

首要的是国王哈里发对科学的支持,如倭马亚王朝第二个哈里发的儿子就曾下令翻译希腊人的著作。到了阿拔斯王朝更是如此,814 年继位的马孟王(al-Mamun, 786~833)于 830 年在巴格达首建“智慧院”,下设图书馆、天文台、翻译局。他派人到处收集希腊著作,还专门派使节到希腊文献保存得较多的拜占庭帝国去收集。当他征服希腊王米契尔三世时,提出的议和条件之一就是要希腊交出大量藏书,其中包括托勒密的《至大论》。在马孟王支持科学研究的政策鼓舞下,国内的学者积极进行科学研究,花拉子模(al-Khwarizmi, 约 800~850)的《代数学》一书就是在这种政策感召下才完成的,正如花拉子模在该书的开头所指出的,是马孟王对科学的爱好和对学者的恩惠,才使他有斗胆完成这部著作。马孟王还请当时最有名的天文学家到新建的天文台进行研究,并派人到美索不达米亚大平原实测子午线的弧长,用这一测量结果确定的地球周长为 44 000 千米,只比实际数字稍大一点。

不仅马孟王如此,在整个阿拔斯王朝内,国王曼苏(al-Man-sur, 709 或 714~775)、拉西德(Haroun-al-Raschid)、穆塔瓦吉

(al-Mutawahki)都大力提倡科学;在阿尔多巴的倭马亚几代回教王(928~1031 年执政),以及在西班牙和摩洛哥继他们而起的一些回部小酋长,都对科学大力提倡。即使在回教文化的衰败期,有雄心的君王,如萨拉丁(Saladin),也都以鼓励科学而自豪。还有富商、达官和其他阶层的人也都给科学以资助,如巴米赛(Barmecide)一家(约 750~803 年)和强盗出身的夏凯尔(M. Shakir)的儿子们资助搜集和翻译从拜占庭和塞浦路斯弄来的手抄本,他们三兄弟还对数学和力学作出了贡献,并以穆萨(Musa)的集体名字为人所知。这种现象同后来欧洲近代科学产生时的情况极为相似,那时欧洲的许多国王也深感科学对他们有用,他们常常给科学以大力支持。如航海术开始于葡萄牙王子亨利(Henry);英国女王奖给吉尔伯特(W. Gilbert, 1544~1603)年金,使他有闲暇从事科学研究;英国哈维(W. Harvey, 1578~1657)与查理一世(Charles I, 1600~1649)的关系也很密切,国王把温索尔鹿苑和汉普顿宫的产品交给他实验用,并同他一起观察过小鸡在卵中的发育及小鸡的心脏跳动。同样,在 16 世纪的英国,数学和实用科学也受到商人的提倡和支持,富有的衣帽商人亨利·毕林斯莱首次把欧几里德几何学翻译成英文;以托马斯·史密斯为首的伦敦商人 1588 年还举办过数学讲座,麦塞斯公司的老板托马斯·格雷山姆(T. Graham)献出了自己的房地产,以建立持久的教育机构;1660 年皇家学会成立时,商界人士作出过重大贡献,其中秘书之一的亨利·奥尔登柏格就是商人。

与欧洲一些国家和中国的情况一样,国王和商人对科学研究的支持和资助,极大地促进了阿拉伯帝国科学的发展。但阿拉伯帝国的特殊社会条件又造成科研对这种支持的过分依赖,这又最终成为科学衰落的一个根源,因为时日一长,科学就完全和群众分离,科学的目的也发生了转向,一旦城市和商业衰败,一旦王朝衰弱或更换,科学内部就没有力量独立发展下去。

(四) 渴求知识的传统

一般人认为,阿拉伯科学文化的兴起是由于富裕商贾和社会发展的实际需要。例如,人们记账和储蓄需要数学,国际间贸易往来需要标准的度量衡器;旅行航海需要航海设备——天文导航;信徒朝圣需要标有准确祈祷时间的神历,并需要知道伊斯兰各地朝向麦加的方向。无疑,这些因素对阿拉伯科学的兴起有某个方面的促进作用,但它们不是根本的,它们只是促进科学发展的因素,不是决定科学是否会兴起的根本原因。根本原因来自阿拉伯的传统,即渴求知识的根深蒂固的传统。这种传统又植根于伊斯兰教的信仰:真主是不可知的,要了解真主,就必须研究他的象征——自然界。这样,认识自然就成了认识真主的先决条件,求知就成了坚守信念和教规的最好体现,从这个意义上可以说,是伊斯兰教的信仰使阿拉伯人如饥似渴地追求知识的。也由于这个原因,使认识论在伊斯兰哲学中占有重要地位,研究伊斯兰哲学时,对获得知识的方式、知识的来源是必然要研究的内容。所以是伊斯兰哲学为自然科学的研究提供了方法,并把科学研究的方法摆在一个相当突出的地位上。这一点又和欧洲近代自然科学的产生极为相似,在那里由于实验方法的确立,打破了工匠传统和学者传统之间的障碍,培根(F. Bacon, 1561~1626)的归纳法、伽利略(G. Galilei, 1564~1642)、笛卡儿(R. P. Descartes, 1596~1650)的数学演绎法又使近代科学所需要的方法进一步完善。完全有理由说,科学方法的确立是近代科学发展的必要条件。这种科学方法对科学理论产生的决定关系再一次在阿拉伯科学的崛起中得到了验证。

(五) 强有力的统一国家政权

8~9 世纪,在统一的阿拉伯帝国内建立起来的强有力的封建国家政权,实行的是中央集权,为巩固这种统治,他们开驿道,设驿

站,加强中央与各省的联系。国家政权的高度集中统一,为阿拉伯农业的发展提供了强大的保障,在国家政权的干预下,农业区修建了纵横交错的灌溉工程、供水设施、运河和防沙墙,水库、抽水机、风车也普遍使用起来,在巴格达还出现了可同时带动 100 个碾磨的水车^①。农业的发展带来了阿拉伯经济的普遍繁荣,一方面为科学的发展提供了强大的经济基础,同时也使手工业进一步发展起来。在兴都库什山出现了 1 万工人开采的银矿,纺织、制陶、造纸、金属加工等手工业作坊纷纷在城市建立和发展起来,在全国形成了像巴格达、马士拉、大马士革、库法、开罗这样的人口众多的工商业中心,并最终导致手工业从农业中分离出来,这种分离为科学研究提供了强大的社会需要和源泉。

从以上分析可知,阿拉伯民族当时所具有的这些有利于科学发展的条件,在当时世界上任何一个地方、任何一个民族那里都是不完全具备的。阿拉伯的科学技术的突起并不是偶然的,它有深刻的内在根据,是各种独具条件共同作用的结果。

二 阿拉伯帝国科学技术的发展

(一)两个前后相关的时期

阿拉伯科学技术的发展可以分为两个前后相关的时期。第一个时期为翻译、引进和介绍时期。这项工作最早开始于受迫害的异教徒,其中包括景教徒、一性论者和其他教派。他们逃到波斯,被安插在永狄沙白的王宫附近,着手将希腊哲学著作译成叙利亚语。830 年马孟王设立智慧院后,在伊本·伊斯哈格(Ibn Ishaq)的主持下,开始了对希腊著作有计划的翻译工作。叙利亚人、犹太

^① [日]大沼正则.科学的历史 北京:求实出版社,1983.46.

人、希腊人、波斯人都参加了进来。他们将盖伦、希波克拉底、亚里士多德和托勒密的大多数著作翻译成阿拉伯文。后来他的事业为他的 90 多个门人继续下去。大约经过 100 年的努力,能够搜集到的希腊科学和哲学著作差不多都搜集到了,大多都译成了阿拉伯文,其中包括欧几里德的《几何原本》,第奥斯科里德(Dioscorides, 活跃于公元 50~70 年)的《药物学》。翻译时所采用的样本除直接来自希腊原文的抄本外,还常常根据叙利亚文、巴拉维文、梵文的译本。另一方面,他们还翻译了许多波斯和印度的书籍。

阿拉伯语是记载古兰经的语言,它具有的高度灵活性,使翻译者能选用和制造出正确的科学词汇,以恰当表达古希腊学者的用词本意,同时也使古希腊学者的诗篇性语言变成为世界性的科学和文化的语言。从这个意义上可以说,阿拉伯人的工作应直接属于近代自然科学的一部分,而不只是作了准备。

第二个时期为吸收和创造时期。在对待古典文化的态度上,阿拉伯人并不是不加分析地顶礼膜拜,而是进行理智地怀疑。这是指他们从来不把自己局限在古典文化的内容上,他们把古代科学同阿拉伯的生产和技术发展结合起来,从中提出一些课题,并给予新的内容。这就促成了经典世界的解体,并赋予古典文化以经验的内容。这种做法不但使阿拉伯科学技术的发展具有强大的动力,也为经验主义铺平了道路。由于近代科学的产生要经历一次传统上的变革,即从思辨传统过渡到经验和实验传统,有充分理由认为,这次传统上的过渡是从阿拉伯人那里开始的,阿拉伯文化就是一种中间过渡文化,从这个意义上也可以说,近代自然科学的产生是从阿拉伯人那里开始的。

阿拉伯人认为,一切知识都是科学,这样每一个科学领域都成了他们研究的对象,阿拉伯科学的无所不包的特征就是由此而来。他们把科学分为两大类,一类源于古兰经,内容包括神学、法学、玄学、语言学,学习目的是为了正确理解和诵读古兰经,故可称之为天启科学;一类是指经过推理、思考和观察提炼出来的知识,包括

数学(他们把算术、几何、光学、天文、占星术、音乐、重量科学、机械设计等统统划归在数学之内)和物理学(他们是指自然科学、医学、化学、冶炼术、矿物学、植物学、动物学等),可统称为理论或智力科学。

(二)阿拉伯人的重要发现

由于阿拉伯帝国所具有的优越条件,由于阿拉伯文化的传统,使阿拉伯人对科学技术做出了非常重要的发现,有时候可说是天才的发现。这集中表现在如下几个科学领域内。

1. 数学

阿拉伯数学的发展既受到过商业和贸易需要的刺激,也受到分割土地、诉讼、测量土地和开凿运河的促进,这使数学的发展具有强大的动力。公元 820 年左右,花拉子模著《代数学》一书,首创了“代数”一词,提出了解二次方程的一般方法。他承认二次方程有两个根,而且可以是无理根。这比希腊的丢番图(Diophantus)只承认一个正根是前进了。他引入的移项和对消方法也是印度人所不知道的,可见他的著作绝对不是抄袭希腊和印度人的成果,而是自己的独创。此外,花拉子模还引进了正切函数;另一个学者巴塔尼(Al-Battānī, 约 858~929)引进了余切函数,造出了 1° 至 90° 之间相隔 1° 的余切表;外发(Al-Wāṣiṭī)又引入了正割和余割函数,得出了一些重要的三角学公式,到了阿尔·丁(Al-Dīn),在《论四边形》一书中基本上将三角学发展成一门独立的学科。第三个贡献是阿尔-卡西(Al-Kāshī, ?~1429)发明了分数并准确地计算了 π 值。他得出的 π 值($=3.141\,592\,653\,589\,793\,25$)准确到小数后第 16 位,打破祖冲之(429~500)保持了近 1 000 年的世界纪录,100 多年后才为欧洲人所超过。

2. 天文学

阿拉伯人将古文明国民对天文的观察坚持了下来,并从未使

之中断,这是相当了不起的功劳,为现代天文学提供了许多极有价值的内容。如尤努斯(Ibn Yunus)对日、月食的观测资料就对现代天文学研究的月球的加速运动很有参考价值。所以贝尔纳(J. D. Bernal, 1901~1971)才认为:“假使曾让天文学中断,那么,文艺复兴时代的天文学家就不会现成享有留给他们的大约 900 年的观察资料,而现代科学所依据的那些有关键性的发现,或许要迟许久才作出,或竟始终作不出。”在这种精细的持之以恒的天文观察中,阿拉伯人取得了许多杰出的成就,其中主要有两方面:(1)修正了古代学者的某些数据。如巴塔尼将希帕克(Hipparchus, ? ~ BC127 年)得出的 $36'$ 的岁差值更正为 $54.5''$,到 13 世纪,马腊格天文台又实测出岁差值为 $51''$,与现代的 $50.2''$ 的实测数据比较,是相当精确的了。他还以比托勒密(C. Ptolemy, 100~170)更高的精度求出了黄、赤道交角为 $23^{\circ}35'$,与今日的 $23^{\circ}27'$ 的测定值也相当接近。(2)修正了托勒密体系。巴塔尼在观测中已发现,太阳的偏心率在不断变化,这实际上是发现了地球运行轨道是一个变化的椭圆。还有一些阿拉伯天文学家也在观测中发现,按托勒密地心理论计算出的行星运行表与实际观测数据不符,这样,到比巴塔尼稍后的比鲁尼(al-Biruni, 973~1051)时,他就大胆地否定了托勒密的地心理论,提出了地球绕太阳旋转的思想。在他看来,托勒密证明地球不动并处于宇宙中心的论据和理由也可以用来证明地球绕日的运动。到 1080 年,天文学家查尔卡利(al-Zarghali)又对托勒密体系作了一个大胆的改正,即把水星的均轮改成了椭圆形,并取消了水星的本轮。若把这两项更动综合在一起,就是 17 世纪初开普勒(J. Kepler, 1571~1630)理论要解决的问题。

3. 物理学

阿拉伯人对物理学的主要贡献是光学和力学。阿拉伯的沙漠

① 贝尔纳.历史上的科学.北京:科学出版社,1959.165.

和热带气候使眼病盛行,从而引起人们对眼构造的研究,由此发展了屈光学。阿尔-哈增(al-Haytham, 965~1040)研究了平凸透镜的放大作用和球面像差问题;在折射问题上,他认为折线在较密媒质中更靠近入射点的垂线,入射线、折射线与法线共处一个平面内;还认为折射角与入射角不成比例,这是对折射定律的完整表述,比托勒密的折射观点完善得多。他还论述了眼球的构造和视觉生理学,认为眼由四种薄膜三种液体组成,视觉是在晶状体中得到的,两个眼睛给出物体的同一形象,再由共同的视神经结合为一个。这样就使他强烈反对欧几里德和托勒密的流出说(眼能看见东西是因为它发出光线去观察它们)。他的所有这些研究成果都收集在他的《光学集锦》一书中。

另一位学者哈兹尼(al-Khazini)利用带有等臂秤杆和5个秤盘的天平,测量了许多物质的比重,且都与物质的真实比重值十分接近。他从阿基米德(Archimedes, BC287~BC212)的浮体定律出发,认为物体在液体中要减轻重量这一条同样适用于空气,但因空气在地球表面分布不均匀,这样在空气中的物体的重量就会随高度变化,地球表面空气密度大,物体的表观重量应该小,随着高度增加,物体的表观重量应增大。由此他将物质的量和重量加以区分,认为二者不是一回事,但成比例。这种正确的区分后来又由牛顿独立完成。

4. 地理学

阿拉伯人对外部世界有很大的兴趣,又凭借帝国的广阔疆土,借助于朝圣者和赴麦加商人的所见所闻,在地理学上也取得了成就。他们奠定了现代北非洲和亚洲地理学的基础。他们所写的众多游记(如比鲁尼的《印度》)不但描述地理特征,还记载社会制度、宗教信仰、科学成就,是极有价值的综合参考资料。在马孟王领导下,许多著名学者到美索不达米亚大平原实测了子午线1°之长,

得到 $56\frac{2}{3}$ 阿拉伯里 (1 阿拉伯里 = 2.353 2 千米), 与今测该地子午线 1° 之长相差不到 1 千米。在 16 世纪法国的弗内尔 (J. F. Fernel, 约 1497~1558) 以前, 再也没有人这样做过。

5. 化学

由于罗马人的禁止, 炼金术在欧洲绝迹了, 阿拉伯人又将这项以后导致科学化学诞生的神秘之术恢复了。通过炼金术的研究, 他们改进了古希腊时期的蒸馏甑和其他仪器, 并把当时矿山和手工业中使用的各种装置, 如风箱、火炉、坩埚、烧瓶等应用到制药方面来; 改进了蒸馏、结晶、升华、烧焙等方法, 制造出明矾、硼砂、酒精、硫酸、王水等化学品; 从硫化物中提取过砷和锑等元素。更为重要的是, 阿拉伯人对化学有两个方面的特殊贡献: 其一, 在传统上他们突破了希腊人不愿接近手工艺术的阶级成见; 其二, 实验中采用了天平, 这是头一次有可能对化学变化进行定量研究, 从这个意义上可以说, 这是炼金术向实用化学发展的开始。

6. 医学

医学在阿拉伯科学中占有重要位置, 这是由于以下原因: (1) 阿拉伯人相信知识的范围和性质都是由获得知识的工具决定的, 最重要的工具又是人, 所以一切知识都和人的本性有关。只有完全了解了人的本性, 才能有完全的知识。这就使医学和心理学占有特殊重要的地位。(2) 人作为获得知识的工具, 又是不完善的, 只有通过学习、研究, 才能使人得以完善, 并在此基础上获得完善的知识。这种态度无疑是一种鼓励学习的动力, 也是医学研究的动力。(3) 医生是伊斯兰国家十分受人尊敬的职业。在所有伊斯兰国家中开业的医生都必须有毕业文凭, 这种文凭只有经过正规的理论学习和实习, 并经考试合格后才能颁发, 且证书上签写有业务能力和老师的姓名。这种制度无疑也促进了医学的研究。(4) 阿拉伯的地理环境使得帝国境内有许多疾病经常流行, 如眼病、天

花、麻疹等,这使得阿拉伯人十分重视对这些疾病的研究。

阿拉伯医学的主要成就如下:(1)阿尔拉兹第一次把天花和麻疹这两种不同的疾病区别开来。他在名著《天花和麻疹》一书中对两种病的病程、征兆、病状、治疗方法等作了准确描述。如他曾这样写道:“在天花的肿疮出来之前,病人长时间不断地发高烧,脊梁骨疼痛,鼻子刺痒得慌,感到害怕而睡不好觉。”阿尔拉兹的不朽贡献使他的《天花和麻疹》一书获得了“阿拉伯医学的光荣”之称誉。(2)对鼠疫、天花等传染病的研究使“医学之王”阿维森纳(Avicenna, 980~1037)提出,空气与水中可能有一种极其微小的、肉眼看不见的小动物,它可以引起人的疾病。这实际上是对病原体致病看法,比巴斯德(Pasteur, L. 1822~1895)通过实验证明这一点早了8个多世纪。(3)发达的眼科学。阿尔-哈增对眼睛进行描述时,第一次使用了晶状体、角膜等术语;阿拉伯最著名的眼科医生伊本·伊萨(ibn-Isa)在《眼科医生手册》一书中详细地描述了130种眼科疾病及其治疗方法,它的许多内容至今仍有实用价值。(4)外科手术时采用了消毒和麻醉措施。(5)对盖伦学说的批评。曾任埃及阿拉伯王朝御医的迈蒙尼德(Maimonides, 1135~1204)就曾对盖伦学说提出过一系列批评,到13世纪,伊本·安·纳菲斯(ibn an-Nafis, 约1205~1288)又进一步指出盖伦所说的“心脏隔膜有可流通血液的细微孔道”是不足信的,他揭示了血液的小循环过程,比后来欧洲的发现要早300多年。可惜这项重大的发现当时并没有引起反响,以后又长期被埋没,直到20世纪初才重新认识纳菲斯的成就。(6)把健康和环境的影响联系起来,并把这看作人体有自然治愈力的重要条件之一,如阿尔拉兹为巴格达医院选址时,就选择了一个街道拐角处挂着生肉而不容易腐烂的地方,这是环境卫生学的真正开始。

① [日]大沼正则.科学的历史 北京:求实出版社,1983.47.

三 阿拉伯帝国科学的特征及其地位

(一)特征

阿拉伯人在科学研究中有一条宗旨,他们不对介绍进来的科学妄加删改,从规范到内容,他们都全盘介绍。这正如阿尔·比鲁尼所说的:“我们应该限制我们自己,只讨论古文明国民所曾讨论过的东西,并把能使它完备的东西依然完备。”另一方面,阿拉伯人又有务求渊博的倾向。这两种倾向综合的结果,就使他们着手编纂了许多百科全书式的著作,如阿尔拉兹的《汇编》(又译成《医学汇纂》);阿维森纳的《治疗全书》和《医典》;法加尼(al-Fargani)的《天文学概要》;雅古特(Yāqūt)的《地名词典》等都是名副其实的百科全书。这些书中广泛收入了古希腊、中国、印度的科学技术知识,其写作方式是先不加变动地介绍其他国家的观点,然后再和阿拉伯人自己的观察和看法进行对照,最后得出结论性的意见。如阿尔拉兹的《汇编》一书就是先摆出希腊人、叙利亚人、印度人、波斯人对每一种疾病的看法,然后再和阿拉伯人的观点进行对照;阿维森纳的《医学》中也可明显地看出他对脉象的区分和我国晋代太医王叔和(约180~260)的《脉经》的异同,他列举的48种脉象的区别中,有35种和王叔和相同。这种与众不同的写作风格,既避免了由于个人观点、理解能力不同而造成的歪曲,有利于东西方的科学经典不走样地传下去,也使他们的著作成了名副其实的东、西方经典著作的保存宝库,阿拉伯也成了东西方文明的名副其实的汇合地,中国有一些重要的历史文献和线索就是从阿拉伯人的著作中重新发现的。当阿拉伯人的著作再次传到欧洲时,它能够

① 贝尔纳.历史上的科学.北京:科学出版社.1959,163.

起到那种承上启下的作用是十分自然的。它包含有古希腊的传统,重读它们绝不会感到陌生,绝对不会发生传统上的矛盾,它能迅速地在中世纪的欧洲发生作用就毫不奇怪了。这正如恩格斯所说,精确的自然研究只是在亚历山大时期的希腊人那里才开始,而后来在中世纪由阿拉伯人继续发展下去。

阿拉伯科学还带有明显的世界性特征。这有两方面的原因。一方面,阿拉伯科学的基础是世界性的。阿拉伯科学不但继承了希腊人和其他讲希腊语民族的传统,也继承了波斯人、印度人、中亚人、中国人的传统,它是这些民族或国家的科学传统共同支撑的事业,这在历史上还是第一次。另一方面,阿拉伯的科学又是打破种族和宗教界限的全世界共同努力的结果。从宗教上看,参加这种努力的有穆斯林、犹太教徒、基督教徒、佛教徒、拜星教徒和儒家弟子。从民族看,参加这种努力的有阿拉伯人、伊朗人、土耳其人、中国人、印度人。这种世界性的共同努力的特征在阿拉伯科学发展的不同时期都有明显的体现,在翻译、引进时期,参与者各有不同的背景,伊舍克是位景教徒,伊本·古赖是从哈兰(Harran)来的拜星教徒,第奥斯科里德的《药物学》的翻译工作是由穆斯林、基督徒、犹太学者共同完成的。在阿拉伯科学的创建时期,一些有成就的学者来自世界各地,阿尔·金迪(al-Kindī)是来自库法的阿拉伯人;阿尔·法拉比(Al-Fārābī)是来自法拉伯的土耳其人;阿尔拉兹是来自雷伊的波斯人;比鲁尼来自花刺子模;阿维森纳来自土耳其斯坦的布哈拉;阿尔-哈增来自伊朗的巴斯拉;阿维洛斯(Averroës)来自西班牙的哥尔多瓦;中国学者也参与了这一共同创建活动,唐朝的工匠杜环留居阿拉伯 10 余年,潜心向阿拉伯传授技术,归来后还写了《经行记》。公元 751 年他在阿拉伯亲眼看到中国的工匠在阿拉伯织绸;元初道士邱处机(1148~1227)去中亚游历时,也曾看到汉人工匠千百人在阿拉伯织绫、罗;那底姆的著作中也提到有一个中国医生和阿尔拉兹共同研究医学达一年之久。若把直接传授造纸、丝织等技术的工匠也算在内,那就更多

了,可以说是中国的造纸技术促进了阿拉伯科学的传播,中国的生产技术和手工技术促进了阿拉伯经济的发展,进而促进了阿拉伯科学的繁荣。印度的文化同样为阿拉伯科学的发展做出了贡献,他们的阿拉伯数字和计数法大大方便了阿拉伯人的计算,直接导致阿拉伯数学的突出发展。

对于阿拉伯科学所带有的世界性特征,许多学者都给予了正确评述,如苏联的库德里亚夫采夫和康费杰拉托夫认为:“垂名青史阿拉伯科学就是由古希腊罗马和东方科学熔化而成的。”拉塞尔(G. A. Russell)也认为:“它是全世界的成就,是从西班牙和摩洛哥直到中国边界的广大地区的都市文化。”

(二)地位

阿拉伯的科学技术在世界科学技术发展史上占有重要的地位。由于阿拉伯人的收集、整理、翻译,使古希腊文化得以保存,因而也保存了古希腊的科学传统;同时,阿拉伯人在东西方科学技术的交流中还起着桥梁作用,是中世纪早期真正的“文化传播者”。如阿拉伯人的星等概念为中国学者所吸收,使中国星表增强了科学性。而中国的四大发明,印度的十进位法都是经由阿拉伯人传到欧洲去的,可以说,中国的技术只有经过阿拉伯人这个中介之后才产生了世界范围的影响。

阿拉伯人还为欧洲近代科学的产生直接作出了自己的贡献。阿拉伯的科学成就约在 10 世纪末时开始对欧洲产生影响,但真正发生影响是在 12 世纪以后。那时大批阿拉伯人的著作被翻译成了拉丁文,展现在欧洲人面前的,除了古希腊的成就外,还有东方

① 库德里亚夫采夫,康费杰拉托夫《物理学史与技术史》,哈尔滨:黑龙江教育出版社,1985.87.

② Bynum, W. F. *Dictionary of the History of Science*. Princeton: Princeton Univ. Press, 1981. 214.

的成就以及阿拉伯人用自己的观察得来的知识。它与中世纪的传统是那样不同,以致使欧洲人深感自己的落后。当时英国的罗吉尔·培根(R. Bacon, 约 1219~1292)曾大声疾呼,科学已被异端的阿拉伯人掌握了。他鼓动欧洲人要快学阿拉伯文,以便获得科学知识,这种热情使阿拉伯文成了那时每一个接受高等教育的欧洲人必学的语言。

阿拉伯的科学技术对欧洲产生的影响是多方面的。阿拉伯学者的许多著作在很长一段时间内一直是欧洲人的标准教科书,如花拉子模的《代数学》于公元 12 世纪被译成拉丁文,直到 16 世纪,它一直都是欧洲各大学的数学教科书;阿尔-哈增的《光学集锦》几乎影响了欧洲中世纪所有的光学著作,它在实际上为近代光学的研究工作奠定了科学的基础;阿尔拉兹的《医学集成》也在好几百年内对欧洲的医学产生了影响;至于阿维森纳的《医典》对欧洲的影响更是众所周知的,它成了欧洲医学的经典著作,并在一定程度上取代了盖伦在欧洲医学中的地位。阿拉伯的科学著作还直接导致某些技术的复苏。如哈彦(Ibn Hayyan)的炼金术著作《秘典》传到欧洲后,成了欧洲人炼金术知识的主要来源,使欧洲的炼金术得以复苏。通过炼丹,欧洲人研究了汞—硫理论,并为以后的帕拉塞尔苏斯(T. P. A. B. Paracelsus, 约 1493~1541)所利用。因此完全可以说,没有这种复苏,就没有以后近代化学在欧洲的诞生。

阿拉伯的科学技术传到欧洲后,还直接导致了某些学科的独立。在花拉子模的《代数学》传入欧洲之前,欧洲人习惯于用几何学的方法解决代数学问题,只是在《代数学》传入欧洲之后,欧洲人才开始对代数学的真正研究。没有《代数学》的传入,就不会有欧洲代数学的研究。阿尔·丁的三角学知识也是如此,欧洲人把三角学作为一门独立学科来研究,正是在阿尔·丁的《论四边形》传入之后,且显然是受到该书影响的结果。

阿拉伯的科学著作还直接给近代科学的开路人哥白尼(N.

Copernicus, 1473~1543)以多种支持。哥白尼在《天体运行论》一书中多次引用了巴塔尼的观测数据;比鲁尼等人对托勒密地心体系的抨击也坚定了哥白尼提出日心体系的决心。

四 阿拉伯帝国科学的衰落

12世纪以后,阿拉伯科学渐渐衰弱下去。这首先是由于国内政治、经济衰弱的结果。阿拉伯帝国内,由于暴政造成贫富悬殊加大,阶级矛盾激化,致使庞大的帝国的国家机器难以维持。这种困难又因蒙古和突厥人的入侵而加剧,社会失去了对科学支持的能力,并再也提不出需要科学出面解决的问题。另一方面,阿拉伯科学从一开始就是在贵族、皇室的支持下发展起来的,它决定了科学必然随着政治力量的兴衰而兴衰。

其次,这种衰落也是曾酿成古典文化衰败的那些社会力量起作用的结果。当阿拉伯人占领了罗马帝国的地盘后,他们是将财富连同问题一起接收下来的,其中罗马人的研究风格和希腊人对工匠技术的轻视就是阿拉伯人接收下来的问题之一。

第三,这种衰落是阿拉伯学者未能成功地把科学和回教的一些持久的特征结合起来的結果。起初,阿拉伯学者也曾试图将希腊哲学和古兰经统一起来,但受到正教派的反对,尽管阿维洛斯在《毁灭之毁灭》一书中据理力争,但效果并不显著。古希腊科学是和古希腊哲学统一在一起的,在试图将古兰经和希腊哲学统一问题上的失败,表明阿拉伯人没有将古兰经和科学统一起来,这从他们的科学分类上也可以看出。这决定了阿拉伯的科学无法深入到平民中去,无法持久发展下去。

阿拉伯的科学光芒暗淡下去了,而东方中国的科学技术仍然光彩照人。

第六章 中国封建社会的科学技术

一 中国古代科学技术发展的概况

(一)中国古代科学技术发展的三次高潮

中国古代科学技术发展是不平衡的,从它产生起至清代,虽没有像西方科学技术发展那样大起大落,但起伏仍然是存在的。

1975 年上海人民出版社出版的《自然科学大事年表》对世界上从古代至 1960 年的科学技术进行了整理,其中收入中国至清代的科学技术共有 192 项,按朝代统计的结果如表 6-1 所示:

表 6-1 《自然科学大事年表》收录的中国科技成就(按朝代统计)

时期或朝代	BC770 以前	春秋—战国	秦—汉	魏—晋	南北朝	隋	唐	宋	元	明	清
成果数(项)	26	26	36	12	11	2	20	27	5	17	10

统计数据表明,中国古代科学技术有三次发展高峰,一次是春秋战国时期,一次是秦汉时期,一次是唐宋时期。当然这是一个相对的概念。

1982 年,金观涛等在《自然辩证法通讯》杂志第 5 期上发表《历史上的科学技术结构》一文,也对中国古代科学技术的发展进

行了统计分析。作者首先根据科学技术成果在各学科范围内的地位及其对社会影响程度的大小制订了一个计分标准,共划分 4 个等级:在科学史上仅有记载者为 1 分;对本学科有较大影响者给 10 分;对科学技术的广泛领域有影响者给 100 分;对整个科技革命具有划时代或对社会发展具有巨大影响者给 1000 分;处于各等级中间状态的成果酌情计为 5、50、500 分。作者举例说:牛顿(I . Newton, 1642~1727)理论、瓦特(J .Watt, 1736~1819)蒸汽机、活字印刷术为 1000 分;哈维(W .Harvey, 1578~1657)血液循环、拉瓦锡(A .Lavoisier, 1743~1794)氧化学说为 500 分;林耐(C . Linnaeus, 1707~1778)的分类及方法、伏打(A .G . Volta, 1745~1827)电堆给 100 分;康德(I . Kant, 1724~1804)的星云假说、张衡(78~139)的候风地动仪给 50 分;盖·吕萨克(J .L . Gay-Lussac, 1778~1850)定律、洪堡(A . Humboldt, 1769~1859)的 高层大气气温递减律给 10 分;磷的发现、哈雷(E . Halley, 约 1656~1743)彗星周期的确定为 5 分;制取铅白、恩培多克勒(Empe- docles, 约 BC 492~BC 432)发现耳蜗给 1 分。按照上述标准,作者选择了近 2 000 项科技成果,分别画出了中国和西方科技发展的曲线。有关中国古代科技发展的曲线如图 6-1 所示。从这个图也可以证明,中国古代科学技术发展也存在着发展高峰,其中唐宋时期和秦汉时期两次科技发展高峰和按《自然科学大事年表》统计的结果是相一致的,春秋战国时期的科学技术发展高峰没有按《自然科学大事年表》的统计结果明显,但已可证明中国古代科学技术发展的不平衡性了。

(二)中国古代的科学技术取得了举世瞩目的成就

这里想采用“概说”的方法加以总体说明,为此我们选了两本

图 6-1 中国古代科学技术水平增长曲线(以 50 年为单位)

书,一本书是《中国的世界纪录》,另一本书是《中国的世界第一》。《中国的世界纪录》一书将科学技术分为14大类,仅就古代而论,各类中收录的科技成就项数如表6-2所示:

表 6-2 《中国的世界纪录》收录的科技成果分类统计

类 别	数 学	天文、历 法、气象	地 学	物 理	化 学	生 物	农 学	医药 学	冶 金	机 械	建 筑	水 利	轻 工	兵 器	总 计
--------	--------	--------------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

① 方克 .中国的世界纪录 .长沙:湖南教育出版社,1987 .
② 编写组 .中国的世界第一 .西安:陕西人民出版社,1987 .

项数	22	25	20	19	9	13	25	31	13	7	7	7	8	8	214
----	----	----	----	----	---	----	----	----	----	---	---	---	---	---	-----

该书收录的 14 大类中, 各类所包含的具体科学技术名称如表 6-3 所示:

表 6-3 《中国的世界纪录》收录的具体科技成果名称

类别	具体科技成果名称
数学	十进位值制记数法;八卦与二进位制;纵横图;珠算;系统的分数理论和运算法则;小数概念的提出与应用;负数概念及其加减法则的提出;今有术;线性代数的萌芽;盈不足术;不定方程的最早研究;开方术;贾宪三角;增乘开方法;秦九韶程序;中国剩余定理;天元术;四元术;招差术;圆周率精度;祖恒公理及妙用;重差术
天文 历法 气象	独特的天文学体系和二十八宿;最早的地动说;最古老的星表;现存最古的星图;赤道式仪器;水运仪象台;古代天文台;回归年长度测定;交食周期测定;岁差测定的精度,交点月长度测定;子午线长度实测;黄赤交角测定;发现恒星运动;天象记录;行星运行记录;历法系统;闰法;二十四节气;干支记日法;雨量器;风向器;测湿器;风力定级;蒙气差的发现;实测物候记录;潮时推算表
地学	地图;地形模型;地理著作《尚书·禹贡》;经济地理著作《史记·货殖列传》;水文地理著作;最大的地学资料宝库——地方志;海拔概念的提出;大规模三角测量;规模最大的航海活动:郑和七下西洋;矿产地质文献《五藏山经》;岩溶地貌的认识;流水侵蚀概念的提出和使用;海陆变迁思想;对化石的认识;对冰川的记述;地震记录;地动仪

类别	具体科技成果名称
物理学	时空观;物质无限可分论;物质不灭论;杠杆原理;浮力原理;欹器;对雪花晶体的认识;鱼洗;对共振的认识;十二平均律;具有声学特性的建筑;对光直线传播的认识;小孔成像实验;透光镜;潜望镜;阳燧;指南针;磁偏角和磁倾角的发现;被中香炉;走马灯;游标卡尺
化学	造纸术;火药;瓷器;漆器;炼丹术;煤炭利用;石油利用;天然气田;银朱和铅粉颜料

续表

类别	具体科技成果名称
生物	植物生态学著作《管子·地员篇》;食物链记载;鲸鱼自杀现象的发现;生物防治;昆虫寄生的发现;人工选择原理的发明;家蚕人工杂交育种;金鱼——人工育种的活标本;制曲酿酒法;豆酱和豆酱油;谷物酿醋直接发酵法;利用微生物提高地力;动物条件反射论
农学	稻作物栽培;小麦和高粱的原产地;大豆和谷子的原产地;一岁数收技术;浮田;耕犁;龙骨水车;耒车;蔬菜园艺;温室;食用菌栽培;石子田;大麻和苧麻的原产地;盆景艺术;果树原产地;茶树的发现和茶叶制作;茶业专著《茶经》;竹类最多;猪种;养鸡;家畜阉割术;自成体系的中兽医;植桑养蚕;丰富多彩的古农书;系统农学著作《齐民要术》;本草书《救荒本草》

类别	具体科技成果名称
医药学	最古老的医学经典《黄帝内经》;最早的医疗体操图解;针灸疗法和经络学说;异常脉律的发现;切脉诊病;脏器疗法;人工呼吸;药物灌肠;胆道蛔虫的发现;腹腔穿刺;骨伤科;药物麻醉;最早的人体病理解剖;尸检鉴定;指纹的认识和利用;人体胚胎发育的认识;催产素的应用;科学处理新生儿脐带;种痘;牙齿保健;龋齿的发现;汞合金镶牙术;金针拨内障手术;痔瘘病的发现;麻风病隔离医院;最早的药典;《本草纲目》;动物药理实验;系列医药彩图;汞剂的应用;提取和应用性激素;维生素药物和杀虫药剂的发明;医学分科;大型医学专科学校
冶金	探矿理论;合金配方表;商周青铜彝器;编钟;生铁冶炼技术;生铁柔化处理技术;炒钢法的发明;灌钢法的发明;炼锌;镍白铜的冶炼;叠铸技术和铁范铸造技术;水排的发明;胆铜法的发明
机械	机械制造的水平;机械指南车;计程车;水力纺纱机械;木鸢——航空模型;造船技术;车马系驾法和马具
建筑	古老的建筑体系;北京故宫;嵩岳寺塔;应县木塔;园林;赵州桥;木构建筑的经典专著——《营造法式》

续表

类别	具体科技成果名称
水利	水动力学理论;束水攻沙理论;都江堰;灵渠;大运河;升船机和船闸;坎儿井
轻工	纺坠;黄道婆的纺车;丝绸织造技术;雕版印刷术;活字印刷术;墨;毛笔;伞
兵器	刀、剑;弩;信号灯;火药用于军事;弹和雷式火器;管形火器(火枪);火箭;火炮

《中国的世界第一》一书中和科学技术有关的共 15 类,仅就古代而论,各类中的科技成就项数如表 6-4 所示:

表 6-4 《中国的世界第一》收录的古代科技成果分类统计

类别	文化教育	地理	天文	物理	数学	化学	工艺机械	农学	医药	水文地质	动物	植物	冶炼铸造	交通	建筑	其他	总计
项数	13	9	23	20	13	24	14	16	31	15	3	7	14	25	9	14	250

该书收录的 15 大类中,各类所包含的具体科学技术名称如表 6-5 所示:

表 6-5 《中国的世界第一》收录的古代科技成果名称

类别	具体科技成果名称
文化教育	教育专著《初学记》;识字课本《千字文》;孔子的启发式教育思想;知识就是力量的提出;最早大学:长安太学;接收留学生;木刻印本《金刚经》;活字印刷;最早的印刷物:唐刻《陀罗尼经咒》;第一部纸写的书《三国志》;最古老的军事著作《孙子兵法》;图书分类学专著《七略》;木简乐谱

续表

类别	具体科技成果名称
地理	地理学著作《山海经》;地理专著《禹贡》;马王堆汉墓三幅绘在帛上的地图;马王堆汉墓彩色军事地图;地理模型:沈括的《使契丹图钞》;胥溪运河;海洋地理图集:郑和的航海图志;地图学纲要:《禹贡地域图》;康熙年间的大规模测绘

类别	具体科技成果名称
天文	天文学专著:甘德的《天文星占》;周公测景台;《尚书》中的日食记录;《竹书纪年》记载的流星雨;《伏候古今注》的极光记录;《淮南子》中记载的太阳黑子;《春秋》中的哈雷彗星记录;《汉书》中的新星记录;马王堆汉墓《天文气象杂占》中的彗星图;石申《天文》中的恒星表;《易·丰卦》对日月食发生周期的计算;阴阳历的历法;牵星法的发明;观察太阳的仪器圭表;张衡的水力测天仪;赤道坐标系统;天文钟:苏颂的水运仪象台;浑仪;张遂对子午线测量;木星运动周期的测定;张遂发现恒星运动;木卫三的发现;蒙气差的发现
物理	《墨经》;杠杆原理的提出;浮力原理的提出;墨翟的小孔成像实验;冰透镜取火;人工磁化方法的发明;共振的测定;十二平均律的发现;对光色散的认识;走马灯;被中香炉;滚柱轴承;指南针;磁偏角;指南龟;测温仪;潜望镜;透光镜;热气球;利用太阳能
数学	《周髀算经》;十进位制;零的发明和使用;勾股定理;精确圆周率;球体积计算;二进制;一次同余式;增乘开方法;极限概念的应用;计算工具算筹;珠算;魔方
化学	炼丹术;瓷器;漆器;漆工专著《髹饰录》;造纸术;酒的酿造;醋的酿造;鍍金器物;氧气的发现;火柴;火药;火枪;火炮;喷射火器;火药火箭;火药包;毒气弹;多级火箭;地雷;水雷;定时炸弹;杀虫药剂的使用;徽墨;钧瓷
工艺机械	工艺百科全书《天工开物》;印染工艺;制备蓝靛工艺;蔗汁处理工艺;纺织工具“纺车”;纺车;织布工具;织机专著《梓人遗制》;提花技术;丝织技术;扬扇;粮食加工机械;机器人;采煤方法

续表

类别	具体科技成果名称
----	----------

类别	具体科技成果名称
农学	农业百科全书《齐民要术》;水稻种植;大豆种植;农作物轮作;冬灌;人工选种的实践;小麦移栽;无性嫁接技术;物候学著作《夏小正》;人工灭雹;生物防治;养蚕;杂交育种;犁壁耕犁;播种机;水车
医药	药物学专著《神农本草经》;药典《新修本草》;中医理论著作《内经》;博物学著作《本草纲目》;国家药局“太医局卖药所”;洛阳龙门石窟中的石刻药方;针灸工具砭石;针灸铜人;针灸学专著《针灸甲乙经》;病因病理学著作《诸病源候论》;脉学专著《脉经》;切脉方法的发明;人工呼吸的使用;免疫法的提出;对天花的认识;种痘术;人体病理解剖记录;药物麻醉术;全麻醉手术;法医学专著《洗冤集录》;导尿法的使用;扎血管止血法;催产素应用;人体胚胎发育的记载;儿科专著《小儿药证直诀》;对新生儿脐带进行科学处理的记载;连体婴分离术;汞剂治病;痔瘻病切除术;彩色医药教学挂图;麻风病隔离院
水文地质	水利专著《水经注》;水位尺;雨量器;地下水的利用;风的定级;海陆变迁原理;地形测量法;石灰岩地貌的认识;矿物学著作《五藏山经》;天然气利用;石油开采;石油命名;化石成因解释;煤的利用;石棉的发现和利用
动物	鱼的食用;养鱼学专著《养鱼经》;金鱼饲养
植物	枣树栽培;植树专著《种树书》;茶叶利用;植物分类法的提出;菊花栽培;对大麻植物生理方面的认识;灵芝的记载
冶炼铸造	铸铁冶炼;可锻铸铁;球墨铸铁;炒钢;灌钢冶炼;水法冶金;炼锌;冶铜;高炉冶炼技术;焦炭炼铁;鼓风机;范铸技术;锌的发现;铜锌合金

续表

类别	具体科技成果名称
交通	风筝;竹蜻蜓;飞行滑翔实验;航空试验;独轮车;指南车;记里鼓车;造船;桨轮船;水密隔舱;船尾舵;帆船制造;航海术;美洲大陆的发现;航海图;指南针用于航海;船坞;船舶工场;船压载的认识;铁索桥;筏形基础的使用;石拱桥;开关活动式大桥;拦河大坝;复闸
建筑	建筑学专著《营造法式》;河姆渡原始村落遗址;建筑设计蓝图;有良好声学效果的建筑;都江堰;砖塔;密檐楼阁式塔;木塔;斜塔
其他	针;弓箭;弩;铁锯;指纹应用;牙刷;伞;马蹄铁;环境保护法;战国的《田律》;豆腐;无土栽培技术;筷子;裙子;用蜜浸渍食物

从表 6-2 到表 6-5 说明,中国古代科学技术的确取得了举世瞩目的成就,这其中很大一部分成就是在封建社会这一社会形态下问世的。对这一时期中国科学技术取得的辉煌成就,国外许多学者都给予了充分肯定和高度评价。李约瑟(J. Needham, 1900~1995)说,中国人“能够在许多重要方面……走在那些创造出著名的‘希腊奇迹’的传奇式人物的前面……并在公元 3 世纪到 13 世纪之间保持一个西方所望尘莫及的科学知识水平……中国的这些发明和发现往往远远超过同时代的欧洲,特别是在 15 世纪之前更是如此(关于这一点可以毫不费力地加以证明)”。美国学者戴维·博达尼斯也正确指出:“直到 16 世纪,在每一个研究项目上,他们(中国)都还遥遥领先于欧洲。”

① 李约瑟.中国科学技术史(第 1 卷第 1 分册).北京:科学出版社,1975.3.

② 戴维·博达尼斯.为什么现代科学在中国不曾发展起来.国外社会科学.1980(1).

(三)中国封建社会科学技术取得辉煌成就的原因

1.中国封建社会前期的封建制度与欧洲不同,具有有利于科技发展的条件

中国封建社会前期的封建制度与欧洲封建制度的不同主要表现在4个方面:

(1)经济结构不同。中国封建社会的经济形态是建立在个体小农业与家庭手工业相结合的自然经济的基础上的。欧洲也是自然经济,但属于庄园领主制,内部有明确的分工。而中国这种经济结构决定了它发展生产的手段极其简单,只要统治者采取适当的政策能保证劳动者与土地的结合,这种经济结构就可以促进生产的恢复和发展。自秦朝以来的历代统治者一直是重农抑商,我国农书之多,在世界上是首屈一指的;从春秋战国时候起,农业已经由粗放经营转入精耕细作。这样,中国的农业很早就已经发展到一个较高的水平,生产力已有很大提高,远远超过欧洲同时期的水平。欧洲的学者们对此也是深信不疑的,如19世纪欧洲农业化学家李比希(J. Liebig, 1803~1873)就曾说过:中国农学“是以经验和观察为指导,长远地保持着土壤肥力,借以适应人口增长,而不断提高其产量,创造了无与伦比的农业耕作方法”。

(2)政治结构不同。中国自秦朝开始建立中央集权,这有利于封建制度的巩固和国家的统一,为科学技术的发展创造了有利的条件。中国许多科学著作、技术发明就是直接起因于怎样管理好幅员辽阔的国家这个目的。《宋史》记载,官府谷仓的总管袁燮为了执行救灾计划,曾下令每村都必须绘制一张能把田地、山脉、河流和道路详细标出的地图。至于内容无所不包、卷帙浩繁的地方志则是为了适应远离家乡去外地做官的人的需要,以便他们到任后尽快熟悉情况编写的。和发明雨量筒、雪量筒一样,地震仪的发

① 关士续.科学技术史(内部稿).30.

明和当时的中央集权制也有一定关系。据《后汉书》记载,从公元46年到汉末50多个郡共发生过25次较大的地震。高级官员很希望有一种仪器能早一点知道地震的发生,以便政府能及时对发生的天灾采取措施。适应这种需要,史官张衡(78~139)于公元132年发明了地震仪。

(3)相对的学术自由。欧洲是基督教的严格统治,中国虽从汉以来有“罢黜百家,独尊儒术”的政策,但实际上是在儒家旗号下把其他各家有利于巩固统治的思想都吸收进来。如佛教自东汉传入后,由于受到统治阶层的重视才传播开来;东汉时期道家十分活跃,魏晋玄学就是道家和儒家思想结合的结果。

(4)中国从奴隶社会向封建社会的过渡是在本民族内完成的,使原有的古代文明能持续向前发展。古希腊罗马则科学文化备受蛮族入侵的摧残,表现出极大的起伏性。

2. 经验形态的科学需要经验的方法

中国古代科学以实用科学为主要发展形态。有人把这一特点看成是中国古代科学落后的具体表现,这是不够恰当的。因为从科学早期发展的历史看,凡要发现新的事物,几乎必先具备一个目标,而且常以实用为主要目标。为解决问题而研究科学,恰恰是科学发展的动力之所在。从人对自然界的认识过程来看,主要经过了猜测阶段、经验阶段和理论阶段。经验阶段的科学需要经验的方法,中国实用科学的特点和科学发展的第二阶段是相吻合的,取得的成绩也是很显著的。

二 中国古代科学技术的特点

(一)理论、实验、技术相互分离

近代科学在西方产生以来,它是加速发展的(如图6-2)。若

追究其中的原因,固然是多方面的,但其中一个重要原因是理论、实验、技术三者的互相促进。从图 6-3 可以看出,从 11 世纪后半期起,理论和实验水平突飞猛进,此后理论线与技术线盘绕上升。16 世纪后,实验线急剧上升,到 18 世纪后,三者积分大致相当。这样,理论、技术、实验三者间就不是孤立的,而是互相影响的。这种相互影响,促进了科学的加速发展。

但从中国的情况看(如图 6-4),理论、实验、技术三条曲线是相互分离的,其中技术线与理论、实验线间的分离尤为突出,技术线远远高于理论线和实验线。这种相互分离的关系贯彻始终,说明三者很少互相促进过。再从中国科学技术成果总分中理论、实验、技术三者各占的比例来看,技术成果的累计分高达 80%,理论成果积分占 13%,而实验成果积分仅占 7%(见表 6-6),表明中国古代科学技术水平主要是以技术水平来体现的。这一点也和西方形成鲜明对比(见表 6-7)。

表 6-6 中国历代理论、实验、技术在该朝代总积分中所占比重(%)

朝代	春秋	战国	秦	西汉	东汉	魏两晋	南北朝	隋	唐	五代	北宋	南宋	元	明	清
理论	12	23	0	6	10	13	15	2	8	/	4	19	8	16	40
实验	2	8	0	9	14	1	13	0	11	/	6	7	12	3	1
技术	86	69	100	85	76	86	72	98	81	/	90	74	80	81	59

表 6-7 西方理论、实验、技术在各世纪总积分中所占比重(%)

时间(世纪)	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	1	2	3	4	...	12	13	14	15	16	17	18	19
理 论	49	57	77	72	38	51	70	60	75	18	/	90	21	2	5	47	61	31	33
实 验	9	8	11	12	37	25	13	6	6	46	/	5	23	1	6	20	22	20	29
技 术	42	35	12	16	25	24	17	34	19	36	/	5	56	97	89	33	17	49	38

图 6-4 中国古代科学技术水平累加增长曲线
(其中纵轴表示科学技术成果积分对数值 .A、B、C、D 分别为西方的理论、
实验、技术和总分赶上中国的交叉点)

(二)大一统技术和手工业技术在技术中占主导地位

众所周知,中国的四大发明闻名于世,但这是一些什么技术呢?它们与农业和手工业等直接满足吃穿住用所需要的创造发明不同,是为社会在广阔地域上组成强大、统一的国家机构服务的。纸、指南针、印刷术作为社会通讯工具自不待言,火药也主要用于制造火器。其他如历法、土地丈量技术、地图绘制技术以及体现皇权威严的皇宫建筑等都可以用大一统技术来称呼。

表 6-8 给出的是以“农业”、“大一统”、“手工业”、“医药”、“其他”为技术分类标准时各项技术在整个技术构成中所占的百分比。从表中可知,大一统技术所占比例多在 30% 以上(与大一统社会结构相对应的时期),分裂时期则在 13% 以下。而历代的手工业也多占技术总分的 30%~50%,两者(大一统技术和手工业技术)

加起来,在统一时期占了整个技术总分的 70%~80%。

表 6-8 中国古代各类技术在总技术构成中的比重(%)

朝代	春秋	战国	秦	西汉	东汉	魏两晋	南北朝	隋	唐	北宋	南宋	元	明	清
农业	16	26	1	5	4	12	13	1	4	2	7	12	6	2
“大一统”	13	12	59	24	41	12	13	58	32	53	43	28	34	40
手工业	40	43	40	63	47	35	45	27	47	43	39	37	45	46
医药	20	18	0	8	8	41	10	14	16	2	10	3	13	12
其他	11	1	0	0	0	0	19	0	1	0	1	20	2	0

若从学术著述来看,著述本来应该以探讨理论为主,但中国历代著述中属于总结技术经验性质的在历代理论成果积分中占 20%左右(如表 6-9)。即使在纯理论研究中,技术化倾向也很严重。如数学偏重于解题、运算技巧,生物学知识几乎完全存在于农学、医学之中;天文理论中盖天、浑天等学说 2 000 年来发展迟缓,到了清代仍有人相信盖天说。在中国重技术轻理论的影响下,不为现实生活服务的技术被贬斥为“屠龙技术”,那些纯粹理论的命运就更可想而知了。

表 6-9 历代属于技术经验总结性的著述在理论成果积分中所占比重(%)

朝 代	春秋	战国	秦	西汉	东汉	魏两晋	南北朝	隋	唐	北宋	南宋	元	明	清
技术经验总结	29	25	0	25	6	13	20	100	27	17	18	41	35	23
其他理论成果	71	75	0	75	94	87	80	0	73	83	82	59	65	77

(三)对技术的精益求精

中国的技术历来被世人所称道,这种成就的取得,首先和无止境的追求精神有关。中国学者、工匠从不以可以应用为满足,而是

不断改进,达到新境界。

(四)科学研究中的精细观测

为了发现自然的奥秘,中国古代学者不但进行实验,而且实验时观测还相当精细。宋朝李诫(?~1110)的《营造法式》中提到,凡设计和建造房屋,都要以(木)“材”作为依据,而(木)“材”的高宽比规定是3:2。按现代材料力学的原理,从圆木中锯出一根抗弯强度最大的材料,它的理想最佳截面的高宽比为 $\sqrt{2}:1$,《营造法式》中的规定仅比现代最佳截面的抗弯强度偏低0.23%。与现代科学原理如此相符的“规定”,仅凭经验的积累是无论如何也做不到这一点的,“规定”只能来自实验,而且在实验中要进行抗弯检验,还要考虑到各种受力方式和因素,没有精细的观测是得不出科学结论的。

为了进行精细观测,中国古代学者也同时创造了能进行精细观测的手段或工具。如众所周知,用圭表测影长时,影子的上边缘往往是模糊的,致使测量难以准确。元朝的郭守敬(1231~1316)制成叫做“景符”的仪器很好地解决了这个问题,这是一个长4寸、宽2寸、安在一个小架子上、中间开有小孔的可以转动的薄铜片,当太阳过子午线时,把景符放在圭面上移动并转动铜片,令太阳光通过小孔再射到圭面上,形成一个米粒大小的、中间带有一条细而清晰横梁影子的影像。用这个“景符”测定的影长的精确度可达 $\pm 2\text{mm}$ 。在光学研究中有这种情况,中国由于玻璃缺乏,透镜的制造有许多困难。但中国古代的学者巧妙地用冰取代玻璃制造透镜,在极不利条件下创造了研究透镜性质的可能性,这不能不令人惊讶。

① 蔡宾牟,袁运开《物理学史讲义》,北京:高等教育出版社,1985,105。

② 《向经堂丛书·淮南万毕术》记载:“削冰令圆,举以向日,以艾承其影,则生火。”

(五)具有超前性的科学思想

科学思想的超前性是指科学思想的提出超越了当时社会的发展水平,超越了科学的发展水平和人们的理解水平,因而当时的作用是有限的,只是随着科学发展,才逐渐表现出它的合理性。如中国的八卦,它虽然玄秘,难于理解,但如果以“坤”为首,先把“坤”卦重叠,然后把其他七卦依次叠在“坤”卦之上,再将其他七卦逐一重复这个步骤,64卦便衍生出来。若以数字0代表阴的符号,以1代表阳的符号,就可得到0至63的二进位计数法。可以说,八卦中包含有二进制的思想,这就是莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646~1716)看了《易经》的64卦后,认为能印证他的二进制思想的道理。

近年来,随着微观物理学的发展,人们愈来愈发现中国的传统思想和微观物理的相似性(如阴阳学说和玻尔互补性的相似;中国传统思想中的统一观和对宇宙基本作用力统一性的追求的相似;以及“色即是空,空即是色”和虚空不存在的完全一致性等),卡普拉甚至说:“现代物理学的主要理论所导致的世界观与东方神秘主义有着内在的统一和完善的协调。”这样,有人就试图将解决现代物理学困境的希望寄托在中国传统思想上,这就是西方掀起一股中国文化热的原因之一,也是中国科学思想具有超前性的表现。

(六)较多的经验形态,而理论知识相对不足

经验形态的描述性的认识在科学著作和科学研究中是必要的,但脱离理论的单纯的描述性记述则是一种缺点。中国古代的科学著作就带有这种明显的缺点。它表现在中国科学真正形成定律、原理的学说不多。比如生物学著作主要是记述生产经验,很少提出规律性的认识;天文学主要是记载观测数据及观测到的现象,

① 卡普拉.现代物理学和东方神秘主义.成都:四川人民出版社,1984.239.

对隐藏在现象背后的原因不加深探究；医药学也基本上是经验的汇编。

长期停留在经验形态使中国科学既没有科学的基本概念，也缺乏系统的理论体系。后人只能在这知识的汇集里增加一点“量”，不可能从根本原理上有什么重大突破。中国科学从来没有发生革命，其主要原因正在这里。

这种经验形态的描述性的特征给科学造成的影响还在于它阻碍了学者进一步的思考。明末刘献廷在《广阳杂记》中曾谈到他和别人的一次有关“磁石吸铁，何物可以隔之”的对话：“犹之阿孺曰：‘惟铁可以隔之耳’，其人去复来曰：‘试之果然。’余曰：‘此何必试，自然之理也。’”像刘献廷那样，不主张对结论进行试验或进一步追究的人是不在少数的，因为他们的描述传统认为这样做是多余的。就连孔子这样的圣人也无法摆脱这种传统，《孔子家语》中说，孔子对鲁庙中一个欹器很感兴趣，他无法解释它的原理，又不愿意深究，只好搪塞地说：“恶有满而不覆者哉！”

理论体系的不足，原理上认识的模糊，又造成许多发明的接二连三的失传。有些发明即使没有失传，每隔一段时间后，也不再有人会制造，只好重新摸索，重新试制。指南车汉初出现，但到三国时就无人会造了，马钧（生卒年不详，三国曹魏人）重造指南车，引起满朝大臣的敬佩。以后晋、唐、隋、宋代的指南车都是像马钧那样重新摸索制造的。这就使得一些技术只能由个别精工巧匠凭经验摸索，反复得而复失，就是得到皇廷珍爱的欹器也摆脱不了这种命运。西晋杜预、隋朝耿询制造的欹器，都是重新摸索出来的。

（七）纯粹的科技研究者未能出现

科学技术发展需要有相对稳定的研究主体，他们以研究为己任，一代又一代地接力，保证科学发展的持续性。但在中国，由于官本位思想的束缚，读书人苦读寒窗的目的是作官，科学研究只是一种业余爱好。在官本位思想影响下，古人认识自然规律的目的，

帶有很强的功利性,即是为了更“合理地”解剖、分析社会 and 人性。《荀子·天论》先说“天行有常,不为尧存,不为桀亡”,这是指自然规律。接着又说“应之以治则吉,应之以乱则亡,强本而节用,则天下不能贫,养备而动时,则天下不能病”,说的又是治国方略。前面提到的自然规律明显是为后面服务的。但为了这个目的而去研究自然规律,就不需要十分详尽,能有个笼统和整体看法就足够了。《梦溪笔谈》一书中说磁“南北有异……未深考耳”。为什么不去深考一下呢?书中说“莫可测其理”。既然无从下手,只有存疑。这就是中国古代学者对待难题的态度。这种原因固然是多方面的,但为官之人把科研看做一种副业和对科学要求不需要那么深是原因之一。

在官本位思想的影响下,社会上看不起科学研究。明代宋应星(1587~1666)在《天工开物》中说:“大业文人弃置案头,与功名进取毫不相关也。”《庄子·天地篇》说到一个灌溉的老农不用机械,而是用一个罐子,不辞辛苦,来回在一个坑里打水。问其原因,他理直气壮地说:“吾非不知,羞而不为也。”把使用机械完全看作一件令人羞耻的事了。老子主张“绝圣弃智”,“绝巧弃利”,因为“人多利器,国家滋昏”,“人多技巧,奇物滋起”,怎么办呢?只有“常使民无知无欲”。又如《礼记》提出,以“奇技奇器以疑众,杀!”这样,创造新器、发明新学就成了死罪。结果,“人民以惧死刑,不敢从事”。

在官本位思想的影响下,古代知识分子的使命就是“格物、致知、诚意、正心、修身、齐家、治国、平天下”,无论从层次上、数量上对自然界的探索都只占极小部分。这里的“格物”、“致知”并不全是科学研究,甚至干脆就不包括科学技术。朱熹(1130~1200)曾说过:“欲致吾之知,在极物而穷理也”,“如今为此学而不穷天理、明人伦、讲圣言、通世故,乃兀然存心于一草木、器用之间,此是何学问?”

在官本位思想的影响下,人们看重的是政绩,而不是科技成

果。《后汉书》在为张衡作传时,大量篇幅说他如何刚正不阿,为官清廉,对他发明的地动仪则谈得很少。这种做法又反过来矫正着学者的工作重心,使他们更不把科学研究放在首位。

在多种因素的影响下,导致中国知识分子的地位具有非独立性,使纯粹的科技研究者一直没有在中国出现。

三 中国古代科学技术的衰落

(一) 判别科学技术落后或先进的标准

中国科学技术是否后来落后了?对此有不同的看法。一些学者认为,这种提法本身就有问题,因为中国的科学技术历来落后于西方,不只是后来才落后的问题。也有的人认为:“17世纪后,中国科学技术之所以落后西方,实际上是因为西方科学技术出现了加速发展的结果。”这是一种比较论,认为中国古代科学技术一直持续缓慢发展,并不存在停滞倒退的现象。第三种观点认为,中国后期科学技术明显落后了。如李约瑟认为,“从14世纪初以后,中国呈现出显著的衰退现象。”

分歧的存在,反映出在如何看待科学技术的先进或落后问题上,标准还不统一。一些人主张从科学、实验、技术三者的成果总和(即科学的成果指标)作为衡量一个时期各国科学技术先进或落后的标准,但科学指标除了包括成果指标外,还应当包括经费指标、人力指标、专利指标、劳动生产率指标、对外贸易的入超与出超指标等,仅从其中挑选一个指标作为判断的标准,很显然是不够全面、充分的。

① 刘青峰.让科学的光芒照亮自己.成都:四川人民出版社,1984.7.

② 李约瑟.中国科学技术史(第3卷).北京:科学出版社,1976.366.

也不能从各个具体学科的发展水平来考察中国科学技术在总体上落后于西方的时间,因为中国古代科学技术的各个学科发展是不平衡的。和西方的科学技术比较,落后的时间也相差很大:自哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543)于 1543 年发表《天体运行论》起,中国天文学就已经落后了;数学只是在进入变量的关键时代,在解析几何和微积分的大门前才停顿下来;中国物理学的落后则开始于经过伽利略至牛顿建立力学体系时期,这已相当于清朝初年了;至于冶金领域的全面落后更可以推迟到 18 世纪。因此如果从各个具体学科的发展水平考察中国科学技术在总体上落后于西方的时间,也只能给出一个大致的模糊时期,而且这个时期的确定,无论用什么办法都是不可能完全科学和精确的。

判断一个时期科学技术先进或落后的最好标准是看“带头学科”的发展水平。因为自然科学的发展不是齐头并进的,一个时期总有一门“先导科学”走在其他学科的前面,带动其他学科的发展。这种被凯德洛夫称之为“先导科学”的学科的发展规定了这一时期科学技术发展的速度、规模和成就的大小,是科学发展的本质属性。用它作为判断一段时期内科学水平高低的标准也突出了近代自然科学产生以来科学发展的特点。近代自然科学的第一个先导部门是力学,产生于 17 世纪。在力学这个带头学科的促进下,近代自然科学的各学科先后发展完善起来,至 19 世纪初,当力学完成了自己作为近代自然科学第一个单一先导的作用时,科学革命的第一阶段也同时完成了。在差不多相同的时间里,中国传统的科学内部不但没有产生出可以充当第一个先导科学的近代力学,而且甚至很难找出能够充当自己传统科学体系内的先导科学来。和西方比较,中国科学技术从近代力学产生的时候起就开始落后了则是毫无疑义的。据此,本书把中国科学技术落后于西方的时间定在 17 世纪(即相当于明末清初)。

① 凯德洛夫.关于自然科学发展中的先导.哲学译丛.1978.(3).

(二)一条曲折的认识道路

从 17 世纪以后,中国科学技术从总体上开始落后了,认识到这一点是非常不容易的。经过了一条曲折的道路、付出了血的代价以后,才对此有所领悟。这一方面是因为现状和习惯束缚了人们的头脑,另一方面则由于闭关自守政策的影响。中国封建社会的前期,科学技术取得了辉煌的成就,经济、军事实力也达到一个空前的水平。1640 年,中国丝织品在秘鲁市场的售价只有同样的西班牙产品价格的 $\frac{1}{3}$,可见中国丝绸工业生产技术的先进。又如 17 世纪,荷属东印度公司为了维护他们的香料垄断贸易的特权,常诉诸武力迫使香料群岛的人民签订垄断贸易契约,到达中国沿海以后,他们也想强迫中国人签订这种条约。但中国是一个大国,就海上力量而言,当时中国平底帆船式的大战舰的大小不下于荷兰船只,吃水却比荷兰船浅,它可以顺利地通过令荷兰船只望而兴叹的浅滩。在作战技巧上,中国人又比荷兰人聪明,常使用自己之长,制敌之短。因此,虽面对着荷属东印度公司的挑衅,中国政府仍无所畏惧。当荷兰人抱怨说,他们足迹遍全世界,也从来不受几年一次贸易的时间限制时,中国政府针锋相对地回答说,考诸历代故事,尚无给外人以永久居留、设立贸易站和经常来华贸易的惯例。

这些经济和军事上的实力在封建统治者的头脑中渐渐形成了骄傲自大心理和无需向外界学习的傲慢态度,直到 18 世纪,当中国国力已经相当虚弱的时候,中国统治者还在狂妄自大,处处以“天朝上国”自居,吹嘘中国物产丰盈,无所不有,原不籍外夷货物,以通有无。长期形成的这种认识像紧箍咒一样束缚着中国统治者

① 全汉升.明末至清中叶与西班牙美洲进行的中国丝绸贸易.中国史研究动态.1980(2).

② [美]约翰·E·小韦尔斯.胡椒、枪炮及战场谈判.中国史研究动态.1980(4).

的头脑,睁眼也看不到世界变化的现实。因此,他们看不到西方科学的突飞猛进,看不到中国科学技术自身在走下坡路,这是丝毫不足怪的。

有两件大事促成了中国知识分子的觉醒。第一是传教士来华。自 1552 年 10 月,天主教传教士圣方济各·沙勿略到达广州起,一大批西方传教士陆续来到中国,同时也带来了西方先进的科学和技术。中国士大夫阶层的一些先进人物,从这股自西方吹来的风中朦胧看出了中国科学的落后,徐光启(1562~1633)就是这些人物中的出类拔萃者。他通过翻译介绍西方的科学知识,希望能改变中国的落后局面。但他的行动表明,他没有去思考造成中国科学技术落后的原因是什么。

第二是鸦片战争的爆发。这次战争使中国衰败落后的状况进行了一次彻底的亮相。鸦片战争开始时,英国的远征军只有配有大炮的兵船(帆船)16 艘,轮船 4 艘,其全部海陆军人员仅 5 000 多人。战争后期虽增加了兵力,也只有兵船 25 艘,轮船 14 艘,共载炮 700 多门。用这点兵力,在一个远离英国本土、具有 4 亿人民的中国边境作战,却非常容易地轰开了素有“金锁铜关”之称的虎门,先后占据了中国的许多沿海城市,在中国沿海、内河横冲直撞。战争的双方,一边使用着新式的坚船利炮,一边是弓箭、刀矛、一二百年前的大炮和火药。一个强盛,一个落后,形成了非常鲜明的对比。

战争的失败使中国当时的一些先进人物为之震惊。血的教训使他们又开始思考 200 多年前徐光启等人思考过的问题。从战争的失败中,他们不但承认了中国的落后,同时也在思考着造成中国科学技术、经济、军事实力落后的原因及改变这种落后状态的办法。可以说这是研究中国近代科学落后原因的真正的开始!林则徐(1785~1850)提出,要想改变这种状况,只有学习西方国家的制

① 胡绳 从鸦片战争到五四运动 北京:人民出版社,1981, 45~46, 40.

造枪炮、军舰的技术。他主张“制炮必求极利”，“造船必求极坚”。后来，魏源（1794～1857）提出了“师夷长技以制夷”的口号，主张先学习西方的军事技术，再向民用方向转化。

林则徐、魏源、李鸿章（1823～1901）等人虽看到中国国力落后的原因在于科学技术落后，却没有找到造成中国科学技术落后的根本原因是什么，即他们没有看到当时的根本问题在于统治阶级不重视科学技术；在于当时的封建社会制度对科学技术的需要是有限的。他们主张发展科学技术，却没有想到要去触动当时的封建统治这个根本问题。但新的生产力是同封建主义的生产关系及其上层建筑不相容的，是不能在封建主义的外壳里发展起来的，因而，他们的失败也是必然的。

以康有为（1858～1927）为首的维新派比之洋务派进步的地方在于，他们看到了造成中国国力衰弱及科学不发达的原因在于中国内部，因而主张维新变法，革除这些不利因素，但以不破坏君权为限度。这样的变法也不可能使中国的科学技术得到任何复兴。

这一时期真正能回答中国科学何以落后的只有孙中山。在孙中山创立的“兴中会”里，华侨占委员总数的78%，其中48%按其社会地位是华侨资产阶级。这些人深知西方的科学技术比落后的封建中国要先进得多。孙中山本人为了说明中国科学技术的落后，特地举了一个非常耐人寻味的例子：从表面上看，中国“生活最廉”，人民以极少数的货币收入糊口。可是如不用货币，而用劳动量来衡量，工人每天工作长达10多小时，工资仅能糊口，可见为得到最低必要生活资料而付出的劳动代价实在不是“最廉”，恰是生活“最贵之国”。为了改变中国落后局面，孙中山不仅领导辛亥

① 林则徐《密陈夷务不能歇手片》。林文忠公政书乙集（卷四），20。

② [苏]C. И. 齐赫文斯基《中国资产阶级民主革命——辛亥革命的思想体系》。外国哲学社会科学文摘，1981（9）。

③ 孙中山《实业计划》。孙中山选集（下卷），北京：人民出版社，1956，317。

革命推翻了清朝政府,建立了中华民国;而且他于第一次世界大战后,还写了《实业计划》一书,满怀希望地预言:“十年、二十年之后,不难举西人之文明而尽有之,即或胜之焉,亦非不可能之事也。”

但是他们认为,阻碍科学发展的根本原因在于满人统治,而不是整个封建制度。这种认识上的不正确使得他们发展中国科学技术的各种宏伟计划最后只能是一场梦!可见,仅仅看到中国科学落后,找不准造成这种落后的根本原因,这在当时的条件下想改变落后是无济于事的。但他们的失败也证明了造成中国科学落后的根本原因正是封建社会制度!在探讨中国科学为什么落后这个问题上,他们的功绩也正在这里。

这一时期除围绕着社会制度这个根本问题进行探索、改革外,对影响科学发展的其他方面,也曾有所揭露,有所触及。梁启超、严复(1854~1921)把科举制度看作影响科学发展的又一大因素,因而主张从培育人才着手。严复痛斥科举制度只能使人“消磨岁月于无用之地”,起到了“锢智慧、坏心术、滋游手”,“使天下无人才”的作用。梁启超大声疾呼“变法之本在育人才,人才之兴在开学校,学校之立在变科举。”他认为,“八股和一切学问都不相容,而科学为尤甚。……所以科举制度,我认为是科学不兴的一个原因。”严复还从中西科学的对比中认识到,中国科学不发达的另一个原因在于缺乏科学方法的指导。他认为西方的强盛来源于科学,而科学的发达归根于新的认识论的产生。他曾说过,“是以制器之备,可求其本于奈端;舟车之神,可推其源于瓦德;用灵之利,则法拉弟之功也;民生之寿,则哈尔斐之业也。而二百年学运

① 孙中山 中国民主革命之重要 孙中山选集(上卷) .北京:人民出版社,1956 . 65 .

② 严复 救亡决论 .

③ 戊戌变法资料(第三册) 21 .

④ 梁启超 中国近三百年学术史 .北京:中国书店,1985 28 .

昌明,则又不得不以柏庚氏之摧陷廓清之功为称首。”西方科学的兴旺发达还在于“三百年来科学公例,所由在在见报不可复摇者,非必理想之妙过古人也,亦以严于印证之故”。“一理之明,一法之立,必验之物物事事而皆然,而后定之为不易。”相反,中国文化学术上存在的根本问题就是主观臆造。如严复所说,“旧学之所以多无补者,其外籀(即演绎法——引者注)非不为也,为之又未尝不如法也,第其所本者,大抵心成之说。”由于中国人“不实验于事物,而师心自用,抑笃信其古人之说者”。“其例之立,根于臆造,而非实测之所会通也。”由此,严复认为,中国科学的落后是必然的,“其为祸也,始于学术,终于国家”^⑦。基于上述认识,为了提高中国科学水平,严复不仅自己编著《名学浅说》,开名学会,讲演名学,传播西方的科学方法,而且还用唯物主义经验论批判了中国哲学上阻碍科学发展的先验论。他指出,“夫陆王之学,质而言之,则直‘师心自用’而已。自以为不出户可以知天下事,与其所谓知者,果相合否?不径庭否?不复问也。”^⑧严复认为,由于中国传统哲学的概念极不严密精确,用此哲学“与梦呓又何以异乎”?“出言用字如此,欲使治精深严确之科学哲学,庸有当乎?”

20世纪20年代以后,科技史真正形成了一门独立的学科,对“中国近代科学为什么落后”这一问题的探讨增加了新的动力,也使对这一问题的研究进入了一个新时期。这一时期的观点归纳起来主要有:

① 严复 原强 .

② 严复 穆勒名学·部丙按语 .

③⑦⑧ 严复 救亡决论 .

④ 严复 穆勒名学·部乙上 第四

⑤ 严复 穆勒名学·部甲按语 .

⑥ 严复 穆勒名学·部乙按语 .

⑨ 引自李泽厚 中国近代思想史论 北京:人民出版社,1979 273 .

(1)从社会发展上找原因。如李约瑟认为:“ 无论是谁想要解释中国社会未能发展出近代科学的原因,那他最好是从解释中国社会为何未能发展商业的以及后来的工业的资本主义入手。”朱伯康和竺可桢提出:“ 中国最痛心者,为历史发展之不长进”;“ 中国自身只有上古史、中古史,而无近代史之意义相合。”“ 中国农村社会的机构和封建思想,使中国古代不能产生自然科学”。

(2)从上层建筑找原因。如认为:“ 中国科学的不发达,可说是受了儒家学说的影响。”因为“ 儒家传统反对……研究实物”。也因为“ 中国的哲学家没有科学求证的要求……他们所要了解的只是他们自己。在同样的情形下,他们也不要求科学的力量,因为他们所要驾驭的亦是他们自己”。这样,“ 从中国式的自然哲学向我们所知道的近代科学或精密科学转化,不能不产生很大的困难”。所以,“ 中国没有科学,是因为按照他自己的评价标准,他不需要任何科学”^⑧。

(3)从理论和实践的关系进行探讨。竺可桢指出,“ 科学实验最重要的工具,是人们的两只手。不用手无论什么实验也难做得的。”而“ 中国古代人大都不能把理论和实践结合起来,因为一般所谓士大夫都把实际工作看做是卑贱的事”^⑨。“ 以致每一儒生

① 李约瑟.中国科学传统的贫困与成就.科学与哲学.1982(第一辑).31.

② 朱伯康.论中国科学技术之发展与中断.科学月刊.(第29卷第四期).97~100.

③ 竺可桢.为什么中国古代没有产生自然科学.科学月刊.(第28卷第三期).137~141.

④ 李达.中国社会发展迟滞的原因.李达文集(第1卷).北京:人民出版社,1980.702.

⑤ [美]戴维·博达尼斯.为什么现代科学在中国不曾发展起来.国外社会科学.1980(1).71.

⑥⑧ 冯友兰.Why China has no Science(冯友兰博士论文).

⑦ [日]薮内清.中国科学的特点.科学史译丛.1981.2.

⑨ 竺可桢.中国实验科学不发达的原因.科学与中国.1936.43.

⑩ 梅森.自然科学史.上海:上海译文出版社,1980.75.

……极其珍视没有时间和机会去从事体力劳动的书生生活的规矩。用双手工作的人都不是读书人,读书人因此不会遇到作坊里的工匠和需要新技术的艺徒。”这种手与脑的分家,从两个方面造成近代科学在中国不发达,“一是不晓得利用科学工具,二是缺乏科学精神”。

(4)从科学方法的角度进行研究。如费正清认为,“科学未能发展同中国没有订出一个更完善的系统有关。中国人不会应用逻辑方法以一种思想来考验另一种思想,用一种说法系统地印证另一种说法。”陈立则更明确指出,中国科学不发达是因为“没有工具思想的直观方法”,“没有逻辑”。

还有少数学者从农业决定论出发,认为“中国思想家们的智力,并没有用在那可以形成机械学体系的各种工业生产问题上面;并没有把处理这些问题作为紧急任务。这个远东大国的根本智能,集中到了其他课题,即农业秩序所产生的、及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”。

此外,学者们还从民族性格、教育、经济等方面作了论述,这些论述集中到一点,就是“中国没有产生足以动摇中世纪的力量”,因而中国近代科学发展动力缺乏,只能长期停留在中世纪的水平上。

①③ 费正清 美国与中国 .65,63 .

② 竺可桢 中国实验科学不发达的原因 科学与中国 .1936 .43 .

③

④ 陈立 我国科学不发达之心理分析 科学与技术,1944(第1卷,第4期) .

⑤ K .A 魏特夫 中国为什么没有产生自然科学 科学时报复刊(第1期),1944 .

⑥ [日] 薮内清 中国科学的特点 科学史译丛 .1981(2) .4 .

第七章 近代科学产生的条件 及早期发展

一 近代科学产生的条件

近代自然科学是真正的现代意义上的科学,它与古代和中世纪的科学分属于两种完全不同的科学传统。但近代科学又是在古代科学的基础上产生发展起来的,它从旧框架中产生又脱胎成完全崭新的阶段,这就要一定的条件。促成近代科学产生的条件有以下几个方面:

(一)从旧科学传统向新科学观的转变

古代科学的代表人物是亚里士多德(Aristotle, BC384 ~ BC322)。到了中世纪,由于阿奎那(T. Aquinas, 约 1225~1274)的精心策划,将亚里士多德观点和基督教融为一体,从此亚里士多德观点也就成了近代自然科学产生前科学传统的最高体现。以亚里士多德思想为最集中体现的古代科学传统的主要观点有:

(1)在科学研究中不必使用数学。因为数学脱离经验,用它处理具有不完美性特征的地上事物,这在本质上是不能采纳的。

(2)天地两界说。认为天和地分属于两个不同的世界,一个是

① 这里所说的“条件”不是指“应该有哪些条件近代科学才会产生”,而是指“已经有了哪些条件才促成近代科学的产生”,也就是说这里是仅从存在的角度展开论述的,即通常意义上说的“背景”。

混杂的土的世界,一个是完美无缺的神的世界,一个是谦卑的、不稳定的,经历着变化和衰退,一个是高贵的、不发生变化和腐坏。组成这两个世界的物质也不同,地由四种元素组成,天由第 5 种元素“以太”组成;两个世界还服从不同的运动规律:形成天空的不朽材料已处在它应该在的位置,它只有转动才能保持在同一位置上,而地上的物体只能做上升、下降或沿直线运动。

(3)自然位置说。一切物体都有其自然位置,较重的物体沉于下,较轻的物体浮于上。趋向自然位置的运动是自然运动,而在任何其他方向上的运动都是强迫运动。在自然运动中力是不起作用的。

(4)力是强迫运动的原因。一个物体只有不断和别的物体相接触才能够不在它的天然处所,它只有被别的物体压迫才能运动,一旦压迫者停止操作,运动便停止。这表明,物体的速度是与推动者持续施加的力成正比,并且运动着的物体始终必须伴之以一个推动者,即要有一扇为神灵半开着的大门。

(5)不研究天体运动的原因。亚里士多德虽然研究天体运动的轨道,但并不准备回答“何以这些星体以这个特殊的轨道运动而不以别的轨道运动”这样的问题,他只是用圆最完善加以说明。他的观点压制了人们追问这个问题的好奇心达到 2 000 年之久,哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543)无批判地接受了它,甚至有一个时期伽利略(G. Galilei, 1564~1642)亦赞同这种观点。

导致亚里士多德观点衰落的主要原因有:

(1)公元 2 世纪,托勒密在自己的体系中设置了偏心圆和逆行,从而破坏了纯地球中心说和天体作严格的圆周运动的宇宙图景。在托勒密的启发下,哥白尼将宇宙图景完全颠倒了过来。哥白尼的行动对天地两界说是一个沉重的打击。由于他使天和地具有同等资格,由此出发再把宇宙中的所有点都看作同等资格就不难了,是哥白尼导致人们把空间看做是各向同性的。同时他为了解释恒星视差问题,又不得不假设恒星比想象的要远得多,这个假

设所包含的内容立即被布鲁诺(G. Bruno, 1548~1600)看到了,他把这一点从逻辑上推到无限,提出了宇宙无限性主张。到了笛卡儿(R. Descartes, 1596~1650),又把空间进一步定义为广延。这样,上下两个特殊方向、宇宙中心、及其周围的层次秩序的观念也就彻底失去了存在的基础。

(2)17 世纪,开普勒(J. Kepler, 1571~1630)的发现打破了“只有圆周运动才是完美的”这一和谐原则;同时代的伽利略用望远镜(1609)看到了太阳黑子、月球表面的凸凹不平和木星的卫星。这证明,天体并不是像亚里士多德所讲的那样是完美的、不变的,它们和地球并没有什么实质性差别,因而为地球和天体同质提供了最好的证据。

(3)亚里士多德认为,完美天球由高层天区域内起作用的规律所支持。虽然哥白尼沿袭了这一观点,但由于他把地球也实际看做一个天体,实际上他的观点中暗含着对亚里士多德的反驳。到了伽利略则采取了相反的研究路线,他把天体看作地上之物,把行星看作是服从于圆球沿斜面下落所适用的规律。这一倒置的做法的意义是巨大的,因为他一下子把动力学扩展到关于天体行为的研究中去,不仅破除了古代的科学传统,也为把整个宇宙还原为一致的物理定律做好了准备。

(4)1577 年,天空出现了一颗新彗星,它径直穿过曾被亚里士多德认为是不可刺透的水晶球所在的区域。这一新事实的发现给亚里士多德观点的打击是致命的,连一向十分保守的第谷·布拉赫(Tycho Brahe, 1546~1601)也在此后声明,不再相信这些水晶球体的真实性了。

(5)圣经和宗教势力也在某种程度上助长了人们对亚里士多德观点的怀疑。因为在《旧约全书》中提到上帝时指出过,星星和真正的天本身在上帝眼里也并非完美。这与亚里士多德的完美天界和无瑕的第 5 种元素是无法一致的。另外,文艺复兴时曾导致自然主义的盛行。这是一种泛心论和泛灵论,因为它把灵魂赋予

一切物体,并认为在自然界中任何地方都会出现奇迹。自然主义的出现对 17 世纪科学所面临的主要问题是不利的,因为它分散了科学家的注意力,无法集中到宇宙有规律这一中心任务上来。17 世纪在对亚里士多德的讨伐中,宗教势力也发起了对自然主义的反击。他们根据圣经中上帝的要求,只能允许一个奇迹,那就是上帝的智慧;他们渴望能证明上帝创世的恰当和完美,渴望证明上帝的理性是正确的。这从客观上有助于现代理性主义的产生,因为它启发了新一代的某些科学家,使他们认识到,证明上帝的理性正确确实意味着找出宇宙服从的统一的规律,否则便无法证明上帝的奇迹是唯一的。

在上述诸因素的影响和启发下,一批思想家开始了对亚里士多德的直接批判。早在 1543 年,拉莫斯(Pierre Ramus)就出版了《亚里士多德批判》一书;1581 年,桑彻兹(Francois Sanchez)也写书进一步抨击了亚里士多德的三段论推理,认为这种推理方式助长了玩弄言词的诡辩游戏;后来,培根(F. Bacon, 1561~1626)也曾谈到需要“清洗各种观念的头脑”,而笛卡儿提出“怀疑一切”也正是表明他决定使自己摆脱一切来源于古代世界的学说,包括亚里士多德理论。但他们都没有完成彻底清算旧科学传统的任务,完成这一任务的是伽利略。他从 14 世纪的冲力理论的发展得出结论,只在个别论点上抨击亚里士多德学说是徒劳的。这样,在 1625~1629 年间,他写出了《关于两大世界体系的对话》一书,从天文学、力学领域,详细考察了所有反对亚里士多德的论据,向该体系发起了全面进攻。再加上 16~17 世纪西方社会出现了词语使用习惯的变化,尽管其原因还不十分清楚,但这种变化是确定无疑地发生了。这种变化使亚里士多德哲学中的某些内容变得难以理解了,如那时的人无法想象那没有重量的恒星和天体,无法想象行星像是被固定在透明球体上。这种理解和感受上的变化又进一步加速了亚里士多德学说的衰落。

(二)社会风气之转变

欧洲中世纪,人们的精神状态是把希望寄托在天国来世,不想在现世有多大追求。一切都是盲从,很少进行思索;不需进行发现,不需进行努力,圣经和先哲已为世人准备好了万古不变的真理。这种麻木的、不求奋进的精神状态是无法进行科学探索的。要从这种精神状态下摆脱出来,首先就需要造就一股强大的社会力量,而起源于意大利发生在1500年前后的文艺复兴运动就充分提供了这样的力量。大量翻译古希腊的著作,给知识界提供了相互竞争的科学体系,导致了有关古代权威的论战(如关于亚里士多德和盖伦之间的争论),提供了迫使人们作出抉择的重大问题,人们再也无法靠盲从生活了。可以说文艺复兴运动是“人们的思想从古代的停泊处解开缆绳,在广阔的探索求知的海洋上启航前进”的出发点,只经过几代就产生了充满好奇心、热爱生活和有自信心的人,他们探索自然界的新热情和对精神抽象的关注终于使知识界完成了从中世纪的精神状态向科学革命的过渡。

另一方面,在文艺复兴前后出现了一系列的新的发现,如1492年哥伦布(C. Columbus, 1451~1506)“发现”了美洲大陆;1498年达·伽马(Da Gama, 约1460~1524)发现了经非洲好望角到达印度的航线;1519~1522年麦哲伦(F. Magellan, 1480~1521)环球航行成功。这一系列新发现极大地开拓了人们的视野,激起了人们的探索热情。

在文艺复兴前后,科学也在不断地前进发展着,科学的发展证明了圣经并不是不可更改的。如按照圣经说法,上帝是先按照自己的形象创造了亚当,然后亚当用自己的一根肋骨创造了夏娃。这样,男人的肋骨应该比女人少一根。但在解剖刀下,男女都是24根肋骨,而且左右肋骨数相等。神学家们曾说,人体上有块主

① 弗·卡约里 物理学史 呼和浩特:内蒙古人民出版社,1981.30.

宰人的生死的‘复活骨’，解剖表明这也是虚构的。是一系列的科学发现大大降低了圣经和神学说教的信誉，促成了信仰崩溃，解放了思想。在这种背景下，维萨留斯(A . Vesalius, 1514~1564)才能够说出‘让神学家们胡说八道去吧’这样的在过去看来纯属大逆不道的话。

一旦解放了思想，冲破了禁区和有害的信仰，世风就会随之改变。如果说在哈维(W . Harvey, 1578~1657)时代剑桥大学的医学课还主要是讲逻辑和神学；1546年亨利八世在牛津和剑桥设立的5个钦定教授席位(神学、希伯来语、希腊语、罗马法、医学)中很少考虑科学，那么到1575年格雷山姆学院建立时，就设立了数学、天文学教授席位。1628年厄尔(John Earle)在《社会缩影》(Microcosmographie)一书中曾描述了54种‘人物’或‘类型’，其中没有包括一位科学家，这说明科学仍然受到社会蔑视。但到了17世纪中叶，科学作为一种社会价值的评价尺度已明显上升，这首先表现在社会上献身于科学职业的人数与日俱增。默顿(R . K . Merton, 1910~)根据《国民传记辞典》进行的统计表明，若将1601~1700年按每25年分期，则教士与科学家人数之比呈现明显变化，前者分别为37.2%、30.1%、19.5%、13.2%，呈连续无中断的下降趋势；后者分别为12.8%、28.2%、31.4%、27.6%，呈明显上升，并在1651~1675年间达到顶峰。这样，按对科学的初始兴趣的发生期与重要科学成果出产期之间存在有10~20年的时间差这一规律进行验证，就可以看到，科学高峰发生在牛顿时代就不是偶然的。

对科学的评价明显上升的证据还表现在显贵名流的兴趣也转向科学并从功利性出发提倡科学。17世纪30年代，迪格比(Kenelm Digby)爵士首开学习科学之风气；到中期，赫伯特(Lord

① R . K . Merton . *Science, Technology & Society in Seventeenth Century England* . New York, 1970 . p37 .

Herbert)侯爵也对解剖学研究加以鼓励,并提倡学习算术、几何;查理二世本人对化学、航海感兴趣,鲁珀特王子称赞并躬身自然哲学事业;黑尔(Matthen Hale)爵士和吉福德(Keeper Guieford)侯爵专注于流体力学研究。资产阶级发现,除了商业外,科学活动也是社会地位升迁的一种十分令人向往的工具。

到了17世纪后半叶,在社会价值体系中科学已经跃升到一个受人高度尊重的位置,牛顿的老师巴罗(Isaac Barrow)在任剑桥大学希腊语教授时就亲身经历过这种世风的大转变:过去被视为热门学科的希腊语学生人数竟然少得可怜,而自然哲学的课堂学生却总是满满的。他形容当时的心情说:“我孤零零地坐在那里,就像一只雅典的猫头鹰,被赶出其他鸟类的伴群。”为免于继续难堪,1663年他辞去了这一教席,改任鲁卡西数学教授席位。

(三)基督教的衰落

14世纪时,经院哲学家奥卡姆(W. Ockham, 约1285~1349)就提出了“经验自立论”,认为经验就是其本身,个别的经验的事物与神学毫不相干,其本身是可以认识清楚的。他提出这个观点的背景是,传统的经院哲学家认为,人类的知识是以神为基础的,经验的事物比神低下,因而应不予重视。奥卡姆的功劳在于,他把经验的事物从神学中独立了出来,为重视经验提供了根据。到了16世纪,布鲁诺又提出了“多元世界”的实际存在问题,由此产生的连锁反应就是,其他世界上的人需要赎罪吗?是否有那么多的救世主显现那么多的化身和那么多需要赎的罪呢?这是对基督教信仰的打击。

17世纪时,由于清教和实验哲学盛行,在英国哲学界出现了以霍布斯(T. Hobbes, 1588~1679)、洛克(J. Locke, 1632~

① R. K. Merton. *Science, Technology & Society in Seventeenth Century England*. New York, 1970. p95.

1704)为代表的自然神论,他们认为,宇宙被上帝创造以后,便按照自然的规律发展下去。这是试图在科学中彻底清除上帝干预的努力,正如马克思指出:“自然神论……不过是摆脱宗教的一种简便易行的方法罢了。”

基督教传统的衰落是许多因素起作用的结果:

首先是科学发展,其次是新科学事实的发现,第三,也是最重要的,在社会革命的冲击下,宗教内部从信仰到行动都发生了一场大革命。16世纪,英国开始发生了一场资产阶级革命,这场革命的反封建矛头首先对准了教会,要求对宗教进行彻底改革,消除英国国教会(圣公会)中的天主教影响。这场历史上有名的“清教”运动产生了许多新教派,但它们有一个共同的价值核心,那就是新教伦理,其中包括:

(1)对“善行”看法的改变。他们认为,不论什么行为,只要它能使人类的生活变得更甜蜜,在上帝眼里就是善行。这种“知识按其有用性来评价”的原则,无疑会把科学的价值大大提高。

(2)“颂扬上帝”一语内涵的改变。过去天主教认为,颂扬上帝就是读《圣经》。现在新教各派认为,“公益服务是对上帝的最伟大的服务”。过去天主教认为,上帝的意志是一切事物的一个原因。这种意志是神秘的,不可探索的。后来新教各派把研究自然现象看作是从上帝的作品中研究上帝,是促进赞颂上帝的一种有效的手段。

一旦教徒的观念发生了变化,他们也会和世人一样,对阻碍科学发展的障碍进行批评或反对。不仅如此,有许多新教徒,尤其是清教徒还身体力行,为科学发展作出了具体贡献,如皇家学会初期的68个会员中有49人是清教徒,该学会的创始人威尔金斯(John Wilkins)和被惠更斯(C. Huygens, 1629~1695)描绘为皇家学会的灵魂的莫里(Robert Moray)爵士都是清教徒,他们对科学的贡

① 马克思,恩格斯.马克思恩格斯全集(第2卷).北京:人民出版社,1957.165.

献,尤其是对近代科学产生的贡献是不可磨灭的。默顿指出:“既然宗教直接赞扬科学,既然宗教是一种占主导地位的社会力量,既然科学在该世纪后半叶显然受到社会的较高尊重,我们就必须推论说,宗教在这一改变了的态度中扮演了一个重要的角色,这尤其是因为我们有着许多外部的确凿证据。”

(四)科学方法之演进

科学方法的演进也是逐步的,并由许多条件共同促成的。这些条件有:

1.来自神学的“自然界有秩序”的观点的确立

近代科学赖以建立的基础是一组通常含而不露、极少受到该时代大多数科学工作者质疑的假设,那就是“自然界是有秩序的”。有了这样的信仰,科学家才肯花力气去寻找这样的秩序,才敢于在提出一种不成熟的理论后想法用实验去检验它。上述的研究模式就是先提出假说,然后再去检验。而“自然界有秩序”这一观点又是无意识地导源自中世纪的神学。

2.唯名论的复活及对古希腊原子论的恢复

中世纪的训条是,“凡是以视觉为依据的,都不可相信”。他们对观察存在有偏见,认为观察得不到任何有价值的知识,因此当教士和经院哲学家被请去看尸体解剖或用望远镜去看星空时,他们宁愿相信与观察相矛盾的书本上的知识,也不相信观察到的事实。有助于将此观点扭转的动力首先就是唯名论的复活及其对古希腊原子论的提倡。

3.科学家的努力

科学家不仅对科学问题敏感,对科学方法问题也同样敏感。他们出于研究的需要,经常会采用一些新的研究方法。如哈维在

① R . K . Merton . *Science, Technology & Society in Seventeenth Century England* . New York, 1970 . p107 .

血液循环研究中就是先提出猜测,然后设法用实验加以检验。这种方法就是现代科学上常用的“假说—实验证实”方法的较原始形式。不仅如此,哈维的发现还促进了近代科学所需要的思维方式的产生,因为既然血液贯穿动脉然后经静脉返回,组成了一个循环,人们自然又会继续问:它运载什么?如何、为何以及在何处装载它?它又如何、在何处以及为何又放弃它们?这种思维方法正是科学进步具有内部动力的根据,而科学明显体现出有内部动力特征,那还是近代科学产生以后的事。

用数学方法研究科学问题的趋势不断上升,这也是科学家不断努力的结果。1543年阿基米德(Archimedes, 约BC287~BC212)的著作被翻译出版后,对科学家产生了很大影响。接着伽利略开创了把力学问题几何化的研究方法,他的后继者用数学方法算出了大炮有最大射程时应被放置的角度,但却把对该计算结果的检验工作留给了以后的实验。他们开创的这一重要的方法论原则极大地促进了数学在科学研究中的应用,并促使哲学家进行反思:如何培养把科学问题转变成数学问题的能力。笛卡儿显然是沿着这条路前进的,他坚信一切事物都可以从数学上加以说明。后来开普勒的工作较之伽利略又是一个进步,他所关心的只是如何在天空中引出数学的比例,而不是天球的现实乐曲。相比之下,在伽利略身上依然可见到把天空变换成圆球和球形关系的古老企图。开普勒的工作更进一步向人们展示了数学的重要性,人们看到,第谷的观测资料只有在开普勒用他的数学眼光去看待时才能转化为无价之宝。在这许多科学家的共同努力下,到了牛顿时代,在科学中应用数学已成为科学家不可缺少的手段,以致牛顿在没有能够对“可以把天体质量看作集中在它的中心”这一猜测进行数学证明之前,宁愿不要发现的优先权也不肯发表他的研究成果。

4. 哲学家的提炼概括

对近代科学方法的确立贡献较大的哲学家有R.培根(R. Bacon, 约1219~1292)、F.培根和笛卡儿。

R.培根,被贝尔纳尊称为近代科学革命可能由他开始的伟大学者明确提出了“实验科学”的概念和实验方法论,坚信证明前人说法的唯一方法只有观察和实验。丹皮尔称培根的态度是“心理态度的一次革命性的改变”,并认为“在中世纪的欧洲,R.培根是在精神上接近他以前的伟大的阿拉伯人或他以后的文艺复兴时代的科学家的唯一人物”。此外,R.培根的工作还为300多年后F.培根建立实验方法论作了直接准备。

F.培根在方法论上的重大贡献有二点,即制订实验方法论原理和提出科学研究的新工具——科学归纳法。

由于F.培根的归纳法是以实验方法所确定的可靠事实作为事例,又有为理智所提供的帮助,应用这种方法时就能排除偶然相关,达到对规律的认识。这是真正的科学归纳法,马克思称他是“整个现代实验科学的真正始祖”是一点也不过分的。

和F.培根一样,笛卡儿也致力于为正在兴起的近代科学提供“新工具”,那就是他的《方法论》。

首先他制订了获致知识的基础的方法。共有4条基本原则:

(1)排除一切成见。只把那些清楚明白、毫无怀疑余地的东西当做真的加以接受;

(2)找出能够用来建立一切知识的基础。即把所考察的困难尽可能分解,直至能恰当解决;

(3)从最简单最容易认识的对象开始逐步上升到对比较复杂的对象的认识;

(4)完全列举并加以普遍考察,以确信毫无遗漏。

其次,他改造了以往的三段论方法,代之以他的数学—演绎法。这是因为他相信传统的三段论“都只用来传达我们已经知道

① 丹皮尔.科学史 北京:商务印书馆.1979.146,145.

的东西……而不是用于研究未知的东西”。改造的途径是把代数的推理同逻辑结合,使之成为普遍适用的演绎推理工具。这样他创立了解析几何,发展出了数学—演绎法,从而成为以后方法论的逻辑阶段的两大支流之一。

(五)中国文化的影响

中国文化对近代科学的影响表现在两个方面:

(1)物态文化的影响(主要指四大发明)。关于四大发明对欧洲科学复兴的巨大作用,马克思、恩格斯都有精辟明确的论述。马克思称火药、指南针、印刷术是“预告资产阶级社会到来的三大发明”,“火药把骑士阶层炸得粉碎,指南针打开世界市场并建立殖民地,而印刷术变成新教的工具。总的来说,中国的四大发明变成科学复兴的手段,变成精神发展创造必要前提的最强大的杠杆”。恩格斯认为,中国的四大发明“不仅使希腊文学的输入和传播、海上探险以及资产阶级宗教改革真正成为可能,并且使他们的活动范围大大扩展,进程大为迅速”。

(2)有关中国的著作及中国的思想道德对西方产生的影响。《马可波罗游记》是14、15世纪对欧洲人影响最大的一本有关中国的著作,书中那大量生动的描写使欧洲人大为惊奇。它极大地刺激了欧洲人要改变现状的信心和决心。

此外,中国文化对欧洲文艺复兴运动的影响还表现在绘画上。文艺复兴时期的画家常将《马可波罗游记》中所描述的事件作为绘画的题材,达·芬奇(L. da Vinci, 1452~1519)的名画《蒙娜丽莎》中的画面背景就是一幅中国式的山水。文学家也常以这些材

① R. Descartes. *A Discourse on Method*. J. M. Dent & Sons. Ltd, 1912. Part 1. p. 3.

② 马克思.经济学手稿.马克思恩格斯全集(第47卷).北京:人民出版社,1971. 427.

③ 恩格斯.自然辩证法.北京:人民出版社,1971.171.

料作为他们创作的依据和灵感来源。文学艺术的发展是欧洲文艺复兴运动的重要组成部分,它们和其他因素相结合共同促进了近代科学的诞生。

中国的哲学对西方也有很大影响。笛卡儿在《方法论》中曾热情地颂扬了中国人的智慧和理性;发明二进制的莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646~1716)非常赞赏中国的八卦;中国的孔子成了 17、18 世纪欧洲思想界尊崇的目标之一,他的仁学思想和教育思想成为欧洲当时进步思想的来源之一。尤其是欧洲的启蒙运动也深受中国哲学的影响,他们用中国哲学之“天”作为他们启蒙运动的旗帜。由于启蒙文化是用理性文化推翻中世纪的宗教文化,用理性权威代替上帝权威,他们必然会借用中国哲学的“道天观”作为他们崇理性反上帝的武器,正如李约瑟(J. Needham, 1900~1995)指出的:“启蒙时期之哲学家……固皆深有感于孔子(BC551~BC479)之学说……社会进步之理想,唯有依赖人性本善之学说,方有实现之望。”

综上所述可以看出,说中国文化是近代科学诞生的一个源,一个重要的源,是有道理的,从科学社会史的角度来看,这更是一个必不可少的条件。

二 近代科学的早期发展

按照学术界普遍接受的观点,近代科学是从文艺复兴开始的。而文艺复兴开始于 14、15 世纪,在文艺复兴影响下最先发生科学革命的领域是天文和生物学。

① 李约瑟.中国文明.香港:大公报 1942 年 8 月 31 日.

(一)哥白尼的《天体运行论》

1.《天体运行论》成书背景

在哥白尼所处的时代,托勒密(C. Ptolemy, 约 100~170)的“地心说”在欧洲占统治地位。中世纪的教会把地心说加以神化,用它来作为证明上帝存在的依据。到 15、16 世纪,由于航海事业的发展,需要精确地测定船只的坐标,因而大大推动了对天象的观测。随着天象资料的积累,人们提出了托勒密体系无法回答的一系列新课题。实践的发展要求天文学必须进行一次重大的改革。哥白尼正是在这样的时期诞生的。

1473 年 3 月 19 日,尼古拉·哥白尼出生在波兰维斯杜拉河畔的托伦城的一个商人家里。他十岁丧父,由他的学识渊博、思想开朗的做主教的舅父抚养。在舅父的影响下,哥白尼从小酷爱自然科学。1491 年,哥白尼进入克拉科夫大学学习。这所大学以天文学和数学称著于当时的欧洲。在这所学校里,哥白尼虽然是获得了医学学位,但他对天文学产生了浓厚的兴趣,花了大量的时间阅读天文学和数学著作,研究理论和实用天文学,学会了使用天文仪器进行观测。

1496 年,哥白尼到意大利留学,在那里获得了博士学位。在这期间,他结识了著名天文学家诺瓦拉,他们经常在一起观察天体,讨论有关天文学的问题。诺瓦拉曾批评托勒密体系太繁琐,不符合数学的和谐。他们讨论了托勒密的《至大论》的错误以及改进托勒密体系的可能性,这都激励了哥白尼立志投身于改革天文学的研究。

1503 年,哥白尼从意大利回到波兰,任牧师职务。在牧师工作期间,他也将许多精力倾注于天文学的研究和观测。他利用教堂城垣的箭楼建立了一个小小的天文观测台,自制了一些观测仪器,经过三十年如一日坚持不懈的努力,哥白尼终于完成了他的天体运行体系,写出了划时代的巨著《天体运行论》。

2.《天体运行论》概说

《天体运行论》共分六卷。第一卷简要介绍了日心学说的基本观点,是全书的总纲。论述了地球的运动、各星球轨道的位置、宇宙的总体结构,论证了为什么地球也是一个行星,并解释了四季循环的原因,回答了对地动说的种种责难。第二卷介绍数学原理,运用球面三角运算来说明天体的视运动。第三卷讨论地球绕太阳的运动。第四卷讨论月亮绕地球的运行。第五卷讨论五大行星的运动,并着重论述地球运行如何影响着诸行星在经向的视运动,以及如何使所有这些现象具有准确而必然的规则。第六卷继续论述行星运动,着重考虑造成诸行星在纬向偏离的那些运动,表明地球运动如何支配着这些现象,并确定它们在这一领域中所遵循的法则。

关于“地动”还是“天动”,哥白尼的思考是机智而辩证的。他认为,关于各个天体运动表观上的种种不均匀性,这是由于地球不处于它们运转的圆心,而是离宇宙中心有一段距离所致。因此必须首先仔细地研究地球在天空中的地位,以免本末倒置,错误地把地球运动造成的现象当成天体运动的结果。他指出,如果不是假定天穹,而是假定地球从西向东转,那么所有严肃地思考的人就会发现,我们的结论是正确的。天穹包容万物,为什么要把运动归于包容者而不归之于被包容者呢?

哥白尼指出,托勒密体系之所以繁琐,乃在于他把地球的三种运动(自转、公转和地轴的运转)都强加给每一个天体,这样每个天体都加了三个圈,因而使宇宙体系人为地复杂化了,以至于在托勒密的体系中要有 80 多个圈。这就使一些十分聪明的人也难免要头晕目眩了。哥白尼在《天体运行论》第一卷的第十一章中,具体说明了地球的三种运动。第一种是“地球自西向东绕轴昼夜自转”。由于这种运动,使整个宇宙看起来都作沿“回归圈”的反向运动;第二种是“地心同地球上的一切物体的周年旋转,在金星与火星轨道间的黄道上从西向东运行”,由于这种运动,使太阳看起来好像在黄道上作相似的运动;第三种是“倾斜面的运动”,即赤道面

或自转轴相对于日—地联线的运动,它同第二种运动合成的结果,使自转轴相对于恒星天球的方向不变,这个合成运动即现在所说的地球的公转。

在哥白尼将转动的主体作了一个颠倒以后,便提出了他的宇宙结构:最远的不动的是恒星天球,然后由远而近依次为土星、木星、火星、地球、金星和水星,它们都画出以太阳为圆心的同心轨道;他说:“中央就是太阳。在这华美的殿堂里,为了能同时照亮一切,我们还能把这个发光体放到更好的位置上吗?太阳被称为宇宙之灯,宇宙之心,宇宙的主宰。……太阳好像是坐在王位上统率着围绕它转的行星家族。”(见图 7-1)

哥白尼认为,所有的行星,包括地球在内,都是围绕太阳这个中心旋转的。唯独月亮是绕着地球为中心的轨道运行的。他说:“我们不能把月亮同地球分开”。哥白尼把月亮叫做地球的“卫士”或“侍从”^③。后来演化成为“卫星”,一直沿用到现在。

哥白尼在其巨著中强调,“我个人相信,重力不是别的,而是神圣的造物主在各个部分中所注入的一种自然意志,要使它们结合成统一的球体。我们可以假定,太阳、月亮和其他明亮的行星都有这种动力,而在其作用下它们都保持球形。”这无疑对牛顿创立万有引力定律和研究宇宙动力学问题,也是一个很重要的启示。

3. 哥白尼创立日心说的过程

古代的柏拉图相信,圆周运动是绝对完美的运动。但柏拉图时代已经发现,有少数星体看来是在天空中游荡着,它们在一年的行程中描绘出漫无规则的混乱图形。在柏拉图看来,行星的表现不合理想要求,但可以用完美的理想圆形组合去补救,这样既可以挽回行星的现象和表现,也可保全学说的体面。柏拉图自问:“必须假定每颗行星作何种均匀而有秩序的运动,才能说明表面上它

①③ 尼古拉·哥白尼.天体运行论.武汉:武汉出版社,1992.24.

② 尼古拉·哥白尼.天体运行论.武汉:武汉出版社,1992.22.

是任意的,尽管合运动与已知的观测数据相符,但却不是原先假想的匀速运动。

他认识到,如果不是把地球而是把太阳放到宇宙中心,行星的轨道便可大大简化了。

第二步,哥白尼思考了他所选择的地动观有没有根据。他列举了持这种观点的几位古代哲学家。他说:“……起初我从西塞罗(Cicero, BC106~BC43)那里发现,赫塞塔斯(Hicetas)曾假定地球是动的……从普卢塔克(Plutarch, 46~120)那里我注意到,还有其他人也持此种见解。……受到这些看法的启发,我自己也开始考虑地球的运动。虽然这种看法我觉得有点荒谬,但我想,为了解释天体现象,人们可以想象出许多圆,我为什么不能试一试,或许假设地球是运动的,会使我找到更为合理的解释来阐明这些运动……经过长期的反复的研究,我终于得出了结论:如果把其他漫游天体的运动都归并到地球运行的圆轨道上去,则不仅它们所引起的那些现象可以作为结果被推导出来,甚至这些天体自身、它们按顺序或按大小排列的行程、以及天空本身都形成一个彼此联系在一起的整体,只要在某个地方或它的某一部分未发生某种扰动,那么其余部分和整体也都不会有任何改变。在这个基础上……我阐明了所有轨道的位置,同样也阐明了,我认为地球是运动的。”

第三步,哥白尼把他的体系和托勒密的体系作了比较。他发现:他的理论有四个优点。首先是大大简化了水星和金星的轨道。

另外,哥白尼在他的理论中也把需要的运动组成元素的数目减少到34个,从而为天文学家们使用他的结构实际问题带来了更大的便利。第二个优点是它对行星的逆行给出了自然得多的解释。第三个优点是它允许外层的恒星球处于静止状态。第四个优点是提供了所有行星都必须以确定方式遵从的唯一图式,而托勒密体系中却要求每颗行星各有各的独特运动结构。

① 转引自[美]库珀.物理世界(上卷).北京:海洋出版社,1984.66~67.

在托勒密体系中,水星、金星、太阳因具有相同的周期(一年),曾在如何排列其次序上发生过分歧。但在哥白尼体系中一切都是那样的确定,正如哥白尼自己说,他的体系“把所有行星的顺序和大小,行星球或轨道圆的顺序和大小以及天穹本身都联系得如此紧密,以致要在任何一个部分里改变任何一件东西,都必然会在其他部分及整个宇宙中造成混乱”。虽然这句话有些夸大,但哥白尼体系确实为确定行星轨道的相对大小提供了一个更好、更直接的方法。

第四步,哥白尼试图为日心说提供更多的可信成分。哥白尼清楚地知道,他的理论几乎与常人的理解完全背道而驰,他必须提供更多的理由,以便与可预料到的批评相抗衡。首先他试图使他的假定巧妙得至少像托勒密假定那样同教义吻合。为了做到这一点,哥白尼用了许多笔墨去论证托勒密体系的缺陷,论证他自己的体系是多么和谐和有条理。哥白尼像他那个时代的其他人一样,认为可观察到的世界只是上帝意志活动的象征,从外表看来混乱不清的数据中找出对称和秩序,这种活动便是对神的尊敬,是神的存在的一又一证明。哥白尼自认为他找到的对称和秩序比托勒密体系好,因而也更明白无误地反映了神圣缔造者的思想。

其次,哥白尼准备了足够的定量材料,使其著作在数学上达到了同托勒密著作同等的地位。比如他计算出了他的体系中各组成元素的相对半径和速率,以便能够编制出行星运行表。哥白尼在把他的著作《天体运行论》献给教皇 Paul III 时也说过,他的研究结果在与历法问题有关的地方可能对教会有些贡献。1582 年教皇 Gregory VIII 在制定格里高利历时也的确把哥白尼体系作为天文计算的基础。尽管这不意味着教会已经接受了哥白尼体系中的物理假定(特别是地球的运动),但至少教会已把哥白尼体系看成是一

① 转引自 S. G. Holton . 物理科学的概念与理论导论 . 北京:人民教育出版社, 1983 35 .

个更适宜于运算的体系。当时至少在 $\frac{1}{6}$ 度的观测误差范围内,托勒密体系和哥白尼理论都能同样正确地预言行星的未来位置。

4.对哥白尼学说的反对

前已提到,哥白尼的《天体运动论》初稿完成于1512年,但为什么到1543年才公开出版?原因就是哥白尼已预料到,他的著作出版时必然会遭到激烈的反对!归纳起来,反对的理由主要有四个方面:

(1)根据‘地球不动和地处宇宙中心’的教义进行反对。在哥白尼那个时代,欧洲的所有宗教信仰者,包括新出现的耶稣教徒(基督教新教教徒)在内,都会在圣经中找到足够的章句,以确证神圣缔造者是根据托勒密蓝图工作的。例如《圣经·约书亚记(Joshua)》第10章13节就有这样的记载:“上帝将阿莫列依交给犹太的那一天,耶稣向上帝呼吁,并对犹太人说:‘停下来!太阳,停在加瓦昂上空,月亮停在阿亚隆斯基盆地上空’。太阳停住了,月亮也停了下来,直到人们向敌人报了仇。这事不是在雅煞珥书上写着吗:‘太阳停在天空当中,几乎一整天都没急于转向西方’。”100多年后,当莎士比亚写出《哈姆莱特》时,剧中主人公哈姆莱特还是相信太阳是运动的,把太阳的运动看作不容置疑的真理:

不要相信星星就是火,
恐怕太阳确实在运动;
不要以为真理不会骗人,
但是请相信我的爱情。

正是因为整个中世纪宇宙论和物理学全部是建筑在地球是宇宙的中心这种观念上的,人们才能设想,像石头之类的物体之所以落到地上,是因为它们都趋向宇宙中心的缘故。如果地球是很快

① 中华圣经会 新旧约全书 .1948 .324 .

运动着的,它就无法在空间占据某种特殊地位。这样就很难理解,物体究竟为什么仍会落向地球呢?所以不论哥白尼怎样努力,他都不能说服他的读者相信,日心体系至少是和地心体系一样是接近神的思想和意图的。当时马丁·路德咒骂哥白尼是白痴和异教徒,罗马天主教教会把《天体运行论》列入“荒诞而完全违犯圣经”的禁书目录之中,并撤消了对哥白尼以前写的《纲要》的褒扬。连对托勒密地心体系有严重怀疑(因为托勒密地心体系没有坚持亚里士多德说过的严格的匀速圆周运动)的阿奎那(Thomas Aquinas, 约 1225~1274)也认为抛弃地心假说看来仍然在哲学上是错误的和荒谬的、危险的和异想天开的。

(2)除了哲学信条外,让地球动起来也存在许多难以理解的困难。比如按照亚里士多德的物理学,整个天空是由一种假定没有重量的稀疏物质构成,因而比较容易转动,所以转动是符合天空的本性的。但要使沉重而懒惰的地球转动,却需要有某种异常巨大的力量。这种力量当时显然无法找到。其次,当时人问,一旦地球转动起来,为什么飞着的鸟不会落在急速旋转的地球后面呢(哥白尼说,地球转动时大气被吸着一块儿转动。在伽利略的相对性原理提出之前,人们显然难以接受它)?第三,当时人问,若地球绕自身的轴线快速旋转,它应当像一个急速转动的飞轮一样,被粉碎并飞向各方。哥白尼反驳说:“要知道,宇宙比地球大多少,它的运动速度就应当比地球快多少。为什么你们不假定宇宙也会被粉碎并飞向各方呢?”但若站在托勒密理论的立场上来看待哥白尼的反驳,就又会觉得哥白尼无道理了,因为天体本来就是由细微的、无形体的物质组成,根本就无重量!

(3)恒星周年视差问题。若太阳处在宇宙的中心,地球上的人应该看到恒星周年视差。对此哥白尼解释说:“……宇宙之大何其广阔:从太阳到地球的距离与某些行星轨道大小相比虽然已经显

① 尼古拉·哥白尼《天体运行论》,武汉:武汉出版社,1992,15。

得非常巨大,但同恒星球的大小相比,简直微不足道。”正是由于我们到诸恒星的距离‘如此巨大,以致我们甚至觉察不出它们的表观周年运动……”

这个观点本来是正确的,但在当时人看来这是难以接受的。因为宗教宣传说,地狱近在咫尺,所以人要不断修行,才能升入天堂,消除原罪。但根据哥白尼的说法,幸福的天堂是如此遥远,高不可及,很让人不放心。其实,即使人们真的观察到了恒星的周年视差,也无法证明哥白尼的理论一定对。因为根据托勒密理论,恒星的巨大周日运动是由本轮、均轮组成的,恒星围绕本轮转动,本轮中心围绕均轮转动。这样在地球上的人不是同样可以看到恒星周年视差呢?

(4)哥白尼理论除了简单这一点外,并没有给当时的天文学家提供足以压倒地心体系的证据。也就是说,当时不存在只能用一种体系而不能用另一种体系来解释的重要观测结果,不存在断然决定孰胜孰负的证据。当然人们就没有理由一定要抛弃旧理论接受新理论了。

5.《天体运行论》的科学及文化意义

哥白尼关于地球运动的思想,是重大的划时代的科学成果,它在科学上和思想文化上的巨大革命作用表现在:

第一,哥白尼将科学认识天体运动的参考系中心由地球移到太阳,从而成为 15 世纪和 16 世纪向当时的宇宙图式挑战的巨人之一,也迈出了近代宇宙学研究中最困难同时也是最重要的一步,我们现在知道的宇宙科学就是在这一步的基础上发展起来的。

第二,哥白尼关于旋转运动是天体“固有的性质”的思想,在当时具有革命的性质。在托勒密的体系里,所谓“原动天”和“最高天”等各类天体不但都是由造物主造就的,而且也是由诸天使推动

① 转引自 S. G. Holton .物理科学的概念与理论导论 .北京:人民教育出版社, 1983 39 .

的。然而在哥白尼的体系里,天体的运动是它们自身固有的性质,而“原动天”和“最高天”也只不过是一个静止的供计算运动用的参照物而已。这正是牛顿后来提出绝对空间假设的思想先驱。

第三,作为构筑哥白尼理论体系的基本出发点的“相对运动观”具有重要的认识论和方法论的转折意义。哥白尼指出,“每观测到一个位置的变动,它可能是由被观测物体或观测者的运动所引起,当然也能够由这两者的不一致的移动造成。当物体以相等的速率在同一方向上运动时,运动就觉察不出来,我指的是被测物体和观测者之间的运动觉察不出来。我们是从地球上看到天界的芭蕾舞剧在我们眼前重复演出。因此,如果地球有任何一种运动,在我们看来地球外面的一切物体都会有相同的,但是方向相反的运动,似乎它们越过地球而动。周日旋转就是一种这样的运动,因为除地球外似乎整个宇宙都卷入这个运动。”哥白尼还通俗、生动地比喻说,当船舶静静地行驶,船员们从外界每件事物都可看到船的运动的反映,而在另一方面,他们可以设想自己和船上一切东西都静止不动。与此相同,地球的运动无疑地会产生整个宇宙在旋转这样一种印象。这是在伽利略以前提出过的关于相对运动的最明确的科学论述,是批判神学教条的利器,也是开启人类科学认识的钥匙。数千年来人们看惯了日月星辰东升西落的现象,托勒密的解释也正好符合人们的常识。但是哥白尼对这个看似真理的常识的深刻思考所得出的结论告诉我们,常识也可能是错误的。科学不等于常识。对习以为常的东西投以好奇的一瞥,并进行科学的分析,就有可能发现科学的真理。

第四,哥白尼的“日心说”开辟了行星运动问题与此后 150 年间发展起来的“普通”(地球上)力学的简单定律之间相互结合的道路。这是两门科学、甚至两种方法的结合。也就是说,虽然人们往往认为牛顿的万有引力定律把地上的运动和天上的运动结合起

① 尼古拉·哥白尼《天体运行论》,武汉:武汉出版社,1992.9.

来,实际上这个历程是从哥白尼就开始了的。

第五,托勒密的体系使生活在地球上的人具有得天独厚的地位,相信人类是一切的总和与顶峰,仿佛万物都是为人类而创造,供他们玩赏或臣服于他们的。为了改变这种传统就需要一场革命,而哥白尼理论正是酝酿这场精神革命的主要力量。它使人类从以自我为中心的沉湎状态中摆脱出来。同托勒密体系一起废除的还有那种盲目的自信。

第六,《天体运行论》宣告了自然科学的独立。恩格斯在《自然辩证法》中说,“从此自然科学便开始从神学中解放出来……科学的发展从此便大踏步地前进,而且得到了一种力量,这种力量可以说是与从其出发点起的(时间的)距离的平方成正比的。仿佛要向世界证明:从此以后,对有机物的最高产物,即对人的精神起作用的,是一种和无机物的运动规律正好相反的运动规律。”当然,用现代科学的理论来审视哥白尼的学说,我们会发现其中还有不少错误,但我们毕竟不应该苛求前人,倒是应该继承哥白尼及其学说的捍卫者和殉道人所展示的那种科学的怀疑精神和为真理而奋斗献身的精神。

(二)哈维的《心血运动论》

1.盖伦和哈维(W . Harvey, 1578~1657)时代其他学者的观点

医学家盖伦(C . Galen, 129~约 200)是欧洲古代仅次于希波克拉底(Hippocrates, BC450~BC370)的第二个医学权威,他的思想在中世纪是最重要的生理学思想来源。

按盖伦的观点,被消化的食物以“乳糜”的形式通过肠被输送到肝脏,在那里转变成暗红静脉血液,获得自然灵气(或元气,被认为是生命功能得以发挥所必需的),再通过静脉运送至身体的各个

① 恩格斯.自然辩证法 北京:人民出版社,1984.7.

器官和部位。其中的一些静脉血通过“动静脉”(即今天的肺动脉)流到肺里,把血中积聚的废物排到周围空气中;另一些静脉血进入了心脏的右心室,再通过左右心室中隔上的微孔进入心脏的左边,在左心室里与从肺脏经过“静动脉”(即今天的肺静脉)输送来的空气混合在一起而充满“活力的元气”,并从暗紫红色变为鲜红。这种“新鲜血液”通过动脉进到身体的不同部位。有一部分流到大脑基部叫做“迷网”的血管网中,其中的“活力的灵气”变成了“动物性灵气”,并通过中空的神经过分布到全身(如图 7-2)。

盖伦的上述思想和他的这样一种哲学有关:生命过程被分成三个层次,分别由植物性灵魂、动物性灵魂和理性的灵魂来控制,但生命最终是靠作为宇宙呼吸的“元气”(即空气)维持的,元气有三种适应性改变物,即“自然的灵气”,是元气被肝改造的结果,它能引起生长;“活力的灵气”,是元气被心脏改造的结果,可以控制运动;“动物性灵气”,是在脑子中形成的,适应于思想活动。这样,盖伦就把人体看成制作和分配三种灵气的场所。其中涉及到体内的三个主要器官——肝、心、脑,三种类型管道——静脉、动脉、神经。显然盖伦理论的基本宗旨就是阐述三种灵气如何产生及在全身如何分布的,并不是专为论述血液如何流动而提出的。在这个理论中,明显包含有如下一些错误:对血液在体内如何运行的,盖伦并没有形成循环概念,三个系统也明显是各自独立的;他假设肝脏是静脉的源泉;他对心脏结构的看法许多都是错误的。比如他否认心脏是肌肉(坚韧,从不停止跳动);把心脏的主动活动阶段看作是在膨胀期,而不是在收缩期;把心房看作由较大静脉扩张而成;心脏是由两个腔——心室所组成;心脏的作用在于通过在心脏里面进行缓慢燃烧而不断地产生“内热”。对于心脏的功能他认为与呼吸有关,当它膨胀时吸进空气,收缩时就把空气排出体外(这种理论的困难在于,当心跳频率比呼吸频率快得多时,心脏怎么能够推动呼吸进行!)。他对心脏中隔的看法也是错误的。尽管其上密布着坑坑洼洼,但中隔上确实没有孔,血液无法从中通过!盖伦

地遵循这条规则,以致出现了许多错误。

在哈维同时代的学者中不仅大多赞成盖伦的观点,而且还加上了自己的主观臆测。比如当时学者以为脉搏和呼吸是相同的,因为它们的目的和运动方面都是相似的。哈维的老师法布里修斯(H. Fabricius, 约 1533~1619)在《论呼吸》一书中就说过,心脏和动脉的搏跃不足以使血液通风散热,因此心脏外又包以肺脏,以助其作用。所以那个时代的学者每当说到动脉和心脏的运动时往往同时说到肺。还有的人说,动脉扩张时吸入空气,翕合时从皮肉的毛孔中散出烟气;动脉在不张不翕之际含有空气、在其余时候含有空气、酒精或烟气。这比之盖伦的观点都是倒退,因为盖伦早在书中用实验证实,动脉中只含血液。看来哈维的任务是巨大的,他不仅要批判盖伦的说法,还要反对他那个时代的许多臆测。

2. 哈维前辈或同时代人的几项重要发现

哈维的发现是在前辈或同时代人一些发现的基础上提出的,其中和血液循环有关的一些重要发现有:

(1) 维萨留斯的发现。维萨留斯(A. Vesalius, 1514~1564)在《人体的构造》(1543年首次发表)一书的第2版(1555年)中对心脏中隔作了非常明确的说明:“中隔像心脏的其他部分一样厚密而结实,因此,我看不出即使是最微小的颗粒怎么能够从右心室通过它而转送到左心室来。”由此出发,本来可以导致对盖伦理论的怀疑,但维萨留斯还是作了别种解释:中隔上的微孔必然是小到肉眼所无法看到的程度,血液仍然是“充分地通过中隔而吸收的”。他把这种神奇归功于上帝的伟大:“我们被驱使对全能上帝的亲手业绩感到惊诧不已,例如,血液从右心室渗透到左心室去的通道就是人眼所不能看到的。”这样,人们读了维萨留斯的著作后绝不

① 转引自 N. 玛格纳. 生命科学史 武汉:华中工学院出版社,1985.159.

② M. Foster. *Lectures on the History of Physiology*. New York: Dover. 1970. 13.

会对古老的理论表示怀疑。也许维萨留斯已经对当时的理论感到不满,但缺乏足够的勇气来直接抨击盖伦的体系和他关于所谓‘灵气’的观念。

(2)塞尔维特的发现。塞尔维特(M. Servetus, 1511~1553)是最早提出肺循环理论的人。在《论基督教的复兴》一书中,他已发现肺动脉很粗大,这使他否定了盖伦的血从心脏排到肺里,仅仅是为了向肺提供营养的说法。塞尔维特提出血液流到肺里是为了“通风”,也是为了排泄废物。在血液不停地流经肺的途径中,血的颜色也发生了变化。但塞尔维特的《论基督教的复兴》一书仅存留三本,他的观点不可能对解剖学的理论产生重大影响。加上他既没有拒绝盖伦关于血在肝中不断合成的观点,也没有排除部分血液通过心脏中隔的可能性,在写书时,塞尔维特又把人体解剖中得到的证据、盖伦言论的摘录及他自己的异端观点有意混合在一起,更减少了这种影响力,连哈维在《心血运动论》一书中都没有提到他。

(3)R.哥伦布的发现。对肺循环作出明确描述的是维萨留斯在帕杜瓦大学的教授席位继承人、学生 R.哥伦布(R. Columbus, 1516~1559)。与塞尔维特不同,他那清楚阐明的关于小循环的观点是建立在临床观察、解剖和动物实验的基础上的。

(4)法布里修斯的发现。法布里修斯的伟大贡献是静脉瓣膜的发现,并模糊地领悟到这些结构的真正意义。1603年,法布里修斯出版仅24页的小册子《论静脉中的瓣膜》,最完整地描述了静脉瓣膜的结构、位置和分布。他采用水力学原理进行类比,从而激发了用机械论观点来解释循环系统的进程。他用绑带扎住手臂,沿静脉所经之处会看见突起的小瘤,这些鼓起的地方正好与解剖的静脉瓣膜位置相对应,如果用手挤这些小瘤,并试图将静脉血挤回手掌中,则正是这些小瓣膜阻止了血液倒流,使你无法将血沿静脉挤回手掌中。这清楚表明这些瓣膜防止了血液从心脏倒流回周围血管中去。但法布里修斯对瓣膜功能的解释远未达到实验所显

示的结果。他只是把瓣膜比作调节贮水池容量的闸门而不是调节流向的阀门。他说：“形成这些静脉瓣膜的原因,是为了使身体的任何部位都能以奇妙的比例分配到某一恰当数量的血液,以维持身体几个主要部位的营养。”

3 哈维在《心血运动论》中提出的观点

1615 年,哈维在伦敦曾为卢姆莱茵(Lumlein)讲座作过一次讲演,从这次讲演的笔记中可以看出,当时哈维已拥有大量的观察和实验材料,比如他应用绑带技术已证明血液有一条从动脉到静脉的通道,已发现是心脏的搏动产生了血液的永远不停的循环运动。到 1628 年哈维又出版《心血运动论》,详细论证了他的血液循环思想。

哈维的血液循环原理如图 7-3 所示。其中从右心室经肺动脉到肺,再沿着肺静脉到左心房的循环为小循环;从左心室经动脉到达“血管交织网”,再沿静脉返回右心房的循环称为大循环。用他自己的话说就是:“血液是由心室的搏动而流过肺和心脏的,是受迫地喷射到身体的各个部位的,然后,静静地进入静脉和肌肉的多孔结构中,并通过那些环绕周身到中心的静脉流回每一个地方,由较小的静脉进到较大的静脉,由此到最后进到脉腔、进到心耳,所有这一切,都以如此大量且带着如此大的流动和回流——从心脏流到末梢区域,又从末梢区域流回心脏——它不能从被摄取的营养物中得到供给,也比满足滋养身体所需的量大得多。所以必当下结论说,在动物体中,血液是围绕着一个环路而不停地流动的。这即是心脏以其搏动所造成的动作或功用,凭借这种搏动,血被输送。这也是心脏搏跳运动的唯一目的。”哈维是怎样发现这一循

① M. Foster. *Lectures on the History of Physiology*. New York: Dover. 1970. 37.

② W. 哈维. *心血运动论* 北京:商务印书馆,1956. 66. 或 I. 科恩. *科学革命史* 北京:军事科学出版社,1992. 195. 本文作者对译文曾稍作变动。

为什么肺需要这样多的大大超过其本身需要的营养？除了肺的运动以外,为什么右心室也必须运动？心脏的每次搏动会向全身送出多少血液？这些问题既可以看做是盖伦的观点和新发现事实的矛盾,也可以看做是旧理论本身的不自治之处。哈维对这些问题进行思考,也说明时代已经为哈维的发现准备了条件,正如《生命科学史》一书的作者玛格纳所评价的:“在文艺复兴时代……生物学知识也不断地增长起来……一些新事实与旧理论是如此不能并容,以至于到了 17 世纪,破除旧的观念已成了不可避免的趋势。”哈维通过许多次实验,发现心脏每次跳动可输出 2~3 英两血液,按心脏每分钟跳动 65 次计算,心脏每分钟会输出 10 磅的血液,每小时会输出 600 磅血液,这个数字约是最魁伟的人的体重的 3 倍。对各种动物(例如羊、狗等)进行的类似观察也证明,即使在半小时内,在任何情况下由心脏泵出的血量都会远远超过整个动物体内血液的总量(为了验证这一点,只需在宰杀羊、狗时将其血放出称量一下就可)！这样只能有一个结论:血液在身体内是循环运动的,并不是像盖伦主张的由肝利用食物不断合成血液,并不断从起点流向终点。

从方法论上看,哈维也有自己的独到之处:哈维把人们兴趣专注的血液和心脏系统从整个身体上分出来考虑,不去推测其一般的本质,从而解决了心脏和血液的运动和作用问题。这种研究方法就具有典型的现代特征。哈维把机械论的模式应用于基本上是一个机械学的问题上,所以他才有可能成功。他同时代的一些人也试图把机械论原则应用于消化系统、生殖系统、神经功能的解决上,由于这些方面基本上不是一个机械学的问题,这些尝试都没有成功。可见针对不同的问题选择合适的方法也是哈维成功的原因之一。哈维把他的解释局限于血液循环的机械学部分,撇开了各种灵气分布的争论。对于下列问题——心脏除了推动血液分布到

① N. 玛格纳 . 生命科学史 武汉:华中工学院出版社,1985 .158 .

全身去以外,心脏是否还在血液中加入诸如热、灵气、完善性等?有关这个系统的生物化学方面的问题等——由于超出了他的能力,或由于超出了时代的可能,他只表示曾予注意,实际是把这些问题的明智地留给将来去解决。

4. 反对与评价

哈维对自己研究成果的激进性质是很清楚的,他曾断言没有一个40岁以上的人能懂得它。在他的《心血运动论》出版后数周内就出现了一股反对哈维新体系的潮流,而其开端是典型的盖伦主义者普里姆罗斯(J. Primrose)掀起的。这些人中的一位名叫里奥兰(J. Riolan, 1571~1657)的人提出了一个不可思议的论点,他说人们不应认为盖伦有错误,即使解剖学的结果和盖伦所说不同,也要认为盖伦在当时是正确的,只是因为自然界在他以后发生了变化。

正确的理论是不怕反对的,血液循环的知识在反对声中也很快被应用到临床上。如输血技术很快就得到了发展;药物通过静脉注射的办法也很快在临床上被采用。同时血液循环理论也很快用于解释临床上发现的一些现象,如合理解释了人被蛇或患有狂犬病的动物咬伤时,毒素或感染为什么很快会影响到全身?外敷药为什么能够被吸收并且散布开来?

哈维理论也有自身的不足。由于哈维所能应用的仅仅是一个手持放大镜,这决定了他无法看到毛细血管,所以他的理论就不能正确理解动静脉之间沟通连接的本质,他只好假定那里存在着“血管交织网”。在显微镜未用于解剖学之前,这样的假定是难以服人的。尽管如此,哈维的理论仍是伟大的。

尽管哈维本人通常带着敬重和尊崇的态度来谈论盖伦,而且对不得不修正盖伦的错误似乎总是感到痛心,但他对自己的工作还是有贴切的评价。哈维说:尽管许多“杰出而又博学的人”说明了这一主题的一些方面,但是我的这本书是“唯一的一本反对传统的著作,而且,它断言了血液是沿着躯体内一条先前没被认识到的

循环路线旅行的”。在《心血运行论》第8章中,哈维又清楚而简单地论述说,他的思想是如此的新颖,到目前为止,还没有人提到过。

科学史家科恩在评价哈维的贡献时曾写道:“他的著作标志着从想象的血液通路到可演示的血液循环的根本转变,标志着从盖伦的不可证明的推测到以经验为基础的和定量分析的生物学的彻底转变。威廉·哈维的贡献使生命科学在近代科学革命中作为一个羽毛丰满的参加者进入了现代的前夜。”“毫无疑问,哈维的发现使生物学思想革命化了”。在考虑这场革命时,我们必须注意,不要因为它既没有像牛顿世界体系那种全球性影响,也没有一代人之后像牛顿的《原理》改变了几乎所有的科学这样一些理由,而把它估计得太低,它确实是一场生物学革命。”^②在科恩看来,哈维对生物学和医学的生理学基础所带来的根本变革体现在三个方面,一是把实验和仔细的直接观察作为发展生物学和建立生命科学知识的手段稳固地确立了下来,这是最伟大的意义。二是定量推导的引进,并以此作为把握生命进程的基础。三是血液循环的发现十分简单地“使生理学思想革命化了”。

①② 转引自 I .科恩 .科学革命史 .北京:军事科学出版社,1992 .191 .

②② I .科恩 .科学革命史 .北京:军事科学出版社 .1992 .189 .

③ 转引自 I .科恩 .科学革命史 .北京:军事科学出版社,1992 .191 .

第八章 近代科学的发展

一 最早成熟的学科—— 经典力学：伽利略与牛顿

(一) 伽利略的力学研究

哥白尼的日心说导致了一场天文学革命,但同时也遇到两大困难,一是恒星视差问题,二是对地动的说明。开普勒所发现的行星运动规律,也需要一个动力学的解释。正是在这样一种理论背景下,经典力学诞生了。

伽利略(G. Galilei, 1564~1642)是近代科学史上划时代的人物。他对近代科学的主要贡献表现在三个方面:一是奠定了经典力学的基础;二是捍卫和发展了哥白尼的日心说;三是创立了实验和数学相结合的科学研究方法。

伽利略 1564 年 2 月 15 日生于意大利的比萨。1581 年,伽利略进比萨大学学习医学。1583 年,由于听了几次关于欧几里德几何学的演讲,伽利略很快对数学着迷,结果放弃了对医学的学习,未取得学位就于 1585 年离开了比萨大学。

伽利略倾心研究欧几里德几何学和阿基米德的物理学,很快声名远扬,被称为“新时代的阿基米德”。1589 年,伽利略获得比萨大学数学教授的职位,三年后转到帕多瓦大学。1610 年伽利略回到佛罗伦萨,继续从事物理学和天文学的研究。

1624~1630 年间,伽利略断断续续地写作《关于托勒密和哥

白尼两大世界体系的对话》，1632 年该书问世，但很快他就接到罗马教会的传讯。1633 年，教会因该书判处伽利略终身监禁。1634 年，伽利略开始撰写《两门新科学》，是一本关于材料力学和动力学方面的书，1637 年完成，因罗马教廷裁决禁止出版伽利略的著作，该书于 1638 年才在荷兰莱顿出版。此时，伽利略已经双目失明。1642 年 1 月 9 日，伽利略在受监禁的阿切特里的别墅里安然去世。

早年的伽利略对物理实验十分着迷。传说他还是比萨大学学生的時候，有一次在教堂里做礼拜，一盏吊灯的晃动引起了他的注意，因为有风，吊灯摆动的幅度时大时小，但吊灯摆动一次的时间总是大致相等的。当时还没有钟表之类的计时工具，伽利略是用自己的脉搏计时得到这一发现的。这个传说可能是不可靠的，据考证，比萨教堂的这盏灯是 1587 年制造的，而伽利略 1585 年就中途退出了比萨大学。但是，在 1602 年的一封信中，伽利略的确提到过单摆实验。

大学时代的伽利略对亚里士多德的运动理论产生了怀疑。亚里士多德认为，在落体运动中，物体下落的速度与其重量成正比。伽利略晚年的学生维维安尼曾经在他写的伽利略传记中提到，伽利略在比萨斜塔上做过落体实验，证实了所有物体均同时落地。但至今还没有足够的证据表明伽利略确实做过这一实验。

不过，荷兰物理学家斯台文等人的确做过这类实验。1586 年，斯台文用两个重量相差 10 倍的铅球，从 30 英尺高度下落，结果两者几乎同时落在地面的木板上，围观者可以清晰地听到两个铅球撞击木板时发出的声音。另外，有一位物理学家为了反驳伽利略，于 1612 年在比萨斜塔上做了一个实验，结果表明，相同材料但重量不同的物体并不是在同一时刻到达地面，这是由于有空气阻力的缘故。

这两个实验伽利略都知道，为了驳斥后一位物理学家的观点，他在《两门新科学》中说道：重量 1 比 10 的两个物体下落时只差很

少的距离,可是亚里士多德却说差 10 倍,为什么忽视亚里士多德如此重大的失误,却盯住小小的误差不放呢?

1602 年,伽利略开始着手单摆和自由落体等问题的研究,他敏锐地感到单摆问题和自由落体问题有内在的联系,它们都是由物体的重量造成的。为了便于研究,使物体运动的速度慢下来,1604 年,伽利略设计了斜面实验。当时,他所面临的困难主要是没有准确的计时装置,他先后用过脉搏、音乐节拍和水钟。通过斜面实验和数学计算,他发现铜球滚过全程四分之一所花的时间,正好是滚过全程所花时间的一半;并进而得到:在斜面上物体的下落距离同所用时间的平方成正比,这就是著名的落体定律。这个定律表明,物体下落的时间与其重量无关。

伽利略面临的另一个困难是概念上的,当时人们连速度的定量定义都没有。起初,伽利略错误地以为自由落体的速度与距离成正比,后来才认识到与时间成正比。因此,对伽利略来说,必须首先建立匀速运动和匀加速运动的概念。在《两门新科学》中,这样的概念终于以公理的形式被创造出来了。

有了这两个新概念,从斜面实验中可以得到更多的结论。当铜球滚下斜面后继续沿着桌面滚动,这时斜度为零,重力的作用为零,不再有加速度,球保持它的匀速运动。这就是著名的惯性定律。这意味着,外力并不是维持运动状态的原因,而只是改变运动状态的原因。这是对亚里士多德运动观念的重大突破。

1608 年,荷兰的眼镜匠利帕希造出了第一架望远镜,并把它卖给了荷兰政府,荷兰政府意识到这一新发明可能在战争中有用,故而保密。1609 年,伽利略就从荷兰的朋友那里知道了这种新仪器,于同年 12 月自制了一架放大 30 倍的望远镜。

用这架望远镜,伽利略首先发现了月亮上的山脉和火山口,1610 年 1 月,又发现了木星的四颗卫星。这一发现对于支持哥白尼学说具有重要的意义。托勒密学说的拥护者认为只有地球才可能有天体绕着转动,因为这些天体是地球的仆从。伽利略把他的

发现写成了《星界的报告》一书,该书在知识界引起了很大反响,大家说:“哥伦布发现了新大陆,伽利略发现了新宇宙。”

1616年,伽利略一本依据地球运动论述潮汐成因的书遭到教会的谴责。书中,他明确主张太阳是宇宙的中心,而地球围绕太阳作自转和公转的运动。伽利略把潮汐现象归结为地球运动看来是不正确的,现在一般认为,潮汐现象主要是由太阳和月亮对地球的引力作用引起的。

1630年,伽利略历时6年终于完成了他的新著《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。伽利略原来准备将之命名为“关于潮汐的对话”,但教会反对,因为这强调了对地球运动进行物理学论证。这部著作采用了对话体,对话分四天进行,第一天批评了亚里士多德自然哲学的基本原理,讨论了月亮表面的地貌特征;第二天以运动的相对性反驳了对地球自转的责难;第三天讨论了地球绕太阳的公转;第四天用地球的运动解释了潮汐现象。

1632年3月,《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》获准出版,但教会在8月又突然下令禁止该书,并且传讯伽利略。1633年伽利略被押到罗马宗教法庭受审,他这一次被判处终身监禁。

伽利略被誉为“近代科学之父”,他所做的工作被认为是经典物理学的真正开端。1979年,罗马教皇保罗二世提出为伽利略平反,1980年正式宣布当年审判伽利略的法官在判断上有错误。

(二) 牛顿的力学研究及其哲学思想

牛顿(I. Newton, 1643~1727)是经典力学的创立者,是有史以来最伟大的科学家之一。在物理学上,他发现了万有引力定律,创立了经典力学;在数学上发明了微积分;在光学上,他发现了太阳光的光谱,发明了反射式望远镜。这三项成就中的任何一项都足以使他名垂千古。

牛顿按旧历即儒略历生于1642年12月25日,刚好是圣诞

节,但按新历即现在通用的格里高里历生于 1643 年 1 月 4 日。他诞生在英国林肯郡伍尔索普乡村,是一个遗腹子,而且早产,还差一点夭亡。3 岁时,母亲改嫁,将他留给了外祖父母。少年的牛顿喜欢摆弄一些机械零件,做一些小玩具。他特别喜欢做的是日规,以此查看时刻。上小学时,他并不显得十分聪明,学习成绩也一般。12 岁时被送进格兰瑟姆的文科中学念书,在那里,他继续制作他的机械模型,而且由于寄宿在一位药剂师家里而学会了做化学实验。

1656 年,牛顿的继父去世,家里的农活需要料理,牛顿被召回伍尔索普,帮助母亲务农。但他对农活不太在行,帮不上什么忙,只好又回到了格兰瑟姆。牛顿的舅舅注意到他的聪明才智,极力推荐他去剑桥大学深造。1661 年 6 月,牛顿以减费生的身份进入剑桥三一学院。当时的三一学院,讲授的大多是一些古典课程。卢卡斯出资设立了一个数学教席,规定讲自然科学知识,第一任卢卡斯数学教授是巴罗(I. Barrow, 1630~1677)。他是一位博学的学者,正是他指导牛顿踏进了科学的大门。牛顿阅读了开普勒的《光学》、笛卡儿的《几何学》和《哲学原理》、伽利略的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》等书,基本上掌握了当时的数学和光学知识。

1665 年初,牛顿大学毕业获文学学士学位,当时伦敦正闹瘟疫,学校唯恐被波及,乃停课放假,牛顿于 1665 年 6 月回到故乡伍尔索普,在他母亲的农场里度过了两年。这两年,是牛顿创造发明最为旺盛的时期。1665 年初,他发明了级数近似法和二项式定理;同年 11 月,发明了微分运算;1666 年 1 月,研究颜色理论;5 月着手研究积分运算,同年继续思考动力学和引力问题,从开普勒三定律推出了万有引力定律。

1667 年,牛顿回到剑桥,当选为三一学院的研究员,次年获得文学硕士学位。1669 年,牛顿的数学老师巴罗辞职,举荐牛顿接替,于是年仅 27 岁的牛顿当上了剑桥大学的卢卡斯数学教授。他

接着进行从前做的光学实验,发现了太阳光并非单色光,而是多种光的合成。光谱的发现使牛顿相信折射式望远镜必定会出现色差,这促使他研究反射式望远镜。1671年,牛顿向皇家学会提交了他的反射式望远镜而被选为会员。

在开普勒提出行星运动的椭圆轨道后,物理学家和天文学家开始关注这样的问题:行星为什么总是绕太阳作封闭曲线运动,而不是作直线运动摆脱太阳呢?1684年1月,胡克(R. Hooke, 1635~1703)向当时的皇家学会主席雷恩和天文学家哈雷声称,自己已经发现了关于行星运动轨道的规律,但给不出数学证明,雷恩决定悬赏征解。哈雷是牛顿的好朋友,他8月份专程去剑桥,请教牛顿在与距离平方反比的力作用下行星作何种运动,牛顿肯定地回答说运动轨道是椭圆,并说他几年前就作过计算,但一时找不到,并答应3个月后将计算重写出来。同年11月,牛顿写出了《论运动》一文,就行星运动轨道与按距离平方反比的作用力之关系作了严格的数学证明。

1686年,牛顿用不足18个月的时间完成了《自然哲学的数学原理》,这是一部划时代的著作。皇家学会当时以资金紧张为由,不资助该书的出版,哈雷便决定资助出版这本书。该书于1687年7月问世。

《自然哲学的数学原理》共分三篇。前面是导论部分,它包括“定义和注释”以及“运动的基本定理或定律”,这一部分是牛顿力学的概念框架。第一篇运用前面确立的基本定律研究引力问题,共十四章。内容主要有:无穷小算法、引力的平方反比公式、受力作用的物体作圆锥曲线运动、落体运动定律、单摆的问题、光的折射和反射问题等。第二篇讨论物体在介质中的运动。在这篇的结尾,牛顿批评了当时广泛流行的笛卡儿的宇宙旋涡假说,认为行星在旋涡中的运动不可能符合开普勒定律。第三篇冠以总题目“论宇宙体系”,是牛顿力学在天文学中的具体应用。该篇共五章,分别是“论宇宙体系的原因”、“论月亮”、“论潮汐”、“论岁差”、“论彗

星”，是天体力学的开篇之作。该篇的开始是一节“哲学中的推理法则”，阐述了牛顿的科学方法论。第三篇之后是“总释”，对许多未知的问题进行了预测。

《自然哲学的数学原理》的出版使牛顿声名大振，该书开辟了一个全新的宇宙体系，是那样的明澈和有条理，使反对者毫无阻挡的勇气和能力；正是从这里，人类思想获得了可以用理性解决所有问题的自信。英国著名诗人波普有一首赞美牛顿的名诗：“大自然和它的规律/ 隐藏在黑暗之中/ 上帝说：让牛顿出生吧/ 一切便灿然明朗。”

1689 年，牛顿代表剑桥大学当选为国会议员。1690 年，国会解散，牛顿又回到了剑桥，开始研究《圣经》。1695 年，他被任命为造币厂督办，1699 年被任命为造币厂厂长，在任期间，他运用他的冶金知识为英国铸造了成色十足的货币。

1701 年，牛顿辞去了三一学院的教职，1703 年当选为皇家学会主席，以后每年都连任，直到去世。1704 年，他出版了《光学》一书，总结了他从前在光学方面的研究成果。1727 年 3 月 20 日凌晨一点多，牛顿在睡梦中安然长眠，终年 85 岁。

牛顿力学的建立和发展，对哲学和其他自然科学都产生了极其深远的影响。天王星、海王星、哈雷彗星的发现、地球形状的争论和潮汐现象的成功解释使牛顿力学变成了科学真理的化身。霍布斯、伏尔泰、拉美特科、狄德罗、霍尔巴赫和拉普拉斯等人对牛顿力学的思想进行了哲学提升，融无神论、机械论、决定论、还原论于一体，形成了 17~18 世纪占统治地位的机械哲学，即形而上学。

牛顿力学对哲学的影响还在于其“绝对时空观”的提出。牛顿说：“绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。”* 相对空间是绝对空间的可动部分或者量度。我们的感官通过绝对空间对其他物体的位置而确定了它，并且通

常把它当做不动的空间看待。”

对绝对时间,牛顿说:“绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着,而且由于其本性在均匀地,与任何其他外界事物无关地流逝着,可以名之为 延续性’;相对的、表现的和通常的时间是延续性的一种可感觉的、外部的(无论是精确的或是不相等的)通过运动来进行的量度,我们通常就用诸如小时、日、月、年等这种量度以代替真正时间。”

总之,牛顿认为时间和空间本性上是绝对的而且彼此之间是没有关系的、独立的。这种观点对哲学和自然科学的发展都产生了深远的影响,直到爱因斯坦相对论的诞生,这种绝对时空观的思想才宣告破产。

二 其他学科的发展: 数学、光学、化学和生物学

(一) 从常量数学到变量数学

17~18 世纪的数学是从常量数学到变量数学的转折时期,这一时期的数学主要有三项重大发明,即解析几何、对数和微积分。

古希腊亚历山大时期的地理学家埃拉托色尼首次用经纬度表示某地的地理位置。古希腊天文学家喜帕恰斯是最早用经纬度标出天球上点的位置的人之一。14 世纪法国人奥雷斯姆创立用坐标表示点的位置的坐标几何,从而完成了从地理坐标、天文坐标到几何坐标的转变。

到了 17 世纪,数学中许多问题单纯用几何方法求解既难又

① 塞耶·牛顿自然哲学著作选 上海:上海人民出版社,1974.19~20.

② 塞耶·牛顿自然哲学著作选 上海:上海人民出版社,1974.19.

繁,而用代数方法即可化繁为简。费尔马(P .Fermat, 1601 ~ 1665)在他 1629 年写成、1679 年出版的《平面和立体的轨迹引论》一书中阐述了用代数方程表示曲线的普遍方法,并给出了一些轨迹方程。由于费尔马的上述著作晚了半个世纪才发表,所以人们往往忽视了他在创立解析几何学上的贡献。

1637 年,笛卡儿(R .Descartes, 1596 ~ 1650)出版了《更好地指导推理和寻求科学真理的方法论》,阐述了关于坐标几何和代数的思想。这是笛卡儿所写的唯一的数学著作,其余则主要靠通信传播他的数学思想。

笛卡儿把代数和几何有机地结合起来,解决了空间形式和数量之间的关系问题。拉格朗日(J .Lagrange, 1736 ~ 1813)在评论解析几何时曾指出:只要代数同几何分道扬镳,它们的进展就缓慢,它们的应用就狭窄;但是,当这两门科学结合成伴侣时,它们就互相吸取新鲜的活力。

笛卡儿在提出解析几何方法的同时,还把变量和函数带进了数学。他把几何图形看做是依照一定的函数关系运动的点的轨迹,这些点的一个坐标值是随着另一坐标值的变化而变化的。笛卡儿的变量和解析几何方法是数学发展的转折点,为以后微积分学的创立和发展打下了基础。

对数是由英国的耐普尔(J .Napier, 1550 ~ 1617)发明的。1614 年他出版了《奇妙的对数定律说明书》。耐普尔从简化三角运算中发现两个三角函数之积可以化为另外两个三角函数之差或和,进而发现了当真数按几何级数增加时,其对数按算术级数增加。真数和对数的这种对应关系,正好体现了耐普尔的对数定义。在他之后,英国人布里格斯(H .Briggs)把对数发展为常用对数,并作出了常用对数表。由于布里格斯的大力提倡和简化,对数很快地得到推广和应用。拉普拉斯在评价对数方法的意义时说:它

“用缩短计算时间的方法来使天文学家的寿命加倍”。

微积分是由牛顿和莱布尼兹(L .G .W .Leibniz, 1646~1716)先后独立创立的。牛顿把自己创立的微积分叫做“流数法”,其主要思想在17世纪60~70年代已经产生,并印发了小册子在朋友中散发,但直到1687年才在《自然哲学的数学原理》中第一次公开发表了他的有关微积分的论述。由于牛顿没有及时发表自己的研究成果,致使后来与莱布尼兹发生了关于微积分优先权的争论,这场争论导致众多数学家的参与。因为关系到科学家本人乃至国家的荣誉,后来还逐步升级,由一般的学术争论发展到政治上的谩骂,致使英国和欧洲大陆数学交流中断一百多年,严重阻碍了英国数学乃至其他科学的发展。

莱布尼兹是德国著名的哲学家和数学家。他早年研究法律,并从事逻辑学、数学、力学以及计算方法的研究,从1673年开始研究数学,他当时的职业是德国外交官。莱布尼兹从1673年起写了上百页的笔记,研究了微积分的许多课题,奠定了微积分学的基础。他的第一篇微积分论文《关于极大和极小以及切线的一种新方法,它对分数或无理数也适用》,发表在1684年的《博学学报》上。1714年莱布尼兹还写了《微分学的历史和起源》,在这本书里,他叙述了一些自己思想的发展过程。莱布尼兹把自己创建的微积分叫做“求差的方法”和“求和的方法”。莱布尼兹用他的微积分方法解决了求极大值和极小值问题。同时,他还发明了用 dx 、 dy 表示微分,用 $\int ydx$ 表示积分符号,“ $\int$ ”是拉丁文 summa(求和)的第一个字母的拉长。

进入18世纪以后,许多数学家对微积分作了进一步研究,从而产生了许多新的数学分支,如微分方程、无穷级数、微分几何、变分法、复变函数等。18世纪微积分的各个分支学科虽有很大的发

① cajori F . *A History of Elementary Mathematics* .chicago: open court, 1916 .
155 .

展,但是,微积分的基础仍然是不牢靠的。牛顿、莱布尼兹没有完全阐述清楚的无穷小、极限以及微积分中的基本概念,仍然是不清楚的。此外诸如级数与积分的收敛性、高阶微分的使用以及微分方程解的存在性问题等,尚待进一步研究。这就是说,一方面微积分学在实际应用中十分有效;但另一方面,它的理论基础又令人怀疑。对解决上述问题作出重大贡献的是 19 世纪法国数学家柯西(A .Cauchy, 1789~1857)。他用极限理论把微分、积分、无穷级数的概念严密化,使微积分学具有了今天这样的特色。他运用变量和函数等概念定义了极限,又用极限概念定义了导数、微分、积分,并对无穷级数的收敛性提出了判别方法。

(二) 对光的本性的研究

17~18 世纪,光学是除力学外比较成熟的学科,因为望远镜的制作和改进需要光学,而天文学的研究又离不开望远镜。

在古代,人们就发现了光的直线传播和反射现象。伽利略认为光速是有限的,并试图测出光速,但没有成功。开普勒研究过光的折射,并认为光的强度与光源距离的平方成反比。荷兰数学家斯涅尔(W .Snell, 1591~1626)发现了光的折射定律,提出了折射率的概念。费尔马(P .Fermat, 1601~1665)提出了光线传播的最小时间原理。

关于光的本性的研究,笛卡儿根据光的直线传播、反射等现象,认为光是由微粒实体组成的。意大利的格里马迪(F .Grimaldi, 1618~1663)发现了光的衍射和影子边缘模糊等现象,并据此设想光是一种能够作波浪式运动的流体。胡克(R .Hooke, 1635~1703)提出了光是“以太”的纵向运动,振动的频率决定了光的颜色。惠更斯(C .Huygens, 1629~1695)则主张光是以静止的“以太”为介质来传播的纵波,他用光的“波动说”推出了光的直线传播、反射和折射定律,并对双折射现象作出了解释,但却难以说明光的偏振现象。

牛顿是 17 世纪光学的集大成者,1704 年出版的《光学》一书是牛顿前人光学发展的总结,主要研究了光谱、薄膜的颜色、衍射和双折射现象。

人们常把牛顿看做是光的微粒说的创始人,并只相信微粒说。实际上,笛卡儿在牛顿之前已提出了光是微粒的观点,而牛顿早期则倾向于波动说,由于波动说无法解释偏振现象,牛顿才采用了微粒说,而后仍然保留着波动说的一些观点,并尝试把波动说和微粒说结合起来。1675 年,牛顿在给英国皇家学会的信中写道:“正像在听觉中因各种大小不同的空气振动而产生不同音调一样”,“当光线撞到坚硬的折射表面时,也将在以太中激发振动”,并且“按照这些振动的大小和混合情况而产生不同的颜色感觉”。在《光学》一书中牛顿也有类似的说法。

(三) 科学化学的建立

17 世纪最著名的化学家是波义耳(R.Boyle, 1627~1691)。他在 1661 年出版的《怀疑派化学家》中,根据大量实验事实,阐述了化学元素的概念,把化学从炼金术中分化了出来,奠定了近代化学的基础。他反对亚里士多德以来的四元素说,也不同意医药化学家认为万物由硫、汞、盐三种元素组成的观点。波义耳指出:“元素应当是某些不由任何其他物质所构成的原始和简单的物质或完全纯净的物质。”是具有一定确定的、实在的、可觉察到的实物,它们应该是一般化学方法不能再分解为更简单的某些实物。”虽然波义耳这个定义实际上讲的是单质,但他把元素与化合物或混合物区别开来,则是化学史上的重大进步。

波义耳观察了金属的煅烧和动物的呼吸,认为呼吸是一种类似于燃烧的化学过程,火也是一种实在的元素,它是由具有重量的

① 关洪 物理学史选讲 北京:高等教育出版社,1994 .137 .

② 《化学发展简史》编写组 化学发展简史 北京:科学出版社,1980 .72 .

“火微粒”构成。1669年,法国化学家贝歇尔(Beccher, 1635~1682)提出,燃烧是一种分解反应,动植物和可燃矿物至少含有两种成分,燃烧时残留的是坚实成分,放出的是可燃成分,贝歇尔把它叫“油土”。

1703年,法国医生和化学家施塔尔(G.E.Stahl, 1660~1734)提出了燃素说,他认为,一切可燃物都含有细小的、活泼的燃素,在通常情况下燃素与其他元素结合形成化合物,在燃烧时,燃素就分解而游离出来,大量游离燃素的集中就形成火焰。施塔尔认为金属煅烧过程是金属减去燃素剩下煅灰;植物从空气中吸收燃素,动物又从植物中吸取燃素,动植物都富有燃素,所以它们既可以燃烧,也可以使金属煅灰还原为金属。他用燃素的交换来解释氧化还原反应,并解释金属与酸的作用和金属的置换反应。燃素说是第一个把化学现象统一起来的学说,统治化学界长达100余年。

对燃烧现象的正确认识是伴随着气体化学的发展而逐步深入的。1766年英国科学家卡文迪许(H.Cavendish, 1731~1810)发现了氢气和氢气的自燃。1772年卢瑟福(D.Rutherford, 1749~1819)发现了氮气。1768~1773年瑞士化学家席勒(C.W.Scheele, 1742~1786)发现了氧气。1774年8月1日英国化学家普里斯特列(J.Priestley, 1733~1804)用聚光镜加热氧化汞得到了氧气,并发现这种气体不易溶于水,有很强的助燃能力,又特别适宜于动物和人的呼吸。但很可惜,席勒和普里斯特列都是燃素说的信徒,他们认为这是一种“脱燃素的空气”。

法国化学家拉瓦锡(A.L.Lavoisier, 1743~1794)通过一系列的实验和定量研究,终于揭开了蒙在燃烧现象上的神秘面纱。他通过封闭容器中金属煅烧试验,发现了化学中的质量守恒定律。在做磷的燃烧实验时,他发现生成物增加的重量,恰好等于空气失去的重量。这使他想到磷在燃烧中可能吸收了空气中的一部分物质。而在还原金属煅灰时除了生成原来的金属外,一定能将燃烧时吸收的那部分空气重新释放出来。但拉瓦锡当时尚不能断定空

气中的那部分气体是一种什么气体。

正当拉瓦锡为这个问题困惑时,他遇到了普利斯特列。1774年10月,普利斯特列到巴黎访问,拉瓦锡宴请了他,他们谈到了有关燃烧问题。普利斯特列把自己所做的加热汞灰的实验告诉了他。这使得拉瓦锡茅塞顿开,他想到普利斯特列得到的那种上好空气可能正是他预想的在还原金属煅灰时放出来的那种气体,这种气体也正是在燃烧中被吸收的那部分空气。于是他立即重复了普利斯特列的试验,从汞灰中分解出比普通空气更加助燃、助呼吸的气体,拉瓦锡称之为“上等纯空气”,直到1777年才正式把它命名为“氧气”。这就证明了燃烧过程是金属和氧气的化合过程,即“金属 + 氧 = 煅灰”,而不是“金属 - 燃素 = 煅灰”的分解过程。这样他就用事实否定了“燃素”的存在,证明了燃烧不是燃素的释放与吸收,而是可燃物或金属与空气中的一部分成分化合的结果。

1777年拉瓦锡向法国科学院提交了《燃烧概论》,详尽地列举了否定“燃素说”的实验数据,论述了燃烧的氧化学说。氧化学说的建立揭开了笼罩在燃烧现象上的迷雾,找到了幻想的燃素的真实对应物,为化学的发展开辟了新方向。

1778~1780年间,拉瓦锡又完成了《化学纲要》一书。书中对各种化学现象都一一作了解释,并列出了包括33种元素的化学史上的第一张元素表。该书的出版标志着化学作为一门科学已经形成。

(四) 近代生物学的发展

17~18世纪的生物学的主要成就有生物的分类、细胞的发现和“渐成说”的提出。

古希腊的狄奥弗拉斯就知道大约500种植物。1623年瑞士植物学家鲍兴描述了6000余种植物。而瑞典生物学家林耐(C. Linné, 1707~1778)则描述了1.8万种植物。因此,对千奇百态的动植物进行分类和命名,以便人们对其进行考察和研究,就成为一

项十分必要的工作了。

16~17 世纪,当人们开始对生物材料进行整理时,便出现了两种不同的观点和分类方法:一种观点是把物种看成是不连续的界限分明的类群,这是人为分类法;另一种观点认为生物之间存在着连续性,主张对一切可以找到的特征进行研究以确定它们之间的连续性和亲缘关系,这是自然分类法。当时分类学的任务还只是把不同的类群明确地加以鉴别,并要求便于检索。完成这一任务,人为分类法简便有效,因而暂居上风。人为分类法的集大成者是林耐。1735 年他出版了《自然系统》一书,系统地阐述了植物分类的原则和见解。他建立的分类体系有纲、目、属、种四个等级,并以双命名法来命名植物。以其中一个名称代表属,另一个名称代表种,还以雌蕊的数目决定一种植物应归入的目,以雄蕊的数目决定它的纲。林耐的分类法为后来兴起的植物分类学奠定了基础。

1610 年伽利略根据望远镜倒视有放大作用的特点,创造了世界上第一台显微镜。胡克(R .Hooke, 1635~1703)用自制的放大率约为 270 倍的显微镜观察软木时,发现了细胞。他把软木切成薄片,放在显微镜下观察,发现软木片原来是由排列整齐的蜂窝状小室组成。胡克把这种小室叫做“细胞”,原意是“空室”。“细胞”一词一直沿用至今。

胡克看到的实际上是已经死亡的木栓细胞的细胞壁。与胡克同时代的荷兰的列文虎克和意大利的马尔比基也都用显微镜看到了植物细胞,但并没有人把细胞看成是植物独立的活的基本单位。在 17~18 世纪,植物学家对植物的分类和生理机能比对植物结构的细节更感兴趣。直到 1838~1839 年细胞学说才由德国的施莱登(Schleiden, 1801~1881)和施旺(Schwann, 1810~1882)创立。

“渐成说”在近代是哈维(W .Harvey, 1578~1657)1651 年首次提出的,他研究了鹿的胚胎生长和孵蛋过程中的小鸡发育,认为动物胚胎是从不定形的和同质的物质,逐渐发展成为一个由分化和异质的各部分组成的有机体。但当时大多数生物学家都赞成

“预成说”。他们认为有机体在其种子内已经分化,并完全成形了,后来胚胎的发育不过是预成的微型动物的扩大,没有任何分化和新增部分。“预成说”中一派认为预成的微型动物是在雌性卵子中已经形成,称为“卵原论”;另一派则认为是在雄性精子中预成了,称为“精原论”。而哈维创立的“渐成说”则认为胚胎有一个发育过程,不是一次成形的。

18 世纪德国科学家沃尔夫(K .F .Wolff, 1733~1794)用小鸡的实验说明:小鸡的肠子不是在卵内预先形成的,而是在胚胎发育过程中逐渐形成的,开始时,由一片组织沿着长度折起来逐渐形成一条沟,随之又卷成一根管子,最后发育成小鸡肠子。他用明确的事实说明了“渐成说”的正确性。沃尔夫被后人誉为“近代胚胎学的创始人”。

三 科学中心的产生和转移

世界是由国家或地区组成的,由于各个国家或地区政治、经济、生产力发展的不平衡,科学技术发展的状况和水平也很不相同。有时候,一个国家的科学发展很快,大大超过其他国家的科技发展水平,但过了一个阶段后,另一个国家又走在了最前面。

历史上古埃及、巴比伦、希腊、阿拉伯、印度、中国等地方的科学技术都曾一度繁荣过,但都一个又一个地衰落下去了。

1954 年,英国科学史家贝尔纳在《历史上的科学》一书中正式记载了这一现象,并把一个时期科学技术繁荣昌盛的国家或地区称为“技术和科学活动中心”。(如表 8-1)

表 8-1 贝尔纳列出的技术与科学活动中心一览表(有省略)

时间跨度(年)	技术和科学活动中心
BC1500~BC601	埃及、爱琴海地区、亚西利亚、巴比伦
BC600~BC401	爱奥尼亚、南意大利、西西里、巴比伦
BC1400~BC301	雅典

BC300～BC101	亚历山大城、安提阿伯加莫斯、叙拉古
BC100～AD399	亚历山大城、罗马、波斯、中国
AD400～AD799	叙利亚、波斯
AD800～AD1199	印度、中国
AD1200～AD1399	巴格达、中亚洲、埃及、西班牙、巴黎、意大利
AD1400～AD1500	佛罗伦萨、威尼斯、布鲁日、努伦堡

贝尔纳注意到了世界科学中心转移的现象,但并没有对此作定量的研究。日本的科技史家汤浅光朝,受到贝尔纳研究工作的影响,于1962年用统计方法证实了科学中心转移是确实存在的。他把科学中心定义为科学成果数占同期世界总数的百分比超过25%的国家,并把保持在25%以上的时间称为科学兴隆期(Period of scientific prosperity);如果一个国家或地区的科学成果数占同期世界总数的百分比超过50%,则称这个国家或地区的科学发展处于‘科学高潮’阶段。

如果对4000年来(BC20～AD20世纪)人类重大科技成果进行分析,就会发现人类社会已经经历了三次大的科学高潮,而且它们正好分别对应于奴隶社会、封建社会和资本主义社会;在新社会制度取代旧社会制度的过渡时期,科学发展都呈现‘多中心’现象。(图8-1)

人类历史上三次多中心时期和三大科学高潮的具体时间如下。

“多中心”时期Ⅰ(BC20～BC9世纪),东、西方几乎同时形成几个诸如埃及、中国、印度、巴比伦和希腊文明古国,科学开始萌芽。

第一次科学高潮(BC9～BC3世纪),古希腊科学兴起,造成了奴隶制度下的古希腊高潮。

“多中心”时期Ⅱ(BC3～AD2世纪)汉代中国(封建制度)和古代罗马(奴隶制度)科学群峰迭起。

第二次科学高潮(2～8世纪),中国唐代出现封建制度下科学发展的鼎盛时期,即中国隋唐高潮。

图 8-1 人类历史上的三大科学高潮

“多中心”时期Ⅲ(13~15 世纪),意大利(资本主义制度)和中国明朝(封建制度)产生科学交流。阿拉伯成为东西方科学文化交流的枢纽(8~13 世纪)。

第三次科学高潮(16~20 世纪),资本主义制度下的欧美地区出现了至今还未结束的科学高潮,即欧美高潮。

汤浅光朝对第三次科学高潮进行了细分,发现科学中心在欧美诸国之间转移。汤浅光朝以《科学技术编年表》和《威伯斯特传记卡片》为依据,对各国重大科学成果数目进行了统计分析,得到表8-2 和表 8-3所罗列的结果:

表 8-2 《科学技术编年表》(1956)中的科学成果统计数

年 代	意大利	英国	法国	德国	美国	其他	合计	最高值占合计的比例(%)
1501~1550	4	1	1	3	0	4	13	30.77

年 代	意大利	英国	法国	德国	美国	其他	合计	最高值占合计的比例(%)
1551～1600	23	7	2	8	0	19	59	38.98
1601～1650	15	8	10	15	0	12	60	25.00
1651～1700	12	35	15	13	0	18	93	37.63
1701～1750	1	17	15	6	2	28	69	24.64
1751～1800	7	37	54	32	4	37	171	31.51

续表

年 代	意大利	英国	法国	德国	美国	其他	合计	最高值占合计的比例(%)
1801～1850	11	92	144	154	16	41	458	33.62
1851～1900	8	106	75	202	33	95	519	38.92
1901～1950	10	71	32	128	218	163	622	35.05
合 计	91	374	348	561	273	417	2064	27.18

表 8-3 威伯斯特传记卡片的科技成果统计数

出生年代	意大利	英国	法国	德国	美国	其他	合计	最高值占合计的比例(%)
1501～1550	5	5	3	5	0	7	25	20.00
1551～1600	6	8	5	6	0	9	34	23.53
1601～1650	9	18	8	7	0	9	51	35.29
1651～1700	4	21	15	5	1	10	56	37.50
1701～1750	13	38	41	21	7	27	147	27.89
1751～1800	16	84	84	64	26	34	308	27.27
1801～1850	23	152	103	167	178	98	721	24.69
1851～1900	9	116	47	114	401	123	810	49.51
合 计	85	442	306	389	613	317	2152	28.48

如果对表 8-2 进行细分,即可将其画为图 8-2,从图 8-2 中又
不难得出欧美各国的科学兴隆期。(见表 8-4)

表 8-4 汤浅光朝计算出的欧美各国的科学兴隆期

国 别	科学兴隆期
意大利	1540～1610
英 国	1660～1730
法 国	1770～1830
德 国	1810～1920
美 国	1920～？

1974 年,我国科技史专家赵红洲曾用《复旦大学学报》所载的

图 8-2 汤浅光朝制作的欧美各国科学中心转移图

“自然科学大事记”,进行了统计分析,所得结果与汤浅光朝的大致相同。(见图 8-3 和表 8-5)

赵红洲认为科学中心产生和转移的动因是“社会的科学能

力”。他运用统计数据,通过对影响科学中心转移的诸多因素,如

表 8-5 赵红洲计算出的欧美各国的科学兴隆期

国 别	科学兴隆期
意大利	1540～1620
英 国	1660～1750
法 国	1760～1840
德 国	1840～1910
美 国	1920～？

科学家人数、科学家队伍的社会年龄、科学创造最佳年龄,以及社会革命和社会生产的层层剖析,强调指出,导致近现代科学中心在欧美各国转移的内在原因是各国社会的科学能力的重大变化。他说:“研究表明,决定一个国家科学发展速度的内在原因是社会的科学能力,决定科学中心转移的内在原因也是社会的科学能力。分析各国科学能力的历史演变,乃是打开汤浅现象之谜的钥匙。”

社会的科学能力应包括科学家集团研究能力、实验技术装备的质量、图书情报系统的效率、科学劳动结构的最佳程度和全民族的科学教育水平等五大基本要素。而判断一国科学能力高低的准则,主要是看它拥有的杰出科学家人数和质量,即整个国家科学家集团的创造力。因为无论是社会革命、社会生产、科教制度,还是科学能力的其他要素,归根结底要看能否形成一个生机勃勃的科学家集团,并激发出整体创造力。

① 赵红洲.科学能力学引论.北京:科学出版社,1984.270.

第九章 工业革命

工业革命也称产业革命(一般指从纺织机器的改革开始到蒸汽机的利用这一历史过程)。从18世纪中期到19世纪,欧洲经历了一场技术革命。这场革命整个地改变了欧洲资本主义经济的技术基础,实现了从手工业到机器工业的转变。工业革命创造了巨大的生产力,带来了资本主义的经济繁荣,加剧了资本的自由竞争,同时也加速了自然科学的发展。马克思和恩格斯在描述18世纪后期到19世纪中期的情况时指出:“资产阶级在它不到一百年的阶级统治中所创造的生产力,比过去一切世代创造的全部生产力还要多,还要大。自然力的征服,机器的采用,化学在工业和农业及的应用,轮船的行驶,铁路的通行,电报的使用,整个整个大陆的开垦,河川的通航,仿佛用法术从地下呼唤出来的大量人口——过去哪一个世纪能够料想到有这样的生产力潜伏在社会劳动里呢?”

一 工业革命的背景

(一)资本主义生产的发展

欧洲各主要国家在18世纪时已先后取得了资产阶级革命的胜利,摆脱了阻碍生产力发展的封建桎梏。资本的原始积累使资

① 马克思恩格斯选集(第1卷).北京:人民出版社,1972.256.

产者获取了大量金钱,使成千上万的农民破产为“自由的”劳动者。工场手工业的发展和分工的扩大,造成了一大批熟练工人,他们在技术改进上积累了经验,使应用机器进行生产成为可能。17、18 世纪的科学技术,为生产的发展提供了许多发现和发明。在这种情况下,在这些条件具备得更充分的英国和相继而起的其他一些国家,开始了工业革命。

工业革命缘起于英国,这决不是历史的偶然,而是有其深刻的社会原因的。英国是较早完成资产阶级革命的国家,资产阶级政权的确立为资本主义生产方式的发展扫清了道路,这是产业革命得以兴起的根本原因。

16 世纪之前,英国还是一个农业国,它的手工业和商业都落后于欧洲的先进国家。从 16 世纪开始,航海及对外掠夺为工场手工业提供了大量资金。农村中的圈地运动又为工业发展提供了大批廉价的“自由劳动力”,使得毛纺业、冶金和采矿业及工场手工业迅速地发展起来。到 18 世纪,英国已成为世界贸易市场上最大的毛纺织品基地之一,据说 1/2 的欧洲人都穿着英国的纺织品。英国在扩大自己的工场手工业的同时十分注意提高技术水平,国家采取了有利于吸收外国先进技术的政策。技术水平的提高促进了操作过程的专业化和熟练程度,为用机器代替手工操作准备了条件。

在工场手工业发展的同时,农村中的圈地运动由于到 18 世纪得到政府的批准而合法化。失去了土地的大批农民,成了与生产资料完全分离的“自由劳动力”,这是资本主义赖以存在的必要条件之一。同时,圈地运动把土地集中到少数人手中,这些土地的占有者由于采用了新的经营方式,而把英国的庄园经济演化为资本主义的大农场。农业的资本主义化促进了农业技术的改革和生产的发展,为大批的工业和城市人口准备了必要的粮食和副食品,并为工业准备了原料。此外,圈地运动还为工业开辟了国内市场。过去的自耕农依赖农业和家庭手工业满足他们的生活需要,现在

他们失去了土地,自己生产的产品又成为工业原料或农副产品,他们的生活必需品不得不依赖别人的产品来维持,因而他们作为商品消费者和购买者出现在国内市场上。所有这些都为工业的发展准备了条件。

对外贸易和海上掠夺是刺激资本主义生产的直接动因之一。17 世纪,英国通过战争,先后战胜西班牙、荷兰、法国,一跃而成为海上霸主。对外贸易的扩大和掠夺殖民地的活动固然使英国完成了原始积累,但是要保持产品在世界市场上的竞争力不能只依靠暴力,主要还是依赖于大规模的技术改造和高效率的生产,依赖于科学的应用,从这方面来说英国工业革命的条件也日益成熟。

(二)工作机的发展和对新动力的要求

18 世纪 60 年代在英国开始工业革命的同时,也出现了近代以来的第一次技术革命,它开始于纺织工业的机械化,以蒸汽机的广泛使用为主要标志。同在英国所表现的典型形态一样,各国的工业革命一般都是从纺织工业开始,然后扩展到其他轻工业和重工业。工业革命的结果,是资本主义制度在各国最终确立起来,社会生产力得到了巨大发展。

如上所述,英国的工业革命是从纺织部门开始的,但不是传统的毛纺织业,而是新兴的棉纺织业。因为毛纺织业是英国最主要的工业部门,它有雄厚的基础和充足的原料,并在世界市场上处于垄断地位,对改革技术的需要并不迫切。棉纺织业则不同,它的技术基础薄弱,设备简陋,而且在国内被毛纺织业看做是最危险的竞争者,受到种种限制和打击,此外,还受到品质优良的印度棉布的强烈竞争,因此,棉纺织业迫切要求革新技术。同时,棉纺织业是没有旧传统约束的后起工业部门,也比较易于进行技术革新。

棉纺织业分为纺纱和织布两个主要部门。1733 年钟表匠约翰·凯伊(John Kay, 1704~1774)发明了飞梭,用飞梭的自动往返代替了手工投递,提高织布效率一倍,并使布面加宽。使用飞梭之

后,造成纺与织之间的严重不平衡,长期发生“纱荒”。1764年织工兼工匠哈格里夫斯(James Hargreaves, 1720~1778)发明了手摇纺纱机(珍妮机),把原来水平放置的单锭纺车改造成竖直放置的多锭纺车,使纺纱效率提高了十几倍。珍妮机消除了纺纱和织布供需不协调的状况,是由手工工具变为机器的典型。

珍妮机带动的纱锭日益增多,使人力作为动力越来越难以胜任。1768年阿克莱特(Sir Richard Arkwright, 1732~1793)利用了赫斯的发明而制成了水力纺纱机。水力纺纱机的应用,一方面,因为它用水力作动力,使纺纱成本大大降低,开始大量排挤个体纺纱工;另一方面,水力机体积大,又必须在特定的地点使用,因而它不能安置在一般家庭中,必须另建厂房集中大量工人工作,这就奠定了工厂制度的基础。

标志着纺纱机革新完成的是克伦普顿(Samuel Crompton, 1753~1827)发明的骡(Mule)机。过去的两种工作机虽然都能解决一些问题,但仍各有不足。珍妮机纺出的纱线精细但不结实,而水力纺纱机纺出的纱线结实但又太粗糙。童工出身的克伦普顿在大量实际操作经验的基础上,于1774~1779年间把水力机动力较大的优点与珍妮机带纱锭较多的优点结合起来,设计了一架纺出的线既结实又均匀的新型纺纱机,人们称之为“骡机”。因为骡机就像骡子兼有马与驴子的某些优点一样,兼有水力机和珍妮机的不同优点。骡机仍以水力为动力,但它可以带动400个纱锭。马克思对骡机有很高的评价,说它是“现代工业中一个最重大的发明”。骡机基本上缓和了纺纱与织布之间的生产矛盾。

经过改进后的纺纱机不仅满足而且还超过了织布机的要求,这样又反过来推动了织布机的改进。1785年,牧师卡特莱特(Cartwright, 1743~1823)发明了自动织布机,使生产效率一下子又提高了10倍。

随着棉纺织业的机械化,与绵纺织业有关的部门也接二连三地出现了各种各样的机器,机械化的思想不断地影响着人们,手工

劳动逐渐被越来越多的工作机所代替,如净棉机、梳棉机、自动卷扬机、漂白机、整染机等等,都陆续出现在棉纺织业的工厂中,实现了棉纺织整个行业的机械化。不久,在毛纺工业、呢绒工业、冶金业、采煤业、造纸业、印刷业都陆续采用了机器。工作机如雨后春笋般的出现着,它们一方面加快了工业发展的步伐,另一方面也对动力提出了新的要求。过去作为机器动力的水力已显不足,而且还要受到季节和地区的限制。人们迫切地需要发明一种在任何情况下都能正常工作的动力装置,这是导致蒸汽机诞生的一个直接原因。

二 蒸汽机的发明

(一)瓦特之前的蒸汽机

利用蒸汽作为动力的器物可以追溯到古希腊。早在公元前 2 世纪,希腊人赫伦(Hero)就利用蒸汽喷射的反作用原理制造过一种蒸汽旋转球,这种装置可以产生很大的回转速度,但是能产生的动力很小,当时,很可能只是一种玩具。

到 17 世纪,由于手工业的发展,木材严重缺乏,使得那些以木柴为燃料的手工工场不得不改为烧煤。煤炭开采中排水的需要推动了蒸汽机的发明。1690 年法国人巴本(Denis Papin, 1647~1712)受莱布尼兹的启发设计了一种活塞式蒸汽机。这部机器靠蒸汽将活塞举起,然后将蒸汽冷却,汽缸内形成真空,活塞在大气压下做功,并通过杠杆提起重物。在巴本的蒸汽机中,竖式管子完成了锅炉、汽缸和冷凝器三重功能。他认为这种机器可以用于排除矿井积水、推动船只等。巴本的试验虽然没有成功,但他是第一个应用蒸汽在汽缸中推动活塞,第一个指出了蒸汽机的工作循环,为以后活塞式蒸汽机的发展开辟了道路。

17 世纪末,英国的许多矿井积水问题日趋严重。当时一般只有靠马力转动辘轳来排除积水,据说有一个矿竟用了 500 匹马来做这项工作,这就大大影响了矿主的盈利,而且对于较深的矿井,排水还有各种技术上的困难。1698 年,英国工程师塞维利(T. Savery,1650~1715)制造了一种无活塞式蒸汽机,它直接靠蒸汽冷却造成的真空把水从矿井中吸上来,然后再次通进蒸汽将水压到更高的地方,这就超过了单靠真空吸水所能达到的有限高度。这种机器曾在矿山中使用,被称为“矿山之友”,但由于它在排除深矿井中的积水时必须加大蒸汽的压力,而当时用于制造锅炉的材料及加工工艺尚未达到能承受这种压力的水平,所以这种机器不能在矿山中普遍推广。

第一个较为实用的蒸汽机是英国的铁匠纽可门(T. Newcomen, 1663~1729)于 1705 年制成的。他综合了巴本的汽缸活塞和塞维利的能形成真空的凝汽器装置的优点,制成了名叫“大气机”的抽水机器。巴本的活塞式蒸汽机,直接利用大气压做功,它只要求蒸汽为一个大气压,发动机和锅炉两者的结构简单,当时的手工匠匠就能制造。纽可门继承了这一设计思想,同时也继承了塞维利获得真空的方法,依靠汽缸内蒸汽冷却,推动活塞运动。纽可门机结构上的特点是它依靠一根平衡横梁与水泵相连;平衡梁一端同活塞相连,另一端与抽水机相连;活塞在汽缸中上下运动,平衡梁便带动水泵抽水。纽可门机的优点有:第一,这种装置可以安放在地面上,而不必像塞维利那样,安装在井下面,很容易被水淹没;第二,避免了塞维利机用较大的压力的蒸汽来排水,使汽缸没有爆炸的危险;第三,效率有所提高,比同样塞维利机的效率提高了 5 倍多。纽可门机的出现,受到了工业界,尤其是煤矿主的欢迎。在英国北部深的煤井中,17 世纪末许多矿井被水淹没,纽可门机的出现,使这些煤矿获得新生。纽可门机不仅在英国许多矿井中得到推广,还用于城市供水和农田灌溉。但纽可门机还存在严重的缺陷,如只能作往复运动,效率很低,因而应用范围受到限

制。

对纽可门机进行全面研究和改进的是英国工程师斯米顿(John Smeaton, 1724~1792), 1772 年他编制了汽缸直径在 72 英寸以下的各种发动机部件的比例表, 积累了大量有价值的数据和资料。他改造了锅炉, 改进了点火、燃烧的方法, 此外还设计制造了一部专用铣床, 不断改进零件和制造工艺, 特别是在汽缸的镗孔方面。由于斯米顿的改进, 使纽可门的大气蒸汽机的效率几乎提高了一倍。然而, 由于在纽可门机中, 工作汽缸又兼作冷凝器, 造成热的大量浪费, 它的热效率非常低, 即使大力改进, 其热效率也仅为 1%。尽管如此, 纽可门机作为主要的发动机而未受到挑战达 60 年之久, 它对开发英国的矿业资源, 奠定英国工业发展的基础, 起了十分重要的作用。

(二) 瓦特对蒸汽机的重大改进

对纽可门机进行根本性变革的是英国格拉斯哥大学的仪器修理工瓦特(James Watt, 1736~1819)。1763 年, 格拉斯哥大学从伦敦买回一部纽可门机的模型, 却运转不灵。于是瓦特开始着手修理这部机器, 这实际是他的创造活动的开始。他专门仿造了几部纽可门机, 研究了它的优缺点, 同时还查阅了许多关于蒸汽机发展历史的书籍, 通过分析、实验、比较, 他发现纽可门机为了产生真空, 每一冲程都要用冷水将汽缸冷却一次, 造成巨大的热量损失, 这正是机器运转不好、效率低下的原因。

找到这一原因之后, 瓦特就着手对纽可门机做进一步的改进, 但由于当时他的理论水平有限, 很难取得进展。而此时, 由于蒸汽机的出现和应用, 产生了初步的热学理论, 这无疑对瓦特是一个极大的帮助。该校的化学教授布莱克(Joseph Black, 1728~1799)正着手研究量热工作, 并于 1756 年首先提出比热概念, 并发现了熔化、沸腾的“潜热”, 形成了量热学的基础。在布莱克教授的帮助下, 瓦特对纽可门机效率低下的原因有了更深的认识, 经过一系列

的研究,瓦特终于在 1765 年制成了分离冷凝器,这对蒸汽机的发展起了关键性的作用。1769 年,瓦特的具有历史意义的专利——“在火力发动机减少蒸汽和燃料的消耗的一种新方法”被批准,它的基本部分是凝汽器的利用。

瓦特的蒸汽机同前人的相比,不但功率增大了,而且效率也有很大的提高。如塞维利机每小时每马力的煤耗量为 80 千克,纽可门机为 25 千克(热效率不到 1%),瓦特的蒸汽机只耗 4.3 千克(热效率已提高到 3%)。但如何使动力输出从单纯的往复运动变为回转运动,以便在工业上通用这一技术难题仍没解决。瓦特曾设想用连杆驱动曲轴的办法来解决这一问题,但 1780 年皮加德(James Pichard)已向政府注册了这一专利。1781 年,瓦特的助手默多克(Willam Murdook, 1754~1839)提出“太阳和行星”齿轮系统,获得专利并得到普遍应用,瓦特蒸汽机采用了这种齿轮系统,直到 1794 年皮加德的曲轴和连杆专利废止为止。通过无数次的改造和试制,瓦特逐渐认识到,汽缸与活塞的材料及加工问题是提高蒸汽机效率的一个关键因素。开始是使用木质材料,不仅强度不够,而且根本无法密封、保温,因而失败了。后改用锡材料,也因耐腐与强度问题宣告失败,最后采用铁,效果才有好转,但又出现了加工工艺和装配技术等问题,蒸汽机的性能仍然没有达到预期的效果。由于加工技术的限制,几乎没有铁匠可以把气缸做得很圆,把活塞杆做得光滑、笔直和把阀门做得严密。而此时瓦特由于合股人纷纷破产,经济极为紧张,身体也十分虚弱,处于极度困难之中。但瓦特执着于他的“伟大的发明”,仍坚持不懈。恰在此时,从事大炮制造业的威尔金森(J. Wilkinson, 1728~1808)发明了加工大炮炮筒的内圆钻孔机,即炮筒镗床。布莱克很快把这发明介绍给瓦特,使之得以及时学习和吸收这一新技术,不久,瓦特将这一镗炮筒技术转移到镗汽缸上,大大提高了汽缸的加工精度。

1782 年,瓦特又获得两项非常重要的专利:第一,使发动机从单动变为双动,这样从同一汽缸容积可以产生两倍的功率;第二,

为了充分利用蒸汽的膨胀作用, 瓦特还使活塞在运动到 $1/2$ 冲程时, 即停止输入蒸汽, 以后的 $1/2$ 冲程完全利用输入蒸汽的膨胀力作功, 这样又大大节省了蒸汽的消耗。

1787 年, 为了在负荷变化的情况下保证发动机相对稳定的速度, 瓦特又安装了离心式调速器, 去控制进气管的蝶形阀。这种调速器过去用于磨坊中, 控制粮食进料速度, 但瓦特是第一个用它来控制蒸汽机, 这样, 瓦特的双动旋转式蒸汽机实际上已标准化了, 以后的发明大都属于机械结构上的完善、效率的提高和适应各生产部门的专用要求所做的各种改进。

瓦特的蒸汽机已经具备了现代蒸汽机的基本型式, 以后的人们开始把蒸汽机引向大功率、高参数、经济、安全、可靠等现代化的方向发展。英国的特里威席克 (Richard Trevithick, 1771~1833) 和美国的伊万斯 (Oliver Evans 1755~1819) 是高压蒸汽机的先驱。特里威席克 1800 年制成了第一个高压双动发动机, 1802 年, 又建造了一条实验式泵发动机 (experimental pumping-engine)。随着生产的发展, 对原动机提出了功率大、体积小、转速快、效率高等要求, 往复式蒸汽机已不能适应生产力发展的需要。19 世纪后期, 当时的科学技术水平, 如热力学、材料力学和冶金工业等都有一定的进展, 因而汽轮机才得到相应的发展。

蒸汽机的出现和广泛使用, 推动了其他各工业部门的机械化, 引起了工程技术上的全面改革。在工业上, 导致了机器制造业、钢铁工业、运输工业等蓬勃兴起; 在科学上, 促进了热力学理论的迅速建立; 整个社会生产力出现了惊人的发展, 使资产阶级在不到 100 年的统治中所创造的生产力, 比过去一切世代创造的全部生产力还要多, 还要大。

三 蒸汽机时代技术的发展

从一定意义上来说,蒸汽机的改进和推广应用是工业革命深入发展的决定因素。机器需求的大量增加,导致了机器制造业的迅速发展,进而又引起钢铁工业、采掘业、能源部门的革命。而这些部门的革命很快使社会生产过程的一般条件,即交通运输工具的变革成为必然,引发了交通运输革命。此外,其他许多生产部门都不同程度地先后发生了技术变革。应该说,工业革命是由蒸汽机和与之紧密联系在一起的其他技术的发展共同促成的。

(一) 迅速发展的机器制造业

现代机器的产生和制造是从 18 世纪开始的。以手工劳动为主的工场训练和造就了相当数量的技工,这些人虽然不是专门制造机器的“行家”,但他们制造过各种各样的手工器具,有着丰富的经验和娴熟的技艺。另外,在工场手工业中,已有了相当完善的社会分工,不仅出现了专门制造手工业器具的部门,而且工人之间也有了详细的分工。因而,工场手工业为大工业的机器制造,奠定了直接的技术基础。

在手工生产向机械制造过渡的过程中,充满了矛盾和辩证的发展。最初,用手工制造的一部分机器,取代了部分手工劳动。随着机器生产不断向前发展,手工制造已远远不能满足需要,因此机器制造就不得不从手工生产转为机器生产。随着蒸汽机的改进和发展,人们对机器的使用越来越广泛,新的机器品种不断涌现,工作机、发动机、传动机构的体积日益增大,机器的结构和零件的形状日益复杂、多样,加工难度越来越大,这些问题,都是在机器的发展过程中自然而然地产生的。因而,以蒸汽机为动力的机械制造业逐渐兴起,并取代了延续已久的手工制造业,成为一个独立的工

业部门。

机器制造业的发展,必须具备两个条件:第一,具有比较强大动力的发动机。因为机器制造的加工对象,一般为金属材料,无论是切削、锻压、起重都需要比较大的动力,蒸汽机的诞生,解决了这一动力问题;第二,制造出一种能够直接代替手工操作的机械装置。1797年英国人亨利·莫兹利(H·Maudsley, 1771~1831)在制造带有移动刀架的车床方面,迈出了决定性的第一步。他把机床上的脚踏板和弹簧摆改为共用一个轮子,使之用蒸汽机驱动;他还发明了刀架,使刀具从工人们的手中改装到了车床上,车工只须操作手柄即可工作。这些改革不仅减轻了车工们繁重的体力劳动,而且大大提高了加工精度,成为机床发展史上的一个重大突破。

两年后,莫兹利对他的车床又作了一个重要改进,即在机床的床身中加了一个旋转的丝杆,使之与驱动轮相联,因而可以使刀架非常均匀地沿着工件的轴向移动。这种机床不仅可以加工光滑的表面,也能加工螺纹,由于不靠目测,不用手工,因而具有较高的精度。他的这项新发明,不光能在车床上使用,还可广泛用于其他机床,这标志着切削加工完成了一次质的飞跃,形成了最初的机械化操作的金属切削机床。

随着机器的不断发展,机器制造业中的发明也越来越多。1818年,美国人惠特尼(E·Whitney, 1765~1825)设计和制造了卧式铣床;1830年,英国的罗伯特(R·Robert, 1808~1890)制成了第一台插床;1855年,出现了具备现代结构形式的万能铣床;1867年,出现了六角车床。此外,其他一些机械如牛头刨床、龙门刨床、钻床、锯床等相继出现。特别是英国工程师惠特沃斯(J·Whitworth, 1803~1887)倡导机器零件螺纹标准化,改进了螺纹的切削方法。他制造的标准螺纹规,可以测量出1%的误差。这不仅为螺钉、螺帽的互换创造了条件,而且为机械零件的标准化生产开辟了道路。

此外,在机器制造的发展过程中,还出现了工具机的大型化趋势。1839年,英国工程师纳密斯(James Nasmyth, 1808~1870)制成了加工大型机器零件的立式车床,还设计了一种重型蒸汽锤。这些机械制造技术的不断发展,不仅使新诞生的蒸汽机得到迅速、广泛地使用,而且使机械制造在整个工程技术结构中,起着越来越重要的作用,使生产规模和速度发生着日新月异的变化。

随着机器制造业的迅猛发展,自然会引起金属需求量的不断增加,不断推动着钢铁工业向前发展,使之成为工业革命中又一崭新而且重要的大型工业。

(二) 钢铁工业的诞生与发展

人类有着悠久的金属冶炼历史,但工业革命前由于历史条件的限制,冶炼技术还很落后,炼出来的铁数量少、质量差。蒸汽机的出现,极大地推进了冶金工业的发展,使之逐渐从旧的生产方式中解脱出来,走上了新的发展道路。

冶金业的发展大致可分为三个阶段。第一阶段是英国人亚伯拉罕·达比(A. Darby, 1677~1717)发明的炭铁炉阶段。最初人们用煤熔炼铁矿石,由于没有去硫,铁产品质地脆硬。1709年,达比首次采用了焦炭炼铁,获得了成功,后经不断研究和改进,增设了强有力的鼓风设备,以除去硫磺等杂质,使之比用煤炼铁更为经济有效。鼓风法在冶铁业中的使用,标志着近代大规模冶铁业的真正开始。

第二阶段是亨利·科特(H. Cort, 1740~1800)发明的锻炼炉阶段。熔铁炉生产的铸铁,不能锻造,而且对于制造工具、武器和运动量、负荷量较大的机械零件也很不合适。1783~1784年间,科特发明了精锻法,生铁从熔铁炉取出以后,不直接放在精炼炉里,而是首先用普通煤在锻炼炉中加热,并不停搅拌,使之成为“环形铁”,再加热锤打,在最高锻合点温度时,通过滚轧,变粗生铁为锻铁。科特的这种方法,改变了西欧整个冶铁工业的历史,使冶

铁生产率提高了 15 倍,而且这种新锻铁质量优越,成本较低,便于锻制各种工具,用途大大增加。

第三阶段是炼钢技术的发明。随着蒸汽机冲程次数的增加,对钢的要求越来越高,既要一定的硬度,又要一定的韧性,这是以前的生、熟铁所不能胜任的。其他生产部门也对材料提出了更高的要求。这一切促使人们去探求更高质量的金属材料。在 18 世纪早期,德国曾有人创造“泡钢”,它是把纯铁条放在木炭上,加热 10 天左右,使其含炭量提高,性能也得到提高。18 世纪 40 年代,亨兹曼(B. Huntsman, 1704~1776)在“泡钢”的基础上又发明了“铸钢”。他先把“泡钢”放在小坩锅内,用焦炭做燃料,在炉内加热使之熔化,除去杂质,再分割成任意大小的钢条,这种钢又叫“坩锅钢”,它具有较好的韧性和较高的机械性能,可以做发条、剃刀、小刀等。但明显的不足是产量少、成本高,远不能满足当时社会的需要,因而急切需要寻找一种切实可行的炼钢法。英国工程师贝塞默(H. Bessemer, 1813~1898)发明了来复线,使大炮可以打得又远又准,但这种大炮的炮筒也不能用铸铁制作,这促使他转而从事冶金技术的研究。1855~1856 年间,贝塞默发明了转炉炼钢法,把生铁熔化,吹入空气,再加入高锰铁水,以除去铁中的杂质,控制含碳量。此法大大提高了钢生产的数量和质量,开辟了炼钢的新纪元。19 世纪 70 年代初,贝塞默炼钢法已在欧洲推广,在英、法、德等国已有 100 多座使用此法炼钢的转炉。随着转炉炼钢法的发展和钢制产品的广泛应用,工业废钢数量日益增多,而转炉只能用铁水做原料,不能解决废钢处理问题。1861 年,德国工程师西门子(W. Siemens, 1823~1883)等发明了煤气发生炉和蓄热式煤气燃烧炉,得到了可以熔化钢的高温。1865 年,法国工程师马丁(P. E. Martin, 1824~1915)利用西门子的发明,开创了平炉炼钢法,不仅解决了废钢的再利用问题,钢的质量也比转炉炼的好,从而确立了高炉、转炉、平炉的钢铁冶金的生产体系,使钢铁工业大规模兴起,钢铁产量不断增加。

贝塞默炼钢法只适用于含低磷、低硫的铁矿石,这种原料在英国仅占全部铁矿石的 $1/10$,德、法、比利时、卢森堡等国的铁矿资源均为高磷矿石,不少钢铁厂在用贝塞默法炼钢时遭到失败。经过多年的研究,英国的托马斯(S.G.Thomas,1850~1885)在1879年发明了碱性转炉炼钢法,用碱性炉材和碱性石灰石熔剂获得了良好的脱磷效果,解决了高磷铁的炼钢难题。1868年以后,又有了高碳钨锰钢、钨铬钢、高速钢的炼制。钢产量的迅速提高和钢铁产品种类的不断增多,为各行各业的材料消费和机械加工工具及刀具的改进提供了物质保证,有力地促进了以钢铁工业为基础的其他工业的迅猛发展,也使运输工业产生了一场新的革命。

(三)蓬勃发展的运输工业

工业革命所引起的生产的增长,国内外市场的扩大,资本主义向外扩张和为掠夺殖民地而发动的战争,都对交通运输部门提出了新的要求。而旧的马车、帆船等运输工具极不适应这种要求,正如马克思所言:“工农业生产方式的革命,尤其使社会生产过程的一般条件即交通运输工具的革命成为必要。……工场手工业时期遗留下来的交通运输工具,很快又成为具有狂热的生产速度和巨大的生产规模、经常把大量资本和工人由一个生产领域投入另一个生产领域并具有新建立的世界市场联系的大工业所不能忍受的桎梏。”因此自1784年蒸汽机成为一项成熟的技术进入实用阶段,并广泛运用于交通运输业中,相继发明了轮船和蒸汽机车后,交通运输技术发生了一次革命性的变革。

用蒸汽力推动船舶的想法,早有人提出过。1690年巴本就提出过有桨轮的蒸汽动力船,1702年塞维利(T.Savery,1650~1715)也认为蒸汽机对船可能非常有用,1787年美国发明家菲奇(John Fitch,1743~1798)曾制造过一艘能行驶的汽船,但由于他

① 马克思恩格斯选集(第23卷).北京:人民出版社,1972.421.

利用此发明做投机生意而遭到失败。18 世纪末,首先以蒸汽机为辅助动力的帆船问世,接着被以风帆为辅助动力的汽船所代替。由于工业革命中蒸汽机、钢铁和各种技术的发展,实用汽船的前景变得光明起来。

第一艘实用轮船的发明者是美国的罗伯特·富尔顿(Robert Fulton,1765~1815)。1786 年,他东渡到了伦敦,在蓬勃兴起的工业革命浪潮中,结识了瓦特,激发了他用蒸汽机推动船舶行驶的热情。1803 年,富尔顿在巴黎发明的第一艘汽船在塞纳河下水,但试验没有成功。他深入研究了失败的情况,感到船的吨位与动力的比例、船长与船宽的比例、桨轮的吨位与动力的比例等都是轮船制造中的关键问题。他前后共花费了四年时间,经过多次波折,于 1807 年在美国建造了一艘明轮船“克勒蒙号”(Clermont),在纽约市的哈德逊河下水并试航成功,船长 150 英尺、宽 30 英尺,排水量为 100 吨。该船发动机是伯明翰的布尔顿(Boulton)和瓦特建造的,船身完全用金属材料制作,这是造船材料的大变革。“克勒蒙特”号作为哈德逊河上的定期航班,往返于纽约和奥尔巴尼之间,全程约 150 英里,航速比一般帆船快 $\frac{1}{3}$ 。“克勒蒙特”号的试航成功标志着以蒸汽动力船取代帆船的新时代的开始。尔后,1812 年,英国制成明轮船“彗星”号,在克来游河上第一次航行。以后美国和欧洲已有 50 艘汽船行驶在内陆河流中。1815 年,俄国也建造了第一艘蒸汽船“耶丽扎越塔”号。随着资本主义向外扩张,远洋轮船发展起来了,1819 年配备了蒸汽机的“萨凡纳”号船,自乔治亚州的萨凡纳横渡大西洋开往利物浦,但这艘船的蒸汽机只作为风帆的辅助动力。1838 年,英国轮船“天狼星”号和“大西方”号完全依靠蒸汽机为动力,横渡大西洋成功。以后几年间英国成立了几个大航运公司,经营世界的海洋航运,使英国的海运业进入了一个新的时代。

在汽船的发展过程中,存在着两种推进方式:桨轮和螺旋桨。这两种方式谁优谁劣?采取哪一种方式?长期存在争论。早期的

蒸汽动力一般采用舷侧明轮打水前进,故称“轮船”。这种轮船适合于风平浪静时航行,在风浪较大时,由于船体的剧烈摇晃,往往造成一侧明轮脱离水面,无法打水,造成桨轮空转,不仅浪费动力减慢航速,而且使船舶难以操纵。用螺旋桨为推进器的想法,瑞士的贝努利(Daniel Bernouli, 1700~1782)早在 1730 年就提出来了。1802 年,美国人史蒂文斯(John Stevens, 1749~1838)建造了第一条螺旋桨船,但没成功。1837 年,英国人史密斯(Francis Pettit Smith, 1808~1874)试验他的一艘螺旋推进器的蒸汽游艇,在一次意外的事件中把螺旋桨打掉了半截,不料,却增加了船的速度。这次意外的成功帮助改进了螺旋桨设计,导致在 1838 年成功建成了螺旋桨蒸汽船“阿基米德”号。1843 年,第一条螺旋桨蒸汽船——“大不列颠”号横渡大西洋,证明了螺旋桨推进功能的可靠性。1845 年,英国海军部又在螺旋桨推进的巡洋舰“响尾蛇”号和明轮汽船“爱里克托”号之间进行比赛,动力相当的两艘船,船尾互相系牢,获得开始信号以后,都以全速开航。结果前者获胜,后者被倒拖过来,船尾向前以 2.5 节的速度被拖着前进,这种震惊造船界的水上“拔河”比赛以螺旋桨的胜利而告终,螺旋桨开始取代明轮。

随着航运事业的不断发展,需要更大更快的航船,这样,蒸汽机就无能为力了,必须有更新的动力机械。1894 年,巴森斯(C. Parsons, 1854~1931)将他发明的汽轮机装到一艘 44 吨的游艇“突比尼亚”号上,经过多次试验和改进,1897 年,“突比尼亚”号的速度竟达到 34.5 节。三年后,德国的狄塞尔(R. Diesel, 1858~1913)发明了内燃机,由于内燃机与蒸汽机相比,具有体积小、重量轻、效率高、功率大等一系列优点,很快被用作最主要的船舶动力,从而出现了更加高速、更加大型的船舶,它宣告了原始蒸汽动力的结束和现代航运时代的到来。

自 1807 年富尔顿的汽船首航成功后,水上交通得到迅速发展。而陆上交通长期以来主要依靠马车,如煤矿都用马车运煤,道

路坎坷,效率低下。17 世纪初,有人想出了铺轨道的窍门,让马车在平滑的轨道上跑,大大减少了摩擦力,有效地提高了运输效率。起初,这种轨道都是木头的,因为容易坏,就在外面包了层铁皮加以保护,再往后,干脆改用铁轨,成了铁路马车。但这种陆上运输工具很落后,与当时生产力的发展不相适应,迫切需要改革。

英国的特里威席克和美国的伊万斯(O .Evens, 1755~1819)等开始研究把蒸汽机装在四轮车上,即用蒸汽车来进行陆上运输。瓦特蒸汽机笨重、耗煤多,对矿井和制造厂尚能满足需要,而交通运输却需要重量轻、体积小、效率高的发动机。1800 年,特里威席克研制成第一个高压双动发动机,正好适合这种需要。其次,他的一项发明,即由烟斗排气可以获得充分的牵引力,这项发明对火车头来说,就如瓦特分离凝汽器的发明对固定式发动机同样重要,可惜他的工作在当时没有引起人们足够的重视。

1814 年,英国发明家史蒂芬逊(George Stephenson, 1781~1848)在继承前人成果的基础上,制成了第一辆实用的蒸汽机车。这台机车能牵引 30 多吨货物,并且解决了火车经常脱轨的问题,并在基林沃斯煤矿运煤。后经不断改进,在结构上日趋完善,速度不断提高,成为现代蒸汽机车的雏形。同时,史蒂芬逊还亲自主持了架桥、筑堤、建筑涵洞和铁路等各种施工。1825 年,世界上第一条铁路在英国正式建成。这年的 9 月 27 日,“旅行号”列车在这条铁路上进行了盛况空前的试车表演,史蒂芬逊亲自驾驶载重达 90 吨、时速 15 千米的列车,由此开辟了陆上运输的新纪元。但是行驶在这条铁路上的火车,还不是我们今天所常见的火车,而是用机车和马匹同时牵引的火车。1830 年,另一条更加重要的铁路——曼彻斯特到利物浦的铁路建成,史蒂芬逊与他的儿子共同制造的“火箭号”机车在上面运行。此列车第一次完全依靠火车头牵引,它平均时速 29 千米,牵引 17 吨货物,在规定的 112 千米路程中没有发生任何故障。这一事实使人们真正认识到了铁路运输的优越性,导致了“铁路时代”的到来。到 19 世纪 40 年代,英国的主要铁

路干线大都已建成。19 世纪末,世界铁路里程已经发展到 65 万千米,到 20 世纪 20 年代又将近翻了一番,达到 127 万千米。工业发达国家都基本上形成了铁路网,有力地促进了资本主义的发展。

四 科学技术的体制化

(一) 科学技术的第一生产力作用的显现

18 世纪后期到 19 世纪的工业革命是以技术革命为中心内容的一场社会变革,是人类历史上生产力空前发展的巨大转折点。这次革命的主要特点是在工业部门发明和普遍采用了专门的工作机和动力机,由手工技术过渡到机械技术,由工场手工业过渡到大机器生产,初步形成了完整的工业技术体系。在这场生产力发生质变的过程中,科学技术扮演了举足轻重的角色,第一次凸显了科学技术是第一生产力这一伟大真理,马克思、恩格斯高度评价了工业革命这一历史性变革,称“蒸汽大王在前一世纪中翻转了整个世界”。

具体说来,科学技术的第一生产力作用主要表现在以下几个方面:

1. 以纺织革命为契机,导致了动力革命

如前所述,凯伊发明的“飞梭”成了新技术革命的导火线。纺纱和织布技术的不断革新,从凯伊的“飞梭”到惠特的“滚轮式纺纱机”,到哈格里夫斯的“珍妮机”,到阿克莱特的“滚筒纺纱机”,到克伦普顿发明的“骡机”,到最后卡特莱特发明的自动织布机,使纺纱从原始的单个手工操作发展到每次能同时纺 300~400 个纱锭,效率大大提高,到 18 世纪末,英国的纺织业已基本上用机器代替了手工操作。

纺织技术的改革引起了一系列的连锁反应,由于纺织部门普遍应用科学技术,提高了生产和竞争能力,增加了利润,导致别的

① 威·李卜克内西.回忆马克思、恩格斯.北京:人民出版社,1957.100~101.

部门的资本家纷纷仿效,把利用新的工作机作为聚财之道。而且,由于社会分工之间的联系,纺织技术的进步必然要求其他方面生产技术的相应改进,有了机器纺纱、机器织布,就要求机械化的净棉、梳棉,机械化的漂白、印染,机械化的起重、运输,要求有生产各种机械化装置的原料和加工技术,要求有力学、机械工艺学、化学等方面的研究,而这些新的研究又反过来导致更大的技术进步,进一步促进生产的发展和社会的进步。正如恩格斯所说:“随着纺纱部门的革命,必然会发生整个工业的革命。……我们到处都会看出,使用机械化和普遍应用科学原理是进步的动力。”

2. 以蒸汽动力为先导,掀起了整个工业革命的热潮

瓦特发明的蒸汽机以它的技术优越性成为时代的标志。19世纪上半叶开始了普遍使用蒸汽为动力的黄金时代,以英国为例,1800年,仅使用蒸汽机321台,共5210马力,到1825年就上升到15000台,共375000马力,猛增了几十倍。19世纪40年代,整个欧洲国家和美国都普遍推广使用了蒸汽机。蒸汽机带动着纺织机、鼓风机、抽水机、磨粉机,造成了纺织、印染、冶金、采矿和其他工业部门的迅猛发展,创造出人们以前无法想象的技术奇迹,极大地促进了生产的发展和劳动生产率的提高。以英国为例,每年加工处理的棉花在18世纪70年代初是500万千克,到19世纪30年代末约为5亿千克,增加约100倍;从1790年到1830年间,生铁产量从7万吨增到69万吨,煤炭从760万吨增至1600万吨。1770~1840年,英国工人的平均劳动生产率提高了20倍,其他发生产业革命的国家都有不同程度的迅速发展。从1820年到1913年,世界工业生产力增加了49倍。

3. 科学技术作为第一生产力,促进了工业体系的形成

18世纪到19世纪的工业革命,是以科学技术作为其内核的,它不仅是个别工业部门被新的工作机武装起来,也不仅是蒸汽动

① 马克思恩格斯选集(第1卷).北京:人民出版社,1972.671~672.

力的广泛应用,而是机械、冶金、采矿、化工、建筑、交通运输等各个部门全面改造以至整个新的工业体系的形成。除在机器制造业、钢铁工业、采掘工业、交通运输业等方面有长足进展之外,化学工业中的漂白技术、印染技术、制酸业、制碱业、化学肥料、有机化学合成等也都获得快速发展;建筑技术、通信技术也有了一定程度的发展,初步形成了资本主义的工业生产体系,这种以大机器生产为特点的工业体系的形成是工业革命的主要成就。工业革命是资本主义生产关系推动生产力迅速进步的历史功绩,同时,它又为资本主义生产方式奠定了巩固的技术基础。恩格斯在总结工业革命时指出“蒸汽和新的工具机把工场手工业变成了现代的大工业,从而把资产阶级社会的整个基础革命化了。工场手工业时代的迟缓的发展进程变成了生产中的真正的狂飙时期。”

4. 工业革命中的技术进步不仅造成了生产力的巨大进步,而且从根本上摧毁了整个旧的封建关系

18世纪中叶以前,尽管资产阶级的力量已日益强大甚至在政治上居统治地位,但封建经济仍有相当的实力,个体农业、个体手工业仍然存在,工场手工业的一些工匠同时又是小生产者或与小生产者有种种社会联系。在这种情况下,封建王朝的势力就比较容易把历史拉向后退,更有可能把复辟的愿望变成复辟的行动。而以科技为核心的机器大工业彻底瓦解了封建的自然经济,迅速而又彻底地取代了旧的工场手工业,给资本主义社会带来了先进的生产方式,为其创立了雄厚的物质基础。在此基础上,一系列新的生产部门相继建立,工业生产面貌巨变,资产阶级运用手中的强大武器推动着政治上层建筑的改革,发展了巨大的生产力,彻底扫除了封建势力妄图复辟的社会经济基础。

掌握着新兴科技知识的资产阶级,从诞生之日起就代表着一种新的生产力。恩格斯认为工业革命是资本主义工业化的最初阶

① 马克思恩格斯选集(第3卷). 北京:人民出版社,1972. 301.

段,其特征就在于以大机器工业代替工场手工业,完成轻工业部门特别是纺织工业的机械化,并广泛地使用蒸汽为动力。随着资本主义的不断发展,技术的进步更多地依赖于系统的研究和科学的理论,而不是工匠的技艺、技能,因此,新兴资产阶级越来越重视研究工作,技术革新和技术革命主要是在科学实验室里,在技术人员和科学家指导下进行。

5. 交通运输的革命导致了人们思维方式的革命

随着工业革命的蓬勃发展,在交通运输业引发了革命性的变革,蒸汽动力船取代了古老的帆船,火车取代了马车,它们延伸到世界各地,缩短了各地间的距离,开阔了人们的视野,把过去分散、孤立的地区和国家联结起来,成为工农业生产和社会交往的动脉。蒸汽船、火车的速度和力量象征着工业革命期间的时代精神,“开动蒸汽”“铁路速度”扫除了中世纪的悠闲懈怠的贵族习气,代之而起的是紧张、忙碌的新鲜气息。

6. 工业革命引起了社会阶级结构的大变动,使最革命、最先进的社会力量——无产阶级登上了历史舞台

科技进步使机器大工业成为现实,创造丰富物质财富的同时,也造就了一个新兴的无产阶级。随着以科学技术为中心内容的社会生产力的发展,无产阶级也随之发展壮大,成为推动社会进步的根本力量。正如恩格斯指出的:“17世纪和18世纪从事创造蒸汽机的人们也没有料到,他们所造成的工具,比其他任何东西都更会使全世界的社会状况革命化,特别是在欧洲,由于财富集中在少数人手里,而绝大多数人则一无所有,起初是资产阶级获得了社会的和政治的统治,而后就是资产阶级和无产阶级之间发生阶级斗争,这一阶级斗争,只能以资产阶级的崩溃和一切阶级对立的消灭而告终。”

① 恩格斯. 自然辩证法. 北京:人民出版社,1971. 160.

(二)资产阶级促进科技发展的措施

18 世纪以来的工业革命是在资本主义生产方式上升时期兴起的,资产阶级对这场革命及这场革命中科学技术的发展起了积极的推动作用。资本家、资产阶级政府不仅关心科学技术的进步,而且还采取了一些促进科学技术进步的措施,直接干预科技活动和科技事业的发展。

18 世纪中叶以前,科学技术活动基本上是靠个别学者、个别工匠分散进行的,缺乏促进技术进步的社会组织,科学学会为数不多,人员也少。在工业革命中,资本主义国家出现了由地方企业家赞助的科学技术团体,其中最早的一个是 1776 年在英国伯明翰成立的“太阴学会”。伯明翰位于英国中部,是当时资本主义经济比较发达、工业革命相当活跃的地方。学会的发起人是与瓦特合伙制造蒸汽机的企业主,成员包括化学厂老板、铁器制造厂主、发明煤气照明的工程师默多克、化学家普里斯特列(Joseph Priestley, 1733~1804)、印刷术改进者和医生等。太阴学会在每月的圆月之夜聚会,讨论本地区的工艺技术和科学问题。这个学会实际上成为英国中部工业革命的参谋部。1781 年,在英国的曼彻斯特也建立了由工业家和科学家组成的地方性科学社团,即曼彻斯特学会。由于当地的纺织业比较繁荣,要求解决漂白和染色中的问题,所以曼彻斯特学会在建立后特别关心化学,从 1817 年到 1844 年,一直由化学家道尔顿(J. Dalton, 1766~1844)担任会长。其他专业性的学会,如植物学会、地质学会、化学学会在 18 世纪末和 19 世纪中叶也纷纷建立起来,到 19 世纪末,英国全国共有 100 多个科学社团,总人数比 18 世纪末时约增加 100 倍。1831 年,全国性的英国科学促进会成立,它的主要任务是分析科学发展的全貌,指出在进一步研究中最有成功希望的新方向,这个协会对 19 世纪英国科学的发展有重要影响。

美国科学活动和科学组织更带有“官方”特点。1797~1815

年间,美国总统杰弗逊非常重视科学,并亲任包括农艺、医学、天文等学科在内的美国哲学学会会长,给科学研究拨给政府基金。1844年,总统泰勒主持了美国第一次全国科学大会。1863年,林肯批准成立美国国家科学院。在19世纪,美国共建立了400多个科学技术组织。

在法国,1794年以后,政府改变了大革命时期对待科学家的幼稚做法,重新开放了科学院,并将一批科学家委以政府部长的要职。在拿破仑执政时期,政府设立了科学奖金,甚至在英法交战的时候,法国政府还给英国化学家戴维颁发了科学奖金。

在18世纪时,资产阶级曾采用悬赏和发放奖金的办法来刺激技术发明,到19世纪,这种临时性的悬赏办法被新的专利制度所取代。专利制度是从中世纪的手工业和商业特许权发展而来的。产业革命以前,国家也曾以专利权保护发明,但旧的专利制度手续繁杂,呈请技术专利要花很多钱,一般出身寒微的发明家负担不起。如发明焦炭炼铁的达比,发明纺织机的哈格里夫斯、克伦普顿,发明蒸汽机的萨弗里(Thomas Savery, 1650~1715)、纽可门都没有获得专利权。旧的专利制度限制了工业革命的发展,资产阶级基于利用科学技术的迫切需要和要在新发明利用中设法协调彼此的关系,在19世纪后半叶先后修改或制订了新的专利法。英国于1852年修订了专利法,废除了贵族特权,简化了申请专利的手续。新专利法还规定,一切发明在申请专利后必须付诸实施,如果发明人自己不实施或妨碍他人合法利用,就要强迫实施或取消专利权。法国、德国、俄国、日本也在1856~1896年间确立了比较完善的专利法。新的专利制度促进了创造发明,专利项目的增长有力地促进了19世纪科学技术的进步。

资产阶级需要科学技术,需要从事科学技术活动的科学家、发明家。科学技术知识分子在资本主义条件下的处境比旧时代要优越得多,他们在迅猛兴起的工业革命中大显身手,发挥了重要作用。

工业革命需要大批的技术人才,这就要求发展科学与技术教育,从而有力地促进了教育事业的发展。英国在 18 世纪首先出现技工学校,到 1850 年已发展到约有 600 所,其中一些后来变成了技术学院。1794 年,法国国民议会接受了一些科学家和工程师的建议,批准成立了巴黎理工学院,它在 19 世纪时成为科学技术教育和研究的中心,培养出一大批做出开拓性发明和发现的著名人才。其他国家如德国、奥地利、瑞士、俄国等都大力发展教育事业,开办工艺学校或技术学校,兴办理工科大学或学院。这些对产业革命的蓬勃发展发挥了重要作用。

资本主义国家在工业革命的过程中曾采取过积极的技术引进措施。以英国为例,它的纺织技术开始是采用意大利、西班牙、荷兰的手工艺。因为英国采取了有利于吸收国外先进技术的政策,大批由于政治动乱和宗教改革而逃到英国来的工匠壮大了英国的技术力量,英国政府规定,每个外国来的熟练工人必须为英国培养几个学徒,以此作为他们定居英国的条件。而且,英国允许外国人申请专利,也使国外的发明得以输入,对英国实现工业革命起了积极的作用。

资产阶级在工业革命中的这些措施促进了社会生产力的迅速发展,物质财富大大增加。由于工业革命的结果,从 1800 年到 1900 年,英、美、法、德四个主要资本主义国家的煤炭产量从 1 270 万吨增加到 65 670 万吨,生铁产量从 20 万吨增加到 3 587 万吨,钢材、铁路里程、船舶吨位都有了很大的增长。从 1820 年到 1913 年,世界工业生产力增加 49 倍。而这些又反过来推动科学技术的进一步发展,工业革命使科学和技术成为生产过程中必不可少的因素,生产过程变为科学技术的应用,又使科学技术成为同劳动相分离的独立的力量,使科学研究和技术发明成为一种职业。马克思在总结这一历史过程时说到:“只有资本主义生产方式才第一次使自然科学为直接的生产过程服务,同时,生产的发展反过来又为从理论上征服自然提供了手段。”随着资本主义的发展,科学因素

第一次被有意识地 and 广泛地加以发展、应用,并体现在生活中,其规模是以往时代根本想象不到的。”

① 马克思. 机器、自然力和科学的应用. 北京:人民出版社,1978. 206, 208.

第十章 自然科学的全面发展 及新自然观的确立

继近代科学早期发展之后,牛顿力学又进一步起到了“先导科学”的作用。它不仅给科学家树立了研究的“范式”,它的理论和方法也被科学家移植到其他研究领域,从而导致整个自然科学和技术的全面发展。从18世纪开始至19世纪末,科学技术全面繁荣,并在社会上产生了广泛的影响。其中之一就是推翻了统治人们思想长达两个世纪的机械自然观,并确立了新的辩证唯物主义的
自然观。

一 自然科学的全面发展

(一)天体演化理论

1755年,德国科学家、哲学家康德(I.Kant, 1724~1804)发表《宇宙发展史概论》,提出了太阳系起源的星云假说。这个假说所依据的科学事实是,科学家通过大量的天文观测,已经发现太阳系内行星公转轨道具有共面性,行星公转的方向具有同向性,行星公转轨道呈近圆性。为了回答太阳系行星公转时何以具有这样多的相似性,康德设想太阳系可能是从同一团原始星云演化而来。他的主要论点有:原始星云是由弥漫于宇宙空间的不停运动着的无数物质微粒组成;其密度不均匀;凭借万有引力,密度较大的部分可以从它周围吸引密度较小的物质微粒,以后它们自己又同所聚集的物质一起,聚集到密度更为巨大的地方,并如此一直继续下

去。这样,星云中必有一处其密度比其他地方都大,就会形成整个星云的引力中心;当微粒物质向引力中心降落时,除受到引力作用外,同时还受到斥力作用。这样就有可能造成运动方向的偏离,使垂直的下落运动变成围绕降落中心的圆周运动;开始时圆周运动可能还很混乱,后来逐渐出现一个主要的运动方向,形成巨大的旋涡,使整个星云逐渐向垂直于转动轴的平面集中。在这个平面上,速度较小的团块继续落到中心团块,速度较大的团块则可以保持力的平衡形成各个行星;在形成行星的小团块中又会由类似的过程形成行星的卫星系统。

康德的这个假说能够解释行星的共面性、近圆性和同向性,也能解释行星的不同密度和质量的形成。但由于当时许多科学家受形而上学、经验主义的影响,厌恶理论思维,看不起假说;也由于康德假说本身的思辨成分太多,有许多问题解释不清楚,所以这个假说发表以后没有引起什么反响,埋没了半个世纪之久。直到18世纪末法国著名数学家、力学家拉普拉斯根据天文观测资料,对天体的形成从数学和力学方面作了论证,提出了类似的星云假说后,这一观点才为人们普遍接受。

拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749 ~ 1827)的星云假说体现在1796年出版的《宇宙体系概说》一书中。他也认为太阳系的所有天体都起源于同一原始星云。但和康德不同,他假设原始星云是炽热气体;假设炽热的球状气体星云从一开始就在缓慢转动。这样就回避了康德想用引力和斥力的矛盾加以解释、但并未解释清楚的“星云是怎样开始旋转起来的”这个问题。按照拉普拉斯假说,气体状的炽热星云大致呈球形,它的直径很大,在宇宙中缓慢地旋转。同时向外散发热量渐渐变冷,其体积也在逐渐收缩。根据角动量守恒原理,其旋转速度将加大。按离心力规律,星云物质所受的惯性离心力也随之增大,而且在赤道处的星云物质所受惯性离心力最大($f = m\omega^2 r$)。这使星云的赤道部分向外突出,使球形星云变为扁球乃至扁平圆盘。当外缘部分受到的离心力增大到

足以和星云对它的吸引力相抗衡时,这部分物质便不再随整个星云一起收缩而保留在原来的半径上旋转。重复上述过程就可以得到一个又一个的圆环,其中心部分最后收缩为太阳。分离出来的圆环经过相互吸引和凝聚,就形成了各个行星。这些行星的卫星也是在类似的冷却、收缩、加速旋转的过程中形成的。

由于这个假说和康德的假说类似,人们就把这两个假说统称为“康德—拉普拉斯星云假说”。尽管康德—拉普拉斯假说仍有许多具体问题不能解决,但其形成和演化的思想逐渐被天文学发展所证实。尤其是 1859 年德国物理学家吉尔霍夫和德国化学家本生创造出光谱分析法以后,可以对恒星上存在的元素进行分析了。分析证明,各种不同的天体构成元素相同。而且通过光谱分析还可以比较出它们所处的不同发展阶段。天体形成和演化的观点从而被确立下来了。

(二)地质进化理论

由于地貌的变化人们比较容易观测到,科学家就会常常由地貌的变化去猜测整个地球的变化,所以有关这方面的研究很早就有了。1644 年笛卡儿(R .P .Descartes, 1596~1650)就在《哲学原理》一书中讨论了地球的形成过程。他认为,“以太”旋涡不断研磨着粒子,形成几种元素,其中有一种元素就是形成地球的原料。他猜想,在地球形成过程中比较重的粒子向地心集中,轻的粒子处于地球外层。地球在分化过程中形成三个圈层,中心是地核,由高温发光物质组成;中间圈层起初为液态,后来变成了固体;外圈层是地壳。后来地壳又分化形成了地表、水层、大气层等。

德国的莱布尼兹(G .W .Leibniz, 1646~1716)1680 年出版《原始地球》一书,猜想地球最初是高温发光物体,后逐渐冷却,表面形成皱褶,这就是山脉。最初的地壳是多孔结构,海水可由这些小孔流入地下,使海平面下降,山露出水面。

这些早期猜测和研究,思辨性都比较强,科学性不足。但以这

些研究为基础,使后来的地质研究分成不同的学派,其中主要有水成派和火成派,灾变论和渐变论。

1. 水成派和火成派之争

17 世纪时,西方地质学界对地球的形成就存在有水成派和火成派之争。1695 年,英国地质学家伍德沃德(J. Woodward, 1665~1728)发表《地球自然历史探讨》,主张水成观点。认为是摩西洪水造成地球上原有生物的灭绝,并把它们变成化石。火成派的代表为莫罗(Mauro),相信岩石是由火山喷发造成的。到 18 世纪后,在对地球岩石圈历史演变的认识上两派斗争更激烈,德国地质学家维尔纳(A. G. Werner, 1749~1817)等人主张水成论,认为一切结晶岩都是在原始海洋中形成的,都是水成岩。后来由于全球水位突然下降,才使岩石的较高部分露出水面形成陆地和高山,但在这一过程中构成地壳的岩石圈本身并没有任何改变。水成派与圣经中的描述一致,一时占了上风。苏格兰地质学家赫顿(J. Hutton, 1726~1797)坚持火成论,认为地球内部是熔融的岩浆,通过火山爆发在地面凝结成花岗岩,由于地下熔融岩浆的推动,还将引起已经形成的沉积岩倾斜变形。后来法国地质学家马列斯特在一个偶然机会中发现了玄武岩,他沿着玄武岩的分布一直追索到火山口,说明了玄武岩也是火成岩。在火成论的指导下,建立了地壳运动的观念。1787 年冰岛附近的海底玄武岩发生一次火山大喷发,使火成派又抬了头。后来在英国苏格兰山上开会讨论时,两派互不相让,形成地质史上的武斗事件。

水成论者提出两点反对火成论的论据:(1)熔融的岩浆凝固时只能形成玻璃体而不会结晶化;(2)有些岩石如石灰石受热后将会被分解掉。对此,詹姆士·霍尔(J. Hall, 1761~1832)在 1790~1812 年间进行了一系列的实验。他在玻璃厂使熔融的玻璃非常缓慢地冷却,证明它可以结晶化形成不透明体;他从火山口弄来熔岩重新用炉子熔化它,然后使之慢慢冷却,也能结晶形成玄武岩那样的岩石。他又通过实验证明,如果把石灰石放在密闭容器中加

热,石灰石并不分解,而是形成像大理石一样的岩石。实验结果是有利于火成论的。

这两派观点都有合理之处,因为岩石本来就分沉积岩和火成岩(花岗岩、玄武岩)。但又都不全对。从思维方法上看,两派都犯了绝对化的错误。不过,有时候,绝对化也会促进科学的发展。没有争论,就没有动力。争论时绝对化是不可避免的。所以如何正确对待历史上那些错误的或不全对的理论,是值得我们思考的一个问题。

2.灾变论和渐变论之争

灾变论的代表是法国生物学家居维叶(G. Cuvier, 1769 ~ 1832)。在对巴黎盆地地层的研究中,他发现老地层中化石少,而且化石生物原始;新地层中化石多,生物物种也较复杂。这本来可以看成生物不断进化的证据,但居维叶 1765 年认为,这些不同时代的物种之间毫无联系,地球表面的历次变动都是间断的,由于突然的巨大洪水造成的。他在《地球表面的革命》一书中写道:“这种洪水的反复进退不是以缓慢和渐进为特征,恰好相反,大多数激变是突变引起的……较老的地层的位错和倒转没有任何疑问地表明,置岩石于现在这样位置的过程是突然和强烈的……这可怕的洪水常席卷地球上的生命。无数生物因激变而消失了。那些习惯于干燥陆地生活的生物被大洪水卷走,而当海底突然变为干燥的陆地时,另外一些水生生物被枯死;整个物种灭绝了,它们留下的少量遗迹,使自然研究者现在也难于辨认。”这样,地球演变的历史就成了一堆前后无关的突变集合,而在各次突变之间,地球以及地球上的生物则没有任何演化和渐变。当时正值 1765 年意大利的一个火山爆发,似乎成了居维叶论点的一次佐证。他想,既然历史上有火山、洪水,为什么全球性的灾害就不可以呢?所以居维叶灾变论的提出迎合了欧洲人对灾变的恐惧。居维叶在生物学上成

① 转引自关士续.科学技术史(内部稿).118.

就很大,他提出了“器官相关律。”根据这个规律,你只要找到一小块动物化石,他就能预言动物的原型。他的学生挖出来的化石可以和他预言的一点不差。是什么东西影响了他,使他在地质理论上观点如此保守呢?这也是一个值得深思的问题。居维叶认为最后一次灾变发生在距今 5 000 年前,恰好与摩西洪水的记载相一致。他的学生道比尼甚至求出了上帝曾进行过 27 次重复的创造。所以恩格斯说:“居维叶关于地球经历多次革命的理论在词句上是革命的,而在实质上是反动的。它以一系列重复的创造行动代替了一次上帝的创造行动,使神迹成为自然界的根本的杠杆。”

另一派是渐变论者。英国业余科学家赫顿 1795 年出版了《地球理论》,主张应以现在仍起作用的地质力量去解释历史上发生的地壳变动。后来英国地质学家赖尔(C. Lyell, 1797~1875)进一步发展了这一思想。他虽是水成论代表维尔纳的学生,但不信他老师的观点。他以“现在是认识过去的钥匙”这一思想作指导,1830~1833 年间写成了《地质学原理》一书,这本书的副标题就是“以现在还在起作用的原因试释地球表面上以前的变化”。他在这部著作里以丰富的地质资料证明,江河海流、潮汐、风雨、冰雪、火山、地震等自然作用至今仍在持续缓慢地改变着地球的表面状况,地球的历史在时间上是连续的,现状是以前变迁的结果,是“长期一连串前后相继事变的结果”,而不是像灾变论者所说的彼此隔绝而无联系;引起这种变化的原因,不是一两项原因单独作用的结果,更不是靠有限几次突然灾变造成的,而是诸种自然原因复合作用的结果。各种地质作用所产生的效果是由一系列微小的、缓慢的变化积累起来的,而不是突变式的。有人把赖尔的这些观点概括为连续性法则、均一性法则和积累法则。恩格斯给予赖尔很高的评价,认为“只是赖尔才第一次把理性带进地质学中,因为他以地球的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

① 恩格斯.自然辩证法 北京:人民出版社,1984.12.

发所引起的突然革命”。

赖尔的地质渐变论必然导致物种可变的思想,因为既然地壳是逐渐形成的、不断变化的,那么在它上面生活的一切生物也必定是进化发展的。正如赫胥黎(T .H .Huxley, 1825~1895)所说:赖尔“铺平了达尔文的道路”。达尔文(C .Darwin, 1809~1882)自己也在自传中承认,是《地质学原理》引导他得到物种进化的结论的。但赖尔在《地质学原理》头几版中曾拥护物种不变的观点,并批评了拉马克(J .B .Lamarck, 1744~1829)的进化论。有学者说“这是受专业分工的局限和传统观念的束缚”。那么,还有没有更深刻的原因?赖尔在方法上的绝对化对此是否有影响?回答应该是肯定的。赖尔的绝对化表现在:他过分强调渐变,否定了激变的可能;他绝对化了自然规律的古今一致性,认为在地球上起作用的各种力量也是从来不变的。

(三)十九世纪化学的三大发现

1 . 科学原子论的确立

1789 年,拉瓦锡(A .L .Lavoisier, 1743~1794)根据大量的化学实验建立了质量不灭定律,从此化学中能够使用天平进行精确的研究,也使化学得以进入定量研究阶段。1791 年德国化学家李斯特已能作出预言:“化学是应用数学的一个分支。”定量化的方法使李斯特发现了“定比定律”——相互化合的元素间有固定的质量比。1797 年法国化学家普鲁斯特(J .L .Proust, 1754~1826)发现“定组成定律”——各种化合物都有确定的组成,与制备方法无关。1803 年英国道尔顿又发现“倍比定律”,并在这些经验定律的基础上,又开始了理论的综合工作。由于经常发现气体在水中的溶解和气体体积可被压缩等一些重要的物理化学现象,使他逐渐形成了一个概念,即物质内部不可能是连续的,应该由一些质点所组

① 恩格斯 .自然辩证法 北京:人民出版社,1984 .12 .

成。由此,他于 1803 年提出了新的原子论。其主要内容包括:元素由非常微小的不可再分的物质微粒——原子组成;原子在化学变化中保持其本性不变;同一元素原子的各种性质和重量都完全相同,不同元素原子的性质和重量不同;原子的重量是每一化学元素的重要特征。1808 年,道尔顿又在《化学哲学的新体系》这本书里更加系统和充分地阐述了他的原子论。

但是在原子论建立的初期,化学家们宁愿采用元素的概念,也不愿使用原子概念;宁愿仍然采用元素当量,也不愿采用原子量。这是由于当时还没有办法准确确定参与化学过程的各种元素的原子数目,所以原子量很难准确断定;另一方面,道尔顿忽视了原子和分子的区别。他认为单质只是简单原子的组合,不存在分子状态,只有化合物才是复杂原子,是由分子组成的。所以当 1811 年意大利化学物理学家阿佛加德罗(A. Avogadro, 1776~1856)提出分子概念,并认为单质物质的分子是由相同原子组成的简单分子,化合物分子是由不同原子组成的复合分子,“分子是物质存在的独立单元”时,道尔顿坚持认为,相同的原子要互相排斥,不可能结合成一个分子。直到 1860 年于德国召开的国际会议上,意大利化学家康尼查罗(S. Canizzaro, 1826~1910)才说服化学家接受分子概念,澄清了半个多世纪以来理论上的混乱。这说明,一个正确的理论,尤其是一个新概念,其提出是一回事,能否为大家接受又是一回事。

2. 周期律的发现

当道尔顿确定了一批元素的原子量后,人们就注意到元素原子量与元素性质的联系。1829 年德国化学家德柏来纳发现有许多三元素组,每组中间一元素的原子量恰好是两端元素原子量的算术平均值。1860 年以后,由于原子量的测定日益准确,许多化学家相继发现元素的性质与其原子量之间存在明显的相关关系。1864 年,德国化学家迈耶尔(J. L. Meyer, 1830~1895)按原子量递增顺序列出了“六组元素表”,形成了周期和族的轮廓,并给尚未发

现的元素保留了位置。1865 年,英国化学家纽兰兹(J .A .R .Newlands, 1837~1898)在按原子量排列的表上发现,每到第八个元素总是出现与第一个元素在性质上的重复,就像音乐中的音符一样,他称之为“八音律”。1867 年,美国化学家辛里斯按原子量的大小把元素排列在长度不等的半径线上,形成星形元素体系,其中在同一半径线上分布的元素性质相似。尽管有这些发现,但他们所发现的规律都不能包括当时已发现的全部元素,只是认识了某一个方面的性质。

1869 年,俄国化学家门捷列夫(D .I .Mendeleev, 1834~1907)编制了一份包括当时已知的全部 63 种元素的周期表。他的结论是,按照原子量大小排列起来的元素,在性质上呈现明显的周期性。1871 年,他对周期表作了进一步的修改,使之基本具备了现代周期表的形式。在这份周期表中,门捷列夫大胆地修正了一些元素的原子量。如把铈的原子量从当时认为的 116 改为 240;对周期表中四个空位元素的性质他也作了极为详尽的预言。到 1875 年,发现了他预言的类铝“镓”,1880 年,发现了类硼“钪”,1886 年,发现类硅“锗”。它们的性质都和门捷列夫的预言十分接近。

门捷列夫是如何发现周期律的?其中有许多传说。有人说这是他在玩扑克牌游戏时偶然发现的;也有人说是他连续工作三天三夜没有睡觉,终于在梦中发现的。事实上,门氏是在 1869 年俄历 2 月 17 日(公历 3 月 1 日)这一天内发现元素周期律的。当时他正在编写《化学原理》第二卷,在结束这卷的第二章之后,必须确定在碱金属之后应该紧跟着叙述那一族金属元素的问题。在他看来,似应叙述碱土金属,但又拿不出根据。恰巧,这一天他收到了一封信,便信手在信的空白处对化学性质不相似的钠族和类锌族的原子量的差值进行了计算。然后他对比了紧密相连的若干元素族,先编成了一张包含 31 个元素的表格,指导思想是使常见的不相似各元素族紧密相连而原子量又最大限度的靠近,以至使各

元素族间再也放不进元素。接着又列了第二个表。其中原子量的排列按竖行,不像第一次按横行。这个表包括了 42 个元素,为了编制当时已知 63 个元素的总表,门氏采用了“化学牌阵”的方法(即用卡片写上元素名,性质,原子量),把 63 个元素按研究程度和原子量轻重分成四堆,最后剩下 7 个元素,门氏试着把它们放在适当的位置,终于编成了一个元素周期律的草表。

门氏时代,虽然已知 63 个元素,但只占天然元素总数(92 个)的 $\frac{2}{3}$,而且有 11 个元素的原子量测得不对。虽然有不少元素已组成了自然族,但已组成的这些自然族里还有不少疑问,而且有一些元素还无法安置。在这种情况下,要想揭示化学元素的内在联系和一般规律也是不容易的。这时,门氏的逐步综合法又帮了他的大忙。所谓逐步综合法是指不断综合、逐级综合的方法,即只有先小综合,才能大综合;只有先把元素小综合成自然族,才能大综合成体系,否则把单个元素直接排在某一个体系里显然是困难的。如门氏同时代化学家的三元素组是只停留在自然族的框子里,而八音律则是试图跳过对特殊阶段的认识直达普遍性阶段,因而都没有发现周期律。不认识各族元素的特殊本质就不能进行综合考察和概括。综合法不是归纳法,因为在此法中,当依据某种原则改变个别元素的位置或原子量时使用的则是演绎推理。

门氏采用的比较方法则使他容易把握元素的内在联系。他自己也说过:“要全面地把握,就需要有比较的方法。”门氏对元素分族时,首先就要对各个化学元素的性质进行比较分析,只有对各个族的性质进行比较研究才能综合考察。他通过比较不相似的两类元素原子量的差值,发现了元素性质的变化是由原子量的大小决定的;他应用比较法预言了应该有过渡元素存在,为建立包括所有元素在内的周期表作了准备。

3. 维勒用无机物合成了有机物尿素

直到 19 世纪初期,许多化学家还受“活力论”的束缚,认为有机物是某种神秘的“生命力”的产物。1824 年,年轻的德国化学家

维勒(F. Wöhler, 1800~1882)用氰酸和氨水相作用,得到了氰酸铵和水,当他蒸发氰酸铵水溶液时,却发现产生了一种白色晶体,从性质上看,它就是有机化合物“尿素”。这一发现太出乎当时化学家的意料了,以致维勒花费了四年时间反复实验和研究它,直到1828年才把自己的研究成果写成《论尿素的人工制成》一文发表。这一发现不仅打破了活力论的统治,也打破了把有机物与无机物分开的界限,证明了无机界和有机界的统一。一旦打破了界限,接受了事实,类似的发现就容易识别了。如1845年德国化学家柯贝尔从氯化碳制取出醋酸,1854年法国化学家贝泰罗(P. E. M. Berthelot, 1827~1907)用无机物合成了脂肪,1861年俄国化学家布特列洛夫(A. M. Butlerov, 1828~1861)合成己糖,1887年德国化学家费歇尔(E. H. Fischer, 1852~1919)合成葡萄糖和果糖,1884~1906年间又合成几种嘌呤类化合物和多肽。这些都是由无机物直接制取的有机物。

(四)能量守恒和转化定律的发现

对能量守恒单纯从哲学上给以思辨性研究的历史很长,在古希腊的哲学家那里已经有所提及。到了笛卡儿,提出了运动守恒;而黑格尔(G. W. F. Hegel, 1770~1831)则提出了现象之间互相联系和转化的思想。这些观点当时并未引起人们的注意,因为能量守恒和转化定律必须建立在一定的客观基础上,这种客观基础(即前提)包括三个方面:

1. 力学和蒸汽技术的成就

这是能量守恒定律的第一个基本物质前提。

(1)力学方面。伽利略(G. Galilei, 1564~1642)已直观地把这个定律表述为:“物体在下落过程中所达到的速度能够使它跳回到原来的高度,但不会更高。”1695年,莱布尼兹(G. W. Leibniz,

① 劳厄 物理学史 北京:商务印书馆,1978.79.

1646~1716)把能量原理表述为:力和路程的乘积等于活力(mv^2)的增加。他认为宇宙间的活力的总和是守恒的。瑞士数学家伯努里(Johann Bernoulli, 1667~1748)一再讲到“活力守恒”,即当活力消失时做功的本领没有失去,而只是变成另一种形式。到1807年,英国物理学家托马斯·扬(T. Young, 1773~1829)在《自然哲学讲义》一书中认为“应该用能量一词来表示物体的质量或重量与表示速度的数的平方的积”。1829年,旁塞列(J. V. Poncelet, 1788~1867)在《技术力学引言》中提出了在力学过程中能量守恒原理:功的代数和的两倍等于活力的和,在任何时候不能从无中产生功或活力,功或活力也不能转化为无。至于后来哈密顿(W. R. Hamilton, 1805~1865)提到的“力函数”:在稳定的保守力情况下,它不是别的,正是系统的总能量。这只不过是哈密顿把位能表示成“张力之和”,动能表示成“活力之和”而已。

(2)热学领域。在对热的最初研究中,广泛流传着热质说。就是在拉瓦锡用燃烧理论代替燃素说时,他还把热看做一种物质。把热看做物质就不可能存在热和机械能的转化问题。比如对摩擦生热的解释,摩擦把热素逼出来,所以物体温度会上升,但热素的量并没有增加。所以在热素说占统治地位时人们不可能理解由蒸汽机的发明所揭示的热和机械运动之间的关系。1798年伦福德(Count Rumford, 1753~1814)用钝钻头钻孔、使18磅水在2.5小时内沸腾的实验和1799年戴维(H. Davy, 1778~1829)的冰块摩擦实验,都沉重打击了热质说。到19世纪,由于蒸汽技术的发展,蒸汽机结构逐渐完善,使得在做相同功的情况下,蒸汽机的煤耗量逐渐下降。1828年的蒸汽机所消耗的燃料仅为瓦特(J. Watt, 1736~1819)的第一台蒸汽机的1/17。为了不断提高热机的效率,法国工程师卡诺(L. N. M. Carnot, 1753~1823)分析了蒸汽机中决定热产生机械能的各种因素,发现热机做功的数值仅取决于两个热源间的温度差。但他相信热素说,认为热机做功是热素从高温热源流向低温热源的结果,而热素的量(热量)并不减少。

所以他看不到热能和机械能之间的转化以及二者总和的守恒关系。1830年,他放弃了热素论,在他的笔记中明确地提出了能量守恒和转化定律,得出了热的机械当量为370千克米/千卡,和12年后求得的365千克米/千卡相近。他说:“动力(能量)是自然界的一个不变量,准确地说,它既不产生,也不能消灭。实际上,它只改变它的形式,这就是说,它有时引起一种运动,有时引起另一种运动,但它决不消失。”在迈尔(R. Mayer, 1814~1878)所发表的第一批论文中也是把蒸汽机车作为力的转化的例证来说明的。

2. 生理学抛弃了神秘的活力观点,而把生命过程作为普通的自然过程

这方面的成就是能量守恒定律的第二个实质性的前提。

19世纪初对植物的研究表明,拉瓦锡的物质守恒定律和普劳斯特的定组成定律对有机体是同样适用的,而植物就像一个独特的化学实验室,它能把吸收的无机物、矿物质在体内转化为有机物。迈尔、赫尔姆霍兹(H. Helmholtz, 1821~1894)等人进一步认为,能量在有机体内的一切表现都应该追溯到能量的某种已知的物理的或化学的来源,思维的劳动、动物的发热都是依靠包含在有机物质中的、从食物吸收来的潜在能量而产生的。

3. 物理学家证明自然界力的统一性和可转化性是能量守恒定律的第三个基本前提

在19世纪,电转化为热,热转化为电以及电磁互相转化的关系得到普遍承认。法拉第(M. Faraday, 1791~1867)在证明自然界的力的统一性和相互转化性方面作了许多工作,他坚持的普遍联系的观点给他的科学研究帮了很大的忙。他说过“有一个古老而不可改变的信念,即自然界的一切力都彼此有关,有共同的起源,或者是同一基本力的不同表现形式,这种信念常常使我想到在

① 萨迪·卡诺 传记和手稿(法文版) .巴黎科学院 1927 .81 .转引自范岱年 .能量守恒和转化定律的发现 .物理 .四卷 4 期,1975 234 .

实验上证明重力和电之间联系的可能性”。他的“场”概念就是在普遍联系思想的指导下产生的。

由于上述三个方面的发展,到 19 世纪 30~40 年代,经过五个国家、六七种不同职业的十几个科学家的共同努力,终于揭示了各种运动形式之间的统一性。1851 年,由威廉·汤姆逊(W. Thomson, 1824~1907)和德国克劳修斯(R. Clausius, 1822~1888)提出的能量守恒定律作为自然界的普遍规律被确立下来,从此,特别是在物理学中,每一种新的理论能否被承认首先要检查它是否跟能量守恒原理相符合。

在能量守恒和转化定律确立的过程中,迈尔、赫尔姆霍兹、焦耳(J. P. Joule, 1818~1889)等人的工作尤其值得一提。

赫尔姆霍兹从研究生理学这条途径发现了能量守恒。那时的生理学家承认有生命的灵魂即活力存在着,活力在生物体活着时比在死后更自由地调节着物理力和化学力的表现。赫尔姆霍兹认为“在这种解释中有某种反自然的东西”,1846 年,他在医学百科全书中发表《生理的热现象的理论》一文,指出“一种自然力如果由另一种自然力产生,则其当量不变”。1847 年,他发表《论力的守恒》,认为“在质点间的吸引力和排斥力作用下质点发生运动的所有情况中,吸引力和排斥力的强度只与距离有关,张力(即位能)在量上的损失始终等于活力的增加,而张力的增量始终等于活力的损失。因而所有这些力和张力之和始终是一个常数”。恩格斯(F. Engels, 1820~1895)在谈到赫尔姆霍兹的贡献时会非常明确地说:“他在《论力的守恒》一文中有两个地方是有创见的。”

1840 年,迈尔作为随船医生到印度尼西亚去,在给生病的水手放血时发现,热带病人的静脉血的颜色很红,很接近动脉血。他曾怀疑过是否自己弄伤了病人的动脉。当地医生告诉他,热带人的静脉血的颜色就是这样。这使迈尔认识到,由于外界温度很高,

① 恩格斯.自然辩证法 北京:人民出版社,1971.62.

为了维持身体的热量,使得机体只需要消耗较少的物质。这个发现使他想了许多问题。1841年航行结束时,他把形成的基本思想写信告诉了巴乌尔。信中说,在化学里,物质是不可破坏的,元素和由它们形成的化合物处于必然的联系之中。我们应该把那些完全同样基本的定律应用到力上,力和物质一样,也是不可破坏的;它们加入不同的组合,旧的形式消失了,又形成了新的形式。1841年7月16日,他把这个思想写成文章寄给《物理学和化学》杂志的主编波根道夫(J. C. Poggendorff, 1796~1877),结果以避免被指责为“自然哲学的空谈”为由未曾发表。

在1845年出版的《与物质交换有关的有机运动》一文里,迈尔又把自己的观点向前推进一步。他更广泛地考察了运动的不同形式,其中比较重要的有:

(1)机械运动。首先分析了弹性碰撞时运动转化的例子,得出结论:“运动就是力”,“这种力的量度活力是守恒的”。其次他分析了“下落的力”,结论是:与下落的力转变为运动或者是运动转变为下落的力无关,这个力……始终是不变的常数,这就是“活力守恒原理”——“力的不可破坏性的公理的特殊应用”。物体从任意高度自由下落,沿预先设置的路线的下落,摆的摆动,天体的运动等等都证实了这一点。迈尔在这方面的工作使他发现了“在重力场中机械能是守恒的”。

(2)热运动。他的结论是“热是力”,“是能够转化为运动的”。牵引列车上山的蒸汽机车的例子证实了这个原理。

(3)物理力的第四种表现形式——电。结论是:“机械效应向电转化,消耗机械效应,产生(电的、磁的)紧张状态”。

(4)化学作用。结论是“能够通过一定物质的化学化合达到机械结合时所产生的相同的效应,就是生成热”。“物质的化学上的差别,就是力”。

迈尔总共研究了运动转化的25种情况,并画成一张表。他的总结论是:“在一切化学和物理过程中这个力仍然保持为不变的常

数。”

在考察了当时地球上已知的能量形式的循环过程以后,迈尔转而研究在宇宙中能量的循环问题。1848年出版的《天体动力学》就是这方面的成果。他认为,太阳能的发散为落在太阳上的陨石流的能量所补充。但这样就要引起太阳的质量增加,行星转动周期变小,尤其是地球转动的周期在一年内要减小 $1/2$ 秒。可事实并非如此。迈尔为解释这个不符合实际的情况而假设“光辐射伴随着质量的损失”。这些闪光的思想当时未得到重视。

1851年,迈尔的《关于热的机械当量的说明》出版,这是为回敬攻击他的人而写的一篇文章。文章强调:“不仅在化学过程中,而且在力学过程中(如摩擦、碰撞、压缩等)产生热。”产生的热和所消耗的功之间的比是“最简单的、不变的正比关系,我们借助于热反过来产生功时也会得到同一比例关系”。“热和功彼此能互相转化”。

恩格斯在谈到迈尔的贡献时曾明确称赞他超过了赫尔姆霍兹。还说:“在1842年迈尔已经肯定了‘力的不灭’,而在1845年他又根据自己的新观点,在‘自然界中各种过程间的关系’方面说出了比赫尔姆霍兹在1847年所发表的高明得多的东西。”

焦耳则从实验上对能量守恒定律给出了明确的证明。焦耳首先研究了电流放出热量的规律。但他考虑到如用伽伐尼电池做实验则无法断定热量是由电流放出的还是从电池带来的,1843年,他把一个带有铁芯的线圈放到一个盛水的容器中,再把容器放到磁铁的两极间,转动线圈则有感生电流产生,通过电流使水温上升。同时,他用一套和摇柄连动的绳索、滑车、砝码,测定使线圈回转所消耗的机械功。他的结论是:能够用机械力产生热,并且使一磅水升高 1°C 的热量可使839磅重物升高1码。1845年,他又研究了气体压缩和膨胀时的热现象。在压缩情况下得出的当量值为

① 恩格斯.自然辩证法 北京:人民出版社,1971.62.

436 千克米/ 千卡, 膨胀情况下得出的数据为 438 千克米/ 千卡。1847 年, 他设计了一个新实验, 用铜制翼轮搅动水, 使水升温, 而转动翼轮的动力由砝码的下落提供。1849 年, 他在《热的机械当量》一文中宣布了实验结果为 424.3 千克米/ 千卡。他把水换成水银求得结果为 425.77 千克米/ 千卡, 后来又改用铁和铁摩擦的办法测定机械当量为 425 千克米/ 千卡。为了使测定更准确, 焦耳一直把实验做到 1878 年, 最后的测量数据为 428 千克米/ 千卡。从 1843 年他作实验起到 1878 年, 总共用前后 35 年的时间, 可见这一成就的取得是多么不容易。焦耳的实验给能量守恒定律奠定了无可辩驳的坚实基础, 使这一定律完全建立起来。

关于能量的定律, 当时的物理学家都强调量的“守恒”的一面, 把这条定律称为“能量守恒定律”。恩格斯则突出强调了质的“转化”这一面。他早于 1858 年 7 月 14 日同马克思讨论这个定律时, 就说明这是物理学中各种力(即能量)的相互转化的关系。到了 19 世纪 70 年代, 恩格斯更是明确地把这定律改称为“能量守恒和转化定律”。恩格斯在 1885 年写的《反杜林论》第三版序言中说: “如果说, 新发现的、伟大的运动基本定律, 10 年前还仅仅概括为能量守恒定律, 仅仅概括为运动不生不灭这种表述, 就是说, 仅仅从量的方面概括它, 那么, 这种狭隘的、消极的表述日益被那种关于能的转化的积极的表述所代替, 在这里过程的质的内容第一次获得了自己的权利, 对世外造物主的最后记忆也消除了。当运动(所谓能)的量从动能(所谓机械力)转化为电、热、位能等等, 以及发生相反转化时, 它仍是不变的, 这一点现在已无须再当做什么新的东西来宣扬了; 这种认识, 是今后对转化过程本身进行更为丰富多彩的研究的既得的基础, 而转化过程是一个伟大的基本过程,

① 恩格斯致马克思(1858 年 7 月 14 日). 马克思恩格斯选集(第四卷). 北京: 人民出版社, 1972. 337.

对自然的全部认识都综合于对这个过程的认识中。”由此可见，恩格斯的表述才深刻地、全面地反映了这一定律的本质内容，因而是这一定律的最科学的表述形式。

恩格斯在《自然辩证法》“关于判断的分类”一节中，分析了发现能量守恒和转化定律的推理过程：从“摩擦是热的一个源泉”的“实在的判断”（个别性的判断），推进到“一切机械运动都能借摩擦转化为热”这个“全称的反省的判断”（特殊性的判断），然后又从反省的判断提高到能量守恒与转化定律这个“概念的判断”（普遍性的判断）。前者是采用归纳法，但后者（即达到普遍性的判断）采用单纯的归纳法就不可能了，必须借助于理性的思维。这雄辩地证明了哲学思维对自然科学研究的指导作用。

（五）细胞学说和生物进化论的提出

1. 细胞学说的提出

17 世纪，由于显微镜的发明和应用，对生物的认识逐步深入到微观结构领域，胡克（R .Hooke, 1635～1702）、马尔比基（M .Malpighi, 1628～1694）、格鲁（N .Grew, 1641～1712）等人已经观察了细胞，看到了木栓中的“小匣”或“小室”，但当时还不能理解这种蜂窝状的显微结构在生物体中有何作用。1827 年，意大利的亚米齐制成了新式消色差显微镜，使人看到了细胞的细微结构，看到肝是方形细胞，肌肉是长形细胞，神经是伸得更长的细胞。同年，生活在彼得堡的德国生理学家冯·贝尔在显微镜下看到了哺乳动物的卵细胞；1831 年，英国医生布朗（R .Brown, 1773～1858）又发现了细胞核。1838 年，德国生物学家、耶拿大学的植物学教授施来登（J .M .Schleiden, 1804～1881）发表《论植物发生》一文，提出细胞是一切植物结构的基本的活的单位和一切植物借以发展的根

① 恩格斯 .反杜林论 .北京：人民出版社，1970 .11 .

② 恩格斯 .自然辩证法 .北京：人民出版社，1971 .202～203 .

本实体的学说。他要人们特别重视布朗细胞核的发现,认为一个新细胞起源于一个老细胞的核,最初形成一个裂片,然后分离出一个完整的细胞。

1839年,德国生物学家、卢万大学解剖学教授施旺(T.A.H. Schwann, 1810~1882)发表《动植物结构和生长相似性的显微研究》,把施来登的学说扩大到动物界。指出“细胞是有机体,动植物都是这些有机体的集合物,它们按照一定法则排列在动植物体内”。“有机体的基本部分不管怎样不同,总有一个普遍的发育原则,这个原则便是细胞的形式。”1839年,捷克生物学家普金叶(J.E. Purkinje, 1787~1869)发现细胞中充满胶状液体,他把这种液体称为“原生质”;德国解剖学家舒尔兹(M.J.S. Schultze, 1825~1874)指出,原生质是“生命的物质基础”,一切生物细胞中的原生质都基本相似。19世纪40年代以后,许多植物学家[如德国的莫耳(H. Mohl, 1805~1872),瑞士的耐格里(C.W. Nageli, 1817~1891),德国的霍夫迈斯特(W.F.B. Hofmeister, 1824~1877)等]先后发现了细胞的分裂过程:细胞核先在母细胞内一分为二,然后母细胞分裂为二个子细胞。胚胎的发育过程就是细胞的分裂过程。1879年,德国生物学家弗来明(W. Fleming, 1843~1905)发现了“染色质”,对染色质的观察使他发现了细胞的“有丝分裂”;1888年,德国解剖学家瓦尔德尔把细胞分裂中表现出来的线状染色质称为“染色体”。

1858年,柏林大学病理解剖学教授微耳和(R.C. Virchow, 1821~1902)将细胞学说运用于病理学,创立了细胞病理学。他认为可以把人体看成“一个国家,其中每个细胞是个公民”;疾病就是这个细胞国家中发生的叛乱和内战,有病的细胞会产生有病的细胞,从而使疾病扩散。他的学说成为西方现代医学的重要理论基

① 清华大学自然辩证法教研室.科学技术史讲义.北京:清华大学出版社,1982. 126.

础。恩格斯对细胞学说的建立给予了充分的评价：“对于机体的产生、成长和构造，秘密被揭开了；从前不可理解的奇迹，现在已经消解在对一切多细胞的机体来说本质上是依据同一的规律来进行的一个过程中。”

2. 生物进化思想的确立

早在 19 世纪之前，当林耐 (C. Linnaeus, 1707~1778) 试图建立一个一成不变的动植物分类体系的时候，巴黎皇家植物园园长乔治·布丰 (G. L. L. Buffon, 1707~1788) 认为，林耐的分类以及一切人为分类法都是“形而上学的一个错误”。1749 年，布丰在《自然史》一书中指出，这种分类的“错误在于不了解自然的过程，这种过程总是循序渐进的……我们将发现许多中间物种以及一半属于这一类，一半属于那一类的物种”。正因为他不承认在物种之间存在任何不可跨越的沟壑，所以他认为这些物种可能存在共同的祖先。

布丰年轻时侨居英国，曾受到了牛顿派科学的极大影响，他决心要把自然规律起支配作用这个概念扩展到地球上一切有生命和无生命的物体上去。同时，他还研究了比较解剖学，发现了存在着不完善的、没有用途的和退化的器官。如果所有的物种在创世时就是完善地设计过并且自创世以来从来没有发生过改变的话，那么这些器官怎么会存在呢？这双重因素使他得出了进化的思想。他把生物同生活环境联系起来，把气候、营养条件看作物种进化、变异的原因。他研究了大约 200 种四足兽，发现它们具有相似性，他认为这些四足兽可能起源于一对亲体；而只要有一个物种是从别的物种中产生出来的，那么只要有足够的时间，大自然就能够从一个原始的类型发展出一切其他生物种类来。布丰的著作中包括了达尔文理论中所有的要素，达尔文也把布丰称做“现代第一个以

① 恩格斯.自然辩证法 北京：人民出版社，1984.30.

科学精神对待这个问题(即物种起源)的作家”。但布丰是从现代物种着眼回过头倒看历史的,从而颠倒了演化的进程。把这个演化的进程重新颠倒过来的是法国哲学家罗比耐。他认为,生物最本质和最普遍的属性……是一种变好的倾向。法国生物学家拉马克直接继承了罗比耐的进化思想。

在生物进化的历史上,影响最大的有两种进化模式。一种是法国的拉马克提出的。他把物种的进化看作获得性状遗传和用进废退的结果。他推测说人和猿有共同的祖先,因为某种猿类可能为了要看得更远些而学会了一种比较直立的姿势,这种新的姿势可能已经引起了可遗传的结构上的改变,其他的改变和进步可能还会有需要和行为上的改变同时并存,人在智力和体质上比猿具有明显的优势性,这是在极其长远的年代中,人类对这两种能力的使用不断增长而遗传下来的。恩格斯在《劳动在从猿到人的转变中的作用》一文中采用的就是拉马克的这种进化观点。但恩格斯主要研究的是另一种进化模式,即达尔文的进化模式。该理论的核心是自然选择,他的所有观点都是建立在这一点的之上的。达尔文进化论的主要观点有:

(1)变异是自然选择的材料。达尔文认为,物种总在不断变异,变异分有利变异和不利变异两种;自然选择的材料就是变异,有利变异的积累就是进化。

(2)繁殖过剩提供了自然选择的必要性和可能性。他由于受马尔萨斯人口论的影响,认为繁殖过剩是自然界的普遍现象。他举了草履虫的例子说明每一个生物都可大量繁殖后代:草履虫一年中可繁殖 76×10^{108} 个后代,如造一个球形罐头来装它在一年内的繁殖数量,这个罐头的直径等于地球到太阳的距离。而大自然又不允许这些生物的后代都保存下来,这就出现了多与少的矛盾。解决的办法是选择,多中选少,所以繁殖过剩为自然选择提供了必

① N.玛格纳.生命科学史.武汉:华中工学院出版社,1985.476.

要性。由于可供选择的对象多,选择余地大,选择产生的实际效果就大,所以繁殖过剩提供了选择的可能性。

(3)生存斗争是自然选择实现的手段。自然选择的主体是自然界,它无意识。自然选择是通过生存斗争——种内斗争、种间斗争和与环境的斗争三种形式——实现的,这是生物体为获得生存权利而进行的斗争。斗争中大量生物体失败了,被淘汰了,这就解决了多与少的矛盾,实现了多中选少。

(4)适者生存是自然选择的标准。自然界无意识,它的选择标准就是适者生存。能够适应环境的生物体保存下来。所谓“适应环境”是指能适应生存斗争需要,有利变异比较多的生物体就能较好地适应生存。

(5)新种产生、旧种消灭是自然选择的必然结果。

1859年,达尔文出版《论通过自然选择或生存斗争保存良种的物种起源》一书,系统地提出了生物物种进化论。在书中,他依据地质学和古生物学上关于已经灭绝的动植物物种在时间上分布的证据,和现存动植物物种在空间上分布的证据,证明了“物种是逐渐变化着的”;他从动物化石在地质上表现出来的连续性出发建立了生物进化的“系谱树”;引用胚胎学的证据,把个体的胚胎发育史看成种族的系统进化史的缩影。《物种起源》一出版,立即受到了欢迎,初版印刷1250册,在当天便被购买一空。赫胥黎把这个新学说当做划破黑暗的一道闪电来欢迎,姑娘们则在自己的床头放上一本作为高雅的象征,而且促使不相信生物进化的赖尔转变了观点(1864年)。但同时也引起不少人的攻击,歪曲的宣传、讽刺的漫画、乃至公开的谩骂也蜂拥而至。在1860年的英国科学促进协会牛津会议上,还爆发了赫胥黎同牛津主教威尔伯福斯的激烈论战。

如何评价达尔文进化论在科学思想史上的地位?他对科学思想史的最大贡献是什么?达尔文的最大贡献不在于他提出了物种进化论,而在于他提出了一种进化模式,即进化论的方法论。他第

一次把选择的概念从社会领域引入生物学领域,即从人的有意识的活动领域移植到无意识的生物界领域。选择长期被认为是只有人才有的一种活动,没有人认真讨论过自然界是否也有选择。达尔文的最大贡献是,他告诉我们,自然界虽无意识,但也有选择活动。达尔文是从人工选择受到启发,提出了自然选择的思想。为了把选择概念移植到生物学中来,他把人的活动分为有意识的选择和无意识的选择两种。人工选择是有意识的选择,但农民杀死不下蛋的鸡无意中改良了鸡的品种就是无意识的选择。他的这个区分的意义是深刻的,它提供了一个桥梁,使人的活动得以进入到生物界。不管达尔文思想如何受到挑战,他的这个功绩是不可磨灭的。他为我们研究自然界的发展规律指出了一条新途径,这就是在达尔文开辟的道路上继续把选择概念从生物界推广到无机界。如果能用达尔文的进化论研究无机界的进化,如果无机界也有选择过程,这样就可以回答自然界为什么在不断发展;如果选择是普遍机制,就可用进化论研究整个自然界的发展;如果可以用进化论研究整个自然界,则达尔文的进化论的内在强大生命力才刚刚表现出来。

在达尔文的时代,主要还是林耐的“物种不变论”占统治地位。达尔文能够在这样的思想背景下,取得如此巨大的成就,成为一名举世公认的伟大学者,一定有他的独特之处。达尔文成功的秘密主要体现在四个方面:

(1)尊重客观事实。1828年,达尔文入剑桥大学攻读神学时,他还是一个基督教的信徒。达尔文能够抛弃神学教义、完成世界观的转变是和他所受的科学教育及尊重事实的态度分不开的。1831年,由于他的老师、植物学教授亨斯罗的推荐,他得以随“贝格尔”号到南美和太平洋诸岛进行科学考察。临行,亨斯罗还对他说:虽可以带一本《地质学原理》,但切不要接受其中所提倡的观

点”。他自己也曾说过：“我必须从大量事实出发，而不是从原理出发”。就是对待假说，达尔文也认为要以事实为根据。他说：“我一贯力求保持思想不受拘束，这样，一旦某一假说为事实证明错误时，不论我自己对该假说如何偏爱，我都放弃它。”

(2)严谨的治学态度。达尔文随“贝格尔”号考察用了五年时间，但他的《物种起源》一书直到 1859 年才出版。在这 20 多年的时间里，达尔文把自己的精力全部投入了研究工作。他尊重事实的作风与他严谨的治学态度是分不开的。首先他对考察搜集来的材料进行了认真的思考，同时又要为解释这些材料去搜集新的更多的材料。他自己亲自从事家鸽交配和蔷薇育种，按照培根的原则印发调查表，同熟练的动物饲养家和植物育种家谈话，阅读大量书刊，搜集与动物和植物在家养状况下和自然状况下的变异有关的一切事实。他的“人类成功的关键是在于选择”的结论就是从大量事实中总结出来的。1842 年，达尔文把他的理论写成一个 35 页的纲要，1844 年夏末，又将这份纲要扩写到 230 页，但达尔文并没有立即发表，他还想在研究中得到进一步的补充和证明。1856 年，赖尔曾督促他发表这些成果，达尔文仍认为研究尚未完满。此外，他花费了九年时间去撰写有关蔓足类动物的书，《人类起源和性选择》和《人和动物情绪的表现》两书也历时 33 年之久。他曾说过：“这对我有很大的好处；我并没有因此而造成什么损失。”

(3)敏锐的洞察力。达尔文善于从错综复杂的现象中或大量的实验事实中，识别那些被他称为“比较显著的事实”，然后紧紧“抓住作为出发点”，“从其中取得一般的法则和结论”。他往往在别人认为一般中看出例外，在别人认为平淡无奇的现象中看出“可供考察的新的境界”。如他从家养动物的耳朵都下垂的现象中发

① 贝弗里奇.科学研究的艺术 北京:科学出版社,1979.90.

② 贝弗里奇.科学研究的艺术 北京:科学出版社,1979.62.

③ 科学方法论文集 武汉:湖北人民出版社,1981.246.

现了这与“用进废退”有关;从有二形性植物的事实中,发现了异花植物受精的作用;从许多昆虫常常陷入毛毡苔一事中,发现了这种植物有奇特的吞噬能力。在建立他的进化理论时,他紧紧抓住的就是一个最常见而又最简单的事实——选择问题,这是很少为人注意的问题,达尔文却从中找到了解决生物进化的钥匙。尽管达尔文非常谦逊,但在这个问题上他也承认:“在对待容易逃脱注意的事物上和细心观察事物上,我要比一般人高明些。”

(4)运用科学方法的灵活性。在科学研究中达尔文应用了许多科学方法,但从不局限于某一种。他能根据事物的主要矛盾选择比较合适的方法进行突破:他用归纳法完成了《物种起源》这部巨著;主要用演绎法说明了珊瑚岛的成因和人类起源及表情问题;着重用分析法解决了蔓足类动物的问题;用历史的比较方法揭示了家养动物与野生动物的关系;又将人工选择的事实与自然状况下变异的事实进行类比;此外,还运用了形成假说的逐步逼近法及系统分析法等。在他进行科学研究的不同阶段上,运用的方法也是不同的:1836年以前,主要在“贝格尔”号航行时期,以观察法和类比法为主;1836年至1839年,即回国后到自然选择理论之前,以归纳法为主;1839年以后以演绎法为主。

达尔文自己也总结过他成功的原因。他说:“作为一个科学工作者,我的成功……最重要的是:爱好科学——不厌深思——勤勉观察和收集资料——相当的发明能力和常识。……凭了这些平庸的能力,我居然在一些重要的地方相当地影响了科学家的信仰。”

① F 达尔文 达尔文生平及其书信集 北京:三联书店,1957 251 .

② 达尔文 物种起源 北京:科学出版社,1955 416 .

二 辩证唯物主义自然观的确立

辩证唯物主义自然观的主要特征是强调事物是发展变化的和普遍联系的,变化的根本原因在事物的内部。但近代科学产生以来所发展形成的自然观是机械自然观,具有完全不同的特点。显然,从机械自然观过渡到辩证的自然观,需要经过观念的转换。造成这种观念转换的伟大动力正是自然科学的发展和影响!

(一)辩证唯物主义自然观确立的自然科学背景

辩证唯物主义自然观的特征是发展变化和普遍联系,凡是有利于形成这两大特征的因素,都可能成为确立新自然观的因素。

1. 发展变化思想的确立

在僵化的形而上学自然观上打开第一个缺口的,是康德 1755 年提出的有关太阳系起源的星云假说。因为康德的假说已经把太阳系理解成为一个运动、发展、变化的过程,正如恩格斯评价的:他把“地球和整个太阳系表现为某种在时间的进程中逐渐生成的东西”,而且这种变化的根本原因在事物的内部。这样,牛顿(I. Newton, 1642~1727)“第一推动力”的假设就自然被取消了。正因为如此,恩格斯才把这个学说称做“是从哥白尼以来天文学取得的最大进步。认为自然界在时间上没有任何历史的那种观念,第一次被动摇了”。相应地,如果地球是某种逐渐生成的东西,它一定不仅有在空间中互相邻近的历史,而且还有在时间上前后相继的历史。这样,就如恩格斯所评价的,“在康德的发现中包含着一切继续进步的起点”^①。

①③ 恩格斯. 自然辩证法. 北京:人民出版社,1984. 11, 11.

② 恩格斯. 反杜林论. 北京:人民出版社,1970. 54.

其次是进化论思潮。进化论思潮包括天体演化思想,地质进化思想,生物进化思想,以及物理学中的进化问题。这些思想集中在 18~19 世纪形成并完善,从而转变成为一种社会思潮。

前面已经叙述了天体演化思想、地质进化思想、生物进化思想,以下主要研究物理学中的进化问题。众所周知,在牛顿经典力学中,时间是无方向的,如知一物体的状态、初始条件,就可推测未来,追溯过去。牛顿力学只讨论运动、变化,不讨论发展、进化。把发展的观点,时间箭头问题引入物理学,是 19 世纪的热力学研究提供的。克劳修斯通过热力学第二定律的研究提出了“热寂说”。他认为宇宙总会到达这样的一天,那时所有的运动都变成了热运动,最后由于热量平衡,热虽存在,但热运动没有了,宇宙就死亡,处于热寂状态。克劳修斯在这里实际提出了一个无机界的发展方向问题。

热寂说提出以后,许多人对热寂说提出了批评,但也有人表示赞同。双方就以下观点展开讨论:(1)消失到宇宙中的热必然会以某种方式重新聚集。这是恩格斯在《自然辩证法》一书中提出的预言,即在一定条件下熵要增加,能量要发散;而在另外一些条件下熵要自发减少,能量要重新集中。相反的意见认为,这只是一种猜想,现在并不能从物理学的角度说明热量重新聚集的机制,所以不能用猜想来判定热寂说是错误的。(2)热寂说研究的是小孤立系统,不能把有限的孤立系统推广到整个宇宙。相反的意见认为,科学的任务就是要不断外推。我们只能认识有限的事物,从有限事物加以外推,才能对整个宇宙、自然界提出理论说明。看起来似乎不能把宇宙理解为孤立系统,但宇宙是唯一的,它没有周围的环境,无所谓开放、孤立系统,因为唯一的宇宙不能同外界交换能量或交换物质。这样,为什么不能把无限、唯一的宇宙看作孤立系统呢?(3)如承认宇宙无限,则热寂到来也是在无穷远的未来,所以热寂不可能实现。相反意见认为,宇宙是否是无限,这个问题还没有结论,从宇宙学、天文学角度讲还是一个悬而未决的问题,所以

热寂说可以探讨。尽管有争论,但熵理论预言宇宙将进入热寂,因而向“宇宙是由上帝设计”的观念提出了挑战,这个意义应肯定。

上述分析说明,物理学也研究进化问题。从某种意义上可以说,当物理学开始研究自然界的进化时,物理学才发展到一个新的历史水平。在这方面以克劳修斯为代表的热力学的研究者们建立了很大的功勋,对于他们提出的这些理论应该给予足够重视。

总之,由于科学的发展,人们不仅看到自然界是发展变化的,天体是发展变化的,生物也是发展变化的。从无机物到复杂的有机物都是发展变化的。所以进化论的出现为打破僵化的自然观作出了自己的贡献,它对人的思想产生的影响是巨大的。戈德施密特(R. Goldschmidt)在《来自记忆的印象》一书中描述了海克尔的进化论著作对某个年轻人的影响:读了海克尔关于创造历史的论述后,这位青年感到“关于天国和大地的所有问题都简单明了而令人信服地解决了,引起年轻人烦恼的一切疑问都有了答案。进化论是解答一切问题的钥匙,它能代替正在被抛弃的各种信念和教义”。进化论的影响远远超出了它所在的生物学自身,它被扩展到了许多领域,达尔文的著作被许多社会运动和哲学派别当做“科学证据”加以引用,这中间既有无神论,也有进化神学(按神的预定目标进化);既有马克思主义,也有资产阶级哲学。许多人从进化论科学中看到了政治上和经济上的信息,如既然目前的状况是自然界长期进化的产物,那么任何一个事物就必然会处于它目前所处的那个状态,这样人们必须忍受当前工业社会的苦难,因为这是不可抗拒的自然规律活动的结果。

斯宾塞(H. Spencer, 1820~1903)还将进化规律应用于人类社会。他把社会看作和生物机体相似的东西,强调社会有机体的变化必须用进化过程的尺度来衡量。一部分人对社会进化抱有悲

① N. 玛格纳. 生命科学史. 武汉:华中工学院出版社,1985. 520.

观态度,认为社会进化到一个更好的状态是非常遥远的将来的事;有人则持乐观态度。有人用马尔萨斯主义的斗争观点看待社会,俄罗斯的克鲁泡特金则从对西伯利亚的动植物调查中看到竞争只是在种间进行的,所以他提出社会上除有斗争规律外还存在一个“相互帮助和相互支持的规律”。

因此,可以毫不夸张地说,19世纪后半期已经形成了一股强大的进化论思潮,进化论对人类思想产生的影响,是相当巨大的。

2. 普遍联系思想的确立

19世纪自然科学在自然观上的突破,不仅表现于发展变化思想的确立,而且表现在科学逐渐揭示了自然界中的普遍联系,证明了自然界的物质统一性。在这方面首先是近代化学的建立起了重要作用。正如恩格斯所说:“从拉瓦锡以后,特别是从道尔顿以后,化学的惊人迅速的发展从另一方面向旧的自然观进行了攻击。”恩格斯这里所说的“另一方面”就是普遍联系思想的确立。近代化学的建立从三个方面加强了普遍联系思想,一是科学原子论的提出,揭示了一切化学过程在本质上的统一;二是元素周期律的发现,揭示了元素之间的内在联系。过去似乎相互孤立的元素,现在证明它们之间存在着密切的关系;三是维勒的尿素合成,它以雄辩的事实证明,有机物尿素和无机物氰酸铵有着同样的化学组成,用普通的化学方法,由氰、氰酸银、氰酸铝和氨水、氯化铵等无机原料按不同途径都可合成同一有机物——尿素。这不仅把有机化合物的神秘性彻底扫除了,而且填补了有机界和无机界之间的久已存在的鸿沟。

能量守恒和转化定律的确立又一次揭示了自然界业已存在的普遍联系。它表明,“自然界中一切运动的统一,现在已经不再是一个哲学的论断,而是自然科学的事实了”^②。

细胞学说的建立又把动物界和植物界之间存在的巨大的壁垒

①② 恩格斯. 自然辩证法. 北京:人民出版社,1984. 13.

拆除,使一切有机体的分化、发育、生长都建立在细胞这一共同的基础上。正如恩格斯所说:“由于这一发现,我们不仅知道一切高等有机体都是按照一个共同规律发育和生长的,而且通过细胞的变异能力指出了使有机体能改变自己的物种并从而能实现一个比个体发育更高的发育的道路。”

(二)辩证唯物主义自然观的确立

通过 19 世纪诸多自然科学领域的发展,已经造成这样一种变化:过去被看做是孤立的、割裂的自然现象,现在被证明是统一的物质运动的不同形式;过去被当做是一成不变的东西,现在被证明是逐渐形成的。在这些自然科学的新成就面前,使机械自然观得以确立的那些前提条件,变得土崩瓦解了,而新的自然观的基本点也完备了:“一切僵硬的东西溶化了,一切固定的东西消散了,一切被当做永久存在的特殊东西变成了转瞬即逝的东西,整个自然界被证明是在永恒的流动和循环中运动着。”

自然科学的发展为辩证唯物主义自然观的产生准备了条件,但仍需要有人进行总结概括,这个人就是恩格斯。在《自然辩证法》和《反杜林论》这两部光辉著作中,恩格斯第一次阐述了辩证唯物主义自然观,这在自然观的发展中是具有划时代意义的。

辩证唯物主义自然观的确立使我们又回到了希腊哲学的伟大创立者的观点:整个自然界,从最小的东西到最大的东西,从沙粒到太阳,从原生生物到人,都处于永恒的产生和消灭中,处于不断的流动中,处于无休止的运动和变化中。但新的自然观并非是古代自然观的简单重复,两者存在着一个本质上的差别:在希腊人那里是天才直觉的东西,在我们这里是严格科学的以实验为依据的研究的结果,因而也就具有确定得多和明白得多的形式。

③ 恩格斯. 费尔巴哈和德国古典哲学的终结. 北京:人民出版社,1972. 36.

④ 恩格斯. 自然辩证法. 北京:人民出版社,1984. 15.

第十一章 电力革命

19 世纪后半叶到 20 世纪初,随着资本主义自由竞争向垄断的过渡,工业化从以轻工业为主导转向以重工业为主导,新的能源动力成为亟需解决的社会需求,并成为电力技术革命兴起的基本动力。在这场称之为“第二次动力革命”的技术革命中,美德两国替代老牌工业国英法等国,成为电力革命的中心。而相关的电磁理论,为这场重大工业革命提供了科学基础原理。

一 电力革命的科学基础

(一)从静电学到稳恒电流的发现

1 近代早期的静电与磁学研究

英国科学家吉尔伯特(William Gilbert, 1544~1603)最先对磁的现象和摩擦起电现象进行了系统的研究,获得了许多重要的发现。他把研究成果总结在 1600 年出版的《磁石》一书中。

另一位较早从事磁和静电研究的学者是意大利道德神学和数学教授卡比奥(Nicolo Cabeo, 1585~1650)。他于 1629 年出版了《磁学哲学》,发现了电荷的排斥现象和用铁屑显示磁场的方法。

曾长期担任德国马德堡市市长的盖里克(Otto Von Guericke, 1602~1686)在 1672 年出版的《马德堡新实验》一书中,介绍了他发明的摩擦起电机。该仪器虽然十分简陋,但却是人类制造的第一台起电器。在此后的 100 多年中许多研究者对摩擦起电

机进行了逐步改进,其中有 1742 年的英格兰人戈登(Andrew Gordon,1712~1757)、1768 年的英格兰人冉斯登(Jesse Ramsden,1735~1800)、1779 年的荷兰人印根豪茨(J. Ingenhouse, 1730~1799)、1785 年的荷兰人马鲁姆(Martin Van, Maram),最后,英国维姆胡斯(J. Wimshurst, 1832~1903)在 1882 年的工作,终于使摩擦起电机达到了我们在课堂上作电学演示实验时的样式。它起电效率高,又极易产生高压电,一直沿用至今。

摩擦起电机,为实验研究提供了电源,对电学的发展起了重要作用。

英国天文观测工作者格雷(Stephen Groy, 约 1666~1736)利用它发现了电的传导性。1733 年,法国科学家迪费(Charles Dufay, 1698~1739)在论文《论电》中,提出电有两类:玻璃电和树脂电。他所说的玻璃电就是用丝绸摩擦玻璃管时玻璃管上所带的电,也即我们今天所说的正电;他所说的树脂电则是用毛皮和树脂摩擦时树脂所带的电,也即负电。1736 年,英国皇家学会会员德萨古利(J. T. Oesaguliers, 1683~1744)进一步把物质分为两大类:“可带电体”和“不可带电体”,也即我们今天所说的导体和绝缘体。

早期静电学史上另一个重大事件是莱顿瓶的出现。荷兰莱顿大学教授穆欣布罗克(Peter Van Musschebroek, 1692~1761)鉴于带电体所带的电在空气中会逐渐消失,想找到保存电的方法。他试图使玻璃里的水带电,在一次实验中受到了强烈的电击。法国电学家诺勒(J. A. Nollet, 1700~1770)了解到这一事件后,重复了穆欣布罗克的实验,并作出了改进。1746 年 4 月,他在法国科学院的会议上演示了莱顿瓶的实验。他还让法国国王的 180 个卫兵手拉手,让莱顿瓶通过他们放电,使他们同时受到电击而跳起。由于诺勒的宣传,莱顿瓶不仅很快在科学界传开,而且在欧洲和美洲市民中成为风靡一时的新奇玩意儿,以至于有些人竟以此为业,带着摩擦起电器和莱顿瓶及一些简单的仪器,到处表演,为电学知

识的普及和传播起了很好的作用。科学家对莱顿瓶放电的研究,产生了电路的概念和电沿最短路径走的概念,并进一步提出了“电以太”的假说。这些都标志着人们对电的认识开始从现象深入本质。

2 静电学的建立与稳恒电流的发现

(1) 天地间电本质的一致性。

富兰克林(Benjamin Franklin, 1706~1790)出生于美国的波士顿,靠自学和勤奋工作而成为美国建国时期的伟人之一。因对电学的突出贡献,于1756年他被选为英国皇家学会会员。

当1746年一位英国学者携带莱顿瓶等简单仪器来到波士顿作电学讲演时,富兰克林已40多岁了,但仍立即被电学这一新领域所深深吸引。他全身心地投入电学研究,经过多次实验,第一次正确地阐述了电的本质。他认为,每个物体都带有一定量的电质,相互摩擦时,失去电质者带“玻璃电”,得到过量电质者带“胶木电”,若将二者重新接触之后电质重新平衡,因而均不带电,他根据这些实验提出了著名的电荷守恒原理。

富兰克林根据他所观察到的现象,认为闪电和电火花是同一种东西,并更大胆地假设天空中的雷电也是带电云的放电所致,天上的雷电和地上的摩擦电是同一种性质。富兰克林的这大大胆推测在当时的人们看来是异想天开甚至是十分荒谬的。但富兰克林不顾当时一些权威人士的反对,勇敢地进行收集“雷电”的实验。1752年7月,他做了著名的风筝实验。之后,他用莱顿瓶收集的闪电,又进行了一系列实验,证明它的性质同用起电机产生的电荷完全相同,他在给友人的信中这样写道:

“当带来雷电的云来到风筝上面的时候,尖细的铁丝立即从云中吸取电火,而风筝和绳索就完全带了电,绳索上的松散纤维向四周直立开来,并将靠近的手指吸引。当雨点打湿了风筝和绳索,以致电火可以自由传导的时候,你可以发现它大量地从钥匙(系于风筝线下端)向你的指头流过来。从这个钥匙,可以使莱顿瓶充电,

用所得到的电火,可以点燃酒精,也可以进行平常用摩擦过的玻璃或玻璃管来做的其他实验:于是带着闪电的物体和带电体之间的相同之点就完全显示出来了。”

风筝实验的成功,证明了天地间电本质的一致性,从而为产生统一的电学理论打开了大门。

(2) 库仑定律与静电学的建立。

库仑(Charles Augustin de Coulumb, 1736~1806)是法国工程师和科学家。他用扭秤实验确立了电荷之间相互作用力的规律(被后人称为库仑定律),这是电磁学的基本规律,也被看做是使静电学成为定量科学的标志。这些贡献还为后来欧姆和安培的工作作了准备。为了纪念库仑对电磁学的重要贡献,1881年在巴黎召开的第一届国际电学会议上决定用他的姓氏作电荷量的单位。库仑在1785年至1791年间,共发表了七篇关于电和磁的论文。在他的第一篇论文《论电和磁》(1785)中,介绍了测量电荷之间相互作用力的扭秤,和用它作实验得出的结果:两个同号电荷之间的相斥力与它们之间的距离的平方成反比。

1787年,他又发表了《论电和磁,第二篇论文》,其中介绍了他用扭秤做的实验:由振动的方法测出,两个异号电荷之间的吸引力与它们之间距离的平方成反比,及与这两电荷所带电量的乘积成正比。

其他几篇论文分别讨论漏电问题、电荷的分布问题、电荷表面张力问题和磁本质问题。后来法国科学家泊松(S .D .Poisson, 1781~1840)在库仑的这些论文的基础上建立了静电理论。

(3) 伽伐尼电与伏打电池的诞生。

1780年,意大利解剖学家伽伐尼(L .Galvan, 1737~1798)把解剖的青蛙放到起电机附近,当起电机放电时,他注意到蛙腿发生痉挛,他认为,这种现象是动物身体本身所产生的电作用。后人将这种情形中产生的动物电称为伽伐尼电。

另一位意大利人伏打(A .Volta, 1745~1827)起初接受了伽

伐尼的学说,但不久便认为:蛙腿筋肉不是电源,只不过起着检验电的作用,重要的是使异种金属接触这一事实。为了寻求异种金属接触时产生电的原因,伏打于 1797 年查明了多种金属接触现象。如果使两种金属板接触再把它们分开,并接近非常灵敏的验电器,结果表明这两种金属所带电荷相反。伏打把这些导体叫做干导体。如果在连接起来的若干干导体中间夹上湿导体,那么干湿导体的接触会“刺激或扰乱电流体,把某些动量传给它”(即产生电流)。这里已显示出电池的原理。在 1800 年初,伏打的进一步实验表明,电池组的作用能使电流体持续不断地循环流动。伏打电堆即电池的出现使提供持续电流成为可能,为科学研究创造了条件。正如拿破仑所预言的:它将带来一个科学的新时代。

(二)从奥斯特到麦克斯韦

1. 电流磁效应的发现及其影响

奥斯特(Hans Christian Oersted, 1777~1851)生于丹麦南部的一个小镇,他的伟大贡献是发现了电流的磁效应,使电和磁第一次显示出直接联系。

奥斯特深受康德哲学的影响,他认为,正负电在导线中的冲击出现热;如果导线更细些,便会出现光;导线再细些,便会出现磁。因此,在 1813 年,他就预言了电流磁效应的存在。在 1819~1820 年冬天,他在上课时做了一个实验:让一个小伽伐尼电池的电流通过一条很细的铂丝,这铂丝跨过用玻璃盖住的罗盘,以便在通电时观察到罗盘磁针的横向偏转。磁针虽被扰动了,但由于效应很弱,显得没有规则,当时没有给听众留下强烈的印象。

事后,奥斯特用更灵敏的仪器进行了很多实验,对这种现象进行了多方面的研究,最后于 1820 年 7 月 21 日正式宣布了他的重大发现。不久,奥斯特又发表文章指出,实验表明磁石也有力作用在载流导线上。

奥斯特发现磁效应的论文立即在科学界产生了巨大的影响。

消息传到法国,立即引起了颇具科学洞察力的安培(Andr -Marie Ampere, 1775~1836)的关注。安培经数周的实验研究,发现了右手定则及两条平行通电导线中的相互作用,并提出了分子电流的假说。安培认为,磁来源于电流,一切磁的作用本质上都是电流与电流之间的作用;因此,电流之间的相互作用是电磁作用的基本力。法国科学家毕奥(Jean-Baptiste Biot, 1774~1862)和萨伐尔(Felix Savart, 1791~1841)仅在安培的科学发现报告后的第三周就发现了电流元产生磁场的规律。今天我们称之为毕奥 - 萨伐尔 - 拉普拉斯定律。

奥斯特电流磁效应的发现,正如法拉第所评论的:“它突然打开了科学中一个一直是黑暗的大门,使其充满光明。”这一发现还导致了德国科学家欧姆(Georg Simon Ohm, 1789~1854)于 1826 年前后发现欧姆定律。俄国科学家楞次(H.E. Lenz, 1804~1865)在 1832 年发明楞次定律和德国科学家基尔霍夫(G.Kirchoft, 1824~1887)于 1847 年发现基尔霍夫定律。

2. 法拉第对电磁学的伟大贡献

英国科学家法拉第(Michael Faraday, 1791~1867),因爱好科学技术,时常至皇家研究院听讲座,从而结识了当时的研究院主任、化学家戴维,并于 1813 年 3 月起担任戴维的实验助手。在戴维的指导下,法拉第专心致志地工作和学习,很快就能独立地在科学前沿做研究工作。开始是研究化学,从 1821 年初开始研究电磁学,同年 9 月发明电动机;10 年后发现电磁感应和发明发电机,并提出磁场的概念。

1820 年初以来,法拉第一直持有这样一个想法,即一导线中的电流可能在另一没有电流的相邻导线路中产生电流,就如一带电物体使其邻近的导体中产生静电荷一样。在这种想法支配下,他频繁地进行实验,但一直没有成功。1831 年 8 月 29 日,他在同一个软铁芯上绕了两个不相连的线圈,一个是初级线圈,接有伏打电池,另一个是次级线圈,接一电流计。他想试验一下,如果

电流通过初级线圈时,次级线圈中能否有电流出现,但结果是否定的。然而,当他以为实验又一次失败而切断初级线圈中的电流时,看到次级线圈中电流计的指针偏转了一下。紧接着的研究表明,次级线圈中所产生的“感生电流”,不是因为初级线圈中电流的存在,而是因为初级线圈中电流的接通、切断或强度的变化。除了考虑可能与静电感应相似的现象以外,法拉第还经常考虑用磁来产生电流的可能性。他观察到,当次级线圈相对于初级线圈或一磁铁运动时,也有感应电流产生。

1831年11月24日,法拉第在向英国皇家学会宣读他发现的电磁感应时,开始使用“磁力线”这个词。1837年,他在研究静电感应的文章中,提出“感应力线”,在1845年又称之为“电力线”。1845年11月7日,他第一次使用磁场的概念。在1850年11月的一篇论文《磁的传导能力》中,他明确提出“磁力量的线所穿过的空间任何部分,都可以作为这样一个场……沿着这些线或跨过的一处到另一处,场的状况在力量的强度上会发生变化”。

1846年,在《关于光线振动的思想》一文中,法拉第更深刻地提出了电磁作用传播的思想。

另外,在1833年,法拉第对当时流行的五种电作了全面系统的研究,得出结论:电,不论其来源如何,在性质上都是完全相同的。同年,他在大量电解实验的基础上发现了电解定律。1843年,法拉第证明电荷守恒定律,1845年9月,发现磁致旋光效应,1851年,发现物质的两种磁性。他开创性地引入的许多新概念,如电极、阳极、阴极、离子、阳离子、阴离子、电解质、电化当量等,一直沿用至今。

法拉第在电磁学上的突出贡献,不仅为麦克斯韦创立经典电动力学和赫兹发现电磁波铺平了道路,而且他发明的电动机、发电机和无意识使用的变压器,还使电磁理论可以转化为非常重要的现代技术。因此,法拉第被称为一代电磁学大师是当之无愧的。

3. 麦克斯韦的功绩

法拉第是用直观的电磁力线的方法描述他的电磁场概念的。一个迫切的要求是建立法拉第物理思想的数学模型,并促使其发展成为系统的科学理论。苏格兰数学家和物理学家麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831~1879) 满足了这一要求。

麦克斯韦应用 19 世纪发展起来的矢量分析的数学方法, 并为其特殊的电磁学用途作了充实和扩展。他把法拉第理论的基本原理, 尤其是力线理论和电磁能量存在于电介质和导体中的观点, 用新的数学语言表达了出来。在这个过程中, “电介质极化”变成了电介质位移, “极化变量”变成了位移电流。在下述这几个微分方程的基础上, 麦克斯韦建立了完整的电磁理论:

(1) 全电流定律: $\frac{1}{c} \frac{dH}{dt} = - \quad \times E$

(2) 电磁感应定律: $\frac{1}{c} \frac{dE}{dt} = \quad \times H$

(3) 静电场的高斯定律: $\quad \cdot H = 0$

(4) 磁通连续性定律: $\quad \cdot E = 0$

从麦克斯韦方程组推导出, 在能够产生介质位移的媒质中可以产生周期性位移波。这些波的传播速度与光波相等。这使得他产生了这样的设想, 即分别起着光和电磁波运载者作用的两种共存媒质, 实际上是同一种媒质。因此, 光的电磁理论的基本原理可表述为: 光是自动传播的电磁强度平衡的周期性扰动。麦克斯韦于 1873 年在他的重要著作《电和磁》一书中阐述了上述思想, 引起了一场轰动和广泛的争论。

1888 年, 德国物理学家赫兹 (Heinrich Rudolf Hertz, 1857~1894) 用实验有效地证明光的电磁理论的真实性和电磁学理论不仅正式确立, 而且引起电力革命的科学实验基础也已充分建立起来了。

二 电力革命的技术发展

恩格斯曾经预言：“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。……生产力将因此得到极大的发展。”19世纪后期的电力工业革命，证实了恩格斯的天才预见。

(一) 发电机与电动机的发明与改进

1. 发电机的发明与改进

从发电机的发展顺序来看，首先出现的是直流发电机，它大致可分为四个阶段：

第一阶段是以永久磁铁作为磁场的阶段，这是最初的直流发电机的共同特点。但天然磁铁比较小，而且磁性很弱，直流电机只能获得很小的功率。为了达到更高的功率，人们把许多永久磁铁排成星状，并相应增加旋转线圈，然而这种方法也很快达到了它所能提供的功率的极限，而且使发电机的可靠性、经济性大大下降。

第二阶段是以电磁铁作为磁场的阶段。1825年，英国的斯特金(W. Sturgeon, 1783~1850)用16圈导线制成了第一块电磁铁；1834年雅可比(1801~1874)首先在发电机中采用电磁铁代替永久磁铁，使输出功率显著提高，并且首次采用换向装置，大大改善了直流发电机的性能。

第三阶段是改变励磁方式。励磁是直流发电机的一项关键性技术。1851年，金斯首先用电磁铁代替永久磁铁励磁，以后出现串激、并激和复激等励磁方式。但这些励磁方式首先需要电流

① 马克思恩格斯全集(第35卷).北京:人民出版社,1971 445~446.

通过才能产生磁场,而发电机要发出电流又必须先有励磁。也就是说,只有当发电机在启动前存有剩磁时才能启动,这一矛盾促使发电机的发展进入第三阶段。第一台自激式电机的专利是 1854 年颁发的,发明人是丹麦的赫尔特。维尔纳兄弟、西门子(E .W . von, siemens, 1816~1892)等人也坚持采用自激原理,发明串激式自激发电机和自并励发电机,开创了发电机发展的新阶段。

第四阶段是在实用的道路上朝着完善化方向前进,主要体现在电枢转子的改进上。1865 年意大利的巴齐诺蒂(A .Pacinotti, 1841~1912)发明了齿状电枢;1870 年,原籍比利时而长期在巴黎工作的格兰姆(Z .T .Gramme, 1826~1901)部分利用他的这一成果,采用环状铁丝迭合成的环状铁心制成了环状电枢。1872 年,德国的弗里德里希·冯·海天纳-阿尔特涅克(F .V .H .Altneck, 1845~1904)发明了一种鼓形转子,他吸取了格兰姆和巴齐诺蒂转子的优点,又简化了制造方法,从而降低了电机生产的成本。从此,现代发电机的雏形出现了。

另一方面,直流发电机的发展虽已达到相当高的水平。它发出的电压达 57 .6 千伏,功率达 4 650 千瓦,输送距离达 180 千米,但这样的发展很快就达到了技术上的极限。电压再升高,线圈的绝缘性能就难以保证了,而且换向器也无法工作。发电机在制造和运行上都存在困难。尤其是换向火花问题更难解决,况且将高压直接送给用户不仅危险,且当时也不存在可以耐几千伏电压的用电器。弧光灯、白炽灯、电动机都只能用低电压。后来,当人们想到长期遭到忽视的交流电时,才发现它可以解决这个难题。

皮克西(Pcxii)在 1832 年研制的电机和 1850 年西门子的第一台转枢式发电机都是单向交流发电机。但它们与直流发电机相比,其优越性并不明显。减少输电过程中的电能消耗的关键问题是如何任意改变电压。1881 年,变压器的正式发明,又推动了整个 19 世纪末交流发电机发展的高潮;在这方面,许多科学家作出了贡献。其中,俄国发明家雅布洛契柯夫(И .Х .Горюхов, 1847~

1894)最先制成多相交流发电机,而意大利物理学家和电工学家加利莱奥·费拉里斯(G .Ferraris, 1841~1897)和美国的尼古拉特斯拉(N .Tesla)分别于 1885 年和 1886 年独立发明旋转磁场式电机,使交流发电机初具现代实用形式。

2. 电动机的发明与改进

技术发展往往是相互影响的,相关技术的创造发明往往存在着交叉现象。从电机的两大类型来看也是如此。1880 年以前,电动机和发电机是独立发展的,但也存在着相互影响,不管是发电机还是电动机,在设计和制造过程中积累的经验都可互相借鉴。

1821 年,法拉第制作了一台用化学电源驱动的电动机,把电能转化成了机械能。1829 年,美国物理学家亨利(J. Henly, 1792~1878)制成的电磁铁可以举起一吨重的货物。在俄国,科学院院士雅可比于 1834 年用化学电池组为能源,利用电磁的吸力和斥力的特性,产生机械运动。在美国,戴文泡特(T. Davenport, 1802~1851)于 1835 年用电磁铁和电池制成一台电动机,用这种电动机驱动圆形轨道上的小车,这可以说是后来电力火车的雏形。之后,人们在实践中继续前进。到 1860 年,巴齐诺蒂发明环形电枢,将整流子和合理的励磁方式合而为一体。从此,实用的电动机结构和形式基本具备。

1880 年前后,电锤和岩石钻相继问世,石磨机、制冰机、洗涤机等都用上了电动机,甚至还出现了牙医电钻、缝纫机马达、家用吸尘器。如此强大的社会需求对电机的促进很大,许多有名的电气工业公司相继出现。尤其是前述特斯拉等人发明的旋转磁场式电机,使得电动机和发电机这两大类电机以交流电的方式统一地发展起来。法拉第最先制成二相异步电动机模型,而特斯拉则在 1886 年制成了构造完善的二相异步电动机,使二相机获得较大的进步。但是,最卓越的发明者还得算俄国工程师多里沃(M. Von Dolivo, 1862~1919),1889 年以后,他先后发明了三相异步电动机、三相变压器和三相制输电,他的鼠笼式异步电动机构造简单、经济、可靠,19 世纪 90 年代在欧美工业中获得了广泛应用。1891 年三相制输电的使用,标志着电力工业已正式进入实用阶段。

(二) 输电技术的发展

1. 直流输电技术的初期发展

在 1873 年的维也纳国际博览会上, 法国的弗泰内使用长 2 千米的导线, 把一台瓦斯发动机拖动的格兰姆直流发电机和一台带动水泵的电动机连接起来。1882 年法国物理学家和电气技师德普勒(M. Deprez, 1843~1918) 建造了世界上第一条远距离直流输电实验线路, 其中直流发电机发出 1.5 千瓦电力, 输电线路长 57 千米。同年 7 月, 英国皇家学院电气工程教授霍普金森(J. Hopkinson) 发明了直流配电的三线制系统, 后来三线制扩展成五线制, 在巴黎和曼切斯特之间长期运用。由于高电压大容量直流发电机制造困难, 所以远距离输电所需的高电压不可能从直流发电机直接获得。19 世纪末, 德国工程师芳建在送电端串联多台发电机以提高输电电压, 将 75 千瓦电力输送了 50 千米, 使效率提高到 50%。20 世纪初, 瑞典工程师瑟雷作了进一步改进, 在各台串联的电机上装设短路器, 从而大大提高运行可靠性。之后 20 多年中, 瑟雷系统曾一度在欧洲发展, 先后建成 15 条直流输电线, 其中在 1927 年改建的德国慕吉水电站到里昂的直流输电线路长 260 千米, 电压升到 125 千伏, 输电容量 1.9 万千瓦。但是, 这种直流系统的装置和运行方式十分复杂, 造价昂贵, 可靠性仍较差, 在技术经济上无法与当时已广泛应用的三相交流系统抗争。

2. 交流输电

1883 年, 德国的高拉德(L. Gaulard, 1850~1888) 和吉布斯(J. D. Gibbs) 在英国取得了一项变压器的发明专利, 接着他们试图将电压降到安全值, 但不能令人满意。1885 年, 美国的威斯汀豪斯(G. Westinghouse, 1846~1914) 对前者进行了改进, 制成具有现代实用性能的变压器, 并用它在美国马萨诸塞州建成 8 千伏高压输电系统, 这是交流电的初期工业性传输。

1890~1891 年, 从法国劳芬到德国法兰克福架起了世界上第

一条三相交流输电线路,全长 170 千米。劳芬水电站装有 1 台 230 千伏安/ 90 伏/ 40 赫的三相交流发电机和 1 只 200 千伏安、90/ 15200 伏升压变压器。法兰克福建有 13800/ 112 伏降压变压所,输电效率达到 77%。1892 年在美国、1900 年在俄国分别采用 10 千伏电压输电。之后,随着交流技术的不断发展完善,三相交流的发电、变电、输送、分配和使用上的安全、经济、可靠和方便性,为发展电力工业开辟了广阔的前景。

三 电力革命的影响及启示

(一) 电力革命带来的技术进步

1. 通信和照明技术实现大飞跃

(1) 电报技术。虽然蒸汽机革命使人能利用火车、轮船在五大洲之间传递信息,但仍十分有限。到了电力时代,有线电报、电话和无线通信传输工具的发展,使快速传递消息成为可能。

美国画家莫尔斯(S .F .B .Morse, 1792~1872)于 1838 年发明用点、划两种信号组成的“莫尔斯电码”,在美国政府的资助下,于 1844 年建成华盛顿—巴尔的摩全长 40 英里的电报线。从 1851 年起,莫尔斯电报系统被铁路系统应用。由于资本主义世界经济发展的需要,电报必须能穿洋过海,以便加强世界范围的工商业联系。从 19 世纪中叶起,掀起了一股铺设海底电缆的热潮。1850 年开始铺设的横跨英吉利海峡的海底电报电缆颇为顺利,但横跨大西洋的电缆铺设工作就要困难得多了。以英国开尔文勋爵(1824~1907)为代表的工程技术人员屡败屡战,克服了各项技术难点,终于在 10 年的努力之后获得了成功。1869 年铺成的从英国伦敦出发,经欧洲大陆,部分经陆地,部分经水下到达印度卡里卡特城的电缆,全长 1 万海里。1902 年的电缆线穿过太平洋,把

澳大利亚和加拿大连接起来。

(2) 电话技术。在电报投入使用之后约 30 年,美国语音学家贝尔(G .Bell,1847~1922)于 1876 年制成最早的实用电话机,这是运用电力传递信息的又一项发明。后来,爱迪生在此基础上又做了改进。他在电话送话器中加上了一对线圈,使电流能克服导线的电阻,把声音传送到更远的地方。1878 年,英国第一家商业电话公司开办。接着巴黎在 1879 年、柏林和彼得堡在 1881 年也相继成立了电话局。1889 年,美国又发明了自动电话交换台。电话的迅速发展与普及,极大地改变了通信技术的面貌。

(3) 无线通信技术。在赫兹于 1888 年发现电磁波之后 10 年,意大利发明家马可尼(G .Marconi,1874~1937)使用功率强大的发送器,实现了英法两岸相距 45 千米的无线电通信。而把无线电通信应用到航海中的开创者是俄国的波波夫(A .S .Popov,1859~1906)。1897 年,他在相距 5 千米的两艘军舰上成功地实现了通信联系。1901 年,他又制成能安装在两轮车上供陆军使用的收发报机和两用无线电台,为无线通信技术作出了重大贡献。1889 年,波波夫发现可用电话听筒直接收听电报信号,于是发明了无线电话接收机。差不多同时,费森特制成第一台高频率交流发电机,并把传声器放在无线电线路中,首创了可传送语音的无线电话。20 世纪以来,无线电话已广泛地被运用到人类生活的几乎各个领域。

(4) 照明技术。从事电力照明研究并率先卓有成效的人,是美国大发明家爱迪生。他认真总结前人的经验教训,在数不清的挫折和失败面前,用极大的毅力和耐心,试验了 1 600 多种材料,各种金属、石墨、木材、稻草、亚麻、马鬃都成了试验品,最终找到了适合作为灯丝的材料。在 1880 年 5 月,爱迪生偶然发现竹子的纤维结构条理分明,纹丝匀称。他用竹子作灯丝材料,竟能连续点燃 1 200 小时。从此,人们开始用上了真正的电灯。后人对爱迪生的灯泡进行了许多改进和发展,使电照明工具得到了进一步的完善。

在 1882 年秋天,当第一批实用的电灯问世后不久,爱迪生在纽约华尔街创建了发电所,正式向用户供电。

2.促进生产结构的变化

电能的应用摆脱了地区条件对工业发展的限制,使人们对自然力的支配达到了新的高度,促成一大批新工业部门的产生。首先,以发电、输电和配电及用电为主要内容的电力生产工业的发展,出现了一大批电机、变压器、线路器材等发电设备的制造、安装、维修和运行等生产部门。照明、电镀、电焊、电解、电车、电梯等一大批工业交通部门诞生了,还有各种与其生产、生活有关的新的电器生产部门也相继出现。而在同时,相关的材料、工艺加工业也得到了发展。电力技术使产业结构发生了深刻变化,发展出的电力、电子、化学、汽车和航空等一大批技术密集型新兴产业,增强了生产对科学技术的依赖关系,使技术从机械化时代进入到电气化时代。

更进一步,在电力革命时代,以农业为主,包括畜牧业、狩猎业、渔业、游牧业、林业在内的第一产业加速向农业机械化、电气化和商品化发展,为机器大工业提供粮食、市场和劳动力。第二产业(包括煤炭、纺织、铁路、炼钢、化工和机械制造等)更为壮大,成为在国民经济部门中占比重最大的产业。第三产业(包括运输、通信、商业、金融、行政和法律等服务性行业)也开始出现。贝尔、爱迪生、西门子等许多科学家和技术发明家都相继变成企业家和成功商人。

(二)电力革命促使社会进步

1.促进社会生产力的发展

电力革命使电动机、内燃机普遍进入工业部门,凡原先以蒸汽机为动力的地方,均逐步改为使用电动机和内燃机。它们的应用使工农业、交通运输业迅速摆脱蒸汽动力的限制,有效促进了生产过程的机械化和自动化,大大提高了劳动生产率,改善了劳动条

件,促使社会生产力呈直线上升趋势。19 世纪最后 30 年里,世界工业总产值增加了两倍多,其中钢产量猛增 55 倍,石油产量增加 25 倍。工业技术进步大大促进了社会生产力的发展。

2. 加速垄断资本主义形成,引发生产关系的变革

电力技术革命的发展,无论是电力,还是通信、钢铁、化工等生产部门和业务部门都迅速走向集中,这些部门的生产本身就要求集中化,以便统一指挥、统一调度。特别是电力系统和通信系统更要求集中统一进行管理,这种集中统一性必然使得这些工业部门本身带有某种垄断性质。美国通用电器公司,贝尔电报电话公司,德国西门子电器公司等一批大型公司应运而生。在资本主义条件下,生产的垄断性与资本的垄断合为一体,加速垄断资本主义的形成,从而使社会财富高度集中在少数垄断资本家手中,造成两极分化严重,加剧了资产阶级与无产阶级的矛盾,为爆发无产阶级革命、建立新型的社会主义生产关系作了准备。

(三)英美对电力革命的不同态度及启示

电力革命的科学基础——电磁学,最先是在英国及法国发展起来的。然而,在由电力技术引起的产业革命中处于领先地位的却是美国 and 德国。英国科学家法拉第制成第一台电动机模型,麦克斯韦提出完整的电磁学理论,英国人种下的电力革命种子却首先在美国开花结果。电力技术先是在欧洲研究和改进,但第一部电话、第一只电灯、第一座大型水力发电站和火力发电站却是在美国产生。美国最先将电力技术系统地应用于工业生产,最大幅度地发展了经济,使得在短短的数十年间,一跃而成为世界上头号经济大国。从 1870 年到 1913 年的电力革命时代,美国工业产值增长 8.1 倍,德国增长 4.6 倍,而同时期的英国仅增长 1.3 倍。究其原因,主要是英、美、法、德诸国对待电力革命的态度不同。究竟是什么原因导致了英美两国对待电力革命有不同的态度呢?下面分三个方面进行讨论。

1. 从社会状况和政治制度及政策看

美国在经过独立战争和南北战争后实现了国家的统一,为电力革命的迅速扩展提供了稳定的国内社会环境。从国际环境看,美国远离欧洲大陆,它的邻国都是弱国,又有两大洋环绕,使美国无外患之忧,长期处于和平环境之中。加上美国没有封建制度的阻力,政府广泛采取扶植资本主义发展,促进国内统一市场,有利于技术发明的政策和措施(如实行高额关税保护政策和建立统一的货币制度等)。这些都说明美国在 19 世纪中叶以后具有一个十分优越的社会环境。此外,依靠掠夺和引进外资,也是美国发展新兴产业的主要资本来源。例如,在 1808 年~1869 年之间,至少有 50 万非洲黑人被卖到美洲为奴,从中获利相当于投资额的 10 倍以上。美国吸收外资的数额也相当可观,1880 年有(主要从英国)20 亿美元,1890 年为 35 亿美元,1914 年达 67 亿美元。这些均为美国加快发展国内经济提供了优势。

就英国来说,由于蒸汽动力革命的成功,在国内已经建立了较完善的以纺织工业为龙头的轻工业体系,使得英国有足够的规模大规模地向殖民地倾销轻工业产品而维持其高额利润。另一方面,在 17 世纪的资产阶级革命后,建立了君主立宪制度,并没有像美国南北战争那样摧毁封建庄园经济。在“圈地运动”中成长起来的相对保守的封建资本家也不愿再来一场新的工业革命,从而使得相对过剩的国内资本向美国等国寻求海外投资,而忽略了国内本土工业尤其是重工业的发展。

2. 从社会需要和技术惯性上看

基础技术的创造与发明主要由其内在逻辑所决定,而应用技术的大规模推广却必须符合社会的需要。

19 世纪 40 年代初,英国本土工业部门中建立的以蒸汽机为主体的工厂占绝对优势。而这些工厂和工业中心往往建立在离煤炭等能源基地较近的地区,以使得蒸汽动力的成本相对较低,且使用便利。这在客观上较难以产生对电力能源的巨大兴趣。可以类

比的是法国。在第一次动力革命以前,法国在科学上具有能与英国相抗衡的地位,但由于法国水力资源相对丰富,自然水能应用相对便利,缺乏像英国这样的水力资源利用不便的国家所拥有的产生蒸汽动力革命的社会需要。

相比之下,美国国土辽阔,国内市场潜力巨大,东西海岸相距甚远,煤炭工业相对落后,尤其是许多工商业中心远离煤炭基地,运输不便,这些均促成了对建造电站和远距离输送电能的社会需要。

另一方面,技术不但具有推动社会经济发展的巨大作用,其自身内部也存在一定的惯性。所谓技术惯性是指每一类主导技术一旦形成,它会物化于经济社会而与生产经营等部门形成一个庞大的工业系统而发生作用,这一系统作为资本主义经济体系的内核,在其处于常规发展阶段是轻易不会发生巨大变革的。技术惯性一方面有利于保证社会稳定而使其最大程度地转化为生产力,另一方面也会在新的产业革命到来时成为一种阻力。当电力革命到来时,以蒸汽动力技术为核心的英国工业体系仍在发挥着相当巨大的魅力,使英国居于世界经济大国的首位。因此当时摆在英国工商界人士面前的问题是:大规模应用电力技术不仅需额外投入巨大资金,而且会妨碍现存有效的工业体系的正常运转。电力技术革新带来的短期经济损失是肯定的,而它是否比蒸汽技术更有效却是个不确定因素。而美国作为一个新兴的工业国家,既没有传统的观念束缚,也没有既有巨大工业设备的负担,因而最易接受工业技术革新。

3. 科研与产销的一体化——工业实验室

在英国虽然有经验主义的传统,但科学家主要注重科学实验与理论的结合研究,而较少直接从事工业应用技术的开发。法拉第虽然发明了发电机模型,但他的原则却是尽可能少地直接为工厂主服务,以免分散其科学基础研究的精力,因而他并没有对他的发电机进行实用性改造。另一方面,工商业主们只资助他们认为

是有利可图的实用技术的发明与改进。如瓦特对蒸汽机的实用性改造之所以能成功,一个重要原因就是背后一直有个别企业主的资金投入。因而在英国,一项新科技是否能很快转向实用性开发而转化为生产力,很大程度上取决于工商业人士和科学家这两个分立群体对它的认同程度。在电力革命到来时,由于科学理论已走到了实际生产的前面,工商业人士又因循于已成功的蒸汽机技术,这两个群体认识的无法协同是造成英国在电力革命中逐渐落后于美国的一大原因。

19 世纪 40 年代,美国人自称为“教育觉醒年代”,政府不断改革旧的教育传统,借鉴欧洲特别是德国的成功经验,结合本国国情,建立了具有美国特点的教育制度,为美国培养了大批技术骨干。而其社会教育氛围造就了像爱迪生、贝尔这样一批集科学家、工程师和企业家于一身的现代科技人才。爱迪生成立了美国第一个工业研究实验室——美国通用电器公司前身。贝尔成立了贝尔电话公司,网罗一大批优秀科技人才专业从事发明与生产。1878 年,贝尔在波士顿和纽约之间作首次长途电话实验,他分别在两地各聘请一位名歌手举行公共演唱会,其间由于电话传出的异地声音引起的轰动效应,立即被波士顿一家报纸用头条新闻报道。而他于 1884 年建立的以专职科学家为主的基础性工业研究班子(贝尔实验室前身),不仅对美国电气技术开发和电气工业及工业电气化起了重要作用,而且产生了多名诺贝尔奖获得者。

工业研究实验室是工业研究机构的主要形式,是“科学家对科学进步作出贡献并把科学运用于生产的场所”。德国的西门子作为科学家率先从理论原理上进行分析,为之奠定技术改进的基础。对实验室中产生的新知识,他又作为一位工程师把这种精神产品物化为技术产品并投入生产。他同时还作为实业家,致力于

① George Wise, Willis R .Whitney: *General Electric and the Origins of V .S .Industrial Research*, New York: Columbia University, 1985 .98 .

将产品投入市场以获取利润。爱迪生、贝尔的工业研究实验室所雇佣的一大批科学家、工程师也共同完成了一系列重大发明。

美国的私人工业研究实验室在 1920 年已有 2 200 多个。工业研究室不仅促进了科学、技术与生产、销售的一体化,更重要的是它促进了科学家、工程师群体与企业家、商人群体的合一,使美国在激烈的世界市场竞争中能够取胜,超过了英国等老牌资本主义国家。

第十二章 物理学革命

一 山雨欲来风满楼

自从伽利略、牛顿等人创立近代力学以来,经过 200 多年的发展,到 19 世纪末,在当时大多数物理学家眼里,似乎已经有了一幅清晰的世界图景。他们看到:

——世界万物都是由 80 多种元素的原子组成的,原子是不可再分的最小微粒。

——一切自然过程都是连续的。任何一个给定的状态只能由紧接在它前面的那个状态来解释,如果在前后两个状态之间出现间隙,那就破坏了事物的因果性联系。因此,“自然无飞跃”,连能量的变化和转化也应当是连续的。

——不同原子之间的结合和分解就产生了化学反应。分子是原子组成的,它保持着物质最基本的物理和化学属性。

——热现象是大量分子作混乱的机械运动的表现,用统计力学的方法可以解释气态和凝聚态物理体系的性质。

——存在两种电荷;电荷产生电场,电荷的运动又产生磁场,电磁场的运动就是电磁波。热辐射、可见光、紫外线等都只不过是不同波长的电磁波。

——无论力、热、声、光、电、磁等现象多么复杂,一切过程都要服从能量守恒和转化定律。

从这幅图景看来,似乎所有的物理学基本问题都已经研究清

楚了,尤其是经典物理学几乎在各个分支学科里都建立起了严密的数学形式,使得物理学家们可以怀着一种自豪的心情进入 20 世纪。1900 年元旦,著名的英国物理学家威廉·汤姆逊 [William Thomson, 1824~1907, 即开尔文勋爵 (Lord Kelvin)] 在新年献辞中非常满意地宣布:在已经基本建成的科学大厦中,后辈物理学家只要做一些零碎的修补工作就行了。普朗克 (Max Planck, 1858~1947) 1924 年在一次公开的演讲中回忆道,当他开始研究物理学时,他的老师菲·约里 (Philipp von Jolly, 1809~1894) 曾告诉他,物理学是一门已经高度发展的、几乎是尽善尽美的科学,这门科学很快将具备自己终极的稳定形式。虽然在某个角落里还可能有一粒尘土或一个小气泡,但作为整体的体系却是足够牢固可靠的了。理论物理学正在明显地接近于几何学 100 年来已经具有的那种完善程度。但是正当人们准备庆贺经典物理学大厦落成的时候,一系列新的实验发现向这幅刚刚形成的世界图景接二连三地提出了有力的挑战。

1895 年 11 月 8 日,德国科学家伦琴 (Wilhelm Konard Röntgen, 1845~1923) 在做阴极射线实验时,偶然发现了另一种奇异的射线。这种射线沿直线传播,但不像其他射线那样折射和反射,磁体也不能使这种射线发生偏转。更加令人惊奇的是,这种射线具有很强的穿透能力,它能在照相底片上显示出封闭在盒子里的金属砝码、猎枪的弹膛、不同质地的材料等。但是,这种具有上述奇异性质的射线却是在原有的世界图景里找不到的,它不同于人们已经熟知的各种射线。由于当时人们还不太了解这种射线产生的机制,所以伦琴只好把它称为 X 射线。

X 射线的发现在科学界掀起了一股探索新射线的热潮。1896 年,法国物理学家贝克勒尔 (Antoine Henri Becquerel, 1852~1908) 受到著名物理学家和数学家彭加勒 (Jules Henri Poincaré, 1854~1912) 的启发,开始研究磷光物质的放射现象。他也是在一次偶然的机会里,发现一种铀盐能自发地不断放出某种射线。这

种射线同样具有一定的穿透能力,能使包装好的照相底片感光,还能使有一定距离的带电体放电。后来,居里夫妇(Pierre Curie, 1859~1906; Marie Sklodowska Curie, 1867~1934)又发现了另一种放射性更强的元素——镭。一种物质放出射线是需要能量的,但是,铀和镭既没有任何明显的物理和化学变化,又没有从其他任何地方获取任何能量,那么它放出射线所需要的能量是从哪里来的呢?难道能量守恒和转化定律被推翻了吗?

1897年,英国物理学家 J. J. 汤姆逊(Joseph John Thomson, 1856~1940)通过精心设计的实验,调节外加电场和磁场的强度来使阴极射线产生不同程度的偏转,证明阴极射线确实是一种带电的微粒,并且进一步比较精确地测出了这种带电微粒的质量与所带电荷之比,即质荷比 m/e 。这种带电的小微粒的质量只相当于氢原子质量的 $1/1839$,后来被称为“电子”。电子的发现打破了原子是不可再分的最小微粒的传统观念,揭示出原子同样是有结构的实体。1901年,德国物理学家考夫曼(Walter Kaufman, 1871~1947)进一步发现,电子在以接近光速的速度运动时,其质量急剧增加,这又打破了过去认为质量“守恒”与物质运动无关的思想。

X射线、天然放射性和电子等19世纪末的三大发现,猛烈冲击着经典物理学中关于质量、能量、运动等基本概念,使人们对已经形成的科学图景产生了怀疑。人们为了寻求这些新的实验现象的理论解释,不得不回过头来对已有的理论作出新的检验,甚至提出新的理论。物理学正面临着革命的前夜。

二 对物质结构的探索

(一)形形色色的原子模型

早在19世纪初,道尔顿复兴古老的原子学说不久,科学家们

就通过对一系列物理和化学现象的研究初步认识到,原子只是在化学反应中保持元素性质不变的最小微粒,原子可能有自身的内部结构。安培在 1814 年曾经认为化学元素的原子是由更细小的亚原子粒子所组成。他为了解释磁现象,还曾提出过有关分子环电流的假设。在以后的几十年里,先后有毕奥、柯西、泊松等科学家曾设想原子包括一个大质量的核心,以及一团围绕着它的、由不可称量的以太粒子组成的雾。德国科学家费希纳于 1828 年从安培和毕奥的观点中得到启发,设想每个物体是由一些类似太阳系一样的、尺寸很小的原子组成;每一个“太阳”原子都伴随一些较小的“行星”原子,像天体一样由万有引力联系起来。后来,韦伯则认为费希纳所说的“太阳”原子和“行星”原子都是带电的,维系它们的力主要是电力,但他认为中心的重粒子带负电,围绕它转的轻粒子带正电。以上种种模型中组成原子的微粒都是一些假想出来的物体,没有实验的根据。直到 19 世纪末,天然放射现象和电子被发现后,原子模型的构想才开始建立在实在粒子的基础上。

1901 年,威廉·汤姆逊认为原子是由带正电的均匀球体所组成,带负电的电子均匀分布在原子内,能自由地运动,并受到一个指向原子中心的电力作用。当电子离开原子时,可能会以光速飞出,这时物体就表现出了放射性。这个模型曾是后来居里夫妇研究工作的主要依据,但它不能解释原子的光谱和元素的周期性质。

J J. 汤姆逊则着重考虑要解释元素的周期性和原子的稳定性。1904 年,他在威廉·汤姆逊模型的基础上,经研究认为正电球中的电子是分布在一些同心圆球或同心球壳上,并按化学元素的周期性呈有序的重复排列。由于这个模型有点像里面夹了葡萄干的面包,所以常被人俗称为“葡萄干面包”模型。但这个模型也无法解释原子的光谱现象。

就在汤姆逊构建“葡萄干面包”模型的时候,在地球另一侧的日本,东京大学的科学家长冈半太郎(1865~1950)在 1904 年也提出了所谓“土星模型”。这个模型可以解释原子光谱,但无法解释

元素的周期性。除此以外,当时还有洛仑兹(Hendrik Antou Lorentz, 1853~1928)的弹性束缚电子模型(1896年),德国科学家勒纳德(Philipp Lenard, 1864~1947)的动力学模型(1902年),瑞士科学家里兹(Waltber Ritz, 1878~1943)的磁原子模型(1908年)等等。这些模型也和前面讲过的几种模型一样,都在某些方面成功地说明了原子的性质,而在另外一些方面又遇到了困难。

J.J.汤姆逊的学生、英籍新西兰物理学家卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871~1937)是著名的实验物理学家。他发现铀和镭的放射线在磁场中会发生偏转,其中带正电的 α 射线是氦离子束,带负电的 β 射线是电子束。后来法国物理学家维拉德(P.V.Villard, 1860~1934)又发现了第三种射线—— γ 射线,这是一种中性的高能电磁波;1911年,卢瑟福为了检验汤姆逊的原子模型,设计了一个用 α 粒子轰击金箔的实验,结果发现实验结果与汤姆逊模型的预期相差太远,于是他提出了一个类似太阳系行星绕太阳运行的“有核模型”,原子的主要质量集中于带正电的核上,而电子则绕核运行,整个原子呈中性。但根据经典物理学理论,这样高速运转的核外电子将在极短的时间耗尽它的动能而落到原子核上,原子系统将极不稳定并辐射出连续光谱,这与事实是不相符合的。

正当卢瑟福百思不得其解的时候,在他那里做博士后研究的丹麦学生玻尔利用普朗克(Max Planck, 1858~1947)的量子概念,将能量量子化条件加到卢瑟福模型上,提出了一个新的原子模型。玻尔的模型包括三条假说:(1)能量量子化:原子具有的能量是间断的,满足一定的量子化条件,电子在满足这些条件的轨道上运动时,可以不向外辐射能量;(2)辐射条件:只有当电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时,才会放出或吸收相应的能量,即表现为放出或吸收具有某一特定频率的光谱线,光谱频率 ν 满足普朗克关系式 $\Delta E = h\nu$, ΔE 为电子跳跃前后两个定态的能量差;(3)对应原理:当原子能量足够大,即电子处于较高的能级时,量子辐射条件与经典理论计算结果相同,能量可近似为连续。

由于玻尔的原子模型能很好地解释元素的周期性、原子光谱等实验事实,并且作出了一些需要检验的新预言,提出了一系列需要进一步研究的新问题,这就不仅在微观现象与宏观现象之间建立了一种必然的联系,而且开辟了一个新的研究领域——原子物理学。

(二)基本粒子家族揭秘

玻尔原子模型的提出,激起了科学家进一步探索原子核结构的热情。由于 α 粒子四倍于氢原子的质量, β 射线虽是电子流,但其放射过程中并没有使原子电离,说明 β 射线并非是核外电子所为,而 γ 射线的能量也远远大于核外电子在不同能级间跃迁时所放出的能量。看来要揭开放射现象之谜,只能到原子核中去寻找。

1914年,卢瑟福用阴极射线轰击氢原子,使中性的氢原子变成带正电的阳离子,他认为这就是氢原子核,并将这种带单位正电荷的粒子命名为“质子”,规定其质量和电量均为1。1919年,卢瑟福设计了一个用 α 粒子轰击氮核(N^{14}_7)的实验,结果生成了氧核(O^{17}_8)和氢核(H^1_1),即质子。这是人类历史上进行的第一次人工核反应,实现了过去炼金术士一直想把一种元素变成另一种元素的“点石成金”的梦想。卢瑟福在实验中还发现了一种元素的原子核能够具有不同的质量,这些元素被称为同位素。

英国科学家莫斯莱(H. G. Moseley, 1887~1915)于1913年从研究元素的X射线光谱中发现了原子序数规律,后来又发现元素在周期表中的原子序数等于原子核所带正电荷数,但元素的原子量数值一般大于正电荷数,所以卢瑟福1920年预言原子核中可能还有一种与质子质量相当的中性粒子存在。1932年,他的学生查德威克(J. Chadwick, 1891~1974)在这种思想的启发下,通过对约里奥·居里夫妇(F. Joliot - Curie, 1900~1958 和 I. Curie, 1892~1956)用 α 粒子轰击铍核后放出中性粒子的实验的分析,发现了组成原子核的另一类粒子——中子。

中子的发现标志人们的认识已经推进到原子核层次。中子发现的同一年,海森堡(Werner Heisenberg, 1901~1976)和苏联科学家伊凡宁科(ИВАНЕНКО, 1904~ ?)、塔姆(И .Тамм, 1895~1971)分别提出了原子核是由质子和中子构成的模型。这个理论成功地解释了元素周期律,即各种元素的原子序数由原子核中的质子数表示,而原子量则等于原子核内质子数与中子数之和。1941年,丹麦物理学家费勒等人将中子和质子统称为“核子”。中子理论成功地解释了同位素现象以及同量异位素问题。

质子、中子、电子、光子是人们认识的第一代基本粒子。正当人们认为这些基本粒子就是构建世界万物的最基本实体时,英国物理学家狄拉克(P .Dirac, 1902~1984)于1928年预言的正电子于1932年被美国物理学家安德森(C .Anderson, 1905~1978)拍摄的宇宙射线照片确证,这是人类最先发现的一种反物质。后来人们又发现,一个高能光子在重原子核附近可以转变为一个正负电子对,反之,一对正负电子相遇又会转变为光子,这就是正负电子对的产生和湮灭。这一事实表明基本粒子之间可以相互转化,从而动摇了人们关于基本粒子不变的见解。

正电子的发现,促使人们去寻求新的反物质形态,例如反质子、反中子等。1955年美国物理学家塞格雷(Emilio Gino Segr , 1905~)等人利用高能质子束轰击氢靶,证明了反质子的存在。1956年,美国物理学家考尔克(B .Cork, 1915~)等人又发现正、反质子对的电荷交换反应, $\bar{p} + p \rightarrow \bar{n} + n$,从而证明有反中子存在。事实上,每一个粒子都可能具有相应的质量、自旋和平均寿命相等,参与相互作用的性质相同,但电荷 Q 、重子数 B 、轻子数 L 等相加性量子数符号相反的反粒子。纯粹由反粒子组成的反物质也可以构成一个反物质的世界,但正反物质一旦相遇就会相互湮灭。研究反粒子,对于探索微观世界的奥秘,认识相互作用和对称性都有十分重要的意义。

当时人们还发现一个奇怪的现象,就是放射性元素在 β 衰变

过程中质能关系不守恒,即 β 衰变后产生的 β 射线的电子所具有的质量和能量不能弥补放射性元素的质量亏损。奥地利物理学家泡利(W .Pauli,1900~1958)1933 年提出在 β 衰变过程中,还产生了一种与光子一样没有静止质量、但有自旋的中性粒子——中微子,从而解决了这一棘手的问题。1956 年,美国物理学家莱因斯(F .Reines,1918~)等人终于观测到了中微子存在的可靠证据。

中子的发现提出的另一个问题是,根据当时人们已知的万有引力和电磁相互作用力都无法解释为什么中子和带正电的质子能很稳定地结合在原子核那样小的范围内。对这个问题的回答只能是在核内的粒子间还存在另外一种力,这种力具有与引力和电磁力都不相同的性质,它是一种只在短程起作用的强吸引力。1935 年,日本科学家汤川秀树(1907~1981)认为这种力是由于核子(包括质子与中子)间交换一种媒介粒子而产生的。他估计这种粒子的质量介于质子和电子之间,大约是电子的 200 倍,故称之为“介子”。两年后,曾发现正电子的美国物理学家安德森又在宇宙线中发现了一种质量约为电子的 207 倍的新粒子,人们当时以为这种粒子就是汤川所预言的介子,并命名它为 μ 介子。但经过进一步的研究发现, μ 介子并非是汤川预言的介子。直到 1947 年,英国物理学家鲍威尔(C .F .Powell,1903~1969)等人才在宇宙线中发现了另一种质量为电子的 273 倍的介子,被称为 π 介子,并且证明这才是汤川所预言的那种核力场粒子,而以前发现的 μ 介子只是 π 介子衰变时产生的次级粒子。后来,人们又进一步在实验和观察中确认, π 介子有正、负和中性的三种,分别可记为 π^+ 、 π^- 和 π^0 ,其中 π^0 的质量约为电子的 264 倍。至此,汤川的核力理论才得到了可靠的实验证明。

在发现 μ 介子的同一年,英国物理学家罗彻斯特(G .D .Rochester,1908~?)和巴特勒(C .C .Buttler,1922~)从宇宙线中又发现了 K 介子,这种粒子质量为电子的 970 倍,有带正电的 K^+ 和不带电的 K^0 两种。它们生成后极不稳定,会很快衰变为其他两

种粒子。

到 1947 年,人们已经认识的基本粒子有重子、介子、轻子和光子四大类,当时人们认为,组成物质的基本粒子都找到了,其中质子和中子是重子,它们组成原子核,加上电子组成原子, π 介子传递核力, γ 光子传递电磁力,中微子体现弱相互作用,仅 μ 介子似乎是多余的。由于重子和介子均参与强相互作用在内的一切相互作用,所以又统称为强子。而这些基本粒子的反粒子则是人们认识的第二代基本粒子。

1947 年以后,人们在考察宇宙射线的研究中,又发现了许多前所未有的新现象,从而把人们对基本粒子的认识推进到一个新阶段。英国科学家罗彻斯特(G .Rochester, 1908~)和巴特勒(C .Buttler, 1922~)于 1947 年在宇宙射线照片中发现了重量超过质子和中子的超子。1954 年,福勒(W .Fowler)等人在高能加速器中也发现了超子。在 20 世纪 60 年代初期,人们又先后发现了一系列介子和超子,并发现中微子也有正反粒子,共四种形式。这一批粒子被称为第三代基本粒子。

20 世纪 60 年代,人们在高能加速器中还发现大量寿命极短(平均寿命为 $10^{-24} \sim 10^{-22}$ 秒)。产生和衰变都以强相互作用进行的粒子,称为共振态粒子。这类主要以共振态为标志的粒子为第四代基本粒子,可以看成是与稳定态强子相对应的激发态强子。

20 世纪 70 年代以后,人们对微观世界的认识又推进到第五代基本粒子。目前人们发现的基本粒子已超过 400 多种。

(三)对物质结构更深层次的探索

在人们已发现的(或已认识的)粒子中,除几种轻子和光子外,均为强子。实验证明,强子种类多,又有结构,不可能是基本的,因此,需要进一步研究强子的组成和结构。

早在 1956 年,美国斯坦福大学的霍夫斯塔特(Hofstadter, 1915~)等人利用高能直线加速器进行电子轰击铍靶的实验,发

现质子和中子的大小不等,内有电荷和电流分布,表明基本粒子有内部结构。

20 世纪 60 年代,人们发现,质子和中子虽然电荷不同,但它们可以相互转化,而且在质子与中子、质子与质子、中子与中子之间的相互作用在扣除了电磁力的作用后,其核力(强作用力)相似,因此,从强作用力分析,可以认为质子和中子是一种粒子(核子)的两种不同状态。与此相似,三种 π 介子亦可认为是一种介子的三种状态。

盖尔曼和以色列物理学家兹维格(G. Zweig)于 1964 年分别独立提出了形象的、易于理解的强子结构模型——夸克模型。兹维格将这种更基本的粒子称为“ Ace”,即“爱斯”。夸克模型认为强子是由更基本的粒子——夸克(quark)组成。“夸克”一词源于犹太诗人乔依斯的长诗《芬尼根的彻夜祭》中的一句诗,原为一种怪鸟的叫声。我国物理学家在 1965 年初也曾提出类似的模型,将组成强子的基元称为层子,意指层子也不过是组成物质结构的某一层次而已,蕴涵着物质结构层次无限性的思想。

夸克模型认为强子是由三个夸克组成,介子则由正反夸克组成。这个理论能解释大量事实,但迄今为止,人们还未能从实验中分离出自由夸克。这种现象被称为“夸克禁闭”。由于目前还没有发现夸克的内部结构,于是又引发了关于夸克和轻子是否是物质最终组成成分的争论,即物质是否无限可分的争论。其实,这种争论只是哲学家们对物质组成的思考,并没有影响科学家们对物质结构的深入探索。现在已有很多间接的证据表明,夸克也可能还有内部结构,可能还有更基本的亚夸克层次存在。

近年迅速发展的统一场论也呼唤着亚夸克的出现。因为要把各种相互作用统一起来,也必须找出更为基本的物质结构。目前,对于亚夸克结构的研究方兴未艾,光是为这种设想中的粒子起的名字就有十几种。有人为了纪念毛泽东对物质结构层次无限性的论断,建议将这种亚夸克层次的粒子命名为“毛子”(Maons)。

人们对于物质结构的认识不断深入,由分子、原子、原子核、到基本粒子、夸克,但正如意大利物理学家费米(E .Fermi, 1901~1954)所说,“基本”一词,与其说是表征微观粒子的性质,还不如说是标志人们对这些粒子的认识还处于“基本”的水平。人们对物质世界的认识是永无止境的,新世纪到来之际,人们对物质结构的探索又将揭开新的一页。

三 量子力学的建立

(一)黑体辐射问题和量子概念的提出

在 19 世纪中叶,就有一些物理学家开始关注热辐射问题,由于各种物体辐射能量按波长的分布不仅与物体的温度有关,而且也与物体表面材料的性质有关,为了简化问题的处理,德国物理学家基尔霍夫(G .R .Kirchhoff, 1824~1887)提出用绝对黑体(简称黑体)作为研究热辐射的理想化对象。

1893 年,德国物理学家维恩(W .Wien, 1864~1928)根据实验数据,得出了以他名字命名的维恩位移定律。这个定律表明,随着黑体温度的升高,对应着它所发射的光线的最大亮度的波长将变短,即向光谱的紫色区移动。虽然维恩位移公式所表述的规律在短波部分与实验曲线符合得比较好,在长波部分却低于实验值。

1900 年,英国物理学家瑞利(J .Rayleigh, 1842~1919)从经典理论推导出一个与维恩公式不同的黑体辐射公式,这个公式的主体部分在长波段与实验吻合较好,但在短波(即紫外线)段却是发散的。瑞利当时为了克服这一缺陷,人为地设置了一个负指数项以消除这个效应。当年 10 月,普朗克获悉了瑞利的结果,他采用数学上的内插法,从维恩公式和瑞利公式得出了一个新的能量分布公式。这个公式与实验结果符合得非常好。但令人不解的是,

这个公式却不能从经典理论中推导出来,即经典的连续能量概念和他的公式是格格不入的,以至于有些人称之为“纯粹是一些不相关的量的偶然结合”的经验公式。

普朗克为了寻求隐藏在这个公式后面的物理意义,进行了艰苦的理论研究工作,提出了量子概念。

但是,普朗克的量子概念在当时并没有引起科学家们的太多注意,直到1905年,英国物理学家金斯(J.H. Jeans, 1887~1946)仍然沿着瑞利的思路继续研究,用经典物理学理论严格推导出了一个辐射能量密度分布公式,并去掉了瑞利人为加上那个负指数项,得出了一个后来被称为瑞利-金斯公式的表达式。这个公式在光谱的长波(红光区)部分与实验很符合,而在短波部分却偏离实验结果,以致在紫外光区域导致发散的结果,即据此求出的能量密度为无限大,这显然是荒唐的,但这个公式的逻辑推导过程又无懈可击。尽管金斯认为这可能是由于所观察到的黑体辐射不是平衡辐射所致,但这个结果毕竟开始引起了一些物理学家对经典物理学理论解决黑体辐射问题能力的怀疑,后来这一结果被称为经典物理学的“紫外灾难”。

普朗克虽然提出了量子概念,但他自己开始并没有认识到这个概念深远的革命意义:只是把它当成是一个不得已而为之的“形式上的假说”,不仅未能在此基础上继续深入研究,取得更多的成果,反而花了十多年的时间试图把量子概念重新纳入经典物理学的轨道。直到1915年,由于量子概念支持了熵的统计概念的确定性和热力学第三定律,他才放弃了这种徒劳无功的努力。

(二)爱因斯坦光的量子理论

1888年,德国物理学家赫兹发现,当紫外光照射到两个相对的电极上时,电极之间容易产生放电现象,他称这种由于紫外光照射促使金属表面放电的现象为“光电效应”。后来又经过其他一些科学家的进一步研究,发现光电效应具有如下一些经典物理学难

以解释的性质:

(1)经典物理学认为,光的能量与光波振幅,即光的强度成正比,如光的能量转化为光电子的能量,那么光电子动能应与光强成正比,但实际上,光强增加只与光电流强度成正比,即增加光电子数,却不增加光电子动能。

(2)经典物理学认为光的频率(或波长)并不是一个标示能量的物理量,但在光电效应中,光电子动能与入射光的频率有关,而且不同的金属具有不同的截止频率,即只有当超过一定频率的光照射金属表面时,金属中才有光电子逸出并形成光电流。

(3)经典物理学认为,物体能量的积聚过程需要一定的时间,但光电效应的产生却没有这个过程,光的入射和光电子的发射同时产生。

正当物理学家们百思不得其解的时候,当时还是瑞士伯尔尼专利局三级技术员的爱因斯坦(A. Einstein, 1879~1955)却于1905年在德国权威的物理学杂志《物理学年鉴》上发表了一篇题为《关于光的产生和转化的一个启发性观点》的论文,全文共分九个部分,其中一个部分涉及到光电效应问题。他在这篇论文中成功地运用普朗克的量子概念解决了包括光电效应在内的一系列光的产生与转化问题;而且首次提出了光既有波动性,又有粒子性的观点。

爱因斯坦认为,光的能量并不是连续分布的,而是由一些能量量子(即光量子)所组成。当一个光量子与电子相碰撞时,会把它的全部能量转化为电子的动能,而只有当电子所获得的动能大于它所在金属原子束缚它的能量时,它才能以一定动能离开金属表面,形成光电子。

爱因斯坦的假说很好地解释了光电效应现象。由于入射光的能量与频率成正比,所以频率越高,光电子的初动能就越大。增加光强而不提高光的频率,意味着增加了光子的数目,但并没有提高单个光子的能量,因而也就只能增加激发出的光电子数目,而并不

能加大单个电子的初动能。当入射光的频率小于截止频率时,入射光的能量不够,所以没有光电子释放出来。这时,不管光照多么强,即光子的数目多大,每个光子都没有足够的能量激发出光电子。

爱因斯坦提出光量子理论以后,量子理论引起了越来越多物理学家的重视,并得到了广泛的传播。不仅有许多欧洲一流的物理学家和化学家转而接受量子概念,而且还吸引了大批年轻的科学工作者投身于解开量子之谜和把量子理论应用到更多领域的研究,玻尔就用量子理论解决了卢瑟福模型的困难。从普朗克的量子假说到玻尔的原子结构理论,量子概念已经从一个仅仅说明与辐射问题有关的形式上的假说,发展成为说明微观现象本质的必不可少的概念。因此,玻尔原子结构理论的建立,在量子论发展史上具有里程碑的重要意义。

(三)量子力学的建立

爱因斯坦的光量子理论不仅启发玻尔建立了原子结构模型,其中有关光的波粒二象性的思想也启发了一位年轻的法国物理学博士路易斯·德布罗依(L. de Broglie)。德布罗依设想,既然康普顿证明了过去认为是波的辐射具有粒子性,那么,从自然界的对称性出发,实体的物质也可能具有波动性。而且,如果把电子也看作波,就可以用电子在原子中形成的驻波来解释玻尔的量子化条件。由于驻波的能量与时间无关,这就保证了原子的稳定,而不必把量子化条件看成是一个外在的假设,也就是说,我们可以从电子是波这种自身的性质推出量子化条件,从而避免了把电子当成经典粒子与量子化条件的矛盾。

德布罗依的工作不仅把过去认为是根本对立的波动性和粒子性协调地贯穿在一切微观物理现象之中,揭示了物质的一个根本属性,而且,从理论上来说,他的工作的重要意义还在于揭示了狭义相对论和量子论在本质上的深刻联系。他自己也一直认为:“没

有相对论思想,特别是没有相对论加速度原理和相应的动力学,光量子的特点是无法理解的,只有在相对论物理学中光子才能找到一席之地。”

德布罗依的工作为量子论的进一步发展开辟了一条崭新的道路,但对物质波的解释,尤其是如何说明微观世界普遍存在的波粒二象性的特征,德布罗依却遇到了许多困难。他起先想象一个物质波伴随一个粒子,仿佛是粒子的导波,但这无法解释衍射现象中二者的关系。他又采用波包的概念,但这又与粒子的稳定性相矛盾。总之,德布罗依将波和粒子这两个互不相容的概念机械地结合在单一的形象中的尝试没有获得成功。这就迫切需要从根本上建立一个完全抛弃经典观点的新理论。这个问题的研究开始是沿着两条完全不同的路线进行的:矩阵力学和波动力学。

矩阵力学和波动力学不仅在数学形式上不同,而且二者所描述的物理图景的出发点也不一致,矩阵力学从微观世界的粒子图景出发,波动力学则认为微观世界都是波;同时如何协调二者之间的关系也是一个重要的问题。1926年,薛定谔从数学上证明了矩阵力学与波动力学是等价的,其实质应当一致。随着玻恩提出对波函数的统计解释,海森堡等人也接受了波动力学。后来,狄拉克又进一步提出了普遍变换理论,认为可以通过数学变换来达到矩阵力学和波动力学间的相互转换,二者实际上只不过是一个统一的量子理论的不同表述形式而已。这才终于使二者殊途同归。

为了给量子力学的统计解释找到更为基本的物理诠释,海森堡和玻尔等人又做了更进一步的工作。1927年3月,海森堡发表了《关于量子论的运动学和力学的直觉内容》一文,从薛定谔方程出发,推导出了著名的测不准关系,或称不确定性关系,即微观粒子位置的测量误差和它动量的测量误差的乘积大于或等于普朗克常数的一半。它表明微观客体的位置和动量不能同时精确地测

① 转引自科学史译丛 1984(2) .80 .

量。同时,能量和时间也存在类似的关系。

测不准关系是微观世界特有的基本关系,它说明了用经典力学来描述微观粒子的局限性,指出了经典力学的适用范围,划出了经典力学与量子力学的界限。只有当测量对象大到一定程度时,我们才可以同时精确测量物体的位置和动量,否则由于测量仪器对被测量对象的不可避免的干扰,必然会改变微观客体的原有状态,测量对象不再与测量过程无关,而是与观测本身密切相关。正是由于测量过程中测量仪器对测量对象的干扰,使我们无法通过精确测量严格确定微观事件本身,只能描述事件的几率。

玻尔则试图从哲学上揭示微观客体波粒二象性的本质,提出了著名的“互补原理”(或称为“并协原理”)。他认为,波动和粒子是描述两种宏观现象的经典概念,二者在宏观上不能相容,是相互矛盾的,但任何一个单独的概念又都不足以完整地描述同一个微观现象,必须将这两种概念的描述结合在一起才能勾画出所描述微观现象的统一图景,即二者互相排斥,但又互相补充。后来,玻尔又进一步论证了互补原理和测不准关系之间的关系,认为测不准关系指出了理解自然界中除波粒二象性以外的其他二重性的道路,它给出了同时应用诸如位置与动量、时间与能量等一些共轭变量的两种描述而不致陷入矛盾的数学表达,这些共轭变量也是互补的。测不准关系和互补原理都表明,在微观事件中,严格的因果决定论是不成立的。这就为量子力学非决定论的统计解释提供了依据。

玻尔的互补原理不仅是玻尔对量子力学基础的一种解释,而且也是玻尔的哲学思想。他认为互补原理是一个普遍的认识论原理,不仅适用于对微观世界的认识,也适用于我们对生命本质,对人类文化、艺术、社会关系,乃至对思维自身的研究。“包含在原子物理学发展中的认识论教益,使我们想到远远超出物理科学的经验描述和理解方面,也有同样的情况,而且,这种教益也使我们可

以找到一些共同的特点以促进知识的统一。”玻尔提出互补原理不仅表达了科学家在研究科学前沿问题时对哲学的重视和哲学对科学的引导、诠释的作用,而且互补原理本身也确实对人们探讨科学问题有一定的启发作用,体现了辩证法的思想。

四 相对论的创立

(一)迈克尔逊-莫雷实验的困惑

19 世纪初,由于光的波动说借助于托马斯·扬提出的光是横波而得以复兴,为了说明光在宇宙空间的传播现象,菲涅尔又提出了“静止以太”的概念,认为地球在穿越以太时可以通行无阻,以太相对于在其中运行的物质是静止的。由于静止以太说较好地解释了“光行差”现象,因此得到当时大多数物理学家的赞同。后来,麦克斯韦电磁理论的建立和赫兹在实验中证明了电磁波的存在,进一步坚定了人们对以太存在的信心,只不过对以太的属性有不同的看法,例如英国物理学家斯托克斯(G. Stokes, 1819~1903)就认为以太不可能毫无阻力,因此地球在以太中运动时就可能拖动地球表面的以太一起运动,而不像菲涅尔所说的那样对静止的以太毫无影响。虽然有这种争论,但由于以太充斥于整个宇宙,所以荷兰物理学家洛伦兹(H. Lorentz, 1853~1928)认为可以把静止以太等价于绝对时空,把物体相对于以太的运动看成是相对于绝对参考系的运动,并且明确提出可以用实验测出地球相对于以太的速度,并通过这个实验来检验和判定各种有关以太属性的学

① 玻尔 原子物理学和人类知识 北京:商务印书馆,1978 .83 .

② “以太”(aether)最早由亚里士多德提出,用以说明构成天体的元素,后来笛卡尔认为宇宙中充满以太,以太是传光的媒质。

说。

美国物理学家迈克尔逊 (A .Michelson, 1852 ~ 1931) 和莫雷 (E .Morley, 1838 ~ 1923) 设计了一个很精巧的实验来验证洛伦兹的设想。从 1881 年到 1887 年, 他们进行了多次实验, 但始终没有测到预期的地球相对于以太运动的速度, 即所谓“零结果”, 这真是出乎人们意料, 一时使许多物理学家陷于困惑之中, 乃至到 1900 年人们欢庆新世纪来临并回顾 19 世纪物理学所取得的伟大科学成就之时, 威廉·汤姆逊不得不遗憾地指出, 遥远地平线的天空飘浮着两朵小小的乌云, 其中一朵就是迈克尔逊-莫雷实验所得到的“零结果”。

为了摆脱这一困境, 洛伦兹和爱尔兰物理学家菲茨杰拉德 (G .Fitzgerald, 1851 ~ 1901) 分别于 1889 年和 1892 年各自独立地提出了“收缩假说”。他们认为如果物体是由带电粒子组成的, 当物体相对于以太运动时, 由于这些带电粒子产生的磁场使带电粒子之间间隔缩短, 从而使物体沿运动方向缩短, 即迈克尔逊-莫雷实验中沿运动方向的干涉仪臂长将按 $\sqrt{1 - (v/c)^2}$ 的比率缩短 (其中 c 为光速, v 为地球相对以太运动速度), 而垂直于运动方向的臂长不受影响。由于这一收缩正好抵消了本应能看到的实验结果, 因而检测不到地球和以太的相对运动。但遗憾的是, 洛伦兹和菲茨杰拉德的解释除了能说明迈克尔逊-莫雷实验结果之外, 并不能独立进行检验。

法国科学家彭加勒 (J .Poincar , 1854 ~ 1912) 看出了洛伦兹和菲茨杰拉德假说的缺陷, 使洛伦兹进一步改进了他的理论, 并得出了著名的洛伦兹变换式:

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\y' &= y \\z' &= z\end{aligned}$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

这个变换使得电磁学方程组也和力学方程一样,其数学形式对一切惯性系保持不变,但他并没有放弃牛顿的绝对时空观。彭加勒最早在电动力学中提出了相对性原理,1895年他已意识到不可能测出有重物质的绝对运动,即相对于以太的运动,人们只能测量出有重物体相对于有重物体之间的运动。1904年,他将相对性原理扩展到各种物理现象,认为对于处于任何参考系的观察者来说,各种物理学的规律应当是相同的,我们没有任何方法可以判断我们是否处于匀速直线运动之中。除了相对性原理以外,彭加勒还于1898年在《时间的测量》一文中提出了光速在真空中不变的公设:光的速度在一切传播方向上都是相同的。他还对“同时性”的问题进行了探讨,并且提出了利用光信号确定异地事件同时性的方法。通过这些研究,他甚至对即将出现的新理论作了大胆的预言,认为在新力学中,惯性将随着速度而增大,因而光速将变成不可逾越的极限。

彭加勒已走到了相对论的边缘,但他还没有彻底抛弃牛顿的绝对时空观,他虽然至少早于爱因斯坦五年就提出了相对性原理和光速不变原理,但遗憾的是他还没有认识到这两个原理是构筑新理论的基本假设,从而没有把它们联系起来。洛伦兹和彭加勒虽然没有冲破旧理论的束缚,但他们的工作毕竟为新理论的创立准备了条件,他们可以称得上是相对论的伟大先驱者。

(二)狭义相对论的创立

阿尔伯特·爱因斯坦 1905 年一连发表了 5 篇论文,涉及到了三个不同的物理学领域,其中《论动体的电动力学》一文,宣告了相对论的诞生。

爱因斯坦在这篇文章中首先指出:麦克斯韦电动力学应用到

运动的物体上时就要引起一些不对称,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征。随之他就提出了两条作为相对论基本假说的原理:(1)相对性原理——凡是对力学方程适用的一切坐标系,对于电动力学和光学定律也一样适用。(2)光速不变原理——光在空虚空间里总是以一个确定的速度传播,这速度与发射体运动状况无关。由这两个公设出发,就可以建立一个全新的力学体系,而不需要引进一个具有特殊性质的“绝对静止的空间”;“光以太”的假设也是多余的。

爱因斯坦从探讨同时性概念开始,就阐明了同时性的相对性,并由两条基本原理逻辑地导出了洛伦兹变换,使原来只适用于静止坐标系的麦克斯韦方程,在洛伦兹变换下,可以适用于任何惯性坐标系了。除此以外,狭义相对论还导出了一系列新的结论。例如高速运动物体在其运动方向上长度要缩短,高速运动物体的运动时钟要变慢,而其质量则随运动速度的增加而增加,质量乘以光速的平方与能量相当,等等。这就充分表明,相对论意义的质量不再是一成不变的常量,而是随着运动速度变化而变化的变量。质能关系表明,能量变化与相应的质量变化分不开,能量变化引起质量变化。从而揭示了放射性现象中放射线能量来源于放射物质的“质量亏损”。这一发现为原子能的开发利用奠定了理论基础。

狭义相对论给出了全新的时空观念,是对经典时空观念的一场深刻变革。在经典物理学中,时间和空间彼此孤立,互不联系,而相对论则认为时间和空间都是相对的概念,时间尺度的变化必然引起空间尺度的变化,时间量度与空间量度不可分割地联系在一起,洛伦兹变换式为这种关系的转换提供了合适的工具。在洛伦兹变换中,空间变量的关系式中包含了时间变量;同样,时间变量的关系式中也包含了空间变量。时间变量的变化与空间变量的变化不可分割地联系在一起,成为一个密切联系的时空统一体。

为狭义相对论提供坚实数学基础的是爱因斯坦当年在苏黎世

工业大学读书时的数学老师、德国数学家闵可夫斯基 (H. Minkowski, 1864~1909), 他构建了四维时空几何学, 从而不仅使狭义相对论的数学运算大大简化, 而且为相对论时空关系提供了直观的表达形式。

爱因斯坦对时空观的变革, 具有重大的理论意义。诺贝尔物理学奖获得者劳厄 (M. Von Laue, 1879~1960) 说: “自古至今的物理学问题, 还没有比得上空间与时间概念对人们产生这样巨大的震动。”

(三) 广义相对论及新宇宙观

狭义相对论的建立虽然引起了时空观的重大变革, 但它只考虑了惯性参考系, 还没有考虑自然定律在非惯性系里也依然适用的问题。爱因斯坦充分认识到了狭义相对论的这一局限性, 他明确指出: “物理学的定律必须具有这样的性质, 它们对于以无论哪种方式运动着的参照系都是成立的。”也就是说, 自然定律在一切参考系中也都应当是等价的, 不存在任何特别的参考系。于是, 把相对论从惯性系推广到非惯性系, 就成为爱因斯坦接着需要解决的一个重要问题。

经典力学认为物体之间的万有引力相互作用是一种传递速度无限大, 也就在瞬间就起作用的直接超距作用, 这是与狭义相对论的光速是信号传递极限速度相矛盾的, 因此, 把引力理论同样也建立在相对论时空观的基础上, 就成了爱因斯坦亟需解决的另一个重要问题。为此, 爱因斯坦从 1907 年起, 历时 10 年, 从事广义相对论的创建工作。

虽然从科学思想发展的逻辑来说, 爱因斯坦创立狭义相对论之后, 转而开始广义相对论的研究是顺理成章的事, 但由于当时的

① 转引自 F. 赫尔内克. 爱因斯坦传. 北京: 科学普及出版社, 1979. 25.

② 纪念爱因斯坦译文集. 上海: 上海科技出版社, 1979. 21.

物理学界还很少有人跟得上爱因斯坦思维的步伐,能够理解狭义相对论的人都还是屈指可数,能够想到要开展广义相对论研究的,就只能由爱因斯坦自己独立进行了。但他的思想仍得益于马赫的启发。马赫曾在《力学》一书中推断说,物体的惯性来源于遥远物质的作用,这使他想到“在引力场里,一切物体都以同一加速度下落,或者说——这不过是同一事物的另一种讲法——物体的引力质量同惯性质量在数值上是彼此相等的。这种数值上的相等,暗示着性质上的相同。”这就是等效原理。

有了等效原理,还必须解决非惯性系与惯性系的坐标变换问题,才能保证自然定律在广义坐标变换下的等价性,所以还必须把狭义相对性原理推广到广义相对性原理,也就是说任何参考系在表述自然规律时都应当是等价的。广义相对性原理和等效原理构成了广义相对论的两条基本假说。

广义相对论与牛顿理论的本质区别在于用“场”的概念代替了超距作用。因为引力引起的加速度与运动体的固有性质无关,它仅依赖于该处引力场的情况,所以引力场的效果可以用时空的几何结构来描述。广义相对论实质上是一种引力理论,空间引力场的时空特性取决于物质的质量和空间几何分布,也就是说由物质和场决定。物质分布不均必将引起空间弯曲,质量越大,分布越密,空间曲率越大,时间流逝就越慢。引力不过是时空弯曲的“效应”,从牛顿引力理论看来,地球绕太阳公转是由于地球受太阳引力作用的结果,而从广义相对论观点看来则是由于太阳的巨大质量,使太阳周围的空间弯曲,而地球只不过是在这弯曲空间作惯性运动。

广义相对论描述的是弯曲空间,必须寻求新的数学工具来描述。1912年,爱因斯坦回到母校苏黎世工业大学任理论物理学教授,在留校任教的老同学格罗斯曼教授(M. Grossman, 1878~

① 范岱年等编译.爱因斯坦文集(第1卷)北京:商务印书馆,1979.153.

1936)的帮助下,找到了适合的数学工具——黎曼几何和张量分析(一种运用于曲面微分分析的微分几何学),并于1913年两人联合发表了题为《广义相对论纲要和引力论》的重要文章,使爱因斯坦深刻的物理思想得到了完美的数学表达形式。1916年初,爱因斯坦发表了一篇完整的总结性论文:《广义相对论的基础》,标志着广义相对论的正式诞生。

广义相对论本质上是一种新的引力理论。牛顿引力理论所刻画的仅仅是静止源的引力场,即静态的引力场,而广义相对论所刻画的却是一般的做任意运动的引力源所产生的变化引力场。从这个意义上说,广义相对论是在有引力时对狭义相对论的推广;而狭义相对论则是广义相对论在没有引力时的特殊结果。

广义相对论提出后,爱因斯坦又提出了几个验证它正确性的效应,即水星近日点的进动、光线在引力场中弯曲和光谱线频率的引力红移。

在上述效应得到验证之后,广义相对论得到了学术界承认。广义相对论是现代自然科学最伟大的成就之一。它进一步破除了牛顿的绝对时空观,明确了欧几里德几何学和牛顿引力理论的有限适用范围,开创了崭新的宇宙观。狭义相对论消除了绝对时间、绝对空间和以太绝对参考系,恢复了时间、空间与物质运动之间本来的联系,但是,狭义相对论仅仅适用于不存在引力场的物理过程,自然定律只能保持惯性参考系的变换协变性,不能保持非惯性系变换的广义协变性。这里,各种参考系显然不平等,因而整个宇宙的时空特性不能完整反映出来。广义相对论则认为,时间、空间、物质不仅与运动有关,而且与物质及其分布密切相关,物质分布决定了宇宙的时空特性。这正如爱因斯坦所说:“从前大家相信,要是宇宙间一切物质都消失了,那就留下了空间和时间。但是,根据相对论,物质消失了,时间和空间也就跟着一起消失。”

① 转引自 F 赫尔内克 .爱因斯坦传 北京:科学普及出版社,1979 .55 .

爱因斯坦建立相对论的动因在于对宇宙统一和谐的强烈追求,在于对物质世界统一性的哲学信念和科学理想。他一生都在为实现这一伟大目标而奋斗。广义相对论为新的宇宙图景确立了理论基础,爱因斯坦开始在广义相对论的基础上构筑宇宙模型,1917年,他发表了《根据广义相对论对宇宙学所作的考查》一文,从而开创了现代宇宙学的新篇章。

第十三章 物理学革命带动 自然科学全面发展

近代科学中经典力学起到了带头学科的作用,现代科学中相对论和量子力学起到了带头学科的作用。19 与 20 世纪之交的这场物理学革命不但使物理学开辟了新纪元,而且使化学、生物学、天文学、地质学也都跃上了新水平。

一 化学发展的新时代

(一)对元素周期律的新认识

在 19 世纪,化学家把各种元素按照原子量从小到大的顺序排列起来,发现了元素周期律,但是,人们还有许多相关的理论问题无法解释:元素周期律的科学依据是什么?为什么原子量的大小能够决定元素的性质?为什么元素性质会随着原子量的增加呈现出周期性的变化?门捷列夫排出的元素周期表中为什么会有几处不按原子量递增的顺序?随着物理学革命的发展,对原子结构有了深刻的认识,这些问题才迎刃而解。

1911 年,卢瑟福(E .Rutherford, 1871~1931)提出了原子结构模型,并且计算出了一些元素原子的核电荷数,发现核电荷数恰为该元素在元素周期表中的序数。1913 年,莫斯莱(H .G .Moseley, 1887~1915)研究各种元素所产生的特征 X 射线的波长,发现波长与周期表中该元素的原子序数之间有简单的数学关系,按波长排列的顺序与元素周期表中的元素顺序完全一致,没有任何需

要颠倒的地方。这些研究表明,元素周期表实质上并不是按原子量的大小排出来的,决定原子序数的是其核电荷数,按照核电荷数和特征 X 射线的波长更能准确判定某元素在元素周期表中的位置,更能准确地预测和发现新元素。

对原子核电荷数和特征 X 射线波长的研究解释了元素在周期表中的排列顺序,对核外电子排布和运动规律的研究则解释了元素性质为什么会随着原子序数的递增呈现出周期性的变化。根据玻尔的量子化的原子结构理论和泡利(W .Pauli, 1900~1958)的不相容原理计算得知,核外电子从内向外各层最多所能容纳的电子数依次是 2, 8, 18, 32, ……电子总是首先占据能量最低的位置,再依次占据能量较高的位置,最外层电子为 8 个时最为稳定,而且最外层电子最多为 8 个。元素化学性质的周期性变化,实质上是核外电子排布情况造成的结果。

(二)同位素化学的发展

对放射性的研究,导致了同位素化学的发展。

人们在研究放射性元素的性质及其衰变产物时,发现某些放射性元素的化学性质与周期表中的某些已知元素极其相似,用化学方法很难将它们分离开来。因此有人提出,这些元素在周期表中应占据同一位置,并称它们为“同位素”。同位素的发现使人对化学元素有了新的认识。原来认为一种化学元素是同一种原子的总称,现在知道一种化学元素可以有几种不同的原子,它们的化学性质相同,但放射性、原子量和寿命不同。

同位素研究中还发现了另一种重要情况:原子量相同的元素,化学性质可能完全不同。这一发现彻底否定了 19 世纪中关于原子量决定元素化学性质的定论,也引起人们对原子量概念进一步深入思考。早在 1815 年,普劳特(W .Prout, 1785~1850)曾经提出,世界上实际只有一种原子,那就是氢原子,其他元素的原子实质上是由氢原子构成的,因而元素的原子量都应该是整数。由于

这一思想与原子量测定结果不符,因而被否定。门捷列夫元素周期律得到公认之后,在思考其科学依据时,又有人重提各种元素原子在结构上有某种共同之处。这一想法也因缺乏实验证据而被否定。对同位素的研究使人发现,天然的每一种元素的原子量实际上是其各种同位素原子量的加权平均数。

在发现中子之后,人们彻底解开了同位素之谜。所谓同位素,实际是其原子核中质子数相同而中子数不同,质子数等于核电荷数,决定了元素的化学性质,而原子量则是质子数与中子数之和,中子数的不同影响原子量而不影响化学性质。就每一个具体的原子来说,其原子量应当是整数,普劳特的假说在新的科学基础上得到证实。

同位素研究在应用方面也取得很多成果。用灵敏的测定放射性的仪器追踪放射性元素在化学反应中的踪迹,为研究化学反应过程开辟了新途径。通过研究某种放射性元素的半衰期及其含量的测定,可以推定物质的年龄,这叫放射性同位素断代,已广泛用于文物考古、地球物理等学科中。用放射性元素照射能引起生物基因突变,广泛应用于作物育种;放射线能杀死分裂中的细胞,应用于癌症治疗。对氢同位素的研究,则在原子能技术和热核技术中有重要应用。

(三)化学键理论的建立和发展

化学键理论是在原子结构理论的基础上对 19 世纪的化合价理论的发展。

原子是怎样结合成化合物的?这是化学理论的基本问题之一。最初化学家是用“化学亲和力”表述原子之间相互结合的力量,但这个概念抽象得令人难以捉摸,如同生物学中说的“生命力”一样有某种神秘性。19 世纪初期,柏采里乌斯(J. J. Berzelius, 1779~1848)根据电解作用的实验结果,用静电引力解释化学亲和力,他把元素分为正电性和负电性的,而且电性强弱有差别,化合

价的概念由此逐渐形成。按照化合价概念,分子中的每个原子都是一个具有特殊结合能力的构成单位,而且其结合能力的大小可以定量比较,例如“一个硫原子相当于两个氯原子”,“一个碳原子相当于四个氢原子”,这就是它们在化合时的“价”。

在发现电子之后,人们把化合价与电子得失联系起来,所谓正价就是给出电子,负价就是得到电子。而且人们注意到,许多元素可以表现出正负两种化合价,而其绝对值之和等于 8。玻尔提出量子化的原子结构模型以后,从核外电子排布的规律对此做出了很好的解释。

但是,对于非离子型化合物中原子怎样结合,特别是氧气、氯气等单质气体分子中原子怎样结合,用电子得失就不好解释了。针对这种情况,化学家提出有两种不同的化学键:离子键和共价键。共价键是通过共用电子对而不是通过电子得失形成的,一个原子享有几对共用电子,它就表现为几价。19 世纪中期,化学家发明用短线表示有机物中原子的化合价,共用电子对的概念为其提供了理论基础。

用离子键和共价键很好地说明了化合价问题,但是新的问题又产生了:在共价化合物中,共用电子对为什么能够静止在两个原子之间?到 20 世纪 30 年代,又建立起两种化学键理论:价键理论和分子轨道理论。按照价键理论,共用电子对并非静止于两个原子之间,而是这一对电子的轨道互相交盖重叠,从而为两个原子共同具有。按照分子轨道理论,当原子结合成分子之后,它们就丧失了独立存在时的个性,分子是一个整体,分子中的电子是在一定的分子轨道上运行。

化学键理论在原子结构和量子力学理论的基础上不断发展,使人们对各种物质的分子结构认识逐步深入,对无机化学、有机化学、生物化学和化学合成的发展都发挥了重要的指导作用。

(四)分子与晶体结构研究

在 19 世纪,化学家已经认识到,物质的性质不仅决定于其化学组成,而且决定于其结构,他们是从化学研究得出这种认识的。在 20 世纪,由于物理学革命的成果,特别是 X 射线衍射方法在晶体结构分析中的运用,对分子和晶体结构的研究进入了新纪元。

X 射线也是一种电磁波,其波长与晶体内部各原子(或分子)间的距离相近。当一束 X 射线通过晶体时会发生衍射,使射线在某些方向上得以加强,而在另一些方向被减弱。通过照相得到 X 射线被某种晶体衍射的图样,便可以分析出这种晶体的结构。英国物理学家布拉格父子(W .H .Bragg, 1862~1942; W .L .Bragg, 1890~1971)1913 年总结出的布拉格公式,为用 X 射线分析晶体结构奠定了基础。各种元素产生的具有特定波长的特征 X 射线,则为这一技术提供了有力的工具。

用 X 射线衍射法分析晶体结构,很快就取得了一系列重要成果。用这种方法分析氯化钠的晶体结构,发现晶体中并不存在单个的氯化钠分子,而是整个晶体好像一个大分子,其中所有的氯离子和钠离子都是通过没有饱和性和定向性的离子键结合为一个整体。用这种方法分析金刚石和石墨晶体,证明其中碳原子的四个价键确实是呈四面体结构形式,四个价键之间没有差别,而且测定出了每个键的长度是 1.54 埃($1 \text{ 埃} = 10^{-10} \text{ 米}$)。用这种方法测定苯的结构,证明苯环确实是一个平面结构,六个碳原子位于正六边形的六个顶点,碳—碳间的距离是 1.39 埃,比双键的距离大,而又小于单键的距离。

在对无机物和简单有机物进行分析的基础上,从 20 世纪 30 年代起,科学家又开始用 X 射线衍射法分析蛋白质的空间结构。40 年代末,又开始用于研究 DNA 的晶体结构。这些研究对分子生物学的诞生起到了重要作用。

二 分子生物学的诞生与发展

分子生物学主要研究生物大分子的结构及其在生命过程中的功能,从分子水平上认识遗传、代谢、免疫等各种生命现象。它是在 20 世纪 50 年代兴起的一门新学科,1953 年 DNA 双螺旋结构模型的提出被认为是分子生物学诞生的标志。几十年来,分子生物学发展速度非常之快,已经成为新的带头学科,对促进经济和社会发展也发挥了重要作用。许多人因此预言,从科学技术上讲,21 世纪将是生物学的世纪。

(一)分子生物学的孕育

分子生物学是生物学与化学及物理学交叉的产物,新的物理学、化学研究手段和理论用于生物大分子和生命过程研究,是分子生物学诞生的基础。从生物学内部来说,遗传学、微生物学、细胞学和生物化学的交叉,是分子生物学孕育的温床。

自 20 世纪初重新发现孟德尔定律以后,遗传学的发展非常迅速。到 30 年代,基因论已经得到学术界普遍承认,并且在医学和农业育种实践中得到应用。虽然那时遗传学家已经知道基因位于染色体上,甚至已经能够画出某些生物染色体上基因的排布图,但是基因仍然只是一个“可爱的假设”,科学家不知道基因的化学实体是什么,不知道它怎样复制自己,也不知道它通过什么途径决定生物性状。这些问题不但吸引了遗传学家,也吸引了许多物理学家和化学家。

1941 年,比德尔(G.W.Beadle,1903~1989)根据对红色面包霉(粗糙链孢菌)生化突变型的遗传学研究,提出了“一个基因一个酶”的学说。这个学说把基因的功能与蛋白质合成联系起来,成为以后产生遗传密码概念的思想基础。

基因的化学实体是什么？可能的答案有两个——蛋白质或者DNA(脱氧核糖核酸),因为它们是染色体的主要化学成分。起初曾有科学家推测是DNA,因为DNA主要存在于细胞核中,而细胞核在精卵细胞的形成和受精过程中发挥重要作用。但是,到20世纪30年代时,蛋白质更受青睐。那时人们认为DNA的结构是简单的四核苷酸复合体——四种核苷酸各一个组成一个“四核苷酸”,很多个“四核苷酸”组合成一个DNA分子。这么单调的结构,不可能承担遗传信息载体的重任。而蛋白质呢？那时人们已知它是由20种氨基酸组成的生物大分子,结构变化极多,专一性极强。

1944年,艾弗里(O.T.Avery,1877~1955)等人证明肺炎球菌转化因子的化学成分是DNA,这是第一个证明DNA是遗传信息携带者的实验证据。然而,由于人们对DNA分子结构的不正确看法,还可能由于人们对20世纪30年代时曾有人声称提取出了非蛋白质酶的笑话记忆犹新,艾弗里等人的实验结果被百般挑剔,使他们不免忿忿然,慨叹学术界对他们不公。

1952年,赫尔希(A.Hershey,1908~)等人通过放射性元素标记,发现噬菌体侵染细菌时进入细菌细胞内的仅是噬菌体的DNA,然后就可在细菌细胞内繁殖出大量病毒,这又一次证明DNA是遗传信息携带者。赫尔希的实验结果很快得到承认,这并不是他个人有什么特殊魅力,而是因为生物化学研究已经纠正了关于DNA结构的“四核苷酸假说”,这样,承认DNA是遗传物质的环境条件已经具备了。

遗传问题也引起了物理学家的注意,薛定谔(E.Schrödinger,1887~1961)、玻尔(N.Bohr,1885~1962)等人都对遗传问题表现了极大兴趣。薛定谔1944年发表的小册子《生命是什么》影响很大,他用量子力学的观点论证基因物质应是一种非周期性晶体,遗传信息应是储存于这种晶体的结构之中;他还说,生命物质运动应当服从物理学定律,同时又预言,生命物质运动中可能包含有尚未

发现的物理学定律。薛定谔的这一预言至今没有变成现实,但是却使一些物理学家的研究兴趣转向了生物学,人称《生命是什么》是“唤起生物学革命”的小册子,犹如长生的梦想促进了医学发展一样。

(二)分子生物学的诞生和发展

“分子生物学”这一术语最早出现于 20 世纪 30 年代,但真正蓬勃发展起来是从 20 世纪 50 年代开始的,1953 年 DNA 双螺旋结构的建立是分子生物学诞生的标志。

20 世纪 40 年代末,DNA 结构与功能的研究越来越引起学术界的重视,有两组科学家的研究工作特别引人注目。一组以鲍林(L .C .Pawling, 1901~)为首,在美国加州理工学院。他在 30 年代初期提出杂化轨道理论和共振论,对化学键理论的发展有重要贡献。30 年代中期他研究蛋白质的晶体结构,发现了氢键是多肽链发生缠绕的原因。20 世纪 40 年代,他又投身于 DNA 晶体结构的研究。另一组以维尔金斯(M .Wilkins, 1916~)和富兰克林(R .Franklin, 1920~1958)为首,在英国伦敦皇家学院。他们对 DNA 晶体做的 X 射线衍射分析卓有成效。然而最后提出 DNA 双螺旋结构的是在英国剑桥大学合作研究的沃森(J .Watson, 1928~)和克里克(F .H .C .Crick, 1916~)。他们综合了各方面的实验数据,再加上自己作出的深刻分析,取得了这一有划时代意义的成果。

按照双螺旋结构模型,DNA 分子是由两条走向相反的多核苷酸链组成,链的主体是糖基和磷酸基,碱基位于两条链之间;两条链上的碱基之间靠氢键相互吸引,使两条链结合成一体;两条链又像转圈楼梯扶手的上下边一样,围绕着一个中心轴盘旋,形成双螺旋结构。四种碱基之间有固定的配对关系,否则无法形成氢键。所以一个 DNA 分子两条链的碱基顺序有互补关系。

在提出 DNA 双螺旋结构模型后不久,沃森和克里克就又提

出,遗传信息包含在 DNA 分子的碱基顺序之中,一个基因就是 DNA 分子的一段。他们还设想了 DNA 分子复制的方式:两条链互相分开,各以自身为模板,按照碱基互补关系形成一条新链,这样,一个 DNA 分子就变成了两个 DNA 分子,其结构与母体完全一样。基因复制这样一个复杂的生物学问题,就这样以 DNA 的分子结构为基础得到了解释,生物学问题转化成了物理与化学问题。

DNA 双螺旋结构模型的提出犹如酵母引起了发酵一样,以遗传信息的复制与表达问题为中心的分子生物学研究空前活跃起来。在 20 世纪 60 年代,人们就基本阐明了遗传信息复制、转录与指导蛋白质合成的全过程,破译了全部遗传密码。

关于遗传密码,一个非常重要的发现是:从最简单的生物——病毒,到最高等的生物——人,所使用的遗传密码是一样的。这表明所有生物有共同的起源,为进化论提供了新的有力证明。从技术上说,这是基因工程的客观基础,也为分子生物学的应用提供了广阔天地。

传统生物学是以生物体、活细胞为研究对象,分子生物学是以生命大分子为研究对象,在分子水平上揭示生命之谜。分子生物学家的研究方式与研究手段,与传统生物学家有根本性的不同。“生命科学”这一术语取代了传统的“生物学”,成为对生命现象研究的最高概括。

分子生物学的辉煌成就,使得很多分子生物学家认为一切生物学问题本质上都是物理化学问题。他们信心百倍,要在分子水平上揭开一切生命之谜,包括神经活动过程。这种信念是促进生命科学发展的强大思想动力,但是,是否真的一切生物学问题都可还原为物理化学问题呢?这是有疑问的。在英国《自然》杂志 1983 年 4 月为纪念 DNA 双螺旋结构模型建立 30 周年而举行的学术会议上,英国分子生物学家布伦纳讲了一段意味深长的话,他说:生命之谜像一座结构极其复杂的大厦,我们打开了一道门,进

入一条长廊,当我们摸到长廊的尽头时,发现了另一道门,然后又是一条长廊……。我们不知道究竟还需做多少工作才能彻底解开生命之谜。

(三)基因工程及其影响

所谓基因工程,是在活体外将从生物体内分离出的或人工合成的含有某种基因的 DNA 分子进行切割和连接,插入病毒、质粒或其他能自我复制的载体的 DNA 分子中,形成重组的 DNA 分子,再导入受体细胞中,使其在受体细胞中得到复制与表达,产生出人们希望产生的某种产物。例如将人工合成的人胰岛素基因与质粒 DNA 重组,导入大肠杆菌细胞中,使这种大肠杆菌能生产人胰岛素,可用于糖尿病的治疗。

基因工程是分子生物学发展的产物。自 20 世纪 60 年代后期陆续分离出的各种能在特定位点切开 DNA 分子的限制性内切酶,是基因工程中的“手术刀”。20 世纪 70 年代初期,重组 DNA 技术取得了成功,两种来自大肠杆菌的质粒的 DNA 经人工重组以后又被送入了大肠杆菌内。1976 年,用大肠杆菌生产出了人脑分泌的生长激素释放抑制素,这是第一例成功的基因工程。

基因工程把人类改造生物的能力提高到一个全新的阶段。过去,人类改造生物的主要手段是选种育种和杂交育种。选种育种是利用自然出现的适合人的某种需要的变异,并非人主动地使某种生物发生了什么变异。杂交育种是通过杂交手段使不同品种或不同种生物的优良性状结合起来,但杂交结果是不定向的,可能得到优良性状的组合,也可能得不到,甚至得到劣等性状的组合。杂交育种还要受生物间亲缘关系的限制,远缘杂交不孕,你不能让老虎与猴子杂交,也不能让棉花与大豆杂交,更不可想象大象与大肠杆菌杂交。基因工程不受亲缘关系远近的限制。因为所有生物都使用同样的遗传密码。基因工程的结果是可以定向控制的,你给一种生物转移进去了什么基因,它就能产生出相应的产物。世界

上第一个成功实施基因重组技术的分子生物学家科恩(S.N.Cohen)说:神话传说中的狮身人面怪物,以后可用基因工程使之变为现实。

基因工程技术诞生才 20 多年,就已经取得了很大成功,在医药生产、医疗、农作物和家畜育种等方面获得了许多重要成果。过去胰岛素只能从胰脏中提取,干扰素从血液中提取,生长激素从脑下垂体提取,现在都已可以用经过基因工程改造了的大肠杆菌发酵生产,产量提高,成本降低,给患者带来了福音。转基因牛、转基因羊分泌的奶汁,可以更适合人的营养需要。疫苗过去是用病原微生物减毒或灭活制备,操作不当会传播病原引发疾病,现在可以用基因工程技术生产病原外壳中能诱发免疫作用的蛋白作为疫苗,安全而又有效。将来的医药,大多数是用经过基因工程改造了的微生物发酵生产。将来的农作物和家畜家禽新品种,将主要是用基因工程技术培育出来。在工业上,基因工程也会发生重要影响。如果经过基因工程改造使农作物普遍有了固氮能力,氮肥工业就会寿终正寝。另外,对解决能源问题、污染问题,基因工程也可发挥重要作用。

科学技术是一把双刃剑,基因工程也是如此,它既可能给人类造福,也可能给人类带来灾祸。例如,人们用基因工程改造微生物,如果出现了新的致病微生物怎么办?人们用基因工程培育出抗病虫害、抗旱、抗除草剂的新作物品种,会不会破坏生态平稳、引起生态灾难?人们用基因工程改造农作物和家畜家禽的蛋白质成分,人吃这种食品对身体有无不良影响?人想培育出能够高效率转化纤维素生产甲烷的微生物,把含纤维素废物转化为能源,如果这样的微生物在自然界传播开来怎么办?上述这些事例,还都是从好心出发可能做出坏事这个角度考虑。如果是把基因工程用于战争目的,用基因工程手段研制生物武器,那前景就更令人不寒而栗了。

三 天文学的新发展

20 世纪,天文学的发展是空前的。

18、19 世纪是近代天文学的大发展时期。由于天文望远镜性能的提高,使天体测量的精度大为提高,导致了一系列重大发现,如恒星周年视差、恒星自行、光行差等。天体测量的进步,加上数学的发展,使天体力学也有了大发展。19 世纪后半叶,照相技术、光度测量技术、光谱分析技术开始应用于天文学,使得天文学家能够研究天体的物理状态、化学成分和内部发展过程,从此,天体物理学应运而生。在 18、19 世纪天文学发展的基础上,20 世纪的新科学技术又给天文学发展注入强大的动力。天体测量精度进一步提高,天文观测手段有了大的发展,天体物理学成为天文学的主干。现在的天文学,它所研究的天象的空间深度已达 150 亿光年,从时间深度上说可追溯 150 亿年前宇宙中发生的事件,它正在为阐明地球、太阳系、星系和整个宇宙的起源与演化过程而努力。

(一)探测宇宙的新手段

天体距离我们极其遥远,观测手段的进步是天文学发展的基础。自伽利略发明天文望远镜以来,光学望远镜的发展对天文学的发展影响极大。20 世纪,不仅光学望远镜性能进一步提高,而且还发明了新的探测手段,使得天文学家不仅可以观测天体发出的可见光,并且可以探测天体发出的无线电波、红外辐射、紫外辐射、X 射线和 γ 射线辐射,天文学成为全波段的天文学。

1. 光学望远镜的发展

早期的天文望远镜,色差和像差都很严重,视场也比较小。随着制镜技术的发展和结构的改进,19 世纪末时,最大的折射望远镜口径已达 1.02 米,性能也大为提高。但是,这样的大型折射望

远镜仍然存在着制造困难、有残余色差等缺点,不能适应天体物理研究的需要。在 20 世纪得到大力发展的天文望远镜是反射望远镜,它以凹面镜作为物镜,天体发出的光线经物镜反射之后在其焦点处成像,通过目镜观测或者用专门的设备进行观测和记录。19 世纪末时,才只有美国有一架口径 0.9 米的反射望远镜,而到 20 世纪 80 年代末时,全世界口径两米以上的反射望远镜已有 23 架,另有 13 架在建造之中,其中,最大的口径达 6 米。把现代光电技术应用于反射望远镜的终端设备,进一步提高了它的观测性能。正因为利用性能优良的反射望远镜,天文学家才得以发现仙女座星云原来是由许多恒星组成。此外,暗弱天体的分光、测光和直接照相工作,都离不开大型反射望远镜。

2. 射电望远镜的诞生与发展

射电望远镜基本原理与光学反射望远镜相似,从天体投射来的电磁波经一精密镜面天线反射之后在焦点聚焦,再经放大和变频,传送至控制室检波、记录和处理。不同之处在于,光学反射望远镜接收的信号是可见光,而射电望远镜接收的是无线电波。用射电望远镜观测和研究天文现象,产生出了天文学的一个新分支——射电天文学。

射电天文学的历史始于 20 世纪 30 年代。1928 年,美国贝尔实验室的工程师詹斯基(K. G. Jansky, 1905~1950)在研究短波通讯干扰问题时,发现了一种方向性很强、持续不断、很弱的无线电波,在天线指向银河系中心时这种干扰最强,且每 24 小时出现一次峰值。经过多方面研究分析,詹斯基认定这种无线电波是来自银河系中心的天体。他于 1932 年发表的关于来自地球外的射电波的报告,揭开了射电天文学的历史序幕。

詹斯基观测宇宙射电波用的是长 30.5 米、高 3.66 米的旋转天线阵,在 14.6 米波长取得了 30°宽的扇形方向束。1937 年,美国无线电工程师雷伯在自家院内建造了直径为 9.45 米的抛物反射面天线,用它观测仙女座星云,在 1.87 米波长取得 12°的铅笔形

方向束。雷伯的射电望远镜是以后的射电望远镜的“始祖”。第二次世界大战之后,一些雷达专家转向射电天文学研究,射电望远镜有了显著发展。1946年,英国曼彻斯特大学开始建造直径为66.5米的固定抛物面射电望远镜,1955年又建成直径76米的可转抛物面射电望远镜。德国更是在20世纪70年代建成了直径100米的可转抛物面射电望远镜。现在最精密的射电望远镜,其分辨率已达万分之几角秒,远远超过光学天文望远镜;最灵敏的射电望远镜的最小可检测流量密度为1毫央,也就是说,可以检测到放在月球之上的带宽约2兆赫、功率为 10^{-3} 瓦的小型无线电发射机发出的信号。

通过射电望远镜观测,已发现了50多种星际分子,100多个超新星遗迹,300多个脉冲星,以及许多个类星体,而且还探测到各向同性的宇宙微波背景辐射。20世纪60年代天文学上的四大发现(脉冲星、类星体、微波背景辐射、星际分子),都离不开射电天文学的贡献。

3.其他波段天体辐射的探测

除了射电波段,在20世纪,天文学还开始了对红外波段、紫外波段、X波段、 γ 波段电磁辐射的探测,这是在现代物理学和宇航技术发展的基础上取得的进展。

红外波段是波长0.7~1000微米的电磁辐射。0.7~2.5微米的近红外波能穿透大气层,可以在地面接收。但波长大于2.5微米的远红外波,则必须到地球之外的空间才可探测。20世纪60年代时制成的红外灵敏器件,使得红外手段也成为天文学家探测宇宙的武器。

紫外波段是波长4000~100埃的电磁辐射。地球大气层对波长短于4000埃的电磁辐射完全不透明。20世纪40年代时天文学家用高空火箭取得了太阳的紫外光谱。20世纪60年代以后,空间技术使天文学家可以用紫外手段研究宇宙。1968年发射的“轨道天文台2号”卫星,上面载有一紫外接收器,记录到了数千

个紫外发射源。

波长 $100\sim 0.01$ 埃的电磁辐射被称为 X 射线,波长短于 0.01 埃的电磁辐射被称为 γ 射线。依靠天文卫星,天文学家已经发现了数百个 X 射线发射源,诞生了 X 射线天文学,为我们展示出了一幅与光学天空完全不同的宇宙面貌。对宇宙中 γ 射线的研究,则诞生了 γ 射线天文学。1973 年和 1975 年分别发现的宇宙 γ 射线爆发和 X 射线爆发,被称为是 70 年代天文学上的重要发现。宇宙中的一些 X 射线源和 γ 射线源,已被证实为是超新星遗迹。

光学望远镜观测的可见光是波长 $0.4\sim 0.7$ 微米的电磁波,仅是电磁波中很窄的一个波段。如今的天文学,可以观测的电磁波波段是从短于 0.01 埃的 γ 射线,直到长于 1 米的无线电波,所以被称为全波段天文学。

(二)天体物理学的发展

天体物理学是应用物理学的理论、方法与技术,研究天体的形态、结构、物理状态、化学组成及其演化历史,它是天文学的一个分支学科,是物理学与天文学的交叉。天体物理学自 19 世纪开始发展起来,至 20 世纪成了天文学的主干。在它之下,又可分为太阳物理学、太阳系物理学、恒星物理学、天体演化学等分支,这些分支在 20 世纪中都取得了重大进展。

1.对太阳和太阳系的新认识

对太阳物理状态的研究始于 19 世纪。1907 年埃姆登(J.R. Emden, 1862~1940)发表的《气体球》一书,是关于太阳物理状态与内部结构的早期研究工作的总结。根据对气体性质的研究成果,埃姆登认为,太阳的内部结构是由一系列同心气体球壳组成。但是他无法判定太阳内部的温度,也无法判定太阳的质量和化学组成。后来人们根据引力理论计算出了太阳的平均密度,认识到太阳是由炽热氢气构成的球体。

太阳内部的能源是什么?在 1854 年,物理学家赫尔姆霍兹

(H. von Helmholtz, 1821~1894)就已认识到,太能的巨大能量决不是从一般的化学反应产生出来的。他提出了引力收缩学说,认为太阳是在收缩过程中从引力势能转化为巨大的热能。按照赫尔姆霍兹的计算,这一过程大约可持续三千万年。但是根据地质学家的研究,地球的历史至少已几十亿年了,因此赫尔姆霍兹的学说被人抛弃。20世纪初,发现了原子可分、原子可变,爱因斯坦提出了相对论和质能关系式($E = mc^2$),从而给研究太阳能源开辟了新路。1926年,爱丁顿(A. S. Eddington, 1882~1944)的《恒星内部结构》一书出版,首次提出恒星内部能量向外转移的主要形式是辐射而不是对流。他猜想是质子和电子互相湮灭,其质量转化为辐射能。按他的计算,这种能量可持续15 000亿年。1938年又有天文学家提出,太阳内部的能量来自热核反应,在太阳内部高温(1千万K以上)、高密(每立方厘米几百克)和高压(几千亿个大气压)的条件下,四个氢原子核聚变为一个氦核,在聚变过程中有0.7%的质量转化成能量。按照这种理论计算,太阳的寿命约100亿年。再根据太阳目前的化学组成可以推出,它已大约走过了它的半生。这一学说目前在天文学界得到广泛认同。

对于地球的兄弟——太阳系内其他各行星,20世纪也有很多新的研究成果。自伽利略之后的三个多世纪中,天文学家一直仅靠光学望远镜研究这些行星,所得的成果有限。20世纪60年代开始,人类向水星、金星、火星和木星发射了许多个探测器,近距离考察这些行星,并且在火星上成功着陆。这些研究传回了大量信息。我们现在对这些行星的认识,例如金星是逆向自转而且自转速度极慢、火星上没有生命、木星有光环、水星上没有大气层等,基本上都是20世纪后半期取得的成果。相比较而言,我们以前对这些行星的了解太少了。

2. 对恒星世界的新认识

太阳仅是恒星世界的一员。在晴朗的夜空,凭肉眼可以看到的恒星就有3 000多颗,凭望远镜可以看到几十万乃至几百万颗。

20 世纪对恒星世界的新认识表现在两大方面,一是恒星的演化,二是恒星世界的结构。

我们先谈关于恒星演化的认识发展。

恒星光谱研究始于 19 世纪后半期。天文学家发现,恒星具有不同类型的光谱,即不同的颜色,于是他们猜想,这可能与恒星处于不同的演化阶段有关。19 世纪末时,曾有天文学家提出:恒星是由冷的星云物质收缩而形成的,星云中小固体块(陨星)之间的碰撞使星云温度升高,成为体积大密度小的红星;红星继续收缩,温度继续升高,成为黄星、蓝星;当达到温度极高后又逐渐冷却,重新变为黄星、红星,直到不发光。后来,由于知道星云物质中并没有陨星,这个学说被抛弃了。

20 世纪初,赫茨普龙(E. Hertzsprung, 1873~1967)和罗素(H. N. Russell, 1877~1957)先后发现,如果以恒星的光谱为横坐标,以其绝对光度为纵坐标,把恒星在坐标图上表示出来,那么绝大多数恒星都分布在从左上方到右下方的主序列上,这种图人称“赫罗图”。恒星的光谱型决定于其表面温度,根据光度和表面温度,天文学家可以推断恒星的内部结构。赫罗图中恒星的有序排列,可能是恒星演化过程的反映。这如同一个聪明的外星人来到地球上,把地球上不同的人按某些特征有序地排列起来,就有可能发现地球上的人从小到老的发展变化过程。

在认识到恒星的能量来自热核反应之后,天文学家把恒星能源和恒星结构同演化进程联系起来,结合天文观测的新发现,对恒星的演化给出了比较系统的说明。现在认为,恒星的前身是弥漫稀薄的星际物质,由于引力塌缩作用凝聚起来,在塌缩过程中密度逐渐增大,温度不断升高,逐渐发光发热。当其核心温度达到一定程度,热核聚变成为其主要能源,这时成为一颗真正的恒星。当氢燃烧殆尽时,热核聚变停止,恒星便失去了与引力相抗衡的内部压力,而密度进一步增大。到恒星演化末期,视其质量大小即分别演变为白矮星、中子星或黑洞。

关于恒星世界的结构,康德(I .Kant, 1724~1804)在 18 世纪中叶时就曾猜测,银河系是一个巨大的恒星系统,在银河系之外还有众多类似的恒星系,太阳仅是银河系中的普通一员。直到 20 世纪,在现代物理学的基础上,天文学家有了确定恒星和星系距离的方法,才证实了康德的这种猜测,并给出了定量的说明。

(三)宇宙学的发展

在现代物理学与丰富的天文观测资料的基础上,科学家不仅想探明恒星的结构与演化历程,还雄心勃勃地想要探明宇宙的结构与演化历程,于是现代宇宙学应运而生。

现代宇宙学是从爱因斯坦的相对论宇宙学发端的。像他提出狭义相对论与广义相对论时一样,爱因斯坦的宇宙理论也是从其基本假设中推演出来的,这个基本假设就是宇宙物质在大尺度上具有均匀各向同性,也就是宇宙中物质的分布大体来说是均匀的,而且宇宙的大尺度特征是不应该随时间变化的。爱因斯坦把这个基本假设称作“宇宙学原理”。按照这一原理,在宇宙学尺度上,空间中任何一点及任一点的任何方向,其密度、压强、曲率、红移等物理学特征都是一样的,因而在物理学上是不可分辨的,宇宙中各处的观测者观测到的物理量和物理规律都是相同的。爱因斯坦推演出的宇宙模型是有限无边的静态模型,他 1917 年发表的宇宙学论文被认为是现代宇宙学的开端。

同在 1917 年,荷兰天文学家德西特(W .de Sitter, 1872~1934)也根据广义相对论得出一种静态宇宙模型。他认为宇宙空间不随时间而变,但宇宙的物质有运动,而宇宙物质的平均密度又趋于零。

1922 年,苏联数学家弗里德曼(A .Friedmann, 1888~1925)重新研究爱因斯坦的引力场方程,得出的解却是不稳定的,宇宙可能在膨胀着,也可能是收缩的或脉动的。在弗里德曼的研究基础上,比利时天文学家勒梅特(G .Lemaitre, 1894~1966)提出了膨

胀宇宙模型。他认为整个宇宙的物质最初聚集在一个“原始原子”中,后来发生猛烈爆炸,碎片向四面八方飞散,形成了今天的宇宙。今天的宇宙仍在不断膨胀。20 世纪 20 年代初发现了河外星系的红移,20 年代末哈勃(E .P .Hubble, 1889~1953)确定了星系红移与距离之间的线性关系,表明了星系正在远离我们而去,而且距离越远的星系退行速度越大,这被认为是宇宙膨胀的证据。

现在影响很大的大爆炸理论,是美国伽莫夫(G .Gamov, 1904~1968)把宇宙膨胀理论与核物理学知识结合起来,于 1948 年提出的。他假设宇宙开始于一个高温高密的“原始火球”,火球内充满基本粒子,基本粒子间发生的热核聚变引起原始火球爆炸,因而剧烈向外膨胀,同时温度和物质密度急剧下降,核反应停止,各种元素逐渐形成,再进一步形成各种物质,演化出今天的宇宙。伽莫夫预言,宇宙中遗留有大爆炸造成的辐射残余,其强度随波长的分布相当于绝对温度几度的黑体辐射。1965 年发现的宇宙微波背景辐射,在定性与定量上都与伽莫夫的预言相符,大爆炸理论因而声名鹊起。

宇宙的结构与演化是极难研究的问题,现在已有的探讨仅是初步的,离真正研究清楚还相距甚远。现有的宇宙理论都是从某种假定推论出来的,而假定本身能否成立尚待证明。例如,大爆炸理论是现在影响较大的宇宙理论,它的一个重要的立论基础是星系的光谱线红移代表着星系在远离我们而去,对此科学家是有不同意见的,孰对孰错现在又无法给出证明。物理学革命引出了现代宇宙学,现代宇宙学的发展与物理学的发展密切相关,愿以后物理学能给宇宙学提供更有效更可靠更充分的理论、方法与技术。

四 现代地学的发展

地球科学是在人类同大自然艰苦卓绝的斗争中、在对地球进

行多方面的探索和研究中逐渐发展起来的。由于地球已有大约 45 亿年的历史,比人类文明的历史、人类存在的历史长得多;由于地球幅员广大,而且大部分表面被海洋覆盖,考察非常困难;还由于地球科学所研究的问题难以用实验验证,这一切,使得地球科学的发展步伐比物理学、化学等学科都要慢。现在回头看一看,19 世纪末时人类的地球科学知识还少得可怜,充满了臆测。进入 20 世纪以来,人类为了解决资源、能源和生态危机问题,为了提高预测和预防自然灾害的能力,地球科学受到高度重视。物理学革命带来的新科学技术革命,给地球科学提供了众多新的观测与考察手段,如同位素断代、深海钻探、地磁测量、资源卫星和探空火箭探测、计算机分析等,有力地促进了地球科学的发展。在 20 世纪,特别是 20 世纪后半叶,地球科学发展非常迅速,由描述上升到理论,由定性分析发展到定量分析,由对局部地区的研究发展到对全球的整体性研究。地球科学知识无论从量上,还是从科学水平上,都有了飞跃的发展。

20 世纪地学的发展,主要表现在两个方面:一是对地球的起源与演化过程的新认识,二是“地球系统科学”的兴起。

(一)从大陆漂移到板块结构说

18 世纪中叶,康德提出关于天体演化的星云假说,经拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749~1827)发展以后,在学术界产生很大影响。地球也是太阳系一员,当然也应该有其演化历史。受星云假说影响,19 世纪,有地质学家提出“冷缩说”解释地球历史,并用以说明地球面貌和山脉成因,从而推动了大地构造学的发展。冷缩说认为地球在冷缩过程中会引起地壳的运动,但它强调的是地层的褶皱、断裂和地壳的垂直升降运动,不曾谈到地壳在水平方向上的大范围运动。赖尔(C. Lyell, 1797~1875)的《地质学原理》中提出了地壳发展的均变论和“以今论古”的研究方法,对地质学发展影响也很大,但他同样不曾谈到地壳的水平运动。大陆是固定的,海洋

是不变的,这是 19 世纪地学中的一个基本观点。

关于地壳水平运动的学说,20 世纪先是有大陆漂移说,而后发展为板块结构说。

大陆漂移说从思想渊源上可以说是由来已久,但直到 19 世纪末一直未能成为科学学说。弗兰西斯·培根(F. Bacon, 1561~1626)在 17 世纪初就已指出,大西洋两岸海岸线形状的吻合不是偶然的。18 和 19 世纪都有生物学家指出,大西洋两岸的生物有亲缘关系,表明两岸过去可能是相连的。那时由于人们觉得大陆漂移是难以想象的,所以提出“陆桥说”——认为大西洋两岸之间过去有狭长的陆地之桥相连,后来被海洋吞没了。但是,随着地质考察的发展,陆桥说漏洞越来越多。人们找不到陆桥的踪迹,用陆桥说也难以说明大西洋两岸生物、地层构造、岩石结构等许多方面的相似性。

20 世纪初,相继有地质学家提出大陆漂移说,其中影响最大者是魏格纳(A. L. Wegener, 1880~1930)。他认为,在地质史上的古生代,地球上只有一块大陆——联合古陆,其周围是大洋。自中生代以来,它开始分裂,裂块漂移开来,形成今日所见的几块大陆和无数岛屿,原先的大洋也被分割为几个大洋和一些内海。按魏格纳的说法,大陆漂移至今仍在继续。为取得大陆漂移的直接证据,他先后四次赴格陵兰重复测量经度。后在格陵兰遇险,为科学献出了生命。

虽然有许多事实用大陆漂移说才可给出合理解释,但在 20 世纪上半叶并没有直接证据证明大陆在漂移,也无法解释使大陆漂移的巨大力量究竟是什么力。随着魏格纳去世,大陆漂移说在 20 世纪 30 和 40 年代逐渐沉寂下来了。

大陆漂移说在 50 年代由于地磁测量工作的成果而复兴。人们发现,在不同地质时期,地磁极的方位是不同的。在进一步对地磁极移动轨迹进行分析之后发现,只有把现在的北美洲相对于欧洲向东旋转 30° ,也就是假定大西洋并不存在,欧洲与北美洲联在

一起,分别从欧洲和北美洲的岩石标本得出的地磁极移动轨迹才能一致起来。

海洋地质学的发展为大陆漂移提供了更有力的证据。第二次世界大战后,海洋地质钻探发展起来。掠夺海洋矿产资源是海洋地质学发展的动力;深海钻探、海洋重力测量、地磁测量、地热测量、声纳技术、同位素地质年代测量等现代科学技术,为海洋地质学发展提供了有力的手段。

海洋地质学的发展取得了丰富的科学成果,有许多出乎人们预料的重大科学发现,尤其重要者是以下几项:

第一是发现洋底地层很年轻。原先人们认为先有海洋,后有大陆,洋底地层应比大陆地层更古老,但是实际上洋底没有早于中生代的沉积物,而且岩石类型比大陆上少得多,表明洋底地层很年轻。

第二是发现洋中脊。原先认为洋底是沉积而成,应当非常平坦。实际上洋底也有山脉,有一种洋底山脉的形态是线状延伸,长度数千千米以上,宽度只有数百千米,犹如洋底的脊梁,故名洋中脊。全世界大洋底部的洋中脊互相连接,构成了一个完整的体系。洋中脊两侧的地层是对称的,越近洋中脊处地层越年轻。地磁测量发现洋中脊两边的地磁情况也是对称的,地热测量又发现洋中脊是洋底热流量最大的地方。

根据海洋地质学的这些重大发现,有地质学家于 20 世纪 60 年代初提出了海底扩张说,认为洋中脊是由于地幔物质从地壳裂缝处上升而形成的;由于洋中脊处不断形成新的地壳,使得两边的地壳受挤压而不断向外移动,海底是在不断扩张之中。

海底扩张说是大陆漂移说的继续与发展,到 60 年代末之后又发展为板块构造学说。板块构造学说认为,地球岩石圈是由若干板块构成的,洋中脊与转换断层、俯冲带和地缝合线是板块的边界,是构造运动最剧烈的地方,全球地壳构造运动的基本原因就是板块的运动和板块之间的相互作用。

板块构造学说是海洋地质学与大陆地质学研究的综合成果,它告诉我们大陆不是固定的,大陆有分有合;海洋不是自古至今永远不变的,海洋有生有灭。板块构造学说给我们描绘的地球是一个不断发展变化的地球,开创了人对地球认识的新阶段,有人将之称为地质学上的革命,犹如哥白尼日心说的提出对天文学的影响。虽然板块构造学说还有不少问题有待进一步研究,但它在地质学中的地位已经确立,并已经开始对地质学许多领域的研究发挥指导作用。

(二) 地球系统科学的兴起

所谓地球系统科学,是把地球看作一个由大气圈、水圈、生物圈、岩石圈等部分组成的复杂系统,研究发生在该系统中能影响全球变化的物理、化学和生物过程,包括人类活动造成的影响,以揭示全球变化规律,提高认识与预测全球变化的能力。从把地球看作一个“简单实体”到看作一个“复杂系统”,从区域性研究走向全球性研究,在研究方式上强调多学科合作,这是地球系统科学给地学带来的新变化。

地球的特定环境条件造就了生物,造就了人类,人类的生存与地球环境的保护密切相关。可是,随着科学技术的发展,人类改造自然能力提高,一味地改造环境适应自己,造成了一系列重大的全球性环境问题,如环境污染、全球变暖、臭氧层破坏、气候异常、淡水资源缺乏等。对全球环境问题的关心,是地球系统科学诞生的一个重要原因。过去人们一直低估了人类活动对自然环境造成的影响,以为自然资源是取之不尽的,以为环境是不会被严重污染的。但是残酷的现实使人类比较清醒了,迫使人们开始重视对全球性的环境问题进行系统研究。

地球系统科学既研究几十年到几百年时间尺度的地球变化,也研究上百万年到上十亿年时间尺度的地球变化。几十年到几百年时间尺度的地球变化,对人类社会的发展至关重要,认识其变化

规律是地球系统科学的紧迫任务。但是,几十年到几百年这一时间尺度的地球变化,又与其几百万年乃至数亿年的变化密切相关,譬如说,火山和地震乃是地球长期变化积累的结果,它们的爆发则对地球环境的短期变化有重要作用。

卫星与遥感技术的发展,使地球系统科学研究拥有了全面观测的手段;电子计算机的发展,使得地球系统科学研究才可能建立数值模型,进行数值模拟,对未来变化趋势做出预测。物理学、化学、生物学的理论发展,为分析地球系统中的各种作用和变化提供了理论基础,系统论研究则直接影响了地球系统科学的思维方式。由于地球环境变化和城市建设、人口问题、战争与和平等问题也密切相关,地球系统科学还表现为自然科学、技术与社会科学的统一体。

第十四章 新技术革命

当今世界正日益强烈地感受到新的科学技术浪潮的涌动和冲击。信息技术、生物工程、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋工程赫然构成了一个前所未有的新科技群,标志着生产力质变的狂飙时期已经到来。这次新技术革命是以往历次所无法比拟的,可以说是名副其实的世界性、全方位的新技术革命。无论是发达国家,还是发展中国家,都面临着严峻挑战。各国的生产方式,生活方式乃至经济、社会、文化等各个领域,都将受到强烈的影响。

一 新技术革命产生的历史背景

新技术革命的产生和迅速发展有着多方面的学科与社会发展背景。首先,现代生产迅速发展的需要以及人类现代文明发展的多方面需要是现代新技术产生和发展的根本动力。其次,现代自然科学发展的巨大成就为现代新技术的产生和发展奠定了理论基础。第三,科学技术的社会化,是新技术革命成功的社会保证。第四,战争和对抗是刺激新技术产生和发展的一个重要因素。

(一) 新技术革命的学科发展背景

新技术革命中的信息技术、生物工程、新材料技术、新能源技术、空间技术和海洋工程的产生都有其自己的学科发展背景。

信息技术的基础理论与方法是信息学,主要包括通信理论、计算机科学以及其他与信息获取和利用有关的基本原理和方法。通

信理论形成于 1928 年,一些学者分别提出了信息概念和信息率与频率的关系,随后又用统计观点说明了噪声和信号特性,并且提出了信号理论,这些理论是近代通信理论的基础。计算机科学中的理论部分在第一台数字计算机出现以前就已存在,20 世纪 30 年代中期,英国数学家 A.M.图灵等提出了理想计算机的概念。40 年代数字计算机产生后,计算机设计技术与程序设计技术和有关计算机的理论研究开始得到发展,这方面构成了现在所说的计算机科学。随着数字技术,尤其是计算机技术的发展,其对通信起着越来越大的影响。70 年代,由于微电子技术、计算机技术和通信技术的发展,远程数据通信取得成功,可以用通信网络把分散的计算机资源联成一体,构成计算机网,共享信息资源,在此基础上产生了现代信息技术。

生物工程诞生于 1976 年。它是以生命科学为基础(主要是分子生物学)发展起来的。60 年代初,美国物理学家伽莫夫、生物化学家尼伦贝格和德国科学家马太破译了“遗传密码”。70 年代,科学家们发展了一种新技术,即 DNA 重组技术。生物工程由此应运而生。

材料的使用和发展,与生产力和科学技术的发展水平密切相关。20 世纪固体物理的进步,使人们可以从原子和电子结构阐明材料的一些物理性质。随着科学技术的发展,人们积极汲取近代物理、近代化学,特别是固体物理、固体化学、量子化学等理论成果,并通过尖端仪器设备,研究和阐述材料的本性,从而对材料的认识不断深化,为更好地使用现有材料和探索新型材料奠定了良好的基础。到 50 年代末、60 年代初,集物理、化学、冶金学等多学科之大成的一门新兴综合性交叉科学——新材料技术诞生了。

随着现代化生产的高度发展,能量的消耗也不断加速增长。但电力能源的燃料供应毕竟是有限的,因而迫使人们不得不寻找新的能源。核能(原子能)的发现和利用是继电力技术之后的一次能源技术革命。1905 年,爱因斯坦在狭义相对论中提出了质能关

系式,这就从理论上揭示了核能成为新能源的可能性。随着卢瑟福人工破裂原子核,又发现了铀核裂变链式反应。从此以后,原子核物理在经历了几十年艰苦的基础研究后,进入了利用原子核能造福人类的新时代。此外,人们还将注意力转向太阳能、地热能、海洋能、氢能和生物能的研究、开发和利用,这些新能源的应用技术也不断被研究出来。

20 世纪 40 年代以前,是空间技术的孕育时期。20 世纪 50 年代,是空间技术的形成时期。1957 年 10 月 4 日,苏联成功地发射了第一颗人造地球卫星,它标志着人类“空间时代”的来临。此后,科学家们就利用空间飞行器(人造地球卫星、行星和行星际探测器、空间实验室、空间站和航天飞机等——在地球大气层外的空间,基本上服从天体力学规律而运行的人造物体),对地球空间、行星际空间、恒星际空间,太阳和太阳系行星,以及太阳系外各种类型的天体进行了大量的探测,从而把人类认识宇宙的视野伸展到新的深度和广度,改变了过去由地面观测所带来的局限性,获得了许多惊人的发现,积累了大量的有极大价值的科学资料,为人类认识自然界增添了许多崭新的知识。空间技术正是在广泛吸取当代有关科学技术成就的基础上迅速发展起来的。

海洋工程的产生要追溯到海洋地质学。海洋地质学是研究海岸和海底的地质、地貌的一门科学,它是海洋科学的一个重要组成部分。作为一门科学,它产生于 19 世纪中期,后来由于战争,由于石油和其他海底资源的开发,它的进展十分迅速。1872~1876 年,英国皇家舰队的“挑战者”号在环球航行期间,展开了有组织、有计划的深海调查。这次巡航三大洋航程近 7 万海里,写出了 50 卷的调查报告,其中包括海洋物理、化学、生物、地貌、沉积物等方面的宝贵资料,奠定了近代海洋学的基础。以后,德国、瑞典都进行过海洋调查。20 世纪 30 年代大陆架油田的发现,第二次大战中的潜艇活动、声纳的发明,50 年代海上石油勘探的大发展,都大大促进了海洋地质学的发展。40 年代末到 50 年代初,一些海洋

地质学的著作纷纷问世。这都表明海洋地质学已经逐渐形成为一门独立的学科。海洋矿产资源极其丰富,同时,海洋中的潮汐、潮流、波浪、温差等,都是用之不竭的再生能源。和今天陆地资源日见枯竭的现状相比,海洋资源实在是太丰富了。随着人类对海洋认识的深化,便出现了以海洋为研究对象的海洋科学。而以海洋科学为指导,运用多种现代技术和仪器设备做手段,对海洋资源进行开发和利用便形成了海洋工程。

(二)新技术革命的社会发展背景

新技术革命中的信息技术、生物工程、新材料技术、新能源技术、空间技术和海洋工程的产生也有其社会发展背景。

20 世纪电子技术的迅速发展,为电子计算机的出现提供了技术前提,使许多科学家、工程师感到可以利用电器元件来制造计算机,1938 年,德国工程师楚泽制成了一台纯机械结构的计算机,但其运算速度慢,可靠性差。这个时候,一些目光敏锐的科学家、工程师看出使用电子管大大提高计算速度的可能性,因而纷纷试图制造电子计算机。第二次世界大战中,美国宾夕法尼亚大学莫尔学院电工系同美国陆军设在附近的阿伯丁弹道研究实验室共同负责为海陆军每天提供六张火力表,由于要分析大量的数据和运用复杂的公式,尽管聘用了 200 多名计算员,但使用电动机械计算机,一张火力表往往也要算两三个月,结果还不能令人满意。为了解决这一困难,莫希利于 1942 年 8 月提出了第一台电子计算机的初始方案,1943 年 6 月开始试制,1946 年研制成功世界上第一台电子数字计算机 ENIAC。这台机器 1947 年被运往阿伯丁,起初是专门用于弹道计算,后来经过多次改进而成为能进行各种科学计算的通用计算机。50 年代后期,随着微电子技术的发展,集成电路的出现,引起了计算机技术的巨大变革。大规模及超大规模集成电路使微型计算机应运而生并在各行各业得到广泛应用,而现代通信技术正是以计算机为控制工具,组成卫星通信和光纤通

信结合起来的交换系统,信息技术在此基础上得到迅速发展。

现代意义的生物工程是 70 年代初期在分子生物学和细胞生物学的成就基础上发展起来的一个崭新的高技术领域。由于重组 DNA、细胞融合和杂交瘤等新技术的出现,以及动植物细胞大规模培养,核酸和蛋白质的分离,分析和合成等技术的进步,人们运用生命科学的这些最新成就,结合发酵和生化工程原理,生产生物产品和定向改造生物品种,使生命科学的作用从说明世界提高到改造世界。

进入 20 世纪之后,新材料技术的产生和发展与两次世界大战军事需要及战后经济发展有很大的关系。如在有机高分子材料中,1937 年,德国开始生产合成橡胶,同时,美国因橡胶供应紧张,也大力发展合成橡胶的研究;战后,许多工业发达国家都积极进行合成橡胶的研究和生产,促使合成橡胶的世界产量上升很快,品种迅速增加。有机高分子材料的出现和发展,使材料的品种又有了很大的增加。与此同时,复合材料和包括玻璃、陶瓷在内的无机非金属材料在 20 世纪中叶也日益被重视而获得较快的发展。半导体材料和多种功能材料的发现和研制对电子技术和许多新兴工业技术有着举足轻重的作用。

能源是维持人类生存和发展的重要物质条件。随着现代社会的发展、世界人口的增长,对能源的需求量越来越大,能源紧张已成为人类面临的最严重问题之一,迫使人们去不断探索和开发新能源。原子核能发现后,首先应用于军事上。1942 年 12 月,由费密领导,在美国芝加哥建成第一座核反应堆,并开始正常运转,从而第一次实现了人工控制的核链式反应,开始了人类利用原子核能的新时代。1945 年 7 月 16 日,第一颗原子弹试爆成功。第二次世界大战以后,美国曾企图垄断原子弹技术的秘密,但是由于核裂变理论早已公布于世,并为人所皆知,所以未能达到垄断的目的。继美国之后,苏联、英国、法国也都先后爆炸了原子弹。20 世纪 50 年代,有些国家已开始将原子核能的应用从军用过渡到民

用,为人类提供新能源,即核能发电。最早一些国家建造的核电站,是在反应堆堆型基础上发展起来的。60 年代,核电站进入了实用阶段。70 年代至现在,核电站的优越性越来越明显,核能在世界能源中的地位与作用不断提高。人类在发展核能技术的同时,也在不断研究开发利用太阳能、地热能、氢能、海洋能、生物能等新能源技术。

空间技术的产生与第二次世界大战期间雷达、导弹和原子弹等新武器的研制工作有很大关系。在第二次世界大战中,主要交战国都在研制导弹,其中最先获成功的是德国。20 世纪 30 年代初,德国组织了火箭学会。第二次世界大战爆发后,纳粹德国急于想把火箭用于战争,首先制定了大规模研究火箭的秘密计划,投入大量的人力、物力和财力。1942 年 10 月 3 日,在德国的佩内明德成功地发射了惯性制导的 V-2 火箭,它实际是弹道导弹的雏形。第二次世界大战期间纳粹德国的导弹科技,战后成了美国、苏联发展导弹的基础,后来美国发射的洲际弹道导弹和中程弹道导弹,就是以 V-2 为基础的。战后,科学家最初是试图把火箭头部安放上仪器进行高空探测。不久,美国实现了这一设想,其火箭升空高达 73~130 千米,而且用降落伞使火箭安全降落,并完好收回了所有的部件。此后由于军事目的,美国、苏联两国加紧改进 V-2 火箭的射程与制导水平。到了 50 年代下半叶,火箭发展已达到了作为运载工具的水平,从而开创了人类航天的新时代,空间技术也由此而产生了。

从 20 世纪 60 年代以来,海洋开发已经成为许多国家的发展目标之一。70 年代,又提出“海洋牧业”的概念,它意味着对鱼类资源的利用,从捕捞为主逐步转向养殖、增殖、捕捞相结合的生产方式,这是海洋渔业史上的一个革命性变化。此外,“二战”结束后,各国由争夺和控制海上通道转向了争夺海洋资源的开发。由此也促进了海洋运输的迅速发展,同时因为广泛应用新技术,在大规模地进行国际性联合海洋综合调查和勘探过程中,获得了空前

丰富的新资料。海洋工程由此迅速发展起来。

二 新技术革命的主要内容

现代科学技术的飞速发展,导致了一批高新技术的产生。其中,最富时代性、象征性、先导性和重要性的高新技术有信息技术、生物工程、新材料技术、新能源技术、空间技术和海洋工程。它们构成了新技术革命的主要内容。

(一)信息技术

信息技术主要指信息的获取、传递、处理等技术。它在新技术革命中处于核心和先导地位。信息技术以微电子技术为基础,包括微电子技术、计算机技术、通信技术和网络技术等。微电子技术是微小型电子元器件和电路的研制、生产及用以实现电子系统功能的技术体系。目前,较为成熟的微电子技术包括:计算机辅助设计的软件和硬件系统;电路或系统的模拟、电路设计、电路物理问题分析;计算机自动读图、自动绘图、自动刻图、计算机联动的图形发生、自动翻版和布线;单机工艺设备程控自动化、全自动工艺线;计算机自动测试、逻辑分析、故障诊断;精密性、稳定度及效率能满足大规模集成电路要求的电子束图发生器、高分辨率制版及成像;微细加工技术、高压氧化技术、多晶硅技术等等。总之,微电子技术已经渗透到诸如现代通信、计算机技术、医疗卫生、环境工程、能源、交通、自动化生产等各个方面。微电子技术的出现是当代电子技术的突破,并由此引起了电子技术领域的革命。

计算机技术是现代信息处理技术的核心,可用于科学计算、数据处理、工业控制、情报检索、企业管理、商业管理、交通管理等领域。当前,计算机技术的主要内容是 RISC、并行处理、多媒体技术以及软件和网络技术。RISC 系统将指令系统精简,使系统简单,

目的在于减少指令的执行时间,提高计算机的处理速度。并行处理技术可在同一时间内在多个处理器中执行多个相关或独立的程序,它是提高计算机处理速度的重要方向。多媒体技术是进一步拓宽计算机应用领域的新兴技术,它把文字、数据、图形、图像和声音等信息媒体作为一个集成体由计算机来处理,把计算机带入一个声、文、图集成的应用领域。多媒体系统把计算机、家用电器、通信设备组成一个整体,由计算机控制和管理。网络技术把分散的计算机联成一体,达到信息资源共享。

通信技术包括数字通信、光纤通信、卫星通信、移动通信等内容。数字通信可以高速完成复杂而大规模的信息传输任务;光纤通信可以传递电话、电传、传真、彩色电视和计算机数据;卫星通信广泛用于国内、国际通信,包括军用通信、海事通信和电视、广播的中继等方面;移动通信适应了现代社会快节奏,人员流动性强的需要。

网络技术是在计算机技术、通信技术基础上发展起来的,它是电脑、通信和媒体的大联合,互联网为世界各国网络群所联成的一种网络,该网络不为任何一个国家或任何一个公司所独有,而是全人类共享的信息资源,在人类社会中起着十分重要的作用。

(二)生物工程

生物工程是应用现代生物科学及某些工程原理,将生物本身的某些功能应用于其他技术领域,生产供人类利用的产品的技术体系。生物工程主要包括基因工程、细胞工程、酶工程、发酵工程等内容。

基因工程是一种在分子水平上直接改造遗传物质的新方法,其原理是:将所需的某种生物的基因,即目的基因,转移到需要改造的另一种生物的细胞里,使目的基因在那里复制和表达,从而达到改造生物或创造生物新种类的目的。基因工程的大致过程如下:第一步,取得目的基因;第二步,将目的基因和载体在生物体外

联接,在联接酶的作用下,获得重组 DNA 分子;第三步,将联接有目的基因的重组载体转入宿主细胞,即重组 DNA 分子的转化;第四步,将受体细胞进行繁殖,这样得到的受体细胞便有了新的性状。

细胞工程是指通过细胞或原生质体融合技术,或染色体重组,或个别染色体添加、置换或拼接等技术,以获得能用于生产的新物种或新品种,以及通过细胞与组织培养进行生产的一切技术体系。所以细胞工程是一种在细胞水平上改造生物品种、培育新品种的生物工程技术。它突破了只有同种生物才能实行杂交的限制,为改良生物品种或创造新品开创了宽广的前景。细胞工程包括细胞融合(细胞杂交)、细胞拆分、植物细胞和组织培养及基因导入等。

酶工程主要是利用生物酶或细胞、细胞器所具有的某些特异催化化学反应的功能,通过现代工艺手段和生物反应器生产生物产品的技术。包括酶类的开发生产、固定化酶和固定化细胞技术、酶分子的化学修饰技术、固定化酶反应器的研究和设计、酶的分离提纯技术等。酶是一种蛋白质,是保证生物体内各种化学反应顺利进行的生物催化剂。通常用化学催化剂要 1 年到 100 万年才能干完的事,用酶只需 1 秒钟就完成了。目前已知的生物体内的酶有 2 300 余种,每一种酶都各司其能,从而保证了生物体内的各种代谢活动有条不紊地进行。

发酵工程也称微生物工程。主要是利用微生物的某些特定功能,通过现代工程技术手段生产有用物质,或直接把微生物应用于工业化生产的一种技术。在发酵工程中唱主角的是微生物。发酵工程主要包括选育优良菌种,发酵生产某种代谢产物,生产某种微生物菌体,修饰或改造某种化学物质,矿物资源的微生物浸提及微生物对有毒物质的分解等。发酵技术的应用可分为两个方面:一是直接利用菌体细胞;二是利用微生物代谢产物。

(三)新材料技术

材料是人类生存和发展的物质基础,也是人类社会现代文明的重要支柱,材料的变化直接影响社会的变革。新型材料主要包括新型金属材料、高分子合成材料、复合材料、新型无机非金属材料、光电子材料和纳米材料等。

重要的新型金属材料有铝、镁、钛合金以及稀有金属等。新型铝合金品种繁多、重量轻、导电性好,可代替铜用作导电材料。新型镁合金既轻又强,是制造直升飞机某些零件的理想材料。新型高强度钛合金不仅用来制造超音速飞机和宇宙飞船,而且广泛用于化学工业、电解工业和电力工业,被誉为“未来的钢铁”。稀有金属化学性质十分活泼,少量即能改善合金的性能,可用来制造光电材料、磁性材料、化工材料及原子能反应堆的零件。

高分子合成材料可分为合成橡胶、塑料和化学纤维。由于高分子在化学组成和结构上的不同,因而具有多种性能,用途十分广泛,已在相当程度上取代了钢材、木材、棉花等天然材料。合成橡胶大致有三类:通用橡胶、特种橡胶和热塑橡胶。塑料是产量最高,应用最广的高分子材料,主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯及工程塑料等。化学纤维主要有五大类:即涤纶、锦纶、腈纶、丙纶和维纶。

复合材料是有机高分子、无机非金属和金属等材料复合而成的一种多相材料,它不仅能保持其原组分的部分特点,而且还具有原组分所不具备的性能。复合材料可分为两大类,一类是结构复合材料,它是作为承力结构使用的材料,由能承受载荷的增强体与能连接增强体成为整体材料同时又起传递力作用的基体构成。另一类是功能复合材料,它的效能优于一般功能材料,主要有压电型功能复合材料、吸波、屏蔽性功能复合材料、导电功能复合材料等。

常见的新型无机非金属材料有工业陶瓷、光导纤维和半导体材料。工业陶瓷主要有两大类,一类为先进结构陶瓷,如莫来石、

氧化铝、氧化锆和复相陶瓷等;另一类为先进功能陶瓷,包括装置陶瓷、电容器陶瓷、压电陶瓷、铁电陶瓷、半导体陶瓷等。光导纤维是可有效地远距离传导光信号的玻璃或塑料纤维,它重量轻、通信容量大、传输损耗低、抗干扰力强、温度稳定性好。半导体材料主要用来制作晶体管、集成电路、固态激光器和探测器等器件。

光电子信息材料包括光源和信息获取材料、信息传递材料、信息存储材料以及信息处理和运算材料等,其中主要是各类光电子半导体材料、各种光纤和薄膜材料、各种液晶显示材料和电色材料、新型相变和光色存储材料、光子选通材料、光致折变材料、新型非线性光学晶体等。

纳米材料。“纳米”是一个长度单位,1 纳米等于 10^{-9} 米。科学家们发现,当物质(材料)的结构单元(如晶粒或孔隙)小到纳米量级时,物质(材料)的性质就会发生重大的变化,不仅可以大大改善原有材料的性能,甚至会具有新的性能或效应。利用这些所谓纳米结构材料的新特性制成器件或制品会引起诸多工业、农业、医疗和社会的重大变革。以商品规模生产的纳米材料有:金刚石、磁性材料、金属、陶瓷、复合材料和半导体材料等。

(四) 新能源技术

20 世纪 70 年代以来,许多国家出现能源短缺问题,世界各国普遍加强对新能源的研究与开发,从多方面探寻发展新能源的途径,取得了令人振奋的成就。其中,以核能、太阳能、氢能、地热能的利用最引人注目。

核能(原子能)是原子核结构发生变化时放出的能量。核能可以替代煤炭、石油等能源,目前主要用于发电。当前世界各国核电站所采用的核反应堆基本都是核裂变反应装置。

太阳能是一种巨大且对环境无污染的能源。太阳能的转换和利用方式有:光—热转换、光—电转换和光—化学转换。太阳能热利用技术是太阳辐射能量通过各种集热部件转变成热能后被直接

利用,它可分低温($100\sim 300^{\circ}\text{C}$):工业用热、制冷、空调、烹调等;高温(300°C 以上):热发电、材料高温处理等。太阳能光电转换技术主要是通过太阳能电池将太阳辐射转变成电能。光化学转换技术是研究光和物质相互作用引起的化学反应的一个化学分支。

氢能是不久的将来作为替代石化类二次能源中汽油、柴油的一种最有希望的能源。由于氢重量轻、热值高、无污染、资源丰富,从 20 世纪 70 年代初开始就用于发电以及各种机动车、飞行器的燃料和家用燃料等。氢作为能源使用时,无污染物产生,燃烧产物是水,而生产氢的原料也是水。氢的热值高,每克液氢可产热 120 千焦,是汽油的 2.8 倍。但是,氢需要利用其他能源来制取。当前制氢所采用的方法主要是热分解法和电分解法,氢的制取成本是目前制约其应用的主要障碍。

地热能是来自地球内部的一种天然能源,地球本身是个大热库,蕴藏着巨大的热能。地热能的利用目前主要有两个方面:地热能发电和地热能采暖。地热能发电是地热能利用的主要的、和具有开发前景的形式,其发电原理与一般火力发电相似,所不同的是,其动力源是直接来自于地热。地热能采暖主要是将地热能——蒸气或热水,直接应用于工业生产或生活。

此外,对生物能、风能、海洋能也在不断进行研究、开发和利用。

(五)空间技术

空间技术是探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性工程,也是高度综合的现代科学技术。它主要包括人造卫星、宇宙飞船、空间站、航天飞机、载人航天等内容。

人造卫星是指人工制造的被加速到超过 8 千米/秒后绕地球在空间轨道上运行的无人飞行器。人造卫星种类很多,总的可分为科学试验卫星和应用卫星两大类。应用卫星按其用途又可分为通信卫星、广播卫星、气象卫星、地球资源卫星、导航卫星、测地卫

星、侦察照相卫星等。应用卫星是直接为国民经济、军事和文化教育等服务的卫星,是当今世界上发射最多、应用最广泛的航天器。

宇宙飞船即载人飞船,它是能保障宇航员在外层空间生活和工作以执行航天任务并返回地面的航天器。它可以独立进行航天活动,也可作为往返于地面和航天站之间的“渡船”,还能与航天站或其他航天器对接后联合飞行。宇宙飞船运行时间有限,仅能使用一次。宇宙飞船分两类,一是环绕地球轨道飞行的飞船,二是能脱离地球轨道的飞船。飞船由宇航员返回座舱、轨道舱、服务舱、对接舱和应急救生装置等部分组成。

空间站又称航天站、太空站或轨道站,是可供多名字航员巡访,长期工作和居住,在固定轨道上运行的载人航天器。它可作为科学观察和实验的基地,并可用来给别的航天器加燃料或从上面发射卫星和导弹。太空站的重要用途有:天文观测、勘测地球资源、应用新工艺技术在太空制造新型合金和超纯材料、进行生物医学试验等。

要发展空间站,就必须把大量的设备和结构运到轨道上去,还要把人员往返运送于空间站和地面。运人的往返运输系统可采用航天飞机。航天飞机是可以重复使用的、往返于太空与地面的载人飞行器。它综合了火箭、飞船和飞机三者的技术,是一种新型的航空航天飞行器。航天飞机运载量大,可装载各种卫星、飞船、实验室和较多宇航员、科研人员。它可在轨道上发射卫星,又可回收和修复卫星。

载人航天是航天技术发展的一个新阶段,是人类驾驶和乘坐载人航天器(载人飞船、空间站、航天飞机)在太空从事各种探测、试验、研究和生产的往返飞行活动。载人航天系统由载人航天器、运载器、航天器发射场和回收设施、航天测控网等组成。

(六)海洋工程

海洋工程包括进行海洋调查和科学研究,海洋资源开发和海

洋空间利用,涉及到许多学科和技术领域,它主要表现在:海底石油和天然气开发技术、海洋生物资源的开发和利用、海水淡化技术、海洋能源发电技术等方面。

为了开发海底石油和天然气,必须克服水体的障碍,具备与陆地不同的技术,即具备不同于陆地石油开发技术的海底石油和天然气技术,包括平台技术、钻井和完井技术、输送技术。专用于钻井作业的移动式钻井平台有:底座式平台、自升式平台、钻井船和半潜式平台。海上平台造价很高,一般都采用一座平台钻多口井的方法,这就要有斜钻井的技术。开发海底石油和天然气,对于油气的存储和输送,目前有两种方法:一是在海上建立储油站和装油船,由船舶运输;二是管道输送,这是向岸上输送油、气的主要手段。

建立在现代海洋生物学基础上的现代海洋养殖业已成为一大产业,其蕴涵的潜力完全使人相信海洋即将成为人工生产蛋白质的重要基地。现代海洋水产业的主要发展方向,首先是开发海洋“牧场”,积极发展“栽培渔业”,使各种人类需求的海洋动植物资源生产人工化,达到稳产高产的目标。其次,利用先进的技术发现、开辟新的海洋渔业资源、改造和发展传统的捕捞业。目前,超声波鱼探仪、雷达导航技术、水下通信技术、水下摄影和录像均已得到广泛应用。

海水淡化是解决地球缺水供需矛盾的根本途径。海水淡化是新技术革命的内容之一。目前,较为成熟的海水淡化技术有:蒸馏法、电渗析法和冷冻法。蒸馏法是以化工过程中的蒸馏——蒸馏单元为基础发展而来的一种分离方法,其工艺较完善,应用最广,起的作用最大。电渗析法是一种膜分离技术,电渗析淡化器的关键部件是离子交换膜,它的发展对电渗析技术具有决定意义。冷冻法是在冰点温度下,从海水中分离出淡水来,由于融化后的淡水仍有咸味,因而不能令人满意。

海洋能源发电技术是指利用海洋中波浪、海流、潮汐、海水温

度和海水盐度差等蕴藏的丰富能量发电的技术。潮汐发电是利用海水涨落潮差的能量,通过水库控制海水的落差推动水轮机,进而带动发电机发电。目前,海洋能发电大多处于试验或小规模实用阶段。海洋能源的总能量相当于地球上全部动植物生长所需能量的 1 000 多倍,现在这种巨大能量正逐步得到开发和利用。

三 新技术革命与社会发展

新技术革命对人类的影响不仅是经济的,而且扩及到政治、军事甚至人类家庭和社会生活的方方面面,新技术革命迅猛发展,不仅加速推动了发达工业国家的经济发展,亦将同时加速推进世界其他不发达国家和地区的经济起飞。新兴技术的应用,将给社会经济带来前所未有的繁荣。

(一)信息技术与信息社会

从 17 世纪到 19 世纪初,信息技术从最初的从属地位开始,一直伴随着工业革命的进程而发展。至 20 世纪,现代信息技术已成为推动现代技术、现代经济和现代社会向前发展的强大动力,奠定了人类迈向信息社会的技术基础。20 世纪 70 年代以来,微电子技术突飞猛进地发展。它渗入到人们的工作、生活以及一切生产活动之中。它已成了现代化生产与现代化生活的主要支柱。微电子技术的发展为程序自动化和机器操作自动化提供了极其广阔的应用范围,发达国家正在用自控机器取代劳动力。作为自动化的结果,传统的工人阶级将随之减少,从事创造性劳动的科学家、艺术家、高级技术专家、教育家、医生将大量增加。例如,在美国,工业领域所雇佣的劳动力占总劳动力份额从 1950 年的 61%降低到 1980 年的 37%。微电子技术使很多家用设备自动化,使电视和电话的作用成为现有公共设施的终端。它使人们的生活和生产

活动产生了根本的变化。

在早期,电子计算机主要应用于科研和军事部门,对国民经济建设的影响不大。而目前,世界各国,特别是美、日等西方国家已将计算机广泛应用于社会经济建设,从而提高了生产的技术水平,提高了的效益。比如,计算机参与工业自动化后,可使机械生产行业的总成本降低 22.5%;使汽车业、金属加工业和纺织业明显地节约劳动力(约 30%~60%,甚至 85%);使能源的利用率得到显著的提高,工业机器人的使用解放了部分劳动力、改善了劳动条件。计算机已经‘无孔不入’地渗透到工、农、商、军事以及社会各部门,渗透到人们的学习和生活中。它的发展和应用已不仅是一种技术现象,而是一种政治、经济、军事和社会现象。世界各国都力图主动驾驭这种社会计算机化和信息化的进程,以便更顺利地向高度社会信息化方向迈进。

在新技术革命中,计算机逐渐成为所有通信技术系统的核心,使整个世界的通信事业发生了深刻而巨大的变化。通信不仅能沟通信息,而且能起到管理信息、社会咨询和信息分配的作用,成为先进工业社会的命脉,加速了整个社会的信息业务的发展。通信技术的广泛应用,已经在现代社会中形成一系列无时无刻不可缺少的通信系统。

(二)生物工程造福于人类社会

当前世界面临一些困难和问题:人口增长很快;粮食短缺;能源不足;环境污染严重;一些重大疾病威胁人民生命和健康。要解决这些问题,必须积极发展科学技术。现代生物工程技术虽然出现历史很短,但近 20 年来发展很快,对解决人类面临的问题作出了贡献,但更多的是提供了前景。就目前情况而言,它还处于起步阶段,然而其研究和开发却已初见成效。生物工程的应用面很广,可用于食品、化工、纺织、制药等多种工业,在农林牧渔业、医疗保健、能源、矿冶、环保、国防等方面也有巨大的经济效益和社会效

益。

随着人口的增加及生活水平的提高,粮食和动物蛋白质的供应不足成了突出问题。在不能大面积开垦耕地的情况下,增产粮食的出路只有提高单位面积产量,而要提高单位面积产量,狠抓良种是主要的一环。基因工程和细胞工程在培育光合效率高、能固氮、高营养成分、抗病虫害和抗逆、抗除莠剂的作物新品种方面发挥着很大作用。目前,国内外都在探索和研究将菜贮存蛋白质的基因转到向日葵中,已取得初步成果。所以,在解决人类面临的粮食和食品问题方面,生物工程能起到它独特的作用。

生物工程还可从多方面帮助解决人类面临的能源问题。首先在能源方面,生物工程不仅可以生产能源如沼气、氢气、酒精等,而且可以增加石油和铀采收量。其次,其他方面,在矿冶工业中利用微生物及基因工程培育的特殊细菌,能把矿物中的金属溶解出来,并进一步富集金属。此外,用基因工程研制能富钠的菌种,用以淡化海水,这对缓解目前淡水紧张局面,意义极大。

在解决人类面临的环境问题方面,生物工程用于环境保护,既利于“三废”防治,也利于生态保护。

医药工业是生物工程开发研究得最早,也是发展最快的一个领域。用生物工程生产的胰岛素、干扰素、生长激素等,产量高、质量好,价格低廉,比起用传统方法从猪、牛等牲畜的脏器中提取,具有不可比拟的优越性,这对那些糖尿病、癌症和侏儒患者来说,无疑是一大福音。

生物工程的应用前景是诱人的,各国都把生物工程列为优先发展领域,采取有力措施,促进生物工程迅速发展。

(三)新材料——未来社会的基石

新材料对现代化科学技术进步和国民经济发展以及增强国防实力具有重大推动作用,它具有优良性能和特定功能,是发展信息、航天、能源、生物、海洋开发等高技术的重要基础,也是整个科

学技术进步的突破口。

从现代科学技术发展史中可以看到,每一项重大的新技术发现,往往都有赖于新材料的发展。新材料对社会经济技术的发展具有关键性的作用,没有新材料的发现,就不会有高新技术产品的出现和工业的进步。对国民经济和现代科学技术具有重要作用的半导体材料就是一个明显的例证。半导体材料的出现对电子工业的发展具有极大的推动作用。以电子计算机为例,自 1946 年世界上第一台真空管电子计算机问世以来,由于锗、硅等半导体材料和晶体管等半导体器件的相继研制成功和广泛应用,计算机技术获得了极其迅速的发展,在短短 40 多年里,经历了一代代产品更新。1967 年,大规模集成电路问世导致微型计算机的出现,现在一台微型计算机比世界第一台大型电子计算机运算速度快了几百倍,功能更是不可比拟,而体积仅为原来的三十万分之一,重量仅为六万分之一。硅半导体材料的工业化生产,使计算机技术进入袖珍化时代;高温、高强度结构材料的出现,促进了宇航事业的发展;低损耗光纤技术的进步,开拓了光通信长距离传输技术,正在改变着电信、军事装备和医学等领域的格局;高温超导体材料的发现,将改变电子技术的面貌;塑料和复合陶瓷材料的问世,使社会生活和工业、军工产品大为改观;隐形材料的研制,使战场出现了扑朔迷离难以捉摸的情景。当前,几个原子层厚的半导体材料以及其他新型光电子材料的研究进展,将加速整个信息技术革命的进程,在这类材料基础上发展起来的光电子技术,将代表 21 世纪新兴工业的特色。纳米技术使古老的磁学变得年轻活跃,磁性材料已进入了纳米磁性材料的新纪元。尤其是纳米巨磁阻材料可使存储密度大幅度提高到 20Gbit,使磁存储技术获得新生。纳米晶体材料作为催化剂载体使用是一个超过 300 亿美元/年的工业的基础。介孔 SiO_2 材料 MCM-41 现已广泛应用于超细污染物的去除。俄罗斯纳米金刚石的年产量已有 2 000 万克拉。在未来 5~10 年内,纳米材料将成为富有生命力的产业。

(四)人类社会与新能源

能源是人类社会活动的物质基础。在某种意义上讲,人类社会得以发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。

核能是人们选中的一种较为理想的新能源。目前,核能已成为许多国家的能源支柱,开发核能成了一个国家科学技术现代化的重要标志。实践证明,利用核能发电,技术上可行,安全上可靠,经济上合算。核电站与火电厂相比,经济上的特点是建设投资高,但燃料费用低,两者的运行费用不相上下。因此,折算到每度电的成本上,大的核电站已普遍低于火电厂成本的 20%至 50%。核电站不仅能提供大量电能,还可以生产许多放射性同位素,供工农业生产和科研使用。据统计,到 1991 年,全世界已有 25 个国家建成并正在运行的核电站总计有 414 座,年总发电量已达 326 611 兆瓦,同时还有 16 个国家在建设中的核电站计 76 座,其发电容量为 62 044 兆瓦。据有关资料介绍,从 20 世纪 70 年代后期到 21 世纪 20 年代,世界能源消费比例中,石油消费比例的下降将超过总消费量的 30%,而下降部分将由核能来填补。核能是当今新能源利用中最理想的能源之一,是解决当今世界能源问题的主要途径。

随着能源科学技术的发展,人们不断克服太阳能存在的缺点,太阳能作为新能源将会日益得到推广和应用。当前太阳能的利用,主要是“光—热”转换和“光—电”转换两条途径。利用太阳能直接供热可以做成各种温室、干燥器、热水器、蒸馏器、太阳灶、高温太阳炉、太阳动力机等。至于太阳能发电,则有热力发电和太阳能电池直接发电两种。在工业发达国家,太阳能热水和建筑物供暖系统已投放市场。太阳能电池已在人造卫星、航空、铁路和港口上应用;太阳能育种、空调、理疗、焊接和太阳能热力发电等方面的研究,也取得了一定的成果。

(五)空间技术扩展了人类活动的新天地

70年代以来,利用空间环境及其高远位置进行了广泛的应用试验,突破了空间技术应用领域众多的技术关键,拓展了广泛的应用范围,卫星技术与多种科学技术的交叉和渗透,产生了卫星应用技术,形成了通信、导航、气象、资源、科学、军事应用、深空探测等卫星系统。卫星应用技术在国民经济、国防建设、文化教育和科学研究等方面发挥着越来越重要的作用,其综合效益十分显著。空间技术主要是通过卫星应用转化为直接生产力和国家实力。卫星应用系统是空间工程系统的组成部分,同时也深入众多的应用部门,发展成为应用部门的新技术系统。

载人航天是空间技术发展的一个新阶段,它的技术复杂、规模大、研制周期长、投资多。这种褒贬不一的尖端技术,今天已获得了飞速发展,显示出它的重要性和生命力。空间站是载人航天技术中的佼佼者。发展空间站,可以充分利用空间资源,如高远位置、微重力、高真空、超低温、高净洁和强辐射等,加速空间物质产品的开发,促进空间工业化、商业化和军事化的进程,并带动许多现代科学技术的飞速发展,还可促使材料科学、生命科学、物理学、化学和天文学等产生新的突破,还促进了电子、材料、机械、化工、能源、冶金、推动、遥感、计算机、自动化、交通技术的发展。空间站的建立,将使人类活动领域由陆地、海洋、近空扩大到宇宙空间,从而将引起人类社会的科学、技术、经济和生活等多方面的重大而深刻的变化。

(六)海洋工程推动了社会经济发展

20世纪60年代以来,海洋工程的形成和发展,推动了世界经济的发展。目前,海上年货运量已达40多亿吨,比30年代末增长了9倍;海洋捕捞业,年产量达到7000多万吨,比20世纪初增长了15倍多。近30年来,通过人工放流苗种增殖海洋生物和在人

工控制下养殖海洋生物的工程技术也发展起来。这是海洋渔业史上一个革命性变化。它类似人类祖先由采集野果向栽种谷物,由捕捉野兽向驯养家畜的变革。

海上石油开发及其工程技术的兴起,使世界进入了一个“现代海洋开发”的新阶段,海洋石油开发给世界经济增强了活力;缓和了石油危机;为有关国家创造了大量的经济收入;促进了沿岸地区经济和社会发展;促进和带动了其他行业的发展。1960年,在海上从事油气勘探的国家只有20多个,而今天全世界从事海洋石油勘探开发的国家或地区已超过100个。被称为海洋新兴产业的海洋再生能源的开发利用,也取得显著进展。世界目前出现了一批中、小型潮汐能、波浪能、海洋热能发电站及设备。科学家预测,海洋再生能将成为21世纪的重要新能源之一。

海水化学资源的开发利用成果越来越多,并广泛用于化工、轻工、冶金、医药、航空等工业。氯化钠(食盐)、溴、镁等的提取已达到大规模工业生产水平。海水淡化已有20多种方法。1975年在香港建成的海水淡化厂,日产量为18万吨;1983年在沙特阿拉伯吉达港建成的海水淡化厂,日产30多万吨。与海水淡化相结合,发展综合利用,是近几年的海水利用的新动向。美国计划在海上建立基地,用淡化水灌溉农田,用电力制氮肥和磷肥,把发电与淡化、工业与农业结合起来,组成大规模的联合企业。世界海洋的年度经济收益,目前已达2500亿美元。

过去对海洋空间的利用只限于交通运输及港湾建设,随着陆地上可用的土地面积越来越少,人们着手开发利用海洋空间,将各种建筑物向海上发展,其中包括海面和水下运输、海面 and 海底基地、海上城市、海上机场和海上公园等娱乐场所。

海洋对于沿海国家的社会和经济发展的作用越来越大,许多国家都把海洋开发作为一项基本国策。

第十五章 系统科学的 兴起及影响

一 系统科学思想的渊源

科学的发展在很大程度上得益于人类知识的日积月累,所以有人提出了汇流模式,认为科学的发展就像一条由不同时期的知识不断汇聚而成的河流。值得注意的是,古代的某种思维取向后来往往被其他志趣所掩盖或取代,直到条件成熟,才在更高的认识水平上再次向人们显现。系统科学思想也经历了这样一个思维的轮回。从现代系统科学的最新发展回溯到早期的人类社会,我们会发现那里珍藏着极为简易、朴素,但也不乏高妙之处的系统思想的古代版本,今人读之,仍有裨益。

(一)中国古代的系统思想

中国人的思维方式,与西方人相比有很大不同。但是,就系统思想而言,我国先民的一些思想火花却与今天最新的思维方式有相通之处。中国智慧的一大特色是整体性思维方式,这一点集中体现在中国古人对“一”的钟爱及有关天人关系的思考上。中国古代把整体称之为“一”。《老子》说:“道生一,一生二,二生三,三生万物。”荀子则以“一”和“分”来表述整体与部分的关系。关于天人关系,在《周易·乾文言》中有“夫大人者,与天地合其德,与日月合其明”的说法,这算得上是“天人合一”的早期表达方式。西汉时,

董仲舒明确提出了天人合一的思想。他在《春秋繁露·阴阳义》中写到：“以类合之，天人一也。”天人合一所肯定的天人关系可以简略的表述为：(1)在空间上，天与人是包含关系，人是自然的一部分；(2)在“运动方式”上，天与人是统一关系，自然界有普遍规律，人服从这个规律；(3)在“精神”上，天与人是一体关系，人的道德原则与自然规律一致。古人不仅认为世界是一个整体，而且把“人”这个作为世界之一部分的存在，放到了一个既重要又谦卑的位置上，离开了“天”，人事的合理性便失去了标准和依傍，这与现代系统论中整体与部分关系的论述，以及生态系统论对人与自然关系的认识是相契合的。

在理论科学方面，中国没有明显的分科倾向，我们的古人和一些现代科学家的志趣相似，追求适用于所有系统的“统一理论”。第一个体系就是载于《周易》的体系——阴阳八卦。传说《易》是华夏民族的远古始祖伏羲氏所作，他仰观天象，俯察地理，比照鸟兽之文与地上物事的对应关系，近取人类的特点，远仿天下万物，创造出阴阳八卦，“以通神明之德，以类万物之情”，将大千世界尽囊括于八卦之中。据说，周文王又将伏羲八卦演为六十四卦。《易》由太极而分阴阳(— --)，再分太阳、太阴、少阳、少阴，然后成八卦，最后叠成六十四卦。它不仅是对世界的整体性概括，也是一个层次分明的符号体系，是一个集术数、哲学、历史于一身的记录原始文化的“知识系统”。第二个体系就是中国古代科学理论的最高成就——阴阳五行说。该理论就像一个古代中国的一般系统论，它给出了关于世间万物的生成动力、结构要素、演化规律的“万能公式”。阴阳五行说认为世间万物皆阴阳化生，万物都由水、火、木、金、土这五个要素构成，阴阳五行相生相克，形成了自然、社会、人事的变化。战国晚期出现的中医集大成著作《黄帝内经》采用了

① 张岱年.文化与哲学 北京：教育科学出版社，1988 .151 .

② 桂质亮.李约瑟难题究竟问什么？北京：自然辩证法通讯，1997(6) .58 .

阴阳五行说,作为处理医学中各种问题的总原理,为临床诊断提供了理论说明。中医的成功为阴阳五行说的合理性提供了佐证。

诸子百家在各自擅长的领域创造性地运用了系统思维方式。儒家的代表人物孔子较少言及自然,他的“修齐治平”理论把社会这个大系统分成了四个层次:个体→家庭→国家→天下。道家言论中系统思想比较丰富,《老子》中的社会是五层结构:身→家→乡→邦→天下;《老子·五十四章》说:“以身观身,以家观家,以乡观乡,以邦观邦,以天下观天下。”说明尽管圈层结构的系统之间相互包含,但是层内认识与跨层次认识不能相互取代。随着对象尺度的变化,认识的立论基础要与对象系统保持一致。“道法自然”是《老子》的特色和精华,“自然”的意思是“自己如此”^②,与当代系统科学中的自组织思想相似。这一观点提醒人们在追求系统秩序时要“自然而然”,要寻求系统的内在动力,不能过于依靠外部力量和强制措施。《庄子》在继承老子思想的基础上又有所创新,它提出了一种人与万物和谐共处的生态系统观,《庄子·马蹄篇》中写到:“故至德之世……万物群生,连属其分,禽兽成群,草木遂长。是故禽兽可系羈而游,鸟鹊之巢可攀缘而窥。……同与禽兽居,族与万物并”。军事家孙武则在《孙子兵法》中运用了朴素的系统思想和运筹方法,他认为战争胜负是政治、天时、地利、将帅和法制等多个因素整体作用的结果。

在实用工程方面,秦朝蜀郡太守李冰父子的“都江堰工程”历经2 000余年,河渠通畅,排洪、排沙、灌溉各得其所,至今不衰,被公认为是系统思想指导下的一项杰作。

(二) 欧洲古代的系统思想

古希腊是整个欧洲文明的发源地,她的自然哲学家们“绘制”了各种可供后来人参考的关于自然的“前科学图景”,其中许多都

①②涂又光 楚国哲学史 武汉:湖北教育出版社.1995,7.254,210.

是“整体图景”。赫拉克利特(Heraclitus, 生活在约公元前5世纪)在《论自然界》一书中说:“世界是包括一切的整体。”古希腊自然哲学的首要任务是寻求万物生发的本原, 泰勒斯(Thales, 约 BC624~约 BC547)提出了“万物源于水”的命题, 他认为宇宙是一个循环变化的整体, 空气、土、水通过动植物体再复归为空气、土、水。这表明那时候人们已经意识到世间万物具有统一规律, 可以从整体上认识世界。毕达哥拉斯(Pythagoras, ?~约 BC497)认为整个宇宙是一个和谐、是一个数目, 这一思想对后世产生了深远的影响。他在西方第一次将人作为整体同宇宙整体比较, 认为人是小宇宙, 是大宇宙的缩影; 人体是世界的反映。关于宇宙构成的较为精致的理论是德谟克利特(Demokritus, 约 BC460~约 BC370)提出的。他认为构成世界的微观要素是不可再分的原子, 原子在性质、大小、重量、运动方式等方面存在差异, 不同的原子以不同的方式结合起来就构成了变化万千的宇宙。原子论对后来系统思想的发展产生至少有以下两点影响: 一是把原子看成不可分的整体; 二是把宇宙分成若干层次, 原子是构成宇宙的最基本要素。德谟克利特还写了一本名为《宇宙大系统》的著作(已经失传), 是较早的关于宇宙的“系统模型”。

古希腊时期明确提出整体与部分关系的哲学家是亚里士多德(Aristotele, BC384~BC322), 他是一位百科全书式的人物, 是古希腊哲学的集大成者。他提出了一个著名的命题, 即用所有方式显示的整体, 并不是部分的总和。他还举例说, 房子并不等于砖瓦和木料的总和, 有了部分, 并不等于有了整体。后来有人把这一思想概括为“整体大于部分之和”, 成为系统整体性原理的重要释义。他还对宇宙的结构进行了思考, 设想了一个球层结构的宇宙系统。按照高低贵贱的标准, 这个宇宙又被分成两大阵营, 即神圣的月上世界和低贱的月下尘世。除了整体论之外, 令后世关注较多的还

① [英] W.C. 丹皮尔. 科学史. 北京: 商务印书馆, 1979. 37.

有亚里士多德提出的目的论。他把“目的”这个本来属于生物界的概念赋予了无机界,当自组织概念被耗散结构理论、协同学、混沌学先后提出时,人们往往会联想到古代的“目的论”,因为在自然界中广泛存在的自组织现象似乎昭示着某种目的;另外,一些生态伦理学家也倾向于认为自然界有“内在目的”。

(三)自动机械的发展

控制论的产生主要源于自动机械的发展。“自动机器”是近代的宠儿,但早在2 000多年前,中国的能工巧匠就制造出了当时世界上最先进的自动机械,其中比较典型的是指南车。指南针是中国古代四大发明之一,我们的祖先不仅利用磁石的极性发明了罗盘,而且在此后不久,就由东汉张衡(公元110年左右)利用纯机械的原理发明了指南车。张衡的方法及其后的一些类似发明均已失传,直到北宋时,由燕肃(公元1027年左右)和吴德仁(公元1107年左右)制造的指南车才第一次在历史上有了详尽记载。指南车上立一个举臂的木人,不论车子在路上怎样转动方向,木人的手指永远指向正南,这主要是靠安装在车厢里的由五个齿轮组成的控制装置实现的。指南车和指南针的指南机理显然不同,指南针是由于地球磁场的作用,针的一头总是指向南方;而指南车则是利用机械控制的方法,使车上木人在车的运动方向发生改变的情况下也能一直指向南。

在西方,古代也出现过比较简单的自动机。据记载,在公元2世纪的古埃及亚历山大城,希罗发明过用于祭酒的自动装置;他还描述了古希腊的戏院中有过一种能够设置舞台布景、开关戏院门户的自动装置。另外,古罗马人的家庭中安装过一种供水系统,与现代家庭卫生间里普通水箱的水位控制原理相同,都是按照偏差

① 自然科学史研究所编:中国古代科技成就.北京:中国青年出版社,1978.539~543.

进行补偿的反馈控制。

近代西方最具代表性的自动装置是钟表和磨。除了能自动记时的普通钟表之外,能工巧匠们还制造出了五花八门的自鸣钟。磨是一种古老的机械装置,已见之于世界各国。在资本主义发展的初期,磨的动力由人力改进为风力或水力,这一改进带来了如何控制磨盘的转速及粮食的流量以保证磨面质量的问题。军事工程师拉梅里(Ramelly)在1588年出版的著作中就曾记述了一种装在磨上的自动控制装置——震动器。该装置的工作原理是:当磨盘转快时,运送粮食的结合梭也转得快,送进磨口的谷粒增多,使磨的负荷加大,转速逐渐减慢;同理,当转速太慢时,该装置又可使转速逐渐提高。通过循环往复的自动调节,磨的转速能够保持一定的稳定性,从而可以保证面粉的质量。

在近代工业革命中,自动控制装置取得了很大进步。其中,英国工程师瓦特(J. Watt, 1736~1819)在1787年发明的安装在蒸汽机上的离心式调节器,是近代科学技术史上具有重大进步意义的自动装置。在蒸汽机发展的初期,蒸汽机的进汽和出汽都是用手工操作进行控制,劳动强度大,效率低,也难以保证蒸汽机运转的稳定性。瓦特的发明解决了这一问题,使蒸汽机可以在一定范围内保持稳定性。该调节器利用了离心力作用原理,当负荷增加时,转速减慢,离心式调节器的角速度也就减小,摆锤下降,可抬高供汽管上的闸板,使得进汽量增加,蒸汽机的转速相应加快,实现了闭环反馈控制。

进入20世纪,自动控制在各行各业得到了广泛的应用。例如,在1919年,工程师通过控制军舰的摇摆,提高了火炮的命中率;从30年代到40年代,在工业生产中出现了半自动化的流水作业线和车间,使得机器自动化生产成为一种趋势。比较典型的例子是,福特汽车公司的工程师在1946年研制成功了将发动机汽缸送进传动机,然后又从中送出来的自动装置,1947年建成了第一个自动化部门。随着机器、部门、行业自动化的飞速发展,召唤着

一种新理论的诞生。

二 现代系统科学的兴起

寻找能够描述大千世界的统一理论一直是西方科学的目标,正是为了这一目标的实现,西方人在近代选择了分析的道路。但是,进入 20 世纪之后,人们开始采用新的角度、新的办法,这一尝试的成果是系统科学的兴起,最初影响较大的有三个理论,即系统论、控制论和信息论,俗称“老三论”。

(一)一般系统论的产生与发展

一般系统论是 20 世纪 40 年代,由美籍奥地利裔生物学家贝塔朗菲创立的一门新学科。路·冯·贝塔朗菲(Ludwig Von Bertalanffy, 1901~1972)是 20 世纪杰出的思想家之一。他从生物学领域出发,涉猎医学、心理学、行为科学、历史学、哲学等诸多学科,创立了颇具影响的一般系统论。1972 年,法国科学家委员会提名他为诺贝尔奖候选人,可惜在诺贝尔奖评选委员会讨论该提名之前,贝塔朗菲不幸去世。

在生物学界,一直存在着机械论和活力论之间的争论。机械论的研究方法是把生命过程简化为物理和化学过程,用物理和化学机理解释生物的复杂生理现象。而活力论则认为活的生物体内有一种特殊的“活力”在起作用,它支配着整个生命过程。信奉活力论的科学家认为,有机界由超自然力量支配,在有机界和无机界之间存在一条不可逾越的鸿沟。由于机械论和活力论在解释复杂的生命现象时都存在缺陷,一些生物学家和哲学家对两种理论进

① 陈蓉霞.贝塔朗菲:人文系统理论的先驱者.北京:自然辩证法通讯.1995(1).

行了批判,并提出用有机论取代旧理论。

倡导有机论的著名人物是英国数理逻辑学家、哲学家怀特海(Alfred North Whitehead, 1861~1947),他在1925年发表了《科学与近代世界》一书,提出了机体论。在书中,他提出的主要观点是:理解自然现象的终极单位是事件,事物实在的本质是“变”,是一个不断运动和进化的过程。同年,美国学者劳特卡(A. J. Lotkar)发表了《物理生物学》;两年之后,德国人克勒(W. Kohler)发表了《论调解原理》,他们提出了系统论的初步设想,对一般系统论的产生起到了推动作用。

从1924年到1927年间,贝塔朗菲积极投入到了生物学界对机械论和活力论的批判,他多次发表文章,提出了“有机体”的概念,强调生物学研究的出发点是把有机体看成一个整体或系统,并阐述了系统论的基本思想。1932年和1934年又发表了《理论生物学》和《现代发展理论》,提出用数学和模型对生物体进行研究的方法。贝塔朗菲的系统观点主要有以下内容:(1)有机体的整体性;即认为一切有机体都是整体,生物体的各部分离开了整体将不复存在。(2)有机体的开放性;他的开放系统理论指出:任何活的有机体都是与环境发生物质、能量、信息交换的系统,封闭就意味着死亡,要在生物体与环境的相互作用中理解生命现象的本质。具体方法是用微分联立方程组描述开放系统。(3)有机体的层次性;即认为各种有机体的组成是有层次的,从单细胞到多细胞、组织、器官,再到复杂的生物个体。不同层次之间的规律并不相同,生物科学的任务是发现所有层次的活动机理,其中最重要的是整体的活动机理。

在人类历史上,新思想的遭遇往往不是一帆风顺的,系统论也是如此。学术界最初对它的反映既有肯定与赞扬,也有批评与责难。1937年,贝塔朗菲在芝加哥大学哲学讨论会上首次提出了一

① 金立顺,王庆芳.系统科学基础.沈阳:辽宁大学出版社,1990.7.

般系统论的基本思想,但是迫于压力未能发表。1945年,他在《德国哲学周刊》第18期上发表了《关于一般系统论》一文,由于当时大家忙于战事,这篇文章并没有引起人们足够的注意。形势在1947年发生了转机,他通过在美国讲学的机会向人们阐述了研究多年的系统论,使越来越多的人接受了新思想,系统论终于成为公认的新学科。1954年,贝塔朗菲与经济学家保尔丁、生物学家拉波波特、生理学家杰拉德一起发起创办了“一般系统论学会”,出版了一般系统论年鉴,扩大了系统论研究的声势。1968年,贝塔朗菲编著了《一般系统论的基础、发展和应用》一书,全面阐述了系统论的思想和方法。他认为系统论的研究领域包括一般系统论、可定量系统的数学模型、系统技术和系统哲学。

(一般)系统论由于缺乏实用性而处于系统运动的边缘,它未来的发展也受到了来自理论本身的限制。但是,它确立了系统论哲学方法论的地位,对未来的系统运动起到了推波助澜的作用,尤其对中国自80年代开始的系统论研究影响深远。

(二)控制论的产生和发展

控制论是自动控制、电子技术、无线电通信、生物学、数理逻辑、统计力学等学科和技术相互渗透形成的一门综合性学科。1948年,美国数学家诺伯特·维纳(Norbert Wiener)发表了专著《控制论(或关于在动物和机器中控制和通讯的科学)》。这是控制论的奠基性著作,标志着这一新兴学科的诞生。

维纳是一位很注意哲学思考和方法论研究的科学家。他自称对科学方法一直抱有浓厚的兴趣。早在1911至1913年间,他就在哈佛参加过关于科学方法论的研讨班。30到40年代,维纳又参加了一个每月一次的聚餐形式的科学方法讨论班。参加聚餐会的人是从事医学、物理学、数学等方面研究的专家,他们精通自己的专业,对邻近的学科也比较熟悉。他们能够取长补短,讨论一些具有共同性的方法论问题。在这个过程中,维纳越来越深刻地感

觉到,在科学发展过程中,在那些已经建立起来的学科或研究部门之间,存在着一大片被人忽视的无人区,在这些领域可能取得最大收获。正是因为有了这些思考,才使维纳成为控制论的主要贡献者之一。

“二战”期间,维纳参与了自动高射火炮的研制。他注意到火炮的自动机制与人的智能类似,因此该项研制不能不参考生物科学的有关理论。维纳运用类比方法,揭示出人的智能活动和神经系统同技术装置之间存在着一定的相似性,至少就反馈(将系统输出以某种方式送回系统)机制来说是这样。后来经过与聚餐讨论会的领导人罗森勃吕斯(A. Rosenblueth)及另一位成员的讨论与研究,1943年,三人合作写了题为《行为、目的与目的论》的文章,作为哲学与方法论的论文在美国的哲学杂志《科学的哲学》上发表。同年,为了集思广益,维纳和冯·诺意曼发起,在美国普林斯顿召开第一次有关控制论的会议,参加人员有数学家、生理学家和工程师。会议的中心议题是讨论在不同领域表现出来的共同现象,也就是所谓相似性和类比问题。他们认识到,不仅在技术系统中,而且在生物系统中也存在着反馈机制。1946年春天,在纽约又召开了第一次关于反馈问题的会议。会议邀请了一些著名的心理学家、社会学家和人类学家参加。会议的成果是把控制论的基本概念推广到了社会学和心理学领域。从1946年到1947年秋,维纳到墨西哥国立研究所工作了一段时间,为控制论的确立收集了一些新的实验数据。1947年春,维纳在去法国参加数学会议时,途经英国,与图灵讨论了控制论的基本思想,还在剑桥的心理研究室参观了关于有人参与的控制过程中人的因素的研究课题,他感到控制论的建立已经成了世界性的趋势,而不仅是少数几个科学家的事了。

控制论在理论上快速发展的同时,技术上也硕果累累。1946年已研制成功第一台电子计算机,1947年以耳代目的盲人阅读器问世,这是对控制论很有实际意义的技术成果。在此期间还有一

些以控制论为理论基础的自动机器研制成功。英国生理学家艾什比(W. R. Ashby)1984年5月在一次活动中表演了他研制成功的稳态机。他在1952年发表了《大脑设计》,在理论上为控制论、人工智能、脑模型的研究提供了很多重要的观点,在技术方面开始了对模拟智能的自动机器的研究并取得了成果。由于这些工作,艾什比成为控制论的创始人之一。1950年,维纳和艾什比等人借开会之机举办了自动机器比赛。此后各种自动机纷纷问世:1951年,申农设计了迷宫学习自动机;次年,又有人研制了分类自动机;1953年,有人做出了两种自动装置,一个能模拟条件反射,另一个是电子龟。自动机在发展过程中面临的主要理论问题之一是“机器能否思维”?早在1950年,图灵就发表了《机器能思维吗》这篇关于机器思维问题的经典性论文。此后,控制技术在机器人、各种用途的控制器、电子计算机等领域大显身手,尤其是进入20世纪90年代以后,工业机器人得到了广泛的应用,火星机器人的成功登陆显示了这方面的成就;而控制器也有较大发展,模糊控制器在地铁、电梯等系统中的应用大大提高了这些产品的性能;计算机则在1997年进行的人机对弈中首次获胜,从而使人类自己的智力能否在自己的创造物面前始终保持优势成为热点问题。

控制论的发展经历了三个阶段。第一个阶段是古典控制论阶段,这一时期,控制论研究的对象和模型都比较简单,基本上是常变量、常系数微分方程。1960年前后,控制理论开始了从第一阶段的古典控制到第二阶段的现代控制的转变,其重要标志是状态空间法的系统引入。第三个阶段是自适应控制,即70年代后期诞生的模糊控制,这是一种从行为上模拟人的模糊推理和决策过程的一种实用控制方法。随着控制论研究领域的扩大,陆续出现了一些新的分支。1954年,中国学者钱学森发表《工程控制论》,该书成为工程控制论的奠基性著作;1960年,斯坦莱·约里斯兄弟发表了《生命系统控制论》,使控制论家族又增添了新成员。此后的十几年间,人们又提出了经济控制论、社会控制论等新理论。这

表明,控制论研究已经与系统工程、系统科学的研究相互渗透,并深入到了经济、社会领域,控制论概念的普遍性正在自然、社会与思维的各个领域展现出来。

(三)信息论的产生与发展

随着通信技术的发展,人们对传输信息的要求越来越高,怎样提高通信系统传输信息的能力和可靠性,怎样对各种形式的消息中所包含的信息作定量描述,成为迫切需要解决的问题。在理论方面,信息论在前辈科学家那里也得到了一些馈赠,其中主要是物理学的熵理论。物理学家波尔兹曼首次对熵作了微观解释,指出熵是关于一个物理系统分子运动状态的物理量,表征分子运动的混乱程度。他把熵和信息联系起来,认为熵是一个系统失去了的信息的“度量”,这为信息的度量提供了思想启示。1928年,哈特莱(Hartley)发表了《信息传输》一文,首次提出消息是代码、符号,它与信息有区别(消息是信息的载体,消息的形式是多样的、具体的,如各种语言、文字、图像等等,而信息是指包含在各种消息中的可统一度量的抽象量)。此外他还提出用消息出现的概率的对数度量其中包含的信息,从而为申农信息论的建立奠定了基础。到了20世纪40年代,随着雷达、无线电通信、电子计算机、自动控制的相继出现、发展和国家防空系统的需要,许多科学家各自在不同的领域对相关的信息问题进行了大量的研究工作。他们从不同的角度出发,对信息论中的一些概念和理论问题得出了一致的结论。其中,单位信息量的度量公式是由好几个科学家(包括申农、维纳和统计学家费希尔)差不多同时提出来的。可见,信息论的产生有其历史的必然性。

在这三个人中,数学家申农在贝尔实验室工作,他为了解决信息的编码问题、为了提高通信系统的可靠性和效率,需要对信息进行数学处理,这就要求舍弃消息的具体内容(如信息的语义),把信源发出的信息看成一个抽象的量。同时,由于通信过程中的信息

具有随机性,申农就把物理学中使用的数学统计方法移植到通信领域,提出了信息量的概念和信息熵的数学公式。另外,他还首次从理论上阐明了通信的基本问题,提出了通信系统模型,并初步解决了如何编码、译码才能使信源的信息被充分表达,信道的容量被充分利用的问题。1948年,申农发表了《通信的数学理论》,该论文成为信息论的奠基之作。维纳在研究控制论的过程中遇到的一个突出问题是,如何在控制火炮的随动系统中跟踪一个具有机动性的目标。在这一问题中,各种噪声(与跟踪目标位置无关的信息)的瞬时值是随机的,这就要求用概率和统计方法进行研究。从这一思想出发,他建立了“滤波理论”(指从获得的有用信息与干扰中尽可能地滤除干扰,分离出所期望的消息)。维纳还提出了信息量的概念和测量信息量的数学公式,叙述了信息概念形成的思想前提,同时把信息的概念又进一步推广,认为信息不仅是通信领域的研究对象,而且与控制系统有密切联系。他还进一步在更为一般化的层面上阐述了信息概念,提出了关于信息实质的哲学问题。维纳把信息理论推广到了控制论领域,使信息论成为控制论的一个基础理论。统计学家费希尔因为需要估计实验数据内包含的信息,也从古典统计理论的角度研究了信息的度量问题。

信息论在20世纪50年代有较大的发展,而且应用范围不断扩大。1951年,美国无线电工程学会承认了“信息论”这门新学科,成立了信息论学组。信息论的成就给其他学科带来很大希望,各学科都试图用信息的概念与方法解决本学科的一些难题。在50年代,学术界举行了许多有关信息论的重要会议,涉及范围极广,人们尽可能从广泛的意义上解释信息论。但由于存在许多困难,信息论在各方面的应用没有取得人们期望的成就。同一时期,法国旅美物理学家布里渊在继1950年发表了《生命、热力学和控制论》一文后,于1956年又出版了著作《科学与信息》,试图把信息与具体物理过程联系起来,把信息熵与热力学直接联系起来。他成功地建立了信息的物理模型,给出了广义增熵原理,并提出了信

息的“负熵原理”,认为信息与负熵等价。

60年代是对信息论进行消化理解的阶段。美国控制论专家、神经生物学家艾什比在《控制论导论》和《系统与信息》两篇论文中,从系统分析角度研究信息的本质,为信息论研究开辟了重要方向。人们还把信息论分成三种类型:(1)狭义信息论,主要研究消息的信息量、信道容量以及编码问题;(2)一般信息论,研究通信问题,包括噪声理论、信号滤波与预测、调制与信息处理等问题;(3)广义信息论,除了以上内容之外,还包括与信息有关的其他领域,如心理学等。

70年代,由于计算机的广泛应用,通信系统的能力有较大提高,同时,人们对信息重要性的认识更加深刻了,普遍认为信息与材料、能源一样,是世界的基本要素,是促进人类文明的重要力量。到了80年代,信息论的发展已远远超出了申农信息论的范围,人们把早先建立的有关信息的理论与方法,广泛应用于物理学、化学、生物学、心理学、经济学、管理学等学科中,形成了一门研究信息的产生、获取、变换、传输、存储、处理以及认识和利用的信息科学。

在技术方面,作为第四次技术革命的“信息化”始于1976年。信息化是指在全世界组建全球性信息网络,并将它们连成统一的信息空间。从技术的角度看,信息化实质上是计算机化加通信化,为此,美国学者还创造了一个新词——计算机通信(Communication)。“信息化”革命的成果直到90年代才集中体现出来,这就是“信息高速公路”的初步建立,它把人们送入了信息时代。至此,信息科学的影响从国家的信息政策到个人的电脑终端,已渗透到社会的各个层面。

① 何明升.信息化的社会学含义.北京:自然辩证法研究1998(1).30.

三 系统科学思想体系的形成和影响

(一) 系统科学思想体系的形成

在一般系统论、控制论、信息论产生以后,随之又出现了以系统的自组织(系统自发地从无序状态过渡到有序状态)为研究对象的耗散结构理论、突变论、协同学等新的边缘学科,还形成了以应用为直接目的的系统工程,所有这些学科构成了以系统为研究对象的综合性学科群——系统科学。

耗散结构理论是比利时布鲁塞尔学派领导人普里高津创立的,为此他荣获了 1977 年诺贝尔化学奖。布鲁塞尔学派是国际上著名的非平衡统计物理学派之一。这个学派在非平衡统计物理和热力学方面长期坚持研究,使非平衡统计物理形成了科学体系,在应用于化学、生物学等学科时取得了突出成果。耗散结构理论是 1969 年在一次“理论物理与生物学”的国际会议上提出的,该理论的研究对象是开放系统。1865 年,克劳修斯建立了适用于孤立系统的热力学第二定律,引进了一个新概念——熵。从热力学第二定律出发,如果把宇宙看成一个孤立系统,由于不可逆和时间箭头的的作用,它的熵是增加的,这就意味着世界是退化的,它的结局将是“热寂”——一个温度均匀的热的海洋。这在当时无疑引起了不小的恐慌。有人反驳说,宇宙未必是一个孤立系统,所以世界终止于“热寂”的立论站不住脚。这部分地解决了恐慌,但仍然无法解释自然界和人类社会的“秩序性”。耗散结构理论解决了这一难题,该理论指出,一个远离平衡(系统的各种宏观性质在长时间内不发生变化的状态)的开放系统,如力学的、物理的、化学的、生物的、经济的和系统的系统,通过不断地与外界交换物质和能量,在外界条件的变化达到一定阈值时,有可能从无序状态,转变为在时

间上,空间上或功能上有序的状态。自发有序的现象被称为“自组织”,新的有序结构被称为“耗散结构”,耗散结构理论就是研究耗散结构的性质以及它的形成和演变规律的学科。

在世界的运动变化中,非连续的突变现象经常发生。如火山、地震爆发,突发性战争、暴乱,股票的暴涨、暴跌,疫病的突然流行,思想的急剧变化等等,这些突发性事件往往是很难预料和控制的,而它们的影响一般非常重大,人们期望通过研究突变规律,增加对这类现象的认识,减少其不良影响。1972年,法国著名数学家托姆提出了“突变论”,第一次揭示了突变过程的奥秘,使人类对突发性事件的规律有了一定认识,从而有可能对它们进行预测和控制。突变理论是数学的分支学科,它以稳定性理论为基础,重点研究事物的动态过程,根据一定的数学法则,得出运动变化函数图形的性质、运动变化的规律和特点。托姆通过对突变理论的研究发现,事物的各种状态,包括稳定态与非稳定态(在微小扰动因素作用下即可发生状态改变),是相互交错存在的。在外界条件作用下,事物可能处于稳定态,也可能处于非稳定态。状态随着外界因素变化的函数图形分成单值区域和多值区域。在多值区域,一定的外界因素对应于若干个状态,其中既有稳定态,也有非稳定态。因此,状态函数图形可分为稳定区域、非稳定区域,两个区域之间有分界线。当外界因素达到一定数值(临界值),而状态正好处于稳定区域和非稳定区域的分界线(临界曲线),此时即使外界因素基本保持不变,但由于微小扰动不可避免,事物状态仍然会迅速离开临界曲线,变化到新的稳定态,这就是突变。托姆给出了七类突变函数类型及性质,在系统演化的研究中得到了广泛的应用,在化学反应、地震、农业害虫防治等很多领域收到了实效。

协同学是德国理论物理学家赫尔曼·哈肯于1976年首次提出的。哈肯于60年代初从事激光理论研究,成功地解释了激光的许多特征,在解释超导现象时他提出了协同学微观理论。后来,从60年代末到70年代初,哈肯的协同学又转向了生物界。协同学

与耗散结构理论一样,也是研究远离平衡态的开放系统,认为在保证系统与环境之间有物质流、能量流或信息流的情况下,系统能够自发地产生一定的有序结构或功能行为。协同学是在对不同学科的研究中,通过对同类现象的类比找出共同规律。他以信息论、控制论、突变论为基础,吸收了平衡相变理论中序参量的概念和绝热消去法原理,形成了一套独特的模型和处理方法。哈肯的理论很好地说明了物理学和生物学中的一些自组织现象,如激光的形成、细胞的繁殖等,但用它来说明生命现象和社会现象时,很多情况下不能列出方程求解,这时协同学往往采用定性分析的方法。

系统工程是 20 世纪 40 年代产生的,它是管理复杂庞大系统的新型管理技术,是系统科学的应用部分。1940 年,美国贝尔电话公司在研制电话自动交换机时,为了缩短从发明到实用的时间,他们意识到不能像以前那样分散地研制局部设备,必须从整个系统出发,按时间顺序把全部工作分为规划、研究、发展、工程应用和通用工程等五个阶段。应用系统工程方法论,整个项目取得了良好的效果。于是,他们首次提出了系统工程这一学科名称。“二战”期间,为防御德国的空袭,英国使用了雷达,但由于雷达的整体配置问题影响作战效果。为此成立了一个由不同学科的科学家人构成的五人小组,专门研究这一问题,这种研究开启了作战研究或运筹学的先河。由于运筹学在战争期间显示的重要作用,战后被应用到经营管理和其他方面,并逐渐形成一门完整的学科。它的任务就是寻找在一定条件下,求得目标函数最优解的方法和程序。1948 年,美国麻省理工学院开设了第一门运筹学课程。1957 年,美国密歇根大学的两位学者合著了《系统工程学》一书,系统地论述了线性规划、排队论、决策论等运筹学分支,为系统工程初步奠定了基础。1958 年,美国海军为研制“北极星导弹核潜艇”,开发了计划评审技术(PERT),该技术很快在世界范围内推广开来,成为系统工程的重要方法之一。1965 年,美国出版了系统工程手册,基本上概括了这一学科各个方面,使之成为较完整的体系。

我国从 1978 年开始,在著名科学家钱学森的倡导下,开始引进和应用系统工程,系统工程受到了一定的重视。从制定国家的国民经济发展战略,到地区的发展规划,以及具体项目的管理,都取得了不少成果。

构成系统科学的这些新学科从不同的侧面,以不同的方法研究系统的性质与运动状况,进而揭示出系统所具有的某些普适性规律。它们与其他基础学科不同,研究对象的类别要比传统学科高一个层次。它们以系统为研究对象,找到了整体性、控制、信息、突变、自组织等系统共有的特征,为解决现实中的问题提供了新的思想和具体方法。系统科学既塑造了现代人的生活方式,也改变了现代人的思维方式。现在,系统科学的思想与方法在科学研究及经济建设中得到了广泛应用,并取得了丰硕成果,正日新月异地向前发展。

(二)思维方式的新变化

系统科学在以上介绍的各个方向发展的同时,一个新的幼芽也在萌发之中,它就是混沌理论。

动力学研究系统状态随时间变化的规律。这种规律可以用微分(或差分)方程来描述。一旦系统的运动方程建立,系统下一时刻的状态便取决于前一时刻的状态,它们彼此间的关系是确定的。也就是说,只要知道系统的运动方程和初始条件,就可以求出系统的运动轨道,从而也就知道系统在任一时刻的位置(或状态)。1963 年,美国气象学家洛伦兹发表《确定性的非周期流》一文,第一次明确地从确定性方程得到随机性的结果。他的数值天气预报方程是确定的、非线性的,但当初始值出现微小误差时,方程的解却出现非周期性振荡(随机性)。洛伦兹发现的这种随机性不同于一般由外噪声引起的随机性(即外在随机性),它是来自系统内部的,所以称为“内随机性”。混沌学家把确定性系统内部出现的这种随机性叫做混沌。洛伦兹本人将之比喻为“巴西上空的一只蝴蝶”。

蝶扇动一下翅膀,,可能会改变美国得克萨斯州 3 个月以后的气候”。这一现象成为后人熟知的“蝴蝶效应”。该项研究揭开了混沌运动的序幕。1967 年,美国数学家提出了“英国海岸线长度问题”,这是分形几何学建立的前奏。传统几何学是规整的、光滑的图形,它是对自然形态的近似描述,其维数都是整数,如点是零维、线是 1 维。分形几何是研究自然物体形态的几何学,它直接研究未经抽象化和理想化的自然物的形态结构。描述自然物体形态的几何图形是不规整的、粗糙的、不可微的。分形几何的创立者曼德勃罗特于 1975 年用“分形”(fractal)一词表征这类图形的形态特点。分形的一个重要特征是,它的维数一般是非整数的。例如,海岸线的维数是 $1 \sim 1.3$,路面的维数是 2.25 。1971 年,澳大利亚生物学家梅(R. May)在研究种群增长率时又发现,只要大幅度地改变种群系统的非线性参数值,系统就会产生进行准周期运动的混沌现象。后来,美国物理学家费根鲍姆详细地研究了复杂系统的普适行为,提出了复杂系统进入混沌状态的两个普适常数。对混沌现象的研究在 80 年代达到高潮,混沌理论被认为是与相对论和量子力学齐名的物理学第三大理论。由于在有序与无序的研究上存在相似点,协同学与耗散结构理论也被归入混沌研究的行列之中。尽管混沌运动声势颇大,但是关于“什么是混沌”及它的研究内容,并没有形成一个统一的看法。中国科学院院士、物理学家郝柏林将混沌界定为“非周期性的有序”。混沌研究对于自然界事物的运动方式作出了新的揭示,它的“非线性”特征及引人注目的成就促成了酝酿已久的非线性科学的崛起。

“线性”与“非线性”是一对数学名词,“线性”是指两个变量之间具有正比例的关系,它在笛卡儿坐标平面上表示为一条直线;“非线性”是指两个变量之间没有这样的直线关系。非线性科学是研究非线性问题的共性的一门新的交叉学科。一般线性的概念

① 林夏水.非线性科学的哲学问题 北京:哲学研究,1997(12):48.

是与稳定性、确定性、单层次、不变性、整体等于部分叠加等等性质相连;非线性的概念则与不稳定性、随机性、多层次、多变性、整体不等于部分叠加等等相连,也就是与复杂性相连。所以,非线性科学也有一个近似的称呼,即“复杂性科学”或“复杂科学”。

复杂性科学作为一场新科学观念的运动的神经中枢是美国一个名为桑塔费研究所的智囊机构。该所创建于 20 世纪 80 年代中期,它的成员中有不少诺贝尔奖得主。他们认为,21 世纪的科学是“复杂理论”,近年来在神经网络、生态平衡、人工智能和混沌理论等领域所取得的成果已经为复杂理论提供了数学工具。复杂理论的研究对象是“复杂系统”,即有许多因素发生多种相互作用的系统,如生命、经济系统等。

非线性科学具有重要的意义。它标志着人类对自然界的认识已经由线性领域进入非线性领域,对今后的科学发展会产生重大影响。在研究对象的选择上,“复杂系统”涵盖了许多学科的研究对象,而且它更强调“整体”的尺度或与旧理论不同的视角,如海岸线的长度、树木、云朵的形状、苏联的解体、股票的暴涨暴跌、生命起源的“自发性”等等。在学科上,非线性科学打破了生物学、物理学、化学、经济学等学科的界线,使一大批不同学科的科学家的工程师走到了一起,可以说是对学科分离的一次革命。非线性科学最为引人注目之处主要体现在它对传统科学观念的挑战。在对自然现象的认识上,它更新了人们对有序与无序、稳定与不稳定、简单与复杂的理解。传统看法是,简单系统表现出简单行为,复杂系统表现出复杂行为。新理论的研究成果显示,简单系统可以演化出复杂现象,复杂现象也可以归结为简单系统,对于一个系统必须进行整体上的把握,才有可能认清它。在科学方法上,近 300 年来,宇宙中的许多现象都是用线性模型来解释的。线性化方法在以往

① [美]米歇尔·沃尔德罗普.复杂:诞生于混沌与秩序边缘的科学.北京:生活·读书·新知三联书店,1997.4.

的研究中取得了巨大成绩,推动了科学的发展。但是,当社会和科学的进一步发展要求更全面、准确地反映研究对象的时候,就暴露出它的局限性。伽利略在研究单摆运动时,用自己的脉搏测量教堂吊灯摆动的时间,发现摆动的周期与摆幅大小无关。从理论上讲,就是使摆回复到静止位置的力与摆的偏角成正比,即一种线性关系。但是,当提高测量时间的精度后,却发现摆幅越大,摆动的周期越长,这就无法用线性方程来说明了。实际上,自然界的大部分现象都是非线性的,非线性科学认识到了这一点并接受了“复杂”的挑战,对科学方法的转换、科学观念的更新必将起到巨大的推动作用。

第十六章 现代科学技术的发展趋势

当代科学技术的发展日新月异,其规模之大,速度之快,内容之丰富,影响之深远,在历史上都是空前的。现代科学技术的发展有以下几个明显的发展趋势。

一 科学技术研究规模日益扩大

科学技术研究规模越来越大,可以从三个方面看:一是科学技术研究队伍急剧增长;二是国家级和国际研究项目不断增长;三是科研投资的急剧上升。

据联合国教科文组织统计,1800年前后,世界上的科学技术研究人员约1 000人。1896年,全世界科学技术研究人员总共5万多人,其中科学家只有2 000人。到1953年,全世界科学家人数已达40多万人。到了20世纪70年代,全世界从事科学研究和技术开发的人员已突破500万人,仅美国、苏联、英国、法国、日本、联邦德国、意大利7国的科学家总数就超过200万人。从几个主要工业国家1965年至1977年科学家和工程师总数增长来看:日本由117 600人增至272 000人;苏联由521 800人增至1 147 800人;联邦德国由61 000人增至105 500人;美国由494 500人增至571 100人。仅十一二年的时间,日本、苏联增长1倍多,美国增长了20%。美国从1930年到1968年,全国劳动力只增长60%,而工程师增加了四倍半,科学家增长了九倍。科技人才的大量涌现,使科学技术的发展有了可靠的生力军,从而使美国科学技术保持

了领先的地位。苏联的科研人员年年增加,到 1987 年已拥有世界上庞大的科技队伍。这支队伍包括 7 000 个研究所和设计院,400 多个科学生产联合公司,150 万科研及教学人员,为科学技术研究创造了最重要的条件。

国家级和国际级的科学技术研究项目也不断增加。1937 年,希特勒花了 3 亿马克,建立了军事科研中心,创造出 V - 1、V - 2 型火箭;1942 年美国为了制造原子弹,动员了 15 万人,耗资 23 亿美元,动用全国 1/3 的电力搞了一个“曼哈顿”工程计划,至 1945 年 7 月第一颗原子弹试验成功这一计划历时三年;1958 年美国研制“北极星导弹”,组织了全国性协作,该项目八家总包公司、250 家二包公司、9 000 家三包公司,加上研究所、大学一共有 11 000 多个单位;1961 年美国的“阿波罗登月计划”动员了 42 万人,20 000 家公司,120 所大学,投资 200 亿美元,历时 11 年完成,其规模超过了历史上任何一项活动;战后许多国家的宇航研究项目都是国家规模的科学活动。随着科学技术的发展,有些研究项目涉及面比较广,信息量也较大,要完成一项科研题目靠一个国家的单独力量是不够的,必须跨出国界,进行国家之间的联合,于是国际规模的研究形式也就产生了。20 世纪 50 年代建立的欧洲核研究中心,1957 年 7 月至 1958 年年底的 66 个国家进行“国际地球物理年”的科学考察活动,都是典型的国际规模研究活动。如世界气象组织发起的“地球大气第一次全球实验”,就有 100 多个国家和地区参加。美国在 1981 年 4 月 12 日发射成功的航天飞机“哥伦比亚”号就是由 25 个国家提供零部件和地面站工程,因而被称作“空前规模的国际合作成果”。1985 年 7 月 17 日西欧“尤里卡”计划一出台,立即得到西欧大多数国家的热烈响应;同年 11 月 5 日至 6 日西欧 18 国部长在第二次尤里卡会议上,通过了《尤里卡计划宪章》和“第二次部长会议关于尤里卡计划基本原则声明”——西欧高技术合作发展计划,作为实施工作基础,同时还审定了 10 个具体合作项目;1986 年 6 月 30 日在第三次尤里卡会议上,又宣布

了 16 个合作项目。尤里卡计划从提出到确定第二批合作项目,仅用了半年多时间,就建立起一项多国参加的技术合作计划,在西欧国际合作史上是空前的。从 1999 年开始美国巴特尔研究所进行了一系列 10 年预测,在一项研究报告中列出了 10 个 2020 年最具战略意义的技术趋势,即:(1)以遗传学为基础的医疗保健;(2)大功率能源装置;(3)绿色综合技术;(4)无处不在的计算机;(5)纳米机器;(6)个人化公共运输;(7)设计的食品和作物;(8)智能用具;(9)全世界的便宜和安全用水;(10)超官能。这些趋势将决定着未来一个时期的社会发展特征,其研究项目之多是不言而喻的。

增加科研经费,已成为当今世界各国推进科学技术发展,保证国民经济提高的一项基本国策。近几十年来,发达国家科学技术研究经费上升得很快,平均每年增长 15%,比国民经济总产值的增长率 3%~4% 高 3~4 倍,科学技术研究经费一般占国民生产总值的 1%~3%。现代科学技术研究,需要投入大量人力和物力,没有大批资金是不行的。如一座大型现代化风洞的耗电量大约为 20 万千瓦,相当一座中等城市的用电量;一座大型加速器要投资几亿美元。美国为发展半导体,在 1955 年至 1975 年间,共投入了 30 亿美元;为实现阿波罗登月计划,耗资 200 多亿美元。美国为确保科学技术研究的优先发展,对科学技术研究投入了比任何国家都要多的资金。从 1957 年以后的 10 年间,政府的研究经费以每年 15% 的速率递增,据统计,1947 年科学技术研究投资为 21 亿美元,1980 年为 610.8 亿美元,1987 年为 1230 亿美元,1988 年为 1315 亿美元,大约是每隔 7 年翻一番。1975 年日本的科学技术研究经费达 88 亿美元,占国民经济总产值的 2.36%。仅 1979 年全世界科学技术研究投资就超过了 1500 亿美元。科研投资的急剧上升,为科学技术研究的飞跃发展奠定了雄厚的物质基础。

20 世纪 90 年代后期产生的纳米技术,将领导下一场工业革命。科学家们发现,利用纳米结构材料的新特性制成器件或制品

将会引起诸多工业、农业、医疗和社会的重大变革。鉴于纳米技术的重要性,1996年,以美国国家科学基金会为首的十几个政府部门联合出资,委托世界技术评估中心对“纳米结构的科学和技术”的研究开发现状和趋势进行调研。为此,该中心组织了一个8人专家组,调查研究了3年(1996~1998)。除了在美国国内调研外,该专家组还走访了西欧、日本和中国台湾的42个大学、工业公司和国家实验室。调查结果之一是,美国在这方面的投资落后于西欧和日本。1997年,在纳米技术研究方面政府的投入,西欧为1.28亿美元,日本为1.20亿美元,美国为1.16亿美元,其他为0.7亿美元。然后,美国国家科学技术委员会设立了一个“纳米科学、工程和技术”机构工作组,该组在上述调研的基础上,拟订了“国家纳米技术计划”。美国“国家纳米技术计划”初步支持5类活动:纳米科学和工程的长期基础研究;对主要的挑战目标的研究和开发;优秀的研究中心和网络的建立;研究用的基础设施建设;对伦理、法律和社会影响的研究以及对劳动大军的教育和培训。

举世瞩目的美国“星球大战”计划是科学技术研究的规模越来越大的典型事例,这项计划是在80年代初美国、苏联军备竞赛愈演愈烈的背景下出现的,这项被人称为“耗资万亿美元的跨世纪超级工程”是一项以高技术为中心,带动国民经济、科学技术和国防建设全面发展,凭借科学技术优势谋求军事和政治目标的宏大计划。耗资空前巨大,涉及到的技术领域也空前广泛,体现了社会科学、自然科学和军事科学的交叉,多学科、多门类的技术集成,几乎包括了当代所有高技术和前沿科学学科。

二 科学技术呈加速发展趋势

20世纪以来,科学技术呈加速发展趋势,主要表现在两个方面。

(一)科学技术新成果迅速增长

从世界科技成果的统计看,16 世纪自然科学领域有重要价值的发现发明的总数不超过 26 项;17 世纪已有 106 项;18 世纪为 756 项;19 世纪达 546 项;20 世纪前 50 年达 961 项;近 30 年来,人类所取得的科技成果,即科学发现和技术发明的数量,比过去两千年的总和还要多。仅空间技术就出现了 12 000 多种过去不曾有过的新产品、新工艺。曾有人估算,到 1980 年,人类社会获得的科学知识的 90%是第二次世界大战后 30 余年获得的。现代物理学中 90%的知识是 1950 年以后取得的。现在全世界每天发表科技论文 6 000~8 000 篇。发表科技论文的数量每隔一年半就增加 1 倍。据粗略统计,人类的科技知识,19 世纪是每 50 年增加 1 倍,20 世纪中叶是每 10 年增加 1 倍,当前则是每 3 年至 5 年增加 1 倍。现在全世界每年批准的专利数量达 120 多万件。由于科技知识的激增,新学科不断涌现,当今学科总数已达到 6 000 多门。由此看出,科学技术知识量的增长迅速,是时间的指数函数。在这方面,“二战”后兴起的电子计算机科学技术的发展是相当具有代表性的。自 1945 年研制出第一台计算机以来,经历了电子管、半导体、集成电路、大规模和超大规模集成电路几代的发展,其性能提高了 100 万倍。当前,超级计算机最快运算速度已达到万亿次/秒。人们现在又开始研制光学计算机,它的信息处理速度将比电子信息处理速度快 1 000 倍,甚至有人预测快 1 万倍。据国际统计资料表明,当今至少在 6 000 个领域中,使用微电子技术及计算机。机器人的应用,随着机器人的视觉、感觉、听觉及智能的提高与发展,其应用领域日益扩展,从锻造、锻压、焊接、装配等部门,已扩展到核工业、交通运输、建筑、海洋甚至宇航部门,目前已经研制出能识别手稿的机器人,带有多层人工皮肤能产生触觉的机器人等。到了 90 年代,美国在机械装配线上使用的机器人,从 80 年代的 1%提高到 20%。2000 年 6 月,最新一期《科学》杂志报道,美

国西北大学化学系教授英金等人研制成了纳米光刻机,其刻笔笔尖可以“浸”入有机分子池中,刻划出 15 纳米线宽的图形。这项发明被认为是纳米技术研究的重大突破。目前制造半导体芯片的光刻法正面临新的挑战,最先进的光刻设备,仅能达到 130 纳米线宽。但英金发明的光刻机,可以产生比传统的光刻法小几个数量级的微电路。该项研究工作更重要的意义在于,光刻机能成功地用于化学和生物实验的其他分子。斯坦福大学纳米技术专家奎特说,如果将纳米光刻机应用的规模扩大,并使运行速度加快,那将开辟新的前沿技术。科学家们能快速测试化学反应,鉴别出引发疾病的各种病毒,试验它们对药物的灵敏性,这会出现新的疗法或诊断工具。

(二)从科学发现、技术发明到应用的周期越来越短

科学的加速度发展也表现在科学研究从发现、发明到应用推广的周期愈来愈短。科研成果越来越快地转变为直接的生产力。从科技史上看,科学发明到工业化生产的时间不断缩短,从发明到实际应用的时间,蒸汽机花了近 100 年,真空管花了 33 年,晶体管花了 5 年,激光器仅花了 1 年时间,表 16-1 列出了几种科技成果的应用周期,这些统计数据告诉我们,现代科学技术正以指数速率增长。科学技术一日千里的发展,给世界面貌带来了日新月异的变化,同时,新科技成果的老化亦在不断加速。以晶体管为例,1948 年研制成功,60 年代初开始推广,1966 年美国的电子计算机、导弹系统全部使用晶体管,三年后,即 1969 年,晶体管在这些设备上全部由集成电路所取代。据科学家估计,20 世纪 50 年代以来,大约每隔五年就会有一种到几种新技术、新产品发展成熟和被推广应用。20 世纪初新技术、新产品的老化周期约为 40 年,20 世纪 50 年代约为 15 年,20 世纪 70 年代约为 8~9 年,20 世纪 80 年代以后就更短些。以集成电路为例,其集成度大约每两年翻一番。在 20 世纪 50 年代,面积为 0.1 平方英寸的硅片上只能制造

一个电子元件,现在已达百万个以上了。

表 16-1 几种科技成果的应用周期

成果名称	发明到应用	年数	成果名称	发明到应用	年数
蒸汽机	1680~1780	100	飞机	1897~1911	14
电动机	1829~1886	57	电视机	1922~1934	12
电话	1820~1876	56	原子弹	1939~1945	6
无线电	1867~1902	35	晶体管	1948~1953	5
真空管	1882~1915	33	集成电路	1958~1961	3
汽车	1868~1895	27	激光器	1960	1

三 科学技术的高度分化与高度综合

现代科学技术的高度分化和高度综合是科学技术向深度和广度发展的必然结果。通过对 4 000 多门学科的研究对象和研究方法进行分析后发现,在 19 世纪中叶以前,新学科的建立主要是由于学科分化;而在 19 世纪以后,由分化和综合产生的新学科数几乎相等;20 世纪以来,各学科的发展一方面分化得更加精细,另一方面相互渗透,出现高度综合,即科学技术在微观与宏观两个层次上向高度分化和高度综合的方向发展。

学科的高度分化,标志着学科一分为几,其专业化不断向纵深发展。人类对自然界的某一领域或某一方面的本质和规律进行专门研究,得到了比较精细的专门知识,从而在原有的学科中分化出相对独立的学科。如生命科学就分化出:植物学与微生物学学科;动物学与生态学学科;分子生物学、生物物理学与生物医学工程学学科;神经科学与心理学学科;生理学与病理学学科;细胞生物学、发育生物学与遗传学学科;农业科学学科;林业科学、畜牧兽医学、

水产学学科;预防医学与免疫学学科;临床医学基础学科;药物学与药理学学科;中医学与中药学学科,等等;在教育学领域,从教育对象的年龄层次看,就有婴儿教育学、幼儿教育学、学校教育学、成人教育学、老年教育学,等等,此外,还有众多的心理学分支。由于现代科学技术分化得越来越细,专业化的程度越来越高。这反映了人们认识手段的改进和认识领域的扩大。科学理论业已深入到物质世界的不同层次。

科学技术学科在高度分化的同时,出现了高度综合现象。高度综合则标志着学科之间相互交叉、渗透、依赖和交错发展,以及边缘学科的不断涌现。其表现如下:第一,不仅表现在各知识门类内部,各分支学科趋于综合,而且表现在各知识门类之间的相互渗透、相互交叉,形成了跨专业、跨学科界限的综合现象。例如物理与化学相互渗透产生了物理化学、化学物理;物理学与生物学相互渗透产生了生物物理学;研究物质最深层次的粒子物理与研究整个宇宙的学科也融会在一起。第二,不仅表现在科学或技术内部,而且表现在科学同技术之间的交叉和综合。如电脑技术就是数学、信息论、仿生学、半导体技术、电子学等的结合成果。卫星、飞船的发明,也是技术科学和基础科学的综合成就。第三,表现在日益增多的综合性科学。综合性科学以特定的自然界客体为对象,运用多学科理论知识和方法加以综合研究,这类学科出现在自然科学或社会科学领域内。以材料科学为例,按其物理性质就可分为高强度材料、高温材料、超硬材料、导电材料、绝缘材料、磁性材料、透光材料等多种,所以研究材料科学需要物理、化学、结晶学、量子化学、热力学、材料力学、物理化学等多学科知识。在社会科学领域内的管理科学,也涉及到经济学、心理学、社会学、行为科学、公共关系学、决策科学等学科。第四,表现在自然科学和社会科学两大学科之间相互渗透、相互交叉,并通过这种交叉和渗透形成一批边缘学科或综合性学科,如控制论、信息论、系统论、技术经济学、技术美学、数理语言学、行为科学,等等。同时由此产生了两

类特殊学科:一类是软科学技术的崛起。所谓软科学,是借助电子计算机中的软件和硬件来命名的。一般人们把物理、化学、半导体等学科称为硬科学,而把科学技术的发展、社会问题的解决、寻求最佳方案和最优决策的综合研究等称为软科学。软科学是自然科学和社会科学综合化的产物,随着现代科学技术和社会经济的高速发展,软科学愈来愈显示出它的重要性,如战略科学、规划科学、咨询科学、领导科学,等等。同时,在软科学的发展过程中,也产生了一批软技术,如决策技术、预测技术、咨询技术、可行性研究技术,等等。另一类是横断科学的产生。这类科学不是以特定的物质形态和运动形式为研究对象,而是横向伸展到客观现实的一切领域中去,用抽象的方法去研究它们所共有的规律。如信息论、控制论、系统论、耗散结构论、协同论、突变论、未来学等均属横断科学。目前,人们越来越清楚地看到,横断科学所产生的许多特有的途径和科学认识方法,为科学研究综合化提供了新的途径。

在当代科学技术高度综合化发展趋势中,现代科学具有如下的认识特征:

首先是研究的完整性。现代科学的认识正在向自然界微观的各层次和宏观的各层次两个方面延伸,对自然界层次的认识更加清晰,而且对自然界的认识深入到过程的动力学机制及与此联系的结构功能。从层次、过程、结构和功能诸多方面揭示自然界的规律,人类获得了对自然界越来越完整的认识。而任何成熟的科学理论知识本身就转化为进一步研究的方法论。层次理论、过程的动力学理论、结构功能理论正在转化为当代的普遍的科学认识方法。

其次是研究对象的多学科性。采用多种学科的方法研究某一物质客体或某一课题,这是当代科学研究的一大特点,特别是在高科技领域,研究的对象和课题大都具有多学科的特点。组织多学科的联合攻关是高科技研究取得突破性进展的主要形式。综合运用各种科学方法研究某一特定对象,是当代科学发展最有前途的

方向。

再其次是学科间的广泛交叉渗透性。它反映了各门学科之间横向联系越来越紧密。现代科学向横向和纵向两个方向延伸,各门学科不断扩展自己的研究领域,特别是在高科技领域,各门学科的研究需要紧密配合。如计算机科学技术的研究,离不开材料科学的配合。人工智能的研究,必然要向认知科学、心理学、脑科学等领域延伸。当代科学研究具有高度综合性质,必须要学科配套,同步前进,整体突破。当代科学的发展具有综合性课题领先而不是学科领先的新趋势,综合性课题的解决带动了学科的发展。

四 科学技术与生产一体化

19 世纪下半叶以前,科学与技术的联系并不紧密,甚至相互脱节。科学的发展往往落后于技术的发展,以致在理论上还没搞清的东西,在实践中却可以实现它。例如蒸汽机早在 18 世纪下半叶就达到生产实用阶段,而作为其理论根据的热力学理论直到 19 世纪中叶才建立起来。至于科学与生产的关系,脱节就更远了。这种状况从 19 世纪下半叶开始有了变化。进入 20 世纪后,就发生了根本的变化。科学在一般物质生产中的地位和作用大大加强,并且日益成为生产发展的决定因素。科学、技术、生产三者互相联合、互相促进,形成了一个得以提高经济效益的联合体系,具体体现在以下两个方面:

第一,科学和生产的相互影响明显加强。生产的发展为科学研究提供了强大的物质基础,尤其是现代科学更离不开强大、先进的观察手段和实验装备。另一方面,现代科学对生产起着决定性的指导作用。现代的社会化大生产不再仅仅依靠传统的经验,而是在越来越大的程度上依赖于科学。生产过程中的新工艺、新流程、生产的组织和管理往往依靠现代科学。科学水平已经成为衡

量一个国家生产能力和经济潜力的重要标志。

第二,科学和生产的中间环节——技术科学大量出现。技术科学的蓬勃发展开始于 19 世纪末,近几十年来又有了较大发展。例如出现了原子能技术科学、材料技术科学、计算机科学、工程控制论等,加强了科学理论向生产的渗透,促进了各种工程技术的发展,密切了科学与生产的关系。

科学与技术相互接近,发生“共振”,以超导最为典型。超导材料一经发现,发现者就获得了诺贝尔奖金。这在诺贝尔奖金颁发史上是从来没有过的。超导的研究一开始就被认为是科学的探索、理论机制的研究和材料本身的应用以及工艺方面的研究结合在一起的,这就是科学和技术的相互接近。形象地说,是科学、技术和生产结合在一起的。

科学技术超前于生产并对生产起着巨大的促进作用,是当代社会的鲜明特点,是科学技术作为第一生产力的最重要的客观依据。在当代,生产、技术、科学的相互作用机制已经完全逆转过来。科学理论不仅走在技术和生产前面;而且为技术生产的发展开辟了各种可能的途径,形成了科学→技术→生产的发展顺序。比如,先有了量子理论,而后运用量子力学研究固体中电子运动过程,建立了半导体能带模型理论,使半导体技术和电子技术蓬勃发展起来,并促进了电子计算机的发展。又如运用相对论及原子核裂变原理形成和发展了核技术,促进了原子能在军事、航运、发电等方面的应用;运用光量子理论创建了激光技术、建立了激光产业;运用分子生物学、生物化学、微生物学和遗传学等新成就,发展起生物技术,广泛地应用于工业、农业、医药卫生和食品工业等方面,等等。由于现代科学是构成现代技术的知识基础,所以现代技术是密集型技术。现代科学技术的这种强烈的超前性,决定了它的第一生产力地位。20 世纪 80 年代以来,世界经济发展的新情况证实,科学技术已处在“第一生产力”位置上。主要表现在两个方面:

一是产业高次化。从 20 世纪 60 年代到 20 世纪 80 年代是世

界经济腾飞的 20 年,也是社会产业逐渐高次化的 20 年。工业化社会的到来使人类除了继续进行农牧业生产活动以外,主要从事以工业为主的活动,这是第二产业的突起。20 世纪 60 年代以来,高技术产业、研究与设计业、金融保险业、文化教育业、商业与服务行业等第三产业逐渐占有主导地位。产业的高次化标志着科技知识在产业中的密集程度。对一个国家来说,各次产业率也反映着国家的发达程度。一次产业率占优势的国家为农业国;二次产业率占优势的国家为工业国;三次产业率占优势的国家已进入后工业化社会。例如,这三次产业的就业人口,在一些发达国家 20 世纪 70 年代末的比例分别是:美国为 3 : 32 : 65;英国为 3 : 35 : 62;日本为 7 : 37 : 56。可以认为,三次产业所占比重超过 50%,科学技术的贡献超过劳动力和资本,已经成为第一生产力。

二是产品科技含量高密化。20 世纪 80 年代以来,物化在产品、商品中的科技含量达到高度密集的程度。我们可以用产品单位重量价格比来描述科技含量的差别。统计资料表明,20 世纪 50 年代,代表性产品是钢材,每千克不到 1 元。20 世纪 60 年代,代表性产品是汽车、洗衣机和电冰箱,它们每千克的价格分别为 30、60 和 90 元,20 世纪 70 年代,代表性产品是微机,每千克为 1 000 多元,20 世纪 80 年代以来,随着高科技产业的发展,其代表性产品首推软件,到了 20 世纪 90 年代,其代表性产品为网络技术,它们没有什么重量,科技含量却极高。如果再按每千克价格计算,比 20 世纪 70 年代就不是提高 10 倍,而是百倍,千倍,万倍了。

五 科学技术竞争日趋激烈

从经济技术发展的历史看,竞争从来就是一种强大的推动力,以激烈竞争开路的高技术发展,更是一种世界性的大趋势。二次世界大战后,随着科技的发展,引发了工业发达国家之间在国际市

场上的激烈竞争,竞相谋求工业霸权的工业战此起彼伏,连绵不断,科学技术本身也成了竞争的商品。从 20 世纪 60 年代以后,美日、日欧、美欧、西欧各国之间,不断爆发“钢铁战”、“石油战”、“汽车战”、“电视机战”、“计算机战”乃至“货币战”、“关税战”等名目繁多的争夺战,其实质是争夺国际市场,互相转移经济危机,互为对手。当今高技术产业的发展,主要技术来源、重要元器件的供应和销售市场的开拓都是国际性的。而科学技术的迅速发展又通过争夺工艺霸权加剧了这些经济战。美国的“星球大战”计划,苏联和东欧的“东方尤里卡”计划、英国的“阿尔维”计划,以及中国的“高技术研究发展计划纲要”和墨西哥等发展中国家的高技术发展纲要计划,都是全球范围内经济大战中激起的波澜涟漪。对典型高技术项目和重要领域的某些项目,各国竞争得如火如荼,激烈严峻,形成你追我赶、争先恐后的局面。

科学技术竞争,特别是高科技竞争已成为当今世界竞争的制高点,是最高一级的竞争,世界各国各地区都十分关注,并投以极大的人力、物力和财力。

科学技术竞争的激烈化主要表现在国与国之间和企业与企业之间的竞争上。目前的国际科技竞争在美国、日本和西欧之间最为突出。下面例子可以生动地说明当前科技竞争的剧烈化。

美国在当代高技术发展中居于领先地位,但在 20 世纪 80 年代末期,全世界 3 000 亿美元的技术贸易额中,3/4 已被外国人抢去。尤其是日本人咄咄逼人的挑战,对美国已构成直接威胁。有的日本人甚至认为:日本在用于通信的光导纤维、超高速计算机所用的砷化镓存储芯片、数控机床和智能机器人、计算机磁盘机以及磁存储媒体等方面,现在已不能从国外获得什么高技术秘密了,已开始接近现代科技知识的“最高峰”了。但这一论调立即受到日本政界权威的批评,说日本如不努力,很快将会落伍。

从 1987 年掀起的超导技术突破热中,尤可窥见到高技术竞争的热度和态势。被认为 20 世纪最后一项重大技术突破的超导技

术,自 1986 年末到 1987 年中的半年里,全世界蛰伏了半个多世纪的研究局面如火山爆发,首先在中、美、日三国之间展开激烈的角逐,你追我赶,接连推出爆炸性的突破成果,争先报道自己的最新进展。1986 年 12 月 23 日,日本首先宣布研制出 37.5 K 的超导材料;25 日,美国宣布为 40 K;第二天,中国宣布为 48.6 K,并看到 70 K 的超导现象;1987 年 2 月 15 日,美国宣布为 98 K;24 日,中国宣布为 100 K 以上;3 月 9 日,日本宣布 175 K……这一股超导热竞争取得了百舸争流、日新月异的突破。如此鼓舞人心的竞争浪潮,不仅促使人们迅速调整自己对超导研究的战略部署,而且推动着世界各国认真思考高技术的发展对社会生产方式可能产生的各种影响,都在自己所拥有经济实力和科技能力的基础上,相应地调整和动员各种力量,集中优势兵力争夺战略上的主动地位。

日本的高清晰度电视在 1988 年汉城奥运会上一亮相,马上就在全世界引起轰动。在技术暂时落后情况下,欧共体国家赶快从标准和制式方面采取对策,使日本进入欧洲市场的企图受阻。美国则凭其科技基础,用数字高清晰技术回击日本的模拟高清晰度电视技术,这样,日本的高清晰度领先战受到了阻击。

1983 年,美国总统里根提出了战略防御计划,即“星球大战计划”。这项计划很庞大,其直接目标是建立陆基、海基、空基结合的多层次的全面的导弹防御体系,但其研究成果无疑会有助于大大提高美国在航天、通信、微电子、激光、材料等许多学科的技术水平。欧洲的政治家看在眼里,急在心里,于是,法国总统跟着提出了“尤里卡计划”的建议,并很快得到欧洲十几个国家的响应,于是正式实施。为了抵消这两项大计划的影响,日本接着提出了“人类新领域研究计划”的设想,并从 1988 年开始实施,为期 20 年,总投资 1 万亿日元(按当时汇率约合 60 亿美元),美国投资 30 亿美元、为期 15 年的“星球大战计划”与之相比,真可谓小巫见大巫了。

20 世纪 80 年代以来,企业之间的技术竞争也日益激烈化。有本国企业之间的竞争,更有不同国家的企业之间的竞争。施乐

曾经是复印机的代名词,但后来日本理光公司的复印机却十分走俏,施乐公司并不甘心,于是加强研究开发和质量管理,推出新的产品,把丢失的市场夺了回来。世界头号计算机巨头——美国 IBM 公司可以说腹背受敌,在国外,它要应付日本富士通公司在大型机方面的挑战,在国内,它要面对微软、英特尔、惠普等大小公司的进攻。从以上的例子可以看到,竞争已达到正面交火、短兵相接的地步。从目前来看,美国仍然是最强者,但其他各方仍在向它挑战。

根据《1997 年度世界竞争力报告》的统计,中国科技国际综合竞争力综合排名在 46 个国家和地区中居第 20 位,同 1996 年相比提高了 8 位。研究开发(R&D)总资金 34.25 亿美元,位居第 17 位;R&D 经费占 GDP 的比例为 0.49%,居第 33 位;企业 R&D 总开支 19.76 美元,占第 16 位;全国从事 R&D 总人数为 142.78 万,全日约当人工单位(FTE)排名第 1 位。同发达国家相比,中国科技竞争力水平差距十分明显。

六 科学技术发展战略问题倍受重视

随着科技竞争的日趋加剧,科技发展战略的重要性就格外突出了。各国把科技发展战略的制定放在首位也就容易理解了。

美国的科技发展战略。美国政府对现代科学技术的发展始终抓得很紧,美国联邦政府决定着重研究和开发宇航、激光与光导纤维、人工智能电子计算机和空间武器。其核心是“星球大战计划”,又称“战略防御计划”。这既是一个战争计划,更是一个现代科学技术的“火车头”。正因为如此,在美国极力鼓动下,日本和西欧各国对此计划,表示了极大的参与意识。由于这个计划是以防御性的面目出现,而实质是想带动科学技术的整体发展,所以,即使在苏联解体的新形势下,美国也是不会放弃这项科技战略发展计划

的。

除此外,美国还采取了一些其他的举措。(1)美国各个州政府对新技术开发也十分重视。自20世纪70年代末开始,一直把组织和支持科技开发工作放在突出地位。各州政府纷纷成立了新技术开发顾问机构,各州提出的大型开发计划达150多项。(2)为了给新技术的发展扫除障碍,美国政府制定了一系列法律和政策,提供优惠条件,如降低公司利润税率的优惠税法;对新技术产品实行减征或免征所得税等。美国政府为了促进新技术的发展,还放宽了对新技术公司的管理限制,促进各公司联合协作。(3)为了解决教育质量不符合经济发展、不符合普及新技术需要的矛盾,美国政府已把提高教育质量列为今后的一个重要改革目标。例如,1983年,政府曾拨款5 000万美元,用于理工科教师质量的提高,并决定对公司用于培训的开支实行免税。(4)为了在新技术革命中取得优势,加强竞争地位,美国的大公司都在加紧调整经营方向,加强联合协作。例如1981年,几家最大的半导体公司联合成立了“半导体研究公司”,它主要是对半导体尖端技术的研究进行综合指导和协调,组织重大的研究项目,与大学和研究机构签订合同;1983年,又成立了“微电子和计算机技术公司”,它是对风险大的计算机技术和软件技术进行组织和研究,推动新技术向商业化生产的转移。这种联合的发展趋势也日益国际化。

日本的科技发展战略。自1983年3月美国提出“星球大战计划”之后不久,日本政界、科技界权威人士深感只零零碎碎地实现单个高技术领域的突破,已远不能适应形势发展的需要,遂于1984年11月27日,由日本科学技术领域的最高决策机构——科学技术会议,向中曾根首相正式递交了一份咨询研究报告——《关于适应新形势的变化,立足于长期展望的、振兴科学技术的综合基本对策》(简称《基本对策》),明确提出了日本今后10年科学技术发展规划。这份“振兴科技的政策大纲”实际上为日本日后的发展确定了“科技立国”的基本国策,勾画出科技发展战略的蓝图。《基

本对策》提出的战略目标是:在 1985~1995 年期间,要鼓励科学技术创造,重点加强基础研究,增强技术基础,使日本在基础研究方面进入世界先进行列。为实现上述战略目标,《基本国策》提出应采取下列措施。一是增加研究与发展投资。日本在 1985~1988 年间,研究与开发费用投资每年以国民收入 0.2% 的速率递增,达到占国民总收入的 3%;到 1995 年又提高到占国民总收入的 3.5%,这样,日本成为世界上研究与发展投资占国民总收入比例最高的工业化国家。二是加强政府、大学和企业之间的“官企学”三位一体的联系。强化三者之间的研究与合作关系,充分发挥这一大批富于进取的工程技术人员创新精神。为此,要确定相应的政策:首先是对民间企业在税收和金融制度方面给予优惠和灵活自主性;其次是对承担大型科研开发项目的单位,在原料、能源乃至粮食方面确保稳定供应,并大力解决环境保护和安全等社会问题;再次是在国家积累的资金中,有效地支持高科技项目的发展和使用;最后是要充实大学的学院和研究院的年轻研究队伍,给他们创造不同的条件和环境,充分发挥他们的才能。《基本对策》详细列出了 1985~1995 年对日本未来发展具有关键意义的三大部类 96 项包括高技术领域的重大研究课题。除此外,日本于 1986 年 12 月又正式公布了一项称为同“星球大战计划”和“尤里卡计划”相匹敌的日本高技术计划——《人类新领域研究计划》,提出要在生命科学和生物技术方面强化揭示生命现象的机理研究,以求在这个领域取得突破,抢占这一高技术前沿。1996 年日本出台《日本科学技术基本计划》,基于科技基本政策(内阁于 1992 年 4 月 24 日批准)和科学技术基本法(1995 年 11 月 15 日,第 130 号立法),科学技术基本规划旨在建立一个以科技创造力为基础的日本,为科学技术的发展创立全面、系统的政策。这一基本计划是对下一个十年,特别是 1996~2000 年的科技政策的具体化。计划的第一章讨论了促进 R&D 的综合政策,它为 R&D 及其体制和条件的改善提供了方向;第二章根据第一章确定的政策,规定了以后

5 年里要采取的具体措施。

欧洲经济共同体的科技发展战略。“尤里卡计划”是欧共体的“高技术合作宪章”的简称,是典型的国际性高科技发展计划,有法国、英国、联邦德国、比利时、丹麦、荷兰、希腊、爱尔兰、意大利、卢森堡、西班牙、葡萄牙、挪威、瑞典、瑞士、芬兰和奥地利等 18 个国家参加,初步预算为 2 300 亿法郎。尤里卡计划是西欧各国领导人审时度势的重大决策,他们一致认为要扭转西欧在战略上越来越依靠美国、在国际政治舞台上地位日益低落的局面,使欧洲在经济上振兴、在政治上独立、在科技方面同美日抗衡,必须把人力、物力、财力和智力组织起来,协作攻关,共同制定高技术发展计划,这是振兴欧洲的优化选择。尤里卡计划的重点是发展信息、通信、机器人、新材料和生物技术等五大领域,这项计划的落实,不仅能使欧洲在尖端技术方面赶上美国和日本,增强欧洲在世界市场上的竞争力,而且还可确保巩固欧洲在世界政治格局中所获得的地位。由此可见,尤里卡计划既直接关系到欧洲经济与技术的前途和命运,又将对世界经济和政治产生巨大的影响。此外,欧共体制定了《欧洲共同体第 5 个框架计划(1998~2002)》,此计划首先确定了共同体活动的主题与目标的标准,这些标准划分为三大类,即:有关社会目标的标准,有关经济发展和科技前景的标准,有关共同体“附加值”和辅助原则的标准;然后制定了共同体活动大纲。关于科学和技术目标,按照共同体条约第 130 款的规定,第 5 个框架计划由 4 类活动组成:第一类活动包括研究、技术开发和示范计划,第二类活动旨在促进与第三国和国际组织的研究、技术开发和演示合作,第三类活动有关研究、技术开发和示范活动成果的发布与优化,第四类活动是要促进科学家的培训及流动。

“科技进步综合纲要”是以苏联为主、联合东欧“经互会”诸国,以发展电子计算机、机器人、光纤通信、激光、生物工程为主的高技术合作发展战略计划。规定在 5 个领域 32 项任务中全面合作,是苏联和东欧联合开发高技术的一个综合蓝图。

在国际形势的促使下,中国于 1986 年制定了《高技术研究发展计划纲要》(简称“863 计划”),基本内容是以生物技术为核心,包括 7 个领域(生物工程、航天技术、信息技术、激光技术、自动化技术、能源技术和新材料技术)和 15 个主题项目的实施。到 1999 年 12 月 23 日,科技部组织实施的国家重点基础研究发展规划正式出台,这就是众所周知的“973”计划,经过专家顾问组严格的遴选,从 6 个领域 207 个项目中,共遴选出首批 15 个项目实施,这 15 个项目中,涉及农业的有 2 项,能源的有 12 项,信息的有 3 项,资源环境有 3 项,人口与健康 3 项,材料 3 项。“863 计划”、“973”计划为中国高技术及其产业以及基础研究的发展指明了方向,拓展了道路。

七 科学技术管理法制化

在科学技术高度发达的今天,为了创造一个有利于科技发展的和谐的社会环境,必须依靠法制进行科技管理。现代科学技术发展的特点,使管理工作成为一门复杂的科学。所谓管理工作,本身就是一种组织活动;而有管理功能的法令、制度,是发挥组织作用的一种手段。所以,管理与立法之间存在着本质上的联系。管理本身具有权力特性与组织特性,离开了法制,任何措施都将成为一句空话。在现代科学技术管理活动中,利用法律手段、方法和形式进行组织和领导,占有突出的地位与作用。近年来世界上许多国家在科学技术研究管理中正在形成完整的法律控制系统,并逐步加强科学技术管理法制化。

以立法手段促进科学技术的发展并非始于今日。早在 1862 年,美国联邦政府通过莫列尔法案,规定无偿向农业大学提供永久使用的土地。1887 年,政府又通过了哈奇法,规定在享有授予土地的大学中设置农业实验站,既搞农业基础研究,又搞推广技术,

因地制宜,组建发挥各自特点的全 国农业科学网,这在促进美国农业科学研究和提高农业劳动生产率方面都起了很大的作用。今天高度发达的美国农业,不能不就受惠于这一法令所起的巨大作用。

美国国会参众两院通过的《1976 年国家科学技术政策、机构、重点条例》,就是现今美国的科学大法。美国的科学研究体制有一个重要特点,就是“多元化”,其主要研究机构有:联邦政府、民间产业界、高等学校和其他非盈利机构。美国的科学政策主要由联邦政府的执行和立法部门来制定。这些部门有国防部、农业部、商业部、能源部、内务部、卫生教育部以及主要负责科技工作的一些独立机构,如美国国家科学基金会、宇航局和环境保护局等。

日本是一个重视法制建设的国家,科技立法是其中的一个重要内容。日本政府正是依靠法律所特有的指导性、约束性和保障性来干预和指导全国科技工作开展的。据统计,日本有关科技的法规有 200 多个,其中包括:科技行政机关和研究机关的设置法、组织法和定员法;各种科技咨询机构的设置法和组织法,有关科技法人团体的法令和规则;各种科技发展的有关法令(如原子能、宇宙开发、公害对策、灾害对策等);有关技术引进的各种法令;有关专利制度的法令;有关对外科技合作的法令以及发展科技的各种重大措施和政策的法令等等。各种法令比较齐全,它们对日本的科技发展起到了应有的保障作用。例如通过研究机构设置法建立的国立研究所就有不少优点:(1)其建设投资、速度和质量有法律保障;(2)研究所少而精,分工明确,避免了重复性浪费;(3)编制少而精,行政人员少,研究人员多,一般占 70%,工作效率高;(4)经费充足,来源有保证,大型设施各研究所共用,提高了利用率;(5)在课题选择上有较大的自主权;(6)通过共同研究,与社会、经济界保持广泛而密切的有机联系。苏联宪法中也有科学立法的条款,其他诸如专利法、版权法、资源回收法、环境保护法、大气净化法、水质改善法、成果利用法等等,也都属于科学立法的范畴。

改革开放以来,中国相继制定并实施了多项关于科学技术管

理的法规,在法制建设上已取得了一定的成就。1993年7月2日第八届全国人大常委会第二次会议通过并于同年10月10日起实施的《中华人民共和国科学技术进步法》是中国科技进步基本法,它对中国的企业科技进步、农业科技进步、高技术及其产业发展、基础研究和应用研究、科技进步的条件保障、国际科技合作与交流等方面作了规定,为中国科技立法的系统化奠定了基础,为推动中国技术创新的发展提供了基本准则,此外,还从法律层面上确定了科技是第一生产力和科技优先发展的战略地位及相应的方针、政策和原则。

在当代,涉及科学的立法,其内容已十分广泛,除了有宪法这一类法典对科学活动申明给予保护之外,还有其他许多的单项法,如有保护创造发明的专利法,保护著作的著作权法等。如国际条约有《成立世界知识产权组织公约》、《保护工业产权巴黎公约》、《录音制品公约》、《专利合作条约》和《商标国际注册马德里协定》等。特别是进入20世纪70年代以来,科学立法活动更是受到重视,许多国家都已相继制定各种单项法。以科学研究法为例,1974年11月,在联合国教科文组织召开的第18届大会上,首先通过了一项“关于科学研究者地位的决议”。这是作为保护科学技术工作者社会地位的一项国际准则而颁布的。在其影响之下,一些国家相应地制订了各种科学研究法令。如日本学术会议于1976年正式向内阁提出了科学研究法,该法共有16章、26项条款,其内容包括了:科学研究的使命与任务,科学研究体制、研究设施和研究经费等,科学研究者地位,学术研究的国际交流与协作,科学研究者的培养,科学研究的年度报告。围绕这一法令,还制定了许多单项法,如科学研究基金法、文化财产保护法等等。关于技术创新,中国制定了多项有关的法律及其配套法规,其中包括《技术合同法》(1987年11月1日实施,1999年3月15日被合并为《合同法》,于1999年10月1日实施)、《农业技术推广法》(1993年7月2日通过并实施)、《促进科技成果转化法》(1996年10月1日实

施)等法律及其配套法规。

总之,在今天的社会中,科学技术活动无疑已经和全部社会生活结合成一个有机整体。为了保证科学技术的健全发展与造福于人类,不至于造成滥用或不顾对人类社会造成严重影响而错用科学技术,科学技术的全部活动必须纳入相应的法制约束,使它的发展既符合科学技术本身的客观规律,遵循一定的活动程序,又使它能同整个人类社会的发展处于和谐均衡的状态。

编 后 记

近 20 多年来,中国出版界已经出版过一些科技史著作,其中的一部分也被用作了科技史课教材。但形势的发展,对科技史教材提出了新的要求。为适应这种要求,我们开始了编写一本新教材的工作。新编的这本科技史教材主要从以下 5 个方面进行了改进:

1. 科学是个统一的整体,科学的统一性根源于自然界的统一性,我们力图能从整体上把握科学的发展,把握各学科之间的互相影响与联系,尽力避免把科学史写成学科史的拼盘。

2. 注意科学发展的文化与社会背景,努力使科学史发挥整合自然科学与人文科学的作用。

3. 追索科学史上重要发现的历程,能从认识论和方法论上给当代科技工作者以启发,以活跃思想,启迪智慧,这是素质教育的一个重要方面。

4. 科学发展的道路艰难曲折,献身于科学的人都有其精神支柱,本书注意阐发科学家的精神(科学精神和人文精神),发挥科学史的道德教育功能。

5. 注意吸收科学技术与社会(STS)方面的研究成果,使科技史与科学社会学、科技管理、科技发展战略等相关学科更好地结合起来。

本书是集体编写,具体分工如下:

李思孟:绪论,第 2、13 章。

朱清海:第 1 章。

王晓东:第 3 章。

宋子良:第 4、5、6、7、10 章。

成良斌:第 8 章。

张 峰:第 9 章。

万小龙:第 11 章。

殷正坤:第 12 章。

孙肖南:第 14 章。

李晓立:第 15 章。

钟书华、孙肖南:第 16 章。

本书的编写得到华中科技大学人文学院、教务处和出版社的大力支持,谨表谢意。

编者

2000 年 4 月