

世界近代前期 科技史

姚 海 著

中国国际广播出版社

035760

内 容 提 要

从 15 世纪中叶到 17 世纪中叶,伴随着从封建主义向资本主义过渡的深刻社会变革,近代科技在欧洲兴起。在文艺复兴精神的激励下,天文学、地理学、生物学、数学、物理学、化学等各个方面都取得了重大成就,学科体系大致形成,科学研究方法趋于成熟。航海、印刷、矿冶、机械制造等实用技术进步显著,推动了相应学科的发展或为其奠定了基础。本书较为系统地论述了近代科技的产生条件和基本特征,具体描述了各个领域中发生或酝酿的革命性变化以及有关人物的事业和贡献,勾勒出在这个承先启后的转折时期中科技发展的脉络。同时,也介绍了这一时期中国明代科技的进展(中国明代科技部分由戈春源撰写)和中国与西欧的科技交往。

目 录

世界近代前期科技史

一、概 述	1
1. 中世纪的遗产	1
2. 文艺复兴的孕育	7
3. 新科学的诞生	11
4. 中国与欧洲	19
二、探索宇宙——天文学的革命	22
1. 哥白尼以前的宇宙观	22
2. 哥白尼的贡献	27
3. 哥白尼学说的传播和发展	35
三、认识地球——地理学的重建	51
1. 探险和发现	51
2. 地图绘制	71
3. 地理学研究	75
四、研究生命——生物学和医学的飞跃	80
1. 解剖学的变革	80
2. 血液循环的发现	87
3. 医学的转折	92
4. 动物学和植物学的初创	102

五、数学的发展	109
1. 符号代数	109
2. 解析几何	113
3. 微积分的酝酿	115
4. 纳皮尔与对数	117
六、物理学的成就	118
1. 力学	118
2. 光学	128
3. 热学	133
4. 磁学	135
5. 声学	138
七、化学的演变	140
1. 医药化学	140
2. 冶金化学	143
八、技术进步：工业革命的先声	145
1. 活字印刷术的普及	145
2. 采矿和冶炼	147
3. 玻璃制作	150
4. 机械制造	151
5. 火炮的发展	154
九、中国科技的进展	156
1. 天文学	156
2. 地理学	158

一、概 述

1. 中世纪的遗产

6—7 世纪时,古代文明的余辉消失在中世纪的暗夜中。但如果把整个中世纪都视为漫漫长夜,那显然也是不正确的。中世纪的欧洲确实是以生产力的不发达和宗教迷信的盛行为特征的,但在欧洲的某些地方,仍有知识的小草挣扎而出,如意大利的城市还维持着一些世俗学校,实用的知识和技术还占有一席之地。此外,在欧洲学术衰落的时期,在拜占庭帝国,古典时代的知识仍得以保存。这一线光明后来照亮了西方走向文化复兴的道路。

从 11 世纪开始,欧洲农耕技术的早期进步以及手工业和商业的发展,使欧洲封建经济趋于繁荣。人口有了增加,城镇逐渐扩大,劳动分工日益明显,对脑力劳动的需求也越来越大。社会等级更加复杂,社会生活更加多样。尤其是在意大利的城市,随着商品经济的发展,新的价值观念和行为准则开始形成,生活情趣也发生了变化。

中世纪后期,有两个因素对欧洲文化的复兴起了推动作用。11 世纪末开始的十字军东征使欧洲人接触到了东罗马和阿拉

伯文化,并由此而认识了古希腊的文明。许多领主在远征中获得了新知识,并把收集到的书籍带回家乡。而阿拉伯人对西班牙的征服,也有力地促进了由他们加以改造过的古典文化在欧洲的恢复。大批学者携带书籍来到欧洲,给西方世界带来了科学知识。

在 11 世纪时达到鼎盛的阿拉伯科学,对欧洲的影响十分久远。中世纪后期,被阿拉伯人占领的西班牙,是学术和知识的主要传播源之一。许多欧洲人远道来到西班牙,为的是获得知识、了解自然的奥秘。大量阿拉伯的科学著作和古代学者的作品被译成拉丁文,从这里流传到欧洲各地。意大利南部和西西里是传播希腊和阿拉伯学术的又一个中心。由于这里同君士坦丁堡之间有着外交和商业方面的联系,学术和知识的引入也十分活跃。例如,在意大利南部的萨莱诺,人们翻译了大量的医学著作,并对某些专门疾病如泌尿系统病和热病展开了研究。当时人体解剖尚未被人接受,但在萨莱诺已广泛利用猪来研究人体。

欧洲人在漫长的岁月中对古典时代科学知识的繁荣之况已经陌生,他们已失去了许多已经达到的学术水平或曾经取得过的科技成就。所以,中世纪后期阿拉伯科学以及由阿拉伯人或拜占庭帝国的臣民保留和注释的古典学术在欧洲的传播,不仅使欧洲人获得了大量的知识信息,了解了不少研究方法,而且也使欧洲人开始以更加现实的眼光来观察和看待物质世界。除此之外,当欧洲人突然发现他们的历史上曾经有过一个辉煌时期的时候,对知识的渴望和追求便不可遏制地发展起来。

贵族们开始对文化艺术发生兴趣。修道院和教堂的图书室,逐渐被古代著作的手抄本所充实。拉丁文的古典名著受到普遍的欢迎。许多国家和城市都出现了撰写编年史热潮。

在人口稠密的地方,教育也日益受到重视。在修道院和教堂之外,出现了非宗教的文化和知识中心,办起了世俗的学校。教师成为城市居民经常的话题,对他们的需求也日益增长。希望接受教育的人越来越多,因为这是找到一个体面的职业或满足求知欲望的重要途径。

由学者自行组织教学的形式十分流行。在科学和学术还处于起步阶段时,教师个人的水平和能力,对于成功的教学具有决定性的影响。有名望的教师能够吸引很多学生,所以,经常有学者在修道院或其他地方公开招生,讲授课程。

从12世纪开始,欧洲相继出现了一些大学,如意大利的博洛尼亚大学、萨莱诺大学、法国的巴黎大学、英国的牛津和剑桥大学。13—14世纪,意大利的大学很有生气,这在很大程度上是由于财富的增加使得有计划地发展教育成为可能。据说,博洛尼亚有时将其国库收入的一半用于大学。建于1321年的佛罗伦萨大学也颇有名气,该市为市民就学提供了良好条件。初时,意大利的大学只开设宗教法、民法、医学这三种课程,后来逐渐增设了修辞学、哲学和天文学。黑死病的流行曾暂时影响了大学教育,但瘟疫过后,各大学普遍地恢复重建。

在大学之外,意大利几乎每个城市都有拉丁文学校。这种学校一般由市政当局举办或私人创办,其教学目标是使学生获得拉丁文知识,学习读、写、算,为接受大学教育作准备。

在印刷术尚未在欧洲推广普及的情况下,知识的传播在很大程度上是通过口授而非阅读。因此,大学和学校对于学术的进步和观念的变化所起的作用是不可替代的。尤其是大学,培养了人才,发展了知识,为近代科学的兴起作了准备。

在中世纪文化水准衰退的情况下,修道院和教堂曾起了文

化的避难所和主要的知识中心的作用。在 12—14 世纪,它们对于文化和知识的发展,仍起着不小的作用。确有许多修士为发现和传播已被湮没的古代文明,作出了艰苦的努力。巴思的阿德拉德就是一个典型。他认为,科学知识应当高于世俗的情感、财富、权力和享乐。他曾翻译了阿拉伯的天文学图表,从阿拉伯文翻译了欧几里德的《几何学原理》。他还写过一本名为《自然问题》的书,以阿拉伯科学为基础论述了有关人的本质、气象学、植物学和动物学。阿德拉德善于观察和思考,例如,他详细记录了他在叙利亚旅行时经历的一次地震;他将一个容器顶部的口用塞子塞住,在容器底部钻了一些小孔,发现只有将塞子拔掉后水才会从小孔中滴出。他的不少观点后来都被科学的发展所证实,如关于宇宙的连续性和物质不灭的思想、关于地心引力的思想等。他还认为,科学研究必须使用一定的工具和手段,而不能单凭感觉。他提出,不能迷信权威,而应借助于理性的力量。阿德拉德的工作和思想,对罗杰·培根产生了明显的影响,对于崇尚科学之风的形成起了促进作用。

约在 13 世纪初,亚里士多德的全集被发现并译成了拉丁文。这一事件导致了欧洲思想和学术的重大变化。亚里士多德为中世纪的人们展开了一个新的世界,他的知识领域比当时所知的范围要宽广得多,他的思想显示出理性的色彩。

随着亚里士多德学说的复兴,经院哲学受到了严重挑战。13 世纪著名的神学家、科隆的大阿尔伯特(约 1200—1280 年),是主张把对自然界的研究作为一门合法学科的首倡者。他注释了全部拉丁文本的亚里士多德的著作,并把亚里士多德同阿拉伯和犹太学术的要素结合起来,组成了一个包括天文、地理、植物、动物、医学等部分的知识体系。他认为,存在着两种知识,一种是

从启示和信仰而来的知识,另一种是哲学的和科学的知识,二者并不是对立的,一切真理都可以相互协调,联成一体。

大阿尔伯特的学生托马斯·阿奎那(1224/1225—1274年)则努力把信仰和理性、圣经和亚里士多德的学说结合起来。他认为,神学家从研究自然中能够得到的益处难以预见,但一般来说,信仰须以关于自然的知识作为前提,而错误则往往使人偏离信仰的真理。他对当时神圣的和世俗的知识加以理性的解释,从而使人感到宇宙是可以理解的,并产生对知识的兴趣。

无可否认,经院哲学的这些变化,在相当程度上增强了已经萌生的理性因素,促进了人们对自然的研究。

但经院哲学在总体上主张理性和信仰的一致,将古典学术著作中的自然知识与基督教教义混在一起,以神学观念解释自然现象和自然过程,并把亚里士多德、托勒密、盖伦等古代学者的学说神学化、凝固化。例如,亚里士多德的学说虽然比当时已有的知识更加科学,但其中也有不少谬误。而所有这些都被奉为权威。这样,当它与文艺复兴时代的新知识发生抵触时,就成了妨碍科学从神学桎梏下解放出来的因素。

正因如此,13世纪也出现了罗杰·培根(约1214—约1292年)这样出自经院哲学而又对其进行批判的人物。

罗杰·培根是英国方济各会修士,也是哲学家和科学家。他早年就读于牛津大学,学过几何、算术、音乐、天文这4门高等学科,博览古典著作,对亚里士多德尤有兴趣。但他并不仅仅满足于接受有关自然知识的事实和推论,而认为应该通过观察和实验去证明前人的说法。

约从1247年开始,他的兴趣和智力方向发生较大变化,热衷于科学实验。在约10年的时间里,他在语言学、光学、炼金术、

天文学和数学方面作了广泛的研究并取得了不少成果。后来，他又写了多种学术著作。他在科学方法论方面也作出了贡献，首先提出了科学实验的思想，强调只有实验方法才能给科学以确实性，认为真理来自于实验。这种心理和精神上的革命性改变，使培根成了近代西方实验科学的先驱。当然，他也不可能完全摆脱时代造成的局限，不可能完全摆脱中世纪的心理习惯。

罗杰·培根对经院哲学的冲击只是开端。14世纪上半期最有影响的经院哲学家威廉·奥康姆(约1285—1349年)公开否认神学教义可用理性证明，指出许多教义是不合理的。他是晚期经院哲学中唯名论的创立者。这一理论重视直接感观知觉的对象，从而否定了抽象观念的信仰而促进了观察、实验、和归纳研究。这种新思想尽管遭到教会的反对和禁止，仍不可遏制地传播开来。由奥康姆而始，哲学与神学不再是经院哲学所追求的那样融为一体的了，哲学的探讨不再一定要达到神学的预定结论了。

由于生产的发展、文化交流的扩大和学术的复兴，中世纪后期欧洲的科学知识和技术有了一系列进展。虽然从现代的眼光来看，这些进步似乎是微不足道的，但这终究是社会发展的重要标志，也使西方文明获得了新的推动力量。中世纪的迷信、巫术等等固然依旧阻碍着科学技术的发展，但探究自然奥秘，从观察和实验中获得结论的倾向也在加强。

概括地说，在中世纪的最后几个世纪中，欧洲已经积累了形成近代科学所必需的精神和经验方面的准备。这数百年的文化遗产，对于近代科学的开创者来说，是他们的事业和成就的历史基础。在中世纪的晚期，新时代的曙光已经依稀可见。

2. 文艺复兴的孕育

14 世纪,开始了对西方文明乃至人类历史具有重要意义的文艺复兴时代。它标志着世界历史从中世纪向近代的过渡,也孕育了近代科学。

文艺复兴发端于意大利,因为在意大利城市中最先出现了新的资本主义的萌芽。组织成手工业行会或商业同业公会的工商民,逐渐形成了对生活的新态度;城市下层劳动居民,也产生了对公平合理的生活的幻想。中世纪市民的自我意识开始成长,出现了反对宗教禁欲主义和教条主义、主张积极入世的思想观念。

意大利城市生活的发达,是文艺复兴的良好土壤。在许多其他欧洲国家,贵族一般都住在乡间庄园,管理自己的领地,而意大利的上层阶级大多在城里拥有住宅,且大部分时间在城里度过。在当时交通极为不便的情况下,这种居住习惯对文化发展具有很大影响,因为人们分散地居住于乡间,较少有机会交流思想,发展智力,促进创造,而意大利有闲阶级的城居生活,在特定时期和特定条件下为新文化的形成创造了理想环境。

古代希腊罗马文化在欧洲的逐渐恢复,使布满古代文化遗迹的意大利特别容易地出现了研究和接受这个文化的热潮。灿烂的古代文学、艺术和科学令人惊讶,中世纪的现实黯然失色。人们开始改变传统的思维方式,去研究和探讨各种问题。

正是在这一背景之下,人文主义思潮悄然而起。这是一种认为人和人的价值具有首要意义的思想态度和价值观念,也是文艺复兴的主题。

人文主义者从古代文化的表象之下发现了自由探讨的精神，并力图改造这种文化以适应现实的需要。他们致力于使古代灿烂的文化重新被人们所认识，使世俗的知识为人们所重视。通过对古典学术著作的研究，人文主义者加强了对天主教会和经院哲学的攻击。他们的工作表明，有些历来为天主教会所尊奉的信条原来是基于错误的翻译；有些被教廷用来作为其统治权依据的文件都是由天主教会伪造的。他们认为，主宰世界的不是神而是人，人生的目的不是来世的幸福而是现世的享受，人的自然欲望不是须要压制的罪恶而是应得到满足的正当要求。这种新的世界观的传播，逐渐瓦解了禁锢人们思想的枷锁，导致了精神解放的过程。

正是由此开始，迷信、偏见、僵化和无知在社会上遭到鄙视，而崇尚知识和学问的风气迅速发展。到15世纪初，意大利不少城市的居民已把学习古典文化作为重要的人生目的；许多贵族、君主和教皇也热衷于充当著名人文主义者的保护人，鼓励科学和教育事业。

在古典文化的熏陶下，在摆脱了思想的束缚之后，意大利人把自己的精力转向外部世界的发现。他们对自己生活于其中的自然界产生了强烈的兴趣，无数的问题和奥秘促使他们去研究和观察周围的事物。从中世纪后期到近代初期，意大利人一直是发现未知世界的先锋。早在13世纪，威尼斯的马可·波罗就越过千山万水到了中国，并把这个具有悠久历史和灿烂文明的国家介绍给西方。在这个世纪，热那亚人找到了加那利群岛，并最先试图寻找通往东方的海路。欧洲最早的植物园的出现，也反映了意大利人对自然界的广泛兴趣。不少君主和显贵在建筑他们的宫室宅邸时，营造了收集各种植物的花园，例如，15世纪美迪

奇家族的加里吉别墅庭园,就是一个有无数花草树木的植物园。收罗各种外国动物,同样包含有观察的目的。15世纪时,动物园已成为宫廷不可缺少的设施。统治曼图亚的贡查加王朝,早就建立了欧洲最早的育马场,在这里为培育良种马而进行了各种试验。就是由此开始,科学的植物学和动物学逐渐建立了自己的基础。

在文艺复兴精神的熏陶下,涌现出了一大批卓越的学者,他们开始了创立新的科学基础的过程,这个基础就是以从自然界而来的归纳取代亚里士多德的演绎。

达·芬奇(1452—1519年)是时代造就的众多优秀人物的杰出代表,在他身上集中体现了文艺复兴的精神。这是一个多才多艺、学识渊博的文化巨匠,人类历史上罕见的全面发展的伟人。作为艺术家,达·芬奇流传后世的作品虽然不多,但它们的价值是难以估量的。《最后的晚餐》、《蒙娜丽莎》、《岩下圣母》、《安加利之战》等都是世界艺术史上的不朽名作。达·芬奇具有观察自然、接近自然的非凡能力。为了艺术的需要,他不顾传统的压力,亲自进行尸体解剖,以精确地了解和掌握人体构造。作为科学家,达·芬奇孜孜不倦地探索和研究自然的秘密。他深邃的哲理思想和极强的逻辑思维能力,使他在几乎所有的科学领域都走在前面。在解剖学的基础上,他研究了血液运动的问题,认为血液的运行就如同自然界中水的循环一样,他观察了心脏的构造,画出了心脏的瓣膜图;他制作了一个眼睛视觉部分的模型,用以说明图像在视网膜上的形成,否定了当时流行的关于眼睛发出的光线落在它所要看的物体上的说法;他研究了光学,探讨了透视和光线的问题;他已认识到惯性原理,认为凡是感官可以觉察的东西都不能自己运动,“每一物体在其运动的方向上都

有一个重量”，并且提出落体的速度随时间而增加；在天文学和地理学方面，他也提出了与被普遍接受的看法不同的观点，如把天体看作是一架按确定法则运行的机器，认为地球不在宇宙的中心，指出内陆高山上发现的海洋生物化石是由于地壳运动山岳升高的缘故。作为建筑师和工程师，达·芬奇也取得了许多成就。他在大地测量、城市规划、地形图绘制等方面做了不少开创性的工作；在设计制作各种实用的机械装置过程中，他深入研究了与此有关的力学问题。根据不可能有永恒运动作为动力来源的认识，他用虚速度的方法证明了杠杆定律。他认为杠杆是最基本的机械，其他机械都只是杠杆的变化和复杂化的结果；在探索清除港口淤泥和提升水的办法时，他研究了诸如水通过孔的射流、沟道中的水流、波浪在水面的传播等一系列问题。

达·芬奇在科学方法论方面，也走在时代的前列。他并不轻信、盲从古代作家的论述，而是把它作为研究的起点，强调对自然界的观察和实验是科学的唯一方法，认为“科学如果不是从实验中产生并以一种清晰的实验结束，便是毫无用处的、充满谬误的，因为实验乃是确实性之母。”在精神上，达·芬奇差不多已经完全摆脱了神学的影响，在思考问题的时候不受神学教条的束缚。他虽然接受基督教的基本教义，但也尖锐批评天主教会的腐败和黑暗。在科学思想上，他显然比罗杰·培根更进了一步，后者虽然也主张通过实验获得知识，但仍把神学视为一切知识的归宿。

达·芬奇所具备的前所未有的科学精神和在科学技术各个方面作出的发现和发明，使他可以当之无愧地被认为是伟大的科学家。但令人遗憾的是，他在这方面的成就在当时未能产生广泛影响，因为他的笔记未经整理，没有发表。如果不是这样的话，

近代之初科学的巨大进展也许会到来得更早些。

概括地说,文艺复兴在很大程度上打破了科学发展的外部障碍,思想的解放为近代科学的诞生开辟了道路。

近代科学产生的又一条件是社会经济方面的深刻变革,而文艺复兴对这一变革也起了推动作用。由文艺复兴激发起来的探索未知世界的热情,促进了对历史进程具有重大影响的远航探险;新航路的开辟和地理大发现,又加快了欧洲财富的增长和经济的进步。马克思、恩格斯曾经指出:“美洲的发现、绕过非洲的航行,给新兴的资产阶级开辟了新的活动场所。东印度和中国的市场、美洲的殖民化、对殖民地的贸易、交换手段和一般的商品的增加,使商业、航海业和工业空前高涨,因而使正在崩溃的封建社会内部的革命因素迅速发展。”^①在这种经济上的进步之后,相继而来的是技术的进步和科学的进步,例如,远洋贸易引起了对造船技术、仪器制造技术的需求,用于导航的天文学也更加受到重视;生产的扩大促进了机械制造技术的发展,并促使人们研究力学问题;而采矿冶金业的兴起则对地学和化学的发展起了促进作用。

远航探险和地理大发现本身也是科学史上具有划时代意义的事件,它体现了新的研究精神,直接促进了人们对地球、对新的动物和植物、对新的人类社会组织形式的认识。

3. 新科学的诞生

15 世纪中叶到 17 世纪中叶,近代科学以崭新的面貌诞生

^① 《马克思恩格斯选集》第 1 卷,人民出版社 1972 年版,第 252 页。

于欧洲。除了在各个科学领域中都取得了重大突破或长足进步之外,新科学还具有一些鲜明的特征。

在这个时期,科学与技术开始紧密地结合起来。

以前,哲学家(那时通称从事脑力劳动的人)与实践者基本上是分离的。前者专注于思索真理而对日常生活中的问题了解甚少;后者则通过观察和试验逐渐地改进技术,但并不关心探究其原理。而且,有学识的人往往总是鄙薄直接操作者的,对体力劳动的偏见向来就是妨碍学术与实践结合的思想障碍。中世纪的经院哲学家把用脑的工作和创造视为“自由”的艺术,而把用手工改变物质形态的工作和创造称作“奴隶”的艺术。甚至在医学界,要动手的外科医生也比内科医生低一等,通常由理发师充任。因此,在研究者和操作者之间存在着很大的隔阂。但在文艺复兴时代,学者对实践的轻视开始得到扭转,科学与技术二者的关系趋于紧密。从事实际操作的工匠的地位有所提高,他们的工作和创造受到学者的尊重。而学者们所发现的古代科学和技术的种种事实以及对这些事实所作的研究和发展,也为实际操作者提供了新的可能性。许多学者一反传统,亲自从事实际工作,从实践中发现和研究问题,并由此而作出了不少重大发现,如维萨留斯、哈维等都是这样。至于伽利略,更是一个集哲学家、技师和手工工匠于一身的新型科学家。科学知识对于实际操作者,也有了日显重要的意义,如地图绘制者需要地理和数学知识,航海者需要天文知识和测定方位的计算手段,技师和工程师需要更多的物理知识等等。这两条途径的缓慢融合,既促进了近代科学的形成,也是其重要特征之一。

使科学与技术实现结合的重要外部条件是近代前期一系列新的生产部门的产生以及人们对未知世界探索的扩大和深入。