

本卷提要

清代科技史上起清顺治元年(1644年),下迄清宣统三年(1911年),总计268年。

清代科技史主要包括:工业与建筑技术、农业与水利、天文学、数学、地学、医学、物理学、化学及生物学诸领域的成就,贡献突出的科学家的事迹;科技发展缓慢、落后的表现;经济、政治、思想、文化及教育等诸因素对科技发展与不发展的影响;科技在清代经济发展、反帝反封建斗争、民国与新中国科技事业,以及世界科技发展中的地位与作用。

清代科技史以鸦片战争为分段线,跨越古、近两个时代,承前启后,继往开来。传统科技发展到空前的高度。西方科技引进范围之广,程度之深,成就之大,为古来历代所不及。科研机构数量之大,形式之多,普及之广,远远超过清之前历代。科技发展的动力方面,外国资本主义的侵入起到促进和阻碍双重作用,而中国资本主义近代经济和人民反帝反封建斗争则起到巨大推动作用。

目 录

中国清代科技史

一、清代科技概述	1
二、工业与建筑技术	18
(一)清前期、中期的工业技术	18
1. 矿冶、铸造及军火	18
2. 制瓷	21
3. 纺织、造船	23
4. 伐木、造纸、印刷	25
5. 井盐技术	27
(二)晚清近代工业技术	29
1. 造船	29
2. 机器制造	39
3. 枪炮弹药生产	40
4. 采矿与冶炼	44
5. 缫丝、纺织及榨油等	49
6. 电力、电讯及城市公用事业	52
7. 铁路建设与詹天佑的贡献	55
8. 轮船的应用	58
(三)建筑技术	61
1. 清前期、中期的建筑	61
2. 晚清的建筑	65
三、农业与水利科技	67

(一)农业科技	67
1. 农业生产工具	67
2. 土地利用与改良	68
3. 耕作栽培	68
4. 新作物的引进	70
5. 农作物选种育种	70
6. 肥料改进	71
7. 园艺	72
8. 病虫害防治	72
9. 畜牧兽医	73
10. 植茶与蚕桑	75
11. 近代农业科技的引进	76
(二)水利科技	82
1. 靳辅、陈潢对黄河、运河的整治	82
2. 黄河灌溉工程与畿辅水利	86
3. 新疆水利	87
4. 北方井灌与利用山泉	87
5. 南方筑海塘与引山泉	88
6. 近代水利技术的应用	90
四、天文学	91
(一)欧洲天文学的有限传播	91
1. 《时宪历》的颁行	91
2. 《历象考成后编》与《坤輿全图》	92
3. 先进天文仪器的引进与介绍	94
(二)国人对中西天文学的研究	95
1. 薛凤祚的贡献	95
2. 王锡阐的建树	96
3. 梅文鼎的成就	99
4. 阮元、李锐等人的研究	101

(三)晚清天文学的发展	103
1. 近代天文学在中国的传播	103
2. 天文事业	106
五、数 学	107
(一)西方数学的传入与国人的研究	107
1. 对数方法的介绍	107
2. 梅文鼎的功绩	108
3. 编撰《数理精蕴》	109
4. 梅穀成及其《赤水遗珍》	110
5. 年希尧的建树	110
6. 明安图的成果	112
7. 董祐诚、项名达及戴煦的贡献	113
8. 数学仪器的引进与改进	115
(二)传统数学的挖掘与研究	116
1. 古算书的收集	116
2. 古算的整理与研究	117
(三)晚清近代数学的产生与发展	120
1. 李善兰的突出贡献	120
2. 华蘅芳的成就	125
3. 其他渠道对近代数学的传播	128
六、地 学	130
(一)清前期、中期地学的发展	130
1. 西方地图和地学知识的传入	130
2. 游记式地理著作	133
3. 水文地理、边疆地理著作	134
4. 传统地方志	138
5. 矿产文献	139
(二)晚清近代地学的发展	140

1. 对世界地理与边疆地理的研究	140
2. 西方地学知识的传入	148
3. 中国近代地图学、地质学的诞生	153
4. 考据派对历史地理的研究	155
七、医 学	158
(一) 传统医学的新发展	158
1. 本草著作	158
2. 医方、医案与医史	162
3. 《内经》、《伤寒论》和《金匱要略》的研究	163
4. 温病学说	165
5. 诊断学	167
6. 专科医术	167
7. 解剖学	170
8. 少数民族医学	172
(二) 西方医学的传入及发展	172
1. 鸦片战争前的有限传入	172
2. 鸦片战争后西方医学的传播	174
八、物理学	179
(一) 近代西方物理学的传入	179
(二) 物理学家的成就	182
九、化 学	184
(一) 西方近代化学的传入	184
1. 西方近代化学的建立	184
2. 近代化学的传入	185
(二) 几位化学家	187
1. 近代化学先驱徐寿	187
2. 杜亚泉的贡献	191
3. 徐建寅的建树	193
4. 蹊径独辟的丁守存	194

一、清代科技概述

如果把中国科技发展史比作一只航船,那么当我们翻开它几千年的航行日志时,就会发现,顺治元年至宣统三年(1644年至1911年)这268年的航程是如此艰难曲折。鸦片战争前,水浅风弱,驶速迟缓;驶出中世纪的港湾后,它虽然易桅换桨,可又面对着险恶风云和那般多激流险滩。

历史总要向前发展。鸦片战争爆发前,清代科技较之明代又有某些进步。

明末开始的西学东渐,于清初又持续了一段时间。当时领先于世人的欧洲科技,在中国得到有限传播。

人类社会发展总是不平衡的。创造了人类璀璨科技文明的中国,却自明代中后期起失却了长期保持的世界科技领域的领先地位。欧洲大陆一场文艺复兴运动,如风暴猛烈冲击着黑暗中世纪束缚人类理性的樊篱。羽翼渐丰的西欧资产阶级需要海外市场,殖民主义的野心随着资本增殖而急速膨胀。以武力征服中国,殖民主义者自感力有不逮,只有以宗教潜移默化中国人的精神才是可取之途。不管明末来华传教士主观动机怎样,教会赋予他们的使命的确如此。传教士有文化,懂科技,更容易取得人们的信任与好感。于是,先进的科技就随着传教士的西来而东渐。清王朝确立对全国统治后,于顺治、康熙年间(1644—1720年)

注意发挥传教士传播科技的优势,从而使明末开始的西学东渐幸而没有中断。

西洋历法首次在中国采用。明代历法,使用年久,误差很大。明末两次日食,均未测准。崇祯皇帝命以西法修改《大统历》。殆及修成,明朝覆亡,未及颁行。清初传教士汤若望受顺治之命再作整理,清廷以《时宪历》之名颁行全国。

西方科技理论进一步传入。开普勒关于行星运转椭圆形轨道的观点、牛顿计算地球和太阳、月亮距离的方法、哥白尼日心说等天文知识先后传入。《御制数理精蕴》这本百科全书式的西方数学书籍得以编成。物理、化学、地学、医学等科技知识也都不同程度地传到中国。

西学的传入,直接推动了中国科技的某些领域的发展。康熙皇帝组织传教士和国人绘成堪称世界一流水准的《皇舆全图》。梅文鼎、王锡阐等才华横溢的数学家、天文学家深入开拓,成就卓然。

即便那些没有受到西学直接影响的领域,由于科学家辛勤耕耘和浇灌,科技之树也是果满枝头。叶天士等人发展、完善温病学说,王清任写出解剖学专著《医林改错》。各类农书、医书数量之大,内容之广,为史所未有。

手工业技术、水利工程建设等方面也有建树。制瓷工艺巧夺天工,达到空前的水平。靳辅、陈潢又把治理黄河的理论和实践提高到新水平。

社会经济的恢复和发展,是此期取得科技进步的决定性条件。明中叶后,小农经济日遭破坏,封建土地兼并愈演愈烈。田赋、徭役及说不清的各种加派,更是雪上加霜。明王朝葬身于农民起义的火海之中,清朝统治者心有余悸。这生动而血腥的一

课,迫使清统治者适当考虑农民利益,调整与农民的关系。许多有助于恢复和发展农业经济的措施,正是在这种历史背景下于顺治、康熙年间推出前台。

开垦荒地所有权受到承认,更明朝藩田为民地。于是自耕农数量大增。康熙年间时免钱粮,或全国普免或各省分批轮免。若遇灾年,更是例行“蠲免”。治黄河修水利工作更受重视。赋税制度改革最为有力。康熙实行“圣世滋丁,永不加赋”,雍正又有丁银入地赋,按亩数征收的举措。阶级矛盾得到缓和,必然促进社会经济发展。全国直省耕地面积由顺治八年(1651年)的2.9亿亩,升至嘉庆十七年(1812年)的7.9亿亩,此数尚不包括旗地、官田及黑龙江、吉林、蒙古、新疆及青海等地的耕地,大大超过明代。高产粮食作物得到推广,经济作物种植进一步扩大,专业种植区也已出现。

城市工商业者的地位相对改善。免受丁银之扰,明以来匠人对国家人身依附的“匠籍”制度随之瓦解。国家对民营瓷窑、纺织工场及采矿等进一步放宽限制。大小城市各类作坊林立,苏杭的丝织,松江的棉纺织,景德镇的制瓷,佛山的铸铁等业名扬天下。

农业与手工业的发展,为商业繁荣奠定了基础。扬州、苏州、南京、杭州、广州、佛山、汉口、北京,成为全国八大商业城市。中小城市星罗棋布。这也是明代无法相比的。

尤应指出的是,手工业中的资本主义萌芽有所发展。某些地区农业中也开始出现资本主义生产关系。鸦片战争前夕,佛山镇织布手工工场达2500多家,雇佣工人达5万余人。景德镇有窑二三百处,陶户数千家,工匠达几十万,远非明末几万佣工水平可比。明时并无资本主义手工工场的震泽、盛泽,乾隆年间(1736—1770年)也出现了丝织业的资本主义手工工场。手工工

场规模进一步扩大,南京已有人拥有丝织机 500 张。城市资本主义萌芽和个体工商业的发展,以及城市人口的增加,使得不少地区出现了围绕城市加工和消费而进行生产的经营地主,雇工规模甚至达到数十乃至百余人。

清代农业、手工业及商业的恢复和发展,既是科学技术发展的结果,又进一步为科学技术的发展提供了动力和舞台。

鸦片战争之前的近二百年的时间里,除了清初镇压李自成等农民起义军队及各地抗清复明斗争历时近 20 年外,未出现过全国性的战争和剧烈的社会动荡。而明代,北疆累遭蒙古骑兵突袭蹂躏。浩大长城工程及包括明成祖 5 次出塞亲征在内的一系列对蒙古军事行动,成为经济发展的沉重负担。此外,后金崛起,迅速扩张,明末 25 年中穷于应付,不得安宁。倭寇侵害东南沿海,经济受害甚巨。清代宦官收敛,朋党不盛,而明代刑余之人嚣张,朋党猖獗,朝政几近乌烟瘴气。在稳定的社会环境下,经济发展,人民安居乐业,科技进步才有保障。兵连祸结,朝政败坏,只能阻碍经济和科技发展。

封建统治者的政治视野、政治勇气、个人爱好兴趣,乃至身体健康状况,都与科技发展相关联。康熙在这几方面的作用都产生正效应。明代中国科技就已落后于西欧。要改变这一现状,就应引进、学习一切外来先进科学技术,拿来为我所用。然而,清初东南沿海抗清斗争又迫使清廷必须海禁,这就决定了中外交流渠道的狭窄性。于是,西方传教士这一交流媒介越显重要。康熙提拔传教士南怀仁,命制新炮以平三藩;他发挥传教士外语优势,命其参与中俄尼布楚条约的谈判;他利用传教士地学、数学、天文学知识,令其绘地图、编书籍。康熙并不以传教士来华带有政治目的而因噎废食。他的态度是,只要传教士守法,只要传教

士不干涉中国人祭天、祭祖和祭孔教,就允许其传教。从而较好地解决了学习西方科技与维护主权和体制的矛盾。这的确需要较高的政治素质。

康熙兴趣广泛,勤奋好学。这就必然使西方科技更能引起他的重视。他忙里偷闲,于繁重政务活动中向传教士学习数学知识,且知难而进,锲而不舍。对知识的偏好,会导致对传教士这样拥有知识的人才采取较为宽容的政策。他对清代大数学家梅文鼎等人也很赏识和爱护。雍正、乾隆虽也不失为一代英主,但对自然科学却兴趣索然。离开了最高统治者的大力提倡和身体力行,康熙之后西方科技东渐势头骤减,也就不足为怪了。

鸦片战争前的几位皇帝为政勤勉,励精图治,这也是保证社会稳定、促进经济和科技发展的有利因素。康熙自不待言,雍正虽然对政敌冷酷有余,治国安邦的确也是好手。乾隆自称十全老人。嘉庆、道光固属守成君主,倒也兢兢业业,道光更是节俭得出了名的。与之相比,明代皇帝成器者委实不多,恋老妇,迷道教,喜木工,……不一而足。清代几位皇帝除顺治、雍正在位稍短外,其他人都执政几十年,故鸦片战争前的近二百年中只换过 6 位皇帝,而明朝却在相同时间内换过 12 位。专制条件下统治者的更迭,往往与政治震荡甚至社会动乱相联系。明成祖篡位,明英宗复辟,足堪说明。

然而,鸦片战争之前的清代科技发展却也表现出明显的缓慢与落后。

在此期间欧洲科技的重大成就几乎是不间断地出现。英国人哈维(William Harvey, 1578—1657 年)与胡克(Robert Hooke, 1635—1703 年)于康熙四年(1665 年)首次提出细胞概念。不久,荷兰人列文霍克(Antony Van leeuwenhock, 1632—

1723年)用显微镜首次观察到细菌。英国人波义耳(Robert Boyle, 1627—1691年)于顺治十八年(1661年)发表《怀疑派的化学家》,明确提出元素的定义,并进行化学分析。牛顿的贡献更为突出,1666年(康熙五年)推出万有引力定律,创立科学的天文学;21年后(1687年),又发表《自然哲学的数学原理》,首次阐述牛顿力学三定律,奠定了经典力学基础。蒸汽机在英国发明,带来欧洲工业革命。机器广泛应用于生产领域,轮船问世,蒸汽机车发明。欧洲科技日新月异。与之相比,同期清代科技不仅重大的、具有世界意义的成果不多见,而且科学专著还局限于记载和描述现象,缺少理论的升华。

鸦片战争之前清代科技发展的缓慢和落后,取决于多方面因素。这种缓慢和落后其实并非始自清代,16世纪时落伍进程即已起步,故而,许多明代制约科技发展的因素,在清代仍是科技进步的障碍。此外,清朝特有的某些政策和措施,也束缚和阻碍着科技的发展。

鸦片战争之前的中国社会,依然是封建的自然经济占主导地位。全国人口中的绝大部分居住在农村并从事农业生产劳动。他们日出而作,日落而息,一家一户就是一个基本的生产单位和消费单位。小农业与家庭手工业牢牢地结合在一起很少与市场发生联系。一个生产力水准低下的农业社会,是无法给科技提供强大的发展动力的。而同期的欧洲尤其是英国,相继完成了农业资本主义原始积累和工业革命,科学技术自然获得动力而日新月异。

封建地主土地制度是农业社会长期延续的重要条件。无论清代初年采取了怎样的缓和地主阶级与农民阶级对立的措施,也不管清代初年自耕农数量有了怎样的增长,丝毫改变不了延

续二千年之久的封建土地制度。特别是与西欧相比中国独有的土地可买卖制度,更为地权高度集中提供了条件。事实上,清朝建立伊始,土地兼并就一时也未停止过。及至乾隆年间,拥有几十万亩,乃至百万亩膏腴美田的大地主已非罕见。道光时的直隶总督琦善的土地竟多达 256 万亩。地主垄断土地的结果,致使其可以恣意抬高封建地租,从而加重对无地、少地的农民的盘剥,不仅全部占有农民的剩余劳动,甚至部分地攫取了农民的必要劳动。一方面,地主不劳而获的现实把社会上更多的货币资金吸引到封建地租剥削上来;另一方面,农民为了维持起码的生存,越发要千方百计地增加家庭手工业和其他副业的生产量。于是,封建土地制度和落后的封建自然经济得以长期存在。此外,农民因备受压榨,不仅无力扩大再生产,就是简单再生产都难以维持。他们不能进行农业的资本集约和技术集约,只能依靠劳动集约,这就决定了农业发展潜力的有限性。低下的农业劳动生产率,使得农业无法更多地向城市提供商品粮及其他农副产品,无力供养更多的非农业人口。城市发展缓慢,也就制约了科技的进步速度。

鸦片战争之前清代的人口状况也不利于科技的发展。有关人口质量对科技的作用,将在科举教育一项中分析,这里仅从人口数量上加以探讨。明代全国人口在洪武二十六年(1393 年)为 5365 万余人,而到了清代乾隆五十九年(1794 年),全国人口已达 31328 万人,及至清代道光二十年(1840 年),竟猛增至 41281 万人。人口激增,固然是经济发展和社会安定的结果,但反过来却制约着科技的进步。这种制约作用表现为两方面。第一,农村无地、少地人口过多,意味着封建地主出租土地处于有利的地位,可以最大限度地压榨贫苦农民,从而阻碍农村、城市乃至全

社会的发展与进步。第二,众多劳动人手,使得改进技术的动力大为减弱。手工场主只要增加廉价雇工的数量,即可带来生产总量的扩大,自然无兴趣于必须提高物质技术水平才会有的级差利益。人多地少,也导致农民更重视活劳动的投入,失却了追求某些先进技术的迫切感。当然,人多地少也有利于精耕细作技术的发展。这是问题的另一方面。

清政府是封建政权,它从维护和巩固封建统治的基础考虑,更希望人们固守在土地上从事农业生产,人民不愁衣食,社会自然稳定,政府的税收来源也有保障;况且人们被束缚于土地之上,老死不相往来,没有思想的交流,也有利于思想统治。清政府继承了历代封建王朝重农桑,抑工商的政策。清政府直接限制商品生产的规模。如云南铜矿,因政府铸币所需不得已允许私人开采,但又实行“官给工本”或“收铜归本,官自售卖”等措施,致使开采者无利、少利可图,甚至亏本。对云南非铜矿的其他矿藏,更实行全面封禁。对棉花的种植规模,也曾规定一顷以上土地只允种棉一半,余必须为稻田。清初限制南京机户拥机不得逾百,虽未成功,但也反映了封建政府从本质上是敌视大规模商品生产的。清政府还以重税来阻碍商品经济。云南铜矿铜课高达20%。各地关卡林立,税目繁多,商品流通备受其苦。清政府厉行闭关政策,更从根本上阻隔了中国商品走向世界的通道。商品经济受到摧残、压抑,资本主义萌芽生长环境险恶,科技进步也就失去了有力的依托。

科技发展需要大批人才作保障,而人才的培养又依赖于教育。清代的教育不能胜任培养科技人才的使命。清代的学校也不外乎京师国子监、府州县学、社学及乡里私塾诸种。众多的人口,少有的教育机构,农民的普遍贫困,本已把相当数量的适龄

者拒于学校门外,教育的内容更与科技关联甚少。清代也实行八股取士的科举制度,考中者委以官职。于是,读书作官便成了几乎全体学子的梦寐以求目标。考试内容出自四书五经,答卷不得阐发自己见解,只能依指定注疏发挥。于是乎,各级学校便成了灌输四书五经的场所,所谓受过教育、有文化不过是懂得四书五经的同义语,科技知识因与科举无关而备受世人冷落。缺乏科技人才,科技无法发展。晚清严复抨击八股科举制度有“锢智慧”、“坏心术”和“滋游手”之弊,确属破的之语。

如果说上述诸种制约科技进步的因素属于清政府继承先朝的遗产的话,那么闭关政策、文字狱及考据之学则是清政府阻碍科技发展的独家三大发明。

科技没有国界,科技的发展依赖于包括国际之间的广泛交流,当一个国家科技已落后于他国时,这种交流尤显迫切。然而,清朝定都北京伊始,直至鸦片战争的近 200 年间,竟紧闭国门,几乎切断了与外国的科技文化联系。清初的 20 余年厉行“迁海令”,尽管意在镇压抗清斗争,但完全停止了沿海与外界联系,丧失了学习西方的大好时机。康熙皇帝本人较有政治远见,也不乏政治勇气,先后在康熙二十二年(1683 年)和康熙二十三年(1684 年)废除“迁海令”和开放沿海四口对外通商。这固然有利于中外交流,但偌大中国,仅有 4 个开放口岸,且开放幅度又很小。及至乾隆二十二年(1757 年)关闭三口,仅余广州一口通商,便是不折不扣的紧闭国门了。清朝统治者闭锁国门,对贸易商品种类、数量严加限制,对中外商人接触备加防范,根本起不到抵御侵略的作用,只能是保护落后,自我封闭,坐井观天,盲目自大。一方面,放弃国际市场,使商品经济发展受到束缚,不利于科技进步;另一方面,中外直接的科技交流也无从谈起。欧美日新

月异的科学技术被拒于国门之外,而清朝统治者却严禁中文书籍出口以防失密。多么可悲的闭关政策啊!

科技的繁荣需要有一个宽松、自由的政治环境。在这样的环境中,人们思维活跃,不受清规戒律的束缚,有利于激发积极性和创造精神。春秋战国时期出现的“百家争鸣”局面,正是植根于这样的环境之中。欧洲文艺复兴以来封建专制主义受到猛烈冲击,人们思想获得前所未有的解放,从而推动了科技的发展。然而,清代中国却笼罩在一片政治高压之中。清政府屡兴文字狱,搞得人人自危,噤若寒蝉,独立思考和自由创造已无可能,何来科技的迅速发展?满族入关前经济、文化发展水平大大低于汉族,又是以武力入主中原,因此清朝统治者特别敏感汉族知识分子宣传蔑视和反抗清王朝的思想。一经发现,即视为大逆不道,以极刑惩治,满门抄斩,株连九族。清朝皇帝把兴文字狱当成管束思想的法宝,屡用不辍,甚至穿凿附会,捕风捉影。顺治为始作俑者。康熙也是文字狱的热衷者,其兴“明史案”、“南山集案”,罗织罪名,草菅人命。雍正、乾隆已近于神经质。“维民所止”的试题本取自《诗经》,却疑其出题人欲杀雍正之头;作“清风不识字,何故乱翻书”诗句,即为诋毁清王朝。知识分子唯有远远逃避现实才有安全可言。

清政府一方面以文字狱为杀威棒,打得知识分子对社会现实问题不敢关心和过问;另一方面又力倡考据和整理古籍,把学术界导入复古的狭小天地中。本来,考据学在清初兴起之时,除了是学人们逃避现实的选择外,也包含着对宋明理学虚无空洞说教的批判,故尊崇和提倡汉代对经学的解释,倡行汉朝儒生训诂考订的治学方法,贵朴素,重证据。清朝统治者很快就发现考据学可用之笼络文人,粉饰盛世,巩固专制统治。于是清政府组

织编纂大类书、大丛书,如康熙时编纂了《古今图书集成》1万卷,乾隆时编纂了《四库全书》约8万卷。乾嘉之时,考据学进入鼎盛时期。考据学自有它的历史地位,如鉴别、搜集、整理了大批古代文献,初建了中国文字学和音韵学体系,功不可没。但清廷利用和倡导考据学也达到了维护统治的目的:借编纂类书、丛书之机,销毁大量反清文献;扭转了学风,使学人不问世事,埋首于故纸堆中,为考据而考据。于是,留心时事,忧国忧民之士就更少了,科技受人冷落也就很自然了。

鸦片战争到清政府覆亡,是清代科技发展历史上的突变与滞缓并行时期。在这72年的时间里,科学技术有了质的飞跃,西方近代科技传入中国并有了某些发展,某些传统科技领域也有所突破和创新。与此同时,科技的发展又表现出缓慢乃至停滞的特点。

资本主义近代大机器工业从无到有在中国大地出现并有所发展。最早的机器工业是外国人在中国创办的。19世纪40年代,英国人在香港和广州黄埔投资修造船坞,开中国境内近代工业之先河。50年代,随着上海取代广州成为中国贸易中心,外人便把兴办船厂的重点移向上海。咸丰六年(1856年),上海吴淞一造船厂建造的轮船“先驱号”下水。60年代起,外国又在中国通商口岸创办农产品加工工业,如咸丰十一年(1861年),上海怡和纺丝局完工开车,初有缫车百部,二年后增至300部。中日甲午战争清政府战败,被迫签订空前丧权辱国的《马关条约》,正式允让外国对华资本输出的特权。于是外国在中国兴办工厂、开采矿山便以空前的规模进行着。外国对城市煤气、水电等公用事业的投资,自60年代起也迅速扩充。如上海、天津、广州、武汉等沿海、沿江半殖民地城市,以及香港、大连、青岛等殖民地城市,