

本卷提要

本书是春秋战国部分的科技史卷。所述时间从公元前 770 年到公元前 221 年,包括春秋(公元前 770—前 476 年)和战国(公元前 475—前 221 年)两个重要历史时期。这是我国历史上由奴隶制向封建制转变的社会大变革时期。生铁冶铸技术的产生和铁器的普遍使用,使社会生产力得到很大提高,促进了农业、手工业、土木建筑工程的发展;“天命观”的衰落和“士”这个阶层的崛起,促进了思想的解放和学术的繁荣,造成了“百家争鸣”的局面,有力地推动了我国古代自然哲学和自然科学的发展,出现了我国科学技术发展的第一个高峰。本书将以古籍文献记载和考古发现为根据,广泛汇集近代科技史家的研究成果,对这一历史时期科技发展的概况和重要成就作出论述。力求系统全面,反映历史的本来面目;并简要论及战国、秦汉前后两个时期科技的继承、发展关系以及春秋战国科技成就对世界科技发展的影响。根据这一时期科技发展的实际情况,并考虑到天、算、农、医这个科技史界公认的中国古代科技体系,本书将按照冶金技术和铁器的推广、土木工程和手工业技术、天文学、数学、地学、农学和生物学、医学、物理学这个顺序进行论述。为避免和“思想卷”有过多重复,有关春秋战国时期自然观(包括自然哲学)的内容,只在本书第一部分的概论中作简要介绍。

目 录

中国春秋战国科技史

一、春秋战国科技概述	1
(一)铁器的普遍使用与社会大变革	1
(二)“士”的出现与学术繁荣	3
(三)自然知识的进步	5
(四)诸子百家的自然观	6
1. “天命观”的衰落和荀子“明于天人之分”的思想	6
2. 阴阳 - 五行说	7
3. 墨家的“原子论”思想	10
4. 元气说	11
二、冶金技术与铁器的推广	13
(一)青铜冶铸的继续发展	13
1. 青铜冶铸的“六齐”规律	13
2. 青铜用途的推广	15
3. 青铜加工工艺的提高	17
(二)生铁冶铸技术的突出进展	19
1. 陨铁的使用和文献记载	19
2. 块炼铁、生铁冶铸和块炼钢的出现	20
3. 钢铁的热处理技术	22
(三)冶铁业的发展与铁器的普及	24
(四)找矿经验与采矿技术	26
1. 找矿经验	26
2. 矿石采掘	27

三、土木工程和手工业技术	30
(一)土木工程	30
1. 灌溉工程	30
2. 运河工程	34
3. 堤防工程	35
4. 城市和宫室的规划设计	36
(二)器械制造	37
1. 车辆的制造	38
2. 简单机械的制造	40
3. 军械兵器的制造	40
4. 乐器的制造	43
5. 著名工匠	44
(三)纺织、染色、皮革加工技术	46
1. 丝织	47
2. 麻、葛的纺织	49
3. 毛织品和皮革加工	50
4. 染色技术	51
(四)玻璃和漆器的制造	53
1. 独特的玻璃体系	53
2. 漆器制造技术	55
四、天文学的巨大发展	57
(一)天文观测	57
1. 天文家	57
2. 星 象	60
3. 五行星运动	73
4. 异常天象的观察	78
(二)历 法	81
1. 四分历	81
2. 干支纪法	86
3. 二十四节气	88

(三)宇宙论	91
1. 盖天说	91
2. 天地演化思想	97
3. 天地不毁说	98
五、数学知识的积累	101
(一)四则运算、分数和筹算	101
1. 记数与四则运算	101
2. 算筹和筹算	102
3. 分数的广泛应用	105
(二)几何知识与测量	107
1. 勾股测量	107
2. 几何测绘	108
3. 测量标准和量的比较	110
(三)组合数学和运筹学的思想萌芽	111
(四)墨家和名家的数学思想	114
六、地理学的初步创立	117
(一)地理著作	118
1. 《禹贡》	118
2. 《管子》	123
3. 《五藏山经》	124
4. 其他著作中的地理知识	128
(二)大地水陆分布及域外地理的认识	130
(三)地 图	131
七、农学和生物学的发展	134
(一)重农思想和精耕细作的农业技术	134
1. 重农思想	136
2. 精耕细作	137
3. 多粪肥田和土质改良	138
4. 防虫除草	140

(二)动植物形态、分类知识	140
1. 动植物分类思想的产生	140
2. 动植物的具体分类	142
(三)植物生态知识	145
1. 植物与环境	145
2. 植物与水	145
3. 植物与土壤、地势	146
4. 植物与阳光、气温、空气	147
5. 植物分布界线	149
(四)动物生态知识	150
1. 动物与非生物环境的关系	150
2. 动物之间的相互关系	153
(五)生物资源的合理利用与保护	155
八、中医理论的初步创立	157
(一)经验医学知识的积累	157
1. 巫、医的斗争	157
2. 对疾病的认识	158
3. 人体结构知识	158
4. 药物知识的积累	159
5. 早期的预防保健思想	160
(二)中医理论的形成	162
1. 精、气、神的生理学说	162
2. 气血、经络、心志学说	164
3. 脏器机能与“五行”关系的学说	165
4. 病理学说·医和	166
5. 疾病的诊断和治疗·扁鹊	168
(三)马王堆出土医籍	172
(四)《黄帝内经》	175
1. 《内经》的气血、脏象、经络学说	176

2.《内经》的病因病机和病变学说	180
3.《内经》的诊法治则学说	182
4.《内经》的预防养生思想	185
九、物理学的辉煌成就	187
(一)力学知识	187
1.对空间、时间和运动的认识	187
2.对力的认识	190
3.对一些力学现象的描述与分析	190
4.杠杆原理和简单机械	192
(二)声学知识	194
1.物体的振动和发声	194
2.物体的发声和传播的物理性质	195
3.律学和三分损益法	197
(三)热学知识	200
1.对热的基本认识	200
2.降温术与高温技术	201
3.测温知识	202
(四)关于电和磁的认识	203
1.关于电的初步知识	203
2.关于磁的认识	204
3.对磁性作用的利用	205
(五)光学成就	206
1.先秦的光源和对视觉的认识	206
2.关于光的直线传播	208
3.关于镜面成像原理	210
十、结 语	214

一、春秋战国科技概述

(一)铁器的普遍使用与社会大变革

春秋战国时期(公元前 770—前 221 年)是我国历史上由奴隶制向封建制转变的社会大变革时期。

和主要以工商业与贸易为生存命脉的古希腊不同,中国的奴隶制是在大陆上发展起来的。我国黄河中下游的大片平原以及渭河、汾河谷地和长江、淮河中下游的平原地带,几乎连成一片,比尼罗河流域和两河流域的平原要大得多。这里远古时代“草木畅茂,禽兽繁殖”,^① 为农业的发展提供了极好的自然条件。在使用石制、骨制、木制工具的原始社会,发展农业主要靠火,用火烧掉树木野草,然后进行耕种。我国传说中的农业的始祖神农,被称为“炎帝”,也叫“烈山氏”,都与火有关,反映了这一历史状况。在石器加工和制陶技术的基础上产生出来的青铜冶铸技术,到了商代已发展到独步世界的高度。青铜器具的使用,不仅把我国农业生产技术推到了一个新的高度,使农业生产逐渐取代了采集狩猎活动和畜牧业,到周初已成为社会经济中最

^① 《孟子·滕文公章句上》。

主要的部门,而且也为手工业技术的发展和生铁冶铸技术的产生奠定了基础。铜的熔点为 1083°C , 炼块状铁要求的温度为 1000°C 左右, 生铁的熔点为 1146°C 。熟练地掌握炼铜技术和进一步改进鼓风技术, 获得生铁熔铸的高温是不难达到的。所以不迟于公元前 6 世纪, 我国已出现了生铁冶铸, 很快又发明了利用柔化退火制造可锻铸铁和世界上最早的炼钢术与淬火技术。

铁器的应用, 特别是铸铁农具的普遍推广, 成为这一时期生产力发展的重要标志, 引起了全社会整个技术基础的巨大变化。V 型铁铧犁和牛耕的使用, 加快了农田开发和精耕细作传统的形成, 大大增加了农业的产量。凿井技术的提高和大规模水利工程的兴建, 便于人们向远离河湖的地区移居, 并在附近开辟农田进行耕植, 使大量荒地得到开垦。私田数量的增加和农业劳动生产率的提高, 促使一家一户为单位的、以个体经营为特征的小农阶层(自耕农和佃农)和以私有土地为资本、通过佃耕制而暴富起来的封建剥削阶层的出现, 使封建生产关系得到迅速发展。

“私门富于公室”的现象也诱使诸侯、卿大夫和贵族奴隶主们纷纷开始采用封建剥削形式。而新出现的封建制度, 也更好地适应了当时生产力发展的要求, 进一步解放了生产力, 使春秋战国、特别是战国时期的生产力得到前所未有的巨大发展, 也促成了奴隶社会无法比拟的科学技术的大发展。

中国的奴隶制没有产生足以和希腊科学文化相媲美的精神文明; 但是中国是世界上第一个进入封建社会的国家, 不仅在进入封建社会的初期就创造了可以和古希腊媲美的科学文化, 并且从此伊始, 以自己辉煌的成就和鲜明的特色在世界上领先达 1000 多年之久。

春秋战国时期奖励耕战、重视农桑的政策, 不仅促进了农业

科学技术的提高和水利灌溉工程的兴建,而且也促进了天文历法的发展。春秋时期我国已开始采用十九年七闰的制历方法,至迟在公元前 7 世纪已开始用圭表测日影以定冬至和夏至;战国时期开始出现了二十四节气的思想。在天文观测上,这一时期也有了关于日食、月食、流星、彗星的世界最早的观测记录;楚人甘德、魏人石申编制了世界上最早的星表。

在农业发展的同时,手工业生产也有了很大的进步,形成了冶铁业、丝织业、车辆制造、玻璃漆器业等许多独立的生产部门,出现了分工越来越细、工艺技术逐步规范化的趋势。春秋末期齐国人撰写的《考工记》,记述了当时官府手工业的 30 项专门部门的制造工艺和技术规范,反映了当时手工业技术发展的高水平。

农业和手工业的发展,促进了商业贸易的繁荣、水陆交通的发达和城市的发展。各个诸侯国之间的军事征伐、文化交流和商业活动,扩大了各个地区的联系沟通。这不仅促使了华夏地区各民族的融合与科学技术的交流,而且开阔了人们的地理视野,丰富了人们的地理知识,出现了《禹贡》、《管子·地员》和《五藏山经》等对地理资料进行综合论述的著作。

(二)“士”的出现与学术繁荣

春秋时期,诸侯林立,各诸侯国之间的攻伐兼并十分激烈。各种势力为了自身的利益和在夺权斗争中取得胜利,都需要舆论上的准备和思想上的支持,特别是需要笼络收买社会上的智能之士为他们出谋划策,承担处理大量的军政外交事务。在这种形势下,原来由奴隶主阶级垄断文化教育的“学在官府”的制度受到冲击,社会上私学兴起。特别是从孔丘(公元前 551—前 470

年)开始的私人讲学活动,使原来被统治阶级垄断的文化知识普及到社会上并不当权的平民即“国人”之中,社会上由此产生了一批受过礼、乐、射、御、书、数“六艺”教育的“士”。这一大批来自“国人”的“士”,在中国从奴隶制向封建制的转变中发挥了很大的作用。这个时期,代表各阶级、阶层利益的不同思想学说纷起。许多思想家、哲学家各持见解,著书立说,奔走游说,互相争辩,出现了“蠡出并作,各引一端,崇其所善,以此驰说,取合诸侯”^①的现象,造成了思想上解放、学术上自由的“百家争鸣”的生动局面。

儒家、墨家、道家、名家以及荀况(约公元前 313—前 238 年)、韩非(约公元前 280—前 233 年)等为代表的诸子百家,对当时科学技术的发展都有较大的影响。他们为了发展自己的学派,论证自己的观点,实现自己的主张,达到自己的政治目的,都程度不同地关心生产的发展和科学技术的进步,从中汲取某些有利的论据。他们从不同的观点和角度对一些自然现象和技术问题进行解释和概括,频繁交流,彼此辩诘,相互补充,为当时科学技术的发展创造了极为有利的气氛和条件。战国时期的百家争鸣,促进了我国整个学术的繁荣和科学文化的发展;和正值奴隶制鼎盛时期的古希腊一起,在世界的东方和西方,同时形成了两个交相辉映的科学文化高峰,全面奠定了我国后世科学技术发展的基础。

① 《汉书·艺文志》。

(三) 自然知识的进步

春秋战国时期,在自然知识方面,除前面已述及的天文学、地理学之外,数学、农学、生物学、医学和物理学等均有了相当的发展。

在数学方面,我国商代已使用了十进位法,有了画圆和直角的工具“规”和“矩”。春秋时期已可利用筹算进行完整的加、减、乘、除四则运算,并有了分数的概念。后期墨家提出了几何学中的点、线、面、方、圆乃至极限的概念。

公元前 239 年,由秦相吕不韦(约公元前 290—235 年)的门客集体编撰的《吕氏春秋》,融合了诸子百家的思想和学术成果。其中的《上农》、《任地》、《辨土》、《审时》四篇,专讲“崇本抑末”的重农政策和深耕细作的农业技术,反映了春秋战国时期的农业技术水平。农业和地理学的成就,也促进了生物学知识的积累。这个时期在生物形态学和分类学方面取得了不小的进步。

中国独特的医学体系,也在这一时期初步形成并得到迅速发展。在医药、病因病理和诊断治疗知识积累的基础上,战国后期成书的《黄帝内经》,对我国古代的医疗实践经验作了系统的整理和总结提高,成为我国中医理论开始形成的标志。《内经》运用阴阳对立、五行生克的思想,论述了人体生理、病理、诊断、预防、治则和药性问题,成为 2000 年来中医辨证论治、临床实践的基础理论之一。

春秋战国时期,我国的手工业技术包含了丰富的物理学知识。《考工记》和后期墨家撰写的《墨经》等书中,记载了我国古人在力学、声学、热学、电和磁以及光学方面获得的理性认识。特别

在力学、声学 and 光学的研究上,还出现了实验方法的萌芽。《墨经》中记载的光学实验,包括小孔成像以及平面镜、凹面镜、凸面镜的成像实验,其方法和结论与近代光学实验十分相似,取得了比古希腊欧几里得《光学》更早的辉煌成就。

(四)诸子百家的自然观

自然观作为古代科学思想的一种形态,在春秋战国时期涌现出多种学说,成为 2000 多年来影响我国科学技术和文化思想发展的传统力量。

1. “天命观”的衰落和荀子“明于天人之分”的思想

奴隶制向封建制的转变,必然引起意识形态上的巨大变化。这首先体现在对维护奴隶主统治的“天命观”所提出的公开挑战。

这种状况在当时的诸子学说中普遍反映出来。即使在讲过“天命”的孔子那里,对“天命”问题也是极力回避的。“子不语怪、力、乱、神”。^①他还说过:“天何言哉?四时行焉,百物生焉,天何言哉?”^②这已把“天”看作是“自然”了。同样,宣扬“王道”的孟轲(公元前 372—前 289 年)也指出:“天之高也,星辰之远也。苟求其故,千岁之日至,可坐而致也”。^③是说天和星辰虽然高远得很,但其规律也是可以获知的,千年间的冬至也可以被预知。这反映了对“天”的神秘感的消失以及对“天”可以认知的信心。

① 《论语·述而》篇第七。

② 《论语·阳货》篇第十七。

③ 《孟子·离娄下》。

地主阶级上升时期的杰出思想家荀况,更提出了“明于天人之分”的思想,认为“天”是没有意志的“自然”,把原来被看作是人间至高无上的主宰一下子降为与人为伍的大自然,并把正确处理人与自然的关系作为“以政裕民”的物质基础。在《荀子·天论》中,这个思想得到了完整的表述。“天”是什么呢?荀子指出:“列星随旋,日月递炤,四时代御,阴阳大化,风雨博施,万物各得其和以生,各得其养以成,不见其事而见其功,夫是之谓神。皆知其所以成,莫知其无形,夫是之谓天。”这是说“天”就是自然本身,是没有意志的;自然的功能就是“神”。他还说:“天行有常,不为尧存,不为桀亡”,即天有其自身的运动规律,是不为“人事”所改变的。他十分卓越地提出:“大天而思之,孰与物畜而制之!从天而颂之,孰与制天命而用之!望时而待之,孰与应时而使之!因物而多之,孰与骋能而化之!思物而物之,孰与理物而勿失之也!愿与物之所以生,孰与有物之所以成!故错人而思天,则失万物之情”。在这里,荀子进一步抒发了“明于天人之分”的意义,指出在“人”与“天”的关系上,“人”是可以有所作为的。只要能掌握和善于利用自然规律,就可以使自然为人服务。“如是,则知其为,知其所不为矣;则天地官而万物役矣。”如果对“天”只是敬畏、颂扬和等待其恩赐,那就是“错人而思天”了。荀子的这段论述,可以说是当时在处理“人”与“天”的关系上最具积极意义的认识。

2. 阴阳 五行说

在百家争鸣的形势下,各家学说都力求从总体上说明和理解自然,在自然的本质或宇宙万物本原的问题上,就出现了各种不同的说法。探讨、认识这一问题,是自然科学的根本任务,但在科学还没有进步到足以解答这个问题的时候,只能先由哲学提

出某些猜测和作出一定的解释。春秋战国时期宽松活跃的学术气氛,为这些学说的提出创造了良好的条件。当时的中国哲学家们对自然本质的各种看法,与古希腊自然哲学的内容大体上是类似的。关于宇宙论和时空观的内容,将分别在天文学和物理学部分介绍。

殷周时期已经产生的阴阳和五行学说,仍然是这一时期关于宇宙万物本原的重要学说。五行学说是从西周的“五材”演变而来的。汉初伏胜所著的《尚书大传》记载,武王伐纣至于商郊,士卒欢乐歌舞以待旦,歌曰:“水火者,百姓之所饮食也;金木者,百姓之所兴作也;土者,万物之所资生也,是为人用。”把水、火、金、木、土看作是人们赖以生存的五种基本材料的看法,当是有古老渊源的。《国语·郑语》记载,周幽王九年(公元前773年)太史伯回答郑桓公之问时说:“故先王以土与金木水火杂,以成百物”。这个回答表明,当时还只是把土与金木水火看作是“以成百物”的基本材料,还没有把它们上升为宇宙万物的本原。《左传》中记载的关于柳下惠(展禽,生活于公元前7世纪后半期)的一段话中有:“及地之五行,所以生殖也。”这是最早出现的“五行”二字。《国语·周语下》记载公元前572年的一段话说:“天六地五,数之常也。”“天六”指阴、阳、风、雨、晦、明“六气”;“地五”即指五行,并把它们上升为正常的自然规律(“数之常也”),这就具有一定的哲学意义了。到公元前6世纪末,五行即被推广到各个方面(“五味”、“五色”、“五声”等),并被看作是“礼”所依据的基本原则之一。在可能是战国时人伪作的《尚书·洪范》中则进一步概括说:“五行,一曰水,二曰火,三曰木,四曰金,五曰土。水曰润下,火曰炎上,木曰曲直,金曰从革,土爰稼穡。润下作咸,炎上作苦,曲直作酸,从革作辛,稼穡作甘”。这里把五行提升为构

成宇宙万物的五种基本元素,并对它们的性质和作用作了规定。

西周末年,还产生了物质为“气”的说法,用对立的阳气和阴气的相互作用来解释天地分离、四季变化、万物盛衰等各种自然现象。天气为阳,性质是上升的;地气为阴,性质是沉滞的。两种气的协调交感作用,生成万物和天地的秩序;二气不和,就会引起自然界的灾异变化。周幽王二年(公元前780年)西周三川(今陕西中部)皆震,周大夫伯阳父说这是因为“阳失其所而镇阴也”,“阳伏而不能出,阴迫而不能蒸(升)”,^①于是便发生地震。

到了战国时期,几乎各家都把阴阳看作自然界两种对立的力量。《老子》中说:“万物负阴而抱阳,冲气以为和”,即阴阳蕴涵于万事万物之内,在看不见的气中得到统一。这里把阴阳看作是万物的基本属性。《荀子·天论》称:“四时代御,阴阳大化”;并用“天地之变,阴阳之化”来解释星坠之类的自然现象。

在孔子及其弟子所编的《易经·系辞传》中提出了“一阴一阳之谓道”;并称:“乾,阳物也;坤,阴物也,阴阳合德而刚柔有体”,“刚柔相推,变在其中矣”。这是说一阴一阳,一刚一柔,相互推移,即生变化,在这种对立统一的作用之下,就发生了万物的演化。这可以看作是对先秦阴阳学说的总结与提高。

战国时期,从不同角度反映自然界面貌的阴阳说与五行说开始被结合起来,形成了阴阳五行说。阴阳五行说和元气论的结合,又构成了我国古代元气一元论的自然观。

先秦学者也有将宇宙万物的本原归结于一种具体物质的。《管子·水地》篇称:“集于天地,而藏于万物,产于金石,集于诸生。……万物莫不以生。……水者何也?万物之本原也,诸生之

^① 《国语·周语上》。

宗室也。”这是水一行说。《庄子·在宥》篇假借黄帝时代的广成子之口说：“今夫百昌皆生于土，而返于土。”这是土一行说。尽管我国古代的五行说、阴阳说、水一行说、土一行说还比较粗糙，但都在试图把自然界无限多样的物质存在形态统一于几种或一种物质本原，用统一的观点去解释宇宙万物，其中包含着一些合理的见解和天才的猜测。

3. 墨家的“原子论”思想

以实验为基础的现代科学原子论，渊源于古代朴素的原子论。中国的墨家也曾提出过类似古希腊原子论的观念。《墨经》第62条^①提出：“端，体之无厚而最前者也”；“端，无间也”。这是说“端”是物体的起始，是把物体分割到“无厚”而留在最后的、最原始的质点；它是没有间隙、即无内部结构的。《墨经》第160条又说：“非半弗斲则不动，说在端。”就是说，“端”是不能再分为两半的东西了，所以是不能毁坏、不能变化的了。这是关于原始的、物质最小单位的概念，实质上是十分朴素的、揭示了物质的不连续性和物质最小单位不可分割的思想，可以看作是我国古代原子论的萌芽思想。

古代原子论者，往往统一地看待物质与空间，把物质原子与空间几何上的“点”联系起来。所以“端”也被墨家看作是几何原子，这是很自然的。有些学者只看到了《墨经》中所说的“端”的几何学意义，而否认中国古代有原子论思想，这显然是片面的。当然，与古希腊的原子论相比，墨家的论述过于简单粗糙，而且未见对原子运动的说明。关于“端”的几何“点”意义，我们将在数学

① 本书所引《墨经》的条号，均据高亨著《墨经校诂》，科学出版社1953年版。

部分论述。

4. 元气说

对自然界物质本原认识的进一步发展,出现了以比较抽象的形态反映这个统一的“元气”学说。在战国时期已有一些学者认为自然界是气的世界。在《管子·内业》中,提出了一种“精气”学说:“凡物之精,此则为生;下生五谷,上为列星。流于天地之间,谓之鬼神;藏于胸中,谓之圣人。是故此气,杲(gǎo,音搞,光明之意)乎如登于天,杳(yǎo,音咬,昏暗之意)乎如入于渊,淖乎如在于海,萃乎如在于屺(作“山”)。”这是说世界上的一切事物得到了精气就存在。五谷、列星都是精气产生的。精气在天地间的流动就有了鬼神,深藏于胸中就成了圣人。精气光耀像在天上,幽微像在深渊,湿润似海,高峻如山。这里把精气看作是构成宇宙万物的最根本的本原,它充塞天地之间,“其细无内,其大无外”,它的流行变化形成了一切事物(包括精神现象在内),而它自身却保持不变。稷下学派的宋钘(约公元前360—前290年)和尹文(约公元前350—前285年)又以精气学说把《老子》中的“道”作了积极的发展,说:“凡道无根无茎,无叶无荣。万物以生,万物以成,命之曰道。……精也者,气之精者也。气,道乃生,生乃思,思乃知,知乃止矣。”^①用这种精气代替“道”,就克服了对“道”的理解上的神秘性和不确定性。

“气”和“阴阳”的结合,构成了我国古代自然观的核心。包括自然界在内的客观世界,都是由阴阳两种对立的气组成的。中国古代提出的“气”的概念,既包含了最基本的对立——阴和阳的

^① 《管子·内业》。