

中国古代科技思想与
方法及其启迪

张涛光

广东科技出版社

中国古代科技思想与
方法及其启迪

张涛光

广东科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国古代科技思想与方法及其启迪/张涛光著.

—广州: 广东科技出版社, 2001.12

ISBN 7-5359-3071-9

I. 中…

II. 张…

III. 科技文化—古代—启迪

IV. N09

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮编: 510075)

E-mail: gdlkjz@21cn.com

http://www.gdstp.com.cn

出版人: 黄达全

排版: 广东科电有限公司

印刷: 广东省肇庆新华印刷有限公司

(广东省肇庆市星湖大道 邮编: 526060)

规格: 850mm × 1168mm 1/32 印张 8.25 字数 170 千

版次: 2001 年 12 月第 1 版

2001 年 12 月第 1 次印刷

定价: 13.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

序

张涛光教授《中国古代科技思想与方法及其启迪》一书在深入研究了中国古代大量的、卓越科技成果的基础上, 概括了中国古代科学技术独特的体系结构和主要的特点, 阐述了卓越的科技思想和方法, 指出吸取这些思想和方法的精华对现代科技发展具有重要的作用和意义。这是这本书有别于一般科技史书籍的一大特色。全书观点正确, 论证充分, 层次清晰, 材料丰富翔实, 有自己的见解, 有创意。

对中国古代科学技术有两种较为常见的观点。一种观点认为中国古代科学技术杂乱无章, 不成体系, 今天看来已没有什么价值和意义, 几乎到了不屑一顾的地步。这种观点只看到中国古代科技表面的东西, 没有看到它蕴含的精华, 只看到它的不足, 没有看到它的长处。另一种观点认为中国古代科学技术包罗万象, 深奥难测, 不仅近代西方科技的一些成就, 而且现代科技的一些成就也是源于中国古代科学技术或中国古代科学技术早已有之。这种观点只看到中国古代科学技术若干杰出的成就及其历史作用和意义, 并将这种作用和意义无限制地夸大和引伸, 只看到中国古代科技的长处, 没有看到它的不足。上述两种观点

都不是科学的、客观的态度，因而是片面的，都有违于正确对待传统文化，取其精华，去其糟粕，古为今用的原则。而张涛光教授这本书却能贯彻这一原则，发掘了中国古代科技思想、方法中对今天科技和社会发展有启迪的东西。因此，这本书不仅对科技史、哲学史、科技哲学研究者和对这些方面有兴趣的读者有参考价值，而且对科技工作者和理工科学生也有一定的启发。

中国古代科技是一个巨大的宝库，其中有很多精华还有待于人们进一步发掘、弘扬。这些优秀的文化传统对于促进新世纪科技和社会发展将有重大的作用和意义。我希望广大中青年学者在认真吸收和借鉴人类社会包括西方资本主义国家的一切文明成果的同时，也注意研究和弘扬中华优秀传统文化，从不同的层面和角度共同为新世纪中华民族的伟大复兴而努力。

曾近义
2001年11月

前言

中国古代科学技术有许多辉煌的成就，这是古代中国人勤劳智慧的结晶，也是古代人类的骄傲。这些成就不仅显示了中国古代灿烂的物质文明，而且蕴含了很多认识自然改造自然的卓越思想和方法。积极地发掘和充分地认识这些思想和方法，不仅在科技史上和哲学史上有重要的意义，而且对现代科学技术的发展乃至整个社会的发展都有重要的启迪。中外不少杰出的科学家都认识到这一点。诺贝尔奖获得者普利高津曾明确表示：“现代科学的发展近10年物理和数学的研究，如托姆的突变理论、重整化群、分支点理论等，都更符合中国的哲学思想。”^①“我相信我们已经走向一个新的综合，一个新的归纳，它将把强调实验及定量表述的西方传统和以‘自发的自组织世界’这一观点为中心的中国传统结合起来。”^②他满怀信心地表示：“这将是西方科学和中国文化对整体性、协和性理解的很

^① 普利高津：1979年8月22日在北京的讲演，载《自然杂志》1980年1期第11页。

^② 普利高津：《从存在到演化》，上海科学技术出版社1986年3月版第3页。

好的结合，这将导致新的自然哲学的自然观。”^①杰出数学家、荣获我国首届国家最高科学技术奖的两大科学家之一吴文俊教授所从事的研究和所取得的成就，雄辩地说明现代科学确实可以从中国古代科技思想和方法中得到重要的启迪，吸收到丰富的营养。吴文俊一再强调：“我们是在中国古代数学的启发之下提出问题并想出解决办法来的。”^②“本人关于数学机械化的研究工作，就是在这些思想与成就启发之下的产物，它是我国自《九章算术》以迄宋元时期数学的直接继承。”^③“在当前的计算机时代，更为中国古老的传统数学的现实意义与未来前景所震惊与鼓舞。”^④至于工程技术中某些令人叹为观止的技艺，即使以今天的科技水平看，仍是一个不易弄清楚的谜，解读和破解它，往往对现实的技术工艺也有很大的促进作用。可见，研究探索中国古代科技思想和方法是有重要的理论意义和现实价值的。

中国古代科学技术牵涉到宽广的领域和众多的部门，是一个巨大的体系。要全面充分地发掘和认识它蕴含的思想和方法是一项十分艰巨和复杂的研究工作，必须尽可能

全面地了解和把握中国古代科学技术的主要成就，并对它进行深入的分析，才能从中梳理概括出它的主要思想和方法。为此，我收集了中国古代从公元前 650 年到公元 1800 年这 2450 年间共 600 多项重大科技成果，力图对它们进行客观的分析。在阐述了中国古代科学技术的体系结构、特点的基础上，论述了中国古代科学技术中占主导地位的、长期起作用的思想和方法及其对现代科技、经济和社会发展的意义。在撰写本书的时候我特别注意实证的分析，书中提出的观点都是在研究分析了具体实例的基础上产生的。尽管如此，由于水平所限，研究中的疏漏，结论的错谬，诚所不免，尚祈不吝指正。

最后我要强调的是，本书所涉及问题的研究还是初步的，有待进一步深入的探讨。本人愿意同有志于此的研究者一道继续深入地探讨中国古代科技的思想和方法，为弘扬优秀的中华科技文化，为促进科技和社会的发展，尽自己的一点力量。

张涛光

2001 年 10 月 1 日

① 普利高津：1979 年 8 月 22 日在北京的讲演，载《自然杂志》1980 年 1 期 13 页。

② 吴文俊：《吴文俊文集》，山东教育出版社，1986 年 12 月版第 286 页。

③ 吴文俊《吴文俊文集》，山东教育出版社 1986 年 12 月版 289 页。

④ 吴文俊：“《李约瑟科学史全集》出版贺词”，载《自然科学史研究》1999 年 4 期。

目 录

第一章 中国古代科学技术的体系结构	1
第一节 两个中心多元结构的形成	2
第二节 两个中心多元结构的发展	11
第三节 两个中心多元结构的演变	34
第四节 两个中心多元结构的客观依据	47
第二章 中国古代科学技术的特点	55
第一节 中国古代科学技术的封闭性	56
第二节 不完全的数学与独特的科学技术理论形态	67
第三节 极端实用化的传统	87
第四节 高低相间波浪向前的发展态势	96
第三章 中国古代科技思想及其启迪	120
第一节 中国古代对世界本原的认识	120
第二节 元气论和原子论物质结构观的差异	130
第三节 中国历史上科学的宇宙论	138
第四节 各有千秋的中西宇宙论	152
第五节 中国古代数学思想及其对现代数学“机械化”思维的意义	162

第六节 中国古代卓越的农学思想	186
第七节 中国古代医学卓越的对立统一思想	195
第四章 中国古代科学技术常用的研究方法	202
第一节 类比方法	202
第二节 分析综合方法	207
第三节 比较和分类方法	209
第四节 归纳和演绎方法	214
第五节 假说	219
第六节 系统方法的萌芽	224
第五章 古为今用, 洋为中用, 振兴我国科技事业	234
第一节 有机整体思想和机械分析思想的汇流有利于现代科技的发展	236
第二节 中西主客体统一观念的归宿	245
第三节 把工匠传统和智者传统结合起来, 振兴我国的科学文化	249

第一章 中国古代科学技术的体系结构

几千年来, 勇敢、智慧的中国人民在自己广阔的土地上开拓了具有自己面目的天地, 创造了灿烂的文化。在生产 and 生活的实践中, 一点一滴地积累着科学技术知识, 形成了自己的科学技术体系。在 16、17 世纪以前, 它是人类最丰富的科学技术宝库, 这是中国人民的光荣, 也是古代人类的骄傲。

中国古代科学技术体系是经历了漫长的岁月才产生和发展起来的。作为一个体系, 它始终有自己的结构。早期, 它是以农业生产、交运水利为两个中心的多元结构。所谓以农业生产、交运水利为中心, 就是指整个科学技术体系主要根源于农业生产和交运水利事业, 科学技术的多数部门的存在和发展都直接或间接地受到农业生产和交运水利事业的影响与制约, 环绕着它们形成两个科学技术群。所谓多元, 是指科学技术体系中某些学科或技术部门, 它们同农业生产、交运水利事业没有什么特别的联系, 在整个科学技术体系中与以农业生产、交运水利为中心的两大科学技术群保持着较大程度的独立性。到了宋元, 科学技术在广度和深度上有了更大的发展。科学技术结构也逐渐发生了演变, 以农业生产、交运水利为中心的科学技术群逐渐解体, 众多的学科和技术部门已较为独

立地发展起来,有些甚至形成较为系统的多层次的领域,于是,形成了中心越来越模糊的多元多层次结构。

第一节 两个中心多元结构的形成

以农业生产、交运水利为中心的多元结构是在春秋战国时期显露雏形的。

从迄今所挖掘的出土文物和有关文字记载看,春秋战国以前的夏、商、西周时期,社会生产还是很落后的,科学技术仍相当零散,水平还相当低下,还未有形成一个体系,更谈不上结构了。夏、商、西周的科学技术形态有下面五个特征:

(1) 社会生产还未形成一个层次分明的系统,手工业刚从原始的农业分离出来,还处在孕育发展的阶段。

(2) 科学技术很大程度上还处于盲目状态,对科学技术的应用还处于自在阶段,自为能力极低。

(3) 人们对科学技术的认识还处于感性阶段,在生产 and 生活的实践中积累的知识还未上升到理性阶段,不存在严格意义下的科学理论,即使是一些感性认识,也缺乏专门的和比较系统的记载和描述。

(4) 科学技术没有什么突出的成就。

(5) 社会还未形成不论在何种意义下的科学技术政策和管理体制。

到了春秋战国时期,社会生产有了飞跃的发展,科学技术也得到空前大发展:

(1) 社会生产已形成一个层次较为分明的系统,在农业生产作为国家首要事业加以发展的同时,手工业也有了很大的进展,旧有的部门不仅从农业中进一步独立出来,而且内部的分工也越来越细致,此外,还不断分离出一些新的部门。当时的生产技术也越来越规范化。这些都为一个较有层次的科学技术体系的产生奠定了必要的基础。

(2) 人们已较自觉地进行科学技术的研究和应用,而且研究人员数量有了巨大的发展,研究人员的来源更为广泛。

(3) 人们对科学技术的认识已扩展到理性研究的范畴,在丰富实践的基础上进行了初步的科学抽象和概括,产生了为数不少的科学技术著述,并出现了不同的学术观点相互争鸣、相互促进的兴旺景象。

(4) 科学技术领域取得了突出的成就。

(5) 科学技术政策和管理体制的萌芽已渐露雏形。

当时,科学技术作为一个体系已经日渐形成,在这个体系中,以农业生产、交运水利为两个中心的多元结构也日渐明朗。

一、以农业生产为中心的科学技术群的形成

由于春秋战国时期诸侯国都推行了重视和优先发展农业的政策,使农业生产得以迅猛发展。农业生产技术无论在深度上还是广度上都有了很大的提高,精耕细作的技术已经形成,复种轮耕的方法已经创立,以粮食作物生产为主、桑麻畜牧列居其后的层次已经确立。因此,人们的农

生产实践已越来越广泛深入, 积累的经验越来越丰富。在这个基础上, 一些知识分子即当时的所谓士, 对人们的丰富实践进行了理论上的总结和概括。当时的农业生产已成为社会最主要的生产活动, 农业理论已成为最高的科学技术理论。

由于农业生产的发展, 对农具提出了更高的要求。这就促进了铁的冶炼和制作技术的发展。据出土文物推测, 当时铁农具在农具中已占主要成分。如: 河北省石家庄市庄村赵国遗址出土的铁农具已占全部农具的 65%; 辽宁抚顺莲花堡的燕国遗址出土的铁农具已占 85% 以上。可见, 当时的农业需要大量的铁器。这就促进了炼铁技术和铁器加工技术的发展。

由于农业生产的整套精细的技术和耕作制度的形成和发展, 就需要更好地掌握农时, 合理安排好季节。这就刺激了人们更广泛更深入地研究天文学, 于是促进了这一时期天文学的长足进步。当时的天文学已作为一个学术研究领域, 作为一个体系, 产生和发展起来了。特别是与农业生产直接相关的天文历法已颇为先进。当时所创立的古四分历即一种取四归年长度为 $365\frac{1}{4}$ 日, 并采用 19 年 7 闰为润周的历法, 比罗马人采用的儒略历约早 500 年。天文历法的创立, 是这一时期天文学最重要的成就。此外春秋时期沿黄、赤道将天球划分成二十八个区域的二十八宿体系已经齐备。当时天文学理论已发展到比较高的水平, 出现了很多天文著述, 如魏国石申著有《天文》八卷, 齐国甘

德著有《天文星占》八卷。在当时的典籍中, 还有大量有关天象的记载。这都表明在农业生产的直接推动下, 天文学研究在理论和实践方面都有了高度的发展。从另一方面看, 由于天文学的进步, 使农业生产在季节时令方面有了理论的指导, 又促进了农业生产的发展。当然, 天人感应观念在客观上也是推动天文学发展的一个重要原因, 但是, 天人感应观念早已有之, 为什么要等到农业有了迅猛发展的春秋战国时期, 天文学才如此快地发展起来呢? 这本身就说明, 在当时的具体条件下, 农业生产的推动是天文学特别是天文历法发展最主要最直接的原因。

由于农业生产不断向广度和深度发展, 就使人们对动、植物的认识不断深化, 这方面的实践不断增多、不断丰富、从而积累了丰富的生物学知识。当时已创立了具有中国自己特色的古代动、植物分类系统, 开创了中国古代动植物分类的先河, 奠定了中国动、植物分类的基础。在研究动、植物的实践中, 当然要涉及到地形、地貌、地质研究, 因此, 还出现了一些处于萌芽状态的地学研究。

由于农产品的种类和数量不断增加, 这就刺激了农产品加工业的发展, 使纺织、丝绸、印染、皮革加工等技术逐渐发展起来, 并且在理论上有了初步的总结和概括。如《考工记》就详细地记述了练丝的全过程、次序、漂染工艺等具体细节, 至今仍有一定的参考价值。此外, 对皮革的鉴定方法、加工处理、缝制方法等也均有记述。由于纺织、练丝、印染、皮革等工艺都必须使用到一些机械, 这也促进了机械工艺的发展。

二、以交运、水利为中心的科学技术群的形成

春秋战国时期，交运、水利科学技术有了很大的发展，达到了很高的水平。当时修筑的运河、道路、水利工程都集中地反映了这一点。这些工程建造环境复杂、条件差劣、而建成后效益极大，坚固稳定，宏伟壮观。不但在便利舟楫方面，而且在抗御水旱灾害、农田灌溉方面都有重要的价值和意义。修建这些工程从设计、实施到建成使用，都需要其它方面的协调合作，需要全盘统一的筹划。因此，这些工程就带动了一系列的学科和技术部门的开发和进步。

交运、水利工程都较为巨大，所处的地理环境往往都比较复杂、险要，如始于战国的栈道，盘旋于高山峡谷之间，或凿山为道，或修桥渡水，或依山傍崖，大都是用木柱支撑于危岩深壑之上。在具体施工前就要作大量的地势、地质调查和测量工作，这就大大提高了人们的地质研究和大地测量水平。在这个基础上得到的资料还要进行大量的数学运算，运用力学（包括流体力学）的知识进行深入的研究。在复杂的施工实践中，人们肯定会遇到不少新的课题，在解决这些问题时，就会在理论上作出新的总结和概括。这些都直接促进了数学、力学、地学、大地测量、材料的选择、利用、加工等学科和技术的产生和发展，比如在大量的水利实践中，人们已认识到水流的某些自然规律，《管子·度地》一书明确记载“夫水之性，以高走下则疾，至于漂石，而下向高，即绕而不行”。还总结

出水流的坡度降为千分之一，指出：“尺有十分之，三里满四十九者，水可走也。”即三里的距离内，渠底降低四十九寸，水就能畅通无阻地流动。

交运、水利事业还直接推动了桥梁技术的发展。春秋战国时期，中国的先民除建筑了两端支承于墩上的梁桥外，还建造了浮桥和索桥。公元前541年，秦公子鍼在临晋关附近建造了一座黄河浮桥，先后“有车千乘”通过，可见载量是不少的。另据记载，公元前251年秦孝文王时，蜀守李冰就建造了竹索桥，当时除拱桥外，浮桥、梁桥、索桥这几种形式的桥梁都已出现了。随着交运水利事业的发展，春秋战国时期中国桥梁技术结构已颇为完整。

交运水利事业还直接推动了车辆和船舶制造技术的发展，进而推动了机械制造工艺的进步。春秋战国时期车辆制造技术已非常精巧，理论上已有系统的详尽和记述。单是车辆零部件的名称就有几十种之多。特别是《考工记》从多个方面说明了车轮的制作的要求和方法：①“规之以砥其圜，”即用规精细地校准车轮，以保证其正圆，如果轮不正圆，轮与地面接触面就大，影响车的稳定性和速度。②“万之以砥其匡也。”就是将车轮放在与车轮一样大小的平整的圆盘上校准，以保证车轮面的平正。③“县之以砥辐之直也。”即用绳悬挂起车轮以校准辐条，保证其笔直。④“水之以砥其平沉之均也。”即将车轮放在水中，通过其沉浮是否均匀以判断其各部分是否均衡，并校准之。⑤“量其数以黍，以砥其同也，权之以砥其轻重之侔也。”即要校准两个车轮大小尺寸和重量，并使之相等。

⑥“轮已崇，则人不能登也，轮已庳，则于马终古登轮也。”即车轮不能太大，也不能太小，太大人上落不方便，太小马拉车时就吃力，如同经常上坡一样。⑦“轴有三理：一者以为微也，二者以为久也，三者以为利也。”对车辆的三个要求即要细小，材料要好，坚固耐用，要转动灵便。⑧“行泽者欲短毂，行山者欲长毂，短毂则利，长毂则安。”即要根据车辆行驶的环境并结合稳定性和快慢要求确定车轮中间圆木的尺寸。此外，还对材料的选择，车轮本身的结构作了说明和论证。这些说明和论证都十分周全细致的，十分符合科学道理的。此外，它还分别叙述了车与材料的选择及连接方法、车辕车架的制作对不同用途的车辆的要求等问题。从考古出土的车辆看，商、周车辆存在着用材比例不合理、重心偏高等设计方面的缺点，而《考工记》纠正了这些缺点，它说明了当时的制车技艺已有很大提高。与此同时，船舶制造也有很大发展，尤其是在江南一些水网地区技术工艺较突出。如吴国就能制造很多种类的船只，包括各种军用船舰。这是与吴国发达的水运事业密切相关的。特别是公元前486年吴国在邳地（今江苏扬州）东南筑城，由此向北开运河，经射阳湖至末口（今江苏灌南县北），与淮河相通，后来又继续向北开凿使之与沂水及山东境内济水相连。形成了自己的水运优势，使它的船舶制造技术领先于各诸侯国。由于当时的机械工艺主要应用在车辆和船舶制造方面，交运事业的发展就促进了机械技术工艺的提高。

三、相对地独立于两中心之外的医学、物理等学科，也逐渐发展起来了

远古时期，医学还是十分零碎的，人们对疾病的本质还未有清楚的认识，疾病被蒙上神巫的色彩，医学和神巫混合在一起。从严格的意义来说，还未有真正的医学。后来，人们在与疾病长期斗争的实践中，积累了大量经验，防病治病的能力有了很大的提高。到了春秋战国时期，医学无论在实践方面还是在理论概括方面，都已自成一个系统，而且达到了相当高的水平。在医疗实践方面已有分科专门化，分有五官、妇科、儿科等，还出了不少名医。他们在诊断、医疗技术、药物等方面都有颇高的造诣。名医扁鹊就是杰出的代表。在医学理论概括方面，战国时问世的《黄帝内经》是空前的医学巨著，共18卷、162篇，它不仅涉及到人体解剖、生理、病理、病因、诊断等基础理论，而且论述到针灸、卫生保健等方面的内容。特别应该指出的是《黄帝内经》将当时具有朴素唯物主义和辩证法思想的阴阳五行说直接应用于医疗实践，初步建立起中医学的理论体系，奠定了中医学的发展基础。2000多年来一直指导中医学的临床实践。尽管后来的中医学有多种不同的学派，但究其根源，都是在《黄帝内经》的基础上发展起来的。可以这样认为《黄帝内经》标志着中医学作为一个独立的学术领域已初步形成。医学主要以人体作为研究的对象，它与以农业生产为中心和以交通运输为中心的科学技术群始终没有什么直接的联系，在中国古代科技结构

三治终作为独立的部分持续发展着。

在春秋战国时期，物理学也象医学一样在两个科学技术群之外独立地形成自己的学术领域。从出土文物的考证中，我们知道，在春秋之前甚至更早的年代，人们在生产生活的实践中已知其然而不知其所以焉地认识和应用了一些物理特性和规律。例如半坡文化遗址中的汲水尖底瓶，就蕴含着丰富的力学知识。但是物理学的始终未成长为一门科学，还未出现物理方面的理论描述和概括。直到春秋战国时期，由于长期实践的积累，才产生了一些物理著述。最突出的是《墨经》，它的物理内容主要体现在光学和力学方面。涉及到小孔成像、平面镜、凸透镜、凹面镜、物理的机械运动、时间、空间等问题。其中关于运动物体影子的说明尤见精彩。《墨经》不停留在表面现象的描述，而是深入到本质的某些方面，在当时是极其难能可贵的。《墨经》的论述多建立在具体的实践基础上，在我国古代科技史上也是具有开创性意义的事情。《墨经》标志着当时的物理学一些领域已显露雏形。

建筑技术经过长时间的实践和经验积累，在春秋战国时期已达到较高的水平，形成了自己独立的体系。当时的建筑主要有两方面，一是城墙建筑，直接为战争服务，多用于防御。二是统治者及其附庸的宫室。建筑技术本身的结构已渐露雏形，主要有建筑材料、施工技术和构造形式三方面。当时的建筑材料主要有砖，包括铺地地砖、空心砖和条砖，陶制排水管道，材料包括木柱和板材等。尽管这些材料的制作比较原始，质地比较粗糙，但是，却为后

来建材的发展开辟了道路。当时的施工技术随着工具的发展已具有一定的水平，很多木构件已带榫卯，而且种类颇多，有方形、圆形，还有带稍孔的各式公母榫头，有些木板甚至已采用企口拼接，使拼接较为严密。据考古文物考证，春秋末年就已有了刨、锯、墨斗等工具。在战国时期还出现了斗拱的建筑技术。砌砖技术虽未十分科学、合理，但已有一定的科学性。出现了多种垒砌技术，砖墙的砌法朝着互相拉结的方向发展，使得砖墙有较好的整体性，既稳固又有承受压力和推力。当时建筑物构造形式也颇为多样，各个诸侯国都各有独特的风格。单是在脊饰方面就颇有研究，如后汉赵昶所撰《吴越春秋》上卷第四，谈到吴王阖闾令伍子胥筑城“吴在辰，其位龙也，故小城南门上反羽为两觚觥似象龙角。越在己地，其位蛇也，故南大门上有本蛇，北向示越属于吴王也。”

第二节 两个中心多元结构的发展

中国古代科学技术以农业生产和交运水利为中心的多元结构，自春秋战国形成后，在秦汉至南北朝这一历史时期有了很大的发展。这种发展表现在三个方面：①以农业生产为中心的科学技术群本身结构的发展；②以交运水利为中心的科学技术群本身结构的发展；③某些学科和技术部门本身结构的发展。现在分述如下。

一、以农业生产为中心的科学技术群本身结构的发展

这个时期，农业生产有了巨大的进步，使农业生产技

术本身的结构更加完备、更加充实、更加系统。首先,农业科学技术结构在深度上有了更大的发展。人们已从战国时期的“畦种法”进步到代田法和区种法。代田法是汉武帝帝通过掌管农业的官吏赵过大力推广的一种先进技术,它特别适用于大面积的耕地。而区田法则适用于小面积的耕地。在施肥方面,不仅继承了先秦时已掌握的分期施用基肥、追肥等技术,而且创造并推广了施用种肥的方法。到南北朝时,人们已创立一整套保墒防旱的措施,创立了一整套选择、收藏作物种子的方法,掌握了一整套适时耕种的时间程序,此外,在保持和提高地力方面,也创立了一整套从施肥、合理换茬、轮作到复种的措施和技术。到南北朝时期,中国北方旱作地区的耕作技术已基本定型了。

其次,农业科学技术结构在广度上有了更大的发展。它表现在四个方面:

(1) 蚕桑技术已发展成完整的系统。到了汉代蚕桑技术在全国范围内得到普遍的推广。从桑树的栽培、蚕病的防治和护理,到蚕室的整治、蚕室的防风和温度的控制都形成了一整套技术措施。

(2) 由于家禽兴旺和养马业大规模的发展,使相应的饲养技术和相畜术有了更大的提高,它发展得更深入、更细致,人们已从多方面进行综合的总结和概括。

(3) 园艺已成为农业科学技术的重要方面,并较快地发展起来。蔬菜和水果的种植技术已达到较高水平,特别在皇室内为了满足皇室甚至皇帝本人的侈欲,冬天吃到夏天的蔬菜,北方吃到南方的水果,当时已出现温室栽培技

术。透过从西域移植葡萄、苜蓿这一事实,可见当时育苗、起苗、护苗、装运以至空植、护养、防寒等一系列技术已达到较高水平。

(4) 由于江南地区经济日趋繁荣,人们在生产实践中已逐渐摸索、创立了一整套水田耕作技术。从此,中国耕作技术的结构就更加丰富多样了。

由于有丰富的实践,这一时期的农学理论有了很大的发展,无论在质量上还是数量上都是前所未有的。使农业科学技术本身结构在实践和理论的比重方面有了明显的变化。单是秦汉时期,农书就有七家一百多卷。其中最突出的是《汜胜之书》。作者汜胜之是汉成帝时的议郎,曾在现今的陕西省关中黄土高原教导农业技术,使当地获得丰收。以前的农学论著都是比较零散、孤立的,而《汜胜之书》则较为系统地总结了北方旱作地区农业生产的经验,是中国第一部全面论述作物栽培技术的农学专著。公元533—544年在北魏时曾任高阳太守的贾思勰所著《齐民要术》达到了秦汉至南北朝这一历史阶段农学理论的最高峰。《齐民要术》内容极为广泛,包括了种植业、畜牧业,涉及谷类、纤维、油料、香料、绿肥及饲料等作物;涉及水生植物、蔬菜、果树、用材林的栽培、家畜、家禽、蚕、鱼等动物的饲养;涉及农畜产品以至日用品的加工。正如作者在自序中所说:“起自耕农,终于醯醢,资生之业,靡不毕书。”由于贾思勰撰写时注重以下四方面:一是“采摭经传”,参攷文献资料,书中引证了前人100多种有关农业的论述;二是“爰及歌谣”,主要是参照流行

的农谚；三是“询之老成”，即请教于有经验的老农；四是“验之行事”即通过自己的实验和观察。因此，此书写得相当成功。它比《汜胜之书》更全面地总结了北方农业生产和农业科学技术及其成就，为后来的农学奠定了基础。是中国现存最早的最完整的系统化的一部农学专著，也是世界上最早的农学专著之一，备受国外学者赞誉。特别要指出的是《齐民要术》还记载了农作物品种的培育和改良方面极其丰富的成果，这表明中国古代农学家早就认识到生物的品种是可以变化的，这种变化是可以人工控制的，在一定的条件下，可以按人的需要培养出新的品种。达尔文在他的惊世巨著《物种起源》第一版第一章中说：“将选择原理系统地付诸实践，不过是最近75年来的事……但是，如果以为此原理是一项近代的发现，那就未免与事实相差太远。我可以举出某些认识到此原理的充分重要性的古代参考文献……我在一部古代中国百科全书中发现明确地提出了选择原理。”达尔文所指的古代中国百科全书就是指《齐民要术》。

在秦汉至南北朝时期，由于农业生产的进步和农业科学技术结构的发展，使环绕着农业生产这个中心的炼铁、机械、纺织、生物、天文等领域的科学技术不断向深度和广度进步，使整个科学技术群的结构有了很大发展。

在汉代，铁矿的冶炼和铁器的制造已得到极大的推广和传播，甚至边远地区都普遍地使用了铁器农具，战国时已出现的一些铁农具如耜、耨、锄、铤等都得到改进，加宽加大。此外，还产生了较为先进的方铤、宽刀铤、三齿

耙、曲柄锄、铤、钩镰等铁器农具。至南北朝时期随着耕、耙、耨技术的发展，还出现了用于耕细土壤的铁齿编铤和耨。可见铁器的需求量极大。这些就带动和促进了铁的冶炼和制作技艺的提高，它的结构也更为丰富。当时炼铁炉已按用途细分多种类型，鼓风机、耐火材料等都有了很大进步。在冶炼铁技术不断提高的同时，人们发明了初步的炼钢技术。在汉代有炒钢和百炼钢，在南北朝有用生铁淋口工艺。所谓炒钢，就是将生铁烧成熔融状态，随即不断搅拌，利用空气或铁矿粉中的氧进行脱碳炼就的熟铁或钢。^①所谓百炼钢，就是将熟铁或钢反复加热烧红，折叠锻打而成的。所谓生铁淋口工艺，就是把含碳高的生铁溶化，浇灌到熟铁上，使碳渗入到熟铁之中，增加熟铁的含碳量。这些都是炼钢史上重大的技术突破，它使得冶铁业在当时的条件下，向社会提供了大量廉价优质的熟铁和钢料。此外，当时的钢铁热处理技术也有了长足的进步。虽然在先秦已有热处理的过程，但那是极其简单的，操作效果亦很微弱。而在汉至南北朝期间出现的热处理铸铁脱碳技术，则具有很高的水平。使处理过的部位具有了钢的成分和特性。如1974年4月在河南省浍池出土的铁斧，含碳为0.24%、硅为0.16%、锰为0.41%、硫为0.01%、磷为0.14%。此外，在南阳瓦房庄汉代冶铸遗址出土的9件铁农具，经检验有8件是经过这类热处理的。可见，在农业生产这个中心的带动下，铁器的冶炼和加工

^① 在西方迟至18世纪才产生炒钢技术，比中国晚1600多年。

技术的结构已发展得更加复杂、更加全面。

秦汉至南北朝期间,机械技术结构也有了很大的发展,种类更多,具体的工艺更细致,更实用。特别是在铁器进一步推广和普及的情况下,机械技术有了更扎实的基础,并增强了它的社会功能。与春秋战国时主要扎根于车船制造业不同,这一时期的机械技术却普遍地应用在农机具方面,从最基本的犁看,铁刃已比以前加宽,头部的角度逐渐缩小,较轻便坚固,不但起土省力,而且利于深耕。犁辕、犁梢、犁底、犁衡以及犁箭等畜力犁的主体构件均已具备。至于犁壁,这个同犁铧联成一体、能翻土、碎土、以达到起垄作亩目的的重要装置,在汉代已十分广泛地被应用于生产之中。当时从整地、播种、中耕除草、灌溉、收获脱粒到农产品加工的机械就有30多种。其中有不少新型的农具,如能同时完成开沟、下种、覆土三道工序的“耒车”;用于春米春面的水碓。特别是三国时代的马钧发明的用于农业排灌的龙骨水车,是古代机械制作的骄子,它省力高效“令儿童转之,而灌水自覆,更入更出,其巧百倍于常”。^①它在中国沿用了1000多年,在应用水泵之前一直是提水灌溉最有力的工具。在农业生产的直接推动下,这一时期纺织业的迅猛发展,也促成了机械技术的结构更加多样、更加丰富。汉代所用的手摇纺车是由一个大绳轮和一根插置纱铃的链子组成,它既可加捻,又能绞绞,奠定了后代纺车的基础。根据汉代画像石研

究,汉代的织机虽然不很成熟,还处于一种原始织机向更精密的织机过渡的阶段。但亦自成一个系统,颇具规模。它部件齐备、结构亦属合理,节省了劳力,提高了速度,使织物更为平整规整。虽然缺乏文献记载,但从近二、三十年出土的汉代锦、绮、纹、罗等的织纹技术看,汉代已有提花机,它比织机复杂得多。据孙毓棠的研究,^②虽然这种机比不上宋、元时代的花机那样复杂灵巧,但已非常先进,远非近东、罗马当时的织机所能比拟。

事实上,当时机械技术不仅复杂多样,而且应用很普遍。无论是农业机械还是纺织机械都遍布社会的各个角落,特别是纺织机械,上至宫廷王府,下至百姓家内都备有,这反映了当时机械是比较普及的。当时的机械技术由同属于以农业生产为中心和水利交运为中心的科学技术群(造车船技艺)转移到以农业生产为中心的科学技术群,显示了中国古代科学技术结构演变的特性。

秦汉至南北朝时期纺织原料主要是丝、麻。其次是葛、毛,当时还未有棉花。由于长期生产实践积累了丰富的经验,以及西汉封建政府非常注重蚕桑的生产,因此,种桑养蚕及麻的栽培技术到了汉代已达到相当高的水平。特别是麻的种植非常普遍,不仅中原地区,就连南方和西南各少数民族地区都大量种麻。据古文献记载,除了较北部和西部地理环境不适宜外,麻的种植已遍布全国。这就

^① 《三国志·魏志》,裴松之注。

^② 孙毓棠:《战国秦汉时代纺织业技术的进步》,《历史研究》1963年第3期

促使纺织业特别是麻织业迅猛发展起来了。从出土的文物可以看到,当时纺织技术的发展是不平衡的,丝织最复杂、最进步,麻、葛较差,毛最落后。丝的纺织,过程复杂,工艺精细,工序自成系统,所用的多是精巧、复杂的机械,织造成品时也多用提花机,甚至是较为先进的提花机,成品非常精巧。如湖南长沙马王堆汉墓出土的一件素纱襌衣,长160厘米,两袖通长190厘米,领口、袖头都用绢绿,而总重量只有48克,真可谓薄如蝉翼。此外,还有紫色提花的绮、罗以及用不同彩丝织成的锦。其纹样繁多美观,有菱形、对鸟纹、矩纹等等。汉代麻、葛的纺织较落后,是一种费力而缓慢的劳动,成品也较粗糙。丝和麻在纺织技术工艺上的差异,是由它们的社会需要所决定的。丝织品是封建统治者及其仆从主要衣着原料,所以种桑养蚕向为历代统治者关心、特别是汉代,朝廷的劝农诏令常把蚕桑和谷物生产相提并论。正是统治者的侈欲,客观上促进了丝纺织技术工艺的发展。而麻织品是劳动群众的衣着原料,在日求三餐夜求一宿且难以保证的艰难环境下,衣能蔽体就满足了,更无心思和可能追求衣着的华丽了。至于毛纺织技术,则更为落后,关于毛织的生产过程古文献没有留下什么记载,毛织主要是西北少数民族所作。由于农业生产的发展,使纺织原料的品种和数量有了大幅度增长,由于多种多样的社会需要,使当时的纺织技术结构更多样化。

中国古代的生物学直接来源于农业生产的实践,来源于这种实践的经验的积累。这就决定了中国古代生物学的

研究及其成就都带有农业生产的印记。秦汉至南北朝的生物学也明显地反映了这一点。这一时期生物学的结构的进展就表现在人们对遗传变异以及微生物某些特性的较为深刻的认识。

(1) 对遗传和变异的认识。范胜之已认识到好的麦种可以长出好的麦穗,指出:“取麦种……择穗大强者”“顺时种之,则收常倍。”^① 贾思勰更进一步认识到猪、羊、鸡、蚕等家养动物和黍、粟、穄、秫等栽培作物的遗传性。主张留取这些动、植物的优良种类、优良个体作种,以求获得好的后代。^② 此外,对马驴杂交,果树嫁接这些集中反映了遗传和变异原理的实例,《齐民要术》也有明确的描述和概括。后来英国的伟大生物学家达尔文对此曾给予极高的评价,指出:“如果以为选择原理是近代的发现,那就未免和事实相差太远,……在一部古代的中国百科全书(指《齐民要术》)中已经有关于选择原理的明确记述。”^③

(2) 对微生物的认识。从《齐民要术》中可以看到,当时对微生物的特性,有些已上升到比较系统的规律性的认识。人们已掌握了曲成熟的标准,即所谓“五色衣成”。把醋酸的形成和醋酸菌形成的膜(衣)联系起来,认识到膜即一般所讲的衣,是有生命的物质。在制酒制曲方面,也有很多新的技术,如东汉末曹操就向皇帝上疏,提出

① 均见《范胜之书》及《齐民要术》。

② 达尔文《物种起源》。

“九醞酒法”，它和今天发酵工业的连续投料法或在发酵过程中多次追加原料的方法所依据的原理是相同的。在制曲方面，北魏时已能制成成块的“饼曲”，这种曲外面有利于曲霉生长，内部却有利于根霉和酵母的繁殖。总之，环绕着生物学的科学认识及技术操作的整个结构已越来越复杂，越来越扎实。

农业生产的进步还直接推动了这一时期天文学的发展。汉武帝太初历的制订和颁行，正体现了这一点。创订于周代末年的颛顼历法经过长时间的推行，漏洞和缺陷已越来越明显，特别是年终放置闰月的方法不能适应当时农业生产发展的需要，因而导致了公元前104年汉武帝下令“议造汉历”。汉代定出一年四季的正确的周期和二十四节气分段的方法，是天文史上杰出的成就。它不仅使农业生产掌握住寒来暑往的规律，而且使百姓生活作息时间有所遵循。自此，天文学的成就已大体上满足了农业生产的需要，农业生产对天文学发展的推动和促进作用，已没有秦汉前那么明显、那么直接了。中国古代天文学的结构基本上是在汉代奠定基础的，这个结构主要体现在下面几点：

(1) 对日月五星运动及其它天象的观察。这是中国古代天文学的支柱，整个天文学研究基本上都是环绕着日月五星的研究而展开的。各朝代都设置专司天文观察的机构和官员，有关的记录从未间断，即使国家处在分裂割据的状态下，各分立的政权也都十分重视这方面的观察和研究。在对日月五星的观察中，就导致了許多重要的研究和

发现。

(2) 天文仪器的研制。这也是天文学研究的一个重要方面。自秦汉到南北朝，天文仪器的研制有很突出的成就。除了先前的浑仪得到进一步改进变得越来越精密外，还出现了用以演示天象的浑象，特别是张衡研制的水运浑象更是巧夺天工。这些天文仪器不仅是天文观察的工具，而且是普及和宣传天文知识的工具。因此，改进和研制天文仪器向为天文学家注重。孙吴时的葛衡也做过一架别致浑象，已显示出近代天文馆中天象仪的雏形。

(3) 历法的制订和修改，它以时日月五星的观察为基础。日食的推算与预报，是中国古代历法的主要内容。推算与预报是否符合实际，符合到哪一程度，是判别历法优劣，决定其存亡去留的主要标准。这一时期历法屡经修改，已越来越精密，并为后世历法的发展确立了一个模式。

(3) 天文学理论的总结和概括。这是当时天文学研究的一个重要方面，这方面的工作也是比较出色的。它包括提出某些假说、整理综合前人论著等。例如关于天地的组成和运行的三大学说，在汉代均有很大的发展，更加系统，更加深入，更加具体，有更明确的理论表述。又如北魏时期朝廷曾组织一批人整理天文典籍，采集各家之长，共成75卷，既综合总结了前人的成果，又为后来的发展奠定了更扎实的基础。

二、以交运水利为中心的科学技术群本身结构的发展

秦汉至南北朝时期交运水利科学技术本身结构的发展