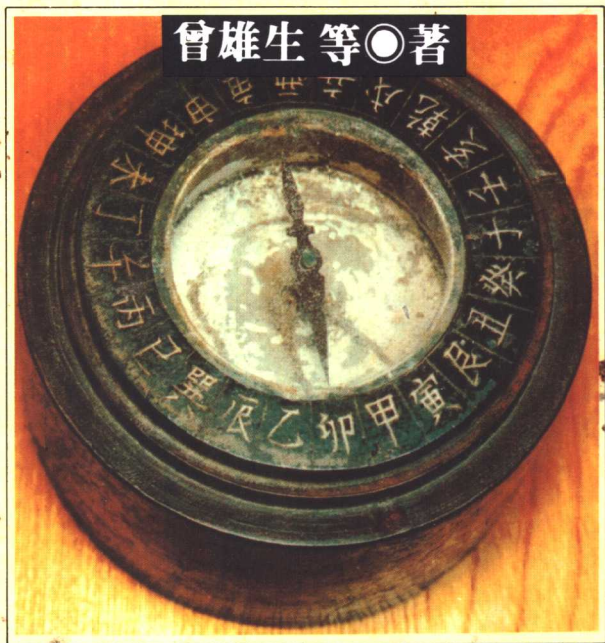


《中國文化史叢書》 65

中國科技史

曾雄生等◎著



文津出版

國家圖書館出版品預行編目資料

中國科技史 / 曾雄生, 徐鳳先, 傅海倫著. -- 初
版. -- 臺北市 : 文津, 民87
面 ; 公分. -- (中國文化史叢書 ; 65)
ISBN 957-668-495-1(精裝). -- ISBN 957-
668-496-X(平裝)

1. 科學 - 中國 - 歷史 2. 科技 - 中國 -
歷史

309.2

86016101

· 中國文化史叢書 ·

劉如仲 · 李澤奉主編

中 國 科 技 史

曾雄生 · 徐鳳先 · 傅海倫 著

出版者：文津出版社 社 長：范惠美

發行人：邱 家 敬 責任編輯：邱鎮京

地址：台北市建國南路二段294巷1號

電話：(02)23636464 傳真：(02)23635439

郵政劃撥：00160840 (文津出版社)

登記證：行政院新聞局局版台業字第5820號

著作財產權人：文津出版社有限公司

初版一刷：民國八十七年一月 印數1~1000(精裝200本)

ISBN 957-668-495-1(精)400元 957-668-496-X(平)330元



會雄生，一九六二年十一月生，江西省新幹縣人。一九八三年畢業於江西師範大學歷史系，獲歷史學學士學位，一九八八年畢業於浙江農業大學，獲農學碩士學位。現為中國科學院自然科學史研究所副研究員，主要從事中國農學史和中國科技通史研究，已發表論著四十餘種。

徐鳳先，女，一九六五年生於哈爾濱市。科學史博士，主要從事中國天文學史和科學思想史研究，發表論文十幾篇。現為中國科學院自然科學史研究所助理研究員。

傅海倫，男，一九七〇年生，山東曹縣人。主要從事數學方法論、教育心理學和數學思想史研究，發表論文三十餘篇，代表作有《論中國古代私學中的數學教育》、《數學機械化思想的產生和發展》等。現為中國科學院自然科學史研究所博士生。



商青銅小鼎



西漢車馬紋銀漏壺



北京八達嶺長城

數術記遺

徐岳撰

漢中郡守前司隸日甄鸞注

余以天門金虎呼吸精泉按星經云昂者西方之精也太白入昂金虎相薄法有兵亂周宣王時有人採薪於郊聞歌曰金虎入門呼長精吸

亂徐氏名岳東萊人蓋以漢室板蕩又諱見

於天特訪名山羽檄星馳郊多走馬按漢徵天

自求多福也君曰天下有道却走遂負帙游山

馬以糞天下無道戎馬生於郊也備歷丘

蹠跡志道蹠跡者兩足共躡一足跡也

周髀算經卷上

趙君卿注
甄鸞重述

唐朝議天行史令上輕車都尉臣李淳風等奉勅注釋

昔者周公問於商高曰竊聞乎大夫善數也

性姬名旦武王之弟商高周時賢大夫善算者

也周公位居家宰德則至聖尚早已以自杖下

學而上達請問古者包犧立周天曆度包犧一

始畫八卦以商高善數能通乎微妙達乎無方

宋刻《周髀算經》

九章算經卷第二

魏劉徽注

唐朝議天行史令上輕車都尉臣李淳風等奉勅注

粟米以御交

粟米之法凡此諸率相與大通其特相求之

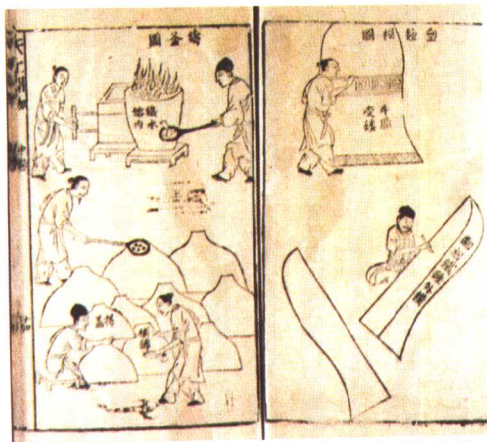
粟率五十分如本率可約者約之別術然也

糲米二十七糲米二十四

御米二十一小麩十三半

大麩五十四糲飯七十五

宋刻《九章算經》



明崇禎刻本《天工開物》



明崇禎刻本《本草綱目》



針灸銅人



清製瑠璃銅鐘



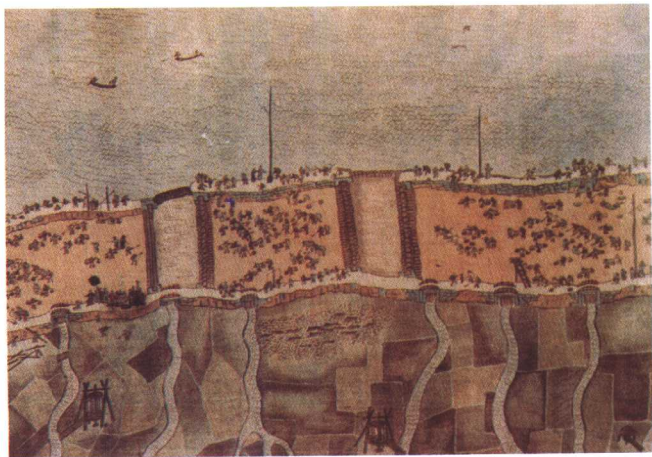
敦煌《神農本草經集註》殘卷



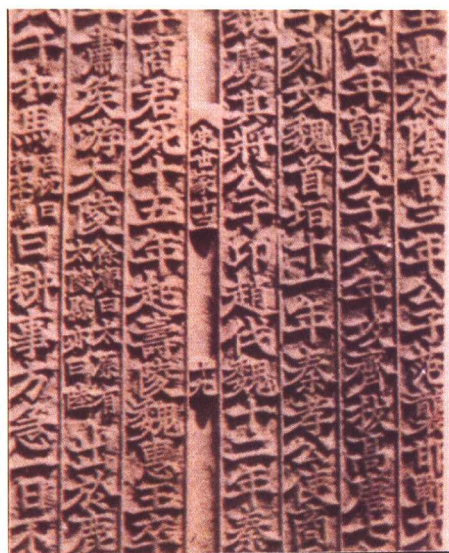
唐
敦煌曆書



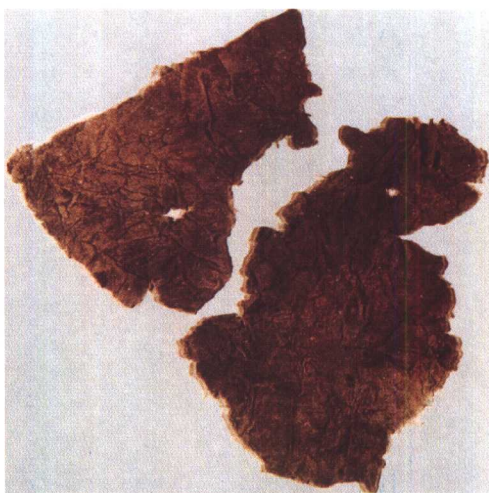
北京古觀象台



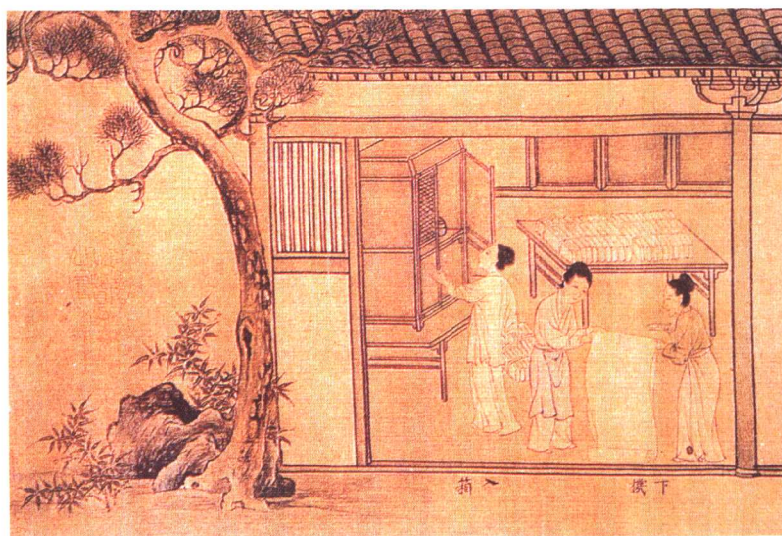
趙澄《治淮圖卷》
部份



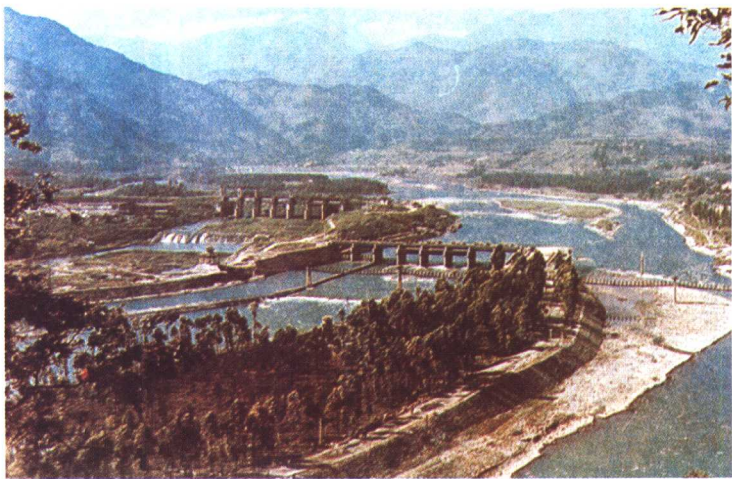
嘉業堂木刻印書版



漢代麻紙



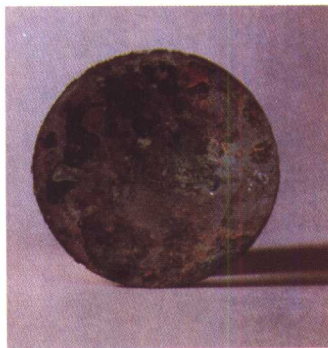
宋人繪《蠶織圖》



都江堰全景



元 銅壺滴漏計時器



戰國陽燧

總序

應台灣文津出版社之邀，我們主編了這套涵蓋政治制度、社會經濟、哲學宗教、文化藝術和科學技術等在內的《中國文化史叢書》。

以華夏為中心的中國文化，包括中華民族大家庭中所有成員的文化，而不是指單一的漢族文化，它的形成與發展，是一部波瀾壯闊的史詩，也是一軸延綿不斷的中國歷史畫卷。中國地廣人多，各地區歷史發展極不平衡，不同地區的文化相差甚遠，又不與歷史的總體進程同步，因此，這套叢書的選題力求合乎其主體，並兼顧各面。

中國是世界文明古國之一，但又是唯一沒有中斷過自己歷史，延續時間最長久的文明古國。在發展演進過程中，每一個朝代都有興衰更替之跡，其歷史文化都有形成、發展、衰落的規律，但又呈現起伏交錯狀態。對各個時期，各個方面的文化，本套書為求全面系統，因而盡量選其各方面之具有自己的特色和代表性者。

中國的文化源遠流長，光輝燦爛，它是在自己的民族生活土壤中生長壯大的，因此它具有強

烈的民族性。數千年來，中國文化也受到過外來文化的衝擊，如漢唐時期的佛教文化、明清時期的西方文化等，但它並未被其征服，始終保持著自己的民族特點，從價值觀念到穿衣吃飯，都顯示出了自己的民族特性。但是，中國的文化又不是一成不變，它仍在其歷史的進程中，不斷吸入新的成份，使其繁榮興盛。如古代的學者，在翻譯印度佛教經典時，吸收了印度古代的音韻學原理，從而創造了中國的音韻學，同時也創造了中國的禪宗。在中西文化的交流中，也將中國的發明創造和傳統產品輸往國外，對世界歷史文化的進展產生了巨大推動力。

一個偉大的民族創造了偉大的文化，這個文化不僅哺育著民族的成長，也對世界人類文明提供了偉大不可磨滅的貢獻。我們有義務去認識它，也有義務去發揚它，因此，我們邀請了大陸知名學者共同編寫了這套叢書。

本書從選題到定體例，從審稿到插圖，始終得到天津出版社總編輯鎮京先生的幫助。在編審過程中還得到了中國歷史博物館有關同仁的鼎力相助，均在此致以衷心感謝。不過，由於叢書內容廣泛，編審時間短促，舛誤之處，必然難免，尚望各界學者同仁及衆多讀者不吝賜教。謝絕。

《中國文化史叢書》主編

劉如仲

李澤奉

一九九二年四月 北京

序

中國是世界文明古國之一。作為文明古國，人們或許要想到造紙術、印刷術、指南針和火藥等四大發明，然而四大發明僅是中國古代衆多科技發明中的滄海一粟。中國古代在科學技術的各個領域都有大量的創造發明。這些發明創造是難以計數的。英國著名的中國科學技術史家李約瑟博士（DR. JOSEPH NEEDHAM），曾經以有關機械和其他技術方面的發明為例，比較了古代世界各文明古國的成就，提出中國的發明要比其他文明古國多得多，而且「這些發明在公元一世紀到十八世紀期間，先後傳到了歐洲和其它地區」，對世界科技文明產生了巨大的影響。在列舉了中國二十六項發明以後，李約瑟博士說：「我寫到這裡用了句點，因為（英文的）二十六字母都已用完了，但還有許多例子，甚至還有重要的例子可以列舉。」在大量的歷史事實面前，人們深信，在十六世紀以前，中國的科學技術水平還確定走在世界的前列。只是到了十六世紀以後，隨著近代自然科學在歐洲的產生，中國科學技術才開始落後於西方。西方人開始用中國人發明的火藥來對付中國人。中國的科技文明也從此失去了往日的輝煌。

中國科技文明的衰落，如同其昌盛一樣引起了海內外學者的廣泛關注，特別是關於近代科學爲什麼產生於歐洲而不在中國的命題，更促使人們對中國科學技術展開大量的探索。英國的李約瑟博士（一九〇〇—一九九六）從本世紀三十年代中後期開始研究中國科技史，他與魯桂珍、王寧等學者合作，編寫《中國科學技術史》（SCIENCE AND CIVILISATION IN CHINA），從一九五四年第一卷問世之後，至今已出版了十七冊，計劃出三十餘冊。這也是目前爲止，有關中國科技史規模最大的一部著作。海內雖然尚未有著作在規模上可以與之比肩，但各種專門性的著作已出現不少，只是尚未納入到一定的體系之中。與此同時，還出現了可以稱爲科技通史的著作，這其中首稱杜石然等在八十年代初編著的《中國科學技術史稿》，這也是目前爲止最爲權威的中國科技通史著作。

典型在手，加上本叢書中已有天、算、農、醫等專著在前，我們也想把本書寫成一本簡明中國科學技術通史。通史是什麼？說實話，我們並不太清楚。但我們知道，通史並不是斷代史的簡單相加，科技通史也不等同於各個學科史的排列組合。今人治中國科技史，大多受過自然科學某個領域的專業訓練，他們對於學科史一般都有很深的造詣，但跳出學科的界限，把科技當作一個整體加以研究卻鮮有人爲之。太史公有言「通古今之變，窮天人之際」。科學技術作爲一個整體，不僅有縱的影響，還有橫的聯繫。本書力求在通字上下功夫，在寫作時不僅注重科學技術自身的發展，還注意到科學技術與社會的關係，科學技術各門學科之間的相互影響等。當然由於本

書係分工完成，各人在處理時存在一些差異。

本書第一章至第三章由徐鳳先博士完成，第四章、第五章由傅海倫博士候選人完成，第六章和第七章由曾雄生副研究員完成。我們在寫作時參考了《中國科學技術史稿》等國內外出版的有關著作，同時吸收了近年來有關中國科技史研究的最新成果，並且得到了中國科學院自然科學史研究所陳美東教授、金秋鵬教授等先生的幫助，在此致以衷心感謝。

曾雄生

一九九七年五月二十五日

目 錄

序

第一章 原始社會與夏商周時代

第一節 勞動工具的製造與火的使用	三
第二節 從採集狩獵到農耕技術	五
第三節 青銅鑄造技術	八
第四節 其它工藝技術	一
一、從陶器到原始瓷器	一
二、紡織技術	三
三、建築技術	四

四、舟車製造技術·····	一六
第五節 天文學和數學·····	一七
一、天文學·····	一七
二、數學·····	二一
第六節 生物學、物候學和地學·····	二二
第七節 醫學·····	二三
第八節 初期的自然觀·····	二四
一、基本觀念·····	二五
二、陰陽、五行、氣、八卦學說的起源·····	二七
第二章 春秋戰國時期·····	三一
第一節 冶鐵技術的發展與鐵器時代的到來·····	三一
一、冶鐵技術的發展·····	三一
二、鐵器的廣泛應用·····	三三
第二節 精耕細作的農業傳統的形成·····	三四
第三節 大型水利工程興建的·····	三七

一、灌溉工程·····	三七
二、運河和堤防工程·····	三九
第四節 《考工記》中的手工業技術·····	四一
一、車輛的製造·····	四一
二、弓箭的製作·····	四三
三、樂器的製作·····	四四
四、設色工藝·····	四五
五、建築技術·····	四六
第五節 《墨經》中的科學知識·····	四六
一、光學知識·····	四七
二、力學知識與時空觀·····	四八
三、數學知識·····	四九
第六節 天文學和數學的發展·····	四九
一、天文觀測的發展·····	四九
二、古四分曆與二十四節氣·····	五二
三、數學的發展·····	五三

第七節 生物學與地學.....五五

一、生物學知識.....五五

二、地學知識.....五六

第八節 醫學的發展與《黃帝內經》.....五七

一、醫學的發展.....五八

二、《黃帝內經》.....五九

第九節 春秋戰國的自然觀.....六〇

一、關於宇宙的本原問題.....六一

二、關於宇宙的結構.....六一

三、關於宇宙與物質的有限與無限.....六二

第三章 秦漢時期.....六五

第一節 農業技術的發展與農田水利建設.....六六

一、耕作技術與農具的進步.....六六

二、土地的合理利用.....六七

三、《汜勝之書》.....六八

四、園藝、桑蠶與養馬·····	六九
五、水利工程·····	六九
第二節 冶鐵技術的成熟與鐵器的普遍應用·····	七〇
一、冶鐵·····	七一
二、百煉鋼、炒鋼與鑄鐵脫碳鋼技術·····	七二
三、鐵器的普及·····	七三
第三節 天文學的成就·····	七四
一、曆法體系的形成·····	七四
二、天文儀器與天象觀測·····	七五
三、宇宙理論——言天三家·····	七六
第四節 《九章算術》——中國古典數學框架的建立·····	七七
第五節 地圖測繪技術與地理志·····	八〇
一、馬王堆地圖與地圖測繪技術·····	八〇
二、《漢書·地理志》的編纂·····	八一
第六節 醫學體系的充實與提高·····	八一
一、《神農本草經》·····	八二

二、《傷寒雜病論》	八二
三、華佗的醫療實踐	八三
造紙、漆器與紡織	八三

第七節

一、造紙	八三
二、漆器	八四
三、紡織	八五

第八節

建築與交通	八五
一、建築	八五
二、交通	八六

第九節

中外交通、貿易和科技文化的交流	八七
一、海上交通的發展	八七
二、陸路交通的發展	八八
三、中外科技文化交流	八九

第十節

漢代自然觀	九〇
一、董仲舒和「天人感應」的神學目的論	九〇
二、古文經學派與今文經學派的鬥爭及其影響	九二

三、唯物主義者王充及其《論衡》……………九三

第四章 三國兩晉南北朝……………九七

第一節 社會狀況與歷史背景……………九七

第二節 農業生產技術和農學著作……………九八

一、賈思勰和《齊民要術》……………九九

二、《齊民要術》所反映的北方農業生產技術……………九九

三、南方的農業生產技術的發展……………一〇三

第三節 天文及曆法理論的重大突破……………一〇三

一、天體理論的進一步發展及對蒙氣差的認識……………一〇四

二、歲差的發現……………一〇五

三、太陽和五星視運動不均勻性的發現……………一〇六

四、星官體系與全天星圖……………一〇七

五、天文儀器的研製和革新……………一〇八

六、觀測技術和推算方法的巨大進步……………一〇八

第四節 數學的突出進展……………一〇九

一、數學秦斗劉徽及其數學成就	一一〇
二、祖沖之父子及其科學成就	一一二
三、世界數學名題	一一四
地學的新進展	一一五

一、地理圖記的分離與裴秀《禹貢地域圖》	一一五
二、地方志、地記的編纂	一一六
三、鄮道元及其《水經注》	一一七
四、物候曆、潮汐理論的發展	一一八
醫藥學的發展和醫藥著作的整理	一一九
一、王叔和的《脈經》和皇甫謐的《針灸甲乙經》	一一九
二、陶弘景《神農本草經集注》	一二一
三、雷敫《藥物炮炙論》和葛洪的《肘後卒急方》	一二二

近代化學的先驅——煉丹術	一二三
一、煉丹術的產生和發展	一二三
二、煉丹術與化學、化工	一二四

製瓷、冶金技術的新成就	一二五
-------------	-----

一、製瓷技術的基本成熟	.....	一一五
二、鋼鐵冶煉及鍛造技術	.....	一二六
三、銅及其合金的冶煉技術	.....	一二七
第九節 機械技術的發展	.....	一二七
一、馬鈞及其機械發明	.....	一二八
二、糧食加工和實用性機械	.....	一二八
三、交通機械和兵器的發展	.....	一二九
第十節 造紙技術的發展	.....	一三〇
第十一節 佛教建築之興盛	.....	一三一
一、佛寺、佛塔	.....	一三一
二、石窟寺	.....	一三二
第十二節 自然觀和宇宙論	.....	一三二
一、玄學、道教、佛教的唯心主義自然觀	.....	一三三
二、唯物主義自然觀的發展	.....	一三四
三、關於宇宙論的爭論	.....	一三五

第五章 隋唐五代時期……………一三九

第一節 社會狀況與歷史背景……………一三九

第二節 天文學的發展及其成就……………一四〇

一、定朔法代替平朔法……………一四〇

二、天文學家僧一行及其科學成就……………一四一

三、天文儀器的改進和完善……………一四二

四、天文計算精度的進一步提高……………一四二

第三節 數學教育及其發展……………一四三

一、數學教育和「十部算經」注釋……………一四三

二、王孝通及其《緝古算經》……………一四四

三、二次內差法的創立和應用……………一四五

四、實用算術的發展……………一四六

第四節 農業的繁榮和農業生產技術的提高……………一四六

一、農業生產的興盛……………一四七

二、農業生產技術的提高……………一四八

三、《茶經》、《四時纂要》及製茶技術·····	一四九
中醫學的光大和藏醫學的迅速發展·····	一五〇
一、醫療機構及醫學教育·····	一五一
二、醫學著作及其貢獻·····	一五一
三、藏醫學的迅速發展·····	一五四
第六節 地理學的成就和大運河的開鑿·····	一五五
一、中國第一部世界地圖——賈耽《海內華夷圖》·····	一五五
二、李吉甫《元和郡縣圖誌》·····	一五六
三、玄奘《大唐西域記》和《大慈恩寺三藏法師傳》·····	一五六
四、海陸變遷遺跡的發現和《海濤誌》的問世·····	一五七
五、隋唐大運河的開鑿和利用·····	一五八
第七節 冶金、製瓷和紡織印染技術的進步·····	一五九
一、冶鑄業的發達和冶金技術的普及與提高·····	一五九
二、製瓷業的發展和唐代名窯·····	一六〇
三、紡織印染技術的提高·····	一六一
第八節 火藥的發明和化學、化工·····	一六二

一、煉丹術的提高和黑火藥的發明	一六二
二、礦物藥專著和化學製劑	一六三
第九節 雕板印刷術的發明和造紙技術的成熟	一六四
一、雕板印刷術的發明及其貢獻	一六四
二、造紙術的發展和成熟	一六六
第十節 古典建築技術的成熟	一六七
一、大興城、長安城及其建築技術	一六七
二、木結構建築技術體系的確立	一六九
三、高層磚塔建築的技術成就	一七〇
四、世界上最早的大型敞肩拱橋——安濟橋	一七一
第十一節 貿易未來和中外科學技術交流	一七二
第十二節 柳宗元、劉禹錫及其自然觀	一七六
一、柳宗元及其自然觀	一七六
二、劉禹錫及其自然觀	一七七

第六章 宋遼金元時期……………一八一

第一節 宋元時期的科學技術與社會……………一八一

一、民族衝突與融合下的科學技術……………一八一

二、政府與科技……………一八五

三、經濟對於科學技術的影響……………一八七

四、對外貿易與科學技術交流……………一九二

五、思想文化與科學技術……………一九四

第二節 宋元時期的技術科學……………一九八

一、火藥和火器……………一九八

二、造船技術……………一九九

三、指南針和航海……………二〇一

四、活字印刷術的發明……………二〇二

五、製瓷技術……………二〇五

六、冶金技術……………二〇八

七、建築、橋樑和《營造法式》……………二一〇

八、紡織和《梓人遺制》……………二一七

第三節 宋元時期的天文算學……………二一九

一、天文儀器……………二二〇

二、天文曆法成就……………二二三

三、宋元數學四大家……………二二七

第四節 宋元時期的醫學……………二三一

一、宋代的本草學著作和臨床醫學……………二三五

二、宋慈和《洗冤集錄》……………二三五

三、金元醫學四大家……………二三六

第五節 農學和生物學……………二四〇

一、土地利用方式的發展……………二四一

二、多熟種植的發展和稻麥二熟制的形成……………二四五

三、北方旱地耕作技術體系的進一步發展……………二四六

四、南方水田耕作技術體系的形成……………二四八

五、宋元農學四大家……………二五一

六、宋元時期的生物學著作……………二五五

第六節 科學人物……………二五八

一、沈括……………二六二

二、郭守敬……………二六七

第七章 明清時期……………二七七

第一節 明清科學技術與社會……………二七八

一、明清政治與科學技術……………二七八

二、商品經濟與明代科學技術……………二九一

三、明清學術思潮與科學……………二九三

四、倭寇、傳教士對中國科學技術的影響……………二九七

第二節 明清時期的技術科學……………三〇三

一、造船和航海技術……………三〇三

二、採礦和冶金技術……………三〇六

三、建築技術……………三一二

四、製瓷技術……………三一八

五、《天工開物》對於傳統技術的總結……………三二〇

第三節 明清時期的農學……………三二三

一、土地利用的深入發展……………三二三

二、甘薯和玉米的引進……………三二四

三、一歲數收之法……………三二六

四、耕作栽培技術的發展與完善……………三二七

五、明清時期的農書……………三二九

第四節 明清時期的醫學和本草學……………三三一

一、明清時期的醫書……………三三一

二、人痘接種法的發明……………三三三

三、吳有性與「戾氣說」……………三三五

四、王清任和《醫林改錯》……………三三七

五、《救荒本草》及應用植物學的產生……………三三八

六、《本草綱目》……………三四〇

七、《植物名實圖考》對於植物學的貢獻……………三四三

第五節 明清時期的天文學、算學和物理學……………三四五

一、天文學和算學……………三四五

二、物理學·····	三五三
第六節 明清時期的地學·····	三五七
一、明代前期的地圖學·····	三五七
二、《徐霞客遊記》對於地學的貢獻·····	三六〇
三、清初全國地圖的測繪·····	三六二

第一章 原始社會與夏商周時代

距今一、二百萬年前，在今青藏高原、蒙古高原與太平洋之間的廣大區域內，開始有了人類的活動，這就是中華文明的曙光。目前發現的中國境內最早的人類活動遺跡是距今一百七十萬年的雲南元謀人遺址，其次是距今八十萬年的陝西藍田人遺址。文明在她誕生的初期發展得非常緩慢。從距今四、五十萬年以後，中國古文明加快了她的腳步。關於中國文明是單一中心的還是多中心的，已經討論了多年。在七十年代以前，由於考古發掘主要集中在黃河流域，黃河流域是中國文明的單一中心的觀點被普遍接受。最近一、二十年以來，在黃河流域以外的區域發現了許多古文明遺跡，這些遺跡形成了各自不同的區域風格，這促使人們重新認識中國境內的各種文明間的相似和差異，中國文明多中心論逐漸代替了單一中心論，現在已經有確鑿的事實證明，黃河下游、中游、上游地區，長江中游、下游地區，華南地區、東北地區、西南地區等地都是中國古文明的中心，各地的考古學文化有自己的特色。

文明是伴隨科學技術的出現而出現的，人與動物的一個重大區別在於人能製造工具。對於人

爲什麼要製造工具這個問題的回答也許永遠只能是猜測，從自然選擇論出發認爲：環境的變遷逼迫人學會製造工具。第四紀冰期之後氣候轉暖，森林後退，草原擴大，人類的祖先是生活在森林之中的靈長類的一支，由於森林面積縮小，這一支不得不離開森林到草原上來，爲了適應這種變化，他們要學會製造工具以獲取更多的食物並戰勝野獸的侵襲。當然，我們不能忘記的前提是，靈長類是動物中最聰明的一類，許多靈長類動物都能利用某些天然的東西作爲工具。

歷史學家把人類的歷史分爲石器時代、銅器時代、鐵器時代，每個時代都標誌著科學與技術進入了一個新的時期。石器時代又分爲舊石器時代和新石器時代。舊石器時代的石器加工技術以打製爲主，新石器時代則代之以越來越精細的磨製。一般來說，農業與製陶是與磨製石器同時出現的。中國的新石器時代約開始於一萬年前，在這以前是漫長的舊石器時代。新石器時代大約持續了五、六千年，在新石器時代中晚期的仰韶文化、龍山文化等文化中有各別的小件銅製物出現，中國真正的銅器時代開始於商代。鐵器時代則從戰國開始。

原始社會中社會生產力低下，技術水平很低，每一個有能力勞動的人都要從事體力勞動，才能養活部落的全體。原始社會是以國家的出現而告終的，國家的出現意味著大規模的技術工程成爲可能，還意味著有一部分人可以分化出來，專門從事科學活動，當然，那時的科學囿於當時的自然觀，與現代意義的科學相去甚遠，並且科學與我們現在說的迷信往往共生並存。中國歷史上第一個國家——夏代——約始於公元前二十一世紀，目前夏代遺址在考古上發現甚少；夏代之後

是商代，商代的考古發掘相當豐富。夏商周三代繼承發展了原始社會的一些技術，又創造了一些重要的全新的技術，生產規模也大大擴展。原始社會與夏商周三代是中國古代科學技術的萌芽和緩慢積累的時代^①。

第一節 勞動工具的製造與火的使用

人類最早的工具應該是由樹枝、竹棒等易於獲得又容易加工的材料製成的，但是，這些工具無法保留到今天。易於保存下來的是石器、骨器和角器等。最初的加工大概就是把樹枝、骨頭或石頭的碎塊粗粗地弄尖一下，或是砸碎，以求用起來得心應手，逐漸地加工的技术越來越高，工具製造得越來越細緻。以打製為主製成的石器往往是一器多用的，從其器型上分類，主要有不規整的砍砸器、帶刃口的刮削器和一端尖銳的尖狀器，有些遺址中還有石球，從民族學研究來看，石球是狩獵用的工具。當然這只是一種簡單的分類，實際上石器的形制要複雜多變得多。磨製石器的形制容易控制，磨製的石器較打製的石器更專門化，到新石器時代，石器的穿孔技術已經普遍，有了穿孔技術才有可能製造由幾個部件組成的複合工具，如石斧、石耒等工具都離不開石器穿孔技術。石器是原始社會的人們大量使用的工具，從舊石器時代的北京人遺址中發現了大量各種各樣的石器，把石器和石片等等都計算在內不下十萬件^②。骨角器保存下來的也較多，既有粗

壯的鹿角製成的砸擊用的器物，也有細小的骨頭做成的骨刀、骨針等，舊石器晚期的山頂洞遺址中曾出土一根做得相當細致的骨針，有了骨針，人們可以把獸皮縫製成衣服，抵禦寒冷，為進一步擴大生存範圍提供了前提。在原始文化遺存中，還經常有蚌殼製的器物。

在夏商周時代，儘管有了銅器，石器和骨器還是當時普遍使用的生產工具，在那個時代，銅器的製造能力畢竟還不能滿足社會各個方面的需要。西周時代還有大規模的骨器製造場。

學會用火是人類文明史上的又一個劃時代的進步。火的歷史比人類的歷史不知要久遠多少倍，火山爆發能起火，閃電能起火，自然界的某些物質能自燃起火，甚至兩根枯枝在風吹搖擺摩擦之下也能起火。所有的動物都對火充滿恐懼，人類的祖先無疑也是害怕火的。我們已經無法知道人類是從什麼時候、以怎樣的契機開始學會用火的了，但可以肯定，最初用的火是自然火，在森林大火之後，人可能從餘燼中撿拾正燃著的樹枝，把它帶回洞穴，保存起來。元謀人的遺址中似乎有用火的遺跡，北京人的洞穴中留下了幾層灰燼層，其中一層的最厚處達到六米之厚，灰燼中有被火烤過的獸骨。這麼厚的灰燼層表明，北京人已經能夠控制火。在中國的其他考古文化遺址中也多有灰燼層。用火還不等於造火，用火只是把自然火保存起來，造火則需要更高的技術。中國古代傳說上古的燧人氏教民「鑽燧取火，以化腥臊」^④，民族學的調查表明，最簡單的人工起火方式是鑽和磨。人們在打擊石器、對石器與木器鑽孔時，偶爾會碰撞、摩擦出火星來，漸漸地，人們悟出可以用鑽和磨的方法取火。只有學會了人工取火，人類才真正控制了火這種自然

力。柴爾德（V.G. Child）說：「火的控制，大約是人類自其環境的束縛中解放出來的第一步。」^①有了火，人類就可以把生食變為熟食，結束了茹毛飲血的時代，這有利於人類大腦的進化，也擴大了食物範圍；有了火，人類可以更有效地防禦野獸的侵襲；有了火，人類可以慢慢地從溫暖的地區向寒冷的地區發展；有了火，人類可以燒掉野草樹叢，開荒種地，這就是原始的刀耕火種的農業。火對技術的發展更具有極大的意義，美國文化史學家林頓（Ralph Linton）說：「被人用於最早的化學反應過程和一系列的製品之中」，火的「主要價值肯定是與工藝技術有關」^②，確實，製陶、冶銅、煉鐵等等工藝都離不開火，火對技術發展的意義是極其重大的。

第二節 從採集狩獵到農耕技術

人類同自然進行的第一場鬥爭也是永恆的一場鬥爭是獲取食物，與獲取食物最直接相關的技術和科學是農業技術和科學。人類走出森林之初還沒有農牧業，其生存方式是採集和狩獵，他們集體捕獵野生動物、採集野生植物果實，維持部落的生存和繁衍。舊石器時代的考古遺址中常有各種動物骨骼，其中有一些是大型動物，在北京人用火的灰燼中，有燒過的獸骨，表明當時原始人曾在火上燒烤捕獲的獵物。

經過漫長的採集狩獵的生活方式，人們對野生植物的認識逐漸加深，對野生動物的習性也了

解得更加深入，從單純的採集、狩獵發展到自己試著種植某些植物，這樣就產生了農業和畜牧業。這時已經是新石器時代。一般認為，早期的農業是採用刀耕火種的方式來進行的，即把荒地上的樹木砍倒燒光，用尖狀竹木挖穴播種，種前不翻地，種後也不除草。這樣一般過一、二年地力就耗盡了，於是拋荒，開闢新地。新石器時代中期進入鋤耕農業階段，人們在幾塊土地上輪流耕種，不必經常遷徙開荒。這時的農業產量已相當可觀，河北武安磁山遺址中，出土了大量的窖存糧食，該遺址有八十八個儲存糧食的窖穴，每個窖穴的容積一般在一立方米到幾立方米，可見當時作物產量之高。

新石器時代種植的作物有粟、稻、芥菜、大麻、苧麻、蠶豆等，其中粟是黃河流域的主要作物，稻是長江流域的主要作物。距今六、七千年的西安半坡遺址中出土了一個帶蓋陶罐，裡面保存有完好的粟粒，這是黃河流域栽培粟的實物例證；自本世紀七十年代考古工作者在距今七千多年的浙江餘姚河姆渡遺址發現大量稻作遺存之後，又在長江流域的許多地區發現了更早的稻作的實物例證，如湖南澧縣的彭頭山遺址、道縣的玉蟾寺遺址等。

中國古代的農業生產技術在夏商周三代有了很大的發展，大規模的奴隸集體勞動、農具的改進、水利事業的發展、耕作制度的進步都為農業生產的發展創造了條件。相比之下，畜牧業在農業經濟中所佔的比重略有降低。

根據文獻記載推測，夏人已經具備了一些基本的農業知識，《夏小正》中記載了每個月的農事

活動。商代農業在經濟中佔的地位更加突出，甲骨文辭中有很多是占卜農業豐歉的。周民族本來就是一個以農業爲主的民族，西周時代農業發展顯著，《詩經》中出現了多種農作物名稱，如屬於穀類的黍、稷、禾、穀、麥、稻等，屬於豆類的荏菽、菽、藿等，屬於麻類的麻、苴、苧等。黍、稷是商周時代黃河流域的主要作物，甲骨文辭和《詩經》中多次提到它們。

西周時代對作物的品種和選種已經有了明確的認識，《詩經·大雅·生民》說：「種之黃茂」，「誕降嘉種，維秬維秠，維糜維芑」，是說要選擇色澤黃亮、籽實飽滿的種子來播種，秬、秠、糜、芑是品質優良的禾類，播種時要用這些品種。

西周時期的耕作制度實行休耕制，將土地按地力好壞分爲畝、新、舊三種，舊田土質肥沃，年年耕種，新田較畝田差，三年中種二年，休耕一年，舊田是地力貧瘠之田，三年中種一年，休耕二年。休耕使貧瘠之田的地力得到了恢復。此外，周人還十分重視農田管理，有計劃地整治土地、中耕除草、灌溉、施肥、消滅蟲害等。

作爲農業補充的園藝業也發展很早，《夏小正》中有「囿有見韭」、「囿有見杏」之說，「囿」是專門種植蔬菜和果樹的園。至遲在商代，栽培蔬菜、果樹已經出現，甲骨文中至少有二種「圃」字的不同寫法，也有「囿」字出現，說明當時確實有人工栽培蔬菜和果樹的園圃。《詩經》中出現了很多種瓜果蔬菜名稱，其中有一部分肯定是在園圃中栽種的。

新石器時代逐漸開始馴養了一些動物。七、八千年前的長江、黃河流域新石器時代遺址中，

已發現豬骨和狗骨，到新石器器晚期，後世稱爲「六畜」的牛、馬、羊、豬、犬、雞都已成爲家畜。捕魚是新石器時代經濟的一個補充，很多新石器遺址都出土了石網墜、魚骨等，魚是半坡陶器花紋的主題之一。夏商周時期的畜牧業又有一些進步，象、鹿等哺乳類動物和鴨、鵝等水禽類都在夏商周時期被馴養。馬作爲當時的重要工具受到高度重視，國家對馬的管理和繁育相當嚴格。獸醫技術出現在這一時期，家畜閹割術在夏代前後出現，甲骨文中有閹割過的豬的字符。甲骨卜辭中屢有「在囿魚」的記載，說明商代有了人工養魚，周文王曾在一個叫沼靈的人工池中養魚^⑥。

中國的養蠶業也有悠久的歷史，養蠶與種植桑樹是不可分的，《夏小正》中有「妾子始蠶，執養宮事」，「攝桑、委楊」的記載，這是關於養蠶和修整桑樹枝條的最早記載，當時蠶已經在室內飼養，說明養蠶已經經過了長期的發展。

第三節 青銅鑄造技術

中國的青銅鑄造技術到商周時代達到鼎盛時期，創造了一個輝煌燦爛的青銅時代。青銅鑄造技術基本上是伴隨著國家的形成而發展起來的。商遺址出土了大量精美的青銅器，有用於祭祀的青銅彝器、用於戰爭的青銅兵器、用於餐飲的青銅酒具和炊具、用於農業生產的青銅農具以及用

於裝飾的青銅飾物等等。西周時代的青銅器更精美，用途更廣泛，有些銅器上還鑄著銘文，其中最長的毛公鼎銘文達四百九十七字。

在中國，青銅鑄造技術的發展經過了上千年的歷史才走向成熟。自然界有少量的純銅存在，人類最早利用的銅就是這種自然銅。隨後，利用單金屬礦物冶煉銅的方法出現了，這樣煉出的銅是含雜質少的紅銅，也有利用多金屬共生礦煉出青銅、黃銅的。我國新石器時代晚期的一些遺址出土的銅器中紅銅所佔的比例較其他銅略高，黃銅、青銅也有，這只是中國青銅時代的先聲。最後，當人們掌握了恰當的銅、錫、鉛比例以後，就能隨意煉出青銅了，在中國，這是在商代。

青銅是銅和錫鉛等元素的合金，各種元素的不同配比可以得到不同性能的青銅器。《周禮·考工記》說：「金有六齊。六分其金而錫居一，謂之鐘鼎之齊；五分其金而錫居一，謂之斧斤之齊；四分其金而錫居一，謂之戈戟之齊；三分其金而錫居一，謂之大刃之齊；五分其金而錫居二，謂之削殺矢之齊；金錫半，謂之鑿燧之齊。」《考工記》雖然成書時代較晚，但是其中總結的上述不同青銅器中的銅錫比例卻是商周以來青銅冶煉中煉製不同硬度、外觀的銅的技術總結。實現不同配比的具體的冶煉方法，開始是用含有多種金屬元素的礦石，或把單一的銅礦石加錫礦石和鉛礦石配好，一次冶煉成青銅。後來發展成先分別冶煉出銅和錫、鉛或錫鉛合金，再按比例配好，冶煉成青銅，這樣就可以控制青銅的品質。商周遺址中有純銅、純鉛和鍍錫物出土，表明當時的技術條件確實能夠煉純銅、純鉛和純錫了，後一種冶煉青銅的方法可能已經被採用。

在煉銅過程中，控制火候是很關鍵的技術，《考工記》說：「凡鑄金之狀，金與錫黑濁之氣竭，黃白次之；黃白之氣竭，青白次之；青白之氣竭，青氣次之，然後可鑄也。」黑濁之氣是銅料上附著的碳氫化合物燃燒產生的氣焰，隨著溫度的升高，氧化物、硫化物和某些金屬揮發出來，形成不同顏色的氣體，最後，達到「爐火純青」時，就煉成了青銅。長期的燒製陶器的經驗無疑為掌握煉銅的火候提供了技術背景。

中國的銅器成型工藝以鑄造為主，鍛造用得很少。商周時鑄銅用的是泥範，簡單的器物如刀、斧等用單範、雙範即可鑄成，但是大型器物如鼎、罍、簋等要用幾十個、甚至上百個範，這些範要先經過燒製、組裝。鑄造一件器物的工藝大體是：製模、塑出花紋↓翻製泥範↓刮製泥芯↓範芯自然乾燥和高溫焙燒，並經修整↓範、芯的組裝和糊泥↓澆鑄銅液↓出範，出芯，清理↓加工、修整，打磨而後得到成品⑦。

在鑄造形制複雜的器物時，經常採用分鑄法，先鑄一部分，嵌到泥範中，再與其他部分鑄接而成。殷墟婦好墓的青銅器就熟練地運用了分鑄法。

商周時期已經有了大規模的青銅器作坊，如河南安陽殷墟苗圃北地的鑄銅作坊遺址面積至少在一萬平方米以上，洛陽北郊西周早期鑄銅作坊遺址面積有九萬到十二萬平方米，由此可見當時青銅鑄造業之發達。

第四節 其它工藝技術

一、從陶器到原始瓷器

在各民族的歷史上，陶器總是與農業相伴出現的，它又是新石器時代的一個重要標誌。關於我國陶器的起源，有「昆吾作陶」^⑧、「有虞氏上陶」^⑨等傳說，從考古發掘來看，陶器在我國至少有八千年以上的歷史了。我國新石器時代遺址中陶器是常見物，灰陶、紅陶、黑陶都很普遍，其中又有泥質和夾砂兩類，白陶在長江流域和黃河流域新石器時代中期也出現了，長江流域還出現了印紋硬陶。五、六千年前的仰韶文化遺址中，陶器已經相當精美，表明當時製陶技術已經成熟。山東龍山文化的蛋殼黑陶，厚度僅有零點五到一毫米，質地堅硬，表面光亮，是陶器中的精品。

陶器的製造與石器、木器、骨器的加工不一樣，它是把粘土這種物質經過加熱燒製改變了其化學成份和結構，是人類第一次製造出一種自然界沒有的物質，因此它是人類技術史上的一項重要成就。有了陶器，可以蒸煮食物，可以儲存水和液態食物，為釀造技術的出現提供了前提。陶器還可以製作生產工具，如有些遺址中出土有陶紡輪、陶刀、陶銼，商周時代遺址中出土有大量

陶製水管，冶鑄青銅用的坩堝、範、模也都是陶製的。長期的製陶為冶金技術打下了基礎。陶器後來演化成瓷器，成為中國古代具有代表性的產品。

製陶的過程，第一步是選擇好的粘土，根據不同的需要有時要加入厝合料。第二步是製坯，把陶土濕潤成具有一定可塑性的軟土，塑造成需要的形狀，早期是用手捏製或泥條盤築，後來發明了用陶輪修整器口的慢輪修整法，進而發展為快輪製法。第三步是裝飾，包括用陶拍把半乾的陶坯拍打光滑、在陶外面塗上特殊泥漿製成陶衣、在陶外繪上花紋等工序，這一步是可有可無的。第四步是燒製，早期是在露天環境下燒製的，溫度往往不夠高，加熱不均勻，後來發明了陶窯，把待燒的陶器放在窯中算上，用火燒製。半坡遺址中橫穴陶窯和豎穴陶窯都已出現，橫穴窯的燒結溫度一般在八百到九百攝氏度，經過改進的豎穴窯能夠達到一千度。經過新石器時代長期製陶的經驗積累，人們逐漸加深了對製陶原料與燒成陶器的關係的認識，陶窯的發展也漸能提供更高更均勻的溫度，在此基礎上，在商周時代出現了原始瓷器。

陶器和瓷器的主要區別在於，瓷器的原料主要是高嶺土和瓷土，而陶器的原料主要是粘土；瓷器的燒結溫度在一千二百度以上，因此胎質致密，吸水率很低，陶器中灰陶、紅陶、黑陶的燒結溫度在八百度到一千度左右，胎質較粗，吸水率高，白陶和印紋硬陶燒製溫度更高，要在一千度到一千一百度之間，胎質接近瓷器；瓷器表面一般施以玻璃釉，釉與胎質結合緊密。在我國黃河中游和長江下游地區的商周遺址中，發現了一些介於陶器和後世瓷器之間的器物殘片，其胎質

較陶器細膩堅硬，胎色以灰白居多，也有淡黃色或灰綠色的，燒結溫度一般在一千二百度以上，分析結果表明，這些殘片在胎的組成上與陶器有本質的差別而十分接近瓷器，所以應該把它定為原始瓷器^①，它表現出由陶器向瓷器過渡的特徵。我國瓷器是由印紋硬陶發展而來的，商周的瓷窯往往與印紋硬陶的陶窯相鄰，在原始瓷器出現的時候，印紋硬陶也迅速發展起來。在我國歷史上，從原始瓷器到成熟瓷器經過了將近一千五百年的時間，成熟的青瓷是在東漢晚期出現的。

二、紡織技術

原始紡織技術在新石器時代晚期已經普及，全國各地的新石器時代遺址中大部分都有紡墜出土。

原始紡織技術是由編結工藝發展而來的。在距今十萬年的山西許家窯舊石器時代遺址中，出土了許多石球，這是狩獵用的類似流星索的工具，必須用網兜兜住使用，因此那時應該有了用植物韌皮或動物皮條編結的網兜。紡織是由紡線和織布兩個工序組成的。最初的紡紗方法是搓捻纖維，再一段一段續接，後來有了紡墜，利用紡墜可以加捻和合股。紡的紗線要織成織物，最原始的方法是編結，後來出現了原始腰機，開始了機織，原始腰機又進一步發展為成熟的紡織機械。我國新石器時代的紡織品主要是麻織品，新石器時代晚期出現了絲織品，在浙江吳興錢山漾遺址中，既出土了苧布，還出土了一段絲帶和一塊絹片。新石器時代晚期的紡織品已經表現出相

當高的工藝水平。夏商周三代，紡織品在品種、質量、花色方面都有了飛躍式的進步。三代的紡織品仍以麻爲主，絲織品所佔的比重逐漸增加，出現了少量的毛織品。麻紡織品已經相當精細，甘肅永靖早商麻布的細密程度幾乎可以和現代麻布相比。絲織物的品種大量增加，《詩經》中出現的絲織物的名稱有十幾種。從這一時期紡織品組織的複雜、色彩的艷麗推斷，當時應該有了完整的手工機械，《詩經·小雅·大東》說：「大東大東，杼軸其空」，有了杼軸的機器必是一架完整的紡織機，因此，原始腰機至遲在西周時已發展成完整的紡織機械。

三代的染色工藝也發展起來，除了用原始社會常用的赤鐵礦、朱砂、石黃、空青、石青等礦物染料外，還發明了植物染料，染草主要有靛藍、茜草、紫草、薑草、皂斗等。染色的基本方法是多次浸染。

三、建築技術

遠古的時候，我們的祖先曾經「構木爲巢」，生活在樹叢中，後來生存場所由樹叢轉入洞穴之中。到了新石器時代，除了少數溶洞發達的石灰岩地區以外，人類都開始爲自己建造房屋了。在黃土地區和地勢較高的地方，人們建造的主要是半地穴式房屋，後來出現了原始的地面建築；在沼澤地區和潮濕的地區，人們則把房屋架起來，成爲樓閣式建築。到商周時代建築規模已經十分宏大，城池、宮室與宗廟建築以及高臺建築都規劃得相當出色。

西安半坡遺址的房屋大部分是半地穴式的，地穴爲豎式的，一般低於地面半米到一米，房屋上面用樹木枝幹構築起來，穴底和牆壁塗上沾上草的泥。房屋爲方形或圓形，中間或門口有火灶，室內有房柱支撐屋頂。屋頂是自中柱向四周牆壁架木椽，內外都塗草筋泥。這種木骨塗泥的建築方式，後來發展成我國古代以木土混合結構爲主的建築傳統。河姆渡遺址的房屋與半坡遺址的房屋風格截然不同，它的房屋屬於木構建築，其中比較早的是在地上栽立成排的木椿，木椿上架樑，樑上搭樓板，整個房屋架空。比較晚的則是在地下墊木板或燒過的土塊爲基礎，周圍立柱，然後築牆與蓋頂。河姆渡的很多木構件帶有榫卯，說明木建築發展到那時已經經歷了很長的歷史。

據說「夏鯨作三仞之城」^①，夏代的城址目前正在尋找中。商周的城池規模確實很大，這點從商周城池遺址可以看出。商代早期的鄭州商城平面基本上呈方形，周長近七公里，城牆有若干城門。城內看不出街道，表明其設計思想是原始聚落式城。城外有冶銅作坊、製陶作坊和墓葬區。洛陽東周王城總面積達九百五十六萬四千八百平方米，王城中有夯土高臺，是王宮所在。商周城牆的築造都採用夯土的方法，鄭州商城與洛陽東周王城都有夯土臺基露出。在具體的夯築技術中，鄭州商城與湖北黃陂商城城牆主體是夯土版築而成，所謂版築，是在準備築牆的位置用木板將兩側和一頭圍住，在其中填土分層夯築，築成一層後將擋板拆除築另一段或向上築上一層。洛陽東周王城是用方塊築的方法，即夯築時用木板隔成方塊，上下方塊交錯疊置，像現在蓋樓

放磚一樣。三代的城中都有宮殿建築，據說夏桀「築傾宮」^⑫，其址尚未發現，商代的城中確有夯土高臺，臺基上有大型木骨泥牆構成的堂、廡、門、庭等，有的地方下面還有陶製排水管。四周的宮殿建築與商代大致相同，並且已經開始使用瓦。

四、舟車製造技術

在人類的交通工具中，船比車具有更悠久的歷史。《易·繫辭》說：「伏羲氏剡木爲舟，剡木爲楫」，最早的船是把大木幹剖開，挖空，就成爲獨木舟。後來人們嘗試著把許多木幹或竹幹綁起來，成爲木排或竹排，這樣，舟就可以大一些，並且更加穩定。河姆渡遺址和錢山漾遺址都出土了木槳，其形制與現在的木槳一樣，說明在新石器時代早中期，長江流域已經有了船。河流既是人類賴以生存的血脈，也是阻礙人類擴展地域的屏障，在船舶出現之前，人要越過大的河流是不可能的，唯一的機會是等待大河結冰或出現偶爾的枯水期，在南方，這兩種情況基本上不會發生。船舶的出現使人類能夠跨過河流，大大擴展了人們的生活範圍，爲各種文化的交往和融合提供了前提，並增加了水上捕撈的成果，船對文明的意義是極爲重大的。

商以前的船的形制目前還沒有實物可資說明，商代的船已經比較進步的船了，甲骨文中多次出現舟字，從字形上看，這時的舟已經不是獨木舟或木排、竹排了，而是木板船。木板船的出現使造船不再依賴巨大的樹幹，而可以製造更大的船。商人的地域跨越黃河流域和長江流域，從

這點也可以斷定，當時的船已經相當大了。西周時代出現了幾隻船併在一起的舫，進一步增加了船的穩定性和裝載量。

車的歷史目前還不清楚，車最重要的部件——車輪——應該是由滾木發展到不帶輻條的輪子，再發展到帶輻條的車輪。據傳說夏代的奚仲首創了車，《管子·形勢》篇說：「奚仲之爲車也，方圓曲直，皆中規矩準繩，故機旋相得，用之牟利，成器堅固。」現在可見的最早的車是商代晚期的，河南安陽大司空村、孝民屯等地都出土過商代的車。商代車的形制一般是一軛、一輿、一軸、兩輪。軛就是車轅，輿是車箱，軸是連接兩個輪子的橫木。轅的一頭還有一條橫木，叫衡，衡的左右端有用以繫馬的軛。商代的車一般是一車二馬，到商末期出現了四馬的車。西周的馬車與商代馬車形制相仿，只是多了一些裝飾物。

第五節 天文學和數學

一、天文學

天文學在各個古文明中都是產生得最早的一門科學，我們的祖先在採集狩獵的時代，需要知道草木什麼時候發芽、什麼時候結實，野獸什麼時候出沒，部落遷徙需要知道方向。地上的季節

是由天文原因造成的，地上的方位也是地球在宇宙的背景下產生的，這就促使先民們觀察星空的周而復始，季節的更新代謝，天文學就是這樣產生的。

新石器時代的房屋和墓葬的朝向多是有一定意義的，經常是在同一個地區，墓葬都指向同一個方向，這清楚地顯示了人們的方位概念。對天象的觀測起源很早，在鄭州大河村仰韶文化的彩陶上，有太陽紋飾，太陽周圍畫著類似光芒的紋飾。最令人震驚的是，一九八八年在河南濮陽西水坡一座新石器時代的古墓中，發現了用蚌殼拼成的龍虎圖案。這座墓距今六千多年，屬仰韶文化，墓主頭朝南腳朝北，其東為龍圖案，其西為虎圖案，足下有用人的兩根脛骨和蚌殼拼的斗形圖案。在我國的二十八宿體系中，東方七宿為龍之象，西方七宿為虎之象，南方七宿為鳥之象，北方七宿為龜蛇之象，這就是所謂的四象。這幅龍虎圖案告訴人們，在六千年前，華夏民族四象的概念已經形成了，當然不能說那時已經有了二十八宿，但是肯定經常觀察其中的某些星宿。一九六〇年山東黃縣陵陽河的出土物中，有兩個陶尊上刻太陽、雲氣和山崗，這些陶器的年代距今約四五千百年，與傳說中的帝堯的時代相近，據記載，帝堯曾經命奚仲「寅賓出日，平秩東作」^①，這是一種祭日出活動，這兩個陶尊可能是古代祭日出的祭器。

天在人的頭上，天文的變化又導致晝夜和季節的變化，在古人心目中，天是神聖的。自夏代以來，中國各朝代都設有天文官，負責觀測天象和制定曆法。夏商周三代的天文官都由巫、祝等掌管宗教事物的人擔任，他們除了觀測天象和制定曆法外，還兼任人與天溝通的職責。至漢代，

巫卜之風已去，天文官才不兼巫職。但是無論如何，天文學畢竟是在發展著。

夏商周時代的天象觀測取得了豐碩的成果。據《尚書·堯典》載，在夏以前的帝堯時代，人們就通過觀測星鳥、星火、星虛、星昴的黃昏南中天來定季節了。《夏小正》中有一年裡各個月黃昏斗柄的指向和一些恆星的見伏及中天等，所反映的可能是夏代的天象。卜辭中的恆星記錄肯定有大火星和鳥星，西周時代觀測的恆星更多了，《詩經》中出現的就有火、箕、斗、定、昴、畢、參、牛、女等，中國的二十八宿體系是逐漸完備的，《詩經》中的記載說明，在西周時代，人們已經對二十八宿的某些星進行了觀測。卜辭中還有新星和歲星（即木星）的記錄。異常天象的觀測與記錄也開始很早，《尚書·胤徵》中記載了一次日蝕，這次日蝕發生在夏仲康時代，如果《胤徵》篇不是後人偽作的話，那麼就是早在公元前二十世紀，人們就已經觀測到了日蝕。甲骨卜辭中至少有五次日蝕記錄，很多學者用現代天文學方法計算過這五次日蝕的時間，以此來確定商王的年代。《詩經·小雅·十月之交》說：「十月之交，朔日辛卯，日有蝕之，亦孔之丑。彼月而微，此日而微……彼月而蝕，則維其常，此日而蝕，於何不臧！」既有日蝕記錄，又有月蝕記錄，並且可以看出當時人們已經很熟悉月蝕了。

夏代的曆法目前眾說紛紜。商代的曆法是觀象授時的陰陽曆，所謂陰陽曆就是以朔望月為月，以回歸年為基本年長，通過置閏來調整月份與季節對應的曆法。商代已經有了大小月的概念，有一組甲骨卜辭算出來兩個月共有五十九天，必定是一個大月三十天，一個小月二十九天。

甲骨卜辭中多次出現「十三月」，這第十三個月顯然是爲了調整季節與月份的對應而設置的閏月。商代大概已經將一年分爲四季了。西周時代的曆法又有了進步，發明了圭表測影法，回歸年長度定得更加準確，現在河南登封縣還有「周公測景台」遺址。用圭表測影是測正午時的表（即立在地上的一根杆子，後來發展爲日晷）影長度，由於太陽高度的變化，正午的表影（常稱日影）在冬至這天最長，在夏至這天最短。多年觀測就可以得到回歸年長度。

從夏代後期幾個王名孔甲、胤甲、履癸等看，那時已經有甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸十天干，再結合《山海經》中羿射九日的神話記載，似乎可以認爲夏代已經用了十天干來紀日。商代出現了子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥十二地支，商人把十天干與十二地支相配合，組成六十甲子，用以紀日，這種紀日法一直沿用到今天沒有錯亂。

商代把一日分爲若干時段，各時段有特定的名稱，但這些時段從何時起止現在還不太清楚，不過當時沒有精確的測時儀器，也許這些時段所指的具體時間本來就是一個模糊的時間範圍。西周時把一日等分爲十二份，用十二地支來紀時，這是中國古代紀時法的一大進步。

周代的曆法已能定出朔日。前引的《詩經·小雅·十月之交》中說到朔日，這是我國文獻和出土文物中第一次明確提出「朔日」這一名詞，這次日蝕也是我國古文獻上第一次記有月和干支的日蝕。

西周時肯定有了計時儀器——漏壺，壺內盛滿水，壺下部有漏孔，隨著時間的推移，水從漏

孔漏下，從壺內水面的高度就可以讀出時間。

二、數學

數學知識是從計數和認識圖形開始的，我國新石器時代對數和形都有了一定的認識。在仰韶文化及稍後的黃河上游馬家窯文化遺址中出土的彩陶鉢口上，有各種各樣的刻劃符號五十來種，一些學者認為，這些符號代表著數字，其中有的符號與殷商甲骨文中的數字十分相像。類似符號在南方新石器時代的遺址中也有很多，說明新石器時代各地區的人們已經普遍建立了數的概念。新石器時代人們對於圖形也有了比較深入的認識，陶器紋飾中有大量的圓形、橢圓形、方形、菱形、弧形、三角形、五邊形、六邊形等圖案，並且人們很可能從編結物經緯線的多少與圖案的變化中認識到了形與數的關係。

夏代數學水平難考，據說夏禹治水時「左準繩，右規矩」^⑭，「準」是用以定水平的水準器，「繩」是用以定垂直的懸線，「規」是圓規，「矩」是直角尺。如果誠如此載，則夏代對於幾何圖形和數字已經有了較清楚的認識。

商代的數學知識是有據可考的。從甲骨文看，商代人已經使用十進制計數了，有了十、百、千、萬等固定名稱，甲骨文中最大的數字是三萬。有證據顯示，當時已經能夠做加法和乘法的計算了。有一片甲骨上刻有從一到十的十個數字，沒有具體事物，說明在商代，數的概念已經從具

體事物中獨立出來了。甲骨文中規和矩的象形文字，商代無疑有了這兩種器物，因此商人肯定有了一定的幾何學思想。

西周的計數法基本上是沿襲商代的，籌算可能產生於西周或更早的時期。西周關於數的一個重要發展是產生了分數的概念，在金文中有專門用來表示二分之一、三分之一和四分之一的字。

第六節 生物學、物候學和地學

人們在採集狩獵的時代，就需要了解植物和動物知識，新石器時代生物知識已經有了一定的積累，河姆渡、半坡等新石器時代遺址出土的陶器和骨器上，常刻繪有鳥、蛙、龜、魚、蜥蜴、鹿等動物圖案以及一些植物圖案，半山和馬家窯式的彩陶上常繪有植物葉子、豆莢和種子的紋飾，在長期的動植物馴化過程中，人們逐漸積累了生物學知識。商周時代，生物學知識發展很快，《詩經》中出現了大量的動物名和植物名，表明當時認識的動植物已經相當多了。

物候學是人們通過長期觀察動植物及其它自然現象隨季節的變化而獲得的，夏商周三代的物候學知識已經初具體系。《夏小正》可以說是一部物候學著作，它按月描述了動植物變化、氣象現象、天象、農事活動等，如：「三月，參則伏，攝桑、委楊、犛羊，穀則鳴。頒冰、採識，妾子始蠶，執養宮食，祈麥實。越有小旱，田鼠化為鴽，拂桐芭。鳴鳩。」這種物候知識到秦漢時代

發展成風靡一時的月令思想。除《夏小正》外，《詩經》中也有些關於物候的記載。

地理環境是人類生存的場所，原始民族爲了生存往往對居住地周圍的山脈、河流、地形掌握得十分清楚。從開採石礦、打製石器的實踐中，人們對礦物的分布、埋藏情況，岩石的硬度、破碎特性等有了越來越深刻的認識，如北京人打製的石器石料是經過選擇的。夏商周時代，地學知識更加豐富起來，相傳夏禹治洪水，分天下爲九州，這九州實際上是一種自然地理區劃。商人的地域劃分更明確、細致，甲骨文中出現的地名有五百多個，其中很多是東西、南北對稱的，如「東土」、「西土」，「南洮」、「北洮」，表明商人具有了地理方位觀念。西周時代對地形的認識有了深化，《詩經》中描寫不同地形的詞匯就有山、崗、丘、陵、原、隰、洲、渚等。《尚書·洛誥》和《詩經·周頌·般》都講到了地圖，周時有地圖當無疑問。

第七節 醫學

醫學的目的是治療疾病，最初人們認爲疾病是由鬼神怪異引起的，因此，早期的醫與巫是不分的，治病往往用巫術輔之以某些動物或植物治療。我們能看到的關於疾病思想的最早的文字記錄是甲骨文上的記載，從甲骨文的記載看，商人有時把疾病看作是鬼神所爲，有時又看作是氣候變化所致，相應地，治療方法既有占卜、祭祀等宗教儀式，又用藥物湯劑等醫學手段。甲骨文中

涉及有病幾乎包括身體表面的各個部位，有疾首、疾目、疾鼻、疾耳、疾腹、疾足等等，其中還有「疾年」的記載，有人認為這是最早的關於流行病的記錄。

西周時期醫與巫分開了，這是醫學的一個重大進步，也是人們自然觀的一個根本轉變。《周禮》中「巫祝」隸屬於「春官大宗伯」的職官，而「醫師」則列於「天官冢宰」之下。《詩經》、《尚書》、《山海經》等典籍記載了很多種疾病，多是按疾病的特點來命名的，這較之甲骨文中以疾病的部位命名，顯然是更爲科學。

西周時人們已在思考疾病與自然變化之關係，《周禮·天官》中提出了各季的多發疾病，「春時有疇首疾，夏時有癢疥疾，秋時有瘧寒疾，冬時有漱上氣疾。」《周禮》還記載，民病死者要「各書其所以，而入於醫師」，這樣醫生可以建立醫療檔案，積累經驗。

夏商周時代的藥物學積累很快，《山海經》中記述的藥物種類極多，幾乎無病不治，其中還記載有些神巫「操不死之藥」，反映了人們對藥物治療的信賴。中醫中佔極重要地位的湯劑，據史籍記載，是商初右相伊尹創製的。湯劑的問世，標誌著方劑學的誕生，方劑學是中國醫藥學體系的一個重要部分。

第八節 初期的自然觀

一、基本觀念

自然觀是人們對自然本身及其與人類關係的總體認識。我們無法了解人剛脫離動物狀態時的意識，從我們可以追溯的最遠古的時代開始，人類就認為我們現實的物質世界不是唯一的世界。在原始社會裡，人們普遍認為自然之物都是有靈魂的，這就是原始的萬物有靈觀。在這種自然觀下，人也是具有靈魂的，靈魂不會隨肉體的死亡而消失，而是到了另外一個世界。這個不為人所知的世界又不是完全同現實世界隔絕的，生者可以通過某種方式與死者溝通。這種思想一產生，就一直伴著人類，直到今天。舊石器晚期的山頂洞人墓葬中，一些死者伴有隨葬裝飾品，其身體四周撒著赤鐵礦粉粒。這種葬俗表明，人們已經產生了某種宗教觀念，認為人死後會在另一個世界裡繼續生活，而人們在此世所做的事情，會對在另一個世界的死者發生影響。

一般來講，圖騰觀產生於萬物有靈觀之後。圖騰觀認為，每個部落都與一種動物或植物有特殊的聯繫，這個部落是由這種動物或植物產生的，華夏的四象觀——東方龍，西方虎，南方鳥，北方龜蛇，很可能就是導源於上古的圖騰崇拜。

除了圖騰之外，在原始人的觀念中，日、月、星、風、雨、雷、電等都是有神靈的或由神靈支配的，人要控制這些現象，就要通過巫術。中國新石器時代的一些繪畫反映了當時的祭祀等巫術儀式。

夏商周三代，隨著國家的出現，現實世界中出現了最高統治者，在人們的觀念中也相應地出現了至上神，這個神稱爲天或者帝。天或帝具有絕對的權威性，此外鬼神還繼續存在，並且也能干預人間事物，但是他們的力量不像天或帝那麼大。祖先神靈主管的是本家族的繁衍興盛這一類較低級的工作，風雨雷電之神主管的是這些自然現象，而至上神既主管邦國的興衰這件大事，又能直接掌管風雨雷電和個人生死。人要通過巫術、占卜等方法與天帝鬼神溝通。天帝鬼神能賜給人福祉，也能降給人災禍。

我們從商代的甲骨卜辭中可以看出，在商人的觀念中，天帝和鬼神的意志是沒有道德色彩的，他不會因爲人做了好事而加以獎賞，也不會因爲人做了壞事而加以懲罰。天帝鬼神還可以任意地支配寒暑風雨，卜辭中多次出現「帝其令風」、「帝其令雨」一類的記錄。但是人在天帝鬼神面前不是完全無能爲力，他一方面可以通過占卜預知天意，另一方面可以通過向天帝鬼神獻祭犧牲的辦法來賄賂衆神靈，求得他們的保佑。商代祭祀天帝鬼神的活動舉行得非常頻繁，祭品一般都很豐盛，有時還用人作犧牲。他們還祭祀太陽、月亮、山川等自然景物，這當然是認爲這些景物都有神靈或神性。卜辭中還記有祭祀四方風以求農業豐收的活動，這四方風與秦漢之際天文思想中的八風說有密切的聯繫。

西周之初，天命觀開始流行起來。武王伐紂滅商以後，建立了周王朝，周爲什麼能代商而起？周人用天命所在解釋了這個問題。周人認爲，天總是保佑有德者而拋棄失德者，《詩經·周

頌·敬之》說：「敬之！敬之！天維顯思，命不易哉！」在周人看來，夏、商的滅亡是夏、商統治者違背天命的結果，周朝的興起則是「受天明命」，因此周朝統治者強調要「以德配天」、「敬德保民」，實際上是把商代天帝鬼神沒有善惡觀念的思想做了改造，認為天帝鬼神與人間的善惡觀念是一致的，人只要保德為善，天就會保佑他。因此周人不像商人那樣事事求神問卜，而是「尊禮尚施，事鬼敬神而遠之，近人而忠焉。」^⑬這正是周代天人觀的反映。

西周末年，社會動盪不安，天命觀也發生了動搖。人們對於天與人間事物的關係的認識很混亂，一方面，有一種觀念認為社會危機和自然災害是天降之災，如《詩經·小雅·節南山》說：「昊天不侷，降此鞠訕，昊天不惠，降此大戾」；另一方面，又有一種思想開始認識到動蕩和災害並非降自天帝，如《詩經·小雅·十月之交》說：「下民之孽，匪降自天；噂沓背憎，職競由人」，把人間事件與天命分開來，這在天人關係學說史上是一個重要進步。

二、陰陽、五行、氣、八卦學說的起源

陰陽五行學說、氣的思想與八卦思想是中國古代關於自然的最基本的理論。這些理論在商周之際都出現了。

陰陽是早期人們在長期觀察實踐中總結出來的。生活經驗告訴人們：陽光賦予萬物以生機，而陰暗之處往往缺乏生命力，這樣就形成了陰陽的概念，陽代表剛健、積極、進取，陰代表消

極、柔弱、退縮。陰陽是宇宙萬物最基本的特性，二者又是不可分割的。陰陽思想在易學中得到了充分的展開。

關於五行說的起源，按《尚書·洪範》記載，周武王訪問商遺賢箕子，問治國之道，箕子說夏禹治水「天乃錫（賜）禹洪範九疇，彝倫攸敘」。洪範九疇的第一條就是五行：「五行，一曰水，二曰火，三曰木，四曰金，五曰土。水曰潤下，火曰炎上，木曰曲直，金曰從革，土爰稼嗇」。從萬事萬物中提取木、火、土、金、水五種常見物質，組成一個有機整體，確定了後來五行說的理論框架。

「氣」字在甲骨文中象雲氣之狀，最早的氣的觀念是人們長期觀察雲氣現象產生的。後來很可能是把雲氣與水蒸氣以及人的呼吸之氣進行類比，得出了一種遍布宇宙的氣的觀念。西周時的大夫伯陽父首次把氣與陰陽相結合，用於解釋地震，說：「天地之氣，不失其序，若過其序，民亂之也。陽伏而不能出，陰迫而不能蒸，於是地震。」^①這裡說到天地之氣，並認為天地之氣有其序，已經不是簡單的雲氣思想了，而是與後世的元氣思想相一致的一個概念。

按典籍記載，八卦理論起源極早，傳說伏羲畫八卦，文王將八卦推演為六十四卦，作《周易》。八卦本是卜筮之符號，每一卦由三爻組成，爻分陽爻與陰爻。八卦象徵宇宙的八種成份：乾為天，坤為地，震為雷，巽為風，艮為山，兌為澤，坎為水，離為火。又八卦按不同方式兩兩組合，得到六十四卦，人們就用這六十四卦解釋自然界和社會的各種現象。

註釋

① 杜石然、范楚玉、陳美東、金秋鵬、周世德、曹婉如：《中國科學技術史稿》，上册，科學出版社，一九八五年，第一章、第二章。

② 賈蘭坡：《中國大陸上的遠古居民》，天津人民出版社，一九七八年，第七十五頁。

③ 《韓非子·五蠹》。

④ 柴爾德著、周進楷譯：《遠古文化史》，中華書局，一九五八年，第四十四頁。

⑤ 拉爾夫·林頓著，何道寬譯：《文化樹——世界文化簡史》，重慶出版社，一九八九年，第十九、二十頁。

⑥ 《中華文明史》第二卷《先秦》，河北教育出版社，一九九二年，第一八三頁。

⑦ 同注①，第四十七頁。

⑧ 《呂氏春秋·君守》。

⑨ 《周禮·考工記》。

⑩ 李家治等：《中國古代陶瓷科學技術成就》，上海科技出版社，一九八五年，第一四二頁。

⑪ 《淮南子·原道訓》。

⑫ 《今本竹書紀年》卷上。

⑬《尚書·堯典》。

⑭《史記·夏本紀》。

⑮《禮記·表記》。

⑯《國語·周語》上。

第二章 春秋戰國時期

春秋戰國是社會生產力突飛猛進的時代，科學與技術隨之取得了巨大的進步。冶鐵技術成熟，鐵器得到廣泛的應用；精耕細作的農業傳統逐漸形成；為灌溉和防洪，修建了大型的水利工程；手工業技術進步，出現了《考工記》這樣一部總結手工業技術的書；天文學、數學、生物學、地學、醫藥學等自然科學門類都有了長足的發展，諸子百家對自然問題進行了比較深刻的討論。總之，春秋戰國時代對於中國古代科學技術的發展是一個相當重要的時代。

第一節 冶鐵技術的發展與鐵器時代的到來

一、冶鐵技術的發展

從考古發掘看，中國用鐵的歷史從商代就開始了。一九七二年，河北藁城縣出土了一把商代

的鐵刃銅鉞，其鐵刃是用天然隕鐵加工的。從春秋中晚期到戰國初期，冶鐵業由採礦到鐵器成形都積累了豐富的經驗，走向成熟。

春秋戰國時，人們已經有了豐富的找鐵礦的經驗，《管子·地數》中說：「山上有赭者，其下有鐵。」這是完全符合科學道理的，我們知道，鐵礦露在地面的表層經氧化後呈赭紅色，可見當時對礦苗與礦物的關係已經有了認識。

人類最早的冶鐵方法是在固態條件下，用木炭把煉爐中的鐵礦石加熱到攝氏八百到九百度，鐵礦石還原得到鐵，這樣煉出的鐵是熟鐵，含碳量很少，是一種疏鬆的、含有大量氧化亞鐵和甲酸鹽夾雜的固體，它需要經過反覆鍛打把夾雜排出去才能使用。這種煉鐵法叫「塊煉法」。如果把這種鐵加熱滲碳，就成爲鋼，叫「塊鐵滲碳鋼」。春秋戰國時期，塊煉法曾一度被運用。但是，塊煉法生產率很低，塊煉鐵的機械性能也較差。

與塊煉法同時發展的還有生鐵冶煉技術。生鐵是在更高溫度和更強的還原條件下煉出來的，這就要求有較高的煉爐和較強的鼓風系統，中國有了長期煉銅的基礎，這一點是容易達到的，由於用木炭做燃料，在鐵礦石被還原的同時，大量碳滲入鐵中，這種鐵叫生鐵。在中原地區，生鐵冶煉幾乎與塊煉法同時出現。在歐洲的許多地方，公元前一千年左右已經出現了塊煉法，但卻直到十四世紀才發明出生鐵冶煉法，這使得鐵在歐洲一直得不到廣泛應用。生鐵冶煉技術是冶金史上的一個巨大進步。

鑄鐵柔化技術也出現在春秋末戰國初。在洛陽水泥廠戰國早期灰坑中出土的鐵鑄和鐵鑄，鐵鑄是經低溫退火柔化處理的，鐵鑄是經較高的退火溫度和較長的退火時間柔化處理的。經過柔化技術處理的鐵，克服了生鐵性脆易斷的弱點，使鐵器更加堅韌耐用。

煉鋼技術也在這時產生了。一九七六年湖南長沙出土了一把春秋末期的鋼劍，含碳量為百分之零點五到零點六，為中碳鋼。鋼的出現為人們製造更精良的工具和兵器提供了新的材料。

春秋戰國的鑄鐵技術也相當先進，陶範、鐵範都經常使用，鑄造的鐵器有農具、手工工具以及兵器等。

二、鐵器的廣泛應用

隨著冶鐵鑄鐵技術的成熟和生產率的提高，鐵的生產量迅速增加，鐵器逐漸得到普及。

春秋末到戰國初，冶鐵業還主要集中在幾個地區，到戰國中後期，冶鐵業已經遍布當時的各國，有些冶鐵場非常大，如山東臨淄齊國故都冶鐵遺址面積達四十萬平方米，河北易縣燕下都的三處冶鐵遺址總面積也達三十萬平方米。這時還出現了很多冶鐵中心和著名的鐵商。

鐵器在春秋戰國已經普遍使用。鐵製農具取代了石製農具的主要位置，《國語·齊語》載管仲說，「惡金」可鑄造鉏、夷、斤、斲，可耕耘土地。「惡金」就是鐵。考古發現的春秋時期鐵製農具有耜、削、鋤、空首鐮等，質地還比較粗糙，數量也不多。戰國的鐵農具在種類和數量上都

大大超過其它質料的農具，如一九五五年石家莊趙國遺址出土的鐵製農具，占各類工具總數的百分之六十五。

鐵製兵器也有了初步發展。春秋到戰國早期鐵製和鋼製兵器還相當罕見，而且一般是短小的兵器，如短劍。戰國中晚期，鐵製兵器的使用開始多起來，南方的楚國和北方的燕國使用鋼鐵兵器較多，當時的鋼鐵兵器有劍、矛、戟等。但此時各國用的兵器更多的還是青銅的。

此外，戰國時代，車、船的製造也經常需要鐵來製做某些部件。如一九七二年洛陽中州路曾出土鐵鑄二組四件，作半筒形瓦狀，用鐵釘固定在車軸上；一九七八年河北平山縣中山國墓出土的大木船船板是用鐵箍拼接的。

在日用品方面，戰國時代已經用了鐵幣；一九七七年湖南長沙窖嶺戰國早期墓出土過一件鐵鼎。

第二節 精耕細作的農業傳統的形成

春秋戰國時代，井田制度走向衰亡，原來由貴族分封世襲的土地，逐漸轉變為由國家所有和地主私有，春秋中後期開始，土地自由買賣盛行起來，私有程度提高，出現了大量的中小地主和自耕農，到戰國時期，自耕農成為土地所有者的主體。土地歸耕者和地主所有，調動了耕者的積

極性，使他們願意在土地上多投入。

鐵農具的應用促進了精耕細作的傳統的形成。春秋以前，翻地的工具是耒耜，耒耜的尖端由木頭製成，勞動效率較低。春秋時，耒的下端逐漸由鐵代替，效率大大提高了；耒的下端稍作變化，就成爲犁，可以實行牛耕了。關於牛耕開始的時間，比較可信的說法是春秋時，因爲牛耕與犁的使用是相輔相成的。

精耕細作的農業傳統反映在農業生產技術的各個方面，從先秦諸子的著作中可窺見一斑。如《荀子·則陽》中談到耕作和施肥時，強調了「深耕而熟耰之」的重要性；《孟子·滕文公上》記載，當時有一個以許行爲首的農家學派專談「神農之學」。另據《漢書·藝文志》載，戰國時期有了專門的農書《神農》二十篇和《野老》十七篇，可惜這兩部書都已經亡佚，現存最早的專門論述農業生產技術的著作是《呂氏春秋》中的《上農》、《任地》、《辯土》、《審時》四篇。這四篇聯成一體，基本上反映了春秋戰國時期的農學發展水平。其中《上農》篇主要講農業理論和政策，《任地》、《辯土》、《審時》三篇則講具體的農業技術。

關於耕種的先後，《辯土》規定要先耕黏性較大的壠土，因爲這種土在水份散失後就會板結變硬，難於耕翻。耕完壠土後，再耕比較疏鬆的納土。

關於耕翻的深度，《任地》中說：「其深殖之度，陰土必得」，即要見到下層濕土，這樣才能「大草不生，又無螟蟻」。

關於種植密度，《辯土》篇有詳細的論述，它說耕種要避免「三盜」，其一為「大畎小畝」，即溝大壟小，其二為苗無行列又太稀則「地竊之也」，三是苗無行列又太密則苗竊也。具體措施是「晦欲廣以平，剛欲小以深」，即壟平溝深，播種要「勿使數，亦無使疏」，這樣才能「下得陰，上得陽」，「橫行必得，縱行必術，正其行，通其風。」定苗時要留下健壯的，去掉弱小的，叫「長其兄而去其弟」。

關於土壤的合理利用和改良，《任地》篇論述很多。它指出耕種土地的基本原則是「力者欲柔，柔者欲力；息者欲勞，勞者欲息；棘者欲肥，肥者欲棘；急者欲緩，緩者欲急；溼者欲燥，燥者欲溼」，從土壤質地堅軟、使用程度大小、土壤地力肥瘠、土壤黏度強弱、土壤墒情燥溼五個方面論述了利用土地的方法。《任地》還指出，在有些地區要「上田棄畝，下田棄剛」，這是在高田旱地，因為土壤墒情不好，要把作物種在壟溝裡，以使作物吸收土壤深層水分；在低窪澇田裡，要把作物種植在壟上，以免作物根系長期被水浸沒。漢代的「代田法」和「區田法」就是在這一基礎上發展起來的。

關於耕種之時，《審時》篇有詳細闡述。《審時》篇討論了禾、黍、稻、麻、菽五種作物播種得時、先時、後時三種情況下的長勢、籽粒情況、耐饑程度以及口感、味感等的不同，總結得出：「得時之稼興，失時之稼約。莖相若，稱之，得時者重；粟之多量粟相若，而舂之，得時者多；量米相若，而食之，得時者忍饑。是故得時之稼，其臭香，其味甘，其氣章，百日食之，耳

目聰明，心意叡智，四衛變疆，虜氣不入，身無苛殃。」

戰國時期，耕作制度也發生了變化，部分地區改變了一年一熟制，把冬麥和某些夏種或春種的作物搭配起來，一年或幾年內增加一次種植和收穫。《管子·治國》中說，當時「常山之東，河汝之間，蚤生而晚殺，五穀之所蕃熟也，四種而五穫」，即在四時播種五穀都可收穫；《荀子·富國》說：「今是土之生五穀也，人善治之，則畝數益，一歲而再獲之」，即可以一年兩熟。

以上諸方面反映出，春秋戰國時代農業生產開始走向精耕細作，農業生產的各個環節管理都加強了，奠定了中國傳統農業的基礎。當時的農業生產率也較西周時代有了提高。

第三節 大型水利工程的興建

春秋戰國時期，社會經濟的發展為大型水利工程的興建創造了技術和社會條件，同時也在客觀上要求國家發展水利工程，因此這一時期出現了大型水利工程建設的高潮。這時的水利工程可以分為三類：灌溉工程、運河工程和隄防工程①。

一、灌溉工程

從春秋末到戰國晚期，為了發展農業生產，各國都十分重視水利事業，幾個大型灌溉工程在

此期間建起，其中最著名的有芍陂、漳水十二渠、都江堰和鄭國渠。

芍陂是公元前六世紀末由楚國令尹孫叔敖領導修建的，它位於安徽壽春（今壽縣）南，又叫安豐塘。芍陂的修建利用了三面高一面低的地勢，在低處築隄，蓄水灌溉。據《水經注》記載，北魏時芍陂周長一百二十里，「陂有五門，吐納川流」，「五門」當是指五道閘門，五個閘門必定各通向一條水渠。芍陂灌溉面積達一萬頃，對壽春地區農業發展和社會繁榮起了重要作用。

漳水十二渠位於魏國的鄴（今河北臨漳縣）地，鄴是太行山東部沖積平原上的一個地方，漳水自西向東流經鄴。由於水道不暢，雨季時漳水經常泛濫。當時這一地區的貪官與巫師相勾結，以「河伯娶婦」的騙局騙取錢財，殘害民間少女。魏文侯時（公元前四二四——公元前三八七），西門豹任鄴令，他揭穿了「河伯娶婦」的把戲，組織羣衆開鑿了十二條渠，各渠設水門以調節水量，既防止了漳水泛濫，又灌溉了農田。大約一百年後，史起任鄴令，又擴大了這項工程，引漳水治理鹽碱地，種植水稻。

都江堰是在秦昭王（公元前三〇六——公元前二五一）時由蜀守李冰領導修建的，它位於岷江沖積扇上的四川灌縣境內，分岷江水灌溉成都平原。工程主要由角嘴、寶瓶口和飛沙堰三部分組成。角嘴是建於岷江中的分水壩，壩體就地取材，由裝盛卵石的大竹籠疊起，把岷江水一分为二，東面的一條叫內江，爲灌溉用支流；西面的一條叫外江，是岷江本流。寶瓶口是內江的入水口，可以調節進入灌區的水量。飛沙堰是內江水流入寶瓶口前的一個溢洪道，當岷江水量增大

時，水就通過飛沙堰由內江流向外江，這樣就控制了流入寶瓶口的水量。此外，都江堰還有一套閘壩工程，更有效地調節流入內江的水。在角嘴上游設有三個石人水尺，可以測量進入內江的水量。由於工程設計構思巧妙，管理科學，都江堰成爲中國古代優秀的灌溉工程系統。《華陽國志·蜀志》說，都江堰建成後，川西平原「旱則引水浸潤，雨則杜塞水門」，「水旱從人，不知饑饉，時無荒年，天下謂之天府也。」都江堰工程經歷了二千多年歷史，至今仍發揮著它的作用。

鄭國渠始建於秦王政元年（公元前二四六年），位於關中平原上，由一個叫鄭國的水工設計。鄭國渠「鑿涇水自中西邸瓠口爲渠，並北山東注洛，三百餘里」^②，它是把涇水東引至洛水，以灌溉關中平原的廣大地區。鄭國渠渠幹故道寬二十四點五米，渠堤高三米，深約一點二米，其渠首位於涇水進入渭北平原的一個峽口，地形西北高東南低，整個水利工程形成了一個全部自流灌溉系統；引水口則選在河流流速最大的地方，這樣渠道進水量就多，而且河水中富有肥料的細泥也能進入水渠，有利於灌溉^③。鄭國渠的設計在工程技術上是十分科學的。它也是中國古代最長的一條灌溉水渠。

都江堰和鄭國渠的修建，使正致力於統一中國的秦國水旱無憂，殷實富足，爲最終統一打下了堅實的基礎。

二、運河和隄防工程

春秋戰國時，各諸侯國之間攻伐頻繁，交往不斷，這就要求有便利的交通條件，各國因此十分重視發展水路交通，開鑿運河。當時開鑿的運河很多，魏在滎陽，楚在漢水、雲夢，吳在江、淮、太湖，齊在淄、濟等地都開鑿了運河。最著名的是吳國的邗溝和魏國的鴻溝。

魯哀公九年（公元四八六年），吳在長江北岸修邗城（今江蘇揚州），在城下開溝渠，北通到射陽湖（今江蘇淮安），又向西北通到末口（今江蘇淮陰），由末口入淮，從而溝通了長江與淮河兩大水系。四年以後，吳國又把邗溝向北延伸，連接淮河以北的濟水和泗水，《禹貢》稱這一段為荷水，說它「通於商魯之間，北屬之沂，西屬之濟」。這條運河開通以後，就可以從吳國乘船北上，經淮河、泗水、濟水進入黃河，直達中原。隋代開鑿的大運河就部分利用了邗溝水道。鴻溝開鑿於魏惠文王十年（公元前三六一年），它從滎陽引黃河水向東南，聯接濟、濮、汴、睢、潁、渦、汝、泗、荷等重要水道，入於淮河，鴻溝的開鑿最大限度地利用了天然水道，溝通了黃河與淮河流域水系。

江、淮、河、濟古稱四瀆，邗溝（包括荷水）和鴻溝的開鑿溝通了四大水系，使這一帶水路交通十分便利，經濟繁榮，人民富庶。

這樣大規模地開鑿運河也表明，春秋戰國時的水利工程技術已經達到了相當高的水平。

春秋戰國時代也很重視隄防工程，在黃河下游修築了多處隄壩，後來齊、楚、燕、趙等國的長城就是在原來的隄防工程的基礎上擴建的，可見當時隄防工程規模之大。當時已經積累了豐富

的築隄經驗，《管子·度地》論述了隄防的設計、施工、保護等技術問題。對於經常危害隄防的白蟻，人們也有了有效的防範措施。

第四節 《考工記》——手工業技術的大總結

春秋戰國時期，手工業的社會地位越來越重要，手工業內部分工精細，生產要求標準化。大約在春秋末到戰國初年，齊人著述了《考工記》這部以記述手工業技術為主要內容的著作。

《考工記》說「國有六職」，為王公、士大夫、百工、商旅、農夫、婦功，百工居六職之一。《考工記》記述了當時官營手工業的三十個工種：「攻木之工七，攻金之工六，攻皮之工五，設色之工五，刮摩之工五，搏埴之工二。」這些分工再加以組合，就可以看出其中涉及到車輛製造、青銅冶煉、兵器鑄造、弓矢製造、樂器製作、玉器製造、染色與製皮、建築技術、陶瓷工藝等門類。

一、車輛的製造

春秋戰國時，車輛的製造內部已經有很細的分工了，《考工記》中「輪人為輪」、「輪人為蓋」、「輿人為車」、「輅人為輅」四段講解了造車的四個環節。

車輪是一輛車最關鍵的部件，「察車自輪始」，車輛的製作「欲其樸屬而微不至」，即車輪結構堅固耐久，形狀圓潤光滑。檢驗車輪質量有六條標準：「規之，以眡其圓也」，即用規來校準輪子，看其外形是否正圓；「萬之，以眡其匡也」，即用與輪子同大小的平整圓盤檢驗輪子是否平整；「懸之，以眡其輻之直也」，即用懸線察看輻條是否筆直；「水之，以眡其平沈之均也」，即將輪子放在水中看其沈浮是否均勻；「量以藪以黍，以眡其同也」，即檢查兩輪大小是否一樣；「權之，以眡其輕重之侔也」，即比較兩輪輕重是否相同。對車輪的大小也有規定：「輪已崇，則人不能登也；輪已庫，則於馬終古登陴也」，輪太大，人上車不方便，輪太小，馬拉車始終像爬坡一樣吃力；「兵車之輪六尺有六寸」，若按齊尺相當於十九點七釐米計，則輪徑為一米三十釐米，與考古發掘的先秦車輪大小相合。《考工記》還規定了輻粗、轂上孔深與輻端插入轂中深度要相同。

不同用途的車轂不一樣：「行澤者欲短轂，行山者欲長轂。短轂則利，長轂則安。」對於車軸的要求是：「軸有三理：一者以為微也，二者以為久也，三者以為利也」，即要材美、堅固、靈活。

《考工記》對車轆、車輿、車蓋的選材、製造與連接方法也有詳盡論述。

從考古發掘看，商周時代的車存在著用材比例不合理、重心高等設計方面的缺陷，春秋戰國的車基本上消除了這些缺陷。《考工記》中關於車輛的論述正是當時精湛的造車技術的反映。

二、弓箭的製作

春秋戰國時期的弓已經相當複雜，弓身由竹木和動物的角、筋粘合成而，《考工記》對弓的選擇、配料、製作程序、規格、檢驗等環節都作了詳細說明。

弓幹的選擇十分重要：「柘爲上，櫜次之，檟桑次之，橘次之，木瓜次之，荊次之，竹爲下。」用途不同的弓，弓幹選材也有區別：射遠用的弓要反順木的曲勢；射深用的弓幹材料要厚直。對角、筋、膠、絲、漆也要經過認真的選擇，再經過精細加工配製，用於製弓。經過細致的選材、配置，加工出來的弓才不會變形、堅固耐用。

弓的製作要符合自然節律，不能一蹴而就。「凡爲弓，冬析幹而春液角，夏治筋，秋合三材」，這樣才能得到平滑的木理、潤和的角質、順理的筋，從而獲得優良的三材。下一個冬天就可以「奠體，冰析灑」，即寒冬時把弓置於匣中定型，極寒時張馳弓體，檢查弓漆。再到春天裝上弓弦，等一年時間，所製的弓就可用了。

製好的弓要進行檢驗，檢驗的內容包括弓的材質、結構、力量等方面。

矢人造箭要根據箭的用途確定各部分的比例，鏃矢、莠矢爲近射之矢，兵矢、田矢爲遠射之矢，它們的鏃的長短、大小，鈺的長短以及鐵管的設置都有區別④。

爲箭配置羽毛時，要「水之，以辨其陰陽，夾其陰陽，以設其比，夾其比，以設其羽」，即

根據箭桿在水中的沉浮情況決定安裝的羽毛。《考工記》還對箭在飛行中的多種情形作了空氣動力學分析。

三、樂器的製作

製作樂器者有「鳧氏爲鐘」、「磬氏爲磬」、「鞀人爲鞀陶」。《考工記》記述了鐘的各部分名稱、比例，指出鐘的聲音是由鐘體振動發出的。

《考工記》對鐘的頻率高低、音色與鐘的理化性狀的關係有十分精闢的論述：「薄厚之所振動，清濁之所由出，侈弇之所由興，有說。鐘已厚，則石，已薄，則播；侈則柞，弇則鬱；長甬則震。」「鐘大而短，則其聲疾而短聞；鐘小而長，則其聲舒而遠聞。」

一九七八年，在湖北隨縣出土的公元前四三三年左右的曾侯乙編鐘，共有六十四枚扁鐘組成，另有鐃鐘一件。整套鐘構成齊備的十二個半音系統，正是鳧氏精湛技藝的展示。

《考工記》詳細記載了磬各部分之間的比例，並指出調節磬的聲調清濁的方法。

「鞀人」製造的鼓是兩種鼓，《考工記》載有它們的尺寸。文中對鼓的聲學特性有了一定的認識：「鼓大而短，則其聲疾而短聞；鼓小而長，則其聲舒而遠聞。」

先秦時代，鐘、鼓、磬的製作十分考究，特別是編鐘和編磬是當時的主要樂器，這兩種樂器的製作法後來漸被遺忘。《考工記》爲我們提供了文字資料。

四、設色工藝

《考工記》中，「設色之工五」，即「畫、績、鍾、筐、幌」。絲和綢染色之前，要進行精練，除去絲膠和其它雜質。「幌氏」練絲是把絲麻浸入碱性的灰汁中，除去上面的膠質，然後反覆暴曬清洗。經過練絲處理後，就可以染色了。鍾氏染色是把要染的絲麻物多次浸泡在染料之中，可以染上不同深度的一系列顏色。「三人爲鍾，五人爲緞，七人爲緇」，在紅色染料中染三次成爲深紅色，再在黑色染料中染二次成爲帶紅色的淺黑色，再入黑色染料中浸染二次則成爲深黑色。

絲綢上染色後，還要畫上一些圖案，這是畫、績之工的職責。

經過這樣的程序，絲麻就成爲彩色帶圖案的了。

製皮工藝要鑒定皮革的好壞，顏色茶白、手感柔滑、各部分均勻、相接處縫合得好的皮革是好皮革。

除了製革，還有專門製造防禦用的皮甲的。皮甲有犀甲、兕甲、合甲三種。《考工記》敘述了壓革片和縫綴的技術要領，並指出檢驗甲的優劣要看革裡是否平滑細致、甲縫是否筆直、捲起來體積是否小、提舉起來是否豐滿。

五、建築技術

到西周之時，城市規劃和宮殿建築已經形成了特有的風格，《考工記》對這一風格作了初步的總結。

國城的形制是：「方九里，旁三門，國中九經九緯，經塗九軌，左祖右社，面朝後市。」從現已挖掘出的春秋戰國城邑遺址看，《考工記》的這段記載基本上反映了春秋戰國時的真實情況。

周人的宮殿——明堂的建築十分複雜，《考工記》記述了明堂的詳細情況。

《考工記》還記載了建造城邑前確定方位的方法：「水地以懸，置槷以懸，眡以景。為規，識日出之景與日人之景，晝參諸日中之景，夜考之極星，以正朝夕。」即在平地上立標竿，以懸線校直，測日出人之影，參考日中時的竿影和北極星的方位，以確定東西南北。

《考工記》還論及了夏后氏的世室和殷人的重屋，因為這是見於古籍的對這兩種建築唯一的描述，所以這段記載是十分寶貴的。

第五節 《墨經》中的科學知識

墨家是戰國前期興起的一個學派，這個學派的代表人是魯國的墨翟（約公元前四七八——前

三九二)。墨家學派主要由處於社會中下層的手工業者組成，他們在長期的生產實踐中積累了豐富的自然科學知識。墨家的主要著作是《墨子》，關於自然科學的知識集中在《墨子》中的《墨經》篇中。《墨經》由《經》（包括《經上》和《經下》兩部分）和《經說》（包括《經說上》和《經說下》兩部分）兩部分組成，自然科學成就主要在光學、力學和數學方面。

一、光學知識

《墨經》中的光學知識突出地表現在對小孔成像、平面鏡、凸面鏡和凹面鏡成像的特點的認識方面。

在一間黑暗的屋子的一面牆上開一個小孔，人在屋外對孔而立，屋內對面的牆上就出現一個倒立的人像，這就是小孔成像現象。《墨經》對此解釋說：「光之煦人若射。下者之人也高，高者之人也下。」即光照人是直線的，經過腳下的光線再通過小孔射到暗室牆壁的高處，而經過頭部的光線再通過小孔則射到暗室牆壁的下面。這一解釋是完全正確的。

凸面鏡成像只有一種，《墨經》指出：「鑿團，景一」，「景過正，估矧。」即凸面鏡只有一種影像，這個像總是在鏡面的另一側，並總比原物體小。這同現代的認識是一致的。

凹面鏡成像的情況比較複雜，《墨經》對此有了一定的認識，說：「鑿團，景一小而易，一大而正，說在中之外、內。」意即凹面鏡成像有兩種，當物體在球心之外，得到一個比原物小的倒

立的像；當物體在球心之內，得到一個比物體大的正立的像。事實上凹面鏡成像有五種情況，它不僅與凹面鏡的球心有關，而且與凹面鏡的焦點有關。墨家雖已知道球心與焦點（《墨經》稱中燧）之不同，但是在凹面鏡成像問題上沒有加以考慮。墨家的光學知識是在實踐中得到的經驗總結。

二、力學知識與時空觀

《墨經》對力的定義是：「力，形之所以奮也。」即力是物體的作用。這與現在認為的力是物體之間的相互作用已十分接近。

《墨經》對槓桿現象作了闡釋：「長、重者下，短、輕者上。」說明了力臂和力對槓桿平衡的作用。

《墨經》對浮力現象也有描述：「荊之大，其沉淺也，說在具。」意為對於一定重量的物體，例如船隻，體積越大，沉入水中的部分越淺，其原因在於形體大小與下沉深淺之間存在著均衡關係。

《墨經》對於時間、空間以及二者之間的關係的論述簡練而精闢：「久，彌異時也；宇，彌異所也」，即宇是所有的空間，宙（久）是所有的時間。空間與時間是互相依存的：「宇或徙，說在長宇久」，「長宇，徙而有處宇，宇南北，在且又在莫，宇徙久。」同一個宇是有變化的，這

是因爲時間（久）的變化；宇是既變化又靜止的，宇包含南北空間，存在於如旦暮一樣變化的時間之中，所以說空間在時間中變化。這種時空觀把時間和空間相統一，是一種十分正確的認識。

三、數學知識

《墨經》對許多幾何學名詞下了定義，最重要的如：

直，參也——「直」就是三點在一條直線上。

圓，一中同長也——圓就是到中心點距離相等的點構成的圖形。

方，柱隅四雜也——正方形是四等邊和四直角圍成的圖形。

除了一些數學的基本定義，《墨經》中還有極限的思想，這一思想將在下一節中介紹。

第六節 天文學和數學的發展

春秋戰國時代，自然科學的各個門類都取得了較大的發展。天文學的成就十分突出，天文觀測成果累累，曆法體系走向成熟。數學方面籌算與十進位得到確立，四則運算法則逐漸完備。

一、天文觀測的發展

春秋戰國時代是中國古代恆星觀測的一個重要階段，這一時期各國都有自己的天文官，如司馬遷在《史記·曆書》中所說的：「幽、厲之後，周室微，陪臣執政，史不記時，君不告朔，故疇人子弟分散，或在諸夏，或在夷狄」，《晉書·天文志》載春秋戰國時著名的天文官有：「魯有梓慎，晉有卜偃，鄭有裨竈，宋有子韋，齊有甘德，楚有唐昧，趙有尹皋，魏有石申夫，皆掌著天文，各論圖驗。」衆多疇人子弟分散在各國，爲農時、星占等目的進行天文觀測，客觀上促進了天文觀測的發展。以二十八宿爲基本座標系的中國恆星系統是在這一時期確立的，此期間對五星的認識也走向正確，異常天象的觀測也積累了一些記錄。

二十八宿體系是何時完備的現在還不十分清楚，但可以肯定至遲是在戰國早期。一九七八年在湖北隨縣發掘的屬戰國早期的曾侯乙墓中，出土了一個漆箱，這個漆箱蓋上繪著二十八宿圖，這個圖的中間是一個特大的斗字圖形，象徵北斗星，二十八宿圍繞在北斗星周圍，星名齊備，二十八宿外面東部畫著龍的圖形，西部畫著虎的圖形。這是現在知道的最早的完整的二十八宿的記載。

除了二十八宿外，春秋戰國時代其它恆星的觀測也取得了很大的進步，當時形成了分別以甘德、石申、巫咸爲首的甘、石、巫三派，每一派都有自己觀測的一些恆星，據記載，甘德著有《天文星占》八卷，石申著有《天文》八卷，但他們的著作都散佚了。唐瞿曇悉達所著《開元占經》中，記載了甘、石、巫三家星官，從中可見除二十八宿體系外，三家都把其它天區星官劃分爲中

官和外官，並指明各官的星數和與其它星官的相對位置關係。當然，《開元占經》所記三家星官的位置有些是後來觀測的，但是這個框架是在戰國時代確定的。

春秋戰國對五星的觀測也取得了突破，《漢書·天文志》說：「古曆五星之推，無逆行者；至甘氏、石氏經，以熒惑、太白為有逆行。」熒惑是火星，太白是金星。我國古代稱行星在恆星背景下自西向東運行為順行，反之為逆行。五星實際上都有逆行，這是在漢代認識到的，戰國時代甘、石首先發現了火星和金星的逆行，這是長期觀測的結果。從《開元占經》可知，甘、石測定過金星和木星的會合周期，並定出了火星和木星的恆星周期。長沙馬王堆漢墓出土的帛書《五星占》繪出了從秦始皇元年（公元前二四六年）到漢文帝三年（公元前一七七年）七十年間木星、土星和金星的位置表和它們在一個會合周期內的動態表，它反映出戰國末期對行星運動的認識較甘、石又有進步⑤。

春秋戰國時代很重視對異常天象的觀測，留下了不少寶貴的記錄。日蝕記錄五十多次，其中《春秋》就記載了三十七次日蝕。對流星和隕星也有紀錄，《春秋·莊公七年》載，魯莊公七年（公元前六八七年）「夏四月辛卯夜，恆星不見，夜中星隕如雨」，這是世界上最早的關於天琴座流星雨的紀錄。

春秋戰國時代，人們非常重視彗星，《春秋》和《左傳》中有三次彗星記錄，《春秋·文公十四年》記魯文公十四年（公元前六一三年），「秋七月，有星孛入於北斗」，這是世界上最早的哈

雷彗星記錄。長沙馬王堆三號漢墓帛書中有二十九幅彗星圖，二十九顆彗星形態各異，每顆彗星都有名字，共有十八個不同的名稱^⑥。這二十九幅圖當是楚人匯集的對彗星長期觀測的成果。

二、古四分曆與二十四節氣

春秋戰國時期，曆法也有了顯著進步，出現了古四分曆。

所謂四分曆，是以三百六十五又四分之一日為一年長度，十九年安排七個閏月為閏周的曆法。這樣的一年長度比真正的回歸年長度多十一分鐘，朔望月長度為二十九日又九百四十分之四百九十九日。古四分曆的回歸年長度和閏周值在當時是十分先進的，古羅馬在公元前四十三三年採用儒略曆，用的就是這個回歸年長度值，但時間卻晚了大約五百年，古希臘的默冬（Meton）在公元前四三二年發現了十九年七閏的閏周，稱之為默冬周期，比我國晚了約一百年。

戰國時，各國用的都是四分曆，因為曆元（曆法起算的時間）和歲首（一年開始的時間）的不同，而有黃帝、顓頊、夏、殷、周、魯六曆之稱。目前對於當時各國行用的曆法的情況還不太清楚。

春秋戰國時期，與曆法有關的另一個重大進步是二十四節氣的完備。我國古代的曆法一直用朔望月為月，朔望月的變化與季節實際上沒有關係，由於加入閏月，可以使一年中的某個月與某個季節基本上對應，但是，農事活動是根據太陽的南北變化形成的季節進行的，在春秋戰國時農

業已經走向精細化，更加要求知道準確的季節變化。二分二至在春秋之前早已知道，春秋戰國時其它節氣的名稱陸續出現在各種典籍之中，二十四節氣就在此時期完備起來。二十四節氣的全部名稱首見於《淮南子·天文訓》，而《淮南子·天文訓》用的是秦漢之際的顛項曆，因此在戰國末期二十四節氣肯定已經創立。當時還不知道太陽一年的運動（實際上是地球繞日公轉）速度有快慢之變化，二十四節氣是把一年均勻地劃分為二十四等分，每分十五日多。二十四節氣是我國古代曆法的獨具特色的一項內容，它對於指導農業生產具有很大的實用價值。

三、數學的發展

春秋戰國時期，籌算法走向成熟，十進制法隨之完全確立。

籌算是一個由一系列算法所構成的數學體系和在中國歷史上延續了一千五百年以上的科學傳統，它的核心是十進位值制和分離系數法，算籌是它倚重的一個工具⑦。

算籌很可能是從古代卜筮用的蓍草演變而來的，為竹、木或其它質料的小棍。春秋戰國時算籌已是一種普通的計算工具，《老子》說「善計者不用籌策」，可見算籌應用之普遍。天水放馬灘戰國秦墓、湖南長沙左家公山和湖北雲夢睡虎地戰國楚墓都出土了竹製的算籌。算籌記數也有文物資料，一九七八年河南登封出土的戰國早期陶器上刻有算籌記數的陶文；在戰國時期的貨幣中，有一些紋飾為算籌記寫的數字。

籌算與十進位是不可分的。用算籌表示一個數，有縱式和橫式兩種。從一到九的數字用算籌表示爲：

縱式：一、二、三、四、五、六、七、八、九

橫式：一、二、三、四、五、六、七、八、九

用籌來表示數字的方法是：個位用縱式、十位用橫式、百位用縱式、千位用橫式……如此縱橫相間排列，遇零則空位，這樣就可以表示出任何一個整數了。

籌算及十進位記數法的採用意義是相當大的。中國古代數學中的一些重要成果，如開平方和開高次方、解高次方程、解線性方程組和高次方程組、計算圓周率、解一次同餘式組、造高階插分表等等，都得利於籌算和十進制記數體系。

春秋戰國時期，四則運算已經完備，並且有了分數運算。先秦古籍中經常出現乘法口訣中的若干條，古四分曆的計算涉及到了複雜的分數計算。

春秋戰國時數學思想中產生了無窮和極限的概念。《莊子·天下》記惠施說：「至大無外，謂之大一；至小無內，謂之小一。」這是關於無窮大和無窮小的論述。《墨經》：「窮，或有前不容尺也。」這是關於極限的思想。

春秋戰國的實用數學也發展很快，《考工記》有一些衡量車、磬等物品不同部位的角度的專用名詞，如矩、宣、檣、柯、磬折，每個名稱都特指一個固定的角度。

第七節 生物學與地學

一、生物學知識

隨著農業生產和醫藥學的發展，春秋戰國時生物學知識積累得更加豐富，並且出現了生物分類思想的萌芽。

這一時期，人們認識的動植物種類迅速增加，初成於戰國末的《爾雅》一書載有植物通用名一百四十個以上，動物通用名二百二十個以上，很多名稱是原來的書中未出現過的。

物候知識也有所增加。《呂氏春秋》的《十二紀》載有每個月物候現象，不過其中的大部分內容來自《夏小正》，只是氣象觀測方面有所增益。當時人們又學會了以樹木的發芽期來指示播種的時令，有一本陰陽家的著作《雜陰陽》載有這方面的知識，原書已佚，《齊民要術》轉引了其中的一些內容，如：「禾生于棗或楊，九十日秀，秀後六十日成」，意為棗和楊發芽時種穀子，九十天後穀子孕穗，再過六十天收穫。

生物分類思想是春秋戰國時生物學發展的一個進步。《爾雅》搜集的動植物種類最多，分類也比較合理。今本《爾雅》十九篇，記述動植物的共七篇，即釋草、釋木、釋蟲、釋魚、釋鳥、釋

獸、釋畜。即首先把植物分爲草類和木類，把動物分爲蟲、魚、鳥、獸、畜五類。

植物中一方面把木類分爲喬木、灌木和灌木三類，另一方面又將形態相似的植物排在一起，以示同類，這體現了進一步精細分類的思想。

動物中，蟲類主要是無脊椎動物，魚類有真正的魚，還有一些無脊椎動物，鳥類除了蝙蝠和鼯鼠之外，都符合現代鳥類的定義，獸類和畜類除了畜類中的雞以外，都屬於現代的哺乳動物。可見《爾雅》中的動物分類總體上是符合現代動物分類思想的。

在《管子·地員》中還有十分寶貴的植物生態學知識，其中有「凡草土之道，各有穀造，或高或下，各有草物」的論述。《地員》篇還具體考察了一個山地五個不同高度的植被情況，經研究，其中反映的正是華北地區的真实情況^⑧。

二、地學知識

春秋戰國時代，疆域更加擴大，商業繁榮，交通、貿易區域十分廣大，人們的地理視野更開闊了，出現了《山海經》、《禹貢》以及《管子·地員》等地學專著。

《山海經》由山經、海經和大荒經三部分組成，其中的山經成書於春秋末年。山經中記述中山百九十七山，東山四十六山，西山七十七山，南山四十山，北山八十七山。每一山都注明了方位、道里及與附近山的位置關係。對每一山又繁簡不同地介紹了水文、動植物、礦產以及神話等

內容。山經中的許多自然地理知識是極其寶貴的。

《禹貢》大約成書於戰國時期，它的地理學價值遠遠超過山經，因為其中有了地理區域的概念和劃分。

《禹貢》主要根據山脈、河流和海洋三個自然地理要素把中國分爲九州，這九州是：冀、兗、青、徐、揚、荊、豫、梁、雍。其中描述了各州的水文、土壤、植被等自然條件，以及應納的貢品、田賦和運輸路線。

除了九州部分外，《禹貢》中還有「導山」和「導水」兩部分，敘述山脈和河流的情況。「導山」部分正確地反映了我國不同地區山脈的特點，「導水」部分敘述了九條河流的發源、流向、流經地、支流情況以及河口等，是中國古代水文地理學的先聲。

《管子·地員》中除前面介紹的植物生態學知識外，還有極有價值的地理學知識。它根據土壤性狀及相關條件把土壤分爲上、中、下三級，每級中有六類，共十八類。它對土壤的分類基本上是科學的。

第八節 醫學的發展與《黃帝內經》

從春秋初到戰國末是中國醫學發展的關鍵階段，中醫學的理論和方法由零散的知識和個人的

經驗逐步過渡到系統化的學說和體系。

一、醫學的發展

從春秋時代起，人們開始懷疑、否定鬼神致病的觀念，代之而起的是用自然原因解釋疾病。《左傳·昭公元年》載，晉侯有疾，鄭子產說不是神靈所為，而是「出入飲食哀樂之事」。秦國的醫和總結疾病的原因，說：「天有六氣，降生五味，發為五色，徵為五聲，淫生六疾。六氣曰陰、陽、風、雨、晦、明也。分爲四時，序爲五節，過則爲菑。陰淫寒疾，陽淫熱疾，風淫末疾，雨淫腹疾，晦淫惑疾，明淫心疾。」歸納出了六種致病原因及其所致的疾病，這已經帶有將醫學理論系統化的傾向。

治療方法上也出現了許多新技術，當時的名醫扁鵲就善於運用各種方法。扁鵲姓秦名越人，渤海郡鄭（今河北任丘）人，約生活於公元前五世紀。《史記·扁鵲倉公列傳》載，扁鵲爲虢太子診療時用了湯液、醴酒、鑿石搗引、案杌毒熨等方法。他還用過「切脈、望色、聽聲、寫形」方法，可見中醫中的「望、聞、切、問」四診法此時已基本上形成。

醫學分科也越來越細，出現了專門的帶下醫（婦科醫生）、小兒醫（兒科醫生）、耳目痹醫（五官科醫生）等。

由於理論與實踐兩個方面都有了飛躍，這一時期出現了很多醫學著作，但大多都散佚了。馬

王堆三號漢墓出土的帛書中，《足臂十一脈灸經》、《陰陽十一脈灸經》、《五十二病方》和《導引圖》就是作於戰國時代。恰是在這樣一個中醫大發展的時期，產生了中醫史上最重要的一部著作——《黃帝內經》。

二、《黃帝內經》

《黃帝內經》成書於戰國後期，由《素問》和《靈樞》兩部分組成，每部分各含八十一篇論文。一般認為，全書不是出於一時一人之手，而是先秦許多醫家搜集整理的。它以論述人體解剖、生理、病理、病因、診斷等基礎理論為重點，兼述針灸、經絡、衛生保健等方面的內容，是中醫學一部奠基性的著作。

《內經》認為人體是一個整體，它的各部分之間互相聯繫影響，並受外界因素如季節變化、地理環境、社會生活、思想情緒等的影響。

《內經》比較系統、全面地論述了臟腑、經絡學說。它的臟腑學說是建立在解剖學觀察實踐基礎之上的，提出了臟腑的功能及各臟腑間的聯繫。經絡學說認為，經絡是氣血循行的通道，經絡把人體結成一個各部分互相聯繫的整體。這種學說是中醫辨證論治的基本理論之一，兩千年來的實踐證明它是行之有效的。

《內經》採用了陰陽五行說為其理論基礎，闡述人體的生理、病理、外界對人體的影響、疾病

的診療等問題；它強調人要保持陰陽的相對平衡，即「和於陰陽、調於四時」，治療也要先辨陰陽。它用了五行相生相剋的學說來解釋臟腑某些病變的關係。

《內經》對人體有了比較深刻的認識，其中所載的人體骨骼及血脈的長度、內臟器官的大小、容量等，儘管不完全正確，基本上還是符合實際情況的。這些記載是從解剖中得來的。

《內經》認為，引起疾病的外來因素是邪氣——即自然界的風、寒、暑、濕、燥、火等，以及不正常的活動，但是能受邪氣影響的人往往是自身體虛者，這是致病的外因與內因的關係。因而《內經》主張人們要主動地防禦自然界致病因素的侵襲。

《黃帝內經》初步建立了中醫的理論體系，並且一直指導著中醫臨床實踐，它是我國醫學的寶貴財富。

第九節 春秋戰國的自然觀

春秋戰國時代是社會大動蕩、大變革的時代，社會的不穩定在一定程度上打破了人們思維的固有模式，經濟的繁榮和科學技術的發展又促進了人們探索自然的欲望。當時的學術正一步步走向民間，社會上形成了自由的學術空氣，各種學說爭奇鬥艷，出現了百家爭鳴的局面，對宇宙的本原、宇宙的結構、宇宙與物質的有限與無限等問題展開了深入的討論。

一、關於宇宙的本原問題

春秋戰國時，對宇宙本原的討論不僅限於形而下的實證的層面上，而且上昇到了形而上的玄思的層面上，提出了幾個重要的哲學概念。

道家學派的創始人老子提出，宇宙的本原是道，在《道德經》中，老子說：「有物混成，先天地生，寂兮寥兮，獨立而不改，周行而不殆，可以爲天下母。吾不知其名，字之曰道。」又說：「道生一，一生二，二生三，三生萬物。萬物負陰而抱陽，沖氣以爲和。」道在宇宙萬物之先。《管子·內業》中提出一種氣本原說：「凡物之精，此則爲生，下生五穀，上爲列星，流於天地之間，謂之鬼神，藏於胸中，謂之聖人。是故此氣，臯乎如登於天……」這是後世元氣學說的先聲。

這一時期陰陽說和五行說也得到了進一步發展，《易·繫辭上》提出：「一陰一陽之謂道」，把道解釋爲陰陽的變化。《黃帝內經》中大量用陰陽、五行解釋人與宇宙的聯繫以及疾病的生剋、轉化等問題。

二、關於宇宙的結構

春秋戰國時對宇宙結構的討論十分熱烈，古老的說法與全新的觀念同出並立。

首先是對宇宙的定義。宇宙是什麼？前面引述過墨子的定義：「久，彌異時也；宇，彌異所也」，這種認識在當時是普遍的，戰國的尸佼在《尸子》一書中，給宇宙下過一個類似的定義：「四方上下曰宇，往古來今曰宙」，這樣的宇宙圖式包括了所有的時間和空間。

關於宇宙中天和地的關係問題，這時古老的天圓地方說受到了挑戰，《大戴禮記·曾子·天圓》中，曾子（公元前五〇五——前四三六）就曾說：「誠如天圓而地方，則是四角之不揜也。」慎到（公元前三九五——前三一五）提出了天體渾圓的思想，他在《慎子》一書中說：「天體如彈丸，其勢斜倚」，不再認為天是扣在水平大地上的半圓，這是長期天文觀測的結果，更是天地結構學說的一大進步。這時地為球形的揣測也初現形跡，《莊子·天下》篇記惠施說：「南方無窮而有窮」，「我知天下之中央，燕之北、越之南是也」，後一句說大地有兩個中央，一個在北，一個在南，可能是指大地的兩極；而前一句就可能說，每向南走一步，都有更南方在前，但是到了南極，就不再有更南的地方了。在這種地形觀中，大地必然是球形。

天體渾圓就帶來了天是否比地高的問題，在春秋晚期，鄧析（公元前五四五——公元前五〇一）就提出了「天地比」的命題^⑨，否定了傳統的天高地卑的看法，戰國的惠施再次提到「天與地卑」^⑩，可見這一觀念已經逐步被接受。

三、關於宇宙與物質的有限無限

對宇宙與物質的有限無限問題這期間也展開了討論。《管子·內業》提出氣「其細無內，其大無外」，實際上涉及到了宇宙的無限延展性和物質的無限可分性。在《莊子·天下》中，惠施對此也有論述，他說：「至大無外，謂之大一；至小無內，謂之小一」，即物質世界在空間上大得沒有邊際，稱爲「大一」，在小的方面可以小到無限小，稱爲「小一」。但惠施說的「小一」並不是一個可度量的大小，因爲他又說：「一尺之棰，日取其半，萬世不竭」，即一尺長的棰，每天取它的一半，永遠也取不完，其實這是一種物質無限可分的思想，可見惠施說的「小一」是指無窮小。但是，墨家是反對物質無限可分的，《墨經》中說：「非半弗斲則不動，說在端」，提出了「端」的概念，說有形的物體分割到不能再分爲兩半的時候，就分割不動了，這就叫做「端」。可見，「端」是物質的最小單位，它有點兒類似於古希臘哲學家德謨克利特（Democritus）的原子論。

當時還有一個問題是天地的運動問題。《管子·侈靡》說：「天地不可留，故動，化故從新，是故得天者高而不崩。」認爲天地都在動，並且正是天的動才使它不崩不墜。莊子也思考過這一問題，在《莊子·天運》中提出：「天其運乎？地其處乎？日月其爭於所乎？孰主張是？孰維綱是？孰居無事推而行是？意者其有機械而不得已邪！意者其運轉而不能自止邪！」意爲天是動的嗎？地是靜止的嗎？太陽和月亮是爭於天空嗎？誰主宰著它們？誰控制著它們？大概是有某種機制使它們不得不如此！大概因爲它們的運行無法自行停止！提出了「機械」使天運地處，這是一

種十分深刻的思想。

註釋

- ① 杜石然等：《中國科學技術史稿》，科學出版社，一九八五年，上册，第一〇二——一〇七頁。
- ② 《史記·河渠書》。
- ③ 杜石然等：《中國科學技術史稿》，上册，第一〇四頁。
- ④ 聞人軍：《考古記導讀》，巴蜀書社，一九八七年，第二四七——二四八頁。
- ⑤ 席澤宗：《馬王堆漢墓帛書中的〈五星占〉》，收入中國社會科學院考古研究所編輯：《中國古代天文文物論集》，文物出版社，一九八九年，第四十六——五十八頁。
- ⑥ 席澤宗：《馬王堆漢墓帛書中的彗星圖》，收入《中國古代天文文物論集》，同注⑤，第二十九——三十四頁。
- ⑦ 劉鈍：《大哉言數》，遼寧教育出版社，一九九三年，第四十頁。
- ⑧ 杜石然等：《中國科學技術史稿》，上册，第九十八頁。
- ⑨ 《荀子·不苟》。
- ⑩ 《莊子·天下》。

第三章 秦漢時期

公元前二二一年，秦始皇稱帝，建立秦帝國，完成了統一中國的大業。秦統一後，廢分封，置郡縣，同律度量衡，書同文，車同軌，行同倫，疏浚河道，修築棧道，整治長城，確立了統一的中央集權制，對科學技術的發展具有一定的促進作用。但是，秦政苛暴，僅到二世，秦即覆亡。

漢承秦制，西漢初實行休養生息政策，社會穩定，生產發展迅速。西漢中期武帝加強中央集權，對農業和冶鐵業有積極作用，漢武帝招募一批民間天文學家制定《太初曆》，促進了天文學的發展；天人感應思想興起，成爲漢代自然觀的一個重要方面。漢武帝時期是科學技術發展的一個重要時期。

西漢末期和王莽時代，社會陷入各種矛盾和危機之中，到東漢前期，由於採取了一系列政策，社會矛盾暫時緩解，經濟得到恢復和發展，又出現了有利於科學技術發展的局面，湧現出了以張衡爲代表的一大批科學家，這一時期成爲秦漢時代科技發展的第二個高峯期。

東漢末年，社會動盪，國力衰弱，生產下降，但卻出現了《傷寒雜病論》這樣的醫學巨著，天文學也比較活躍

第一節 農業技術的發展與農田水利建設

一、耕作技術與農具的進步

秦漢時期，由於冶鐵業的發展，鐵農具已經普及，出現了許多新的農具，耕作技術也產生了變化，最重要的是鐵犁和牛耕技術的推廣。

漢武帝時趙過推廣鐵犁牛耕法，具體耕種方法是「用耦犁，二牛三人」^①，即兩頭牛挽一架犁，一個人牽牛，一個人按轆，一個人扶犁。當時牛耕法剛試行，農夫駕御耕牛技術還不熟練，犁的尖角較大，犁身很重，因此需要三人協作，才能使壟溝筆直，深淺均一。到西漢末年，農夫御牛技術已嫺熟，鐵犁有了改進，V形犁的鐵刃加寬，頭部的角度逐漸縮小，耕作起來輕便省力，牛耕法已改爲一牛一人，這種牛耕法已經是成熟的方法。

與牛耕配套的犁從西漢到東漢在逐步完善。東漢時期的犁已經具備了犁轆、犁梢、犁底、犁箭等主要部件，犁壁有多種形式，以利於翻土，從漢代考古發掘看，東漢時期的犁壁有向一側翻

土的菱形、板瓦形，有向兩側翻土的馬鞍形。

漢武帝時開始推廣使用耨車播種，耨車的主要部件是耨腳，鐵製漏斗形，把種子裝在裏面，其使用方法與犁一樣用牛拉，播種時，一人在前面牽牛，一人在後面扶耨，且走且搖，種子從耨腳空中漏下，耨上有覆土裝置，可以隨時覆土。西漢時普遍用帶有三個腳的耨，同時播種三行，大大提高了播種效率。

西漢時穀物加工使用了風車和水碓。風車用於穀物脫皮以後分離籽粒和糠粃，上面有能夠轉動的葉片。水碓是用於舂米、舂麵的工具，它是由杵臼發展起來的。水碓用流水作動力，既節省了人力，又提高了生產率。

兩漢時新出現了一些小型農具，如方釜寬刃鑿、雙齒鑿、三齒耙、鈎鑿等，已有的一些小型農具如耨、鑿、鋤、鑿等也得到改進，耕作技術全面提高了。

二、土地的合理利用

秦漢時人口逐漸增加，爲了提高作物產量，人們採取了一些措施合理地利用土地，最主要的辦法是代田法和區種法。

代田法是漢武帝時期大力推廣的一種適用於乾旱地區的耕作法，其方法是：先在地裏挖溝起壟，把種子播撒在溝裏，待到苗長出來達到一定高度後，進行中耕除草，並將壟上的土推到溝

裏，這樣就使作物根系深入土中，有利於保墒固根。第二年再反過來，在上年的壟處作溝，溝處起壟。這樣就無需拋荒土地而使土地得到輪流利用，提高了土地利用效率。採用代田法使作物產量大提高，據《漢書·食貨志》採用代田法「用力少而得穀多」，「一歲之收，常過縵田晦一斛以上，善者倍之」。當時不作壟溝播種的縵田法畝產大約是三斛，則用代田法提高了三分之一到二分之一的產量。代田法適用於大片土地的耕作，當時在我國北方廣大地區得到推廣。

區種法是一種在小塊土地上精耕細作的方法，具體方法是深耕、密植、加強田間管理、增加施肥，為作物生長提供良好的條件。區種法主要是一種適合小農經濟的耕作方法。

三、《汜勝之書》

由於漢代農業受到高度重視，當時出現了許多總結農業生產經驗的書籍，《漢書·藝文志》中有農書九家，其中七家作於西漢時期。漢代的農書都已散佚，現在僅存《汜勝之書》輯本。《汜勝之書》所記載的主要是陝西關中地區農民耕作的經驗，反映了當時的農業科學技術的發展情況。

《汜勝之書》總結了農業生產中及時耕作、利用和改良土地、施肥、保墒灌溉、中耕除草、及時收穫等六個環節的理論和技術問題，這是農民長期生產實踐的經驗。

《汜勝之書》還分別論述了禾、黍、麥、稻、豆、麻等十多種農作物的栽培法，奠定了我國古代農書傳統中的作物栽培各論的基礎。

四、園藝、桑蠶與養馬

漢代園藝技術最顯著的成就就是發明了溫室栽培法。《漢書·昭信臣傳》記載當時的太官園中，冬天能種植「蔥韭菜茹」，方法是「覆以屋廡，晝夜黥蘊火，待溫氣乃生」，這是關於溫室栽培的最早的可信記載。漢代還開始了套作嘗試，《汜勝之書》載，在瓜田裏可以間種薤或小豆。另外，漢武帝成功地把從西域帶來的葡萄、苜蓿栽種在離宮別觀旁，這是引種技術的成就。

漢代已經有了由地主經營的大規模的桑園，桑蠶技術也提高了，出現了二化蠶，一年能養兩次蠶，蠶絲的產量大大提高。桑蠶的全過程都更加科學、精細，蠶絲的質量隨之提高，為高質量的絲織品的出現奠定了基礎。

秦始皇開始設立養馬的牧師苑，漢代更重視養馬，設立了更多的養馬場以培育良種馬，烏孫馬和大宛馬等好馬引入內地。漢代還發展起了相馬術，有標準的銅製良馬模型出現，相馬術已經認識到馬體各部位之間的關係，還有一些科學的馬的外形學知識。

五、水利工程

秦漢時期是繼秦秋戰國之後又一個大興水利的時期，水利工程規模龐大，技術複雜。

漢武帝元光年間（公元前一三四至前一二九年）開鑿了漕渠，引渭水向東流入黃河，渠長三

百餘里，由水工徐伯設計選線。這條渠的開鑿既縮短了從潼關向長安運糧的時間，又可灌溉萬頃農田，是一項成功的水利工程。

漢武帝時開鑿的龍首渠是一項有重大技術創新的水利工程。龍首渠連接洛水的兩段，渠道經過商顏山（今鐵鏟山），為避免山體塌方，首創了「井渠法」，讓水在豎井下通行。由於井渠法減少了蒸發，很快在甘肅、新疆等乾旱地區推廣開來。現在新疆用的坎兒井就是井渠。龍首渠灌溉了重泉（在今陝西省蒲城縣）的萬餘頃鹽碱地。

此後，漢武帝連續修建了多項大小水利工程，為後世的農業生產打下了良好的基礎。

東漢前期，又對原有的水利工程進行了一系列的修復與擴建。公元六十九年，王景領導民工治理黃河，修復汴渠，修築了從河南滎陽到山東千乘的千里黃河大隄，此後，黃河在八百多年時間裏沒有發生大規模的決隘改道，這一工程起了相當大的作用。

第二節 冶鐵技術的成熟與鐵器的普遍應用

中國古代冶鐵技術在漢代發展成熟，塊煉鐵繼續存在，生鐵中的白口鐵、灰口鐵、麻口鐵和韌性鑄鐵等品種都出現了，百煉鋼、炒鋼、鑄鐵脫碳鋼技術從問世迅速走向普及，冶鐵需要的鼓風裝置、耐火材料等輔助設備隨之進步。

一、冶鐵

上一章談到，古代冶鐵的兩種方法——塊煉法和生鐵冶鑄技術在春秋戰國之際都已出現，但是，春秋戰國時的生鐵品種主要是白口鐵和經過柔化處理的韌性鑄鐵。白口鐵中的碳呈碳化鐵形態存在，這種鐵質硬而脆。漢代出現了灰口鐵，灰口鐵中的碳石墨化，使鐵變成低碳鐵，脆性降低，易於鑄造，但冶煉灰口鐵需要更高的溫度和技術。麻口鐵介於白口鐵和灰口鐵之間。韌性鑄鐵是白口鐵經過退火柔化技術處理的鐵。

灰口鐵至遲出現於西漢中期，河北滿城一號漢墓出土的鐵錠是含低硅、中磷、低硫元素的灰口鐵，出土的軸承則為灰口鑄鐵。河南澠池出土的一批漢魏鐵器，即使用現代煉鐵標準衡量都是優質鐵。

西漢中期以後，煉鐵由國家經營，規模宏大，煉鐵爐非常高大，形狀因用途不同而異，有圓形、橢圓形、長方形，鄭州古滎鎮漢代冶鐵遺址的一座橢圓形爐遺址長軸約四米，短軸二點七米，截面積八點五米，殘留的爐甌積鐵塊重二十餘噸。

鼓風裝置也很龐大，鼓風動力有人力、畜力、水力。當時已掌握了多種耐火材料的配製，不同的煉爐與煉爐部位經常使用不同材料的耐火磚。

二、百煉鋼、炒鋼與鑄鐵脫碳鋼技術

鋼一般是含碳量在百分之零點二到百分之一點二的鐵，生鐵含碳量太高，要經過脫碳變成鋼；熟鐵含碳量過低，要經過滲碳變成鋼。我國古代有塊煉鐵滲碳鋼、百煉鋼、炒鋼、鑄鐵脫碳鋼、灌鋼等幾種主要煉鋼技術，其中百煉鋼、炒鋼和鑄鐵脫碳鋼是在漢代發展起來的。

百煉鋼是我國古代質量最好的鋼材，其冶煉方法是把熟鐵反覆加熱鍛打，加熱用木炭或煤，在加熱的過程中碳逐漸滲入鐵中，鍛打則可以減少夾雜物，使鋼的組織致密、成份均勻。百煉鋼最初以塊煉鐵為原料，它是塊煉鐵滲碳鋼技術的延伸，炒鋼技術出現後，它主要以熟鐵或炒鋼為原料。

炒鋼是把生鐵加熱到熔化或基本熔化以後，在熔池中加以攪拌，借助於空氣中的氧把生鐵中所含的碳化掉。炒鋼至遲出現在西漢末漢，它的出現使社會可以生產出大量的鋼或熟鐵來。

掌握炒鋼的火候需要很高的技術和豐富的經驗，火候過了頭，碳的逸出過多，就成了熟鐵。所以常常乾脆炒成熟鐵，再以熟鐵為原料鍛製百煉鋼。用炒鋼煉製的百煉鋼質量很好，歷史上很多名劍就是用這種方法煉製的。山東蒼山出土的東漢卅煉鋼刀與西漢中期刀劍相比，鋼的組織均勻，含碳量適中，鋼中夾雜物細小，反映了很高的煉鋼技術。

鑄鐵脫碳鋼是由鑄鐵柔化技術發展來的，它是將白口生鐵的鑄件經過脫碳退火，通過適當控

制時間和溫度，使生鐵中多餘的碳被氧化成氣體脫出，鐵則成爲鋼。這一方法在兩漢得到了相當廣泛的發展，它把鑄鐵通過脫碳處理變成鋼件，是一個重大創造。我們知道，要煉出液態鋼，需要達到攝氏一千五百度到一千六百度的高溫，我國古代在不能煉出液態鋼的條件下，利用鑄鐵脫碳的方法巧妙地得到了鑄造成型的鋼件，是一項十分獨特的技術發明。

三、鐵器的普及

西漢中期以後，冶鐵業迅速發展，漢武帝在全國設四十九處鐵官，分佈在現在的陝西、河南、山西、山東、江蘇、湖南、四川、河北、遼寧、甘肅等省，成爲鋼鐵生產基地。每一鐵官下屬的作坊面積常達數萬平方米至數十萬平方米，規模盛大。

鐵的產量迅速增加，鐵器隨之得到普及。西漢初期，鐵農具和工具普遍取代了石、木、骨、銅器，西漢後期，鐵兵器逐漸取代了青銅兵器，到東漢時，兵器基本上完全鋼鐵化。

西漢中期以後，鐵器的種類急劇增加，燈、釜、爐、鎖、剪、鑷、火鉗、齒輪、車軸等生活生產用具都鐵器化，度量衡的某些部件也用鐵製。西漢中山靖王劉勝的墓道外口砌了兩道夾牆，其間澆注鐵水，形成嚴密的鐵門。可見當時冶鐵量的增加。

第三節 天文學的成就

秦漢時期是天文學總結以往成果、繼續穩固發展並形成中國獨特的天文學體系的時期。這時的曆法確定了後世曆法的主要形式和內容；創製了新的天文儀器，天文觀測取得了豐碩成果；宇宙理論中出現了蓋天、渾天、宣夜的言天三家；湧現了以張衡為代表的一大批傑出的天文學家。

一、曆法體系的形成

秦統一中國後，在全國頒行顓頊曆，漢初仍沿用顓頊曆。關於顓頊曆的具體情況，目前還沒有統一的認識。可以基本肯定它的月首在夏曆十月（即包含小雪的月），置閏法是年終置閏。

顓頊曆行用了一百多年，誤差逐漸積累增大，漢武帝時進行改曆。這次改曆招募了一批民間天文學家，搜集了十八家曆法進行比較，最後選用了鄧平的八十一分法，於太初元年（公元前104年）實行，定曆名為太初曆。

太初曆用夏正，以寅月為歲首，一個朔望月二十九又八十一分之四十三日，回歸年長度為三六五又一五三九之三八五日。以無中氣月份為閏月，這比年終置閏更合理。太初曆首次提出了交食周期的概念，規定一百三十五個朔望月有二十三個食季。太初曆中還有五星會合周期以及五星

位置的推算方法。太初曆具備了氣朔、閏法、五星、交食周期等內容，成爲後世曆法的範例。

東漢早期，天文學家李梵、蘇統等人發現了月亮運動的不均勻性（這種現象是由月亮運行軌道是橢圓而不是正圓造成的），東漢末年的劉洪把它應用到交食推算之中，用以制定乾象曆。劉洪還發現了白道（月亮軌道）與黃道（太陽視行軌道）之間有六度左右的夾角，由此解釋了爲什麼不在每個朔日都發生日食，劉洪在乾象曆中給出了月亮在黃白交點附近多大的範圍內朔日可發生日食。乾象曆是一部有創新的優秀曆法。

二、天文儀器與天象觀測

秦漢時期天文測量儀器有了很大的進步。在制定太初曆時，民間天文學家落下閎營造了一架測量天體的儀器，實際上就是渾儀，這很可能是我國歷史上最的渾儀。它應該有一個極軸、一個赤道環。到東漢時，太史令製造了「太史黃道銅儀」，這架渾儀又加上了黃道環和四游環（即赤經環）。

漢代還產生了演示天象用的渾象。西漢宣帝時耿壽昌首創這種儀器，東漢張衡製造了一架利用流水作動力日夜隨天轉動不停的渾象，叫漏水轉渾天儀，形象地演示了天球周日運轉產生的各種天象。

漢代的天文觀測也很有收穫。太初改曆時，進行了一次大規模的恆星位置觀測，利用落下閎

造的渾儀，測定二十八宿及其它一些星官中星的人宿度（恆星與其所在宿的最西邊的星的赤經差）和去極度（即距北極的弧度）。

異常天象的觀測也積累了重要的記錄，各種天象記錄趨於齊備、詳盡、準確。《漢書·五行志》有我國歷史上最最早的太陽黑子記錄，《漢書·天文志》記載了中外歷史上第一次有明確描述的新星，超新星爆發則首次見載於《後漢書·天文志》之中。日食、彗星等天象也都有詳細的時間、位置等記錄。漢代奠定了我國古代觀測和記錄天象的傳統，此後連續兩千年的記載為現代天文學研究提供了寶貴的資料。

三、宇宙理論——言天三家

漢代言天的理論有三家：蓋天、渾天和宣夜，這三家學說都有更古老的淵源，在漢代發展、傳播開來。

蓋天說以成書於公元前一世紀的《周髀算經》為代表，其中有一套相當繁雜的計算和數字化的天地模式，其思想是：天與地為圓形平行平面（直徑八十一萬里），在中心處聳起著高六萬里、直徑二萬三千里的凸起^②，太陽軌道半徑的變化形成季節，太陽距人頭頂天空的遠近形成晝夜。

渾天說在西漢時有落下閎等一大批倡導者，東漢張衡是渾天說最傑出的代表。張衡在《渾天儀注》中說：「渾天如雞子。天體圓如彈丸，地如雞中黃，孤居於內。天大而地小。……周天三

百六十五度又四分度之一，又中分之，則一百八十二度八分度之五覆地上，一百八十二度八分度之五繞地下，故二十八宿半見半隱。」^④張衡用他製造的水運渾儀很好地演了渾天說，渾天說從西漢到東漢逐漸被廣泛接受。

宣夜說是漢前期的郅萌記下的，認為「天了無質，仰而瞻之，高遠無極。……日月衆星，自然浮生虛空之中，其行其止，皆需氣焉」，打破了天有硬殼的認識，指出天是無限遠的虛空，日月星辰無需附在地球上，而是浮在虛空中。這是一種十分進步的宇宙理論。

第四節 《九章算術》——中國古典數學框架的建立

我國人民早已掌握很多數學知識和計算技能，在春秋戰國數學進一步發展的基礎上，到秦漢時期開始出現我國古代最早的一批數學專著。《九章算術》編成在公元前一世紀，是現有傳本的古算中最古老的數學著作。它的出現，標誌著我國古代以算籌為計算工具，具有自己獨特風格的數學框架的建立。與《九章算術》大約同時編成的還有《周髀算經》，這本書後來被列為《算經十書》之首，它的卷上記載了商高答周公問、陳子答榮方問，有勾股定理應用及分數運算、比例運算和測量太陽高遠等內容。《漢書·藝文志》著錄有《許商算術》、《杜忠算術》，已佚，這些可能是研習《九章算術》的心得。

《九章算術》集先秦到西漢數學知識之大成，所謂「九數之流則《九章》是矣」^①。九數在戰國時期已大體完備，由於秦焚書而散壞，西漢張蒼（？至前一五二年）、耿壽昌（前一世紀中葉）收集秦火遺殘，加以整理刪補，便成爲《九章算術》。全書以計算爲中心，有九十餘條抽象性算法、公式，二百四十六個例題及其解法，基本上採取算法統率應用問題的形式，該書的體例是按解題的方法和應用的範圍分爲九大類，每一類作爲一章：方田章提出了完整的分數運算法則，各種多邊形、圓、弓形等的面積公式；粟米章提出了比例算法；衰分章提出了比例分配法則；少廣章給出了完整的開平方、開立方程序；商功章討論各種立體體積公式及公程分配方法；均輸章解決賦役中的合理負擔，也是比例分配問題及算術雜題；盈不足章解決盈虧問題及可以用盈不足術解決的一般算術問題；方程章是線性方程組解法，並給出了正負數加減法則；勾股章由旁要發展而成，提出了勾股定理、解勾股形及若干測望問題的方法。《九章算術》的框架、形式、風格和特點深刻影響了中國乃至整個東方的數學，它的許多成就居世界領先地位，奠定了此後中國數學居世界前列千餘年的基礎。

由於《九章算術》內容廣博而深刻，它一成書便占據了中國數學的中心位置，成爲中國最重要的數學經典，對後世產生了巨大影響，一直是人們學習數學的主要教科書。事實上，《九章算術》已經建立了中國古典數學的基本框架，十六世紀以前的中國數學基本上是在《九章算術》的框架之內發展，數學著作大都沿襲《九章算術》的體例，從實際問題出發，提供數學解決方法的傳統承繼

不斷，後世許多著名的數學家都曾對《九章算術》進行注釋工作，並從中不斷引入新的數學概念和方法，從而推動了中國古代數學不斷前進。

《九章算術》不僅在中國數學史上有巨大的影響，在世界數學史上也占有崇高的地位。《九章算術》是舉世公認的古典數學名著之一，它的出現，標誌著世界數學研究中心從古希臘及其殖民地轉移到了華夏大地，也標誌著以算法研究為主體的數學取代了以幾何研究為主體的數學，從此算法研究占據了世界數學舞臺的中心。由於採用一整套在當時世界上堪稱為十分先進的籌算算法，其表現出的十進位值制解決實際問題以及在計算技術方面的顯著優點，造就了《九章算術》中的許多成就都是世界性的。其中系統的分數四則運算、各類型的比例問題計算、負數概念的引入和正負數的加減法則等等，都比印度早八百年左右，比歐洲國家早千餘年。開平方、立方也是世界上最早的開方程序，聯立一次方程組完備解法，在國外最早出現在印度七世紀初婆羅門笈多（Brahmagupta）的著作中，在歐洲則直到一五五九年才由法國數學家布瓦（Bureau）提出來，盈不足術傳人阿拉伯國家，被稱為「契丹算法」（即中國算法），在很長時間內一直是他們解決數學問題的主要方法。《九章算術》的數學內容和成就不僅在隋唐時期就曾流傳到朝鮮和日本，並被定為教科書，對東南亞各國作出了重大貢獻，而且經過印度和中世紀伊斯蘭國家輾轉傳入歐洲，對文藝復興前後世界數學的發展，作出了一定的貢獻。

第五節 地圖測繪技術與地理志

一、馬王堆地圖與地圖測繪技術

據記載，春秋戰國時代的地圖已經有了相當多的地理要素，但是現在沒有那時地圖的實物。一九七三年長沙馬王堆三號漢墓出土了三幅繪在帛上的地圖，從中可以看到漢代的地圖繪製水平。這三幅圖是地形圖、駐軍圖和城邑圖。

地形圖基本上符合十八萬分之一的比例，其上的瀟水流域、南嶺、九嶷山及其附近地區的精確相當高，居民點各縣城的位置也比較準，對於山脈的起伏、走向等都表示得相當出色。這幅圖反映了當時的地圖測繪技術已經達到相當高的水平。

駐軍圖表現的僅是地形圖東南部的地區，除山脈、河流、居民點和道路外，還標明了駐軍的布防、防區界線和指揮城堡等，不同的地物用不同顏色繪出，因此它是一幅彩色地圖。

城邑圖是一個縣城的平面圖，繪有城垣和房屋等，是後世城市平面圖的先聲。

馬王堆的三幅地圖屬於三種不同的類型，圖上的地物位置相當精確，表現手法也十分清楚，從中可以看出，漢初的地形測量和地圖繪製已經具備了相當好的技術。

二、《漢書·地理志》的編纂

秦漢時代，疆域地理情況受到高度重視，《漢書·地理志》開創了疆域地理志編纂的風格。

班固（公元三十二至九十二年）著的《漢書·地理志》由三部分組成，其中第一部分和第三部分是前人著作的轉錄，第二部分為班固所作，這一部分以記述疆域政區的建置為主，為我國歷史上第一部疆域地理學著作。《漢書·地理志》根據漢平帝元始二年（公元二年）的建置，敘述了一百零三個郡國及其下的一千五百八十七個縣、道、邑、侯國的建置沿革。在郡國項下都記有戶口，還記了某些郡國重要的自然和經濟情況；縣、道、邑、侯國一級的區域則選擇其域內具有代表性的山川、水利、物產、官營工礦、關塞、祠廟、古跡等，作了簡潔的記述。書中有許多寶貴的資料，如最早的關於石油的記載：「上郡高奴縣」有洧水，可燻（燃）；最早的關於天然氣的記載：「西河郡鴻門縣」有天封苑火井祠，火從地出也」。

《漢書·地理志》成為後世地理志的範本。二十四史中十六史有地理志，這些地理志都是以《漢書·地理志》為樣本寫的，宋代以來，大量增加的方志也受到《漢書·地理志》的影響。

第六節 醫學體系的充實與提高

一、《神農本草經》

在長期的醫學實踐中，藥物知識逐漸積累起來。秦漢時期，漢族同邊疆少數民族的交往頻繁，少數民族向內地傳入了一些新的植物，其中有些是藥物。在此情況下，出現了許多藥物學著作，《神農本草經》是唯一流傳下來的漢代藥物學著作。

《神農本草經》收載藥物三百六十五種，其中植物藥物二百五十二種，動物藥物六十七種，礦物藥四十六種。每種藥物都較詳細地記載了主治、性味、產地、採集時間、入藥部分、異名等。書中所載的藥效絕大部分是正確的。書中還根據藥物的毒性大小、滋補作用強弱等，把藥物分爲上、中、下三品。在《神農本草經》的序錄中，還概述了當時藥物學的基本理論。

二、《傷寒雜病論》

東漢張仲景（約一五〇至二一九年）所著《傷寒雜病論》是一部重要的中醫學著作，它確立了理、法、方、藥具備的辨證論治的醫療原則，奠定了中醫治療學的基礎。

在辨證方面，張仲景提出了治療急性熱病的「六經辨證」，分清病的特點、發展階段，掌握疾病的變化規律。在辨證基礎上的論治，既有嚴格的原則性，又有相當大的靈活性。《傷寒雜病論》收入三百多個藥方，對每一味藥的藥性、服法、主治等都有詳細說明。

《傷寒雜病論》被後人整理成專講急性傳染病的《傷寒論》和泛講雜病的《金匱要略》兩部著作。

三、華陀的醫療實踐

華陀是東漢末到三國初的名醫，他以高超的外科手術技術和先進的麻醉方法著稱於世。

據《後漢書·華陀傳》載，華陀曾以麻沸散為麻醉劑實施過腹腔外科手術：「若疾發結於內，針藥所不能及者，乃令先以酒服麻沸散，既醉，無所覺，因剝破腹背，抽割積聚。若在腸胃，則斷截湔洗，除去疾穢，既而縫合，敷以神膏，四、五日創愈，一月之間皆平復。」

華陀還曾創「五禽戲」，模仿虎、鹿、熊、猿、鳥的動作進行鍛煉，以達到祛病延年的目的。

第七節 造紙、漆器與紡織

一、造紙

在發明紙張以前，中國的文字是刻在龜甲、獸骨、金石、竹簡、木牘上或寫在縑帛上，戰國到兩漢時期仍把竹簡裝訂成冊做書。竹簡太重，帛書造價昂貴，不能普及。西漢初年開始有不成

熟的造紙術，其紙張以大麻和苧麻為原料，質地粗糙。到西漢中晚期，已有了只用大麻製造的質量較好的紙。在此基礎上，公元二世紀初，蔡倫對造紙術進行了一次突破性的革新。

蔡倫創造性地使用樹皮作原料，把樹皮與破布、舊魚網等廢舊麻類材料混合起來，對造紙的工藝也做了革新，使植物纖維能夠快速地離解得較以前細微，大大提高了紙張的質量和生產效率。公元一〇五年，蔡倫把這種紙獻給漢和帝，從此這種紙風行天下，被譽為「蔡侯紙」。

新的造紙術的出現，使紙張的大量生產成為可能，這對文化的發展和傳播具有極其重要的意義。

二、漆器

我們的祖先用漆的歷史已經有七千年左右了，但是早期的漆器發展很緩慢。春秋戰國時，漆器大量增加，在漆中加入各種顏料的彩色漆繪十分出色。

秦漢時期漆器得到進一步發展，有了官營的漆器業，漆器製作分工十分精細，油漆技術的工序有：素工（作內胎）、髹工和上工（上油漆）、黃塗工（在銅製附飾品上塗金）、畫工（描繪油彩紋飾）、涓工（雕刻銘文等）、清工（最後修整）等工序，此外還有專門負責進料的、負責管理的官吏，漆器製造的組織十分嚴密^⑤。生產出的漆器非常精美，從馬王堆漢墓中出土的各種漆器可以看到這一點。

三、紡織

秦漢時期紡織品的數量和質量都有很大提高，絲織物、麻織物、毛織物的紡織技術都有發展。絲織物的絲縷均勻，富有光澤，有些絲線相當細，織成的絲織品薄如羽翼，經緯線密度都很高，表明這時的繅絲、紡織工藝都達到了先進的水平。絲織物的花紋美觀繁多，表明提花工藝的進步，有的絲織物上有起毛花紋，花紋高出絹帛表面，這是後來起絨織物的先聲。麻織技術在脫膠、漂白、漿碾等方面都比較先進了。染色也有較大的進步。

漢代的紡織機械也有所改進，出現了紡車，漢代的一些畫像石上所畫紡織圖上繪有用紡車紡紗的圖案。秦漢時代的織布機也不再是原始的腰機，它的結構更加複雜，使用更方便，織布效率提高。提花機已經具備了我國傳統提花機的主要部件，能夠織出任何複雜的花紋。

第八節 建築與交通

一、建築

秦漢時代興建了許多大規模的建築，最重要的是長城的多次修建，宮室建築也十分宏偉。

長城建於戰國，秦統一後，爲了防禦匈奴從北方的襲擊，用了三十萬人，歷經十多年時間，在原來燕、趙、魏等國長城的基礎上，修築了西起甘肅臨洮、東達遼東的萬里長城。漢代除重修秦長城外，又修築了朔方長城和涼州西段長城。長城穿越高山、沙漠、溪谷，是世界建築史上的一大奇觀。

秦漢時期修建了規模龐大的宮殿，如秦咸陽宮、朝宮，漢未央宮。秦和西漢的宮殿建築仍以高臺建築爲主要形式，在一個梯形夯土臺上修建宮殿羣。

西漢時期出現了多層建築，到東漢時多層建築很快發展起來。多層建築常見的爲木結構樓閣。中國古建築特有的斗拱最初出現在戰國時代，在漢代有了很大發展，出現了直拱、人字拱以及單層拱、多層拱等多種形式。屋頂的形式也有了多種變化，如四坡頂、歇山頂、捲棚頂、懸山頂、四角攢尖頂。

磚結構技術也有了發展。戰國時出現的空心磚與小條磚，在秦漢時代十分普及，到西漢晚期以後，空心磚漸趨減少，小條磚成爲磚瓦結構建築的主要材料。

二、交通

秦統一後，爲了加強對全國的控制，修建了四通八達的道路。以咸陽爲中心，向東修築了由咸陽出函谷關，沿黃河經山東定陶、臨淄至成山角的東方大道，向西修築了由咸陽至甘肅臨洮的

西北大道，向東南修築了由咸陽經南陽到湖北江陵的秦楚大道，向西南修築了通往巴蜀的川陝大道。此外，還修了達閩桂的江南新道，連接九原（今包頭）和河北碣石的北方大道，從雲陽至九原的直道。統一的國家有了統一的交通。

在川陝之間的山區又修了許多棧道，棧道的修築是因地制宜，或開鑿山洞，或架設橋樑，或盤山而上，表現出高超的設計和施工技术。

秦漢時在水路交通方面也有發展。秦始皇在湘江上游修築了靈渠，靈渠連通了長江支流的湘水和珠江支流的漓水，長江和珠江兩大水系從此溝通了。

秦漢時的船也逐步改進，東漢的船有了櫓、舵和布帆，這些都是造船技術的重要進步。

第九節 中外交通、貿易和科技文化的交流

秦漢時期中外交通得到了較大發展，為我國同各國人民的友好往來、增進了解、加強貿易和科技文化的交流創造了條件。我國當時相當發達的科技文化，通過海路交通，對許多國家的社會經濟發展產生了一定的影響，同時，各國的優秀科技文化也不斷豐富著我國的文明寶庫。

一、海上交通的發展

中國較早開闢了同朝鮮、日本、印度尼西亞等亞洲國家的海上交通，這些國家有不少漢代文物出土便是證明。《漢書·地理志》記載，漢武帝曾派使臣、貿易官員和商民，從廣東徐聞、合浦等地出發，往返於中國和蘇門答臘、緬甸、印度和斯里蘭卡之間，這是我國航海船舶經南海，穿越馬六甲海峽在印度洋上航行的真切記錄。東漢桓帝延熹九年（一六六年），大秦（羅馬帝國）王安敦派遣使者航海來到中國，從而開闢了中國和羅馬之間的海上通路。海上交通的開闢，促進了航海船舶的發展和航海技術的進步。漢初《淮南子·齊俗訓》已有使用天文知識確定航向的記載和說明。

二、陸路交通的發展

漢武帝曾於建元三年（前一三八年）和元狩四年（前一一九年）兩次派遣張騫出使西域，到達中亞和西亞的若干國家和地區，從而開闢了舉世聞名的始自長安（西安）西達羅馬帝國的「絲綢之路」。當時的「絲綢之路」分南北兩條道路：南路經甘肅敦煌，沿崑崙山北側的鄯善、和田、莎車，越過帕米爾高原，到阿姆河流域中部、波斯（今伊朗），再往西達現在的伊拉克、敘利亞一帶、羅馬帝國和地區；北路經敦煌，沿天山南路的吐魯番、喀什，越過帕米爾北部，到前蘇聯費爾干那等地，再往西南最後達羅馬帝國。另外，漢武帝時從四川往南開闢有兩條通往印度的道路。

三、中外科科技文化交流

中外海陸交通的發達，首先大大豐富了人們的地理知識。例如，張騫把他親身經歷和見聞各國的風土人情，如人口、兵力、物產、城鎮、交通、河流、湖泊、氣候及各國彼此間的相對位置和距離等，作了程度不同的介紹，載於《史記·大宛列傳》。這是我國古代有關中亞、西亞、南亞一些國家經濟地理的最早記述。張騫的出域之行對增加中國與其他國家人民的互相了解、增進科技交流都起了積極作用。其次，海陸交通的發達，使各國人民的往來更爲頻繁。「絲綢之路」在從漢到唐的數百年間，雖幾經中斷，但基本上是暢通的，沿這條道路保持著大規模的經濟貿易往來，伴之而來的是科技文化的交流。秦漢時期，中國出口的主要物資是絲綢、鐵器和漆器，與之相應的是絲帛生產技術、冶鐵技術和漆器技術的傳播。這些技術對朝鮮、日本、東南亞以及中亞、西亞、南亞、西南亞各國都產生了廣泛的影響。秦漢時期我國的絲綢織品在中亞、西亞特別是羅馬帝國極爲盛行。《史記·大宛列傳》記錄當時我國先進的冶鐵術已經在越南等國家傳播。著名的羅馬學者普利尼（Pliny，一三三至七九年）所著《博物誌》卷三十四中也記載了「中國鐵」西傳的情況。與此同時，朝鮮的人參，中、西亞的石榴、胡桃（核桃）等植物品種，毛布、毛毯等織物、東南亞、南亞的香料、珍珠、象牙等，都傳進中國，增加了我國的動植物品種和藥物種類，豐富了我國的物質和文化生活。

第十節 漢代自然觀

一、董仲舒和「天人感應」的神學目的論

秦始皇統一中國後，爲了加強中央集權的統治，採取了一系列嚴厲加強思想統治的政策，禁錮了學術思想，對科學技術的發展產生了不利影響。西漢初期，諸子百家學術思想有所復甦，道、儒、法、陰陽、縱橫各家學說有所抬頭，學術思想呈現出比較自由的景象，這對當時科學技術的發展起著一定的積極作用。到了漢武帝時，爲了建立大一統的政治需要，採納董仲舒（約前一七九至前一〇四年）「罷黜百家，獨尊儒術」的建議，確立了儒家的正統地位和今文經學的官學地位。

董仲舒是廣川（今河北棗強）人，西漢哲學家、今文經學大師，著作有《春秋繁露》、《董子文集》。董仲舒以儒家宗法思想爲中心，用天人感應的公式，通過簡單的比附，雜以陰陽、五行說，把神權、皇權、父權和夫權統一起來，建立了一整套封建神學世界觀，使儒學走上了宗教化的道路。他提倡的「天人感應」說認爲：天能干預人事，人的行爲也能感應上天。他虛構天的至高無上，以樹立皇帝的最高權威，在理論上論證封建專制統治的合理性和合法性。他認爲宇宙內

的一切，從自然界到人類社會的各種現象，都是照著天的意志而顯現的，如《春秋繁露·順命》所說：「天者萬物之祖，萬物非天不生也。」就對科學技術的影響而言，它排除了進行科學探索的必要性，而用唯心主義、形而上學的說教代替，並試圖一勞永逸地完成自然科學的研究。《春秋繁露·必仁且知》說：「災者，天之譴也；異者，天之威也。」這種以天的愛、嚴、樂、哀來解釋天氣的暖、晴、寒、暑等等，幾乎要窒息人們對自然現象的規律進行探索的任何生機，對科學技術的發展產生極大的阻礙作用。

董仲舒的神學世界觀從開始確立就遭到非正統的所謂異端頑強的反抗，其中以司馬遷為傑出代表。司馬遷是西漢著名史學家、文學家和思想家，夏陽（今陝西韓城南）人，任太史令，著有中國最早的通史著作《史記》。他以「欲以究天人之際，通古今之變，成一家之言」^⑥為抱負，反對在科學知識上附以宗教迷信，使人「拘而多畏」，他批評「巫祝機祥」的迷信思想，《史記》中一些關於自然科學的內容顯示出司馬遷的廣博學識和求實精神，其《天官書》是我國現存第一篇系統描述全天星官的著作；《曆書》表達了他關於曆法的主張；《律書》、《河渠書》、《貨殖列傳》則有關於音律學、水利、地理知識的記述。司馬遷開創了在史書中記錄科學技術史料的先河。這期間，還有淮南王劉安召集賓客寫的陰陽、道、儒、名、法等畢集的著作《淮南子》，說明諸子百家學說還有一定影響。到甘露三年（前五一年），漢宣帝召集各地儒者到長安石渠閣開會，討論經義異同，把董仲舒的神學思想體系推到了唯一的地位，並禁封了諸子百家和司馬遷的著作。從此

以後，僵化的神學世界觀廣為泛濫，嚴重地禁錮了科學技術的發展。

二、古文經學派與今文經學派的鬥爭及其影響

西漢末年，讖緯之說開始盛行。讖緯是神學和庸俗經學的混合物，今文經學同讖緯之說結合，成為今文經學的惡性發展，更排擠了科學研究工作，成為科學技術發展的嚴重障礙。中元元年（五六年）漢光武帝「宣布圖讖於天下」^⑦，把圖讖國教化。到建初四年（七九年）漢章帝召集白虎觀會議，寫成《白虎通義》一書，成為讖緯國教化的法典，使今文經學完全宗教化和神學化了。針對這種反科學的今文經學，早在西漢末年，著名文學家、哲學家揚雄（前五三至公元一八年）就提倡無神論，他作《法言》，反對神仙迷信、星占卜筮。西漢末年古文經學派的開創者、目錄學家和天文學家劉歆（？至二三年）提倡古文經學，他發現《周禮》、《左傳》、《毛詩》、《古文尚書》等古文經，建議為它們立學官。

古文經學與今文經學兩大派別的對立，反映了科學與神學的鬥爭。東漢早期的哲學家、經學家桓譚（約前二三至公元五〇年），曾當著漢光武帝的面「極言讖之非經」^⑧，公開批判讖緯之說，反對天有意志、天有目的的神學目的論思想。在其所著《新論》中，把人的生死現象看成一種自然現象。《新論·神形》篇說：「生之有長，長之有老，老之有死，若四時之代謝」，這是對秦始皇、漢武帝以來方士們宣揚的「長生不死」術的有力批判；桓譚又提出「以燭火喻形神」的著

名論點，說明精神之不能離開人的形體如同燭光不能脫離燭體而獨立存在一樣，這對東漢科學技術的發展有一定的積極影響。

三、唯物主義者王充及其《論衡》

王充（二七至約九七年），字仲任，浙江上虞人，東漢早期偉大的唯物主義思想家、哲學家。他繼承了司馬遷、揚雄、桓譚的批判精神，同「天人感應」的神學目的論和讖緯迷信進行了針鋒相對的鬥爭。在鬥爭中，王充建立了一個反正統的思想體系，這是這個時代的產物。王充的名著《論衡》不但是我國古代思想史上一部劃時代的傑作，而且也是我國古代科學史上極其重要的典籍。

在《論衡》中，王充衝破了正統思想的束縛，以當時的科學技術知識和他本人對自然現象認真觀測研究的成果為武器，以無可辯駁的科學事實對「天人感應說」和讖緯迷信進行了無情的批判，在科學技術的一系列問題上提出諸多精闢獨到的見解。他繼承、發展了古代的元氣學說，以之與神學目的論相抗衡，從中可以看出兩個思想體系「兩刃相割」的總態勢。

王充認為：「天地，含氣之自然也」①，「天地合氣，萬物自生，猶夫婦合氣，子自生矣」②，由於「氣」本身的運動而產生萬物，天與萬物一樣都是客觀存在的自然體，不存在有意志的創造者。自然的「災異」是「氣」變化的結果，與人事無關。他還認為，人的生命和精神也以

「精氣」作為物質基礎，人「死而精氣滅」^①，根本不存在脫離形體而獨立存在的靈魂，對人的生死作了唯物主義的解釋。對於那些「輕身益氣，延年度世」的荒誕思想，王充也予以批駁，提出「有始者必有終，有終者必有死。唯無終始者，乃長生不死」^②，把認識提到了新的高度。這裏王充利用了當時的醫學成就，繼承了前人關於形神關係的唯物見解以及對「長生不老」術的批判，闡發了無神論和樸素唯物辯證法的觀點，對當時和後世鬼神迷信觀念都是有力的抨擊。

王充還科學地解釋了雲、雨、雷電、潮汐等自然現象，他所應用的科學武器涉及到天文、物理（力、聲、熱、電、磁）、生物、醫學、冶金等諸多知識領域，反映了他科學知識的淵博，也反映了當時科學技術的發展水平。王充的思想代表著當時人們要求從實際出發研究自然界發展規律的強烈願望。王充唯物主義思想體系的建立，無論在當時還是後世都產生了深遠的影響。

註釋

①《漢書·食貨志》。

②江曉原、謝筠譯注：《周髀算經》，遼寧教育出版社，一九九六年，第八十七頁。

③有人提出《渾天儀注》不是張衡所著。《渾天儀注》原書已佚，本書轉引自唐瞿曇悉達所撰《開元占經》卷一，中國書店影印本，一九八九年。

- ① 魏·劉徽：《九章算術》序，錢寶琮校點《算經十書》上册，中華書局，一九六三年。
- ② 杜石然等：《中國科學技術史稿》，上册，第二〇三頁。
- ③ 漢·班固：《漢書·司馬遷傳》，中華書局，一九六二年。
- ④ 宋·范曄：《後漢書·光武帝紀》，中華書局，一九六五年。
- ⑤ 《後漢書·桓譚傳》，同④。
- ⑥ 東漢·王充《論衡·談天》，上海人民出版社，一九七四年。
- ⑦ 《論衡·自然》。
- ⑧ 《論衡·論死》。
- ⑨ 《論衡·道虛》。

第四章 三國兩晉南北朝時期

第一節 社會狀況與歷史背景

古代科學技術在戰國時期曾獲得極大成就，出現了科學技術史上的第一個「旺季」。此後社會經歷了四百多年的基本安定局面。黃巾起義瓦解了東漢末期的腐朽政權，形成魏、蜀、吳三國鼎立。從三國到隋王朝建立的三百六十多年間，與戰國一樣是一個經過長期安定以後的割據、戰亂時期。這個時期各勢力在政治上是不平衡的，曹操統一中原後實行屯田制，發展農業生產，為魏吞併蜀、吳打下了經濟基礎。西晉有過短暫的統一，東晉偏安江南，北方地區進入所謂「五胡十六國」時期。四三九年北魏統一了北方，孝文帝拓跋宏於太和九年（四八五年）推行「三長制」和「均田制」的改革，造成了北方從政治、軍事、人力和物力各方面壓倒南方的局面，為後來隋文帝楊堅統一全國奠定了基礎。與北方社會狀況相應，北方在科學技術方面相應得到了發

展，並反過來對發展農業生產和戰爭有關的部門起了積極作用；在南方，經歷了六朝時期，社會較安定、經濟繁榮，為科學技術發展創造了條件。在思想方面，魏晉南北朝時期有魏晉玄學、佛道儒三教以及范縝「無神論」、鮑敬言「無君論」等思想的迭興並起。思想上的活躍，必然造成學術上的繁榮，為科學技術提供一個較為寬鬆的發展環境，使之與戰國時期一樣是一個很有成就的時期，不少科學家繼承並發展了秦漢以來所形成的科學知識和文化體系，在天文、曆算、醫學等領域取得了重大的突破。如在數學方面，劉徽創立了割圓術以及經劉徽、祖沖之等人的努力，在圓周率的計算方面遠遠超過了古希臘的水平；農業方面，出現了《齊民要術》這樣大型的綜合性的科技專著；天文曆法方面，虞喜歲差的發現等，標誌著中國古代天文學的發展進入一個新階段。同時，現代化學的先驅也以煉丹術的形式出現了，其他在地理學、醫學、機械等方面也都獲得了突出成就。

第二節 農業生產技術和農學著作

一、賈思勰和農學著作《齊民要術》

賈思勰生活於五世紀末到六世紀中葉，曾任過高陽（今山東青州）太守，他查閱文獻一百六

十多種，同時收集農諺，調查訪問和親身實踐，總結和發展了當時黃河中、下游地區的農業生產經驗，於北魏末年（約五三三至五四四年）寫成農業科學技術巨著《齊民要術》，這是魏晉南北朝時期的農業科學水平的集中反映，也是我國現存最早的一部完整的農書，同時也是世界科學文化寶庫中的珍貴典籍，在世界農學史、生物學史上占有重要地位。

《齊民要術》共十卷九十二篇，約十一萬字，內容十分豐富，「起自耕農，終於醢醢（製醬醋），資生之業，靡不畢書」①。涉及到農作物栽培、選種、育種、土壤、肥料、耕作技術、農具、果樹、蔬菜、養魚、養蠶、畜牧、獸醫和食品加工等諸多農業生產和科學技術知識，它既保存了許多漢代農業技術的精華，又總結了許多北魏時期的新經驗、新成就。《齊民要術》的出現，標誌著北方旱地精耕細作體系已基本成熟。之後的一千多年，北方旱地農業技術的發展基本上未超出此書指出的方向和範圍。所以《齊民要術》在我國古代農學史上是具有劃時代意義的，在世界農業科技史上也占有主要地位。

二、《齊民要術》所反映的北方農業生產技術

《齊民要術》總結了秦漢以來以耕、耙、耨為中心、以熟土和防旱保墒為目的的耕作技術體系，闡述了輪作、種植綠肥、選育良種、中耕管理等項技術，又對林、副、漁業作了很多的總結，說明北方旱地各項農業生產技術已達較高水平。

(一) 農具的改進和耕作技術的發展

《齊民要術》中談到二十種左右農具，較重要的有犁（長轅犁、蔚犁）、鍬、鋸、耨、陸軸等，其中一些為漢代不曾使用或使用不廣的。此時的耕作工具和播種工具在形制、材質和製作上都有較大進步。隨著生產工具的發展，整個耕作技術都有了一定提高，這時旱地耕作中的犁耙耨技術體系已基本形成。《齊民要術·耕田》指出了這個體系的基本內容是：耕一遍，耙兩遍，耨兩遍。該書還記述了耕地的具體時間、方法、次數及諸多注意事項。這說明人們已較大幅度認識到，合理耕作不但可使表土變細變熟，去除雜草，增加肥力，而且可起到防旱保墒的作用。

(二) 選種、育種技術

此期的選種育種技術有了較大進步，至遲北魏，就形成了從選種、留種到建立種子田的一整套管理制度。《齊民要術·收種》篇提出穀類作物須得年年選種，種前水選、去除雜物，單收單藏等與今混合選種法相類的先進選種方法，並在這種思想下培育出許多新品種。《齊民要術》記載的粟增至八十六種^②，水稻增至二十四種（內含糯稻十一種），已認識到早熟、矮桿作物之優勢及品種的耐旱、耐澇、免蟲等「質性」，反映了較高的認識水平。

(三) 播種、田間管理和防治病蟲害技術

《齊民要術·種穀》對播種時間、播種方法、播種量、播種深度都有明確記載，且都是比較科學的。當時人們已進一步認識到了中耕對鬆土、除草、保墒的作用，並在旱作中形成了鋤、耙、

耨、鋒、耜五具配套的旱地中耕技術體系。另外，此期在農田蟲害的防治上取得多項新進展：一方面培養新的免蟲品種。前云《齊民要術·種穀》篇的八十六種穀子，其中的朱穀、高居黃等十四種都具有免蟲能力，是我國古代免蟲作物品種的最早記載。另一方面採取了輪作防病栽培法，創立了食物誘殺法，同書《種瓜》篇有以鹽水浸種防治傳染病以及利用害蟲食性誘集殲滅之的記載，這應是「以蟲治蟲」的生物防治之始。

(四) 作物制度之發展

此期作物制度的發展主要表現在三個方面：即作物輪作和間作套種制度從實踐到理論都有了提高，多熟種植有了進步，創造了綠肥輪作。我國古代的作物輪作制出現較早，但把它當作恢復地力、增加生產甚至防治病蟲害的重要技術進行研究，始自《齊民要術》。書中對黃河流域一些主要作物的輪作順序作了比較研究，確立了豆、穀輪作的格局。《種蔥》、《養羊》等還記述了多種間、混作或飼養方式，積累了豐富的經驗。此時多熟種植也有了發展，黃河中下游發展了二年三熟制，長江流域推廣了雙季稻。《齊民要術》一書還談到了穀、瓜、葵、蔥等多種作物與綠肥輪作的制度，並提出了多種輪作方案，綠肥輪作的發展對改良土壤、提高肥力和作物產量具有十分重要的意義，綠肥輪作的出現說明了我國古代農業技術已達到相當高的水平。

(五) 果樹、蔬菜、造林培育和管理技術

這時的果樹、蔬菜的種類明顯增加，種植面積擴大，栽培技術亦有了一定的發展。《齊民要

術》談到的南方果樹達十種之多，並培育出多種優良品種。在果樹繁殖上分別使用有性繁殖和多種無性繁殖，無性繁殖有扦插、壓條、嫁接等。在管理上採取嫁棗、煙熏防霜法、越冬防寒法等重要的技術措施。此時的蔬菜栽培技術也有了一定的發展，土地利用率高，對因土種植、園田化耕作、以及諸田園管理技術都有了進一步認識。《齊民要術》對每種蔬菜從播種耕作到收穫皆逐一加以研究，此期獲得了使用炒過的穀子與蔥子拌和播種，是一項技術的進步。《齊民要術·種穀》篇說：蔥須「炒穀拌和之」，此法至今仍在使用。《齊民要術》還有專門的植樹造林技術，涉及到林地選擇、苗木培育以及栽培管理技術，反映了人們對有關樹木種類、造林性質、造林地的耕作、移栽、苗木管理等方面的認識和技術進步。

(六)畜牧、獸醫技術之進步

《齊民要術》既總結了歷代的家畜飼養經驗，也吸收了北方各民族的畜牧經驗，書中有畜禽選種、飼養管理、以及相畜術、獸醫術等方面的知識，主要成就一是提出了許多促進畜禽生長發育和育肥的有效措施，二是闡割、「掐尾」等去勢技術有了提高。《齊民要術》也反映了當時獸醫學水平的提高，首先這時的急救法和方藥有了明顯增加，書中的《養牛馬驢騾》、《養羊》、《養豬》諸篇，選錄四十八種方藥和療法，這是我國現存最早的有關獸醫藥學的記載。其次，對疥癩類傳染病及其他疾病的防治技術有了發展，《齊民要術》提出七種藥方治療家畜的疥癩病。此外還提出直腸掏結和按摩法，已逐漸成爲我國一項寶貴的獸醫學財富。

三、南方的農業生產技術的發展

魏晉南北朝時期，我國長江以南經濟日趨繁榮，其一，隨著主要作物水稻的生產的日益發展，生產技術也已趨成熟。一九六三年廣東連縣出土的西晉犁田耙田模型，其犁、耙配合由牛拉引，表明當時偏遠地區的水田耕作技術也達較高階段。其二，生活在南方的人們，根據當地氣候溫濕、花草樹木品種繁多的特點，了解了許多植物的生活習性，從而積累了豐富的植物學知識，也促進了人們對其綜合研究。《南方草木狀》、《竹譜》等是我國最早的專門描述植物的著作，開創了專題植物譜志的先河，兩本書流傳至今，這是南方經濟文化發展的結果。另外，從《齊民要術》中，還可以看到這時期南方在蠶桑生產技術上的新成就，其中，人工低溫催青制取生種的方法，利用低溫抑制蠶卵，使它延期孵化可使孵化次數大大增加，這是養蠶技術上的一項重要創造。

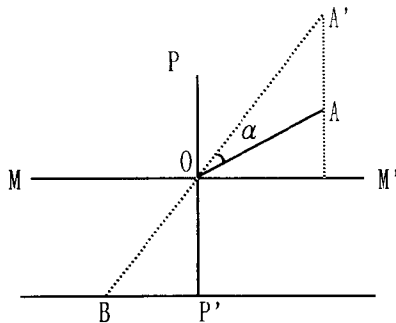
第三節 天文及曆法理論的重大突破

魏晉南北朝時期，是天文學非常活躍的時期，出現了大量的天文、曆法書籍。在這一時期，不僅產生了一系列極為重要的新發現，如虞喜發現歲差現象，張子信發現太陽和五星視運動的不均勻性等，而且在恒星觀測、曆法計算和天文儀器製造等方面取得了不少新的成就。這些新發現

和新成就，為中國天文學的進一步發展打下了良好的基礎。

一、天體理論的進一步發展及對蒙氣差的認識

天文工作者根據實際觀測，修正和發展了前此歷代對天體運動的認識。蓋天說遇到了越來越大的困難，渾天說由於能較好地解釋天象，東漢時已得到越來越多人信任。六朝時渾天說有了更進一步的發展，並占優越的地位。起初渾天說認為地球是正圓形，因此在地球中心，日月等距地遠近恒等，但有時看著太陽、月亮等距地遠近並不等，該作何解釋？人們曾長期探索過這個問題。直至東晉時的姜岌最早發現了蒙氣差，這一發現是我國對天文學的一大貢獻。蒙氣差主要是由地球大氣對光線的折射產生的。如圖示：



太陽A照射在大氣層表面MM'上，光線折射，入射角 $\angle AOP$ 大於折射角 $\angle BOP$ ，站在B處的人看到太陽的位置彷彿在BO延長線上的A'點，即由於蒙氣差的存在，地面上的人看到天體位置比其實際位置更遠些，也更大些。人的視線與太陽光線的交角 α 叫蒙氣差。隨著太陽的升高，入射角漸小，日中時，太陽在頭頂，蒙氣差接近為零，這就是人看太陽覺得早晨比中午大而遠的原因。姜岌通過長期觀測，指出日「初出，地有游氣，以厭日光，不眩人目，即日赤而大也」。

及中天，「無游氣，則色白，大不甚矣」^③。他認識到日的大小是由游氣（即蒙氣）造成的，在地平附近時影響大，在頭頂附近時影響小，這同現代大氣消光的理論是一致的。但對蒙氣何以能使日小爲大，他並沒有給出正確的解釋。但這畢竟是人類認識的一大進步，比西方認識蒙氣差最早的第谷早十幾個世紀。

二、歲差的發現

冬至時刻太陽在黃道上的位置叫做冬至點。冬至點在恒星間的位置不是固定不變的，它在星空中有極緩慢的逐年西移，這種現象叫做歲差。中國古代計算太陽視位置以冬至點爲始點，因此，測定冬至日在星空中的位置是一項很重要的工作。劉歆、賈逵、編訢、劉洪等發現了冬至點的改變，但他們並沒有深究其中的規律，沒有認識到這一變化對於曆法的影響，最先提出歲差概念並進行歲差規律探索的是東晉天文學家虞喜（二八一至三五六年），這是我國天文學史上一大發現和創新。虞喜，字仲寧，會稽餘姚（今浙江餘姚）人，他「博聞強識，鑽堅研微，有弗及之勳」^④。約公元三三〇年，虞喜把古星度與實測相比較，發現很有不同，由此悟出太陽一周天與二至（冬至、夏至）一復的時間並不相同，按他的說法，這叫作「天爲天，歲爲歲」^⑤，並且他還推演出每隔五十年，春分點在黃道上西移一度（依現今的理論推算，赤道歲差約七十八年差一度），這是我國歷史上第一次探索歲差的規律。之後，南朝何承天通過四十年觀察研究，對比分

析，得出一百年差一度的結論，爾後劉宋的祖冲之，首先把歲差應用到編制曆法中，這對提高曆法精度起了重要作用。儘管當時所測的數值與實際值相比有較大誤差，而且也不可能提出嚴格的歲差定義並從理論上解釋產生歲差的原因，但歲差現象仍是這一時期最重要的天文新發現。此後「回歸年」和「恒星年」兩個概念就因此而區別開來，成爲制定曆法時必須考慮的重要因素。

三、太陽和五星視運動不均勻性的發現

太陽、五星視運動不均勻性現象是由六世紀北齊民間天文學家張子信在一海島上利用渾儀對日月五星進行長達三十多年觀測後發現的，這在我國古代天文學史上是繼歲差現象發現之後的又一劃時代的發現。他指出，「日月交道，有表裏遲速」，「日行在春分後則遲，秋分後則速」^⑥，這是我國古代關於太陽視運動不均勻性的最早描述。張子信給出了我國最早的有關太陽視運動不均勻性的修正數值表（日躔表），同時他又指出「五星見伏，有感召向背」，其遲速「與常數並差，少者差至五度，多者差至三十許度」^⑦。這是我國古代關於五星視運動不均勻性的最早描述，從而開闢了對太陽和五星視運動進行更準確、深入研究的新方向，對後世曆法改革產生了深遠的影響。日食的推算與預報，是我國古代曆法的重要內容，張子信在此方面也取得重大成果：他發現了月亮視差對日食的影響，當合朔發生在黃道和白道交點附近時，如月在黃道北則日食；如月在黃道南，雖然在食限內，也可能不發生日食現象。這一發現導致後世曆法中推算交食

時顧及視差的影響，並對提高推算和預告日食的精度都是開創性的貢獻。

四、星官體系與全天星圖

研究日月五星運動規律需要建立參考體系，製作渾象需要將星象綴刻在儀器上，因此天體運動的研究和天文儀器的研製，要求加強恆星觀測工作並提供一種含星較多的星官體系。為認識和記錄天空中星官位置，而將觀測到的恆星及其位置繪製成圖（即星圖），是天文學家記錄恆星及其位置的重要工具。早在先秦典籍和甲骨卜辭中就有不少星官名稱。

《史記·天官書》綜合以前各星占學派使用的星官，建立中國古代第一個完整的有五官二十八宿共計五百五十八顆星的星官體系，在此以後史籍中還有一些關於圖籍和星官的零星記載，但總的說來，漢代以前對全天恆星系統的認識僅限於二十八宿及其外的某些星組，但長時間形成的不同星占學派，又各自建立起自己的星官體系，其中最著名的是甘德、石甲和巫咸三家。到了魏晉南北朝時期，人們對全天星象的認識得到不斷發展，先後有人製造渾儀和繪製星圖。這時，根據社會需要，在前人成就基礎上，對全天星官、星數進行總結，建立統一的新星官體系的條件已經成熟。孫吳、西晉的太史令陳卓（生卒不詳）吸收前人研究成果，使星圖定型化，他「總甘、石、巫咸三家所著星圖」^⑤，把當時主要的三家星匯集在一起，並同存異，以二十八宿為基礎，繪製了圓型蓋天式星圖，圖中收有二百八十三官、一千四百六十四星，還撰寫了占和贊兩部分文

字。陳卓的工作成果一直是後世製作星圖、渾象的標準，在我國歷史上沿用一千多年。

五、天文儀器的研製和革新

歲差、太陽和五星視運動不均勻性等重大發現，都是與這時期天文儀器的改進和新型儀器的研製方面取得的一系列成就分不開的。這個時期，就有不少關於天文儀器和天象圖經的著作，先後有人製造渾儀和渾象。三國時吳國的王蕃曾依據張衡舊制製成一臺小型渾象，張衡曾製造了一架空心渾象，球面上佈滿星宿，可以更形象地演示星宿的出沒運行，為近代天象儀的遠祖。天文學家陸績還製造了一臺卵形渾象。西晉末年，中原匈奴族政權前趙製成一臺渾儀，劉宋以後的梁代也製作了大型渾象。永興四年（四一二年），在晁崇和鮮卑族天文學家斛蘭主持下，鑄成了我國歷史上唯一的一臺鐵製渾儀，底座上設有「十字水平」^①，以校準儀器安裝，這是我國歷史上利用水準儀的開端，一直使用三百多年。

六、觀測技術和推算方法的巨大進步

同在永興四年，北涼的趙歐在元始曆中第一次打破十九年七閏的舊閏法，而提出六百年中有二百二十一個閏月的新閏周，使回歸年和朔望月之間的關係得以調整，後來祖沖之在大明曆中提出每三百九十一年設置一百四十四個閏月的新閏周，更為精密。他推算回歸年長度為三百六十五

點二四二八一四八日，和今推值僅差四十六秒。祖沖之還第一次提出交點月（月亮連續兩次經過黃道和白道的同一交點所需的時間）的長度為二十七點二一二三日，同現今推算比較只差十分之一日，即僅差一秒左右，其五星會合周期的數值，誤差最大的火星也沒超過百分之一日，誤差最小的水星已經接近於與真值相合。另外給出的朔望月和近點月的長度值誤差分別在一秒和六秒左右，均達到了很高水平，這充分說明觀測技術和推算方法的巨大進步。

第四節 數學的突出進展

三國兩晉南北朝時期繼兩漢之後形成了中國古代數學發展過程中的又一個高潮。這時期的數學，在《九章算術》基礎上，又取得卓著成就，取得了諸如勾股定理的證明和勾股算術、重差術、割圓術、圓周率近似值、球的體積公式、線性方程組解法、二次和三次方程解法、同餘式和不定方程解法等方面的重要成果。出現了趙爽的《周髀注》、劉徽的《九章算術注》和《海島算經》，以及《孫子算經》、《夏侯陽算經》、《張邱建算經》、祖沖之父子的《綴術》，還有甄鸞的《五曹算經》、《五經算術》、《數術記遺》等大量數學著作。尤其是劉徽的《九章算術注》奠定了中國古代數學的理論基礎，從而使中國古代數學在《九章算術》框架的基礎上形成內容和方法各具特色的體系。劉徽和祖沖之父子是對數學作出卓越貢獻的最為傑出的數學家。他們提出的新思想和獲得的新成果，

代表著這時期中國古代數學的最高水平，對後世數學發展產生了重大而深遠的影響，並在世界上占有重要地位。

一、數學泰斗劉徽及其數學成就

劉徽是魏晉時數學家，也是中國古代最傑出的數學家之一，生活在公元三世紀，生平無可詳考。現僅知他幼年就開始學習《九章算術》，後又對這部數學名著進行了深入研究。據《宋史·禮志》有關算學祀典籍，宋徽宗大觀三年（一一〇九年）敕封劉徽淄鄉男。當時有據可憑者，對歷代算學家均按籍貫封爵。淄鄉在今山東省鄒平縣境，是否即為劉徽籍貫，現仍難於論定。劉徽著述的《九章算術注》和《海島算經》是數學史上的寶貴遺產。《九章算術注》原十卷，作於魏陳留王景元四年（二六三年），是現存最早、保存得最完整、也是最重要的《九章算術》注釋。其中《重差》一卷附後，是我國古代關於測量數學的重要著作。唐初以後另本單行改稱《海島算經》。此外，他撰有《九章重差圖》，已佚。劉徽是中國傳統數學的理論奠基人和代表人物。劉徽「析理以辭、解體用圖」，全面論證了《九章算術》中的公式、解法，發展了出入相補原理、齊同原理和率的概念，創造了解線性方程組的互乘相消法和方程新術，系統總結和發展了重差術，以及開方不盡求微數，即用十進分數逼近無理數的近似值等等，都是傑出的數學成就。他開闢了我國古代數學理論化的道路。對於算法理論，他以比率為綱建立了從比率到「方程」的一系列籌式運算的統一理

論。在幾何學的求積理論方面，他在長方形面積法則基礎上應用「出入相補」的有限可分性建立平面直線形的求面積理論，以無窮小分割和極限方程建立了圓面積精確公式，並給出無限逼近圓和弓形面積的計算方法，在體積理論方面，劉徽建立了「劉徽原理」，由此完成了多面體體積理論，以「截面相比」（劉——祖）原理，處理曲面體的求積問題，特別是構造了「牟合方蓋」為球體積計算指明了一條成功之路，劉徽在求積理論方面的成就，使中算家接近了微積分的大門。

劉徽在數學上成就卓著，貢獻是多方面的，其中最偉大的貢獻是將無窮小分割思想引入數學證明，用極限觀念創造了割圓術，為計算圓周率和圓面積建立起相當嚴密的理論和完善的算法。劉徽首先從圓內接正六邊形開始倍增割圓，得到正十二邊形，再割成正二十四邊形，如此割下去，他認為圓內接正多邊形邊數無限增加時，其內長即愈益逼近圓周長，「割之彌細，所失彌少，割之又割，以至於不可割，則與圓合體而無所失矣」^①。即是說，圓內接正多邊形邊數無限增多時，其周長的極限即為圓周長，面積的極限即為圓面積。這裏劉徽已把極限的概念運用於解決實際數學問題之中，是世界數學史上的一項重大成就。接著，劉徽對於圓合體的正多邊形進行以正多邊形每邊為底，以圓心為頂點的小等腰三角形無窮分割，然後求其極限狀態的和，完成了公式圓面積 \parallel 半周 \times 半徑的證明，劉徽又首次給出了求圓周率近似計算的完整方法，他將直徑為二尺的圓，按上述程序割圓，一直算列一百九十二邊形的面積為三百一十四又六百二十五分之六十四平方寸，便取三百一十四平方寸作為圓面積的近似值，於是根據上述公式求出圓周長為六尺

二寸八分，最後以直徑除周長得到圓周率 π 為五十分之一百五十七（即約三點一四）。劉徽運用極限思想可能算得 π 為三千二百五十分之三十九百二十七（相當於三點一四一六）的更為精確的值。劉徽的這一創造無論在結果上還是在方法上在當時世界上都是先進的，這比古希臘的阿基米德（Archimedes，前三世紀）同時用圓內接和外切正多邊形計算，在程序上要簡便得多。劉徽的思想和方法奠定了此後我國在圓周率計算方面先於其他民族千餘年的理論基礎。

二、祖沖之父子及其科學成就

祖沖之（四二九至五二〇年）字文遠，祖籍范陽郡道縣（今河北省涿源縣），南朝宋齊間著名的數學家、天文曆法家、機械製造家。自幼勤奮好學，勇於創新，勤於實踐，是一位博學全才的科學家。受家庭幾代成員對天文、曆法深入研究的薰陶，從小便「專功數術」、「博訪前故，遠稽昔典」，從前人的科學思想和成就中吸取了豐富的營養。他堅持科學精神，但「不虛推古人」，在學術上富有批判精神和探索的勇氣。他「搜練古今，博采沈奧」，在掌握大量資料的同時，堅持實際考核驗證，親身進行精密測量和細致推算，把我國的數學和天文學推進到一個新高度。數學上，應用劉徽的割圓術繼續推算，把圓周率精確到第七位有效數字即 π 在三點一四一五九二六與三點一四一五九二七之間，這一結論相當於需要對九位數字的大數值進行各種運算（包括開方在內）一百三十次以上，如此繁複的運算當時要靠算籌來完成，足見其毅力和決心。祖沖

之的圓周率數值，遠遠走在當時世界的前列。在國外，直到一四二七年才被中亞數學家阿爾·長西所超過。爲計算方便，祖沖之還求出用分數表示的兩個圓周率數值，密率：一百一十三分之三百五十五和約率：七分之二十二。密率則是分母小於一萬六千六百零四的一切分數中最接近 π 的真值的分數，在世界上領先約一千年。它於一五七三年才被德國數學家奧托發現，此後荷蘭工程師安托尼茲得出同樣結果。祖沖之對球體積的計算和計算公式以及二次和三次方程解法也都有重要貢獻。在天文學方面，創制《大明曆》，最早把歲差引進曆法，並採用三百九十一年加一百四十四個閏月的新閏周，突破了十九年七閏的傳統方法，這都是曆法上的重大進步。《大明曆》中關於日月五星運行周期的數據也比當時其他曆法精確。他還發明了用圭表測量冬至前後若干天的正午太陽影長以定冬至時刻的方法，爲後世長期採用。祖沖之又是一位機械發明家，他曾設計製造過水碓磨、指南車、千里船、漏壺和巧妙的欹器等。此外，他還精通音律，甚至寫過小說《述異記》十卷。爲了紀念和表彰祖沖之在科學上的卓越貢獻，世界上把密率稱爲「祖率」，紫金山天文臺已把該臺發現的一顆小行星命名爲「祖沖之」，莫斯科大學裏刻有世界著名科學家的雕像，其中就有祖沖之，在月球背面也有以祖沖之名字命名的環形山。

祖沖之之子祖暅，字景燦，也是南北朝時期著名的數學家和天文學家，曾任梁朝員外多職，青年時已對天文、數學有很高造詣，傳說他精思專心，甚至不聞雷聲，走路撞到別人身上。他是祖沖之科學事業的繼承者，在數學方面與其父共同解決了球體積的計算問題，在推算公式中提出

「募勢既同，則積不容異」原理，現在通稱「祖暅原理」。數學名著《綴術》很可能是這父子兩人共同之作。在天文曆法方面，他三次上書梁朝政府推薦改用《大明曆》，終在天監九年（五一〇年）被採用頒行，實現了祖沖之的未竟之願。祖暅曾親自監造八尺銅表，並發現了北極星與北天極不動處相差一度有餘，從而糾正了北極星就是北天極的錯誤。他還研究和改進通用的計時器——漏壺，並著有《漏刻經》，已佚。晚年曾參加阮孝緒編著《七錄》，並著有《天文錄》三十卷，也已佚。

三、世界數學名題

在魏晉南北朝時期的數學著作中，《孫子算經》中的「物不知數問題」和《張邱建算經》中的「百雞問題」成爲世界著名的數學問題。「物不知數問題」亦稱「孫子問題」（載《孫子算經》卷下二六）：「今有物不知其數，三三數之剩二，五五數之剩三，七七數之剩二，問物幾何。」「答曰：二十三」。這個問題需求解一次同餘式，後來孫子問題成爲一種廣泛流傳的民間數學遊戲，被稱爲「韓信點兵」等。「孫子問題」與古代曆法中所謂的「上元積年」的計算有密切關係，後被南宋秦九韶發展成「大衍術」的一次同餘式組解法，受到科學史家的高度評價，現被稱爲「中國剩餘定理」或「孫子剩餘定理」。

百雞問題，載《張邱建算經》卷下末題：「今有雞翁一，直錢五；雞母一，直錢三；雞雛三，

直錢一。凡百錢買雞百隻，問雞翁母雛各幾何？」此問題是關於三個未知量卻只能列出兩個方程的不定方程組問題，《張邱建算經》給出三組答案，但並沒有整個問題的解法，這個數學命題曾被後世多部算書收錄和研究，十五世紀中亞數學家的百禽問題與之非常類似，有可能受到中國數學的影響。

第五節 地學的新進展

這時期的地理知識較以前更為豐富，水文地理有了較大發展。人們對地形、物候曆有了進一步的認識，潮汐理論有了提高，邊疆和域外地理知識有了發展，產生了名叫「製圖六體」的著名地圖學理論，出現了諸如《水經注》這樣偉大的水文地理巨著和許多地記、地方誌類著作。

一、地理圖記的分離與裴秀《禹貢地域圖》

中國古代地理著作有三類：地理圖記、河渠志、疆域地理書。先秦地理著作的傳說形式是有圖有記，如《山海經》，後兩類可看作圖記式地理著作分化後圖、記分離而衍化產生的。魏晉南北朝時的這種分離大增，出現的地理著作大多有記無圖或有圖無記，如北魏酈道元《水經注》屬於河渠志，晉·虞摯《畿服經》、南齊·陸澄《地理書》、陳·顧野王《輿地志》等均屬疆域地理，都有記

而無圖。圖記分離是科學知識內部分科表現，是地理學發展、進步的標誌。分離伴隨著各自長足地發展，並表現為一些卷帙浩大的地理著作的問世，如《畿服經》發展達一百七十卷、《地理書》一百四十九卷，內容大為豐富。地圖製作方面，經晉·裴秀（二二三至二七一年）等人的努力，也達到了更高水平。裴秀，字季彥，河東聞喜（今山西聞喜縣）人。自幼好學，知識淵博，官至司空，接觸到不少地理和地圖資料，出於政治和軍事需要，裴秀立意製作新圖，在研究大量古代資料基礎上，終編成《禹貢地域圖》十八篇，可謂見於文字記載的世界上最早的歷史地圖集。為便於應用，他還將舊的《天下大圖》縮製成小的《方丈圖》，為軍政管理提供了科學依據。裴秀對地圖學的主要貢獻在於他第一次明確建立了中國古代地圖的繪製理論。他在《禹貢地域圖》序中提出六條製圖原則，即：分率、準望、道里、高下、方邪、迂直。前三條講的是比例尺、方位和路程距離，是最主要的普遍的繪圖原則；後三條是因地形起伏變化而須考慮的問題。裴秀提出的這些原則，是繪製平面地圖的基本科學理論，它一直影響著清代以前的中國傳統製圖學，在中國地圖學發展史上具有劃時代意義，在世界地圖學史上也占有重要地位。有人把中國的裴秀同古希臘羅馬時代的托勒密比喻為古代世界地圖學發展史上東西方相輝映的兩顆燦爛的明星。

二、地方志、地記的編纂

地方志一般是指局部地區的歷史書。由於歷史的要素包括時間、事件、人物、地點四方面，

史書和地理書無嚴格界限，古地理書大都可看作史書。以此考察，較早的地方志出於東漢，但書中地理成份卻很小，實非地理書。以地理為主要內容的方志書出於三國兩晉南北朝，今存著名的如《華陽國志》、《洛陽伽藍記》、《三輔黃圖》等等。其中《華陽國志》在現存地理類的地方志中為最古。這些地方志題材的創立，為地理學開拓了一塊新領域。這時期地理著作的又一特點是撰述各地州、郡以及山、川的「地記」大量出現。記的內容包括各地的歷史和地理情況，如譙周的《三巴記》，顧啟期的《類地記》、庚仲雍的《湘州記》等，關於記山的著作有釋慧道的《廬山記》和葛洪的《幕阜山記》等，專記水道的代表作是桑欽的《水經》和酈道元的《水經注》，可惜大都散失殆盡，所存無幾。

三、酈道元及其《水經注》

酈道元（四六六或四七二至五二七年）字善長，北魏范陽（今河北涿縣）人，我國古代卓越的地理學家之一。一生勤奮好學，博覽羣書，並注重地理考察，痛感以往的地理著作如《山海經》、《禹貢》、《漢書·地理志》等失之簡略，《水經》略具綱領，但都只記水道而無其他地理情況。出於現實人的需要，他深感詳述歷史上的地理變遷之重要，參閱了大量前世著作和地圖，「掇其精華，以注水經」，並進行了許多實地考察，「脈其支流之吐納，診其治路之所纏。」^①終於寫成中國古代地理學名著《水經注》四十卷，約三十萬字，注文二十倍於原書，記述河流水道

一千二百五十二條。《水經注》內容十分豐富，作者以大量地理事實詳注《水經》，為頗具匠心之再創造，書中以河道水系為綱，詳細記錄了河流所經地區的地形、物產、地理沿革、水文、土壤、植被、地貌等情況，以及水源所經地的民俗、歷史人物、古跡、神話傳說等的人文情況，尤其對於河流分布、渠堰灌溉及城市位置的沿革記述最詳，而且具有清楚的方向、道里等方位和數量的觀念。《水經注》是一部內容空前豐富的地理巨著，沿水道數千年歷史陳跡，可謂縷縷說之，如數家珍，且文字優美，頗具較高的文學價值。雖因時空局限，酈道元所列歷史資料有的並不確切，記實難免有失實之處，「詳於北而略於南」等都是不必諱言的缺點，但全書在一定程度上反映了當時的地理面貌。不僅如此，它雖以中國的水道為綱，但所涉及到的地區已超過今日的中國領域，延展到朝鮮、越南、印度、伊朗、蒙古等國家，這些域外地理知識，直到今日仍是研究這些國家和地區歷史情況的寶貴資料。《水經注》不僅在中國而且在世界水文地理、人文地理學上都占有十分重要的地位。

四、物候曆、潮汐理論的發展

物候是指生物本身生理現象的周期性變化和非生物因素與氣候的關係。這時期對物候的認識有了發展，主要是在北魏時最早把七十二候列入了曆書，《正光曆》內列了七十二候位。稍後的東魏《甲子元曆》基本上沿用了《正光曆》的候位，其中各候因黃河流域氣候的大陸度有所減弱而致使

出現的時間稍晚。這些情況對了解地表氣候的周期性變化情況有重要意義。對於潮汐的本質和成因，早已有多種解釋和猜測。晉代的物理學家楊泉、化學家葛洪都繼承和發揚了王充的潮汐隨月盛衰理論。楊泉《物理論》云：「月，水之精，潮有大小，月有虧盈」。葛洪《抱朴子·外佚文》云：「日之精生水，是以月盛滿，而潮濤大。」他還在同篇中談到了太陽對潮汐的影響，並以此說明潮汐的四季變化，雖然他對其中的真正原因尚不了解，但引進了太陽對潮汐的作用，是潮汐理論的一大進步。

第六節 醫樂學的發展和醫藥著作的整理

三國兩晉南北朝時期是我國古代醫藥學體系進一步發展和完善的時期。在醫政方面，由晉代設立的大醫令，到南北朝增設太醫丞、侍御師、太醫博士等官員，劉宋政權又設置太醫署和醫學教授生徒，自此開始了官方創辦的醫學教育。大量醫學著作出現，其中特別對脈學、針灸學、本草學和藥物炮製加工技術及方劑學進行了廣泛整理和總結，更加豐富和發展了我國傳統醫學體系。

一、王叔和的《脈經》和皇甫謐的《針灸甲乙經》

晉代的名醫王叔和，名熙，高平（今山東微山縣西北）人，生平不詳。他對歷史上有關脈學知識的著作進行系統整理總結，著成《脈經》一書，為我國也是世界上現存最早的脈學專著。書中列舉二十四種脈象，分為八類相似的脈，這基本上概括了臨床上經常出現的一些脈象，成為後世辨脈的標準。他在《傷寒論》基礎上，主張脈徵合參，四診並用，從而使《脈經》成為以脈學為中心包含生理、病理、診斷和治療等多方面內容的一部綜合性醫書。同時《脈經》對世界醫學也產生了重要影響，早在六世紀就已傳至朝鮮、日本等國，十七世紀後，又相繼被譯成多種文字在歐洲流傳，對現代醫學的發展作出了貢獻^①，奠定了中醫脈學診斷的基礎。皇甫謐（二一五至二八二年），是魏晉時的又一位著名學者和醫學家，幼名靜，字士安，自號玄晏先生，安定朝那（今甘肅靈臺縣）人。根據《黃帝內經》及其他書籍，結合個人治病心得，總結整理為《黃帝三部針灸甲乙經》（簡稱《針灸甲乙經》或《甲乙經》）一書，共十二卷，一百一十八篇，書中論述單穴四十九個，雙穴三百個，共三百四十九個穴位，分布於全身十四條經脈線上，稱為經穴。是我國現存最早的針灸學專著，亦是針灸學的經典著作。它既是對晉以前針灸學的系統總結，又對後世針灸學產生了重大影響。皇甫謐關於取穴方法、針刺手法、疾病主治、禁忌等方面的理論和實踐，都為歷代醫學家所遵循，同時《針灸甲乙經》不但是我國針灸學的重要典籍和針灸醫師的教材，而且也是日本、朝鮮等國醫學教育的教科書，並有英、法、德等國文字譯本在歐洲流傳，國際針灸學會還把它列為學習針灸學的必讀之書，可見其作用之大，影響之深遠。

二、陶弘景《神農本草經集注》

陶弘景（四五六至五三六年）字通明，丹陽秣陵（今江蘇句容縣）人，是南朝著名的藥物學家，自幼勤奮好學，讀書萬餘卷，他辭官隱居，專事著述和煉丹，在醫藥學方面有很高造詣，著作甚多。針對經典《神農本草經》問世以來傳抄中的不少錯誤和混亂，陶弘景重新整理、校訂、刪補，編著了《神農本草經集注》七卷，此書學術水平很高，是自《神農本草經》以來關於藥物的又一次系統總結和提高。他不僅整理和校訂了《本經》收錄的三百六十五味藥，而且又根據名醫所錄選增了三百六十五味藥，合為七百三十種，使藥物數量增加一倍，且以朱筆和墨筆予以區別書寫，體現其治學嚴謹的風格。他還創立了新的藥物分類法：一種是以藥物的自然來源和屬性把七百三十種藥分為七大類，這是中藥分類的一次重大進步，後世一直沿用達一千多年；另一種是以病症為綱的「諸病通用藥」的分類體系，即根據藥物的治療功效，將治病效果相同或作用近似的藥物歸納在一起加以介紹，共分八十多類，這種分類法具有很高的實用價值，它開創了後世按藥物功用分類的先河。他還考訂統一了古今藥用的度量衡，並規定了湯、酒、膏藥及丸散的製造常規，這都在藥劑學上有很大價值，他關於藥味與藥性的見解以及他所提出或載錄的一些治療上有特效的藥物等等，對後世也有相當影響。這部著作是中國醫學史上的第一部藥典，原書已佚，本世紀初在敦煌石窟曾發現《本草經集注》唐以前的殘本一卷，近人已出版輯佚本數種，基本上反映出陶

氏著作的原貌。

三、雷斅《藥物炮炙論》和葛洪的《肘後卒急方》

這時期的藥物加工的炮製技術也得到發展。劉宋時期的雷斅曾對此進行了總結，編著《炮炙論》，此書是我國最早的藥物炮製技術專著，對後世影響很大，後代中藥的炮製方法就在此基礎上進行的，原書已散佚。這個時期還有大量的方劑學著作問世，現存最著名的有《肘後備急方》，原為晉葛洪（二八三至三四三年）著，名《肘後卒急方》。葛洪，字抱朴子，丹陽句容（今江蘇句容）人，是我國古代著名的醫藥學家和煉丹家，自幼好學，學識淵博，他精通醫學，曾著《玉函方》二百卷，已佚。《肘後卒急方》是一部具有普及推廣意義的實用方書，也可作為醫家隨身攜帶以備救急之用，所以近世有人稱之為中國最早的「醫療急救手冊」，其主要內容是急性傳染病、各種臟腑慢性病以及外科、兒科、眼科和六畜病的治療方法。同時對各種病的病因、症狀都有所敘述，特別是對一些傳染病和寄生蟲病的症狀、預防、治療都作了正確的論述，達到了相當高的科學水平，例如關於天花症狀、沙虱病、狂犬病發作等都是免疫學史上極為重要的創造。葛洪還提出用青蒿治療，他對其他多種急、慢性傳染病和寄生蟲病的記載如出血熱、黃疸性肝炎、結核病、血吸蟲病、痢疾等也都很有研究，有些甚至是我國醫學文獻中或世界醫學史上的最早記錄。

第七節 近代化學的先驅——煉丹術

我國化學史雖然可以追溯到火的起源，追溯到最早的金屬冶煉，但是一般認為在公元前二世紀前後發展起來的煉丹術是近代化學的真正先驅。

一、煉丹術的產生和發展

中國的煉丹術有著悠久的歷史。早在戰國時期已有關於方士和求「不死之藥」的記載，真正的煉丹術產生於西漢。自秦始皇、漢武帝招致方士，尋求長生不老之術以後，煉丹風便開始盛行，當時冶金技術有很大提高。漢代諸帝都好神仙術，現存我國和世界上最早的煉丹術著作是東漢末魏伯陽的《周易參同契》，對煉丹理論和方法作了系統總結，其中書中一篇「丹鼎歌」，是現存關於煉丹主要工具「丹鼎」的最早記載。煉丹術包括煉丹、煉金兩項內容，仙丹可直接服用，亦可用來點化他物成金。其目的是為了長生，這自然是荒誕的，煉丹的方法也多是盲目的。但因其孜孜不倦從事採藥、製藥的活動，反覆製煉，其中並不乏新的發現和對物質變化規律性的有益探討，並積累了很有價值的資料。

魏晉南北朝是煉丹術發展的鼎盛期，晉代的葛洪是我國歷史上最著名的煉丹家，是煉丹史上

承前啟後的人物，其主要著作有《抱朴子內篇》和《抱朴子外篇》。《內篇》講仙道，《外篇》講儒術，體現了他的「道者儒術之本也，儒者道之末也」^①的內神仙外儒術思想，有關煉丹術的內容主要在《內篇》「金丹」、「仙藥」和「黃白」三卷中。南朝陶弘景是其後又一大煉丹家，在煉丹化學和醫藥方面都有貢獻，道教著述不少，除前文提到的《神農本草經集注》外，現存的只有列入《道藏》的《真誥》和《養性延命錄》，其餘均已散佚。葛洪和陶弘景成爲後世丹家之祖。中國的煉丹術約公元八、九世紀時傳人阿拉伯等伊斯蘭國家，十二世紀時，由阿拉伯傳人歐洲。

二、煉丹術與化學、化工

古代煉丹家在煉丹實踐中發現物質變化的種種現象基礎上對其中的某些規律性進行了有益的探討，這就爲化學初期發展作出了一定的貢獻。我國古代許多重要的化學現象、重要的金屬和非金屬材料，都是煉丹家最先發現並記錄下來的，同時也積累了不少化學知識，如漢代已有人從丹砂（ HgS ）煉汞的記載。《抱朴子內篇·金丹篇》中已有用「金液方」（主要成分是水銀和氫氰酸）溶解黃金的記載。魏晉南北朝煉丹術對化學的貢獻主要表现在汞化學、鉛化學、膽銅以及砷白銅、硝石等的製取上。葛洪說：「丹砂燒之成水銀，積變又還成丹砂」^②，這種人造的紅色硫化汞，可能是人類最早通過化學方法製成的產品之一。根據汞能溶解多種金屬形成汞齊的性質，製成了金汞齊、鉛汞齊等並在生產中得到應用，鉛汞齊成爲銅鏡的拋光劑。還用化學方法人工製

成了兩種鉛的化合物——胡粉和黃丹。從煉丹實踐中，人們還認識到鐵對銅鹽的置換反應，奠定了宋元時代水法煉銅——膽銅法的基礎。另外還學會了用燃燒的方法來鑒別硝石（硝酸鉀），從而開創了近代化學中用火焰法鑒別鉀鹽的先河。

煉丹術約在七、八世紀或稍早就傳到了阿拉伯，並發展成了煉金術，之後又傳到了歐洲，歐洲的煉金術後來轉變成了藥物化學，後來又演變為現代化學。所以，化學是起源於中國的，這是舉世公認的事實。

第八節 製瓷、冶金技術的新成就

一、製瓷技術的基本成熟

瓷器是中國古代的一項重大發明，其影響之大遍及世界各國。瓷器由陶器發展而來，自商周時期原始瓷器出現，到東漢後期燒製青瓷的技術已基本成熟，到三國兩晉南北朝時期，進入了更成熟的階段。青瓷器已大量生產，廣泛應用，瓷器製造已成爲手工業生產中的一個重要部門，並在胎料、釉料的選擇和配製、成形、施釉、築窯和燒造技術上都取得長足進步。這時的青瓷，胎質堅實、通體施釉、釉層較厚、呈青綠色。伴隨著青瓷的發展，白瓷的燒製也開始在南北朝出

現，這是我國古代人民的又一貢獻。這說明了對瓷土篩選技術的提高。南方以青瓷爲主，北方以白瓷（間有黑瓷）爲主，由於製瓷技術的迅速發展，瓷窯也已具相當規模，已逐漸形成了越窯、歐窯、婺州窯、德清窯四大窯系。其中以浙江紹興、餘姚一帶的越窯最爲馳名，浙江成爲我國瓷器的重要發源地和主要產地之一。

二、鋼鐵冶煉及鍛造技術

南北朝時期煉鋼煉鐵技術有了新突破，煉鐵技術重要的事件是水力鼓風的進一步推廣和煤炭之用於冶煉，三國時魏國的韓暨在官營冶鐵工場中推廣應用水排，計其利益比馬排、人排增加了三倍^①，而且提高了鼓風量。關於我國古代冶鐵用煤的年代，北魏酈道元《水經注》卷二「河水」條說「釋氏《西域記》曰：屈茨北二百里有山，夜則火光，晝日但煙。人取此山石炭，冶此山鐵，恒充三十六國用，故郭義恭《廣志》云：龜茲能鑄冶」。此「屈茨」「龜茲」皆今新疆庫車的古名，「夜則火光」二句，即煤炭因風化而自燃，這是我國古代關於煤炭自燃的最早記載；「人取此山石炭」以下兩句，說明當時屈茨已用煤炭冶鐵，這是我國古代煤炭煉鐵的最早記載。這時期的製鋼工藝也有了新進展，在漢代炒鋼和百煉鋼的基礎上，普遍推廣使用了灌鋼技術。我國古代的灌鋼技術約發明於東漢晚期^②。陶弘景說：「鋼鐵是雜煉生鏽作刀鏃者」。這是一種生鐵和熟鐵「雜煉生鏽」的灌鋼工藝，用以製造刀鏃一類鋒刃器，可知在陶弘景年代已廣泛應用，《北齊

卷四十九有碁母懷文用灌鋼法造宿鐵刀的記載。當時的金屬鍛造技術取得了不少進展，除百煉鋼外，花紋鋼製作十分複雜艱難，表現出了最為高超的技藝。

三、銅及其合金的冶煉技術

此期南方北方的冶銅業都有過一些發展，其中又以南方為盛。這時期銅合金技術取得了三項比較重要的成就，煉出了鍊白銅和砷銅，生產了一定數量的黃銅。東晉常璩《華陽國志》卷四《南中誌》云：「堂螂縣因山而得名，出銀、鉛、白銅、雜藥有堂螂，附之」。從清代大量資料看，此「白銅」係鍊白銅是無疑的，這是我國也是世界的最早記載。葛洪《抱朴子·黃白篇》有製造假「黃金」的詳細方法，第一步生成銅砷合金，第二步使此銅砷合金與丹砂水作用，精煉，「立凝成黃金矣」，這是我國古代關於生產黃色銅砷合金的最早記載^⑧。《太平御覽》卷八十三引魏鍾會《爭堯論》說：「夫莠生似禾，鎗石像金」。又梁宗懷《荊楚歲時記》說：「七夕，婦人……或以金銀鎗石為針」。據研究，「鎗石」有兩種含義：一指黃銅礦，二即是作為銅鋅合金的黃銅，這都是我國古代關於黃銅的較早記載。

第九節 機械技術的發展

三國兩晉南北朝時期，我國的機械技術獲得了許多進步：無論在風力、水力作原動力的機械方面，還是在傳動機構方面都在原有機械的基礎上，加以推廣和改進，並創造和發明了許多新的機械，這時期還發明了連續發石機、木牛流馬、磨車、水車等實用性機械以及飛車、百戲圖等游藝性機械。同時湧現出了馬鈞、杜預、祖沖之等一批機械發明家。

一、馬鈞及其機械發明

馬鈞，字德衡，三國曹魏時扶風（今陝西興平東南）人，我國歷史上偉大的機械工程師、發明家，後人曾稱頌他「巧思絕世」。他刻苦自學，不尚空談，專心致志於機械設備，他的最突出成就是改進織機和發明（或改進）翻車，並將改進的翻車首次用於農業排灌，翻車被後世推廣並沿用了一千多年，一直成爲世界上最先進的提水工具之一。馬鈞改造的綾機，使絲織效率提高五倍。馬鈞還製成久已失傳的指南車，作爲古代巧妙的自動化機械，結構簡單，其巧妙之處已高於記里鼓車，是我國機械製造技術的卓越成就。馬鈞還改進了連弩和發石車，創造了以木爲輪、以水爲動力的「變巧萬端」的水轉百戲，充分顯示了馬鈞在傳動機械方面的非凡創造力和卓越才能。

二、糧食加工和實用性機械

從原動力利用方面說，水力機械不僅沿襲了漢代的水碓、水排，應用普遍，技術上也有了提高，而且又發明了水磨和水碾。在轉動機構方面，使用了鏈式轉動，齒輪轉動不但使用於記道車、指南車，而且用到糧食加工等生產上。晉代杜預、元凱發明了幾個碓共用一轉軸的連碓，大大提高了水碓的功效。晉代劉景宣又發明了用一頭牛同時帶八個磨的「連轉磨」。這時也大量使用了舂車和磨車等糧食加工車輛，舂車上使用了凸輪。這是把一個軸的連續運動轉變為另一裝置的間歇運動的機件，凸輪的應用已十分普遍，標誌機械技術之進步。

三、交通機械和兵器的發展

適應戰爭和交通的需要，這時製車技術上有了不少發展，其主要成就就是關於記里鼓車和指南車的記載更爲明確。蜀漢在與曹操戰爭中由蜀蒲元提議，諸葛亮主持製作的一種獨輪運輸車——「木牛」，一千多年來被廣泛使用。南北朝時梁元帝（五五二至五五五年在位）蕭繹《金樓子》有風帆車的最早記載，從此，這風帆車在我國一直沿用。當時的造船技術有了很大發展，造船數量很大。孫吳建立不久時，已擁有船艦五千餘艘，其中大船上上下下五層，可載三千人。這時的船行速度也大爲提高，祖沖之造的「千里船」可「日行百餘里」，有人認爲是利用輪槳的車船。梁時侯景軍中還出現有一百六十槳的高速快艇「鷓舡」「去來趣襲，捷過風電」^①爲歷史上槳數最多的快艇，同時船上設備亦有改進，船尾已採用升降舵，帆布已加到一百二十幅，高九丈，並根據

帆的方位提高風帆的效率。這都反映了當時航運機械技術的進步。此外，在攻守兵器方面，各種器具的質量和數量都有所提高，造有火車、發石車、鉤車、蝦蟆車、登城車、飛樓、撞車、階道車等諸多兵用機械，在戰爭中發揮了很大作用。

第十節 造紙技術的發展

自西漢發明的造紙術到三國兩晉南北朝時期便在全國範圍普遍推廣開來，紙的產量和質量都有了很大提高，社會上對紙的需要量激增，隨之逐漸完成了由簡到紙的轉變。東晉末年，竹簡大量削減，各種書籍也大量地使用紙張，大約南北朝時，社會用簡就十分稀少了。此時造紙技術取得了明顯進步，首先紙的原料和品種有了較大擴展，這時的造紙原料一方面繼續沿用漢代的麻和樹皮外，還新增加了桑皮，創造了藤皮紙和「側理」紙。皮紙有了較大發展，其種類計有楮皮紙、桑皮紙、藤皮紙，也有將樹皮纖維與麻纖維混合使用的，從現有資料看，這時的造紙原料主要是麻、樹皮和藤皮三種。其次，紙的加工技術有了進步，這主要表現在一是常規操作進行得更為精細，生產過程中的一系列物理、化學過程處理進行得更加完善，對比漢紙，這時的紙表面平滑，白度增加，結構較為緊密，紙質較細較薄，纖維束較少，帚化程度較高（有的晉紙達百分之七十，竟與今機紙相近），有明顯的簾紋。二是使用了活動簾床抄紙器。三是使用了向紙施膠，

表面塗布粉料和染色的技術，紙的使用性能得到很大改善。向紙施膠的技術是我國古代紙工的一項重要創造，後來隨造紙術一起傳到全世界。本世紀初，威斯納在分析新疆出土的南北朝紙時，發現了紙表面亦塗有一層石膏粉末，這些都是我國也是全世界最早的塗布紙。

第十一節 佛教建築之興盛

三國兩晉南北朝時期，由於佛教的盛行，佛教建築得到了較大發展，歷史上許多著名的佛寺、佛塔、石窟羣都是這時期創建或者肇始的。我國的佛教建築是外來文化與傳統文化相結合的產物，是我國古代建築史很有特色的一個組成部分，在建築技術和建築藝術上，都從一個側面反映了我國古代建築的先進水平。

一、佛寺、佛塔

「佛寺」即禮佛之所。這時期的寺院建築已大量出現，僅北魏洛陽一地的寺院就有一千多處，各州郡計有寺院三萬所。北魏時所設的佛塔在寺院中心，塔後建大殿，這是我國寺院初期布局的方式。著名的洛陽永寧寺就是塔後建大殿的典型，其主體部分由塔、殿和廊院組成，四面繞以圍牆，形成寬大的矩形院落。寺院裏建佛塔，來源於印度，傳入中國後與中國固有的樓閣式建

築很快結合起來，成爲中國的樓閣式塔，嵩岳寺塔是我國現存最早的著名寺塔，位於河南登封縣嵩山南麓，建於北魏正光元年（五二〇年），是一座外部爲密檐式，內部爲樓閣式的磚塔，平面呈十二邊形，內部八角，共十五層，四十多米高。由下往上密檐間距離逐層縮短，與外輪廓收縮配合良好。此塔至今雖曾幾經地震等自然災害卻仍巍然屹立，充分說明我國古代匠師建造高層建築的設計和技術水平之高。

二、石窟寺

石窟寺是在山崖鑿洞以進行宗教活動的廟宇，始創於印度。隨同佛教的傳播，石窟寺也在中國出現。石窟傳入後，經短時間的消化，便走上了中國化的道路。多數是僧院式的以禮佛爲主，也有一部分塔院式。我國的大型石窟如雲岡石窟、敦煌石窟、麥積山石窟、龍門石窟、天龍山石窟，分布在新疆、甘肅、遼寧、河南、河北、山西、山東、浙江等地。石窟建築形式多樣，反映出當時的建築水平，爲建築史研究提供了寶貴資料。

第十二節 自然觀和宇宙論

一、玄學、道教、佛教的唯心主義自然觀

漢代竭力維持的正統威嚴的儒家今文經學和讖緯神學，在王充唯物主義思想家和東漢末農民起義的打擊下，已支離破碎。魏晉玄學伴隨統治者重建支撐其統治地位的思想理論的要求應運而生，並與逐漸取得正宗地位的道教和佛教相結合，成爲封建統治者的三大精神支柱，組成了一個束縛人民的唯心主義的羅網。名士何晏（約一九五至二四〇年）和王弼（二二六至二四九年），爲玄學開拓者，宣揚「貴無」論和老子的「無」爲本的本體論。如王弼在注《老子·道德經》中說「萬物皆由道而生」，客觀事物只不過是一些假象，只有「道」才是最高的真實存在，後有玄學繼承者向秀和郭象（約二五二至三一二年），提出萬物產生的根源不能深究，事物本身自生、自滅、絕對獨立而存在（「獨立」），這是一套神秘唯心主義自然觀。

葛洪是爲道教理論化奠定基礎的人物。道教是中國漢民族一種固有的宗教，它淵源於古代的巫術，道教奉老子爲教祖。葛洪借用道家的一些理論，在《抱朴子·內篇》中整理並闡述了道術及理論。在宇宙本質問題上，提出「元者，自然之始祖，而萬殊之大宗也」^①。以道家的「元」解釋萬物，說明神仙是存在的，人只要得「道」，就能成仙、長生不老。葛洪這種神秘唯心主義思想在封建統治階級中盛行，其理論也爲後世道教沿襲和發揮。

佛教在東漢明帝永平十年（六七年）傳入中國，一般視爲一種方術。東晉後，玄學、佛學趨

於合流。般若大宗都用玄學解釋佛教，於是佛學漸盛，玄學漸衰。魏晉時，一些僧人用玄學理論解釋《般若經》，般若學因此迅速發展起來，而且出現不同的流派。佛教理論大師僧肇（三八四至四一四年）在對各流派的基本理論批判性總結基礎上，建立了佛教徹底唯心主義理論體系，提出一切虛無，沒有實體，他竭力以抽象的思辨來論證一切事物的現象都不過是虛構的幻想，從而徹底否定客觀世界的真實性，並將物質和運動變化完全割裂開來，佛教曾在全國各地廣為泛濫。

二、唯物主義自然觀的發展

魏晉南北朝時期，以楊泉（生卒不詳）、裴頠（二六七至三〇〇年）和范縝（約四五〇至五一五年）為代表的唯物主義思想家和科學家，繼承前代的唯物主義思想，以當時科學技術成就為武器，與玄學、道教、佛教唯心主義和宗教神學進行了針鋒相對的鬥爭，豐富和發展了中國古代唯物主義無神論思想體系。楊泉是三國時期吳國人，著《物理論》十六卷，用物質性的「氣」和「水」與玄學主張的超物質的「元」相對抗，儘管他把單一元素「水」作為萬物之源，有其嚴重缺陷，但他在玄學盛行之際能堅持從自然界本身探討自然界，是有積極意義的。對於何晏、王弼的「貴無」論，裴頠寫了《崇有論》，予以駁斥，指出「無」不能生「有」，萬物「始生者自生也」，「無」只不過是「有」的一種表現形式。萬物變化與相互作用是錯綜複雜的，是客觀規律的根源。南北朝時期佛教盛行，反佛教鬥爭不斷進行，范縝是反佛教神學最傑出的鬥士。范縝，

字子真，是南朝南鄉舞陽（今河南泌陽西北）人，他堅持唯物主義自然觀，並以此作為無神論的基礎，把我國古代唯物主義思想體系推進到一個新的階段，他所寫的《神滅論》是我國古代唯物主義反對唯心主義的珍貴文獻。范縝認為，世界上萬物生成都是由於它自己的原因，事物的發生各自順從著自然的法則（「天理」）；安於自己的本性（「各安其性」），他指出精神和形體是相互關聯、不可分割的。他說：「神即形也，是以形存則神存，形謝則神滅。」范縝還認識到不同事物有不同的「質」，其變動性是遵循著一定規律的，事物的生滅也是有其發展變化的規律的，是運動變化的法則。正是由於范縝有較科學的自然觀和較豐富的科學知識，其無神論思想才顯現出空前的戰鬥力。

三、關於宇宙論的爭論

有關宇宙結構的討論在魏晉南北朝時期也是相當活躍的。圍繞著漢以來渾天說、蓋天說和宣夜說的激烈爭論，還出現了安天論、穹天論、昕天論、昕天論以及渾蓋合一的理論。穹天論基本上沿襲蓋天說的觀點，昕天論以天人類比、牽強附會，這兩種理論在歷史上均影響不大，在此值得一提的，是「安天論」，其作者就是發現歲差的東晉天文學家虞喜。

自漢以來宣夜說不斷得到發展。宣夜說認為日月星辰都是飄浮在虛空之中並且依靠著「氣」在運動，這種觀點的傳播引起了憂天墜的思想，於是歷史上有《列子·天瑞》篇中的杞人憂天的故

事。虞喜針對這類天塌地陷的說法，相應提出「安天論」。他認為：「天高窮於無窮，地深測於不測」，天在上有安定的形態，地在下有靜止的實體，天地彼此覆蓋，形象相似，方則俱方，圓則俱圓；日月星辰各自運行，有它們自己的規律，就像江海有潮汐，萬物有行止一樣^①，從而批駁了天圓地方的觀點，闡述了宇宙無限思想及古代樸素唯物辯證法思想。告訴人們擔憂天地崩墜是毫無必要的。虞喜的「安天論」是對宣夜說的進一步豐富和發展。

除了上述看法，還有一派可稱作「渾蓋合一」派，北齊的信都芳和南朝蕭梁的崔靈恩都屬這一派。堅持渾、蓋一致論，而不肯放棄已被事實證明是錯誤的蓋天論，這是傳統勢力頑固的表現。自西漢以來天文學理論方面的渾蓋之爭，到魏晉南北朝時期已略見分曉，儘管南朝梁武帝曾大力宣傳蓋天說，但從陸續、王蕃到葛洪、何承天、祖沖之父子等著名科學家都主張渾天說，表明渾天說已逐漸取得了優勢地位。

註釋

① 北魏·賈思勰：《齊民要術·序》，臺灣商務印書館，一九八三年，《欽定四庫全書》，七百三十冊。

② 《齊民要術·種穀第三》，同上。

③ 唐·魏徵等撰：《隋書·天文志》，中華書局，一九七三年。

- ① 唐·房玄齡等撰：《晉書·虞喜傳》，中華書局，一九七四年。
- ② 宋·歐陽修、宋祁：《新唐書·曆志》，中華書局。
- ③ 同②。
- ④ 唐·房玄齡等撰：《晉書·天文志》，中華書局，一九七四年。
- ⑤ 唐·魏徵等撰：《隋書·天文志》，中華書局，一九七三年。
- ⑥ 《九章算術》方田章·圓田術劉徽注，見鐵寶琮校點本《算經十書》（上册），中華書局，一九六三年。
- ⑦ 唐·魏徵等撰：《隋書·經籍志》，中華書局，一九七三年。
- ⑧ 北魏·酈道元：《水經注·序》。
- ⑨ 王潔民：《祖國醫藥文化流傳海外考》，載《醫學史保健組織》，一九五七年一期。
- ⑩ 晉·葛洪：《抱朴子內篇·明本卷》，《諸子集成》，上海書店，一九八七年。
- ⑪ 《抱朴子內篇·金丹卷》，同上。
- ⑫ 參見陳壽撰：《三國志》卷二十四《韓暨傳》，中華書局，一九五九年。
- ⑬ 何堂坤：《關於灌鋼的幾個問題》，載《科技史文集》第十五輯，上海科技出版社，一九八九年。
- ⑭ 王奎克等：《申的歷史在中國》，載《自然科學史研究》，一九八二年。
- ⑮ 唐·姚思廉撰：《梁書·王僧辯傳》，中華書局，一九七三年。
- ⑯ 葛洪：《抱朴子·暢元》第一，《諸子集成》，上海書店，一九八六年。

④ 唐·房玄齡等撰：《晉書·天文志》，中華書局，一九七四年。

第五章 隋唐五代時期

第一節 社會狀況與歷史背景

五八九年隋統一中國，隋朝只存在了三十八年，卻是一個重要的時代。南北朝時民族大融合對社會經濟發展和科技進步的巨大推動在統一後充分顯示出來，加上隋統一後又實行一系列有利於生產發展的政策，因此短短的隋朝裏生產、科學文化都有了新的發展。唐於公元六一八年建立，繼承隋制，在政治和經濟上進行了一系列改革，贏得社會安定和政治、經濟的穩步發展，同時唐代完善了隋的科舉制度和教育制度，科舉曾設有明算科，醫學教育也建立有嚴格的制度，尤其雕板印刷術發明後，科學技術進入了發展的新階段。總之，唐朝建立後，在政治、經濟、文化、科技、交通等各方面都超越了前代，堪稱中國封建社會的盛世，「盛唐」之譽馳名世界。唐中期以後，經濟重心南移，帶來了長江流域和江南地區的經濟和科技的發展。唐晚期的藩鎮割據

和後來的五代十國，雖給經濟和科學技術發展帶來了不良影響，但長江流域和江南地區的經濟和科學技術的一些領域仍有發展。

第二節 天文學的發展及其成就

一、定朔法代替平朔法

儘管中國古人很早（一世紀）就發現月球視運動速度的不均勻性，但制定曆法時都沿用傳統的平朔法（只按日、月的平均視運動來計算朔望的方法），得到的結果誤差較大。何承天制定元嘉曆（四四三年），首先創立和運用了定朔（對平朔進行月亮和太陽視運動不均勻性的修正，由此所得的朔稱爲定朔），卻遭非難而未被劉宋政權採用。其後關於平朔、定朔之爭，延續二百多年。到了隋初，劉孝孫、劉焯（五四四至六一〇年）等人主張使用定朔法等正確意見，卻遭非難，改曆未成。劉焯是隋初著名學者，對數學和天文學造詣很深，他制定的皇極曆，採用了定朔方法代替平朔，並創立了等間距二次內插法，是當時最好的曆法，但因受到太史令張胄玄等的反對仍未被採用。唐代曆法共修訂了八次，六一八年，由傅仁均制定戊寅曆，於次年行用，這是我國古代第一次正式頒行並採用定朔法的曆法，後又因此曆疏漏，改回平朔。直至唐高宗於麟德二

年（六六五年）頒用了李淳風所制定的麟德曆，這是在劉焯皇極曆基礎上的改進和簡化，同時採用定朔，是當時較精密的曆法。從此，定朔代替了平朔，在後世曆法中一直被沿用。

二、天文學家僧一行及其科學成就

僧一行（六八三至七二七年），魏州昌樂（今河南南樂縣）人，俗名張遂，我國傑出的科學家。自幼「博覽經史，尤精曆象、陰陽、五行之學」，因不願與武三思交往而出家為僧，隱居於河南嵩山，出家之後仍勤奮攻讀，求師聞教，開元五年（七一七年），唐玄宗令一行「考前代諸家曆法，改撰新曆」^①，他嚴肅認真，大膽創新，並進行了一系列實測工作，通過反覆觀測、修正，把中國古代曆法的制訂工作提高到一個新水平。他組織觀測，取得重大發現，以新數據廢棄了沿用八百多年的二十八宿距度數據，提高了新曆法精確性。爲了使新曆適用於全國各地，一行領導進行了大規模的大地測量，並發明「復矩圖」測量儀，進行了世界上用科學方法第一次子午線的實測。一行初步認識到，在很小的有限空間範圍得到的認識，不能任意向大範圍甚至無際的空間推演，這是我國科學思想史上的一個重大進步。經過幾年的準備，一行從七二五年著手編修新曆，於七二七年完成《大衍曆》草稿。《大衍曆》以劉焯的皇極曆爲基礎，加以發展，在日月食和五星運動計算方面有較大進步，他在求太陽經行度時主張用「定氣」計算，兩個節氣間的時間不是常量，因此在劉焯內插公式的理論基礎上，創立不等間距二次內插法，這在我國數學史和曆法

史上都是重要貢獻。《大衍曆》的成就是多方面的，內容和結構都很有系統，表明我國古代曆法體系已經完全成熟。

三、天文儀器的改進和完善

天文儀器的製造達到新的高度。貞觀七年（七三三年），李淳風造了一架新型的渾天黃道銅儀，對渾儀進行了重大改進，他保存了北魏鐵儀設有水準儀的優點，加了三辰儀，使渾儀由二重變為三重，三辰儀由黃、白、赤三道環相交構成，分別用以量度太陽、月亮、恒星的位置，直接觀測它們在各自軌道上的視運動。後梁令瓚承繼李淳風的黃道渾儀而進行改進，在開元十三年（七二五年）造成銅游儀。一行還與梁令瓚等人製造了一架輪軸結構渾象，這是張衡水運渾象的發展。特別是渾象中裝上自動報時器，這是天文鐘和機械史上的一大創造。此外，在敦煌發現一幅畫有一千三百五十顆星的絹質星圖，是世界上現存最早的。

四、天文計算精度的進一步提高

天文儀器的改進和人們長期觀測的結果，也使得若干天文常數的精度有了新的提高。隋代張胄玄首創利用等差級數提高行星動態表精度的方法，對五星會合周期的計算達到相當精確的程度，與現代值相比，火星會合周期差千分之十一日，木星、土星差千分之二日，水星周期僅差千

分之一日（一點四四分），金星的會合周期竟達到現代的精度。這一時期頒用的曆法，近點月長度值誤差為一點五秒左右，達曆法史上精確度的高峯。交食周期同理論推算值僅有十四秒的誤差，交點月長度與現代值的誤差都在一秒之內，八二二年頒用的《宣明曆》採用的黃赤道交角為二十三度三十四分五十五秒，比理論值僅小三十七秒，這些都說明了隋唐時期曆法計算的新水平。

第三節 數學教育及其發展

一、數學教育和「十部算經」的注釋

隋唐時期，國家開設當時已有所發展的各門科學的專科學校，隋代開始正式興辦數學專科學校，唐代繼續擴大開辦數學專科。這是世界上最早的數學專科學校，可以說是世界教育史上的一大壯舉。

隋代國子寺（六〇七年改為國子監）是獨立的專管教育的機構，這時成立獨立的教育管理機構是我國古代教育發展史上的一件大事。國子寺下設國子學、太學、四門學、書學和算學。前三門諸學以學經為主，算學規模遠小於這三門學，置有博士二人，助教二人，學生八十人。唐代於顯慶元年（六五六年）也在國子監設置算學館，有學生三十人，入學資格是「文武官八品以下及

庶人子爲生者」^②，「習《九章》、《海島》、《孫子》、《五曹》、《張邱建》、《夏侯陽》、《周髀》、《五經算》十有五人，習《綴術》、《緝古》十有五人」，並兼習《數術記遺》和《三等數》。學制規定爲「《孫子》、《五曹》共限一年業成，《九章》、《海島》共三年，《張邱建》、《夏侯陽》各一年，《周髀》、《五經算》共一年，《綴術》四年，《緝古》三年」^③。顯慶三年（六五八年）廢算學館，又在龍朔二年（六六二年）重設算學，但學生減爲十人，學數學的人社會地位非常低微。國子博士是正五品上，而算學博士卻從九品下，是品位最低的，大約在晚唐時期，明算科考試便早已停止了。

算學教材，即爲上述那十二種數學著述。唐初，唐高宗曾詔令太史令李淳風與算學博士梁述、太學助教王真儒等注釋《周髀算經》、《九章算術》、《孫子算經》、《五曹算經》、《夏侯陽算經》、《張邱建算經》、《海島算經》、《五經算術》、《綴術》、《緝古算經》，「書成，高宗令國學行用」^④，此舉在數學教育史上有極重要意義，這是世界上第一次由國家頒行的數學教科書。李淳風等人注釋工作中修正了經文及趙爽、甄鸞注中的若干缺陷，爲後世保存了寶貴資料，但也有不少缺點並出現新的錯誤。但正是由於他們的工作，又經政府規定爲教科書，才使「十部算經」等古算書保存下來，差不多成爲後世數學教育的經典教材，流傳至今。

二、王孝通及其《緝古算經》

王孝通，生卒年代不詳，根據《新唐書·曆志》記載，他在唐初爲算曆博士。在天文學方面是守舊派，認爲曆法不當用定朔和歲差，因而遭傅仁均反駁。他對戊寅元曆作了許多校正工作。在數學方面，王孝通的確是一個先進的作者。隋統一中國後，展開了築長城、開運河等大規模的工程建設，對數學知識和計算技能提出了比前代更高的要求，王孝通刻苦鑽研數學，創立了新術，立著《緝古算經》。書中所收的二十道數學題都較難深，大部分要化爲一元二次、三次或四次方程，主要是三次方程的土方計算問題。有的答案有二十七個之多，他特意找到前人沒有研究或未被解決的實際問題加以探討，獲重大成就。書中介紹開帶從立方方法（求三次方程的正根），解決了工程上存在的問題，其成就就是輝煌的。他得到的解堤壩型體積公式，凡是有兩個面平行的六面體體積都可用它求出來，現在的土木工程，仍然可用這個公式計算。《綴術》失傳後，《緝古算經》是一本中國人開帶從立方最古的書。

三、二次內插法的創立和應用

內插方法的創立和應用，是中國數學史和天文史上的一項重大成就。天文觀測的發展，對月球視運動速度不均勻性的計算開始只能用一次內插法（《九章算術》「盈不足」術），得到的結果有較大誤差。南北朝時進一步發現太陽和五星的視運動也是不均勻的，尤其太陽視運動的不均勻性對制曆（如計算合朔、交食時刻）有較大的影響，因而要求有精確的算法。劉焯於六〇〇年，

在編訂《皇極曆》時創立了「等間距二次內插法」，用此計算日、月、星的運行度數，使曆法精度有所提高，這是一項重大成就，但由於曆法中節氣不是等間距的，結果仍有較大的偏差。一行於七二二年在編訂《大衍曆》時創立了「不等間距二次內插法」，基本解決了這一問題，後來，徐昂於八二二年，編訂《宣明曆》時，又簡化了一行的算法。

四、實用算術的發展

隋唐時期，尤其唐代中晚期，農業、工商業都有較大的發展，對數學實際計算尤其是簡化算籌的使用方法，要求日益迫切，因此不少實用算術書籍應運而生，如龍受益的《算法》，江本的《一位算法》，陳從運的《得一算經》等，但僅有《韓延算術》因被冠以《夏侯陽算經》而幸存流傳至今，約成書於七七〇年左右，共三卷，八十三道題。書中引證了不少算書和法令，大多數是結合當時的實際需要，為地方官吏和廣大百姓提供適用的數學知識和計算技術，並且簡化了傳統的籌算計算方法，例如把籌算演算式分上、中、下三層進行，簡化為一個模列裏進行，化多位乘除為一位乘除，以加代乘，以減代除，這些實用方法很快得以推廣，適應了生產和生活的需要。

第四節 農業的繁榮和農業生產技術的提高

一、農業生產的興盛

隋朝農業的繁榮首先表現為農業生產的興盛、水利灌溉事業的大量興辦和屯田、營田的發展以及農業技術的提高等。隋唐五代處於封建社會由前期向後期轉折的時期，安定的社會環境、隋唐初期所實行的土地政策、檢括人口、減輕徭役、鼓勵墾殖等，為農業經濟的繁榮創造了一定的社會條件，把農業經濟推向了空前興盛的階段，創造了封建社會盛世的物質基礎。隋朝建立僅十二年，就已「庫藏皆滿」^⑤，唐時農業生產繼續得到發展，天寶八年（七四九年）政府倉儲糧約達一萬萬石，為此，唐政府不斷修築和擴大隋代興建的倉窖，這反映了農業生產的盛況。

（一）農田水利和灌溉工程的大力興辦

隋唐時，重南北交通，因而廣開漕渠，這些漕渠同時具有灌溉作用，隋文帝開皇七年（五八七年）開山陽瀆以通水運，又命鑿廣通渠，自大興城至潼關長三百多里^⑥。隋煬帝大舉開鑿運河，溝通江、淮、河、汴、汾、渭諸水系，使南北連為一體，唐代水運之盛就是在此基礎上形成的。唐代興修水利工程約二百六、七十處，北方的關中農田水利繼續發展，重要的有黃河、汾河、曲地帶的水利開發和在龍門下引黃灌田工程等，南方的江浙海塘、太湖湖堤、長江堤防都相繼完成。五代時，江南的吳越國又大大發展，在太湖地區開始出現圩田制度和水利系統，圩田系統的建成，改造低窪地成為良田，致使太湖地區成為「蘇湖熟，天下足」的最重要的糧倉之一。在

大量興修水利工程的同时，隋唐政府還加強了對水利工程的管理，隋唐設專官管理水利，工部下有水部司，長官爲水部（侍）郎。據《新唐書·地理志》和《元和郡縣志》記載，唐代全國修灌溉工程一千零八十八起，防洪排澇工程四十起，河道運輸工程二十七起^⑦，主要分布在關中和淮河、運河、江漢流域等地區，屬於農田水利的約有三種，鑿渠引水、築堤圍塘和迭堰攔水，都收到較好的灌溉效果。

（二）屯田、營田的發展

屯田是這時期農業中另一項重要內容。隋初在長城以北大興屯田^⑧。煬帝時又在西北邊設置河源郡積石鎮，屯田助邊^⑨。唐初繼續在邊境屯田，如唐高祖武德初年（六一八年）不久，在太原設屯，每年生產糧食數十萬斛。此後太宗、高宗、武則天、中宗陸續增設并州、朔州、代州、甘肅、豐州、松州、帶州、萬州、桔州等地營田^⑩，唐玄宗時，進一步把屯田制度化，規定隸屬司農寺的每二十——三十頃爲一屯，屬州郡的五十頃爲一屯，屯官以勳官五品以上，屯田不限於邊遠地區。如天元時（七二三至七四一年）曾在陳、許、豫、壽四州設屯。天寶八載（七四九年），天下屯田收入達一百九十一萬三千九百六十石^⑪。天寶以後，安史之亂使中原成爲戰場，開始大規模在江、淮、漢水流域設屯。

二、農業生產技術的提高

農業生產技術的提高，首先表現在整地技術的進步。耕地的主要工具——犁的結構，發展到唐代已相當完備，唐代始見曲轅犁，出現了由犁鏡、犁壁、犁底等十一個部件構成的江東犁，用之耕地，深淺由人，運用自如。江東犁恰是曲轅犁，所以具有重要意義。它的出現是中國耕地用的鐵制農具已經成熟定型的重要標誌。晚唐陸龜蒙（？至八八一年）的《耒耜經》書是中國最早關於農具的專著，也是記述江南農事的最早農書，書中記載有整地工具鐵塔、破碎土塊平整地面的工具耙（耙）和礪磳，至宋代還有了秒。這樣水田土壤耕作就形成了耕——耙——秒——秒一整套技術措施。在灌溉技術方面，唐代發明並大力推廣了水車、筒車。北方主要用「以木桶相連，汲於井中」的水車灌田，南方主要用水流沖擊竹筒旋轉的筒車，把水由低處提到高處進行灌溉。另外在防治病蟲害方面也取得一些成就，如唐開元四年（七一六年），山東蝗蟲成災，宰相姚崇治蟲的方法是「篝火誘殺」和「開溝陷殺」，效果十分明顯。

三、《茶經》、《四時纂要》及製茶技術

茶是中國的一大發明，起源於中國南方。我國有悠久的茶樹栽培和茶葉加工的歷史，西漢時已有「烹茶」的記載，唐代的茶樹的種植已遍及五十多個州郡，還出現了官營的茶園，名茶品種增多，據不完全統計，當時就有二十多種。飲茶已成爲一種社會風氣，茶葉的生產和加工，已成爲農業和農產品加工的一個重要部門。從德宗建中四年（七八三年）開始建立茶稅制度，從此茶

稅一直成爲國家的一項重要的財政收入。七五八年左右，唐代陸羽（七三三至八〇四年）所著的《茶經》一書既是中國也是世界上第一部關於茶的專著。《茶經》分二卷十門，第一門談了茶與土壤的關係；第二門講加工茶葉的器具；第三門講加工方法；第四、五、六門專論茶的飲用器具和煮、飲法；第七門記述有關茶的典故；第八門論茶的產地；第九門談造茶和煮茶的簡易法；第十門是圖解，已佚。有關茶樹的栽培方法在韓鄂著的《四時纂要》一書中有最早和最詳細的記載。不僅包括季節、密度、中耕、施肥、排水灌溉、遮蔭等一系列措施，而且採用沙藏催芽法和多子穴播法，這些方法至今仍有實用價值。唐朝茶葉加工非常考究，加工方法主要用蒸青製法，即把鮮葉採回，用蒸氣殺青、搗碎，製成茶餅，然後烘乾。中國的茶葉在五世紀開始輸入亞洲一些國家，十七世紀後輸入歐美，從此飲茶風尚逐漸遍及全球。

第五節 中醫學的光大和藏醫學的迅速發展

隋唐五代醫學像其他學科一樣，量和規模不斷擴大，這時期確定了更爲完善的醫療機構。唐·孫思邈《千金方》的出現使葛洪等開創的旨在衝破宮廷貴族牢籠服務於民衆的中醫傳統進一步發揚光大，無論從學術上還是從「醫德」觀念上，至孫思邈已趨於完善；從而確立了千年來中醫學者在社會上的基本面貌。中醫和釋、道、術數的結合至唐也趨於完成化。

一、醫療機構及醫學教育

隋唐時，自中央至地方建立了一套完善的醫療系統，其規模不僅為中國前此歷史所無，也是當時世界所僅有的。當時中央主要有門下省的尚藥局和太常寺統太醫署兩大機構。此外，宮官尚食局下所統的二十四司、典、掌，也各設有醫藥官員（司藥、典藥、掌藥等）。地方設醫官始於唐。醫藥教育在唐代已相當健全，政府重視醫藥法律，並制定醫藥法規於全國執行，嚴懲醫療事故和欺詐行爲。唐貞觀三年（六二九年）開始在諸州治所設立醫學，各置醫學博士。玄宗開元中增設助教員，開元二十七年（七三九年）定制：十萬戶以上州置醫學生二十人，以下置十二人。除學習外兼有療病職責，這時還設有醫院的機構，皇宮內有患坊，諸州有病坊，但都與近代醫院不同，主要是無固定醫生，五代時的醫療機構略循唐制。

二、醫學著作及其貢獻

這一時期在醫學理論和臨床實踐方面也取得了顯著的進展，出現了大量的方書和醫典。加上這時官修醫學已成時尚，如隋朝官修有《諸病源候論》，隋煬帝敕撰的《四海類聚方》十六卷，達二千六百卷，可惜現已亡佚。唐代現存著名的有《千金方》、《外臺秘要》。唐代官修首推敕撰的《新修本草》二十一卷，另有玄宗時的《開元廣濟方》五卷，德宗時的《貞元集要廣利方》五卷等。

(一)《諸病源候論》

爲隋大業中（六〇五年至六〇六年）的太醫博士巢元方所著，全書五十卷，分六十七門，一千七百二十論，論述了內、外、婦、兒、五官等各種疾病的病因、病理和症狀，反映了我國醫學理論的發展和臨床實踐的提高，成爲我國歷史上內容最豐富的探討病因、病機的一部專著，其中對諸如疥瘡、流行病等疾病的病因有不少創見，突破了前人的定論、發現和描述了一些真正的病原。本書已有腸吻合手術和結紮血管方法的記載。它也是重要的診斷學專書，深爲後世所重，宋代醫學設三科，都以巢氏《諸病源候論》爲教材之一。

(二)《新修本草》

爲高宗顯慶二年（六五七年）由蘇敬提議，唐政府組織二十二集體編修的新本草，於六五九年撰成。分本草三十一卷、目錄一卷、藥圖二十五卷、藥經七卷共五十四卷，今僅存殘本十卷，載藥物八百四十四種，其中考訂過去本草經籍所載有差錯的和未載的藥物四百餘種，增補新藥百餘種。書中以實事求是的態度，詳述了藥物的性味、產地、功效及主治的疾病，頒行後很快流行全國，對統一用藥起很大作用。另外因書中收錄有各地動植物標本圖錄，全書文圖並茂，故又是一部重要的動植物形態學著作，在生物學史上也有一定意義。唐《新修本草》是我國第一部官修藥典，也是世界上最早的國頒藥典。

(三)《千金方》

爲唐代傑出的醫學家孫思邈（五八一年至六八二年）所著。孫思邈爲京兆華原（今陝西耀縣）人，一生謙虛好學，精通醫學，治學非常嚴謹而敢大膽創新，造詣很深。他把莊、老、釋和術數之術溶於醫學，使之在中醫學史上具有特殊地位。他認爲醫生治病無論貧富、貴賤、親疏都應一視同仁，精心診治，提出「膽欲大而心欲小，智欲圓而行欲方」作爲行醫準則，把「不爲利回，不爲義疚」作爲行爲方正的標準。爲了急救，他積五十多年的經驗，結合歷代醫學典籍而著成《千金要方》，在晚年又寫成《千金翼方》，作爲對前者的補充，兩本合稱《千金方》。本書的重大貢獻是中醫學方面，對於中藥質地的選擇、炮製、熬煉、服用等，書中各詳載其法，並開中醫學史上大膽創新之一代新風，後世稱孫思邈爲「藥王」。本書在外科治療方面也有突出成就，如孫思邈關於下頷骨脫臼的整復術完全符合現代解剖生理學的要求，一直沿用至今。另外書還有明顯的表現出釋、道、術數化的中醫理論，包括完整的「醫德」理論的提出、養生學的發展以及中醫與巫術、形相、占卜、星曆等雜學的結合等。

（四）《外臺秘要》

爲唐代王燾所著，七五二年成書，共四十卷，分一千一百零四門，是一部綜合性的醫學著作。其內容包括各種疾病和醫方，採用的體例是先論後方，特點是引書必詳注書名、卷數，十分難得，許多古醫書片版，賴此以存，因而爲後世保存了唐初的大量醫學典籍及已佚方書，至今仍爲醫學界具有相當價值的參考文獻。王燾是這一時期繼孫思邈之後對醫學作出卓越貢獻的又一

醫藥學家。

三、藏醫學的迅速發展

藏醫學即西藏地區的醫學。來自於藏族人民長期生活實踐中積累的豐富的醫藥學經驗，如用酥油止血和用青稞酒治療外傷等，藏族人民有天葬的習俗，由於經常解剖屍體，對人體生理解剖學有著比漢族更爲深刻的認識。八世紀他們對人體神經系統的分佈和功能已有較深的認識，並首先認識到動脈和靜脈的通血管道。吐蕃王朝建立（六二九年）後，西藏地區社會經濟得到了恢復和發展，藏醫學也迅速發展起來。

唐代漢藏兩族聯繫密切，醫學交流頻繁，在吸收漢族和印度經驗的基礎上，形成了具有藏民族特色的藏醫學體系。八世紀著名藏族醫學家宇妥·元丹貢布編成的《四部醫典》（藏名《居悉》）是藏醫學的經典著作，奠定了藏醫學體系的基礎。其內容非常豐富，包括醫學理論和臨床實踐，全文分四部，共二十四萬餘字，一百五十六章，另有七十九幅各種醫學圖解。集內地出產和西藏特產的藥物近一千種，具有很高的學術價值，尤其對某些疑難病症有獨特療效。《四部醫典》在國內外都有較大影響，傳入蒙古後，對蒙醫學產生了極爲深刻的影響。唐以後，藏醫學繼續發展，十七世紀出現了包羅藏醫學全部內容的彩色掛圖，這是中國醫學史上一大創舉。一九四九年以後，出版《四部醫典》蒙文版，一九七三年《四部醫典》部分內容又被譯爲英文、德文，在英、德兩

國出版。藏族人民把宇妥·元丹貢布奉為「醫聖」，極為推崇，這在我國醫學史上占有光輝的一頁。

第六節 地理學的成就和大運河的開鑿

隋唐時官修地理圖記之風盛行，圖經著作大量出現，方志繁榮。隋大業中（六〇五至六一七年）曾「普詔天下諸郡，條其風俗物產地圖，上於尚書」^①匯集成《諸郡物產土俗記》一百五十一卷、《區宇圖誌》一百二十九卷、《諸州圖經籍》一百卷等等。這些著作中，以賈耽、李吉甫、僧玄奘的著作最為著名。唐代的全國性、地域性和關於邊疆及外國的地理著作更是大量出現，地理著作大多是皇皇巨著，最著名的有《海內華夷圖》、《元和郡縣圖誌》、《大唐西域記》等，對海陸變遷、潮汐的認識以及大運河的開鑿等都反映了當時人們關於地理學知識的新成就。

一、中國第一部世界地圖——賈耽《海內華夷圖》

賈耽（七三〇至八〇五年），字敦詩，河北滄州人。自幼喜好地理，加上他身居唐德宗宰相，能較多接觸所藏各種典籍，使他能夠具備豐富的地理學知識，掌握大量的地理經典材料，成為唐代傑出的地理學家和製圖家。貞元十七年（八〇一年），賈耽繪製了《海內華夷圖》和《古今

郡國縣道四夷述》四十卷，既是「華夷圖」就應包括域外地理，是一幅世界地圖。此書包括「圖」和「述」，畫法師承裴秀的製圖「六體」，用了三十年時間，傾注了他畢生精力。按《舊唐書》本傳記載，《海內華夷圖》廣三丈，長三丈三尺，比例尺爲一比一百八十萬。圖記包括了當時聞見的所有國家，地圖上以墨書標出古地名，以朱筆標出今名，這是製圖史上一項創新，一直爲後世地理書沿用。

二、李吉甫《元和郡縣圖誌》

李吉甫（七五八年至八一四年），字弘憲，趙郡（今河北趙縣）人，是唐憲宗朝宰相，《新唐書·藝文志》有李吉甫《元和郡縣圖誌》五十四卷。今本有誌無圖，也非原書舊貌，該書繼承和發揚《漢書·地理志》的傳統地理學體系，雖沿襲舊例，但重點在於敘述天下郡縣的「兵餉山川，攻守利害」，涉及到當時全國十道所屬州縣的沿革、通道、山川、戶口、貢賦和古跡等，是唐代一部重要的全國性地理著作，也是現存最早的一部全國性地理著作。對後世全國性地誌的編纂影響很大。

三、玄奘《大唐西域記》和《大慈恩寺三藏法師傳》

唐時重要的遊記著作爲《大唐西域記》十二卷和《大慈恩寺三藏法師傳》十卷，兩書都是根據玄

樊口述西遊印度的經過，分別爲辯機和彥棕記錄整理而成，以途徑先後爲序，記述所見所聞，實際是遊記類地理書。玄奘（六〇二年至六六四年），河南緱氏（今偃師縣）人，俗名陳禱，唐代著名的佛教學智者、佛經翻譯家、旅行家、增進中印文化交流的使者。他於唐太宗貞觀元年（六二七年）秋離開長安，孤身西行取經，歷經無數艱難險阻，長途跋涉五萬多里，足跡遍及中亞和南亞當時的一百一十個國家和地區，於貞觀十九年（六四五年）正月返回長安，完成了世界史上一次偉大的旅程。兩書都以期間的奇聞軼事爲素材，又因兩書作者在文學、地理和佛學方面的造詣不同而各有偏重。兩書記述他經歷的國家和地區及傳聞中的二十八個國家地理位置、歷史沿革、風土人情、山川、河流、物產、氣候及宗教等情況，除親眼所見外，對於「先誌」佛典所記及故老陳述，全部收入書中。至今仍是一部研究中世紀中亞、南亞史地的珍貴資料，對地理知識的發展和傳播、對促進當時的中外交流都作出了重大貢獻。先後譯成日、美、法等文字出版，廣爲傳播。

四、海陸變遷遺跡的發現和《海濤誌》的問世

關於海陸變遷的認識，在唐以前已經出現。如晉代葛洪著《神仙傳》中有「東海三爲桑田」記載，但無科學根據。唐代宗大歷六年（七七一年）大書法家顏真卿（七〇九至七八五年）任撫州刺史的時候，在今江西省南城縣的麻姑山頂一座古壇附近發現了螺蚌殼化石，他認爲這就是滄海

桑田變化的遺跡，於是寫了《撫州南城縣麻姑山仙壇記》一文，顏真卿以實地觀察到的事實，為海陸變遷的地質思想第一次提供了實物的證明。唐詩人白居易也在他的《海潮賦》中記有海陸變遷這一認識，他在詩中寫道：「白浪茫茫與海連，平沙浩浩四無邊，朝來暮去淘不住，遂令東海變滄田」，可見海陸變遷這一認識在唐代已經普及。

隨著天文學和航海業的發展，唐代對潮汐的認識也達到了一個新水平。三國時吳國曾有關於潮汐的專著《潮水論》，但早已失傳。八世紀中葉，浙江人竇叔蒙（生平不詳）著《海濤誌》，又名《海嶠誌》，是我國現在最早的潮汐專著。全書共六章，對於潮汐的成因、潮汐變化與月球運動之間客觀規律性的認識更為深刻，不僅已有科學的定性認識，而且對來潮時間也有較精確的定量認識。

五、隋唐大運河的開鑿和利用

為了滿足政府機構對南方粟米、絲帛等物質的需求，解決南北交通運輸的困難，並加強對南方的政治、軍事控制，隋唐統治者發起了運河的大規模開鑿。開皇四年（五八四年），隋文帝令宇文愷率水工開鑿廣通渠三百里，隋煬帝當政後，又發起開鑿以洛陽為中心的大運河工程。大業元年（六〇五年）開鑿通濟渠，這條溝通黃淮水系的運河工程，十分壯觀，自東都洛陽可直達揚州，全長二千二百里；大業四年（六〇八年）又開鑿永濟渠，引沁水南通黃河，北連涿州（今北

京），長二千餘里；大業六年（六一〇年），再開江南河，由京口（今鎮江）直通餘杭（今杭州），全長「八百餘里，水面闊十餘丈」。大運河是世界水利史上的偉大工程之一，工程浩大，動用了數百萬民工，全長四千多里，溝通了海河、黃河、淮海、長江和錢塘江五大水系，是世界上最長的人工運河。大運河工程的完成，反映了中國古代人民的聰明才智和創造精神，對鞏固國家的統一、發展南北經濟起了重大作用。爲了發揮大運河的航運效益，保持其通航能力，唐代對大運河進行了大規模的整修、擴建、疏通河道，開展了許多接水濟運工程，並沿大運河修築了許多支流渠道借以擴大交通運輸網，兼有灌溉之利。大運河、萬里長城和新疆的「坎兒井」被後人並稱爲中國古代的三大工程。

第七節 冶金、製瓷和紡織印染技術的進步

一、冶鑄業的發達和冶金技術的普及與提高

唐代農業、手工業和工程建築等的發展，需要大批鋼鐵作爲工具和材料，經濟貿易的繁榮，需要大量的銅幣。巨大的金屬需要量，促使金屬冶煉的生產規模和產量超過了前代，這時的冶金業已經發達，煉爐和鼓風技術都有進步，灌鋼法得到普及推廣。《唐會要》武德四年（六一二年）

鑄造「開元通寶錢」時，歐陽詢進「蠟樣」，這是中國「失蠟法」鑄造技術的最早文獻記載。隋唐時期大型鑄件的發展也很突出，據《集異記》記載，隋代曾在晉陽（今山西汾西縣）鑄成高達七十尺的鑄鐵佛像；唐武則天時，用銅鐵二百萬斤在洛陽鑄造「天樞」，高達一百零五尺。現存中國最早的特大鑄件首推五代時期鑄造的滄州大鐵獅，高達五點三米，長六點八米，寬約三米，是採用泥範鑄造工藝鑄造的，重量估計在五萬公斤以上，這反映了當時造範和合鑄技術已相當高明。唐代的金銀器飾加工精巧，造型優美，除採用鑄造、鍛造外，還採用手工打製，加工磨製並鍍金、嵌銀，可見當時金屬加工技術也取得了很大進步。現存唐代金銀器飾數量很多，僅一九七〇年在西安何家村出土的盛唐晚期（八世紀末）的金銀器就有二百七十件，不僅說明當時使用簡單車床的切削、拋光以及焊接、鉚、鍍、刻鑿等工藝技術已達到較高的水平，而且大量質地優良的銀器的出現也向人們表明當時冶銀術的進步。唐代的銀是由粗鉛中提取，利用古代比較先進的煉銀方法——吹灰技術採冶，提高了銀的純度和回收率。

二、製瓷業的發展和唐代名窯

這時期是陶瓷生產的重要轉折時期。生產規模擴大，瓷窯分布地區廣泛，產品向生產各領域滲透，製瓷技術有了新提高。唐代燒出了品種繁多的美麗的青瓷器，白瓷的燒製技術已達成成熟階段，可與青瓷相媲美。製瓷的一些新工藝技術和風格開始萌芽，江南青瓷產品中唐以前多是素面

花紋，以後才有製花、印花等窰出現。在唐長沙窰器中發現一種釉下彩裝飾法，並發明了匣鉢裝窰法，這是裝窰技術的大創造。唐代還能生產花釉瓷和絞胎瓷，創新之作「唐三彩」（唐代三彩陶器的簡稱，屬於唐代首創的低溫鉛釉陶器）是一種具有鮮明個性和獨特藝術風格的工藝品，因為在釉色裝飾上多以黃、綠、褐三種顏色為主而得名，具有很高的史料價值和藝術水平。這一時期製瓷的新技術和新風格，為宋元以後陶瓷技術的鼎盛奠定了基礎。

陶瓷名窰的出現是唐代陶瓷生產發展的顯著特徵。隨著陶瓷生產的社會化，一些歷史悠久、自然條件和技術條件較好的瓷窰產品就逐漸形成自己獨特的藝術風格，並以此名聞天下。如唐時浙江紹興、餘姚一帶的越窰，青瓷天下第一；址在邢州（今河北內丘縣）的邢窰的白瓷有「類雪」之譽；江西景德鎮窰的唐代白瓷已接近現代水平。這時期的名窰很多，北起渤海、南到廣州、西自秦州、東達於海，足見陶瓷生產規模之巨大，瓷色以青、白居多，青瓷名窰多在江南，白瓷窰多在北方，這樣「南青北白」隔江相峙的體系形成了。

三、紡織印染技術的提高

隋唐時期，中國的紡織印染業十分發達，居世界領先地位。紡織品的產量和花色品種都有非常明顯的增長，且對人們生活影響較大。唐代詩人詠及紡織品者比比皆是，唐代紡織品，以綾、錦為主，有的書記載，唐代出現了緞紋紡織^①。綾各州郡都大量生產，由於綾的花紋大而複雜，

美感、手感和光澤好，深受人們的喜愛。許多州郡以綾充作貢品，錦以緯線顯花的緯錦爲主，近來在新疆的絲綢之路發現不少唐代緯錦，在吐魯番還出土了不少各種圖案的紋綿，都反映了唐代織制緯錦的能力已達完全成熟的程度。隋唐時期媒染和套染工藝十分發達，從吐魯番出土的唐代紡織物所見顏色，有紅、黃、青、綠色綢，加上黑白及其間色，不下二、三十種。至唐已掌握了用同種媒染染料，以不同媒染劑染得不同色光和色階的化學印染技術^⑮。唐代在印花工藝上的成就也很突出，除直接印花外，還有絞額、夾額、蠟額和介質印花等數種。前三種印花工藝唐以前就有，在唐代有了很大的發展，介質印花有碱制印花、媒染劑印花和清除媒染劑印花三種方式，是唐代印花技術上最主要的成就，也是我國古代印染技術的一大進步。

第八節 火藥的發明和化學、化工

一、煉丹術的提高和黑火藥的發明

唐時在煉丹實驗中一個顯著的進步是用藥趨向小數量、按比例向定量化發展，克服以往用藥的盲目性、粗糙性。煉丹家在長期的煉丹製藥過程中，技術已愈益提高，同時積累了更加豐富的化學知識。用汞和硫黃製造丹砂的技術唐時已相當成熟，利用汞和硫製成硫汞，再與食鹽反應，

然後升華，從而煉製出金銀霜（亦稱升汞，即 Hg_2Cl_2 ）的技術也已相當完善。唐時的煉丹著作《太清石壁記》中就記載有「造水銀霜法」，在《黃帝九鼎神丹經訣》中還記載著用水法製取硫酸鉀的方法，實則利用不同溶解度來製藥物的方法，是中國古代化學史上的一項發明。《真元妙道要略》中記載唐代的煉丹家們「以硫黃、雄黃合硝石，並密燒之」，則會發生「焰起，燒手面及屋宇」，據研究「密」為「蜜」字之誤，蜜加熱可分解出炭。這實際上是發現了硫黃、硝石與炭，這三種東西的混合物具有燃燒、爆炸的性能，實則為最初的黑火藥。著名的煉丹家、醫學家孫思邈的《孫真人丹經》中就有混合硫黃、硝酸鉀和炭製成火藥的記載。這是世界上關於火藥的最早記載，火藥的發明是中國人民的一項重大貢獻，對世界文明的發展有重大影響，永遠載入世界科技史冊。

二、礦物藥專著和化學製劑

唐代的煉丹方士已知道辨別藥物質量的優劣，並且著有礦物藥的專著。其中，《金石簿五九數訣》約成書於六六四年，書中詳列各種藥物的形質和品質，以及藥物的產地，八一八年梅彪所撰的《石藥爾雅》更是一部礦物藥物的同義詞典。書中列舉了六十二種藥物的三百三十五種異名，給人提供了解煉丹方士關於藥物的晦澀用名的方便，李約瑟稱之為「唐代煉丹術語的可靠指南」。

同時，作為煉丹術的精華部分之一，煉丹所得到的化學藥物，可以製作各種化學製劑，在醫學上得以廣泛應用。如在孫思邈的《千金翼方》中，記有「飛水銀霜法」是一種毒性較小的氯化亞汞（ Hg_2Cl_2 ），可治療疥癬、濕疹皮膚病。王燾的《外臺秘要》記有另一製水銀霜法，即一種氯化高汞（ Hg_2Cl_4 ），外用可提毒、拔膿、促進瘡口癒合。孫思邈還製造了一種叫「太一神精丹」的化學製劑，外用可以治療皮膚病，內服可治療回歸熱和瘧疾。《唐本草》中記有一種用白錫銀箔和水銀合製而成的「銀膏」，類似現代齒科用的填充劑。

第九節 雕板印刷技術的發明和造紙技術的成熟

沒有印刷術就沒有近代文明。對於人類歷史，印刷術與造紙術具有同等重要地位，這是我國人民對人類作出的又一大貢獻。

一、雕板印刷術的發明及其貢獻

雕板印刷術發明的確切年代尚無法確知，較為可信的說法是「隋朝說」。即六世紀的隋、唐之際。雕板印刷術的發明，刻板和刷印的熟練程度是其產生的工藝條件，此外紙和墨的出現和普及是其產生的物質條件，對書籍需求量的增加是其產生的社會條件，在隋朝早已具備。自漢代發

明造紙以後，到三國兩晉南北朝時已普遍採用，產量和質量都有相當高的水平。筆墨先秦時已使用，東漢時發明的人造松煙墨到魏晉時已相當精妙。松煙墨既是優良的書寫材料，也是印刷的好著色原料。刻字技術歷史可追溯到殷商時代的甲骨文刀法，此後青銅彝器上的金文、石刻銘文，到南北朝時期達到了新境界，如北魏太和二十二年（四九八年），洛陽老君洞始平公造像石刻的陽文楷書、北齊馬天祥等造像碑的陽文隸書、梁蕭景神道石柱的反刻字等，說明已掌握了反刻文字的刻鑿技術。此外，印刷術出現前，刊印和拓印的工藝技術曾被廣泛使用。正是在這充分而堅實的物質技術基礎上，被譽為「文明之母」的印刷術產生了。隋·費長房《歷代三寶記》載，開皇十三年（五九三年）十二月八日，隋文帝下令崇佛，詔書中有「廢像遺經，悉令雕撰」語，明人陸深在其《河汾燕閑錄·上》中首先提出此為「印書之始」，此後有胡應麟、方以智、阮葵生等繼續其說。這時期的許多材料也可作間接證明。如唐代造物中有許多印刷的佛像、佛經，刻工已相當精微，隋時已經開始雕印佛像、佛經了。唐·馮贇《雲仙散錄》載「玄奘以四鋒紙印普賢像，施於四方，每歲五馱無餘」¹⁷，雕印佛像當然不是玄奘發明，至少是從隋朝繼承下來的。

雕板印刷在隋朝產生後，就被用來印刷佛教經典、佛像和宗教畫片等，經唐和五代三百多年的發展，不斷推廣和傳播，幾乎遍及各個方面。唐末柳玭撰《柳氏家訓》說，中和三年（八八三年），「余為中書舍人，旬休閱書於重城之東南，其書多陰陽雜記、占夢、相宅、九宮五緯之流，又有字書、小學、率雕木印紙、浸染不可盡曉」。可見除佛書外，陰陽雜記等下乘書籍已廣

泛用印刷術生產。到五代時官方興起了刻印儒家經典的活動，自長興三年（九三二年）到後周廣順三年（九五三年）的二十二年裏，刻成印板《九經》、《五經文字》、《九經字樣》各二部，一百三十冊，並印刷出售。自此刻印書籍成爲政府的出版事業；另一方面，私家刻印業仍很活躍，幾乎無書不可板印了。這些爲宋代印書業的繁榮奠定了基礎。

雕板印刷術在中國產生後，首先傳入朝鮮、日本，以後陸續傳入伊朗、埃及和歐洲等世界各地，對人類文明作出了重大貢獻。

二、造紙術的發展和成熟

從漢代發明造紙以後中國的造紙技術就不斷革新和進步，魏晉南北朝時，紙已代替帛、簡之類，成爲普遍的書寫材料。南方的藤紙由於質地優良，於隋代成爲官方文書的主要用紙，盛行一時。隋唐五代到宋，造紙手工業已普及全國。印刷術的發明和發展，又促進了造紙業和造紙技術的發展。傳統的麻紙、楮紙、桑皮紙、藤紙等繼續發展，新的造紙原料如竹、檀皮、麥秸、稻桿等不斷被開拓利用，中唐晚期竹紙在南方盛行，竹紙的問世，標誌著我國造紙技術已相當精熟。書法繪畫用的名貴紙宣紙，唐時以「玉版宣」之名在安徽宣州（今涇縣）一帶問世，並被列爲貢品。宣紙在唐時以檀皮爲原料，到清代改用檀皮、稻草合料製造，其質地細膩、潔白、柔軟，且經久而不變色，被譽爲「瑩潤如玉」，至今仍爲世之寶。唐代加工紙也十分盛行，還生產出一種

圖紋加工紙，在國內非常流行，也為朝鮮、日本等國所歡迎。到五代時還產生「澄心堂」名紙，一紙值百金，是紙品中的佼佼者。另外，唐時造紙中加礬、加膠、塗粉、灑金、染色等加工技術，也有很大提高。

第十節 古典建築技術的成熟

在中國古代建築史上，隋唐五代以其大量的建築遺跡和出色的建築技術而著稱於世。其中，以長安城為代表的隋唐城市建築的整體規劃設計和木結構為主體的建築體系，隋代採用的大型敞肩坦弧石拱的建橋技術，以及磚石結構等先進技術的廣泛應用等等，所有這些都說明隋唐五代在繼承前代建築遺產的基礎上，吸收外來建築的影響形成並發展了中國古建築的體系，這是這個時期建築技術成熟的標誌。

一、大興城、長安城及其建築技術

自開皇二年（五八二年），隋文帝以長安宮城自漢以來「凋殘日久，屢為戰場」，又規模狹小，水質鹹鹵，令高穎、宇文愷等人在長安城東南的龍首山川原建新都，名為大興城。宇文愷（五五五至六一二年）是中國古代著名的建築學家，擅長城市規劃和建築，隋朝時大興城、東都

洛陽等大型土木工程，都是在他規劃和領導下完成的。他使用圖紙和模型的設計方法是中國建築技術上的一大突破，大興城規模之大及規劃之嚴整，為世絕無僅有。全城面積達八十四平方公里，由郭城、皇城、宮城構成，又都有堅固的城牆圍護，宮城城牆寬十四——十八米，高十米，郭城牆基寬九至十二米，牆高六米，郭城外挖有寬九米、深四米的護城壕，這些城牆均為夯土所築，加上壯觀的城門和坊門，形成了一個嚴密的防衛系統。郭城里有南北向並列大街十一條，東西向十四條，把居住區分隔成一百零八個里坊。道路交通方便，整齊有序。介於宮城和皇城之間的東西橫向大街寬達二百二十米，中軸線上的南北向主幹道朱雀大街寬達一百五十米左右。道路兩旁有排水溝，路兩旁植槐，城中置有東西兩市，是商業、手工業店坊集中地，城東南隅有曲江池、樂遊園等，是遊樂處。在城市中開闢公共遊樂區，是城市建築的一大進步。隋大興城是在短期內按周密規劃建成的，自五八二年六月開始興建，當年十二月就基本完成，次年三月遷入使用，前後僅九個月，速度之快令人嘆服。整個城市布局雖然仍是以宮城為主體的對稱布置，但街道平直，區劃方整，居肆不撓，以前歷朝都城從未達到過這樣高的水平。大興城的興建，可謂人類改造自然環境的壯舉。

唐代的長安城，又名京師城，是在隋大興城基礎上擴建改建而成的。貞觀八年（六三四年）在東北禁苑內的龍首高原地增建大明宮，取代隋時以大興殿為中心的舊宮殿區，為唐代宮殿建築的代表作。自龍朔三年（六六三年）武則天遷入聽政後，大明宮成為唐代西京的主要朝會處。大

明宮內有宮殿三十多所，是一個龐大的宮殿建築羣，其中麟德殿的規模最大。在建築的選址、外形設計與建築功用三者結合方面，設計者匠心獨運，達到了完善的統一。大型建築各部分間都有確定比例叫做模數，模數的使用是建築規範化的表現，也是建築技術成熟的標誌，所有這些都反映了唐代建築的高超水平。隋唐長安城的規模宏大，人口竟達一百二十餘萬人，是當時世界上最大的城市之一，又是中國的政治、文化的中心。

二、木結構建築技術體系的確立

木結構建築是我國古代建築的主體，它以柱、樑、枋、檀、椽等為主要構件，各構件之間採用榫卯聯接，因具有取材容易、結構簡單、施工方便的優點，一直為我國古代建築所發展。到唐代，形成了以木結構建築技術為中心的建築技術體系，在現存的唐代木結構建築中，最具代表性的是五臺山南禪寺正殿和佛光寺大殿。

南禪寺正殿建於唐德宗建中三年（七八二年），是目前已知的國內最古老的唐代木構建築，大殿面寬進深齊三間，單檐歇山式屋頂，殿前有寬敞的月臺，柱上裝有雄偉的斗拱，承托屋檐，大殿內設有柱子，四椽楸通達前後檐柱之外，直檐、檐柱與斗拱高度比例小，顯得檐柱較矮，無補間鋪作，屋面舉折平緩，說明唐朝時木構建築技術已有很高的水平。佛光寺相傳是北魏孝文帝時創建，唐宣宗時重修，利用山坡地形布局而成，由木柱、斗拱、樑枋組成樑柱式的構架，屬唐

代中型的佛殿建築，風格是大殿由三十根柱子組成內外槽結構，柱子與各構件的聯結以榫卯壓緊，殿柱粗短肥碩，內外橫柱高幾乎相等，平樑以叉手承托背柱，不用侏儒柱，斗拱高大，出檐較多，屋面平緩，所以從外表看，廣檐翼出，幽深雄壯，給人以屋頂厚重有力的感覺，它具有有一套明確完整的構架體系，既符合建築力學原理，又充分表現出它的頗具魅力的裝飾性，反映了唐代木結構建築技術達到成熟的程度。

三、高層磚塔建築的技術成就

唐代塔的遺構較多，主要是磚塔，少量為石塔，木塔極少見。磚塔形式有樓閣式、密檐式和單層塔三種，塔的平面大多是正方形，少數是六邊形、八邊形或圓形。塔的層數增加到十三層，塔高達五十多米，最高達六十多米，從結構上分析，磚塔是磚構築的仿木塔，外表也隱起柱、枋、斗拱、纏腰等，但無平座，內部都是筒式結構，各層用磚，木樓板製成磚木樓梯，唐代較有名氣的樓閣式磚塔有西安興教寺的玄奘墓塔、陝西禮泉縣的香積寺塔、西安市的大雁塔等。密檐樓閣式塔是樓閣式塔的又一式樣，在唐代十分盛行，西安薦福寺內的小雁塔最為有名，塔身為密檐式方形磚結構，由下而上收斂，顯得凝重而秀麗。唐代現存的還有雲南大理崇聖寺的千尋塔、登封永壽寺塔等。還有磚木混合式塔是樓閣式塔又一式樣，如河北正定縣隆興寺西的天寧寺塔。唐代磚塔建築技術的成就，充分表現出我國古代高層建築技術水平的提高和進步。

四、世界上最早的大型敞肩拱橋——安濟橋

河北趙縣城南洨河上橫臥著一座石橋，跨大弧平，姿態優美，這就是我國現存最古老的安濟橋，又名趙州橋、大石橋等。隋代中期（五九一年至五九九年）由工匠李春主持設計建造，設計獨具匠心，創造奇特。橋長五十點八二米，寬九點六米，跨徑三十七點零二米，淨跨度才只七點三二米，屬於「坦拱橋」。李春根據橋址的自然地理條件，爲了減低橋樑坡度，便利陸上交通，而改變了石拱橋多用半圓形拱的傳統，大膽地提出割圓式（即圓弧的一段）橋樑方案，因爲該橋的巨型跨度在橋樑建築史上獨樹一幟，所以在古代占有領先地位。更有高明之處，在主跨兩肩上各造兩小拱，因稱「敞肩拱」，其好處如唐中書令張嘉貞《安濟橋銘》所說，其「兩涯嵌四穴，蓋以殺怒水之蕩突，雖懷山而固護焉」。這是世界「敞肩拱」橋樑的開端。這種橋樑歐洲十四世紀開始發現，直到十九世紀中葉以後才盛行^①。安濟橋建造時選擇承受力較大的多年沖積而成的土層作爲天然地基，橋臺以五層石板鋪築，在橋臺與橋腳聯接處以及上部結構，均採用多種鐵件加固，主橋由二十八道鐵圈並列砌築而成，拱石間是以腰鐵相連，橫圈間並用九根鑄鐵拉桿橫貫拱背，加強橫向連結。從建築工藝看，拱券的砌築採取「縱向並列法」，即一圈一圈砌築，內二十八圈合成一拱，這樣減少了橋面對拱架的壓力，又使工程簡化，節約開支，體現出工藝上的先進性。再從欄板望柱等雕刻看，張嘉貞銘文說「其欄檻華柱，錘斫龍獸之狀。蟠繞拿踞，眈眈翕

歛，若飛若動」。總之，安濟橋無論在結構上、技術技巧和藝術方面的造詣都達到了完美的程度，由於設計和施工嚴格精密，「奇巧固護，甲於天下」，它永遠向世界顯示出中國古代橋樑建築技術上所取得的輝煌成就。

第十一節 貿易往來和中外科學技術交流

隋唐以來，中國同周邊國家的交流不斷擴大。與朝鮮、日本等東亞國家的交往密切，同時通過漢代開闢的「絲綢之路」，我國與中亞、南亞、伊朗、阿拉伯直至歐洲都保持著更加頻繁的聯繫，經貿和科技文化交流日益發展。唐代的造船技術和天文航海技術已進一步熟練和進步，促進了隋唐航海事業的發展，海上航路繼續得到擴展。隋唐時期，中外貿易交流活躍，中國出口的商品以絲織品為大宗，還有瓷器、紙張和工藝品等，進口商品有香料、藥材、珠寶、玻璃器皿、紡織品以及特有的動植物品種等。當時許多外商來中國經商，長安、洛陽、揚州、廣州等都市成為外商聚集的地方，也是當時重要的國際貿易都市。伴隨著各國間的密切交往，科學和技術的交流也得到了進一步的發展。一方面當時處於世界領先地位的中國科學技術成就向外傳播，對世界科學技術和文明作出了應有的貢獻，同時在交往中又吸收了各國各民族先進的科學技術成果，充實了中國文明的寶庫。唐代中外科技交流盛況空前，一直為世界各國史學界稱道。日本著名史學家

井上清教授在談到唐代日本學習中國文化時說「唐朝的文化是（與）印度、阿拉伯和以此為媒介甚至和西歐的文化都有交流的世界性文化，所以學習唐朝也就間接地學習世界文化」¹⁹。

中國與朝鮮山水相連，交往密切。唐代的醫藥、紡織品、造紙技術的新工藝傳到了朝鮮，新羅統一朝鮮後，兩國關係更加密切，新羅的工藝品、牛黃、人參、海豹皮、納綢等也大量輸入中國。唐朝的科技文化對新羅有著很大影響，天文、曆法、算書、醫書等大量書籍輸入朝鮮。新羅統一前後都派留學生來唐，開成五年（八四〇年）新羅留學生和其他人員回國就有一百零五人。七、八世紀後，吸收了唐朝的教育制度，在「國學」設立算學科，隋唐長安城的建設規模布局和寺院建築技術也都傳入朝鮮，為朝鮮所吸收、仿效。

日本在通過朝鮮與中國進行間接交往的同時，也加強了同中國的直接聯繫。七世紀中葉，日本以大唐國為楷模建立法制完備的天皇制國家的大化革新進行以後，中日兩國之間的經濟、文化和科技交流進入了一個高潮時期。奈良時代的日本統治者極其熱衷於吸收中國文化。唐代日本共派了十九次遣唐使，有大批的留學生和學問僧隨行來中國，把唐朝的政治、經濟、文化、科學技術成就及時地介紹到日本，大量的中國書籍也進入日本，如《周髀》、《九章》等十部算經及其他算書，有天文著作四百六十一卷，各種曆法、醫學著作一千三百零九卷，還有不少農書如《齊民要術》。南北朝隋唐時期的曆法在日本連續使用近一千一百年之久²⁰。八世紀時，日本仿效唐國子監的教育制度，設有算學和醫學，並規定了必修的教材，學習年限和考試方法等，日本的飛鳥、

奈良時代的都城，如藤原京、平城京都仿效唐長安城、洛陽城而建設，寺院也是仿效唐寺院型式而建成的，唐代高僧鑒真（六八八年至七六三年）於唐天寶年間應邀赴日，在奈良東大寺建築戒壇，傳授戒法，修建唐招提寺，傳布宗律，並將中國的建築、雕塑、醫藥等介紹到日本，為中日兩國文化交流作出了卓越貢獻。另外，中國的漏刻、測影等儀器、造紙法、印刷術、製水車、茶種、瓷器、銅鏡、兵器等技術都在唐時傳入日本。

中國與毗鄰的文明古國印度之間的交往非常密切。不少僧人互相往返，兩國學術文化交流廣泛。大約在六世紀，印度創立了位置制數碼（即現代通用的印度——阿拉伯數碼的前身），建立了土盤算術，而印度的位置制、土盤算術都似乎受到中國籌算方法的影響。其他如分數、弓形面積、球體積、勾股問題、圓周率、一次同餘式、開方法、重差術等方面也都可以找到中國數學的痕跡^④。中國最早創立的十進位置制記數法和在此基礎上的各種運算方法，經印度、阿拉伯國家西傳，這是中國古代數學對世界數學乃至人類文明的偉大貢獻之一。印度的天文學和數學也傳入到我國，據《隋書·經籍志》所錄，天文類有《婆羅門天文經》二十卷、《婆羅門竭伽仙人天文說》三十卷等，曆算類有《婆羅門算法》三卷、《婆羅門陰陽算曆》一卷、《婆羅門算經》三卷。開元六年（七一八年），曾在唐司天監工作的印度天文學家瞿曇悉達奉詔將印度的九執曆譯成漢文，貞元時譯有《都利聿書經》二卷。印度的醫學和醫學著作隨佛經的翻譯也傳入我國，對我國有較大影響。葛洪、孫思邈等的百一生病說，就來源於佛教醫學學說。特別是印度眼科的傳入，促進了我

國眼科治療的發展。印度的外科催眼術、心理治療、按摩法和醫方也都介紹到我國。同時我國的藥物如人蔘、當歸、遠志、麻黃等都進入印度，被稱爲「神州上藥」。此外，唐時的紙張和煉丹術、紡織品等繼續傳入印度；印度的植物、地圖及製糖技術也傳入我國。中國的佛教建築，更是匯融了中印建築的精華於一體。

中國與中亞、西亞各國間的交流也很久遠，通過陸上的「絲綢之路」和海上交通把大宗的絲織品等輸入中亞、西亞，並轉運到非洲和歐洲。這時，波斯已掌握了絲織技術，能織造品質優良的「波斯錦」，並且輸入中國，被我國吸收，織出了具有波斯圖案的絲織品。唐代時，阿拉伯伊羅斯城（今吉爾吉斯境內），兵士被俘，其中有不少造紙、紡織工匠，中國的造紙術和紡織術就通過他們傳到了阿拉伯，進而傳入歐洲，爲阿拉伯發展當地的絲織業作出了貢獻。同時，阿拉伯的「猛火油」（即煤油）、波稜菜（菠菜）、酢菜、渾提蔥等也在唐時傳入中國。在醫學方面，中阿也不斷互相交流，取長補短。中國的脈學傳入阿拉伯，阿拉伯醫學經典著作《醫典》就有中國醫學家關於脈學、糖尿病、麻疹及多種中國藥物的記載或反映。同時，中、西亞各國的乳香、沒藥、血竭、木香等許多藥物、一些藥方及醫藥著作也大量輸入中國，對中國醫學的發展作出了貢獻。唐貞觀十七年（六四三年），東羅馬帝國遣使來唐，帶來赤玻璃、石綠、金精等物，唐太宗贈送了綾綺，中國與東羅馬帝國建立了直接來往關係。這時期，中國的絲織品仍大量通過波斯

和阿拉伯進入羅馬帝國，羅馬的眼科手術或放血療法等醫療技術和醫藥也傳入了中國。

總之，隋唐時期的中外貿易及科技文化交流促進了中國和世界中心世紀經濟文化的發展和科學技術的進步，它既說明了中國的文明是世界文明的一個重要組成部分，也反映了世界其他地區的文明對中國的發展有一定的影響。

第十二節 柳宗元、劉禹錫及其自然觀

唐代唯物主義思想家，在同唯心主義的鬥爭中繼承了王充、范鎮的唯物主義理論和鬥爭精神，豐富和發展了中國古代唯物主義思想體系，其中以中唐時期的柳宗元和劉禹錫為傑出代表，他們在與韓愈所宣揚的天命觀以及佛、道有神論的鬥爭中，發展了中國古代唯物主義自然觀。

一、柳宗元及其自然觀

柳宗元（七七三至八一九年），字子厚，河東（今山西省永濟縣）人，唐中期著名的思想家、文學家、教育家，他二十一歲考中進士，便廣事交遊，顯示出淵博的學識和驚人的才華，力圖在政治、經濟、軍事等方面進行改革，因失敗被貶，後又改任柳州刺史。柳宗元繼承和發展了荀況、王充的樸素唯物主義論，在王充的元氣說的基礎上，論證了宇宙是由元氣形成的，不存在

任何有意志的主宰宇宙的東西，從而駁斥了天有意志、能賞功罰過的謬論。他的有關自然觀的理論集中反映在《天說》、《答劉禹錫〈天論〉書》、《天對》之中。如他在《天對》中說：「龐昧革化，惟元氣存，而何爲焉？」意即在初始的渾沌狀態中，只有元氣在運動、發展、變化著，不存在什麼造物主。物質世界的運動變化是由於陰陽二氣的對立統一、交叉滲透和運動變化的結果，陰陽二氣的無窮運動，有合有離，相互排斥，就構成了整個宇宙，這是對天地生成機制的思辯性推測。柳宗元的這種含有樸素辯證法的唯物自然觀，又吸收了當時自然科學的成就，從天文到地理，對物質世界的運動變化作了唯物主義解釋，在他看來，日月的運行、星辰布列都是自然的過程，天氣陰晴是由陰陽二氣作用而成。山崩地震是自然現象，這些都是不以人們的意志爲轉移的，根本不受什麼神明所左右。

二、劉禹錫及其自然觀

劉禹錫（七七二——八四二年），字夢得，河南洛陽人，唐代文學家、哲學家。唐順宗永貞元年（八〇五年）與柳宗元等參加王叔文革新集團，失敗後貶爲朗州司馬、連州刺史等。劉禹錫繼承了荀子以來的唯物主義自然觀，他以自然科學爲根據，補充了柳宗元的自然觀，其思想集中在他的《天論》上、中、下三篇中。劉禹錫認爲整個自然界充滿著有形的物質實體，天地之內不存在無形的東西，他批駁了魏晉玄學和佛教、道教關於「空」、「無」是宇宙本原的理論，認爲

「空」是一種特殊的物質形態，不能超越物質形態而獨立存在。這是對中國古代唯物主義自然觀的重大發展。在關於宇宙萬物的生成和發展方面，劉禹錫認為整個宇宙存在的基礎是物質性的「氣」，清濁二氣的變化、陰陽二氣的作用，促成萬物生長。而且他還認識到客觀世界的發展變化是遵循一定規律的，「以理揆之，萬物一貫也」、「夫物之合併，必有數存乎其間焉，數存，然後勢形乎其間焉」。這裏的「理」指事物之原理、原則，「數」指事物發展的規律，「勢」指事物發展的必然性，說明了宇宙萬物在互相矛盾和互相依存中無窮運動變化發展的規律。他據此創造性地提出了天與人「交相勝」、「還相用」的關係學說。劉禹錫在其《天論》上篇中說：「天之所能者，生萬物也，人之所能者，治萬物也」。指出天和入各有各的職能，自然界遵循其固有規律，使萬物生長變化，不干預人世的治亂；人則運用其特殊的能力，利用和改造自然界，但也不能干預天的「寒暑」，不能改變自然規律。劉禹錫還提出「天非務勝乎人」，而「人誠務勝乎天」，因為「天無私，故人可務乎勝也」，天之所能「勝人」，是自然的特性，人卻是有意識地「勝天」，能自覺地改變無意識的自然界。劉禹錫這一思想一方面反對了天人感應的目的論，另一方面又強調了人的自覺能动性。另外，他還對宗教迷信產生的社會根源和認識根源作了較深刻的論述，對中國古代唯物主義無神論思想理論作出了貢獻。

總之，柳宗元和劉禹錫的學說，閃爍著樸素辯證唯物主義的光輝，把中國古代關於唯物論自然觀的理論提高到一個新的水平。

註釋

- ① 劉昫等撰：《舊唐書·一行傳》，中華書局，一九七五年。
- ② ③ 唐玄宗撰：《唐六典》卷二十一，中華書局，一九八三年。
- ④ 劉昫等撰：《舊唐書·李淳風傳》，中華書局，一九七五年。
- ⑤ ⑥ 唐·魏徵等撰：《隋書·食貨志》，中華書局，一九七三年。
- ⑦ 參見中國農業科學院等編著：《中國農學史》。
- ⑧ ① 唐·杜佑撰：《通典》卷二《食貨二·屯田》，中華書局，一九八四年。
- ⑨ ⑩ 《冊府元龜》卷五〇五《邦計部·屯田》。
- ⑪ 劉昫等撰：《舊唐書·孫思邈傳》，中華書局，一九七五年。
- ⑫ 唐·魏徵等撰：《隋書·經籍志》，中華書局，一九七三年。
- ⑬ 見陳維稷主編：《中國紡織科學技術史》古代部分，第二九〇頁。
- ⑭ 見吳敏：《吐魯番出土絲織物中的唐代印染》載《文物》，一九七三年十期。
- ⑮ 李約瑟：《中國科學技術史》中譯本第五卷，第三八五頁。
- ⑯ 轉引自張秀民：《中國印刷術的發明及其影響》。

- ⑮ 參見梁思成：《趙縣大石橋即安濟橋》載《梁思成文集》第一冊。
- ⑯ 日·井上清：《日本歷史》，天津人民出版社，一九七四年。
- ⑰ 參見日本學士院編：《明治前日本天文學史》，第二四二至二五〇頁。
- ⑱ 參見李約瑟：《中國科學技術史》中譯本第三卷，第三三三至三三三頁。

第六章 宋遼金元時期

第一節 宋元時期的科學技術與社會

公元九六〇年，宋太祖趙匡胤發動陳橋驛兵變，皇袍加身，建立宋朝，史稱北宋。一一二七年，北宋都城汴京（今河南開封）被金人攻陷，宋王室南渡，建都臨安（今浙江杭州），建立了南宋王朝。兩宋朝統治時期，契丹、黨項、女真和蒙古等少數民族的統治者，曾分別在中國北方建立了遼、西夏、金和元政權。宋元時期是個民族關係極為複雜，社會經濟高度發展，文化思想十分活躍的時期，也是中國傳統科學技術發展的鼎盛時期。而正是科學技術與社會的相互作用，把宋元時期的歷史演繹得精彩紛呈。

一、民族衝突與融合下的科學技術

遼宋金元時期的歷史，給人印象最深的莫過於戰爭。從北宋建立之日起，它的北部邊境就一直不斷地受到外族的侵擾，迫使宋王朝一再與之簽訂城下之盟，而這些新崛起的少數民族政權之間也展開了曠日持久的戰爭，戰爭使用的武器已由單純的冷兵器過渡到冷兵器與火藥武器併用的時代，軍事的較量也不僅僅侷限於陸地，而且也在水上展開，戰爭直接促進了火藥和火器，乃至冶金、造船技術的進步。同時戰爭的需要也促進了數學等學科的發展，當時的一些數學家開始討論一些與軍事有關的問題，如秦九韶《數書九章》中就有「軍旅類」的問題，討論軍營布置、供應等軍事數學問題。而這類問題在數學經典《九章算術》中是沒有的。戰爭還直接推動了醫學的發展，金元醫學四大家的出現就與戰爭有著密切的關係。如李杲生活的時代，正是金朝滅亡的前後，戰火烽煙連年不斷。天興元年（一一三二年），壬辰之亂，汴京城被圍數月，城中彈盡糧絕，以至人相食。之後疫病流行，五十天內，各門送出死者達九十萬人，李杲親眼目睹了，解圍之後，都人不受病者萬無一二，既病而死者，繼踵而不絕。都城有十二座門，每日各門送出者多至二千，少者不下一千。這一慘狀，他認為這主要是由於城困民飢，脾胃受傷所致。他著《脾胃論》一書。認為「人以脾胃為本」，「百病皆由脾胃衰而生」，主張增強人的脾胃功能。由於五臟之中的脾胃對應五行中的土，所以被稱之為「補土派」。

民族衝突的過程也是民族融合的過程，這就是所謂的「不打不相識」。在民族融合的過程中，科學技術的交流也是其中的重要組成部分。西瓜的傳人就是一個典型的例子。西瓜原產於非

洲，後來傳到了中亞和印度等地，並進入中國的新疆地區，五代末年，契丹破回鶻，得到了西瓜，然後契丹人又把西瓜種植法傳到了漢族地區^①。當時從西域地區傳人的不光有農作物，還有技術性的東西，如淳熙九年（一一八二年），朝廷把回回炮的樣下發給沿邊州郡，命令各地依樣製造，在仿製的過程中，炮工們又加以改進，造出了性能更好的火炮^②。

在漢族人民吸收周邊各民族一些先進的科學與技術知識和物質文明的同時，一些少數民族的知識分子也在吸收了先進了漢族科學與技術文明的同時，直接為宋元時期科學與技術的發展做出了自己的貢獻。特別是在元朝這樣一個地跨歐亞的大帝國裡，許多民族都統一到了元朝的版圖之下，各民族之間的科學與技術交流也更加活躍，少數民族學者對於科學與技術的貢獻愈顯突出。耶律楚材和魯明善就是其中的例子。

耶律楚材，字晉卿，號玉泉，法號湛然居士，是契丹人，為遼太祖之長子、遼東丹王的八世孫。他博極羣書，善詩能文，通曉經史、天文、地理、律曆、術數、醫卜等學，曾做為醫卜星相的方面的顧問，隨成吉思汗大軍遠征西域（一二一九年），其間他曾撰獻一部《西征庚午元曆》。書中創立了「里差」的概念，並以此計算因兩地東西距離差距而造成的時間改正。這實際上是「地理經度」概念在中國的首次提出。數十年後，蘇天爵據此提出了地方時的概念，認為中原和西域的時辰不同，中原的「子正」實為西域的「初更」。楚律楚材還研究過西域的回紇曆，認為回紇曆推算行星運動比中原曆法精密，於是作《麻荅把曆》，惜已失傳。西域東歸之後，他又作了

《西遊錄》一書。這也是紀述天山以北和楚河、錫爾河、阿姆河之間歷史地理最早、最重要的書籍之一。後來他又擔任了元朝的中書令。在以後的幾十年間，作爲一位傑出的政治家，耶律楚材爲蒙古統治集團接受漢文化，緩和民族矛盾，恢復元初的社會經濟，發展農業生產及統一中原地區做出卓越的貢獻。

魯明善，字鐵柱，維吾爾族人，後來在全國各地做官，就在他壽州（今安徽壽縣）任職期間，寫成了一本月令體農書，即《農桑衣食撮要》，是書「凡天時、地利之宜，種植、斂藏之法，織悉無遺。」書中總結了各族人民的生產經驗，其中也介紹了一些西北少數民族的農牧業生產經驗，如，二月「插葡萄」，五月「造酥油」、「曬乾酪」以及十二月「收羊種」等內容。

各民族之間的科技文化交流，也改變了人們固有的觀念，促進了科技的發展。如，正確的風土觀的形成，就與各地物產的交流分不開。元代官修農書《農桑輯要》中，就以當時甘蔗和茶葉等的引種成功爲例，認爲不同的風土條件下是可以引種的。書中說：「蓋不知中國之物，出於異方者非一，以古言之，胡桃、西瓜，是不產於流沙蔥嶺之外乎？以今言之，甘蔗、茗芽，是不產於牂柯（漢代的郡名，在今貴州省西北）、邛（漢代的郡名，四川省西昌一帶）、笮（漢代的郡名，四川省漢源縣）之表乎？然皆爲中國珍用，奚獨至於麻棉而疑之！」這種觀念對於棉花種植和棉紡織業在中國的普及起到了積極的作用，同時也爲棉花種植技術和紡織技術的進步奠定基礎。

因。吸收各民族先進的技術，加以改進和完善，這正是宋元時期科學與技術發展的一個重要的原因。

二、政府與科技

出於政治、經濟和軍事等方面的需要，宋元時期，政府對於科技發明創造較為重視，並給予獎勵，有時政府還出面進行科技推廣。

宋代在獎勵和推廣科技方面做得非常突出。公元九七〇年，兵部令史馮繼昇進火藥法，賜衣物束；後來又有神衛水軍隊長唐福獻火器，造船務匠項縮獻海戰船式，各賜緡錢；石歸宋獻弩箭，增月俸；焦偃獻盤鐵槊，遷本軍使；郭諮造戰車、弓弩，除鈐轄等等。又如木工高宣設計製造八車船，受到讚賞；水工高超和主持人王亨創新法防洪有功，受賞賜；僧懷丙打撈鐵牛成功，賜紫衣。有的發明創造並能及時加以推廣，如沈括製木圖，詔邊州仿製。而各種新式船型創造以後，往往降下船樣，命沿江沿海各州仿造。有關國防方面的科技發明創造更是這樣，由於號召軍民陳述軍器利害，於是「吏民獻器械法式者甚衆。」^③

政府還通過印刷發科技書籍來促進科技的發展。如天禧四年（一〇二〇年）宋真宗下詔刻唐韓鄂《四時纂要》及《齊民要術》二書，「以賜勸農使者」。這可能是這兩本書的最早刻本。又元豐七年（一〇八四年）北宋政府印刷發行了《九章算術》等漢唐間的古算術。由當時的「秘書省」

來負責進行的。這是印刷本數學書籍在中國的最早出現，也是世界上最早的印刷本數學書。這些書曾用來作為「國子監算學科」的教科書。

宋代政府在農業推廣方面的工作尤其值得稱道。政府對於作物及其品種十分重視，宋太宗曾下詔令江南、兩浙、荊湖、嶺南、福建諸路州郡的稻農，雜植粟、麥、黍、豆等旱地作物，江北諸州的旱農則令廣種水稻。宋真宗大中祥符年間還曾下令從福建調運早熟、耐旱、不擇地而生，且能擇高仰之地種植的占城稻種給江淮、兩浙等地區，以備乾旱^④。真宗還曾引種西天綠豆^⑤。當時一些地方政府官員也在不遺力地進行農業推廣。作物的引進和推廣對農業生產和農業技術的發展產生了巨大的影響。以占城稻為例，占城稻引種到長江流域以後，不僅促進了當地早熟稻的發展^⑥，同時也為梯田的發展準備了適宜的作物。兩宋時期，江西、福建、湖南等地都有大片的梯田分布。為了適應梯田灌溉的需要，宋元時期發明了「高轉筒車」^⑦、「水轉高車」，這種灌溉工具的發明，使得「如田高岸深，或田在山上，皆可及之。」^⑧與此同時，人們還再想出一些更好的辦法來規劃和利用梯田，《陳勇農書》中的「地勢之宜篇」即對梯田的利用做出了很好的規劃。

宋政府也熱衷於新式農具的推廣，宋淳化年間，「太子中允武允成獻踏犁，運以人力，即分命秘書丞、直史館陳堯叟等即其州，依式製造給民。」^⑨所有這些都反映了政府對於農業和農業技術的重視。

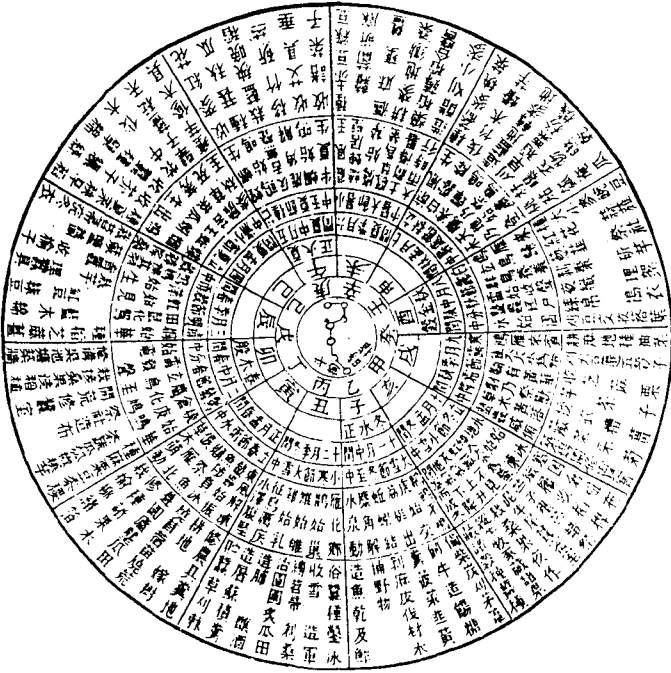
蒙古族進入中原地區之初，農業受到暫時的破壞，一些王公大人或軍官，曾大規模地「據民田爲牧地」，後來在耶律楚材等人的影響下，他們認識到農業生產的重要性之後，就逐步改變了這種做法，元世祖就曾多次下詔諸王貴族不得因田獵踐踏田畝和不得將田畝改牧場。爲了恢復農業生產，元世祖在中統二年（一二六一年）設立勸農司，至元七年（一二七〇年）設立司農司，至元二十三年（一二八六年）元政府向所屬各州縣頒行官修農書《農桑輯要》，二十六年（一二八九年）又於江南設行大司農司及營田司。這些措施對於元朝經濟的恢復和發展起到積極的作用。元朝政府還曾向北方大力推廣棉花和苧麻種植。爲了消除人們對於異地引種的錯誤認識，《農桑輯要》中還收錄了「論九穀風土及種時時月」和「論苧麻木棉」兩篇，以闡述政府對於風土的正確立場。這些都反映了政府對於科技的重視。

三、經濟對於科學技術的影響

宋元時期，是中國封建經濟繼續得到發展的時期。經濟的發展不僅爲科技的發展提供了可能，而且還爲科技的發展提出了需要。以農業爲例，宋元時期迫於人口壓力，不斷地與水爭田，與山爭地，使得耕地面積迅速增加，這些新增農田由於其特殊的地理位置，在形狀和面積上經常發生改變，如何來計算這些新增的農田面積，以便於政府的稅收管理也就成爲數學家們所關心的問題，於是在南宋秦九韶所著的《數書九章》中就有「田域類」這樣的一些問題，專門計算土地面

積，其中多數又涉及圍田、沙田等農田面積的計算^⑨。

經濟的發展，特別是農業生產的發展對於天文曆法提出了很高的要求。因為許多農事活動都是依據於曆法來安排的。但由於中國古代使用的曆法是陰陽合曆，由於陰曆年與回歸年之間的長度不同，因而有時會出現「或氣（陽曆）至而時（陰曆）未至，或時至而氣未至」^⑩的現象，即所謂「氣候有盈縮踦贏之度，陰陽消長有太過不及之差」，這就必然給農事安排帶來一定困難。如宋代江南稻區，在水稻播種時，就「多見人才暖便下種，不測其節候尚寒，忽為暴寒所折，芽蘗凍爛窶臭。其苗田已不復可下種，乃始別擇白田以為秧地，未免忽略。如此失者十常三四。」^⑪此種損失之所以產生，很大程度上都是由於陰陽曆之間的矛盾所致。因為農民主要是按月行事，月令體農書即是為此服務的。而氣候則主要是受太陽運動支配。為了解決這一矛盾，制定出符合農業生產實際的曆法，沈括就提出了以二十四節氣定曆的主張，「用十二氣為一年，更不用十二月，直以立春之日為孟春之一日，驚蟄為仲春之一日，大盡三十日，歲歲齊盡，永無潤除。」^⑫基於同樣的思想，元代王禎發明了「授時指掌活法之圖」，「以交立春節為正月，交立夏節為四月，交立秋節為七月，交立冬節為十月。」^⑬沈括和王禎的一個基本思想，就是要以陽曆，取代陰曆，而陽曆較之於陰曆要難於掌握，而且還要涉及到許多問題，就連王禎自己也認為這個以陽曆為基礎所繪製的「授時圖」並非功德圓滿，「若夫遠近寒暖之漸殊，正閏常變之或異，又當推測晷度，斟酌先後，庶幾人與天合，物乘氣至，則生養之節，不至差謬。」由於農業



授時之圖

生產具有嚴格的季節性，最佳播種期往往只有幾天，這就要求對「節氣」，農民稱之為「日子」，做出精益求精的推求。這又促進了數學的發展。宋元時期許多數學成就的取得與天文學有著直接的關係。

隨著農業的發展，在北宋，獨立手工者的數量較前代加多了，礦冶、製瓷、絲織和造紙等手工業部門的發展都十分顯著。這些手工業的發展本身就是科學與技術進步的產物，同時又極大促進了科學與技術的發展。煤炭的大量開採為鋼鐵冶煉使用煤炭燃料提供了可能。印刷業的發達，又為科學普及創造了條件。宋元時期印刷的書籍除了如

《大藏經》一類的經書之外，還用來印刷農學、數學和醫學等方面的書籍。但當時所盛行的還是雕板印刷，爲了滿足印刷業發展的需要，於是有了活字印刷術的發明。王禎創製木活字的動機就是爲了印刷他所撰著的《農書》。

商業的發展也影響著科學與技術的進步。這在算書中也有反映，《數書九章》中即有「市易類」問題討論商業貿易中利息的計算等問題。而交易的日趨頻繁，人們要求一些更爲簡便的計算方法，甚至是簡便的運算工具，宋代已出現了算盤，這已在《清明上河圖》所展現的繁忙的生意場面運用，而各種簡捷的算法在楊輝算書中有較爲充分的反映。

商業的發展最直接的影響就是城市的繁榮。而城市的繁榮又給建築業和建築技術的發展提供了廣闊的空間。宋元時期先後創建和修築了不少城市，如遼有上京、中京、南京；金有上都、中都；元有上都、大都；宋有東京、臨安；西夏則建造了黑城。其它如紹興、揚州、蘇州、長沙、福州等城市也都有所發展，廣州和泉州是海外貿易中心，不僅經濟發達，而且居住著許多外籍商人，他們集中居住的地方稱爲「番坊」。適應商業經濟的發展，一些政治中心城市建設，呈現了政治中心和工商業城市相結合的特點。東京市內出現了兩側布列店鋪的商業街和通宵達旦的貿易市場。臨安城裡有臨街的用作酒店的「市樓」，有數以千計的臨水而建的「湖房」，這些湖房大多用作商業性貨棧，經銷來自四面八方的貨物。

城市的發展還促進了觀賞植物學的發展。城市生活使人們脫離了大自然，也產生了一些有錢

又有閒的士大夫階級，爲了滿足這部分重返自然的心理需求，一些觀賞植物受到人們的親睞，這種情形在唐朝已有所抬頭，在宋代大盛，如洛陽城中，每到春天不分貴賤皆插花，就是推車挑擔者也不例外，至牡丹花開，競相前往觀賞¹⁴。揚州人愛芍藥也像洛陽人愛牡丹一樣。而杭州花事更盛，仲春時節「景色明媚，花事方殷，正是公子王孫，五陵少年，賞心樂事之時，詎宜虛度，至如貧者，亦解質借兌，帶妻挾子，竟日嬉遊，不醉不歸。」¹⁵這種情形促進了花卉栽培的發展，在一些城近郊區，花卉生產的規模很大，一些花農爲了趕季節想出了許多促成栽培方法，其中最有名的是南宋臨安馬塍所創造的堂花法。通過溫度和濕度的控制，促使花卉提前開放¹⁶。花卉事業的發展也爲各種諸如「牡丹記」、「芍藥譜」之類的花譜著作的出現奠定了基礎。

作爲宋元經濟發展的一個重要特徵，經濟重心的南移也對中國科學技術的發展產生巨大的影響。宋元時期，不僅在一些科學著作中開始反映南方的科學與技術成就的內容增加，一些在科學上有所貢獻的人物也出自南方，如作爲對外貿易的中心之一的福建泉州，在宋初時即出現了像曾公亮和蘇頌這樣著名的在科學上做出成就的學者，又如宋朝著名的學者沈括和算書作者楊輝則出自錢塘（今浙江杭州）。南方的一些地區甚至還形成了自己的學派，如兩宋時期，在今江西撫州地區就形成了著名的盱江醫學¹⁷。明清以後，這種趨勢更是不可逆轉，南方成爲中國科學技術的發展中心，一些在科學技術上有重大成就的知識分子大多出現在南方，如李時珍、徐弘祖、徐光啟、宋應星等等都出自南方。而這種趨勢正是從宋元時期開始的。

四、對外貿易與科學技術交流

造船技術的發展，指南針的使用和航海技術的進步，促進了中外科學與技術交流的發展。中國在引進各種「番物」^⑮的同時，也在吸收各國先進的科學、技術與文明。宋元時期，一改漢唐以來以陸路爲主的對外交流，變爲海上陸上同時交流。著名的水稻品種「占城稻」就可能是通過海路首先引種到福建的。占城稻因其產地占城（今越南中南部）而得名，宋真宗大中祥符年間，因江淮兩浙一帶，稍旱即水田不收，遣使到福建引占城稻種三萬斛，發給上述地區播種，占城稻以其早熟而又耐旱的特點，很快適應了水稻生產發展的需要，對中國稻作產生了重大的影響。^⑯南宋時期，還曾從高麗引進一種名爲「黃粒稻」的水稻品種到池州地區種植。到了元代，由於其疆域遼闊，一些西北邊疆，乃至中亞地區也都成爲元朝西域的一部分，當地的人士紛紛進入中原地區經商、行醫，乃至做官，促進了內地與邊疆，乃至中外之間的科學與技術文化交流。

在中外的科學與技術交流中，又以阿拉伯伊斯蘭國家對中國的影響最大。其影響可從以下幾個方面看出：

在天文、曆法和地學方面，要提到的是扎馬魯丁（Jamāl al-Dīn）。扎馬魯丁是元代的所謂西域人，其真實國籍有兩種說法，一種認爲他是波斯馬拉蓋城（今屬伊朗）人，另一種則認爲他可能是中亞細亞的布哈拉（今屬烏茲別克共和國）人。據《元史·百官志》記載，元世祖忽必烈

尚未登位時，曾徵召回回天文學家爲他服務，扎馬魯丁等人於一二五九年，或更早些的時候來到元朝廷，此後數十年扎馬魯丁在中國從事過衆多的與天文曆法有關的科學活動。至元四年（一二六七年）造西域儀像七件，同年撰進《萬年曆》。有人認爲，後來郭守敬對渾儀的簡化及所制簡儀中採用的三百六十度分劃制、窺衡、圓室以及元明兩代修建的晷影堂等，都有可能受了扎馬魯丁製成的西域儀象的啟發。這是後話。至元八年，建成召回司天台，負責編印回曆供政府頒發。扎馬魯丁任提點，司天台內藏有西域文字的天文學和數學書籍，其中包括托勒玫（Ptolemy）的《天文學大成》（Almagest）、歐幾里得（Euclid）的《幾何原本》（Elements）等二十三種。至元十年（一二七三年），兼任秘書監的兩名長官之一，至元二十二年（一二八五年），他向忽必烈提出了編纂全國地理圖誌的建議，後來這項工作在扎馬魯丁的領導下進行，它的成果就是七百五十五卷本的《元一統志》。同年，他還把波斯的紡織技術帶到了中國。

在數學方面，阿拉伯數碼以及阿拉伯國家通用的「土盤算法」^①傳入中國，同時傳入的還有許多阿拉伯文的數字著作，如現已失傳的《罕里連窟允解算法段目》三部、《呵些必牙諸般算法》八部、《兀忽烈的四擘算法段數》一十五部、《撒唯那罕答昔牙諸般算法段目並儀式》一十七部等。

在醫藥方面，元代設立的「廣惠司」，以阿拉伯的醫生治病，專用回回藥物，接著又設立了回回藥物院，專賣阿拉伯藥物，促進了《回回藥方》在中國的傳播。

而使人最能直接感受到阿拉伯文化影響的莫過於建築。由於阿拉伯人的大量來到中國，宋元

時期的廣州、泉州等地伊斯蘭教建築較前更加發展。北宋大中祥符初年，伊斯蘭教徒在泉州建立清真寺，完全是阿拉伯風格的建築。

阿拉伯在把自己先進的科學技術和文化傳到中國的同時，也將中國先進的科學技術和文化，如印刷術、指南針、火藥、鑄造、陶瓷、絲織等方面的技術，傳到了阿拉伯和整個西方世界，對世界科技的發展產生了巨大的影響。

宋元時期隨著中外交通往來頻繁，國際貿易和文化交流，也擴展了人們的地理視野，在相互往來中，對旅途實地考察與傳聞的記述，形成了許多重要的域外地理文獻。除前述耶律楚材及其所著的《西遊錄》之外，邱處機（一一四八至一二二七年）也曾西行到中亞，其隨行弟子李志常撰有《西遊記》，記述了他們往返三年的旅途見聞。又常德於一二五九年曾到波斯西北部，歷時五年，其隨行人員劉郁寫成《西使記》。這些著作都詳細記述了所經過的城市和沿途的地理情況。至於海上見聞，南宋周去非的《嶺外代答》和趙汝適的《諸蕃志》所記多得自傳聞；而周達觀和汪大淵的著述都來自親身經歷，周達觀隨使真臘（今柬埔寨）三年（一一九五至一二一九年），著《真臘風土記》，汪大淵更遊歷南海諸島及印度洋沿岸各國，撰《島夷志略》，詳實記述了沿途所見。

五、思想文化與科學技術

宋元時期，在思想文化領域裡出現的最大的精神成果便是理學的形成。雖然他們的目的在於

「窮天理、明人倫、講聖言、通世故」^①，關注的是社會問題，但他們提出了「格物致知」、「即物窮理」的口號，並運用於自身的實踐當中，對於自然科學，特別是宇宙理論也產生了一定的影響。他們的代表人物有張載（一〇二〇至一〇七七年）、程顥（一〇三二至一〇八五年）、程頤（一〇三三至一一〇七年）、朱熹（一一三〇至一二〇〇年）和陸九淵（一一三九至一九二二年）等。

宋元時期的這些理學家，並不是一些嚴重脫離實際的理論家，相反地他們都曾參加過一些生產實踐，對於生產技術也有一些自己的見解，他們的行為和他們的見解對於後人也產生了一定的影響。如朱熹在任南康軍（今江西省星子縣）地方官時，針對當地農業生產中存在的技術問題，發布了勸農文，提出了一系列相應的技術措施。如在耕作方面，他提出：「秋間收成之後，須趁冬月以前，便將戶下所有田段一例犁翻，凍令酥脆，至正月以後更多著遍數，節次犁耙，然後播種，自然田泥深熟，土肉肥厚，種禾易長，盛水難乾」。在栽培方面，他指出：「秧苗既長，便須及時趁早栽插，莫令遲緩，過卻時節」，「禾苗既長稈，草亦生，須是放乾田水，仔細辨認，逐一拔出，踏在泥裡以培禾根，其膝畔斜生茅草之屬，亦須節次芟削，取令淨盡，免得分耗土力，侵害田苗，將來穀實必須繁盛堅好」^②。陸九淵對於水稻增產技術也有過自己的總結，他說「吾家治田，每用長大鏟頭，兩次鋤至二尺許深，一尺半許外方容秧一頭，久旱時田肉深，獨得不旱，以他處禾穗數之，每穗多不過八九十粒，少者三五十粒而已，以此處中禾數之，每穗少者

尚百二十粒，多者二百餘粒，每畝所收比他處一畝不啻數倍，蓋深耕易耨之法如此。」²³結果單位面積產量大大提高。

宋元時期的理學家們繼承和發展了元氣學說，認為宇宙萬物的本源是「氣」，並引入「聚」和「散」的概念，以說明客觀世界不同物質形態的形成、存在和變化。如，張載就認為萬物是由氣聚而形成的。而當氣散之後，萬物又變為無形的太虛，氣聚與氣散「是皆不得已而然也」²⁴，聚散的過程也就是動的過程，「動必有機」，運動變化是有原因的，且「動非自外」，原因在於事物的內部，為此，他又引進了事物內部為對立的兩端的概念，指出：「兩不立，則一不可見，一不可見，則兩之用息」²⁵。事物內部的對立是其「屈伸無方，運行不息」的真正原因。朱熹雖然主張「理在先，氣在後」，以為「雖未有物而已有物之理」，以為「理是本」，「理終為主」。但他又說天下沒有無氣之理，說氣不聚結則理亦無所附著。這種學說對於宋元時期的宇宙理論產生了影響。

宋元時期，對宇宙理論的有關問題作過生動而深刻的描述者不乏其人。如對於以地球為中心的天地的生成問題，朱熹就這樣說道：「天地初間，只是陰陽二氣。這個氣運行，磨來磨去，磨得急了，便拶許多渣滓，裡面無處出，便結個地在中央。氣之清者便為天、為日月、為星辰，只在外常周環運轉。地便只在中央不動，不是在下。」²⁶這裡提出了一個處於不停頓旋轉運動中的、由陰陽二氣組成的龐大氣團，由於磨擦和碰撞的作用、旋轉而引起的「渣滓」向中心聚攏的

機制以及清濁的差異等原因所造成的以地球爲中心，在其周圍形成天和日月星辰的天地生成說，從而給張載的「聚散說」提供了一個比較具體的說明，使之增添了力學性質。這是一種有價值的見解。它取消了張衡以來渾天家所謂地「載水而浮」，「天表裡有水」的嚴重缺欠，把渾天說的傳統理論提高到新的水平。

在這一理論之上，元代思想家更提出了天外有天，宇宙無限的理論。鄧牧（一二四七至一三〇六年）在其著作《伯牙琴》中說：「天地大也，其在虛空中不過一粟耳。虛空木也，天地猶果也。虛空國也，天地猶人也。一木所生，必非一果，一國所生，必非一人。謂天地之外，無復天地，豈通論耶？」元代時《琅環記》一書，則以有趣的問答，談到了類似的思想：「曰：人有彼此，天地亦有彼此乎？曰：人物無窮，天地亦無窮也。譬如蝸居人腹，不知是人之外更有人也。人在大地腹，不知天地之外，更有天地也。」他們都以通俗的比喻，闡明了天地之外更有天地，以及宇宙無窮的思想，把人類觀測到的「天地」，和無限宇宙「虛空」清楚地區別開來。《琅環記》還論及天地的生成與毀滅。它說：「姑射謫女問九天先生曰：天地毀乎？曰：天地亦物也，若物有毀，則天地焉獨不毀乎？曰：既有毀也，何當復成？曰：人亡於此，焉知不生於彼，天地毀於此，焉知不成於彼？」「至人坐觀天地，一成一毀，如林花之開謝耳，寧有既乎？」這既肯定了宇宙的物質性，又提出宇宙無始無終，和個別天地有始有終的對立對統一思想。這裡所說的「成」、「毀」同張載所說的「聚」、「散」，很有相似之處，是當時哲學思想在有關宇宙理論

中的反映。

第二節 宋元時期的技術科學

一、火藥和火器

爲了抵禦外敵，宋王朝非常關心武器的研究與生產，並設立了「軍器監」、「八作司」、「廣備攻城作」等專門的管理和生產武器的機構，火藥和火器的研製受到特別的重視。兵書的寫作也得到鼓勵，宋代的兵書甚多，據《宋史·藝文志》記載，共有三百四十七部，一千九百五十六卷，約爲唐代的六倍。其中最著名且流傳至今的當首推從曾公亮（九九八至一〇七八年）、丁度（九九〇至一〇五三年）等在一〇四〇至一〇四四年編著的《武經總要》四十卷。書中除了記載了各種冷兵器、築城與攻城器械、戰船、戰軍之外，還記載了中國最早的三個完整的火藥配方和第一批軍用火器。

《武經總要》所開列的三個配方是：火球火藥方、蒺藜火藥方和毒藥煙球火藥方。從這三個藥方中可以看出，宋元時期，火藥的配方中各種藥物的成份有了比較合理的定量配比，確切地說，是硝的含量增加了，硫、硝含量已由唐朝的一比一，增加到宋代的一比二，甚至一比三。同時，

還添加了各種少量輔助性配料，以達到易燃、易爆、放毒和製造煙幕等效果。

宋元時期的火炮形制各不相同，有紙製、陶製、鐵製等等。其中有名的要數北宋末年在抗金戰爭中使用的「霹靂炮」、「震天雷」等殺傷力較大的鐵製火炮。而最值得一提的是，管形火器的出現。管形火器最初是用竹管做的，故稱「條」或「筒」。一二三二年，陳規守德安時，用「長竹竿火槍二十餘條」²⁷，李曾伯也提到火槍和火箭，「如火箭則有九十五只，火槍則止有一百五十筒」²⁸。一二五九年，壽春府「造突火槍，以巨竹爲筒，內安子窠，如燒放，焰絕，然後子窠發出，如炮聲，遠聞百五十餘步。」²⁹到元代則已出現了銅製鑄火銃。管形火器一改過去火器以埋藏、放置，或用拋石機投射並引爆的方式，變爲以火藥的爆炸爲推動力的新式火器，而且已從發火燒人的火槍進步到內安子窠去殺傷敵人，並由於槍管對子彈的約束力，造就了一個較爲穩定的管內彈道，增加了管外彈道的穩定性，從而使射擊的命中率大大提高。管形火器的出現是兵器史上的一個重大突破，爲近代槍炮的不斷發展奠定了基礎。「子窠」是世界上最早的子彈。

二、造船技術

宋代造船技術的進步首先表現在於新船型的紛紛出現，許多新船型是爲軍事的目的而設計的，有名的車船即是如此。車船是現代輪船的始祖。它最初出現於唐代，是由李皋設計製造的。它有兩個輪槳，每側一個，用腳踩踏，帶動輪槳轉動，使船行駛，速度很快。宋代車船得到了很

大的發展，輪槳增多，從四輪到三十二輪不等。一一六一年，宋金之間所發生的著名的「采石之戰」中，宋軍就使用了車船，當它在長江上回轉如飛時，令金兵驚駭不已。宋代水軍配備的戰艦還有：海鰲、雙車、十掉、得勝、水哨馬、水飛馬、大飛旗捷、防沙平底等各種戰船。此外，官方船只有暖船、淺底屋子船、騰淺船、雙桅多槳船、大小八檣、海鶻船，以及破冰船、浚河船等特種船隻。民間船型更多，或以用途取名，或以形狀取名，或以設備取名，船型有千百種，名稱也有千百種。

適應遠洋航行的需要，還出現了巨型的海船，且船型也已定型，其中以福船、沙船和廣船最爲著名，被認爲是中國古代的三大船型。福船高大如樓，底尖上闊，首尾高昂，首尖尾方，兩側有護板，船艙是水密隔艙結構。尖首尖底便於破浪；底尖吃水深，穩定性好，並且容易轉舵改變航向，便於在狹小和多礁石的航道中航行。主要產於福建、浙江、廣東。沙船方首方尾，平底，俗稱「方艚」。甲板面寬敞，型深小，乾舷低，適宜於淺水航道中航行。船上採用大攏，大中型沙船每側有四到六根，從船首直壓到船尾，以增加結構的強度，可遠航。主要產於江蘇。廣船頭尖體長，梁拱小，甲板脊弧不高。船體的橫向結構用緊密的肋骨跟隔艙板構成，縱向強度依靠龍骨和大攏維持，結構堅固，有較好的適航性能和續航能力。主要產於廣東。中國古代的船型的定型標誌著造船技術趨於鼎盛。

這個時期，中國船的特點是在船艙中用隔艙板分隔成一個個的艙區，這一結構不僅便於貨物

的裝卸和管理，而且由於船艙被分隔開，一、二個船艙破損進水，並不影響船體的整体浮力，大大提高了船體的抗沉性和安全性。同時，由於隔艙板與船殼板之間的緊密釘合，增加了船體的橫向強度，起到了加固船體的作用³¹。這種設計工藝，在十八世紀末傳到了歐洲³²，至今已為世界各國船舶製造所採用。

三、指南針和航海

造船技術的進步，為航海事業奠定了基礎，而在大海上航行還有賴於指南針的發明。先秦時代，中國就有「先王立司南以端朝夕」記載³³，司南便是利用磁鐵的指極性所製造的一種指南儀器，朝夕指的是東西方位，通過司南來確定東西的方位，從而達到正四方的目的。漢代王充對「司南」有這樣的記載，「司南之杓，投之於地，其柢指南」³⁴。「司南之杓」形如杓，係用天然磁石磨成；「地」是一種標有二十四個方位的地盤，「柢」即杓柄。也就是把杓狀的磁石放在地盤上，杓柄會自然地指向南方。根據這一原理，大約在唐末宋初，人們發明了人工磁化方法，製造出了指南針。

指南針最初是由稱為「方家」的風水先生發明的，他們用鐵針摩擦磁鐵，使其磁化，而成指南針。據沈括《夢溪筆談》記載，最初的指南針有四種裝置方式，即水浮法，把磁針橫貫燈芯草，讓它浮在水面；放在碗唇上；放在指甲上；用絲線拴在磁針中心懸掛起來。當時人們發現了地球

的磁偏角。後來的指南針裝法，一般是在地盤（古時又叫羅盤或羅經盤）中心挖一圓洞，內盛水，放進橫貫燈芯的磁針，就成爲水羅盤。這也是明末以前所普遍使用的一種羅盤。

從羅盤最初是由風水先生發明的史實來看，羅盤也許最初是作爲風水先生勘輿時使用的一種用於確定方位的儀器，但這種儀器的發明卻大大地促進了航海事業的發展。在指南針發明以前，航海家們主要是靠日月星辰來辨別方向，但這種辦法一到陰天就無能爲力了，指南針的發明解決了航海史上的這一難題，使人類獲得了全天候的航行能力。

四、活字印刷術的發明

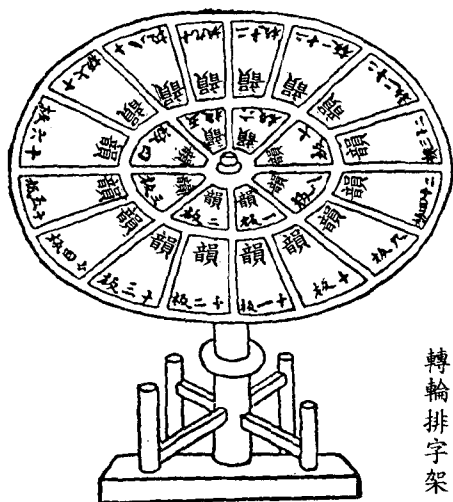
宋元時期，印刷術出現了重大的突破，據《夢溪筆談》的記載，宋仁宗慶曆年間（一〇四一至一〇四八年）平民畢昇創造了活字印刷術。活字印刷術採用膠泥製成活字，一粒膠泥刻一字，經火燒變硬。每一字皆有幾個印，常用字，如「之」、「也」等，則有二十幾個印，一些非常用字，則可臨時寫刻，燒成後馬上就能使用。活字厚薄如錢唇，排版時，先準備一塊鐵板，板上鋪上一層由松香、蠟和紙灰混合而成的黏著劑，板周圍用鐵範框住，排上所需的字，將鐵板加熱，待黏著劑稍微熔化，用一塊木板按在字面上，使字面平整，同時與鐵板黏牢，即可刷墨印刷。一版印完，將鐵板放在火上重新加熱，松香和蠟融化後即可取下泥活字，以備再用。有時爲了提高效率，往往是將兩塊板交替使用，一板印刷，另一板排字。這樣，第一版印完，第二板又已排

好，「更互用之，瞬息可就」。大大提高了印刷速度，同時節省了開支。

畢昇還曾試用木材製成活字，但他發現木材的紋理疏密不勻，沾水以後，高低不平，又易於和藥物黏結，不便清理，因而仍用膠泥爲原料製成活字。用這種活字，姚樞的弟子楊古，在畢昇之後約百年，即一二四一至一二五一前後，印成了朱熹的《小學》和《近思錄》，以及呂祖謙的《東萊經史論說》等書。人們使用木活字的努力仍然在繼續進行，元代農學家王禎爲了印刷他撰寫的《農書》，創制了木活字。他首先試印了六萬多字的《旌德縣志》，不到一個月的工夫，便印成了一百部，速度既快，質量又好，這是有記錄的第一部木活字印本。一三一九年，馬稱德在浙江奉化製成活字十萬個，印成《大學衍義》等書。

王禎在他所著的《農書》中，對於寫刻字體，修整木活字使其大小劃一，排字上版求其平整，以及如何刷印方法都作了詳細的記述，較好地解決了木活字印刷中一系列具體的技術問題。爲了適應活字印刷的需要，他還創造了轉輪排字架，採用了以字就人的科學方法。他將活字按韻分放在轉盤的特定位置，每字每韻都依字編好號碼，登錄成冊。排版時一人從冊子上報號碼，另一人坐在輪旁轉輪取字，既提高了排字效率，又減輕了排字工的體力勞動。木活字發明之後，還被用於其它文種的印刷。

據新華社一九九七年五月五日電，中國社會科學院的專家在整理俄羅斯所藏的西夏黑水城文獻時，陸續發現了四種活字版印刷品。其中，泥活字印本《維摩詰所說經》至少有五卷。另外三種



轉輪排字架

印刷品《德行集》、《三代相照言集文》和《大乘百法明鏡集》是木活字印本。經詳細論證後確認，這是世界上現存最早的活字印刷品。

除木活字和泥活字以外，人們還在試著用不同的材料製成活字。王禎在創制木活字的時候，他就注意到：「近世又有鑄錫作字」，表明十三世紀末到十四世紀初，已有人製成錫活字。一五〇八年，江蘇常州地區創行鉛活字，而銅活字也在這一時期的前後在江蘇南京、蘇州、無錫、常州等地流行。一七一八年，山東泰安徐志定製成磁活字，印行《周易說略》。該書封面題有「泰山磁版」字樣，徐氏自稱：「偶創磁刊，堅致勝木」^④。而此時正是銅活字的大行其道的時候，一七一三年，清內廷用銅活字印《星曆考原》，一七二六年又印刷《古今圖書集成》六十六部，每部五千〇二十冊。而同時民間所進行的銅活字印刷更是不勝枚舉。

五、製瓷技術

宋代是中國瓷業發展史上的一個重要的發展時期。除了日用瓷器越來越普及，成爲人們日常生活中不可缺少的用器外，由於中外交通貿易的發展，對世界的影響也越來越大。

宋代製瓷技術發展的一個重要標誌，在於瓷窰體系的形成。根據各窰產品工藝、釉色、造型與裝飾的同異可以看出，宋代形成了六大瓷窰體系，即北方的定窰系、耀州窰系、鈞窰系、磁州窰系，南方的龍泉窰系、景德鎮的青白瓷系。

定窰系的發源地在今河北省曲陽縣澗磁村及東西燕山村。始於唐，並受唐名窰邢窰的影響，卻後來居上，青出於藍而勝於藍。定窰以白瓷馳名於世，有刻花、劃花和印花三種，並具有很高的藝術價值。此外還燒有黑釉、紫釉瓷器。在燒製工藝方面，定窰首創覆燒工藝，即將盤碗之類的器皿反過來燒。這和先前的匣鉢裝燒法，即一件匣鉢裝燒一件器皿有很大的不同。覆燒法用墊圈組合的匣體取代普通匣體，每一墊圈的高度只占普通匣體的五分之一，同樣的情況下，它的效率等於提高了四倍。

耀州窰的地點在今陝西省銅川市黃堡鎮。始於唐，宋以後以燒青瓷而聞名。耀州青瓷以刻花和印花爲主。刻花刀鋒犀利，線條活潑流暢，紋飾題材豐富多變。印花紋飾布局嚴整，講求對稱。所有這些精湛的工藝，在當時即有很高的評價。

鈞州窯在今河南省禹縣，屬北方青瓷系統。鈞州瓷器的特點是採用乳濁釉，釉中還含有少量的銅，燒成後釉色青中帶紅。以銅的氧化物作爲著色劑，在還原氣氛中燒製出銅紅釉，這是青瓷工藝上的一個創新，它突破了青瓷以氧化亞鐵作爲著色劑的傳統，並爲陶瓷工藝和陶瓷美學開闢了一個新境界。

磁州窯的燒瓷地址在今河北磁縣觀台鎮和彭城鎮，其影響則遍及河北、河南、山西，是北方最大的一個民窯體系。其所產瓷器以白瓷和黑瓷爲主，同時還兼燒花瓷、青瓷、低溫三彩釉等，品種多而不單一。白瓷之釉純如牛乳，有開片和不開片兩種，在宋代具有很高的地位^⑤。黑瓷則呈鐵砂色，其中多有鐵銹花，是磁州窯的特點，有別於福建窯和江西吉州窯的黑釉瓷器。此外還有各種名目繁多的裝飾瓷器，更是大放異彩。

龍泉窯在今浙江省龍泉縣境內，創燒於北宋早期，南宋晚期進入極盛時期，明中葉以後衰落。龍泉窯屬民窯體系，瓷窯衆多，遍及龍泉縣全境。以青瓷聞名於世。其中又以章氏兄弟所產青瓷爲代表。它的燒製工藝中最突出的特點是使用了石灰釉和石灰碱釉。石灰釉的特點是高溫黏度比較小，在高溫下易於流釉，釉層一般都顯得較薄，有透明感，並具光澤。石灰碱釉的特點是高溫黏度比較大，在高溫下不易流釉，因此，釉層較厚，使器物的外觀顯得比較飽滿。龍泉窯還通過控制燒成溫度和還原氣氛，使這類釉的外觀獲得一種柔和淡雅、有如青玉一樣的藝術效果，即著名的龍泉粉青釉。釉層中含有大量的小氣泡和未熔石英顆粒，可使進入釉層的光線發生強烈

散射，從而在外觀上獲得一種與眾不同的藝術效果。

景德鎮，舊名昌南鎮，其窯始燒於唐代，至宋真宗景德年間（一〇〇四至一〇〇七年）其瓷器才名聞天下，故名「景德鎮」。初以白瓷為主，其特點是「土白壤而瑱質薄膩，色滋潤」。宋廷南渡之後，景德鎮仿製定窯白瓷，故又稱之為「南定」，南定所產的白瓷，其白度和透光度高，可為宋代瓷器的代表。在白瓷的基礎上，景德鎮發展出了具有自身特色的青白瓷器，其釉色介於青白之間，青中有白，白中有青，一般又稱之為「影青」。影青的質感與質地都與玉器相似，故有「假玉器」之稱。

除上述六大名窯之外，宋代的著名瓷窯還有以燒製兔毫盞黑瓷器而著稱的福建建陽縣的建窯，以生產黑瓷器玳瑁盞著稱的江西吉州窯，以生產青瓷著稱的河南省臨汝縣的汝窯，以宋都開封和杭州為基地的官窯等。

元代的瓷器製造技術在宋代的基礎上又有所發展，最突出的成就當屬青花工藝的成熟與發展。青花是用鈷料作著色劑，在高溫下燒成呈藍色花紋的釉下彩瓷器¹⁶。青花瓷器起源大約在唐代，南宋時有一定的發展，到元時工藝達到成熟的程度，並大量燒製，成爲一種重要的瓷器品種。青花瓷器的特點是著色力強，發色鮮艷，受窯內氣氛影響較小，燒成範圍較廣，呈色穩定，且因採用釉下彩工藝，不會褪色。同時，青花瓷器白地藍花，有著傳統水墨畫的效果，給人以明淨、素雅的感覺。因此，青花瓷器深受國內外人們的歡迎。元代青花瓷器的主要產地是景德鎮，

雲南的玉溪窯、浙江的江山窯等也都有生產。

元代製瓷工藝的另一項成就就是釉裡紅瓷器的燒製成功。釉裡紅產生於景德鎮，其與青花的人工程序大致相同，都是釉下彩，只是著色劑由鈷改爲銅，用還原氣氛燒成，呈現紅色。元代的青花和釉裡紅工藝，爲明代彩瓷的發展奠定了技術基礎。

六、冶金技術

宋元時期，冶金技術的進步主要表現在銅和鐵的冶煉方面。在銅的冶煉方面，最突出的進步在濕法煉銅的廣泛使用。濕法煉銅工藝肇始於西漢煉丹家發現的鐵和銅鹽溶液的轉換反映，即利用鐵的化學性能比銅活潑，把鐵放在硫酸銅溶液中，鐵離子會置換出硫酸銅中的銅離子，從而析出單質銅的原理，進行煉銅。由於硫酸銅在中國古代叫做膽礬，故這種煉銅法叫做膽銅法。《宋史·食貨志》記有浸泡法：「以生鐵煅成薄片，排置膽水槽中，浸漬數日，鐵片爲膽水所薄，上生赤煤，取括鐵煤，入爐三煉成銅。大率用鐵二斤四兩，得銅一斤。……所謂膽銅也。」

宋代張甲著有《浸銅要錄》一卷，可惜這部膽水浸銅的專著已經失傳。但烹熬法和浸泡法在史書和筆記中均不乏記載。上述《宋史·食貨志》即其中一例，又據《夢溪筆談》卷二五稱：

「信州的鉛山縣有苦泉，……其水熬之則成膽礬，烹膽礬則成銅。」即所謂「烹熬法」。推廣膽銅法是宋代提高銅產量的重要技術措施。《宋會要》的記載，北宋時用膽銅的地區有一

一處，北宋末年膽銅產量已占全國銅總產量的百分之二十，南宋更有進展，膽銅產量甚至占全國銅總產量的百分之八十五。

這個時期的白銅工藝也有較大的發展。白銅是銅鎳或銅砷的合金，它的冶煉是中國古代合金冶煉技術上出色的成就。十一世紀末，何蘧《春渚記聞》還記載了砷白銅的製法，在冶煉時氧化砷被還原為砷，溶解在銅中。何蘧稱白銅為「爛銀」，製砷白銅法為「煨砒粉法」，並稱薛駝受異人傳授能製「爛銀」，這是一項比較確鑿的記載。

在鋼鐵冶煉方面，宋代煉鐵所用的豎爐稱蒸礦爐，爲了保證爐溫，煉爐一般不超過六米，直徑一至二·五米不等。築爐材料因地而異。爐的內形已接近於近代的高爐，有爐腹角和爐身角，成爲兩端緊束，中間放寬的腰鼓狀，有利爐內熔煉氣氛的合理分布，改善爐況，延長爐齡，是豎爐發展史上的重大改進。元時期，鋼鐵冶煉使用的鼓風技術得到改進。宋代出現了一種可以抬動的化鐵爐叫「行爐」，方形化鐵爐與梯形風箱相連，下有木架可以抬動，作用在於「熔鐵汁昇行於城上以潑敵人。」^①爐可以化鐵，也可以煉鐵。又據元代陳椿《熬波圖》的描述，當時一種化鐵爐的燃料耗用量減少，煉鐵爐使用瓶沙（碎陶瓷末）、白壤（白色耐火土）和炭屑等材料，不僅能耐較高的溫度，還能抵抗爐渣的浸蝕。

煤炭的大量開採，使得鋼鐵冶煉中用煤作爲燃料也日益普遍。用煤冶鐵，火力得到加強，同時人們還在不斷地改進鼓風設備，以期進一步提高火力，木風扇取代了韋囊^②，是宋元時期鋼鐵

冶煉技術進步的又一標誌，作爲一個鼓風工具，當時已有不同類型的木風扇的記載。木風扇結構牢固，體積又大，所以風量風壓都顯著提高，從而使冶煉過程得以強化，產量和質量於是也相應提高。同時，人們還在改變冶煉工藝，提高鋼鐵的質量，灌鋼的出現即是一個例子。灌鋼，時稱團鋼，技術在宋代進一步得到改進。團鋼需用柔鐵（即熟鐵），熟鐵是用生鐵煉成的，「二三煉則生鐵自熟，乃是柔鐵。」「用柔鐵屈盤之，以生鐵陷其間，泥封煉之，鍛令相入」^④，即成團鐵。

七、建築、橋樑和《營造法式》

以木結構建築爲主體的中國古代建築，發展到宋遼金元時期，達到了純熟的階段。不僅出現了反映木結構建築技術的著作——《營造法式》，還出現了現存木結構建築傑出代表——應縣木塔。與此同時，由於製磚與磚結構技術的提高，受印度磚石結構的佛塔的影響，磚塔漸漸取代木塔而成爲主流，成國爲中國建築技術發展的一個重要標誌。除了木塔和磚塔之外，還有磚木混合式塔和石塔等。

應縣木塔建於遼道宗清寧二年（一〇五六年）。平面爲八角形，底層直徑三十點二七米，外觀爲五層六檐，總高六十七點三二米。從下至上可分爲三部分，最下邊是高四點四米，分爲二層的磚石基座。第二部分是塔身。自基座上至塔頂磚剎座下，全部是木結構，高五十一點三五米。

柱網的布局方式爲內外兩圈，各層柱子疊接，但比下層外柱退入約半個柱徑。各層柱子都向中心略有傾斜，尤以底層柱身的內傾爲明顯，這種內傾在建築學上稱爲「側腳」，起到降低重心、增強穩定性的作用。另外，就每一層柱子而論，靠外的柱子又要比靠內的柱子高一些，這樣就使得整個結構重心都向裡傾斜，同樣是爲了增強穩定性，這叫做「生起」。側腳與生起在《營造法式》中被規定爲必須遵守的制度，得到了廣泛的應用。在這座木塔上，集中使用了五十四種斗拱，充分顯示了斗拱在樓閣建築體系中的重要性和應用中的靈活性。第三部分是塔剎。它是一根十厘米見方的鐵柱，長十四點二米，下端固定在平樑上，中部砌磚，上部伸出塔頂。塔內有木梯曲折而上，中間安置了一尊高約十一米的釋迦佛坐像。由於塔的進深較大，自然光線不能直接照到佛像上，只靠微弱的間接光隱約顯示。佛像全部漆金，在黑暗中燦燦發光。上面各層四面採光，比底層亮些。應縣木塔是一座典型的樓閣式木塔。它在建成之後，九百多年間，經歷了多次地震的考驗，至今巍然屹立，被譽爲中國建築史上的一個奇蹟。

磚塔，在唐以前即出現，代表作如西安的大雁塔。五代末到兩宋時期是磚塔發展的盛期。出現了一批高達七八十米以上的大塔，如北宋皇祐四年（一〇五二年）建成的河北定縣的開元寺塔，高八十四米，是現存最高的磚塔。爲了克服木塔易朽易燃的缺點，大約從五代末起始用磚料代替木料來做樓層和階梯，又爲了解決磚階梯的承重問題，開始利用塔的壁體或中心柱，在其中開闢階梯通道，實際上就成爲在牆體內建造逐段升高的券洞。另一種方式是在塔心柱內開闢登塔

的階梯甬道，稱爲「穿心式塔」。第三種方式是穿過外壁開闢階梯甬道。第四種方式爲「回旋式」，這種塔可以看作是一個實心柱體，梯子在其中盤旋而上，在甬道外側的牆身上開窗取光，並具較好的抗風抗震性能。這些方式成功地解決了包括樓層、階梯在內全部用磚料建塔的種種技術問題，此後並無多大的發展，因此一般說宋代是磚塔技術的成熟時期。

這一時期，傳統的拱橋和樑橋建造方面也出現了不少技術上的新突破。著名的橋樑有北宋汴梁的虹橋，泉州的洛陽橋，金代中都（今北京）西南郊的蘆溝橋，南宋泉州的安平橋等。汴梁的虹橋是這時期木拱橋的代表作。它用木樑相接成拱，不用支柱，既易架設又便於通航，在張擇端的名畫《清明上河圖》中，有一座這類橋樑的逼真畫圖。保存至今的安平橋建於南宋紹興八年至十一年（一一三八至一一五一年），跨越於安海港海灣之上，全長八百一十一丈，有橋墩三百六十一座，是歷史上遺留下來的最長的橋樑。蘆溝橋建於金世宗大定二十七年到金章宗明昌三年（一一八七至一一九二年），全長二百一十二點二米，加上兩端橋塊共長二百六十五米，寬八米多，有十一個橋孔。最突出的要數泉州的洛陽橋。

洛陽橋又名萬安橋。該橋於宋仁宗皇祐五年（一〇五三年）興建，嘉祐四年（一〇五七年）竣工，歷時六年八個月。據蔡襄《萬安渡石橋記》載：當時的橋長三百六十丈，寬一丈五尺，計四十七孔。保存至今的洛陽橋長八百三十四米，橋面人車行道寬七米，有四十六個橋墩，四十七個橋孔，基本上保留了原有的規模。洛陽橋位於洛陽江入海口，江面開闊，江水與海水交匯，水急

浪高。在這樣的地段上建橋是史無前例的，工程艱巨，而且必須解決許多技術上的困難，爲了解決橋樑基礎穩固問題，建造時，首創了「筏形基礎」。即在江底沿橋位縱軸線拋擲數萬立方大石塊，築成一條寬二十多米、長一里的石堤，提升了江底標高三米以上，然後在這石堤上築橋墩，這在橋樑史上是一大創新，是現代橋樑工程中「筏形基礎」的先聲。橋墩亦用石塊砌成，迎海一面砌成尖劈狀，以減弱海潮的衝擊力。在沒有現代速凝水泥的條件下，建橋時發明了種蠣固基的方法，以解決橋基和橋墩的聯結穩固問題。即在橋基和橋墩上種殖海生動物牡蠣，利用牡蠣的石灰質貝殼附著在石塊間繁殖生長的特性，使橋基和橋墩的石塊通過牡蠣殼相互聯結成一個堅固的整體。橋面用三百餘塊重達二十至三十噸的大石樑架設而成，這些大石樑可能是利用潮汐的漲落，控制運石船隻的高低位置架設而成。洛陽橋建成以來，先後經歷了上百次的地震、海嘯和颱風的襲擊，至今仍橫跨於洛陽江之上。本世紀三十年代，在原有橋面上加高，鋪設了水泥橋面，行駛各種車輛。

《營造法式》是北宋官方於一一〇〇年頒布的關於建築工程做法和工料定額的專書。作者李誠。全書共三十四卷，書中包括有壕寨、石作、大木作、小木作、彩畫作、磚作、瓦作、窰作、泥作、雕作、旋作、鋸作、竹作等各種制度，以及施工用料、定額和各種建築圖樣。是書寫作及頒布的目的首先在於加強對工料的管理，杜絕土木工程中的貪污浪費現象；其次，對於複雜的建築構件，在位置做法各不相同的情況下，明確規定應該如何處理，以便在施工中有所依據；第三，

為不懂專業技術的官吏提供檢查質量的標準。書中對「功」的計算有詳細地說明，時間的計算要參照四季晝夜長短的變化，木料要區分質地軟硬，運輸要考慮逆水與順水，施工亦有精細粗糙之分。這套管理方法是相當嚴格與苛刻的。

《營造法式》在編寫中貫穿了「有定法而無定式」的指導思想，避免以事論事的死規定。全書圖文並茂，可以對照參考。四十三卷中有六卷繪製圖樣五百四十一張，這些圖樣包括房屋平面圖、房屋的橫剖面圖、局部圖樣、部件圖樣、構件構造圖、彩畫及雕刻的線條圖、施工儀器圖。特別是對於結構複雜的斗栱，施工方法很難用文字表達清楚，而參之以圖，就可明白在何處開口，哪些是需要砍殺掉的多餘材料。

《營造法式》所反映的宋代建築技術成就，大致有以下幾個方面：(一)以材為祖的木結構模數制：在木構建築的發展過程中，工匠們逐漸總結出一套用統一的模數來衡量構件尺寸的作法。這就是《營造法式》中記載的「凡構屋之制，皆以材為祖。材有八等，度屋之大小，因而用之」的材、分制度。「材」是指木構件「栱」的斷面，它的高與寬之比為三比二。再將高分為十五份，寬分為十份，其中的一份稱為分。《營造法式》將材分為八等，並規定了不同的使用範圍和尺寸。材、分制是中國古代木構建築特有的作法。這對協作施工，最後又能將事先加工好的構件準確地拼裝在一幢建築物上是十分必要的。(二)結構體系的科學性：建築中普遍採用側腳與生起，使結構穩定而且因角柱升高，使房檐呈現上翹的曲線，增加了藝術性。用料的斷面，如樑、栱等均為三

比二，這樣的斷面尺寸與現代力學計算的結果大體接近。(三)建築木裝修和製作技術的發展：書中介紹的各種門窗及一些附屬的小建築、部件等等，充分說明北宋建築木裝修高度發展的水平。其中一些裝修不僅增強了藝術效果，而且對室內通風、採光都大有改善，也說明當時的加工工具大有發展。(四)彩畫發展的高峯：書中保存了有關調色、施工步驟、彩畫類型、格調以至設計思想的豐富資料。(五)磚、瓦的生產與使用：磚的使用範圍很廣，但規格正趨於統一，這樣能提高產量。條磚的規格只有兩種，長寬比為二比一，連城壁所用帶斜面的磚也是如此，說明當時砌磚很注意順丁咬合，這種砌法最堅固耐久。《營造法式》的產生，是建築業發達的表現，也是技術成熟的標誌。另外，它也是中國古代管理學上的成功範例。

建築技術的發展促進了城市建設的變化，宋元時期在原有基礎之上建立起了一座座政治和經濟中心城市，如北宋的東京城，南宋的臨安城，元朝的大都等。出於政治、經濟和軍事的需要，這些城市的位置大都處於交通要道上。同時又根據當地的自然條件，加以改造。如北宋的東京城（今河南開封），爲了彌補地理條件不利於防守的缺陷，城外開挖了闊十餘丈的護城河，還增加了各種防禦性措施，如城牆每百步設馬面向外伸出，上面的守兵可以從側面向逼近的敵兵射擊，還可保護牆基不受敵人的挖掘。馬面本身也是城牆的支撐物，能增強城牆的堅固性。適應商業經濟的發展，市內出現了兩側布列店鋪的商業街和通宵達旦的貿易市場。爲了容納更多的人口，出現了許多高兩三層的房屋。城內有四條大道，稱爲「御路」。這四條主要幹道的分布形式是與城

門配合一致的，其中自皇城宣德門向南經朱雀門的兩側建有御廊，加強了中軸性的作用，是建築規劃上的巨大進步。另外，這四條御路延伸出去，東經商丘、徐州通江淮；西抵洛陽、長安；南至湖廣；北達燕京。這樣就與周圍的一些重要城市連為一體了。南宋都城臨安城（今杭州）是在原有城市的基礎上建造的。規模較之東京要小得多。但由於人口衆多，加上還有許多的流動人口，規模仍然不小。

在所有的城市建設中最有代表性的當屬元大都的建設。元大都即今天的北京城。大都是在遼代的陪都南京，金代的首都中都的基礎上建立起來的，選址在金中都的東北郊，主要考慮到新址有充沛的水源，包括大面積的湖泊與清澈的泉水。元大都的建設，事先經過周密的計劃和準備，進行了十分詳細的地形測量，然後制定總體規劃。在進行規劃時，選定了城市的中心，在這個點上樹立了一個石刻的測量標誌，題為「中心之台」，在台東十五步（約二十三米），又建立一座中心閣，其位置相當於現在北京城內鼓樓所在的地方。在城市設計中，標出全城中心的作法，在歷代城市規劃中尚無先例，這反映著當時測量技術在建城中的充分運用。當時的北京城共有十一座城門，每座城門內都有一條筆直的大道，全城有南北東西幹道各九條。沿著南北幹道平行排列著東西向的胡同，沿各條胡同的南北兩側分布著民房，這樣就可以使每家都建立起座北朝南的主要住房。這樣的設計顯然是考慮到了北京氣候特點，便於抵禦西北風和利用日照取暖。而在所有這些地面建築動工之前，全城已預埋了下水道。元大都的城牆仍舊是用夯土築成的，基部寬二十

四米。爲了加固城牆，在夯土中使用了「永定柱」（豎柱）和「紆木」（橫木）。牆頂上排列半圓形瓦管，以疏洩雨水，避免雨水順牆流下。

八、紡織和《梓人遺制》

宋元時期，紡織技術得到了極大的發展。南宋的緯絲和元代的織金錦是絲織技術高度發展的結晶，同時，棉紡織技術的興起，成爲紡織技術的一個新領域。在紡織機械方面，也較以前更臻完善。其中，束綜提花與多綜多躡相結合的提花機、多錠大紡車，在動力紡織機器出現之前，都達到了傳統手工技術的高峯。

緯絲，又稱「刻絲」、「克絲」、「剋絲」，是中國絲織工藝中最受人們珍愛的品種之一。緯絲以本色絲作經，彩色絲作緯，用專門的小梭根據花形色澤逐次織入，因而織物上常因垂線的花紋輪廓而留下緯絲轉向時的斷痕，形成「通經迴緯」的結構特徵。其緯絲的色澤選擇範圍達一千多種，有的甚至多達五、六千種。因色彩花紋富於變化，故雖作百花，可使其不相類同。而且因留有緯絲轉向的斷痕，層次分明，有如雕刻一般，具有強烈的立體感，從而收到很好的藝術效果。緯絲工藝中的通經迴緯織法起源於漢朝，當時應用於毛織，唐代移用於絲織，南宋時期達到了高峯，出現了不少的名人名作。

織金錦是把金線織入錦中，而形成具有特殊光澤效果的錦緞類織物。將金銀絲織入或繡入絲

織服裝上始於三國時期，入宋以後，織金錦得到較快的發展。遼寧省法庫縣葉茂台發掘的一座約九六〇至九八〇年的遼代墓葬中，出土有一批絲織品，其中即有織金錦，是用捻金線織造的。元代是織金錦大發展的時期，當時南京、鎮江、蘇州等地均有大量生產。

從宋代開始，隨著棉花種植在內地的日益普及，棉紡織技術也得到了發展，這個發展首先表現在紡織工具的改進。宋時踏車、椎弓等棉花加工工具已經完備，元代則出現了攪車，解除了剝除棉籽的繁重勞動，為棉花種植及其紡織技術的普及助了一臂之力。然而這個時期，傳統的麻紡織業仍然在經濟生活中占有相當大的份額，而這時期在紡織機械方面最突出的成就，就是用於麻紡織的大力紡車的問世。

大紡車大約發明於宋代，是一種纖維捻線車，主要用於紡製麻線。有關大紡車的機械結構的記載，最早見於《王禎農書》之中，並配有插圖。從書中的記載和配圖可知，元代大紡車是由加捻捲繞、傳動和原動三個部分的機構所組成。按其動力又大致可分為人力、畜力和水力三種，王禎自己對於水轉大紡車非常推崇，認為此種機械，「比用陸車愈便且省，庶同獲其利。」宋元時期的紡織機械，除了見於農書的記載以外，還出現了一部重要的著作，即元代薛景石著的《梓人遺制》。

薛景石，字叔矩，河東萬泉（今山西萬榮縣）人。書中所載的紡織機具包括：華機子（提花機）、立機子（立織機）、小布臥機子（用於織造絲麻織物的木機）、羅機子（專門織造羅類織

物的木機）以及掉簾座和泛床子（用於穿綜、修緯一類的機具）等六項。對這些機具均給予總的說明和歷史沿革的評述，同時分別說明用材和功限等內容。該書的一個突出特點是「每一器必離析其體而縷數之。分則各有其名；合則共成一器。」對於每一部零件都詳細說明了尺寸和安裝位置，而且圖文並茂，既有各部件的分圖，又有整機的總圖，使「攻木者覽焉，所復可十九矣。」書中最重要的的是華機子、羅機子和立機子三項。提花機在經過漢唐之間長時期的發展以後，到了宋代，已經走向定型化。宋人《耕織圖》中雖有關於提花機的描述，卻不如薛景石論述的詳細。羅織物（紋紗組織）有兩大類，漢唐以前盛行一種所有的經線都絞結在一起的羅織物，宋以後逐漸消失，代之而起的是一種現仍採用的平羅。《梓人遺制》中的羅機子是織前一種的，因此也就成為現存有關於漢唐羅機子的唯一材料。同樣的，《梓人遺制》中關於立機的材料也是非常珍貴的，因為中國古代的織機大都是平臥的，很少豎式的。

第三節 宋元時期的天文算學

宋元時期是中國天文算學發展的高峯時期。在天文學方面主要表現在天文數據的精確化，星圖、星表的精良化，若干天文觀測方法和數學方法的改進和完善等等。而促成這些變化的又有賴於天文儀器的發展。在算學方面則出現了秦九韶、李冶、楊輝、朱世傑數學四大家，他們所取得

的數學成就，如多元高次方程組解法、一次同餘式解法、天元術、四元術、高等差級數求和、高次招差法以及一些民間實用的數學成果，不僅在中國是不見古人，而且在中國後來相當長的一段時間裡是後不見來者，而同時代的歐洲更是不敢望其項背。宋元時期的算學對中國傳統算學產生了重大的影響，還流傳到近鄰的朝鮮、日本等國，乃至歐洲等地，對世界數學的發展產生了影響。

一、天文儀器

宋代在大型天文儀器上的製造和發明，無論在數量上和質量上都大大超過了以往任何一個時代。其中最突出者，有下列數端：

一、渾儀。北宋時期先後鑄成了五台巨型渾儀，平均不到二十年便有一台新渾儀問世，而且這些渾儀每台用銅都在一萬公斤左右，可見其規模之大。同時，這些渾儀在結構和精度方面都較前有所改進，其中如沈括設計製造的熙寧渾儀較周密地考慮了儀器安裝方面的誤差，開創了簡化渾儀規環設計方向等，為簡儀的出現，揭開了序幕，在渾儀發展史上占有重要的地位。

二、簡儀。簡儀之名最早見於金代。金章宗承安四年（一一九九年），有名醜和尚者向金朝統治者進呈了許多天文儀器的圖樣，簡儀便是其中之一，金王朝曾命有關部門「依樣造之」，但結果卻不得而知。現今所知最早的簡儀是元代天文學家郭守敬在一二七九年設計製造的。其結構

是針對傳統渾儀的缺點而設計的。簡儀僅僅保留了傳統渾儀的四種最基本的環圈，並且把它們分成彼此獨立的兩組分別安裝。第一組由赤道環、百刻環和四遊環組成。赤道環和百刻環同極軸相垂直，赤道環疊置於固定的百刻環之上，其間平放四個圓筒形的短銅棍，可使赤道環轉動靈便，這是世界上滾筒軸承的最早應用。而四遊環則垂直安置在赤道環心之上，可繞極軸自由轉動。在四遊環轉軸的頂端，還安有定極環，可用來觀測北極星，以校正儀器的極軸方向。這是一組赤道坐標裝置，是世界上最早的大赤道儀，它可用於測量天體的人宿度和去極度，還可以測量地方真太陽時。第二組由陰緯環（即地平環）和立運環（相當於四遊環）組成。立運環垂直安置在陰緯環心之上。整個儀器的底座刻有水槽，用來校正陰緯環，使之處於水平面上。它們構成了一組地平坐標裝置，與近現代的地平經緯儀相當，它可用來測量天體的高度角和方位角。簡儀所採取的盡量減少環圈的措施以及環圈的分組安裝法和環心垂直安裝法，克服了傳統渾儀環圈衆多而造成的遮掩天區和操作不便的弊病，避免了渾儀多環同心交叉安置法的技術困難和較大誤差的問題，具有適用性、靈活性和準確性的優點。

三、漏壺。宋代在漏壺方面有了重大的改進。此前一直使用的是由漢代張衡首創的補償式漏壺，通過增加補償壺級數來達到保持萬分壺水位相對穩定的目的。一〇三〇年燕肅發明了一種新式漏壺蓮花漏。蓮花壺令上匱的水通過吸虹管（渴鳥）不斷注入下匱，又在下匱的上部開孔，由於上匱的漏水流量稍大於下匱的漏水流量，遂使下匱的水總處於漫溢狀態，多餘的水則由竹水筒

引入減水盎中。這樣就十分圓滿地解決了起計量時間作用的下匱的水位始終保持恆定的問題，既使計時精度高於補償式漏壺，又大大簡化了漏壺的結構。但由於上匱水盈虛不定，漏水緩急不同，影響下匱的漏水流量的穩定性和整個漏計時的準確性，於是在一〇五〇年前後，舒易簡等人就在蓮花漏的上、下匱之間增添了一個平水壺。其形制與下匱相同，上匱的漏水先流入平水壺，使平水壺的水亦處於漫溢狀態，這樣就能保持漏水對下匱衝擊的力量前後一致，也就使下匱水面的波動和水中的攪動狀態保持不變，從而消除了水的攪動對下匱漏水流量的影響。但舒易簡等人在改良蓮花漏的同時，卻帶來了漏壺級數的增多的新問題。於是一〇七四年，沈括又製造出一種設計精巧、結構新穎的新漏壺，其關鍵之處在於：用一個中間帶孔（稱爲「達」）的隔板（稱作「介」），把復壺分成左右兩半，左半部就相當於舒易簡等人所造漏壺的平水壺，右半部則相當於下匱，把燕肅的蓮花漏與舒易簡等人的設計思想結合起來，達到了使漏壺精確化與簡易化的雙重效益。

四、水運儀象台。九七九年，張思訓製成了一台大型的「太平渾儀」，儀高一丈有餘，像一幢多層樓閣，它用鈴、鐘、鼓三種聲音信號報時刻數，又用十二個木人拿著時辰牌循環而出以報時辰數。對於太陽、月亮的每日行度，它是由儀器的自動運轉來顯示。太平渾儀開創了大型綜合性天文儀器的先聲，在此基礎上，蘇頌和韓公廉於一〇八八年建成了水運儀象台。全台高約十二米，寬約七米，從外觀上看，是一座上狹下寬的塔形木結構建築物，其內包括漏壺、渾象、渾

儀、圭表及報時機械等天文儀器。水運儀象台的內部結構自下而上，分別有五層功能各異的報時齒輪系統，此上有渾象，半見於柜上，半隱在柜中，再往上則有渾儀和圭表，台頂則由九塊活動屋面板構成，可以隨意啟閉。全台棧械結構的原動輪是一個由三十六個水斗和鈎狀鐵拔子組成的木輪，其頂部附設一組槓桿裝置，相當於近代鐘錶裡的擒縱器（卡子），用於控制原動輪的等間歇勻速運動。水運儀象台是以一個漫流式漏壺的漏水為驅動輪的動力，再通過一套複雜的齒輪系的傳動，使上述各種儀器和機械處於協調的運動狀態中，進而發揮各自的天文儀器功能。渾象可以自動地隨天球的同步旋轉，以演示天象；渾儀可以自動地跟踪天體，以測定坐標；圭表可以用於測量日影的長度；報時機械可以通過擊鐘、鼓、鈺或出現了木人等首象形式，自動地顯示時、刻、更、籌等的推移。水運儀象台是用多種形式表達天體時空運動的天文鐘的祖先。它開創了近代鐘錶中錨狀擒縱器的先聲，還是近代控制望遠鏡隨天球同步運轉儀鐘的先驅，又是望遠鏡觀測室活動屋頂的始祖，它以多方面的卓越創造，在天文儀器和機械製造史上寫下了重要的篇章。

二、天文曆法成就

天文儀器製造的空前發展，促進了天文曆法的發展，其表現主要有天文數據的精確化、恆星觀測與圖星表的繪製、天文觀測和數學方法的完善，以及宇宙理論的深化等方面。

一、天文數據的精確化。宋遼金元時期各代的曆法，其所用的各種天文數據，如冬至時刻、

回歸年長度、赤道歲差值、交食周期、五星運動等，有一部分保持在前代已達到的較高的精度水平上，另有一系列數據達到了前所未有的準確度。以冬至時刻的測算而論，自周琮《明天曆》（一〇六四年）以後的各曆法的平均誤差爲十刻（一刻等於十四點四分鐘），已較前代有明顯的進步。到楊忠輔《統天曆》（一一九九年）以後曆法的平均誤差又降至二刻左右。郭守敬等人的《授時曆》（一二八一年）的誤差便小於零點五刻，也就是說宋元時期，冬至時刻測定的精確是提高了不少。又如回歸年長度的測算，《明天曆》取三百六十五點二四三六日，較前代曆法的誤差差不多減小了一半。其後《統天曆》和《授時曆》取三百六十五點二四二五日，其誤差約二十二秒，是當時世界上的最佳數值。再如赤道歲差值，《明天曆》取七十七點五七年差一度，皇居卿的《觀天曆》（一〇九二年）取七十七點八三年差一度，陳得一的《統元曆》（一一三五年）取七十七點九八年差一度，它們與這時的赤道歲差的理論值七十七點三七年差一度所差甚微，是中國古代得到的三個最好數據，在當時的世界上也居領先地位。這一成果的取得又與冬至時太陽所處恆星間位置的測算精度密不可分，在《明天曆》以前，其誤差多在二度到三度左右，而《明天曆》的精度明顯提高，誤差已降至零點八度，姚舜輔的《紀元曆》（一一〇六年）以後各曆法的測算誤差已降到零點四度左右。又如在交食周期的研究方面，《紀元曆》中，取用了四千一百二十七個交點月與三百二十四個食年長度相當的數據，依之可推算得一食年長度爲三百四十六點六一九九日，這與當時的理論值誤差僅約七秒，它是中國古代得到的最佳交食周期值。

二、天文觀測和數學方法的完善。天文數據的精確化還有賴於天文觀測和數學方法的完善。如周琮在測定冬至時刻時，就將傳統的祖沖之法作了改進，他選擇冬至前後日影變化量最爲顯著的時段（立春和立冬前後）作爲觀測太陽影子長度的日子，對於冬至時刻測定精度的提高起了良好的作用。此後，姚舜輔選用了一年多組觀測，求出適中的冬至時刻的方法，較之一年單組觀測又進了一步。又如，對於冬至太陽所在的恆星位置測定的方法，在姚舜輔以前主要沿用後秦姜岌（約三八〇年）發明的月食沖法，姚舜輔改爲先測定昏或旦時金星在恆星間的位置，再由曆法推算其時金星與太陽間的度距，進而推算冬至時太陽在恆星間位置的新方法。在此基礎上，郭守敬又增加了木星和月亮爲觀測對象，這些對於冬至時太陽所在恆星間位置測算精度的提高起了良好的作用。與此同時，天文學也在日趨數理化。用於定量描述日、月、五星運動或其它天文量變化規律的數學方法也在改進。如周琮在《明天曆》中，把太陽、月亮和五星運動不均勻性改正，以及黃赤道宿度差、黃白道宿度差、太陽視直緯、每日中午太陽影長、晝夜漏刻長度和食差等天文量的變化規律，都用一個或二個高次函數式來表達，且公式的精度多屬上乘。周琮用於每日中午太陽影長計算的五次函數式，是中國古代曆法中所採用的最高次函數式。

三、恆星觀測。北宋建立不久，即開始了恆星觀測，從九八〇年到一一〇八年的百餘年間，曾先後進行過七次實測工作，而且其中有三次是對周天恆星位置的全面觀測。這些觀測工作的部分成果以星表、星圖的形式保留至今。如皇祐年間（一〇四九至一〇五三年），周琮等人對周天

星官位置所作的測量結果，被收載在馬端臨編著的《文獻通考》和王安禮等人的《靈台秘苑》等文獻中，內有三百六十顆恒星的入宿度和去極度。又如元豐年間（一〇七八至一〇八五年），歐陽發等人對恒星位置的觀測結果，被分別保留在蘇頌所著的《新儀象法要》一書的星圖中和蘇州石刻星圖中。蘇頌的星圖繪於一〇九四年到一〇九六年之間，內有恒星一四六四顆，十分及時地反映了歐陽發等人的觀測成果。而最值得一提的是蘇州石刻天文圖。此圖是一二四七年左右由王致遠按黃裳原圖（約繪於一一九〇年）刻石。該圖面積為八乘以二點五尺，刻星一千四百三十顆，它以北極為中心，繪有三個同心圓，分別代表北極常顯圈、南極恒隱圈和赤道圈，二十八條輻射線表示二十八宿距度，還繪有黃道和銀河。再如崇寧年間（一一〇二至一一〇六年），姚舜輔等對二十八宿標準星之間距度的測量結果，保存於《宋史·律曆志》等書中，經研究其測量平均誤差為〇點一五度。宋代對於新星和超新星的觀測也取得了重大成就，為世人矚目的「一〇五四年天關客星」的觀測就是其中的一例。據《宋會要》記載：「嘉祐元年三月，司天監言：『客星沒，客去之兆也。初，至和元年五月，晨出東方，守天關，晝見如太白，芒角四出，色赤白，凡見二十三日。』」現代天文學們認為，天關星附近的蟹狀星雲就是一〇五四年爆發的超新星遺跡。而這次超新星爆發的詳細記錄，為蟹狀雲以及與之相關的中子星等理論問題的研究，提供了寶貴的歷史資料，廣為現代天文學界所重視和贊揚，被譽為中國古代天文學的最重大成就之一。元代郭守敬等人也曾在一二七六年進行大規模的恒星位置的觀測工作。就二十八宿標準星之間的距度的測量

而言，其平均誤差比姚舜輔的測量誤差還小一半，可知郭守敬觀測工作的精細程度。

三、宋元數學四大家

一、秦九韶和《數書九章》。秦九韶，祖籍山東，長於四川，晚年有很長時間在浙江湖州渡過。《數書九章》成書於一二四七年。全書分作九類，每類九題，共八十一個數學問題。其內容表列如下：

《數書九章》內容表

類別	內 容
大衍類	敘述「大衍求一術」——聯立一次同餘式解法
天時類	有關天文曆法和降雨量和降雪量的計算
田域類	有關土地面積計算
測望類	勾股、重差等測量數學問題
賦役類	均輸、稅收
錢穀類	糧食轉運、糧倉容積
營建類	建築工程的計算問題
軍旅類	軍營布置、供應等軍事數學問題
市易類	貿易中利息的計算等問題

《數書九章》在數學上的成就主要有二個方面：一是高次方程的數值解法。中國古代數學家把解方程的步驟稱為「開方」。宋元時期，「開方法」又向前邁進了一步。先是十一世紀中，賈憲

在《黃帝九章算法細草》中展示出「開方法本源圖」，不僅列出了各高次方展開式各項係數，並指出求這些係數的方法，即隨乘隨加的「增乘方法」。用這種「增乘開方法」，可求得任意高次展開式係數，也可進行任意高次冪的開方。在此基礎上，秦九韶把增乘開方法推廣成爲任意高次方程的數值解法。書中有二次方程、三次方程、四次方程共二十五題，還有十次方程一題。在這許多問題中，係數有正有負，有整數也有小數，至此，增乘開方法也就成爲各種方程都適用的一種數值解法了。高次方程的數值解法在後來元代的《授時曆》中得到實際的運用。一是「大衍求一術」——一次同餘式解法。《孫子算經》中有這樣的一個問題：「今有物不知數，三三數之剩二，五五數之剩三，七七數之剩二，問物幾何？」這就是著名的孫子問題，它的解法用到求三個一次同餘式的共同解。秦九韶的《數書九章》首次對這一算法進行介紹，並把它推廣到解決各種數學問題之中。不過秦九韶所舉的例題已不是三、五、七之類的簡單數字，而包括有整數、分數和小數。秦九韶系統、正確而又嚴密地指出了求解一次同餘組的一般計算步驟。

二、李冶與《測海圓鏡》及《益古演段》。在《數書九章》出版之後的第二年，中國古代數學史上的又一部名著《測海圓鏡》問世了，它的作者即宋元數學四大家之一的李冶。李冶（一一九二至一二七九年），原名李治，真定府欒城（今河北欒城）人。李冶生當亂世，早年曾在河南鈞州任金朝的知事，一二三二年，蒙古兵攻陷鈞州，李冶棄城而逃。一二三四年，金朝終於被蒙古所滅，李冶與好友元好問等感到政事上將無所作爲，於是潛心學問，時已四十出頭。他興趣廣泛，但對

於數學用力最多。一二四八年完成了數學著作《測海圓鏡》。一二五九年又完成另一部數學著作《益古演段》。其中《測海圓鏡》共十二卷，一百七十個問題。《益古演段》共三卷，六十四個問題。李冶在數學上的最大貢獻就是「天元術」。天元術的代表作為《測海圓鏡》，而《益古演段》則是一部解釋天元術的通俗性著作。天元術是一種用數學符號列方程的方法。天元，即未知數，用現代符號表述為「 x 」，李冶書中的「立天元一爲某某」，與現代「設 x 爲某某」是一致的。用天元術列方程的方法和現代一般代數課本中所用的方法大致上是相同的，只不過在中國宋元時期，多項式和方程都是用籌式來表示，而且是豎行來表示。天元術的出現比秦九韶的「高次方程數值解法」又進了一步。後來沙克什在其《河防通議》（一三二一年）中就將其實際運用於水利工程的計算中。

三、楊輝與「楊輝算書」。楊輝（約十三世紀中葉時人），字謙光，錢塘（今浙江杭州市）人，生平事跡不詳。流傳至今的楊輝著作有：《詳解九章算法》二卷，作於一二六一年；《日用算法》二卷，作於一二六二年；《楊輝算法》七卷，包括《乘除通變本末》三卷、《田畝比類乘除捷法》二卷、《續古摘奇算法》二卷。

楊輝算書中主要包括以下三個方面的主要成果：一是各種簡捷算法。在《乘除通變本末》中，就有「加法五術」、「減法四術」、「求一乘法」、「求一除法」等簡捷算法。其中「加法五術」是指乘數的首位是一的乘法，此時是先以乘數中另一位數字乘被乘數，再與被乘數相加。

「減法四術」是指除數首位是一的除法可簡化為減法。「求一」是當乘除首位不是一時用「加倍」或「折半」的方法使它們化成首位是一，再用上述簡捷方法處理。二是《續古摘奇算法》中的縱橫圖「幻方」。幻方起源於「洛書」，洛書中縱橫和主對角線上三數之和都是十五。如圖：

八	三	四
一	五	九
六	七	二

是為三行幻方。楊輝算書中，除了有人們熟知的三行幻方之外，還驗出兩個四行幻方，即「花十六圖」和「花十六陰圖」。給出了五行、六行、七行、八行幻方各兩個，九行和十行幻方各一個。雖然幻方起源於「洛書」，但四行以上的幻方，在中國古代著作中則僅僅在楊輝的著作中可以看到。不僅如此，楊輝還給出了三行幻方和四幻方的具體作法。這在當時世界其它地區找不到類似的研究記錄。楊輝算書中的第三個重要成果，是它保存了一些現已失傳了的各種算書中的某些問題和解法。如早期的「增乘開方法」和「開方作法本源」，都是通過楊輝的著作才得以流傳下來的。另外在楊輝所著的《算法通變本末》中，還有適用於當時民間數學教育的數學大綱，是了解當時民間數學傳習的材料。

四、朱世傑與《四元玉鑑》。在宋元數學四大家中，朱世傑出世最晚，但他的成就卻最大。朱世傑，字漢卿，號松庭，生平事跡不詳，只知道他是當時有名的數學家，曾在外面周遊講學二十多年，向他學習數學的人很多。朱世傑有兩種數學著作流傳至今。一部是《算學啟蒙》，作於一二九九年，全書共三卷，二十門，二百五十九問，是一部為初學數學的人所寫的人門書，書成之後還傳到了朝鮮和日本，對當地數學發展具有較大的影響；另一部是《四元玉鑑》，作於一三〇三年。《四元玉鑑》是朱世傑最為重要的數學著作，他在數學上所取得的成就主要包括在這部數學著作之中。

《四元玉鑑》全書共三卷，二十四門。四元是在天元的基础上發展起來的，在「天元術」中，首先假設「天元」為未知數，相當於現代數學中的設 x 為某某，但當出現四個未知數的情況下，天元也就發展為四元。這四元分別用「天元」、「地元」、「人元」和「物元」來表示，相當於現代代數中的設 x 為某某， y 為某某， z 為某某， w 為某某，這種四元方程組的解法被稱為「四元術」，書名《四元玉鑑》即本於此。全書共二百八十八問，其中所有的問題都是與解高次方程或解高次方程組有關。其中與四元（即包括四個未知數）高次方程組有關者七問；與三元有關者十三問；與二元有關者三十六問；其餘為與一元有關者，共二百三十二問。天元術是將各項係數縱列成行，而四元術則既有縱列，又有橫列，擺成一個方陣模樣，用以表示一個可以包含四個未知數的多項式或方程，解多元方程組時用消去法，將四元四式消去一元後變為三元三式，再消去一

元變爲二元二次，更消去一元就得一元方程式，然後用增乘開方法求正根。「四元術」以已知數居中央，四個未知數向上、下、左、右鋪滿整個平面。但如果是四個以上的未知數，這種方法就行不通，因此，四元術的出現，標誌著中國古代數學家求解方程的方法，至此已發展到高峯。

朱世傑的另一項成就就是對於所謂「垛積術」，即高階等差級數求和問題的研究。自宋代開始，一些學者如沈括、楊輝等就開始了對於垛積問題的研究，其中一些就涉及到高階等差級數的求和問題。朱世傑在《四元玉鑑》中又把這一問題的研究進一步深化，得出了一系列高階等差級數求和的公式，如：菱草垛、三角垛、撒星形垛、三角撒星形垛、三角撒星更落一形垛等，並在此基礎上得出了高次內插法的公式。

第四節 宋元時期的醫學

在一個「學而優則仕」的社會裡，醫學是不受人所重視的，唐古文大師在《師說》一文中寫道：「巫醫樂師，百工之人，君子不齒」。可是到了宋代這種情況稍有好轉，一些文人學士也開始關注起醫藥方面的事情來，出現了「士人尚醫」的現象，蘇東坡和沈括就有著名的《蘇沈良方》流傳於今。以天下爲己任，先天之憂而憂，後天下之樂而樂的范仲淹，也立志「不爲良相，則爲良醫」，醫學成爲士人的第二選擇，與此同時，政府也很重視醫學人才的培養和各種醫藥書籍的

修訂。這其中最值得一提的是本草學著作和宋慈及其《洗冤錄》。

一、宋代的本草學著作和臨床醫學

兩宋時期，大約有本草學著作八十餘部，其中記載的藥物種數達到一千八百餘種，比唐朝的《新修本草》增加了一千零三十多種。

先是宋開寶六年（九七三年），劉翰、馬志、張素、吳復珪、王光祐、陳昭遇等九人，奉皇帝之命，以唐朝的《新修本草》為底本，參考《蜀本草》、《本草拾遺》等書，編成《開寶新詳定本草》，全書載藥物九八三種，較唐本草新增一百三十三種，其中一些常用的名貴中藥材，如丁香、烏藥、蛤蚧、天麻、元胡等，都是首次被編入了官修本草。次年，劉翰、馬志等人又奉命對該書兩次進行修訂，名為《開寶重定本草》。

宋仁宗嘉祐二年（一〇五七年），政府又命掌禹錫、蘇頌、林億等人以《開寶重定本草》為依據，再加修訂，成《嘉祐補注神農本草》二十一卷，收載藥物達到一千零八十二種。第二年，即嘉祐三年（一〇五八年），朝廷又下令各郡縣將所產藥物，不分動、植、礦物，一律繪圖，並注明開花、結實、採收季節以及功用等等。凡進口藥物，也都要詢問關稅機關及商人，以辨清來源，並取一至二個樣品送往京師，供繪圖之用。當時有一百五十多個州、軍呈送了藥圖，在此之後，由蘇頌等人加以編輯整理，於一〇六一年編成《圖經本草》二十一卷。書中討論藥物七百八十種，

新增了民間草藥一百零三味。在六百三十五個藥名下繪有九百三十三幅藥物圖形，成爲中國已知的第一部版刻藥物圖譜。在嘉祐年間兩部本草的編纂過程中，蘇頌起着重要的作用。蘇頌（一〇一七至一一〇一年），字子容，福建同安人。慶曆二年（一〇四二年）進士。他曾與林億、高保衡等人一起同校《千金要方》、《神農本草經》等醫學經典。由於他深知僅靠文字記載很難確切辨認藥物，於是上言請編圖經，這樣才有《圖經本草》的問世。

《圖經本草》問世二十多年之後，另一部影響頗大的本草著作——《經史證類備急本草》（簡稱《證類本草》）出現了。《證類本草》的作者是四川蜀州醫生唐慎微。他在嘉祐兩部本草的基礎之上，又參閱了經史傳說、佛經道藏、諸家本草等五百餘種文獻。書中記載藥品總數達一千七百四十八種，幾乎囊括了宋以前本草的精華。此書於宋徽宗大觀二年（一一〇八年）刻版印行，政和六年（一一一六年）重修，紹興二十七年（一一五七年）校定。在明朝李時珍的《本草綱目》刊行之前的五百多年，一直作爲本草學研究的範本，而李時珍的《本草綱目》也是以此爲藍本編寫而成的，他稱讚此書說：「使諸本草及各藥單方垂之千古而不致淪沒者，皆其功也。」

就在《證類本草》重修的政和六年，寇宗奭又撰著了《本草衍義》一書，是書收載藥物四百七十二種，援引辨證，多有發明。書中還推翻了前人的性味說，創立了氣味論，還認爲治病用藥，須根據病人的虛、實、老、少，病期長短，以及藥物毒性的太小等斟酌而用，不可拘泥成法。《本草衍義》和《證類本草》有互爲補充之功，在醫藥學上都有較大影響。

在臨床醫學方面，北宋一代以兒科的進步最大。在診斷疾病方面，不但已能把麻疹與其它熱病區別開來，而且還能區別天花、麻疹和水痘是三種不同的病症，病原各不同。

針灸和銅人。北宋初年的醫書都是輾轉傳抄的，其中所載經絡俞穴部位很紊亂。仁宗初年，醫官王惟一設計用銅鑄成人體模型，刻畫經穴，標注名稱，更寫成《銅人俞穴針灸圖經》一書，使此後學習針灸的人對於俞穴部位能有正確的知識。銅人的鑄造是醫學上的一大貢獻。

二、宋慈和《洗冤集錄》

宋慈（一一八六至一二四九年），字惠父，福建省建陽縣人。嘉定十年（一二一七年）進士，曾於福建、廣東、江西、湖南等地任刑獄官。其間他提倡執法官要清正廉潔，並對檢驗官的職責作了較為完整的規定，多年的辦案檢驗工作，使他認識到，獄情之失，常起因於微小的誤差，而鑒定檢驗之誤，則皆來自於閱歷經驗之淺薄，冤假錯案多由於檢驗不足而造成。於是，他在總結自己工作經驗的同時，博覽法醫學諸書，特別是同時代早期的著作，如《內恕錄》等，於一二四七年著成《洗冤集錄》一書。

《洗冤集錄》共分五卷，五三項。卷一載條令和總說，卷二驗屍，卷三至卷五備載各種傷、死情況。它包括了法醫學的主要內容，如現場檢查、屍體現象、屍體檢查以及各種死傷的鑒別，同時涉及廣泛的生理、解剖、病因、病理、診斷、治療、藥物、內科、外科、婦科、兒科、骨傷和

急救等方面的醫學知識。書中對於自殺、他殺或病死的區別十分注意，案例詳明。如溺死與非溺死、自縊與假自縊、自刑與殺傷、火死與假火死等都加以區分，並列出各種猝死的情況。對於生前死後的刀傷、骨折等的鑒別都有較詳細記載。書中還最早地描述了「屍斑」現象，儘管當時還沒有這個詞。其曰：「凡死人，項後、背上、兩肋後、腰腿內、兩臂上、兩腿後、兩肱腋、兩腳肚上下有微赤色。」書中還提出了用新油絹或明油紙傘驗屍，即迎日隔傘驗屍的方法，這種方法巧妙地利用了光反射原理，在當時有很大的實際意義，還記載了人工呼吸、夾板固定傷斷部位、銀針驗毒、明礬解砒毒等等急救方法。

宋慈是一位傑出的法醫學家，他的《洗冤集錄》不僅在中國沿用了六百多年之久，還被譯成許多外國文種，對世界法醫學產生了影響。

三、金元醫學四大家

「儒之門戶分於宋，醫之門戶分於金元」。金元時期，醫林中湧現出自成一家的四大流派，他們的代表人物分別是：劉完素、張從正、李杲、朱震亨。

一、劉完素及其「火熱論」。劉完素，字守真，自號通玄處士。因長年居住河間（今河北河間縣），故人稱爲「河間先生」或「劉河間」。劉完素的生卒年代不詳，只知道他大約生活於十二世紀。當時正是金兵南侵之時，戰爭連年不斷，動盪不安的局勢造成人們精神上的不寧，緊張

與恐怖的情緒影響著人們的心理和生理。加上劉完素所處的北方地區，天氣乾燥而少雨，民衆的體質也較南方强悍，復因天氣寒冷，藉酒禦寒，這些因素造成當地流行的疾病以熱性病爲主。劉完素因母病未得到及時治療而亡，立志學醫。他刻苦鑽研《黃帝內經》，從中摘出論述病理機制的「病機十九條」，將其中屬於火、熱病的條文發展到五十多種，這就是他稱之爲《素問玄機原病式》的「二七七個字」。加上兩萬多字的注釋，成爲劉完素的一本代表作。在這部著作中，有百分之八十以上都屬於火熱病，或與火熱有關，因此，構成了劉完素學術思想的核心「火熱論」。劉完素將「火熱論」用於治療，創製了新的方劑，這就是表裡兼顧、寒熱並治的雙解散和防風通聖散。這兩個方劑用藥多達二十味，在藥性的配合上是發散、通經、清熱、解毒、攻下、利尿等多種不同作用的相互協同。劉完素在解釋「自製雙解、通聖辛涼之劑，不尊仲景之法」的原因時說：「五運六氣有所更，世態居民有所變，此一時，彼一時」。爲此，他還專門研究過運氣學說，創立了自己的運氣理論。他的運氣理論，沒有機械的變化和規律，而是根據發病的特徵確定運氣主病，所以實際上是病機理論。劉完素的著作除《素問玄機原病式》外，還有《醫方精要宣明論》、《素問病機氣宜保命集》、《傷寒標本心法類萃》、《傷寒直格》、《三消論》、《保童秘要》、《內經運氣要旨論》等。

二、張從正和「攻邪派」。張從正，字子和，號戴人，金代睢州考城（今河南省蘭考縣）人，約生活於十二至十三世紀。他原本是劉完素的傳人，但在繼承先生的學說的同時，有所創造

和發明，終於和老師齊名，成爲「攻邪派」的代表人物。當時人都認爲，一旦得了病，最好使用補藥，病人樂意接受，醫生也不擔風險，即使病人要死了，也不會抱怨補藥，只認爲是命中該絕，所以常言說：「人參殺人無罪，大黃救人無功」，就是這個道理。但張從正卻反其道而用之，他認爲有病之時，是外界邪氣加於人身而成，攻去邪氣，病即可癒。主張治病當先攻邪，不可妄用補法，如要補虛，最好是用五穀、五菜、五果、五肉之類食物補養。而攻邪就是使用發汗、引吐、攻下三種方法，號稱「張子和汗、下、吐」。但他的這種方法很難爲病人和醫生所接受，所以他有「技高常孤」的感覺。只有好友麻知己和常仲明等，才是他的知音，他們平日一起倘佯於山水之間，切磋醫學理論，並將所聞所得輯爲一書，名爲《儒門事親》，擬意將其作爲讀書人事奉自己父母的指導書，書中詳細地闡述了自己的醫學理論。

三、李杲和「補土派」。金元四大家中，與張從正的醫學理論針鋒相對的是李杲。李杲，字明之，真定（今河北省正定縣）人。李杲家境優越，自幼天資聰穎，並受過良好的家庭教育，因母病爲人雜治而死，立志學醫，花錢請易水名醫張元素爲師，經過四、五年的時間，將老師的本事全都學到了手。李杲生活的時代，正是金朝滅亡的前後，戰火烽煙連年不斷，引發饑餓和死亡。他從壬辰之亂中分析死亡的原因，認爲這主要是由於城困民飢，脾胃受傷所致，雖然表現出某些病狀、如發熱、惡寒、頭痛、身痛等，與感冒相似，但絕不是外感，如果當感冒治療，不但沒有療效，還會加速死亡。他先後寫出了《內外傷辨惑論》和《脾胃論》二書，以區別內傷和外感的

不同，闡明內傷脾胃的具體治則與方藥。他認為「人以脾胃爲本」，「百病皆由脾胃衰而生」，反對濫用寒涼之品與攻下之法，由於五臟之中的脾胃對應五行中的土，所以被稱之爲「補土派」。一般人認爲，能吃或體胖是脾胃與消化吸收好的表現，其實不然。李杲指出：胃氣能夠滋養元氣；胃氣弱，則飲食多，飲食多則反傷脾胃，元氣也得不到補充；不能吃而瘦或吃得少反而胖均是脾胃虛弱的表現，這些人雖胖但四肢必定無力。他指出，正是因爲吸收功能差，所以才需要大量地攝入，其吸收功能越差則攝入量越大，所食之物不過是穿腸而過。從這點出發，他創製了各種治療脾胃機能不全的配方，其中最典型的就是各種各樣的「益氣湯」。李杲的治療大法，體現了一種增強脾胃功能，以提高人體自身免疫機能的總原則，這個原則只要能正確理解和使用，就能達到異病同治的效果。

四、朱丹溪和「養陰派」。金元四大家中，朱震亨出生最晚。朱震亨，浙江義烏人，生於一二八一年，卒於一三五八年，享年七十八歲。震亨是他的名，彥修是他的字，又因他出生的赤岸鎮有一條溪流名叫「丹溪」，所以學者多尊稱他爲「丹溪翁」，或「丹溪先生」。朱丹溪原本習儒，後來在他的老師、著名理學家朱熹的四傳弟子許謙影響之下，棄儒習醫。當時在醫學界仍舊盛行陳師文、裴宗元的《和劑局方》，朱震亨認爲靠此不能解決問題，於是外出尋訪名師指點，終於在泰定二年（一三二五年）夏天，在武林（今浙江省杭州市）拜太無先生羅知悌爲師，在此後的一年多時間裡，他跟隨太無先生學習劉完素、張從正、李杲等諸家之學，盡得其傳，術業大

進，並治癒了老師許謙心口痛的疾病，從此聲名遠播，上門求治者絡繹不絕。在以後幾十年的醫療實踐中，他之所以能取得明顯的療效，主要是因為他努力汲取前人的經驗，同時又能克服某些人墨守成規的缺點，例如，他爲了糾正濫用《局方》的弊病，他專門寫了一本《局方發揮》，後人評論說：「自《局方發揮》出，而醫學始一變。」此外，他還寫了《傷寒論辨》、《外科精要發揮》、《格致餘論》、《本草衍義補遺》、《素問糾略》等書。他的理論核心是「陽常有餘，陰常不足」^①，認爲「補養陰血，陽自相附」，因而主張以補陰爲主，多用滋陰降火之劑，後人因此稱他爲「養陰派」，或「滋陰派」。他創製了「越鞠丸」、「大補陰丸」、「瓊玉膏」等養陰藥劑，主張靈活用藥，因病製方，反對宋代局方濫用辛燥藥物的風氣，革新藥物的使用。

第五節 農學和生物學

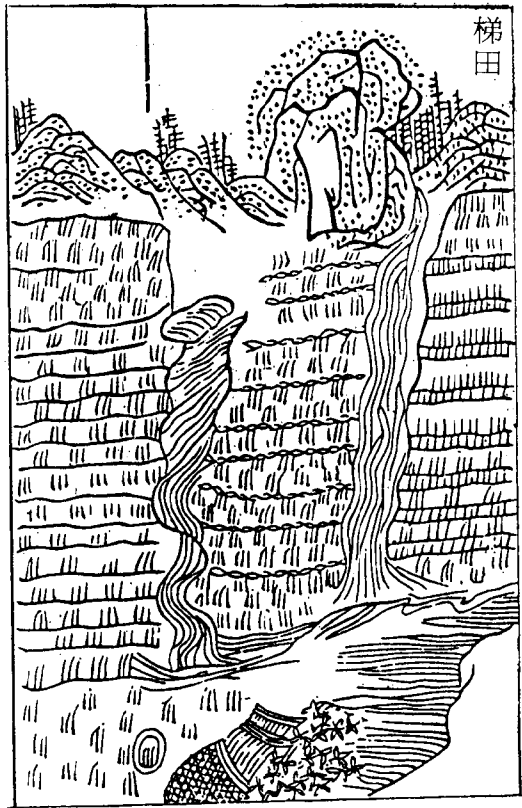
宋元時期，也是中國傳統農學的發展的高峯時期。隨著中國經濟重心的南移，南方一些地區出現了人多地少的局面，迫於人口的壓力，南方的農業生產在積極擴大耕地面積的同時，力爭創造出單位面積的最高產量，促使了南方水田精耕細作技術體系的形成。與此同時，北方的農業生產雖然歷經戰爭破壞，但精耕細作的傳統卻仍然繼承下來，並有所發展。經濟的發展促進文化的繁榮，農書的寫作漸成風氣，並一改《齊民要術》等農書大而全的特點，出現了真正意義上的農學

著作，其中最著名的當數《陳旉農書》、《農桑輯要》、《王禎農書》和《農桑衣食撮要》等，各種與農業有關的生物學著作也以譜錄的形式紛紛出現。

一、土地利用方式的發展

宋元時期，中國經濟的重心已經轉移到南方，隨著人口的自然增長，和北方人口的大量南遷，使得南方出了人多地少的局面，於是出現了一「田盡而地，地盡而山」的局面，各種土地利用方式競相出現，以擴大耕地面積，其中梯田、圩田和架田最引人注目。

梯田，「梯山爲田」，是開山造田的一種形式。唐代雲南部分地區已有梯田的出現，稱爲「山田」①。梯田之名，始見於宋代，南宋詩人范成大在《騷鸞錄》中記載了他遊歷袁州（今江西宜春）時所看到的情景，「嶺阪上皆禾田，層層而上至頂，名曰梯田」。當時閩、江、淮、浙等地都有許多梯田的分布。福建梯田最多，安徽也有許多梯田，浙東多於浙西，江西的撫州、袁州、信州、吉州、江州等地都有梯田分布。元代王禎不僅給出了梯田的概念，而且還最早總結了梯田的修造方法。其曰：「梯田，謂梯山爲田也。夫山多地少之處，除磊石與峭壁例同不毛，其餘所在土山，下自橫麓，上至危巔，一體之間，栽爲重磴，即可種藝。如土石相半，則必疊石相次，包土成田。又有山勢峻極，不可展足，播殖之際，人則僂僂，蟻沿而上，耨土而種，躡坎而耘。此山田不等，自下登陟，俱若梯磴，故總曰梯田。上有水源，則可種粳秫，如止陸種，亦宜



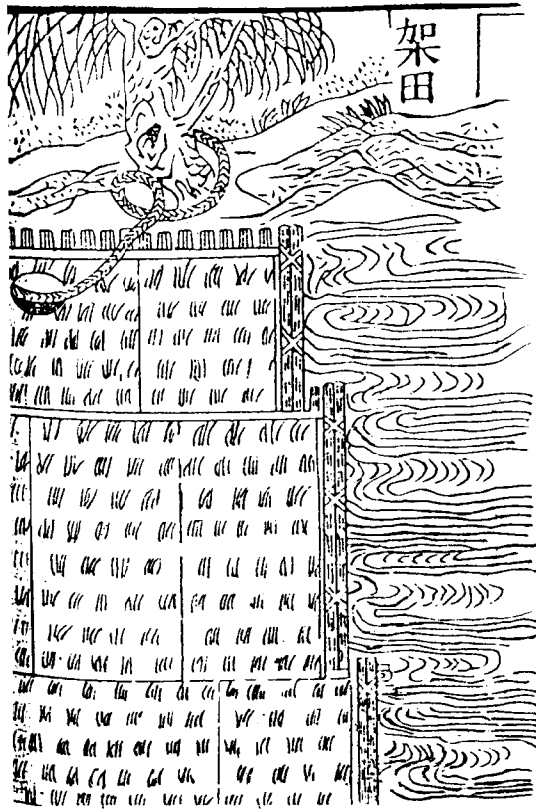
粟麥。」^②根據這段記載，可以看出，梯田的開闢分爲三種情況，一是土山，這種情況只需要自下而上，栽爲重礎，即可種藝；二是土石相半，有土有石的山，就必須壘石包土成田；三是如果山勢非常陡峭，似乎就不能按照常規去開闢梯田，則只好礮土而種，躡坎而耘。不管是那種梯田，只要有水就可以種植水稻，沒有水則只能種旱地作物，如粟、麥

等。

圩田，即圍水造田。早在春秋時期，活動在長江下游的吳越兩國，利用太湖下游的某些地區，經長期的淤積，所形成的季節性淺水灘地，在灘地四周築起堤壩，阻擋外水，排除內澇，把

淺灘闢爲農田，這就是最早的圍田。唐宋五代時期，特別是五代時的吳越時期，圩田得到了很大的發展，以後一度中斷，至北宋末年和南宋以後，才發展到了前所未有的地步。范仲淹在提到圩田時說：「江南舊有圩田，每一圩方數十里，如大城，中有河渠，外有門閘。旱則開閘引江水之利，潦則閉閘拒江水之害，旱澇不及，爲農美利。」可見圩田是圍水造田與農田水利相結合的產物。這個特點在柘田上得到更好的體現，柘田是一種面積較小的圍田，王禎說：「柘田，築土護田，似圍而小，四面俱置淺穴，如櫃形制，順置田段，便於耕蒔，若遇水荒，田制既小，堅築高峻，外水難入，內水則車之易漚，淺浸處宜種黃稭稻。如水過，澤草自生，糝稗可收，高涸處亦宜陸種諸物，皆可濟飢，此救水荒之上法」^④。宋元時期，圍田主要分布在江淮之間，而以兩浙最多。

葑田，又名架田，是一種浮在水面上的耕地。最初是由泥沙淤積菰葑根部，日久浮泛水面而形成的。一種自然土地。中國對葑田的利用由來已久。東晉郭璞的《江賦》中，有「標之以翠翳，泛之以浮菰，播匪藝之芒種，挺自然之嘉蔬」的文句，其中的「泛之以浮菰」，指的是漂浮在水面上葑田，「芒種」與「嘉蔬」則指的是長於葑田之上的水稻，這是我國對葑田利用的最早記載。最早對葑田的利用加以記述的是北宋蘇頌的《圖經本草》，書中說到：「今江湖陂澤中皆有之，即江南人呼爲茭草者。……二浙下澤處，菰草最多，其根相結而生，久則並浮於水上，彼人謂之菰葑。割去其葉，便可耕治，俗名葑田。」與此同時，人們從自然形成的葑田中得到啟發，便做成



浙、淮東、二廣一帶有使用，其分佈範圍也相當廣。架田是中國農業史上的一項重大發明。元代王禎就對此倍加贊賞，認為「架田附葑泥而種，既無旱暵之災，復有速收之效，得置田之活法，水鄉無地者宜效之」⁴⁴。

木架浮在水面，將木架裡填滿帶泥的菰根，讓水草生長糾結填滿框架而成爲架田。不過這種架田，在宋代仍舊稱爲葑田，《陳旉農書》曰：「深水藪澤，則有葑田。以木縛爲田丘，浮係水面，以葑泥附木架而種藝之。其木架田丘，隨水高下浮泛，自不淹溺。」元代則正式將葑田命名爲架田，《王禎農書》云：「架田，架猶筏也，亦名葑田。」宋元時期，江

二、多熟種植的發展和稻麥二熟制的形成

多熟種植即是在同一塊土地上一年之中收穫二季或二季以上的作物。早在戰國時期，就有「一歲而再獲之」的記載。宋元時期，人們在採取各種土地利用形式，擴大耕地面積的同時，以提高單位面積產量為中心的多熟種植也得到發展，在長江流域形成了典型的稻麥二熟制。

稻麥二熟制最早出現於唐代的雲南地區^⑤，但是到了宋代以後，才在長江中下游地區得到廣泛的推廣，其原因首先出於麥作的發展。有宋一代，政府在積極向北方推廣水稻種植的同時，也致力於向以水稻種植為主的南方普及麥類等旱地作物種植，這種普及工作隨著北方人口的南遷而日見成效，到了南宋初年，南方許多地區的小麥種植已是「極目不減淮北」，起初只是「有水源者藝稻，無水源者播麥」，但隨著旱地改為水田，山陵變為梯田，麥田面積減少，實行稻麥二制可使減少的麥田面積得到一定程度的彌補。稻麥二熟發展的第二个原因在於水旱輪作技術的進步，水旱輪作比單純旱地上的輪作，或是水田上的連作，技術上要困難得多。水稻收割之後，必須排乾田中積水方能種上別的一些旱地作物，而水田一般又比旱地要低，排水並不是一件容易的事，因此，解決好稻田中的排水問題是關係到水旱輪作能否推廣的關鍵。《陳旉農書》最早提出了解決這一問題的辦法，其文曰：「旱田獲刈才畢，隨即耕治曬曝，加糞壅培，而可種豆、麥、蔬茹，因以熟土壤而肥沃之，以省來歲功役，且其收又足以助歲計也。」但是陳旉似乎沒有具體地

「先以鐵齒耙縱橫耙之，然後插犁細耕，隨耕隨耨。至地大白背時，更耙兩遍。至來春，地氣透時，待日高，復耙四五遍。其地爽潤，上有油土四指許，春雖無雨，時至便可下種。」之所以要以秋耕為主，是因秋耕過後，「其地爽潤」，「荒草自少，極省鋤工」。也就是說，秋耕有利於蓄水保墒，又便於消滅雜草。「如牛力不及，不能盡秋耕者，除種粟地外，其餘黍、豆等地，春耕亦可。」無論秋耕還是春耕，都必須選擇天氣和暖的時候，因此，秋耕一般要求早，而春耕則要求遲。

第二，提出了分繳內外套耕法。北方平原旱地田面一般較大，平整起來有一定的困難，分繳內外套耕法，就是針對這一情況出現的。《王禎農書》在介紹這一耕地方法時說：「所耕地內，先併耕兩犁，墾皆內向，合爲一隴，謂之「浮磷」，自浮磷爲始，向外繳耕，終此一段，謂之一繳。一繳之外，又間作一繳，耕畢，於三繳之間，繳下一繳，卻自外繳耕至中心，割作一畛，蓋三繳中成一畛也。其餘欲耕平原，率皆仿此。」⁴⁶

第三，重視耙耨，並把多耙細耙放在重要的地位。金元時期的《種時直說》說：「古農法，犁一耨六，今人只知犁深爲功，不知耨細爲全功，耨功不到，土麤不實，下種後，雖見苗，立根在麤土，根土不相著，不耐旱，有懸死，蟲咬，乾死等諸病；耨功到，土細又實，立根在細實土中，又碾過，根土相著，自耐旱，不生諸病。」⁴⁷

第四，中耕技術精細化。《種時直說》對中耕間苗技術做了總結，其曰：「耘苗之法，其凡有

四：第一次曰「撮苗」，第二次曰「布」，第三次曰「擁」，第四次曰「復」（俗曰「添功」，一功不至，則稂莠之害，秕糠之雜人之矣。」⁴⁸撮苗，即間苗；布，即深鋤平壟；擁，壅根培土；復，復鋤加工。中耕農具除了傳統的鋤和鏟以外，宋元時期出現了一種新的農具「耨鋤」，這是一種畜力中耕農具，一驢牽引，用於撮苗之後，入土可達二三寸，超過鋤地深度的三倍，而且每天所中耕的面積不少於二十畝。同種類型的農具在歐洲是在十八世紀三十年代出現的，它的發明者是 Jethro Tull，其名為畜力中耕機（Horse-Hoe），它以及隨之而出現的畜力中耕農法（Horse-hoe Husbandry）的出現，標誌著英國農業走向了近代化的道路。

鋤、鏟和耨鋤只是中耕農具的一種，而不是全部。實際使用過程中，往往是若干種農具配套使用。特別是耨鋤，由於採用畜力中耕，雖然速度和效率都加快了，但有時並不如手鋤那樣細致，因此《韓氏直說》說：「如耨鋤過，苗間有小豁不到處，鋤理拔一遍。」⁴⁹由此也可見宋元時期，對於中耕除草工作做得是非常細緻的。

四、南方水田耕作技術體系的形成

如果說宋元時期是北方旱地技術體系的繼承和發展的時期，那麼對於南方的水田稻作農業來說，則是其技術體系的形成時期。南方水田耕作技術體系主要包括：以耕、耙、耨為核心的水田整地技術；以培育壯秧為目的的水稻充秧技術；和以耘田烤田為主體的水稻田間管理技術。

耕耙耨整田技術體系的形成。在以耕、耙、耨為核心的水田整地技術中，耨是在宋代發展起來的。耨的作用主要就是為了平整田面，以便於下種或插秧。耨出現較早。一九八〇年在廣西倒水出土的耙田模型，其所用的耙是一種一字型耙，排行較長的六齒，齒疏而銳，可能是裝在橫木上，橫木上再安裝扶手把，實際上就是耨。果真如此，則耨在魏晉南北朝時期就已出現。但是耨在很長的時期裡，似乎並沒有得到推廣和使用，唐代時期，水田整地使用的農具主要是犁（如江東曲轅犁）、耙（爬）、礮礮和碌礮等農具，到了宋代始出現有耨，並成為水田整地中重要的一環。《耕織圖詩·耨》：「脫袴下田中，盎漿著膝尾，巡行遍畦畛，扶耨均泥滓，遲遲春日斜，稍稍樵歌起，薄暮佩牛歸，共浴前溪水。」耨的出現標誌著南方水田耕作技術體系的形成。

育秧技術。南方水田精耕細作的另一個重要標誌就是水稻移栽的普及。而水稻移栽又帶動了水稻育秧技術的發展，陳旉在《農書·善其根苗篇》中對於水稻育秧技術即有專門的論述，他指出，培育壯苗的關鍵在於「種之以時，擇地得宜，用糞得理」，在管理上再「勤勤顧省修治，俾無旱乾、水潦、蟲獸之害」，才能「盡善矣」。根據南方地區春天久雨低溫容易造成爛秧的情況，提出「先看其年氣候早晚、寒暖之宜乃下種」，在下種之後的水層管理方面，陳旉指出：「大抵秧田愛往來活水，怕冷漿死水，青苔薄附，即不長茂。」要根據天氣陰晴來決定水層的深淺，「若晴，即淺水，從其曬暖也。」「若才撒種子，忽暴風，卻急放乾水，免風浪淘盪，聚卻穀也；忽大雨，必稍增水，為暴雨漂颺，浮起穀根也。」育秧技術的進步，以及由此帶來的在農

事安排和作物產量方面的效益，又反過來促進了移栽的普及，到元代時傳統的移栽插秧技術已趨定型，對此，《農桑衣食撮要》有很好的總結。其曰：「芒種前後插之，拔秧時輕手拔出，就水洗根去泥，約八、九十根作一小束，卻於犁熟水田內插栽，每四、五根爲一叢，約離五、六寸插一叢，腳不宜頻擲，舒手只插六叢，卻擲一遍；再插六叢，再擲一遍，逐旋插去，務要窠行整直。」

耘田和烤田技術。傳統的水稻田間管理主要包括耘田和烤田兩個基本環節，且往往是同時進行。耘田和烤田技術出現於《齊民要術》之中，到宋代才形成專門的技術名稱。陳旉在《農書》中強調必須根據地勢來耘田，認爲「必先審度形勢，自下及上，旋乾旋耘。先於最上處蓄水，勿致走失，然後自下旋放令乾而旋耘。不問草之有無，必遍以手排搯，務令稻根之傍，液液然而後已。」^⑩但這種方法「苦在腰手，辨在兩眸」^⑪，「爬沙而指爲之辰，僵僂而腰爲之折」^⑫，爲此元代發明了耘爪，套在手指上，用以做爲耘田時的勞動保護，同時提高效率。用了耘爪手指雖然得到了保護，但腰部的勞累仍然沒有得到緩解，於是又創造了一種新的耘田工具「耘盪」，這種工具在釘有鐵釘（其作用相當於手指或耘爪）木板上按上竹柄，「耘田之際，農人執之，推盪禾壟間草泥，使之溷溷，則田可精熟，既勝耙鋤，又代手足。況所耘田數，日復兼倍。」^⑬但耘盪也只是將耘田時的匍匐狀態，改爲半直立狀態，腰部的勞累並沒有得到根本的減輕，於是又出現了一種更省力的耘田方法「足耘」，其法「爲木杖如拐子，兩手倚以用力，以趾塌撥泥上草

穢，壅之苗根之下，則泥沃而苗興。」⁵⁴至此，傳統的耘田方法已全部出現。

烤田是結合耘田進行的。陳勇在論述了耘田之後說：「所耘之田，隨於中間及四傍爲深大之溝，俾水竭涸，泥坼裂而極乾。然後作起溝缺，次第灌溉。夫已乾燥之泥，驟得雨即蘇碎，不三五日間，稻苗蔚然，殊勝於用糞也。」⁵⁵這種方法在羣衆口語中稱爲「靠田」，而最早記載卻見於南宋高斯得《恥堂存稿·寧國府勸農文》一文中。由於「靠」字只是記載它的音，靠田也難以在字面上得到解釋，於是在《王禎農書》中寫作成「燒」⁵⁶。烤田的出現標誌著傳統水稻田間管理的成熟。

五、宋元農學四大家

宋元時期，不光有數學四大家、醫學四大家，還應該有農學四大家，他們分別是宋代的陳勇、元代以孟祺爲代表的司農司、王禎和魯明善。這四大家除陳勇是南宋時人外，其他三家都是元代人。元代在中國的統治時間不長，總共不到一百年的時間。但是卻在中國農學史上留下了三部了不起的農書，這三部農書分別是《農桑輯要》、《王禎農書》和《農桑衣食撮要》。

（一）陳勇及其《農書》

陳勇，自稱「西山隱居全真子」，生平事跡不詳。僅從他的「自序」和洪興祖的「跋」中，得知他曾經「躬耕西山」，「種藥治圃以自給」。南宋紹興十九年（一一四九年）他寫出了一本

《農書》，當時他七十四歲，據此推測他應生於北宋熙寧九年（一〇七六年）。

《陳旉農書》的篇幅不大，全書共有一萬餘字，分上中下三卷，上卷總論土壤耕作和作物栽培，中卷牛說，講述耕畜的飼養管理，下卷蠶桑，討論有關種桑養蠶的技術。其中上卷是全書的主體，在這卷中陳旉比較突出地提到了以下幾個方面的內容：一是土地利用。陳旉在「地勢之宜篇」中指出，土地利用必須因地制宜，他依據地勢提出了高山、下地、坡地、葑田、湖田五種土地的利用規劃；二是土壤肥力學說。陳旉認為，土壤雖有多種，好壞不一，只要治得其宜，都能適合於栽培作物。陳旉還認為，如果能夠時常加入新而肥沃的土壤，施用肥料，可以使土壤更加精熟肥美，地力也將會保持新壯的，不存在什麼衰敝的問題；三是肥料和施肥學說。陳旉在《農書》中不但有「糞田之宜」專篇，在其它各篇之中也都談到了肥料，顯示了他對於肥料的重視，並在肥源和施肥方法方面有不少的創造和發明；四是水稻栽培。《陳旉農書》是第一本關於南方稻區農業技術的農書，書中對於稻田整地和水田中耕等都有論述，還有專篇談論水稻育秧。這些標誌著傳統的水稻栽培技術至此已經基本定型了。

（二）《農桑輯要》

《農桑輯要》是元代專管農桑、水利的中央機構「大司農」組織編寫的。主持人孟祺、張文謙、暢師文、苗好謙等都是當時農業方面的專家。書成於至元十年（一二七三年）。它是現存最早的官修農書。《農桑輯要》全書共有六萬五千多字，分作七卷。卷一典訓，講述農桑起源及其經

史中關於重農的言論和事跡，相當於全書的緒論；卷二耕墾、播種，包括整地、選種總論及大田作物的栽培各論；卷三栽桑，卷四養蠶，講述種桑養蠶；卷五瓜果、果實，講的是園藝作物；卷六竹木、藥草，記載多種林木和藥用植物，兼及水生植物和甘蔗；卷七孳畜、禽魚、蜜蜂，講動物飼養。從全書的整個布局來看，《農桑輯要》基本上繼承了《齊民要術》的內容，但是《農桑輯要》和《齊民要術》等書相比，也有一些顯著的特點。首先，《農桑輯要》增加一些新的資料。如苧麻、木棉、西瓜、胡蘿蔔、同蒿、人荳、荇蓬、甘蔗、養蜂等，都注明了「新添」。其次，《農桑輯要》將蠶桑和棉花等衣著原料的生產放在與糧食生產同等重要的地位，以大量的篇幅介紹了當時栽桑養蠶的成就，還「新添」了苧麻和木棉，以及作者之一的孟祺所作的「論九穀風土及種蒔時月」和「論苧麻、木棉」等項內容，從理論上和技術上闡述向北方推廣木棉和苧麻的可能性。第三，《農桑輯要》提出一種全新的風土觀念。指出環境條件對於作物生長是有影響的，亦即是有風土論，但在一定條件下，作物又是可以引種的，不能唯風土論。引種的失敗不能完全歸罪於風土，有的是沒有好好地種，有的是好好種了，但是卻方法不得當。這種看法，不僅為當時的棉花的傳播，也為後來的番薯、玉米、花生、煙草等作物的引進和傳播，在思想上鋪平了道路。

（三）王禎及其《農書》

《王禎農書》成書於一三一三年以前，作者王禎是山東東平人，他曾經在宣州旌德縣（今安徽省旌德縣）和信州永豐縣（今江西省廣豐縣）兩地任縣尹。農書就是在他任職期間，為了勸農而

編寫的。《王禎農書》係由三部分組成的，第一部「農桑通訣」，即農業通論。共有六卷，十九篇。書中首先論述了農業、牛耕和桑業的起源；農業與天時、地利及人力三者之間的關係，接著按照農業生產春耕、夏耘、秋收、冬藏的基本順序記載了大田作物生產過程中，每個環節所應該採取的一些共同的基本措施；最後是「種植」、「畜養」和「蠶繅」三篇，載有關林木種植，包括桑樹、禽畜飼養以及蠶繭加工等方面的技術。這一部分中，還穿插了如「祈報」、「勸助」等篇。第二部分「百穀譜」，共有四卷十一篇，這部分屬於作物栽培各論，書中一共敘述了穀屬、蔬屬等七類，八十多種植物的栽培、保護、收穫、貯藏和加工利用等方面的技術與方法，後面還附有一段「備荒論」。第三部分「農器圖譜」，共十二卷，是《王禎農書》的重點，篇幅上占全書的五分之四。收集了三百零六件圖，分作二十門。《王禎農書》的特點主要有兩個方面：一是它第一次將南北農業技術寫進在同一本農書之中，成爲第一本兼論南北農業技術的農書；二是「農器圖譜」的寫作。這不僅是以前歷代無法比擬的，而且後世農書和類書所記載的農具也大部份以它爲範本。

(四)魯明善及其《農桑衣食撮要》

在《王禎農書》出版後的第二年，即元代仁宗延祐元年（一三一四年），又一本重要的農書問世了，這就是《農桑衣食撮要》。《農桑衣食撮要》的作者是魯明善，維吾爾族人，曾經在安豐路、太平路、池州府任職，後來又轉監衡州、桂陽、靖州等地，歷史上稱他「連領六郡，五爲監一爲

守」，所到之處，政績顯赫，聲震朝野。《農桑衣食撮要》就是他在安豐路（今安徽壽縣）任職時撰寫的。《農桑衣食撮要》在寫作方法上採用了月令體形式，全書以農桑爲主，還包括林、牧、副、漁各業，凡是屬於氣象、水利、畜牧、園藝、農產品加工等各種農事項目，以及衣、食、住等等方面應有盡有，用作者自己的話來說：「凡天時，地利之宜，種植斂藏之法，織悉無遺，具在是書。」據統計，書中除介紹了五穀（稻麥黍粟豆等糧食作物）和六畜（牛羊馬雞鵝鴨等禽）以外，還記載了蔬菜四十種，果樹十多種，經濟作物和林木各十三種；還有一些江南地區特產，如雞頭（芡實）、菱、藕、茭白、竹筍、鱖魚等也作了介紹。書中還介紹了一些西北少數民族的農牧業生產經驗，如，二月「插葡萄」，五月「造酥油」、「曬乾酪」以及十二月「收羊種」等內容。《農桑衣食撮要》和同時代的《農桑輯要》和《王禎農書》相比，在著書方法上除了採用月令體外，還有個明顯的特點，這就是在行文時力求通俗易懂，方便實用，以滿足農民讀者的需要。《農桑衣食撮要》被稱爲是「最好的農家月令書之一」。

六、宋元時期的生物學著作

宋元時期的農書繼承了中國傳統農學的特點，以農桑衣食爲中心，而「花草之流，可以悅目，徒有春花，而無秋實，匹諸浮僞，蓋不足存。」宋元時期，隨著經濟的發展，一些士大夫開始熱衷於「花草之流」，並寫出了不少有關的「譜錄類」著作，這些譜錄類著作，多以一種或一

類植物為主，比較注重於品種及品質的高下優劣的記載，也涉及栽培和護理方法。

錄譜類植物學專著一覽表

書名	作者	卷數	品種個數	備注
洛陽牡丹記	歐陽修	一	二十四	最早的牡丹專著
洛陽花木記	周師厚			
越中牡丹花品	僧仲林	一	三十二	
天彭牡丹譜	陸游			
亳州牡丹志				
芍藥譜	劉敞		三十一	最早的芍藥專著
揚州芍藥譜	王觀			
菊譜	劉蒙		三十五	最早的菊花專著
菊譜	范成大			
梅譜				
百菊集譜	史鑄	六	一百六十	最早的梅花專著
東溪試茶錄	宋子安			
全芳備祖	陳景沂	五十八		最早的植物學辭典

荔枝譜	蔡襄	一		僅有的棗樹專著
茶錄	蔡襄	二		最早的種蔗和製糖專著
北苑茶錄	丁謂	三		
桐譜	陳翥	一		
永嘉橘錄	韓彥直	三	二十二	最早的泡桐專著 最早的柑橘專著 最早的水稻專著
禾譜	曾安止			
竹譜	吳輔			
筍譜	僧贊寧	一		
菌譜	陳仁玉	一	十一	最早的菌類專著
金漳蘭譜	趙時庚	三		
蘭譜	王貴學	一		
打棗譜	柳貫	一	七十三	
糖霜譜	王灼	一		

《洛陽牡丹記》分爲三篇，「花品敘第一」，列舉了「姚黃」、「魏紫」等二十四種牡丹精品名稱、特徵。「花釋名第二」講述了這些花名的來歷，從中可以看出，有的花名是根據產地、花色，有的是根據栽培者的姓氏。《荔枝譜》詳細描寫了三十二種最優秀的荔枝品種，如陳紫，「其果晚熟，上大而下圓，每顆直徑可達一寸半。香氣清遠，色澤鮮紫，殼薄而平，瓢厚而瑩，

膜如桃花，紅核如丁香母，剝之凝如水晶，食之消如絳雪。」《永嘉橘錄》分上、中、下三卷。上卷記載「柑」八種；中卷有「橘」十四種，以及香櫞等。《揚州芍藥譜》中轉述的舊芍藥譜載三十種，分爲上中下三等七品，其中上，中各兩品，下三品，他自己又補充了八種。劉蒙的《菊譜》記載了菊花三十五種，分爲黃花、白花、雜色三大類。《洛陽花木記》中記有牡丹達一百零九種。《東溪試茶錄》則記載了北苑貢茶產地出產的茶葉七種。《筍譜》中有品名九十餘個，《菌譜》中有品種十一個，《百菊集譜》記有菊花品種一百六十三個。

除了注重品種的分類之外，這些譜錄類著作對於所譜植物的種植、採摘、加工和利用等方面也都有所記載。關於荔枝種植，蔡襄在《荔枝譜》中談到，其樹畏寒，福州之西一百里的水口，氣候稍寒，已不可植。尤以初種時更需小心，頭五六年冬天要加以遮蓋。韓彥直的下卷專講橘樹栽培技術，書中還談到橘樹的淺灌，果子的採摘、收藏、製治、入藥等問題。《桐譜》一書中對於桐樹的施肥、播種、移栽、剪枝、田間管理等等都作了介紹。《洛陽牡丹記》「風俗紀第三」，則記述洛陽人賞花、種花、澆花、養花、醫花的方法。

第六節 科學人物

宋元時期，是中國歷史上科學與技術人才輩出的時期，除了爲人們所熟知的數學四大家、醫

學四大家、農學四大家外，還有許多在科學領域具有諸多建樹的人物，據今編纂的《中國古代科學家傳記》的統計，書中共收入這一時期的科學家五十六人，占全書二百四十九人的百分之二十二點四。列表如下：

宋元科學人物一覽表

姓名	字號	籍貫	生年	卒年	學科	著作或發明
樂史	子正	江西宜黃	九三〇	一〇〇〇	地理	太平寰宇記
燕肅	穆之	青州益都	九六一	一〇四〇	機械、潮汐	海潮圖、海潮論、蓮花漏
曾公亮	明仲	泉州	九九九	一〇七八	兵事	武經總要
陳翥	桐竹君	池州銅陵	一〇〇九	一〇六一	園藝植物	桐譜
周琮	不詳	不詳	不詳	不詳	天文	渾儀、圭表、漏壺
王惟一	不詳	不詳	不詳	不詳	醫學、針灸	銅人前穴針灸圖經
蔡襄	君謨	興化仙游	一〇一二	一〇六七	橋樑	洛陽橋、荔枝譜
賈憲	不詳	不詳	不詳	不詳	數學	黃帝九章算經細草
蘇頌	子容	泉州同安	一〇二〇	一一〇一	本草、天文	圖經本草、水運儀象台
郊宜	正夫	昆山太倉	?	?	水利	吳門水利書
沈括	存中	錢塘	一〇三一	一〇九	多學科	夢溪筆談
畢昇	不詳	不詳	不詳	不詳	印刷術	木活字

錢乙	仲陽	一〇三二	一一一三	醫學	小兒藥證直訣
龐安時	安常	一〇四二	一〇九九	醫學	傷寒總病論
韓公廉	不詳	不詳	不詳	天文	水運儀象台
唐慎微	審之	不詳	不詳	醫學、本草	經史證類本草
李誠	明仲	不詳	一一一〇	建築	營造法式
陳勇	全真子	一〇七六	?	農學	農書
宋徽宗	趙佶	一〇八二	一一三五	醫學	聖濟經
姚舜輔	不詳	不詳	不詳	天文	紀元曆
樓璣	壽玉	一〇九〇	一一六二	農學	耕織圖
杜綰	雲林居士、季陽	不詳	不詳	礦物岩石學	雲林石譜
劉完素	守真、通玄處士	不詳	不詳	醫學	素問玄機原病式
張元素	潔古	不詳	不詳	醫學	珍珠囊、醫學啟源
鄭樵	漁仲	一一〇四	一一六二	動、植物學	通志·昆蟲草木略
范成大	石湖居士	一一二六	一一九三	地理學	攬轡錄、驂鸞錄、吳船錄、桂海虞衡志、太湖志、吳郡志
韓彥直	子溫	不詳	不詳	園藝植物學	橘錄
趙知微	?	?	?	天文學	重修大明曆
黃裳	文叔	一一四七	一一九五	天文、地理	蘇州石刻天文圖
丘處機	長春子	一一四八	一二二七	地理學	長春真人西遊記
鄆州	一〇三二				
蘄州蘄水	一〇四二				
成都華陽	不詳				
管城	不詳				
涿州	一〇八二				
浙江鄞縣	一〇九〇				
山陰	不詳				
河北河間	不詳				
易州	不詳				
福建興化	一一〇四				
吳縣	一一二六				
綏德	不詳				
隆慶普城	一一四七				
登州棲霞	一一四八				

張子和	從正	睢州考城	不詳	不詳	醫學	儒門事親
楊忠輔	德之	不詳	不詳	天文學	醫學	統天曆 內外傷辨惑論
李杲	明之、東垣	真定	一一八〇	一一五一	醫學	洗冤集錄
宋慈	惠父	建陽	一一八六	一一四九	法醫學	庚午元曆
耶律楚材	晉卿	中都	一一八九	一一四三	天文、地理	婦人大全良方、外科精要
陳自明	良輔	臨川	一一九〇	一二七〇	醫學	測圓海鏡、益古演段
李治	仁卿	真定欒城	一一九二	一二七九	數學	數書九章
秦九韶	道古	普州安岳	一二〇二	一二六一	數學	滇池水利
賽典赤	Sayid Edjel	西域	一一一一	一二七九	水利	詳解九章算法、日用算法
楊輝	謙光	錢塘	?	?	數學	西域儀象、元一統志
扎馬魯丁	Jamal al-Din	西域	?	一二九〇	天文、地理	簡儀、高表、通惠河
郭守敬	若思	順德邢台	一二三一	一一三六	天文學、水利	踏車、紡車
黃道婆		松江	?	?	紡織	梓人遺志
薛景石	叔矩	河中萬泉	?	?	機械	革象新書
趙友欽	子公	鄱陽	?	?	天文、數學	四元玉鑿、算學啟蒙
朱世傑	漢卿	?	?	?	數學	農書
王禎	伯善	山東東平	一二七一	一一三〇	農學、機械	

朱思本	本初	臨川	一二七三	?	地理學	廣輿圖
危亦林	達齋	南豐	一二七七	一三四七	醫學	世醫得效方
周達觀	草庭逸民	永嘉	?	?	地理	真臘風土記
朱震亨	彥修、丹溪	婺州義烏	一二八二	一三五八	醫學	格致餘論
賈魯	友恒	澤州高平	一二九七	一三五三	水利	治理黃河
魯明善	鐵柱	高昌	?	?	農學	農桑衣食撮要
汪大淵	煥章	南昌	?	?	地理	島夷志略
忽思慧	和斯輝	蒙古族	?	?	醫學	飲膳正要
滑壽	伯仁	許州襄城	?	?	醫學	十四經發揮、診家樞要、讀素問鈔、難經本義

然而，在宋元著名的科學人物中最有名的，且貢獻最大的莫過於沈括和郭守敬。

一、沈括

沈括，字存中，錢塘（今浙江杭州）人。北宋天聖九年（一〇三一年）生。至和元年（一〇五四年）因為已故父親的功績，他得到了流陽（今江蘇流陽）主薄的官職。一〇六一年改任宣州寧國（今安徽寧國）的縣令。治平元年（一〇六四年）赴東京（今河南開封）應試，舉進士第。熙以後十年間他曾先後擔任過昭文核勘、提舉司天監、史館檢討、集賢院校理、軍器監等職務。熙

寧三年（一〇七〇年），宋神宗採納王安石的建議，施行變法。沈括積極參與了這次的變法運動，並成爲一個重要的骨幹。熙寧五年，沈括被詔令爲提舉，主持治汴工程。熙寧六年奉命出訪兩浙，相度兩浙農田水利、差役諸使，兼察訪。熙寧七年任命爲河北西路察訪使，兼提舉該路保甲。同年九月任命爲兼判軍器監，熙寧八年十月，被任命爲權發遣三司使，主管全國的財政工作。元豐三年（一〇八〇年）六月，沈括出知延州（今陝西延安），兼鄜延路經略安撫使。元豐五年（一〇八二年）十月，因「措置乖方」而被罷官。罷官之後，先後責受均州（今湖北均縣北）、秀州（今浙江嘉興）團練副使。直至元祐三年（一〇八八年）八月，他進投《守令圖》，又稱《天下州縣圖》，方被准予任便居住，遷居潤州（今江蘇鎮江）夢溪園，渡過晚年。在夢溪園，他編撰了名著《夢溪筆談》。另據宋人陳振孫《直齋書錄解題》和《宋史·藝文志》等的記載，沈括在夢溪園中還著有《夢溪忘懷錄》（簡稱《忘懷錄》）一書，是書大多已散佚，據《郡齋讀書志》的作者晁公武說，「所集皆飲食器用之式，種藝之方，可資山居之樂者」，儘管如此，書中還是有不少有價值的地方，明代俞貞木在其《種樹書》「種竹篇」中就提到了其中的種藝之方，說「夢溪忘懷錄之法尤妙」。

《夢溪筆談》是沈括晚年以筆記體裁寫成的一部著作。現存《筆談》二六卷，《補筆談》三卷，《續筆談》一卷一篇，共三十卷。他在這一部著作中集中記載了自己一生的重要見聞，包含有他對於科學和藝術等方面的見解，並反映了當時北宋的社會、政治、外交和軍事狀況，具有極高的

學術價值和史料價值。尤其是他關於科學技術的成就和貢獻大都記在《筆談》中，據統計，在總共三十卷的《筆談》中，涉及科學技術的條目有二百餘條，內容包括：數學、天文學、氣象、地質、地理、地圖、物理、化學、冶金、水利、建築、生物、農學、醫藥等各個方面，使《筆談》成爲一部珍貴的科學典籍。

在天文學方面，他對渾儀、浮漏、圭表等天文儀器的研製都有重大改進。而最突出的是提出了「十二氣曆」。傳統的曆法是陰陽合曆，節氣和月份的關係是不固定的，以至於出現像農學家陳粵所說的「或氣至而時未至，或時至而氣未至」^⑤的現象，影響到人們對於生產和生活的安排，因爲生物的生長主要是受節氣（確切地說是太陽）的影響，所謂「萬物因時受氣，因氣發生」，而人們的活動又主要依據月份來安排，初一幹什麼，十五幹什麼，（月令即便是這種安排之產物），節氣和月份的不固定往往會導致安排上的混亂。爲了使節氣和月份之間建立起穩定的關係，沈括提出了變革曆法的大膽建議，制訂了一種稱爲「十二氣曆」的嶄新曆法。十二氣曆是一種純陽曆制度。它以立春爲孟春（正月）初一，驚蟄爲仲春（二月）初一，其餘以此類推；大月三十一日，小月三十日，一般大小相間，一年最多有一次兩個小月相連；在曆書上加注朔望，以表示月亮的圓缺。這一曆法簡單而實用，在曆法史上堪稱是一個重大的創新。沈括深知，由於陰陽合曆沿用了很長的時間，這種純陽曆一時可能很難以爲人們所接受，並且還可能受到一些人有意攻擊和謾罵，但他自信地說：「今此曆論尤當取怪怒攻罵，然異時必有用予之說者。」^⑥

在數學方面，沈括首創的隙積術和會圓術，開闢了中國傳統數學的新的研究方向。隙積術是一種求解垛積問題的方法，屬於高階等差級數求和問題。沈括具體涉及到的有累棋、層壇和積巽等問題，並得出了正確的求解公式，在此基礎上，楊輝和朱世傑發展了高階等差級數求和方法，把其推廣為更普遍意義的「垛積術」。會圓術是一種已知弓形的圓徑和矢高，求弧長的問題。沈括推導出求弓形弧長的近似公式，這個公式後來被王恂、郭守敬等人用來計算黃道積度和時差。

在物理學方面，他通過琴弦上騎小紙人的方法，發現並驗證了音的共振現象。還討論了透鏡焦點和成像的各種現象。他還發現了指南針「常微偏東，不全南也」，從而發現了磁偏角現象。

在地學方面，沈括討論了浙江雁蕩山、河北太行山、陝西北部地貌、地質的成因。還通過對化石的討論來論證古今氣候的變化。他說雁蕩山的成因，「原其理，當是為谷中大水沖激，沙土盡去，唯巨石巋然挺立耳」。又根據在河北太行山區發現山崖之間往往銜著蚌殼化石，在石壁上橫亘如帶，進而推斷這裡曾經是海濱，華北平原是泥沙淤積而成的。在地圖學方面，他曾先後用木屑、麵糊、蠟、木頭等製造立體地形圖。又花十二年心血，「遍稽宇內之書，參更四方之論。該備六體，略稽前世之舊聞；離合九州，兼收古人之餘意」，繪製成《守令圖》，又稱《天下州縣圖》二十軸，包括總圖大小各一軸，分路圖十八軸。在繪製這些地圖時，他繼承和發展了傳統的製圖六體繪圖方法，把以往的八個方位擴展到二十四個方位，並特別注意水平直線距離的測量，提高了地圖製作的精確度。

醫藥方面，沈括除了在《夢溪筆談》中多處記載有醫藥方面的條目以外，還編有《良方》一十五卷，爲了寫作此書，他「凡所至之處，莫不究詢。或醫藥、或巷里、或小人、以至士大夫之家，山林隱者無不訪及。」^⑧書中所記述的「秋石方」，是現知最早的關於提取激素的記載，受到國內外學術界的高度評價，而在當時更因其療效引人矚目。宋人晁公武在其《郡齋讀書志》中稱贊說：沈括「博學通醫術，故類其經驗方成此書，用者多驗。」此書後與蘇軾書被人合編爲《蘇沈內翰良方》。

除了沈括通過自己的研究所取得的科學成就外，他在《夢溪筆談》中還記載了當時一系列重大的科學成就。如畢昇的泥活字印刷術，喻皓的《木經》，信州（今江西上饒）的濕法煉銅法——膽銅法，延州的用石油煙製墨，水工高超的巧合龍門的三節壓埽法，青堂羌族人民的冷鍛鐵甲法等，都是這些創造發明的唯一或難得記載，這也是沈括對於科學的貢獻。

沈括是中國歷史上的一位多才多藝、在科學技術的許多方面都作出極大貢獻的學者。他「博學善文，於天文、方志、律曆、音樂、醫藥、卜算，無所不通，皆有所論著。」^⑨英國的李約瑟博士說：「他可能是中國整部科學史中最卓越的人物了。」^⑩日本的戴內清教授也說：「像沈括這樣具有獨創精神，對各種學問都抱有興趣的人物，不僅在中國歷史上稀有，在世界歷史上也是可以被列入偉人行列中的人物。」^⑪

二、郭守敬

郭守敬，字若思，順德邢台（今河北邢台）人，元太宗三年（一二三二年）生，延祐三年（一三二六年）卒。郭守敬出生在一个富有的家庭，祖父郭榮不但通曉《五經》，而且精通數學和水利之學，對郭守敬產生了很大影響，郭榮還把他送到他的老朋友劉秉忠處學習深造，在那裡與張文謙、張易和王恂一起讀書研習。約一二五〇年，郭守敬返鄉，次年，受張文謙等人的邀請，他在邢台參與了一項河道疏浚的規劃工作，他妥善地設計了其中的關鍵工程。此後數年他一直在家潛心學習和鑽研。一二六〇年，應張文謙之邀，郭守敬到大名任職，協助處理有關政務。一二六二年，張文謙正式將郭守敬推薦給忽必烈，受到了忽必烈的重視和贊賞，被授以提舉諸路河渠的職務。從此開始了他長期的科學技術活動。

郭守敬一生的科學與技術活動大約可以分為四個階段，兩個方面。第一階段：從三十一到四十五歲，即自一二二二年到一二七六年的十餘年中，他一直在水利部門任職，先後擔任副河渠使、都水少監、都水監、工部郎中等職，他的科學工作也主要是以水利工程為主。第二階段：四十六歲至五九歲，即一二七六年至一二九一年，以天文曆算和儀象學為主。一二七六年，忽必烈詔令編制新曆法，為此設立了專門的太史局，任命王恂和郭守敬二人為主要負責人，一二八〇年編成《授時曆》，次年頒行天下。以後四年，郭守敬又對《授時曆》所採用的天文數據、天文表格以

及推算方法等進行整理，一二八六年，郭守敬升任太史令，繼續進行天文曆法的研究工作。此間他先後完成了十四種一百〇五卷的天文曆法著作的撰寫。第三階段：六十至六十二歲，即一二九一年至一二九三年，又轉向以水利工程為主。一二九一年，忽必烈復置都水監，命郭守敬兼職主管其事，郭守敬提出了興修通惠河等十餘處水利工程的新建議，一二九三年，通惠河開通，郭守敬又被任命兼提調通惠河漕運事。第四階段：六十三歲到六十七歲，即一二九四年至一二九八年，又轉入以天文曆法為主。一二九四年，由於郭守敬在天文曆法和水利工程上的傑出貢獻，他被任命為昭文館大學士，並兼管太史院工作。這一年，他製成了七寶燈漏和木牛流馬。次年，他又製成檀香漏、屏風香漏、行漏等計時儀器。一二九八年，他還製成了靈台水渾渾天漏，並對京郊的一項水利工程提出重要的建議。後又曾試圖仿製張衡的地動儀，可惜未獲成功？

郭守敬的科學貢獻主要有兩個方面。一是天文曆法。郭守敬一生中創制的天文儀器不少於二十二種，其中有一十七種是他在參與編制《授時曆》的幾年中創制的，它們分別是：簡儀、候極儀、立運儀、高表、景符、窺鏡、仰儀、赤道面式日晷和星晷定時儀、渾天象、證理儀和日月食儀、玲瓏儀、正方案、九表、懸正儀和座正儀。這一十七種儀器都是郭守敬為新編曆法的需要，或為太史院設計製造的，其中前九種和後四種為觀測用儀器，玲瓏器為觀測、演示並用的儀器，其餘則為演示用儀器。一十七種之外，另有五種，如七寶燈漏、柜香漏、屏風香漏、行漏、靈台水渾渾天漏等計時儀器是他晚年創作的，其中四種與計時有關。利用這些新創制的儀器，郭守

敬選親自主持和參與了大量大規模的天文測量工作，取得了一大批切實可靠的第一手資料。在此基礎上，他與王恂等人共同合作，吸收前代曆法的精髓，終於在一二八〇年成功的編制了《授時曆》。以後，郭守敬一人又用了四年的時間，對此項工作做了最後的完善。

《授時曆》廢止了上元積年法，而以實測曆元取代，即以一二八一年為曆算的起始年份，這一年的曆法各要素，如冬至、平朔、月亮過近地點和降交點、五星平合時刻及冬至時太陽所在恆星間的位置等等，均由實測而得，並分別令其作為有關曆法問題的起算點。《授時曆》還以萬分法代替傳統的分數法，應用了完善的三次差內插公式計算日、月、五星運動不均勻性改正，還提出了黃赤道宿度變換、白赤道宿度變換和太陽視赤緯計算等的新算法。這些新算法無論在數學上還是在天文學上都具有重要的意義。

郭守敬的科學貢獻的第二方面便是水利建設。他一生向朝廷提出關於水利工程方面的建議計二十餘事，修成或治理河渠塘堰大小數百處。其中主要的有：一二六一年，元世祖忽必烈召見時，「面陳水利六事」，其一是解決大都漕運的方案，另五事是關於華北地區的農田灌溉工程。他提出的治理方案，均具有設計科學和布局合理的特點，受到元世祖的贊嘆。一二六四年，修復西夏（今寧夏自治區一帶）的古渠，溉田面積達九萬餘頃。一二七二年，提出關於浚通黃、淮河下游地區五條河渠（衛河、馬頰河、大運河、汶水、泗水）幹線的合理方案，並得到實施。一二九一年，完成了北京通惠河工程的設計和實施。這也是最能體現郭守敬在水利工程方面的傑作之

一。

通惠河是為漕運而設計的。京杭大運河的開通可以將南來的糧食水運抵通州（今北京通州），而從通州到大都（今北京城），每年若干萬石的糧食卻要改用驢馬陸運，很不方便，而且驢馬遭遇秋雨，往往「死者不可勝計」，勞民傷財。郭守敬提出，別引北山白浮泉水，西折而南，經甕山泊（即今昆明湖），自西水門入城，環匯於積水潭，保證通惠河工程有充足而又清澈的水源供給。又從積水潭東折而南，出南水門，合入舊運河，每十里置一閘壩，一直到通州，共七個閘壩。距閘壩一里左右，又設置斗門，在閘壩和斗門上都有放船隻進出的通道口，船過斗門後，便關閉斗門，開啟閘壩，令水漲船高，然後船隻便可通過閘壩通道口逆行向前。這樣，漕運河可隨閘壩、斗門系統的啟閉協調，順利地拾級而上。通惠河開通之後，公私省便。

郭守敬有關水利工程的設計，反映了他因勢利導、綜合利用的設計思想和很高的設計技巧，而這些又都是建立在進行周密的實地地形和人文勘测的基礎之上的。他曾從鐵幡竿渠上游山洪流量的測算，推算出「非大為渠堰，廣五、七十步不可」的結論，並且他的結論被當事人偷工減料所導致的破壞所證實。他還曾在黃河下游地區進行過大面積的水準測量，並繪製成地圖，以此作為「或可以分殺河勢，或可以灌溉田土」的設計依據。郭守敬的勘测設計還有賴於他所採用的科學方法，如他「嘗以海面較京師至汴梁地形高下之差」，並得出了汴梁（今河南開封）的水平高度遠大於北京的正確推論。這是提出和使用海拔高度這一重要地理概念的第一人。

一。郭守敬在天文曆法和水利工程等諸多方面的成就，使他成爲中國歷史上最偉大的科學人物之

註釋

- ① 洪皓：《松漠紀聞》下。
- ②③ 《宋史·兵志》。
- ④ 《宋史·食貨志》。
- ⑤ 釋文瑩：《湘山野錄》。
- ⑥ 曾雄生：試論占城稻對中國古代稻作之影響，《自然科學史研究》，一九九一年第一期。
- ⑦ 《王禎農書·農器圖譜集之十三·高轉筒車》。
- ⑧ 《宋史·食貨志上》。
- ⑨ 曾雄生：《數書九章》與農學，《自然科學史研究》，一九九六年第三期。
- ⑩ 《陳旉農書·天時之宜篇第四》。
- ⑪ 《陳旉農書·善其根苗篇》。
- ⑫ 《補筆談》卷二一。

⑫《王禎農書·農桑通訣集之一·授時篇第二》。

⑬歐陽修：《洛陽牡丹記·風俗紀第三》。

⑭《夢梁錄》。

⑮周密：《齊東野語》：「馬塍藝花如藝粟，橐駝之技名天下，非時之品真足以侔造化、通仙靈。凡花之早放者，名曰堂花。其法以紙飾密室，鑿地作坎，縷竹置花其上，以牛溲硫黃盡培溉之法，然後置沸湯於坎中，少候湯氣薰蒸則扇之以微風，盎然勝春融淑之氣，經宿則花放矣。若牡丹、梅、桃之類，無不然，獨桂花反是，蓋桂花必涼而後放，法當置之石洞岩竇間，暑氣不到處，鼓以涼風，養以清氣，竟日乃開。余向留東西馬塍甚久，親聞老圃之言如此。」這種花卉栽培技術即是現在所廣為使用的促成栽培。

⑯ Robert P. HYMES, "Not Quite Gentlemen? Doctors in Sung And Yuan." *Chinese Science* 8 (1987): pp.9-76 Philadelphia, Pennsylvania, USA.

⑰宋元時期，稱外國為「番」或「蕃」。南宋時期，當時最大的兩處對外貿易港口廣州和泉州都設有「蕃坊」，供外商居住。同時，還設立「蕃市」和「蕃學」。從外國引進的物產都冠以「番」字，如番荔枝、番石榴、番椒、番茄、番木瓜等，這種情形一直沿用至明清時期，如紅薯，被稱為「番薯」即是一例。

⑱曾雄生：試論占城稻對中國古代稻作之影響，《自然科學史研究》，一九九一年第一期。

⑲一種用竹棒、樹枝等在沙上盤土筆算方法。

⑳《朱文公文集·答陳齊仲》

②宋·朱熹：《朱文公文集》卷九十九「勸農文」。

③宋·陸九淵：《象山先生全集》卷三十四，語錄上。

④宋·張載：《正蒙·太和》。

⑤《正蒙·太和》。

⑥宋·朱熹：《朱子全書·語類》。

⑦湯濤：《德安守御錄》。

⑧李曾伯：《可齋續稿後集》。

⑨《宋史》卷一九七。

⑩元代義大利的旅行家馬可·波羅在他的《遊記》中，對中國的船舶作了詳細的描述。關於隔倉，他說：「比較大一些的船隻有十三個貨艙，就是船裡面的隔間，都是用硬木板裝隔的，跟船殼緊密地釘在一起。如果船隻發生意外，忽然觸礁或者受到鯨魚的撞擊而產生漏洞……海水就從破洞流進船艙……船員一旦發現漏洞，立即把貨物搬到別的艙裡。由於這種艙隔得十分嚴密，所以一個艙進水，並不影響其它的船艙。等船員把損壞的地方修復以後，貨物仍可搬回原處。」

⑪一七八七年，美國著名科學家富蘭克林在關於美國和法國之間的郵船計劃的信裡寫著：「它們的貨艙照中國的方法分隔成個別的艙區，並且把每個艙區都膩縫緊密，以免進水，似乎並沒有不方便的地方。一後來英國的本瑟姆用中國的水密隔艙法改進歐洲的造船工藝。」

⑫《韓非子·有度篇》。

⑬《論衡·是應篇》。

⑭秦安磁版《周易說略》序。

⑮《陶錄》卷七說：「磁州窰……器之佳者，與定相似，但無淚痕，亦有劃花、繡花，其素者價高於定，在宋代固著」。

⑯彩瓷一般分爲釉上彩和釉下彩兩大類。先在胎胚上畫好花紋圖案，然後上釉入窰燒製的叫釉下彩；在上釉後入窰燒製成了的瓷器上再彩繪，又經爐火烘燒而成的彩瓷，叫做釉上彩。

⑰《武經總要前集》卷十二。

⑱王禎《農書》說：「古用韋囊，今用木扇。」

⑲《夢溪筆談》卷三。

⑳朱震亨：《格致餘論·陽有餘陰不足論》。

㉑樊綽：《蠻書·雲南管内物產》載：「蠻治山田，殊爲精好……繞田皆用源泉，水旱無損」，這種具有人工灌溉設施的山田，就是已知文獻記載的最早的梯田。

㉒⑬⑭《王禎農書·農器圖譜·田制》。

㉓樊綽：《蠻書·雲南管内物產》。

㉔《王禎農書·農器通訣集之二·墾耕篇第四》。

- ①《農桑輯要·耕地》卷二。
- ②③《農桑輯要·種穀》卷二。
- ④《陳旉農書·耨耘之宜篇第八》。
- ⑤明·宋應星：《天工開物·乃粒》。
- ⑥⑦《王禎農書·農器圖譜集之四·錢鏹門》。
- ⑧《王禎農書·農桑通訣集之三·鋤治篇第七》。
- ⑨《陳旉農書·耨耘之宜篇第八》。
- ⑩《王禎農書·百穀譜集之一·稻》。
- ⑪《陳旉農書·天時之宜篇》。
- ⑫《補筆談》卷二。
- ⑬《蘇沈內翰良方·序》。
- ⑭《宋史·沈遵傳，附沈括傳》。
- ⑮李約瑟：《中國科學技術史》，中譯本，第一卷，北京：（科學出版社）上海古籍出版社，一四〇頁。
- ⑯數內清：《沈括與其業績》，載日本《科學史研究》，第四十八號（一九五八年），一至六頁。

第七章 明清時期

公元一三六八年，朱元璋建立明朝，改元洪武，從此中國歷史開始了長達二百餘年的明朝的統治，直到一六四四年被李自成領導的農民軍推翻。明朝滅亡之後，清兵趁虛而入，占領了北京，此後又陸續鎮壓了各地的抗清勢力，建立了延續二百餘年的大清江山。明清時期，政治上中央集權得到了進一步的強化，經濟上高度發展，並在一些行業中出現了資本主義生產性質的萌芽，這些都影響著明清兩代的科學技術發展。作爲加強中央集權的一項措施，明代實施的分封諸王制，曾造就了諸王中一些在科學上有所貢獻的王子，這在歷史上是沒有的；明清兩代都實行的八股取士，使得許多讀書人，兩耳不聞窗外事，一心只讀聖賢書。從事與科學技術有關的事被視爲不務正業，嚴重阻礙了科學技術的發展。但由於仕途狹窄，一些受過教育的人，未能如願地進入官場，出於生計，被迫轉入到與科學技術有關的職業中來，並造就了一批在科技術上有所貢獻的人。而明中葉以後出現的商品經濟的發展和實學思潮的興起，也使得一些讀書人自願地放棄科舉而轉入科學技術，對於科學技術的發展起到積極的推動作用。明清時期，正是西方資本主義崛

起時期，宗教作為資本主義對外擴張的工具，先期到達中國，而伴隨著宗教進入中國的西方近代自然科學知識更對當時中國科學技術的發展產生了很大的影響。總的說來，明清時期，是中國傳統科學技術進入總結，並轉入緩慢發展的時期，也是西方科學技術開始傳入的時期。

第一節 明清科學技術與社會

一、明清政治與科學技術

(一) 明代分封制與諸王的科學貢獻

一三六八年，朱元璋建都南京，其後開始了重建統治秩序的諸措施，其中之一便是不斷加強分封諸王的宗藩制度。諸王享有很高的軍事、政治和經濟權力。比如，在經濟上，諸王們就可以得到「祿之終身，喪葬予費」^①的待遇。儘管這項規定給明代政府財政帶來了巨大負擔^②，甚至於諸王兄弟之間為爭權奪利而「同室操戈」，但由於諸王不用考慮生計問題，使得他們中的一些人有可能投入到科學和藝術的活動中去。因此在「賢愚雜出」^③的明代諸王之中也出現了不少在科學上有一定造詣的學者。這也是中國歷史上一種少見的現象。朱橚、朱權、朱載堉等就是他們之間的代表。

朱櫛，明太祖朱元璋的第五子，明成祖朱棣（一三六〇至一四二四年）的胞弟，洪武三年（一三七〇年）他被封爲吳王，駐守鳳陽，十一年（一三七八年），改封爲周王，十四年到開封任職。死後諡作「定」。朱櫛對於醫藥很有興趣，在開封就藩其間，他組織一些學者編著《保生餘錄》方書兩卷。洪武二十三年（一三九〇年）他被流放到雲南，期間組織本府良醫李恒等編著《袖珍方》^①一書。二十四年底，回到開封，組織了一批學有專長的學者，如劉醇、滕碩、李恒、瞿佑等，大量收集各種圖書資料，又設立了資門的植物園，種植從民間調查得來的各種野生可食的植物，進行觀察實驗，十五世紀初，由他親自訂定的《普濟方》^②告成。《普濟方》成書不久，永樂四年（一四〇六年），《救荒本草》一書刊行。是書開創了野生食用植物的研究，在國內外產生了深遠的影響，成爲中國科學技術史上最重要的著作之一。朱櫛的後人對植物學也多有建樹，據書目記載，朱櫛的後人朱有燉著有《誠齋牡丹譜並百詠》一卷；朱有炫著有《德善齋菊譜》一卷；朱安胤著有《叢桂牡丹譜》^③。

朱權，明太祖元璋的第十七子，洪武二十四年封。逾二年，就藩大寧。永樂元年（一四〇三年）二月，改封於江西南昌，晚年「構精廬一區，鼓琴讀書其間」，「日與文學士相往還，詫志神舉，自號臞仙」，正統十三年（一四四八年）卒，稱寧獻王。一生著述甚多，其中有《臞仙神隱書》二卷。此書上卷記述養生及家政之術，其中「山人家事」、「鋤雲耕月」、「卜築之計」、「草堂清興」、「山家農具」等條記述有關農事的内容。下卷題爲「歸田之計」，以月令

的方式記述了農家的活動。其中春一百五十一條；夏一百二十三條；秋一百零五條；冬八十六條，還有牧養之法一十六條、治六畜諸病法六十四條而成。其中一些內容為後來徐光啟所引用⑦。朱權還著有《茶譜》一書。除了在農學方面的貢獻之外，朱權在醫學方面也有所建樹，據一些地方志的記載，朱權著有《壽域神方》四卷⑧、《乾坤生意》四卷⑨、《活人心》二卷⑩等醫學著作。和朱橚的後人一樣，朱權的後人中也有不少在科學上有所造詣的人。寧王的七世孫朱謀埈即其中之一。他天資穎異，一覽終身不忘。大之九經傳注，諸史異同，次之星緯曆數、農圃醫卜，與夫遁甲、太乙、河洛諸學，皆窮極微妙。「典藩政三十年，宗人咸就約束。暇則閉戶讀書，著易象通、詩故、春秋戴記、魯論箋，及他書，凡百十有二種，皆手自繕寫。……從弟謀晉，築室龍沙，躬耕賦詩以終。」寧王朱權的八世孫朱統緒，字時卿，也著有《牡丹志》⑪。

明代諸王中，在科學上影響最大的當屬朱載堉。朱載堉（一五三六至一六一一年），字伯勤，號句曲山人，明朝開國皇帝朱元璋的九世孫。十一歲時，冊封為鄭王世子。嘉靖二十九年（一五五〇年），十五歲時，其父鄭王朱厚烷獲罪削藩，禁錮於祖籍安徽鳳陽。「世子載堉篤學有至性，痛父非罪見繫，築土室宮門外，席蒿獨處者十九年」⑫。其間他開始專心攻讀，研究學問，並於嘉靖三十九年（一五六〇年）寫成《瑟譜》一書，隆慶元年（一五六七年）復鄭王朱厚烷爵位，及載堉世子冠帶。萬曆十九年（一五九一年）其父去世後，他又七次上奏讓出國爵，至三十四年（一六〇六年）獲准。辭去爵位之後，他把主要的精力用於研究音律、天文和曆法。到一

五八一年前，他先後完成了《律學新書》、《算學新說》、《樂學新說》、《律呂精義》等書，一五九五年到一六〇六年，他又用了十年的時間，將自己的著作印刷，書名《樂律全書》，書中收錄自己大部分的著作，這些著作涉及音律學、數學和珠算、天文曆法、計量學、物理學、音樂學、樂器製造、樂譜和舞譜、文學、繪畫等豐富內容。而他在科學上的成就主要是「十二平均律」的發明。

(二) 科舉制度與科學技術人才

分封諸王只是明朝加強統治的一個方面，而另一個影響更大的方面則是採用科舉制度，以加強對知識分子的控制。明代政府規定，科舉應試必須用「八股」文體，即考試例題作文必須按照破題、承題、起講、入手、起股、中股、後股和束股這八部分組成。而且考試專以四書五經命題，考生只能按宋儒朱熹等人的注釋敷衍成章，所謂「代聖人立言」。這種八股取士的辦法在清代得到了提倡和推廣。科舉成爲明清時期知識分子謀取功名利祿的重要手段。許多人爲了謀個秀才、舉人或進士，不惜「皓首窮經」，而從事與科舉毫不相干的科學技術被認爲是不務正業，被人恥笑，因此科學的發展受到極大的阻礙^①。

但是通過科舉考試做上了官的人畢竟只是知識分子中的一部分，因此很多的知識分子還要面臨著仕途以外的人生選擇，這個選擇有時候發生在尚未踏入考場之前，有的發生在落榜之後，還有的發生在丟官或棄官之後，其中有相當一部分人選擇了與科學有關的事業。科舉制度的積極意義在於吸引一部分人去讀書，而這些讀書人雖然以「入仕做官」爲目的，但客觀事實卻使他們

「失之東隅，收之桑榆」，成爲在科學上有所造詣的人。根據筆者對中國古代一千三百六十四個從醫案例的統計與分析，結果表明，考場失利是傳統中國社會士人從醫的首要原因，占總數的百分之二十一點七，清代則高達二十五點一，這表明明清兩代中國每四到五個醫生中就有一個落榜秀才。難怪清末梁啟超在「醫學善會敘」指出，當日之所謂醫者，「皆粗識字略解文理，學爲八股八韻而不能就者，乃始棄而從事於此途」^①，活躍在其它科學領域裡的人也大多是落榜秀才。明代中葉以後，一些知識分子，如李時珍、宋應星、徐霞客等，就是在擯棄仕途，或仕途不得志之後，轉入從事科學技術的總結和考察工作的。這一轉變造就了一批在科學上卓有成績的知識分子。

李時珍（一五一八至一五九三年），字東璧，晚年號瀕湖山人，湖北蘄州（今屬蘄春縣）人。他的祖父和父親都是醫生，使他從小就受醫藥方面知識的薰陶。李時珍自幼多病，每次大病都經他父親精心調治才轉危爲安，因此他對病人的痛苦和醫藥的重要，有深刻的體會。李時珍十四歲考取秀才後，三次參加鄉試都未中舉，於是決定放棄科舉的途徑，專心研究醫藥學。後來又經過三十多年的努力，完成了醫藥學名著《本草綱目》的寫作。除此之外，他還著有《奇經八脈考》、《瀕湖脈學》、《命門考》、《瀕湖集簡方》、《瀕湖醫案》等書。

宋應星（一五八七至一六六五年），字長庚，江西奉新縣人。一六一五年，他參加鄉試，得中舉人。一六一六至一六三一年間，他又五次進京參加考試，但卻名落孫山。從此絕意仕進，轉

而探討有關科學技術和哲學問題。一六三五至一六三八年間，他出任袁州府分宜縣（今江西分宜縣）教諭。在公餘期間，他博覽羣書，調查訪問，整理資料，先後編著了《野議》、《思憐詩》、《畫音歸正》（已佚）、《原耗》（已佚）、《天工開物》、《物象》（未出版）、《樂律》（未出版）、《談天》、《論氣》等著作。宋應星對於科學技術的最大貢獻就是《天工開物》的寫作。

徐霞客（一五八七至一六四一年），名弘祖，字振之，南直隸江陰縣（今江蘇江陰市）人。其父徐有勉「爲園自隱」，居家治圃爲樂，是一個潔身自好的隱居之士，受父母的影響，徐霞客少年時就立志雲遊四方，進行地理考察。自一六〇七年，他二十歲時遊太湖開始，到一六四〇年，他五十歲時從雲南抱病回家時止，前後三十餘年，行跡遍及江蘇、浙江、安徽、江西、福建、廣東、山東、河南、河北、山西、陝西、湖北、湖南、廣西、貴州、雲南等十六個省和自治區。通過長期而艱苦的旅行考察，寫下了一部內容豐富的遊記著作《徐霞客遊記》，對所經各地的山脈、河流、岩石、地貌、氣象、物產、交通、工農業生產、商業貿易、城鄉聚落、風俗習慣等情況都有詳細記載，成爲古代地理學的重要名著。

（三）改朝換代對於科學技術的影響

仕途阻斷是知識分子從事與科學有關的工作的主要原因，這種情況在改朝換代的年代就更爲突出，一六四四年，明朝滅亡，清兵入關，許多人受宋明理學「餓死事極小，失節事極大」的影響，拒不出來做清朝的官，他們轉而隱居起來，從事一些與科學技術有關的活動。清初的張履

祥、方以智、傅山就是其中典型的例子。

傅山（一六〇七至一六八四年），字青主，號公它，朱衣道人、喬廬等。山西陽曲（今太原）人。十四歲成秀才。明朝滅亡以後，也曾參與反清復明運動，於順治十一年（一六五四年）被捕入獄。出獄後託志於詩歌繪畫，並以醫爲業，著有《女科》和《男科》。

張履祥（一六一一至一六七四年），字念夫，一字考夫，號楊園，浙江桐鄉人。少習八股文，年十五，補縣諸生（秀才），後屢試未中舉人，遂在鄉間教書。但仍未忘懷於仕宦，崇禎末年曾拜劉宗周（山陰人，家居御史）爲師。明亡之後張與徐敬可、何商隱等圖謀恢復明室。到清順治四年（一六四七年），清廷統治局勢已定，張與徐、何等遂決心隱居終身。從此，張氏一方面教書，一方面注意農事，就在此時他得到了一本由漣川沈氏所作的《農書》，他一邊抄錄，一邊又與家人共同研究，後來又在他的同夥徐敬可的吩咐之下，完成了《補農書》的寫作，使他成爲農學家。

方以智（一六一一至一六七一年），字密之，號曼公，自號龍眠愚者，宓山子、無可、藥遊老人等，安徽桐城人。崇禎十三年（一六四〇年）進士，歷官翰林院檢討、工部觀政，並充定王、永王講官。明朝滅亡後，他先後流亡於浙江、福建、廣東、廣西，支持抗清鬥爭。清順治七年（一六五〇年）出家爲僧。康熙十年因受廣東反清事件的牽連，他在廬陵（今江西吉安）被捕，在押解廣東途中病逝於江西萬安惶恐灘舟中。方以智是個學識淵博的學者，他在哲學、文

學、音韻、訓詁、歷史、天文、數學、醫學、美術、軍事等諸多領域都有所涉獵。而且還接受到一定的西方自然力學知識，從而奠定了他廣博的學術基礎。一生撰寫了一百多種著作，其中有《醫學》、《醫學會通》、《明堂圖說》、《內經經脈》、《醫集》等醫學著作。《醫學》、《醫集》二書已佚，其餘三種亦僅存於抄本，《醫學會通》和《內經經脈》為論述醫理、脈理、藥性以及醫方的著作，反映了方以智以易學會通醫學的思想。《通雅》一書是他集大成性的代表作，內容為「考證名物象數、訓詁聲音」，包括有天文、曆法、月令、農時、地理、器物、植物、動物方面的記述。而原附於《通雅》之後的《物理小識》則是他在自然科學方面的代表作¹⁵。

和以上三位同時代的許多在科學上有所建樹的知識分子都是在明代滅亡以後，隱居不仕，轉而從事科學或與科學有關的活動，而成為在科學上有所建樹的人的。

明末清初科學人物一覽表

姓名	生年	卒年	著	作	學科
傅山	一六〇七	一六八四	傅青主女科、傅青主男科		婦產科學
方以智	一六一一	一六七二	物理小識、通雅		物理學
張履祥	一六一一	一六七四	補農書		農學
陳淏子	一六一二	不詳	花鏡		園藝學
汪昂	一六一五	一六九八	素問靈樞類纂約注、本草備要、醫方集解		醫學

王錫闡	一六二八	一六八二	曉庵新法、五星行度解、曆說、曆策等	天文、曆法
巢鳴盛			老圃良言	農學
盛國芳			老圃志	農學
徐石麒			花庸月令	農學

(四)官僚、皇帝與科學

如果說，仕途阻斷是許多知識分子從事科學技術活動的主要原因，也非盡然，明清時期，也有不少知識分子在做了官，甚至是高官之後，仍然對於科學有重大貢獻。最典型的人物當屬徐光啟與吳其濬。

徐光啟（一五六二至一六三三年），字子先，號玄扈，松江（今上海市）人。二十歲時，考取秀才，三十六歲時，成爲舉人。四十歲前後，開始接觸傳教士利瑪竇（Mate Ricci，一五五二至一六一〇年）和羅如望（Joao de Rocha, S.J. 至一六一三年）等人，並加入了天文教會，教名「保祿」。四十三歲時，徐光啟進士及第，任翰林院庶吉士，以後又歷任翰林院檢討、內書房教習、翰林院纂修、左春坊贊善、少詹事、河南道監察御史等職。六十八歲時任禮部左侍郎，旋即升爲禮部尚書。崇禎五年（一六三二年）任大學士。次年死於任上。

徐光啟接觸利瑪竇等人以後，便開始學習探討西方科學知識。萬曆三十五年（一六〇七

年），譯出了《幾何原本》、《測量法義》；萬曆四十年初（一六二二年），禮部奏請他和李之藻及西方傳教士龐迪我（Didacus de Pantoja，一五七一至一六一八年）、熊三拔（Sabbathino de Ursis，一五七五至一六二〇年）等同譯西洋曆法，同年他與熊三拔製造天盤、地盤、定時衡尺、璇璣玉衡等，並譯成《泰西水法》。與此同時，他自己還寫了不少天文、算學和測量方面的著作，如《測量異同》、《勾股義》等。

作爲一名以天下爲己任的官員，徐光啟學習西方近代的自然科學知識（格物窮理之學），目的在於想用它來解決當時明朝所面臨的各種社會問題，特別是農業問題，使中國富強起來。早在萬曆三十五年（一六〇七年）至三十八年（一六一〇年），徐光啟在爲他父親居喪的三年期間，他就在家鄉開闢雙園、農莊別墅，進行農業試驗，總結出許多農作物種植、引種和耕作的經驗，寫出了《甘薯疏》、《蕪菁疏》、《吉貝疏》、《種棉花法》和《代園種竹圖說》等農業著作。萬曆四十一年（一六一三年）秋至四十六年（一六一八年）閏四月，徐光啟來到天津墾殖，進行第二次農業試驗。天啟元年（一六二二年）又再次至天津，進行更大規模的農業試驗。在天津期間，他先後寫出了《北耕錄》、《宜墾令》和《農遺雜疏》等著作。這兩段比較集中的時間裡所進行的農業試驗與寫作，爲他日後寫作《農政全書》奠定了堅實的基礎。天啟二年（一六二二年），徐光啟告病返鄉，冠帶閒住。此時他不顧年事已高，繼續從事試種農作物，同時開始搜集、整理資料，撰寫農書，以實現他畢生的心願。但由於忙於負責修訂曆書，農書的最後定稿工作無暇顧及，直到死於

任上。後由其門人陳子龍等人整理出版，書名《農政全書》。從書名中不難看，這是一本農學與政治高度結合的著作。

除了《農政全書》之外，徐光啟留給後人最重要的著作當屬《崇禎曆書》。崇禎元年（一六二八年），徐光啟官復原職，第二年，由於欽天監預報日食又出現錯誤，於是皇帝委派傳教士龍華民、鄧玉函、羅雅谷等推算曆法，以徐光啟為總督。這是明朝唯一的一次有重大意義的曆法改革，這次曆法改革以西法為基礎，儘管受到保守勢力的阻撓，但在徐光啟的主持下得以順利完成。崇禎六年（一六三三年）編成了一部一百三十多卷的《崇禎曆書》。這部書是集體創作，全書大部分都經過他的修改審閱。《崇禎曆書》已開始接受近代天文學和數學知識，突破了中國傳統天文曆法的範疇。

吳其濬（一七八九至一八四七年），字淪齋，別號雩婁農，河南固始人。生於官宦之家，其父吳烜和其兄吳其彥都擔任過翰林官等職，吳其濬最初以舉人身份納貨為內閣中書。嘉慶二十二年（一八一七年）中一甲一名進士（狀元），授翰林院修撰。此後「宦跡半天下」，歷任湖北、江西學政，兵部侍郎，湖南、湖北、雲南、貴州、福建、山西等省的巡撫或總督。

他對植物研究很有興趣，而這樣的行跡又為他研究各地的植物提供了極大的方便，使得他能夠進行深入細致的觀察。他每到一處就廣為搜集，甚至在旅行途中也時刻留意周圍所見的草木。如有一種名為「九頭獅子草」的植物，他經過考察得知，「產湖南嶽麓山坡間，江西廬山亦有

之。叢生，數十本爲一簇。附莖對葉，如鳳仙花葉稍闊，色濃綠無齒。莖有節如牛膝。細根長鬚，秋時梢頭一節間先發兩片綠苞，宛如榆錢，大如指甲，攢簇極密，旋從苞中吐出兩瓣粉紅花……摘其莖插之即活。」足見其觀察仔細，有時因爲季節關係，未能見到某種植物的標本，過了許多年仍念念不忘，引以爲憾。爲了對植物進行觀測研究，他還曾進行栽培。如：他曾請人在深山中挖到黨參，種在盆中，也很容易成活。仔細觀察，很像初生的苜蓿，而氣味則近似黃耆。在實地調查的同時，他還進行了文獻整理工作，首先完成了《植物名實圖考長篇》一書，在此基礎上，加上自己的調查所得，寫出了著名的《植物名實圖考》一書。除植物學方面的工作以外，吳其濬還對礦產進行了深入的調查和研究，並著有《滇南礦廠圖略》一書，詳細地記錄了雲南銅礦的分布、銅礦床的情況和找礦、採礦的技術。

利用做官有機會到各地進行旅遊和科學考察者還有一人值得一提，他就是與徐霞客差相同時的王士性。王士性自少「足跡欲遍五嶽」，長大成人後，利用到各地做官的機會，順道旅遊，遊過的地方有浙江、河南、江蘇、安徽、江西、湖北、湖南、北京、山東、陝西、四川、廣西、廣東、雲南、山西、河北、貴州等十七個省區，遊蹤之廣，與徐霞客不相上下。他把旅遊各地的見聞，寫成《五嶽遊草》、《廣遊記》和《廣志繹》，有較高的歷史價值和科學價值，特別是他關於自然區劃和山脈分布系列的論述更是對於地理學的重要貢獻。

明清兩代皇帝中也有人在科學上有所造詣的，康熙皇帝就是其中的代表。清聖祖愛新覺羅·

玄燁（一六五四至一七二二年），即康熙帝，是清朝人主中原之後的第二個皇帝。他八歲即位，十五歲親政，直到去世，在位六十一年，是中國歷史上在位時間最長的皇帝。他興趣廣泛，涉及歷史、文學、美術、理學和自然科學，並在天文、曆算方面有比較好的基礎。他早年從南懷仁（F. Verbiest）學歐幾里得幾何學，每天聽講，孜孜不倦。後來又學測量、天文、物理和醫學。在宮中設置了研究化學和藥學的實驗室。南懷仁去世後，又請耶穌會士白晉（J. Bouvet）和張誠（J. Gerbillon）在內廷講學。講授的學科有測量、數學、天文、解剖學和哲學等。

由於努力學習，康熙的自然科學知識，特別在數學、天文和測量學方面了解較多。例如他能評論著名數學家梅文鼎的著作，曾召見梅文鼎暢談曆象算法；能計算「河道開口流水，晝夜多寡」；能用「測日晷表，畫示正午日影至處，驗之不差」；在他五十八歲的那年，巡視大運河時，決定在筐兒港建築一座攔水壩，隨後就在河西務（今河北省武清縣東北、運河西岸，當時是漕運要衝）「登岸步行二里許，親置儀器，定方向，釘椿木，以紀丈量之處。」康熙帝還花費了「三十餘年之心力」，親自領導完成了全國地圖的測繪，他在位時還領導完成了《康熙永年曆》的頒行，《數理精蘊》與《曆象考成》的編著等。

除天文曆算之外，他對於地學、農學和醫學也多有涉獵，《康熙幾暇格物編》一書便是他的心得之作。例如書中記載了這樣一件事，一次他在豐澤園（今中南海）的稻田內發現一顆稻提前兩個月早熟，且莖桿高大，遂留種。待次年種下，仍是早熟，從此生生不已。「四十年來內膳所

進，皆此米也」。這種被稱爲「御稻米」的水稻品種，米色微紅，氣香，又早熟，後在南方推廣，可一年兩熟。康熙皇帝的這一發現，被英國生物學家達爾文（Darwin）所稱讚。諸如此類的事情還有不少，作爲一個帝王，對於科學有如此的貢獻是難能可貴的。

二、商品經濟與明代科學技術

明朝建立之後，見於元朝的殘暴統治所導致的自身的滅亡，採取了一些寬鬆的政策，所謂「居上之道，正當用寬」（朱元璋語）。在經濟上採取了一些恢復和發展經濟的政策，如嚴懲貪污、屯田墾荒、保護工商、減輕賦役，千方百計地保護農民的生產積極性，使得經濟得到恢復和發展，墾田數和人口不斷增長，水利得以興修，棉花等經濟作物也得到推廣，農業和收入大幅度增長。工商業也日趨繁榮，技術水平不斷提高，其中紡織、造船、製鹽、製瓷、開礦、冶鐵等行業尤爲突出。有些部門甚至出現了某些歷史學家所說的「資本主義萌芽」。這對於當時科學技術的發展起到積極的作用。

以棉紡織業爲例，明代以後的松江、蘇州、杭州，逐漸成爲棉紡織業的中心，其中尤以松江最爲著名，「其布之麗密，他方莫并焉」，故有「衣被天下」之稱^①。在這些地方，資本主義因素萌芽也最爲突出，商業資本開始侵人生產變爲產業資本。松江有「數百家布號，……而染坊、踹坊商賈悉從之」^②。蘇州「自漂布、染布及看布、行布，一字號常數十家賴以舉火，惟

富人乃能辦此」¹⁸。這是由商人兼工場主的一種資本主義生產關係。萬曆時，浙江烏程人朱國禎記載他家鄉當時的情況說：「商賈從旁郡販棉花，列肆我土。小民以紡織所成，或紗或布，清晨入市，易棉花以歸，仍治而紡織之，明旦復持以易」¹⁹。這就是商業資本控制紡織生產逐漸向產業資本轉化的事例。資本金主義的生產關係，促進了棉紡織業及其技術的發展，而棉紡織業的發展又帶動了棉花種植業及其技術的發展。這為後來徐光啟總結棉花種植技術和棉紡織技術奠定了基礎，因為徐光啟正是松江人氏。徐光啟在《農政全書》中多次提到松江等地的植棉和棉紡織技術。如在總結有關棉花播種方面的經驗時就提到：「凡種植以早為良，吾吳濱海，多患風潮，若比常時先種十日，到八月潮信，有旁根成實數顆，即小收矣。」「吾鄉人多種吉貝，芒種以前甚無暇，夏至前方插蒔，亦有過夏至者，用種不得不多。」又如在提到南方對於棉紗的處理時提到，「南中用糊有二法：其一，先將綿纖維作絞，糊盆度過；復於撥車轉輪作維，次用經車縈迴成紙。吳語謂之漿紗。其一，先將綿纖維人輕車成紙，次人糊盆度過；竹木作架，兩端用緯急維，竹帚痛刷，候乾上機。吳語謂之刷紗。南布之佳者，皆刷紗也。」²⁰

商品經濟的發展，市場交易日趨活躍，實用算術受到人們的重視，促進了珠算等的進一步普及，程大位及其算學名著《算法統宗》的出現，便與之有密切的關係。程大位二十歲左右即開始經商生涯，歷遍長江中下游地區。其間廣泛地收集古今數學著作與民間算法，遇有疑義則請教問難，從而積累了豐富的數學知識。

三、明清學術思潮與科學

(一) 實學與科學技術

明清時期，理學在思想領域裡仍然取主導地位。然而，從萬曆中後期起，一些有識之士對於士大夫當官則誤國害民，為民則空談性命，甚至離經叛道的思想和行爲，深爲不滿，力主從政要有氣節，做學問務求有用。

在這股實學思潮的推動之下，對有關國計民生的實用科學技術進行整理、研究、總結與提高並加以推廣與普及，以收利國利民之效。他們獨立思考，以懷疑與批判的眼光對待前人的經驗與觀念，以求實、求是、求新。他們撇開對心性的空談，走出書齋，邁開雙腳，動手動腦，面向自然界進行觀察、比較、實驗與探索，開創了重實踐、重考察、重驗證、重實測的一代新風。他們或者擺脫科舉制度的束縛，放棄對功名的追逐，或者淡化功名場的爭鬥，重新確定自身的價值取向，開闊視野與思路，鍾情於科學技術而有所作爲。於是在明萬曆至崇禎年間（一五七二至一六四四年）出現了科學技術復興的局面。這一時期，科學技術人才輩出，科學技術碩果纍纍，不論數量和質量均呈現節節上升的態勢。一方面是對傳統科學技術集大成式的總結與提高，一方面是在科學技術的許多學科新生長點的萌生與拓展；又一方面是西方科學技術的傳入與吸收。

明末的科學技術名家與名著表

名家	名著	成書年代	學科領域
朱載堉	律學新說	一五八四	音律學
潘季馴	河防一覽	一五九一	水利學
程大位	算法統宗	一五九二	算學
李時珍	本草綱目	一五九六	醫藥學
屠本峻	閩中海錯疏	一五九六	海洋動物學
王士性	廣志繹	一五九七	地理學
楊繼洲	針灸大成	一六〇一	醫學
趙士楨	神器譜	一六〇五	火器
邢雲路	戊申立春考證	一六〇八	曆法
喻仁、喻傑	元亨療馬集	一六〇八	獸醫學
陳實功	外科正宗	一六一七	醫學
茅元儀	武備志	一六二一	軍事
王象晉	羣芳譜	一六二一	植物學
計成	園治	一六三一	園林學
徐光啟	農政全書	一六三三	農學
宋應星	天工開物	一六三七	綜合

徐弘祖	徐霞客遊記	一六四〇	地學
沈氏	農書	約一六四一	農學
吳有性	瘟疫論	一六四二	醫學
方以智	物理小識	一六四三	綜合

(二) 樸學與科學技術

晚明實學的進一步發展到清代乾隆和嘉慶年間發展為考證學（又稱樸學或漢學），他們對於古代的名物、典章、制度以至文字聲韻、訓詁等都作了一番求突考證的功夫。特別是四庫全書館的開設，網羅各門學問的專家學者三百多人，把所著錄的古籍一一加以校勘注釋並作了提要，於是考證學就大為興盛起來。乾嘉時期，考證學派在學術界占絕對優勢，所以又稱乾嘉學派。

考證學是乾嘉時期乃至有清一代學術研究的一大特色。乾嘉學派的研究精神和方法最值得稱道的是嚴謹認真，實事求是。他們在具體研究中多用比較、分析、歸納的邏輯方法，因此在考證（包括校注、辨偽、輯佚）古典文獻方面作出了出色的成績，這當然也包括一些科學技術古籍在內。

乾嘉學者在校注方面用功很深，因此取得的成績也較大。如《四庫全書》中李潢對古算書《九章算術》、《海島算經》和《緝古算經》的注疏，就完成了《九章算術細草圖說》二卷、《海島算經細草

《圖說》一卷、《緝古算經考注》二卷，把《九章算術》和《海島算經》的各個問題，按照原術補圖演草敘述，基本上是正確的，對原來劉徽注中不易了解的文字也能解釋清楚。對於《四元玉鑒》的注疏，有沈欽裴的《四元玉鑒細草》和羅士琳的《四元玉鑒細草》二種。沈欽裴對朱世傑的四元消法和垛積術有精闢的見解，而羅士琳的《細草》也有獨到之處。

乾嘉時期，李銳受前輩名家梅文鼎的影響，曾想把從古六曆到明大統曆作一系統的研究，但是直到他去世才完成了三統曆、四分曆、乾象曆的注釋和奉元曆、占天曆的部分注釋。他不但解釋難懂的文字，並且對曆中因傳抄、翻刻而產生的錯誤都進行了訂正。這些校訂對後人的研究有很大幫助。同樣，乾嘉學者對古代地理名著如《山海經》、《禹貢》、「正史」中的《地理志》、《水經注》等的校注和對書中山川州郡的今釋，也給予後人不少理解和閱讀上的便利。

除校注外，乾嘉學者們還做了大量的辨偽和輯佚工作。許多偽書或年代有誤的書，經過考證，大半成爲可以信賴的了，許多科學名著，如《九章算術》、《海島算經》、《數書九章》、《益古演段》、王隱的《晉書地道記》，闕駟《十三州志》和《涼州異物志》等等，都是乾嘉學者們從明《永樂大典》等古籍中輯出，對推動學術的發展起了很大作用。

乾嘉學者在古典文獻的考證方面作出的成績的確非常出色。但以考證爲主的清代學術風氣後來卻流於繁瑣，脫離生產實際，脫離對自然規律的探討研究，從而對科學技術的發展產生了很不利的影響。

四、倭寇、傳教士對中國科學技術的影響

十六世紀，中國的對外關係史上，呈現出錯綜複雜的局面，先是倭寇的人侵達到高潮，後又是傳教士的東來，一武一文對中國產生了很大的影響，而其中又以傳教士的影響最大。

(一) 倭寇與地圖學

明嘉靖年間（一五二二至一五六六年），日本進入了「戰國」時期，這時日本分裂為更多的諸侯國，各諸侯爭來通商，有限的貿易已不能滿足其要求，他們通商不遂，便組織一批武士、浪人和商人用武力搶掠，於是倭患達到了高潮。中國軍民也展開了英勇的抗倭鬥爭。在抗倭鬥爭中，人們也認識到了科學技術的重要性，於是一些與軍事有關的學科得到了發展，地圖學即其中之一。鄭若曾、羅洪先便是其中的代表人物。

鄭若曾（一五〇三至一五七〇年），字伯魯，號開陽，江蘇崑山人。他說：「不按圖籍不可以知厄塞，不審形勢不可以施方略。」^①明嘉靖三十一年（一五二二年）倭寇猖狂進犯，人們都看不到有關海防的圖籍為憾事，鄭若曾於是收集有關資料，編繪了沿海地圖十二幅，並附文字說明。後來郡守王道行刊刻了此圖並呈總督胡宗憲。胡宗憲看到後十分贊賞，即請鄭若曾為幕僚。鄭若曾也得以充分發揮他在政治、軍事和地學方面的才能。他一面為抵抗倭寇出謀獻策，一面繼續收集資料，編撰《籌海圖編》。嘉靖四十年（一五六一年）稿成，胡宗憲為之釐訂、寫序，

翌年（一五六二年）付梓。

羅洪先（一五〇四至一五六四年），字達夫，號念庵，江西吉水人。曾任過翰林院修撰和給皇帝講授經書的講官，使他有機會能夠遍觀天下圖籍和掌握國家文獻資料。但當時明朝正處在內外交困，北方有外族的侵擾，沿海有倭寇的竄犯，他以不能直接報效國家而不安。便以搜集國家圖籍，研習治國安邦本領爲己任。史書上稱他是「甘淡泊，煉寒暑，躍馬挽強，考圖觀史，自天文地志、禮樂典章、河渠邊塞、戰陣攻守、下逮陰陽算數，靡不精究」。但是他在學術上最大的成就主要表現在地圖學方面。他編撰的《廣輿圖》是中國歷史上第一部綜合性地圖集。在中國地圖學發展史上起著承前啟後的作用，在國內外都有很大影響。

（二）傳教士與西方近代科學的傳入

十六世紀，隨著西方資本主義的興起與發展，新興的市民階級發動了反對教皇權威的宗教改革運動，基督教分裂成新教和舊教。宗教改革之後，羅馬教皇統治的地盤縮小了，便依靠舊教——天主教教會中的耶穌會士等四處進行傳教。一五八二年，義大利傳士利瑪竇（Matthaeus Ricci，一五五二至一六一〇年）來華，成爲第一個來到中國的傳教士。其後德國傳教士湯若望（Jean Adam Schall von Bell，一五九二至一六六六年）、比利時傳教士南懷仁（Ferdinandus Verbiest，一六二二至一六八八年）、義大利傳教士艾儒略（Julius Aleni，一五八二至一六四九年）等等先後來華傳教。他們來華之後，勾通王侯，走上層路線，與在朝做官的士大夫如徐光

啟、李之藻等人來往，也頗得自明萬曆到清乾隆時一些皇帝的賞識。他們在傳教的過程中，也把當時西方的一些科學技術知識，如天文、數學、地學、水利、物理、火器等傳入中國。以下是一些主要的來華傳教士從事科學活動的大致情況。

來華傳教士的科學工作

姓 名	國籍	來華時間	科學活動領域	主 要 著 譯
利瑪竇 (Mathaeus Ricci)	義大利	一五八二	天文、數學、地學	萬國全圖、幾何原本、同文算指、乾坤體義、經天該、渾蓋通憲圖說
熊三拔 (Sabbathinus de Ursis)	義大利	一六〇六	天文學	簡平儀、表度說
陽瑪諾 (Emmanuel Diaz)	葡萄牙	一六一〇	天文學	天問略
鄧玉函 (Johann Terrenz)	瑞士	一六一九	天文、醫學、機械	泰西人身說概、遠西奇器圖說錄最
湯若望 (Jean Adam Schall von Bell)	德國	一六一九	天文、曆算	曆書、火攻挈要、礦冶全書
穆尼閣 (Nicolas Smogolenski)	波蘭	一六四六	數學、天文學	靈台儀象志、康熙永年曆
南懷仁 (Ferdinand Verbiest)	比利時	一六五八	天文、曆算、地學、武器	法、坤輿圖說、神武圖說

白晉 (Jochain Bouvet)	法國	一六八八	數學、地學、化學	數理精蘊
雷孝思 (Joan-Baptiste Regis)	法國	一六九八	測繪學	皇輿全圖
巴多明 (Dominique Parrenin)	法國	一六九八	醫學	人體解剖學
杜德美 (Pierre Jartoux)	法國	一七〇一	數學、植物學、醫學	皇輿全圖
戴進賢 (Ignatius Kogler)	德國	一七一六	天文學、數學	黃道總星圖、曆象考成後編、儀象考成
蔣友仁 (P. Michael Benoist)	法國	一七四四	天文、地學、建築	地球圖說

傳教士們傳入的還不僅是科學技術知識，更重要的還有科學研究的方法。儘管西方科學的傳人在當時引起了很大的爭論，卻對中國科學技術產生了重大的影響。當時的一些先進的知識分子不僅接受了西方的科學技術知識，還接受了近代的科學研究方法。如徐光啟就為自己的治學立了這樣的一個準則：求精、責實。這四字不僅體現了徐光啟的科學精神，也是對自己科學方法的高度總結。近人竺可楨在總結徐光啟的科學方法時指出，「徐光啟之所以能在若干方面料事如神者，沒有別的原因，只是他能以近代科學方法應用到處事接物方面。所謂以近代科學方法來處理事物，大概可以分為四個步驟：(一)廣泛地搜集基本材料，使其精而確；(二)綜合和分析所搜集的材料，合理地定出自然規律；(三)從定出的自然規律追蹤過去的趨勢來預告將來的變化；和(四)從所推得的未來趨向來謀利用、改造或防禦的方針」^②。徐光啟善於廣泛地利用歷史材料，用統計方法來

探索規律，發現真實情況。在《農政全書》中，他對於蝗蟲發生時間和地點的規律的研究，就利用了這種方法。他統計了歷史上從春秋時期到元代一共一百一十一次蝗災所在月份的記錄，得出了蝗災「最盛於夏秋之間」的結論。又根據歷史記載和他個人的親身經歷，得出「涸澤者，蝗之原本也。」認為「蝗之所生，必於大澤之涯」，特別是「驟盈驟涸」，「曠溢無常，謂之涸澤」的地方，為科學治蝗奠定了基礎。在西方科學技術的影響之下，不僅出現了像徐光啟、李之藻、王徵、王錫闡和梅文鼎這樣一些著名的在科學上有重大貢獻的人物，也產生了像《崇禎曆書》、《數理精蘊》、《皇輿全圖》這樣一些重大的科學技術成果。

李之藻（一五六五至一六三〇年），字振之，又字我存，號存園奇叟、涼庵居士，浙江杭州人。明萬曆二十六年（一五九八年）進士，一六〇四年，始交傳教士利瑪竇，得以閱覽《坤輿萬國全圖》，乃知中國在世界上的位置，由此對西方科學產生了濃厚興趣。他首先刊印了「全圖」，並自撰序文，印成之後，遍贈友人，在當時影響很大。此後十多年間，他對西學造詣日深。他與利瑪竇、羅雅谷等編譯了《渾蓋通憲圖說》、《同文算指》等多部西方科學著作，還將當時傳人的西洋著作，編成《天學初函》二十種。此書在明末流傳很廣，對清代也有一定的影響。

王徵（一五七一至一六四四年），字良甫，號葵心，自號了一道人，教名斐理伯（Philippe），陝西涇陽人。萬曆二十二年（一五九四年）舉人，萬曆四十三年（一六一五年）冬或次年春，進京考進士，先後與龐迪我等人相識，並加入了耶穌會。天啟三年（一六二三年）

讀傳士艾儒略所著的《職方外紀》，對西方機械產生了極大的興趣。後又與傳教士金尼閣、龍華民、鄧玉函、湯若望等人交遊，閱讀和翻譯機械工程書籍。《遠西奇器圖說錄最》三卷，便是由鄧玉函口授，王徵筆譯並繪圖的。他還運用西方機械知識，結合中國傳統技術，製造了龍尾車、恒升車、榨油活機、螺絲轉梯、運石機器等實用機械。

王錫闡（一六二八至一六八二年），字寅旭，號曉庵，又字昭冥，號餘不，別號天同一生，江蘇吳江縣人。明朝滅亡之後，他對中國傳統曆法和西方天文學都作過較為深入的研究，並進行了長達三十餘年的天象觀察，主張使用中國傳統的曆法結構與框架，同時採用一些西方天文學的技術性成果。著有《曉庵新法》和《五星行度解》等天文學著作，其中《曉庵新法》是中國歷史上最後一部傳統曆法。

梅文鼎（一六三三至一七二一年），字定九，號勿庵，安徽宣城人。康熙十四年（一六七五年），梅文鼎開始系統研究當時傳入中國的西方天文學和數學知識。康熙十九年（一六八〇年）梅文鼎將他撰成的九部數學著作合編成《中西算學通》初編。康熙二十八年（一六八九年）受李光地之邀，到京教館，次年完成《曆學疑問》一書。晚年主要在家著書立說。其主要的天文學和數學著作保存在《梅勿庵先生曆算全書》、《梅氏叢書輯要》兩部叢書中。梅文鼎和王錫闡一樣，他在天文和算學上所取得的成就都是在深入研究中外科學知識的基礎之上，去偽存真的結果。

第二節 明清時期的技術科學

一、造船和航海技術

公元一四〇五年至一四三三年，明成祖永樂皇帝派鄭和率船隊七下西洋，先後到達亞洲和非洲的三十多個國家。據史書記載，鄭和的船隊除將士之外，有船師、水手、工匠、醫官、通事（翻譯）、辦事、書算手等技術和工作人員總計二萬七千多人，分乘船隻一百至二百多艘，其中長度超過一百米的大型寶船有四十至六十多艘。規模是空前的。這是明朝國力强盛的表現，更是明代先進的造船和航海技術的表現。

（一）造船技術

明清造船技術的進步首先表現為大型船舶的製造。明清時期的造船仍然集中在江蘇、福建、廣東等地。大型船舶的製造仍然由官府掌握，如明「太祖於新江口設船四百，永樂初，命福建都司造海船百三十七」^②。永樂年間，鄭和所乘坐的「西洋寶船」，「大者長四十四丈四尺，闊一十八丈；中者長三十七丈，闊一十五丈。」^③「體勢巍然，巨無與敵，篷帆錨舵，非二三百人莫能動。」^④大型寶船的製造成功，為鄭和下西洋準備了條件。

其次表現為造船工藝上的一些改進。鄭和寶船都是江蘇太倉和南京製造的，由於江蘇製造海船的傳統一向是沙船，所以一般推測鄭和寶船的船型當為沙船。沙船船型的特點是：平底、多桅、方頭、方艙，並有出艙。這種船型在性能上有不少優點，如平底，吃水淺，受潮水影響較小，又不怕擱淺，比較安全；多桅多帆，桅長帆高，便於使風，加以吃水淺，阻力小，輕便敏捷，快航性好；爲了彌補沙船本身穩定性較差的缺點，創造了一些增加穩定性的設備和裝置，如披水板（即腰舵）、梗水木、太平籃等，使沙船的穩定性大爲提高，加上在逆風的情況下，採取斜行的「之」字形路線前進，使得寶船在順風和逆風都能行駛。

（二）航海技術

鄭和遠航的順利，與當時掌握先進的航海技術有很大關係。例如，儘管當時製造的船隻能夠在順風和逆風下行駛，但自宋元以後，中國的航海者已經非常熟練地掌握了季風的規律，並利用季風的更換規律進行航海。對於東南亞的太平洋和南亞的印度洋航線來說，一般選擇十一、十二月份出發，以就北風，五、六月份回來，以就南風²⁶。對於瞬息萬變的各種氣候，航海家們也掌握了大量的預測天氣的經驗，並巧妙地利用中國獨特的風帆，即可以自由升降和轉動的平衡式梯形斜帆，根據風向和風力大小進行調節，保證了不論在何種風向下，都可以利用風向進行航行。

在定向定位技術上，除了應用指南針以外，還熟練地掌握了航海天文學，並應用牽星術來觀測船舶的方位。所謂「牽星術」，就是以「牽星高低爲準」，通過測量方位星的高低位置，來計

算船舶與陸地的距離遠近和方向，從而確定船舶的位置和航向^②。在使用牽星術時，還必須借用一種觀測星辰地平高度的儀器「牽星板」。明代的牽星板是一套由十二塊正方形木板和一塊四角缺刻的象牙製的小方塊組成。十二塊正方形木板，最大的每邊長約二十四厘米，以下每塊遞減二厘米，最小的一塊每邊長約二厘米。四角缺刻的象牙方塊，缺刻四邊的長度分別是最小的正方形木塊邊長的四分之一、二分之一、四分之三和八分之一。牽星一般是看北極星，在低緯度看不到北極星時，觀測華蓋星，另外還定出一些其它方位星進行觀測，如織女星，燈籠骨星等。用牽星板觀測北極星，方法是左手拿木板一端的中心，手臂伸直，眼看天空，木板的上邊緣是北極星，下邊緣是水平線，這樣就可以測出所在地的北極星距水平線的高度。測量時可以用十二塊木板和象牙塊四缺刻調整使用。求得北極星高度亦即求得了所在地的地理緯度。鄭和下西洋時，曾派專人負責觀測，往返都有「牽星爲記」。

在計程和測深方面，當時在航海上把一晝夜分爲十更，多用燃香以計量時間。測深方法主要有兩種，一是下鈞測深，一是「以繩結鐵」測深。

明清時期，航海技術的進步還表現在針路的記載和海圖的繪製方面。鄭和下西洋繪製的航海地圖從明代茅元儀《武備志》第二百四十卷中可以看到，標題是「自寶船廠開船從龍江關出水直抵外國諸番圖」（計分二十圖，四十面，連接起來是一幅橫條形圖）。圖上繪有沿岸地形山脈、島嶼、礁石、淺灘以及最突出的針路。針路記載開船地點、航向、航程和停泊處所等。航向是記羅

盤針位。航程用更計算。依據特定的針位，再參以航程的測算，便可順利地抵達預定的目的地。在該圖上觀測的牽星記錄和測量的水深也都有記載。這幅圖在東西交通史和航海史上占有非常重要的地位。

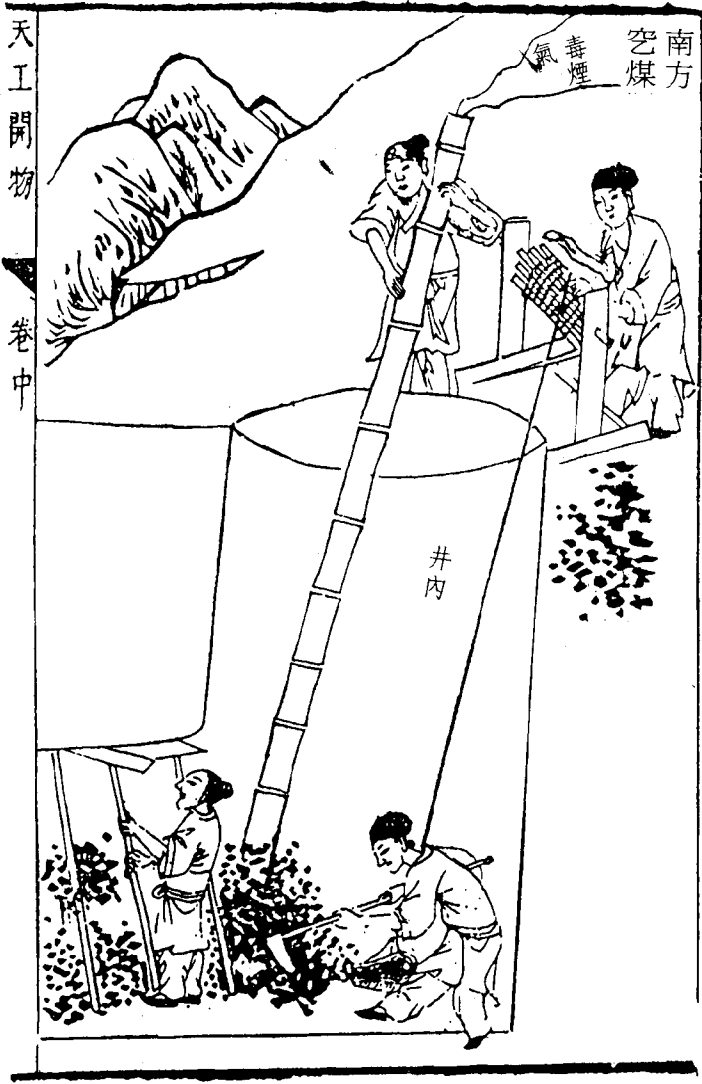
二、採礦和冶金技術

(一)採礦技術

採礦技術，到了明代，除用鐵錐、鐵錘等敲打錘擊之外，還使用了「燒爆」和「火爆」法採礦。從記載明代銀礦、銅礦開採技術較詳細的《龍泉縣志》的有關材料來看，礦井深度比起宋代來有了明顯的增加，反映了當時掘進技術有了提高，井下通風、排水、提昇、運輸技術也有了提高。燒爆法已取代錘擊法。這種燒爆法可能就是用黑色火藥爆破。因為只有爆破才可能做到不用錘尖即可得礦。

在煤炭開採方面，瓦斯是採煤工人最大的安全隱患。《天工開物》中記載了在煤礦中排除毒氣（瓦斯）的技術：「掘挖深至五丈許，方始得煤。初見煤端時，毒氣灼人。有將巨竹鑿去中節，尖銳其末，插入炭中，其毒煙從竹中透上，人從其下施鑿拾起者。或一井而下，炭縱橫廣有，則隨其左右闔取。其上枝板，以防壓崩耳。」

清代有關採礦技術的著作較明代顯著增加，記載比前詳細。如孫廷銓的《顏山雜記》、田雯的



天工開物
卷中

第七章 明清時期

三〇七

《黔書》、屈大均的《廣東新語》、張泓的《滇南新語》、王崧的《礦廠採煉篇》、倪慎樞的《採銅煉銅記》、吳其濬的《滇南礦廠圖略》等。其中《滇南礦廠圖略》最爲重要，該書系統地總結了清代雲南採礦的經驗教訓，是一部重要的採礦技術專著。

明清時期四川井鹽技術發展很快。《天工開物》中就有四川鹽井開鑿工藝的記載。明朝萬曆年間四川射洪人馬驥寫了一篇《井鹽圖說》，詳細記載了井鹽開鑿工藝，原著已佚，只在《蜀中廣記》和《天下郡國利病書》中有部分引文。清代記載井鹽工藝的著作有很多，如段玉裁的《富順縣志》、李芝的《井鹽賦》、吳鼎立的《自流井說》、李榕的《自流井記》、丁寶楨的《四川鹽法志》等。其中《自流井說》和《自流井記》真實地反映了同治、光緒年間四川自流井的生產情況、工藝水平及對地層的認識，是兩篇難得的井鹽技術著作。

(二) 冶金技術

明清時期冶金技術的進步主要表現在以下幾個方面：

一是焦炭、活塞式風箱和機車的使用。焦炭是用煉焦煤乾餾而成的，爲冶煉金屬的優質燃料。煉焦和用焦的最早記載見於明末方以智的《物理小識》，書中記載：煤「臭者燒熔而閉之成石，再鑿而入爐曰礮，可五日不絕火，煎礦煮石，殊爲省力」。這裡所說有臭味的煤，是指含揮發物較多的煉焦煤，把這種煤密閉起來燒熔，就成爲堅硬的「礮」了。「礮」即焦炭，用來冶煉礦石，效果很好。活塞式木風箱是對木扇的重大改進。它是利用活塞的推動，加大空氣壓力，自

動開閉活門，連續供給較大的風壓和風量，提高了冶煉強度，同時也為擴大爐的容積，增加產量，創造了必要的條件。明清時期，較大規模的鐵場，在運送爐料方面已經使用了機車。如廣州鐵場開爐下鐵礦時：「率以機車從山上飛擲以入爐」^⑤。大大提高了勞動功效。

二是炒鋼工藝的新成就。《天工開物》中介紹了使生熟鐵連續生產的工藝，這種工藝是明代冶鐵技術上的一項重要成就。書中說，若要煉熟鐵，便應按生鐵流向，在離爐子「數尺」遠，和「底下數寸」的地方築成一個「方塘」，四周砌「短牆」，讓鐵水流入塘內，幾個人拿著「柳木棍」站在牆上，一個人迅速把用「污潮泥」製成的乾粉末均勻撒播在鐵水面上，另幾個人就用「柳棍疾攪」，這樣生鐵就「炒成熟鐵」了。「污潮泥」或許是含有硅酸鐵和氧化鐵的泥土，用它能使生鐵中的碳氧化成二氧化碳。由於碳的含量減少，生鐵就成熟鐵了。這種將煉鐵爐和炒鋼爐串連起來使用，可以免去生鐵再熔化的過程，既降低了耗費，又提高了生產率。

三是灌鋼法的新發展。灌鋼法到明代又有了進一步的發展。據《物理小識》和《天工開物》的記載，新的灌鋼法與沈括曾記述的方法^⑥有所不同：第一，不把生鐵塊嵌在盤繞的熟鐵條中，而是放在捆緊的若干熟鐵薄片上；第二，生熟鐵相合加熱時不用泥封，只用塗泥的破草覆蓋。「火力到時，生鋼（鐵）先化，滲淋熟鐵之中，兩情投合，取出加錘，再煉再錘，不一而足，俗名團鋼，亦曰灌鋼者是也」^⑦。新灌鋼法最大的優點是使生鐵液能夠均勻地灌到熟鐵薄片的夾縫中，增加了生熟鐵之間的接觸面積，使生鐵中的碳能更迅速均勻地滲入熟鐵之中。另外，用塗泥的破



鐵爐

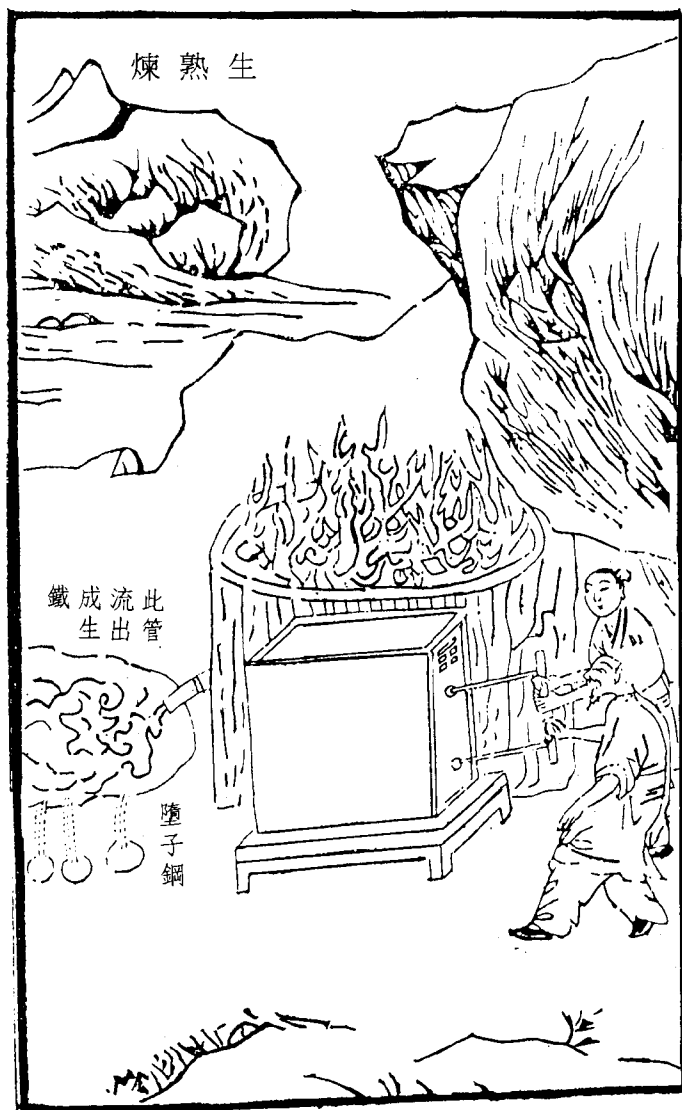
天工開物

下卷

撒潮泥灰

流入方塘

板生鐵



草覆蓋，可使生鐵在還原氣氛下逐漸熔化。唐順之《武編》記載了兩種「熟鋼」製法，第一種和上述團鋼法相同，第二種是「以生鐵與熟鐵並鑄，待其極熟，生欲流，則以生鐵於熟鐵上，擦而入之」。這種製鋼工藝和盛行於蘇州、蕪湖等處的「蘇鋼」相近。

四是煉鋅技術。中國在宋代即已冶製出銅鋅合金「黃銅」。明代稱鋅為「倭鉛」。《天工開物》中有關於煉倭鉛的詳細記載和插圖。方法是把十斤爐甘石（即碳酸鋅）裝入一個「泥罐內」，然後「封裹泥固」，並把表面搞得很光滑，讓它慢慢風乾，不用火烤，以防「坼裂」。再一層層地用煤餅把裝爐甘石的罐墊起來，在下面鋪柴引火燒紅，這時罐裡的爐甘石就「熔化成團」，冷卻後，「毀罐取出」就是「倭鉛」了。這種方法和現在的橫罐煉鋅法相似。

三、建築技術

明清時期的建築技術得到高度的發展，至今仍能見到的反映當時建築技術成就的建築有：明清兩代在北京的皇宮（今北京故宮）、明代的萬里長城、園林、以及民族建築，如布達拉宮等。故宮是明清木構建築的代表。宮殿的建築設計十分嚴謹規則，這是明、清木構建築發展的特點之一。中國的木構建築的設計雖然早已有了一定的規範，但發展到明清時候就更加規格化、程式化了。殿式建築以「斗口」為基本模數，只要定了一種斗口的等級，整個建築的各部分用料尺度就可以確定了。斗拱功能的減弱以及木構件砍割手法的簡化等，也是這一時期木結構的明顯變

化。

拼合樑柱構件技術是明清木結構技術的一項重要成果。由於掌握了木材易於拼合的性能，使小塊木料經過併合、斗接、包鑲之後，仍能發揮大料的作用，達到節省用料的要求。此外，在中國南方木構房屋建築中，穿斗式構架（即以柱直接承檁）的普遍出現，也是明清時期民用建築結構上的一大特色。

萬里長城是磚構建築的代表。明長城，以山西爲界，山西以東至山海關稱東半部，山西以西稱西半部。東半部城牆大部蜿蜒在崇山峻嶺之間，有的利用山脊修築，形勢極爲雄偉險要。城牆外面用磚砌，裡面是垛土。一般牆高約八米，下部牆基寬約六米，牆頂寬五米左右。牆頂外部設狹口，約高二米，內部砌女牆，高約一米。牆身每隔七十米左右修碉樓一座，牆身內部每隔約二百米有石階梯，可登城巡視。山西以西的長城，係由夯土版築，牆高約五米多，牆身下部寬四米左右，上部寬約二米。作爲傳報軍情用的烽火台，設在長城內側或內側的山頂上，大部用磚石砌成，平面呈方形，每面約八米，高約十二米左右。明長城大都非常牢固，特別是東半部都用磚砌（局部地段用石條），石灰漿勾縫。城牆的砌法，在坡度較小時，磚石隨地勢平行砌築；坡度較大時，採用水平跌落砌築，磚牆砌得十分平整堅實。這是城防工程的一個發展。明清建築普遍使用磚和石灰漿砌築，使磚構建築技術進入一個新的發展階段。

明清時期建立起許多園林，其中私家園林主要分布在江南一帶，如蘇州拙政園、留園、獅子

林，無錫寄暢園，揚州個園等。皇家園林主要在北京，如頤和園，而論其規模要數清代熱河的避暑山莊為最大，面積五百多公頃。無論是皇家苑囿和私家園林都具有以下特點：第一，設計力求自然，富有曲折，較少採用簡單的幾何圖形。第二，分全園為若干景區，各區既相聯繫又主次分明各具特色。第三，充分利用對景手法造景，即從一定的觀賞點出發來取景、造景。第四，水面處理，有聚有分，以聚為主，以分為輔，理水技術包括引水、堰閘、駁岸、瀑潭、溪澗、噴泉等。第五，疊造假山，使園景更豐富多姿，疊山的做法有立峯、壓疊、構洞、樹筋、亭台、回廊、圍牆、石舫等。第七，綠化植物的栽種亦頗具匠心，多有姿豐態美、色香俱佳的花草樹木。

明末出現了一部重要的造園理論方面的著作，即計成著的《園冶》一書。這部著作系統地總結了江南一帶造園技術的成就，主張「雖由人作，宛自天開」，也就是說造園要因地制宜，使之富有天然色彩，以此作為衡量園林建築優劣的重要尺度之一。

明清時期，在建築技術上還有一個了不起的成就，這就是聲效在建築上的運用。聲學效應的應用在中國有悠久的歷史。早在戰國時期，墨子曾在地下設甕，利用共鳴現象，探查敵方挖洞攻城的計謀。宋代曾公亮在他的《武經總要》中，把這種方法稱為「甕聽」，這是聲學效應在軍事上的應用，而在建築上應用的典型事例要算北京天壇的部分建築物^①。

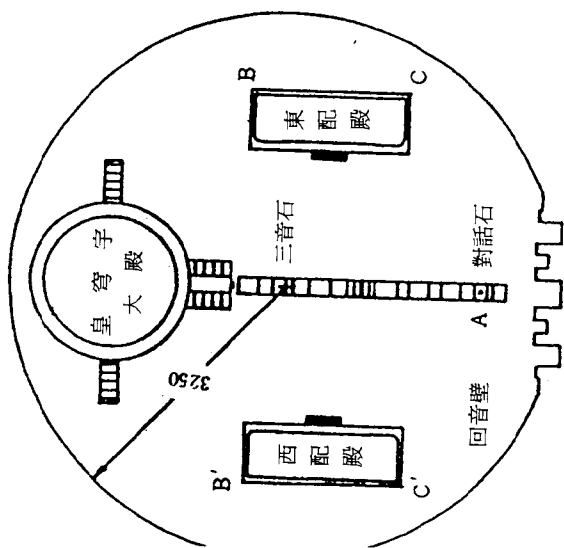
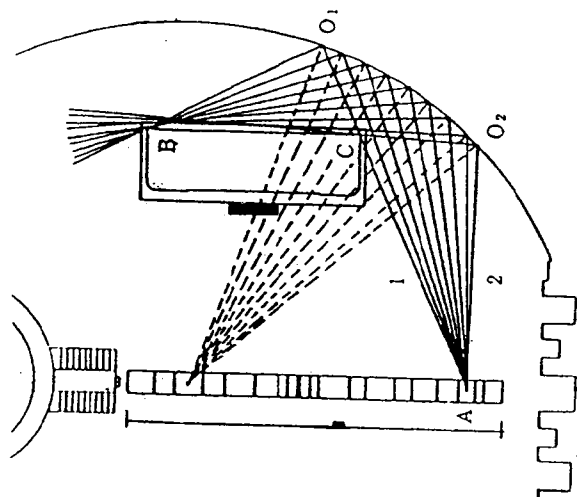
天壇的部分建築，如回音壁、三音石和圓丘等，具有較高的聲學效果，使這一不尋常的「祭

天」的場所，更增添了神秘的色彩。回音壁是環護皇穹宇（安放祭天牌位的所在）的一道圓形圍牆，高約六米，圓半徑約三十二點五米。內有三座建築物，其中之一是圓形的皇穹宇，位在北面正中，它與圍牆最近的地方只有二點五米。回音壁只開一個門，正對皇穹宇，整個牆壁都砌得十分整齊、光滑，是一個良好的聲音反射體。如有甲、乙二人相距較遠，甲貼近圍牆，面向牆壁小聲說話，乙靠近牆壁可以聽得很清楚，聲音就像從乙的附近傳來的。

在皇穹宇台階下向南鋪有一條白石路直到圍牆門口。從台階下向南數第三塊白石正當圍牆中心，傳說在這塊白石上拍一下掌，可以聽到三響，所以這塊位於中心的白石就叫三音石。事實上，在三音石上拍一下掌，可以聽到不止三響，而是五、六響。而且三音石附近也有同樣的效應，只是模糊一些。

圓丘是明、清兩代皇帝祭天的地方。它是一座用青石建築的三層圓形高台。高台每層周圍都有石欄杆，在欄杆正對東、西、南、北方位處鋪設石階梯。最高層離地面約五米，半徑約一四米。高台面鋪的是非常光滑、反射性能良好的青石，而且圓心處略高於四周，成一微有傾斜的台面。人若站在高台中心說話，自己聽到的聲音就比平時聽到的要響亮得多，並且感到聲音好像是從地下傳來的。這是因為人發出的聲音碰到欄杆的下半部時，立即反射至傾斜的青石台面，再反射到人耳附近的緣故。

最近，人們又在天壇發現了對話石聲學現象。若有人站在皇穹宇大殿前甬道第十八塊石板上



(圖一中A處)說話或擊掌，則站在距此約三十六米遠的東配殿的東北角(圖一或圖二中的B處，一個以配殿角爲圓心，半徑約爲零點五米的扇形區域)的另一個人，雖然受配殿阻隔，看不到對方，但卻可以清晰地聽到站在第十八塊石板上的人的說話聲或擊掌聲，就好像說話人或擊掌就站在配殿角附近的，同樣，如果站在東配殿的東北角或西配殿說話或擊掌，則站在第十八塊石板上的人亦能清晰地聽到對方的說話聲或擊掌聲，雙方可以互相通話，就如同打電話一樣，十分有趣。即使在遊人較多，背景噪音較大的情況下，雙方通話也不受影響，效果十分明顯。這種雙向通話的聲學現象被稱爲「天壇對話石聲學現象」(簡稱對話石聲學現象)②。

明清時期，一些少數民族在建築方面也取得了卓越的成就。特別是藏族創造的石砌高碉建築，蒙族的喇嘛廟建築，維吾爾族用土坯建造的穹窿結構建築以及傣族修建的佛寺和塔寺，都具有獨特的民族風格和較高的技術水平。

藏族建築在構造、施工和工藝技術方面的特點是：結構形式就承重方式來看，最常見的是木構架承重，牆承重只在盛產石料的地區比較普遍；適應高原氣候寒冷乾燥的特點，屋面大都是平頂。建築模數是在人體尺度的基礎上進一步制定。建築在世界屋脊上的布達拉宮是藏族建築技術的傑作。

維吾爾族的穹窿頂建築最大的土坯穹窿頂直徑約十五米，小型的穹窿頂可直接建在方形的土坯牆上。較大型的就將土坯牆改爲單拱肋，再大時常用抹角的辦法使方形牆頂變成八角形、十六

角形或三十二角形等，以便與圓形接近。在砌法上，類似疊澀，要求每層的水平方向都是正圓，垂直方向能斗合即可，不一定成正圓。在用單拱肋承重時，拱角處常加圓形的墩子以增加剛度抵抗推力，這種墩子在外形上就構成了伊斯蘭教特有的建築形式。

蒙族的喇嘛廟建築分爲西藏式、五台式、漢藏混合式三種式樣。西藏式喇嘛廟，全部仿照西藏的式樣，其中以包頭五當召爲代表。五台式即漢式，完全按照五台山地區的漢族廟宇的建築風格，以多倫諾爾的匯崇寺、善因寺爲代表。漢藏混合式，即結合漢、藏兩種風格的建築。

傣族的佛寺建築中最突出的是佛殿屋頂的造型。屋頂依縱向分成三段至五段，用歇山式。但歇山式的上部兩坡和下部四坡分成兩段，歇山上部作舉折凹曲面，下部尾面平直。大型佛殿在歇山頂外再加一圈重檐柱子，形成重檐。以上處理手法，並沒有給結構增加更多的負荷。只是依靠柱子和檁條位置的高度不同形成多種變化，體現了傣族建築技術的獨創精神。傣族塔都是磚砌實心，用石灰漿砌築和抹面，灌填堅實，造型優美，施工技術較高。塔由基台、基座、塔身和塔頂構成一座挺拔秀麗的長柄鈴形舍利塔。

四、製瓷技術

明清時期，是古代製瓷業高度發展的階段，全國有半數省份能燒製瓷器。江西景德鎮則已成爲全國的瓷業中心，並代表了當時製瓷工藝的最高水平。

從胎質來看，「過籬，絹袋淘練法」，使瓷土中的石英顆粒比以前更細小，分布更均勻。瓷土的配方也有改進，出現了二種以上原料的配方。加上燒製的溫度和時間控制合適，因而燒成的瓷胎、白度和透光性已達到現代硬質瓷的技術水平。

明清時期製瓷工藝最大的成就就是精緻白釉的燒成。這種白釉由於所含氧化鋁和二氧化硅特別高，熔劑（CaO）含量低，由以前的百分之十至百分之十八，遞減為百分之四左右。所以，釉色純白如牛奶，而且晶瑩透徹。白釉質量的提高，為一道釉瓷和彩瓷的發展創造了條件。

明清時期的一道釉瓷品種豐富多彩。明代已有鮮紅、翠青、寶石紅、嬌黃、孔雀藍、回青等色。其中鮮紅、寶石紅釉的成品格外優異。清代更有天藍、蘋果綠、吹紅、吹紫、吹綠、胭脂水、油綠、天青等。乾隆時景德鎮的「唐窰」僅歲例貢御用瓷色就有五十七種之多。此外，清代對歷代名窰都能仿製，其成品幾可亂真。明清時期，還能有把握地燒製「窰變」釉色。既掌握了還原焰技術，又能把氧化銅轉變成游離狀態的銅，使它均勻地分布於釉藥中，並把金屬銅轉化為膠體狀態，而燒成色調別致的「窰變」釉色，「蓋純乎人工故意製成者也」³³，標誌著明清製瓷技術的重大進步。

明清時期，釉下彩精品「青花」瓷，在宋元的基礎之上又有所發展。其中明代的青花最為有名，質地優美，暢銷中外。其製作方法，先把青料在素胎上繪成各種花紋圖案，然後上釉在一千二百攝氏度以上的高溫中一次燒成。明代瓷器加彩的方法已多樣化了，如有在燒成的青花瓷器上

加紅、黃、綠、紫等彩料，再經爐火燒煉而成的鬥彩，還有包括紅彩在內的多彩的五彩瓷器等。清代的素三彩、五彩和粉彩、琺瑯彩名聞中外。粉彩和琺瑯彩都屬釉上彩。粉彩就是在色料中加鉛粉，或在色料上面另外塗上鉛粉製成的。主要利用控制溫度的辦法，使它在燒成的時候釉面呈現不同的色澤，由於濃淡協調，光澤柔和，能表現出明暗分明的立體感。琺瑯彩的製法基本上和粉彩相同，在瓷胎上畫琺瑯。它和粉彩瓷器在胎質、形態、款式、圖樣、風格等方面都是精美無比的。

五、《天工開物》對於傳統技術的總結

《天工開物》是宋應星主要代表作，全書共三卷十八章，計有《乃粒》、《乃服》、《彰施》、《粹精》、《作鹹》、《甘嗜》、《陶埏》、《冶鑄》、《舟車》、《錘鍛》、《燔石》、《膏液》、《殺青》、《五金》、《佳兵》、《丹青》、《曲蘖》、及《珠玉》等章，所敘述的內容涉及農業及工業近三十個生產部門的技術。各章先後順序的安排是根據「貴五穀而賤金玉」的原則作出的。宋應星把與人民衣食有關的農業各章置於全書之首，其次是有關工業各章，而以不切國計民生的珠玉一章墊後，體現了作者重農、重工和注重實學的思想。

上卷有六章，多與農業有關。《乃粒》主要論述稻、麥以及黍、稷、粱、粟、麻、菽（豆類）等糧食作物的種植、栽培技術及有關生產工具，包括各種水利灌溉機械，並對以江西為代表的南

方水稻的栽培技術介紹得特別詳細。《乃服》包括養蠶、繅絲、絲織、棉紡、麻紡和毛紡等生產技術，以及工具、設備、操作要點，特別著重於浙江嘉興、湖州地區養蠶的先進技術及絲紡、棉紡，給出了大提花機的結構圖。《彰施》介紹各種植物染料和染色技術，詳於靛藍的種植和藍靛的提取以及從紅花提取染料的過程，還涉及諸色染料的配色及媒染方法。《粹精》敘述稻、麥等的收割、脫粒及磨粉等農作物加工技術及工具，偏重介紹稻穀加工所用的風車、水碾、石碾、土礮、木礮及製麵粉的磨、羅等。《作鹹》論述海鹽、池鹽、井鹽等鹽產地及製鹽技術，尤詳於海鹽及井鹽。《甘嗜》主要敘述甘蔗種植、製糖技術及工具，同時論及蜂蜜及飴錫（麥芽糖）。

中卷有七章，多為工業技術。《陶埏》敘述房屋建築所用的磚瓦及日常生活所用陶器、瓷器（白瓷、青瓷）的製造技術及工具，著重介紹江西景德鎮生產民用白瓷的技術，從原料配製、造坯、過釉到人窯燒結，都給以說明。《冶鑄》是論述中國傳統鑄造技術最詳細的記錄，著重敘述銅鐘、鐵鍋和銅錢的鑄造技術及設備，包括失蠟、實模及無模鑄造等三種基本方法。《舟車》首先用數據標明船舶和車輛結構構件及用材，同時說明各種船、車駕駛方法，詳細介紹了大運河上航行的運糧船「漕船」，是有關交通工具的專章。《錘鍛》系統敘述了鐵器和銅器鍛造工藝，從萬斤大鐵錘到織細繡花針都在討論範圍之內，其中還有各種生產工具如斧、鑿、鋤、鋸等的製造，以及焊接、金屬熱處理等加工工藝。《燔石》論述燒製石灰、採煤、燒製礬石、硫黃及砒石的技術，對煤的分類、採掘、井下安全作業均有論述。《膏液》介紹十六種油料植物子實的產油率、油的性

狀、用途，以及用壓榨法及水代法提製油脂的技術及工具，還談及柏皮油製法及用柏油製蠟燭的技術。《殺青》論述紙的種類、原料及用途，詳細論述了造竹紙及皮紙的全套工藝技術及設備。

下卷包括五章，也屬工業技術。《五金》論述金、銀、銅、鐵、錫、鉛、鋅等金屬礦開採、洗選、冶煉和分離技術，還有灌鋼、各種銅合金的冶煉以及生產設備圖。諸如以煤煉鐵、用活塞箱鼓風、直接將生鐵炒成熟鐵、以及生鐵與熟鐵合煉成鋼等等。《佳兵》涉及弓箭、弩、干等冷兵器及火藥、火器的製造技術，包括火炮、地雷、水雷、鳥銃和萬人敵（旋轉型火箭彈）等武器。《丹青》主要敘述以松煙及油煙製墨及供作顏料用的銀朱（硫化汞）的製造技術，產品均為文房用具。《曲藥》記述酒母、藥用神曲及丹曲（紅曲）所用原料、配比、製造技術及產品用途，其中紅曲具有特殊性能，是宋朝之後才開始出現的新品種。《珠玉》則敘述在南海採珠，在新疆和田地區採玉，在井下採取寶石的方法以及加工技術，兼及瑪瑙、水晶及琉璃等。全書除文字敘述外，還有一百二十三幅插圖，展示工農業各有關生產過程。除個別章節引用前人著述外，書中絕大部分內容都是作者在南北各地科學調查的資料。

《天工開物》的可貴之處在於，書中記述了工農業生產中許多先進的科學技術成果，用技術數據給以定量的解說，同時提出一系列的理論概念，這就使該書成爲一部科學技術的完整著作。書中的許多記載都是前人所沒有的，如農業方面有關秧齡的確切記載、秧田與本田的比例、早稻和晚稻的需水量、蠶種雜交、甘蔗移栽等，工業方面如金屬鋅的冶煉、生鐵煉熟鐵、煤礦開採時并

下安全等。

《天工開物》對於中國古代農業和手工業生產技術系統而全面的總結是史無前例的。它的出版對世界，特別是東南亞地區產生了巨大的影響，作者宋應星也因此被稱爲「中國的狄德羅」。

第三節 明清時期的農學

一、土地利用的深入發展

明清時期，隨著人口的不斷增加，土地利用又得到了深人的發展。與水爭田和與山爭地，仍然是明清時期土地利用的主要途徑，不過爭田、爭地的範圍又有所擴大，主要的區域已由原來的長江下游發展到了長江中游，甚至於長江上游和陝西地區。這其中最著名的當屬湖廣一帶的垸田（即圩田），垸田的開發，使得兩湖地區成了新的穀倉，以至於在明代中期以後就有了「湖廣熟，天下足」的說法。

在與水爭田、與山爭地的同時，人們還加緊了對鹽鹼地、冷浸田、海塗、低產田等的改良和利用，著名的隴中砂田就是在這個時期形成和發展起來的。隴中地區降雨量少，蒸發量大，無霜期短，氣溫偏低，溫差很大，水溫不足，而地下水含鹼成分高，對作物生長十分不利，砂田即是

在這種自然條件下的特殊產物。砂田是先將土地深耕，施足底肥，耙平、墩實，然後在土面上鋪上厚達六至十二厘米不等的砂石，通過砂石的增溫、保墒、保土和壓鹼等綜合性能，來起到增產的效果，這是明清時期改造低產田的一項重大發明。

土地利用的深入發展還促進了桑基魚塘的形成和發展。所謂桑基魚塘，據廣東《高明縣志》的記載，其辦法是將低窪地挖深變成水塘，挖出的泥堆放在水塘的四周為地基，基和塘的比例為六比四，六分為基，四分為塘，基上種桑，塘中養魚，桑葉用來餵蠶，蠶屎用以飼魚，而魚塘中的塘泥又取上來作桑樹的肥料。通過這樣的循環利用，取得了「兩利俱全，十倍禾稼」的經濟利益。這種土地利用方式在明朝中葉江蘇常熟地區即已出現，以後很快就在地勢低窪的太湖地區和珠江三角洲地區推廣開來。其形式多樣，除典型的桑基魚塘以外，還有的是以農副產品養豬，以豬糞肥田；有的是以青草、桑葉養羊，以羊糞壅桑；還有的是以魚養桑，以桑養蠶，以蠶養魚。

二、甘薯和玉米的引進

明清時期，土地利用的深入發展與甘薯和玉米等作物的引進有著密切的關係。甘薯和玉米原產於美洲。自哥倫布發現美洲新大陸以後，傳到了歐洲，以後經由不同的途徑，先後傳到了中國。

甘薯最初是從福建和廣東兩省傳入中國的，具體說來又有幾條不同的路線。一是明萬曆年

間，從國外引種到漳州，由漳州傳到泉州，再由泉州傳到福建莆田地區，這條路線以漳州最早；一是明萬曆十一年至十二年（一五八三至一五八四年），有人把甘薯由海上傳到晉江，第二年在泉州推廣，這條路線以泉州為最早；一是明萬曆二十一年（一五九三年），福建長樂商人陳振龍從菲律賓的呂宋島引種甘薯到家鄉，次年由福建巡撫金學曾加以推廣，這條路以福州為最早。大致在福建從呂宋引種甘薯的同時，廣東也從越南引進這一作物，東莞人陳益於萬曆十年從越南把薯種帶回到東莞。甘薯引進後，首先在閩粵部分地區得到推廣，十七世紀初，甘薯由福建引種到了長江流域，到十八世紀前期，長江流域許多省都已有甘薯栽培，出現了「高山海泊無不種之，閩、浙貧民以此為糧之半」的局面。與此同時，甘薯也開始傳到了北方黃河流域地區。

和甘薯相比，玉米的引進可能要更加早一些。明嘉靖三十九年甘肅《平涼府志》中就有關於「番麥」的記載，就其對番麥所作的植物學形態的描述，可知番麥即玉米，證明至遲到十六世紀中期，玉米已傳入到中國。從玉米栽培的最早記載出自甘肅平涼來看，玉米可能是從中亞沿古絲綢之路引進到中國的。十六世紀七十年代，杭州人田藝蘅在《留青日札》中也認為：「御麥出於西番，舊名番麥，以其曾經進御，故名御麥」。同時，他還記載：「吾鄉傳得此種，多有種之者」，說明當時杭州已有玉米栽培。但當時玉米的種植並不普遍，主要分布在山區。所以《本草綱目》說：「玉蜀黍種出西土，種者亦罕」。大致到十九世紀以後，隨著人口的不斷增加，玉米種植不僅繼續向山區，而且也向平原地區擴展了，出現了「遍山漫谷皆包穀」的景象。

從甘薯和玉米的傳入和推廣中不難看出，甘薯和玉米對於山地和海塗的利用起着重要的作用。由於山地和海塗的利用，使得人口對於原有土地的壓力又有所減輕，這就為明清以後，人口的激增創造了條件。

三、一歲數收之法

多熟制的發展是明清時期土地利用深入發展的另一個重要表現。十八世紀中葉以後，中國北方除一年一熟的地區以外，山東、河北、陝西的關中等地已較普遍地實行了三年四熟或二年三熟制，這種農作制經過逐步完善，到十九世紀前期，傳統的種植制度已基本完成。但由於受自然條件的限制，明清時期中國北方的一歲數收之法主要還是通過間作套種來實現的。清代農學家鄭世鐸在《知本提綱》中講述了一個自己親自實驗過的例子，「其法：冬月預將白地一畝上油渣一百五、六十斤，治熟。春二月種大藍，苗長四、五寸，至四月間，套栽小藍於其空中，再上油渣一百五、六十斤。五月挑去大藍，又上油渣一百五、六十斤。六月剪去小藍，即種粟穀。秋收後，犁治極熟，不用上糞，又種小麥。次年麥收，復栽小藍；小藍收，復種粟穀；粟穀收，仍復犁治，留待春月種大藍。是歲皆三收，地力並不衰乏，而獲利甚多。」農學家楊雙山還提出一個「二年收十三料之法」，包括菠菜、白蘿蔔、大蒜、小藍、穀、小麥等多種作物。

南方的多熟制首先是發展了以水稻為中心的水旱輪作制，包括水稻與小麥、蠶豆、油菜、蔬

菜、大豆、蕎麥、棉花等多種形式的輪作復種制。其中最值得注意的是雙季稻和在雙季稻基礎上，再加上各種小麥，形成的麥、稻、稻三熟制。雙季稻在魏晉時期即已在嶺南地區出現，宋元時期，在南方稻作區得到了較大的發展，不過在明清以前，主要是再生雙季稻，明清時期，則發展起來了間作雙季稻和連作雙季稻。據《農田餘話》的記載，明初，閩廣之地已有間作雙季稻的栽培，到了明末，據《天工開物》說：「南方平原，田多一歲兩栽兩穫者……六月刈初禾，……插再生秧」，表明南方平原地區，連作雙季稻的栽培已比較普遍。在雙季稻的基礎上，再加上小麥，或油菜等越冬作物，就成爲一年三熟制。不過由於各地的自然和社會條件的不同，南方雙季稻和三熟制的發展並不平衡，總體水平並不太高，例如，太湖流域地區仍然是以稻麥二熟制爲主，是以太湖地區的農業改制成爲百餘年來，農學家們所關注的問題。

四、耕作栽培技術的發展與完善

明清時期，中國傳統農業的耕作栽培技術又得到了進一步的發展和完善。北方旱地耕作形成了淺—深—淺耕作法，《知本提綱》指出：「初耕宜淺，破皮掩草；次耕漸深，見泥除根（翻出濕土，犁淨根茬）；轉耕勿動生土，瀕秒毋留纖草」，這段話是對淺—深—淺耕作法的概括。何謂「轉耕」？鄭世鐸的注釋是「轉耕，返耕也。或地耕三次：初次淺，次耕深，三耕返而同於初耕。或地耕五次：初次淺，次耕漸深，三耕更深，四耕返而同於二耕，五耕返而同於初耕，故曰

『轉耕』。

和北方深淺搭配的耕作方法不同，明清時期，南方水田耕作中深耕得到提倡。深耕的深度通常在八、九寸，有的甚至達到二尺餘，爲此出現了套耕的耕作方法。深耕多選擇在冬至之前的晴天進行，以起到凍土曬望的作用。適應南方旱地作物的需要，針對南方許多地方地下水位高，且又多雨的特點，開溝作畦，已成爲一項很重要的技術措施。

明清時期，對於肥料的作用有了更加深刻的認識，肥料的種類和積製方法也得到了發展，主要的肥料有厩肥（養豬、養牛積肥）、薰土、泥肥、餅肥、磷肥（骨灰和灰粉）、綠肥等。在肥料的加工方面，出現了煮糞和糞丹，煮糞是將糞在鍋裡煮熟，糞丹則是配制混合肥料。明清時期，施肥的方法也有所改進，明末沈氏提出了著名的「看苗施肥」技術。《沈氏農書》上說：「蓋田上生活，百凡容易，只有接力一壅，須相其時候，察其顏色，爲農家最要緊機關。」如水稻追肥，「須在處暑後，苗作胎時，在苗色正黃之時，如苗色不黃，斷不可下接力；倒底不黃，到底不可下也。」清代楊雙山、鄭世鐸則提出了「施肥三宜」，即根據時宜、土宜和物宜來施用不同的肥料。

最能代表明清時期耕作栽培技術的要數「親田法」。親田法是明代耿蔭樓在《國脈民天》中提出的，它綜合了區田法和代田法的某些特點，即在大塊土地選出小塊土地進行人力和物力的傾斜投資，以奪取小塊土地的隱產高產，以後逐年輪換，還可以起到改良土壤的作用。

明清時期，棉花和甘薯的栽培管理技術得到了總結。棉花在宋末元初傳入到中原地區以後，到明代業已成爲主要的衣著原料，與此同時，棉花的栽培管理技術也日臻完善。徐光啟總結出了棉花豐產的「十六字訣」，即「精揀核，早下種，深根，短幹，稀科肥壅」。甘薯從明代中期傳入到中國以後，人們很快就發明了甘薯的無性繁殖技術，解決了甘薯藏種越冬的問題，還出現了一種多種的育苗和扦插方式，使甘薯栽培技術在其傳人之後，很快就趨於成熟，這也使它得以普及的原因之一。

五、明清時期的農書

明清時期是中國傳統農學最爲發達的時期，除了農業技術的進步以外，另一個突出的表現就是農書的增加，據統計，王毓瑚《中國農學書錄》著錄的古代農書共四百九十七部，其中明和清前期就有二百八十三部，占百分之五十七，超過了歷代的總和。其中比較重要的有《便民圖纂》、《農說》、《羣芳譜》、《農政全書》、《國脈民天》、《天工開物》、《補農書》、《知本提綱》、《授時通考》等等，而最能代表明清農學成就的農書當屬徐光啟的《農政全書》。

《農政全書》分爲十二目，六十卷，五十餘萬字。十二目依次爲農本、田制、農事、水利、農器、樹藝、蠶桑、蠶桑廣類、種植、牧養、製造、荒政。「農本」一目三卷，擇要地列舉歷史上和當時有嚴重視農政的經史典故、諸家雜論、以及當代人馮應京的「重農考」一篇。「田制」一

目二卷，收錄了徐光啟本人的「井田考」，以及元王禎《農書·農器圖譜》中的「田制門」，主要講述有關土地的利用方式。「農事」一目六卷，分爲營治、開墾、授時、占候四個部分，講述土壤耕作、荒地開發利用、農業生產季節和氣候等內容。「水利」一目九卷，分「總論」、「西北水利」、「東南水利」、「水利策」、「水利疏」、「灌溉圖譜」和「利用圖譜」等部分，引述各家論說，還收入了《泰西水法》一書，講水利工程、農田灌溉及水源利用。「農器」一目四卷，取材於《王禎農書·農器圖譜》，主要敘述耕作、播種、收穫、貯藏、日用等方面的農器。「樹藝」一目六卷，分作穀部、蓏部、蔬部、果部四部，討論一百一十多種糧食、蔬菜及果樹作物的栽培技術。「蠶桑」一目四卷，分爲總論、養蠶法、栽桑法、蠶事圖譜、桑事圖譜、織紙圖譜六個部分，引述古農書中有關種桑養蠶技術方面的內容。「蠶桑廣類」一目二卷，引述蠶桑以外的纖維作物生產技術，主要包括木棉（即棉花）和麻類。「種植」一目四卷，引述有關竹、木、茶，及藥用植物的栽培技術。「牧養」一目一卷，則主要引述有關六畜、鵝、鴨、魚、蜂等的飼養技術。「製造」一目一卷，主要引述食物加工，另附營室、去污、避蟲等家庭日常生活經驗。「荒政」一目十八卷，分爲「備荒總論」、「備荒考」二部分，同時收入了《救荒本草》和《野菜譜》二書，敘述備荒與救荒。

《農政全書》是繼元代王禎《農書》之後，又一部大型的綜合性農書。是書「博採衆家，兼出獨見」，是中國農學集大成性的著作。書中最大的特色莫過於農本、開墾、水利和荒政等屬於農業

政策方面內容的寫入。而對於農學的貢獻，則莫過於對大、小麥、油菜、甘薯和棉花等栽培經驗的總結，對於蝗蟲發生規律的研究和防治對策，對於「風土說」的闡述等。

第四節 明清時期的醫學和本草學

一、明清時期的醫書

明清時期是醫學昌明的時期，這個時期出現的醫家和醫書是以往任何時代都不及的，茲擇其要者表列如下：

姓名	字號	生年	卒年	籍貫	著作
戴思恭	原禮	一三二四	一四〇五	婺州浦江	證治要訣
樓英	全善	一三三四	一四〇〇	浙江蕭山	醫學綱目
薛己	新甫	一四八七	一五五九	江蘇吳縣	薛氏醫案
萬全	事、密齋	一四八八	一五七九	江西南昌	萬密齋醫學全書
高武	梅孤	不詳	不詳	浙江寧波	針灸聚英
李時珍	東壁、瀕湖	一五一八	一五九三	湖北蘄州	本草綱目

吳尚先 王士雄	樽、安業 孟英	一八〇六 一八〇八	一八八六 一八六八	浙江錢塘 浙江鹽官	理淪駢文 溫熱經緯
------------	------------	--------------	--------------	--------------	--------------

二、人痘接種法的發明

天花是一種烈性傳染病，得病後死亡率很高，有時能達到百分之四十，即使僥倖不死，也會嚴重破壞人的容貌，在臉上留下斑斑點點的麻子，造成心理上的極大負擔。預防天花最有效的辦法就是人工接種。

史料記載，大約在明朝隆慶年間（一五六七至一五七二年），在今天安徽省太平縣一帶開始流行人痘接種法。方法是先取天花病患者痘瘡的稀漿貯存在小瓷瓶子內，遇到需要種痘的孩子就把貯存的痘漿塗抹在小孩的衣服，造成一次人工感染，由此獲得終身免疫力，就再也不會得天花病了。

當時採用的種痘方法有痘衣法、痘漿法、旱苗法和水苗法四種。痘衣法就是讓需要接種的人穿上沾有痘瘡漿液的衣服，但成功率比較低；痘漿法是用棉花直接蘸取痘瘡的漿液，然後塞進被接種者的鼻孔，這種取漿法給患者帶來了一定的痛苦，許多父母也不願意讓醫生取患兒的痘漿，所以這兩種方法就不太流行了。旱苗法和水苗法都是收集病人的痘痂陰乾，研成細末，然後接種

到人的鼻腔中。前者用細管將痂末吹入鼻腔，所以叫旱苗法；後者用棉花蘸上水調的痂末（有時還加入一些清熱解毒的中藥），塞入鼻腔，所以叫水苗法。

痘苗經過人工選擇，再經陰乾、研磨加工，毒性就大大地減低了，如果能連續接種七次，則成「熟苗」，使用起來一般是安全可靠，所以人工接種造成的天花不同於自然感染。然而，要製成連種七次以上的「熟苗」並非易事，稍不留意就會失敗，因此中國醫書中對苗的特性、保存方法，冬夏季保存時間都有詳盡的介紹，經驗極為豐富。清代張琰在《種痘新書》中提到，他走遍各地，經手種痘的人不下八九千，屈指數一下，造成人為痘患的不過二三十人。可見當時種痘已逐漸普及，而且成功率也是極高的。

清康熙帝有感於自己的父親死於天花，所以積極支持種痘。他曾詔令江南醫生進京選種試苗，待接種的人都平安無事後，才用這種善苗給宮內的人接種。此後又差遣他們到邊遠地區，為少數民族人們接種並傳播技術，都收到了良好的效果。康熙二十七年（一六八八年），俄國派醫生到北京學習人痘接種法，後又傳入了土耳其等地。十八世紀初，英國駐土耳其大使夫人蒙塔古（M. W. Montague）又將種痘術從土耳其傳到了英國。後來英國人甄納（E. Jenner）發明了牛痘接種法。

種痘法是現代免疫學的先驅。這種方法在世界範圍內的傳播與普及，以及製做「熟苗」的啟示，為現代免疫學的發展奠定了必要的基礎。

三、吳有性與「戾氣說」

金元時期，在醫學界出現了四大流派，他們分別是：劉元素的「火熱論」、張從正的「攻邪派」、李杲的「補土派」和朱丹溪的「養陰派」。到明朝末年又出現了一個新的醫學流派，它就是以吳有性代表的「戾氣說」。

吳有性（一五八二至一六五二年），字又可，號淡齋，江蘇吳縣人，家住太湖中的洞庭山上。自幼喜好醫學，成人後不肯參加科舉考試，轉而以醫為業。

明朝末年，山東、河北、浙江、江蘇一帶連年瘟疫流行，死人無數，吳有性的家鄉也沒有倖免於難。據當地方志記載，一條巷子百多戶人家，未見一家得以倖免；一家老小數十口，沒有一人能夠倖存。當時醫學界對傳染性疫病的處理措施，大多數人仍然遵循古法，拘泥於張仲景《傷寒論》的理、法、方、藥，而忽略了瘟疫病的特點。結果許多人不是死於病，而是死於醫生的誤治。吳有性通過長期的醫療實踐，對瘟疫病進行了全面的研究，在病原學、傳染途徑和方式、流行的特點、治療原則等方面，提出了新的觀點，並於一六四二年著成《瘟疫論》一書。

《瘟疫論》是論述急性傳染病的專著。在傳染病病原因方面，吳有性創立了「戾氣說」，認為瘟疫是由於傳染了自然界中一種戾氣所致。這種戾氣「無聲無臭」、「其來無時，其著無方」。戾氣有各種不同的類型，有時只在動物間流行而不影響人類；有時只在人類間流行，而不

影響動物；在動物間流行時又多是雞病鴨不病，牛病馬不病。這些不同類型的戾氣，在吳有性的筆下被統稱為「雜氣」。在遭遇雜氣侵犯的地方，人或者是動物就會鬧各種各樣的傳染病。瘟疫存在於四時，常年不斷，只要疫氣存在，「無論老少，觸之者即病」，同時他還發現「凡人口鼻之氣，通乎天氣」、「邪從口鼻而入」，指出瘟疫是經空氣和接觸兩種傳染途徑傳播的。但發病的輕重緩急卻是因人（身體的抵抗力）而異，「其感之深者，中而即發，感之淺者，邪不勝正，未能頓發，或遇飢飽勞碌，憂思氣怒，正氣被傷，邪氣始得張溢。」

在瘟疫病的治療方面，吳有性根據「邪在膜原」的理論，創制了「達原飲」的治療方劑。這種方劑在臨床應用時，又可以根據溫熱病的傳變和病情變化，發病的遲速、輕重等情況，靈活地加以化裁。對於溫熱病的治療，他強調以驅邪為主。指出：「客邪貴乎早逐」，「邪不去則病不癒」，重用攻下法。同時告誡醫者用攻下法時，「要諒人之虛實，度邪之輕重，察病之緩急，揣邪氣離膜原之多寡」，靈活運用攻下法。

吳有性是明清時代瘟疫學說的先驅，在他的影響之下，許多醫家紛紛研究疫病，著書立說。如余師愚《疫疹一得》、戴北山《廣瘟疫論》、劉松峯《說疫》、陳耕道《疫痧草》、熊立品《治疫全書》等。到清代中葉，有關各種急性傳染病、外感熱病的研究發展到了鼎盛時期，從而形成了一個獨立的學派「瘟疫學派」。這一學派的知名醫家大都集中在吳有性的老家江蘇吳縣一帶，如名醫葉天士、薛雪等人。他們在臨床治療中偏重於清熱解毒，以及養陰、涼血、攻下、利濕等法則的運

用，在傳統的《傷寒論》的治療體系之外，獨樹一幟，豐富了辨證施治的內容，無論是在理論上還是治療上都對中國傳統醫學的發展做出了貢獻。

四、王清任和《醫林改錯》

王清任是清代著名的解剖學家，其所著的《醫林改錯》則是十九世紀中國傳統醫學最有名的著作之一。王清任認為人體解剖知識對於醫學是很重要的，他說：「著書不明臟腑，豈不是痴人說夢？治病不明臟腑，何異於盲子夜行」^④。雖然《黃帝內經》等早期醫學典籍中即已有對人體解剖的論述，但存在不少問題，究其原因「皆由未嘗親見」。有見於此，王清任決心通過自己的觀察來解決這些問題。他曾觀察了多具較完整的人體內臟，多次到刑場觀察，並向親眼見過人體內臟的人請教，還作了一些動物解剖。

王清任根據自己的觀察，對於人體內臟的認識，確比前人提高很多。他正確地區分了胸腔和腹腔，指出在橫隔膜之上只有心臟和肺臟，其餘內臟都在橫隔膜之下。他記述了氣管和由氣管分支至肺兩葉的支氣管和細支氣管，糾正了前人所說的肺有「行氣之二十四孔」的錯誤。他根據對「腦髓」的研究，認為「靈機記性，不在心在腦」，而「醫書論病，言靈機發於心」，也是很錯誤的。他還觀察到了視神經，指出了那是發於腦髓如同線一樣的物质與眼聯繫著，眼的視覺「歸於腦」。他把自己觀察到的人體內臟的情況繪成「親見諸臟腑」圖，並與「古人所繪臟腑」圖，

一併附於《醫林改錯》卷首，以便比較。

《醫林改錯》兩卷，補充並訂正了前人研究中的一些缺點和錯誤，為解剖學和醫學的發展作出了一定的貢獻。

五、《救荒本草》及應用植物學的產生

明清時期是中國傳統本草學發展並進入總結的時期。從《神農本草經》開始，中國的本草學就是以藥物學為主，但自進入明代以後情況發生了變化，這便是本草學由藥物學向應用植物學的發展，它的標誌就是《救荒本草》等一系列本草學著作的出現。

中國雖然有號為發達的農業，但由於其結構不甚合理，人口的增長速度大於糧食的增長速度，以致出現「四海無閒田，農夫猶餓死」局面，救荒植物成為傳統中國農學和植物學一項特殊內容也就不可避免^⑤。

而開創這一領域的人並不是一個食不裹腹的窮人，而是一個可以享受「祿之終身」的王子，他就是朱橚。朱橚生當元末明初，正是一個餓殍遍野的年代，於是他和他周圍的學者們，便從眾多的野生植物種類中，選出一些可以在荒年充飢的種類，進行培養、觀察，把每一種的可食部分記下來，並一一繪製成圖，加上文字說明，編成了《救荒本草》。《救荒本草》是一部記載食用野生植物的專書，全書共四卷，記錄植物四百一十四種，除已見於過去本草書的之外，新增人的有二

百七十六種，也就是說有近三分之二的植物種類是以前本草書中所沒有記載過的。全書分爲五部，計草部二百四十五種，木部八十種，米穀部二十種，果部二十三種，菜部四十六種。

與傳統的本草學著作不同，《救荒本草》對於植物的描述都來自直接的觀察，不作繁瑣的考證，語言簡潔通俗，且能抓住植物的一些主要特徵，如花基數、葉脈、花序等。此外還使用了一些易爲學者和民衆接受，能夠簡潔、確切地描述出植物特徵的植物學術語。描述一種植物，即附一插圖，圖文配合相當緊湊，對植物學的發展有重要作用。所以無論是從普及植物學知識，還是便利民衆尋找食物，都具有重要意義。基於救荒的目的，書中還記載了一些新穎的消除某些食用植物毒性的方法。例如，基於經典本草書中，豆可以解毒的說法，他想出用豆葉與有毒植物商陸同蒸以消其毒性的制備法。在講述白屈菜的食用時，他別出心裁地設計了用細土與煮熟的植物體同浸，然後再淘洗以除去其中有毒物質。有人認爲近代化學領域中吸附分離法的應用，可能始於《救荒本草》。

《救荒本草》不僅在救荒方面起了巨大的作用，而且由於開創了野生食用植物的研究，在國內外產生了深遠的影響。這部書在明代就翻刻了幾次，並對本草學的發展產生了巨大的影響。《救荒本草》出版之後，有不少文人學者紛起仿效，形成一個研究野生可食植物的流派。這其中比較有名的如王磐的《野菜譜》一卷，所記野菜六十餘種，每種亦都有附圖。周履靖的《茹草譜》四卷，所記野菜一百零五種，都有附圖。屠本峻《野菜箋》一卷，記野菜二十二種。鮑山的《野菜博錄》三

卷，記野菜四百三十五種。姚可成的《救荒野譜》一卷，記野菜一百二十種，顧景星的《野菜贊》，記野菜四十四種等。

《救荒本草》還對其它一些本草學著作產生了影響。李時珍認為，《救荒本草》「頗詳明可據」，在其著作《本草綱目》中，不僅引用了其中的材料，而且還吸收了它描述植物的先進方法。徐光啟編撰《農政全書》將《救荒本草》和《野菜譜》全文收載。清代重要類書《古今圖書集成》中的「草木典」的許多圖文也引自《救荒本草》，同樣的還有吳其濬的《植物名實圖考》。《救荒本草》傳到國外之後，還對世界的植物學發展產生了影響。十七世紀末，傳到日本，引起了日本學者的青睞和關注，並出現了一些類似的著作。

六、《本草綱目》

在本草學向應用植物學發展的同時，傳統的以藥物學為主體的本草學則進入了它的總結時期，它的代表便是李時珍的《本草綱目》。

中國古代本草學，從一開始就是以自然界存在的各種物質，包括動、植物及礦物，為研究对象，它的博物學性質是十分明顯的。從《神農本草經》開始，經過千餘年的發展，到明代中葉，傳統意義上的本草學已發展到了鼎盛階段，這從《本草綱目》和前此各種本草學著作所記載的藥物種數的比較中即可以看出這點。

歷代本草學著作所載藥物種數表

著作	朝代	作者	藥物種數
神農本草經	漢	不詳	三百六十七
本草經集注	南北朝	陶弘景	七百六十
新修本草	唐	蘇敬	八百五十、一說八百四十四
開寶本草	宋	劉翰、馬志等	一千零八十二
圖經本草	宋	蘇頌	七百八十
經史證類備急本草	宋	唐慎微	一千七百四十六
本草綱目	明	李時珍	一千八百九十二

從表中不難看出，《本草綱目》是中國歷史上記載藥物最多的一部本草學著作。在總數為一千八百九十二種藥物中，有一千五百一十八種主要取自前人的本草學著作³⁶，新增三百七十四種。爲了駕駛如此衆多的藥物，李時珍在書中採用了一種比較合理的分類方法。全部藥物「通列一十六部爲綱，六十類爲目。各以類從，三品書名，俱注各藥之下，一覽可知，免尋索也。」³⁷。其中植物類藥計有草、穀、菜、果、木五部，草下又分山草、芳草、隰草、毒草、蔓草、水草、石草、苔類、雜草，穀下又分麻麥稻、稷粟、菽豆、造釀，菜下又分爲葷辛、柔滑、蔬菜、

水菜、芝栴類，果下又分五果、山果、夷果、味果、蔬、水果類，木下又分香木、喬木、灌木、寓木、苞木、雜木類。動物類計有蟲部、鱗部、介部、禽部、獸部、下分卵生、化生、濕生、龍、蛇、魚、無鱗魚、龜鱉、蚌蛤、水禽、原禽、林禽、山禽類、畜、獸、鼠、禽怪類，還有人部。礦物藥包括水、火、土、金石等部，此外還有服器部。全書以部爲綱，以類爲目；每一種藥物則又以正名、餘名爲目。《本草綱目》所載藥物正是在如此嚴密的分類原則下，有條不紊地排列起來的。這個分類方法，就生物學而言，在當時也是很先進的。

《本草綱目》開拓並釐定了中國古代藥物學著作的標準體例和結構。李時珍按照釋名、集解、辨疑、正誤、修治、氣味、主治、發明與附方等項目來安排體例。這是中國古代藥物學著作最完備的一種標準格式。依據這種格式，李時珍把自己對於各種藥物的見解淋漓盡致地表達出來。如釋名一項，注明該藥物最早的出處，並對這一藥物名稱的緣由及意義進行了解釋，扭轉了一些藥物名稱上的混亂狀態；又如發明一項，李時珍列舉了該藥物的各種醫療功用，主要是他個人的用藥心得而爲歷代醫家所忽視或未曾涉及的內容，也有糾正前人誤用的新見解，對醫藥學的實際臨床應用具有推動作用。《本草綱目》最後還收集大量方劑，全書共羅列一萬一千零九十六首方劑，其中係李時珍親自實踐收集，或以往醫藥書中所不載者，約有八千餘首。

《本草綱目》科學地總結了中國古代醫藥學成就，還涉及生物學、化學、礦物學、結晶學、生態學、遺傳學等自然科學課題，因而它在中國科學技術史上具有重要的地位。明萬曆十八年（一

五九〇年），《本草綱目》刊行天下之後，得到了廣泛的流傳，並被譯成日、法、德、義、英等多國文字。

《本草綱目》雖然號為完備，但猶有遺漏，加之「物生既久，則種類愈繁……此而不書，過時罔識」^⑤為此清人趙學敏^⑥又作了《本草綱目拾遺》一書。全書十卷，收載藥物共九百零八種，其中有些是《本草綱目》所沒有收進去的。在藥物種類方面，比《綱目》增加了七百一十六種；在藥物分類方面，增加了「藤」和「花」兩部，去掉了「人」部，而將「金石」分為「金」和「石」兩部，共十八部。並在治法和形狀等方面，對《綱目》中沒有描述清楚或是錯誤的地方加以訂正和補充，因此，《本草綱目拾遺》在效用上是《本草綱目》的續編。

七、《植物名實圖考》對於植物學的貢獻

本草學雖然是以植物學為主，但其中也包括許多動物學和礦物學的內容。而真正將本草學發展為專門的植物學則要數清代的吳其濬和他的《植物名實圖考》。

《植物名實圖考》問世於一八四八年，全書三十八卷，分穀類、蔬類、山草、隰草、石草（包括苔蘚）、水草（包括藻）、蔓草、毒草、羣芳（包括寄生於一些木類的擔子菌）、果類、木類等十二類、每類植物中又分許多種，共著錄植物一千七百一十四種，比《本草綱目》增加了五百一十九種，是歷史上記載植物種類最多的著作。

書中對於每種植物的描述，包括形態、顏色、性味、用途和產地，尤其注重同物異名或同名異物的考訂。有些植物雖然經過多年的比較研究，仍不能確定的，一概不下結論。書中此類情形大致分爲：形狀、性味相似而名稱不同；名稱相同而形狀、性味並不完全一樣；實物與文獻記載不符，似是而非；所見實物，無人認識，又無文字記載。這些地方都表現出作者實事求是的治學精神。凡前代文獻中已有記載的植物，都注明見於何書及其品第，對藥用植物則分別說明它的作與用法。許多前人記載不詳的藥用植物，他總是將土醫的使用經驗補充進去。

書中還有一千八百多幅附圖，由於這些圖都是在吳其濬足履大江南北近二十個省，進行實地調查基礎之上，加上大部分圖都根據植物新鮮狀態時繪製的，很多都能反映該植物的特徵，受到了國內外植物學家的重視。德國人畢施奈德（Enri Breschneider）在其所著的《中國植物學文獻評論》（一八七〇年）中說：該書的附圖「刻繪尤極精審」，「其精確者往往可以鑒定科和目」。

如果說，《救荒本草》標誌著本草學從藥物學向應用植物學的發展，那麼，《植物名實圖考》則標誌著植物學由實用向純科學方向的發展，植物學從本草學的附庸，逐步走向獨立的學科。因而《植物名實圖考》在中國植物學史上占有重要的地位。

第五節 明清時期的天文學、算學和物理學

明初到明萬曆的二百餘年間，天文算學基本上是處於停頓狀態。這一時期，除了對異常天象仍在繼續觀察以外，曆法很少進展。中國古代數學在經歷了宋元時期的繁榮昌盛之後，到明代就開始出現「戛然而止後繼無人的現象」^④，甚至於出現了倒退的趨勢。但是在明朝的萬曆以後，在西方近代科學知識的刺激之下，天文算學又進入了一個新的發展時期。物理學也在萬曆之後迎來了它的新的成長。

一、天文學和算學

(一)明代商業數學的代表作

明清時期，商品經濟的發展，促進了商業數學的發展，與商業有關的應用問題在數學著作中有了較多的出現。明景泰元年（一四五〇年），吳敬^⑤完成《九章算法比類大全》一書，是明代商業數學進步的標誌。

《九章算法比類大全》共分十卷。在卷一之前又有「乘除開方起例」一卷，它用一定篇幅論及大數、小數、度量衡的單位、乘除算法、整數四則運算和分數四則運算等問題，並給出一百九十

四個應用問題的辦法。第一至九卷是按方田、粟米、衰分、少廣、商功、均輸、盈朒、方程和勾股九類分卷，各卷內容都是對該類應用問題的解法。全書共計解出一千三百二十九個應用題。其中有的是摘自古算術法（如楊輝的《詳解九章算法》等）的「古問」；有的是結合當時社會情況的應用問題，也稱爲「比類」；還有一部分應用問題是用詩詞形式提問。最後一卷專論開方，包括開平方、開立方、開高次冪、開帶從平方和開帶從立方。

在吳敬收集的許多應用問題中，有不少是與商業有關的新課題，如計算利息、合夥經營、就物抽分（是以貨物作價抵補運費或加工費等的計算方法）等，這些都是商品經濟的發展在數學研究中的反映。這一趨勢的不斷發展，導致珠算術的發展。

（二）珠算的廣泛應用和《算法統宗》

隨著商業的發展和算法本身由繁到簡發展條件的成熟，到了明代，珠算術普遍得到推廣，逐漸取代了籌算。珠算術是用珠算盤演算，比籌算術用算籌演算方便得多，因此，在商業發展需要的條件下，珠算盤作爲數學計算的一種簡便工具，很受人們的重視和歡迎。

珠算術產生於宋元時期。陶宗儀所著《南村輟耕錄》（一三六六年）中，有關於珠算盤的明確記載^①。珠算盤發明之後，珠算術的四則方法逐漸代替了籌算的加減乘除運算方法。珠算術中的加、減法口訣相當重要。明代珠算術中稱加法口訣爲「上法訣」，稱減法口訣爲「退法訣」，而宋、元的籌算書中卻不記錄加減法口訣。乘法和除法口訣，即九九口訣和九歸口訣，則珠算與元

代的籌算術完全相同，但元代的籌算術沒有一歸口訣，因為在籌算術中，除數的第一位數碼是一的，一般是用「減法代除」。明代珠算術中才有一歸口訣，即「見一無除作九一，起一下還一」。

明代的珠算術著作，現在流傳下來的已經不多，最早對珠算進行介紹並繪有算盤圖式的著作是徐心魯的《珠盤算法》（一五七三年），此書現僅存一孤本，收藏在日本內閣文庫。此後《數學通軌》（一五七八年）中也有關於珠算算法的敘述。而比較重要而影響又較大的是程大位所著《新編直指算法統宗》^⑭。

《算法統宗》在體例和內容上與《九章算法比類大全》有不少共同的地方，體例上都以《九章算術》為宗，內容上，如對於大數、小數、度量衡單位和數學詞匯的解釋，應用問題按九章章名分類，部分題目用詩詞形式表達等都基本相同。十七卷的內容大致如下：卷一至卷二介紹數學常識與珠算知識。卷三至卷十二依次分列方田、粟米、衰分、少廣、分田截積、商功、均輸、盈朒、方程和勾股等十類傳統算法，構成全書主體。卷十三至卷十七為各類算題與雜法。末附「算經源流」一篇，開列北宋元豐七年（一〇八四年）到明萬曆戊子（一五八八年）間五十一種算書書名^⑮。

《算法統宗》的特點和它的貢獻在於：第一，全書五百九十五個應用題的數字計算，都不用籌算方法，而是用珠算盤演算的。第二，記有他自己創製的測量田地用的「丈量步車」並繪有圖

④，這種「丈量步車」是用竹蔑做的，可以捲繩，就像現在測量用的卷尺。第三，最早使用珠算方法開平方和開立方^⑤。

中國珠算術還曾傳到日本、朝鮮等東亞各國，並被延續使用到今日。在中國，直至現在珠算也仍然是被廣泛使用和較為方便的計算工具。

三《崇禎曆書》和《數理精蘊》

從明初以後到萬曆年間的二百年來，中國天文學的發展幾乎隱於停頓，曆法很少進展。「歷久則疏」，在二百餘年中曾經出現了多次《大統曆》的預報與實際天象不符的事，但曆法改革始終沒有進行，直到明萬曆年間。萬曆二十年（一五九二年）和三十八年（一六一〇年）欽天監推算月食和日食發生錯誤，於是有人提出了改曆的意見。萬曆二十三年（一五九六年）朱載堉和邢雲路分別上書改曆，並獻出各自的曆法，沒有結果。萬曆三十八年，邢雲路等再次提出改曆，並獲禮部同意，引發了一場長達十餘年的改曆運動。改曆運動引起了世人的矚目，促進了天文學的發展。萬曆前後出現了不少的天文學著作，如朱載堉的《聖壽萬年曆》、邢雲路的《古今律曆考》七十二卷（一六〇七年）、《戊申立春考證》一卷（一六〇八年）、范守己的《天官舉正》等，與明前期天文學著作稀少相比，恰是一番新的景象。特別是邢雲路在《戊申立春考證》一書中提出一回歸年長度為三百六十五點二四二一九〇日，同現代理論計算值只差二點三秒，這一精確度在當時屬世界先進水平。但這些天文學著作都是在長期停滯後才出現的，並無很大的建樹。然而這種現象，

隨著西方近代天文數學的引入而發生了很大的變化。它的成果便是《崇禎曆書》和《數理精蘊》。

《崇禎曆書》的編譯工作，始於崇禎二年（一六二九年），成於七年，先後由徐光啟和李天經擔任領導，聘請龍華民、鄧玉函、湯若望、羅雅谷等耶穌會士參加。全書共一百三十七卷，分節次六目和基本五目。前者是將曆法分成日躔、恒星、月離、日月交會、五緯星和五星凌犯六個部分。後者是指法原（天文學理論）、法數（天文用表）、法算（天文學計算中必備的數學知識，主要是三角學和幾何學）、法器（測量儀器和計算工具）和會通（中西各種度量單位的換算表）。其中，法原計有四十餘卷，構成全書的核心。它不但論述了曆法本身，而且著重討論了作為曆法基礎的天文學理論和計算方法等問題。

《崇禎曆書》是一部比較系統地介紹歐洲天文學知識的著作。書中採用了丹麥天文學家第谷的宇宙體系，這是介於哥白尼的日心體系和托勒密的地心體系之間的折衷體系，認為地球是宇宙的中心，月亮、太陽和恒星繞地球旋轉，而五大行星則繞太陽運行。在解釋日、月、五星視運動的種種現象時，它介紹了本輪、均輪等一整套小輪系統。《崇禎曆書》還介紹了哥白尼、第谷、伽利略、刻卜勒等人的天文數據和科學成果。書中大量引用了《天體運行論》中的材料，基本上譯出了其中的八章，譯用了哥白尼發表的二十七項觀測記錄中的十七項；介紹了伽利略關於太陽黑子在日面上運行的現象；譯出了刻卜勒《論火星的運動》一書的幾段材料等等。在推算日、月、五星的視位置等問題時，引進了周日視差和蒙氣差的數值改正。在計算方法上，介紹了球面和平面三角

學的準確公式，既簡化了計算手續，提高了計算精度，又擴充了解題的範圍。在座標系方面，介紹了嚴格的黃道座標系，採用從赤道起算的九十度緯度制和十二次系統的經度制。它還引入了明確的地球概念，引進了經、緯度及其有關的測定和計算方法等等。

《崇禎曆書》採用了較好的天文數據和計算方法，保證了曆法推算的較高精度，還介紹了不少歐洲天文學成果和概念，儘管其中有隱瞞和歪曲，但對於當時中國學者來說是十分新穎的知識。這些使當時瀕於枯萎的天文學重新獲得生機，從這個意義上說，《崇禎曆書》的編纂在中國天文學發展史上是一個十分重要的事件。《崇禎曆書》在清兵入關之後，傳教士又略作整理，進呈清帝，書名改爲《西洋曆法新書》一百卷，對中國天文學的發展產生了較大的影響。

《數理精蘊》是在康熙皇帝的大力支持下，自公元一六九〇到一七二一年編成的一部介紹西方數學知識的百科全書。它是在法國傳教士張誠、白晉等人譯稿的基礎上，由梅穀成等人匯編而成的。

《數理精蘊》上編五卷「立綱明體」，下編四十卷「分條致用」，表四種八卷，共五十三卷。它的主要內容是介紹從十六世紀初年以來傳入的西方數學，包括幾何學、三角學、代數以及算術的知識。上編包括有《幾何原本》，其內容雖與歐幾里得《幾何原本》大致相同，但著述體例差別較大。《算法原本》，討論了自然數的性質，包括自然數的相乘積、公約數、公倍數、比例、等差級數、等比級數等的性質，是小學算術的理論基礎。下編包括實用算術、度量衡制度、記數法、整

數四則運算、分數運算、比例及其應用，聯立一次方程、開平方及其開帶從平方、立方及開帶從立方，解決有關直角三角形三邊的二次方程應用問題，已知三邊長求三角形面積、內切圓徑及內接正方形邊長的公式，由內接、外切多邊形求圓周率的方法，求三角函數值方法，三角形邊長、角度相求——直角三角形和斜三角形的解法，直線形、圓、弓形、橢圓的面積，各正多邊形的面積，與外切圓徑、內接圓徑的關係，柱體、棱錐體、棱台體的體積，圓柱體、圓錐體、截球體、橢球體的體積，各種等面體的體積與各種等面體的邊長和外接球徑、內切球徑的關係等等；代數學知識，主是方程的數值解法；「對數比例」以及對數表製作的三種方法等。各種數學用表：包括素因數表，這是一份把一至十萬間的數列分解成素因數相乘的數學用表，其中不能分解為因數的素數又分別列於每萬的數字之後構成一份素數表；對數表的真數是一至十萬、假數的小數位是十位；三角函數表，由零度到四十五度，每隔十秒，給出正弦、正切、正割、餘弦、餘切和餘割的函數值，準確到小數後七位；三角函數對數表，準確到小數後十位。同時，它還介紹了西洋計算尺，這是中國最早關於計算尺的介紹。

(五)王錫闡和梅文鼎

如果說，《崇禎曆書》和《數理精蘊》主要著重於對西方天文算學的介紹，那麼，王錫闡和梅文鼎等人的工作則是在吸收消化西方近代天文算學基礎之上的創新。他們對中、西之學採取科學的態度，主張「去中西之見」，「務集衆長以觀其會通，毋拘名目而取其精粹」，從天文和算學的

本質出發，認爲「數者所以合理也，曆者所以順天也。法有可採，何論東西；理所當明，何分新舊」^①。他們反對對西法的盲目推崇，認爲「以西法爲有驗於今，可也，如謂不易之法，務事求進，不可也。」^②於是，「考正古法之誤，而存其是，擇取西說之長，而去其短」^③成爲他們的研究工作的共同特色。同時他們又各有所長，「王氏精而核，梅氏博而大，各造其極」^④，對中國的天文學和數學的發展作出了貢獻。

王錫闡的「精而核」，指的是他在天文曆法方面專精而又深入的研究。王錫闡的天文曆法研究是從《崇禎曆書》開始的，他深入鑽研西法，認爲西法並非是完善的，而中法也有可取之處。在此基礎上，王錫闡著《曉庵新法》六卷，吸取了中西法兩者的優點，有所發明和創造。他提出了日月食初虧和復圓方位角計算的新方法，依此計算一六八一年九月十二日發生的日食方位角狀況，較其它方法都準確。他獨立地發明了計算金星、水星凌日的方法，還提出了細致地計算月掩行星和五星凌犯的初、終時刻的方法，都比中、西方法有所進步。故梅文鼎在評價王錫闡的天文工作時，指出「近世曆家以吳江（指王錫闡）爲最」，其「從《崇禎》曆書悟人，得於精思」，是「能知西法復自成家者」。

說梅文鼎「博而大」，是指梅文鼎在天文學和數學等多方面的研究。他的天文學著作有四十餘種，其中有對中國古代曆法的評述與研究；有對《崇禎曆書》的評論，「或正其誤，或補其闕」^⑤；有對近人著述的介紹，並能正其訛闕，指其得失；有對他自己創制的天文儀器的說明，涉及

面很廣。這些研究使得他能夠綜論中西曆法的異同得失，對中西曆法的融合貫通，作了大量的工作。

梅文鼎更爲重要的工作是在數學方面，據《梅氏叢書輯要》所收的數學著作就有十三種共四十餘卷，內容涉及初等數學各個分支，有算術、代數學、幾何學、平面三角學和球面三角學等等。這些數學著作，並不是對西方傳人的數學知識的簡單抄襲，而是通過作者咀嚼消化以後的心得之作。有的甚至是「積數十年之探索，而後能會通簡易」而寫成的著作。他的著作中多有創見。如他利用中國古代傳統的勾股算術證明了《幾何原本》卷二、卷三、卷四、卷六中的很多命題；他用幾何圖形證明了餘弦定理和四個正弦、餘弦積化和差的公式；他還獨立思考得出若干四面體、八等面體、十二等面體、二十等面體各種幾何性質，如它們的內切球半徑和體積，訂正了西人書中的錯誤。

王錫闡和梅文鼎的工作，使明代以來傳統數學和天文學重獲生機，使新移植過來的西方數學和天文學在中國這塊土地上長成了根幹，結出了一些新果。他們對古今中外的有關知識採取了批判繼承的正確態度，這也是他們得以在科學上取得成就的重要原因。

二、物理學

(一) 十二平均律

十二平均律，是關於音律學的一項發明。音律學是研究發聲體發聲高低的比例的規律、法則的一門學問，是聲學的一支。

西周（公元前一一世紀至公元前七七一）以前，中國就已經有了宮、商、角、徵、羽五音的五聲音階的認識。到了西周初年，更有七聲音階和十二律的發明。七聲音階較五聲音階增添了變宮和變徵二音，每一個半音即為一律，它們的名字分別稱之為：黃鐘、大呂、太簇、夾鐘、姑洗、仲呂、蕤賓、林鐘、夷則、南呂、無射和應鐘。十二律和七聲音階之間存在一定的搭配關係：黃鐘與宮（相當於今日音名c）、太簇與商（d）、姑洗與角（e）、蕤賓與變徵（#f）、林鐘與徵（g）、南呂與羽（a）、應鐘與變宮（b）等等。

五聲音階數學確定方法的最早記載，見於《管子·地員》中，其法是以一條被定為基音的弦的長度為準，把這一長度三等分，然後依次加上一分或減去一分，以定出其他各音階相應的弦長，這種方法稱為「三分損益法」。按三分損益法計算的結果，十二律中相鄰兩律間的頻率差不完全相等，所以稱為十二不平均律。同時，比基音高（或低）八度的音，不能得到比某音高（或低）一倍的頻程，只能略高（或低）一倍。如基音 200 的相對頻率是一，高八度的 400 音的相對頻率不是二，而是略高於二，其間存在一定的差數。這種情況不適宜進行「變調」，也不便於演奏和聲，所以三分損益法是有缺點的。

爲了消除這個缺點，人們曾進行了不同的嘗試。然而直到明代，朱載堉才在前人不斷探索和

自己努力試驗的基礎上，發明了十二平均律，解決了長期存在的難題，為音律學的發展做出了劃時代的貢獻。十二平均律的理論最早見於《律學新說》，而後在《律呂精義》中又做了進一步的闡述。而關於十二平均律的更詳細的數學演算，記載在他的數學著作《嘉量算經》中。

朱載堉用等比級數的方法平均分配倍頻程的距離，使得十二律中相鄰兩律間的頻率差完全相等，所以稱為十二平均律。十二平均律的發明徹底解決了「旋相為宮」的問題，是音樂史上的一件了不起的大事。現代的樂器的製造都是用十二平均律來定音的。朱載堉的發明約比歐洲的音樂理論家梅爾生（Marie Merseme，一五八八至一六四八年）的同樣發明早半個世紀。朱載堉和他的發現在十九世紀得到了德國物理學家赫姆霍茨（H. L. F. Helmholtz，一八一一至一八九四年）的高度評價。

（二）王徵對於機械學的貢獻

明清時期機械學在西方科學的影響之下，也開始出現了一些新的發展。這一發展可以以王徵為例，他對機械非常有興趣，早年他就著迷於各種機械，經常臥思坐想璇璣、指南車、木牛流馬、連弩等機械的製造方法，「一似痴人」，以致誤了他的舉業。後在接觸到西方傳教士和他們所著的一些著作之後，又對西方機械產生了極大的興趣。便與傳教士鄧玉函等人一道，選擇機械學的基本知識和有關民生日用、國家急需、簡便精巧的機械裝置，編譯成《遠西奇器圖說錄最》三卷。

《遠西奇器圖說錄最》首次較系統地介紹西方機械知識，第一卷爲重釋，敘述重力、比重、重心、浮力等力學知識；第二卷爲器解，敘述簡單機械的原理、構造和應用，如槓桿、斜面、天平、滑輪、齒輪、螺紋等；第三卷爲圖說，有五十四幅圖，敘述各種機械的構造和應用，如起重機械、汲水機械、糧食加工機械、鋸木機械等。書中介紹了曲軸連桿、鏈輪、行輪、星輪、齒輪系、蝸輪蝸桿、棘輪、飛輪等機構，以及人力、畜力、風力、重力的應用技術。

早年王徵受利瑪竇等由西方帶來的自鳴鐘等機械的影響，曾創製了虹吸、鶴飲、輪壺^⑦、代耕、自轉磨、自行車^⑧等。爲代替人力和畜力，他設法用水力、風力或重力作爲機械的動力。如，輪壺就是一種以重力爲動力的計時器，上邊的「十字微機」能「左推右阻」，使齒輪運轉變慢並防止倒轉，相當於現代鐘表的擒縱器。自行車，是利用所載貨物的重力，通過齒輪系，驅動車輪旋轉。他曾製成「能自行三丈」的自行車小樣，並推測「若作大者，可行三里」。自轉磨的動力和傳動原理與自行車相同。王徵還曾指導工匠製造了可由一人啟閉的活水閘和用機械啟閉的閘，又設計了自動啟閉的活閘、千步弩、十矢連弩、袖弩、生火機、拒馬刀、活揭竿等。王徵在系統學習西方機械知識之後，還曾結合中國傳統技術，製造或設計了不少實用機械，如龍尾車、恒升、榨油活機、螺絲轉梯、運石機器等。

後來，他將自己在機械方面的研究成果加以整理，寫成《新制諸器圖說》一書。內分：(一)引水之器，包括虹吸、鶴飲；(二)轉磴之器，分輪激、風動、自轉；(三)自行車；(四)輪壺；(五)代耕；(六)連

弩。該書與《遠西奇器圖說錄最》一起於明天啟七年（一六二七年）刻印於揚州，成爲明清時期兩部重要的機械學著作。

第五節 明清時期的地學

明清時期的地學可以明代徐霞客的《遊記》和清代康熙朝的《皇輿全圖》爲代表。前者代表著中國傳統地學進入高峯，而後者則是西方近代自然科學知識傳入之後，中國地學發展的新標誌。而在《皇輿全圖》出現之前，中國傳統的地圖學在明代前期也已達到了很高的水平。

一、明代前期的地圖學

代表明代前期地圖學發展水平的有鄭若曾的《籌海圖編》和羅洪先的《廣輿圖》。

《籌海圖編》十三卷，是第一部全面論述中國海防的圖籍。其內容十分豐富，計有圖（包括地圖、艦船、武器圖等）一百七十二幅，文字三十餘萬。主要論述中國沿海的地理形勢、倭寇的情況、明代的海防策略、海防設置、選兵擇將、治軍原則以及當時的武器裝備等，此書對後來海防著作的影響極大。

從地圖學來說，影響最大的則是其中的「萬里海防圖」。「萬里海防圖」有十二幅的和七十

二幅兩種。十二幅的「萬里海防圖」見於《鄭開陽雜著》收入的《海防一覽圖》，圖的第一幅於圖名之下注有「原圖每方百里」；另外還有注記「嘉靖辛酉年浙江巡撫胡宗憲序，昆山鄭若曾編摹」和「原大圖詳悉，茲採其概以圖之」等語，說明圖為鄭若曾於嘉靖四十年（一五六一年）編繪，圖上有畫方，並且在此之前還繪有內容更詳細的大圖，即注記所稱「原大圖」。這「原大圖」可能就是胡宗憲第一次看到的鄭若曾編繪的沿海地圖十二幅。原圖現已亡佚，但現存明萬曆三十三年（一六〇五年）徐必達識的彩繪摹本「乾坤一統海防全圖」^①，可能就是「原大圖」的摹本。《籌海圖編》卷一的「沿海山沙圖」所收錄的七十二幅的「萬里海防圖」，係由廣東沿海海圖十一幅、福建九幅、浙江二十一幅、直隸八幅、山東十八幅和遼寧五幅組成。這七十二幅圖再加之日本圖三幅和圖論三十五篇，即為《鄭開陽雜著》收入的《萬里海防圖論》二卷。

不論十二幅或七十二幅的「萬里海防圖」，所繪中國沿海地區都自今廣西欽州南龍門港西南的海域，向東再向北，直到遼寧的鴨綠江。圖幅為「一」字展開式，自右至左展開。原圖均有畫方，圖中海的位置都居上方，陸地居下。圖上所繪沿海地區的山川、海灣、港口、島嶼、礁石以及設置的堡、塞、營、衛、所、烽墩等，都很詳悉，是流傳至今而時代較早的詳盡的海防地圖。《籌海圖編》受到元代朱思本和當時人羅洪先《廣輿圖》的影響，其在「凡例」中寫道：「今略仿元儒朱思本及近日念庵羅公洪先《廣輿圖》計里畫方之法。」而羅洪先又受到過朱思本的影響。他提到編繪《廣輿圖》的經過時說：「嘗遍觀天下圖籍，雖極詳盡，其疏密失準，遠近錯誤，百篇

而一，莫之能易也。訪求三年，偶得朱思本圖，其圖有計里畫方之法，而形實自是可據，從而分合，東西相侔，不至背舛。於是悉所見聞，增其未備，因廣其圖至於數十。……山中無力傭書，積十餘寒暑而後成。」

《廣輿圖》在形式上、內容上和製圖方法上都有很多創新之處。形式上，他把長廣七尺的《輿地圖》改編成分幅地圖集的形式，大大改善了地圖的保存、使用和刊印條件，使地圖的雕版印刷和廣泛流傳成爲可能，是地圖學發展史上的一大進步。內容上，《廣輿圖》變單幅爲多幅，是中國第一部綜合性圖集。羅洪先把當時見到各種地圖根據需要編輯到統一的圖集之中，構成一個內容更加豐富而系統的整體，從而能起單幅地圖所起不到的作用。《廣輿圖》的內容可分爲四部分。第一部分是政區圖，包括「輿地總圖一」和「兩直隸十三布政司圖十六」，這是朱思本圖的基本部分也是整個圖集的基礎。這種以行政區劃分幅的方法，一直爲以後的中外地圖集所廣泛採用。第二部分是邊防圖，包括「九邊圖十一」和「洮河、松潘、建昌、麻陽、虔鎮諸邊圖五」。第三部分是專題地圖，包括「黃河圖三」、「漕河圖三」、「海運圖二」。專題地圖的出現，代表了地圖發展的新方向。第四部分是鄰國和周邊地區圖，包括朝鮮、朔漠、安南、西域及東南海夷圖、西南海夷圖、四夷總圖等，充分反映了當時對世界的認識程度。這種綜合地圖集，不僅在中國是空前的，而且當時在世界上也是少有的。製圖方法上，《廣輿圖》一方面繼承發揚了計里畫方的製圖方法，同時還制定了標準圖例，在地圖符號的系統化、科學化方面向前跨進了一大步。《廣輿

圖》中的四十多幅地圖都採用了嚴格的畫方，其中總圖每方五百里，分省圖每方一百里。「九邊圖」和各種專題地圖是由羅洪先增入的，他也根據圖幅和地區範圍的大小，經過認真的計算，分別採用每方四十里、一百里、二百里、四百里和五百里等不同的比例尺，從而保證了各圖都有一定的數學基礎，提高了地圖的精確度。圖例方面，羅洪先一改以往雜亂繁瑣的象形符號爲簡明扼要的幾何符號，把少數零散的符號改爲一整套系列化的符號，同時制定了統一的標準圖例。由於運用了這些標準圖例符號，這就使《廣輿圖》擺脫了以往地圖上出現大量文字注記和象形圖畫的局面，保證了圖畫的清晰程度和單位面積上地理要素負載量的增加，這是地圖制圖史上的一個重大進步。《廣輿圖》還保存了元明以來一些失傳的重要地圖，這也是《廣輿圖》的重要歷史貢獻。

二、《徐霞客遊記》對於地學的貢獻

《徐霞客遊記》在地學上的貢獻，首先是對岩溶地貌（喀斯特地貌）的考察和研究，其次在水文方面，糾正了古書中所說「岷山導江」的錯誤，正確指出金沙江是長江的上源。在比較福建的建溪和寧洋溪（九龍江）時，推論二溪的分水嶺高度相等，而流程與流速的關係是「程愈近而流愈急」，對於河流侵蝕作用也有很生動而科學的論述。此外對於因高度和緯度的不同而產生氣候差異和對動植物生態與分布的影響等都有很好的記述。它如火山、地熱、人文地理也都有貢獻，而其中最值得一提的是徐霞客對於岩溶地貌的考察和研究。

徐霞客考察過的岩溶地貌，分布很廣，東起杭州飛來峯，西至雲南西部保山地區，寫下了十多萬字的記錄，其深度廣度都是空前的。

在地表岩溶方面，《遊記》記述的內容有石芽與溶溝（書中稱為石萼、花萼、石紋、石骨、石齒）、岩溶裂隙（石隙）、落水洞（智井）、漏斗（環窪）、豎井（深井）、溶蝕窪地（盤窪、圓塢）、岩溶槽谷（長形塢）、岩溶盆地（盤壑、甸）、盲谷（落水坑）、乾谷（枯澗、旱峽）、岩溶嶂谷（橫槽）、岩溶天窗（透頂洞）、天生橋（石梁、天生橋）、岩溶湖（池、塘、潭、湖、海子）、岩溶泉（泉）、峯林（石山、石峯）、孤峯（獨山）、岩洞（岩）、穿山（穿山、月亮山）、溶帽山等二十種地貌形態。對這些地貌形態，徐霞客幾乎都有他的專名，有的名稱至今仍在應用，如天生橋、月亮山。此外，徐霞客還記述了岩溶地貌的分布範圍和地區差異。

在地下岩溶方面，《遊記》記述的內容有溶洞、洞穴堆積、地下洞、地下湖、洞穴瀑布、地表水與地下水之間的關係、洞穴生物、洞穴氣候、洞穴音響、洞穴利用、洞穴考古、洞內石頭的顏色、洞穴方向、洞穴大小、洞穴形態結構、洞穴類型、洞穴成因等十七項。此外，還有考察洞穴的技術。《遊記》記載的洞穴總數是三百五十七個，親自入洞考察的三百零六個，占百分之八十六（不包括他遊過但《遊記》沒有記載的那些洞穴）。這三百五十七個洞穴中有六十九個是非石灰岩洞穴。由於徐霞客親自入洞考察的次數很多，因此他對洞穴內部的形態結構有了較深的了解，記述內容遠遠超過前人。他記述藤瓜式（即現在說的岩溶通道，又稱溶洞網）、樓閣式、蹲虎式、

深井式、廳堂式、海螺式等六個洞穴基本形態，是中國古代洞穴學的首次記錄，也是世界洞穴學的首次記錄。

三、清初全國地圖的測繪

徐霞客生活的時代正是某些自然科學伴隨宗教傳入中國的時候。傳教士利瑪竇繪製的《坤輿萬國全圖》和艾儒略著的《職方外紀》也可能對他產生過影響。如徐霞客曾說：「自記載以來，俱囿於中國一方，未測浩衍」；在雲南時，幾次提到想遊緬甸。清代初年，西方地學對於中國地學的影響就已非常明顯，一個典型的例子就是清初全國地圖的測繪。

清康熙二十八年（一六八九年），中俄締結了尼布楚條約，在這之後，康熙見到一幅亞洲地圖，圖中關於中國滿洲地區的地理知識相當缺乏，就有開展測繪工作的打算。後來他從廣州購入儀器，每到東北和江南各地巡視的時候，就命隨行的傳教士測定經緯度。在條件成熟之後，他命耶穌會士測京師附近地圖，由他親自校勘，認為遠勝舊圖，才下令由中、西雙方人員組成測繪隊進行全國地圖的測繪。

全國地圖的正式測繪是從康熙四十七年（一七〇八年）開始的，由法國教士白晉、雷孝思和杜德美等人率領。先從長城測起，然後測北直隸（今河北省），再測滿洲地區。為了加快速度，一七一一年康熙命增添人員，分兩隊進行。關內十餘省，包括西南（廣西、四川、雲南）、西北

（至新疆哈密）廣大地區，約用五年時間先後竣事。西藏地區是康熙特派二名曾在欽天監學習過數學和測量的喇嘛前去測繪的。

康熙年間所進行的測圖工作，主要進行的是大規模的三角測量，測定全國三角網，然後把各地已有的詳圖和考察了解的情況附著上去。當時所測的經緯點共有六百三十處之多。經過十年之功，康熙五十七年（一七一八年），《皇輿全圖》終於繪製成功。《皇輿全圖》的測繪成功是一件了不起的大事，當時歐洲各國的大地測量，有的尚未開始，有的雖已開始，也未完成，而中國在十八世紀初期完成了全國性的三角測量，走在世界各國的前列。康熙年間的測繪，還有兩件事在測繪史上是非常有意義的。第一，是尺度的規定。康熙爲了統一在測量中使用的長度單位，規定以二百里合地球經線一度，每里一千八百公尺，因此每尺的長度就等於經線的百分之一秒，這種以地球的形體來定尺度的方法是世界最早的，法國在十八世紀末才以赤道之長來定米（公尺）制的長度。第二，是發現經線一度的長距不等。康熙四十一年（一七〇二年）實測過中經線上由霸州到交河의 直線長度，以後在康熙四十九年（一七一〇年）又在滿洲地區實測北緯四十一度到四十七度間每度的直線距離。這些測量都可以得出緯度越高，每度經線的直線距離越長的結論，如北緯四十七度比四十一度處測得的每度經線的長度大二百五十八尺，這是過去的測量中從未得到的結果，這個結果實際上支持了當時牛頓所提出來的地球扁圓說。遺憾的是當時參與此項工作的傳教士雷孝思等人，雖然深信他們的測量數據是準確的，但可能是由於當時的法國科學院卡西尼

(G. D. Cassini, 一六二五至一七二二年)等人所持地球長圓說觀點的影響，他們還不敢把這些結果作為地球扁圓說的證明，只是期望以後的人再研究解決。

繼康熙之後，乾隆時期又對新疆哈密以西的地圖進行了測繪。乾隆二十一年（一七五六年）命劉統勛、何國宗等人前往考察採訪、測量繪製，何國宗負責經緯度測量，劉統勛擔任地理調查。當時何國宗和明安圖分別負責天山南北，並且遠至中亞一帶的測量。這一測量的結果，終於在乾隆二十六年（一七六一年）完成了《西域圖志》。

乾隆還命傳教士蔣友仁在康熙《皇輿全圖》的基礎上進行改制增訂，並利用了傳教士宋君榮 (Antonius Goubil, 一六八九至一七五九年) 搜集的有關亞洲的地理資料。全圖完成後，曾製成銅版一百零四塊，這就是十三排的《乾隆內府輿圖》，範圍比康熙朝繪製的全圖為大，北至北冰洋，南至印度洋，西達紅海、地中海和波羅的海，可以說是一幅亞洲大陸的地圖，不過圖中最精詳的部分還是康熙時所測的滿、蒙與關內各省和乾隆時所測的西域各地。

註釋

①《明史·諸王列傳》。

②見徐光啟：《處置宗祿查核邊餉議》，徐光啟集，十三頁。

⑤《明史·諸王列傳》。

⑥《袖珍方》全書四卷，三千多方，其中有些是周府自製的。這部著作「因疾授方，對方以授藥」，條方類別，詳切明確，便於應用。倍受醫家重視，僅明代就被翻刻了十多次。

⑦是書「採摭繁富，編次詳析」，全書共一六八卷，其中有方脈總論、運氣、臟腑、身形、諸疾、婦人、嬰兒、針灸、本草共一百餘門，計一九六〇論，二一七五類，六一七三九個藥方，二三九圖，甚為賅備，保存了大量明以前散失的文獻，為後者學者提供了豐富的研究資料。李時珍的《本草綱目》就引用了其中許多方劑。

⑧俱見《千頃堂書目》。

⑨見《農政全書·樹藝·燕菁》。

⑩見光緒三十四年《鳳陽府志》卷十六《藝文考·子類》。

⑪見道光十年《安徽通志》卷二百一十一卷《藝文·子部》；光緒三十四年《鳳陽府志》卷十六《藝文考·子類》。

⑫道光七年《徽州府志》卷十五《藝文志·醫家類》。

⑬見於《千頃堂書目》著錄。

⑭《明史·諸王列傳》。

⑮參見郭永芳：「八股取士與中國近代科學落後」，《科學傳統與文化》，陝西科學技術出版社，一九八三年，第二一〇至二一四頁。

⑯梁啟超：「醫學善會敘」，《飲冰室合集》之二。

①《物理小識》一書的書稿寫成於崇禎十六年（一六四三），清初他流亡廣東時又重行修改，康熙三年（一六六四年）單獨印刷行世。除卷「總論」外，全書分爲二十二卷，包括天類、曆類；風雷雨暘類、地類、占候類；人身類；醫藥類上藥；醫藥類下藥；飲食類、衣服類；金石類；器用類；草木類（上、下）；鳥獸類（上、下）；鬼神方術類、異事類等，是一部百科全書式的著作。其中，有關於科學的內容達近千條。

②《一如亭葦芳譜·棉譜》。

③顧公燮：《消夏閒記》。

④民國二十二年（一九三三年）《吳縣志》卷五十二上，風俗。

⑤朱國禎：《湧幢小品》。

⑥徐光啟：《農政全書》卷之三十五，「蠶桑廣類」。

⑦《籌海圖編·凡例》。

⑧竺可禎：「序言」，《徐光啟紀念論文集》，第三頁。

⑨《明史》卷九十二，兵四。

⑩馬歡：《瀛涯勝覽》卷首。

⑪鞏珍：《西洋番國志》自序。

⑫《宋·朱彧》《萍洲可談》。

⑬明·鞏珍：《西洋番國志·自序》：「經濟大海，線遶彌茫，水天連接。回望迴然，絕無纖翳之隱蔽。唯觀日月升

墜，以辨西東，星斗高低，度量遠近。」

● 屈大均：《廣東新語》。

● 見前一章。

● 《天工開物·五金》。

● 北京天壇是著名的明代建築。其中皇穹宇建於明嘉靖九年（一五三〇年），原名泰神殿，一五三五年改爲今名。

● 呂厚均等：「天壇皇穹宇聲學現象的新發現」，《自然科學史研究》，第十四卷第四期（一九九五年），三五九至三六五頁。

● 許之衡：《飲流齋說瓷·說窰》。

● 王清任：《醫林改錯》上卷。

● 曾雄生：「中西方農業結構及其發展問題之比較」，《傳統文化與現代化》，一九九三年第三期。

● 據統計，李時珍在《本草綱目》中參考了許多前人的著作，其中包括歷代本草著作四十一種，各種醫書二七七種，還有經史雜書四四〇種。

● 李時珍：《本草綱目》卷首，《凡例》。

● 趙學敏：《本草綱目拾遺》「序」。

● 趙學敏，字衣吉，號恕軒，浙江錢塘人。擅長醫藥，他曾花了三十八年工夫編撰《本草綱目拾遺》一書。在編寫過程中，他不僅廣泛搜集邊防外紀諸書，訪問去過邊遠省份的親友，以及西方傳教士所述，以至藥房、藥方、商號廣

告。他不僅詢之於農夫、漁民，而且還驗之以目，親手栽植和觀察。他不斷地刪補修改手稿，至死猶無清稿本。

⑩ 中國自然科學史研究室數學史組：《宋元數學綜述》，《宋元數學史論文集》，科學出版社，一九六六年，第七頁。

⑪ 吳敬，字信民，浙江仁和（今杭州市）人，他對浙江經濟，如田畝、糧稅和人口等的增長情況非常熟悉，當時負責財政的官員常請他協助工作，這有助於他對數學應用問題搜集和研究。《九章算法比類大全》是吳敬「積二十年」之功力完成的一部數學著作。

⑫ 《南村輟耕錄》卷二十九載：「算盤珠……撥之則動」。

⑬ 程大位（一五三三至一六〇六年），字汝恩，號賓渠，安徽休寧人。少年時代就很喜愛數學，後來一面經商，一面從事數學研究。一五九二年寫成《新編直指算法統宗》十七卷及首篇一卷，時已六十。六年後，又將該書刪繁就簡編成《算法纂要》四卷。《算法統宗》這是一部流傳極廣的數學著作。明清兩代不斷翻刻、改編，「風行宇內」，凡學習計算的人，「莫不家藏一編」，影響之大，在中國數學史上是少有的。

⑭ 《算法統宗》開列的五十一種算書，現只存十五種。

⑮ 該書卷三。

⑯ 該書卷六、卷七。

⑰ 梅文鼎：《璣塔測量》。

⑱ 王錫闡：《曉庵新法序》。

⑲ 《疇人傳·王錫闡傳後「論曰」。

①《疇人傳·梅文鼎》。

②輪壺是一種以重力為動力的計時器，上邊的「十字微機」能「左推右阻」，使齒輪運轉變慢並防止倒轉，相當於現代鐘表的擒縱器。

③自行車，是利用所載貨物的重力，通過齒輪系，驅動車輪旋轉。他曾製成「能自行三丈」的自行車小樣，並推測「若作大者，可行三里」，自轉磨的動力和傳動原理與自行車相同。

④收藏於中國第一歷史檔案館。