

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界古代后期科技史

e-BOOK
内部资料 非卖品

内容提要

本书主要介绍世界古代后期即西方古罗马时期至西罗马灭亡、中国秦汉魏晋南北朝时期的科学技术发展状况，同时以科技发明和重大成果、科技人物和科技著作为主，论及了东西方科技在世界科技史上的地位和影响。全书共分 11 章，内容依次为世界古代后期科技概述、天文历法、数学、农学、地理学、水利、医学、建筑技术、手工业技术、物理学、化学。每章又分为若干小节，如“世界古代后期的天文历法”包括古希腊罗马的天文学和历法；中国的天文学和历法、印度的天文学等。概述主要介绍了该时期科学技术发展的背景和主要成就，论及了东西方科技发展之异同，讨论了当时科技发展的原因。

一、概述

科学技术是文化大系统中的重要一环。所谓科学，就是关于自然和社会的现象及其发展规律的知识体系，它是一种社会的观念形态，也是人类探索自然规律的文化活动，数学、物理、化学、地学、天文学、生物学、农学、医学等学科均包括其内。技术一般被理解为关于工具、物质产品以及它们被用来达到实用目的的方式的知识，包括纺织、建筑、机械、冶金、车船、兵器、陶瓷、造纸、印刷等方面。正因如此，科技是人们生活中不可缺少的重要因素，而且其作用愈来愈大。“科技是第一生产力”鲜明地指出了科技的重要地位，形象地说，没有科技，就没有当今社会。

科学技术有其自身的发展过程，世界古代后期是这一过程中的重要一环。通过对这一时期科技成果的研究，可初步探索科学技术发展的逻辑与轨迹。

1. 环境与背景

在世界古代后期，重要的文化区域仅限于东方的中国、印度，西方的希腊、罗马。但因环境与背景的差异，使得这四个国家的科技机制绝然不同，因而创造的成就也各有千秋，影响大小不一。

古希腊位于地中海东北部，大致相当于当今的希腊，它的政治、经济、文化影响东达小亚细亚、叙利亚，南达埃及、利比亚等地，西达亚平宁半岛南部、西西里岛，北达黑海沿岸，在公元前8世纪以前还处在原始社会，公元前8至6世纪奴隶社会逐渐形成，到公元前5至4世纪达到古希腊历史上的全盛时期，公元前4世纪末以后进入希腊化时期，科技文化渐趋衰微，文化的中心也移至北非的亚历山大里亚，公元前146年以后纳入罗马版图，科技文化的滑坡更甚。

罗马帝国最辽阔的疆域，北达不列颠、莱茵河、直到黑海，东部包括美索不达米亚、叙利亚，南部包括整个北非，西部包括现在的西班牙、葡萄牙。也大致在公元前8至6世纪，罗马的原始社会逐渐解体。经过公元前5至1世纪的发展，进入公元1至2世纪时便达到奴隶制的全盛时期。3世纪以后逐渐没落，公元475年西罗马帝国丧失在日耳曼人的铁蹄之下。

古希腊、罗马是欧洲文化的发源地，当欧洲绝大部分地区还处在野蛮状态时，古希腊、罗马已有了高度发展的文化。古希腊、罗马文化是古希腊、罗马社会的产物，但它又是在文化发达较早的亚洲西部国家和埃及的影响下发展起来的，它的宗教、科学、哲学等都可以看到埃及、巴比伦和其它国家的影响，甚至希腊字母也是在腓基尼字母的基础上形成的。另外，罗马的科技文化又是在模仿与继承希腊文化的基础上形成的。当公元前3世纪罗马开始强大时，希腊文化已度过了自己的全盛期，但希腊文化仍高于罗马文化。由于地理毗邻，希腊在意大利的移民以及罗马对希腊的征服，都促进了罗马对先进的希腊文化的继承，但罗马文化毕竟是罗马奴隶制的产物，不能认为是希腊文化的简单重复。

公元1世纪以后，由于基督教的传播，人民逐渐接受了神学的统治，科技文化也归于神学的机制中而日渐没落。日耳曼人的野蛮入侵，将发达的希腊罗马文化一扫而光，黑暗的中世纪降临了欧洲。

在东方，中国的秦汉文化（公元前 2—公元 8 世纪），继承了春秋战国的文化繁荣，推动了更程度上的文化大融合。魏晋南北朝是古代社会民族大融合的高峰，汉民族与少数民族的密切往来掀起了更大规模的文化交流，并延至隋唐时期。这种源远流长、仪态万方的中华文化是一个巨大的复合体的典型例证。丝绸之路的开辟，南亚次大陆文化的东来，使强大的封建帝国进入了文化兴隆昌盛的黄金时期。并在博采众长的过程中趋向于精深博大。

此时的印度虽屡经战乱，但朴素的自然科学知识得以继承和发展。从公元 1 世纪起到 5 世纪，印度已由奴隶制社会逐步向封建社会过渡，随后便出现了一个经济发展和文化昌盛的时代。古印度文化是人类文明的重要组成部分，它从古巴比伦、古希腊、罗马文化中吸收天文学、数学和医学知识；同时，印度的古代科学也对其它国家的文化进步发挥了重要作用，如数学上零符号的十进制和记数法的西传，经过阿拉伯人的推广，渐为世界通用。

2. 科技发展成果

讲到科技成就，世界古代后期无疑是一个辉煌时期。

（1）天文学

在天文学上，古希腊学者亚里斯塔克测得地球与月球、太阳间的距离，最早提出了日心说；喜帕恰斯发现了岁差现象，发展了地心说；而托勒密则是集大成者，他继承发展了地心说。这些都是古希腊天文学上的最高成就。古罗马的《儒略历》使西方历法独树一帜。印度的天文学开始已独立为一门新学科，出现了阿耶波多、伐罗诃密希罗、梵藏等天文学家以及《阿耶波提亚》、《五大历数全书》等天文学著作，影响一直延续到近代。中国天文历法的成就是更是辉煌，颛顼历、太初历、四分历、乾象历、大明历递相更替，盖天、深天、宣夜、安天、穹天、昕天等宇宙理论并行，张衡、虞喜、祖冲之等天文学家不断出现，谱写了中国古代天文学最灿烂的篇章。

（2）数学

古罗马统治下的古希腊亚历山大后期，涌现了海伦、托勒密、丢番图等有名的数学家，他们在三角学、算术、代数等方面颇有建树。此时，中国古代的数学体系已基本形成，数学界人才辈出，刘徽、祖冲之为其中的佼佼者，《九章算术》、《周髀算经》、勾股定理、圆周率代表了这一阶段数学的最高成就。在印度，数码和十进位记数法有悠久的历史，对后世颇有影响，著名数学家阿耶波多（第一）因在代数学、三角、三率法等方面功勋卓著而名垂青史。

（3）农学

生产工具的改进使罗马农业有了长足的发展，加图、瓦罗等大农学家及其著作的相继涌现，对古罗马农业作出了划时代的总结。印度因地理位置的优越而使农业有所进步，农业技术不断提高。在中国，铁制农具得到发明、改进和推广，并使耕作和作物栽培技术得以改进与提高，出现了《汜胜之书》、《齐民要术》等农学著作，中国的农业实用科学体系得以形成。

（4）地理学

世界古代后期是地理学的创立和发展时期。在古希腊、罗马，埃拉托色尼创建了地理学概念，波里比阿开描述地理之先河，阿加增尔乔德斯将地理学建立在人和环境相统一的基础上，斯特拉波首次为人类绘制了世界地图，

托勒密写成了《地理学指南》等，都对后世产生了巨大影响。中国班固的《汉书·地理志》开创了中国的历史地理学，张衡制成世界第一台地震仪，裴秀首创中国古代绘制地图的6条原则，郦道元著成《水经注》，法显发现美洲大陆等成就都极大地丰富了世界古代地理学的内容。

（5）水利

水利事业一向是人类最为关注一个领域。西方以罗马输水管道、多瑙河桥梁最为有名，代表了西方水利技术的最高成就；印度的灌溉事业非常发达，形成了一整套技术密集的灌排系统。中国的运河、陂塘、灌渠、治黄等工程历代皆有，许多成就当属世界第一。

（6）医学

医学领域更是成就纷呈，在世界古代后期，逐渐形成了东西方两种医学体系。中国传统医学体系的成就主要表现为：华佗的外科手术和麻醉术、张仲景的《伤寒杂病论》、王叔和的《脉经》、皇甫谧的《针灸甲乙经》、葛洪的《肘后备急方》、陶弘景的《本草经集注》、雷教的《雷公炮炙论》等。而西方医学体系则建立在盖伦、普林尼等人的贡献基础之上。印度的《屠罗迦》和《苏色罗多》也很有地位。

（7）建筑

建筑技术是这一时期科技发展的重要领域。古罗马继承了古希腊的建筑成果，经过不断创新，建成了颇具特色，风格独特的皇家浴场、长方形会堂、凯旋门、角斗场和哈良离宫等杰作，在形制、结构技术、艺术上都达到了西方古代建筑的高峰。同一时期，中国出现了万里长城、阿房宫、秦始皇陵等建筑奇迹，木架建筑、拱券建筑、园林建筑、宗教建筑，从多侧面反映出建筑技术领域取得的令人瞩目的进步与发展。美洲、日本、印度也出现了不同风格的建筑技术。

（8）手工业

古罗马作为古代西方科技成就的代表，最突出的表现就是手工业技术，例如纺织、玻璃制造、矿冶、机械制造等，都有领先于欧洲各国。而中国秦汉魏晋南北朝时的矿冶、纺织、漆器制造，制瓷，造纸技术则是当时世界上的最高水平。

（9）物理和化学

物理和化学知识在古代虽一直很贫乏，但自从阿基米德奠定西方物理学基础之后，物理学便不断得到发展，古希腊、罗马时期的代表人物则是阿波罗尼乌斯、老普林尼、托勒密和巴布等；化学方面的最高成就就是炼金术的流行。中国的物理化学知识与实用技术紧密结合，主要应用于造纸、制瓷、印染、冶铁等方面，在力学、声学、热学、电学和磁学、光学等方面的成就居于世界领先地位，近代化学的先驱——炼丹术在当时更是盛极一时，并经阿拉伯人西传，引起了近代史上的化学革命。

3. 东西方科技发展之比较

世界古代后期是科技发展的一个重要时期，这从东西方科技发展的比较中也看出端倪。

（1）社会制度与政治思想的异同

古希腊、罗马文化是古希腊、罗马社会的产物。当欧洲绝大部分地区还

处于野蛮状态之时，古希腊、罗马已经有了高度发展的文化，科学技术作为文化的重要领域，以其显著的成果形成了西方古代科技史上的一座高峰。这一高峰，完全是古希腊、罗马奴隶制社会所决定的。希腊的奴隶制国家表现为各自独立的城邦，其经济和文化较为发达，奴隶主内部民主也比较充分，他们提倡精神和身体的全面发展，富于机智和创造性。因此，在希腊，特别是雅典，出现了哲学的繁荣，数学、物理学、化学、建筑学、医学等学科也获得了很高的成就。在文化繁荣的历史条件下，罗马也由城邦发展为庞大的奴隶制帝国，严密的国家机器推行专制统治，民主气氛日渐薄弱。意大利的地理环境适宜农业发展，奴隶主大规模地占有奴隶，实行大田庄制；而且在公民中提倡坚毅、服从、责任感等道德信条；在哲学和科技领域中，从希腊的现成体系中，取其所需而予以发展。因此，罗马在国家观念、法律、军事工程和科学技术等方面都取得了更高的成就。罗马科技文化继承了古希腊文化，到公元前3世纪时，便开始强大。这一时期，罗马大量地接受了希腊文化的影响。因为希腊和罗马的社会制度相同，所以罗马科技文化也就在继承希腊科技成就的基础上创造性地发展起来了。

与希腊、罗马文化并肩发展，双峰并峙的中国，新兴的封建主通过统一战争使封建社会得以确立。由于大部分封建主是由奴隶主贵族转化而来的，也就相当完整地保存了奴隶制度积累的文化成果。自秦汉以来，中国形成了高度统一的封建帝国。为了实现“居重驭轻”、“强干弱支”的目的而设置郡县制；推行“推恩令”，修建四通八达的驿道，统一度量衡，将先秦哲人和政治家“尊王攘夷”的口号变成了社会现实。与此相适应，中国的文化走向趋于统一。秦代的“书同文”，使汉字通行全国，从而促进了造纸术、印刷术的发展。政治、经济、文化的繁荣和发展，也是科学技术达到当时世界最高水平的重要原因。到了汉武帝时期，开始确立了儒学在文化领域的独尊地位。“罢黜百家，独尊儒术”经过历代统治者的提倡和充实，逐渐形成了一个庞大而完整的理论体系——儒教和礼教。随着封建制度的日趋强化，思想禁锢也日益深重。虽然出现过汉、唐、两宋的辉煌时期，但儒家思想还是使中国的封建社会成为一个庞大、稳固的惰性体系，形成了中央集权闭关自守的封闭性社会结构。在这里，“重政务、轻自然、斥技艺”，科学技术一直以“末业”的身分处于从属地位，只有那些与国家功利直接相关的科技门类如天文历算、工程技术等，才能得到国家赞助，并由政府部门主持，其它科学技术只能在草野民间自生自灭，许多取得成就的科学家和工匠也得不到社会承认。总之，封建主义中央集权和儒家思想的一元化统治，制约着科技的发展，甚至成为窒息科技发展的桎梏，而导致了近代科技落后于西方的命运。

（2）自然哲学的差异和思维方式的不同

中国、希腊、罗马在古代自然哲学方面具有明显的相似性。例如，无论是西方的希腊、罗马，还是东方的中国，古代哲学都把质料看作世界的本原。希腊和罗马人认为“地、水、气、火、以太”是组成世界的5种元素，中国人则认为“金、木、水、火、土”是构成万物的5种成分。又如，古希腊、罗马和古代中国的哲人，对世界的描述都带有现象学色彩，至于事物本质和内在的联系，则停留在猜测上。但是由于自然条件、物质生产方式和思想体系的差异，各民族的思维方式又各具特点。比如，作为科学型的古希腊、罗马文化，其思维方式十分强调对立面的冲突与斗争，认为物质世界与精神世

界、肉体与灵魂、本质与现象、内容与形式，都是不相融合、彼此对立的。因此将宇宙作为外在物和客体加以探索、研究，视大自然为人类的对立面和征服对象，并在此过程中，通过彼此自由的辩论，提出独立的学说，建造严密的公理化系统。这无疑会推动理论思维的发展，促进科学的繁荣。

古希腊、罗马的贤哲很注重数学，柏拉图从几何学得到启示，提出理念论；欧几里得毕生追求的是透过几何图型探讨世界本质，亚里斯多德更加广泛采用了他所处时代的数学成就。这种注重数学的传统，无疑是近代思维方式的前导。科学家伽利略曾指出：“没有数学语言和数学符号的帮助，人们就无法了解宇宙的片言只语”，英国学者李约瑟说：“没有它们，人们就会在黑暗的迷宫中徒劳地徘徊。”欧洲人在突破中世纪神学蒙昧主义阶段、走向近代文化大国时，便充分继承并发扬了古希腊的数学传统，用其武装了自己的头脑。

作为“伦理型”的中国文化，其思维方式更倾向于寻求对立面的统一，长于综合分析而短于科学分类。中国的哲人虽然也讲对立面的斗争，但更习惯于寻求一种自然的和谐。例如中国古代哲学三个基本命题之一的“天人合一”观，视天道与人道二者为一体，认为人类与自然界是水乳交融的统一体；这种朴素的整体观念虽然强调了自然界和人类社会的整体性、统一性认识，但缺乏对这一整体各个细节的研究能力，因而对整体性和统一性的认识也是不全面的、含糊的；从而导致学科分类的长期粗疏，以伦理学的“所当然”取代哲学的“所以然”，满足于从生活事实中寻求证据，习惯于“设象喻理”，而忽视理论上的深刻探讨。由此可见、朴素的整体观念和寻求统一的思维方式，既反映了中国古代人民宏观把握世界的慧眼独具，也表现出在科学实证精神和数量分析方面存在着的明显缺陷。而这种思维方式的缺陷，严重地阻碍了古代中国科学技术理论体系完善。

现代著名的科学家爱因斯坦指出：“西方科学的发展是以两个伟大的成就为基础，那就是希腊哲学发明的形式逻辑体系，以及通过系统的实验发展，有可能找出因果关系。在我看来，中国的贤哲没有走上这两步，那是用不着惊奇的，令人惊奇的倒是这些发现（在中国）全部做出来了”。爱因斯坦的这段话十分精辟地总结了东西方古代自然哲学的差异和思维方式的不同以及它们在科学技术发展上所起到的作用。

（3）各具特色的发展过程

世界古代后期，中国历代帝国继承了春秋战国的灿烂文化，并使科技各门类走向体系化，为唐宋科技的繁荣昌盛奠定了基础。

在西方，古希腊的科技繁荣在公元前 146 年被古罗马征服后即告中断。古罗马重创辉煌后，也在公元 476 年随着西罗马帝国的灭亡，科学文化的历史也就此中断了，从而进入了漫长黑暗的中世纪。恩格斯在《德国农民战争》一文中指出：在欧洲，中世纪是从粗野的原始状态发展而来的，它把古代文明、古代哲学、政治和法律一扫而光，以便从头做起。同时他还指出：僧侣们获得知识教育的垄断地位，因而教育本身也渗透了神学性质。宗教、神学在文化活动的整个领域中建立了至高无上的权威，这就使欧洲的文化和科学技术失去了连续性，而发生断层和倒退。

然而，自秦汉确立封建主义中央集权制以后，中国的科学文化没有出现欧洲那种从古代到中世纪转变时期的倒退现象，也没有形成神学统治一切的情景，而是以宗法伦理意识为潜质、以经验理性为重要形态、中国世俗文化

始终占据主导地位的社会格局。正因为如此，从公元前 2 世纪开始，中国的古代科技文化，不断向高峰迈进，并且保持了发展的连续性和完整性，为人类科技文化史谱写了光辉的篇章。

（4）经济基础和研究方法的差异

中国一向是自给自足的小农经济，重农抑商，对商业和手工业采取轻视态度，再加上封建性的统治体系，使小农经济产生顽固、排外、闭关自守、安于现状、缺乏进取和改革精神的社会心理，使人看不到科技的生产潜力，意识不到科技的效益，虽有张骞、班超通西域，法显游印度，但目的和功利偏重于政治。西方则相反，他们很早就重视商业，使得商业和手工业很发达，并富有冒险精神，刺激着科技的进步。

科技的差异更多，也更重要地体现在科技本身的研究方法上。

中国的传统科技向来重视实用，绝对地以国家的实用性为主，天文历法的突出贡献以国家实用为中心自不待言，古代数学更是以解决实际问题而著称。《九章算术》中分列的九章，计 246 个应用题，都与生产需要密切相关。这一时期中国科技的经验色彩已十分浓厚，科技成就大多属于对当时生产经验的直接记载或对自然现象的直观描述，极少进行科学理论的探讨。这些无疑是中国科技发展的重大局限，也是近代科技没有在中国产生的直接原因之一。

西方科技那严密的数学、物理逻辑已趋于系统，实验特色此时也十分浓厚，并以欧几里得几何学的形式逻辑体系作为前进的基础。使古希腊、罗马时期的研究方法具有重视实证道路和数学语言这两个显著特征。促进了古代后期西方科学技术的繁荣。

二、世界古代后期的天文、历法

天文、历法与人事相关，因而发源悠久，并受到历代各国朝野官民的重视，重大的发现和成果也就层出不穷。到了世界古代后期，随着人类文化的繁荣发展，古希腊、罗马、中国，印度等古老民族，涌现出亚里斯塔克、希帕克斯、托勒密、张衡、虞喜、祖冲之、阿耶波多、代罗诃密布罗等卓越的天文学家，他们通过精心研究而提出的“日心说”、“地心说”、“儒略历”、“颛顼历”、“太初历”、“大明历”以及“盖天”，“浑天”、“宣夜”、“显天”、“穹天”、“昕天”等宇宙理论，都是天文学史上一座座闪光的里程碑。

1. 古希腊罗马的天文学和历法

希腊化时代是古希腊科学繁荣的历史时期，巨大的科技成就诞生在各个领域。其中，亚里斯塔克（又译为阿里斯塔克斯）、希帕克斯（又译为喜帕恰斯）、托勒密等伟大学者的成果，代表了古希腊天文学的最高成就。活跃在公元前3世纪的萨摩斯人亚里斯塔克，用三角法测定了地球到月球及太阳的相对距离，最早提出了日心说；公元前2世纪的天文观测者喜帕恰斯，根据前人和自己多年的观察，发现了地球的岁差现象，并采用本轮和均轮理论，发展了地心说；公元2世纪的托勒密以喜帕恰斯的本轮和均轮理论为基础，继承发展了地心说（又称天动说）；《儒略历》的颁布和改革，标志着古罗马历法的先进性和天文学科学的高度发展。

（1）亚里斯塔克的成果

亚里斯塔克（公元前310—前230年），是古希腊杰出的天文学家和数学家。据说，他是兰普萨柯斯的斯特拉顿（逍遥学派的自然学家）的弟子。他率先提出了“以太阳为中心”的宇宙体系，指出恒星与太阳都是不动的，人们之所以看到它们的“转动”，那是因为地球本身的自转所致。地球沿着一个圆周的周边绕太阳运动，太阳则处于轨道的中心位置，其它的行星也都分别沿着不同的圆周绕太阳运行，而月亮则围绕着地球运行。这就是最早提出来的朴素的“日心说”。这个日心理论体系的提出比哥白尼早了1800年。由于这一理论大大超越了那个时代，以致当时的人们都难以接受。由于他的有关著作均已失传，我们今天也就无法得知它的详细内容了。他在公元前280年撰成的《太阳和月球的大小与距离》一书，应用几何学原理，首次测定了太阳和月球的体积以及它们与地球距离的近似比值。他发现月球本身并不发光，而是靠反射的日光来发亮。于是他进行了测算，结果是：“上弦月或下弦月，即从地球上看到月亮恰好为半圆时，日心——月心连线应与月心——地球表面观测点的连线相垂直”，所以太阳、月亮、地球恰好在同一个直角三角形的3个顶点上。在地球的观测点上，他又测出“日地”和“月地”间两条连线的夹角为 87° 左右。根据此角，再计算出日地距离约为月地距离的19—21.5倍。随后，他又以此为基础，研究了日食和月食的情况。由于日食时，月亮刚好遮住太阳，从地面看则是月影恰好与太阳重合；故可近似地认为，以地面观察点为顶，以月球直径为底的三角形，同以地面观察点为顶、以太阳直径为底的三角形部分重合且相似。由于日地距离与月地距离的比值已知，那么太阳的直径也应为月球直径的同样倍数，即19至21.5倍。在月食

的情况下，他又计算出地球的影子在月球轨道上的宽度（近似地为地球直径）为月球直径的3倍，这样，他算出太阳的直径与地球直径的比值一定大于19/3，小于43/6，即约为7.1。即是说，太阳的体积比地球的体积要大得多。而实际上日地距离不是月地距离的19倍，而是389倍；太阳直径也不是地球直径的7倍，而是109倍。虽然亚里斯塔克得出的数值不够准确，但它们却标志着人类已经开始用科学的方法来研究天文学了。

（2）阿波罗尼乌斯和希帕克

阿波罗尼乌斯（约公元前262—前190年），古希腊著名的天文学家。他继承和发展了欧多克萨斯和亚里士多德的“地心说”传统，在地心体系的基础上提出了“本轮”和“均轮”的概念，并假设行星并不直接围绕地球作圆周运动，而是沿着一个称为“本轮”的较小的圆周做匀速运动；“本轮”的中心，再沿着一个叫做“均轮”的较大圆周围绕地球运动，而地球则位于“均轮”的中心，是固定不动的。这样，行星与地球的距离就会有远近的变化。当行星运行到与地球接近时，它在“本轮”上的运行方向与“本轮”中心在“均轮”上的运行方向恰好相反，这一理论的提出，也就使人明白了行星亮度变化和逆行现象的规律。

希帕克（又译喜帕恰斯，约公元前190—前125年），古希腊天文学家、地理学家。出生于小亚细亚西北的尼西亚。他一生著述甚丰，但除了《阿拉多斯及欧多克索天文现象的注释》外，其它均已散佚。希帕克经过太阳年实际长度的测定，发现太阳的周年运行有快有慢，并不是匀速运动。为了解释这个现象，他又进一步对地心体系加以修正，提出了“偏心圆”的假设。他认为，太阳虽然以均匀的速度在圆周轨道上绕地球运行，但是，这个圆周轨道的中心并不恰好是在地球上，它对地球来说是一个偏心圆。所以，在不同的季节，当太阳以匀速在相同的时间间隔内沿着轨道走过相同长度的圆弧时，这两段等长圆弧对不处于圆心的地球而言，它们的角度却不一样。于是，人们就会觉得太阳的运行有快有慢。他的这些修正，已使地心体系比较符合当时尚不完备的观测事实，而且可以用来预测日、月、行星在未来任何时候的运行位置，甚至可以用来比较准确地预报日食和月食了。

希帕克在天文学上的主要贡献，还不在于他对地心体系的修正，而在于实际观测。他是方位天文学的创始人。他算出一年的长度为 $365\frac{1}{4}$ 日减

去 $\frac{1}{300}$ 日；发现了白道拱点和黄白交点的运动规律；编制了几个世纪内太阳和月亮的运动表；发明了许多天文仪器，并且在罗得斯观象台亲自进行了35年的实际观测，由此又发明了平面三角学和球面三角学，发展了阿里斯塔恰斯关于太阳、地球、月亮相对大小和距离的计算方法，计算出月球的直径是地球的 $\frac{1}{3}$ （实际为0.27），月球和地球的距离是地球半径的67.74倍

（实际为60.4倍）；他还创立了一套描述和计算星体运动的方法，提出了“本轮”和“均轮”的运动规则，认为每个星体都有自己的圆周轨道运动即本轮运动，而各个本轮的中心又以地球为中心进行圆周运动即均轮运动，并由此解释太阳、月亮和行星对地球的运动关系。公元前134年，他在天蝎座发现了一颗新星，从而打破了“天是永远不变的”哲学信念，由此编制了西方最早的记载恒星位置和亮度的星表，表中列有1000多颗星，并将恒星亮度分为

6 等。他将自己对恒星黄经的观测结果同前人的记载进行比较，发现了黄道和赤道交点的缓慢移动——岁差，并计算出岁差值为每年 36 角秒（实际应为 50.24 角秒）；还发明了以经纬度表确定地理位置的方法和投影制图的方法，并由此发现黄白交角等。喜帕克留下了大量的观测资料，后人在计算行星的各种周期与参数时，常常利用他的观测结果。公元 1718 年，哈雷将自己的观测结果与喜帕克的记录进行比较，从而发现了恒星的自行。可见，喜帕克的著作虽然没有流传下来，但他对后世的影响并未因此而泯灭，而且作用相当突出。

（3）埃拉托色尼的天文学成就

埃拉托色尼（约公元前 275—前 196 年），希腊天文学家和地理学家。他通过立竿测出夏至这一天，当太阳正好直射在塞尼的地面时，便与亚历山大里亚的太阳形成一个 32° 的倾角；而塞尼和亚历山大里亚在同一子午线上，两地直线距离为 500 希腊里；他先计算出两地的纬度之差，再计算出地球的周长是两地距离的 50 倍，由此算出地球的周长为 25 万希腊里，约合 24600 英里（相当于 39600 公里）；这与 24800 英里的近代数值已相当接近。通过这些计算，他发现地球是个不规则的球体，首次提出了地球是椭圆体的见解。

（4）托勒密及其天文学成就

克劳狄·托勒密（约公元 90—168 年），是古代著名的天文学家、地理学家、数学家。他出生在托勒密城，一生的大部分时光是在亚历山大里亚度过的。他在那里从事天文观测和学术研究。托勒密是希腊四大古典学派之一即亚历山大里亚学派的最后一位学者，也是古希腊天文学的最后一位代表。他总结吸收前人的研究成就，写出了《天文学大成》（又译作《至大论》、《大汇编》、《天文学大全》、《地理指南》等），并且通过系统的几何学证明，建立了宇宙地心体系，即地球中心论，成为希腊古典天文学的集大成者。

地心体系认为，地球是静止地居于宇宙的中心，太阳、月球、行星和恒星都环绕地球运动。该体系又被称为“地静说”、“地心说”或“地球中心说”。这一学说最初由欧多克萨斯（约公元前 408—前 355 年）提出，他运用 27 个同心球来表现这个体系的复杂运动。后来他的学生亚里士多德（公元前 384—前 322 年）接受了这个体系。为了使这个体系和当时已有的观测结果更符合，亚里士多德又增加了 29 个球，达到 56 个球。地心体系的演绎非常繁琐，成为当时的绝学。后来，著名学者阿波罗尼乌斯提出本轮、均轮规则，喜帕恰斯提出偏心圆理论，又对这一体系进行了充实和发展。

随着天文观测的进步，人们发现，不光太阳的运行是不均匀的，就是行星的运行也具有明显的不均匀性。例如，按匀速圆周运动计算出来的火星运行位置，与实际观测的结果有时竟相差 20 余天之多。这样大的误差，即使用喜帕恰斯的偏心圆假设（解释太阳运行非均匀性的理论），也难以作出解释。这个问题已成为时代的难题。经过反复实测和研究，托勒密在喜帕恰斯地心体系的基础上，提出了一个新的假设，方攻克了难题。他采用喜帕恰斯的偏心圆概念，认为行星的均轮不以地球为圆心，而是地球的偏心圆；再进一步设想行星在本轮上进行匀速运动，但本轮的中心在均轮上的运行是非匀速性的；它的运行服从本轮中心在均轮上的运行，并对“等距离偏心点”（地球位置对均轮中的对称点）的角速度是均匀的。这样，他所得出的结果便与实

际观测基本相符，比喜帕恰斯大大前进了一步。

后来，托勒密集欧多克萨斯、亚里士多德、阿波罗尼乌斯和喜帕恰斯以来的全部地心说之大成，写成了 13 卷本的《天文学大成》，书中系统地阐述了自己最完整的地心宇宙体系。其要点是：地球是宇宙的中心，并静止不动；每个行星都在一个被称为“本轮”的小圆形轨道上匀速运动，本轮的中心在被称为“均轮”的大圆轨道上绕地球作匀速运动；但地球并不是“均轮”的中心，而是与圆心有一定的距离，从而产生行星视运动中心的“顺行”、“逆行”、“合”、“留”等现象；水星和金星的中心位于地球与太阳的连线上，而且本轮的中心每年在均轮上运行一周；而火星、木星、土星到它们各自的本轮中心的直线总是与地球和太阳间的连线平行，它们每年都要绕各自的本轮中心旋转一周；金、木、水、火、土五大行星和太阳之外还有一个恒星天、恒星都位于这个固体壳层中，恒星天与日、月、行星一样，每天要绕地球运转一周，这样，我们在地球上看来，它们每天都要东升西落；另外，在恒星天之外，还有一层最高天，那是宇宙的极限；日、月、行星及恒星天都在最高天上有投影，从地球上看来，日、月、行星以及恒星天距人们的距离相同，就是由于投影的缘故；这一天层又称为原动天，是诸神的所在，所有的天层都受原动天的推动而环绕地球转动（各个天层从内至外排列为：月亮天、水星天、金星天、太阳天、火星天、木星天、土星天、恒星天、最高天）。由于托勒密适当地选择了各个均轮与本轮的半径的比率、行星在本轮和均轮上的运动速度、以及本轮平面与均轮平面的交角，也就使依据这一体系推算的行星位置与观测结果基本相符。这就近似地解释了行星的视运动情况，并据此编出了星历表。这在当时是难能可贵的。

但是，随着观测精度的不断提高，依据托勒密的地心体系，推算出来的行星位置与观测结果的偏差愈来愈大。虽然有人不断地对它进行修补，教会也把它作为上帝创造世界的理论支柱，但它的可信度仍不断降低。到了 16 世纪中叶哥白尼日心体系的提出，它便渐渐地被人们摒弃了。和亚里斯塔克的日心体系相比，托勒密的地心体系无疑是一种倒退；但就其细节来说，托勒密的体系却比亚里斯塔克的体系更加完备；特别是它对当时的观测事实作出了更加令人满意的解释，因此它的影响相当巨大，以致统治欧洲天文界 1000 多年。

围绕《天文学大成》，托勒密晚年还写了其他几本书。一本是《天文计算用表》，将分散在《天文学大成》各卷中的所有有关天文计算的用表单独汇编成册，并附有使用说明，这不仅对天文学有用，而且对数学计算和其他学科都助益匪浅。到了拜占廷时代，这些表都成了标准手册。另一本是《行星假说》，它是《天文学大成》一书的通俗摘要；除了列出《天文学大成》的详细内容目录外，还进一步提出了行星的物理模型，补充了《天文学大成》中仅有几何模型的不足。

除了天文学上的卓越贡献外，托勒密在其它学科也取得了重大成果。他是那一时代第一流的几何学家，在立体几何研究中有许多创见，主要体现在《天球测绘》和《平面球体图》这两部名著中。两书分别论述正射投影和极射投影的数学系统，前者利用 3 个互相垂直的正射投影平面来解决天体的位置问题；后者是一种将球形投影成平面图形的办法，它是制作星盘的数学依据。借助这种数学方法，天文学家可以将球面几何的问题化成困难较小的平面几何问题，这是将天文学进一步科学化的重大创造。

在地理学和地图学上，托勒密也很有研究。他的《地理学》（又译作《地理学指南》）一书，全8卷；直到14世纪仍不失为地理学方面的权威著作。该书系统地叙述了制图的基本原理和法则，以及将球形大地画在平面地图上所必需的数学知识和两种类型的平面投影，并利用这些知识和方法将当时所知的世界各地画成了地图。由于投影方法的优越和简便，《地理学》一书得到广泛传播，对后世产生了深远的影响。当然此书也有不少让人遗憾的部分。由于当时经纬的测量误差太大而影响了图的准确性，这就给后世带来了一些不利的影晌。

在物理学方面，托勒密著有《光学》一书共5卷。其中叙述了平面镜的性质、反射定律、平面镜成像的计算方法，以及折射现象，入射角与折射角的关系等等。该书第5卷对于大气折射（即蒙气差）现象的明确提出是西方系统研究蒙气差的开始。

托勒密还著有一本关于古代占星术的书，共4卷。其中收集了古代各种占星术和神话故事，虽然天文学水平较低，但流传甚广。该书在元代传入中国，明代译成汉文，定名为《四类术》，与中国古代有关占星术、神话故事等书差别甚小。

托勒密的其他著作还有许多，如：《恒星状态》、《月相》、《论平行线》、《论天平的平衡性》、《论元素》等，其中有的已经失传。

托勒密是古代著名的科学家之一，他对古代科学作出了巨大贡献。虽然他的宇宙地心体系被中世纪天主教所利用而成为统治人民的工具，并且严重地束缚着科学的发展，但他仍不失为一位伟大的科学家，那些把他当作科学的对立面而任意挞伐的人是有失偏颇的。

（5）《儒略历》的颁行

罗马古代的历法，是一种阴阳合历，长期处于十分混乱的状态。古罗马最早的历法以朔望月为基础，一年分为10个月，一共304天。到公元前713年，国王努马受希腊历法的启发增添了两个月，使一年由10个月增加到12个月。当时认为单数是比较吉利的，因此规定每月的天数都是奇数。其中，1、3、5、8月每月31天，2、4、6、7、9、10、11每月29天，12月为27天，每月天数皆为单数，全年共354天，该历法被称为努马历。该历年比回归年短了11天多，因此使用起来多有不便。

公元前509年，为调整努马历的差额，罗马政府规定，每4年内增设两个月，称做闰月，分别加在第2年和第4年的末尾，在第2年后所加的闰月为22天，第4年后所加的闰月为23天，这样就使该历法演变成阴阳历，一直使用到公元前191年左右。但由于编制历法和置闰的权力操纵在僧侣手中，他们出于某种需要，后来竟随意增设闰月，致使历法混乱、寒暑颠倒，严重影响了国家生活的正常进行，这就使历法完全失去了实用价值，因而历法的改革已成为时势的必然。

公元前46年，罗马执政官儒略·恺撒（前45—前10年）采纳了埃及天文学家索西琴尼的建议，以回归年为依据进行历法改革，颁布了改历的命令，规定每年设12个月，单月为大月，31天，双月为小月30天，2月为29天，冬至后10日定为一年的开始；在连续4年内，前3年每年各约365天，称为平年，第4年为闰年，366天，多出的天放在2月之后；平均每年为365.25天，一个历年和回归年的差数只有0.0078日，比较准确。为了纪念这次改历和树立他的权威，儒略·恺撒便把他出生的月份—7月改为他的名字，因此

人们便称该部历法为儒略历。第二年，恺撒去世了。僧侣们把“每隔三年置一闰年”理解为每3年置1闰年，并作为立法依据。后来，恺撒的侄子奥古斯都（约公元前63—公元前14年）发现了这个错误，于公元前9年规定：从公元前8年到公元4年，这12年间不再置闰年，以冲减掉多闰的3年。从公元后8年起重新恢复儒略历的置闰法。奥古斯都为了显示自己也效仿恺撒，将他出生的8月份改用他的称号，并规定为31天，以延长庆祝其寿辰的时间。他还把9月以后的大、小月全部加以对换，但仍多出一天，为了解决这个问题，奥古斯都费了不少心机。按照古罗马的习惯，2月份是一年的最后一个月；为保持365天，奥古斯都从2月份中扣去了一天，这样就使全年各月的天数成了现在公历各月的天数了。

公元325年，欧洲基督教国家在尼斯召开宗教大会，认为改过的历法更为准确，并决定共同采用，根据当时的天文观测，规定春分日必须在3月21日。

《儒略历》是现代国际社会通用公历的前身，对后世影响极大。但因该历每隔3年一闰，4年总日数为 $365 \times 4 + 1 = 1461$ 天，平均为每年365.25日，而实际长度为365.2422天，年差0.0078天，经过128年相差1天，从尼斯会议算起到1582年，大约每400年便会相差3天。

1582年，天文观测者发现春分日不是发生在3月21日，而是在3月11日，这说明由于误差的存在，日历已与天时相差10天。罗马教皇格利高利13世根据这一误差，采用天文学家利里奥每四百年中去掉三次闰日的方案，颁布改历年的规定：把1582年10月4日以后的那一天改成为1582年10月15日；世纪数不能被4整除的世纪年份不再算作闰年。从而解决了以前多闰的10天，并把春分重新改回固定的3月21日。这一改革，使历法更为精确，人们为了纪念格利高利制历的贡献，便把改后的历法称为格利高利历。这一历法因误差只有0.0003天，经过3300年才误差一天，相当精确，各国相继采用，遂成为国际通用的公历。

《儒略历》的颁布及其不断改进，充分体现出古罗马历法的先进性和天文学科学的高度发展。

2. 中国的天文学和历法

中国的古代社会，有着注重天文、历法的传统。从新石器时代天文学的萌芽阶段开始，经过奴隶社会天文、历法的逐步发展，到了战国时期《甘石星经》的诞生，天文学从此进入了长足发展的历史阶段。其成就有司马迁等人修定的《太初历》，张衡的“浑天说”和“浑天仪”，虞喜的“安天论”和“岁差”理论，陈卓的“星图”和北魏“铁制浑仪”，以及祖冲之的一系列天文学成果，开拓了一个天文、历法科学研究的新时代。

（1）秦汉时期的天文历法

秦汉时期是中国天文、历法大发展的历史年代。这一时代颛顼历、太初历（又名三统历）、四分历、乾象历的更替，使华夏民族的历法体系基本形成；盖天、浑天和宣夜之说的传播，表明中国的宇宙学说已趋向成熟；浑象、太史黄道铜仪等天文仪器的出现，有力地推进了中国天文学的进步；齐备、详尽、精细的天象观测和记录，也为天文学的发展奠定了坚实的基础；时代的骄子张衡，这位伟大科学家的一系列光辉成就，又将划时代的天文学研究

推向了高峰。

秦汉历法

颛顼历在秦王朝时期被颁行全国，汉初仍继续沿用。但因该历中的岁实（即回归年）为 $365\frac{1}{4}$ 日，与实际岁实相差0.0078日；朔策（即月相周期，为 $29\frac{499}{940}$ 日，与实际相差0.000256日，大约300年朔差一日。这种差距到汉武帝时已很明显，而且在年终放置闰月的方法也不适应农业生产发展的需要。于是，汉武帝便命公孙卿、壶遂、司马迁、落下闳、邓平等改历，通过辩论、比较和实测检验，制成“太初历”。

西汉末年刘歆基本采用了“太初历”的数据，改成“三统历”。“三统历”已具备了气朔、闰法、五星、交食周期等内容，首次提出了以没有中气（雨水、春分、谷雨等12节气）的月份为闰月的原则，把季节和月份调整得更加合理，并在农历中沿用至今，该历还建立了一套推算五星位置的方法。这为后世立法奠定了模型。

西汉时已形成了月亮每日平均度值的概念，误差仅为17秒。东汉早期，天文学家李梵、苏统等人发现月亮视运动不均（即月行有快慢），并指出月行快慢因月道距地球的远近状况而定。这无疑是个很重要的发现。

东汉人李梵、贾逵等人编制而成的“四分历”，比之“太初历”有显著进步。该历增加了24节气昏旦中星、昼夜刻漏和晷影长度等内容，并使黄赤交角的数值更为精确，这些都为后世历法所遵循。

公元206年，刘洪制成“乾象历”，指出白道（月行轨道面）同黄道（地球赤道面无限延伸同天球的交线）之间有一个6度的夹角（这与实际相近）；黄白交点有退行现象，实际上已给出了交点月的长度值，这是天文学史上的首次发现。“乾象历”给出的一近点月长度为27.5533590日，与今天的推值相差约百秒，并将测得的一近点月内月亮每天的实行度数列表，列有每天实行度数不及或超过平均速度的改正项，由此得到月亮的位置。这就大大提高了推算日月食的准确度，而且因为大体确定了月亮运动的速度变化，也为月离表的出现奠定了基础。两汉历法以对日月五星视运动的各种周期（朔望月、近点月、交点月、恒星月、回归年长度、交食周期、五星会合周期等）和有关天文常数（黄赤交角、黄白交角、二十八宿的距度、岁差值等）的测定，对月亮在一近点月内逐日运行的情况，太阳在一回归年内逐节的运行情况以及五星在一个会合周期内的动态的测定为基本框架；以某一特定历元到该时刻的长度，减去相应周期长度若干倍的余数为前提，采用代数的方法对月离、日躔或五星动态表作进一步地计算；从而推算出时刻日月五星的具体位置，并解决气、朔、交食等相应的问题。这些颇具东方文化特色的科学内容和基本方法，形成了一个独特的历法体系。这一体系又与中国古代特有的天文仪器、宇宙理论和系统齐备的天象观测融汇贯通，构成了中国古代特有的天文学体系。

天文仪器和天象记录

天文仪器的改进是秦汉时期天文学上的一大成就。汉武帝时的落下闳改进了浑仪，并重新测量了“二十八星宿”的距度；宣帝时的耿寿昌铸成浑象，用来演示天象。东汉和帝时出现了置有黄道环的浑仪（用以观测日、月行度）和太史黄道铜仪。张衡浑天仪的出现，代表了秦汉天文仪器发展的最高成就。

秦汉时期的天象记录较之以前更加齐备，详尽和精细。如记载太阳黑子时，天文学家对黑子出现的时间、形象、大小、位置等都作了明确的记述。据《汉书·天文志》记载：“元光元年（公元前134年）月，客星见于房”，这是中外天文史上对新星的首次记载。显然，这是建立在日常观测记录基础之上的，这些记录，积累了大量有关黑子、日月食、流星雨、彗星、新星、极光等准确的材料，为天文学研究提供了不可替代的历史资料。

天体结构理论

天、地、日、月、星辰之间的关系如何？怎样运动？这些问题一直困扰着古人。到了汉代，“三家”谈天说地之说基本形成。这“三家”即“宣夜说”、“盖天说”、“浑天说”。它们的思想渊源都可以追溯到春秋战国时代。东汉前期，郗萌对宣夜说作了系统的总结和明确的表述。大意是：天什么也没有，空空的，极远极高，看上去郁郁苍苍，象是有颜色的；这正像是远处的黄山，看去满山碧绿，若俯视深谷，则又黝黑一片，但碧绿与黝黑都不是它的本色。日月星辰也是如此，它就在这个无边无际的虚空中飘浮着，互不相干，进退自然，无所限制。这一学说道出了宇宙的无限性，日月星辰飘于宇宙之中的道理。但它忽视了众星间的联系及其运行规律，因而受到怀疑，也就难为人们所接受。《周髀算经》是西汉盖天说的代表作，书中指出：半圆形的天，拱形的大地，日月星辰附着天而平转，因此不能转到地的下面去，等等。这一学说被越来越多的天文观测事实所否定，也难以持久。而浑天说在西汉时期得到了很大发展，落下闳、鲜于妄人、耿寿昌、扬雄等人都为其作出了贡献。浑天说认为：天体的基本结构是，天像鸡蛋壳，地像蛋黄，天大地小，地在天内；天表里都有水，天地都浮在水上，靠水而运动；天不下坠，是由于中间有气，地不下坠，是由于水的悬浮。浑天说的出现给盖天说以致命的打击。东汉杰出的科学家张衡则是浑天说的集大成者。

张衡的天文学成就

张衡（公元78—139年），中国东汉时期伟大的天文学家，字平之，南阳西鄂（今河南省南阳县石桥镇）人。年轻时他常到西汉故都长安及其附近地区考察历史古迹，调查民情风俗以及社会经济情况，随后又到过都城洛阳求学。公元100年，他开始担任南阳太守鲍德的主簿。在南阳的这段时间里，他写出了流传千古的《二京赋》，并对哲学、数学、天文进行了研究，一时间声名鹊起。汉安帝永初五年（公元111年），他被朝廷召到洛阳，担任郎中与尚书侍郎。自公元115年起，又两度担任太史令，时间长达14年。在此期间，他利用职务之便，进行了广泛地科学研究，取得了卓越的成就，尤其在天文学上功勋卓著。

张衡是浑天说的集大成者。他认为天像鸡蛋壳，地如鸡蛋黄，地在天中；天地乘气而立，因水而浮；天体每天绕地球旋转一周，总是半见于地平之上，半隐于地平之下，等等。这些论述，十分形象地说明了天与地的关系。他还认为，浑圆的天体并不是宇宙的境界，宇宙在时间和空间上都是无限的。在《灵宪》中，他用朴素的、变化发展的辩证思想来解答天、地的起源和演化问题。他认为；天地曾合一，未分时一片混沌，既分之后，轻者上升为天，重者下沉凝结为地；天为阳气，地为阴气，二者相互作用而创造万物；星辰则是由地溢出的气凝聚而成。他还用距离的远近变化来解释行星运行的快慢，提出五星视运动的重要理论，这些观点在当时具有相当重要的进步意义。

张衡不但在理论上倡导浑天说，而且注重实践。他在前人工作的基础上，

亲自设计和制造了漏水转浑天仪(即水运浑象)。候风地动仪制成于公元132年,是世界最早测验地震的仪器。浑天仪为西汉耿寿昌发明,张衡对它进行了改进。他以一个直径约165厘米的空心铜球表示天球,上画二十八宿,中外星官及互成24度交角的黄、赤道等。紧附在球外所有地平圈和子午圈,天球半露在地平圈之上,半隐于地平圈之下,天轴则支架在子午圈上,天球可绕轴转动。他采用齿轮系统使浑象均匀地旋转,一天刚好转一周。这就自动地、近似准确地把天象演示出来。这项创造是唐、宋进一步改进水运浑象的先声。

张衡还对许多天象进行了观察和分析。他基本掌握了月食的原理,认为月食是由于地球的影子遮掩了月亮而引起的自然现象。他测出日、月的视直径为 $\frac{365.25}{730}$ 度(约为0.5度)同日月平均角直径 $31^{\circ}59'26''$ 和 $31^{\circ}5'2''$

相差不多。他还认为,早中晚的太阳都一样大,视觉上的大小只是光学作用而已;由暗处看明处太阳则显大。

张衡还批判了当时的《四分历》之争。他认为,历法的改革与否,不应以是否合乎图讖为标准,而应以天文观测的结果为依据。最终使妄图用唯心主义的图讖之学来附会历法的作法均以失败而告终,唯物论战胜了唯心论。

张衡不仅是著名的天文学家,还是优秀的地理学家、数学家、文学家和画家,一生著作颇丰,对中华民族的科学技术和历史文化的发展作出了卓越的贡献。

(2) 魏晋南北朝的天文历法

魏晋南北朝时期,天文历法的研究异常活跃,涌现出大量的学术著作。根据实际观测,科学家们对前代的天体运动理论进行了修正,使之发展到一个新的水平。同时,发现了闰周的变化、岁差和日行迟疾,以及旧历中的种种重大进展等等,大大充实了我国古代天文学体系的内容。这些成绩的取得,有力地说明,魏晋南北朝时期是中国古代天文历法史上一个极为重要的历史时期。

天体结构理论的进一步发展

魏晋南北朝时期,是探索宇宙理论的一个活跃时期,围绕着盖天、浑天、昼夜之说,逐渐形成了安天论、穹天论、昕天论等理论。东晋虞喜针对“忧天坠”的思想,写成了“安天论”,在昼夜说的基础上提出了“安天论”。大意是说天极高,地极厚,天上地下,天地静止不动,日月星辰在其间运行,不全部附在天上,天地形状一致,方则同方,圆也同圆。这一学说与昼夜说基本相同,只是认为地极厚,与天形状相同。地极厚和天地静止的说法都是错误的。因此影响不大,但是它关于宇宙无限和天地万物皆有自身运动规律的思想,丰富和发展了古代朴素的唯物主义和辩证法思想。

虞喜的族祖虞耸在《穹天论》中提出了“穹天说”,认为:地在海中,海与天接,天穹像半个扣着的鸡蛋壳,中间充满元气,使天不沉没于海中。它基本上沿袭了“盖天说”。但又混合了“浑天说”;它采用盖天说的数值来修正浑天说日行水中的理论。说明他对气体的性质有着一定的认识。

孙吴时的姚信在《昕天论》中提出“昕天论”。主要内容是把人与天相比,认为人与天的结构大体相同,天南面低于地下,北面偏高。冬至时天南移则天冷,极降低,日行地中深,昼短夜长;夏至时天北移,日距人近,与南气相接而暖,北极上升使日行地中线。夜短天长。这一理论纯粹是唯心的

谬说，毫无科学意义，因而得不到流传。

岁差和大气消光现象

由于太阳、月亮和行星对地球赤道部分的吸引，导致地球自转轴的方向发生变化，从而使冬至点在恒星间的位置逐年西移，每年的移动值就叫做岁差，即二至、二分点的移动而引起的每年长短之差。

起初人们不知有岁差的存在，认为二至、二分点是固定的，但在制历的实际测量中，冬至点的移动是早已被测出，而且人们也在不断地改变着对冬至点位置的认识。直到东晋虞喜发现岁差之后，人们才从理论上认识了这个问题。

大约在公元 330 年，虞喜通过同一时节星辰出没时刻与古代记录的比较，发现恒星提前出没，这表明二至、二分点已向西移动。由此得出：太阳周年视运动一周天，并非就是冬至一周岁。即太阳一周天与二至一复的时间并不相同。他根据历史记录进行计算，提出每 50 年向西移动 4 度的岁差值<较准确值应该是 70.6 年差一度>，这是中国历史上首次对岁差规律揭示，无疑是天文学的重大发现和创新。虽然数值差距较大。但为后人的深入研究奠定了基础。南朝何承天对岁差也进行了研究，得出 100 年差 1 度的结论。刘宋的祖冲之首次将岁差的存在应用到历法的编制中，极大地提高了历法的推算精度，并形成常例，以后岁差值越来越精确。

东晋时的姜岌首先发现了蒙气差的存在。蒙气差主要是地球大气层对天体光线的折射所引发的视觉差，姜岌通过长期观测，认为天体视亮度的变化是由于“游气”的影响，在地平线附近时影响大，在天顶附近时影响小，这同现代大气消光的理论颇为相似，但他对为什么蒙气（即游气）会产生视差则不甚了解。虽然如此，这也算是人类认识的一大进步了，比西方早了 1000 多年。星图与浑仪、浑象魏晋南北朝时期，有关天文仪器和天象图径的著作纷纷问世，先后有许多人制造浑仪和绘制星图。其中的孙吴时陈卓所绘的星图和北魏时铸造的铁浑仪最为著名。星图起源于盖天说的演示仪器——盖图。盖图是由两块丝绢构成，上面画有 7 个等间距的同心圆，分别表示夏至圈、赤道、冬至圈等，圆心为北天极，还有和冬、夏至圈相切的圆（表示黄道），附近画有二十八宿等。若把底层绢按逆时针方向环绕天极转动，即可显示一天内和一年内所见星空的大致情况。这种圆型盖天式星图是我国古代星图的主要形式。孙吴、西晋的太史令陈卓在前人的基础上，使这类星图定型化，圆中收有 283 官，1,464 星。这一成果，历来为后人所沿用。中国历史上唯一的一台铁制浑仪，铸成于北魏时期。它的底座上设有“十字水平”，以校准仪器安装，这是中国科技史上利用水准仪的开端。这架铁仪一直沿用到唐代，长达 300 多年。此外，孙吴人葛衡制造的浑象也很有名。该仪器是一个空心球，球面上穿孔代表星宿，当人在空心球内时，可从孔看到阳光，如同看到天上的星星一般。这是近代天文馆中天象仪的原始模型。

历法理论的创新

从东汉末刘洪制定乾象历到隋统一全国，中国历法的改变颇为频繁，仅正史记载的就有 20 余次。而且此时的历法理论也有很多创新，这些成就将这一时期的历法学推向繁荣。代表这一时期历法繁荣的主要成就表现在 4 个方面。

第一，岁差理论在历法中的应用

公元 462 年，祖冲之将岁差理论用于《大明历》中，这在中国尚属首例，

标志着中国古代历法科学的一大进步。

第二，由平朔向定朔的改变

中国古代历法以日月交会时刻所在日为朔日（农历每月初一日）。在以前的历法中，往往以朔策（计算月朔时须用的参数采用月行周期的平均值，约为 29.5306 日）为依据。但是，由于月球运行有快有慢，使每月的实际日数并不相等，所以用平均月数求得的朔日与实际日数往往不符，有时差距还很大，竟将月底或初二定为朔日。这种情形显然违背了天文理论的基本原则，因此用朔策的平均值来推算朔日的平朔法必然要有所改进，方能适应实际需要。

南朝宋人何承天在制定《元嘉历》时正式废去了平朔法，而采用定朔法即由月行的实际速度来推算朔日。严格说，日月交会的时刻不但受月行速度的影响，还要受日行速度的影响，因此只用月行迟缓快慢的定朔法来推算朔日仍是近似值，还要计入日行快慢差才能准确合理；只是太阳运行速度的变化极小，因此定朔值也就与真朔大致吻合了。这是中国天文史上的一大进步。虽然，这部历法并未得到实行，但它基本廓清了采用定朔的道路，为隋唐时实行定朔法奠定了基础。

第三，闰周数值的精确化

随着回归年和朔望月长度测定的进步，沿用了近千年的 19 年 7 闰法已动摇。公元 412 年，北凉赵 制成《玄始历》，第一次打破了旧闰法，提出了 600 年中有 221 个闰月的新闻周，使回归年和朔望月之间的关系得到调整。此后祖冲之造《大明历》，采用 391 年中有 144 个闰月的闰周，从而得到更为精密的结果。如当时的回归年值为 365.24 28 14 8 日，比今值差 46 秒；第一次提出的交点月长度为 27.2 12 23 日，误差仅 1 秒。这一时期还有许多闰周法，如《正光历》取 505 年 186 闰，《天保历》取 676 年 249 闰，《大象历》取 448 年 165 闰等。这其中，以祖冲之 391 年 144 闰法最为精确。

第四，日行迟疾的发现

战国时人们发现“五星”运行时快时慢，汉代时人们又发现月亮运行也有快慢变化，并知道月行迟疾与距黄道远近以及出入黄道，即向背近地点有关。东汉末刘洪在制《乾象历》时设损益率（每天月行实际度数比平均值多出或减少的度数）和盈缩积（以近地点为起点，月亮每日多行或少行度数的总和），以修正月行的度数。这种计算月行迟疾的方法到南北朝时已被广泛运用，并流传到今天。

北魏张子信经过 30 多年的观察，发现日月出入黄白交点时都有迟疾变化，“五星”的运行速度也因向背太阳而不同，即太阳在春分后运行较慢，秋分后加快；朔日，月亮只有在黄道里才会发生日食，在黄道外则不会，而月食则不分内外；月亮向着金木火土四星时速度增大，背着“四星”时速度减小；“五星”的运行受他星影响，遇到某些星时速度放慢，出现较早；而遇另外一些星时又会加速，出现较晚；水星的运行很特殊，在雨水和立夏间早晨不见，处暑霜降间夜晚不见，在惊蛰、立夏、立秋、霜降之中，晨、晚在太阳前 36 度内，后 18 度外，遇“四星”中的一星时方出现。这些发现在天文历法史上占有极为重要的地位，对后世天文历法的研究产生了深远的影响。

3. 印度的天文学

公元前 4 世纪以来，印度的天文学有了进步，并开始从数学体系中独立出来，成长为一个新的学科。公元前后几个世纪的天文学成就，主要显示在《条替沙明论支节录》和《关于太阳的教言》两部著作中。但在一个相当长的时期内，由于佛教在印度的广泛传播，佛经中的传统宇宙观念居于统治地位。该理论与中国古代的盖天说较为接近，认为须弥山为天与地的正中心，日月都环绕须弥山运动而不进入地下，它们的绕行周期为一昼夜。这一理论借助强大的佛教势力为靠山，极大地限制其它宇宙天地观的产生，从而使古代印度并未出现系统地象中国、古希腊、罗马那样全面周密的宇宙理论，并在相当长的时期内，使印度天文学基本上没得到发展。直到公元四五世纪笈多王朝时期，佛教衰落而印度教开始兴起，才使人们的思想得到一定程度的解放。于是，希腊天文学开始传入印度，天文学开始在印度蓬勃发展，十进制在天文学领域得到普遍运用，并出现了阿耶波多（意译为“圣使”），伐罗诃密希罗（意译为“彘日”）、梵藏等较为著名的天文学家，以及《阿耶波提亚》、《五大历数全书汇编》等天文著作，其影响一直延续至近代。

（1）耆那历

耆那历是古代印度的一部重要历法，主要应用于公元前 6 世纪到公元 2 世纪。该历法以 $327\frac{57}{67}$ 日为一星宿年， $354\frac{12}{62}$ 日为一太阴年，360 日为一世间年，366 日为一太阳年。5 个太阳年组成一瑜珈，共有 60 个太阴月，或 61 个世间月，或 62 个朔望月，或 67 个星宿月。从这些相近数值中，我们可以推出：一个太阳月约合 $30\frac{1}{2}$ 日，一世间月约合 30 日，一个朔望月约合 $29\frac{32}{62}$ 日，一个星宿月约合 $27\frac{21}{67}$ 日。在此基础上，人们又可推出一个有闰月的太阴年约合 $364\frac{44}{62}$ 日。这套历法中还有日季和月季等用语。一日季就是两个太阳月，约合 61 日；一个月季是指一个星宿月的六分之一，约合 $4\frac{37}{67}$ 日。这种方式是印度历法所特有的，标志着古代印度

人民对太阳、月亮的运行有了季节划分。这一历法所采用的基本数据和计算方法在唐代传入中国。对中国历法的改进有所助益。

（2）《乾陀干迪迦》（意译为《历法甘露》）

公元 3 世纪到 12 世纪，是印度古典文化的繁荣时期。这一时期出现了许多历法著作，例如《五大历数全书汇编》、《九执历》以及婆罗门笈多的《历法甘露》都很有代表性。其中尤以《历法甘露》最为重要。它的算法是：设 y 为积年， $\frac{u}{v}$ 为闰周， b 为一朔望月不满 30 天的天数，得出等式 $\frac{b}{30} = \frac{11}{703}$

$(1 - x)$ ，其中 $x = \frac{1}{111573}$ 又设 m 为其年历过月数， d 为其月历过日数，得出：

$$M(\text{代表积月}) = (12y + m) + \frac{(12y + m)u}{12v},$$

$$D(\text{代表积日}) = (30m + d) - \frac{11(30m + d)(1 - x)}{703}$$

设 W 为积日 D 被 7 整除的余数，以 $W = 0$ 的那一天为星期五， $W = 1$ 的那一天为星期六，从而确定出一个星期。

该历法以 1 月、2 月为春季，1 月称作制咀逻月，2 月叫作吠舍佶月；以 3 月、4 月为热季，3 月称作逝瑟吒月，4 月称作頞沙荼月；以 5 月、6 月为雨季，5 月称作室罗伐拿月，6 月称作婆达罗钵陀月；以 7 月、8 月为秋季，7 月称作頞经缚庾阁月，8 月称作迦刺底迦月；以 9 月、10 月为寒季，9 月称作未迦始罗月，10 月为报沙月；以 11 月、12 月为冬季，11 月称作磨祛月，12 月称作颇勒窣拿月（上述译名皆为音译）。这样，便把一年 12 个月划分为春、热、雨、秋、寒、冬 6 个季节。这一划分与同时代其他国家的历法不同，主要是由于印度特殊的气候条件使然。印度地处南亚次大陆，属热带季风气候，自然形成凉、温、热 3 季，印度人民根据这一特点，便在历法中把这 3 季细分为春、热、雨、秋、寒、冬 6 季。

该历法以 12 个月为一岁，以黑分（从月亏到晦，又叫黑半或黑博叉）和白分（从月盈到满，又称白半或白博叉）之和为一个月，黑前白后。又以 6 时合为一昼夜。一时又相当于 5 牟呼栗多，一牟呼栗多又相当于 30 腊缚，一腊缚又相当于 60 咀刹那，一咀刹那又相当于 120 刹那，而一刹那是极短的时间单位，认为不可再分。该历法也采用闰月制，称闰月为沙姆沙尔白，意思就是溜进来的月份。

（3）阿耶波多（第一）

阿耶波多第一（公元 476—550 年）是印度著名的天文学家和迄今所知最早的印度数学家。他生于华氏城（今比哈尔邦巴特那城）附近，一生著述颇丰，是当时印度学术界公认的最高权威，影响巨大。许多人认为，古印度只有他才能够算是伟大的学者，可见他的影响之甚。到了 14 世纪中叶，印度又出现了一位叫做阿耶波多的天文学家，著有《阿耶历数书》，在印度历史上也颇有影响。为了将二者区别开，人们习惯称前者为阿耶波多（第一），称后者为阿耶波多第二。为了纪念阿耶波多（第一），印度政府曾将 1976 年发射的一颗卫星命名为“阿耶波多卫星”。

他一生的功绩莫过于编著《阿耶波提亚》（又译作《圣使历数书》）这部名著了。公元 499 年，年仅 23 岁的阿耶波多，正是风华正茂小伙子，但他已是当时印度的一流学者，尤其在天文历数领域更是权威人士，他的某些研究成果甚至超过了他所处的那个时代。为了驳斥当时流行的数学统一世界的观点，他编成了《阿耶波提亚》一书，系统地介绍了自己的研究成果。该书用两行诗体的文学形式写成，全书共 118 行诗，大致分为四部分。第一部分，介绍用音节表示数学的特殊方法；第二部分讨论了一些数学问题，其中包括正弦函数、正矢函数（用 1 减去角的余弦值所得的函数），圆周率（值为 3.1416）；第三部分，详细介绍了印度的历法概况，其中有类似中国古代计算上元积年的方法；第四部分论述了天球和地球的关系、计算日、月、五星及黄道、白道的升交点和降交点的运动，论述日、月、五星的最迟点及其迟速运动，以及推算日食的方法。这部书第一次在印度提出了较为基本的天文学问题。通过这一努力，天文学最终从数学体系中分离出来，从而成为一门

独立的学科。因此这本书也就成为印度天文学独立的重要标志。它运用近似中国割圆术的理论，将圆周率的数值计算到 3.1416。通过长期观测，作者在吸取前人经验的基础上，把阳历年的时间长度计算到 365.3586805 天。这两个数值都卓越地接近于现代的数据，说明他在天文、历数方面的造诣很深。

此外，他还提出了一套地球自转理论。这又是盛传佛教盖天宇宙理论的印度在天文学上的一次划时代的进步。阿耶波多在小时候就对盖天理论感兴趣。随着知识的积累，他发现世界并不象盖天理论所说的那样，须弥山更不是什么天柱，他曾将须弥山顶踩在脚下，但头顶上仍有蓝天、白云，日、月在高远无边的上空照耀，星辰在深邃的天空闪烁。由此，他认为须弥山根本就不是天地的正中央，地球也不是什么宇宙的中心。后来，他又发现了地球的自转；正是由于地球的自转才产生了白天、黑夜的不断更替；月球始终围绕着地球旋转，从而产生月份的更替；日是比地球大得多的球体并使地球围绕着它旋转，从而产生年份的更替；原来，地球只是辽阔宇宙的极小一部分。这样，就在思想上彻底地推翻了地球中心说。那么，到底是什么力量使地球在旋转呢，为此他苦苦观测、计算、思索了几十年。在这期间，他谢绝参加许多社会活动，为了研究而废寝忘食。直到晚年，他终于发现了木星、土星、火星在旋转上与地球的一致性，而它们的共同中心就是太阳。他发现正是有了太阳，地球才有了光和热。他进一步推测，认为月亮、木星、土星、火星等行星的光、热源泉也是太阳。由此，他又正确地翻译了月食的成因，而地球的阴影挡住了太阳的光芒，致使阳光不能照到月球上，因此月球也就不能发亮。一系列的设想都得到了证实。那些困惑他几十年的问题都迎刃而解了，这使年迈的阿耶波多欣喜欲狂。随后，他就毅然决然地提出了太阳就是宇宙的中心这一革命性的论断。在他生命即将完结的最后几年中，他系统地完成了这一伟大论断的理论总结，并向印度社会公布了这一光辉的理论。这一理论的提出，比之天文学上的革命——哥白尼“太阳中心说”要早出 1000 多年。若单从理论上讲，阿耶波多的这一贡献，无疑是天文学上的一次质的飞跃。但可惜的是，这套遥遥领先的科学理论没有被后来的天文学家伐罗诃密希罗（意译为彘日）、婆罗门笈多（又译作梵藏）等人所接受，因而未能得到应有的传播和发展。反而它被埋没了 1000 多年。当人们重新发现这一理论之后，无不惊服它的先进性和科学性，同时，也为它的悲惨命运感到遗憾。尽管如此，这套光辉理论的再次面世，仍足以充分证明阿耶波多不愧是印度古代历史上最伟大的天文学家。

（4）伐罗诃密希罗的成就

伐罗诃密希罗是稍晚于阿耶波多的天文学家。他曾将天文学的研究划分为 3 支，即天文学与数学为一支，算命用的天宫学为一支，占星术为一支。他的主要成就是编著了《五大历数全书汇编》（又译作《五手册论》，“五手册”是指当时应用着的五种历书，即《太阳手册》，《毗坦摩诃手册》、《婆西沙手册》、《普利沙手册》、《罗马伽手册》，其中后 4 种已经失佚。这部书几乎汇集了当时印度历法学的全部精华，全面介绍了在此之前的各种历法。其中尤以《苏利亚历数书》（即《太阳手册》）最为有名。该书主要介绍了从西方传来的希腊天文学，书中引进了一些新的概念，如太阳、月球的地平视差，本轮，均轮以及远日点的移动等。书中还介绍了太阳、月球和地球直径的推算方法，探讨了行星的运行、位置、会合，日、月食的性质，星座、日、月的升降，宇宙的起源，测量仪器与计时方法等课题。该书后来

成为印度历法的范本，一直沿用到近代。但书中奉行地心说，认为地球不能转动，季节是由于太阳绕地转动而形成的。此外，伐罗诃密希罗还是一位著名的星相学家，曾编有《星宿幸运交合时的征伐》一书，论证国王出征时的各种预兆，是印度古代占星术的权威著作。书中在一定程度上反映了人定胜天的思想，也有一些进步意义。他为了帮助人们解释梦，还编有《梦之宝鉴》一书，也是印度古代较有影响的著作。

（5）希腊学术对印度天文学的影响

古印度天文学深受西方的影响，几乎所有的数理侧面都源于西方。纵观印度天文学史，我们发现，若按照时代顺序，印度天文学则以阿开密尼王朝的波斯、塞尔柱王朝的波斯；以亚历山大为中心的希腊、伊斯兰文化圈，英国等国的影响为主。在公元前后的几个世纪，印度天文学又以希腊的影响为主。

公元 150 年，印度人将希腊文著作《yavanajatak》译为梵文。原书是公元 100 年左右在亚历山大里亚写成的，大部分为占星术，基本上都起源于希腊，只有最后一章的天文学部分是源于美索不达米亚地区。公元 2 至 4 世纪，印度人还翻译了一些希腊体系的天文学著作，但面目多有改变。不过，从《五部悉昙多》（即《五手册论》或《五大历数全书汇编》）中的《普利沙悉昙多》和《罗马伽悉昙多》中的名称就可以看出是源于西方的。例如：19 年 7 闰的默冬周期、希帕恰斯回归年以及采用本轮、均轮说的行星理论等，都是鲜明的希腊天文学要素。印度著名的天文学家阿耶波多就曾大力吸收希腊体系的天文学并使之印度化，他的代表作《阿耶波提亚》（即《圣使集》，是几个世纪里印度学者吸收希腊天文学的结晶，也是称为“圣使”天文学派的代表作。7 世纪的婆罗门笈多所著的《婆罗门悉昙多》是婆罗门学派的代表作，内容多与《圣使集》类似。印度古典天文学有 5 个学派，其差别在于历元的取法和天文常数值的不同，基本理论方面则是大同小异。综而观之，印度古典天文学属于在公元 2 至 4 世纪传进的希帕恰斯天文学体系，而不是后来的托勒密体系。印度天文学的天体模型是亚里士多德的同心球和阿波罗尼——希帕恰斯的几何学模型的结合，这一特点在印度古代占星术上体现的尤为明显。

三、世界古代后期的数学

“数学”的拉丁文是 Mathematica，希腊文为 $\mu\alpha\theta\eta\mu\alpha\tau\iota\kappa\acute{\alpha}$ ，是科学或知识的意思。从本质上说，数学是研究现实世界中数量关系和空间形式的，即是研究数和形的科学。由于生活和生产劳动的需要，数学伴随着人类的发展而发展，从简单的用手指或竹棍、绳子等实物计数，发展到用数字计数，而且数与形的概念也在不断地丰富和发展，书写出一部人类数学的光辉发展史。在世界数学发展过程中，世界古代后期，数学确实取得了举世瞩目的成就。公元前 146 年以后，古罗马统治下的古希腊亚历山大后期，海伦（约公元 62 年）、C·托勒密（约公元 85—165 年）、尼科马霍斯（约公元 100 年）、丢番图（约公元 250 年）、帕普斯（约公元 300—350 年）等学者，继承了欧几里得（约公元前 330—前 275 年）、阿基米德（公元前 287—前 212 年）、阿波罗尼斯（约公元前 260—前 170 年）等亚历山大前期数学家的工作，不断开拓创新，在三角学、算术和代数等方面颇有建树，其成果对后世数学的发展产生了重大的影响。但是在公元 325 年以后，由于罗马帝国统治者崇尚基督教神学和经院哲学，利用宗教作为统治工具，使数学研究受到了严重的影响，阻碍了数学的发展。

中国古代后期已进入封建社会。秦、汉、魏晋南北朝时期，经济、文化得到迅速发展，特别是在数学领域里，取得了史无前例的成就，形成了中国古代数学体系，涌现出刘徽（生卒年月不详）、祖冲之（公元 429—500 年）等杰出的数学家，他们在算术、代数、几何等方面的研究成果，对世界文化的发展产生了重大的推动作用。

印度古代数学，如同印度文明一样，具有悠久的历史，但对后世产生较大影响的，则是印度的数码和十进位记数法，以及著名数学家阿耶波多第一（公元 467—550 年）在代数学、三角和三率法等方面的研究成果。

总之，古罗马时期，中国秦汉、魏晋南北朝及古印度时期的数学成就，为世界数学史增添了夺目的光辉，推动了人类数学的发展。

1. 古罗马时期的数学

古罗马数学是指亚历山大后期的数学，即始于公元前 146 年希腊陷于罗马，结束于 641 年亚历山大城被阿拉伯人占领。也就是古希腊数学发展历史中的第三期。

希腊数学的发展史分为三个时期。约公元前 7 世纪中叶到公元前 3 世纪为第一期；从欧几里得起到公元前 146 年希腊陷于罗马止为第二期，即亚历山大前期；亚历山大后期的为第三期。

公元前 4 世纪以后的希腊数学，逐渐脱离了哲学和天文学而成为一门独立的学科，这个时期的数学已经从实验和观察为依据的经验科学过渡到演绎的科学。即由少数几个原始命题（公理）出发、通过逻辑推理得到一系列定理；而且初等代数、初等几何、算术已基本形成独立的科目，与 17 世纪出现的解析几何、微积分学相比，其研究内容可以用“初等数学”来概括，因此数学界称这一时期为“初等数学时期”。

古希腊数学的全盛期在亚历山大前期，当时数学家云集在当时的文化中心——亚历山大里亚，进行教学与研究，涌现出象阿基米德、欧几里得、阿

波罗尼斯等众多伟大的数学家，造成一时的声势。亚历山大后期的数学成就虽不象前期那么大，但在托勒密、海伦、门纳劳斯、帕普斯等人的辛勤劳作下，亚历山大学者仍继承了前期数学家的遗产，不断有所发现，推动着数学的进步与发展。

(1) 托勒密

托勒密（约公元 85—165 年）是古代天文学的集大成者。他继承前贤尤其是喜帕恰斯的成就，加以整理发挥，编入他的《天文集》13 卷中。该书是亚历山大学派或整个古代天文学的总结，它的基本理论是地球中心说。此书包括从 0° — 90° 每隔半度的弦表，其作用相当于从 0° — 90° 每隔 $1/4^\circ$ 的正弦函数表。

托勒密采用巴比伦人的 60 进位制，把圆周分为 360° 。另一方面，又将半径分为 60 等份，每一份分为 60 小份，每一小份再分为更小的份，依次类推。他把这些小份依次称为“第一小份”、“第二小份”。后来“小”变成了“分”（minte），“第二”变成秒（sec-ond），这就是“分、秒”名称的来源。

托勒密取半径的 $1/60$ 作为长度的单位，例如 60° 的弦长是 60° 、对 90° 的弦长是 $\sqrt{2}60^\circ$ 或 $84^\circ 51' 11''$ 。

他利用圆内接正五边形和十边形的边长推导对 36° 与 72° 的弦长。其他的弦长，则根据“托勒密定理”来推导。实质上托勒密已经得到下列公式：

$$\sin^2 x + \cos^2 x = 1, \sin(x-y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$$

$$\sin y, \cos(x+y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y, \sin^2 \frac{x}{2} = \frac{1}{2}(1 - \cos x)$$

等价的关系。

托勒密独出心裁地根据不等式 $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} < \left(\frac{\alpha}{\beta} > \right)$ 来作内插计算。

托勒密定半径为 60 个单位，根据这个原理推导出三角学的一系列法则，并奠定了三角学的基础。

(2) 丢番图

除了托勒密之外，在亚历山大后期数学史上还有一位弥足称道的数学家，他就是被称为“代数学鼻祖”的丢番图（约公元 246—330 年）。

丢番图最出色的著作是《算术》，原有 13 卷，现只剩下 6 卷。这是一部伟大的数学著作，它在历史上的重要性可以和欧几里得的《几何原本》一比高下。丢番图的《算术》是讲数的理论的，不过大部分的内容可以划入代数的范围内。该书的特点是完全脱离了几何的形式，在希腊的数学中独树一帜，与欧几里得的经典大异其趣。

他虽然已经知道符号的运算法则：减号乘减号得加号（即负乘负得正）等，但解方程时却只限于正根，如果有负根出现，便认为这方程是不合理的。丢番图小心选择方程系数，使所得根是正数，公元 250 年前后，丢番图在处理 $Ax^2 + C=y^2$, $Bx + C=y^2$ 等型的不定方程时显示出惊人的巧思，不过各个题都用特殊的方法去解决，很少给出一般的法则，甚至性质很相近的题解法也不同，这恐怕是丢番图的最大缺点。另外，他并不知道除法运算，像其他古代著作一样，《算术》中缺乏商的概念。

丢番图的另一重要贡献是用字母来表示未知数作一些运算，这是近代符号代数的先声。

(3) 其他

此外，希腊学者尼科马霍斯（公元 100 年前后，杰拉什地方今约旦北部一带的人）；因著有《算术入门》一书，通俗易懂，明白晓畅，成为算术入门的基础，对后世也产生了较大的影响。

2. 印度的数学

古代印度也是世界文明的发源地之一，曾对人类文明作出过不可磨灭的贡献。在古代后期，印度文明进一步发展，在数学上的突出成就就是对数码的完善和阿耶波多第一对三角学的卓越贡献。

(1) 印度数码的完善

现代国际上通用的阿拉伯数码最早是由印度人发明的，它的发明有一段漫长而复杂的历史。

最初印度人用梵文(印度古代文字)的字头表示数码，即早在公元前 2500 年前后出现的“哈拉巴数码”，其数码形状是：

公元前后，古印度则通行起卡罗什奇数码和婆罗门数码。其中，卡罗什奇数码的形状为：

婆罗门数码的形状为：

卡罗什奇数码：

婆罗门数码：

公元 2 世纪，数码又写成下面的形状：

公元 5 世纪后印度数码中已明确出现了零的符号，使记数逐渐演变为十进位值制。

8 世纪以后，则演变为“德温那格利”(Devanagri)数码，记为：

零号是印度人的卓越发明，没有零号，就没有完整的位值制记数法，这种记数法能用简单的几个数码表示一切数。世界上也有不少民族懂得零的道理，然而进行系统地研究、处理和介绍零，还是以印度人的功劳最大。

公元 773 年，巴格达城的印度天文学家，开始把印度的天文学及数学书籍译成阿拉伯文，使印度的数码传到中亚细亚和西亚。当时印刷术还没有发明，书籍全用手抄，字体因人而异，出入很大。

12 世纪之初，欧洲开始将大量阿拉伯文的数学书籍译成拉丁文。意大利的斐波那契是当时最出色的学者，他用拉丁文写成《算盘书》，将印度的阿拉伯数码和记数制度介绍给欧洲人，书的开头说：“印度的九个数目字是 9、8、7、6、5、4、3、2、1，用这九个数字以及阿拉伯人叫做 Sift(零)的记号 0，任何数都可以表示出来”。当时这些数码和现代的写法仍然有很大的差别。

印度数码传入中亚细亚时，梵文的空(Sunya)被译成阿拉伯文 Sifr，传入欧洲后变成拉丁文 Zephirum，以后再变成英文的零字 Cipher 和 Zero。欧洲人只知道这些数码从阿拉伯人传来，故称之为“阿拉伯数码”。

以后，中国的印刷术传到欧洲，在 1480 年英国的卡克斯敦(1422—1491)出版的印刷本书籍中，数码已相当接近于现代的写法：

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

到 1522 年,英国同斯托(1474—1559)的书才和现在的写法基本上一致,以后逐渐固定下来。

阿拉伯数码传入中国,最早是在 13、14 世纪,但迟迟不被采用。到 1859 年伟烈亚力和李善兰合译《代微积拾级》一书中,将常数 A、B、C、D 译成甲、乙、丙、丁;X、Y 译成天、地;阿拉伯数码译成一、二、三、四等。

中国迟迟不采用阿拉伯数码,主要原因可能是中国自古以来使用筹算式数码记数法,也是十进位制,汉字数码和阿拉伯数码相比,后者并未先进多少。而欧洲中世纪用的是罗马字母非位值制记数法,冗长笨拙,和阿拉伯数字相比则落后许多,故容易接收。

(2) 阿耶波多第一

阿耶波多第一(约公元 476—550 年)是我们知道的印度最早的数学家,生于恒河南岸的巴连弗邑,在今印度东北部比哈尔邦的巴特那市。公元 494 年写成《阿耶波多文集》,是对自己一生成就的总结,该书已失传。近年来又发现《阿耶波多历数书》,包括《天文表集》、《算术》、《时间的度量》、《球》等部分,共有诗 121 行,其中两篇论数学,分别论述了记数法、整数的运算法则、自然数平方、立方和公式、分数的约分和通分法则、三率法、算术数列、三角垛等算术问题、假设法、逆形法和特殊的线性方程组解法及一次不定方程(组)的解法。

阿耶波多指出圆周率之值为:“100 加 4 再乘 8,再加 62000,就得到直径是 20000 的圆周长近似值。”即
$$= \frac{104 \times 8 + 62000}{2000} = 3.1416。$$

阿耶波多对三角学的贡献很大。他制作成一个正弦表,依照巴比伦和希腊人的习惯,将圆周分为 360 度,每度分为 60 分,整个圆周分为 21600 分。再由 $2r=21600$,可得半径 $r=3437.746$,略去小数部分,取近似值 $r=3438$,依次计算第一象限内每隔 $3^\circ 45'$ 的正弦长。如 $\sin 30^\circ = 1719$, $\sin 45^\circ = 2431$ 等。这和希腊的托勒密明显不同。阿耶波多默认曲线与直线可用同一单位来度量。托勒密对这一点则犹豫不决,他定半径为 60 个单位,是沿用 60 进位制的习惯,和圆周长没有关系,也就是说,量弧长和量弦长、量半径的单位是不同的。但印度人则认为圆弧与弦长应用同一单位来度量。整个圆周是 21600 个单位(分),那么半径就应该是 3438 个单位。这里包含着弧度制的思想。弧度制的精髓,就是统一度量弧长与半径的单位。

印度人和希腊人另一个不同的地方,是计算半弦(相当于现在的正弦线)而不是全弦的长。阿耶波多称半弦(或全弦)为 *jiva*,是猎人的弓弦的意思。后来印度的书大量译成阿拉伯文,这个字音译成 *dschiba*,后来辗转传抄,误成形状相似的 *dschaib*,意思是胸膛、海湾或凹处。12 世纪时,提弗利(意大利中部,在罗马之东)地方的柏拉图将这个字意译成拉丁文 *sinus*,这就是“正弦”一词的来源。它和当初印度人弓弦的意义已相去甚远。1631 年邓玉函与汤若望等人编的《大测》一书,译 *sinus* 为“正半弦”或“前半弦”,简称为“正弦”,这是中国“正弦”术语的来历。

3. 中国的数学

(1) 初等数学体系的形成

在秦以前，中国数学虽已有了丰富的内容，但比较孤立，没有建立起内部联系。到秦汉时期，随着生产力的提高，数学也获得了很大的发展，最早计算工具——算筹的普遍运用，最早的数学著作——《周髀算经》（汇集西周以来的科研成果）的出现，以及第一部数学方面的专著《九章算术》的形成，都代表了当时数学的最高成就，尤其是《九章算术》的出现，标志着中国数学体系的初步形成，从此，中国数学便进入了九章时代。

算筹的普遍运用

算筹是中国古代的主要计算工具之一，它具有简单、形象、具体等长处，它是经过长期演变而形成的。至迟在春秋末年，我国劳动人民就在生产实践中创造出算筹，最初一般是用小竹棍做的，称为筹、算子或策（另外，投壶、六博游戏等所用的竹棍也叫筹）。到了西汉时期已普遍使用，并形成了一定的规格。据《汉书·律历志》记载，算筹用竹作成，长约 20 厘米（六寸），直径约 3 毫米（1 分），271 枚为一组，称为一握。用算筹进行运算，有纵横两种筹式：

纵式：

横式：

分别表示 1、2、3、4、5、6、7、8、9 九个自然数。算筹的摆法是纵横相间，个位为纵，十位为横，若是零，便空一位。因此便可进行加、减、乘、除、开方等运算。这是中国人民独特的创造。

《周髀算经》的出现

《周髀》是一部主张盖天论的天文学著作，但在书中有相当繁琐的数字计算和勾股定理的引用，成为我国最早的数学著作，因此地位相当重要。书中的数学内容主要有：

a. 记录了分数的乘除法、公分母的求法以及分数的应用。这些计算方法后来被广泛运用。

b. 讨论了日影的测量，并列出一年中各个节气的日影长度表。

c. 出现了等差级数。

d. 引用了勾股定理，并用到了开方的方法。其公式是：

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{其中} C \text{ 为直角} A \text{ 的斜边, } a、b \text{ 为直角边})$$

并举出勾三股四弦五的特例，即

$$5 = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

其中的证明可直观地表示为右图（其中四边形 ABCD 与 EFGH 均为正方形）

这一定理的发现要比古希腊早 500 多年，而且证明的方法也比欧氏几何的方法容易明白、更直观。

由于它是现存最早的数学著作，并且总结了古代天文学所应用的数学知识，有些为世界最早，因而对后代数学产生过一定的影响，因而在中国古代数学史上有不可替代的地位。

《九章算术》的形成

《九章》是中国最早的数学专著，是在西汉末年《许商算术》、《杜忠算术》等书的基础上整理而成的。该书用问题集的形式编写而成，全书共收有 246 个问题，按问题的性质分为九章，各章的名称和基本内容如下：方田（第一章）：主要是平面图形面积的计算和分数的各种计算方法。粟米（第

二章)：讲各种比例问题，特别是关于各种粮谷间的比例交换问题。衰分(第三章)：主要讲解一些按比例分配的问题。少广(第四章)：讲由已知面积和体积求边的问题，其中涉及平方，立方的方法。

商功(第五章)：主要讲立体体积的计算问题。

均输(第六章)：主要讲按均输法合理安排各地区运输赋粟和分派徭役等问题。

盈不足(第七章)：主要讲盈亏问题的解法和比例问题。

方程(第八章)：讲关于多元一次方程组的解法，还讲解了正负数的概念及正负数加减法的法则。

勾股(第九章)：主要讲勾股定理及其应用，并提出了一般二次方程的解法问题。

《九章算术》成书后，一直是中国古代的数学教材，在民间也广泛流传，成为中国数学著作中影响最大的一部。另外，它对世界数学也产生了很大的影响，它曾经流传到朝鲜和日本，推动了朝鲜和日本的古代数学的发展。苏联、日本、德国、英国等国都有它的原文译本，受到各国学者、专家的重视，在世界数学史上成为与《几何原本》相提并论的重要著作。

它的伟大，在于它总结了中国古代从西周一直到东汉的数学成果，并初步地形成了中国的数学体系，这可以从它的内容中反映出来：

在算术上，它的成就是比较完整地讲解了分数计算方法，包括四则运算、通分、约分、化代分数为假分数等；各种比例问题的解决；“盈不足”问题的出现及解决；以及解释一些数学难题等。该书中所用的步骤和方法大体与现代的一致，这是世界上第一次系统的叙述分数运算，比西方要早得多。书中在解比例问题时出现了单比例公式：

$$\text{所求数} = \frac{\text{所有数} \times \text{所求率}}{\text{所有率}}$$

另外还有复比例和连比例等方面的内容，已包括了现代算术中的全部比例的内容，形成了一个完整的系统。到6世纪时古印度才出现类似的“三率法”，而欧洲更晚。书中还出现了盈不足问题以及统一的计算公式：

$$X = \frac{a_2 b_1 - a_1 b_2}{a_1 - a_2}$$

这也是中国古代数学上的一个创造，在世界数学史上占有一定的地位。用“盈不足”算法可解决一些比较复杂的问题，只要人们进行两次假设，并且知道这两项假设结果的话，就可按上述公式推算出所需的答案。这比印度早二百年、比西方早了近千年。

在几何上，《九章》的主要成就是：得出各种面积和体积的计算公式，以及勾股定理的应用(这些问题集中在《方田》、《商功》、《勾股》章中)。书中给出正方形、长方形、三角形、梯形、圆、弧形的面积公式，立方体、长方体、楔形平截体、圆柱、正方台、圆台、四角锥、圆锥、长方体斜截体(渐堵)、鳖臑、羡除等的体积公式，奠定了中国几何学的基础。书中还讲了勾股定理及其变形、应用，这是对勾股定理的发展。

在代数方面，《九章》的成就主要是：多元一次方程组的出现及其解法，正负数及其加减法则的引入，平方、立方计算，以及一

般二次方程的解法等。这些都是世界数学史上的创建，占有极重要的位置。

把《九章算术》与《几何原本》相比较，我们发现：《几何原本》是以形式逻辑的方法贯穿全书，以几何内容为主，略有一点算术内容，没有应用问题。而《九章算术》则以问题的性质来进行分类编排，包含了算术、代数、几何等中国古代数学的全部内容，并以应用为主。这两本书代表了东西方数学的不同风格，在数学发展史中占有着同等的地位。

(2) 中国数学的黄金时代

《九章算术》的问世，标志着中国古代数学体系已初步形成。在这个基础上，魏晋南北朝时期（公元3—6世纪），数学又得到长足发展，取得了许多辉煌的成就，对《九章算术》的检验、赵爽的《周髀算经注》、刘徽的《九章算术注》及其他成就都极为重要，而祖冲之父子的贡献更将这一时期的数学推向高峰，使之成为中国数学发展史上的黄金时代。

赵爽与《勾股圆方图注》

赵爽（约公元3—4世纪）是我国历史上著名的数学家，他在数学方面的成就，主要体现在《周髀算经注》一书中，其中尤以《勾股圆方图》最有价值。《勾股圆方图》是作为《周髀算经》的注文而存于书中的，全文只有530余字，但却包含着很重要的内容。赵爽在《图》中利用图形的移补凑和而面积不变法（称为演段术）（图见右），第一次从理论上证明了勾股定理，

并解出勾、股、弦及其和差互求问题36种中的24种。另外，图中还有二次方程的问题，赵爽得出了与“韦达定理”类似的结果，

并得出二次方程： $x^2 - 2cx + a^2 = 0$ 的根 $x = \frac{2c + \sqrt{(2c)^2 - 4a^2}}{2}$ ，这是世界

上最早的求根公式之一。另外，赵爽对分数也有研究，并将分数运算上升到理论高度，即同分母运算法。

刘徽及其成就

刘徽是中国伟大的数学家，生活在三国时代，曾从事度量衡考校工作，研究过天文历法，还可能进行过野外测量，但他在数学上的贡献远比在天文上卓越，主要成就是：

第一、形成了自己粗略的数学思想：主张对具体问题具体分析，不拘于一法，注意寻求数学内部的一般规律、转化、推理的逻辑性以及数学的直观性等。

第二、从理论上明确了分数的性质，创造了十进分数制（即十进小数制的变形），这是世界上第一次提出十进分数概念。第三、对正、负数有了一定的认识，并给出了较明确的定义以及运算法则，是后来有理数运算的基础。

第四、十分重视比例算法，明确了比例的性质，并将分数运算进一步理论化。他还用比例配分法来解线性方程组，并创造了方程的新解法——方程新术，从理论上为《九章算术》中的“直除法”提供了依据，并对直除法进行了改进。在解二元一次方程组时，他创造性地运用了“互乘对减”的方法（即后来的加减消元法），并将此法推广到多元一次方程组的解法中。

第五、研究了等差级数，并得出求和公式。

第六、创造了“割补术”（即“出入相补原理”），并用割补术论证了立体的体积公式，同时还创造了利用模型的论证方法，这是中国最早运用逻辑推理的方法来论证数学命题的科学尝试。而且，在实践中表现得最为明白，

公元 263 年，他注《九章》时，对所有的命题都给出了证明或说明。正是利用割补术，他创造了一条关于计算体积的定理，为我国球体体积的研究奠定了基础。

第七、创造了“割圆术”，指出过去的圆周率近似值的粗疏。在《方田》中，运用“割圆术”系统，严密地利用内接正多边形的面积无限逼近圆面积的办法来求圆周率，他为此计算到内接正 3072 边形，由此求得圆周率近似值为 $\frac{3927}{1250} = 3.1416$ 这一数值已相当精确，比欧洲早 1,000 余年。在此

过程中，他创立并使用了极限，他说：“割之弥细，所失弥小，割之又割，以至不可割，则于圆合体而无所失矣。”

第八、《九章算术注》的最后一部分《重究》，总结和研究了古代劳动人民的测量术，发展了“二重差方法”，将相似三角形的性质进一步阐述，并广泛应用。这种重差术的出现，表明了刘徽在测量上的造诣之深，远远超过当时世界各国数学家的水平。唐代以后独立成书，称为《海岛算经》。

第九、在继承前人成就的基础上，利用图形对勾股定理进行系统多角度地证明，并将它推而广之。

刘徽注解《九章》，并在数学的许多方面作出卓越贡献，这是空前的壮举，这使他在中国数学史和世界数学史上永耀光彩。

六部算经

与刘徽同时代，我国曾出现 6 部有影响的数学著作，它们是约于公元四五世纪成书的《孙子算经》、《五曹算经》、《夏侯阳算经》、《张邱建算经》、《五经算术》和《数术记遗》。但这些书的作者履历和编写年代不很清楚。这些书较全面地介绍了当时中国在

数学上的成就，影响较大，后来都被列入唐初十部算经之中。特别值的注意的是《孙子算经》，该书约成书于公元四五世纪，提出了“物不知数”的问题，兼作了解答。《孙子算经》卷下记载：“今有物不知其数，三三数之剩二、五五数剩三，七七数之剩二，何物几何？答曰：二十三。”后经南宋秦九韶发展成为一次同余式理论，被称为“中国式的剩余定理”。在欧洲直到 1801 年德国人高斯才提出同一定理。

祖冲之父子的贡献

祖冲之（公元 429—500 年），字文远，今河北涿水县人，曾在南朝刘宋政权任从事史、公府参军等职，长期从事天文历法和数学研究，公元 463 年制成《大明历》，对前人历法进行了修改。在萧齐政权曾任长水校尉等职。对机械制造感兴趣，曾制造了指南车、千里船、水碓磨、欹器、刻漏及其他运输机械。他还在古籍研究上有一定贡献。但他最大的成就是在数学方面。他给《张章》和刘徽的《重差》作过注，并著有《缀术》一书。

祖冲之的儿子祖暅，博学多才，曾两次建议梁朝政府推行《大明历》，撰有《天文录》30 卷、《漏刻经》1 卷、《缀术》6 卷（与祖冲之的《缀术》同名），继承和发扬光大了祖冲之在数学方面的成就。

他们的成绩非常显著，主要有：

第一、圆周率的计算。根据《隋书·律历志》的记载，祖冲之是在前人的基础上进行了更为精密的计算。他以一丈作为圆的直径，并把它为分一亿份，一份为一忽，计算出圆周长应在 3 丈 1 尺 4 寸 1 分 5 厘 9 毫 2 微 7 忽和 3 丈 1 尺 4 寸 1 分 5 厘 9 毫 2 微 6 忽之间。即

$3.1415926 < \pi < 3.1415927$ 将圆周率精确到小数点后第 7 位数字，这比西方早了近千年。祖冲之在进行计算时，给出了两个分数值的圆周率，即

$$\text{密率（精确值）} = \frac{355}{113} = 3.1415927$$

$$\text{约率：} = \frac{22}{7} = 3.14。$$

又称“祖率”，也比西方早了 1,000 多年。

第二、球体体积的计算。祖冲之父子完全采用刘徽计算球体体积的方法，用牟合方盖（即立方体内切球）来计算。为使问题简化，他们仅用 1/8 的立方体和所含的 1/8 的方盖。如图：

(a) 为边长为 r 的立方体，为球的外切正方体的 1/8。我们以 o 为球心， r 为底圆的半径，按把立方体截为圆柱体的一角的方法，从横竖两面把立方体截开，成为图中 (b)、(c)、(d)、(e)，其中 (b) 为 1/8 牟合方盖。再把这四部分仍合成为立方体，在高为 h 处横截这个立方体，得出图 (f)，则在直角三角形 ABC 中，AB 为半径 r ，BC 高为 h 。AC 为 1/8 牟合方盖被截面（正方形）一边的长（设为 a ），则

$$\overline{AC^2} = \overline{AB^2} - \overline{BC^2}$$

$$\text{即 } a^2 = r^2 - h^2 = \frac{1}{8} \text{ 牟合方盖截面面积。设图中斜线部分面积为 } S, \text{ 则}$$

$$S = r^2 - a^2 = r^2 - (r^2 - h^2) = h^2$$

也就是说，不论截面的高在何处， S 总是高 h 的平方。取如图 (g) 中的底边长和高均边为 r 的四方锥，则该方锥在任何高处的截面面积也等于 h^2 。由此得出这样一个结论：在高度相同的地方，方锥的截面总与图 (f) 中的阴影部分面积相等。于是

$$V_{(c)} + V_{(d)} + V_{(e)} - V_{\text{方锥}} = V_{\text{小立方体}} \times \frac{1}{3}$$

于是

$$V_{\text{牟合方盖}} \times \frac{1}{8} = V_{\text{小立方体}} \times \frac{2}{3}$$

再由于牟合方盖的内接球体在等高处的截面面积刚好是方和圆之比，即 4，由此算出

$$V_{\text{球}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{2}{3} \times (2r)^3 = \frac{4}{3} \pi r^3$$

这样，祖氏父子用直截面积相比的方法巧妙地解出了球的体积问题。这就完成了中国立体几何的系统性，不失为一项伟大的贡献。从此，“等高处截面面积相等，则二立方体的体积相等”这一祖氏定理得到广泛应用，产生了极大的影响。国际上称同样的定理为卡瓦列利定理，是晚于祖暅 1,000 余年之后发现的。

四、世界古代后期的农学

世界古代后期是农业科学技术体系形成时期。仍处于奴隶制社会的古罗马民族继承和发扬地中海文明，在农业科技领域里取得了重大的进步。铁器农机具的改进，使新的生产工具不断增加，满足了农业生产发展的需要，减轻了劳动强度，提高了作业效率。在耕作方法和物种等方面都有所创新。尤其是在农业生产理论上颇有建树。政治家、农学家加图撰写了《农业志》、瓦罗著《论农业》，科普美拉写《论农务》，对农业生产管理和农业生产技术进行了系统的总结，形成了农业生产理论。

在东方，中国自春秋末年进入封建社会以来，随着秦汉的统一和经济的繁荣，作为封建经济之本的农业也有重大发展。劳动人民在继承前代农业生产技术的基础上，不断总结经验，丰富作物品种、改进和发明先进的耕作方法，涌现了以贾思勰为代表的古代农学家，并为后人留下了闻名于世的农业专著《齐民要术》，将中国农学技术和理论水平推向了新的高峰。

亚洲的塞琉古、古印度的孔雀王朝，日本的农业也都各有千秋，生产技术水平得到不同程度的提高，为后世农业的发展和新技术的应用做出了贡献。

1. 古罗马的农业发展

公元前2世纪时，罗马的农业获得了长足的发展，雷提城地方出现了双轮犁、水磨，一些地方出现了打谷装置。到罗马帝国时代，地中海文明区的奴隶制已持续了3000年，继埃及、巴比伦青铜文明之后，波斯、希腊的铁器时代亦经历了长时期的发展。罗马在他们之后兴起并集其大成，标志着古代世界的生产力已达到最高水平。在社会稳定、生产发展的总形势下，各地联系的加强，生产经验的交流，以及科技成果的应用，都促进了生产工具的改进与生产技术的提高。这时在希腊和意大利出现了带轮的重型农具，前部有两个小轮，需用2头甚至4头牛来牵引，但因重心提高，能较准确地调节耕地深度、打碎土块、平整土地，标志着农具的一大改进。在高卢出现了收割机，配有切割刀的柜式轮车，将切割刀置于车前，利用一定的装置使牲畜（如牛、马等）能从车后推车前进。这类收割机显然是古代使用的最先进的（机器）工具。除了农用机器外，与农业相关的各种机器工具还广泛用于其它社会行业，如：水力工具——水轮机、水磨等用在矿业、磨粉业和纺织业等行业中。西班牙还出现了连续8个水轮机的梯级磨房，水力技术大有发展。建筑业中有了交滑车，起重机等。采用人力踏轮、牲口牵引等方式，行业中已有完备的排水机械、提升机械等。远航货船的船头有了起重机及铰链（复滑车），桅杆采用护桅索加固。这反映了古代最高水平的造船技术已经出现。这一时期，自动出水机、升降机、计程车等机械工具也广泛使用。帝国末期还出现了水轮机、即用戽斗来替代水下式水轮机，铁、木料做的箕斗，隔板并不与水轮辐条垂直，而是向水轮辐条倾斜，并将水充满，这大大提高了农业生产效率。另外，1世纪时，罗马帝国曾使用云母装配成的温床，为宫廷生产黄瓜等蔬菜，以满足生活需要。

罗马时代的农业发展主要在行省。那时，希腊地区出现了宽铧带轮的犁、高卢出现了割谷器，水磨（最早出现于小亚细亚地区，公元1世纪传到西方）

已广泛使用。埃及还出现了用牲畜牵引转动的扬水车。耕作方面，出现了轮作制、豆类植物修养地力的原理已被掌握。北非的突尼斯一带地方这时已被开垦成肥沃的土地，广泛种植葡萄、橄榄、大麦、小麦等。由于大量筑堤修渠使灌溉系统得到很大地改善，大面积的沙漠变成良田，耕地面积大大扩大。这使从埃及到摩洛哥的北非地区成为帝国的巨大粮仓，高卢、日尔曼地区这时成了园艺业的中心。多瑙河流域因为被大面积开垦，成为帝国的新谷仓。西班牙东南因引进了北非先进的葡萄种植技术而使葡萄种植面积大增，并且品质优良，大有后来者居上的势头。意大利民族的坎佩尼亚和波河流域因为地位的不断加重而发展成为橄榄生产中心，产量几乎占帝国的一半。

此外，在农作物种植方法上也注重耕作制的创新和经验积累。在古希腊，人们已注意地利的恢复。公元1世纪时，古罗马创造出两区轮作制。并盛行于古罗马的地中海沿岸及高卢、不列颠等地。两区轮作制又叫“二圃制”，这种耕作制是把耕地分成面积大体相等的两区，分区轮流种植作物，即其中的一区种谷物，另一区休闲。在欧洲以先种小麦然后休闲。再种大麦，再休闲的方式分区轮作；或者在当年内将一些耕地种上小麦，将另一些耕地种大麦，来年则反之。南部地区还将二区轮作制应用在葡萄、橄榄等果树种植栽培方面。以此为开端，后世又陆续创造了三区、四区、六区轮作制，不断推动着农业技术水平的发展。

上述罗马时期农业技术的进步和发展大大促进了西方农业的发展，同时，也充分反映了世界古代后期在农业技术方面取得的成就。

总之，帝国时代的农业发展是空前的，而最能反映成就的则是3位农学大家及其著作的出现。

（1）加图（伽图或加托、卡托等）

加图（公元前234—前149年）是罗马早期的政治家、农学家、散文家，一生博学多才，著述甚多，涉猎农学、修辞学、医学、军事、法律等方面，这与他的经历有关。他出生于图斯库鲁姆城的一个富裕农民之家，后来逐渐成为贵族保守派的代表，并在公元前195年任执政官，曾率兵镇压了西班牙人反抗罗马人野蛮统治的起义，历任财务官、监察官等职，在任职期间执法严谨、重农业，组织人开挖沟渠，对财政进行了改革，对社会风气进行了整顿，还提倡节制生活（这都是在吸取前任基础上的创新）。公元前175年奉命出使迦太基，对迦太基了解较深，后来力主毁灭迦太基，以杜绝死灰复燃的后顾之忧，这些丰富的阅历和实践是他博学的基础。他的经历，他的博学，使他成为拉丁散文文学的鼻祖。他的代表作有《创始记》7卷（是记叙早期罗马到公元149年中所发生重大事件的史书）和《论农业》（研究罗马共和国时期奴隶制庄园经济的重要资料）。在农学方面，尤以《论农业》为重要。

《论农业》（又名《农业志》）一书是加图众多著作中完整保存下来的部分，是最古老的罗马式拉丁散文著作。该书约写于公元前160年，共2万多字，内容广泛，大大超过书名所指的范围。若单就农业方面来看，与其说是对农业知识的系统论述，倒不如说是经营方面的规划和意见的汇集。在该书中，加图不仅总结了他自己多年来从事农业经营和管理的经验，而且对前人有关这方面的实践经验进行了概括。这使该书成为研究罗马时代的农业生产，奴隶劳动的重要资料。

书中记载了意大利中部庄园的经营管理，特别是奴隶劳动的情况，对不同规模和性质的庄园应使用多少奴隶劳动以及奴隶间的分工都作了精细的计

算，从而形成一套奴隶生产的管理思想，其内容主要有：

第一、认为农业是罗马人最重要的职业，主张奴隶主必须认真经营农业，用心管理好自己的农庄；

第二、强调奴隶主应对劳动力——奴隶严加看管，而不要放任；

第三、明确提出要挑选管家并规定了管家应遵守的 9 条条例：

a. 维护纪律；

b. 尊重别人的权力，拥护奴隶主；

c. 负责调解奴隶的纠纷，对有错的一方应予以惩罚；

d. 监工举止应当谦恭有礼；

e. 保证使农场奴隶整天忙于工作；

f. 重视农奴主推荐的奴隶，同时注意同两三个其他农场保持联系，以便必要时互相交换必需的物品；

g. 认真记好一切帐目，并要与农场主一同核查；

h. 对爱护牲畜的奴隶应予以奖励；

i. 事先要用充分的时间去安排各项工作。这些条例充分反映了奴隶所受剥削的残酷。

书中也间接地反映了加图的政治主张与实际的矛盾。一方面，他大力提倡亲自参加农业生产活动，继续过乡村那种淳朴生活。他写道：“最勇敢的人和最干练的战士都是从农民中产生的，农夫的收入是最纯洁、可靠和最不致于引起嫉妒的，从事农业的人是最可靠的。”但另一方面，他又拼命地要增加自己的地产，并力图用多卖少买的办法来增加收益。他认为种葡萄最有利，其次是种菜，再次为种粮食，并主张搞集约经营。书中对什么时候施肥，怎样施肥、如何管理葡萄和橄榄，如何管理牲口，如何选择和构筑打谷场，如何保管所收获的粮食等问题都做了描述。

总之，该书是研究古罗马经济史的最早史料之一，给我们提供了当时罗马经济发展的珍贵资料，其地位非常重要。

（2）瓦罗

瓦罗（公元前 116—前 27 年）是罗马时代的政治家，著名学者，出生于萨宾地区的一个小乡村，曾任大法官（执政官）。先追随庞贝（又译庞培），后跟随恺撒，公元前 149 年作为庞培党人参加了西班牙战争。公元前 47 年奉命建造第一个国家图书馆。那时私人图书馆较多，书籍则由奴隶抄写，恺撒大量收集希腊的拉丁文著作，为普通公民使用，并让瓦罗负责收集、整理、分类。公元前 43 年被安冬尼剥夺公民权，但未被判处死刑。公元前 30 年内战结束，他获释后致力于学术研究。他是罗马最博学的人之一，精通语言学、历史学、诗歌、农学、数学等，78 岁时已写出了 490 多篇论文和专著。他力图掌握全部希腊文化并用罗马的精神加以改造。著作现存极少。如重要的《论拉丁语》25 卷，今仅存残缺的第 5、第 10 卷，是研究早期罗马历史的宝贵史料。现存的《论农业》（或译为《论业谈》）是他的代表作。

《论农业》一书约写于公元前 37 年，是瓦罗在 80 岁时为其妻凤达尼娅写的，全书共分 3 卷，第一卷讲农业本身，包括农业的目的、范围和分科，并对农业结构、土地质量、生产工具的使用等方面进行了详细论述，对葡萄、胡桃、无花果、橄榄等干鲜果品的栽培管理，谷物、豆类等作物的播种、管理、收获，多种农作物的贮藏及加工出售等作了详尽描述；第二卷论述牛、羊、猪、马等牲畜的起源、饲养管理、使用方法，以及用于农业生产的各种

牲畜的形态及效力的年龄；第三卷论述家禽及各种小动物的饲养，如对画眉、孔雀、母鸡、兔、鱼、蜜蜂等，以及对各类鸟舍的结构到鸟的饮食习惯、繁殖等都作了概述。

由于该书采用对话体裁，使枯燥乏味的内容变得趣味横生，引人入胜。有趣的是，参加对话的人物的名字，均与各卷的主题相关。如在谈论大田作物种植的第一卷中出现了阿格利乌姆和阿格拉西乌姆，这两个名字的字根都是拉丁文的“田地”一词。在论述畜牧业的第二卷中的人物斯科罗法，又与拉丁文的“猪”字同音。另一个人物瓦克西乌斯源于拉丁文的“母牛”一词。第三卷在论述宅旁经济时出现了阿庇乌姆一人。这正是拉丁语“蜜蜂”一词。

《论农业》一书的材料根据，包含有瓦罗本人实践经验。他在杜斯库鲁姆、库麦、卡泽以及萨宾、阿普来亚等地有多处地产，拥有众多的牲畜和奴隶。他本人经常充当监工或管家，对田庄进行管理，有时自己也动手干一些杂碎的活儿。总之，瓦罗的务农经验虽不及加图、科鲁美拉等农业专家们丰富，但他对农业生产的各个方面都做了细致考察。此外，他还批判地利用加图和萨塞尔那的农业著作，还从交往较密的一些大庄园主如阿比克劳狄、卢库尔兄弟等人那里获得了一些实践经验。这使他的农业著作内容异常丰富。他既不主张盲目地因袭祖传经验，也不赞成无辜废除他人积累的经验，而主张因地制宜，合理利用。为此，他对加图等人既肯定，又对其观点进行了批评修正。

《论农业》集中反映了公元前1世纪中叶罗马的农业状况；此时中等的奴隶制农庄虽在社会上占主导地位，但更大的地产已开始出现。如书中提到的“萨尔图斯”，拥有约800犹格并配有大牧场的大地产。而且书中还首次提到了“拉蒂芬丁”，这是用奴隶从事农业生产的大型庄园。书中对中等庄园经营的一系列变化作了详细介绍：如生产技术有所进步，开始深耕细作，土地逐渐被充分利用起来，而且开始注意地貌的美观；开始使用农药，掌握了合理施肥的技术；罗马本土已从埃及、小亚细亚等地引进了新的粮食和牲畜品种；庄园已广泛向农业、林业、渔业、畜牧业、手工业、副业等多种门类的综合经营方向发展，逐渐形成以庄园为基本单位的自足自给型经济；畜牧业和手工业因独立成专门的部门，地位和意义明显加重；管理机构也逐渐趋于完善；庄园因不断扩大，综合经营取长补短而使收入显著增加；庄园的建筑也一改过去朴素的风格、开始豪华精巧起来，出现了装饰精美绘画、雕刻的柱廊、青铜或大理石雕像、公园、池塘、猎场、鸟房、沟渠，分布在庄园的各个角落；并力求把城市的舒适豪华融入田庄那清静优美中去。在庄园地点的选择上不仅注意土质优良、交通便利、或近城、或海滨，而且开始考虑环境污染问题，以求优雅卫生等等。这些景象不仅反映了罗马奴隶主阶级的财富和奢华风气的增长，而且也显示了奴隶主们在政局动荡的形势下企图过世外桃园式生活的幻想。

《论农业》一书与瓦罗其他著作一样，体现了他的丰富学识。书中穿插了许多历史和地理方面的论述，如论及农业与畜牧业的关系时插有“古时，管游牧生活，不知耕耘，亦不知种植，伐木；俟后，始知耕耘土地。初时，农业为牧业之辅”这样的话。还明确地把社会经济发展史分为3个阶段：第一阶段时，土地和自然界向人们提供生活资料，人们以采集天然物品为生；第二阶段时，人们开始进行游牧，驯养野生动物来获得畜产品；第三阶段时，农耕开始出现。这正是瓦罗朴素唯物主义历史观的表现。

另外,《论农业》一书在叙述农业技术时对一些农业理论问题乃至社会问题也提出了看法,如关于农业和畜牧业生产的目的,农业与畜牧业的关系,农业的经营原则等问题。瓦罗还特别注意如何对待奴隶的问题,他视奴隶为工具,把工具分为3种,即:“奴隶是会说话的工具,犍牛属不会说话的工具,大车属哑巴工具。”但是为了保持田庄安定,防止奴隶们起义,他又反对一味地鞭打虐待他们。他说:“不许管家用鞭打而不用说服的方式使人们(指奴隶)服从,如果说服能获得同样效果的话。”为了更好地促进生产,维护奴隶主阶级的统治,他还主张使奴隶拥有少量的财产和与女奴同居。“以便使奴隶忠实、可靠和眷恋庄园。”这种做法确实是一大进步。虽然没有改变剥削的实质,但反映了在奴隶起义的打击下,一种新的生产方式开始出现,这是隶农制的先声。

《论农业》是瓦罗根据自己,前人以及同代人的许多实践经验写成,所以对许多问题的看法带有概括性和总结性的色彩。如农业研究的四方面内容,即土质结构、庄园设备、农活安排、农时安排;还提出田庄购置和建设的四个要点(外貌、土质、规模、田界保护)以及庄园环境的四个条件(安宁与否,有无贸易对象,有无便利交通的道路和河流、毗邻庄园对己的利与害)等。

瓦罗虽然在政治上破产,但他并没因此而消沉,他考察农业生产,收集资料,终于为我们留下了《论农业》这份宝贵的遗产。该书在总体上不如加图和科鲁美拉的作品,但因旁征博引,涉及到当时社会的各个方面,是公元前1世纪中叶社会状况的概括,因而在历史上地位重要。这本书的存在,捍卫了瓦罗作为古罗马杰出学者的地位。

(3) 科鲁美拉

科鲁美拉(公元1世纪)是古罗马杰出的农学家,生于西班牙的迦狄斯,中年时(约在公元36年)曾作为将军,在叙利亚、西西里的第三兵团服过役,后来在拉丁姆的俄提亚获得一块村地,从而跻身于大庄园主的行列。公元60年左右,他写成《论农务》一书,奠定了他作为农学家的地位。

《论农务》共分12卷,第1卷为序言,第2卷为“土地和农作物”,第3卷、第4卷为葡萄种植,第5卷为“土地面积和树木”,第6、7卷为“家畜动物”,第8卷为“家禽和养鱼”,第9卷为“野牛和养蜂”,第10卷为“菜园和果园”,第11卷为“管庄的职责和历法”,最后一卷为“女管庄的职责。”

科鲁美拉本人是位经验丰富的庄园主,经营有方,使产业不断膨胀,但他目睹罗马帝国的日渐衰落,哀痛奴隶制庄园在帝国时代的没落和经营的无利可图。为了振兴罗马帝国的农业,他开始创作,并最终写成《论农务》一书。在书的卷首,他对帝国领导人关于土地荒芜的演讲进行了批评。他说:“我听到有些人发牢骚,好象气候不宜耕种,依他们看来,土地由于前些日期过度生产而使地力变坏,因而不再生为人类提供那样的恩惠。”“我们的主要过错是因为我们将土地交给最坏的奴隶处置,犹如把土地交给刽子手一样。”他抱怨外省粮食的输入以及地主们舍得在外地建别墅去消闲而唯独在农业上不去花功夫进行细心研究。他说:

“在农业中,只凭决心和计划而没有科学知识,很快就会给自己带来巨大损失,农业工作因在无知情况下进行,费用支出将变成毫无效用。”他认为一个勤劳的人应把精力放在耕种土地上,这才是致富的可靠途径。他热心

研究古代的耕作方法，评价前人的见解和教导，检验前人的经验是否适合他的时代的农业。在书中，科鲁美拉还用很大篇幅去翻译迦太基农学家马奇的著作（在布匿战争中罗马人从迦太基所夺）。他在书中还提倡奴隶主们应该努力参加管理，因地制宜地去种植农作物。

《论农务》一书对研究罗马大庄园经济的发生，发展和衰落的历史有重要价值。

另外，这时较著名的农书还有维吉尔的《农事诗》，记载了休耕，轮栽、施肥、整地、耕作和种子处理技术。

2. 中国的农业技术

（1）秦汉时期的农业发展

秦王朝建立后，忽视农业生产，把广大劳力用于非农业生产上，直接影响了农业的发展。接踵而起的大起义和楚汉战争，使社会经济进一步遭到破坏。刘邦建汉后，鉴于当时农业生产受到破坏，社会经济凋敝的现状，采取了一些重要措施，如复员士兵，减轻田赋等，为农业生产的发展创造了条件，到武帝时出现了繁荣的景象。总之，秦汉时期的农业生产水平虽有短时期衰落的现象，但总的说来是不断向前发展的，表现为农业生产工具的发展与推广、耕作和作物栽培技术的改进提高等等。

农业生产工具的发明与推广

铁制农具在战国时已被广泛使用，到汉代，随着冶铁业的进一步发展，铁农具使用范围更加广泛。关于整地起土用的农具基本上是用铁制造的。如原来的“耜”，已发展为犁铧的形状；“耒”也装上了铁齿，形如铁塔，可供翻土之用；“耨”已近似今天的铁锹，可深翻土地，用于开荒和深翻土地的耨大部分已改为铁制，一些耨、只镶了铁口；中耕除草的农具有铧、耨、耨、等；收获农具如镰、锤等，都已变成铁制品了。这些铁制农具，西汉初已推广到中原以外的地区，如辽东半岛，两广等地。到了东汉，铁制农具更多。构造也有所改良，如犁的铁刃加宽，尖部角度缩小，较过去的坚固耐用，便于深耕。大型铧已比较普遍应用，其它农具也较过去宽大。由此可知，汉代铁制农具已成主要的农业生产工具。所以《盐铁论》写道：“铁器，民之大用也；铁器者，农夫之死生也。”

铁制农具的广泛作用，使以畜力为动力的犁耕方法得到改进与推广。汉武帝晚年，任用赵过向全国推广“用耦犁，二牛三人”的方法。即二牛挽二犁，二人各扶一犁，另一人牵引二牛（一说为二人牵牛，一人扶犁）。另外，当时还出现了二牛一人的犁耕法，这较之二牛三人的耦犁是一大进步。随着驭牛技术的日益提高和活动式犁箭的发明，至迟到西汉晚期已有一牛一人的犁耕法。当时犁驾结构中的犁辕、犁梢、犁底、犁衡到犁箭等畜力犁的主体构件均已具备，犁壁（同犁铧一体、纯翻土碎土，达到起垄作亩的目的）的使用已十分广泛，设计技术很高。

汉代农具种类日趋完备，从整地、播种、中耕除草，灌溉到收获脱粒和农产品加工的工具多达 30 多种。耨车是与犁耕技术同时出现的，又名耨犁、籽耨、耨子、种耨，是一种耕播农具。耨车下面有 3 个开沟器（即三脚耨，

《汉书，食货志》。

一般用铁制成)，中间装上一个盛种子的漏斗形耒斗。播种时用一头牛拉着耒车，由耒脚开沟，一人扶耒，种子盛在耒斗中，耒斗通空心的耒脚，且行且摇，种子自动流下。这种将耕播融为一体，而且一次能播二行，行距一致，下种均匀的农具，大大提高了播种的效率和质量。因为只需一人，还节省了劳动力。在灌溉排水方面出现了翻车（即水车或龙骨车），由东汉末宦官毕岚发明，主体由轮轴、车槽，槽板等构成，利用槽板（各板用木链连接）将水带入车槽，顺槽提升上来，可用于灌溉，排水。如水源与农田的高度相差很大，可用分段分层辗转抽水的方法，这对保证农业丰收有很大的作用。在西汉晚期，还出现了能在谷物脱粒后，清理籽粒、糠粃的有力工具——风车它是将叶片转动生风与籽粒重则沉，糠粃轻则飏的经验巧妙地结合起来，制成的农用机械，提高了劳动效率。此外，在农具上值得一提的还有脚踏碓。它利用杠杆的原理制成，柱的一头装有杵头，对准杵臼，另一头用脚踏踏，使杵头一上、一下舂物。由于采用脚踏碓，较省力，提高了生产效率，在此基础上，人们又发明了利用水作为动力的水碓。

代田法和区种法

由于铁制农具的普遍使用，农田作业已渐趋于精耕细作，涌现了赵过的代田法和氾胜之的区种法等先进的耕种方法。这两种耕作方法与战国时期推行的“畦种法”相比，有着明显的优点，是农业耕种方法的重大发展。

代田法是汉武帝时大力推广的一种适宜干旱地区的耕作方法。是搜粟都尉（农业官员）赵过在耑（音圳，Zhen）田法（将作物种在低地处，以抗旱保墒的方法）的基础上发展起来的。主要作法：在地里开沟作垄，把种子播在沟里，等到苗长起来后进行中耕除草，并将垄的土推到沟里，培到苗的根部。第二年在以垄作沟，沟为垄，如此轮番利用土地。这种耕作方法既能保墒，又能维持地力，使土地生产率大为提高。

区种法是一种旱地丰产的耕种方法。其原则是：深耕土地，点种密植，集中而有效地利用水和肥料，加强管理。即在小面积土地上，保证供给农作物生长发育的必要条件，以求获得单位面积的高产。这种精耕细作的方法与小农经济的经营方式相适应，因而较为先进。

《氾胜之书》

秦汉时期，中国出现了许多农书，如《董安国》、《尹都学术》等。但基本上都散失了，只有《氾胜之书》的辑佚本传世。该书共 2 卷，约 3000 余字；主要记载和总结了陕西关中地区劳动人民提高单位面积产量的经验和发明创造，反映了农业科学技术的提高和进步。书中提出了一套完整的耕作法则，即“趣时”（及时耕作）、“利土”（土地的利用和改良）、“各粪”（施肥）、“泽”（保墒灌溉）、“早锄”（及时中耕除草）和“早获”（及时收获），对此进行了详细的阐述。该书还在前人分期施用底肥、追肥等技术的基础上，总结出了施用种肥的方法“浸种法”。其作法是在种子外面裹上一层蚕矢（屎）、羊粪为主要原料的粪壳，使幼苗及时获取足够的养料，促进根系迅速生长。使幼苗得到良好的发育，以增强植株的抗旱、抗虫的能力。书中关于“保泽”即保墒的方法也很先进。其内容是根据雪情、雨情、旱情、季节早晚、土壤结构等不同情况，采取或“藪”（镇压）或“掩”（施压）、或“平”（摩平）等等科学方法，以达到保墒育种的目的。这些方法显然是对北方农业科技的总结和提高，并一直为北方的农业生产所沿用。该书还总结了禾（谷子）、黍、麦、稻、豆、麻、桑等 10 多种农作物的栽培技

术，对于自整地、播种、田间管理直至收获的方法也都作了详细的论述。书中第一次提出了麦谷的穗选法：“候熟可获，择穗大疆（即强）者，秆束立场中之高燥处，曝使极燥，无令有白鱼（稗麦），有辄扬治之。取干艾杂藏之，麦一石，艾一把，藏以瓦器、竹器。顺时种之，则收常倍。”这是把穗选及贮藏的方法介绍得十分详尽。对于种稻，书中提出了适当选择稻区的大小，掌握水的深度，以及通过控制水流速度以调节水温的办法。对于桑树的培植提出了桑苗截干法，即把一年生桑苗贴地割去；次年，根发新条，长得更加茁壮。对于间作，书中讲道：“瓜田中种薤（Xi8），五月瓜将熟，拔薤卖之，使与瓜相避。还可以杂种小豆，瓜田一亩，播小豆四五升，其藿可卖。”总之，《汜胜之书》可以说是汉代对周期以来农业技术的全面总结。不过，书中也有一些不科学或不甚科学的成分。如认为播种五谷各有忌日：“小豆忌卯，稻麻忌辰，禾忌丙、黍忌丑、秫忌寅末、小麦忌戌、大麦忌子。大豆忌申卯。凡九谷有忌日，种之不避其忌则伤败。……此非空言也，其道自然。”这是阴阳五行论在农业中的反映，是没有科学根据的迷信思想。

园艺、养鸟、蚕桑的发展

秦汉的园艺技术有着一定的成果，创造出“温室栽培”的方法。传说秦始皇冬季在骊山山谷栽喜温瓜类获得成功。《后汉书》中则明确记载了“覆以屋庑，昼夜燃蕴火，得温气诸菜皆生”的温室栽培技术。这是促成栽培技术的开端。同时《汜胜之书》关于在瓜田间种薤或小豆的记载，显然是间作套种的雏形。这些方法经不断改进，被引用推广到大田作物种植中去。另外，《汜胜之书》还提出用10株瓠秧接成一条蔓，限长3个果实，以保证瓠果硕大的设想，虽不现实，但却是关于嫁接法的最早记载。汉武帝曾令人将荔枝、龙眼、柑桔等热带或亚热带果树大量移植长安，并栽种汉朝使节从西域带回的苜蓿、葡萄等作物。这表明当时已对育苗、起苗、护苗、装运、定植、护养、防寒等整套种植技术广为应用，并且达到了很高的水平。

秦代为了抵御北方游牧民族的侵扰，曾在边郡设立牧师苑，为以后建立大规模养马场开了先声。汉景帝在西北边郡建马苑36年，养马30余万匹，养马人达3万，致使很多人都富有养马经验。同进，乌孙马、大宛马等良种马也传入内地，更加丰富了当时的养马知识。东汉时又在四川、云南等地开辟了国家养马场。随着养马业的兴旺，相马术也随之提高，并出现了专门的著作。如《汉书·艺文志》的《相六畜》、《齐民要术》中所载的《相马经》，都总结了相马的经验和规律，并上升到理论的高度。东汉名将马援曾铸铜马于洛阳宫中，作为良马的标准模型。1969年甘肃武威出土的踏飞燕铜质奔马也是良马模型。

养蚕、缫丝很早就成为中国江南农民的家庭副业之一，到了汉代，蚕桑技术又有了进一步提高，并在全国推广。从汉代画像砖和汉墓壁画中可以看出，汉代地主已普遍从事有利可图的大规模桑田经营。至迟在东汉末，内蒙古南部已有了蚕桑业。秦汉之际已出现了二化蚕，即一年产二次蚕，这使生丝量大增。在养蚕方法上，有了“浴种”（用清水洗蚕卵以防蚕病）、整治蚕室、涂塞隙缝和洞穴（防鼠患和风吹，以使蚕儿顺利成长）等操作技术，为提高丝茧质量提供了技术上的保障。

中外农业技术的交流

汉朝是中国同周边各国友好关系的大发展时期，张骞、班超等人的出使，

使内地与西域各国的交往大大密切起来。丝绸之路的开辟，使商业往来日渐频繁。中国的物产通过丝绸之路运销欧洲和非洲。同时，中国的科技文化也传到西方；而西方的科技文化也传入中国。其中，农产品的引进，极大地丰富了中国的农业范畴和科技范畴。如芝麻、蚕豆、黄瓜、胡萝卜、葡萄、石榴、大蒜和苜蓿等，都促进了古代农业的发展，并对后世产生了深远的影响。所以，中国与西域的农业技术，不但丰富了内地的农田和园艺技术，而且也大大改善了人民的生活，这是科技史乃至物质文化史上的一件大事。

(2) 魏晋南北朝时期的农业技术 魏晋南北朝时期，中国陷入了大分裂的时代。在 300 多年的岁月中，政局动荡，战乱频繁，社会经济遭受了极大地破坏。但是各族劳动人民忍辱负重，仍然维持着农业生产的进行，并有着一定程度的发展。当时的农业科学技术水平，集中地体现在贾思勰所著的《齐民要术》一书中。

贾思勰是中国古代著名的农学家，生活于公元 5 世纪末到 6 世纪中叶(约公元 480—550 年)。曾任北魏高阳(今山东青州市)太守。他对农业分外重视，用毕生精力进行研究，善于吸取前人的农业科学成果和经验。他亲自到河北、河南等广大北方地区省份进行农业生产调研，并进行农业和畜牧业的生产实践，提出了农业生产的基本原则是“顺天时，量地利则用力少则成功多，任情返道，劳而无获。”即因时制宜、因地制宜、精耕细作，合理经营的原则。他辑录前人文献，引用古书，广集民间流传的农业谚语、歌谣，吸取农民的生产经验，撰写成了一部农业科学巨著《齐民要术》。

《齐民要术》成书于北魏末年(约公元 533—534 年)，是中国现存最早的一部完整的农书，也是世界科技史上重要的著作之一。该书约 12 万字，分为 10 卷、92 篇。其内容十分丰富，除讲到农作物的种植、农具的改进外，还涉及到林、牧、副、渔等业的技术知识。所以又是汇集了中国古代农业科技资料的百科全书。它将中国古代的农学研究推向了一个新的高峰。该书的主要内容是：

大田作物的种植技术

该书将耕田篇放在首位。篇中已不再单纯强调深耕，还指出要注意墒情、地势、季节以及与其它环节的配合。书中反映出的保墒技术比汉代有了进一步发展，形成了“耕一耙一耨”相结合的一套保墒措施，表明北方旱作地区的耕作技术已基本定型。书中按季节将耕田分为春耕、夏耕、秋耕和冬耕；按先后顺序分为初耕和转耕；按深浅分为深耕、浅耕和逆耕；按方向分为纵耕和横耕。这比前代农书细致丰富得多。书中总结出了“秋耕欲深，春耕欲浅”、“凡耕高田，不问春秋，必须燥湿得所为佳，若水旱不调，宁燥勿湿”的经验。贾思勰在书中把耙耨的作用提高到理论的高度，明确指出其保墒的作用，具体地论述了耙地的时间和次数。该书将收种即种子的选择、收藏和种前的处理，列为全书的第二篇；强调种子优劣、播种时间迟早与农作物的产量、品质以及病虫害的防治有着密切的关系；还具体记述了水选、浸种、晒种等处理种子的方法，并对中国水稻催芽技术作了最早的记录。书中的第三到第十三篇，作者对 11 类大田作物种植法均作了详实的介绍。对于轮作的论述，更有特色。如谷田“以绿豆、小豆为上，麻黍、胡麻次之，芜菁、大豆为下，”这是以前的农书所没有的。说明当时的农业技术又有了新发展，对作物的种植规律有了更准确的把握。

家畜饲养与树木栽种法

中国古代关于畜牧业的书籍历来很少，而且极少受到重视。这样，该书便成为流传下来的汇集了牛、马、猪、羊饲养法的最早辑本。书中记述的有关依动物天性进行管理；重视良种杂交等内容相当珍贵。书中还收集了许多兽医药方，使之成为最早记载兽医药的农书。

书中第 4、第 5 卷专论果树栽培和材用木的栽培法。主要技术措施有移栽、插枝、压条、嫁接等。该书指出，某些树必须移栽，其技术措施是：“凡栽一切树木，欲记其阴阳，不令转移。大树髡之，小则不髡，先为深坑，内树讫，以水沃之。著土，令如薄泥，东西南北摇之良久，然后下土紧筑。时时灌溉，常令润泽，埋之欲深，勿令挠动……以正月为上时，二月为中时，三月为下时”。这套植树方法至今仍被遵从。对插枝种树的方法，书中作了详细的介绍：“先掘坑、将约 1 米长的枝条置于坑中，两端朝上，用石块、土等压住，将坑填平，经常浇水即可。”“压条法”与插条法的不同在于长出新根前，所压枝条与母本不分开，该法是用土将枝条压于地下，等条上的新枝长高数寸时再用土盖上，来年即能与原枝分开，移栽他处。《齐民要术》记述的插法，实际上是嫁接法，较为先进。书中以杜型为例介绍了具体的接法：“用锯截杜，令去地五六寸，在锯口处斜扞竹刺皮木之际，深一寸，选取梨树上向阳的枝条，长五六寸，也斜扞过心，大小长短与签等，剥去黑皮（与杜重合部分，勿伤青皮），拨去竹签，将梨枝插入，木向木，皮向皮，然后用棉布裹紧，封上熟泥，用土将树桩埋上即可。”书中还介绍了远亲嫁接法，但成活率低。总体来说，书中所记载的技术还比较原始，而且应用也不普遍，但是为后世树木栽培技术的发展奠定了基础，其功劳不可埋没。

3. 亚洲其他各国的农业科技

世界古代后期，除中国的农业技术取得巨大成就外，地处西亚的塞琉古王朝、南亚的孔雀帝国印度，以及东亚日本，在农业技术方面也都有不同程度的进步，为农业的发展作出了贡献。

塞琉古王朝的农业

塞琉古王朝是希腊化各国中势力最大，经济最发达的国家。这里的肥田沃土，发挥了历史上最高的生产效率，以至被古代地理学家斯特拉波写道：“地球上没有一个国家象此地那样出产如此丰富的大麦。据说收获量高达所播种子的 300 倍。”同时也说明当时的农业生产技术已经比较先进了。塞琉古在农业生产中还发现和使用了蜗牛式水力螺旋机，把水提到高地面上，进行农业灌溉，确保粮食等作物的丰收。今天的叙利亚一带仍盛产小麦、葡萄、亚麻、豆类；中亚和伊朗草原仍保留着良好的牧场，畜牧业仍十分兴旺，尤以纯种良马驰名天下，仍保持着重视农业生产的传统。

印度孔雀王朝的农业

孔雀帝国是国力强盛的一个历史时期。那时，生产力有了明显地提高，铁器制造的农具已普遍使用，灌溉事业也获得长足的发展，运河、水渠、水井、池塘遍布全国，大大推动了农业生产的发展；农作物品种也远比过去增多，主要有水稻、大麦、小麦、黍、豆、胡麻、棉花、甘蔗等，产量也有了明显地提高。反映了古印度的农业生产技术处于比较高的水平。

日本的农业

公元前 200 年至公元前 300 年期间，日本正处在历史上第一次变革时期，

史称“弥生时代”。这一变革主要来自大陆的以水稻文化为代表的农耕文化的冲击。据考，这是以长江下游为中心的稻作文化向四方传播的结果。其中最有力的说法是，从长江入海口经山东省南部一带的海岸，然后再跨海到日本。倭族的初民在中国云南省滇池湖畔成功地进行稻作的人工栽培，并在水稻农耕及干阑式建筑的伴随下，向四方移动，迁徙。在沿扬子江而下向东迁徙的人群中，又有一部分东渡日本列岛的倭人，他们将水稻文化传入日本。农耕技术也迅速地由九州地区传布到近畿地区和全国各地，使原始的日本人从采集、狩猎、捕捞为主的经济急速地转向以农耕为主的经济。农耕技术也不断进步，并将粗耕技术留在历史的发端。日本人在河流的冲积平原、低湿地带及中部山区开辟了水田，在登吕地区盖起草房，作畦培埂，修成块块水田，总面积达7万余平方米，水田整齐排列，畦与畦之间用木板桩隔离。在水田区修有500米长的，具有灌溉和排泄并行的水渠。中途还建了两个堰，用以调节灌水和排水，而且在灌水渠与排水渠交叉的地方。安置了木制的过水通道。此时的旱地耕作也较为普遍，作物有大麦、粟、稗子、大豆、小豆、豌豆、绿豆、蚕豆、瓜、梅、杏、桃等。日本人民在农耕实践中已掌握了按季节耕作的知识，并开始采用深埋杂草作肥料的方法增加地力；播种时应用直播法；收割时习惯用割穗法，用石镰和铁制割穗器将成熟的稻穗割下，收入仓库，然后用杵臼脱粒。弥生时期铁器已从大陆传入日本，使日本进入铁、木、石器混杂的时期。公元3世纪时，大和氏族开始兴起，并开始了统一日本的活动，将日本逐步推向奴隶制时代。这时期，铁器开始更为广泛地推广使用，水稻、萱麻、蔬菜、栽桑养蚕等农业生产技术已达到相当高的水平，并且逐渐形成了一套完整的农业体系。推动了日本的文化和经济的发展。

五、世界古代后期的地理学

世界古代后期是地理学的创立和发展期，西方国家和东方民族都取得了丰硕的成果。在西方，以古希腊罗马人的贡献最为卓著。被誉为“地理学之父”的厄拉托塞（又译为埃拉托色尼）创建了地理学概念；波里比阿开描述地区地理特点之先河；阿加塔尔齐德斯将地理学建立在人和环境相统一的指导思想基础上；斯特拉波首次为人类绘制出了世界地图；托勒密在地理学的研究成果及其《地理学指南》等著作，对后世地理学的发展产生了巨大的影响。但是到了西罗马帝国灭亡时，由于战乱的影响，阻碍了地理学的发展，使西方地理学的研究受到了严重的破坏。

在东方，地理学的发展则以中国为代表。中国的秦汉王朝已运用立体地图；西汉的张騫发现了地中海文明；东汉的班固著成了中国第一部地理学专著《汉书·地理志》，开创了我国历史地理学；著名自然科学家张衡制成世界上第一架地震仪“候风地动仪”；西晋的地图学家裴秀首创了中国古代绘制地图的6条基本原则；东晋名僧法显最先发现美洲新大陆；北魏郦道元的《水经注》对中国陆地、水文地理知识进行了全面的综合，成为中国地理学发展史上的一块里程碑。古代后期中国地理学上的巨大成就，极大地丰富了世界古代地理学的内容，推动了世界地理学的发展。

1. 古希腊罗马地理学

地理学是古希腊、罗马人做出卓越贡献的领域之一。古罗马的地理学不是独立发展起来的，而是在继承古希腊文化遗产和东方文化成就的基础上形成的。哺育希腊罗马地理学成长的两位“奶母”是地理考察和哲学。地理考察（通称为殖民活动）导致了希腊罗马人发现广义的地中海流域，由此，出现了一批最早的航行记载。公元前331至前325年亚历山大大帝远征东方，使版图得以修正和进一步完善。同时，尼阿库斯、麦加斯梯尼、毕提亚斯等人，扩大了对世界的考察，埃拉托色尼则对有人居住的世界的边缘进行了详细地描绘。公元前2世纪，罗马帝国图拉真统治时期（公元98—117年），对外发动了一系列的侵略战争，征服了巴尔干半岛（现今罗马尼亚一带）、亚美尼亚和美索不达米亚，一度把罗马帝国的边界扩张到波斯湾。其版图扩大到东起波斯湾，西到大西洋沿岸，北从莱茵河和多瑙河向东沿伸至达西亚，南至非洲北部。罗马人的远征，使人们更好地认识到意大利和西班牙等地区的人文、自然、历史、经济等情况，从而出现了波里比阿、阿尔提米多尔、波西东尼乌斯等人的地理著作。随着远征的扩大，以及与中国、印度关系的加强，使推罗的马林和托勒密有可能撰写内容包括经、纬度座标系统表，编绘出当时已知世界的全图和区域图的著作《地理学指南》（8卷），对古希腊有关数理地理知识进行科学的总结。

哲学对古希腊罗马地理学的影响可谓无以复加，地理最初的目标——绘制世界地图的想法正是起源于哲学。第一个绘制世界地图的是一位米列都派的哲学家阿那克西曼德（约前6世纪），此后所有的著名地图学家也都是哲学家，在这类地理学家的眼里，地图就是对地球和世界的解释。而地理学的大发展也与哲学新体系的出现相一致。最早的一些地理学著作，都与爱奥尼亚哲学有渊源关系。亚里士多德和他的学派以及斯多葛学派对地理学的贡献

是相当卓越的。哲学思想的活跃，加之大量的地理资料，丰富了人们对世界的认识，也促进了地理学思想的建立。它引导了古代希腊学者去探索地球的形状和大小。约公元前 350 年，亚里士多德证明地球是个球体，还提出了地球上人类可居住性同纬度有关的思想。他的这一思想为埃拉托色尼所继承和发展。

希腊文明衰落和罗马帝国兴起的时期是西方经典地理学全面建立的时期。罗马初期的斯特拉波开创了西方地志学或区域地理学，罗马帝国后期的托勒密总结了古希腊有关数理地理的知识，绘制的世界地图一直使用到文艺复兴前，而他所用的以经度和纬度区分方位的方法，则成为近代地图的渊源。

(1) 希腊学者埃拉托色尼创立地理学

希腊学者埃拉托色尼（约公元前 275—前 195 年）是亚历山大里亚培养出来的最博学多才的科学家，他兼任图书馆馆长，文、理皆通，对哲学、文学、数学、史学都有精深的研究和造诣。地理学是他最有建树的学科，著有《地理学》（3 卷）。建立了普通地理学的完整体系。他从科学角度论述自然地理现象，是古希腊数学地理学的开山祖师。他把地球划分为三个主要地区：欧洲、亚洲和利比亚（即非洲）；气候地带：即围绕南、北极的两个寒带，在寒带和南北回归线之间的两个温带以及围绕赤道的热带。并按已知各地大致的距离及纬度高低，绘制了较完备的古代世界地图。他还根据大西洋与印度洋潮汐相似的现象，认为两洋相通，西欧可绕非洲而到达印度；但更重要的是他创立了数学地理学，即利用埃及和东方各国长期测量的资料和希腊人积累的信息，根据地球球体原理而对有关地理数值作出科学的测算。在这方面他最大的成就就是对地球圆周长度作了科学的测定。他利用自己发现的黄道倾角原理，根据埃及最南端的昔恩尼在夏至那天正午可见太阳直射于深井底心的现象，判定昔恩尼正好处于北回归线上。同时，根据埃及长期实测资料，他相信亚历山大里亚和昔恩尼处于同一子午线，而且两地直线距离约为 5,000 希腊里，因此他认为只要根据亚历山大里亚在夏至正午的日倾角即可求得地球圆周之长。亚历山大里亚当天的日倾角为

$7\frac{1}{5}$ 度，即圆周的 $\frac{1}{50}$ ，也就是说两地距离的 50 倍即为地球圆周之长，再

加上 2,000 希腊里的校正数，即求得地球圆周之长为 252,000 希腊里。若以一希腊里（斯增迪昂）等于 175.5 米计算，即可知他求得的数等于 39,690,000 米，即 39,690 公里，与实际值（约 40008 公里）相当接近，可以说是古人对地球大小的最接近于实际的科学测算。埃拉托色尼创立了“地理学”一词，并用几何学的方法计算了地球的周长，奠定了数理地理的初步基础。

(2) 描述地理学的黄金时代

公元前 2 世纪至 1 世纪，罗马人的侵略扩张给描述地理学带来了难得的机遇和强大的动力。它促使人们进行实地考察，重视环境的作用；重视经济特征、地区资源及其开发和交通。而地图学的作用则降到只标明路线的里程，或者顶多象埃拉托色尼那样，依据大地测量的估计数值，作出概要性地图。因此描述地

理学得以诞生并获得长足的发展。

波里比阿开描述地志学之先河

波里比阿是这一时期出现较早的地理学家，约生活于公元前 208—前 126 年，他曾游历了意大利、阿尔卑斯山区和西班牙及摩洛哥海岸一带。他著有

《历史》一书，在第 34 卷中，对游历过的地区作了描述，并阐述了一些普通地理学问题。他将自己的工作方向确定为“地志学”，即进行区域描绘。他是描述意大利、高卢和西班牙的第一人，对波河平原的富饶；阿尔卑斯山的雄伟；高卢自然资源的丰富，迦太亨纳的银矿、自然环境和居住点的作用等都作了描绘。他首先确定地区单元，突出描述地区的特点，记述生产、土地资源、地下资源、动物和植物区系。然后才描述居民、居住地和风俗习惯，并把直接观察到的，各个自然区彼此不同的特点综合起来。他还按照埃拉托色尼的方法，以几何学为基础来计算各地间的距离，尽管估算数值有误，但方法却是明确的。另外，波里比阿对海洋学问题也有研究，他曾根据河流沉积物的源源不断，而推断亚速海和里海将逐渐被淤塞，最终被填平。总之，他的地志学虽然只是介绍了一些特殊地点的具体情况，具体的目标是研究自然区，但他开创的地志学先河对描述地理学的发展有着重要作用。

人和环境相统一的地理学指导思想的建立

将地理学建立在人和环境相统一的这一指导思想的基础上的是阿加塔尔齐德斯（或译为阿加塔尔希德斯）。阿氏出生于克利德，约生活在公元前 190—前 105 年，主要活动于亚历山大里亚，写有《红海》5 卷。该书是多种资料的汇编，采用“红海”为书名，大概同古人的“厄里特里亚海”相一致，即包括今天的红海、亚丁湾、阿曼海直到印度河河口的广泛海域。书的第 1 卷论述了厄立特里亚海的起源，尼罗河概貌及开发利用情况，分析了人和河流间复杂多样的相互关系。如人们按照自己的需要去改造治理河流，直接利用周期洪水和三角洲等自然条件；间接利用河流中的动植物资源等。由此，阿氏将其地理学建立在人和环境相统一这一指导思想的基础上。该书 2、3、4 卷已失佚，但无疑是描述埃塞俄比亚地区。通过其它地理书籍的有关记载可知其梗概：埃及人和土著黑人的特征、风俗、生活习惯等。尤为重要的是，它们揭示了尼罗河畔居民的游牧生活的成因，作出了偶然因素比环境因素更强有力的结论。书的第 5 卷，对社会和环境之间的关系分析得更加细致。卷首中首先描述了努比亚金矿，认为金矿的开采使矿工的死亡率更高。下一部分的重点是土著居民，从波斯湾到红海，作者始终以人为生存而适应环境这个基点来进行分析。接着又描述了居住在苏丹地区的部落，将他们的名字与他们的居住环境和生活方式联系起来。还提到了如长颈鹿、斑马等动物，它们和人类共同构成生物学体系，从而确立了作者描述非洲动物区系第一人的历史地位。《红海》的最后部分描述了真正的红海，关于海岸的记述是从自然到人，并提到了印度，材料丰富而有生气。作者始终将人类置于自然范围之内。虽然限于某一地段，但因描述得细致、辩证而很有价值。

除了上述二位描述地理学家的成就之外，这一时期还涌现出一些很有名气的人物。如公元前 1 世纪的阿提密托尔和马卡斯·维帕息纳·阿格里巴等。前者是一位旅行家，也是一位测量工作者；后者是一位军人和政治家，也有一些关于地志的记述，马卡斯·维帕息纳·阿格里巴（公元前 1 世纪）将其视察罗马帝国各地所作的图记，献给恺撒大帝，成为实用地理学家。比较有学术意义的是埃夫佐克斯斯（约生活于公元前 2 世纪），他是一位航海家，颇具探险精神。不过终因对亚、非两洲缺乏了解而没多大进展，商业活动仍限于以前的界限之内，而罗马的武力也没有达到更远的地区，所以并未取得更大的进步。另一位名叫波西东尼乌斯（约生活于公元前 2 至 1 世纪）的哲学家、旅行家，对西地中海地区作过科学的考察，对火山、地震以及太阳与

潮汐的关系进行了相当深入的研究，并对地球的周长也作过测算，但在准确性上不如埃拉托色尼。正是由于这些地理学家的创造性劳动，古罗马的描述地理学得以形成，并出现了描述地理学的黄金时代。

（3）斯特拉波与《世界地理》

随着罗马人的征服以及帝国的建立，西方人的世界知识大大增加，阿格里巴绘制了世界地图，普林尼在《自然史》的第3、第6卷进行了地理的描述，这一切都促使了世界地理学的出现，而斯特拉波则是这一学说的代表人物，是西方古代区域地理学的集大成者。

斯特拉波（约公元前63—公元23年，一说为前20年左右），古罗马著名的历史学家和地理学家。他出生于小亚细亚的河马西亚，受过良好的教育，后移居罗马。他曾亲眼看到罗马帝国的创立。他重视实地考察，曾遍游希腊、埃及、小亚细亚，到过意大利的部分地区。阅历较为丰富，并搜集了不少资料，于公元前后写成地理学巨著《世界地理》。全书共17卷，包括绪论2卷（是地理学总论），西班牙与高卢2卷，意大利2卷，北欧及东欧1卷，希腊3卷，亚洲总论及“远东”地方1卷，小亚细亚3卷，波斯、印度1卷，两河流域、叙利亚以及阿拉伯半岛1卷，非洲1卷。内容相当丰富，具有划时代的意义。

斯特拉波在序论中讨论了普通地理学，其中包括以天文学和几何学为基础的数理地理学和研究地表和大气圈现象的自然地理学。他认为地理学者要依赖几何学，因为几何学者可以测量出地球的面积，而几何学者又依赖天文学者，而天文学者又依赖于物理学者。由此，他研究地理学时把自然科学摆在相当重要的位置上。在序中，斯特拉波对埃拉托色尼、喜帕恰斯、波西东尼乌斯、波里比阿等前人的著作进行了评论。从中可以看出他们的源流关系。或者说没有这些人的存在，也就没有斯特拉波《世界地理》一书的问世。因为《世界地理》光靠斯氏一人的经验是远远不够的，他正是在查阅参考前人地理著作的基础上写出这部巨著的。因此，他是前期地理学家的继承者和发扬者。由于他的写作技巧很高，能将掌握的资料综合起来，再加进自己的想法，使研究成果具有独到之处。对前人的研究成果和观点他也并不盲从。如他反对埃拉托色尼的“赤道下高山温带之说，”他不相信佩塞阿斯所说的大不列颠群岛以北还有人类居住的论点。

斯特拉波在书中给地理学下了一个确切的定义。所谓地理学，就是对人们居住世界的描述。这同现代的观点很一致。在此范围内，他研究了生活在地面上的人、动物、植物、以及陆地和海洋所生产的一切，虽然未建立起地理学体系，但为真正的描述地理学奠定了基础。

在书中他详尽地介绍了阿尔卑斯山；全面、卓越地描述了分支复杂的亚美尼亚山地；系统地介绍了居民及其生活方式；记载了包括地点、位置、作用、资源、城市平面图，以及治理、港口、军事基地、工商要地、交通枢纽和宗教中心等内容的城市地理，材料极为丰富；他在波西东尼乌斯启发下所搜集的经济材料是任何一位古代地理学家所望尘莫及的，书中列举的农业、林业和矿产资源更为丰富。这些都说明了斯特拉波已不仅仅是单纯地描述，而是对已知的世界进行了区划分类，分门别类地介绍它们的自然面貌，分析它们的组成要素及组合形式，并在可能的情况下找出它们之间的相互关系等。这些成就，使之成为区域地理学的代表。他把海岸分为岩岸、沙岸和泻湖等类型；研究了陆地上升、下沉和三角洲的形成；第一个描述了非洲沙漠

中的绿洲，正确地解释了尼罗河泛滥的成因，在于埃塞俄比亚夏季丰沛的雨水；阐明火山土、碎屑土和冲击土的肥力有差别；提出了自然因素对聚落、人口密度和风俗习惯等人文现象有很大的影响，注意到了历史对地理的影响和作用。这些成果都对西方地理学的发展作出了重要贡献。

然而，该书也存在很多缺陷，如对多瑙河以北中欧地区的描述，内容十分贫乏；对希腊的经济状况着墨甚少；并杂有一些神话和许多不存在的地名，将一些地区混为一谈；对一些问题未能系统地、有分寸地、均匀地加以安排。该书由于使用当时已废而不用希腊语写成，并未引起当时人们的注意，但被完整地保存下来。公元 77 年普林尼著地理学百科全书时，尚未提及此书；托勒密的著作里也没引用该书作参考资料，直到公元 5 世纪后才被人发现，被视为西方古代地理学的一部经典著作，对西方地理学的发展有长期的影响，并与托勒密的《地理学指南》相媲美。

另外，与斯特拉波同时代的著名地理学家和名著还有：梅尼普的《内海航行记》；伊西多尔的《帕提亚旅程》；受奥古斯都保护的毛里塔尼亚国王朱巴二世撰写的《阿拉伯志》和《利比亚志》；菲莱蒙（公元 1 世纪时人）的《论海洋》以及佚名氏著作《厄立特里海的航行》等。这些著作分别对当时已知世界的有关领域进行了描述，有一定的意义，但远不能与斯特拉波的著作相提并论。从总体上来看，斯特拉波时代的地理学研究，无论从概念的广阔还是从资料的丰富来看，都相当于阿尔提米多尔（即阿提密托尔）时代的水平。

（4）马林和托勒密与数学地理派的复兴

罗马帝国时期，地理学的发展大大充实了地图学。另外，天文学、几何学和大地测量计算方面的进步也刺激了地图学的发展，最终导致数学地理学派的复兴，涌现出不少地理学家，尤以推罗的马林和托勒密最为著名。

马林生活于公元 1 至 2 世纪初，著有《地理学知识》一书，主要内容包括地图的编制及其相关的问题，诸如地球的形状与大小、有人居住的世界在地球的位置和范围、陆上和海上距离的测量（尽可能地采用天文资料）、以及相关科学的检验、检查测量数值大小的方法、地图投影系统和地图等等。

马林广泛地学习和利用前人所积累的资料。精通天文、几何、气象等。同前代学者一样，他承认地球是球体，赤道和各子午线等长，地球在宇宙中心，地球圆周长 18 万希腊里（约合 32000 公里或 35280 公里与实际数值相差很远），他还确定了地球上人口居住的总面积。他认为，在纵向上，从幸运群岛（加那利群岛）一直伸展到寒勒斯（中国）和卡提加拉；横向上，从图勒延伸到阿基森巴；这个范围是人口的居住区域。其总宽度约为 43500 希腊里（即为 87 纬度）。据说马林还发明了恒向线三角形。这些三角形都是直角三角形。数据资料有：两点间纬度差，船舶行驶的距离（斜边）；两点间经度差以及航向的恒向线角等。恒向线是船舶行驶的路线，当船舶的方向保持不变时，就使恒向线总与经线同角度相交，按三角形法则求得三角形的第三边（即经度的距离）。这种方法至今仍是航海技术的基础。马林还是直交投影体系的天才发明者。在这个体系中，彼此直角相交的经线和纬线用直线来表示，尽管经线是两极辐聚的，为保持经纬线间度比例一致，纬线间距随纬度增长越扩越宽，增加的间距表示距离固定不变，经线间距则逐渐减小。这种方式的优点是：对于航海，恒向线可以同样的角度同所有的经线相交；对于地图学，由直交投影所造成的经线辐散假象可以得到补正。这一设计，对

于整个地球的描绘有很大价值。这一体系仍被作为海图编制和一些科学航海方法的依据。马林还将喜帕恰斯的分赤道 24 段法用于地理学，以通过加那利群岛的纵线相垂直的线为第一条经线。在这条线的北纬 36° 又划了一条平行于赤道的线（即罗得岛纬线），并将这条纬线分为 15 个时段。这种方法十分巧妙，具有无可否认的科学价值。马林的有关地图知识和观点后来被托勒密加以吸收和利用。

托勒密是古罗马的地理学家、数学家、天文学家、星相学家、哲学家。公元 90 年前后出生于埃及的托勒马达伊。曾在亚里山大城居住和工作，公元 168 年去世。

他一生著述很多，在地理方面的著作有《地理学指南》，又译为《地球形状概论》（8 卷）。其中，第 1 卷为绪论，阐述了他的地理学体系，修正了马里奴斯的制图方法；第 2 卷到第 7 卷为世界地志，包括欧洲、亚洲、非洲大约 8100 个地点的统计表，并运用喜帕恰斯建立的纬度和经度网，注明了每个地点的经纬度坐标。第 8 卷为结论部分，主要介绍了 27 幅世界地图和 26 幅局部区域图。这些地图被称为“托勒密地图”，后人曾多次刊印。托勒密对于地理学的最大功绩在于应用经纬度来确定山川、城市的位置，并据此确定它们的空间位置，开创了近代绘图学的前例。

托勒密指出，地理学的内容应是对整个地球的已知地区以及与之相关的一切事物作线性描述，即绘制图形、并用地名和测量一览表代替地理描述。这就把地理学与地图学等同起来，抛弃了描述地理学。他以评论马林的地图绘制作作为全书的开始，采纳了 18 万希腊里的地球圆周长数字；又将有人居住世界的宽度拉到 80° 纬度，即 4 万希腊里；他将有人居住世界的形状想象为一片连续不断的大陆块，其间包围着一些洋盆。在投影体系上他作了独创性的发明。在赤道以北地区，他画出了更多的纬线，并以最长的日时数作为计算基础；纬线间距递增规律为：从赤道直到 14° 为 $1/4$ 小时，从 14° 到 19° 为 $1/2$ 小时，从 20° 到 21° 为 1 小时，依次类推。计算到北纬 63° 的图勒，最长日时数为 20 小时。为了在一个平面投影上画出有人居住世界的形状，他力图求得通过赤道，罗得岛和图勒的这个弧的大小比例关系，画了许多种投影图，如圆锥投影图即是如此。在图上，经纬以直线来表示，它们从一个顶点（可能是北极）辐散出来，这个顶点同时又是代表纬线图弧的圆心；这样，经线间距自赤道向顶点缩小，比较符合实际。又如修正圆锥投影图，在图上，中间一条经线是直线，其它的为曲线，分布在两侧，而且随着与中央经线距离的增加，经线凹曲度就越大。他也考虑了纬度的比例关系。同时，通过纬线同每条经线的相交，确定了经线的曲率。这两种投影系统无疑是地理学上的一个卓越的创造，因为它们能将一个球面物体很好地展绘到一个平面上去。根据上述种种原则，托勒密进行了欧、亚、非三洲地图学的描述，同时标绘了 8100 处地点的经纬度，其中，约有 350 到 4000 个点实测的，这些地点分布在从爱尔兰到斯里兰卡的 82 个地区内。他首先根据相应的位置绘出了各大区的自然界线，然后按照先民族、后城市，先沿海、后沿河，最后为内地的原则划分亚区。每一个地点的经纬度座标度数计算，分别从赤道和第一条经线（马林确定的）开始。为确定纬度，他分析了有关星体高度测量的天文学资料，并以各地最长时数（滴漏计时法测得）的表格作补充。但是，由于计时困难和资料有限，致使地图的变形甚大。托勒密用投影法，绘制的世界地图，在文艺复兴以前一直被广泛采用。托勒密的投影法一直沿用了十

几个世纪。

托勒密《地理学指南》一书，一直是西方地理学界的权威著作，影响甚至超过了斯特拉波的《地理学》。只是到了15世纪，其影响渐衰。但是，由于他将地理学理解为地图的编制工作，以地名和测量一览表来代替地理描述，致使地理描述的内容变得十分贫乏。这对地理学研究产生一定的消极影响。从托勒密以后，古代希腊罗马地理学开始走向衰落。

公元3世纪以后，由于罗马帝国的军事叛乱与日剧增，蛮族入侵日益严重，帝国皇帝的频繁更替，使社会一片混乱，经济开始衰落，文化也跟着衰落下去，地理学更是日退千里。这一时期虽然出现了前德尼斯（公元2世纪时人）的《大地旅行记》、后德尼斯（公元2世纪）的《沿波斯普鲁斯海峡上行》、阿加提麦尔的《地理学概论》以及佚名著作《球体地理学论》、《地理学简论》、《大海纪程》；还有普罗塔戈拉的《大地几何学》、马尔希安的《东部外海和西部外海的航行》等地理著作，但都没有多大价值，仅仅是对前人著作的摘要，以及地名和数据的罗列而已。

2. 古代后期中国的地理学

中国的秦汉、魏晋南北朝时期，基本上是一个统一的封建帝国。虽然魏晋时国家分裂，但时间不长。这一时期学术思想活跃，经济上持续发展，有力地推动了天文、数学、农学、医学等科技领域的进步。作为中国古代学科代表的地理学也获得了明显的发展，并逐渐形成中国传统地理学体系。其成果颇丰。涌现出《史记·货殖列传》、《史记·河渠书》、《汉书·沟洫志》、《汉书·地理志》等众多的地理著作；马王堆古墓的开掘，又展现了西汉的地图；在地图发展过程中，裴秀形成了一定的制图理论；郦道元著《水经注》，张騫、班超、甘英、法显、惠生、宋云等人的西行又使域外地理成果显赫；张衡制成了世界上第一台地动仪，出现并发展了以地记为主的官修方志等。这些成就使中国的传统地理学出现了万花争艳、蓬勃发展的良好局面。然而，由于中国的地理学以实用为鹄，受传统地理学的束缚，因此长期停滞在描述地理学的阶段，缺乏理论概括和创新。

（1）中国传统地理学的形成

在中国，“地理”作为一个词最早出现在春秋战国时期，并逐渐与天文并称。《周易·系辞》有“仰以观天文，俯以察地理”之句，此后逐渐成为关于山河、土地的专门知识的代词。战国时期出现了《山海经》、《禹贡》两部区域地理名著。《山海经》中的《山经》部分，以“山”为纲，综合记述了黄河和长江流域及其以外广大地区的自然条件。《山经》共记载447座山，每一座山都有位置、水系、天然动植物及矿产资源的记述。《山海经》和《禹贡》虽有其实，但无其名，即均未以“地理”命名。及至西汉《淮南子·泰族训》，才明确阐述了地理研究的目的：“俯视地，以制度量，察陵陆、水泽、肥墩、高下之宜，立事生财，以除饥寒之患。”即根据不同的地理环境从事生产，以解决吃、穿等生活问题。东汉班固的《汉书》，才真正有了以“地理”命名的篇章，即“地理志”，从而开辟了沿革地理研究的专门领域。当时，随着编修地理志，总和地方志及考订山川、地名等工作的开展，逐渐形成了以沿革地理为主体的地理学研究体系，标志着中国传统地理学的形成。

（2）地理著作的大量涌现

秦汉时期，中国出现了许多带有地理内容的著作，其中尤以《史记》和《汉书》的影响和作用最大。《史记》中的《货殖列传》，较为系统地记载了从上古到西汉初年的农业、水产，采矿、手工业和交通的地理分布，特别是对地区经济差别和城市分布的问题，提出了颇有见地的看法，影响巨大。这篇毫无疑问地反映了许多经济地理的科学内容，被誉为是中国最早的经济地理名著，开创了中国经济地理研究的先河。《史记·河渠书》记述了大禹治水的功绩，以及当时中国各地的水利工程，是研究水利工程的重要史料。

《汉书》中的《沟洫志》是《史记·河渠书》的续篇，叙述了引泾河水增修六辅渠和白渠的由来和经过，提出了使黄河由河套绕塞北入海的设想，历述了汉代黄河几次决口改道的时间、地点，以及围绕治理黄河的方策所发生的多次论争。这些史料都有一定的价值，为历代正史所继承。《汉书·地理志》主要由3部分组成。第一部分转录了中国古代两部地理名著《尚书·禹贡》和《周礼·职方》的全文，这是对前代沿革的简单交待。第三部分是附录，转录了刘向所论的《域分》和朱赣的《风俗》，主要内容是讲分野和历史情况。第二部分是主体，详细叙述了汉平帝元始二年（公元2年）全国的103个郡（国）和郡所辖的1,587个县（道、邑、侯国）的设置，以及各郡县的行政区划、户口数字、山川河流、矿藏物产、经济发展状况和风俗民情、名胜古迹等，内容相当丰富，是中国历史地理研究中的宝贵史料。该志最早勾划了当时的地理疆域，开创了疆域地理的记述体例，是中国疆域地理研究的发端。另外，该志因首次对人口数字作了记录，对研究汉代的经济地理非常有意义，人们可据此推出各地区的人口密度、生产力发展水平。这一成就，无疑是开创了中国人口地理研究的领域。此外，该志对自然地理作了简要的记述，对山脉的名称和方法、对河流的发源地、流经地区、流向、全长的记载，以及对许多矿物的产地、特征的记载，都是对中国自然地理研究的重要贡献。正因为《汉书·地理志》具有如此重大的作用，因此它的问世，便成为中国传统地理学形成的重要标志。

《史记》和《汉书》中，还有许多有关地理的篇章，如《史记》中的《大宛列传》、《汉书》中的《食货志》、《西域列传》等。这些丰富而详实的记载表明《史记》和《汉书》，不仅是史学名著，也是中国地理学研究的创始性著作。

（3）马王堆地图与裴秀的制图理论

在战国至西晋的千年之中，中国地图学以其特有的建树而称重于世。中国古代地图学是建立在平面制图的基础之上的，这在考古发掘的实物中得到了体现。现已出土的平面地理图，有河北省平山县战国中山墓的《北域图》、甘肃省天水放马滩秦墓中的板式战国末期地图、以及长沙马王堆三号汉墓的地形图和驻军图等。

1973年，考古工作者在长沙马王堆汉墓出土了3幅绘在帛上的地图。其中，一幅是地形图，一幅是驻军图，一幅是地邑图。这三幅图都有固定的方位和比例尺。其方位为下北上南、左东右西，与现代制图方位相反。地形图中心的比例尺18万分之1，周围较小；军事驻军图的比例尺为8万到10万分之一。图上都有明确的图例，分别表示山脉、河流、居民点、道路等，表现方法相当高明。如用弯曲的黑实线表河流，粗细则表示河的宽窄；虚线表示潜流（或不可通航的河段）。这些图的准确度相当高，如地形图所表现的

深水（今潇水）及其支流的水道，大部分接近于现代地图，有些部分几乎没有差别，而且有些河流的名称至今仍在使用。图上的山脉，不仅与实地相符，而且已经使用闭合线来表示其走向和范围，山形线里还加画了明显表示分水界线的横细线，并以类似现代等高线的涡纹线来表示主峰所在。这种简洁明了的线条，勾划出纵横交错的南岭地区的地貌特征。这就充分地表明，中国的测绘技术已经达到了相当高的水平。

到了三国、西晋时期，涌现出一位伟大的地理学家——裴秀（公元 224—271 年）。他生于河东（今山西）闻喜县，先后在魏晋朝廷作官。在行军和用兵的实践中，他获得了丰富的地理知识，并深深地认识到地图的重要。他曾对《禹贡》记载的地理内容进行核查，著《禹贡九州地域图记》18 篇，并绘制“一寸为百里”的全国地理《方丈图》。但真正使他成为中国科学制图之父的还不是这些内容，而是在该书序言中由他所提出的一套制图理论，即“制图六体”（分率、准望、道里、高下、方邪、迂直）。“分率”，就是确定比例尺，表示缩小的程度；“准望”，就是用矩形网格来确定相互间的位置；“道里”，就是用来表示相互间距离的数字；“高下”、“方邪（斜）”、“迂直”表示制图时应根据逢高取下，逢方取斜，逢迂取直，“高则山峦，下则原野”，“方加矩之钩，邪如弓之弦”，“迂如羊肠九折，直如飞鸟准绳”的原则，分别按照数学方法进行折算，将各种形状的地形、地物都变成平面投影图绘在地图上。这一理论真实地反映了晋代的制图水准，说明至迟在公元 3 世纪，中国已经有了较为完备的制图理论。这项原则是我国制图学的基础，倍受后人推崇，直到明朝末年西学东来，西方地理学传入之前，一直是中国制图的准则，影响极为深远。

（4）酈道元与《水经注》

酈道元（公元 466 或 472 或 455—527 年），字善长，北魏范阳涿鹿（今河北涿州市）人，少年时曾跟随父亲前往山东，游历了一些名山大川，饱览过祖国的壮丽河山，引发了他对大自然的激情。北魏十八年（公元 494 年），他出任尚书郎，后历任太守，刺史、御史中尉等职。在北魏任职时，他多次出巡，对黄河、淮河流域的水道有了较为详细的了解，并目睹了广大地区因黄河水利失修，水旱灾害不断，百姓生活悲惨的状况，从而认识到河流水道和其它自然现象与农业生产、人民生活的密切关系，开始将精力倾注在河流的研究上。在博览群书中，他对《水经》格外重视，《水经》是中国第一部专记水道的著作，该书集中描述了大小河流 137 条，简要记述了各河的发源地、归宿和流经地区。由于《水经》只记水系的源流、水道，不涉及其他内容，脉络既不清晰也不系统，因而满足不了酈道元的要求。于是，他跋山涉水，对河流作了详细的探索，并随时把河道、地形、城市、地名的变化记载下来，以弥补《水经》的不足。他花了整整 7 年时间，终于写成了《水经注》一书。全书分 40 卷，30 万字，共记载河流 1252 条，远远超过了《水经》的 137 条。

该书前 32 卷集中叙述河北诸河，其中包括黄河的支流汾、渭、洛、谷河各一卷，后 8 卷专门叙述江南水系。酈道元取“详北略南”、使笔墨有所侧重的策略，也许与时代背景有关，因为当时南北对峙，战争不断，酈道元的足迹未能到达南方，不可能对南方诸河有更多的了解，只能从略。

该书虽然以“注”为名，但实际上是一部研究水系的地理专著。它不同于《禹贡》那种按地域分类的结构，与《汉书·地理志》那样按行政区划分

类的方式也不相同，而是以河流（或水道）为纲，综述流域内的地貌、地质、土壤、植被、动物分布、城镇建制沿革等地理情况，这就大大丰富了《水经》的含量，而且没有陷入单纯为作注而作注的圈子，成为中国古代地理研究中的一大杰作。

《水经注》对河水和江水的记叙均为 11 卷，是全书的主体。其中也有些内容失之于偏颇。如他认为黄河源头有三，其一发源于昆仑山，并过分夸大了昆仑山的高度；认为从蒲昌以下潜流入塞，过敦煌、酒泉、张掖，这显然是唯心主义的臆造。该书对黄河下游的记载相当正确，精详，但对江水下游的记载却有严重的错误，他认为江水到下游分为南北二江，并拼凑了两江的入海口和流经地区，这显然与他所追求的目标极不一致。书中，郦氏对河、济、淮、沔（汉）、江五大水系以及对大河以北、山东和南方诸水的记述，体系相当分明。但在黄河一系中，却未收进济水和大河以北诸水；渭水在洛河之前注入黄河，却编在洛水之后；又把淮水干流放在它的支流后面，先讲汉水，后讲江水。这些错乱之处说明郦氏此书也有失于确切的地方。

对于大河以北诸水的记载，虽然只列有 11 条水道，但也没有采用干流综合支流的一致方法。他首先分列湛水、荡水和洹水，实际上合流为清水。接着分列浊漳水和清漳水，实际上合流为漳水。易水、滏（k^u）水并列，合流后反以源流短的易水为总名。圣水与拒马水也是如此。这只能使内容复杂起来。但是这些记载却可表明部分水道的分合演变过程，或自然改道，或经人工改道，仍有一定的参考研究价值。

《水经注》在体例上是研究水系的专著，但实质上却是一部历史地理著作。书中把各州郡县罗列在大小水道的沿线，可根据大小水道上下游的部位、识别出各地分布的形势。在缺少经纬度观念的条件下，这种方法是较为理想的，这使该书好象是一部方便的交通图册。有关注文依据东汉的郡县建置，部分郡县前推至西汉、周秦，后延到北魏，其沿革都作了记述；特别是王莽改变地名的资料，甚为罕见。关于历代的沿革，虽然局限在注文中引用或申论的条文，但因作用重要而成为一种创新。在许多地名之下，还注有其它历史地理资料。如对秦、汉、魏等历朝的故都，裂变中各国的统治中心、发展的规模，著名建筑（如宫阙、苑囿、官署、城市布局、街市规模、帝王陵墓等）等等，都尽力记述，具有重要的历史意义。该书还记载有部分水道开渠引水、疏通、漕运、沿线仓储，沿河的津渡桥梁等情况。使之更显得弥足珍贵。

总之，《水经注》一书内容宏博精审，汪洋恣肆。史书论：“道元好学，历览奇书”，故能对水流地域的山川、人物、掌故博引而备叙。近代以来对该书的评价是：指出百川的源流支脉，流向及流经地域，历述沿河地域的历史古迹等，文字优美。虽然该书也有一些错误，但瑕不掩瑜。总起来看，该书的影响很大，历代的评价都很高。明、清以来，校释、研究者几乎代不乏人，开创和发展了地理学的一个新的分支——“郦学”。

（5）域外地理知识的增长和地中海文明及美洲大陆的发现

春秋战国时期，由于自然条件的限制和历史的原因，人们对域外的了解很少。秦统一中国以后，特别是汉代的政治、军事、宗教原因，主动加强了与域外诸国的交流，更多的人由陆路或海路到外国去，从而增长了有关域外的地理知识。

中国与外国的文化交流，可以追溯到秦汉时代。在中、日两国民间，广

泛流传着秦始皇时期齐人率众前往日本的佳话。秦始皇二十八年(公元前 219 年),齐人徐福率数千童男童女,入海求仙,采长生不老之药。徐福东至日本,在能野浦的新宫市附近上岸。他们披荆斩棘,筚路蓝缕,开辟草莱,在这里安家落户。如今在日本熊野山,尚有徐福的墓、碑存在。围绕这一传说,中国和日本两国学者纷纷进行研究考证。中国考古学家证实,在江苏赣榆县有一“徐阜村”,并从明嘉庆元年《赣榆县志》和清乾隆年间的“宗谱”中查证,“徐阜村”原名为“徐福村”。而《史记》记载,战国时赣榆属齐地,秦时属琅琊郡。日本的第一部史书《日本书记》记载:“应神天皇十四年(约公元 2 世纪左右),融通王弓月君率秦人来归,。”“应神天皇二十年,又有倭汉直祖阿知使主,其子都加使主率已之党类 17 县而来归焉。”日本人类考古学也将公元前 3 世纪前后,从东亚大陆或南洋诸岛移居日本的居民称为“秦汉归化人”。这些考证说明,中国在秦代已开始与域外进行交流了。到了汉代,日本处于“国皆称王”的分裂状态,大小政权纷纷派遣使者与威振四方的汉帝国建立联系。但是,真正增长域外地理知识的时期则在汉代。而“地中海文明”的发现,应归功于公元前 128 年的地理学家张骞。”

张骞(公元前 175—前 114 年),中国古代地理学家,西汉通西域使者。汉中成固(今陕西城固)人。他曾两次出使西域,到达中亚、西亚的许多国家。汉武帝建元二年(公元前 139 年),张骞以郎应募职,率甘父等百余人第一次出使西域大月氏国(今阿姆河中偏上游一带),拟约其夹击匈奴,以阻止匈奴南进。出陇西后,至今河西走廊东端,被匈奴所俘,送至单于驻地(今蒙古人民共和国鄂尔浑河上游)被扣 10 余年。后张骞得机脱走,西行大宛(今中亚的费尔干纳盆地),经康居(今巴尔喀什湖和咸海之间),抵达大月氏。因大月氏不肯应约,滞留年余后,翻越葱岭(今帕米尔)、绕南山(今昆仑山脉)北麓东归,行至若羌一带再次被匈奴截捕,一年多后逃脱,并于元朔三年(公元前 126 年)回到长安。张骞这次出使西域历时 13 年之久。元鼎四年(公元前 119 年),张骞第二次出使西域,以中郎将之职率 300 人,取道河西走廊出使乌孙(今伊犁河流域)。他又派遣副使通大宛、康居、大夏、安息等西域诸国。元鼎二年(公元 115 年)由乌孙使臣伴送返回长安。

张骞两次出使西域,把亲身经历的以及间接了解到的国家,如大宛、康居、奄蔡、大月氏、大夏、安息、条支、身毒等国家和地区的人口、兵力、城镇、交通、河流、湖泊、气候、物产以及各国相对的位置和彼此间的距离等情况,面陈汉武帝。并由史学家司马迁录于《史记·大宛列传》及《汉书·西域传》中,成为中国最早记载中亚、西亚、南亚一些国家人文和经济地理的地理学专著。

东汉时,班超(公元 32—102 年)父子和甘英(生卒年代不详),又出使西域,范曄则根据班勇的《西域记》著成《后汉书·西域传》。这些著作成为研究中亚、西南亚历史地理的珍贵资料。自张骞出使西域之后,中国与西方人民的联系日渐紧密,贸易也迅速发展起来,开辟了举世闻名的“丝绸之路”,促进了中、西经济和文化的交流,中国人的地理视野也随之扩大。因此“丝绸之路”在一定意义上可以说是增长域外知识,发现“地中海文明”的文明之路。

中国与东南亚、朝鲜、日本的海上交通在秦汉前就很发达。《汉书·地

理志》里载有从雷州半岛出发，经马六甲海峡到印度、斯里兰卡的航线。三国时，东吴人朱应和康泰曾从海路访问过越南、柬埔寨等地。朱应写有《扶南异物志》，康泰著有《吴时外国传》，对域外的一些情况进行了记载。秦汉魏晋南北朝时期专门记述地理的著作已相当多。如《后汉书·东夷传》对日本地理情况作了介绍；《魏略·西戎传》载有非洲北部的尼罗河和亚历山大城。但流传下来的却相当少。

公元前后，佛教开始传入中国，熟悉佛法经典的西域高僧不断东来，而中国名僧西行求法的也不乏其人。东晋高僧法显就是成就显赫的少数人之一，追记其全部历程的《佛国记》（又名《法显传》），无疑是世界上最古老的一篇空前艰险而又有重大发现的万里远游旅行记。

法显（公元335年—418至423年）中国历史上著名的旅行家、翻译家、地理学家。东晋平阳武阳郡（今山西临汾西南）人。卒于东晋义熙十四年（公元418年）至南北朝宋景平元年（公元423年）之间，终年82岁，一说86岁。法显3岁出家，钻研佛学。因佛教在乱世中迅速发展，他感到经律多有误阙，立志赴天竺（印度）求取真经。东晋隆安三年（公元399年），时年65岁的法显与慧景、道整等10人结伴，自长安西行，经河西走廊、敦煌以西的沙漠到焉夷（今新疆焉耆附近），向南抵于阗（今新疆和田），南逾葱岭，经今巴基斯坦入阿富汗境内，并再返巴基斯坦，后又东达天竺（今印度）境，随后至东天竺，在摩竭提国（即摩揭陀）首都巴达弗邑（今巴特那）留居3年，学习梵书佛律，得《摩河僧祇律》、《方等》、《泥洹经》等经籍。后法显由东天竺著名海港多摩犁帝（今加尔各答西南之德姆卢克）乘商船到狮子国（今斯里兰卡），搜求佛经。再乘商船东归，中途经耶婆提，换船北航。在今山东半岛南部的崂山附近登陆，于义熙九年（公元413年）到达建康（今南京）。公元414年，78岁高龄的法显，在建康主持翻译了梵文本佛经，同时撰写成西行游记—《历游天竺记传》，两年后增补为流传至今的《法显传》。

《法显传》又称《佛国记》、《佛游天竺记》等。书中记述了中亚、南亚、南洋等30多个国家和地区的疆域、山川、气候、居民、政治、经济、历史、宗教、风俗、城市、交通、文化、物产等多方面的情况。《法显传》言简意赅，内容极为丰富。就地理而言，它丰富了中国边疆及域外的知识，留下了中国与中亚、南亚各国古代交通及古代历史和地理现象的珍贵史料。

特别值得一书的是法显先于哥伦布千余年到达美洲的这一“石破天惊之说”。“哥伦布发现新大陆”，这是世界史上一个公认的定论。意大利人乃至欧洲人，均以先辈的开拓精神引为骄傲，不下数百年之久。

中国学者连云港经过30年的研究、考证，于1992年，在中外学者参加的《环太平洋区域文明起源与传播国际学术讨论会》上宣布：中国人法显先于哥伦布1080年到达美洲大陆！

法显去印度的艰难行程，在印度学习、考察及回国海上遭遇风暴的历险过程，均记载在他自己著述的《历游天竺记传》中。对于法显“慨经律舛缺，誓志寻求”的事迹，中国晋以后的历代正史都有记载。然而对法显横渡大洋，到达美洲一事，因历史的局限，前人概未论及和考证。史学界的传统观点是，法显由东天竺乘商船到狮子国，留2年，续得经本；再乘商船东归，中途经耶婆提即今苏门答腊岛或爪哇岛，换船北航。在今山东半岛南部的崂山附近登陆，转取陆路，于义熙九年（公元413年）到达建康（今南京）。

中国学者连云山对法显船 1580 年前的航海记录进行了逐项考察分析,认为法显所乘之船离开狮子国回国的前 15 天,行驶在传统海道马六甲海峡上,可通过两岸岛屿辨别方向;从第 16 天始,“大海弥漫无边,不识东西,唯望明星宿而进”。即只能以天文定向;说明法显船只进入太平洋深海区域。且航行中“当夜暗时,但见大浪相搏,晃然火色”,“鼃鳖,水生怪异之属”,“以海深无底,又无下石住(石锚)处。”这正是深海海浪达 6 级以上时产生的海洋物理发光现象;而大鲸、大鲨鱼、大海豚等海中动物则多见于深海之处。法显所记述的这些现象更加证明了他们已行驶在深海水域;法显所记“若阴雨时,为逐风去”,“至天晴已,乃知东西,还复望正而进”,这反映了太平洋季风由西吹来,向东而行的特征。

此外,连云山认为,法显从狮子国回国时,遇风东渡 105 天所到的那个叫“耶婆提”的国度,也不是十九世纪后期英国学者萨繆·比尔所推测的“耶婆提”即为爪哇或加里曼丹,亦或苏门答腊。按当时中国的航海水平,距中国仅千余海里,其航行十多天即可到达爪哇或加里曼丹。因此,认定法显东渡 105 天,航程达 1 万海里的“耶婆提”就是加里曼丹或爪哇是不能自圆其说的,而按古船昼夜行百海里计,105 天当行 9,000 至 11,000 海里,所至“耶婆提”应是美洲西海岸;此外,连云山还认为法显船穿过传统海道马六甲海峡后,理应在新加坡转东北前往广州,没有必要绕道东南向的爪哇或加里曼丹,何况时值南太洋西南季风劲吹,风向也不允许;再则,法显所记“九十日许”只在一岛停靠,余则大海茫茫,与印尼的爪哇和加里曼丹一带有万余岛屿、菲律宾有 7,000 岛屿的地貌不符;另外连云山还以法显所记耶婆提“其国外道”(即不信佛)与爪哇一带的佛教盛行也不符;而且,当时东南亚及印度、波斯湾一带从未有过叫“耶婆提”的国名或地名等;综此情由,连云山否定了“耶婆提”即爪哇国,以及法显船从苏门答腊或爪哇以南其它海峡的“绕道说”。

另据考证,法显所记“耶婆提”,与墨西哥的玛雅人当时的人文情况十分吻合,而且墨西哥阿卡普尔科的古印第安地名,发音“耶尔婆尔”与“耶婆提”相似。特别重要的是,法显船只有从墨西哥下海西航,才能与直抵中国山东半岛崂山登岸的四项记录相吻合:即航行 115 日;航程万余海里;沿途一岛未遇;最后 13 昼夜改为向西北向求岸。至此,连云山终于考证出法显船航线:穿过巴士海峡后,在当时西南季风驱使下进入黑潮带,呈东北流,到北纬 35°至 40°附近遇风东航 105 日,即 3.5 个月,横渡太平洋到达“耶婆提”,即美洲大陆今墨西哥阿卡普尔科至美国洛杉矶一带。在这里停留了 5 个月,于次年春,即公元 413 年 5 月乘船西行 115 日,于当年 9 月回到山东青岛崂山。

法显是中国经陆路到达印度,并由海上回国,而留下记载的第一人,也是先于哥伦布千余年到达美洲的第一人。

继法显之后,北魏的高僧惠生和俗人宋云等在公元 518 年也到过印度取经,回来后写成《惠生行记》,对自己的艰辛历程和所经过地区的地理特征作了描述,足以和《佛国记》互相引证,是研究西域历史地理的重要史料。

(6) 候风地动仪的发明

中国古代曾多次发生地震灾害。因此,中国的地震观测也有着悠久的历史。晋代出土的《竹书纪年》载有帝舜时期“地坼及泉”、夏桀末年“社坼裂”的现象,可能是关于地震的最早记载。公元前 3 世纪的《吕氏春秋》记

载了“周文王立国八年（公元前 1177 年），岁六月，文王寝疾五日，而地动东西南北，不出国郊”。准确地记录了地震发生的时间和范围，是中国地震记录中最具体的可靠记载。此外，在《春秋》、《国语》和《左传》等典籍中都保存了不少古老的地震记录。到了秦汉以后，对地震所造成的灾害更为重视。从《汉书》开始，史家就把地震作为灾异列入五行志中。但这些记载都是人们通过实地观察记录下来的，正是在不断地记录和积累地震知识的基础上，东汉时杰出的自然科学家张衡于公元 132 年主持创造了世界上第一架地震仪——候风地动仪。《后汉书·张衡传》记载说“阳嘉元年，复造候风地动仪。地动仪以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒樽……”。里面有精巧的结构，即“中有都柱”。“都柱”是一种倒立的具有摆的作用装置，类似现代地震仪的重锤；柱的旁边有“八道”，所谓的道是装置在摆的周围与仪体相连接的 8 个不同方向的 8 组杠杆机械。仪器的外表与 8 道相对应地铸着 8 条龙，踞守在东、南、西、北和东南、东北、西南、西北 8 个方向。每条龙的嘴里都含有一颗小铜球，好象欲吞若吐的样子。每一龙头的下面都有一只铜蟾蜍，仰着头，张嘴对着铜球。如果什么地方发生较强的地震，传来震波，“都柱”偏侧触动龙头的杠杆，使处在那个方位的龙嘴张开，铜球落到铜蟾蜍口中，并发出响声。观测人员根据铜球的“振声激扬”而掌握在什么时间、什么方位发生地震。

候风地动仪制成以后，安装在洛阳。公元 138 年，陕西发生一次 6 级以上的地震，地震中心距洛阳 700 公里，当时洛阳没有震感，而候风地动仪做出了灵敏的反应，实测成功，证明了仪器的可靠性和准确性。更重要的是它开创了人类使用仪器测量地震的历史。而欧洲直到 1880 年才出现地动仪，比张衡的发明晚了 1700 年。当代中外学者一致高度评价这台仪器，认为它是利用惯性原理设计制成，其基本构造符合物理学原理，能探测出地震波的主冲方向。充分显示了中国古代地震研究的技术水平，在世界上处于遥遥领先的地位。

（7）方志地理学的初级发展

地方志一般指局部地区的历史书，因历史要素包括时、事、人、地，内容涉及到山川、河流、地形、地物，因此史书与地理书无严格界限，古地理书可作史书，史书中也有珍贵的地理资料。所以方志的发展在一定程度上也标志着地理学的发展。

编修志书是中国传统文化的重要组成部分。所以代代相传不辍。但是关于中国方志的起源历来争议很大，出现了多源说。表现为：源于《周官》，源于《禹贡》和《山海经》，源于《越绝书》和《吴越春秋》等等说法。这是由于对方志的不同理解而造成的。但因“方志”一词最早见于《周官》，且《周官》记载的“职方”、“诵训”、“土训”等官的职掌，基本上包括了后世方志的主要内容，其作用也与后世方志“存史、资治、兴利、教化”等功效基本一致。因此，无论从名或实来考察，从性质和功用来评判，《周官》都可算是中国方志的源头。因该书成于春秋战国时期，据此推断，中国方志产生的时间至迟当在春秋战国之际。

随着秦、汉大一统政权的出现，秦汉统治阶级越来越把收集、掌握各地的区域、土地、人口、物产、赋税，以及山川形胜、交通道里等情况作为实施有效统治的重要依据。他们程度不同地要求各地将情况上报中央，遂使秦汉时期出现了大量舆图、地记等，尤以地记为突出。

地记又称“记”、“传”、“谱”等，是专门记载某地地理与人文实事的地方性文献，内容偏重于地理，多记一方的疆界，山川风土、道里、户口、风俗民情及物产等。这显然是适应统治阶级，特别是中央政权的需要而出现的。东汉时，豪族地主兴起，光武帝令人撰写南阳地记，于是各地豪族地主争相效仿，一时成为风气，各种地记相继涌现。但大部分已散失，仅有少量辑本传世，如《异物志》、《三秦记》等。

汉代最著名的全国性地理总志是班固的《汉书·地理志》，因该志以郡国县道为纲，分别记述各地建置沿革，风俗文化、山川关塞等，成为中国全国性区域志之始祖，并为以后历代正史和许多地区方志所效仿。如果把《禹贡》作为全国性区域志的雏型，则从《禹贡》到《汉书·地理志》即表示全国性区域志经历了一个由简单到复杂，由低级到高级的演变过程。同时，也表明偏重地理著述的地方志有了大发展。

魏晋南北朝时地记繁盛。原因很多，一是为适应当时北方士族南迁，急于了解当地自然和社会状况的需要；二是为了满足豪强地主争奇斗富、自我吹嘘的心理要求；三是魏晋时国家分裂，地方政治势力得到增长，一些地区的经济、文化得到发展的结果，这也是当时地记繁盛的最重要的原因。当时成书至今仍知名的地方记主要有《交广两州记》、《广州记》、《三吴郡国志》、《会稽记》、《寿阳记》、《荆州记》、《三巴记》、《蜀记》等，不仅数量大，而且涉及的地域相当广。另外，还出现了一系列记述当地某一方面内容的地记，如有专记一方山水的《庐山记》、《汉水记》；专记风俗的《临海水土记》、《诸蕃风俗记》；专记人物的《陈留耆旧传》；专记物产的《南方草木状》、《扶南异物志》；专记城池的《国都城记》；专记文学的《江左文章志》；考记古迹的《洛阳伽兰记》等。这些地记因所记内容有所侧重，又有郡书、地理书、都邑簿之别。如此多样的地记，内容单一，文字简略、体例差异明显，但却为后世综合性志书的编纂，提供了丰富而真实的资料和多方面的经验。

这一时期，随着地记的进一步发展，内容逐渐由单一趋向综合，出现了兼记史、地的综合性著述。如晋代挚虞编写的《畿服经》，对当时的“州郡及县分野村略事业，国邑山陵水泉、乡亭城道里土田，民物风俗”均作了详细记述，长达170卷。此外，较为重要的还有南齐陆澄编的《地理书》等，但真正有代表性并传世至今的是《越绝书》和《华阳国志》。《越绝书》又称《越绝记》，东汉会稽人袁康编撰，吴平定稿，原书25卷，记吴越两国史地及人物，上起吴太伯，下迄东汉建武二十八年，对浙江、江苏部分地区的沿革、都邑、物产、风土等作了记述。全书将地理、人物、都邑等门类汇于一体，颇受后人称道。《华阳国志》是现存最早以志命名的方志，晋朝常璩修撰，全书12章，前4章为《巴》、《汉中》、《蜀》、《南中》4志，该四郡古属梁州，《禹贡》中有“华阳黑水堆梁州”之句，故该书命名为《华阳国志》，记述了以巴蜀为中心的西南地区地理沿革和历史变迁，它把史、地、人汇于一篇，是方志史上的一大进步。总之《越绝书》和《华阳国志》正是跳出单纯地理记述的圈、实现由地记向“史地体”转变的代表作。

另外，这一时期，单纯的地图，也因注释文字的不断增多，开始向图文并茂的图经演变。而图经正是地图向地志发展的中间环节。中国最早以图经

命名的方志是东汉时的《巴郡图经》。图经逐渐取代地记，到隋、唐时期成为地志的主要形式。

六、世界古代后期的水利科技

水利事业的发展与人类文明有着密切的关系，并成为社会文明和经济发展的重要支柱。人类进入奴隶社会和封建社会后，随着铁器工具的广泛应用，水利事业也进入了开创和发展的阶段，水利技术也取得了突出的成就。

古罗马的水利建筑技术在继承古希腊、古埃及和两河流域水利建设经验的基础上，创造了闻名世界的古罗马引水道工程和完整的水利建设技术，成功地开发了运河、满足了军事和经济发展的需要。

中国的水利建设历来为统治者所重视，特别是秦统一中国后开挖的关中郑白渠，沟通长江和珠江水系的灵渠，四川的都江堰，成为中国古代水利建设史上的三大杰作。汉武帝瓠子堵口，东汉王景治河也是水利史上的重大事件。汉代的关中水利工程和宁夏、内蒙古的黄河河套引水灌溉工程，魏晋南北朝时期的江淮水利灌溉系统等，都对政治、经济、文化的发展产生了深远的影响，其技术水平也达到世界的先进水平。

1. 古罗马水利技术的形成

早在迈锡尼时代，古希腊已有了完整的城市供水系统，并最先采用了青铜管或加固木管制的虹吸管，将水引过山谷。但应用并不普遍。公元2世纪，雅典城修建了许多蓄水工程，有些直到现在还在使用。

古罗马人使城市供水系统更加完善。特别是引水道工程最为引人注目。引水道（或称水道）将城市用水从遥远的郊区引入城内。当水道跨河谷、经过沟壑，要求保持原来的水平时，便架设渡槽；经低洼地段时，则架设绵长的支拱。有的要连续架设数十里之长。罗马统治者投入大量的人力、物力，在公元前2世纪时修建了9条水道，长达90公里。如公元前144年建成了长达62公里梅西亚输水道。到1世纪时，又修建了186公里长的暗渠。公元4世纪，水道在罗马已有相当规模，仅大型输水道即有11条之多。罗马城供水的水源来自周围的河流、湖泊、泉水，主要源头均在百里之外。水先贮存在城周围的200多个水库、池塘中，然后通过输水管道从不同高度进入城中。公元109年修建的图拉真水道的最高处距地面达33米，显示了罗马人建造技术的高超水平。输水道除使用常规管道外，许多地方还采用虹吸管、隧洞与石质渡槽。砖砌渠道宽0.3至1.5米，深0.6至3米，渠顶有盖，每隔75米设通风口和检查孔。还出现了铅管、陶管。罗马人采用凡杜里型供水管（最早的设备标准件之一），将水分送至住宅、浴池、水池，水政部门根据用水量收费。

在法国南部，至今仍保留着一条罗马水道。位于尼姆斯城附近的水道渡槽，是古罗马水道建筑中最雄伟的工程。它采用石块砌成连拱。上下分3层，底层兼作桥梁，因架设在加尔德河上，法国人将它称之为“加尔德桥”。此外，建于公元前19年的现法国境内的蓬迪加尔输水道，渡槽长274米，高49米，为块石干砌拱形结构。西班牙境内的塞哥维亚输水道也是两层或3层石拱结构支撑着的水渠，至今遗迹尚存。公元前1世纪，罗马人统治下的维也纳已有了城市排水系统。他们用砖、石砌渠，断面为1.8×0.8米，有孔的石板用于渠道的进水口，使污水可排到封闭的砖砌水渠中，再流入排水明渠。

古罗马的城市供水工程所以取得巨大的成就，与罗马的工程师维特鲁威

和弗朗堤努作用是分不开的。维特鲁威在所著《建筑十书》中，多处论述了输水道的有关问题。弗朗堤努为古罗马作家，公元 70 年任城市大法官，后出任大不列颠总督，约在公元 97 年任水道司，负责罗马的水道设计、建设工作，著有军事、地质及物理方面的书籍。其中《论罗马城的供水问题》是一部具有指导意义的水利专著。

古希腊和罗马时期，也十分重视排水工程。公元前 5 世纪中叶，希腊历史学家希罗多德就对尼罗河谷的排水工程作了记载；后来罗马的瓦罗在《论农业》一书中提到了修建排水工程的规范。此后，世界上许多早期的城市都先后建设了较为完备的排水系统。

由于沿河建筑了许多突出河沿的建筑物，使台伯河河道变得狭窄且经常为废物淤塞，以致酿成水患。奥古斯都时派人疏浚并加宽了台伯河河床。另外，在罗马统治下的荷兰，4 世纪时已开始出现人工海堤。这种水利工程问世后，很快就与围海造田联系起来。从 10 世纪开始这种筑堤排水造田的技术便扩展到欧洲的其他地区和国家。

为了满足军事上的需要，罗马人曾大力开凿运河。如公元 67 年开挖了连接莱茵河与马斯河的运河，长达 37 公里，使船只避开了北海沿岸的风暴。罗马人还挖掘了连接卡姆河与乌斯河、宁河与威特姆河、威特姆河与特伦特河等数条运河，有些至今仍在发挥作用，说明当时开挖运河的技术已较为成熟。随着罗马帝国的衰亡，使运河工程在相当长的时间里处于停滞状态；直到 12 世纪，随着商业贸易的发展才得以复苏。

2. 先进的中国水利科技

秦在统一以前，关中地区已修成了郑国渠，大片土地得到灌溉，农业生产更加发达；巴蜀地区的成都平原已建成都江堰，成都平原一带遂成为“天府之国”。秦汉魏晋南北朝时期，在原有水利工程的基础上，继续大规模地兴修水利，并且在规模、技术和类型上都有重大的发展，取得了显著的成就。主要的工程有：灵渠、漕渠、龙首渠、白渠、治黄、淮河大坝、钱塘江海塘、芍陂等。

（1）汉代运河工程

秦始皇统一六国后，为进军岭南，克服五岭障碍，以解决军粮运输之需，在公元前 219 年派史禄（或称监禄，名禄，姓不详；史，监都是官称，生卒年亦不清楚）主持开凿了著名的灵渠。灵渠位于今广西兴安县，在这里，长江水系的湘江上游海洋河与珠江水系中的漓江支流灵河相距只有 1000 余米，中间却隔着高约 30 米的分水岭。但是灵渠上源始安水在这里的水位要比海洋河水位高出大约 6 米，不便在这里直接开渠沟通。于是，史禄便在海洋河上游选择了一处水位略高于始安河水位，相距又很近的位置，在那里开渠分水，引导海洋河水流入始安水。但是，从分水处沿海洋河故道进入湘江这一段坡度较大，水流较急，不便于航行，于是史禄等人又舍弃了一段海洋河和湘江故道，在分水处的北边另外修建了一条渠道，并设计成弯弯曲曲的形状，来延长渠道长度，使渠道坡度尽量降低，以便于航行。这样，既实现了沟通湘江漓水的目的，又保证了航行的安全。灵渠工程主要包括分水铧嘴、南渠、北渠、靠近北渠口和南渠口的大天平石堤和小天平石堤。南渠长 15 余公里，宽约 5 米，因选择位置适当，水流平稳，便于行船。北渠虽属续建，

但又十分必要，渠长近 3 公里，宽 10 米到数 10 米不等。用石筑成的分水铧嘴起着分流作用。大小天平石堤起着溢洪的作用，汛期洪水可以越过堤顶泄入湘江故道，减少北渠、南渠的压力。唐代以后又在渠上设置了斗门（船闸），使工程更加完善。可见，灵渠的总体布局和具体设计都非常科学，直到今天仍发挥着灌溉和航行的功能。

漕渠是在汉武帝元光年间（前 134 年到前 129 年）开凿的，它也是一个著名的航运工程。为修此渠，汉武帝先后调集了数 10 万民工分期分批地进行开挖，用了 3 年多的时间才告成功。该渠全长 100 多公里，由于距离较远，渠线的勘测便十分重要。水工齐人徐伯成功地完成了这一重任，表现出古代高超的勘测技术水平。该渠修成后，从长安可直通黄河，大大节省了航运时间，并使运输量也大大增加。另外，汉武帝还派人沿渠修筑了一些灌溉渠，使沿渠万顷农田得到了灌溉。该渠的修建，不但是水利史上的一项壮举，而且也是经济史上的一件大事。此外，为了避开三门峡天险，将南方的粮食和物资转运到长安，汉武帝曾令张邛沿古褒斜道开挖运河，企图通过汉水支流，褒水、渭水支流，经斜水来沟通汉水与渭水。但因褒、斜水的河谷过于陡峻，水流很急，水道中多礁石，而且褒水，斜水的地势太高，致使水浅不便行船，因此，没有达到预期目的地。

东汉建都在远离江河的洛阳。为了解决洛阳的供水问题以及洛水与黄河间的水运问题，公元 47 年，张纯奉命开挖渠道引洛水经洛阳，然后注入黄河。该渠被称作阳渠。这样，通过阳渠沟通都城与中原的水运交通。

鸿沟从战国开始已成为黄河、淮间的水运要道，运输能力很大。西汉时虽仍通航，但逐渐为汴渠所取代。由于黄河在王莽时改道，致使汴渠淤积严重，河运交通因此受阻。东汉初年对汴渠进行了连续整治，并在开封附近修浚仪渠，使汴渠水运重新畅通。东汉政府还派人修建了汴渠在黄河的取水口，并将土木结构改为石质结构。为了控制水量，在相距 5 公里的两地分别修建了取水口，以便相互调剂。

西汉政府对江淮间的水道进行了修整，将春秋时期开凿的邗沟向东扩展到茱萸沟，使之成为重要的盐运水道。

这一时期，江南已有了航运通道，诸郡船只可以进出长江，这可能是早期的江南运河。

可见，秦汉时期从关中经渭河、黄河、鸿沟或汴渠、邗沟、江南运河、灵渠，可以把黄河、淮河、长江、珠江等水路连为一体，初步形成了纵贯全国的航运干线和水路网络。

（2）汉代关中的水利工程

两汉时期，农田水利事业倍受重视，水利工程遍布全国各地，到了汉武帝时更是盛极一时。在关中地区，大型的水利工程就有龙首渠、白渠、六辅渠、灵转渠、成国渠、渠等。

从工程技术角度来看，龙首渠占有突出的地位。龙首渠是引用渭水支流洛河之水灌溉重泉（今陕西蒲城县东南、征南县、大荔县南部）一带农田的一条大型灌溉渠道。该渠两端都连着洛河，但因该渠要穿过长约 4 公里的商颜山（今大荔县北铁链山），给工程带来了很大困难。由于沿山脚明挖深渠极易坍塌，以至堵塞渠道，便改用穿凿隧洞的方法，并创造了井渠施工的方式。施工时，沿着渠线先打多眼竖井，以增加施工的工作面，加快施工的进度，并且保证施工的安全。这种施工方法的关键在于确定渠线和选准竖井的

位置。经过 10 多年的开凿，长达 5,000 多米的隧道完全贯通，整个渠道才得以完成。这一隧道施工技术无疑是水利史和工程史上的一项创举。由于井渠可以减少渠水的蒸发，则井渠法很快就推广到了甘肃、新疆一带的干旱地区，这种方法正是新疆独特的水利工程“坎儿井”的前身。

汉武帝元鼎 6 年（公元前 111 年），右内史倪宽主持开凿了六辅渠。六辅渠在郑国渠上游南岸（在今泾阳、三原县境内），有 6 条渠道，以灌溉郑国渠水达不到的土地。汉武帝太始 2 年（公元前 95 年），在赵中大夫白公的提议下，汉武帝派人开凿了白渠。该渠引泾水沟通漆沮水，然后注入渭水，渠全长 100 多公里，能灌溉田地 45 万亩以上，一时形成了“举垂为云、决渠为雨，且灌且喜，长我禾黍”的壮观场面，使关中地区的农业生产得到进一步发展。因该渠是在白公提议下修筑的，故名白渠。它的作用重大，其地位甚至超过了郑国渠。

灵轵渠自周至县灵轵原下起，向东北注入渭水，全长约 25 公里，灌溉农田数十万亩。成国渠自眉县引渭水向东，沟通渭水支流杜水，再向东经咸阳东北又回注入渭水，可灌农田百万亩。渠引渭水支流 水进行灌溉，全长 10 余公里，灌田上万亩；其位置在今扶凤、武功县境内。

上述这些渠道在关中地区形成了一个庞大的灌溉网，大大促进了关中地区农业生产的发展。

（3）汉长安城供水工程

汉代长安城，是一座规模很大的都城，城墙的周长达 25 公里。城北建在今西安城北 5 公里的一块高地之上，但城内水质欠佳，饮用水源不足，给城市生活带来极大不便。为解决这一问题，汉武帝元狩 3 年（公元前 120 年）在京都长安城近郊修建了昆明池。此池地处长安城西南，周长 20 公里，引泾水供宫庭园林及居民生活用水，并接济航运交通的漕渠，并形成了由水库、坝、闸、渠道和堤防等水工建筑组成的供水系统，兼具蓄、引、排的功能。从此，中国出现了较大规模的城市供水工程。隋、唐建大兴——长安城时以此为借鉴，在城市供水工程的建筑上取得了举世瞩目的成就。

（4）汉代其它地区的水利事业

秦汉时期，长江流域的水利事业开始兴盛。特别是汉水支流唐白河流域最为发达。该地区属南阳盆地，沃野千里。西汉中期已有曾规陂池水利工程，后期又有很大发展，在当时南阳太守领导下，建成水渠数十处，灌溉面积达 200 多万亩。其中六门陂（又称六门陂）最有名。该项工程在今河南邓州市西，兴建于公元前 34 年。开始只有 3 个水门，公元 5 年扩建为 6 个石水门，故称六门陂，可灌溉田地 50 万亩。该工程曾一度荒废，晋时杜预和刘宋时刘秀之又对其进行修复使用。汉水上游的汉中地区还有山河堰水利工程和陂池蓄水灌溉工程。除汉水流域外，长江流域的都江堰工程也得到扩建。赣水流域的南昌一带修建了许多塘池，下游扬州一带兴建陂湖，灌田 200 万亩。这是扬州五塘的前身。云南滇池一带在西汉末年也开始兴修水利。益州太守文齐发动人民造陂池，灌田 20 余万亩。同一时期淮河流域的水利工程也十分发达，尤以鸿隙陂最有名。鸿隙陂位于淮河与汝水之间的息县，上游连淮水，下游与淮水支流慎水相通，是一个具有相当规模的蓄水灌溉工程。成帝时被毁，东汉初年许扬带人修复，灌田逾百万亩。但到北魏时，作用明显降低。

另外，淮水与汝水之间的陂塘已达 17 处。这些灌溉工程的造式大多数和南阳地区相类似，大小陂塘与灌溉渠道相互串联，形成了一个分布广泛的灌溉网。下游一带有张禹在今邱县一带修复的蒲阳陂；王景在庐江修复的芍陂等。其中以汉武帝时的成就最为突出。

在河南汝南地区和安徽寿县地区的引淮灌溉工程，其灌溉面积已超过 500 万亩；山东西部地区的引文灌溉工程，沟渠纵横交错，灌溉面积达 100 万亩，并使这一地区的自然景观大大优化，自然灾害明显减少。在今内蒙古河套一带、甘肃河西走廊地区和山西引黄河和汾水的灌溉工程，也使黄河流域水浇田的面积空前增多。其中，宁夏平原一带的引黄灌溉，在秦代水利设施的基础上，逐渐形成完整的灌溉系统，使这一地区变为河渠纵横，田畴青翠的沃野，荒凉的宁夏平原开始成为塞外江南。至于其他地区的小型渠道和山区的蓄水陂塘，更是不胜枚举。东南沿海地区为防范海潮侵袭而修筑的海塘工程也开始出现。总之，汉武帝时兴修的水利工程确实是空前的，无论是从规模、数量，还是在技术、功效上，都是有口皆碑的。这为后世农田水利和农业生产的发展奠定了坚实的基础。

（5）汉代的治黄工程

黄河在历史上多次泛滥成灾，给人民生活和农业生产造成了极大的破坏。历代统治者都十分重示对黄河的治理。

公元前 129 年，黄河再一次在瓠子口（今河南濮阳西南）决堤，汹涌的黄河水一下子吞没了黄淮之间的大片土地，使千里沃野变成了一片汪洋，上万人流离失所，无家可归。汉武帝元封 2 年（前 109 年），朝廷调集了十几万人投入了大规模的治黄工作。经过半年多的苦战，总算堵住了决口。随后，汉武帝又派人加固了几百里的堤防，使大片黄泛区恢复了生产。

公元 69 年，东汉水利名臣王京（约公元 25—约 85 年）带领数十万民工开始治理黄河，这项工程包括修筑和加固自河南荥阳到黄河入海口山东千乘（今山东高青县北）500 多公里的黄河大堤，同时开凿汴渠（秦汉之际的鸿沟在荥阳从黄河分出到开封的一段）的新引水口，截弯取直，疏浚河道，加固堤防，兴建水门，使河汴分流，汴渠因而得治，结束了从西汉平帝（公元 1—5 年）时黄河决口造成的长达 60 多年的水害。这项工程的完成，稳定了黄河的河床，使新黄河分洪路线相对变直，成为黄河下游距海最近的一条河道，水流挟沙能力随之加强。在此后的 900 年里黄河没有发生大规模的决堤改道现象，这的确是个跨世纪的贡献。

汉代对于治黄技术理论的研究也有发展。如王莽时期，水工张戎（生卒年不详）根据实测得出黄河“一石水而六斗泥”，这一比率与近年观测数据大致相同。他主张利用水势冲刷河床，使河床不致升高太快而造成泛滥。其它有价值的观点如：分疏说、滞洪说、水力刷沙说、改道说、筑堤说，纷纷涌现，对后世治黄工作提供了重要的理论根据。

（6）汉代的钱塘江海塘

东汉前期，原有水利工程的修复和扩建及新的水利工程的出现，使水利事业再次活跃起来。如公元 42 年修复河南汝南的鸿郤陂，使灌溉面积增加 10 万亩以上；公元 83 年王景修复了荒废多年的著名水利工程芍陂等。

顺帝永和 5 年（公元 140 年），会稽郡太守马臻主持修筑江南最古老的大型蓄水灌溉工程——鉴湖，成为东汉水利工程兴盛的一大标志。鉴湖在今浙江绍兴境内。这一地区北靠钱塘江湾（即杭州湾），南邻西平山脉和化山

山脉，地势自南向北倾斜，并出现由山脉到湖泊、到平原、到大海的台阶式地貌，河流也就沿着这一地势自南向北流贯，分别注入曹娥江、浦阳江，然后入海。而曹、浦二江都是潮汐河流，在历史上由于未修海塘、江塘，钱塘大潮由此倒灌，造成这一带的严重内涝；平原北部尽成沼泽，地势较高的南部也因倒灌而排水不畅，形成许多湖泊。在枯水时，各湖分开，但在山洪或涨潮时，则连成一片，泛滥成灾，形成泽国。马臻利用这里的地势特点，沿东西方向呈一字形零散分布的湖泊的北缘，筑起了一条长约 65 公里，高约 5 米的围堤，使这些湖泊连成一片，形成了一个大型的蓄水水库。在湖的中间另筑了一道堤，将湖泊分为东湖和西湖，来互相调剂水位，以减少对堤防的压力。湖水高出堤坝下的水田 3 米多，而水田又高出海面 3 米多，形成了湖、田、海三层水位差。水少的时候泄湖灌田；水多的时候闭湖，并泄田中的水入海。这一工程的建成，使这一地区的水旱灾害有所减少，农业生产有了保障，并成为因地制宜兴修水利的典型。因其靠近钱塘江而被称为钱塘江海塘。

南北朝时期，有“沿湖开水门六十九所”的确切记载。后来，鉴湖又增加了溢洪的设施，使之成为一个由堤防、水闸系统和溢洪道等水利设施组合而成的完整的灌溉枢纽。

（7）三国时的水利事业

东汉末年到三国时期，为了使经济服务于战争，维持统治的需要，水利建设也有一定程度的发展。如曹魏推行屯田制，进而大力经营江淮一带，兴修芍陂、茹陂、七门、吴塘等；又在北方修堰筑闸，引各河之水灌田；仅在北京一带就修有戾陵堰和一系列渠道，形成了一套完整的灌溉系统。在河北南部邺城至大名府一带，修有天井堰和上百条渠道，灌溉系统十分完备，成片良田被浇灌，形成了“鸡鸣狗跳，沃野千里”的景观。此外，曹魏还开凿了一系列的运河。主要有：连接潮白河和海河的泉州渠；连接漳水和滏阳河（子牙河支流）的平虏渠；连通漳水和卫河的利漕渠；在东南地区的睢阳渠、贾侯渠、广漕渠、讨虏渠；连通淮河北侧的主要支流汴水、濉水、涡水、颍水、汝水，沟通了黄河、淮水和长江三大水系。东吴在今湖北、湖南、江西、安徽南部、江苏南部、浙江一带广泛屯田的同时，也大量兴修水利，如在江苏开凿运河破岗渚，从句容到丹阳，并可南通苏杭二州，是隋代大运河江南段的前身；在江西崇仁县一带，引巴水进行灌溉，将高处平地开辟成水田，并获得较高产量。

（8）两晋南北朝时的水利

两晋南北朝时期，江淮水系灌溉事业更加发达。西晋时开始重修芍陂，东晋末年开濬水入芍陂的旧沟，蓄水灌溉；北魏在汝南建成小弋阳陂，淮河其他支流流经地区的陂塘众多，川渠交错，互相通连，形成了一个庞大的灌溉网。

魏晋南北朝时，由于水利技术的提高长江流域的水利事业也呈为发展兴盛的景象。南京附近就先后建成了赤山塘、柏内埭、方山埭、浦里塘、姜湖等水利工程。晋代在今江苏丹阳县城北，拦截马林溪水筑练塘，方圆达 60 公里，汇集 72 条山溪之水，灌田数万亩。公元 321 年，张闾修建曲阿新丰塘（今镇江东南），灌田 8 万余亩。钱塘江流域有海塘、湖州获塘，刘宋时修建有吴兴塘，长兴西湖等工程也形成了灌溉体系。长江中游的灌溉工程也明显增多。东晋时，在南昌附近修筑了南塘堤，以调节水位。杜预在荆江开凿了运河。枝江一带则建有堰池，水利事业十分发达。当时，黄河流域也出现

了不少水利工程。北魏初，自临沃县修渠引河水东流 35 公里，灌溉北面的田地，渠的下游注入黄河；又在宁夏吴忠一带修艾山渠，渠长 60 公里，并且在黄河中修筑拦水坝，使黄河水入渠；内蒙的河套一带也有了引黄灌溉工程。在黄河中游一带重修了符秦及西魏时的旧渠，筑富平堰、六门堰；北周在同州开龙首渠等。下游丹、沁流域则形成了以沁口为枢纽的灌溉网，包括秦渠、秦沟水、朱沟水等重要水道。海河流域的水利事业也有发展。东魏、北齐时，在漳水一带出现了著名的十二堰和十二渠。西晋时重修了戾陵堰，灌田 100 万余亩。北齐时，在今涿州一带开督元陂，使本来就比较发达的水利事业更为兴旺。

这一时期，航运工程也有发展。西晋、北魏时，重新修复了洛阳一带运河。晋时，对邗沟进行了取直开通改造，从淮河边的末口直通射阳湖、白马湖、津湖、樊梁湖、广陵，到欧阳埭注入长江。东晋、宋、梁时疏凿了汴梁水道。北魏重修了蔡水渠道等。在东吴时开凿的破岗渎一度被废弃，梁代时在其南面修建了上容渎，连接句容水和秦淮河。陈朝时又重新修复了破岗渎。西晋杜预为避免荆江与汉江下游河道的迂远和风险，开凿了南通江陵，东到巴陵的运河。

南北朝时期，北魏太武帝拓跋 太平真君五年（公元 444 年），在今宁夏平原上修复引黄灌溉渠道 40 余公里，并新开灌渠 20 余公里，使灌溉面积猛增近 500 万亩。南方的刘宋政权进一步修复了能灌溉良田百万亩的芍陂。尤其值得一提的是公元 514 至 516 年间，梁朝曾在安徽浮山附近的淮河上修筑了世界上第一座拦河大坝。当时修筑大坝完全出于军事目的，梁企图用淮河水淹没上游的北魏城市。据载，该坝南岸起浮山，北岸至巉岩山，“长九里，下润一百四十丈，上广四十五丈，高二十丈，深十九丈五尺”。即坝长约 4050 米，下宽 350 米，上宽 112.5 米，大坝自坝基至坝顶为 98.75 米。大坝应用了铁件贯串石块的建筑材料和技术。整个工程十分浩大，前后花去 2 年时间，修了两次才完成。该坝 3 年后就崩溃了，给当地人民带来很大的灾难。但大坝的建设，显示了中国古代人民已经掌握和解决了合龙、截流等一系列水利工程的技术问题。

（9）水利史研究与成就

随着中国古代水利活动和水利事业的发展，秦汉、魏晋时期的史学家们分外关注水利的发展历史和规律。处在同一时期的古希腊和罗马遗留下来的有关水利的记载为数不多，且散见于一般的历史著作中，缺乏系统性。南亚次大陆的水利记载更少，而中国却出现了《史记·河渠书》和《汉书·沟洫志》、《水经注》等水利通史和专著，为世界水利史留下了宝贵的遗产。

《史记·河渠书》是中国第一部水利通史。为西汉太史令、史学家司马迁（公元前 135—前 93 年？）著。太初元年（公元前 104 年）司马迁开始撰写《史记》，全书内容起自黄帝，止于汉武帝，记事达 3 千余年，共有 130 篇。《河渠书》是其中一个专篇。记述大禹治水到汉元封 2 年（公元前 109 年）汉武帝黄河瓠子堵口这一历史时期内的一系列防洪治河，开渠通航，引水灌溉的重要史实。涉及到黄淮河、长江、济、漳、淄水等流域。司马迁还亲自考查全国各地的水系和水利工程，对水和水利建设具有独特的见解。他指出：“甚哉，水之为利害也！”反映了他对水的利与害的辩证认识，告诫人们对水利问题务必十分重视。《河渠书》中还拓宽了“水利”的内含和外延。将战国末期所讲的“取水利”即捕鱼之利，发展为包括治河、修渠通航，

引水灌溉等工程技术的专业性质，从而首次赋予水利一词以全新的概念。这无疑是水利学上的一个重要贡献，《河渠书》也成为后代史学家撰写水利专著范例。成为水利史学的奠基石。

东汉建初 8 年（约公元 83 年）前，东汉史学家班固（公元 32—92 年）撰写《汉书》，专门辟《沟洫志》专篇，中国第二部水利史专著问世。全书可划分 29 段，其中 1 至 12 段记述从禹治水至汉太初元年（公元前 104 年）的水利发展史实；13 至 28 段记述的是汉元鼎 6 年至元始 4 年（公元前 111—公元 4 年）的水利史实，涉及 56 件重大的水利事件。如按工程技术进行分类，包括防洪 34 件，航运 4 件，灌溉 13 件，航运兼灌溉 5 件，涉及黄河、长江、淮河、济水、漳水等流域，并以详记水利工程的规划、方略以及具体治水意见为著称。诸如冯逸等人的黄河两道分流、郭昌的黄河下游截弯取直、王延世的诸口、贾让的治河三策、张戎的论黄河泥沙，关并的论水猥滞洪等最为引人注目。反映了近 2 千年防洪治水工程技术的不断发展的历史，是一部难得的具有承前启后作用的水利发展史和水利工程经验的著作。

北魏时成书的《水经注》，是一部中国河道水系和水利应用的学术巨著；该书由北魏郦道元于孝昌 5 年（约公元 524 年）前后成书。它在约成书于三国初期（公元 220—232 年）《水经》一书的基础上（该书已失传），经郦氏研究、修订、增补并在多方面提出了新的见解而后著成，比之原书有着众多方面的重大发展。如，在字数上原《水经》只有 7000 余字，郦注达 30 余万字；在范围上，《水经》仅记述了黄、淮、海、江等水系，而郦注则扩展为南到南中国海，东北至鸭绿江的广大水系并涉及到黑海地区，伊朗、印度等国家；从数量上说《水经》记述了天下 137 条水道，《水经注》扩展到 1252 条，现存的郦注本实载水道多达 5000 多条；在内容上，《水经》仅记水道源流，而郦注则究其源流，叙其干流支流，系统分明，并详细地记述了水利工程和水流动态。《水经注》创造性地发展了《水经》，不愧为中国和世界古代水利史上一部杰出的水利学巨著。

3. 南亚、东亚和美洲各国的水利建设

印度河流域的水利工程发展极早，一向发达。在公元前 2500 年左右时，已有引洪淤灌，但文字记载很少。公元前 3 世纪左右，印度河流域的北方地区已建成亚穆纳水渠；南部则建有高韦里河三角洲灌区。公元 200 年左右，出现了众多大小不一的石堰工程，创造出大量的旱涝保收田。虽然史料缺少水利工程方面的记载，但从古印度婆罗门经典《吠陀》和有关文学作品中，还可找到许多有关水利设施管理方面的资料。如公元前 300 年前后，印度政府曾作如下规定：“一般情况下，从建有水坝的河流、湖泊中用水，要支付生产收入的四分之一作为国家的税收。”“河流中的水生动物、水渠和水坝受到保护”。“如果个人的水坝失于管理长达 5 年，其管理权则由国家接管。如果公共捐款建造水坝，则 5 年内免税，如系修理旧坝，则免税 4 年”。这些规定，一方面反映出统治者对水利建设的重视；另一方面也说明当时印度的水利建设具有相当的规模和一定的技术水平。公元 19 世纪时，改建了古印度的高韦里河三角洲渠系上的古大阿尼卡特坝，可灌田 44 万公顷。这与早期的建设基础是分不开的。

斯里兰卡从公元前 5 世纪就开始发展灌溉，特别是 2 到 10 世纪，其中部

干旱地区修建了大大小小的蓄水池达 1500 多座，形成了庞大的由众多水库、塘堰、渠沟相结合的灌溉网。有些水库的规模较大，如建于公元 3 世纪的明内里耶水库，周长达 32 公里，兼具防洪和灌溉的双重功能。

日本在公元前 6 世纪已有水利记载，而农业水利灌溉是在徐福东渡后才得以发展的。在古室町地区出现了较为完整的灌溉系统，后逐渐扩展至本州全境及邻岛。

美洲的灌溉事业发展较晚，但在公元前皮斯科河谷也有了灌溉工程。公元 1 至 6 世纪，水利事业获得长足发展，形成了印加人的安斯科灌区，玛雅人的尤卡坦灌区和阿斯特克人的特诺奇蒂特兰灌区，并成为美洲文明的发源地。

七、世界古代后期的医学

医学是各国人民在生产、生活以及同疾病的斗争中不断地总结经验而发展起来的。在亚历山大时期，西方医学家黑罗非拉斯等在人体解剖学、生理学、外科、妇科学等方面取得了突出的成就，建立起许多医学理论。

罗马时期，阿斯克来皮亚得对病理学的研究独树一帜，而塞米松将方法论推向高峰；塞尔萨斯对医学史进行了系统研究，他不仅继承了希腊时期的外科学成就，而且以首创拉丁文医学术语而著称于世；盖伦以自己的成就，将古罗马医学推向了高峰，并成为欧洲古代最后的一位医学大师。

古代后期，印度医学已摆脱了婆罗门祭祀万能主义的思想，并出现了系统总结古印度医学经验的《阇罗迦医录》和《隆鲁陀医录》两大名著，形成了完整的医学体系。

世界古代后期的中国医学成就辉煌。先秦和秦汉时期，《黄帝内经》、《神农本草经》、《伤寒病论》等医学著作相继问世，建立了完整的、独特的中国传统医学体系。到了汉代，涌现出了“外科之祖”华佗，“医圣”张仲景。魏晋时，大批名医纷纷著书立说，如王叔和著《脉经》、皇甫谧写《针灸甲乙经》、葛洪撰《时后备急方》、陶弘景著《本草经集注》、雷学友写《雷公炮炙论》、龚庆宣编《刘涓子鬼遗方》、陈延之撰《小品方》等，极大地丰富了临症学的宝库，发展了中国传统医学理论，为隋唐中医学的兴盛和发展奠定了基础。

1. 古希腊罗马的医学成就

(1) 黑罗非拉斯在解剖学上的贡献

黑罗非拉斯是亚历山大时期第一位有名的医生，约生活在公元前300年左右，是普拉克萨哥拉斯和克顿西巴斯的学生。他第一次系统地研究了脑和脊髓解剖，并将神经和血管；大脑和小脑区分开来。经过研究，他确认神经传导感觉至神经中枢，并掌管动作，脑是神经系统的中心器官和智慧的所在。他通过解剖尸体，了解了人体腹部器官和女性生殖器官，并区分出了淋巴管。他还分析了呼吸现象，并试图解释循环的问题。这些医学成就使他成为希腊化时代最早而且是最杰出的解剖学家。为人类解剖学的发展奠定了基础。另外，他还用水钟（铜壶滴漏法）数脉搏，分析脉的舒张和收缩情况，确认脉的搏动发生于血管内，这使他成为西方脉学的创始人；他还是一位临床医学家，在大量的医学临床实践中对人体的生理结构，有了更深的了解，他给十二指肠命名，至今仍然应用。

(2) 埃拉锡斯特拉特开创生理学

埃拉锡斯特拉特约生活于公元前310—前250年，是古希腊奈达斯学派的门徒；著名的解剖学家、生理学家和病理学家。在病理思想上，他遵从该派学说，否认液体学说，认为疾病的来源最重要的是组织和血管，血液提供给身体营养，灵气是生命的必需品。他第一次采用病理解剖，用解剖学的观点来研究寻找胸膜炎和心包炎的致因。认识到腹水和肝硬变间有一定的内在关系；脑是心理功能的中心；器官多血最容易造成疾病。他认为每种器官都有静脉、动脉和神经3种脉管，进入肺内的空气也进入心脏，并在心脏内形成“生命灵气”，由动脉送至全身各部位，而生命灵气在脑中转变为动物灵

气，并由神经传至全身。他仔细研究了动脉、静脉的功能，认为三尖瓣能阻止生命灵气离开心脏，并使它只通过主动脉离开心脏。他还从相反的角度提出了近似血液循环论的观点。埃拉锡斯特拉特的医学理论和成就，使他成为西方生理学的创始人。

（3）经验主义学派

公元前 270—前 220 年间，亚里山大里亚兴起形成了具有重要意义的学派——经验主义学派。其影响很快超过埃拉西斯特学派。该派认为教条和学说对于医学没有价值，医学不必是一种科学，应是一种完全建筑在经验基础上的技术，并把自己的学说建立在古希腊科斯医学派的杰出代表、西方医学奠基人希波克拉底（约公元前 460—前 377 年）的经验医学基础之上，故被称为经验主义学派。该派尊希波克拉底为师，并将个人的观察，别人的传统观察、传统观察的类似物视为一切经验的基础。

赫拉克利德是该派的杰出代表。他生活于公元前 2 世纪，是一位著名的外科医生。他一生最大的贡献是对希波克拉底的许多著作作过注释，使经验主义学派获得了高度的发展。他是当时一流的药理学家，最早强调慎重使用鸦片。他一生著作颇丰，但十分可惜的是多已失传。留传于世的极少。

经验主义学派十分重视药物学的研究。该派的克拉尤阿斯在药物学研究方面成就最为突出，克拉尤阿斯是蓬塔斯的国王 米斯德蒂斯六世的御医，曾帮助米斯利德蒂斯六世制造毒药。据记载，克拉尤阿斯是最早反复使用毒药的人，他从小剂量开始，逐渐增大剂量，试图使机体免疫。他还撰写了许多重要的著作，特别是关于毒药和解毒药的应用方面，为人类医学的发展作出了贡献。

另外，该学派在外科和妇科方面也都积累了相当的知识 and 经验；在应用绷带、正复脱臼、疝、白内障和膀胱结石手术方面颇有研究。为西方医学的发展提供了宝贵的经验。

（4）阿斯克来皮亚得对病理学的研究

阿斯克来皮亚得，公元前 124 年生于比西尼阿的普鲁萨，曾学习过修辞学、哲学并在亚历山大里亚医学校学习过医学。公元前 1 世纪初，来到罗马，并成为西塞罗·格拉苏和安东尼的朋友，曾被罗马国王请到宫中，受到高级别的欢迎，成为当时罗马的著名医学家，他使医学在罗马的社会地位获得了显著的提高。他在原子学说的进展上和对希波克拉底学说的解释上起过重大作用。他提出的微子学说与伊壁鸠鲁的原子学说联系紧密，并构成了他的病理思想的基础。他认为微子是由一个原子向另一个原子不断移动而结合在一起的，并借着小管或小毛孔而完成的。原子就在这种小管道或小孔中不断地移动着，这些原子是可分的、无限的。正是由于原子的移动和再分裂才构成一切的机体。原子移动产生热和冷的现象，大气中的原子借着呼吸而进入身体，空气和血液一起被心脏驱至全身。健康不是别的，而是原子在毛孔中的正常活动，而灵魂原子的活动中包含着灵气。在此基础上，他正确地描述了疟疾，清晰地区别了急性病和慢性病，并对某些疾病的节律性病程作了记述。但是，他否认转变期的学说；否认自然的活愈力，更反对希波克拉底在这方面的论述。然而他却利用机械论和实体论的卫生学饮食疗法进行治疗。他的治疗学大都包括禁食、禁肉食、饮食治疗、骑马、散步、按摩、水疗等。他以“迅速、安全、愉快”为治疗原则，很少用药，并避免使用当时所习用的峻下剂。他对精神病也颇有研究，能将幻想和幻觉区别开来，当时，他一

改过去传统的暗疗法，创造了白日治疗法，因为黑暗会使人幻觉加剧，不利于病的治愈。他还是第一个提到气管切开术的医生。他的著述也较多，但流传到现代的却很少，几乎没有一本是完整的，在塞尔萨斯·盖仑和其他作家的引证中可以看到他的著作的残迹。他有很多著名的弟子，如塞米松、克赖西巴斯、安托尼阿斯·穆萨等。他的医学理论对后世也产生很大的影响，这使他获得了“医生之王”的美誉。

（5）方法论学派的贡献

方法论学派是继阿斯克来皮亚得学派之后产生的。这一学派的创始人就是阿斯克来皮亚得的得意弟子塞米松。塞米松虽然接受了阿斯克来皮亚得的原子病理学说，但他的整个理论体系更倾向于把医学越来越拘限于死板的学说中。他认为疾病可分为两种基本形式，即紧张状态和松弛状态，这两种状态都是由于毛孔的不正常收缩所致，太紧了便造成紧张，扩张得太大了便形成松弛。因此，治疗是在注意疾病的急性状态或是慢性状态的同时，去使毛孔恢复到正常状态。为此，他把药物分成抗紧张和抗松弛的两大类。这种治疗方法适于紧急操作的简易治疗，并宜于作浅易的解释，由于概念简单，所以深受人民的欢迎。后来他又提出优势状态，这一状态就是指紧张和松弛二种状态并存，只是有一种占优势，并将外科病置于这个体系中。总之，这一学派在治疗上并没有忽视饮食和气候的重要性，但他们总是用他们的理论去解释他们的成就。

方法论学派在罗马帝国时期达到了极盛，涌现出普罗克鲁、戴俄尼喜阿斯、安提巴特尔、维蒂阿斯·尼伦斯、朱里安等众多著名医生，并深受世人的欢迎和重视。

方法论学派中最著名的是小亚细亚西部以弗所地方的索兰纳斯。索兰纳斯最初在亚历山大里亚行医，后来在图拉真和哈德良时期到罗马行医。他根据自己的医疗实践，写了许多关于妇科病的著作，这些著作是专为产妇们所写，在妇产科医学史上具有特殊的价值，对随后的数世纪的产科医学有着直接的影响。因而他被称之为“方法论学派之王”，而且也是妇科和产科的创始人。他虽然对女性生殖系统仍模糊不清，但他懂得了子宫位置的各种变化，以及绒毛叶的存在，并认为性交和月经时子宫是开着的，但并未认识到处女膜的存在。他建议用棉、油膏或脂油堵塞子宫口以防止受孕，反对用机械方法实行流产。他指出了胎儿成熟的象征，建议在断脐带之前用复扎法扎结脐带。他最早用油给新生儿洗眼，并制定了婴儿断乳的规则，认为婴儿不到第3日不应哺乳，在头两天只应给予煮沸过的蜂蜜。他对哺乳、断乳、饮食、沐浴、牙齿的护理以及婴儿腹泻等疾病的治疗等都有较深的研究，并进行了详细的论述。他还最早试图进行鉴别诊断，对生产障碍有早期指征者，则在分娩前采取保护会阴和用导管将膀胱中尿液排空的措施。他对子宫后倾有正确的描述，认为只有在急症时才实行胎儿截除术。总之，他的学说是建立在解剖学的研究、对疾病的正确观察、对饮食的简要指示和手术方法的基础上的。因而在妇产科医学的发展中起到了巨大的作用，获得了广泛的重视。他的学说，明显地超过了亚历山大学派的理论。他一生写过的许多医著，被医学界广为转抄、摘引，5世纪时被大量地译成拉丁文，在西方影响很大。

在公元前1世纪时，除了医学家们对医学的发展作出了贡献之外；一些非医学家们也十分重视医疗卫生事业的发展。帝国时期（公元1世纪）古罗马建筑师、学者维特拉维阿斯在他写的《论建筑》一书中讨论了卫生法规的

重要性，并强调住房需要有卫生设施。他提到接触铅的工人的疾病；推测甲状腺肿是由水所致。百科全书家瓦罗（公元前 117—前 27 年）在《论农业》一书中提出了建筑房屋的一系列卫生规则，特别是关于通风和病的隔离问题，并预言：“可能在沼泽地带生长有用肉眼观察不到的小动物，它们经过人的咀和鼻子进入身体而导致严重病患”。与瓦罗同时期的诗人、哲学家卢克莱修（前 95—前 55 年）在他的名著《物性论》中论述了生命的奥秘，涉及到解剖学、生理学、饮食学、卫生学及气候对人的影响等内容，并记载了雅典的鼠疫事件。这些非医学家的记述从建筑、环境与人体卫生的关系及对通风、隔离等卫生法规的制定，阐明了相当明确的观点，对当时促进公共卫生事业的发展产生了一定的影响。

（6）拉丁文医学家塞尔萨斯

塞尔萨斯（又译塞尔苏斯）出身于罗马科涅利贵族家庭，生活于公元 1 世纪的提比略时期，是位最伟大的拉丁文医学作家。他的学识丰富，对农业、军事、修辞学、哲学、法律都颇有研究。公元 25—35 年间，他写成《论医学》一书，在当时影响并不大，到文艺复兴时代则被广泛流传。他一生最大的贡献就是对医学史进行了系统的研究，保存了希腊时期和亚历山大城外科学的材料，创造了拉丁术语。

他根据对疾病的不同治疗法将自己的著述分为 3 部分，即饮食、药物和外科。他既反对经验主义企图用药物治疗一切疾病的观点，又反对阿斯克来皮亚得学派用饮食和锻炼治疗一切疾病的做法。主张用饮食、药物和外科三者的结合进行治疗。

著作中的第一类是把用饮食治疗有效的疾病归纳在一起，分为序论（讨论一般有效的饮食）、论一般疾病和论局部疾病三部分。第二类是关于药物治疗的疾病，分序论（讨论各种药）和及时治疗的疾病（即有急性或慢性表现的病、具有意外或外伤表现的病以及有外部现象的病）。第三类论述外科病，并把骨病和器官病进一步区分开。他的书实用性强，很受欢迎，被看作是最重要的医典。

塞尔萨斯解剖过尸体，正确描写了头颅的构造，他知道耳朵的半环形管，了解了动脉和静脉的区别，反对希波克拉底学派动脉合气理论。他的生理学知识完全来自亚历山大里亚城的医生，病理思想和病源学则完全遵循希波克拉底观点，他注意到季节、天气、病人的年龄和体质的影响。他认为、热、汗、唾液、疲倦的感觉是恶病的予兆，对体重的骤增和骤减已有一定的看法。他还认为口中流血而不伴有发热、发疼或胸疼是由鼻或食管裂伤引起，浓尿并伴有白色尿沉淀是关节疼的前兆；血尿、小便淋漓、耻骨区疼是膀胱感染；肾区域疼痛多尿、呕吐、尿色灰白且呈水样（但可有泡沫或血或尿砂）是肾中有病；痰中带血是肺中有病。他十分重视发热病（即疟疾），将它分为日发、间日发、三日发 3 种，对每种的分类，特点作了正确而详细地论述。他将精神错乱归于普通病，分为谵妄（伴有惊厥）和妄想狂（侵扰智力和脑的情感部分）两种。他认为嗜眼症是不可控制的，并持续发展很快死亡。他对痨病（结核病及其它衰弱病）作了详细的记述，认为治疗此病，初时就要小心，主张水土疗法，如到海外旅行、轻微运动、温水浴等，并将松节油和蜂蜜作有效药用于治疗。他主张用严格的饮食、禁酒、局部诱导来治疗癫痫病。他对头痛症状特别注意，认为此病多源，主张用饮食、放血、芥末膏、按摩等治疗。他主张用化血治咽喉炎，用放血、泻剂、冷敷、吐剂、利尿剂

等治疗气喘和呼吸困难。用放血、吃易化食物、常换敷布，经常保持室内空气清洁法治疗肺炎；用轻泻剂、割开法治疗急性肝病；用利尿剂、热水浴、严禁多吃盐和刺激性食物的方法治疗肾病；用按摩、沐浴、药物并慎重安排饮食等方法来治疗胃部疾病；用禁食、收敛性食物和药物治急性腹泻。他继承了波克拉底的饮食和卫生说，并把它作为治疗法的基础。他推荐轻微运动，经常旅行，乡居、节制性交和节饮、禁剧烈运动、避免饮食和生活方式的突然改变，注意气候的骤冷、骤热变化，并认为每天一餐，经常泻下，少睡觉，用盐水洗澡、运动和按摩可以减轻体重。他认为饮食疗法相当重要，并对各种食物的医理功能进行了区分。他还第一次适当规定了水疗的适应症。在药物学方面，他将所知药物按功效进行了分类，分有麻醉、呕吐、发汗等类。如将鸦片、莨菪碱、欧伤牛草根等归于麻醉类，并认识到欧伤牛羊草根药力更大，并曾用它来扩张瞳孔，以治疗眼病。他对生殖器官的疾病，也作过了论述。对于骨折的处治，已掌握了一套有效的方法。对于出血，发炎现象归纳为红、肿、热、痛 4 种类型，并在伤损后的并发症、各种坏疽、溃疡、脓肿、头部伤损、动物咬伤等方面积累了相当的治疗经验。在眼科方面他总结了早期的眼科知识，在整形外科方面，主张用邻近部位的皮肤进行修复。另外，他对当时所用的医疗器械也进行了相当详细地记载。这些医学成就表明塞尔萨斯无疑是古罗马医学史上最具有才干的人。

普林尼是一位与塞尔萨斯齐名的医学家。他生于意大利北部的诺岛姆 科姆，是当时罗马最有名的博物学家。他在其巨著《自然史》中旁征博引，吸收了几百名希腊和罗马作者著述的 2000 本古籍中的大量事实和观察结果，使之包括了从宇宙理论；天文学到地理学、生物学、医药学、艺术以及人类的技艺技术。在这部共有 37 卷的罗马时期的百科全书中，第 20 卷至 32 卷介绍了植物在医学上的应用；系统地对动物世界进行了描述，认为所有动物都是为了人类而产生的。他还叙述了动物在医学上的应用，讨论了矿物质在药物方面应用的情况。这些大量的、宝贵的、有关生理学和病理学、药物学的完整资料和总结，对研究欧洲医学科学技术发展史具有重要的价值。

（7）医学灵气派和折衷学派与名医

公元 1 世纪，是罗马帝国医学繁荣的时代。卢法斯、阿勒特斯和戴俄斯科利提斯是此时最有代表性的医学家，并形成了不少学派，其中以灵气学派和折衷主义学派最有影响。

灵气学派在 1 世纪前半叶盛行于罗马。该派以灵气理论为基础，故称灵气学派。该派认为，当灵气以及灵气所保持的紧张力处于完善的状态时，人们就保持着完善的健康；元素的恶病质引起灵气状态不正常时，人体就生疾病。这种认识显然来自希波克拉底的液体学说。该派重脉理、饮食和物理疗法，代表人物是阿锡尼阿斯、阿加蒂纳斯、阿波罗尼阿斯、希利俄多拉斯等。折衷主义学派是与灵气学派相反的学派，主张选择各派所长。各医学派别的产生在客观上起到了促进医学发展的作用。

公元 1 世纪的著名医生之一是卢法斯（公元 68—117 年），他曾写了有关解剖学和脉搏的文章，认为人肝有 5 叶，知道用压迫法、止血剂、烙器、扭转以及缚线控制出血，并对腺鼠疫、外伤性丹毒作了论述。

阿勒特斯也是当时的著名医生，著有《急性和慢性疾病的原因和症相》、《论急性和慢性疾病的治疗》两部书，每书都有 4 册，书中对于疾病的描述，尤其是对胸膜炎的描述相当成功，他在对大脑性麻痹研究中，认识到大脑损

害所引起的麻痹为交叉的，与脊髓损害的情况不同，他使用的疗法多是饮食疗法和物理疗法。他的这些努力使医学重新走上重观察、临床研究的道路上来。

戴俄斯科利提斯（又译为狄奥斯柯里底斯）是著名药学家，曾任罗马皇帝尼禄的军医。公元1世纪撰成《医药全书》又称《药剂学》共5卷，收集记载了600多种植物，近1000种药物，并附有调制方法，书中所列的一些药物是以前不曾提到的，如醋酸铅、氢氧化钙、氧化铜等，后来又增加了第六卷《论消毒》，对毒药和解毒药作了记述。《药剂学》集古代希腊药物学和应用植物学之大成，是一部自柏拉图时期到尼禄皇帝时期药草知识的汇编。影响后世长达1000多年，为后世的药物和植物学的研究发展奠定了良好的基础。

（8）盖伦的医学学说及其贡献

盖伦是古罗马最著名的医生，自然科学家，也是古代欧洲最后的一位医学大师。对其生卒时间说法不一，有说公元138至201年，一说129至199年，多数认为生于131年，卒于200年。生于小亚细亚的佩尔加蒙，年轻时学过哲学，随后致力于医学研究，他游历了亚历山大里亚等地，研究临床医学、药理学、解剖学等。157年回到佩尔加蒙，公元162年在罗马开诊所，公元168年被招为皇帝的御医，同时还致力于医学研究和著述。他一生著述达400余种，现存100余部，其中医学专著131部，有83部流传至今。最重要的医学专著有《论理想的医生》、《论理想的哲学》、《论希波克拉底的元质》、《论解剖标本》、《论静脉和动脉之解剖》、《论肌肉的活动》、《论希波克拉底和柏拉图的教谕》、《论病的部位》、《论人体各部位之功用》、《论医术》、《论治疗的方法》等。

盖伦的著作是古代希腊、罗马医学史上的顶峰。一方面他对过去医学成就作了总结；另一方面，他继承了希波克拉底的体液说和埃拉西斯特拉塔的生理学说，并以亚里增甘关于灵魂的自然哲学思想为基础，结合自己在解剖医学实践中的一系列重大发现，建立了一套完整的医学体系。该体系认为：一切事物都有它的目的，自然是以完整的智慧运行着，不做无用之事，器官是相应于它的功用而构成的，而机体的每一部分都与一种预先固定好的目的相配合的。他很自信地列出了一切疾病的来源，并提出了治疗方法。

从盖伦的著作和整个医学体系中看出，他在动物解剖学方面有很深的研究，并把动物解剖的研究成果，转移到人体解剖上来。他认为灵气是生命的要素，共3种，动物灵气是感觉和动作中心，位于脑；生命灵气是血液循环的中心、热的调节中心，在心内与血液混合；自然灵气从肝转到血液中，是营养和新陈代谢的中心，而身体不过是灵魂的工具。他认为两心室的交通是通过看不见的小孔进行的。他最先在动物身上制造脑损害，并把脑叶、脑干的损害与小脑的伤害区别开来，他认出了12对脑神经中的7对，并区别了脑运动神经和感觉神经。他是实验生理学的奠基人，也可以说是心博肌原性学说的最早代表。他曾经在无神经感觉的心脏上作过实验，知道动脉包含血液，并且最早用实验证明动脉搏动。他认为血液的流动是一退一进，动脉血把心内的“生命灵气”送去。静脉血把肝内的“自然灵气”送出，“动物灵气”则通过空的神经从脑内送出。他通过试验，发现当切断头神经使神经中枢和心脏间联系中断时，心脏就停止跳动；而对大脑半球的损害，只要不伤及脑室，感觉依然健全；如结扎喉返神经时人哑，切断第五头神经时人的胸大肌

等麻痹，但其它功能仍在；这说明神经出自脑而不是心脏。他由此认为每一功能的变化都与一个器官损害相关，而器官的每一损害结果都会使功能改变。并根据这一原则去描述各种疾病的症状。进而把疾病分为两大类，即简单的或初级的疾病和器官的疾病。并将疾病的原因归为刺激因素和并发等。他支持发炎的消化学说，认为发热有暂时性、腐败性、消耗性3种。稽留热在血中、间日热在黄胆中，四日热在黑胆中，每日热在粘液中，发炎也是如此。他认为当空气由胸廓的伤口出来时，表示肺部被刺穿。他根据尿的状态，正确区别了膀胱和肾的溃疡，并最先结扎双侧尿管。他根据脓的性状区别化脓性感染和简单的化脓。还区别了外伤性动脉瘤和棱形动脉瘤，认识到痨病能传染。他还对许多其它的疾病进行了概念性的论述。他主张相反的疗法，如用热法去治疗因冷所致的病，用放血法治疗多血病。治疗方法主要包括饮食和药物，并主张采用多种方式。如对痨病采用运动、按摩和气功疗法；对体质弱和恢复期的病人采用剧烈运动法。他还认为峻下药只能在病初起或末期应用，有并发症则须改变疗法。他相当重视放血疗法，认为放血可引诱导和转变作用。在药物学方面使用了一些特效药，如用司格蒙旋花治黄疸，洋茛菪和芹菜治肾病，胡椒治间日疟和三日疟等。在外科方面创造性地采用肋骨截除术和胸骨截除术治脓胸等。总之，盖伦的医学体系是以形态学为基础的，发展了希波克拉底的局部病理学。

盖伦认为人体的一切机能和构造都是有意识有目的安排的，是唯一合理。由于的灵气学说与基督教义基本相符合，因此受到教会的支持和利用，被神学家作为论证上帝有目的地造人的证据，统治欧洲达千年之久。但是盖伦在解剖学方面的伟大成就，不仅在欧洲，而且在世界上也是空前的，因为他最早奠定实验生理学基础，所以被称实验生理学之父。他还是最早认真研究解剖的学者，为世界解剖生理学的发展做出了杰出的贡献。

帝国时期不仅涌现了众多的名医，形成了诸多的医学理论和流派，同时重视公共卫生的传统也得到广泛地继承和发展。帝国时期在城市基建中就已十分重视公共卫生建设，为此，帝国政府还制定了卫生法规。例如，阿基拉法规定对医生进行监督，利尼利阿法规定医生对失职要负责任，得森维尔法规定十月怀胎，视十一月产婴为不合法。可以看出，立法官把对公共卫生的管理看作是他们最重要的职责，当时还十分注意城市的供水卫生，建立了完整的排水系统，控制了城市的水源和浴池，以保持生活用水的清洁。地方官负责街道清洁工作和管理公共厕所，还控制着食物的供应，监督市场和上市商品卫生，禁止售卖腐烂变质的食品。随着医生社会地位的不断提高，公共医学教育开始兴起，进而又大大地促进了医生社会地位的提高。使其形成一个阶层，并受到了法律的保护。帝国时期，由于战争的需要，军事医学也得到了发展，促使军医机构的产生，在军队内部开设收容伤病者的军医院。罗马城的基督教信徒法比奥拉夫人自费设立了称为“Nosocomium”的机构，收容病人进行护理。此后，“医院”逐渐得到发展，开始遍布全国。

但是随着帝国的衰落，基督教教条医学的兴起，使真正的医学开始走下坡路了，虽然也出现了许多有名的医生和著作，如奥利巴锡阿斯(325—403)著《论医药》；昆塔斯·塞伦纳斯著《药书》；文迪西安纳斯·亚菲尔著《经验方》；普利锡安纳斯著《医药书》；奥里利安纳斯·锡利阿斯著《急性和慢性病》。但是当时的这些医生只限于实践经验的积累，满足于评论或注释古典的著述，这无疑使医学无法继续创新而走向衰落。

2. 古代后期的印度医学

印度传统医学的最早形态见于《阿达婆吠陀》中。该书是约于公元前 800 年左右开始形成的。并以祈祷和咒语为中心，但在疾病和药物方面已达到相当的知识水平。公元前 5 世纪（一说公元前 1 世纪或早些时候）出现的《阿优尔吠陀》（又译作《寿命吠陀》）充满了摆脱婆罗门祭祀万能主义的自由思想，标志着印度医学体系的形成。公元 2 至 3 世纪，印度出现了《阇罗迦医录》（又译作《迦罗本集》）和《萨鲁陀医录》（又译作《妙闻集》）两大著名医著。这两部书与其说是阇罗迦和萨鲁陀的个人著作，不如说是古印度几个世纪医疗经验向体系化发展的尝试性总结，再把传说中的名医姓名冠于书名而已。阇罗迦活跃于西印度北部，以内科疗法为主，萨鲁陀活跃在贝拿勒斯一带，以外科见长，但两大医著却没有显著的差别，公元 7 世纪时，著名医学家瓦葛巴陀对这两部医书进行了整理，使印度医学体系更加完整。

（1）《阿优尔吠陀》

《阿优尔吠陀》是古印度最早的一部医学著作，直译为《长寿的知识》或《寿命吠陀》。通常认为成书于公元前 1 世纪或早些时候。该书共分 8 科，即除掉身体异物的摘除科；对外部器官如眼、鼻等疾患治疗的利器科；治疗普通内科疾病的身病科；治疗精神失常的鬼病科；治疗儿童疾病的看童科；致力于解毒方法研究应用的麻醉药科；包括研究炼金术在内的长生不老方法的长寿药科和强精药科；记载了各种疾病的治疗方法及所采用的药物。该书认为躯干、体液、胆汁、气和体腔是人体的五大要素，与自然界中的地、水、火、风、空五大元素相对立，躯干和体腔是比较稳定的因素，其余三者是比较活泼的因素，由于气候和心理上的原因，使这三者失调，人就生病了。也就是说疾病由风、火、水三要素的平衡遭到破坏而引起的。而治疗则是帮助身体恢复这一平衡。书中还把疾病按这三要素分类，并且将一切食物、药品、疗法、养生法也都按能使某一要素增加或减少的观点加以分类。这些论述和观点为形成古印度医学理论奠定了基础。

（2）《萨鲁陀医录》

《萨鲁陀医录》又称《妙闻集》是印度医学的基本文献，该书是由印度最有名的医生妙闻所著，妙闻约生活于纪元的前一些时候，而《妙闻集》在公元 10 世纪时被人修定过，掺进了后人的一些医学成果，因此内容更加广泛。尤其是其中的解剖和外科部分作用更大、更为重要。

在解剖学方面，该书记载，人身有骨 300，腱 90，关节 210，肌肉 500，血管 70，体液 3 种，分泌物 3 种，感觉器官 9 种。而且认为血管内含气，血管和神经都起自脐部。解剖时，医师要亲自详细检查尸体的每个脏器。由于宗教的原因，古印度禁止用刀子解剖人体，于是医生们只能把尸体浸泡在水中，然后用手撕裂，进行观察。在《妙闻集》里记载了这种解剖法的知识，即先将尸体放入囊中，在河里浸泡 7 天，待其腐烂后再分解，使软组织自行脱落，露出内脏，该书还论述了生理学、病理学的许多问题，研究了内科、外科、妇产科和儿科的各种病症，多达 1120 种。如对胚胎有详细和确实的研究，记载了子宫内的各种现象和发育过程，特别是胎儿血液循环、以及对妊娠各期如何进行诊断均作了详细的说明，对影响胎儿的各种现象也均有详细的预后判断。

古印度外科很发达，有关这方面的医书达 25 种之多，但以《妙闻集》的记载最为重要。该书记载了医生做外科手术时所应准备的各种外科器械，有刀类、杯类、锯、剪、钩、镊子、导管、缝合针等，并将它们分成钝、锐两大类，该书列举了 101 种外科手术用的钝器和 20 种锐器以及使用方法。《妙闻集》中对身体各部分的疮肿形状作了确切的描述，并按成熟程度加以区别，指出治疗时应切二指深，向着体腔方向切开。在特殊部位，如眼睑、唇等都应横切。手掌应环切。肛门和阴茎应半环形切。术后应该用热水清洗，溃疡应用手指将脓挤净，然后应该用收敛液清洗，再在创口贴上用香油和蜂蜜浸泡过的布条，再用布缠起来，到第 3 天更换。书中还提到肉芽形成和治愈的全部过程。此外，书中还介绍了骨擦音是骨折的特征，并专门论述了骨折的病理学 and 治疗方法；记述了头肿瘤手术、水肿切开、扁桃体切除、拨白内障、治疗疝气、膀胱结石、剖腹产等多种手术的方法，反映了印度外科手术医疗技术已达到了相当高的水平。

另外，阇罗迦(公元 120—162 年)是古印度的另一位著名医生，所著《阇罗迦本集》是古印度最重要的医学著作之一，被誉为古印度的医学百科全书。它进一步阐发了古印度的医学理论，提出了营养、睡眠和节食的摄生规则；对病因、病理作了进一步地研究，尤其是对热病、癫痫、肿瘤等的研究最为深入，书中记叙了一套诊断和治疗方法。还提到了 500 种药物。《妙闻集》和《阇罗迦本集》的许多内容至今仍有实用价值。

公元 7 世纪的《八科提要》和 8 世纪的《八科精华集》也是古印度医学的重要医学典籍。此后的医学家们则多是在研究和注释前人的著作上下功夫，总的来说没有多少建树。

古印度医学的发展过程，明显地受到外来的影响。古希腊的医学知识很早就传入印度。中国古代医学也很早就传到这里，就连中国出产的药物也早已销到该地。与此同时，古印度的医学对外界也颇有影响。《妙闻集》和《阇罗迦本集》大约在公元 9 世纪被译成阿拉伯文和波斯文。8、9 世纪时阿拉伯人曾请印度医生主持医院工作和进行教学活动。许多古印度医学著作也早就传入中国隋代文献对此已有记载。由于地缘关系，中国的藏医也有受到古印度医学影响的痕迹。

3. 古代后期的中国医学

中医中药学历史悠久、成就辉煌。早在先秦和秦汉时期，中医学就积累了丰富的经验，并表现出令人惊讶的成熟，从《黄帝内经》的诞生到《神农本草经》和《伤寒杂病》的问世，中国的医学家将医疗实践与理论相结合，建立起一套完整的，独特的中国传统医学体系，特别鲜明地反映出了本民族的文化传统。东汉“外科之祖”华佗在外科医学上成就杰出，以外科手术和麻醉术而闻名遐迩。“医圣”张仲景全面总结了东汉以前的诊治伤寒病的理论和经验，提出了六经辨证的治疗原则，在理论上为辨证论治奠定了基础。魏晋南北朝时期，出现了一批著名的医家和医学著作，如王叔和著《脉经》，皇甫谧写《针灸甲乙经》，葛洪撰《肘后备急方》，陶弘景成书《本草经集注》，以及雷斅(xu6)的《雷公炮灸论》、龚庆宣的《刘涓子鬼遗方》、陈延之《小品方》等都充实和发展了中国的传统医学理论，丰富了中医临证学。表明这一时期，在诊断学、病因学、针灸学、本草学、方剂学方面所取得的

一系列成就，并为隋唐中医学的兴盛发展奠定了基础。

(1) 最古的医方和最早的病历

春秋战国时期，诸子蜂起，形成了百家争鸣的局面，各种哲学思想十分活跃，为医学家们建立理论体系提供了思想武器，促进了中医对人体的解剖、病因病理、疾病的诊治等方面的发展。秦始皇嬴政统一中国后发展了秦孝公时期的医事制度，在政府中设太医令、太医丞以掌管医药和宫廷侍医。秦始皇还组织医生编纂整理先秦的医药书籍。但流传下来的极少。到了西汉时期，侍医李柱国于公元前 26 年整理医书，共得医经 7 家、216 卷；经方 11 家、274 卷。1973 年在中国湖南省长沙马王堆三号汉墓出土的有关脉法、灸经和医方等著作共 14 种。三号墓墓葬年代为汉文帝初元十二年(公元前 163 年)，但各书的抄录年代，依文字字体判断约为公元前 4 世纪末或前 3 世纪初。经马王堆帛书整理小组整理命名的帛书《五十二病方》是中国已发现的最古医方。帛书医方中载有内、外、妇产、小儿、五官等科的 50 多种疾病的 291 个医方。治疗内容包括药物、灸法、砭石及外科手术割治等。书中涉及的药名达 240 余种。这些由汉墓出土的医书，虽为春秋战国时期的产物，但也反映出两汉时人们对医学的高度重视。

公元前 2 世纪，西汉名医淳于意(公元前 215 年—?)。作“诊籍”开创了病历记录的历史。淳于意是山东淄博人，曾任齐太仓公，人称仓公。他曾从师于同郡人公乘阳，学习黄帝、扁鹊的脉书，因而他的辨证审脉、治病颇有效果。他精于脉学，诊断疾病以切脉为主；推究病原以酒色为主；治疗以药物为主；认为治病必须对症下药，合于脉象，并结合患者的情况适当调治；反对服用五石散；常用泻下、解热、驱虫、催乳等方剂；并开始使用丸药。值得特别指出的是，他十分注意病历记述。以病人的姓名、职业、地址、病名、脉象、病因、治疗、用药、疗效、预后等都作了详细的记录，这就是时人所称的“诊籍”。《史记·仓公传》中如实地记录了他对 25 例医案诊治的成功和失败的经验。是中国医学史上最早的病史记录。

(2) 最早的医药学专著《神农本草经》

《神农本草经》又称《神农本草》，简称《本草经》，是中国现存最早的医药学经典著作，成书年代有先秦、两汉、六朝诸说，但通常认为该书的主体大致形成于公元前 1 世纪至公元 1 世纪之间。它是战国、秦、汉以来药物知识的大汇编，是经过几代之手编著而成。关于它的作者不能确定，撰者托名中国远古传说中尝百草鉴定药物的神农。最先录于梁代阮孝绪的《七录》。梁代陶弘景曾进行整理。是中国医药学发展史上的一个重要里程碑。

全书共记载药物 365 种，其中以植物药最多，共 252 种，约占 70%。动物药 67 种，矿物药 46 种。该书根据药物的性能和使用目的而将药物分为上、中、下 3 品。上品、中品均为 120 种，下品 125 种。上品所列的都是些毒性小或无毒的“主养命以应天”的补药；中品所列药物有的有毒，有的无毒，并有许多兼具攻治作用和滋补虚弱之效；下品所列基本上是有毒并专用于攻治疾病的药物。这种分类法是很不科学的，并且明显受到方士服食、炼丹等思想的影响，时代气息浓厚。如书中以使人“长生不老”、或“不老神仙”来衡量上品药物的尊贵。但因为该法是中国药物学上的最早分类法，所以影响较大。书中对每一味药的主治、性味、产地、采集时间、入药部分、异名等都作了详细记载，许多名称采自民间，如“禹留粮”、“王不留行”等，不象先秦时药名那样艰涩难懂。

该书还提到 170 多种疾病，包括内科、外科、妇科以及眼、耳、喉、齿等方面。经长期临床实践和现代科学研究的证明，绝大部分是正确的。如用黄连治疗痢疾拉肚子，水银治疗疥疮、麻黄治疗哮喘、苕蓉治疗癫痫病（俗称“羊角疯”）、海藻治疗甲状腺肿（俗称“大脖子病”）、常山（蜀漆）治疗疟疾等均为世界上的首次记载，并且相当有效。直至今今天仍有广泛的使用价值。

书中还列举了一些特效药，如草常山治疗疟疾、大黄作泻药等。

在该书的序言中，概括记叙有当时药物学的基本理论。如药物配伍原则下的主药、辅助药间的“君、臣、佐、使”的理论，“药有酸、咸、甘、苦、辛五味，又有寒、热、温、凉四气”的“四气五味”说，以及根据药物的不同，采用剂型不同的方法等。这些理论都是对当时药物学的反映，说明当时药物学已达到一定的水平，使该书成为连结医经、医方的枢纽。

南朝齐武帝时，茅山道士陶弘景著成《本草集注》，在《本草》的基础上又增加了 365 种药物，几乎囊括了当时书已知的所有药物。但这恰恰导致《本草经》的逐渐失传，至唐初便已散失。现存者多为明末以后的辑佚本，今有 14 种。其中，常用的辑本有清代孙星衍、孙馥翼合辑的《神农本草经》3 卷（1799 年）；顾观光同名辑本 4 卷（1844 年）；今人尚志钧编辑的《神农本草经校点》（1983 年）等。足见《本草经》对后世本草学的影响是极为深远的。

（3）“外科之祖”华佗

华佗（公元 2—3 世纪间）是东汉时以外科手术和麻醉术而著称的临床医学家。字元化，又名 ，沛国谯（今安徽亳县）人，早年游学徐州，兼通数经，晓养性之术。他一生致力于行医施药，解民疾苦，善于总结民间的经验医学，足迹遍及现在的安徽、河南、山东、江苏等省的许多地区，深受广大人民的尊崇，获“外科之祖”的盛誉。

华佗的医术很有特色，擅长于察声望色，对脉象有专门的研究。合汤药每剂不过数味，不加称量，随手撮合、煮熟饮毕即愈；针不过一、二次，灸不过七、八回，却有奇效。并创造了沿脊柱两侧的夹脊施针穴位，称为“华佗夹脊穴”，至今仍沿用。华佗尤其精于外科，能为人剖腹湔肠。

《后汉书·华佗传》记载了华佗使用麻沸散等进行高明而成效卓著的腹腔外科手术的事。对于病在腹中，针药所不能及者，便先令病人用酒冲服麻沸散进行麻醉，使之如醉而无知觉，再剖（k&，割）破腹背，抽割积聚；如病患在肠胃，则断截湔（ji1n，洗）洗，除去积秽，既而缝合，敷以神膏，四、五日创愈，一月之间皆平复。麻沸散的使用是中国外科医学上的一大创举，也是世界医学史上的杰出成就，西欧的《世界药学史》编者鲁化说：“阿拉伯医学家知用一种吸入的麻醉剂，恐从中国人学来。称为中国希波克拉底的华佗，很精通此种技术。”

《三国志》中说华佗进行割割手术后“四五日即差（即瘥，指刀口愈合），这与现代手术的刀口愈合期相近，说明当时已有严格的消毒法。华佗可能是使用传统手术法，即将手术刀烧红后再用，一可消毒，二可止血。并且使用了“神膏”等效果良好的消毒或消炎剂。这些记载充分说明华佗在麻醉和消毒方面都已达到很高的水平，促进了外科医学的进步。

华佗的另一突出成就是疮肿疗法和导引术。疮肿疗法确定了中医疗法的基本原则——外症内治法，即以五毒（石胆、丹砂、雄黄、矾石、慈石）攻

其腐肉败骨，再以五谷、五味调养之，内服“五药”以营护之。这是一种从整体观念出发，而不是头痛医头、脚痛医脚的先进疗法。导引术是指摇动筋骨支节，通过养神调气的方法治疗象虚弱寒湿之类的病症。导引法在春秋战国时曾盛极一时，《老子》、《庄子·刻意》中都有这方面的记载。如《庄子·刻意》载：吹响出土的帛画中就有《导引图》，反映了西汉导引术的一个侧面。这也是中国现存最早的医疗体育图解。西汉时成书的《淮南子·精神训》记载了两种导引法，即“吹响（同嘘）呼吸、吐旧纳新，熊经鸟申（伸）、鳧浴蟻（同猿）躩、鸱视、虎顾”。到东汉末时，华佗由此提倡用医疗体育锻炼来防治疾病，以达到延年益寿之目的。华佗认为，人经常运动能帮助消化、畅通气血，使人不易生病，并吸取了先秦以来导引术的精华，模仿虎、鹿、熊、猿、鸟（鹤）的动作姿态，创“五禽戏”。这是一种“外动内静”、“动中求静”的气功动功功法。习练时应做到外动内静，动中求静，动静相兼；有刚有柔，刚柔相济；练内练外，内外兼备。五禽戏的熊戏有5个基本动作，即熊步、撼运按运、抗靠、推挤势，久炼则加强脾胃功能，增强体力。鹤戏分鹤步、亮翅、独立、落雁、飞翔势5个基本的动作，可练出鹤的轻翔舒展，安适恬静神态。鹿戏有鹿步、挺身、探身回首和蹬跳势5个基本动作，此戏有舒展筋脉的作用。虎戏有虎步、出洞、发威、扑按和搏斗5个基本动作。坚持锻炼，可添精益髓，强腰健肾。猿戏有猿步、窥望、摘挑、献果和逃藏五种基本动作，具有外练肢体灵活，内练精神宁静的功效。华佗积极提倡和创造的五禽戏体育疗法，至今仍广为流传，并得到发展，对增强人民体质、防治疾病具有特殊的贡献。

华佗一生著稿一卷，后索火烧之，未能传世，后世《中藏经》是托名之作。其弟子吴普汇编了《华佗方》10卷；《华佗现形察色并三部脉经》卷；《华佗枕中灸刺经》1卷，但已失传。保留下来的只有晋人王叔和《脉经》中名为《扁鹊·华佗察声色要诀》一篇，共有75条。但其中有多少出自华佗之手已无可考。华佗也注重医学人才的培养，其著名弟子有吴普、李当之、樊阿等。

（4）张仲景与《伤寒杂病论》

张仲景（约公元150—219年）名机，中国南阳人，东汉著名医学家，人称“医圣”，与华佗齐名。分别代表当时中国南北两个医学流派。一生主要在南方湖南一带行医。东汉末年，疾病流行，在不到10年的时间内，三分之二的人口死于流疫，主要症状为伤寒发热，病情转重而亡。张仲景忍住悲痛，勤求古训，博采众方，发奋钻研，著成《伤寒杂病论》一书。他收集了许多民间验方，总结了古代人民与疾病斗争的经验，对病理、诊断、疗法、方剂等作了全面的论述，比较系统地总结了“辨证（症）施治”的原则，把中医临床治疗提高到一个新的水平，至今仍然指导着中医的临床实践，是中医学的重要典籍。

《伤寒杂病论》被晋人王叔和整理成《伤寒论》和《金匱要略》两书。

《伤寒论》共10卷、22篇、397法、113方，主要论述伤寒一类急性传染病的治疗方法。《金匱要略》共25篇、139条、262方，主要论述内科、外科、妇科、儿科、急救等杂病。两书虽不完全是张仲景的原著，但其中多数内容仍为张氏所作，是对汉代医学理论和汤剂疗法经验的总结。奠定了中医治疗学的基础，是中国医学体系正式确立的标志。

在诊治急性传染病方面，张仲景出色地总结出系统的原则，如伤寒的因、

症、脉、治原则。他根据急性热病的共有或特殊的、初期或晚期的、有效或恶化等不同情况所表现出的种种症状和体征，归纳区分为太阳病、少阳病、阳明病、太阴病、少阴病、厥阴病 6 种证候类型，并在《伤寒论》一书中列出了每一病类的临床症状，体征和脉象，作为辨证的依据，并且从具体病症的转变过程中辨识病理变化，并掌握病候的实质。这就是他的“六经辨证观”即病因系统。这种方法，可对疾病发展及变化的规律进行探索，又对疾病在每一发展阶段上的特殊性有所了解，从而较全面的掌握病变的发展情况，分清疾病的主次、轻重与缓急，并作出比较切合实际的诊断。为论治提供了依据。在《伤寒论》中，张仲景还提出了辨别病症的 8 条细则，即表、里、上、下、寒、热、虚、实，后世称为辨证“八纲”，表里、上下用来决定疾病的部位，寒热虚实、决定疾病的性质。“八纲”在六经中的分布有一定的规律，而六经中每一经也有表里上、下、寒、热、虚、实之分。这是八纲辨证的雏形，是对疾病诊治获得纲领性认识的重要方法。

在论治方面，张仲景针对伤寒和杂病的各类病症，创立了汗、吐、下、和、温、清、补、消 8 法。“汗法”就是用药物使病人发汗，排出体内病毒；“吐法”就是让病人呕吐，把积聚在胸腹中的毒物和宿食等吐出来；“下法”就是用泻下的方法，让病人排泄肠胃中的病毒；“和法”就是用药物和解体内的病毒，“温法”用于治寒症；热症用“清法”；虚症用“补法”；属于积滞、肿块一类病症的用“消法”。根据病情的不同，可以单用一法，也可以几法相互配合应用，体现出原则性和灵活性相结合的论治思想。另外，张仲景还总结了针刺、灸、烙、温熨、药摩、洗浴、润导、浸足、灌耳、吹耳、舌下含药等具体疗法，根据不同病症选用，进一步丰富了治疗手段。

张仲景不但在理论上为辨证论治奠定了基础，而且在书中对理论的具体应用作了大量的记载，如对肿痛、黄疸、痢疾等疾病的辨证和治疗，直到今天实用价值仍很高。还记载了对瘧病、产后病等妇女病的详细疗法。对救治自缢的人工呼吸法也有具体、生动、科学的记述。在《金匱要略》中，记载了压胸部救治缢死症，将按摩法科学的用于心脏骤停的抢救，创造了最早的按摩起搏术。

在方药方面、张仲景的贡献也十分突出，《伤寒杂病论》中共载药方 375 个，用药物 214 种，大都具有用药灵活和疗效显著的特点。他对每一味药的应用都比较明确、谨慎，并指出药物相互配合及增减的原则；对药物的煎法、服法（温服、冷服、分服、顿服等）作了详细的规定。在所用剂型上有汤、丸、散、酒、软膏、醋、洗、浴、重、滴耳、灌鼻、肛门栓、灌肠、阴道栓等。在制作工艺上也有创新，如再煎浓缩和入蜜矫味的方法，散剂中的研磨法、搅拌法和筛法等。该书从辨证到立法，从拟方到用药联系紧密，从而形成一套辨证论治的医疗体系。

总之，《伤寒杂病论》不仅总结了 3 世纪初中国人民同疾病作斗争的经验，而且进一步确立了运用理、法、方、药辨证施治的原则，使中国医学理论和临床实践紧密结合起来，为后世中医学学术的发展奠定了基础，成为中国医学史上影响最大的重要典著之一。

（5）魏晋南北朝的医药学

魏晋南北朝时期是中国医学发展史上的重要时期。由于统治阶级自身的需要，加上频繁战争和自然灾害，造成大量的伤病人员，迫使各个政权不得不重视对医药学的总结和研究，增设了太医丞、藏药丞、侍御师、太医博

士、太医助教、尚药监等官员，并采取一些防病、治病的措施，如派遣医师和拨选医药到灾区进行救治，来拢络人心。同时组织大量医工对经方进行研究，并向全国推广、普及医药知识。因此，这一时期的医药学在秦汉的基础上进入了一个广泛总结整理的阶段，出现了大量的医学名家和医药学著作，如王叔和的《脉经》、皇甫谧的《针灸甲乙经》、葛洪的《肘后备急方》、陶弘景的《本草经集注》、雷斅的《雷公炮灸论》、徐之才的《雷公药对》等，都在不同程度上对中国古代医药学思想有所发展，使中国传统医药学的内容更加丰富，体系更加完整。并为隋唐时期中医学的全面兴盛创造了良好的基础条件。

王叔和奠定中医脉诊学基础。

王叔和名熙，山东高平人（今山东徽山县西北），曾在西晋时任太医令，是著名的医学家。他曾经精心辑集整理了已经散乱的张仲景的《伤寒杂论》，并将其按内容编写成《伤寒论》和《金匱要略》两部医书，使这部医学名著得以传世。晋代皇甫谧称赞他：“选论甚精”。宋代的林亿、孙奇等人评价说：自仲景于今、八百余年，“惟王叔和能学之”。金名医成无己盛赞“仲景伤寒论得显用于世，而不墮于地者，叔和之力也”。明清时，对王叔和赞毁相伴。有人批评他“碎剪美锦、缀以败絮”；有人肯定他“不有叔和，焉有此书。”可见王叔和在《伤寒杂论》的流传和仲景学说的发展上是功不可没的。

王叔和最重要的贡献则是搜集前人的脉学文献，采撷名家学说，并且结合自己的临床经验，撰成《脉经》一书，对先秦以来脉学的论述进行了系统的整理总结，从而奠定了中医脉诊学的基础。

《脉经》是世界现存最早的脉学专著。全书 10 卷。原有“手检图三十一部”，可惜已失传。王叔和在《脉经》中列举了浮、芤、洪、滑、数、促、弦、紧、沉、伏、革、实、微、涩、细、软、弱、虚、缓、迟、结、代、动 24 种脉象，并对每一种脉象作了简明扼要的阐述。这些脉象分别反映了动脉搏动显现部位的深浅（沉、浮），频率的快慢（数、疾、缓、迟），强度的大小（实、虚），节律是否均匀，有无间歇（结、代、促），以及脉波形态（滑、涩）等不同的脉博特征。为了便于人们理解，书中把脉象分为滑与数、沉与伏、浮与芤、弦与紧、革与实、微与涩、软与弱、缓与迟 8 类相似的脉相，仔细加以区别，防止临证（症）时误诊。这些脉象包括对心脏博击量，动脉管的韧性和弹性，血液在动脉管中流动的情况，血管充盈度、血液粘稠度、心脏跳动的频率和节律等，基本上符合现代科学对血液循环系统的认识。书中分别阐述了这些脉象所产生的症候，并且把脉象和测知病因病位、诊断病情、预后和疗效观察综合起来的考察。王叔和还总结了各种切脉的方法和知识，并对“寸口诊法”，即切摸两手掌后突起的挠动脉作了肯定性地说明。他确定出寸关尺三部脉位与心肝肺脾肾等相对应的脏腑分配原则，并从中医理论上对此作了解释，推进了寸口脉诊法在临床中的实际应用。另外，他在书中还反对孤立地以脉断症，而主张脉证合参、四诊并用，这就将脉学放到适当的位置上，在阐明脉理的基础上，联系临床应用实际将脉、症、治和预后统一起来，使《脉经》成为以脉学为中心的包含生理、病理、诊断和治疗等方面内容的综合性医学著作。

总之，《脉经》奠定了中医脉学诊断的基础，同时对世界医学的发展产生了重要的影响。《脉经》早在公元 6 世纪就流传到朝鲜、日本。公元 8 世

纪初，日本颁布大宝律令规定《脉经》是医生必修课之一。其后日本医学家在编辑《大同类聚方》100卷时，将《脉经》作为脉学的主要内容。阿拉伯医学之父伊本西那（公元980—1037年）著《医典》，其中脉学部分的资料就来源于《脉经》。波斯医生拉施德丁·哈姆达尼（1247—1318年）主编的中国医学百科全书，名为《伊儿汗的中国科学宝藏》，书中专门提到了王叔和的名字，并附有切脉部位图和脉学内容。17世纪后，《脉经》被译成多种文字在欧洲传播，对现代医学的发展起到了巨大的作用。在世界医学史上占有重要的地位。

皇甫谧与《黄帝三部针灸甲乙经》

独特的针灸疗法是中国医学引人注目的内容，在这一领域里有一位颇负盛名的学者——皇甫谧（m·）。他生于公元215年，卒于282年，字士安，号玄晏先生，安定朝那（现甘肃省灵台县朝那镇）人，是晋代著名的针灸学家。少年时皇甫谧家中贫寒，又游手好闲，到20岁时才发愤读书，白天参加农业劳动，晚上刻苦攻读，干活时还带着书，人称“书淫”，遂成博学之人。中年时身患严重风痹病（相当于西医的风湿性关节炎），但仍手不释卷，为战胜病魔，致力研读针灸书籍，发现以前有关著作中错漏甚多，于是根据《黄帝内经》的《素问》、《针经》（即《灵枢》）和《明堂孔穴针灸治要》等著作，参照其他书籍并结合自己的治病经历，对针灸类药书进行总结整理，写成《黄帝三部针灸甲乙经》一书。《黄帝三部针灸甲乙经》简称《针灸甲乙经》或《甲乙经》，是中国现存最早的针灸学专著，也是针灸学的经典著作。全书12卷、128篇，包括脏腑、经络、腧穴、病机、诊断、治疗等内容。书中统一了穴位，对以前的经穴纷乱现象进行了纠正。整理后认定的中国针灸穴位总数达654个。其中单穴49个，双穴300个。确定穴名349个。这些穴位分布于全身14条经脉线上，称为经穴。后世发现的穴位，则被称作经外奇穴。皇甫谧对所有的穴位，按头、面、四肢、胸、背等部位作了系统地介绍，具体指出了针刺深度、留针时间、艾灸时间（艾为一种药物，灸时将艾末放在穴位上点燃）。还结合中医辩证论治的精神对针灸的适应性和禁忌症作了明确说明。这是对此前针灸学的系统总结，也体现作者在针灸学领域里所取得的重大成就。

针灸这种独特的医疗方法，最大特点是简便易行、疗效显著。治病不用吃药，只用针刺身体的一定部位或是用火烧的。前者称为针法，后者为灸法；合称针灸疗法。主要原理是用器械性刺激和温热性刺激人体；并利用机体的传导作用，调整身体机能，增强抗腐防病能力，它的理论基础是经络学说。皇甫谧认为人体经络是相互贯穿循环往复的。并有着一定的起止路线。他主张治病要切脉、观察经络浮沉。他认识到季节、气候和人体有关，强调针刺时要按操作规程治疗，精神要集中，方法要严谨。这些都反映了皇甫谧对针灸有着深刻的理解和极高的造诣。这一套卓有成效的疗法不仅对中国医疗事业影响巨大，而且播扬到海外，日本、朝鲜等国将《针灸甲乙经》作为本国医学教育的教科书。宋元以后，随着航海事业的发展，针灸疗法被介绍到欧洲，当时英、法、德、荷等国家的一些医学家，都开始把针灸应用于临床和研究，并被译成英、法文本在欧洲流传，国际针灸学会还把它列为学习针灸学的必读之书。

葛洪《肘后方》及其在医学上的贡献。

魏晋南北朝时，医药学已非常发达，关于方剂学的专著大量问世，除内

外科医方外，还有《疗目方》、《小儿方》、《疗耳眼方》以及少数民族和国外传过来的药方。但因其数量多，篇幅又很长，所以使用时甚为不便。于是晋代著名医药学家葛洪从广博中求精英，从繁杂中求简易，撰修成《肘后求卒方》，简称《肘后方》，后经陶弘景整理补充为《肘后百一方》、金代杨用道又进行增补，改成《附广肘后方》。

葛洪（约公元 281—340 年）字雅川，自号抱朴子，丹阳句容（今江苏句容）人，是中国古代著名的炼丹家和医药学家，自幼好学，博览群书。他从当时众多医方中，选取精华部分，写成《玉函方》100 卷。此书篇幅宏大，显然是一部集医疗经验之大成的宏篇巨著，可惜此书已佚。由于他经常深入民间，而医治民间急症时需要简便易得、价廉效验的方药，便潜心研究“贫家野居”“皆能立办”的治疗办法。并在百卷巨著《玉函方》的基础上，收集各种简便易行的医疗技术和单验方，编撰成《肘后备急方》3 卷，后世被人增补整理成 8 卷。《肘后备急方》又称《肘后求卒方》，简称《肘后方》，“肘后”是指可以随身携带以备查的意思。因此，又被世人誉为中国最早的“医疗急救手册”。书中所选之方使用的药物系“卒多易得之药”，“亦皆贱价草石，所在皆有”，灸法也是“凡人览之，可了其所用。”突出地体现了该书的实用性，深受群众欢迎，使其长期流传而不衰。

《肘后方》反映了当时中国医学所达到的最高水平。书中主要记述了各种脏腑慢性病、外科、儿科、眼科和六畜病的治疗方法，同时叙述了各种疾病的病因和症状。尤其是对急性传染病和寄生虫病，作者进行了深入观察和详细记录。例如，有关天花这种烈性传染病如何传入中国及流行情况，发病症状、传染性和预后、预防等均作了准确的记载。对沙虱（恙虫）病描述准确，沙虱虫赤如人，形如疥虫；始用沙虱幼虫虫屑内服或外敷以防治恙虫病。书中对狂犬病的治疗也有独到之处。他提出用狂犬脑组织敷贴被咬伤口，以预防狂犬病的发作，这是世界上最早的免疫学的萌芽，是免疫学史上极为重要的创造。从现代医学理论来看，因为狂犬脑组织中存在有狂犬病抗毒素，故有某些被动免疫作用。葛洪的这些重要发现为人类战胜天花、狂犬病、恙虫病等提供了可贵的思想启迪。直接或间接的为 16 世纪中国发明人痘接种术预防天花；19 世纪法国微生物学家巴斯德从狂犬病毒制备防治狂犬病疫苗；20 世纪初的美国病理学家立克次从恙虫体分离出立克次体并制备疫苗，防治恙虫病，提供了科学依据。《肘后方》中详细地记载了疟疾的种类和症状，并列 30 余种治疗方剂。提出了用青蒿汁治疗疟疾以及解毒的方法，这不仅在当时具有实用价值，也为发明青蒿素这一速效、低毒的抗疟新药打下基础。书中多次提到的“常山”也被现代证实是一种抗疟特效药。此外葛洪对黄疸性肝炎、结核病、出血热、血吸虫病、痢疾、马鼻疽等多种传染病和寄生虫病进行了研究和记载。他对脚气病也有深入研究，不仅简练地描述其症状，而且提出了富含乙种维生素的大豆、牛乳、松叶等治疗脚气病的方法。这些都是医学史上的创举。还有，他所记述并提倡的灸法治病，捏脊疗法，食道异物急救、食物和药物中毒疗法、放腹水等治疗技术，也都简便有效。至今仍然被广为采用。

雷斅和《雷公炮炙论》

魏晋南北朝时期，随着道家炼丹技术的兴盛，药物加工的炮制技术也得到迅速的发展。公元 470 年，南朝刘宋时期的雷斅（xi4o）所著的《雷公炮炙论》（又名《炮制论》）便是这一技术的总结。《雷公炮炙论》是我国最

早的药物炮制技术专著，可惜已散失。但其主要内容已被《经史证类备急本草》等后世本草书籍所引用而得以保存。现存的《雷公炮炙论》系清代和近人的辑佚本。《雷公炮炙论》分上、中、下3卷，分别记载玉石类、草木类和兽禽虫鱼果蔬米类共300种药物的鉴别、净制、挑选、粉碎、淘洗、干燥和炮炙等加工处理方法。作者系统地总结了医家和民间长期用药、制药的经验，详细地介绍了蒸、煮、炒、焙、炙、炮、煨、浸、酒浸、醋浸、水飞等17种加工制作方法。例如，加工矿物药时多将生药放入火中烧红的煨法；炒法则多用糯米、盐、羊脂等伴炒；浸法则将生药浸泡在水、盐水、蜜水、米泔水或其它生药汁中。这些方法方便可行，而且大多符合一定的科学道理。如巴豆内含有毒性蛋白，能溶解红血球、使组织坏死的毒性作用，若直接入药、必将产生毒副作用。但经过破碎处理，放在麻油和酒中同煮，再经研膏等炮制过程，可使巴豆的毒蛋白质分解破坏，而将其有效成分巴豆油溶于油中，得以保存，从而避免了毒副作用。雷斅还注意到药物加工的发生的一些物理化学现象变化，为了确保药效，提出了应注意的一些问题。如雷斅发现一些生药与铁制品放在一起时会生药变色，药中的某些成分遇铁后产生化学反应。所以，加工知母、高陆、茜草、五味子等药物时，忌用铁器。雷斅还发现槟榔、茵陈等药物含有挥发性物质，所以加工时不能用火处理，等。

《雷公炮炙论》这部中医制药典著的诞生，使传统的中药炮炙加工技术更为系统化和科学化，成为后世药物炮制学的规范。

陶弘景的《神农本草经集注》

《本草》问世以后，便成为药物学的经典，但经反复传抄的增补，出现了不少错误。当时出现的《蔡邕本草》、《吴普本草》、《李当之药录》等大量本草类书籍，也存在甚多错讹。公元502年左右，南朝齐、梁间陶弘景对《本草》进行了系统地整理，著成《本草经集注》一书（原书已佚，现存有敦煌残卷，但其主要内容保存于后来的本草中）。使魏晋南北朝成为中国本草学史上具有突出贡献的年代之一。

陶弘景（公元456—536年），字通明，晚年号华阳，隐居，丹阳秣陵（今江苏江宁）人。他是南朝齐梁时的著名学者，炼丹家和医药学家。自幼勤奋好学，读书万余卷，学识渊博，在天文、历法、数学、地理、冶金学和炼丹术等方面都有极高的造诣。特别是在医学、药学方面的成就，令人瞩目。梁时受齐高帝萧道成敬重，与梁武帝萧衍关系密切。但他无意官场交际，辞官隐居。因帝遇大事仍与陶公相商，故时人称他为“山中宰相”。他一生著述甚丰，作品多达80余种数百卷之多。主要有《学苑》、《图象集要》、《帝代年历》、《古今州郡记》、《玉匮记》等。其中与医学有关的著作有《肘后方》、《太清草木集要》、《陶氏效验方》、《养性延命录》等。

在《本草经集注中》，陶弘景除了整理、校定了《本草》中的365味药物外，还汇集了魏晋以来医家发现而没有载入《本草》的365味药物，写成《名医别录》一书，收入《本草经集注中》。其中，包括药物炮炙和配制方法，诸病通用药，中毒解救法，服药后的宜忌，药物不宜入汤药，药物畏恶等“七情”和“四季药物相使”等内容。为了区别辑录《神农本草经》和《名医别录》的药品内容，陶公用朱笔书写原有药品，用墨笔书写新增加的药物，个人的见解用小字，夹注出处标注。这套体例使全书脉络清楚，为后世所效法。《神农本草经》采用的上、中、下三品药物分类法，存在着不能准确区别药物的性能，难于掌握和寻检，有时还容易造成治疗上的差错等弊端。陶

弘景针对这些问题加以改进，提出了按药物的自然来源和属性、药物的治疗性能两种分类法。他按自然来源和属性把 730 种药物分为玉石、草木、虫鱼、禽兽、果菜，米食、有名未用 7 类。此法成为中国古代药物分类的标准方法，沿用了 1000 多年，唐朝《新修本草》和明代李时珍的《本草纲目》都以此法为基础。陶弘景首创“诸病通用药”、“七情表”，以病症为纲，按药物治疗功效将药物分别归于不同的病项下，共分 80 多类。这种分类方法有利于临床治疗用药时寻检药物，并有益于医药的普及，更重要的是开创了后世按药物功能分类的先河。在《本草经集注中》中，陶弘景还科学地描述了药物的产地、形态和采集时间，为早期本草增添了新的内容。他还考订统一了药用度量衡制，阐述了丸散、膏药、汤剂、酒剂的制作规律，对提高药品质量，保障用药安全具有重要意义。此外，《本草经集注》中提出和载录的一些特效药，对后世的影响也很深远。例如，他最先指出槟榔可治疗“寸白”（绦虫），苏合香治疗心血管病；确认栝蒌治“消渴”（糖尿病），茵陈治黄疸等。槟榔、栝蒌、茵陈、苏合香等至今仍用于临床。

总之，《本草经集注》是继《神农本草》之后，对中国药物学知识和实践经验的又一次全面、系统地总结，在中国本草学发展史上起着承前启后的作用。

（6）中医方剂学的发展与著作

中国的方剂学历史悠久、现存最早的方书是马王堆汉墓的《五十二病方》，但多数医方为经验实录而无方名。《内经》中已提到君臣佐使和“七方”的组方原则。到汉代张仲景著《伤寒论》时，方剂与辨证治疗紧密结合，方剂的组成和运用更趋成熟。魏晋南北朝时，医疗实践的发展，不断产生新的方剂。当时名医荟萃，使中医方剂学得到长足的发展。而且名医著书之风强劲，水平较高。晋代葛洪著《肘后方》，南北朝陈延之撰《小品方》，范汪撰《范东阳方》，姚僧垣撰《集验方》，徐叔响撰《杂疗法》，徐之才撰《家传秘方》等，均真实地记录了医家本人的宝贵经验，收录了大量的民间经验方，对后世方剂学的发展产生了重大影响。

在众多的方剂学著作中，以陈延之所编撰的《小品方》最具代表性。《小品方》原称《经方小品》，共 12 卷。约撰成于南北朝宋孝建元年至永徽元年（公元 454—473 年）之间。该书共参考了 18 种、300 多卷前人的医学著作，记载了大量的民间经验方。作者称著书的目的在于普及医学救急知识，并作为习医入门的读物。此书不仅在当时流行，隋唐时也备受重视，被太医署列为必读教材。《小品方》还传入日本，也被定为医学教学的主要内容。此书后来佚失。其逸文存于《外台秘要》、《医心方》等典籍中，1985 年，在日本尊经阁《图书分类目录》医学部中发现《小品方》残卷。从残卷中大体了解到书中的主要内容：第 1 卷包括序文、总目录、用药禁诀等；第 2 卷至 5 卷为内科杂病方；第 6 卷论述伤寒、温热病之证治；第 7 卷是妇人方；第 8 卷为少小方；第 9 卷详论服石所致疾病之证治；第 10 卷记述了外科疮疡骨折损伤；第 11 卷记本草；第 12 卷为针灸。本书已有较高的学术水平。如对内科疾病类的瘰病（地方性甲状腺肿）、脚气病（包括现代医学所谓维生素 B₁ 缺乏症）已有较深刻的认识。陈延之采用分科论述的方法，高度概括了当时医学各科常见病的证候和治疗方法，堪称独树一帜。

另外，北魏北齐时的名医徐之才，对中医方剂学的发展也颇有影响。

徐之才出身于六代以医相传的极有名望的医学世家。他医术精湛，治病

多有奇效，尤其在药物方剂配伍原则和方法的研究上，造诣很深。他总结和发扬了中医学“七方十剂”中有关“十剂”的理论和经验。所谓“七方”。即“大、小、急、缓、奇、偶、复”等七方；所谓“十剂”即“宣、通、补、泄、轻、重、滑、涩、燥、湿”等。指出了功用是方剂的主要分类原则，如宣剂，宣可去壅，生姜、桔皮之属；通剂，通可去滞，木通、防己之属；补剂，补可去弱，人参、羊肉之属等等。采用这种按功用分类的方法，并结合陶弘景按药物功用分类的“诸病通用药”，不仅给处方用药带来很大的便利，使中医学在临床处方的药物调遣和配伍原则的掌握上，有了可遵循的更为科学的新规律，并为后世医家广为采用。对方剂学的发展作出了突出贡献。

(7) 《刘涓子鬼遗方》与医学外科的发展

《刘涓子鬼遗方》是中国现存最早的外科专著。成书于魏晋南北朝时期（公元475—502年间），该书作者为晋末刘涓子，后经南齐龚庆宣整理、编次为10卷。据龚氏序可知刘涓子为随军医生，曾随同宗武帝北征，夜射“黄父鬼”而得其所遗医方书，故名《刘涓子鬼遗方》。刘涓子用书中处方治病，“千无一失”，并称“有被创者，以药涂之即愈”。该书充分反映了当时外科方面的主要成就和发展情况。其中包括战伤、痈疽、疮疖、瘰疬、疥癣、汤火伤等内容。在理论上以《灵枢·痈疽》为指导思想，提倡早期治疗。在此思想指导下，书中特别强调痈疽的早期诊断和治疗，但病灶部位已形成脓肿时，则应及时进行切开引流手术，并科学地论述了手术切开之部位。卷1收录金疮、出血、骨折、肠出等创伤外科的脉因证治，因医方疗效显著，所以历代金疮科著作纷纷转录，成为中国较早的军阵外科专著。卷2至卷5记述了多种病证的诊治和预后判断等内容，尤其是较全面的收录了止血、止痛、解毒、收敛、镇静等治疗技术。所录的外治法医方140多个，其中，用黄连、雄黄和汞等清毒药物配制成的软膏治疗痈疽（y#ng j&，毒疮）有较好的疗效。突出地体现清热解毒，活血化瘀的创伤外科的治疗原则，这一创见在后世的医学临床中得到了广泛的应用。此外，魏晋时期采用外科手术治疗先天性畸形，医术也有显著的进步。据《晋书·魏咏之传》记载，咏之先天性唇裂（兔唇），曾往殷仲堪帐下名医求治，术后唇裂弥合。反映出中国古代整形 外科医术已达到很高水平。当时还能实施目瘤摘除术，头部巨大肿瘤切除手术等，其医术高明令世人叹服。

八、世界古代后期的建筑科技

世界古代后期，是建筑史上成就突出的一个历史阶段。古罗马建筑在继承古希腊建筑成就的基础上不断创新，形成了自己的特点，达到了西方古代建筑的高峰。

秦汉、魏晋南北朝时期，是中国古代建筑空前发展的时代。秦统一六国后修筑长城，营造阿房宫，构建始皇陵，开辟了中国古代建筑风格的先河，并在西汉出现了中国历史上的第一次建筑高潮，木架建筑技术已趋于成熟；砖石、拱券技术有较大发展；都市建设、庭院式园林建筑，融合前代的建筑技术、绘画艺术和花树栽培于一体，取得了举世瞩目的成就。魏晋南北朝时期的宗教建筑和石窟雕刻技术，更获空前发展，谱写了中国建筑史上的光辉篇章。

美洲、日本及古印度等地区，在建筑技术方面也都各具风格和特点。

1. 古罗马时期的建筑科技

古罗马建筑继承了古希腊建筑的成就并在建筑形制、技术和艺术上广泛创新，形成了一种自成体系的建筑形式。公元前3世纪到前1世纪，是古罗马建筑的极盛时期。古罗马建筑师维特鲁威于1世纪成书的《建筑十书》则是对古罗马建筑技术的高度概括和科学的总结。

建筑类型多是古罗马建筑的一大特点。罗马万神殿、维纳斯和罗马庙、黎巴嫩巴尔贝克的太阳庙，属于宗教建筑形式；皇宫角斗场、浴场、广场、巴西利卡（长方形会堂）、凯旋门、水道等，属于公共建筑形式。它们的形制相当成熟，能满足各种复杂功能的要求。古罗马建筑的技术特征也很鲜明。一是高水平的拱券结构，开辟出宽阔的内部空间，形成一种立体布局的壮阔风格。到了1世纪中叶，又出现了十字拱，以覆盖方形的建筑空间；二是发展了古希腊的柱式构图，创造出柱式拱券的组合技术，增强了适用性；三是集中采用拱券结构，在建筑物上组成平面。当时采用这些新技术建造的罗马帝国皇家浴场；古罗马城广场东侧的君士坦丁巴西利卡（长方形会堂）；分布在帝国各地的凯旋门；罗马郊外的哈德良离宫等建筑，无一不成为西方建筑的精品而闻名于世。

公元4世纪下半叶，古罗马建筑渐趋衰落，但到了15世纪以后，经过文艺复兴、古典主义和古典复兴，尤其是19世纪初法国倡导的“帝国风格”，又将古罗马建筑技术及其艺术风格树立为样板，一直持续到20世纪的20至30年代。

（1）罗马城与城市广场

罗马是古代西方著名的都城，可与希腊时代的亚历山大里亚城相媲美。

罗马城的历史可以追溯到公元前8世纪，但那时规模一直很小。到公元2世纪时，该城已突破了13.86平方公里的奥留良城的范围，帝国时代的许多建筑，如哈德良离宫及众多的坟墓、庙宇、军事设施、体育运动设施都建于郊外。到3世纪时，全城人口已超过100万。

城内有位于巴拉丁山上的皇帝宫殿，用地紧张狭小，建设也相当混乱；还有规模宏大的跑马场、剧场、斗兽场、浴场等，仅马克西玛斯跑马场即可容纳25万人，卡拉卡拉浴场占地达209875平方米（575米×365米）。城中

的街道较弯曲，直道甚少，最宽仅 6.5 米，一般宽为 4 至 5 米，但不容于 2.9 米。反映全城建筑成就的广场群和建筑群集中在中心地区，布局零乱，未形成完整的系统。

城市的广场群由共和广场和帝国广场组成。共和广场只在一角，主体长 134 米，宽 63 米，广场周围集中了大量的宗教性和纪念性建筑物，又有会堂、检阅台、凯旋门等。公元 4 世纪因建君士坦丁会堂，广场东移，并增建了第度凯旋门。整个广场的建筑物十分注重突出个体特点，但与整个广场不甚协调。从共和广场的轴线中段向西北延伸约 300 米左右的地方，即是帝国广场。这里恰是一块山间的空地。奥古斯都广场和图拉真广场是帝国广场的两座主体建筑，加上恺撒广场、韦伯芎广场、乃尔维广场，构成了一个巨大的建筑空间。奥古斯都广场建于公元前 42 年至前 2 年之间，长 120 米，宽 83 米，周围有高达 36 米的围墙，里面有战神庙和讲堂。该广场已没有社会和经济活动的意义，成了纯粹为皇帝歌功颂德的所在。图拉真广场建于公元 109 至 113 年间，广场成轴线对称，有多层纵深布局，三跨凯旋门；长 120 米宽 90 米的广场两侧敞廊各有一座半圆厅，广场中央轴线交点上有图拉真骑马青铜像；在长 24 米、宽 16 米的小院子中央，有一高达 35.27 米的记功柱，左右两侧是图书馆；围廊式院内有崇拜图拉真的庙宇，它是广场建筑艺术的精华所在。整个广场建筑旨在通过一连串的空间纵横、大小开间变化，营造出一种神秘威严的气氛来神化皇帝。帝国广场的建筑物从属于广场空间，即由方形、直线形、半园型的空间组成，皇帝的广场建筑群，在用地布局上彼此垂直相交，以多个彼此相交的垂直轴组成一个完整的整体，而柱廊既把各种空间联系起来，也使各个空间的过渡更为合谐自然。这种设计手法，使相隔时间较长的建筑物之间，存在着内在的秩序。这是有别于共和广场的地方。

（2）罗马角斗场

罗马角斗场又称罗马圆形剧场。是一种平面椭圆形的建筑物。这种角斗场主要是用来表演奴隶角斗和斗兽的。角斗戏是风行于罗马社会的一种野蛮娱乐。充任角斗士的奴隶或彼此格杀、或与野兽拚斗，以此满足奴隶主、贵族们的欣赏欲望。这种建筑最早在公元前 80 年的庞培古城出现。以后便日渐增多。角斗场的中央为表演场，四周为看台，逐排升起；一般没有屋顶，有也是临时的。最具代表的角斗场当属罗马大角斗场，位于罗马广场之南，是同类建筑中的巨头，故有“哥罗赛姆”（Colosseum，即庞然大物之意）之称。它建于公元 1 世纪 70 年代，公元 80 年完工，基址原是尼禄在皇宫花园里所开挖的人工湖。

角斗场呈椭圆形，长轴 188 米，短轴 156 米，周长 527 米，高 48.5 米。中心表演区为椭圆形舞台，长轴 86 米，短轴 54 米。表演区的周围有 5 米多高的围墙。可表演奴隶角斗，斗兽，也可注水表演水战。关兽的兽栏，角斗士的预备室、排水管道都设在表演区的地下。表演区周围为观众席，约 60 排，以近 40° 的坡度升起；并被严格地分成 4 个区。最前面的也就是最低处的区域为贵宾席，中间为骑士席，后面是平民席，最高处也就是最后的一区是一圈柱廊，也可供人观看，但多用作管理人员休息的场所。整个观众席可容纳 5 万人。支承观众台的是 3 层放射式排列的筒形拱和沿外圈回环的拱顶。每层都有筒形拱 80 个，与此相对应，在立面上周圈一律形成 3 层券洞。底层的券洞为出入口，观众可由此处对号进入，顺着设在放射形拱内的楼梯登上预订的座位，散场后各区观众可由不同券洞走出，互不干扰。门面各层分别

采用3种券柱作装饰：底层为朴实的多利式，中层为秀逸的爱奥尼亚式，上层为华丽的科林斯式。底部显得很坚实、冠盖透着华美。它大量采用了拱门，券洞口立雕像。上层是实墙，最上面的檐口有垂直孔洞，木杆通过孔洞立在插座上，木杆的上端缚缆绳，用来张挂篷顶。立面采用灰白色的灰华石、其次用砖或其它较软的石头。拱顶和上层的承重墙用天然混凝土（用火山灰制成），骨料里面添有浮石，前3区的观众席用大理石做成，最后一区为木料构筑，以减轻对外墙的推力。整个建筑结构合理，功能完善，规模庞大、壮观宏伟、它的形制，对现代的大型体育场建设仍有影响。其工程技术达到了古代世界的最高水平。

（3）罗马万神殿

屋大维统治时期，罗马建筑的发展速度很快。屋大维为了显示政权的强盛，不仅修复古庙，还建造了很多新的庙宇及公共建筑。在神庙中，最出色的是供奉朱庇特等神的万神殿。万神殿又称万神庙或万神祠。位于罗马城中心。该殿的建筑年代，通常认为始于公元120年至125年，直到哈德良统治时期才修成，历时150多年。

万神殿建筑的特色是在希腊神庙原有的形制基础上冠以大圆顶，圆顶高度达43米多。殿的平面呈圆形，顶为穹窿状，组成一座宏伟的圆顶大厅；厅内直径为43米，厅周围墙壁厚实，杂以列柱神龛等；穹顶正中开有直径约9米的圆形天窗，用来采光，有强烈的集中统一效果。庙门从奥古斯都时代即开始修建，庙的正面有长方形柱廊，宽34米，深15.5米；有科林斯式柱16根，分3排，前、中、后分别为8、4、4根；柱身高12.5米，底径1.43米，采用整块埃及灰色花岗岩加工而成；柱头、柱础都是用白色大理石砌筑。穹顶和柱廊上都有镀金的铜瓦，大门两侧壁龛内有奥古斯都和旧殿修造者阿格里巴的遗像。万神殿的殿基、墙、穹顶均用火山灰水泥合制的混凝土浇筑而成；穹顶上部混凝土的比重只有基础比重的2/3。基础底宽7.3米，墙和穹顶底部厚为6米，穹顶顶部厚1.5米。穹顶内表面设计为凹格状，以减轻重量。凹格共5排，每排28个；大门外的7个凹室可能是为减少工程量而设计的。每个凹格中可能都装饰有镀金的铜质玫瑰花，使神殿具有西方建筑的艺术特色。墙里和穹顶里都有砖券。穹顶顶部矢高43.3米，与直径相等，是世界古代建筑中最大的穹顶。殿的墙面和穹顶都以水平划分为主，周圈一致，并与单一空间协调，墙面所有构件都是赭红色大理石。地面中央微凸，主要原料为灰白色大理石。

通过巨大岩石的堆垒，采用砖券和混凝土构筑的神殿，以单体建筑的巨大穹顶、高廊伟柱为典型特征，形成了一种立体布局的堡式建筑，生动而形象的向世人展示了古罗马建筑的技术风格。

（4）罗马凯旋门

古罗马时期，为纪念出征得胜、表彰统帅功勋而修建了凯旋门，这种建筑最迟不超过罗马共和国的后期问世，帝国时期已很普遍。早期的凯旋门多为单开间，立面大体为长方形、券柱式，中央为券洞，两侧有两对科林斯式或混合式柱子，并建有很高的女儿墙，用来刻记功铭文，券洞内存浮雕，反映战争场面或凯旋的盛况。公元82年所建的高14.4米，宽13.4米，厚4.8米的第度凯旋门则是这类建筑的代表。建在外省的凯旋门，除了上述作用外，还用于纪念城市奠基及其他重要历史事件，或颂扬皇帝等，形式较多。始建于公元前1世纪中叶，改建于1世纪中叶的雷奥尼凯旋门（在维罗纳），

有两开间，女儿墙上还有一排小券。公元 130 年雕刻的雅典哈德良凯旋门有两层，下层是一个大券，上层是 3 开间的梁柱结构，中间有三角形山花。后来又出现了 3 开间凯旋门，以建于公元 312 年的君士坦丁凯旋门最为有名。这座凯旋门用以纪念君士坦丁打败政敌马克森西的战事。门高 20.6 米，宽 25 米。形制为 3 拱并立，一大两小，即门两侧的券洞较小，用华美的科林斯式圆柱分隔，通体饰以雕象和浮雕，形式虽然宏大，装饰过于紧密，某些浮雕也是仿制的。

罗马帝国的凯旋门，大多采用券柱式结构。这是在继承古希腊柱式构造的基础上加以创新，发展为柱式与拱券组合的新形式。如券柱式和连续券，即可作结构，又可作装饰，具有一举两得的适用性。同时，也反映出古罗马建筑技术的成熟和发展。

(5) 古罗马浴场

浴场建筑是古罗马建筑的典型代表之一。出现年代极早。到了帝国时期，大型皇家浴场，已设有休息厅、娱乐厅、运动场、图书馆、讲演厅、商店等，并附有巨大的储水池。到公元 2 世纪初，叙利亚建筑师阿波罗多拉斯设计的图拉真浴场确定了这种浴场的基本形制。浴场被设计成完全对称的长方形，轴线上是热水厅、温水厅、冷水厅；两侧为入口、更衣室、按摩室、涂橄榄油及擦肥皂室、蒸汗室等，并按序排列。地下为锅炉间、储藏室和奴隶用房。此后，又陆续建成了有名的卡拉卡拉浴场、载克里先浴场、君士坦丁浴场等。卡拉卡拉浴场外廓总长为 368 米，宽 335 米，主体建筑长 216 米，宽 122 米，可容纳 1,600 人；载克里先浴场外廓总长为 380 米，宽 370 米，主体建筑长 240 米，宽 148 米，能容纳 3,000 人；这些浴场的温水厅面积很大，均采用 3 个十字拱覆盖。拱券下设有厅堂，其大小、形状、高低、明暗、开合极富变化，是古罗马建筑的杰出代表。公元 1 世纪中叶，罗马建筑广泛采用了十字拱，这是一种新型的建筑结构和技术。用十字拱可以覆盖方形建筑的空间；而拱顶的重量则集中在四角的墩子上，无需修建连续的承重墙，从而使空间更为开敞。而把几个十字拱同筒形拱、穹窿组合起来，就能够有效地覆盖复杂的内容和空间，并明显地提高建筑物的抗水平推力。可见，古罗马建筑在结构设计、施工技术上都达到了很高的水准。形成了独具特色的西方建筑技术体系，对后世建筑的发展产生了巨大影响。

(6) 维特鲁威与《建筑十书》

古罗马时期，涌现出不少优秀的建筑师。特别值得一书的是著名建筑师维特鲁威。

维特鲁威是公元前 1 世纪人，生卒时间不详。一生大半时间住在罗马，曾作过奥古斯都的军事工程师。他在建筑史上的贡献是建造罗马城的供水工程和法诸城的一个会堂（直译应为巴西利卡），伟大的建筑专著《建筑十书》也是他的杰作。

《建筑十书》被认为是世界上最早的建筑学专著，成书约在公元前 14 年。该书是一部论文集，但体系相当完备。第一卷的主要内容是建筑师的教育，城市规划与建筑设计的基本原理；第二卷为建材；第三、四卷为庙宇和柱式；第五卷论及其它公共建筑物；第六卷讲住宅；第七卷叙述室内装修及壁画；第八卷详解供水工程；第九卷通论天文学、日晷和水钟；第十卷论述机械学和各种机械。在书中，维特鲁威总结了希腊、伊达拉里亚和罗马的建筑设计 and 城建经验。在城市建设上，对于地址的选择、城市形态、城市布局

等，都有精辟的见解。他指出，城址必须占用高爽地段，不占沼泽地、病疫滋生地；必须有利于避浓雾、强风和酷热；要有良好的水源，丰富的农业资源，便捷的公路或水道交通。他探讨了建筑物的性质及其与城市的关系，涉及到地段、环境、道路、地形、朝向、风向、阳光、水质、污染等多方面的问题。他在研究了街道与日常风向的关系、与公共建筑位置的关系之后，对广场的设计提出了建设性的意见。他对水的污染也十分关注，用当地的动物内脏进行了饮用水的污染试验。他继承了古希腊亚里士多德等人的哲学思想以及有关城市建筑规划的理论，提出了理想城市的设计方案：平面为八角形，城墙塔楼间距不大于一箭之地，这样，可使防守者易于从各个方面阻击攻城者；城市的路网呈放射状环形，道路与城门不直接相对；市中心为广场及宗教建筑。另外，维持鲁威在书中还提出了评定建筑物的标准为“坚固、方便、美观”。他认为建筑构图原理主要是柱式及其组合法则，建筑物“匀称”的关键在于它的局部、整体都以一个必要的构件作为度量单位。维特鲁威十分关注当时的建筑经验，在书中对建筑材料、结构、施工技术、施工机械等进行了详细而全面的论述。他也十分推崇希腊建筑。因此，在书中全面地总结了希腊时代的建筑经验，使《建筑十书》成为了解、研究希腊化建筑的重要史料。不过书中对后来发展成为主流的拱券式建筑着墨甚少，令人不无遗憾。这大约是因为那时罗马建筑刚刚进入盛期，在拱券技术方面还没有取得明显的成就；也有可能是为了迎合奥古斯都皇帝推行的复古政策所致。

因为《建筑十书》对希腊、罗马建筑的经验和技巧作了全面的概括总结，所以倍受后人重视。1414年发现了该书的一个抄本，引起人们极大的关注。1486年罗马印行了拉丁文本，1511年威尼斯出版了插图本；1521年出版了附有插图和注释的意大利文译本。意大利文艺复兴建筑家们都奉其建筑指南。以后又被译成多种文字出版。直到20世纪，《建筑十书》还被建筑界奉为圭臬。成为建筑学的开山之作。中国于1986年出版了中文译本。维特鲁威及其撰写的《建筑十书》创立了欧洲建筑体系的建筑学，成为世界建筑史上的光辉篇章。

（7）古罗马引水道、桥梁及道路建设

古罗马供水装置比较先进，其中引水道（或称水道）更具有代表性。引水道是从遥远的郊区引水入城的建筑工程。在罗马帝国境内，大小城市都有这类建筑，仅罗马城就有11条水道。当水道经过河谷深沟而又要保持原来水平时，便架设渡槽；在通过低洼地段时，便修建架设水道的支拱，有的长达几十公里。在这类建筑中最为雄伟者，当属法国南部尼姆斯城附近的水道渡槽。它以连拱砌成。该桥共分3层，底层可兼作桥梁。因为该桥架于加尔德河上，法国人将它称之为“加尔德桥”，至今仍巍然耸立；公元前38年所建的克劳苏管道至今也在使用；不愧为古罗马工程技术的一大奇迹。

古罗马的道路建设十分发达，这与帝国不断扩张领土有关。为了巩固和加强帝国的统治，古罗马大力兴建道路。由首都罗马可通往意大利、英国、法国、西班牙、德国、小亚细亚部分地区、阿拉伯以及非洲北部，在整个罗马帝国形成了一个完整庞大的道路网，联络干道322条，总长度达78,000公里，可谓条条大路通罗马。该道路网以29条主干道为主，最著名的是连接罗马与布林底西的亚平大道（又称阿庇乌大道），全长约660公里。罗马大道的路面均高于地面，主要干道平均高出2米左右。道路的设计原则是尽量取直，因此开挖众多隧道，修建了许多桥梁和挡土墙等建筑。若干主干道宽

达 12 米，中间部分为 3.7 至 4.9 米，供步兵使用；两边填筑高于路面的宽约 0.6 米的堤道，供指挥之用；再侧还有 2.4 米宽的骑兵道。路面的式样也有很多，路面下填砾石，上铺石板，并用混泥浆或灰浆砌筑，甚为坚固，成为古代著名的高质量公路。

正因为罗马的道路建设发展迅速，陆路交通发达，所以桥梁建筑也很兴盛。帝国时期修筑了许多桥梁，最著名的有：公元前 62 年所建的罗马法布里西奥石拱桥，桥有 2 孔，单孔跨度 24.4 米；公元前 55 年在莱茵河上修建的木排架桥，长达 300 多米，用于行军；公元 98 年所建的阿尔坎塔拉桥（在西班牙境内），中间设 2 孔，跨度各为 28 米，桥面高出谷底 52 米。罗马帝国在图拉真统治时期（公元 98—117 年），领土扩张达到最大限度。在两次达西亚（现罗马尼亚）战争中，为强渡多瑙河，以最快速度抢建了一座木拱桥，保证了军队作战的需要，达西亚也变成了罗马的一个行省。至今保存完好，建立在罗马城内的图拉真纪念柱，采取浮雕的形式记述了这一战争场面。其中有表现多瑙河上的便桥部分，活脱脱地反映了已达到很高水平的造桥技术。又如，在葡萄牙首都里斯本附近的一个古罗马桥梁，桥分 6 拱，大小不一，连接深谷危岸之间，气魄很大，直到今日仍可使用。公元 104 年在匈牙利段的多瑙河上还建成了 21 孔木拱桥，各孔跨径为 36 米，规模相当可观。

古罗马时代的石拱桥，其拱圈呈半圆形，拱石大都经过工匠细凿，因此，拱石之间砌缝很小，不用砂浆，而且桥体坚固、美观。此外，桥墩宽度对拱的跨度之比大多为 $1/2$ 左右。

（8）水泥问世与建筑教育的发展

建筑的发展离不开新材料的研究与进步。每一种新型建材的诞生，都会对建筑业的发展起到重要的推动作用。作为重要的建材品种的水泥，从诞生之日起，就为建筑界所注目。水泥是何时出现的呢？其具体年代已无详考。但多数专家认为在公元前 2,000 年左右。当时，罗马人用石灰和火山灰的混合物作胶结材料，制成了天然混凝土，这就是最初的水泥，常称为罗马水泥。这种水泥出现后，迅速地应用于建筑。到公元前 1 世纪时，几乎完全代替了传统的石材。

推动罗马建筑发展的另一个重要因素是古代建筑教育。公元前 1 世纪维特鲁威的《建筑十书》，对建筑教育提出了一系列要求，强调建筑理论和实践的结合。公元 288 年，罗马城出现了第一所工程技术学校，从此开始了学校建筑教育。以后的东罗马帝国在各地设立了建筑工程训练学校，建筑教育更为盛行，为建筑业的发展培养了很多技术人才。

2. 中国古代建筑技术体系的形成

中国的古代建筑，源远流长，风格迥异，技术独特。到了世界古代后期，则大步跨入了空前发展的历史时代。

秦始皇灭六国，建立了统一的封建帝国。并集中原属七国的人力、物力和技术，修筑了纵横全国的驰道，连结了横亘北部的长城，营造了规模宏大的阿房宫，建成了空前绝后的始皇陵，扩建了布局独特的咸阳城，并在东至黄河、西至泾水，南至南山、北至九峡的广大范围内，仿照六国宫殿的样式，建起了众多的离宫别馆。沸腾的建筑浪潮使悠久的建筑技术得以交流和集中，为中华民族建筑技术风格的形成而开基立业了。

西汉社会经济繁荣，国力昌盛，建筑也在此时出现了第一个高潮。西汉长安，面积 35 平方公里，周围建有 7 座卫星城性质的陵邑，西南凿有昆明池。长安宫殿规模巨大，从未宫前殿遗址和新发掘的武库，西汉明堂辟雍、王莽宗庙遗址来看，当时的宫殿乃是木构技术和夯土技术相结合的台榭建筑。王莽宗庙的 11 座建筑物，排列有序，严格对称，说明大型建筑群已有整体的规划。此时还有计划地建造地方城市、屯垦城市和边防障塞。西汉帝陵规制宏大，仅茂陵的地面封土就达 230 米见方，且外有围墙，四面建阙。各地的王墓往往凿山而建，内造木构椁室。

光武帝刘秀复国，长安已经残破，只得迁都洛阳，为汉代的城市建筑增添了重要的内容。从出土的大量壁画、画像石、画像砖和明器的图案中，可以看到东汉时期的各种建筑形制，诸如宅院、坞壁、重楼、厅堂、仓廩、圈、望楼，以至门、窗、柱、槛、斗拱、瓦饰、阶基、铺首、栏板、棊格等等，显现出汉代世俗建筑的技术风貌。在墓室中用砖石拱卷取代木椁墓是东汉建筑的一个新特点。对于陶井圈、陶水管、砖石地下水道的使用则更加普遍。

魏晋南北朝的民族裂变，导致了民族迁移和文化混融，并为建筑技术的发展提供了历史机遇。汉代建筑技术的华夏特色，佛教建筑技术的异域风采，都得到了传播和发展，各族人民的生活起居方式也发生了变化。魏都邺城，采取宫城在北，里坊在南的分区规划，对后世影响不小。曹魏洛阳城，正殿左右建东西堂，这种体制一直沿用到南北朝。西晋佛教盛行，寺院、佛塔、石窟与日俱增，这些建筑的造型，装饰题材、石雕、壁画技法等等，都被世俗建筑借鉴吸收。西晋重建洛阳城，其桥道、闸堰、窦渠等工程技术水平很高，成为古代同类建筑的典范。

南北朝的佛寺建筑极多，早期寺以塔为重，后来则塔殿并重。北魏洛阳永宁寺塔，是古代最宏伟的楼阁型木塔。南方则以中心柱结构为塔式主流，并传入日本。砖塔始于西晋，现存最古老的河南登封北魏嵩岳寺砖塔，是密檐式塔的先声。同时也出现了可以登临的层楼式砖石塔。

在材料工艺和技术方面，出现了砖卷门窗洞；琉璃制品建筑，模型花砖壁面和地面，塔刹和门窗装饰镏金件，曲面屋顶，起翘屋角，大型鸱尾瓦饰，佛寺大幅壁画等等。

（1）建筑技术的划时代发展

建筑是规划设计，建筑材料、工程技术的综合产物。从整体意义上说，秦皇汉武都是建筑史上的风云人物。他们领导了中国古代建筑发展的历史潮流，推动了建筑技术的普遍应用，劳动人民则将聪明才智化为技术成果，创造出巧夺天工的建筑实体来。在长期的建筑实践中，华夏民族特有的整体布局方式、木架结构体系、砖石工艺体系等技术类型，形成了中国古代建筑的典型风格，其演变过程就在世界古代后期的中国历代帝国之际。汉武帝时期则是中国古代建筑史上的第一个高潮。

木架结构体系和砖石工艺体系是中国古代建筑的两大技术系列。而木架结构体系和古希腊模式一样，同为世界级的建筑风格的典型代表。

木架结构是中国古代建筑技术体系中最重要技术类型。其中又有大木作和小木作之别，大木作包括抬梁式构架、穿斗式构架、井干式构架的斗拱等主要形式。小木作也有隔断、龕櫺、天花、藻井等形式，从西周到南北朝，大木作的各种技术类型均处于演变过程之中，因而具有创新意义。

抬梁式构架以柱、梁、檩、椽为主要构件，其特点是在柱顶和柱网的水

平铺作层上，沿房屋进深方向架数层叠架的梁，梁逐层缩短，层间垫短柱或木块，最上层梁中间立小柱或三角撑，形成三角形层架。相邻层架间，在各层梁的两端和最上层梁中间小柱上架檩，檩间架椽，构成双坡顶房屋的空间骨架。房屋的屋面重量通过椽梁柱传到基础上，墙壁只起隔断作用。所以，门窗可以自由开设，室内空间的分隔、墙壁的材料和作法等都有很大的灵活性。这种方法至迟在春秋已经存在；从四川成都出土的东汉庭院画像砖上的图案可知，它在秦汉时期已经成熟。

穿斗式构架与抬梁式构架的区别是没有梁，主要构架为柱、檩、椽、斗枋、子等。它的特点是，沿着房屋的进深方向按照檩数这一排柱，每柱上架一檩，檩上布椽，屋面重量直接由檩传至柱，每排柱子靠穿透柱身的穿枋横向贯穿起来，形成一所房屋的空间构架。斗枋用在檐柱柱头之间，子用在内柱之间，它们往往兼作房屋阁楼的龙骨。这种以柱承檩的构架方式和早期的纵架结构有着一定的渊源关系，在汉代画像石中不乏其例。后与抬梁式构架相结合，流传至今。

井干式构架在商代墓椁中已有应用，汉墓仍在沿用。目前所见到的最早的井干式房屋的形象和文献都是汉代的。这种结构以圆木或矩形、六角形木料平行向上层层叠置，在转角处交叉咬合，形成四壁，再在左右两侧壁上立矮柱承接脊檩构成房屋。因其构架形如古代井上的木围栏而得名，若用于房屋下部则称为干阑式构造。

斗拱是中国传统木构架体系中所独有的构件，用于柱顶、额枋和屋檐或构架间。它的出现和演变，被看作是中国传统木构架建筑形制演变的重要标志。据此，建筑史学将其历史发展划分为三个阶段，即西周至南北朝阶段、唐代至元代阶段、明代至清代阶段。在第一阶段，斗拱的使用呈现出日益普遍的趋势。从考古发掘中可知，西周铜器矢令簋上已有大斗的形象，战国中山国墓出土的铜方案上有斗和45度斜置拱的形象，汉代的石阙、明器、画像石、画像砖上均有斗拱的形象。从这些文物中可以看出，斗拱的使用是在柱顶以其承托檩、梁或楼层地面枋、挑梁外端以其承托檐檩，彼此之间不相连。汉代以后始在柱间用斗拱。最初是人字型的斗拱，即在额枋上立一个叉手，上置一斗，承托檐檩。

第一阶段，斗拱的形制尚未定型，但它的出现具有划时代的意义。尤其是为高大建筑解决了技术难题，并引起屋顶形式的多样化发展，在汉代已有庑殿、悬山、囤顶、攒尖、歇山5种主要类型，进而又出现了庑殿顶和庇檐组合而成的重檐屋顶。东晋时，又创造出屋角起翘的新样式，使体量大的屋顶变得轻盈得体。高大建筑物的室内多用复斗和天花。天花除了有方格和长方格平处，还采用长方形平基构成人字形顶棚，并在天花和藻井上绘制图画。显示出南北朝建筑的巧丽、柔和的特征。

木架结构的应用，开拓了古代建筑的广阔天地，建筑形式亦如百花争艳般地展现出来。如秦汉等各朝代的宫殿、坛庙、石室，以及亭、台、楼、阁、榭、廊、槛、阙等等。据载，汉武帝建有神明台，高约170米，台上还有一座约70米高的承露盘。如果不是运用木构架技术的话，建造如此高大的建筑岂不是天方夜谭？

砖石工艺体系与木架结构体系珠联璧合、相得益彰，共同显示出中国古代建筑的典型特色。其基本构件是砖、瓦、石等主要建筑材料。但它们都来源于天然物质，因此砖、瓦、石的加工技术及其应用技术也就成为古代建筑

技术的重要组成部分了。

砖的制造技术和使用技术在建筑史上称为砖作，大约源于先秦，但“砖”字到了隋唐才出现。其古字是“甃”与“𡇗”字通用，即指土坯。最早的砖有方形、曲形、空心3种。但生产量少，使用量小。秦始皇陵出土了一种大空心砖，长方形扁平状，空心呈概圆，表面有龙纹。说明砖的生产技术已经很高。西汉武帝时，条形砖出现。其特点是整齐划一，坚实细致，承重性强。这种标准件的普遍采用，标志着砖的生产技术开始成熟。此时，砖也被广泛地应用于房屋、衬井、下水道、地下墓室等建筑物上。同时，砖的生产迅速发展，成为独立的手工业行业，但仍以生产空心砖、异形砖为主。

砖的出现，促使建筑结构发生了变化，拱和穹窿在战国、两汉应运而生。如汉代的墓室，已用拱卷和穹窿顶代替了梁氏结构，有效地解决了商周以来墓室下陷、木椁被压等问题。汉代的砖室墓也与日俱增，墓壁上镶嵌着“画像砖”。这种砖一般为实心砖；图象有收获、渔猎、煮盐、酿酒、宴乐、收租、房屋、车马出行等等，多是墓主人生前的生活内容；制作工艺采取模制的浅浮雕方法。在房屋建筑中，砖多用于台基和墁地，贴墙和垒墙也有使用，住宅中也使用了画像砖。

魏晋南北朝时，制砖技术又有提高。这时的砖已经定型，尺寸缩小，广泛应用于各类建筑。常用的那种条形砖长35厘米，宽17厘米，厚5厘米，成为建筑用砖的主流。此时，青砖和窰水技术已普遍使用。窰水工艺的发明年代虽然没有定论，但在南北朝时已经普及。窰水也叫涸青。其原理是，在砖坯入窰烧足后、先撤火，再向窰内热坯渗水，使窰内成为一种还原装置，使热坯中的碳大量还原出来，并积淀于砖的缝隙之中。由于热坯遇水速冷，还可缩短生产周期。这种工艺生产的青砖，具有强度高、抗风化力强的特点，为高大建筑和地下建筑提供了优质材料。同时，砖体结构的建筑物也开始出现。建于北魏正光四年（公元523年）的河南登封嵩岳寺塔就是一例，标志着砖体结构技术的巨大进步。

南北朝时，砖开始用于制作壁画。如江苏丹阳的南齐墓，就出土了一幅砖材壁画。壁画通长24米，高0.8米；以小块模印画像砖拼联而成。其雕刻、制模、成坯、烧造、窰水、砌筑等技术水平之高，令人叹服。

瓦的制造和使用被称为瓦作，它比砖要早。瓦的制作在西汉武帝时出现了一次重大变革。此前，瓦都是用泥条盘筑法制作，烧造的火候也比较低。制作方法是先将陶泥制成陶坯，然后剖开坯筒，入窰烧造。四剖或六剖称板瓦，对剖为筒瓦。古人称剖瓦为“削”，剖开后谓之“瓦解”。近年在陕西岐山县凤雏村西周早期宫殿遗址，首次发现了我国最早的瓦，当时的瓦仅用于屋脊上；到了西周中期，才用瓦覆盖屋顶。瓦的品种已有板瓦、筒瓦、半瓦当，而且还有面带纹饰的瓦。战国时，制瓦业迅速发展，瓦的质量比春秋时有所提高。河北易县燕下都遗址出土了一种大瓦，瓦身外面有黼黻（f(f*)）纹装饰图案。这种大瓦，一般用在屋脊上作为“护脊瓦”，或用在墙头上作为“护墙瓦”。因为古代宫室的顶脊和板筑的土墙都要遮雨维护，便把一块一块的大瓦接连覆盖在上面，既可防风遮雨，又可赏心悦目。有些大瓦上甚至雕刻兽纹的陶栏杆，更加壮观了。板瓦一直用于铺盖屋顶。筒瓦则覆盖在两行板瓦的接缝上，以防渗水。瓦当是屋檐上筒瓦的瓦头。战国时的瓦当都印有花纹，并出现了圆瓦当。有的圆瓦当带有乳钉纹或地凹云纹，瓦钉为菱形花式帽。秦国的圆瓦当出现了卷云纹图案。

西汉武帝前后，轮制技术应用到制瓦行业，泥条盘筑法逐渐被淘汰。瓦的质量进一步提高，产量也大大增加，应用更加普遍。现在仍有不少人藏有汉代的瓦当，其头面为圆形，带有“延年益寿”、“长乐未央”等用篆书组成的图案，非常精美珍贵，质量尤为上乘。建筑行业流行的“秦砖汉瓦”一语，也说明汉代的制瓦技术和秦代制砖一样，是有口皆碑的。

魏晋南北朝时，制瓦行业和制瓦技术又有发展。北魏时，出现了瓦窑。窑主称“遗主”，下设主管制瓦的“匠”，用陶轮制坯的“轮头”，分割瓦坯的“削头”，打磨瓦面的“昆人”等工师。此时，圆瓦当的图案演变为莲花纹和兽头纹。当时流行的板瓦多为“花头”形，即瓦沿下部为波浪式或锯齿形，利于束水、滴水。还有一种“垂唇”板瓦，排水效果更佳。板瓦的色泽呈深褐色，质地细密，烧制温度高。瓦面经磨削后，涂上一层陶衣，抗渗性很强。东魏、北齐时，砖瓦的正面均为黑色，油光发亮，敲击时声音清脆，烧制的温度较高。这与当时的文献记载相符。元西贤《河朔访古记》引《邺中记》语：“北齐起邺南城，其瓦皆以胡桃油油之。”说明涂以胡桃油的生产工艺已被引入瓦的制作技术中来。

更有历史意义的是，琉璃瓦在北魏时出现，应用于檐脊，称为“剪边琉璃”。这是制瓦技术的又一个重大突破，并形成了建筑技术上的一个新类型——窑作。

石材的制作和应用均属于石作技术的范畴，比之砖瓦更加普遍。春秋以来各国在修筑长城时，都采取“就地取材”的策略，就地采石，就地加工，就地使用。至今，在长城的某些段落，仍可看到秦汉的条石。石乃锤凿加工而成。另如宫殿的地基、台阶、陵墓的石桩（后称为碑）、墓室等均大量用石，甚至出现了全石构造的石祠、石阙和石墓。例如，四川雅安出土的东汉高额阙，不但构造全部用石，而且还以高超的雕刻技艺创作出精美的图案。阙身则仿木构形制，雕凿为柱、枋、人物、车马和兽类，上部覆以瓦顶，形体高大而比例得当，技艺水平很高。

魏晋南北朝是开凿石窟的火热年代，除了雕刻艺术的蓬勃发展外，建筑工艺也得到了提高。此时开凿的麦积山、响堂山、天门山石窟，石工们以其精确而细腻的手法，雕制了仿木结构的外廊，以及僧侣们起居、工作的石室，这些高水平的石材建筑工程所积累的丰富经验，为隋代建造举世闻名的安济桥奠定了技术基础。

除了上述技术类型外，秦汉前后还有土作、泥作、雕作、搭材作的普遍应用，它们和大木作、小木作、砖作、瓦作、石作、窑作一起，共同组成了中国古代建筑的技术部类，成为世界古代后期建筑史上的一个重要领域。

（2）长城的建筑技术特色

长城是建筑史上的奇迹，始建于战国时期。当时，秦、楚、燕、韩、齐、赵、魏七个国家，为了自卫，纷纷筑起了界墙。秦始皇统一中国后，于公元前 214 年派大将蒙恬率数 10 万军民，将北部原有城墙连接起来，成为规模巨大的万里长城。据《史记·蒙恬传》记载，长城“起临洮（今甘肃岷县）至辽东（今辽宁遂城），延袤（m4o，长的意思）万余里”。西汉统治者为了保护通往西域的河西走廊，对秦长城加以修葺，并在东西两端加筑城墙。东段城墙经内蒙古的狼山、阴山、赤峰至吉林；西段城墙由亭障经甘肃敦煌、玉门关，直至新疆境内。而且，沿长城建造了许多关塞。后来，北魏、北齐、北周、隋各代均对北部长城进行修缮，直至明代。

万里长城自然要经过无数的高山峻岭，横跨错综复杂的河流溪谷，穿过人迹罕至的大漠瀚海和黄土高原，地理地貌极为复杂，工程难度之大可想而知。长城的建设者们本着“因地制宜、就地取材、因材筑造”的精神，创造出许多卓有成效的建筑技术来。

城墙和关塞是长城的两大基本建筑形式，首先是筑城技术。根据实地考察和文史记载，秦汉时期的筑城技术已不下4种。

一是土版筑城法。现存的秦代临洮长城就是用这种方法筑成的。彼时临洮一带属黄土高原地貌，缺乏其他建筑材料，遂采取土版或土击即土坯筑城。

二是压叠筑城法。玉门关一带，戈壁荒砂，筑城材料奇缺。建筑者们采用沙砾石层层压叠红柳或芦苇的方法筑成墙体。现在，玉门关尚有汉代长城的残垣，高约5至6米，其压叠层次清晰可辨。

三是垒石筑墙法。高山缺土地段，便开凿岩石，加工成长方体为主的料石，叠垒墙体。现在赤峰附近残墙，高约2米，顶宽2米，底宽6米，皆为斜石堆垒，而且收分显著。

四是木石相间法。凡是山岩溪谷之地，便以料石青砖奠基、起拱、平顶；再以木结构建筑形式起墙、立栅，即完成了险要城段的建筑，又能减轻拱洞的负荷。

关塞是用于驻军和报警的建筑形式，包括烽、燧、关、侯城，屯戎城等军事建筑。在长城全线修建关塞，是汉代的创举。

“烽”又称“烽台”、“烽火台”。做法因地制宜，多建在山巅，梯形柱体，方5至8米，高约3.5米。底部座落在墙体之上，两面开门，辟梯道盘旋而上，即达顶部；顶部为平台，作为军事活动场所；遇敌情时，白天举蓬生烟，或扬表为号，夜间则举火，昼夜均焚燃积薪并击鼓，依次传递警报。两台相距500米至1000米，为视听可及；筑台采用黄土夯筑和石块垒砌两种方法。甘肃居延一带的烽台均为夯土筑成，内蒙古哈隆格乃山谷则以石块砌成。

“燧”即“亭燧”，是烽台四周或临近烽台的据点，四面围有燧墙，墙上辟门，平时驻兵防守。甘肃居延甲渠第四燧为城堡型，底部为11.5米×14.5米，门宽0.7米，门外有曲尺形护门墙，称为“壅门”。院内建两间小屋，烽台设在东北角。

“关”是设在天险或要害部位的门户，由关门、烽燧，坞堡组成。关门是出入长城的门道。例如居延以南的肩水金关，两侧以夯土筑屋，中间夹着5米宽的门道，侧壁以木柱承托顶部；屋壁厚1.2米，有土坯砌的登顶磴道，表明上面有防守的楼橹；关门处地面埋设木尖柱，俗称“虎落”，中间只留一条通道；关门西南有座小城，长38米，宽33米，门向东南，墙厚不到1米，沿着内壁建居室、仓库、马厩等；此关的核心部分是一亭燧，位于西墙中部。燧的面积约11.5米×13.5米，墙厚约1.5米，内建房屋，烽台建在亭燧的西北角墙外，从布置可以看出，它是由亭燧发展为坞堡的。“烽燧”是烽台和亭燧的结合体；“坞堡”则是守关吏卒的居住之所，烽燧就建在其中，因而它是一座堡垒城。

“侯城”又叫障城，是管辖一段防线的侯官屯驻的城堡。有的侯城外面建有城壕，有的建有瓮城。居延甲渠侯官城堡遗址，底面积47.5米×45.5米，夯土墙厚2米。门在东墙偏南部位，门外有曲尺形护门墙。院内建有居室、仓库等。其中一间面积为5米×8米，当是侯官住室。城西北角外附建

一座小堡，方 23.3 米，土坯砌墙厚达 4.5 米，门向内开。堡内西墙附近建屋，靠壁有磴道可登上墙顶，顶部建有大型防守瞭望的建筑。内蒙古西北部汉长城一线发现了更大的侯城遗址。其中的鸡鹿寨遗址，城方 68 米，用块石砌成，城残高 7 米，南面正中开 1 门，门外有曲尺形护门墙，城四角有 45° 斜出的城垛。阿尔乎热古城的周长为 450 米，以夯土筑成，四角有斜出的墙垛，南门外建有瓮城，城外有城壕。

“屯戍城”是边塞城市，平面多为方形，其中心或一角建有子城。如呼和浩特塔布秃汉代古城，面积为 850 米×900 米，城中偏北部建有边长 230 米的小城。据考证，小城内为官署，大城南部为民居和兵营，城外有农垦区，成为一座耕战兼备的边塞重镇。

此外，与修建长城有关的，还有勘测技术，材料加工技术，运输技术等。其内容之多，是一言难尽的。

（3）城市设计的演进

建筑设计是一种技艺，同时也是建筑学的核心。其内容包括两个方面：一是有关平面布局、空间组合、交通安排和建筑艺术效果等一般建筑规律的问题，二是从各种建筑的内容、特性、功能等方面总结设计经验，通过范例阐述设计存在的问题和解决问题的方法。中国古代的城市设计有着悠久的历史，进入秦汉以后更加大放异彩，向着系统化的方向演进。

秦都咸阳是一座规模宏大的都市。据《史记·秦本纪》载，秦孝公 12 年（公元前 350 年）兴建咸阳城。秦始皇统一中国后，又役使“徒刑者”70 余万人在渭水南岸大兴土木，并迁入富家 12 万户，使之成为人口最多、工商麋集的大都会。《史记》又载，秦“每破诸侯，写放其宫室，作之咸阳北阪上，南临渭、自雍门以东，至泾渭，殿屋复道相属”。进而，“二十七年，作信宫渭南，已而更命信宫为极庙，象天极。自极庙道通酈山，作甘泉前殿，筑甬道，自咸阳属之。”又载“三十五年，始皇以为咸阳人多，先王之宫廷小，乃营作朝宫渭南上林苑中”。这些记载，描述了秦始皇在征服六国的过程中，吸取各国的建筑风格和技术成就荟萃于咸阳的壮举，以及不断扩建的规模，展现了咸阳城的状貌。

咸阳城的布局情况已不可考。根据成书于春秋末期的《考工记》等文献记载，中国古代城市规划强调战略思想和整体观念，强调城市与自然结合，强调严格的等级观念。这些思想集中地表现在“四方之极”、“首善之区”的都城建设上。“四方之极”一般表现为长方形平面城址。“首善之区”的创意则各有千秋，要考虑到方位、地势、水源、物产等等因素，必须从观念上加以强化。咸阳城的重心所在是三宫，其中，信宫是大朝，北宫为正寝和后宫，甘泉宫是避暑之地并为太后所居。据《三辅黄图》载，始皇“筑咸阳宫，因北陵营殿，端门四达，以则紫宫，象帝居，渭水贯都，以象天汉，横桥南渡，以法牵牛”。这就真切地揭示了首善之区的创意：信宫之前建甘泉前殿，其端门通往四面八方，信宫也就状如天上的紫微垣，象征着帝王之居；渭水穿过全城，恰似天上的银河，河上的桥梁沟通两岸，好使牵牛和织女常相往来……。这种“象天立宫”的观念赋予咸阳城何等的奥妙啊！

咸阳城的另一特色是坐西朝东。据说源于邹衍的“五行”之说。战国人邹衍依据“五行相生”说，创立“五德始终”说，用来解释朝代兴替的原因，为新兴王朝提供理论依据。邹衍认为：黄帝至虞舜代表土德，色尚黄；夏代表木德，色尚青；殷代表金德，色尚白；周代表火德，色尚赤；继周而起的

将是水德，色尚黑；水的方位东，因此咸阳城坐西朝东。官员服饰崇尚黑色，都城建筑也以黑色为主。

公元 206 年，项羽火烧咸阳。同年，刘邦代秦，改国号为汉，将都城建在龙首原上，并借用附近的一个村名——长安作为都名，意为长治久安。高祖七年，丞相萧何在秦代兴乐宫的基础上修建长乐宫和未央宫。汉惠帝（公元前 194 年—前 188 年）时，又大规模地修筑城墙。由于地形制约，长安城的平面呈不规则形状。城墙实测为 22.5 公里，每面开 3 座城门，每门设了 3 个门洞，门洞宽 8 米，各通一条大道，每条道路可并行 4 辆马车，路与路相互平行或垂直相交。其中，安门内大街纵贯南北，长达 5.5 公里，宽约 50 米，中央专设 20 米宽的驰道，为皇帝专用。大街两侧开沟，沟外还有宽 13 米的街道，两旁植以林木。

长安城内建有 3 大宫殿区，即东南长乐宫、西南未央宫、正西章宫。因章宫建在城外，属于离宫性质。长安城南郊现存十几座规模巨大的礼制建筑遗址，其平面沿着纵横两条轴线成对称式布局，外面围有方形围墙，四面辟门，庭院中筑有高起的夯土台，台上为木构建筑。另据《三辅黄图》记载，城内还有 9 府、3 庙、9 市和 160 个闾里，分布于城的北部及南部长乐、未央二宫之间；闾里之间设有“弹室”，以控制居民。

长安城的设计，取龙首，长安之寓意，以“紫气东来”为面向，以南城为重心，礼置建筑置于城外，闾里、官署相杂，城墙并不规则等，成为自身的特色。

东汉建安十八年（公元 213 年），曹魏在漳水南岸建都邺城（今河南安阳东北），后赵、前燕、东魏、北齐等朝代先后定都于此。该城平面长方形，东西长约 3000 米，南北约 2160 米。邺城建两重城垣：郭城和宫城。郭城开 7 座城门，南面 3 座，东、西各 1 座，北面 2 座。一条横贯东西的大道将全城分为南北两部分，宫城位于北部中央的南北轴线上。大朝的主要建筑位于宫城的中部，其东侧为处理朝政的朝堂和官署，官署东是王室、贵族居住的戚里区。宫城的西侧皇家御苑铜雀苑。其中有粮仓、武器库和马厩；西北部凭借加高的城墙筑成铜雀、金虎、冰井 3 台，平时可供游览和检阅城外军马演习之用，战时作为城防要塞。东西干道以南为居民区，划分若干坊里。3 条南北向干道分别通向南面 3 座城门，中轴线大道北通宫城的北门端门。城的东门外为对外交往和设市之地，迎宾馆建安驿就在此地。城的西门外有大片皇家苑圃和水面，曹操曾在此操练水军。为了供应城内用水，引漳河水从铜雀 3 台下流入宫禁地区，部分河水分流至坊里区，从东门一带流出城外。

邺城的建筑设计继承了战国时期以宫城为中心的规划思想，改进了汉代长安城闾里与宫城相杂、布局松散的状况，成为一个功能分区明确、结构严谨的设计类型；城中主要道路正对城门，干道在宫门前成丁字形相交，把一般建筑群的中轴线对称的布局手法扩大应用于整个城市，并影响到后世的唐长安城。因此，这种布局形式在古代城市规划史上有着重要意义。但这种布局方式也有缺点，由于宫城把北部地区分为两部分，导致东西向交通不便。

建康城是中古时江南六朝的都城。公元 229 年吴国兴建，经东晋和南朝的宋、齐、梁、陈，作为都城的历史达 322 年。

建康位于长江下游的东南岸，位置相当于今南京城北部。其北面有玄武湖相伴，东北依钟山，东有湖泊青溪萦绕，西面是起伏的丘陵，秦淮河经城外南、西两面流过。因凭借长江天险，素有虎踞龙蟠之势。自奠都到公元 589

年陈灭亡之时，人口已超过 100 万。吴时都城（称建业）的周长超过万米，南北较长，东西略短，宫城在城内偏北部位，西为孙权建的的太初宫，东为孙皓的昭明宫和苑城。

东晋和南朝的都城沿用吴旧城，增至 9 座城门，南面 3 座，东西北面各 2 座。东晋咸和年间在吴昭明宫、苑城的旧址上建造宫城，称建康宫，又称台城；建有 3 重宫墙，外墙周长 4000 米；南面正门为大司马门，直对都城正门宣阳门，两门之间为 1000 米长的御道，两侧开有御沟，沟旁植以槐、柳。大司马门前的东西向横街连接都城的的东西正门。宫城的北部是华林园，原为东吴的旧宫苑，宋时加以扩建。都城的东北郊分布苑囿，覆舟山有乐游苑。都城城北是玄武湖，东晋时建筑长堤以防水患，并引湖水进入华林园、天渊池和宫内诸沟，最后注入南城壕。

建康城没有郭城。其西南建有石头城和西州城，北郊长江边筑白石垒，东北有钟山，东面建有东府城，东南两面沿着青溪和秦淮河立栅墙，设篱门，成为外围防线。在宣阳门正南 2500 米为朱雀门，门外秦淮河上建有浮桥朱雀航。两门之间五里御道的两侧布置官署府寺，延至秦淮河畔，均为居住里巷。著名的长安里就在秦淮河南岸，北岸则是东晋王、谢名门巨族累世居住的乌衣巷。王公贵族的府邸多分布在城东风景优美的青溪一带。

六朝帝王均崇奉佛教，建康城内外的佛寺多达 500 余所。城中河道以秦淮河通长江，又从秦淮河引运渎直通宫城太仓，运输贡赋，北引玄武湖水南注青溪和运渎，以保证漕运和城壕用水。

建康为江南水乡都城，格调与北方都城自有不同。其地貌胜景和配建卫星城的格局，使六朝金粉的建康城更富有别具一格的巧思。

从上述都城的整体布局来看，秦汉至南北朝的都城设计表现出下列特点：一是思想上以“天人合一”、“象天立宫”为信念，选择有利地形规划，以符合“四方之极”和“首善之区”的法统；二是郭城建设因地制宜，但趋向于两重城垣，并以宫城为核心，以中轴线有建筑为主体，左右对称，改坐西朝东为坐北朝南，为隋唐都城建筑的定型化打下了基础；三是由闾里、坊里制逐渐由里巷制转变，将汉长安城的闾里、官署相参改为分区居住，以体现严格的等级界限，同时也便于行政管理；四是开发了卫星城，使都城建设成为辐射状的广阔区域，体现出具有战略意义的设计思想和规划风格。

（4）技术密集的宫殿建筑

皇宫是建筑技术的精华所在。在秦汉魏晋南北朝的万千宫殿中，尤以秦宫和汉宫为最。

秦代诸宫，阿房称为奇迹。据《史记》载：“先作前殿阿房，东西五百步，南北 50 丈，上可以坐万人，下可以建五丈旗。周驰为阁道，自殿下直抵南山。表南山之颠以为阙，为复道，自阿房渡渭，属之咸阳。”虽然，司马迁的文笔极为精炼，但仍将阿房宫的宏大规模跃然纸上。据考证，阿房宫遗址在今西安市三桥镇南，只留下长方形的夯筑土台，东西长约 1300 米，南北宽约 500 米，西北部至今仍高出地面 10 米左右，夯土均匀密实。遗址上还有一座 10 多米的夯土高台，位于前殿附近，为“始皇上天台”地基，残存一些石柱础，空心砖砌筑的踏步、陶制水管道，以及不少秦瓦等。从这点微薄的可靠资料分析，阿房宫是一座以木架结构为主体的群体建筑。首先，它不是以单一的独立的个别建筑物为目标，而是在空间规模的巨大环境中平面铺开，以相互连接和彼此呼应的群体建筑为特色，构成了一个多样变化而又均

衡统一的平面整体。第二，在群体建筑的相互联系和配合中，通过复杂的楼阁台榭廊槛等等建筑形式，实现“五步一楼，十步一阁；廊腰缦回，檐牙高啄”的意境，形成一种具有深度空间的庭院式宫殿建筑形式。第三，夯土奠基，砖石砌垒，青瓦覆顶，柱、梁、檩、椽、斗拱等木架结构，陶制下水管道等工程形式，成为阿房宫的重要技术内容。第四，阿房宫的上林苑的前殿，巧妙地借助和囊括自然风光，山水相依，宫苑相映，这是中国古代离宫建筑的一大特色。

西汉长安城的未央、长乐、建章三宫，分别为朝宫、寝宫和离宫，其中建有殿、台、楼、阁、观、阙、道、廊、河、池、岛、桥等若干品类，凝结着建筑技术的万千精华。

未央宫是大朝所在地，为汉朝正宫，位于长安城的西南部，踞于龙首原上，削土山为高台，作为宫城建筑的台基。这是战国以来高台建筑风格的延续。该宫设南、北两座宫门，门前各立一阙，阙内建司马门。宫内著名建筑就有40多座。未央宫的前殿为正殿，平面阔大而进深浅，横向狭长形，这是汉宫建筑的又一个特点，殿内划分为3部分：中间为大朝，东西两部为日朝。这与周朝采用的“外朝、治朝、燕朝”的三朝制度明显有别。因其与阿房宫前殿形制相似，故东汉张衡《西京赋》谓为“览秦制跨周法”。关于未央宫的大小，文献记载不一。经现代勘查，宫城周长8560米，占地4.6平方公里，城为方形。长乐宫汉代太后的寝宫，面积6.6平方公里，周长为10600米，位于长安城的东南部，与西南部未央宫辉映相望。

建章宫是西汉时期的一座离宫，但在古代建筑史上的地位非常突出。据《三辅黄图》记载：“周二十余里，千门万户，在未央宫西，长安城外。”太初元年（公元前104年），汉武帝决定在西城外兴建建章宫，先后建成了“内外宫馆一百四十五所”，形成了一座具有苑囿特色的庞大离宫。

从建筑布局上看，建章宫也是因地制宜，外围城垣呈南北两头宽阔而中部略窄的不规则形状。垣城东南角的凤阙门为宫城入口；正门闾阖与圆阙、玉堂、建章前殿、天梁宫等主要建筑形成了一条南北向的中轴线，其他宫室分布左右，周围以阁道相连。宫城的北部是宽广的太液池，东部为唐中庭和唐中池。

在中轴线上，排列着数重门、阙。北起正门名曰闾阖，又称璧门，高达二十五丈（约合83米），为城关式建筑；其左为宫城入口的凤阙，右有著名的神明台，高达五十丈（约合166.7米），台上铜质仙人舒掌擎铜盘玉杯，承接雨露。正对闾阖的是圆阙，其左有别凤阙，为出入宫城专备；其右即是是井干楼，有前殿高过未央前殿，可下视未央宫全景。正对圆阙的雌蜺阙，过此阙即是玉堂，建于高台之上，屋顶立一只铜凤，高5尺（约合1.66米），通体饰以黄金，下有转动枢纽，可随风而动。正对玉堂的便是建章前殿，左右排列枌诣宫、奇华殿、承华殿等等。与建章前殿正对的则是天梁宫，左右分别为骀荡宫、馭娑宫。再往北又有高耸入云的凉风台。此外，还建有桂宫，北宫等众多殿堂。班固《西都赋》记述：“前乘秦岭，后越九嶷，东薄河华，西涉歧雍，宫馆百有余区。”

由于汉代盛行高台之风，殿台楼阁观阙尽皆高大雄伟，为了方便往来，宫、殿之间便以辇道、复道、阁道相连。《史记·孝武本纪》载：“立神明台、井干楼，度五十余丈，辇道相属。”班固说：“修除飞阁，自未央宫而连桂宫，北弥明而亘长乐，陵磴道而超西墉，搃建章而连外属。”可见、辇

道、复道，特别飞阁式架空廊道的出现，构成了建章宫建筑体系的一大特色。

北部太液池本是人工开挖的一片人工湖，因筑有蓬莱、方壶、瀛州 3 座山岛而著称于史。《史记·孝武本纪》载：“其北治大池，渐台高二十余丈，名曰大液池，中有蓬莱、方丈、瀛州、壶梁象海中神山，龟鱼之属。”这种“一池三山”的建筑模式对后世的园林建筑产生了深远的影响。

太液池畔还置有石雕装饰。《三辅故事》载：“池北岸有石鱼，长二丈，广五尺，西岸有龟二枚，各长六尺。”岸边遍是水生植物，沙石上禽鸟成群。《西京杂记》载：“太液池边皆是雕胡（结实的茭白）、紫葳（葭芦）、绿节（茭白）之类，……其间鳧雏雁子，布满充积，又多紫龟绿鳖。池边多平沙，沙上鸕鶿、鸕鶿、鸕鶿、鸕鶿，动辄成群。”这种借景称奇的造园手法也为后世自然山水宫苑的建设开了先河。

魏晋南北朝的宫殿建筑规模比之秦汉要小得多，但在体制演进上和技术发展上也有重要意义。

天平元年（公元 534 年），东魏自洛阳迁都于邺，在旧城南侧增建新城，史称邺南城。其建筑布局基本承继北魏洛阳形式，并将大批宫殿由洛阳迁到邺南城。正殿太极殿的左右建造东西堂，其两侧建造含元殿和凉风殿，其后建造朱华门和常朝所用的昭阳殿。由此可知，东魏宫殿的布局除采用曹魏并列的东西堂制度以外，又附会了《礼记》所载的“三朝”布局思想。这时于隋唐废止东西堂，完全采取“三朝”体制具有承前启后的作用。

在技术发展上，历代文献也有记载。

晋代陆翔《邺中记》中有关于曹魏邺城的记载：邺城西北隅建有 3 台，由南往北为金虎台、铜雀台、冰井台。“铜雀台高一十丈，有屋一百二十间”，“三台崇举，其高若云山。”足见 3 台的规模之大。又言：“三台皆砖甃，相去各六十步，上作阁道如浮桥，连以金屈戌（门窗上的环钮、搭扣）。”金虎台的台基为夯土而成，台基上部有 70 至 80 厘米的瓦朱层。说明，邺城 3 台已运用砖甃、金屈戌、瓦朱等材料进行建筑，而且“阁道如飞桥”的技术也是非同寻常的。

（5）住宅、园林、道路的建造

住宅建筑是人类生存发展的基本条件之一。从旧石器时代到商周社会，住宅建筑经历了原始人居住的天然崖洞，氏族部落的木架、草泥穴居和简易的地面房屋，商、周木架结构与夯土技术相结合的府第、民宅等几个阶段。但发展较快的时期当属秦汉魏晋南北朝时期。

根据文献以及对出土的画石像、画像砖、陶质明器的考古分析，秦汉住宅建筑大抵可分为二类：一是普通的民宅，如《三辅黄图》云：“长安闾里一百六十，室居栉比，门巷修直。”这里的室居就是民宅，其规模较小的为平面方形或长方形。规模较大的平面呈一字型或曲尺形。房屋的结构有 2 种形式，一是木架结构，采用的较为普遍；二是承重墙结构，用的较少。墙壁以夯土筑造。房门开在房屋一面的中间，或开在一旁。窗户有方形、横长方形、圆形等多种形式。屋顶大部分采用悬山顶或囤顶。规模较大的住宅则以墙垣形成院落。三合式与日字形平面的住宅，建有前后两个院落，中央一排房屋比较高，正中有楼高起，其余房屋均较之低矮，其外观主次分明。当时规模更大的住宅多为官僚、地主和富商所建。如四川出土的汉代画像砖中，住宅分左右两部分。主要部分为左侧的门、堂，大门为栅栏式，门内有两个庭院，木构回廊后院是面阔 3 间的单檐悬山式房屋，用插在柱内的斗拱承托

前檐，梁架为抬梁式结构。在侧部分也有前后两个院，均有回廊；前院内有厨房、水井等，后院有一方形高楼，屋顶为四注式，屋顶下饰以斗拱。河南郑州发掘的汉墓空心砖上也刻有前后两院的住宅图。前院建有围墙，右边建有门阙，临大街，院内可停车马。第二道门建在左侧，门上为重檐庑殿顶。门内为居室部分。两院内遍植花木。

另一类是权贵的府邸，习称“邸”或“府第”。如《史记·吕后本纪》记载的“齐邸”，即齐王在京的邸第。《汉书·燕王刘泽传》载，长安城内有诸侯邸百余处。这些大型府第外有正门，门顶中间高，两侧低，两旁设小门。大门内又有中门，能通马车，院内的主要建筑是前堂。堂后以墙、门分为内外两部分，居室部分在门内。前堂之后也有建后堂的，供饮食娱乐所用。此外还有马厩、厨房、车房、库房以及奴婢的住房等附属建筑。

魏晋、南北朝时的贵族住宅形式与汉时府邸相似，但大门采用庑殿式，再加鸱尾之类的大型装饰瓦。围墙建有连成排的直棂窗，内侧有走廊，环绕庭院。有的宅中有数个类似的庭院，形成一大型住宅。

园林建设随着住宅建筑的发展而发展。《尚书·旅獒》中有“为山九仞，功亏一篑”之说。《论语·子罕》中也已有“人工叠山”的记录。可见中国的人工叠山，渊源极早。但形成规模还是秦汉时期。据野史载：秦始皇作长池，引渭水，东西二百里，南北二十里，筑土为蓬莱山”。至汉代叠山之风气更旺盛。汉武帝在上林苑之建章宫北开挖太液池，池中起蓬莱、方壶、瀛洲 3 座神山。《汉官典职》有“宫内苑聚土为山，十里九城”之说。与此同时，一些达官、富豪相继大规模地营建园林。茂陵富民袁广汉，在茂陵北山下建的花园宅第：“构石为山”，“高十余丈，连延数里”。实际上东西约 1600 米，南北约 2000 米，园中重阁回廊徘徊相连，并引水为池，池中积沙为洲。园内种植花木，饲养奇兽珍禽。富于自然情趣。

中国自然风景式园林在魏晋、南北朝时更加盛行。北魏末期贵族们的住宅后面往往建有园林，园中有土山、钓台、曲沼，飞梁、重阁。叠石造山技术也有所提高。如洛阳张伦在自己庭院中建造的景阳山，“重岩复岭，深蹊洞壑；高林巨树，悬葛垂萝”，“有若自然”。《抱朴子·外篇》则有“起土山以淮嵩霍”的记载，形象地概括出这一阶段的叠山风格。自南北朝以来，一些士大夫标榜旷达风流、爱好自然野致，在造园时，聚石引泉，植林开涧，达到情景交融、朴素自然的意境，使小园的发展势头更盛，以至皇家的苑囿反过来效仿私人小园，吸取它的精华了。而这一时期所形成的园林风格对中国唐、宋、明、清的住宅园林建筑都产生了一定的影响。

（6）道路建设的发展与成就

秦始皇统一中国后，为进一步消除地方割据势力，巩固其统治，在城市建设中、采取天体观念来规划首都建设，视渭河为天体银河，各宫形如天体星座，而且凭借复道、甬道及桥梁将环绕在城市外围畿内 200 里内的 200 多座宫观串联起来，使之与咸阳联结而为一体。以咸阳为中心，遍布全国的驰道网建设更为突出。班固在《汉书·贾山传》中写道：“为驰道于天下，东穷齐燕，南极吴楚，江湖之上，濒海之观毕至。道广五十丈，三丈而树，厚筑其外，隐以金椎，树以青松”。道路四通八达足与古罗马的道路相媲美。公元前 212 年，秦始皇责令蒙恬主修直达长城的道路，全长 700 公里，花费了 3 年时间，动用 30 万人力。道路均用石桩或金属椎夯锤，使路面紧实，逢山劈石，遇谷垫高。定线的原则是尽量取直，路旁栽种四季长青松树，用来

保护路基。现在，这一工程仍有遗迹可寻。秦始皇还派人在西南山区修筑“五尺道”，加强了与西南地区的联系。并在江西、湖南部分山区开挖“新道”。这些筑路活动使交通大为便得。进而，秦始皇颁令将车轨距统一为6秦尺（约合现在的1.38米），车同轨制度更利于道路的建设。

西汉时，国力强盛，经济发达，交通建设飞速发展，全国干道总长度达到15万公里，以京师通向全国各地乃至国外。在这庞大的干道系统中，两条重要的国际干线最为著名。一条是经陇西、穿中亚、沟通欧亚大陆的西北干线“丝绸之路”。另一条自关中循线栈道入巴蜀，再沿“西南夷道”到印度的西南干道。在驰道网的建设上，汉代在秦代驰道网的基础上，不断改进和提高，从规模和质量上都超过了秦代，形成了一个以长安城为中心的庞大驰道系统。《西都赋》说：“披三条之路”，指的是“一道三涂”的都城干道体制。按规定，中涂为天子专用的驰道，左、右涂为一般行人道。《三辅黄图》说：“汉令，诸侯有制得行驰道中者，行旁道，无得行中央三丈也。不如令，没入其车马”。说明，当时已有了分道行驶的交通法规。为了加强道路的养护管理，责承三辅地方官吏负责“宫馆驰道修治”。到了汉平帝元年（公元元年）以后，驰道系统便纳入到一般道路体系中了。

汉代道路网的发展，促进了邮传通讯网络的完善。汉代承袭秦邮传制度，沿路2.5公里设一“邮”，5公里一“亭”，15公里一“驿”，全国形成了一套管理严格组织健全的通讯网络。

东汉时，曾在关中修栈道，在陕西褒城鸡头关下的褒河南岸开凿了著名的石门隧道。隧道长14米，宽4米左右，高约4至5米。工程采用火煨面法，即先用柴烧炙岩石，然后用浓醋泼洒，使热石破碎，然后掏挖。这种施工方法，在当时是一种先进的技术。

（7）陵墓建筑技术的沿革

秦始皇统一中国后，就开始建造他的陵墓。前后费时30年，耗人力70万，并于公元前210年建成。陵址即今陕西省临潼县东约5公里，骊山北麓1公里的下河村。它南依骊山主峰、山势崇峻连如屏障，北傍渭河平原，视野开阔，其地理位置极佳。

秦始皇陵的内部构造坚固而华贵。据《史记·秦始皇本纪》称：“穿三泉，下铜而致椁。宫观百官奇器珍怪，徒满藏之。令匠作机弩矢，有所穿近者，辄射之。以水银为百种川江河大海，机相灌输。上具天文，下具地理。”今已测知墓区水银含量甚高，墓中确有大量水银。在陵墓外围墙东1225米处，发现了3座陪葬的兵马俑坑、10余处附葬的大冢。已发掘的1号兵马俑坑最大，东西长230米，宽62米，深约5米。正在发掘的2号坑位于1号坑的东侧，两坑相距20米。坑的平面为曲尺形，东西最长处124米，南北最宽处98米，深约5米，总面积为6000平方米。两坑坑底为青砖墁地，坑侧立柱，柱上置梁枋，上面密排棚木，再在上面铺席，席上盖胶泥，胶泥上封土。坑内排列着大量的彩绘兵马俑，仅1号坑和2号坑的试掘，出土的陶俑已有7千余件。1号坑兵马俑展示了秦朝雄伟的军阵场面：3列横队俑组成前锋部队，由38路纵队的几千个铠甲俑，簇拥着战车组成后续部队，两侧和后边则有武士俑组成的卫队。1994年3月18日正式开挖的2号坑内，约有大型陶俑陶马1300多件，有车兵、步兵和骑兵木质战车89乘，组成了步兵方阵和车骑方阵、车辘辘、马萧萧的形象令人惊叹不已。

兵马俑坑的覆盖建筑早已塌陷，其原因是俑坑内木架结构自然腐烂塌

陷，另一因是经火焚塌落。另据《汉书·楚元王列传》记载，秦始皇陵被“项羽入关发之，以三十万人三十日运物不能穷”。说明陵园内大片的地面建筑被焚毁的史实。

秦始皇陵的地表部分由三层方形夯土台累叠而成，每层台壁都向内斜收。底层台南北长 350 米，东西宽 345 米。底层到顶高 43 米。据史料记载，始皇陵取名石筑墓，累土为坟，植草树以象山，并建寝殿，供祭祀，因而有“陵寝”之称。寝殿气势雄伟，后毁于项羽之手。现存遗迹为一截方锥形冢，冢高 76 米，底面长 515 米，宽 485 米。据考证，陵的周围有内外两层墙垣，内垣周长约 2.5 公里，外垣墙周长 6.3 公里。由此可见，秦陵是中国历史上体形最大的陵墓。它的形制，无论从规模或是从结构上来讲，都对汉代的陵制产生了直接的影响。

汉代陵墓建筑承袭秦制，在咸阳至兴平一带修建了不少大型陵墓，《西都赋》谓：“南望杜霸，北眺五陵”，表明杜陵与霸陵建在渭南，长陵、平陵、安陵、茂陵和阳陵分布在渭北。陵墓形状与秦墓相似，累土为方锥形而截去其上部，称为“方上”，最大的方上约高 20 余米。据《汉书》记载，陵上有高墙、象生和殿屋，陵内置寝殿与苑囿，周以城垣，设官署和守卫的兵营。由于汉继续推行秦的强干弱枝政策，自汉高祖长陵徙齐田及楚昭、屈、景等望族充实陵邑，以后建置陵邑均徙吏二千石、高訾富户及豪杰併兼之家来奉陵寝。后来，东汉帝后多葬于洛阳邙山，陵邑制废止。

汉代达官贵人的坟墓大多为方锥平顶式。坟前置石造亭堂，其前立碑，并在前面修有神道，道两侧置石羊、石虎等。最外面建有两座仿木建筑形式的石阙，阙身和台基浮雕有柱、枋、斗拱及人物花纹，上部覆以屋顶。

东汉墓方上的体量远不及西汉诸陵宏巨。墓前始建石制墓表，上面立柱，柱的单面非正圆形，而是将长方形的四角雕成弧形，柱身刻有凹形槽纹。顶端以二虎承托矩形平板，镌刻死者的官职和姓氏。墓表下部的石础上也浮雕二虎。此外，也有将柱身表面刻为束竹纹的。这种墓表到南北朝时，仍为陵墓所采用。

在结构上，西汉初期广泛采用木椁墓。墓室用坚固的柏木作为结构材料，以沙层和木炭做为主要的防水材料，并且逐步将战国末年出现的空心砖应用在陵墓上。例如，河南洛阳一带发掘的汉墓空心砖，长约 1.10 米，宽 0.405 米，厚 0.103 米，砖的表面压印有多种花纹。一个墓室仅用 30 块左右空心砖。其抗湿防腐性优于木椁，而且易于施工。此后，又出现了长约 0.25 至 0.378 米，宽 0.125 至 0.188 米，厚 0.04 至 0.05 米的普通小砖。随之，墓室结构材料也改为墓道用小砖，墓顶用梁式空心砖。随后，又出现了以用 2 块斜置的空心砖，自两侧墓壁支撑中间水平空心砖的墓顶结构形式，并由此发展为多边形砖拱，到西汉末年改进为半圆形拱结构的砖墓。东汉初则由砖筒拱发展成为砖穹窿。砖穹窿结构的形成，使墓室布局也发生了变化，不仅面积扩大，而且可按需要建成各种不同的平面，墓内或绘制壁画、或贴上花纹面砖。

南朝时，砖结构墓室更为成熟。新发掘的南京西善桥大墓，墓室为纵深的椭圆形，长 10 米，宽、高均为 6.7 米，室上部为二券二伏的砖穹窿顶。墓室前的甬道亦用砖砌，甬道侧墙用予制的花砖修砌。河南邓县发掘的彩色画像砖墓，墓分甬道和墓室两部分。墓壁左右各有 12 个砖柱，柱上砌有 38 × 19 × 6.5 厘米的画像贴面砖，砖面花纹题材丰富，有历史故事、音乐舞蹈等 34 种之多。这种贴面砖结构的装饰水平已十分出色。

另外，现存的南朝陵墓大部分建有墓阙，在神道两侧置石兽；皇帝陵置麒麟，贵族墓置辟邪。石兽之后建墓表和碑。墓表则承袭汉晋以来的形制，但更为简洁秀美、雕饰虽多但无繁琐弊端。其中，萧景墓表就是汉代以来墓表中最为优秀的精品之一。

崖墓是东汉时期出现的另一种墓葬形式。特点是在崖壁上开凿洞穴放置棺木，分布在四川、湖南、江西、贵州一带山区，尤以四川一带盛行，乐山崖墓规模最大。如白崖崖墓在1公里长的石崖上，共凿有56个墓。崖墓有3种类型，即单室墓、重室墓和前堂后穴式墓。单室墓只有1个墓室，一般深3至5米，宽1.5至2米，高1.5至2米，形制简单，有的也有1、2个放棺的耳室，有的还建有壁龛、灶台。重室墓有前后室，后室置棺，有的带耳室置棺，一般为1至2个，有的有多个，可能是同族人合葬。前堂后穴式墓由1个较大的享堂和1至4个墓穴组成，多为双穴。享堂在前，全部敞开。有的有1至2个石柱，它的作用是把后部的墓穴统一起来，作为整个家族的祭奠场所。墓室多为重室墓，多附耳室。

从建筑手法上说，四川的白崖崖墓的第45号墓最具代表性，墓外开凿3门，门上施雕刻。门内有长方形平面的祭堂，壁面隐起柱枋。北壁的中央处，有凹入的龛，顶部加覆斗形藻井。龛的两侧各辟1门，门内有纵深的墓室，设灶、龛和石棺。属家族合葬的前堂后穴式崖墓。崖墓建筑还受到地面住宅的影响，如白崖墓第41号墓的入口处雕有双阙，反映了地上建筑的形制。又如，建于东汉的山东沂南画像石墓，具有前、中、后室，左右又各有侧室2至3间，前室和中室的中央各建八角柱，上置斗拱，壁面与藻井饰以精美雕刻。这种平面布局复杂，修饰精美的崖墓，显然受地面住宅建筑形制和建筑手法的影响。由于砖墓、崖墓和石墓的发展，代替了商、周以来长期使用的木椁墓，充分显然示了汉代崖墓的建筑技术水平。

（8）佛教建筑技术的民族化发展

佛教的传入、产生了佛寺、佛塔、石窟等佛教建筑。有文字可考的佛寺建筑是东汉永平十年（公元67年）的洛阳白马寺。此后，经过三国、两晋、南北朝时期统治者的提倡，兴建佛寺已成为一种普遍的建筑活动。南史卷70《郭祖深传》记载，梁时都城建康有“佛寺五百余所，穷极宏丽”。《魏书·释老志》曰：太和元年（公元477年），“京城内寺，新旧且百所，”“四方诸寺六千四百七十八”。北魏末年（公元520—524年）首都洛阳有1367所佛寺，天下有寺3万余所。除佛寺之外，佛塔、经幢、石窟、雕刻、塑像，等形式佛教建筑如雨后春笋、层出不穷。由于中国的建筑师和工匠将传统的建筑技术与外来的佛教建筑技术相结合，使佛教建筑成为中国古代建筑史中最富特色的重要组成部分，对此后中国建筑技术的发展产生了深远的影响。

“佛寺”是信徒的礼佛之所。中国洛阳的白马寺，是现存最早的佛寺建筑。《魏书·释志》卷114载：“自洛中构白马寺，盛饰佛阁，画迹甚妙，为四方式。凡宫塔制度，犹依天竺旧状而重构之，从一级至三、五、七、九，世人相承谓之浮图或云佛图”。白马寺的建设主要遵循印度式样，但开始带有中国传统建筑的色彩。白马寺原是用于接待宾客的官署，原名为鸿胪寺，改建后称“白马寺”，使中国官署的“寺”具有了外来佛教文化的含义，成了佛寺。文献还记载，东汉末笮融在徐州建浮图祠，“上累金盘，下为重楼，又堂阁周回，可容三千许人”。《三国志》卷49《刘繇传》也记述：徐州浮图祠为“垂铜盘九重，下为重楼阁”。这里的“金盘”和“铜盘九重”指的

是印度佛塔上的“刹”；“重楼阁”则是楼阁式建筑。因为多层楼阁盛行于东汉之际，因此该浮图祠应是中国楼阁式木塔的萌芽。从佛寺的布局上来看，主要有两种类型。一种是平面布局大体与印度相同，即在建筑中轴线上布置主要建筑；前有寺门，门内建塔，塔后建佛殿，塔、殿并重。永宁寺则是这类佛寺布局的典型代表。另一种是利用原有的大府第经过适当改造，将前厅改建为佛殿，将后堂辟为讲经室，而供奉佛象的佛殿成为寺院的主体，这种布局形式比第一种形式采用的更为广泛。

北魏的《洛阳伽蓝记》记述了当时洛阳 40 多所重要佛寺，而永宁寺是其中最大的一座寺院。永宁寺系北魏熙平元年（公元 516 年）胡灵太后所建。据《洛阳伽蓝记》载：寺院平面为方形，“寺院墙皆施短椽，以瓦覆之，若今宫墙也，四面各开一门，南门楼三重、通三道阁，去地二十丈，形制似今端门”。东西门楼各 2 层，但北门用乌头门。佛院内建有塔、殿，塔是寺院的核心。《洛阳伽蓝记》卷 1 载：“永宁寺中有九层浮图一所，架木为之，举高九十丈，上有金刹，复高十丈，合去地一千尺，盖京师百里已遥见之”。由此可知，这是一座建于 3 层台基上的 9 层木质方塔。经实际测量，塔基上下分 3 层，底层夯基呈方形，东西长约 101 米，南北宽 98 米，厚 2.1 米；中层夯基为边长 50 米的正方形，厚约 3.6 米；上层用土坯砌成，为边长 10 米的正方形，残高 2.2 米。在塔的北面建有佛殿。文献载：“浮图北有佛殿一所，形如太极殿”，殿中有丈八金像、中长金象等。围绕塔、殿，有“僧房楼观一千余间”，“雕梁粉壁，青璫绮疏，”“栝柏松椿，扶疏檐雷，其四门外，皆树以青槐，亘以绿水”。这种以中轴对长的方形平面布置，将主体建筑塔、殿建于中央的方法，使寺院布局更具有中国礼制建筑的特点，是对印度佛寺建筑的发展和创新。到了唐代以后，寺院布局完全演变为中国的多重院落组合式了。

塔是佛教的重要建筑，是膜拜的对象。塔的概念和形制，源于印度的窣堵波（Stupa）。他是由台座、覆钵、宝匣和相轮四部分构成的实心建筑物，主要用于埋藏舍利（释迦牟尼遗骨）；还有将窣堵波安置在传统圆形小祠庙里的支提，以及形似单屈的小塔，平面方形、上加圆顶、内是佛象的支提；此外还有平面方形和亚字形的密檐塔。塔建筑传入中国后，即与中国建筑的传统手法相结合，创造了中国楼阁式木塔、单层的及密檐式砖塔、石塔等多种类型。

楼阁式木塔，是印度早期的塔与中国东汉时多屋木构楼阁建筑技术相结合的产物。这种塔首见于东汉末年，南北朝时进入发展盛期，数量最多，成为当时塔的主流。这类塔以洛阳永宁寺塔最具代表性，可惜该塔在北魏永熙三年（公元 534 年）被焚毁。但从文献和遗物中可知，这座 9 层高塔极富装饰性，塔门漆成朱红色，门扉上有金环铺首及 5 行金钉，塔刹上有金宝瓶，宝瓶下置 11 重金盘，四周悬挂金铎。以四道铁璫（su%，同琐）将刹与塔顶四角相连，璫上悬金铎；9 层塔檐的四角均悬金铎。从结构上来讲，斗拱和柱枋逐层向内收进，塔身自下往上，逐层减低。说明楼阁式塔已中国化了。

密檐式砖塔，源于公元 3 世纪的印度。传入中国后，受其传统建筑的影响，也发生了很大的变化。密檐式塔底层较高，上有密檐 5 至 15 层，檐窗微小，无平座栏杆，不供登临眺望。这种多层塔主要采用砖石材料。现存建造年代最早的是河南登封嵩山嵩岳寺砖塔。

嵩岳寺塔地处登封西北约 6 公里的嵩山南麓，建于北魏正光四年（公元

523年），平面12边形，是塔中的孤例。塔的外形，呈一略凸曲线，比例匀称，线条柔和。塔高40米，15层，底层转角用八角形倚柱，下有雕砖莲瓣形柱础，柱头有砖雕的火焰和垂莲。门楣及佛龕上已用圆形拱券，龕座隐起壶门和狮子作装饰，保留了外来风格。密檐出挑都用叠涩而未用斗拱。塔为空心筒体结构，砖砌塔壁厚2.45米，底层有东、西、南、北四门，除底层为12边形外，往上均为正8边形，塔内做成直通顶部的空筒，并用木楼板隔为10层。塔刹用砖石砌成，在简单的台座上置覆钵、束腰、仰莲，再叠相轮7重和宝珠1枚。塔檐间距离逐层向上缩短，与外轮廓收分配合良好，使庞大的塔身稳重而秀美，而檐下的小窗，打破了塔身的单调感，产生了较强的对比作用，使整个大塔显得玲珑多姿，富有情趣。

从南北朝到唐代，因中国的木结构技术水平较高，密檐式砖塔的发展较为缓慢，后来砖结构技术不断提高，逐渐取代了木塔建筑。北魏中期，出现了模仿木塔式的石塔，据《魏书·释老志》卷114记载，皇兴（公元467—471年）年间所构三级石佛国等，“大小皆石，高十丈”。表明这类石塔的建筑规模相当大，并且对唐代以后楼阁式砖石塔的发展产生了一定的影响。

此外，从文献上还可发现，当时还有亭阁式塔，如《洛阳伽蓝记》卷4说：“明帝崩（公元75年），起祇洹于陵上，自此以后，百姓塚上或作浮图焉”。一些学者认为塚上浮图即是亭阁式小塔。

石窟寺是在山崖上开凿的洞窟型佛寺。起源于印度，后随同佛教传入中国，由于受中国传统建筑手法及技术的影响，其建筑风格也发生了变化。中国的石窟寺、最早于东汉末年（约公元3世纪）出现在新疆的拜城、库车一带的克孜尔山上。以后在一些地区相继出现。从十六国时期起，凿崖造寺之风遍及全国，由敦煌向东沿河西走廊至天水，开凿的石窟不下20处。北魏时，开凿了著名的云岗石窟，在邺城开凿了响堂山石窟。各石窟的雕刻、壁画都别具风采。中国的石窟大致可以分为3种类型：以塔为中心的塔院型。如云岗石窟即是其代表作；以佛像为主的佛殿型，这种石窟十分普遍；还有窟中置佛像，在周围凿出若干小窟供打坐、修行之用的僧院型。现存的著名石窟有敦煌石窟、云岗石窟、洛阳龙门石窟、邯郸响堂山石窟、炳灵寺石窟，麦积山石窟等。

敦煌石窟由莫高窟、西千佛洞、榆林窟和水峡口小千佛洞四处组成。主窟莫高窟在甘肃敦煌县城南25公里处的三危山和鸣沙山之间的峭壁上，地处古代“丝绸之路”的要冲，上下5层，高低错落，分布在南北长1600多米的石崖上。现存492个洞窟。建于十六国、北朝的石窟共有32个。相传莫高窟始凿于前秦建元二年（公元366年），是沙门乐僔开凿，这在唐圣历二年（公元698年），李怀重修莫高窟碑中有记载。而文献《沙洲志》记载，莫高窟始凿于晋穆帝永和九年（公元353年）。现存最早的石窟是北魏中期的石窟。此后经过西晋、北周、隋、唐、五代、宋、西夏以及元、清代的增建，工程延续近千年。敦煌魏窟形制为中心柱式，平面多呈方形，方形柱与窟顶平天花相连；方柱前的窟顶凿成人字形椽子，脊两端设拱；方柱的四周凿有佛龕，龕内有塑像。

云岗石窟在山西大同市西16公里的武周山南麓。洞窟依山而开，东西绵延约1公里，是中国大型石窟之一。该窟始凿于北魏文成帝兴光二年（公元455年），主体工程完成于魏太和十八年（公元494年），最终完成当在正光年间（公元520—525年）。该窟工程浩大，据《水经注·漯水》载，当时

“凿石开山，因岩结构，真容巨状，世法所希。”窟内现存主洞 53 个，塑像 51000 多尊，景象壮观。

石窟大致分为三区：碧霞宫与编号为 1 至 4 窟为东部区；5 至 20 窟为中央区；21 至 53 窟为西部区。建筑形制大致分为 3 个类型，即平面椭圆形、平面方形、平面前后开间形。最为有名的中央区 16 至 20 号窟就是平面椭圆形的。相传，凉州禅师昙曜主持开凿此窟，故通称昙曜五窟。《魏书·释老志》卷 114 载：“帝于京城西武州塞，凿山石壁，开窟五所，镌佛像各一，高者七十尺，次者六十尺”。这五大石窟均开成椭圆形平面，洞顶雕成穹窿状，前方有一个门、门上设窗，大佛像雕于后壁中央处，两侧有侍立的助侍菩萨，左右壁雕有许多小佛像。洞顶及洞壁未作建筑处理，洞外可能有木构的殿廊。云岗第 5 至第 8 窟和莫高窟中的北魏各窟的大部分均是方形平面型。有的具有前后 2 室；有的是中心柱式的；在建筑与装饰上更为精湛，壁画、雕像、装饰的花纹不仅布满洞窟，而且手法更完美，主佛像与其他的佛像比例得当，使窟内空间更为开阔，其建筑技术和雕刻技术都有创新。公元 5 世纪末开凿的云冈 9 号、10 号窟是前后平面开间型的，石窟外部前室的正面雕两个大柱，形成 3 开间形式。6 世纪前期开凿的麦积山石窟和稍后开凿的南北响堂山石窟、天龙山石窟中，多在洞的前部开凿了具有列柱的前廊，其外貌呈木构殿廊的形式，窟内使用复斗形天花，忠实地表现了木构建筑的式样，使石窟这一外来建筑形式更加中国化了。

龙门石窟在洛阳市南 13 公里处伊河西岸的龙门山上，开凿于北魏太和十八年（公元 494 年）。后经、隋、唐、宋代作了续建，历时 400 多年。现存窟龕 2102 个，造像 10 万余尊，佛塔 40 多座。以古阳洞、莲花洞、奉先寺等洞最为有名，窟顶为庑殿式，多用鸱尾和“金翅鸟”作脊饰，也出现了歇山式。

魏晋、南北朝最后阶段的作品是天龙山 16 号窟，成于公元 560 年。其前廊面阔 3 间。列柱为 8 角形、柱础雕刻莲花瓣，柱子比例瘦长，收分显著。柱上的护斗以及阑额上的斗拱比例恰当，卷杀十分准确。廊的高度、宽度和廊子与后面的窟门的比例也相当合理。使这种外来的宗教建筑，在中国得到全面的发展，为世界创造并留下了宝贵的建筑技术遗产。

3. 古印度建筑

古印度河和恒河流域是古代世界文明发达的地区之一。从文化体系上来分析，南亚的印度文化是东方文化体系的重要系统之一。是佛教、婆罗门教、耆那教的发祥地，因此古印度的文化及建筑都具有强烈的宗教烙印。在世界古代后期，佛教建筑的成就最为突出。主要类型有：窣堵波、石窟、佛祖塔等。另外，古印度兴建的阿育王宫殿及其石柱雕刻，也都具有典型的特色。对中国、日本、朝鲜宗教建筑的发展起到了重要的作用。

（1）印度早期佛教石窟建筑的发展

印度早期佛寺建筑多为木结构的茅棚（又称精舍），到孔雀王朝阿育王（公元前 273—前 232 年）统治时期，石窟建筑发展迅速，逐渐取代了木结构的佛寺建筑。石窟分为两种：一种是举行宗教仪式的支提窟，为佛殿和讲经的堂式建筑，又称为昆河罗，是僧徒拜佛的圣所。这种石窟建筑的主体为长方形拱顶殿堂，殿内正中设一窣堵波，内藏佛骨。除入口处外，沿内墙有

一排柱子。另一种石窟称精舍，为僧房，以一个方形大厅为核心，厅中央有一佛堂，三面凿有方形小室，为僧侣们静修之所，第四面为入口，设有门廊。大多数的石窟都建有佛殿、僧房，两者相邻，既方便僧侣们的生活，又利于他们从事佛事活动。分布在印度德干西部长莱一带的石窟是同类建筑的代表。石窟全部深入在岩石中，通过一矩形的门进出。朝拜厅为矩形，后殿里有小型的窣堵波。洞窟两边的山壁上，凿出一系列小间，供僧侣们使用。朝拜厅的顶部采用木质肋拱结构，制成筒形拱顶。在设计上比早期的更精致，雕塑内容上也比以前更丰富。其中尤以埃洛拉和阿旃陀遗迹为代表。随着印度佛教影响的扩大，这样的石窟佛教建筑遍布各地，并在东汉时期传入中国、朝鲜、日本，对这些国家的宗教建筑也有极大的影响。

其实，那时印度耆那教也有洞窟寺院，但远不如佛教的复杂，一般为单独的建筑，在建筑风格上也无多大进展。

在石窟建筑发展的初期，雕塑就成为主体建筑的组成部分，基本布置在窣堵波的门楼、栏杆、朝拜厅的入口处。公元2世纪后，在阿马拉瓦蒂、德干一带的洞窟中，石雕开始大量涌现。早期的雕塑品中没有佛陀偶像，一般用特定的象征物所代替。耆那教的马土腊派利用当地的美丽江砂岩，以耆那为原型，雕出了第一尊佛陀偶像。这就为宗教雕塑艺术的发展开辟了道路。

（2）窣堵波与石柱雕刻技术

窣堵波是一种特殊形式的佛教建筑，在中国被称为佛塔，是埋葬佛骨（又称佛舍利）和遗物的半球形建筑，因为建筑在一件神圣的遗物上，所以成为佛教信徒崇拜的圣所。这种建筑最早出现在阿育王时代（约公元前273—232年），相传阿育王曾修建了8万4千个。窣堵波基本上由基坛、覆钵、平台、伞盖四个部分组成的实心建筑物。现存最大的窣堵波为桑吉（又译作桑奇、山奇、高质等）大塔。在中央邦博帕尔城东北约45公里处，约建于公元前250年。半球体直径32米，高12.8米，下为直径36.6米，高43米的鼓形基座。半球体用砖砌成，红色砂岩饰面，顶上有一圈正方形石栏杆，中间有一座名叫佛邸的亭子。窣堵波周围设有石栏杆，四面正中设门，门高10米。立柱间用插榫法横排3条石枋，断面呈橄榄形，门形如牌坊。门上布满深浮雕，轮廓上装饰圆雕，题材多是佛祖本生的故事，为古代印度雕刻佳作。立柱的柱头上雕有药叉女神，充满青春活力和世俗气息，表现了桑吉艺术家和人民对世俗生活的热爱。从公元2世纪起，窣堵波的基座逐步增高，相轮（法轮）加至3个。到公元1至2世纪时，犍陀罗贵霜王朝的窣堵波下部承以方形基座，原来覆钵下的台座发展为3至4层的塔身，上部法轮增加到11个，因而整个形体变得瘦而高，这与阿育王时的窣堵波相比，形体上发生了巨大的改变。此外，印度早期佛教建筑中还有一种被称为支提（或制多）的小祠庙，内部安放窣堵波，作为礼拜和供养对象。这种支提在孔雀五朝末期发展为前方后圆的纵长平面状，还有前后二个室的，用走道相连接。在犍陀罗时代时的支提，则呈平面方形、上加圆顶、内提佛象，形状极似单屈小塔。到了3世纪时，印度还出现了与婆罗门教的天祠相类似的密檐塔，平面呈方形或亚字形。中国唐代高僧玄奘的《大唐西域记》把这种密檐塔称为大精舍。随着佛教传入中国，印度的这种建筑技术也传入中国，汉、魏时期这种印度式的建筑迅速发展起来，造了许多塔。塔内虽然藏放舍利，但在功能、结构和形式上，融进了传统的中国建筑特色。形成了具有中国特色的楼阁式木塔。塔内除供奉佛像外，还可以登高远眺，原有的窣堵波被缩小，并且置于塔顶

之上，称为刹。既保留了宗教意义，又具有装饰作用。而支提和大精舍式的佛塔建筑，被中国创造性地发展成为单层和密檐式的塔。

古印度有一座著名华氏城，始建于公元前 5 至 6 世纪，到前 4 世纪时，已发展建设成印度最大的城市，其长为 9.5 公里，宽 1.75 公里，建有几百座城楼及 64 座城门。阿育王执政后，对华氏城进行了大规模的扩建，在城中建造了雄伟壮观的宫殿。它的豪华和高超的建筑技术，倍受求学、考查的外国人的赞誉。如中国晋代的名僧法显，在《法显传》中写道：“巴连弗邑（即华氏城）是阿育王所治，城中王宫殿，皆使鬼神作，累石起墙阙，雕文刻镂，非世所造。”这位见多识广的中国高僧盛赞华氏城的宫殿简直是鬼神所做，足见其建造技术已达到“鬼斧神工”的地步了。但是对后世建筑产生巨大影响的还是这一时期的石柱雕刻。阿育王时期雕刻的石柱遍布印度各地，石柱一般高 15 米，上面刻有铭文，记述阿育王的军功，并且宣扬达摩的谕。柱头上的雕刻更引人注目，具有波斯、希腊艺术的特征。最典型的当属贝尔勒城外佛陀初转法轮处的鹿野苑狮形柱。柱头分 3 层，上层雕刻 4 只蹲着呈怒吼状的雄狮，以象征王权的威严；中层刻着 4 个法轮以及马牛象虎 4 兽，寓意着佛教法轮常转，象征前进不息；下层为钟形垂莲，代表佛教，象征美、力量、光明、神圣、吉祥、平安等，内涵十分丰富，而且垂莲已成为印度的国花。这种石柱雕刻技术和艺术形式对中国的华表建筑及艺术产生了直接的影响。这种柱头的造型图案已成为当今印度的国徽。可见古印度的石柱雕刻技术及其艺术成就是十分巨大的，对后世的影响也是极为深远的。

（3）犍陀罗的雕塑技术成就

犍陀罗在古印度西北部，公元前 4 世纪古希腊亚历山大东征时，希腊文化的影响已波及此地区，以后又遭希腊、大夏诸公的入侵，使这一地区进一步希腊化。阿育王时代，佛教传入该地区，到贵霜国王迦腻色伽时，该地区已发展成为佛教中心。公元 1 世纪，在东西文化的结合交融中，出现了以印度佛教为内容，以希腊艺术为形式的风格独特的雕塑艺术，并且主要体现在佛象雕塑上。在过去的雕刻中都用脚印、雨伞象征佛，或用莲花、菩提树、轮室、佛塔指代出生、得道、说法、涅槃的佛。而在此之后则诞生了雕塑佛象。如在《增一阿含经》中，就有优填王以牛头旃檀（zhān tǎn）作 5 尺高的如来像；波斯匿王用紫磨金作了 5 尺高的如来佛像的记载。佛像都以希腊神像为原本，顶上有髻，头后有光轮和发，服饰皱纹清晰可见，其雕塑技术和艺术水平都达到了相当高的境界。另外，该地区的佛塔很独特，如迦腻色伽王塔的层基为 5 级，高 150 丈，上面又建了 25 层的塔。古印度的雕塑技术及艺术，到公元 5 世纪时，因（y4）哒人的入侵而渐趋衰微。但犍陀罗的雕塑技术及佛教艺术，却对中国的佛教建筑产生了巨大的影响，尤其是在佛教刚刚传入中国之时，其作用可说是决定性的。

4. 日本古代建筑的发展

早在远古，日本列岛漂离大陆，成为孤岛，而朝鲜呈半岛状与大陆相连。佛教的传播与普及，使日本的孤岛文化与大陆文化紧密联系起来。但是考古学家们认为，在佛教史前，中日两国之间就已有交往。《后汉书·倭传》记载：“传言秦始皇遣方士徐福将童男童女数千人入海（事见史记）求蓬莱神仙不得，徐福畏诛不敢还，遂止此洲，世世相承，有数万家”。日本和歌山

县新宫市有徐福祠及徐福墓。这些反映出早在公元前，就有中国人渡海至日本定居，并传播文化和生产技术。而来自西域的佛教，传入中国并形成中国佛教后，然后传播至东亚诸国，先是进入朝鲜半岛的高句丽、百济、新罗 3 国，再从朝鲜半岛流入日本，中国的佛教建筑也随之传入朝鲜半岛和日本。

公元前 200 年至公元 300 年，日本正处于变革之时，史称“弥生时代”。变革来自大陆的以水稻文化为代表的农耕文化的冲击。在这一时期，以长江下游为中心的稻作文化进入日本。这一文化在建筑上表现得十分明显，对日本影响很深。随着干阑建筑形式的传入，日本住宅出现了木架草顶，下部架空的所谓高床式建筑，并成为日本建筑造形的原形之一。徐福东渡日本后，日本房屋形制出现了开敞式布局。即地板架空，出檐深远，居室小巧精致，室内木板上铺设垫层，供坐卧起居。钦明天皇在位时（公元 539—571），随着中国文化的深入和佛教的传入，日本建筑开始采用瓦屋面，石台基、朱白相映的色彩，以及有举架和翼角的屋顶，佛寺、塔、宫室开始涌现，住宅和神社的建筑式样也发生了变化。佛寺、塔均仿中国式样而建。专供祀奉自然神、氏族祖先和英烈人物的神社，已开始复杂化，式样也不断增多。以前仅有两种。一是“大造社”，平面为方形，室内有一根中心柱，屋顶为悬山式；二是“神明造”，其社屋为 3 开间，正面明间开门，悬山式屋顶，以伊势神宫为代表。伊势神宫建在三重县伊势市，是日本古代最重要的神社，由形制和布局大体相同的内外两宫组成。内宫建于垂仁天皇时代（公元前 70—前 29 年），以正殿为中心，后面左右各有宝殿一座，式样都类似干阑式建筑，均为 3 开间，正门在明间正中，正殿有平坐周匝。三殿外围有木栅和四道板墙。外墙用板壁，草葺悬山屋顶，脊上有一排横置的腰鼓形“竖木鱼”，两侧屋面延伸上翘，侧面类似“个”字。外宫为丰受大神宫，建于雄略天皇时期（公元 456—479 年）。受古代日本住宅一屋一代风俗的影响，持统天皇时代（公元 690—697 年）规定了每隔 20 年重建一次的“造替制度”沿袭至今，到 1973 年已替造 60 次。由于严守古制，神宫仍保持原貌。

在日本的佛教建筑中，日本奈良法隆寺是现存世界上最古的木构建筑。关于其样式的性质及源流，观点不一，多有争论。据《日本书记》记载，法隆寺于天智 9 年（公元 760 年）烧毁。因此，现存法隆寺建筑应为后人所建，约建于 7 世纪末至 8 世纪初的奈良时代初期。但从样式和技术上进行分析，并与建于白凤时期反映初唐建筑风格的药师寺相比，有明显的差异。从当时的中国、朝鲜半岛及日本之间的建筑交流来看，应是朝鲜半岛三国吸收、积淀和交杂中国魏晋南北朝以及隋代建筑风格的再现。这一时期，朝鲜半岛的高句丽及百济与中国交往密切。其建筑在中国的史籍中有所记载。《魏志·高丽传》中说：“好治宫室，于所居之左右立大屋、祭鬼神，又祠灵星社稷。”《旧唐书》中描述道：“其所居必依山谷，皆以茅草葺舍，唯佛寺、神庙及王宫官府乃用瓦”。朝鲜半岛的百济与中国南朝文化关系密切，建筑也不例外。百济公州宋山里六号坟砖铭文记有“梁官瓦为师矣”，即是最好的证明。中国《梁书·百济传》记载：“大中通六年（公元 534 年），大同七年（公元 541 年），累遣使，献方物，并请涅槃般等经义、毛诗博士并工匠画师等，敕并给之”，百济佛寺建筑随之隆盛起来。作为南北朝佛教建筑传播的中介，百济与高句丽对日本产生了重大的影响。公元 552 年，百济不仅将佛教传入日本，并且向日本贡纳造佛工及造寺工匠，为日本营建佛教寺院，使日本建筑在体系上进入了一个新的时期。

另从样式成分上分析，法隆寺建筑具有相当古朴的早期建筑特征。如建筑细部上与中国北魏云冈石窟相似处甚多；云拱的曲线做法颇具有中国汉魏斗拱的特点。而法隆寺建筑的大木结构，与东汉时期形成的中国系木构建筑体系，即梁柱式结构体系具有相同的特征。在当时因榫卯技术尚未发达，因此，建筑整体的稳定大多采用栽柱入地（日本人称为掘立柱手法）的手法。这种手法一直被广泛地使用。随着技术的发展，立柱被移到柱础之上，建筑整体的稳定则采取依靠厚重墙体和加大柱径的方法。

法隆寺建筑的大木构成还有另一个重要特点，即统一横向构材的层层铺叠所呈现的井干状构成形式。《汉书·郊祀志》颜师古注指出，井干楼的做法及特征为“井干楼积木而高为楼，若井之形也，井干者，井上之栏也。其形或四角或八角。”《史记·索引》的描述是“积木为楼，言筑累万木，转相交架，如井干。”此外，《盐铁论》说：“今富者井干增梁”；班固在《西都赋》中讲“井干叠而百增，峙游极于浮柱，结重栌以相承，累层构而遂”。这些记载表明井干结构手法，已在高级建筑及宫殿上被广泛运用。由此可见，在世界古代后期，中日建筑文化的关系及性质具有渊源一致的特点。日本建筑史学界认为：“虽然在佛教传来以前，大陆建筑的影响已被确认，但给建筑界带来巨大变革的是最先通过朝鲜半岛，尔后直接从唐传来的中国建筑样式。基于此，日本建筑的样式，直至明治维新，一直是作为中国建筑体系的一部分而发展的。”但是，尽管日本建筑的发展与演变不断地受到中国建筑的影响，但作为一个民族的文化，必有其民族的特色。日本的建筑发展史正如日本学者伊东忠太所评价的那样：“是外来建筑的提取与同化的历史”。

5. 古代后期美洲的建筑

中美洲与南美洲（俗称拉丁美洲）在古代也有过较发达的文化历史。公元前 1000 年左右时，墨西哥湾一带出现了奥尔梅克文化。当时奥尔梅克人在墨西哥湾制作了重量达 30 多吨的巨大石刻人头象；建造了许多宗教建筑，这些宗教建筑多为金字塔形，顶部有平台，上面修有神殿。虽然规模不大，但这种建筑是古代美洲建筑的范例。建造在今墨西哥城西北的特奥蒂瓦坎和玛雅人兴建的堤卡尔城及奇清伊扎城，充分地反映出古代后期拉丁美洲在建筑领域里所取得的成就。

（1）特奥蒂瓦坎城的建筑

特奥蒂瓦坎原是天神降生的地方，是古代美洲文化的发祥地之一，这里就是当时的都城及宗教中心。它位于墨西哥中部高原的河谷，离现在的墨西哥城仅有 48 公里，始建年代不详，大约为公元前 500 年左右，在公元前 1 世纪已有一定规模，公元 3 至 9 世纪为繁荣时期。其面积达 20 平方公里，人口 20 余万。为了满足，政治、经济、文化和城市生活的需要，城内建有供水渠道、水库、作坊、露天市场、剧场、蒸汽浴室、官署等。城市建设较为配套，功能比较齐全。城市布局也很有特点：主要建筑沿着轴线布置，建筑群的建筑物讲究对称，形体简单的建筑物多建在台基上，并以 57 米为城市建筑的统一模数；民居多为木结构草屋顶，建筑内部有采光和通风的庭院。特奥蒂瓦坎最具特色的建筑当属太阳神金字塔建筑群。这是一组供宗教礼仪活动的建筑物，包括月神庙金字塔、羽蛇神庙、太阳神金字塔等几座雄伟的庙宇，分布在一条长 2 公里的大道两侧，月神庙座落在主轴线一段，其它建筑形成

若干横轴，布局严谨，规划性很强。太阳神庙与月神庙大概建于公元1世纪。太阳神庙的金字塔分为5层，基座面积为225米见方，高64.5米，包括原建神殿则高75米，为已知最高的古代美洲建筑物。羽蛇神庙约建于公元2世纪，包括一系列长蛇状排列的金字塔，是古代墨西哥最吸引人的建筑物之一。这些凝结着美洲人民的智慧，反映美洲古代建筑特点的建筑珍品，至今仍是人类建筑史上的宝贵遗产。

（2）提卡尔城与奇清依扎城

公元前10世纪至公元1,000年左右，玛雅人在墨西哥的尤卡坦半岛以及洪都拉斯、危地马拉一带繁衍生息，先后在这里建立了100多座城市，以提卡尔城最负盛名。这是美洲最古老的城市之一。经考古发掘，该城遗址占地10.5平方公里，建筑物分布在南北向的院落和广场的周围。其建筑物以神庙、广场、金字塔、院落和回廊的优美组合而著称。就建筑结构而言，长于建叠涩拱。神殿上方建成方形顶冠，与殿身相比，高达两倍。金字塔底座也比较陡，加强了建筑物挺拔向上的感觉。殿内常绘有壁画，增添了神殿的艺术色彩。提卡尔城具有代表性的建筑物是1号神殿。该殿建于公元500年左右。塔座10阶，座面长34米、宽29.8米，高30.5米，至殿顶通高47.5米。殿内为叠涩拱顶，外形高耸峻拔。还有2号神殿，建在一高45米的3层金字塔上，通高70米，是提卡尔最高的建筑。金字塔脚建有四合院，大部分是宫殿或是祭司们的住所。而当时的民居建筑则规模很小，内部较为狭长，不利于通风，较为阴暗、潮湿。

美洲另一优秀建筑群是奇清伊扎城（又译作奇钦·伊查），该城是托尔特克的文化中心，这种文化与玛雅文化是平行发展的一种文化。因此，其建筑风格和技术也与玛雅建筑相象。与玛雅建筑相比，它更注意建筑物的内部空间，出现了柱式墙和柱廊。建筑也由粗犷转向细致典雅。该城的主要建筑是卡斯提罗神殿，为金字塔式，共9层，高25米。塔座为75米的方形，四面设阶梯，比例匀称，气氛庄重。塔前不远处建有战士庙，庙外有一大片石柱廊，柱为方形，上面刻有浅浮雕，形成风格独特的千柱群。

九、世界古代后期的手工业技术

手工业是古代社会生产力发展的重要标志。古罗马时期，欧洲各国在纺织、采矿、冶金、机械制造、玻璃制造等领域颇有成就。秦汉魏晋南北朝时期，中国的冶炼技术，造纸技术，陶瓷技术，纺织和印染技术，造船技术，制盐技术，制盐、酿酒和制糖技术等手工业领域全面发展，进入了技艺繁荣的历史时代，为唐宋科技发展的高峰期准备了领先于世界的优越条件。

1. 古罗马的手工业

古罗马的技术成就是古代西方科技成就的代表。而古罗马突出的技术成就主要表现在手工业方面。其中尤以纺织、玻璃制造、矿冶和机械制造最具代表性。

(1) 纺织

纺织业在古希腊、古罗马一直是一种倍受重视的家庭手工业，就连奥古斯都皇帝也对自己的妻女纺纱织布引以为荣。但是那时纺纱、织布的方法还很落后，人们普遍使用的是卧式织机（由埃及引入）、竖式织机（由叙利亚人发明并为古代西方世界通用）、加粗经线织机（史前欧洲所特有）；织物纹样极为简单，仅有梭纹平布、挂毯、平纹布、纱布；织物的原料除了羊毛和亚麻外，还出现了棉花，但基本上是棉、麻混织，多用作船帆、天篷、窗帘。

到了公元2—3世纪，叙利亚和美索不达米亚一带，出现了改进的卧式织布机，机上增加了第三道综，以生产纬纱羊毛斜纹织布。以后又出现了拉织机，可将输入的蚕丝重织。

古希腊、罗马帝国时的纺织业中开始出现了印染技术，所用紫色染料是从生活在叙利亚和小亚细亚海岸的油螺中提取的。染料较昂贵，因而使用较少。当时的西亚一带已成为著名的毛织品染色技术中心。

(2) 采矿和冶金

早在公元前1500年，亚美尼亚已出现制铁的方法。技工用木炭还原某种矿石（有时需预先焙烧），生产出熔融的金属，然后铸成一定的形状，或其它金属或矿石混合在一起进行再次的冶炼，最终生产出符合要求的特种合金，这种方法因铁的出现而显得落后了。炼铁需要较高的温度，必须在高温炼炉内，将矿石炼成含有矿渣和金属细粒的海绵块，除去溶渣，即制成了熟铁。这种方法被古希腊、古罗马人所继承。后来还出现了炼钢法，即把熟铁反复加热、锻打，使熟铁吸收炭火中的碳原素出现网状，并掌握了在渗碳、退火、回火、淬火等方面加以控制的技术。另一种方法是将特种矿石直接投入坩埚中直接炼钢，这种钢当时称为“乌兹钢”。但古罗马却一直没有出现液态铸铁和生铁的制造方法。

到了希腊化时代又出现了黄铜，生产方法是把铜棒埋置于木炭和粉末状锌矿石内，然后对铜棒进行加热，使铜棒及锌矿石渗碳。这是十分古老的方法，大概起源于公元前1000年的亚美尼亚山区，但是因为当时黄铜产量极少，为贵族们专用，所以影响不大，没有什么实际意义。汞在这时也开始被大量生产，主要产地在西班牙，用来提取和精炼金、银等贵金属。方法是以淘汰法（水冲）粉碎含金、银等的矿层，得到含金、银的矿石，然后用汞齐

法提取金、银等。

在炼铜行业中，公元前1世纪的西班牙已普遍使用熔融法，即将不纯的铜与铅等贱金属形成合金，然后用低温加热，使铅等滴出，金、银等矿物也熔化流走。希腊人还掌握了从铅和铅矿石中提取银的方法，极限在含银量0.2%以上。后来的罗马人则使这一技术更上一层楼，将极限降低到0.002—0.01%的范围内，并在希腊人所炼过的矿渣中重新炼出了许多银来。关于铅等贱金属的冶炼，早在公元前1500年前就有了烤钵冶金法（又称氧化法），到希腊化时代、罗马时代，这种方法日趋完善，与试金石一起，用于试验金银制品和硬币的纯度，成为炼金术士的法宝。正因如此，这些贱金属的产量日渐增加，并被制成流通的硬币（刻有花纹，并保证银、金或铜的规定成色），逐渐取代贵金属块或锭，并逐渐在贸易中占统治地位。

锡矿的开采，对于罗马人来说，应是一件大事。早在公元前500年时，罗马人已懂得用锡，并开始开采锡矿。从公元前3世纪起，罗马人便开始在西班牙大规模开采锡矿，以后更将范围扩大到法国，多瑙河流域。锡很快成为西方世界贸易中的重要因素。但到2世纪之后产量迅速下降。

罗马时代，铜的产量很大，主要集中产于西亚的塞浦路斯、小亚细亚半岛、西班牙北部山区（即比利牛斯山脉南麓）和东阿尔卑斯山区（包括德国最南部山地、喀尔巴阡山脉、狄卡亚山脉、以及阿尔卑斯山主脉东半部分）。罗马人已知道铜矿的开采要受到地下水水位、水量的限制，于是在较深的矿井中使用大型抽水装置，配以踏车驱动的分格水轮，保证了深井的开采作业。随着铜的大量开采，铜被铸成大量的硬币和块锭，流往帝国各个地区，但尤以德意志北部部落（日耳曼人一部）和印度、英格兰为主。波河平原各城也就成为铜产品矿生产中心了。这时，铜的冶炼技术又提高了，出现了助熔剂，并生产出了中间产品—黑铜。铁也是罗马帝国的主要矿产，因铁的蕴藏量颇丰，出现了众多的铁矿生产中心，以西班牙、高卢、叙利亚的铁矿最为重要。另外，帝国境内还出现了许多炼铁中心，以高卢、西班牙、斯塔康克最为有名。

（3）机械制造

为了灌溉、提水的方便，古希腊、罗马出现了众多水利机械，普遍使用的有水库轮、提水轮、阿基米德螺旋提水器，其中后者的影响更为重大。

早在公元前2000年前，爱琴海沿岸地区出现了杆式压机，专门用来挤压葡萄，以利于制造葡萄酒。这种机械是运用杠杆原理，重杠一端铰接于墙内或两大石之间，以固定不动，另一端加重物，中部放橄榄或葡萄，这样，便可挤压。到公元前1世纪时，罗马人改进了这种机械，运用绳子和滑轮把杆的一端压下或用螺旋将它拧下的方法。另外，罗马工程师们还发明了螺旋压力机和楔状压机。其原理是用夹持于框架内的螺旋将一个帽盖压向压机机身，使压机的作用力直接作用于物体，便于最大效率地的挤压，这与仿形压机十分相似；或者由杆端的两个螺旋把杆向下拧紧，从而挤压物体，这跟织物压机一样。而楔状压机则极为简单，先用框架将橄榄袋或葡萄袋固定，然后在框架上楔入楔块，随着楔块的增多，挤压力便不断增多，从而来挤压其中的物体。到后来，这两种挤压机逐步用于挤压油菜籽、纸莎页、织物，还用于从草本植物和根茎中制取油料以及香料油等。随着发展，这两种机械则专用于榨油和挤压织物了。

罗马人对从东方传入的磨进行了改进，改进后的磨由锥形下石盘上转动

的沙漏形上石盘组成，动力是人力、畜力、水力等。

随着希腊人、罗马人的扩张，地中海内水上交通日渐繁忙，埃及式拼合木船、美索不达米亚式独木舟已不能适应需要。于是，荷兰风格的船只开始出现，这种船已设有龙骨、船头、船尾柱和翼肋（构架或船骨），外侧还用雕刻船板包裹，船板的边缘相互联接。后来，为了提高船速，出现了二排桨、三排桨以及五排桨船。这些船名只是大体表示每排船桨的划手数目，并不表示桨的排数。随后，船的装载量也不断增多，船的体型也不断增大。公元 1 世纪前后，美索不达米亚地区（即两河流域）出现了多用棉、麻混合织物制成的船帆。在海船变化的同时，内河驳船也发生了变化，船身钉上了有大型肋板的重船骨，但却没有龙骨，而且肋板又紧固在原纵船板上，这大大增加了驳船稳定于水平方向上的强度。

作战器械早已成为作战中不可缺少的东西。自从西西里的希腊人在反击迦太基的侵略中使用战争器械开始，其作用便一天天的增强，并出现了许多种类。较有影响的有撞槌、机械化的弓或“石弩”、机械化的投石器或“弩炮”、“机枪”等等，这些机械大多数都依靠筋束或绳索的张力来推动投掷物。在这方面，拜占庭的菲罗（约生活于公元前 250 年左右）和希罗（约在公元前 1 世纪初）都写有专著。菲罗在书中详细描述了关于弩炮内筋束的尺寸和投掷重物量之间的经验公式，希罗也简单论及了运用弹簧及压缩空气的弹性问题。这些论述显然是对作战器械原理的早期阐释。

公元前 1 世纪，罗马工程师改进了原始水轮机。这种原始水轮机早就在亚美尼亚山区使用，后来遍布中亚、巴尔干、加里西亚、设得兰群岛和斯堪的那维亚半岛。罗马人把它变成了一种水轮机械，能够提供 5 马力的动力，约相当于原始水轮的 6 倍，效率大大提高。

（4）玻璃制造

玻璃在西方是倍受青睐的工业材料。最初，人们只会使用由火山喷出的熔岩凝固后形成的天然玻璃，制造各种器皿。公元前三四千年时，亚述人和埃及人发现了制造玻璃的配方：将天然碱与砂石混合，在高温中熔化后即可得到玻璃丝，然后用模子把这种玻璃丝制成各种颜色的小型玻璃容器。这就是古老的塑型浇铸方法。公元前 100 年，中国的玻璃制造技术传到古希腊和古罗马，首都罗马城成了玻璃制造的中心，并普遍使用玻璃吹制法，巧妙地处理金属管端的玻璃，从而泡制成空心玻璃器皿。这样，玻璃便成为人们生活中的重要物品，玻璃制造业开始兴起。从此，各种玻璃制品，如玻璃容器、酒杯、长颈瓶开始代替陶制和锡制的家庭用具。玻璃厂的数量也越来越多，逐步以西亚、埃及、意大利扩展到莱茵河畔、高卢、英格兰以及多瑙河流域。除了廉价的自由吹制和用模子吹制的简单玻璃制品外，各种精心装饰的新型、美观的玻璃器皿也开始走俏市场。同时，玻璃切割技术也得到广泛运用。公元 1 世纪，罗马人把各种颜色的玻璃拉成棒状，排列成捆加以烧熔，再切出具有一定图案截面的玻璃薄片，在模具上将这些薄片加热熔接，制出手花玻璃器皿。他们已掌握在玻璃表面刻磨，使用颜色釉彩绘，在玻璃中夹金等技艺，并在暗色玻璃上镶套一层乳白玻璃，再磨去乳白层，制出具有图案的套料刻花、雕花玻璃瓶。

当时，玻璃的用途十分广泛，除用作餐具外，还用作镜子，更重要是用于装饰窗子。并出现了专门生产窗玻璃的厂家。

玻璃的制造与使用，是古希腊、罗马手工业发展史上的大事，大大促进

了手工业技术的进步。

(5) 首饰和家具

首饰业和家具业在古希腊、罗马时期也有突出的贡献。古希腊时期的首饰主要运用珐琅工艺和花丝工艺，还有宝石镶嵌的别针和胸饰等。此时的罗马则有在圆形或椭圆形宝石表面雕刻肖像或神话故事，作为佩饰或坠饰的作法。在家具史上，古希腊的“克里斯莫斯”式椅子、古罗马的铜质和大理石家具可占一席之地。克里斯莫斯式椅子在公元前5世纪左右开始出现，到了古希腊、罗马时期又得到改进，椅背和椅腿的曲线更趋优美，结构也比原来简单，更加轻巧舒适。罗马的铜质和大理石家具多数雕刻狮首、人像和叶形装饰纹样，古朴雄奇，而家具的造型则逐渐从纯粹的实用转向实用和美观的结合。

2. 中国的手工业技术

(1) 秦汉时期手工业技术成就

秦统一中国，结束了长期分裂割据的局面，便于经济、文化的发展与交流。秦始皇把商鞅变法时所制定的度量衡制度推行到全国，促进经济、文化和科学技术的发展。

西汉初推行“休养生息”的政策，农业生产迅速恢复和发展起来，铁器也开始广泛使用，大大促进了手工业的发展，突出表现在冶铁业的作坊增多、规模扩大、技术提高；丝织麻纺等十分发达，种类大增，技术飞跃；漆器业发展迅速、种类增多；造纸开始出现。东汉时的手工业进一步繁荣，技术改造和新工具不断出现。当时社会上最主要的手工业部门是陶瓷业、造纸业、纺织业、铁器铸造和木器制造业等。

冶炼术的成熟

秦汉时期，铁器已被广泛使用，完成了生产工具和兵器的铁化改革，使冶铁业空前发展，冶铁技术也逐渐成熟，采冶程序及工艺技术已经非常完善，炼炉、鼓风技术、耐火材料、熔剂等技术大有改进，创造发明了炒钢技术，百炼钢工艺也日趋成熟。根据河南巩县铁生沟西汉中、晚期冶铁遗址察证，当时的冶炼工序已包括选矿、配料、入炉、熔炼、出铁等步骤。其中炼炉的形状也因用途不同而出现了多样化，有块炼铁炼炉、排炉、长方形炼炉、圆形炉、低温炒钢炉。另外，随着生产规模的扩大，竖炉炼铁的技术进一步发展，容积不断增大，最大者已达50立米，炉膛加粗、加高，并加装了鼓风口，并已在炉料中加入石灰石作熔剂（这是冶金史上的一大发明），已懂得按比例配料及矿石“整拉”的重要性；提高了对木炭质量的要求；据推测，那时已开始用煤作燃料。另外，在鼓风设备上先后出现了马排、人排、水排、木扇。除炼铁炉外，汉代还出现了专用化铁炉，用于溶化铁锭和废旧铁器，对于提高铁水和铸件质量作用重大。

西汉时，铁品种不仅有白口铸铁、麻口铸铁，还出现了灰口铁和球墨铸铁等新品种。灰口铁是增大石墨含量而铸成的生铁，光滑耐磨。球墨铸铁是在灰口铁中加入金属镁、钇或稀土作为球化剂制成，这套工艺是在本世纪40年代才出现的，而西汉时已有此类产品，确实让人吃惊。

汉代已能将生铁柔化锻成铸铁，并能将铸铁反复锻打制成百炼钢。到西汉中、晚期，还出现了利用生铁炒成熟铁或将生铁加热成半液体，再搅拌，

利用铁矿粉和空气中的氧进行脱碳，制成中碳钢和高碳钢。这种技术比欧洲要早 1900 余年。到了东汉末年，在继承战国脱炭技术的基础上，人们已成功地制成了脱碳钢，并开始广泛使用。

此时，铸造技术又有了重大发展，秦始皇陵出土的铜车马，铸造精良，形制精巧；东汉的马踏飞燕铜质奔马，造型之美、铸造之巧，世所罕见；兵器铸造和铸钱业的规模也超过前代。

造纸术的发明和发展

根据考古发掘得知，早在西汉初期，中国就出现了造纸。这种纸是用麻绳头、破布等废旧麻料制成，为植物纤维纸。这种纸的出现，无疑是书写材料的一场革命。

纸被发明以后，经历了从灞桥纸到扶风纸、金关纸和额济纳纸的发展过程。公元 2 世纪初，东汉宦官蔡伦（公元 62—121 年，字敬仲，今湖南莱阳市人，东汉和帝时的宦官，曾任过尚方令。）对造纸术作了改进。他将造纸原料扩大到树肤、麻头、破布、旧鱼网等，形成了一套完整的造纸工艺：剪切（以使纤维分散）、沤、煮和洗涤（脱除果胶、木素等物）、舂捣、抄造成型、定型干燥。这套工艺使纸张具备了必要的平整性、抗水性，达到一定精度，被后人称为“蔡侯纸”。

蔡侯纸出现以后，在内地逐渐普及开来，造纸原料也扩展到树皮、竹子、稻草、麦秆等，造纸技术进一步提高，使造纸业迅速发展起来。班超通西域时将纸带到那里，从此，纸开始在西域安家。到了 7 世纪，随着阿拉伯人的大肆扩张，纸便传到西亚，又西传至埃及、摩洛哥，后至欧洲。此外，纸还东传至朝鲜、日本，南传至印度、斯里兰卡等地。纸的大规模外传，大大促进了人类文化的发展。它本身的大规模传播便说明了它的重大意义。因此，造纸术的发明被列为中国古代的四大发明之一。

漆器业的发展与兴盛

考古工作者在河姆渡遗址中发掘出漆器，说明早在 7000 年前，中国已开始用漆器了。到了春秋战国时期，漆器逐渐增多，技术也极大提高，出现了木胎、竹胎、皮胎和夹紵胎等。

秦汉时期，漆器工艺有了进一步的发展。主要表现在规模、范围的扩大和制作过程的日益精细。当时，有 10 个郡县设有漆器工官，产品都非常有名，其中尤以蜀郡和广汉郡的金银饰漆器最为著名。长沙马王堆汉墓出土的精美漆器，是秦汉时漆器品种繁多、质地优良的明证。当时的漆器一般为木胎，后来发展为无胎或麻布胎。汉代漆器制作的分工，大致有素工（作内胎）、髹工和上工（上油漆）、黄涂工（在铜质附饰品上鎏金）、画工（描绘油彩纹饰）、髹工（雕刻铭文等）、清工（最后系统修整）等。每器开始于素工，完成于清工，最多的有 12 道工序，各工种的工人各尽所长、分工合作。这些技术手段使漆器生产曾盛极一时，在中国古代工艺史上形成了一个高峰，出现了细致流畅的花纹，如流云纹、涡卷纹、几何图案、人物图案等，并有了金箔贴花的特殊装饰，使漆器富丽堂皇起来。另外，西汉开始出现了金属嵌件与漆器结合的工艺，还出现了专门用于油漆的阴室，有一定湿度，容易成膜，又不出现裂纹，便于提高油漆质量。

陶瓷业的复兴与发展

中国陶瓷业的历史极为悠久，并成为中国原始文化的一大象征，如黑陶文化、红陶文化等。春秋战国时期，陶瓷业曾有较大的发展，并由于原料和

其它自然条件的差异而出现了地域之别，大致形成南北两大陶系。东南沿海一带印纹硬陶和原始瓷的使用较为普遍，而北方如韩、赵、魏、燕等地则以灰陶、夹砂陶为主，但大体来说，南方是当时陶瓷的生产中心和技术中心。从战国末期开始，南方代表性陶瓷——印纹硬陶已逐步衰落，到西汉中期以后，陶瓷业又逐渐发展起来，可说是复兴。到东汉，陶瓷业继续发展，出现了铅釉陶。青瓷（比原始瓷进步了许多，但又与现代青瓷有一定差别）也在东西汉之交（一说为东汉中期。烧制成功）。

铅釉陶是一种低温釉，熔点约为 700℃，含有铜、铁、铅等金属的氧化物或盐类，其中铜、铅是着色剂，铅主要起降低熔点，增加流动性的作用。铅釉陶首先出现在关中地区，而后逐渐流传到关东、河南、两湖、东南沿海一带。铅釉陶的出现，也就为后来绚烂多姿的唐三彩奠定了基础。

瓷器的出现无疑是中国手工业史上的创举，它到底出现于何时还有待考究，但据考古资料可知，它的出现不迟于东汉中期，一般多倾向于东西汉之交。在南方的许多地方发现了东汉的瓷窑址，如宁波、永嘉、上虞等地。另外，江西、安徽、湖南等地的东汉墓葬中也出土了不少随葬的瓷制品，例如熹平四年（公元 175 年）的青瓷耳杯，延熹七年（公元 164 年）的麻布纺系青瓷罐等，它们的显微结构与近代瓷基本相似，瓷釉在外貌和结构上都摆脱了原始瓷的原始性，可算是真正意义上的瓷。

铅釉陶和青瓷的出现，标志着中国陶瓷技术的发展进入了一个新的历史时期，并奠定了南北两大宗的基本格局。

纺织和印染技术

随着经济的发展，文化的进步，汉代纺织品的数量和质量，都有了很大的提高，马王堆汉墓出土的大量纺织品提供了最好的佐证。这些纺织品包括绢、纱、罗、绮、锦，起毛锦，麻布比及刺绣品，印染品等。经鉴定，这些纺织品丝缕均匀，单丝表面光洁，投影宽度和截面（呈三角形）面积同现代家蚕丝极为相近，说明当时的养蚕，缫丝水平很高。这些丝织品薄如蝉翼，轻若烟雾，如素纱禅衣衣长 160 厘米，两袖共长 190 厘米，袖边和领口都用绢缘，而总重量只有 48 克，其薄可想而知。织法主要有平纹、纱、罗、斜纹、起绒等，其中的起绒法采取重经提花的工艺。纺织原料主要是丝、麻、葛、毛等，立体感很强，这是中国纺织史的最早发明。

秦汉时代，随着纺织技术的传播，许多边疆少数民族也形成了各具特色的纺织技术。黎族用木棉织广幅布，织法是在一个圆坭饼上插一只细竹棍，做成纺轮，将木棉搓成线，并在纺轮上加捻成纱，并卷在竹根上形成纱锭，在腰机上织成布。闽越、南越一带多用棉花、草棉织布。西北一带也有了棉织品。秦汉时的织物多加印染，染料众多，不仅用植物染料，还有矿物染料，并使用媒染刮矾等。魏晋时，在汉人染纈法的基础上又创造出纹纈、蜡纈、夹纈三种方法，将纯素的纺织品，印染成色彩斑斓、花纹秀丽的工艺品，印染后还进行了浆碾。印花工艺也开始出现，主要是印花和印花敷彩，手法是板印、绘画相结合，板印定位为凸板，多数线条为手绘、简单洗练，多为一笔而就。为了使花纹规整，出现了轮廓线和底线。

这一时期使用的纺织机械如手摇纺车、布机、提花机等，在当时都极为先进。其中提花机两次传入欧洲，对欧洲提花技术的形成与发展有深远影响。汉代纺车是由一个大绳轮和一根用于插纱锭的锭子组成，绳轮和锭子分装在木架的两端，另以绳传动。这既可加捻，又能合绞，提高了速度和纱的质量。

这时的布机是由梭经轴、怀滚、马头、综片、脚踏木等主要部件和一个适于操作的机台组成。这为操作者提供了较好的工作条件，并能用脚提综变交，腾出手来更快投梭打纬，大大提高了织布的速度和质量。公元6世纪时欧洲出现的类似脚踏提综斜卧式织机，可能是从中国传入的。提花机是由布机发展来的，但远比布机复杂，这时的提花机已有了机身和装造系统的联合装置，基本上具备了中国传统提花机的各种主要部件，能够生产任何复杂变化的纹样。

造船技术的飞跃发展

春秋战国时期，由于水战开始显示威力，各诸侯国纷纷建立了水军，造船业也随之兴起。汉代已建立了较为完整的水军体制，并制造了用途不同，类型多样的船舰。有“失登”——排在舰队最前列，用于冲锋；有“蒙冲”——用于冲突敌船，船形狭长；有“赤马”——较小，快如奔马；有“楫”——上下都用双层板，为重武装战船；有楼船，第二层叫“庐”，第三层叫“飞庐”，第四层叫“爵室”，据《后汉书·公孙述传》记载，还有高达十层的楼船，这种楼船的出现是中国古代造船技术初步成熟的标志。同时，橹、舵、帆等均被发明，并得到广泛应用。橹的使用，使船速大为提高，改变了桨只有向后拨水时才作实功的状况。舵使人能轻便灵活地掌握方向，这无疑使船舶技术的一大质变。帆是利用风力使船加速航行的部件，它的出现又填补了造船技术的一个空缺。

制车与木器工业

汉代的车，种类繁多，以辎车最为常见。这种车有顶，但四周没有围屏，多为较有身份的人乘坐。另有轩车（有车盖，有围屏，较为豪华，为很有地位的人乘坐）、辎车（车盖与围屏封闭极严，较为舒适，适宜老弱病人乘坐，为贵族妇女们乘坐）、粮车（车上无盖，也可安车篷，用于运送粮食及物资，也可载人），辘车（为独轮，用人力推动，能装载行李，又可载人，多为平民所用。）等。汉代的车，车辕成双，多用1匹马驾车，有时为3匹。只有皇帝的乘车为4匹马，但车仅有1条辕。车有立乘与坐乘两种，立乘的车身高，车盖也高，又称高车，多用于作战，又分为有盖与无盖两种；坐乘的车，车身低，车盖也低，又称安车，多为代步之用。

汉代的木器也很多，主要有木俎，把杯、食具、木算、木栲、木簪、木船、木仓、木井、木屋、木猪等。这表明木料的使用范围远超过前代，其制作技术自是多姿多彩的了。

制盐、酿酒、制糖等行业的发展

汉代，出现了海盐、池盐、石盐等种类。海盐主要产于渤海，黄海沿岸，用海水煮成；池盐主要产于山西、河北一带，用盐池的水煮成；汝山、越隰产石盐；四川一带有井盐。由于盐的产地不同，盐的色质也有不同，河东所产的盐为印成盐，青海一带有石子盐，北湖中有青盐，五原所产的盐为紫盐。杨宪在《古代四川的井盐生产》一文中对汉代四川制井盐的设备和工作情况作了具体描绘，现引如下：“盐井上建筑有二层楼的四方木架，在木架上盖有屋盖，在屋盖下装有滑车，滑车上的绳头两端，都挂有汲水桶。在西层楼板上，都相对地站着两人，他们正在拉动绳索。在这个木架的二楼边，还装有大漏斗和输送卤水的竹管，一直通到右边炉灶旁的卤池中，他们在汲得卤水以后，便从高处把卤水由竹管输送到卤池中，以便放入炉灶上的锅中熬煮，炉灶前正有一个人在烧水，用木柴作燃料，灶上排列着五个熬盐用的大锅。

在输送盐卤的竹管后面，正有两个人背着煮好的盐在运出去。”这虽是对四川汉墓中出土的汉代画像砖上图像的解释，但无疑是对汉代制盐生产过程的描绘。汉代在四川已发现天然气，并用来作燃料熬盐了。

酿酒是中国古代的传统手工业，殷商时已很盛行。到了汉代，官府开始垄断酒的生产与销售，使生产技术得以提高，制麴术不断发展，原料也开始多样化，从而使酒的种类不断增多。汉代的制麴技术已相当普遍，并有多品种，主要是大麦制成的，小麦制成的等。班固在《汉书·食货志下》写道：“一酿用粗米二斛，麴一斛，得成酒六斛六斗。”这是关于酿酒原料与成品比数的最早记录，这基本符合酿造原理。另外，葡萄酒的酿造应是中国酿酒史上有意义的大事。葡萄本是一种野生植物，但大规模栽培的葡萄却是西汉时从西域传入的。起初，只作水果供食用。东汉时期，西域的葡萄酒酿造技术已传入中国西北地区，因为当时中国最富经验的是麦麴酿酒，对葡萄酒技术未能大量推广。

制糖也是中国传统手工业之一。最早出现的糖种应是麦芽糖，至迟在周代已开始制造，是用稻麦黍粟之类，浸湿生芽曝干，然后煎炼调化而成。到战国时代，这种糖已大量见于民间，普遍用于烹调，并掺用蜜来作饼粿。汉代这种糖的生产更为普通。到东汉末期，中国已出现蔗糖生产（一说起于唐代，另一说认为起于汉代）。蔗糖的原料甘蔗在汉代已常见，产量也超过前代，出现了如“诸蔗”、“都蔗”等名称，这为我国的蔗糖生产提供了可能。据《异物志》载，汉代已有汁如饴饧的沙糖。东汉张衡在《七辨》中，有“沙饴石密”之说，“沙饴”就是沙糖。汉代中外文化频繁地交流，交趾一带的煎糖法传入中国应是可能的。这无疑丰富了中国的制糖技术。

笔和墨的生产

笔、墨是文房四宝中的两件，是古代书写的主要用具，在文化发展史上地位重要。关于笔的制造，有虞舜造笔说（见明人罗颀所著《物原》一书）、蒙恬造笔说（见晋人崔豹《古今注（下）》）等。但我们可以肯定在蒙恬之前笔已经出现。汉代制笔业较为发达，原料多用兔豪，后来开始掺用羊毫。汉代的墨，原料主要是石墨（即煤）、松烟两种。石墨在当时多作燃料，也用于制墨。制法应为《齐民要术》卷九中所载的合墨法，后因其油性大、书写不均匀而渐为松烟所替代。汉代松烟多产于扶风、隃糜，以终南出产的松树为原料燃烧积烟制成，因此天下盛传隃糜墨。那时的墨，除用松烟外，还掺有油烟（桐油、麻子油、大麻子油）牛皮胶、鹿角、鲤鱼胶、秦皮、五倍子、麝香等。不仅用于书写，还用于绘画、印刷、拓碑、染饰建筑物、画眉等。有的墨中上品因能止血生肌、治疗目疾，又被列入药品的行列。

（2）魏晋南北朝时的手工业技术成就

魏晋南北朝时期虽是列国分踞、战乱频繁的时代，但却又是学术繁荣、技术进步、经济发展的时代。战乱使得各族人民四处迁徙，在全国出现了民族大融合的趋势。不同地区，不同行业的生产技术和工艺经验相互交流，使手工业生产出现了一个新局面。封建政府建立了专职工匠制，加强了对工匠的控制，手工业生产因此而加速专业化，工艺水平大大提高。冶金技术已达到炉水纯青的地步，出现了灌钢法、白铜和青铜、石范铸件；制瓷部门正式形成青、白瓷两大系统，色彩开始丰富起来，为唐三彩的出现奠定了基础；纺织印染业规模不断扩大、范围也是有增无减；造纸手工业五花八门，出现了众纸型，染纸与补纸技术也被广泛使用等等，代表了魏晋南北朝时手工业

技术的发展水平。

灌钢法的出现与鼓风技术的提高。灌钢法就是用生铁和熟铁合炼成钢，先把含碳高的生铁溶化，浇灌到熟铁上，反复加热捶打，使碳渗入熟铁，增加熟铁的含碳量，就象洗面筋，淀粉揉尽，面筋自现。然后分别用牲尿和牲脂淬火成钢。牲尿含盐，淬火后冷却快，硬度也高于用水淬水；牲脂淬火，冷却速度很慢，但却使钢韧。这种方法在当时特别先进（大概最早起源于西晋）。南北朝时，灌钢已很流行，陶弘景把它作为炼钢的主要方法。灌钢冶炼法的发明和推广，使钢的生产效率有了较大的提高，从而使钢的产量大增，被普遍用于制造农具和手工业工具。

炼铁离不开鼓风，炼铁技术的进步要求鼓风技术的提高。三国时魏国的韩暨曾大力推广使用水排，节省人力、畜力，并能提高生产效率。这种水排为轮轴装置，比东汉时的水排略有改进。钢铁的铸造技术也有了发展，铸件中包括了除合金铸铁外的现代所有铸铁品种，另外还创造了生铁铸件经脱炭热处理变成钢件（铸件脱碳钢）的奇迹。

这一时期，冶铜工业已有相当的规模，为大肆铸造佛像，推动中国佛学发展起到了重要的作用。当时的铜矿主要集中在今山东、河南、湖北、四川、江苏一带，但因技术等条件的限制，而使铜的生产也受到限制。但在这一时期，白铜与黄铜的生产与利用，是中国合金冶炼技术史上的出色成就。白铜是银白色的铜镍合金或铜砷合金。黄铜是铜与锌的合金，据中国化学史专家推测，它大概最早出现于南北朝时期，是由碳酸锌矿石（时称炉甘石）与铜在还原炉中提炼出来的。但有的矿冶学者认为：早在西汉时人们已会制造铜锌合金的黄铜。此种主张以章鸿钊《中国用锌的起源》为代表，南北朝时的黄铜一般用来作装饰品，大概是产量很少的缘故。

制瓷技术的成熟

由于北方的战乱和江南经济的发展，使这一时期的瓷器生产主要集中在东南沿海、江南、四川等地。直到北魏统一黄河流域，南北对峙形成之后，北方才开始烧制青瓷，但北方这一时期的主要贡献还在于烧制成了白瓷。青瓷在东西汉之交出现之后，到魏晋南北朝时期，得到了进一步的发展。此时的青瓷，胎质坚实，通体施釉，釉层较厚，釉彩光润，并呈青绿色。特别是浙江绍兴、余姚一带的越窑产品最为有名，唐朝诗人陆龟蒙称赞说：“九秋雨露越窑开，夺得千峰翠色来。”其实青瓷不只有青色，还有绿、褐、黑等颜色，这是由釉中所含的金属元素决定的，特别是与铁的氧化程度、含量有关。在还原焰的作用下，还原不充分或铁的含量大，就会出现褐色、棕色、砖红，以至紫、黑等颜色。

白瓷的烧制也开始于这个时期。白瓷主要由氧化钙含量来决定颜色的纯净度，但也要求铁的含量越少越好，这自然要求对瓷土进行很好地筛选。现知最上的白瓷产在河南安阳。北齐武平六年（公元575年）范粹墓中出土的文物，包括碗、杯、三系缸、四系缸、长颈瓶等白瓷制品，造型与北部青瓷相同。这一时期的白瓷只产于北方，这可能与自然条件和历史沿革有关。白瓷的出现，改变了单色的“一道釉”状况，为以后的青花、釉里红、五彩、斗彩、粉彩等彩瓷的出现奠定了基础。白瓷的出现，标志着中国南青北白瓷的生产体系已具雏形，制瓷技术进入了一个新时期。此外，黄釉、黑釉瓷器也在这一时期出现了。漆黑发亮、美观实用的黑瓷为中国制瓷业增加了新品种，为日用瓷器生产开辟了新途径。在北魏迁都之后，又出现了复色铅釉陶，

多为黄上加绿、白上加绿，或是多色并用，这种釉中挂彩技艺比前代大大前进了；为唐代多彩瓷器的出现提供了保障。

这一时期的在瓷器装饰上，内容远较汉代丰富，技巧也较高，出现了刻划、模印、贴花、堆塑、镂孔、施彩等工艺及图案类、花草类、人物类、建筑类、彩绘类等装饰。图案类主要有弦纹、网纹、菱形纹、散点纹、云气纹等；花草类有树叶、小团花、松枝等；动物类有龟、蛇、熊、牛、羊、虎、狮、神兽、夔龙等；人物类有奴仆、舞士、飞天等；建筑类有楼阁、长廊等；彩绘类有褐斑、绿条等。这一时期，瓷窑大量出现，其中有的已具相当的规模，有的长达半华里，这表明瓷器制造已成为手工业生产中的一个重要部门。伴随着瓷窑规模的增大，家具也被大量用于造瓷过程，一来可充分利用窑中的空间和热量，又可提高瓷器质量。尤其是匣钵的使用，既可防止烟熏和尘埃污染，又可避免釉的分解、碱类挥发、硅酸析出而减少光泽，有效地保证了瓷器质量。

马钧在机械制造领域的贡献

马钧是我国古代杰出的机械制造专家，生活于三国时期，为曹魏扶风（今陕西兴平县东南）人，最突出的贡献是改进了翻车和织机。他对翻车作了极重要的改革，从而制成龙骨水车。该车结构精巧，可连续不断地提水，效率远比其它提水工具高，对于灌溉农田，发展农业生产作用巨大，被沿用了1000多年。他将旧的50蹶、60蹶的绌机（织布机）改成12蹶，大大简便了操作程度，提高了生产效率，这种织机被广泛使用。他还制成了久已失传的指南车，结构简单精确，其关键在于传动机构的或联或断，但却使木人的手臂始终指向南方，当车辆朝正南行驶时，车辆和木人下大齿轮分开，不受车轮转动影响，手臂朝南；当车辆偏正南方向左转弯时，车辕前端左移，后端右移，使右侧传动齿轮放落，使车轮的转动带动木人下大齿轮向右转动，并抵消车向左转弯的影响，使木人指向不变，向右转的原理同此。这种自动离合的机械，体现了当时机械制造的高超水平，是中国古代技术的卓越成就。据史载，他还创造了以木为轮，以水为动力的水转百戏，以及连弩和发石车等。

船舶制造与航海技术的进步

三国两晋南北朝时期，船只的数量、种类、质量大大超过了汉代。偏居东南的孙吴，在刚建立不久即拥有战船5000多艘，最大的可乘3000余人。西晋的王濬在灭吴前曾组织人将许多小船联在一起，组成一个小小的可以移动的“水上城市”（当时称为“连舫”），四周用厚木板垒成“城墙”，墙中和城中都有桨橹，周围开设四个门，城中可驰马。魏晋时所造的舸，行驶甚速，《太平御览》称“飞驰如马之走陆地也。”北魏的造船业一向不很发达，但在公元430年这一年中，仅冀、定、杨三州所造船只即达3000艘。那时，军粮曾漕运至沃野镇，有专船二百艘负责运送。南朝的造船业更是发达，刘宋时著名科学家祖冲之制造的日行百余里的“千里船”，是中国的第一艘桨轮船，标志着中国造船技术的又一大进步。萧梁时曾出现了多达160桨的高速快艇“鹢”，这是中国历史上桨数最多的船，正因桨数多，使该船速度极快，南朝史《梁书·王僧辨传》中曾称该船“去来趣袭，捷过风电”。当时的战船，有“飞龙”、“翔凤”、“金翅”、“青雀”、“舳舻”等名称。一般的战船上都装有拍击敌船的“拍”，有的多达6支。除此之外，南朝的船上已出现了安置在船尾上，可根据水深、流速而上下活动的升降舵，说明对舵的作用认识更加深刻。汉代出现的风帆也被很好地利用，面积不断

加大，大帆竟用布 120 幅。帆的方位也作了调整，以利于更好地利用风力，有的船上还装上了可以改变方位的帆。

这一时期，人们在近海航行中，多利用海岸上或沿海岛屿上的特殊地物或其他特征作了为航行标志；在远洋航行中则利用日、月、星辰的方位来导航，这显然比汉代利用北斗七星和北极星来导航先进得多了。

制车与漆器制造

三国时诸葛亮曾制造“木牛流马”，它是一种车子，用于运输军粮。虽然，《三国志·蜀志·诸葛亮传》中对这种车子的制作方法记述极详，但其后无人仿造，对后来运输工具的发展无甚影响。

记里鼓车是与指南车并称的中国古代奇车。基本原理是：车轮的转动带动一套减速齿轮系运转，让齿轮系最后的齿轮在车行 1 里或 10 里时刚好转过一周，再经过机械传动，使木人击鼓以计所行里程，这又是中国古代机械制造方面的一件杰出代表。两晋时期，中国的漆器技术又大大前进了一步，出现了脱胎技术：先用木头和泥土塑造底胎，在底胎上再裹贴上几层麻布，再在麻布上涂漆，然后绘上各种所需的彩纹，干燥后再除去底胎，形成中空的漆塑像。南北朝时众多的佛寺塑像多用此法，大大推动了漆器工艺的繁荣。以后，漆器的使用已相当普遍、且深入民间。

造纸技术的进步

东汉蔡伦对造纸术进行改进之后，中国的造纸术不断提高。东晋时开始流行纯大麻纸、藤纸。西晋时曾创制了加工纸“发笺”（或“苔纸”），作法是：在捞纸前向纸浆中添加少量有色的纤维状物质（常用绿色的水苔或黑色的发菜），捞出后纸面有纵横交织的有色纹理。

南北朝时，由于纸张的应用越来越广泛，造纸作坊和纸张种类因而大增。多为未经加料和加工的本色纸，但也不乏精美的纸，纸的花色也不断增多。

据考古资料证明，早在 4 世纪时中国已有涂布纸（古代称粉笺），将白色矿物粉借淀粉糊成胶粘剂均匀涂在纸面制成的，比欧洲早了 1400 余年。这一时期，竹纸已被生产出来，这在中国造纸技术上又是一个发展。

早在秦汉时代，人们已运用黄柏汁将纸染成黄色，并能防蛀。《齐民要术》中详细介绍了这种染法：先将黄蘗（即黄柏）泡入水中，直到浸出纯汁，取出这些纯汁，然后把渣滓捣烂，放入水中煮，煮过后装入布袋，挤出汁，再捣煮，前后共捣 3 次，煮两次，将得到的汁与最初泡出的汁混合即可用来染纸。此法对成书也适用，只是要等到过夏再染，以免书的衔接处脱离。不过，先用熨斗烫过接缝之处，未过夏的书也可入潢。因此法相当简单，南北朝时的写本多染作黄色。另外，南北朝时还有了修补纸张的方法，所用补纸薄似薤叶，几至乱真。

十、世界古代后期的物理学

世界古代后期，物理学在东、西方都获得了卓有成效地发展。著名的物理学家欧几里德、阿基米德、希罗和卢克莱修等人在光学、动力学、原子论声学 and 电磁学方面的研究成果，奠定了物理学的科学基础。同时，中国的王充、董仲舒、张华、京房、荀勖、贾思勰、葛洪等哲学家、物理学家、炼丹术家和勤劳智慧的广大民间，在理论物理学和应用物理学上，都做出了开创性地贡献。

1. 古希腊罗马时期的物理学

在希腊化时代，笼统的古希腊、罗马科学开始分化的天文学、力学、数学和医学。其中的数学，尤其是几何学的进步，大大促进了物理学的发展。同时，天文学与物理学紧密相联，特别是在论证行星运动方面。希腊人主要从整体上对自然界进行观察，他们虽然看到了自然现象间的相互联系，但并未达到对自然界进行分析的研究水平，也未能超出萌芽的、片断的经验范围。在研究方法上，古希腊化时代主要还停留在对自然的直接观察和简单的抽象与推理上其，理论常常带有猜测的性质，但在个别问题上有所突破，如阿基米德的“王冠”问题和托勒密的光的折射问题。罗马帝国崩溃后，宗教开始笼罩全社会，进入中世纪黑暗时期，物理学和化学同其它科学一样，受到摧残和破坏，走向了衰落。

(1) 光学的研究与成果

古希腊罗马时期，光学的研究倍受科学家的重视，发展很快。公元前 3 世纪的著名学者欧几里得第一个把光学研究建立在科学的基础之上，此后的科学家克里奥梅德斯、托勒密等人阐明了光学折射的理论。在光学领域里作出了卓越的贡献。

欧几里得（前 3 世纪）是欧氏几何的最后完成者。约公元前 300 年，应托勒密一世邀请，客居亚历山大城。在希腊化时代，亚历山大城是西方学术文化的中心。欧氏在这里从事数学研究，并成为亚历山大学派的创始人之一。他除了在公元前 320 年完成了惊世名著《几何原本》、创立了欧几里得几何学之外，同时也十分重视对光学的研究。他的《光学》和《反射光学》两篇文章为几何光学奠定了基础，被认为是最早的两部光学专著。欧氏也成为古希腊第一个把光学研究建立在科学基础上的人。《光学》一文介绍了透影几何说的原理，《反射光学》一文对光的反射定律有一定研究。其实，光的直线传播规律和反射规律是欧氏几何的基点，为此，他从形式上论述了光线的概念，同时，还描绘了来自眼睛里的线。他已知道凹镜聚集作用（但不知焦点的具体位置）、分光作用以及凸镜的散光作用。他还论述了光折射的试验：将一指环放在一高脚杯底，眼睛刚好在指环被杯壁遮住的地方。位置不变，向杯里注水后指环就看不见了。这一试验表明，人类对光的折射现象已有了确切的认识。

欧几里得之后，亚历山大城的许多西方著名学者，在继承前人成就的基础上，又取得了新的成果，其中以希龙、克里奥梅德斯、托勒密等人的成就更为突出。希龙指出：光从始点传到另外的某一点，受到镜子的反射而经过距离最短的路线。即光线为起点到某一点隔镜相对点的连线。

克里奥梅德新（公元 1 世纪）对光的折射实验作了大量的论述，其中就包括欧几里得的指环实验。这些试验都是极为科学的，是古代人类智慧的结晶。他认为：当光线从较稀薄的介质进入较密集的介质时，在入点上几乎与分界面垂直。他还指出：由于光线在大气中的折射，在太阳刚落山时，仍可看见太阳。

托勒密是位卓越的天文学家和杰出的地理学家，但在光学领域里也有贡献，他曾经作了一个出色的实验：在一圆盘中心固定两地可以转动的尺子，圆盘的一半浸入水中，将一支尺子拨到一定的方向，转动另一尺子，使它表示前尺所表现入射线的延续，量入射角和折射角，就会得出相当准确的结果，即入射角为 0° ，折射角为 0° ，从折射率中算出折射角为 0° ；入射角为 10° ，折射角为 8° ，从折射率中算出折射角为 $7^\circ 29'$ ；入射角为 20° ，折射角为 $15^\circ 30'$ ，从折射率中算出折射角为 $14^\circ 54'$ ……。从这一实验中可以看出，托勒密相信折射角与入射角成比例，但还没有找出准确的折射率。他在《光学》一书中曾论述了光的折射理论，并首次记载了不同海拔高度外气差现象。这些结果以及对光的认识，对后世光学的发展起到了一定的促进作用。

（2）卓越的力学家阿基米德

阿基米德（公元前 287—前 212 年）是古希腊亚历山大时期的著名学者。他不仅在数学方面作出了巨大的贡献，而且在物理学方面也取得了惊人的成果。他的主要功绩是在实验基础上发掘出一些静力学原理，并对静力学进行数学研究，在实验基础上运用数学抽象，导出了力学定律。

在《论面平衡》一书中，阿基米德解释了平面型重心的数学定义，并阐述了面平衡问题。同时，他从下列假设出发，提出了杠杆定律的依据：

- a. 相等的重量作用在离支点相等的距离上，二者相互平衡；
- b. 不同的重物置于离支点相等的距离上，大的重物占优势；
- c. 离支点距离不等的相等重物，离支点近的占优势；
- d. 一个重物的作用可以用几个同样分布的、但重心不变的重物的作用来代替；相反，几个同样分布的重物也可以用一个来代替，这个重物的重心要和那几个一致；
- e. 重量不等而形状相同的重心分布一样。

阿基米德证明了这一定律，后来，他又把它用到了无法比较的重物上。

阿基米德所发现的浮力定律（亦称阿基米德定律）的内容是：一个物体浮于液体中时，其重量等于它所排开液体的重量；当物体沉入液体中时，物体重量的减少数等于该物体排开液体体积的重量。后来，这一定律也转用于气体研究中。

此外，阿基米德还首次提出了密度和相对密度的概念，即密度是某物质单位体积所言的质量；相对密度是某物质与标准物质密度的比值。

大量的研究成果充分显示了阿基米德在力学领域里为人类作所出的巨大贡献，他的这些力学理论是古代力学科学的顶峰。同时，其数学与力学相结合的研究方法更为后世的数学家、物理学家等指出了光明的道路。

（3）希罗与气动力学研究

希罗（公元前 130—75 年，又译作希隆）是希腊化时代著名学者。他曾详细描述了杠杆、尖劈、螺旋、绞车、滑轮等机械，并正式确定了杠杆和滑轮的法则。另外，他还提出了著名的希罗三角公式，即平面的反射法则。公

元前 100 年左右，他写成《气动力学》一书，详细地论述了利用蒸汽的反冲作用力而旋转的汽转球（又称作风神轮）。这种汽转球应该是世界上最早的反动式汽轮机的雏形。这本专著的问世无疑是对古希腊人们所积累的气动力学知识的总结，也是人类原始的气动力学研究的开始。

（4）卢克莱修与古代原子论

卢克莱修（约公元前 99 ~ 前 55 年），罗马著名诗人，在物理学方面也颇有造诣，其主要贡献是撰写成《物性论》一书。他以诗的形式生动地阐述了原子论学说，对原子论学说进行了概括总结。他以多孔性和比重的不同来论证虚空的存在，并以尘埃在阳光中的飞舞来比喻原子在虚空中的运动等。

其实，原子论学说是古希腊人探索研究的主要课题之一。早在公元前 5 世纪时，阿那克萨哥拉（公元前 500 ~ 前 428 年）就开始探索这一问题，他引用两个始原，即积极的始原和消极的始原来论证物质的构造。积极的始原是一种精细液体，是运动的最初发动者，可以引起旋转，一经旋转扩散开来，造成世界并使它具有秩序；而消极的始原是可以被分割为无限小的“种子”，各种不同的种子构成了各种不同的物质，而种子本身也具有无限多的性质，它们在很小的范围内重复着世界上多种多样性形态，万物的产生和消灭就是这种种子的结合与分离。后来，米利都的留基伯（约公元前 500 ~ 前 440 年）和阿布底拉的德谟克利特（公元前 460 ~ 前 370 年）对此作了更明确的表述，企图从物质内部结构中去寻求世界万物的本原。前者认为，宇宙万物都由原子组成，而原子是最小的，不可分割的物质粒子，相互之间充满着虚空，原子就在这个无限的虚空中永远运动着。后者认为，物质世界就是原子和虚空，原子被迫去在充满和否定虚空，彼此间没有本质区别，而虚空则是原子运动的基础；是原子得以贮存、运动和作用的场所；是与原子无关地独立存在着的。此后，约生於公元前 342 至前 270 年的伊壁鸠鲁对这一学说作了进一步发挥。他赞同所有自然现象都是原子在虚空中的运动、结合与分离所造成的这一观点，但主张原子本身有形状、大小、重量的差别，并认为原子在虚空中的运动为同速，而且运动可以偏斜，这是必然性和偶然性的统一。这些主张到后来都被继承和发展，成为古希腊哲学体系中的重要组成部分。而卢克莱修的论著正是对前人原子学说的系统总结。

（5）对声音和热现象的认识

早在公元前 6 世纪，毕达哥拉斯学派的创始人毕达哥拉斯就提出了音程间的算术关系，将声和音阶的研究提上日程。后来的亚里士多德在研究中得出声音是一种运动的结论。他认为，发声体撞击空气使之在各个方向上发生拉伸和压缩运动，从而使声音传播开去，如果碰到障碍，声音就象球被倒射回来一样产生回声。他还主张，如果使管振动，当管的长度加倍，管内的振动就要花两倍的时间。公元前 1 世纪的诗人、原子论者卢克莱修则企图从物质结构来解释声音，他把声音看作物质流，认为声音的多样性（如婉转流畅的鸟鸣、悠扬的笛声、沉重雄浑的手掌拍击声等）是由“声粒子”本身的性质所决定的。在长期生活和工作中，人们认识到了声音的交混回响、回声、共鸣等，并主张声音的传播是与水波一样的，会以无限膨胀的圆形向外扩散。

热与声音一样，是人们生活的亲密伴侣，对于这一现象的研究，大约开始于赫拉克利特所生活的那个年代，只不过那时人们总是把热与火联系在一起。随后的亚里士多德把热看作是物质的基原性质，是物体所具有的证明身份的东西，没有热，就没有物质。公元前 1 世纪的卢克莱修等原子论者则认

为，热是由物质本身的流体运动引起的，并把火看作是热的代表，是最轻的和光滑的原子。关于热的利用，最有代表性的是2世纪时亚历山大的希罗，他最早把蒸汽作为动力，制成小涡轮。其装置是一个装有两个弯管喷口的中空的球，喷管与球的轴成直角，各自弯向相反的方向。每当在下面加热时，球内产生蒸汽，并由喷口射出，使球体绕轴转动。这种装置可以说是现代涡轮机的雏形。

(6) 关于电、磁方面的知识

很早以前希腊人已经认识到电和磁的存在。史载米利都的泰勒斯已对电和磁的性质有了一定的了解。他在著作中曾对琥珀作了描述，并指出琥珀被摩擦后能够吸引轻小的物体。另外，他还知道某些天然矿物能吸铁。这些都给后代人提供了研究的基础。著名学者苏格拉底(公元前470或469~前399年)已经对磁化现象有了较深入的了解。他曾经指出，灵敏的铁(即磁石)不仅能吸引铁环，而且会使铁环具有同样的吸引能力，以致形成一个十分长的链，而这些都起因于磁石的作用。那时候人们已经知道有些鱼身带电，并开始用这种鱼来治病。如将铁矛接触电鳗，并将铁矛另一端放于痛处，用以治疗痛风、头痛等。到公元前1世纪，卢克莱修从原子论的角度对磁现象作了解释，他指出：磁体发射出细微的粒子流，撞击、驱散磁铁之间的空气，并使之形成真空，而铁原子则力求进入这个真空，从而使整个铁块靠近磁石，并使两者吸附在一起，而其它物体没有铁这种特殊的结构和性质，不能为磁体所吸引。他还认识到磁的排斥作用，并曾作过试验：将铁屑放入一铜盆内，把磁石放在下面，运动时铁屑便在盆内移动，磁石转向何方，铁屑也跟向何方。另外，古希腊人曾利用磁石的这个特性，找到了许多磁石矿和铁矿，这应该是较早利用磁石的例子。据说，磁(Magnet)的得名与小亚的一个地方玛格尼西亚(Magnesia)有关，那个地方盛产磁铁。

2. 古代后期的中国物理学

秦汉魏晋南北朝时期，是中国古代物理学发展的重要阶段，这一时期在力学、声学、热学、电学和磁学、光学方面取得了一系列的成就。

春秋战国时期，中国古代力学曾获得很大的发展，是初步形成的阶段。秦汉时期，力学又获大发展，尤其是在应用方面。魏晋南北朝时期，中国的力学从理论到实际运用上都取得了极其辉煌的成就，在当时世界上居于领先地位。

声学是物理学研究的重要领域，这一时期在这方面出现了丰富的专著以及众多卓越的发现、发明等。其中对物体发声、传声的研究，声音成因的解释，共鸣现象和共振实验等都有详细记载。这一时期的乐器创造、乐律学的探讨，以及各种用于战争侦察、建筑和生产中的声学知识，都领先于世界。

在长期生产生活中，人们积累了不少热学方面的知识，尤其在热能的利用方面又有了较大的发展，主要表现在冶炼、淬火、温室种菜、炼丹生火，制成热气灯等等。

电磁学是物理学专门的领域，主要是研究电磁运动规律。这一时期，人们对摩擦生电，大气电光等方面已有很深的认识，记载也很多。而在磁学方面对磁石和磁石吸铁性，指极性及其本质的探索等均有相当的知识，成就很大。虽然由于条件限制未能形成体系，但却有自身的连贯性，在学术上长期

处于领先地位。

中国古代的光学知识十分丰富，尤其在几何光学方面所取得的成就，长期领先于世界其他国家。秦汉魏晋南北朝时期是中国古代光学研究不可缺少的阶段。

（1）光学知识

两汉时代，出现了一种透光镜，外形与古代普通镜子一样，反射面磨得很亮，能照人，但它却能通过反射把镜子背面的文字和花纹清楚地反射到屏幕上，这是由于铸镜时薄处先冷，镜背有花纹图案处较厚，冷却得较慢，铜收缩得多，而花纹、图案虽在镜背，而镜面也有隐约的痕迹。这充分反映了中国古代人民对光反射特性的深刻认识。

西汉时，中国已有原始的潜望镜，唐代马总的《意林》卷6引《淮南万毕术》一书，称“取大镜高悬，置水盆于其下，则见四邻矣。”

中国古代的人们早已知道光线穿过透明体的折射现象。春秋战国时期，人们已开始用凸透镜向日光取火。西汉《淮南万毕术》上有这样的记载：“削冷令圆，举以向日，以其承其影，则水生。”晋朝人张华也在《博物志》中作了类似的记载。西方直到17世纪才由英国科学家虎克作出类似的试验，比中国晚了1000多年。

根据王充《论衡·乱龙篇》的记载，东汉时已有了消炼“五石”制成的透镜阳燧，这是早期的玻璃凸透镜。远在公元2世纪之前，中国已发明了放大镜，可放大四、五倍。显示出凸透镜的另一功能。

对于因光的折射所引起的色散现象，古代中国对它的发现和记载都相当早。虹是太阳光沿着一定角度射入空气中的水滴引起的比较复杂的折射和反射造成的一种色散现象。东汉人蔡邕在《月令章句》中是这样解释虹的：虹成于与日向对的云气中，无云则无虹，阴天亦不会有虹。可见他对虹的成因及位置有了一定的了解，那时的人已观察到瀑布之下四溅的水珠亦能呈现七彩。另外，南北朝时的梁元帝肖降在《金楼子》一书中曾记载了君王盐（又叫王华盐）的结晶体能折射太阳光呈红、黄、褐诸色。这是关于天然晶体色散现象的最早记载。

（2）力学知识

在秦汉、魏晋南北朝时期，人们利用已积累的力学知识，发明了一系列机械，如利用力的分合原理制成犁壁（比欧洲早千余年）；利用力的平衡原理，杠杆原理等制成的三脚楼；利用杠杆原理制成水碓；利用力的传递原理制成翻车；采用齿轮系统制成漏水转浑天仪；应用惯性和杠杆原理等制成候风地动仪；西汉丁缓利用齿轮系统发明的七轮扇及利用力的平衡原理制成的被中香炉；使用杠杆原理和轮转系统制成水排；应用齿轮的自动离合原理制成指南车及记里鼓车等，生动地反映了中国古代在实际应用中的高超水平。

东汉王充的《论衡》是对这一时期力学知识的初步综合，是对墨家力学的继承和发展，已初具动力学的萌芽。王充是东汉时期伟大的唯物主义思想家。《论衡》是评论古往今来一切思潮和学说的是非真伪的论文集。书中对力的作用进行了探讨，指出外力是使物体运动的原因，而内力不能使人和物体本身发生运动状态的变化，且力的大小可用重量的单位来量度，大小不同的力其效果也不一样。这些论述比前人更进了一步，基本上与近代力学原理相符。

关于物体运动快慢的原理在《论衡》中也有论述，书中指出：在一定外

力作用下，重量小的物体运动起来容易；重量大的则困难。书中还有了“速度”这一概念的萌芽，指出一切物体运动的快慢可用相类似的机械运动来比拟进行量度，这是一个很重要的创见。另外，书中还表现出了关于功这一概念的萌芽思想，书中明确提出在考核功的大小时，除用力的多少外，还要确定运动路程的长短。

流体运动现象是日常生活、生产中常见的现象，人们很早就对它进行了研究。春秋战国时期，墨家对水中物体的浮沉现象进行了考察和研究，指出：一定量的物体如果形体很大，那么它在水中下沉的部分则浅，因为它与平衡有关。并且已懂得物体排开的水与物体本身有一定的关系，并试图作定量的描述。这无疑是浮力原理的记述。这比古希腊的阿基米德的发现早了两个世纪。这一原理随即被应用于造车和造箭的生产工艺中，到秦汉魏晋南北朝时期，这一原理被更为广泛地采用。著名的曹冲称象故事，讲的就是这一原理，即船上装上石块与船上装大象沉到同一位置，表明它们排开水的重量相同，也就是两次所受到的浮力相同，这就表明大象与石块必然等重。

在流体压力方面，中国古代早就利用大气压力来制造虹吸管和唧筒。东汉末年就出现了一种用于灌溉的虹吸管（当时称为“渴鸟”）。以后，虹吸现象在生产和生活中应用更为普遍，医学上的拔火罐疗法也是利用这一现象。关于大气压力的探讨，南北朝时成书的《关尹子·九药》中有这样的记载：“瓶存二窃，以水实之，倒泻；闭一则水不下。盖不升则不降也。”意思是：把水灌满有两个孔的瓶子，然后倾倒，如果闭住一个孔，则水就倒不出来，这是因为有两个孔，倾倒时一个小孔可同时进气，便倒出水来；如塞住一个孔，那么就因另一个孔外面的气压比瓶中的压力大，水也就流不出来。这反映了当时人们对大气压已有相当的认识。魏晋之际的虞茸在《穹天论》中论述宇宙结构时，说天有如一个倒扣在水面上，用来盛放梳妆用品的木奁，其所以不会下沉，因其中充满了“气”，明确地肯定了大气压力的存在。

（3）声学知识

东汉学者王充曾用水波来解释声音在空气中的传播。他在《论衡》一书中写道：“生人所以言语呼者，包括口喉之中，动摇其舌，张歛其口，故能成言”即指出了人之所以能发声，是由于人口的张合，口舌鼓动空气而发音。并认为，人使空气振动成声，声音通过空气传播，同鱼使水振动成水波通过水传播一样，离开振源过远，就听不到声音了。王充关于声音犹如水波的物理学思想，是世界上对声波的最早认识。

人们在认识波的同时，已知声音的高低是与物体的振动分不开的，认识到钟的厚薄不同声音的清浊不一，弦线的长短、密度、张力不同，则音调也各异。王充在《论衡》中还提出了“天且雨……琴弦缓”，即天要下雨，空气潮湿，琴弦会松缓下来，张力变小，频率也发生变化的观点。除此之外，秦汉时人们早已学会了鉴别音色，对响度和音品都有一定的认识，还知道了因振动所引起的共振和共鸣现象。其实共振和共鸣现象在战国时代的《庄子·杂篇》中已有记载，并用音律相同去解释。但真正具体深刻解释这一现象理论还是在西汉。董仲舒（公元前179—104年）在《春秋繁露·同类相动》中的解释最具代表性。他明确指出，凡是物体自鸣，都是有其原因的，就是声音相应，强音则使物体自鸣。利用共振原理，汉代人制成了称之为洗的铜器。它的形状与洗脸盆相似，底部浅且平，盆边有两耳，边缘较宽大，盆底铸有两条龙或鱼，俗称龙洗或鱼洗。其喷水原理涉及到固体振动在水中的传

播、共振现象和干涉效应。如用两手有节奏地摩擦盆边上的两耳，就会使盆内的水产生复杂的波纹，好似鱼或想象中的龙在盆底运动翻起浪花。如摩擦得好，还可使水喷到空中3尺多高。这种器皿的问世，显示了当时人们已掌握了声学的共振和干涉效应的知识。晋代学者张华(公元232—300年)在《博物志》一书中就利用共振原理去解释洛钟和铜盆的自鸣现象，并第一次提出了清除共鸣的科学方法：使物体的重量减轻。这说明张华已知共鸣的原因在于音调相应，以及音调和振动体形状均与轻重有关。此外，在秦汉魏晋南北朝时期，声音效应已被广泛用于战争，利用共鸣测知对方的行动和方位；在建筑中则利用共鸣、反射等来建造琴室、庙宇、宫殿等特殊需要的建筑。

从数学的角度对乐器上的乐音进行研究，是中国古代物理学的重要组成部分。大约在公元前11世纪，对音律的研究已形成初步的理论系统，到春秋战国时期，出现了一种“三分损益法”的乐律计算方法。运用这个方法完成一个音阶中各个律的计算以后，使比基音高或低8度的音只能约略地比基音高或低一倍，与真正的准确值一倍还有一定的差距，即高一个“古代音差”。这样就不能组成一个完整的8度，这无疑是美中不足之处。为消除这一差数，秦汉魏晋南北朝时期，涌现了大量对此进行探索的乐律学家，尤以西汉的京房(公元前77—前37年)、南北朝时的何承天(370—447年)、钱乐之(5世纪)和沈重(6世纪)的贡献更为突出。京房所采取的办法是把高出的差数插入黄钟与大吕(十二律中的两个)之间，并重新用清黄钟这个音为起点，仍用三分损益法顺次求出其他各音，同时，把这些音插入到相当的位置中去。从而把一个音阶中的律数增到50个(实为60个)。钱乐之和沈重也是按此方法，将律数增到360个。但总体来说，他们这种作法只不过是缩小这个差数，而不能消除这个差数。而且他们将律增加过多，不仅无法演奏，而且也难以制出这种乐器。何承天把按三分损益法计算结果造成的律管长度上的差数均分为十二份，然后累加到基音以后的各律上去，从而使基音和高8度的音在长度上恰好成倍比。但由于是按律管长度来平均分配差数，而不是按频率(或音分)来分，从而使各律间音程混乱，转调更困难。但这个大胆的创新，打破了5度相生的陈规，提出了乐律研究的新方向——等程研究，为十二平均律的出现指明了道路。值得一提的是晋代的荀勖在乐律学方面曾作出过重要的贡献。据《晋书》卷19记载，晋泰始十年(公元274年)，荀勖制成了12支笛；其12支笛应十二律，其校正数就是一个律管的长度和另一较高四律的律管长度之差数。“荀勖笛”不仅是乐器，也是判别音高的声学仪器。这种十二笛及管口校正的产生和应用，是中国古代声学史上的一项重大成果。比欧洲早了15个世纪。

(4) 热学知识

到秦汉魏晋南北朝时期，人们通过长期的生活与生产实践，已积累了一定的热学知识。并在日常生活中、书籍中有所运用与记载。

从汉代开始，中国古代的人们逐渐发现并初步利用了煤、石油、天然气等高温燃料。这使高温冶炼又前进了一大步。到东汉杜诗又发明了鼓风机——水排，将炉温又提高了一层。那时，人们掌握火候的技术可以说已达到登峰造极的地步。各种出土的名剑，精制瓷器、炉窑遗址等实物，便可向世人展示这一切。但这时，人们仍是靠经验看冶炉的火色来判断火候，而温度的调节则简单由鼓风的急慢来控制。对所制器物硬度的控制，人们已开始利用不同的淬火技术，一般习惯均用特定的水来淬火，而北齐綦母师文在炼制

宿铁刀时却用动物油和动物尿两次淬火，这说明他已有很高的技术和丰富的经验，对开始淬火的温度、淬火后取出的时机把握得恰到好处。这些都是热学控温技术的一大进步。

热能的利用与农业生产紧密相关。据《汉书·召信臣传》记载，在西汉末年已有正式的温室生产。其实秦始皇曾派人在骊山之南建造大棚，用以在冬天栽培蔬菜，因技术不过关而没能成功。西汉时所用的方法是“覆以屋庑，昼夜燃蕴火，待温气乃生。”北魏时已出现了用熏烟的方法来防止霜冻的技术以及对霜冻的预报等。著名科学家贾思勰在《齐民要术》中写道：“凡五果花盛时，遭霜则无子，常预于园中往往贮恶草生蔡，天雨新晴，北风冻切，是夜必霜。此时放火作煜，少得烟气，则免于霜矣。”古代的中国人利用热能防止自然灾害的作法，充分显示出了他们的聪明才智和对热学知识的深入了解。

炼丹术是从春秋战国到唐代久盛不衰的一门学问，它虽然与仙、道等迷信现象紧密相关，但其中也有不少物理方面的知识。西汉炼丹家魏伯阳在《周易参同契》一书中对水银的挥发现象作了记载，他指出：由于水银与硫磺能化合成黑色的硫化汞，加热能升华成红色硫化汞（俗称丹砂）。因此，用硫磺便可不让水银蒸发。他还指出，即使在猛火中，黄金也不易氧化，不失重，不变形。晋朝葛洪（公元281—341年）在《抱朴子》一书中记载了包括煅（长时间高温加热法）、炼（干燥物质加热法）、灸（局部烘烤法）、熔（融化法）、抽（蒸馏法）、飞（升华法）、伏（加热使药物变性法）等多种火法炼丹法。但其中也记录了蒸发和凝结、热分解和升华等方面的物理知识。书中还指出了掌握火候对炼丹的影响，以及恒温方面的知识，形成了中国古代物理知识记录的又一种形式。

此外，王充的《论衡》在中国物理学发展史上有一定的地位。它在书中对热传导的见解是：热的传导是气的作用，靠火近则感到温暖是因为距离短，气的作用大；而当离火越来越远时，气的作用就不断减小，热的传导也就不断减弱。这一见解给出了热的传导与距离成反比的科学结论。他不但科学地解释了雨、露、云雾、霜、雪的形成，而且对蒸发、降雨、凝结与温度的关系有了初步论述。他在书中指出：“雨之出山，或谓云载而行，云散水坠，名为雨矣。失云则雨，雨则云矣，初出为云，云繁为雨，……云雾，雨之行也，夏则为露，冬则为霜，温则为雨，寒则为雪。雨露冻凝者，皆由地发，不从天降也”，“寒不累时则霜不降，温不兼日则冰不释”。这说明王充把云、雾、雨、露、霜、雪看作是本质上相同的东西，只是在不同的温度和不同的条件下，才表现出不同的形式。这表明他对热现象和热能的变化有了精细的观察和比较深入的研究。

南北朝时期，中国早已有了储存天然冰的窖场，用来冷藏食物，并且十分普遍。虽然早在商周时已有这样的冰窖，但其社会化程度远不如这一时期。

热的本性一直引起人们的关注和探讨。古代中国的五行说，把火看成是构成宇宙万物的物质元素中的一种。南北朝时成书的《关尹子》指出：热是一种可自由出入物体本身的“外物”，当瓦与高温的火接触时，就有热进入

《汉书·召信臣传》。

见《论衡·说日篇》。

见《论衡·感虚篇》。

瓦石，所以瓦石会热起来；而当瓦石接触冷水时，就有热以瓦石传出，所以瓦石会变冷。而北齐的刘昼更以“热质说”的口吻指出：热是藏在树木之内的一种物质，钻木的时候就会跑出来，从而产生火。这些应算是热学发展史上较早的关于热的本质的一种假说。

秦汉时代，已经出现利用热室气因轻而上升的原理的记载。淮南王刘安编著的《淮南子》中记载：“取鸡子，去其汁，然艾火纳空卵中，疾风因举之天。”虽然这种东西根本飞不起来，但表明了时人已知用艾火生产热能而使重物上升的道理，开始了制造热气球的设想。后来，蜀国丞相、著名的政治家、军事家诸葛亮利用热空气的浮升原理而发明了“孔明灯”，这应该是热气信号灯的前身。同时，出现了利用燃烧加热空气去推动纸轮旋转的燃气灯与走马灯等器物。这表明，人们已认识到，空气热升冷降而成对流，并使轴转动这一原理。这些器物的制作原理与现代涡轮喷气发动机的燃气轮机原理相似。可以说，中国的走马灯应算是近代燃气轮的始祖。而直到公元1550年，欧洲才出现燃气轮的雏形。

(5) 司南的发明

中国春秋时期就注意到了磁现象的存在，当时，《管子·地数》一书中记载了天然磁石的吸铁现象。在使用磁石的过程中，人们发现了磁石具有指极性，根据这一特性，制成了可能指示南北方向的工具——司南。最早的可靠记载是战国末期的法家著作《韩非子》一书。在《有度篇》中有“先王立司南以端朝夕”，意思就是用司南这种东西测定方向。在《韩非子·有度篇》中详细地描述了司南形状东汉王充的《论衡·是应》中也有司南勺的记载：“司南之杓（勺），投之于地（放置司南勺的盘子），其柢（d·，勺柄）指南。”河南南阳东汉墓出土的石刻上有司南的图画。由此可知司南是用天然磁石制成的，样子像勺，圆底，可以在平滑的刻有方位的底盘上自由旋转，勺柄就指向南方。但因司南由天然磁石磨制而成，磁性较弱，在制作过程中，由于受震而会失去磁性，加之磁勺与底盘接触处转动摩擦的阻力较大，所以还难以达到理想的指南效果。尽管如此，司南还是被广泛用于建筑、航海、祭祀等活中，起到了指南针的作用。并为指南针的发明奠定了基础。随着航海事业的发展，人们更为迫切地需要研制更为有效的指向仪器。为此进行了不懈地努力，战国末期的《吕氏春秋》一书中所讲的“慈（磁）石召铁”，又向前大大跨进了一步。春秋以后由于铁器的广泛使用，进而又发现了磁石吸铁的特性，从而有可能出现人工磁化的铁。这是继磁石指极性后物理学上的又一重要发现。约到公元10世纪，经过对人工磁化方法和用磁针指向的探索研究，最终发明了指南针。

然而，中国古代物理学的发展也不是一帆风顺的。由于传统观念对纯理论探讨的轻视与排斥，将记载大量物理学知识的《论衡》加上“秘玩以为玩助”的罪名，视为“异端邪说”而长期遭受冷落。加之当时中国古代科学家还缺乏将力学、光学、热学等物理现象进行独立研究，建立独立的、系统的学术系统的意识，因此中国古代后期的物理学研究，还无法形成完整、系统的理论体系。

十一、世界古代后期的化学

在古希腊，根本就没有化学这一名词，更谈不上什么独立的学科。化学一词（chemistry）最初见于佐西摩斯的著作中，有可能是来源于《圣经》，但最可靠的说法是起源于埃及，意义为黑土。因为当时炼丹盛行，第一步是实现物质的“黑化”，于是化学就是黑化的工艺。在希腊时代的亚历山大，许多化学工艺方法日益完善起来。这种由古埃及教堂祭司们所掌握的“神秘艺术”处方（包括加工和仿制贵重金属的知识，占星术和魔术方面的资料，以及充满迷信的题外话、祈祷文和咒语等），开始广泛用于冶金、金属加工、染色工艺、制药等方面。当时统治人们头脑的哲学思想是斯多噶主义和卜拉迪拉斯（公元204—270年）的新柏拉图主义，对古代唯物主义的学说加以歪曲和神秘化，更促进了魔术、占星术、炼金术的发展。

中国古代的化学，并非当今意义上的化学研究，最多只是化学知识的简单积累和应用，主要表现在炼丹术、酿酒、造纸、玻璃制造、陶瓷、金属冶炼的生产过程之中。

1. 古希腊罗马的炼金术

希腊古代炼金术是希腊化时代各种思潮汇聚交融的结果，是柏拉图——亚里斯多德雅典学派的希腊哲学、东方（波斯、巴比伦、印度）神秘主义与埃及冶金、染色、玻璃制造工艺等3大潮流相结合的产物。大致内容是把金属染色、使铅、汞等常见廉价的金属变为金子一样纯美贵重的金属。

一般认为，希腊炼金术大约兴起于公元1世纪，鼻祖当推特立斯梅吉士特斯（古埃及之神），而实际上最初的炼金术士是希腊化后期时那些注重实际、掌握实验技艺的工匠家。他们的活动（至少一大部分）肯定与古埃及叙述伪制黄金的方法书籍“纸草书”中所描述的方法有关，他们深受亚里斯多德哲学中“万物自发趋于尽善尽美”思想的影响，希望他们所仿制的伪金也尽快完美起来，于是，炼金术在希腊化国家内大大兴旺起来。

关于炼金术方面的书籍，早就有很多，只是由祭司掌握，秘而不宣。公元初期的著作内容多是神秘与实际并存。如在公元100年时，以德谟克利特名义写的一书中，在同一篇论文的不同部分记载了实用秘方和神秘的推理。到公元3世纪时，李顿和史塔柯姆的古文书籍已全是实际经验的总结。那些实用古文书籍讲述了伪造金银的技术秘方，以及制造人造宝石和染料的方法。如用其它金属冒充金和银时，就将金属表面镀金。也有将镀有其它金属表层去掉以显露出原来的金银的方法。

希腊炼金术士们以古雅典斯多噶学派的灵气是万物核心成分、是决定各种物质实体本质的东西、而且某种物质的灵气能使其他材料的个体朝着该物质的方向变化的思想为前提，认为只要先使待加工的材料死亡，失去了固有的灵气和个性、尽可能返原物质状态，然后赋予它新的灵气，使它产生新的属性、形式，新物质便产生了。但是还须进行一段时间的热、湿处理，来促进被加工材料的转化、萌生和成长，最后变成黄金那样的完美形式。他们还认为，彩色是物质更重要的、本质的属性，物的灵气多体现在颜色上，如能在金属物表面镀金或染上一层色，就算使它得到了黄金的灵气，并开始了向黄金的转变。以上述思想为指导，希腊炼金术的大致过程是：首先使被加工

的材料死去，即将多种贱金属融化呈黑色，以表示失去灵气；其次是用白银蒸汽将黑色合金物变白，表示赋予了它新的灵气，这一过程又称成银；再次用硫磺水、多硫化钙溶液蒸煮合金，或用硫磺蒸汽熏染合金，使其变黄；最后是加工处理过程，将合金洗净，除锈。用这种方法制成的伪金被称作“珊瑚金”。

早期的炼金术士中有人认为，金属也有性世差别，本身有雌雄之分。犹太人玛丽曾指出：将雌雄结合，您可得到您所求，银很容易与铜结合，象马驴、狼狗一样。这种思想对后来的炼金术有一定的影响。

公元1至5世纪是古希腊炼金术的兴盛时期，公元292年，罗马皇帝戴克里先曾下令焚烧一切关于炼金方面的书，使炼金术的发展受到了严厉的打击。到西罗马灭亡后，炼金术日渐衰微下去。这一时期的炼金术虽然最后是无果而终，但遗留下了大量的化学知识，以及一套完整的蒸馏设备，包括烧瓶、烧杯、漏斗、过滤器、水浴器、灰容器、承受器、升华器等，并为历代所沿用，直到19世纪后才开始增添新的设备。

2. 中国古代的炼丹术与化学

(1) 炼丹术与化学

中国炼丹术源远流长，持续了2000余年。虽然说是兴起于秦汉之际，但早在原始社会时期就已形成万物有灵和万物由神主宰的观念，这无疑是它的先声。随着医学的进步，到春秋战国时期，长生不老的思想盛极一时，并把希望寄托在仙药、神灵的身上，于是神仙之说大兴，寻药、求仙活动也蓬勃发展起来，尤其是北方的燕、齐，南方的楚国，广泛流传着关于神仙和不死仙药的传说。在这种背景下，作为原始宗教迷信的信徒及执行者的巫人逐渐变成方士，专门从事求仙及寻药活动，成为神仙说和长生不老药说的鼓吹者和编造者。秦统一中国后，秦始皇一心欲求长生不老之药，遂大肆搜求，海内游遍不遇，海上寻仙又受挫，在这种情况下，一些方士便鼓吹黄金、白玉、云母为仙物，食后可不老，并开始制造丹砂，从此便揭开了中国炼金术的序幕。炼丹术的出现在客观上为化学的发展积累了一些知识。公元前2世纪的《淮南万毕术》中就载有“朱沙为澠(g%ng 汞)”即从硫化汞中提取汞的化学知识。

应该说，中国炼金术正式起源于西汉初年，到汉武帝（公元前140年—前88年）时，方士倍受尊重，民间形成了炼丹热潮。自从东汉张道陵创立道教后，炼丹术便为道士们所掌握，并成为他们立教的基础；他们倾心修炼，四处采药，足迹遍及半个中国。

东汉初出现了《黄帝九鼎神丹经》，记载了用丹砂、雄黄、黄丹等可炼制丹药、以及九种神丹大药的炼制方法。该书被认为是中国最早的丹书。公元2世纪，东汉魏伯阳（约公元100—170年，名翱，号伯阳，后人称为云牙子，会稽上虞人。）曾著《周易参同契》，该书被称为世界上现存最早的炼丹术专著。书名大意是周易、黄老、炉火三家理论参照而契合为一。全书共3卷，内容大致是用《周易》爻象的神秘主义思想来论述炼丹、修仙的方法，在涉及物质变化的理论中描述了汞有挥发性并能与硫化合；第一次记载了用两种元素合成的化合物。描述了把红色硫化汞加热分解成水银，将水银和硫磺加热，升华成红色硫化汞，这是化学发展史上最早的人工合成化合物的方

法。书中还记载了铅丹（即四氧化三铅）能被炭还原为铅；提出了影响物质起化学变化的配方比例的概念；这种概念虽然表述得不十分清楚，但在客观上为化学的发展积累了知识。

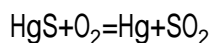
到魏晋南北朝时期，中国的炼丹术已相当成熟，一些医学家和炼丹家对过去几百年所积累的炼丹知识进行总结，从中吸收有益的东西，先后撰写出了《太清丹经》、《五灵丹经》、《三皇内文》、《岷山丹法》等 200 多种丹经、道书，出现了一派繁荣的景象。著名医学家葛洪采众家之长，写成《抱朴子》一书，共 20 卷，论述了战国以来的神仙家理论，并对炼丹术的指导思想、理论基础，以及当时炼丹术所取得的成果作了全面系统的总结，主张内修与外养相辅相成，不能顾此失彼；提出要想不老如仙，必须既外服金液、还丹等神丹火药，又要内练自身，包括凝练精气、保精守一、导引行气、闭息归真、调协阴阳、还精补脑、食饮有度、兴居有节。外篇 50 卷为政论性部分，宣扬儒家思想，主张人人都能得道成仙，提出以神仙养生为内，儒术应世为外的政治主张。

由于葛洪的潜心研究，因而在炼丹术方面有很高的成就，当时他已经掌握诸如化合、分解、置换、升华等化学反应方面的知识，葛洪发现了化学反应的可逆性，他说：“丹砂烧之成水银，积变又还成砂”。他又说：“铅性白也，而赤之为丹（即四氧化三铅）；丹性赤也，而白之为铅”。这是化分与化合，氧化与还原的朴素的表述。这些成就，使其成为现代化学的先驱人物。而《抱朴子》一书也是现存的最完整、最系统、最严密的炼丹术专著。

中国炼丹术的发展，给中国古代化学的进步以极大的促进，主要表现在医药化学和黑火药的出现等两方面。炼丹术士们为后世留下了相当丰富的矿物性医药制剂的丹方和制药方法，主要的有火法炼丹和水法炼丹。火法炼丹指不加水进行焙炼。大致工序为：煅（长时间高温加热）、炼（对干燥物继续烧炼）、炙（温火局部烘烤）、熔（高温熔化）、抽（蒸馏、升华）。已使用了丹砂、铅等矿物，已知汞、丹砂、黄丹（即四氧化三铅）的制法。水法炼丹是利用物质在液体溶液中的复杂反应而制丹药。工艺步骤是：化（加热使物质溶化）、淋（将固体溶解）、封（密封起来，埋于地下或长期置于黑暗处）、煮（放在水中加热）、熬（长时间高温加热）、养（较低温度加热）、酿（置于含碳酸的容器中或阴暗潮湿处，令其变化）、点（用少量药点化）、浇（冷却）。可能还有过滤、结晶的过程。一般情况下是把药物（醋、硝石、水银）放入一耐腐的溶解槽中，能很容易溶解黄金等。有时还放入石胆（硫化铜）来催化丹砂（硫化汞）等溶解。正是掌握了这些知识，汉初出现了用铁加入硫酸铜中加热得铜的置换反应。南北朝时的陶弘景发现将醋、碱性硫酸铜（或碱性碳酸铜）、涂铁加热可得到熟铜。这是世界上最早的胆水炼铜法，比欧洲早 1000 多年，为后来胆水炼铜法奠定了基础，是化学史上的一大贡献。

炼丹术与医学无严格界线，炼丹家在当时几乎都是医学家，可以这么说，中国明代以前医药化学的成熟主要是从炼丹家的活动中取得，而见于炼丹家著作中的矿物药剂的丹方，主要在后来的医疗实践中得到检验与发扬光大。而炼丹家们在医药化学方面的成就主要集中在汞化学、铅化学与砷化学方面。

在汞化学中，水银的升炼有着重要的意义。最先人们利用的可能是天然水银。春秋战国时，开始用低温焙烧法从丹砂中烧炼水银，其反应如下：



东汉以后，出现了在密闭系统中加热分解丹砂。冷凝水银的生产方法是采用下火上凝的方式，但生产效率低。当时炼丹士们已知在空气中加热水银，会变成红色氧化汞（称作神丹，为“还丹”之一），以及“黄芽”（可能是硫磺）与水银化合成黑色硫化汞（称为“青砂头”），并逐步探索制取“灵砂”，成为中国古代汞化学中的最大成就。东汉时炼丹家们将水银、硫磺、盐放在一起升炼，得到了甘汞（ Hg_2Cl_2 ），东晋时，炼丹家又在升炼水银、硫磺、盐、硝石过程中得到了升汞（ HgCl_2 ），成为两种重要的药物。另外，汞化学还包括炼金术。因水银可与金、银、铅、锡等形成汞齐，而由汞齐又可提出金、银来。

在铅化学中，人们最早知道了铅粉（即胡粉、碱式硫酸铅），并用作化妆粉、颜料、琉璃釉料。铅粉很容易在加热中生成黄色氧化铅（即黄丹，又称玄黄），再进一步焙烧，可生成四氧化三铅（即铅丹）。东汉时人们用吹灰法提炼金银中发现了黄丹的制法。

含砷矿物如雄黄、雌黄、礬石、砒黄、石等也是炼丹家们常用之物。葛洪在《抱朴子》卷11《仙药》中曾指出：将雄黄、猪大肠、少量硝石三物合炼。即可得到单质砷，这应是中国古代砷化学的最大成就。

炼丹家在长期炼丹活动中，不断接触并使用硝石、硫磺与木炭。用这三种物质则能制成火药。早在公元前3世纪至前1世纪的秦汉时期，当炼丹术从开始走向兴盛之际，人们已掌握了硝石的一些性能。东汉时成书的《神农本草经》中就有熔炼硝石能得膏泥的记载。早期的术士们曾把五金、八石、三黄（硫磺、雄黄、雌黄）、汞、硝石、炭、松脂以及多种草木药品混合共炼。以求制成“金银”和长生不老药。用硝石与三黄、炭、松脂共炼时，则极易燃烧、爆炸。这种现象孕育了火药的发明。著名炼丹家葛洪在公元300年左右，曾将硝石、硫和含炭物混合起来，就已接近原始火药。虽然他们没有给火药定义，但这与民间流传的“一硝、二磺、二木炭”的火药简易配方是一致的，其化学反应与现代的简易配方与反应式“ $2\text{KNO}_3 + 3\text{C} + \text{S} = \text{N}_2 + 3\text{CO}_2 + \text{K}_2\text{S} + 169 \text{ 千卡}$ ”很相似。所以可以说他们已经制成了黑火药。到了公元650

年左右唐代的名医孙思邈在他的著作《丹经》一书中，提出了火药的一种配方，将硫磺、硝末、木炭制成一种可燃的粉，用来发火炼丹。在古籍《诸家神品丹法》中已有记录，这说明到了唐代，火药的配制技术已经提高、并走向成熟。至于火药用于军事上的最早记载其说不一，一说汉代已有填装硝磺混合物的竹筒，已具有原始火器的雏形，而北魏酈道元（约公元460~527年）的《水经注》记载：公元228年，诸葛亮率兵围攻陈仓，魏明帝派将军郝昭守城，“昭以火射连石拒之，亮不利而还”。而郝昭所用的火器则是魏明帝宫中的兵器制造师马钧所发明的。这应是把火药用于军事上的最早记载。

炼金术从本质上来讲是不科学，反科学的。所炼之金丹不仅不能使人长寿成仙，反而会使人们命丧黄泉。但其理论上也有着合理的部分。葛洪说：“变化者，乃天地之自然，何嫌金银不可以异物作乎？”正是这种具有朴素辩证法性质的思想，促使炼丹家们作了大量的化学实验活动，诸如蒸馏、升华、溶解等。并且从中发现了诸如化合与分解、酸与碱中和、氧化与还原及金属置换等化学变化规律。同时，认识了许多元素和化合物，发明了许多化

学实验器具。所以恩格斯(1820年—1895年)把炼金术称作是化学的“原始形式”。也正是这原始的形式为世界化学的发展产生了推动和促进作用。

7世纪,中国古代的炼丹术传入阿拉伯,在12世纪时,阿拉伯的炼金术传到欧洲,欧洲的炼金术从15世纪开始衰落,17世纪燃素说兴起,炼金术彻底衰亡。但古代炼金术的产生与发展为近代化学的发展奠定了基础,则是世人所公认的。

(2) 杀虫剂的发现与使用

杀虫剂的发现与使用,在化学发展史上应有一席之地。中国是世界上最早发明和使用杀虫剂的国家之一。公元前2世纪时,《淮南万毕术》中就明确记载:“夜烧雄黄,水虫成列。水虫闻雄黄臭气,皆趣(趋)火。”雄黄就是一种解毒杀虫药。始载于《神农本草经》。汉魏医家吴普称:“生山元阳,故曰雄,是丹之雄,所以名雄黄也。”雄黄主含二硫化二砷,具有解毒杀虫功能。雄黄遇热分解,燃烧后就会产生三氧化二砷(砒霜)和二氧化硫,可直接杀灭虫子。由此可见,中国古代的医家不仅对雄黄的性味和功能有所了解,发现了雄黄这种杀虫剂,而且也掌握了用燃烧加热使其分解的使用方法,从而收到了“水虫闻雄黄臭气皆趣火”的杀虫效果。汉代成书的《神农本草经》中,也有用硫化砷和汞等药物杀灭寄生虫的记载。《本经》中认为硫化砷(含砷的结晶矿石雄黄)、辛、温、有毒。“主寒热、鼠、恶疮、疽痔、死肌、杀百虫、毒肿。”因此借其毒性以毒“杀百虫”。汞是剧烈毒物,用于杀虫效果较好,但因当时价格昂贵,因此使用并不普遍。

在欧洲,直到1763年才由瑞典人席勒制成杀虫药剂。比中国晚了近2000年。

值得一提的是,中国魏晋时期就已将杀虫剂用于造纸和农业防虫方面。晋代人们就采用黄蘗汁浸渍麻纸,制成防虫纸。黄蘗汁是用中药黄连制成的,而且黄蘗碱是黄连的主要成份之一,具有较强的抗菌、杀虫作用。在当时,能发现和认识黄蘗碱的抗菌作用,并成功地应用在造纸业上,说明当时对黄蘗碱的杀虫作用已有了深刻地了解,并掌握了这方面的加工制作技术。公元533至544年,著名农学家贾思勰成书的《齐民要术》,也记载了利用艾蒿杀虫、驱虫的作法,并对麦种进行防虫的方法。由此可见,中国古代,杀虫剂的发现与应用的成果甚为丰硕。而这些成果又从另一个侧面充分地说明了中国古代化学所取得的进步。

