

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界古代中期科技史

 **eBOOK**
内部资料 非卖品

内容提要

本书叙述了公元前 8 世纪到公元前 3 世纪前后世界科学技术发展的基本概况。

本书将以这一时期的古希腊和中国春秋战国这两个科学文明中心为主线，兼及北非、西亚和南亚的古代科学技术发展状况，作出系统的论述；内容包括金属冶炼、土木工程、手工业技术、物质构成学说、天文学、地理学、数学、生物学、医学和物理学的发展状况与成就；同时注意揭示科学技术发展与社会历史诸因素的相互关系，从中得出一些历史的启示。

一、概述

1. 阶级社会的出现与科学技术的发展

在大约距今 5000 年前后，科技文明在几个较大的河流沿岸，先后出现了。这和阶级社会出现几乎是同时到来的。

随着新石器时代后期的经济发展，越来越多的剩余产品和财富在部落首领、军事首领以及掌管宗教活动的祭司手中集中起来，使私有制开始出现。氏族内部贫富分化的加剧逐渐演变为阶级的分化；部落之间的频繁战争，使胜利者可以掳掠到大批的奴隶，从而加速了氏族社会的解体和阶级社会的形成。

原始农业虽然出现于亚、非、欧、美等广大地区，但由于土壤肥力的过快消耗，限制了多数原始村落的规模和农业发展的稳固性。只有那些水量充足、供水方便、土壤肥沃的河流沿岸地区，才能为农业的发展提供天然的优越条件，使农业扎下根来，使定居村社繁荣起来。而在这些地区修建较大的引水灌溉工程等活动，又冲破了天然经济单位的局限，促进了许多部落的联合；工程实施、水量分配等活动又促进了社会组织的变化和协调关系的扩大，成为促进民族形成的重要因素之一。于是，河流地区村社规模不断扩大，从村落发展为乡镇，又从乡镇发展为城市。城市的出现既是古代文明发展的结果，又成为推动古代文明进一步发展的巨大动因，特别是加速了奴隶制城邦的兴起，随后又发展成为奴隶制国家。

阶级社会的出现，在历史上是个进步的现象，因为它的出现促进了社会生产的发展和科学技术的进步。首先，阶级的分化使一部分人能够脱离繁重的体力劳动，有闲暇的时间去从事别的活动，特别是以脑力活动的形式去总结广大奴隶的生产实践经验，并进行一些抽象的理论问题的探索。科学知识尽管产生和存在于生产技术之中，生产技术又是由劳动者直接掌握的，但他们一般地说没有从事科学活动的可能；科学活动主要是一种脑力劳动，在那个社会中只能由那些对生产比较关心、与劳动者关系比较密切的脑力劳动者来进行。

其次，由于城市的发展和城市生活的需要，在城市中集中了大量手工艺人、商人和管理人员；房屋建筑、道路修建、车辆制造、手工艺品的制造和大量商品的交易等，都涉及到数学、物理、化学以及多种技术知识。这种社会需要必然会促进科学知识的积累和技术的发展，并加速了它们的交流传播过程。

第三，由于有了一批专门从事脑力劳动的人，文字才得到了发展。文字是文明发展的重要条件。有了文字，才使人类的经验和智慧摆脱了只能口头传达的局限性，人类的知识和文化成果才能被记录和保存下来，在空间和时间上广为传播。

早在新石器时代后期，社会已经有了对文字的需要。最早人们是结绳或刻痕记事，后来就有了图画文字、象形文字。巴比伦南部的苏美尔人早在公元前 4000 年中期就创造了一种图形文字。由于图形文字很难表达复杂而抽象的概念，后来便逐渐发展成一种表意文字，即用各种字形结合起来作为语言意义的记号。随后又出现了谐声文字，同声的词常常

用同一符号表示，使苏美尔人的图形符号从早期的两千多个减少到五百多个。由于美索不达米亚地区的石头很少，他们便用削成三角尖头的芦苇秆、木棒或骨棒把文字压刻在软泥版上，然后把泥版晒干或烘干加以保存。由于这样压写出来的字体一端较宽深，一端较狭细，每一笔划的形状很象一楔形，故被称为楔形文字。古埃及人在古王朝初期（约公元前 27 世纪）已创造出了许多字。他们使用的是以表形符号、表意符号和标声字母相结合的象形体文字，其中有单辅音符号 24 个，这是人类最早创造的标声字母。古埃及人的书写技术与两河流域不同。在尼罗河三角洲盛产一种状似芦苇的植物“纸草”，把它切成小段剖开压平，拼排连接成片，干后即成草纸。用芦苇秆作笔，蘸上由菜汁和黑烟末调制成的墨，就可以在上面书写。在古代地中海地区，埃及的纸草无疑是最好的书写工具，所以被腓尼基商人大量贩卖到整个地中海地区。把纸草粘接起来连成长条，可以卷起来保存，“卷”这个名词就是由此转化而来的。

古代文字演变的结果，一是发展为西方流行的拼音文字，一是象汉字那样的表意文字。公元前 13 世纪末，地处地中海东岸的腓尼基人在埃及、巴比伦和克里特等地文字的影响下，发明了字母，对人类文明作出了重大贡献。这种便于拼音并便于书写的字母文字，共有 22 个辅音，不同音的字母组合起来就可以构成无数的词。希腊人吸收了这些字母，又增加了元音字母，制定出了更为完整的希腊字母系统。后来欧洲多数国家采用的拉丁字母，就是从希腊字母演变而来的，斯拉夫字母也是从希腊字母演变而来的。腓尼基字母同样也是希伯来字母和阿拉伯字母的祖先。拼音字母可以做到口头语言与书面语言的一致，便于书写、学习和流传，所以很快为世界绝大多数国家所采用。西亚和印度地区在公元前后也采用了先进的字母文字。

汉字是从甲骨文经过金文、籀文、小篆、隶书而演变成现在通行的楷书的。汉字是一种表意文字，字数多而难学。但汉字作为中华民族共同的书面语言，比较稳定，基本上没什么变化。所以古代的文献现代人也很容易读懂，不象拼音字那样随着地区和时代不断变化。因此汉字对于中国文化的延续、中华民族共同心理状态的形成以及国家的长期统一，都起了积极的作用。

综上所述可知，以农业的发展为基础的河流文明和城市文明的出现，特别是由此而产生的阶级社会的形成和体脑劳动的分离，是人类社会历史发展中的一个重大转折。这个转折为古代科学技术的发展创造了基本条件。进入古代中期后，出现了以古希腊和中国春秋战国东西方两个科学文化高峰为代表的世界五大文明地区科学技术的繁荣。

2. 西亚、北非和印度河流域的古文明

(1) 两河流域的古文明

西亚的幼发拉底河和底格里斯河流域，是人类文明的发祥地之一。希腊语称这个地区为美索不达米亚，意为两河之间的地方。两河流域的

报载湖北考古工作者最近在宜昌县杨家湾遗址发现中国最早的象形文字，把中国文字的起源推到 6000 年前，比商代殷墟甲骨文还早 2000 多年。

北部古称亚述，南部古称巴比伦尼亚，它又分为苏美尔、阿卡德南北两个部分。两河流域雨水稀少，靠两河每年3月至7月的定期泛滥为农业生产提供条件。两河流域北部为较高的丘陵地带，多石料、木材和矿藏资源；南部低洼多沼泽，富有芦苇、椰枣、鱼类和粘土。公元前3000年前，苏美尔人已经掌握了铜、银等金属的高温冶炼技术；农业已出现犁耕，种植大麦、小麦、芝麻、豆类和蔬菜，并开凿沟渠、兴建堤坝，初步建成了引河水灌溉的系统。他们还先后驯养了羊、猪、驴、牛，并已用驴驮载。在手工技艺方面，苏美尔人已发明了纺织、轮制陶器以及车、船的制造。

在古巴比伦王国第一王朝的第六代王汉谟拉比时期（公元前1792—前1750），他们兴修水利，开凿运河，最大的汉谟拉比渠为广大地区提供了充足的水源，使农业得到了发展。这一时期古巴比伦广泛应用青铜器，社会生产力有进一步的提高，采用较完善的扬水器灌溉高地农田，谷物和椰枣的种植都得到扩大，耕作中采用一种带有播种漏斗的改良犁，提高了效率。城市里出现了店铺、货摊和手工作坊，从事冶金、木作、制陶、织布、造船、鞣革和制砖等制作经营。巴比伦王国用驴子组成运输商队对外输出谷物、食油、枣子、皮革、陶罐等，换回金、银、铜、石头、木料、盐和各种供贵族享用的奢侈品。

公元前11世纪，两河流域进入铁器时代。北部地区的亚述人在泥版上写字，骑马，驾战车并用强弩射箭。他们的战车队和骑兵队威震远近；由矛手、剑手和射手组成的步兵，作战时排成不易攻破的密集方阵，并广泛使用铁兵器。公元前689年，亚述人消灭了巴比伦第四王朝。他们用募兵制建立了强大的军队，包括战车兵、骑兵、重装步兵、轻装步兵，还新设了专业的工兵兵种；军队配备有铁制的盔甲、武器和战马，并备有攻城的冲击器和投石机。通过侵略战争，一度建立起东临伊朗高原，西至地中海和埃及，北及南高加索，南达波斯湾的铁器时代的第一个奴隶制大帝国。公元前612年，由迦勒底人建立的新巴比伦王国与米地联军攻陷了亚述首都尼尼微，亚述帝国崩溃。

尼布甲尼撒二世在位期间（公元前605—前562）新巴比伦王国达到最盛时期，攻陷了耶路撒冷和埃及，在巴比伦尼亚北部兴建了一道横跨两河平原的长城以防止米地人的侵袭；扩建了巴比伦城使之成为西亚最壮观的城市，修建了著名的“空中花园”。它的手工业和商业达到了两河流域历史上的最高水平，巴比伦城成为西亚最繁荣的商业中心。公元前538年，新巴比伦并入波斯帝国。

波斯帝国的大流士一世（公元前522—前485）通过征战，建立了领土空前广阔的奴隶制大帝国。为了便于调遣军队、传达命令，修筑了设有驿站的大路，其中最长的一条由首都苏萨直至小亚细亚海岸的以弗所城，全程约2400公里；波斯帝国还第一个施行了统一的铸币制度。公元前5世纪初，波斯发动了对希腊的侵略战争，即历时半个世纪的希波战争，结果波斯战败，元气大伤，国势日趋衰落。公元前330年波斯被马其顿国王亚历山大所灭亡。公元前3世纪中叶，塞琉古王朝被推翻，建立了帕提亚王国（公元前247—公元226），我国史书上称为安息。公元前2世纪末，中国汉朝张骞通西域时曾遣副使访问安息，建立了东西双方的交往，“丝绸之路”成了一条重要的国际商道。

(2) 尼罗河流域埃及的古文明

埃及位于尼罗河的下游。其东部隔着红海是阿拉伯沙漠，西面是利比亚沙漠，南部至努比亚沙漠和尼罗河上游的悬崖瀑布，北部尼罗河三角洲沼泽地带古时也难于通航。这个环境使它长期免受蛮族的侵袭。埃及常年雨量稀少，气候炎热干燥，农业全靠河水的灌溉。发源于中非东部高地的尼罗河有固定的汛期，每年7月雨季到来时开始泛滥，多泥的洪流使尼罗河水上升到25至30英尺，淹没了两岸的滩地；10月泛滥期过后，从上游冲下来的含有大量腐植质的黑色淤泥便留在河谷滩地上。两岸的居民便排除积水，在松软黑色沃土上耕种谷物，这使埃及成为世界上最早的农业区之一。不过，在很长一段时期里，埃及只是一条长而青绿的、肥沃的、几公里到几十公里宽的河滩地带，夹在黄色石灰岩和沙漠之间。完全可以毫无夸张地说，埃及是尼罗河的女儿，连她的土壤也是这条大河赐与的。因此，埃及人对尼罗河是赞美的；安定的生活环境使埃及人的宗教信仰也带上乐观主义的基调。埃及的神祇都是善良的，人们相信人在死后也会过美好的生活。所以从法老到大小奴隶主，生前就极力营建包括金字塔在内的陵墓，以便死后到另一个世界享用。

埃及人很早就制出了陶器，驯养了猪、牛、羊等。到公元前4000年中期，埃及人已学会了冶炼金属，用铜制造工具和武器，并有了发达的犁耕和灌溉农业，种植大麦、小麦、亚麻等作物。约在公元前3000年左右，埃及形成了统一的国家，建立了早期王国的第一王朝。埃及在古王国时期（约公元前2686—前2181）已广泛使用牛拉的木犁和铜制的镰刀；手工业已从农业中分离出来，有冶炼、制陶、采石、木作、皮革、纺织和造船等各种行业。中王国时期（约公元前2133—前1786）埃及已出现了青铜器，用类似中国古代桔槔的工具“沙杜夫”提水浇灌农田。手工业上已使用一种平式织布机。埃及人还发明了烧制玻璃的技术。新王国时期（约公元前1567—前1085），埃及达到了它在军事、政治、经济和文化的最强盛的“帝国”时期。这时埃及已普遍使用了青铜器，在冶炼技术上用脚踏风箱代替吹管冶炼，提高了熔炉的温度；农业上使用一种梯形把手的新式犁和骡马等畜力；纺织业上发明了悬式纺锭和立式织布机；此外还出现了彩色玻璃、彩陶等新工艺。石匠、陶匠、木匠、珠宝匠、铜匠和金匠等多到数以万计。国内外贸易也有很大发展。努比亚和红海西南沿岸的金、银、象牙、鸵毛、香木，叙利亚的牲畜、酒、木材，巴比伦的织物、油类、马匹和奴隶等都向埃及输入；而法老的商队则远渡重洋，携带金块、珠宝、象牙、陶器、花瓶、亚麻布和纸草等进入爱琴海地区贩卖。

公元前约1085年，埃及进入后王国时期。社会经济继续发展，掌握了冶铁技术，铁器被广泛使用。在26王朝时期（约公元前610—前595）埃及还挖通了尼罗河与红海之间的运河，促进了农业和商业的发展。到公元前525年，埃及被波斯帝国所灭；公元前332年，又被马其顿国王亚历山大所占领。公元前323年，大将托勒密自立为王，以亚历山大城为首都，建立了托勒密王朝，并使亚历山大城在相当长的时期内成为世界上最大的科学文化中心。埃及虽然被征服了，但它的科学技术成果被希腊人所吸收并继承；它的制陶技术依然影响着别的国家的制陶风格；

它在希腊人之前发明的柱廊和拱门，也被希腊人和罗马人所广泛采用。

(3) 印度河流域的古文明

古代印度系指现在整个南亚次大陆上各个部落和国家的总称。这块大陆是一个巨大的三角形，北面以兴都库什山脉和喜马拉雅山与欧洲、近东大陆隔开，南部是伸入印度洋的楔形半岛，东临孟加拉湾，西为阿拉伯海。发源于喜马拉雅山的印度河和恒河分别流经次大陆北部的两大平原。半岛的南部地区是一个不很高的德干高原，有丰富的森林和矿产；高原两侧是酷热的沿海平原，雨量充沛，宜于农耕。可以相信，在远古时代，海岸线很长的印度就有了一些沿岸航行的船只，在印度和巴比伦之间进行海上贸易，后来使用的铁也是外来的。

约在公元前 2000 年左右，印度已进入典型的青铜文化时期，当时已有青铜制造的斧、镰、锄、锹、刀、矛、箭头和剑等工具和武器。农作物有大麦、小麦、稻谷、胡麻、甜瓜、蔬菜等。印度是世界上最早种植棉花的地区。畜牧业已饲养牛、羊、猪、狗、鸡等动物。手工业除冶金、制陶、烧砖、造船外，棉纺业十分发达。在建筑上用红砖砌屋，城市有高厚的城墙，完备的下水系统和人工挖的水井，甚至出现两层的楼房。当时所用的石制砝码表明，已掌握了二进位和十进位的度量衡制度。从美索不达米亚和叙利亚发现的印度河流域文化的印章，证明当时的印度已有了对外贸易。

公元前 1000 年代初，印度开始使用铁器，并逐步形成了许多奴隶制国家。在雅利安人中创立了婆罗门教，即印度教；其经典为《吠陀》，原意为“知识”。这一时期在奴隶社会等级划分的基础上形成了严格的种姓制度。公元前 4 世纪下半叶，原来位于恒河中游的摩揭陀，基本上统一了整个北印度。这个时期铁器已普遍使用，农业、手工业和商业都有了发展，城市经济也十分兴旺。

公元前 6 世纪，由乔达摩·悉达多（即释迦牟尼，约公元前 566—前 486）所创立的佛教，不仅一度盛行于次大陆，而且还传到亚洲的一些国家。佛教所主张的“众生平等”虽然反映了被压迫种姓的平等愿望，但它所主张的以苦行来寻求拯救，专心致力于宗教冥想以取得心灵宁静的办法，对科学和技术的发展很难有积极的影响。

公元前 327 年，马其顿的亚历山大曾率兵侵袭了印度的西北部。这次短暂的入侵使印度接触了希腊化的世界；希腊化的工业制品、艺术与思想都输入了印度。印度的建筑也开始流行使用石头，用石头雕刻佛像，希腊化的宗教信仰也渗入了印度。

公元前四世纪末建立的孔雀王朝（约公元前 324—前 187）依靠由步兵、骑兵、战车和经过训练的驯象组成的庞大军队征服了除半岛南端以外的整个印度，成为印度历史上第一个幅员广大的统一帝国。阿育王（约公元前 273—前 232）大力宣扬佛法，成为佛教的第一个护教皇帝。他在印度境内建造了许多壮丽的佛教寺庙和佛陀塑像，并派遣佛教徒到斯里兰卡、缅甸、甚至波斯、埃及、希腊等国宣传佛教。

孔雀王朝时期，印度的生产力有了进一步的提高。铁器的制造和使用已很普遍，各地都开凿了一些沟渠、水井和池塘进行农田灌溉。手工业也有了发展，出现了一些以棉纺织品著称的地区。由于国家的统一，

疆域的扩大，不仅内地贸易更为活跃，与海外的斯里兰卡、缅甸、西亚、埃及以及中国都有贸易往来。阿育王之后，印度又逐渐分裂，公元前 187 年，孔雀王朝便灭亡了。

3. 爱琴地区的古文明和希腊科学文化的发展

古代希腊的地理范围，包括希腊半岛、爱琴海诸岛、克里特岛和小亚细亚西部沿海地带，统称为爱琴地区。爱琴地区属亚热带气候。希腊半岛境内多山和丘陵，缺少大河与平原，土地较贫瘠。除狭窄的沿海地带和内陆小块盆地可种植大麦、小麦等农作物外，缺乏适于发展农业的肥沃土壤。山地和丘陵适于放牧并盛产橄榄和葡萄；此外还有少量铜、铁、铅等金属资源。各个岛屿有丰富的大理石、陶土和银矿等手工业原料。由于有曲折的海岸线和良港，沿海居民多从事渔业，并有较发达的工商业，贸易占有重要地位。

爱琴地区与西亚、北非的距离使它既可以接受那里的古文明的影响，又远离动乱的中心两河流域。这种自然环境、地理条件和多样性的经济，对古希腊文明的形成和发展起了重要的作用。19 世纪末以来的考古发掘证明，爱琴文化是欧洲最早的青铜文化。由于克里特岛和迈锡尼的文化遗址最为典型，故又称为克里特、迈锡尼文化。

(1) 克里特文化和迈锡尼文化

克里特岛特别优越的地理位置，良好的气候，丰富的水产、水果和橄榄，使克里特岛的皮拉斯基人早在公元前 25 世纪左右，已创立了金石并用的文化。到公元前 21 世纪至前 17 世纪之间，克里特岛已普遍使用了青铜工具和兵器，发展到阶级社会，并建立了发达的造船业、榨油和制陶业。公元前 1600—前 1450 年间，克里特文化进入全盛时期，出现了不少贵族居住的豪华宫殿等宏伟建筑，如著名的诺萨斯王宫。当时的克里特岛是地中海的贸易中心。埃及的黄金、象牙、玻璃、粮食，叙利亚的马匹和木材，塞浦路斯的铜，爱琴海诸岛的云石、银和陶器等，都经过这里转运到各地。克里特岛主要出口橄榄油和陶器。克里特人早期曾创立了象形文字，后来又发展出简便得多的线形文字。公元前 14 世纪到前 12 世纪，来自希腊本土的不断入侵，使克里特文化遭到了毁灭。

希腊半岛南端（即伯罗奔尼撒半岛）早在公元前 3000 年前已有人居住。公元前 21 世纪至前 17 世纪，北方讲希腊语的阿契亚人大量涌入这里并创造了迈锡尼文化。他们种植大麦、小麦、豌豆、蚕豆、洋葱等作物，驯养了牛、羊、驴等，已经有了相当发达的制陶业，金属加工技术也有一定的进步。公元前 16 世纪到前 12 世纪，是青铜器的鼎盛时期，迈锡尼文化也达到鼎盛时期。这时已经使用马驾驭的战车；陶器制造技艺有了进一步的发展，从小酒杯到储存粮食、葡萄酒的大陶罐都有出土，而且雕刻有形态生动逼真的人物和动物的图画；迈锡尼的城墙和塔楼都是用巨石垒成的，城门上有一尊巨大的雄伟壮观的狮子石像，所以被称为“狮子门”。从迈锡尼还发掘出大量用线形文字书写的泥版文书。遍及东地中海直到腓尼基的大量迈锡尼陶器等遗物，表明贸易在这个地区占重要地位。

在迈锡尼文明后期，阿契亚人组织了希腊联军，发动了远征小亚细亚富庶城市特洛伊的长达十年的战争，最后用“木马计”攻陷了特洛伊，但迈锡尼自己也元气大伤，不久便被希腊半岛北部的多利亚人所征服，迈锡尼文化便衰落了。

(2) 荷马时代

公元前 11 世纪到前 9 世纪，是《荷马史诗》所描绘的时代，故称“荷马时代”。大量希腊部落从北方、东北方迁入希腊本土、爱琴海诸岛以及小亚细亚西部沿海。经过一个短时期的吸收和消化西亚、北非的文明之后，希腊人开始创造了当时地中海地区最高水平的技术。到公元前 10 世纪，希腊出现了铁器时代的曙光。从这一时期铁匠的墓葬里发现了打铁用的锤、砧、风箱、钳子以及铁制的斧、钻等。在农业上已经采用了双牛牵引的犁，使用了铁铧、铁锄和铁镰。手工业开始从农业中分化出来，在史诗中提到的有铁匠、木匠、皮革匠、制陶匠等多种“民间艺工”。当地原有的榨制橄榄油、酿造葡萄酒和制陶工业有了进一步的发展，在地中海地区处于领先地位。采矿和铜、铁冶炼技术有了进一步提高；金属加工工艺、特别是兵器制造达到了相当高的水平。公元前 9 世纪，希腊人学会了腓尼基字母，造船业和商业也逐渐发达起来，出现了城镇和专做买卖的商人。

荷马时代是希腊人由原始社会向奴隶社会过渡的时期，他们已经处在文明的门槛上。

(3) 城邦国家的建立

公元前 8 世纪到前 6 世纪，是希腊各城邦建立的时期。这种城邦国家是以一个城市为中心，把周围的村镇统辖起来，地域一般不过百里，人口不过数万，最大的也只有数十万。由于希腊各部落进入爱琴地区的方式不同，他们的城邦实行的政体形式不同，对科学技术发展的影响也不同。

从陆上侵入伯罗奔尼撒半岛的朵里亚人，把当地人沦为奴隶，为他们耕种土地，入侵者成为土地奴隶主。这就是后来的斯巴达，实行的是一种贵族寡头政治，是一个典型的“农业奴隶制城邦”。为保证少数斯巴达人的统治，实行一种健全的军事制度和严酷的纪律，整个斯巴达社会就像一座兵营。这种制度决定了他们的保守性，斯巴达一直成为各城邦中寡头政治保守势力的堡垒，对希腊科学文化的发展毫无贡献。

爱奥尼亚人对小亚细亚沿海城市的入侵是海盗式的袭击。由于沿海地区缺乏发展农业的条件，他们便发展工商业，入侵者成为工商业奴隶主。由于手工业、航海和贸易在他们的生活中占据重要地位，使他们比较关心技术、富有进取性，眼界也比较开阔，因而比较容易把氏族社会军事民主制中的民主制保留下来，形成一种特有的奴隶主民主政治。这种民主制为古希腊科学文化的发展提供了良好的条件。

爱奥尼亚人吸收了当地人以及埃及、美索不达米亚和叙利亚人的文化并加以混合，又以它促进了希腊半岛各城市文化的发展。他们在门德尔河口附近所建立的城市米利都，很快成为一个巨大的贸易中心。到公元前 8 世纪，米利都的商船已开往黑海、埃及，向西远航到意大利半岛

的南部和西海岸。米利都又是一个著名的文化艺术中心，被希腊人推为七贤之首的哲学家泰勒斯（约公元前 624—约前 547）就是米利都人，他的学术活动给希腊后来的思想家们奠定了基础。所以公元前 6 世纪以前，在希腊历史上被称为爱奥尼亚时期。

在古希腊的众多城邦中，阿提卡半岛上的雅典，对人类文明的发展作出了最大的贡献。阿提卡全境多山，唯有雅典周围和沿海有些平原，栽培葡萄和橄榄的园艺经济十分发达。山区有丰富的大理石、陶土和银矿；沿海有曲折的海岸线和良港，为工商业的发展提供了有利的条件。

从公元前 8 世纪起，雅典的农业、手工业和商业便不断得到发展，工商业奴隶主的势力不断扩大。公元前 594 年梭伦（约公元前 639—前 559）代表新兴工商业奴隶主利益进行的社会改革，从政治、经济上打击了氏族贵族，最终导致雅典实行了一种比较彻底的奴隶主民主政治。梭伦为发展工商业，颁布了奖励公民学习手工业技术，鼓励有手艺的外邦人移居雅典，改革度量衡制度和币制，促进了雅典社会经济的发展。这为后来雅典学术、文化的高度繁荣创造了重要条件。

(4) 雅典时期

公元前 500 年爆发的长达 50 年的波希战争，希腊各城邦在雅典的领导下并利用了雅典那支拥有 200 艘设有三层桨座、170 名桨手划行、用金属包装船嘴的战船的强大海军，终于在公元前 480 年取得了决定性的胜利，解除了波斯帝国对希腊各城邦的威胁，捍卫了希腊的民主制，还打通了以雅典为首的工商业城邦从爱琴海通往黑海的商路。从此开始了雅典的极盛时期。从公元前 5 世纪到公元前 4 世纪中期，在希腊历史上被称为雅典时期，或希腊的古典时期。

雅典时期中小规模的奴隶制经济占主导地位。葡萄和橄榄的种植大量增加，橄榄油和葡萄酒畅销地中海周围各国。手工业有制陶、冶金、皮革、造船、纺织、武器和家具制造等多种行业。在手工业作坊内还出现了一定技术分工，如制陶业分为拌土、挑水、塑模、绘画、涂色、烧焙等工种，提高了工艺水平。内外贸易也得到巨大发展。雅典的外港比雷犹斯是当时世界上最大的海港，港内有旅馆、剧院、仓库、商品陈列室和银钱兑换所等设施。从黑海北岸、埃及和西西里来的粮食，从黑海来的咸鱼、蜂蜜、蜂蜡、牲畜和皮革，从米利都来的羊毛，从迦太基、波斯来的地毯，从东方来的香料、芳香油和奢侈品，从非洲来的象牙，从埃及来的麻布、帆布，从意大利中部来的鞋靴和青铜器，从希腊北部来的木材、松香和大麻，从塞浦路斯来的铜等，都在这里集散。雅典输出的则是手工艺品（主要是陶器）、葡萄酒和橄榄油。雅典的货币也成为希腊各城邦的通用货币。防卫的城垣绕着雅典和比雷犹斯港口建筑起来，雅典和比雷犹斯间不足 5 英里的通道，也用宽广而有围墙的通巷连接起来。辉煌的建筑、精美的雕刻和绘画装饰着这座名城，在卫城上还竖立着雅典娜的巨大铜像。

雅典的奴隶主民主政治也得到了发展。行政和立法的最高权力归全体公民大会。公民大会 9 至 10 天召开一次，年满 20 岁的男性公民都可参加，讨论和决定国家的重大政策，选举和惩处国家的官吏。这种民主和自由讨论的气氛已成为希腊各个城邦的传统，对学术的发展和杰出人

才的培养是很有利的。雅典的文化教育也得到了发展，孩子们从小就被施以成为良好公民的教育。

公元前 431—前 404 年的伯罗奔尼撒战争，以雅典的失败告终，雅典降为斯巴达的一个臣属，希腊各城邦开始走向衰落。但是，雅典这个思想帝国的哲学、科学、文学、艺术和智慧，却依然在古代世界里扩展着。苏格拉底、柏拉图和亚里士多德正是活跃于这二时期的伟大哲人。

(5) 亚历山大时期

正当雅典和希腊各城邦日渐衰落之时，希腊半岛北部的马其顿王国崛起了。公元前 338 年，菲力浦二世率兵彻底打败了希腊联军，确立了马其顿在希腊的霸权。公元前 336 年，菲力浦二世被刺，他的受教于亚里士多德的聪颖、勇敢的儿子亚历山大继位（公元前 336—前 323），于公元前 334 年春，率步兵 3 万、骑兵 5 千、战舰 160 艘进攻波斯，侵略东方。先后攻占了小亚细亚半岛、叙利亚，公元前 332 年占领埃及，在尼罗河口建立了亚历山大城。后又攻占巴比伦、进军中亚细亚，入侵到印度河流域，建立了一个地跨欧、亚、非的大帝国。

公元前 323 年亚历山大病逝，帝国立即分裂，亚历山大的部将托勒密以亚历山大城为首都，在埃及建立了托勒密王朝（公元前 305—前 30）。亚历山大的东征当然是一次侵略活动，但在客观上却推动了希腊文化的广泛传播。亚历山大不仅梦想征服世界，而且还梦想把它希腊化。在他 12 年的征战中，把希腊的神庙、剧场、艺术、文学、科学和希腊的商业带到了帝国各地。在帝国分裂之后，各个国王也都热心鼓励希腊文化的传播。希腊文明的传播和胜利，是比军事征服更为成功、持久和重要的。当然，外来文化总有一个与当地文化融合的过程。希腊的文化不仅影响了东方，它本身也由于和东方文化的接触而发生了变化。征服者也开始穿起了细软的衣服，仿照东方君主的礼仪和统治方式。在埃及，希腊人改良了当地的农业生产方法，出现了关于农耕的书籍，种植了橄榄，带进了绵羊新品种；在运河、堤坝、港口和灯塔的建筑上，引进了希腊更精巧的技术；玻璃、挂毯、细麻布、香水和纸草书籍都制造出来。

托勒密王朝在亚历山大修建了一所大型图书馆，藏书达 50 万卷以上，收藏了当时希腊的全部著作和部分东方典籍。在王宫里还设立了一所学院，大批有薪俸资助的学者们在这里进行着各个学科的研究工作。为了纪念缪斯，这所学院被命名为“缪斯翁”。这使亚历山大城成为当时世界上的一个科学中心。著名的欧几里得几何学就是在亚历山大城发展起来的。希腊时代的文明，在亚历山大城开出了艳丽的花朵。公元前 323 年以后，在历史上被称为希腊化时期或亚历山大里亚时期。

公元前 146 年，希腊本土的马其顿王国被罗马征服。公元前 30 年，埃及也归入罗马版图。从这一年起进入了罗马帝国时期。罗马人虽然自命为希腊文明的继承者，但他们只接受了他们认为有用的那些东西，主要是一些实用技术的成就；而对于希腊的科学，特别是希腊的数学，他们却很少接受。罗马帝国在一些巨大的工程项目上表现了很高的水平，至今还留着他们建造的高架引水渠道、宽阔的道路、桥梁和宏伟建筑的遗迹，但他们在科学上的贡献却微乎其微。甚至著名的亚历山大图书馆，也在罗马人攻占亚历山大城的大火中被焚烧，两个半世纪搜集起来的 50

万卷书籍和手稿付之一炬。基督教在罗马帝国的传播和得势，又使希腊文明受到严重的摧残，公元 392 年，罗马教皇下令取缔异教，存于亚历山大城神庙里的藏书 30 万卷又被焚烧。公元 640 年，阿拉伯人占领埃及时，亚历山大城的藏书又一次遭到焚烧，于是这个古代最大的科学文化中心便被毁灭了。在古希腊那里很有活力的科学传统，到了罗马人手里就算完结了。

4. 中国春秋战国的文化繁荣

中国的黄河流域和长江流域的自然条件，都有利于农业的发展。黄河流域进入新石器时代可能在七八千年之前，长江流域约在六七千年之前。但中国进入奴隶制社会的时间比世界其他几个古文明地区都较晚，大约是从公元前 21 世纪的夏朝开始的。大禹治水的传说和记载表明，中国古人与其他古文明地区不同，在洪水面前不是坐船逃难，而是有领导、有组织地和洪水作斗争，不仅制服了洪水，而且还发展了农业。传说夏代已有了铜器；从商代高度发达的青铜技术来看这是可能的。夏朝末期的几个国王以天干为名，如胤甲、孔甲、履癸（即桀），表明那时可能已经采用了干支纪日的方法。

公元前 16 世纪商灭夏而建立了一个奴隶制大帝国。商代已普遍使用甲骨文，手工业也相当发达，特别是青铜器的制作达到了独步世界的高水平，制品有兵器、礼器和工具。商代高度发达的青铜冶铸技术，为生铁冶铸技术的出现做了准备。商代彩釉陶和白陶的出现，又为后来瓷器的生产准备了条件。

公元前 11 世纪周灭商。周朝建立后注意吸收商的文化遗产，推动了中国奴隶社会的发展。从公元前 21 世纪到公元前 475 年的战国初，中国的奴隶社会只延续了 1600 年左右，与西亚、北非、南欧地区存在 4000 多年的奴隶制相比，是大大缩短的。中国是世界上第一个进入封建社会的国家。本书着重叙述的这个历史阶段，即春秋战国时期（公元前 770—前 221）就是中国历史上由奴隶制向封建制转变的社会大变革时期。

和主要靠工商业与贸易为生存命脉的古希腊不同，中国的奴隶制是在大陆上发展起来的。黄河中下游的大片平原以及渭河、汾河谷地和长江、淮河中下游的平原地带，几乎连成一片，为农业的发展提供了极好的自然条件。在石器加工和制陶技术的基础上产生出来的青铜冶铸技术，把农业生产技术推到了一个新的高度。熟练地掌握炼钢技术和进一步改进鼓风技术，获得生铁熔铸的高温（1146℃）是不难达到的。所以不迟于公元前 6 世纪，中国已出现了生铁冶铸。铁器的应用，特别是铸铁农具的普遍推广，引起了全社会整个技术基础的巨大变化。V 型铁铧犁和牛耕的使用，大大增加了农业的产量；凿井技术的提高和大规模水利工程的兴建，便于人们向远离河湖的地区移居，使大量荒地得到开垦。私田数量的增加和农业劳动生产率的提高，促使小农阶层（自耕农和佃农）和以私有土地为资本暴富起来的封建剥削阶层的出现，使封建生产关系得到迅速发展。这种新出现的封建生产关系，更好地适应了当时生产力发展的要求，进一步解放了生产力，使春秋战国时期的生产力得到前所未有的巨大提高，也促成了奴隶社会无法比拟的科学技术的大发

展。

中国的奴隶社会没有产生足以和希腊的科学文化相媲美的精神文明；但是作为世界上第一个进入封建社会的国家，不仅在进入封建社会的初期就创造了可以和古希腊相媲美的科学文化，而且以自己的辉煌成就在世界上领先达 1000 多年之久。

春秋战国时期奖励耕战、重视农桑的政策，不仅促进了农业科学技术的提高，而且也促进了天文历法的发展。春秋战国时期中国已开始采用 19 年 7 闰的制历方法；战国时期又产生了二十四节气的思想。中国还出现了世界上最早的天文观测记录和星表。

这一时期中国的手工业生产也有了很大的进步，形成了冶铁业、纺织业、车辆制造、玻璃漆器业等许多独立的生产部门。农业和手工业的发展，又促进了商业贸易的繁荣、水陆交通的发达和城市的发展。各个诸侯国之间的军事征伐、文化和商业活动，扩大了各个地区的联系沟通与科学技术的交流，开阔了人们的地理视野，出现了《禹贡》、《五藏山经》等地理著作。

各诸侯国之间的攻伐兼并以及各种势力为了维护自身的利益，都需要笼络收买社会上的智能之士为他们服务，使社会上私学兴起。特别是从孔丘（公元前 551—前 470）开始的私人讲学活动，使原来被统治阶级垄断的文化知识普及到“国人”之中，社会上由此产生了一批受过礼、乐、射、御、书、数“六艺”教育的“士”。他们各持己见、著书立说、奔走游说、互相争辩，使代表各阶级、阶层利益的学说纷起，造成了思想上解放、学术上自由的“百家争鸣”的生动局面。儒家、墨家、道家、名家等诸子百家为了发展自己的学派，论证自己的观点，实现自己的主张，都不同程度地关心生产的发展和科学技术的进步，为当时科学技术的发展创造了极为有利的气氛和条件，促进了中国科学文化的繁荣。中国的春秋战国和古希腊一起，在当时世界的东方和西方，同时形成了两个科学文化高峰。

中国的春秋战国时期，在自然知识方面，除前面已述及的天文学、地理学之外，数学、农学、生物学、医学和物理学等都有了相当的发展。商代已使用了十进制制，春秋时期已可利用算筹进行四则运算。精耕细作的农业技术传统已经形成。生物形态学和分类学知识已大大丰富。中国独特的医学体系，也在这一时期初步形成并得到迅速发展。在医药、病因病理和诊断治疗知识积累的基础上，战国后期成书的《黄帝内经》，对我国古代的医疗经验作了系统的总结。在《考工记》和后期墨家撰写的《墨经》等书中，记载了我国古人在力学、热学、声学、光学等方面获得的物理知识。特别是墨家在光学上所取得的成就，是早于古希腊欧几里得《光学》的杰出成果。

二、土木工程和手工业技术

1. 制陶、玻璃和金属冶炼的发展

(1) 制陶、釉料和玻璃技术

原始的制陶技术起源于大约一万年前的旧石器时代末期，到新石器时代得到了相当大的发展。远古的人们在用火的过程中，观察到泥土被火烧烤后会变干变硬，于是便在木制或用枝条编制的器皿外抹上一层湿粘

土，放到火中烧烤以得到耐火和致密无缝的容器；进而发现成型的粘土不需木质内衬也可烧制成器皿。于是便将粘土捣碎调水后捏塑成各种形，晒干后放在篝火上烧烤，于是便得到了原始的陶器。陶器的出现是人类第一次改变一种物质的性质为自己的需要服务，是原始人取得的伟大技术成就之一。

陶制烹饪器和饮食器解决了原始人煮食这一大难题；液态食物的存放还会使人们注意到发酵之类的缓慢化学变化，为酿造、染色、制革等实用化学工艺的产生提供了条件。陶制的纺轮、弹子和陶刀之类的工具，也逐渐在生产中得到了应用。所以制陶业很快就发展成为一项重要的手工业，出现了专职的陶工。制陶工艺也由手工垒筑改用制陶轮盘；加热方法由露天篝火式过渡到炉灶式，最后形成陶窑。这不仅提高了烘烤温度，还可以有效地控制燃烧气氛，使陶器带上不同色彩。

中国的陶器制造，也有一万年的历史。在距今五六千年的仰韶文化时期，已制出了红陶、灰陶和黑陶，其中以细泥彩陶最为出名。泥土经过人工淘洗和澄滤，陶坯已开始用慢轮制作；陶坯在极细腻的泥浆中挂上均匀的陶衣后，再用各种天然矿物涂料绘出美丽的图案。当时用的三种彩料，红色是赭石（赤铁矿），黑色是含铁锰较高的红土，白色是配有溶剂的瓷土。陶窑有竖穴窑和横穴窑，窑室温度可达 950 。这样，当时的彩陶已具有独特的造型、红色磨光的表面和美丽的图案，表现出较高的制陶工艺水平。

到距今四五千年前的龙山文化时期，制陶方法已广泛使用轮制，陶器的质地和器形更为丰富，还出现了用高岭土（含硅酸铝成分较高的一种瓷土，因盛产于景德镇附近的高岭而得名）作原料的白陶，这为以后瓷器的出现奠定了基础。这一时期出现的漆黑发亮、壁薄如蛋壳的薄胎黑陶极为出名。陶坯将要烧成时，用泥封闭窑顶窑门，徐徐加水渗入火膛，产生的乌黑浓烟把陶器熏黑，就制出了黑陶。当时制出的还有灰陶和灰黑陶。

到了商代，原来在华南地区出现的外施有兰纹、方格纹和细绳纹等几何印纹的硬陶开始大量生产。由于烧成温度高达 1180 ，所以烧成的硬陶烧结程度高，吸水率极低，硬度增强，性能比一般灰陶大大提高。这时出现的刻纹白陶和薄壳白陶，外形洁白美观，质地坚硬耐用。釉陶的产生，是商代制陶工艺的一个大进步。在印纹硬陶的制作实践中，人们发现在用于挂陶衣的粘土稠浆中加入一些石灰或草木灰，烧出的硬陶表面会出现一层光滑明亮的釉层。釉陶不仅器面光滑美观，而且便于使用和洗涤，特别是用于储存酒类等液态饮料时不会渗漏，所以很受欢迎。到商代后期，人们已有意识地配制釉料了。釉的发明是发展出瓷器、琉璃和玻璃的重要一步。到了商周时期，中国已出现了原始瓷器。汉代以后，成熟的青瓷开始批量生产，隋唐时期又生产出白瓷，进而才出现了彩瓷。

古代埃及、巴比伦、印度、波斯和希腊地区，在新石器时代也已经有了相当发达的制陶工艺了。埃及人最早生产的也是红陶和黑陶，质地疏松，吸水率很高，烧成温度不高。后来他们用石墨等物质涂磨陶器表面，使之发出黑亮的光泽。到了新王国时期（公元前 16—前 11 世纪），埃及出现了彩陶制造工艺，即用某种含氧化铁的泥土掺入坯料中，使烧

成的陶器呈现瑰丽的红砖色，这种红陶曾普遍流行于近东地区。两河流域、叙利亚和巴勒斯坦一带的制陶业在公元前 4000 年之前已成为主要的手工业之一。他们生产的陶器有黄色、红色和褐色，大多带有单柄或双柄，这是这一地区陶器的特色之一。在出土的陶器上绘有红、黑、白和橙黄色的美丽图案，后来又出现了素红色和黑色的陶器。特别是一种黄色雕花的陶器很有特色。

两河流域在公元前 3000 多年就已配制成了釉料。在亚述地区发现了两种古代制釉的配方。最早的一份配方是公元前 17 世纪以前出现的，它说明了在一种普通釉料中加入铜而制成青釉的方法。这个配方是用晦涩难解的双关语和缩写词写成的，有密不外传之意，说明当时制釉还是一项先进的专门技术。另一种配方写成于公元前 7 世纪，内容非常明白。

印度早在公元前 2000 年左右的哈拉巴文化时期已普遍采用了陶轮，烧得很好的陶器上饰有优美的图案和动植物花纹。还制出了一些坚硬的陶管和陶质玩具，红砖也普遍用于房屋建筑。爱琴地区的克里特岛出土的公元前 16 世纪的陶器上，画有海星的形象。希腊人进入这一地区后继承了这个地区制陶的传统。他们烧制的各种几何图案的精致的陶器和绘有形象优美生动的图画的陶瓶，是杰出的艺术珍品。

埃及人对世界的另一大贡献是掌握了制造玻璃的技术。约在公元前 16 世纪，埃及已大规模地生产玻璃了，到公元前 15 世纪中叶，制造玻璃的工艺已达到很高的水平。从亚历山大城和开罗之间的玻璃作坊遗址仍可看出当时制造玻璃的整个工艺过程。那时已经能够制造出紫、黑、蓝、绿、黄和乳白等各种颜色的玻璃，说明已经知道在烧制中加入不同金属的氧化物以得到不同的颜色。不过当时的玻璃还不很透明，说明制造技术还处在初级阶段。他们最初制出玻璃珠、玻璃管等装饰物，后来就制成玻璃杯、花瓶、香水瓶以及各种日用品。制造玻璃的技术也由埃及逐渐传到邻近的西南亚各国，在公元前又传到希腊、罗马。

罗马人进一步改革了玻璃技术，用熔炉代替烧锅提高了熔炼温度，并使用吹管吹制出各种美观别致的器形；他们还掌握了借添加剂制造各种彩色玻璃的技术，甚至制成了内外层颜色不同、雕刻有葡萄和常青藤状花边的夹层玻璃花瓶。

关于中国制造玻璃的起源，早年有“外来”的说法，即认为是从近东和欧洲传入的。本世纪 30 年代以来大量商周时期玻璃实物的出土，为中国“玻璃自创”的论点提供了确凿的证据。出土的玻璃制品主要有玻璃珠、玻璃管等饰物，颜色有绿、浅绿、蓝、浅蓝、粉紫、白等，主要分布在宝鸡、岐山、扶风、洋西、陕县、洛阳一线，湖北随县曾侯乙墓也有大量玻璃珠出土。这些史实说明，中国从殷周之交到春秋战国时期，在黄河中下游和江汉地区都曾制造玻璃。特别是经科学检验，发现中国古代的玻璃属于铅钡玻璃，而不是西方的钠钙玻璃，更说明中国有自己的玻璃体系。中国的玻璃发源于商代的青铜冶炼和青釉瓷器的烧制。郑州出土的一件商代青釉瓷器，表面上有厚而透明的五块玻璃釉，玻璃的烧制很可能是受到类似现象的启发而发现的。

(2) 金、银、铅、锡和青铜冶炼技术

奴隶制社会在技术上的最大成就，就是冶金的发明。在自然界中，

金、银、铜这三种金属可以有单体存在，所以早在原始社会就被人们发现和使用。金闪亮发黄，银洁白而有光辉，它们不易被氧化，有较好的化学稳定性；金银比重较大而硬度不高，容易刻划上纹痕，具有很高的延展性。正因为具有这些性质，加之在自然界里存量较少，所以被当作贵金属，用于充当货币和加工成珍贵的装饰品。埃及人在公元前 3000 年已掌握了镀金、包金、镶金错银技术，并会将金银拉成细丝用来刺绣。

中国在商代以前已出现了金沙淘洗加工技术，西周时已有了在铜矛、矛柄和车衡二端包以极薄金片的包金技术。春秋战国时期又出现了“鎏金”技术，春秋后期还产生了在器物表面嵌入金银丝的“金银错”工艺。

天然纯铜（红铜）在自然界里较易拣到。它能发出灿烂的光辉，用锤击敲打的办法就可制成各种形状的器皿和装饰品。人们还发现，红铜可以被熔化，注入特殊的容器中能铸成所需形状的器物，还可以重新熔铸，这些优点是石器无法相比的。但纯铜硬度低，产量又少，不能完全取代石器作为主要的生产工具，对社会生产力的提高影响不大，所以在新石器时代后期有一个金（铜）石并用的时期。东南亚、埃及和中国，都在公元前 5000 年左右进入这一时期。

由于自然铜常常是夹杂在铜矿石中的，所以熔铸自然铜的实践很自然地会引导人们掌握了用铜矿石来冶炼铜。锡和铅在自然界里没有单体存在，但他们的熔点较低，分别为 231.8 和 327.5 ，很容易被从架起陶器以烧煮食物的矿石中还原出来。因此，用矿石冶炼铜、锡、铅等金属的技术便诞生了。具有划时代意义的青铜冶铸技术便随之发展起来了。

青铜是将铜与锡或铅配合而熔铸成的合金。与纯铜相比，青铜的熔点较低，硬度较高。如在纯铜中加 15% 的锡，熔点降至 960 ；若加 25% 的锡，熔点为 800 。纯铜的布氏硬度为 35，若加 5~7% 的锡，硬度增高到 50~65；若加 7~9% 的锡，硬度增高到 65~70；若加 9~10% 的锡，硬度可达 70~100。用铅代替锡，有同样的效果。熔化的青铜在冷凝时体积略有胀大，所以填充性好，气孔少，有较好的铸造性能。这都使青铜在应用上有广泛的适应性，所以它很快就代替了石器、木器、骨器和红铜器，成为重要的生产工具，在人类生产力的发展上起到了划时代的作用。

西亚、北非地区大约在公元前 3000 年左右就进入了青铜时代，公元前 16 世纪青铜器的使用达到极盛时期。西欧和俄国也曾发现青铜时代的竖井式铜矿开采遗址。古埃及第一王朝的墓葬中，就出土有刀、锯、斧、锄、锥等青铜工具。在印度的哈拉巴文化遗址中也发现了斧、镰、刀、锯等青铜制品。

中国的青铜时代，大体上相当于夏、商、西周和春秋时期；在殷周时代青铜器的制造技术可以说达到了独步世界的高度。

关于矿石的采掘，战国时期的著作《管子·地数》篇总结出了矿物与矿苗之间的共生关系的探矿知识。其中说：“山，上有赭者，其下有铁；上有铅（铅）者，其下有银；上有丹砂者，其下有黄金；上有慈石者，其下有铜金；上有陵石者，其下有铅、锡、赤铜；……此山之见荣者也。”所谓“山之见荣”，就是矿苗的露头。这里所说的“黄金”，

即指黄铜矿，呈现铜黄色；“铜金”指黄铁矿，因呈黄铜色易误为铜。湖北大冶铜绿山的春秋战国时期的古铜矿井，深达 40~50 米左右，合理地采用了竖井、斜井、斜巷、平巷相结合的方式，并较好地解决了井下通风、排水、照明、提运和支护等复杂的技术问题；还掌握了通过观察矿石颜色、光泽和比重进行选矿的技术。

在冶炼技术上，《考工记》中记载了世界冶金史上最早的关于青铜合金配比工艺的总结。文称：“金有六齐，六分其金而锡居一，谓之钟鼎之齐；五分其金而锡居一，谓之斧斤之齐；四分其金而锡居一，谓之戈戟之齐；三分其金而锡居一，谓之大刃之齐；五分其金而锡居二，谓之削杀矢之齐；金锡半，谓之鉴燧之齐”。这里的“金”指青铜合金或纯铜。青铜中含锡达 17~20% 则非常坚硬，可作斧斤等工具；作为兵器的戈戟既要有很大的强度，又要比斧斤锐利，所以含锡量在 20% 以上；而作为乐器礼器的钟鼎，则要声音悦耳，颜色美观，含锡量应在 15% 左右；等等。在两千多年前能总结出这一配比规律，实属不易。此外，《考工记·鳧氏节》中，还记载了观察熔炼过程中火焰的光色以判断冶炼温度的方法：“凡铸金之状，金与锡黑浊之气竭，黄白次之；黄白之气竭，青白次之；青白之气竭，青气次之，然后可铸也。”这段总结是完全符合熔炉内的温度变化过程的。木炭开始燃烧时产生的黑烟形成“黑浊之气”；随着温度的升高，氧化物、硫化物和熔点较低的金属依次挥发出来，形成黄白焰色；当温度进一步提高时，铜的气体所占比例增大，焰色转为青白，当青色占绝对优势时，说明铜锡已充分熔合，可以浇铸了。这种观察“火候”的方法，至今在某些冶炼工作中仍被采用。

浇铸是将精炼好的青铜液倒入石制或陶制的范中完成的。春秋中期到战国时期，单一的陶范铸造已发展到综合使用浑铸、分铸、失蜡法、锡焊、铜焊等方法。这个时期的青铜器，壁薄形巧，纹饰纤细清晰，铸造工艺达到了很高的水平。

(3) 钢铁冶炼技术

铁在地壳中虽然含量较多，但天然纯铁在自然界里几乎不存在；铁矿石的熔点也较高，不易还原，所以人们利用铁较铜、锡、铅、金等要晚。人类最先看到和利用的铁应该是陨铁。在埃及、西南亚等古文明地区发现的最早的铁器，都是由陨铁加工制成的，大多作为殉葬物，说明陨铁稀少而带有神圣意味。古苏美尔人把铁看作是“天降之火”，古埃及人把铁叫作“天石”，都表明人类是从陨石开始认识铁的。中国古人大约在 3000 多年前已开始使用陨铁了。1972 年在河北藁城台西村出土了一件商代铁刃铜钺，经检验其铁刃就是用陨铁热锻制成的。

大量的铁最早是在什么地方、用什么方法炼制出来的，目前尚无定论。不过，居住在亚美尼亚山地的基兹温达部落在公元前 2000 年已经发明了一种炼铁的有效方法；小亚细亚的赫梯人在公元前 1400 年左右也已掌握了冶铁技术。两河流域北部的亚述人和腓尼基人，在公元前 1300 年已进入普遍使用铁器的时代；后又传至地中海沿岸国家。印度进入铁器的时代不甚清楚，但在孔雀王朝初期，铁器的制造和使用已很普遍了。

冶铁的原理和冶铜的原理基本相同，所以青铜冶铸技术的发展，已为冶铁技术的产生奠定了基础。最早的冶铁技术大多采用“固体还原

法”，即“块炼铁”。在冶炼时，将铁矿石和木炭一层夹一层地放入炼炉中，经过长时间 650~1000 的高温烧炼和木炭的还原作用，矿石就冶成了固体状铁块。这种铁结构疏松、呈海绵状，孔隙中夹杂有许多氧化物，含碳量很低，性质柔软，不适于应用，中国古人称之为“恶金”。经过一段摸索过程，人们认识到块炼铁可以经过反复加热和锤打压延，挤出其中夹杂的氧化物而变得坚实并柔韧不脆，就可制成各种器物。而在反复锻打块炼铁的实践中，人们又总结出了块炼铁渗碳成钢的经验，这就是“块炼钢”的冶炼技术。中国战国时期，钢制武器已渐增多起来。

几乎在块炼铁出现的同一历史时期，中国就诞生和发展起了生铁冶铸技术。生铁是由铁矿石和木炭在高大的炉内通过高温熔炼而产生的。利用鼓风技术使炉温升高到 1100~1200 以上，就可得到液态铁水流集于炉底；其上覆盖的一层炉渣保护着铁水不被氧化。铁水从炉底流出冷却成块，就是生铁。

生铁的含碳量较高，在 3% 左右，质硬易碎，一般只能用来铸造一些粗笨的东西，锤锻则易坏。中国在春秋末期到战国初期，已将生铁用于铸造了。生铁冶铸技术改变了块炼铁及其加工费时费力、生产量低的弊端，为铁器的推广和普及打下了良好的基础。

早期生产的生铁是白口铁，其中的碳是以硬度很高的化合态的渗碳体形态存在的，铁性脆而硬，铸造性能好，但强度不够。为了克服它的脆性，中国在战国早期就创造了白口铁柔化处理技术，也就是生铁铸件“退火”处理技术。将铸件加热到高温，保持较长时间的缓慢冷却，就会适当减低其硬度和脆性，增加其可塑性和冲击韧性，从而得到可锻铸件。“退火”技术的发明，使生铁的广泛应用成为可能，加快了铁器代替青铜器的历史进程。中国在战国的中晚期，已将这种工艺普遍应用于制造农具和兵器；欧美国家直到 18 和 19 世纪才发明了白心韧性铸铁和黑心韧性铸铁，比中国晚了两千多年。

含碳量低的块炼铁经过渗碳处理可以炼出块炼钢；含碳量高的白口生铁铸件在氧化性气氛中脱碳退火，将含碳量降低到铁的范围，而不析出或很少析出石墨，也可以得到钢。中国在战国初期就发明了铸铁脱碳钢技术。块炼渗碳钢件或退火过分的铸铁脱碳钢件，其坚硬程度都可能不足，这就推动人们在实践中摸索出了钢件的“淬火”处理工艺。至迟在战国晚期，中国已广泛使用了淬火技术。所谓淬火，即将钢件加热到高温后使之急速冷却（如急速浸入冷水或冷油中）。经淬火处理后的钢件，质地就变得坚硬，刃部也更锋利。淬火所用的冷却物质，最早大概都是水，后来又扩展到用动物的尿和脂肪。由于尿中含有盐分，冷却能力比水强；用脂肪淬火，高温时冷却快，低温时冷却慢。所以用尿和脂肪淬水，可以得到性能良好的钢件制品。

2. 纺织、染色和酿造技术

(1) 纺织技术

人类穿着衣服大约已有几十万年的历史。最早人们为了御寒，只是把兽皮披在身上。在发明了针之后，就学会按人体形态缝制衣服。在中国的北京周口店山顶洞发现的一根大约是 13000 年前的骨针，长 3.2 厘

米，最粗处粗约 3.3 毫米，针身光滑，针眼很小，表明当时人类学会缝制衣服已有相当长的历史了。

大约在新石器时代的早期，人类已经掌握了利用植物纤维制成纺织品。最早的纺线方法很简单，在麻纤维的一端拴上一个小锤子，把它垂悬起来拉直纤维；然后把小锤捻转，于是就可把纤维绞结成一根长线。绞结好的线缠绕在锤柄上，并不断续以离散的纤维，就可以绞捻出很长的线来。至于早期的织布方法，现在已无从考查。很可能就是用的现在某些落后地区仍在使用的踞织机一样的织具。

古巴比伦王国时期，两河流域就有了织布这一手工业行业。他们要用亚麻和羊毛纺织，产品远销小亚细亚等地，用以换取他们缺乏的金属矿产和木材。

古埃及的纺织业也比较发达。曾经出土了一块第一王朝时期（约公元前 3000 年左右）的亚麻布残片，其经纬线的密度为每平方厘米 63×74 根，表明他们的纺织技术已有相当高的水平。从一些图画上可以看出，埃及早期曾经有一种比较简陋的卧式织机；到新王国时期（约公元前 16—前 11 世纪），已使用一种悬式纺锭和由两人操作的立式织布机，可以织出幅面较宽的布了。

古印度是棉花的最早种植者，棉纺织技术就发源在那里。在哈拉巴文化时期，棉纺织业已较发达；虽然织物还很粗糙，但人们已经会给棉布染色。到了孔雀王朝时期，印度的棉纺织技术已达到相当高的水平，出现了一些以棉纺织品著称的地区和城市，它们的产品远销国外许多地区，成为当时出口的大宗货物。印度的养蚕和丝织技术，是由中国传入的。在贵霜帝国（公元 1 世纪建立）时期，丝织业已在印度境内发展起来。

中国是世界上最早发明养蚕和丝织的国家，相传黄帝之妻嫫祖发明养蚕取丝，反映了中国丝织业生产的悠久历史。到春秋战国时期，蚕桑丝绸业已有很大发展，缫丝、纺纱、织造和印整的成套工艺和手工机器逐步完善。这是中国手工机器纺织业的形成时期。《禹贡》记载，黄河中下游的兖州、青州、徐州、豫州和长江中下游的荆州、扬州，都盛产丝绸。近几十年来出土的春秋战国时期的丝织品，无花纹的有绡、纱、縠（绉纱）、缟、纨；有花纹的有绮和锦等；还出土了丝棉被、丝绳、丝带和刺绣等，充分反映了当时丝织业发展的高水平。至于蚕丝的种类，战国晚期的《尔雅·释虫》中记载，野蚕有橐（chù，音出，即臭椿）蚕、棘蚕、栾蚕、虻蚕四种；家蚕只有蠶一种，即今之桑蚕。德国斯图加特西北 20 公里高村，前些年在一个克尔特部落首领的墓中，发掘出死者衣物上来自中国的丝织品，其年代约在公元前 550 年前后。这是中国的丝织品在公元前 6 世纪传到欧洲的证明。

利用麻类纤维纺织，在中国可以追溯到仰韶文化时代。春秋战国时期，丝绸一般只供贵族穿用，一般平民主要是穿麻葛织成的布，故称平民为“布衣”。对于麻织品的质量，当时已有统一的纱支标准。计算纱支的单位叫“升”。周代的麻布，布幅一般为二尺二寸（合现在一尺五寸）。若含 80 根经线，就叫一“升”。专供丧服之用的为 3 升；奴隶们

穿的是 7 升的粗布；15 升的縹布是作吉服的材料；最细的 30 升的布专用于制冕。这种轻纱的经线密度已达每厘米 50 根，相当于今天的府绸了。

(2) 染色技术

染色是一项古老的化学工艺。随着麻、丝、棉等纺织业的发展，各种纺织品的染色技术也相应发展起来。

中国很早就利用矿物、植物染料对纺织物进行染色，并在长期的生产实践中，总结掌握了各类染料的制取和染色的工艺技术。西周时代，在“天官”下设有“染人”一职掌管染帛。春秋战国时期，染色工艺已有很大提高。

利用矿物染料对纺织品进行着色的方法称为“石染”。当时人们已发现了多种矿物染料。赭石即赤铁矿是最早用于染红色的染料，当时主要用于涂染作为囚衣的粗劣麻织物。朱砂（硫化汞）的颜色红赤纯正浓艳，光牢度好，用于涂染贵重衣料。染黄的有石黄（雄黄和雌黄）；染绿的有空青（又名石绿，即孔雀石）；染蓝的有石青（又名大青、扁青）。中国古代所用的植物染料种类很多，靛蓝是用得最早和最普遍的一种还原氧化染料。中国夏代已经种植蓝草了，蓝草中含有靛甙，从中可以提取靛蓝素。春秋战国时期，人们已掌握了用发酵法还原靛蓝。靛蓝染布色泽浓艳，牢度好，一直流传至今。茜草是染红色的主要染料，紫草是染紫色用的媒染性染料，染黄的植物染料更多。当时人们已经知道使用金属媒染剂了。植物染料和媒染剂的使用，大大丰富了颜色种类，在染色技术上是个重大突破。

在染色工艺上，春秋战国时期已有多次浸染的套色法，即将丝麻织物先后浸入溶有一种或多种不同颜色的染料中，从而染出不同深度的某种颜色，或染出其他各种变异色彩。若用两种不同染料套染，就可得到第三种色调。另外当时也已知道，青和黄可合为绿色，但以藤黄合靛青则为“苦绿”，即用不同的青色与黄色染料，合成的绿色也不相同。这些知识，都是从染工们长期的生产实践中总结出来的。

古埃及生产的亚麻布，作为衣料时染成红、黄、绿等色。所用染料大多是植物染料，如靛蓝和红蓝花。靛蓝可能来自东方国家。埃及人还常用茜根染成的布包裹木乃伊，表明他们也很早掌握了染色时使用含金属盐的媒染剂。

古巴比伦和亚述帝国，也使用了红蓝花染色，还制成一种名为“燕脂”的粉末状染料。波斯人在获得了蚕丝技术后，将染成红、绿、蓝等色的丝绢重价售往罗马帝国，因为罗马皇帝喜欢穿着彩色丝织品以向群臣和外国使者炫耀。

在古代地中海沿岸国家，盛产一种叫作“骨螺紫”的染料，是从海岸的一种蜗牛状贝类动物中提制出来的，能染出鲜艳的紫红色。这种染料远销欧洲各地，获利颇丰。在罗马帝国，这种价格昂贵的染料只有上层贵族才能享用。

印度古人也早就掌握了用各种天然染料染色。特别是印度产的靛蓝，古代就远销于中亚、西亚、北非一带，再被转运到地中海沿岸国家。东亚的朝鲜、日本及东南亚诸国，也以发达的染色技术制造出了多种染织品。美洲的印第安人，也很早就用当地的原料制出过多种染料。

(3) 酿酒技术

酿造也是一门古老的化学工艺。早在原始社会末期，人们就掌握了用谷物酿酒作饮料的技术。到了奴隶社会，酒被广泛用于宴饮和祭祀活动。中国龙山文化遗址中，就有大量陶制的酒器；到了商周时期，盛酒和煮酒用的青铜器和陶器如尊、卣、壶、爵、角、觚等已大量制造，有些青铜器上还有关于用酒的铭文。周代已设有“酒正”、“酒人”等专门掌管酒曲和酒品生产的职务。一些著作中，已总结记载了当时在酿酒过程中积累起来的技术经验。如《书经·说命》篇记载武丁的话：“若作酒醴，尔惟麴蘖；若作和羹，尔惟盐梅”。“醴”是一种甜酒，“麴蘖”即现在所说的酵母。《礼记·月令》更记载了造酒的六点注意事项：“秫稻必齐，曲蘖必时，湛炽必洁，水泉必香，陶器必良，火齐必得”。从原料选择、制曲、渍料、蒸煮、用水、掌握火候到容器挑选，指点出各个环节的关键要求。特别应指出的是，古人通过长期酿酒的实践活动，总结出了利用某种微生物霉菌的生物化学作用，先使少量谷物发霉成“酒曲”，酿造时再用酒曲使大量谷物糖化和酒化而酿造出各种美酒，确实是一个既经济又有效的杰出的技术发明。

在埃及和西欧，古代也采用谷物或水果为原料，用发酵的方法酿酒。古埃及人在 3000 多年前就造出了麦酒；埃及和希腊的葡萄酒一直闻名世界。在中亚、西亚各国，葡萄酒也是重要产品之一，并在公元前 2 世纪传入中国。同样，美洲大陆的原居民族，也早就酿造出他们所喜用的酒。

与酿酒技术发展的同时，古人也掌握了用发酵的办法从谷物中酿造出醋、酱的酿造工艺。醋在中国古代又称“醯”、“酢”或“苦酒”。《周礼·天官》中记载有“醯人”，是掌管酿醋的官吏。《论语》中也有“或乞醯焉”之语。酱和酱清（酱油）也是古代酿造工艺的产品，供作食用调料。

3. 土木工程和建筑

(1) 水利工程

水利建设自古就受到重视。古埃及根据尼罗河泛滥的特点，修建了一些大的灌区，把水储存起来，需要时再让水流回尼罗河。埃及历代国王都以在开凿沟渠、整修堤坝方面的功绩自夸。第一王朝的第一王美尼斯的一大功绩，即建造了孟斐斯城外的大堤坝和水库。在第十二王朝时期，埃及环绕美利多湖筑堤造田，扩大耕地面积 2500 公顷之多。特别是公元前七世纪的 26 王朝时期，埃及开始开凿沟通地中海与红海的运河，即现在的苏伊士运河的前身。这项浩大的工程终于在波斯人统治埃及时期完成，公元四世纪以后淤塞。

公元前 30 世纪中期，两河流域南部的阿卡德王国建立以后，就立即开展了大规模水利灌溉网的建设。在古巴比伦王国的《汉谟拉比法典》中，就有好几条与水利有关的条文，国家以法律的形式保障水利设施的合理利用。汉谟拉比时期有几个年头都以“水利之年”载入史册，记载了开河渠兴水利的政绩。

古印度在公元前 4 世纪至公元前 2 世纪孔雀王朝统一之后，就设有

高级官吏管理全国的水利事业，水利建设也在较大规模上进行，各地都开凿了一些沟渠、水井和池塘。

古罗马原来只是意大利中西部离台伯河口十多英里远的一个小城邦。罗马人在罗马大帝国建立以前，就开始修建引水渠道，从城外水源处引水入城供生产和生活之用。公元前 3 世纪，当罗马人帮助塔兰托城邦战胜了埃皮鲁斯国王皮洛士之后，就拨用了一部分从这场战争中夺得的战利品，修筑了一条 37 英里长的高架渠，把山上的清水引到罗马城里。罗马帝国建立后，又把它改建为石砌高架渠，为罗马供应更多的水。到公元前 2 世纪，从各方面通往罗马的水道已有九条，总长达 90 多公里，纵横交错，穿山越岭，经低洼地时则用石头砌筑的拱券渡槽通水，工程宏大而壮观。罗马城的水道日供水量达 3 亿加仑。因此供水成为罗马当局的重要职责之一，为此专门设置了管理机构。公元一世纪时，这一渠道已经发展为一套包括水道、贮水池、公共浴池、喷泉和排水通道在内的庞大供水系统。工程师、水道监督官弗朗提努（约公元 40—103）曾自豪地写道：“这才是为人类的卫生和健康服务的技术。比起徒劳无益的金字塔和希腊神庙来，这才是最美好的。”

春秋战国时期的中国，在水利建设上也取得了举世著称的辉煌成就。其中最主要的有芍陂（qu8b5i，音鹊杯）、漳水十二渠、都江堰和郑国渠四大工程。

芍陂位于今安徽寿县安丰城南，是公元前六世纪末楚国兴建的一座大型蓄水灌溉工程。水库巧妙地利用了东、南、西三面较高、北面低洼的地势状况，利用天然湖泊在四周筑堤，引淝水积而成湖。《水经注·肥水注》说陂堤长二三百里，并有闸门五座，东汉时可灌田万顷。战国初期，流经魏国要地邺的漳水常泛滥成灾。公元前 422 年西门豹任邺令后，沉重地打击了当地劣绅和女巫勾结玩弄的勒索钱财、残杀少女的迷信活动，领导百姓在漳河上修建了 12 道低滚水坝，开凿了 12 条大渠，引水灌溉漳河右岸土地。大约 100 年后，邺令史起又大兴引漳灌邺工程，将大片盐碱地变成水稻田。

约公元前 256 至前 251 年间，蜀郡守李冰在成都平原西部主持兴建了举世闻名的都江堰。这项水利枢纽工程由分水工程（分水鱼嘴）、开凿工程（宝瓶口）、闸坝工程（人字堤、百丈堤、内外金刚堤和飞沙堰）三部分组成一个有机整体。这一水利工程选址适当、布局合理、配合巧妙，其规划、设计和施工都具有较高的科学性和创造性，体现了朴素的系统工程思想。都江堰的建成，使成都平原大约 300 万亩良田得到灌溉。《水经·江水注》称：“蜀人旱则借以为溉，雨则不遏其流。故记曰：‘水旱从人不知饥馑，沃野千里，世号陆海，谓之天府也’”。

郑国渠是秦始皇元年（公元前 246 年）由水工郑国设计领导，在关中引泾水兴修的大型灌溉工程。这项工程用了十多年时间才完工，引泾水东流注入洛水，全长 300 多里，十分壮观。《史记·河渠书》称，郑国渠的修建，使“关中为沃野，无凶年。秦以富强，卒并诸侯”。

(2) 城市、宫室和道路建筑

早在青铜器时代，古人在建筑技术方面就已取得了相当高的成就。许多古文明地区都有一些古建筑物或它们的残破遗迹存留至今，从中尚

可窥见到它们在当时的原貌。

两河流域古代的主要建筑材料是木材和泥砖，偶而也用到石块，因此很难长期保存。到了公元前 7 世纪的新巴比伦王国时期，他们的建筑技术达到了顶峰。特别是在尼布甲尼撒二世统治时期（公元前 604—前 562），为了防止米地人的突然袭击，在巴比伦尼亚北部兴建了一道横跨两河平原的长城。巴比伦城也被建设成为当时西亚最壮观的城市。它有内外三道城墙，其上有塔楼 300 余座；在穿过城区的幼发拉底河上有石墩桥梁；贯通全城笔直的大道上铺砌了白色和玫瑰色的石板；主要的北门门墙上有用玻璃砖拼砌成的美丽图案。城内最大的建筑马都克神庙，是一座塔台式建筑，据传高约 90 米。尼布甲尼撒的波斯籍王后是米地人，十分怀念她故乡的山水，而在巴比伦没有那样的景物。国王为了取悦他的王后，就在一座高 110 米的土山上筑起一座“空中花园”。花园以多根大石柱（最高的有 25 米）支撑，上铺石板、铅板，铅板上再敷土种花。白天在阳光照射下，明亮耀眼，给人以凌空悬浮之感，后来被称为世界七大奇观之一。

在古埃及，人们多用石头作建筑材料，所以有较多的建筑遗迹被保存下来。古代埃及的建筑以规模宏大为特点，许多建筑都是用巨石建成的。埃及人最美丽的建筑物是庙宇、宫殿和坟墓。其中最令人惊叹的就是金字塔群。埃及古人相信有来生，因此法老们生前就用石头为自己建造底部为四方形、顶部尖立的巨大而堂皇的坟墓。最早修建的是第三王朝法老乔赛尔的层级金字塔。到第四王朝时期，在今尼罗河下游西岸的基萨一带，已矗立着大小 70 多座金字塔。第四王朝法老胡夫（齐阿普斯）建造了最大一座金字塔，高 146.5 米，塔基占地 13 英亩，每边长约 230 米。这座金字塔用了平均 2.5 吨重左右的石块共 230 万块。大约经常动用十万劳工轮换作业，费时 30 年才建成。所有石块均经过仔细琢磨，角度精确，石块间未施灰泥，砌缝严密。胡夫之子哈佛拉的金字塔略小一些，但做工更为精致。在塔旁增加了一座巨大的狮身人面像，高 22 米，长 57 米，用一整块巨石雕成。金字塔内有走廊、庙堂，有的还有种种绘画、木雕、石雕和浮雕等装饰物，是古代建筑史上的一大奇观。埃及人在建筑和石刻方面成了其他许多国家仿效的典范，影响了整个近东地区建筑艺术的进步。

古印度人是最早使用烧制的砖建造房屋的人，三四千年前就建成了经过精心规划设计的城市，其中包括大谷仓、聚会厅、大浴室等大型公用建筑物；鳞次栉比的居民住房多用红砖砌成，有的还是二三层的楼房。孔雀王朝以后，由于佛教流行，印度随之出现了许多佛教建筑，如壮丽的佛教寺庙和佛陀塑像等。其造型艺术有独特的风格。佛教在桑奇建造的大窣堵波（即佛塔，为佛教徒奉存佛骨的建筑）至今保存完整。主建筑为一直径 30 余米的半圆形房子，下有平台、栏楯，周围设四个大门，每个门上都有佛教题材的雕刻。阿育王时建造了一些刊刻诏令的大石柱，为古印度艺术珍品的一部分。石柱为圆形，分柱身、柱头两部分。有的柱身高近 10 米，最重的达 50 吨。其中以半狮身柱头的大石柱最为著名，柱头的四个半身狮子像，栩栩如生。另外还有一些开山凿石而成的石窟，内有大量精美的石像雕刻和绘画，其中不少以其宏大和精致著称。

古希腊最早的建筑技术很可能是来自西亚的。约在公元前 20 世纪，克里特岛上就有了相当规模的城堡和宫殿建筑。到了城邦时期，希腊的建筑和艺术以雅典为中心，水平有了很大的提高，建筑风格也有了很大变化，建起了许多宏大和盛加装饰的大厦。这一时期的建筑以石料为主要材料，善于运用柱廊，创造了由朴素到华丽的多利安、爱奥尼亚和科林斯等几种石柱型式，在相当长的时期内为欧洲各国所沿袭。多利安式圆柱较简单庄重，适当匀称，优雅地向顶端逐渐尖削，在公元前 6~前 4 世纪以前多被采用。到公元前 5 世纪，在小亚细亚出现的爱奥尼亚式流行起来。这种型式的圆柱较为细长，但不尖削，柱础和柱冠都刻有花纹。后来流行的科林斯式，用的是较高的圆柱和华丽的雕刻着茛苕叶形的柱冠。

兴建于公元前 5 世纪的雅典卫城，筑于山岩之上。最主要的建筑物是公元前 447~前 431 年间建成的雅典娜神庙（即帕特农），被认为是古希腊全盛时期的代表作。这是一座用白色大理石砌成的神庙，阶座上层面积为 30.89x69.54 平方米；四周的回廊上立着 46 根高 10.4 米的大圆柱，呈柱廊环绕之势，具有庄严、和谐、雅致、爽朗的特色，檐壁上布着很多精致的雕刻。庙中的雅典娜神像，是著名雕刻家菲迪亚斯的杰作，像高 12 米，用黄金象牙镶嵌表面，极为庄严豪华，是伯里克利（公元前 443—前 429）时代雅典繁荣的一个标记。

托勒密王朝的首府亚历山大城，可能是那个时期世界上最宏伟的城市。据记载，该城长约 5 公里，宽约 1.6 公里，为长方形，其中有宽达 90 米的南北向和东西向的中央大道。港口处有一座巨大的灯塔，大约建于公元前 279 年。塔高 120 米，其上装有巨大的金属反射镜，用以反射火光，使远在 60 公里以外的船只上的人都能看到。这座建筑物于公元 13 世纪时全部毁坏。

罗马人是以军事征服建立起他们的帝国的，人们说是“罗马的军队和罗马的道路创造了罗马帝国”。为了保证军队的迅速调动，古罗马人修筑了许多公路和桥梁。从北英吉利海峡到撒哈拉大沙漠，从摩洛哥到幼发拉底河，在帝国广阔的国土上，构成了四通八达的交通网。据说主要公路总长约为 8 万公里，在意大利半岛上的就有约 2 万公里。一条条道路从罗马辐射出去，所以有“条条道路通罗马”的美喻。这些公路的修筑都有一定的标准，干线道路的宽度可交错走过两辆四轮车；路面不仅用天然白石镶拼而成，其下还铺有三层由灰浆、碎石、火山灰制成的混凝土，800 年间路面既无松动也无缺损。沿路设有里程碑，其中不少保存至今。与道路相配合，还架设了许多桥梁。据记载那时曾在多瑙河上架设了一座大石桥，该桥有桥墩 20 座，上面砌着巨大的圆孔，这座桥现已无存，但在欧洲境内还可以看到一些古罗马时期的石桥。

罗马帝国在称霸地中海地区之后，历代统治者都以巨大的人力物力去营建各种宏伟而豪华多姿的建筑，满足奢侈的生活并炫耀国力的强盛。到公元前一世纪，神殿、柱廊、拱门等已林立于罗马广场四周，组成了庞大的建筑群。此外他们还在行省的其他城市里兴建大理石的庙宇和广场。罗马的建筑最初仿效伊达拉里亚人和希腊人，后来逐渐形成了罗马自己的建筑特色。大跨度圆顶是罗马式建筑的典型形式；桥梁、水道、门档等以使用圆拱支架而著称。拱门建筑并不是罗马人发明的，但

他们却创造性地利用并发展了它。在高架渠和桥梁建筑上他们应用了拱门，使之成为既实用又美观的杰作。他们把复式拱门和希腊的圆柱结合起来，应用于象罗马大圆形竞技场一类的结构上，并建成了拱形的凯旋门以纪念皇帝们的战功。他们用建筑拱门的相同办法建成巨大的圆顶，办法是先架起临时支架，待拱门的石块嵌砌完毕或圆顶的水泥凝固后，再拆去支架，整个拱门或圆顶就屹然独立；建筑物的内部不用一根柱子支撑，呈现宽广高大的空间。整个建筑浑然一体，极为壮丽美观。

中国春秋战国时期，在城市和宫室的规划设计上，也取得了很大的进步。《考工记》中记述天子都城的制度是：“匠人营国，方九里，旁三门，国中九经九纬，经涂九轨，左祖右社，面朝后市。”现已挖掘的春秋战国时期的城市遗址，如晋国侯马、古晋城、燕国下都、赵国邯郸的规划方式，基本上都是采取方形城郭、正角交叉街道的方式。《礼记》中记述周代的“五门”（皋门、应门、路门、库门、雉门）和“三朝”（大朝、外朝、内寝）的制度，在后世的宫殿、寺庙和宅邸的规划中，都有很大的影响。1978年在河北平山县战国时代的中山国中山王墓出土的一块金银错“兆域图”铜版，是一幅为建筑中山王和王后陵墓群而作的总体规划设计平面图，大约是按1/500的比例绘制的。其中排布着“王堂”、“王后堂”、“哀后堂”和小“堂”。“丘足”（即墓坡的坡足）之外有长方形的“内宫垣”将各“堂”围起；内宫垣北外侧东西排置四个“宫”，宫门南开朝向内宫的“堂”；宫外的长方形“中宫垣”将整个墓群围起。整个结构规划对称，呈现出一幅建筑组群的排布局势。

4. 机械制造

人类在搬运重物的过程中，曾经使用过撬板、树干或圆木。从滚动的圆物发展到在轴的二端各装上一个轮子，这在工艺学上是一个巨大进步。古代两河流域的贸易活动，主要是通过陆路运输进行的，起先主要靠人力担运、牲畜驮运，进而使用畜力牵引的泥撬；直到大约5000年前，有轮子的车辆最早在两河流域出现了。从古画上看出，最初的轮车是比较笨拙的四轮车，但已使运输效率大大提高了。

中国早在商代已经制出相当完备的两轮车了。车由车辕、车舆和轮、辘轳等部分组成，车轮有辐条，加上马具和辔饰，极为精致华美。周代已采用油脂作轴承的润滑剂。到春秋战国时期，各国除有大量战车之外，贵族和平民乘坐和运输用的车辆种类已很多。《考工记》中对官府制车工艺及规范，作了比较完整的总结记述。如《轮人》篇指出：“凡察车之道，必自载于地者始也，是故察车自轮始。凡察车之道，欲其朴属而微至。不朴属，无以为完久也；不微至，无以为威速也”。“朴属”就是坚固结实；“微至”即轮与地面的接触面积小。接触面积小，容易转得快。所以《考工记》对车轮的制作和检验，提出了一系列技术要求。此外，《考工记》还对车辕、车架的制作，各个部件的连接方法以及不同用途的车辆的要求等，作了分别的叙述。从这些记载可以看出，当时中国的车辆制造技术已达到很高的水平。

作为水上运输工具的船，也是史前时期的一项重要发明。古代埃及的货物运输主要通过尼罗河、地中海和红海，所以埃及船只的制造也比

较发达。起初，他们是用枝条、稻草等密密编成筏，外面再蒙以兽皮或涂以油脂；在尼罗河三角洲，则用当地产的芦苇捆扎成筏。在拉丁美洲，也早就出现了用竹木柴草捆扎的筏，或用动物皮缝制、中间充气的皮筏。后来就出现了用火将大树干中间烧空而凿成的独木舟。在有了切削工具后，人们就能制造相当大的木船了。最初的木船是用桨来推进的，进而又发明了风帆并以桨作舵来行驶，大大扩展了航行的范围。有出土的遗物表明，美索不达米亚的船只很早就完成了环绕阿拉伯半岛到埃及的航行。古印度在哈拉巴文化时期也已在造船和航海了。公元前 1 世纪时，每年航行在印度与埃及之间的船只都在 100 只以上。在台湾出土的中国东部沿海黑陶文化时期的许多石器表明，中国在新石器时代末期也有船只驶过台湾海峡。

古希腊人由于同地中海沿岸国家有频繁的贸易往来，同时为了维护其海上势力，就需要大批船只，因而有发达的造船业。那时的商船多为帆船，据说公元前 5 世纪的希腊商船，载重量一般为 250 吨左右。战船为了增强机动性，常为桨帆并用。在公元前 5 世纪进行的反对波斯侵略的战争中，雅典一次就建造了 200 艘战船，每艘长约 130 英尺，由分坐三层的 170 名桨手划行，用金属包装船嘴以冲撞敌船，船员们用长矛和利剑来杀伤敌方的人员。

古人为提挈重物，先后发明了杠杆、滑轮、螺旋和轮轴等简单机械。这些简单机械，成为后来技术发展的基础。在古代埃及、巴比伦和中国，很早就出现了“桔槔”这种提水杠杆，用以从深塘、河渠或井里把水提到高处进行灌溉。到春秋战国时期，利用轮轴制成的辘轳在中国已得到普遍应用，并成为从矿井中提升矿石和向井下运送支护木料等物品的重要工具。杠杆原理还被广泛用于制造天平、秤、剪刀、手钳、脚踏碓中。

橄榄油和酒类是雅典出口用以换购粮食的主要产品；而从橄榄中提炼油就需要把橄榄压碎，再用木板一层层码堆起来，用载有重石的杠杆加压。后来就发明了由两个固定的柱子和一个沉重的水平顶梁构成的压榨机，用打进许多楔子的办法增大压力；进而又发明了用螺杠向下加压的压榨机。另外，希腊诸城邦之间频繁的战争，也推动了希腊兵器的制造发展，如战船、弓弩、围城机械的制造等。希腊人在战争中还使用施放烟幕和毒气的手段。

托勒密王朝建立以后，实行鼓励科学研究和技术创造的政策。亚历山大城涌现了一批很有成就的工程学家，史称亚历山大里亚工程学派。这个学派是由一位理发师的儿子克达席布斯（活动于公元前 285—前 222）所创立的。他们曾发明了空气和水的压力泵、水风琴、水钟等。这一时期的机械发明主要集中于三个方面。一是军事机械，如在早先的投石器的基础上发明了石炮；另外还有飞弩车、连发弩、撞城车、海岸用圆炮塔等。二是科学仪器，克达席布斯发明的用流水带动机械动作的水钟，就是在夜间报时用的仪器。公元前 2 世纪或前 1 世纪这个学派最著名的机械发明家赫隆发明的车程计，是现代里程表的祖先，他发明的多用照准仪是现代经纬仪的雏型。此外他还发明了虹吸器、水准仪和测温器等。这些仪器的发明对于提高人们观测的精密度，推动科学认识的发展，都是很有意义的。三是机械玩具。赫隆在他所著的《气体装置》一书中，记载了以空气、蒸汽和真空为动力的七八种自动机械装置。如神

庙中能“自动开关的门”，自动推出灯芯的“自动调节油灯”，供信徒洗手漱口用的“自动圣水装置”等。赫隆最著名的发明是玩具蒸汽球。它是把沸水生成的蒸汽导入安装在两轴间的空心球体内；当蒸汽从方向相反的两个喷口喷出时，反冲作用就会使球体旋转起来。这个装置被看作是现代汽轮机的雏形。

古希腊亚历山大里亚时期的著名科学家阿基米德，不仅曾发现了浮力定律和杠杆原理，而且还是一位杰出的工程学家。早在亚历山大城学习期间，他就发明了一种叫作“阿基米德螺旋”的扬水器。这是在一个圆柱体上螺旋状地绕上中空的管子，把它倾斜放置，下端侵入水中，随着圆柱体的旋转，水便沿螺旋管被提升上来，从上端流出。多少年来埃及人就利用这种扬水器引尼罗河水灌溉两岸的农田。阿基米德还是一位伟大的爱国者。在他晚年罗马军队入侵他的国家，围攻叙拉古时，他为叙拉古设计制造了大型投石机；还用杠杆、滑轮和螺旋制成带有铁爪的起重机，能把敌船从水中抓起翻倒入海中。他还用许多镜片组成大型凹面镜，把太阳光会聚到敌船上，将敌船焚烧。

中国在春秋战国时期由于各个诸侯国互相攻占兼并，战争频繁，所以军事技术和兵器制造也得到很大发展。《墨子·备城门》篇述及的攻城器械有：钩（钩梯）、衝（人推的车辆，上装铁头巨木，用以冲破城门）、梯（云梯）、輶輶（四轮车上立木架，蒙以牛皮，下可容 10 人，作攻城之用）等。守城用的器械有：连弩之车，转射机（可能是装有立轴的弩，可向各个方向转动发射）、囊龠（施放烟幕的鼓风皮囊）等。当时所用的基本兵器是所谓“五戎”或“五兵”，即刀、剑、矛、戟、矢等。关于弓箭的制造，《考工记》记载当时已有“弓人”、“矢人”、“冶氏”的专门分工，各个部件的制作都有很详细的技术规定。中国弩的发明比西方早 13 个世纪，弩机大约是在春秋时期发明的，它是在弓的基础上经改进而制造的一种强力武器。最初弩和弓一样是用一个人手臂的力量拉开的，战国以来则出现了装有连杆和脚踏的、用脚踏方式将脚踏压到地就可将弓拉开的偏架弩，又叫“神臂弓”。据说它可将箭射出 300 步远，能穿透铠甲上的几层铁片，威力很大。此外还有用绞车开弦的“车弩”，将两三张弓合为一弩的“床子弩”，储备人力和弹力的作用就更为明显了。三、古代的物质构成学说

1. 巴比伦、埃及和印度的古代物质构成说

在古代，人们很早就萌发了探求天地万物起源的思想，当时不可能形成象近代那样以科学实验为依据的理论体系，但是对世界的本原、自然界的物质构成及演化等问题的观念，却包含在对自然本性的总的看法之中，存在于各种自然哲学中。虽然古代世界各个民族和各种自然哲学派别的看法并不一样，但总的讲来可分为两种有根本区别的观点。一种观点假定世界是从无到有地被创造出来的；一种观点则认为世界是从某些原初物质演化出来的。无中生有的思想很难为人们所理解，而假定某些原初物质为万物的本原则更易令人信服，而且几千年后对近代自然科学的诞生和发展也起到了重要的影响作用。

古巴比伦和埃及的文明，最早是沿着底格里斯河、幼发拉底河和尼

罗河流域发展起来的，他们都依赖于河流泛滥所带来的一层肥沃的新淤泥而从事耕作。所以这两个地区的古人对宇宙本原的认识自然地都同水联系起来，而且把水的泛滥看作是原始混沌的再现。因此，水是宇宙中最重要的物质，世界被想像为是从原始的一团混沌的洪水中产生出来的。这个思想后来被古希腊学者泰勒斯所接受。古巴比伦和埃及的思想家们认为，世界一旦从水中被创造出来，就出现了大量对立的因素，这种对立无处不在，每一种性质都有它的对立面，如明与暗，冷与热，干与湿，雄与雌，善与恶等。原初物质也分为对立的两方，正是由于这些对立面的作用，构成和产生了世界万物。在古巴比伦和埃及的神话里，天、地、空气、自然界的万物和各种自然力，都被人格化为各种对立的神祇，如太阳常被人格化为男性，而月亮作为黑暗之神一般为女性。公元前1世纪的狄奥多罗斯·西库鲁斯在他所写的书里对日神和月神写道：“人们说这两位神祇的天性对万物的生殖繁育作出了极大的贡献，一个天性是热和燥，另一个是冷和湿，但二者都含有某种气，万物赖以滋养生长，因而宇宙万物无不靠太阳和月亮而臻于尽善尽美。”这些神祇都来源于混沌时期的阴神和阳神。在美索不达米亚的创世神话中，代表各种自然力的比较年轻的神祇们，运用自己的力量同代表混沌的年老的神祇进行斗争；他们驯服自然，整顿宇宙，使世界变得越来越美好，越有序。这很像是自然演化和人类社会进化的一种描述，包括了人类对古代文明起源的回忆，如原始人与洪水作斗争，夺回土地进行耕种，繁衍后代，由祭司和酋长组织部落的生活、生产和各种活动；村落发展为城镇，通过战争和征服建立起王国等。

古印度人的学术活动大多与宗教活动结合在一起，所以他们的自然哲学思想，也都出现在一些宗教著作中。

公元前6世纪产生的佛教，分别把自我和物质世界比喻为水流和“自生自灭的火焰”，认为一切都是永无休止的变化，存在就是不断的生成。与婆罗门教和佛教的思想相反，当时在民间流行一种“顺世论”观点，认为世界的基础是物质的，物质运动的根源在于物质内部的作用，不存在不朽的灵魂。顺世论观点对自然现象的解释上，有自然说、自性说和转变说等不同的看法。自然说坚持世界的物质性，却否认自然运动变化的客观规律性。他们认为物质世界是永恒的，它既不是什么东西创造的，任何具体事物的形成也不受任何外在的原则所支配，一切都是不同情况下偶然的组合形成的。自性说则认为一切事物的运动变化都是由其内在的本性决定的，有其必然的规律性；不过这种观点又把一切变化仅仅归结为数量上的简单增减。转变说发展了这些思想，既认为物质世界是永恒的唯一实在，又认为它是从无差别、无定形的原始混沌状态发展演化而来的，发展演化的动因是其自身所具有的三种相互矛盾的成分（“三德”）的相互作用。

在顺世论观点中，又包含了不同派别许多关于物质的见解。

差不多与中国的“五行”说提出的同时，印度的伽毗罗所创始的颇有影响的数论学派，也提出过与五行说相类似的朴素的元素论。这种学说认为，世界万物都是从统一的原始物质发展而来的，发展的动因是其

内部的矛盾；在其发展过程中生成“五大”，即地、水、火、风、空五种物质元素，这五种元素错综复杂的配合就构成了世界上的万事万物。

古印度也产生了“原子论”的思想。耆那教是印度一个十分古老的宗教派别，这个教派认为物质世界是由地、水、火、风四大元素构成的，而这些元素的组成部分是“极微”（即原子）；极微都是同质的，只有“粘的”或“干的”之别，它们可以相互结合而成为复合物，各种复合物又可结合构成更复杂的复合物，进而形成元素和万物。这是印度最早的原子论思想。

由伽那陀创立的胜论派，继续发展了古印度的原子论，他们主张世界万物是由地、水、火、风、空五大元素在时（时间）和方（空间）中构成的，而这五种元素则是由极其微小、大小相等、永恒存在的“极微”所组成的；这些极微呈球形，比日光中最小的尘粒小六倍，不能为感官觉察，但却永恒存在，不可被创造也不能被破坏。极微有不同的质，如不同的颜色、味道和气味，不同的极微组成不同的元素，它们可以形成单体，也可以形成复体、三次体乃至万物。

胜论派的原子论思想又为遮缚伽派进一步发展，认为世界上一切生物和非生物都是由地、水、风、火四大元素所构成，而这四种元素都是由“极微”所组成；“空”因为是人的感官无法觉察的，所以它并不存在。他们提出：“生命产生于物”，彻底坚持了一切存在都以物质为基础的这一观点。古印度的科学文化曾经有一个相当活跃的时期，但在孔雀王朝建立后，古印度的哲学思想就沉寂下去了，许多有价值的思想没有继续得到发展。这主要是因为印度的社会生产力发展十分缓慢，社会状况很少发生改变所致。另一方面，印度的宗教影响十分强大，掌握着科学文化的祭司和僧侣们更感兴趣的是追求一些纯粹的哲理和抽象的理论探讨，与实际生活中的问题以及改造自然的实践严重脱节，自然科学当然难有生机了。所以前述那些有价值的思想也就逐渐萎缩了。

2. 爱奥尼亚的元素论

古希腊早期的哲学实际上是以研究自然界为主要任务的。由于当时哲学与自然科学还没有完全分化，社会生产力总体水平较低，所以人类对自然的认识主要是建立在粗陋的观察和思辨的猜测上。但是，古希腊的自然哲学却集中地体现了古希腊先哲的聪明才智，他们对自然的各种思辨见解包含着许多自然知识，对自然科学的进步和人类理论思维能力的发展都起到了积极的推动作用。

爱奥尼亚（包括现今土耳其半岛的西部和西南部沿海地区及附近岛屿）是希腊文明的最早发源地。在这里孕育了古希腊自然哲学的第一个学派——米利都学派，它的主要代表人物有泰勒斯、阿那克西曼德和阿那克西美尼。他们把自然作为主要研究对象，探索宇宙万物到底是从哪里开始的；他们把某种物质性的东西，如水、气等作为万物的始点、宇宙之本原。

泰勒斯（约公元前 624 ~ 约前 547）是希腊科学和哲学的始祖，是一个博学的、具有多方面才能的人。在公元前 7 世纪到 6 世纪左右，米利都在经济上、政治上都是希腊最先进的城邦国家之一。泰勒斯的一生是

和米利都城紧密联系在一起，他有着多方面的活动经历。他从事过政治活动：因反对与吕底亚结盟而曾使米利都免遭侵扰；拥护代表工商业奴隶主利益并在一定程度上保护自由民利益和改善奴隶生活条件的“僭主政权”；反对波斯人的入侵等。他参加过科学活动：曾预言了公元前585年5月28日发生的一次日蚀；研究过星象学，发现了小熊星；把几何学引进希腊等。他还从事过商业活动，亚里士多德讲过这样的故事：泰勒斯的朋友们嘲笑他的贫困，对他说哲学是一点用处也没有。但是泰勒斯通过对天体的观察，预见到第二年将会出现橄榄作物的大丰收。于是，他事先用低价租下了米利都和附近凯奥斯城邦的全部榨油机。第二年橄榄果真丰收了，榨油机需求量很大，泰勒斯转手以高价出租榨油机，从而获得很大一笔钱。亚里士多德讲这个故事是想论证哲学家如果想发财并不难，只是他们关心的并不是发财而是其它的事。由于泰勒斯多方面卓越的活动，他被尊称为希腊“七贤”之一。

作为西方哲学史上第一位哲学家，泰勒斯的哲学思想主要体现在他对世界本原的认识中。由于米利都学派没有能留下著作，所以只能根据后人的介绍来了解他们的观点。泰勒斯把水作为万物之本，他认为一切生物皆赖水而生，水不断地改变形体表现为各种不同的物质。对泰勒斯的这一观点，亚里士多德是这样记载的：“那些最早的哲学研究者们，大都仅仅把物质性的本原当作万物的本原。因为在他们看来，一样东西，万物都是由它构成的，都是首先从它产生、最后又化为它的（实体始终不变，只是变换它的形态），那就是万物的元素、万物的本原了。……这一派哲学的创始人泰勒斯就把水看成本原（因而宣称地浮在水上）……”泰勒斯为什么把水而不是把别的东西看作是万物的本原呢？后人推测，古代的人们最早认识到水是日常生活和社会生产不可缺少的东西；泰勒斯所在的米利都又靠近爱琴海；而且据说泰勒斯曾到过埃及，尼罗河水养育了埃及民族；这些经历和经验会使泰勒斯对水有极其深刻的印象。可以说，泰勒斯视水为万物本原，绝非他的任意揣测，而是古代人特定的生活环境和生产、生活经验的产物。用现代的眼光来看，泰勒斯的自然哲学是幼稚的、简单的。但是，他首先用自然物质本身来解释自然的本质，开了古希腊自然哲学唯物主义倾向的先河。这是泰勒斯的伟大功绩，在人类对自然认识的历史上具有重要意义。

米利都学派的第二个自然哲学家是阿那克西曼德（约公元前610~约前545）。他是泰勒斯的学生和朋友，对研究自然很有兴趣。他曾绘制了古希腊第一张地图，第一个描绘了海陆的轮廓，并且造了地球仪；他还发明了日晷的指针，用来测定冬至、夏至和昼夜平分点，并且造了计时器；他还对许多自然现象提出了自己的见解。据说阿那克西曼德是希腊人中第一个写论自然的论文的人，可惜他的论文大都已散失。

阿那克西曼德同泰勒斯一样，也认为世界万物是从某种始基中产生出来的。但是，他又看到泰勒斯关于水是万物之本原的说法中，存在着难以解释的问题：水是有形的，用水很难解释某些具体物质的形成与变化，比如：水是怎样变成火的？水又是怎样变成铁的？因此，他认为万

亚里士多德：《形而上学》，转引自北京大学哲学系外国哲学教研室编译《西方哲学原著选读》上卷，商务印书馆1983年版，第15~16页。

物的本原不是水，而是另一类无定的本性或自然。辛普里丘（公元 6 世纪人）说：“在那些主张单一、运动和无定的人之中，米利都人普拉克西陀的儿子阿那克西曼德是泰勒斯的学生和继承人。……他说万物的本原和元素是‘无定’。他最先使用‘本原’这个名称。……他说它既不是水也不是另外那些被认为是元素的东西，而是另一类无定的本性或自然。从这里生成了全部的事物及其中包含的各个世界。一切存在着的東西都由此生成的也是它們灭亡后的归宿……”阿那克西曼德所说的“无定”（亦有译作“无定形”、“无限”等的）不是单一和单纯的物体，而是一种抽象物。从这一点看，他在唯物主义路线上比泰勒斯又前进一步。因为他所说的“无定”，虽然与泰勒斯的水一样同属物质的东西，但是这种“无定”在一定程度上扬弃了水所具有的特定的具体性质和形态。因此，“无定”比水更具有普遍性。从这个意义上可以说，阿那克西曼德提出的“无定”，是西方科学史上最早提出的第一个物质概念。当然，阿那克西曼德的思想也不可避免地具有历史的局限。在他的思想中，猜测多于科学的概括，他所说的“无定”尚未达到一般的物质、普遍的物质的高度，而仍然是一种混沌状态的东西。

米利都学派的最后一位重要代表是阿那克西美尼（约公元前 588 ~ 约前 524），他是阿那克西曼德的学生和朋友。他同阿那克西曼德一样，对当时的自然知识非常熟悉。据说，他在当时是第一个区分了行星和恒星的人；他还认识到冰雹是由雨冻结而成的。

阿那克西美尼继承了米利都学派用自然的原因来说明世界本原的传统，但他没有沿用阿那克西曼德把一种不定形的“无定”作为世界万物始基的见解，而是像泰勒斯一样用一种具有特定形态的物质来作为世界万物的始基。阿那克西美尼主张世界万物的始基是气。辛普里丘说：“欧吕斯特多的儿子米利都人阿那克西美尼是阿那克西曼德的同伴，也同阿那克西曼德一样主张自然界的基质是唯一的、无限的，可是他不同意把它说成不定的，因为他主张这基质是气。这气通过浓缩和稀释形成各种实体：它很稀的时候，就形成火；浓的时候，就形成风，然后形成云，再浓，就形成水、土和石头；别的东西都是由这些东西产生的。”看来，阿那克西美尼对用“无定”来解释世界万物的产生是感到不满意的。他觉得不如用既具有特定性质又是变动不居的空气来得自然，空气因浓度不同而产生世界万物，也就是说世界万物来源于不同含量的空气。他把世界万物的产生归结为基质的不同数量的结合。这一见解是阿那克西美尼在认识史上的一大贡献，意味着用量说明质的最初起步，对后来哲学的发展具有重大影响。如果说，阿那克西曼德用一种抽象物来代替具体形态的物质，推进了认识的发展。那么，阿那克西美尼用量说明质来代替用质说明质，则是从另一个方面对米利都学派唯物主义路线的发展。当然，应该指出的是阿那克西美尼主观上并没有意识到这一改变的意义，他只是从感性直观上觉得空气具有浓厚、稀薄的不同可以容易地说明世界万物的产生和变化。另外，恐怕他也意识到人和其它生物需要靠呼吸空气才能活着，因此他才把气作为世界万物的本原。

辛普里丘：《物理学》，转引自苗力田主编《古希腊哲学》，中国人民大学出版社 1989 年版，第 24 页。

辛普里丘：《亚里士多德〈物理学〉》注，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第 17 页。

米利都学派的这三位主要代表人物都是自然哲学家。他们研究的直接对象是宇宙整体，探讨的是宇宙的生成问题。尽管他们在具体主张上有所不同，但基本观点是一致的。他们的唯物主义思想建立在经验直观的基础上，是自发的、素朴的。他们关于世界本原的认识虽是幼稚的，却对后来的哲学与科学的发展产生了深远的影响。

稍晚，爱奥尼亚另一城邦埃菲斯的赫拉克利特（约公元前 540 ~ 约前 475）发展了米利都学派的思想。赫拉克利特的生平事迹，古代记载得很少。只知道他出身于贵族，蔑视人民群众，并且他自视甚高，很少有他看得起的思想家。因此，他常被认为无所师承，是一个愤世疾俗和离群索居的哲学家。

在现代德国学者第尔斯所编的《苏格拉底以前哲学家的残篇》一书中，收录了赫拉克利特的著作残篇。其中，赫拉克利特关于世界的本原及其存在状态作了这样一个概括地说明：“这个世界对于一切存在物都是一样的，它不是任何神所创造的，也不是任何人所创造的；它过去、现在、未来永远是一团永恒的活火，在一定的分寸上燃烧，在一定的分寸上熄灭。”赫拉克利特所指出的“永恒的活火”与米利都学派所说的水、无定、气为万物始基具有同样的哲学含义。在古希腊，火和水、土、气一起是四种最基本的物质元素，因此，我们说在本原问题上，赫拉克利特的思想和米利都学派的素朴唯物主义是一致的。不过，赫拉克利特的“永恒的活火”具有更丰富的内容。虽然古人将火看成和水、土、气一样都是物质性元素，但是仔细分析起来，火与水、土、气还是有较大区别的。水、土、气都是一种实体，即是一种实在东西；而火则不然，它本身不是一种实体；实体在燃烧才会有火。用现代语言来表述，则可以说水、土、气等是物质，火却是物质的运动。当然，这种区别在赫拉克利特所处的时代尚未明确地认识到；但赫拉克利特已经认识到了火是一种运动过程。他称之为“永恒的活火”就表达了火是永远燃烧、永恒运动的思想。强调运动变化构成了赫拉克利特自然哲学的特色，他提出过一个著名的命题：“我们不能两次踏进同一条河。”由于河水总在不断流动，一条河流总在变为另一条河流。赫拉克利特用这样生动的比喻来说明万物都是在不断运动变化中的。赫拉克利特用朴素的语言讲出了辩证法，引起了后世哲学家的重视。黑格尔的辩证法中许多重要的思想，都可以从赫拉克利特的哲学中找到其萌芽。

3. 古希腊的“四根说”和“种子说”

(1) 恩培多克勒的“四根说”

恩培多克勒（约公元前 495 ~ 约前 435）是古希腊一位富有传奇色彩的学者。他是西西里岛南部阿克拉加斯城邦人。阿克拉加斯是希腊的一个殖民城邦，是西西里岛重要的农业和海外贸易中心，也是一座著名的文化古城。在这样的社会环境中，恩培多克勒观察、分析种种自然事物与现象，总结出许多自然知识；不过，他也难以摆脱宗教迷信思想的束

第尔斯：《苏格拉底以前哲学家的残篇》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第 21 页。
同上书，第 23 页。

缚，是一个虔诚的宗教布道者。所以，英国哲学家罗素（1872~1970）说，“哲学家、预言家、科学家和江湖术士的混合体，在恩培多克勒的身上得到了异常完备的表现。”

恩培多克勒认为宇宙是球形体或蛋形的东西；太阳是火球，月亮因反射而发光。他知道日蚀是由于月亮的位置居间而引起的，当太阳经过月亮的上面时，月亮遮掩了太阳的光线，于是便在大地上投下了黑影。他还运用自己的元素理论，解释人与动物的机体构造和胚胎发育，以及呼吸、生殖等生理现象。他是当时著名的医生，重视临床实践，特别在内科医学方面，对后世有较大影响。恩培多克勒不仅孜孜不倦地探索自然奥秘，而且还以先进的知识技艺为民造福。据说，当时塞利努斯地区由于河道污染而造成瘟疫传播，居民大量死亡。恩培多克勒实地考察后，设计了治理方案，把临近的两条河流引入这个地方；疏通了被污染的河道，净化了河水，制止了瘟疫的流行。当地人人为此在河岸宴饮庆祝，把他当作神来膜拜。

恩培多克勒作为一个自然哲学家，以他提出的“四根说”，回答了世界的本原问题。他在《说自然》中，对他的弟子说：“你首先要听到那生化万物的四个根，照耀的宙斯，养育的希拉，爱尔纽，以及内斯蒂，它的泪珠是凡人的生命之源。”恩培多克勒借用古希腊神话中的四个神的名字来喻指火、气、土、水四个根，他把火称为温暖万物的宙斯，把气称为养育万物的希拉，把土称为爱尔纽，把水称为内斯蒂。在恩培多克勒看来，这四个根就是构造万物的四元始基。他说：“在一个时候，事物由多结合为一个，在另一个时候，它又分解为多，不再是一。（元素有四种：）火、水、土以及那崇高的气，……这四大元素是势均力敌的，但是各有各的不同职务，各有各的特殊本性，在时间的流转中轮流占居上风。在元素以外没有什么东西产生，元素也不消灭。因为如果元素逐渐消灭，现在就不存在了，有什么东西能增广这个全体呢？它能从何而来呢？既然元素没有空隙，它又怎么能消灭呢？不，存在的只有元素，它们互相穿插，一会儿产生这个，一会儿产生那个，并且象这样一直下去，永无止境。”这就是说，世界万物都是从这四大元素混合而来的。恩培多克勒“四根说”的基本思想可以概括为：第一，四大元素作为世界的本原是既不能产生也不能消灭的，它们充满并构成世界；第二，把四大元素作为构成万物的基本单位，用它们的混合与分离来说明万物的形成与消失；第三，四大元素在数量上按不同比例进行混合，就造成万物在性质和形态上的千差万别。恩培多克勒关于世界本原问题的见解是沿着爱奥尼亚元素论的方向前进的，他的发展在于把关于物质始基的一元论转化为多元论。然而，他关于四大元素混合与分离的动因的分析则是一种退步。恩培多克勒提出一对对立的动力因：“爱”和“憎”，他说：“在一个时候，一切在‘爱’中结合为一体，在另一个时候，每件事物又在冲突着的‘憎’中分崩离析。”恩培多克勒受古希腊哲学爱

罗素：《西方哲学史》上卷，商务印书馆1976年版，第83页。

恩培多克勒：《论自然》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第41页。

同上书，第43页。

恩培多克勒：《论自然》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第43页。

利亚学派思想的影响，把四大元素规为自身是没有运动变化的，只有由元素混合而生化出的世界万物才有运动变化。这样，他就只能从元素外部去寻找运动的原因。在恩培多克勒看来，爱是一种结合的力量，憎则是一种分离的力量，万物——从日月星辰到人的四肢身骸，都是由爱和憎这两种力量在四大元素间作用的结果。他抛弃了爱奥尼亚元素论关于物质始基具有内在能动性的思想，而从本原以外去寻找万物的动因，这比起爱奥尼亚元素论，特别是赫拉克利特的朴素辩证法来说，不能不说是一个倒退。

恩培多克勒的四根说，打开了人类认识物质构造的大门，对原子论的发展产生了一定的影响。因此，在古希腊自然哲学由元素论到原子论的发展过程中，他的哲学具有承前启后的历史地位。

(2) 阿那克萨哥拉的“种子说”

阿那克萨哥拉（约公元前 500 ~ 约前 428）是将古希腊自然哲学中心由海外殖民地移向希腊本土的第一位自然哲学家。他本是小亚细亚的希腊殖民城邦克拉佐门尼人，在他 20 岁时来到雅典。在这里，他建立了自己的学说。阿那克萨哥拉出身富有家庭，但他一生漠视金钱，而潜心科学研究，追求自然知识。他曾表示，活着的目的就是为了研究太阳、月亮和天体。一个流传下来的故事表现了阿那克萨哥拉对科学的热爱和始终不渝的精神。据说，当两个贵族派领袖伯里克利与修昔底德争夺最高权力时，有位农人带来了一只长着独角的公羊头。占卜者拉姆朋说，伯里克利和修昔底德这两派就要合并，全部权力将授予发现这个祥瑞之物的人。但是，阿那克萨哥拉却解剖了这个公羊头，指出它只是因为整个颅内不充实，收缩成椭圆形，才长出独角的。人们对阿那克萨哥拉的博学深表钦佩。阿那克萨哥拉的著作主要有《论自然》，论述了他的自然哲学，包括对从天体到生物的各类自然现象的研究。可惜这部著作已失传，仅有一些片断保留下来。他反对过去认为心是感觉和思想所在地的看法，而把这种功能归之于大脑。他对月光和虹分别作了说明，“……是太阳把光放进月亮的。……我们称虹为阳光在云上的反照。这是暴风雨的先兆。因为云上流着的水引起风，降下雨。”阿那克萨哥拉还第一个正确解释了月蚀，认为月蚀是由于地球介入太阳和月亮之间造成的。据说，阿那克萨哥拉根据他的天文知识，预言了一次陨石雨的降落。他断言某日岩石会从太阳里落下来，果然，在白天发生了这件事，落地的石头还闪闪发光，大如车载。阿那克萨哥拉在天文知识上最有名的看法是，他认为天体是由石块组成的，太阳是一块灼热的石头，旋转使它留在天上，一旦运动停止就会掉下来。然而，这一见解竟成为他遭受政治迫害的罪状，几乎被处死刑。从此，阿那克萨哥拉逃离了雅典。此后不久，他就与世长辞了。

阿那克萨哥拉在自然哲学上的杰出贡献，是他提出了别具一格的物质结构说——种子说。他是这样回答万物的本原的：“结合物中包含着很多各式各样的东西，即万物的种子，带有各种形状、颜色和气味。”

阿那克萨哥拉：《论自然》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第 40 页。

同上书，第 38 页。

这里“种子”是指组成事物的相同的微小颗粒，这种微粒就是世界的本原。阿那克萨哥拉认为，宇宙万物，无论水、土、火、气，以至动物植物都是由种子组合而成的；种子无限多，不生不灭，它们的全体既不能增加也不能减少，具体事物的种种生灭变化，只不过就是种子的结合和分离。他赋予种子有这样一些特性：

种子的无限性。阿那克萨哥拉说：“当初万物是聚在一起的，数目无限多，体积无限小；因为小也就是无限。”这是说，宇宙开始时，万物的种子都凝聚在一起，没有分化，也就没有显示出各自的特性来。但是，它们在数量上、体积上是无限的。当然，根据他的思想，种子的无限性还有一个表现就是其种类也是无限的。

种子的永恒性。阿那克萨哥拉说：“希腊人说产生和消灭，是用词不当的。因为没有什么东西产生和消灭，而只是混合或与已有的东西分离。因此，正确的说法是把产生说成混合，把消灭说成分离。”在他看来，作为万物本原的种子是早已存在的。如果不是这样，万物是从无中变来的，并且现存的东西也可以变为虚无，那么就失去了物质存在的永恒性。所以，他认为种子是永恒、不变和稳定的。

种子的无限分割性。阿那克萨哥拉说：“在小的东西里并没有最小的，总是还有更小的。因为存在者决不能因为分割而不复存在。”他认为，种子和物体都可以无限分割，而且都不会有最小的界限。种子本身就是物体分割中的一个结果，一个肉眼不可见的物质微粒。但是，种子并不是不可再分割的最后粒子。种子可以再分割，分割得再小，仍然是种子。

还需要特别指出的是，阿那克萨哥拉的“种子”是非感性的。在他之前的自然哲学家无论米利都学派的水、气，赫拉克利特的火，还是恩培多克勒的四元素，对万物本原的认识都归结为直观所把握的感性事物。这固然体现了在寻找世界始基问题上的唯物主义方向，但毕竟仍更多地表现为经验层次上的认识。因为，强调本原存在于感性事物中是对的，但决不能简单地归结为这种感性事物，否则它就不会是本原。阿那克萨哥拉的种子说，明显是受到阿那克西曼德的影响。他所说的种子是在物质之中，是物质所固有的，这坚持了唯物主义的方向；他把本原又理解为原则上看不见的微粒——种子，是一种理性所把握的基本物质，这又力图超越感性事物来把握世界本原。这是自然哲学在解决物质本原问题上的重大突破。阿那克萨哥拉的思想直接影响了德谟克利特，他的种子说可以说是由元素论到原子论过渡的桥梁。

4. 古希腊的原子论

原子论在综合早期古希腊各派自然哲学的基础上，形成系统化的理论，成为古希腊自然哲学中最辉煌的部分。

原子论的创始人是留基伯(约公元前 500 ~ 前 440)和德谟克利特(约

阿那克萨哥拉：《论自然》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第 37 页。

同上书，第 40 页。

同上书，第 38 页。

公元前 460 ~ 前 370)。关于留基伯，流传下来的材料极少。一些学者认为，他可能是米利都人，他的学说出自爱奥尼亚的传统；后来他迁居到爱利亚，成为芝诺的学生，熟习爱利亚学派的哲学；最后他来到阿布德拉，成为德谟克利特的老师，建立了原子论的阿布德拉学派。根据后人的记载来看，留基伯已提出了原子论的基本框架。据西塞罗和亚里士多德的记载，“留基伯提出了原子和虚空。德谟克利特在这方面跟他相似，尽管他在其它方面要比留基伯丰富得多。”“留基伯及其信徒德谟克利特主张充实和虚空是本原。”可以说，原子论是由留基伯开创，由德谟克利特建立的。

德谟克利特是处于希腊本土和小亚细亚中间地带的阿布德拉城邦人。他少年好学，醉心研究学问；冷漠财富，追求科学真理。他不满足现成的书本知识，而走访世界各地；他游历之广，在同时代学者中只有著名的历史学家希罗多德（约公元前 484 ~ 约前 425）可以相比，这成为他广博知识的重要来源。德谟克利特积极从事科学实践活动，他研究过天文、气象，编制过历法；探讨过尼罗河河水泛滥的原因；对圆锥切割定理、海盐成因、地理与地震、光线辐射、植物生长、动物生理等方面问题也都作过探讨。德谟克利特还写下了大量著作，内容十分广泛。公元 1 世纪的学者色拉斯洛曾编纂了德谟克利特的著作，可惜现在仅存下一个目录。这个目录分列伦理学、物理学、数学、文学音乐、技术五大栏，按四部（篇）一组编排，计 13 组，再加上两组 18 篇未列入大栏的著作，总计 15 组 70 部（篇）。从他的这些著作的题目可以看出，德谟克利特涉及到了哲学、物理、数学、天文、地理、逻辑、心理、动植物、医学、历史、社会伦理、诗歌、音乐、绘画、语言、农业乃至军事等当时人类知识的一切领域。

德谟克利特与留基伯一起提出了原子论的基本框架，并将其进一步完善和丰富。原子论的基本思想可以归纳为：

(1) 万物的本原是原子和虚空

亚里士多德对原子论基本思想的记载是：“留基伯及其信徒德谟克利特主张充实和虚空是本原。他们分别称它们为存在和非存在。”而公元 3 世纪的学者第欧根尼·拉尔修则这样介绍德谟克利特的哲学：“他的学说是这样：一切事物的本原是原子和虚空，别的说法都只是意见。”

他们都把原子论的核心思想描述为：万物的本原是原子和虚空。这一描述是准确的，原子论学说把作为存在的原子和作为非存在的虚空看作是万物的共同本原。由于原子本身的差异，以及原子在虚空中的结合与分离，就产生了整个自然界。也就是说，原子和虚空这两种性质不同的要素，它们的对立统一产生了丰富多彩的世界。在自然哲学对世界本原的认识中，这还是一种崭新的模型。

(2) 原子是微小的、不可分的粒子

转引自苗力田主编，《古希腊哲学》，中国人民大学出版社 1985 年版，第 157 页。

同上书，第 161 页。

亚里士多德：《形而上学》，引自《古希腊哲学》，第 161 页。

拉尔修：《亚里士多德 物理学 注》，转引自《西方哲学原著选读》上卷，第 47 页。

原子论学说给原子赋予了两个最基本又相互关联的特性。第一，原子是非常微小的，小到人的感官所不能把握；第二，原子是不可分的。这里不可分的具体含义是：原子体积非常微小，小到不能再分；原子内没有空隙，是绝对充实的，具有不可入性，也不能再分。

(3) 原子都是同质的，只有形状、大小和排列上的差异

原子论学说不同于恩培多克勒的“四根说”，也不同于阿那克萨哥拉的“种子说”，而认为万物始基的原子本身的性质是同一的。只是由于原子在外部的形状、大小和排列次序上的差异，才造成原子组成的不同事物具有万千不同的性质。原子是同质的，还包含原子不是从其它原子产生，也不能相互转化的思想。

(4) 虚空是原子运动的场所

原子论学说的虚空具有两层意思。一是，虚空是抽掉物体以后的空间，原子以虚空为场所做机械运动；二是，虚空还表示原子结合成物体时，原子与原子间的空隙。

(5) 原子的数量和虚空的范围都是无限的

原子论学说认为“本原在数量上无限，……”，无限多的原子在无限的虚空中运动。

(6) 原子的运动是永恒的

原子总是在虚空中永恒地运动着，运动的原子相结合，就是万物的产生；运动的原子相分离，就是物体的消亡。“这些原子在无限的虚空中运动，彼此分离。在形状、大小、位置和排列上各不相同，它们相互撞击，有的随便向别的地方移去，而其余的则根据它们形状、大小、位置和排列的合适状况彼此结合。聚在一起，生成了复合体。”原子及其运动永恒不止，世界万物生灭不息。

原子论学说关于万物本原的认识，可以说是集先前自然哲学各学说之大成。它的原子概念是一种科学的抽象，把从米利都学派开始的物质本原从个别性上升到普遍性，在认识上达到一个新的高度。它的虚空概念则是在哲学史上第一次引入了“空间”的范畴，把空间和物质首次分离开来。原子论学说还在一定程度上继承了赫拉克利特的一切存在物都在运动的思想，认为原子处在永恒的运动之中。尽管这种运动主要是指机械位移变动，而且也未能说明原子本身为什么能运动。但是，原子论学说并没有给原子自身的运动寻找一个外力的作用。因此，我们有理由说，原子论把运动看作原子的本性，这仍然是素朴辩证法的体现。

据记载，原子论者还用原子的运动来说明具体的自然现象，德谟克利特曾解释磁石吸铁现象。他认为磁石和铁都是由相似的原子构成的，但是相比起来，构成磁石的原子更为精细，原子间的虚空也更多，因此原子活动的能力就比较强，容易向外移动；而铁组织较紧，原子间的虚

辛普里丘：《论天》，引自《古希腊哲学》，第162页。

同上书，第167页。

空也较少。当磁石原子移动并钻进铁原子中间，会使铁的原子滚向磁石原子间那较多的空间。这样，就形成了铁被拖向磁石，产生了磁石吸铁的现象。这样一种解释的真正价值在于，它是从自然本身来说明自然现象，而用不着赋予磁石或铁以灵魂。还应该提到的是，德谟克利特运用原子及其运动来解释灵魂。他认为，灵魂也是由原子构成的。“因此德谟克利特说灵魂是一种火或热的东西。原子的形状同原子本身一样是无限多的，他就把那些球形的原子称为火和灵魂，……。”这种球形的原子光滑精致，运动迅速，因此表现得最生动活跃。当这类原子聚合时，形成灵魂；当它们分散时，灵魂消亡，生命也就完结了。可见，原子论学说认为原子是万物的本原，这个万物是包括灵魂在内的。原子论的唯物主义在古希腊自然哲学中是最彻底的。

原子论的这种唯物主义路线，遭到了古希腊唯心论的贬低。古希腊唯心论大师柏拉图（公元前 427 ~ 前 347）对原子论采取了有意冷漠的态度。他在他的作品中差不多引到了古代所有的哲学家，但却从来没有提到德谟克利特。亚里士多德虽然受到原子论的启发和影响，但他并未接受原子论。他企图从逻辑上否定原子论，他主观地提出一个命题：如果有虚空的话，物体在虚空中的速度应该是无限大的；但是没有无限大的速度，所以就没有虚空，没有虚空自然也就没有原子。亚里士多德就是这样，企图用形式逻辑的论证来宣判原子论的死刑。由于柏拉图和亚里士多德的庞大哲学体系广泛流传，在德谟克利特之后，自然哲学包括原子论日渐衰微。

就在希腊本土的文明日渐衰落之时，伊壁鸠鲁（约公元前 342 ~ 约前 270）继承并发展了原子论学说。伊壁鸠鲁不仅认为所有自然现象都可以用原子在虚空中的运动、原子的结合与分离来解释，而且他还认为原子本身除了有形状、大小的差异之外，还有重量的不同。他提出，重原子在垂直下落时，撞击轻原子而产生原子的偏斜运动。这样，原子在虚空中的运动形式有三种：直线式下落、各种原子之间的撞击及脱离直线的偏斜。这些思想使原子论得到进一步丰富和完善。

在伊壁鸠鲁之后，卢克莱修（约公元前 99 ~ 前 55）在他所著的《物性论》中，对原子论作了精辟和系统的阐述与发挥。他还进一步指出，不是原子的撞击产生了原子的偏斜，而是原子的偏斜才有原子的撞击，才有原子的结合。

从留基伯、德谟克利特到伊壁鸠鲁，从伊壁鸠鲁到卢克莱修，原子论的发展经历了三个阶段。然而在漫长的中世纪，原子论学说竟遭禁止。但是，原子论及其科学精神是不会灭亡的。到文艺复兴时期，原子论成为冲击亚里士多德目的论和宗教神学的有力武器，原子论对近代科学和唯物论哲学的建立和发展起到了积极的作用。不过，它和科学原子论还是有区别的。这与古希腊自然哲学中其它思想一样，古希腊原子论还不是建立在系统观察和科学实验的基础之上的，而较多地表现为一种猜测。因此，受当时科学水平的影响，原子论不可避免地存在着很大的局限性。比如，留基伯和德谟克利特还不懂得空间是物质存在的形式，两者不可分割，而把原子与虚空割裂开来；他们企图仅用原子在空间的排

列、聚合、分散等机械运动来解释一切，这显然无法科学地说明万物何以会有性质上的千差万别以及相互变化。但是，这些历史的缺陷，并未有损它的光辉。原子论在科学史和哲学史上占有重要的地位，它的巨大影响体现在后人的工作上。17世纪，化学上采纳了原子的概念；19世纪，科学原子论建立了。原子论学说历经2000多年，终于由自然哲学假说发展成为一种确定无疑的科学理论。

5. 中国的五行说、元气论与原子论

在春秋战国时期百家争鸣的形势下，各个自然哲学学派都力求从总体上说明和理解自然，在自然的本质或宇宙万物本原的问题上，就出现了各种不同的说法。

殷周时期已经产生的阴阳和五行学说，仍然是这一时期关于宇宙万物本原的重要学说。“五行”最早源于“五材”，即把水、火、金、木、土看作是人们赖以生存的五种基本材料。《国语·周语下》记载了公元前572年的一段话说：“天六地五，数之常也”。这就把阴、阳、风、雨、晦、明这“六气”与“五行”上升为普遍的自然规律（“数之常也”）。到公元前六世纪末，五行即被推广到各个方面，并被看作是“礼”所依据的基本原则之一。在可能是战国人所写的《尚书·洪范》中，则进一步概括说：“五行，一曰水，二曰火，三曰木，四曰金，五曰土。水曰润下，火曰炎上，木曰曲直，金曰从革，土爰稼穡。润下作咸，炎上作苦，曲直作酸，从革作辛，稼穡作甘。”这里把五行提升为构成宇宙万物的五种基本元素，并对它们的性质和作用作出了规定。

西周末年，还产生了物质为“气”的说法，用对立的阳气和阴气的相互作用来解决天地分离、四季变化、万物盛衰等各种自然现象；认为两种气的协调交感作用，生成万物和天地的秩序；二气不和，就会引起自然界的灾异变化。到战国时期，几乎各家都把“阴阳”看作是自然界两种对立并存的力量。《老子》中说：“万物负阴而抱阳，冲气以为和”，即阴阳蕴涵于万事万物之中，在看不见的气中得到统一。在孔子及其弟子所编的《易经·系辞传》中提出“一阴一阳之谓道”，“阴阳合德而刚柔有体”，“刚柔相推，变在其中矣”。这是说一阴一阳，一刚一柔，相互推移，即生变化，在这种对立统一的作用之下，就发生了万物的演化。这一时期，阴阳说与五行说开始被结合起来，形成了“阴阳五行说”；它和元气论的结合，又构成了中国古代元气一元论的自然观。

在战国时期，已有一些学者宣扬自然界是气的世界的观点。在《管子·内业》篇中，提出了一种“精气”学说：“凡物之精，此则为生；下生五谷，上为列星。流于天地之间，谓之鬼神；藏于胸中，谓之圣人。”这是说世界上的一切事物得到了精气就存在，五谷、列星都是精气产生的。这里把精气看作是构成宇宙万物的最根本的本原，它的流行变化形成了一切事物（包括精神现象在内）。稷下学派还以精气说对《老子》中的“道”作了积极的发展，说：“精也者，气之精者也。气，道乃生，生乃思，思乃知，知乃止矣”，用精气说明“道”之生，克服了对“道”

的理解上的神秘性和不确定性。

“气”和“阴阳”的结合，构成了中国古代自然观的核心。“气”的概念，既包含了最基本的对立——阴和阳的意义，又包含了宇宙万物本原的意义。可以把这种与阴阳说结合在一起的“气”生成万物的自然观，称为气的一元论自然观，它一直深深影响着中国两千年来科学认识的发展。

中国古代有没有原子论思想，至今仍存在着争论。但从人类思想发展的同一性来看，似乎应该作出肯定的回答。实际上，在墨家的论述中，也可以找到类似古希腊原子论的观念。《墨经》中提出：“端，体之无厚而最前者也”；“端，无间也”；“非半弗 则不动，说在端”。这是说，“端”是物体的起始，是把物体分割到“无厚”而留下的最原始的质点；它是没有间隙的，即无内部结构的；“端”是不能再分为两半的东西了，所以是不能毁坏，不能变化的了。这是关于原始的、物质最小单位的概念，实质上是十分朴素的、揭示了物质的不连续性和物质最小单位不可分割的思想，可以看作是中国古代原子论的萌芽思想。四、
古代天文学

1. 巴比伦、埃及和印度的古老天文知识

古人注意天象变化并有意识地去进行天象观测，是从实际生活的需要出发的。特别在农业生产发展起来之后，人们更认识到了掌握季节变化的重要性。此外，对于生存能力低下的古人来说，一切罕见的天象如流星、日月食和彗星等，都会引起恐惧的心理。这都促进了古人对天象变化的观测和天文知识的积累。

古埃及人的天文知识比较粗糙，因为他们面对的问题要简单一些。古埃及人的生产和生活与尼罗河的水情变化息息相关。在尼罗河三角洲地区，人们发现，每当看到天狼星与太阳同时在地平线上升起时，尼罗河的汛期就来到了，因为这时尼罗河上游地区的雨季到来了，新的一个农业季节也就要开始了。所以埃及人就把这一天定为一年的开始。对于这个现象不断进行观测，大约在公元前 4000 年，他们已经发现这个周期平均为 365 日，这也是太阳在繁星间复回到相同方位所需的时间。埃及人的天文观测记录未被保存下来，从古代棺柩盖上的铭文和所画的天象图可知，古埃及人将天球赤道带上的星分为 36 群，将一年分为以 10 天为周期的 36 段；每当一个星群在黎明前恰好升到地平线上时，就标志着一个新的 10 天的开始。他们把一年分为三季，共 12 个月，每月 30 天，年终再加 5 天作为宗教节日。这样，一年就是 365 日，这是世界上最早的太阳历。由于实际上一年即地

球围绕太阳运动一周的时间约为 $365\frac{1}{4}$ 日，因而每隔 4 年天狼星

与太阳同时从地平线上升起的日子就要差一天，120 年就要差一个月，直到 $365 \times 4 = 1460$ 年后，才会又在同一日子看到天狼星与太阳同时从地平线上升起。这样，埃及人便逐渐采取了一些置闰的方法，特别是发现了 1460

这个“天狼号周期”或“索特周期”（埃及人称天狼星为索特）。现在的公历的前身“儒略历”就是儒略·恺撒（公元前 102—前 44）在公元前 46 年采用埃及历增加闰年而来的。

除历法外，古埃及人在利用天文方法测定方向上有很高的成就。早期修建的几座金字塔，其东西南北方位精确到几度，后期的几座精确到几十分之一度；大金字塔北面的主要隧道指向天龙座 α 星，这颗星当时（公元前 3400 年）为极星。这很可能是利用天文知识定出一个方位，再运用几何知识定出正方形的四个直角。有的神庙里的神像被安置得恰到好处，以使每年白昼最长的夏至日的阳光能直接射入神庙照亮祭坛上的神像。这表明古埃及人在天象观测上已经积累起了相当丰富的经验知识，并能够在实践中加以利用了。

古巴比伦人在天文学方面取得了更大的成绩。古巴比伦人是用太阳历制订历法的。月亮的盈亏是很容易观察的。早在苏美尔城邦时代，他们就把月黑后第一个新月（蛾眉月）到下一个新月之间的天数定为一个月。

他们注意到这个周期约为 $29\frac{1}{2}$ 日，因此把大月定为 30 天，

小月为 29 天，大小月相间；一年为 12 个月，共 354

天。这个日数比实际的一个回归年要少 $11\frac{1}{4}$ 天，这就出现了如

何使阴历符合季节的这个复杂问题。当时他们的一年是从春分日开始的，一月分是以金牛座命名的，因为在公元前 4700 年左右春分时太阳在金牛座。为了把岁首固定在春分前后，需要用加设闰月的办法来调剂这个差额。经过长期摸索，在公元前 383 年，巴比伦人终于确定了 19 年 7 闰制。这样，235 个阴历月才与 19 年相等。他们还逐年算出了夏至的时间，然后用相等分段方法定出冬至、春分和秋分的时间。这种历法为犹太人、希腊人所沿用，直到公元前 46 年采用儒略历为止。

除月份之外，巴比伦人还制订了另一个时间周期，即“星期”。在亚述帝国和新巴比伦时期，他们就根据月相变化，将每个月分为 4 个星期，每星期 7 天。他们用太阳、月亮和五大行星的名字来称呼一个星期中的 7 天；即由日、月、水、火、木、金、土 7 个星神各主管一天，这个制度后来为世界各国所采用。巴比伦人按黄道 12 宫把一昼夜分为 12 个时辰，每个时辰分为 60 分，每分分为 60 秒。我们现在沿用的就是这个计时法，不过一天分为 24 小时，分和秒也都缩短了一半。

古巴比伦发达的天文学，除了生产的需要外，还与两河流域的地理环境、宗教观念有密切关系。两河流域的河水泛滥不象尼罗河那样有规律，意想不到的洪水会吞没一切；无天然屏障保护的居民随时会被蛮族的入侵杀掠一空。这种种无常的自然风云和人间灾祸给那里的人们带来了沉重的精神压力，使占星术在那个地区十分活跃。他们认为天上的神灵对人类一般是仇视的，天象的变化预示着人间的吉凶祸福，因此对天象的观测就十分频繁而认真，并成为寺庙中祭司和僧侣们的一项重要活动，这在客观上促进了巴比伦天文学的进展。在他们所进行的天文观测中，最精确和令人钦佩的要算行星的运动了。虽然从公元前 700 年前后的亚述时代开始，这种观测数据才被系统地记录下来，但从尼内微废墟里所发现的亚述石碑和苏美尔泥版中的农用历书可以断定，那个地区至

早在公元前 1700 年以前就已经有了比较发达的天文学和天象观测记载；其上还刻有行星的运动、月相和太阴历。巴比伦人很早就能够将行星与恒星区别开来。早在公元前 2000 年，他们就注意到金星在 8 年中有 5 次回到同样的位置。他们的天象记录中有日食、月食、行星的出没、偶见的彗星和流星等，这就使他们在公元前 1000 年后能够对天文学上的一些主要周期现象算出正确的平均值，从而对天文现象作出比较准确的预测。在一件泥版中，记载了行星会合周期（即行星、太阳和地球的相对位置复原一次的时间），相对误差都在 1% 以下，如他们测得土星会合周期为 378.06 日，今测值为 378.09 日；木星的会合周期为 398.96 日，今测值为 398.88 日。美索不达米亚人还发现了“沙罗周期”，即发现每过 223 个朔望月，也就是大约每隔 18 年，日、月、地三者又回到原先的相对位置，于是一个周期以前的日食、月食会再次相继出现。因此到新巴比伦时期（公元前 626—前 538），他们就已经能够据此预测到日月食和行星的会冲现象。到公元前四世纪，他们还发现了用一种代数方法能将复杂的周期性天文现象分解成许多简单的周期组合，如发现太阴历每月平均是 29 天多，而对于这个平均天数的偏离也是有周期性的，从而创造了 19 年 7 闰制。后来希腊人把这种方法表现为几何形式，长时间里成为分析天体运动现象的主要方法。巴比伦人对恒星也进行了精确的观测，绘成了世界上最早的星图。他们早就知道了黄道带里的星座了，不过直到公元前 419 年的一个文件中，才首次出现黄道带的名称。他们把黄道附近的星群划分为若干星座并作出命名，如狮子座、双子座、天秤座、天蝎座、巨蟹座等。古巴比伦的这些天文学成就，后来都为希腊人所继承。

古印度很早也产生了天文学。早在吠陀时代，他们已经有了不少天文历法知识。据现存最早的印度古文献《梨俱吠陀》记载，印度大约在公元前一千多年前，就把一年定为 360 日，分为 12 个月，每月 30 天，每隔五年增加一个闰月。他们对恒星也作了细致的观测。成书于公元前一世纪上半叶的《耶柔吠陀》和《阿闍婆吠陀》中，把黄道附近的星分为 27 或 28 个星宿。“宿”是梵文“月站”、“月宫”之意，显然是用来表明月亮每天在天穹上所处的不同位置。

古人对宇宙结构已有了某些原始的看法。在希腊时期以前，美索不达米亚人尚未用几何方法来解释天体运动现象，因此他们对于宇宙的空间特性的看法，同他们的科学知识是相互分离的。他们设想天和地是两个扁盘，地浮在水上，天则覆在上面；天穹上面是更多的水，水外面是诸神居住的地方。太阳和其他天体都是神，他们每天从自己的住处出来，在不动的天穹上走过特定的轨道。

埃及人则把宇宙想像为一只长方形的盒子，呈凹形的大地为盒底，天为盒顶，被大地四角耸起的四座大山支撑着；宇宙之河环绕在大地周围，尼罗河就是宇宙之河从南边分出的一条支流，流过大地的中央。宇宙之河的河面低于支撑天空的山顶，供太阳神所乘的船每天从河中驶过，这就是日出和日落。由于太阳船总靠近大地这边，所以在尼罗河泛滥时太阳离大地的距离就比冬天近些，这就是季节变化的原因。

印度古人在吠陀时代就提出，天地的中央是一座名为须弥山的大山，日月都绕此山运行，太阳绕一周为一昼夜。在公元一世纪以后出现

的一部天文历法著作《太阳悉檀多》（据说它在公元前六世纪时已基本形成，后经人增改成书）中则说大地为球形，北极为一称为墨路山的山顶，是神的住处。日月和五大行星由一股宇宙风驱使而运行，一股更大的宇宙风则使所有天体一起旋转。

2. 古希腊的宇宙论

古希腊的自然哲学在探讨宇宙本原的基础上，还对天体和宇宙的起源、演化、运动及其结构等方面的问题给予了回答，这就是古希腊的宇宙论。

(1) 元素论与原子论者的宇宙观

泰勒斯可以说是最早留下宇宙学说的人。亚里士多德对泰勒斯的宇宙论作了概括性的论述：“人们说地浮在水上，这是我们所接受到的最古老的说法。据说是米利都人泰勒斯提出的。”在古代埃及人的神话中，大地被描绘成静止在水面上的扁平的圆碟子；把太阳说成是装在一个船上，白天航行在天空，夜间则航行在地下。泰勒斯可能是受到埃及神话的影响，但他作为一位自然哲学家则是走出神话，用自然知识去解释自然的第一人。他的宇宙观的具体内容对后人影响不大，但他这种解释自然的方法却是影响深远的。

在泰勒斯之后，阿那古西曼德和阿那克西美尼的认识与泰勒斯比较接近。只是由于他们所提出的关于宇宙本原的具体自然物是不同的，因此在他们的学说中地球就浮在不同的自然物之上。阿那克西曼德认为地球的四周是无定；阿那克西美尼则认为大地是浮在气上的。阿那克西曼德已开始涉及到宇宙的结构了，据亚里士多德的记载：“有些古人——阿那克西曼德认为，大地处于平衡状态，所以停在那里。它处于中间，跟四周的距离相等，在左右高低各方面无一偏差，同时不可能作相反方向的运动，所以只能停留在那里。”这里，阿那克西曼德明确地表达了二个思想：一是，大地是静止不动的；二是，大地处于宇宙的中心。同样，在古代神话中也有类似的说法。所不同的是，阿那克西曼德用自然哲学的语言表达了这种思想。阿那克西曼德还讨论了天体的形成问题，“他（阿那克西曼德）说，在世界的生成之初某种能产生热和冷的东西，从永恒中分离出来。它构成了一个火圈，环绕着包围地球的气就象树皮围着树干一样，一旦它炸裂开并进入一定的圆周中时，便产生出太阳、月亮和其他星辰。”我们不能把阿那克西曼德看作是现代大爆炸宇宙学说的先驱，但他毕竟描绘了一个通过火圈及其炸裂而形成太阳、月亮和其他天体的过程。尽管阿那克西曼德的这些见解还只能说是一些没有太多科学依据的猜测，但他对赫拉克利特的宇宙观有很大的影响。赫拉克利特认为宇宙的本原是火，因此，他也是用火来说明天文现象的。

恩培多克勒则以他的“四根”，并加上“爱”与“憎”这两种力量，

亚里士多德：《论天》，引自《古希腊哲学》，第20页。

亚里士多德：《论天》，引自《古希腊哲学》，第27页。

伪普鲁塔克：《述要》，引自《古希腊哲学》，第27页。

构造了一个宇宙演化的循环理论。他认为宇宙处于周期性的循环发展之中，这种循环发展表现为四大元素的分离与结合；这种循环发展则是因爱与憎两种对立力量轮流交替占主导地位所致。他说：“这经常的变迁从不停息：在一个时候一切在‘爱’中结合为一体，在另一个时候，每件事物又在冲突着的‘憎’中分崩离析。”恩培多克勒的宇宙演化分为四个阶段：

第一阶段，爱占主导地位。这时整个宇宙是一个混沌球体，万物还没有分化出来。爱处于这个球体的中心，形成一种旋涡运动，把四种元素吸为一团，憎在这个球体的外围。

第二阶段，憎的力量崛起。憎从球体外围侵入球体，将爱的力量向球体中心压迫。由于爱和憎两种力量的相反作用，产生回旋式运动，使各种元素从球体中分离出来；又由于爱和憎的交互作用，分离出的元素产生出宇宙万物，形成天、地、日、月、星辰等。

第三阶段，憎占主导地位。憎的力量扩展到整个球体，将爱排挤到球体的外围。由于憎的力量主宰一切，使由元素结合成的一切物体都解体了，各种元素处于绝对分离状态，只有四种元素各自的集合体了。

第四阶段，爱的力量重新崛起。爱的力量又回到宇宙球体的内部，由于爱与憎两种力量的对立，形成新的漩涡运动，各种元素又重新结合起来，回复到最初的和谐、混沌的状态。这成为下一个循环周期的开端。

在恩培多克勒关于宇宙演化的循环论中，包含一些辩证法的因素，比如爱与憎的对立统一，元素的结合与分离等。但是，从整体上说，它还是一种机械论。而且，这种循环的四个阶段更多的是他想象、虚构出来的。不过，恩培多克勒是当时比较杰出的自然科学家，他通过观察和分析自然现象，提出了一些卓越的见解。当然，鉴于当时科学整体水平的限制，人们对自然现象的研究还是十分肤浅和不完整的。因此，在一种理论中杂有猜测、想象也是十分自然的。这样，我们把恩培多克勒的宇宙演化的循环论看作是由他的“四根”说及关于爱与憎的理论中引伸出来的一种自然哲学理论。

阿那克萨哥拉的种子说是由元素论到原子论的过渡桥梁。他和其它自然哲学家一样，把对宇宙生成的研究和描述作为一个兴奋点。在阿那克萨哥拉看来，在宇宙的原始阶段，无限的种子混合在一起，所有个别事物尚未分化出来，整个处于静止状态。他认为万物的分化是由于分离力量的出现，而这种分离力量来自漩涡运动。那么漩涡运动又是怎么产生的呢？他的回答是：“……而且心也有力量支配整个涡旋运动，所以它是旋转的推动者。这旋转首先从某一小点开始，然后一步一步推进。”

这样，他就把宇宙的生成、万物的产生，看作是在心的启动下，通过漩涡运动而分离的结果。与恩培多克勒不同的是，阿那克萨哥拉认为宇宙的生成不是结合与分离的循环，而只是漩涡运动的一次性分离作用的结果。也正因此，他需要一个第一推动，这就是“心”。第一推动之后，对宇宙的生成过程就是以他提出的种子的运动、分离、组合以及种子性质的异同等物理原因来解释了。

恩培多克勒：《论自然》，引自《西方哲学原著选读》上卷，第43页。

阿那克萨哥拉：《论自然》，引自《西方哲学原著选读》上卷，第39页。

原子论者德谟克利特也同样是以原子的漩涡运动来说明宇宙的生成。他认为：“原子在大小和数量上都是无限的，它们在宇宙中处于涡旋运动之中，因此形成各种复合物：火、水、气、土。”这种漩涡运动的缘由，则是由于原子的聚集、相互作用而形成的。它是原子自身运动的结果，不需要什么第一推动。原子在这种漩涡中相互碰撞，向各个方向运动而彼此分离。在分离作用下，同类相聚，形状相同的原子结合起来。轻的原子聚成的物体被抛向外层虚空，而重的物体陷向漩涡中心，形成大地；抛向外层虚空的轻的物体则分别形成一团团紧密的物体，这就是月亮、太阳和各种星辰。德谟克利特还进一步阐述了无限宇宙无限演化思想，据记载：“关于原素：充实和虚空，德谟克利特持有跟留基波同样的观点。他说存在物永远运动在虚空中，世界的数目无限，大小不同。在某些世界中没有太阳和月亮；在另外一些世界中太阳和月亮比我们这个世界的要大；还有一些世界中的太阳和月亮在数量上多于我们这个世界。世界间的距离是不相等的。某些区域的世界多一些，某些区域则少些；某些正在增大，某些已臻顶点，某些则正在减少，在某些区域，世界在生成，在其他区域则正在灭亡。它们由于互相撞击而毁灭。”

这里，德谟克利特描绘了一幅无限宇宙中有无数个世界在生灭不息的演化图景。他的这种宇宙论是以他的原子论为基础的。因此，他的宇宙论比起他前人的宇宙观来说，科学的内容就更多一些；并且对后人的影响也就更大一些。到近代科学时期，法国科学家笛卡儿（1596～1650）提出太阳系起源于以太漩涡运动；18世纪法国科学家拉普拉斯（1749～1827）提出了太阳系起源白热气体漩涡运动；德国哲学家康德（1724～1804）则认为太阳系起源于物质微粒的漩涡运动，同时康德还认为无限的宇宙中有无数个太阳系在不断生成与毁灭。当然，德谟克利特的宇宙论与近代科学时期的天体起源理论，无论在科学内容、理论基础、认识深度等方面都是无法比拟的。但是，他关于宇宙演化的基本思想，却在一定程度上得到了继承。

(2) 毕达哥拉斯学派的宇宙论

毕达哥拉斯及其学派把“数”或“数的元素”作为万物的本原，这一完全不同于元素论、原子论的思想路线，使得毕达哥拉斯学派的宇宙论在科学历史中占有独特的地位，并且也同样成为影响后世的重要思潮。

毕达哥拉斯（约公元前560～前480）出生在位于小亚细亚沿海的希腊殖民地城邦——萨摩斯岛。这里是当时地中海地区主要的和最富裕的城邦之一，它和外界有密切的贸易往来。据说，毕达哥拉斯到过希腊各地和埃及等国，接触到了各地不同的文化和思想。毕达哥拉斯在青少年时代就热衷于从事学术研究和宗教神秘仪式及祭典活动。他先师从泰勒斯，后就学于阿那克西曼德。毕达哥拉斯对米利都学派的思想是熟悉的，但他却并未接受米利都学派的传统，而采取一种宗教神秘主义和唯心主义。这可能与希腊人中第一个用希腊文写关于自然和神的著作的斐瑞居

拉尔修：《亚里士多德 物理学 注》，引自《西方哲学原著选读》上卷，第47页。

希波吕特：《反驳》，引自《古希腊哲学》，第164页。

德对他的影响有很大关系。毕达哥拉斯曾在埃及住了长达十年的时间，从埃及返回萨摩斯后不久，他移居到了意大利的克罗顿。在这里，毕达哥拉斯很快吸引了一大批贵族青年，形成了毕达哥拉斯学派的盟会。这是一个政治组织，也是一个宗教信仰和科学研究的团体。毕达哥拉斯领导这个组织积极开展政治活动，在提供政治上的咨询，建立秩序、法律和提倡自由文明等方面起到了重要作用；积极开展宗教活动，宣传灵魂不灭和轮回转世的思想；积极开展谐音学、数学和天文学等方面的学术研究，提出了许多独特而有价值的见解。这个组织有一个特点：所有成员一律平等，一切财产都归公有；科学上的发明也是公共财产，或归功于学派领袖。再加上，它还具有一定的神秘色彩，科学上的成就也常是秘而不宣。所以，很难弄清是谁在什么时间作出的发明。因此，我们将它统称为毕达哥拉斯学派。另外，毕达哥拉斯没有留下著作，关于他的活动和主要思想观点，是靠后人的介绍与转述来了解的。

毕达哥拉斯学派的宇宙论的基本思想和主要内容是：

宇宙的本原是“数”。亚里士多德对毕达哥拉斯学派的这一思想作了概述：“所谓毕达哥拉斯派曾经从事数学的研究，并且第一个推进了这个知识部门。他们把全部时间用在这种研究上，进而认为数学的本原就是万物的本原。”这里，所谓数学的本原的含义是指，数本身由奇和偶这两种终极的元素构成，奇是有限的，偶是无限的。奇与偶的结合产生了“一”，数就是由“一”来的。由构成数的元素产生数，这仅是毕达哥拉斯学派关于“万物的本原是数”这一思想的第一层意思，也可以说是万物从数产生的第一个阶段。第二阶段是，从数产生几何图形；第三阶段是从几何图形产生物体；也就是拉尔修所记载的：“从数产生出点；从点产生出线；从线产生出面；从面产生出体；从体产生出感觉所及的一切形体，产生出四种元素：水、火、土、气。这四种元素以各种不同的方式互相转化，于是创造出有生命的、精神的、球形的世界。”

毕达哥拉斯学派把数作为先于物质而存在的万物之源的观点，表现出唯心主义的倾向。对于古希腊自然哲学中的素朴唯物主义来说，这是一个倒退。但是，从另外一个方面讲，毕达哥拉斯学派发现与日常的感性世界完全不同的另一世界，这就是数的世界，它反映了整个世界的规定性。在了解了毕达哥拉斯学派在宇宙结构及数学等方面的工作之后，就会发现毕达哥拉斯学派在认识客观世界的规律、特别是客观事物的数量关系上，作出了重大贡献，无疑是人类认识史上的一大飞跃。同时，也不能不赞叹他们抽象思维能力的高超。

天体形状与宇宙结构。毕达哥拉斯学派从美学观念出发，认为宇宙是完善的，宇宙中所有的天体的形状和它们的运动轨道也都应该是完美的。那么，什么样的形状是完美的呢？毕达哥拉斯学派认为，一切立体图形中最美的是球形，一切平面图形中最美的是圆形；因此，天体的形状都是球形，它们的运动都是匀速圆周运动。毕达哥拉斯学派还提出了宇宙系统结构的图像：球形的地球位于宇宙中心，它的周围区域称为乌拉诺斯，也就是天空，充满着空气和云；乌拉诺斯以外的一个区域称

亚里士多德：《形而上学》，引自《西方哲学原著选读》上卷，第18页。

拉尔修：《著名哲学家的生命和学说》，引自《西方哲学原著选读》上卷，第20页。

为科斯摩斯，是太阳、月亮和行星作匀速圆周运动的地方；科斯摩斯以外的一个区域称为奥林波斯，是纯元素聚集之地，也是恒星所在之处；最外层的区域是天火，见图 4.1。天体运动轨道是正圆形的观念由此延续了近 20 个世纪。直到 17 世纪初期，德国天文学家开普勒（1571~1630）首先发现火星的轨道是椭圆形，进而又发现了每个行星都沿椭圆轨道运行，这个观念才得到修正。

图 4.1 毕达哥拉斯学派的宇宙图像

天体运动与宇宙和谐。毕达哥拉斯学派曾提出宇宙中心是永不熄灭的大火，称为“中央火”（不是太阳），地球就绕着这个中央火每天转动一周。由于人们正好住在地球背离中央火的一面，而以另一面对向它；同时，地球与中央火之间还有一个“反地球”，将地球和中央火隔开，“反地球”的运动速度与地球一致。因此，人们始终看不到中央火。这是一种十分大胆的见解，因为在当时一般都认为地球处于宇宙的中心。毕达哥拉斯学派能把地球放在一个运动中的普通天体的地位，可以说是为最早的日心地动说的产生准备了条件。可惜的是，后来毕达哥拉斯学派取消了中央火假说，而重新把地球放在宇宙中心的位置上。当然，他们也并不是在所有的问题上都向后退，毕达哥拉斯学派提出了地球在自转，认为恒星天静止不动，地球每天绕轴自转一周。此外，毕达哥拉斯学派还提出了“宇宙和谐”理论。他们认为天体运行时会产生出乐音来，这是因为天体之间距离的比率是和已知的音程一致的。他们认为日、月、星辰的轨道和地球的距离的比率分别等于三种主要的和音：八音度（2:1）、五音度（3:2）、四音度（4:3），而这种声音只有少数贤哲才能听到。在这种带有迷信色彩的说法中，体现着毕达哥拉斯学派对天体运动规律的追求。这种“宇宙和谐”的理论，还体现在天体数目的和谐上。为此，毕达哥拉斯学派引进了一个设想的天体——反地球。他们认为 10 是一个最和谐的数字，而日、月、五颗行星（水星、金星、火星、木星、土星）、地球，再加上最外面固定不动的恒星天球，只有 9 个，引进了这个设想出的反地球，天球层的总数正好就等于 10 了，满足了宇宙和谐的理论。

毕达哥拉斯学派的宇宙论所表现的科学水平是比较高的，譬如，关于地球围绕中央火运动，关于反映天体彼此位置的数学关系等思想都是超出同时代人的。由于在古希腊时代，哲学、宗教与科学尚未完全脱离而处于混沌不分的状态，毕达哥拉斯学派的宇宙论中也夹杂着不少宗教的成份，带有一些神秘的色彩，但这终不能掩盖住其中科学的光辉。这种深信宇宙具有数学结构的思想，甚至影响着一些现代物理学家。

3. 古希腊时期的地心说与日心说

描述天体运动的宇宙结构模型是古希腊宇宙论与天文学的一个中心议题。

(1) 柏拉图和欧多克斯的同心球体系

同心球体系是由柏拉图学派提出并加以发展的。公元前 387 年，柏

拉图（公元前 427 ~ 前 347）在雅典城外开办了一所学校，起名为亚加德米（即学园）。这个学园的课程有算术、几何学、声学、天文学等学科。柏拉图作为这个学派的领袖和重要代表人物，他的思想影响是很大的。在他的晚年写了一篇《蒂迈欧》，讲到宇宙的结构、天体的运行，尽管这不是他的主要著作，天文学方面的研究也只是他所有研究中的次要方面，但是他的理论却具有一定的开创作用。

柏拉图接受了毕达哥拉斯学派的关于一切立体图形中最美的是球形，一切平面图形中最美的是圆形的观点。他提出了一种同心球宇宙结构模型，认为地球不动并处于同心球体系的中央，从地球向外，依次是月亮、太阳、水星、金星、火星、木星和恒星，这些天体都绕地球作圆周形转动。这样一个同心球模型不能解释太阳和月亮的不均匀的运动，也不能说明行星为什么有时顺行而有时又逆行的现象。

为此，柏拉图的学生欧多克斯（公元前 409 ~ 前 356）对柏拉图的宇宙结构模型进行了改进。欧多克斯认为，地球是宇宙的中心，其它天体都在同心的透明球体上绕地球转动。图 4.2 是欧多克斯描述天体运动的同心球模型示意图。恒星都在一个半径最大的球上围绕通过地心的轴（NS 轴）每天旋转一周，日、月和行星的运动则用一套同心球的运动来表示。日、月和行星都附在一层天球的表面上，这个天球有一固定在另一层转大球面上的轴。当内球绕轴均匀转动时，这个轴又被外球带动作均匀转动。外球的轴又被另一个更大的外球带动，恒星天球处于最外层，它带动所有天体球层运动。欧多克斯是通过调整各球层转动轴的角度，以便对日、月和行星的运动作出同观测相符的解释。而且，由于这一模型的实质是将一曲线运动用一些匀速圆周运动的组合来加以表示，因此按照欧多克斯的设计，日、月各要 3 个球层，5 个行星各要 4 个球层，连同最外面的恒星天球则一共要 27 个球层。这是一种球层套球层的体系，用它就可以把当时观察到的天象都解释出来。

图 4.2 欧多克斯同心球等美观

但是，随着天文观测精度的提高，为进一步与观测相符，这个同心球体系中的球层的数目在不断增加。欧多克斯的学生卡利普斯使球层总数达到 34 个。在当时，这种理论得到的计算数值与观测结果相当符合，于是，它成为一种广为流传的观点。但是，这种理论也具有明显的缺点，特别是球层数目的增加，使得同心球层的组合运动过于复杂，不但计算起来比较麻烦，同时也难以给人真实感。

(2) 亚里士多德的宇宙结构理论

亚里士多德（公元前 384 ~ 前 322）早期曾在亚加德米做柏拉图的学生，后来他自己创立一个学派，被后人称为逍遥学派。亚里士多德是古希腊最博学的学者，是古代知识的集大成者。他对各门知识有过系统的考察和全面了解，他的著作是古代学术界的百科全书。

在天文学方面，亚里士多德继承并发展了同心球理论。他和柏拉图等人一样，认为地球处于宇宙的中心，并且是静止不动的。他指出，如果地球在宇宙间运动，那么对于地球上的观测者来说，就会“出现固定

的星辰在变迁或旋转。可是我们观察不到有这样的事。”这就是说，能否观测到天球上恒星的视差位移是判定地球运动与否的证据。任何人都没有观测到这种位移，因此说明地球是不动的。这成为亚里士多德之后近两千年间一直认为地球不动的理由。亚里士多德还和柏拉图一样，按照天体运动周期的长短来排列它们与宇宙中心的次序。他和柏拉图等人的最大区别在于：柏拉图等人提出同心球体系是作为一种理论上的辅助工具来说明天体的视运动，那些球层都是假想的球面，而亚里士多德则认为天体所附着的天球是实际存在的壳层，是物质实体。他认为天体的运动需要外力推动，他在宇宙最外层的恒星天球外面加上一个宗动天，是运动原动力的发挥地。他还设想那些实际存在的壳层是彼此相连接的，宗动天的推动力会依次传到最里层的天球。同时，亚里士多德还认为，每一天体都有自己的特殊运动，因此需要在各行星天球之间插入作反向运动的新球层以抵抗上一层的运动。在亚里士多德的这个同心球体系中，球层的总数已达 56 个，而且天体的次序已与柏拉图和欧多克斯的不同。按亚里士多德的设计，宗动天之下依次是恒星天、土星天、木星天、火星天、太阳天、金星天、水星天、月亮天，中心是地球。至于宗动天为什么会运动，则说是上帝的推动。这究竟是不是亚里士多德的思想尚待研究、考证，但这毕竟是使地心说体系被宗教神学奉为经典的原因。

(3) 阿波罗尼乌斯的本轮—均轮学说

随着一些新的天文现象的发现，使得同心球理论难以解释。例如，根据同心球理论，天体都在以地球为中心的同心球壳上，它们之间的距离是不会变化的；但是观测发现日食有时是全食，月亮能把太阳遮住，有时又是环食，月亮比太阳又小一点，日面呈环状，这说明、月的距离是有变化的。再如，天体运动有时快有时慢的现象，也与匀速圆周运动的设想产生矛盾。公元前 3 世纪，古希腊天文学家阿波罗尼乌斯（公元前 295 ~ 前 215）提出了本轮—均轮系统，既坚持了宇宙完美的观念，又解释了同心球体系所不能解释的现象。阿波罗尼乌斯认为，地球仍处于宇宙的中心，但他将所有的球层予以取消，代之以本轮和均轮的圆圈组。他设想，以地球为圆心的圆叫均轮，而以均轮上的点作中心的圆叫本轮。他认为，天体仍在绕地球运动，只不过天体本身并不在以地球为圆心的均轮上运动，而是在本轮上匀速运动；本轮的中心才在均轮上绕地球匀速旋转。这样一来，通过本轮和均轮的组合，行星运动时而顺行，时而逆行；行星运动速度有时快有时慢；天体到地球的距离有时近有时远；就都是十分自然的事情了。这真是一个十分巧妙的设计。本轮—均轮系统与同心球理论中的地球中心思想，一同成为托勒密（公元 85 ~ 165）地心说的要点。

图 4.3 阿波罗尼乌斯的本轮—均轮系统

(4) 希帕克斯的天文学贡献

希帕克斯（约公元前 190 ~ 前 125）继承和发展了本轮—均轮学说，通过对本轮、均轮的半径和运动速度做出适当的选择，就可以对天体运动从数值上做出说明。希帕克斯的天文学工作是以观测和数学计算为特色的。

希帕克斯利用天球仪对星座进行过系统的观察，对恒星的方位作了精密测量，制订了一个不少于 850 个恒星的星表。这是西方的第一个基本星表，托勒密在编制有 1228 个恒星的星表时显然吸收了他的成果。希帕克斯的测量与计算工作还有：他测得一个太阳年等于

$(365\frac{1}{4} - \frac{1}{300})$ 日，即 365 天 5 小时 55 分 12 秒 比现代值约长 $6\frac{1}{2}$ 分；

他求得月地距离与地球半径的比值是 67.74，现代值是 60.3；他算出月球半径是地球半径的 $\frac{1}{3}$ ，现代值是 0.273。这些成果的精确性在古代都是十分难得的。对于月亮的研究，希帕克斯认识了月亮的朔望月、恒星月、近点月和交点月 4 种周期，他测得白道（月球绕地球转动时在天球上的运动轨迹，即月球轨道面与天球相交的大圆。）与黄道（地球上的人看太阳于一年内在恒星之间所走的视路径，即地球的公转轨道平面和天球相交的大圆。）的交角为 5° ，并测得黄白交点在黄道上的运动周期为 19 年。根据这些结果，他编制了几个世纪的太阳月亮运动位置表，利用这些表可以预报它们的位置，而且还可以预报日食和月食。希帕克斯还发现了黄道和赤道交点的缓慢移动，即岁差，他给出的每年相差 36 的值，在西方沿用了很长时间。希帕克斯曾被称为方位天文学的创始人。

(5) 阿里斯塔克的日心说

阿里斯塔克（公元前 310 ~ 前 230）是希腊化时期（公元前 332 ~ 前 146）亚历山大学派的一位著名天文学家，是一位很有独创性的学者。他主张太阳和恒星都是不动的，而地球和行星都以太阳为中心作圆周运动。他这一思想的产生很可能与他测量太阳、月亮和地球之间的距离有关。阿里斯塔克提出一个巧妙的测量方法。他设想，上弦月的形成是因为月亮接受太阳光的方向与地球观测者的视线方向正好垂直。这时，太阳、月亮和地球应当形成一个直角三角形。他通过测出上弦月时，太阳和月亮的角距是 87° ，算出太阳与地球距离是月亮与地球距离的 19 倍；进一步，他得到太阳直径是地球直径的 6 ~ 7 倍，体积比地球大 350 倍的结论。显然，这个结论从数值上看是不准确的，但是阿里斯塔克却是以科学的方法研究天体的距离与大小的开创者。太阳比地球大得多，一般的经验不容许一个大的东西绕小的东西旋转。由此出发，阿里斯塔克提出地动日心说也是自然的。他认为，地球每天自转一周，每年绕太阳公转一周，其它 5 个行星也绕太阳旋转。他还提出，由于地球绕太阳公转的轨道直径与到恒星的距离相比真是小得太多了，所以即使地球公转我们也无法发觉恒星的视差。这个见解在当时应该说是比较先进的思想。不过，阿里斯塔克提出的地动日心说这一先进思想确实远远走在了时代的前面，而难以得到大多数人的接受。一般人难以摆脱天地迥然有别的观念，而习惯承认地球处于宇宙的中心。据说，阿里斯塔克曾被一位哲学家控告亵渎神灵。可见，传统观念是科学新思想传播的障碍。阿里斯

塔克的地动日心说，在他那个时代未能得以广泛流传，幸运的是这一光辉思想被与他同时代的伟大学者阿基米德所记载下来。一千多年之后，随着文艺复兴运动的兴起，古希腊学者的典籍广泛流行，阿里斯塔克的光辉思想重见天日，并为哥白尼提出日心地动说起到了重要的启发作用。

图 4.4 阿里斯塔克测日月距离比值的方法

4. 中国春秋战国时期的天文学成就

中国古代天文学，在春秋战国时期初步确立了自己的独立体系。在星象坐标体系的建立、阴阳合历的制定、以及关于宇宙的结构和演化理论的形成方面，都取得了巨大的进展。

(1) 天文观测

春秋时期，人们为了观测研究各种天象以及日、月、五星在天穹中的运动，对星空的现象（星象），即恒星的分布情况有了相当准确的划分。于是“星官”的知识得到了丰富，并由此发展起了“三垣”、“四象”、“二十八宿”的星象坐标系统。

“星官”也就是现代所说的“星座”或“星宿”。中国人为了认识星辰和观测天象，把天上相邻的恒星组合在一起，分别给以名称，这就是星官。星官的名称大致来自两个方面：一部分来自古人的生产与生活以及神话传说，如营室、壁、箕、毕、井、斗，它们分别表示房屋、墙壁、扬谷的簸箕、捉兔的小网、水井和盛酒的容器等；牵牛星和织女星等名称则来自神话。另一部分星官名称则是把阶级等级制度的社会结构映射到星空的体现。如北极星附近为“太一常居”的宫阙组织，中央为帝星（小熊座 β ），周围有太子（小熊座 α ）、正妃（勾陈一，小熊座 γ ）等星；其外还有相当于帝车的北斗七星以及由表示上将、次将、贵相、司命、司中和司禄的六星组成的作为天府的文昌宫等。根据古文献统计，中国战国以前记载下来的星官，大约为 38 个，共包括 200 余颗恒星；到公元前 2 世纪司马迁的《史记·天官书》中，则系统地记载了全天 92 座星官约 500 余颗恒星。

中国古代常用的星象是三垣、四象和二十八宿，由此发展形成了中国古代的星空区划体系。

三垣即紫微垣、太微垣和天市垣，大约是在战国时代或其以后设立的，它们是环绕北天极和靠近头顶天空区域的星象。三垣的每一垣都有东西两藩的诸星围成墙垣的样子，因而称为三垣。紫微垣是三垣的中垣，位居北天中央位置，故被称为中宫或紫宫、紫垣等，意为皇宫；它大约相当于现今所谓“恒见圈”的拱极星区，包括现代所说的小熊、大熊、天龙、猎犬、牧夫、英仙、仙王、仙后、武仙、鹿豹等星座。太微垣是三垣的上垣，在紫微垣下的东北方向，位于北斗星的南方。北起常陈，南至明堂，西自上台，东至上将，大体相当于室女、后发、狮子等星座的一部分。太微为政府的意思。天市垣为三垣的下垣，在紫微垣下的东南方向，北自七公、南至南海、西起巴蜀、东至吴越，大体相当于现今的蛇夫、巨蛇、武仙、天鹰等星座的一部分。天市为“天子率诸侯幸都

市”之意。

所谓“四象”（四兽、四维或四陆），是指四种动物。中国古人以北极为中央，把周围天区分为东、南、西、北四个区域，配以青、红、白、黑四种颜色，按照各个天区星象分布的轮廓与何种动物类似，以此命名而定出天文上的四象。《十三经注疏》说，四象即“前朱雀而后玄武，左青龙而右白虎。”朱雀即凤凰，玄武即乌龟。所以四象分别为东方苍龙，南方朱雀，西方白虎，北方玄武（龟蛇）。古人创设四象是为了观测日月五星的运行以定四季，它是在四时的“仲中星”基础上发展起来的，所以四象的东西南北的方位也是这样确定下来的。在古籍《尧典》中有关于四仲中星的说明：“日中星鸟，以殷仲春；日永星火，以正仲夏；宵中星虚，以殷仲秋；日短星昴，以正仲冬。”这是说昼夜等长而初昏时“星鸟”正好出现在南方中天，就是春分了；若白日长而“火”于初昏时在南方中天，就是夏至；若黑夜白天等长而“虚”出现于初昏时的南方中天，则为秋分；若白日短而“昴”出现于初昏时的南方中天，就是冬至。这说明中国古人测四仲中星以定四时由来已久，由此产生了把周天恒星分为四群以表示四季星象的思想。更有意思的是，“鸟”的形象被用来描绘春天初昏时南中天的星象，因为在自然界中，鸟的出现正是春天来临的信号。人们很容易发现，春分前后初昏时，当朱雀升到南方中天时，苍龙的房宿正处于东方的地平线附近，白虎的昴宿正处在西方的地平线附近，而龟蛇的虚宿正处于地平线下与朱雀的七星相对的北方。这就是确定东西南北四个方位的由来，它是以古代春分前后初昏时的星象分布为依据的。

中国古代对天象的观测以及历法的制定等，都主要是以二十八宿为基础的，所以，二十八宿在中国古代天文学的发展中占有很重要的位置。“宿”也称为“舍”，意为日月五星行经停留的“驿站”，是由若干个恒星联结成的一个参照星区。1978年在湖北随县发掘的战国早期曾侯乙墓中，出土了一个漆箱盖，上面画着象征天象的图案。围绕箱盖中央一个很大的篆文“斗”字，周围书写着古代的二十八宿名称，这就把中国二十八宿体系的可靠记载提前到了战国初期。可以断言，二十八宿的创设当在战国以前。二十八宿是古人为了间接参酌月亮在天空的位置来推定太阳在星宿中的位置而设的，这是中国古代天文学的一大进步。

按照日月视运动的方向，自西向东排列，二十八宿的顺序为：

东方七宿（苍龙）：角、亢、氐、房、心、尾、箕；

北方七宿（玄武）：斗、牛（牵牛）、女（须女和婺女）、虚、危、室（营室）、壁；

西方七宿（白虎）：奎、娄、胃、昂、毕、觜、参；

南方七宿（朱雀）：井（东井）、鬼（舆鬼）、柳、星（七星）、张、翼、轸。

经中外学者考证，中国的二十八宿是沿天球赤道划分的，是一种完善的赤道分区体系。因为中国古代天文学是很重视观测的，汉代以前就建立了明确的赤道坐标体系，这是中国古代天文学的一大突出优点。

中国古人很早就注意到水、金、火、木、土这五颗行星了。到了甘德（战国末期人）、石申（活动于公元前4世纪）的时代，对五星运行现象已有了初步的描述。1974年初在长沙马王堆三号汉墓（葬于公元前

168年)出土的帛书中,用6000多字的巨幅,记述了关于五星的运动,它保留了甘、石二氏天文书的一部分内容,并列出了从公元前246年到公元前177年共70年代间木星、土星、金星的位置和五大行星的会合情况。中国古人观测五星是与占星术密切相关的,所以古人对五星的行度和会合十分重视。在甘石星经和上述帛书中,都有五星会合周期的观测结果。甘、石测得水星的会合周期为126日,现代测定值为115.88日;甘、石测定的金星的会合周期分别为620日和732日,帛书中记为584.4日,现今测定值为583.92日。帛书中还提到了金星的五个会合周期恰好等于八年。关于木星的会合周期,甘氏的数值为400天,帛书记为395.44日,现代值为398.88日。土星的会合周期帛书记为377日,现今测定值为378.09日。至于火星的会合周期(约为780日),到《汉书·律历志》中才有记载。

还应指出,在春秋战国时期,中国天文学家已经观测到行星的逆行现象。《史记·天官书》说:“甘、石历五星法,唯独荧惑有返逆行”。《汉书·天文志》说:“古历五星之推,无逆行者,至甘氏石氏经,以荧惑、太白为有逆行”。荧惑指火星,太白为金星,说明甘、石已发现了外行星火星和内行星金星都有逆行现象。唐代成书的《开元占经》引,“甘氏曰:去而复还为勾,再勾为巳”,“石氏曰:东西为勾,南北为巳”。前者将顺行转逆行称为勾,将逆行再转顺行称为巳;后者将东西向的拐弯称为勾,将南北向的拐弯称为巳。他们的说法虽不尽同,但都用了“勾”、“巳”描绘行星逆行,是很形象的。

中国最早的日食记载(也是世界上最早的日食记载)见于《书经·胤征》篇。据考证,这个记载是发生在夏代仲康年代的一次日食,约公元前2137年前后。当时的天文官羲和由于酗酒未能准确预报这次日食而被杀头。这个记载似乎说明,《书经》成书时代(公元前8—前5世纪),即春秋时代,中国古人已经能够预报日食了。春秋以后的242年中,有史可考的日食记录就有37次,经考证其中33次是可靠的。春秋以后的日食纪事,都有史可考,基本上都是正确的,所以中国有世界上最早而且最完整的日食记载。

《左传》中有关于公元前687年3月16日所发生的流星雨记载,这也是世界上关于天琴座流星雨的最早记载。据不完全统计,中国史书上关于流星雨的记载至少有180次,是关于流星雨研究的极有价值的资料。春秋战国时期,还记载了流星坠地为陨石的事迹,认识到陨石是天上的星陨落而来的。

春秋战国时期,还有不少关于一些明亮彗星的记载。如《春秋·文公十四年》载:“秋七月,有星孛入于北斗”。据考证,这是世界上关于哈雷彗星的最早记录,是公元前613年哈雷彗星出现的记载。从公元前240年起,到1910年,哈雷彗星共出现29次,中国每次都有详细记载。中国历史上关于各种彗星的记录共约500余次,其中春秋战国时期的约有15次。到战国时代,还积累了不少关于彗星形态的知识。长沙马王堆三号汉墓帛书中,就绘有29幅彗星图,这是迄今世界上所发现的关于彗星形态的最早文献。从图上可以看出,当时人们已经注意到彗星有多种形态,充分说明了中国古代天文学家对彗星观察的精细程度。

(2) 历法

春秋后期，产生了一种取回归年长度为 $365\frac{1}{4}$ 日，采用19年

7闰为闰周的历法——“四分历”。这在当时的世界上是十分先进的。作为阴阳历基础的天文常数，是回归年和朔望月的日数，所以制定历法的第一步，即岁实（回归年）和策朔（朔望月）。中国古代把冬至作为一年之始，因此只要准确地连续测定两个冬至点的时间，就可以定出回归年的长度。据《左传》记载，中国最早的冬至时刻的测定，是在春秋时代鲁僖公五年（公元前655年）正月辛亥和鲁昭公二十年（公元前522年）二月己丑两次，是用圭表测定的。所谓圭表，即直立于地上的标竿（或石柱）。每天正午时刻标竿的影子，在正北方向，但每天正午时刻日影的长度是不一样的。夏至时太阳在北回归线，午时的日影最短；冬至时太阳在南回归线，午时的日影最长。这样，根据正午时表影的长度，就可以推定节气，从正午时表影长度的周期性变化，就可以确定出一个回归年的日数。通过连续测量若干个冬至日正午表影长度的方法，取其间隔日数的平均值，就可得出准确的回归年长度。到春秋末年，中国把岁实定为 $365\frac{1}{4}$ 日。这个数值与现代值365.2422日只长了11

分钟，说明当时的观测已达到很精确的程度。月亮运行一周天大约需要29日多，春秋时期定朔望月的日数为29.5306日。由于朔望月的长度不是整日数，而在实际应用中每个月都以整日数计，所以就安排大月为30日，小月为29日，大小月交替排列；每相隔约17个月或15个月，还安排连续两个大月以消除误差。由于既以太阳的周年视运动为回归年，又以月亮的朔望变化周期为月，所以中国古代实行的是一种阴阳合历。实行这种历法，就会遇到如何使两种历法协调整齐的特殊问题，因此必须用置闰月的方法来加以调整。大约在公元前500年左右，鲁国已发现了19年7闰的方法；古希腊到公元前433年才采用这种置闰法。不过，若以365.25日为一年，用19年7闰的方法在日数上仍然带有一个小数（6939.69日），它的4倍（76年）极接近于27759日。所以又采用76年的周期，使大小月的安排以及闰月的插入都以76年为周期。这个方法在公元前360年战国中期的颛顼历中已经实行了。

使用二十四节气，是中国历法的重要组成部分，也是中国历法的一个显著特点。所谓二十四节气，即从冬至日开始，将一回归年等分为24分，大约15天多设置一个节气，以反映太阳在黄道上视运动的24个特定位置，从而反映出气候变化的情况。所以，二十四节气与阴历的朔望月周期毫无关系，而是一种反映太阳的回归年周期变化的纯阳历系统。这种系统始创于殷周时期，经春秋战国时期的发展完善，到公元前139年成书的《淮南子》中，二十四节气的名称和顺序已完全确定。二十四节气系统的制定，是中国古人一个十分杰出的创造。

(3) 宇宙论

中国古人在天象观测等长期的天文学实践中，逐渐形成了关于宇宙结构、天地关系和天体的运动和演化等方面的思想体系。

关于天地结构，中国古代主要有盖天、浑天和宣夜三说。其中盖天

说的产生最为古老，在战国时期已趋于成熟。盖天说是从“天圆地方”的思想发展起来的。《周髀算经》卷上记载了周武王之弟周公和大夫商高的对话，其中谈到“方属地，圆属天，天圆地方”。《周髀》家进一步阐述说：“天员（圆）如张盖，地方如棋局”，把天看作平面圆形，如张开的车盖，就像一张伞面一样；把地看作正方形的平面，就如棋盘一样。由于人们指出这样的圆形的天遮盖不住方形大地的四角，所以“天圆地方”又进一步改述为“天象盖笠，地法覆盘”。《晋书·天文志》更详细地阐释说：“天地各中高外下。北极之下，为天地之中，其地最高，而滂沱四隤。三光隐映，以为昼夜”。这是说天和地都是拱形的，天穹有如一个扣在上面的斗笠，大地象一个倒扣于下的盘子；北极为最高的天地之中央，四周倾斜下垂；日月星辰在天穹上交替出没而形成大地上的昼夜变化。盖天说还进一步根据一些假设和圭表测影的数据，对天地结构作出了数量关系方面的说明，并对大地上不同地区气候的差异作出了较准确的解释。

盖天说由于其自身存在的不可克服的困难，在汉代以后便逐渐被浑天说所代替。但不论是浑天说还是另一种宣夜说，都可以从春秋战国时期找到它们的思想渊源。如公元前4世纪的慎到曾说：“天体如弹丸，其势斜倚”。名家大师惠施（约公元前370—前310）也提出如下的辩题：“南方无穷而有穷，今日适越而昔来，连环可解也。我知天下之中央，燕之北，越之南是也”。他们都提出了大地是球形的思想及关于宇宙无限，天是由元气组成的宣夜说。战国时代也出现了一些有价值的先期思想。《庄子·逍遥游》中有：“天之苍苍其正色邪？其远而无所至极邪？”认为天色青青，深邃幽远，是辽阔无边的。惠施所说“至大无外，谓之大一”，也将宇宙看作是尺度无穷大的“大一”。《庄子·天运》篇还对大地静止不动的传统说法提出了质疑。战国末期的李斯在《仓颉篇》中更明确地提出：“地日行一度，风轮扶之”。这是说大地在“风”的作用下运动着。这个“风”字当与元气学说有关。

中国古代思想家们还探讨了宇宙的起源和演化问题。战国时代的诗人屈原（约公元前340—前278）在《楚辞·天问》中就提出了这样的问题：“遂古之初，谁传道之？上下未形，何由考之？冥昭瞢瞢，谁能极之？冯翼惟象，何以识之？明明闇闇，惟时何为？阴阳三合，何本何化？圜则九重，孰营度之？惟兹何功，孰初作之？”这些疑问，实际上包含了在原始浑沌中，由于阴阳元气的作用而形成天地，造化出日月星辰，出现昼夜交替的思想。成书于公元前400年左右的《老子》（《道德经》）中称：“道生一，一生二，二生三，三生万物”；又说：“有物混成，先天地生，寂兮寥兮，独立而不改，周行而不殆，可以为天下母。吾不知其名，字之曰道。”这是说宇宙万物都是从“道”生成的，而“道”就是先于天地的、无形无象的“混成”之物，它是一种不生不灭而自身

《晋书·天文志》。

《周髀算经》卷下。

《慎子》。

《庄子·天下》。

同上。

存在和运动着的混沌状态的“物”。从道家的“道”又衍生出“太极”、“无极”等概念。如战国时期出现的《周易·系辞上》称：“易有太极，是生两仪，两仪生四象”，说天地和春夏秋冬四时都是从“太极”演化出来的。五、古代地理学

1. 古希腊的地理学成就

在西方世界中，地理学作为一门学科，被认为是由古希腊的学者们创立的。公元前3世纪的希腊学者埃拉托塞尼是第一个用“地理”这个词的人。这并不是说除希腊人外在此之前人们未曾对自己居住的地球作过任何探索和描绘。事实上，原始人就必然曾对他们所居住的环境感到好奇和兴趣，而且在不断扩大他们的活动范围，探究着他们目力所达的地方以外到底是个什么样子。

希腊人是伟大的借鉴者和综合者。就地理学来说，他们就借鉴了古代埃及、巴比伦、亚述和腓尼基人的早期发现。古埃及人最早发展了观察、测量的方法，创立了测量土地面积和辨认被尼罗河泛滥所淹没了的田亩界线的方法，还掌握了根据天象精确确定方向以为重要建筑选定合适的方位。巴比伦人很早就收集了有关天体的位置和运动的大量观测资料。

特别是其疆域大体上相当于今日的黎巴嫩的古腓尼基人，他们是最早的商业探险者和勇敢而有经验的航海者，他们的航程远达当时已知的世界之外。早在公元前3000年初，腓尼基人就开始在东部地中海和爱琴海一带航行。公元前2000年代，他们开始在地中海中部、小亚细亚沿岸、塞浦路斯、爱琴海诸岛建立了殖民地据点。公元前1000年代前期，他们更向地中海西部扩张。有文件记载，他们的一支由40条船组成的商队由腓尼基港口比布拉斯载运雪松圆木去埃及。腓尼基人在地中海沿岸建立了许多贸易点，特别是在公元前841年建立了北非迦太基（今突尼斯港附近）殖民地。在今日的贝鲁特附近的一个谷地里，有天然合生在一起的铜锡矿床，腓尼基人用它制成青铜器向各地出售。由于当时地中海区域内铜矿多而锡矿很少，所以腓尼基人还向大不列颠岛南端的锡利群岛作定期航行，去寻找锡矿。不过，腓尼基人虽然不断开扩着他们的地理视野，却并不热心报导他们所看到的地方。

古希腊人由于所处的地理位置以及商业活动的需要，航海业很发达，很早就移民到广大地区；后来又有和马其顿人一起进行的东征，所以很早就积累了不少地理知识。同时他们又广泛吸收了其他古文明地区的地理知识，发展了早期的地理学。古希腊的自然哲学家们，几乎都在地理学方面提出过不少见解，对地理学的创建有所贡献。他们对地理学的研究，大体上可分为两种风格，即数学风格和文学风格。前者始于泰勒斯，包括希帕卡斯，最后由托勒密集其大成；后者始于荷马，包括赫卡泰斯，最后由斯特拉波集其大成。

(1) 爱奥尼亚时期的古希腊地理学

希腊学者把荷马推崇为地理学的始祖。这个生平不明的诗人所写的著名的长篇史诗《伊利亚特》叙述了公元前约1280~前1180年间特洛伊

城战役的一段情节。这部史诗很可能是公元前 9 世纪中整理出来的。大约 100 年后，又出现了一部伟大的史诗《奥德赛》，也是一个叫荷马的人写的。它叙述了奥德赛在特洛伊城陷落之后回到家乡伊塔卡的艰险经历。奥德赛在被风暴吹离航道之后，在遥远的地方漫游了 20 年。所以，这是对当时已知世界边远地区的地理记述。许多历史地理学家经过考据，认为这部史诗中描述的地方就是墨西拿海峡或非洲海岸以外的一个岛屿，或者是其它当时已知的地方。书中描述了一个几乎整天整晚都被日光照射的地方和一个日日夜夜都夜色昏沉的地方。这很可能是对所闻的远北地区夏季长昼、冬季长夜情景的描述。

爱琴海东岸爱奥尼亚的米利都，是希腊最古老的学术中心和商业中心之一。公元前 770 ~ 前 570 年间，环绕着黑海和西边的地中海沿岸，米利都人建立了 80 多个殖民点，从那里来的腓尼基和希腊船舶，把大量陌生的地方的情报带到了米利都，如黑海以北欧洲的情形，东方亚洲一些未知地区和埃及以南地区的状况等。这些情报在米利都城內流传，促使一些学者去思考如何把这些零碎的信息汇集整理成有用的知识。

米利都学派的创始人泰勒斯，曾经到埃及旅行，学习到埃及人的一些几何知识，特别是利用测量角度和基线以计算面积的方法。他把几何知识用到地面事物的测量和定位。

泰勒斯的学生和朋友阿那克西曼德把一种叫作日晷的巴比伦仪器引进到希腊以测定太阳的不同位置和确定春分秋分。据说他是第一个用比例尺来画地图的人。在他的圆形地图中，希腊被画在图的中央，而把希腊人所知的欧洲和亚洲的一些地方分画在图的四周，外面则被海洋所环绕。传说这幅地图曾被铸成青铜版运往斯巴达，以说服斯巴达人和希腊人联合起来对波斯人作战，但斯巴达人却说从图上看来波斯地处边远，不必为之担忧。

当时人们设想大地是个漂浮在水上的圆盘，那么为了解释太阳的东升西落，就要假定太阳夜里会钻行在水底下，这是很费解的。因此阿那克西曼德设想，在大地的边缘一定有很高的山脉，太阳是从山的后面返回到东方的；山脉的影子所遮蔽的地方就成为黑夜。

图 5.1 赫卡泰的世界图

(引自普雷斯顿·詹姆斯的《地理学思想史》)

被后人称为“地理学之父”的赫卡泰(约公元前 550—约前 475)是第一个希腊散文作者，也是第一个把带到米利都城来的地理情报汇集起来进行分类概括的人。他曾写了《地球的描述》一书，可惜久已失传，现在仅能根据一些残页和其他著作中的引述了解它的内容。在一张残页的小标题中有“新地理”字样，这是“地理”一词的首次记载。他的著述包括两大部分，一部分讲欧洲，一部分讲欧洲以外的地方，即亚洲和利比亚。那时把非洲地区称为利比亚。他采用当时习用的沿赫勒斯蓬、黑海、高加索山脉和里海把欧洲和亚洲分开的办法，并想像里海和外环洋相连接，图 5.1 是根据赫卡泰的遗著片断和别的著作复原的他所绘制的世界地图。图中反映了当时希腊人所了解的世界，主要是地中海周围的地区；东端已画上了印度河，再往东便是外环洋。北边画上了多瑙河，再往北也是一片茫然。非洲部分与实际情况相近，尼罗河和红海跃然图

上。赫卡泰在书中对地中海沿岸及其纵深地域的地理、矿产、植被、民情风俗等作了广泛的描述，被誉为当时的地理百科全书。

(2) 希罗多德的地理学贡献

被称为“历史之父”的希罗多德（公元前 484—约前 425），从 30 岁开始进行过长时间的旅行，到过很多地方。向西，他对地中海沿岸十分熟悉，到达意大利半岛和西西里，在意大利南部的图里奥伊度过了他的后半生。向北，他通过海峡到达黑海，直至多瑙河河口，并沿顿河谷地经过俄罗斯草原旅行了好多天。向东，他到过波斯帝国的许多地方，访问了苏萨和两河流域下游。向南，他多次访问过埃及，并沿尼罗河上溯到第一瀑布。每到一个地方，他总是广为了了解乡土民情，细心考察文物古迹，多方采集各种传说，他曾写了一部完整叙述希波战争的著作《历史》（又名《希腊波斯战争史》）。这本书大体上分为两大部分，从开头至第五卷第 28 节，叙述了吕底亚、米地、巴比伦、埃及、波斯、斯基泰等地区的情况，凡当时所知的“异邦人”的世界都记述殆遍。他非常生动地描述了西亚、北非和希腊等地区的地理环境、民族分布、经济生活、历史往事、风俗民情、宗教信仰和名胜古迹，展示了古代世界近 20 个国家和地区的生动图景。他实际上是主张历史和地理必须结合起来进行研究，即认为地理提供了自然背景和舞台，历史事实和它联系在一起才具有意义。所以希罗多德可算作是一位历史地理学家。

希罗多德重视考察事实，辨别真伪，善于运用批判方法进行论证。他批评了赫卡泰沿尼罗河把亚洲（地中海东边）和利比亚分开的看法，主张尼罗河谷地是由埃塞俄比亚带来的泥沙积成的黑土带，与叙利亚的淡粘土以及利比亚的红砂土完全不同，不能把埃及人沿尼罗河分为亚洲人和利比亚人。

希罗多德对许多自然过程的发生提出了自己的独特见解。他用三角洲的堆积过程说明了尼罗河三角洲和米利都城边的门德雷斯河口冲积平原的形成。他还指出，风总是从冷的地方吹向热的地方。他对尼罗河洪水发生在夏季（4 月到 9 月）而不是像底格里斯河和幼发拉底河那样发生在 11 月到 5 月的特殊规律，提出了一种符合对称性思想的解释，为当时的学者所接受。

希罗多德根据他在埃及听到的关于埃及的奈楚王（公元前 610—前 594 在位）曾派遣一个腓尼基远航队从红海沿大陆东岸向南航行，用 3 年时间到达利比亚大陆（非洲）的南端，然后沿大陆西岸向北，经大力神石柱（今直布罗陀海峡）重返地中海的史实，支持世界陆地完全被海洋所环绕的说法。

(3) 柏拉图和亚里士多德的地理思想

柏拉图和亚里士多德对地理学思想的发展都作出了重要贡献。

柏拉图（公元前 428/7—前 348/7）提出的“理念论”认为，唯一真实存在的是非感觉的、完美的、永恒不变的理念世界，而不断变化着的可感觉的世界（包括地球上一切可以观察的事物）都不过是对理念的拙劣的摹写或从完美的客体退化下来的。这种观念，形成了柏拉图地理思想的逻辑基础。

柏拉图看到，以雅典为中心的阿提卡地区曾有过肥沃的土壤，使当地居民过着富裕的生活。被森林覆盖着的山地，不仅为家畜提供了丰盛的青草饲料，还能保持水土，不使暴雨时的洪水冲坏坡地。但是，土壤的侵蚀和土地的退化却与日俱增地进行着。柏拉图把这个事实当作事物从其原来完美的状态退化下来的例子。柏拉图实际上观察到了由于人们不合理的利用而使土壤被破坏的现象，不过他没有从中得出“人地关系”的正确结论。

柏拉图在他的著作中讲述过亚特兰蒂斯城的故事，说公元前 9000 年前希腊曾被西方一个高度文明的民族所征服。不久，一次毁灭性的地震使这个亚特兰蒂斯城沉没到海底。柏拉图之后，许多探险家都曾经寻找过这个城市。1966 年，人们在克里特岛和希腊本土之间的海水下发现了一个沉没的城市，人们认为它很可能就是柏拉图所讲的那个城市。

柏拉图还接受了毕达哥拉斯学派关于对称形式是完美的属性之一，圆和球形是最完美的图形的思想，似乎是第一个明确地提出了地球是一个球体的概念，并宣称这个圆的地球位于宇宙的中心，一切天体都环绕它作圆周运动。这在当时人们普遍持有地球是扁平的观念的状况下，确实是一个重大的思想突破。柏拉图同时代的学者欧多克斯，根据在一个球面上阳光倾斜度增大的现象，创立了气候带的理论。

亚里士多德完全接受了柏拉图关于地球是圆形的概念，并第一个去为这个概念寻求观察证据。亚里士多德在解释物体的天然运动时，曾提出了“天然归宿论”，即认为宇宙间的每一物体，都有它的天然位置，在无外界作用下，它总要自动地回到它原来的天然位置。他认为，一切有重量的物体的天然位置在宇宙的中心，因此当构成地球的固体物质落向同一个中心时，它们只能团聚成一个球体。另外，亚里士多德还从月食时地球投在月面上的影子边缘呈圆弧形，证明地球是圆球体。亚里士多德指出的另一个证据是，当一个人向北方行进时，各种星辰离地平线的高度就增加，这只能在地球是球形的前提下才可能。

亚里士多德由此作出推论说，地球上各个地区的可居住性与纬度有关，太阳长时间垂直照射的地区，就比离太阳较远的地区热得多。当时希腊人对远南利比亚地区的炎热气温是了解的，因此他们推断在靠近赤道的地方会更热得多，以致于一切生命都无法存在。亚里士多德还同样推想，在远离赤道的寒带，也不适于居住，人类只能生活在这二者之间的温带地区。他甚至还推想到，在赤道之南也有一个南温带，只是由于受到赤道灼热地带的阻梗，我们无法到达南温带。当时的学者们却从另一个角度认为南温带是无人居住的，因为在那里，人将会是倒悬着的。

(4) 亚历山大大帝和皮泽亚斯

在公元前 4 世纪末，希腊人几乎同时进行了向东方和北方的两次重大的地理探险。一次是亚历山大大帝率领希腊军队的东征，一次是希腊探险家皮泽亚斯（？—前 285）对英国和西欧海岸的探险。

亚历山大在公元前 334 年征服了今多瑙河以北的野蛮部族后，就率兵跨过赫勒斯蓬海峡，侵入小亚细亚，在古特洛伊城遗址附近，把一个花圈献于相传是荷马式的战士阿基里斯的墓上。然后长驱直入，入侵到今土耳其中部以及波斯帝国的一部分；沿地中海东岸南进，在伊苏斯战

场击败了波斯皇帝大流士三世后攻占了腓尼基的几个海港，通过叙利亚到达埃及。公元前 332 年，在肥沃的尼罗河三角洲建立了亚历山大城，在尼罗河以西的利比亚沙漠的绿洲地带作了一些探险性旅行之后，又转向东方，穿过了叙利亚，在底格里斯河畔的古尼内微附近击溃了大流士新组的军队，顺利进入巴比伦。在苏萨和波斯波利斯掠夺了大量钱财后，越过了波斯帝国（今伊朗）和帕提亚（安息），进军到印度的西北部，一直跨过印度河，这时他认为离人类居地的边缘已不远了。由于火热的气候引起士兵们的厌战和怨言，亚历山大只得返回苏萨，并于公元前 323 年病死在巴比伦，他的帝国便随之在内乱中瓦解了。

亚历山大的远征，随军带有天文学、地理学、数学和历史学等学者。他们随处观测明亮的老人星的高度以确定纬度，由训练有素的步测者测定距离，并记录下他们所到地区的情况。他们把这些地理资料带回到希腊世界，使希腊的地理学大大丰富起来。在亚历山大逝世前，还派出了勘探远征队；他还曾筹划过为两个地理问题的解答派遣远征队，一个沿里海海岸考察，看看里海是否如一些地图上所绘是和外环洋相连接的；另一个沿红海岸向南航行，以探明利比亚南部是否真的为海水所包围，以及赤道地区的酷热是否适于人的生存。由于他的死亡，这个计划也落空了。

正当亚历山大把希腊人的地理眼界向东方扩展时，希腊殖民地马西利亚（今马赛）的一个探险家皮泽亚斯大约从公元前 330 年到前 300 年间向希腊世界西北方的西欧和北欧进行了探索。可惜他的原始报导早已失传。从别人的转述可知，皮泽亚斯是从马西利亚乘船出发，沿海岸到了大力神石柱，偷偷驶过腓尼基海军基地加德斯（今加的斯），沿着法国海岸驶向英吉利海峡，环航大不列颠岛。他所讲述的旅游见闻由于和希腊人的经历大相径庭，所以受到当时地理学者们的怀疑。他讲到大不列颠人喝蜂蜜酒（发酵的蜂蜜），有阴雨天用来打谷的谷仓，还讲述了岛上由南到北的农业变化。从他所讲大不列颠居民的风俗习惯的详尽细致，看来确实是他真实的经历。皮泽亚斯见到了一个满布冰块无法行船的海，又从那里认识到海潮和月相有关；而在地中海上，由于海潮太小，这个现象前此未曾被人注意到。

皮泽亚斯向北到底航行了多么远，这仍然未被弄清楚。他讲述过一个距大不列颠以北六天航程的叫做图勒的地方，可能他是沿北海东岸到达了今日的丹麦。但有人引述说他报导过图勒这个地方白昼最长的一天太阳总在地平线上，那末这个地方很可能是更北的挪威或者冰岛。还传说他到达了一个白昼最长达 17~19 小时的地方，那极可能是北纬 61 度的设得兰群岛的最北端。皮泽亚斯的报导虽然受到古代人们的怀疑，但今天看来他所观察到的地理情景还是确切的。

(5) 埃拉托塞尼的地理学成就

生活在古希腊后期亚历山大城的埃拉托塞尼（约公元前 273—约前 192），是古希腊最伟大的地理学家。他出生在利比亚的希腊殖民地昔兰尼，在亚历山大城和雅典接受了广博的教育，大约在公元前 244 年接受了埃及国王托勒密三世之聘成为皇室教师，公元前 234 年任亚历山大图书馆馆长，直到公元前 195 年因双目失明而被辞退，后由于生活贫困而

绝食身亡。

埃拉托塞尼博学多才，勤奋好学，是一个百科全书式的人物，在数学、语言学等许多专业方面或许是第二流学者，但在大地测量和地理学方面肯定是第一流的。他是第一个把数学方法应用到地理学中的人，他对古代地理学的发展有多方面的贡献。

埃拉托塞尼最早测得黄道倾角。他通过观测太阳高度在冬至日和夏至日之间的差别，求出黄道倾角为 $23^{\circ} 51' 19.5''$ 。

他最著名的工作是用几何方法对地球圆周和直径的测量。在亚历山大城以南的西埃尼（今阿斯旺）附近的一个小岛上有一口深井，在夏至那天正午，太阳的影像恰在井底水中，说明这时太阳位于正天顶。这个奇异景象闻名已久，它被埃拉托塞尼选为一个观测点。第二个观测点在亚历山大图书馆外面，这里有一个很高的方尖塔，可作为日晷测出夏至时塔影的长度，从而得到尖塔与太阳光线之间的角度。如图 5.2 所示，S 为太阳，它的平行光既直射到西埃尼地方的井底（B），又照射在亚历山大城尖塔（A）的塔顶（C）形成影子 AD。O 点为地球中心。埃拉托塞尼认为亚历山大城位于西埃尼正北，即在一条子午线上（实际上亚历山大城偏于西埃尼西面约 3° ）。由于角 ACD 与角 AOB 是二平行线与直线 OC 相交的两个内角，是相等的，因此，二角对应的二弧在度数上也是相等的。埃拉托塞尼由此求出，联结西埃尼与亚历山大城之间的子午线的弧度等于地球子午线上整个圆周的 $1/50$ 。根据商队旅行的估计，这两地之间的距离约为 5000 希腊里，所以地球的整个圆周就等于 5000×50 即 25 万希腊里。通过比较调整，他选定了 252000 希腊里、即 39690 公里这个值，与今赤道周长的测定值 40075.13 公里相差无几。埃拉托塞尼同时得出地球的直径为 1263 公里。在当时那种测量手段下，能够得出如此近似的结果，实属不易。更重要的是他所采用的方法是有意义的，这是欧几里得几何学体系建立之后希腊理性科学的一个胜利。

图 5.2 埃拉托塞尼测地球圆周示意图

埃拉托塞尼还写了一本描述可居住的地球的书《地理学》，创立了普通地理学的完整体系。在这本书中，他正确地主张在地理学中运用数学和物理学的原理。他认为有人居住的大地呈球形，但地势有高有低，并不是匀称的球形；他指出由于水火、震动、蒸发等作用的影响，引起地球的变化和水陆变迁。他以在大陆内地常会发现的贝壳化石等事实证明某些地区沧海变平原的过程。他根据大西洋和印度洋涨潮落潮的相似性，正确地判明它们之间是相通的，因而认为人们可以从海道绕过非洲。他甚至推测，如果能横渡大西洋，就能够在同一纬度圈上从伊比利亚（今西班牙）横渡到太平洋。

埃拉托塞尼指出地球上五个气候地带，并准确地划定了它们的边界。他认为热带占 48 度纬度，即把南北纬 24° 算作回归线的位置；两个寒带则从两极各自延伸 24° 纬度；两个温带则介于回归线与极圈之间。他接受了皮泽亚斯的报导，把人可居住的地区从北极圈附近的图勒延伸到印度洋中的塔普鲁班（锡兰，现名斯里兰卡）。他还说东西方向可居

住的地区从大西洋延伸到孟加拉湾。

埃拉托塞尼采用经纬线网络骨架来表示各个地方的位置，绘制了有人居住的世界的地图。不过，他的经纬线是不准确的，间隔也是不规则的。他是通过亚历山大城图书馆以及水手和商人们从各地得到的地理资料，估计出各地的距离和方位而绘成这幅地图的。不过它大体上还是准确的。

2. 中国古代地理学的初创

春秋战国时期，中国由于疆域的扩大，交通的发达，商业的繁荣以及列国之间的战争、联盟和学术交流的日益频繁，人们的地理眼界大为开阔，积累了大量的地理资料 and 知识。中文的“地理”这个名词，大约就是在这个时候出现的。《周易·系辞上》有：“仰以观于天文，俯以察于地理，是故知幽明之故”。这可能是中国古代“地理”一词的最早应用，这个词的本意是指山河大地的地表形态。中国古人认为，人们的活动不能“上逆天道，下绝地理”，不然则“天不予时，地不生财”。这就把研究地理与因地制宜发展生产联系起来，所以地理学的研究很早就受到了重视。

(1) 地理著作

春秋战国时期，先后出现了中国最早的地理著作《禹贡》、《管子·地员》和《五藏山经》等。

《禹贡》是《尚书》中的一篇，大约成书于公元前5世纪前后，是关于禹治水过程的一部记述，同时，穿插说明了与治水有关的各地山川、地形、土壤、物产等情况以及把贡品送往当时的帝都所在地冀州的贡道。全文只有1200字左右，由“九州”、“导山”、“导水”和“五服”四个部分组成。

“九州”部分主要依据自然条件中的河流、山脉和大海的自然分界，把所描述的地区分为冀、兖、青、徐、扬、荆、豫、梁、雍等九州。这种区分带有自然区划思想的萌芽，不过由于只以少数山川进行分界，九州的区界不很明确。《禹贡》按照禹治水途经的路线，对各州的山川、湖泽、土壤、植被、特产、田赋和运输路线等作了描述，较真实地反映了各个地区的地理特色。如说冀州是一种松散的白色土壤，岁收属于上等，人们衣皮服；兖州以桑田养蚕，土壤是黑色的肥土，草木茂盛，树木高大，以漆和蚕丝为贡品；由兖州南下至徐州，此地已呈“草木渐包”的面貌；南方的扬州更是草木繁茂等。“九州”中还以黄河为中心，把主要利用水道通向帝都的水陆交通网络清晰地描绘出来。如说青州“浮于汶，达于济”，豫州“浮于洛，达于河”，扬州“浮于江海，达于淮泗”等。

《禹贡》中专论山岳和河流的“导山”与“导水”两部分，是纯粹的地理内容，开创了我国关于区域地形的分部门研究的范例。“导山”按照从北向南的顺序，采取列举山名的方式，把中国的山系分为由西向

东延伸的四列；然后再细分为“九段”，即禹时由于洪水淹没了平原而形成的沿大山行走的九道山道。后来马融又将它分为“三条”，这就是反映中国古人对山地地形认识的“三条、四列、九山”学说；汉代以后学者关于“山脉”的“三条四列”思想，概源于《禹贡》。“导水”部分按照先北后南、先上游后下游、先主流后支流的顺序，对九州向靠近黄河的帝都贡赋所经由的水道中的九条主要河流的水源、流向、流经地、支流和入河口等作了描述，开中国水文地理的先声。这九条河流是弱水、黑水、黄河、汉水、长江、济水、淮河、渭水和洛水。文中有“导河积石”和“岷山导江”之句，说明战国时期人们已知黄河源在青海境内，同时又把岷江看作长江的正源。

“五服”部分以帝都为中心向外扩展，把广大地区分为“甸服”（王畿）、“侯服”（诸侯领地）、“绥服”（已绥靖地区）、“要服”（结盟的外族地区）和“荒服”（未开化地区），反映了大一统的思想。

《管子》一书传说是春秋前期齐国的管仲（大约公元前 725—前 645）所著，实际上内容庞杂，绝大部分反映的是战国时代的情况，所以大部分篇章都是战国时代的作品。《管子·地员》按照农业生产的情况，对地形类型作了分类，把丘陵地分为 15 种，山地分为 5 种。它根据土色、质地、结构、孔隙、有机质、盐碱性和肥力等特性，结合地貌、高度、坡面、水文和植被等条件，把“九州之土”分为上土、中土、下土三大等级，每一等级再分为六“物”，每一物又以赤、青、黄、白、黑分为五种。如上土包括五粟、五沃、五位、五隲、五壤、五浮；关于五粟再分说其土区所长的许多草木、渔牧的发展以及人和泉。这种分类虽然带有形式主义的弊病，但还是有一定的地理学价值的，大体上符合土壤性质的实际情况。

《管子·度地》篇提出了治水的重要性，把水列为“五害”（水、旱、风雾雹霜、疠和虫之首），接着又根据水的大小远近、来源去路，将水分为“经水”、“枝水”、“谷水”、“川水”和“渊水”，指明了各种水道的特点，进而提出了“因其利而往之可也，因而扼之可也”，以及“乃迂其道而远之，以势行之”的治水思想。《度地》还对由于河水与河床的相互作用而使河道发生演变的原因和规律作了精辟的论述，实在令人敬佩。

《五藏山经》是《山海经》中最古老、地理学价值最大的部分。《山海经》由《山经》、《海经》和《大荒经》三部分组成，只有《山经》大约是战国后期写成的，后两部分是后人增补的。《山经》早期以《五藏山经》之名通行。全文 15000 字左右，山名 347 个，把我国的山地分为南、西、北、东、中五个走向系统，每个系统中的许多山又被分成若干行列，即若干次经，依次分别叙述它们的起首、走向、相距里数和结尾。“山经”含有今天所说的“山脉”之意，不过当时还只有把山隔成行列的概念，而缺乏山势连绵的意义。

“东山经”论述的范围大致在今山东省至苏北、皖北，东至于海；包括 46 座山，由西而东分成四次经，大都呈由北向南的走向。“北山经”论述的范围在今内蒙以南、贺兰山以东、河套以北；有山 87 座，由西而东分成三次经。“西山经”论述的范围在今秦岭以北，甘肃、青海湖一线，新疆东南部；有山 77 座，由南而北分为四次经。“中山经”论述的

范围大致在巴、蜀和以东的湘、鄂、豫部分地区；包括 97 座山，分为十二次经，基本上都为东西走向。“南山经”论述的范围为今浙、闽、赣、粤、湘等省；有山 40 座，由北而南排为三次经，皆为东西走向。

《五藏山经》几乎在所有山列的叙述中，都联系到了发源的河流，说明它们的流向、归宿、主流和支流的关系以及有关的湖泊、沼泽等。共记述 358 条河流和湖泊，粗略地勾划出了北自黄河、海河流域，南至长江中下游的水系分布状况。关于黄河之源，“北山经”称：“敦薨之水，流入渤泽，出于昆仑之东北隅，实惟河源”。这似乎是想突破“导河积石”的传统说法，把黄河之源推向积石山以远地区，但又无确切根据，只能把昆仑山以北很远的罗布泊（渤泽）水系与昆仑山之东的黄河水系不切实际地混连起来，把前者当作黄河的上源。关于长江之源，“中山经”中则沿袭了“岷山导江”的说法。

《五藏山经》还描述了多种地貌，如南方的岩溶洞穴，河水的潜流现象，北方河水的季节变化，东部的涌泉现象，西部的流沙，昆仑山的火山现象等。文中对不同地带动植物的记述，也很符合实际。如“南山经”中记有“多桂”、“多象”、“多白猿”等，反映了热带和亚热带的特点；“中山经”中有“多桑”、“多竹箭”、“多漆”等，是黄河以南到长江中下游地区的景象；“北山经”中有“多马”、“多橐驼”的描写；“东山经”写东部沿海地区“多茈鱼”、“多文贝”等。《五藏山经》还记载金属矿产地点 170 多处和许多玉石的产地。

在《穆天子传》、《尔雅》、《周易》、《诗经》、《左传》、《考工记》等早期著作中，也都记述了不少地理学方面的内容。

(2) 大地水陆分布的知识

春秋时期，由于人们的地理视野还比较狭小，所以就把当时对东方的“海隅”和“海表”的认识加以扩大，产生了四方皆为海的设想，把海看作是世界四周的边际。战国时代由于四周诸侯疆土的拓展，地理视野空前扩大，就产生了“九州”、“四极”的概念。齐国的邹衍提出的一种“大九州”的猜想，说中国名曰“赤县神州”，中国之外“如赤县神州者九”，所以中国之于天下“乃八十一分居其一分耳”；整个世界“有大瀛海环其外，天地之际焉”。这是一种以盖天说为基础而对世界水陆分布的猜想。“四极”之说更能反映当时人们地理视野的扩大。《禹贡》称：“东渐于海，西被于流沙，朔南暨”。这是在对中国的东方海域、西北方大沙漠认识的基础上，对北方（朔）和南方的一种类推性的猜测，即认为北方亦至于流沙，南方亦至于海。

《山海经》中还记载了许多国名以及怪异的动植物和种族，虽多属于神话传说和想像，但也包括一些实际的地理知识。如所记黑齿国、彫题国，可能是南方的一些部族；钉灵之国，可能指贝加尔湖地区的丁零；埶端玺 国可能就是敦煌。

战国时代海上交通的发展，还产生了“三神山”的传说。“三神山”指蓬莱、方丈、瀛州，“其傅在勃海中，去人不远。”这反映了当时人

《史记·孟子荀卿列传》。

《史记·封禅书》。

们对东方远海地理知识的追求。

(2) 地图

相传中国在夏朝就铸造过九尊大鼎，将九州的川泽山林、草木、禽兽等绘铸其上，使人们了解各个地区的自然环境。《论语·乡党》谈到孔子的行为时有“式负版者”一语。“版”即刻在木板上的一国封疆图版；这种地图常有专人背负运送，表明春秋末年这种“版”已普遍使用。

可能是战国时期成书的《周礼》中，有很多关于地图使用的论述，所载地图的种类至少在七种以上，如有关于户籍的，有关于行政区划的，有关于山川林泽分布的，有关于矿产分布的，有关于道路交通的，等等。当时还设立了专门保管地图的官职“大司徒”。

《管子·地图》篇突出说明了战国时期地图在军事上的主要作用，说：“凡兵主者，必先审知地图。輶辘之险，滥车之水，名山、通谷、经川、陵陆、丘阜之所在，苴草、林木、蒲苇之所茂，道里之远近，城郭之大小，名邑废邑、困殖之地，必尽知之。地形之出入相错者，尽藏之。然后可以行军袭邑，举措知先后，不失地利，此地图之常也”。这段精彩的论述，说明当时的地图对地形地物的表现已很完备。可以想到，这种地图必定是按照一定的比例缩尺并使用多种符号和说明方式绘制的。六、古代的数学成就

1. 西亚、北非和南亚的古代数学知识

(1) 巴比伦的数学成就

19世纪前期以来，考古学家在美索不达米亚所进行的系统的发掘工作，发现了大约50万块刻有古楔形文字的泥版，其制作年代有些是公元前2000年左右，而大部分是公元前600年到公元300年间的。其中约有300块已被鉴定为载有数字表和一批数学问题的纯数学泥版。这使我们大大丰富了关于古代巴比伦数学发展状况的了解。

巴比伦人很早就有了自然数和分数的记法，不过还不够完善；他们既使用十进制，又使用六十进制。苏美尔的数字是用芦管划在泥版上的刻痕来表示的。在十进制记数中，10以内的数用斜划的刻痕数目表示，十位数和十的倍数则用竖划的痕迹表示。在以六十为基数的记数法中，用细芦管来划个位数和十位数，再用粗芦管斜划来记六十的个数，竖划则代表六百的个数。大约到公元前2500年左右，十进制记数法已被废弃，并用楔形笔尖来代替芦管；用单独一个竖划表示60的幂次，即1、60、3600等，用两个竖划形成的一个箭头表示10、600、36000等。到公元前2000年左右，巴比伦设立了附属于寺庙的学校，在那里数学得到了进一步的发展，采用了苏美尔人表示整数的方法来记分数。尖笔写的竖划既表示1、60、3600等，也表示 $1/60$ 、 $1/3600$ 等；箭头记号既表示10、600等，也表示 $1/10$ 、 $1/600$ 等；其它的分数则分解为以60为基数的几个分数单位表达。

图 6.1 古巴比伦的数字表示

由于整数和分数的记法混同，而且没有什么记号表示某一位上没有

数，即使到了塞琉西德时期（始自公元前 323 年），虽然引入一种分开记号表示某位上没有数，也仍然不能辨明最右端还有没有数。所以他们写的数是意义不定的，常常要根据内容来揣猜它的确切数值。

巴比伦人大体上已经能够进行整数的四则运算了。由于从 1 到 59 这些数都是用若干个基本记号组合而成的，所以加减法只需加上或去掉这些记号就成了。整数乘法如乘以 47，其法是先乘以 40，再乘以 7，然后二者相加。他们也进数整数除以整数的运算，由于除一个整数 a 就是乘以它的倒数 $1/a$ ，这就涉及到分数的运算。巴比伦人把倒数化成 60 进制的小数，制定了倒数的数字表，供使用者查出 $1/a$ 形式的数所写成的 60 进制的小数。而对于 $1/7$ 、 $1/11$ 、 $1/13$ 等数值，其 60 进制的小数是无限循环的，则只给出近似值。

巴比伦还制定了表示平方、平方根、立方和立方根的数表。他们给出的 $\sqrt{2}$ 的近似值是 1.414243.....，而不是 1.414214.....，看来他们还没有“无理数”的概念。总的看来，他们的许多算术程序都是借助于各种数表进行的。这种情况表明，古代巴比伦人具有高度的计算技巧，他们是数表的辛勤制作者。

大约在公元前 2000 年，巴比伦算术已推进到一种高度发展的用文字叙述的代数学。早期巴比伦代数的一个基本问题，是求出一个数，使它和它的倒数之和等于已给数。这是一个解二次方程的问题；其它还有给定两数之和与两数之积而求出这两数，也可化为上述问题。巴比伦人还会用变量转换法把复杂的代数问题化成较简单的问题。他们能用某些特殊方法解出含五个未知量的五个方程这类个别的问题，还会用配方法来解二次方程，并讨论了某些三次方程和双二次（四次）方程。他们的代数方程是用语文叙述并以语文叙述其解法的。他们常用长、宽和面积这些字来表示未知量，虽然这些量并不一定就是这些几何量。

巴比伦人偶而也用记号表示未知量，不过他们解代数问题时只指出解题的步骤，而并不说明每步解法的理由。

在公元前 300 年左右的一块泥版上，记下了两个有趣的级数问题

$$1+2+4+\dots+2^9=2^9+(2^9-1)=2^{10}-1$$

$$1^2+2^2+3^2+\dots+10^2=(1\times\frac{1}{3}+10\times\frac{2}{3})(1+2+3+\dots+10)$$

$$=385$$

人们不知道他们是否已经掌握了有关级数求和的公式，因为在处理这类特殊问题时，他们没有给出推导。

几何在古巴比伦人的心目中并不是很重要的，也未成为一门独立的学科。他们的几何学是与实际测量密切联系着的，主要特征是它的代数性质。一些较复杂的问题虽然是以几何术语表述的，但实质上还是一些特殊的代数问题。早在公元前 2000 年至前 1600 年，他们就已经掌握了计算长方形、直角三角形、等腰三角形和一边垂直于底边的梯形的面积，长方形的体积以及以特殊梯形为底的直棱柱体积的一般规则，不过，他们所用的公式可能并不完全正确。可以肯定的是，他们已经掌握了毕达哥拉斯定理，知道三角形的相似以及相似三角形对应边成比例，知道过等腰三角形顶点所作的底边的垂线平分底边，知道内接于半圆的角是

直角。他们曾用 $A = C^2/12$ (C 为圆周长) 这个法则计算圆面积, 这实际上是用 $\pi = 3$; 在近期发现的一块泥版上, 在给出正六边形及其外接圆周长之比时, 其结果表明他们是用 $3\frac{1}{8}$ 作为 π 的近似值。

古巴比伦的数学具有明显的实用性质, 重在具体计算, 而缺少抽象的数学问题。频繁的商业活动需要他们用算术和简单代数知识计算长度、重量、单利、复利、税额, 国家和社会之间粮食的分配, 划分土地和处理遗产引出的代数问题等。另外, 制订历书, 预测天象, 挖运河, 修堤坝, 建谷仓和房屋等, 都会引出大量的数字计算和几何问题。这使他们把算术推进到相当高的水平并出现了代数的开端。但总的说来, 他们的算术、代数和几何学法则, 都是根据物理事实摸索积累或直观得出的。而关于证明、解题的逻辑步骤和结构, 以及各种问题求解的条件等, 在巴比伦的数学里是找不到的。

(2) 埃及的数学知识

古代埃及的数学没有达到巴比伦数学那样的水平, 这很可能是由于巴比伦的经济发展速度较快, 贸易更为活跃所致。

直到公元前 332 年亚历山大大帝征服埃及之前, 埃及文明一直按照它自己的道路延续着。现存的埃及古代数学资料主要是产生于公元前 1700 年左右的二批纸草书。一批保存在莫斯科, 被称为“莫斯科纸草书”; 一批是 1858 年英国人 Henry Rhind 发现的, 保存在英国博物馆, 称为“Rhind 纸草书”。前者包含有 25 个数学问题, 后者包含有 85 个数学问题。这些问题大概是埃及人早在公元前三千年前已经知道的典型问题和典型解法的范例。从那时以后, 埃及的数学知识和技巧很少有新的发展, 甚至可能还有所退步。

埃及僧侣文的整数写法如图 6.2 所示。由于书写方式是自右而左的, 所以 $|||nn$ 表示 23。

图 6.2 埃及僧侣文的整数记号

埃及的算术主要用迭加法, 加减法就是用添上或划掉一些记号而得出结果, 乘法也具有加法的特征。由于任何一个数都可以组成 2 的各次幂的和, 所以乘法和除法通常可用连续加倍的运算来完成。比如求 11 乘 13 的积, 其作法是:

1	11
2	22
4	44
8	88

由于 $13 = 1 + 4 + 8$, 所以只要把与 1、4、8 对应的倍数加起来即可, 即 $11 + 44 + 88 = 143$ 。如果要 521 除以 23, 则可连续地将 23 加倍并相加, 直到超过 543 为止, 步骤如

1	23
2	46
4	92
8	184

由于

$$\begin{aligned} 521 &= 368 + 153 \\ &= 368 + 92 + 61 \\ &= 368 + 92 + 46 + 15 \end{aligned}$$

所以其商为 $16 + 4 + 2 = 22$ ，余数为 15。

埃及数系中也有分数的记法，但比较复杂，他们是在整数顶上记上卵形号 \circ 或一个点表示一个分数的。如 $\circ = \frac{1}{5}$ ， $\circ = \frac{1}{10}$ 。在进行分数计算时，把所有分数都拆成所谓“单位分数”（即分子为 1 的分数）再取和求出。例如 $\frac{2}{7} = \frac{1}{4} + \frac{1}{28}$ ， $\frac{2}{5} = \frac{1}{3} + \frac{1}{15}$ 。在 Rhind 纸草书中有一数表，

把所有 $\frac{2}{n}$ （ n 由 5 到 101）形式的分数编成单位分数之和，这样就

可以对分数进行四则运算。例如 $7/29$ 这个分数，由于 $7 = 2 + 2 + 2 + 1$ ，通过查表把每个 $2/29$ 表为单位分数之和，于最后就可表达为

$$\frac{7}{29} = \frac{1}{6} + \frac{1}{24} + \frac{1}{58} + \frac{1}{87} + \frac{1}{232}。$$

可以看出，这种运算是十分繁难的，这是他们未能把算术和代数发展到较高水平的原因之一。

在 Rhind 纸草书中，包含有求一个未知量的问题，相当于现在所说的一元一次方程。对于此类问题，埃及人是用纯粹算术方法求解的。有些问题是用“试位法则”求出的，例如为了解出 $x + \frac{x}{5} = 18$ ，

就先选定 x 的一个简便的值如 5，则 $x + \frac{x}{5} = 6$ ，由于 6 乘以

才等于 18，所以 x 的正确值一定是 5 乘以 3 即 15。纸草书中只涉及到最简单的二次方程（如 $ax^2 = b$ ），也出现一些算术数列和几何数的问题；不过他们所用的方法都纯粹是算术的，他们还未把解方程看作是一门独特的学科，也只用文字说出解题步骤，而不说明其理由。

在两份纸草书的 110 个问题中，有 26 个是几何问题，但仍然只用算术和代数方法来求解这些几何性质的问题。他们有计算长方形、三角形和梯形面积的固定方法，如用一个数乘以另一个数的一半来计算三角形的面积，但无法肯定这两个数是代表两个边还是代表底和高。他们计算圆面积的公式是 $A = (8d/9)^2$ ， d 为直径，这等于取 $\pi = 3.1605$ 。古埃及人也有了计算立方体、箱体、柱体和其他规则形体体积的法则，不过有一些只是近似的。最令人惊奇的是他们已有了计算方棱锥平头截体体积的正确公式，这在古代东方其他地区的数学中尚未见到。不过，至今还未发现古埃及人掌握毕达哥拉斯定理的证据。

总之，古埃及人已经把数学广泛应用到国家和社会事务的管理，应用到计算田地面积和谷仓容积，应用到征税、单位换算和工程用材等方面；特别是应用数学去制订历法，确定节日，测定庙宇和金字塔的方位等。不过，他们的数学还没有成套的记号，更没有证明、逻辑推理等抽象思维和一般方法论，大多只是一些无联系的简单法则和经验公式，还没有超过一般计算工具的水平。

(3) 古印度的数学知识

古代印度的数学成就，没有达到古巴比伦和埃及的高度，不过在受到希腊数学的影响之前，也有他们自具特色的一些成就。

由于缺少可靠的记录，对公元前 800 年之前印度数学的发展，目前知之甚少，只是从一些早期城市遗迹和灌溉工程可知，古印度人早已有书写、计算和度量衡体系，并且有了很基本的数学和工程知识。

公元前 800 年到公元前 200 年，是印度产生“绳法经”的年代。“绳法经”是一类宗教经文，包含有修筑祭坛的法则。在这些宗教作品以及一些钱币和铭文中，都包含着一些有关数学的内容。

在亚历山大大帝于公元前 326 年征服西北印度后，建立了莫尔雅帝国，并很快扩展到全印度。莫尔雅最著名的统治者阿索库（公元前 272—前 232）在印度的每个重要城市立了大石柱，保存下了当时的数字符号。这些符号后来不断发生变化，最典型的是如图 6.3 所示的 Brahmi 式记号。这一组记号从 1 到 9 的每一个数都有一个特殊的符号，这是它的优越之处；缺陷是没有零，也没有进位记法。1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 20 30 40 50 60

图 6.3 古印度的数字记号

在公元前 5 或 4 世纪出现的一部“绳法经”里，在讲到拉绳设计祭坛时，包含了一些古印度时期所知的几何法则。这些法则规定了祭坛的形状和尺寸所应满足的条件，最常用的是正方形、圆形和半圆形三种形状；但不管何种形状，祭坛的面积必须相等。他们掌握了怎样求等于两个正方形之和或差的一个正方形，或等于一个给定矩形的正方形；他们还能作出与正方形等面积的圆。或两倍于正方形面积的圆以便采用半圆形的祭坛。他们实际上用到了下述解圆方问题的法则：

$$d = (2 + \sqrt{2}) \frac{S}{3},$$

$$S = 13d/15.$$

其中 d 为圆的直径， S 为面积相等的正方形的边。他们实际上是取 $\sqrt{2} = 3.09$ 。关于 $\sqrt{2}$ ，“绳法经”给出了它的近似值：

$$\sqrt{2} = 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3(3)(4)} - \frac{1}{(3)(4)(34)}$$

在关于祭坛形状的设计中，印度人也懂得了毕达哥拉斯定理，他们说：“矩形对角线生成的面积，等于矩形二边各自生成的两块面积之和”。

但是，总的说来，古代印度的几何学只不过是一些无关联的简单法则，而且都是用文字叙述的；它们都是经验性的，没有任何证明的思想。

2. 古希腊的数学成就

在巴比伦和埃及人积累的大量数学知识的基础上，希腊人把数学推进到一个新的阶段——初等数学的开创时期。希腊人一方面继承了巴比伦和埃及数学的成果，另一方面又有创造性的发展。他们不仅把数学作为解决实际问题的工具，而且把数学看作是理解宇宙奥秘的钥匙，他们把数学的研究范围扩大到当时自然研究的一切领域；他们把逻辑证明引

进数学，从而使数学由经验知识上升为理论知识，特别是初等几何，它的演绎的理论形式被推崇为数学科学的典范，其影响一直持续到今。

(1) 泰勒斯的工作

古希腊的第一位著名数学家是泰勒斯，他被认为是希腊几何学的始祖。泰勒斯的几何学知识最初是跟埃及人学的。在埃及，由于尼罗河水常常泛滥，也就需要经常重新丈量土地，所以几何学的一些知识最早是埃及人发现的。据说，泰勒斯在埃及旅行时，曾巧妙地利用几何学知识解决了一个难题。当时，埃及祭司们想测量金字塔的高度，但又找不到测量的方法。泰勒斯则利用他学到的几何学知识解决了这一难题。他的具体方法历史上有两种不同的说法。一种说法是，泰勒斯在阳光以 45° 的角度照射金字塔时，根据金字塔阴影的长度求得了结果：金字塔高就等于阴影的长度。这个传说似乎表明泰勒斯已具有等腰三角形的知识。还有一种说法是，泰勒斯用一根已知长度的杆子，通过同时测量杆影和金字塔影的长度，利用杆影长与塔影长的比等于杆高与塔高的比，算出塔高。这种说法则表明泰勒斯已懂得比例的道理。但是，也有人提出疑问，金字塔的底非常大，影长是从影子的顶点到金字塔底的中心，这个影长是难以直接量的。后人提出，可能的办法是作两次观测。第一次观测时记下杆影顶点在 A 处，塔影顶点在 a 处；第二次观测时记下杆影顶点在 B 处，塔影顶点在 b 处。AB 与 ab 的比就等于杆高和塔高的比，从而求出金字塔的高度。总而言之，泰勒斯的成就超过了他的老师们。

埃及人的几何学知识还只是停留在经验的层次上，到泰勒斯，几何学开始建立在一般原理的演绎基础上，后人把几条最早的几何定理归于泰勒斯的发现，这成为他在几何学上的主要贡献。这几条定理是：

圆的直径平分圆周；

内接于半圆的角是直角；

等腰三角形的两个底角相等；

两条直线相交时，对顶角相等；

两个三角形有一边及这边的两个角对应相等，则这两个三角形全等。

据载，泰勒斯曾应用两个三角形全等的定理，测定船舶离岸的远近。他的求法是这样的：见图 6.4，A 是岸上一点，船在 A 的正前方 P 点。在岸上作 AP 的垂线 AB，找出 AB 的中点 C。测量者沿垂直于 AB 的方向走，直到在 K 点观测使 K、C、P 三点在一条直线上。可以知道三角形 APC 与三角形 BKC 全等，从而 AP 等于 BK；BK 可以直接测量出，那么从岸上一点 A 到船的距离就可以得到。

图 6.4 泰勒斯测定船离岸的距离

至于泰勒斯是否对上述定理作过证明，现在还没有发现这方面的资料。这些定理很可能是在大量观察的基础上，经过反复实践证明，成为大家公认的事实。泰勒斯只不过予以抽象和总结。

参阅梁宗巨《世界数学史简编》，辽宁人民出版社 1981 年版，第 96 页。

参阅中外数学简史编写组《外国数学简史》，山东教育出版社 1987 年版，第 91 页。

(2) 毕达哥拉斯学派的数学研究

毕达哥拉斯学派认为宇宙的本原是数，可见他们对数的重视。在对宇宙结构的研究中，他们还发现了其中的一些数学关系，这对他们试图建立一种以数解释宇宙现象的哲学，无疑是一种鼓舞。因此，毕达哥拉斯学派使数学的研究发生了重大的变化。在巴比伦和埃及，对数学的研究基本上还是处于经验的阶段。而从毕达哥拉斯开始，产生了数的抽象概念，进而由研究个别的抽象的数过渡到研究它们的一般规律。这种与自然运算的一般性质有关的研究被称为算术的一个分支——理论算术。

毕达哥拉斯学派最早大概是用沙粒或石子来计算的，因为他们常把数描绘成沙滩上的沙粒或小石子，并且按照它们所能排列而成的形状进行了数的分类。如图 6.5，1、3、6、10，这些数叫三角形数，因为相应的点可以排列成正三角形；1、4、9、16，这些数叫做正方形数，因为相应的点能排成正方形。这样，他们就把数和图 6.5 三角形数与正方形数形联系起来，而且使得数的一些性质变得比较明显。比如，如图 6.6 中划了一条斜线后，就可以得出：两个相继的三角形数之和是正方形数；再如从图 6.6 中所图 6.6 三角形数与正方形数的关系示的方法可以从一个正方形数得出另一个正方形数。毕达哥拉斯还得到了五边形数、六边形数和其它多边形数。

图 6.5 三角形数与正方形数

图 6.6 三角形数与正方形数的关系

毕达哥拉斯学派通过数与数之间的某种关系，对数进行了分类。如果一个数等于它的所有因数（能除尽该数的数，包括 1 而不包括该数本身）的和，他们称这个数为完全数。6 就是一个完全数， $6=1+2+3$ ，还有 28，496 等也是完全数。如果一个数大于其因数之和的叫盈数，小于其因数之和的叫亏数；如果有两个数，一个数是另一个数的因数和，则这两个数称为亲和数（如 284 与 220）。

毕达哥拉斯学派还搞了一个法则，用这个法则可以求出直角三角形三边的三元数组。用现代的记法，可以将这一法则表述为：若 m 是奇数，则 m 、 $(m^2-1)/2$ 及 $(m^2+1)/2$ 就是这种三元数组。如今人们把形成直角三角形三条边的三个整数所构成的数组统称为毕达哥拉斯三元数组。

毕达哥拉斯所说的数指的是整数，而实际上直角三角形边长之比却不能总用整数表达，也就是存在着不可公度比。毕达哥拉斯学派把那些能用整数表达的比称为公度比，含义是对相比较的两个量可以用公共度量单位量尽；而把那些用公共度量单位量不尽的量之比称为不可公度比。正是这个“不可公度”问题，使得毕达哥拉斯学派未能在理论算术这一分支取得更进一步的成果，而把注意力转向了几何学。

毕达哥拉斯学派遇到的“不可公度”问题，实际上就是发现了 $\sqrt{2}$ 是一个不能用整数或分数来表达的数。用现代数学的语言讲，就是 $\sqrt{2}$ 是不能用十进有限小数来表达的数。 $\sqrt{2}$ 不可公度问题的来源可能有两个因素：在几何中，求正方形对角线与边的公共度量；在算术中，某一

数的平方为另一数平方的 2 倍，即 $X^2 = 2a^2$ ，求 X ，则 $X = \sqrt{2}a$ ；在音乐理论中，将八度音对半地分开时，归结为求 1 和 2 之间的几何平均数。毕达哥拉斯可能主要是由于发现等腰直角三角形斜边与一直角边之比或正方形对角线与其一边之比，不能用整数表达而发现不可公度问题的。因为，“直角三角形的斜边的平方等于两直角边的平方之和”，在西方就称为毕达哥拉斯定理。关于这个定理，中国人、巴比伦人、埃及人和印度人早已知道这个定理的部分情况。而一般认为是古希腊人予以证明了的，是毕达哥拉斯学派用比例和相似三角形的理论证明的。传说，毕达哥拉斯在证明出这个定理以后，心情特别激动，宰了一百头牲畜来祭缪斯女神（神话中掌管文艺、科学的女神），进行庆祝。然而，不可公度问题使毕达哥拉斯学派感到十分震惊。明明是一个固定的量，却不能用整数或整数之比来表示。这使他们企图用数来表示宇宙万物的想法受到了挫折。传说，毕达哥拉斯学派不仅对这个发现严格保密，而且揭露了不可公度事实的那个毕达哥拉斯学派的门徒，竟然在一次航海中被其他门徒扔进了大海。这个传说反映了，不可公度量在毕达哥拉斯学派内部引起了极大的思想混乱与恐慌。 $\sqrt{2}$ 是一个实际存在的量，它虽然不能用整数或分数来表达，却可以用几何方法做出来，两个直角边为 1 的直角三角形的斜边的长度就是 $\sqrt{2}$ 。这样一个情况，使毕达哥拉斯学派在数量研究的方向上发生了很大的转折。从此，毕达哥拉斯学派回避用算术和代数方法来解决实际问题，而是尽可能地用几何方法来解决实际问题。

在几何学方面，毕达哥拉斯学派还发现平面可以用等边三角形、正方形和正六边形填满，空间可以用立方体来填满；三角形内角之和等于 180° 等。他们曾用正四面体、正六面体、正八面体和正二十面体来表示火、土、气、水这四大元素；后来又发现了正十二面体，于是用来表示宇宙全体。据说，有关三角形、平行线、多边形、圆、球和正多面体方面的一些定理，也是毕达哥拉斯学派发现和证明的。但是，目前还没有找到这方面的原始资料。

(3) 芝诺悖论与极限思想

芝诺（约公元前 496 ~ 前 430）是古希腊爱利亚学派奠基人巴门尼德的学生，是爱利亚学派的主要活动人物。在哲学史上，芝诺提出的关于运动的 4 个悖论是占有重要地位的。芝诺悖论的提出，是为了论证运动的不存在。但是，这 4 个悖论中也蕴含着丰富的数学思想。

根据亚里士多德的记载，这 4 个悖论是：

二分法。一个运动的物体在到达目的地之前必须先到全程的一半。进一步分析，要走完全程的一半，则必须先到这一半的一半，即全程的 $1/4$ ；依此类推，要先走过 $1/8$ 、 $1/16$ 、……、 $\frac{1}{n}$ 。这样

分下去，是无穷无尽的。芝诺的结论是物体不可能在有限的时间里走完无限个一半而到达终点，他是以此否认运动的。

阿喀琉斯。阿喀琉斯是全希腊跑得最快的人，但芝诺却说阿喀琉斯追不上乌龟。虽然，阿喀琉斯跑得快，乌龟跑得慢，但是乌龟在前面，阿喀琉斯在赶上乌龟之前，必须先到达乌龟的出发点，可这时乌龟又爬

过了一段路程。以此类推，乌龟总可以在阿喀琉斯前面一段。芝诺论证了最快的不可能赶上最慢的，以此来否认运动。

飞矢不动。时间是瞬间的总和，而飞矢在每个瞬间都静止在一个位置上。因此飞矢不动。芝诺以飞矢不动这一矛盾的说法，来否认运动的存在。

运动场。芝诺用运动场上两排数目相同、大小相等的物体，各以相同速度按相反方向相互通过来论证这样一个结论：一段时间和它的一半相等。如图 6.7，先是 A、B、C 首尾对齐，经过 t 时间后，B 向左移动一位，而 C 向右移动一位，这都是相对于 A 所言。拿 C 和 B 比，C 移动了两位，要使 C 移动一位，只要 t 的一半时间就够了

图 6.7 运动场 C

按照梁宗巨先生的观点，芝诺进一步则可导出极限的思想。可惜的是，芝诺悖论中的数学思想因其哲学观点的错误而未能得到发展。不过，芝诺悖论产生的影响仍是深远的，哲学家、逻辑学家和数学家都从各自的学科出发去进行分析。因此，芝诺悖论对这些学科的发展起了促进作用。在当时，则至少可以说，芝诺悖论是把连续与离散的关系问题突出出来了。

(4) 雅典智者学派与三大作图难题

雅典的智者学派，也称为诡辩学派。在雅典成为希腊各城邦的经济中心和文化中心以后，不同学派、不同地域的学者，被吸引到雅典来了，智者学派里就包括有多方面的学者。他们数学研究的中心问题是所谓“三大问题”：做一立方体，使其体积等于给定立方体体积的二倍；三等分任意角；做一正方形，使其面积等于给定圆的面积。这“三大问题”，由于不能用直尺和圆规做出，也被称为“几何三大难题”。

第一个难题简称为“倍立方”问题。关于这一难题研究的起因曾有一个传说：第罗斯地方发生了瘟疫，人们求教于巫神，巫神回答说，应当把现有的立方体祭坛加倍。人们试图通过把立方体的棱长加倍来得到新的祭坛，但没有成功。据说，还曾请教过柏拉图，柏拉图则告诉人们，巫神本意并不在于要加倍的祭坛，而只是借此教训人们不重视数学、对几何不够尊崇。联想到柏拉图学园入口处挂着“非几何学家不得入内”的牌子，似乎不是巫神而是柏拉图在教训人们。当时希腊人已经知道以正方形的对角线为边作正方形，这个正方形的面积是原正方形面积的两倍。怎样得到两倍于原立方体体积的新立方体，自然会成为人们很想知道的问题。显然，

如果原立方体的棱长为 a ，那么新立方体的棱长应为 $\sqrt[3]{2}a$ ，这样新立方体的体积才是原立方体体积的两倍。但是，在只限于用没有刻度的直尺和圆规的情况下，是没有办法作出这一立方体的，这是名符其实的一个难题。

第二个难题的产生与第一个难题有类似的情况，当时人们已能对任意角二等分，自然要进一步想知道怎样才能三等分任意角。对此，智者

参阅梁宗巨《世界数学史简编》，第 105 页。

参阅克莱因《古今数学思想》第一册，上海科学技术出版社 1979 年版。

学派的主要代表人物喜庇亚斯创设了一种“割圆曲线”，试图解决三等分任意角问题。他的思路大致如下：在矩形 ABCD 中，BC 边匀速地平行下降与 AD 边重合；同时，AB 边匀速地绕 A 沿顺时针方向旋转，与 AD 边重合。如图 6.8 那么，下降的 BC 边与旋转的 AB 边交点的轨迹就是割圆曲线。这条曲线上每一个点的纵坐标与相应的夹角成正比，

即 $\frac{y}{y_1} = \frac{\varnothing}{\varnothing_1}$ 。这样，问题就转化为将 AB 边任意等分的问题。这

还只是解决了全部问题的一半，因为曲线 BG 是无法由尺规确定的。

图 6.8 割圆曲线 D

图 6.9 “化圆为方”

第三个难题简称“化圆为方”问题。雅典数学家希波克拉茨（公元前 5 世纪），虽不属智者学派，但他在化圆为方问题上做了许多工作。见图 6.9 三角形 ABC 是一内接中心为 O 的半圆的等腰直角三角形。边 AC 和边 BC 分别为半圆 ADC 和半圆 BEC 的直径。可以得月牙形阴影部分的面积等于三角形 AOC 的面积。这样，希波克拉茨虽然将一个以曲线弧为边的月牙形面积“化”为一个直边图形（三角形）的面积，但是，化圆为方的问题还是没有解决。由于化圆为方的问题实际上是要求得出线段 r（圆半径）和 \sqrt{r} 的积，因此无法由尺规作出。

这三大作图难题吸引了许多数学家的注意，也耗费了不少数学家的心血。最终，人们终于明白了用尺规实际上是无法解决这些问题的。不过，在对这三大难题的求解过程中，也产生了一些有意义的副产品。喜庇亚斯和希波克拉茨等有关圆和直线以外的曲线的研究就是其中之一，对曲线研究的进一步发展所取得的结果，构成了希腊数学的一个重要贡献。

还有间接的副产品，智者学派的安提丰（公元前 5 世纪）在解决化圆为方问题时，提出了用边数不断增加的内接多边形可接近圆面积的想法，这种思想已经具有穷竭法的萌芽。问题的提出与求解推动了数学的进步，三大作图难题解题过程中的副产品，是对数学发展很有价值的成果。

(5) 柏拉图与欧多克斯的工作

柏拉图（公元前 427 ~ 前 347）是希腊非常有学问的人，他早年曾想从事政治活动，但是，由于他所信奉的哲学家苏格拉底被处死刑，使得柏拉图对政治心灰意冷。他从小受过很好的教育，具有多方面的才能。公元前 387 年，他在雅典办学园开始从事教育。学园对数学，特别是几何学十分重视。据说，学园门口挂有“非几何学家不得入内”的牌子，也有说牌子上写的是“不懂几何者不得入”。总而言之，几何学是这个学派的主要研究内容。

柏拉图曾从几何学的角度，构造了一个宇宙模型。他认为要靠数学来了解自然。尽管他本人不是数学家，但他倡导对立体几何的研究。特别是，柏拉图作为第一个把严密推理法则加以系统化的人，十分关心数

学的严谨性，在他的学园教学中坚持准确的定义和演绎的证明。毕达哥拉斯学派对点的定义是：点是有位置的单位，柏拉图认为毕达哥拉斯学派对点的定义不够明确，而另立定义：点是直线的开端。柏拉图关心推理过程的方法论，有两类推理方法被认为是他的学派的贡献。第一类是分析方法，用这种方法时，先假定要证明的结果是对的，然后由此推出一些结论，直至推出已知的真理或与已知真理相矛盾的结论。如果由待证命题推出已知真理，那么只要把推理的步骤倒过来，就可以做出证明；如果由待证命题推出与已知真理相矛盾的结果，就证明待证命题是错的。第二类是归谬法，用这种方法时，也是先假定要证明的结果是对的，只不过由此能够得出与要证明的结果相矛盾的结论，这就证明待证结果是谬误的。柏拉图认为数学采用分析推理方法是十分自然的事，他说：“研究几何和算术之类学问的人，首先要在这一学科里认定奇数和偶数、各类图形、三类角以及诸如此类的东西，把它们当成大家都承认的公设，认为不必再为自己和别人作出什么说明，谁都明白。然后他们由此出发，通过一系列的逻辑推论，最后达到他们所要证明的结论。”至少可以说，柏拉图学派使数学，特别是几何学具有了明确的思维方式。从这个意义上说，柏拉图学派为古希腊最负盛名的欧几里德几何学奠定了基础。

柏拉图学派的欧多克斯是成果颇丰的数学家，他的一个重要贡献是建立一个纯粹几何性的比例理论。欧多克斯引入“量”的概念，用来表示可以连续变化的线段、角、面积、体积等。量与数是不同的，数是跳跃的，如从1到2到3等等；而量则是连续变化的，欧多克斯引入的量是不指定数值的。然后，他定义了两个量的比，相等的比彼此是成比例关系的，这样，就把可公度比与不可公度比都包括在内了。欧多克斯对线段的长度、角的大小以及其它的量和量之比，都不给出数值，就是为了避免出现无理数（不可公度比）。这对几何学的发展起到了积极的推动作用，例如泰勒斯提出的相似三角形的对应边成比例的命题，就是在欧多克斯的比例理论建立以后才被证明的。但是，欧多克斯的比例理论实际上是硬性将数与几何分开，虽然是通过建立比例理论使几何学能够处理不可公度问题了，却避开了代数和无理数，从而造成希腊人在运算能力上的不足，与几何学的高度发展形成鲜明的对照。

欧多克斯的另一重要贡献是对穷竭法的发展。穷竭法通常是以欧多克斯命名的，因为后人认为欧多克斯尽管不是提出穷竭法思想的第一人，但穷竭法确是在他那里得到补充、完善、发展和推广的。欧几里德《几何原本》第十篇的第一个命题就是作为穷竭法基础的重要引理，这个引理的意思是：如果从任何量中减去一个不小于它的一半的部分，再从余下的部分中减去不小于这个余量一半的部分，等等，到最后将留下一个小于任何给定的同类量的部分。这个引理被认为是欧多克斯曾经证明而由欧几里德在《几何原本》中表述出来的。在此基础上，欧多克斯用穷竭法证明了两圆面积之比等于其半径平方之比，两球体积之比等于其半径立方之比，棱锥体积是同底同高棱柱体积的 $\frac{1}{3}$ ，圆锥体积是同底同高圆柱体积的 $\frac{1}{3}$ 等。

(6) 欧几里得与《几何原本》

欧几里得(约公元前 330 ~ 前 275) 是亚历山大前期的第一个大数学家。亚历山大前期是指从公元前 4 世纪到公元前 146 年古希腊灭亡, 罗马成为地中海区域的统治者为止, 这一时期, 希腊数学发展达到了鼎盛时期。欧几里得生于雅典, 曾就学于柏拉图学派。大约在公元前 300 年左右, 在托勒密一世王的邀请下, 欧几里得来到亚历山大城传授数学。在此, 欧几里得完成了他的代表作, 也是希腊数学的百科全书——《几何原本》。古希腊几何学从泰勒斯开始, 经毕达哥拉斯学派到柏拉图学派, 发展为建立在定义和公理基础上演绎而成的一套严密体系。欧几里得的《几何原本》是集大成之作, 充分地体现了古希腊几何学的发展结果, 成为标志古代希腊几何学形成完整体系的里程碑。欧几里得不仅在选择公理和编排定理次序上下了一番功夫, 而且他还增补了一些定理, 给出了一些证明; 特别是体系的严谨与论证的严密更使后人赞叹不已。

《几何原本》的论述结构是以少量原始概念和不需证明的几何学命题作为定义、公理与公设, 由此出发通过逻辑推理证明一系列的几何定理, 形成一个由简至繁的体系。这种公理化方法, 至今仍是构造科学理论体系的重要方法。

《几何原本》的内容共计有 13 篇, 有的版本列出 15 篇, 其中第 14 篇和第 15 篇非欧几里德所作, 而是后人补上去的。

第 1 篇首先给出了 23 个定义, 涉及到点、线、面、圆和平行线等一批原始概念; 然后提出了 5 个公设和 5 个公理:

公设 1. 从任一点到任一点作直线(是可能的)。

2. 把有限直线不断循直线延长(是可能的)。

3. 以任一点为中心和任一距离(为半径)作一圆(是可能的)。

4. 所有直角彼此相等。

5. 若一直线与两直线相交, 且若同侧所交两内角之和小于两直角, 则两直线无限延长后必相交于该侧的一点。

公理 1. 跟同一件东西相等的一些东西, 它们彼此也是相等的。

2. 等量加等量, 总量仍相等。

3. 等量减等量, 余量仍相等。

4. 彼此重合的东西是相等的。

5. 整体大于部分。

欧几里得同意亚里士多德的观点, 即认为公理是适用于一切科学的真理, 而公设则只适用于几何学。其中第 5 公设是欧几里得的杰作, 他可能认为为了避免出现无限远空间的问题, 这一公设是必要的。但是, 这个公设由于不如前 4 个公设那么一望而知, 人们不容易一下子接受, 甚至有人认为欧几里得之所以把它作为公设, 是因为他无法证明它。这成为《几何原本》的一个“污点”, 为洗刷这一污点, 在欧几里得提出这一公设之后, 不断引起人们用其它公理和公设予以证明的努力以及对它的种种怀疑。在此后的两千年间, 对它证明的努力终于失败, 而对它的怀疑则产生了非欧几何。1826 年, 俄罗斯数学家罗巴契夫斯基(1792 ~

1856) 宣读了他的关于非欧几何的论文《简要叙述平行线定理的一个严格证明》，这标志着几何学的新革命。非欧几何的发展不仅为相对论的产生准备了条件，更为重要的是它所引入的新思想，从根本上更新了古老的几何观念。这一结果是欧几里得无法预料的。

第 1 编在公设和公理之后，还给出了 48 个命题。这 48 个命题的内容可以分为 3 类，第一类是从命题 1 到命题 26，主要讨论了三角形和垂直（垂线）问题，包括三角形的三个全等定理；第二类是从命题 27 到命题 32，主要讨论了平行线问题，并证明了三角形的三个内角之和等于两个直角；第三类是从命题 33 到命题 48，主要讨论了平行四边形、三角形和正方形，特别注意面积问题，最后的两个命题分别证明了毕达哥拉斯定理及其逆定理。关于毕达哥拉斯定理的证明是通过面积做出的，如图 6.10，先证出 $ABD \cong FBC$ ，矩形 $BL = 2 \text{ } ABD$ ，正方形 $GB = 2 \text{ } FBC$ ，于是得到：矩形 $BL = \text{正方形 } GB$ ，同样有矩形 $CL = \text{正方形 } AK$ 。所以，正方形 $BE = \text{正方形 } GB + \text{正方形 } AK$ ，即 $BC^2 = AB^2 + AC^2$ 。

图 6.10 毕达哥拉斯定理的证明

第 2 篇有 14 个命题，主要讨论了面积的变换和几何代数法，特别是几何代数法，反映了希腊数学发展的特点。从毕达哥拉斯学派开始，希腊人不承认存在无理数，所以他们用线段来代替数，处理长度、角度、面积和体积。这样，两数的乘积为两边长等于两数的矩形的面积；三数的乘积为棱长、宽和高分别等于三数的长方体体积；两数相加减则用把一线段延长或对一线段截割来表示；两数相除则为两线段之比。

第 3 篇有 37 个命题，这些命题全部与圆有关。它首先给出了与圆有关的一些定义，然后讨论了弦、切线、割线、圆心角及圆周角等问题。

第 4 篇有 16 个命题，主要讨论了圆内接和圆外切图形。在圆内接正多边形中，除了正方形、正五边形和正六边形之外，最后的命题还指出了正十五边形的建立。据说，圆内接正十五边形产生于天文学。

第 5 篇先给出了 18 个定义，涉及几个量之比的相互关系；然后用 25 个定理证明了比例的一些基本性质。这一篇被认为是对欧多克斯的比例理论的阐述。

第 6 篇有 33 个命题，主要是利用第 5 篇的比例理论讨论了相似形问题。

第 7 篇至第 9 篇共有 102 个命题，主要讨论了数论，即整数和整数之比的性质问题。《几何原本》中只有这 3 篇讨论了算术问题，不过，关于比例的定义和定理，有很多是重复了第 5 篇的内容。那么为什么欧几里德仍然要把数论列为独立的篇章呢？有两种看法，推测了欧几里得的出发点：一种看法认为欧几里得认为在他前几篇中所用的量的概念中并不包括数；因此需要把关于数的比的命题重新证一遍；另一种看法是关于整数和可公度比的理论是欧多克斯以前就有的，欧里得很可能是按传统方式对独立发展的毕达哥拉斯的理论和欧多克斯的理论分别加以介绍。

克莱因：《古今数学思想》第一册，第 73 页。

克莱因：《古今数学思想》第一册，第 88 页。

第 10 篇有 115 个命题,主要是对无理量(即与给定量不可公度的量)进行分类。

第 11 篇首先给出了关于立体、立体的边界、直线与平面的垂直、两平面的垂直、平面与平面的夹角等的定义,另外还定义了平行平面、相似立体形、立体角、棱锥、棱柱、球、圆锥、圆柱、立方体、正八面体、正十二面体等立体形。这一篇的 39 个定理,证明了直角和平面的性质以及多面体的一些特殊情形。

第 12 篇有 18 个命题,主要证明了关于面积和体积的定理,特别是关于曲线和曲面所围成的面积和体积。欧几里得的证明体现了穷竭法的思想。

第 13 篇有 18 个命题,讨论了正多边形的性质及其内接于圆时的性质,并论述了怎样把 5 种正多面体内接于一个球的问题。

《几何原本》全书这 467 个命题,涉及初等几何的各个方面,反映了古希腊几何学的成就。全书内容是由少数定义、公设、公理演绎而得,足见欧几里得选择公理、编排体系之出色。当然,这部巨著也并非没有缺点:有个别证明证错了,也有些定义含糊而不明晰;有的内容前后重复,也有些内容带有前人著作堆砌的痕迹。然而,瑕不掩瑜,这些缺点同这部巨著的成就相比是微不足道的,《几何原本》的成功使它对数学发展的影响超过任何一本书。《几何原本》起初以手抄本形式流传,在欧几里得死后 700 年,《几何原本》出版。1120 年被译成拉丁文,1570 年出现英译本,到 19 世纪末,已有 1000 多种版本。中国最早的译本是 1607 年(明朝万历丁未年),由利玛窦和徐光启合译的《几何原本》前 6 卷,1857 年(清朝咸丰 7 年)由伟烈亚力和李善兰合译了后 9 卷。还应特别指出的是,《几何原本》在数学教育上的不容忽视的价值。直到 19 世纪末,《几何原本》一直是几何学的教学课本;就是在当代,《几何原本》的一些内容仍是中学几何教材所不可缺的。它作为学生接受严格的逻辑训练和数学训练的工具,曾经训练出一代又一代的数学家和科学家。

欧几里得在数学研究上还做了其它一些工作,保存下来的有他的两本数学著作——《数据》和《论图形的剖分》,《数据》中的材料与《几何原本》基本相同,只是某些特殊定理有所不同,它可能是供学习《几何原本》用的习题集;《论图形的剖分》则主要讨论了如何把所给图形分成其它图形。欧几里得还有几部已失传的数学著作,根据后人记载的情况看,有一本《二次曲线》,据说这本书成为阿波罗尼乌斯的《圆锥曲线》中头 3 篇的主要内容;还有《衍论》和《曲面—轨迹》,这两本书的大部分内容 and 性质已无人知道,据后人的零散记载推测,前一部书可能是和几何做图有关,后一部书可能是讨论曲面的轨迹问题;另外还有一本《辨伪术》,可能是书中包含有故意给出的错误证明,以达训练学生的目的。在欧几里得的天文学教本《现象》中,涉及到球面几何的问题。

(7) 阿基米德的数学工作与贡献

阿基米德(公元前 287 ~ 前 212)是西西里岛叙拉古人,当时叙拉古是希腊的一个殖民城市。他青年时代到亚历山大城求学,后来返回叙拉

古从事研究，但始终与亚历山大学派的学者们保持联系。阿基米德兴趣广泛，才智高超，他在数学、力学和天文学上都有重大贡献。他还具有非凡的机械技巧，有一些发明创造。由于他的一系列成就，使得阿基米德在古希腊学术界十分有名。以至后世流传了许多关于他的传说和故事，而且这些传说都和他醉心于科学有关。据说，阿基米德在临死关头仍不忘他的数学研究。阿基米德死后，人们在他的墓碑上刻了一个球内切于圆柱的图形，以作纪念。因为阿基米德生前曾证明了球的体积和表面积分别是其外切圆柱体积和表面积的 $2/3$ 。

阿基米德在数学上的主要工作和贡献有这么几个方面：

用穷竭法求出面积和体积。这是阿基米德最重要，也是最有特色的工作。他做出了穷竭法最巧妙的应用，并且他的方法最接近于现行的积分法。他在《抛物线的求积》一书中，求抛物线弓形的面积就是一个精彩的例证。图 6.11 中 PQq 是抛物线弓形，Pv 是直径，并平分 Qq 及与 Qq 平行的所有的弦，v1、v' 分别是 PQ 和 Pq 的中点。根据抛物线的几何性质，阿基米德证明了 $PP_1Q +$

$PP_1'q = \frac{1}{4} PQq$ 。在新得到的弦QP₁、P₁P、PP'₁和 P₁q上照上

述方法可以使 做三角形的过程不断进行 下去。这里，抛物线弓形的面积就可以用在原来的三角形 PQq 上加添一系列三角形而得出：

$$S = PQq + \frac{1}{4} PQq + \frac{1}{16} PQq + \dots$$

$$= \frac{4}{3} PQq。$$

阿基米德首先对上述结果作出了证明。他的结果是通过对上式中公比为 $1/4$ 的几何数列的头几项求和得到的。然后，他利用双归谬法，即若 S

$> \frac{4}{3} PQq$ 或 $S < \frac{4}{3} PQq$ 均产生矛盾或不可能而对 $S = \frac{4}{3} PQq$

给出严格证明。

阿基米德在他的主要著作《论螺线》中，定义了一种新的曲线。设有一直线将其一端固定后，在一平面内绕定点作匀速运动；同时直线上有一点从定点沿直线作匀速运动，那么这个动点

图 6.12 阿基米德螺线

将描出一条螺线。这就是著名的“阿基米德螺线”。这部著作中最深刻的结果是用类似于积分的方法确定了螺线一圈所围的面积。其命题是：螺线第一圈与初始线所围的面积等于第一个圆的 $1/3$ ，如图 6.12。第一个圆的半径 $OA = a$ ，因此，螺线第一圈与初始线所围的面积 $S = \frac{1}{3} a^2$ 。对此证明也是用穷竭法作出的，证明方法是把圆周 n 等分，于是就可作出与螺线弧所围面积相对应的外接扇形和内接扇形。面积 S 大于所有内接扇形面积之和，而小于所有外接扇形面积之和。阿基米德仍通过穷竭过程，并用双归谬法最后证明了 $S = \frac{1}{3} a^2$ 。这里，同样用的是穷

竭法，但与求抛物线弓形面积时靠增添越来越多的三角形相比，新颖之处是阿基米德选取了越来越小的扇形。这种做法对后人是极有启发的，

尽管阿基米德的证明中没有明确的极限步骤，但是他的证明过程中已经有了微积分思想的萌芽。

在《论球和圆柱》的著作中，阿基米德利用穷竭法还证明了许多命题，其中有：

任一正圆柱（不计上、下底）的表面积等于一圆的面积，该圆半径是圆柱高与底直径的比例中项；

任一球的面积等于球大圆面积的 4 倍；

以球的大圆为底，以球的直径为高的圆柱，其体积是球体的 $\frac{3}{2}$ ，其包括上、下底在内的表面积是球面积的 $\frac{3}{2}$ 。（这就是刻在他墓碑上的那个著名定理）。

用近似计算得到 π 值。在《圆的度量》中，阿基米德证明了 3 个命题。第 1 个命题是圆的面积与直角三角形 AOB 的面积相等，如图 6.13，直角边 AO 等于半径，另一直角边 AB 等于圆的周长。第 2 个命题是圆的面积与由它们的直径构成的正方形的面积之比大约是 $11 : 14$ 。第 3 个

命题是圆的周长与其直径的比小于 $3\frac{1}{7}$ 而大于 $3\frac{10}{71}$ 。这第 3 个

命题已经产生了圆周率 π 的近似值，它是阿基米德通过计算圆的外切与内接正 96 边形的周长的近似值得出的。这在科学中，第一次提供了带有误差估计的数值结果，而且整个求值的过程表现了阿基米德近似计算的高超技能。在阿基米德之前，比例是以几何形式出现的。但是，阿基米德为了得到对实际有用的结果，把算术运算运用于确定量的比例，这为数学实数理论的发展打下了基础。

用力学的方法解决数学问题。阿基米德不仅是一位伟大的数学家，同时还是一个伟大的力学家。在力学上，他有非常重要的贡献。他计算出了许多种平面形和立体形物体的重心；总结出了杠杆的一般原理；关于浮力的研究，他发现了比较不规则物体重量的方法，使后人将浮力定律与他联系起来。据说，他曾豪迈地表示，“给我一个支点，我能掀翻地球。”他的力学成就与他的数学工作密切相关，这不仅表现为他的一些力学结论是以数学为基础的，而且还表现为他用力学的思想得出正确的数学定理，解决了一些数学问题。

1906 年，阿基米德写的一个短文被后人发现了。在文中，他提出了一种借助于力学原理研究数学问题的方法。这种方法的要点是，把所求的面积和体积都看作是有重量的东西，而且体积是由面积构成的，面积是由彼此平行的直线构成的。这样，为了求得面积和体积，可以先将相应的面积或体积分成很多小长条或小薄片，它们都有重量；然后找出它们的重心和支点，就可以用杠杆平衡定律算出它的面积或体积。阿基米德用这种方法得到抛物线弓形的面积、球和球冠的面积、抛物体旋转截体的体积等成果，他把这种方法看作是发现数学真理的主要方法。不过，阿基米德也仅仅把它作为发现方法，得到结果后还要进行证明，用的还是双归谬法。他的这种发现方法虽然含有把一个量当作是由许多微小部分组成的思想，但是，由于这种方法中没有积分求和的计算，因此不能视为积分法。不过，有的数学史专家则把这看作是通往积分的迂回之路。

阿基米德在数学领域中作出了重要的贡献，他既长于严格论证，又精于巧妙的计算，尤其是他能够将理论与实际密切结合，将数学成功地

应用到力学方面，在古希腊数学家中还难以找到第二位。

当然，由于时代的局限，阿基米德的数学研究中还有一些不完善的地方；他的方法也是几何式的而不是代数的；同时也缺乏有力的分析工具，这限制了他的进一步创造。另外，由于没有方便的代数符号，使得他的著作读起来也比较艰涩。但是，这种状况并未能阻止阿基米德的工作和成就的传播。13世纪，阿基米德的著作全部被译成拉丁文，从而成为西欧学者的经典著作；17世纪，他的著作被介绍到中国。这使得阿基米德对后人产生了深刻的影响。后人也给予阿基米德以极高的评价，“任何一张开列有史以来三个最伟大的数学家的名单之中，必定会包括阿基米德，而另外两位通常是牛顿和高斯。不过以他们的宏伟业绩和所处的时代背景来比较，或拿他们影响当代和后世的深邃久远来比较，还应首推阿基米德。”

(8) 阿波罗尼乌斯与《圆锥曲线》

阿波罗尼乌斯（约公元前262～前190）是与欧几里得、阿基米德齐名的大数学家，他们三人被称为亚历山大前期的数学三大家。阿波罗尼乌斯在青年时代曾跟欧几里得的门人学习过几何学，以后就留在亚历山大城与当地的数学家们合作研究，使他成名的工作是他关于圆锥曲线理论方面的建树。在阿波罗尼乌斯之前，很早就有人研究圆锥曲线了，欧几里得和阿基米德也都写过这方面的书。但是，阿波罗尼乌斯还是做出了他独特的贡献。由于他曾接受过欧几里得几何学的训练，因此他按照欧几里得的方法和精神写出了经典之作《圆锥曲线》。在这本书中，他综合前人的成就，去粗取精，并加进了自己独到的创见材料，使圆锥曲线理论系统化。后人对此给予了高度评价，“除了综合前人的成就之外，还含有非常独到的创见材料，而且写得巧妙灵活，组织得很出色。按成就来说，它是这样一个巍然屹立的丰碑，以致后代学者至少从几何上几乎不能再对这个问题有新的发言权。这确实可以看成是古典希腊几何的登峰造极之作。”

《圆锥曲线》一书的内容分为8篇，共计有487个命题，可惜的是第8篇已经失传。

第1篇给出了圆锥曲线的定义并讨论了它的性质。阿波罗尼乌斯推广了梅奈克莫斯的方法，第一个依据同一个圆锥的不同截面，分别研究了椭圆、抛物线和双曲线。在他之前，梅奈克莫斯等人是分别以三种不同的圆锥，即锐角圆锥、直角圆锥和钝角圆锥的同一截面，来发现和研究圆锥曲线的。椭圆（原名弓曲线）、抛物线（原名齐曲线）和双曲线（原名超曲线）的名称就是阿波罗尼乌斯引入的，取代了梅奈克莫斯的锐角圆锥曲线、直圆锥曲线和钝角圆锥曲线之称，他还是第一个发现双曲线有两支的人。

图 6.14 椭圆曲线的共轭直径

在阿波罗尼乌斯研究这些圆锥曲线的性质时，他还引入了共轭直径的概念。如图 6.14，考察椭圆中与 FG 平行的一组弦，这些弦的中点都

[美] 贝尔：《数学人物》，转引自解延年、尹斌庸编著《数学家传》，湖南教育出版社 1987 年版。
克萊因：《古今数学思想》第一册，第 102 页。

在一直线 AB 上，AB 则被称圆锥曲线的直径。阿波罗尼乌斯证明了若过 AB 的中点 C 作直线 DE 平行于 FG，则 DE 将平分所有平行于 AB 的弦，DE 就叫做 AB 的共轭直径。对双曲线，AB 的共轭直径 DE 被定义为 AB 与双曲线的正焦弦的比例中项，它与双曲线并不相交，如图 6.15。对抛物线，由于它的任一直径总是平行于对称轴，而平行于直径的每根弦都是无限长，因此，抛物线没有共轭直径。阿波罗尼乌斯通过直径及共轭直径来描述圆锥曲线的一些性质，可以认为这里已含有坐标的思想萌芽。

第 2 篇首先描述了双曲线渐近线的性质，阿波罗尼乌斯不仅指出双曲线渐近线的存在，而且还指出在定的长度。在这一篇，阿波罗尼乌斯还说明了如何求圆锥曲线的直径以及有心圆锥曲线的中心和轴的方法。最后，阿波罗尼乌斯给出了怎样做满足给定条件的圆锥曲线的切线。

图 6.15 双曲线的共轭直径

图 6.16 圆锥曲线的极线

第 3 篇首先论述了关于圆锥曲线的切线与直径 所成图的面积定理，接着又论述了极点和极线的所谓调和性质。如图 6.16，TP 与 TQ 是圆锥曲线的切线， 直线 TRIS 过 T 并与圆锥 曲线相交于 R 与 S，与 PQ 相交于 I，则有：

$$\frac{TR}{TS} = \frac{IR}{IS}$$

就是说，T 外分 RS 的比等于 I 内分 RS 的比。PQ 线叫点 P 处的极线，T、R、I、S 为一组调和点。最后，这一篇讲述了有心圆锥曲线的焦点的性质。阿波罗尼乌斯将椭圆和双曲线的焦点定义为长轴 AA' 上的点 F、F' 两点，且 $AF \cdot FA' = AF' \cdot F'A$ ，见图 6.17。他还证明了椭圆上一点 P 到两焦点距离之和等于 AA'；双曲线上一点 P 到两焦点距离之差等于 AA'，如图 6.17。但这一篇没有讲到抛物线的焦点，也没有讲到圆锥曲线的焦点—准线的性质。据说，欧几里得已经知道这些知识。

第 4 篇讲述了极线的其他性质，还讨论了圆锥曲线相交的问题。

图 6.17 圆锥曲线的焦点

第 5 篇论述了从一特定点到圆锥曲线所能作的最长线和最短线。阿波罗尼乌斯先以有心圆锥曲线长轴上或抛物线轴上的特殊点为例，作出这些点到曲线的最大距离与最小距离。然后他又证明了，如果 O 是圆锥曲线内的任一点，OP 是由 O 到圆锥曲线的极大距离或极小距离，则在 P 处垂直于 OP 的直线是 P 点的切线；又如 O 是圆锥曲线外 OP 延长线上的任一点，则 O'P 是从 O' 到圆锥曲线的极小线。这些极小线或极大线就是现今所说的法线。在这一篇里，阿波罗尼乌斯还考察了任一圆锥曲线的法线性质的性质以及相关的作图和计算。第 5 篇被看作是阿波罗尼乌斯的刻意之作，是全书最富独创性的部分。

第 6 篇讲述全等圆锥曲线、相似圆锥曲线以及圆锥曲线弓形的问题。

第 7 篇讲述有心圆锥曲线两共轭直径的性质，并将这些性质和轴的相应性质加以比较。

阿波罗尼乌斯对圆锥曲线的创造性研究及理论的系统化工作是极有价值的，特别是对后来天文学、力学的发展起到了积极的作用。对此，英国科学家贝尔纳高度评价道：“他的工作如此的完备，所以几乎二千年后，开普勒和牛顿可以原封不动地搬用，来推导行星轨道的性质。”

阿波罗尼乌斯除了《圆锥曲线》这部巨著之外，还有其它一些数学著作。其中二本书中，各有一个对后世有较大影响的问题。一个是在《论切触》这本书中，阿波罗尼乌斯讨论了作一个圆与三个给定圆相切的问题，这在当时算是一个比较难的问题，以致成为一道历史名题，称之为“阿波罗尼乌斯问题”。这个问题引起许多数学家的注意，像韦达、欧拉和牛顿这样著名的数学家都给出过这个问题的解。另一个是在《平面轨迹》这本书中，阿波罗尼乌斯给了一个定理：“如果 A 和 B 是两个固定点，K 是一个给定的常数，则使 $AP/BP=K$ 的点 P 的轨迹是一个圆（如果 $K \neq 1$ ）或是一条直线（如果 $K=1$ ）。这个定理中的圆，在有些教科书中被称为“阿波罗尼乌斯圆”。

(9) 亚历山大前期的算术和代数

从毕达哥拉斯学派开始，到欧多克斯将数与量加以区分，古希腊的数学偏重于几何学，古希腊的几何学产生了巨人和巨著。与几何学相比，算术和代数的发展是相当缓慢的。

记数制在亚历山大前期有了一些发展，阿基米德和阿波罗尼乌斯发明了两种记大数的方法。阿基米德在《数砂术》中，提出了一种写大数的方案。他取当时希腊数学里最大的数“万万”，即 10^8 作为记数的一个新单位，由此出发又可以往下记出一系列大数，可到 10^{24} 。这样不断增大，可以记下去表示出任意大的数。阿基米德估计宇宙间砂粒数目要小于他能写的最大数。阿波罗尼乌斯也有类似的方法，只不过他是取 10^4 为一个记数单位。但这还没有能达到 10 进位的位值制。这一时期，古希腊的天文学家则在分数中分母用 60 进制。

在亚历山大前期的数学家之前，古希腊的数学家只把分数当作整数之比，实际的分数只是在商业上才有意义，那是为了表示钱币或度量单位的若干部分，这种数学的实际应用被排斥在数学研究的范围之外。但是，到了亚历山大前期，情况有了一些变化。一些数学家开始从追求完美而转向注意实际应用，并使这种转变体现在数学的研究中。欧几里得在《几何原本》中，对分数给出了定义，但没有给出运算方法。阿基米德在他的《圆的度量》中，对大数和分数进行了运算，他得出 $\sqrt{3}$ 的很好的近似值。

$$\frac{1351}{780} > \sqrt{3} > \frac{265}{153}$$

古希腊代数著作是纯粹用文字形式写出的，到亚历山大前期，代数的重大进展是产生了代数符号。欧几里得在《几何原本》中曾用字母表示一类数，阿基米德在讨论运动时也曾经用字母表示一段时间或一段距离。但是，他们并未认识到字母表示对于代数进一步发展的重大意义。因此，他们的工作停留在初步和零散的状况。真正系统地提出代数符号，那已是公元 3 世纪的事了。

3. 中国古代数学知识的积累

(1) 四则运算和筹算

在殷墟甲骨文卜辞中，已有很多记数的文字，当时已采用了十进制。到了春秋时期，记录大数已经用亿、兆、经、姦等字表示数字的十进单位。

春秋战国时期四则运算方法已趋完备。如战国初年李悝的《法经》中，已讲到了减法、乘法和除法。不少先秦典籍中都有乘法口诀的例句，但到春秋战国时期才有不完全的记载。《夏侯阳算经》说：“乘除之法先明九九”。因当时的乘法口诀是从“九九八十一”起到“二二如四”止，共 36 句；口诀以“九九”二字开头，故将乘法口诀称为“九九”。

中国古代用算筹作为记数工具，并由此发展起一种独特的计算方法，即筹算。算筹就是一些径约一分、长约六寸（合现在 13.8 厘米）的小竹棍；利用算筹在案上摆成数字进行计算，就叫筹算。表示数目的算筹有纵横两种筹式：用筹来表示一个多位数字，其方法就像现在用数码记数一样，把各位的数目纵横相间地从左到右横列，个位用纵式，十位用横式，百位、万位用纵式，千位、十万位用横式；数字中遇有零时，就用空位表示。如 86032，其筹式为 $\text{III} \perp \equiv \parallel$ ，百位上空位不放算筹。由于筹式用的是“十进位值制”，不同位值要纵横相间摆设算筹，所以空位很易辨别。筹算的加减法是摆上两行筹式，位数对齐，相加相减变成一行筹式就得出结果。乘法则分三层摆筹，上位、中位、下位分别相当于被乘数、积和乘数；除法也分三层摆筹，中位为实（被除数），下位为法（除数），上位为商。图 6.18 给出 84×61 的筹算图式，所得积为 5124（图）；图 6.19 给出 $5987 \div$

16 的筹算图式，所得商为 $374 \frac{3}{16}$ 。

十进位值制记数法和以筹为工具的各种运算，是中国古代一项十分杰出的创造，比古巴比伦、古埃及和古希腊所用的计算方法更为优越。

春秋战国时期，分数已常被使用。当时历法计算中的奇零就用分数表示；生产和生活中大量的分配问题，也常用到分数概念。如《管子》在谈到土地种植的分配时有“十分之二”、“十分之四”、“十分之五”、“十分之七”等分数；《墨子》在讲到食盐的分配时有“二升少半”、“一升大半”的说法。“半”即二分之一，“少半”为三分之一，“大半”为三分之二，都是当时通用的分数术语。《考工记》中对于各种器具规格的规定，大量使用了分数，而且有了分数运算。

从战国墓葬中出土的天平砝码的重量，以 1、2、4、8……递增，这相当于等比数列、 2^0 、 2^1 、 2^2 、 2^3 ……。在乐律研究中，《管子·地员》篇提出了“三分损益法”的乐律计算方法，其法为“先主一而三之，四开以合九九”。相当于 $1 \times 3^4 = 9 \times 9 = 81$ 。这两个例子表明当时已有了指数的初步概念。

(2) 几何知识

《周髀算经》卷上之一中，记载了西周开国时期周公姬旦与大夫商高关于原始的割圆之法的问答。第一段讲周天历度之数的方法，即勾股

法。文中称：“故折矩以为句（勾），广三，股修四，径隅五。既方其外，半之一矩。环而共盘，得成三、四、五。两矩共长二十有五，是谓积矩。故禹之所以治天下者，此数之所生也。”这是说在夏禹时已有了“勾三股四径（弦）五”这个勾股定理的特例的知识了。在卷上之二中更有“以日下为勾，日高为股，勾股各自乘，并而开方除之，得邪（斜）至日”。这是明确的“ $勾^2+股^2=弦^2$ ”的表述。所以中国发现勾股弦定理至少比古希腊毕达哥拉斯早一个世纪。

由于战争和生产的需要，春秋战国时期各地修建了不少城防和水利工程。这就需要运用大量的几何知识进行距离、高低、厚薄、土方等测量。《墨子》中就记载了有关城墙、城门、垛口、城楼的一系列计算问题，都与立体几何有关。《春秋》记载，公元前 594 年鲁国首先实行对公、私土地一律按田亩征税的“初税亩”制度，这就要对各种形状的面积进行丈量计算。可以相信，当时对正方形、长方形、三角形、梯形和圆等各种面积，已有了计算法则。

春秋战国时期的文献中，有不少关于测量绘图的记载。测量包括直线测量、水准测量和垂直测量，分别称为“绳墨”、“水”和“悬”。“绳墨”就是打墨线以取直，“水”就是以水平面为标准测量坡度和高程；“悬”就是用铅垂线以定竖直。

在制造各种农具、车辆、兵器和乐器中，常会遇到不同部位有不同角度的问题，所以当时已形成了角的概念以及衡量角度大小的一些单位。《考工记》把角称为“倨句”（jǔ gōu，音巨勾），“倨”就是钝，“句”就是锐。直角被称为“倨句中矩”或“一矩”。在“磬氏”节中讲“磬氏为磬，倨句一矩有半”。这是说石磬背部折角的大小是一个直角（矩）再加上半个直角，即 135° 。

(3) 组合数学思想的萌芽

流传至今的最古典籍之一《易经》，是符合体系与概念体系的统一体。它的符号体系中包含有严格的数学逻辑性。这种符号体系是由代表“阴爻”的“--”和代表“阳爻”的“—”两种基本符号通过排列组合而得出的“四象”、“八卦”和“六十四卦”的集合。

把“—”“--”分别与“—”、“--”排列一次，共有 $2^2=4$ 种组合，就是“四象”；再把“—”、“--”与“四象”各配一次，即由三个爻组成一组，共有 $2^3=8$ 种组合，就是“八卦”。八种符号分别象征天（☰）、地（☷）、水（☵）、火（☲）、风（☴）、雷（☳）、山（☶）、泽（☱）八种自然事物，再分别赋予乾、坤、坎、离、巽、震、艮、兑八个卦名，同时还分别代表八个方向。把八卦的每一卦都和八卦相配一次，即取六个爻组成一组，共有 $2^6=64$ 种组合，即“八八六十四卦”。由于“阴”和“阳”是中国古人对一切事物和现象中两种对立力量的高度概括，因而由“阴”和“阳”两种符号排列组合而形成的“六十四卦”，就可以表示出事物和现象的六十四种可能的状态；卦爻从下（第一个初爻）到上（第六个上爻）的每种排列，就可以表示出事物的某种发展过程。这样，《周易》就给出了一个朴素的、具有一定逻辑结构的关于事物发展变化的描述体系。

卦爻还包含了二进制的数学思想。如果把阴爻“--”以“0”代替，

把阳爻“—”用“1”代替，可以看出易卦就是二进制数码组。八卦和二进制数码的对应关系为：

	坤	艮	坎	巽	震	离	兑	乾
卦 画	☷	☶	☵	☴	☳	☲	☱	☰
二进制数	000	001	010	011	100	101	110	111
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7

所以，六十四卦也可以表成二进制展开式和相应的自然数序：

000000	000001	000010	000011	000100	000101	000110	000111
00	01	02	03	04	05	06	07
001000	001001	001010	001011	001100	001101	001110	001111
08	09	10	11	12	13	14	15
010000	010001	010010	010011	010100	010101	010110	010111
16	17	18	19	20	21	22	23
011000	011001	011010	011011	011100	011101	011110	011111
24	25	26	27	28	29	30	31
100000	100001	100010	100011	100100	100101	100110	100111
32	33	34	35	36	37	38	39
101000	101001	101010	101011	101100	101101	101110	101111
40	41	42	43	44	45	46	47
110000	110001	110010	110011	110100	110101	110110	110111
48	49	50	51	52	53	54	55
111000	111001	111010	111011	111100	111101	111110	111111
56	57	58	59	60	61	62	63

此外，春秋战国时期，在实用数学知识丰富积累的基础上，一些思想家也开始探讨一些抽象的数学理论问题。在《墨经》的《经上》和《经说上》中，记载了墨家关于数学、特别是几何学（形学）问题的论述。这些论述包括了有关“平”、“直”、“体”、“同长”、“中”、“圆”、“方”、“倍”、“厚”、“端”、“间”、“盈”、“撻”以及空间的“有穷”、“无穷”和时间的“始”的定义和说明，包含了丰富的数理科学思想和严密的逻辑推理。在《经下》和《经说下》中，有关于“十进位值制”和用“进前取”与“前后取”两种方法分割线段而得到“不可”的“端”（点）的说明。在《庄子·天下》篇中，记载了名家惠施和公孙龙等辩者所提出的一些与数学思想有关的论题。如“至大无外谓之大一，至小无内谓之小一”、“飞鸟之影未尝动也”、“镞矢之疾，而有不行不止之时”、“一尺之棰，日取其半，万世不竭”。所谓“大一”和“小一”，从物理学的角度可理解为“宇宙”和“原子”；而从数学的角度来说，“大一”可理解为空间、时间的整体，“小一”可理解为空间的“点”和时间的“瞬时”。第二条说鸟在飞翔过程中，每一瞬时投在地面上特定位置的影子是没有移动的；这和第三条所说的“飞矢”的情况一样，射出的箭每一瞬时都占有空间一个特定的位置，因而在该瞬时可以说是静止在这个位置上的。但它同时又正在离开这个位

置，这就是“不行不止”的状态。第四条中的“榘”指古代一种策马杖，是一尺来长的木棒。文中说每天从所剩下的长度中取其一半，永远也不会取完。从数学上说，这个命题相当于

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^n} = 0$$

L 可以无限地趋近于零，但无论 n 为多么大的数，L 也永远不会等于零。

七、古代生物学和医学知识

1. 西亚、北非和印度的古代医学和生物学

农业是“应用”生物学的最早形式之一。随着农业的发展，古代生物学知识也逐渐丰富起来。在两河流域的泥版书上，可以看到 100 种动物和 250 种植物的名称；他们还对动物作了世界上最早分类。马可能最早是在欧亚草原上被驯养的。到公元前 11 世纪左右，经过长期驯养的马个大力壮，已可乘骑和驾驭战车。这表明人们已掌握了不少关于精心饲养、选择良种的知识了。他们在实践中知道了当椰枣树开花时进行人工授粉可以增加椰枣的产量。

在公元前 4000 年，南美索不达米亚人就已开始形成有系统的医学思想，产生了巫术和世俗经验相结合的亚述巴比伦医学。从大量泥版文献中，可以看出巫术医学慢慢演变为僧侣医学以及专门从事医疗活动的专职医生出现的过程；表明医疗技术越是发展，与巫术迷信的联系就越少，科学的成份也就越多。

古巴比伦人认为，血是生命机能的输送者，因而认为藏血器官肝脏是重要的生命所在。由于认为生命是靠血液输送的营养得以延续的，因而认为体液的运行是十分重要的，它的丢失或运行受阻都会导致紊乱和病患。

巴比伦人认为，诸大神能左右人和动物的生命。美索不达米亚最古老的医神是月神，掌管药草的生长，因此有些药草只能在月光下采集；由于植物与神有这种密切的关系，所以认为药草有消灭魔鬼的能力。这是巫术与经验医学相结合的一个生动的例子。

亚述和巴比伦的医生们还常外出会诊，远至埃及；医生出诊时携带着出诊包，其中有绷带、器械和药物等。在著名的《汉谟拉比法典》中，医生从祭司中独立出来被确认为是一种专门职业；对外科医生的手术收费以及出现医疗事故的处理等，都有具体的规定。

在他们的医学泥版书中，已记载有咳嗽、胃病、黄疸、中风、肺癆、鼠疫、风湿、肿瘤、眼病和耳病等多种疾病的名称。对精神病已能鉴定，认为是由魔鬼或创伤所致；牙痛被认为是由于虫蚀引起的；黄病、虚癆都是由魔鬼引起的。对各种疾病的症状，也有详细的描述。

医生的处方包括病名、药名和药物用法三部分。常用的药物已有 150 多种，包括各种植物的果实、叶、花、皮和根等，藕、橄榄、月桂、桃金娘、鸡尾兰、大蒜；动物的各个器官脏器，一些动物的油脂被制成药膏用于治疗；还有一些矿物如明矾、铜、铁等。此外还使用多种秽物，大约是用来驱除魔鬼以驱除病患的。制剂有丸、散、灌肠等，用器械将药汤灌入阴道或直肠。体操疗法和按摩也已常被采用。

古代埃及在天文学和数学方面虽不及巴比伦，但在医学方面则远远超过了巴比伦。现存埃及的古老医学文献有六七部比较完整的纸草书，大都著于公元前 1700 年到前 1200 年之间。在这些纸草书中虽然还掺杂有宗教和巫术、占星的咒语、符箓和魔鬼的内容，但却记述了许多疾病症状、准确诊断和治疗的合理处方与方法，其中涉及到内科、眼科、妇科和外科的疾病；还记载有解剖学、生理学和病理学的一些知识以及良好的卫生法等。这些纸草书表明，古埃及的医学很早就从巫术中分离出来了。

埃及人对生命的观念与亚述巴比伦人不同，他们认为呼吸是极重要的生命功能，因为人死时呼吸的停止在血液流动停止之前。他们由此产生了“灵气”的观念，这是埃及医学的重要特征。不过他们也很重视血液的重要作用，干尸涂以红色，目的是给予血的活力；用红色石头做避邪物，象征女神爱西丝的血。埃及人的解剖知识十分丰富。他们从第一王朝时期就开始制作木乃伊，因为相信人死后会生活在另一个世界，所以要竭力保存好尸体。在宗教活动中也经常解剖动物，这都为解剖知识的积累提供了条件。在“埃伯斯纸草书”中认识到心脏是全身血液的中枢，并知道“有众多血管通连于身体的各个部分”；还提到用手指触摸在心区、头、手、臂、腿等处都可觉出心动。古埃及人已经知道了重要血管的分布，还了解大脑对人体的重要作用；他们认为寄生物是致病的主要原因，事实上寄生物在热带地区是很主要的病源。他们的诊断方法似乎已很进步，能区别各种腹病、心脏病、妇科病、眼病、皮肤病和肿瘤。他们不仅知道诊脉、触诊和望诊，似乎还知道听诊。纸草书中有很多治疗药方。常用的药有蜂蜜、各种麦酒、酵母、油、枣、无花果、葱、蒜、亚麻子、茴香、苦艾、薄荷、杜松树枝等；也常用动物的脂肪、脑、血、排泄物，这些动物包括海马、鳄鱼、羚羊、鹿、各种鸟、爬虫等。矿物药有胆矾、盐、铝、锑、铜绿、碳酸钠等。药剂有丸剂、栓剂、吐剂、灌肠剂、糊剂和软膏等。他们还会用烧红的金属器械烧灼伤口以止血。

关于外科病，纸草书中记有探察创伤和施用手术治疗，对骨折和骨凹陷剔除骨片、使创缘彼此密接、进行缝合并用绷带裹扎的方法。在“施密斯纸草书”中还有历史上第一次关于人脑的记载，说明了脑所引起的痉挛和脑膜，已知脑是精神官能之所在。

古埃及及医学在卫生、预防方面也有很大进步。他们对尸体掩埋、居室卫生、饮食和性行为等方面都有具体的规定；这些规定又常与宗教条文相交混，使埃及人的日常生活常在宗教条文的约束下进行。如屠宰的动物经祭司检查若不适于祭祀之用，便也不准食用。法令规定严禁人工流产和弃婴，经期不许性交；幼儿五岁前不穿衣服，要作球类、铁环等有益于健康的游戏，少年儿童也有多种运动。

古埃及早有一个组织完善的医生阶层，医生的行医受特定法规的约束；若按条规治病而病人死亡也无罪，否则将被处死。医生已有专业分工，如专治眼的，专治牙的，专治肠的等。在波斯人占领埃及后，埃及的医学就渐渐衰落下去；其最重要的内容，后来由希腊的希波克拉底学派所继承。

古代印度人民在医学方面也有很高的成就，在婆罗门教的经典《吠

陀》和佛教经典中，都保存有不少医学知识。在据认为是公元前 1000 年成书的《妙闻集》中，载称人体有骨 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。由于宗教严禁用刀，所以研究尸体是将尸体浸泡腐烂后再用手剥落软组织对内脏进行观察。按照他们的观念，血管内含气，血管和神经都起自脐部。

印度古文献记载了对胚胎发育过程的研究，特别是胎儿的血循环；还记载了影响胎儿发育的各种因素，如说孕妇好发怒小儿将得癫痫病；孕妇嗜酒孩子常口渴善忘；孕妇淫荡则生儿堕落或柔弱等。

印度的病理学认为生物由气（风）、胆（热）和痰（水）三种原质组成，三者关系失常或所生体液减少，人则患病。这种“三原素”说是最早的体液病理学。印度的诊病法有望诊、叩诊、听诊、闻声和尝味，文献中记有皮肤和舌的外观、肿胀的形象以供诊断。所记载的疾病有发烧、咳嗽、水肿、肺病、麻疯等。《妙闻集》中记载了内科、外科、妇科和儿科的各种疾病 1120 种。印度治法的基础是饮食法和放血法。方剂中有吐剂、泻剂、冲洗剂、油灌剂和喷嚏剂五类，此外还用到软膏和蒸汽浴等。《妙闻集》记载的药物有 760 种。

古印度的外科优于古希腊希波克拉底的医学。《妙闻集》中记载的外科手术器械达 120 种。对身体各部位疮肿的形状都有确切描写，并对手术方法作了明确说明，还说明了术后的清洗以及创口的敷糊和包扎。那时已能进行痔瘻和扁桃体切除，难产剖腹取胎，膀胱结石和颈肿瘤的切除，拨白内障，除疝气等手术。在古印度削鼻是一种刑罚，所以很早就出现了鼻成形术。《妙闻集》中说其法是在颊上或前头部切下一块皮肤，按鼻形裁好缝合到鼻根上，然后在鼻孔内放入两个小管以便呼吸。这个方法后来传至欧洲。

古印度医学非常重视卫生。只有为祭神屠宰的动物方可食用，禁止食用葱蒜蘑菇；用苦涩的树枝做成的小棒清洁牙齿；主张时常洗眼并用锦膏点眼。对妇女的经期和产后都有严格的卫生规定。他们提倡蔬食，重罚酗酒者，人死要火葬。据石刻记载，孔雀王朝时期的阿育王在公元前 3 世纪，还开设了类似现代医院的病舍，并设有培植药用植物的苗圃。

2. 古希腊的生物学和医学成就

(1) 希腊早期的生物学和医学思想

古希腊早期的自然哲学家们，在生物学和医学的发展上也作出了一定的贡献。米利都的泰勒斯把他提出的万物起源于水的思想同样贯穿到对生物的认识上，认为种子的发育、植物的生长、动物和人的生命都来自于水或水的变形物；一切生命都终止于水，因为生物死亡腐化时又变为液体水。

阿那克西曼德甚至提出了生物演化的初步理论。他认为由于太阳的照射，土地变暖而产生泡沫，进而便产生出各种生物来。第一种生物是鱼，它是在水占统治地位时产生的。随着干旱陆地的出现，一些象鱼一样的生物便到陆地上生活，并随自然条件的变化而变化；甚至人也是由类似于鱼的动物脱去了鱼皮进化而来的；初期的人类由于软弱无能，在陆地上具备适于人类生活的条件以前，是躲在鱼皮里生活的。阿那克西曼德因此有时被认为是进化论的先驱；不过他认为生物的演化是循环性

的，甚至会回到原初的混沌状态。

克罗丰的色诺芬尼（公元前 576—前 490）认为，包括人在内的一切事物都起源于水和土。他从内陆、山脉、采石场发现有贝壳化石的事实得出结论说，陆地和海洋曾经发生过相互转化，陆地曾被大水和污泥所覆盖，在污泥干燥时便留下了鱼和海洋动物的压痕。他的发现，为米利都学派一切源于水和泥土的学说提供了论证。

毕达哥拉斯也是一名医生，对生育现象怀有兴趣。他认为人的灵魂能够在别的动物身上转生，这意味着他的学派相信所有生物之间都存在着亲缘关系。他的这些思想，可能与克罗顿医学派有一定的关系。

克罗顿的阿尔克梅翁（鼎盛于公元前 500 年）是毕达哥拉斯的同时代人，是希波克拉底之前最有名的医生，也是第一个以真正的科学态度从事解剖学研究的人。他曾用发育中的鸡胚进行研究，这种方法成了后来胚胎学研究的标准方法。他发现了脑和眼睛相联系的视神经，并认为感觉的部位和智慧的中心是脑而不是心。他指出感觉是与大脑的作用联系着的，如果改变了脑的位置或脑的状态，感觉的通路就会被堵塞而使感官失去作用。他还是研究血液循环的先驱，因为他首先区别了静脉和动脉。在人体健康的问题上，他提出了“同律”观念，即认为所有构成人体的物质是完全和谐的，即一些成对的相反因素之间的平衡；如果由于不正常的营养、气候、环境、疲劳等原因破坏了这种平衡，人就会患病；治疗就是使混乱状态恢复到和谐。根据这种思想，发展起了后来的液体病理学原则。阿尔克梅翁认为，生命是一种运动，并从属于血液的运动，所以扰乱了生命的正常和谐的运动，就会引起疾病。

西西里的恩培多克勒当时是作为医生享有盛名的。传说他曾为他出生的城市制订规划，在山屏上打开一个缺口，让凉爽的北风吹进城市，改变了不利健康的酷热气候；他还用排除沼泽积水的办法消灭了疟疾，改善了饮水供应；他利用普遍熏香的方法，使他的家乡免遭严重的瘟疫。他认为人和一切生物也是由火、水、气、土四种元素组成的，这四种元素的和谐统一，就使人体健康，它们的混乱就使人体患病。血液被认为是四种元素的一类暂时组合，是感觉的依托，思想过程主要发生在围绕心脏的血液之中。

恩培多克勒提出了生物进化的早期思想。他认为早期的地球上偶然地、粗糙地产生了各种各样不完善的生物，如“没有头颈的脸，没有肩胛到处游荡的手臂，还有独立的眼睛在四处流浪，寻找着前额”。进而由于杂乱偶然的结合而产生许多怪物，如两面都有脸和乳房的，牛头人身的，部分是雄性和部分是雌性的，还有一些不育的个体。在竞争中只有那些结合得很好的生物生存了下来，并发生了雌雄性别的分离，于是新的生物就通过生殖繁衍而不再直接从水或土中产生了。这一幅进化的图画显然包含了物竞天择、适者生存的观点。

阿那克萨哥拉用他提出的“种子说”，解释了诸如“头发是怎样从不是头发的物质中产生的，肉又是怎样由不是肉的东西形成的”这类问题。他认为从宇宙之初就存在着一些形成所有事物的种子。他指出在人们吃的食物中，必定有某些部分形成了血，某些部分形成了肌腱，某些

部分形成了骨头，如此等等。因此可以推知，这些东西必然是以某种隐蔽的形式存在于食物之中，在消化过程中，这些“种子”被分离开来通过物以类聚的自然吸引力分别到达适当的部位，促使了身体各个部分的生长。关于人与野兽之间的差别，阿那克萨哥拉认为，“正是有了双手，才使得人成为最有智慧的生物。”

(2) 希腊的医学

和其他古文明地区一样，希腊的医学也起源于经验医学和宗教医学。在希腊的寺院中供奉着医神阿斯克勒皮俄斯的神像，他在希腊神话中是阿波罗的儿子和医疗之神，并用蛇来代表他。

科学的医学和希腊哲学是同时诞生的。以希波克拉底（约公元前 460—前 377）为代表的伟大的理性医疗学派，把人类已往的医疗知识系统化，提出了新的观念和新的理论，为欧洲医学奠定了基础。

希波克拉底出生于小亚细亚科斯岛的一个医学世家，他的父亲是一个医生，母亲是接生婆。他从小随其父学医，后在希腊、小亚细亚、黑海沿岸、北非等地游历行医，广泛接触和学习各地的民间医学。他在科斯岛的医学学校里作过教师，他的学生分布四方，他的学说传遍全希腊和希腊之外的许多地方。他的儿子、女婿都是医生。他被尊为“医学之父”。希波克拉底留下了十分丰富的医学著作，总称为《希波克拉底文集》，共 70 卷，流传至今的有 60 卷；涉及解剖学、病理学、临床诊断、妇科和儿科疾病、外科手术、饮食与药物治疗、预后和医学道德等许多方面。

希波克拉底摒弃僧侣们宣扬的“神赐疾病”的陈腐观念，把医学从宗教迷信中解脱出来，以真正的生物学观点作为他的医学学说和医疗行为的基本准则。希波克拉底提出了体液学说，认为人的机体是由血液、粘液、黄胆和黑胆四种液体组成的。它们都是腺的分泌物：血从心来，代表热；粘液从脑来，代表冷；黄胆汁是由肝分泌的，代表干；黑胆汁由脾和胃来，代表湿。由于它们在人体内的混合比例不同，所以人又可分为四种气质类型，即多血质、粘液质、胆汁质和抑郁质。这种划分方法一直沿用至今。

希波克拉底学派认为，当四种体液配合正常时，人就处于健康状态；当由于先天的、意外的或自然现象等原因造成它们的比例失调时，人便患病。按照这种观念，自然只不过是人体对那些要使和谐发生变化的诸因素的抵抗力。如在急性病中，热就通过改变或解除湿液的作用而控制体内的湿液。由此还可以解释疾病为什么可分为以下几期：第一期，即未成熟期，病质使液体成为未消化、未成熟状态；第二期为消化期，由于热力自然使疾病成熟或消化；第三期为病象转变期，即自然与疾病作决定性斗争的时期，其特点是分泌物增加，发热从一种形式转变为另一种形式，即病变转移。一般说来，转变期约三四天。

希波克拉底学派的解剖知识，是建立在动物解剖经验上的，因此还较贫乏。对骨骼有正确的记载，但对神经、腱和肌肉未能区分，还常与血管相混；对心脏在血液循环上的作用还不知晓。已认识到脑是感觉的中心，视觉是瞳孔上形成的形像，耳骨把声音传达到脑。

希波克拉底对许多疾病的症状作了描述，并研究了发病的原因。如

疟疾、鼻炎、喉炎、肺炎、胸膜炎、癆病、腹泻、肠塞绞痛、肝硬变、白喉、丹毒、痛风以及脑神经疾病等。他是最早企图把外因与疾病的来源联系起来的人，同时也注意到疾病与人的体质以及人类民族学特点的关联。他说当一个医生每到一个陌生的城市，首先要考察这座城市的座落方位、土壤、气候、风向、水源、水质、饮食习惯与生活方式等，因为这些环境因素对人的健康和疾患有密切关系。他还论述了欧亚两洲不同地区动植物的区别以及人民精神体质方面的差异。

希波克拉底第一次提出了“预后”这个概念，指出医生不仅要准确诊断疾病，对症下药，还要根据对病因的解释，预告疾病的发展趋势及其后果，这就把治疗提高到一个更高的水平。他指出，体液调和预后良好的表现是：外貌好，安卧睡眠，意识清楚，转变期多汗，活动自如，脾气好；而躺卧时口张眼开、双腿散伸、高热、病情突然发生未预料的变化、失眠、经常腹泻、表情鲁狂等，则为预后不良的征兆。从面容上看，“鼻尖、眼下凹、颧部下陷，耳凉且耳叶外翻，面皮粗、干、紧，面色黄或黑”是不良现象；而紫斑周围出现苍白环、冷汗、腹胀痛、流混浊的脓、急病后出现水肿、突然寒颤、手和手指突然苍白等，则为危象。

在疾病的治疗上，希波克拉底提出了许多独创的见解。他把疾病看作是发展着的现象；他特别强调“自然疗法”，主张不要轻易用药，应尽量使身体自行恢复健康。他认为治愈是通过自然力达到的，自然力是生命力产生的，也就是说人体内自己存在着治疗能力，施治就是帮助自然的治愈力。他提出：“自然力是疾病的医生”，“自然无师自通”。他说，疾病的症状，特别是热，只不过是机体发挥自身治愈力的表现；医生应当在适当的时间巧妙地参与治疗，以帮助自然力和适应自然。在具体治法上，希波克拉底很重视饮食、体操、按摩和海水浴；他认为摄取丰富的营养是战胜疾病的重要方法，但在疾病剧烈时，应适当减少营养。

在外科方面，希波克拉底也有很大贡献。他留下了《骨折》、《关节复位》等著述，说明了各种骨折病例和脱臼复位的方法。在《头颅创伤》中，详细描述了头部损伤和裂缝等病例，提出了施行手术的方法。

希波克拉底不仅以精湛的医学为欧洲医学奠定了基础，还因全面提出医学道德问题，制订了医生必须遵循的道德规范而名垂千古。以他的名字命名的“希波克拉底誓言”要求从医者必须充分保持医生职业和行为的纯洁与神圣。他还反复强调，医生要有良好高贵的仪表，健康的体魄，利他主义的品质；要热心、诚实谦虚、严肃、冷静、沉着、果断，并且要有纯洁的和简朴的生活习惯。1948年，世界医协大会通过的《日内瓦宣言》和1949年世界医协大会的决议，都把“希波克拉底誓言”作为国际医务道德规则。

(3) 亚里士多德的生物学成就

在古希腊，第一个把生物学置于广泛观察基础之上的，就是亚里士多德。亚里士多德的父亲就是一位宫廷御医，所以他年轻的时候，想就受到过医学知识的教育。就生物学方面说，亚里士多德就著有《动物志》九卷，《动物之构造》、《动物的繁殖》、《论灵魂》等书。

亚里士多德深深懂得，一个新的自然知识领域的开拓，是必须重视

观察的。他研究过亚历山大远征中搜集到的许多亚洲的动植物标本，还注意从渔夫、猎人、牧人和游历家那里收集生物学资料；他认为，真正的自然哲学家应当能够在自然界的每一个领域中发现令人惊奇的东西。不过，由于他把自己的“四因”说等理论主观地塞进生物学中，使他的高度观察力受到了歪曲。例如他认为心脏是灵魂和智慧活动的中心，认为大脑仅仅起到分泌粘液和冷却血液的作用。

亚里士多德是生物系统分类学的伟大先驱。他和他的学生一起记述过 520 多种不同的物种，其中有 50 多种动物是直接通过解剖作出描述的，还绘有插图。他用“属”和“种”作为分类的范畴，并主张要对动物身体的各个部分的结构、生活习性、生存环境、运动方式以及生殖方式进行全面的研究，以确定出动物之间的亲缘关系，建立起合理的分类系统。亚里士多德特别强调把动物的生殖方式、胚胎和初生时发育的成熟程度作为分类的重要标准，因为这更容易揭示出连续的“生物阶梯”。他根据有无红色血液，首先把动物划分为两大类，相当于现在所说的脊椎动物和无脊椎动物。在他的生物阶梯略图中，我们所说的哺乳类动物处在最顶端，因为它们是暖的、潮湿的和无土性的，它们的幼体生下来时就是完善的，这些幼体由这类动物的雌体喂奶长大。其次是由卵发育而成的动物，它们一生下来就能自己活动。再下一级是温暖而干燥的动物，即卵生的鸟类和爬行类动物；更低一些的则是冷的和土性的动物，它们产下的是不完善的卵，如青蛙和乌贼。在一切有性生殖的动物中，最低等的是蠕虫；再往下排列就是蚤虱了，它们是自然发生的。这样，亚里士多德就排列出一个以低等植物为底层，延伸到软体动物、节肢动物、甲壳类、爬行动物、哺乳动物到人为顶点的包括 11 个等级的连续阶梯。虽然根据他的“四因”说必然会得出生物不会有任何真正的变化的结论，但他的分类学说还是暗含了生物进化的思想。

亚里士多德认为生物的繁殖有三种主要方式。第一种是自然发生，如蚤类、蚊虫和虱子等；这种“自然发生论”直到 17 世纪仍在流行。第二种是无性生殖，象海星、贝类和某些可再生的海洋生物。第三种是有性生殖。不过，虽然亚里士多德认识到雌雄双方在生殖中都有贡献，但却错误地认为雌性只是提供被动的“质料”，而完善和温暖的雄性才提供“形式”、运动和活力。这个学说忽视了雌性亲代的遗传贡献，但人们认为它还是包含了现代生物分子遗传学中所说的 DNA 的原始思想；因为它认为雄性的精液提供的“形式因”包含了胚胎各个部分的设计蓝图，并控制着整个生长发育过程。亚里士多德还注意到动物结构间的某些规律，如没有一个动物同时具有长牙和角，牙齿不行的动物必然有复杂的胃等。

亚里士多德死后，他的学生提奥弗拉斯特(约公元前 373—约前 285)进一步发展了经验考察的倾向，在植物分类学上作出了重要贡献。他是古代最著名的植物学家，被称为“植物学之父”。他反对自然哲学家研究“始因”时的先入之见和“目的论”的论证方法，强调必须以科学的态度“研究真实事物存在的条件及其相互关系”。他常常让学生们回到远方的家乡观察那里的植物，用获得的资料丰富他的研究工作。他在《植物史》9 卷和《植物起源》6 卷二书中，记述了 500 多种野生和栽培植物的种和变种，阐明了动物和植物在结构上的基本区别。他把植物分为乔

木、灌木、草本植物、一年生植物、二年生植物和多年生植物，记录了它们的特征和药用价值。他认为高等植物是通过种子繁殖后代，而低等植物是靠自然发生产生后代的。他的分类体系一直沿用到林耐的时代。

提奥弗拉斯特的学生斯特拉图（鼎盛于公元前 286—前 268）把观察方法推广到其他自然现象的研究中，甚至达到了实验科学的水平，在气体力学方面取得了不少研究成果。他曾用实验方法证明了真空的存在，并证明风是由空气的运动产生的。在生物学方面，他认为动物和人一样具有感觉器官，因而动物也必定是有思想的。他反对亚里士多德认为动物是由人退化而产生的观点，认为人只不过是动物中较高级的一类。

（4）亚历山大时期的生物学和医学

随着亚历山大城的建立，生物学和医学在这里又有了新的发展。埃及人解剖尸体制成干尸的传统，使希腊人消除了对尸体解剖的厌恶，使解剖学获得了蓬勃的发展。当时在生物学和医学方面有两位著名的学者，一位是赫洛菲拉斯（鼎盛于公元前 300），一位是埃拉西斯特拉塔（约公元前 310—前 250）。

赫洛菲拉斯写过《论解剖学》、《论眼睛》和有关助产士的书，都已失散。他可能是第一个进行系统的人体和动物解剖的人，并在公众面前进行过人体解剖演示。他用解剖知识证明“智慧之府”是脑而不是心，认识到感觉是靠神经传达的以及脑是神经系统的中心。他区分了血管与神经，并描述了肌腱和神经各自的特征。他似乎对脑、脊椎和神经之间的联系已有了全面而系统的了解，还第一个将大脑与小脑区分开来。

赫洛菲拉斯描述了眼睛和消化管道的结构，注意到了肝的形状和可变性。他记述了腹部器官和女性生殖器官，并区分了淋巴管。在研究循环系统时，他认识到动脉有强有力的搏动的管壁，静脉的管壁则较弱，它们运输的都是血液。他注意到了身体健康和患病时脉搏跳动的情况不同，并曾用一只水钟数脉搏率，分析脉的舒张和收缩，因而可以说他是脉学的创始人。

在医学理论上，赫洛菲拉斯虽然也接受希波克拉底的体液病理学理论，但更赞赏“四种官能”的理论，即位于肝和消化器官内的营养官能，心脏内的加热体温官能，神经内的感觉知觉官能和脑子里的思维官能。他常采用放血疗法和多种药物。

埃拉西斯特拉塔是一名医生之子。他超出了解剖学的研究范围，进入了生理学并采用了实验方法。他反对液体学说而支持器官病理学，认为疾病的来源最重要的是组织和血管。他相信研究病理解剖学是解决疾病的局部解剖问题的关键，这使他更有针对性地进行解剖研究。他对肝及胆管的描述超过了前人，并通过解剖去寻找胸膜炎和心包炎的病因；认识到腹水和肝硬化之间是有联系的。他认为脑是心理功能的中心。他第一个精确地描述了包括半月瓣、三尖瓣、二尖瓣在内的肝脏构造；并把心脏看作是一个水泵，“瓣”即“膜”被看作是单向活动的阀门。这是把当时的机械力学知识运用到生理学领域的一个典范。

埃拉西斯特拉塔认为每种器官都有三种脉管：静脉、动脉和神经。他研究了这三种脉管分枝再分枝地在全身的分布，直到肉眼看不见为止，他认为这种分枝还会继续下去。由于他已认识到心脏是个泵，并想

像到动脉和静脉之间存在着看不见的联系，所以他已经接近了血液循环的观念。不过他错误地认为血液是从静脉通过极细的脉管进入动脉的，即把血液流动的方向弄反了。

埃拉西斯特拉塔接受了原子论思想，但不能抛弃“生命灵气”的学说，认为身体是由原子组成的，只有得到了外界的热量后才具有生命力。生命活动依靠血液和灵气，血液供给营养，通过呼吸空气进入肺和心脏，在心脏内形成“生命灵气”，生命灵气通过主动脉输送到全身各部，控制生命过程。进入脑的灵气变成灵魂的灵气，经神经传送来控制运动和感觉。

在医疗上，他把疾病的原因归于“多血”，即认为来自未被消化的食物的血液太多了，堵塞了生命灵气在大动脉中的循环。所以他经常用饥饿办法减少血液的产生。

赫洛菲拉斯和埃拉西斯特拉塔的门徒们没有把他们的老师在研究工作上的进取精神继承下来，反而遵循了亚历山大学派注释家的榜样，把主要精力放在无味的文字注释上，使生物学和医学的探索走进了教条主义的死胡同。

3. 中国春秋战国时期的生物学和医学成就

(1) 动植物形态、分类知识

随着农业和畜牧业的发展，中国在商周时期已经出现了以下几种对动植物进行分类的方法：

按照毛色分类。如黄牛、幽牛、白羊、黄羊。植物如粟有糜（赤苗）和芑（白苗）之分。

按照形体大小分类。如大兕、小驺等。

按照雌雄性别分类。如牡（公牛）、（公豕）、牝（母牛）、（母豕）等。

按照功能、用途分类。如马有种马、田马、道马等。

按照外形特征分类。如虎与豹有条形斑纹与铜钱斑纹之区分，植物有木本与草本的基本区别。

战国后期，随着动植物分类知识的增长，荀子发展了后期墨家“类”的思想，提出了“大共名”、“大别名”的区分概念级别的方法；在《荀子·王制》篇中，更对自然界的事物作了如下的分类：“水火有气而无生，草木有生而无知，禽兽有知而无义，人有气有生有知亦且有义”。这就将自然事物分为有生命的和无生命的两大类，有生命的（生物）又分为无感知的（植物）和有感知的（动物）两类，动物中又分为有义（理性）的和无义的（禽兽）两类。

在具体的动植物形态、种类的认识上，《诗经》中记载的动植物约有 250 多种。《周礼·地官·司徒》提出了“以土会之法，辨五地之物生”的分类方法，并首次出现了“动物”和“植物”两个名词。植物被分为阜物（指柞、栗等果实有壳斗之属）、膏物（指生有囊韬的莲芡之属）、藪物（指梅、李等核果类）、荚物（指生有豆荚的植物）、丛物（指“萑苇”之属）五类。关于动物，文中分为毛物（兽类）、鳞物（鱼类）、羽物（鸟类）、介物（龟鳖之属）与羸物（人类）五类。由此可

知，中国在春秋时期已经形成了初步的生物分类体系了。

在战国后期成书的训诂之作《尔雅》中，《释草》、《释木》、《释虫》、《释鱼》、《释鸟》、《释兽》诸篇，集中概括了这一时期积累下来的动植物方面的知识，也成为一种分类系统。植物被分为草、木两大类；动物被区分为虫、鱼、鸟、兽四大类。在动物的进一步更详细的分类中，提出了相当于现代所说的“目”、“科”的分类阶元。

(2) 植物和动物的生态知识

随着人们有关植物知识的增加，中国古人也越来越多地了解了植物的生活习性、植物与环境的关系以及植物的分布。

庄子首先提出了“种有几”的命题，“几”即环境，是说任何物种都有一定的生长地势、环境和条件。关于水在植物生长中的作用，当时人们不仅知道了旱生与水生之分，而且知道了不同的水情环境生长着不同的植物种类。《管子·地员》专门论述了土壤与植被的关系。它把各地的土壤分为三等、十八类、九十种，分别说明了它们的特性和适宜的作物。文中还举出了一个精彩的例子，列举了十二种植物随地势高下的顺序分布，说明了“草土之道”。文称：“凡草土之道，各有谷造，或高或下，各有草土(物)。叶(荷)下于(菱或茭白)，下于菀(莞)，菀下于蒲(香蒲属)，蒲下于苇(芦苇)，苇下于藿(旱生之苇)，藿下于葵(葵蒿)，葵下于莽(胡枝属，扫帚菜)，莽下于萧(蒿属)，萧下于薜(薜，莎草类)，薜下于萑(萑，益母草)，萑下于茅(白茅)。凡彼草物，有十二衰，各有所归。”这里从低到高，由“叶”到“茅”，从水生到陆生，从深水到高陵，准确地说明了各种植物在不同地势环境中的分布，从而表明了“草”与“土”之间的密切关系。在春秋战国时期的不少典籍中，还记载了植物生长与阳光、气温以及空气的关系。

在关于动物的生态学知识，即动物与环境的认识上，春秋战国时期也有了较深入的观察与概括。

一般说来，动物受地形的影响比植物为小，不过还是有一些相关性的。《周礼·地官·司徒》中提出了不同地形适宜于不同动物的生活。如“山林，其动物宜毛物”，“川泽，其动物宜鳞物”，“丘陵，其动物宜羽物”，“坟衍，其动物宜介物”，“原隰，其动物宜羸物”。即山林多走兽，江湖多鱼类，丘陵多飞鸟，水边低地适于水居陆生动物，平原地区适于人类居住。这段论述虽还较粗糙，但说明当时人们已从生态学的观点去观察生物界了。《庄子·骈拇》篇称：“凫胫虽短，续之则扰；鹤胫虽长，断之则悲”。说凫(游禽)足短，正适于在水中游泳觅食，足长了反而不利；鹤(涉禽)足长，也适于在浅水中捕鱼，足短了就无此能力了。这里论述了动物的形态构造与生存环境的适应关系。

发现水生生物与月相变化的关系，是中国春秋战国时期关于动物学的一个重要成果。《吕氏春秋·精通》称：“月也者，群阴之本也。月望则蚌蛤实，群阴盈。月晦则蚌蛤虚，群阴亏。夫月形乎天，而群阴化乎渊。”这是说蚌、蛤类水生动物肉质随月望而充实，月晦而空虚的现象，而且推及到所有水生动物(“群阴”)，这是符合事实的。《夏小正》、《尚书》、《诗经》等著作中还记载了四季的变更所引起的动物

活动方式的周期性变化，如候鸟的迁徙，兽类的换毛和冬藏等。

中国的古籍里，还有不少动物之间相互关系的记载。《诗经·小雅》中载：“螟蛉有子，蜾蠃负之”。这实际上是蜾蠃产卵于螟蛉身上，靠螟蛉身躯长育的一种寄生现象。《尚书·禹贡》中有“鸟鼠同穴”的动物共栖现象的记载。《晏子春秋》外篇中记有“尺蠖食黄则黄，食苍则苍”，这是一种动物体色随环境变化的保护色现象。此外，中国古人早就懂得了保护生物资源，合理开发利用生物资源的重要性。在先秦古籍里，有不少有关这一论述和政策的记载。

(3) 中医理论的初步创立

一般认为，春秋战国以前是中国“巫医结合”的时期。随着经验医学知识的积累，到战国末期，以生理学说、病理学说和诊断治疗为基本内容的中医理论，大致形成了一个比较完整的系统；特别是出现了以《黄帝内经》为代表的全面总结了秦汉以前中国医学成就的医学著作。

中医的生理学说，与对生命的起源以及生命现象的本质的理解是密切联系着的。中国古人认为，一切有形的东西都是由无形的“气”变化而来的，人也是由“气”生成的。“气”也被称为“精气”；《管子·内业》指出，精气充满人体，人就能维持正常的生理功能。在《黄帝内经》（以下简称《内经》）中，“精”则被看作是由气变成人体时最先形成的东西，还把精看作生殖下一代的物质基础。此外还存在所谓“神”。《管子·内业》指出“神”也是一种特殊的气或气的属性，是事物发展变化的一种内在的能动作用。《灵枢·平人绝谷》称：“神者五谷之精气也”，说神是由五谷转化成的一种精气，所以是生命不可或缺的东西。气、精气 and 神三者结合起来，形成了对生命现象的总理解。

《吕氏春秋·达郁》篇对人体的生理结构作了一个概括的说明。文称：“凡人三百六十节、九窍、五脏、六腑。肌肤欲其比也，血脉欲其通也，筋骨欲其固也，心志欲其和也，精气欲其行也。若此，则病无所居，而恶无由生也。”这段话是中医生理学说的中心内容。它指出人体是由关节、肌肤、筋骨、官窍、五脏、六腑等固形器官和组织构成基础框架，通过肌肤的联结、血脉和精气的流通运行而成为一个协调的有机整体。

气血运动的结合，可能是产生“经络学说”的基础。经络概念在战国时期可能已经形成，是中医理论的重要组成部分。经络本来就是血脉，主干称为经脉，分支称为络脉；《内经》认为，气血在经络中运行，从而构成“阴阳相贯，如环无端”的循环径路，把人体结成一个表里上下、脏腑器官联系沟通的统一体。因此，经络学说就为诊断和治疗提供了理论根据。

《内经》还以阴阳学说来说明人体构造和生理功能之间的关系。《素问·宝命全形论》把男女、寒热、燥湿、高低、内外、脏腑、气血、动

关于《黄帝内经》的成书年代，至今尚无一致的结论。从书的内容、体例、遣文用语上看，并非一人一时之作。大约产生于战国时期，后经秦汉医学家的整理、补充、修改而成书。《黄帝内经》包括《素问》和《灵枢》两大部分，共 18 卷 162 篇。

静、功能等，都分为阴阳。《内经》强调人体必须保持阴阳的相对平衡，才不致于生病；一旦阴阳失去平衡，人体就会生病；治病在某种意义上就是要调整阴阳失调的状态，恢复到“阴平阳秘”的健康状态。

春秋战国时期，人们已开始从气候变化、自然环境、饮食起居、情欲哀乐等方面来探讨疾病发生的原因。《左传·昭公元年》记载，秦国良医医和被聘赴晋为晋侯平公治病时曾提出“六气致病说”，文曰：“天有六气，降生五味，发为五色，征为五声。淫生六疾。六气曰阴、阳、风、雨、晦、明也。分为四时，序为五节，过则为菑（灾）。”这里已包含了以四时、五节、六气等气候变化为主要病因的概念，是后世形成的风、寒、暑、湿、燥、火“六淫病源”说的基础。《内经》还特别把“善行而数变”的风看作是“百病之长”，认为风可以引起多种疾病。春秋战国时期，人们还认识到喜、怒、忧、思、悲、惊、恐等情志异常是疾病发生的重要原因。《素问·阴阳应象大论》认为“怒伤肝”，“喜伤心”，“思伤脾”，“忧伤肺”，“恐伤肾”；《灵枢·本神》则认为怵惕思虑伤心，忧愁不解伤脾，悲哀动中伤肝，喜怒无极伤肺，盛怒不止伤肾。虽然这种对应关系并不一致，但关于精神状态异常会引起疾病的认识还是正确的。此外，这一时期关于生活起居、水土环境致病的记载也多有出现。

关于疾病的诊断，《周礼·天官》提出要以“五气、五声、五色”的变化为主要征象，以“九窍”之变为辅助，以“九脏”之动为参考，进行多种因素的综合分析。这是后世中医诊断学的雏形。《史记·扁鹊仓公列传》说到名医扁鹊的诊断方法是“切脉，望色，听声，写形，言病之所在”。《内经》的诊法，主要包括望、闻、问、切，这是后世中医传统诊断法“四诊”的渊源。

关于治则，《内经》首先强调早期治疗的原则，《八正神明论》说：“上工救其萌芽，……下工救其已成，救其已败”。其次是注意标本先后的原则，病急先治其标，病缓则治其本。《内经》还强调了“扶正祛邪”、“补虚泻实”的治疗原则；同时还要求根据病机和病变来决定治疗方法，即根据疾病的特点、病人的体质、时令气候、地理环境等具体情况制定相应的治疗方法。

在临证治疗方面，食养、药疗、酒剂和针刺火灸等，都已广泛应用。《内经》中记载的治疗方法有吐、下、内消、蒸浴、毒药、九针、砭石、灸、切开、导引、按摩、热敷等；所载药方有汤、酒、丸、散、膏、丹等。《内经》中关于针刺的记载和论述特别详细，大约记有气穴 365 穴，气府 365 穴；同时对针刺的具体手法、针具和“禁刺”情况等都作了叙述。

中国古人十分重视疾病的预防和养生保健。《素问·四气调神大论》说：“是故圣人不治已病治未病，不治已乱治未乱，此之谓也。夫病已成而后药之，乱已成而后治之，譬犹渴而穿井，斗而铸锥，不亦晚乎？”这是说应及早预防疾患的发生和发展。《内经》吸收了诸家之说，特别是道家的养生思想，总结出了“春夏养阳，秋冬养阴”的养生原则，提出了动静结合的养生方法。静养主要是“恬淡虚无，真气从之，精神内

守，病安从来”；动养主要是“形劳”，“广步于庭”，“导引按 ”，以促进气血流畅，达到“形与神俱”。《内经》特别把保养肾精看作是“尽终其天年，度百岁乃去”的重要条件，要求人们食饮有节，起居有常，不“以酒为浆，以妄为常，醉以入房，以欲竭其精，以耗散其真”。

八、古代物理学成就

古代世界的各个文明地区，在理解和认识物理世界的现象、本质和规律方面，都取得了一定的成果；不过比较而言，古希腊和中国春秋战国的物理知识，是更为丰富和更加体系化的，对后世科学的发展也有更大的影响。

古人是通过自己的实践和以自己的思维方法来了解和认识物理世界的，包括哲学上的思考和具体物理现象的研究两个方面。由此产生了很具特色又很有价值的古代物理知识。

1. 古希腊关于运动和空间、时间的观念

古希腊的学者中，对运动、空间和时间作出最系统的研究的，是亚里士多德，并比较集中地反映在他的《物理学》一书中。他把一般的变化理解为运动，其中包括产生和消灭、数量的增加和减少、性质的变化和位置的移动。但他强调说，运动的“最一般最基本的形式是空间方面的运动（我们称之为位移）”。亚里士多德把位置的移动这类运动分为两大类，即“自然运动”和“非自然运动”。重物竖直下落和轻物竖直上升的运动属于自然运动，这是物体在其“内在目的”支配下寻找其“天然位置”的运动。他说含土元素和水元素的重物的天然位置在宇宙中心（地心）；越重的物体包含的土元素和水元素也越多，所以它们落向地面的倾向性也更大，因而不同重量的物体自由下落时，较重物体的下落速度必定更快。非自然的运动，都只能在外力强迫下才能进行；而且这种强迫作用，只有在推动者的直接接触下才能实施。“推一个物体的力不再推它时，物体便归于静止”。但推动者也被推动，按逻辑推论，最后的推动者必是只推动他物而不被他物所推动的，他必然是不动的；亚里士多德由此得出了“第一推动者”的结论，即存在着一个“先于其他而自身不动的推动者”，他可以作为所有其他事物运动的根源。为了解释离弦的箭或抛出的石头的持续运动，亚里士多德提出了“自然界没有虚空”的假设，认为空间充满介质，如空气；箭或石头的最初运动，冲开前面的空气，而在其后面造成虚空，周围的空气立即填补这一空间而对飞行体产生一个推力。

关于空间，亚里士多德作了如下的说明：“（1）空间乃是一事物（如果它是这事物的空间的话）的直接包围者，而又不是该事物的部分；（2）直接空间既不大于也不小于内容事物；（3）空间可以在内容事物离开以后留下来，因而是可分离的……”。他还进一步概括说：“空间是包围物体的限”，即包围物体的限面。亚里士多德的这种认识，是发展相对空间和相对运动概念的出发点，同时也是发展绝对空间和绝对运动概念的出发点。

关于时间，亚里士多德把它看作是描述运动的数。他说：“时间既不是运动，也不能脱离运动”；“运动完成了多少总是被认为也说明时间已过去了多少”；“只有当我们已经感觉到了运动中的前和后时，我

们才说有时间过去了。”于是他得出结论说，时间是使运动成为可以计数的东西，“时间是一种数”。他还指出：“时间是永存的”；“在任何地方，同时的时间都是同一的”。这是他对时间的无限性和同时性的认识。

2. 希腊时期的经验物理学知识

力学现象是最为直观的，古希腊人在这方面取得的成绩也最大。其中成就最为突出的是亚里士多德关于运动的研究和阿基米德的静力学工作。前者已在前面作过叙述。

阿基米德是静力学的真正创始人。他在物理学方面有多部著作，留传至今的只有《论平板的平衡或平板的重心》和《论浮体》。在前一部书中，他把杠杆的实际应用中的一些经验知识当作“不证自明的公理”，然后从这些公理出发，运用几何学的方法通过严密的逻辑论证，得出了杠杆原理。这些公理包括：相同的重物置于杠杆二端离支点等距的位置处，杠杆平衡；相同重物与支点距离不等时，杠杆不平衡，并向距离远的一端下倾；不相同重物置于杠杆二端与支点等距处，重的一端将下倾；在重心的位置保持不变的条件下，一个重物的作用可以用几个均匀分布的重物的作用来代替。从这样一些人人都会接受的公理出发，阿基米德证明了“二重物平衡时，所处的距离与重量成反比”。这就是杠杆原理。据说阿基米德以这一原理为根据曾对叙拉古国王希罗宣称：“给我一个稳固的支点，我就能把地球挪动！”

阿基米德的另一个重要成就，就是发现并精确论证了著名的阿基米德定律，即浮力定律。传说这是他在洗澡时由于看到水的溢出和感到水的浮力而突然想到的解决金王冠内是否掺了银的方法，从而得到了这个定律的。从《论浮体》这部著作可以断言，他确实是思考过船体所受浮力的问题。他同样采用严密的逻辑方法，从一些人们很容易接受的基本公设出发，得到了他的结论：浸入液体中的物体所失去的重量（即它所受到的浮力），等于与它同体积的液体的重量。

阿基米德所开拓的不只是静力学的发展道路；他把实验和逻辑论证结合起来的方法，更具有现代科学方法的特色，实际上是开辟了整个物理学的通途。可惜的是随着古希腊学术的衰退，他的工作没有得到继续和发展。

光学也是古希腊发展得较早的一个知识部门。他们很早就思考过视觉的问题，提出了射入说、射入—射出说和射出说三种看法。毕达哥拉斯学派和原子论者认为，物体的表面会向四面八方发射出一些粒子，它们在运动过程中保持着物体的形状和颜色，当它们进入人的眼睛时就会引起视觉。亚里士多德也赞同射入说，但反对物体粒子的直接入射的说法，更强调介质的作用。他认为物体使它周围介质的性质发生了一定的变化，这种变化通过透明介质（如空气、水）传播开去，当介质的作用进入眼睛时，就会引起不同颜色的视觉。他说在没有介质的虚空中，人的眼睛是什么也不会看到的。

恩培多克勒和柏拉图学派则提出射入—射出说。他们说物体会发出某种东西，人的眼睛也会发出某种东西，它们在空间中相遇，就产生了

视觉。恩培多克勒还认为，视觉过程需要时间，这是最早提出的光的传播需要时间的思想。但是，视觉所获得的为什么恰好就是物体的真实形象呢？欧几里得提出了射出说。他认为，视觉的产生是从人眼睛发出的射线被物体反射回来的结果；这些与物体边界相切的射线形成一个锥体从而被人所看到，物体的大小由视角来表达。

在《反射光学》一书中，欧几里得研究了光的传播问题。他把几何学运用到光现象的研究中，开创了几何光学。他确认了光（射线）的直进性并建立了光的反射定律，进而又把这个定律用于平面镜和球面镜的成像上。欧几里得还知道凹面镜的聚焦作用，并假定其焦点在球心或球心与球面之间。活动于亚历山大城的赫隆（约公元前 150—约前 100）也写过一本名为《反射光学》的书，其内容是关于镜子的理论和实际应用。他认为光（射线）所行经的路程必须是最短的；从这个原则出发借助于几何学方法，他论证了光的反射定律，得出光的入射角和反射角相等的结论。

希腊人似乎还知道了利用透镜（玻璃球）制造取火镜的事实；亚里士多德还曾经描写过光的折射现象：插入水中的棍子，好象是折断了似的。

西方古代对电和磁的知识了解很少。据说泰勒斯已经知道摩擦过的琥珀会吸引轻小的物体。淡黄色的琥珀古代称之为“琥珀金”，“电”这个词就是由此而来的。磁石吸铁的现象，也早就被认识了。据亚里士多德载，泰勒斯可能说过“磁石有灵魂，因为它吸动铁”。柏拉图在他的《蒂迈欧》中明确地说出了磁石和琥珀有吸引它物的能力，他说这是一种奇异的现象。亚里士多德的学生提奥弗拉斯特收集和研究所研究过许多矿石，他在一篇名为《论石》的文中说，琥珀能吸引小草以至于小块的铜或铁。在一些文学作品中，还有关于磁石吸铁现象的描写。如关于牧人玛格内斯的神话讲到，玛格内斯在克里特岛的艾达山上，他鞋底上的钉子和手杖的铁尖牢固地被大地所吸引，使他无法离开，从而发现了地下一一种奇妙的石头（磁铁矿）。这些记载，都是对电和磁现象的初步描述。

声的现象很早就受到人们的注意。毕达哥拉斯学派曾经从对竖琴的弦长、笛子的管长与音调高低的研究中，发现了谐和的音调之间简单整数比的关系。

恩培多克勒对听觉问题作了可能是最早的论述。他说当打击坚硬的物体时会引起空气的振动，它传入人的耳朵就引起听觉。毕达哥拉斯学派的阿契塔（活动于公元前 4 世纪）认为声音是由被撞击的物体的振动产生的，他把音调的高低与振动的快慢联系起来，认为较快的振动产生高音，较慢的振动产生低音；但他却错误地认为高音传播的速度比低音为快。亚里士多德则认识到介质的作用，认为介质的存在也是声音现象存在的条件。他指出发声物体的振动碰撞介质，使介质在各个方向发生拉伸和压缩运动，从而传播开去。他说空气和水都可以传播声音，但他没有得出声波的概念。他还指出，当声音碰到障碍时，就会像光一样被反射而产生回声。

罗马的建筑师们从经验中提出了一些建筑声学问题。建筑师维特鲁威（活动于公元前 1 世纪）所著的《论建筑》中论及了交混回响、回声和共鸣等，开创了建筑声学的研究。

关于热现象，亚里士多德等把热看成是先于物质元素的一种基本性质。原子论者则认为热的感觉是由原子流引起的；他们把火看成是由最轻、最滑、最活泼的原子组成的。

总的看来，古希腊的物理学，除阿基米德的静力学外，都还未超出萌芽的、零散的经验范围。在研究方法上，也基本上停留在对自然现象的直接观察和简单的抽象和推理上；只在个别问题上，如阿基米德关于浮力现象的研究上，进行了卓越的科学实验。

3. 中国春秋战国时期的物理学成就

春秋战国时期百家争鸣的局面，促使人们提出了诸如时间空间、运动静止等重要问题；以铁器的使用为代表的生产技术的发展，又促进了力、热、声、光等物理知识的积累，使物理学取得了重大的进展。

(1) 力学知识

春秋战国时期，中国古代力学已进入形成时期，表现出两种发展趋势。一是以《考工记》为代表的实用力学知识的积累，如物体的滚动，箭矢的飞行，物体的沉浮等现象的知识；一是以《墨经》为代表的理性力学的萌芽，如时空与运动，力与重，重心和平衡，简单机械原理等方面带有理论性的粗略概括等。

《管子·宙合》篇最早明确地提出了时间、空间的概念。“宙”含日月往复、四时循环之意，所以一般指时间；“合”古义为“盒”，上下四方为“六合”，意指空间。文称：“天地，万物之橐，宙合又橐天地。”说万物纳于天地之中，天地又纳于时空之中。《墨经》中用“久”和“宇”分别表示所有不同时刻的总和与所有场所的总和，这是很有概括性的时间和空间的概念。战国时代的学者们还提出了宇宙在时间和空间上的无限性问题。名家惠施所说的“至大无外，谓之大一”的“大一”，正是无限宇宙的朴素概念。《庄子·庚桑楚》称：“有实而无乎处者，宇也；有长而无本剡（标）者，宙也”。认为空间是实际存在的，但没有穷处；时间有古今之长，但又无始无终。

《墨经》中还讨论了机械运动的问题。文称：“动，或（域）徙也”，指出运动即位置的变化，这是关于机械运动的一个确切定义。《墨经》还准确地描述了转动和平动，提出了静止的定义。特别是墨家已认识到了运动和时空之间不可分割的联系，指出：“宇，或徙，说在长宇久”。是说物体的运动必然经历一定的空间和时间的变化。

“力”是力学中最基本的概念之一，墨家最早给出了“力”的定义。《墨经》中称：“力，刑之所以奋也”。“刑”同“形”，指物体；“奋”泛指各种运动状态的变化。所以上面这段话是说，“力”是使物体运动状态发生变化的原因。墨家对“力”的本质的这一深刻准确的概括，是人类对“力”的最早的理性认识。《墨经》还进一步指出：“力，重之谓；下、举，重奋也”。这里把“重”看作是力的一种表现，认为物体的下落、上举，都是在重力作用下的运动变化。

《墨经》中描述了一个横梁承重实验，对完整的横木和用绳索连接的连木的抗弯能力作了比较。在《考工记·轮人》篇中说明了必须使车轮尽量接近正圆形，以达到与地面的接触面最小，这实际上涉及到了滚

动摩擦的问题。

《考工记·辘人》篇明确地描述了物体运动中普遍存在的惯性现象。文称：“马力既竭，辘犹能一取也”。是说马拉的车当马不再用力拉时，车辕还能继续趋前一段距离。这种认识比古希腊的亚里士多德要深刻得多。

《墨经》中对浮力的作用原理进行了概括。文曰：“荆（形）之大，其沈浅也，说在具”；“荆：沈荆之贝（衡）也，则沈浅非荆浅也，若易五之一”。这是说将一大的浮体放到水里，当浮力与重力平衡时，浮体下沉的深度虽然小于浮体的高度（即浮体上部露出水面），但浮体的重量与下沉部分受到的浮力却是相等的，就像市场上五件商品与一件商品的交换那样，是完全等价的。这段叙述实际上包含了浮力定律的内容。

中国很早就广泛应用了杠杆一类的简单机械。墨家根据桔槔和不等臂秤的运用，深入地探讨了杠杆平衡的问题。墨家把杠杆中的支点到重物间的距离叫作“本”，把支点到秤锤（权）之间的距离叫作“标”，用这些概念论述了著名的杠杆原理。《墨经》中写道：“天（衡）而必正，说在得”；“衡：加重于其一旁，必捶（垂）。权重相若也，相衡，则本短标长。两加焉，重相若，则标必下，标得权也”。这段论述是说，如果秤的二边平衡，则秤杆一定是水平的（“正”）。“得”表契和，说平衡是由于秤锤（“权”）与力臂（“标”）、重物（“重”）与重臂（“本”）相互契和的联合作用造成的。这实际上已经表述了杠杆原理的实质： $重 \times 本 = 权 \times 标$ 。进而又指出，在平衡时若加重于边，这一边一定下垂；只有使权、重成一定比例，才能达成二边平衡，此时必然“本短标长”；假如在二边增加相等的重量，“标”的一边必定下垂，这是“标”与“权”的联合作用较大所致。可以看出，墨家已用确切的术语比较完整地表述了不等臂杠杆的状态。

(2) 声学知识

春秋战国时期，中国古人对物体的振动和发声的关系，各种质料与形态的物体所发声音的响度与音色，声音的共鸣现象等，已有较清楚的了解；还创立了古代律学的基础。

《考工记·凫人》篇记载：“凫人为钟，……薄厚之所震动，清浊之所由出”，指出声音之清浊（即音调的高低）是由厚薄不同的钟的振动产生的。《磬人》篇也指出：“凡乐器，厚则声清，薄则声浊”。钟与磬都是板乐器，而板振动的频率正比于板的厚度。所以文中指出：“磬人为磬，……已上则摩（磨）其旁，已下则摩其端（端）”。这是说声音太高时就磨磬的两面，使之变薄，声音就降至正常；声音太低时就磨其二端，使磬体相对变厚，声音就会升高。《意林卷一·韩子》中还有“瑟者，小弦大声，大弦小声，大细易位”的记载，说明至迟在公元前四世纪，中国古人已定性地知道了弦的发音与弦线粗细成某种反比关系。

春秋战国的古籍中，对音调的响度、音品和共振，都有记载。《考工记·凫氏》篇称：“钟大而短，则其声疾而短闻；钟小而长，则其声舒而远闻”。这是说大而短的钟，振动的振幅小，响度（声强）小，传播的距离也小；小而长的钟，响度大，能远闻。这一现象的记述是很准

确的。《礼记》中对不同的物体的音品已有初步的认识，文称：“钟声铿，……石声磬，……丝声哀，……竹声滥，……鼓鼙之声灌，……”。

《考工记》中还讲：“钟已厚则石，已薄则播”。“石”指声音太闷，不响亮；“播”指声音太散，不集中实在。

《庄子·徐无鬼》中记载了西周初年的鲁遽演示过瑟弦的共振现象：“（鲁遽）为之调瑟，废一于堂，废一于室。鼓宫宫动，鼓角角动，音律同矣。夫或改调一弦，于五音无当也，鼓之，二十五弦皆动”。“废”为放置之意。分别放在堂和室的两具瑟，在其一上奏出宫或角音时，另一具上相应的弦就发生共振，这是基音的共振现象；若改调一弦使之与任何一音皆不合，则当弹奏它时另一瑟上的 25 根弦皆动，这是基音和泛音的共振现象。文中还用“音律同矣”对这一现象作出解释，这是很确切的。《墨子·备穴》篇还记述了用埋缸听声的方法判断地下声源方向以侦探敌方行动的几种设计，这是对声音的共鸣现象的实际应用。

春秋战国时期，随着音乐活动和乐器制造的发展，中国古代律学也得到了很大的进步。所谓“律”，即指构成音阶的每个音，又指选择音阶中各音的构成规律。人们从实践中发现，可以根据弦和管的长度与所发音调的关系，来确定出音阶中各个音调之间的数学比例，由此产生了乐律计算法。中国古代的乐律是先有五声（宫、商、角、征、羽），后有七声（五音再加上变征和变宫而组成七音）。在七声的基础上由于转调的需要，就产生了十二律。《国语·周语》记载，公元前六世纪时一个叫伶州鸠的乐官已经把十二律的名称列叙出来。这十二律即黄钟、大吕、太簇、夹钟、姑洗、仲吕、蕤宾、林钟、夷则、南吕、无射、应钟，相当于今之 c、 $\sharp c$ 、d、 $\sharp d$ 、e、f、 $\sharp f$ 、g、 $\sharp g$ 、a、 $\sharp a$ 、b 这 12 个音调。春秋时期产生了一种乐律的计算方法，即“三分损益法”。《管子·地员》篇载：“凡将起五音，凡首，先主一而三之，四开以合九九，以是生黄钟小素之首，以为宫。三分而益之以一，为百有八，为征；不无有三分而去其乘，适足，以是生商；有三分而复于其所，以是成羽；有三分去其乘，适足，以是生角。”即以—个被定为基音的弦（或管）的长度为基础，把它三等分，再加长一份（“益—”）或去掉一份（“损—”），就可以定出另一个律的长度。从数学上讲，即把基音的弦（管）长乘以 $4/3$ 或 $2/3$ ，照此依次进行下去，直到获得比基音高出一倍或低一倍的音，就得出一个五声音阶。具体推算方法为：令黄钟宫音的弦（管）长为 81，即 $1 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ ，则

征音弦长为 $81 \times 4/3 = 108$ ；

商音弦长为 $108 \times 2/3 = 72$ ；

羽音弦长为 $72 \times 4/3 = 96$ ；

角音弦长为 $96 \times 2/3 = 64$ 。由此可知，“三分损益法”就是“五度相生法”。“三分损益法”是中国古代乐律学的一个杰出成就，并且是古代物理学应用数学的最早例证。

用“三分损益法”由五音再加上变宫（b）和变征（ $\sharp f$ ）两个半音，就可得出七声音阶。《吕氏春秋·音律》篇还记载了用“三分损益法”相生十二律的计算方法

(3) 关于电和磁的认识

在殷商时代的甲骨片中，已经出现了“雷”字；西周时代青铜器的铭文中，也有了“电”字，这指的是雷电。《淮南子·坠形训》中说：“阴阳相薄为雷，激扬为电”，即认为雷和电是阴阳二气相抗斥和激荡而产生的。

春秋时期，人们对磁石已有初步的认识。据记载，周大夫关尹子（关喜）对“慈石无我，可见大力”提出解释说：“金乌搦土，慈石吸铁，二物扭结，而生变化”。公元前4世纪成书的《鬼谷子》中有：“其察言也，若慈石之取针”。《吕氏春秋·精通》篇有“慈石召铁，或引之也”。这些记载表明，当时对磁石吸铁的知识，已很普遍了。当时尚无“磁”字，用“慈”字表示磁石是“慈爱的石头”，字义中就包含了具有吸铁性的意义。

《淮南子·览冥训》中记载：“若以慈石之能连铁也，而求其引瓦，则难矣”；在《淮南子·说山训》中又说：“慈石能引铁，及其于铜则不行也”。这已指出了磁石对铁性物质和非铁性物质的作用是不同的。

早在战国时期，天然磁石已被用于医疗实践。包括磁石在内的“五石”，已被作为内服药物。磁石的指极性，也被用于指南器“司南”的制造。在《鬼谷子·谋》篇中称：“郑子取玉，必载司南，以其不惑也”。这是关于“司南”的最早记载。关于“司南”的形制，在东汉五充的《论衡·是应》篇中记述曰：“司南之杓，投之于地，其柢指南”。今人王振铎考证认为它是用天然磁石琢磨成杓状的东西，底呈光滑的球形，把它放置于用青铜制成的光滑地盘上，拨动构柄使之轻微转动，静止后其柄即指向南方。

(4) 光学成就

中国古人很早就利用凹面镜聚太阳之热取火。《周礼·司寇》有：“司烜氏，掌以夫燧，取明火于日”。《庄子》也有“阳燧见日，则燃而为火”的记载。夫燧、阳燧皆指凹面镜。中国古人还知道了光线穿过透明体的折射现象。《管子·侈靡》中记载：“珠者，阴之阳也，故胜火……”。这里所说的“珠”，大约是石英一类透明体经流水冲刷成卵形，类似凸透镜，可向日取火。《淮南万毕术》记载公元前2世纪已有人用冰制成透镜向日取火：“削冰令圆，举以向日，以艾承其影，则火生”。

《墨经》中对光的直线传播原理记载了精彩的实验，并提出了精辟的论述。文曰：“景到（倒），在午有端，与景长。说在端”；“景：光之人，煦（照）若射。下者之人也高，高者之人也下。足蔽（蔽）下光，故成景于上；首蔽上光，故成景于下。在远近，有端与于光，故景库内也。”这是世界上最早的“针孔成像”的实验的论述。“景”为“像”，“午”指“交午”，“端”为“点”，指屏中的小孔。这条经文说明，从人体各个部位射出的光线，直线射过小孔（端）并在此相交，从人体下部射来的光线射到高处，从上部来的则射到低处；如足部射出的光被低部的屏所遮蔽，因而只能成像于高处；首部的光线只能成像于低处。因而屏后的幕上就得到一个倒立的像；像的大小则与交点（小孔）的位置有关。文中的“照若射”，用“射”字形容光线的径直疾进，是十分形象和确切的。墨家还利用光的直线前进的性质，讨论了光源、物体和

投影三者之间的关系问题。如一个物体同时受到两个光源的照射时出现的重影现象和半影现象等。

《墨经》中对平面镜和球面镜的成像问题，作出了非常深入的论述，反映了当时在这一研究中所取得的辉煌成果。

关于平面镜成像，《墨经》中有如下一个实验及其光学解释的记载：“临而立，景到（倒）；多而若少，说在寡区”；“临：正，景寡，貌能（态）、白黑、远近、杗正、异（映）于光。（者），景当俱就；去亦当俱，俱用背。者之臭（糗），于无所不；景之臭无数，而必过正，故（估）同处。其体俱然，分”。对这一条文的解释，目前还有不同的意见。谭戒甫、钱临照先去作平面镜成像解。经文指出，一物（如人）俯视一平放于地的平面镜，在镜中得一倒像。由于镜面较小（“寡区”），观察者从一个方位只能从镜中看到不大范围内的景像。任何物体在镜内只能有一个像；物的形态、明暗、距离、斜正都由光线映于镜。当人（物）走近或远离镜子时，其像也同时走近或远离。人（物）朝向镜子的表面上的一切点（“糗”），在镜中无一不被映出，人（物）体表面之点无数，其像的点也无数。像与人（物）分处于镜面二侧，相对应的点估计与镜面的距离相等。

墨家对凹面镜成像进行了深入的研究，取得了惊人的成就。《墨经》中记载了一个凹面镜成像的实验及其光学解释：“鉴位（洼），景一小而易，一大而正。说在中之外、内”；“鉴：分鉴。中之内：鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小，而必正。起于中缘（燧）正而长其直（置）也。中之外：鉴者近中，则所鉴大，景亦大；远中，则所鉴小，景亦小，而必易。合于中而长其直（置）也”。“鉴洼”即指凹面反射镜。经文说凹面镜所成之像有两种，一种是物在镜面球心之外时形成的比物小的、倒立的像；一种是物在镜面球心之内时形成的比物体放大的、正立的像。在后期墨家所作的更准确的进一步说明中，把这一实验分为“中之内”、“中之外”两种情形（“分鉴”）。“中”指“中燧”（焦点）到“合于中”（镜面球心，物与像重合之处）之间的这一段。如果物体在“中之内”，即焦点之内，就得正立的像，其大小随物离焦点的远近变化；如果物体在“中之外”，即在球心之外，就得倒立的像，其大小随物离球心的远近变化。值得指出的是，在这个实验的记述中，墨家已经明确地区分了“球心”和“焦点”，而且还知道了物体和他的像在球心处重合（“合于中”）。这种准确的描述是与他们所进行的多次周密精确的实验分不开的。

此外，墨家还对凸面镜成像作了实验研究，作出了基本正确的描述。

《墨经》中关于光的直进性以及各种面镜成像现象的叙述，是一部系统完整的关于几何光学问题的实验记录和理论说明；其内容和近代光学理论基本上是一致的。《墨经》的论述比古希腊学者欧几里得的《光学》早约一个世纪，在世界光学史上应占有崇高的地位。

