学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界中世纪科技史

内容提要

根据传统看法，中世纪被视作一个文化和科技发展暗淡无光的黑暗时期。因此，迄今国内提及中世纪科技成就时，大多语焉不详，一笔带过。笔者认真查阅了各专门学科的学术发展史，发现即使在那个学术荒漠的时代，仍然有一大批特立独行、坚忍卓绝的科学工作者总结了广大劳动人民的智慧结晶，并发扬光大，取得了辉煌的成就，为近代科学的诞生作出了杰出贡献。中国的科学技术更是达到了前所未有的高度，成为世界科技史中的一朵奇葩。本书分阿拉伯、欧洲、中国三个地区，分别涉及数学、物理学、化学、医学、天文历法、地学、生产技术等七个领域，谨作概括综述，以飨读者。

一、概述

中世纪指的是从 5 世纪古希腊、罗马文化的萎缩，到 15 世纪意大利文艺复兴为止整整 1000 年的漫长时期。根据传统的看法，中世纪是一个文化和科技发展暗淡无光的黑暗时期。但是近来人们怀着新的兴趣对 13、14 世纪欧洲历史上的科学和文化艺术重新考察，可以清楚地看到，那时已有一种新文明的萌芽出现。因此，现在也有人建议把“ 中世纪 ”一词只用于 12 世纪以后，文艺复兴以前的 400 年时间。不过本书还是沿袭传统的用法。

从公元 5 世纪到 12 世纪的中世纪早期，是欧洲的黑暗时期。古代希腊灿烂文明的余辉，从 6、7 世纪开始就逐渐在欧洲大陆消逝。然而从公元 800 至 1100 年间，阿拉伯学术达到了它的鼎盛时期。阿拉伯文化作为古代文明的“ 冷藏库 ”和桥梁，为欧洲提供了丰富的学术资料以及科学研究的精神。13 世纪以后，欧洲从阿拉伯人那里学到不少东西，科学的中心又逐渐转移到欧洲。

与欧洲中世纪这段时间相对应的是中国的隋唐宋元时期（581—1368）。中国的科学技术经过长时间的知识积累，到秦汉时代已形成了较为系统的理论，再经过魏晋南北朝的不断提高，隋唐宋元时期中国科学技术达到了前所未有的高度。和西方贫乏的科技成就相比，中国宛若光彩夺目的明星，在世界上处于领先地位。

与此同时，这一时期的非洲和美洲也孕育了灿烂的中古文明。例如美洲的玛雅人在许多科学领域都取得了辉煌的成就，成为印第安文明的杰出代表，被誉为“ 新世界的希腊 ”。此外，在东方的几个亚洲国家如印度、朝鲜、日本等也都出现了许多杰出的科学成就。然而，就整个世界范围看，除了在数学方面我们不能不提到印度人的智慧，世界科学技术的中心仍然是在欧洲、阿拉伯以及中国这三个地区。因此，本书主要是考察阿拉伯、欧洲和中国的学术成就。

1.“ 黑暗的 ” 世纪

中世纪的开始是以西罗马帝国的覆灭为标志的。公元 410 年，西哥特人围攻罗马，城里的奴隶在夜间打开了城门，号称 “ 永恒城 ” 的罗马就这样陷入 “ 蛮族 ” 之手。到 5 世纪中期，西罗马帝国的行省又大部分丧落于日耳曼人手中。公元 476 年，日耳曼雇佣军将领亚克废除了西罗马的最后一个皇帝罗慕洛，西罗马帝国彻底灭亡。伴随着西罗马的覆灭，西欧的奴隶制也消亡，进入了封建割据的时期，漫长的中世纪开始了。

公元 9 世纪，新的社会制度——封建制度开始在西欧普遍地确立，国王、贵族、教会上层人士掌握了土地所有权，也掌握了政治权力成为封建主阶级。其中国王是最大的封建主，他把一部分土地分封给大封建主，大封建主再把土地分封给小封建主。国王和封建主又各自分封一批骑士，作为自己的武装力量。这样就形成了以国王为首的金字塔式的封建等级制度。国王高高在上，以下是公爵、伯爵，一直到骑士。这些大大小小的封建主分别领有大小不等的封地，拥有数量不等的庄园、农奴和武装。而农民被剥夺了土地所有权和人身自由，成为奴隶。他们只有简单的劳动工具和微薄的家产，在艰苦的条件下从事劳动生产、创造财富。虽然他们的地位较西罗马帝国时的奴隶有所改善，但仍然没有摆脱被残酷剥削、奴役的境况。

封建制度确立以后，大大小小的封建庄园建立起来，代替原先的农村公社成为西欧社会的细胞，一个封建庄园往往就是一个封闭、孤立的堡垒。庄园里需要的一切，基本上能做到自给自足。粮食、武器、农具、织物等生活用品和劳动工具，几乎都由本庄园的农奴生产。农奴很少有剩余产品可以和外界交换。

这种自给自足的小农经济无疑不利于科学技术发展。耕作的农奴们日出而作，日落而息，每天机械地重复着简单的操作。而在庄园的作坊里磨麦、榨油、纺织的农奴，在沉重劳役的压迫下，也无暇关心劳动技能的提高，而且这种提高因为不能增加经济收入而显得多余。唯一可以免于辛勤劳作的封建主大都爱好打猎和比武，粗野无知，大多数是文盲，不可能成为从事科学研究的中坚力量。

此外，与罗马帝国大一统的政权不同，封建制度下的西欧分裂割据严重，每一个封建主等于是一个小国君。他们往往依仗自己的武装力量割据一方，各自为政。而且封建主之间勾心斗角、互相冲突。西欧广大的土地上战火弥漫，混战不休，对经济、科学、文化的发展带来了破坏性的影响。因此，中世纪早期往往被称为 “ 黑暗的世纪 ”。政治上的混乱无疑是导致科学文化落后的重要原因。

基督教会在西欧确立了统治地位，这是阻碍科学技术发展的另一个重要原因。

基督教刚诞生时还仅仅是犹太人的一种精神藉慰，后来则被罗马皇帝有意识地加以利用。到公元 5 世纪，基督教已经奠定了在西罗马帝国中的国教地位。西罗马帝国灭亡以后，欧洲在政治上处于分裂状态，亟待精神上的统一。于是罗马主教地位逐渐加强，成为西欧教会的首脑，自称教皇，并在广袤的西欧土地上获得了精神上的统治地位。

基督教的基本教义不关心科学技术研究。基督徒期待着天国，等待末日宣判的来临，认为死亡才是通向神秘来世的有效途径。因此教徒们淡漠世俗

的生活，只关心来世的问题。这种死亡的人生观造成了中世纪的神父们轻视世俗知识的恶果。圣安布罗斯就公开宣称“讨论地球的性质和位置，并不能帮助我们实现对于来世所怀的希望。”

基督教会有时甚至把科学技术视作象异教一样的罪恶，并且下决心予以根除。早在公元 390 年，在德奥菲罗斯主教的指挥下，基督徒摧毁了亚历山大里亚图书馆的一个分馆。教会取得更大的权力以后，敌视科学的态度变本加厉了。公元 415 年，亚历山大里亚有一个当时最著名的女数学家，名叫希帕蒂亚，她被当地的一位教长视作邪恶的化身。在他的唆使下，一群愤怒的基督徒残忍地用蚌壳肢解了她。这个血腥的故事代表了教会在以后长达 1000 年的时间里对待科学的基本态度，也是宗教裁判所处死科学异端的先声。

随着教会财富和权力的不断增加，教会也越来越腐化。教士们荒淫无度，穷奢极侈，从事投机买卖，贿买教职。他们还通过“什一税”、“赎罪券”等形式剥削人民的财产。这些做法严重束缚了社会生产力的发展，对科学技术的成长极为不利。

但是，如果我们认为基督教会是造成“黑暗世纪”的万恶之源，没有对欧洲科学技术作出分毫的贡献，这种看法也是片面的。

教会为了培育神职人员，修建了大量的修道院。欧洲修道院制度的创立者是圣本笃（约 480—550）。他出生于意大利斯波累托城的一个富裕家庭，年轻时就具有非凡才干。自小虔信宗教，竭力刻苦修行。罗马和那不勒斯两城中间有个名叫蒙特卡西诺的地方，本笃在那里一座寂静秀丽的深山中修建了修道院，从此在那里刻苦修行。本笃式的修道院在公元 7、8 世纪广泛传播开来。在这些修道院中，初级的教育保持了下来。教士们手抄书稿，传播有用的手艺。

由于《圣经》福音故事记载了不少耶稣施神迹、救病人的故事，修道院的修士们很重视医术。救治病人的故事，修道院的修士们很重视医术。救治病人是修道院的义务。修士们使用的医术中既有巫术，也有古代科学家希波克拉底、盖仑流传下来的医学知识，从而使医学得以成为中世纪欧洲最早复兴的一门学科。僧侣们也从事耕作，因此保存了不少农业方面的知识。

在中世纪早期的混乱和动荡中，修道院是外人不得擅入的圣地，从而使有些人可以在院中潜心钻研学问。因此，延续了 800 年的修道院制度在当时非常混乱的欧洲起了维持文化启蒙的作用。本笃修道院在许多方面实际上是中世纪欧洲大学的雏形。这是中世纪欧洲教会对科学技术发展所起的积极作用。

2.阿拉伯学术的兴起

在红海与波斯湾之间的阿拉伯半岛上，很早就有阿拉伯人居住。阿拉伯有些地方，如阿拉伯半岛西南角的也门地区，雨水充足，植被丰富，早在公元前 1000 年左右就创立了灿烂的农业文明。然而阿拉伯的大部分地区气候干燥，属于沙漠和草原。大部分阿拉伯人在这片广阔的土地上从事游牧，逐水草而居。他们被称为“贝都因人”。贝都因是阿拉伯语，意为“沙漠居民”。贝都因人骑着“沙漠之舟”——骆驼，带着羊毛、骆驼毛织就的帐篷到处流浪。他们以椰枣、畜乳为食，以放牧骆驼和羊为生，形成了早期的阿拉伯游牧文明。

阿拉伯的地理环境优越。尤其在阿拉伯半岛西部的也门，海上运输十分发达，中国的丝绸、印度的香料、非洲的黄金，都可以从海上运到也门。同时也门有一条陆路商道，向北一直延伸到红海东岸。不仅阿拉伯半岛出产的椰枣、葡萄干、皮革和金银矿产通过这条商道源源不断地运往西方，而且阿拉伯人利用地利之便，成为东西方物资交流的中间商。由于商业的发达，商道上很早就出现了城市。到 7 世纪初，当时主要的商业城市麦地那已有 1 万多居民，麦加则有 2 万以上的居民。

中世纪阿拉伯人在科学技术方面作出重要贡献是在伊斯兰教诞生之后。

伊斯兰教的创始人穆罕默德（约 570—632）出生在麦加的一个没落贵族家庭。他出生前已丧父，幼年丧母，因此没有受过什么教育，很早就帮人放牧、经商。后来他和他的主人——一个富有的寡妇赫底彻结婚，从此富裕起来。他曾经远游叙利亚和也门，接触过犹太教和基督教的教义。40 岁以后，他宣称接受了神的启示，创立了伊斯兰教。

由于初期的伊斯兰教坚决主张仁慈、关心日常生活，而且《古兰经》虽然规定了一神教，但伊斯兰教没有极端的排外情绪，此外，伊斯兰教反对部落之间的流血冲突，号召所有的伊斯兰教徒——穆斯林，不分部落，不论等级，都是兄弟。穆罕默德还反对高利贷，主张济贫、释放奴隶。因此伊斯兰教深孚众望，很得人心，很快就在阿拉伯半岛流传开来。穆罕默德最终在麦地那建立了政教合一的国家，并且于 630 年率领大军击溃了麦加的贵族，奠定了伊斯兰教在阿拉伯的统治地位。

随着伊斯兰教的迅速传播，阿拉伯各部落迅速统一起来。在穆罕默德生前，阿拉伯半岛已大体统一。他的继承人艾布·伯克（称为哈里发）集宗教、军事、政治大权于一身，继续以“圣战”的名义向外扩张。阿拉伯人征服了中亚细亚、西班牙等地区，罗马在非洲和亚洲的领土除了小亚细亚都沦入阿拉伯人之手，波斯帝国以及印度也由阿拉伯人统治。从 8 世纪起，在阿拉伯广阔的土地上，形成了共同的文化、共同的宗教和共同的文字，对中世纪阿拉伯科学技术的发展产生了深远影响。

公元 750 年，贵族阿布·阿拔斯用武力建立了阿拔斯王朝（中国史称黑衣大食）。王朝最初的 100 年左右，由于战乱平息、政治稳定，因此经济发达、文化昌盛，成为阿拉伯帝国的黄金时期。

当时，阿拉伯帝国的经济支柱之一——农业很受重视。哈里发凭借帝国的雄厚财力和劳力大兴水利，在两河流域开凿了许多运河和干渠。政府也鼓励农民整修农田，从事耕作。在很长一段时期中，肥沃的两河流域下游、中亚的阿姆河和锡尔河流域以及埃及的尼罗河流域等地区，水道纵横交错，灌

溉便利，谷物水产丰饶，成为鱼米之乡。

发达的农业促进了阿拉伯手工业的发展。阿拉伯的丝绸棉毛纺织、刺绣、玻璃制造、宝石工艺、造纸等都很有名。传统的商业也方兴未艾。阿拉伯商人往来于亚、非、欧三大洲，不仅运送着东西方丰饶的物产，也传递了各大洲发达的文化信息。

因为阿拉伯经济的发展，也由于当时的哈里发重视学术，广延人才，促使了阿拉伯学术的兴起。阿拉伯对中世纪科学技术的重要贡献有两个方面：一是保存并传播了古代的文化；二是在广泛吸收各民族文化成果的基础上，在科学技术方面作出了自己的贡献。

西罗马帝国土崩瓦解之后，大批的希腊、罗马以及欧洲的学者迁徙到东罗马帝国。定都君士坦丁堡的东罗马帝国由于免于战火的洗劫，希腊、罗马以及犹太民族的灿烂文化得以保存下来。君士坦丁堡收集并保存了大量的古希腊著作，特别是柏拉图和亚里斯多德的几乎全部作品，东罗马帝国都妥为珍藏。东罗马帝国也保护了一大批因为受欧洲教会极端迫害而流亡的科学家和学者。荣迪沙帕尔的一所波斯学校在公元 489 年成为西欧景教派基督徒的避难所，在 529 年欧洲著名的柏拉图学院被封时，又收容了逃离雅典的新柏拉图派学者。

东罗马帝国虽然没有在科学上作出特别了不起的成就，但它保存了古代的灿烂文明，这一点功不可没。由于东罗马帝国地处西欧与阿拉伯之间，君士坦丁堡保存的欧洲古典科学技术的精华逐渐传入阿拉伯，促进了阿拉伯学术的兴起。

欧洲古代的灿烂的科学技术成果经过君士坦丁堡进入和平安定的阿拉伯帝国后，哈里发在各地兴办许多图书馆收藏古代的著作，还奖励学者翻译希腊作家的作品。因此大量的古代作品如柏拉图、亚里斯多德、欧几里得、阿基米德、托勒密等人的著述都被翻译成阿拉伯文。当古代文明的余辉在中世纪欧洲泯灭的时候，阿拉伯无形中起到了“ 冷藏库 ”的作用。因此当西欧恢复对学术的兴趣时，他们只好再通过这些阿拉伯译本寻找古代的智

阿拉伯人足迹遍于亚、非、欧三大洲，是东西方文化交流的桥梁。通过阿拉伯人，印度的十进制记数法、中国的四大发明等科技成果传到西方，成为照亮西欧“ 黑暗世纪 ”的第一缕曙光。仅阿拉伯学术的“ 冷藏库 ”和“ 桥梁 ”作用，就值得在世界科学技术史上大书特书。

此外，阿拉伯经济的发展，也促进了阿拉伯实用科学的发展。阿拉伯人在吸收、包容古代和外民族文化的基础上，创造了灿烂的阿拉伯科学技术。他们注重科学实验，详细收集科学资料，在许多科学领域，如数学、物理学、化学、医学等方面都成就斐然。当我们回顾中世纪的各门自然科学时，我们几乎可以在每一门学科中都找到阿拉伯学者的智慧。现代欧洲语言中的不少科学名词，如英文的代数（algebra）、炼丹术（alchemy）等，都渊源于阿拉伯语。

然而，阿拉伯学术的兴盛没有维持得太久。公元 10 世纪，法蒂玛王朝占领了整个北非，庞大的阿拉伯帝国分裂了。11 世纪时，塞尔柱土耳其人占领了巴格达，阿拔斯王朝名存实亡。当 13 世纪蒙古大军攻下巴格达，杀死了哈里发以后，阿拔斯王朝就彻底覆灭了。从那时起，伊斯兰教作为一种宗教和文化，依然保存下来并流传至今，但是阿拉伯人引以为荣的“ 阿拉伯学术 ”，却从此衰落了。

3.黎明的曙光

欧洲学术的复兴应该首先归功于中世纪晚期生产力的发展。

大约从 1050 年开始，欧洲进入了中世纪的鼎盛期。欧洲文明觉醒的原因非常复杂，其中一个十分重要的原因是欧洲战乱的终止以及随之而来的社会稳定。农奴的辛勤劳动也逐渐结出了成果——欧洲的粮食产量有所提高，欧洲的人口也大幅度地增长。农业生产的发达促使社会分工进一步细化，手工业者离开农业而单独存在，并且逐渐成为新兴城市居民的骨干。

欧洲自古就有城镇。罗马帝国时代的城市如罗马，是具有行政——军事双重性质的城镇。中世纪初期的城市是所谓的“大教堂城镇”。这些城市不从事生产、交易，依靠庞大的赋税维持。然而中世纪晚期出现的城市是新生事物。这些城市是独立自主的、真正的商业实体，依靠工商业交易的收益维系。欧洲新兴城市的诞生主要是因为伴随着手工业的发展以及社会对手工业制品需求的增加，大批农奴手工业者们渴望摆脱封建主的束缚，直接为一切向他们订购货物的人生产，因此他们迁离农村，定居到商业活动比较便利的地区。这些手工业者的商业集居地就逐渐演化成为城市。当时的城市一般建立在封建主的领地内，商人和手工业者为了取得工商所必需的自由，往往集体行动，和领主订立契约，赎买处理自己事务的特权，因此城市拥有了相对自由的气氛：城市有权拥有财产；城市法庭有裁判权；可以订立商业契约，买卖自由；人们有人身自由、行动自由。这对于遭受封建政权和教会双重束缚的欧洲是难能可贵的。因此，中世纪欧洲鼎盛时期文化的两大重要标志：激发文学艺术思想的大教堂和科学技术的中心——大学，都是城市创造出的奇迹。城市对科学技术更直接的影响是促进手工业及相关技术的发展。

中世纪欧洲城市的规模并不大，许多城市只有几千人，最大的城市也不过几万人。然而城市中心的政府权力组织起来了，市政府往往扶植鼓励市场经济，并且吸引不同行业的手工业匠人。城市还是商品集散地，商人们为城市提供了大量的原料并带走大量的成品，从而使城市手工业第一次扩大繁荣起来。

当时城市手工业的生产单位是手工业作坊。作坊主一般有几个帮工和学徒，有自己的生产工具和生产资料。他和家属以及帮工、学徒一起劳动，进行小商品生产。作坊主和学徒之间是宗法性的师徒关系，学徒从师 3 至 7 年期满后，还必须以帮工身份在师傅的作坊里再工作几年。帮工自行开设作坊需经同行技师的审查。德国律伯克金饰匠行会规定：要想当技师，必须制造出三件代表作：一是精工的戒指；二是订婚的手镯；三是剑柄上用的烤蓝色的环。这些规定加重了对学徒的剥削，但是也保证了行业的工艺水平。同一个城市里相同行业的作坊主分别组成行会。行会的首领由会员大会选出，行会有严格的行规，对工场设备、产品的质量和数量、原料和产品的规格、产品的售价、作坊的人数、学徒的期限、学徒帮工的待遇、劳动日长短等都有详细的规定。它不仅是生产组织，也具有军事、宗教的性质。行会初期在团结同行业反对封建贵族掠夺和商人欺诈上起了保障成员利益的作用，也起了保证产品质量，保持各会员的平等利益和传授生产技术，促进手工业发展的作用。

欧洲行会的分工很细，行会的数目不断增加。呢绒纺织行业中分出纺纱工、织工、染工、梳毛工等行会。甚至同一器物也可以分成几个行业。例如

刀剑制造部门就细分为刀刃匠行会和刀柄匠行会。劳动分工有助于工艺水平的提高。工匠们成年累月、心无旁骛地在小作坊里潜心钻研工艺技术。中世纪欧洲的绝大多数的技术成果都应归功于这些能工巧匠。有的传统工艺因为做工细致、产品精美，甚至经久不衰，流传至今。

欧洲学术的复兴与十字军东征也不无关系。从 11 世纪末开始，西欧的教、俗封建主和大商人，在罗马教皇的发动下，打着从伊斯兰教徒手中夺回“圣地”的旗号，对地中海东部地区进行了持续近 200 年的远征（1096—1270）。历史上称为“十字军东征”。

1095 年 11 月，当时的教皇乌尔班二世在法国勒芒召开宗教会议，向各个阶层的人们进行狂热的宗教煽动。他一边攻击东方穆斯林对天主教徒的暴行，要求领主、骑士和农民拿起武器，为解放“主的坟墓”，拯救“圣地”耶路撒冷而战，一边又以东方的物质利益作为诱饵，说“耶路撒冷是大地的中心，其肥沃和丰富高于一切土地之上，是另一个充满欢娱快乐的天堂”，东方国家“遍地是蜜和乳”。在教皇的煽动下，与会人员高呼“上帝所愿”，并在自己衣服上缝上红“十”字，作为参加远征的标志，因此得名为十字军。

十字军东征共 8 次，一度攻占了耶路撒冷（1099 年 7 月）和君士坦丁堡（1204 年 4 月）。然而十字军遭到了东方人民的有力回击。在旷日持久的战争中，穆斯林逐渐收复了领土。1291 年，十字军丧失了最后一个据点阿克，十字军东征宣告彻底失败。

将近两个世纪的十字军东征严重摧残了伊斯兰国家和拜占庭的社会经济与文化。侵略者足迹所至，十室九空，人民死伤惨重，严重阻碍了这些地区社会历史的发展。而且十字军的暴行激起了穆斯林的愤怒。十字军东征种下了基督教徒与伊斯兰教徒之间互相敌视、互相仇恨的祸根，这种消极影响长时期存留下来。

然而，十字军东征在客观上对欧洲的学术复兴也是有积极影响的。通过十字军东征，意大利的威尼斯、热那亚、比萨等城市在东部地中海所起的作用日益扩大，同东方的贸易也兴盛起来。东西方密切交往的结果是东方先进的科学技术、农业技术、园艺作物新品种都陆续传到了西方。当十字军攻陷君士坦丁堡，见到雄伟壮观的建筑、精美绝伦的艺术珍品、车载斗量的金银珠宝时，曾被东方的繁华富饶震惊得目瞪口呆。此后，译成阿拉伯文的古希腊著作以及阿拉伯人的科学创造陆续传入欧洲。欧洲人为了接纳来自东方的科技成就，掀起了译书的高潮。这些对欧洲学术的复兴都是有推动作用的。

由于新兴城市的兴起和东方科学技术的传入，欧洲文化死气沉沉的状况有所改变。为了适应新兴市民阶级对文化知识的需要，西欧各地先后建立了一批世俗学校，最终形成了现代大学。在 12 世纪先后成立的大学有意大利的波伦亚大学、法国的巴黎大学、英国的牛津大学；13 世纪时英国的剑桥大学、西班牙的萨加曼加大学建立；14 世纪时又成立了捷克的布拉格大学、德国的海德堡大学等。据统计，到 15 世纪末，西欧各国的大学共有近 80 所。虽然大学的课程是文法、修辞、逻辑、音乐、算术、几何学与天文学，后来又增添了哲学一科，这一切都是为研究神圣的神学作准备。然而大学聚集了一批有才华的学者，形成了自由探讨、自由研究的学术气氛。而且，许多大学有“不受宗教法庭干预”的特权。于是这些大学逐渐成为欧洲学术的中心，许多理论科学，如数学、物理学、医学等学科的发展都与大学的兴起有直接的联系。

欧洲社会经济与文化缓慢的进步逐渐使欧洲人恢复了对自然科学的兴趣，在思想领域，一个重要的变化发生在 1200 至 1225 年间。欧洲人从阿拉伯语的译本中发现了亚里斯多德全集。牛津大学的校长格罗塞特立即把它翻译成拉丁文。当时人们已经深信教会作为天启的接受者与解释者，而且虔诚地按照《圣经》解释一切自然现象。亚里斯多德的体系在许多地方与教义不符,但是它对外部世界却作出了比较好的解释。为了调和这一矛盾,托马斯 阿奎那巧妙地运用亚里斯多德的学说来论证基督教义。他认为基督教的神秘教义不能用理性去证明，但可以用理性去检察和领悟。阿奎那的思想虽然很保守，但他毕竟为理性留有了余地。在这种情况下，实验科学的先驱罗吉尔·培根抨击了对权威的过度崇拜。他明确提出只有实验方法才能给科学以确实性，并且在很多科学领域都取得了卓越成果。（他的伟大功绩我们将在数学史、物理学史中详细叙述。）在他的不懈努力下，以及后来的邓斯·司各脱、威廉·奥卡姆等人对经院哲学的一再攻击，笼罩在欧洲上空的乌云逐渐散去。虽然自然科学在反对教会反动势力、争取独立发展方面还需要走一段曲折的历程，但是黎明的曙光已经降临了。

4.东方的繁荣

当中世纪的西方科技惨淡经营的时候，在遥远的东方，一个庞大的封建帝国——中国正悄然崛起。

公元 581 年，杨坚夺取北周政权建立了隋朝。公元 589 年，隋灭陈而统一中国。隋的统一结束了中国自东晋以来 270 多年的分裂割据局面，建立了统一的中央集权国家，这无疑有利于经济文化与科学技术发展。尤其在隋文帝杨坚时期，实行了一系列安定社会、发展生产的政策，使隋朝在 20 多年内政治稳定、经济繁荣、仓库充盈、财力雄厚、武力强盛。在隋朝短短的 38 年时间里，农业人口激增。户数增加 400 多万户，人口增加 1600 万。农业人口的增加促使垦田面积显著扩大，国家粮仓丰实，到了“府藏皆满，无所容，积于廊庞（外）”的地步。在农业生产发达的基础上，手工业生产蓬勃发展。在隋代，纺织业、瓷器业、造船业和造桥技术都有显著的进步。隋代商业贸易也出现了繁荣景象。当时的长安和洛阳，不仅是全国政治中心，而且“招致商旅，珍奇山积”，是国际贸易的重要城市。因此隋朝虽然立国时间短促，但是对科学技术的发展起了有力的推动作用。可惜隋炀帝杨广骄奢淫逸、穷兵黩武，以至众叛亲离，很快被唐朝所取代。

公元 618 年，唐高祖李渊灭隋称帝，建立唐朝。627 年，李渊传位于唐太宗李世民。李世民亲眼目睹了强盛的隋政府的灭亡。为了避免“覆舟”之祸，他勤于政事、励精图治，在政治和经济上进行了一系列改革，安定秩序，休养生息，发展生产，缓和阶级矛盾。李世民在位期间任用贤能、虚心纳谏，并且于贞观十一年（公元 637 年）颁行《唐律》。《唐律》是中国古代流传下来的一部完整的法典，共 502 条，分为名列、卫禁、取制、户婚、厩库、擅兴、贼盗、斗讼、诈伪、杂律、捕亡、断狱等 12 篇。《唐律》对唐代的经济繁荣和科技发展，发挥了不可忽视的作用。唐太宗李世民统治期间政治清平、经济繁荣，为唐朝的兴盛奠定了基础，史称“贞观之治”。此后，武则天统治时期，唐朝的社会经济继续发展，到唐玄宗前期，唐朝进入全盛时期，史称“开元盛世”。

唐代是中国封建社会的黄金时期，“盛唐”之誉驰名世界。从那时起，唐朝成为中国的象征，至今仍有些国家把中国人称为“唐人”。唐代农业生产发展很快。唐代实行“均田制”，把荒芜的无主土地分给农民，同时推行“输庸代役”制度，使农民有较多的时间从事耕作。因此到天宝年间，全国户数达到 900 万户，人数超过 5000 万，官仓的存粮共有粟米 9600 万石。

唐代手工业也随之兴盛发达。唐代的手工业有官营、私营两类。唐中央设有少府监、将作监和军器监，管理各类官营手工业生产。官营手工业生产的产品不以赢利为目的，主要是为了供给宫廷、官僚和政府的消费和使用。私营手工业是大量个体农民所经营的家庭副业，他们生产的产品除了自用和纳税，一般拿到市场出售。私营手工业规模一般比较小，作坊集中于城市。作坊主是技艺熟练的师傅，技艺世代相传。盛唐时期，传统的纺织、造船、陶瓷、造纸等手工业工艺技术都达到了很高的水平。

农业和手工业的发达导致商业的繁荣。除了原先的国际贸易都市长安和洛阳，扬州、益州、杭州等地也发展成为重要的商业都市，还出现了广州、泉州等外贸港口，丝绸之路上的交通贸易也日益发达。这些都为唐代科技的繁荣奠定了物质基础。

此外，唐代中外文化交流的发达有力地促进了科技的进步。唐代对外交通很发达。当时陆路交通以长安为中心，西路有三条路可通中亚、西亚、巴基斯坦和印度，这就是著名的“丝绸之路”；西南路经西川到吐蕃，可达尼泊尔和印度，或经南诏、缅甸到印度；往东经河北、辽东可到朝鲜半岛，海路交通可到日本、东南亚各国。这些国家有的有先进的天文历法，有的农业、纺织业很发达。中国在与周边国家的交往中学到了很多东西。例如印度的地图、药物、植物、炼丹术等，于贞观年间传入中国；波斯人李珣留居中国期间撰写《海药本原》，详细介绍海西诸国出产的草木药名。当然，在交往的过程中，中国先进的科学技术也传入周边诸国，泽被当地。

隋唐政府都非常重视古代书籍的搜集整理工作。隋文帝和隋炀帝曾不惜重金收购古籍，并组织人员大规模抄写，国家拥有大量的图书典籍，藏书达30万卷。唐代太宗、玄宗、文宗在位时，也屡次组织人力抄书，并设立了修书院，使“四库之书复完”。隋唐时期藏书之盛，促进了社会文明的进步，对科学技术的发展也是有积极作用的。

隋朝正式废除了九品中正制度，采取科举取士的方法，设立了进士科。到了唐代，科举制度与教育制度也达到了成熟的阶段。唐代的学校在中央设有国子、太学、四门、律学、书学、算学等六学，统由国子监领导。招收学生2000多人，以官僚子弟为主，庶族平民子弟亦可入学。此外，各地方州县也开设官办学校，允许百姓创办私学。六学中前面三项学习儒家经典，律学、书学、算学有专业课程。每年冬季11月，各官办学校把毕业学生选拔到尚书省参加科举考试，在私学毕业的也可由州县保荐应举。科举以常举为主，分秀才、明经、进士、明法、明书、明算、道举、童子等科，其中又以明经和进士两科最重要。明经考试的内容有帖经、经义和时务策，以帖经为主；进士考试的内容有帖经、诗赋和时务策，以诗赋为主。当时明经录取率为十分之一、二，进士录取率为百分之一、二。进士及第很难，但进士的社会地位很高，及第后很快飞黄腾达，有“相将白日上青天”的说法。因此吸引了绝大多数知识分子，有人甚至老死于文场而不悔。

隋唐确立的教育制度和科举制度对当时科学技术产生了深远的影响。一方面科举制度比起隋唐以前豪强门阀把持取士的制度有所进步，贫寒子弟也有机会受教育、出人头第，扩大了知识分子的数量。而且隋唐确立的数学、医学教育制度，对这些学科的发展是起了推广和传播作用的。以上是积极的一面。另一方面，进士科吸引了绝大多数知识分子，而从事数学、天文、医学的往往居官低下，于是科学技术很少有人问津，甚至养成了以技艺为耻的社会风气。“茶圣”陆羽著有《茶经》，在农学上很有造诣，却遭到官宦的轻慢，不以士人的礼节相待。陆羽深以为耻，著《毁茶论》以诫后人。久任太史令的庾俭也“耻以数术进”。因此，当时一般人不肯以毕生精力研究科学技术。隋唐科技成就虽著，主要是由隋唐发达的经济以及出身贫穷的少数科学家维系，其实专业科技人才十分匮乏。这是科举制度对科学技术的发展产生的负面影响。

从“安史之乱”后，唐朝开始走下坡路，出现了藩镇割据的局面。其间虽然出现过几次中兴，然而盛唐时的黄金时代却一去不复返了。此后藩镇割据混战，农民起义频仍。公元907年，朱温篡唐。由此开始的“五代十国”是藩镇割据和混战局面的延续。

五代是指中原一带相继出现的后梁、后唐、后晋、后汉、后周这5个朝

代，历时 53 年（907—959）。十国是指在南方和河东地区，先后存在的 10 个割据政权：吴和南唐，前、后蜀，吴越，楚，闽，南汉，南平，北汉。五代十国的军阀们相互争战仇杀，以致“城邑残破，户不满百”，百姓流离死亡，社会生产力遭到严重破坏。这对科学技术进步是极为不利的。因此五代十国时期，中国在科学技术方面进展不大。

公元 960 年正月，后周的殿前都点检赵匡胤在陈桥驿发动兵变，黄袍加身，率领军队回到开封，夺取了后周政权，建立北宋。979 年，宋太宗赵匡胤吞并南方割据政权，结束了五代十国分裂割据的局面。然而这时中国尚未统一，北方的契丹、党项、女真等少数民族势力很大，而且经常南下侵宋。靖康二年（1127），新兴的女真族大举南侵，攻破北宋首都开封，俘虏了徽、钦二帝，大肆劫掠后撤兵北去。北宋政权至此灭亡，史称“靖康之难”。同年 5 月，北宋旧臣拥戴宋徽宗的第九子康王赵构为宋高宗，改年号为建炎，后定都临安（今浙江杭州），史称南宋。南宋偏安江南 100 余年。后来北方的蒙古族又崛起。成吉思汗的蒙古大军四处征战，于 1234 年灭金，1253 年攻克大理，并派兵占领吐蕃。1271 年，元世祖忽必烈改国号为元，建立了元朝。并于 1276 年攻占临安，1279 年灭南宋，统一了全中国。元朝统治延续到 1368 年。

北宋统一中原，结束分裂割据的局面，为社会经济发展创造了有利条件。在农业方面，由于宋代租佃契约关系在名目、数目上逐渐固定下来，而且佃户庄客对地主的人身依附关系有所减弱，可以脱离地主自立户名，在法律上确立了良人地位，因此劳动者的生产积极性极大提高。此外，宋代政府鼓励农民开垦荒地，“即为永业”，这使得宋代农业发展很快。北宋耕地面积比从前扩大约 200 万顷；水利工程大约是唐代的 2 倍；先进的农具——江东犁、筒车等得到普遍使用；江浙地区的稻田亩产增加到 2 至 3 石。宋代发达的农业为中国封建社会经济发展做了必要的准备，农业生产技术也有明显提高。

宋代的手工业空前繁荣。这表现在独立手工业者较以前增多，而且各手工业作坊，规模之大，分工之细均超过了前代。如宋代少府监所辖的文思院下面分：打作、棱作、钑作、钉子作、玉作、玳瑁作、银泥作等 32 作。将作监所辖专管土木工程的有泥作、赤白作、桐油作、石作、瓦作、竹作、塼作、并作等东西 8 个作司。正如欧洲手工业分工细化促进了欧洲工艺水平的提高，宋代手工业分工如此之细，也是有利于手工技术的发展的。因此宋代在纺织、陶瓷、印刷、船舶制造等部门都取得了很大的成就。而且出现了《营造法式》、《梓人遗制》等总结记载手工业技术的专著。元朝对手工业也比较重视，工匠受到优待，甚至能在征战杀伐中，幸免于难。因此在战乱频仍的元代，手工业遭到破坏较少。

宋代的商业十分繁荣，城市的数目与规模都有所增加。宋代画家张择端的《清明上河图》描绘了北宋末年东京汴河沿岸街道的繁华景象。画面上店铺林立，各种商贩喧嚷叫卖，车马行人往来不绝。南宋商业更为发达，纸币的使用日益盛行。南宋首都临安人口 124 万，超过了北宋的东京，通商地区和国家达到 50 多个。南宋海外贸易的市舶岁收 200 万贯，超过北宋 2 倍多，占政府全年岁收的五分之一。元代统一中国后，加强和发展了各民族之间的交流，并继续施行鼓励海外贸易的政策。亚洲和东欧、非洲海岸都有商队、使团来到大都，使大都成为当时闻名世界的大商业都市。马可·波罗就曾在其游记中详尽描述了大都的盛况。由于海外贸易扩大，广泛促进了中国科学

技术与国际间的交流，保证了中国科学技术的稳定发展，并进入了鼎盛时期。与此同时，中国以四大发明为代表的科学技术逐渐流传世界，对世界科学技术的发展产生了深远的影响。

然而宋元时期仍然是隋唐封建制度的延续，因此封建制度中对科学技术起束缚作用的许多因素并没有消除。宋元时期的科学技术仍存在隋唐时期的“重实用，轻理论”的特点，尤其是没有形成强大的科研力量和科学研究的精神。宋元时期丰富多彩的科学技术成果也是由宋元时期发达的经济维系着。当中国步入封建制度的晚期——明清时期，生产关系严重阻碍生产力的发展，社会经济衰落时，中国曾经创造的灿烂的科学技术也就停滞不前，最终远远落后于欧洲了。

二、数学

1.印度数学

公元 5—12 世纪是印度数学发展的高峰时期。这时欧洲还处在中世纪黑暗时期，数学停滞、衰退。但是在这一时期，印度先后出现了一批有名的数学家：阿耶波多（约 476—550），波罗摩笈多（598—665），摩河毗罗（约公元 9 世纪），婆什迦罗（1114—1185）等。他们博采广闻，著书立说，为世界数学作出了贡献，也为印度在世界数学史上挣得了一席之地。

这一时期，印度数学的成就是多方面的。其中对世界数学发展影响较大的主要有两个方面：一是它最先制定了现在世界上通用的数码及计数制度，并在此基础上形成一整套计算技术；另一方面，印度建立了使用分数、无理数以及负数的代数学，并给出了二次方程的一般解法。现在国际通用的“阿拉伯数字”：“1、2、3、……、9、0”其实是印度人对数学和整个人类文化进步作出的重要贡献。印度人最初用梵文的字头表示数码，而且各地的写法并不完全相同。经过上千年的演变，形成了今天的写法。阿拉伯人把这些数字推广到了西方，所以我们今天称它为“阿拉伯数字”。

其中记号“0”的发明具有关键性的意义。有了零号，才有了完整的位置制记数法，这样就使计算变得非常方便。

关于零的计算，摩河毗罗说一数乘以零得零，并说减去零并不使一数变小，但他又说一数除以零后不变。可见当时零的概念还比较模糊。到了婆什迦罗所处的时期，他已了解零的含义，他说一数除以零称为无穷量。

印度人用整数之比来表示分数，但还没有用横线。例如他们把 $\frac{3}{4}$ 写成 $\frac{3}{4}$。至于天文上的分数，他们用六十进制记法。

印度人还用负数表示欠债，用正数表示财产数。最早使用负数的是波罗摩笈多。他提出了负数的四种运算，并且指出正数的平方根有两个，一正一负。他也提到负数的平方根的问题，但他说负数没有平方根，因为负数不能是平方数。

印度人在算术上正视了无理数问题，开始按正确的方法来运算这些数。婆什迦罗给出了两个无理数相加的法则：“较大的无理数除以较小的，所得之商开方，再加 1，和数取平方，然后乘以较小的无理数，其根即为两无理数之和。”举例来说，就是

$$\sqrt{3}+\sqrt{12}=\sqrt{(\sqrt{\frac{12}{3}}+1)^2\times 3}=3\sqrt{3}$$

印度人不象希腊人那么细致，他们没有看出无理数概念所牵涉到的逻辑难点；他们对计算的兴趣使他们忽视了哲学上的区别以及希腊人认为属于基本原理上的差别；他们很随意地把适用于有理数的运算步骤原样照搬到无理数上去，不过这在客观上丰富了数学的内容。

印度人在处理代数学的问题和解答时，采用了一些缩写文字和记号来描述运算。他们不用加法记号；被减数上面加个点表示减法；其他运算主要用文字或缩写表。当有一个以上的未知量时，他们用颜色的名称来表示。例如第一个叫未知量，其他的就叫黑的、蓝的、黄的等等。这些记号虽然不多，

但是已经使印度代数初具符号代数的性质。

印度人找到了二次方程的一般解法，这也是一项很重要的工作。他们把二次方程归结为

$$ax^2+bx=c$$

某些系数可以是负数。波罗摩笈多给出的求根法则是：“ 把常数项放在未知数的平方项和一次项的另外一边，将常数项乘以平方项[的系数]的四倍，加上一次项[的系数]的平方，所得的结果的平方根减去一次项[的系数]，再除以平方项[的系数]的二倍，就是一次项的值。 ”用现代数学符号表示就是：

$$x=\frac{\sqrt{4ac+b^2}-b}{2a}$$

印度人已认识到二次方程有两个根，而且包括负根和无理根。但是由于不承认负数有平方根，所以他们不能解所有的二次方程。

印度人在几何方面没有什么出色的进展，但在三角术方面作了一些工作。他们计算了半弦弦长，波罗摩笈多还利用内插公式编造了 R＝15 的正弦表。

印度人注重数学的算术和计算方面，并且在这方面作出了贡献。他们在许多商业问题上应用代数：算利息、折扣、合股分红、财产划分等。但是他们不太重视演绎结构。因此他们有许多好方法和计算技巧，却从不考虑证明；他们有计算法则，但是从来不关心这些法则在逻辑上是否合理。

到 1200 年左右，印度科学活动衰落了，数学上的进展也停止了。

2.阿拉伯数学

这里所说的阿拉伯数学，主要是因为这些著作的文字是阿拉伯文它们实际是阿拉伯帝国统治下的各民族学者，包括波斯人、花拉子模人、阿拉伯人、希腊人、犹太人等共同创造的。

阿拉伯人的数学来自希腊手稿以及叙利亚与希伯来译本。从 8 世纪到 9 世纪中叶，阿拉伯学者大量翻译了希腊著作的手抄本和东罗马的原稿，使大量的古代科学遗产获得了新生。被翻译的古典著作中有欧几里得、阿基米德、阿波罗尼、梅内劳斯、赫伦、托勒密和丢番图等著名学者的数学著作，还有印度数学家波罗摩笈多的著作。当古希腊的原著失传后，这些阿拉伯译本就成为欧洲人了解古希腊数学的主要来源。

经过大量的翻译工作，阿拉伯人进入了吸收和创造时期。从 9 世纪到 14 世纪，先后出现了大批著名数学家：阿尔·花拉子模（约 780—850）、阿尔·巴塔尼（约 858—929）、阿布尔·瓦发（940—998）、阿尔·毕鲁尼（973—1050）、莪默·伽亚谟（1048—1131）、纳述·拉丁（1201—1274）以及阿尔·卡西（？—1429 或 1436）等。他们在吸收希腊、印度数学的基础上，创造了阿拉伯数学，为数学的发展作出了卓越贡献。

阿拉伯原来只有数词，没有数字。在征服埃及、叙利亚等国后，阿拉伯人使用希腊字母记数法。公元 8 世纪，印度学者把天文学名著《历数书》传入阿拔斯王朝阿尔曼苏的宫庭中，从此印度数字传入阿拉伯国家。这些数字经过改造，再通过阿尔·花拉子模的著作传入欧洲，所以欧洲人称之为“阿拉伯数字”。

阿尔·花拉子模（约 780—850）是阿拉伯数学史初期最重要的代表人物之一。他曾经摘录了印度学者的天文表，编辑了阿拉伯最古老的天文表，校对了托勒密的天文表，他还编著了有关阿拉伯国家算术和代数的最早书籍。这些著作对阿拉伯数学的发展有着重要的影响。

在代数方面，阿拉伯人的第一个贡献是提供了这门学科的名称。西文“algebra”（代数）这个词来源于阿尔·花拉子模的数学著作《Al—jabr W’al muqabala》。Al’muqabala 的意思是化简，Al—jabr 这个字以后又有“接骨者”的意思。当阿尔·花拉子模的书在 12 世纪译成拉丁文时，书名译为《Ludus algebrate etalmucgra balaeque》。从此，这门学科就简称为 algebra（代数）。

阿拉伯人还提出了二次方程的一般解法。阿尔·花拉子模所论述的二次方程可举一例如下：“根的平方和十个根等于三十九”。他给出的解法是：“取根数目的一半，在这里就是五，然后让它自乘得结果为二十五，把这同三十九相加得六十四，开平方得八，再减掉根数的一半就是说减掉五，余三，这就是根。”解法正好就是配方所该做的步骤。

阿拉伯人提出了三次方程的几何解法。波斯诗人、数学家莪默·伽亚谟以 $x^3+Bx=C$（B 和 C 都是正数）说明他的方法。

伽亚谟把方程写成 $x^3+b^2x=b^2C$ 这里 $b^2=B$,$b^2c=C$。然后他作一个正焦弦为 b 的抛物线，接着在长度为 C 的直径 QR 上作半圆。于是抛物线与半圆的交点 P 就定出垂线 PS，而 QS 便是三次方程的解。用圆锥曲线相交来解三次方程是阿拉伯人在代数发展史上迈出的一大步，也是中世纪数学的最大成就之一。

阿拉伯人在几何学方面没有取得很多进展，但是阿拉伯人收藏了欧洲早

已失传的古希腊数学手稿，欧几里德、阿基米德和赫伦的作品均被翻译成阿拉伯文。阿拉伯人还对欧几里德的《原本》作过评注。因此阿拉伯几何的贡献主要是起了冷藏库的作用。

阿拉伯三角学的产生与发展与阿拉伯天文学的发展有密切关系。阿拉伯天文学家阿布尔·瓦发引入了正切和余切概念。他把所有的三角函数线都定义在同一个圆上，正切、余切作为圆的切线段被引入。他还在一本天文著作中引入了正割与余割概念。另一个天文学家阿尔·巴塔尼给出了平面三角形的正弦定律，他还予以证明。

阿拉伯三角学的系统化是由纳述·拉丁完成的。他在一本数学著作《论四边形》中给出了解球面直角三角形的六个基本公式，并指出如何用现今所谓的“极三角形”来解更一般的三角形。由于这本书非常地完整建立了三角学的系统，而且使三角学脱离天文学而成为数学的独立分支，因此它在三角学史上具有特别重要的地位，对三角学在欧洲的发展起了决定性的作用。

阿拉伯的数学著作风格独具特色。在大量的数学书籍中都选用生动有趣、丰富多彩的例题与习题，这是东方数学特有的风格。而且许多数学著作十分注意证明的论据、材料的系统安排，叙述完备、清晰，这也是可取的。

阿拉伯数学成就在公元 1000 年左右达到顶峰，从 1100 年到 1300 年间，基督教十字军的东征沉重打击了阿拉伯人。其后蒙古人、鞑靼人的入侵把阿拉伯文明摧毁殆尽，阿拉伯的数学活动遂告一终结。此后，阿拉伯的数学成就传入欧洲，为欧洲数学的崛起奠定了基础。因此，阿拉伯数学在世界数学史上起着承前启后、继往开来的作用，是数学发展过程中的重要环节。

3.欧洲数学

中世期初期，大约从公元 400 年到 1100 年长达 700 年之久的时间里，欧洲数学一直没有取得进展，也没有人认真搞数学工作。

数学水平之所以低，主要是因为对物理世界缺乏兴趣。数学史家克莱因认为：“ 数学显然不能在一个只重世务或只信天国的文明中繁荣滋长。我们可以看到，数学在一个自由的学术气氛中最能获得成功。那里既能对物理世界所提出的问题发生兴趣，又有人愿意从抽象方面去思考由这些问题所引起的概念，而不计其是否能谋取眼前的或实际的利益。自然界是产生概念的温床，然后必须对概念本身进行研究。然后，反过来，能对自然获得新的观点，对它有更丰富、更广泛、更强有力的理解，而这又产生出更深刻的数学工作。”

当时在欧洲占统治地位的基督教规定了它的目标、价值和生活方式。教徒们主要关心的是精神生活，因而认为出于好奇心或实用目的而探索自然的工作是微不足道的。欧洲人认为所有的知识都来源于研读《圣经》，教会神甫的教导和教条是《圣经》的补充发挥和解释，具有至高无上的权威。圣·奥古斯丁曾说：“ 从圣经以外获得的任何知识，如果它是有害的，理应加以排斥；如果它是有益的，那它是会包含在圣经里的。 ”这段话代表了中世纪早期的人对研究自然的态度。因此，欧洲中世纪早期没有产生重大的数学成果。

当时教会势力遍及各地，拉丁文是教会的官方语言，因而它就成为欧洲的国际语言以及包括数学在内的一切科学的通用文字。因此，欧洲人主要从拉丁文（即罗马）书籍来获取他们所需要的知识。由于罗马人的数学微不足道，所以欧洲人所学到的只不过是非常原始的一套计数法和少量算术法则。他们也通过少数翻译家汲取一点希腊数学知识。

其中主要的翻译家有波伊修（约 480—524）。他出身罗马贵族家庭。波伊修根据希腊材料用拉丁文选编了算术、几何的初级读物。他从欧几里德的《原本》里译了 3 到 5 篇的材料，组成他的《几何》。他翻译了 400 年前尼可马修斯所著的《算术入门》而写成《算术入门》一书。他还创造了“ 四大科 ”这个词来代表算术、几何、音乐和天文。

波伊修的数学著作一直作为教会学校的标准课本，被使用了近千年之久。他最有影响的著作是《哲学的安慰》，这本书是由于波伊修遭受政治迫害，在监狱中写成的。他也因为此书而成为中世纪经院哲学的先驱之一。

虽然中世纪初期的数学成果不多，但是在中世纪学校的课程里数学还是相当重要的。课程分为四大科和三文。四大科包括：算术（纯数的科学）、音乐（数的一个应用）、几何（关于长度、面积、体积和其他储量的学问）、天文（关于运动中的量的学问）。三文包括修辞、辩证和文法。

教会提倡教授数学，是因为它对修日历和预报节日有用。促使欧洲人学习一点数学的另一动机是占星术。这门伪科学在巴比伦人、古希腊人和阿拉伯人那里颇为风行，而在中世纪的欧洲则几乎普遍被人接受。占星术的基本信条是说天体能影响和控制人体以及人的命运。为了解天体的影响并预报特殊的天象事件，如行星的会合和日月蚀所展示的吉凶祸福，那就需要有些天文知识，因此少不了要懂点数学。占星术到中世纪后期变得特别重要，这在客观上促进了欧洲数学的复苏。

到了 1100 年左右，新的思潮开始影响当时的学术气氛。一方面因为欧洲手工业和商业经过漫长的黑暗时期，逐渐得到恢复，开始出现新兴的城市。

在一些城市中开始设立非教会的学校，并在一些学校的基础上发展成为大学。其中较早的有意大利的波隆尼大学（公元 1088 年）、法国的巴黎大学（公元 1160 年），以及英国的牛津大学（公元 1167 年）等。人们对世俗知识的需要显著增加。这些大学的产生和发展，既形成了欧洲数学的中心，也是诞生数学家的摇篮。

更重要的是欧洲人通过贸易和旅游，同地中海地区和近东的阿拉伯人以及东罗马帝国的拜占庭人发生接触。十字军东征（约 1100—1300）为掠取土地的军事征服，使欧洲人进入阿拉伯土地，欧洲人大规模地接触到东方的文明，使他们大开眼界，激起了他们学习东方科学知识的热情。

交流的中心有三个地方：君士坦丁堡、帕勒尔摩和投雷多，其中以阿拉伯的学术中心投雷多为主。12 世纪的投雷多大主教雷蒙德创办了一所翻译学院，对阿拉伯文的哲学和数学著作进行全面翻译。在大规模的翻译活动中，贡献最大的是意大利克利蒙那的杰勒德（1114—1187），他从阿拉伯文一共转译了 80 多部著作。

欧洲人通过阿拉伯数学的输入，发现了希腊数学，并引起了他们极大的兴趣。在被欧洲人译出的著作有欧几里德的《几何原本》、花拉子模的《代数》、泰奥多希乌斯的《球面学》、阿基米德的《圆的度量》，还有亚里士多德、赫伦的许多著作。这些译本成了中世纪欧洲数学发展的基础。

希腊和阿拉伯著作的译本传到欧洲后，对自然现象的理性探讨，并以自然原因而不以道德和神意的原因作解释的风气立刻就呈现出生命力。罗吉尔·培根（1214—1294）就是这时期欧洲理性主义和对自然兴趣复活的代表。

罗吉尔·培根出生于英国一个贵族家庭，曾在牛津大学和巴黎大学任教。他会多种文字，几乎对当时的一切知识领域都有兴趣，在数学、力学、光学、天文、地理、化学、医学、音乐、逻辑、文学以及神学方面都有一定的研究，有“万能博士”之称。

罗吉尔·培根提倡科学、重视实验、反抗权威。他懂得可靠的知识是怎么来的，探讨了使科学获得进展或受到阻挠的原因，并提出了改革研究方法的意见。他虽然也劝人阅读《圣经》，但是更强调数学和实验，并大胆预见了科学造福于人类的伟大前景。

他确信数学思想是与生俱来的并且是同自然事物本身相一致的。因为自然界是用几何语言编写而成的，所以数学能提供真理。它先于其他科学，处理直觉所感知的量。他在所著《大作》的一章中证明所有科学都需要数学，表明他正确认识到数学在科学中的作用。《大作》中还谈了不少数学对地理、年表学、音乐、彩虹的解释、编日历和确定信念的作用，论述了数学在国家管理、气象学、水文学、占星术、透视学、光学和视象成因等方面的作用。

由于罗吉尔·培根批判了经院哲学和教义，1257 年他被赶出巴黎大学，在寺院幽禁十年，直到 1268 年才获释回牛津工作。1278 年，他又被投入监狱达 14 年之久，并就此了结一生。

欧洲数学早期的主要代表，是意大利的斐波那契（约 1170—1250）。他曾到北非受教育，并广泛游历过地中海与中亚细亚各民族的文化中心，拜访了各地的学者，积累了许多东方的数学知识，特别熟悉各国的算术系统。

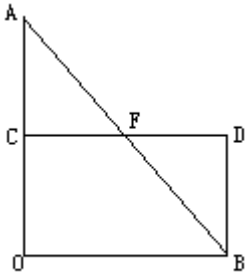
斐波那契发现“阿拉伯数字”是最好的计数符号，回意大利便写成名著《算经》（又译作《算盘书》，公元 1202 年）。当时欧洲已知道一点阿拉伯记数法和印度算法，但是一般人还是用罗马数字，而且因为他们不懂零的意

思，因此避免用零。《算经》的最大作用是向欧洲介绍了阿拉伯数字。该书一开头就写道：“印度的数目字，为 9、8、7、6、5、4、3、2、1 九个，用这九个字，与阿拉伯称之为 Sifr 的零号 0，任何数均可以表示了。”书中还传授了印度人用整数、分数、平方根、立方根进行计算的方法。《算经》被认为是中世纪欧洲最重要的数学著作，是当时欧洲各民族的数学“百科全书”，被学校当作标准教材使用了 200 年之久。它对改变欧洲数学的面貌起了极为重要的作用。

在几何方面，斐波那契在他的《几何实习》（公元 1220 年）里重复讲述了欧几里德《原本》及希腊三角术的大部分内容。他指出《原本》第十篇中对无理量的分类并不包括一切无理量。$x^3+2x^2+10x=20$ 的根不能用尺规作出。这第一次表明数系所含的数超过希腊人以能否尺规作出为准则的范围。斐波那契还引入了至今仍称为“斐波那契数列”的概念，在这数列中，每项等于前两项之和。

此外，很有意义的数学成就还有尼科尔·奥雷斯姆（约 1323—1382）提出的图线原理。为了表示随时间而变的速度，他用一水平线上的点代表时间，称之为经度；而不同时刻的速度则用纵线表示，称之为纬度。为了表示一个从 0 处为 OA 减到 B 处为零的速度，他画了一个三角形。他还由此证明了：一物体从静止开始用均匀加速度运动所经过的距离，等于这个物体在相等时间内用最后速度的一半的均匀速度所经过的距离（三角形 OAB 的面积等于矩形 OCDB）。

奥雷斯姆的图线虽然还是个含糊的概念，但是他对提出函数概念，用函数表示物理规律以及函数的分类作出贡献。因此，也有人把创立坐标几何及函数的图象表示归功于他。



奥雷斯姆的图线原理

4.中国数学

中世纪时期的中国数学基本上可以分成两个阶段：隋唐时期（581—907）和宋元时期（960—1368）。

隋唐时期，中国建立了数学教育制度，同时在中外数学交流方面也达到了一个高峰。宋元时期，数学水平大为提高，出现了被称为宋元数学大家的秦九韶、李冶、杨辉、朱世杰，以及其他著名学者刘益、贾宪、沈括等人。这一时期的成就，如珠算、天元术、四元术、大衍求一术等，代表了中国古典数学的最高成就。

中国的数学教育有悠久的历史，据史籍记载，周代就开始有了数学教育。但是，直到隋唐时代才建立了数学教育制度。

隋代存在的时间虽然不长（581—618），但却建立了最高学府——国子寺，并在国子寺里设立了明算学。国子寺相当于现今的国立大学，明算学相当于现今的数学系。国子寺在中国开创了高等数学教育机构，并设置算学博士 2 人，算助教 2 人，从事数学教育工作。国子寺招收学生一般在 80 人左右。

到了唐代，在隋代数学教育的基础上，进一步发展了数学教育。唐初在最高学府——国子监里增设六个专科，即明经、进士、秀才、明法、明字及明算六科。出于教学的需要，李淳风等人奉勅注释并校订了十部数学书，作为明算科的教科书。根据史料记载，这十本书是《九章》、《海岛算经》、《孙子算经》、《五曹算经》、《张邱建算经》、《周髀》、《五经算术》、《缀术》、《辑古算经》和《夏侯阳算经》。这十部数学书称为“ 十部算经 ”，是明算科学生的主要教科书。学习期间，有的学生还兼学《数术记遗》和《三等数》。明算科的学制年限为 7 年，学习期满后要进行考试，要求“ 明数造术，详明术理，然后为通 ”。考试合格的人员将交给吏部录用，给予九品以下的官级。

隋唐设立了算学主要是因为赋税量和名目的增加，对算学的社会需要越来越大。但是统治者解决这一需要的方法不是提高算学的社会地位，用物质利益诱导知识层投身于算学，而是使算学职业化、技艺化。算学的设立，就是把计算职业化的一种措施。把算学推入“ 吏 ”这个社会阶层，从而导致士大夫与算学的进一步分离。例如汉代大儒巨卿刘向、郑玄、张衡等人都通晓数学；南北朝的一些算学名家如何承天、祖冲之等也大多兼通儒术。然而自隋唐以后，算学名家却大多非僧即道，或是太史局专职官员，如僧一行、付仁均、李淳风等人，很少是名儒巨宦了。

算学的设立，最大功绩在于满足了社会对算学日益增加的需求，为社会的许多部门培养了专业书计人员，从而对于数学——尤其实用数学的普及起了积极作用。不过，这些专职人员大多是所谓“ 俗吏 ”，社会地位不高，从事的工作也是一些琐屑偎杂的简单计算，无需高深的数学理论，更缺乏深入钻研的精神。因此，南北朝时圆周率的计算已经很进步，但是直到明代，“ 周三径一、方五斜七 ”的歌诀仍被一些算学著作津津乐道地重复着。由此可见，官设算学校对算学的发展所起作用是很有限的。

这一时期，中国与周边国家的学术交流十分繁荣。中国数学原著通过佛教僧侣传入朝鲜，朝鲜还仿照隋唐数学教育制度，建立了国学（后改为大学监）。日本采取的数学教育制度，也是仿照唐制。而且唐代随使船来中国留学的日本学生及僧侣有十余批，共约 2000 人。乘商船求学的有二三十批，人

数更多。其中有不少人就是专门来学习历法和数学的。

此外，印度的一些数学知识也于这一时期传入中国，如印度数码、正弦数值表等。同时，有人发现印度古代数学与中国古代数学有很多相似之处，甚至有个别部分完全一样。就时间上来说，其相似之处一般晚于中国的记载。因此，有人怀疑印度古代数学可能也受到过中国古代数学的某些影响。

前苏联著名数学家哥尔门果洛夫指出：“中国数学和希腊、罗马、印度、中亚和中世纪欧洲的关系还很少研究，但这种关系是存在的。不少国家的数学手稿上，算题和数据恰恰与中国的原著相同。”由此可见，中国数学对世界数学作出过卓越的贡献。

由于商业的发展，促进了宋元时期整个科学技术的发展，数学也达到了较高的水平，特别在代数方面成就尤为突出。秦九韶、李冶、杨辉、朱世杰被称为宋元数学四大家，他们都遗留下大量的数学著作，成就卓著。

秦九韶（约 1202—1261），字道古，鲁郡人。他年轻时随父到杭州，得以有机会向太史们学习天文历法。他聪敏好学，喜欢在解决实际问题中深入研究学问。他于 1247 年写成数学巨著《数书九章》。

《数书九章》今传本分 9 类，各 2 类，合 18 卷，9 类为大衍、天时、田域、测望、赋役、钱谷、营建、军旅、市易，以习题集的形式写成，共 81 题。每题有答，有术，有草，大都配图说明，很是难得。此书在学术方面的成就主要表现在高次方程的数值解法。书中出现的高次方程有“连枝”乘方（最高次项系数不等于 1 的方程）、“玲珑”乘方（奇次幂为零的方程）等。各项系数不限正负（惟常数项常为负值）有所谓的“正负开方术”。书中对大衍求一术及其应用做了详细叙述，这是中国古代在一次剩余问题解法方面极为辉煌的成就。

李冶（1192—1279），原名李治，字仁卿，号敬斋，真定栾城人。少时在元氏求学，中进士后曾任钧州（今河南禹县）知事。1248 年写成《测圆镜海》十二卷。李冶 1251 年回到元氏，隐居于封龙山讲学。1259 年又著《益古演段》。1265 年他应忽必烈之召为翰林学士，修辽金二史。一年后告老还乡，仍隐居封龙山。李冶学习过《九章》，“洞渊九客之说”；学习过《益古集》，“遍观诸家如积图式”。这些无疑为他的数学著作奠定了知识基础。李冶不仅是数学家，还是一位精于文史的学者。著有“《敬斋古今黈》四十卷，《泛说》四十卷，《文集》四十卷，《壁书丛削》十二卷。”

李冶的《益古演段》是一部关于天元术的入门书。天元术是建立代数方程的一般方法，相当于现在的“设某为 X”，并由此建立方程。由于所设的未知数称为天元，所以这种方法就被称作“天元术”。天元术是公元 11—13 世纪中国数学家的一项杰出成就。

杨辉，字谦光，钱塘（今杭州）人。关于杨辉生卒年月、生平事迹的史料记载很少，但是他的数学著述很丰富，虽经散佚，流传至今的尚有多种：

《详解九章算法》12 卷后附《纂类》（公元 1261 年）

《日用算法》2 卷（公元 1262 年）

《乘余通变本末》3 卷（公元 1274 年）

《田亩比类乘除捷法》2 卷（公元 1275 年）

《续古摘奇算法》2 卷（公元 1275 年）后三种为杨辉后期的著作，一般称之为《杨辉算法》。

杨辉编写的算书广泛征引古代数学典籍。除汉唐以来的“算经十书”以

外，还引用了宋代的许多算书，许多基本的算法赖以流传下来。此外，杨辉学术上的成就主要有：《九章算法纂类》中记述的增乘开方法；《详解九章算法》记载了西方称之为“巴斯客三角”的“开方作法本源图”。

杨辉在中国数学史上不仅是一位著述甚丰的数学家，而且是一位卓越的数学教育家。他特别重视数学的普及教育，他的许多著作都是为普及数学教育而编写的教科书。在《算法通变本末》中，杨辉为初学者制订的“习算纲目”，是中国数学教育史上的一件重要文献。杨辉主张在数学教育中贯彻“须责实有”的思想，就是紧密联系实际，发展数学研究与教育，这也是中国古代数学优良传统之一。在数学方法上，杨辉主张循序渐进，精讲多练。主张熟读精思，融会贯通，在广博的基础上深入，要着重于消化。杨辉还特别重视对计算能力的培养。他十分强调习题的演算，每个学习单元都规定完成一定数量的练习，认为这样才可以“庶久而无失念”。杨辉作为一位杰出的数学教育家，在中国古代数学教育史上占有重要地位。他的先进的教育思想和教学方法，是留给后世的一份珍贵遗产。

朱世杰，字汉卿，号松庭，寓居燕山（今北京附近），是元代一位成就卓著的数学家。他曾以数学名家之身份周游各地二十余年，为中国数学留下两部优秀的数学著作——《算学启蒙》（公元 1299 年）和《四元玉鉴》（公元 1303 年）。他写书的目的在于“发明《九章》之妙以淑后学”。

朱世杰在“垛积术”以及与垛积相关的内插法方面颇有造诣。他的主要成就是“四元术”的创立。

把天元术加以推广，用以表示四元以内的方程或方程组，这样就出现了四元术。四元术分别以天、地、人、物表示 4 个未知数，叫做天元、地元、物元、人元。四元术的精华在于相消，即由该方程组经过变形得到一个一元的高次方程。朱世杰的消去法是中国数学史上一项杰出的成就。在西方，由方程 f（x，y）＝0，g（x，y）＝0 消去一个未知量的方法是法国数学家别朱于 1764 年给出初步方案，直到 1779 年出版的《代数方程的一般理论》才正式发表。这已在朱世杰之后 400 年。因此，朱世杰的工作在世界数学史上也是一个重要成果。

宋元四大家为我国古代数学史上的巅峰人物，在全世界也是屈指可数的。但宋元时期大数学家绝非仅此四人。此外如贾宪、刘益、沈括等人都作出了重要贡献，“四大家”的成就是直接以他们的成就为基础的。所以，四大家的成就代表的是当时中华民族所达到的科学文化水平。

珠算的发明和使用，也是这一时期最伟大的数学成就之一。宋元时期，由于商业的发达，四则运算成了商品市场中频繁使用的科学知识。传统的筹算法不但使用不方便，计算速度也远远不能满足需要。因此，改革运算工具就更显得迫切了。

珠算盘是人们在长期的改革实践中，由算筹的小型化和摆弄位置的固定化演变而来，经过不断地改进才逐渐臻于完善。它是广大劳动者的智慧结晶。珠算盘最迟在元末便已普遍使用了。

珠算盘不仅外形小巧灵便，而且直接与算法歌诀相配合，真正做到得心应手，形成了简单快速的珠算术。虽然现在已进入了电子计算机的时代，但是在以加减运算为主的财会工作中，因为珠算速度可以和小型电子计算器媲美，所以算盘仍保持着重要的地位。

宋元时期的数学教育和对外交流仍很发达。宋元的官立算学仍与隋唐相

同。颇具特色的是私立算学不但数量比以前大增，讲授的内容较广泛，效率也比官设算学高得多。

唐宋以来，中国和阿拉伯保持着密切联系，阿拉伯商人在广州、泉州、扬州经商，哈里发与中国皇帝之间也时有使臣往来。因此，阿拉伯的历法、幻方、“格子算”、欧几里得的《原本》等数学知识传入中国，中国的十进位制、分数记法、“百鸡问题”、贾宪三角形及增乘开方法等内容也出现在阿拉伯的一些著作中。

有人把宋元时期数学的发达的原因归结为三个方面。首先，工商业和城市的发展使社会对数学的需要增加。其次，由于宋代地主阶级人数扩大，许多人终生不得仕进，所以作为六艺之一的数学有较大的吸引力。宋元四大家的著作都是赋闲时的研究成果。最后，由于数学不需要投入大量资金、人力和时间，而且成败无伤、不担风险、不触忌讳，其研究规模特别适合于小农经济。这是中国数学能持续发展的主要原因。

宋元数学虽然达到了顶峰，但也存在着严重的危机。

一方面，对数学社会需要的增加，并没有导致占统治地位的社会意识的变化。数学仍被认为是“九九贱技”。数学家们在思想上受着压抑。虽然他们在社会下层受到尊重，但是当他们面对上流社会时，总难免自卑自贱。数学四大家在为自己著作写的序言中都流露了这种感情。

另一方面，把数学纳入阴阳五行论的轨道是宋元时期数学的一大特点。由于受宋元时期哲学上的客观唯心论的影响，数学被导向神秘化。

因此，从元末以后，中国数学除珠算以外，发展缓慢，明末以后，中国数学已经落后于世界先进水平。

总的说来，在中世纪长达一千多年的时期内，由于欧洲的科学一直处于萧条和不景气局面，科学的中心转移到了东方，于是数学也随之而进入了“东方的发展阶段”。当时的东方国家，如中国、阿拉伯各国和印度，在数学上都取得了相当高的成就。而这一时期的欧洲，没有特别重大的数学发现，主要是吸收古代世界和东方的数学遗产的时期。

值得注意的是，印度人和阿拉伯人对数学的用法偏重实用。他们研究数学是因为天文学占星术以及工程技术需要数学，他们不会象希腊人那样为了了解自然而钻研数学，因而缺乏批判精神。他们的主要成就表现在算术和代数方面，而在几何方面建树甚微。这是因为算术和代数可以依据经验和直观启示，在社会生活中比较实际。而几何是讲究演绎的，需要整套的逻辑演绎知识。阿拉伯人和印度人很有创新精神，发明了许多好的方法和计算技巧，但是他们对算术和代数的逻辑基础漠不关心。

中国古代数学也有浓重的应用数学色彩。通观中国古典数学著作的内容，几乎都与当时社会生活的实际需要有密切的联系。中国算学经典基本上都遵从问题集解的体例编纂而成，它涉及的内容反映了当时社会政治、经济、军事、文化等方面的实际情况和需要。因此，中国古代数学的成就也是表现在代数和算术方面。

数学在一个自由的学术气氛中最能获得成功。它既需要对物理世界所提出的问题发生兴趣，又需要有人愿意从抽象方面去思考由这些问题所引起的概念，而不计其是否能谋取眼前的或实际的利益。因此，在太注重实际的文明中数学不能繁荣滋长。

反观中世纪后期的欧洲数学，虽然没有特别重大的数学发现，但是通过

文化交流和传播，使它冲破宗教思想的束缚，恢复了数学的科学精神——认识自然。这一精神为欧洲数学在下一时期（文艺复兴时期和近代数学创立时期）的迅猛发展准备了思想条件。

欧洲数学后来居上，最终在世界数学中一枝独秀。笔者认为，除了历史的、社会的原因，东西方数学传统上的这些差异也是很有影响的。

三、物理学

1.阿拉伯物理学

中世纪阿拉伯人继承和发展了古希腊的科学和文化，从而创造了灿烂的阿拉伯文明。在物理学方面，阿拉伯人也大量吸收了古希腊的科学成就。阿基米德、亚里士多德、托勒密等人的著作被翻译成阿拉伯文。从 10 世纪以后，阿拉伯人在物理学上做了许多工作，尤其是在光学和静力学方面成果显著。在光学方面，阿拉伯最杰出的物理学家是阿勒·哈增（约 965—1038）。他曾在埃及任大臣，著有《光学全书》。阿勒·哈增从希腊人那里学到了“反射定律”——光反射时反射角等于入射角。在此基础上，他又进一步指出：入射光线、反射光线和法线都在同一平面上。

阿勒·哈增还纠正了托勒密的折射定律。托勒密断言：入射角与反射角成正比。阿勒·哈增特地做了一个实验来检验。他把一个带有刻度的圆盘垂直地放置，一半浸入水中。入射光通过盘边的小孔和中心的小孔射入，入射角和反射角可以从圆盘上的刻度准确读出。他发现：入射光线、折射光线和法线在同一平面上；托勒密的折射定律只有在入射角较小时才近似成立。可惜，他也未能得出正确的折射公式。

阿勒·哈增研究过球面镜和抛物柱面镜。他发现：平行于主轴的光线入射到球面镜上时，则反射到这个轴上。为此，他提出了著名的“阿勒·哈增问题”：在发光点和眼睛已定的情况下，寻找球面镜、圆锥面镜和圆柱面镜上的反射点。他对这个问题进行了详细的讨论。

阿勒·哈增还研究了视觉生理学。当时在阿拉伯的沙漠和热带地区眼病盛行，因此阿拉伯的眼病研究很发达。阿拉伯人很早已经能用手术处理眼病，关注到了眼睛的生理构造。阿勒·哈增是最早使用了“网膜”、“角膜”、“玻璃体”、“前房液”等术语的人。他认为视觉是在玻璃体中得到的。他还反对由柏拉图和欧几里德提出的关于视觉是由眼睛发出光线的学说，而赞成德谟克利特的观点，认为光线是从被观察的物体以球面形式发射出来的。

阿勒·哈增对光学的研究，有力地促进了现代光学的诞生。

在力学方面，阿尔·哈兹尼（生卒年不详）作出了重要的贡献。他在公元 1137 年发表的《智慧秤的故事》一文中，详细地描绘了他自己发明的带有 5 个秤盘的杆秤。它既可以作为杆秤使用，也可用一个可动的秤盘在没有砝码的情况下测量重物，还可以在水中测定物体的重量。阿尔·哈兹尼用智慧秤测物体重量，同时使用一个带有向下倾斜的喷嘴的容器，把水灌满容器至喷嘴口，然后把物体浸入容器，通过测量溢出的水重可以确定物体的体积。他用这个方法确定了一些物质的密度。

阿尔·哈兹尼还发现空气也有重量，因此他把阿基米德的浮力定律从液体推广到空气中。他发现“大气的密度随高度的不断增加，其密度越来越小，因此物体在不同高度测量时，重量会有所不同。”这也是很重要的力学规律。他还以路程与时间之比给出了速度的概念。

阿拉伯的物理学研究和它的经济发展联系极为紧密。在度过了从公元 10 世纪到 12 世纪的鼎盛时期后，由于阿拉伯内部灌溉农业管理不善；外部承受了基督徒十字军的打击以及蒙古人、鞑靼人的入侵。内外交困的阿拉伯经济衰败了，阿拉伯物理学与数学一样，也随之衰落了。

阿拉伯的物理学主要是继承了希腊人的成果，并有所创新。阿拉伯物理学为中世纪的欧洲提供了丰富的资料、实验、理论和方法，有力地推动了欧洲物理学的复兴。

2.欧洲物理学

与阿拉伯、中国辉煌的中世纪相反，古代文明的夕阳余辉在欧洲大陆逐渐消失。古希腊的文明在罗马时代就开始衰落。到了 5 世纪，教会在政治上成为统治者。由于教徒们只关心天国与来世，科学研究成为无人问津的畏途。《圣经》的词句具有法律意义，一切智慧都在《圣经》里，一切学问都归教会神父们所有。由于 5 至 11 世纪中世纪的科学成果如此之少，后人称之为欧洲的“ 黑暗时期 ”。这一时期物理学也是进展甚微。

十字军东征使欧洲人接触到了灿烂的阿拉伯文明。用阿拉伯文保存下来的古希腊、罗马著作，以及中国的四大发明等技术，都在这一时期传入欧洲，为欧洲的学术复兴创造了条件。此外，欧洲的手工业和商业进一步发展，出现了城市，建立了许多大学，如牛津大学、剑桥大学、巴黎大学等。正如中世纪欧洲数学的成就在很大程度上归功于大学的产生，中世纪欧洲许多物理学的成就也是在大学中获得的。

1200 至 1225 年间，亚里斯多德的全集被发现了。牛津大学校长、林肯区的主教格罗塞特立刻把它翻译成拉丁文。亚里斯多德著作的再发现引起了很大的变化。当时人们已经深信教会作为天启的接受者与解释者，在学术上是至高无上的。而代表世俗学问的神秘的新柏拉图主义则与天启相符。要接受新发现的亚里斯多德的著作，并把著作里包含的物理学知识与基督教教义调和起来，在学术上需要大胆的突破。因此，研究亚里斯多德一时引起教会的恐慌，甚至在 1209 年，巴黎的大主教管区禁止出版亚里斯多德的著作。

当时解释亚里斯多德的最主要的学者是多明我会修士大阿尔伯特（1206—1280）。他是中世纪欧洲一个很有科学思想的人。他把亚里斯多德、阿拉伯民族和犹太族的科学思想组成了一个整体。其中包括了物理学、医学等各种知识，并且最终由他的门徒托马斯·阿奎那完成了宗教思想的革命。

托马斯·阿奎那（1225—1274）也是多明我会修士，意大利神学家。他著有《神学大全》与《箴俗哲学大全》，用亚里斯多德的形式逻辑论证了教会的思想体系。亚里斯多德认为认识世界的关键是物理学。但是他所说的物理学并非指无生命的物质运动规律，而是认为物理就是事物倾向于长成什么和正常行为是怎样的天性。科学研究的目的就是寻找万物的天性。他还用“ 天然位置 ”和“ 终极原因 ”来解释物体的自然运动。亚里斯多德的物理学有许多荒诞不经的成分，阿奎那充分利用了他的自然知识，把它和神学结合起来。认为知识有两个来源：一是基督教信仰，由《圣经》、神父及教会的传说流传下来；另一个是人类理性所推出的真理，个人的理性是自然真理的泉源，柏拉图和亚里斯多德是它的主要解说者。基督教的信仰不能用理性去证明，但可以用理性去检查和领悟。就这样，经院哲学在托马斯·阿奎那手里达到了最高水平。托马斯·阿奎那主张用理性去检查和领悟基督教信仰，这种彻底的唯理论促成了近代科学研究的学术气氛，是有一定进步意义的。只是到后来，当亚里斯多德的物理学被近代科学的发展远远抛在后面，经院哲学才成为禁锢科学发展的枷锁。哥白尼、布鲁诺、伽里略等科学家的悲剧正是经院哲学所造成的。

13 世纪的欧洲涌现出一个短时期的实验风气，其中最杰出的代表人物是罗吉尔·培根（1214—1294）。我们已经介绍了他在数学方面的杰出贡献。他的物理学思想也远远高出中世纪的其他欧洲哲学家、科学家。

罗吉尔·培根出生在英国，曾在牛津大学学习和任教，也曾在巴黎大学从事过教学和研究工作。罗吉尔·培根博览群书，深入钻研过古希腊和阿拉伯的著作。但他并不盲从书本，而是谆谆告诫世人：证明前人说法的唯一办法只有观察和实验。他认为错误的原因有四：即对权威的过度崇拜、习惯、偏见与对知识的自负。尤其是他卓有见识地倡导“只有实验方法才能给科学以确实性”，正确地指出了物理学研究的方向。因此，他在科学思想和科学方法上都被誉为近代自然科学的先驱。

罗吉尔·培根本人在物理学上做的实验不多。他学习了阿拉伯物理学家阿勒·哈增的光学著作，花了很多钱从事光学实验。他叙述了光的反射定律和一般折射现象；他懂得反射镜、透镜并且谈到望远镜；他还提出了一种虹的理论。这位“万能博士”还叙述了许多机械发明，谈到了魔术镜、取火镜、火药、希腊火、磁石、人造金、点金石等。

牛津大学的威廉·奥卡姆（约 1300—1347）继续了罗吉尔·培根对经院哲学的批判。奥卡姆反对经院哲学任意臆造抽象的观念和实体，提出了著名的“奥卡姆剃刀”予以批判：“不要增加超过需要的实体。”这是现代人反对不必要的假设的先声，使人们对直接感官知觉更加重视。奥卡姆的名言打破了人们对抽象观念的信仰，促使人们从事直接观察与实验研究，推动了近代归纳科学的兴起。

中世纪时期主要是近代物理学方法的萌芽时期，物理学本身的成就虽然并不突出，但也取得了一些有意思的成果。皮埃尔·德·马里古特约在 1269 年写了一本描述磁力实验的书。他了解到异性磁极相互吸引，同性磁极相互排斥；一根磁针断为两半时，每一小段又变成一根小磁针；铁与磁石摩擦可以磁化；他用磁石做成一个圆球，用短铁丝研究它的磁性，从而发现了磁子午圈；他还描述了两种不同构造的罗盘。

14 世纪中叶，巴黎大学校长琼·布里丹（约 1300—1360）为解释物体受力后之所以继续运动，他提出了一个新理论——“冲力理论”。“冲力说”的早期代表是 6 世纪亚历山大里亚的一个学者约翰·斐劳波诺斯。他认为上帝创世之初就赋予天体一种不随时间消逝“冲力”，这种冲力可以维持物体永远运动下去。后来，牛津大学的威廉·奥卡姆根据磁棒可以使一块铁动起来而不碰到它，认为真空是可以存在的，从而支持冲力说。

布里丹认为，加到箭或抛射体上的动力是加到物体本身的身上，而不是加在空气上。这个冲力（而不是空气的推动力）如果没有外力作用，能使物体永远保持匀速运动。在自由落体的情形下，由于自然重力使原有冲力逐步获得增量，所以冲力是逐次增大的。当我们上投物体的时候（如抛射体），传给物体的冲力因空气阻力和自然重力而逐渐减小。天体接受上帝给予的冲力后，就无需天上其他因素作用而保持其运转。布里丹把冲力定义为“物体的质量与速度的乘积”，这是最早的动量概念。

布里丹应用“冲力说”，把天体运动和地面上物体的运动合在一起；冲力暗含着力改变运动而不单是维持运动的想法；冲力概念把作用力从媒质转移到运动物体上，从而又使人能考虑没有媒质的真空。这三点使布里丹成为现代动力学的奠基人之一。

巴黎学派的另一位代表是尼古拉·奥雷斯姆。我们已在数学史中提到了他的图线原理。他创立的用图解方法表示运动的方法（参看第二章图），是把几何学引进物理学的一个重要步骤，特别是为变量的研究提供了数学方

法。他所证明的在匀加速运动中以平均速度求路程的方法，和伽里略在分析自由落体的运动时的方法，在原理上是一致的。奥雷斯姆 1326 年任纳瓦拉学院院长，1377 年任里苏的主教，他也是冲力说的有力支持者。

中世纪欧洲物理学家在几何光学方面树立了比较坚实的基础。因为欧洲人可以直接从古希腊人和阿拉伯人的著作中吸收光学知识，所以到 1200 年，光学上的一些基本定律如直线行进、反射定律、折射定律都为欧洲人熟知。还有关于球面镜和抛物面镜的知识，球面像差，针孔照像机，透镜的用途，眼睛的功能，大气折射现象，放大视象，这些都从阿拉伯人那里传到了欧洲。

欧洲的物理学家继续把光学推向前进。除了前面提到的罗吉尔·培根在光学上所取得的进展，欧洲物理学家还根据光被透镜折射的知识，定出了一些透镜的焦距，研究了透镜的组合，提出用透镜组合放大视像的意见。他们改进了解释虹彩的理论。13 世纪中叶，玻璃镜的制造完善了。从 1299 年起有了眼镜。维特罗观察到光在折射下的散射现象（他让白光通过六角形晶体，产生出有色光）。他又引导光通过一碗水来研究彩虹，注意到光通过一碗水射出后出现彩虹中的颜色。由于欧洲物理学家的努力，光学成为一门重要的物理科学。

中世纪欧洲的物理学成就虽然不多，而且当时的学术工作有很多缺点：思想不分明，神秘主义，教条主义，以及咬文嚼字地引述权威著作。但是，做实验和用归纳法来获得一般原理和科学规律，开始成为知识的重要来源。这无疑是欧洲物理学家为经典物理学的诞生做出的重要贡献。

3.中国物理学

早在中国的战国时代，物理学就取得了辉煌的成就，在力学、声学、光学等方面都颇有建树。隋唐宋元时期，封建制度日益巩固，科学技术向着为宫庭服务的方向发展。再加上隋唐确立了科举制度，科举制度造成科学技术与士大夫阶层脱离，使理论科学的研究主要落在少数僧侣、道士和隐士的身上。由于这支队伍力量薄弱，科学研究明显后继无力。在物理学方面尤甚。已经出现的理论和著作陆续被人遗忘和散佚，已经开始的研究只好中途作罢。因此这一时期的物理学已经是强弩之末。直到明朝，西方近代科学传入之后，物理学的研究才重新方兴未艾。不过，由于中国古代积累了丰富的物理学知识，也由于当时少数物理学家沈括、赵友钦等人的艰辛努力，隋、唐、宋、元时期，物理学的许多学科在世界上仍是领先的，在声学、电磁学和光学方面均结出了丰硕的成果。

（1）声学

早在古代中国就有很丰富的声学知识。其中，关于物体发声和传播的研究、声音成因的解释，以及乐器的制造和声律学的探讨都有详细的记载。北宋科学家沈括则在共振实验和共鸣现象上作了深入的研究。

沈括（1031—1095）字存中，北宋政治家、科学家，浙江吴兴（今属浙江杭州）人。他博学多才，成就卓著。《宋史》说他“于天文、方志、律历、音乐、医药、卜算，无所不通，皆有所论著”。其中有好些创见，至今仍为全世界学者称道。堪称中国历史上，同时也是世界历史上稀有的通才。他的著作有 40 种，其中《梦溪笔谈》26 卷，《补笔谈》2 卷，《续笔谈》1 卷。这些都是他晚年定居梦溪园以后，采用笔记体的形式写成。《笔谈》记录了他一生积累的各种知识分条，共 609 条。按照李约瑟教授的辑录，其中 207 条属于自然科学知识，包括物理、化学、天文历法、算学、气象、地质学及矿物学等 14 种，因此《笔谈》是中国科学史上一部重要著作。李约瑟把这本书称为“中国科学史上的坐标”。

《笔谈》详尽记述了大量科学史料，从许多侧面反映了当时的科技水平。如灌钢的锻造法，冷锻成色的检验法，所制透镜及其他铜镜的特异性能，指南针的装置法等，都达到了当时世界最高水平。《笔谈》还记录了许多平民科学家的创造发明，如发明活字印刷术的毕升、建筑工程师喻浩、天文学家卫朴、水利工程师高超等人，都有详细的记载。《笔谈》也是这位大科学家毕生观察思考和研究结果的记录。这些成果在科技史上有许多占有重要地位，如关于地层地质结构的形成的认识、垛积公式、会圆术、中草药和医方的考证等，都是很了不起的科学成就。《笔谈》中在物理学方面涉及的内容主要有声学、光学和磁学等方面。

沈括的《梦溪笔谈》有两卷专讲音律。他的一个朋友家中有一个琵琶，放在空荡荡的房间里。用笛吹奏双调的时候，琵琶也跟着发音。这使人非常惊讶。那人把琵琶当成宝贝，敬若神明。沈括知道后大不以为然，指出这只不过是共鸣现象。他为了显示共振现象，剪了一些小纸人放在弦上，每弦一个，然后开始演奏。除了本身被弹奏的弦线以外，另一根与它音调有共振关系的弦也会振动起来。它上面那个小纸人频频跳动，而其他弦上的纸人却安然不动。沈括还进而证实，只要声调高低一样，相应的弦照振不误。沈括设计的纸人演示共振实验，是世界上同类实验中最早的一个。

（2）电学和磁学

中国古代电学、磁学的知识十分丰富。早在先秦、两汉年间，就有摩擦起电、雷电以及尖端放电的记载。

到了唐代，人们在实践中找到了防止雷击的办法。唐代王睿在《炙亮子》中记载道：汉代古建筑柏梁遭火灾，有一个搞巫术的人提出把瓦做成鱼尾形状（叫做“鸱吻”或“蚩吻”）后，放在屋顶上可以防止雷电引起天火。有人解释说，这是在仰起的“鸱尾”中吐出一根金属长舌向着天空，舌根和一根着地的细长铁丝相连。这种记载如果属实，说明当时人们已经在实践中应用避雷针了。

从雷电对物质作用的观察中，中国古代实际上已区分了导体和绝缘体。沈括在《梦溪笔谈》中记载了内侍李舜举家被雷击时“金石皆铄，而草木无一毁者。”沈括通过雷电对金石、草木作用的不同效果，实际上已经看到了导体与绝缘体的区别。

中国古代在磁学方面也成绩斐然。春秋时期，磁石吸铁的知识已相当普遍。到东汉时已发明了“司南”，即指南针的雏形。《论衡》中记载“司南之杓，投之于地，其柢指南”。

到了宋代，沈括在《梦溪笔谈》中第 437 条记载了指南针。这时，指南器已由司南勺、指南鱼发展为针形，成为一种更简便、更有实用价值的指南仪器。它和现代磁针的形式已极为接近。《梦溪笔谈》中记载的使用天然磁石摩擦铁（钢）针使其磁化的人工磁化方法，直到 19 世纪现代电磁铁出现以前，几乎所有磁针都是这样制成的。

在使用指南针的过程中，人们还认识了磁偏角。沈括说指南针不是指向正南，而是“常微偏东”。寇宗奭还说：“常偏丙位”，即磁偏角在 0° 至 15° 之间。欧洲大约到 13 世纪才知道磁偏角，当时还误以为是指南针构造的缺点造成的。

指南针是中国举世闻名的“四大发明”之一。指南针一经发明，很快被应用于航海。南宋时又发明了罗经盘，或称为地螺、针盘等。指南针在航海中的地位更加重要了。

中国的指南针由海路传入阿拉伯，大约在 1180 年由阿拉伯传入欧洲。指南针的出现大大促进了航海技术的发展。

（3）光学

宋末元初卓越的科学家赵友钦在光学方面很有成就。赵友钦又名敬，字子恭，号缘督，鄱阳（今江西鄱阳）人。有关赵友钦生平事迹的史料很少，生卒年月也不详。仅有《革象新书》（5 卷）流传下来，使我们得以了解一点这位科学家的贡献。

《革象新书》第 5 卷首篇“小罅光景”中详细记载了赵友钦所做的光学实验。实验是在一个两层楼房中进行。一楼分为左右两室，楼下两室各挖一个直径为 4 尺的圆阱，阱上盖有木板，板上各有一小孔，阱中各放插有一千多只蜡烛的圆板作为光源。

赵友钦通过这个实验对一系列几何光学问题进行了具体的观测和研究。最后他作出了结论：1.孔相当大时，屏上所产生的像与孔的形状相同；2.孔相当小时，屏上所生的像和光源的形状相同，但方向相反（即蜡烛的光在东，像在西），这就是小孔成象。赵友钦说这个结论“断乎无可疑者’。象这样严谨的大型实验，在 14 世纪中叶时，世界上还是绝无仅有的。赵友钦通过实

验还得到：照度随着光源的强度增加而增加，随距离的增加而减小。而西方在 400 年后，才由德国科学家兰伯特（1728—1777）得出了照度和距离平方成反比的定律。

沈括在研究凹面镜成像实验中也总结出规律。他指出，当手指在焦点之内，所成的像是一个正立的虚像；当手指渐渐远离镜面，移至焦点时，成像在无穷远，即“无所见”了；当手指移至焦点之外，就成为倒立的实像了。沈括发现了焦点，并把它看作是正像和倒像的分界点，这是一个十分重要的进展。

（4）力学与热学

隋、唐、宋、元时期，中国应用力学知识已经达到了一个很高的水平。

北宋著名科学家苏颂（1020—1101）和韩公廉（生卒年不详）于 1088 年制作了一座杰出的天文计时仪器——水运仪象台。这座复杂的大型仪器采用了民间使用的水车、筒车（“升水轮”）、桔槔、凸轮和天平秤杆等机械原理，把观测、演示和报时设备集中成一个整体，成为一部自动化的天文钟。这是世界上最古老的天文钟，在国际上受到极高的评价，这反映出当时中国力学知识已经有相当高的水平。

此外，宋代有许多关于浮力的记载，宋代还有人应用大气压力来制造虹吸管和唧筒。北宋曾公亮在《武经总要》中，具体记述了如何用竹筒制成大型虹吸管，把被高山阻隔的泉水引过来的装置。这说明，当时中国的流体力学也已有一定的水准。

这一时期，热学知识的应用也很普遍。在烧制陶器和冶炼金属的过程中，都需要大量的热学知识。尤其火药的发明，使中国古代在热的动力应用方面居于世界领先的地位。

中世纪时期的中国物理学由于始终缺乏稳定的理论研究队伍，而且由于人们偏重物理学的实际应用，对自然界的理论研究缺乏兴趣。因此，这一时期中国虽然在学术上长期处于世界领先地位，但缺乏系统性和连贯性，更没有形成完善的科学体系。中国物理学表面的辉煌下潜伏着严重的危机。自宋、元以后，中国整个物理学逐渐走向衰退，远远落后于西方的近代物理学。

四、化学

1.阿拉伯炼金术

中世纪的化学，是以炼丹术和炼金术这两种原始的形式存在。炼丹术与炼金术的主要区别在于：炼金术以乞求财富为目的，着眼于点石成金，故又称点金术；炼丹术虽然也要炼制黄金、白银，但目的不是为了财富，而是为了获得金丹，一种长生不老之药。中世纪时期，炼丹术在中国颇为盛行，而炼金术主要流行于阿拉伯和欧洲地区。

阿拉伯在炼金术方面名声很大。阿拉伯人有 700 多年的炼金术史。他们的工作中心先是在伊拉克，随后迁至西班牙。阿拉伯人把炼金术发展为化学，并促进了中世纪后期欧洲化学的诞生。

阿拉伯炼金术大约兴于公元 8 世纪，它的渊源主要来自希腊炼金术。公元 640 年，阿拉伯人征服了埃及，使阿拉伯民族接触到希腊文明。在他们统治下的希腊、叙利亚和波斯的学者们积极地把希腊的书籍翻译成阿拉伯文，其中就有关于炼金术的著作。到公元 8 世纪，中国的炼丹术也传到阿拉伯，阿拉伯的炼金术研究从此又有了一个新的发展。

炼金术在阿拉伯发展很快。公元 8 世纪，出现了一批阿拉伯化学家。他们不仅懂得亚历山大学者们的知识，而且有所发展。为此他们摒弃希腊拉丁语源的“化学”(英文为 chemistry)一词，创造了“炼金术”(英文为 alchemy)这一名称。

阿拉伯炼金术的早期代表人物是贾比尔·伊本·海扬（721—815）。他曾在公元 8 世纪时名噪一时，著作有《物性大典》、《七十书》、《炉火术》、《东方水银》等。他同时也是一位学识渊博的医生。

贾比尔的基本思想是“四要素说”。四要素包括冷、热、干、湿。贾比尔认为这四种要素两两相配便形成了世界上的各种金属，并使金属具有相应的内质。例如黄金的内质是冷和干。银的内质虽然也是冷和干，但两种要素的比例和黄金不同。所以只要使白银的冷、干比例调整得与黄金一样，就能把白银“点”为黄金。由于贾比尔认为四种要素都是非常具体、实在的，可以从物质实体中离析出来而独立存在。因此，炼金术的任务是确定四种要素在各物体中所占的比例，再设法把它们从某些物体中提炼出来，取得纯净的“冷素”、“热素”等等。然后把它们各以适当的数量结合于或添加到某种物质中去，以修炼成预期得到的产物。贾比尔认为硫含有热和干的内质，汞含有冷和湿的内质，所以硫和汞是构成各种金属的两大成分。硫和汞在地球热力的作用下化合成所有的金属。

贾比尔主张用蒸馏的手段把四种要素从物质实体中分离出来。为此他完善了蒸馏方法。这是一种很重要的化学技术。他最早制备出来的硝酸，就是应用蒸馏方法的结果。他还蒸馏明矾得到了硫酸，将硝酸和盐酸混合制成了王水，还制出了有机酒石酸。据说他还制造过碳酸铅，从硫化物中提取过砷和锑。贾比尔在化学实验方法上作出了杰出的贡献。

更晚些时候，阿拉伯炼金术的代表人物是累塞斯（860—933）。他也是一位著名的医学家，我们在阿拉伯医学史中可以看到他在医学上的卓越贡献。累塞斯写了不少炼金术著作，其中以《秘典》（又译作《秘密中秘密》）最为著名。《秘典》共分三部分，分别讨论了物质、仪器和方法。

累塞斯第一次对当时已知的各种物质进行了分析。他把物质分成三大类：矿物、植物、动物，从而首先创立了自然界的分类系统。他研究最多的是矿物的分类。他把矿物体分成 6 类。

1.物体：各种金属

2.精素：硫黄、砷、水银及硇砂

3.石类：白铁矿等

4.矾类

5.硼砂类：硼砂、苛性钠、草木灰

6.盐类：食盐、苛性钾、“ 蛋盐 ”（可能是中国用来造烟火的硝石）等。

累塞斯在著作中对炼金家所使用的仪器设备作了详细的介绍。其中有风箱、坩锅、勺子、铁剪、烧杯、蒸发皿、蒸馏器、沙浴、水浴、漏斗、焙烧炉、天平和砝码等，极大地丰富了化学实验室设施。因此，累塞斯的《秘典》在中世纪享有盛誉，是非常重要的化学文献。

阿拉伯炼金术的后期代表当推阿维森纳（980—1037）。他是一个伟大的医生，被誉为阿拉伯的“ 医学之王 ”。他的事迹在医学史中将专门介绍。他是集阿拉伯炼金术、医学和哲学等知识之大成的人物，著作颇丰。其代表作《医典》一书影响很大，成为后世医药学的经典。他对化学现象的观测资料收录于《医药手册》（又有译作《药剂书》）中。

在这本著作中，他把无机矿物分成四类：石、可溶物、硫和盐。水银被划入可熔物，即金属类。他接着又说：“ 水银或是水银类似的某种物质看来是一切可熔物的主要组成部分，因为所有金属都可以熔化为水银。 ”因此，他认为一切金属都是由水银与硫黄，以及决定该金属本质的杂质所组成。水银是金属的精英，硫黄使金属外观有可变性。这就是他的炼金术的基本观点。

但是他对金属嬗变持否定态度。他认为，其一，“ 我们感观所能感到的各种性质也许并不是把金属分成不同种类的那些根源，而是一些原因不明的现象或各种条件作用的结果，至于种类差别的根源则一直没有为人们所认识；如果一个人对某一事物没有认识，怎么能指望去制造或消灭它呢？ ”其二，“ 各种金属的本质部分所含元素的比例可能各不相同，只有当人们能将该本质部分分解并能按预想的成分重新加以结合的时候才能实现金属嬗变。但不管怎样，单靠熔化不可能做到这一点。熔化并未能破坏化合，只不过添加了某些外来的物质或性能 ”。因此，他认为，我们能够得到的只是贵金属的合金，或只能使该金属带有贵金属的颜色。这表明，阿维森纳是一位有独立见解和科学预见性的学者和思想家。

10 世纪时阿拉伯炼金术已有了长足的进展。此后传到西班牙科多瓦哈里发王朝，当地的摩尔人中出现了一批炼金术士。经过西班牙的摩尔人，阿拉伯炼金术传入欧洲，并在那里发展成为中世纪晚期的欧洲化学。

阿拉伯炼金术的进步之处，在于它不只囿于追求黄金，而是具有相当浓重的学术气息，因而作出了不少重大的化学发现。在实验方法上，阿拉伯炼金家已使用了天平，并开始用定量的方法来研究化学变化的过程。而且早期的阿拉伯炼金术著作手稿（8—10 世纪），都是用通俗明白的语言写成的，并没有使用神秘符号和密码。这无疑有利于学术的交流和传播。

可惜的是，从公元 11 至 13 世纪，尽管许多阿拉伯炼金术士又写了不少论文，注释过不少古书，但是与 10 世纪的那批伟大炼金家的工作相比，几乎没有增添什么新的内容。在此期间，伊斯兰教的正统派逐渐占了上风，富有

浓厚神秘主义色彩的思想盛极一时。穆斯林科学迷失了方向。因此，化学成为一门真正科学的希望终成泡影。幸而早期迟迟未能接受希腊科学思想的西班牙和意大利人后来把由阿拉伯人传播和发展的科学思想继承下来，使那些科学传统未遭湮没，泽被了中世纪的欧洲。

2.欧洲炼金术

在中世纪的欧洲，人们并不知道希腊关于“神术”的论著（其中包括了化学的初步知识）。炼金术的知识是通过在西班牙翻译的阿拉伯著作才到达欧洲的。西班牙是撒拉逊文化与欧洲文化的接触点，并且是把阿拉伯文化传送到欧洲的主要地区。

1144 年，英国人罗伯特翻译出版了阿拉伯人所写的《炼金术的内容》一书。阿拉伯的炼金家贾比尔和累塞斯的著作先后被译成拉丁文。及至公元 1350 年，以拉丁文出版的炼金术作品已达 70 余种，欧洲的炼金术得以形成和发展。

当阿拉伯的炼金术传到欧洲之后，正逢西欧商品经济进一步发展之时。实物地租已普遍向货币地租转化发展，统治阶级发财聚富、追求金钱的欲望更为炽烈。黄金是金钱最高贵的象征。因此以炼制黄金为目的的炼金术，正中欧洲封建统治阶级下怀。阿拉伯炼金术传到欧洲后，自然得到了封建帝王和教会的支持与利用。当时仅英王亨利六世豢养的炼金术士就多达 3000 余人。他们在宫庭和教堂中升起炉火，日夜守候在炉旁，满身油污，汗流浃背地为帝王炼制黄金。

欧洲炼金家很少兼攻医学，主要人物是一些僧侣。这是因为教会控制着炼金术活动，教堂往往是炼金术集中的活动场所，上层僧侣掌握着炼金术的技术秘密。

在中世纪的欧洲，化学发展缓慢，即使是炼金术也没有超出阿拉伯人的水平。在欧洲炼金家看来，水银是一切金属的本原，硫为一切可燃物所共有（这里所谓的汞和硫是一种性质要素，而不是指实体），而金和银含有最纯粹的汞和硫。因此，他们认为普通金属与金银的不同就在于含汞、硫比例及纯度有所差别，而借“哲人石”就可以使它们的本质趋于完善。所以炼金术的关键是制出哲人石。

由于要追求点化金、银。因此炼金术士对于他们的方术严格保守秘密，正因为这样，在欧洲炼金术著作中，常常用一些令人费解的隐语、比喻和符号，叙说他们所用的原料和进行的化学反应。

炼金术士设想的嬗变的实验有 :在空气中焙烧贱金属矿石——方铅矿（硫化铅），铅生成时有强烈的硫黄气味；把铅在灰皿或骨灰造的盘子中加热，铅烧掉后可以得到一点儿银。如把黄铁矿（外表看起来有点象黄金的黄色矿物）与铅共熔，铅用灰皿烧掉以后，剩下微量的黄金。其实，析出的银和金原来就存在于矿石之中。还有一种嬗变实验是把钢刀片浸在蓝矾（硫酸铜）溶液中，逐渐转变为铜。

不过，后来的炼金术的故事往往是骗人的。其中有一种引起嬗变的方法是用中空铁棒塞满金粉，用蜡封住，去搅拌坩锅中的原料。另一个骗人的方法是取一个一半铁、一半金的钉子，用黑墨水涂满，然后浸入一种液体中，搅拌，洗掉黑色以后，浸入液体的那一部分明显地变成金的。还有一个办法，取一个用白色的银和金的合金造的硬币，浸入硝酸中，当银溶解后，一半硬币显然变成金的。

真正对化学作出贡献的早期欧洲炼金术士是德国人大阿尔伯特（约 1193—约 1280）。他倡导把对自然界的研究建设成为基督教义中的一门合法学科。他曾在巴黎大学阅读从希腊文和阿拉伯文翻译过来的亚里斯多德著作，

是中世纪唯一对亚里斯多德全部著作加以注释的学者。1248 年他被派到科伦建立德国第一个多明我会的研究院，并任院长，1260 年就任瑞根斯布克主教。他著有《炼金术》一书，其中记载了明矾、铅丹、砒石、苛性碱、酒石等物质的变化，描述了蒸馏甑等设备。据说他曾将雄黄和肥皂混合加热而制得过单质砷，所以西方科学史家大多认为他是元素砷的发现人。他在晚年时对炼金术的虚妄有所醒悟，于是在其《矿物学》一书中把炼金术称之为“天才与火的卑下结合”，着力揭穿炼金术士的欺骗行径。他说他曾试过炼金术士的“金”，虽然它在火中能耐六七次燃烧，但终于会被烧掉并化为灰烬。因此，他引用了阿维森纳著作中的名言：“种是不能嬗变的”。这在当时是很有积极意义的。

欧洲的早期著名炼金家中还应提到英国的罗吉尔·培根，他不仅是伟大的思想家、数学家、物理学家，他在炼金术方面也颇有造诣，关于炼金术的著作有 18 本之多。据培根在 1267 年说，他在前 10 年中总共花掉了 1 万英镑用来买书，买仪器，在牛津郊外秘密地进行炼金术实验。

罗吉尔·培根把炼金术分为“思辩的”和“操作的”两种。思辩的炼金术也就是理论化学，研究如何从元素生成各种金属、矿物以及盐等各种物质，探讨宇宙万物的构成、起源与变化。操作的炼金术即实用化学，研究如何用人工的方法制造出比天然产物更好的东西。例如用蒸馏、升华的方法提纯物质，制造合成有效的药剂和颜料。他还强调炼金术也应该为医学服务，合成新型药物治病救人。这些都是很高明的思想。

罗吉尔·培根在他的《第三著作》中提到了火药。这部著作作为他本人撰写的大百科全书中的一部分于 1268 年赠给教皇。当时火药已从中国途经阿拉伯传到欧洲，渐渐为人所知。罗吉尔·培根详细记载了火药的配方：7 份硝石、5 份木炭和 5 份硫磺组成。这份配方因为硝石成分太少，因此火药效果不好。然而这是欧洲最早的火药配方之一，因此欧洲科学史家一度认为火药就是由罗吉尔·培根本人发明的。

除僧侣以外，中世纪欧洲从事炼金术研究的世俗人士有著名炼金家维兰诺万的阿那德（1240—1311）。他也是欧洲炼金家中少有的兼通医学的人物。他一生充满了波折和奇遇。他的著作《哲学家的花坛》流传甚广，十分有名。在他的科学著作中，炼金术总是和医学联系在一起。他提到了各种药物用于治疗疾病，特别提到了许多毒药和解毒药。阿那德还是第一个描述酒精的人，称之为“生命之水”。并提出，酒精可以用蒸馏葡萄酒的方法制取。

从 15 世纪中叶开始，由于印刷术的输入，炼金术著作大量出版，吸引了越来越多的信徒。在宗教思想占统治地位的时代，炼金术广泛传播，并与宗教信仰密切联系。炼金家为了实现梦寐以求的愿望，不惜求助于祈祷、咒语、巫术、招魂卜卦、召唤鬼魂以及其他类似手段。他们指望“点石成金”，认为只有鬼神帮忙，才能完成这种奇迹。

尽管欧洲炼金术有其荒诞的一面，但是有些炼金术士在实际操作过程中，的确也完成了不少化学转变，积累了某些化学知识，完善了化学实验方法与手段。16 世纪英国哲学家弗兰西斯·培根（1561—1626）曾经就炼金术对科学的贡献作出了一个公正合理的评价：“炼金术可比喻《伊索寓言》里的一位老人。当他快要死去的时候，他告诉他的儿子们，说他在葡萄园里已埋下许多黄金留给他们。儿子们把葡萄树周围的泥土都挖松了，并没有发现金子。可是树根四旁的青苔和乱草被他们这样除去了，结果第二年长成满园

的好葡萄。同样，炼金术士寻找黄金的艰苦努力，已使他们的后人获得许多有用的发明和有益的经验，并且间接促使了化学走上光明的大路。”正因为如此，恩格斯把炼金术称之为“化学的原始形式”。

3.中国炼丹术

中国最迟在公元前 2 世纪的西汉武帝时期就有了炼丹术，但是其历史渊源则可以追溯到战国至秦仅之际。秦始皇统一六国就曾派人去海上求“仙人不死之药”。只是早期的长生药多为天然品，还没有建立丹房，配备专门的炼丹设备。

封建社会发展以后，帝王贵族的生活更加骄奢淫逸，梦想长生不死和永世霸业的欲望更加膨胀。炼丹术的活动正符合了他们的这种追求，得到鼓励、资助，于是迅速兴盛起来。此外，中国劳动人民长期从事制陶、冶金、酿造等化学工艺实践，本草药物的应用也有了相当的发展。劳动人民所积累的这些生产知识和经验，也为炼丹术在这个时期的产生提供了必要的物质基础。中国炼丹术正是在这样的历史条件下兴起和发展的。

中国炼丹术进入成熟阶段是略早于中世纪的魏晋南北朝时期，这一时期的代表人物为葛洪和陶弘景。

葛洪（公元 281 年—361 年），别号抱朴子，是晋朝有名的炼丹家和医学家。他所著的炼丹术书《抱朴子》中所含化学内容极为丰富。他明确指出，煅烧红色的丹砂，可游离分解出水银。使水银和硫磺化合，生成黑色的硫化汞。在密闭的状态下，加热黑色的硫化汞，可以升华得到赤红色的晶体硫化汞。他把这两个反应的关系概括起来说：“丹砂烧之成水银，积变又还成丹砂。”这实际上已把化学反应的可逆性问题提了出来。《抱朴子》还记述了铅的变化是可逆的，铅白加热后可以变成铅丹，铅丹可以再制成铅白。《抱朴子》一书留下了较完整而可靠的炼丹资料，对研究古代炼丹术有重要的参考意义。

在葛洪之后，中国另一名炼丹家梁朝的陶弘景（公元 456 年—536 年）在多年的炼丹实践中发展了无机化学知识。他明确指出金、银两种金属能够和水银化合成汞齐，这些汞齐具有可塑性，这类合金可以镀金镀银。陶弘景还掌握了鉴别钾盐和钠盐的方法。他指出，消石（即硝酸钾）以火烧之，紫青色烟起，就是真消石；而燃烧芒硝（硫酸钠）就没有这种颜色的烟。这个方法和近代分析化学用以鉴别钾盐和钠盐的火焰分析方法是相同的。

经过两晋、南北朝二百多年的延续，到了唐朝，由于皇姓李，把老聃称为“始祖”，称“玄元皇帝”，奉道教为国教，因而使炼丹术进入最盛时期。不过，大约从隋代以后，中国炼丹术逐渐成了两个派别。一派强调修炼五金八石，炼制丹药，以外来的药力捍人身体，坚人骨髓。所以这派称为外丹派。另一派为隋代罗浮山道士苏元朗（青霞子）最先倡导，继承了中国传统的气功，主张实行心肾交会、精气搬运、存神闭息、吐故纳新，认为“气能存生”，所以这派称为内丹派。与化学有关的炼丹术主要是指外丹派的活动而言的。

中国的炼丹术在唐代发展到鼎盛时期。表现在用药的品种大为扩展，开始参用植物药料；实验操作更为复杂；炼丹设备以西汉所用简陋的土釜、竹筒而发展到设计专用的铁质水火鼎、铜桶等；理论也趋于系统完整，以阴阳五行学说统摄。但是这时期的中国炼丹术失去了西汉时期那种朴实的面貌，而被渲染上了浓厚的神秘主义色彩。

中国炼丹术理论大致可以追溯到远古，天然丹砂的鲜红颜色在远古就被认为是一种灵异的象征。因为红色象征血，因而进而又与生命和灵魂联系起来。而且草木烧之成灰，唯独丹砂“烧之成水银，积变又成丹砂”，“烧之

愈久，变化愈妙。”而烧出的水银在古代人看来更是一种神奇的物质，它具有金属光泽，“其状如水似银”，而且“见火则飞，不见尘埃”，正与方士希术“羽化飞升”的目的一致。因此历代方士们都把百药中的水银之母——丹砂奉为至尊。此外，在他们看来，丹砂和黄金又可以相互转化，因而服用丹砂可兼得金与银之精气而获长生。中国炼丹术理论于唐代已形成系统的‘假外物以自坚固”和“以金养身”的丹药观。不过，他们天真地把金石草木的坚实和柔弱与人身体质之健壮、虚弱等同起来，把物质的物理、化学性质和人的生理、生命现象混同起来，因此两千年的流行过程中，得以长生者从无所见，而中毒损命者屡见不鲜。唐朝上自唐太宗，下至僖宗，几乎没有一个皇帝不与丹家有关系。宰相李泌、刘晏、卢钧；文人李白、贺知宪宗、穆宗、敬宗、武宗、宣宗都是服丹药死的。唐太宗服梵僧的延年药而病殁；武则天服了胡超的丹药后三年即死亡；李抱真服金丹至二万粒，腹硬而死。

此外，中国古代对金石物质自然变化的认识中，还流行着这样一种见解：天然金石物质随着时间的推移，会自然地朝着更加完善、精美的方向提高自己。有人称之为“金石自然进化论。”炼丹家认为，有些物质可以逐步完成向黄金的转变，甚至生成自然之丹，只是时间相当漫长而已。在丹鼎中靠其他药物的作用，仿照天地阴阳造化的原理，辅之以水火相济的促进，再加上祈祷上仙的护祐，就可以加快进化的过程。

唐代末年，人们对炼丹术的所谓长生不老已有了比较清楚的认识。丹家自己也认为长生不老不可信。因此到了北宋，北宋皇帝任用丹家是为了炼金银。即便如此，方士们经过广泛的、长时期的实践后，又发现所有药金都不具备天然黄金的优异性质，一切努力终归徒劳无功。所以有些比较实事求是的方士和文人学者陆续发表了怀疑和驳斥炼丹术的议论。南宋末年，文人俞琰在《炉火鉴戒录》一书中痛斥炼丹术“果皆有之乎？曰：幻也，何谓幻，诡怪妄诞也。”炼丹术逐渐衰落了。

中世纪的中国炼丹术留下了许多宝贵的化学遗产。首先，中国炼丹术为后世遗留下了相当丰富的矿物性医药制剂，这是它的一大贡献。在宋代以前，炼丹家几乎都兼为医药学家，二者之间往往没有严格的界线，例如东晋的葛洪、南北朝时的陶弘景、唐初的孙思邈都是著名医药兼炼丹家。他们把各种天然的矿物以及炼制的丹药（也包括动、植物药）划分为上、中、下三品。上品丹药能杀精魅、驱恶鬼、使人通神明而不老，属仙丹大药；中品能延年益寿，却病愈疾，兼营养滋补；下品能除寒热邪气、破积聚，但多毒，不可久服。这种分类法明显带有炼丹术的色彩，其影响一直延续到明末《本草纲目》问世以前。因此，中国古化医药化学的成就主要是从炼丹术的活动中取得的，人工合成矿物药剂的最早丹方也主要见于炼丹术的著述。

其次，这一时期炼丹术所用的药物和器具，为近代化学的产生提供了大量的物质准备。有人根据历代炼丹术文献作了一个不完全的统计，包括无机物和有机物在内，炼丹家约用了 60 多种药物。其中有

元素：汞、硫、碳、锡、铜、铅、金、银等；

氧化物：三仙丹（HgO）、铅丹（Pb_3O_4）、砒霜（As_4O_6）、无名异（$M_{nh}O_2$）、磁石（Fe_3O_4）、石灰（CaO）等；

氯化物：盐（$NaCl$）、硇砂（NH_4CL）、轻粉（Hg_2Cl_2）、水银霜（$HgCl_2$）、卤咸（$MgCl_2$）等；

硝酸盐：硝石（KNO_3或 $NaNO_3$）

硫酸盐：胆矾（$CnSO_4 \cdot 5H_2O$）、绿矾（$FeSO_4 \cdot 7H_2O$）、寒水石（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）、朴硝（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$）等；

硫酸盐：石碱（Na_2CO_3）、灰霜（K_2CO_3）、白垩（$CaCO_3$）、空青（$Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$）、炉甘石（$ZnCO_3$）等；

硼酸盐：蓬砂（$Na_2B_4O_7$）；

硅酸盐：云母（$H_2Kal_3(SiO_4)_3$）、滑石（$H_2Mg_3(SiO_3)_4$）、长石（$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$）、不灰木（石棉，$H_4Mg_4Si_2O_7$）等；

合金：鍮石（铜锌合金）、白金（白铜，铜镍合金）、各种金属的汞齐等；

混合的石质：高岭土（SiO_2、Al_3O_3 等）、禹余粮（含褐铁矿和粘土的砂粒）等；

有机溶剂；醋（CH_3COOH）、酒（CH_3CH_2OH）等。

此外，炼丹使用了丹炉、丹灶、丹鼎等加热设备。炼丹所用方法大致有加热法、升华法、蒸馏法、沐浴法、密封法、溶液法等许多种。这些都极大地丰富了世界化学的知识宝库。

这一时期中国炼丹术的最大贡献在于四大发明之一——火药的发明。黑火药的精确的发明年代和发明人，现在还未曾考出。中国大约是在 7 世纪左右已有原始的火药。唐初孙思邈的“丹经内伏硫黄法”记载：在器具中加了硝石、硫黄，再逐渐投入“烧存性”——即未完全烧成灰的皂角子，就会急剧燃烧。

民间流传的“一硝二磺三木炭”，就是火药的简易配方。火药燃烧化学反应近似于下列方程式表示：

$$2KNO_3+3C+S=N_2\uparrow+3CO_2\uparrow+k_2S\text{（固）}+169K_2S$$

在燃烧后，其体积约增大至原来体积的两三千倍，因而在密闭的容器中会爆炸。

硝石、硫磺、木炭这三种成分都是炼丹家惯用的东西，因此火药可能是他们在实践中偶然发明的。

“火药”这个名词及其正式配方，最早见于宋仁宗康定元年（公元 1040 年）诏敕曾公亮、丁度等所撰的《武经总要》（成书于 1044 年）。其中记载了三个火药方：（1）毒药烟球，（2）蒺藜火球、（3）火炮。以火炮火药为例，其配方为：“晋州硫黄十四两，窝（倭）黄七两，焰硝二斤半，麻茹一两，乾漆一两，砒黄一两，定粉（铅粉）一两，竹茹一两，黄丹一两，黄蜡半两，清油一分，桐油半两，松脂一十四两，浓油一分。”当时火药配方中，主要成分是硝、硫、炭。其他组分属于燃烧、爆炸、毒性、烟雾的配料。其用料十分周密，各有用度，说明宋代火药已经过相当时间的研究和使用。

恩格斯指出：“火药是从中国经过印度传给阿拉伯人，又由阿拉伯人和火药武器一道经过西班牙传入欧洲。”据史书记载，公元 1260 年，元世祖的军队在叙利亚战败，阿拉伯人缴获了包括火箭、毒火罐、火炮、震天雷在内的火药武器，从而掌握了火药的制造和使用方法。欧洲人则是在和阿拉伯国家的战争中才接触和掌握了火药和火药武器的制造，大约落后于中国约 5—6 个世纪。

中古时代和流传到西方的所有发明物中，最有毁灭性的火药对政治、经济和科学，都产生了最大的影响。历史学家贝尔纳认为“由于只有富有的共和国，或由商人支持的君王们，才能控制金属资源，并操纵制造金属大炮的

技能。这些事实必然要摧毁那些以土地为根据的贵族的独立性，也象炮弹必然要打垮他们的城堡那样。火药获胜，就是民族国家获胜，也就是封建制度末日的开始”。

火药的出现提出了一些问题，引导人们进一步地探索科学。例如，火药的主要成分是硝石，只能在悉心研究盐类的离析或提纯之下产生。在制备硝石过程中，就使人注意到溶解和结晶现象。还有，如何解释火药爆炸，难住了中古时代的化学和物理学。火药爆炸显然是火的作用，但它不同于地球上所有其他的火，并不需要空气。因此就引起了揣测，以为硝石已备有了空气，或反过来说空气中含硝，至少含一种带硝的精气。从那时以后，对燃烧以及与此有关联的呼吸，即对动物需要空气一事试行解释时，都奉这种揣测为理论根据。在人们争论了和实验了 4 个世纪以后，它终于引导人类发现氧，并由此诞生了现代化学。

中国炼丹术留下了宝贵的遗产，同时也留下了无尽的遗憾。中国炼丹家所用的药品大多是汞、铅、硫等少数几样东西，无疑是非常有限的。炼丹家采用的方法也很少，主要是升华法，没有象阿拉伯、欧洲那样大力发展蒸馏术，这也是一大缺憾。炼丹术谨守秘密、不事交流，又造成了重复操作、浪费大量人力与物力的恶果。此外，欧洲的古代化学之所以能发展成为科学的化学，其中一个重要的原因是采用了天平等衡量器具和数学的推论，然而中国的炼丹家往往缺少数学的修养。虽然他们也能通过衡量器械知道从多少份量的水银能制得多少份量的硫化汞，而且记载非常准确。然而，他们一直没能指出汞、硫、硫化汞相互间的数量关系，当然更不可能发现化学反应的物质守恒定律。中国炼丹术未能把炼丹发展成为科学的化学，真乃千古憾事。

五、医学

1.阿拉伯医学

阿拉伯医学指的是用阿拉伯语言的医学。现在由于这些地区（主要指中东及小亚细亚一带）都是信仰回教的国家，所以又称为回教国的医学。

中世纪时期的阿拉伯医学很发达。由于交通方便，阿拉伯人于 8—10 世纪吸收了印度和中国以及欧洲的医学，成为东西方文化的继承者。他们翻译了希腊和叙利亚文的著作。古希腊医学家希波克拉底和罗马医学家盖仑的著作，均有阿拉伯译本。阿拉伯人向景教徒学习了希腊医学，向中国学习了脉学和炼丹术，向印度学习了药物知识，同时吸收了波斯、中亚各民族的医学知识。阿拉伯医学的内容很丰富，是当时除中国以外最先进的医学，对后来的欧洲医学的发展影响很大。

阿拉伯在化学、药物学和制备药物的技艺方面很有成就。当时的化学，即所谓炼金术。炼金术的目的一是为了变贱金属为贵金属，二是为炼制长生不老之药。炼金术的目的虽然荒诞无稽，但是通过无数次的试验，炼金术士们建立了一些化学的基本原则，发现了许多对人类有用的物质和医疗上有用的化合物，还设计并改进了许多实验操作法，如蒸馏、升华、结晶、过滤等。这些都大大丰富了药物制剂的方法，并促进了制药业的发展。例如，生于 8 世纪的阿拉伯伟大的炼金术权威该伯氏就曾将升汞、硝酸、硝酸银等用于医药。

这一时期阿拉伯产生过许多伟大的医学家。累塞斯（约 860—932），又名阿尔·拉兹。他是第一个在医药治疗上采用化学药品的人。他在一部题为《论天花和麻疹》的专论中，对天花和麻疹的临床特征、鉴别诊断和合理的处治方法都作了极其出色的论述。这是世界医学史上就天花和麻疹的鉴别所做的最早的精彩描述。累塞斯还是一个多产的作家，所著《万国医典》是一部医学百科全书，在欧洲被作为教科书一直到 15 世纪末。因此，累塞斯被誉为“ 阿拉伯的希波克拉底 ”。

关于这位阿拉伯名医，有一个流传很广的故事，不少医史著作中都写到它。

在当时阿拉伯世界最大的政治文化中心之一的巴格达，人们要建造一座医院，请累塞斯来选择一个合适的院址。这位聪明的医学大师想出了这样一个简单而颇合科学道理的办法：他派人到城内的许多地方悬挂了新鲜的肉块，随时加以观察，并选定了肉块最后腐烂的地方作为建筑医院的院址。后来他当了这座医院的院长。从这个故事可以看出，他当时就已认识到人类疾病与环境不洁是有关的。

阿维森纳（980—1037）是中世纪伟大的医生，在世界医学史上也是杰出的医生之一，有“ 医学之王 ”之称。他同时也是百科全书编纂家和思想家。

阿维森纳生于布哈拉附近的一个小镇（现塔吉克和乌兹别克毗邻处）。他很早就表现出超众的才智。18 岁那年，他应召当了布哈拉郡王的侍医。由于治好了郡王的重病，他获得特殊恩准，可以进入藏有大批珍本、手稿的王室图书馆。他不分昼夜地在这座王室图书馆里勤奋研读，给以后的研究和著作打下了坚实的基础。

阿维森纳不但对医学有精深的研究，对于数学、哲学、物理、化学、天

文学、动植物学、地理，甚至法律、音乐等都很有造诣。他留下各种知识的著作近百种，其中医学有 16 种。他的诗写得很好，有 8 种医书是用诗歌写成的。

他最著名的医学著作是《医典》。《医典》是一部约一百万字的巨著。作者想以严整周密的逻辑，将当时的全部医学知识制成一部系统的法典。全书 5 大卷，第一、二卷为生理学、病理学、卫生学；第三、四卷介绍疾病及治疗方法；第五卷介绍药物性质及用法。

《医典》对许多疾病都作了十分精辟的论述。在论热病、鼠疫、天花、麻疹等的一章中，他发表了关于这些病是由于肉眼看不见的病原体所致的见解。他曾说致病物质是通过土壤和饮水来散播的。在解剖和生理学部分，他特别谈论到大脑和神经的作用。他对饮食学，尤其关于年龄与饮食的关系方面（小儿、成人和老人），以及对住宅、衣服、营养卫生各章讲述得都很详细。他还记述了膀胱结石截除术和气管切开术的手术，以及创口和外伤的治疗法。他推荐用葡萄酒处理创口。

在治疗方面，阿森维纳很重视药物治疗。《医典》所记载的药物多达 760 种，包括植物药、动物药、矿物药。这些药物知识，有的为阿拉伯世界所固有，有的来自古希腊、罗马医学，甚至还包括东亚地区和中国古代的药物知识，可谓集东西方药物知识之大成！阿维森纳还采用了泥疗法、水疗法、日光疗法和空气疗法。在诊断方面，他很注意切脉。他把脉搏分为 48 种，其中 35 种可能参考了中国王叔和的《脉经》。

《医典》不仅包容了大量医学知识的瑰宝，而且由于它具有无与伦比的逻辑严整性和系统性，因此十分适合于作标准医学教材。12 世纪意大利人杰勒德将《医典》译成拉丁文，同时犹太学者又加以注释，这样使《医典》一书迅速流传于欧、亚两大洲。在以后五六百年时间里，欧洲许多国家都把《医典》作为权威教材。在这一历史时期内，世界上没有任何其他医学家的影响可与阿维森纳相比。

但《医典》并非完美无缺，其主要缺陷在于解剖学方面。由于伊斯兰教禁止解剖尸体，阿森维纳没有亲自做过尸体解剖。《医典》的解剖学部分基本上是古希腊罗马学者，特别是盖仑学说的复述。因此，《医典》这座医学知识的宏伟大厦，建筑在有缺陷的基石之上。又由于阿维森纳片面追求结构的系统和完整，他在《医典》中杜撰了不少虚构不实的部分。因此，《医典》在广受推崇的同时也遭到不少訾议。16 世纪医学革新先驱者帕拉赛塞斯（1493—1541）甚至以当众焚毁《医典》的方式来宣告与传统的决裂。

此外，阿拉伯的著名医学家还有阿文左阿（1113—1162）、阿尔不卡西斯（1013—1106）等，他们对阿拉伯医学也作出了卓越的贡献。

阿拉伯医学在世界医学上的贡献主要有两个方面。

1.保存和发扬了古代医学成就。阿拉伯人保存和翻译了大量古希腊、罗马医学文献，吸取了当时各族医学上的成就。9 世纪最出色的阿拉伯的翻译家们，将古代著名医学家的著述译为阿拉伯语，译出了关于营养学、脉搏、药物、发热、结石病、胃病、癫痫、眼科、外科等医学著作 100 余卷。当中世纪欧洲古代文化几乎毁灭殆尽以后，只有阿拉伯文医学著作得以保留下来。所以后来欧洲人要寻找古代的医学著作，必须从阿拉伯文译成欧洲文字。阿拉伯人不仅保存了古代医学，并且有进一步的发展。他们通过与希腊、波斯、拜占庭、中亚各民族和中国唐代的科学文化交通，创造了兴盛的阿拉伯

医学。

2.阿拉伯人发展了药物化学。在公元 8—9 世纪，中国的炼丹术传入阿拉伯，得到突飞猛进的大发展。他们制成了许多药物化学器材，如烧瓶、水浴锅、蒸馏器、乳钵等。他们改进了许多化学实验方法，如过滤、蒸馏、升华、结晶等；并制成许多化学药物，如酒精、硼砂升汞、苛性钾、樟脑及各种药露等。这些创造性的成就，对后来药学发展贡献很大。由于制药业发达，阿拉伯建设了最初的药房。许多药物曾传入中国，如安息香酸、木香、龙涎香和乳香等。不少现代药物名称也都来自阿拉伯，如苏打（Sode）、糖浆（Syrupus）、糖（Sugar）、樟脑（Camphra）等。

此外，阿拉伯人沟通了欧亚文化，把希腊医学传入中国，同时也把中国医学如脉学传到欧洲。

总之，世界医学得到今日的成就，凝聚了阿拉伯人智慧的结晶。

2.欧洲医学

中世纪欧洲处于经济文化衰落时期。教皇和国王互相争夺统治权；天主教几乎握有全欧洲三分之一的土地；教会成了最大的封建主；寺院很兴盛。由于只有僧侣懂得拉丁语，保存了一些古代传下来的医药知识，因此教会兼管治病。6—8 世纪所设的医院多在寺院附近。医院是修道士医生的实习学校，在这里积累治病和制药的经验。牧师不仅医治灵魂疾病，而且治疗肉体疾病。他们治病的普通方法，是用手摸、涂圣油和祈祷。于是把医学与宗教，遵守仪式、祈祷和忏悔联系在一起，把治愈和“神圣的奇迹”联系在一起。因此，寺院医学无助于医药科学的发展。

中世纪后期，由于城市的发展，商业旅行扩大了欧洲人的眼界，也刺激了科学知识的发展。自 11—13 世纪，欧洲许多城市建立了大学。截至 14 世纪，欧洲已有 40 所大学。当时著名的医学校有萨勒诺、柏龙拉、巴丢阿、蒙派尔、巴黎，这些大学为中世纪欧洲医学发展起了进步作用。尤其萨勒诺医学院被誉为“一盏长夜中的医学明灯。”

萨勒诺医学院创立于公元 900 年前后，地处意大利那不勒斯东南约 50 公里处的名叫萨勒诺的滨海小城。按照流行的说法，它是由一名希腊医生、一名犹太医生、一名阿拉伯医生和一名意大利医生共同创办的。不过，萨勒诺医学院确实有四种语言：拉丁、希伯来、阿拉伯和希腊文，讲学任用哪种文字均可。

萨勒诺医学院文化交流活跃，自由空气浓厚，达到了真正的百家争鸣。医学院虽然与教会有密切的联系，但基本上是一座世俗的学校。它的教师和学生中，兼有教徒和非教徒，还包括不同的民族（例如犹太人在教师和学生中都占相当大的比重），而且还有不少女教师和女学生。在中世纪欧洲的环境里，这样的医学院已算是相当开明了。医学院主要教授希波克拉底、盖仑和阿维森纳的著作。

萨勒诺医学院出了一大批名医，最著名的是康斯坦丁（约 1020—1087）。他在隐居修道院期间，把许多阿拉伯医书和已被湮没多年的古希腊医学著作的阿拉伯译本译成了拉丁文。萨勒诺留给后世的最著名的著作是《萨勒诺养生歌诀》。《歌诀》是谈养生之道的，分为 10 章，涉及了卫生、药物、解剖、生理、病原学、体征及临床意义、病理、治疗、疾病分类学、临床经验等 10 个方面。《歌诀》的最早拉丁版译本问世于 1480 年左右。它的影响很大，被欧洲各国传抄，译本已达 300 种以上。

萨勒诺医学院的声名维持了数百年之久，直到欧洲其它几个新的医学中心崛起，它的影响才衰落下去。

中世纪的欧洲，两种医疗方法十分流行——“尿诊术”和“放血疗法”。“尿诊术”的起源很早，至少可以追溯到希波克拉底时代。到中世纪，更发展成一门专门的“学问”和“诊术”，盛行于阿拉伯世界和整个欧洲。尿液是人体排出的主要废液，体液平衡的细微变化都能从尿液观察出来。萨勒诺的一部医学著作中，用了 40 页的篇幅详尽地讨论尿诊问题，谈到了观察和评价尿的气味、重量、沉积物，以及据此提出的临床对策。有一位萨勒医学家还将尿瓶里的尿液人为地分成四个区域，分别据以诊断人体相应部位的疾病：根据尿瓶最外层的尿液情况诊断头部疾病；根据较内层的诊断胸、肺部疾病；根据最中心的诊断胃、肝、脾等内脏疾病；根据尿瓶底部的尿液诊断

肾、膀胱、生殖器的疾病。在中世纪的欧洲，尿瓶成了医药的标志。

“放血疗法”的历史也很悠久。早在公元前 4 世纪左右，放血疗法已在古希腊的医疗实践中占有极其重要的地位。到中世纪，放血疗法更加风行一时，不但用于病人，还作为常规保健措施用于健康人。放血简直被视为万能疗法。每逢春秋二季，有钱人家都要接受放血以增强体质。放血还被夸大为“可以舒畅忧怀，可以息怒平忿，还能使痴情的恋人们免却相思之苦，苦得发疯。”放血术原来由医生亲自施行，后来改由理发师承担。这也使得中世纪欧洲的理发匠与外科挂起钩，出现了所谓的“理发匠医师”。理发师在工作之余可以施行一些简单的外科手术。放血的部位和时间也很有讲究。放血部位有病变部位同侧与对侧之分；放血的时间根据占星术来确定。

“尿诊法”和“放血疗法”虽然有荒谬的成分，但还是取得了一定的疗效。“尿诊法”促进了人们对尿液的科学研究，“放血疗法”也包含了一定的科学原理。

由于中世纪的欧洲城市人口集中，住房拥挤，街道狭窄，城市垃圾处理不善，以及基督教终身禁浴，各种传染病和瘟疫大肆猖獗。其中以鼠疫、麻疯和后来的梅毒为最盛。

公元 1347—1348 年间，欧洲黑死病—鼠疫大流行，留下了十分沉痛的回忆。全欧有四分之一人口死于瘟疫。这次大疫，对欧洲的生命财产和社会文明都是一场浩劫。不过这场浩劫也震惊了人们，使人们学会了有关卫生防疫的基本知识。当时，人们火烧或冰冻房屋及杂物，用火烧松堆所成的烟来熏有传染性的杂物，钱币则反复用醋浸泡。此外，不少城市和地区制定了行之有效的环境保护法和检疫法。1374 年威尼斯首先禁止有患鼠疫可能的旅行者进入城门。3 年后，在达尔马提亚的拉哥萨共和国建立了最早的检疫制度，规定来自“黑死病”疫区的货船和客船必须在附近一座岛屿上停留 30 天（后改为 40 天）才可登岸。货物卸下之后首先经过烟熏处理，必要时甚至加以销毁；船员在岛上都脱掉衣服，进行日光浴和空气浴，作为防疫措施。以后在伦敦、巴黎等地也颁布了一些防止传染病的法规。这是中世纪欧洲付出了沉重代价之后在医学上所取得的进步。

中世纪欧洲医学主要学习希波克拉底、盖仑和阿森维纳的著作，尤其盖仑的话被认为是绝对正确的。医学家们的任务首先是注释盖仑的著作。所以中世纪欧洲医学有崇拜引用文字、死记原文、轻视实践经验的特点。因此，欧洲医学的进步是有限的。尤其是教会反对解剖尸体，这一时期欧洲的解剖学毫无进展，只能沿袭盖仑的解剖学著作。

3.中国医学

隋代是中国医学史上的一个重要时期。由于这一时期国家统一，生产获得恢复和发展，经济文化呈现出前所未有的繁荣景象，因此医学也得到了蓬勃发展。中国医学之所以渊源流长，不断发展，隋代功不可没。

隋代首先设立了医务行政机构——太医署，确立了医事制度。到了唐代，太医署进一步发展。唐代的太医署采取政教合一的方式，既是医务行政机构，又是医学教育机构。它是世界上最早的医学院，比欧洲最早的医学校——萨勒诺医学校还早 200 年。

太医署规模宏大，设备完善。内设医科和药科。药科分为四部（相当于现在的系），即医师、针师、按摩师和咒禁师。每一科都由博士担任教学工作。学生经考试成绩优良者，批准为合格的医生。药科方面，则设有采药师、药园师、药园生等，专门培养药学人才。该科还附有规模很大的药园（相当于现在的药用植物园）。

隋唐医事制度的确立和医学教育的兴起，说明当时中国医药科学已走在世界前列。

隋唐时期医学发展的主要特点是：在临床医学方面积累了丰富的经验，对疾病的病因、病机和症候的描述都比较详尽。这一时期对伤寒、中风、天花、温病、绦虫病、麻风、恙虫病、狂犬病等疾病等的预防和治疗已有较丰富的经验；外科治疗方法分止血、止痛、收敛、镇静、解毒、软膏法、膏药法、用水银治皮肤病等；伤科主张骨折复位后用衬垫固定，并注意关节的活动；产科对妊娠、难产、产后常见病以及血晕的急救法均有详细的记载；儿科涉及了小儿的发育、护理、哺乳、卫生、惊、疟、疳、痢、火丹九个方面；隋唐的汞合金镶牙是世界最早的；眼科已施行金针拔内障的技术。

隋唐时代不仅医学进步，药学方面也取得很大进步。

魏晋南北朝是炼丹风行的时代，做了很多药物化学实验，扩大了矿物药的作用。南朝陶弘景（452—536）著《本草经集注》，改进了药品分类，这些无疑为隋唐药学的兴旺奠定了基础。

到了唐代，高宗敕李勣等人修纂本草。他们将陶弘景所注的《神农本草经》增补为 53 卷，名为《唐本草》。公元 659 年，苏敬、长孙无忌等将书重加修订，增加药物 114 种，合计共达 344 种，计 40 卷，名为《新修本草》。这是我国颁布的第一部药典，也是世界上最早的国家药典。当时增订的本草书籍数量可观：陈藏器的《本草拾遗》10 卷，韩保升的《蜀本草》20 卷，王方庆的《新本草》40 卷，杨损之的《删繁本草》5 卷等。隋朝时代大量本草专书的涌现，说明当时的药学成就显著。

隋唐时期产生了一大批著名的医药学家。其中巢元方（约生于 6 世纪后半叶）于隋大业年间任太医博士，奉诏主持编撰了很有科学价值的著作——《诸病源候论》（公元 610 年）。全书共 50 卷，67 门，1739 论（门一般是病名，论为病征）。分述了内、外、妇、儿、五官、皮肤等各科疾病的病因病理和症状。其中以论述内科疾病最为详尽，特别是对各种传染病和寄生病有很深的认识和研究。书中关于肠吻合术、人工流产、拔牙等手术的记载，均为世界外科史的首创。有关眼病、佝偻病的记载也是最早的。《诸病源候论》在唐代以后极受推崇，其中许多论点为医家采用。到了宋代，该书被指定为专业医师的必修课和国家考核医科学生的科目之一。甚至日本、朝鲜也

把它列为必读的医学典籍。《诸病源候论》是中国医学史上的一份珍贵的文献。

孙思邈（581—682），京兆华原人（今陕西省耀县）。他自幼多病，因汤药费用，曾罄尽家产。因此他 18 岁时立志学医，刻苦攻读岐黄之术，并因此治好了自己的病。20 岁以后专心行医，为乡邻亲友治病。孙思邈对古典医学很有研究，同时十分重视民间经验，常常为求一方一药不远千里地求教。孙思邈医术很高，一生扶危救困，淡泊功名利禄，使后人无限敬仰，尊称他为“药王”。

孙思邈具有 80 多年丰富临床经验，而且精通诸子百家，知识渊博。他潜心征集整理唐以前历经动乱而散佚的医方。他的《千金要方》中就搜集了 4000 多首医方，而在《千金翼方》中又搜集了 2000 多首。此外还有《海上方》，内容也极为丰富、广泛。在《千金要方》和《千金翼方》两部巨著中，孙思邈整理了伤寒病的治疗方法，对本草学进行了分类，详尽叙述了诊脉的方法，发明了对许多传染病尤其麻风病的治疗方法，提出了妇幼保健、养生长寿的概念。

孙思邈不仅医术高超，而且最早提出了完整的医德理论。他认为医生应该“先发大慈恻隐之心，誓愿普救含灵之苦”，对于来治病的“贵贱贫富、长幼妍媸、怨亲善友、华夷愚智”“普同一等，皆如至亲”。因此人民深切怀念他，现在人们心目中的“药王菩萨”和“真人”，指的就是他。然而，孙思邈善谈庄、老和百家说，兼好释典，把庄、老、释和巫术之学溶于医学，巫术、形相、占术、星历等杂学进入医学。尤其是采用禁咒法来治病。这些是他不足的一面，对后世的医学也产生了不良的影响。

此外，隋唐时期著名的医学家还有苏敬、王焘、全元起、杨上善、甄权、韩文海、孟诜、王冰等人，可谓群星璀璨。

隋唐时期也是中外医药交流十分繁荣的时期。日本、朝鲜、越南等周边国家的医学大多师承中国。从公元 6 世纪到 9 世纪，中国炼丹术多次传入阿拉伯，并经阿拉伯传入西方，促进了世界制药化学的发展。阿拉伯的切脉方法也是从中国传入的，其中有许多脉象采自王叔和的《脉经》。在阿维森纳的《医典》中，记载了大量中国的医学知识和药物。与此同时阿拉伯的医学知识也传入中国。唐中叶以后，阿拉伯国家曾多次赠送方药。阿拉伯人在中国经商十分活跃，带来了乳香、没药、血竭、木香、胡芦巴等药物，一些阿拉伯药商在中国经营药店，带来了阿拉伯药方。

宋代由于活版印刷（胶泥活字）术的发明和造纸业的发展，有力地促进了医学知识的传播。一方面，官方设立了“校正医书局”，系统地校印了一批宋以前的书籍；而民间医学家也进行了大量的研究和著述工作，他们整理古籍、编著方书，撰写了许多专科书籍。因此，宋代医书出版数量之多、质量之高、规模之大是前所未有的。到了元代，由于战争多，疾病流行，促使医药水平也大有提高，尤其在骨伤科方面，进展显著。

宋代的医学分科比唐代更加精细，发展到九科：大方脉（内科）、风科、小方脉（儿科）、眼科、疮肿兼折疡、产科、口齿兼咽喉科、针兼灸科、金镞兼书禁科。国家设有太医局，太医局附设医学校和药学校，作为培养医学人才的最高机构。全国州县也开办各级医学校，规定考试制度，进行逐级选拔。到了元代，医学扩大为 13 科，即大方脉、杂医科、小方脉、风科、产科、眼科、口齿科、咽喉科、正骨科、金疮肿科、针灸科、祝由科、禁科等。元

代的医学教育也很发达。

宋元时期涌现了许多著名的医学家，难能可贵的是，其中有不少医学家对某一医科作出了开拓性的贡献。

杨介（1068—1140），号吉老，安徽盱眙人，以医术闻名四方，且擅长诗词。他学识广博，著有《四时伤寒总病论》、《伤寒论脉诀》和《存真图》等书。其中《存真图》在解剖学上有很重要的地位。人体解剖在中国医学典籍中早有记载，如扁鹊的剖胸探心，华伦的刳腹谫肠。但宋代以前的人体解剖，有说无图，而且没有专书。宋代吴简根据死刑犯的实例绘制了欧希范《五脏图》（约公元 1048 年），但还有许多错误。杨介所绘的《存真图》精确详细，不仅绘有胸腹腔内脏的正反面图，而且绘有各系统的分图，绘出了肺侧图、主要血管关系、气海膈膜图、消化系统、泌尿系统、生殖系统等。各图都有详细说明，所绘的器官的解剖位置和形态基本正确。该图成于公元 1105—1106 年，比欧洲的解剖学领先了约 300 年。这代表了当时中国的解剖学在世界上是首屈一指的。

王惟一（生卒年月不详），曾任宋代尚药奉御。他一生精研针灸，为了教学方便，总结了宋代以前针灸治疗的经验，写成《铜人腧穴针灸图经》3 卷（公元 1026 年），并选用青铜铸造了端正直立的青年男子裸体像，体内脏腑用铜铸成，隔膜和脉络刻得清清楚楚。在铜人表面刻有几百个孔穴，每个孔穴旁用金字标明穴名，使学者能够明白针灸的生理部位。

《铜人腧穴针灸图经》系配合针灸铜人像而写。他把 354 个穴位分为 12 个部门，即把脏腑十二经画成人体针灸图。由于图说详明，学者可按图索骥。铜人和《图经》都是我国针灸学的宝贵遗产。元代滑寿著《十四经发挥》（公元 1341 年），对十四经的经穴、循径部位、所主病症以及对奇经八脉作了专题论述。王惟一和滑寿是中国针灸学方面的两大家，正是由于他们的卓越贡献，中国针灸学成为世界医学的一朵奇葩。

宋慈（1186—1249），字惠父，建阳（今福建建阳县）人。他于 1217 年中过进士，据说“性无他嗜，唯喜收藏异书名帖，温袍疏食，萧然终身”。他做过散朝大夫，新除直秘阁，湖南提刑，充大使行府参议员。他为了“每念狱情之失，多起于发端之差，定验之误。期望是书负起洗冤泽物”，写成了法医学巨著《洗冤录》（又名《洗冤集录》，公元 1247 年）。《洗冤录》涉及了法医学的许多方面，包括生理、解剖、组织、病理、药理、毒理、诊断、急救、外科、正骨、检验等范围。尤其详细论述了验尸伤斑颜色的改变、尸僵的情况以及对于毒物和中毒的处理。该书刊行以后，成为当时审案官员案头必备的参考书。

《洗冤录》是世界上最早的法医学专书，它比欧洲法医学最早的著作意大利菲德里所著《法医学专书》（公元 1602 年）要早 350 多年。《洗冤录》出版后，引起了世界各国的重视，很快被译成朝鲜、日本、英、俄、德、法以及荷兰等国文字。600 年来，一直是各国法医审理案件的重要参考书。

除了杨介的解剖学（《存真图》），王惟一的针灸学（《铜人腧穴针灸图经》）和宋慈的法医学（《洗冤录》），宋元医学各科都取得了很大成就。如施发的诊断学（《脉影图》）、唐慎微的本草学（《证类本草》）、钱乙的小儿科学（《小儿药证直诀》）、李迅的外科学（《集验背疽方》）、陈自明的妇科学（《妇人大全良方》）和外科学（《外科精要》）、朱端章的产科学（《卫生家宝产科各要》）、陈直的养生学（《寿亲养老新书》）等，

都作出了开拓性的贡献。

由于医学的发展，到 12 世纪以后形成了学派，医学史上称之为金元四大家。他们分别是刘完素、张从正、李杲、朱震亨。

刘完素（1120—1200）认为“ 火热是人生命之本，潜则无恙，亢则为害，亢为元气之贼。 ”因此所著《素问玄机原病式》等著，都是主张降心火，益肾水的，所以后世称之为“ 寒凉派 ”。

张从正（1156—1228）认为“ 病非人身素有之，或由外而入，或由内而生，皆邪气也。 ”主张汗、吐、下三法，使邪气去而正气安，称为“ 攻下派”。

李杲（1180—1251）重视脾胃，其专著为《脾胃论》，认为“ 元气乃先身之精气，非胃气不能滋之。 ”扶正必补脾土，因此称之为“ 补土派 ”。

朱震亨（1281—1358）强调保养“ 阴分 ”的重要性，提倡“ 阳常有余，阴常不足 ”，故治疗多用滋阴降火，称为“ 滋阴派 ”。著有《丹溪心法》、《局方发挥》等书。

金元四大家各执一偏。刘、张是北方人，北方人饮食厚浊，夏天吃冰，冬天围火，因此寒凉攻下的方法很有效。李杲出生于北方富裕家庭，所交往的士大夫阶层嗜欲逸乐，常使脾胃功能损伤，因此补土法治疗的是当时急需解决的脾胃病问题。朱震亨是南方人，南方人体质多柔弱，习用清滋养阴之药，所以他偏重于养阴。金元四大家的争鸣，成为医学发展的动力，起了积极的作用。

医学是一门很实用的科学，它关系到广大人民的生计疾苦。因此中世纪时期的阿拉伯、欧洲、中国等地区都很关注医学的发展，医学在这一时期比起其他学科所受的阻碍较小，获得了长足的进步。尤其在中国，由于社会安定，经济文化发达；印刷术的进步，造纸业的发达，有力地促进了医学著述的传播；医事制度和医学教育的确立保证了医学的长期稳定发展；繁荣的对外经济文化交流丰富了中国医学的宝库。这四个因素有力地促进了中国医学的发展。这一时期的中国医学进入了极盛时期，为世界医学作出了卓越贡献。

六、天文历法

1.阿拉伯天文学

阿拉伯天文学也称为伊斯兰天文学或穆斯林天文学。

公元 7 世纪以后，伊斯兰教兴起，阿拉伯民族开始强大并征服了周围的一些地区。到了公元 12 世纪，阿拉伯国家逐渐衰落。13 世纪中叶至 15 世纪，西亚地区为蒙古统治者所占领，但其文化依然是伊斯兰文化的延续。因此，从公元 7 世纪到 15 世纪各伊斯兰文化地区的天文学，统称为阿拉伯天文学。大体上说，这一时期的阿拉伯天文学分为巴格达、开罗和西阿拉伯三个中心。

（1）巴格达学派

阿拉伯天文学属于西方体系。在建立阿拉伯国家之前，倭马亚部落的一些人曾经参加过罗马、拜占庭帝国的军队，有些人还担任过文职官员，他们对希腊的文化是比较熟悉的。公元 661 年，阿拉伯的倭马亚部落统一了叙利亚，定都大马士革。此后不断扩张，建立了版图很大的倭马亚王朝（公元 661—750 年，中国史书中称“白衣大食”）。倭马亚王朝直接接受了巴比伦、波斯的天文学遗产。他们集中了一些天文学家，并于公元 700 年在大马士革建立了天文台。从此，初步打下了阿拉伯天文学的基础。

8 世纪中叶，倭马亚王朝被阿拔斯王朝（公元 750—1258 年，中国史书中称“黑衣大食”）所取代。阿拔斯王朝定都巴格达，接受巴比仑和波斯的天文学遗产，并招募科学家翻译印度和古希腊的天文学著作。828 年，该王朝第四代哈里发马蒙（约 763—833 年）在巴格达建立了智慧院，大规模地组织翻译工作。名著《天文学大成》就是在这一时期译成阿拉伯文的。829 年，马蒙下令建立巴格达天文台。此后，巴格达逐渐成为天文中心，形成阿拉伯天文学的巴格达学派。

巴格达学派第一位著名的天文学家是雅雅·伊本·阿布·马舍尔（？—832），他负责筹建巴格达天文台，测定了纬度相差 1° 时子午线的长度。在多年实测工作的基础上，他编出了《木塔汗历数书》。在计算水星、金星位置时，该书是把它们作为太阳的卫星处理的，这很类似于古希腊学者赫拉克利特提出的体系。

天文学家法干尼（？—晚于 861 年）著有《天文学基础》，此书实际上是托勒密（85—165）的《天文学大成》的通俗本和缩写本，对这位亚历山大里亚的著名天文学家的学说作了简明扼要的介绍，曾对阿拉伯天文学起过较大的影响。

天文学家塔比·伊本·库拉（826—901）是除中国以外，第一个发现岁差常数比托勒密认为每百年移动 1° 要大的人。他测得黄赤交角为 23° 35′，比托勒密的值 23° 51′ 要精密得多。但是，库拉并不认为托勒密的观测结果不精确，而是由于黄赤交点除掉黄道西移外，还有一项以 4° 为半径的，以 4000 年为周期的微小变化。这就是他提出的“颤动理论”。当时大多数阿拉伯天文学家都信奉这种理论，认为是阿拉伯天文学家的一大发现，实际上这种认识是错误的。

巴塔尼（858—929）是阿拉伯时代最伟大的天文学家。阿拉伯天文学中的许多重要贡献，都是他作出的。他不赞同库拉的颤动理论。巴塔尼长期从事天文观测工作，修正了托勒密著作中的不少天文数据，毕生最大的成就是

撰写了一部实用性很强的巨著《萨比历数书》。此书共 57 章，系统而全面地阐述了三角函数、黄赤交角、行星的黄经运动、地月距离、交食计算、天文仪器、星占学、行星运行表等。巴塔尼还在该书中公布了对太阳远地点在进动这一重要发现。该书曾对欧洲天文学的发展有深远的影响。

在巴塔尼之后，天文学家苏菲（903—986）出版了《恒星星座》一书。此书是伊斯兰观测天文学的杰作之一。书中给出了 48 个星座中每颗行星的位置、星等和颜色，并进行了星名鉴定，列出了阿拉伯星名在托勒密体系中的名称，而且附有两幅星图和一份列有恒星的黄经、黄纬和星等的星表。书中对许多星名的鉴定，大大丰富了天文学术语，不少星名至今仍为当今世界所通用。

此外，阿拉伯天文学家还有阿尔·毕鲁尼（973—1048）。他长期旅居印度，逝世于阿富汗的甘孜那。他在沟通印度和阿拉伯文化方面起了重大作用。他在天文学方面曾编著《古代诸国年代学》，叙述各民族的历法知识；还有《马苏蒂天文典》，包括球面天文、球面三角、计时学等知识。

1258 年，蒙古征服者成吉思汗之孙旭烈兀（1217—1265）攻占了巴格达，建立了伊尔汗国。历时 500 多年的阿拔斯王朝覆灭，巴格达学派也随之销声匿迹。不过旭烈兀对天文学也很重视。他采纳了图西（1201—1274）的意见，在伊朗西北部建立了宏伟的马拉盖天文台。该台所拥有的天文仪器在当时首屈一指。1271 年，图西完成了著名的《伊尔汗历数书》。在行星理论方面，图西不赞成托勒密的本轮均轮说，而提出了一个球在另一个球内滚动的几何图象，以解释行星的视运动。

1370 年，蒙古贵族帖木儿推翻了撒马尔罕的蒙古统治者，然后又向外扩张，建立了巨大的帖木儿帝国（1370—1500）。1409 年，帖木儿之孙乌鲁伯格（1394—1449）继位。他在撒马尔罕（今乌兹别克共和国境内）建立了一座天文台。该台拥有当时世界上最大的半径达 40 米的象限仪，其弧上的刻度一毫米对应于 5"。乌鲁伯格于 1447 年编算出著名的《古拉干历数书》，又称《乌鲁伯格天文表》。该天文表中包括了一部含 1018 颗星的星表，是乌鲁伯格等人通过长期实测而获得的。这是托勒密以后第一份独立的星表，其精度在第谷星表问世以前是首屈一指的。遗憾的是，象乌鲁伯格这样很有贡献的天文学家，同样也是占星术的虔诚信徒。他从天象的观测上判断自己将被儿子杀死，因此决定先采取措施将儿子放逐。儿子在十分恐惧的形势下发动叛乱，并将他杀死。乌鲁伯格终于自找灭身之祸，这是天文学史上的一大悲剧。

（2）开罗学派

公元 909 年，在突尼斯和埃及建立了一个独立的伊斯兰国家——法蒂玛王朝（909—1171，中国史书上称其为“绿衣大食”）。这个王朝于 10 世纪末迁都开罗以后，成为西亚、北非的一大强国。该王朝重视科学，吸引许多阿拉伯学者到开罗。特别是哈基姆于 995 年在开罗设立了一所科学院以后，前往的阿拉伯学者更多。因而在开罗形成了一个天文中心，即阿拉伯天文学的开罗学派。尤其在 10 世纪以后，阿拉伯本土实际上为突厥人所控制，天文事业衰落，巴格达的天文学家外流至开罗和印度，更促进了开罗天文学的繁荣。

开罗最著名的天文学家是伊本·尤努斯（？—1009），他曾编制了一部有名的《哈基姆历表》。这部历表不但计算和提供了各种天文数据，而且记

载了运动的理论和方法。其中谈到用正交投影的方法，解决了许多球面三角的问题。以后大约 200 年间的天文观测，都一直使用这份星表。他还汇编了自 829 年至 1004 年间的天文学家和他本人的许多观测记录，其中包括 28 个日食记录，7 个春分、秋分点的观测记录和一个夏至点的记录。这些资料对研究月亮公转的加速运动和地球自转速度的不均匀变化都有着重要的意义。

（3）西阿拉伯学派

西阿拉伯学派是在西班牙一带地方活跃的另一个阿拉伯天文学中心。8 世纪中叶倭马亚王朝灭亡时，它的一个后裔逃离大马士革，远涉重洋，到了西班牙，后在那里建立了后倭马亚王朝（中国史书中也称其为“ 白衣大食 ”）。那里逐渐形成了阿拉伯天文学的西阿拉伯学派。西阿拉伯学派的天文学研究受古希腊天文学影响颇深，在讨论托勒密的地心体系方面有新的见解。

该学派的杰出代表查尔卡利（？—1100）于 1080 年编制了《托莱多天文表》，在欧洲使用了近 200 年，直到 13 世纪才由《阿方索天文表》代替。查尔卡利还著有《论太阳的运动》、《星盘》、《论行星天层》等著作。在《论太阳的运动》一书中，记载了他通过 25 年的观测，发现了太阳远地点每 229 年在黄道上移动 1 °；在《星盘》一书中，他详细介绍了阿拉伯人常用的天文仪器星盘的结构和使用方法；在《论行星天层》一书中，他用演绎法论证了水星按椭圆轨道运行，否定了托勒密用本轮、均轮说来解释水星的运动。

此后，西阿拉伯学派的许多天文学家都对托勒密的本轮、均轮体系持否定态度。伊本·图法（1110—1185）另行设想出一种不需要使用偏心轮和本轮的行星运动模型；伊本·鲁什德（1126—1198）指责托勒密体系纯属数学构想而非物理的现实；比特鲁吉·伊什比利（约 1190 年）则批评说，托勒密体系从数学意义上是可以接受的，但实际上却并不正确。这些都表明，西阿拉伯学派存在着一股反托勒密体系的思潮，它对几世纪后天文学冲破托勒密体系的羁绊起了积极的作用。

阿拉伯天文学在西班牙活跃的时候，基督教的势力还未到达这里，所以西班牙成了阿拉伯天文学进入欧洲的主要渠道。公元 11、12 世纪，许多阿拉伯文的古希腊天文学著作在这里译成拉丁文传入欧洲大陆。欧洲人看到这些著作大为惊讶，深为古希腊科学成就所感动，逐渐形成了研究和学习古希腊科学和阿拉伯著作的热潮，对基督教神学一度形成了很大的冲击。后来，欧洲文艺复兴活动中哥白尼学说的兴起，和阿拉伯文化的桥梁作用是分不开的。

2.欧洲天文学

在中世纪之前，基督教的早期传道者仅满足于象征性地解释《圣经》，对托勒密体系等古希腊宇宙观念抱容忍态度。进入中世纪以后，随着教会势力的强化，对《圣经》的解释就日益严格、呆板。基督教的思想代替了古代科学文化的成就而传播开来。《圣经》和教会人士诠释《圣经》教义的文章，成为关于宇宙构造知识的唯一合法的文献。

例如，《旧约全书·以赛亚书》有一处提到，“上帝坐在大地圆盘之上，万民象蚱蜢一样欢欣雀跃，天空象帷幕一样笼罩四野，人们象住在帐篷里一样舒适安宁”。这一段富有诗意的文学语言，被神学家演绎为穹窿状的天空覆盖着圆盘状大地的宇宙图象。公元 4 世纪，教士科斯马斯写了一部 12 卷本的著作《基督教地形学》，书中竟用基督教圣殿的结构来附会宇宙。例如，他认为圣殿中安放供品的桌子代表着大地。由于这张桌子是长方形的，按东西方向放置，因此大地也必然是长方形的，而且东西方向也一定比南北方向更长。这等于回到了上古时代最幼稚的宇宙学概念。不过，欧洲当时以自然经济为主，手工业生产水平很低，所以也很少有人对此提出质疑。

因此，中世纪的早期（公元 5—10 世纪）被称为“黑暗时期”。当时欧洲人连著名希腊科学家的名字也不知道，宣扬地球是球形的思想也要遭受迫害，连亚里斯多德的水晶球理论和托勒密的地心体系也是不准传播的。

在中世纪早期，天文学研究遭到冷遇，占星术却日益繁荣起来，古希腊哲学家和科学家都力图从自然界本身来解释自然现象，对占星术不感兴趣。但是罗马人相当迷信，对占星术的预言深信不疑。早在公元 1 世纪，当罗马帝国还处于全盛时期时，占星家赫姆斯·特里斯梅吉斯图写了一部鼓吹星辰与人事存在着对应关系的著作，后来经广泛流传和发展，成了中世纪欧洲著名的“黄道人”学说。14 世纪德国一部占星术手抄本中，清楚地标出了黄道十二宫与所主宰的人体的各个部分：白羊宫——头部；金牛宫——颈部；双子宫——双臂；巨蟹宫——胸部和胃、肺；狮子宫——心脏和后背；室女宫——腹部和内脏；天秤部——臀部；天蝎宫——膀胱和生殖器；半人马宫——大腿；摩羯宫——膝盖；宝瓶宫——小腿；双鱼宫——双脚。

中世纪欧洲占星术更加盛行，人们的各项活动无一能脱离占星术士的喻告和诫示。一些著名的占星术士成了国王的高参，各种重大政治活动的决策都必须事先听取占星术士的预言。罗马教皇甚至亲自下令，在大学城开设占星术课程。

基督教控制的国家再次接触到古希腊和阿拉伯天文学的起因，是 10 到 13 世纪的十字军东征。传播的途径大约有三个方向。首先是阿拉伯统治的西班牙。西班牙早就存在着基督徒与阿拉伯文化的接触。从 1085 年托莱多被十字军攻陷起，阿拉伯文的希腊科学著作逐渐被翻译过来。托莱多陷落不久，就办起了一所翻译学校，欧洲很多学者都来到这里学习穆斯林的科学知识。意大利的杰勒德（1114—1187）就是其中之一。他曾经翻译了包括托勒密的《天文学大成》在内的 80 多部著作。其次是西西里岛，这里的居民大多能说拉丁语、阿拉伯语和希腊语，其中有些人是犹太人。1091 年西西里岛被十字军攻陷以后，一些阿拉伯著作就从这里被传播到欧洲。第三是土耳其人于 1453 年攻陷君士坦丁堡，使希腊的学者们向西迁移。

同时，由于水轮、纺车、织布机、漂洗机、水力推动的鼓风机等机械的

发明，冶金、玻璃和陶瓷制造、造船等手工业的发展，使西欧出现了早期的技术革命，有力地刺激了实验科学的兴起和发展，并提供了许多力学、化学、物理学等方面的新知识。在生产力发展的同时，观测天文学也取得了相当的进展。例如在纽伦堡就形成了一个规模颇大的天文仪器制造中心，大批技术高超的手工业者在这里生产着大量的星盘、日晷、子午仪、象限仪、浑天仪等古天文仪器，为观测天文学的发展创造了十分有利的条件。航海事业的发展，要求更加准确地测定日月星辰在天空中的地位，这也推动了观测天文学的发展。

从 13 世纪起，欧洲各国开始兴建大学。当时有三种大学：第一种是教会创办的，如牛津和剑桥等大学；第二种是公立大学，由学生选举出来的校长总揽校务，如帕多瓦大学；第三种是国立大学，由帝王征得教皇认可而建立，如那不勒斯大学。在这些大学中纷纷开设了讲授希腊经典的课程，其中就有托勒密的天文学知识。

面对希腊古典科学在欧洲的传播，基督教会在新的形势下已经无法用老的方法进行阻挡了。公元 1227 年，罗马教皇格里高里九世（约 1170 年—1241 年）上台后改用软硬兼施的方法来控制人们的思想。一方面，他在 1230 年下令在罗马建立宗教裁判所，残酷迫害异端思想的传播者；另一方面，他又在 1231 年下令重新修订和评注古希腊的哲学和自然科学著作。于是托马斯·阿奎那（1225—1274）竭力肯定亚里斯多德、托勒密学说和基督教的圣经是一致的，并把托勒密的地心学说捧上了权威的地位，使教会对托勒密的地心体系从排斥变为利用。

托勒密的体系认为地球位于宇宙的中心，天体围绕它运转。最接近地球的是月亮，其次是水星、金星、太阳、火星、木星、土星、恒星以及宗动天，这就是所谓九重天的思想。托勒密在描述行星运动时，如同描述太阳月亮的运动一样，以本轮均轮加偏心圆的理论进行说明。由于观测越来越精密以及观测数据的积累，所发现的行星不规则运动就越来越复杂。为了说明这种复杂运动，托勒密除掉假设地球偏在均轮中心的一边以外，同时还设想本轮的中心沿着均轮的运动也是不均匀的。他另外引入一个叫做“等点”的概念，等点与本轮中心的距离等于地球至均轮中心的距离，但方向相反，并假设本轮中心的运动从等点看是等速的。这样既维护了天体作等速圆周运动的庄严及和谐，又尽可能地将理论推得的运动轨迹尽可能地符合观测的结果。

教会宣称，上帝创造了天和地。为了管理地上的万物，上帝又按照自己的形象创造了人。按照这种说法，地球既然是上帝所安排的人类的栖身之所，当然应该在宇宙间有特殊地位。托勒密的地心说恰恰论证了地球固定不动地处于宇宙的中心，这正好给基督教教义提供理论依据。因此托勒密的体系长期被教会奉为颠扑不破的永恒真理。

托勒密体系是欧洲天文学乃至整个近代天文学发展的新起点。从这以后，中世纪欧洲天文学长期停滞的状态结束了，开始了新的发展历程。

1252 年继位为西班牙国王的阿方索十世（1221—1284）是一位热衷于科学的人，他在未登上王位之前就热情支持学者们将阿拉伯文的科学著作译成拉丁文，并组织一批阿拉伯和犹太学者修订查尔卡利的《托莱多天文表》。他一登基，就刊布了这部经修订后的天文表，称之为《阿方索天文表》。这份天文表在欧洲流传极广，在 200 年中，它几乎满足了所有欧洲国家的需要。据说，阿方索十世对托勒密体系的繁琐和不和谐颇为不满，曾发牢骚说：“上

帝创造世界时要是向我求教的话，天上的秩序本来可以安排得更好一些。”为此，他被教会指控为异教徒，1282 年被废黜。

法国天文学家霍利伍德的约翰（？—约 1256）于 1220 年出版了名著《天球论》，简明扼要地阐述了球面天文学，为天文学在欧洲的普及作出了贡献。这本书有许多种译本，一直流传到 17 世纪末期。

15 世纪欧洲的著名天文学家有维也纳大学教授波伊尔巴赫（1423—1461）。他曾著《天文学手册》，作为《天球论》的补充。同时又著《行星理论》（1474 年出版），详细地介绍了托勒密行星理论。该书此后 200 多年中再版了 56 次。他的学生和合作者雷乔蒙塔努斯（1436—1476）在纽伦堡建立了一座天文台，并编印了公元 1475—1506 年的航海历书，这份历书曾为哥伦布发现新大陆时所使用。

在意大利，也曾出现过一位天文学家尼古斯（1401—1464）。他认为地球每日都在其轴上自转，这是宇宙开始时所赋予它的冲力所致。他还认为，天体上也有和地球上相似的生物居住着，宇宙是无限的，在其他星球上所看到的天体运动，与在地球上所看到的应是一致的。人们以为地球不动，但实际上它与一切天体相类似，都在运动着。

中世纪晚期，正是欧洲资本主义生产关系孕育发展的时期。中国的火药、指南针、造纸、印刷术四大发明已通过阿拉伯人传到了欧洲，欧洲资本主义性质的手工业逐渐形成。1492 年，意大利航海家哥伦布首次横渡大西洋成功并发现北美洲；1519—1522 年，葡萄牙航海家麦哲伦则率领西班牙探险队完成了首次环球航行。因此，当时的托勒密地心体系越来越暴露出它的破绽。后继者采用本轮、均轮的观念来修补托勒密体系，本轮、均轮的总数多达 80 个，运算极为繁琐，然而还是无法准确预报日、月和行星的位置，无法提供优良的航海日历。当资产阶级需要利用科学同宗教神学的宇宙观作斗争时，这场斗争终于从天文学中的地心说开始了。

3.中国天文学

中国是世界上天文学发达较早的国家之一，在天文学的许多方面都曾处于领先地位。无论在天文仪器、历法、天象观测、宇宙理论方面都取得了不少成就，有一些至今还在研究工作中发挥作用，这是世界公认的。同时也涌现了一批天文学家，他们的许多科学发现至今还有现实意义。

中国古典天文学有人归结成 4 个特点，不同于世界其他文明古国的天文学系统，具有鲜明的独特性。

①整个天文学的发展以历法的编纂为基础。中国的历书不仅包括历日的安排，还有太阳、月亮和行星的运行，日月食推算，各节气日影长短等，是一部天文年历，内容比西方的历书远为丰富。中国天文学由国家官办，颁历权是皇权的象征。

②中国天文学家一般使用代数方法计算日月行星的位置，处理天文数据，而西方一般常用的是几何方法。

③中国占星术的哲学观点以阴阳五行、天人感应学说为基础，大多占卜国家兴衰、政治事变，掌握于皇室；西方占星术多占卜个人命运，流行于民间。

④中国古代天文学勤于观测，详细记录，对异常天象尤其重视，使中国保存有最系统、最丰富的天象记录。

这些特点有力地证明了中国古代天文学的独立起源和发展。

中国天文学的理论渊源于中国古代的宇宙理论——盖天说、宣夜说、浑天说。

盖天说是中国最古老的一种探讨天体结构的学说。最早的盖天说主张天是圆的，象一只扣着的大锅，地是方形的，象一张棋盘，也就是通常说的“ 天圆地方 ”。后来的盖天说，把天比喻成一个斗笠，而把地比喻一个倒扣着的盘子，二者呈平行的拱形。

宣夜说是中国古代一种朴素的无限宇宙学说。这个学说可以上溯至战国时代的《庄子》，认为根本不存在有形质的天，天色苍苍，是因为它“ 高远无极 ”，不存在一个有形体、有颜色的亮层。日月众星自然地飘浮在无限的太空之中，它们的速度各不相同。宣夜说进一步发展以后，认为日月星辰也是由气组成的，只不过是发光的气。这个学说的思想虽然很先进，但作为一个宇宙结构体系，没有提出独立的计算天体坐标及其运动的量度办法，它的数据是借自浑天说。

浑天说的一些看法大约在战国时期就已形成，对这个学说的详细记述的最早著作是东汉时期的天文学家张衡的《浑天仪》。他认为天好象一个鸡蛋壳，地好比鸡蛋黄，天大地小，天地各乘气而立，载水而浮。天有一个硬壳，但硬壳不是宇宙的边界，它以外的宇宙在时空上是无限的。浑天说在中国流传甚广，天文学家和历算家观测和测量天体视运动时，都以它为基础。所以它不仅是一种宇宙学说，而且是一种测量天体视运动的计算体系。

中世纪的中国天文学大致也可以分为隋唐和宋元两个时期。

隋唐是两个大一统的帝国。南北朝在天文历法方面的许多创造，经隋唐两代确立和巩固下来；由于统一和疆域的扩大，给天文测量带来许多方便；与周围各国关系的加强，使古老的中国文化又吸收了一些新的营养。这些使得隋唐的天文历法都比南北朝进一步发展了。

这一时期最著名的天文学家是僧一行（683—727），俗名张遂，魏州昌乐县（今河北省南乐县）人，是唐朝开国名臣张公谨的重孙。他的主要贡献是制订了《大衍历》。此外，他在天文测量如圭表测影技术和理论的改进、对地球子午线长度的首次测量方面都作出了卓越的贡献。

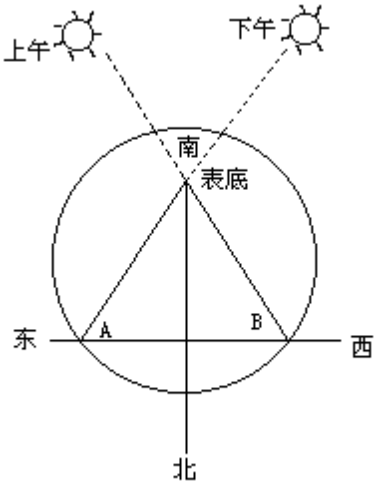


图6.1 圭 表

圭表是发明得最早也是最简单的仪器。它就是在地上直立的一根竿子(称为表）和地面上南北方向平放着的尺（称为圭）的总称。根据表投下的日影长度，可以求得许多天文数据，有很多实用价值。参看图 6.1。圭表测影的功能主要有两方面：1.由日影长短定二至、二分的所在，验证历法的精确性；2.在汉代和南北朝之前，人们曾由日影千里差一寸的原则，通过圭表量日影长短，计算天体大小。

唐朝建立后，疆域空前扩大，社会安定。于是，开元年间（713—714），在僧一行的主持下进行了大规模的日影测量。结果表明日影与距离的关系随地区而不同。南部变化小而北部变化大；而且随季节不同而异，夏季变化小，冬季变化大。这就证明了用日影长短计算天体大小是不可能的。自唐以后，不再有人用日影长短测天大小，这在天文学理论和实践上都是一个进步。

在普测天下日影的过程中，僧一行在世界上第一次测量了地球子午线的长度。他首先选择 4 个观测点：滑台白马（今河南滑台县）、浚仪岳台（今河南开封西北）、扶沟（今河南扶沟）、上蔡武津（河南上蔡县东），这四个观测点几乎在同一经度上。他归算出南北两地相距 351 里 80 步，两地的北极出地高相差 1 度，这个数据就是地球子午线 1 度的长度。他的误差虽然很大，但却是世界上第一次的子午线长度实测。

隋唐时期，天文仪器也得到了进一步的发展与完善。如李淳风于 665 年制造木浑天图，用来测黄道；公元 679 年姚元按古法在阳城测景台立 8 尺的表；公元 723 年，僧一行和梁令瓒造黄道铜浑仪等仪器。唐代梁令瓒制造的水运浑天俯视仪是历史上的一项重要发明。水运浑天俯视仪用水激轮，每昼夜自转一周，一半在木柜内，表示在地平线下。另立两木人，每刻击鼓，每辰敲钟。水运浑天俯视仪机械精巧，安装在柜内，已粗具近代自鸣钟的规模。比欧洲于 13 世纪后半期发明的自鸣钟要早 500 多年。

另外，唐代以前的浑仪只有三辰、四游两种重环，唐代的李淳风又加上六合，形成三环；最外为六合仪，中为三辰仪，内为四游仪。这样就可以测定黄道坐标、赤道坐标和地平坐标。至此，中国历代传统制造并使用的浑仪，

就成了一架比较完备的天文观测仪器了。

隋唐时期的历法也有了长足进步。历法是人们为了生产实践的需要而创立的长时间的计时系统。具体地说，就是年、月、日、时的安排。中国最迟在殷商时代起采用于支纪日。它以十天干即甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸，和十二地支即子、丑、寅、卯、辰、巳、午、未、申、酉、戌、亥顺序而成。从甲子、乙丑……直至癸亥，一日一个干支名号，日复一日，循环使用。中国的历史很长，但只要顺着干支往上推，历史时期就清清楚楚，这是中国古代创用干支法的功绩。此外，中国历法还有纪年、纪月、纪时的方法，并创造了 24 节气和闰月。历法是中国古代天文学的主要部分，在二十四史中有专门的篇章，记载历代历法的资料，称为“ 历志 ”或“ 律历志 ”。

南北朝是中国历法史上发生重大变革时期，许多重要理论和实践都是在这个时期提出和实现的。但是由于政治的分割与不稳定，许多成果没有固定下来。隋唐时期的统一和稳定，为以往成就的巩固提供了条件，出现了两部能集南北朝历法理论之大成的历法：隋代刘焯的《皇极历》，唐代僧一行的《大衍历》。

刘焯（544—610），字士元，信都昌亭（今河北武强县西南）人。隋开皇二十年（公元 600 年），他制定了《皇极历》。这一历法的优点是：（1）同时考虑了月球视运动和太阳视运动的不均匀性，创立二次差内插公式来计算定朔校正数，用定朔代替平朔；（2）改岁差为 75 年相差 1 古度，这比虞喜和祖冲之的推算更接近真值；（3）首次提出了“ 当食不食 ”和“ 不当食而食 ”，实际上是涉及到视差对交食的影响问题；（4）首次提出用定气来制历的设想，他设想从冬至开始将周天分成 24 等分，太阳每到一个分点就是差一“ 气 ”，以此代替把一年时间等间隔地分成二十四“ 气 ”的平均方法，这就更符合太阳的实际运动和能更准确地预报交食。

僧一行从开元九年（公元 721 年）开始《大衍历》的制订工作，到 727 年编成，呕尽了他全部的心血。书成的同年，他不幸去世。《大衍历》共有历术 7 篇，略例 3 篇，分别包括了平朔望和平气、七十二候、太阳和月亮每日的位置和运动，每天看到的星和昼夜时刻，日食、月食和五大行星的位置等，这种编排方式成了后世历法家的典范。《大衍历》采用平气注民用历谱，而以定气来计算太阳视运动，推算交食。僧一行还在《大衍历》中提出了“ 食差 ”的概念，并对不同地方、不同季节分别创立了被称为“ 九服食差 ”的计算公式。这些经验公式实际上是对周日视差影响交差的一种修正，使日月食的预报更精确了。《大衍历》对日、月食的食分和亏起方位角都作了既简洁又具体的阐明。它还指出，日月交食时，由于月亮比太阳近，当某地见到全食时，另一地只能见到偏食，这实际上是有关“ 食带 ”问题的首次记载。

总之，历法的许多重大理论开始产生于南北朝时期，然而到隋唐时才变成一种制度确定下来。自隋唐起，对历法的贡献主要是改进算法，如参数的选择、内插法的使用和改进等。因此有人认为南北朝历法的进步是理论的，隋唐是方法的；南北朝是天文的，隋唐是数学的。这也间接表明，到隋唐时期旧历已经成熟。

尽管隋唐时期的天文历法有了高度的发展，中国学者仍然对唐代传入的印度天文历法进行了研究，吸取了其中一些可以借鉴的东西。中国对这一时期来华的印度天文工作者十分尊重。他们当中许多人在当时的中央天文机构——司天台任负责工作。唐代的历法也传入了朝鲜和日本，对朝鲜和日本两

国天文历法的工作有着良好的影响。

隋唐天文学延续到五代十国，尽管处在分裂割据的状态下，但天文学工作的广泛传播仍在继续。例如在后晋、后周、蜀、南唐、闽等地区，都编制过各自的历法。各地也涌现出一些民间天文历法家，这为宋元时期天文学的高度发展奠定了群众基础。

宋代是中国历史上改历最频繁的一个时代，平均约 20 年即行修改一次。这种情况对历法的精确性要求提高了，也提高了对天文观测的要求。星占迷信也是宋代统治者重视天文观测的一个动机。尤其在北宋时代，由于经常受到契丹和西夏的侵扰，国势较弱，又因为纵容地主进行土地兼并，致使阶级矛盾尖锐，人民不时举行起义。内外交困下，统治者迷信于占星术，希望从观测到的天象中获得一些老天的“警告”和“意向”。北宋对中央天文机构——司天监的异常天象的监视工作抓得很紧，甚至在皇城之内还设立了天文机构，以考验校核司天监送来的报告。这种非常的劲头，不能不影响到对天文观测的重视。因此，宋代对恒星位置的观测次数特别多，仅北宋 100 多年间进行了 5 次左右的系统观测。其中特别是为历法服务的二十八宿距度的测定进行得比较细致，精密度也是日益提高。宋代在行星和月亮的运动，日食和月食以及其他异常天象的记录方面极为勤恳，留下了丰富的天象记录。例如，关于 1054 年金牛座超新星的记录，是现代天文学研究的极为宝贵的资料。

宋元时期在天文仪器上的制作发明，无论在数量上或质量上，都大大超过以往任何一个时代。

其中，中国的浑仪制造在宋代达到高峰。浑仪是用来测量天体的位置和两天体之间的角度的古代天文仪器，它的创制已有 2000 年的历史。浑仪的结构大体上有三部分，为了观测天体用的照准镜，即望筒或窥衡。通过前后两个小孔对准要测的天体，照准器在各种环圈（代表各种坐标系统）中的位置就能用数字表示出来，这就是要测天体的坐标。各种环圈中有代表赤道的、地平的、黄道的，就使浑仪有多种功用。浑仪还有一些支承结构，雕铸成蟠龙环绕，显示出中华民族的艺术特色。人们所说的四大浑仪（韩显符、周琮和舒易简、沈括以及苏颂等人的四个浑仪），都是在北宋时期（公元 995—1092 年）造成的。

在浑仪的发展过程中有这样一个特点，即增加一个新的重要天文概念，就要在浑仪上增加一个环圈来表现这个概念。这样，仪器上的环越来越多，相互交错的环圈遮掩了很大的天区，缩小了观测范围。北宋沈括大胆地取消了白道环，借助数学工具来求月亮的位置。到了元代郭守敬时，又进行了大胆的革新。郭守敬不仅取消了白道环，而且又取消了黄道环，并且把地平坐标和赤道坐标分别安装。虽然可以认为它是“拆散了的浑仪”，实际上是一种赤道式装置的先驱，称为简仪。

郭守敬是赤道装置的创始人。德雷尔在评价简仪的历史重要性时说：“这里有两个值得注意的例证，说明中国人的伟大发明往往早于西方成就若干世。我们在这里看到，中国在 13 世纪时已有第谷（1546—1601）式赤道浑仪，更惊人的是，他们还有同第谷用以观测 1585 年的慧星以及观测慧星和行星的大赤道浑仪相似的仪器”。约翰逊也认为“无论是亚历山大里亚城或马拉加天文台，都没有一件仪器象郭守敬的简仪那样完善、有效而又简单。实际上，我们今天的赤道装置并没有什么本质上的改进”。

此外，由苏颂领导，韩公廉等人在太平浑仪的基础上设计了水运仪象台。它不仅是一个大型仪器，也是一个小型观测台。这个观测台可以自由摘脱，这可以说是近代天文台上赤道仪室活动圆顶的先声。观测台内装有浑仪和机械转动装置结合在一起，起了赤道仪装置的转仪钟的作用。其中天关、天锁等一套机构是近代钟表中关键零件擒纵器的先声。这也是宋元时期在天文仪器方面的贡献之一。宋代对于漏壶和圭表的测量精度也作了很大的努力。

宋元时期历法频更。宋代 18 位天子，历法也有 18 种。宋代历法频频更改的原因主要是由于不能与天象符合，而且皇帝大臣不关心历法科学的进步，而只把颁历这件事看作他们行使权力的象征。所以古时易姓则易历，宋代每个皇帝即位也要改历，与历法准确与否无关，制历仅是例行公事而已，所以在科学上也无大创新。

然而到了元代，郭守敬主持创制的《授时历》是中国古历中最精良的历法。郭守敬（1231—1316），字若思，顺德邢台（今河北邢台）人，元代大天文学家、仪器制造家和水利专家。我们已提到他发明简仪，他在历法方面也作出了卓越的贡献。郭守敬作为 13 世纪一位杰出的科学家，在世界天文学史上有不可磨灭的地位。1977 年 7 月，中国科学院紫金山天文台把发现的一颗小行星命名为“ 郭守敬 ”。

《授时历》采用的一些法数在当时世界上几乎是最精确、最先进的。这一历法因古语“ 敬授民时 ”而得名，于至元十八年（公元 1281 年）颁行。后来，明朝颁行的《大统历》基本上就是《授时历》。如果把两种历法看成一种，可以说是中国历史上施行最久的历法，历时 364 年。《授时历》完全以实测为根据。为配合编制，郭守敬制造了许多出色的天文仪器。1279 年，在忽必烈的支持下，郭守敬等人在南起南海、北至北海，南北长 11000 公里、东西宽 6000 公里的广阔地带上，建立了 27 个观测站，测量夏至日和冬至日的日影长度、昼夜长短、北极出地高度等。这实际上是继僧一行之后，中国更大规模的一次天文大地测量。通过这次测量，为制订历法积累了许多宝贵资料。郭守敬通过实测，求得一年为 365.2425 日，并将它用于《授时历》中。为编制《授时历》，他还重新对黄赤夹角和二十八宿距度进行了实测，精度都很高。

此外，《授时历》采取了许多措施（例如采用了百进位制）来简化过去历法中繁琐的数学运算，并提出了用三次差内插法（招差术）来计算星体运动。这些方法的采用，保证了《授时历》成为我国古代精度最高的一部历法。

元代中国与中亚、西亚的阿拉伯国家来往频繁，因此天文学的交流也十分发达。中国天文学家到过中亚和西亚。著名的《乌鲁伯星表》和《伊儿汉表》中，都载有中国的天文历法。同时，阿拉伯天文学家札马鲁丁等也为中国带来了阿拉伯民族的天文仪器。札马鲁丁还撰万年历，忽必烈曾命令颁行过。中国少数民族中有不少信奉伊斯兰教，元朝政府为了满足这些教徒的需要，设立了回回司天文台，每年颁行回回历书。

纵观中世纪的中国天文历法，成就斐然，在国际上处于领先。可惜没有持续下去，以至到明末时，中国的天文历法已落后于欧洲了。

七、地学

1.阿拉伯地学

公元 7 世纪始，世居于阿拉伯半岛上的阿拉伯人开始把自己的管辖权和宗教逐步向外拓展。在东部地区，他们征服了伊朗高原和突厥斯坦（土耳其斯坦）；在阿拉伯地区以北，他们占领了美索不达米亚、亚美尼亚高原和高加索一部分地区；在西北部，他们并吞了叙利亚和巴勒斯坦；在西部地区，他们夺取了整个北非。

这样，到了公元 8 世纪，地中海的西部、南部和东部海岸、红海和波斯湾的整个海岸以及阿拉伯海的北部沿海地区，全都掌握在阿拉伯人的手中。他们穿越中亚或穿越高加索和伊朗高原，打通了欧洲和印度的许多重要陆路交通线，以及丝绸之路西段。阿拉伯人成了欧洲与南亚、东南亚以及中国进行贸易的中间人。

由于展开了广泛的商业交往，阿拉伯商人在除北部海洋外的几乎世界的全部海洋上航行过，他们的足迹踏遍了热带的亚洲、亚热带地区和东欧、中亚的温带地区。他们深入到撒哈拉沙漠以南的非洲地区，并越过了赤道。阿拉伯人在 9—14 世纪为中世纪的世界培养出大批著名于世的旅行家和地理学家。

西欧人了解和熟悉亚洲的大部分地区，正是通过中世纪阿拉伯地理学家介绍的。阿拉伯地理学家传播了古代著作家有关伊朗、印度和中亚地区的消息；他们了解中亚地区的高山峻岭的情况，并首先把有关北中国（契丹）和南中国（宋）以及印度支那和马来半岛的比较确切的消息带到西方；他们知道印度尼西亚、苏门答腊、爪哇和更遥远的岛屿；他们首次把直至莫桑比克、包括马达加斯加岛在内的东非热带地区介绍给欧洲人。

公元 9 世纪中期，波斯人伊本·霍尔达特别赫撰写了一本名为《道路与国家》的书。在这本书里他综合了最早的阿拉伯地理知识的报导。他本人很少出外旅行，但是他利用自己在巴格达哈里发宫廷里所占据的职位，收集和整理了阿拉伯官员和商人有关亚洲国家的大量情况报告。他关于俄罗斯和东斯拉夫各民族情况的记述也很有价值。

巴格达的阿拉伯人马苏迪是公元 10 世纪旅行家中出类拔萃的人物，他是地理学家兼历史学家。他有两部书流传至今，一部名为《黄金草地和钻石之乡》，另一部是《报道与观察》。在两部书中包含着他游历过地区的自然风光、历史演变和民族文化习俗的广泛资料。他游历过近东和中东的各个地区，以及中亚细亚、高加索和东欧；向南，他还游历了直到马达加斯加岛的东非地区，他对爪哇和中国的情况知道得很多。由于他援引了从中国到埃及航行过所有亚洲海洋的阿拉伯航海家的亲身经历，从而对托勒密和其他一些哲学家指出的“阿比西尼亚海（即印度洋）是一个死海”的说法表示怀疑。他写道：“我发现，西拉非人（南伊朗人）和阿曼人……在海洋上航行的船长们大多数情况下在阿比西尼亚海各走一方，这与哲学家们的说法不尽一致……他们（船长们）说，在某些地方这个海洋没有尽头。”

公元 10 世纪伟大的地理学家还有花拉子模的科学家、百科学者比鲁尼（972—1048），在漫长的有时甚至是被迫的旅行中，他研究了伊朗高原和中亚细亚大部分地区。在被迫随花拉子模的征服者——阿富汗苏丹马哈默德·卡

支涅维对旁遮普省毁灭性的远征中，比鲁尼收集了印度的文化和习俗的广泛资料。他把这些资料和亲身感受及观察的事实写进了他有关印度的一部巨著，并按《马苏特教典》的一般地理学原则，给自己的著作中增添了对他所知地区的一系列描述。

依德利西（1100—1166）是公元 12 世纪最著名的地理学家之一，他出生于休达市（在摩洛哥境内）。12 世纪中期，他身居于西西里国王诺曼人罗任尔二世的皇宫里。国王对一切地理发现的新闻都很爱好，依德利西于是收集了一大批能够补充罗任尔国王客人们的故事的文字资料，特别是有关非洲和中亚地区的资料。依德利亚用 70 张纸绘制了两幅世界地图：一幅是圆形图，另一幅是四边形图。他把从古代到中世纪的著作家所获得的地理资料都填入这两幅图里。由于依德利西本人很少出游，所以他所收集的不仅有前人的真知，也有前人的谬误。在他的世界地图上，各大陆的轮廓歪曲得很厉害。

公元 13 世纪，雅库特（1179—1229）的大卷本《地理辞典》中综合了阿拉伯人全部的地理知识。雅库特按出身来说是鲁穆人（即拜占庭的希腊人），但他是穆斯林而非基督徒。在编纂这本辞典过程中，他不仅利用了穆斯林著作家的资料，而且还使用了古代的和拜占庭基督教著作家的资料。根据亲身的经历和观察，他对东地中海沿岸的国家、伊朗和中亚地区甚为了解。他在古老的梅尔夫城居住多年，从这个中亚地区伟大文化中心的图书馆里，他为他的辞典收集了一部分资料。

伊本·阿尔·巴尔迪也是公元 13 世纪的阿拉伯地理学家。他是《奇迹中的珍珠》一书的作者，他还绘制了一幅圆形世界地图。他的圆形地图与依德利西的圆形世界地图相比有了一些进步：依德利西把空想的非洲东南角画得几乎占满南半球，巴尔迪的非洲地图更接近事实；巴尔迪对欧洲的地形轮廓的描绘也更加精确。尽管他的知识不都是确切的和完整的（在他的著作中，与阿拉伯国家相比，印度很少得到注意），但是他显然比依德利西更为了解南亚、东南亚地区。

公元 14 世纪里最著名的地理学家是旅行商伊本·拔图塔（1304—1377）。他是柏柏尔人，生于丹吉尔城（位于西北非洲）。1325 年大约因为商业事务的需要，伊本·拔图塔离开丹吉尔，取道陆路前往埃及的亚历山大城，从此便开始了他的旅行生涯。在 25 年的漫长岁月里，他沿陆路和海道走过了约 12 万公里的行程。他游历过的地区有，穆斯林在欧洲统治的全部地区和拜占庭帝国、北非和东非（到达南纬 10° 线）、前亚和中亚地区，以及印度和中国。他走遍了从莫桑比克海峡到马来海峡的印度洋沿岸和南中国海的大陆海岸线。伊本·拔图塔年老引退后，口述了自己的游记《伊本·拔图塔游记》。全部游记都是以自己的回忆为基础的。在这本书里概括了地理、历史和人种学的大量资料，后来被译成欧洲的多种文字。时至今日，这本书对研究伊本·拔图塔所游历过的国家的中世纪历史，其中包括前苏联广大地区的中世纪历史，仍有参考价值。

中世纪的阿拉伯人不仅在地理发现方面作出了重要的贡献，在对地质现象的解释方面也凝聚了阿拉伯人的智慧。

著名的医学家阿维森纳也是一位伟大的地质学家。他曾从事于“关于矿物的成因和分类”的重要工作。他有一段对山脉成因的论述很值得我们注意：“山的形成既有必然原因，也有偶然原因。必然原因是激烈的地震，由于地震陆地上升而形成山；偶然原因中，水的剥蚀作用是重要的，它能造成洞穴，

在陆地上形成起伏。”

阿拉伯的科学家“智者”奥马尔和埃尔·亚雷姆用历史事实证实了陆地与海洋的关系的变化。奥马尔把他那个时代的地图与 2000 多年前印度、波斯的地质学家所绘制的地图相比较，得知在此期间，亚细亚海岸的形状发生过重要的变化。虽然希腊的哲学家早已抽象地阐述过与此相同的设想，但是，他们是基于哪些事实而得出这样的结论，我们是不知道的。奥马尔的设想大概是从希腊人那里得到的，但是他科学地证明了海的领域比以前扩大了，这件事实不能不说是科学史上的重要成果。此外，奥马尔论述过盐水泉和沼泽的季节性变化，这种见解是颇为新颖的。他还强调地质作用需要经过漫长的岁月才能发生。由于《古兰经》第 41 章这样写道：“地球是用两天时间创造的，并在其上安设了山；又经过两天，制造了地球上的生物；以后再用两天时间，制造了七个天体。”奥马尔的想法与古兰经相矛盾，他被要求修正自己的“错误”。奥马尔为了摆脱这种压迫，主动地从撒马尔罕出走了。

在阿拉伯的自然科学家中，还有一名说明地质学现象的重要人物，即卡兹维尼。据说他活跃在 13 世纪末期。他对沙漠、地震、陆地和海洋变换位置等情况作了出色的说明，其中最令人感兴趣的是他阐述的所谓“历史是反复的”思想。他还说，万物不停流转，人类要了解这些知识是非常困难的。这不单纯是论述地质现象的观点，也是一种重要的历史观。这些都在他的著作《自然界的奇迹》中作了详细叙述。

2.欧洲地学

中古时代的人和古代人一样，有一个很自然的观点：大地就是他眼睛看到的那么大。这是小农经济的地球观。11 世纪到 13 世纪，西欧封建主、新兴商人发动了三次十字军东征，发现地球比他们想象的大得多。13 世纪蒙古人也远征欧洲，这对于东方人的地理观念也是一次重大突破。上述两次重大历史事件，对于交流东西方文化，扩大地理视野，都具有重大历史意义。

1271—1295 年，意大利人马可·波罗（1254—1324）花了 24 年时间在中国与亚洲游历。他在元朝任官 17 年，对中国古代文化颇有涉猎。归国后写了《马可·波罗游记》，把中国的风土人情与科学技术介绍给欧洲，大大开阔了欧洲人的眼界，使欧洲人了解，在遥远的东方，还有一个神秘而瑰丽的帝国。

马可·波罗之书在地理学史上有很重要的地位。14—15 世纪里，马可·波罗的书成了当时人们绘制亚洲地理图的指导性文献之一。在 1375 年绘制的天主教世界地图上，以及许多其他著名的世界地图，很大程度上都使用了马可·波罗的地名录。

马可·波罗的书在地理大发现的历史上发挥了极大的作用。不仅 15—16 世纪葡萄牙和西班牙首次探险活动的领导者和组织者使用了马可·波罗影响下绘制的地图，而且《马可·波罗游记》还成为许多著名地理学家和航海家——包括哥伦布在内——手边的必读之物。

葡萄牙人于 1341 年发现了非洲的加那利群岛。1415 年，葡萄牙的亨利王子（小名叫恩利格，1395—1460）参加了葡萄牙人对休达城的探险。亨利王子是多次海上探险的组织领导者。尽管他从来没有进行过长距离的航行，他仍被后人称为一个航海家。在亨利王子的指挥下，葡萄牙人开始了对非洲的远征。人类文明史上黑暗的一幕——贩卖非洲奴隶正是从这时开始的。1443 年，一支葡萄牙探险队绕过布朗角，发现了一个低矮的沙石群岛——阿尔金。葡萄牙人抓获了当地的 30 多个渔民，以高价在里斯本出卖了。捕捉奴隶加快了对西非海岸进一步发现的速度。由于害怕葡萄牙人，热带地区的居民们离开海岸逃往内地。奴隶贩卖商不得不继续向南前进，到那些还没有触动过的新的海岸去。葡萄牙人沿非洲西海岸南下，并于 1446 年到达佛得角。

亨利王子在葡萄牙的历史上发挥过重大的作用。在 45 年的活动中，他培养和造就了一大批富有经验的航海家，葡萄牙船队一跃成了世界上首屈一指的船队。在亨利统治时期，被探察和列入地图的非洲西海岸线约有 3500 公里之长——起自直布罗陀海，终至现今的葡属几内亚。因此，亨利王子对世界地理的发现是作出过积极贡献的。然而，这一时期对于西非却是悲剧性转变，葡萄牙人把西非变成了世界上最大的捕捉奴隶的场所。

1487 年，迪亚士发现非洲南端的好望角。随后达·伽马于 1497—1498 年绕过好望角北上，到达印度的加尔各答开辟了由欧洲到达亚洲的新航路，对非洲的东西岸大致也了解清楚了。

1492 年，意大利探险家哥伦布费了好大劲说服西班牙国王，支持他作横渡大西洋航行。当时欧洲人接受古希腊的一个错误观念，认为欧洲的西端与亚洲的东端隔大西洋相望；整个地球周长为 28800 公里，于是横渡大西洋到达东只有一万多公里。哥伦布正是在这个错误观念指导下，敢于率领三只航船作横渡大西洋的探险。哥仑布航行 33 天后，到达美洲的巴哈马群岛，认为

这就是亚洲，目的已达到，就此返航。后来他三次航海到达南非大陆，也误以为是亚洲。

哥伦布是第一个从北半球亚热带和热带地区横渡大西洋的人；他是欧洲第一个航驶加勒比海的人；他首先发现了南美大陆和中美地峡；他发现了加勒比海的全部主要岛屿，并为发现西部的两个大陆——北美洲和南美洲奠定了基础。

哥伦布发现的巨大意义，仅仅在征服——占领墨西哥、秘鲁和北安第斯山脉的国家之后，仅仅在成堆成堆的黄金和成队成队的“白银船”进入欧洲时，才为16世纪的西班牙人所明白，并得到他们的公认。然而哥伦布探险所具有的世界历史意义和革命意义是马克思、恩格斯首次肯定的：

“美洲的发现，绕过非洲的航行，给新兴的资产阶级开辟了新的活动场所。东印度和中国的市场、美洲的殖民化、对殖民地的贸易、交换手段和一般商品的增加，使商业、航海业和工业空前高涨，因而使正在崩溃的封建社会内部的革命因素迅速发展。”

继哥伦布之后，1499—1504年，意大利人亚美利哥·维斯普齐，多次航海到达南美洲北岸。他在《新世界》（1503）中确认美洲是一个新大陆，并非哥伦布误认的亚洲。后来人们就用亚美利哥的拉丁名字（Americus）命名南北美洲为“亚美利加”（Ameri-ca）。

移居西班牙的葡萄牙人麦哲伦也是位富于进取精神的探险家，他也说服西班牙国王支持他作航海探险。1519年9月，他率5艘帆船组成的船队，从西班牙出发作环球航行。前一段走的是哥伦布走过的航线，到达南美后，他继续前进，沿东海岸南下，越过麦哲伦海峡，到达一个风平浪静的硕大海洋，因此他把这片海洋称为“太平洋”。横渡太平洋后，到达菲律宾群岛。1521年，他因介入当时种族纠纷被土著杀害。幸存者乘仅有的一艘帆船继续向西航行，于1522年9月回到西班牙。此次航行历时3年，绕地球一周，证明地球是个球形，发现了太平洋，摸清了南美大陆的轮廓。这使人们第一次对世界有了清晰的印象，改变了托勒密以来关于世界地理的概念。

与中世纪后期欧洲伟大的地理大发现相比，中世纪欧洲人在地质学方面的成就不多。当时，欧洲已经积累了一些岩矿的知识，有关岩矿的著作有三种：①百科全书②植物志③石志。

影响较大的百科全书有英国人聂卡姆的《科学史》、德国人康瑞德的《自然之书》。聂卡姆（1157—1227），是英王查理一世的兄弟，后留学巴黎，并在巴黎大学任教授。他在《科学史》中叙述岩矿37种，热衷宝石的神秘作用，康瑞德（1309—1374）是德国一位治安长官的儿子，在巴黎、维也纳学习后，任麦根堡教会要职。他的《自然之书》记述矿物82种。

关于植物志，德国人肖费尔1434年用拉丁文写的《植物志》最有名。后世的植物志都以此书为蓝本。据1529年法文版，此书论述矿物140种。

欧洲的岩矿知识主要来源是“石志”。石志原是金匠与宝石商的商品说明书，介绍这类贵重饰物的价值与神奇作用（驱邪避恶之类），后来才独立成篇。有深远影响的石志是：

（1）马柏都斯的《宝石》

用734首拉丁六步诗写成，论述60种宝石与石头，成书于1061—1081年间。作者是一位主教，他否认宝石的医疗作用，但还认为宝石有神秘的性质。

（2）马格努斯的《矿物》

（公元 1260 车）论述 70 种岩石、矿物作者是意大利多明我会修士，经院哲学家托马斯·阿奎那的老师。马格努斯在《矿物》中极力论证亚里斯多德的天体作用矿物生成论，比阿维森纳的观点要倒退一步。此书在中世纪影响很大，长期阻碍矿物学发展。

（3）列昂纳多的《石志》（1502 年）

它是一本科学著作，用拉丁文写成，论述矿物 279 种。不过实际上没有这么多，有些是有名无物，或一物多名。此书最大特点是一反过去《石志》重视神奇作用倾向，强调认识矿物清晰度、不透明度、硬度、柔软性、光泽、亮度、密度、有孔性等物理性质。作者说此书是献给凯撒王的，目的是让他了解哪些东西有毒。但教会却把它列为禁书。此书是由阿维森纳的旧矿物学向以阿古里可拉为代表的新矿物学过渡的纽带。

在中世纪的欧洲，主要有三种成矿作用假说：

（1）亚里斯多德的天体作用说

认为天体作用于地球，使地内土元素转变为“干气”和“湿气”，再转变为“石头与金属”。石头以“干”性为主，不能融熔，金属以“湿”性为主，可以融熔。这种说法在中世纪居于统治地位。

（2）原液种子说

假定矿物（石头）有种子。这是经院哲学指导下建立的成矿假说。他们认为自然界有三界：动物、植物、矿物，生命原则是其固有的根本，三界的差异在于生命强度不同，并有以下公式：

动物：理性灵魂+感性灵魂=最高生命

植物：感性灵魂+生长灵魂=较低生命

矿物：较低的生长灵魂=死的迟钝的物质

（3）石化液浆说

这种假说认为，地壳内有一种循环流动的“液浆”，它在某种条件下把各种物质转变为石头。液浆的这种能力在地内、海水中、大气中都存在，这就形成地内石头、海水淀积石头，以及大气中凝结而成的石头，在人体也存在，形成膀胱结石、肾结石、胆结石。他们认为，液浆在地壳内循环流动的原动力和推动天体运动的力是同一个力——原初推动力。

把石化液浆说发展到新阶段的，是阿古里可拉（1494—1555）。他是日耳曼哈茨地区的医生，矿业公司的股东。原名乔治·鲍尔。魏纳称他是“矿物学之父”。他在地质学史上占有突出地位。阿古里可拉的功绩，是把矿物学从经院哲学的神秘迷雾中解放出来，建立在对地壳的实际观察之上。他在《化石的本质》这篇论文中，明确否定天体作用说、原液种子说、石化液浆说，他主张石化液浆是“含矿物的溶液”，矿物与岩石是由这种含矿溶液在热与冷的条件下干燥、沉积而成。虽然阿古里可拉没有涉及火成岩与变质岩，但他已开拓了矿物岩石研究的科学坦途。

3.中国地学

与中世纪的阿拉伯、欧洲相比，这一时期中国的地学发展迅速，成绩斐然。

早在汉武帝时，各郡国就开始编修地志。到隋唐时期，官修地理图记的风气更浓。隋大业中（公元 605—617 年），曾“普诏天下诸郡，条其风俗、物产、地图，上于尚书”。所以隋朝出现了《诸郡物产土俗记》151 卷、《区域图志》129 卷、《诸州图经集》100 卷等等。其中，《区域图志》是典型的官修地理图记著作。

官修图记能够集一国之力，搜集资料比较容易。所以到了唐代，地理书大多是皇皇巨著。贡献较大的有贾耽《海内华夷图》、李吉甫《元和郡县图志》等。

贾耽（730—805）是唐朝德宗的宰相，酷好地理学。每当周围国家的使者到来，或是唐朝派出的使者返回，他都要当面询问那些国家的山川、土地等情况，所以对边外非常熟悉。唐德宗时，吐蕃占领陇右已经很久，内地很少有人了解陇右情况。他特意绘制了《关中陇右及山南九州等图》一轴，图说 10 卷。图中所绘包括洮、湟、甘、凉等地，带有较多写真性质。贞元十七年（公元 801 年），贾耽又绘制了《海内华夷图》和《古今郡国县道四夷述》40 卷。贾耽撰成此书（包括图和述）用了 30 年时间，倾注了他毕生精力。据《旧唐书》本传记载，《海内华夷图》广 3 丈，长 3 丈 3 尺，以一寸折百里（缩尺为 1∶1，800，000）。照此计算绘制的区域东西 3 万里，南北 3 万 3 千里。唐本土只占全图面积的 15%左右，是中国第一部世界地图。贾耽说，凡“绝城之比邻，异番之习俗，梯山献琛之路，乘舶来朝之人，咸究其源流，访其居处，阛阓之行贾，戎貊之遗老，莫不听其言而掇其要；闾阎之琐语，风谣之小说，亦收其是而芟其伪。”他的图记是包括了当时闻见的所有国家的。贾耽的地理图志对后世有很大的影响。其中，古地名在地图上用墨书标出，今名用朱笔标出。贾耽开创的这种标注法一直为后世地理书沿用。

李吉甫（785—814）是唐宪宗朝宰相。他“分天下诸镇，记其山川险易故事，各写其图于篇首，为 54 卷，号为《元和郡县图》（又名《元和郡县图志》）”。此书内容重点在于叙述天下郡县的“兵饷山川、攻守利害”，凡有关民生国计的必不惜笔墨。这与唐代传世的数十家地理著作迥然不同。书的体例是，每记一州，先综述一州的概况，如户口、垦田、贡赋等数字，以及州境和八到等。对节度使理所还记述管兵若干，有马若干和衣赐匹数。从项目看，比地理志大大加详了。《元和郡县图志》也是一部传世的重要地理著作。

唐时重要的游记著作为辩机撰《大唐西域记》和释彦悰撰《大慈恩寺三藏法师传》。两本书都是根据玄奘口述西游印度的经过，记录整理而成。以途经先后为序，记述所见所闻，属于游记类地理书。

玄奘（602—664），河南缑氏（今偃师县）人，俗姓陈，名祎。隋大业间在东都净土寺受戒为僧，钻研佛学。他深感当时佛经各擅一宗，错综其说，使人无所适从。于是自贞观三年（公元 629 年）启程，赴印度取经。他过秦、兰、凉、瓜诸州，西出玉门关，度莫贺延碛，至于高昌。然后经阿耆尼（焉耆）、屈支（龟兹），顺丝绸之路北道入中亚，南逾黑岭入印度。在那里瞻仰佛迹，拜求高明，足迹遍于印度。然后北逾葱岭，取道佉沙国（疏勒）、

瞿萨旦那国（于阗），由丝绸之路南道回国，于贞观十九年（公元 645 年）正月到达长安。前后 17 年，途经 110 国。

《大唐西域记》全书 12 卷，目录所列共 138 国。注明在印度境内的 80 国，其余大部分是中亚国家，少数是西域、西亚国家。书中对每一国都先介绍它的疆域、都城大小，然后介绍土地、山脉、河流、物产、风俗、文化以及佛教流行情况等。除亲眼所见外，对于“先志”所载、佛典所记以及故老相传，都收入书中，是一部研究中世纪中亚、南亚历史、地理的珍贵资料。

《大慈恩寺三藏法师传》有 10 卷。此书与《大唐西域记》相比，对玄奘起行的经过记述较为详细，对西域地形、地貌的描述更有见地，文字也更精彩。书中描述了沙漠中的幻影和磷火，既令人心悸神惊，又增长了人们沙漠旅行的知识。书中有对冰川的描述。文中点明冰川的成因——“自开辟以来，冰雪所聚，积而为凌”，很有见地。因此，《大唐西域记》和《大慈恩寺三藏法师传》都是珍贵的地理著作。

宋元时期，地理学著作异常丰富，比以前任何朝代都多。其中属于地理志著作的有正史《宋史》、《元史》等）地理志，如宋人乐史撰《太平寰宇记》200 卷，李存等撰《元丰九域志》10 卷，元人朱思本撰《九域志》80 卷等。此外，类似的地理著作还有宋人郑樵《通志》中的《地理略》、《都邑略》、《回夷略》3 篇，元人马端临《文献通考》中的《舆地考》、《四裔考》2 篇等。李志常记录成书的《长春真人西游记》则属于游记类的地理著作。这些著作对地理学本身贡献不大，但具有珍贵的史料价值。

宋元时期对地理学的重要贡献在于地方志的著作在宋元大为增加，并定型为郡县志。地方志是按行政区划，记述区域情况的综合性专著。修地方志后来成为统治者非常重视的一个传统，把它看成是规划施政或立德立言的依据。南宋以后，地方志数量大增。明清两代则形成风气。地方志不是科学著作，但是提供了丰富而系统的科学历史资料。其中涉及地学的为数甚多，诸如关于经济地理、政治地理、气象、水文、潮汐、地震、矿产、测量等都有很大参考价值。地学是门区域很强的学科，在交通不发达的封建时代，依靠少数人作全面考察难以办到，因此地方志记录的资料就更加显得重要。后来许多伟大的地学工作者都把对地理志的研究，看作是地学研究的重要资料准备。

还应该指出的是，宋代地理图曾经大量翻印，出现了商品化的趋势。地图便利了交通，对宋元商业的发展、社会的繁荣起了很大的促进作用。

与丰硕的地理学成果相比，中世纪中国的地质学成就毫不逊色。

宋朝哲学家朱熹（1131—1200）把山脉或褶曲地层与波浪形状相类比，并认为是水把它们塑造成这种形状的。他在《朱子全书》卷 49 中说“今登高而望，群山皆为波浪之状，便是水泛如此”，便是他这个观点的说明。朱熹关于地球表面层变化的看法是：波涛使整个大地发生不停息的震荡，并使海陆发生永不休止的变动，结果有些地方突然有山岳升起，有些地方却变成河川。这种观点的依据是：“尝见高山有螺蛙壳，或生石中。此石即旧日之土，螺蚌即水中之物。下者即变为高，柔者却变为刚。”这段话的意义在于朱熹当时已认识到，自从生物的甲壳被埋入海底软泥当中的那一天以来，海底已经逐渐升起而变为高山了。在欧洲，达·芬奇（1452—1519）才有类似见解，朱熹比达·芬奇要早 300 多年。

中国在关于海洋——如海潮、海洋气象等方面的知识，尤其是海潮理论

在当时也很突出。自隋唐始，人们注意到海潮涨落与月亮圆缺之间的关系。窦叔蒙《海峤志》（约成书于公元 8 世纪中叶）除认识到“月与海相推，海与月相期”之外，还注意到每日两潮，每月朔望两大潮，上下弦两小潮；每年春秋分两大潮，冬夏至两小潮等，还推算出潮汐与月亮盈亏之间的相位差为 50′28.04″，比同时期冰岛主教贝德（673—735）的观测更为精确。宋元时期进一步认识到海潮涨落不仅与月亮，还与太阳运行有关。宋代姚宽《西溪丛语》记载，会稽有一石碑，记海潮事说，海潮“随日而应月，依阴而附阳”，“潮常附日而右旋”。碑上记载的潮、月相位差为 53′34″，比窦叔蒙更为精确。

宋代著名学者沈括不仅是一个伟大的物理学家，也是一个卓越的地质学家。在他百科全书式的巨著《梦溪笔谈》中，有关地学的知识十分广泛。

沈括论述了海陆的变迁。他有一次去河北，曾在太行山北面的山岸间看到一些含有螺蚌壳和卵石的地层。沈括认为，这些地方虽然距离东海已有千里之遥，但以前曾一度是海滨。由此可知，我们现在看到的大陆，一定是位于水下的泥土和沉积物形成的。至于海滨变成陆地的原因，沈括认为黄河、漳水、滹沱河、涿水、桑乾河这些河川，今天全都携有大量泥沙，这些泥沙被河水携带着向东流去，这样，年复一年，就沉积下整个大陆的泥土。11 世纪沈括的这些观点，在欧洲直到 19 世纪的赫顿（1726—1797）和赖尔（1797—1875）的著作中才能看到。

沈括还首次使用了“石油”这一名称，延用至今。他于 1079 年出任延州时，曾考察鄜延境内的石油矿藏与用途。看到陕延一带人民燃烧石油取暖，石油燃烧浓烟滚滚，给喜欢动脑筋的科学家以极大启发。于是亲自实验，创造了用石油烟代替松烟作原料，制造文房四宝之一——墨的方法。他记述说：“（石油）燃之如麻，但烟甚浓，所霑幄幕皆黑。予疑其烟可用，试扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之，其识文为‘延川石液’者是也。此物后必大行于世，自予始为之。”沈括开拓了原始化学工业，这是很可取的。

《梦溪笔谈》中还多次提到了化石。“泽州人家穿井，土中见一物，蜿蜒如龙蛇状，畏之不敢解；久之，见其不动，试扑之，乃石也。……鳞甲皆如生物；盖蛇蜃所化，如石蟹之类”。说化石是生物所化，这是完全正确的。这个问题，欧洲在 16 世纪还在争论。

“近岁延州永宁关大河岸崩，入地数十尺，土下得竹笋一林，凡数百茎，根干相连，悉为化石……延郡素无竹，此入在数十尺土下，不知其何代物。无乃旷古以前，地卑气湿而宜竹耶？”沈括根据化石推断古气候温湿，是非常卓越的见解。同一看法，在欧洲是 1763 年由俄国科学家罗蒙诺索夫提出。

《梦溪笔谈》以后，又有《云林石谱》（公元 1133 年）等书籍，不仅记载了三叶虫的化石、鱼的化石等，还正确地指明了这些化石的成因：鱼化石的成因，很可能是在太古的时候，山一度塌陷进这些鱼所栖息的河流里，经过很长的岁月以后，土凝为石，使之变成我们现在看到的样子。这些历史资料表明，中世纪中国的古生物学远比欧洲来得先进。

八、生产技术

1.阿拉伯、欧洲生产技术

中世纪的阿拉伯和欧洲在技术方面的成就不多，而且科技史的研究往往发现，许多迟至 10 世纪或更晚才在阿拉伯或西欧出现的发明，早在中国最初几世纪里就已经详细叙述出来了。阿拉伯和欧洲不象中国有非常丰富的历史文字记载，许多技术方面的成就很容易散佚。我们现在研究阿拉伯和西欧的中世纪技术史时，还只能依靠非常有限的资料。如 8 世纪的《炼金秘诀》、《论莫柴斯的着色》，10 世纪的赫拉克利斯的《论罗马的绘图》以及 12 世纪的柴奥菲鲁斯关于各种艺术的随笔。这些著作主要是讨论用于建筑和教堂装饰的艺术和技艺，但也记载了少量的其他中世纪技术成就。大石匠弗拉德·德·霍纳考特的一本笔记本（约公元 1245 年）载有许多机器的素描和说明，是我们研究中世纪技术史的珍贵文献。

此外就极少有中世纪的学者提到技术的事情，至于企图了解它们的就更少了。因此中世纪阿拉伯和欧洲流传下来的技术成就和我们以后将要涉及的中国繁荣昌盛的古代技术相比，大为逊色。为方便起见，笔者把阿拉伯和欧洲的技术成就放在一起论述，而且主要以欧洲技术为主。

（1）农业技术

封建制度的经济基础是土地。因此它的标志是主要依靠自给自足的农业生产，当然也依靠一部分分散的手工业。中世纪的欧洲和阿拉伯在农业技术方面还是有一定成就的。

在农作物方面，阿拉伯人在灌溉作物如水稻及柑桔类果品的种植上积累了经验，并逐渐把这些新的作物和相关联的技术向地中海沿岸的西西里和西班牙扩散，后来又进入法国南部和意大利北部，打破了大麦、小麦在欧洲一统天下的局面，对欧洲（尤其是南欧）农业产生了深远的影响。

作为欧洲传统作物之一的葡萄在中世纪进一步发展。葡萄种植业在许多地区已然巩固，而且葡萄酿酒技术已比较成熟，出现了勃艮第、莫塞利、波尔多等著名的葡萄栽培酿酒地区。公元 800 年到 1000 年间，葡萄扩展至中欧，甚至更远，欧洲农民在葡萄酿酒技术的基础上，又生产出苹果酒和梨酒，这无疑也促进了苹果和梨树种植业的普及。另外，欧洲中世纪酿造啤酒的技术已很高明。欧洲古老的啤酒是由草药或混合料调味密封制成。9 世纪以后，欧洲农民开始选用略带苦味的蛇麻草酿造啤酒，基本上奠定了现代啤酒的口味标准。欧洲水果种植业和酿酒业的蓬勃发展不仅帮助了欧洲农业乃至整个经济的发展，农民们在酿酒时所使用的许多技术，如酒精蒸馏术等也为欧洲近代化学的发展提供了技术条件。

在耕种技术方面，公元 6 世纪时当时的斯拉夫人开始使用带轮的重犁。这种重犁具有犁刀、横铧和模板。重犁具有三个显著的优点：第一是它能翻腾稠粘的土壤，这种土壤比通常使用扒犁翻耕的沙土能生产更多的作物；第二是由于重犁上的犁壁能翻出垄沟来，因此交错犁田就不必要了，从而节省了人的劳动力；第三，犁壁经常把垄沟转向右方，这样把松土堆成长条，长条与长条之间留出一条排水沟来，田间排水由于这种新模式而方便了。

重犁在欧洲逐渐流传开来。由于重犁需要很大的动力，而欧洲在公元 10 世纪以前还没有学会合理使用马力，因此在用马拉犁以前很长一段时间，农

民用他们的耕牛进行合作，从而奠定了中世纪合作农业村社——庄园的基础。

到 8 世纪后期，欧洲又出现了三圃耕种制度。“ 三圃制 ” 就是把耕地分成三大部分，一块地休耕，一块秋播地主要种小麦、黑麦和大麦，一块春播地大部分种植燕麦以及豆科植物。由于三圃制农业比旧的三圃轮种制更易耗费地力，所以这种耕种方法比较适合地力肥沃的土地。但是三圃制比原先的二圃制优越得多，以二圃制转到三圃制能使庄园农民增产大约 50%。因此欧洲在合理使用土地方面还是比较科学的。

庄园除耕地以外，还有树林，用来提供木材和柴薪；有池塘，用来养鱼；有草地，用来放牧牲畜；庄稼收割以后的土地或休耕地，也可以用来放牧。

马力的合理使用也对中世纪的农业起了积极的作用。欧洲古代使用的胸带和肚带因为处置不当，勒迫马匹的气管，而且也很少使用马掌保护马蹄，因此马匹的作用很受影响。后来在东西方的交往中，从东方尤其中国引进了水平胸带，解放了马的束缚。10 世纪后又研制了垫肩马轭，废除肚带。把项圈套上马肩来着力，仅此一项马的牵引力就可以增加 4 倍。欧洲同时输入了钉马掌法，马掌能保护马蹄，使马蹄更好地抓牢地面，使马能更好地驮货和輓车。此外，欧洲人从东方学会使用了马镫，又发明了靴刺和马嚼。这些变革极大提高了马匹在农业中作为牵引牲畜的重要性。从公元 10 世纪起，马匹开始取代在整个中世纪作为 “ 农民的发动机 ” 的牛，牢固确立了在农业中的地位。而且马匹在许多场合广泛运用，成为战争和旅行的主要工具。

（2）水轮磨和风轮磨

水轮磨的实际创制年代十分悠远,维持鲁维阿在公元前约 50 年时就曾提及这种装置。然而因为古罗马的川流对磨不太适宜，而且当时有足够的奴隶可以被驱使做工，因此水轮磨很少被使用。然而中世纪的欧洲荒芜贫瘠土地众多，劳动力却极为匮乏，而且西欧地理条件优越，有长期可供使用的溪流和河道。因此，能节约大量劳力的小轮磨在中世纪重整旗鼓，广为使用。磨成为封建经济的主要特色，差不多每处领地（英格兰的古老的“ 土地清丈册 ” 开列了 5000 处）都有一座磨和一个磨手。地主充分使用他们的特权，让所有的农奴在磨坊里磨他们生产的谷子。

水轮磨最早用于把谷物碾成粉，以后很快又转向其他用途，如提水、压榨油籽、麦芽制作、磨碎赭石和其他染料、漂洗、造纸、鞣料生产，它们还用以驱动诸如锤、锯、磨石和车床等工具。到工业革命时，水轮磨运用更为广泛，用于纺线、织布或打谷。

西北欧低洼有风海岸的风轮磨（风车）也很有特色。西方的风轮磨可能来源于水轮磨，它具有十分相似的由水平轴带动的机构，此轴由一组竖帆推动，一组一般是 8 至 12 张帆。最古老的风轮磨是一种固定的结构，称为柱状风轮磨。以后又建造了塔状的风轮磨，其冠或顶部可以转动，以使风帆对准风向。风轮磨原先也是用于磨谷用，但到中世纪末期，它们开始被用作原动机，在难以利用流水的滨海地区，逐步起到了水轮磨相同的作用。

风轮磨和水轮磨必须由人制造并看管，而这种工作不是大多数农村铁匠的技艺所能胜任。因此就有了风轮和水轮匠这个行业。他们往来于乡间，制造并修理风、水轮磨。他们懂得轮的做法和作用，也同样晓得管理堤和闸。所以他们既是水利工程师，又是最初的、按照现代意义所称的机械工程师。他们是中世纪工艺技术的宝藏库。

（3）交通运输

古罗马帝国大一统的中央政府使它有能力完成庞大的公共工程，因此古罗马时期以罗马城为中心，呈辐射状地大量修筑宽阔平坦的大道，古谚中有“条条大道通罗马”之称。当时道路系统很完善，因此陆路交通十分发达。

然而中世纪的欧洲却是封建割据，没有一个强有力的政府可以承担古罗马人那样的壮举。封建庄园的地主们也吝于出钱从事公路维护，而贫寒交迫的农民需要石料建筑挡风蔽雨的小屋，甚至把许多罗马时期的道路拆除。因此，罗马的道路工程在阿拉伯地区保存尚为完好，但在西欧，陆路旅行则是一件很困难的事。后来市政当局和个人开始频繁地为维持桥梁和道路而赠款，但仍然入不敷用。只有当发展着的贸易促使城市之间建立更为密切的联系，商业旅行更加频繁，新的公路就变得必要的了，在国家预算中占相当大的比重。

中世纪的筑路工程师采用由松砂路基上铺设鹅卵石或碎石筑成的大路。不过这种道路较易于随着冷热变化而缩涨。后来又修建用灰浆石沙跺粘砌的石板路，以及在沙土或地面上用碎石铺成的、加以适当夯实的道路。交通工具主要是两轮或四轮的马车。欧洲人虽然没有在道路建筑技术上取得了不起的成就，但他们认识到道路建设与经济发展关系，还是十分难得的。

由于中世纪欧洲陆路运输还不发达，水路运输是最廉价的货运途径，大多数陆路运输也往往取道捷径到达河岸或海滨。因此中世纪欧洲水运发达的港口，经济往往十分繁华。这一点与中国颇为相似。

西欧发展了内河航运，并积累了造船的技术经验。由于地中海的优越位置，它具有海洋的特征，但又不象远航大西洋、太平洋那样风高浪险，路途遥远。所以它孕育了欧洲的航海技术。富有冒险精神的欧洲航海家们可以在这里训练他们的身手。

当西欧开始日益意识到大西洋海岸的重要性时，海运船只的建造取得了重要进展。当时地中海的多桨船已经逐步使用三角帆，而且积累了使用风帆的技术、但是这些船只还不宜在多风暴的大西洋中远航。到 12 世纪，北欧开始建造大型的远洋商船。到 14 世纪，一种新型平面接缝式船开始普及，它在海上逐渐排挤老式船。而且较旧式的三角帆发展为前后帆，从此就不再需要等候船尾来风才开船。水手们甚至学会了逆风行驶的技巧，风浪较猛时也可以航行。

船尾舵和罗盘（指南针）的引入是促进海上航行的最重大发明。这两项重要发明的发源地都在中国。引入这两项发明，欧洲逐渐开始作远洋的航行。航海术的成熟的直接后果是新的地理大发现和商业繁荣。同时，由于罗盘和其他航海仪器的需要，产生了制作航海罗盘和日晷这一新型精巧工业。做这种东西的人树立了越来越高的准确量度标准，对后来的科学起了重大的影响。许多科学家，连牛顿本人在内，都是优秀的仪器制造者。

（4）纺织技术

中世纪末期欧洲的纺织业十分发达，而且因为纺织规模的扩大，兴起了新的手工业生产形式——工场手工业。欧洲工场手工业的规模很大，例如在盛产呢绒的佛罗伦萨，呢绒工场手工业的工人大约有 3 万人，企业主大约有 200 家。

中世纪的织物生产分为若干行会。一部分工人先把羊毛煮过，漂净，梳理整齐，担任这些劳动的粗工统称为梳毛工，大都是摆脱了农奴身分而又失

去土地的农民。梳理好的羊毛通常发给城里或者近郊的贫苦妇女，由她们在家里用纺锤或手摇纺车纺成毛纱。毛纱再发给织工，由他们在家里织成呢绒。此外的染色、缩绒、碾平等工序，需要比较复杂的技术，因而在中心手工工场完成。许多失去独立经营能力的城市手工业者就在这里操纵织机、缩绒机和染色。

中世纪欧洲在纺织技术方面的主要进展是纺织操作中的若干工序，如漂洗、织布、纺纱等实现了机械化。

首先实现机械化的纺织工序是漂洗。当时通用的漂洗方法是，把织物放在含漂白土的水中敲打或踩踏，以便使它们收缩和结毡，这样来填实织物裂隙，达到漂洗和洁净的目的。前面提及的水轮磨的应用为漂洗机械化提供了条件。装在水轮轴上的旋转滚筒使水推动升举的锤，这样水轮就可以完成几个人的敲打和踩踏工作，从而减轻了工人的劳动强度。

织布工序也很快实现了机械化。大约在 12 世纪末和 13 世纪初，出现了用脚控综片代替手工揉作的织机，大大加速了复杂高档织物的生产。不过，当时欧洲的织机技术，还是远远落后于中国的。

第三项实现机械化的工序是纺纱。纱锭的锭盘有槽，用与一大轮相连接的带子驱动，大轮用左手转动。这种原始的“摆轮”，虽然旋转运动还需要由纺纱工的左手加以控制，但已经实现了捻纱和缠纱工序的自动化。因此，这种摆轮机构直到 19 世纪仍然用于纺粗纱。提轮是在机械中运用曲柄的最早例子。曲柄可以把往复运动变成旋转运动，也可以把旋转运动变为往复运动。曲柄在后来蒸汽机发明以后，得到了广泛运用。纺纱实现机械化的另一重要发明，是 15 世纪由于对纺纱轮引入锭翼，形成所谓萨克逊轮。这种萨克逊轮能同时捻纱和缠纱。

欧洲的纺织技术沿着机械化的道路不断发展的结果，是从纺织业中揭开了众所周知的近代产业革命的序幕。因此，欧洲中世纪纺织技术的发展趋势，其意义是非常深远的。

（5）造纸术与印刷术

造纸术与印刷术都不是中世纪欧洲的发明，它们是从遥远的东方，尤其是中国传入欧洲的两项重要工艺。欧洲人虽然没有在造纸术和印刷术方面作出了不起的成就，但是这两项工艺对欧洲科学技术兴起所起的作用，很少有其他发明所能比拟。因此，我们不得不提及造纸术与印刷术的传播与推广，对于中世纪欧洲的科学技术所起的深远影响。

欧洲早期使用的书写材料是昂贵的羊毛皮。羊皮纸纸质细腻，装璜精美，但由于原料匮乏，成本昂贵，很难大众化。因此精美的羊皮纸手抄本往往深藏于皇宫内院以及富有的教堂，普通大众一般无力购买。这对文化知识的传播和推广极为不利。大约在 12 世纪，中国的造纸术经由阿拉伯传入欧洲。欧洲人用破亚麻布为原料制造了最初的高级纸。破亚麻布的成本较羊毛已大为降低，因此造纸业发展很快。大约到 15 世纪中叶，纸的生产已经牢固确立，而且纸张既好又便宜，很快在欧洲普及流传。

纸出现后不久，印刷术（包括雕板印刷术和活字印刷术）也传入欧洲。欧洲最早的雕板印刷书籍出现于 1470 年，而活字印刷是欧洲印刷工业走向机械化的又一步骤。这时，重新印刷手抄本，即使是由不了解的语言写成的手抄本，也可以由铸造和排列铅字的机械操作来完成。

印刷术最早用于印刷供占卜用的纸牌、教皇的赎罪券、祈祷书以及圣像，

很快就又用于印刷书籍。新兴的、廉价的、印刷的书籍促使人读书，也使人需要更多的精神食粮，这样就激发了一种爆炸性的链式反应。印刷商首先把最需的手写本《圣经》印刷成册。印刷《圣经》并把它散发给新兴的资产阶级，这种新趋向后来导致了宗教改革。当印刷商印制古代和现代的文学与诗集时，他们又促进了文艺复兴的到来。

造纸术与印刷术之所以成为科学技术上重大变革的媒质，是由于它把关于自然界的，特别是关于自然中新发现，以及首次提出的有关技艺和行业的各种过程的叙述，大量提供给公众。在此以前，手工业者往往只通过直接经验，由师傅言传身教传给徒弟。这种方式不利于技术的传播与交流，许多细巧精致的技艺往往因此而失传。印本书出现以后，印本书里的工艺方法的说明，尤其是书中的插图，帮助了在各行业、各技艺和学术界各专业间首次建立了密切的联系。而且印刷术采纳后，能工巧匠们就能表达自己的见解了。他们的势力开始引起人们的注意，并引起了科学界的兴趣与共同合作。

（6）其他技术

中世纪欧洲的技术发明虽然不多，但它有一些发明如钟表、肥皂、玻璃、围海造田等很有特色，在世界上独树一帜，很值得一提。

欧洲古老的计时方式是报时人依据滴漏而撞鸣报时。约在 11 世纪时，欧洲的能工巧匠们设计出一种巧妙的机构，就是摆轮轴和节摆件，能使轮舌往复运动，再通过一串钟机关而释放一个重体去敲打相当的时辰。这种能重复工作报时的机械就是最早的钟表。这种机械钟在 13 和 14 世纪时经常设置在教堂钟楼内。到中世纪末，人们开始普遍使用更小型的私人计时器。钟表的发明使时间在日常生活中的地位越来越重要。机械钟也是最早的能够自行调节并自己运动的现代自动机器的雏形。制钟者和其后的制表者这两项精密行业，后来成为科学上的奇技巧思的丰富来源。

肥皂是大约 2 世纪普林尼时代居尔特人的发明，到中世纪时才得到了普遍推广。当时整个欧洲都使用肥皂，肥皂的需求量很大，因此制皂业蓬勃发展起来。当时传统的制皂工艺是把草灰与水、牛脂和橄榄油混合在一起煮熬，有时再加入豆粉，就可制得绿色和黑色的肥皂。

欧洲人在与东方的接触中，学会了制造质地优良的玻璃。当时在威尼斯附近的莫拉诺等地形成了规模较大的玻璃生产中心，手工业者娴熟地使用玻璃焖火的古典技艺。由于教堂装饰急需着色玻璃窗，玻璃生产的规模进一步扩大。莫拉诺等地的制玻璃技术也逐渐传播到德国和法国。当时玻璃仍用浇注和拉丝方法进行生产，或吹成管子，然后把管子切开并弄平。玻璃的生产也导致了 1350 年意大利眼镜制造业的发展,并且因为需要眼镜而增添了磨镜片和制眼镜两种行业。眼镜的使用无疑是促进人们进一步去研究光学的。

围海造田是欧洲人的壮举。从 10 世纪起欧洲不少国家开始向海洋进军，围海造田。为了保障安全，大部分低地国家筑堤坝防止海水侵蚀。修堤工采用粘土、芦苇、海草等材料加固堤坝，并在堤坝前面建造栅栏作进一步的保护。堤坝内的沿海浅沼泽地则改造成为良田。这种大型的民用工程也促进了不少工程技术的诞生。例如为了排除新辟土地内的积水，必须修建闸门利导流坝。而导流坝和闸门是不利于航运，尤其是大型驳船航运的，这就促使人们作进一步的探索。14 世纪初拦河坝闸就是这样应运而生的。

2.中国生产技术

隋唐五代，特别是盛唐时期，“河清海晏，物殷俗阜”，“左右藏库，财物山积，不可胜数。四方丰稔，百姓殷富”。生产技术高度发达，进入了中国封建社会的鼎盛时期。

封建经济的根本是农业。唐前期的经济繁荣，主要也反映在农业生产的发展上。这一时期的农业有了很大发展，人民“田畴垦辟，家有余粮”，国家“库藏皆满”。天宝八年（公元 749 年）政府存粮 1 亿石，以至为了增加贮量，不得不大量修筑仓库。

在农业生产发达的基础上，手工业生产也进入了一个重要的发展时期。唐政府设有专门的手工业管理机构，制定了一套完整的制度。据《唐六典·少府监》记载，唐政府规定官府工匠要接受技术工艺的训练和学习，时间按不同的工种长短不一。其中金、银、铜铁等金属的凿镂错镞等工学 4 年，车辂、乐器等制作学 3 年，还有学几个月乃至几十天的。这种对工匠的培训措施，无疑提高了工匠的技术工艺水平。因此，这时期传统的纺织、造船、矿冶、陶瓷、造纸等手工技艺都达到新的水平。技术研究方兴未艾，迅速崛起了。

公元 960 年，宋太祖赵匡胤推翻后周，建立宋朝，结束了五代十国历时几十年的封建割据局面。宋王朝统治期间，虽然与契丹、党项、女真等少数民族进行了频繁的战争。但在战争的间歇期间，不论南方或北方，各类生产技术均得到了发展。元朝在灭亡南宋，统一中国之后，加强了各民族之间的交流，而且鼓励海外贸易，使中外经济和科学技术文化的交流进入了一个新的发展阶段。因此，生产的发展，经济的繁荣，前代的积累，奖励政策以及各民族之间和中外科学技术的交流，促成了宋元时期科学技术的发达。

中世纪时期的中国，生产技术高度发达，是封建社会的鼎盛时期。这一时期，各项生产技术都有着丰硕的成果。以下就分门别类地一一介绍。

（1）农业生产技术

经历魏晋南北朝长期的分裂状态，进入到一个统一和安定的环境，这本身就对农业生产的发展有积极作用。隋唐初期所实行的土地政策，检括人口，减轻徭役等措施，也在客观上为农业生产的兴盛创造了一定的社会条件。隋唐统治者还鼓励垦殖，把增加人口，发展农业生产作为考核地方官吏的标准。因此，农民尽管受着沉重的经济剥削，但仍有一定的生产积极性，把农业经济推上了空前兴盛的阶段，创造了封建社会盛世的物质基础。尤其在南方，社会较为安定。从隋灭陈到宋朝统一南方，不到 4 个世纪中，户数增加 4 倍多。劳动力的大量增加，农业生产技术的进步和大规模兴修水利，使得南方农业生产水平大幅度提高。

农业生产技术的进步首先表现在整地技术的提高。耕地的主要工具——犁的结构，发展到唐代已相当完备。晚唐时代的陆龟蒙（？—881），除做过几年刺史幕宾，可说是一生不仕。他家有洼田数百亩，常常亲自在田间劳动，对农业生产很熟悉。所以他撰写的《耒耜经》简短而清晰，是汉晋以来难得的一篇农学著作。全文记述 4 种农器：江东犁（耒耜）、爬（耙）、■■、礰礋，重点在于记载江东犁的结构和功能。

江东犁系由 11 个部件构成。用江东犁耕地，运用自如，深浅均可。它的出现是中国耕地用的铁农具已经成熟定型的重要标志。

除犁以外，还有一种新的整地工具铁鎝也在这时出现。用它掘土，比牛

耕还深些，而且可以随手耙碎土块，很适于缺牛少耙的小农使用。

唐政府还大量兴修了农田水利工程，并加强对农田水利的管理。唐朝中央尚书省下设有水部郎中和员外郎，掌管天下水利。又设有都水监，由都水使者掌管京畿地区的河渠修理和灌溉事宜。唐朝还制定了关于水利的法律《水部工》，规定有关河渠、灌溉、舟楫、桥梁以及水运等法令。

因此，到了唐代，水利灌溉技术比以前有很大进步，特别是水车得到推广。太和二年（公元 828 年），唐文宗令人作水车样，“并令京兆府造水车，散给缘郑、白渠百姓，以溉水田”。至于灌溉工具的发明主要有：在北方有“以木桶相连，汲于井中”的水车；长江流域出现半机械化的筒车。筒车形似纺车，四周缚有竹筒，利用水流冲力，冲击轮子而旋转，把水由低处提到高处。

唐代茶树的种植遍及了 50 多个州郡，还出现了官营的茶园。名茶品种增多，饮茶形成一种风气。茶叶的生产和加工，成为农业和农产品加工的一个重要部门。

韩鄂撰写的《四时纂要》详细记载了有关茶树的栽培方法。书里不仅包括播种季节、密度、中耕、施肥、排水、灌溉和遮荫等一系列措施，而且采用沙藏催芽法和多子穴播法。沙藏催芽法至今仍有实用价值，穴播法在高纬度地区发展茶园也有现实意义。茶叶的加工在唐代也已非常考究，主要是蒸青制法，即把鲜叶采回，用蒸汽杀青，捣碎，制成茶饼，然后烘干。茶叶在 5 世纪时开始输入亚洲的一些国家，17 世纪后传入欧美，从此饮茶风尚逐渐遍及全球。

由于农业生产发展，农业技术进步，作物栽培种类和品种增加，隋唐时期的农学著作丰富多彩。根据现存目录看，这一时期的农书在专业农书方面有所发展，出现了畜牧兽医，园艺、经济作物、农具等专业性农书共计 20 多种。其中有的篇幅很大，如隋代诸葛颖撰写的《种植法》达 77 卷。比较重要的除了韩鄂的《四时纂要》、陆龟蒙的《耒耜经》以外，还有周思茂的《兆人本业》、韦行规的《保生月录》以及陆羽的《茶经》等。其中，陆羽的《茶经》也是世界最早的一部茶叶专书。

宋朝初期虽然也象前王朝一样实行一些奖励农业的措施，如课民种树，以垦田增户考核官吏，奖励垦荒，免除农器税，耕牛税等等，但是由于宋政府鼓励地主兼并土地，土地所有制到宋朝已经以地主的私人占有制为主要形式，隋唐均田法规定的那种土地国有制已经很微弱了。因此，宋代农业有三大弊端：农业人口大量逃亡；土地搁荒的情况比较严重；水利设施被破坏。元朝以漠北的一个游牧民族南下灭金，统一了中原地区，经济形态与中原很不适应，使得蒙古人把大量的农田变成牧场，中原农业经济遭到极大的破坏。直到公元 1176 年，蒙古攻陷杭州，全面接受南宋政府的统治政策，蒙古人和汉族地主才重新建起一个以农业经济为基础的封建政权。于是也陆续实行一些发展农业的措施，如设立都农司，颁发《农桑辑要》等。尽管这样，自宋迄元上下 400 多年的历史，农业技术方面还是很有特色和成就，出现了许多很有价值的农书。

陈旉（1076—？），号全真子，一生读书不求仕进，种药治圃以自给，积累了丰富的农作经验。陈旉《农书》写成于宋高宗绍兴十九年（公元 1149 年），是现存最早论述南方水稻地区的农业技术和经营的农书。全书分为三卷，上卷论田作，中卷述养牛，下卷话蚕桑，尤以上卷部分最为出色。《农

书》分别以财力、地势、耕耨、天时、六种、居处、粪田、蔳耘、节用、稽功、器用、念虑等 12 大事为纲，各自成篇，各为 12“宜”。在古农书中自成体系，独成一家之言。书中涉及了整地、育苗、中耕除草技术、烤田和灌溉等诸多方面，还专门论述了肥料，着重提出施肥要点和四种新肥源。其“用粪犹用药”的认识，既考虑了肥料种类的选择是否适合于土壤的性质，也论述到施用份量、施用时间、施用方法等，很值得重视。

《农桑辑要》是元世祖至元年间司农司撰写的一部农书，成书年约为 1293 年。今本《农桑辑要》共 7 卷约 6 万字，主要是辑录农桑著作而成。全书所引农书有《齐民要术》、《种莳直说》、《韩氏直说》、《务本新书》、《四民月令》、《四时类要》、《士民必用》、《博闻录》、《岁时广记》、《蚕桑直说》、《蚕经》、《家政法》、《琐碎录》、《陶朱公术》等 10 余种。一些失传了的宋元农学著作因为《农桑辑要》的徵引而保留了下来。它也是中国第一部官修农书。以后历朝统治者均整理农业技术资料，编行并颁发农书，推广全国。

这一时期的农学科学家还有王祯，字伯善，山东东平人。元贞元年至大德四年（1295—1300），他在安徽旌德、江西永丰任县官时，提倡农桑，注意公益，著《农书》22 卷约 30 万字。其中《农器图谱》最有价值。《农器图谱》附图 306 幅，不仅当时通行的农业机械被形象化地记录了下来，甚至古代已经失传的机械也经研究绘出了复原图，其数量和质量都是空前的。《农器图谱》展示了中国古代农业生产器具方面的卓越成就，后代的农书和类书所记述的农具大部分都以它为范本。

（2）纺织技术

经过魏晋南北朝长期分裂，中国重新统一后安定的社会环境带来了农业和手工业的恢复，有着悠久历史和雄厚基础的纺织业首当其冲地发展起来。

隋唐实行租庸调制，国家的租赋中要交纳一部分丝麻织物，由劳动力支付的徭役也可以由支付织物代替，这刺激了纺织业的发展。到了唐代，几种常见的织物，如锦、绮、绫、罗等已很普及，其中以绫、锦最为重要。

绫由绮发展而来，是一种在斜纹地上起斜纹花的织物。唐代绫的产量相当高，许多州郡均以绫充作贡品。唐绫开始追求大花纹的艺术形式，出现了所谓的“可幅盘绦缭绫”，花回循环与整个门幅相等。因为花纹大而复杂，加之交织点少，美感、手感和光泽都很好，因而很受人们的喜爱。唐代以前的锦，大都是经线显花，用一组纬线和两组经线交织而成。唐代的锦，以纬线显花的纬锦为主，以两组纬线与一组经线交织而成。纬线起花受织机的限制较小，极大地丰富织物的色彩和纹样的内容。近年来在新疆的丝绸之路上，陆续发现了不少唐代的织品，其中有不少纬锦，充分反映了唐代织制纬锦的能力，已经达到了完全成熟的程度。

由于织物花纹复杂化，唐代织造工具相应有所改进，出现了花缕束综提花机。束综就是线综，一根根提花线通过牵线，由专人（挽花工）提起或放下，产生花纹。此人工作位置在织机中部悬空而起的花楼上，与坐在织起一端负责投纬打筘的人相互配合。这种花缕束综提花机的类似装置早在秦汉年就已发明，但隋唐时作了很大的改进和提高。盛唐时大量纬锦的生产，与提花机的完善和普及是分不开的。

唐代在印花工艺上的成就，也很突出。当时的印花工艺，大致有纹缬、夹缬、蜡缬和介质印花 4 种。蜡缬出现较早，工艺过程是用蜡刀醮蜡在织物

上描绘花纹，蜡凝后投入染缺着色。由于着蜡部分不能上色，而其余全部着色，因此用沸水去蜡后就成了色地白花织物。绞缬是用线把待印的坯绸紧紧扎成或缝成多样纹样的小花，在染浴中浸染。由于结扎方式不同，拆线后即可形成不同的花纹。夹缬是将织物对折，夹于镂花型板之间，刷色浆，解去夹板，晾干即成。

介质印花则是唐代在印染技术上最主要的成就。介质印花是以助剂为印染原料，根据染料的性能进行浸染。介质印花有 3 种方式：1.碱剂印花，2.媒染剂印花，3.清除媒染剂印花。碱剂印浆是石灰水和草木灰水的混合液，媒染剂浆是用明矾的溶液和糊料。介质印染为人们提供了更加丰富多彩的织物，是中国古代印染技术上的一大进步。

宋元时期，中国纺织技术在隋唐纺织技术的基础上继续进步，达到了高峰。这一时期纺织技术丰富多彩，纺织机具非常先进，出现了“ 苏州宋锦 ”、“ 南京云锦 ”以及元代的金锦，更有平滑光泽的“ 行丝 ”（缎）。宋代棉花种植得到推广，棉织业也随之发展起来，较先进的棉织技术首先是在崖州黎族居住区产生的。元初以后，由著名的黄道婆北传，遍于江南。到元末时，松江已成为中国最大的棉纺织中心，有“ 衣被天下 ”之称。此外，在纺织机具方面，出现了 32 锭水力大纺车这样先进的纺织机具。还有留传至今的纺织技术名著——《梓人遗制》，该书对纺织机具记述详明，具有较高的历史价值。这两件事物均值得一提。

随着宋元时期国内外贸易和城市经济的发展，社会对于纺织品的需求量大大增加，原有的手摇纺车以及脚踏三锭纺车所生产出来的成品，已不能满足纺织手工业的需要。因此提高纺纱的速度与质量问题，成了社会提出的急待解决的技术问题。在宋代终于出现了用水力发动的多锭大纺车。王祯在他的《农书》中对水力大纺车的结构曾经作了简单的介绍。这种纺车可以安装 32 个锭子，利用水力或畜力发动。王祯赞扬这项发明创造“ 更凭水力捷如神 ”。同时极力推广这种先进的生产工具，希望能作到“ 画图中土规模在，更欲他方得共传 ”。

元代的薛景石，字叔矩，山西万泉（今万荣县）人。他为人智巧好思，继承了先辈和当代人的木工技术，加上自己长时期的实践经验积累，利用工余之暇，编写了中国古代著名的木工技术专著《梓人遗制》。其中所载的纺织机具包括：华机子（提花机）、立机子（立织机）、小布卧机子（用于织造丝麻织物的机子）、罗机子（专门织造罗类织物的木机），以及掉篾座和泛床子（用于穿综、修纬一类机具）等 6 项。对这些机具均给于总的说明和历史沿革的评述，同时分别说明其用材和功限等内容。该书对于机具的每一零件都详细说明了尺寸大小和安装位置，而且图文并茂，既有各部件的分图，又有整个机具的总图，使人一目了然。如果我们按图试制，大部分可以仿制成功。因此，《梓人遗制》是中国历史上一部很重要的技术著作。

虽然宋元时期的纺织技术已经趋于完善，但是由于封建制度的阻碍，没有导致近代工业的萌芽。例如，宋初纺织物税名有上供、供军、后来又增添了和买、预买绢、折帛钱等等。这些都是封建政府增加搜刮、涸泽而渔的手段，在功能上起着包买、包卖的作用，买卖的利润用于政府的开支和官僚的挥霍，结果把手工业资金转变成消费资金，严重挫伤了手工业者的积极性，也使他们失去了发展生产技术的能力。而且宋代封建等级制度森严，要求绝对保持士庶各等级间的界限，甚至在衣服制度上也有严格的限制，对各色人

等穿着的颜色、花纹、染襭等都有严格的规定。而元代对织物品类的限制比宋代更严。如庶人只许穿着丝绸、绫罗、纱缦；民间禁止使用绫花纱、透背、鹿胎等。这些限制无疑对纺织技术的发展是极为不利的。

（3）陶瓷生产技术

隋唐时期是中国传统陶瓷的一个重要转折时期。生产规模扩大，一些新技术和新风格开始萌芽，为宋元以后陶瓷技术的鼎盛奠定了基础。

隋唐时期，陶瓷的生产已很普及。陶瓷向人们生活的各个领域渗透，产品遍及日用器具，如炊具、茶具、酒具等。此外，唾器、便器（虎子之类）、明器等至微至贱之物，以及文具（如镇纸、砚、笔洗）、寝具（如瓷枕、灯具）各种摆设等也都用瓷烧制。为此，许多瓷窑既能生产胎质细腻、釉色光润的名瓷，也能生产成本低、质量低劣的粗瓷。

随着陶瓷生产的社会化，一些历史悠久、自然条件和技术条件较好的瓷窑，逐渐形成自己独特的艺术风格，并以此名闻天下。名窑的出现是唐代陶瓷生产发展的显著特征。

这时期名窑很多，有越州（今浙江绍兴）的越窑，浙江温州的瓯窑，鼎州（今陕西泾阳县附近）的鼎窑，婺州（今浙江金华）的婺窑，湘阴的岳窑，寿州的寿窑，洪州（今江西南昌）的洪窑，邢州的邢窑，邛州的邛窑等。这些名窑北起渤海，南到广州，西自秦州，东达于海，由此可见陶瓷生产规模之大。

隋到五代间的陶瓷基本是青、白两色。青瓷名窑有越、瓯、婺、岳、景德镇、邛等窑，都在江南，只有鼎窑在江北；白瓷名窑中的邢、定、秦、巩县、密县等窑在北方，只有邛窑在南方。所以青、白名瓷分据南北，隔江相峙，形成了“南青北白”的体系。其中白瓷技术已趋成熟。据 1958 年对唐代白碗的分析，白瓷胎中的氧化钙成分较高，烧成温度在 1200℃，非常接近现代细瓷的标准，已达到了“薄如纸、白如玉、明如镜、声如馨”的水准。于青、白以外，唐代还能生产黄、褐、酱、紫等色瓷，以及花瓷、绞胎瓷等。

举世闻名的唐三彩也是这一时期的作品。唐三彩是唐代三彩陶器的简称，属于低温铅釉陶器。主要用作明器，品类很多，花草虫鱼、童仆婢妾、楼台亭榭，各种形状都有。开元年间（公元 8 世纪初）盛极一时。

唐三彩的制法是以白黏土作胎，外施低温釉，釉中以铜、铁、钴、锰等金属作着色剂，铅作助熔剂，在大约 800℃温度下烧成。由于铅熔点低，首先熔化，其他具有各种不同颜色的金属氧化物颗粒在熔化的铅中浸润、扩散，呈现出绿、蓝、黄、白、褐、赭等多种颜色，交汇成缕缕束束、飘忽不定的图案来。颜色的多少和种类，视釉中着色金属的种类的多少、以及炼制时氧化或还原状态的不同而异。唐三彩大多有黄、绿、白三种以上的颜色。

唐三彩由于色彩绚丽多色、造型优美传神，而且反映了唐代丰富多彩的社会生活，成为中国陶瓷中的精品。唐三彩远销国外，作为最具中国风格的艺术品而受到全世界人民的喜爱。

瓷器到了宋朝，在艺术上达到了高峰。宋瓷在形体方面继承、融合了周秦古铜器的造型艺术，并以现实生活为原型，树立了美观典雅、实用大方的风格。宋瓷注重形、色、质的完美统一，因此，宋瓷在质地上追求质料的纯净和工艺处理的规整，而且釉色趋于淳厚。宋瓷于古朴中不掩丰腴，淡雅中含着深邃，既不象隋唐瓷器那样拙朴，也没有明清时期的华贵浮艳，它为陶瓷美学开辟了新的境界，是中国艺术宝库中的瑰宝。

宋元瓷器在工艺技术上也达到了更高水平，青瓷、白瓷的制瓷技术发展更为纯熟。宋代青瓷在南方以龙泉窑为代表，在北方则以浅窑（河南汝州，今临汝县）最为出色。宋代青瓷十分精致，制瓷技术已达到炉火纯青的境界，是中国青瓷发展的鼎盛期。这一时期白瓷也得到进一步发展，并且突破“南青北白”的局面，由北向南发展。白瓷以定窑（河北定州，今曲阳县）最为有名，称之为“北定”。南宋以后则以景德镇为主，称为“南定”。南定因其白度和透光度高而被誉为宋瓷的代表作品之一。

宋元时期已形成了著名的八大窑系：北方的定窑、磁州窑、均窑、耀窑；以及南方的景德镇窑、越窑、龙泉窑和建窑。其他如汝窑、官窑、哥窑等也都是一代名流，有的还能独树一帜，自成系统。它们的作品各具特色、巧夺天工，构成了瓷器工艺技术百花争艳的繁荣景象。

定窑瓷器胎细、质薄而有光，瓷色滋润；白釉似粉，称粉定或白定。碗碟等多是复烧，碗口、碟边无釉，包铜边或金银边，它的制花技术也很有特色。

磁州窑以磁石泥为坯，所以它的瓷器又称为磁器。磁州窑多白瓷黑花，或作划花、凸花，别具一格。

均窑烧造彩色瓷器较多，以胭脂红为最好。均窑的窑变是宋瓷窑变中的代表作。

耀州窑胎骨很薄，釉层匀净，器壁内外布满花纹，产品十分精美。

景德镇瓷器质薄色润、光致精美，白度和透光度最高，是宋代制瓷技术的代表。

越窑瓷器胎薄而匀，小巧细致，光泽美观。

浙江处州琉华山下，有兄弟二人以制陶为业。哥哥叫章生一，弟弟叫章生二，所烧的瓷器均冠绝天下。后人把章生一的窑称为哥窑，也称琉田窑。章生二窑称为弟窑，又名龙泉窑或章窑。哥窑瓷器“其胎质细、性坚、其体重，多断纹，隐裂如鱼子。亦有大小碎块纹，即开片也。釉以米色、豆绿两种居多，有紫口铁足。无釉之处所呈之色，其红如瓦屑。其釉极厚润纯粹，历千年而莹泽如新”（《饮流斋说瓷》）。弟窑多粉青或翠青色，与哥窑的唯一不同就是没有开片、断纹。龙泉青瓷釉色美丽光亮，非常悦目，受到后人的推崇。《春风堂随笔》就说“章窑所陶青器纯粹如玉，为世所贵。”

建窑所产黑瓷是宋代名瓷之一。大多采用紫黑色胎，胎很厚，黑釉光亮如漆，有的还有土黄色毫纹或银色斑点。

汝窑瓷器釉色以淡青为主，还有豆青、虾青、茶末等色，其色清润，釉层厚如堆脂，有的开片鱼子纹。

官窑瓷器胎釉都很薄，由于含三氧化二铁，当用还原焰烧制时，一部分还原为四氧化三铁。因此瓷胎成灰黑色，底足露胎还原较强而呈黑色，称为“铁足”。器口灰黑色泛紫，叫做“紫口”。“紫口铁足”也是宋瓷中的珍品。

宋元时期，制瓷技术有许多重要发明，如装烧技术方面的发明有宋代定窑发明的覆烧工艺，和金朝后期也是创自定窑的砂圈叠烧法，然而最重要的是釉料方面的发明。

宋代名窑各有风格，或如泪痕，或如堆脂，千姿百态，美不胜收。施釉不同是其中一个重要方面。宋元发明的新釉有石灰碱釉、乳光釉、铜红釉和钴蓝釉等。这些釉料的发明，不但提高了传统瓷类的质量，有的还导致了瓷

器新品种的出现，为制瓷技术的发展开辟了新领域。

以石灰碱釉为例。龙泉窑使用的石灰碱釉是用石灰加砻糠配成“乌釉”，再加入普通石灰釉中制成。石灰碱釉高温黏度大，不易流釉，可以把釉层涂得厚一些，避免了北宋以前习用的石灰釉因为高温黏度小、釉层薄，因而釉色显得浅薄轻浮的缺点。此外，还可以通过控制烧成气氛和温度，使釉层变幻出万千气象。例如温度低，还原气氛差，釉层中就会有较多的小气泡和未熔石英颗粒，对光线有强烈的折射作用，这就是龙泉粉青瓷；如果提高烧成温度和还原气氛，釉层颜色变深，就成了梅子青瓷。龙泉窑烧制的粉青和梅子青等青瓷使以往的青瓷都瞠目于后，代表了青瓷的真正高峰。此外，铜红釉的产生，直接导致了明清时期宝石红、祭红、郎红、桃花片等色瓷的出现，起到了别开洞天的作用。乳光釉、钴蓝釉的发明，在中国陶瓷史上也是了不起的成就。

总之，宋元时期的瓷器无论在胎质、釉料还是在制作技术上都有了新的提高。如纹饰有划花（凹雕）、绣花（针刺）、印花（板印）、锥花（锥凿）、堆花（凸堆）、暗花（平雕）、嵌花（刻嵌），以及剪纸贴花等技巧；在施釉上则有釉里红、釉里青、两面彩等手法。而且宋元时期的瓷窑结构合理，温度均匀，产品质量和数量均有大幅度的提高，有的一次可烧制 2 万件以上的瓷器。这些都表明，宋元瓷器制造技术已经达到登峰造极的境界。

（4）建筑技术

隋唐时期，以木结构为主的古典建筑体系日趋成熟。在都城建设方面，建成了规模宏大、布局严整的长安城；在土木工程方面有长达 4000 余里的京杭大运河；桥梁建筑有世界上最早的大型敞肩拱桥——赵州桥；其他如园林、寺塔建筑也达高了很高的水平。这些都标志着中国古典建筑技术的成熟。

隋唐的都城建筑技术在当时世界各国中是第一流的，其中长安城的改建更是中外称誉。隋开皇二年（公元 582 年）六月，隋文帝鉴于汉长安城狭小，不能满足当时社会政治、经济发展的需要，命令高颎、宇文恺等人在长安城东南的龙首山兴建大兴城。兴建大兴城的工程虽然是由高颎挂名负责，但整个工程的规划设计是由著名建筑学家宇文恺完成的。

宇文恺（555—612），字安乐，一生主持过许多大的建筑工程，曾在隋炀帝时升职为将作大臣、工部尚书，总土木之政 8 年之久。宇文恺在设计过程中“博考群籍、研究众说”，并用“一分为一尺”的比例（即 1：100）设计了明堂图样，做了木制模型。这是已知的中国最早的按比例绘制建筑图纸，是中国建筑技术的一大突破。

宇文恺主持修建的大兴城是一个由许多方块组合起来的体系。全市分为九个区，成“井”字形，区与区之间交通十分便利。为了解决城市供水排水以及环境美化的问题，宇文恺根据当时的地理环境和河道情况，开凿了永安渠、清明渠和龙首渠，三渠都经宫苑后再注入渭水。渠两边种植柳树，景致十分宜人，有“渠柳条条水面齐”之称。大兴城的建设还考虑了防卫问题，在城防方面利用相间的城壕组成防卫体系。

隋大兴城如此庞大的工程要求规划、设计、人力、物力的组织管理相当精确和严谨，还要认真考虑地形、水源、交通、军事防御、环境美化、管理以及经济文化等多方面因素。大兴城从公元 582 年 6 月开始兴建，当年 12 月就基本完成，第二年 3 月迁入使用，前后历时仅 9 个月。其建筑速度之快，充分显示了当时中国当时经济力量和科学技术达到了很高的水平。唐代又继

承营建，蔚成大观，重又易名为长安。隋、唐长安城规模宏大，人口众多，是当时世界上最大的城市，为后世城市建设提供了典范。

长安城的设计者宇文恺在建筑学上的另一贡献是建造了观风行殿。他采用大量制作标准化预制件的方法，实行建筑装配化，大大提高了建筑速度。据说观风行殿的构造特点是“可离合为之”，随装随拆，速度之快，“有若神功”。而且“下施轮轴”，可往来移动。隋炀帝巡幸西北边隆时，曾经设了可容纳数百人的观风行殿，“戎狄见之，莫不惊骇”。

隋唐时期，中国传统的以木结构为主的建筑技术已然成熟。唐代五台山佛光寺东大殿建于大中十一年（公元 857 年），是中国现存最早的木结构建筑。大殿面阔 7 间，进深 4 间，由立柱、斗拱、梁枋组成梁柱式的构架。殿内外柱列和梁坊互相联结，组成一个稳固的整体，并以柱的侧脚加强构架和榫卯结合。殿的外檐斗拱使用下昂和横拱，形制雄壮有力。内柱上使用偷心拱上承平阇（小方格式），殿内显得整洁明亮。屋项的曲线轮廓由各层纵横的大小梁坊和檩条标高的变化形成，出檐深远。采用宏大的斗拱承托，给人以屋顶厚重有力的感觉。佛光寺东大殿有一套明确完整的构架体系，反映了唐代木结构建筑技术的成熟。

隋唐建筑，以匠心独运的石拱桥建造技术最为驰名中外。建于隋开皇中期（591—599）的安济桥，俗称赵州桥，横跨在河北赵州（今赵县）洨河之上，是现存最早的大型石拱桥。桥全长 50.82 米，拱券净跨度 37.37 米，桥面宽 9 米，桥脚宽 9.6 米。设计者隋代工匠李春为了减低桥梁坡度，提出了割圆式桥型方案。安济桥的拱矢只有 7.23 米，大大小于半径，与拱的跨度比约 1∶5，属于坦拱，极大地便利了交通。李春最辉煌的功绩还在于对“拱肩”实行的改造。他把以往拱桥中常用的实肩拱改为敞肩拱，在桥的两侧各建两个小拱作为拱肩，这是世界“敞肩拱”桥型的开端。敞肩拱不仅可以减少主拱圈的交形，提高桥梁的承载力和稳定性，而且敞拱肩比实拱肩节约原料，又减轻桥身的自重，从而减少桥台对桥基的重直压力和水平推力。此外，汛期中还有协助泄洪的作用，建筑形象也比较美观。安济桥以首创的敞肩拱结构形式，精美的建筑艺术，标新立异的建筑技巧，在中外桥梁史上有着举世瞩目的地位。

宋元建筑处在自唐风格向明清风格转化的过程中。因此这时期的建筑既不象隋唐那样朴拙雄浑，也不似明清的浮艳华丽，而是于雄壮中带些纤巧，虽巧丽而不离于雄浑。宋元时期的建筑技术日趋成熟，其中城市建设、《营造法式》反映的木结构建筑技术、以及桥梁建筑技术都达到了新的高峰。

北宋时期汴京城（今河南开封）商业和手工业特别发达，人口多达 120 万，是 10 至 12 世纪世界上最大的城市。汴京城是一座南北略长的长方形都城，中心部位为宫城，周围 20 里。又有内城和外城共 3 层，外城周围 40 里，共有城门 12 座，水门 6 座。汴河、蔡河、五丈河、惠通河流经城内，河道和街道交叉处建有各种桥梁，仅汴河上就有 13 座。汴京城在城市建筑上打破了唐代里坊制度，居民坊巷由封闭式变为开放式。城内出现了商业街，有的商业街与住宅相互交叉。街道两边二层楼房很多，临街建楼，建设商店等。商业活动早晚不停，经常有夜市，十分热闹。汴京城对城市防火和绿化比较重视，公共游乐场所也有所增加。这表明，汴京已是一座新型城市。由于宋代战乱频仍，城防工程也极为严密：外城城壕宽 10 多丈，每个城门都设瓮城，跨河部位建立铁闸门，城墙每百步还设马面、战棚。此外，南宋的临安城（今

浙江杭州）、元大都（今北京）城市建筑也很有特色，是当时世界上最繁华的城市。

由于中国有着长期的建筑实践，北宋时对建筑技术作了一次总结。熙宁年间（1068—1077）开始组织编修建筑技术的规范，于元佑六年（公元 1091 年）完成了《元佑法式》的编写。可惜该书“只有料状，别无变造用材制度，其间工料太宽，关防无术”。因此李诫在哲宗绍圣四年（公元 1097 年）奉敕重修。

李诫（？—1110）字明仲，管城县（今河南郑州）人。他在任将作监期间，用了 3 年时间，于 1100 年编成《营造法式》一书，1103 年刊行。《营造法式》对历代工匠流传的经验以及当时的建筑技术成就作了全面系统的总结，是当时中原地区官式建筑的规范。李诫在将作供职 13 年，亲自主持过一系列大工程的修建，而且他不耻下问，亲自和工匠们一起逐项推敲研究建筑技术。因此，《营造法式》成为一代定制，不朽之作。

《营造法式》正文 34 卷。其中《总释》、《总例》2 卷，内容主要是统一名称，统一文例，使有关建筑的专有名词和术语标准化；又有《制度》13 卷，叙述木、石、砖、瓦、泥、彩绘等诸作活计的规格、形制和作法；《功限》10 卷，叙述估计工期或制订工程定额的法则；《料例并工作等第》3 卷，叙述工程用料的估算法，并根据活路的复杂程度对各工种（木、石、砖、瓦）内部进行等级划分。书中李诫根据“有定式而无定法”的编书方针，使建筑工艺标准化。最后是 6 卷图样，共有房屋仰视平面图、横剖面图、局部构件组合图、部件图、构件构造图、彩图、雕饰图、施工仪器图等多种，让使用者一目了然，便于施工。《营造法式》标志着宋代建筑技术向标准和定型方向的发展，贡献很大。

宋元时期桥梁建造技术已经纯熟，出现了不少技术上的突破。仅按结构分，出现了拱桥、梁桥、悬桥、伸臂桥、开会桥数种。如果这些形式经过组合变幻，还能生出许多巧妙的新形式。宋元时期桥梁建筑兴盛的原因是与工商业发展的需要密切相关的。这时期建造的桥梁数量很多，特别是在宽阔水面造了不少大中型桥梁，形成了中国历史上的一个建桥高潮时期，在桥梁史上占有很重要的地位。其中最著名的桥梁有泉州洛阳桥、汴京拱桥和金代中都（北京）的芦沟桥等。

泉州洛阳桥在今福建省泉州市晋江、惠安两县交界的洛阳江入海处，宋名万安渡石桥。桥长 360 丈，宽 1.5 丈，分 47 孔，建于北宋仁宗皇佐五年（公元 1053 年）四月，嘉祐四年（公元 1059 年）十二月竣工，由泉州知州蔡襄主持修造。洛阳桥位于洛阳江入海口，江面开阔，水急浪高。为了解决桥梁基础问题，建造时首创了“筏形基础”的方法：在江底抛掷数万立方巨石，筑成宽 20 米、长 1 里的石堤，然后在石堤上建筑桥墩。为了解决桥基和桥墩的联结稼固问题，建桥工匠们巧妙构思了“种蛎固基”的方法，利用海生动物牡蛎的石灰质贝壳附着在石块间繁殖生长的特性，在桥墩和桥基间大量种植牡蛎，使桥墩、桥基的石块通过牡蛎壳相互联结成坚固的整体。桥梁的安装采用了“浮运法”：先用船载石梁到桥下适当位置，潮落时，将石梁稳置在桥墩上。洛阳桥的建造凝聚了中国古代劳动人民的智慧，其中创立的许多方法，至今在桥梁工程中还广泛地使用着。

汴京（今河南开封市）虹桥建于北宋，是这一时期木拱桥的代表作。用木梁相接成拱，不用支柱，既易架设又便于通航。虹桥的组合是以木梁交叠

而成，是一种“叠梁拱”，又称之为“虹梁结构”。其整体造型轻盈，犹如飞虹飞越河上，构造又比较简单，构件能按尺寸预制，装拆都很迅速便捷。这种长跨径木桥是桥梁建筑中的杰作，在世界桥梁史上也是十分罕见的。

芦沟桥在北京西南郊，约建于金世宗大定二十九年（公元 1189 年），此后曾多次重修。芦沟桥为联拱式石桥，造型美观，坚实稳固，沿用至今。曾被马可·波罗誉为“世界上最好的、独一无二的桥。”

（5）冶金技术

近年来，考古发现了大量的唐代金银器饰。这些器饰尤其银器质地优良，这表明隋唐时期冶银术的进步。

中国含银的辉银矿（Ag_2S）往往与方铅矿（pbs）共生。因此，中国古代的银往往是从含银的辉银矿和方铅矿的共生矿中，先炼成粗铅，再提炼出银。根据 1971 年发掘的章怀太子李贤墓中 6 块炼银渣块的化验分析，以及宋代赵彦卫的《云麓漫钞》记载，有人推测唐代采用的可能是“吹灰法”的工艺：先采取黑色银矿石——辉银矿，然后根据铅和银能互相熔解的特性，在炼银时“入铅”，即加入足够的金属铅，在冶炼中把矿石中的银全部析出，再利用铅的比重较大，而与渣滓分离，然后继续炼铅银合金，使铅氧化生成氧化铅（Pb0），从而析出银。这种炼银方法就是“吹灰法”。吹灰法的使用提高了银的纯度和回收率，是古代比较先进的炼银方法。

唐代银器不仅质地优良，而且人们已经能够使用简单的车床进行切削、抛光，焊接、铆、镀、刻凿等工艺技术也达到了较高的水平，因此唐代的金银器饰加工精美、造型优美，品质优异，一直为后人所赞颂。

到了宋元时期，有色金属矿和黑色金属矿的开采都有更大的发展。当时全国有 14 处金场 56 处银场，有的银矿、铜矿甚至有 10 万人日夜开采。北宋立国后四、五十年，铁年产量较唐代约增加了 4 倍，铜增加 3 倍，锡增加 1 倍，金增加 1 倍，铅增加 4 倍。这极大地促进了冶金技术的发展。

宋元时期，中国冶金技术的重要成就在于强化炼铁炉的生产以提高产量，因此鼓风技术、燃料、筑炉技术均有很大进步。当时已有木风箱的前身——木风扇。木风扇由 2 人以上使用。开闭木箱盖板以鼓风，盖板以及木箱与风管的连接处均有一个活门，一为进风口，一为出风口。盖板扇动，两扇活门交替开闭，同时两具木风扇交叉使用，因此可以连续鼓风。这种木风扇结构牢固，体积庞大，所以风量、风压都显著提高，从而强化冶炼过程，大大提高钢铁产量。欧洲出现同类的鼓风技术要晚五六百年。中国也最早使用煤炼铁。据苏轼作的《石炭行》，我们可以知道，早在 1078 年，徐州利国监附近发现煤矿，用来炼铁，效果很好，节约了大量的木炭。欧洲使用煤炭炼铁则是 18 世纪的事情了。当时中国筑炉技术也很发达。炼铁炉所用耐火材料有瓶砂（碎陶瓷末）、白色耐火土和炭屑等。合成较好的耐火材料后，再加小麦穗和泥作为配用材料和粘结剂，既能抵抗炉渣浸蚀，又能耐较高温度。元代陈椿的《熬波图》曾经描述过当时的一种化铁炉：炉形炉口小，能减少热量损失；上口小而下部炉膛大，更能使炉料顺行，避免悬料事故；炉子下部收口，使热量集中有利于熔铁；炉脐上的窍和溜与近代炼铁炉也比较相似。这种化铁炉每化 1 斤铁用 1 斤炭，燃料耗用量很节约，可见化铁炉的结构还是比较合理的。

宋代还推广胆铜法，以提高铜的产量。宋代张甲的《浸铜要录》详细记载了胆水浸铜的工艺技术，是一部冶金技术的专著。11 世纪末，何薳《春渚

记闻》记载了白铜的生产技术。这些也都是中国古代冶金技术的光辉成就。

（6）造船技术

中国造船历史非常悠久，早在上古时代就出现了筏和独木舟。到了春秋战国时期，造船技术已有相当规模，内河航运已然很发达，甚至能作近海航行。中国造船体系的形成大约是在秦汉时期。汉代生产楼船的技术很成熟，而且出现了船尾舵、高效率的推进工具帆等，还能进一步有效利用风帆，作印度洋沿岸的远航。再经过魏晋南北朝时期的发展，为隋唐宋元时期中国造船技术的高度发展奠定了物质基础。

唐代是宋元时期造船技术高度发达的准备阶段。唐代李皋发明了车船。李皋车船的意义在于它把船舶推进器的运动方式由平动变为转动，由断续作用变为连续作用，为实现船舶机械化迈出了重要一步。可惜，这样重要的发明在唐朝一直销声匿迹，默默无闻，只是到了宋代才有了重要进展。唐代出现的海鹘船的命运也是如此，到宋代才大量制造各种新型海鹘船。

造船技术在宋元时期的发展和当时的社会背景是分不开的。由于宋代在京城大量屯驻禁军，物质供应，特别是粮食供应成为当务之急。当时交通运输主要依赖水运，为此宋初建国即疏浚河道以通水运。以后大约每年还海运江淮米 300 多万石入京城，这极大地刺激了对船舶的需要。此外，宋元时期工商业很发达。原材料的周转，商品的流通也需要依靠船舶水运。当时凡靠江河溪流能通航的州县，往往工商业也因此繁荣昌盛。因此，宋元时期的水运是国家的命脉。

为此，宋代在全国各处修建官船场。江淮以南，广东、福建等沿海地区甚至每州都有自己的官船场。官船场主要由监官、正匠和兵级组成。监官由政府派充，是管理人员；正匠是政府以招募的名义拘收的技术工人；兵级是由厢兵中调归船场使用的杂力役。官船场规模往往很大，估计生产人员在 400 人左右。此外也有一些私船场也从事船舶制造。因此，宋代船舶数量众多，名类庞杂。

宋元时期造船技术的主要成就有三。首先在动力机械方面，宋以前的造船技术的发展主要表现为船只形体的增大，当时的楼船往往高十余丈，容千百人。不过由于受动力机械的限制，无法撑驾，只能从上游顺水放下，经常“制不由人”。而宋代工匠在动力机械方面大显身手。例如宋代发展了车船。车船的构造船体与普通船相差无几，只是不用浆楫而用车、轮。车装在船上，轮列在两房船侧之外，轮周横装短木板，叫做楫。车和轮以轴相连，踏车夫用脚踏车，通过轴带动轮一起转动，轮周的楫就泼水使船行进。同时，宋代车船往往车、桨并用，以车弥补桨船动力不连续的的缺陷，以桨提高车船的机动灵活性。因此，宋代车船动力强劲、机动灵活，在中国造船技术史上独树一帜。除车船外，宋代还改进木桨船，制造了多桨船；合理利用风作动力制造帆船。这些都使得宋代船舶动力大为改观，为造船技术的发展打开一个新领域。

其次，宋元时期的造船设备也有改进。隋朝时，大船的制造还必须在水中进行。船工立于水中，以至腰以下为海水浸泡，腐烂生蛆，极为悲惨。宋熙宁中（公元 1068～1077 年），宦官黄怀信设计修造龙舟的设施时发明了船坞。方法是先凿一个可以容纳龙舟的大澳，下面置柱，架大木梁。使用时先引水入澳，龙舟驰入，然后车出澳中的水，船体下落时就停在木梁上以供修复。修完后放水入澳，船身浮起。因为澳上建大屋，作为藏船之所，故称船

坞。金朝官员张中彦又发明了滑道，用大木修治成斜坡，乘凌晨霜滑时使人拽船入水。船坞和滑道的发明改善了船工的工作条件，对船舶制造业的兴起大有裨益。

远洋巨型海船的制造是宋元时期的另一大成就。根据马可·波罗的记载，海船船身用枞木或松木制造，有 1 层甲板；船底和两舷用 2 到 3 层木板，有 4 层舱室，共有房间 50—100 间左右；一般 4—6 桅，每船 8—10 橹，每橹 4 人。大船甲板下的内舱之间采用水密隔舱，严密分隔。即使有一部分漏水，也不会流入他舱，导致全船沉没。远洋海船巨大坚固和水密隔舱保证了航行安全，促进了宋元海运的发展。例如 1281 年郑震率航海商船从泉州出发，经印度洋航线花了 3 个月时间到达斯里兰卡，为中国海运赢得了声誉。

中国造船技术独辟蹊径，自成体系。西方的木帆船是从刳木而成的独木舟发展起来的，因此其纵向主要构件是龙骨，横向主要构件是一条一条的肋骨。而有人说：“ 中国船则从竹筏演变而成，把前后两端翅起来作为船头船尾 ”。因此中国木帆船主要依靠大　的夹持，横向强度靠短间距的横舱壁，在受力较大的地方则设面梁。所以中国木帆船船尾中央比较适于装轴舵。用指南针导航，用船尾舵掌握航向和有效利用风力被称为远洋航行的“ 三大必要条件 ”。因此，欧洲借鉴了中国的造船技术，并使用了中国发明的罗盘和舵，才真正开始了海上远航，并于 15 世纪开辟了航海的新时代。贝尔纳为此高度评价中国的发明：“ 用了这两种发明物，在广阔海洋上航行就成为可以实现的，而这类航行就大部分代替了早先迂回的沿岸往来。它仍破天荒第一次开放了大洋，供人探险、战争和贸易，引起了巨大而迅速的经济和政治的效果 ”。

（7）四大发明

举世闻名的中国四大发明——火药、指南针、印刷术、造纸术，对于世界文明的影响是任何其他技术发明所比拟的：火药把骑士阶层炸得粉碎；指南针直接导致了新的地理大发现；印刷术和造纸术的推广为传播世界文化知识提供了极大的便利。可以毫不夸张地说，四大发明是照亮黑暗中世纪的第一缕曙光，是中国为世界文明作出的最卓越的贡献。

我们已然在中世纪化学史部分提到了火药的发明和传播，而指南针由于运用了大量的地磁学知识，我们在物理学史部分对它作了综述。至于印刷术和造纸术，均属于典型的生产技术，特别予以重点介绍。

印刷术有“ 文明之母 ”之称，在技术史上占有很重要的地位。隋唐时期，中国通用的是雕板印刷术，而到了宋代，活字印刷术诞生并逐步推广开来。

雕板印刷术主要包括两个工艺过程：刻板和印刷，就是把文字反写在木板上，雕刻成为阳文反字的模板，字面向上放置；然后刷墨、贴纸，揭下来后就成为带字的书页了。

雕板印刷术发明的确切日期现在还无法确认。有人认为最早可推溯到东汉恒帝延熹八年（公元 165 年），但较为可信的说法认为是在隋朝。因为据隋代费长房《历代三宝纪》记载，开皇十三年（公元 593 年）12 月 8 日，隋文帝杨坚诏书中有“ 废像遗经，悉令雕撰 ”的词句。还有一些其他的材料可以间接证明。因此，认为它出现于 6 世纪初的隋唐之际，是比较一致的看法。

雕板印刷一般选用纹质细密坚实的木材为原料，虽然木刻费时费工，但由于木刻工艺比较简单，印刷便捷，较以往传统的手写传抄优越百倍。而且费用也比较低廉，因而深受人们欢迎。雕板印刷术不断被推广和传播，到 9

世纪时已相当普遍，成为一种新兴的重要手工业部门，对人们的经济生活和科技文化生活起着越来越大的作用。

早期的印刷活动主要在民间流传，尤其在宗教活动中大量使用。这是因为隋唐时期佛教昌盛，佛像、佛经的需求量很大。而手抄绘画费时费工，根本满足不了需要。因此大量使用雕板印刷，发行量甚为可观。此外，雕板印刷术还用于刻印诗集、音韵书和教学用书，以及历法、医药等科学技术书籍的印刷。有力地推动了学术的交流与传播，极大地丰富了人们的精神文化生活。

雕板印刷术产生后，首先传入邻近亚洲各国。大约于公元 10 世纪末传入朝鲜，稍后又传入日本、越南等国。13 世纪末，通过印制纸钞住入伊朗，再从伊朗传入非洲的埃及，最后传入欧洲。欧洲现存的公元 1423 年的《圣克利斯朵夫像》就是用雕板印制的。

在唐代基础上，宋代的雕板印刷术更加发展，趋于鼎盛。不过雕板印刷虽然一版能印制成百上千本书籍，但刻板很费工费时，一本大部头书往往要花费几年时间。而且版片体积庞大，存放不便。如果印刷印量少而又不重印的书，版片用后便成了废物，很浪费人力、物力。因此，雕板印刷术进一步发展的结果是宋仁宗庆历年间（1041—1048），平民毕升发明了活字印刷术。它既能节约费用，又能缩短时间，非常经济方便。活字印刷术是世界印刷技术史上的又一次伟大的创举，影响十分深远。

毕升生平事迹已不可考。他可能是一个工匠，起初在宫中供职为锻工，后来告老回杭州。由于杭州刻书业昌盛，人人都知刻板的困难，因此毕升创意烧制泥活字。沈括的《梦溪笔谈》详细记载了毕升发明的活字印刷术的原理。

活字印刷术的基本原理，与近现代盛行的铅字排印方法完全相同。毕升用胶泥制成泥活字，一粒胶泥刻一个字，经过火烧后变硬。事先准备好一块铁板，将松香、蜡以及纸灰等混合在一起放在铁板上。铁板上再放一铁框，在铁框里排满泥活字。排满一框后放在火上加热，松香、蜡、纸灰遇热融化，冷却后便将一框泥活字都粘在一起。这时用一块平板将泥活字压平，然后刷墨印刷。一版印完，将铁板放在火上加热，松香和蜡融化后即可取下泥活字，以便再用。为了提高效率，将两块铁板交替使用，一板印刷，另一板排字。第一板印完，第二板又已排好，印刷速度相当快。同时准备好几套泥活字，可以重复使用。最常用的如“之”、“也”等字往往各有 20 多个，可以保证一板当中不至于缺字。至于生僻字，则临时写刻，烧成后马上就能使用。

毕升完成了印刷技术史上最重要的突破，但他的活字印刷效果仍不理想。由于泥字吸水性能差，用水墨印刷，笔划往往不够清晰。因此，元初著名农学家王祯又改进制成了木活字。他在所著的《农书》中，对于刻写字体，修整个木活字使其大小划一，排字上版术其平整，以及如何刷印等方法都作了详细的记述，较好地解决了木活字印刷中的一系列具体的技术问题。他于 1298 年试印了 6 万多字的《旌德县志》百部，不到一个月就完成。速度既快，质量又好。木字吸水性较强，这是当时用水墨印刷的最佳方案了。此后元代的铜活字，明代的铅活字，只有在改水墨为油墨以后才真正超过木活字。

值得称道的是，王祯采用以字就人的科学方法，创造了转轮排字架。他将活字按韵分放在轮盘的特定部位，每韵每字都依次编好号码，登录成册。排版时一人从册子上报号码，另一人坐在轮旁转轮取字，既提高了排字效率，

又减轻了排字工人的体力劳动强度。

元代的木活字印刷术成熟后很早就传入朝鲜，再经朝鲜传入日本，此后又开始向中亚传播。最近在甘肃省敦煌千佛洞发现了几百个元朝维吾尔文体的木活字，这是世界上最早的木活字实物，也证明了元代活字印刷术已然传到中亚。活字印刷术传入欧洲的路途可能是由蒙古人经俄国传入德国的。欧洲最早制造活字板的是德国梅因兹地方的谷腾堡，时间约在公元 1444 年到 1448 年之间，比毕升晚了约 400 年。

活字印刷术不仅直接影响了亚洲各国，并且直接影响了世界的文明和进步，两位伟大的科学家毕升、王祯功不可没。

四大发明之一的造纸术最早是由中国汉代的蔡伦发明。自蔡伦造纸经后，中国的造纸术不断革新和进步。到隋唐时期，纸早已代替帛、简之类，成为普遍的书写材料。由于隋唐印刷术的发明和推广，极大地促进了造纸业和造纸技术的发展，造纸作为新兴的手工业遍及全国。

造纸所用的原料最能反映出某一时期造纸工艺技术的发展程度。例如，魏晋南北朝时造纸技术已较汉代大有改观，就突出表现在除原有的麻、楮等外，桑皮、藤皮也被利用来造纸。当时北方主要使用麻和楮，南方则多采用藤皮。南方的藤纸由于质地匀细，外观整洁平滑，成为官方文书用纸，而名噪一时。因此，南北朝造纸技术水平是明显高于汉代的。

到了隋唐时期，除了传统的麻纸、楮皮纸、桑皮纸、藤纸等继续发展，同时又不断开拓利用了竹、檀皮、麦秸、稻秆等新的造纸原料。其中，竹纸的问世标志着中国造纸技术的重要突破。因为竹子的纤维硬脆易折，加工时不容易碾碎捣烂，因此，只有在当时已具备了纯熟精良的造纸技术，竹子才能被开拓成为造纸的新型原料。竹纸出现后，由于它原料多、产量大、成本低，因此竞争力很强，很快取代成本较高的藤纸推广开来。到了宋初，甚至还出现了“姚黄”、“学士”、“召公”这样的上品。

用于书法、绘画的宣纸也是在唐代问世的。这种纸产于安徽宣州（今泾县）附近，唐代称这种宣纸为“玉版宣”。当时的宣纸以檀皮为原料，因此产量很低，但质量很高。其质地细腻、洁白柔软，且经久而不变色，被誉为“莹润如玉”。至今，宣纸仍然是纸中珍品。

此外，唐代造纸中的加矾、加胶、涂粉、洒金、染色等加工技术也大有改进。因此，唐代的纸品种繁多，美观幽雅。有名的十色笺、五色金花绫纸、薛涛深红小彩笺等，都是这一时期的佳作。

宋元时期造纸进一步普及。这一时期北方的桑皮纸、江南的楮皮纸、蜀中的藤纸、越中竹纸，工艺水平很高，都享有盛誉。造纸术也传到民间。民间用简单的方法，就可以制出糊窗纸、草纸、牛皮纸等民间用纸。这种古老的方法一直流传至今。同时造纸技术和造出的纸张，也陆续传到了世界各地。造纸术与印刷术相辅相陈，携手为世界文明进步、科学繁荣作出了卓越的贡献。