学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中华学生百科全书

世界科技史话

BOOK

内部资料 非卖品

科学技术的起源

直立行走的猿

现在发现的约 2300 万～1000 万年前的森林古猿分布在欧亚非三洲，它们很可能是人类和现代类人猿的共同祖先。森林古猿成群生活在热带或亚热带森林的树上，靠摘取树上的果实和林中可食植物为生，还没有直立行走的习惯。

随着地球上气候的变化，林间出现了空地和稀树草原，一部分古猿来到地上寻找食物，它们也许是觉得用后肢站立时视野更为开阔，便逐渐采用了这种姿势，而且由于采集的食物需要携带，前肢便有了专门的任务。于是，猿学会了直立行走。

石块和木棒

学会了直立行走的一部分猿群最初用天然石块和木棒来延长肢体。有了石块和木棒，他们便可以砸碎坚硬的植物果壳，并更省力地挖出地下植物的根。如果当时它们已经有了食肉的习惯，那么石块和木棒也可以用来击杀其他动物。当然，新的生产工具也肯定是防卫敌害和与同类在偶然情况下争夺食物、地盘或异性的武器。

走出森林到林中空地或稀树草原上寻求新生活的猿群主要靠采集为生。石块和木棒提高了采集效率，但收获物大概已不如森林中那么丰富和易于取得了。很可能只是在走出森林之后，猿群才开始拣取池水溪河中的蚌蛤为食，并学会了捕食小动物，养成了食肉的习性。无疑，在采集中对可食性植物和植物果实的熟悉，在最初的肉食生活中对水生和陆生小动物的了解，是以后培育植物和狩猎、捕渔活动的经验基础。

打制石器

猿群在约 380 万年前学会了用打制的方法加工石英石、黑曜石、燧石和其他坚硬石块的方法。这种打制的产品是粗糙的、不规则的砍砸器、尖状器、刀片和多功能手斧。这对猿来说是一次工具革命，对人类来说是历史的开始。

这些经过制作的石器不但能更有效地砍砸，而且能够切割植物块茎和肉类了。于是，人类就操着它们进入了旧石器时代。

在使用旧石器的同时，早期猿人也使用木棒。生活在东非的早期猿人在这种技术基础上大约生活了 200 万年（从 380 万年前～180 万年前），终于实现了体质上向晚期猿人的进化。此后，猿人制作石器的工艺依然没有发生变化，以至一直延续到公元前 1 万年左右！但其他方面的技术进步却发生了，并且推动人类由晚期猿人向早期智人、晚期智人转化。

火的发现

猿人在技术上取得的一项决定性的进步是学会了用火。现有的材料还无法完全确定人类用火的确切时期。有的人类学家认为 380 万年前生活在东非

肯尼亚的早期猿人已经开始用火。170 万年前生活在中国境内的元谋人则肯定已开始用火了。这是人类第一次对自然力量的利用，它大大地改变了猿人的生活。

雷击电闪、火山、森林中草木的自然燃烧等，对古猿来说都是恐怖的。但已经开始用石工具采集和进行小规模狩猎的早期猿人，肯定会偶然发现被火烧过的某些植物种子和兽肉特别好吃。这一发现足以导致他们自觉地利用火。

猿人对火的利用给自己带来了极大的好处。其中最大的好处便是熟食。熟食使食物中的营养更易于吸收，缩短了消化过程，而且也使以前不宜食用的植物和动物，尤其是鱼类，可以食用了。这样便扩大了食物的来源。这对人类肢体和大脑的发育产生了极为有益的影响。

火给猿人带来的其他好处也是极为重要的。由于猿人多居住在洞穴中，火可以驱散洞穴中的潮湿，因而减少了疾病，降低了死亡率。用火照明给黑暗的洞穴内带来了光明，也给晚间的烤肉、分配食物、准备第二天的活动等带来了方便。另外，在洞外的火堆还可以驱走乘黑夜来袭击的猛兽。

守护火种是猿人生死攸关的大事。不知道远古的人类祖先懂不懂得看护好火种，不让它蔓延到洞外的山林中，免得一场火灾把自己生存空间的一切化为灰烬。但他们在某些情况下可能会用火来烧山林中的野兽。

火除了改善了人类的生活质量、给人类以更多的安全感之外，也大大扩展了人类的生活空间，造成了生活于热带和亚热带的猿人向温带和寒带的缓慢迁徙，从而使他们摆脱了人口增长或原居住地区食物来源减少带来的危机。可能正是火的利用才使猿人成为非、亚、欧三洲的旅行者。这一推测是有根据的，因为早期猿人的化石目前只在东非发现，而晚期猿人生活的领域扩大到了全部非洲、亚洲和欧洲。当然，生活于亚洲和欧洲的晚期猿人是不是由目前仅在东非发现的早期猿人迁徙而来，目前仍然是一个谜。

捕渔和狩猎

对于早期猿人来说，最主要的生产活动是采集，捕渔和狩猎是辅助性的。由于植物性的食物在各个季节的丰富程度是不同的，单靠采集显然无法摆脱饥荒的威胁。

在有了火之后，水中动物的可食性增加了，捕渔便日益成为晚期猿人的一种重要产业。但晚期猿人还没有发明网，他们可能是用石块或木棒打鱼，或下到水中捉鱼，甚至竭泽而渔。

石器和木棒自然是狩猎的最初工具，火带来的熟肉的美味无疑会激励起狩猎的兴趣，而且用火烧烤硬化过尖端的木矛也成了狩猎的新武器。这样，晚期猿人的狩猎活动就具有了相当的规模。随着晚期猿人活动领域向北方的推进，冬季的活动便需要用兽皮来遮风御寒了，这同样推动了狩猎活动的开展。同时也正是狩猎活动规模的扩大和御寒的需要，晚期猿人在后来发明了骨针，越来越多的骨器逐渐加人到石器的行列中来了。

狩猎活动给人类带来的不光是兽肉、兽皮和胜利时的欢乐，还带来了不时发生的自身的牺牲和更多的对死亡的感受。这一定深刻地影响了人类精神的发展，图腾崇拜无疑也与此有关。此外，人类在更多地以肉为食后，不少猿人也在饥饿的威胁下染上了同类相食的习气。由于猿人在生存方式改变的

过程中逐渐排除了杂乱的性关系，形成了所谓血缘家族，所以，同类相食自然主要是以袭击血缘家族之外的人类为目标的。同类相食的风气在某些原始人类中残留到很晚的时候，甚至在体质上已进化为早期智人的尼安德特人居住的山洞以外，还发现了烧过的人骨和显然是像兽骨一样被凌乱地抛弃了的人骨。

采集、捕渔和狩猎对猿人来说是兼而行之的。在血缘家族内部可能有分工，并且随着活动区域和季节的变化而改变。例如，夏季和初秋可能有较多的捕捞活动，秋天则是采集的大忙季节，冬季和春天可能是狩猎的高潮期。

人工取火

对于猿人来说，火是难以携带的。他们在举着火种向新的生活地带不断迁徙的路途中大概造成过火种的熄灭，而在新的生活环境下，火又越来越成为猿人生死存亡的条件，这便使他们产生了人工取火的强烈需要和愿望。

在旧石器时代中期生活的晚期猿人的后辈——早期智人可能终于发明了人工取火的方法。最早的人工取火方法可能是用燧石相击而引燃易燃物，或以木木相摩擦而生火。这种方法对现代人来说是困难的，但对天天同石器、木器打交道，并长期使用和依赖火的古人来说，反而能够比较容易地实现。

也许可以把能否用人工方法取火看成从晚期猿人到早期智人的一个历史分界线。显然，能够用人工方法取火的古人比自己的先辈有着更广阔的空间活动的自由。

弓箭的发明

从旧石器时代向新石器时代过渡的中石器时代（约 15000 年前），人们已经学会了把石器镶嵌在木棒或骨棒上制成镶嵌工具，但最重要的一项技术发明则是弓箭。弓箭标志着人类第一次把以往的简单工具改革成了复合工具，并且利用了弹性物质的张力。弓箭比旧式的投掷武器射程远、命中率高，而且携带方便。它首先提高了狩猎生产的效率，后来也一度是战争的重要武器之一。

这个狩猎的高效率工具的出现使人类在中石器时代猎获了大量的动物，人们可能在食物充分的条件下不一定把它们立即杀死，而让它们在附近地域生活，等需要的时候再轻易地捕杀，甚至让幼小的食草动物长大后再猎取，这样便积累了更多的动物方面的知识。高效率的狩猎活动也显然会助长无计划无节制的盲目捕杀，造成食物来源更大的不稳定和危机。而在氏族和部落形成的情况下，自然界肯定是不能满足人类日益增长的肉食需求的。这样，当人类在约 1 万年前进入新石器时代之后，便开始创造新的生产方式——原始的农业和畜牧业。这时的人在体质上也就逐步成为同我们一样的人了。

磨制石器

新石器时代是磨制石器的时代。这些磨制的石器是对打制后的粗坯细加工而成的，自然十分精美，其功能也比较专门化了，如石斧、石槌、石刀等。其次，由于人类开始了原始的农耕，还发明了掘杖、木锄、骨锄和石锄。

这个时代也是人类寻找新的生活地域和改变生活方式的时代。原来到处漫游和狩猎的一些氏族和部落开始定居下来或相对定居下来，从北纬 50 度到南纬 10 度之间的许多地方是原始农业和畜牧业的地理范围。

原始农业和畜牧业

原始农业是直接从采集业演化发展而来的。人们把采集来的早就赖以为生的野生植物果实用掘杖或石锄播种在先用火烧掉树木荆棘的土地上，到成熟后再来收获。发明木犁和利用牛、马、驴来耕种是晚一些时候的事。原始农业是对采集生活中积累起来的生物生长过程知识的自觉应用。播种了就能收获，也是人类在实践中对因果性认识的一个强有力的证明。由于自然条件的差异，世界各地所耕种的农作物是不同的。西南亚的人最早开始种植小麦和大麦，中国人最早开始种植谷子和稻子，玉米、马铃薯和倭瓜的故乡则在中美洲和秘鲁。

原始畜牧业是从狩猎活动中发展而来的。这是将猎获的一些易于驯服的动物饲养起来，并且让其在驯养条件下生殖繁衍。人类最早驯养的家畜可能是绵羊，接着是狗，以后是山羊、猪、牛、驴、象、马、骆驼等。

与采集和渔猎相比，原始的农业和畜牧业的出现是一场产业革命。因为它表明人类已由单纯依靠自然界现成的赐予跃向了通过自己的活动来增加天然物的生产。这一革命是在新石器时代发生的。它使人类有了比较稳定的食物来源，因此有了相对固定的居住地点——原始村落。同时，由于畜牧业为农业提供了利用畜力的可能，就为农业的进一步发展创造了新的条件。

陶器和铜器

原始村落中定居的人类产生了对盛装器皿的需要，这大概首先是从附近小溪或河流中向居住点取水的需要，其次是积存、烹饪食物的需要。人们发明了陶器。陶器虽然易碎，但比石器轻，可制成各种形状和不同规格，盛装水和食物无异味，它和木器同为家居生活的主要器皿。很明显，只有具有长期用火经验的人类才能发明制陶技术。而且，制陶技术也是冶铜炼铁技术的基础。

在原始村落中，由于生活和生产任务的相对稳定、劳动和收入关系的相对确定，产生了与物的生产相适应的人的生产的新形式，于是具有比较确定的婚姻关系的男女对偶婚出现了。

在稳定的母系原始社会村落里，新的技术革命又出现了，这就是金属工具的出现。对于已经掌握制陶技术的人类来说，冶炼铜并不十分困难。人们在烧制陶器的过程中有很多机会接触金属矿石，并逐渐学会冶炼它们。而用铜器作为石器、陶器、骨器、木器的补充，无论对生产还是生活来说，都是必要的。

在新石器时代晚期，人类已开始使用金、银、铜和陨铁等天然金属。在大约公元前 3000 年，人类发明了青铜。青铜是铜锡合金，熔点为 800℃左右，比纯铜低，硬度比纯铜高，易于锻制，被用来制造武器、工具、生活用具和装饰。铜器时代是青铜器成为主要生产和生活器具的时代，但石器和其他器具并没有被完全取代。

产业的发展

金属工具的使用促进了生产力的发展，同时也促使农业和畜牧业划分开来：在肥沃的河谷地带，农业逐渐成为主要的产业部门，喂养牲畜辅之。在草原和丘陵山地，畜牧业逐渐成为主要产业，耕种、垦植辅之；这便是人类历史上的第一次社会大分工：农业和畜牧业的分离。

农业具有相对固定的居住和活动地区，可以重复利用已开垦了的土地，还可以逐年熟悉掌握当地的气候和播种时节，能够更方便地利用金属工具和畜力，因而农业部落居住的河谷地带能负荷更多的人口，较快地发展起来。最初的城市便首先在适宜农耕的一些大河流域出现。这样，在以农业为主的地区，便出现了新的社会产业：手工业。

手工业直接起源于原始人制造工具的活动，所以，它的历史跟人类本身一样古老。但只是在农业和畜牧业发展到能够为人们提供相当充裕的食物来源的情况下，手工业才有可能成为一部分人的专门事业。农业和畜牧业相当程度的发展是手工业独立产生的条件；反过来，农业需要新的工具，农产品和畜产品需要加工利用，这又是发展手工业的客观动力。正是在这种情况下，在以农业为主的地区首先产生了第二次社会大分工：手工业和农业的分离。

手工业产生之后，金属的冶铸、生产工具和生活器具的制造、制革、榨油、酿酒等，都逐步成了一部分人专门从事的行业。手工业在整个人类社会发展过程中的作用是重大的，它不仅为所有其他人类社会活动提供了所需的技术、器具和物品，而且它本身成了人类智慧和生产经验凝聚和生长的园圃。

在农业部落和畜牧部落分离之后，农产品和畜产品的交换便发生了。但只是到农业和手工业分离之后，才出现了以交换为目的的商品生产。这样，也就产生了一个新的社会部门——商业。

语言、图画和文字

一些学者推测，生存于 1400～800 万年前的腊玛古猿在学会了两足行走和使用天然石块时，可能已具备了说话的能力。但他们的语言肯定是很贫乏的。

在猿向人转化的过程中，由于猿人学会了用工具来劳动，首先使血缘家族中的成员之间，后来又使不同氏族的成员之间的协作越来越多，新的思想也越来越多了。原来的简单语言声调，甚至加上眼神和手势都不能完整地表达所要交流的信息了。这样，新的词汇和语句便被创造出来，语言也就丰富和发展起来了。

人类语言的产生和发展同劳动的关系最为密切。给工具和动植物的命名、组织狩猎、分配劳动果实、调解纠纷和表达个人感情等，都成了创造词汇和新的语言表达方式的机会。当部落、部落联盟和最初的国家出现之后，许多公共事务和宗教事务都需要用语言来表达。

语言的产生对人的思维能力发展产生了巨大的推动力，使人的抽象能力、分析和归纳推理能力、表达和理解能力得到了提高。语言既推动了大脑的进化，又使人类的劳动和社会交往质量得到了提高。从现代脑科学的角度看，这是人类文明史中思维方式的第一次革命——左脑革命，它是人类由原

始的、简单的、无语言、非逻辑的、纯形象化和直觉的动物式的纯右脑思维方式向融右脑思维方式于左脑语言逻辑思维方式的飞跃，正是这一飞跃，揭开了人类文明的序幕。

在旧石器中期的早期智人出现时，图画便出现了。旧石器时代晚期到中石器时代，欧洲的晚期智人在西班牙阿尔太米拉石窟和法国南部拉科斯洞窟中创作了漂亮的野牛、野马、野猪、鹿等动物画和人像，说明他们对猎获的对象和自己的同类作了长期细致的观察。

图画是人类把自己对外部事物的印象用客观记号表达出来的第一种形式，它只能描写印象，表现自然，不能完全表现人内心的复杂思想过程和感情。

原始人创造文字主要是因为生活中需要记忆的事情越来越多了。这些事情包括：节日和祭祀日、不同集团间的协议和誓约等。个人的记忆力是不够精确的，而且对同一件事几个人可能会有不同的记忆，这样就需要寻找一种客观的方式来记载。

在一种为社会公众所公认的记录符号还未产生的时候，任何客观的记录符号都仍有很大的主观性。古人中存在着结绳记事的习惯，但每个绳结所代表的具体事件只有记录者自己才最清楚。中国古人在氏族或部落间立誓约时有刻木为契的习惯，这是为了避免相互承诺的数目引起争端而刻的信物。当然，这些刻痕的含义只有当事人才清楚。显然，图画所具有的直观而确定的优点恰好是记号所缺乏的，这样，在记录事件、事物和思考方面，二者结合就再好不过了。

通过对图画的简化和对记号的改造，人类逐渐创造出了文字。文字不仅可以用来记录事件、契约，还能用来表达人的思想感情。随着某一地区人们交往圈子的扩大，规定的记号和象形文字的含义就被越来越多的人所接受，随后在这些人中也就越来越多地创造出一些新的大家所公认的记号和符号来。这样，一种特定的氏族文字就产生、发展起来了。从古代文字到现代文字经历了复杂的演变。今日汉字的祖先可以追溯到殷商的甲骨文，一直到半坡村彩陶上的符号。而西方文字的始祖可一直追溯到古代西亚腓尼基人的文字，乃至古埃及人的象形文字和古巴比伦的楔形文字。

由于文字的产生，一种可以跨越时间、跨越空间传递信息的工具出现了。有了文字，人类有了记载的历史，人类对历史的认识更加确切和完整；有了文字，以描述人类感情和命运为使命的文学不再是口头形式的了，因而流传和影响也更为广远；有了文字，人类就可以把劳动生产经验和科学技术知识记载下来，避免这些知识在人类世代更替的自然过程中丧失。

知识的起源

人类最早的知识是生物学知识。这是因为采集是人类最早的劳动，植物性食物一开始就是最主要的生活必需品。在食用和采集中，选择和鉴别各种植物——从它们的味道、外部特征到生长条件和规律，都是原始人最关心的事。

动物方面的知识主要是从狩猎生活中积累起来的。在狩猎和食肉生活中，原始人不但捕食了弱小的动物，而且依靠石块、木棒、木矛和火杀死了比自己更强大的凶猛的动物，并了解了周围动物的习性和出没生活规律。给

同自己生活密切相关的植物和动物命名是把最初的知识概括起来的最初企图。

原始人对植物和动物知识的积累最终导致他们选择了那些丰产的植物和性格驯良的动物来养育，这样，这方面知识的积累就更快了，因为人们开始把自己的注意力更经常地集中在这些动植物身上。

人类最初的力学知识主要是从制造石器、木器和建造房屋中积累起来的。它主要是关于各种材料的硬度、强度、弹性等方面的知识。弓箭的发明是应用这些知识的杰作。在建造房屋和开垦农田中，杠杆方面的知识也逐步积累起来了，尽管这时还没有发现杠杆原理。同样，独木舟的发明说明人们已经了解了水的浮力。

医药学方面的知识是和对疾病的认识联系在一起的。在原始人的艰苦恶劣生活环境中，疾病和死亡是同每一个氏族、部落常常相伴随着的。最初在治疗疾病方面的尝试大概是休息，但这不过是病人身体对疾病的自然反映所引起的自然结果罢了。最初治病的药物大概是植物药物，后来还有动物身上的某些特殊器官。矿物性药物在有的原始人中间也有应用。在处理外科病方面，除了给伤口上敷药，还可以做一些手术处理。约 3 万年前的克罗马农人就已经能用燧石工具施行外科手术了。

无论如何，远古的人们是靠经验对付疾病的，而且大多数治疗都具有探索的性质。这一方面是由于对药理并不完全明白，另一方面是对病症也不容易判断准确。无疑，适得其反的情况是经常发生的，而且，巫术在这里扮演着相当重要的角色。

化学知识显然是从用火开始的。在此之前人们只是观察到了燃烧现象以及失去生命的植物和动物的腐朽。在有了火之后，尽管人们对燃烧中的物质变化机理以及沸水中的食物变味并不理解，但却在自己的生活中利用了化学。人工取火甚至完成了机械运动向化学运动的第一次转化。另外，制陶也是使粘土、高岭土在高温下通过化学途径改变机械性能的工艺。冶铜和冶金、冶铁就更不用说了。

国家产生之后。化学方面的杰作是发明酿酒。在中国，传说夏代的少康帝发明了酒。人们用它庆功贺喜，也用它浇愁解闷，尽管常常搞到事与愿违的地步。

天文和地理方面的知识在原始人的迁徙和夜间狩猎活动中慢慢积累起来。这些知识对他们的生活相当重要。原始人不但能清楚地辨认周围的地形，还学会了根据星辰的位置辨别方向。在乌云、闪电和雷声出现的时候，他们不是根据本能，而是根据经验知道天气的变化情况。“未雨绸缪”是这种经验的实际应用。

无论是以耕种为生的民族还是游牧部落，都需要确定季节，这就使天文学知识的积累加快了。空中最显眼的是太阳、月亮、行星的运行，恒星的方位则是相对固定的，这里的周期性容易观察到。尽管古代人类关于天文学的一切经验建立在大地不动的虚假基础之上，但地球的运行并不妨碍人们认识天空中星体运行的周期。

在原始时代，乃至整个古代，绝大多数民族的天文学都是为制定历法服务的。历法除了确定四季循环的时限之外，还确定宗教的和世俗的节日，人们用天上日月星辰的周期性作为地上生活的节律。当然，早期的天文学知识在占卜方面的应用甚至比历法方面更为重要，这是因为历法在若干年内才修

订一次，而吉凶祸福却是在人们日常生活中时时发生着的事。

考古学的资料表明，石器时代人类的数学知识是贫乏的，这大概是因为那时的人类生活中需要计算的东西实在是太少了。数学是从抽象开始的，而抽象能力的培养是需要时间和条件的。当然，记数能力在石器时代肯定已产生了，简单的加减算术也已能够进行，并且在猎物的统计和分配中得到了发展。对于畜牧部落来说，统计牲畜的数量当然会提高计算能力；对于农业民族，尤其是在肥沃的河谷地带的有限土地上耕种的农业民族来说，丈量土地使几何学发展起来了；在商业发达起来之后，市场上交换的需要使算术得到了发展。

宗教和科学的起源

人类意识苏醒的幼年，相对于自己的生存环境的力量是弱小的。尤其在漫长的旧石器时代，人们对自然环境的控制和利用程度是相当微弱的。在利用原始工具从事采集、狩猎的原始氏族和部落中，人们所积累起来的那些关于自然界事物的知识只能使他们从经验上来认识自身的力量，而不可能从理性上来认识自己的力量。

然而，人类生活的大自然中的现象却是无比丰富的：大气层中经常变幻的风云雷电，太空中的星座和运行着的日月星辰，宁静的湖泊，奔流的江河，神秘的海洋，养育万物的山林原野和四季的变化，植物的枯荣和动物的生长衰亡，以及人自身的生老病死，偶然出现的地震、洪水、山崩，采集、捕渔、狩猎时的机遇，杀死动物时的兴奋和时常产生的对兽尸的恐怖，对作战时死亡的恐惧，杀死对手时的兴奋和对报复的畏惧等等都成了刚刚从朦胧中苏醒的幼年人类意识所不能理解的神秘力量。于是，原始宗教便产生了。

在众多的自然现象中，给幼年人类的心灵以最深刻的印象的大概是自身的死亡了，确切地说，是同类的死亡。为什么朝夕相处、天天生活在一起的人会溘然逝去，不再复生？当他们去了之后，往日的音容和遗物依然伴随着活人们的生活，但在真实的世界中却永远不会再遇到他们了，可是偶然情况下，活人会在梦境中与死者相聚。这样一个生命的秘密困惑着原始人。他们试图以自己的朴素方式来消除这一困惑：把灵魂理解为同肉体相分离的东西，死亡只是灵魂的一去不返，躯体生命的丧失只是灵魂离去的结果，而不是原因；梦寐则是灵魂暂时离开躯体的现象。基于这种理解，原始人常常把死者生前用过的工具和一些食物作为殉葬品，这说明人们已经相信人死后还有生活，还需要和活人一样的物品和食物。一般的氏族成员或未成年人的去世所引起的只是悲伤和惋惜；哺育了大量子女并且作为生产指挥者和生活组织者的祖先去世之后，人们除了悲伤之外，还要重新思考自己家族的前途和命运，甚至重新安排生活，而这种重新安排当然最好能得到死去长者灵魂的护佑。于是，祖先崇拜自然就产生了。在古埃及人和中国人中间都能找到祖先崇拜最典型的形式。古埃及人在生前就开始关心死后的生活，修筑陵墓和制作木乃伊是一件十分重要的世俗事务。中国古代人的祭祖则是一件十分神圣的事情。

图腾崇拜是旧石器晚期发生的事。这个时期也是人类狩猎生活的黄金时代。对北美的印第安人来说，一种动物一旦被部落奉为图腾，它便幸运地受到保护。在特殊的场合举行仪式时吃图腾的肉，被认为是从祖先身上获得力

量的方式（现代国家选择某种动物或植物作为国家的标志时，已剔除了远古图腾崇拜的宗教内容，仅仅继承了其包含的艺术、感情和美学遗产）。

自然崇拜是新石器时代才产生的。这是由于农业和畜牧业的发展使人们不再去浑然一体地理解自然现象了，而是把其中与自己的生活密切相关的一些现象——土地、山、河流、雨、太阳、月亮作为生存的护佑神来崇拜。由于自然崇拜发生最晚，而且是在人类跨入文明门坎前发生的，所以它给文明人类留下了最清晰和最丰富的记忆。几乎在所有古老民族的早期文明中都能发现大量的自然崇拜形式。

祖先崇拜、图腾崇拜和自然崇拜是蒙昧和野蛮时期的人类处理自己同还不能理解的自然界之间关系的一种方式。人类在自己不能理解和控制的自然现象面前，便幻想是神在主宰着它们。于是人们便创造出了各种各样的神，并企图通过对神的崇拜来影响和控制自身不能理解和不能控制的自然。为了实现这一幻想中的目标，原始人创造了各种各样的祭祖仪式（包括杀牲和杀人祭祀）、供奉仪式和巫术、符咒、佩带护佑物、抽签占卜等和神沟通的方法。所有这些活动的目标都是为了排除对自己不能理解的自然界的恐惧，祈求超自然的神的护佑，并希望借助神的力量和启示来为自己消灾祈福。

从对原始宗教的考察中不难看出，宗教是在科学还没有诞生的时代，人类处理自身同自然界关系的一种方式。宗教所预先占据的人类精神的地方正是科学将要占据的营地。在人类理智之花还未开放的时代，宗教对于人类精神是一剂虚幻的安神药。人类虽然没有从宗教中找到真实的力量，但却找到了精神的皈依。不过，这并不是一个可靠的、永恒的皈依之所。按照《金枝集》的作者英国人弗雷泽（1854～1941）的意见，当人们用巫术企图直接控制自然失败以后，就用崇拜与祈祷的方式，祈求神给予这种能力，在人们看到这样做也没有效力并且认识到天律不变时，他们就踏入了科学之门。

古代的科学技术

古代埃及和巴比伦

埃及是一块饱经沧桑的土地。它的古代历史曾一度仅仅留在历史学者们的著作中。埃及文明的起源至少可以上溯到公元前 4000 多年。

古埃及的国土实际上就是尼罗河中下游两岸的一个狭长的地带。

公元前 332 年，埃及被亚历山大帝国征服。公元前 30 年成为罗马的一个行省。公元 640 年以后则被穆斯林哈里发所统治。16 世纪 50 年代，埃及被并入土耳其奥斯曼帝国的版图。1798 年，拿破仑军队进入了这片土地，但在 3 年后被英国人赶走。直到 1936 年，英国人的势力才从除苏伊士运河区以外的地区撤出。今日的埃及是在第二次世界大战结束后的几年中才取得独立的。

古埃及人相信死后可能复活的观念，于是，他们制作木乃伊，希望死者有朝一日能够复活。制作木乃伊使埃及人积累了很多的生理解剖知识。埃及人配制药物的技术在当时也闻名于近东世界。这些药物有植物、动物和矿物。医生们对心脏血液循环的关系已经有了初步了解。埃及医学可能是当时世界上最具有理性和最发达的医学，它后来通过希腊人影响了整个西方医学。

早在 3 万年前，原始的独木舟就出现了。在公元前 6000～前 5000 年，地中海、波斯湾和尼罗河上就出现了船。在公元前 3500 年时埃及人已经有了帆船，陆上的运输则用驴驮来实现。

埃及人制订了人类历史上最早的太阳历，根据这个历，每当天狼星和太阳共同升起的那一天（公历 7 月），尼罗河就要开始泛滥，这是一年的开始。首先是泛滥季节，接着是播种季节和收获季节，这三季共 12 个月，每月 30 天，每年 360 天，再加年终 5 天节日。这个历与精确值相比每年只有约 1/4 天的差数，是今天大多数国家通用公历的原始基础。

古埃及人已懂得用十进计算，能计算矩形、三角形、梯形和圆形的面积，取圆周率为 3.16，还能进行简单的四则运算（乘法用连续相加的办法），并能解一个未知数的方程（这种方程大概是测定谷堆、粮仓容积和计算建筑用料时用的）。他们的这些知识后来成了古希腊人的数学入门课程。

古埃及人最伟大的技术成就是用不朽的石头建造成的金字塔和神庙。伟大的石建筑成了这个民族科学技术成就的历史见证，但那沉重的石块却阻碍着埃及铜铁技术的前进。考古学家发现，早在远古时代埃及人就已知道使用陨铁和对它进行加工的技术，但在古王国时人们很少使用铁。在一个金字塔的宗教铭文中发现，人们认为天幕和太阳神的宝座是用铁做成的。铁在一个相当长的年代里被古埃及人当做圣物。

东方山区游牧部落的阿摩利人，以巴比伦城为中心，在两河流域建立了一个中央集权的奴隶制大国，史称古巴比伦王国。

古巴比伦王汉谟拉比时编纂了一部法典，刻在 2.25 米高的石柱上，石柱上的图画为太阳神沙玛什坐在椅上将权杖赐给站立着伸出手接受权杖的汉谟拉比王。公元前 626 年，在古巴比伦的土地上建立了新巴比伦王国。

这个王国重建过的巴比伦城呈正方形，边长 22.5 公里，有 100 个青铜的门，幼发拉底河穿城而过，河上有吊桥，河下还有隧道。城墙里有 3 重围墙的王宫和底部每边长约 200 米的贝尔神庙。王宫中的空中花园就是希腊人看

到的世界七大奇迹之一。

新巴比伦王国时期，在天文学方面取得了很大的成就，在苏美尔人天文学的基础上规定 7 天为一星期，这 7 天分别对应日、月和五大行星。还规定 1 天为 12 个时辰，每个时辰为 120 分，每分 120 秒。这一计时体系成了今天人类计时方法的基础。

埃及和巴比伦文明发展时期，在黎巴比嫩山脉和地中海之间的狭长地带上住着腓尼基人。腓尼基人不仅是航海的能手，而且还把苏美尔—巴比伦的楔形文字和西奈半岛的迦南人根据埃及象形文字创造的西奈字母兼收并蓄、简化改造成一套通用的腓尼基字母。这套字母在被希腊人改造成希腊字母后，成为拉丁字母乃至西方大多数字母文字的基础。

古希腊

造船业是古希腊极其重要的制造业。公元前 5 世纪，古希腊人的商业帆船载重量已达到 250 吨，战舰则设计为桨帆并用的形式。

古希腊的冶铜和冶铁技术是从西亚传入的。公元前 9～前 6 世纪，山地和丘陵的耕作、手工制造业和兵器制造等都需要铁作为工具和材料，这使他们迅速地采用了铁器。

古希腊人的建筑遗产十分丰富。他们最善于运用的柱廊建筑有浑厚、单纯、刚健的多里安式，轻快、柔和、精致的爱奥尼亚式和纤巧、华丽的科林斯式。现存最著名的建筑物是石砌的雅典卫城，它是雅典城邦国家全盛时代建筑技术的代表作，屹立于卫城最高处的帕特农神庙庄严雄伟，雄风犹存。

在古希腊科学文化名人中，泰勒斯（约公元前 624～前 547 年）访问了埃及，根据埃及人的土地测量经验创立了演绎几何学，而且他还在美索不达米亚学到了巴比伦人的天文学。毕达哥拉斯（约公元前 560～前 480 年）在巴比伦住过几年，在那里研究天文学、占星术、数学和音乐（他后来到意大利半岛南端的希腊殖民城邦组织了有名的学术团体“毕达哥拉斯学派”，这个学派在科学方面人才辈出，并且传了 10 代之久）。

德谟克里特（约公元前 460～前 370 年）是古希腊著名的哲学家。他宣告：万物的本原是一种叫原子的东西，大小不等的、形状不同的原子，在位置和次序方面以不同的排列构成了万物，它的运动构成了万物的变化。此后在漫长的两千多年的时间里，许多人仍不时思考和争论着关于万物的本原问题。德谟克里特的那个最初的大胆想象，在人类科学发展史中居然占据了一个永久的稳定位置。

毕达哥拉斯学派设想地球、天体和整个宇宙都是球形，而天体的运动也都是均匀的圆周运动，因为圆是最完善的几何图形。这个假设一直主宰着天文学，甚至还主宰了哥白尼的思想，只是开普勒才把它推翻。这些最先的大胆设想给天文学的数学和几何模型提供了一个基础。欧多克索（公元前 409～前 356 年）建立了一个同心球宇宙几何模型，他是第一个把几何学同天文学结合起来的人。

对数学入迷的毕达哥拉斯及其学派的最有名的发现是对勾股定理的证明和$\sqrt{2}$的发现。$\sqrt{2}$的发现标志着人类认识的实数从有理数领域迈入了无理数领域。据说，当时这一发现使这个学派的多数人陷入了困惑，因为这个无理数

动摇了这个学派关于数的完美性的信念，那个发现者甚至被抛到了海中。

智者派学者中对数学感兴趣的人们提出了有名的三个几何作图难题。这三个难题后来被解决了。在试图解决这三个难题的过程中，希匹阿斯发明了割圆曲线。美尼克谟发现了圆锥曲线：抛物线、椭圆和双曲线。这些曲线后来成了伽利略、开普勒、牛顿等人一系列伟大发现的工具。

亚里士多德（公元前 384～前 322 年）是第一个全面认真地研究物理现象的人。他写了世界上最早的物理学专著《物理学》。他所研究的是最简单的机械运动现象。

阿那克西曼德曾想象，人是由鱼变化而来的。因为人在胚胎的时候很像鱼。这种思想在近代被进化论所肯定。希腊人中对生物学贡献最大的要数亚里士多德。亚里士多德所采用的解剖和观察方法，在生物学史上是首创的，而且他的许多研究结构都有一定科学价值。他的著作记载了近 500 种动物，他亲手解剖了 50 种动物。

毕达哥拉斯学派的阿尔克芒被称为希腊的医学之父，他在了解埃及人知识的基础上解剖过人体。他这样做是为了研究人的生理构造，埃及人却是为了制作木乃伊。阿尔克芒发现了视觉神经联系耳朵和嘴的欧氏管，还认识到大脑是感觉和思维的器官。他的工作实际上为西方解剖生理学的传统开了先河。

希波克拉底是古希腊最有名的医生。他的医学书很多，他创立的“四体液说”是当时的“四元素说”哲学在医学中的应用。希波克拉底描述了许多内外科疾病及其治疗方法，还有 42 起相当详细的临床记录。

希腊人对地理学表现出了特殊兴趣和关注。许多希腊哲学家们都绘制过区域大小不等的地图。赫卡泰所写的《旅行记》一书对地中海沿岸及其纵深地域的地理、矿产、植被、民情风俗等都有广泛生动的记录，是当时地理学的百科全书。

欧几里得生活在亚历山大城。在总结了从泰勒斯到毕达哥拉斯、欧多克索等前人的数学成果后，写出了著称于世的《几何原本》。他建立科学理论的方法为后世人所效法。

阿基米德的工作涉及数学和力学的理论和应用，他的研究方法是近代的科学家们普遍采用的方法。在这个意义上，他是一个超越了自己时代的人。阿基米德研究了球面积、体积及其与外切圆柱面积和体积之比，得出了求弓形面积、抛物线和阿基米德螺线所围面积的方法。他解决了许多难题，甚至还用圆锥曲线的方法解了一类一元三次方程。阿基米德在看到埃及人用杠杆提水后发现了杠杆原理，还发明了提水螺旋。为了鉴别工匠们给叙拉古王做的王冠是否是纯金的，他发现了浮力定律。由他发现的杠杆原理和浮力定律是古代力学中最伟大的定律，也是今天机械设计和船舶设计计算时最基本的定律之一。当罗马和迦太基作战时（第二次布匿战争），这位科学家设计守城机械来保卫自己的家乡，其中有远程投石机，这使得罗马人的舰队不敢在城附近的海岸停留。有的材料说，他发明聚光镜能利用太阳使敌人的船只起火。

总的来看，希腊化时代的哲学和科学已经彻底地分离了。那些灿烂的科学群星们，以巨大的热情和创造精神，在自己感兴趣的科学学科里埋头耕耘，琢造了不少闪光的科学明珠。

古罗马

罗马人重视技术，并且创造出了值得骄傲的成就。

赫伦可以被看成是阿基米德发明的继承者。他创造了复杂的滑轮系统、鼓风机、计里程器、虹吸管、测准仪等多种机械器具。其中最惊人的发明是蒸汽反冲球。这个发明是第一次把热能转换成机械能的技术设备，它所包含的原理实际上已延伸到了近代和现代。

最能表现罗马人技术成就的事业是建筑。从公元前 4 世纪起，罗马人为供应城市用水，逐步修筑了 9 条总长达 90 公里的水道工程。

著名工程师维特鲁维奥（公元前 1 世纪）写出了世界上第一部建筑学专著《论建筑》。这部书是对古希腊以来那个时代建筑经验的总结。

公元 70～82 年，罗马建起了可容纳 5～8 万观众的大角斗场，这是古罗马最宏大的建筑，至今残壁犹存。

罗马帝国时期四通八达的公路网总长达到 8 万公里。这些公路的设计有一定的标准，多数地段以石板铺地面，并在沿途设立里程碑，通过河流时则架设石桥。它们的残迹今天依然可见，“ 条条道路通罗马 ”的成语正是当时的写照。在这些公路的东方尽头，通过波斯高原一直和中国的丝绸之路间接地联在一起，中国汉代的丝绸传到了罗马帝国。

托勒密的天文学著作是著名的《天文学大成》，在哥白尼之前一直是欧洲人的权威。

在罗马帝国统治下，出现了炼金活动。罗马对代的炼金术士们用熔炼合金的方法炼出具有黄金光泽和颜色以及近似的其他特性的东西之后，便认为达到了目的。这种活动流行了 300 多年。公元 292 年，罗马皇帝戴里克先下令禁止炼金术士的工作，并焚烧了所有炼金术著作。

老普林尼（23～79）阅读了 2000 多种科学著作，写了一部共 37 卷的《自然史》巨著，内容涉及天文、地理、生物、医学、艺术和工艺，但主要是希腊人著作的抄录汇集。这本书保存了大量的古代资料。

古印度

通过对印度河畔的两个古代城市摩亨约 · 达罗和哈拉巴遗址的考察，人们知道这些经过规划的城市，是用烧制的砖和木材建筑的。这是世界上最早用烧制的砖建造房屋的地区。这些建筑物存在的地方也就是当时的城市国家。

由于还不清楚的原因，印度河最早的文明突然衰亡了。至今发现的 500 多个古老字母还没有释读成功，城市衰落的原因也仍然不完全清楚。

印度最著名的天文学历法著作《太阳悉檀多》讲述了测时、分至点、日月食、行星运动和简单的天文学仪器，并包括大量的数学内容。

在公元前 1 世纪，印度出现了最早的一部医学著作《阿柔吠陀》。

戒日王朝时期是印度历史上一个重要时期。中国人经常络绎不绝地到印度求学，把中国的学术和文化传播到了喜马拉雅山南方。印度的天文学、数学、医学、制糖术和佛教建筑传入中国，而中国人的十进制记数法、筹算法则影响了印度的数学。印度人在公元 500 年之后，创立了用 1、2、3、4、5、6、7、8、9 等字母记数的十进制记数法，后来经阿拉伯人传入欧洲，成为世

界科学中的一颗明珠。中医和中药在这一时期传入了印度。印度这一时期出现了《八科提要》（7 世纪）和《八科精华集》（8 世纪）两部医学重要典籍。

印度这一时期最负盛名的天文学家是圣使（生活于 475 年前后），他写了《圣使集》，在讨论了日月行星的运动后，提出了推算日月食的方法，并认为它们的运动是地球自转的结果。数学家梵藏在 628 年写出了他的《梵明满悉檀多》，最早提出了负数的概念，并且模糊地在认识到零也是一个数。

从民族学的角度看，印度不是一个封闭的社会，从雅利安人入侵以来有许多其他民族侵入这片土地。每次加入新的民族成分的过程都意味着战乱和杀戮，以及对社会财富和生产条件的破坏，历史的延续是以退步为前提的。下层人民的自由只是以反抗整个社会为前提的，但这种反抗的结果无论是胜利还是失败，都不足以摧毁不平等的社会制度。在这样一种制度下，从事农业、手工业和商业的勤劳和精明，远不如社会特权给人带来的利益多，技术自然就不可能有长足的进步。智慧的锋芒也就没有太大必要投射到生产和劳作中。除了纯粹的哲理、制定历法的天文学、一般计算需要的数学、与健康有关的医学外，力学和各类技术知识不被学者们重视，甚至连中国人和罗马人关心的农业知识也不被印度学者们重视，尽管印度也是一个农业国家。

在印度产生并影响深远的佛教的基本教义教导人们超脱社会，放弃对现实生活的追求，这对学术和技术进步以及社会改革来说，都会产生消极影响。正当西方资本主义自由发展之时，印度次大陆的财富却装备了大英帝国的工业和海军，她自身却被牢牢绑在了贫穷落后的铁柱上，而这一时期也正是印度和西方国家在经济和科学技术上拉开距离的重要时期。

中世纪的科学技术

阿拉伯人的科技贡献

阿拉伯人在各地建立了图书馆，清真寺中一般都藏有图书，另外还办了一些公共和私人学校。阿拔斯王朝的哈里发马蒙统治时，于 830 年在巴格达建立了一个编译机构，称为“智慧馆”，大批专家在这里从事搜集、整理、翻译、研究外国学术文献的工作，一直持续了 100 多年。这一时期前后，法萨里翻译了印度的天文学著作《太阳悉檀多》；哈查只翻译了托勒密的《天文学大成》；马蒙时期朝廷组织了一次测定子午线一度之长的工作，大数学家花拉子密参加了这次测量，由测量结果推算出来的地球周长已相当接近实际值。另外，天文学家苏非（903～986）绘制了著名的星图《恒星图象》；艾尔·比鲁尼（973～1048）提出了地球绕日旋转、行星轨道为椭圆的猜想；宰尔嘎里（1029～1087）在他的天文学研究中取消了水星的本轮，并将其均轮改为椭圆；欧麦尔·赫雅木所编的哲拉里历，比当时欧洲人采用的阳历还精确；雅古特（1179～1229）编写了一部著名的《地名词典》；哈兹尼对液体和固体的比重作了研究；伊本·奈菲斯接近认识了血液的肺循环；在伊儿汗国的乌鲁伯格天文台工作的卡西算出了当时最精确的圆周率。

阿拉伯人在中世纪充当了沟通东西方学术文化的桥梁作用。正是通过阿拉伯人的著作，印度数字和位值记数法传到了西方，后来影响了全世界，实际上是数学史上一次伟大的计算革命。其中大数学家花拉子密的《还原与对消》专门讨论代数问题，对欧洲中世纪的数学影响最大。白衣大食在西班牙建立的翻译学校直接向欧洲传播东方文化和阿拉伯人加工过的古希腊罗马文化。阿拉伯学者拉齐（865～925，波斯人，曾任巴格达医院院长）的《医学大全》、阿维森那（980～1037）的《医典》、伊本·海赛木（965～1039）的《光学》等，在中世纪的欧洲，很长时期都被奉为权威和经典。中国的造纸术、火药配制、炼丹术、指南针等都通过阿拉伯人传向西方。元朝时大批来到中国的阿拉伯人和波斯人，给中国带来了中亚的天文仪器和著作、回回药和回回医学，以及伊斯兰建筑艺术。

欧洲科技的“黑夜”时代

日耳曼部落入侵后，罗马帝国被肢解，统一的帝国变成了许多小国家，各个小国中的封建主盘踞一方，修建了一块块的封建主庄园。罗马时代的大型水利工程、高架引水桥、公路等都变得没有用处了。大型的角斗场、万神庙已不再像往日那样热闹，昔日喧闹的街道上长满了青草，奴隶劳动被消灭了，大庄园不见了，城内的大片土地被辟为一块块果园。从整体上看，和罗马帝国兴盛的时期相比，欧洲中世纪初期，技术上相对倒退了。

1229～1241 年，蒙古人向西扩张到了亚得利亚海滨（巴尔干半岛地区和波兰的西部），带去了纸币、中国的活字印刷术、火药和火器。生于威尼斯的意大利人马可·波罗（1254～1324）当时曾远游东方，回去后写了一本游记。欧洲人对东方获得了越来越多的了解。

中世纪晚期，欧洲的技术有了明显的进步。其中许多先进技术是从东方传来的。例如从波斯传入了风磨，从中国传入了造纸术、熔炼铸铁技术、火

药火炮、纸币、印刷术（古腾堡 1456 年用活字印制了圣经）、养蚕和制丝（555 年传入拜占庭帝国），以及阿拉伯数字、棉花、水稻甘蔗的种植等。

由于阿拉伯人在西班牙的最后一个据点一直保留到 1492 年，欧洲人通过西班牙，接触了大量东方和古希腊罗马学术。东罗马帝国晚期四面受敌，很不安宁，这里的希腊学者不断逃往意大利，为那里的文艺复兴添了一把火焰。

中世纪晚期，教会的学校（主要传授神学）逐步发展成为世俗学校（也教文学、法学、科学、哲学）。在大学中，出现了一批具有新思想的学者，欧洲的学术开始复兴。其中罗吉尔·培根（1220～1292）是牛津大学的毕业生，在巴黎大学任过教，他做过许多光学实验，曾设想用透镜组成望远镜和显微镜，提倡用实验研究自然，预言可以制成自动行走的车、自动行驶的船、飞行器等，同时，他又是一名著名的炼金家。巴黎的奥雷斯姆（1325～1382）提出了地球自转的想法，并在研究物体动物运动时引进了 v—t 图，这一方法后来影响了伽利略和笛卡尔。意大利库萨的尼古拉（1401～1464）主教用天平证明生长着的植物从空气中吸收了一些有重量的东西，提议改良历法，抛弃了托勒密的天文体系，拥护地球自转的理论。

快速发展的近代科技

近代科学的最大特点是用实验方法和数学手段研究自然界，这是人类与自然界对话的特殊方式。这一时期，科学技术的发展开始打破了国家和地域的界限，天文学、力学、数学、生物学、化学、物理学等学科都得到了系统的发展；技术也得到了全面的发展，并且促进了工业的发展。

近代科学技术是以前所未有的速度发展的，这个时期的一系列科学技术成就，直接构成了当代科学技术体系的基础。

认识天体和运动

比米开朗基罗年长两岁的波兰青年哥白尼，在意大利游学了 10 年之后，返回了波兰。开始构思和撰写一部不朽的天文学著作——《天体运行论》。1543 年，当作者老卧病榻时，这本写作、修改和保存了 36 年的书终于出版了。哥白尼在见到自己的著作后与世长辞，但这本书却引起了一场巨大的、持久的、深刻的学术思想革命。

哥白尼第一次正确地描述了水星、金星、地球和月亮、火星、土星、木星轨道实际相对太阳的顺序位置，指出它们的轨道大致在一个平面上，公转方向也是一致的，月球是地球的卫星，和地球一起绕日旋转。因而这个学说就成了近现代天文学和天体力学的真正出发点。

德国人开普勒在大学读书时，成了哥白尼学说的信奉者。

经过几次尝试和计算后，开普勒终于发现火星轨道是一个椭圆。开普勒在欣喜之余把这一发现推广到所有行星，继而发现了三条定律：（1）行星运行的轨道是椭圆，太阳在椭圆的一个焦点上。（2）单位时间内行星中心同太阳中心的连线（向径）扫过的面积相等。（3）行星在轨道上运行一周的时间的平方和它至太阳的平均距离的立方成正比。这就是著名的开普勒行星三定律：轨道定律、面积定律和周期定律。开普勒的发现使哥白尼的学说的几何简单性和完善性真正体现出来了，因而为这个学说奠定了不可动摇的基础。

伽利略（1564～1642）最初的科学生涯主要是对力学的研究。1600 年，他的名声在意大利以外传开的时候，他的一位多年离乡背井的同胞、哲学家布鲁诺（1548～1600），因为用哲学反对教廷而被烧死在罗马鲜花广场。布鲁诺宣传了哥白尼的学说，甚至比哥白尼更激进，他认为太阳也不是宇宙的中心，无垠的宇宙没有中心。当布鲁诺为自己的思想殉道的时候，伽利略已开始沿着自己的科学生涯向哥白尼学说接近了。

伽利略自己动手制造了一架望远镜，把它指向了天空。伽利略的这一举动标志着天文学研究从古代的肉眼观测进入了望远镜观测的时代。他的发现在 1610～1613 年公布时轰动了学术界，人们说：哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙。最后他在双目失明中孤独地死去。意大利的科学在伽利略之后便再没有突出的光彩了。

伽利略对现代科学最大的贡献在力学方面。奠定了现代力学的基础。

伽利略在比萨大学读书时，发明了利用摆的等时性测量病人脉搏的仪器。在对杠杆、斜面、平衡等问题，磨坊的粉碎机、扬水机、钟等机械研究的基础上，伽利略在帕多瓦大学讲授了机械学课程。

他的另一个伟大发现是落体定律。他用实验推翻了亚里士多德的权威性

意见。

伽利略的第三个重要发现是运动迭加原理。这是在研究抛体运动时发现的。

牛顿

牛顿（1642～1727）出生于英国林肯郡一个中等农户家庭，在中学时喜欢做机械玩具和模型。舅父便把他推荐到剑桥大学三一学院。1665～1666年，牛顿为避伦敦的瘟疫回到家乡爱尔索普。这期间他发现了二项式定理和流数法，开始了颜色的试验，并开始思考万有引力问题。1667年回到剑桥被选为三一学院的研究员。

1687年，哈雷用自己的钱资助牛顿，出版了牛顿的伟大著作《自然哲学的数学原理》。这本书被公认为科学史上最伟大的著作。在对当代和后代思想的影响上，没有任何作品可与之相比。它成了理论力学、天文学和宇宙学的可以补充但不可超越的理论基石。这本书包括了牛顿在力学、数学和天文学方面最重要的成就。全书的核心是牛顿的力学三定律——惯性定律、加速度定律、作用与反作用定律，以及万有引力定律。实际上这是对所有地上物体和天上物体机械运动基本规律的发现。它的历史意义是伟大的：哥白尼提出了一个正确的太阳系结构假说；伽利略发现了地上物体运动的一些基本规律，以观察事实支持了哥白尼；开普勒发现了天空中行星运动的真实状况，但他是用磁石那样的磁力来维持运动的；而牛顿则把他们的所有伟大成就统一起来了，他不仅回答了物质如何运动的问题，而且回答了物体为什么按规律运动的问题。牛顿明确定义的质量、动量和他的定律中的时间和空间概念，后来对近代欧洲的哲学思想产生了深刻的影响。他的书中阐明的基本定律成了所有力学的基本出发点。他用万有引力（日、月、地之间的引力）解释了潮汐现象，预言地球是个赤道部分略为突出的椭球。万有引力理论还导致了后来一系列天文学上的新发现。

认识生命

血液循环的发现

塞尔维特（1511～1553）是西班牙人，也是个唯一的一神教派的狂热拥护者，受到了天主教和改革派的新教两方面的仇恨。在被烤了两个小时后才活活烧死，同时他的《基督教的复兴》一书也被焚烧。这本书里记载了作者对血液循环的天才发现。

真正发现了人体血液大循环的是一个英国人哈维。

哈维（1578～1657）通过绑扎上臂血管和计算心脏血流量两个实验，发现了血液循环并且预言了毛细血管的存在。他的发现为科学的生理学奠定了基础。

细胞学说

1665年，英国人胡克在用显微镜观察软木切片时，发现了细胞。

自从胡克发现细胞以来，经过100多年的研究，一种完整的细胞学说在19世纪30年代终于形成了。1824年，法国人杜特罗歇（1776～1847）提出，动、植物的器官和组织都是由细胞组成的。

1838 年，德国人施莱登（1804～1881）发表了《论植物的发生》一文，提出了细胞是一切植物体的基本单位，植物发育的过程就是新细胞形成的过程。德国人施旺把施莱登的学说扩大到了动物界。这样便形成了适用于生物界的细胞学说，动植物的结构组织和发育过程，便在细胞的层次上得到了一种统一的解释。

生物进化论

1859 年，英国人达尔文（1809～1882）的《物种起源》一书的出版，标志着生物进化论的诞生。

根据达尔文的理论，生存斗争和自然选择是生物界的普遍规律。达尔文的著作用大量的事实和严密的论证说明生物物种不是被造物主分别创造出来的，而是由简单的物种发展演化而来的，给生命世界引入了发展变化的思想。这种思想在当时的欧洲自然引起了一场风波。达尔文学说不但引起了生物学、人类学思想的巨大革命，还影响了社会科学中的伦理学、历史学说。

认识化学

化学的独立

16 世纪时，尽管化学已经从炼金术中解放出来，变成了与冶金和制药工艺密切相关的东西，但它仍然没有成为一门独立的学科。英国人波义耳（1627～1691）的工作为化学确立了独立的目标：从炼金术、制药和冶金工艺中寻找一般的原理，使化学开始成为一门近代意义上的科学。

他的成就汇集在 1661 年出版的一本化学名著《怀疑派化学家》之中。在这本书中，波义耳提出了元素的概念。

燃烧的本质

普鲁士国王的御医施塔尔用燃素说来解释燃烧现象：任何可燃物中都含有燃素，植物中的燃素是从空气中吸收来的，动物中的燃素是从植物中吸收来的，空气助燃是带走可燃物中燃素的结果，甚至金属与酸的作用和金属的置换反应也可以看成物质间的交换燃素的结果。在几十年时间里，它甚至比波义耳、胡克等解释燃烧的学说更为流行。但燃素说有一个致命的弱点：有机物燃烧后灰渣变轻了，无机物金属在燃烧后灰渣却变重了。当氧气及其性质被发现之后，一切就真相大白了。

1777 年，拉瓦锡给科学院提交了《燃烧概论》的文章，他称这部分空气为氧气（成酸元素），从而把燃素从燃烧中驱逐了出去，用真实的原因解释了燃烧的本质。16 年后，这位化学家却因替政府承包收税而在法国大革命中被处死。但这都是莫须有的罪名。

原子—分子说

道尔顿（1766～1844）是个英国乡村的小学教师。1803 年，提出了原子论，认为物质由原子组成，并且根据一些化学实验计算出了一张最早的原子量表（以氢原子量为 1，求得其他原子的重量）。原子论的中心思想是：元素（波义耳的概念）由不可再分的原子组成，原子在化合和分解中保持原性质不变。

道尔顿的理论是在拉瓦锡用实验方法发现和正确阐明了燃烧现象后提出来的。近代化学进步的阶梯是：医药化学和冶金化学、元素说、燃烧理论、原子理论，直到元素周期表的发现。

道尔顿提出原子论后，法国人盖吕萨克提出了一个假说：在同温同压条件下，相同体积的不同气体含有同样多的原子数。当时盖吕萨克还没有分子的概念，他把化合物称为复杂原子。

1811 年，阿伏伽德罗正确地指出；原子是参与化学反应的最小质点，分子则是在游离状态下单质或化合物能独立存在的基本单位，单质分子是由相同的原子组成，化合物分子是由不同原子组成，当压力一定时，一切气体在相伺体积中含有相同数目的分子。

元素周期律

18 世纪后半叶，由于欧洲工业和技术的发展，人们陆续发现了一系列新元素。19 世纪以来，这种发现的节奏越来越快，到 1869 年，化学家们已认识了 63 种元素。

对元素的系统分类是俄国人门捷列夫（1834～1907）首先作出来的。

门捷列夫诞生在西伯利亚博尔斯克，父亲是中学校长，在彼得堡师范学院毕业后，通过考取硕士研究生进入了彼得堡大学，并在那里很快地成了副教授。1869 年，他通过长期的教学和研究，排出了第一张元素周期表，两年后又完善和修改了这张周期表，并以《化学元素的周期性依赖关系》为题发表了第二张元素周期表。他明确地指出：元素及其化合物的性质与元素的原子量有周期性的依赖关系，门捷列夫大胆地纠正了一些元素的原子量，把它们放在表中更合适的位置上（但他也弄错了几个），并且在表中留下了空格，预言了 6 个未知元素和它们的性质。不久这些元素就被一一发现了。于是，门捷列夫的周期表便成了化学的“ 圣经 ”。

认识热现象

热是一种运动

近代人们对热的研究是从测热开始的，当时人们不能把热和温度区别开来，认为二者是一回事。

培根、笛卡尔、波义耳、阿蒙顿、胡克、牛顿等人都曾认为热是一种运动，但他们没能用有力的实验来说明这个认识。拉瓦锡、拉普拉斯以及对比热研究做出最大贡献的布莱克都坚持把热看成一种特殊的物质。1798 年，由于倾向于保守党人而在革命战争中被迫逃往欧洲的美国人本杰明 · 汤普森（1753～1814）在德国监制大炮时发现：钻炮膛时，炮身上和铁屑中产生的大量热，不可能是由于空气和金属中的热质所供给的，而可能是来自钻头的运动。为证实自己的想法，他用钝钻头连续工作了两个半小时，所产生的热使大量的冷水沸腾了。1799 年，英国化学家戴维在真空中摩擦冰块，使其溶化，同样对热质说提出了质疑；真空中没有介质，两块冰的比热一样，溶冰的热量只能产生于摩擦运动。但在当时，热是一种运动的概念还未立即取代热质说。

能量守恒与转化定律

焦耳在年轻时就已经是曼彻斯特一个大啤酒厂的主人，同时也从事电磁研究。1840 年，焦耳已发现了著名的表示电流热效应的焦耳定律：$Q=0.24I^2RT$。焦耳的发现在遭到一段冷遇后得到了科学界应有的评价，从而确立了热是一种能量的概念，而支持焦耳的开尔文则把一个热力学系统的热力转化过程同气体分子内能的变化联系起来，在 1853 年给出了热力学第一定

律的数学公式：△u=A+Q。这一定律表明，如果系统在不吸收外部热量的情况下对外做功，就必须消耗自身的内能。这一定律指出，历史上企图创造的既不需要外界传递能量，又不消耗系统内能的第一类永动机是不可能制造出来的。热力学第一定律所表示的关系也可以推广到如电磁、化学等形式的能量转化过程中去，从而被理解为广义的能量守恒与转化定律。它是自然界基本的定律之一。

由于能量守恒与转化定律是处处都在起作用的普遍规律，并且包罗了各种自然界的能量转化过程，它恰好被许多人在这一时期同时独立地以不同形式、不同程度地发现了。

分子运动说

当阿伏伽德罗的分子概念在 19 世纪后半叶被人们普遍接受后，克劳修斯对宏观的热力学现象作了微观的动力学研究和解释：气体是由大量运动着的弹性质点——分子组成的，气体分子运动时，通过各个方向上的不规则的相互碰撞，交换动量和动能。气体的压力便是气体分子对器壁碰撞的总效应。运动的速率（不考虑方向的速度，作为标量的速度值）随气体的温度升高而增加，气体的热能就是分子运动的平均动能。这样，他就对气体的压力和温度作出了微观解释。克劳修斯还从若干参数出发，导出了气体温度、压力与分子平均动能之间的关系的数学表达式。

1860 年，英国人麦克斯韦（1831～1879）用概率统计的方法发现气体处于热平衡时，尽管个别分子运动的速率大小是偶然的，但从整体来说，大量气体分子的速率分布却是遵从一定规律的，在一定速率区间运动的分子数目是相对确定的。这一规律便是气体分子速率分布规律，它是气体分子论的基本规律之一。

认识电磁现象

对静电的研究

古代人们已经知道，琥珀和皮毛、玻璃和丝绸摩擦后会吸起轻小物体，这实际上是静电引力。吉尔伯特也研究过物体之间的摩擦起电现象。

在此之后，德国人盖里克（1602～1686）创造了第一台静电起电机——用手与转动的硫磺球摩擦，使球体和人体都带电。利用这种方法，他发现是可以通过金属杆传导给另一个物体，并发现了感应起电现象。

荷兰莱顿大学的穆欣布罗克（1692～1761）正在用起电机使瓶内的水带电，他的一个朋友的手接触到插在瓶中的铁丝后，被突然一击，这便是电震现象。后来，穆欣布罗克根据这个实验，发明了莱顿瓶。这种静电存贮设备的发明，使电学实验更为普遍和方便，在当时被视为一大发明。

本杰明·富兰克林（1706～1790）。这位年轻时的印刷徒工、热心于新闻事业的企业家、用勤勉和艰苦奋斗精神教导别人的说教者、以自己的名望和杰出才能在法国宫廷为危难中的新国家取得支持的外交家，也是电学研究的一个先驱。

富兰克林最著名的实验是 1752 年所做的风筝实验。根据这一实验，富兰克林发明了避雷针，这一伟大发明为工业社会的高层建筑增加了安全系数。当然，经验证明，这不是绝对的安全，因为如果放电是振荡性质的，避雷针可能失效。

电流的发现

意大利人伏特用舌头含着一块金币和银币，当用一根导线把它们连接起来时，就感到了苦味。最后认识到：金属的接触是产生电流的真正原因（当两块相同的金属接触时，只有在它们的温度不同时才会产生电流，称为温差电效应；但当不同的金属接触时，在相同温度下亦会产生电流，这是由于接触电势差造成的）。伏特根据他的发现制成了用锌板和铜板作为两极的伏特电堆，这是最早的能提供稳定直流电的电池。这一发明为 19 世纪电学的实验和发展提供了最重要的工具。由于这一发现和发明，伏特的名字成为电势（电压）的基本单位。伏特因而被法国皇帝拿破仑邀请到法国讲学。

电动力学的诞生

对静电的研究和电流的发现，导致了电学方面的一场科学革命。

法国人安培发现：通电导体不但会对磁针发生作用，而且两根通电导体也会相互作用。当它们有同向电流时相互吸引（与静电荷不同，相同静电荷相互排斥）。当它们有反向电流时则相互排斥。在 3 年后，安培完整地发现了电流使磁体偏斜的方向法则——安培法则（右手螺旋法则），并且给出了这一法则的完美数学形式（安培定律和安培环路定律）。由于他在电动力学上的开创性贡献，使安培的名字成为电流的单位（然而，安培生前的生活并不如意，他的父亲在革命中被斩首，这使年轻的安培精神上受到了刺激。他的晚年是在荣誉后面的忧虑和苦恼中度过的）。

更重大的发现接踵而来。英国大化学家戴维的助手法拉第（1791～1867）自 1822 年以来一直思考和尝试着把磁转化成电的设想。他试图用磁产生电。1831 年，他终于成功了。他在实验中发现：当原线圈中的电流接通或断开时的瞬间，连接的次级线圈中会产生电流。他在反复实验中认识到：当闭合电路的磁通量发生变化（磁场强度发生变化）时，线路里就会产生感生电流，感生电动势的大小与闭合线路中磁通量的变化率成正比。同一时期，美国人亨利（1799～1878）甚至比法拉第更早独立地发现了电磁感应现象，但法拉第在 1825 年便担任了英国皇家研究院院长，由于他的地位和他对电磁世界的理论解释，使他的影响大大超过了亨利。电磁感应定律的发现，为发电机和电动机的制造奠定了理论基础，而法拉第也是这方面的先驱。

电磁学理论的大厦是由英国人麦克斯韦（1831～1879）最后完成的。在领略到法拉第成就的意义之后，麦克斯韦企图用完善的数学形式来表达它。1862 年，他论证了位移电流的存在，并预言：变化着的电场和变化着的磁场会相互连续地产生，以波的形式向空间传播。这便是电磁波。10 年后，麦克斯韦便把包括库仑、高斯、欧姆、安培、毕奥和萨伐尔、法拉第等人发现的定律以及他本人的位移电流理论概括为一组积分形式的方程式（共 4 条），并因此导出了电磁场的波动方程。由于式中电磁波的传播速度就等于当时测出的光速，麦克斯韦便预言：光也是一种电磁波。他的理论成了反映电磁运动基本规律的普遍理论。麦克斯韦 1873 年出版的《电磁学通论》与牛顿的《自然哲学的数学原理》和达尔文的《物种起源》同样被视为科学巨著。

认识光现象

光的本质和特点

光是光子的运动。它是光源中原子或分子中的电子运动状态发生变化时

辐射出来的光子的运动。

他还最早开始全面地研究光。他发现，点光源发出光的强度随着被照物体与光源距离的平方成反比减弱。他还发现，光从玻璃中折射到它与空气的界面上时，如果入射角大于 42 度，就会发生全反射。

1621 年，荷兰人斯涅尔（1591～1626）发现了光的折射定律。

荷兰人惠更斯在波动光学上贡献最大。他发现了惠更斯原理——介质中波动传播到的各点都可以看作是发射子波的波源，任意时刻这些子波的包络就是新的波前。

牛顿在光学研究方面也是成果累累。他几乎总结了当时人们在光学方面的所有成果——反射、折射、干涉和颜色。他用棱镜分解了太阳光，说明了白光中包含了 7 种颜色光，发现了牛顿环，并定量解释了牛顿环和薄膜干涉，还提出了对以后光学和物理学发生了重大影响的问题。牛顿这方面的成就集中体现在他的《光学》一书中。根据他的大多数观点来看，他似乎把光看作光源向各个方面阵阵簇射出来的粒子流。

红外线和紫外线

1800 年，天文学家赫歇耳发现在太阳光谱线的红外端以下所放的温度计明显地受到了热辐射，从而发现了红外线。紫外线不会产生显著的热效应，但却会产生一些化学效应。通过这个途径，英国人沃拉斯顿和德国人缪勒（1809～1875）先后发现了紫外线。

1814 年，德国人夫琅合费（1787～1826）用他制成的分光镜发现了太阳光谱中的暗线——夫琅合费暗线。他改进仪器后仔细观察，暗线竟达几百条！当他把分光镜对准月球、金星和火星时，在这些星的光谱里也发现了那些暗线，这一研究开创了天体分光学。后来，基尔霍夫（1824～1887）和本生（1811～1899）对这些暗线的研究和解释表明，它们同太阳上的元素成分有关。这一点，开始从化学上证明，天体和地球都是由同类化学元素构成的。

近代技术的发展

纺织机器的革命

牛顿时代科学的发达又给英国人增加了精神上的优越感。一次悄悄的但却是影响深远的技术革命随之发生了。这场革命是从英国最发达的、为海外贸易而生产产品的纺织部门开始的。

1733 年，凯伊发明了飞梭，从此人可以不再用手抛梭织布了，织布效率大大提高，使手工纺纱供不应求。5 年后，惠特制出了滚轮式纺纱机，这样又不用手指纺纱了。

1764 年，哈格里沃斯（1720～1778）把单绽纺车改造成了多绽纺车，引纱和捻纱都实现了机械操作，纺纱效率提高了十几倍。他以自己女儿珍妮的名字称呼这个能纺出细纱的杰作。1768 年，理发师阿克莱特可能是剽窃了木匠海斯的设计，制成水力带动的滚筒纺纱机，它能纺出不够均匀但却坚实的纱。1774～1779 年间，当过童工的工厂主克伦普敦（1753～1827）综合了哈格里沃斯和阿克莱特机器的优点，制出了骡机——它效率很高，纺出了既结实又均匀的纱。这样又改变了纺织业的局面：在纺纱机面前，飞梭已嫌太慢。1785 年，牧师卡特赖特（1743～1823）发明了自动织布机。这些机器的应用使工厂的生产能力和利润直线上升，机器成了摇钱树。尽管它因造成工人的

失业而遭到了反对，但仍然逐渐在整个纺织业中迅速推广开了。到 1800 年时，英国的纺织业已基本上实现了机械化。

蒸汽机的完善

1784 年，曾在格拉斯哥大学当过仪器制造工人的瓦特（1736～1819）把纽可门的汽压机变成了能在各个工业部门应用的动力机，完成了在工业中将热能转化成机械能的伟大勋业，使他的名字成为工业革命的象征。

瓦特出生在苏格兰偌克镇，他祖父教授数学。瓦特小时候，家里墙上挂着耐普尔和牛顿的画像，培养了他对科学的好奇心。他 13 岁时就在父亲的作坊里制造出一些机械模型，这使他后来选择了实验室工具制造者的职业。瓦特懂法语、意大利语和德语，他是一个博学和智力敏锐的人，对哲学、诗和音乐也有兴趣。

蒸汽机这样一个巨大的发明是不能在实验室中进行的，建造和实验都需要齐全的设备和人员。因此，布莱克教授把瓦特介绍给了他的朋友—工厂主罗巴克。他们合伙研究和应用，后来罗巴克破产，他们的合同被转让给博尔顿。瓦特的蒸汽机终于在同后者的合伙中成功，成为工业中的动力机：具有曲轴连杆、飞轮和离心调速器的双向蒸汽机。蒸汽的膨胀力在这里被转化成了均匀的机械的圆周运动，成了所有工业的普遍动力。蒸汽使工业发展起飞了。

印刷术的革命

欧洲最早的印刷机是古腾堡于 1450 年制成的，和古代一样，古腾堡的印刷是靠手工排字进行的，造纸、印刷、装订也都是专门的手工作业。这种方法在欧洲持续了约 350 年。

1798 年，法国人尼古拉·路易·罗贝尔发明了长网造纸机，并随后将他的专利带到英国，作了进一步改进，于 1803 年展出了第一台造纸机。机器造纸的时代开始了。到 1843 年时，英国纸张的价格已降低了一半。

继造纸机之后，德国人柯尼斯（1774～1833）在机械师弗里德里希·鲍尔的帮助下于 1812 年发明了高速印刷机。1814 年 11 月 24 日用高速印刷机印刷的《泰晤士报》首次发行，这一年，柯尼斯发明了双面印刷机。高速印刷机的出现标志着印刷的机械化，是印刷术发明以来一次重要的技术革新。

交通工具的飞跃

1814 年，矿工出身的英国人史蒂文逊（1781～1848）制成了第一台实用的蒸汽机车。1822 年他建立了机床车辆厂，3 年后他建造的铁路正式通车。从此，铁路首先在英国，紧接着在欧美大陆乃至全世界延伸，成为工业的大动脉。

1803 年，得到拿破仑（1769～1821）资助的美国人富尔顿设计的蒸汽船在塞纳河上试航时断裂下沉。又过了 3 年，富尔顿的蒸汽船“克利蒙梭”号在北美的哈得逊河上试航成功了。在瓦特去世的 1819 年，美国人制造的装有蒸汽动力的帆船“萨凡那”号满载棉花，用 29 天走完了哥伦布 72 天的航程。燃料动力船满载着工业原料和产品在各大洲之间穿梭，它把世界各大洲迅速地联结起来了。这样，古老的帆船就永远退出了远航的行列。

与化学有关的工业

1735 年，亚伯拉罕·达比发明了焦炭（在抽去空气的炭窑中烘烤煤，产物为焦炭、煤气、煤焦油）。从此，煤成了炼铁的燃料。瓦特的蒸汽机出现后，煤成为工业动力机的燃料。炼焦产生的煤气和天然煤气也被用作煤气灯

和煤汽机的燃料。世界采煤量自工业革命以来迅速上升，煤不但一直是城市和农村的家用燃料，并且由于化学的进步，使它成了化学工业的重要原料。

纺织工业需要有稀酸来加工纺织纤维。1746 年，英国医生罗巴克发明了用铅室法生产硫酸的方法，后来在伯明翰建立了首批硫酸工厂。纯碱是制造玻璃和肥皂不可缺少的东西，在织物的漂、染、印过程中，它和硫酸一样重要。而且，生产纯碱的初级产物中还有硫酸。因而，纯碱制造成了 18～19 世纪相当重要的化学工业。

当硫酸厂、制碱厂在法国、英国和德国纷纷建立起来的时候，德国人李比希把他的化学研究成果应用到化学工业中，通过宣传和实验指导，首先使 19 世纪 40 年代的德国，紧接着是英、法两国，出现了第一批生产磷肥和钾肥的化肥工厂。

19 世纪化学家的发现使新的化学工业出现了。1856 年，年轻的英国化学家珀金（1837～1907）首次合成苯胺紫。这是第一个人工合成的染料。以前各种染料只有从植物和动物中才能提炼出来。英国人由于能从广阔的殖民地便宜地获得这种天然染料，起初对它并没有强烈的兴趣。但不占有殖民地却急于发展的德国人对它产生了极大的兴趣。

由于很多化学工厂是从药铺或大药房发展起来的，医生和药物学家们常常是化学家。19 世纪后半叶，在化学工业中诞生了制药工业。19 世纪 80 年代，成批生产的合成药剂进入了市场。进入 20 世纪以来，这些药物的种类迅速增长，日益繁多。在最初的合成药剂中，只要举出阿司匹林、佛罗那和德国病理学家保罗·艾利希所发明的“ 606 ”，就足以说明这类新产品对人类生活的影响了（到 20 世纪，西医主要是用合成药剂和新发明的抗菌素类药物做药物治疗的）。

19 世纪化学工业的另一项伟大发明是瑞典化学家和工业家阿尔弗雷德·诺贝尔（1833～1896）于 1863 年发明的安全炸药。他的发明为采矿、工业及筑路提供了爆破物。几乎所有工业国家都根据他的专利兴建了诺贝尔炸药厂。这一专利和经营俄国巴库油田的利润给他带来了万贯家产。19 世纪后半叶，无论是军用火药，还是民用的炸药，都已经由化学工艺生产，而不再用人工方法配制了。

19 世纪的机器制造业、枪炮制造、火车机车、铁轨和轮船的制造，使对钢铁的数量和质量的要求以空前速度增长。矿山的规模在日益扩大，矿山设备在日益更新，18 世纪的土法炼铁炼钢法已大大不能满足要求了。

1855～1865 年间，英国工程师贝塞麦（1813～1898）发明了转炉炼钢法。这种方法在熔化了的生铁中吹入空气并加入高锰铁水，去除了杂质，并控制了含碳量，炼钢的新纪元开始了。当转炉同传统的高炉在欧洲冶炼厂同时矗立起来之时，1861～1865 年间，德国的威廉·西门子（1823～1883）和法国的马丁（1824～1915）又发明了平炉炼钢法。这一方法提高了炉内的温度。至此，高炭钨锰钢、钨铬钢和高速工具钢等，都先后被炼制出来。1878 年，英国人托马斯发明了具有良好脱磷效果的碱性转炉炼钢法。这样，就为机械加工中的刀具和机械制造提供了更多可供选择的材料。即使是在 20 世纪，钢铁工业也依然盘踞在最庞大的重工业前列。

通讯

美国人贝尔（1847～1922）在实验中实现了用电传递声波，于 1867 年发明了电话。这是比电报更方便、更直接的信息传递技术。10 年后，贝尔创办

了电话公司，并在 3 年内安装了 5 万多部电话机，使美国相距 80 公里的城市之间有了长途电话。由于爱迪生和英国人休斯发明了新的话筒，以及交换机和自动拨号机的问世，电话得到了改进。1969 年，由贝尔集团发展而来的美国电话电报公司已拥有 1 亿部电话分机。今天，美国人每 2 人平均一台电话机，而全球每个主要地区的人都可以通过电话直接对话。电话缩小了人类的语言空间，加快了社会信息流的传递和反馈速度。

爱迪生于 1877 年所发明的留声机是用在锡箔或锡管上刻声迹（沟纹）的方法来保存和重显声音的装置。这一发明首先把音乐带进了家庭。后来，由于丹麦人波森在 1898～1900 年间发明了磁录音带，留声机便逐渐改进和发展成为现代录音机。它和无线电广播一起，成为人们文化生活的一部分。由于录音设备能把声音保存下来，并在需要的时候重放，实际上它也和现代摄像设备一起，成了保存人类历史片断的魔箱。

照相术

1871 年，英国医生麦道克斯发明了干板。接着，美国人乔治·伊士曼（1854～1932）改进了干板，并发明了卷式底片。在他的努力下，照相底片开始工业化生产。1888 年，伊士曼将装卷式底片的柯达相机推上市场，从而打开了轻便摄影之门。用伊士曼做广告时的话说：“你只要按下快门，其余由我们来处理。”从此，摄影技术开始普及。

随着摄影器材、底片材料和洗印技术的改进，黑白照相能由光线把自然景物和人的形象一丝不差地在平面上复印出来，开始把陌生遥远地方的自然景象逼真地呈现到人的面前，并使那些请不起肖像画家的普通人能通过摄影把本人的肖像留存于世间。摄影术的诞生也深刻地影响了艺术的发展。19 世纪后期，肖像画家的生意已不如往昔兴隆。画家的作品从此只有艺术的意义了。当然，摄相机不但利用阳光体现了真实的影像，而且也可以进行艺术摄影。

突飞猛进的现代科技

20 世纪的物理学革命

一系列的新发现

英国人克鲁克斯（1832～1919）在 1879 年，发现阴极射线是一种高速带电粒子流。后来，汤姆生将这种微粒称为电子。1906～1914 年间，美国人密立根，测出了精确的电子电量值。

电子是人类发现的第一个基本粒子，它是古代原子论者和道尔顿都不曾想到过的东西，预示着原子还存在着不同的成分。继电子之后，物理学家们至今已发现了 400 多种基本粒子。

1895 年，德国人伦琴（1845～1923）研究阴极射线激发玻璃壁发生荧光时，偶然发现放电管附近用黑纸密封的照相底片感光了，这说明管内发出了一种能穿透底片封层的射线。他称这种新的射线为 X 射线。

X 射线很快被应用于医学上的体内异物诊断，并进而用于透视诊病和工业方面的检验分析。

法国人柏克勒尔通过反复实验，发现铀盐本身具有放射性质。

法国人皮埃尔·居里（1859～1906）和他的波兰妻子玛丽·居里（1867～1834）在了解了柏克勒尔的工作后，发现了新的放射性元素钍，接着又从沥青铀矿中分离出了放射性比铀强 400 倍的钋（取此名以纪念居里夫人的祖国波兰）。经过 45 个月的艰苦努力，1902 年，居里夫妇从几吨青铀矿渣中分离出 0.12 克的氯化镭,它的放射线是铀的 200 万倍 !它几乎能穿透一切东西。

德国犹太人爱因斯坦（1879～1955）于 1905 年在瑞士发表了《关于光的产生与转化的一个启发性观点》一文，提出辐射在传播过程中的能量也是不连续的，并称传播中的能量子为“光量子”（后来又称为光子）。爱因斯坦的光量子理论把光的粒子性和波动性统一起来了，这种统一表现在光子的能量与光波的频率不可分割地联系在一起。至此，人们认识到光具有波粒二象性，在传播过程中，光表现为波动，在同物质相互作用的过程中，光则表现为光量子。

量子力学的建立

1925 年，德国人海森堡（1901～1976）建立了量子力学的一种数学表达式——矩阵力学。在他看来，玻尔所描述的电子在原子核外轨道上的运动模型是不可观测的，量子力学方程中只应包括可观测的原子光谱线的频率和强度。矩阵力学就是用矩阵计算方法处理这类可观测量的数学方程。在完善这种矩阵力学的过程中，海森堡得到了玻恩（1882～1972）和约尔丹的帮助。生于奥地利的瑞士人泡利（1900～1958）从海森堡的理论推导出了巴尔末关于氢原子光谱的公式。英国人狄拉克在研究过海森堡的理论与经典理论之间的本质区别后于 1927 年发表了《量子代数学》一文，使矩阵力学理论体系更加严密。

1926 年，奥地利人薛定谔（1887～1961）沿着另一条途径建立了量子力学的又一种数学形式——波动力学。

薛定谔的物质波运动方程提供了系统和定量处理原子结构问题的理论，除了物质的磁性及其相对论效应之外，它在原则上能解释所有原子现象，是原子物理学中应用最广泛的公式，它在量子力学中的地位与牛顿运动方程在

经典力学中的地位相似。

在此前后，泡利于 1925 年提出了电子自旋的概念，狄拉克得出了电子具有磁矩的结论，并提出了符合狭义相对论要求的电子量子论，开创了相对论波动力学的研究。自第一个反粒子发现之后，物理学家们逐渐认识到，一切粒子都有反粒子，它与粒子具有相同的质量、寿命和自旋，具有相反的电荷和磁矩。

1927 年，玻尔通过对微观粒子波粒二象性及测不准关系的研究，提出了著名的互补原理（并协原理）。玻尔认为，量子力学在描述微观粒子的运动规律时仍然运用着经典力学中的概念—一动量、质量、能量、频率、波长、几率等，这是自然科学的基础语言，不可能抛弃它们，但与宏观领域不同的是：在描述微观粒子运动规律时运用一类经典概念时，就会排斥另一类经典概念；但在换一种条件的情况下，则又要运用那些在原来的条件下被排斥的概念来描述微观现象。这两种描述中的任何一种都是不充分的，而且是彼此不相容的，但为了说明所有可能的实验又都是必要的。这两类彼此排斥的概念在描述微观粒子性质所具有的二重性时是互补的。

原子核物理学

1939 年 1 月 6 日，玻尔到美国出席一次物理学家会议，把原子核分裂的消息告诉了与会的科学家们，这些人兴奋无比，很多人立即着于研究，在数周内，一再证实了铀裂变的存在，并发现了铀裂变时原子核放出的巨大能量。毫无疑问，链式反应的实现，会在极短的时间内放出巨大的能量，从而为制造原子武器提供可能。

由于德国的科学家曾参与了核裂变研究，还由于当时美国的情报证实纳粹分子正在组织人力研究链式反应，在美国的物理学家中有人感到，有必要抢在德国之前尽快制造出原子弹。1939 年 8 月，一封由西拉德谋划、由最有声望的科学家爱因斯坦签名的信，经一位与白宫关系密切的经济学家萨克斯交到了美国前总统罗斯福（1882～1945）手中。1940 年，美国的物理学家们采取了共同保守有关核裂变和链式反应研究全部秘密的紧急措施。1941 年 12 月，美国制造原子弹的“曼哈顿工程”正式上马。奥本海默（1904～1967）被任命为洛斯—阿拉莫斯实验室主任，领导原子弹的设计和研制。1945 年 7 月，世界上第一颗原子弹在美国西部沙漠上试验成功。同年 8 月，美国在日本的广岛和长崎共投下了两颗原子弹，它们的爆炸是人类历史上最惨烈的第二次世界大战的巨大尾声。

第二次世界大战后，前苏联于 1949 年 2 月、英国于 1952 年 1 月，都成功地爆炸了原子弹。1964 年 10 月，中国加入了拥有核武器国家的行列。继中国之后，印度也于 80 年代拥有了原子弹。

1952 年 11 月，美国试验成功了第一颗核聚变武器——氢弹，9 个月后，前苏联的氢弹也爆炸成功。1967 年，中国成功地爆炸了第一颗氢弹。

核能技术不仅被应用在武器方面。1954 年 1 月，美国人制成了世界第一艘核动力潜艇“鹦鹉螺”号，1954 年 6 月，前苏联在奥布宁斯克建成了世界第一座核电站，1957 年 12 月，美国人建成了希平港核电站，英、法、德等国也都相继发展了核电站。中国自行设计的第一座核电站—一浙江秦山核电站已经于 1992 年正式运行发电。

相对论

爱因斯坦对物理学的最大贡献是相对论。相对论提出了对宇宙的一种新

观点，爱因斯坦也因此被公认为 20 世纪最伟大的科学家。

根据狭义相对论，爱因斯坦指出：物体相对于观察者运动时，沿相对运动的方向上，它的长度会缩短，速度越大，缩短越多，即运动的尺子要缩短；时钟相对于观察者运动时会走得慢些；光速是物质运动的极限速度；如果两个事件在一个惯性系中是同时但不是在同地发生的，那么它在相对于该惯性系匀速运动的另一个惯性系中则不会是同时发生的，即同时性也是相对的；在物体运动速度远小于光速的情况下，相对论力学就变成了牛顿力学。

在建立了狭义相对论之后，爱因斯坦又研究了引力问题。在牛顿力学中，物体有两种质量：牛顿第二定律中的惯性质量和万有引力定律中的引力质量。尽管牛顿推算出这两种质量是相等的，但却没有作出理论上的解释。匈牙利人厄缶（1848～1919）曾用实验证明这两种质量是相等的。以两种质量相等为基础,爱因斯坦在 1913～1916 年间提出了著名的等效原理和广义协变原理，建立了新的引力理论——广义相对论。

现代天文学的发展

观测手段的进步

伽利略最先把望远镜指向太空，使天文学研究进入了望远镜观测的时代。近代以来，望远镜的口径不断增大，观测的距离和清晰度不断增加。自 19 世纪照相术发明以来，照相方法逐步被应用到天文研究方面。由于光学的进步，分光方法在天文研究中得到了进一步的应用。分光方法是指让星光通过棱镜或光栅，使之按波长大小排列，形成光谱进而研究的方法。牛顿用棱镜分解日光是分光方法的开始。50 年代以来，随着航天技术的发展，人们已经不再局限于在大气层以内进行天文观测了，而开始了大气层外的天文观测活动。在这方面最著名的例子是 1990 年 4 月由美国人通过航天飞机送入太空的哈勃望远镜。

20 世纪天文研究方面具有革命性意义的是射电天文学的出现。射电天文学使天文观测的范围从可见光频率扩展到了所有电磁波谱的频率范畴，开辟了对不可见天体的研究，在某种意义上导致了 20 世纪天文学的革命性进展。

宇宙有多大

现代天文学的进展最后趋向了可观测的宇宙有限的结论，而这一宇宙有限的观点正是随着天文学家所能观测到的宇宙范围越来越广而提出来的。1923～1924 年间，美国人埃德温·哈勃（1889～1953）用当时世界上最大的反射式光学望远镜（口径为 2.5 米）确认仙女座大星云不是银河系的弥漫星云，而是银河系以外的恒星系统。目前，用最大的反射式光学望远镜，可以看到 30 亿光年远的宇宙，但是，由于射电天文学的出现，光学望远镜所能达到的极限已不能作为人类认识宇宙广度的界限了。

目前用光学望远镜看到的 30 亿光年远的星系，已达到了可观测宇宙 1/3 的深度，而用射电望远镜所看到的 100 亿光年远的星系，已经达到可观测宇宙的边际了。

宇宙演化理论

爱因斯坦、德西特的宇宙与弗里德曼和勒梅特的膨胀宇宙开始引起天文学家们的广泛注意和研究。

弗里德曼和勒梅特的宇宙是一个膨胀着的宇宙，而膨胀总是从物质密度

无穷大时开始的。1932 年，勒梅特从他的模型出发，提出了一个宇宙演化学说，认为整个宇宙的物质最初集中在一个超原子宇宙蛋里，后来发生猛烈爆炸，碎片向四面八方散开，形成了今天的宇宙。但他当时还没有完全足够的核物理学知识来描述宇宙蛋爆炸后宇宙演化的具体过程和细节。另外，勒梅特还低估了宇宙的年龄，这是因为当时哈勃所给出的宇宙尺度只有 20 亿光年。后来巴德研究河外星系时得到了新的结论，宇宙的尺度增加了 20 倍，宇宙的年龄也由勒梅特的 20 亿年增至 50～60 亿年。

尽管如此，大爆炸宇宙论还不是一个完善的理论，它还不能从物理学的观点说明宇宙初始点的条件，也不能有把握地预言宇宙的终结。

现代地学的发展

大陆漂移说和地幔对流说

近代欧洲人研究了岩石的成因。在这方面产生了两种主要的观点：水成论和火成论。

1893 年，美国人威廉斯（1847～1918）提出了地质年代学的概念，企图按地质构造来确定地壳岩层的年龄。但这方面的认真研究是 20 世纪才开始的。由于放射性元素有一个固定的半衰期，在半衰期内、核数目会减少到原有数目的一半。所以，研究地壳岩石中元素的各种稳定和不稳定同位素的丰度和它们之间比值的变化，便可以确定矿物、岩石的地质年龄。

但一般来说，人们普遍认为地球表面的大陆是静止的，没有运动。近代的地质科学还没有关于大陆运动的思想。

1912 年 1 月，德国人魏格纳（1880～1930）在马尔堡科学协进会作了题为《大陆的水平位移》的演讲，提出了关于大陆漂移的假说。1915 年，魏格纳利用服兵役的病假期写成了《海陆的起源》一书，从地球物理学、地质学、古生物学和生物学、古气候学、大地测量学等 5 个方面详细论述了他的大陆漂移说。这是第一个关于大陆运动的系统学说。魏格纳认为，全世界的所有大陆原来是一个被整海（泛大洋）包围着的整陆（泛大陆），由于潮汐和地球自转的作用，巨大的大陆岩体分裂成几块，慢慢分开，漂浮在玄武岩底的海洋上，向各个方向移动，经过几亿年的时间，这些移动形成了世界各大洋大洲今日的面貌。

1928 年，英国人霍尔姆斯提出了著名的地幔对流说。霍尔姆斯认为，地壳下的地幔物质可以发生热对流，上升的地幔流遇到大陆屏障后，会向两边流去，产生的引张力将陆块扯裂，然后使之漂移，在陆面上形成裂谷；两股相向流动的地幔汇合起来向下流动时，挤压力和拉力造成了地槽和海渊。霍尔姆斯把地幔作为大陆漂移的传送带，从而较好地解决了大陆漂移的驱动力问题。当然，霍尔姆斯的说法也仍然是一种假说，当时的大陆地质学和海洋地质学都还不能提供地幔对流的足够证据。

海底扩张说和板块构造论

1960 年是海洋地质学上有纪念意义的一年。这一年，瑞士人 J.皮卡德和一位美国人乘坐奥古斯特·皮卡德（1884～1962）发明的“的里雅斯特”号深潜器，下潜到 1 万多米深的马里亚那海沟底部，使人类探测到了海洋的最深处。另外，美国普林斯顿大学的赫斯（1906～1969）在这一年提出了海底扩张说。赫斯认为，洋中脊是洋壳生成的地方，地幔对流环将地幔物质从这

里挤出，形成新的洋底；对流环分离时携带新洋底背离洋脊运动，在海沟处重新返回地幔深部；陆块边界若与下降的对流环为邻，便会发生强烈的变形；另外，海底平顶山原是洋脊处的火山岛，后来被侵蚀作用削平，由于随洋底运动，逐渐离开洋脊，淹没在海洋中。1962 年，赫斯以《海洋盆地的历史》为题正式发表了他的上述观点。

在大陆漂移、地幔对流、海底扩张等学说及古地磁学、地震学研究资料的基础上，英国剑桥大学的麦肯齐、R.L.帕克尔，美国普林斯顿大学的摩根、哈得逊河畔拉蒙特地质研究所的法国人勒比雄等人在 1967～1968 年间提出了板块构造理论。勒比雄在他的文章中将地球的岩石圈划分为欧亚、非洲、澳洲、南极洲、美洲、太平洋六大板块，详细讨论了它们的运动。摩根的论文还讨论了地幔物质在洋脊热点处涌出的情况。板块构造理论认为地壳板块是地幔软流圈上的刚性块体，板块的边界处是构造运动最活跃的地方，在这里存在着 3 种边界应力：由于两个板块相对运动而产生的挤压力（如造山带的隆起、海沟处一个板块俯冲到另一个下面时）；两个板块背离运动时的引张力（如东非裂谷和海底全球大裂谷的形成）；两个板块相互滑过时的剪切力（如转换断层的形成）。总之，板块之间的相对运动被视为全球地壳构造运动的基本原因。这样一个全新的地壳运动理论的诞生，表明了人类对脚下的大地和海底的构造运动规律有了超越日常经验的理论认识。在某种意义上，这是人类地球观的一次革命，它可以同哥白尼革命相媲美。

20 世纪的生命科学

基因的发现

近代生物学是从维萨留斯研究人体结构开始的。其后，哈维发现了动物的血液循环。胡克发现了细胞之后，随着对生物生殖细胞的研究，在生物个体发生方面产生了预成论和渐成论，最后施莱登和施旺用细胞学说对个体生物学作了总结。从人体结构到动物的血液循环、再到细胞学说，显示了近代个体生物学进步的道路。从 20 世纪的观点看，这些成果都仅仅是最基本的生物学和生理学常识，生命的奥秘还隐藏在细胞之中。与达尔文同时代的奥地利人孟德尔（1822～1884）已开始了遗传学研究，并于 1866 年在奥地利的一个地方杂志上发表了《植物杂交的试验》一文。

孟德尔的发现并没有被他的同时代人接受，而是在 1900 年被生物学界重新发现的。1909 年，丹麦人约翰逊将孟德尔文章中的遗传因子称为基因，于是，基因的概念便成了遗传学中的一个基本概念。

1908 年，美国人摩尔根（1866～1945）开始做果蝇实验。果蝇有 4 对染色体，雌体和雄体有 3 对完全相同，1 对则不同，雌的由两条 X 染色体组成，雄的由一条 X 染色体和一条 Y 染色体组成。摩尔根在实验中特别注意了这对不同的染色体（其中包含了性染色体），并在 1910 年发表了关于果蝇性连锁遗传的论文，将一个基因和一个具体的染色体的行为联系起来了。

摩尔根的工作使孟德尔的遗传学进入了细胞学，染色体从此被认为是遗传基因的载体。

分子生物学和生命起源

生物大分子的基础是蛋白质和核酸。蛋白的名称是瑞典人柏采里乌斯于 1836 年提出的。1902 年，德国人费舍尔（1852～1919）提出了蛋白质的多肽

结构学说。其后，生物化学家们又发现生物催化剂——酶、内分泌激素等都是蛋白质。

核酸是瑞士人米歇尔（1844～1927）于 1868 年在德国做研究时从脓细胞中最先提取出来的。l929 年还确定地认识到核酸有两种：DNA（脱氧核糖核酸）和 RNA（核糖核酸）。

由于染色体是由蛋白质和核酸构成的，究竟是蛋白质还是核酸在遗传过程中起着主导作用呢？最初，由于人们认为蛋白质比核酸活跃，结构和种类比较多，核酸比较稳定，结构简单，故多把注意力放在蛋白质方面。然而，核酸中的 DNA 才是遗传的真正物质基础。

生命的物质基础是蛋白质和核酸，人工合成它们是生物化学家们多年的梦想。1955 年，英国人桑格在费舍尔工作的基础上，弄清了分子量小、结构简单的蛋白质—胰岛素的 51 个氨基酸序列。1958 年，由王应睐领导的一个中国生物化学家小组开始试探合成结晶牛胰岛素，并在 1965 年 9 月首次取得成功。目前合成含有大量氨基酸的蛋白质仍然是困难的。

1924 年，前苏联科学家奥巴林（1894～1980）在《生命起源》一书中认为地球上在有生命前存在着有机小分子物质，它们能在原始地球条件下形成复杂的有机化合物。生物化学家在这方面还做过一些新的模拟实验，提出过一些新的猜想，其中主要有生命起源于水溶液介质的海相起源派和与之相对的陆相起源派。

神经和脑科学

神经元理论。1838 年捷克人普金叶观察到了神经胞体，并认为细胞相当于能量发生器，神经纤维相当于能量传输器。德国人盖拉赫（1820～1896）于 1871 年提出神经系统像一个复杂的网状结构。瑞士人希斯认为神经系统是由许多独立的细胞组成的。1891 年，德国人哈茨（1836～1921）赞成神经细胞的假设，并建议称神经细胞为神经元。然而，这两种理论的争论一直持续着。直到 1934 年，西班牙组织解剖学家卡哈尔（1852～1934）在他的一本专著中提出了令人信服的论据，使神经元理论被人们普遍接受了。

反射学说。19 世纪 30 年代，英国人霍尔（1790～1857）研究了一类如手碰到火立即缩回的不随意活动，将这类活动称为反射。1893 年，英国人谢灵顿（1857～1952）在研究膝跳反射后得出结论：神经干不仅有传出运动的纤维，也有传入感觉的纤维。第一次世界大战以后，谢灵顿开始研究中枢神经抑制的本质，他的成果使生理学家认识到，兴奋和抑制之间的平衡是引起反射活动的决定性因素。

1902 年前，巴甫洛夫是一个消化生理学专家，1902 年后开始研究神经系统，建立了条件反射概念。

大脑功能区的定位。法国人弗卢伦斯（1794～1867）最先在他的著作中提出，高等动物的大脑主司感觉和思考，小脑协调运动，延髓为生命中枢。美国人斯佩雷和加扎尼加（M.S.Gazzaniga）在 60 年代对癫痫病人作脑两半球割裂治疗时观察到：两半球有不同的分工，但各自又为一个独立的脑；每一个脑都有高级智慧机能；但语言机能主要在左侧，动作机能主要在右侧。这个研究成果改变了以往认为脑两半球对称的概念。左脑长于数学、逻辑和语言功能等抽象思维；右脑长于综合、直觉、想象等形象思维。斯佩雷的研究成果不但使其获得了 1981 年的诺贝尔生理学及医学奖金，而且正在引起人类对脑科学和文明发展关系的重视。当前，重新认识和发挥右脑的功能和作

用，正在引起人类教育方式的变化和思维方式的再一次革命——右脑革命。

现代数学的发展

第二次世界大战以来，由于技术和工业的迅速发展，带动了数学向应用方向的发展。运筹学的诞生是这方面最突出的例子，它包括以下 4 个主要分支。

对策论。1944 年冯·诺依曼和摩根斯特恩（Oskar.Mor－genstern）合著的《对策论与经济行为》奠定了现代对策论的基础，把对策研究从古代的军事政治领域扩大到了社会经济生活领域。

规划论。它主要研究计划和管理工作中的安排与估值问题，用数学语言描述便是：研究某一目标函数在一定约束条件下的最大值和最小值问题。通俗的例子是：要去某地时，考虑有几条路可走，走哪一条最快最省力。它的内容包括线性规划、非线性规划、动态规划等。前苏联科学家康特洛维奇 1939 年出版的《生产组织与计划中的数学方法》是这方面的早期著作。50 年代以来西方出版了许多规划论著作。

排队论。它的目的是解决“怎样才能使服务系统的效率最高”的问题。1908 年出版的丹麦人爱尔朗（A.K.Erlang）的《排队论在丹麦电话系统中的使用》是这方面最早的著作。随着本世纪服务性行业的发展，排队论的研究和应用都有了新的进步。

最优化方法。F.约翰于 1948 年发表的《以不等式作附加条件的极值问题》一文是这方面最早的文献。最优化方法也就是寻找最好的方式，以达到最优的选择或目标。1953 年，美国人 J.基弗提出了优选法中的 0.618 法。中国数学家华罗庚（1911～1985）推动了优选法在工生产方面的应用。

突变论是法国人托姆于 1968～1972 年间创立的一种新的数学学科。英国人齐曼、前苏联科学家阿诺尔德等人都先后发表了一些突变论内容的文章。这些最早从事突变论研究的人原先都从事拓扑学研究(拓扑学是 19 世纪以来发展起来的一门数学学科。最初的拓扑学研究图形弯曲、变形、拉大、缩小后仍然保留的性质，现代拓扑学是研究微分流形的拓扑学）。传统的数学分析主要着眼于连续函数，对发散和间断的函数曲线无能为力，突变论试图对系统的不连续过程和状态跳迁进行数学分析。

模糊数学方面最早的文献是美国加州大学札德（L.A.Zadeh）于 1965 年发表的《模糊集合》一文。这是一个崭新的概念。传统的数学是精确的科学，所处理的是概率等于 1 的值或事件。模糊数学处理的值是一个连续的量，概率在 1 和 0 之间（最浅显的例子是仅仅根据人的声音来判断这个人是谁）。从某种意义上，模糊数学衬托出了传统数学的局限性，界定了传统数学的范围，提出了全新的数学概念，突破了原有的数学领域。目前模糊数学在模式识别中已有了成功的应用。

概率论是研究大量偶然现象的数学学科。卡当、塔塔利亚、帕斯卡、费尔玛、惠更斯等人最早研究了赌博中的概率。雅各·伯努利的《猜度术》、英国人德莫瓦佛的《机会的学说》和辛普生的《论机会的性质与规律》法国人布丰的《或然算术试验》和拉普拉斯的《分析概率论》等，都是概率论的早期著作。20 世纪 30 年代，前苏联科学家柯尔莫果洛夫给出了影响很大的概率公理体系。

数理统计是概率在具体领域中的推广。它的中心任务是研究怎样合理地搜集资料，并利用这些资料对随机变量的数学特征、分布函数进行估计、分析和推断。英国人费歇尔（1890～1962）是数理统计学科的奠基人。

20 世纪出现的综合科学

信息论

1948 年，美国的应用数学家申农与韦弗合作所写的《通信的数学理论》一书出版，标志着信息论的产生。在书中，申农给出了测量每个消息平均信息量的数学公式（概率和对数形式）。申农避开了具体的通讯系统，认为一般的通讯系统包括信息源、发送机、信道（传输信号的渠道）、接收机、消息接受者等 5 个部分，从而避开了复杂的语义问题，而仅仅从技术和数学关系的方面来研究消息的传递，使问题显得简单化了。

申农指出，可以通过改变信源编码来降低多余度，使信源与信道匹配，使信源上的平均信息量等于信道容量。这便是申农的所谓信源编码原理。这个结论具有重要的理论意义。在这个原理的指导下，50 年代出现了信息率较高的编码和纠错码。信源编码原理对提高信息的传递效率有理论指导意义。

60 年代以来，为适应图像识别和视觉研究的需要，在模糊数学的基础上产生了与申农的概率信息论完全不同的模糊信息论。70 年代以来，又有人提出了有效信息、语义信息、无概率信息（主观信息）、广义信息等新的信息概念。显然，信息已不再仅仅是通信领域中的概念，而和人类社会生活的各个方面联系起来了。70～80 年代的未来科学家认为人类正在走向信息社会，信息和材料、能源一起被视为人类文明的三大支柱。信息论的方法正在被应用到生物学（含神经生理学）、物理学、化学、心理学、经济管理、电子学、人工智能、控制论、系统论等一系列学科。一个内容广泛的信息论正在成长。

控制论

控制论是用数学工具研究控制机构或控制系统运行一般规律的科学。汉代的记里鼓车，北宋苏颂等人发明的水运仪像台和钟等，以及瓦特发明的蒸汽机中，都有控制机构。

一般来说，控制论产生时所涉及的系统主要是单输入单输出的线性系统。50 年代的控制论主要处理单输入单输出的自动调节系统，采用建立在传递函数和频率特性基础上的动态分析和综合方法，称之为经典控制理论。

60 年代以来，大量的工程实践，特别是空间技术的发展，提出了全新的控制问题。以火箭运载的卫星、飞船、导弹等的飞行为例：火箭的质量特性要用变质量力学来描述；控制是在远距离上实现的；火箭的距离、速度、加速度、飞行姿态、多级工作程序等参数都需要控制，因而是一种多输入多输出的多路控制；控制要求高度精确；地面系统复杂而庞大，控制问题复杂。在这种情况下，产生了现代控制理论。

一般认为，现代控制理论的奠基者是匈牙利出生的美国人卡尔曼。

70 年代以来，控制论的发展日益同电子计算机的发展联系在一起，同时又包括战略防御系统、经济管理系统、生态系统、社会系统等大系统理论问题联系在一起，受到了人们的日益重视。

系统论

现代系统论的发展有两个主要线索，一个是从研究生物有机体角度产生

的一般系统论，另一个是从研究技术工程及劳动管理角度产生的系统工程学。

一般系统论的知识基础是近代生物学。1924～1947 年间，奥地利出生的美国生物学家贝塔朗菲（1901～1971）在他先后发表的一系列论文和著作中提出了有机体系统和一般系统论的思想。1948 年，贝塔朗菲又出版了《生命问题》一书，书中描述了系统思想在哲学史上的发展，认为不论系统的种类、组成部分的性质及其关系有何区别，存在着适用于一般化系统及其子系统的模式，可以用逻辑和数学方法来确定适用于一般系统的原则。贝塔朗菲的工作标志着一般系统论的诞生。

系统工程本质上是一种以运筹学为工具和方法的工程管理学。古代埃及人修建金字塔、大禹治水、李冰对都江堰工程的设计和实施等，都体现了将工程视为一个整体来统筹安排和实施的系统思想。

40 年代初，系统工程一词开始被使用。第二次世界大战期间，英美两国先后组织了由各学科专家组成的运筹学小组，为某些作战和后勤问题的决策提供依据。战后，美国于 1948 年成立了研究和发展公司——兰德公司，这个公司的鲍里斯小组创造了大系统分析的数学方法。几十年来，公司的专家们运用系统分析的方法，考察决策者面临的全部问题，提出可能的解决方案，比较它们的结果，为美国政府和军事部门提供咨询和出谋划策，产生了很大的影响。1957 年，美国密执安大学的古德（H.Goode）和麦考尔（R.E.Machol）合著的《系统工程学》一书出版。为系统工程初步奠定了理论基础。

1961～1969 年间美国阿波罗登月计划的成功可以看成系统工程方法应用的杰出范例。

耗散结构论

达尔文提出的生物进化论所揭示的生物进化过程以及细胞学说所阐明的生物个体产生和发育的过程，已经揭示出了自然界同时存在着能量和物质由低级到高级、由简单到复杂、由无序到有序的演化方向。显然，自然界演化的过程也绝对不只是具有单一的方向。

正是科学发展过程中所表现出来的这种矛盾所显示的自然规律的互补性，推动了 20 世纪的科学家在物理学、化学和生物学的层次上寻找与热力学第二定律相对应的新的自然规律。比利时人普利高津（Ilya Prigogine）及其研究集体于 1969 年在“理论物理与生物学”国际会议上提出的耗散结构理论，是这一探索的一项杰出成果。

耗散结构理论自提出以来，逐步发展成为一个理论体系，有了一定的数学工具，为研究非线性系统远离平衡态时所表现出的有序现象提供了方法，使人们有可能统一考察物理、化学和生物学等学科中的系统演化问题。

该理论的基本概念是通过对若干典型实验的研究建立起来的。其中主要的有贝那德（Benard）流体实验、激光和 B—Z 反应。

这几种现象被视为力学、物理学和化学中的进化，它是一种系统从无序到有序、从简单结构演变为复杂结构的过程。由于这种有序结构的出现和维持需要从外部不断供应物质和能量，所以是一种耗费或耗散能量的结构，因此称之为耗散结构（dissipative structure）。实际上，所有生物体都是一种高级的耗散结构。

附录

尚未找到答案的十大科学问题

1.宇宙有多大？
2.混沌主宰着宇宙吗？
3.什么力量驱动气候？
4.生命是如何起源的？
5.单细胞（受精卵）是怎样发育成人体的？
6.机器人能有人的意识吗？
7.地球人类的祖籍在何方？
8.地球能容纳多少人？
9.我们能消灭疾病吗？
10.是否存在外星人？