

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界当代科技史

 **eBOOK**  
内部资料 非卖品

## 内容提要

本书是一本世界当代科学技术发展简史。书中分析了当代科学技术产生的时代背景、历史渊源、特点规律和发展趋势，展现了第二次世界大战结束至 80 年代末世界科学技术的发展历程。内容涉及基础科学和应用技术的众多领域，着重介绍了高能物理、凝聚态物理、当代宇宙学、当代地质理论、系统科学、分子生物学和生物工程、新能源和新材料、空间技术、海洋技术等方面的重大进展，同时阐述了当代科学进步和新技术革命对当今社会所产生的深远影响。在全面系统描述世界当代科学技术发展历史方面，本书是一个较早的尝试。

本书内容丰富，史料翔实，对科学技术的演进脉络描述得比较清晰，深入浅出，简明易懂，可帮助读者开阔视野，增强科技意识，从历史的启示中获取精神食粮。

## 一、概述

### 1. 当代科学技术的形成与新技术革命的兴起

当代科学技术是在一定的社会条件下产生的，是在近代科学技术和现代科学技术的基础上发展起来的。在当代科学技术形成的同时，一场史无前例的新技术革命勃然兴起。这场新技术革命不仅促进了当代科学技术的蓬勃发展，也对整个人类社会的发展进程产生了巨大影响。

#### (1) 当代科学技术的界定

科学技术的发展历史有其自身的连续性，也有一定的阶段性。通常人们把科学技术史划分为古代、近代、现代三个阶段，20 世纪初以来的科学技术一般称之为现代科学技术。

本书所涉及的当代科学技术，实际上是将通常意义的现代科学技术再作一次划分，将其分为两个阶段。前一个阶段为现代科学技术，后一个阶段为当代科学技术。

要对当代科学技术给出一个明确的定义是相当困难的。这既非本书的任务，也非本书力所能及。不过为了便于叙述和读者阅读，在此有必要对当代科学技术作一简单界定。从时间跨度上，本书将当代科学技术阶段划分在 1945—1990 年之间。这一划分与一般历史书上对当代的时间划分是一致的，而且也有比较充分的科学依据。自 1945 年第二次世界大战结束以来，科学技术的发展出现了与 20 世纪前 40 多年明显不同的特点和趋势。大科学和高技术成为后一时期的显著特征。天体物理学、基本粒子物理学、凝聚态物理学、宇宙学、量子化学、分子生物学、系统科学等新兴学科不断涌现。原子能技术、电子计算机技术、空间技术、激光技术、生物技术、新材料技术等高新技术蓬勃兴起。这些新学科和新技术构成了当代科学技术的重要组成部分。

对于当代科学技术（也包括通常所说的现代科学技术）的内容，一般有两种理解。一种是狭义的，它把当代（或现代）这一时期中新产生的科学技术称为当代（或现代）科学技术，而这一时期以前的科学技术称为传统科学技术。不过，当代（或现代）科学技术与传统科学技术的区分也并非很严格。另一种是广义的理解，即把当代（或现代）这一时期中的所有科学技术统称为当代（或现代）科学技术。狭义理解和广义理解，各有侧重，可以互相补充。

需要说明的另一点是，为了完整描述各学科及各门技术的发展历史，对于一些跨越时代阶段的事件，本书叙述的年代往往前后有所延伸，但重点仍在当代这一期间。

#### (2) 当代科学技术形成的背景及过程

科学技术的发展犹如一条长河，一浪逐着一浪奔腾向前。科学技术又如一座正在建造的通天塔，一层在另一层上面增高。当代科学技术正是在近现代科学技术的基础上发展起来的。

自 15 世纪文艺复兴开始，近代自然科学吹响了进军的号角。17 世纪后期，以力学三定律、万有引力定律为核心的经典力学建立起来。以经典力学为样板，光学、热力学、经典电磁学也相继诞生。到 19 世纪末，经典物理学的殿堂已营造得如此完美壮观，以致许多科学家自我陶醉于大功告成之中。此外，近代天文学、近代地质学、近代化学和近代生物学也都取得了巨大的

进展。20 世纪初，在那激动人心的年代里，相对论、量子力学掀起了一场震撼世界的物理学革命，到 20 年代末这一革命已基本完成。运用现代物理学的理论和方法，科学家们又向微观和宇观更深广的领域推进，进入了原子核内部和宇宙空间。同时，现代物理学的理论和方法不断地向其他学科渗透，推动了天文学、地学、化学和生物学的发展，为当代自然科学体系的形成奠定了基础。

伴随着科学的长足发展，技术也在突飞猛进。18 世纪，发端于英国的第一次技术革命使人类进入了蒸汽机时代。19 世纪 70 年代，以电力为标志的第二次技术革命又开辟了人类历史的新纪元。轮船、火车、汽车、飞机、电灯、无线电通信等人类智慧的创造物，成为 19 世纪至 20 世纪上半叶最辉煌的技术成果。此期间，采矿、冶金、机械、化工等技术也都达到相当高的水平。所有这些技术上的进步，既促进了社会生产力的发展，也为当代科学技术的形成及新技术革命准备了条件。

当代科学技术的产生，除了有其自身的发展规律外，也与社会的发展密切相关。本世纪初，资本主义已进入垄断阶段。各资本主义国家为了增强本国的实力，在国际竞争中取胜，对科学技术更加重视。20 年代末期，资本主义世界发生了有史以来最大的一次经济危机。英国、法国、德国、美国等国都受到了巨大的冲击。为了挽救它们的命运，资本主义国家一方面进行调整和改革，一方面大力发展科学技术。垄断资本集团努力开发新产品，抢占国内外市场。为此，他们不惜大量投资，用于科学研究和技术开发。为了促进科学技术的发展，各国政府积极制定科学技术政策和规划，加强对科技事业的统一领导和管理。科学技术研究开始从实验室向社会化的大科学过渡。资本主义生产的高度集中以及各垄断集团的联合，则促进了科学技术研究的这种社会化，使研究规模迅速扩大，科学研究及技术开发能力日益增强。第一个社会主义国家苏联建立以后，为了经济建设和巩固国防，发挥了计划经济统一规划、统一领导的优势，由国家集中管理科学技术事业，推动了与重工业及国防工业相关的科学技术的迅猛发展。

战争对科学技术产生了双重影响。一方面，战争破坏了科学技术正常发展所需要的环境和条件，甚至夺去一些科技人员的生命，阻碍了科学技术的进步。另一方面，战争又是科学技术发展的重要刺激因素。由于战争的迫切需要，各国不惜投入巨额经费和大量人力物力，发展高精尖的军事科学技术，因而在这些领域往往取得难以预料的惊人成就。战后，这些军工科学技术逐步转向民用工业，带动了整个科学技术事业的发展。第一次世界大战期间，许多研究机构被迫关闭，研究工作中止，一些有才华的年轻科学家走上战场。正值创造力峰巅的英国青年物理学家莫斯莱（1887—1915）不幸阵亡。为了验证爱因斯坦（1879—1955）广义相对论的德国观测队，因战争爆发被俄国扣留。但与此同时，武器制造技术发展迅猛，飞机、坦克、重型火炮、高射炮都出现在战场上。第一次世界大战后，战斗机、坦克以及与之相关的科学技术进一步发展。第二次世界大战更是当代科学技术产生的催化剂。坦克成为“战场骄子”，喷气飞机在空中大显神威，雷达在战争中立下了卓越的功勋。德国研制出了 V—2 火箭。英国破译德国密码的计算技术，对取得空战优势起了决定性的作用。为了抢先制造原子弹，美英等国于 1942 年组织了规模空前庞大的“曼哈顿工程”。为了计算炮击表，美国和英国又不顾一切代价研制电子计算机。此外，防空自动火炮的研究也取得突破。

第二次世界大战对科学技术发展的催化所产生的最重要成果，是 1945 年 7 月第一颗原子弹的爆炸成功和同年底第一台电子计算机的问世。这两项伟大成就，标志着当代科学技术的产生。它们开创的原子能科学技术和计算机科学技术两大领域，已成为当代科学技术的重要组成部分。在对战争中火炮控制和通讯研究的基础上，战后不久控制论、信息论、系统论相继出现，形成了一门新兴的系统科学。1945 年，宇宙射线正式成为研究对象，拉开了天体物理学的序幕。1948 年，宇宙大爆炸理论的提出，标志着当代宇宙学开始形成。40 年代大量基本粒子的发现，使粒子物理成为物理学又一新的分支。1947 年，世界上第一支晶体管问世，半导体物理和微电子科学技术迅速崛起。1957 年，关于超导电性的量子力学微观理论 BCS 理论建立，使固体物理学又有了新的突破。1953 年，DNA 的秘密首次被揭开，分子生物学诞生。60 年代，生物技术在此基础上发展起来，1957 年，原苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星，空间技术逐渐成熟，人类进入了太空时代。1960 年，世界上第一台激光器研制成功。70 年代，光纤通信进入实用阶段。以微电子技术、电子计算机、激光、光纤通信、卫星通信和遥感技术为主要内容的信息技术成为新技术革命的先导技术。所有这一切成就，灿若明星，汇聚成当代科学技术的巨大星系。可以说，到本世纪 80 年代，这一星系的结构和规模都已确立。但它的发展势头有增无减。新星层出不穷，整个星系在不断扩展，变得更加成熟，更加辉煌。

### （3）新技术革命的兴起及影响

新技术革命又称现代技术革命，也有人将它称为继蒸汽机、电力之后的第三次技术革命。它产生于本世纪 40 年代中期，伴随着当代科学技术的形成而发展起来，扩展到科学技术的各个领域。它首先在西方发达资本主义国家兴起，逐步向其他国家和地区辐射，直至席卷全球。

1945 年，世界上第一颗原子弹的爆炸成功和第一台电子计算机的诞生，既宣告了当代科学技术的形成，也拉开了新技术革命的序幕。50 年代后期空间技术发展起来。60 至 70 年代，生物技术、通信技术取得了突破性进展。70 年代中期以后，出现了以微电子技术为核心的新兴技术群。从此，新技术革命进入了高潮，至今方兴未艾。

新技术革命主要包括信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术六大领域的革命。以微电子技术为基础的信息技术是新技术革命的主导技术和主要标志。它开辟了人类历史上的新时代——信息时代。新能源技术和新材料技术是当代社会的两大支柱。生物技术前景广阔，下一个世纪将成为生物技术的世纪。空间技术和海洋技术将为人类开拓更新更广的发展空间，获取更加丰富的资源。这六大领域的技术都是当代的高新技术。

新技术革命是一场技术群的革命。这是它与以往技术革命的不同之处。蒸汽机技术革命、电力技术革命，基本上都是单项技术孤军突破，然后向其他领域扩大战果。而这次新技术革命，则是在几大领域中几乎同时取得进展，各方面军齐头并进。古代由石器到青铜器再到铁器，是材料技术的革命；蒸汽机技术革命、电力技术革命主要是动力革命。这次新技术革命，则同时在材料、能源两大领域都有重大突破。以往的技术革命主要集中在工业，新技术革命则覆盖了整个社会。信息技术渗透到生产和生活各个方面，生物技术在工业、农业、医药等行业一齐开花。空间技术和海洋技术则把新技术革命

推向更广阔的范围。总之，这场新技术革命是全方位的。它的规模之大，突进之深，覆盖之广都是历史上空前的。

新技术革命对当今社会的各方面都产生了巨大影响。首先，它推动了当代科学技术的发展。技术革命本身就是技术发展的一种跃进形式，这种跃进一般是建立在科学理论突破的基础上。技术越向前发展，越需要更多的科学理论成果。这就刺激了科学的发展。为了在新技术革命中夺取优势，各国都全力以赴，加强基础理论和尖端技术的开发。这无疑对科学技术的发展起到巨大推动作用。新技术革命伴随着当代科学技术的发展而兴起，当代科学技术又在新技术革命中不断发展完善。二者互相促进，相辅相成，形成了循环加速机制。这种机制成为当代科学技术发展史的一个明显特点。

其次，新技术革命促进了生产力水平的提高。由于新技术革命的推动，当代科学技术被迅速应用于生产中，不仅对生产力各要素产生巨大影响，也影响到生产力系统的结构和模式。当代科学技术的广泛应用，使劳动对象的范围不断扩大，从陆地扩展到空间和海洋，从天然材料扩展到人工材料。它也使劳动工具出现了新的飞跃，不仅使人类的体力进一步解放，而且使人类脑力得到延长和放大。它还大大提高了劳动者的素质；科技人员在生产劳动中的地位和作用越来越重要，同时管理人员的比例也不断增加。在影响生产力发展的诸因素中，原材料、能源、劳动力的投入比例在逐渐减少，科学技术的投入在不断增大。到了70—80年代，发达国家经济增长中，科学技术因素所占的比例已达60%以上。新技术革命推动了产业结构的变革。到70年代后期，一些发达国家的第三产业的产值和就业人数均已超过了第一、第二产业的产值和就业人数的总和。在工业结构中，传统工业，如钢铁工业等发展减缓，逐渐萎缩，成为“夕阳工业”。一些新兴工业如微电子工业等蒸蒸日上，被称为“朝阳工业”。

第三，新技术革命引起社会的巨大变革。美国的社会学家贝尔（1919—）在《后工业社会的来临》一书中，认为新技术革命使人类社会进入到“后工业社会”，即不再是原来以工业产品为主的工业社会，而是以信息产业为主的社会。美国的另一位社会学家托夫勒（1928—）把这次新技术革命形象地称为第三次浪潮，认为它将把人类带入到“信息社会”。尽管这些提法失之偏颇，但也说明了新技术革命对社会的巨大作用。目前，这种作用已显示出来，但更大的变化还在未来。各种新技术的广泛应用，将使人类的生存条件和生活方式发生前所未有的改变。地球的生态环境将得到改善，各种污染将大大减少，资源能够合理开发利用。人口数量将得到控制，素质会有较大提高。“绿色食品”和新型医药使人们更加长寿和健康。各种生活设施和日用品将为人类提供更舒适的物质和精神享受。除此之外，新技术革命对政治、文化、教育、国防等方面也产生了并仍在产生不可估量的影响。

## 2. 当代科学技术的特点及发展趋势

确切地说，科学与技术是不同的概念，各有独自的系统。但二者又有极为密切的联系。因此人们常把科学技术相提并论，看作一个大系统，而科学与技术分别是这一个大系统中的子系统。当代科学技术就是这样一个庞大而复杂的系统。与近、现代科学技术相比，当代科学技术呈现出一些新的特点和趋势。

### (1) 大科学、高技术

大科学、高科技是当代科学技术最显著的特征之一。

大科学的提出是在本世纪 60 年代初。美国的一些科学家认为，当代科学发生了极大的变化，从小科学时代发展到了大科学时代。一般认为，大科学产生于 40 年代，美国制造原子弹的“曼哈顿工程”是大科学开始形成的标志。大科学这一特征表现在三个方面。第一，科学研究已不再是个人或少数人在实验室里的活动，而成为一项社会事业，成为国家的一个重要部门。科学家人数成倍地增加。科研组织规模日益扩大并出现了空前的国际合作。科研经费以惊人的幅度增长。各国政府都加强了对科学研究的规划、管理和经费投入。除“曼哈顿工程”外，第一台电子计算机的研制、“阿波罗登月计划”等都是这种大科学的典型事例。此外，由于当代科学研究活动艰巨复杂，规模庞大，耗资很高，往往是一个国家力所不支。因此，科研活动的国际化成为必然，并从早期的跨国公司发展到若干国家的联合。“曼哈顿工程”就是美国、英国、加拿大等国共同完成的。第二次世界大战后，欧洲一些国家成立了欧洲原子能委员会和欧洲空间局，以从事原子能的开发和空间技术的研究。1985 年，由法国倡导的“尤里卡计划”，更是举世瞩目的国际合作。到 1988 年，参加该计划的有 23 个国家、800 多家科研机构和企业，已经确立的项目达 213 个，包括了所有的高新科学技术领域，总投资约 80 亿欧洲货币单位。当代科学研究的社会化和国际化，是大科学最突出的表现。第二，当代科学形成了分层次的、立体网络式的、开放的大系统。一方面，原有的传统学科不断分化，分支学科越来越多、越分越细，专业化越来越强。另一方面，各学科又相互渗透、交叉、融合，学科之间的界限越来越不明显，出现了许多交叉学科、边缘学科、横断学科。自然科学与社会科学相互交叉，出现了科学社会学、环境科学、社会数学、决策科学等一大群交叉学科。第三，众多学科的协同作战成为科学研究的一种重要形式。随着科学研究的深入，面临的课题越来越复杂，单一学科的研究已无法胜任。因此，多学科的联合攻关顺理成章地发展起来。例如，电子计算机的出现就是电子学与数学的结晶，分子生物学则是化学、生物学等学科杂交的果实。对于全球生态环境这样复杂的大问题，没有数、理、化、天、地、生及相关学科和相关技术的共同参与，是难以展开全面深入的研究的。可以说，当代大科学的形成，既是社会的需要，也是历史的必然。

高技术的概念起源于美国，目前尚无统一定义。美国的经济界认为：“凡是知识和技术在这类产品中所占比重大大高于材料和劳动力成本的产品称为高技术产品、高技术产业或企业”。显然，这是从产品和产业来定义高技术的，而不是仅指高级技术或先进技术。也有人认为：“高技术是指那些对一个国家军事、经济有重大影响，具有较大社会意义或能形成产业的新技术或尖端技术”。中国通常将信息技术、生物技术、新能源技术、新材料技术、空间技术和海洋技术列为高技术。高技术主要表现为“三高”。第一，高智力。高技术是以高深的科学理论和最新科学成就为基础发展起来的，是当代水平最高、最为先进的技术。知识的高度密集是高技术发展的先决条件。高技术产业也大多集中在科研机构、高等院校聚集的地区。第二，高投入。高技术的发展需要投入巨额经费和大量的人力、物力，需要强大的国力和坚实的经济基础作为支撑。“阿波罗登月计划”、“星球大战计划”、航天飞机和巨型电子计算机的研制等，都是在这种高投入的条件下进行的。第三，高

增殖性。高技术成果用于生产，可以获得巨大的经济效益。据估计，美国在空间计划方面，每花费 10 美元，生产率可提高 0.1%，仅此一项，美国国民生产总值每年可增加 30 亿美元。据日本的统计，到 1990 年，全世界生物工程生产总值已达 270 亿美元。用 1000 升基因工程菌发酵液所生产的胰岛素可达 200 克，相当于 1600 公斤猪或牛胰腺的提取量，其收益率是极其可观的。

### （2）科学技术整体化

当代科学技术的另一个特征是科学技术整体化，表现为科学的技术化和技术的科学化。当代科学研究往往需要复杂先进的手段，而且研究活动也具有工程技术的特点。没有粒子加速器和射电望远镜，高能物理和天体物理的研究就寸步难行。电子计算机则更是当代大多数科学研究须臾难离的重要工具。同时当代技术的发展也更加依赖于科学；科学革命成为新技术革命的先导。有了受激辐射理论，才有了激光；原子核物理的发展，才导致了原子能技术的产生；分子生物学的出现，才孕育了生物技术。今天，科学研究往往依靠各种先进技术及其提供的先进仪器设备；工程技术则需采用一切可能的科学成果。科学与技术之间的联系是如此紧密，相互促进作用是如此巨大，各学科与各门工程技术之间的相互渗透又如此广泛深入，以致形成了一个极其庞大复杂的科学技术系统。

### （3）科学技术发展速度加快

近代以来，科学技术一直在加速发展。恩格斯在 19 世纪中期就提出了科学技术发展的加速规律。本世纪 40 年代，美国科学社会学家普赖斯通过大量统计工作，提出了科学发展的指数增长规律。当代科学技术的加速发展趋势更为显著，犹如万丈悬崖上的瀑布越冲越快，又如冰山雪崩的雪团越滚越大。“信息爆炸”、知识更新加快，科研成果从发明到应用的周期大大缩短，高新技术产品不断更新。据粗略统计，20 世纪上半叶所取得的科学技术成果，远远超过了 19 世纪，本世纪 60 年代以来的成果竟超过了以往 2000 年的总和。目前，科学技术仍在继续加速发展，并在许多领域不断掀起一个又一个科学研究和技术开发的热潮。

### （4）国际科技竞争加剧

当代科学技术对经济、军事、政治的影响十分巨大，与国家的兴衰存亡息息相关。国家之间科技能力的竞争成为国家实力竞争的关键。谁掌握了当今先进的科学技术，谁就占据有利地位，掌握了主动权，就可以使国力大增，占领国际市场。从世界第一颗原子弹开始，到空间技术、高速电子计算机、生物技术、高温超导等，40 多年来，一些发达国家展开了一场又一场没有炮火硝烟的激战。它们不惜代价，志在夺取科学技术的领先地位。这种国际科技竞争的加剧，对当代科学技术的发展起到了强大的刺激作用。临近世纪之尾，国际科技竞争将会愈演愈烈。

当代科学技术的发展，虽然只有短短的 40 多年，但它的历程却是波澜壮阔。各个学科、各门技术犹如条条小溪，逐渐形成大江大河，然后又彼此交汇，不断分流，一浪推着一浪奔腾向前。对于这数以千计的学科和技术门类，要想一一追溯源头，描绘出每一流脉，是很难做到的。我们只能沿着几条主要的大江大河逆流而上，勾画出它们的大致风貌，并从中撷取几朵美丽的浪花献给读者。

## 二、当代物理学和当代化学的发展

在本世纪初物理学革命中诞生的相对论、量子力学，犹如两块巨石投在物理学的湖水中，激起朵朵壮丽的浪花，又荡开道道涟漪，不断向周围和深处扩展。从 30 年代起，物理学家借助于新的科学实验手段，将相对论、量子力学的理论和方法运用于物质深层结构的研究，并不断向更广阔的领域开拓，创立了原子核物理、基本粒子物理、凝聚态物理等分支学科。40 年代中期以后，随着科学实验技术的不断进步和电子计算机的应用，这些新分支学科迅猛发展，成为当代物理学进展最快的重点领域。

现代物理学革命也对化学的发展产生了巨大影响。30 年代以后，人们应用量子力学理论，已能比较准确地描述原子中电子的运动规律，而且进一步阐明了化学现象的一些本质问题。40 年代后，一门新学科量子化学逐步形成。传统的无机化学与有机化学出现了综合趋势，形成金属有机化学。分析化学、物理化学等也取得长足进展。化学与其他学科相互渗透、融合，产生了生物化学、天体化学、辐射化学、地球化学等交叉学科。近年来，分子设计开始萌芽，在化学应用方面展现出美好的前景。

### 1. 原子核物理和基本粒子物理的进展

在原子核物理学和基本粒子物理学形成的初期，二者是密切联系、交织在一起的。本世纪 30—40 年代，它们才逐步发展成彼此独立的学科。40 年代中期以来，核物理和粒子物理的研究蓬勃发展，呈现一派繁荣景象。

#### (1) 原子核物理

岁月的车轮刚刚驶入当代，人类历史上第一颗原子弹就以其惊天动地的巨响震撼了世界。原子能的释放，是当代原子核物理学第一项重大成就，也是 20 世纪最伟大的、具有划时代意义的科学成就。这一成就的取得，是建立在 30 年代中期后对重核裂变研究的基础上的，是在现代发芽生长，在当代开花结果的。

世界上第一颗氢弹的爆炸成功，是当代核物理取得的第二项重大成就。它是在研究氢核聚变的基础上实现的。早在 20 年代末，人们已认识到，太阳的能量来自其内部氢核的聚变。由于氢核聚变需要 10 亿度以上的高温，在地球上难以达到这个条件，所以人们考虑用聚变温度相对较低的氘或氚来代替氢。1944 年，费米（1901—1954）计算出氘—氚混合核燃料的聚变点火温度为 5000 万度。但这样的温度当时也无法达到，而且尚无条件建立生产这两种同位素的工厂。因此制造氢弹似乎还是不可能的。然而，物理学家泰勒（1908—）和他的小组却坚持进行研究。早在 1942 年泰勒就已想到，利用原子弹爆炸产生的高温可能引发氢核的聚变。按照这种设想，在原子弹周围包上一层聚变燃料，就可以制成氢弹。但如何使氘和氚保存在裂变弹周围，还没有找到有效方法。加之得不到支持，研究工作受到了阻碍。1949 年 8 月，原苏联爆炸了原子弹。美国为了保持核武器的领先地位，加紧了氢弹的研制。到 1949 年底，泰勒小组完成了氢弹的全部理论研究。1950 年 1 月，美国总统杜鲁门下达了制造氢弹的命令。1952 年 11 月，美国在太平洋的马绍尔群岛比基尼环礁上试爆成功了世界上第一枚氢弹。其爆炸力相当于 300 万吨 TNT，把海底炸成一个深 500 米、直径 2000 米的大坑。仅过了 9 个月，原苏联也成功地

爆炸了一颗氢弹。热核聚变虽然以氢弹爆炸的形式实现了，但受控核聚变的研究仍是一个长期而艰巨的任务。

在早期原子核模型和大量实验事实的基础上，原子核模型理论在当代进一步发展，1949年，迈耶夫人和简森各自提出了壳层模型。早在1930年，就有人想到原子核的结构可借鉴原子壳层的结构。因为自然界中存在一系列幻数核，即当质子数或中子数为2、8、20、28、50、82及中子数为126时，原子核特别稳定。人们当时对这些数感到莫名其妙，因此称之为“幻数”。但当时人们从核子的运动求解薛定谔（1887—1961）方程时，得不到与实验相等的幻数。此外，当时液滴模型已取得相当成功，所以人们对壳层模型持否定态度。后来支持幻数核存在的实验事实不断增加，已有的模型无法解释。迈耶夫人和简森在势阱中加入了自旋—轨道耦合项，终于成功地解释了幻数，并且计算结果与实验正好相符。壳层模型可以相当好地解释大多数基态的自旋和宇称，对核的基态磁矩也可得到与实验大致相符的结果，但对电四极矩的预计与实验值相差很大，对核能级之间的跃迁速率的计算也大大低于实验值。

1953年，N.玻尔（1885—1962）的儿子A·玻尔（1922—）和莫特利逊提出了集体模型（也称综合模型）。他们指出，不仅要考虑核子的单个运动，也要考虑核子的集体运动。根据这一模型，当核内的质子或中子数等于或接近于“幻数”时，壳表现出壳层模型，否则就要象液滴一样活动；当已填满的密封壳层之外的粒子数目达到下一壳层粒子总数的 $2/3$ 左右时，核的液滴特性表现得特别突出。集体模型预言的原子核的电力、磁力等都与实验结果符合很好。

除壳层模型和集体模型之外，还有人建立了其他一些原子核结构模型。所有这些模型都各有千秋，但又都存在缺陷，有待进一步探索。

## （2）基本粒子新发现

1935年，汤川秀树（1907—）提出介子场理论。1937年，安德逊（1905—）、尼德迈耶尔（1907—）在宇宙射线中发现了一种新粒子。当时人们认为，它就是汤川理论预言的介子，故称它 $\mu$ 介子。后来发现这种介子与原子核的相互作用很弱，寿命也比预言的长许多倍，不可能是汤川预言的介子。1947年，英国的鲍威尔（1903—1969）小组利用他们自己发展的核乳胶技术探测宇宙射线，发现了另外一种粒子，其质量是电子的273倍，被称作 $\pi$ 介子。这才是汤川预言的粒子。而 $\mu$ 介子与核力无关，后来就把它改叫做 $\mu$ 子。

到1947年时，科学家们已经认识到了14种基本粒子，有光子、轻子（包括正负电子、正负 $\mu$ 子和预言中的中微子、反中微子）、3种 $\pi$ 介子、重子（包括中子、质子和预言中的反中子、反质子）。已发现的基本粒子许多是在解决原子核结构问题时首先在理论上预言尔后在宇宙射线或实验中证实的。这是基本粒子研究的第一阶段。

1947年，宇宙射线专家、英国的罗彻斯特（1908—）和巴特勒（1922—）发现，在宇宙射线的云雾室照片中，有两种呈V字形的径迹。从能量与动量守恒定律分析判断，这是质量约为电子质量1000倍的两种粒子。这类粒子最初被称为V粒子，后来又称为 $\pi$ 粒子，最后称为K介子。1949年，鲍威尔小组又发现了一个带电粒子分裂成3个 $\pi$ 介子的事例。起初称之为T粒子，后来命名为K介子。这些发现使物理学家大感意外，促使他们大力改进实验技术。结果接二连三地发现了另外一些新粒子。这些新粒子可分为两类。一类

是K介子，另一类是超子。超子的质量比质子和中子重。它们是1951年发现的超子、超子和1954年发现的超子。K介子和超子都有一些奇特的性质。它们都产生得快（ $10^{-23}$ 秒），衰变得慢（ $10^{-10}$ 秒）；在产生过程中是强相互作用起作用，在衰变中是弱相互作用起作用。所以人们把它们统称为奇异粒子。到50年代末，人们认识到的基本粒子已达30种。它们大多数是从宇宙射线中发现的。这是基本粒子研究的第二阶段。

与此同期，美籍意大利物理学家塞格雷（1905—）等人于1955年发现了反质子。此后又有人发现了反中子。对费米提出的中微子（实际上是反中微子）的验证也取得突破性进展。中国物理学家王淦昌（1907—）对此作出了突出贡献。由于中微子不带电，不参与电磁相互作用和强相互作用，所以很难测到它的踪迹。直到40年代初，还没有任何实验能够验证它的存在。1941年，王淦昌从抗战时期非常困难而又闭塞的中国后方，向《物理评论》寄了一篇“关于探测中微子的建议”的论文，明确指出用K俘获的办法可以较容易地发现中微子。1942年，艾伦按照王淦昌的方案测量了 ${}^7\text{Li}$ 的反冲能量，取得了肯定的结果，但未能观察到单能的 ${}^7\text{Li}$ 反冲。直到1952年，罗德拜克和艾伦的 ${}^{37}\text{Ar}$ 的K俘获实验才第一次测出 ${}^{37}\text{Cl}$ 的单能反冲能。同年，戴维斯测出了 ${}^7\text{Li}$ 的单能反冲能，与王淦昌的预期结果相符，从而间接验证了中微子的存在。1956年，美国物理学家莱因斯（1918—）和小柯恩（1919—）等人利用大型反应堆，直接探测到了铀裂变过程中所产生的反中微子。1968年，人们才探测到了来自太阳的中微子。

从60年代起，物理学家们又发现了一大批共振态粒子。实际上，50年代末已发现了好几种共振态粒子，但没有引起人们的重视。至60年代人们才对共振态粒子有了新的认识。共振态粒子比其他基本粒子寿命短，以至无法将这种粒子分离出来。目前已发现的共振态粒子有300多种。它们又被叫做第三代基本粒子。

### （3）基本粒子理论

随着基本粒子的不断涌现和人们对其性质的深入研究，关于基本粒子的理论也在不断发展。人们渴望在多样性中寻求统一，也希望揭示基本粒子的内部结构和运动规律。因此，基本粒子理论研究主要集中在基本粒子结构和各种粒子相互作用方式的统一性两个方面。

介子被发现以后，费米和杨振宁于1949年提出介子可能是由质子、中子及其反粒子构成的。1953年，美国物理学家霍夫施塔特（1915—）用高能电子轰击质子。从电子散射的情况发现，质子的电荷不是集中于一点。此外，实验中测出中子的磁矩分布也有一定范围。这说明质子和中子是有内部结构的。奇异粒子被发现后，费米与杨振宁模型无法说明奇异数的来源。为此，日本的坂田昌一自觉运用恩格斯的辩证唯物主义思想，提出了强相互作用粒子的复合模型，也叫坂田模型。坂田认为，质子、中子和超子可作为强子（包括介子和重子两大类）的3种基础粒子，所有强子都是这3种粒子与它们的反粒子构成的复合体。坂田模型对于基本粒子结构的研究起到了开创性作用。它不仅解释了介子、重子的一些性质，而且还预言了 $\rho$ 介子的存在。1961年发现的 $\rho$ 介子与坂田理论非常一致。但坂田模型也存在严重缺陷，还有一些事实无法解释。

1961年，美国的盖尔曼（1929—）和以色列的奈曼（1925—）提出了以对称性为基础的8重态模型。它把若干种性质十分相近的粒子看成是同一种

粒子的不同态。基本粒子大家族由这样的一些 8 重态构成。1964 年，盖尔曼又提出了夸克模型。他认为只要用  $u$ 、 $d$ 、 $s$  3 种夸克置换坂田模型中的 3 种基础粒子，就可以用夸克  $u$ 、 $d$ 、 $s$  及其反夸克  $\bar{u}$ 、 $\bar{d}$ 、 $\bar{s}$  组成所有的强子。夸克模型认为，介子由夸克与反夸克组成，重子都由 3 个夸克组成。这一模型的独到之处在于：夸克的重子数与电荷数都具有分数值，而且每个夸克的质量要比它所组成的强子大得多。夸克模型解释了介子与重子的性质，预言了  $\rho$  粒子的存在。1964 年， $\rho$  粒子被发现，其质量和预计的相当。夸克模型很快引起人们重视。

1966 年，以朱洪元和胡宁为首的中国北京基本粒子理论组根据已有的实验和理论，认为对称性的产生与破坏都说明强子内部有某种结构，由此提出了一种强子结构的层子模型。“层子”表示它也是物质无限层次中的一个层次。层子模型唯象地引入了强子中的层子波函数，以描述强子的内部结构，并用相对论 20 协变方法计算了强子的各种弱作用衰变和电磁作用衰变的衰变率。理论与实际相符合。基本粒子具有内部结构的思想也日益为人们所接受。

1970 年，美国物理学家格拉肖（1932—）等人提出第四种夸克存在的假设，称作粲夸克（ $C$ 、 $\bar{C}$ ）。1974 年，美籍华人丁肇中（1936—）实验小组和美国物理学家里希特（1931—）实验小组分别独立发现了一个大质量、长寿命的窄共振态介子，称为  $J/\psi$  粒子。盖尔曼的夸克模型不能解释它的性质，而用粲夸克则可对这种新奇的共振态介子作出解释： $J/\psi$  粒子是由粲夸克和反粲夸克组成的。后来实验又发现了一些只含一个粲夸克和一个反粲夸克的介子和重子。1977 年，费米实验室的莱德曼（1922—）又发现了一种新的重介子  $r$ （宇普西隆）。人们又猜测  $r$  可能是由第五种夸克和反夸克组成的。这样就共有  $u$ 、 $d$ 、 $s$ 、 $c$ 、 $b$  5 种“味”的夸克。人们又把每种“味”夸克分成红、绿、蓝 3 种颜色。“味”和“色”都是不同量子状态的形象化表示。理论上研究认为，自然界的夸克数应为偶数。人们认为还应存在第六种夸克，并取名为顶夸克（ $t$ ）。但这还有待于实验证实。究竟有多少种夸克？高能物理的理论分析的结论是夸克的“味”不会超过 16 种。

由于夸克模型能够成功地解释许多已知事实，所以人们对它非常重视，极力寻求自由夸克。科学家们用海水和陨石作实验，探测宇宙射线，使用各种高能加速器，但这些努力都毫无所获。对此，多数人认为是“夸克禁闭”造成的：当夸克之间的距离增大时，其结合力的势能也随之趋向无穷，因此夸克将永远被囚禁在强子之中。但也有少数人认为自由夸克的质量很大（而在强子中束缚状态的夸克质量并不大），现有的高能加速器所提供的能量还不足以产生出自由夸克来。70 年代初，在量子规范理论的基础上发展了一种描述强相互作用的新理论——量子色动力学。根据这一理论，存在着与电磁场对应的胶子场。电磁场的作用量子是光子，胶子场的作用量子是胶子。光子和胶子的静止质量都为零，自旋都为  $h$ 。但光子不带电荷，而胶子则带色荷。有 8 种不同色荷的胶子，把夸克牢牢地粘合在一起。人们把看不到带色的自由夸克和胶子叫做色禁闭。按照汤川介子理论和夸克模型理论，强相互作用的传递者是介子，介子由夸克和反夸克组成，因此，介子传递强相互作用的性质，来源于胶子传递强相互作用的性质。1979 年 8 月，丁肇中

实验小组在西德汉堡正负电子对撞机上发现了三喷注现象。实验值与量子色动力学的理论计算值相符。这间接地证明了胶子的存在。但强子结构理论的研究，仍面临许多重大问题。与此相关，如何理解物质的可分性和物质可分的无限性，也有待人们深入探讨。

在探索基本粒子结构的同时，对基本粒子相互作用方式的统一性的研究也取得重大进展。在基本粒子世界中，除已知的引力和电磁相互作用外，还存在强相互作用与弱相互作用。强相互作用是汤川秀树在研究核子的结合力时首先明确提出来的。强相互作用的力是短程的，但强度大，大约是电磁作用的100倍。弱相互作用最初是由费米在衰变理论中提出来的。弱相互作用的力程极短，其强度只有强相互作用的 $10^{13}$ 分之一。

早在40年代，人们就开始探讨弱相互作用与电磁相互作用的统一了。1961年，格拉肖提出了一个弱电统一的理论模型，为弱相互作用与电磁相互作用的统一奠定了基础。美国的温伯格(1933—)在1967年、巴基斯坦的萨拉姆(1926—)在1968年分别提出了弱相互作用与电磁相互作用的规范理论，简称W—S模型。它不仅解释了已知的弱相互作用与电磁相互作用的基本规律外，还预言了尚未被人所知的传递弱相互作用的粒子——中间玻色子 $W^+$ 、 $W^0$ 和 $Z^0$ 。1983年，意大利物理学家鲁比亚领导的小组通过高能质子—反质子对撞机的实验找到了这3种中间玻色子。实验结果与理论预言基本一致。弱相互作用与电磁作用在理论上已能统一起来，但它所预言的另一个粒子“黑格斯”至今尚未找到。近年来，以夸克模型，W—S模型和量子色动力学为基础的标准模型逐步发展起来，形成一个比较成功的基本粒子物理理论。物理学家正朝一个目标努力，试图把3种乃至4种相互作用统一起来，建立大统一理论。1984年，英国伦敦大学的格林教授和美国加州大学的斯瓦兹首先提出了超弦理论。1985年，美国另一位物理学家戴维·格劳斯又提出了杂化弦的超弦理论。超弦理论旨在解决引力的量子化和将4种相互作用统一起来的问题。这是探索大统一理论的最新进展。

在微观粒子体系中，有一种反映空间的左右对称性的概念，叫做宇称。不同种类的基本粒子，或具有偶宇称，或具有奇宇称。1956年以前，多数物理学家都认为，由多个粒子组成的体系，无论在相互作用中发生什么变化，它的总宇称是保持不变的。这就是宇称守恒定律。但在1954—1956年，人们在实验中发现了质量、寿命和电荷都相同的两种粒子，一个叫 $\pi^+$ 介子，一个叫 $\pi^0$ 介子。这两种粒子的唯一区别在于： $\pi^+$ 介子衰变为2个 $\pi^0$ 介子，而 $\pi^0$ 介子衰变为3个 $\pi^+$ 介子。3个 $\pi^+$ 介子的宇称为负，2个 $\pi^0$ 介子的宇称为正。所以从衰变行为来看，如果宇称守恒，则 $\pi^+$ 和 $\pi^0$ 不可能是同一种粒子。但它们的质量、寿命和电荷都相同，又应是同一种粒子。这就是所谓的“ $\pi^+$ — $\pi^0$ ”之谜。1956年，在美国工作的物理学家李政道(1926—)和杨振宁(1922—)对当时有关实验资料作了全面考察。他们发现在电磁相互作用和强相互作用中，宇称是守恒的；但在弱相互作用过程中，并没有可靠的实验证据。他们指出：“目前的 $\pi^+$ — $\pi^0$ 之谜可以看作是宇称守恒定律在弱相互作用中并不成立的一个迹象。”如果在弱相互作用中，宇称可以不守恒，则 $\pi^+$ — $\pi^0$ 之谜将迎刃而解。李、杨二人还提出用哪些实验可以检验宇称守恒定律。另一位华

---

高能正负电子相撞时，末态强子飞行方向的分布并不是各向同性的，而是集中在某几个立体角很小的区域内，很象从正负电子对撞点喷射出去的几束粒子注，因此称为喷注。

裔美籍女物理学家吴健雄（1915—）率先用  $^{60}\text{Co}$  实验对宇称守恒定律作了检验，证明了在衰变过程中宇称确实是不守恒的； $\pi^+$  和  $\pi^-$  是同一种粒子也得到了确认（即  $K^0$  介子）。弱相互作用中宇称不守恒的提出和证实，使人类对基本粒子性质及弱相互作用的规律的认识跃上一个新高度。李政道和杨振宁因这一成就于 1957 年获得诺贝尔物理学奖。这是华人第一次获诺贝尔奖，而且取得成就后一年就被授奖，在历史上是没有先例的。

#### （4）高能实验装置

用于原子核物理和基本粒子物理研究的高能实验装置之一是粒子加速器。它用人工加速带电粒子，可产生高能量、高强度的粒子束，是人类历史上规模最大、耗资最多的实验装置。最早的加速器是 1932 年英国物理学家考克饶夫特（1897—1967）和爱尔兰物理学家瓦尔顿（1903—）在卢瑟福实验室建造的倍压加速器。它是一种直线型加速器。由于技术上的困难，直线型加速器长期没什么发展。直到第二次世界大战以后，由于微波技术的发展和稳相原理的提出，直线型加速器才东山再起。1948 年，在美国加州大学建成第一台质子直线加速器，能量达 32 兆电子伏。1966 年，美国斯坦福大学建成 3050 米长的电子直线加速器，能量达 24 京电子伏。

另一种类型的加速器是回旋加速器。粒子在环形轨道上运动。第一个回旋加速器也是在 1932 年由美国物理学家劳伦斯（1901—1958）设计制造的。1944—1945 年，原苏联物理学家维克斯列尔（1907—1966）和美国物理学家麦克米伦（1907—）分别独立发现了自动稳相原理，设计建造了稳相加速器（即同步回旋加速器）。此外，有人还发展了等时性回旋加速器。1952 年，美国建成第一台质子同步加速器。用它所加速的质子，打出了  $K^-$ 、 $\Lambda^0$ 、 $\Sigma^+$  等奇异粒子。1959 年，在日内瓦建成的强聚焦质子同步加速器，能量达 28 京电子伏。1973 年，用它发现了中性弱流，为弱—电统一理论提供了支持。1960 年，布鲁海文实验室建成了 33 京电子伏的强聚焦质子同步加速器。利用它在 1962 年发现了中微子  $\nu_\mu$ ，1974 年发现了 J 粒子。70 年代，在美国和日内瓦建成了两座世界上最大的质子同步加速器，最高能量分别达 500 京电子伏和 400 京电子伏。

高能实验装置在 60 年代以后的一个重要进展是建造对撞机。在这之前的加速器只产生一束高能粒子。随着加速器能量的提高，这种加速器存在很大的能量损失。为提高有效作用能量，人们提出建造对撞机。对撞机原理是美国物理学家开尔斯特（1911—）和奥尼耳（1927—）于 1956 年提出的。根据动量和能量守恒定律，粒子碰撞的有效能量（即能引起粒子反应的能量）只取决于粒子的相对速度。对撞的效果对于更高能量和更轻的粒子（如电子）更为显著。目前世界上已建造了几十台对撞机。1981 年，在日内瓦欧洲核研究中心建成的质子—质子对撞机，能量达  $2 \times 270$  京电子伏。1983 年，在这台对撞机上发现的玻色子  $W^+$ 、 $W^0$  和  $Z^0$ ，成为验证弱—电统一理论预言的证据。

中国于 1988 年 10 月 16 日建成了第一台高能加速器北京正负电子对撞机，首次对撞成功。1988 年 12 月 12 日，中国最大的重离子加速器在兰州建成。1989 年，在合肥又建成同步辐射加速器。这三项工程的完成，标志我国的加速器技术已接近国际先进水平。

目前，欧洲核研究中心正在建造一台大型质子—质子对撞机，能量为 16 太电子伏。人们期望能用它产生顶夸克、发现黑格斯粒子等新粒子和新现象。

半个多世纪以来，加速器的发展异常迅速，粒子的能量提高了6个数量级（由 $10^6$ 电子伏到 $10^{12}$ 电子伏），成为当代大科学的重要标志之一。粒子加速器为原子核物理和基本粒子物理提供新的实验结果、新的证据和新的课题。基本粒子物理学每一个新理论的提出，都对加速器提出新的更高要求，也提出新的加速原理，推动着加速器的发展。在当代科学中，理论与实验以及技术的相互依存、相互促进的密切关系，由此可见一斑。

到目前为止，基本粒子物理学还处于积累实验事实，提出假说和创立理论的阶段，有许多未解之谜等待探索。但是，基本粒子物理学已对原子核物理学、天体物理学、凝聚态物理学产生了重要促进作用。粒子加速器产生的粒子束已被用于治疗癌症。粒子加速器在工业辐照和工业探伤等方面的应用已有30多年。高能直线加速器大功率束调管技术的发展，促进了大功率发射管技术的进步，推动了广播通讯事业的发展。由同步辐射加速器发展起来的同步辐射光源，现已进入到第三代，在许多领域，特别是在大规模集成电路光刻和超微细结构的加工方面获得了广泛的应用。

## 2. 凝聚态物理学的进展

当代物理学把固态物质和液态物质统称为凝聚态物质。固体物理学作为物理学的一分支学科，形成于20年代末。30年代，它以量子力学为基础蓬勃发展起来。第一本全面论述固体物理的书是1941年塞兹写的《近代固体理论》。它是固体物理奠基性的专著，对这一学科发展影响深远。凝聚态物理学是40—50年代由固体物理学发展而来的。它一方面扩大了研究对象，从晶体扩展到非晶体，还包括许多液体。另一方面，它在理论处理中更多地考虑了粒子之间的相互作用。凝聚态物理学是当代物理学中最庞大的一个部分，有许多分支学科，其中以半导体物理、超导体物理和非晶态物理发展最快，影响也最大。

### （1）固体物理学

1928年，美籍瑞士人布洛赫（1905—）利用量子力学的薛定谔方程求解电子在周期势场中的运动，建立了固体的能带理论。该理论认为：晶体中原子能级与孤立原子的能级不同；它由很多个彼此相隔很近的子能级构成，通常称为能带。能带理论为固体提供了一个普遍适用的微观结构模型。1933年，英国物理学家威尔逊（1874—1964）利用能带理论解释了金属、绝缘体和半导体之间的区别。

第二次世界大战以后，由于理论研究的深入和材料制备工艺技术的进步，固体物理学发展到了一个新阶段，不断取得新的成果并扩展和分化出新学科。首先，在理论方面，人们已开始探索凝聚物质中粒子的相互作用，在1947—1958年间扩展到凝聚物质的多粒子问题；凝聚态物理学也逐步形成。其次，实验技术取得长足进展。电子顺磁共振、核磁共振等波谱学技术被广泛应用，使许多实验室都能制备液态氢。晶体生长方法的改进，可以使人获得极纯或没有缺陷的各种材料的单晶，为半导体及其他材料的发展提供了技术基础。超低温、超高压、超强磁场等极端条件的技术也迅速进步。1965年，荷兰科学家首先制造出稀释致冷机。80年代初，芬兰的劳纳兹玛（1930—）等人制成一台恒温器，其中铜核自旋已被冷却到 $5 \times 10^{-8}$ K。1989年，殷实等人在芬兰用级联核绝热去磁法得到了 $2 \times 10^{-8}$ K的最低温度。超低温技术的发

展使人们认识到许多新的物理现象，超导体物理就是在此基础上发展起来的。1953年，美国通用电器公司设计了一种“BELT”型的高压装置，可产生约6万公斤/厘米<sup>2</sup>的压力。利用它在1955年首次合成了金刚石。

运用这些先进的实验手段，科学家们获得许多意外发现。近年来发现的C<sub>60</sub>就是其中之一。1985年，英国的克罗多等在研究激光辐照石墨产生的碎片中用质谱发现，存在另外一种碳形态——笼状碳簇合物，其粒子数为60。他们提出了C<sub>60</sub>的足球模型。足球表面由20个正6边形和12个正5边形组成。如果在每个顶点都放一个碳原子，正好是60个。这样一种特殊结构，具有高度稳定性。人们用擅长设计网笼结构的著名建筑师Buckminster Fuller的名字，将这种笼状碳簇合物命名为Buckminsterfullerene，中文称为巴基球或富勒球。1990年，德国的克拉茨莫研究组用石墨电极在氦气中电弧放电，制备了较多数量的笼状碳簇合物，为C<sub>60</sub>的研究开创了新路。不久人们发现碱金属掺杂C<sub>60</sub>固体具有超导性，其超导转变温度达30K左右。目前有关C<sub>60</sub>的物理、化学等方面的研究已成为科学界关注的焦点。

1958年，安德逊发表了一篇“扩散在一定的无规点阵中消失”的论文。这项研究无序体系电子态的开创性工作，为非晶态材料的电子理论奠定了基础。1960年，美国的杜威兹等人用喷枪法获得非晶态Au—Si合金。这是制备非晶态金属的重要突破，并且开拓了非晶态金属的研究领域。1973年，美国联合化学公司生产的非晶态金属玻璃薄膜已经实现商品化。日本现在已大批量生产用非晶软磁合金制作的各类磁头。

1967—1969年，在安德逊局域化理论的基础上，莫特等人建立了非晶态半导体的能带模型。它认为非晶态半导体中的势场是无规变化的，但其无规起伏没有达到安德逊局域化的临界值，因此电子态是部分局域化的。这个模型虽尚未被普遍接受，但实际已成为非晶态半导体电子理论的基础。1975年，斯皮尔在硅烷辉光放电中引入硼烷和磷烷，制备出了P型和n型非晶硅。1976年，美国的卡尔逊制造出世界上第一个非晶硅太阳能电池。这些成果使非晶半导体材料的应用展现出美好前景，引起各国科学家重视。90年代初，4叠层非晶硅氢太阳能电池的能量转换效率已达15%，并接近工业生产阶段。

1976年，莫特和戴维斯合著了《非晶固体中的电子过程》，对非晶态物理的理论作了进一步探讨。安德逊和莫特在非晶态物理方面的贡献，使他们荣获1977年诺贝尔物理学奖。

目前，非晶态物理的研究尚处于发展初期。随着理论的不间断突破，它的应用范围将更广阔。

## (2) 半导体物理

布洛赫的能带理论为半导体物理的形成奠定了理论基础。此后，威尔逊在用能带理论解释金属、绝缘体、半导体的区别的基础上，又提出了杂质能级的概念，对半导体导电机理有了新的认识。1939年，原苏联的达维多夫、英国的莫特、德国的肖特基各自独立提出了有关半导体整流作用的理论。

在理论探索的同时，从20—30年代开始，有人试图制造晶体管，但未能获得成功。

晶体管的发明是固体物理学发展的产物。而通过制订严密规划并组织科学家攻关，则促进了这一成果的取得。从30年代起，贝尔实验室研究部下属

真空管分部主任凯利（1894—）一直考虑用某种新的器件取代真空管，因为真空管有许多缺点，不能满足电子技术日益发展的要求。凯利认为，应制订一个研究规划，深入地探索半导体，而先不考虑实用。1939年，凯利集中了一批优秀的青年科学家，给他们提供良好的条件和充分的研究自由。1945年，贝尔实验室成立了固体物理研究组。理论物理学家肖克利（1910—）任组长，成员有巴丁（1908—）和布拉顿（1902—）等人。他们拟订了周密的研究和实验方案，进行了艰苦的探索。肖克利提出了“场效应”的预言。巴丁提出了半导体表面态和表面能级的概念。这些都对半导体理论的发展做出了贡献。随着每一个新观点的提出，他们不断修正实验方案。1947年12月23日，他们终于成功了。巴丁和布拉顿在一块锗晶片表面安放了两根非常细的钨金属针。一根固定，另一根是加有负电压的可精密移动的探针。锗片背面焊有一根粗一点的金属丝。当探针移动到距离固定针0.05毫米处时，流过探针的电流发生微小起伏，竟引起固定针与锗片背面粗金属丝之间电流的大幅度变化。他们终于制成了世界上第一只点接触晶体管。肖克利等三人获1956年诺贝尔物理奖。1949年，肖克利小组又提出了Pn结的整流理论。1951年，他们又制造出nPn型和PnP型晶体管。1954年，美国得克萨斯仪器公司研制的第一只硅晶体管上市。1960年，霍恩尼公司和法尔奇德公司相继发明出平面晶体管，使半导体器件发展到一个新阶段，并为集成电路的产生和发展开辟了道路。

晶体管的出现，促进了半导体物理的发展。1958年，日本的江崎玲於奈（1925—）发现半导体中的隧道效应现象，并制造了隧道二极管。近年来发现的“电子—空穴液滴”现象引起人们的兴趣。1978年，科学家获得了电子—空穴液滴的照片，取得了研究的进展。物理学家希望对此研究会完全弄清纯半导体内的各种元激发间的相互作用，并开辟更广阔的应用前景。

### （3）超导物理学

早在1911年，荷兰的昂纳斯（1853—1926）首次发现了在4.2K时水银电阻突然消失的超导电现象。1933年，迈斯纳（1891—1959）发现超导体内部的磁场是保持不变的，而且实际上为零。这种完全抗磁性是超导体的另一个基本特性，被称为迈斯纳效应。1935年，伦敦兄弟（F. London, 1900—1954；H. London, 1907—1970）提出了描述超导体的宏观电动力学方程——伦敦方程。

第二次世界大战以后，超导物理研究发展很快。1950年，弗留里希（1905—）提出电子和晶格振动之间的相互作用导致电子间的相互吸引是引起超导电性的原因。同年，麦克斯弗和雷诺等人同时独立发现，超导的各种同位素的超导转变温度 $T_c$ 与同位素原子质量 $M$ 之间存在如下关系： $T_c \propto M^{-1}$ ；对于一般元素， $T_c \propto \frac{1}{M}$ 。这叫同位素效应。1957年，巴丁、库柏

（1930—）和施里弗（1931—）共同提出了超导电性的微观理论：当成对的电子有相同的总动量时，超导体处于最低能态；电子对的可相同动量是由电子之间的集体相互作用引起的，它在一定条件下导致超流动性；电子对的集体行为意味着宏观量子态的存在。这就是著名的BCS理论。它成功地解释了超导现象，标志着超导理论的形成，对后来的超导研究产生了极大的影响。1972年，巴丁三人共同荣获诺贝尔物理奖。1962年，英国年仅22岁的研究生约瑟夫森（1940—）根据BCS理论计算出，由于量子隧道的作用，可以有一直

流电流通过两个超导金属中间的薄绝缘势垒。这就是直流的约瑟夫森效应。他还提出了交流的约瑟夫森效应。他的预言被以后的实验证实。人们利用约瑟夫森效应制成了极其灵敏的探测器。1973年，约瑟夫森获诺贝尔物理学奖。

自超导电性发现起，人们就尝试利用它为人类服务。但超导电性还不能在各领域广泛应用的障碍在于超导体的临界温度太低。因此，从昂纳斯的时代开始，人们一直在寻找高临界温度的材料。80年代以来，高温超导材料的研究取得长足进展。

1986年1月，瑞士的缪勒和柏诺兹经过3年艰苦探索，用钡镧氧化物获得了30K的超导转变温度。1986年4月，他们在德国的《物理学杂志》宣布了这一成果，但未引起同行重视。其原因之一是论文只提到了这一材料的零电阻效应，而没有对抗磁性作探讨。1986年10月，他们再次投稿，肯定了所制备的样品具有完全抗磁性。不过这篇论文迟至1987年才发表。1986年11月，日本的内田等人按照缪勒等人的配方制出了类似材料，并证实了它的完全抗磁性。至此，缪勒和柏诺兹的研究工作得到公认。缪勒二人共获1987年诺贝尔物理学奖。

1987年初，围绕高温超导材料展开了一场激烈的国际角逐，掀起了全球超导热。1987年2月，美籍华裔科学家朱经武用钇代替镧，获得了起始转变温度为90K的高温超导陶瓷。3天以后，中国科学院物理所赵忠贤研究组用钇钡铜氧化物获得了起始转变温度93K的超导体。各国实验室不甘落后，纷纷用各种化合物进行探索。一段时间内，超导材料临界温度直线上升，简直是日新月异。1990年，日本日立研究所超导中心发现了钒系高温超导材料，其临界温度达132K，并更新了铜系超导理论。中国国家超导研究中心同年研制出铋铋系材料，临界温度也达132K。

超导材料的应用也获得蓬勃发展。1990年7月，日本宣布制成大型核反应堆必不可少的超导线圈，效果提高了近千倍；此外还研制成世界上第一艘超导电磁推动船。中国科学院物理所于1990年9月研制出高温超导薄膜，达到世界先进水平。中国研制的高温超导量子干涉探测器已试用于野外地磁测量，初步试验结果令人满意，达到了世界先进的技术性能指标。

超导研究的下一个目标是使超导临界温度达到常温。人们正在探索新的途径，尝试用氟、氮、碳部分取代氧，或在钇钡铜氧化物中加钪、锆和其他一些金属元素。金属氢的超导电性也是目前科学家极力研究的一个课题。高温超导材料的突破，将导致一大群新技术的兴起，并将对人类文明产生深远的影响。

### 3. 化学元素的新发现

到1945年，元素周期表中1—92号元素都已被发现。而且，33人们还于1940年、1945年制取了两种超铀元素镆和钷，从中获得的经验为后来合成新的超铀元素开辟了道路。1944—1945年，美国的西伯格（1912—）、摩根、詹姆斯和吉奥索等人又合成了95、96号元素。到1961年，93—103号超铀元素都被合成和鉴定出来。其中多数超铀元素是用高能粒子轰击原子核获得的，而99、100号元素则是在热核爆炸试验中意外发现的。这些超铀元素的发现，使元素周期表发展到一个新阶段。

1964年，原苏联杜布纳核研究所的弗列洛夫小组用氦离子轰击氧化钷

靶，获得了 104 号元素。1969 年，美国贝克莱实验室的吉奥索小组也分别用三种方法制取了 104 号元素。这是第一个超铀元素。1970 年、1974 年，美国、原苏联又合成了 105、106 号元素。1976 年，原苏联的欧甘涅夏用  $^{54}\text{Cr}$  轰击  $^{209}\text{Bi}$  得到了 107 号核素。它的半衰期只有千分之二秒。1982 年，原联邦德国的阿姆布鲁斯特以  $^{58}\text{Fe}$  轰击  $^{209}\text{Bi}$  制得了 109 号元素。1984 年，另一位原联邦德国的核物理学家姆金伯格用  $^{58}\text{Fe}$  轰击  $^{208}\text{Bi}$  制取了 108 号元素。1988 年，杜布纳核研究所用重离子加速器加速的钙离子和氫离子轰击钷核和铀核，获得了 110 号元素的 40 个核。它们的平均寿命为 0.01 秒。104—110 号超铀元素寿命太短，人们很难充分研究它们的化学性质。

科学家们在探索人工合成超铀元素的同时，也在自然界中寻找超铀元素。1951 年，西博格和莱文从加拿大沥青铀矿中发现  $^{238}\text{U}$  的蜕变产物  $^{239}\text{Pu}$ 。后来有人从硅铍钼矿中找到了  $^{247}\text{Cm}$  的子体  $^{243}\text{Am}$  和  $^{239}\text{Pu}$ 。1970 年，在阿波罗—11 号取回的月亮尘土样品中发现了  $^{242}\text{Cm}$  和  $^{247}\text{Cm}$ 。

近来有人提出存在着超重元素稳定岛的假说，认为在质子数为 114、中子数为 184 处，有一个稳定岛。这一假说有待于新的发现来证实。

#### 4. 蓬勃发展的化学学科

当代化学已形成包括许多分支学科的庞大体系。化学传统学科之间、化学与其他学科之间的交叉、融合，导致了一些交叉学科的产生。理论的发展和技術需求也促进了新学科的兴起。当代化学正是在这些交叉学科和新兴学科领域取得了重大进展。此外，由于新理论和新分析实验技术的应用，化学传统学科也焕发了青春，不断取得新成果。

##### (1) 无机化学

作为传统学科的无机化学，近 40 年来蓬勃发展。有人称之为“无机化学的复兴”。在无机化学中取得显著成就的领域有无机固体化学、金属有机化学、生物无机化学等。

现代科学技术如空间技术、计算机、激光、电子设备等都需要特殊性能的固体材料。无机固体化学就是研究这些材料的制备过程。这些材料的制备一般要求高温、高压、强电场等苛刻条件。50 年代以来，一些新工艺创造出系列崭新性能的新材料。1955 年，美国在 2000 和 5.5 万大气压下从碳与铁、钴、镍等金属溶质中凝出金刚石小晶体，开拓了工业规模生产人造金刚石磨料的道路。70 年代以来，原苏联采用高温低压气相沉积法生产出金刚石薄膜。以后各国又发展了低温低压法。60 年代，美国采用快速冷凝技术合成了非晶态金——硅合金，即“金属玻璃”，从而开创了非晶材料的时代。此后，快速冷凝微晶材料也迅速发展起来。高温粉末合金、超细金属纤维、单晶合金、记忆合金、金属间化合物、高性能陶瓷和超细纤维复合材料等如雨后春笋。它们都是无机固体化学结出的硕果。在电子技术中，无机固体化学也是功勋卓著。70 年代半导体材料硅的纯度已达到 99.999999999%。稀土元素的研究和开发也是无机固体化学的重要领域。稀土元素的化合物具有特殊的催化性能和光学、磁学性能。近年来超导材料的重大突破，就是在研究镧、钇以及钡、铜氧化物体系的基础上取得的。

金属有机化学是无机化学与有机化学结合的产物。早在 20 世纪初期，人们就合成了四乙基铅并发现了它的抗爆性质。1951 年，二茂铁的合成及其结

构的测定，标志着金属有机化学的诞生。60年代，金属元素簇络合物化学、原子簇化合物化学的研究迅速兴起。1967年美国的佩德森（1904—）公布了60种新型大环聚醚化合物的合成及特性。他在研究矾催化剂活性时偶然发现，二苯并18—冠—6的环状多齿配位体能与金属钠形成稳定的络合物。这种新型化合物氢化后的分子具有特殊结构，在其环上有18个原子，其中有6个氧原子，象钻石一样分布在一个平面上，其余12个是碳原子，排列如同帽沿，整个结构好象皇冠。所以佩德森将其命名为“冠醚”。克拉姆（1911—）在佩德森研究的基础上，又发现了一系列具有化学活性的冠醚化合物。他将20多冠醚化合物作为主体化合物，用多种不同取代基的伯胺盐作为客体，共同混合，主客体相互识别，选择伙伴，结成新的络合物。法国的莱恩（1939—）于1969年合成了另一类大环聚醚化合物——“穴醚”。佩德森、克拉姆、莱恩三人分享了1987年诺贝尔化学奖。现在新型的金属簇化合物，已有夹心式、笼状、簇状、穴状等多种类型。原子簇化学的快速发展，产生了许多有待解决的新问题。如电子结构、反应机理及其开发应用等。金属簇化合物在结构成键方式和性质方面具有多种特性。它的催化活性、生物活性和导电性能引起了合成化学、材料科学及理论化学界的极大兴趣。它将是今后一段时期内无机化学最富有希望的领域之一。

当代无机化学合成及无机化学理论方面也取得一些重大成就。1962年；柏莱特将 $\text{PtF}_6$ 的蒸汽与过量的氙在室温下混合，结果生成了 $\text{XePtF}_6$ 的红色晶体，从而突破了惰性元素不能形成化合物的传统观点，同时推动了氙化学及其他惰性元素化合物的研究。1963年，皮尔逊提出了软硬酸碱理论。他认为酸碱反应的规律为：硬酸优先与硬碱结合，软酸优先与软碱结合。这个理论是一个很有用的经验规则。它进一步指明了酸碱的特征，初步揭示了酸碱的特殊规律，从而使人们对酸碱的认识由一般进入到特殊阶段。目前软硬酸碱理论还有待于进一步深化。

生物无机化学研究生命体系和生命现象中一些化学元素和金属在生命体的基本结构单元中的成分、分布、化学反应和能量转换等规律。它是用无机化学的原理来解决生物化学的问题。生物无机化学的研究目前已取得许多成果，是当今无机化学最活跃的一个研究领域。

## （2）分析化学

20世纪40年代，由于仪器分析方法逐步取代经典分析方法以及物理学、电子学向分析化学渗透，化学分析的灵敏度、准确度和分析速度大大提高。当代分析化学广泛采用计算机和分析仪器联用，出现了分析仪器的智能化，开辟了新的分析化学领域。一门新的化学计量学正在兴起。

1945年，瑞士化学家施瓦岑巴赫（1904—1978）发明了ED-37TA络合滴定法。此后，他又发现了可以利用调节PH值的方法控制络合物的生成，提高选择性，对混合液进行连续测定，而不需分离。这一方法准确度高，选择性好，操作简便，所以发展很快。到60年代，结合掩蔽干扰离子方法，它已能测定66种元素。

1953年，澳大利亚的沃尔什正式提出利用原子吸收光谱建立新的吸收光度法。第二年，他展示了第一台简单的原子吸收分光光度计。原子吸收光谱法灵敏、快速、准确、简便、经济、因此应用普遍，发展很快，在十几年间，已可以测定几乎所有金属元素及一些非金属。

色谱分析法崛起于50年代，是目前应用最广泛、最具特色的分析方法之

一。1952年，英国的詹姆斯等创造了气—液色谱法。1959年，荷兰的范·底姆特在前人研究成果的基础上，提出了气相色谱法的速率理论，建立了色谱分析法的动力学理论基础。50年代后，又出现了高效液相色谱分析。1963年，可用于高效液相色谱的紫外检出器问世，实现高效液相色谱分析的条件已经成熟。高效液相色谱法更适用于分离和测定高沸点、热稳定性差、分子量较大和具有生理活性的物质，广泛应用于核酸、肽类、药物、人体代谢产物、表面活性剂、杀虫剂等的检测。

50年代以后，质谱分析法、放射化学分析法等也有重大发展。各种分析方法的应用，使当代分析化学达到了前所未有的水平，呈现出高灵敏度、高分辨率、高速度的特点。目前，可以测出 $10^{-12}$ 克的物质，可以把复杂混合物中上千种组分一一分离并检出；过去几小时、几天甚至几年才能完成的分析工作，现在几分钟、几秒钟即可完成。

### (3) 有机化学

当代有机化学在理论和实践方面都有很大发展。人们对有机化合物的结构、化学反应机理、化学键的本质与空间构型等方面的理论认识有新的飞跃。第二次世界大战以来，石油化学工业发展迅猛，促进了有机合成工业的进步，橡胶、塑料和纤维三大合成材料几乎全都来自石油和天然气。

1945年，德国化学家维蒂希(1897—1987)对氮、磷、砷等VA族元素和5个有机取代基的共价结合进行了深入探讨。到1953年，他的研究取得重大突破，发现二苯甲铜加成物的特性变得不再稳定，而又分裂成二苯乙烯和氧化三苯磷。维蒂希发现的重排反应，揭示出磷和碳之间的具有形式上双键的有机磷化合物是可以和羟基化合物发生反应的。这为制烯的方法开辟了新的途径。羟基化合物的烯化作为一种制备方法很快获得实际应用。“维蒂希反应”被列为有机合成的基本反应之一。维蒂希获得了1979年诺贝尔化学奖。

1953年，德国化学家齐格勒(1898—1973)发现了低压聚乙烯催化剂 $Al(C_2H_5)_3 \cdot TiCl_4$ ，从而导致了乙烯常温常压聚合的实现，引起了聚乙烯生产的一次重大革命。1955年，意大利的纳塔(1903—1979)将齐格勒的催化体系改进为乙基铝— $TiCl_3$ 体系，实现了丙烯的定向聚合，并提出了负离子一定向聚合理论，进一步推动了聚合高分子材料的发展。纳塔与齐格勒共获1963年的诺贝尔化学奖。

一系列立体选择反应和立体专一反应的发现，分子轨道对称守恒原理的提出，为复杂化合物的合成提供了理论基础。50年代出现了色泽鲜艳、牢固耐洗、可印可染，适用于各种纤维的新型活性染料。1975年，还研究成功了昆虫激素杀虫剂，如烯虫脂、丙炔虫脂，以后都发展成为一大类新型高效低毒杀虫剂。在药物化学方面，继40年代青霉素广泛应用后，人们又合成了链霉素、土霉素、氯霉素等。维生素 $B_{12}$ 和红霉素的全合成，标志着有机合成的一个高峰。天然有机化学的研究近40年来也取得重大进展。1955年，英国的桑格(1918— )测定了最简单的蛋白质牛胰岛素的 $\alpha$ 链结构。中国科技工作者经过几年奋斗，于1965年首先合成结晶牛胰岛素，实现了世界上第一次工人合成蛋白质。1970年，美国合成了酵母丙氨酸转运核糖核酸基因——77个核苷酸片断。

高分子化学是有机化学的一个分支。40年代以来，各种高分子产品相继

问世，逐渐进入高分子生产的全盛时代。到 70 年代，全世界生产的塑料为 5000 万吨，已接近木材等结构材料的产量；合成纤维 1500 万吨，等于天然纤维的产量；合成橡胶 600 万吨，为天然橡胶的 2 倍。目前世界高分子材料产量已超过 1.4 亿吨，其体积超过钢铁产量的总和。

#### (4) 理论化学

理论化学包括物理化学、量子化学，主要研究物质结构与性能的关系、化学反应等，有许多分支学科。

本世纪 20 年代中期建立的量子理论很快被用于化学键的研究上，到 30 年代初已建立起两种化学键理论：价键理论和分子轨道理论。50 年代以后，分子轨道理论在有机化学结构分析和合成方面得到广泛应用，理论本身也有重大突破。1952 年，日本的福田谦一提出了“前线轨道”理论，指出在分子的化学反应中填有电子的能量最高轨道和不填充电子的能量最低的空轨道最重要。1962 年，加拿大化学家贝尔德用量子力学的微扰理论处理分子变形对分子轨道的影响，得到了分子轨道对称性决定分子反应方式的结论。伍德活德（1917—1979）和霍夫曼（1937—）在长期有机分子结构分析和有机合成研究中发现，化学反应中的分子变化总是倾向于保持其轨道对称性不变的方式发生，并得到对称性不变的产物。1965 年，他们共同提出了分子轨道对称守恒原理。这一原理对于解释和预示一系列化学反应的难易程度，了解反应物的立体构型等都有指导作用。它的诞生，是结构理论从静态结构到动态结构，反应理论从宏观到微观发展的重要里程碑。霍夫曼和福井谦一共同获得 1981 年诺贝尔化学奖。1952 年，欧格尔把晶体场理论与分子轨道理论结合起来，把轨道能级分裂看成是静电作用和生成共价键分子轨道的综合结果，建立了配位场理论。这个理论比较合理地说明了络合物结构与性能的关系，是比较好的络合物化学键理论。

化学动力学在当代也进入一个崭新的阶段，已能在原子和分子水平上研究其态—态之间的变化，使化学动力学的研究成为化学动态学的研究。1970 年，美籍华人李远哲等人在微观反应动力学的研究中，发展了交叉分子束技术。他设计建成世界上第一台大型分子束碰撞和离子束交叉仪器。该实验装置能分析各种化学反应每一阶段过程。1986 年，李远哲荣获诺贝尔化学奖。

催化剂和催化作用的研究一直是化学中最活跃的一个分支学科。70 年代，人们已经利用量子力学研究催化。多相催化、匀相催化及酶催化方面的理论研究也迅速展开，大大推动了催化科学的发展。1978 年，奥尔特曼（1939—）发现大肠杆菌核糖核酸酶中的 RNA 是这种酶的活性本质之所在。1982 年，切赫（1947—）证明了 RNA 具有酶的催化活性。RNA 催化作用的发现在科学界产生了极大影响。奥尔特曼和切赫分享了 1989 年诺贝尔化学奖。

化学热力学、电化学和溶液理论在当代都取得了重大进展。随着激光的出现，光化学又开辟了激光化学的新领域。真空紫外激光对于化学反应具有催化、诱发及定向控制作用。这样，人们就能以自己的意愿来设计化学反应，以分解或合成所需要的化学物质。这引起了化学合成和化学工业的全面革命，被称为“化学的激光革命”。

量子化学虽然只有近 50 年代的历史，但已建立了比较完善的理论体系。量子化学基础研究与电子计算机结合，在研究分子结构、化学反应、表面化学、催化机理、计算生物大分子和药物分子的结构和功能等方面起到了重要作用。

### (5) 分子工程学

近年来，结构化学与合成化学、理论化学、固体物理等学科相互交融，形成了一门新兴的化学分支——分子工程学。它的目标是达到“分子设计”。它利用结构化学、量子化学的新成果，应用计算化学和电子计算机，揭示微观结构与宏观性能的内在联系，从而使人们能通过理论计算，象设计房屋那样，根据“用户”的要求“设计”新材料、新产品。这样就可以摆脱寻找新材料、新药物等方面的盲目性。目前已有能够设计新型塑料、新型化纤和新型橡胶的“高分子设计”，寻找新药物的“药物设计”，制作新型催化剂的“催化剂设计”，以及“农药设计”、“合金设计”等。高温超导的研究也是“分子设计”的一个重要课题。近 10 年来，许多科学家试图借助于化学计算预测高温超导体的可能性，或者为它的研制提供线索。

分子设计目前还处于萌芽时期。要进行有效的分子设计，需要化学的各个学科与其他学科（如凝聚态物理、仿生学）的相互配合和共同努力。分子工程学已展现出美好的前景，它将使人们随心所欲地创造出前所未有的新物质。

### 三、当代天文学和地球科学的发展

中国古代富有想象力的爱国诗人屈原在“天问”篇中，曾对宇宙的奥秘提出一连串的问号。今天，天文学和地球科学的发展，使这一个个宇宙之谜不断被揭开，一个个新谜又不断出现。借助于光学望远镜、射电望远镜和空间技术，人们的视野已扩展到 150—200 亿光年的时空范围。相对论、核物理学和微波波谱学的渗透，促进了天体物理学的产生，使之成为当代天文学发展的主流。大爆炸等宇宙模型的提出，标志着宇宙学发展到一个新阶段。

本世纪中期以来，由于资源、能源及生态环境等问题日益突出，地球科学的地位比以往更加重要。勘察、测试手段的不断进步，地球物理、地球化学、同位素地质学等分支学科的相继形成，以及国际间日益广泛的合作和大规模综合考察的进行，都极大地推动了地球科学的发展，使其从现象描述走上理论综合的道路。

#### 1. 宇宙探测的进展及重大发现

当代天文探测手段的进步，极大地拓展了天文学研究的范围，使人们发现了更多的天文现象，并更深入地认识到宇宙的奥秘。当代天文探测手段的主要进展有：光学望远镜的改进、射电望远镜的发展、空间技术的应用。当代天文重大发现主要是：脉冲星、类星体、3K 微波背景辐射、星际有机分子谱线等。

##### (1) 宇宙探测手段的进展

从 17 世纪伽利略首创天文望远镜到 20 世纪 40 年代以前，光学望远镜一直是天文观测的主要手段。随着天文学的深入发展，天文学家十分需要口径更大、分辨能力更强的望远镜。但大口径光学望远镜的制造，存在许多技术上的困难。30—40 年代以来，光学、电子学、自动化、镜面材料、精密机械等方面技术能力的提高，为大口径光学望远镜的制造提供了可能。1948 年，美国在帕洛玛山上建立了 5.1 米口径的望远镜。其镜面重达 5 吨，面积为 20 万平方厘米。仅磨制和抛光就用了近 7 年的时间。它的精确度非常高，误差不超过  $2.5 \times 10^{-6}$  厘米。此后大口径的光学望远镜不断出现，到 1978 年，世界上共有 23 架口径为 2.0—6.0 米的望远镜。光学望远镜为天文探测做出了重要的贡献。60 年代初发现的类星体就是用光学望远镜首先观测到的。目前，西欧 8 国正在智利建造一座超大规模的天文望远镜。它由 4 个直径 7.8 米的反射器阵列构成，其聚光能力相当于直径 15.6 米的反射镜，预算投资达 2.35 亿美元。它的建成将使号称目前世界最大、重达 42 吨的原苏联凯克望远镜相形见绌。人们期待用它获得更多的新发现。

光学望远镜有很大局限性，因为它只能接收天体辐射的可见光，其他多种波段的辐射都不能接收。射电望远镜的发明，使人们增添了新的宇宙探测手段，从而开始认识到了银河系空间星际尘埃遮蔽的广阔世界。射电天文学的开创者是美国的央斯基（1905—1950）。他首先发现了来自银河系中心方向的射电辐射。美国天文学家雷伯（1911—）于 1937 年制成了世界上第一台射电望远镜，证实了央斯基关于射电波来自人马座恒星云的发现，还发现了另外一些射电源。第二次世界大战期间，英国的军用雷达接收到了太阳发出的强烈的无线电辐射。从此雷达技术被用于宇宙观测，拉开了射电天文学

发展的序幕。用射电望远镜探测天体，不受天气影响，也不受宇宙尘埃的遮掩。70年代，原西德建成直径100米的射电望远镜，可以在各个波段探测到极微弱的天体无线电波。由于在微波、红外、紫外、X射线和 $\gamma$ 射线等区域中的电磁波会被大气各种成分严重吸收，所以地球上的仪器很难接收到。50年代末以来，随着宇航技术、电子计算机等技术的进步，人类已能冲出大气圈，发展了红外天文学、紫外天文学、X射线天文学和 $\gamma$ 射线天文学。天文学进入了全波天文学时期。射电望远镜发明以来，人们用它发现了3万多个射电源，观测到100亿光年远的星系；60年代后天文学的一些重大发现，大多都是它的功绩。

空间技术的应用也是当代天文探测的重大进展。自1959年以来，原苏联、美国等国多次发射了月球探测器和宇宙飞船，对月球、行星进行探测。美国的“阿波罗”飞船于1969年7月首次登上月球。在6次登月中，采集了许多月球土壤、岩石的标本。1977年，美国发射了“旅行者1号”和“旅行者2号”，开始了对太阳系外空间的探测和对“宇宙人”的寻找。这些探索活动获得了大量宝贵资料。1976年，美国的两艘“海盗号”飞船在火星上软着陆，对其大气层、土壤进行了分析，没有发现生命存在的迹象。1986年“旅行者2号”飞掠过天王星，发现它有明亮的辉光并至少有15颗卫星。

将宇宙探测设备与人造卫星结合，可以摆脱地球大气的干扰。这是宇宙探测技术的一个重大进步。1983年，美国、英国、荷兰合作研制发射了世界上第一颗红外天文卫星。卫星进入高度为900公里的太阳同步极地轨道。它在10个月的工作中，共发现245839个红外源。这些红外源属于银河系恒星和河外星系，或与星系介质有关。1990年，美国“发现号”航天飞机将目前世界上最复杂的哈勃空间望远镜送上太空轨道。它长13.1米，重11600公斤，耗资15亿美元。它上面安装了直径2.4米的主体镜和直径0.3米的次级镜，还有行星摄影机、暗淡天体摄像机、暗淡天体摄谱仪等先进仪器。哈勃望远镜具有超敏感的探测力，其能力相当于从华盛顿观察到1.6万公里外的悉尼的一只萤火虫。它能够探测出比地面望远镜可看到的天体暗淡25—50倍的天体，就像是在地球上看清月球上2节手电筒的闪光。它的观测距离可达150亿光年，清晰度比目前地面望远镜高10多倍。哈勃望远镜的发射运行，将有助于人类揭开宇宙的许多奥秘。

## （2）当代重大天文发现

本世纪60年代以来，由于宇宙探测技术的不断发展，天文学取得了辉煌的成果，人们相继发现了脉冲星、类星体、3K微波背景辐射和星际有机分子谱线、 $\gamma$ 射线爆发、X射线爆发、超新星SN1987A爆发等。

早在30年代，科学家从理论上预言：存在一种致密的中子星。1967年，英国天文学家休伊什（1924—）和他的学生贝尔小姐用一架灵敏的射电望远镜观测星际闪烁。经过1个月的观测记录，贝尔发现在3.7米波长上有一组起伏极为强烈、似乎呈周期性出现的信号。开始休伊什以为是摩托车电火花干扰所致。但其后3个月之中，这组信号反复重现。休伊什感到有必要深入探测。他们用另一台性能更好的大型射电望远镜，又探测到了奇妙的规则脉冲。他们判断信号来自太阳系之外。一年后，科学家们普遍认为，发现的规则脉冲射电源（脉冲星）就是自转的中子星。休伊什因这一发现荣获1974年诺贝尔物理学奖。至今，人们已经发现了400多颗脉冲星。

1960年，美国天文学家桑德奇（1926—）等人发现，射电源3C—48的

位置上是一个亮度为 16 等的蓝星。它的光谱线很不寻常。不久在另一个射电源 3C—273 的位置上，天文学家又发现了一颗 13 等的蓝星。它的光谱类似于 3C—48。天文学家把这种类似恒星的奇特天体命名为类星体。类星体的红移很大。按照哈勃定律，它们应当是距我们百亿光年的遥远天体。它们是极强的射电源，辐射能量相当于 1000 个银河系的能量。但奇怪的是其直径很小，不超过几光年。如此小的体积发射出如此巨大的能量，这是现有的物理知识无法解释的。到 80 年代初，人们记录到的类星体已超过 2000 个。天文学家提出许多不同模型来说明类星体的物理机制，但尚未取得公认的结果。对类星体的研究，可能引起天文学以及物理学的重大突破。

3K 微波背景辐射是 40 年代末大爆炸宇宙说的一个预言。1964 年，美国贝尔实验室为了改进与通信卫星的联系，建立了一套新型天线接收系统。它的定向灵敏度超过了当时所有的同类型射电望远镜。在将近一年的时间里，彭齐亚斯（1933—）和威尔逊（1936—）在波长 7.35 厘米上发现了各向同性的、不随季节变化的背景辐射；它是相当于 3.5K 的黑体辐射。他们与普林斯顿大学的迪克（1916—）深入讨论后，认为所发现的背景辐射是早期宇宙赤热火球的暗淡余光。后来，在 0.5 毫米到 70 厘米波段内许多波长上探到的背景辐射的强度随波长的分布，完全符合理论推算出来的温度为 2.7K 时的黑体谱曲线。一般称之为 3K 微波背景辐射。它的发现，是支持大爆炸宇宙说的一个重要事实。由于这一发现，彭齐亚斯和威尔逊荣获 1978 年的诺贝尔物理奖。

星际有机分子的发现也是 60 年代天文学四大发现之一。1937 年，人们在星际物质中发现了甲川（CH）和甲川离子（CH<sup>+</sup>）。1940 年，又发现了氰基。1954 年，美国物理学家汤斯（1915—）提出用微波谱线寻找星际羟基（OH）。1957 年，汤斯又列出 17 种可能观测到的星际分子。寻找星际羟基并非一帆风顺。直到 1963 年，汤斯等人设计了一个高灵敏度的接收机并使用更好的望远镜，才获得成功。当天便在仙后座 A 观测到第一条星际分子的微波谱线，后来又在其他星云中陆续找到数十个羟基源。1968 年，人们又在银河系中心区的星云中发现了氨（NH<sub>3</sub>）和水。1969 年，发现了星际有机分子甲醛（HCHO）。这些发现激发了后继者寻找和研究星际分子的热情，也促进了毫米波射电天文技术的飞速发展。分子天体物理学开始形成了，并取得了未曾料想的惊异成果。70 年代，人们接二连三地在宇宙中找到形形色色的有机分子，包括许多地球上从未见过的奇异分子，同时观测到被称为天体微波激射源的奇特的分子辐射，以及分子云剧烈运动形成的喷流。这些结果对已有的物理、化学、天文学提出了挑战。近年来，分子天体物理学方兴未艾。到 80 年代末，已发现的星际分子近 100 种。分子天体物理学的发展为研究宇宙的化学组成和宇宙演化以及宇宙生命起源都有十分重要的意义。

70 年代在天文学上又有重大发现。1973 年，克莱比塞得和斯特朗等在分析卫星上 射线探测器的观测资料时，发现了宇宙 射线源短暂而猛烈的爆发。r 射线爆发的重要特征之一是辐射变化迅速、剧烈。它的发现当时轰动了天体物理学界。1975 年，布什金娜等人又发现了 X 射线爆发，并观察到了它的一些特征。对于 射线爆发和 X 射线爆发，科学家们正在深入探讨它的本质和内在机制。70 年代末，美国、意大利发现了一个光谱既有大红移又有大蓝移的奇异天体 SS433。它的异乎寻常的特征引起了天体物理学家的极大兴趣。

1987年，在美国从事天体化学研究的中国科技大学学生唐明（1956—）和另外两名美国学者一起，从60年代降落在肯塔基州的一块原始陨石中发现，石中有两种碳化硅同位素与太阳系中的碳化硅同位素不同，并将它们从陨石中分离出来。此后科学家研究认为，这些碳化硅是在一些富碳的恒星内部产生的，比太阳系46亿年的年龄更古老。这一发现对深入了解恒星循环及太阳系的形成具有极重要的意义。

同在1987年，多伦多大学的希尔顿在河外星系大麦哲伦星云中发现了一颗新爆发的超新星，后被命名为SN1987A。天文学家用80年代的研究手段对它变化全过程进行了全波段观测，经过分析认为，它的前身可能是蓝超巨星。此外，意大利、美国、日本、原苏联的观测站都测到了来自SN1987A的中微子信号。这对超新星物理、致密天体以及宇宙演化前途的研究都有重大意义。1989年，科学家观测到一颗脉冲星诞生，认为它是SN1987A爆发后塌陷而成的。

1916年，爱因斯坦曾预言过引力波的存在。直到1969年，韦伯才声称探测到了来自银河系中的引力波。但由于未得到其他引力波实验室探测结果的支持，这一发现未被公认。多年探测的经验表明，用韦伯型天线直接探测引力波是不成功的。1973年，约瑟夫·泰勒和罗素·胡尔斯另辟蹊径，提出用脉冲双星的轨道参数来探测引力波。经过几年连续观测，1978年，泰勒等人发现射电脉冲双星PSR1913—16的公转周期在变快，周期变化率与广义相对论的理论预言基本相符。这是引力辐射存在的一个重要的间接证据。泰勒与胡尔斯因这一成就获得1993年诺贝尔物理学奖。目前，直接探测引力波的研究工作还在进行。

## 2. 天体演化理论和宇宙学的发展

天体演化理论主要研究太阳、太阳系、恒星、星系等天体的演化过程。当代天体演化理论的发展，使人们对各种天体的演化图景作出比较完整的描述。40年代末期以来，宇宙学也有很大发展，建立了几种不同的宇宙模型。

### （1）天体演化理论

对太阳的研究在本世纪上半叶已取得不少成果。1938年，美籍德国人贝特（1906—）和德国的冯·魏扎克（1912—）分别指出：太阳的巨大能量是由其内部的氢核聚变成氦核时产生的。这一理论早已得到了确认。进入当代以来，对太阳的研究又取得新进展。1960年，人们认识到日冕在连续不断地向外膨胀，在此过程中产生的“太阳风”（带电粒子流）以每秒300—600公里的速度扫过地球，引起地球上的极光和地磁扰动。70年代，美国的弗里德曼（1916—）等人拍摄到了太阳的X射线照片，证实了关于太阳活动区可能发出X射线的猜想。中国于1984年研制出太阳磁场望远镜。1987年，用这架望远镜在世界上首次获得两维实时太阳色球层活动区和耀斑速度场的观测资料；1988年，又用它观测到位于日面中心附近的大黑子群。这些黑子群面积有84亿平方公里，约占太阳可见表面的1.6%。

当代恒星演化理论是在认识到热核反应是恒星能源之后逐步建立起来的。50年代，美国人史瓦西（1912—）把恒星能源和恒星结构与演化的进程结合起来，大致描绘出恒星一生的发展史。现在人们已经知道，恒星的前身（星胚）是由弥漫稀薄的星际物质通过引力塌缩凝聚成的密度较大的气体

和尘埃土。恒星的星前阶段只有几百万年，然后就进入几万年到几万亿年的主星序阶段。太阳现在正处于主星序中期，已有 50 亿年的历史。恒星演化的末期将变成三类天体：白矮星、中子星、“黑洞”。在恒星核能耗尽后，其质量小于 1.44 个太阳质量的，就成为白矮星；其质量在 1.44—2 个太阳质量之间的，成为中子星；超过 2 个太阳质量的，则可能成为“黑洞”。最早被观测到的白矮星，是 1862 年发现的天狼星的伴星。到本世纪 80 年代初，观测到的白矮星已有 1000 多颗。中子星的存在已于 60 年代得到确认。孤立的黑洞难以观测到，因此人们着重从双星体系中寻找黑洞。天鹅座 X—1 被认为可能是一个黑洞，1978 年，美国的天文卫星向地面发回了它的照片，但尚不能确认它就是黑洞。1984 年，天文学家发现质量是为太阳 8—12 倍的 X 射线源 LMC<sub>x</sub>—3 可能是一个黑洞。此外，人们还发现了几个可能是黑洞的天体。但这些发现尚未被最后证实。1974 年，霍金（1942— ）提出，黑洞也会向外发射粒子，甚至会产生猛烈的爆炸。

## （2）当代宇宙学

1917 年，爱因斯坦提出了有限无边的宇宙模型。以后，有人提出了另外一些宇宙模型。1929 年，哈勃（1889—1953）确定了星系红移和距离之间的线性关系（即哈勃定律）。这一定律成为当代宇宙学发展的基础。

当代宇宙学的形成以宇宙大爆炸理论的提出为标志。1948 年，美国物理学家伽莫夫（1904—1968）等人把核物理学的知识与宇宙膨胀理论结合起来，提出了大爆炸理论，并用它说明化学元素的起源。大爆炸理论认为，宇宙开始于高温、高密度的“原始火球”，球内充满辐射和基本粒子，基本粒子发生核反应是爆炸的起因。火球爆炸后向外膨胀，辐射温度和物质密度急剧下降，核反应停止。这期间所产生的各种元素就形成了今天宇宙中的各种物质。在膨胀过程中，辐射物质逐渐凝聚成星云，进而形成各种恒星体系，成为今天的宇宙。伽莫夫还预言，由于大爆炸后宇宙有残余的辐射遗留下来，因而其背景辐射应为绝对温度几度。大爆炸理论在元素形成和星系演化上遇到一些困难，因此很长时间沉寂无闻。1965 年，3K 微波背景辐射的发现，使大爆炸理论东山再起。由于探测到的背景辐射与伽莫夫的预言基本一致，所以这一发现为大爆炸宇宙理论提供了有力的证据。

大爆炸理论能够较好地解释许多重要的观测事实：星系的退行，即遥远的星系均以很高的速度在彼此退行，并符合哈勃定律；宇宙时标，即用各种独立的方法对各种不同天体测定的时标均在 200 亿年以内，这与大爆炸理论推断的宇宙演化年龄相一致；宇宙中 30% 的氦丰度，如此多的氦是在宇宙演化早期高温条件下产生的；宇宙背景辐射。现在大爆炸理论被多数科学家接受，称之为“标准宇宙模型”。必须指出，大爆炸理论的立论基础是星系的光谱红移代表星系离我们而去的退行。但也有人提出“非速度红移”的观点。所以宇宙大爆炸理论实际上只是诸多宇宙演化假说中的一种。而且它还有视界困难、磁单极困难等许多问题尚不能回答。

80 年代以来，宇宙学又有新的发展。标准宇宙模型对于 0 秒到 1/100 秒宇宙演化的极早期无法说明。新理论则着重探讨宇宙极早期的演化。1981 年，美国的古思提出了“暴涨宇宙论”。后来原苏联物理学家林德等人对它加以修正改进。根据暴涨宇宙理论，宇宙在  $10^{-36}$  秒时刻处于暴涨期。这时没有粒子，没有辐射，只有暴涨（以指数形式快速膨胀）着的高度对称的真空。 $10^{-36}$  秒一过，暴涨期结束，真空发生相变，宇宙出现不对称，相变中放出的

能量转化为辐射和粒子。在  $10^{-30}$  秒后，暴涨宇宙理论与大爆炸理论对宇宙的描述完全一致。暴涨理论还初步解释了诸如宇宙为何是平直的等大爆炸理论所不能回答的几个问题。1983 年，英国的霍金等人提出了量子宇宙学。它认为宇宙起源于一个没有时空的物态。所以它讨论的是宇宙在 0 秒时刻发生的事情（精确地说是  $0-10^{-44}$  秒中发生的事情）。量子宇宙学对宇宙大爆炸发生的时刻及大爆炸前的状态等问题作了尝试性的回答。暴涨宇宙理论和量子宇宙学填补了宇宙在 0 秒到 0.01 秒间如何演化的理论空白，弥补了标准宇宙模型的不足。但它们毕竟还远不如标准宇宙模型成熟，得到的观测证据还不充分，许多问题有待于进一步探讨。

### 3. 地球考察的进展

当代开始以来，人们利用各种先进的调查手段，对地球的大陆和大洋进行了广泛而深入的考察，取得了超过以往任何时代的丰富资料及一些重大发现，对地球的历史及构造有了更为深刻的认识。

#### (1) 对地球历史的考察

大约 6 亿年前的地球地质时期称为前寒武纪时期。它是研究地球起源、元素起源和生命起源问题的重要时期。同位素地质年代学的发展，航天考察的出现，极大地促进了对前寒武纪地质历史的研究。

1902 年，卢瑟福提出了不稳定元素衰变原理，为同位素地质年代学的产生奠定了基础。1907 年，美国的波特伍特（1870—1927）取得了第一个矿物放射性铅的年龄数据。英国地质学家霍姆斯（1890—1965）写出了《地球的年龄》等专著和论文，并于 1947 年首次提出了地质时间表。他对地球年龄的估计为 45.5 亿年。这一估计后来被普遍认可。50 年代以来，由于质谱仪和同位素稀释技术的广泛应用，使地质年代学的研究取得很大成就。1978 年，原苏联在乌克兰发现了地球上距今 40 亿年前形成的岩石。1990 年和 1991 年，美国在加拿大西部和拉布拉多北部发现了 39.6 亿年前和 38 亿年前的岩石。此外，在格陵兰、南极、澳大利亚、中国的辽宁鞍山和河北迁安都发现了 35 亿—43 亿年前的岩石。这些发现都表明，地球的球壳早在 40 多亿年前就形成了。

1969 年，美国“阿波罗”登月的成功，为人类认识地球的早期历史又打开了一扇大门。“阿波罗”6 次登月，采集月岩和月壤标本 270 公斤，并将月震仪、磁强计、太阳风能谱仪送上月球。通过对月球的综合考察，人们对月球的构造、矿物和元素都有了深入的认识。60 年代以来同位素年龄测定表明，地球、月球、陨石大约是在 46 亿年前同时产生的。月球质量小，能量不足，生成到 30 亿年前左右，演化基本停止，保持了 30 多亿年前的构造特征。地球能量大，继续演化，后期的地壳运动破坏了前期的地形、地貌和构造。因此，月球成为认识地球 30 亿年前演化历史的重要参照物。

70 年代以来，美国、原苏联利用深钻和超深钻技术直接研究古老地盾深部的构造特征，使对前寒武纪构造分析和分区由地表、近地表的研究进入到地壳深层和上地幔阶段。

有关前寒武纪古生物地层学的研究也有重大进展。60 年代后，人们应用电子显微镜，发现了许多化石如苦泉群体、贡佛林特微植物群等。采用化学方法，人们于 60 年代在澳洲陨石中发现了十几种氨基酸，还有人分析了 5

亿年前的三叶虫甲壳里的游离蛋白质。这些研究对探明地球上生命的起源和生物发展都具有重要意义。同时，分子古生物学也逐步形成。

由于前寒武纪地层中蕴藏着丰富的铁矿等矿产，所以对前寒武纪地质史的研究不仅有理论价值，而且也有重要的经济意义。

## （2）海洋地质学与海洋调查

海洋地质学是研究海岸和海底的地质、地貌的一门科学。第二次世界大战以后，随着军事、海洋渔业及石油等海底资源开发的日益增长的需要，海洋地质学发展异常迅猛。

海洋调查始于19世纪70年代。英国的“挑战者”号在环球航行期间，进行过较大规模的深海调查。此后，不少国家都开展了海洋调查。1947—1948年，瑞典的“信天翁”号进行了海洋综合性调查，获取了相当丰富的海洋资料。

第二次世界大战中潜艇的频繁活动、声纳的发明、50年代海上石油勘探的广泛进行，使人们对海洋有了进一步的认识。海洋地质学逐步成为一门独立学科。60年代以来，人们应用海底探测新技术，开展大规模的国际性联合大洋综合调查和勘探，获得了许多新资料，并发现了遍及各大洋的洋中脊、洋底磁异常条带、地幔对流和海底沉积物厚度变化的规律。1968年到1977年，美国的“格·挑战者”号钻探船航行25万海里，遍及世界各大洋，在海底钻探429处，总进尺达62.5万英尺，获取了大量的大洋底沉积层和玄武岩样品，同时还进行了其他考察工作。大量海底考察资料表明，所有海洋盆地岩石样品都不老于1.6亿年。离洋中脊越远，海底沉积层的地质年代就越老。他们还发现，自白垩纪以来，南大西洋板块单侧扩张速度为2厘米/年。这些发现为海底扩张学说的提出提供了大量证据。

潜水调查在当代也有很大发展。1949年，瑞士人皮卡尔（1884—1962）研制成可以自行升降的深潜器。1960年，他的儿子J·皮卡尔与其他美国人一起，乘坐“的里雅斯特”号深潜器下潜到上万米深的马里亚那海沟。1971—1974年的“法美洋中脊潜水研究”规模宏大，取得了丰富成果，其中有大洋裂谷的第一手资料。这些资料对板块边界扩张的研究起了重要的推动作用。这次潜水研究的另一项重大成果是证实了火山活动把地球深处的新物质沿着大裂谷的中线喷射出来。日本建造了以考察海底矿物资源和研究海洋生物等为目的的6500米潜水船“深海6500”号及支援船“横须贺”号，1989年4月开始试航。

在海洋调查和勘探过程中，人们发现了极其丰富的海洋矿产资源。1872年，“挑战者”号首先在大洋中发现锰结核。它是一种含有20多种有用元素的结核体。1974年，日本对冲绳以东海域和其他海域的调查发现，锰结核密度为5—26公斤/平方米，平均粒径为2—4厘米。锰结核还以每年1000万吨的速率在生长着。海底石油和天然气的开发近几十年也蓬勃发展。现在石油、天然气的勘探和开采多在大陆架和浅水海域。1968年，美国的“格·挑战者”号在墨西哥湾的3000米深的海域钻探，发现了含油沉积层，表明深海区也可能有石油。1948年，瑞典在红海裂谷地区2000米深的深海中发现了重金属软泥。它是一种富含铁、锰、金、银等多种金属的未固结的泥质沉积物，其储量很可观。

## 4. 板块构造理论的形成

本世纪初，德国的魏格纳（1880—1930）提出了大陆漂移说。到 30 年代末，这学说因缺乏有力的证据而沉寂下来。50 年代，由于古地磁学及其他方面研究的进展，以及用新探测技术作出的发现，大陆漂移说又神奇地复活了，并逐步发展成新的理论——板块构造理论。

### （1）海底扩张说的产生

50 年代以来，英国的布莱克特（1897—1974）和兰康（1922—）对英国、印度等地的古地磁场测量后发现，它们在地史时期所处的纬度与现在不同。1957 年，他们根据英国和欧洲的岩石标本测定的磁化方向以及北美的标本测定的磁化方向，画出了两个地磁极移动的轨迹图，发现两个地磁移动的轨迹很相似，却又不一致。但是，只要将北美大陆向东转  $30^\circ$ ，不仅两条轨迹重合了，而且北美大陆和欧洲大陆也连接起来，其间的大西洋并不存在。两大陆现在的分离状态是后来大陆发生大规模相对水平位移造成的。这一有力的证据，使大陆漂移说开始复兴了。

除了古地磁学外，海洋地貌学、地震学、地热学及重力测量技术等也都推动了地学理论的发展。60 年代初，美国的赫斯（1906—1969）和迪茨（1914—）几乎同时提出了海底扩张假说。它是建立在 1928 年霍姆斯（1890—1965）提出的地幔对流说的基础上，其事实根据有两个：存在着环绕全球的高热流的大洋中脊和断裂谷体系；海底比大陆年轻得多。海底扩张说认为：地幔中有对流存在；洋中脊是洋壳生成的地方；对流环驱使热的地幔物质从洋中脊的断裂谷涌出，凝成新的海底，并由洋中脊同时向两侧对称扩张；扩张引起两种变化，一种是扩张的洋底同时把两侧的大陆推开，大陆块固定在相邻的海底上与海底一起向同一方向移动，新海底不断生长、扩张，另一种是扩张的海底在海沟处钻入地幔深部，海底不断产生、扩张、潜没；大陆地壳前缘被挤压抬升形成山脉或岛弧；由于洋壳不断更新，海底没有比白垩纪更老的岩石；因此，海洋不是永恒不变的，大陆并非固定不动的。与魏格纳大陆在地幔上独立地漂移的学说不同，海底扩张说认为新的海底是在海洋中脊顶部形成，同其相邻的洋底一起被地幔对流体所带动而缓缓地前进。

1963 年，英国的凡因（1939—）和马修斯（1931—）提出有关海底磁异常条带的假说。几乎与此同时，加拿大的莫利和拉罗什耳也独立地提出相同看法。1964 年，美国的考克斯把古地磁倒转与同位素测年法相结合，完成了地磁倒转年表，定量地论证了海底扩张说的正确性。

1965 年，加拿大的威尔逊推测，横切大洋中脊的断裂带不是人们通常熟悉的平移断层，而是一种特殊断层——转换断层。它是由于海底扩张致使沿着断裂的水平位移转换了性质，故称转换断层。地震分析的结果恰好证明横切大洋中脊的断裂是转换断层。所以转换断层的发现和验证，为海底扩张说提供了直接证据。

1968 年，美国的“格·挑战者”号深海钻探取得的资料表明，海底最老的沉积物的年龄不超过 1.6 亿年，与地磁异常条带假说预测的完全一致；洋底地壳的年龄以大洋中脊为对称轴，向远离洋中脊的两个方向有规律地增加；洋底沉积层的厚度自中脊部向两侧也是逐渐增大的，一般由 0 增至 1.3 公里左右。

上述这些发现都成为支持海底扩张说的证据。至此，海底扩张说被更多的人接受了。

## （2）板块构造学说的建立

从转换断层和大陆边缘的完好拼接复原，可以自然地引申出板块的概念。板块概念最早是威尔逊在关于转换断层的论文中提出来的。1968—1969年间，美国的摩根、勒比雄和美国的麦肯齐、帕克等人在大陆漂移、地幔对流和海底扩张等学说的基础上，对板块的概念和板块的运动进行探索，提出了板块构造学说。板块是位于转流层上的刚性块体。它的运动方向与转换断层平行。板块的边界处是构造运动最活跃之处。板块之间的相对运动是全球构造运动的基本原因。板块有分离型、平错型和汇聚型3种边界。大洋中脊轴部是分离边界，板块在此分离、扩张，相背运动。转换断层是平错边界，两侧板块相互错动。海沟及年轻造山带是汇聚边界，两侧板块相对而行，在俯冲带和地缝合线俯冲、缝合，形成海沟和褶皱山脉。勒比雄将整个地球岩石圈划分为6大板块：欧亚板块、非洲板块、美洲板块、澳洲板块（印度板块）、南极洲板块和太平洋板块。板块构造学说引入球面几何学来描写板块运动，从而能对地壳的总体运动进行定量的计算。这是地学的一大进步。

板块构造学说提出后，得到越来越多的验证。按照板块构造说，分离型边界两侧的两个板块上的两点之间的距离在不断扩大，汇聚型边界两侧的两个板块上的两点间的距离在不断缩小。从大地测量得到的资料表明，纽约到伦敦的距离在增加，而公元7世纪以来中国西藏同印度之间的距离已经缩短了60米。板块构造学说认为板块刚性强，所以地震应发生在板块的交界处。从历史上看，地震分布情况与板块构造学说一致。另一个科学事实是，造山运动也发生在板块的汇聚边界。1973—1979年，对中国青藏高原的大规模综合考察证实青藏高原的形成是印度板块向北漂移并与欧亚板块碰撞的结果。时至今日，印度板块仍以每年4.5厘米的速度向北移动，喜马拉雅山目前平均以0.33—1.27厘米的速度在上升。根据板块构造学说，大洋在不断张开和闭合。深海钻探等资料也证实了这一点。自联合古陆分离以来，古太平洋萎缩为今天的太平洋，面积减少了三分之一左右。大西洋和印度洋是新生的大洋，由于地幔对流撕裂了陆地和海底，才使这两大洋产生并不断张开。因此，大西洋和印度洋将不断扩大，而太平洋将不断缩小。

大陆漂移理论以板块构造学说的建立取得了新的形式。威尔逊认为，板块构造学说在地质学史上犹如哥白尼的太阳中心说，是“地质学的一次革命”。但板块构造学说还是一种假说，因为地幔对流到目前为止还没有得到直接的验证。不过，大陆漂移、海底不断更新已成为无法否认的事实。板块构造学说现已在探讨山脉和高原的成因、地震活动、矿带分布、古气候状况、生物演化等各方面发挥了指导作用。

## 5. 气象学与天气预报的进展

气象学是研究地球大气圈的科学，是地球科学的一个分支。当代气象学以物理学为基础，以数学和电子计算机为定量工具。第二次世界大战后，大量雷达改为民用，用于气象观测；微波技术也用于气象方面，无线电气象学很快发展起来。50年代末空间科学技术的兴起，为气象学提供了新的有效观察工具。自1945年初美国发射第一支气象火箭起，世界陆续建立了全球气象火箭网。1960年，美国发射了第一颗气象卫星“泰罗斯1号”，开始了空间观测全球大气的时代。卫星上的遥感仪器能观测到地球的每一地区，可以收

集到海洋、两极、沙漠、山区、丛林、冰原、沼泽等不易观测地区的丰富气象资料。目前全世界已发射了一百多颗气象卫星。中国也发射了自己的气象卫星。卫星资料特别是云图已被气象业务部门普遍使用，成为天气预报和科学研究的重要资料。

1967年，第五次世界气象大会正式通过决议成立世界天气监测网，1968年开始执行。全球观测系统的地上观测由各国的部分台站网组成的全球台站网来进行，卫星观测由各组各系列业务气象卫星组成。全球资料加工系统把观测资料用最快速度加工成天气图和天气预报图，并把资料加工成气候资料或历史资料存档。世界天气监测网的建立，提高了各国的天气预报能力。

数值预报是利用流体力学和热力学来预测大气的物理状况。早在20年代，英国科学家就做过数值预报的尝试，但因计算过于复杂而无法实用。50年代，电子计算机的应用使数值预报成为可能。1975年开展这项工作时，只有20多个国家，两年后就增加到40多个。数值预报是气象学史上的一大进步。从此，短期天气预报更加精确，中长期天气预报也逐步实现定量化。50年代末，由于电子计算机和计算数学的发展，数值模拟在气象学中开始应用。1956年，第一次用数值模拟北半球大气环流的发展获得成功。人们把数值模拟作为研究大气运动的工具，从而使地球大气层可“缩小”在实验室进行实验，以验证从观察中总结出来的概念、定理。

气象科学的另一个重大进展是用人工方法影响局部天气。1946年，美国用云层中撒放干冰的方法促云变雨，第一次实现“人工降雨”。现在人们可以改变云中微物理过程，以实现局部地区的人工降水、人工消雹、人工消雾、人工消闪电，还可以降低台风中心的风速。随着新的巨大能源的开发利用，将有多种影响天气的措施出现。小尺度天气的影响将逐步工程化，中尺度天气的人工影响将成为主攻方向，气候控制亦将展开。

80年代以来，对厄尔尼诺现象的研究取得重大进展。厄尔尼诺现象是由于赤道东太平洋冷水域中的秘鲁寒流水温异常升高，从而导致太平洋的热带海洋和大气发生异常的现象。对厄尔尼诺现象的研究，从20年代起一直在进行。1984年，美国的巴尼特报告了他对1950—1981年间收集的天气资料的研究结果。他认为，当中太平洋上的东向信风减弱，使异常的暖表面海水流向南美洲时，厄尔尼诺现象就开始了。他还发现，有一种缓慢运动的大尺度海浪，在形成厄尔尼诺现象中起着较重要的作用。巴尼特的研究表明，厄尔尼诺现象在产生前几个月就可预报出来。这对于防止和减轻厄尔尼诺现象的危害有重要意义。

对臭氧层的研究，是80年代气象学中的一个新课题。1984年，科学家发现南极上空的臭氧层破了个巨大的洞。1985年，美国卫星观测表明，这个洞的面积相当于美国国土，象珠穆朗玛峰那样高。1986年，加拿大科学家发现北极上空也有一个臭氧空洞。据美国航空航天局观测，横跨美国、加拿大、日本、中国、原苏联、西欧等国的辽阔天空，臭氧已减少了3%。臭氧层的破坏，致使大量紫外线直射地面，对人类生存危害极大。对于臭氧层破坏的原因，许多科学家认为是氟利昂的大量使用造成的。另一些科学家不同意这一观点，甚至对空洞照片持怀疑态度。目前对臭氧层破坏问题的争论还在继续。

## 四、数学和系统科学的发展

数学是人类智慧的花朵，是科学研究和工程技术的重要工具，也是光彩夺目的科学艺术品。当代数学以惊人的速度发展，古老的数学学科如老树更新，新的数学分支如雨后春笋。一方面，数学理论越来越严密深奥；另一面，数学应用越来越广泛普及，对人类文明产生了巨大影响。

系统科学与数学相似，都属于横断学科。第二次世界大战以来，科学技术出现了高度分化和高度综合的趋势。随着知识的迅猛增长和通信技术、自动化技术的不断进步，信息论、控制论和系统论相继创立。60—70年代，以耗散结构理论、协同学、超循环理论等为代表的非平衡自组织理论建立起来。上述各学科形成了当代系统科学。它的发展，对当今社会进步产生了强大的推动作用。

### 1. 当代数学的重要进展

当代数学发展日新月异，成果难以胜数，其中最重要的是非标准分析、突变理论和模糊数学的出现。此外，在解析数论、泛函分析、拓扑学及应用数学等方面也取得了重大进展。

#### (1) 非标准分析

1960年，德国数理逻辑学家罗宾逊(1918—1974)发表了“非标准分析”的论文。他的基本思路是：既然无穷小不是一个“数”，在实数系 $R$ 中没有它的位置，那么就将实数系扩大，使之成为新的数系 ${}^*R$ ，当微积分在 ${}^*R$ 中实施时，能够保持牛顿——欧拉时代的直观和简便易行。他用数理逻辑中模型论的方法做到了这一步。在 ${}^*R$ 中每一通常实数是标准数，它的周围聚着许多“无限小”(非标准数)。1965年，罗宾逊又写了《非标准分析》一书。非标准分析的创立，表明数学理论由“标准”向“非标准”转化，是解决数学理论体系内部矛盾，推动数学发展的一个重要途径，是数学思想方法的一个重大转折。此后，非标准群论、非标准泛函分析、非标准拓扑等学科也相继产生。但也有人对非标准分析的作用持怀疑态度。

#### (2) 突变理论

突变理论在60—70年代掀起一股热潮。法国数学家托姆(1923—)从1968年开始陆续发表文章，论述突变理论。1972年，他出版了《结构稳定性和形态发生学》。此书一时风靡世界。他通过严格的推导，证明了一个重要定理：当那些导致突变的连续变化因素少于4个时，自然界各种突变过程，都可以用7种最基本的数学模型来描述。托姆用突变理论解释生物学、物理学、社会科学等复杂现象，令人耳目一新。英国齐曼教授看到托姆的理论甚感兴趣，立即组织一个团体，潜心钻研，几年内发表400多篇论文。70年代初，突变理论涉及到胚胎学、人性学、医学、生态学、光学、地质学以至囚犯骚动、战争爆发、市场崩溃等各方面，几乎包罗万象，盛极一时。但在这些研究中难免会泥沙俱下，出现鱼目混珠、粗制滥造的“伪劣产品”。因此，70年代末这种现象遭到一些科学家的批评，突变理论热有所降温。近些年突变理论的数学基础研究仍在不断深入。它的发展潜力很大，但能否有更大作为还将拭目以待。

#### (3) 模糊数学

1965年，美国的查德（1921—）教授发表了“模糊集合”一文，创立了模糊数学。他指出：可以列入一个从0到1的隶属函数来表示该事物是否属于某个模糊集合的从属程度，以描述事物的模糊性。在经典集合中，可用0或1表示元素对集合的隶属关系；而在模糊集合中，则可用介于0和1之间的数表示元素与集合的关系。模糊数学对复杂的具体问题提出了一系列分析和处理方法。它与非标准分析、突变理论被人称为60年代以来数学上的三大突破，也有人认为它们掀起了一场“数学革命”。

20多年来，模糊数学发展很快。模糊拓扑学、模糊群论、模糊控制论、模糊逻辑、模糊语言等许多新分支学科纷纷建立。对模糊语言的研究，将使人们实现用自然语言与计算机直接对话。

#### （4）一些数学难题的突破

解析数论是高度抽象的数学分支。“哥德巴赫猜想”是1742年提出的一个数论难题，被称为“皇冠上的明珠”。这一猜想是：每个大于等于6的偶数都是两个奇素数之和。200多年来，许多数学家为证明这一难题付出了艰辛的努力，但仍未能完全解决。中国数学家陈景润（1933—1996）经过10多年的刻苦钻研，于1966年发表了“大偶数可表为一个素数及一个不超过二个素数的乘积之和”的论文，把哥德巴赫猜想研究推进到 $(1, 2)$ 的高水平，离摘取这颗明珠只差一步，受到国际数学界的重视。他创立的“陈氏定理”，在数论中占有重要的地位。

著名的“四色问题”是一个拓扑学问题。它是1852年提出来的一个猜想：每幅地图都可以只用4种颜色着色，使得有共同边界的国家着上不同的颜色。20世纪以来，对于“四色问题”的证明逐步接近成功。1976年，美国伊利诺大学的哈肯和阿佩尔在IBM360计算机上分1482种情况检查，一一检验了它们都是可约构型，于是证明了“四色问题”。整个证明用了1200多个机时。“四色问题”的解决，开创了计算机证明的范例。

60年代以来，庞加莱猜想、魏尔猜想、卡拉比猜想、比伯巴赫猜想、塞尔猜想、鲁金猜想等一大批数学难题被先后攻克，在当代数学史上写下了光辉的篇章。

当代数学虽然更加抽象、复杂、艰深，但它产生的思想和方法，对自然科学和社会科学都产生深刻影响，为其提供了有力的工具。同时，计算数学、计算机的发展，在科学、技术、社会各个领域都发挥了重大作用。

## 2. 信息论的产生和发展

40年代以前，人们对信息的研究已取得一定成果。一方面，人们深入研究了精确传输通信符号问题；另一方面，又对信息概念的描述问题作了探讨。

推动信息论形成的直接原因，是第二次世界大战期间和战后通信发展的需要。当时，从接收信号中滤除各种噪声，在控制火炮射击的随动系统中跟踪一个具有机动性能的目标等问题，都需要从理论和实践上予以解决。雷达技术、电子技术、自动控制技术的发展，也对信息论的产生起了促进作用。

信息论的创始人是美国数学家申农（1916—）。1948年，他发表了一篇论文“通讯的数学理论”。他认为，“通信的基本问题就是精确地或近似地在一点复现另一点选择的信号”，通信就是将信息由发信者传给受信者。他提出了通信系统的随机模型，把许多复杂的通信机构简化为由信源、编码、

信道、噪声、译码及信宿组成的一个信息系统。申农这一通信模型，不仅适用于技术系统，而且可以推广到生命和社会系统，具有普遍意义。

申农把信息定量化，使通信科学由定性阶段进入定量阶段。他把信息看作是用以消除不确定的东西。信息数量的大小可以用被消除的不确定性多少来表示，而事物不确定性的多少用概率来描写。申农对通信的技术问题也作了全面的研究，解决了如何从信息接收端提取由信息源发来的消息的技术性问题。他还提出如何利用信道的信息容量问题，找到了如何在有限信道中以最大速率传送信息的基本途径，初步解决了怎样编码、译码才能使信源信息充分表达、信道被充分利用的问题。

申农的研究工作具有开创性的意义。信息论产生以后，一方面应用于多种学科和技术领域，另一方面不断完善本身的理论体系。

1950年和1956年，布里渊（1889—）发表了《生命、热力学和控制》、《科学与信息论》等著作。他试图把信息熵与热力学熵、把信息与具体物理过程联系起来。他将信息论推广到了物理学领域。此后，信息论又逐渐向生物学、医学、语言学、经济管理等领域渗透。

50年代后，信息论的精确化受到注意。许多人试图建立信息论的公理体系。1953年，麦克米伦发表“信息论的基本定理”；辛钦发表“信息论的数学基础”。申农等人以后也对熵测度原理作过改进。

70年代，在语义和有效性问题的研究中开始出现一些新的概念和理论。1971年，高艾斯等人提出了“有效信息”的概念。1978年，夏尔马等人提出了非可加性的“广义有效信息”概念。1965年，模糊数学创立以后，为适应图象识别和视觉问题的发展需要，又产生了“模糊信息论”。

在信息论、控制论、计算机科学、系统工程和人工智能等科学技术基础之上，形成了一门崭新的边缘学科——信息科学。它的任务是研究信息的获取、存贮、变换、传递、处理、利用和控制的一般规律。信息科学在当代科学技术中占据十分重要的地位。

### 3. 控制论的产生和发展

控制论是美国数学家维纳（1894—1964）于1948年创立的。维纳在20—30年代就对自动控制系统有极大兴趣。第二次世界大战期间，他参加了火炮自动控制的研究工作。这对他创立控制论具有决定性的意义。他研究了随机过程的预测和滤波理论在自动火炮上的运用，为控制论提供了数学方法。更重要的是他把火炮自动打飞机的动作过程与人狩猎的行为作了类比，从中发现了重要的反馈概念。他认为稳定活动的方法之一，是把活动的结果所决定的一个量，作为信息的新调节部分，反馈回控制仪器中。1943年，维纳等人共同发表了“行为、目的和目的论”一文，标志控制论开始萌芽。

1943—1944年，维纳和冯·诺伊曼（1903—1957）发起，在普林斯顿召开了有工程师、生物学家、心理学家、数学家参加的交叉学科的学术讨论会。1946年，在纽约召开了反馈问题的学术讨论会。这两次会议对控制论的产生起了重要的推动作用。维纳对会议形成的一些概念和思想加以总结，在1948年写成了《控制论》一书。该书引进了系统、目的、反馈、信息、功能模拟、黑箱方法等一系列独特的概念，讨论了如何实现对系统的控制问题。《控制论》的出版，成为控制论诞生的标志。

此后，控制论又扩展出工程控制论、生物控制论、经济控制论等分支学科。

1954年，中国科学家钱学森（1911—）运用控制论的基本思想和概念，结合战争中迅速发展的伺服机理论，把控制论运用于工程的自动控制系统的分析中，完成了经典控制论的综合，创立了《工程控制论》。60年代初，现代控制理论发展起来，70年代，又出现了第三代控制理论。

1954年，英国的艾什比发表了《大脑设计》，对生物控制论创立做出了奠基性贡献。1956年，他又写了《控制论导论》，指出生物学对控制论形成的历史作用，应用控制论原理探讨了生物系统的特殊问题。30多年来，控制论不仅在生物学整体水平和细胞水平的应用上成就斐然，而且已深入到分子水平，由宏观进入到微观领域。生物控制论的产生和发展，大大促进了生物学、分子生物学、神经生理学和神经心理学的发展，同时也有助于人们更好地模仿精巧的生物体的控制机理，制造各种仿生装置。

经济控制论是50年代将控制论的基本理论和方法推广应用于经济领域而形成的。60年代，原苏联和东欧等国陆续发表一些有关控制论在经济和管理中作用的文章。1969年，在英国伦敦召开的第一届国际控制论会议上，经济控制论开始受到重视。1975年，在罗马尼亚召开的第三届国际控制论系统论会议上，经济控制论被作为主要议题讨论。大家认识到，对“反馈调节行为”的研究在经济控制领域中完全适用。1978年，罗马尼亚的经济学教授曼内斯库发表了《经济控制论》，对国民经济各部门按比例平衡最优增长规律进行了定性和定量的研究，提出了一些新的概念、模式和方法。

60年代末，人们开始探讨应用控制论解决社会问题。1977年，印度学者瑞斯塔基在“控制论研究社会系统”一文中，提出了关于社会控制论的理论和新的见解，研究了社会系统的智能管理问题，在制订印度社会1970—1980年的发展计划中取得了成果。1978年，在荷兰举行的第四届国际控制论系统论会议，讨论了社会控制论问题。1981年，荷兰学者汉肯发表了《控制论和社会——社会系统的分析》，认为社会系统非常复杂，因此要对系统解耦，再考虑各个方面的子系统。1982年，罗马尼亚学者内戈伊茨提出模糊系统理论可以提供社会控制系统的模型。在第三届国际控制论系统论会议上，各国学者广泛讨论了控制论对人类与环境关系、人口统计、环境规划、人类工程学、生态学和能源等问题的作用和影响。中国学者宋健等人用控制论原理建立了人口发展模型，预测了以后20多年中国人口的状况。目前，社会控制论至今尚未形成完整的理论体系。

#### 4. 系统论与系统工程

系统论的建立与现代生物学中的机体概念以及对活的有机体的研究密切相关。

1937年，贝塔朗菲（1901—1971）在美国芝加哥大学首先提出一般系统论概念。1945年，他在《德国哲学周刊》18期上发表了“关于普通系统论”一文，但当时几乎未被人所知。1947—1948年间，他在讲课和专题讨论中阐述了他多年倡导的系统论思想。由于贝塔朗菲的努力和倡导，一般系统论才作为一门新兴学科初露头角。贝塔朗菲认为，不论系统的种类、组成部分的性质及关系等有何不同，都存在着适用一般化系统或子系统的模式；一般系

统论就是要确立这种一般原则。他提出了系统论的基本原则，即整体性原则、相互联系原则、有序性原则和动态原则，强调系统的开放性，并把生物和生命现象的有序性和目的性与系统的稳定性联系起来。

第二次世界大战后新思想新学科特别是信息论、控制论的发展，对贝塔朗菲是极大鼓舞。1954年，他与保尔丁（1910—）、拉波波特和杰拉德（1900—）等人一起创办了“一般系统论学会”，努力宣传一般系统论，以促进其发展和应用。但它并未受到普遍重视，远不如信息论和控制论影响大。

60年代后，随着系统工程的发展，一般系统论才日益受到重视。1968年，贝塔朗菲在《一般系统论：基础、发展和应用》一书中，全面总结他40年来的工作和战后系统方法在应用上取得的成果，进一步系统阐述了他的思想。他认为，他用的是一种经验—直觉的逻辑方法，应用一系列概念、范畴研究自然系统、人造系统、社会系统和符号系统的一般系统规律。此书是一般系统论的主要著作。70年代初，贝塔朗菲另一重要著作《一般系统论的历史和现状》发表，对一般系统论重新定义，认为它是一种新的科学规范，适用于广泛的研究领域。它应包括一般系统论、系统技术和系统哲学等方面的内容。该书讨论的主要是第一方面，即一般系统论。贝塔朗菲还提出了有机体开放系统的模型。但这个系统模型有一定局限性，不能对生命现象的有序性和目的性作出满意的回答。

在一般系统论研究中，除了贝塔朗菲的经验—直觉的逻辑方法外，还有控制论创始人之一的艾什比提倡的演绎系统理论的方法。他用数学工具集合论来描述系统的状态变化。60年代美国数学家查德提出了模糊集合理论。它是用数学语言描述复杂系统中某些不能用十分精确的量来表示的模糊性质，给人的思维以一种严格的数学形式，使人能在模糊的环境中进行推理。它为一般系统论的研究提供了新的有力工具，也属于数学演绎方法。

系统工程学是50年代兴起的一门新学科，起源于美国。贝尔电话公司的工程师们于1940年首创了系统工程学这一名词。第二次世界大战中出现了运筹学，并将其应用于大系统研究之中。战后这些方法应用于管理方面，成为制订政策的重要工具。1948年，美国的鲍利斯领导的科学家小组创造了许多用于分析大系统的数学方法，为当代系统工程学的建立提供了数学工具。1957年，美国的古德和迈克尔合著了《系统工程学》一书，初步奠定了这门学科的基础。1965年，迈克尔编写了《系统工程手册》，基本上概括了系统工程学的各个方面，使系统工程学形成一个较完善的体系。

50年代末，系统工程学开始应用于管理领域。计划管理工作把整个分析计划表达为一个网络模型，通过它可以获得普通线条试图表不能得到的信息。1958年，美国在研制北极星导弹时采用计划审评技术有效进行计划管理，使研制周期提前两年。在“阿波罗登月计划”中，美国航空航天局运用系统工程方法，特别是采用计划评审技术等新的管理技术，获得良好的效果，确保各项实验研究准确按期地完成。

70年代以后，系统工程学开始进入社会——技术和社会——经济系统，以求实现对大系统的最优控制和最优管理。计算机和通信卫星的发展，给系统工程学带来新的飞跃，出现了多级计算机管理、控制与信息处理系统。目前系统工程学已进入成熟阶段，应用范围不断扩大和深入，在社会的许多方面发挥了巨大作用。

## 5. 非平衡自组织理论的发展

60—70 年代建立起来的非平衡自组织理论，在探索复杂性方面取得了重大进展。非平衡自组织理论是一个学科群，主要包括耗散结构理论、协同学、超循环理论、混沌理论等。

自组织系统在自然界中是普遍存在的。例如，动物都有一定的再生能力；人受了轻伤，伤口会很快愈合。激光的产生也是自组织作用。人类社会、社会组织和人的思维都是自组织系统。各种非平衡自组织理论就是以自组织系统作为对象，研究有序与无序的转化机制与条件等问题。

### （1）耗散结构理论

1969 年，比利时科学家普利高津（1917—）在“理论物理与生物学”国际会议上首次提出了耗散结构理论。

19 世纪建立的热力学第二定律，描述了系统从复杂到简单、从不均匀到均匀的退化，而进化论则反映了生物界从低级向高级、从无序向有序的进化。退化与进化之间的矛盾犹如一条鸿沟，把物理学与生物学隔裂开来。上一世纪的这个悬案，引起了普利高津的兴趣。他决心在这条鸿沟上架起一座桥梁。他把物理学分为存在物理学和演化物理学两大部分。他认为，物理世界中不仅有退化，也有进化，而且这种进化可以定性定量地描述；物理界与生物界不应对立，而应把它们作为一个系统来考察退化与进化。他从 1946 年开始，经过 20 多年的潜心研究，终于取得了突破性进展。他发现：一个开放系统，在远离平衡态的非线性区，当系统内的状态参数达到一定的阈值时，某一涨落得到放大，系统就有可能发生突变，由原来的无序状态进入有序状态，形成一种动态稳定的有序结构。因为形成和维持这种新的有序结构需要不断耗散能量，所以普利高津把这种有序结构称为耗散结构。它的形成正是一种自组织过程。耗散结构理论研究的就是这种自组织系统。

一个最典型的例子是贝纳德效应。1906 年，贝纳德做过一个著名实验。他在一个圆形的水平容器内放一层很薄的液体，然后在容器底部均匀缓慢地加热。当温差达到某一临界点时，液体突然发生对流，并呈现一种结构性和有序性。自上向下看，液层形成许多正六角形花纹；从水平方向观察液层，可看到有规律的、象蛋卷一样的对流线，相邻两水花的对流线的旋转方向相反。人们把这种现象称作“贝纳德花纹”或“贝纳德蛋卷”。它是首先被详细研究的耗散结构。

普利高津指出，一个系统由无序向有序转化形成耗散结构，至少具备 4 个条件：该系统必须是开放系统，可以与外界环境交换物质和能量；该系统必须远离平衡态；该系统内部各个要素之间存在着非线性的相互作用；该系统内的涨落是直接诱因。

普利高津非常重视科学思维方法和哲学的作用。在耗散结构理论中，他提出了一些富有哲理性的科学思想和思维方法。在探索时间的可逆与不可逆、系统的有序与无序、稳定与不稳定、平衡与非平衡等方面，他都提出了深刻的见解。他认为：“远离平衡条件下的自组织过程，相当于偶然性与必然性之间、涨落和决定论法则之间的一个微妙的相互作用”（普利高津：《从混沌到有序》，上海译文出版社，1987 年版，第 223 页）。这种辩证思想是很有启发性的。普利高津具备的哲学素养和科学思维方法，使得他能够善于抓住复杂问题的突破口。这是他获得成功的重要因素之一。

耗散结构理论的创立，至今仅有 20 多年的时间，但它已在自然科学、工程技术、社会科学、文艺、经济等领域获得广泛的应用，取得丰硕的成果，被誉为 70 年代化学领域的辉煌成就之一。普利高津因此而荣获 1977 年诺贝尔化学奖。

## (2) 协同学

协同学一词是由希腊文衍变而来的，指的是协同作用的科学。协同学是德国物理学家哈肯（1927—）首创的。它是在统计物理、相变理论、系统论、控制论、信息论和突变论等基础上建立起来的，是耗散结构理论的突破和推广。

60 年代初，第一台激光器刚刚问世，哈肯就投入对激光的研究。他于 1962 年提出激光理论，成功地解释了激光的一些特征。他发现普通光与激光之间的过渡与热力学的相变十分相似，并发现了激光产生过程中相互协同的自组织现象。在此基础上，哈肯对各类不同系统的相变过程进行研究。60 年代末 70 年代初，他又把研究转向生物界。他探索了支配所有这些系统演化的一般规律。经过十几年的努力，哈肯终于在 1976 年创立了协同学。

哈肯在协同学中提出了序参量的概念。它是从宏观上定量表示系统有序程度的参量。序参量不仅决定了系统相变的特点和性质，而且决定了其他变量的变化。序参量来源于系统内部各子系统之间的协同作用。序参量一旦出现，就会主宰整个系统进入有序状态。因此，只要弄清楚这些序参量的演化规律，即可随之了解其他变量以及整个系统的演化特点。与序参量密切相关，哈肯又提出了支配原则。他认为，对一个复杂系统，可能有许多变量，其中有一个或几个变量变化慢，而大多数变量变化快；慢变量的变化决定了系统的相变，快变量则与相变无关，快变量本身的变化也要受慢变量的支配。协同学中采用了“绝热消去法”，可以消去快变量，而只对慢变量即序参量进行讨论。协同学理论认为，形成系统有序结构的关键并不在于是否处于热力学的非平衡态，也不在于离平衡态有多远，而在于系统内部各子系统之间相互关联的“协同作用”。这种协同作用，导致序参量的出现，而序参量又支配系统进入有序状态。

协同学开始研究的只是非平衡开放系统的时空有序问题。1978 年，哈肯在“协同学：最新趋势与发展”一文中将协同学扩展到功能有序。1979 年，他又考察了混沌现象，认为一个非平衡开放系统既可以从无序到有序，也可以从有序到混沌。这一发现使协同学发展到一个新阶段。1981 年，哈肯在“20 世纪 80 年代的物理思想”一文中指出，宇宙系统也呈现有序结构。协同学及其应用范围的不断扩展，说明了自然界各系统演化发展中某些基本规律的统一性和普适性。耗散结构理论是非平衡系统的自组织理论，而协同学既适合非平衡系统，也适合平衡系统，因此它是一种更广义更普适的自组织理论。协同学的产生和发展使我们对自然界演化过程中的一些问题的认识更加清晰和深刻。但是，仍有许多问题尚待进一步解决。

## (3) 超循环理论

超循环理论是德国物理化学家艾根（1927—）创立的。艾根早年主要研究方向是快速化学反应动力学及其反应机理。1954 年，他将弛豫技术引入快速化学反应。由于这一研究成果，他荣获 1967 年诺贝尔化学奖。

艾根在研究生物体内的快速化学反应时，对蛋白质、核酸的起源及二者之间的关系进行了深入考察。1971 年，他在德国《自然杂志》上发表了“物

质的自组织和生物大分子的进化”一文，提出了超循环理论。这是有关生命起源的自组织理论，探讨的是生物信息起源这一关键性问题。

对于生命进化，当时人们普遍认为存在着化学进化与生物进化两个阶段。但化学进化如何飞跃到生物进化，人们还不能作出说明。艾根等人通过多年研究提出：在化学进化与生物进化之间还存在一个分子自组织进化阶段。他认为在这个阶段实现了非生命物质向生命物质的转化；这是一种超循环组织形成的过程。

循环是自然界普遍存在的现象，对于形形色色的循环，可以从低级到高级分为3个等级，即反应循环、催化循环和超循环。超循环是自催化剂或自复制单元通过功能的循环耦合而联系起来的高级循环组织。在超循环中，每个复制单元既能指导自己的复制，又对下一个中间物的产生提供催化支持。这种超循环有—旦建立就永远存在下去的选择机制。1979年，艾根发表了《超循环：自然界的一个自组织原理》一书，系统阐述了他的思想，论证了超循环的形成是生命起源的最佳选择。艾根的超循环理论将达尔文的进化论从生物的整体水平推广到生物的分子水平，而且将生物间的竞争与协同结合起来，使人类对生命起源的认识又前进了一步。同时，它的研究方法和方向也有重要意义。

#### (4) 混沌理论

混沌理论在本世纪60年代开始出现。目前使用的“混沌”，在科学上有两种不同的含义，一种指平衡态混沌，另一种指非平衡态混沌。混沌理论研究的是系统如何从混沌到有序、从有序进入新的混沌以及混沌的性质、特点等问题。它是研究过程和演化的科学。

1963年，气象学家洛仑兹在研究大气热对流问题时，发现天气变化的非周期性与不可预言性之间有联系，从而揭示了天气变化的随机性因素，并用实验证明了天气演变对大气状况初值的敏感依赖。他曾夸张地举了一个例子：南美洲亚马逊河热带雨林中的一只蝴蝶煽动几下翅膀，所产生的微风随时间增长，可能在美国引起一场龙卷风。这就是所谓的“蝴蝶效应”。它表明，演化规律是确定的，但演化结果是不确定的，初始值存在微小偏差就会产生极为不同的结果。

1975年，数学家茹厄尔和塔肯提出了一种湍流发生机制，认为向湍流的转变取决于少数自由度，经过两三次突变，运动就到了维数不高的“奇怪吸引子”上。人们无法描述奇怪吸引子上的运动轨道，也无法预测其未来的状态。奇怪吸引子上的运动轨道，对轨道初始位置的细微变化极其敏感。当运动自由度减少，最终局限在低维的奇怪吸引子上时，就出现了宏观层次上的混沌运动。

在非平衡过程中，有序进入混沌的一种道路是倍周期分岔。一个系统在一定条件下，经过周期加倍，会逐步丧失周期行为而进入混沌。1978年，美国科学家费根鲍姆发现，系统在不断地倍周期分岔时，相邻两次分岔对应的参数之差的比值，惊人地趋近一个常数。这说明，倍周期分岔进入混沌是一种相当普遍的现象。系统经过倍周期分岔进入混沌，原来的有序结构并未完全消失，而是形成无穷多个结构，所以显示出杂乱无章的混沌状态。但在混沌区内，从大到小，一层一层彼此相似的结构互相重叠，形成“无穷嵌套的自相似结构”，犹如中国的套箱。

分形与分维是描述奇怪吸引子的重要手段。1975年，美国科学家曼德布

罗特提出了分形理论。分形是指具有非均匀分布和自相似层次结构的几何对象。分形已成为描写那些不规则、不光滑和断裂的典型的形状的方法，可用它刻画飘动的云彩、飞舞的雪花、弯曲的海岸线等。分形几何学更接近大自然本身。分形是具有分维的几何结构。现实世界中的非连续、不光滑、不可微等特征需要用分数维数来描写。在分形几何学的基础上，分维物理学正成为一个蓬勃发展的重要研究领域。

混沌理论为我们认识复杂性提供了有力的工具。简单原因可能导致复杂后果。因此通过研究混沌，可以寻求复杂现象的简单根源，并找到新的方法。混沌理论揭示了自然界的辩证统一，使人们对自然界演化过程的决定性和随机性、有序和无序等问题有了更深刻的认识。

## 五、当代生命科学与生物技术的发展

生命是上苍赐予地球的瑰宝。数以万计、奇异多彩的生物，千百年来引起多少人的好奇与探索。当代生命科学特别是分子生物学的重大进展，使人们终于开始揭示生物的奥秘，认识到了生命现象的本质。在此基础上，当代生物技术迅速兴起，成为高技术中的佼佼者，并创造出了前所未有的奇迹。

### 1. 分子生物学的早期研究

分子生物学主要是在研究遗传的物质基础及遗传信息的传递中形成和发展的。

#### (1) 遗传学的发展

20 世纪初，以孟德尔（1822—1884）遗传定律重新发现为转折，遗传学研究逐渐进入成熟时期。1903 年，美国生物学家萨顿（1877—1916）和德国的鲍弗里（1862—1915）提出了遗传的染色体学说，认为遗传因子就在染色体上。1910 年，美国人摩尔根（1866—1945）发表了关于果蝇性连锁遗传的论文，第一次将一个基因和一个具体的染色体的行为联系起来。此后，摩尔根和他的学生又发表了《遗传的物质基础》和《基因论》，系统地阐述了基因学说和染色体理论，证明了基因是染色体上的遗传单位。

细菌和噬菌体遗传学是遗传学发展的一个重要阶段。早在本世纪 30 年代，微生物学家施莱辛格（1913—）和埃利斯（1906—）就研究过噬菌体。德尔布吕克（1906—1981）了解了埃利斯的研究工作后，认为噬菌体是研究基因复制的最有希望的材料。1942 年，卢里亚（1912—）和安德逊（1911—）用电子显微镜揭示出噬菌体 T<sub>2</sub> 颗粒头部和尾部的详细结构。1946 年，德尔布吕克和贝利用两个近缘噬菌体的突变体去感染细菌，在噬菌体后代中获得重组体。噬菌体遗传学开始形成了。美国细菌学家莱德伯格（1925—）研究了大肠杆菌的内部结构，并于 1947 年证明两个大肠杆菌细胞可以重组，于是开创了细菌遗传学。40 年代中期开始的细菌附加体研究，既丰富了细胞质遗传理论，又为 70 年代基因工程准备了运载工具。

40 年代以后，人们逐渐认识到核酸是基因的载体，遗传学研究又掀起一个新的热潮。物理学和化学向生物学的渗透，使遗传学又取得重大突破，产生分子遗传学。它一产生就超出遗传学范围，把分子水平的研究迅速扩展到生物学领域，从而形成分子生物学，引起生物学革命，又发展了遗传工程这一崭新的生物技术。

#### (2) 传统生物化学

到 50 年代初，在传统生物化学领域，对生物大分子化学结构的研究已取得丰硕成果。20 年代，列文（1869—1940）等人发现核酸分为核糖核酸（RNA）和脱氧核糖核酸（DNA）两种类型。它们都是由不同的核苷酸组成的。列文根据当时较粗糙的分析方法得出的结果，错误地认为核酸中的 4 种碱基含量相等，于是提出了四核苷酸假说。1947—1952 年，查哥夫（1905—）对核酸的 4 种碱基重新测定后，证明在 DNA 大分子中，嘌呤和嘧啶在总量上是相等的（T+C=A+G），其中腺嘌呤和胸腺嘧啶相等，鸟嘌呤和胞嘧啶相等，即 A=T，G=C，但 A+T 不一定等于 C+G。这一发现推翻了错误的四核苷酸假说，成为后来 DNA 双螺旋结构模型中碱基配对原则的实验依据。英国生物学家托德（1907

一)于 1952 年解决了核酸化学结构中长期混乱的难题,明确指出核酸是由磷酸二酯键把一个个核苷酸连接成一条长链。查哥夫和托德的研究使人们对核酸结构有了清晰的认识,为建立正确的 DNA 空间结构模型奠定了基础。

### (3) 三个学派的工作

分子生物学是由生物大分子的晶体结构学、遗传的生物化学和遗传信息学的研究成果综合而产生的。50 年代后,三个学派的研究工作由彼此独立转到融为一体,是导致分子生物学诞生至关重要的一步。

结构学派由一批结晶学家组成。1912 年,X 射线衍射晶体分析技术开始出现。1931—1935 年,英国科学家阿斯布勒(1898—1961)和贝尔纳(1901—1971)用这种方法研究头发、羊毛这一类较大分子的结构。30 年代末,他们又对核酸、蛋白质的结构进行分析,证明它们都是折叠、卷曲的长纤维。美国著名结构化学家鲍林(1901—1994)于 40 年代肯定了肽键是蛋白质的基本结构,而且还有一种弱相互作用的氢键支持着肽链缠绕的结构。50 年代初,他又根据结构化学规律提出蛋白质多肽骨架的螺旋结构。鲍林的工作是 DNA 双螺旋结构建立的直接实验基础。

伦敦皇家学院的威尔金斯(1916—)和女科学家弗兰克林(1920—1958)也于 1950—1951 年系统地研究 DNA 的晶体结构。他们应用 X 射线衍射分析技术观察一种高度定向的 DNA 纤维,拍出了一张非常清楚的 X 射线衍射照片,从中可以得出 DNA 结构的重要数据。这张由弗兰克林拍摄的非常高超的照片对 DNA 结构模型的建立起到了极其重要的作用。

信息学派由玻尔和他的学生德尔布吕克所倡导。1932 年,玻尔在题为《生命和光》的讲演中指出,不能把有机体简单地还原为化学的相互作用,也不可能存在与已知物理定律和化学定律不相容的某种特殊的生物学定律。他主张建立一个互补性的理论构架,使物理、化学规律和生物学规律调和起来。德尔布吕克深受玻尔影响,把兴趣从物理转向生物学。他认为基因是一个大分子,用传统的化学方式不可能说明基因的功能;还强调研究比细菌更简单的病毒非常重要。他领导的噬菌体小组坚持不懈地研究了 30 年。1944 年,薛定谔发表了《生命是什么?》一书,用量子力学观点论证了基因的稳定性 and 基因突变的可能性。他认为,基因是无数同分异构的连续构成的非周期性晶体,其中巨大数量的排列组合构成了大量复杂的遗传密码。这些密码形成遗传信息。薛定谔这本著作在 40—50 年代产生了极大影响,曾使一批物理学家转向生物学研究领域。薛定谔把量子论和信息论引入生物学和遗传学,对分子生物学的产生起了很大的推动作用。有人将他的这本书称为“唤起生物学革命的小册子”。

信息学派最重要的成就是证明了 DNA 是遗传信息的载体。1944 年,美国细菌学家艾弗里(1877—1955)同他的合作者用不同种的肺炎双球菌做转化实验,首次证明 DNA 是遗传信息的载体。但当时大多数科学家还囿于“四核苷酸”的错误假说,不肯承认这一结果,仍坚持认为:只有蛋白质才是遗传信息的载体。艾弗里等人尽管在实验中做出了发现,但没有勇气同旧的观念决裂。不过他们的工作对 DNA 的研究还是起到了推动作用。

40 年代,德尔布吕克与卢里亚和赫尔希(1908—)组成了闻名世界的噬菌体小组。1952 年,赫尔希和他的学生蔡斯(1921—)用同位素硫和磷分别标记噬菌体的蛋白质和 DNA,发现当一个噬菌体感染一个细菌细胞时,噬菌体将它的 DNA 注射到细菌细胞中,而把蛋白质留在细胞外面;噬菌体 DNA 进

入细菌细胞后，细菌开始合成噬菌体 DNA，并给 DNA 包上蛋白质外壳，释放出许多同原来一模一样的噬菌体。DNA 在噬菌体生活周期的这种连续性，证明 DNA 是遗传物质。这是 DNA 作为遗传物质的直接证据。这个结果立即得到公认，从此很少再有人相信蛋白质是遗传信息的载体了。有人认为，从这个实验中得到的知识对沃森和克里克几个月内作出 DNA 结构模型，也许是最重要的刺激因素之一。

生化学派以美国生物学家比德尔（1903—）为代表。他研究遗传与代谢的关系以及基因是如何起作用的。1940 年，比德尔和泰特姆（1909—1975）在链孢菌（即红色面包霉）开始做有关生化突变体的研究工作。他们发现，用 X 射线或紫外线处理链孢菌的孢子可使某些孢子变得不能在最低培养基上生长；如果在培养基中增加某种氨基酸或者核苷酸、维生素，它就能继续生长。这说明照射使某些个体失去合成某种物质的能力。实验证明，这种性状的变化是可以遗传的。这种突变体称为生化突变体。比德尔等根据几百个生化突变型分析，认为一个基因的功能相当于一个特定的蛋白质（酶），每一个基因突变都影响着一种酶的活性，于是在 1941 年提出了“一个基因一个酶”的假说。它表明基因与遗传性状的关系并不是原先所认为的是直接对应的关系，而是每一基因都通过一种特殊的酶起作用。基因决定酶的形成，酶控制生化反应，从而控制代谢过程。这一假说使人们设想：基因是形成酶的一个模板。比德尔的发现对认识基因作用的性质有重大意义，很快被普遍接受。以后“一个基因一个酶”的学说被修正了，但它对分子遗传学的诞生起了促进作用。一个基因去控制细胞代谢方面只有一个功能的概念，曾推动人们去寻找这种功能。因此，这一学说的历史地位是应予以肯定的。

到 1952 年，三个学派在各自领域中都取得了一系列重要成果，为分子生物学诞生做好了充分准备。三条支流只有汇聚在一起才能成为波澜壮阔的大河。当时许多科学家努力将各派的研究成果进行综合，生物学的一场重大革命即将来临。

## 2. 分子生物学的诞生

分子生物学是研究生物大分子的结构和功能关系的科学。沃森（1928—）和克里克（1916—）在早期信息学派工作的基础上把遗传生化学派和结构学派的研究成果结合起来，建立了 DNA 双螺旋结构模型，标志着分子生物学的诞生。50 年代末 60 年代初，遗传中心法则建立起来，遗传密码被破译，使分子生物学发展成为一门完整的学科。

### （1）DNA 双螺旋结构分子模型

40 年代末，DNA 的功能和结构日益引起学术界的重视。维尔金斯、弗兰克林小组和鲍林的小组在 DNA 晶体结构研究方面都取得了卓有成效的进展。

沃森在上大学时就被薛定谔的《生命是什么？》迷住了，决心揭开基因的奥秘。后来他在卢里亚领导的噬菌体小组攻读博士学位。1951 年，沃森听到维尔金斯关于 DNA 晶体衍射分析的阶段学术报告，决心从事 X 射线晶体衍射分析生物大分子的研究。1951 年秋，沃森来到英国剑桥卡文迪许实验室与克里克相遇，开始了现代生物学史上最有成效的合作。克里克原是学物理的，也是由于受薛定谔的影响，决心把物理学知识用于生命科学的研究。从 1951 年 11 月起，沃森和克里克并肩从事 DNA 结构的研究。他们同维尔金斯

和弗兰克林进行了几次学术交流。1951年11月，弗兰克林在关于DNA结构的报告中指出，DNA呈螺旋型，其中磷酸根基因暴露在水中。沃森听了这个报告后，与克里克很快提出了一个3股螺旋的DNA结构的设想，并把亲水性的磷酸基团放在螺旋的内侧。1951年底，弗兰克林指出他们把DNA的含水量少算了一半。这个模型失败了。

1952年5月以后，沃森和克里克得到了维尔金斯和弗兰克林的进一步的实验报告。克里克请数学家帮助计算的结果表明，嘌呤有吸引嘧啶的趋势，并从查哥夫那里知道嘌呤与嘧啶的碱基比为1:1，于是形成了碱基配对的概念。沃森和克里克此时已知道鲍林建立了氢键连接的3链结构，这对他们也是一个促动。经过紧张的工作，不断修正错误，他们终于在1953年2月建立起DNA双螺旋结构的分子模型。按照这个模型，DNA分子是由两条多核苷酸组成的，它们互相缠绕成双螺旋，靠碱基之间的氢键联结在一起，配对的碱基是不同的，但存在互补关系。腺嘌呤与胸腺嘧啶联结，鸟嘌呤与胞嘧啶联结。这个模型公布后，鲍林很快提出在鸟嘌呤和胞嘧啶之间是3个氢键，纠正了模型中的一个错误。

DNA双螺旋结构分子模型的建立是科学发展的必然，是众多科学家共同努力的结果。沃森和克里克能够抓住时机，综合当时各方面的研究成果，发挥他们的创造性思维，坚持不懈地日夜奋斗，终于摘取了这一伟大发现的桂冠。从1951年11月到1953年4月，短短18个月，就取得这样重大的成就，堪称科学史上的一个奇迹。1953年4月，英国的《自然》杂志发表了沃森和克里克的论文，同时发表了维尔金斯和弗兰克林的两篇实验报告。DNA双螺旋结构模型的建立，是生物学史上、也是20世纪科学史上最重大的发现之一。1962年，沃森、克里克和维尔金斯同获诺贝尔生物和医学奖。弗兰克林因于1958年逝世而未授予。但她和鲍林在DNA双螺旋结构分子模型建立中的杰出贡献是不可磨灭的。

## (2) 遗传密码的破译和遗传中心法则的建立

沃森和克里克建立DNA双螺旋结构模型后不久，又发表文章说明DNA分子结构的遗传含义。他们设想DNA双螺旋结构就是基因，携带着遗传密码；在复制过程中，原来的一个双螺旋结构分子变为两个同原来完全相同的双螺旋分子。1956年，美国的科恩伯格（1918—）从大肠杆菌里分离了一种催化核苷酸形成DNA的酶——DNA聚合酶。1957年，他用含有4种核苷酸、聚合酶和DNA的无细胞体系合成了DNA。他的重要发现是，产物DNA中碱基比例和原先的DNA碱基比例相同。1958年，梅塞尔森（1930—）等用大肠杆菌研究DNA复制。实验结果证明，在细胞分裂中DNA确实是以半保留复制的方式产生的。1959年，美国生物化学家泰勒（1916—）用氘标记碱基追踪DNA的复制。以上实验结果都证明沃森和克里克的设想是正确的。DNA双螺旋结构的重大意义显示出来，它解决了基因自我复制的分子基础问题。此后，基因是如何表达的问题，成为分子生物学研究的中心课题。

在探求基因如何控制蛋白质合成时，面临一个难题：4种不同的碱基怎样排列组合进行编码才能表达出20种不同的氨基酸。美国物理学家伽莫夫于1955—1956年间用数字的排列组合来估算编码。他认为，应用3个碱基组成3联密码， $4^3=64 > 20$ 。由此他进一步推断一种氨基酸可能不只有一个密码。伽莫夫专门组织对遗传密码设计的讨论，克里克也参加了。1961年，克里克和布伦纳进行了研究密码比例和翻译机制的实验。结果表明，密码确是以3

联体核苷酸的形式代表着 20 种不同的氨基酸。1961 年，美国科学家尼伦贝格(1927—)和德国科学家马太首先用实验确定了苯丙氨酸的遗传密码是 RNA 上的尿嘧啶。这个结果一公布，在科学界引起很大反响。人们竞相做实验测定各种氨基酸密码。到 1963 年，20 种氨基酸的遗传密码都被测出。到 1969 年，64 种遗传密码的含义已全部得到解答。经克里克建议，人们将它们排列成一个遗传密码表。很多科学家认为，这个表在生物学上的意义，可以与元素周期表在化学上的意义相比。

遗传密码的破译是一项有重大影响的成就。现在人们已经知道，从最高等的动物人类到最低级的生物病毒，蛋白质生物合成的密码都是一样的。遗传密码代表着生命现象必须具备的起码条件，并体现了生命世界的高度统一性。

对于遗传信息通过什么途径来调节和控制遗传的问题，50 年代人们也进行了大量研究。克里克在 1957 年提出一个设想：RNA 可能是 DNA 和蛋白质之间的中间体。1958 年，克里克又提出基因自我复制和指导蛋白质合成的“中心法则”，即 DNA 把信息转给 RNA，RNA 通过中间的“受体”用信息指导氨基酸进行蛋白质的合成，而且这一过程是不可逆的。这种受体很快被证实是一种转移核糖核酸。1961 年，法国分子生物学家雅可布(1920—)和莫诺(1910—1976)证明在 DNA 与蛋白质之间的中间体是一种被称为信使 RNA 的多核苷酸链(简称 mRNA)，由于酶促作用及碱基配对原则，转录 DNA 分子所携带的遗传信息。同年，雅可布和莫诺还提出了半乳糖操纵子学说，说明了基因的调节控制作用。

1970 年，美国生物化学家特明(1934—)和巴尔的摩(1938—)在癌症研究工作中，各自独立地发现了逆转录酶。这一发现不但打破了中心法则的不可逆性，也为病毒可以改变宿主细胞的遗传性提供了科学依据，是对中心法则的一个重要补充，又一次轰动了生物学界。两人都获 1975 年诺贝尔生物及医学奖。

### 3. 细胞生物学与当代进化论

分子生物学的兴起，对细胞学的发展产生深刻影响。50 年代，电子显微镜的改进及其他技术的应用，使人们可以观察到许多以前无法看到的微细结构。60 年代初，对细胞的观察已深入到亚细胞结构水平和分子水平，人们将细胞结构研究与功能研究紧密结合起来，以阐明生命的基本活动。细胞生物学作为一个独立的分支学科诞生了。70 年代，人们对细胞有了进一步的认识。细胞的生物学特点可概括为：细胞是遗传信息和代谢信息的储存和传递系统，是从小分子合成复杂高分子特别是核酸和蛋白质的系统，是一个内部有能量流动又保持整体动态平衡的开放系统。这种认识与 50 年代前相比，不仅在结构上深入到新的层次，而且从功能上反映了生命活动的本质。此外，60 年代以来，在细胞膜、染色体、线性体等的结构和功能的研究方面也取得了重大进展。

60—70 年代，随着分子生物学及其他生物学分支的发展，生物进化理论已发展到第三个阶段。一方面，原来的综合进化理论发展成为当代达尔文主义的新综合理论，又称分子水平的综合进化理论。它更加科学地说明了选择的进化机制和变异对进化的意义，成为这一阶段进化理论的主流。另一方面，

出现了中性突变进化理论和间断均衡学说，从不同的水平对进化现象加以说明和解释，并向当代达尔文主义提出挑战。综合进化理论认为，种群是生物进化和物种形成的基本单位，进化是种群基因库变化的结果，突变、选择和隔离是生物进化的基本环节。1968年，日本学者木村资生提出分子进化的“中性理论”，后来发展成中性突变理论。该学说认为，生物体中产生的突变大部分是中性的；中性突变不受自然选择的影响，而且分子进化与环境无关。关于中性突变学说，仍存在很多争论。但它的出现标志着进化理论进入一个新的阶段，揭开了从微观水平研究生物进化的序幕。

#### 4. 生物技术的发展（一） ——基因工程和细胞工程

生物技术是指利用生物体系，应用先进的生物学和工程技术，加工或不加工底物原料，以提供所需的各种产品，达到某种目的的一门新型跨学科技术。它包括基因工程、细胞工程、酶工程、蛋白质工程及发酵工程等。当代生物技术的突出特点是，在细胞和亚细胞的分子水平上直接操纵生命，改造生物或创造新生物。

##### （1）基因工程

基因工程是在分子生物学的基础上于70年初建立的。1973年，美国的科恩（1935—）和博耶（1936—）等人把两个不同的质粒拼接在一起，组合成一个嵌合质粒，导入大肠杆菌。结果发现，这种嵌合质粒能够在其中复制并表达双亲质粒的遗传信息。这是DNA重组技术的第一个成功事例，揭开了生物技术发展史上崭新的一页。

从生物基因中分离目的基因需要借助于切割酶。阿尔伯（1929—）最先发现限制性内切酶原理。1968年，他从理论上预言了脱氧核酸限制切割酶的存在，并成功地分离了脱氧核酸限制性内切酶，但未获得实用价值。1970年，史密斯（1931—）根据阿尔伯的理论，获得一种限制性核酸内切酶HindⅢ，实现了限制性内切酶切割。次年博耶找到了另一种限制性内切酶EcoRⅠ。到目前为止，已发现的限制性内切酶已达百余种。它们为分子生物学的研究及基因工程提供了锋利的“手术刀”。内森斯（1928—）利用限制性内切酶分析病毒S<sub>V40</sub>的基因结构，首次成功地绘制了第一个脱氧核酸的物理图谱和核糖核酸的转录图谱，为动物遗传工程打开了途径。阿尔伯、史密斯、内森斯同获1978年诺贝尔生物学及医学奖。

1967年，世界上有5个实验室几乎同时发现了噬菌体T<sub>4</sub>DNA的连接酶；1974年，又从T<sub>4</sub>噬菌体感染的大肠杆菌中分离出了连接酶。如果把内切酶比作基因操作的“剪刀”，那么连接酶就是“浆糊”。此后，又有人发现了修补工具酶。这些酶的发现，使DNA的切割和连接问题得到解决。

DNA体外重组一般需要通过基因载体将目的基因DNA的片断拼接后再送入宿主细胞表达增殖。1973年，科恩等人研制的质粒就是一种非常理想的载体。1977年，博利瓦和博耶等制成了另一种万能质粒载体PBR<sub>322</sub>，为基因重组提供了重要工具。此外，噬菌体也被用作载体。1978年，又出现了内质粒DNA和噬菌体COS区构建而成的新型载体。

获取目的基因的人工合成方法，有酶合成法和化学合成法两种。化学合

成法产生于 70 年代，1980 年初出现了基因合成机，至今已合成了人的生长激素、胰岛素、干扰素等编码基因。

基因工程自 70 年代出现以来，取得了令人惊异的迅猛进展，在工业、农业、医药等方面得到广泛的应用。美国基因公司利用大肠杆菌构建生产胰岛素的基因工程菌的实验于 1978 年获得成功。1982 年，用基因工程菌生产出胰岛素产品，两年后进入商品化生产，结束了完全依赖动物脏器生产胰岛素的历史。1979 年，美国基因技术公司把人的生长激素基因导入大肠杆菌中，构建成了生产生长激素的基因工程菌。1983 年，用基因工程菌生产的人类生长激素药品投放市场。到 1990 年，这种药品的全世界销售额已超过 1.5 亿美元。1980 年，美国成功地生产出了干扰素。近年来中国也研制出  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  型干扰素。 $\alpha_1$  型外用基因工程干扰素已于 1989 年投入生产，年产值达 5000 万元，疗效很好。 $\alpha_1$  型针剂基因工程干扰素可用于治疗某些病毒性疾病和恶性肿瘤、毛细胞白血病等。此外，美国、中国等国近年都研制出乙型肝炎基因工程疫苗，并已投放市场。

在植物基因工程方面，近年取得了引人注目的成就。1983 年，美国成功地将菜豆的蛋白质基因及对抗生素有抗性的细菌基因，通过土壤农杆菌 Ti 质粒置入向日葵幼苗或茎切段，结果长出了“向日豆”。

动物基因工程在 80 年代末也取得了重要成果。1987 年，美国培育出了转基因瘦肉型猪，是通过置入牛生长激素基因获得的。中国也研究培育出转基因的“超级兔”、“超级猪”、“超级鲤鱼”，尽管它们还不能在生产上推广应用，但已为改良畜牧品种开辟了广阔的前景。

传说国外过去曾有一位心灵手巧的女子用蜘蛛丝织成了一双手套。今天这种愿望已变成现实。1990 年，美国生物学家洛姆巴迪在实验室里改变了天然蜘蛛的基因，把它转入细菌，结果细菌分泌出一种蜘蛛丝蛋白。然后，再将液化的蜘蛛丝蛋白通过注射器针孔，挤压成人造蜘蛛丝。这种人造蜘蛛丝的抗张强度比钢丝高 5—10 倍，质地和手感比得上蚕丝，但更牢固、易染色，可以大批量生产。美国军方考虑用这种人造蜘蛛丝制做重量轻、强度大的防弹背心、头盔、降落伞绳、军装等。利用基因工程生产特殊纺织品的时代已为期不远了。

## (2) 细胞工程

细胞工程主要有细胞融合技术、组织与细胞培养技术、染色体工程技术、细胞拆合与胚胎移植技术等。

细胞融合指不同的细胞在离体条件下接触，用无性方法使其成为一体，而产生杂种细胞的技术。50 年代，日本学者把仙台病毒混在两种不同的动物细胞中，结果细胞间发生凝聚，异种细胞发生了融合。60 年代，细胞融合发展成为一门细胞工程技术。在植物原性质融合技术方面，60—70 年代科学家们进行了大量的实验。80 年代初，原联邦德国的迈尔切斯和赞克泰勒获得了蕃茄和马铃薯的属间杂种植株，长出了“泡马豆”，在生物学界引起极大轰动。近年来，人们还获得了烟草——大豆、蚕豆——矮牵牛、甘蔗——高粱、胡萝卜——羊角芹等数十种不同属植物组合的杂种植株。我国也培育出了烟草——矮牵牛等属间融合细胞的杂种植物。1986 年，日本科学家用红甘蓝和白菜细胞融合，育出了一种形似白菜、味道似甘蓝的新型蔬菜——生物白蓝。它属于种间体细胞杂交植物。它的培育成功，把体细胞融合技术育种从实验

室推向大田，向商品化迈进了一步。

1975年，科学家科勒（1946—）和米尔斯坦（1927—）首先研制成功淋巴细胞杂交瘤技术。他们将绵羊红细胞免疫的小鼠脾脏细胞与体外培养的小鼠骨髓瘤细胞融合，制造出了一种杂种细胞，开创了单克隆抗体的新时代。用单克隆抗体与抗癌药物或毒素结合起来，就成为威力巨大的“生物导弹”。它具有高度选择性，对癌细胞命中率高，杀伤力强，而且不损伤正常细胞。单抗出现虽只有十几年的时间，但发展很快。截止到1989年，英国、日本各有100多种单抗诊断试剂在市场上销售。中国生产的诊断灵敏度高的乙型肝炎单抗诊断药盒也已上市，此外还有结肠癌单抗诊断药盒、胰腺癌单抗诊断药盒等十几种产品正在研制或投入批量生产。单克隆抗体技术的发展，是免疫学中的一场革命。科勒和米尔斯坦因其杰出贡献获得1984年诺贝尔生物学与医学奖。

植物细胞和组织培养最早出现在本世纪初。60年代，科金培育出第一株体细胞杂种植物。30年来，植物组织培养主要用于名贵花卉的快速繁殖。1960年，法国的莫雷尔用兰花茎尖繁殖兰花成功。此后许多国家建立了各类微型花卉繁殖工厂数百家，繁殖名贵花卉300多种。新加坡和泰国仅靠兰花出口，每年就可获利1000多万美元。中国生物实验室培育成功的快速繁殖植物已有100多种，其中香蕉试管苗已形成年产几百万株的生产能力，还建成年产300万株的甘蔗无毒种苗生产基地。1956年，有人首次提出用细胞大规模培养和生产有用物质的专利。人们用生物反应器连续培养植物细胞，可以大量、低成本地获得药品、香料、蛋白酶抑制剂、肿瘤抑制剂等。1968年，日本实现了用13万公斤培养罐培养人参细胞的工业化生产。中国从70年代开始用细胞大规模培养技术生产人参、三七、黄连等有用药品，成绩卓著。目前通过细胞培养的植物已达200余种，从中获得有价值的物质300多种。

在染色体工程方面，中国对花粉单倍体育种的研究取得了丰硕成果，培育出了京花1号、京花3号小麦，中花8号、中花10号水稻等优良品种。著名的“杂交水稻之父”袁隆平培育的杂交水稻，从1976年到1989年，在中国推广累计达12亿亩，增产稻谷1200亿公斤。美国、日本等100多个国家都引进了中国的优质杂交水稻。在难度较大的单倍体培育玉米方面，中国也取得突破。

细胞拆合与胚胎移植技术近几十年也有很大发展。1953年，有人将蛙的胚囊细胞核转移到去掉核的蛙的卵里，结果这个移核卵长成了小青蛙。60—70年代，中国动物学家童第周用显微注射技术，将鲫鱼、鲤鱼的mRNA分别注入金鱼的受精卵中。这些卵分别发育成鲫鱼和鲤鱼。此后不久，世界上第一只嵌合体小鼠也培育成功。1987年，中国陆德裕教授和助手用不同种类兔胚胎结合得到了3只嵌合体小兔。早在100年前，就有人做过兔子的胚胎移植试验。1951年，美国获得了第一头胚胎移植培育的牛犊。1983年日本培育出第一头切割胚胎长成的小牛。同年，在剑桥大学学习的一位台湾研究生，移植了4个经试管受精的猪胚胎，获得了4头小猪。1985年，美国伦敦动物园出现了一匹胚胎移植长成的斑马。中国80年代以来在胚胎移植方面不断取得突破，奶牛的胚胎移植技术已接近国际先进水平，在绵羊、山羊、奶山羊和猪的胚胎移植技术方面也获得了成功。

## 5. 生物技术的发展（二）

## ——酶工程、蛋白质工程和发酵工程

酶工程、发酵工程形成于 60—70 年代，现在已成为生物技术的重要组成部分。蛋白质工程在 80 年代迅速崛起，使生物技术发展到一个新的阶段。

### (1) 酶工程和蛋白质工程

酶工程的核心是酶的固定化技术。60 年代以来，酶的固定化新方法研究迅速发展，美国、日本及欧洲一些国家在酶的固定化技术方面都取得了卓著的成果。1969 年，日本首先将固定化酶用于左、右旋氨基酶的分析，实现了工业生产的连续反应。近年来，固定化酶技术已有 10 多种制备方法，用固定化酶转化的产品也已有多种。目前已有耐 110—115 高温的葡萄糖淀粉酶，耐 100 高温的纤维素酶；耐高温蛋白酶和耐低温碱性蛋白酶也研制成功。

生物传感器是酶工程研究的一个热点。60 年代，科学家将生物大分子酶与各种电化学传感器结合起来，创造出新的分析装置“酶电极”。它兼有酶法分析和电极法的优点，测定速度快，而且准确。目前，酶生物传感器已用于病人的床头连续监护、工业发酵和环境污染的监控，显示出高效率、高灵敏度、微型化的优点。

蛋白质工程是第二代生物技术。它的产生掀起了生物技术的新浪潮。它集中了当代分子生物学一些前沿领域的最新成就，把核酸研究与蛋白质研究结合起来。70 年代末，蛋白质工程开始萌芽。1982 年，美国 3 家实验室同时运用蛋白质工程改变酪氨酸 tRNA 合成酶等几种蛋白质，首次取得成功，标志着蛋白质工程的诞生。短短数年来，蛋白质工程在基础理论、技术方法和应用方面都取得了一批重要成果。科学家弄清楚了加速酶促反应的原因，为酶的催化作用、蛋白质工程的应用找到了正确的理论依据。他们还发展了两种蛋白质修饰的方法，一种是定位突变，另一种是盒式突变。近来，利用免疫学方法来制造酶成为蛋白质工程最新、最有前途的方法。目前，利用蛋白质工程技术制造的工业用酶，已从实验室进入生产领域。1987 年，美国科宁遗传技术公司已向一家客户供应一种工程酶，并加紧开发生产几种人造酶。西欧、日本许多大公司现在也竞相开发蛋白质工程。为了洗掉衣服上的血迹、汗渍等，人们在洗衣粉中加入了一些酶。但这些酶容易在漂白剂的作用下被破坏。蛋白质工程可以解决这一技术难题。荷兰已设计出一种能够和漂白剂一同起作用的去污酶。蛋白质工程应用前景十分广阔。目前，一些公司在研究蛋白质工程如何作为制造农用化学制剂、塑料和纤维的手段，并探索可制造塑料复合材料、人造骨、人造血管的人造蛋白质。蛋白质工程不仅可以促进生物技术的进一步发展，还将推动医学、材料科学技术等高科技的进步。

### (2) 发酵工程

发酵工程又叫微生物工程。当代发酵工程兴起于 40 年代。70 年代以来，细胞融合、细胞固定化及基因工程等技术的建立，使发酵工程进入了一个崭新的阶段。

50 年代前，氨基酸生产靠蛋白质水解和化学合成。50 年代后期，发酵工程生产氨基酸实现了产业化。这样生产的氨基酸具有光学活性，生产工艺简单、成本低，污染较轻。国外用发酵法和酶法生产的氨基酸目前已达 18 种，年产量超过 50 吨。

在药物生产方面，目前各国利用发酵法生产的抗生素达 400 余种，1985 年已达 3 万余吨。80 年代以来，用发酵工程生产的 6 种维生素，销售量已达

10 亿多美元。我国发明出维生素 C 两步发酵法，工艺简单、成本低、污染轻，在这方面处于世界先进行列。

用发酵工程生产出的柠檬酸、葡萄糖酸、乳酸和二羧酸类，已成为食品、医药、化工等工业的重要原料。

基因工程、细胞工程等生物技术的发展，使单细胞发酵工业在 70 年代迅速崛起。英国、法国、意大利等国都建起了年产 1 万吨以上的单细胞蛋白工厂。单细胞蛋白工业的发展将对畜牧养殖业、食品工业产生巨大的促进作用。

微生物发酵在新能源开发中也大有用武之地。现在已有 20 多个国家正在研究用它来生产酒精。1983 年，巴西用甘蔗发酵生产的酒精达 400 万吨。用纤维素物质生产酒精的方法也开始出现，美国、英国、日本在这项技术方面居于领先地位。美国一家公司利用纤维素酶处理纤维素，日处理量达 2000 多吨，可产几百吨乙醇。中国在农村建起了数以万计的小型沼气发酵池，为利用发酵工程解决能源问题开辟了一条途径。此外，发酵工程在治理环境方面也将大显身手。

## 六、信息技术的发展

信息技术是在信息论、微电子技术、电子计算机等学科和技术的基础上产生的。信息技术主要包括传感技术、计算机技术和通信技术等。电子计算机是信息处理的工具。通信、遥感是信息传输和获取的手段，微电子技术是信息技术的基础。信息技术是新技术革命的核心技术之一。40年来，信息技术以惊人的速度发展。50年代，信息技术的主要标志是编程计算，60年代进入数据处理阶段，70年代逐步形成计算机网络，80年代达到了模式识别。今天，信息技术已渗透到社会生产和生活的一切领域，并产生了巨大而深远的影响。信息产业正逐步取代传统工业而跃居主导地位。从某种意义上说，人类社会已进入了信息时代。

### 1. 微电子技术的发展

微电子技术是采用微细加工工艺，在微小的半导体结构内制成微型电子线路或系统的技术。它是伴随集成电路技术而发展起来的一门新技术。微电子技术的形成引起电子设备和系统的设计、工艺、封装等方面的巨大变革。它最突出的成就是微处理器。

1947年底，美国贝尔实验室研制成了世界上第一个晶体管，微电子技术开始萌芽。50年代末期，集成电路出现了。这一发明的功绩应属于美国得克萨斯仪器公司的基尔比（1923—

）和仙童公司研究与开发部的诺伊斯（1927—）。早在1958年，基尔比就开始了对集成电路的探索。当时他正参与美国军方的一项微型组件研制。这种微型组件由晶体管、电阻、电容等元器件装配到一片陶瓷基片上，然后叠成立体结构。它的焊点多，制作技术复杂，可靠性差，成本较高。基尔比便想设计出一种更优越的微型电路。他的方案是用一块半导体材料制成由若干晶体管和电阻、电容组成的功能电路。在公司负责人的支持下，经过坚韧不拔的努力，他终于在1959年初制成了包括电阻、电容和晶体管的单块锗晶体触发器。同年2月6日，基尔比向美国专利局申请了专利。不久，这种集成触发电路在美国无线电工程师协会公诸于世，被人称为硅晶体管后的“最重要的开发成果”。几乎与此同时，仙童公司的诺伊斯等人也在从事集成电路的研究。他们曾在肖克利手下参与半导体的研究，后来雄心勃勃地创建了仙童半导体公司，以大展宏图。正当他们信心百倍地逐鹿集成电路时，基尔比已捷足先登。但诺伊斯并未灰心丧气。经过仔细分析，他发现基尔比的设计与自己迥然不同，基尔比的集成电路的缺点在于元器件的连线采用的是热焊合金丝，并非与元件一道加工的。诺伊斯则设想把连线也变成集成电路制造过程的一部分。他和同事们经过探索，改进了晶体管制造的平面工艺，巧妙地在硅片上的二氧化硅层被刻蚀的窗口中扩散一定的材料，形成各种元器件，并利用PN结使元器件相互隔离，又在晶片表面上沉积金属作为连线。诺伊斯等人的设计获得了成功，于1959年7月申请了专利。后来，得克萨斯公司和仙童公司为集成电路的发明权发生过争执。但人们公认，基尔比和诺伊斯对集成电路的发展都做出了重大贡献。

集成电路的诞生，标志着电子技术进入了微电子技术的新阶段。1960年，得克萨斯仪器公司和仙童公司等都研制出电阻—晶体管逻辑电路。这是

一种数字集成电路系列产品。1962年，西格尼蒂斯公司发明了性能更佳的二极管——晶体管逻辑电路，摩托罗拉公司开发出高速双极逻辑电路——发射极耦合电路。1963年，塞尔凡尼亚公司研制成更为先进的晶体管—晶体管逻辑电路。这种双极电路后来取得很大进展。

1962年，美国无线电公司的霍夫斯坦和海曼研制出金属氧化物半导体场效应管。它的集成度高，功耗低，可靠性好，工艺简单，但存在工作速度较慢、要求不同工作电压、易氧化等缺点。60年代后期，制造MOS电路的技术更加成熟，一些障碍被突破，MOS电路才获得巨大发展。1967年，仙童公司生产出世界上第一个只读存储器。它是一个64位MOS器件。1969年，美国的英特尔公司制成了4位的4004微处理器，采用了P沟道MOS工艺。1972年，该公司开发了计算机上使用的MOS结构1024位动态随机存储器。1975年，他们又推出了4096位动态随机存储器。这时，使用几片集成电路片子已能组装成一台微型计算机。

集成电路自问世以来，发展异常迅猛。60年代初期，生产的是在一块芯片上包含几十个晶体管的小规模集成电路。60年代中期发展到几百甚至上千个元器件的中规模集成电路。同时，微电子学也成为一门独立的学科。进入70年代，集成电路技术发展更快，形成了1000个以上晶体管的大规模集成电路，后期甚至出现了20多万个晶体管的芯片，进入了超大规模集成电路的时代。而且集成的对象也发生了根本变化，有复杂的功能部件，也有成台整机（单片计算机）。80年代，集成电路又有长足发展，芯片上的集成元器件最多已达几百万个。预计90年代集成度将达到上千万，本世纪末可达数十亿。集成电路的这种发展速度是无与伦比的。

在集成度不断提高的同时，集成电路的功能也不断完善，形成了数字集成电路、模拟集成电路和接口集成电路等几大类。接口集成电路出现于70年代。它可以在各种不同的电子系统之间起到连接和匹配作用。

集成电路的迅猛发展，与大规模集成技术密不可分。这一技术包括电路设备分析技术和手段、微细加工技术、半导体材料提纯和加工技术、检测技术、超纯和超净技术5个方面。用电子束制作集成电路光刻工序中使用的掩膜，取代了庞大昂贵的红宝石刻蚀设备，使集成电路生产过程发生了根本性变化。离子注入技术的出现，则使半导体掺杂方法得到重大改进。超纯、超净技术大大提高了半导体器件的质量。到80年代初，超纯硅的纯度已达12个9。此外，在电路设计中引进了计算机辅助设计，检测技术实现了高精度化、自动化和计算机化。80年代末，工业发达国家在超精细加工技术方面已大量采用了1微米技术，代表品种是1兆位动态存储器。采用0.8微米技术的4兆位动态存储器也已投入生产。90年代，超精细加工技术将从亚微米（0.5—1）微米）向深亚微米（0.1—0.5微米）发展。1990年6月，日本宣布研制出0.3微米技术的64兆位动态存储器原型样品。估计到2000年256兆位动态存储器将投入生产。

微电子技术作为新技术革命的前导技术，在各高新技术领域中大显神通，以其无以匹敌的巨大威力，带动了计算机技术、通信技术、生物技术、空间技术等飞速进展。由于中央处理器的集成化，微型计算机在70—80年代迅速普及，并进入了办公室和家庭。微电子技术对人类社会发展的影响是难以估量的。

目前，微电子技术发展方兴未艾。各国政府对它极为重视。70年代，在

日本政府扶植和资助下，日本 5 家公司组成“超大规模集成电路技术研究组合”，通过共同研究取得很大成功。美国半导体制造技术联合体，进行了 1987—1993 年的合作研究。西欧实施了欧洲联合亚微米硅计划，时间从 1989 年到 1996 年。中国引进的 3 微米技术生产线已于 1990 年投产，“1 微米兆位计划”已列为国家重点发展项目。

## 2. 电子计算机的发展

电子计算机的产生是当代科学技术最辉煌的成就之一，是科技史上最令人注目的奇迹；它是人类智力解放的一座里程碑。自 1945 年底世界上第一台电子计算机诞生以来，它的发展已经历了四代，第五代电子计算机正在孕育之中。电子计算机的广泛应用，对人类社会的各个方面都产生了极其深远的影响。

### （1）电子计算机的产生

电子计算机的产生是现代数学、现代物理学和现代技术相互结合的成果。现代数学中的一个分支——数理逻辑，奠定了电子计算机逻辑设计的基础；本世纪 20 年代以来电子科学技术和自动控制技术的发展为电子计算机的产生提供了必要的物质基础；近代以来到本世纪 40 年代相继出现的机械计算机、继电器计算机，为其准备了技术条件；而促使电子计算机产生的催化剂则是第二次世界大战的军事需要。

第二次世界大战中，美国宾夕法尼亚莫尔学院电工系与马里兰州阿贝丁弹道研究实验室合作，为陆军计算炮击火力表。每张火力表要计算几百条弹道的数据，而一个熟练的计算员用台式计算机算一条弹道就需 20 小时，用大型微分分析仪也需 15 分钟。他们一方面不断改进微分分析仪，同时雇用 200 多名计算员。但算一张火力表仍需要两三个月，结果还不能令人满意。这种状况远远不能适应战争的需要。当时电子管的应用日益广泛。由于二极管栅极控制电流开关的速度比电磁继电器快 1 万倍，因此用电子管取代电磁断路器就能够大大加快计算机的计算速度。1942 年 8 月，莫尔学院的莫希利（1907—1960）提出了电子管计算机的设想。1943 年初，他的设想受到军方代表、青年中尉戈德斯泰因的重视，并在 1943 年 4 月的方案讨论会上得到陆军的支持。尽管当时对电子计算机的研制成败难卜，但迫于军事需要的压力，美国陆军还是冒着风险与莫尔学院签订了研制合同，并提供巨额经费。

研制工作几经波折，先后 20 次修改合同，所用经费是原计划的 3 倍多。到 1945 年底，世界上第一台电子计算机 ENIAC 研制成功。1946 年 2 月 5 日举行了揭幕典礼。1947 年，它被运往阿贝丁用于弹道计算。

这台电子计算机重达 30 多吨，占地 170 平方米，共用 18000 多个电子管，运算速度为每秒 5000 次，比当时已有的计算机快 1000 倍。电子计算机初出茅庐就显示了卓然不凡的威力。但 ENIAC 的可靠性仍然较差，存储容量小，尤其它的程序是外插型的，不便于使用。因此，如何充分发挥电子技术提供的巨大潜力，成为电子计算机改进的突出问题。

第一台电子计算机的问世，是计算机发展史上的一次重大突破。它开创了信息时代的新纪元。

事实上，最早的电子计算机不是 ENIAC。英国在第二次世界大战中制成的 Colossus 机比它要早好几年，只是由于英国政府保密才不被人知。它是专

门为破译密码而研制的。1975年后，英国官方才将 Colossus 机的秘密透露出一些。因此，人们还是习惯把 ENIAC 看作最早电子计算机。

## (2) 电子计算机的发展

从第一台电子计算机产生到 80 年代，电子计算机的发展已经历了四代：电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路。第五代超大规模集成电路计算机的研制也取得了重大进展。

1944 年夏，著名数学家冯·诺伊曼得知了莫尔小组的研究工作。当时他正在参加第一颗原子弹的研制。原子裂变反应过程的大量计算也是亟待解决的难题。因此冯·诺伊曼对电子计算机的研制甚感兴趣，立即投入到莫尔小组的工作中。他对 E-NIAC 设计方案的优缺点进行了深入的分析，于 1945 年初提出了通用电子计算机 EDVAC 的设计方案。1946 年，在其他成员的协助下，他又对方案进行了修改。EDVAC 设计方案最重要的思想是程序内贮。这为充分发挥电子元件的高速度打开了通路，使全部运算成为真正的自动过程。程序内贮的出现是电子计算机发展史上一个重要里程碑。EDVAC 的另一项重大改进是采用了二进制。EDVAC 的设计方案成为目前一切电子计算机的设计基础。这种类型的电子计算机通称为“冯·诺伊曼机”。他本人则因其杰出的贡献被西方学术界誉为“现代电子计算机之父”。但是，由于莫尔小组因发明权争执而解体，EDVAC 的研制中途搁浅。英国剑桥大学数学系实验室的威尔克斯吸取了 ED-VAC 卓越的设计思想，于 1949 年制成了世界上第一台存贮程序电子计算机 EDSAC。而 EDVAC 到 1952 年才制造出来。

1951 年 3 月，由莫希利和艾克特（1919—）组织了另一个电子控制公司，在 EDVAC 方案的基础上研制成了 UNI-VAC—1 型电子计算机。1953 年，美国国际商用机器公司（IBM）按照冯·诺伊曼的建议，研制出 IBM701 机，并开始批量生产。1955 年，又生产了 IBM650 小型机，成为第一代电子计算机应用最广的类型。

第一代电子计算机以电子管做基本器件。它体积大、能耗高、运算速度慢、存贮容量小、可靠性差。但它为以后电子计算机的发展奠定了基础。

50 年代初，晶体管已大批量生产，进入实用阶段。这为电子计算机向第二代过渡创造了条件。最早采用分立的晶体管器件的计算机出现在 50 年代中期，当时只是供军用的小型机，如 1955 年，美国阿尔玛公司生产出装在“阿特拉斯”弹道导弹上的计算机；1956 年，贝尔实验室为美国空军提供了有 5000 个晶体管的小型机。1959 年，美国的菲尔克公司研制成第一台大型通用晶体管计算机，标志着电子计算机发展到了第二阶段。此后不久，原联邦德国、日本、美国、法国、意大利、原苏联等国，也都生产出了晶体管计算机。

第二代计算机实现了多道程序的并行处理，在系统结构方面取得重大进展，提高了计算机的性能，并为更有效地使用计算机的分时工作方式，为多处理机系统和多机系统的发展开辟了道路。1959 年，法国布尔公司制成的 Gamma60 机是最早采用了多道程序并行的计算机。1961 年，IBM 公司制成了 STRETCH 机。它在系统结构上采用了先行控制技术和 3 级具有多道程序性质的并行操作。可以做到：在执行一条指令的过程中部件分时工作，一道程序的连续几条指令的准备与执行并行完成，并行执行几道独立的程序。1964 年，控制数据公司的西摩·克雷博士领导研制成功了 CDC6600 机。它的运算速度达每秒 300 万次，主存容量为 13 万字。它采用了向量处理技术和流水线结构，在执行一条指令时可同时计算多个操作数据，一次能算出一组结果。

它还采用了多机处理的“分布计算”体制，把处理功能分散于主机和多台副机（外围机），并使系统的各个组成部分在大范围内并行工作。这些改进和创新对后来的计算机产生较大影响，并为向第三代电子计算机的过渡做好了系统结构的准备。

60年代初，第二代电子计算机已逐步取代了第一代计算机，成为主要产品。它的速度大大提高，可靠性增强，重量、体积、功耗都大幅度降低，同时采用了高级程序设计语言及编译程序。第二代电子计算机不仅可用于数值计算，还逐渐向企业管理的信息处理方面转移，在科研、生产和航空航天中得到了广泛的应用。

IBM公司研制的STRETCH，虽然有先进的系统结构，但售价高达1350万美元，因此只生产了7台，并使IBM公司亏损2000万美元。然而它为IBM公司吸引了一大批富有创造力的青年，创造了发展第三代电子计算机的条件。60年代初，集成电路开始出现。1964年4月，IBM公司生产出混合集成电路的IBM360系列计算机。这种机型的出现，标志着电子计算机进入了第三代。它的研制开发，耗资50亿美元，是美国研制第一颗原子弹的“曼哈顿工程”所用经费（20亿美元）的两倍半。到60年代末，IBM360系列已开发出大、中、小型机共11个型号，是电子计算机史上获得最大成功的通用计算机系列。它有多种外围设备和丰富的软件，价格性能比大幅度下降，运算速度最高达每秒千万次。

第三代电子计算机的最主要特点是系列兼容。采用微程序设计为实现系列兼容提供了方便，而集成电路为实现微程序设计提供了必要基础。IBM360系列的十几种机型，除个别机型外都相互兼容。第三代计算机在应用方式上广泛发展了用户自动分时系统和开始建立计算机网络。第三代计算机的外部设备已有重大革新，从机械式变为电子化，尤其是终端设备和远程终端设备获得很大发展。它与通信设备结合，为多用户自动分时系统的实现创造了条件。1965年，第一批商用分时系统投入运行。其中IBM公司的QVICKTRAN系统，可以连接40个用户。1967年，美国开始建立了第一个分时工作的大型计算机网络。它是为美国国防部建立的ARPA网络，将分散在全国11个城市的通用计算机连接在统一的分时系统中。1970年，连接美国与西欧的国际网络TIM建成，包括37台计算机，通过通信线路与美国和西欧的54个城市的用户相连接。

由于采用集成电路，第三代电子计算机出现了向小型机发展的趋势。1965年，美国数字设备公司（DEC）生产出PDP—8型机，是当时最便宜的计算机。受它的影响，这类小型机纷纷出现，美国1965年生产了1000多台小型机，1970年增至10000多台，品种达100多种。DEC公司成为生产小型机的最大公司。由于小型机可靠方便，价格低廉，因而发展迅速，使电子计算机进入了普及阶段。

1970年，IBM公司又研制出了IBM370系列机。它采用大规模集成电路做主存贮器，是向第四代过渡的电子计算机。

与美国相比，原联邦德国、日本、英国、原苏联等国的集成电路计算机发展较晚。1966年后，才开始生产集成电路计算机，其中原苏联到1970年才研制生产小型集成电路计算机。

70年代，大规模集成电路的发展，使电子计算机发展到了第四代。1975年，美国阿姆达尔公司研制成功470V/6，不久日本富士通公司生产出M—190

机。这是最早全面采用大规模集成电路的计算机。第四代电子计算机最突出的发展特点是，从大到巨、从小到微。巨型机的主要标志是向量机的出现。最早的向量机是前面提到的大型晶体管计算机 CDC6600。1973 年，得克萨斯仪器公司研制出 ASC 机。1974 年，控制数据公司制成 Star100 机。它们的速度都达到每秒 5000 万次，都是典型的向量处理机。1975 年，美国伊里诺斯大学设计、巴勒斯公司制造的巨型机 ILLIAC—IV 投入运行。它是一个高功能的多机系统，最高速度可达 1.5 亿次/秒。但它的结构过于复杂，价格昂贵，工作不稳定，因此并不很成功。1976 年，美国克雷设计的 Cray—1 型计算机投入运行，并获得巨大成功。克雷原是控制数据公司的设计师。他愿意研制巨型机，CDC6600 等计算机就是他主持设计的。但公司不给他足够的支持，于是他建立了克雷实验公司，并研制了 Cray—I 型机。它是当时世界上最大的巨型机，但体积很小，主机占地面积仅 7 平方米，售价只有 500—800 万美元，向量运算速度最高竟达每秒 2.5 亿次。到 1979 年，Cray—I 型机已售出 16 台。

80 年代以来，日本加速研制巨型机。1982 年，日本富士通公司制成的 FACOMVP—200 机，速度达每秒 5 亿次。1983 年，日立公司制成的 S810/20，速度达到每秒 6.5 亿次。1985 年，日本富士通公司制成了每秒 10 亿次的 FACOMVP—400 机。这些机型的运算速度超过了美国当时生产的最快的计算机。对此，美国不甘落后，决心重新夺回领先地位。1986 年，克雷公司研制成 Cray—2 型机，运算速度达到每秒 10.2 亿次。

巨型机在武器研制、导弹及航空航天飞行器的设计、气象预报、卫星图像处理、资源分析等各方面有广泛的应用，发挥了巨大的作用。

70 年代，计算机发展最为重要的事件是微机的产生与发展。大规模集成电路的应用，使计算机的体积越来越小，功耗大大降低，微处理器和微型计算机便随之诞生了。1969 年，英特尔公司 32 岁的工程师特德·霍夫（1937—）接受了研制小型集成电路片的任务。经过潜心研究，他提出了微处理器的方案：把计算机逻辑电路做在一块硅片上，并把整个计算机的集成电路片减少为 3 块。1971 年，霍夫和他的助手把 2250 个晶体管集成在一块 0.6×0.8 英寸的硅片上，制成了单片式的中央处理器，即微处理器。英特尔公司同年生产出 Intel4004 微处理器及由它构成的 MCS—4 微型计算机。1972 年，该公司又生产出 Intel8008 微处理器和 MCS—8 微型计算机。微处理器问世以来，发展异常迅速，差不多两年就换代一次。微处理器从 4 位、8 位、发展到 16 位、32 位。1981 年，英特尔公司、贝尔实验室等公司都生产出了 32 位微处理器。到 1980 年，全世界的微处理器已超过了 1 亿台，它的应用广泛程度远远超过了计算机。同时，微型计算机逐步实现了系列化，速度达每秒几十万至几百万次，主存容量为 64K 至 128K，整机体积大大缩小。单片微型计算机也已生产出来。

从 70 年代后期，个人计算机开始兴起。1977 年，美国的 Apple 公司将 Apple 计算机投放市场。以后，各种型号的个人计算机如雨后春笋，纷纷涌现。IBM 公司于 80 年代初推出了 IBMPC、IBMPC / XT 等。该公司的产品功能先进、价格便宜，在市场上很受欢迎。

微型计算机功能齐全、价格低廉、体积小、精巧灵活，在科研、生产、军事、商业、学校、机关以及家庭都得到了广泛应用，成为信息技术中十分重要的角色。

中国于 1958—1959 年先后研制成小型和大型电子管计算机。1967 年，第二代晶体计算机投入运行。1970 年，集成电路计算机研制成功。1975 年，每秒百万次以上的大型集成电路计算机出现。同时，微型计算的产量成倍增长。中国的计算机业虽然起步晚，但发展迅速，与世界先进水平的差距不断缩小。1983 年，中国研制成了速度达每秒亿次的巨型计算机——银河 号。90 年代初，中国又研制出速度为每秒 10 亿次的银河 号巨型机。

### （3）电子计算机发展趋势

从 80 年代初开始，电子计算机开始向第五代超大规模集成电路发展。

1982 年，日本组建了“新一代计算机研究所”，率先展开了对第五代计算机的研究。这种计算机与前四代的冯·诺伊曼机完全不同。它以人工智能为基础，其特点在于它把简单的信息处理（计算和数据处理）改变为知识处理。设想中的第五代电子计算机能够翻译 10 万单词的自然语言，知识库存放 1 亿个知识项，运算速度达每秒 1 万亿次。它是由超大规模集成电路构成的包含有各种硬件和软件的整机系统。据 1984 年日本通产省宣布，第五代计算机开发计划进展顺利，第一阶段的任务已经完成。1989 年 11 月，日本政府又展示出第五代电子计算机工程的中期研究成果。已经制成的并列推理型计算机由 64 个推理机、1 个中央运算机和可进行自然语言处理的“双重处理装置”等三部分构成。它具有记忆、联想和推理功能，相当于小学六年级学生的智能水平。

面对日本咄咄逼人的进展，美国也不甘落后，迅速参与角逐。1982 年，美国高级军事研究计划局制定了“战略计算机和生存战略战术研究计划 SCC”，预算投资为 10 亿美元，由 21 家公司、企业组成技术联合体，开发第五代电子计算机。1983 年，美国又成立了以 IBM 公司和斯坦福大学为中心的 11 家公司和 7 所院校的联合体，协作研制第五代电子计算机。经过努力，斯坦福大学也设计出几种专家医疗系统。它们能与医生对话。当医生提供病人病史和化验结果后，它们能够帮助医生诊断。但这些计算机还不能代替专家思维，不能独立工作。

英国、法国、原联邦德国和原苏联等国也纷纷制订计划，开展对第五代计算机的研究，并取得了一定进展。

中国也在积极致力于第五代电子计算机的研究开发，而且获得了可喜的成就。1988 年 8 月，中国山西电子工业研究所和北京航空航天大学联合研制出一台 CLM— 型智能性计算机。这是中国在第五代智能电子计算机研究方面的第一个重要成果。此外，西安交通大学的郑守琪教授和同事们，经过 5 年艰苦的研究，也于 1989 年 5 月成功地研制出一台智能性电子计算机。“八六三”计划自 1987 年实施以来，在通用图像处理环境、图形编辑与拼接软件、语言信号快速处理、单呼语音识别、汉字识别等方面，也都取得了阶段性成果。

目前，开发第五代电子计算机的全球竞赛正在激烈进行。虽然它尚在孕育之中，但它的呱呱坠地已是翘首可待了。

光计算机是目前正在极力追求的另一个颇有希望的目标。它由光信号控制数字运算、逻辑操作、信息存贮和处理。理论上，光计算机的运算速度可达每秒 1 万亿次，存贮容量比目前使用的大几万亿倍。而且光器件耗能非常低。1990 年，贝尔电话公司美国实验室研制成世界上第一台光子信息处理机。其光子元件的交换速度为每秒 1 亿次。

80年代末，超导技术取得重大突破。90年代伊始，美国就研制出了超导半导体。这使得超导计算机的产生成为可能。它将以速度极快、功耗极小等突出优点，成为下一世纪计算机的佼佼者。

从本世纪70年代开始，人们对生物计算机展开了研究。它将具有超过电子计算机和光计算机的优异性能。可以预见，未来的计算机将更加多姿多彩。

目前，在拓宽计算机应用领域方面，多媒体技术正在兴起。它把文字、数据、图形、图像和声音等信息媒体作为一个集成体由计算机来处理。计算机、数据库、家用电器和通信设备组成一个完整的网络，各种信息可以四通八达。多媒体系统的建立将使信息技术发展到一个新阶段，对人类社会产生重大影响。到那时，可视电话进入家庭，你可以看到远在大洋彼岸的亲人的音容笑貌；职员可以坐在家里上班；农民可以坐在家里种田；学生不出家门就可以上课，而且可以与老师通过电视互相问答。多媒体技术已经成为各国竞争的一个目标。国际上提出一个口号：“多媒体技术——下一代的浪潮”！美国于1993年提出了所谓的“信息高速公路计划”，并已开始实施。日本利用其光纤通信的先进技术，在发展多媒体系统上紧追美国其后。欧洲各国、韩国、台湾等国家和地区也都纷纷制定各自的“信息高速公路计划”。围绕多媒体技术的全球竞争正逐步展开。中国也正在积极投入到市场竞争中。

### 3. 通信技术的发展

通信网络是人类社会的神经系统。当代通信技术取得的惊人进步，是以往任何时代无法相比的。60年代中期，卫星通信迅速崛起。70年代后期，光纤通信开始出现。80年代，数字通信系统进入实用阶段。各种先进通信手段的广泛应用，使今天的地球变小了，使世界上相隔的人们有了更紧密的联系。

#### (1) 卫星通信

1957年，世界上第一颗人造地球卫星发射成功，开拓了人类利用卫星通信的新时期。

早在1945年，英国的科学幻想小说家克拉克(1917—)就曾提出了卫星通信的设想。他在英国《世界无线电》杂志上发表了“地球外的中继”的论文。文章指出，用地球同步卫星作中继站，就可以转送地球上通信站发送的微波通信信息和电视信息；如果在赤道上空的静止轨道上相距 $120^\circ$ 设置3颗卫星，就可以建成覆盖全球的卫星通信网。当时，克拉克所说的纯属一种大胆的幻想。但不到20年，这一幻想竟变成了现实。克拉克具有惊人的预见。他于1959年预言人类将在1969年6月前后首次登月，结果真的如他所料。

从克拉克提出卫星通信设想到现在，卫星通信经历了两个阶段：1945—1965为卫星通信实验阶段；1965年，以后卫星通信进入了实用阶段。

1958年12月，美国发射了第一颗军用通信卫星“斯柯尔号”。它是单向传输延迟通信卫星，上面带有一盘录音磁带，录制了美国总统的圣诞贺词。由地面发出信号触发号，卫星就向地球播放了录音。1960年8月，美国发射了“回声1号”人造卫星。它是用聚酯材料制成的一个直径30米的大气球。表面涂以金属薄层，可将地面发射的微波信号反射回大地。它是无源通信卫星，通信容量仅为1路双向电话，而且需要大功率的地面发射机和高灵敏度的接收机，但收到的信号仍十分微弱。因此，各国以后基本上不再采用无源通信卫星系统了。1962年7月，美国发射了“电星1号”人造卫星。它是历

史上第一颗有源通信卫星,携带 3600 个太阳能电池和无线电转发器等电子设备,能够接收地球发来的信号,经中继放大,再返回地球。通过“电星 1 号”的转播,人类首次将电视广播节目送过了大西洋,实现了 17 年前克拉克提出的“地球外中继”的设想。但是“电星 1 号”还不能与地球保持同步,而同步地球卫星的发射是建立全球性卫星通信系统的首要条件。1963—1964 年,美国发射了 3 颗试验性的地球同步卫星,其中 1964 年 10 月发射的“辛康 3 号”获得完全成功。它重 39 公斤,装有两部转发器,可各通一路电视。它在太平洋上空同步静止轨道成功地定位,并向美国转播了在日本举行的奥运会实况。“辛康 3 号”发射成功的第二天,以美国通信卫星公司为首、11 个国家参加的“国际通信卫星组织”成立。1965 年,“国际通信卫星组织”共同投资,发射了“晨鸟”通信卫星。与此同时,原苏联也发射了它的第一颗“闪电型”实用通信卫星。它的轨道是奇特的高椭圆轨道,周期为 12 小时,每天两次飞经原苏联本土上空,覆盖其境内时间达 15 小时。几颗这样的卫星顺序飞行,可提供 24 小时连续通信。1974 年 7 月,原苏联发射了第一颗正式的地球同步轨道卫星。

“晨鸟”通信卫星的发射使用,标志着通信卫星从试验阶段进入了实用阶段。到 1980 年底,国际通信卫星已发展到第五代,通信容量由 1965 年的 240 话路增至 12000 话路。同时,通信卫星的寿命增长,租用一条线路的价格更为便宜。

由于卫星通信系统具有容量大、覆盖面广、通信距离远等优点,所以其发展非常迅速,应用范围日益广泛。卫星通信一出现就被用于军事。在 80 年代初,美国提出的“星球大战计划”中,通信卫星与其他卫星扮演着十分重要的角色。在幅员辽阔的国家,通信卫星被用作国内通信。1972 年,加拿大发射了“安烈克”号卫星,解决了国内地理隔绝地区的通信问题。70 年代后期,卫星教育逐渐兴起。印度尼西亚把一所大学的授课,经卫星转播给另外 10 所大学;学生还可以通过返回的电话信道经卫星发问。1983 年 10 月,商业卫星通信业务发展起来。它能承担各种数字通信业务,包括电话、电传、高低速传真、高低速数据等。

中国于 1984 年发射了第一颗地球同步试验通信卫星,成为世界上第五个发射通信卫星的国家。1986 年 2 月,中国又发射了一颗实用的地球同步通信卫星。到 1991 年,中国已发射了 5 颗通信卫星,有卫星转发器 12 个,其波束已能覆盖全国。它们承担了电话、传真、电视、广播、数据通信、图像传递等业务。许多部门都已建立起专业卫星通信网。

悄然兴起的甚小卫星数据站(VSAT),是 80 年代卫星通信方面颇具重要意义的新成就。它是一种带有收发功能的小型卫星通信地球站。它的通信天线口径小,只有 1.2—1.8 米;它设备紧凑、架设方便。用户利用 VSAT 可在办公室内直接通过卫星线路与世界各地进行数据、话音、图文传真的高速传输。90 年代初,世界上已建立十几万个 VSAT 终端站。1992 年,中国以话音为主的 VSAT 系统也已投入运行。

卫星通信已成为当代通信技术中最重要的途径之一。目前,70% 以上的国际长途电话是由同步卫星传送的,全部国际电视节目是通过地球同步卫星转播的。卫星通信仍在不断发展,应用更加广泛。一种经卫星传播的电视电话会议网络已开始萌芽,预计到 2000 年将被普遍应用,成为国际卫星通信系统一种重要的通信业务。

## （2）光纤通信

光通信历史悠久。中国古代很早就使用烽火报警。西周时期的“烽火戏诸侯”就是一个非常著名的历史典故。公元前490年，古希腊人曾用盾牌反射日光进行光通信，并曾用火光接力的办法传递胜利的消息。

近代以来，人们对光通信进行了许多研究。贝尔（1847—1922）在发明电话后4年，于1880年又发明了光电话。此后，光电话又有所发展。但光通信远没有无线电通信发展迅速。其原因在于：1.没有找到象无线电波那样的相干光频电磁波；2.光波在大气中传播易受气候影响。

本世纪60—70年代，激光和光导纤维相继出现，使上述两个关键技术问题迎刃而解。激光以其独特的良好性能，成为运载信息的理想工具。光导纤维则为光传播提供了适宜的通路。

激光刚一诞生，人们立即用它进行无线电通信试验，但结果并不如意。于是人们转向光的有线通信研究。

早在1854年，英国的丁铎尔（1820—1893）就提出，利用光的全反射原理可以进行光的传输。1927年，英国的贝尔德提出了用石英纤维作摄像传递装置的专利。1930年，德国人兰姆发现光可沿着透明弯曲的石英纤维传输。这为以后的光导纤维传输激光提供了依据。但由于技术水平所限，这一阶段的光导纤维传输光的性能很差，光在其中衰减很快，传不了几米。

1951年，英国的霍布金斯等人利用柔性玻璃纤维，制成了医用纤维内窥镜。它可以把人体内部的信息通过玻璃纤维送到体外。这在光纤通信方面前进了一步。

在光纤通信发展中做出卓越贡献的是英籍华人高锟博士。从1963年开始，经过三年探索，他和同事霍克亥姆共同发表了“光波介质表面波导”的论文，指出光信号在玻璃纤维中损耗太大的原因在于其中含有过量的金属离子。他们认为，通过减少金属离子的含量并改进拉丝工艺提高材料均匀性，是可以利用光纤进行激光通信的。这一思想对以后光纤通信的实现产生了重要影响。为此高锟获得了1979年度的国际伊利申通信奖。

1970年，美国康宁公司的莫若利用高强度的二氧化硅材料研制出衰减为每公里20分贝的光纤，使光纤技术有重大突破，接近了实用阶段。恰好在这一年，适用光纤通信的光源半导体激光器问世。这两项技术的进展对光纤通信的实现具有决定性意义。此后，光纤技术迅速发展，1972年达到每公里衰减4分贝，1976年则为每公里0.47分贝。

1975年，美国贝尔实验室的莱因哈特和洛根发明了加工处理光信号的集成光路，使光纤通信向实用迈进了一步。

1976年，世界上首次光缆通信试验在美国亚特兰大城获得成功。其传输距离达10公里，可进行672路电话同时通话。1977年，日本进行了60公里光纤通信试验，每8公里设一个中继站。这次试验用的是8根光纤制成的光缆，每根光纤可通480路电话。1979年，法国光缆电视试验成功。同年，欧洲第一条光缆线路在原联邦德国开通，通信距离为15.4公里。1980年2月，英国在苏格兰西海岸波因湖中铺设了长9.5公里的海底光缆试验系统。光缆由6根光纤组成，总容量为6000话路。

80年代开始，光纤通信进入了实用阶段。1982年，英国的3600公里多模光纤线路全部开通营业。1983年，美国在东西岸各铺设了一条光纤通信线路。1984年，日本建立了北海道札幌—九州福岗的光纤通信干线。当今世界

上，日本的光纤通信研究和生产技术最为先进。90年代初，国际上出现的综合服务数字网，能通过光纤为用户提供传真、数据通信等各种媒体的综合通信服务。

中国于1972年开始研究光纤通信技术。1976年，研制成低损耗多模光纤。1978年，在上海铺设了一条1.8公里的光纤通信线路。从1986年开始，铺设了北京—天津—沈阳—哈尔滨全长1500公里的光纤通信线路，同时还铺设了南京—汉口—重庆全长2500公里的光纤通信线路。到90年代初，中国建成的光纤通信线路已达到1万多公里。

光纤通信从诞生至今，已经向第三代光纤通信系统发展。第一代是由短波长（0.8—0.9微米）光源和石英多模光纤组成的光纤通信系统，已经进入成熟阶段，中小容量、中短距离光纤通信系统已得到广泛应用。第二代光纤通信系统以长波长（1.3—1.5微米）光源和单模光纤为代表。1985年，第二代光纤通信的研究已基本结束，其技术开始成熟，并已在中等距离的通信线路上使用。目前第三代光纤通信系统成为研究热点。它以超长波长（2微米以上）和外差光纤通信系统为代表，具有很大容量，传输距离可达数千公里，能用于洲际通信。目前第三代光纤通信系统发展非常迅速。

### （3）数字通信和移动通信

数字通信是由通信技术与计算机技术结合而形成的一种新的通信方法。它将所传送的信息以数字来表示，可以进行数据库信息资源的远程共享和信息的远程处理。

60年代以来，半导体器件和大规模集成电路的飞速发展，数—模、模—数转换器和电子计算机的成本大大降低，使得发展数字通信的技术条件逐渐完备。70年代以后，光纤通信的诞生，微电子技术突飞猛进，促进了数字通信的加速发展。80年代初，数字通信已进入了商用阶段。

1965年，世界上第一部用电子计算机控制的电话交换机研制成功。它利用预先编制的程序来控制电话的交换接续。这就是“存贮器程序控制”，简称程控。程控交换不仅可用于电话，也可以用于传真等非话通信。70年代，数字程控交换机逐步发展起来。这是一种传输离散数字信号的交换机。数字交换使电话交换向着话音与非话业务的综合交换前进了一步。80年代，传输大容量数字信号的光缆系统和数字微波系统以及大容量的程控数字电话交换系统都已相当完备，具备了建立综合数字网的条件。因此，大多数发达国家都积极发展数字通信。1980年，美国贝尔电话系统将大约1/3的音频电缆改为数字传输系统。此外，全数字化卫星通信系统也已建立并投入使用。

与以往的模拟通信网相比，数字通信网显示了更大的优越性。采用数字信号比用模拟信号传送的话路要多，其失真和噪声不累加，可保证远距离的传输质量。数字通信便于直接存贮和交换处理，可以传递各种通信业务，尤其适用于发展非话通信业务。数字通信设备具有经济性、可靠性及小型化等优点。

为了满足社会对通信日益增长的需要，从80年代开始，各发达国家已在发展综合业务数字网。它可以用一个统一的通信网和一对用户线路来同时实现电话和非话、宽带和窄带、高速和低速的多种业务的通信。用户可像在电源线上使用各种电气设备一样，只要有一对用户线和相应的标准接口，就可在这对线路上接入各种通信终端，进行各种业务的通信。90年代，窄带的综合业务数字网可望在发达国家实现小规模建网。宽带的综合业务数字网还只

有少数国家开始试验。预计到本世纪末或下世纪初，通信网的全部数字化将在发达国家实现。

无线移动通信的蓬勃发展，是当代通信技术的又一重要成就。移动通信是移动体之间或移动与固定体之间的无线电信息传输与交换。当今的移动通信是包括移动电台、控制终端、无线入网交换、计算机控制并可与公用电话网连接的系统。1978年后，美国、日本和瑞典等国先后开发出一种同频复用、大容量小区制的移动电话系统。它的网络由许多边长为几千米到十几千米的正六边形组成，犹如蜂窝，所以也称蜂窝移动电话系统。在这个系统中的移动电话用户可互相通话，也可与固定电话用户通话。世界上第一个商用蜂窝移动电话系统是1979年12月在日本东京建立的。80年代，国际上又出现了数字式蜂窝移动通信系统。目前，世界上已有50多个国家和地区建立了小区制移动电话系统。美国、日本已实现了全国移动通信漫游。欧洲建立了泛欧数字小区制系统。除了小区制移动通信系统外，移动通信还有集群式专用调度移动通信系统、无中心多信道选址个人通信系统、无线寻呼系统等。

无线寻呼系统是一种由基站发出单向选择呼叫的系统。无线寻呼通信具有快速、方便、价廉等优点，所以倍受青睐，普及很快。美国的个人寻呼机数量居世界首位，90年代初已达600多万个。香港地区每千个人中有70多个寻呼机，人均拥有量最高。目前，无线寻呼已由单一传呼业务扩展到提供数字、字符等文字显示业务。

中国从1984年开始使用无线寻呼电话，现已有1000多个城市开办了这种电话业务。

21世纪将成为个人通信的时代。人们设想建立环球移动卫星电话系统（环球电话）。那时，个人全球通信将变成现实。在地球上任何一个地方都可进行通话或传真了。我国“通信技术发展计划”已将“个人通信”列为重点发展的技术项目。

#### 4. 遥感技术的发展

在中国古代神话小说《西游记》、《封神演义》等书中，有一些长着“千里眼”的神奇人物。他们可以看到千里之外的一切事情，甚至有的能看到地下。20世纪中期以后，这种幻想变成了现实。遥感技术就是当代人的“千里眼”。人们借助于遥感，不但可看千里之外，而且可看万里之遥甚至更远。

遥感技术是本世纪50年代以后，随着空间技术、电子技术、光学技术和地球科学的发展而兴起的一门综合探测技术。遥感是使用可见光、红外、微波等遥感仪器，把遥远物体发射或反射的电磁波信息接收下来，经过光学、无线电技术以及电子计算机技术等处理、提取和分析，并以可以直接识别的图像显示出来。遥感技术系统由遥感平台、遥感仪器、图像接收处理和图像判读四部分组成。

本世纪初飞机诞生之后，航空摄影开始出现。1909年，飞机发明者之一W.莱特（1867—1912）乘飞机拍摄了意大利森托塞尔地区的航空照片。第一次世界大战中，航空摄影机被用于航空侦察摄影。第一次世界大战后，民用航空摄影发展起来，被广泛用于石油勘探、地球科学研究和农业。第二次世界大战中，航空侦察摄影大显身手，为英国皇家空军获取大量有价值的情报。

第二次世界大战后，美国制造出了 U—2 等专用侦察摄影的高级侦察机。航空摄影至今仍是遥感技术中的重要组成部分。

1957 年，世界上第一颗人造地球卫星上天以后，人们利用人造卫星等航天器作为运载工具和遥感平台。70 年代初，地球资源卫星的出现，标志着遥感技术进入一个新阶段。从此，航天遥感成为遥感发展的主流。1972 年，美国发射了世界上第一颗地球资源卫星。1975 年、1978 年又发射了“陆地卫星—2”和“陆地卫星—3”。卫星上安装了反束光导摄影机、多谱段扫描仪、数据收集系统等仪器。原苏联、法国等也陆续发射了这类资源卫星。航天遥感的应用，极大地扩展了人们的视野和认识能力。利用人造地球卫星，可以从 1000 公里的高空，同时观察地球上 34000 平方公里范围内的目标，甚至可将近半个地球的面积拍摄在一张照片上。卫星探测的速度比以前的探测方法大大加快了。地球资源卫星只需 18 天就可将全球探测一遍；而且探测精度高，分辨率好。从卫星上能拍摄到地面上 25 厘米大小的物体，可以记录下人员活动、车辆型号。1979 年，美国展示了 20 多张照片。从上面可明显看到某国森林里的导弹中心以及守卫在导弹旁边的战士。利用卫星遥感，人们竟然发现了元朝忽必烈为其女儿兴建的应昌城堡遗址，解开了一个历史之谜。人们利用资源遥感卫星，发现了南极冰雪中的地热和温泉，找到了热带雨林下的油气田和铀、铜矿床，查明了地中海沿岸和太平洋海岛附近浅海中的淡水。美国用资源遥感卫星发现了中国四川省的油气田和巴基斯坦的铜矿。地球资源卫星的应用，在资源勘察、灾害及污染调查等方面发挥了巨大的作用。

遥感技术系统中最重要的遥感仪器。它可分为三大类：第一类是常规摄影仪器，即可见光摄影机；第二类是非常规摄影仪器，通常包括紫外和红外摄影系统；第三类是非摄影系统，主要有雷达、声纳等。常规摄影系统是航空摄影时期的重要遥感系统。紫外摄影开始于本世纪初。1947 年，人们第一次对地球进行了紫外航空摄影。此后几十年紫外摄影又有所发展。

红外遥感是近几十年来发展最快、应用最广的探测技术。在 8—14 微米的热红外波长段，即使大气中所含的烟尘微粒和雾霾，也不能阻止遥感影像的获得。因此，红外遥感技术有其优越的感知性能，而且还具有夜间工作的优点。本世纪初，红外探测已开始应用。第二次世界大战前夕，人们发明了变像管，可以借助它在夜间看到目标。第二次世界大战后，红外探测广泛应用于地图、天文、地质和军事等方面。60 年代以来，多种热红外扫描仪不断出现。红外扫描装置所用的感应器，一般是被动式的。它可以采集各种物体发射的电磁波辐射和反射辐射。70 年代中期，英国发明了光敏半导体探测器。这是一种红外成像器（热成像器）。军事上用的前视红外装置都采用了这种红外成像器。在 1991 年初的海湾战争中，前视红外系统在夜间作战中发挥了重要的作用。由于人和大多数人造物如建筑、车辆、武器装备的温度往往与周围环境差别很大，所以很容易用热成像器探测出来，即使伊拉克埋在沙中的坦克也难逃其“慧眼”。而且，前视红外装置本身并不向外辐射能量，不会被敌方发现。除了用于军事外，红外遥感技术也应用于空间研究、天文学研究和地球资源利用等方面。美国每年都投入大笔资金用于红外技术研究。仅“战略防御计划”一项，1984—1989 年就投入 100 多亿美元研究红外技术。今后的红外遥感将向提高分辨率、压缩波长带宽、提高信噪比、提高信号处理和获取图像资料的功能等方向发展。

雷达是美国于 1936 年研制成功的。1938 年防空袭雷达已经实用。第二

次世界大战中，雷达技术又有重大发展，微波雷达取代了超短波雷达，并在战争中显示了它的巨大作用。战后，雷达也被用于科学研究。1946年，美国成功地探测了从月球反射回来的雷达信号。此外，雷达也被用作导航工具。50年代以来，航空航天事业的发展和研制反洲际导弹系统，向雷达提出了高精度、远距离、高分辨力及多目标测量等要求。由于一系列关键技术问题的解决，雷达技术进入了蓬勃发展的新阶段，出现了相控阵雷达和机载小型雷达。进入70年代，机空阵雷达体制已在地面和舰载雷达中广泛应用。它用扫描波来代替雷达天线的机械转动，使扫描速度提高了百万倍，而且还可以从事多部不同类型雷达的工作，能同时跟踪几十到几百个目标。在海湾战争中，相控阵雷达大显身手，使“爱国者”导弹在瞬息之间成功地拦截了“飞毛腿”导弹，创造了当代战争史上的奇迹。但是从海湾战争中也看到，雷达正面临自它问世50年以来最严峻的挑战。电子战飞机成为雷达的克星，使雷达受到干扰，得不到准确的目标信息。目前各国正从多方面探索提高雷达效能、对付隐身飞行器和在强电磁干扰环境中正常工作的技术途径。

30多年来，遥感技术在军事及经济建设中发挥了极其重要的作用，对社会产生了意义深远的影响。所以目前各国都非常重视发展遥感技术。一些发达国家正致力于高性能遥感器的研制。1991年，欧洲空间局发射了遥感卫星“ERS—1号”。中国的返回式遥感卫星目前已从试验阶段进入到应用阶段。1996年后，美国、日本、欧洲空间局将陆续发射数个对地观测平台，建立庞大的对地观测网。未来的遥感技术将为人类做出更大的贡献。

## 七、激光技术和自动化技术的发展

激光的诞生是当代科技史上的一个奇迹。作为一门新兴的科学技术，它的发展之迅猛令人惊叹。60年代以来，激光技术已广泛应用于各个领域，成为新技术革命的一支生力军。

自动化技术是当代高技术群中发展最迅速、应用最广泛的技术之一。第二次世界大战后，在军事、航空航天事业和生产建设需要的推动下，自动化技术突飞猛进，几乎每10年就达到一个新水平。电子计算机作为控制手段全面采用，更使自动化程度有了显著提高。自动化技术已渗透到当今社会的各个领域，对人类文明产生了巨大影响。自动化技术的水平已成为现代化程度的一个标志。

### 1. 激光器的诞生

激光的诞生是量子理论、无线电电子学、微波波谱学、固体物理学等学科相互渗透、相互融合的结晶。激光器发明史可分为4个阶段：理论基础的奠定；微波波谱学的进展；第一台微波激射器的发明；第一台激光器的诞生。

#### （1）受激辐射概念的提出

1916年，爱因斯坦提出了受激辐射的概念。他认为，处于高能级的原子，在一个频率与它的跃迁频率一致的光子的作用下，就会从高能级跃迁到低能级，同时放出一个频率和运动方向同入射光子完全相同的另一个光子，于是，一个光子变成两个光子；如果条件合适，光就可以象雪崩一样得到放大和加强，并且这样放大的光是一般条件下得不到的“相干光”。受激辐射概念的提出为激光器的发明奠定了理论基础。不过爱因斯坦并未想到利用受激辐射来实现光的放大，因为在热平衡条件下，处于低能级的粒子数总是多于高能级的粒子数，这时受激吸收总是大于受激辐射。因此，在爱因斯坦提出受激辐射概念许多年后，这一理论并未引起人们重视。

#### （2）微波波谱学的发展及粒子数反转探索

微波波谱学是微波技术和波谱学相结合形成的。它不仅揭示了分子、原子和原子核结构的细节，而且有助于研制产生短波长的相干电磁波振荡器，为微波激射器和激光的发明准备了条件。

1921年，美国的赫耳（1880—1966）发明了产生微波振荡的磁控管，标志着微波技术的诞生。1934年，克里通（1907—）和威廉斯（1870—1954）用波长为1—4厘米的各种微波与氨分子相互作用，发现在1.25厘米处有强烈的吸收。这是微波波谱学的最早实验。

1928年，拉登伯格（1882—1952）和克夫曼（1895—1963）在研究由于放电受到激励的氖气的折射率时，观测到由于受激辐射引起的负色散现象，首次从实验上证实了受激辐射的存在。1940年，原苏联的法布里坎特提出用实验证实负吸收存在问题，分析了产生光放大的条件以及所引起的光强度和方向性增加等问题，其中实际上已提出了后来被称为粒子数反转的概念。1946年，美国的布洛赫等人在核磁感应实验中，初次观测到粒子数反转的现象。1947年，兰姆（1913—）和雷瑟福（1912—）指出，在粒子数反转的情况下可以期望实现受激辐射。1949年，法国的卡斯特勒发展了光泵方法。这是一

种利用光辐射改变原子能集居数的方法。虽然他没有想到用它可以实现粒子数反转和进行光的放大,但为以后的固体激光器提供了重要的抽运手段。1951年,美国的珀塞尔(1912—)和庞德(1919—)在核磁感应实验中,有意识地把加在工作物质上的磁场突然反向,在核自旋系统中造成了粒子数反转,结果获得50千赫的受激辐射。

1951年及其以后几年中,美国的汤斯、原苏联的巴索夫(1922—)和普罗霍洛夫(1916—)先后分别提出利用原子和分子的受激辐射来产生和放大微波的设计。1953年,美国的韦伯(1919—)提出了在具有永久磁偶极矩(或电偶极矩)的物质中用改变外磁场(或外电场)的方法获得粒子数反转、从而放大电磁波的设计。他虽未付诸实施,但对汤斯产生了影响。

### (3) 微波激光器的发明

第二次世界大战中雷达和微波振荡器的改进促进了微波波谱学的发展。汤斯原来喜爱理论物理,但研制雷达的军事需要使他对微波技术逐渐熟悉,成为这方面的专家。在哥伦比亚大学辐射实验室,他和他领导的小组致力于分子结构及其与微波辐射相互作用的研究。他试图找到产生波长更短的相干电磁波的方法,但长时间未获成功。这时珀塞尔和庞德在哈佛大学已经实现了粒子数反转,不过信号太弱,人们无法利用。汤斯当时也在苦思这个问题。他设想,如果将介质置于谐振腔内,利用振荡和反馈,就可以实现放大。汤斯对无线电工程很熟悉,所以能够想到别人没想到的途径。

1951年,汤斯在华盛顿参加一个毫米波会议。一天清晨,他早起散步。在公园的长凳上,呼吸着新鲜空气,静静地思考。突然头脑中迸发出一个火花,形成了微波激光器的构思。他设想制作一种形体极小而又精致的谐振腔。它具有可以与电磁场耦合的某种能量。汤斯只用几分钟就草拟了一个方案,并计算出下列过程的条件:“把分子束系统的高能态从低能态分开,并使之馈入腔中,腔中充有电磁辐射以激发分子进一步辐射,从而提供了反馈,保持持续振荡”。汤斯很快把他的设想写在一个信封的背面,但在会上没有透露任何信息。回到哥伦比亚后,汤斯立即召集研究组成员,开始按他的新方案工作。成员有蔡格(1918—)和戈登。后来蔡格离开哥伦比亚,中国学生王天眷接替他。汤斯选择了氨分子作为激活介质,因为他从理论上预测,氨分子的锥形结构中有一对能级可以实现受激辐射,而且氨分子在电场作用下,可以感应产生电耦极矩。1951年下半年,汤斯在伊里诺斯大学召开的亚微波讨论会上宣布了他的这一计划。1952年初,他在《哥伦比亚辐射实验室季度报告》上,简要介绍了他的氨微波激光器的进展。汤斯的最初设计是在亚毫米波段。因为考虑到波长太短会带来制造振荡腔的困难,所以决定首先试制1厘米波长的微波激光器。经过两年多的努力,花费了近3万美元,到1954年7月,汤斯等人在《物理学评论》上著文宣布,他们研制成功第一台高分辨率的氨分子微波激光器。他们将它命名为“微波激光放大器”,简称脉塞。

虽然第一台微波激光器的输出功率很低,但它在激光发展史上是一个重要的里程碑。这一发明综合运用了受激辐射、粒子数反转、放大电磁波等概念,找到了氨分子这一实际工作系统,并设计制造了可用的装置。汤斯具有多学科的丰富知识,既熟悉分子的性质和非平衡态情况下分子的能级分布,又熟悉实现反馈所需要的技术装置。科学理论与实验技术的巧妙结合,是汤斯他们获得成功的重要原因。汤斯的贡献在于:明确了受激辐射的相干性,

说明了受激辐射具有完全相同的频率； 为了实现反馈，在外部附加一个谐振腔。

与此同时，许多科学家都在尝试研制微波激射器。1954年，巴索夫和普罗霍洛夫指出，通过一个非均匀电场，可将不同能态的分子分开，将高能态分子引入谐振腔内可产生放大。1958年末，他们制成的氨微波激射器开始运转。美国学者布隆姆伯根（1920—）于1956年提出用顺磁材料中的塞曼能级能做成可调谐的微波激射器。上述三人都提出了利用三能级系统的思想，为后来微波激射器和激光器的发展指明了方向。不久，贾万提出用非线性双光子过程进行微波放大。1957年，斯科韦耳等人实现了第一台固体三能级微波激射器的运转。1958年，布隆姆伯根等人也制成了红宝石微波激射器。

微波激射器的产生和发展，为激光器的诞生做好了准备。既然微波可以实现量子放大，顺理成章的也应该找得到实现可见光放大的途径。此时，在分子束微波波谱学和微波激射器的研究领域里，聚集了一大批科学家，开始集中力量研制激光器。激光就如黎明时的朝阳，即将喷薄而出。一场激烈的竞赛已经展开，但看鹿死谁手？

#### （4）激光器的问世

微波激射器出现以后，微波物理学家先把主攻方向转向毫米和亚毫米波段工作的激射器。但遇到一些当时难以解决的困难。1957年，他们转向研制红外和可见光波段工作的激射器，因为这相对容易些。

在可见光波段实现受激辐射的主要困难是：光波段受激辐射与自发辐射的几率之比仅为微波波段的  $1/10^{12}$ ，即在光波段实现受激辐射对自发辐射的优势比微波波段困难得多；采用什么样的谐振腔，如何解决谐振腔可能带来的多模振荡问题；实现可见光辐射所需的能量差比室温所能提供的  $KT$  远大得多；如何实现激励，因为通常的光源，或者频谱太宽，或者频谱虽窄但强度太低。

最先发表激光器的详细设计方案的是汤斯和肖洛。1957年，正当肖洛开始思考怎样制成红外激射器时，汤斯来到肖洛工作的贝尔实验室。汤斯谈到他对红外和可见光激射器很感兴趣，有没有可能越过远红外，直接进入近红外区或可见光区。肖洛说他也正在研究这个问题，并建议用法布里——珀罗标准具作为谐振腔。两人谈得十分融洽。汤斯把自己的笔记本交给肖洛，里面有关于光激射器的思考和初步计算。汤斯原来考虑用铷作为工作介质。肖洛认真分析后认为这个方案不容易实现。他最后选择了钾。对于谐振腔，肖洛考虑了各种方案，最后确定了法布里—珀罗干涉仪。他熟悉它的特点：可以把空腔里大多数振荡模滤掉，达到选模目的而不至于跳模。1958年春，汤斯和肖洛决定将他们的理论分析写成论文，并申请专利。申请专利时受到贝尔实验室专利办公室负责人反对。汤斯坚持申请，最后于1960年获得批准。肖洛和汤斯的论文于1958年12月在《物理学评论》上发表，引起强烈反响。这是激光史上有重要意义的文献。汤斯和肖洛由于在微波激射器和激光器发展中的贡献，分别于1964年和1981年获诺贝尔物理奖。

按照汤斯和肖洛的理论，许多实验室都开始研究激光器。汤斯小组用钾进行实验，虽经一再努力，仍未能解决腔镜这一关键问题。肖洛则开始研究红宝石激光器。但他犯了一个错误，误以为红宝石的  $R$  线（即 6934Å 与 6929Å）不适于产生激光。不过他指出：“固体脉塞可以做得特别简单。基本上它就是一根棒，一端全反射，另一端也差不多是全反射，侧面则保持光泽，以便

接收抽运辐射。”肖洛没有制成红宝石激光器，却为梅曼（1927—）提供了重要启示。

梅曼是美国休斯研究实验室量子电子部年轻的负责人。1955年，他在斯坦福大学获博士学位，研究的是微波波谱学。在休斯实验室，他从事微波激射器的研究工作，并发展了红宝石微波激射器。梅曼能在红宝石激光器研制上获得成功不是偶然的，因为他对红宝石微波激射器研究多年，熟悉红宝石的特点和性能，预见到它作为激光器的可能性。但当时的文献报道，红宝石的量子效率很低，也许仅为1%。梅曼选用其他材料，实验结果都不理想。于是他想选用与红宝石类似的材料。为此他测量了红宝石的荧光效率。出乎意料，红宝石荧光效率竟达75%。梅曼当即决定用红宝石做激光的工作物质。通过计算，他认识到最重要的是选择高色温（约5000K）的激励光源。经过分析，他决定采用脉冲氙灯。但这种灯具有螺旋结构，不适于椭圆聚光腔。他又想出一个巧妙的方法，将红宝石棒插在螺旋灯管之中。红宝石棒两端镀银膜，其中一端膜中央留有一透光小孔，使产生的激光可以从小孔射出。他将红宝石用液氮冷却到-196℃，然后接通电路。氙灯发出强闪光（约持续1/1000秒），照射红宝石，使红宝石中的铬离子大量地从基态激发到高能态，造成粒子数反转。一些高能态的铬离子自发跃迁到低能态。向各个方向辐射出光子。向侧面发射的光很快就离开了工作物质，沿轴线方向的光因受激辐射而增殖放大，而且其中大部分光在两块反射镜之间来回反射。这样，工作物质中因粒子数反转积累起来的能量就变成了强度极高的激光沿轴向输出。33岁的梅曼经过9个月的奋斗，花了5万美元，终于试制成功了世界上第一台激光器。1960年6月的一天，在他的实验室中，随着脉冲氙灯的每一次闪光，红宝石棒的一端就射出深红色（波长为6943Å）的激光。这种奇异的光是20世纪最重大的发明之一。它标志着人类对光的认识和利用进入了一个崭新的时代。梅曼将论文投到《物理评论快报》。由于主编没认识到这一发明的价值，拒绝发表。梅曼只好将它寄到《纽约时报》。该报7月7日以“一种比太阳还要亮的原子灯”为题宣布了这一消息。8月6日，英国的《自然》杂志正式发表了这一成果。

梅曼成功的消息传出后，许多实验室很快复制出了红宝石激光器。1960年8月底，贝尔电话公司实验室的柯林斯、尼尔森和肖洛等人立即重复了红宝石激光的实验，并确认了由受激辐射产生的激光作用。

激光的概念是汤斯和肖洛在1958年的论文中提出来的。他们把它命名为“Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation”，简称“LASER”。中文译名开始很不统一，有人译为“莱塞”。1964年，钱学森将其译名确定为“激光”，此后被统一使用。中国台湾则将其译为“镭射”。

从60年代起，一位默默无闻的美国人古尔德（1920—）就提出了激光的发明权问题。在汤斯、肖洛构思激光器之际，古尔德也独立产生了用光泵方法实现粒子数反转的思想，并设计了用法布里——珀罗干涉仪镜片做成的谐振腔。他在笔记本上写下了自己的想法，并把光学激射器命名为LASER（Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation）。1957年10月，古尔德得知汤斯进行类似的工作，于是他连忙请了一位证人将自己的笔记签封，以备申辩。由于他的设计未发表，也未及时申请专利，以后他及他所在的公司对激光的研究被国防部保密，所以使他处于不利地位。经过长期诉讼，1977—1979年，他才取得两个具体项目的专利。直到1987年才得到

胜诉。但时光已经过去将近 30 年了。科学史上同时而又独立作出发现或发明的事常有发生，这说明一些重大科技成果，如激光确实是时代的产物，历史的必然。

## 2. 激光器的发展及应用

继红宝石激光器的发明后，其他类型的激光器如雨后春笋般涌现出来，激光器的性能也不断提高。从 1960 年底起，激光被迅速地应用到科研、工业、农业、医疗、军事及生活等各个领域，成为新技术革命的一支生力军。

### (1) 激光器的发展

1960 年 12 月，贝尔实验室的贾万等人研制成功了氦氖激光器。它第一次获得了连续性的激光，而且证明了可以用放电方法产生激光，为激光器的发展开拓了多种渠道。自 1960 年起，在世界范围内掀起了研究激光的热潮。首先是对激光工作介质进行普查。20 多年中，研制出的激光器种类数以千计，但保留下来的性能良好又实用的只有几十种。1961 年 11 月，美国的斯尼泽研制成功一种大功率脉冲器件——钕离子激光器。1964 年 4 月，范尤特研制成钕铝石榴石激光器。它是唯一能在常温下连续工作并且有较大功率的固体激光器，应用范围很广。气体激光器也取得长足进展。1963 年，贝尔实验室推出汞离子激光器；佩特尔研制成功大功率的二氧化碳激光器。1964 年，氙离子激光器问世。50 年代正是半导体物理学的研究热潮时期，所以半导体作为激光工作物质的可能性问题一直受到关注。1962 年，美国的霍尔首先报道研制成砷化镓半导体激光器，但未能获得实际应用。1970 年，贝尔实验室的林严雄等人研制成功异质砷化镓激光器，使半导体激光器发展到一个新阶段。1966 年，美国的索洛金等人研制成氯化铝酞花菁液体染料激光器。1967 年，可见光的染料激光器开始出现，不久又有了可调式染料激光器。使用数种染料可在红光到紫光的可见光区域上得到激光振荡。1970 年，巴索夫用高能电子激励液氙，制成第一台紫外受激准分子激光器。受激准分子激光器的输出波长在紫外或真空紫外区域，发射波长可调，是一种有前途的新激光体系。

此后，激光向长波（亚毫米、毫米波段）和短波（紫外真空、X 射线、射线）两个方向发展。1980 年，波长为几  $\text{\AA}$  的 X 射线激光器研制成功。X 射线激光的波长是普通激光波长的  $1/1000$ ，而 射线激光的波长为普通激光的  $1/1000000$ 。这两种激光器的研究成功，将使人们看到原子和分子的三维立体图象，在科学和工业上获得广泛应用。

1977 年，斯坦福大学的迪肯等人研制成功第一台自由电子激光器。它是以加速器中产生的高能电子束作为工作物质，输出波长可以通过改变电子能量来调谐，频率范围从红外到紫外，甚至可达 X 射线、射线。

为了提高激光器的性能，如产生脉宽极窄的超短脉冲激光和峰值功率极高的巨脉冲激光，调 Q、腔倒空和锁模技术也发展起来。

中国激光技术发展起步较早。1961 年 9 月，在长春研制成红宝石激光器，所用的泵浦源是直管式脉冲氙灯。此后，各类激光器迅速发展。1985 年初，在上海研制成中国第一台自由电子激光器。据最新报道，1994 年初，中国又试制成功 X 射线激光器。

激光从诞生至今，只有短短 30 多年时间，却产生了这么多种功能各异的激光器，发展之迅速，是以往其他技术所无法比拟

## (2) 激光技术的应用

激光与普通光源相比，具有高亮度、高单色性、高方向性、高相干性等优点。由于激光技术是建立在量子物理学和电子技术、光技术的雄厚基础上，所以从发明到应用进展神速，周期比以往任何新技术都要短。电话从发明到应用大约为 50 年，飞机为 20 年，晶体管缩短为 3 年，而激光仅为几个月。

1960 年 12 月，氦氖激光器研制成功，第二天科学家们就将它用于电话信号的调制和传输。1960 年，休斯实验室进行了激光测距实验。1961 年，已制成了可操作的激光测距仪。1961 年，美国三叉戟公司将红宝石激光射到碳板上将碳汽化，进行了首次激光钻孔实验。1962 年，CO<sub>2</sub> 激光器已用于切割和焊接；1965 年用于集成电路焊接。1962 年，CO<sub>2</sub> 激光器用于金属表面冲击硬化，使工件表面硬化层很薄而硬度很高。同年，钇铝石榴石激光器用于工作表面的合金化，形成组织非常精细的合金层。从 70 年代起，工业的许多方面实现了利用激光的常规生产。

利用高单色性并且波长精确可调的激光，可以对同位素能级进行有选择的激发，达到分离同位素的目的。1970 年，美国的迈耶利用化学反应法，用波长为 2.7 微米的激光进行浓缩铀的实验取得成功。1973 年，以色列大学用两台可调谐染料激光器和 CO<sub>2</sub> 的激光器，采用选择性两步光致电离法 24 小时生产同位素铀 - 235 7 克，纯度为 60%。1976 年，美国利用红外—紫外激光离解六氟化铀，得到几毫克铀 - 235。1977 年，原苏联用两步光致电离法实现了氘和氢的分离，浓度提高 10 倍以上。

利用激光方向性好、发散角小等特点，可以用于准直、测距和制导。1969 年 8 月，美国用激光对月球测距成功，其误差仅 ± 10 厘米左右。激光制导系统由激光指示器和目标寻的器两部分组成。激光制导已在军事上应用。1968 年，美国在侵越战争中就使用了激光制导炸弹。

激光可以作为精确测量长度和时间的自然基准。1974 年，勃伦尼等人用 CO<sub>2</sub> 激光器测得光速为 299792.459 公里 / 秒。1983 年 10 月，联合国度量衡组

织决定把光在真空中的  $\frac{1}{299792458}$  秒所走的距离定为一标准“米”。

利用激光相干性好的特点，可以进行全息照相。全息照相原理是英籍匈牙利人伽伯 1947 年提出来的，并获得世界上第一张全息照片，但很模糊。1961 年，美国的利思和阿伯特内克斯利用激光拍摄成功了第一张全息图。70 年代以来，全息术迅猛发展，在照相显示、干涉测量、显微术以及信息存贮与处理等方面获得广泛应用。

在医学上，激光技术已有效地用于治疗多种疾病和改进病症的诊断水平。1961 年，扎雷特等最早将激光用于眼科，“焊接”脱落的视网膜，获得成功。1964 年，人们用激光成功进行了外科手术。1972 年，美国、德国用 CO<sub>2</sub> 激光器做人体内脏手术、肿瘤切除、脏器修补。1977 年，日本把激光用于脑外科手术。1978 年，华盛顿研制的激光手术刀用于皮肤移植。中国在激光治疗眼病方面成绩卓著，并对激光针灸、激光照射穴位、经络测定方面作了大量研究工作。

激光武器的研究几乎与激光技术同步发展。60年代，激光武器试验在实验室内进行；70年代，进入靶场实验。1978年初，美国用氟化氘激光击落了4枚陶式反坦克导弹。1983年，美国安装在波音707喷气飞机上的激光武器，使一架A—7海盜式战斗轰炸机向它发射的5枚响尾蛇导弹失灵。这是机载激光器第一次成功地使空对空导弹失去效力。1987年9月，在白沙导弹靶场用氟氘化学激光器击落了一架模拟巡航导弹飞行的“火烽”靶机，这次实验接近于实战。此外，激光致盲武器也被研制出来。现在激光武器还处在可行性研究阶段。

激光在农业上可用来育种，作物生长期辐射处理和杀虫，并已取得了显著成效，而且有巨大的潜力和广阔的前景。

激光的另外两个重要用途是光通信和激光核聚变。对这两方面本书在其他章节叙述。随着激光技术的不断进步，它的应用前景将更加广阔，必将为人类做出更大的贡献。

### 3. 自动化技术的产生

自古以来，人们就希望制造自动机械。古代的能工巧匠为此发挥了高超才智和精妙技艺，做出了杰出贡献。早在3000多年前，中国就发明了一种自动计时装置“铜壶滴漏”。此后的“记里鼓车”、指南车以及天衡装置等都是古代著名的自动机械。17世纪，欧洲出现了钟表和风车控制装置。18世纪，瓦特（1736—1819）在蒸汽机上采用了离心调速装置。这些都为后来的自动机械发展积累了经验。到19世纪后期，第一批自动车床开始出现，单机自动化形成。

20世纪40年代，为解决火炮射击精度等问题，更多的工程师、学者致力于这方面的研究。在总结自动调节器、反馈放大器等控制技术的基础上，逐渐形成了调节原理、伺服系统理论，同时制造出具有高精度、快速响应的伺服机构的武器装备，为自动化技术的发展奠定了基础。第二次世界大战后，这些理论被推广到一般工业生产。1947年，美国的物理学家詹姆斯（1908—）、工程师尼克尔斯和数学家菲利浦合作出版了《伺服机原理》一书，总结了战争中的研究成果。美国应用数学家申农研究了通讯和雷达系统中信息传递的共同规律，于1948年发表了《通讯的数学理论》。1949年，维纳发表了《控制论》，经典控制理论基本成熟。1954年，中国学者钱学森出版了《工程控制论》，推动了控制理论在工程技术中的运用。同时，自动化也发展成为一门独立的科学技术。

经典控制理论是以反馈为核心，处理的对象是具有单一输入和单一输出的线性自动调节系统，其结果是实现局部自动化。这种反馈闭环系统可以克服受控对象特性变化和各种干扰因素所造成的误差，改善系统的品质，缩短控制的过渡过程时间，提高静态和动态精度等。这种方式多用于连续生产过程的自动化，如石油、化工、冶金等生产过程。

50年代，自动化技术的主要成就在如下两个方面：

自动化仪表装置的系列化。50年代初出现了气动单元组合仪表。它将整套仪表按其功能和使用要求分成若干独立作用单元。这种仪表具有高度的通用性和灵活性，可以将显示操作部分集中在控制室统一管理，便于大规模生产，还可以与计算机等现代化设备配合，构成高度集中的控制系统。1956

年，电动单元组合仪表问世。由于解决了“危险火花”问题。它可以充分发挥电信号在传输放大、变换、测量上的优势，使仪表的功能、精度、可靠性都有较大提高。此后发展起来的多功能组装仪表，可以实现各种特殊控制，还可以与计算机联接。

数控技术在机床上的运用。航空航天飞行器对零部件的要求极高。它们多采用难以加工的合金，形状复杂，为提高强度减轻重量又常采取整体材料，铣空成蜂窝状结构，用传统机床加工很难达到要求。1948年，美国帕森斯公司为美国空军研究飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。因其加工难度大，于是开始设计研制数控机床。该公司与麻省理工学院伺服机构研究室协作，于1951年制成了三坐标数控铣床。此后，麻省理工学院又设计出更完善的数控机床。1955年，辛辛那提公司研制出自动数控程序（APT）。它能够根据工件形状自动决定进刀路线的几何轨迹及加工顺序。这一设计思想成为以后其他数控自动程序设计的基础。1957年初，自动数控程序开始运用在旋风—1计算机上。到1960年，数控系统已在工业中实用。

1958年，美国卡尼—特雷公司研制成第一台自动换刀的数控机床。它与普通机床相比，加工费用降低一半，精度提高到小于20微米，生产率提高了10倍左右。数控机床的出现是机床自动控制的一个重大进展。

#### 4. 自动化技术的新发展

进入20世纪60年代，军事竞争和空间技术的发展，对自动化技术提出了多变量控制和最优控制等新课题。一些控制对象距离远，速度高，其特性随时间急剧变化，并且要求精度高，控制通道是多路的。为解决这类控制问题，控制理论和方法也要有新的进展。于是在60年代初，第二代控制理论即现代控制理论形成了。它的创始人是匈牙利出生的美国学者卡尔曼（1930—）。

50年代末期，最优控制问题吸引了一批研究者。原苏联学者庞特略金于1956年提出了最大值原理。美国学者贝尔曼于1957年提出了动态规划。他们的理论成为最优控制理论的基础。卡尔曼解决了不确定系统的最优控制问题，提出了滤波理论。但由于当时的理论还不成熟，技术装备水平也未达到，所以最佳控制未能真正实现。1960年前后，“状态空间”的概念和方法发展起来。梅萨罗维茨等人提出了“结构不确定原理”。他认为，不能只用传递函数描述一个多变量系统，因为相同的传递函数可以有不同的内在机构，所以需要建立在状态空间上的描述。原苏联学者李雅普诺夫用状态空间来研究系统的稳定性，取得了较为满意的成果。卡尔曼在上述研究成果的基础上，进行了深入探讨，提出了可控性、可观测性两个基本概念。这是控制理论的核心概念。它们使人们对控制系统的认识进一步深化。卡尔曼在1960年美国自动控制第一届年会上发表了《控制系统的一般理论》，不久又发表了《线性估计和辨识问题》，奠定了现代控制理论的基础。这次年会首次提出了“现代控制理论”一词，因此人们公认现代控制理论诞生于1960年。

现代控制理论包括多变量控制理论、系统辨识理论、最优控制理论和自适应控制理论等内容。60年代是现代控制理论迅速发展的时期，到60年代中期已基本成熟。它是不同于经典控制理论的更普遍的理论，适用于线性与非线性、时不变与时变、单变量与多变量、连续和离散系统。它提供的现代

控制技术，在空间技术领域大显神威，最辉煌的成就之一就是“阿波罗登月计划”的成功。

在生产过程自动化方面，60年代中期出现了多参数最佳控制，实现了多机和机组自动化。1964年，本迪克斯公司首先在铣床上实现最佳适应控制。这是以加工成本、生产率等综合经济指标为评价指标的多参数优化控制。在数控技术方面，人们开始采用计算机数控系统（CNC），这是数控技术的一大进步。CNC要想实现某种特定机床功能，只需改变系统程序，编制程序的工作可部分依靠系统软件，因此具有通用性、灵活性，便于批量生产。1968年，美国数字设备公司研制成了CNC系统。日本、法国、原联邦德国等也相继采用小型计算机数控。

与此同时，多机组自动化逐渐产生。1960年，美国的西方电气公司建立了用计算机控制的炭电阻生产线。它不仅自动完成操作，而且检测、装配、试验和在工作站之间的移动都有反馈环路联系，是无人生产线的最早尝试。60年代后期，计算机直接控制系统（DNC）开始出现。它是用一台大型计算机控制一群机床。1976年，英国莫林斯公司研制成最早的直接数控系统“系统24”，用一台计算机控制加工中心群，但由于软件技术问题未获成功。1968年，美国辛辛那提公司开发了一个可变任务系统，能够实现多级加工，物流可有规律地顺序节拍式输送。

在DNC基础上发展起来的柔性制造系统（FMS），是由数台数控机床和自动化仓库组成的多工位自动化加工系统。它采用计算机控制的信息系统指挥协调，在不停机调整的情况下，通过自动化物流输送系统，连续地加工不同的工件。这种系统综合了许多工艺技术，虽然费用很高，但发展很快。到1985年，全世界已有350条柔性生产线。

从70年代开始，各类生产过程向大型化、高度连续化、操作强化发展，形成了复杂的大系统。为了解决这类大系统的自动控制问题，大系统理论逐步发展起来。1970年，梅萨罗维茨等人发表了《多级递阶系统理论》，为大系统理论的发展奠定了基础。大系统理论被称为第三代控制理论。它着重从控制与信息观点，研究各种大系统的结构方案，总体设计中的“分解”方法和协调等问题。由于它涉及问题很多，难度很大，所以至今还不成熟。

70年代后，大规模集成电路的发展，微处理器和微型机的应用，引起自动化领域的一些重大变革。由于微处理器和微型机使系统硬件费用大幅度降低，可靠性大大增强，许多低成本领域的自动化成为可能，同时出现了新的“分散控制系统”，并使自动化仪表控制系统由计算机集中控制向总体、分散型控制系统发展。1975年，美国霍尼威尔公司最先设计出TDC—2000系统。到1980年，已有20多种集散系统。

进入80年代，一个新的综合自动化系统破土而出。它把柔性制造系统、计算机辅助设计、计算机辅助调动等系统有机结合起来。组成了“计算机集成制造系统”（CIMS）。它综合、集成各种技术，把自动化范围扩展到市场和销售，是制造过程自动化的一场革命，是世界自动化技术发展的前沿和方向，将成为下个世纪各国竞争的战略目标。美国、日本等国的一些公司，都投入大量资金进行这方面的研究开发。

## 5. 工业机器人

“机器人”一词源自捷克语“ROBOTA”，最早出现于捷克作家卡雷尔·查培克（1890—1938）1920年写的剧本《万能机器人》。1959年，美国尤里梅逊公司生产出第一台数字控制的可编程的机器人。它具有记忆功能，能实现示教再现的点到点的控制，同年，美国的另外两家公司还生产了两种小型的机器人。这是机器人的第一代。60年代末70年代初，第一代机器人发展到了高潮。第一代工业机器人的功能很有限，不能移动，没有视觉、触觉和智能。因此，智能机器人成为发展目标。

智能机器人的研究开始于60年代初。美国麻省理工学院的厄恩斯特于1961年首次用计算机控制机器人，1963年，研制出可以进行积木游戏的机器人MH—1。麻省理工学院1968年还研制出在火星软着陆和探测用的“移动数据收集装置”。1970年，日本日立中心研制出智能机器人MK—1。它有两个摄像机作眼睛，一只看装配图，另一只看待装配的零件，并进行比较判断，决定装配程序，再用机械手完成装配工作。它是属于第二代适应型的机器人。第二代机器人的主要特点是对外界环境变化有感觉能力，可根据传感器输入的信息作出判断，进行加工处理。

第三代机器人在80年代逐步发展起来。它是具有更高智能的自律机器人，可以根据机械内部信息和外部环境信息，通过独立判断，完成给定的工作目标。它能看、能听、能说、能判断环境状况，并且有记忆、推理和决策的能力。1986年，日本研制出能用4条腿爬行的“海龟1号”，用于核反应堆内维修和海底探测。1988年，美国发明了6条腿、形如大蜘蛛的机器人。这是世界上第一台能自己走进核电站进行维修的机器人。第三代机器人90年代进入实用阶段。

到1991年，全世界共有各类机器人45万台，其中日本有27万台，占60%。中国第一代机器人在80年代开始推广应用，并发展了水下机器人。1991年，中国已研制出可以跨越障碍的机器人。到2000年中国的智能机器人将广泛应用。

机器人为人类做出了杰出的贡献，但偶尔也犯下“罪行”。1978年，日本广岛一家工厂的切割机器人，突然抓起一名工人送入刀下加工起来。这是世界上第一起机器人杀人事件。1989年，原苏联一名国际象棋大师与一名机器人对弈，机器人在金属盘上放出强大电流，象棋大师触电身亡。据统计，世界上已有十起机器人“杀”人案件。日本自1978年以来已有11人死于机器人之手，7000人致伤。平均每年伤728人。机器人这种危害作用已引起人们的重视。

机器人的发展会对社会产生什么样的影响，目前人们看法很不一致。维纳在50年代就指出，自动化机器会导致大量工人失业。许多人持与维纳相同的观点。但也有人不同意。英国前首相撒切尔夫人在1981年说：“日本使用机器人数量是世界第一位的，但其失业率在西方世界却是倒数第一。英国应用机器人最少，但其失业率是西方国家中最高的”。50年代，美国有人认为，发展自动化会使美国到1970年失去700个就业机会。但到1970年时，美国反而增加了几百万个就业机会。因此，自动化的发展既带来社会难题，也带来机遇。解决这一矛盾，将是各国发展自动化技术面临的重要课题。

## 八、材料科学技术及建筑科学技术的发展

材料的发展是人类文明的重要标志。随着本世纪物理学、化学的进展，对材料微观结构及其与材料性能之间关系的研究也逐渐深入，大大开拓了材料科学的研究领域，扩展了材料的种类、功能和应用范围。当代尖端技术创造的超高温、超低温、超高压等条件，不仅使人们能从本质上认识材料的各种理化性能，而且能利用“极限技术”的材料工艺制备各种具有超级性能的新材料。50年代末60年代初，材料科学技术逐渐形成。它是一门技术科学，也是一门综合性学科，30多年来发展迅猛。材料与能源、信息已成为当代社会的三大支柱。

第二次世界大战以来，建筑业发展的需要，力学、物理学、材料科学、数学和计算技术及测试手段的进步，促进了建筑科学技术的发展。建筑机械从手工操作、半机械化、机械化向自动化和计算机控制迈进，建筑材料、建筑结构、建筑工艺等方面都发生了巨大的变化。一座座具有时代特征的建筑物拔地而起，为人类生活提供了更加优越的生存条件。

### 1. 材料科学技术的进展

按其化学成分，材料可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料四大类。本节将分述各类材料在当代的发展。

#### (1) 金属材料

作为黑色金属之一的钢铁是最基本的结构材料。50年代初，使用氧气的炼钢法相继出现。其中纯氧顶吹的转炉炼钢法，于1952年在奥地利的林茨厂实现工业生产。这种方法比通用的平炉投资少40—50%，效率提高3—5倍。它被很快推广，同时还出现了可以生产优质的不同钢种的全部工艺，使炼钢生产跨入了一个新时代，钢产量急剧增长。第二次世界大战以后特别是60年代初，电炉炼钢也发展很快。由于供能、电路、耐火材料和电极的重大进步，电炉变压器容量由原来每吨为200—300千伏安迅速提高到500—600千伏安以上，提高了功率，缩短了冶炼时间，降低了电炉钢的成本。到70年代末，世界电炉炼钢产量已超过1亿吨。近年来，钢铁工业朝集中化、联合化、专业化方向发展，并出现了连续化和高速度的特点。1950年，连续铸钢开始出现，60年代后又有许多新进展。此外，连续式带钢冷轧被大力采用，并应用电子计算机进行自动化控制。生产某些特种钢的特殊熔炼法，如真空脱氧法、电渣重熔法等也在70年代发展起来。

有色金属，特别是一些稀有金属的发展也令人注目。铝的冶炼技术近40年来不断改进和提高，耗电量下降约40%。40年代初，美国第一次从海水中提炼出镁，开创了镁的工业生产的重要途径。60—70年代，用作结构材料的镁合金大幅度增加，新型镁合金成为制造直升机某些零件的重要材料。由于钛的冶炼技术困难，第二次世界大战后才实现工业生产。1947年，钛的世界产量只有2吨；1962年达10万吨；70年代后，以每年15%的速度增长。钛合金在航空、航天以及电化学工业、电力工业方面已广泛应用。一些稀有金属的冶炼和应用近些年也进展迅速。锂被用于制造氢弹和进行热核反应。铍被用于原子反应堆的中子减速剂。铷、铯则做为电子技术和自动化仪器方面的功能材料。铀、钚等放射性金属，用做原子反应堆和原子武器的主要材

料。钨、钼、锆、锿、镓、铟等被用于电子工业和半导体工业。

当代金属材料发展中最引人注目的是各种新型金属。铝锂合金最早出现于 20 年代，但未得到发展。50 年代中期，美国研制成功可供商品化的铝锂合金，并用于飞机制造。1971 年，英国富尔门公司发明了新的铝锂合金。同年，美国也开发了铝—镁—锂合金。到目前为止，国际上已研制成铝—铜—锂、铝—镁—锂、铝—锂—铜—镁 3 个系列的铝锂合金。铝锂合金是航空、航天工业的理想结构材料。它可使民航飞机减轻 8—16%。铝锂合金具有良好的抗辐照特性和低温特性。可用作核聚变装置的真空容器，以及用作低温容器。

本世纪中期以来，在金属材料制备中采用了具有突破意义的快速冷凝技术，由此产生了一系列新型非平衡态的金属及合金，即非晶、微晶、纳米晶和准晶。1960 年，美国的达沃等首先发现，某些液态贵金属合金如金硅合金通过急冷可以获得非晶态结构，从而开创了一系列非晶态材料的制备途径。这些非晶态材料具有类似玻璃的某些结构特征，因此被称为“金属玻璃”。它具有超耐蚀性、高磁导率、恒弹性、高强韧性、低热膨胀系数和高磁致伸缩等许多优异特性。美国、日本、原西德等国相继投入力量进行研究。70 年代末，非晶态合金开始步入实用化阶段。80 年代初，非晶态合金以电磁材料为中心获得推广应用。美国、日本、原西德已具有万吨级的生产规模。中国 80 年代末也建成了年产百吨级的中试线。金属微晶材料的快速冷凝技术发展也很快。80 年代，英国开发了快速冷凝粉末冶金技术。目前占领市场的是铁基和镍基粉末高温合金，正处于开发和应用初期的快速冷凝材料有粉末铝锂合金、粉末热强铝合金。

金属磁性材料是当代工业不可缺少的重要基础材料。50 年代，铁氧体的应用，使可提供的磁能积明显增加。60 年代，开发了第一代稀土永磁合金。70 年代，开发了第二代稀土永磁合金。80 年代，开发了钕铁硼第三代稀土永磁合金。钕铁硼永磁材料具有突出的明显优势：体积小、重量轻、比功率大、效率高。它在汽车工业、电声器件、医疗、磁流体密封器、磁力器等方面都有广泛的应用。目前，国内外正在进行第四代稀土永磁材料的研究开发。

形状记忆合金是金属材料中的一朵奇葩。1951 年，美国人发现金—镓合金有记忆形状的特性。1953 年，又发现铟—铈合金有形状记忆效应。但真正实用化开始于 1963 年发现镍—钛合金的形状记忆效应以后。70 年代初，镍—钛合金管接头在美国 F14 飞机油路连接系统上得到大量应用。近年来，在镍—钛合金中加铌、铜、铁、铝、硅、钼、钒、铬、锰、钴、锆、钯等元素，陆续发展了一系列改良型的镍—钛合金。此外，铜系、铁系形状记忆合金也处于研究开发阶段。

贮氢合金是一种性能奇特的新型贮能材料。1968 年，美国首先发现镁—镍合金具有吸氢特性。1969 年，荷兰飞利浦实验室发现钐—钴合金能大量吸氢，随后又发现镧—镍合金在常温下具有良好的可逆吸放氢性能。从此贮氢材料引起了人们极大关注。目前已开发的有镁系贮氢合金、稀土系贮氢合金和钛系贮氢合金等。钛系贮氢合金已经在氢的存贮、运输和氢的提纯精制等方面得到了较广泛的应用。锆系贮氢合金是 80 年代崛起的新秀，其特点是在 100 以上的高温下也具有很好的贮氢功能。

在新型金属材料中，金属间化合物是最重要的一类。70 年代末以来，采用加硼的微合金化和加铌的宏合金化，分别提高了钛—铝和镍—铝这两种最

主要的金属间化合物的塑性，从而使金属间化合物的研究取得突破性进展。金属间化合物是很好的新型高温结构材料，在航空、航天工业中可以大有作为。

对超细颗粒金属材料的研究，在 80 年代也成为是一个非常活跃的领域。超细金属具有许多奇异性能，如高强度、低温下无热阻、有超导性、有较大表面能、容易进行各种活化反应等。目前，超细颗粒金属尚处于研究开发阶段。

虽然近年来其他新材料发展迅速，但金属材料特别是新型金属材料仍具有旺盛的生命力。在未来相当长时期内，金属材料仍将占据材料工业的主导地位，其独特的性质和使用性能是不可能完全被其他材料替代的。因此，发展金属材料尤其是新型金属仍是材料科学技术面临的重要课题。

## （2）无机非金属材料

无机非金属材料一般指不含碳的非金属材料，如陶瓷、玻璃、水泥、耐火材料等。

从本世纪 40 年代，陶瓷生产逐步实现了机械化。50 年代，建立起能连续烧成的隧道窑，取代了过去烧一窑就得停下来卸装的落后方式。这些工艺的改革提高了生产能力，降低了成本。

科学技术的高速进步，对陶瓷提出了新的挑战。电力技术、电子通信技术的发展，需要强度高、性能好的陶瓷。这大大推动了对陶瓷材料广泛而深入的研究。40—50 年代，实现了传统陶瓷向先进陶瓷的转变。60 年代以来，先进陶瓷的材料和制备技术两方面的研究都取得了很大进展。科学家们认识到，陶瓷的显微结构有举足轻重的作用，只要减少陶瓷中的玻璃相，就可能制造出结晶态陶瓷。

先进陶瓷分为结构陶瓷和功能陶瓷两大类。陶瓷最突出的优点是坚硬耐磨、耐高温、耐腐蚀、不老化。先进结构陶瓷是在高温和苛刻的工作环境下能够长期可靠地工作的材料。比较重要的先进结构陶瓷有莫来石陶瓷、氧化铝陶瓷、氧化锆陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷、复相陶瓷等。1957 年，美国通用电气公司工程师根据陶瓷的烧结机理，选择了强度达 99.99%、颗粒直径平均为 0.3 微米的氧化铝细粉作原料，掺和不到 3% 的氧化镁，在通氢气的高温电炉里烧制，获得了半透明的氧化铝陶瓷。氧化铝陶瓷的研制成功，在陶瓷发展史上有重要意义。人们认识到，只要把内部气孔和杂质尽可能除净，陶瓷也可以与玻璃一样透明。这类透明陶瓷的优良性能是玻璃无法比拟的。它是当代尖端技术的重要材料。红外线制导导弹的整流罩、防止核爆炸闪光盲害的眼镜，立体工业电视的观察镜等都必须用透明陶瓷；超音速飞机的风挡、高级轿车的防弹窗、坦克的观察窗等也多用透明陶瓷。氧化锆陶瓷是 60 年代发展起来的用途广泛的先进结构陶瓷。它的出现，改变了人们对陶瓷力学性质的传统看法，促进了先进结构陶瓷的发展。氧化锆陶瓷强度高、韧性好。氧化锆相变增韧现象的发现，是近年来在先进结构陶瓷方面最重要的研究成果之一。氮化物陶瓷的优良性能，人们在 50 年代已有所认识。随着烧结设备的不断改进，近年来氮化物陶瓷有很大发展。氮化硅陶瓷作为一种高强度、高硬度的高温陶瓷，已用于制造陶瓷刀具，并试制出在 1200 以上高温下工作的陶瓷涡轮转子。氮化铝陶瓷是因其特别高的热导率、优异的电气绝缘性质用于大规模集成电路和混合集成电路的基片。立方氮化硼陶瓷则作为一种硬度接近金刚石的超硬材料受到重视。碳化硅陶瓷在近 30 年发展起来。它的抗弯强度在 1400 高温下仍保持在 5000—6000 公斤/厘米<sup>2</sup>以上，

是非常好的高温结构材料。复相陶瓷是近几年来出现的先进结构陶瓷。它是性能更加理想、更全面的陶瓷材料。目前，先进结构陶瓷的生产和市场容量以每年 15—18% 的速度增长。在少冷和绝热发动机、燃气涡轮的叶片和转子等制造方面，它是非常理想的材料。中国在“七五”期间研制成一系列陶瓷发动机的关键陶瓷部件，装配成发动机，并完成了在大型公共汽车上从上海往返北京的装车路试。由陶瓷部件装成的发动机，不仅能提高燃油效率，而且无需专门的冷却系统，特别适用于沙漠地区等恶劣环境。陶瓷刀具不仅具有高硬度、高耐磨性，同时高温下的力学性质也很好，仍然和低温时一样坚硬锋利。

先进功能陶瓷与电子技术密切相关，又称为信息陶瓷。这类陶瓷具有特殊的物理性能，如绝缘性、电感性、压电性、热电性、磁性、半导体性、超导性、光学性能等。电容器陶瓷从 50—60 年代开始发展起来，现已成为电容器中最重要的一类，约占各类电容器总和的一半以上。铁电陶瓷中最早发现的是钛酸钡，已被主要用于制造陶瓷电容器。1988 年，非挥发性的铁电随机存储器问世。它的出现给计算机技术以很大的冲击，引起科学界和工业界的注意。压电陶瓷最早用的也是钛酸钡。60 年代初，锆钛酸铅压电陶瓷的出现，为压电陶瓷未来的发展打下了坚实的基础。压电陶瓷主要用来进行换能、传感、驱动和频率控制，可用于许多先进技术领域。电致伸缩陶瓷是 70 年代后期发展起来的一种新型功能陶瓷。10 多年来，关于它的研究取得很大进展。多层结构的电致伸缩位移器可以在低电压下工作，大有取代压电微位移器的趋势。磁性陶瓷在 40 年代末 50 年代初萌芽。经过长期反复的探索，人们发现，与磁铁矿具有相同尖晶石结构的锰铁尖晶石、锌铁尖晶石及其固溶体既有很高的导磁率，又有很高的电阻率，可以烧结成瓷质很好的磁性陶瓷。这类陶瓷为高频电感器件的发展开辟了道路。半导体陶瓷主要用来制造各种陶瓷敏感器件和传感器件，如陶瓷变阻器、热敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、生物敏感电阻器等。60 年代后期，发现了掺杂氧化锌陶瓷的非线性变阻特性。这种电流电压非线性，或者电阻值的电压敏感特性可用来吸收供电系统经常产生的过电压、过电流脉冲，保护用电设备和器件免遭破坏。20 多年来，对氧化锌变阻器进行了广泛的研究，但许多问题尚未弄清楚。其他几种半导体陶瓷正处于研究开发阶段。超导陶瓷的出现是近年来物理学和陶瓷学取得的最重要进展之一。光学陶瓷的研究和应用目前也取得了可喜的成绩。由于先进功能陶瓷具有许多独特的优良性能，所以近二三十年来发展很快。有人预计未来将是先进功能陶瓷的黄金时代。

目前绝大部分先进陶瓷的晶粒大小约为 1—10 $\mu\text{m}$ 。如果晶粒的线度降到 0.01—0.1 $\mu\text{m}$ ，那么它就变成一种新的纳米陶瓷。这将是陶瓷发展进程中的第三次飞跃。我国在先进陶瓷材料的研究方面有较好的基础，但在应用方面还比较落后。开发推广先进陶瓷材料是我国材料科学技术的重要任务之一。

无机非金属材料中的玻璃在第二次世界大战后也有很大发展。40 年代后期开始了对低折射率的氟化物、氟磷酸盐玻璃的研究，于 60 年代初获得了产品。70 年代又开始了向高折射率的玻璃中引入氧化锆和氧化碲的研究，着重发展具有特殊色散的光学玻璃，以满足新兴技术的需求。此外，有色玻璃、变色玻璃也发展很快，它广泛用于生产和生活的许多方面。

### (3) 有机高分子材料

高分子合成材料是 20 世纪用化学方法制造的一种新型材料。它具有不同

于低分子的独特的物理、化学和力学性能。在短短的几十年内，高分子材料迅速发展，已与有几百上千年历史的传统材料并驾齐驱，在相当程度上取代了钢材、木材和棉花等材料。合成高分子材料的原料来自石油、天然气和煤，其资源比金属矿藏丰富得多。有机高分子材料主要有合成橡胶、塑料和合成纤维。

合成橡胶最早出现在 1912 年。德国采用二甲基丁二烯为单体合成了甲基橡胶。在第二次世界大战中，由于战争的需要，美国与德国展开了竞争，大力发展合成橡胶。面对德国的优势，美国奋起直追。1940 年，杜邦公司的化学家卡罗瑟斯研制生产出以氯丁二烯为单体的氯丁橡胶。美国迅速建立起 50 多座合成橡胶工厂，到 1944 年产量已达 63 万吨。合成橡胶在第二次世界大战中为美军的运输建立了“功勋”。50—60 年代，丁苯橡胶生产工艺不断改进，产量居合成橡胶之首。50 年代，出现新品种——顺丁橡胶，60 年代，在美国发展很快。异戊橡胶是人工合成的天然橡胶，于 1962 年研制成功。乙丙橡胶也由意大利、美国研制出来。60 年代以来，一些特殊性能的橡胶如丁腈橡胶、硅橡胶、氟橡胶等也陆续发展起来。硅橡胶用于耐高温达 300℃、耐低温 -100℃ 的憎水性橡胶垫圈、胶管、绝缘材料和密封垫等，还可以用于人造心脏和血管。特种橡胶目前已有 200 多种。它们在许多技术领域各显神通。

第二次世界大战以前和战争期间，通用塑料已有很大发展。从 50—60 年代起，第二代塑料即工程塑料异军突起。工程塑料在一定高温（100℃ 以上）具有一定强度（ $> 50\text{MPa}$ ）和刚度；比强度（即强度 / 比重）、比模量（模量 / 比重）均超过钢铁，耐磨、耐腐蚀、吸震、具有优良的绝缘和自润滑性。工程塑料主要有 ABS（丙烯腈—丁二烯—苯乙烯共聚物）、聚碳酸酯、聚酰胺（尼龙）、聚酯、聚甲醛及聚砜。ABS 出现在 50 年代。美国将其用于汽车工业及管材，日本多用于家用电器。聚碳酸酯是高抗冲击透明塑料，可用作 2 倍音速飞机的风挡夹层和天窗盖，还可用作计算机齿轮、电动工具壳、安全防护用具。美国波音 747 客机有 2500 个部件用聚碳酸酯制造，每架飞机用量近 2 吨。特种工程塑料是指抗张强度大于  $45\text{MPa}$ ，连续使用温度高于 150℃ 的工程塑料，如聚芳砜、聚芳酯、聚醚砜、聚苯酯等。这类耐高温的特殊工程塑料主要作为功能材料用于飞机、汽车的轻量化及家用电器。近年来高分子合金引起各国重视，出现高分子合金研究开发热，也获得了大量成果。高分子合金是像制造合金那样，把两种聚合物混合，以得到比单独组分性能更好或兼备二者优点的高分子材料。导电塑料是塑料园圃中的一朵奇葩。1977 年，日本的白川与另外两个美国人发现一种塑料薄膜掺入碘后能导电。从 80 年代初，导电聚合物很快发展起来，已在许多工业领域内应用。此外，高吸水性塑料、高效分离膜塑料、隐形飞机使用的隐形材料等也已开发出来并获得应用。近 10 年来，为减少废弃塑料对环境的污染，可降解塑料的开发日益升温。美国、日本、英国已在这方面领先。70 年代，DNA 重组技术和细胞融合技术，为可降解塑料发展提供了技术保障。在资源、能源、农业、人口、环境五大危机威胁下，利用生物技术制造新型材料已成必然。直接以发酵技术生产的结构材料微生物聚酯已步入了高分子材料行列。微生物聚酯是一种具有热塑性、生物降解性且耐紫外线辐射的生物高分子。由于具有良好的生物降解性并与生物组织相容，此类高分子材料可用于医药卫生领域及做一次使用的各种包装材料。由于其原料主要为农产品，因而还为从非化石资源生

产材料指出了—个方向。英国 ICI 公司在 80 年代实现了中等规模的 3—羟基丁酸均聚物及其与 3—羟基戊酸共聚物的工业化生产。其产品不仅引起材料科学家的重视，而且获得了商业上的巨大成功。美国 1970 年开始光降解塑料的研究，到 1990 年降解塑料总销售量已达 55 万吨。80 年代欧洲许多国家把光降解、淀粉添加剂型塑料购物袋、垃圾袋推上市场。日本 80 年代末几十家公司成立了生物降解研究会，研究微生物合成和天然高分子生物降解塑料。

合成纤维出现在本世纪 30 年代末 40 年代初。美国的卡罗瑟斯 1939 年生产出尼龙 66，德国研制出了锦纶。聚酯纤维是英国 1940 年合成的，1946 年实现工业生产。聚酯纤维中的涤纶制品深受欢迎，70 年代已成为合成纤维中发展最快产量最大的品种。被人称为人造羊毛的聚丙烯腈纤维是 1950 年问世的。它的保温性、弹性都很好，强度比羊毛高，价格却比羊毛低，近 30 年来发展较快。这些种类繁多的合成纤维已成为人们主要的衣着材料。40 年代初，尼龙丝袜近千元一双，只有少数名星才穿得起，在美国批量上市时人们排队购买。现在合成纤维制品已从奢侈品、代用品变为普及品，使人们的服装更加缤纷多彩。1970 年合成纤维世界总产量为 490 万吨，1980 年达 1200 万吨，预计 2000 年将达 3500 万吨。这不仅解决人们的穿衣问题，而且可节省大量棉田改种粮食，有利于解决世界粮食短缺问题。

80 年代以来，高分子材料研究异常活跃，其性能也有很大提高。目前耐高温聚合物可在 400 条件下连续工作 1 万小时，在 800 条件下工作数小时，甚至在比太阳表面温度高一倍的 9000 高温下，短时间内也不致毁坏。自润滑聚合物可以作为轴承在 -200 至 300 的环境中工作。导电和压电高分子、感光 and 透光高分子、生物高分子、智能高分子等已在科研、生产和日常生活中广泛应用。人类已进入了高分子时代。未来的高分子材料正大力朝着第三代特种工程塑料、特种合成纤维、特种合成橡胶、特种粘合剂和涂料等发展，并将向第四代微观结构及微观性能控制的新型塑料进军。

#### (4) 先进复合材料

复合材料是由两种或两种以上不同材料制成的。单一材料都有一定弱点，如金属材料不耐腐蚀，有机高分子材料不耐高温，无机非金属材料较脆。因此复合材料近年来倍受重视。

本世纪 40 年代出现了玻璃钢。它以玻璃纤维作骨料，以合成树脂作粘结剂和基体，是一种轻质、高强、耐腐蚀、绝缘性能好的复合材料。40 年代中期以后，玻璃钢被广泛应用于飞机、火箭、舰艇、导弹等作为结构材料。

60 年代以来，当代航空航天事业的迅猛发展，需要高强度、高模量、高耐温、低比重的复合材料。许多高性能的纤维增强材料应运而生，主要有碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维等。它们的比强度和比模量都分别在  $6.5 \times 10^6 \text{cm}$  和  $6.5 \times 10^8 \text{cm}$  以上，属于先进复合材料。它们与玻璃钢等近现代复合材料不同，具有低比重、高强度、高刚度、耐磨、导热、导电、膨胀系数小、抗疲劳性能好、阻尼性能好、耐烧蚀、耐冲刷、抗辐射、吸波、换能等众多优良性能，可以满足高技术对材料的苛刻要求。先进复合材料既可以做结构材料又可做功能材料及结构功能一体化材料，不仅应用于航空航天，在民用工业、能源技术、信息技术等方面也大有用武之地。

高性能增强材料是先进复合材料的关键组成部分。60 年代，美国和日本开发出碳纤维，但其强度和弹性模量都不高。70 年代以来，由于采用了热牵引碳化技术，强度大幅度提高；并采用其他工艺，使弹性模量进一步提高。

80 年代以来，人们合理选择原料和工艺条件，有效改善和控制碳纤维的结构，使碳纤维性能朝高强度、高模量发展。1986 年，日本东丽公司开发出高性能 T1000 碳纤维，实现了高强度、高模量、高延伸率这一目标。碳纤维增强塑料在先进飞机结构中所占比例越来越高，全碳纤维复合材料小汽车与壳体已经出现。在运动器材，如羽毛球拍、网球拍、撑杆、弓箭等制造中，碳纤维增强塑料已成为主角。

芳纶具有优异的力学性能。它的拉伸强度与石墨纤维相同而高于不锈钢丝，但它的抗冲击强度却为石墨纤维的 6 倍。它具有良好的耐热性、耐火性、不熔，使用温度很宽，在增强纤维中它的密度最低。由芳纶与高性能树脂基复合而成的有机纤维复合材料，除具有优异的力学性能外，最大优点是重量轻。这种复合材料已被广泛应用于航空航天和国防军工领域，如做火箭固体燃料发动机壳体、飞机机头雷达天线罩、波音 757 的机翼和机身的整流包皮等。

硼纤维是 1958 年美国发明的。实际上它是由钨丝包裹一层硼形成的复合材料。而在钨芯上直接沉淀碳化硅形成碳化硅纤维。硼纤维和碳化硅纤维的强度和弹性模量为纯铝的 20—30 倍，高强度铝合金的 7—10 倍，因此可用它们增强金属。目前，以碳化硅纤维增强铝合金发展最快，已获得商业规模应用。它的重量只有钢的 1 / 3，强度比中碳钢好，模量高于钛合金。1983 年，日本丰田汽车公司首先研制成功碳化硅纤维增强铝柴油机活塞。美国在战斗机的垂尾、机身、大梁蒙皮上选用了碳化硅纤维增强铝。碳化硼纤维增强铁基高温合金的性能超过目前使用的强度最高的铸造高温合金，其强度比目前最好的单晶合金高 30%，可减重 40%。碳化硅纤维增强钛已广泛用于板材和管材，但其横向强度低，会引起芯材开裂。现在采用不对称排列增强纤维和真空扩散连接工艺，解决了开裂问题。这种全碳化硅纤维增强钛壁板将用于飞机重尾、导弹壳体和空间飞行器部件。目前金属基复合材料多用于航空航天技术，小批量用于汽车工业和机械工业。随着制造工艺的不断完善、纤维类增强材料成本的下降，它们将在民用方面大显身手。预计到 2000 年，铝基金属复合材料的销售量仍居首位，而铜基、镁基的金属复合材料增长率将超过 20%。

陶瓷基复合材料可以克服单一陶瓷材料脆性大的弱点。它使用的增强体有多种陶瓷纤维、晶须、颗粒等。目前，陶瓷基复合材料已实用化或即将实用化的领域有刀具、滑动构件、航空航天部件、发动机制件、能源构件等。法国已将长纤维增强碳化硅复合材料应用于制造超高速列车的制动件，显示出优异的摩擦磨损性能。碳-碳复合材料是广义的陶瓷基复合材料。它具有比强度高、耐高温、抗烧蚀、抗磨损和抗热震性能好等优点，在航空航天领域已被广泛应用，如导弹的头锥、火箭的喷管、航天飞机的结构件。碳-碳刹车片用于飞机起落架的刹车构件。首先采用碳-碳刹车装置的民航机是欧洲的 A310“空中客车”，减重 400 公斤以上。波音 757 和 767 也使用了这种材料。在为下一世纪设计的航空航天飞机上，碳-碳复合材料占有重要位置。这种可作高超音速旅客机的第二代航天飞机，最高温度可达 2760 。在此条件下，唯一能够胜任的就是碳-碳复合材料。

先进复合材料问世只有 20 多年，现已成为当代高技术的重要组成部分。预计今后其发展将更迅猛。据美国预测，估计到 2000 年，聚合物基复合材料的全球市场规模将达 120 亿美元。中国已把先进复合材料作为发展高技术的

关键新材料，列为国家高技术研究发展计划纲要的重要内容。“七五”期间已取得一定成果，今后将有更大发展。

## 2. 当代建筑科学技术

当代社会生产与人们物质文化生活的需要，需要更多、更好、功能更全的建筑。因此，在基础科学、材料科学等学科的推动下，新型建筑材料逐渐发展起来。同时，新型建筑结构不断涌现，其中大跨度建筑是当代建筑科学技术的重大成果。

### (1) 建筑材料和建筑工艺

在原有的水泥、钢材、钢筋混凝土等建筑材料的基础上，当代建筑材料又有新的发展。

第二次世界大战后，意大利的奈尔维发明了由水泥沙浆和细钢丝网组成的轻骨料钢筋混凝土，用于高层建筑中。近些年来，根据“均匀配筋”的理论，在混凝土中掺入金属纤维、玻璃纤维或树脂纤维等，使轻质高强度混凝土广泛使用。如原西德用玻璃纤维混凝土制造薄壳屋顶，直径为31米，壳厚度只有1厘米。另一种是采用重骨料（钢屑、重晶石）的重混凝土，可用于建造核电站的防护屏。此外，还采用各种外加剂，如防水剂、防冻剂、发泡剂、速凝剂等，改善了混凝土的性能。

第二次世界大战以后，随着高分子合成工业的发展，塑料在建筑业的应用日益广泛。塑料建筑材料有防水、防腐、耐磨、抗震、质轻、强度高、隔音消声、绝热保温、绝缘性好、鲜艳美观等优点。塑料建筑材料分为装饰、装修、结构和特种功用四大类，目前主要用于铺设管道、地面、墙面、窗框以及泡沫塑料保温材料等。近40年来，塑料建筑材料增长了几十倍。

当代建筑施工技术的进展主要有两个方面。一是建筑机械及其配套设备日臻完善，二是预制构件的广泛应用。第二次世界大战以后，建筑机械发展极为迅速，在推土机、挖掘机、铲运机、起重提升机械、混凝土搅拌输送机械及其配套设备中，采用了增压发动机，液力变矩器代替了齿轮传动机构，广泛采用液压操纵等技术，这些都为建筑现代化和建筑施工工业化奠定了可靠的基础。预制装配建筑在第二次世界大战后发展迅猛。从60年代起，装配式钢筋混凝土建筑很快得到推广。装配式建筑主要为砌块建筑、预制大板建筑、预制框架挂板建筑和预制盒子建筑几类。盒子结构出现最晚，但也已有20多个国家采用，发展了约100多种体系和制造方法。由于预制装配式钢筋混凝土结构存在许多缺陷，近些年来它的发展势头有所减弱，现浇混凝土建筑有东山再起之势。

### (2) 建筑结构

当代建筑结构在高层建筑和大跨度建筑方面有突出进展。高层建筑的发展分为两个阶段。第一阶段从19世纪末到20世纪中叶。第二阶段从20世纪50年代开始，特别是60年代以后，高层建筑发展出现新的高潮。高层建筑分板式和塔式两类。60年代后建筑越来越高。为减轻风荷载的影响，塔式建筑成为主流。于1973年建成的纽约世界贸易中心大厦，就是典型的高层塔式建筑。自50年代起，在高层建筑上使用了大面积的玻璃幕墙和铝板幕墙。为了提高建筑的抗风、抗震性，高层建筑采用了一些新的结构体系，主要有剪力墙体系，框架—剪力墙体系、筒式体系。目前高层建筑已遍及许多国家，

最高的是 1974 年建成的芝加哥城的西尔斯大厦，高达 442 米，110 层。中国 1985 年建成深圳国际贸易中心大厦，高 160 米，是中国第一座高层建筑。此后又有广东国际大厦、北京京广中心等相继落成。60 年代以来，许多国家还建造了达 500 米以上的电视塔。目前最高的是加拿大多伦多国家电视塔，高 548 米。中国在亚运会前夕建成的北京电视塔高 405 米。在 1991 年 10 月，中国又建成天津广播电视塔，高 415.2 米，是目前世界第三、亚洲第一高塔。

大跨度结构在 19 世纪末已经出现，20 世纪 50 年代后发展更为迅猛。大跨度结构有悬索结构、薄壳结构、网架结构、充气结构等。50 年代后，由于钢材强度进一步提高，国外开始用高强钢丝悬索来覆盖大跨度空间。1953 年建成的美国雷利市竞技场，屋盖采用双曲马鞍形悬索结构，造型简洁新颖，是早期的著名悬索结构建筑。中国于 1961 年建成北京工人体育馆，比赛大厅屋盖采用了圆形双层悬索结构。薄壳空间结构包括薄壳与折板，薄壳有球壳、筒壳、双曲扁壳、双曲抛物面壳等。1925 年，德国的耶那天文台及莱比锡、巴斯尔等地的市场建筑都采用了钢筋混凝土球壳屋顶，其中巴斯尔市场的球形屋顶跨度达 60 多米，厚度只有 9 厘米。40 年代末，奈尔维设计了连续拱形薄壳结构。1950 年，在意大利都灵建成波形装配式薄壳屋顶展览馆。1976 年，在美国西雅图建造的体育馆是穹顶壳体结构，直径为 200 米。中国 1957 年建成的北京天文馆，屋顶球壳直径为 25 米，厚度只有 6 厘米。1959 年，中国建成北京火车站，共有 6 个双曲扁壳，中央大厅壳体平面尺寸为 35 × 35 米，厚 8 厘米。折板结构屋顶的著名建筑是 1958 年在巴黎建造的联合国教科文组织的会议大厅。设计师根据结构应力的变化将折板截面由两端向跨度中央逐渐变化，使之显示出一种韵律感，别具一格。网架结构在本世纪 50 年代开始萌芽。60 年代，电子计算机的发展和应用，解决了网架力学分析的困难，网架结构建筑迅速发展起来。1966 年，美国休斯敦市建造的圆形体育馆，采用了网架结构，直径达 193 米，可容纳 65000 人。中国 1968 年建成的首都体育馆，是中国最早的网架结构建筑，屋盖宽 99 米，长 112.2 米。此后中国又陆续建成南京五台山体育馆、上海体育馆、福州市体育馆等，也都采用了网架结构。充气结构是当代发展起来的新型结构。1946 年，美国建成了第一座气承式建筑，用作雷达站。其外形为一圆穹体，直径 15 米。1975 年，美国建成了密执安州亚克体育馆，其薄膜气承屋面覆盖面积达 3.5 万平方米，是当时世界最大的充气建筑，可容纳 8 万观众。1976 年以后，中国陆续研制了一些采用气承式或气肋式结构的展览厅、教室、实验室等，但这种结构的建筑尚未进入推广阶段。

## 九、能源科学技术和交通科学技术的发展

能源是当代社会的血液。第二次世界大战以后，特别是进入 60—70 年代，石油成为主要能源。60 年代，原子能发电技术逐渐成熟，标志着人类在能源开发史上进入了一个新的时代。同时，对太阳能、水能、地热能、生物能的开发利用也取得了卓越的成就。

交通是一个国家的命脉。交通科学技术的发展，既是为了满足经济日益增长的需要，也与能源科学技术及其他科学技术的发展密切相关。当代交通运输已形成铁路、公路、水运、航空、管道等多种运输方式组成的有机网络，其运输能力和速度是以往任何时代不能相比的。

### 1. 常规能源技术的发展

常规能源是指目前广泛使用的、技术比较成熟的能源，如煤、石油、天然气等。

#### (1) 煤炭利用技术

当今世界能源结构中，煤炭所占的比重仅次于石油而居第二位。当代煤炭利用新技术的重点是煤的气化和液化，以提高效率，减少对环境的污染。

煤的气化是通过煤在高温下与空气和水蒸汽的反应，把煤加工成一氧化碳和甲烷气体。本世纪 30 年代，德国首创煤加压气化的方法。70 年代，美国等国又开拓了第二代煤气化技术，发展了两段气化法、加氢气化法、合成甲烷法等。中国目前采用常压水煤气工艺、常压固定床一段气化工工艺等方法。1990 年，煤制气消费量为 235.9 亿立方米。煤气化联合循环发电是美国洁净煤技术计划的重点，可望在本世纪末商业化，下个世纪可成为燃煤发电的主导技术。美国还研究出把煤在地下直接气化，然后把煤气用管道引到地面上来的方法。

第二次世界大战期间，德国和日本都研究成功了“煤高压直接加氢液化”技术，但发展不快。70 年代末以来，美国研究成功新的煤液化技术，适合于大规模的工业化生产。70 年代末，德国研制出一种催化剂，能使煤在地下直接液化成石油，然后打深井把油从地下抽出来。这是煤开采技术的重大突破。

#### (2) 石油、天然气

20 世纪，内燃机发展很快，广泛用于各种交通工具和工厂，因此汽油、柴油成为重要能源。1950 年至 1960 年间，在中东及南非发现大油田，世界石油产量猛增。到 60 年代中期，石油在能源结构中已占主要地位，1974 年达 54%。

在石油开采技术方面，50 年代后一些国家又研究出许多新的钻井方法，其中冲旋钻、柔托钻、冲蚀钻等已投入工业试验，激光法、爆炸法、电弧法、电子车法、电火花法等处于试验研究阶段。海上石油开发已有近百年的历史，但本世纪 60 年代前发展缓慢。70 年代后才有了大的飞跃。海上固定钻井平台出现在 30 年代，当时是木质的。1947 年，出现了钢质平台。1965 年，一些平台已安装到水深 69 米的海域中。1988 年，荷兰在北海安装了世界上第一座三脚塔式无人操作钢质固定平台，适用于水深 10—350 米的范围内。1973 年，在北海安装了第一座大型混凝土重力平台。活动式钻井平台有沉浮式、自升式、半潜式。沉浮式平台出现在 30 年代。第一座自升式钻井平台是 1948

年苏必利石油公司在墨西哥湾建造的，并于 1949 年创造了 6259 米的世界海上井深记录。1957 年，世界上第一座半潜式平台“沧海 1 号”问世。1988 年，这种平台达 177 座。除了各种钻井平台外，50 年代后还出现了钻井船。钻井技术的进步，推动了海上石油工业的发展。60 年代只有 7 个国家开采海上石油，到 1980 年已有 35 个国家共建成海上油气田 430 多个。中国 1958 年在南海莺歌海首次打出石油，1966 年，在渤海用固定平台钻出第一口探井，获得有开采价值的油流。近年来，中国海上石油工业有了更快的发展。

## 2. 原子能科学技术的发展

第二次世界大战以后，军备竞赛的需要使美国、原苏联等国都大力发展原子能工业，并逐渐从军用转向民用。

### (1) 原子能发电的产生和发展

1942 年美国建成了世界上第一座原子能反应堆。它的输出功率只有 0.5 瓦，但具有划时代意义。1952 年，美国进行了利用原子能发电的最初尝试。1954 年，原苏联建成了世界上第一座核电站。它利用浓缩铀作燃料，采用石墨水冷堆，发电功率为 5000 千瓦。1956 年，英国也建成了一座发电功率为 35000 千瓦，采用天然铀石墨气冷产钚反应堆技术。同年，美国建造了能够在水下高速航行的攻击型核潜艇。

50 年代，各国对原子能的开发基本上是实验性的，主要是探索各种形式的反应堆。60 年代以后，核电站进入实用阶段，各国主要集中研究发展轻水堆（包括压水堆、沸水堆）、重水堆、气冷堆和石墨水冷堆等堆型。

轻水堆是目前世界核电站的重要堆型，在核电站中占 85% 以上。轻水堆绝大部分是压水堆。从 60 年代初第一代压水堆到 70 年代初运行的第四代大型商用压水堆，其技术经济指标有了很大改进。压水堆单堆功率从小于 20 万千瓦提高到 130 万千瓦；发电效率从 28% 提高到 33%；发电成本从 5 美分/度降低到 0.4 美分/度。

沸水堆的基本物理性能与压水堆相似。1956 年，美国就建立了一座 4500 千瓦的沸水堆实验站。从 1959 年第一个电站德累斯顿 1 号运行以来，沸水堆经历了 6 代的不断改进。发电成本与压水堆不相上下，到 70 年代初也达到了大规模商业推广的阶段。但由于沸水堆缺点较多，因而在与压水堆的竞争中逐渐衰落。

重水堆是加拿大一开始就集中力量进行研究的堆型。1962 年，建成世界第一座加压重水示范电站罗尔夫顿 NPD—1。1967 年，又在安大略省道格拉斯的建成电功率为 20.8 万千瓦、热功率 70.1 万千瓦的原型重水堆核电站。重水堆能有效地利用天然铀，转化比高，燃料烧得透，对燃料的适应性强。但早期的重水堆电站投资大，重水泄露严重。经过改进，于 1971 年建成了达到实用的匹克林电站。70 年代，重水堆已达到技术成熟和商业推广的阶段。

石墨气冷堆是 60 年代英国和法国发展起来的，到 60 年代后期已发展到第三代高温气冷堆。1966 年 6 月，英国与欧洲核能机构联合建造的“龙堆”满功率运行。该堆提供的数据证明了高温气冷堆在技术上的可能性。1967 年，英国的“桃花谷”电站纳入电力系统运行。1968 年，原联邦德国和美国分别开始建造高温气冷模式堆电站。美国 33 万千瓦的圣·弗仑堡堆 1974 年达到临界，但直到 1981 年末才达到设计功率。目前高温气冷堆虽然尚未达到

商业化的成熟阶段，但它的一些突出特点仍具有很大吸引力。

天然铀石墨水冷堆是原苏联发展的堆型。1974年建成的100万千瓦的彼得堡（前名列宁格勒）核电站1号堆，是第三代。1985年，第四代240万千瓦功率的石墨沸水堆开始研制。石墨沸水堆没有压力壳及蒸汽发生器，设备简单，单堆电功率大。由于不停堆装卸核燃料，设备利用率高。但这种堆型回路系统复杂，制造安装工作量大，经济性欠佳，其他国家很少采用。

10多年的迅速发展，核电站已成为一种新的强大的动力来源。从1974年起，各国核电站的发电成本普遍比火电站低20—50%。核电站最多的美国，仅1978年就因此节省了30亿美元。核电站的可利用率已同当代最新火电站相当，实际运行的负荷因子已高于火电站。

世界各国火电厂经历100多年才达到目前的运行水平，核电站只用20多年就达到了。这是热中子动力堆技术成熟的一个标志。

由于铀的储量有限，而目前热中子堆核电站对天然铀的利用率只能达到百分之几，所以要把废燃料元件中残余的核燃料充分利用起来，另外要把本来不是裂变原料的 $^{238}\text{U}$ 和钍等资源转换成可裂变的 $^{239}\text{Pu}$ 和 $^{233}\text{U}$ 等人造核燃料。

美国、英国、法国和原苏联早就建成军用生产堆和动力堆的后处理工业体系，在建立民用动力堆后处理厂方面都有技术基础。英国和法国不但处理本国的动力堆燃料元件，而且还替别国处理。70年代以来，后处理技术不断改进，并可以从后处理厂的高效废水和废气中回收有用的裂变同位素和超铀元素。

同时，人们一方面寻找新的天然铀资源，一方面采用先进的浓缩铀工艺。海水中铀储量达四五十亿吨，目前已发展出一套海水提铀技术，即利用水合氧化钛做吸附剂，再用碳酸铵将所吸附的铀解析出来。随着加速器技术的进步，一些科学家还建议用直线加速器来生产核燃料。在铀的浓缩工艺方面，气体扩散法虽仍居主要地位，但正逐渐被淘汰。70年代初，用离心法生产浓缩铀的工厂已在欧洲建造。1977年，美国计划将在朴茨茅斯建造的第四座扩散厂改为离心厂。激光技术的进步，形成了用激光浓缩铀的新技术。采用特定波长的激光，有选择地激发 $^{235}\text{U}$ 的原子或分子，然后用物理或化学方法将它与未受激发的 $^{238}\text{U}$ 分离。激光法的生产成本比扩散法、离心法都低。美国已决定跳过离心法，集中力量在90年代实现激光法的商用，因此朴茨茅斯离心厂部分投产后又停了下来。法国等国也把激光法浓缩铀作为主要发展方向。

为了拓展核裂变材料的来源，许多国家都致力于发展转换和增殖技术。增殖堆分快中子增殖堆和热中子增殖堆。50年代初，美国和原苏联就开始研究增殖堆。英国、原联邦德国、日本等国也积极开展研究。进入70年代，各国投入大量人力、物力、财力集中研究的是钠冷快堆。钠冷快堆可以“燃烧” $^{239}\text{Pu}$ ，并能更多地 $^{238}\text{U}$ 转换成 $^{239}\text{Pu}$ ，达到增殖核燃料的目的。钠冷快堆具有堆芯体积小、功率密度大以及热效率高等优点，而且还可以淡化海水。70年代，原苏联、法国、英国各有一座钠冷原型快堆投入运行，积累了经验。1980年初，美国钠冷实验快堆 FFTF 功率运行。原苏联第二座原型快堆 BM—600 已于 1980 年春建成，并正在设计商用规模的大型示范钠冷快堆 BM—1600。法国、意大利、原联邦德国合资建造的“超凤凰”液金属快堆也于 1980 年投入商业运行。中国“863 计划”已计划建造快中子实验堆。除了钠冷快

堆，还有一种很有前景的气冷快堆现正处于探索阶段。

热中子增殖堆是美国独家发展的，用的是钍—铀循环。现在的主要堆型有熔盐堆和轻水增殖堆。熔盐堆可以随时去除毒物，随时提取<sup>233</sup>铀的中间产物<sup>233</sup>镤，保证增殖；不需要制造元件；燃料的后处理和堆结合；不需要输送和处理废元件。但熔盐堆的这些优点使得它技术难点集中。所以在1968—1969年，美国运行了一座热功率7000千瓦实验堆后，一直没有进一步发展。1975年，美国和日本准备共同投资10亿美元进行为期14年的熔盐堆研究。轻水增殖堆也是美国独家发展的堆型。1977年，第一座轻水增殖堆开始满功率运行。但是它的成本太高，民用核动力无力负担。

40年来，核电站已显示出其独特的优势，至今发展势头不减。到1989年底，全世界共有452座核电站在运转，发电量占世界发电总量的17%。美国有110座核电反应堆，是世界核电站最多的国家。西欧一些国家核电所占的比重最大。1987年，法国已占69.4%，比利时占67%。中国自行设计制造的第一座核电站秦山核电站，装机总容量为30万千瓦，于1991年并网发电。在深圳大亚湾建设的装机容量2×90万千瓦的核电站，也在1992年和1993年并网发电。1989年，清华大学建成了一座5000千瓦低温供热堆，这是世界上第一座投入运行的具有固有安全性的壳式核供应堆。它可以代替烧煤供暖，效果很好，并减少污染。目前正在发展20万千瓦的示范堆。

## （2）核电站的安全性

核电站发电用的反应堆大都采用低浓度裂变物质作燃料。它们分散布置在反应堆内，在任何情况下都不可能象原子弹那样紧聚到发生爆炸。反应堆有安全控制手段，有自稳定性。反应堆若失控或芯损坏，裂变反应会自动停止。核电站有燃料包壳、压力壳和安全壳三道屏障，可以防止大量放射性产物外逸。因此，一般来说核电站是安全的。即使住在核电站旁边，每年受到的放射剂量也不超过2毫雷姆，而宇宙射线、土壤、房屋等放射性剂量约为100毫雷姆。但是安全和清洁总是相对的。要杜绝任何事故，不让一点点放射性废物排放到环境中去，实际上是办不到的。

1979年3月，美国三里岛压水堆核电站由于操作失误等原因，发生了堆芯熔毁的严重事故。堆的事故冷却紧急注水装置和安全壳等设施发挥了作用，使排放到环境中去的放射性物质极少。据美国核安全当局分析，如果有人站在电站边界上，他受到的最大可能辐射剂量将低于100毫雷姆，只相当于接受二三次X射线透视的剂量；周围居民实际接受到的剂量，平均每人只有1.5毫雷姆。事故没有造成人身伤亡，也没造成环境危害。这一事故从反面证明了核电站的各种安全措施是有效的。

但是，原苏联切尔诺贝利核电站事故却造成了严重危害。1986年4月26日，运行人员违反操作规程，使反应堆多种应急事故保护系统失效，造成堆芯熔毁，石墨砌体燃烧，大量放射性物质外逸。工作人员和救火人员受严重辐射损伤203人，死31人。这是迄今世界核电史上最严重的一次事故。它造成的核污染和经济损失比三里岛事故严重得多，但对世界核电站建设带来的影响却比三里岛事故小。事故后外泄的放射性物质主要是惰性气体和碘、铯等挥发性裂变产物。这些放射性尘埃一两周内即可消失，不象大气核试验产生的放射性尘埃要在多年后才能消失。事故发生后，虽然芬兰、瑞典、波兰等国空气中的辐射水平比天然本底增高了4—10倍，但只相当于年最大允许值的百分之几。离核电站最近的城市基辅，水源未被污染，空气中的最高辐

射水平是正常排放的 20 倍。居民生活正常。切尔诺贝利事件引起的“核能恐慌”，经过专家们的调查、解释和事实的教育，逐渐平息。人们认识到，对核能的恐惧是心理因素大于生理因素。在权衡核电站的利弊后，各国更加快了核电站的建设步伐。

切尔诺贝利核电站是采用原苏联独有的压力管式石墨慢化沸水堆，与压水堆不同。石墨砌体温度高达 700℃，易燃，遇水产生易燃气体，是不安全的隐患。该堆没有整体安全壳，事故发生时放射性物质外泄严重。由此可知，选择安全可靠的核电站堆型是至关重要的。

反应堆和后处理厂等运行时会产生大量放射性废物，其中一部分要经过几万年甚至几十万年才能衰变成没有放射性的物质。除了妥善存储外，目前还很难用别的方法处理。这是核能发展中一个较难解决的重大课题。70 年代以来，在这方面的研究取得了一些重大进展，但仍未真正解决。据塔斯社 1990 年 4 月报道，原苏联探索用加速器加速的电子“消灭”锶、铯等长寿命的放射性核素和 中子。

### （3）受控核聚变的探索

目前世界上正在运行的核电站，都是利用重核裂变能。与它相比，轻核聚变具有释放能量更高、原材料取之不尽且提取费用低、没有放射性污染等优点，所以各国都非常重视受控核聚变的研究。

核聚变原料主要是氢、氘和氚。地球的海洋中有 23.4 万亿吨氘，是一种用之不竭的持久能源。目前最有希望的是氘—氚聚变堆。由于带电核之间的静电斥力非常强，只有使两个粒子或其中的一个粒子具有很高速度（很高的温度）才能克服电斥力使核靠近，而发生核反应。氘—氚混合核燃料在几百万度的温度下就成为自由电子和赤裸原子核的混合物。这种混合物呈电中性，叫做“等离子体”。等离子体是最有希望实现核聚变的介质，因为它有可能被加热到聚变反应所需的温度（点火温度）。1957 年，英国物理学家劳逊（1923—）提出一个理论判据：只有当  $nJ > A$  时，核聚变反应才能有净能量输出（ $n$  为等离子体密度， $J$  为等离子体约束在一起的时间， $A$  为约束指数）。高温与高密是一对矛盾。一般温度越高的物质，要将它控制在一定范围内保持高密度就越难。因此获得 1 亿度以上的点火温度和实现高温等离子体约束是受控热核聚变面临的两大难题。根据劳逊判据，如果等离子体的密度大，约束时间就短；如果等离子体密度小，约束时间就长。所以人们沿磁约束（低密度、高约束时间）和惯性约束（高密度、低约束时间）两种途径探索。

磁约束就是用一定强度和几何形状的磁场将带电粒子约束在一定的空间范围内，并保持一段时间。1951 年，英国的韦尔（1924—）首先考虑到利用“箍缩效应”来约束等离子体。先后出现过“磁瓶”、“仿星器”、“磁镜”等装置，但引人注目的是“环流器”（托卡马克）。1982 年，美国、原苏联、意大利等国的“环流器”装置的约束指数距热核聚变点火目标只差一个数量级。1991 年，英国牛津郡卡勒姆的联合欧洲核聚变实验环形装置托卡马克 JET 实现了人类历史上首次受控热核聚变反应，发电约 1.7 兆瓦，持续 2 秒钟。这是从聚变获得能量的进程中的一个里程碑。

惯性约束是利用聚变等离子体的惯性，在等离子体受热膨胀但还来不及飞散一瞬间完成聚变反应。1963 年，原苏联的巴索夫首先提出用激光打靶的办法产生核聚变。中国的王淦昌也同时提出这一设想。70 年代以来，激光聚变的研究已取得丰硕的成果。人们已看到高增益的惯性约束聚变在能源应用

方面的曙光。美国、日本、英国、法国、原联邦德国、原苏联都建成比较大的激光器。多路激光技术能将激光器产生的毫焦级的输出放大  $10^5$ — $10^6$  倍，离实现聚变反应所需的 1 万或 2 万焦还差 10 多倍。因此尚需研制更大功率的激光器才能满足核聚变反应的要求。

中国在受控核聚变方面也开展了一定规模的研究，在合肥建成以中型“托卡马克”为主体的大型受控核聚变的等离子体物理研究基地。在激光聚变研究方面，中国也处于世界先进行列，取得了一些突破性进展。

1989 年 3 月，英国科学家索斯安普顿大学教授马丁·弗莱斯曼和美国犹他州大学的化学家斯坦利·庞斯合作，进行了室温条件下的持续性核聚变实验，即冷核聚变。冷核聚变在科学界引起了争论。这个问题只能靠进一步研究来解决。

用聚变能解决人类能源问题，前景很好。国际核聚变权威人士预测，到本世纪末可望在大实验室内完成激光聚变的实验验证，在下一世纪可进入建堆发电的实用阶段。

### 3. 其他能源的研究和开发

除了原子能技术外，太阳能、海洋能、生物能、风能等可再生能源技术在当代也有很大发展，取得了令人鼓舞的成就。各种新能源的应用与发展，使人类从有限的一次性能源转向多样化的、可再生的、取之不尽的干净能源的使用，进入了能源利用的崭新时代。

#### (1) 太阳能

每年到达地面的太阳辐射能总量约在  $3.3 \times 10^6$ — $8.4 \times 10^6$  千焦 / 米<sup>2</sup>。它是可再生能源，而且不会造成污染。所以各国越来越重视太阳能的开发。世界上第一座太阳能热电站，是法国的奥德约太阳能热电站。它当时的发电能力仅为 64 千瓦，但为以后的太阳能热电站的建立和发展打下了基础。1981 年，法国、原联邦德国和意大利联合建造的世界首座并网运行的塔式太阳能电站正式投入运行，其额定功率为 1000 千瓦，采用了 182 个聚光镜。1982 年，美国建成了一座大型塔式太阳能热电站，发电能力为 10000 千瓦，采用了 1818 个聚光镜。近年来，世界上还研制成一种用炭黑来捕捉太阳能以驱动发电机发电的装置。这种热电站每小时消耗炭黑约 30 公斤，可产生供 1 万人的城镇所需的电力。

50 年代，以色列科学家就提出建造太阳池电站的设想。70 年代初，他们建成世界上第一座太阳池电站的实验设备；70 年代末，又建成面积为 7000 平方米的水池，进行实验发电，其输出功率为 35 千瓦。美国现已修建了 10 多个太阳池，进行研究试验。澳大利亚已建成一个 3000 平方米太阳池，并将用它发电。

1953 年，美国贝尔电话公司研制成世界上第一个硅太阳能电池。1958 年，美国就用太阳能电池为“先锋 1 号”卫星供电。中国在 1958 年开始研究太阳能电池；1971 年，将太阳能电池用于中国的第二颗人造卫星上。1984 年，中国试制成功了太阳能汽车——“太阳号”。目前，世界上第一架完全用太阳能电池作动力的飞机“太阳挑战者”号已试飞成功。美国研究开发出性能优异的太阳能电池，其地面光电转换率已达 35.6%。

此外太阳能热管、太阳灶等近年也有很大发展。太阳能热管出现在 1964

年，现已广泛应用。美国使用很普遍，有一处屋顶约 800 平方米，竟排列了 8000 支热管。1970 年法国在比利牛斯山建造了一座功率为 1000 瓦的太阳炉，温度可达 4000 。到 1991 年，中国已推广太阳能热水器 180 万平方米，被动太阳能节能房 30 万平方米，太阳灶 12 万台。

美国于 1980 年开始研制太阳能卫星电站，并计划在 2000 年建造约 60 颗太阳能动力卫星。它们的总发电量可满足美国全部的能量需求。

## （2）水能

20 世纪中期以来水力发电发展很快。五六十年代，美国在西北部哥伦比亚河中下游集中建电站，已建成 11 座大型水电站。原苏联 50 年代开始在叶尼塞河建设了 4 座水电站。巴西和巴拉圭合建的伊泰浦水电站，总装机容量为 1260 万千瓦，是目前世界上最大的水电站。新中国建立以后，已建造了几十座大中型水电站，比较著名的有黄河刘家峡水电站、长江葛洲坝电站等。1991 年底，长江三峡工程开始兴建。这是一项集水电、水利、航运等于一体的跨世纪的世界大工程。

海洋蕴藏着极大的能量。当代在海洋能的开发利用方面已取得突破性的进展。海洋能源主要有潮汐、波浪能和温差能。

1913 年，法国古塔德斯特兰德岛附近建造了第一座试验性潮汐发电站。中国于 1956 年兴建潮汐动力站。1958 年，沿海相继建起一批小型潮汐能电站 40 余座。1980 年，在浙江温县建成了居世界第二位的江厦双向潮汐电站，其装机容量为 3000 千瓦。法国、英国、美国、加拿大、原苏联和阿根廷等国都建造了潮汐电站，其中最大、最为先进的是法国 60 年代建造的朗斯潮汐电站，其装机总容量达 24 万千瓦。

1964 年，日本制造出世界上第一个海浪发电装置，它是一个航标灯，带有发电能力为 60 瓦的发电机。70 年代末，日本研制成了“海明”号大型海浪能发电船。它能发出 100—150 千瓦的电能。英国在 90 年代初在艾莱岛上建成了一座发电能力为 75 千瓦的海浪发电站，并正在研制 5 万千瓦的海浪发电装置。目前世界上已有几百台海浪发电装置投入运行，但发电功率都比较小。一些技术问题尚待进一步解决。

海水温差发电的研究始于 20—30 年代。此后一度沉寂。70 年代的石油危机，使海水温差能的开发研究再度兴起。美国、日本、法国都在政府倡导下展开大规模研究。1979 年，美国在夏威夷附近海面利用温差发电首次试验成功，输出功率 50 千瓦；1982 年，又在瓦湖岛建造了岸式和海上试验电站，输出功率均为 4 万千瓦。全世界蕴藏的海水温差能为 600 亿千瓦，开发前景十分诱人，但它的利用尚有许多问题没有解决。

## （3）地热能、风能、生物能、氢能

从本世纪 60 年代开始，人们利用地热能来发电。1960 年，美国在加利福尼亚州建成一座地热蒸汽发电站，装机容量为 1 万千瓦。中国从 1970 年开始，先后在广东顺丰、河北怀来、江西温汤、湖南灰场、山东招远、辽宁熊岳、福建南清和西藏羊八井等地建成了地热电站。羊八井地热电站装机容量为 1 万千瓦，为中国最大的地热电站。迄今已有 30 多个国家建立了不同规模的地热电站 150 座左右，装机总容量达 320 万千瓦。

利用风力发电，以丹麦最早、最为普遍。在 1910 年，丹麦就有数百个 5—25 千瓦的风力发电站。到 50 年代，丹麦有上千个村庄利用风力发电提供所需的电力。1984 年初，美国开始安装当今世界上最大的风力发电机，其装

机容量为 3200 千瓦。中国现有小型风力发电机 12 万台，中、小型风力发电厂 9 个，装机总容量为 20 万千瓦。到 1992 年，全世界风力发电装机容量达 2700 万千瓦。随着风能利用技术日臻成熟，其经济性将进一步提高，应用将更普遍。

生物能中已广泛应用的是沼气。第二次世界大战后，沼气利用进入实用阶段。1972 年，英国伦敦有 15 个污水处理生产沼气工厂，每天生产沼气 24 万立方米，中国至今已兴建沼气池 400 多万个，沼气集中供应站 1580 处。全国 1800 多个县的 2000 多万农民用上了这种新能源。近年来，美国、日本、瑞典等国进行了能源林木、能源作物的种植试验，种植生长快、产量高、可提炼优质燃料的植物。利用淡水藻、海藻等藻类植物产能的技术研究也取得很大进展。

氢能从 70 年代初开始用于发电及各种机动车和飞行器的燃料。1976 年，美国研制出一种以氢气作燃料的汽车。在氢的制取方面，科学家们在水中放入催化剂，用阳光分解水来制取氢。用钛酸锶作光电极，金属铂作暗电极，将它们连在一起放入水中。通过阳光的照射，电极上就释放出氢气。此外，人们还研究出热化学法、离子体法、细菌法等制氢方法。在氢的贮存、运输和利用方面，近年来也取得较多研究成果。科学家预言，氢能源在 21 世纪将成为最理想的能源之一。

#### 4. 交通运输的发展

当代交通运输，出现了向多样化发展的趋势。50 年代后，公路运输在中、短途运输中占了主导地位，飞机逐渐成为远程客运的主要运输工具。目前已形成了铁路、公路、水路、航空、管道等多种运输方式的立体交通运输系统。

##### (1) 铁路运输

50 年代以来，高速铁路的发展非常迅速，成为铁路运输的主要潮流。随着电力工业、石油工业的发展。内燃机车及电力机车逐渐取代了效率低的蒸汽机车。到 70 年代，几个主要工业化国家基本淘汰了蒸汽机车。1964 年，电力机车时速已达 200 公里。1981 年，英国制成时速达 270 公里的高速柴油机车。

新型的磁悬浮列车和气垫列车成为各国竞争的目标。1961 年，英国制造的气垫列车，悬浮 12 毫米，时速达 160 公里；70 年代则提高到 400 多公里。磁悬浮列车利用超导体电阻为零和抗磁特性，使用少量电能便可获得强磁场而使列车悬浮起来。磁悬浮列车优点是：受气候影响小，振动轻微，噪声小，对环境污染程度很轻，速度很快。1965 年，日本制成第一辆磁悬浮列车模型，时速达 400—500 公里。原联邦德国、加拿大、英国等都在开发磁悬浮列车。目前，磁悬浮列车和气垫列车尚未进入实用阶段。

日本于 1965 年试制了采用喷气机原理的喷气列车。此外，燃气轮机机车、单轨飞行火车和“子弹火车”，也于 70 年代在日本、法国等国开始研制。

1964 年，日本在东京—大阪间建成世界上第一条高速铁路，长 515 公里，列车速度达 210 公里/小时。此后，法国建成巴黎—里昂高速铁路，长 424.6 公里，列车时速达 270 公里。1990 年，法国又建成巴黎—勒芒、图尔的大西洋线，推出了时速为 300 公里的第二代高速列车。到目前为止，已有日本、法国、德国、意大利、西班牙、瑞典等国建成了时速 200 公里以上的高速铁

路近 1 万公里。预计 21 世纪中国也将拥有高速铁路。

当代大城市人口密集，客运量较大。利用地下空间发展城市地铁成为重要交通方式。目前世界上有 30 多个国家的 60 多个城市修建了地下铁路，中国的北京、上海都有了地铁。

## （2）公路运输

本世纪 40 年代美国出现高速公路系统。50 年代以后世界性的高速公路运输开始形成。高速公路一般能适应汽车 120 公里的时速，采用沥青混凝土或水泥混凝土高级路面。目前全世界有公路 2000 万公里，其中高速公路 13 万多公里。美国高速公路有 8.3 万公里。德国有 8600 多公里，居第二位。四通八达的公路网络为公路运输发展提供了必要条件。

40 年代中期以后，内燃机技术的不断改进，石油产量的迅猛增长，促进了汽车工业的突飞猛进。1948 年，资本主义国家的汽车总数比 1900 年增加 5590 倍，达 5590 万辆，1960 年比 1948 年增加 117%。目前全世界共有汽车约为 5 亿辆，其中美国有 1.7 亿辆。

从 60 年代起，大型汽车基本上实现了柴油机化。近十几年来，不少轻型汽车包括部分小客车也开始使用柴油机。柴油机在动力性、经济性和环境保护方面都优于汽油机。如今的内燃机汽车时速可达 100 多公里甚至超过 200 公里。随着汽车化程度的不断提高，能源和生态问题日趋尖锐，内燃机所用的石油制品终将枯竭。所以人们在探索其他动力。以电为动力的电动车已问世多年。70 年代国外已出现氢燃料汽车。70 年代末，原联邦德国研制的氢气汽车，用 5 千克氢行驶了 110 千米。太阳能汽车在 80 年代也已研制成功。但这些新型汽车的实用还有待于技术的不断完善。

当今汽车的制造应用了大量的电子技术和新材料，改善了汽车的操作性能，又能起到节能和保护环境的作用，这已成为汽车制造业的一个发展方向。

中国的公路运输发展也很快，目前已有汽车 600 多万辆，1992 年，中国公路里程为 104.11 万公里，列世界第 6 位。沈大、京津塘等高速公路的建成通车，结束了中国大陆无高速公路的历史。

## （3）水路运输

水路运输历史悠久，有运量大、运价低的独特优点，所以长盛不衰。第二次世界大战后，世界海上货运量年均递增 8—9%，70 年代后期转入低速增长时期，航运技术的发展也转入相对稳定阶段。

40 年代以后，美国对汽轮机作了重大技术改进，大力发展汽轮机大型舰船。1945 年后出现增压柴油机，使货船的准推进效率从 1900 年的 50% 提高到 1950 年的 80%，燃料消耗率比汽轮机和三级膨胀式蒸汽机都要低。但因产生很大功率会遇到原理和结构上的限制，所以大多用在中小型舰船上。1956 年，萨金特研制成第一艘商业运输用的燃气机船。它的热效率虽不比柴油机高，但有可用余热提高进气温度和在高转时工作平稳等优点，很快在中小船只上出现取代柴油的趋势。核动力舰船在 50 年代出现，具有功率大、续航时间长和燃料重量轻等优点。由于技术复杂、热效率低和成本高，目前只用于军用和特殊民用的大型舰船。

70 年代的海洋船舶，在大型化、自动化方面取得了重大进展。1972—1973 年，出现了 37 万吨和 48 吨的油轮。70 年代中期，日本建造了 55 万吨级的油轮“海上巨人”号。到 80 年代，最大散货船载重达 36.5 万吨。船舶营运与管理自动化体现在航行与驾驶自动化、机舱自动化、装卸与系泊自动化、

管理与事务自动化等各个方面。80 年代，船舶的质量明显提高。为了节能，船上采用新型节能主机，改进推进装置，改善船体线型。在安全技术方面，采用全球船舶定位系统、驾驶室集成系统、全球海上救助与安全系统、船舶故障诊断专家系统等。在防污染方面，也采用了一系列新技术，特别是对油轮溢油采用了应急处理技术。

50 年代以后，出现了气垫船、水翼船和飞翼船。气垫船是英国科克雷尔于 1959 年首先研制成功的。六七十年代，英国、美国、日本、原苏联和瑞士制造了几百艘气垫船，在内河和浅海作渡船。英国的气垫船最大速度达 148 公里/小时，可载 30 吨货物或 250 个人。水翼船是意大利于 1956 年首先制成的，时速达 80 公里。到 1974 年，世界上已有水翼船 1000 多只。其中 80% 是原苏联造的。近些年来出现了一种仿效飞机飞行原理而研制的飞翼船。它靠飞行时翼与水面间形成的动态气垫将船托起，与水面保持一定高度，航行速度可达 280 公里/小时以上。

50 年代到 70 年代中期，发生了以货物运输的集装箱化、散装化、滚装化和船舶及码头大型化、专业化为主要标志的“第二次航运技术革命”。1956 年，美国将一些油轮改装成早期的半集装箱船。70 年代各国普遍采用集装箱。它的应用使货物运输系统发生了根本性的变革。1970 年，世界集装箱海运量为 316 万 TEU（换算箱），集装箱运力为 23 万 TEU。到 1990 年，这两个指标分别达到 3799 万和 174 万。

第二次世界大战后，港口建设取得很大进展。目前全世界海港总数已超过 1 万个，年吞吐量总计超过 100 亿吨。港口装卸设备的能力有了大幅度提高，广泛采用系统工程思想、计算机辅助设计等新技术手段，港口管理更加完善。

#### （4）航空运输

航空运输的独特优点是速度快、机动性好。第二次世界大战前后，飞机和民航事业得到重大发展。50 年代，出现了喷气式运输机；70 年代时出现了宽体机，飞机票价下降到 50 年代的 1/10。近 20 年来，国际航空客运量增加了 8 倍，货运量增加了 13 倍。

喷气式飞机最早是英国和德国在 40 年代发明的，50 年代它才开始用于航空运输。1950 年，英国研制成第一架涡轮螺旋桨喷气式运输机“子爵号”，以 57 分钟从伦敦飞到巴黎，开辟了喷气式客机的第一条航线。1952 年，英国设计制造的涡轮喷气式运输机“慧星号”投入定期航班，时速约为 800 公里。1956 年，原苏联将图—16 喷气式轰炸机改装成图—104 客机，投入使用。这些运输机的运行，揭开了世界喷气式运输机航运史上的第一页。1958 年，美国制成了由韦尔斯（CE.C.Weills）和马丁（G.Martin）领导设计的波音 707—120 涡轮喷气式客机。第二年波音 707—321 型喷气式飞机从纽约飞越大西洋直达伦敦，航程 5000 多公里。60 年代，美国制成 DC—9 涡轮喷气式客机，至 1975 年已生产 870 架，用于 57 个国家。这些客机都属于亚音速型，座位数在 56—200 之间。1969 年 2 月，第一架宽体民航机波音 747 首次试飞。它的机身很宽，可并排坐 10 人，有 500 多个座位，航程可达 1 万公里，于 1970 年投入航线使用。

1947 年，美国研制成 XS—1 型实验用喷气飞机，在 12800 米高空水平飞行时速为 1078 公里，首次超过音速。超音速喷气式客机的出现，使航空运输进入超音速阶段。超音速客机目前有两种。一种是原苏联 1968 年制造的图—

144 型,时速 2300—2500 公里。另一种是 1969 年英法联合研制的“协和号”,最高时速为 2180 公里。

50 年代前后,在一些空运繁忙的城市兴建起航空港,包括机场、候机楼、货运站等。70 年代以来,航空港发展成为拥有先进科技设施的综合体,许多设施都由电子计算机控制。

中国于 1982 年设计定型“运—7”机种,1988 年交付使用,1986 年转为客运,结束了外国飞机一统中国民航天下的历史。此外,中国已建设了 90 个大小不等的飞机场和航空港。

#### (5) 管道运输

管道运输具有运量大、运费低、安全可靠、占地面积小、无污染等优点,近年来很受重视。

1958 年,美国在加尔沃斯顿岛建成世界上第一条海底输油管道,用 1 万马力的燃气轮机驱动离心泵,年输油量达 1 亿吨。管道运输天然气更有优势。1947 年采用压缩机,促进了长距离的天然气管道运输。1959 年,建成长达 1360 公里的自控管道运输线。70 年代,出现了 3 万马力燃气轮机驱动离心式压缩机,每年可运输几百亿立方米天然气的管道。

60 年代以后,管道运输发展到可输送矿浆。1967 年,澳大利亚首次建成 85 公里长的精矿浆运输管道,年运输量为 250 万吨。1970 年,美国建成 440 公里的自控煤浆运输管道。1980 年,巴西建成世界最长的 404 公里铁矿浆管道运输线,设计年运输量为 1200 万吨。

70 年代以后,管道运输向长距离、大管径、高难度发展。美国在 1977 年建成横贯阿拉斯加的输油管线,全长 1287 公里。管径 1020 毫米,年输油量达 1.3 亿吨。管线位于冰冻带和地震活动区,穿越 300 多条河流和 3 座高山。1987 年,美国又建成纵贯阿拉斯加的输气管线。原苏联 1985 年和 1990 年先后建成了从西伯利亚到其欧洲部分的两条“管线走廊”,各有 6 条管线。上述工程都是浩大而艰巨的。近年来管道输送设备不断采用新材料、新技术,特别是使用了电子技术、遥控技术,大大提高了管道输送的自动化水平。

1958 年,中国在新疆建成第一条 147 公里的原油管道。1979 年,建成东北、华北、华东三个地区的主干线管道 4000 多公里,担负着大庆、辽河、胜利、华北和中原等主要油田的原油输送任务。为了减轻铁路运输压力,中国的管道运输还需大力发展。

## 十、空间科学技术的发展与海洋开发

上天入海是人类自古以来的梦想。嫦娥奔月、孙悟空龙宫借宝就是反映人类这一美好愿望的神话。进入 20 世纪特别是 50 年代以后，空间科学技术和海洋开发技术有了突破性的进展，人类的幻想终于变成了现实。

19 世纪末到本世纪 50 年代，是当代空间科学技术的前期。1957 年，原苏联发射了第一颗人造地球卫星，标志着空间时代的开始。从 50 年代到 60 年代初，空间科学技术主要是发展火箭及发射航天器。60 年代，开始在航天器上安装各种仪器设备，进行遥感、信息传输和收集探测数据的初步试验。70 年代以来，空间科学技术的重点转向实际应用。

当代海洋开发始于本世纪 60 年代。人口剧增、陆地资源的日益减少，使人们的目光转向了海洋这一巨大的资源宝地。一些发达国家制订海洋开发规划，并对海洋展开大规模的调查研究，掌握了海洋资源的丰富资料。在原来“兴渔虾之利，得舟楫之便”的传统海洋业基础上，海洋石油开采、海洋能源利用、海洋种养殖业、海洋化学工业及海洋空间利用等开发活动迅速兴起，取得令人瞩目的丰硕成果。

### 1. 火箭的发展和人造地球卫星

火箭是发射各种航天器的运载工具。在第二次世界大战中发展起来的当代火箭技术，为人类进入太空开辟了通途。从 50 年代后期开始，人类利用火箭发射了一颗颗人造地球卫星。卫星的种类不断增加，功能不断增强，出现了通信卫星、气象卫星、侦察卫星等。这形形色色的卫星为当代人类社会做出了巨大贡献。

#### (1) 火箭的发展

中国是火箭的发源地。公元 969 年，我国就发明了最初的火药火箭。南宋时，火箭作为武器用于战争。元代和明代，我国已使用了二级火箭和先后按两个不同方向飞行的火箭。1500 年前后，我国有个叫万户的人，用 47 枚火箭绑在椅后，自己坐在上面，点燃火箭，试图飞上天去。结果火箭升空后发生爆炸，万户不幸捐躯。为了纪念这位空间探索的先驱者，现在人们已将月球背面的一座环形山以万户的名字命名。13 世纪，我国的火箭技术传入印度、阿拉伯后又传至欧洲。

19 世纪末至 20 世纪初，现代火箭理论逐步建立起来。俄国的科学家齐奥尔科夫斯基(1857—1935)在 1903 年发表了《用喷气装置探索宇宙空间》，提出只有使用火箭才能进入太空，首次阐明了火箭飞行和火箭发动机的基本原理，提出了质量比概念，并推导出了著名的齐氏公式。1926 年，美国火箭发动机发明家戈达德(1882—1945)第一次成功地发射了液体火箭。它采用液氢和汽油作推进剂，在空中飞行了 2.5 秒。罗马尼亚出生的德国科学家奥伯特(1894—)于 1923 年发表了《飞向行星际空间的火箭》，提出了计算多级运载火箭推力的数学理论。受他的影响，德国航天协会于 1927 年成立，对德国的火箭事业起了推动作用。

本世纪 30 年代，德国致力于火箭研究。在火箭专家冯·布劳恩(1912—1977)的主持下，1933 年开始设计火箭。经过多年的研制和试验，终于在 1942 年 10 月成功地发射了第一枚军用火箭 V—2。第二次世界大战后期，德

国向英国和欧洲其他国家发射了 4000 多枚 V—2 火箭。第二次世界大战以后，美国接收了冯·布劳恩等 100 余名火箭专家和 V—2 火箭的资料、设备，原苏联也得到了一些技术人员和大量的 V—2 火箭。在 V—2 火箭的基础上，美苏两国竞相发展了各自的导弹系统。火箭射程从近程（1000 公里以内）、中程（1000—1500 公里）、远程（5000—8000 公里）发展到洲际（大于 8000 公里）。串联、并联、串并联等多级火箭也相继出现。除液体火箭外，还出现了使用固体推进剂的火箭。1957 年 8 月，原苏联首次成功发射了第一枚洲际导弹 SS—6。这种洲际导弹经过改进，作为运载火箭发射了第一颗人造地球卫星、东方号宇宙飞船等一系列航天器。美国在 60 年代发展了组合式运载火箭，用来发射不同的卫星和探测器。美国研制的巨型运载火箭“土星—5 号”是当代火箭技术的最重大成就之一。它的起飞推力达 3644 吨，可将 46 吨重的“阿波罗”飞船送入月球轨道。欧洲空间局研制的“阿里亚娜”火箭被誉为“欧洲之光”，汇集了欧洲当代的新技术、新材料、新工艺，于 1984 年 8 月成功地发射了两枚地球同步通信卫星。

中国从 50 年代中期开始研制火箭。1964 年 6 月 29 日，中国自行设计的火箭首次发射成功。1970 年，中国的“长征 1 号”将中国第一颗人造卫星送入地球轨道。此后又发展了“长征 2 号”、“长征 3 号”、“长征 2 号”捆绑式火箭等，其中长 2 捆火箭可与欧洲的“阿里亚娜”火箭相媲美。1981 年 9 月 20 日，中国研制的“风暴 1 号”火箭同时把 3 颗卫星送入地球轨道。一箭三星的发射成功，使中国成为世界上第四个掌握这种先进技术的国家。目前，中国的运载火箭已进入商业运行阶段，90 年代以来为澳大利亚、美国等发射了卫星。

## （2）人造地球卫星

本世纪 50 年代，随着火箭技术的突飞猛进，美国与原苏联在进入太空探索方面展开了激烈的竞争。原苏联的大型运载火箭当时处于优势，因此捷足先登，于 1957 年 10 月 4 日发射了世界上第一颗人造地球卫星“卫星 1 号”。它的发射成功，开创了航天时代。一个月后原苏联又发射了“卫星 2 号”。卫星的生物舱中装有一条小狗，用医学仪器测试它的脉搏、血压等数据，通过无线电送回地面。

美国的第一颗人造地球卫星于 1958 年 1 月 31 日发射成功。此后数年中，美苏及其他国家争先恐后把各种卫星送入太空。1965 年 11 月，法国用自己研制的“钻石 A”运载火箭成功地发射了“试验卫星 1 号”。1970 年 2 月，日本成功地发射了人造地球卫星“大隅号”。

1970 年 4 月 24 日，中国的第一颗人造地球卫星“东方红 1 号”发射成功，成为世界上第五个能独立发射人造地球卫星的国家。“东方红 1 号”卫星是直径约 1 米的多面体，重 173 公斤，超过了苏、美、法、日第一颗人造卫星重量的总和。

1964 年 8 月，世界上第一颗地球同步静止轨道卫星由美国发射成功。这标志着空间技术上升到一个新的水平。同步静止卫星运行周期为 24 小时，与地球自转严格同步。它是以每秒 3.075 公里的速度在离地面 3.58 万公里的高度飞行在赤道上空。同步静止卫星的发射成功，需要大推力火箭，高难度的轨道设计、多种高可靠性元件和极高的控制能力，是当代空间科学技术的一项重大成就。1974 年，原苏联的第一颗同步静止轨道卫星发射成功。1984 年 4 月 8 日，中国发射了自己的第一颗地球同步轨道卫星，并于 4 月 16 日定

点成功。

自 1957 年世界上第一颗人造地球卫星进入太空到 1992 年底，全世界共发射各类航天器 4396 个，其中人造地球卫星将近 4000 颗。中国研制发射的卫星已达 33 颗。人造卫星的种类繁多，主要有：军用卫星、通信卫星、地球资源卫星、导航卫星、气象卫星、科学实验卫星等。卫星技术与其他科学技术交叉融合，产生了一系列新技术，如卫星侦察、卫星导航、卫星通信、卫星气象遥感等新技术领域。

## 2. 载人宇宙航行和星际探测

载人宇宙航行的实现是人类历史上的伟大壮举。发射载人飞船比一般卫星难度大得多，它必须保障人身安全，提供人在飞船上的生活工作条件，而且能顺利安全返回地面。从 60 年代初开始，至今已有过多次环绕地球的载人飞船飞行，而最令世人瞩目的则是 60 年代末的“阿波罗”登月。星际探测则开始于 50 年代末，最先探测的是月球，逐步扩展到离地球较近的行星，70 年代后期又展开了对太阳系外的星际探测。80 年代后期，已有星际探测器飞出太阳系。

### (1) 人类进入太空和“阿波罗”登月

1961 年 4 月 12 日，原苏联发射了世界上第一艘载人飞船“东方 1 号”，把宇航员加加林（1934—1968）送入地球轨道，并运行 108 分钟，开创了人类进入太空的新纪元。此后几年中，原苏联在载人飞船方面遥遥领先于美国。1963 年，“东方 6 号”与“东方 5 号”实现太空编队飞行。1965 年，原苏联宇航员实现了人类第一次太空漫步。

面对原苏联的空间优势，美国不甘落后。1961 年 5 月，美国总统肯尼迪宣布了“阿波罗计划”，要在 10 年内把宇航员送上月球。“阿波罗计划”先后共动员了 120 所大学，2 万家企业，400 万人员，历时 10 年，耗资 240 亿美元，是人类历史上空前的浩大工程。1969 年 7 月 16 日，载有“阿波罗 11 号”飞船的“土星 5 号”火箭点火升空。19 日，飞船进入了月球轨道。7 月 21 日，宇航员阿姆斯特朗和奥尔德林登上了月球，首次在月球上留下了人类的足迹，实现了人们千百年来梦寐以求的登月愿望。“阿波罗计划”共有 6 只登月舱载 12 人登上月球。这是当代也是 20 世纪最辉煌的、具有划时代意义的伟大成就。

空间站被誉为载人航天器中的一代天骄，出现在 70 年代初，又叫航天站。它是在太空轨道上运行的空间基地，上面有研究室、试验站等，由其他飞船在空间站和地球之间运送宇航员和所需的各种物资。原苏联没有搞那种规模浩大的登月工程，而是选择发展空间站的道路。1971 年 4 月 19 日，世界上第一个空间站“礼炮 1 号”由原苏联发射升空，4 天后进入轨道。同年 6 月 6 日，“联盟 11 号”飞船载着 3 名宇航员，与“礼炮 1 号”空间站对接成功。3 名宇航员在空间站内工作 24 天。6 月 30 日，“联盟 11 号”飞船返回地球。但由于座舱内突然减压，3 名宇航员不幸殉难。原苏联并未因此中止其空间计划，继续发射空间站，到 1977 年 9 月，已发射了 6 个“礼炮号”空间站。前 5 个空间站是第一代。它们只有一个对接口，补给问题难以解决，所以宇航员在太空停留时间短。“礼炮 6 号”则有两个对接舱口，可同时与两艘飞船对接。它长 19 米，直径 4.5 米，重 19 吨，轨道高度 350 公里，上

面配备了各种科研仪器设备。宇航员在上面对地球进行了资源勘测，观察了动植物在空间的生长习性。“礼炮6号”和其后的“礼炮7号”是第二代空间站。它们除了接待宇航员外，还由“进步号”货运飞船定期运送宇航员所需的各种物品和实验设备，所以宇航员在空中停留时间大大延长了。1982年，原苏联2名宇航员在“礼炮7号”中度过了211天。

1986年2月，原苏联发射了第三代空间站“和平号”。它有6个对接口，可以同时与6艘飞船对接，组成了一个大型航天复合体。“和平号”空间站不仅扩大了空间研究范围，而且增强了科学实验的效果。1988年，原苏联宇航员曾在“和平号”创下了在空间飞行366个日夜的最新记录。“和平号”几年的飞行，为研制永久性载人航天器打下基础，促进了天体物理、生物医学、地球资源等方面的研究，开辟了在生产药品、高纯度合金等航天产业的途径，并为人类登上火星创造了条件。

美国60年代末的登月成功，虽轰动世界，却无甚实效，而且巨大耗资使登月活动难以为继。于是，美国将“土星5号”火箭的第三级改造成空间站，取名“天空实验室1号”，1973年5月发射成功。它长36米，最大直径6.5米，总重82吨，装配了58种科学仪器。它接待了3批宇航员，每批3人，在上面进行了天文、地理、遥感、宇宙生物学和航天医学等270多项试验研究，拍摄了太阳、地球的30多万张照片。宇航员还观察到了科霍切克慧星的情况。“天空实验室1号”原设计在太空运行10年以上，但后来由于种种原因提前坠落。1979年7月，它的残骸碎片散落在南印度洋和澳大利亚的西南部，个别碎块重达一二吨，幸好未造成损害和人员伤亡。“天空实验室1号”共运行2249天，航程达14亿公里，创造了又一重大宇航成就。

欧洲国家虽不具备载人宇宙航行的能力，但对空间站的实际效益和光辉前景洞若观火。欧洲空间局用10年时间，耗资10亿美元，研制成大型组合式空间站“空间实验室1号”，1983年11月由美国的“哥伦比亚号”航天飞机将它送入太空。这个空间站是按“模块式”的结构设计的，各部件可灵活地搭配组合，并可多次重复使用。在实验室中将进行由法国、原联邦德国、奥地利、比利时、丹麦、西班牙等14个欧洲国家提出的70多项科学探测和实验，包括天文学、太阳物理、等离子物理、大气物理、宇宙医学、宇宙生物学、地球观测和空间加工8个方面。

至1992年底，全世界一共发射了11个空间站，其中原苏联8个，美国3个，欧洲1个。经过20多年的空间站实践，人们对它的认识逐步明确，空间站的功能日臻完善。它既是多学科实验室，又是载人的人造卫星。空间站将是今后一段时间里航天器发展的重点。它将使人类活动领域由陆地、海洋和空中扩大到宇宙空间，并将引起人类社会各个方面的重大变化。

## （2）星际探测

星际探测器技术是另一项尖端技术。星际探测器既可以沿固定轨道围绕某星体运行，也可以用自身动力向其他星体前进，并能在星体上着陆。这要求有动力巨大的运载系统，极高水平的自动调节和控制系统。

星际探测的第一个目标是月球。1959年1月，原苏联发射的“月球1号”探测器飞越月球。同年2月，“月球2号”撞落在月球上。10月，“月球3号”绕过月球，拍摄下月球背面的第一张照片。60年代初，从“月球5号”至“月球8号”，试图在月球软着陆的飞行均未获成功。1966年1月3日，“月球9号”才实现在月球软着陆。1966年4月3日，“月球10号”第一

次成功地围绕月球运转。

美国在星际探测方面也比原苏联慢了半步。1959年3月，美国的第一颗探测器“先驱者4号”飞越月球。“测距者7号”到“测距者9号”于1964年3月至1965年7月绕月飞行，并拍摄了数千张月球表面的照片。1966年6月，美国实现了月球软着陆计划。1966年8月，美国的“月球轨道器1号”进入了环绕月球的轨道。

到1972年，原苏联发射了20个“月球”系列探测器。有的曾在月球降落，采集标本后返回地球。美国也发射了5个“月球轨道器”、7个“勘测者”，对月球进行了大量的科学研究，为“阿波罗登月计划”打下了基础。

对行星的探测从离地球较近的金星和火星开始。1961年2月，原苏联发射的“金星1号”首次在距金星10万公里处飞过。1962年8月，美国发射了“水手2号”，12月14日，首次在距金星3.4万公里处掠过，对金星做了42分钟的考察。1965年11月，原苏联又发射了“金星2号”和“金星3号”。“金星2号”于1966年2月从金星2.5万公里高空飞过。“金星3号”于3月1日进入了金星的大气层。1967年6月，原苏联的“金星4号”和美国的“水手5号”分别于12日和14日升空。“金星4号”分离为着陆器和轨道器两部分。着陆部分重380千克，于10月18日利用降落伞落在金星上，并向地球发回了1小时38分的数据。“水手5号”在距金星4000公里处飞越，对金星的大气成分和磁场进行了观测。到1975年，原苏联已发射了10个金星探测器。“金星7号”、“金星9号”和“金星10号”也曾在金星软着陆，着陆器和轨道器从不同地点、高度和方位发送回大量有关金星的资料。1989年5月5日，“麦哲仑号”金星探测器由美国的“阿特兰蒂斯号”航天飞机送上太空。它于1990年8月到达金星，用合成孔径雷达对金星表面进行了探测。从获得的图像中，可以清晰地辨认出断层、火山熔岩流、火山口、高山、峡谷和陨石坑。

对火星的探测与金星探测同时进行。原苏联于1962年1月发射“火星1号”，但未到达目的地。美国的“水手4号”于1964年11月发射，第二年7月从约1万公里处飞越火星，拍摄了20多张照片，成为第一个成功的火星探测器。1971年，美国发射了2个火星探测器“水手8号”和“水手9号”，原苏联发射了“火星2号”和“火星3号”。“火星3号”使其中的一组仪器软着陆。1975年，美国发射的“海盗1号”和“海盗2号”分别于1976年6月和8月飞达火星附近。各探测器分成着陆器和轨道器两部分，送回了关于火星的大量资料，为人类未来登上火星提供了基本依据。此外，在两处着陆点都没有发现生命存在。

1973年，美国发射了第一个水星探测器“水手10号”，发回了有关水星和金星的8000多张照片及其他资料。

科学家们认为，太阳系行星的卫星中，木卫3和土卫6可能正在形成生命。1972年和1973年，美国发射了“先驱者10号”和“先驱者11号”。其主要任务是探测木星，然后飞越土星和冥王星，飞出太阳系。两艘飞船上各有一只金属问候卡，上面刻有地球人、氢分子结构、14颗脉冲星及太阳系的位置等。1979年9月，“先驱者11号”探测器在与土卫6相距35.6万公里处拍摄了它们照片。由于“先驱者”对木星的探测距离较远，获得的资料较少，图像清晰度也较差。所以仍有许多奥秘不得而知。1989年10月，美国的“阿特兰蒂斯”航天飞机发射了“伽利略号”木星探测器，预计1995

年 12 月可达木星。它将围绕木星飞行 11 圈，进行 2 年的考察，并考察它的 4 个大卫星。“伽利略号”将会获得更多的有关木星的资料。

1977 年 8 月 20 日和 9 月 5 日，美国发射了“旅行者 2 号”和“旅行者 1 号”，对木星、土星、天王星和海王星进行联测，然后飞出太阳系。两个“旅行者”带有 11 种科学实验仪器，将探测研究宇宙射线、磁场、等离子体波等。它们各带有一套关于人类信息的记录唱片装置，即“地球之音”。唱片开头是用编码解释的 116 幅代表地球景色和事物的图画，包括地球在银河系中的位置、脱氧核糖核酸、染色体、人体、太阳、山河海洋、动物植物、万里长城等。唱片中还有 35 种自然界的音响、美国总统和联合国秘书长的问候信和 60 多种语言的问候词，以及 27 首世界名曲，其中有我国的古典乐曲《高山流水》。“旅行者”带着这“地球之音”，将到茫茫宇宙中寻觅知音。1979 年 3 月和 7 月，它们分别到达第一站木星，首先观测了木星光环，还发现了木星的 3 颗新卫星。1980 年 11 月和 1981 年 8 月，两个“旅行者”分别飞临土星，对土星光环和 9 颗卫星进行了观测。然后两个“旅行者”分道扬镳。“旅行者 1 号”径直飞向太阳系外。“旅行者 2 号”1986 年飞临天王星，发现它的另外 10 颗卫星，并发现它至少有 20 条环。1989 年“旅行者 2 号”飞到距海王星 4800 公里的最近点。8 月 25 日晚，美国转播了它从 72 亿公里之遙发回的一幅幅神奇的照片。亿万观众兴致勃勃地从电视中欣赏遥远太空的壮丽景观，看到了海王星及其 8 颗卫星和 5 条光环。整个实况转播长达 7 个小时。7 个国家的 130 位科学家也同时在宇航局的荧屏上观看了这一盛况。如今，“旅行者 2 号”已飞离太阳系。12 年来，两个“旅行者”共发回 10 万多张照片，获得的资料是无价的。

### 3. 航天飞机的发展

航天飞机是一种先进的宇航运载工具。它将火箭、宇宙飞船和飞机的技术有机结合在一起，能像火箭那样垂直发射，像飞船一样变轨，象飞机一样水平着陆。每架航天飞机至少可以重复使用 100 次。与一次性使用的运载火箭相比，航天飞机的经济性是极有吸引力的。

早在 20 世纪初，与火箭理论发展的同时，就有人设想制造可重复使用的运载工具。到 60、70 年代，人们才感到研制多次使用的廉价运载工具的迫切性。60 年代末，洲际导弹、载人登月和大型喷气客机等技术已经成熟，研制航天飞机已成为可能。

美国于 1968 年开始讨论航天飞机的方案。经过对多种方案的分析比较和选择，1970 年 7 月正式研制航天飞机。此后方案又多次修改，直到 1976 年 2 月才基本确定。1981 年 4 月 12 日，美国制造的世界第一架航天飞机“哥伦比亚号”首航成功。这标志着空间技术在 80 年代取得了重大突破，是继“阿波罗”飞船后空间飞行器发展的又一里程碑。

“哥伦比亚号”航天飞机包括 3 个主要部分：轨道器、助推火箭和推进剂外贮箱，总长度 56 米，起飞重量达 2000 吨。轨道器可以载人和有效载荷，后段有 3 台使用液体燃料的主发动机。经过 4 次试飞后，1982 年 11 月“哥伦比亚号”航天飞机载着宇航员在太空将两颗卫星发射到地球同步轨道上，从而开创了空间商业性运输的时代。

美国第一批航天飞机有 5 架。1981 年 4 月至 1986 年 1 月，航天飞机共

飞行 25 次，发射了 28 颗人造地球卫星和 2 个空间实验室，俘获了 3 颗运转不正常的卫星，进行了大量科学研究。

1986 年 1 月 28 日，“挑战者号”航天飞机在第 10 次起飞后 1 分多种发生爆炸，7 名宇航员（其中 2 名女宇航员）不幸罹难。这是宇航史上损失最为惨重的一场灾难。使美国的航天飞机计划遭受重大挫折。木星探测器“伽利略号”和“哈勃”太空望远镜都被迫推迟几年发射。

航天飞机采用火箭助推器动力升空。火箭燃料是易爆的。在对“挑战者号”进行事故调查分析后，美国对航天飞机结构作了重大改进。1988 年 9 月，美国的“发现号”航天飞机再返太空，机上载有 5 名宇航员，4 天后安全返回。但是美国只依靠航天飞机作为运载工具，在空间发射市场已经受到欧洲空间局、原苏联和中国的挑战。因此美国正在调整未来的空间技术计划，试图发展新型的运载工具。

原苏联经历 10 多年的研制，耗资 100 多亿美元，于 1988 年 11 月发射了自己的第一架航天飞机“暴风雪号”。在太空飞行 3 小时后，“暴风雪号”安全返航。它的首航成功，结束了原苏联没有航天飞机的时代。由于借鉴了美国航天飞机的设计并有所创新，“暴风雪号”在设计上某些方面优于美国的航天飞机，着陆的安全可靠性更强。

未来宇航运载工具的发展方向是空天飞机（航空航天飞机）。它利用航空发动机和火箭发动机作动力进入地球轨道，可以在普通机场跑道上起飞、着陆，实现单级入轨，可重复使用，发射费用低于航天飞机。正在研究中的空天飞机有英国的“霍托尔号”，计划 90 年代末试飞，2000 年以后实现载人飞行。德国研制的“桑格尔号”是两级空天飞机，有驮运机和轨道器两部分。装有喷气发动机的驮运机把轨道器送到 30 公里高、速度达 6 倍音速时，轨道器与驮运机分离，火箭发动机点燃，加速到 25 倍音速，把轨道器送入太空。美国、日本也在研制空天飞机，并设想未来用它作为民用运输机。空天飞机是一种先进的、理想的宇航运载工具。经过科学家和工程师们的不断努力，预计下一世纪，人们将会乘坐空天飞机在太空遨游。

#### 4. 海洋调查技术

在海洋工程中，最先发展起来的是海洋调查技术。自 19 世纪 70 年代英国的“挑战者号”调查船环球航行考察起，人们对海洋进行科学考察已有 100 余年历史。但大规模、系统地对全世界海洋进行调查始于本世纪 60 年代，只有 30 年左右。当代海洋调查着重于探测海洋资源的储量、分布和利用前景，监测海洋环境、变化过程及其规律。随着当代高科技成果的应用，海洋调查已形成海面、水下、空中的立体调查系统，使用的调查手段有科学考察船、自动浮标站、各种潜水器、飞机和卫星等。

##### （1）海洋调查船

继英国“挑战者号”1872—1876 年的海洋调查后，1888—1920 年间美国的“信天翁号”探测了东太平洋。1927 年，德国的“流星号”探测船对南大西洋全面调查，首次使用电子探测仪器测量了海洋深度。第二次世界大战期间，各国出于军事需要，对海洋的调查研究非常重视，海洋调查船数量迅速增加。

本世纪 60 年代以前的海洋调查船，设备简单，测量精度不高，难以满足

军事、海洋科学和海洋开发的需要。60年代以后，许多海洋国家都建造了专门的科学考察船。1973年，原联邦德国建造了“探险者号”海洋调查船。船长72.6米，船上设有实验室和多种专用设备，专门从事海洋地质和地球物理研究。美国将52000吨的“格格玛·勘探者号”打捞船改装成海洋采矿试验的调查船，从1968年到1983年实施了“深海钻探计划”。它在15年中完成96船次，累积航程达60万公里，在海洋上钻井1092口，取得岩心95000米，为高精度的古气候学和古海洋学研究提供了宝贵资料。70年代后，尽管飞机、卫星等先进手段用于海洋考察，但科学调查船数量仍迅速增长。70年代初有800多艘，到80年代初增至1600艘。60年代以来，科学调查船性能日臻完善。它能在风浪中进行定点、定线的调查观测和在水中、海底取样，具有良好的适航性和机动性。到80年代，调查船一般都能在7级甚至9级海浪条件下正常作业；停休时间大大缩短；还能靠近水下障碍物或在狭窄水域中航行。海洋调查船还采用了新的导航系统，可以进行全天候导航。

中国从70年代末大力发展海洋调查技术。到80年代末，中国拥有各种调查船165艘，总吨位约15万吨，居世界第4位。“向阳红10号”、“实验3号”、“海洋3号”、“奋斗7号”等都是比较先进的调查船。大型综合远洋调查船“向阳红10号”总长156.2米，宽20.6米，排水量为13000吨。船上设有远距离通信系统和卫星导航定位系统，有气象火箭发射系统，还有载直升飞机的甲板。船上有各种实验室和计算机室80余间，有测风，测雨雷达，卫星云图接收、气象传真等设备。1985年，“向阳红10号”与其他舰船配合进行了南极考察，并建成了中国南极长城站。中国海洋调查船虽然发展迅速，但大型现代化的船数量少，性能还需进一步提高。

从50年代末开始，海洋调查方式由各国的单船调查发展到多国的联合调查。1957—1962年的联合海洋考察，调查范围遍及各大洋，调查船达70艘，有17个国家参加。1960—1964年的国际印度洋调查，有13国36艘调查船参加，是对印度洋规模最大的一次考察。

## （2）海洋自动遥测浮标

海洋自动遥测浮标实际上是一个海上水文气象站。它可以在海洋上定点或漂流，进行连续观测，将所测数据用无线电传到海岸接收站。它不受天气影响，费用比调查船低。50年代中期，海洋自动浮标开始受到重视。70年代初，自动遥测浮标技术进入实用阶段。自动浮标有水面系留浮标、水下系留浮标、水面上下综合用浮标和漂流浮标以及住人浮标实验室等几种。

水面系留式自动浮标是美国海军60年代初研制的。这种装置30年来已遍布世界大洋。浮标上装有测量装置、无线电台和电源，以后又作了不少改进，增加了测量表层水温垂直分布的热传感器，并装上了用人造卫星传递资料的系统和用火箭探测7000米以下的对流层的系统。后来又产生了水下系留浮标。70年代以后，将以上两种浮标结合起来的综合用自动浮标发展起来。法国制造的L—55型就属于这种浮标。它的水面浮标呈圆柱状，体积大大减小，因此减少了风浪施加的负荷。法国布置此系统后，收到很好效果。第五届各国政府间海洋学委员会决定在全球海洋推广使用。在无法布设自留式自动浮标的海域，漂流式自动浮标被广泛应用。美国研制的“海鸥号”漂流浮标，是水下部分直径0.6米，上部直径1.2米的锥体。浮标上装有各种海洋、气象和监测传感器19个。漂流式浮标随海流漂移，位置不断变化，因此要用卫星或其他导航系统确定浮标的位置。这种卫星定位的导航系统体积小，很

有发展前途。

海洋浮标是当代海洋工程的重要技术之一，现已取得很大进展。但它的造价仍然较高，可行性还较差，使用受到一定限制。

### （3）潜水器

潜水器分为载人潜水器和无人潜水器，既可作为深潜调查的工具，又可用它进行水下工程。第一个潜水器是美国 1934 年制造的，可载人潜入到 906 米深处。1953 年，法国建成自航式潜水器“底里雅斯特号”；1960 年下潜到世界上最深的马里亚纳海沟，首创深潜 10916 米的世界纪录。60 年代中期以后，潜水器已发展到海洋研究和海洋作业方面。

在能够深潜到 2000 米以下的载人潜水器中，美国 1964 年建造的“阿尔文号”具有一定代表性。它工作水深 1830 米，可载 2 人。1966 年，美国军队用它在西班牙找到了美国飞机丢失在海里的一颗氢弹。在 1974—1976 年，改装后的“阿尔文号”在 3650 米的深度考察了大西洋中脊裂谷。“阿尔文号”使用率很高。70 年代末以来，它年航日高达 197—220 天，年下潜次数达 81—117 次。加拿大于 70 年代将“南鱼座”系列载人潜水器投放世界市场。英国开发北海油田时使用了这种潜水器进行海底作业。法国的“陆架潜水员号”、“莫安娜号”和原联邦德国的“美人鱼 3 号”也都是先进的载人潜水器。

1962 年，法国开始进行海底居住实验。1964 年，美国进行了“海底实验室 1 号”实验。此后，美国又进行了“海底实验室 2 号”实验，潜水 67 米，历时 45 天。30 名研究人员分 3 组轮流在水下住 15 天。这些潜水器为人类提供了海洋考察的基础。

载人潜水器要考虑乘员的人身安全，深海作业更是危险。因此无人潜水器逐步发展起来。美国于 1958 年首先研制出缆控可回收的遥控潜水器。60 年代至 70 年代初，由于军事和海底石油开采的需要，美国、英国、法国等国都建造了无人潜水器。遥控潜水器比载人潜水器动力强大，造价低廉，没有人身安全问题，在军用和民用方面都有广泛的应用。

美国 60 年代研制的都是系缆式自由航行无人潜水器。其中“CURV”型潜水深度达 3050 米，“深拖号”潜水深度达 6100 米。西欧国家中法国生产的潜水器最多，80 年代初已生产了 160 艘遥控潜水器。中国在 1980 年已研制出可在近海水域、深 200 米作业的无人潜水器样机。随着无人潜水器的性能不断改善，这将会获得更大发展的广泛应用。

潜水器对材料的要求很高，不仅要具有高强度，而且要轻，耐腐蚀。无人潜水器要求有很高的机动性与稳定性以及灵敏完善的操作系统。这些问题有待于进一步解决。

## 5. 海洋矿产资源开发

海洋开发有海洋矿产资源开发（包括石油、天然气）、海洋能源开发、海洋生物资源开发等几个方面。海洋石油、天然气等海洋能源开发已在有关章节叙述，本节只介绍重要矿产资源开发情况。

### （1）海水中提取镁和铀

海水中含有近 80 种元素。其中含量最多的有氯、钠、钙、钾、镁、碳、溴等 10 种。除了提取食盐外，一些国家在 19 世纪就探索从海水中提取其他

元素。1926年，美国第一次从海中提取了溴。1933年，美国道化公司研制出一套年产3000吨的提溴设备并投入生产。当前世界70%的溴是从海洋中提取的，年产量约100多万吨。

海水中含镁量仅次于氯和钠。第二次世界大战期间，为了获得更多的镁以满足军事需要，美国于1941年建成并投产了第一座从海水中大规模直接提取镁的工厂。从海水中提取镁的过程，是将海水与石灰乳混合，反应生成不溶性的呈淤浆状的氢氧化镁，过滤后用盐酸溶解生成氯化镁，经过蒸发、电解生成金属镁和氯气。这样得到的镁纯度达99.8%。从此，美国大力发展海水提镁工业。战后耗用的镁，几乎都来自海水。其生产技术不断成熟，成本不断下降。40年代以后，美国从海水中提镁的经济性已高于从矿石中提镁。60年代初，全世界每年从海水中生产的镁约15万吨。80年代初，其年产量已达150万吨，占全世界镁的总产量的60%。

海水中铀的浓度仅为0.00334毫克/立升，但由于军事和能源工业的需要，从40年代就开始了海水提取铀的研究。第二次世界大战后不久，英国倍斯特尔领导的小组就试验用离子交换树脂从海水中提取铀。英国的哈威尔原子能研究所采用连续逆流萃取技术，从20升海水中得到了60微克的铀。但这种技术经济效益低，没有推广价值。50年代，英国学者用氢氧化钛作吸附剂，以细棉布或玻璃棉作载体，从海水中吸附铀。这种方法也存在许多问题，1964年已经停止采用。

日本学者尾方昇和垣花从1966年起选定钛酸、硫化铅、磷酸酯等作吸附剂进行海水提铀的探索。1981年，日本在香川县兴建了一座年产10千克铀的海水提铀试验厂。

中国海水提铀研究已有20多年历史。1970年，中国从海水中提取了30克铀化合物，走在日本前面。现在已从海水中提取了数千克铀，是当今世界上海水提铀较多的国家之一，同国外相比，技术上各有特色。中国在海水中提取镁、溴、碘、钾等方面的研究，也已取得许多进展。目前中国海水提铀的技术水平居世界前列，但实现大规模工业化生产尚需一段时间。

## (2) 海底锰结核的开采

1873年，英国“挑战者号”调查船在大西洋底部发现了大量锰结核。它含锰25%，铁14%，还含有铜、钴、镍等20多种元素。据科学家计算，世界大洋锰结核总储量可达3万亿吨，而且它还以每年几千万吨的速度在增加。本世纪50—60年代，美国、西欧、原苏联等国都对锰结核作了重点调查。日本70年代建造了专用调查船勘查锰结核。1984年以后，中国在北太平洋区域、南海海域都采到了锰结核。

50年代，美国开始探索锰结核的开采。1970年后，各国都争先恐后进行锰结核的开发。近10年来，各国大洋采矿投资约2亿美元，比10年前提高了近2倍。目前比较可行的开采技术有两种。一种是连续索斗式。它是用一根10000米长的环形尼龙缆绳，等距离系挂一个个采矿挖斗，通过绞盘使沉到海底的缆绳不断循环运动，带动挖斗把洋底表面的锰结核挖出来送到采矿船上。1972年，日本、美国、法国等6国20多个公司在夏威夷海域4900米深处，以这种横曳式采锰结核取得成功。另一种开采技术是泵式。将泵室置于采矿船与海中输送管道中间的浮筒内，浮筒中充以高压空气，用真空吸气机吸取海底锰结核，再由管道送到船上。1978年，美国在夏威夷海域5200米深处先后用液压泵法和空压泵法连续采锰结核，日开采量为300吨。

1980年,美国专门制订了“锰结核开采法”,并已生产出日采锰结核5000吨的先进设备。日本于1982年制订了“深海海底矿业临时措施法”,成立了深海资源开发公司,已能用泵式方法将锰结核吸上海面,最快时每小时可吸40吨。英国、法国、原苏联也在进行试验性开采。第三世界国家为维护本国的海洋权益,近年来也积极投入大洋锰结核勘探开采活动。预计到本世纪末,锰结核的开发将实现商业化生产。

1974年,科学家发现了海底热液矿床。它含有铜、金、银、铂、钴等多种重要元素,而且比锰结核相对容易开采。美国、日本、法国、加拿大等国从80年代初开始对海底热液矿床进行大规模调查研究,积极准备开采。有人认为,海底热液矿的商业性开采,有可能在锰结核商业性开采之前实现。

## 6. 海洋生物资源开发

海洋生物资源极其丰富,已知有海洋生物20多万种,其中约有18万种动物。科学家估计,世界海洋可提供的食物要比全部耕地提供的食物多1000倍。

第二次世界大战以来,出现了合成纤维织成的防腐渔网、液压传动的动滑车、绞网机等先进技术,海洋渔业的机械化、科学化程度不断提高。1950年,世界捕鱼量为2110万吨,到1989年已增至近1亿吨。60—70年代,一些国家又提出了“海洋牧业”的设想。海洋生物资源的开发出现了捕捞业与增养殖业并举的局面。

### (1) 海洋捕捞船

本世纪50年代,渔业机械化迅速普及到各国。到70年代中期,主要渔业国渔船吨位增大,数量增多。1959年,全世界大于100总吨的渔船为4100艘,到1978年已增至2万余艘。1974年,确认200海里领海后,由于不能去别国领海捕捞,各国开始转向发展较经济的、远近皆宜的中、小型渔船,并从单一作业船向拖、围为主的兼作船及多种作业船发展。公海渔船也大批建造出来。40年代出现的综合船队,到60年代已颇具规模。综合船队由捕捞船、运输船、基地船组成。基地船除加工外,还能为捕捞船补给所需物品,提供医疗、文娱、小修等服务。70年代初,世界上已出现万吨级以上的基地加工船和渔业运输服务船。

### (2) 鱼群探测技术

50年代以来,鱼群探测技术迅速提高。探鱼仪的性能逐步改善,除了垂直探鱼仪外,60—70年代还出现了水平探鱼仪。70年代后期,挪威生产出CD环视声纳系统,使用计算机收集和综合处理船上各种仪器的数据。在荧光屏上显示出渔船、渔具和鱼群的状况及整个捕捞过程。现在,红外探鱼仪、激光探鱼仪也已投入应用。50年代后,一些国家利用飞机探察鱼群。1978年,美国发射了专业卫星,使用多光谱扫描仪和高分辨辐射仪,获得渔业情报图,通过传真系统,提供给渔业公司和渔民。1979年7月,原苏联的宇宙飞船利用遥感测到非洲以东250—300公里的海面上有100公里长、2公里宽的大面积鱼群,立即指挥渔船赶去捕捞,获得了日捕鱼量45吨的特大丰收。

近些年来,一些国家发展了诱鱼技术。它是利用某些鱼类的生活习性,创造某种条件把鱼吸引到一起,进行捕捞。现在采用较多的是光诱捕鱼和声诱捕鱼技术。

### (3) 海洋种植、养殖业

海水种植就是人工培育海生植物。海洋养殖是人工生产苗种、养育海生动物。由于仅靠捕捞已不能满足人们日益增长的需要，而且捕捞过度会造成海洋生物资源枯竭，所以本世纪中期以来海洋种植、养殖业发展很快。在这方面，中国、日本、印度、南朝鲜和原苏联位居世界前列。50年代初，中国在北方海域种植海带技术已经成熟，并通过科学研究把属于寒流海域的海带逐渐南移，50年代末已在东海的浙江、福建大量繁殖。70年代，中国选育出两个高碘、高产新品种。目前中国已形成黄海和东海两个养殖区，在海带、紫菜等种植方面，产量居世界第一，对虾养殖也处于世界先进水平。

日本现已发展了海底农场，从事人工养殖的企业1.8万多个，海水养殖的产值已占沿海水产业总产值的39.6%。日本在海湾、河口等地建立了计算机控制的孵化场、海藻场和牡蛎养殖场等自动化综合牧场，养殖的名贵鳟鱼近10年产量增加了10倍。原苏联海水养鱼的年产量已超过8万吨。到1990年，美国建立了4万公顷的“海洋农场”，大面积养殖巨藻，并开展珊瑚岛资源的人工养殖和开发，年产值达1000万美元以上。目前，海水养殖的鱼种已近百种，此外还有虾类、贝类、藻类等。1989年，世界养殖总产量增至1320万吨，占世界水产总量的14%。

海洋养殖业的发展，开辟了海洋生物资源开发的广阔前景“耕海”、“牧鱼”时代即将到来。

## 十一、几个重要领域的科学技术进展

当代基础科学和应用技术的不断进步，推动了社会各个领域科学技术的蓬勃发展，其中农业科学技术、医药科学技术、军事科学技术的发展尤为令人注目，影响也较大。60年代以来，全球环境问题日益引起人们关注，各国纷纷投入力量进行研究。一门新兴的综合性学科——环境科学应运而生。

### 1. 农业科学技术的发展

本世纪50年代以来，农业生产技术迅速进入到了高度机械化、电气化、自动化和化学化为特征的先进技术行列。在新技术革命中产生的高新技术特别是生物技术不断向农业渗透、扩散，极大地推动了农业科学技术的变革。

在农业机械方面，从50年代起拖拉机逐步向大型化发展，到70年代，美国的拖拉机已达450马力。同时，拖拉机上安装了液压操纵、电子自动控制、激光定位等技术装置，使其功能大大提高。日本在第二次世界大战后大量生产小型手扶拖拉机。与拖拉机配套的农业机具也逐步在许多国家发展起来。70年代，出现了整地、播种、施肥、镇压等工序一次完成的联合作业机具。现在，从耕种、施肥、喷药、排灌到收割、运输、贮存和加工已全部实现了机械化。美国在40年代就实现农业机械化，加拿大、英国、法国、德国、丹麦、日本及原苏联在50—60年代也完成了农业机械化。畜牧业也普遍使用了机器。在一些自动化封闭式的养鸡场、养猪场和工业化的养牛场中，各个生产环节都实现了机械化和自动化控制。目前许多发达国家正在发展“万能”通用拖拉机。此外，农用飞机、气象卫星等也在农业生产中大显身手；电子计算机的广泛采用进一步提高了机械化和自动化的程度。

农作物优良品种的推陈出新，使农业生产不断出现飞跃。1956年，美国培育的杂交高粱开始大面积种植，使其产量迅速增长。由美国农学家布劳格等人于60年代初育成的“墨西哥小麦”，使小麦亩产量由50公斤提高到178.65公斤。于60年代中期育出的“菲律宾水稻”，在亚洲、拉美一些热带国家推广后，使水稻产量猛增。小麦和水稻的这两个优良品种的育成，在60年代掀起一场“绿色革命”。现在，激光育种、单倍体育种、细胞融合、基因工程育种等新技术已不同程度地用于优良品种的培育中。在90年代初兴起的新的绿色革命（第二次绿色革命）中，“基因革命”正成为最有前途的一个竞争目标。中国在杂交水稻及玉米、大豆、棉花等优良品种的培育技术方面处于世界领先行列，实际上已进入第二次绿色革命阶段，并且形成了自己的特点。

### 2. 医药科学技术的发展

第二次世界大战以后，化学药物的研究开发达到一个高潮，60年代后期进入稳步发展时期。人们合成了一系列抗结核药、心血管病药、抗病毒药、抗肿瘤药等药物，为人类健康和医疗做出了贡献。60年代以来，人们在胸腺素、干扰素、前列腺素的研究方面取得重要进展。1961年，澳大利亚科学家发现了胸腺的“中枢作用”，此后，人们从牛胸腺、猪胸腺中成功提取了胸腺素，但对它的治病机理仍知之甚少。1957年，英国科学家发现了干扰素。

80年代，美国、中国等国家成功地生产出干扰素，并应用于某些病毒性疾病及恶性肿瘤的治疗中。1964年，人们成功地合成了前列腺素，并弄清了一些功能。此外，人胰岛素、人生长激素、人促红细胞生成素等也于80年代投放市场。1974年，英国科学家科勒等用细胞融合技术研制成了单克隆抗体。人们利用单抗与抗癌药物结合，制成了专攻癌细胞的“生物导弹”，在治疗癌症方面取得良好效果。

当代医学诊疗技术也出现重大突破。1972年，英国的柯马克（1934—）与豪斯费尔德（1919—）研制出计算机头部体层摄影扫描仪，即第一台CT机。二人因此而获得1979年诺贝尔生物学与医学奖。1977年，科学家们研制成功第一代能对病人全身扫描的核磁共振机。80年代初，核磁共振计算机断层摄影仪（NMR—CT）问世。此外，超声波诊断装置在70年代发展起来，

照像检查仪器在80年代诞生。这些诊断仪器的应用使疾病诊断准确性大大提高。从1961年激光被用于眼科手术起，它已发展到能治疗多科几百种疾病。体外冲击波碎石技术在1980年被用于治疗肾结石。在断肢再植、器官移植、人造器官等方面，目前已取得了前人无法想象的巨大成就。对癌症、白血病以及艾滋病等顽症的研究也不断取得新的进展。

### 3. 军事科学技术的发展

军事科学技术是各国科技发展中的重点。它集中了各领域最先进的尖端科学技术，是投入最大、发展最快的一门综合性科学技术。

继40年代原子弹和50年代氢弹爆炸成功之后，美国又于1977年研制成功了中子弹。它是一种具有特殊威力的战术核武器。它产生的大量高能中子能穿透处于900米范围内的坦克、碉堡和工事、杀伤其中的人员。从70年代后期开始，美国加紧了第三代核武器的研制。中子弹研制成功后，美国立即转入对射线弹的研究。它的杀伤威力比中子弹大得多。电磁脉冲弹、核爆炸微波武器、核爆炸射线激光武器等核武器都在研制中。1987年2月，美国试爆了一枚带金属小弹丸的小型核弹。

导弹是德国在第二次世界大战中首先研制成功的。原苏联于1956年开始装备中程导弹；1957年，又首次发射成功了第一枚洲际导弹；1983年，已研制成第五代洲际导弹PL—5导弹。美国于1959年开始装备中程导弹；60年代，制造了出了分导式多弹头“民兵—型”洲际导弹；1984年，又生产出射程11500公里以上、能将10枚分导核弹头准确射向各自目标的MX导弹。带有核战斗部（核弹头）的远程导弹和洲际导弹成为重要的战略核武器。1983年，美国还研制成功了第三代非核巡航导弹。它击中目标的误差仅为几英尺。导弹在当代战争中已成为威力巨大的攻击力量，是飞机、坦克及军舰的“克星”。在1982年，英国与阿根廷的马岛之战中，一枚价值20万美元、长4.69米的“飞鱼”导弹，竟然击沉了价值2亿美元的“谢菲尔德”驱逐舰。为了拦截敌方发射来的导弹，从50年代起美国和原苏联都积极研制反导弹系统。1962年，美国成功地拦截了“大力神”洲际导弹；1971—1972年又建立了“民兵”导弹防御系统。1984年，美国用一枚“民兵”非核导弹成功地拦截了另一枚飞行中的“民兵”洲际导弹，这是历史上第一次用非核导弹成功拦截洲际导弹。在1991年初的海湾战争中，美国的“爱国者”导弹神话般地拦截了伊拉克的“飞毛腿”导弹，创造了战争史上的奇迹。利用军用卫星、电子计

算机、导弹和相控阵雷达等组成严密的反导弹系统是美国和原苏联极力追求的一个目标。为此,在 60—70 年代原苏联研究出“莫斯科反导弹系统”,1983 年,美国提出了“星球大战计划”。为了提高反导弹系统的防御能力,近年来美国和原苏联都在研制粒子束武器和高能激光武器等定向能束武器。1978 年,美国用激光武器摧毁了一枚高速飞行的导弹。

电子战装备是当代军事科学技术的重要组成部分。1987 年,北约各国共有电子战装备型号 500 多种。这些电子战装备安装在卫星、飞机及舰艇上,用于电子侦察、电波干扰、预警等方面。在海湾战争中,美国用电子战网全面压制了伊拉克的指挥、通信系统,使其通信中断、雷达迷盲、指挥瘫痪,各种武器无法发挥作用。

当代战争的特点是海陆空立体战,空中力量的打击作用极其重要。70 年代,美苏都研制出超过音速 3 倍多的军用飞机。米格—25 在 1977 年创造了 37650 米的飞机升限世界纪录。英国 1969 年装备的“鹞式”垂直短距起落的亚音速飞机,可在舰上起落,适应性好。美国的“F—16”、原苏联的“米格—29”、英国的“狂风 F.3”、法国的“幻影 2000”都是性能优良的战斗机。在海湾战争中,美国的 F—117 隐形轰炸机首立奇功,炸毁了巴格达市的电话电报大楼和总统府。

#### 4. 环境科学技术的发展

从本世纪 60 年代起,世界环境问题日益受到人们的重视。1972 年,在斯德哥尔摩召开的人类环境会议上,通过了《人类环境宣言》。美国、日本、英国、法国、原西德、中国纷纷制订环境管理法律,设立环境管理机构,投资解决环境污染问题。

环境科学的兴起只有二三十年的时间。最早提出环境科学这一名称的是美国学者,当时是针对研究宇宙飞船中人工环境问题提出的。目前,环境科学已形成了众多分支学科的综合学科。它的发展经历了分化发展和整体化发展两个阶段。60 年代后,环境生物学、环境物理、环境化学、环境工程学等分支学科纷纷建立,从不同侧面研究环境问题。当前环境科学已开始进入整体化阶段,从“人类——环境”系统进行研究。在环境工程方面,水污染防治技术、大气污染防治技术、固体废物的处理和利用都已取得明显的成绩。在保护地球资源、维护生态平衡方面,人们通过合理开发、植树造林、建立自然保护区等方式进行全面整治。随着环境科学技术的不断进步,在世界各国人民的共同努力下,我们赖以生存的地球将会变得更美好,人类的生活也会变得更幸福。

