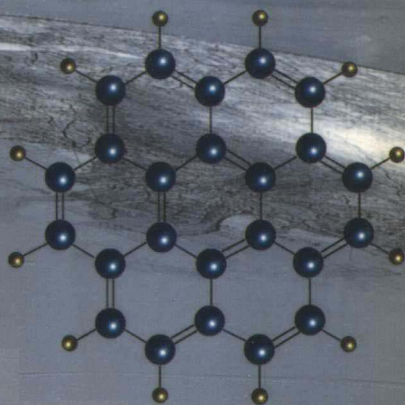


XIANDAIKEXUE JISHU JICHU



周光召 主编

现代科学技术 基础

上

群众出版社

现代科学技术基础

(上)

主 编 周光召
执行主编 李喜先

群 众 出 版 社

2001 年·北京

前 言

周 光 召

现代科学与技术主要在 20 世纪获得了全面的、迅速的发展，从浩瀚的宇宙到物质结构的基本场和相互作用，从生命的起源到思维的规律无一不是科学探索的对象。科学指导技术，实现了从常规技术向“高技术”的发展。正是现代科学与技术的巨大能力，才空前地改变了人类社会的物质生活和精神生活，建立起现代文明。

在现代科学时期，科学发展呈现出了一些新的特征：一直作为精密科学典范的物理科学是最基本的科学，因而起着基础的作用，对整个科学系统产生了深刻的影响；在 20 世纪中叶，现代科学的学科结构重心开始转向生命科学，正在导致新的科学革命；数学科学作为典型的横断科学广泛地向整个科学与技术领域渗透，从横断面上把条分缕析的众多分支学科联结起来，导致科学数学化的趋势；一批综合科学、交叉科学、横断科学如信息科学、材料科学、能源科学、环境科学、空间科学、系统科学、认知科学等迅速地形成；各门学科间增强了相互交叉、融合，使得科学系统主要朝着综合化、整体化方向发展。

现代技术已发展成为一个庞大的复杂系统，主要由三大基本技术即物质组合技术、能量转换技术和信息控制技术组成。按不

同标准分类，有不同的技术称谓，而对社会发展、经济发展等起着重大作用的技术大体上有信息技术（包括电子技术、光电子技术、自动化技术、计算机技术和通讯技术等）、空间技术、航空技术、海洋技术、能源技术、材料技术、交通运输技术、先进制造技术、生物技术、农林技术和环保技术等。现代技术是科学化的技术，现代科学对现代技术的发展起着越来越重大的指导作用，成为高新技术发展的源泉。高技术的形成集中地表现出科学含量不断地增多，以至在高技术的特征如知识密集、创新性、战略性、风险性和时效性中，知识密集成为最主要的特征。在现代技术中，信息技术起着核心的作用，引起信息革命，使人类社会进入信息社会。接着，生物技术、智能技术将会兴起，以致引起智能革命或知识革命。

在现代科学发展中，最突出的对人类思维方式、认识方法产生深远影响的理论是四大基础理论，即量子力学、相对论、基因理论和系统理论。这四大基础理论粗略地描绘了迄今人类所认识到的自然界的图像。同时，还建立了五大模型，即宇宙演化的热大爆炸模型、粒子物理的标准模型、遗传物质 DNA 双螺旋结构模型、智力活动的图灵计算模型和地质结构的板块模型。这五大模型更详细地描述了几类自然图景。

现代技术对于人类社会的发展起着巨大的推动作用，其中各类技术在不同时期，起着关键的作用。在 20 世纪上半叶，核能技术起着重要的作用；在中叶，空间技术起着重要的作用，充分地显示了人类飞向空间、探测太阳系行星的能力；在下半叶，信息技术占有中心的地位，以致迅速地改变了人类的生产、工作和生活方式，尤其是电脑网络技术、通信技术等，使全球每个角落都能通过分布式的智慧网络，分享信息，实现相互瞬息交流和沟通。这样，开阔了无限的网上虚拟空间，为知识的创新和传播提供了强大的推动力，使经济和文化能持续繁荣，世界的可持续发

展有可能实现。

现代科学与现代技术越来越发生着更强的相互作用、相互渗透，以致共生一体，形成一个有机的科学技术系统。科学技术化与技术科学化成为新的特征，科学是高度技术化了的科学，技术是高度科学化了的技术。

现代科学技术系统与社会系统发生着强相互作用，科学技术日益社会化，社会日益科学化与技术化。创造性的科学技术活动遍及社会各个领域，其规模已由一个国家向国际化方向发展，国际合作与交流与日俱增，科学共同体超越国界形成新的形式。科学与技术以多种形式广泛地向社会的经济、政治、军事、教育、法律等许多领域渗透，以至国际社会也在其作用下发生巨大的变化。

现代科学技术不断地普及到大众，这对提高民众的科学文化素质、增强科学观念、掌握科学方法、弘扬科学精神具有重大的意义。

导 论

李 喜 先

现代科学与技术主要在 20 世纪产生和发展。在这约 100 年的时期内，科学与技术都发生了革命性的变化。在科学上形成了四大基础理论，即相对论、量子力学、基因理论和系统理论；对自然系统的描述，建立了五类基本模型，即宇宙演化的大爆炸模型、深层物质结构的标准模型、遗传物质 DNA 双螺旋结构模型、智力活动的图灵计算模型和地壳构造的板块模型。在技术上形成了三大基本技术，即物质变化技术、能量转换技术和信息控制技术，以及按不同标准分类的多种技术。在科学、技术与社会之间，形成了相互越来越密切的关系，即科学技术化和技术科学化，科学社会化和社会科学化，技术社会化和社技术化。

在 21 世纪里，创造性的科学与技术活动将普遍地成为人类社会的主要活动，并向社会的许多领域渗透，以至引起国际社会的巨大变化。

一、现代科学四大基础理论的确立

现代科学始于 19 世纪末、20 世纪初，其中以物理学革命为代表的第三次科学革命正在这时发生。物理学革命的发端起始于 X 射线、元素放射性和电子的三项重大发现。当时，这三大发现震动了世界。接着，以量子力学和相对论为代表的物理学革命对

20 世纪科学与技术产生了全面的、深刻的影响，并推动了一系列新学科与新技术的诞生。

1. 量子力学的创立

量子力学的创立从普朗克开始，又经过爱因斯坦、玻尔、德布罗意、海森堡、薛定鄂和狄拉克等众多科学家的共同努力，于 20 世纪 30 年代形成了一种完整的理论体系，成为对于自然界一切微观领域的普遍适用的理论，从而从根本上改变了经典物理观念，为自然科学的发展开辟了广阔的前景。

2. 相对论的创立

相对论（狭义相对论和广义相对论）的创立具有重大的意义。狭义相对论建立在两个基本原理上：一为相对性原理，即在任何惯性系中，物理规律的表现形式都相同；二为光速恒定原理，即在任何惯性系中，光速都相同。以这两条原理为前提，可以导出洛伦兹变换，从而导出同时的相对性、运动尺子缩短、运动时钟变慢的结论。相对论原理揭示了时空和运动物质不可分割的联系，而且随物质运动状态而改变，证明了时空存在着内在的、本质的联系。广义相对论实质上是在考虑到非惯性系的情况下而建立的一种引力理论。

3. 横断科学的形成

20 世纪以来，在科学系统中产生深远影响的横断科学如信息论（学）、控制论（学）和系统论等得到了迅速的发展。这与另一门典型的横断科学数学科学一起广泛地向其他学科渗透，从横断面上把众多分支学科联结为一体。人类对信息的利用几乎伴随人类的出现就开始了。物质、能量和信息是构成世界的三大要素，因而这大千世界的一切不外是物质变化、能量转换和信息控制三种基本客观过程及其相互关系。事物运动的形式、结构、关系等都可以用信息来表征，因而信息比物质和能量显得更为基本。狭义信息论是研究信息的基本性质、度量方法以及信息的获

取、传输、存贮、处理和交换的一般规律的学科；而广义信息论被称为信息科学，它不仅包括了狭义信息论和一般信息论的主要内容，而且还研究有关信息的广阔领域，如语义信息、有效信息和模糊信息等。与信息论紧密相关的控制论是关于动物、机器和社会的控制与通信的学科，即在一定条件下发挥能动性以实现对系统的控制的一门学科。控制概念很普遍，控制是一种有目的的活动，其目的体现于受控对象的行为中。控制与信息不可分，控制过程是一种不断地获取、处理、选择、传送和利用信息的过程。自然系统、人工系统的控制趋于复杂化，现代社会系统日益信息化，因而大系统控制理论得到了新的发展。与信息论、控制论紧密相关的系统论来源于生物学中机体论的思想，现在已发展成为系统科学中的基本理论部分。它是关于一般系统的本质、特点、运动规律的理论，还包括基于不同学科背景而形成的系统理论，如耗散结构理论、协同论等，都是基于实验和数学方法而建立起来的自组织理论。

4. 基因理论的形成

在 20 世纪中，由于化学、物理学的新成就渗透到生命科学之后，对生命现象的研究从整体深入到细胞、亚细胞和分子水平。分子生物学，包括分子遗传学，在生命科学中占有主流的地位。千百年来，人类对生命现象的研究在很大程度上倾心于探索遗传之谜。直到 20 年代才建立起决定性状遗传的基因理论，后来并进一步地证明了 DNA 是遗传信息的载体。甚至有些著名的遗传学家把遗传学堪称为基因学。基因携带的信息由基因的结构所决定，信息的表达是由基因的功能而实现的，因此所有生命现象的机制追根到底都与基因的结构与功能相关。

二、自然图像五大模型的建立

1. 宇宙演化的热大爆炸模型

20 世纪，天文学的最大两项成就就是大爆炸宇宙学和恒星演

化理论。前者导致了热大爆炸模型的建立。在 20 世纪 20 年代，弗里德曼在广义相对论的框架下，论证了宇宙胀缩；哈勃发现了星系红移。后来，在 20 世纪 40 年代末，美国物理学家伽莫夫等提出了大爆炸宇宙理论，它认为我们的宇宙起源于温度和密度极高的“原始火球”的一次大爆炸。大爆炸的时刻就是今天所观察到的宇宙的开端，这时的温度高达 100 亿度以上，物质密度极大，整个宇宙体系达到平衡，宇宙间只有由中子、质子、电子、光子和中微子等一些基本粒子形态物质混合而成的“宇宙汤”；四种基本力，即引力、强力、弱力和电磁力，逐一地分化出来；后来，物质形态依次演化为原子、气态物质、各种恒星体系，最后发展成今天所看到的宇宙。这一理论能被四项观测事实所证明：任何天体的年龄都小于 200 亿年；河外天体有系统性的谱线红移，按多普勒效应解释，红移就是宇宙膨胀的反映；在各种不同天体上，氦丰度很大，而且大都是 30%，这说明只有宇宙早期时在高温条件下才能有高效率生氦，而恒星核反应不足以生成如此多的氦；按预言，宇宙至今已经很冷，只有绝对温度几度，而在 1965 年探测到具有热辐射谱的微波背景辐射，温度约为 3K。这些都说明了宇宙在膨胀，过去必定有始；而且，把各种基本规律都统一在一个历史过程中，永恒的自然规律会愈来愈变成历史的规律。但是，有关大爆炸的起点还存在歧义，有关宇宙的膨胀、胀缩等也尚无定论。

2. 粒子物理的标准模型

在 20 世纪下半叶，人们对深层物质结构有了新的认识。物理学从最基本的粒子夸克开始直到整个宇宙的探索。人们总想知道物质世界究竟由什么构成，又是什么在维系着这样复杂的世界。迄今，人们已认识到构成物质的最小组分：12 种轻子——只参加弱相互作用、电磁相互作用的费米子，36 种夸克——感受强作用力的带电粒子，12 种媒介子——传递相互作用的粒子，

共计 60 种。作用在物质上的所有复杂的力可归结为三种：引力——由引力子传递的最弱的力，但在宇宙的大距离、大质量尺度上却是强有力的一种力；强力——由胶子携带并仅在原子核内夸克之间起作用的短程力，即将夸克胶结在一起的色力，使原子核保持为一个整体；统一的电弱力——以电磁力和弱力两种表现形式出现的同一基本力，经受了实验检验的电弱统一理论描述的一种力。

夸克和轻子是目前人们所认识的物质结构的新层次。因此，在夸克-轻子模型的基础上形成了粒子物理的标准模型理论，即以夸克、轻子作为基本粒子，以电弱统一理论与描述夸克之间强相互作用的量子色动力学理论一起所构成的理论。

标准模型理论并不完美，还要检验与发展标准模型理论，进而寻找超标准模型理论。

3. 遗传物质 DNA 双螺旋结构模型

对遗传物质 DNA 结构进行研究，首开先河的是量子力学创始人之一的薛定谔。他在《生命是什么？》一书中，用量子力学的观点论证了基因的稳定性和突变发生的可能性。它激发了人们用物理学的思想和方法去探索生命物质及其运动。维尔金斯和弗兰克林获得了 DNA 晶体结构的 X 射线衍射图，证明了 DNA 呈螺旋形、多股链结构。1953 年生物学家沃森和物理学家克里克合作，经反复研究后提出了 DNA 双螺旋结构的分子模型：DNA 有两股链，它们像旋转楼梯一样围绕一个中心轴盘旋，双螺旋结构内侧的碱基通过氢键而互相配对，即腺嘌呤与胸嘧啶配对（A-T），鸟嘌呤与胞嘧啶配对（G-C），使两条 DNA 长链之间存在“互补”关系。螺旋直径为 20 埃，沿主轴延伸方向每 34 埃完成 1 个螺距，每个螺距含有一叠 10 个核苷酸。DNA 双螺旋结构是 20 世纪生命科学中最伟大的发现，它标志着分子生物学的诞生，为 DNA 的自我复制、发育与功能以及突变提供了基础，为描述生

命的蓝图奠定了分子的基础。

4. 智力活动的图灵计算模型

大脑与智力（精神）的关系问题长期地囿于哲学思辨或经验观察上。20 世纪 70 年代以来，由于认知科学、神经科学、心理科学和计算机科学的迅速发展，使得可以在现代科学的基础上研究知觉、注意、记忆、动作、语言、推理、思考乃至意识等空前困难的问题。早在 17 世纪，莱布尼茨就提出过思维可计算的设想，即符号语言和思维演算的思想。直到 20 世纪 30 年代，哥德尔提出了一般递归函数的概念，后来把可计算的函数归结为一般递归函数，而且可计算函数的计算也就可以归结为图灵理想计算机的计算了。图灵计算是按某种规则将一组数值或符号串转换成另一组数值或符号串的操作过程。图灵在《计算机与智力》一文中提出计算机能思维的观点，并进行了检验：一个人在不接触对象的情况下，同对象进行一系列对话，如果他不能根据这些对话判断出对象是人还是机器，那么，就可以认为这台计算机具有与人相当的智能。符号处理学说有力地推动了人工智能的发展，人们用机器模拟人类智能，以至认为，神经元的基本功能是计算、思维即计算、思维由神经元的计算功能逐级整合而形成。在这些认识的基础上，认知科学家建立了认知的计算理论，特别是提出了在图灵机意义下的“计算”的基本概念。“认知即计算”表明，无论是人脑还是计算机都是操作处理离散符号的形式系统。因此，认知的计算理论又称为符号处理的学说，图灵计算模型就目前所能达到的水平来说还是最成功的。

5. 地壳构造的板块模型

对陆海变迁的关注可追溯到古希腊时代的柏拉图和中国唐代的颜真卿等的思考。直到 20 世纪对陆海变迁的研究才取得了重大的进展，这包括大陆漂移说、海底扩张说和板块构造说。

大陆漂移说的创始人是魏格纳，他在《海陆的起源》一书中

论述了南美和非洲大陆能拼合在一起的思想、大西洋两岸的许多生物有亲缘关系，以及在岩石、地层和褶皱构造等上也相当吻合。在 20 世纪 50 年代后，由古地磁学研究的结果进一步地为大陆漂移说提供了有力的证据。在大陆漂移说中又引申出了海底漂移的观点，于是海底扩张说就应运而生。

海底扩张说是在海洋地质的重大发现之后得到证据的。地球上部分为岩石圈和软流圈，由于软流圈在高温物质地幔上部，地幔中有一个圆环形的对流体，驱使地幔的炽热物质从洋脊的裂谷中涌出，冷却后形成新的海底，并推原来的海底向两侧扩张，像传送带一样连续运转，海底不断更新，大陆同海底一起在地幔对流体上漂移。

在大陆漂移说和海底扩张说的基础上，岩石板块构造说成为新的全球构造理论。岩石圈被各种断裂分割成的块段称为板块，全球共分为七大板块，即太平洋、亚欧、印澳、非洲、北美、南美和南极板块。板块是漂浮在软流圈上的刚块体，在洋中脊处增生，在海沟处消减，其运动的动力源泉来自地幔的热对流。

地壳构造的板块模型的建立是地球科学史上的一次重大变革，对地球科学产生了深刻的影响，改变了旧的地球观。

三、现代基本技术

现代技术已发展成为一个庞大的复杂系统，主要由三大基本技术即物质变化技术、能量转换技术和信息控制技术组成。物质、能量和信息是构成世界的三大要素，由此考察技术活动则可以从纷繁复杂的技术类别中发现其主要脉络。迄今，尚无公认的技术分类标准，因而出现了按不同标准分类的多类技术称谓。在 20 世纪中，对社会发展、经济发展以及在日常生产、生活中至关重要的技术大体上有信息技术（电子技术、光电子技术、计算机技术等）、空间技术（航天技术）、航空技术、交通运输技术、能源技术、制造技术、自动化技术、材料技术、海洋技术、生物

技术、农林技术、环保技术等。

1. 物质变化技术

物质变化包括物质的组分变化、物态和物性变化、外形和色泽变化。物质变化技术主要包括各种材料的设计、制备和加工。就材料的大类来分有：金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料、结构材料（按不同的力学性能）和功能材料（光、电、磁、热、声等性能）、块状材料、薄膜材料、粉末材料和纤维材料等。在 20 世纪中，材料技术表现出一些基本特征：对材料的选择已从低分子走向高分子，对材料的制备已从合成走向组合合成，对材料的加工已从微米走向纳米；主要朝着高功能化、超高性能化、复杂化和智能化方向发展。

2. 能量转换技术

能量转换包括诸多能量形式的转换，如电池是化学能转变为电能的装置，光电池是光能转变为电能的装置，蒸汽机是热能转换为机械能的装置，发电机是机械能转换为电能的装置，电动机是电能转换为机械能的装置，电炉是电能转换为热能的装置等。在 20 世纪中，能量转换技术有更多更新的发展，如喷气推进技术、核能技术、光电技术和多种能量转换技术。

航空技术和航天技术都以喷气推进技术为基础，使得喷气式飞机能在航空空间实现超音速飞行，使得运载火箭足以实现三种宇宙速度飞行。核能技术是巨大能量释放技术，在战时被用于制造核武器，在和平环境用于发电。还有多种能量资源如煤、天然气、石油、太阳能、风能、水能等均可转换成可用的能源。

3. 信息控制技术

信息的本质是控制。信息技术就是形成信息控制系统，对信息过程（产生、采集、存储、交换、处理等）能动地加以利用。电磁相互作用是信息技术的主要能量载体；核酸分子是生物信息的载体，如对遗传信息的携带与传递。

在信息技术的发展中，电子电路集成化、信息处理数字化和信息传输网络化占有重要的地位。集成电路从小规模发展到中、大、超大规模，并向极大规模前进。数字化技术的核心是模数转换，即以模拟信号转换为数字信号，与模拟信号相比，数字信号具有许多优点，如纠正错误、数据压缩能力。电脑网络连接技术、光缆铺成信息高速公路和运行在地球同步轨道上的通信卫星使人类生存空间信息相通。

四、科学、技术、社会互动

现代科学与现代技术越来越发生着更强的相互作用、相互渗透，以致共生一体，形成一个有机的科学技术系统。科学技术化与技术科学化成为新的特征：科学是高度技术化了的科学，特别是实验科学更是依赖于实验技术的最新进展，如仪器进一步地智能化，使科学发生了重大变化；技术是高度科学化了的技术，特别是高新技术有更多的科学含量，基于更多更新的科学原理。

现代科学技术系统与社会系统发生着强相互作用，科学技术日益社会化，社会日益科学化与技术化。创造性的科学技术活动遍及社会各个领域，成为人类社会的主要活动，其规模已由一个国家向国际化方向发展，国际合作与交流、大型国际研究计划与日俱增，科学共同体超越国界形成新的形式。科学与技术以多种形式广泛地向社会的经济、政治、军事、教育、法律等许多领域渗透，特别是向社会文化系统扩散，以至国际社会也在其作用下发生巨大的变化。

目 录

1. 科学篇

第 1 章 数学科学	(1)
总 论	(1)
第 1 节 纯粹数学	(5)
第 2 节 应用数学	(10)
第 3 节 统计学、运筹学和控制理论	(13)
第 4 节 面向计算机的数学	(15)
第 2 章 物理学	(18)
总 论	(18)
第 1 节 经典力学	(19)
第 2 节 经典电动力学与相对论	(21)
第 3 节 量子力学	(25)
第 4 节 热现象的宏观规律 (热力学) 和统计物理 ...	(28)
第 5 节 现代物理研究的七门分支学科	(31)
第 6 节 中国的物理学研究	(38)
第 3 章 化学	(41)
总 论	(41)
第 1 节 物理化学	(41)
第 2 节 有机化学	(48)
第 3 节 无机化学	(54)

第4节	高分子化学	(60)
第5节	分析化学	(65)
第4章	天文学及天体物理学	(71)
总 论		(71)
第1节	太阳系	(74)
第2节	奇妙的恒星世界	(80)
第3节	银河系	(87)
第4节	宇宙中的岛屿——河外星系	(89)
第5节	宇宙论与粒子天体物理学	(90)
第5章	空间科学	(95)
总 论		(95)
第1节	空间科学主要领域	(96)
第2节	空间科学展望	(116)
第3节	未来空间科学	(119)
第6章	地球科学	(123)
总 论		(123)
第1节	大气科学	(123)
第2节	海洋科学	(130)
第3节	(固体)地球科学	(135)
第4节	水文科学	(141)
第5节	地理学	(143)
第7章	生命科学	(146)
第1节	生命是什么	(146)
第2节	蓬勃发展的生命科学	(149)
第3节	生命科学走向新世纪	(154)
第4节	分子水平上的生命现象	(157)
第5节	细胞与基因	(168)
第6节	从受精卵到复杂个体	(181)

第7节	主宰生命的脑	(185)
第8节	生命溯源	(190)
第8章	认知科学	(195)
总论		(195)
第1节	什么是认知科学	(195)
第2节	人类信息加工的基本假设	(202)
第3节	认知和人类信息加工	(203)
结 语		(206)
第9章	信息科学	(207)
总论		(207)
第1节	信息论	(208)
第2节	通信网络理论	(210)
第3节	计算机科学	(212)
第4节	系统控制科学	(218)
第5节	生物电子学和分子电子学	(226)
第6节	半导体光子学	(227)
第7节	智能科学	(230)
第10章	材料科学	(235)
总论		(235)
第1节	材料与材料科学	(235)
第2节	晶体材料的结构	(238)
第3节	晶体中的缺陷	(244)
第4节	非晶态材料的结构	(248)
第5节	材料的电子结构	(253)
第11章	能源科学	(260)
总论		(260)
第1节	热力学	(261)
第2节	传热学	(265)