

现代科学技术导论

(第3版)

主 编 宗占国

副主编 侯立华 姜文龙 杨景海

崔凤午 李春杰 徐辑彦

高等教育出版社

内容简介

宇宙是有限的,还是无限的?什么是大爆炸宇宙学说?地球是怎么产生的?生命的本质是什么?物质的基本单元是什么?夸克是构成物质的最小微粒吗?基因与生命有什么关系?克隆羊“多莉”是怎么诞生的?“深蓝”计算机是怎么战胜世界象棋冠军的?信息高速公路是怎么回事? C_{60} 为什么比金子价格还贵?激光制导为什么精度那么高?宇宙飞船在太空中能探测到什么?为什么必须进行环境保护……以上问题,都可以在本书中找到答案。

本书内容新颖,信息量大,寓意深刻,针对性强,融科学性、知识性、新闻性、趣味性于一体,深入浅出,可读性强。它以丰富的内容、翔实材料、动人的事例生动地描绘了现代科学技术的现状和未来趋势。

全书共分为两篇,第一篇是当代自然科学中的重大基本问题,内容有宇宙的起源和演化、地球的起源、生命的本质和智力的起源、宇宙的结构层次和物质的基本单元、非线性科学;第二篇是现代高新技术,内容有生物技术、微电子技术、计算机技术、现代信息技术、新材料技术、激光技术、空间技术、新能源技术、海洋开发技术、现代教育技术、环境保护技术。

本书可作为高等学校提高大学生科学素养的教材,也可供其他有志提高自身科学素养的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代科学技术导论/宗占国主编.—3版.—北京:高等教育出版社,2004.8

ISBN 7-04-013996-0

I. 现... II. 宗... III. 科学技术-概况-世界-高等学校-教材 IV. N11

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第021519号

策划编辑 庞永江 责任编辑 田 军 封面设计 王凌波
责任绘图 朱 静 版式设计 范晓红 责任校对 俞声佳
责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	850×1168 1/32	版 次	1998年9月第1版 年 月第3版
印 张	18.625	印 次	年 月 第 次印刷
字 数	480 000	定 价	26.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

现代科学技术已经成为社会发展的推动力 ,影响着国家的经济实力、政治实力、军事实力。

谁在现代科学技术上领先 ,谁就会占领国际激烈竞争的制高点 ,谁就会在政治上、经济上、军事上掌握更多的主动权。谁在现代科学技术上落后 ,谁就要被动挨打受欺凌。

现代科学技术极大地推动了社会生产力的发展 ,使人类走向知识经济时代。现代科学技术使人类正在步入一个以智力资源的占有、配置 ,知识的生产、分配、使用(消费)为最重要因素的经济时代 ,简而言之就是科学技术是第一生产力的时代。知识经济在生产中以高技术产业为支柱 ,高技术产业以高科技为其最重要的资源依托。科学和技术的研究开发日益成为知识经济的重要基础 ,信息技术在知识经济的发展过程中处于中心地位。

现代科学技术迅速发展 ,信息技术和生物技术的进展令人震惊。计算机技术和现代通讯技术已经成为现代信息技术的两大支柱。现代科学技术使信息技术以惊人的速度发展 ,计算机的微处理器大约每 18 个月提高一倍 ,现在价值 2 000 美元的一台电脑要比 20 世纪 70 年代中期价值 1 000 万美元的一台大型主机的运算能力超出许多倍。1960 年 ,一条横跨大西洋的电缆仅能容纳 138 对电话同时讲话 ,现在一条光纤电缆能同时容纳 150 万对电话通话。现在全世界有上亿人使用因特网。

生物科学家们经过 13 年努力于 2003 年 ,绘制完成了人类基因组序列图 ,首次在分子层面上为人类提供了一份生命“说明书” ,不仅奠定了人类认识自我的基石 ,推动了生命与医学科学的

革命性进展 ,而且为全人类的健康带来了福音。现在还很难设想 ,人类基因组序列图会给人们的生活带来怎样巨大的变化。

现代科学技术正在改变着产业结构、经济结构、社会结构、生产方式、生活方式和思维方式。

现代科学技术使产业结构发生很大变化 ,以知识为基础的信息产业和咨询产业正在兴起、发展、扩大 ,传统的第一和第二产业比重相对降低。现代科学技术给传统产业注入新的活力 ,推进了传统农业现代化 ,加速了现代工业的知识化和智能化。现代科学技术使电子商务应运而生 ,使网络银行成为现实 ,使电子货币时代来临。

在现代科学技术迅速发展下的经济结构也在改变。传统的能源、资源的作用相对降低 ,而人的智力、创造性成果的价值相对提高。有人说 ,最大的资源是智力 ,最大的财富是智慧 ,这是很有道理的。

现代科学技术使社会结构发生很大变化 ,三大差别的界线逐渐模糊不清和相互融合。体力劳动和脑力劳动之间的差别、工人和农民之间的差别、城市和乡村之间的差别的界线越来越小。产业革命初期 ,体力劳动力与脑力劳动力之比是 9:1 ,现在是 1:9。

现代科学技术极大地提高了人类的实践和认识能力 ,构成了全新的思维客体和思维主体。人类思维客体从自然界的宏观世界扩展到宇观世界和微观世界。由于电子计算机和人工智能作为人脑进行思维活动的有力辅助工具 ,它们直接参与人脑的思维活动过程之中 ,于是形成了一种全新的思维主体 ,这就是人 - 机系统。现代科学技术不仅给思维方式带来许多新变化 ,而且也形成了当代思维方式许多新特征 ,例如 ,系统思想、精密思考 ,形式化、结构化、信息化的思考 ,创造性的思考 ,面向未来的价值思考等。

现代科学技术对人们的生活方式也将产生巨大影响。计算机通过信息高速公路与家庭联结以后 ,人们从外界获得的信息量将会大幅度增加。人们很可能仅凭一个具有自动显示、通讯、遥控等

多种功能的手提式电子公文包即可完成计算、推理、通讯、购物、办公以及公文处理等许多工作。

现代科学技术提高了人们的生活质量,同时也促使人们追求更高的生活质量。例如,现在有一种安乐椅,当你工作疲劳时,坐上去疲劳就可以消失。还有一种健康卫生间,通过测试人体排泄物,就能测出你的排泄物中的糖分、蛋白质等数据,告诉你是否有病。

现代科学技术对教育的影响将是巨大的。利用计算机进行信息资源管理和辅助决策是每一个学生都要掌握的基本技能。在课程设置上,计算机课已列为必修课。由于知识的老化和更新加快,终身教育将成为教学目标。现代化信息网络教育将打破校园界限,学习者可以主动地选择学习内容、学习时间和地点,不受年龄、职业、地点的限制,师生可以通过网络进行交流。

现代科学技术是人类社会发展的巨大推动力,人类社会进步又为现代科学技术的开拓提供了广阔的天地。现代科学技术的发展和社会的进步都将是永恒的。

实施科教兴国的战略,关键是人才,而培养人才,关键又在教师。向高等师范院校的学生传授现代科学技术知识,引导他们树立科技意识,学会科学思维,培养他们的科技制作能力、发明创造能力和进行科技启蒙教育的能力是高师院校的责任。为高师生开设现代科学技术教育课,对于培养跨世纪的合格中学教师,提高未来教师的科技文化素质,教育亿万青少年爱科学、讲科学、用科学,抵制愚昧迷信,提高全民族的科学文化素质,具有重要的战略意义。

《现代科学技术导论》这本书,共分两篇,第一篇是当代自然科学中的重大基本问题,第二篇是现代高新技术。本书的总论是宗占国和姜文龙同志编著的。第一篇第一章的内容是宇宙的起源和演化是何训同志编著、第二版以后是经宗占国改写的;第二章的内容是地球的起源,是郑喜森同志编著的,第三章的内容是生命

的本质与智力的起源,是姜恩来同志编著的;第四章的内容是宇宙的层次结构和物质的基本单元,是林琨志同志编著的;第五章的内容是非线性科学,是李春杰同志编著的。第二篇第一章的内容是生物技术,是宗占国同志编著的;第二章的内容是微电子技术 with 计算机技术,是李政同志编著的;第三章的内容是现代信息技术,是杨景海同志编著的;第四章的内容是新材料技术,是华中同志编著的;第五章的内容是激光技术,是徐辑彦同志编著的;第六章的内容是空间技术,是崔凤午同志编著的;第七章的内容是新能源技术,是侯立华同志编著的;第八章的内容是海洋开发技术,是姜文龙同志编著的;第九章的内容是现代教育技术,是曲殿彬同志编著的;第十章的内容是环境保护技术,是孙启美同志编著的。其中,第二篇的第三章、第六章、第七章、第九章分别由秦政坤、丁桂英、汪津、张朝阳协助改编。

本书由宗占国教授任主编;侯立华副教授、姜文龙教授、杨景海教授、崔凤午教授、李春杰教授、徐辑彦教授任副主编。

在编著此书过程中,参考了国内外大量论著、教材、文章等有关资料,在此谨向被引文的作者表示衷心的感谢。这本书的出版,还得到了吉林大学王秉超教授、东北师范大学周辉教授的指导,以及高等教育出版社有关领导和同志们的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者学识水平和资料来源的局限,编著过程中,难免会出现疏漏和欠妥之处,敬请读者予以赐教指正,我们表示真诚地感谢。

目 录

总论	1
----------	---

第一篇 当代自然科学中的重大基本问题

第一章 宇宙的起源和演化	21
--------------------	----

第一节 宇宙概观	21
----------------	----

第二节 天文学的回顾与展望	25
---------------------	----

第三节 宇宙的起源和演化	31
--------------------	----

第四节 星系的起源和演化	38
--------------------	----

第五节 恒星的起源和演化	42
--------------------	----

第六节 太阳系的起源与演化	48
---------------------	----

第二章 地球的起源	54
-----------------	----

第一节 地球的起源与演化过程	55
----------------------	----

第二节 地球的基本状态和物理性质	61
------------------------	----

第三节 太阳活动与地球表面的变化	66
------------------------	----

第四节 地球的大地构造理论	70
---------------------	----

第五节 地球科学	74
----------------	----

第三章 生命的本质与智力的起源	85
第一节 生命的物质基础	85
第二节 生命的本质	95
第三节 生命起源与生物进化	102
第四节 人类智力的起源和进化	116
第四章 宇宙的结构层次和物质的基本单元	122
第一节 宇宙的宇观、宏观和微观三个层次	122
第二节 古代人的早期的物质观	125
第三节 物质结构的基本单元	126
第四节 微观粒子的性质	138
第五节 粒子探测器和粒子加速器	146
第五章 非线性科学	154
第一节 耗散结构	154
第二节 混沌	165
第三节 分形	176

第二篇 现代高新技术

第一章 生物技术	189
第一节 克隆羊“多莉”引起的震撼	189
第二节 基因工程产生和发展的历史	196
第三节 酶工程	208
第四节 现代发酵工程	212
第五节 细胞工程	216
第六节 基因工程	219

第七节 生物技术的应用和发展趋势	222
第二章 微电子技术 with 计算机技术	232
第一节 微电子技术	232
第二节 计算机技术	239
第三节 计算机的应用	255
第四节 计算机技术的发展与展望	267
第三章 现代信息技术	275
第一节 信息技术的发展	275
第二节 现代信息搜集技术	280
第三节 现代信息存贮技术	284
第四节 现代信息传递技术	291
第五节 信息分析处理技术	305
第六节 现代信息使用技术	311
第四章 新材料技术	318
第一节 先进的金属材料	319
第二节 特种陶瓷材料	328
第三节 新型高分子材料	334
第四节 高性能复合材料	341
第五节 电子、光电子材料	347
第六节 超导材料	353
第七节 纳米材料	357
第八节 富勒烯材料及其潜在的应用前景	362
第五章 激光技术	371
第一节 激光的产生	371
第二节 激光的特性	379

第三节 激光的广泛应用	385
第六章 空间技术	410
第一节 空间技术发展简史	410
第二节 火箭	416
第三节 人造地球卫星及应用	422
第四节 载人宇宙飞行	428
第五节 行星际探测	435
第七章 新能源技术	441
第一节 常规能源及人类面临的能源挑战	441
第二节 核能	449
第三节 太阳能	454
第四节 其他新能源的开发利用	460
第八章 海洋开发技术	468
第一节 海洋科学与技术进展	468
第二节 开发海洋中的生物资源	475
第三节 海洋捕捞技术	484
第四节 海水淡化技术和海洋能源的利用	490
第五节 海底矿物资源的开发	500
第六节 海洋中的化学和医药资源	506
第七节 海洋工程	511
第九章 现代教育技术	519
第一节 现代教育技术研究领域	519
第二节 现代教育媒体	526
第三节 现代实用教育技术	532
第四节 计算机技术在教育中的应用	537

第十章 环境保护技术	546
第一节 全球性的环境污染	547
第二节 全球生态环境恶化	557
第三节 中国的环境状况	562
第四节 可持续发展之路	570
第五节 环境保护技术	573

总 论

现代科学技术已经成为社会发展的推动力 ,影响着国家的经济实力、政治实力、军事实力。谁在现代科学技术上领先 ,谁就会占领国际激烈竞争的制高点 ,谁就会在政治上、经济上、军事上掌握更多的主动权。谁在现代科学技术上落后 ,谁就要被动挨打受欺凌。

现代科学技术极大地推动了社会生产力的发展 ,使人类走向信息时代。现代科学技术正在改变着产业结构、经济结构、社会结构、生产方式、生活方式和思维方式。

现代科学技术是人类社会发展的巨大推动力 ,人类社会进步又为现代科学技术的开拓提供了广阔的天地。现代科学技术的发展和社会的进步都将是永恒的。

一、当代自然科学中的重大基本问题

科学是人对客观世界的正确认识 ,是反映客观事实和规律的知识体系。

科学从大的层次上划分至少要包括自然科学、社会科学和思维科学三大分支。这三大分支在推动社会的发展中的作用都是不可忽视的。但自然科学对人类社会的推动作用又具有其独到的特点。自然科学在理论上的每一次进步 ,都在逐渐地改变并丰富着人们的自然观 ,对社会产生巨大的推动力 ,对人们认识世界和改造世界产生新的飞跃。这也正是科学技术是第一生产力的基本观点的体现。

当代自然科学已发展成为一个十分巨大的体系。所谓当代自然科学的重大基本问题 ,是那些自从有人类以来 ,人们就努力探

索,而至今人们仍在不停地研究的,关系到科技进步、社会发展和人类文明的自然奥秘。

人们常把“科学技术”当成一个词,其实科学与技术是两个不同的概念。科学与技术是辩证统一的整体,既有联系又有区别。科学是人类在认识世界和改造世界过程中形成的,正确反映客观世界的现象、内部结构和运动规律的系统理论知识。科学还提供认识世界和改造世界的态度和方法,提供科学的世界观和处世的科学精神。技术是在科学的指导下,总结实践经验,得到在生产过程和其他实践过程中,从设计、装备、方法、规范到管理等系统知识。技术直接指导生产,是现实的生产力。科学产生技术,技术推动科学,这两者互相促进。科学回答的是“是什么”、“为什么”,技术回答的是“做什么”、“怎么做”,科学提供物化的可能,技术提供物化的现实,科学是发现,技术是发明,科学是创造知识的研究,技术是综合利用知识于需要的研究。区别科学与技术的目的,不是将它们分开,而是要更好的统一考虑。注重技术时要想到科学,注重科学时考虑到技术。对于科学来说,技术是科学的延伸,对于技术来说,科学是技术的升华。

当代人们关心的自然科学中的重大基本问题主要有:

1. 宇宙的起源和演化

当代的实验和理论认为,宇宙是均匀的和各向同性的介质;在大约 150 亿年前,宇宙是由一次大爆炸产生的。那么在大爆炸之前和这一宇宙之外是什么?大爆炸是如何发生的,其过程如何?宇宙是怎么演化的?宇宙会不会无限制地膨胀?星系是如何起源和演化的?恒星是如何起源和演化的?太阳系是如何起源和演化的?这些都是目前科学家研究的热点。

2. 地球的起源和演化

地球是太阳系九大行星中唯一有生命的星球。它是两极稍扁,赤道略鼓的椭球体。地球以平均 29.79 km/s 的速度沿椭圆形轨道绕太阳公转。地球是具有圈层结构的星球。地球的板块构造

学说和地球系统科学可揭示地球的变化规律。地球是如何形成的？它是由哪些物质组成的？地球的年龄有多大？地球的内部是什么样子？为什么地球上会有生命？沧海桑田、山川巨变是怎么回事？什么地方会发生地震、火山？这些问题都有待科学家去探索。

3. 生命的本质与智力的起源

每个人都是由一个受精卵发育而成的。人的全部遗传信息都存于细胞核内染色体的 DNA 中。人的遗传基因约 3 万 ~ 4 万个，全部按次序排列在 DNA 长链上。和 DNA 密切相关的另一条长链称为 RNA。很可能 RNA 是最早的生命体。人的大脑有上百亿个神经元，相互通过千万亿个突触相连接，分布在 2 mm 厚的大脑皮层上。人脑是如何工作的？人的意识、情绪、意志、感情、理智和智力是如何由脑神经细胞产生的？这些问题不仅具有重大的科学价值和应用前景，而且有重大的哲学价值。

4. 宇宙的结构层次和物质的基本单元

宇宙可分为宇观、宏观和微观三个层次。迄今为止，人们认识到自然界存在四种基本的相互作用，即万有引力相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用。它们决定了宏观世界的约束形式和微观客体的相互作用规律。现在认为，构成世界物质的基本单元是夸克、轻子、传播子和希格斯粒子。

5. 非线性科学

非线性科学在 21 世纪将会有重大突破。非线性科学中经常提到的混沌现象、分形、孤子、远离平衡态的开放系统和自组织结构都是当代科学家研究的热点。混沌现象是普遍存在和有规律的。复杂系统在非线性相互作用下，就会出现混沌现象，如人体里一些电波的跳动，大气的湍流，甚至股票的涨落都有混沌的出现。混沌并不是完全无规则的，它的形成是有一些规律的。在复杂的条件下，常常会出现能够自己组织起来并能适应这个环境的状态。比如说，生命的起源，生物是怎么产生的，在地球刚诞生时并没有

生物,是混沌的,但是在一片混沌的原始世界上,有高度的自组织、各部分协同的系统。有规则的各种空间结构模式是如何自动生成的?这都是非线性科学研究的前沿问题。

二、现代高技术

1. 技术的概念

对技术这一概念的本质和意义进行考察研究,始于古希腊,亚里士多德曾把技术看作是制作的智慧。在罗马时代,工程技术发达,人们对技术不只看到“制作”这实的方面,也看到了是“知识形态”虚的方面。17世纪,英国培根(1561—1626)曾提出要把技术作为操作性学问来研究。德国哲学家康德(1724—1804)也曾《判断力批判》一书中讨论过技术。尔后人们又提出了“技术论”。到18世纪末,法国科学家狄德罗(1713—1784)在他主编的《百科全书》条目中开始列入了“技术”条目。他指出:“技术是为某一目的的共同协作组成的各种工具和规则体系”。这是较早给技术下的定义,至今仍有指导意义。直到现代,许多辞书上的技术定义,基本上没有超出狄德罗的技术概念范畴。

2. 现代高技术

高技术是从英文 high technology 翻译过来的。一般说,高技术的含义不同于高级技术或先进技术(advanced technology, sophisticated technology),它是有特定含义和特点的。总的来说,目前多数人赞成以下两种意见:第一种意见认为高技术是对知识密集、技术密集类产业及其产品的通称,是一个综合的概念。第二种意见认为高技术是指那些对一个国家军事、经济有重大影响,具有较大的社会意义,能形成产业的新技术或尖端技术。

3. 高技术的特征

国内外的一些学者认为,高技术的特征,集中在一个“高”字,即高增值、高竞争、高资金、高风险、高驱动和高智力。

① 高增值或高经济效益 这是高技术为人们所追求的首要特

征。根据一些国家的统计和预算,20 世纪初技术对经济增长的贡献率为 5%~20%,20 世纪中叶上升到 50% 左右,80 年代上长到 60%~80%。技术进步的贡献已明显超过资本和劳动力的贡献。1997—1998 年度,印度计算机软件业创利润 28 亿美元。据报道,美国在 20 世纪 90 年代以前,华尔街的金融业、底特律的汽车业、好莱坞的娱乐业,号称美国经济的三大支柱,1997 年上述产业的市值依次为 4 000 亿美元、1 000 亿美元与 500 亿美元,但是,硅谷的企业市值,在 1997 年超过 4 500 亿美元,它已跃然成为美国经济新的发动机。微软公司总裁比尔·盖茨的家产在 1999 年 4 月首次突破 1 000 亿美元。英国《每日电讯报》经计算十分刺激地说道,比尔·盖茨在过去一年中,平均每小时赚钱 456.6 万美元。按其财产每年膨胀 61% 的速度估算,他将在 2004 年拥有 1 万亿美元家产,而且,这种滚雪球式的财富膨胀将使其财产在 2005 年超过英国的国民生产总值。当然,这只是估算而已。

1991 年到 2001 年,我国高新技术产业的工业产值从 300 亿元左右增加到 18 000 亿元左右,年均增长 20% 左右,超过同期工业年均增长速度 10 多个百分点。国家级高新技术开发区成为我国高新技术产业化的重要基地。从 1991 年创办高新技术开发区以来,我国共有 53 个国家级高新技术开发区,它们呈现出很高的经济效益。1991 年至 2001 年,53 个高新技术开发区实现技、工、贸总收入从 87.3 亿元增长到 1.2 万亿元,增长了 137 倍;实现工业总产值从 71.2 亿元增长到 1 万亿元,增长了 140 倍;实现利税总额从 11.9 亿元增长到 1 285 亿元,增长了 108 倍;出口创汇从 1.8 亿美元增长到 226.6 亿美元,增长了 126 倍。10 年平均以超过 60% 的速度增长。11 年累计实现技、工、贸总收入 32 656.4 亿元,实现工业总产值 28 489.7 亿元,实现利税总额 3 304.3 亿元,出口创汇 592.1 亿美元。

② 高竞争是高技术发展中表现出来的显著特征,它是推动高技术发展的内在动力。它的竞争性主要表现在市场、经济力、文化

观念以及人才、智力等各层次上的竞争,这场竞争牵动了国防、军事、政治、经济、科学教育以及文化等一切领域。高技术的竞争已取代了经济竞争。高技术竞争的表现形式为:产品迅速更新换代,设计和产品生产周期变短;以价格和适销对路为基础的竞争十分激烈;公司尝试各种满足顾客需要的新方法。高竞争促使科技成果转化为产品和实际经济效益的时间越来越短。这种转化,在18世纪为100年,19世纪为50年,第二次世界大战后为7年,这些年来在微型计算机等领域仅隔6个月就有新一代产品问世。由此,新产业创立和形成的过程加快了,原有产业的改组和改造也加快了。高技术企业竞争十分激烈,如美国“硅谷”是高技术产业和研究中心,它从20世纪60年代末期到1985年,一共成立过250个企业,可其中已有1/3企业破产,1/3企业被吞并,1/3企业才成活保存下来,但是它所创造的产值仍然相当高,在世界电子工业的年销售额中就占到40%,达400亿美元。

③ 高资本是高技术要取得充分发展的支撑条件,也是高技术得以崭露头角的显著特征之一。因为,高技术必须要有雄厚的资金实力作保证。当前经合组织成员国平均研究与开发费用占其GDP的2.3%。而早在1994年美国研究与开发投资已达1730.2亿美元,占美国GDP的2.61%。1996年度日本研究与开发投资额达到15万亿日元,占日本的GDP的3%。2001年,中国全社会科技活动经费总支出额为2312.5亿元,科技研究与开发经费支出总额为1042.5亿元,占GDP比重达1.1%。

④ 高风险是高技术发展最引人注目,也是最困难之处,但又是不可缺少的一环。国外发展高技术的巨额资金,主要是靠专门的风险投资机构提供的,而风险投资实际是现代科技与金融部门在商品经济条件下紧密结合的产物。因为,在商品经济社会中,各商品生产者的切身利益创造了对科学技术的庞大社会需求。也由于高科技研究创造活动的不确定因素较大,失败概率往往大于成功的概率,必须要有足够的风险资金作后盾,才能保证高技术研制

的成功。不过在为数不多的风险投资成功中,人们能收回巨大利益,这是任何其他投资所不能比拟的。风险投资成为保证高技术生存发展的重要条件。目前,美国有4 000多家风险投资公司,居世界首位,它们为10 000多家高科技企业提供资金支持。1997年,美国的风险投资公司共向1 848家公司投入了114亿美元的风险资金。

⑤ 高驱动不但是高技术能冲入世界范围的动力,也是高技术发展的广阔前途所在。高技术是经济发展的驱动力,它能广泛渗透到传统产业中,带动社会各业的技术进步。高技术产业的发展就像原子核反应,是连锁进行的,它的潜力是在开发进程中不断繁衍和创造出来的。例如,由于电子计算机的广泛应用,机电一体化形成,传统工业的机器设备得到改造,生产中自动化程度也越来越高,必然导致产业结构、劳动力结构发生变化,从而又进一步推动新技术的创造等等。一项新的高技术肯定会带来其他高技术产业一环扣一环地突破和发展。比如,激光技术领域的每一个突破,都会带动一大批相关新产业的建立,如激光加工、激光测量、激光通讯、激光唱片和医用激光等等。

⑥ 高智力性或高创造性是高技术的根本属性,也是高技术发展的前提条件。高技术竞争最根本表现在人才的竞争、智力的竞争,要开发、研究高技术,并形成产业,必须要有灵活的会经营的又有开拓精神的企业家;还要有创业精神的专家和学者,提供最新的科学理论和最新的工艺技术;还要有能英明判断决策的金融家以及具有高效管理才能的管理人员,有了这些高素质的人力资源,才能充分发挥高技术的作用,显示出以上各个特点。传统工业技术需要大量的资金、设备,有形资产起决定性作用,而高技术产业需要的是知识、智力,无形资产的投入起决定性作用。当然,高科技产业也需要资金投入,但是如果没有更多的信息、知识、智力的投入,它就不是高技术企业。目前美国许多高技术企业的无形资产已超过了总资产的60%。

1976 年改革开放以来,中国的高新技术之所以蓬勃发展,就是因为有一批科技大军。新中国成立时,我国自然科学研究者不足 500 人,现代科学技术几乎是一片空白。到 1997 年已经有了 1 000 万科技大军,从事前沿科学研究的就有 5 万多人,其中有院士 1 022 人。到 2001 年,53 个国家级高新技术产业开发区,从业人员 251 万人,其中大专以上学历人员占 33%,具有中高级职称人员 41 万人,有硕士 5 万人,博士 9 000 人,吸引归国留学人员 9 000 多人。

4. 高技术的内容

高技术主要包含以下领域:生物技术、计算机和现代信息技术、激光技术、新材料技术、新能源技术、海洋开发技术、空间技术和环境保护技术。

① 生物技术也叫生物工程,有人预测它是 21 世纪高技术的核心。它以基因工程和蛋白质工程为标志,通过人为控制的方法,改变生物的遗传性状,定向地创造出生物新品种或新物种。生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程和微生物发酵工程。生物技术的发展,预示着一个可以按照人类需要设计地球上生命的新时代的到来。

1997 年克隆羊“多莉”诞生的报道引起世界震惊。克隆羊“多莉”的诞生向人们昭示:哺乳动物的无性繁殖进入了一个新时代。

② 计算机和现代信息技术。电子计算机的发展和应用是现代科学技术大变革的重要标志之一。自从 1946 年世界上出现了第一台电子计算机“埃尼亚克”(ENIAC)以后,不论是电子计算机的元件和整机结构,还是它的程序系统(软件),以至于应用范围和功能,都有了突飞猛进的发展。今天的电子计算机早已不是单纯的运算工具了。它的基本功能是信息处理,即计算机按照人预定的意图,自动地对输入的信息进行存储、变换和加工,最后输出信息,这里说到的信息,既指数据和信号,也指情报、指令或消息等。电子计算机包括三类:电子数字计算机、电子模拟计算机和数

字模拟合并的混合式电子计算机。当前广泛使用的电子计算机都是电子数字计算机,所以人们把它简称为电子计算机。

1997年5月12日,计算机“深蓝”战胜了人类有史以来最伟大的棋手、世界象棋冠军卡斯帕罗夫。有人惊呼:今天输掉了最伟大的棋手,人类明天将输掉什么?

现代信息技术是当今高技术的先导。信息高速公路和电子计算机国际互联网(Internet)是其标志技术。它是一种综合技术,是一个多层次、多专业的复杂矩阵技术体系,它的发展是由许多单元技术所支撑的。它是以计算机和集成电路技术支持的信息技术的物质基础,是以显示信息形态为重要手段的信息获取和传输技术,是以各种软件和人工智能为重要环节的信息处理和控制技术。它不仅作为一项独立技术而存在,而且以其基本技术广泛渗透于其他各个高技术领域,成为它们发展的基本依托和重要手段。

③ 激光技术。激光技术是20世纪60年代发展起来的最活跃的科学技术领域之一,它是以科学为前导的新型技术。激光具有四大特点:第一是高亮度,第二是高方向性,第三是高单色性,第四是高简并度。它已经在通信、测量、机械加工、医学以及科学研究等方面得到广泛的应用。

1999年,美国盖特斯堡国家标准与技术研究所的威廉·菲利普等科学家利用低温下的低速原子制造出一种原子激光器。这种激光器有可能用于制造原子尺寸的电脑芯片,而且在制造测量和导航装置方面的应用前景也很广阔。

应用激光技术的激光唱片(CD片)、激光视盘(VCD盘)和DVD是激光艺术花园中的奇花。用CD播放的音乐十分动听,没有杂音,而且有身临其境之感。用VCD和DVD播出的电视和电影节目,其画质和音质比录像带好得多。

④ 新材料技术。新材料技术是现代技术革命的基础,现代新兴技术的兴起是以新材料作为支柱的,有的甚至是以新材料的出现为先导的。分子设计材料和超导材料是其标志技术。预计智能

材料、强场材料、仿生材料、有机功能材料、高强轻型复合材料和纳米材料将大量被应用。室温超导材料一旦有所突破,将会改变电力、交通、传感、仪器、电脑等的面貌。

富勒烯材料(C_{60})是材料领域的一颗新星。 C_{60} 是由 60 个碳原子组成的碳分子,是一个由 12 个五边形和 20 个六边形组成的 32 面体,是自然界中最圆的分子。它奇异的特性提供了一个寻找高温超导材料的新领域。掺铈 C_{60} 的材料,其超导临界温度高达 48 K,有人预言,掺杂 C_{60} 材料有可能成为临界温度大于 100 K 的高温超导体。

⑤ 新能源技术。新能源技术是现代技术革命的支柱。核聚变和太阳能利用是其标志技术。新能源是相对于煤炭和石油而言的,主要包括核能、太阳能、地热能、风能、氢能和燃煤磁流体等。它将为人类提供无限丰富、取之不竭的能源。

太阳能将成为未来全球能源的主流,它将创造一个全新的产业。太阳能电站发展迅速。德国于 1990 年制造出一种高效小型太阳能电站,它能 24 小时连续发电。它是一个仅为 9.94 m^2 的反射器,一天可供 11 kWh 的电能和 23 kWh 的热能,光电转换率已达 29%。日本计划在太空中安装一个 $5 \sim 10 \text{ km}^2$ 的太阳能电池板,总功率为 $5 \times 10^6 \text{ kW}$,采用微波束或激光束将电能传输到地面接收站。

⑥ 空间技术。空间技术是现代技术革命的外向延伸。航天飞机和永久太空站是其标志技术。它是探索开发和利用太空以及地球以外的天体的综合性工程技术,是利用人造卫星、宇宙火箭和航天飞机等各种航天工具,进行宇宙探索,空间资源利用和其他学科研究的科学技术。它是利用空间的一些有利条件加速开发人类生存与发展所必需的物质资源、能源和信息这三大领域。30 多年来,空间技术取得了突飞猛进的发展。目前,空间技术已从运载火箭的研制、人造地球卫星的发射等技术,发展到航天飞机和空间站等技术的深入研究上。空间技术除用于军事目的外,还广泛应用

于对地观察、通信、气象、导航等许多方面。

1977年7月4日,美国“火星探路者”号飞船成功地火星阿瑞斯平原着陆,7月6日凌晨,顺利地释放了“索杰纳”火星探测车,获得许多重要科学发现。“火星探路者”发回了数千张火星地表照片,其中包括许多特写镜头和360°彩色全景照片。找到了一些支持“火星生命之说”的证据。1996年11月7日,美国火星全球勘测者轨道探测器成功发射,至今仍在工作。1996年12月4日,美国发射火星“探路者”与“旅居者”成功登陆火星,送回许多火星环境、岩石和土壤的数据。2003年6月10日和7月7日,美国发射了“勇气”号和“机遇”号火星探测器,获得了许多火星上存在水的证据。

1999年11月20日6点30分,我国在酒泉卫星发射中心用新型长征运载火箭成功发射了我国第一艘试验飞船——“神舟”号试验飞船,并于21日3时41分在内蒙古自治区着陆。这是我国航天史上的又一里程碑。“神舟”号试验飞船的成功发射与回收标志着中国载人航天技术有了重大突破。紧接着,我国于2001年1月10日凌晨,又将自行研制的“神州二号”无人飞船在酒泉卫星发射中心送入太空。该飞船发射10分钟后进入预定轨道,环绕地球108圈,在太空中飞行近七昼夜,于同月16日19时22分,在内蒙古中部地区准确着陆。

“神州二号”所担负的主要任务之一是考核宇航员生命保障系统的工作情况,其二是进行科学实验。实验内容主要有空间生命科学、空间材料、空间天文和空间物理、微重力等领域的多方面有效载荷实验研究。

继“神州一号”和“神州二号”发射成功之后,我国又于2002年3月25日和2002年12月30日分别发射了“神州三号”和“神州四号”宇宙飞船,并且都取得成功。更让人高兴的是,在2003年10月15日上午9时成功地发射了“神州五号”载人宇宙飞船,宇航员是杨利伟,真正实现了载人航天飞行。

⑦ 海洋开发技术。海洋开发技术是现代高技术革命的内向拓展。海洋开发技术是以综合高效开发海洋资源为目的的高技术。海洋挖掘和海水淡化是其标志技术。它是指人类对于海洋及其自然资源、环境条件等所进行的科学研究和开发利用活动。海洋拥有相当于陆地 2.4 倍的面积,是个名副其实的“聚宝盆”,蕴藏着丰富的生物、矿藏、化学、动力、热能和空间等资源。我国是世界上第九个海洋大国,有 $3.7 \times 10^5 \text{ km}^2$ 领海、 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 可管辖海域。近年来,海洋采矿、海水淡化与综合利用、海洋能开发、海水养殖技术、海洋水下工程和海洋空间利用等正在蓬勃发展,一个在世界范围内开发利用海洋的高潮已经掀起。

⑧ 环境保护技术是减少环境污染,保持生态平衡的各项技术的总称,它包括的范围十分广泛,主要是探讨如何利用现代化的科学技术和方法对全球的环境问题进行监测,以保护全球的生态环境状况,促进人与自然的可持续性和谐发展。人类正面临有史以来最严峻的环境危机。这种危机对未来人类的生存和发展产生深远的影响。人与自然之间的矛盾不断地增大,冲突不断地加剧。当今世界环境严重恶化:“温室效应”加剧,臭氧层遭到破坏,酸雨污染,森林锐减,生物遭到空前大“屠杀”,土壤退化,淡水资源危机……已经扩展成区域性甚至全球性问题。人类要持续发展,就必须保护生态环境。

另外,现代教育技术对未来的教师来讲也是十分重要的,尽管它难以和以上八大技术相提并论,但对改变教师的教学观念,探索新的教学方法也是特别重要的。所谓的现代教育技术是以多媒体技术和信息高速公路为标志的。从特定意义上说,在人类的文明史上,教育经历了学校的产生、文字的使用和印刷术的推广这三次革命。从第一次教育革命到第三次教育革命,人类跨越了数千年的历程,其中每次革命都对教育的发展产生了极为深远的影响。进入 20 世纪以后,科学技术的发展,特别是 50 年代以后,以微电子技术、计算机技术、音像技术为标志的高技术的出现,使教育物

质条件和手段又发生了重大变革。计算机技术、音像技术作为现代教育技术涌向教育领域。卫星转播的实现,计算机联网等交互式多媒体技术的发展,信息高速公路的建设,远程教育的创立,使教育摆脱“手工业方式”的束缚,走上了现代化道路。因而,人们也就把这种新型的教育方式称为第四次教育革命。

5. 高技术的竞争状况

20 世纪 80 年代以来,许多国家都把发展高技术列为国家战略的重要组成部分。1983 年 3 月美国提出“战略防御倡议”(即《星球大战计划》),随之出现欧洲的“尤里卡计划”、中国的“863 计划”(《即国家高技术研究发展计划纲要》),苏联的“二千年科技发展纲要”,日本的“今后十年振兴科学技术政策大纲”、韩国的“尖端产业发展五年计划”等等。

由于冷战的结束,美国的“星球大战”计划夭折了。但是高技术的国际竞争不但并没有结束,而且进入了更高级的程度。1993 年初,美国把“信息高速公路”作为政府技术政策的中心,1993 年 9 月,美国的信息高速公路计划正式实施,并准备在未来 20 年里投资 4 000 亿美元。“信息高速公路”的目标是建立一个联结所有社会机构和每个普通家庭的光纤通讯网,使人们在教育、卫生、娱乐、商业、金融和科研等领域都有最佳的信息环境,并且无论何时何地都能以图像、文字、声音、数据并茂的方式与自己想要联系的对象进行双向信息交流。欧洲许多国家决定建立自己的“信息高速公路”,并成立三个小组负责有关事务。欧共体委员会计划出资 330 亿法郎发展欧洲的“信息高速公路”。英国计划在今后十年内投资 380 亿英镑建设“信息高速公路”。加拿大的“信息高速公路”计划在今后 10 年内投资 7.5 亿加元。日本计划在三年内投资 5 亿美元,建设一条名为“研究信息新干线网”的“信息高速公路”。新加坡政府决定拨出 12.5 亿美元,实施其“国家信息基础设施建设计划”。1993 年 12 月,我国政府成立了国家经济信息化联席会议,开始实施国民经济信息通讯网等“金卡、金关、金桥、

金税”系列工程,并已取得了阶段性成果。1998年3月31日,中华人民共和国信息产业部成立了,这标志着我国信息产业的发展迈上了一个新台阶。截止2003年7月,我国电话用户总数跃居世界第一位,达4.8亿户,互联网上网人数跃居世界第二位,达5381万户。一个覆盖全国、连通世界、技术先进、业务多样化的现代通讯网已基本形成。长途传输、本地交换、移动通讯全部实现数字化,网络技术水平进入世界先进行列。

中国在高技术研究方面,获得了一批具有国际水平的高技术成果。两系法杂交水稻技术、籼稻基因组精细图和粳稻第四号染色体精细图绘制技术、人类基因图谱研究技术等等,总体研究水平已达到国际领先地位。6000 m水下机器人海试成功,使中国具备了对深海区进行探测的能力,达到了世界先进水平。我国第三代移动通信系统研究开发成功,并提出了TD-SCDMA系统标准,使我国第三代移动通信技术站到了国际先进水平的前列。“龙芯”系列64位通用芯片“方舟3号”芯片研制成功,在体系结构设计上达到了国际先进水平。曙光3000超级服务器,在整体上达到了国际先进水平。在纳米技术领域达到了国际领先水平,成功制备出了超长定向生长的碳纳米管阵列,合成了世界上最细的碳纳米管,在世界上率先制备出高纯、高密度,在室温下具有超塑延展性能的纳米铜。在克隆技术方面,获得了成年体细胞克隆牛群体,标志着我国完全掌握了世界一流的体细胞克隆技术,成为世界上掌握该技术的少数国家之一。

三、知识经济

1. 科学技术的迅猛发展,使人类走向知识经济时代

自20世纪70年代以来,对未来经济虽然有许多说法,但是都逐步统一到“知识经济”的说法。先是前美国国家安全事务助理布热津斯基(Z. K. Brzezinski)在《两个时代之间——美国在电子技术时代的任务》一书中提出:我们面临一个“电子技术时代”。

1972 年,美国社会学家丹尼尔·贝尔(Daniel Bell)又把它称为“后工业社会”。美国社会学家托夫勒(A. Toffler)于 1980 年在《第三次浪潮》中大力宣传了“后工业经济”,并把它描写成“超工业社会”,提出出现了一种不同于工业经济的经济。美国经济学家奈斯比特(J. Naisbitt)1982 年在《大趋势》中提出了“信息经济”的概念,以其主要支柱产业命名这种经济。英国福莱斯特 1986 年在《高技术社会》中提出了“高技术经济”,以新型经济的产业支柱群体命名这种经济。1990 年联合国研究机构提出了知识经济的说法,明确了这种新经济的性质。1992 年中国经济学家吴季松在联合国教科文组织《国际社会科学》杂志上撰文提出“智力经济”的概念。1996 年经合组织明确定义了“以知识为基础的经济”(knowledge based economy),第一次提出了这种新型经济的指标体系和测度。综合以上各种说法,“知识经济”比较确切的概念应该是“以智力资源的占有、配置,以科学技术为主的知识的生产、分配和使用(消费)为最重要因素的经济”,简而言之,就是邓小平同志提出的“科学技术是第一生产力”的经济时代。

2. 经济发展的三个阶段

自人类文明史以来,从技术进步和生产力发展的角度来看,经济发展可以分为三个阶段:劳力经济阶段、(自然)资源经济阶段和知识经济阶段。劳力经济始自人类文明之初,一直到 19 世纪,长达几千年。在这一经济发展的阶段中,人们使用的劳动工具是犁、锄、刀、斧等手工生产工具和马车、木船等交通运输工具,主要从事第一产业——农业,辅以手工业。这时劳动生产率主要取决于劳动者的体力。在劳力经济阶段,生产的分配主要是按劳力资源的占有来进行。劳力是主要争夺对象,有了劳力就能开发资源,发展经济,获得财富。元朝的开国皇帝成吉思汗进行战争的目的主要是掠夺劳力,西方奴隶的买卖也是劳力的争夺。

自 19 世纪以来,科学技术取得了迅猛发展,拖拉机、车床等代替了手工生产工具,汽车、火车、轮船和飞机代替了落后的交通工

具,生产效率有了很大提高。这一阶段的经济主要取决于自然资源的占有和配置。这就是资源经济阶段。在这一阶段,商业劳动和生产劳动分离开了,使产品交换规模大大增加,交换的范围急剧扩大,交换的形式日趋复杂,从而形成了“市场”。在资源经济阶段,生产的分配主要按自然资源(包括通过劳动形成的生产资料)的占有来进行。19世纪以来至今天的世界战争,其目的主要是掠夺或保护自然资源。

人们预测,世界经济将在21世纪进入知识经济阶段。知识经济产生和发展的基础是源于20世纪40年代的信息技术的革命,特别是80年代兴起的高科技革命。由于科学技术的高度发达,科技成果转化为产品的速度大大加快,形成知识形态生产力的物化,人类认识资源的能力、开发富有资源替代短缺资源的能力大大增加。因此资源的作用退居次要地位,科学技术成为经济发展的决定作用。在知识经济的阶段,经济发展主要取决于智力资源的占有和配置。从生产力的要素看,科学技术将成为第一要素。创新是知识经济的灵魂。

知识经济的支柱是高技术产业。知识经济在生产中以高技术产业为支柱。高技术产业主要有:信息科学技术产业、生命科学技术产业、新能源科学技术产业、新材料科学技术产业、空间科学技术产业、海洋科学技术产业、环境保护科学技术产业等。

3. 知识经济的特点

(1) 经济发展的可持续性。传统工业技术尽可能多地利用自然资源,以获取最大的利润,不考虑或很少考虑环境效益、生态效益和社会效益;建筑在自然资源取之不尽、环境容量用之不竭的基础上。而知识经济产业是科学、合理、综合、高效地利用现有资源,同时开发尚未利用的富有自然资源取代已经耗竭的稀缺的自然资源。因此说,知识经济是促进人与自然协调、可持续发展的经济。

(2) 资产投入无形化。知识经济是以无形资产投入为主的经济。传统工业经济需要大量资金、设备,有形资产起决定性作用,

而知识经济则是知识、智力、无形资产的投入起决定性的作用。当然,知识经济也需要资金的投入,但是,如果没有更多的信息、知识、智力的投入,它就不是知识经济。

(3) 世界经济全球化。经济全球化浪潮扑面而来。随着交通的发达,通讯技术特别是因特网的普及,时空的界限被打乱,地球越来越像个村庄了,与此同时,“冷战”结束后,经济成为国际竞争的主战场。在这种形势下,经济全球化成为 20 世纪末世界形势的一大特点。最近几年,世界经济全球化趋势越来越明显。1997 年和 1998 年发生在东南亚的金融动荡,一度波及纽约、伦敦股市。发展中国家的金融问题对发达国家的股市产生重大影响,历史上未曾有过。跨国公司是经济全球化的骨干力量。

(4) 知识产权化。在知识经济时代,资产的主要形态是知识。知识资产是由专利、商标、版权和商业秘密组成的。如果知识没有产权,那么它的价值就得不到保证,因此,知识产权化成为知识经济发展的一个基础条件,同时也是知识经济的一个重要发展战略。

(5) 新的价值取向。农业经济的价值体现在劳力和土地的占有,工业经济的价值体现在资源和金钱的占有,而智力经济的价值体现在智力和知识的占有。

(6) 新的市场观念。“网络经济”已经成为市场经济的新特征,商务电子化将形成传统市场经济里的一场革命,日益发展的跨国公司已开始形成不同于传统市场的竞争,形成你中有我,我中有你,既相互合作,又彼此竞争的局面。

(7) 新的社会组织形式。20 世纪在科技产业化方面最重要的创举是兴办科技工业园区。科技工业园区是一种新的社会组织形式。它集中智力资源、信息、知识和高技术,通过现代管理实现规范化、网络化、国际化和产业化来解决高技术产业的资金、技术、市场和风险问题,创造高于传统工业几十倍的劳动生产率。

(8) 创新是知识经济的灵魂。在知识经济时代,创新对企业的重要性远远胜过原料和厂房,美国微软公司成功的秘诀之一,就

是“淘汰自己的产品”,否则就会被别人毫不留情地超越。

4. 为了迎接知识经济时代的到来,世界各国纷纷调整和制定发展战略

虽然世界各国的发展战略不完全一致,但是在以下六个方面达成共识。

- (1) 实施科教兴国战略,建立国家创新体系。
- (2) 增加研究与开发投资,重点倾向知识产业。
- (3) 建立高科技园区,实现产学研一体化。
- (4) 建立风险投资机制,促进高技术产业化。
- (5) 加快企业调整,鼓励企业技术创新。
- (6) 增加教育投入,重视终身教育,大力开发人力资源。

今天的世界,只能说是出现了知识经济的萌芽,即便是在这方面领先的美国也还没有形成知识经济。从总的来看,在当前世界经济中,许多知识经济的规律已经起作用。可持续发展已日益成为世界各国的共识,无形资产已经受到高度重视,高技术产业迅猛发展,传统产业的高技术成分日益增加。知识经济已不是遥远的未来。不少经济学家估计,2030年,改变世界面貌和人类生活的重大高科技产业化可能全面实现,人类在21世纪下半叶将全面进入知识经济时代。

知识经济对于发达国家而言,是生产力发展的必然结果;而对于处在工业化进程中的发展中国家,则是机遇和挑战并存。

第一篇

这一篇介绍当代自然科学中的五个重大基本问题,它们分别是宇宙的起源和演化、地球的起源、生命的本质与智力的起源、宇宙的结构层次和物质的基本单元、非线性科学。

所谓当代自然科学的重大基本问题是指那些自从盘古开天辟地,三皇五帝到如今,人类就开始探索,而今人们仍在不停地探索的自然的奥秘。

当代自然科学有很多重大基本问题,其内容十分丰富。要想在一本书中穷尽,是办不到的,我们只能向读者介绍人们普遍特别关注的五个重大基本问题。

当代自然科学中的 重大基本问题

第一章 宇宙的起源和演化

宇宙起源的问题有点像这样一个古老的问题:是先有鸡呢,还是先有蛋?换句话说,就是何物创生宇宙,又是何物创生该物呢?宇宙演化的问题是问宇宙是恒定不变的,还是永恒变化的呢?

宇宙一词,泛指天地万物,亦即在浩瀚的空间中运动和变化着的全部物质世界的总称。迄今人们对宇宙的认识,已经从地球到太阳系,再由太阳系扩展到银河系、河外星系、星系团乃至观测所及的宇宙深处。

中文“宇”字指空间、“宙”字指时间。《齐物论》中说:“四维上下曰宇,往古来今曰宙。”然而它们又不绝对,含有包容和流转的意义,故宇宙可指时空中所含变化的万有。又“宇之表无极,宙之端无穷”(张衡《灵宪》)由此知宇宙又含有深邃奥妙、无穷无尽之意。经常与宇宙混用的还有世界、天地。天地自不必解释。世:三十年也,界:境也,限也。我们平常说的世界多指地球小范围而言,意义要狭窄得多。西方的“宇宙”基本上是个空间概念,有两个重要词表达,一是 Cosmos 来自希腊文,本意是秩序,意指作为秩序体系的整个宇宙;二是 Universe 来自拉丁文,本意是万有,意指包罗万象的宇宙。宇宙是丰富的,其意义也是丰富的,我们应当尽量从多方面去认识宇宙,去全面理解宇宙。

第一节 宇宙概观

极目长空,日月经天,星回斗转,河汉纵横。自古以来人们观天象,辨星斗,成果辉煌。哥白尼的“太阳中心说”使自然科学从神学中解放出来,牛顿创立了天体力学,而量子力学、相对论、高能物理学奠定了现代宇宙学的基础。大口径天文望远镜的落成,光子

计数照相机和电荷耦合探测器的使用,天文光谱测量技术的发展,空间飞行器的天文探测等等,使人类对宇宙的认识逐渐深化和日臻完善。这一节我们来介绍一下现代天文学所认识的宇宙概观。

一、宇宙概观

下面根据现代天文学知识描述宇宙的概观。

我们居住的地球是太阳系家族的一员,距太阳平均距离为 1.496×10^8 km。太阳是太阳系的中心天体。

太阳系是由太阳、行星及其卫星、彗星、流星体和行星际物质构成的天体系统。离太阳由近及远依次是水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星等九大行星。九大行星围绕太阳转。最外面的冥王星距太阳平均 5.9×10^9 km,光约走 5.5 h。在火星和木星之间运行着几十万颗小行星。太阳系中质量较小的天体还有流星和彗星,哈雷彗星、波普-海尔彗星、白武彗星就是其中的几个。太阳只是一颗极普通的恒星,它属于一个庞大的恒星系统——银河系中的一颗恒星。太阳系是银河系中的一个星系。

银河系是由群星和弥漫物质集成的一个庞大天体系统。晴朗夜空中我们看到的横亘天穹、云雾一样明亮的光带(俗称天河)就是银河系。银河系中有 2 000 亿颗以上的恒星。形状呈扁盘形,像一个旋转的铁饼。盘所在的平面称为银道面。扁盘的最大厚度约 1×10^4 l. y. (l. y. 是光年的符号, $1 \text{ l. y.} = 9.460\,730 \times 10^{15} \text{ m}$,即光在真空中 1 年内所传播的距离),银河系发光部分距离约 7×10^4 l. y.,银盘外围还有一个由恒星组成的球状晕称为银晕,直径约 1×10^5 l. y.,银晕中恒星密度比银盘中的小得多。垂直银道面看,银河系呈旋涡状。它由两个旋臂组成,银河绕着它的中心(银心)旋转。太阳处在银轴 $3/5$ 处,以 250 km/s 速度运动,约 2 亿年绕银心旋转一周。除恒星外,银河系中还有不少由气体和尘埃组成的团块,称为星云。有的星云含有大量分子,称为星际分子云,常常是恒星生成的场所。

现已观测到银河系之外还有数十亿的类似于银河系的庞大天体系统,称为河外星系。星系大约含 10^{11} 颗恒星,质量约为 $10^{11} m_{\odot}$ ($m_{\odot}$ 表示太阳的质量)。肉眼可见的最远天体仙女座星系(6等星)就是离银河系最近的河外星系,离我们 2.25×10^6 l. y.。这一距离是哈勃利用变星光变周期与其固有光度的关系确定的。星系的形状可分为椭圆形状、透镜形状、旋涡形状、棒旋形状和不规则形状五个类型。这与星系演化时间长短及演化条件相关。星系在宇宙中的分布是不均匀的,有的成双,有的成群、成团。大的星系团甚至包含成百上千个星系,星系团质量在 $10^{14} m_{\odot}$ 量级。有些星系团又聚集成尺度更大的超星系团,已观测到 5×10^8 l. y. 的这种结构。这里所说的宇宙概观不是“古已有之”,它是天文学数千年历史发展的总结,是千千万万天文学家历经艰辛、上下求索的结果。

二、几种典型的现代宇宙模型

在现代,有什么样的物理理论就产生什么样的宇宙学。以牛顿力学为基础的宇宙学认为宇宙是一架机器,经过第一推动后按牛顿力学规律运行。这是唯物机械论的宇宙学,现在证明这种框架是站不住脚的。而以众多观测事实为依据建立在广义相对论、量子论等基础物理理论之上的宇宙学,试图对作为整体的宇宙的起源与演化做出系统说明,这无疑是科学上的一大进步。

1916年爱因斯坦提出广义相对论。1917年他把广义相对论用于宇宙学研究,得到了一个静态的有限无界的宇宙模型,称为爱因斯坦宇宙,是个空间闭合并具有均匀的物质分布的宇宙。该模型的提出把宇宙学推进到“现代化”的高度,是现代宇宙学的开端。爱因斯坦宇宙模型由于它不可能保持稳定而被放弃。

1922年苏联数学家费里德曼得到爱因斯坦场方程一组动态解,包括两类膨胀解和一类振荡解,从而建立了新的宇宙模型。对

于膨胀解,宇宙将一直膨胀下去;对于振荡解,宇宙呈现膨胀—收缩的振荡。

1927年比利时人梅特勒在费里德曼解的基础上把已观测到的河外星系光谱红移解释为宇宙膨胀的结果,提出了膨胀宇宙的模型。红移被解释成非静态宇宙有膨胀效应,哈勃定律就成为非常有利于费里德曼-梅特勒宇宙模型的证据,使膨胀宇宙说盛极一时。

从膨胀宇宙模型出发,根据当时测量的哈勃常数推算出的宇宙年龄太小。为解决此问题,1948年英国剑桥的拜迪、霍伊尔和戈尔德又提出稳恒态宇宙模型。它基于完全宇宙学原理,认为宇宙物质密度始终不变。但由于宇宙的膨胀而导致物质密度减小,这就必须在引力场方程中引进物质创生项。该理论虽然没有奇点(空间、时间曲率为无穷的点)困难,但因引入新物质的不断创生,不能对3K微波背景辐射做出令人信服的解释,而且射电源和星系的分布也远非稳恒不变,所以稳恒态宇宙模型已普遍地遭到怀疑和冷落。

20世纪40年代末、50年代初,伽莫夫等人对极高温密度早期的早期宇宙研究认为,宇宙起始于极端高温高密度“原始火球”的爆炸,爆炸后的宇宙随即膨胀,温度密度逐渐降低而演化至今。根据地球上已知的理论可推得各种粒子和物质相应的生成时间,推得星系与恒星的形成与演化。该理论受到微波背景辐射、宇宙中氢氦元素比例、氘锂丰度等观测资料的检验,成为被普遍看好的主流模型——热宇宙模型,俗称“大爆炸宇宙”模型,亦称标准模型。

为解决“大爆炸宇宙”模型不能解释的“视界”、“平坦性”等问题,20世纪80年代,古斯等人将理论物理大统一理论引入宇宙学,对极早期宇宙提出暴涨概念,认为在大爆炸后的一个非常短时期内宇宙进入不稳定不对称的真空(假真空),在假真空能量推动下宇宙经历了一个异乎寻常的暴涨阶段,半径增大了 10^{50} 倍!

经过真空相变后假真空能量释放,导致惊人数量粒子的产生,区域被重新加热,此后将继续大爆炸模型的过程。经过不断修正和充实,暴涨的宇宙模型已能较好地处理一系列极早期宇宙难题。

第二节 天文学的回顾与展望

在自然科学中,研究地球以外环境中各种天体的运动、结构、起源和演化的基础学科叫做天文学。天文学是探索宇宙奥秘的科学,它帮助人们认识宇宙,了解天体。因此,我们在这一节来介绍天文学。

一、古代天文学

在五六千年前,天文学就悄然萌芽了。上古的游牧民族凭借日月星辰的位置辨别方向,农业民族依据群星出没时间的变化确定耕作时令。巴比伦的泥碑、埃及的金字塔、中国殷墟的甲骨文里,都留下了天文学诞生时期的丰富例证。中国的天文学,从殷商时代开始,直到明代,长期处于世界领先地位,在天文观测、历法、天文仪器和宇宙理论等方面,都对世界天文学的发展做出了重大贡献。这里仅以天象观测记录为例。从春秋战国时代开始,我国就有了完整的日食记录,正史所载的就有 900 多条。自商代到 17 世纪末,我国史书记载了约 30 颗新星和超新星,这在世界上遥遥领先。我国关于太阳黑子的记录比欧洲早 800 多年,从公元前 613 年始,哈雷彗星每次回归都有详细的记录。

二、现代天文学

1. 现代天文学萌芽——在行星层次认识上的飞跃

17 世纪名扬史册的“第谷—开普勒—牛顿三部曲”。丹麦天文学家第谷·布拉赫(1546—1601),进行了大量天体方位观测,以天文观测手段的改进与天文资料的积累闻名于世。他的观测精确度较高,他测定了岁差,发现了黄赤交角变化及月球运行二均差

等新现象。德国天文学家开普勒(1571—1630),他认真分析了第谷以来的宝贵观测资料,总结(发现)了行星运动三定律,为牛顿发现万有引力定律奠定了基础。牛顿(1642—1727)在开普勒对第谷观测资料奇迹般分析的基础上提出了万有引力定律和牛顿三定律,这不仅是经典力学的光辉里程碑,而且是天文学从单纯探讨行星运行的经验关系阶段推向到认识天体间相互作用普遍规律的本质阶段的里程碑。每次天文学的重大飞跃无不经历天文观测和资料积累、资料分析和总结规律、理论突破和本质揭示三个阶段。第谷时代,天文望远镜尚未问世,人类天文视野里仅限于肉眼所及的近7千颗恒星,研究的焦点集中于太阳、月亮和五颗行星的运行,因此第谷时代人们主要是认识行星,实现了在行星层次认识上的飞跃。

2. 20世纪完成的第一次飞跃——在恒星认识层次上的飞跃

20世纪初,折射望远镜口径发展到1 m数量级,开始配备了照相装置和光谱仪,实测目标覆盖了以千光年计的距离,此时记录有六万多颗恒星的玻恩星表(BD)发表了近半个世纪,含有27万颗恒星“光谱分类”的哈佛大学星表(HD)已完成约1/3,测量过“视差”从而定出距离的星数约近一千。以此为基础获得成就是著名的赫罗图(HR图)。赫罗图的作者丹麦天文学家埃依纳·赫兹普龙和美国人亨利·诺里斯·罗素以罕有的卓识,选择恒星表面温度和恒星光度为坐标轴作图,探讨不同恒星之间的共性,寻觅开启恒星演化之谜的钥匙。由天文学实测得到的赫罗图,意味着它含有把满天既多又杂的恒星现象归合到一个统一演化规律的线索。它的问世把当时恒星层次的研究推进到精化赫罗图理解赫罗图的新的前沿。这与当年开普勒发现行星运行三定律中含有把各个不同行星运行现象归合到统一的运动规律的线索,于是将当时行星运动研究推进到理解开普勒定律的天文学前沿相比较,可谓异曲同工。此时物理学前沿是核物理的开拓。在恒星结构中引入核聚变机制,可认为是现代恒星演化模型的开端。随后的研究深

入到不同质量的恒星的不同演化阶段,应用核物理理论,可以计算出各种恒星各个阶段的内部核反应,并由之推导出相应可供实测的恒星参数,包括前面论及的恒星表面温度和恒星光度。现在只要知道一颗恒星在赫罗图上的位置,就可以估算出它的原始质量和所处的“年龄段”。这个恒星演化模型描述了各类恒星的一生,直到它们的最终归宿,其中包括对 neutron 星和黑洞的预言。这个模型还包含恒星整体的演化过程中从原始星云物质——合成周期表中所有元素的理论。这次恒星认识层次上的飞跃,大致完成于 20 世纪中叶。

3. 20 世纪完成的另一次飞跃——在星系认识层次上的飞跃

它开始于星系刚刚被定性的 20 世纪 20 年代。首先是反射式望远镜的发展,带来了天文学的巨大进步。口径允许做到 1 m 以上,测得了数以千计的星系(银河系只是众多星系的一个),距离达数千万光年,积累了若干星系的光谱。最大的发现是大多数星系谱线的“红移”(谱线位置向光谱的红端位移,用多普勒效应解释,表明被测目标正在“退行”)。加上一些分类和光度资料,由此发现了著名的哈勃定律。哈勃找到了星系退行速度 v 与星系距离 d 的关系,他大胆地提出了 $v = Hd$ 的经验规律,其中 H 为哈勃常数,这就是哈勃定律。哈勃定律表明星系越远退行的速度越大,由此可以推断出宇宙正在膨胀。该时期理论工作集中体现在爱因斯坦广义相对论的应用。弗里德曼把广义相对论用于宇宙整体,论证了宇宙不能保持静止,要么膨胀,要么收缩。他的这个宇宙模型得到了哈勃定律的实测支持,成为当前主流模型(所谓的大爆炸宇宙学模型)。其逻辑推理是:我们面前是一个膨胀中的宇宙,回过头去看,必定有一个时候(现在估计为 100 多亿年前)整个宇宙都密集在一个极小范围里,密度极大、温度极高,必定在那个时候产生了“大爆炸”,启动了宇宙的膨胀。这里从大爆炸之后约 1 s 的时候说起。宇宙膨胀了 1 s ,温度降至约 10^{10} K ,这允许我们使用现代物理知识,包括当时不断发展中的粒子物理学和其他门类

物理学知识,描述那时开始的宇宙物理状态,即随着宇宙的不断膨胀,其密度和温度不断降低,宇宙从最初“高温一锅汤”的状态逐步演化直至今今天大家熟悉的天文世界。除哈勃定律是“大爆炸”模型的当然证据外,20世纪40年代伽莫夫等提出的“早期宇宙”遗留至今的几个可测现象主要是宇宙微波背景辐射、宇宙间氢氦含量比及氘锂丰度等。它们都可成为该模型的验证。“大爆炸”模型真正在科学上站稳脚跟是在20世纪60年代宇宙微波背景辐射得到验证的时候。著名中国天文学家王绶琯认为,此时在星系层次认识上的飞跃至此可以划上句号。

4. 当前正在努力中的新一轮飞跃——新世纪的天文学

天文观测技术的主要进展有:

(1) 从天文照相技术到 CCD 的普及。照相技术多年居光探测器的首位。近百年来光探测器的改革和革新主要有:各种天文照相底片陆续问世,敏化等技术被广泛采用,发展了以“光子计数照相机”为代表的增强器系列,以 CCD(电荷耦合探测器)为代表的微电子器件。目前 CCD 的优势已充分展开,应用范围从红外、光学波段延展到了紫外、X 射线波段。CCD 的大范围普及无疑是本世纪天文实测技术上一大“跃进性”成就。

(2) 天文光谱测量和多目标天文光谱的发展。天文光谱测量使人们对天体的认识真正推进到本质阶段,没有天文光谱学就没有天体物理学。20世纪80至90年代,“多目标光纤光谱仪”的成功应用使天文光谱技术获得重大突破。把一束光纤的一端——对准望远镜视场上一批待测目标,另一端集中起来沿着光谱仪的狭缝排列,这样一次观测可以同时记录几百个光谱,光纤光谱技术正迅速被大型望远镜所采用。

(3) 反射望远镜的发展及新技术望远镜的问世。20世纪初反射望远镜的材料和工艺基本定型,聚光面积可以比折射望远镜大得多,这是天文望远镜发展中的一大转折。第二次世界大战后 5.0 m 望远镜落成。迄今全世界共制造了约 20 台 4 m 级望远镜,

而近 10 余年以 10 m 的 Keck 望远镜为代表的“新技术”望远镜已开始登上舞台,目前,计划中 8 m 级望远镜多达 10 台以上。8 m 级望远镜采取了“薄镜面”——主动光学新技术,使望远镜的大型化又迈上一个新阶梯。

(4) 施密特望远镜的发明。施密特望远镜以其巨大的视场成为天文巡天利器。对大片天区进行巡天“普测”和对选定目标用大型望远镜进行“精测”是半个世纪以来天文学实测的重要策略之一。

(5) 射电天文学的问世。二战后开始发展的射电天文学,导致了 20 世纪 60 年代“四大”天文发现。与光学天文学一样射电天文学现已成为天文学常规观测手段。射电天文学的问世对于揭露宇宙间大规模剧烈活动起了重大作用。跨进 21 世纪期间,国际上投入亚毫米波、毫米波、厘米波各类大接收面积高分辨率射电天文设备建设,计划中投资不下十几亿美元。

(6) 综合孔径系统的发明。综合孔径系统的发明,对望远镜向巨大接收面积和高分辨率成像两大目标的迈进是一次革命性突破。它完全适用于任何电磁波段。今天除了射电波段已告成熟之外,已经开始了光学波段的实验。由此引申的甚长基线射电干涉仪,近 30 年取得许多观测成果。目前分辨率超过万分之一角秒,并正在发展利用人造卫星把基线延伸到空间距离。

(7) 空间天文的发展。20 世纪 60 年代开始空间天文计划以来,早期的一些发射(自由号、爱因斯坦天文台 HEAD-2、紫外卫星 IVE、红外卫星 ERAS)已取得了重要结果。30 多年的努力在各个不同波段均有不同程度的突破,为下一阶段的“飞跃”增加了丰富资料。这种努力在跨世纪时期将进入高潮。其中美国的四大空间天文计划(哈勃空间望远镜,1990 年发射;康普顿 γ 射线天文台 1991 年发射;高级 X 射线天体物理设施 AXAF 计划 1998 年发射;空间红外望远镜设施 SIRTIF 计划 1999 年发射)每项投资均达 10 亿~20 亿美元。

(8) 中微子探测实验。20 世纪 80 年代,³⁷Cl 探测太阳中微子实验、1987A 超新星中微子流量的测量均引起中微子天文测量的强烈要求。拟议中的中微子天体物理学,提供电磁波外的天体直接信息的利用,可供天体中粒子物理过程的测量和验证以及宇宙物质基本成分的探索。中微子天体物理学可望在二三十年内趋于成熟。

向当前天文观测提出重大挑战因而可能成为下一次飞跃开路的资料分析和规律总结工作主要有:

(1) 量天尺的订立和校准。天体距离的测量是探讨天文过程物理本质的基本条件,而宇宙尺度的量天尺哈勃定律靠精心测量哈勃常数来校准。H 值的测定虽有较大进展,但仍保持为对天文实测的一大挑战。

(2) 暗物体寻求解释。20 世纪 30 年代里兹维基发现由动力学方法测定的星系团质量远大于由光度推算的质量,表明星系团中存在着大量观测所不能及的“暗物体”,尔后的研究表明暗物体占全部宇宙质量的 90%,这是向理论寻求解释的大挑战,也是向实测寻求深入搜寻的大挑战。

(3) 类星体的理解和搜寻。射电天文中发现的有着高红移、处于数十亿到百余亿光年的以往鲜能涉及的宇宙深入的类星体,它在 1 光年级小核心中发出比一般星系强千百倍的辐射,其分布、机制、在宇宙演化中所处地位等都是 30 年来理论和实测的热点,此热点至今仍在不断被“加热”。

(4) 宇宙大尺度结构的探索。20 世纪 90 年代初星系红移巡天资料的分析表明,在三维空间中星系像是分布在一堆肥皂泡的泡壁上,中间是“空洞”,有些结构排列为“长城”,长达五亿光年。这种大尺度不均匀性要求宇宙学理论做出解释。更重要的,要求更深的星系红移巡天来了解宇宙结构到多大尺度才能达到均匀。这些都将是跨世纪时期的重大探索,影响不可估量。

新世纪天文学的理论突破和本质揭示工作的首要目标,是完

整地描述从宇宙“诞生”开始一直演化至今以至将来的被一些专家称之为“大统一模型”的建立。在“大爆炸”宇宙学模型中,目前有“三座尚未开放的宫殿”,第一是“早期宇宙”之前的“极早期宇宙”,这里是宇宙创生期和基本物理规律探讨的交叉点。需要寻求更深入的理论研究和天文验证。第二是星系层次上的演化过程,包括活动星系和普通星系的形成与演化,以及庞大宇宙暗物体的性质和作用。第三是行星层次上的行星系统及宇宙间固态成分的形成、演化以及生命种子的形成。要建好这样的“天文大统一模型”恐怕还有一段不短的路程。

第三节 宇宙的起源和演化

宇宙有没有起源和终结,它是永恒的还是演化的?这是宇宙学所要回答的一个根本问题。各种文明都有自己关于宇宙起源的看法。

一、中国古代的盘古开天地的神话故事

这个神话故事说的是天地本来像个鸡蛋,盘古生于其中。后来天地开辟了,天每日高一丈,地每日厚一丈,盘古每日长一丈。18 000 年以后,天变得极高,地变得极深,盘古也变得极长了。盘古怕天地合拢,就顶天立地拼命撑着,最后精疲力竭地死了。死后,他的全身化成了万物:气为风云,声为雷霆,左眼为太阳,右眼为月亮,血液为江河,肌肉为田土。

世界上其他文明古国,也各有关于宇宙起源和结构的种种传说。例如,古印度人认为大地由四头大象驮着,大象站在一只巨龟的背上,巨龟则浮在水中,等等。古代各民族都把自己生活的地方当作天地的中央,并各自独立地产生了关于宇宙结构的地心学说。

二、宇宙大爆炸起源模型

20 世纪 70 年代以来,粒子物理学家与宇宙学家提出了“宇宙

大爆炸起源模型”联手勾画的宇宙起源与演化图景如下：

宇宙“始”于约 100 亿年前的大爆炸。起初不仅没有任何天体,也没有粒子和辐射,只有一种单纯的真空状态以指数函数形式急剧膨胀着。自然界中已知的四种相互作用,即万有引力相互作用、强相互作用、电磁相互作用和弱相互作用(虽然现在弱相互作用与电磁相互作用已经统一了,我们仍称四种相互作用),那时是不可分的。随着宇宙的膨胀和降温,真空发生一系列相变(可由水变为冰变为水蒸气这种相变的类比去理解难于理解的真空相变)。大爆炸后 10^{-44} s,温度为 10^{32} K,发生超统一相变,引力相互作用首先分化出来,但弱、电磁、强三种相互作用仍不可分。此时粒子产生,但夸克和轻子可以互相转变。至 10^{-36} s,温度为 10^{28} K,大统一相变发生,强相互作用与弱、电磁相互作用分离,物质与反物质间的不对称(即质子电子等类物质多于反质子正电子之类反物质)的现象开始出现。 10^{-10} s,温度为 10^{15} K,弱电相变发生,弱相互作用与电磁相互作用分离。经过这几种相变完成了四种相互作用逐一分化的历史。大爆炸后的 1 s,温度降至 10^{10} K,进入辐射为主的阶段。10 s 时,温度降为 5×10^9 K,几乎所有能量均以辐射(光子)形式出现,辐射密度大于物质密度。3 min,温度为 10^9 K,宇宙膨胀为约一光年的实体,是原子核合成的时期,有近 1/3 的物质合成 ^4He ,就是说此时构造各种物质元素的材料已制备完毕。约经过 7×10^5 a,宇宙温度降为 3 000 K,物质复合成原子,物质密度大于辐射密度,物质变得透明,物质复合的结果使重子数与光子数保持恒定。 10^8 a,辐射温度为 100 K,星际物质温度 1 K,星系形成。 10^9 a,辐射温度 12 K,出现类星体……至目前,宇宙年龄为 10^{10} a,辐射温度降为 2.7 K,星际物质温度为 10^{-5} K,我们观测到的宇宙已大到 100 多亿光年,现在宇宙仍在继续膨胀着。宇宙大爆炸模型已成为举世公认的一种“标准宇宙模型”。它的最大困难是承认宇宙有开端,时间有起点。从数学上讲,爆炸发生一瞬间,宇宙的密度和温度为无限大,是一个奇点,这是一切以广义相

对论引力场方程为基础模型都会碰到的难题。

三、宇宙是均匀的和各向同性的介质

研究宇宙的总体结构时,通常采用这样一个假设:在宇宙学尺度上,任何时候宇宙空间都是均匀的、各向同性的。应用这个假设就可以从已观测到的“我们的宇宙”这部分去推测整个宇宙的特性,数学上处理也很简便。

在宇宙学中,星系被看成是宇宙物质的基本单元。星系是由数以万亿计的恒星构成。星系在宇宙空间的分布并不完全均匀。由于引力作用,星系之间有弱的结团性,使得部分星系组成相对独立的集团。通常把几十个星系结成的集团叫星系群,把几百个星系组成的集团叫星系团。星系群和星系团又进一步结成超星系团。如果我们把空间的单位体积取得比超星系团还大,大到在宇宙学尺度上,实际观测表明,在这种情况下,星系分布的确是接近均匀的和各向同性的。在宇宙学尺度上,可以认为宇宙是由充满空间的以星系为基元的均匀的和各向同性的介质。至今,各方面的天文观测表明,它是真实宇宙的很好写照。

四、哈勃定律与宇宙膨胀

为了理解宇宙的膨胀,下面先分析哈勃定律的表达形式,再分析它的物理意义。1929年,著名美国天文学家哈勃(E. Hubble)发现,星系离得越远接收到它的光的频率比它发出光的频率就降得越多,写成公式为 $Z = (H/c)d$,其中 Z 为红移量, c 为光速, H 为哈勃常数, d 为星系距离,这是哈勃定律的第一种表示形式。一个振动的物体离开振动的接收者而去,离去的速度 v 越快则接收到的频率比物体振动的频率越低,这现象称为多普勒效应。将它用于发光的星体,有 $Z = v/c$,此式与哈勃定律的第一种表达式结合,就得到哈勃定律的第二种表示式 $v = Hd$ 。该式物理意义特别直观,星系退行速度与星系距离成正比。若离地球一倍距离的星系以一

倍的速度退行,则离地球二倍距离的星系则以二倍的速度退行。由此推之,就得到各星系彼此远离、且远离得越来越快这一宇宙膨胀的结论。由此不难理解哈勃定律是宇宙膨胀的当然证据,将哈勃定律列为 20 世纪最重要的天文发现之一也是自然的了。需要指出的是,哈勃关系只对遥远星系成立,对近的星系和更遥远星系都出现偏离,红移与距离的关系向视界弯曲。

对于哈勃常数 H ,当时定出的大小为 $500 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。20 世纪 50 年代以后的天文学家发现哈勃在测距方法上有系统错误,改进后用多种方法测定出的值是如下范围:

$$H = 50 \sim 100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$

这里的 Mpc 是天文距离单位,称百万秒差距,粗略讲,1 秒差距(1pc)约等于 3.26 l. y.。此公式的物理意义是指距离为 1 Mpc 的星系的退行速度为 $50 \sim 100 \text{ km/s}$ 。这一经验规律证实了宇宙以保持均匀性的方式在膨胀。

1994 年 10 月,弗利德曼(Freedman, W. L.)、肯尼克特(Kennicutt, R.)和茅德(Mould, J.)等用空间望远镜测定了室女座星系团中的旋涡星系 M100 内的一些造父变星的距离为 $17.1 \pm 1.8 \text{ Mpc}$,从而把哈勃常数定准了,为

$$H = 80 \pm 1.7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$$

把宇宙中的星系想像成面包中的葡萄干,有助于理解它们随宇宙膨胀而彼此远离的图景。这很像一只嵌有许多葡萄干的巨大面包,当它膨胀时,其中的葡萄干都会看见其他所有的葡萄干都在离开自己,相距越远的葡萄干,彼此分离的相对速度也越大。

五、微波背景辐射

20 世纪天文学的另一重大发现是微波背景辐射。1964 年美国贝尔电话实验室的彭齐亚斯(A. A. Penzias)和威尔逊(R. W. Wilso)用一架精密的射电望远镜在 7.35 cm 波长处探测到一种来自宇宙深处的强度与方向无关的宇宙背景辐射信号。三十多年来

全世界天文界对这种辐射的谱分布和方向性进行了大规模调查。1989 年美国宇航局专门发射了宇宙背景辐射探测卫星,第一批测量数据表明,从 $0.5 \sim 5 \text{ mm}$ 波段上该辐射的谱分布与温度为 $(2.735 \pm 0.06) \text{ K}$ 理想黑体的谱分布完全相合,在扣除运动效应后天空不同方向的差别小于十万分之一。这就毋庸置疑地证明了宇宙微波背景辐射的黑体性和普适性。黑体辐射是光与物质平衡的产物,由此推断宇宙演化中存在着物质与辐射相平衡的阶段。所谓平衡是指给定体积中一定能量范围被带电粒子吸收的光子数与发射出的光子数相等,换句话说为光子被粒子吸收前存在的平均时间(称平均自由时间)与宇宙膨胀的特征时间相比非常短。按“大爆炸宇宙”模型早期宇宙中这种平衡是可能的。由于高温电子与质子是自由的,它们都不束缚在原子中,使得它们能有效地散射光子。大爆炸后的 $7 \times 10^5 \text{ a}$,温度降为 3000 K ,电子质子复合成原子从而光子不再被有效散射,宇宙变得“透明”,术语称物质与辐射变成去耦的。去耦以后的辐射随宇宙的膨胀不断降温变冷直至目前的 2.7 K ,被观测到的正是经过红移了的背景辐射。微波背景辐射被作为“大爆炸宇宙”的重要遗迹被确认,它作为“大爆炸”理论的两个最重要实验证据之一而被载入天文学发展的史册。彭齐亚斯和威尔逊两人因此获得 1978 年诺贝尔物理奖。

六、宇宙是有限的还是无限的

既然观测到了宇宙的膨胀,那么宇宙是否永远膨胀下去呢?换句话说,宇宙是有限的还是无限的呢?费里德曼模型认为这取决于宇宙物质的平均密度 ρ_0 与临界密度 ρ_c 的比值。若 $\rho_0 < \rho_c$,对应一个双曲线型开放宇宙。若 $\rho_0 = \rho_c$,对应一个欧几里得式平直开放宇宙。这两种情况宇宙将无限制膨胀下去。而 $\rho_0 > \rho_c$ 时对应一个有限无界的闭合宇宙,宇宙将呈现膨胀—收缩的振荡。由此可见,宇宙物质平均密度的测定可以决定宇宙究竟是有限的还

是有限的！大爆炸宇宙仍然是费里德曼式的，根据它的模式 $\rho_c \approx 10^{-29} \text{ g/cm}^3$ ，而 ρ_0 的观测可通过宇宙膨胀的减速因子 q_0 的观测推断。 $q_0 < 1/2$ 对应宇宙的闭合， $q_0 \geq 1/2$ 对应宇宙的开放。按目前宇宙膨胀速度的变化，若宇宙是开放的，其年龄估算为 200 亿年。若宇宙是闭合的，其年龄估算为 130 亿年。目前观测到的 $\rho_0 \approx 2 \times 10^{-30} \text{ g/cm}^3$ ，但不能下结论说宇宙是开放的要永远膨胀下去。因为这只是可观测到密度。一般估计宇宙可观测质量仅为宇宙质量的百分之一到百分之十。而近年来关于中微子存在质量的实验报告不断出现。若考虑中微子质量为 10 eV，那么宇宙的质量将大为增加， ρ_0 很可能超过 ρ_c 。若将尚未观测到的物质称为隐匿物质或暗物质，则它的推测实际上还远没有解决，所以宇宙是否无限膨胀下去是当前科学无法判断的一个难题。

七、宇宙的年龄

如果宇宙有开端，那么它就有年龄。逆时间顺序追溯宇宙演化的历史，第一个推论是越早宇宙密度越高，直至无穷。让我们把密度为无穷的时刻作为时间的零点，即定义为 $t=0$ ，那么今天的宇宙必有一个有限大的年龄。宇宙中一切天体的年龄都不应超过宇宙年龄所确定的上限。

从理论上讲，广义相对论为宇宙膨胀过程提供了明确而简单的方程式，因此宇宙年龄易于解出。解出的结果表明宇宙的年龄可用哈勃常数 H 与减速因子 q_0 表示，宇宙年龄约为 H 的倒数。

由新近对室女座 10 颗脉冲星观测得到的哈勃常数确定的宇宙年龄在 120 亿 ~ 160 亿年之间。利用放射性同位素含量测定年代的方法，人们测量了地球上最古老的岩石，测量了阿波罗号宇航员从月亮上带回来的土壤、岩石样品，测量了来自星际空间的陨石，发现它们的年龄均不超过 47 亿年。恒星的年龄可从它们的发光速率与能源储备来估计，由此获悉最老恒星的年龄已超过 100

亿年。

利用球状星团在赫罗图上分布测得的老年星团年龄为 120 亿 ~ 180 亿年,迪马克估计为 130 亿年。总之,用不同方法对宇宙年龄的估算值与标准模型给出的很接近,上限都为 10^{10} 年数量级。现在普遍认为,估计宇宙年龄在 100 亿 ~ 150 亿年之间。

20 世纪 50 年代末期,把推断宇宙年龄的古老天体作为地球和太阳,这样造成了距离定标的错误,定出的 H 值比现在的值大 5 ~ 10 倍。由它预言的宇宙年龄仅为 20 亿年。当时人们已知地球的年龄为 45 亿年。宇宙年龄短于地球年龄,这显然不合理。这矛盾是当时许多人不接受膨胀宇宙理论的一个重要原因。当 H 获得现在的值后,这疑点消除了。现在用于推断宇宙年龄的古老天体是球状星团。

由球状星团测得的哈勃常数在 $50 \sim 100 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。由此算出的球状星团的年龄在 150 ± 30 亿年的范围内。专家认为它不会小于 120 亿年。这些结果与宇宙年龄的理论值符合得很好。无疑这对宇宙学理论是很大的支持。

八、宇宙元素的丰度

按标准宇宙模型,在热平衡的“宇宙汤”阶段,中子与质子的数量相等。随着宇宙的膨胀,二者比例降低,3 min 时为 1:6,此时中子与质子形成氘核的核反应开始。核反应继续进行就生成氦。氦同氢的质量分别占 25% 和 75%,就是说元素形成时其他元素的分量很少,宇宙中几乎全是氢和氦。从太阳系、其他恒星、星际介质、不同星系以及宇宙射线观测和研究中获得的数据表明,宇宙氦的含量在 22% ~ 25% 之间,而氢与氦的质量比约为 3:1,理论值与观测接近。另外同一时期合成的氘、锂、铍、硼等轻元素尽管数量比氢、氦少得多,但理论给出的丰度值与实际观测也较接近。这种普适性对“大爆炸宇宙”模型是有力的支持。另外重子光子数之比的测量也是对该模型肯定的检验。

第四节 星系的起源和演化

星系是由几十亿至几千亿颗恒星以及星际气体和尘埃等构成,占据几千光年至几十万光年的空间的天体系统。星系是构成宇宙的基本单元。银河系就是一个普通的星系。银河系以外的星系称为河外星系,一般称为星系。1924年,哈勃根据天文观测,确认仙女座星云、三角座星云和 NGC6822 星云是银河系以外的天体系统,称它们为河外星系。

星系的外形和结构是多种多样的。1926年,哈勃按星系的形态把星系分为三大类:椭圆星系、旋涡星系和不规则星系。后来又细分为椭圆星系、透镜星系、旋涡星系、棒旋星系和不规则星系五个类型。

20世纪70年代以来,发现了许多特殊星系,例如,塞佛特星系, S 型星系,致密星系,爆发星系, cD 星系。有人也把类星体归入星系。

星系在永恒地运动。它内部的恒星在运动,自身也在运动。成对出现的星系彼此围绕公共质心转动,在星系团中,星系间有随机的相对运动。河外星系的视向退行速度与距离成正比。

星系的质量是可测的。根据牛顿定律,转动着的星系内任一点的离心力必须同该点轨道以内所有物质对它的引力相平衡,这就由速度-距离的实测曲线得出星系的质量分布和总质量。用此法求出的星系质量一般为 $10^9 \sim 10^{11} m_{\odot}$,例如仙女星系的质量为 $3 \times 10^{11} m_{\odot}$ 。

银河系是一个普通的星系,由于其投影在天球上形成乳白亮带,因此取名银河系。银河系是一个透镜形的系统,直径约为 81 540 l. y., 厚约 3.26 l. y. $\sim$ 6.52 l. y.。它的主体称为银盘。银河系中心是一个大质量核球,长轴长 13 000 $\sim$ 16 300 l. y., 厚约 13 000 l. y.。直径约 97 800 l. y. 的银晕笼罩着银河系。银河系的

质量约为 $1.4 \times 10^{11} m_{\odot}$,其中恒星约占 90% ,气体和尘埃组成的星际物质约占 10%。银河系整体作较差自转。银河系是一个 Sb 或 Sc 型旋涡星系 ,拥有二千亿颗以上的恒星。太阳就是其中的一颗恒星。

按宇宙大爆炸模型推测 ,大爆炸之后数十亿年 ,宇宙中的大量原子在引力作用下逐渐聚集为众多的原星系云 ,它们是星系的前身。许多原星系云聚集在一起 ,便形成各种等级的星系集团。同时原星系云内部则逐渐形成千千万万的第一代恒星。某些恒星诞生时 ,四周还会形成一个由气体和尘埃构成的薄盘。盘中的尘粒相互吸引、碰撞、黏合 ,体积逐渐增大 ,最终形成行星、小行星和其他类型的固态天体。太阳和太阳系就是这样一个实例。下面依次介绍星系、恒星和太阳系这三个不同层次的天体是如何形成和演化的。

一个星系对于宇宙这个“沧海”不过是小小的一滴 ,尽管如此 ,它也有自己的形成与演化的历史。星系的理论目前远不如恒星理论成熟。由于人的寿命同星系相比实在太短 ,要想去追踪单个星系的演化是不可能的。幸亏由于它们离我们十分遥远 ,又由于光速的有限性 ,我们可以通过考察距离不同(因而年龄不同)的星系来研究它们的演化历程。例如仙女座星团离我们 200 多万光年 ,我们今天看到的实际上是它 200 多万年前面貌。同样 ,当我们观察距离 5 000 万光年室女座星系团中的星系时 ,它的光是 5 000 万年前发出的。借助大型望远镜 ,我们可以看到处于宇宙深处的更年轻的星系。除了天文观测的实验研究方法外 ,还可利用已知物理理论和其他理论对星系进行理论探讨。比如对星系形成后的运动和分布 ,可以利用动力学理论借助计算机模拟的方法去研究 ;用一个质点代表一个或若干星系 ,给每个质点一个初始位置和速度 ,然后用计算机算出这个质点集合受引力或其他作用以后各个时刻的位置和速度 ,像放电影一样在屏幕上一一显示出来。与观测到的星系分布进行比较 ,两者大体符合的结果是令人鼓舞

的。随着已知位置和速度的星系数目的增加以及计算机运算能力扩大,用上述方法将更有把握地筛选出符合实际的结构形成方案。天文学家普遍认为,星系是由初始气云形成的。根据星系团、超星系团的观测,人们推想可能存在形成星系团、超星系团级的气云。气云是在宇宙早期形成的。按标准宇宙模型,宇宙演化到 3 000 K 时,粒子复合成原子,宇宙成为“透明”的。在以后的继续膨胀中,宇宙物质出现气云逐级成团分布的情况。这些初始气云若早于此时期形成,则会造成宇宙微波背景辐射的较大不均匀性,而实际测量结果,如前所述,是高度均匀的,不均匀性不超过万分之一。有两种模型解释通过计算观测到的星系位置间的统计相关性对星系团进行研 究所得到的结果。其一是星系首先在宇宙膨胀早期由星系级初始气云形成,而后在引力作用下成团。其二是首先形成星系团质量级的初始气云,该气云在内部巨大气体湍流相互碰撞作用下被压成片层形成片状结构,之后星系从片层中凝结出来,再逐渐成团。已经观测到星系团外的星子群的非杂乱分布现象,即星系团间存在一些巨大片层,因而它们之间还留有广阔空间的现象。在标准宇宙模型中,不均匀性的种子来自宇宙极早期的真空相变。像许多相变都会留下对称性的缺陷那样,真空相变也留下一些不均匀结构。这些不均匀结构中的密度较高的地方通过引力相互作用吸引周围的物质,像滚雪球那样越滚越大,直至形成初始气云。刚从初始气云凝聚出来的星系胚胎是什么样子目前虽不清楚,但可以肯定地说,对于足够大的质量集中区,向内的引力会超过向外的压力而使气云塌缩为致密的星系。其过程大致是,随着时间的推移星系级初始气云开始收缩,例如收缩成类似银河系的气云盘,气云盘一步步分裂成为更小更密的碎片,由这些碎片诞生出第一代恒星,第一代恒星质量比太阳质量大得多,也亮得多,寿命也短得多。它们在大约一千万年内耗尽了自己的核燃料,而后通过爆发形式把自己内部合成的重元素抛回星际空间,从而进入第二代、第三代……恒星的生成和演化的循环。上述过程的后果是,星系

越年轻重元素的含量就越少,而颜色越偏蓝。天文观测表明,情况的确如此。除了化学组成以外,星系的形态也随时间而变化。早期星系的密度比现在高得多,相邻星系在引力作用下彼此靠近,产生潮汐形变甚至合并为一的可能性也就高得多。20世纪80年代发射的红外天文卫星发现了一批极亮的年轻星系,其中60%表现出潮汐形变或合并的特征:有的星系拖出一条“尾巴”,有的星系长出两支“角”,有的双星系之间有“桥”相通。与此成为对照的是,在暗弱(多半也是年老)的样本组中,具有这些特征的星系只占10%,这为星系的动力学演化提供了一个有力的证据。椭圆星系被认为是星系中的老寿星,而涡旋星系则要年轻得多。椭圆星系中的星际物质远小于涡旋星系中的星际物质。因此前者中恒星形成的速率远小于后者。在椭圆星系的早期,星际物质较多,恒星的形成速率很高。随着恒星的演化,频繁的超新星爆发把星系中剩余的星际物质以“星系风”的形式“清扫”出星系,从而阻止了恒星的继续诞生。现在超新星爆发仍较频繁地发生,使椭圆星系间的星际物质被扫得很净。而涡旋星系内最初的超新星爆发速率不大,不足以很快扫清星际物质,因而保持了至今足够的星际物质来维持着活跃的恒星形成过程。宇宙线的影响是任何星系演化理论都必须考虑的问题。宇宙线是我们银河系的永久成员,其丰度各向同性,其在银河系的历史已有几千万年之久。它在气体盘的平衡膨胀中,在星际物质碎为分子云复合体时,以及在维持星系晕及促进星系晕活动等方面都起着关键性作用。星系演化的总趋势,是随着它们贮存的引力能和核能的释放,星系便演化为更有组织和更加致密的天体。若宇宙是开放的,即永远膨胀下去的话,有人估计,大约在 10^{27} a内一切星系及星系团都将演化成星系级黑洞及超星系级黑洞。将有大量的死星(白矮星、中子星)和从星系中喷出的其他物质碎块在无垠的不断膨胀的宇宙中游荡,而那些星系级及超星系级黑洞彼此不断地远离着……

第五节 恒星的起源和演化

恒星是构成星系的基本单元,是将宇宙原始物质合成各种重元素的熔炉。研究恒星的形成与演化是研究银河系结构和演化的基础。在星际弥漫物质到恒星的演化链上,恒星的形成是最关键的环节。

恒星问题是宇宙学中解决得最好的问题之一。恒星是从星际分子云中形成的,恒星有形成、发展和死亡的过程。死亡着的恒星把它合成的原子核注入到残余星际气体中,从这些气体中又产生出新一代恒星,星系中这种恒星的消亡与再生过程,已为大量观测资料所证实。恒星演化的最后阶段比其形成阶段了解得要好一些。观测表明,星系中恒星间的区域不是真空而是充有星际物质,主要是气体云、尘埃云组成的巨大分子云。

一、恒星的形成

17 世纪牛顿,18 世纪初康德等倡言的散布于空间中的弥漫物质(称为星云)可以在引力作用下凝聚成太阳系和恒星的假说,经过历代天文学家的努力已逐渐发展成为相当成熟的理论。20 世纪 60 年代确立了恒星从星际分子云中形成这一重大的现代学说,成为恒星形成研究的主要成就。尽管星际物质的密度很低,约为 10^{-19} kg/m^3 ,但它们的分布很不均匀。巨大分子云密度较高部分在自身引力作用下会变得更密。密度越大气体间的引力也越大,从而进一步增加了其密度。引力做功转化成热,使分子云密度增加的同时温度也不断增高。当气体密度与温度达到一定值时(一些偶然情况也可使气体云变得十分稠密),向内的引力足以克服向外的压力,大分子云将急剧收缩,聚向中心形成一个密度大的核心天体,称为云核。如果气体云起初有足够的旋转,则在核心天体周围会形成类似太阳系样子的气尘盘。引力势能转化为热能而使中心天体炽热发光。这就是原恒星阶段。当盘中物质在引力作用

下不断落向原恒星,原恒星在不断收缩过程中,引力能转化的热能,使中心温度达到 10^7K 时,就足以触发恒星中心氢聚变为氦的热核反应,而放出巨大的核能,此时恒星不断向外辐射出大量能量,我们说一颗恒星诞生了。恒星的质量一般在 $0.1 \sim 100 m_{\odot}$ 之间。更小的质量不足以触发热核反应,而更大的质量则会由于产生的辐射压力太大而瓦解。恒星质量的大小取决于它诞生时的条件。近年来红外天文卫星探测到成千上万个处于形成过程中的恒星。原恒星辐射主要在电磁波谱的红外波段,猎户座大量的红外辐射源支持恒星在这里诞生的观点。另外毫米波射电望远镜在一些原恒星周围发现由盘两极射出的喷流等现象,也是对恒星形成理论的有力支持。第一代恒星是星系形成时期由初始气云碎片凝聚而成的,其他代恒星是由星系中的星际物质形成的,而一些突发事件,如超新星爆发等,是引起气体云密度变得大到足以产生新恒星的必要条件。

目前已经从理论上认识到恒星形成的若干过程和阶段,如引力不稳定导致的分子云的动力学坍缩、原恒星的吸积阶段,以及主序前准静态收缩等。从观测上逐渐发现了与恒星有关的特殊天体和现象,如深埋在稠密分子云中的低温红外源、年轻星的剧烈活动现象。

今后,恒星形成研究将朝两个主要方向发展:一方面是探索单颗恒星形成的具体过程,另一方面是揭示恒星形成的统计规律。未来最富挑战的课题之一是研究包括银河系在内的星系中第一代恒星的形成。它将可能导致对目前“恒星由分子云中形成”这一标准学说的挑战,成为该领域极富诱惑力的热点课题。

二、恒星的演化

恒星主要是依靠内部气体粒子热运动的压力与自身物质之间的巨大引力相抗衡的。如果恒星的能源仅来自引力能,恒星便不会维持多久。对太阳这样的恒星,引力能仅能维持辐射 2 000 万

年左右,而太阳至今已有 50 亿年了。维持恒星不断发光发热的能源,绝大部分是恒星内部的核聚变反应提供的。质量轻的原子核经核聚变生成质量较大的核,生成核的质量一般都小于反应前元素质量的和,这称为质量亏损。按爱因斯坦质能关系,一定质量 m 联系的能量是质量乘以光速的平方 mc^2 。与亏损质量相联系的能量也这样计算,它在聚变反应中以粒子动能的形式释放出去。这是一个十分巨大的能源,例如太阳,对应 1 m^2 表面积的功率就相当于 $6.3 \times 10^7 \text{ W}$ 的动力站。对太阳大小的恒星,核能维持其辐射约上百亿年。恒星内的氢怎样聚变为氦? 答案在 1938 年首先由美国的贝蒂和德国的魏茨泽克找到了。该反应可通过质子-质子循环链或碳-氮-氧循环链实现,每四个氢聚变变成一个氦放出 24.7 MeV 能量。恒星形成后最初阶段的光和热就是该聚变提供的。氢弹的能源也如此。可以说恒星最初是以每秒爆炸数百万颗氢弹获得能量的。核燃烧使恒星内部物质产生向外的辐射压力,当辐射压力与引力达到平衡时,恒星的体积和温度就不再明显变化,进入一个相对稳定的演化阶段,称为亚稳阶段。可以说亚稳阶段是恒星的壮年期。恒星在这一阶段停留的时间最长,是其生命的主要部分。包括太阳在内的迄今发现的恒星 90% 处在这一阶段。一个恒星这一时期的长短取决于它的质量。对于太阳质量的恒星,产能速率约为 $2 \times 10^{-4} \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$,该时期约为一百亿年。质量比太阳大的恒星这一时期倒比太阳的短。这是因为核反应比太阳的激烈、产能率高[可高达 $0.1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{s})$],从而它发光发热也快的缘故。因此对许多大质量恒星来说,亚稳阶段或核燃烧的主星序阶段仅可能维持几千万年。恒星中的核燃烧不仅发生于氢到氦的转变,还有氦到碳再到其他较重元素的逐级转变。但发生这些转变的温度要求越来越高。当恒星核心部分氢完全转变成氦后(对 7 个太阳质量的恒星大约用 2 600 万年),恒星的内部将要发生新的变化。一方面,星核由于辐射能力下降在引力作用下将收缩,收缩过程中引力做功产生的热将恒星核心温度再次提高,达

到引发氦生成碳的程度,引发新一轮核反应;另一方面氦聚集的恒星核心外面壳层的氢也会燃烧。可以想像,同时有两个不同的核聚变发生,情况将是复杂的。当氦燃烧完毕后,恒星核心又会类似的进行新一轮核反应。这样的过程一直会进行到合成铁时为止。这一阶段恒星核心经历几个不同的核聚变反应,恒星也经历多次收缩膨胀,其光度也发生周期性的变化。此阶段可称为恒星的“更年期”。红巨星、红超巨星就是这一阶段后期的产物。如果太阳变成一颗红巨星,它可膨胀到水星、金星甚至地球轨道那么大。造父变星被认为是处在红超巨星阶段的恒星。1874年英国的聋哑人约翰·古德利克发现仙天星座中一颗亮星——造父星的亮度是变化的,人们很快发现它有节奏地变亮变暗,周期为五天,极大亮度是极小亮度的2.5倍。此后人们发现了很多这样的星,光变周期约在1~40天之间,表面温度约5300K(由此判定它们是红超巨星)。它们被命名为造父变星。直到1960—1961年,考克斯、贝克和基彭哈恩使用路易斯·亨耶方法用计算机对较大质量恒星演化作模拟计算,得到恒星演化到红超巨星阶段出现周期性的收缩—膨胀,才证明爱丁顿-热瓦金很早就提出的理论可以很好地解释造父变星的脉动。造父变星的光变周期与脉动周期完全相同。

三、恒星的结局

恒星内部的热核反应的持续时间总是有限的,但是恒星自身物质之间的巨大引力却永远存在,这就出现了恒星结局的问题。随着恒星内部热核反应的停止,尽管恒星外层部分会出现膨胀、爆发等复杂的变动,核心部分却必定在引力作用下发生急剧的收缩,即所谓引力坍缩。这种坍缩是会被某种新形式的压力所阻挡,还是无限制地进行下去呢?这个问题,尽管是20世纪的两大物理理论即量子力学和相对论携手作答,并且有了不少重要的进展,却还远未彻底解决。

量子力学预言了具有极高密度的物质状态——简并态的存在。如果恒星的质量不超过 1.4 倍太阳质量,则简并电子气的压力能够抵抗住引力坍缩,使星体稳定下来。这就是白矮星,其密度约是水的 1 万 ~ 100 万倍。这是恒星演化的第一种结局。其实在红巨星阶段白矮星就可能在核心中埋藏着了。第一颗被发现的白矮星是双星系统天狼星 A 的伴星天狼 B。随着白矮星的渐渐冷却它会越来越暗,直至变成有人称谓的“黑矮星”。稳定白矮星的质量上限为 $1.44 m_{\odot}$ 。称为钱德拉塞卡极限。按照目前的计算,所有在形成时质量不超过 $8 m_{\odot}$ 的恒星,在漫长的演化生涯中都会丢失掉大部分质量,最后成为白矮星。

初始质量更大的恒星,其晚期核心的引力坍缩会更厉害。一种可能的结局是,电子被挤进原子核内,与质子结合成中子,并且达到简并态。恒星的外层则随即出现超新星爆发而被炸散。剩下的只是一个由简并中子气压力支撑的核心,这就是中子星。

中子星几乎完全由中子组成,其大小只有同质量年轻恒星的百万分之一。中子星的预言是在 20 世纪 30 年代末做出的,在 1967 年由于射电脉冲星的发现而被证实。然而这里还存在两个方面的困难问题。一是对超新星的爆发机制还不清楚,而超新星爆发不仅是认识恒星晚期演化的关键环节,还是比铁更重的元素的生成途径,是导致新一代恒星形成并影响整个星系演化的重要因素。二是对中子星本身状态的认识还很贫乏。中子星物质的密度可达到甚至超过 10^{17} kg/m^3 ,其他物理条件,如强引力、高温、强磁场等的极端程度也都远超过白矮星,更是地球实验室里绝不可能仿制的。对这种极端物质的探索,必将成为新物理的一个生长点。作为这方面的一个更具体也更紧迫的问题,简并中子压抗衡引力的限度,即中子星的最大可能质量,尚没有精确决定,现有的估算值是在于 $2 \sim 3 m_{\odot}$ 。

我国宋史记载宋仁宗至和元年(1054 年)出现的“客星”是我国古书记载的 90 个超新星爆发事例中资料最详尽的一个。它最

亮时比金星还要亮。这颗超新星的遗迹就是著名的蟹状星云,它以 $1\,100\text{ km/s}$ 的速度向外膨胀着。900 年后英国天文学家在那个位置发现的脉冲星,就是那次爆发剩余的星核——中子星。脉冲星是高速旋转的中子星。它有很强的磁场,当自转轴与磁场轴不一致时,磁力线的两个辐射锥就像灯塔一样扫过接收者,于是收到脉冲信号。超新星爆发的一种解释是,它由晚期恒星外部的爆发性核聚变引起。核聚变可能是晚期恒星内部中子星核形成时的中微子流、冲击波触发的,冲击波与中微子流从内向外流,穿过外壳层时产生高温,从而引发最外层的核聚变而形成爆发。超新星爆发把恒星核反应生成的较重的原子核抛向剩余的星际物质中,而冲击波穿过这些物质时使其密度大增,从而有助于新恒星的形成。已观察到超新星爆发后的区域中新恒星的出现。

如果恒星在经过各种形式的质量损失特别是超新星爆发之后,其核心剩余的质量仍在 $3\text{ m}_{\odot}$ 以上,就没有任何力量能够阻止引力坍缩。按照广义相对论,物体一旦收缩到一个被称为引力半径的特征半径以下,强大的引力就会使得包括光在内的任何物质都不可能再逃逸出来,物体也就消失在黑暗之中。这就是黑洞,即恒星演化的第三种结局。

虽然我们现在称作黑洞的概念可以追溯到二百多年前,但是黑洞这个名词是晚到 1967 年才由美国物理学家约翰·惠勒提出来的。1973 年,英国物理学家史蒂芬·霍金研究发现,黑洞不是完全黑的,它以恒定的速率发射出辐射和粒子。发射出的粒子具有准确的热谱,黑洞正如同通常的热体那样产生和发射粒子,这热体的温度和黑洞的表面引力成比例并且和质量成反比。对于一颗具有太阳质量的黑洞,其温度大约只有绝对温度的千万分之一度。黑洞是时空的一个区域,如果物质低于光的速度运动就不可能从这个区域逃逸。

黑洞辐射的预言是爱因斯坦广义相对论和量子力学相结合的研究结果。黑洞物理也正在成为崭新的物理学分支。然而,黑洞

的存在却还没有得到完全的确认,部分地是在理论上的问题,部分地是在观测问题上。

理论上的主要问题是奇点问题,如果坍缩无限制地进行下去,就必然形成一个物质密度为无穷大的点,而这是不可接受的。避免奇点的希望寄托于广义相对论与量子论的真正联姻,即引力场亦即时空的量子化。这种量子化的典型尺度是 10^{-33} cm,称为普朗克长度,比基本粒子的尺度还要小 20 个数量级。

观测上的主要问题是无法观测孤独的黑洞。但若黑洞是与另一个普通恒星组成双星系统,则另一个恒星的表层物质就可能被黑洞拉去,并且在下落过程中释放引力能而发出 X 射线辐射,据此,从原则上讲,我们可以探测黑洞。困难在于,双星中的中子星也同样可以成为强 X 射线源。现在唯一的办法是运用开普勒第三定律来推算 X 射线源的质量,如果这个质量超过 $3 m_{\odot}$,黑洞就得到了认证。但由于双星系统的轨道参量和其中普通恒星的质量难以精确测定,迄今虽已努力二十多年,找到的黑洞只有三个,并且还没到确定无疑的程度。黑洞的最后确认,乃至广义相对论的最后确认,都依赖于引力波的探测成功。

第六节 太阳系的起源与演化

一、太阳系

太阳系是银河系中的一个星系。太阳在银道面以北约 26 l. y.,距银心约 32 600 l. y.,以 250 km/s 速度绕银心运转,每 2.5 亿年转 1 周。

太阳系是由太阳、行星及其卫星、彗星、流星体和行星际物质构成的天体系统。在太阳系中,太阳是中心天体,其他天体都在太阳的引力作用下,围绕太阳公转。其他天体主要成员是九大行星:水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。太

阳的质量占太阳系总质量的 99.8% ,其他天体质量总和只有太阳系总质量的 0.2%。九大行星都在接近同一平面的近圆形轨道上 ,朝同一方向公转。九大行星都有自转。地球、火星、木星、土星、天王星和海王星自转周期为几小时到一天左右。水星、金星和冥王星自转周期分别为 58.65 天、243 天和 6.387 天。太阳是有热核能源辐射的发光恒星 ,其他天体都没有核能源辐射(木星、土星有红外辐射热源) ,主要被太阳光照射而发光。

太阳系的起源可以用星云说解释。20 世纪以来人们提出了十多个星云学说 ,都认为太阳系是由一个旋转着的同一个星际物质云在自引力作用下逐渐收缩形成的。根据这一理论 ,大约 50 亿年前 ,太阳还是一团缓慢转动的弥漫气体云。由于其他天体的引力扰动或邻近超新星爆发的冲击波 ,这块气体云开始坍缩 ,稠密的核心变为原始太阳 ,周围旋转的尘粒和气体原子 ,形成一个薄盘——太阳原星云。后来原太阳星云分裂为大量引力束缚的团块(星子) ,星子具有小行星的尺度 ,其中一部分就是今天的小行星和彗核 ,另一部分通过碰撞合并长大成星胚。这些星胚继续吸积周围的物质 ,像滚雪球一样最后变成大行星及其卫星。由于所有这些天体均由围绕原太阳旋转的薄盘内的物质组成 ,这就很自然地说明了它们的共面性和同向性 ,少数的例外(如金星的逆向自转)可以用潮汐效应等其他因素来解释。

二、太阳

太阳是太阳系的中心天体。它是一颗普通恒星。它是一个半径 7×10^5 km、表面温度 6 000 K、核心温度 1.5×10^7 K、质量约为 2×10^{33} g 的气体球。它的平均密度为 1.409 g/cm^3 ,表面加速度为 $2.74 \times 10^4 \text{ cm/s}^2$ 。内部发生着氢聚变成氦的核反应 ,人们赖以生存的光和热 ,就是由这种核反应产生的。它一方面绕银河系的中心运动 ,另一方面相对于它周围的恒星所规定的本地静止标准作 17.9 km/s 的本动。

在太阳中心区的氢核聚变产生的能量,主要以辐射形式稳定地向空间发射。形成太阳辐射和活动的动力来自太阳内部。在这里富含氢元素的太阳气体通过质子-质子反应和碳氮循环把质子聚变为 α 粒子,从而释放出巨大的能量维持太阳的平衡。

太阳大气层。太阳大气层分为三层,从内向外依次是光球、色球和日冕。

1. 光球

光球是肉眼所见到的太阳表面层,它是太阳大气的底层,厚约300~500 km。6 000 K的太阳表面温度指的就是光球的温度。我们接收到的太阳能量基本是光球发出的,太阳的光谱实际上就是光球的光谱。光球的密度约为 $10 \times 10^{-7} \text{ g/cm}^3$ 。从整体上说,光球是明亮的,但是各部分亮度很不均匀。在光球内部布满了米粒组织,总数约400万颗。在光球的活动区,有太阳黑子、光斑、偶尔还有白光耀斑。最引人注目的是黑子。其温度比光球低1 000~2 000 K,故看起来比光球黑。小黑子直径上千公里,而大黑子直径约 10^4 km 以上。黑子有强达几千高斯的磁场和磁极性。黑子常成对出现,前导黑子与后随黑子具有相反的磁极。黑子平均生存时间约一天,少数可存在数月至一年以上。黑子活动的两个周期是黑子数目变化周期(11年)和磁场极性变化周期(22年)。黑子活动是太阳活动的主要标志之一,它的周期是太阳活动周期的重要体现。目前认为黑子是巨大的旋涡状气流。它的成因等问题正在继续研究中。

2. 色球

色球是太阳大气层的中间一层,位于光球之上。平时,由于地球大气中的分子以及尘埃粒子散射了强烈的太阳辐射而形成了“蓝天”,色球和日冕完全淹没在蓝天之中。只有在日全食时,才能用肉眼看到太阳圆面周围的这一层非常美丽的玫瑰红色的辉光。红色是由色球中波长6 562.8埃的氢线 $H\alpha$ 在亮度上占绝对优势的原因。

人们习惯地认为天体外层的温度总是低于内部,但是在色球层内却出现反常。在厚度约 2 000 km 的色球层内,温度从光球顶部的 4 600 K 到色球顶部的几万度。

色球是一个充满磁场的等离子体层。由于磁场的不稳定性,常常会产生剧烈的耀斑爆发,同时还产生日珥、冲浪和喷焰的爆发。耀斑爆发时,还发射大量的远紫外辐射和 X 射线辐射以及高能粒子流。

耀斑是最激烈的太阳活动现象。耀斑寿命约几分钟到几小时。耀斑出现时大量高能电子和质子被太阳抛出,高能离子流传到地球成为著名的“质子事件”;同时,耀斑爆发时除了光辐射增强外,还辐射出很强的紫外线、X 射线及微波等各波段的电磁辐射。一个特大耀斑释放的能量约为 10^{25} J,相当于百亿个百万吨级氢弹。耀斑对地球的影响很大,地球上空电离层骚扰,地磁暴,地球极区的极光爆发等等都与耀斑有关。全世界天文台经常发布耀斑预报。太阳大气中耀斑爆发是一难解之谜。太阳物理学家认为,耀斑能量是以磁能形式浮现到太阳表面并贮存于黑子群当中的,在光球及光球以上形成活动区,活动区中不同极性磁场相互作用产生磁场“湮灭”,于是便爆发耀斑。

3. 日冕

日冕是太阳大气的最外层,延伸到几个太阳半径甚至更远。它主要由质子、高度电离的离子和高速的自由电子组成,密度极稀薄。

内层(称内冕)温度高达 10^6 K。日冕亮度为光球的百万分之一,相当于满月的亮度。因此,在 1931 年发明日冕仪以前,人们只能在日全食时观测到日冕。日冕辐射的波段范围很广。从射线、可见光到波长很长的射线波。太阳射电大部分产生于其中。

日冕的大小和形状与太阳活动有关。太阳活动极大期日冕呈圆形,太阳活动极小期日冕则比较扁,在太阳两极处缩短,在太阳赤道带延伸。

人造卫星观测表明,日冕气体不断向外扩散形成太阳风。近年来发现冕洞存在,它是太阳风之源。太阳风是日冕向行星际空间辐射出的高温匀速低密度等离子体流。太阳活动期间太阳风每秒可达 1 000 km 以上。

从诞生至今太阳及其行星已经演化了约 50 亿年。有人认为,由于太阳比许多其他恒星包含更多的重元素(例如铁),可以推知太阳是第二代恒星,即形成太阳的气体云中包含着其他恒星经过核燃烧后散发到空间中的余烬。目前太阳的状况已经燃烧了 50 亿年左右,估计它还要继续燃烧几十亿年。在它的氢燃烧耗尽之后,将由氦和其他较重元素的核反应维持其能源。在此过程中,预计至 100 亿年,其光度约增加一倍。至 130 亿年,将从目前的黄矮星阶段逐渐转变为红巨星阶段,然后再转变成红超巨星。太阳将变得比今天的太阳大 100 倍,光度增加 2 000 倍,表面温度 4 000 K。红巨星阶段它要将外壳的相当部分抛到宇宙中去而损失掉很多物质。在所有的核能源都用完之后,太阳内部将没有能源来抵制引力坍缩,这就会使它的半径大大缩小,密度大大增加,从而使它的物质进入简并电子气状态,全部的剩余质量集中在很小的区域,变成一颗白矮星。等它不能再收缩的时候,就再也没有能量可释放,它的生命也就终止,成为一个不发光的、处于简并态的冷“黑矮星”。

宇宙浩瀚,奥妙无穷。本章概述了目前人类获得的对宇宙的科学认识的基本情况。人们根据比较有限的天文观测资料,使用在地球上获得的各方面知识,寻觅宇宙演化的足迹,“复原”宇宙各个发展阶段的“历史面貌”,经过近百年的努力,获得了关于宇宙演化的比较系统的理论。人类站在地球之上,竟能系统地描述无垠的宇宙的演化,这个伟大的奇迹显示了人类智慧的伟大。目前的宇宙学,只是人们认识宇宙过程中的极其微小的一步而已。我们相信,随着知识的不断开拓,宇宙学也必将会得到不断的更新。

参 考 文 献

1. 王绶琯. 现代天文学史上的三次飞跃. 自然, 1992(5)
2. 刘 辽. 暴涨宇宙——大爆炸的 10 ~ 35 秒. 物理学进展, 1989, 9(2) 121 ~ 187
3. 温伯格. 引力论与宇宙论. 北京: 科学出版社, 1980
4. 唐孝威. 探测宇宙反物质. 物理学进展, 1996(3)
5. 杨 祥. 90 年代天体物理对物理学的挑战. 大学物理, 1997(8)
6. 宋 健. 现代科学技术基础知识. 北京: 中央党校出版社, 1994
7. 周光召, 朱光亚. 共同走向科学: 百名院士科技系列报告集. 北京: 新华出版社, 1997
8. [英] 史蒂芬·霍金. 霍金演讲集. 湖南科学技术出版社, 1996
9. 俞允强. 大爆炸宇宙学. 北京: 高等教育出版社, 1991

第二章 地球的起源

我们知道,地球存在于宇宙中,是宇宙间的一个天体,它是太阳系的一个行星;太阳是银河系的一个恒星,而银河系是宇宙间一个星系。地球是人类赖以生存的地方,对于它的起源、演化及发展过程问题,一直是人们研究的对象。

我国在地球形状的认识上经历一个从扁平形到圆球形的过程,从古老“盖天论说”的“天似盖笠,地法覆盘”到东汉张衡“浑天说”的“天体圆如弹丸,地如鸡子中黄”。在地球物理性质和地球表面形态变化等方面,我国在战国时期就发现了磁石,并制作司南,到唐宋时期又发展为指南针。宋代沈括(1032—1096)所著的《梦溪笔谈》中指出磁偏角。徐霞客(1587—1641)在他所著的《徐霞客游记》中系统地论述了地球表面的形态变化及各种地质现象。

公元前6世纪希腊数学家毕达哥拉斯认为:地球是正球形的。葡萄牙航海家麦哲伦(1480—1521)坚信地球是圆的,所以他认为,从西欧出发,一直向西航行可以到达东方的亚洲,继续西航一定可以回到欧洲。16世纪哥白尼“日心说”,使人们了解了地球在宇宙中的位置。18世纪德国的哲学家康德和法国的数学家、天文学家拉普拉斯研究了地球的起源,赫顿建立了地质时间的概念,并推断地球内部可能存在“热”,19世纪开尔文研究地球的弹性热传导及其他地球物理问题,20世纪初,对岩石放射性的研究,推算出地球形成的历史及年龄。这些工作使人们对地球的研究不断深入。

从整个20世纪来看,人们对大气圈、生物圈、水圈及地球内部的探索,形成若干理论,如板块构造理论,这一学说的出现,使

固体地球科学经历一次革命,动摇了原来的传统概念,使人们从全球范围考虑问题。在此期间人们研究地球的“温室效应”及人类面临一系列全球环境变化的问题,如“厄尔尼诺现象”、“拉尼娜现象”,使20世纪的地球科学研究有了重大的进展,体现了地学传统学科的成熟;现代技术(航天技术)的发展对地球进行全球性、新的观察与认识;全球环境的变化将对人类活动产生巨大的影响。

第一节 地球的起源与演化过程

一、地球的形成

地球的起源问题实际上就是太阳系的起源问题。只不过在太阳系形成后,才诞生了地球。地球是在46亿年前,由原始的太阳系星云物质经分馏、坍缩、凝聚而形成的。开始由于星子聚集形成地球胎(行星胎),然后不断增生而形成原始地球。聚集时受下列效应作用:

① 冲击效应 星子以高速运动的形式落在原始地球上,这种能量是由冲击能转化为热能。

② 压缩效应 由于星子的降落并堆积在原始地球外部,使其外部重量增加,内部受到压缩,这种能量的转化是由压缩能转化为热能。

③ 放射性衰变效应 由于放射性元素(铀、钍、钍等)的衰变而产生的,这种能量的转化是由放射能转化为热能。

1. 地球内部圈层的形成

地球内部的圈层主要指地壳、地幔、地核。

原始地球的内部,在热能条件下,使其局部熔融并超过铁的熔点,原始地球中的金属铁、镍及其他的硫化物、硅化物熔化,并因其密度大而流向地球的中心部位,从而形成具有金属特性(超固态)的地核。比母质轻的熔融物质向上游动,当移动至地表,

经冷却后又向下沉淀。这种在温度差、压力差、密度差等引起的对流作用控制下的物质移动,使原始地球产生全球性的分异,并逐渐演化成它的分层现象,即中心为超固态的地核,表层为低熔点的较轻物质形成的最原始的陆核,陆核进一步增生,扩大形成地壳。地壳与地核之间为地幔。在原始地球的形成中,内部的分异作用最为重要。

多年来人们一直试想用深井钻探来了解地球内部状况,但目前世界上深井记录只有 12 300 m(俄罗斯科拉半岛)。只占地球半径的 $1/530$,所以不能直接观察其内部结构。通常人们采用地球物理方法,主要是利用地震波的传播变化来研究地球结构,地震波分为纵波(p波)和横波(s波),纵波可以通过固体和液体,速度较快,横波只能通过固体,速度较慢。根据地震波在地球内部的变化可将地球内部划分为地壳、地幔和地核(图 1-2-1-1)。

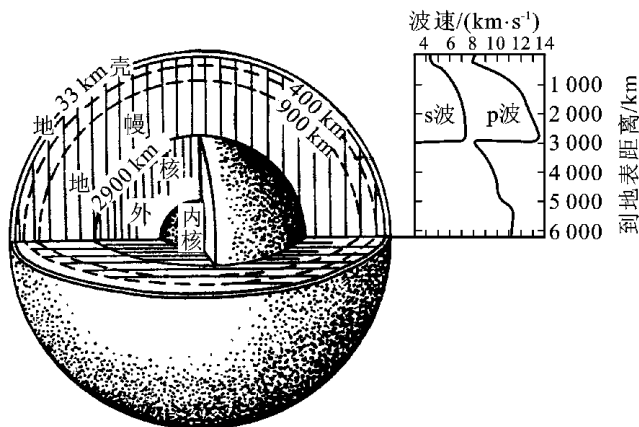


图 1-2-1-1 地震波(s、p)变化与地球内部圈层构造示意图

(1) 地壳。地壳是地球表面的一层薄壳,其厚度大致为地球

半径的 $1/400$,大陆部分平均厚度 37 km ,而海洋部分平均厚度则只有 7 km ,地壳平均厚度为 33 km ,它主要由硅酸盐岩组成 ,它的质量为 $5 \times 10^{19}\text{ t}$,约占地球质量的 0.8% ,它的体积占整个地球体积的 0.5% 。

(2) 地幔。深度从地壳底到 $2\,900\text{ km}$,其体积占地球总体积的 82% ,质量为 $4.05 \times 10^{21}\text{ t}$,占全球总质量的 67.8% ,物质密度大约从 $3\,320\text{ kg/m}^3$ 递增至 $5\,700\text{ kg/m}^3$,压力随深度而增加 ,界面上压力可达约 $1.5 \times 10^{11}\text{ Pa}$,温度也随深度而增加 ,下部约为 $3\,000$ 左右。

在深度 $60 \sim 400\text{ km}$ 范围内 ,地震波速度明显下降 ,部分物质可产生熔融 ,具有较大的塑性和潜柔性 ,这个圈层称软流圈。它是岩浆的主要发源地 ,同时地壳运动、岩浆活动、火山活动以及热对流等皆与此圈有关 ,软流圈之上的固体岩石部分称为岩石圈 ,即包括地壳和上地幔的部分 ,平均厚度 60 km 。

(3) 地核。位于 $2\,900\text{ km}$ 以下直到地心部分。地核物质非常致密 ,密度为 $9\,700 \sim 13\,000\text{ kg/m}^3$,地核总质量为 $1.88 \times 10^{21}\text{ t}$,温度为 $3\,000$,最高可达 $5\,000$ 或稍高。

地核又可分外核、过渡层和内核。外核由于只有 p 波才能通过 ,呈液态。过渡层和内核有 s 波出现 ,呈固态。

组成地球物质的主要元素有 O 、 Si 、 Al 、 Fe 、 Ca 、 Na 、 F 、 Mg 等 8 种 ,占 98% 以上 ,而组成地核的物质成分则是铁镍成分。

2. 地球的外部圈层的形成

地球的外部圈层指大气圈、水圈、生物圈。

原始的地球形成后 ,地球表面无水 ,在分异过程中氢和氧结合形成的水 ,潜藏于一些矿物中 ,当原始地球变热并部分熔融时 ,水释放出来并随熔岩运移到地表 ,大部分以蒸发气体状态逸散 ,并逐渐地形成海洋 ,这一过程大致需要 8 亿年时间 ,即我们在地球上发现的最古老岩石的形成时间之前(地球最古老岩石年龄为 38 亿年)。

在原始地球从其内部释放水的同时,地球内部的气体也随之释放出来,形成原始的大气圈。早期地球的大气圈是缺氧的大气圈,大气成分以水蒸气、二氧化碳、二氧化硫、硫化氢、氮、甲烷、氯化氢等为主,由于紫外线辐射的能量促使原始大气成分之间发生反应,加之原始的藻类植物的日益繁盛,使大气圈中 CO_2 含量减少, O_2 增加。这一过程一直持续至大约 40 亿年。大气圈在以后的地层时期逐渐演化至今。

(1) 大气圈。从地表(包括地下相当深度裂隙中的气体)到 16 000 km 高空都存在气体或基本粒子,总质量达 $5 \times 10^{15} \text{ t}$,占地球总质量的 0.00 009%。主要成分为氮(占 78%)、氧占(21%)、其他是二氧化碳、水汽、惰性气体、尘埃等占 1%。大气圈是地球的重要组成部分,它对地球上万物的形成、发展和演化起着重要的作用:

- ① 大气可以供给地球上生物生活所必需的碳、氢、氧、氮等元素。
- ② 大气可以保护生物的生长,使其避免受到宇宙射线的危害。
- ③ 防止地球表面发生剧烈的变化和水分的散失。
- ④ 天气的变化,如风、雨、雪、雷等都发生在大气圈中。
- ⑤ 大气环境质量的好与坏,直接影响着人类的健康。

(2) 水圈。水圈包括地球上水的气态、液态和固态部分。它包括海洋、江河、湖泊、冰川、地下水和大气水等,形成一个连续而不规则的圈层。水的质量为 $1.41 \times 10^{18} \text{ t}$,占地球总质量的 0.024%,其中海水占水圈总质量的 97.2%,陆地水占水圈总质量的 2.8%,陆地水中冰川占水圈总质量的 2.2%。水既分布于大气圈中,也分布于生物圈和岩石圈中,生物体的 $3/4$ 由水组成,地下岩石和土壤中也有一部分水。

水圈对地球的发展和人类的生存主要有以下几方面的作用:

① 水圈是生命的起源地 ,没有水也就没有生命。

② 水是改造与塑造地球面貌的重要动力。

③ 水是多种物质的储藏库。

④ 水是最重要的物质资源与能量资源 ,水的多少与水质的好坏直接影响着经济发展与人类的生存。

(3) 生物圈。地球表面有生物存在并感受到生命活动影响的圈层叫生物圈 ,整个生物圈的总质量仅仅是大气圈质量的 $1/300$,生物圈的厚度 ,包括大气圈的下层 ,岩石圈的上层和整个水圈 ,最大厚度可达数千米。生物圈对地球的发展起着重要的特殊作用。

① 改变大气的成分 ,如植物的光合作用 ,不断从大气中吸收 CO_2 ,在反应中放出 O_2 。

② 生态平衡 ,促使自然环境良好发展。

③ 是主要能源矿床形成的物质基础 ,如煤、石油、天然气。

④ 生物促使某些岩石和土壤的形成 ,如生物形成含有有机质的土壤。

⑤ 生物的发展与人类的生存、经济发展息息相关。

二、地球演化的年代

人们根据地球发展历史过程中生物演化和岩层形成的先后顺序 ,将地球的历史划分为若干自然阶段。确定了国际统一的时代单位——宙、代、纪、世 ,同时人们又根据岩石或矿物中放射性元素衰变规律来测定地球的年龄 ,从而较为理想地确定了地球从它诞生至今 ,发生了哪些地质事件 ,时间长短等等 ,建立了地质年代表 (表 1 - 2 - 1 - 1)。

表 1 - 2 - 1 - 1 地质年代简表^①

地质时代			距今年龄值 (百万年)	生物演化		
宙	代	纪				
显生宙 PH	新生代 K_z		第四纪 Q	1. 64	人类出现	
			第三纪 R	晚第三纪 N	23. 3	近代哺乳动物出现
				早第三纪 E	65	
	中生代 M_z		白垩纪 K	135	被子植物出现	
			侏罗纪 J	208	鸟类、哺乳动物出现	
			三叠纪 T	250		
	古生代 P_z	晚古生代 P_{z2}	二叠纪 P	290	裸子植物、爬行动物出现	
			石炭纪 C	362	两栖动物出现	
			泥盆纪 D	409	节蕨植物、鱼类出现	
		早古生代 P_{z1}	志留纪 S	439	裸蕨植物出现	
			奥陶纪 O	510	无颌类出现	
			寒武纪 ϵ	570	硬壳动物出现	
元古宙 PT	新元古代 P_{t3}		震旦纪 Z	800	裸露动物出现	
				1 000		
	中元古代 P_{t2}			1 800	真核细胞生物出现	
	中元古代 P_{t1}			2 500		
太古代 AR	新太古代 A_{r2}			3 000	晚期生命出现 ,叠层石出现	
	古太古代 A_{r1}			3 800		
冥古宙 HD				4600		

① 据王鸿桢、李光岑,《中国地层时代表》,1990 年。

第二节 地球的基本状态和物理性质

在太阳系的九大行星中,离太阳由近而远,地球是第三颗行星。它与太阳的平均距离约为 1.496 亿 km。地球围绕太阳自西向东公转,轨道是椭圆的。公转轨道运动的平均速度是 29.79 km/s。地球的自转方向也是自西向东旋转。赤道的自转线速度为最高,约 464 m/s。南北纬 60°的自转线速度是赤道上的半数,即 232 m/s。地球绕太阳公转一周的时间为一年,自转一周的时间为一日。

一、地球的基本状态、形状与大小

地球的形状指全球静止海面的形状,也就是大地水准面的形状。站得越高,就越能清楚地看到地球的球形。宇航人员在宇宙飞船上看到的地球是滚圆的,在月球、火星及人造卫星上拍摄的地球照片,地球是球形的。近年来由于航天技术的发展,大大推动了关于地球形状的深入研究,并取得了一些新的数据:

地球赤道半径(r_a) 6 378.137 km

地球极半径(r_c) 6 356.752 km

扁率 $f = (r_a - r_c) / r_a = 1:298.257\ 222\ 010\ 1$

赤道标准重力加速度 $:(978.032 \pm 1) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

地球平均半径 6 371 km

子午线周长 40 008.08 km

赤道周长 40 075.24 km

地球面积 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$

海洋面积 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$

陆地面积 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$

地球体积 $1.083 \times 10^{12} \text{ km}^3$

地球质量 $5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$

地球平均密度 $5\ 517 \text{ kg/m}^3$

物体脱离地球的临界速度 11.2 km/s

赤道上点的线速度 465 m/s

大陆最高山峰(珠穆朗玛峰) $8\,846.27 \text{ m}$

大陆平均高度 $+825 \text{ m}$

海洋最深的海沟 $-11\,034 \text{ m}$

海洋平均深度 $-3\,800 \text{ m}$

其中,海洋面积占地球总面积的 70.8% ,陆地面积占地球总面积的 29.2% ,大陆和海洋的平均高度为 $-2\,448 \text{ m}$ (即若全球表面无起伏,则将被 $2\,448 \text{ m}$ 厚的海水所覆盖。)

通过人造卫星的进一步观测,并计算得知,概括说来,有以下方面的认识:

(1) 大地水准面不是一个稳定的旋转椭球面,而是有地方隆起,有地方凹陷,相差可达 100 m 以上。

(2) 地球赤道横截面不是正圆形,而是近椭圆形,长轴指向西经 20° 和东经 160° 方向,长短轴之差为 430 m 。

(3) 赤道面不是地球的对称面,从包含南极北的垂直于赤道的纵剖面看,其形状与标准椭球体相比较,位于南极的大陆比基准面凹进 24 m ,而位于北极的没有大陆的北冰洋却高出基准面 14 m 。从赤道到南纬 60° 之间高于基准面,而从赤道到北纬 45° 之间低于基准面。这一形状近似“梨”产形状。

最近,中国科学院院士马宗晋在世界上首次明确提出一个有趣的科学推论:地球并非理想的椭球体,而是从内到外普遍存在着扩张。马宗晋等人进一步提出,相对而言,北半球是陆半球、冷半球、压缩的半球;南半球洋半球、热半球、膨胀的半球,地球的“热量中心”可能偏于南半球,而“质量中心”则偏于北半球。

二、地球的物理性质

1. 地球上物体的重量

地球表面上的任何物体都受到地心的引力 $F_{引}$,也同时受到地球自转所产生的惯性离心力($F_{惯}$) ,这两个力的合力就是物体的重量(W)(见图 1 - 2 - 2 - 1) :

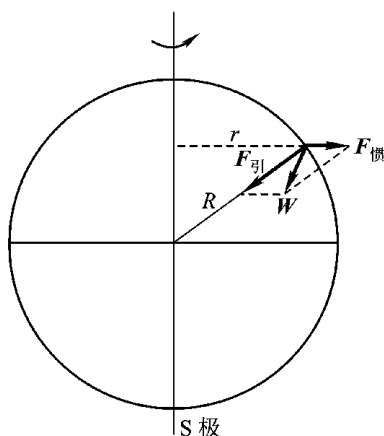


图 1 - 2 - 2 - 1 物体的重量与地心引力和离心力关系示意图

$$F_{引} = G(m_e m / r^2)$$

r 为地球上某点的实际半径 , G 为万有引力常量 ,其值为 $6.672 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$,而

$$F_{惯} = mv^2 / r = m\omega^2 r$$

ω 为该点的角速度。由于地球物质分布不均匀 ,各处密度不同 ,地形高低不同 ,造成同一物体在各处的重量值不同。

2. 地球内部的放射性

地球内部有些元素具有天然的放射性 ,即放出射线 ,放射线主要为 α 、 β 、 γ 三种射线。放射性元素所产生的热称为放射热。放射性元素对地球改造的重要性在于它具有放射热。放射性元素经过地壳运动和地球化学过程在某地聚集之后 ,将直接影响到地下岩石温度的变化 ,放射热能是地球内能的主要来源 ,是地球演化的

一个重要动力。

放射性元素的原子在衰变过程中具有半衰期,根据半衰期这种性质可以确定含放射性元素岩石的年龄,也可以测定月岩、陨石的年龄,所以地球内部的放射性元素可以用来研究地球的历史,是地球的一个地质时钟。

3. 地热

人们对气的变化是敏感的,它主要是太阳能作用的结果。气温变化的范围主要是大气圈和地球的表层。当从地表向下达到一定的深度时,其温度不随外界温度而变化,这一温度层叫常温层,它的深度因地异。在常温层以下,地温随深度而增加,一般说来,每增深 100 m,温度增加 3 $^{\circ}$ 。

关于地热的来源,目前普遍认为有三种:

(1) 地热的残余热。地球形成时是在压力增大过程中进行的,地球内部的物质受到压缩而增温,据估计可使温度升高几百摄氏度。

(2) 重力位能降低产生的热能。地球形成后,其内部由于增温、放热过程而发生轻物质上升,重物质下降,重力位能降低从而产生热,据测算,这部分热能可提高地球温度 1 500 $^{\circ}$ 。

(3) 放射性元素产生的热能。放射性元素衰变而产生的热能,如铀(U^{238} 、 U^{235})、钍(Th^{232})、钾(K^{40})等衰变产生的热能。地球上部比下部放射性元素含量高,由它产生的热能主要集中在地球的上部圈层。从地史上看,放射性热能是日趋减少的。主要是由于放射性元素经过衰变以后将逐渐变成稳定的同位素。据估计,40 亿年前地球的放射热大约是现代的 4 倍。这也可以解释早期岩浆活动比现在强烈的现象。

目前,全世界对地热的利用还主要限于地表和地下热水方面。但近年对“高温岩体”的利用已引起人们的重视,如日本已在进行开发高温岩体热能试验。其方法是在岩浆岩岩体上开凿一破碎井,在井下采取措施,使下面岩体产生龟裂,然后注水到地下岩体龟裂处,同时在地面另凿一生产井,提取利用基岩热产生的蒸汽,

推动涡轮机发电。由此可见,通过对于热的研究,可以为人类提供清洁安全的能源。目前,地热研究已取得了很大进展,具体表现在以下一些方面:

(1) 地热观测资料 and 大地热流数据有大幅度的增长。目前全球已有实测大地热流数据 24 639 个,并以每年约新增 500 个数据的速率在不断增长,众所周知,现代地热若从 1939 年在南非获得首批大地热流数据算起,历史较短,因此实测资料 and 数据的积累始终是国际地热最关心的一件大事。

(2) 研究的层位越来越深。从地表到地壳、地幔并深入地核。

(3) 地热的研究正在和多门学科进行交叉,以解决难度较大的问题和取得某些突破。如与气象、水文、计算机技术的交叉。

4. 地磁

地球周围具有巨大的地磁场。早在公元前 3 世纪的战国时期,我国就发明了指南仪器——司南。后来人们还发现地磁极与地球极的位置是不一致的。

关于地磁场的形成原因,目前人们倾向于这种认识:地核的外核部分是液态的铁、镍物质,是一种导电的流体,在地球旋转过程中,产生感应自激,形成地球磁场。又因在地球转动过程中,流体地核比固体地幔略有滞后,因此产生地球磁场并逐渐向西漂移。

地磁场是变化的,磁偏角和磁场强度的变化可分短期变化和长期变化。短期变化是由地球外部原因引起的,如日变化即每天的磁场强度变化约几十毫安每米,磁偏角的变动约几分。另外每年也有轻微的年变化。有时会突然出现磁暴,平均每年发生十几次,每次持续时间几小时到几天,强度变化可达几千毫安每米,可引起磁针摆动不止,而使罗盘无法使用,无线电通讯中断,高纬地区出现极光。这是由于太阳强烈活动时放出大量的地磁辐射,使地球大气强烈电离引起的(后面还要详谈)。地磁的长期变化是磁场的西向漂移,向西迁移速度约为每年 0.18° 。

近年来,人造卫星在地球外层空间探测发现,地球磁场在地球

上空形成一个磁层。这主要受太阳风影响所致。磁层朝向太阳,距离地球有 10 个地球半径远,而尾部可拖到几百个地球半径远。磁层可以保护地球上的生物免受宇宙射线和粒子袭击的危害。

第三节 太阳活动与地球表面的变化

太阳供给地球光和热,是地球外动力作用的最主要能量来源,直接影响地球表面形态的变化。还对天气、气候和生物圈状况产生影响。地球表面是人类赖以生存之地,地球表面的山川、河流、高低起伏不平是地球内动力(能量来自地球本身)和外动力(能量来自太阳辐射及日月引力等)综合作用的结果。

一、太阳活动

太阳活动是指太阳不停地发生均匀的辐射,在大气圈中常发生许多复杂变化现象,引起太阳能量系统的变化。

太阳是一个巨大的辐射源,它以两种辐射形式不断向外辐射。即电磁辐射(包括可见光、X 射线、紫外线、红外线及辐射电波)和微粒辐射(如太阳风)。太阳辐射对地球表面和大气层加热形成大气层的垂直分布结构和大气环流等。从而造就了地球环境,如紫外线是造成臭氧层和电离层的主要来源,而太阳风与地球磁场的相互作用形成了地球磁层,太阳活动可以包括以下三种形式:

1. 太阳黑子

太阳黑子是太阳光球上出现的一种暗区,它是日面活动区的核心,是磁场最强的区域,在黑子群附近可以看到光斑,在黑子上空的色球和日冕中总会出现谱斑、日珥、耀斑等。黑子是太阳活动的基本标志,而耀斑又是太阳活动的最强烈现象,从现象上说,它是通过单色观测验到的一种局部增亮现象。一个大耀斑相当于千亿颗广岛级原子弹的能量。

2. 太阳光谱中的 γ 射线、X 射线、紫外线和射电等辐射的缓变或脉冲式的增强。

3. 太阳等离子体的运动和抛射以及高能带电粒子的加速和喷发

太阳活动的增强可引起磁暴、极光、电离层突然骚扰、太阳质子事件等地球物理效应。特别是太阳耀斑爆发时,大量的高能质子传到地球轨道附近,使那里的粒子流密度超过平时的十倍以上,对人造卫星、宇宙飞船及宇航员将会造成严重的损伤。由于高能粒子使高层大气受热膨胀上升,增加了大气中气体与卫星的摩擦阻力,引起卫星过早下降而降低寿命,增强的X射线破坏电离层,导致通讯信号衰弱甚至中断。大量的带电粒子到达地球能引起磁暴和电离层暴,这将严重地影响无线电通讯、卫星通讯、航空、航海通讯。在高纬度地区,磁暴会产生感应电流,严重影响高压供电系统,甚至造成重大事故,也会在输油管道中感应出巨大的电流,从而缩短其使用寿命。如1989年3月强烈磁暴事件造成了很大影响。当年3月5日,日面开始出现特大活动区,3月6日发生了一个罕见的X15/3B级特强耀斑,由于它位于日面 69°E ,未引起超磁暴,当活动区转至日面中部时,连续发生大耀斑和质量抛射事件,引起了3月13日至14日的强烈磁暴。在此间日面共发生过187个耀斑,其中有11个是等级为X级,(通量超过 10^{-4}W/m^2)的X级耀斑。这次事件,使日本同步气象卫星GS-3B在3月17日发生严重问题,星上的双备份指令系统有一半失效或永久性损坏。使NOAA及美国的空军的DMSP极轨低高度卫星无法释放。该事件造成了电离层扰动从而引起了大气的无线电通讯故障,在澳大利亚极区至中纬的线路完全失效,赤道线路信号非常弱而且噪音大。美国海军的MARS高频通讯网络10~20 MHz在全球范围中断。加拿大魁北克水力发电公司也受到了巨大的损失,该省大部分地区停电达9小时以上,六百万居民受到影响。此外,还造成航空磁测无法进行,海底电缆发生大幅度损坏。

太阳活动所产生的高能粒子,X射线和紫外辐射对天气和气候的影响,主要是先影响高层分布的变化,确切地讲,这一变化主要受两方面影响,一方面太阳活动和高层大气活动的影响,另一方

面也与人类活动释放的气体有关。如氟氯烃会破坏臭氧层,使之出现空洞。

此外,太阳活动还影响着生物圈,如树木年轮的增长、粮食的收获量、鱼类的繁殖和回游、人体中的细胞数的变化和神经病的发生等。

二、地球表面的变化

1. 外力对地球表面的作用

外力引起地球表面的变化,主要是水、大气、生物等作用引起的。

(1) 水对地球表面的影响

① 水的运动。流动的水必然伴随着一部分泥沙流向湖泊或海洋,也就是侵蚀了地势高的地方,而使低处堆积了泥沙,起了夷平的作用。

② 水的冻结。水在 0℃ 时结冰,其体积要膨胀(增长 9% 左右),因而它对围限它的岩石裂隙壁施加很大的压力,使岩石裂隙加宽加深,以致使岩石崩裂成为岩块。

③ 水的化学作用。水主要通过溶解、水解及碳酸化等作用,对岩石或矿物进行风化改造,而引起地球表面的变化。

(2) 大气对地球表面的作用

① 大气的运动。大气的流动就是风。美国建国后不久,一次巨大的暴风曾使得北美西北部的大量活土被吹入大西洋,美国因此建立了森林保护法。风的作用在干旱和少植被的地区表现更为突出。在湿润潮湿的植被繁盛地区,即使风力达到 12 级,可毁坏房屋及建筑物,但对地球表面的作用甚微。

风对地面的改造,主要表现在以下两个方面:一方面,是风本身流动引起的,流动过程中扬起干燥的沙土及携沙的风对地面岩石碰撞和磨损,如形成风蚀洞、风蚀蘑菇、风蚀城堡、雅丹地貌等等。另一方面,携沙的风在运动的过程中,随着风力的减弱,沙土堆积形成风积物,如沙丘、风成黄土。

② 大气降水。在低层大气中,含有大量的气态水,在一定条

件下转化为降水。水圈从大气圈中得到了水分,同时又通过太阳能作用于水圈使水圈的水分蒸发,为大气圈提供水分,进而间接地改变地球表面。

③ 气温变化。地球表面的岩石是热的不良导体,当受到昼夜温差、季温差、年温差变化时,可使岩石表层发生层状剥落,即球状风化,从而改变地球表面形态。

(3) 生物对地球表面的作用。主要表现在三方面:

① 植物生长于岩石裂隙中,在根系成长发育过程中,对岩石的挤压作用而导致岩石破裂。

② 动物在地面挖掘和穿凿活动中,不仅可使岩石遭到直接的机械破坏,而且也可以加速其风化作用的进行。

③ 生物在生长或死亡过程中,产生的 O_2 、 CO_2 及各种酸类能够加速岩石的化学变化或直接溶解某些矿物而对岩石起破坏作用。

2. 内力对地球表面的作用

内力作用最主要的特点是使地球表面变得起伏不平,形成山川与沟谷。主要表现在以下几个方面:

(1) 地壳运动对地球表面的作用。地球地壳运动是通过地壳的升降和水平运动表现出来的。地壳的升降运动可引起大规模的隆起(山脉)和拗陷(沟谷),并引起地球表面的高低变化和海陆变迁。同样地壳的水平运动也引起岩石圈的水平移动,并使岩石圈的水平方向上遭受不同程度的挤压力或引张力,形成巨大的连续起伏不平的山谷相间的地势(褶皱),同时由于强烈的挤压或引张作用形成断裂等,使地面起伏加大。

(2) 火山活动对地球表面的作用。火山活动时火山熔岩的喷发或流出地表,可形成火山锥、火山湖、火山熔岩台地、熔岩高原等,可引起地势的相对增高,造成地球环境的变化。

(3) 地震对地球表面的作用。地震是瞬间即逝的地壳运动,是地球内部能量释放的一种形式。地震可突然地引起岩石圈的升降与水平移动,引起地球表面起伏变化。

对于地球表面来说,是内外力综合作用的结果,内力作用使地球表面形成起伏不平,通过外力作用可使地球表面上高处被剥蚀夷平,低处被充填;内外力这种相互斗争,彼此消长的过程,也就是地球表面发展和演化过程。

第四节 地球的大地构造理论

以上我们介绍过地球表面形态特征是地球的内外力综合作用的结果,内力是形成地球表面反差的主要原因,它们是怎样形成的?它们为什么有今天的分布状态?现在的火山地震活动为什么多分布于环太平洋带,阿尔卑斯-喜马拉雅带,大陆裂谷与大洋中脊带?矿产资源为何集中分布在某一区域?石油与煤多集中于平原的盆地,金属矿产多集中在山脉。这些问题的形成,就需要用大地构造理论加以解释。

在大地构造理论的发展过程中,曾出现过许多学说,如均衡说、对流说、膨胀说、多旋回说、地质力学、地洼说和槽台说等等,这一事实反映大地构造理论处于不断探索和完善阶段,但每一个大地构造学说的提出,都标志着大地构造理论进入一个更高水平阶段,如20世纪最激动人心的大地构造理论——板块构造理论。

一、板块构造的基本理论

1967年,美国的普林斯顿大学的摩根(J. Morgan)、英国剑桥大学的麦肯齐(D. P. Mckenzie)、法国的勒皮顺(X. Le. Pichon)等人,结合大陆漂移和海底扩张假说令人满意的部分,把它们的基本原理扩展到整个岩石圈,并对岩石圈的运动和演化的总体规律做了总结提高,进而形成了板块构造学说或称新的全球构造理论。它包含以下基本原理:

(1) 地球岩石圈和软流圈参与了地球总体的构造运动。

(2) 岩石圈可分成若干个刚性板块,并在软流圈上不停地作水平位移。全球岩石圈划分六大板块,即太平洋板块、欧亚板

块、印度洋板块、非洲板块、美洲板块和南极洲板块。(如图 1-2-4-1)

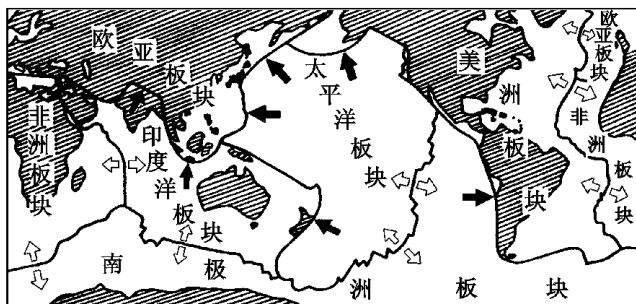


图 1-2-4-1 六大岩石圈板块

(白箭头为背边界,黑箭头为汇聚边界)

(3) 板块的水平位移具有三种形式:即板块之间的相对运动,板块之间的反向运动和板块之间的相互错动。这三种位移形式,形成三种板块边界类型:

① 相对运动形成汇聚型,(如图 1-2-4-2)形成俯冲带与碰撞(贝尼奥夫带)。

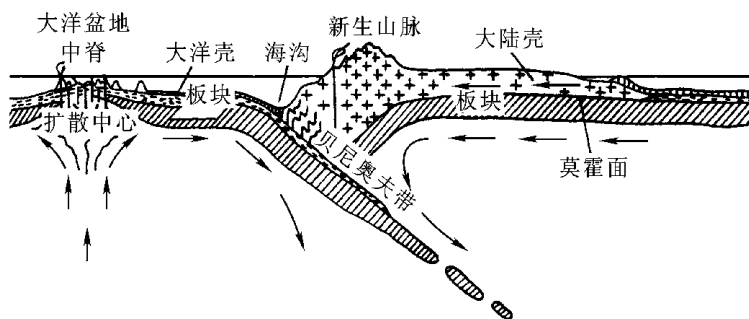


图 1-2-4-2 板块碰撞及有关现象示意图

② 反向运动形成背离型,形成大洋中脊和大陆裂谷。

③ 相互错动形成剪切型 ,如转换断层(图 1 - 2 - 4 - 3)。

④ 板块运动的驱动力是上地幔热对流。两板块背离发生在对流的上升处 ,两板块汇聚发生在对流的下降处。

⑤ 板块运动是大洋地壳演化的根本原因。洋壳在不断更新 ,新洋壳在洋脊处形成 ,老洋壳在海沟处消亡 ,洋底更新一次约为 2 亿年。

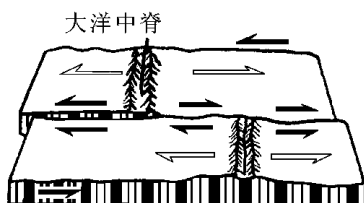


图 1 - 2 - 4 - 3 转换断层块状示意图

二、板块构造与内动力作用

1. 板块构造与火山、地震

板块的活动边界就是地壳的活动带 ,由于板块边界多呈线性分布 ,因此活动带在地壳上呈带状延伸。在板块的汇聚型边界上 ,由于板块的俯冲或碰撞导致火山与强烈的深、中、浅源地震的产生 ,如环太平洋带、阿尔卑斯喜马拉雅带 ,在板块的背离边界上具有浅源地震与火山。在洋中脊和大陆裂谷也有地震发生。

2. 板块构造与造山作用

两板块相撞或俯冲 ,会产生很大的挤压力 ,会使一个板块对另一个板块向下俯冲或向上仰冲 ,从而形成山脉。如非洲板块与欧亚板块相互碰撞形成阿尔卑斯山脉。印度板块与欧亚板块相互碰撞形成喜马拉雅山脉。太平洋板块俯冲美洲板块形成科迪勒拉山脉、安第斯山脉等。

3. 板块构造与矿产资源

板块持续不断的运动,为某种元素的富集创造了有利的条件。在汇聚板块边界区,由于岩石圈板块俯冲到大陆或岛弧下发生重熔,含矿溶液上涌,形成许多金属矿床。在背离板块边界区,由于岩浆活动同样也可形成金属矿床,在岛弧与大陆之间的边缘海区,沉积物中含有大量的有机物,具有生油条件,可形成油田。如我国的东海、黄海、南海。同样在大陆内部由于板块的碰撞与俯冲,可形成内陆盆地和沉降带。在盆地与沉降带中,由于生物的繁盛,具有生成石油和形成煤的条件,可形成油田与煤田,如大庆、塔里木、东北、华北的煤田等。

4. 板块运动与海洋的演化

我们知道,海洋中有洋壳分裂,地幔物质涌出,形成新的大洋壳。在大陆中也同样具有这种现象。如东非大裂谷,它正处于陆壳开始张裂阶段,即大洋发展的胚胎期。如东非大裂谷继续发展,海水将侵入其间,好像红海和亚丁湾一样,即大洋发展的幼年期,若红海与亚丁湾继续扩张,新洋壳把老洋壳向两侧面推移,就会演变成一个类似的大西洋,即大洋发展的成年期。若大西洋继续发展则演变成现在的太平洋,即大洋发展的衰退期,若太平洋继续演化则变成现在的地中海,它代表大洋发展的终了期。地中海继续演变,则转化成两板块相互碰撞,形成山脉,如喜马拉雅山脉。它代表大洋发展的遗迹时期。

5. 板块构造与大陆分裂

大约在3亿年前的晚古生代(石炭世),世界上的陆块是由两块大陆构成的,即北部的劳亚古陆(欧洲,大部分亚洲、北美、格陵兰)和南部的冈瓦那古陆(南美、非洲、印度、东南亚、澳大利亚和南极洲)。两大陆之间为古地中海(特提斯海),大陆之外为大洋(原始太平洋)。在大约二亿年前(侏罗纪)大陆才开始分裂。在冈瓦那大陆上,非洲与南极洲,印度与澳大利亚分离,出现古印度洋。在非洲形成东非大裂谷,非洲与南美分离形成南大西洋,欧洲与北美分离形成北大西洋。在新生代的始新世,印度板块与欧亚

板块碰撞,形成南亚次大陆,非洲逐渐向北靠近,向欧洲大陆挤压。阿拉伯半岛与非洲分开,同亚洲相连,红海出现,早第三纪初期,欧亚大陆和冈瓦纳大陆之间古地中海,由于第三纪末,欧亚板块与亚洲、印度板块碰撞加剧,地球上出现了横贯东西的山脉,包括北非的阿特拉斯,欧洲的比利牛斯,阿尔卑斯和喀尔巴阡,以及向东延伸的高加索和喜马拉雅等山脉。同时古地中海逐渐消失,只剩剩余部分。又由于太平洋板块向环太平洋外带俯冲,北美的科迪勒拉山脉,南美的安第斯山脉,以及亚洲的堪察加半岛,日本列岛相继形成岛弧,早第三纪后期,亚洲大陆的最后形成和中国东部边缘海域的形成,奠定了中国现代的地势基本结构,晚第三纪古地中海逐渐变成封闭的内陆海,其余部分经过多次变化,海水消失,残留下来了黑海、里海和咸海。第四纪时,虽然已形成现代全球构造和地理面貌,但洋脊向两侧面扩张,板块之间碰撞和俯冲不断进行着,如太平洋板块每年向东移动 6.6 cm,向西最大可达 11 cm,美国全球定位系统卫星(1994 年)提供数据显示,澳大利亚大陆正在以 5~8 cm 每年的速度朝着北东方向缓慢移动。又如喜马拉雅山正在以 1 cm 每年的速度增高,青藏高原也不断上升。许多早期的断块山地,如长江下游的庐山和九华山,华北平原上的泰山在第四纪也都继续上升。而松辽平原、华北平原等也在继续下沉。

第五节 地球科学

地球科学是研究地球的发展与演化规律的一门科学。当代地球科学的基本任务是整体性地认识地球,包括它的过去、现今并预测它的未来发展和行为。地球科学的研究使人类不断提高对地球的认识,并增强社会功能,它能够有效地探索、开拓和合理利用自然资源,避免和减轻自然灾害,避免和保护自然环境不受破坏和干扰,预测和调节环境变化与全球变化,从总体上促进协调人类社会与自然系统之间的关系,维护生物圈和人类社会生存、持续发展的自然环境。

现在地球科学处于重大变革的时期。对行星地球的整体性认识的重大进展,关于人类是地球营力的新认识的出现,关于行星地球是整体的动力复杂系统的新概念的产生,地球系统研究的新领域的开拓,地球的复杂性研究的崛起,传统单学科格局的分解和学科交叉与统一化趋势的日益增强,构成了地球科学研究的多样性。

一、地球科学研究的基本进展

20 世纪末,地球科学在各种探测、观测系统、测试系统、实验系统、信息系统和数值模拟等新的高技术的研究,已获得突破性进展,大大深化我们对地球的认识,特别在构筑关于行星地球的统一的整体性概念模式和控制各种基本过程的相互作用的综合认识方面,迈出了很大的一步。成矿作用的研究思路,已经从长期的“水火”之争中解放出来,包括许多超大型矿床、地中海热卤水、深海热泉及伴生的矿产等在内的一系列新现象的发现,大大深化了对矿床的形成机制的认识。超大矿床的形成背景和作用过程以及预测研究成为最重要的前沿。

关于地球内部结构和物质组成及性质,相分离和相变及其影响等有了较多的认识。许多边界层及其性质和作用得到新的认定。关于壳幔、核幔相互作用、地幔中热传输、对流运动、化学分异作用和混合,有较多的了解。对地核和外核的组成与状态也有一定的推定。控制地球系统中质量和能量再分配并引起一系列事件的地球内部流体的作用,引起高度的关注。

大气环流的研究,把大气、海洋、冰雪圈、陆水、陆表和生物圈耦合在统一的相互作用的框架体系中,现在又加入了人类圈。不仅大大深化了对它本身的认识,并发现许多新现象,而且大大促进了天气预报,促进了气候的研究。海洋和生物作用对气候的影响是较重要的认识。此外,地壳运动和地球内部作用、火山活动也是影响气候的很重要的因素。大洋环流,厄尔尼诺现象和海气相互作用等,都已成为重要研究领域。

气候变化或波动既有自然的原因,也有人类的因素。用气候模式模拟出未来气候和环境变化,包括生态系统与海平面变化,引起世人关注。揭示出大气成分变化与气候变化的关系。此外,也认识到,过去长期气候变化与地球轨道参数变化的关系。揭示出过去几十万年和更长时期的气候变化。对一些大的气候事件有了一些了解。

20 世纪末,关于太阳活动的扰动及其对地球空间系统、地球表层系统的影响和太阳风的行星际传输、太阳风与地球的相互作用、磁层、电离层、中高层大气等及其相互作用认识,并发现中层受到对地面温度变化的影响。检测出的平流层臭氧的变化,特别是臭氧洞的出现以及其与人类的关系,引起国际社会的密切关注。一个重要发现是,地球空间系统内部的扰动,对人类的安全和空间利用、信息网络系统、从空间对地球变化的监测、飞行器及其计算机控制系统,以及地面基础设施,都有重大影响。现在,一个趋势是,不仅关注各层圈,而且关注各层圈之间的耦合。

关于地球的整体运动,我们有了较多的认识。地球的旋转关系到海洋、大气、固体地球的运动和相互作用,影响环境变化同时也关系到地球深部动力学行为。在认识上,现在我们已经有了一个地球物质循环、物质分配的基本框架,包括地球内部深部、浅部、气圈、水圈之间,包括表层系统中的循环,这涉及到环境变化、资源的形成、环境的维护等。地球化学循环和生物地球化学循环与过程把固体地球、水圈、气圈联结起来,把岩石圈、气圈、水圈、生物圈联系起来。在这个循环中,物理的、化学的和生物进程是相互联系和作用的。人类活动已经影响了生物地球化学循环和过程,导致环境变化与生态系统的变化。人类的活动也可能影响地壳动力学平衡。

二、地球系统科学

1. 地球的系统科学的概念

1983 年 11 月,由美国国家航空和宇航管理局(NASA)顾问委

员会任命了一个地球系统科学委员会(ESSC),它负责如下任务:

- (1) 把地球科学作为各部分相互作用的一个系统加以评述。
- (2) 推荐一个全球性地球研究的执行战略计划。
- (3) 确定国家航空和宇航管理局在该计划中的作用。

地球系统的研究,是在全球尺度上研究地球系统的各组成(岩石圈、水圈、气圈和生物圈)的相互作用及其运行机制和演化,了解人类活动的后果,发展预测十年到百年的由自然和人类活动引起的全球变化(环境)的能力,预测未来环境变化趋势,阐明和维护人类的可居住性。重点是主导地球系统演变和全球变化的相互作用的物理、化学和生物作用。全球尺度上的地球系统研究是一个全新的研究领域。它强调的是在全球尺度上把地球看成是由相互作用的各组成部分(亚系统)集成的一个综合大系统,是全新的思维,体现了整体性和全球观,它打破学科间的壁垒,把物理作用、化学作用和生物作用统一起来,强调了人类活动在地球环境变化上的重要作用。美国地球系统科学委员会提出地球系统科学的概念,是为了探索地球的奥秘,了解地球的组成、构造及演化等众多知识,以寻求实际效益。今天,人们面临着全球环境变化的挑战,对地球的研究又显得特别重要。一个超越传统学科界限的综合研究,促使人们认识到:我们的地球是一个各部分互相联系着的整体。对地球系统整体行为的研究,必然跨越传统学科的界限,形成地球科学、宏观生物学、空间科学、信息科学和遥感技术的应用的综合研究方向——地球系统科学。从此可以看出,地球系统科学是为了解释地球动力、地球演变和全球变化,对组成地球系统各部分相互作用机制进行综合研究的一门科学。地球系统则是由地核、地幔、岩石圈、海洋、大气、冰冻圈相互作用而组成的一个统一体。是不断变化着的综合大系统。地球这个综合系统,是作为相互作用着的动力学系统。地球系统科学试图对地球的各个组成部分之间的相互作用做更深的洞察,用全球观测技术、概念和数值模式来研究地球的演变和全球的变化。

2. 地球系统科学的基本观点

(1) 地球系统科学探讨的是由组成地球系统的各个子系统相互作用而成的综合系统即整体地球。这一研究必须超越现行学科的界限。

(2) 地球系统科学通过传统学科的完善,对整个地球从空间观察的观念、及在全球变化中人类活动作用的加强而被促以发展。

(3) 在几千年到几百万年的时间尺度上,地球过程由地球内部能量和外部的太阳辐射能量所控制。

(4) 在几十年到几百年尺度上,地球过程则由物理气候系统和生物地球化学循环过程所控制,人类活动在这两个系统所起的作用正在逐渐加强。

(5) 在人类生存时代这一时间尺度上的全球变化这一事实提供了一个新的和急需对地球研究的促动因素。

(6) 科学知识的成熟化、新技术、提高了全世界对全球变化广泛的政治关心和兴趣。要求我们迅速行动来研究地球。

(7) 空间技术对地球系统的演化和全球变化的研究具有突出的贡献。

(8) 空间观测需要通过对自然位置上的地球特性的研究而逐渐完善。

(9) 全球变化是地球组成要素之间相互作用的反馈的结果。这些组成要素包括地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈和生物圈。

(10) 需将地球看作一个完整的动态系统,对这些相互作用与反馈进行科学的理解和研究。

(11) 依靠对地球系统相互作用的更深入的理解,改进对21世纪各个时代未来全球变化趋向的预测的能力。

(12) 传统地学研究长时间尺度的地球运行过程。

(13) 传统学科诸如大气、海洋和生物科学对地球系统的研究与人类所关心的问题和社会的发展规划有特别的关系。

(14) 为了对某一时间尺度上的地球系统过程进一步理解,就

必须考虑与其他时间尺度上地球过程相互作用的影响。

(15) 地球系统过程的概念化与数字化模型是理解地球演变和全球变化的关键内容。

(16) 正在发展两种时间尺度上的全球变化模型,即从几千年到几百万年和从几十年到几百年。

(17) 地球系统科学研究包括四个循环性的步骤:观测、分析与解释模型、检验和预测。

(18) 地球系统科学的信息系统是研究和发展对地球系统一体化理解的基础。

地球系统科学强调从整体高度出发,将大气圈、水圈、岩石圈、生物圈作为地球系统来看待,强调研究发生在该系统中主导全球变化的、相互作用着的物理、化学和生物过程,特别是人类诱发全球变化,最终揭示全球变化规律,提高人类认识并预测全球变化的能力。

3. 地球系统科学的目标

地球系统科学的研究最终目标是,更深刻地认识影响在所有时间尺度范围内地球演变的那些过程。

4. 地球系统科学的研究方法

地球系统科学按不同尺度,全新观念来分析全球变化(图1-2-5-1)。强调几千年至几百万年尺度和几十年到数百年尺度的全球变化研究。前一尺度的地球演化过程,受地球内部能量和来自太阳辐射的外部能量所驱动。对这些过程的认识有利于地球起源和生命过程对不同环境的适应能力等基本问题的理解。后一尺度的全球变化的许多关键知识,也依赖于对那些过程的研究。它对人类社会的组织和规划是极其重要的。

5. 地球系统科学基本思路

地球系统科学的基本思路是:对全球变化进行描述、理解、模拟和预测,它将全球变化用一些基本变量来描述,并通过全球范围的长期、持续、同步观测(卫星和地面观测)和建立全球变量信息

库来实现 ,进行过程研究 ,以加深对全球变化的理解和认识 ;在这些基础上 ,建立数值模式 ,进行数值模拟 ,应用重建的过去环境记录检验模拟的结果 ,最后 ,对地球系统状态变量的变化趋势、取值范围作统计和预报。

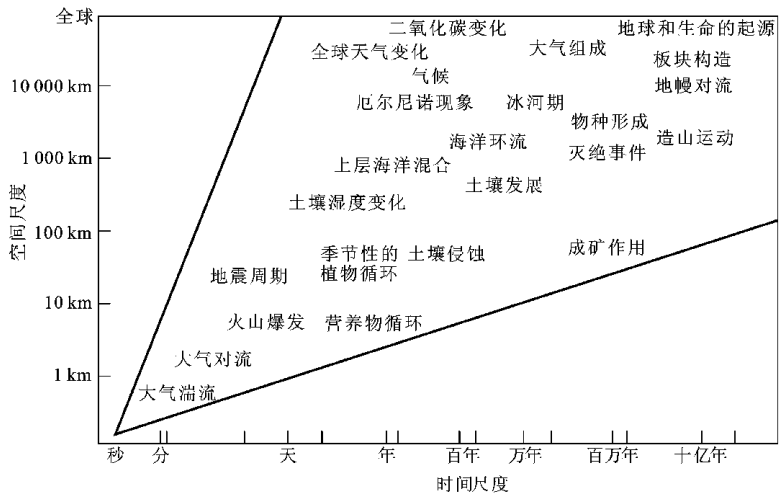


图 1 - 2 - 5 - 1 空间尺度、时间尺度的地球系统过程

6. 几十年至几百年的全球变化研究

地球是人类赖以生存的唯一场所 ,而且人类社会也必然进入受地球环境制约的时期。为了子孙后代的持续发展 ,在强调对所有时间尺度变化进行全面研究的同时 ,应当对几十年至几百年时间尺度的全球变化问题给予优先重视。在这一尺度内 ,自然变化对人类有着重大的影响 ,而且人类活动对全球过程的影响也最活跃、最显著 ,人类感受到的影响最直接、最强烈。综合研究表明 ,在这一时间尺度的过程中 ,运行着两大过程(图 1 - 2 - 5 - 2) :

(1) 物理气候系统。它包括大气物理学和大气动力学、海洋动力学以及地球表面的能量平衡理论等子系统。也就是说包括控

制地面温度和降水分解的大气和海洋过程,因太阳加热不同产生的运行以及冰雪覆盖的变化等。

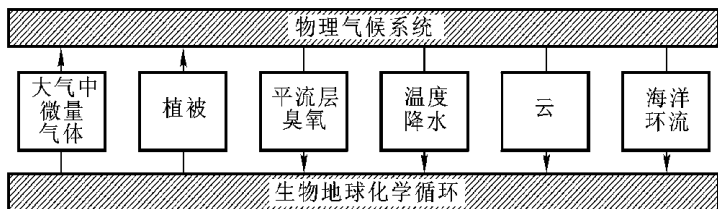


图 1 - 2 - 5 - 2 物理气候系统与生物地球化学循环联系示意图示

(2)生物地球化学循环。这包括海洋生物地球化学、地球生态系统以及大气对流层化学等各个子系统。它是指诸如碳、氮、硫、磷等十几种与生命相关的元素在地球系统中的转移,对生命物质的影响,以及后者的反馈影响。

物理气候系统和生物地球化学循环两大过程,又是通过各种形式的水(液态、气态、固态)而密切联系的。人类活动已经增大到如此程度,以至于必须把它看成地行星中生物地球化学循环的重大扰动因素。生物地球化学循环又以不同方式与物理气候系统发生联系。

7. 地球系统科学需要的观测和过程研究

任何一个可信的分析,或时间尺度为几十年至几百年的全球变化的预测,必然要建立在目前正在全球范围发生变化的实际研究所需要的全球持续总期的观测变量(见表 1 - 2 - 5 - 1)。必须指出,全球变量的持续长测量旨在记录地球系统的极其重要的征兆和全球变化特征。我国是全球环境的一个组成部分,其生存环境必将受到全球变化的影响,应用地球系统科学的理论与方法来加以研究,认识并掌握在全球变化背景下,我国环境将经历什么样的变化,采取什么样的对策来保证我国经济的可持续发展,这显然具有重大的意义。

表 1 - 2 - 5 - 1 对时间尺度为几十年至几百年的全球变化研究重要的
全球变量的持久、长期测量

变量	重要性 ^①	分析结果 的质量 ^②	变量	重要性	分析结果 的质量
外力：			大气响应变量：		
太阳辐照度	★★★	A	地面空气温度	★★★	B
紫外辐射通量	★★	B	对流层温度	★★★	B
火山喷射指数	★	C	平流层温度	★★	C
对辐射和化学有重 要影响的微量成分：			地面气压	★★★	A -
CO ₂	★★★	A	热带风	★★	C -
N ₂ O	★★	A	温带风	★	B
CH ₄	★★	B	对流层水汽	★★	D
氯氟烷	★★	A	降水	★★★	C -
对流层 O ₃	★★	C -	地球辐射		
CO	★★	D -	收支分量	★★	B
平流层 O ₃	★★★	C	云量、云状、云高	★★	D
平流层 H ₂ O	★★	C	对流层气溶胶	★	D
平流层 NOO ₂	★	C	地面特征：		
平流层 HNO ₃	★	C	地面辐射温度	★	F
平流层 HCl	★	C -	入射太阳通量	★	C -
平流层气溶胶	★★	B	雪覆盖	★	C
			雪水当量	★	F
			河川径流(体积)	★	B
			河川径流(沉积量)	★	D -
			河川径流(化学成分)	★	F

续表

变量	重要性 ^①	分析结果 的质量 ^②	变量	重要性	分析结果 的质量
地面特征：			海洋变量：		
地面特征(反照率 粗糙度， 红外和微波辐射发率)	★	C -	海面温度	★★★	C
土地使用变化 指数(植被类 型的宏观分类)	★★	F	海冰范围	★★	B
植被覆盖指数	★★★	D	海冰形状	★	D
地面湿度指数	★	F	海冰运动	★	C -
土壤湿度	★★★	F	海风应力	★★★	C
生物群落范围,生产力和 营养物循环	★★★	F	海平面	★★	D
			入射太阳通量	★	D
			次表层环流	★★★	C -
			海洋叶绿素	★★★	C -
			生物地球化学通量	★★	C
			海洋 CO ₂	★★	C

① 重要性(对说明和理解全球变化而言)：★★★表示必不可少的；★★表示很重要；★表示重要。

② 分析结果的质量(当前可用的多年全球分析)：A：高质量，标定过；B：容易识别但绝对精度可疑；C：有用，识别力差；D：定性指数，解释可疑；F：无信息；-：非全球覆盖。

参 考 文 献

1. 宋春青. 地质学基础. 北京：高等教育出版社，1996
2. 郑喜森. 简明地貌与第四纪地质学. 延吉：延边大学出版社，1996
3. 卢嘉锡. 中国当代科技精华(地学卷). 哈尔滨：黑龙江教育出版社，1994
4. [美]美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会. 地球系统科学. 陈泮勤，马振华，王庚辰译. 北京：地震出版社，1992

5. [美]D. L. 安德森著. 地球的理论. 关华平, 杨玉荣, 刘小伟等译. 北京 地震出版社, 1993
6. 21 世纪初科学发展趋势课题组. 21 世纪初科学发展趋势. 北京 科学出版社, 1996
7. 宫鹏, 史培军, 浦瑞良, 郭华东. 对地观测技术与地球系统科学. 北京 科学出版社, 1996
8. 世界数据中心中国中心协调办公室. 世界数据中心中国中心与地球系统科学数据. 北京 科学出版社, 1995
9. 孙立广, 杨晓勇, 黄新明. 地球与环境科学导论. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1995
10. 陈述彭. 地学的探索(第一卷). 地理学. 北京 1990, 1

第三章 生命的本质与智力的起源

今天的地球,是一个瑰丽多姿的生命世界。地球上有 100 多万种动物,30 多万种植物和 10 多万种微生物。从高山到平原,从赤道到两极,从沙漠到草原,从空中到海洋,几乎到处都有生命的踪迹。

生命的本质是什么?这是自然科学长期探索的问题,也是哲学上的一个大问题。

第一节 生命的物质基础

在人类文明史上,对生命及其本质的认识,一直是引人关注的问题。随着分子生物学的兴起,人们又从生命物质微观构成的一致性上去寻求生命的定义。认为生命是由核酸与蛋白质组成的具有自我更新和自我复制能力的多分子体系。这一论述基本上反映了生命的本质。细胞是生命的基石;生命的物质基础是蛋白质与核酸。

一、细胞

各种生物,不论是构造复杂的人,还是构造简单的微生物,绝大多数是由细胞构成的。细胞是生命的基石。

细胞是生命体的基本结构单位,复杂的高等动物和植物是由很多细胞构成的,而简单的低等动物和植物则由单个细胞构成。

细胞还是生命体的基本功能单位,生命体的一切生命现象都是通过细胞来体现的。生命的新陈代谢是细胞中物质的交换和能量的转化构成的,细胞的生长、繁殖和分化导致了生命体的生长发育。

细胞是由分子构成的。细胞中有两种重要的生物分子——核酸和蛋白质,这两种生物分子结构复杂、相对分子质量巨大,通常被称为生物大分子。它们决定了细胞的基本特性,是生命的物质基础。各种生命活动的进行,各种生命特征的体现,都与核酸和蛋白质的功能密切相关。

构成生命的不同形态的细胞具有相仿的设计:细胞膜由磷脂分子双层形成,遗传信息的载体是 DNA 和 RNA 分子,为生命执行各种使命的是蛋白质分子,还含有糖、脂质、氨基酸、核苷酸以及它们的代谢物等等。水对于生命是不可缺少的。细胞中水的含量约为 70%,按分子数计算,高达 99%,细胞中还含有少量无机盐类。

二、蛋白质

蛋白质是一种复杂的、相对分子质量巨大的高分子有机化合物,它的组成成分主要为氨基酸,它是生物体活动的物质基础,具有催化作用酶、免疫功能的抗体,起运输作用的血液蛋白,有运动功能的肌肉蛋白、生物膜蛋白、某些激素和毒素等都是蛋白质。蛋白质由一个或几个多肽链组成。每个多肽链是一个聚合体,由许多具有 L-型光学构型的不同 α -氨基酸连结而成。所有生物都用一套 20 多个 α 氨基酸来建造蛋白质。蛋白质的顺序就存在于核酸分子的这些核苷酸的顺序中。例如大肠杆菌的 DNA 就是由近 2 千万个单体所组成的长链。形象地说,这就是用 4 个字母的文字写成的 2 千万字的长诗,在这首诗里记载着这个生物一生中的活动。如果由 20 种氨基酸连接起来形成一条含 100 个单体(一般一个蛋白质分子为 100 到 400 个单体)的肽链,就可以有 20^{100} 种不同的排列组合。而且构成蛋白质分子的肽链可有多条,肽链经过折叠盘绕形成空间结构又是多种多样的,因此使蛋白质具有极其多样性的特点,能担负各种各样的功能,形成千差万别的生物。

(一) 蛋白质的分子组成

蛋白质是维持生命过程的重要物质,组成蛋白质的化学元素有碳、氢、氧、氮、硫等,有的蛋白质还含有微量的铁和碘。

蛋白质的组成成分主要为氨基酸,因此,氨基酸是组成蛋白质的基本单位。氨基酸主要是由碳、氢、氧、氮四种元素所组成,个别的还含有硫。组成蛋白质的氨基酸有 20 多种。虽然它们的化学结构式各不相同,但其共同点都是含氨基的有机酸。

从蛋白质水解液中分离出来的氨基酸都是 α -氨基酸,即羧基($-\text{COOH}$)和氨基($-\text{NH}_2$)都连接在 α -碳原子上。 α -氨基酸通式是



20 多种氨基酸可分为三大类:①含有一个氨基和一个羧基的中性氨基酸,最简单的如甘氨酸,包括脂肪族氨基酸,芳香族氨基酸,含硫氨基酸和亚氨基酸;②含有 2 个羧基一个氨基的酸性氨基酸及其酰胺;③含过剩的碱基的碱性氨基酸。20 多种氨基酸的名称及其缩写符号、化学结构可以查阅有关的生化书籍。

所有氨基酸至少含有一个碱性的氨基和一个酸性的羧基。氨基酸在水溶液中羧基能给出一个氢离子,变成 $-\text{COO}^-$,故呈弱酸性;氨基可与一个氢离子结合成 $-\text{NH}_3^+$,故呈弱碱性。因此,氨基酸是两性化合物。由氨基酸构成的蛋白质也呈两性化合物的性质。

氨基酸还有一个很重要的性质是氨基酸分子中的氨基($-\text{NH}_2$),在机体内经酶的作用,可以变为氨(NH_3),这是氨基酸在体内代谢作用的第一步。

20 多种氨基酸中,有 8 种是人体不能制造的,必须从食物中补充,称为必需氨基酸。它们是:苏氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、色氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸(蛋氨酸)、亮氨酸和异亮氨酸。必需氨基酸

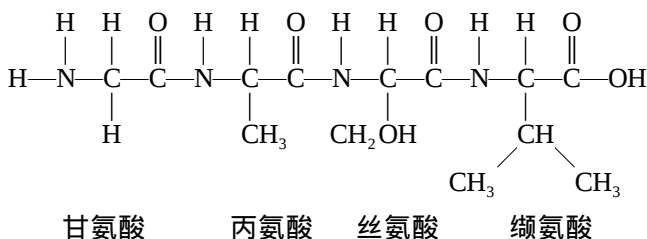
对人体的生命活动来说,是重要的生活物质。

(二) 蛋白质的分子结构

蛋白质分子中所含的氨基酸虽然只有 20 多种,但组成一个蛋白质分子的氨基酸数目却很多,少的几十个到一百多个,多的可达几十万个。因为蛋白质分子非常巨大,所以在一定意义上可以说蛋白质是由大量氨基酸组成的大分子。

蛋白质分子是以氨基酸分子间的肽键(—CO—NH—)缩合而成的共价多肽链。氨基酸是两性化合物,因此一个氨基酸的羧基失去羟基(OH)和另一个氨基酸的氨基失去一个氢原子而连接起来形成肽,连接它们之间的化学键叫做肽键。任何蛋白质分子结构都包含着一条或一条以上的主链或许多侧链。不同蛋白质侧链的数目不同,有的可达数万个。如果打个形象比喻,蛋白质的肽链好比一列火车,氨基酸就等如一节节车厢,肽键就如同每节车厢之间的挂钩。

试以一个四肽化合物为例来加以说明:



它由四个氨基酸借肽键连接在一起形成的。每个氨基酸都不完整,甘氨酸缺少 —OH ,丙氨酸与丝氨酸缺少 —H 和 —OH ,缬氨酸缺少 —H ,所以叫氨基酸残基。这就是说,在一个巨大的蛋白质分子中,每个氨基酸单位称为氨基酸残基,因为每当和其他氨基酸单位连接时,每个氨基酸单位便失去某些部分而不再是一个完整的氨基酸。所以,氨基酸残基越多,蛋白质分子就越大。氨基酸残基的名称是把最末的“酸”字改为“酰”。化学上把含氧酸分

子中去掉羟基($-\text{OH}$)后,剩下的基叫做酰基。某酸的全部羟基($-\text{OH}$)均已去掉时,就以酸命名为某酰,如在以上四肽化合物中从左到右分别叫做甘氨酰、丙氨酰、丝氨酰,最末一个因仍具有完整的羧基($-\text{COOH}$),所以仍叫缬氨酸,因而这个化合物的名称就叫做甘氨酰丙氨酰丝氨酰缬氨酸。从整个四肽来看,左端仍具有完整的氨基($-\text{NH}_2$),右端仍具有完整的羧基($-\text{COOH}$),所以仍然是一个酸碱两性化合物。由此可以了解蛋白质不管它是由多少氨基酸缩合成的多肽,仍然是两性化合物的实质。

但是通过 α 射线衍射法的研究,进一步发现组成蛋白质的肽链并不是伸直展开的,而是折叠、盘曲形成的一定空间结构。多肽链之所以折叠、盘曲是和蛋白质分子中所存在的各种结合键有关。

关于蛋白质的空间结构,可分为一级、二级、三级和四级结构。蛋白质之所以在功能上有其多样性和复杂性,是因为它在结构上的多样性和复杂性带来的结果。所以说,生命的多样性实质上也是蛋白质的多样性。20 多种不同的氨基酸在肽链上的排列顺序是千变万化的,只要排列顺序中有一个氨基酸发生变化,就会形成一种功能完全不同的蛋白质。例如由四条多肽链构成的人的血红蛋白,每条链中的氨基酸种类及其排列顺序都是一定的,如果肽链中第六位的谷氨酸换成缬氨酸,这时就形成畸形血红蛋白,不能执行正常的运送氧气的功能,表现出来的症状叫做镰形细胞贫血症。

20 多种氨基酸能够排列组合成多少种蛋白质?例如用 a 和 b 两个字母进行排列,只有 ab 和 ba 两种;用 a、b 和 c 三个字母进行排列,可以有 abc、bca、bac、cab、cba 和 acb 六种;用 a、b、c 和 d 四个字母进行排列,就能排出 24 种;用 10 个字母就可以排出 360 万种以上,如果用 20 个字母,排列出来的组合数目是在后面添上 17 个零那样大的天文数字了。一般蛋白质有 500 个以上的氨基酸,这 500 个氨基酸中最多只含 20 多种不同的氨基酸,它所能排列出

来的总数是1的后面跟着600个零。当然,并非是每种蛋白质都包括20多种氨基酸,有的包括其中的几种,有的可能包括十几种不等。但是,由于组成肽链的氨基酸单体的数目是成千上万的,所以排列出来的花样仍是无穷无尽的。

综上所述,可见蛋白质的分子结构一方面是与它所含有的氨基酸种类、数量以及其肽链中排列顺序有关;另一方面也决定于多肽链所构成的空间结构。由此可见蛋白质分子结构的复杂性。正因为蛋白是一种具有这样复杂结构的物质,所以它们才能表现出多种多样的生命活性,体现各种各样的生命活动。

(三) 蛋白质的种类及其基本生理功能

由于蛋白质的结构非常复杂,目前还很难根据其结构加以分类,一般是依照它们的组成成分分为单纯蛋白(如清蛋白、球蛋白、组蛋白等)和结合蛋白。结合蛋白是其蛋白质分子中除了含有氨基酸这一成分外,还有辅基。辅基可以是糖类、脂质、磷酸、核酸等。辅基为脂质的结合蛋白称为脂蛋白,辅基为色素的结合蛋白称色蛋白,辅基为磷酸的称磷蛋白,辅基为核酸的称核蛋白。物体中的蛋白质大都属于结合蛋白,而结合蛋白核蛋白最为重要,在生物体生命活动中起着极其重要的作用,细胞核内含量最多。

蛋白质是重要的生命活动物质,除了它是组成生物的主要成分以外,还有如下一些基本的生理功能。作为特化了的蛋白质的酶,可以催化生物体内各种复杂的化学反应。如绿色植物中的叶绿蛋白(为简单蛋白质和镁叶啉色素的结合物)。人体血液中的红细胞的血红蛋白和肌肉中的肌红蛋白都是运输氧的蛋白质;肌动蛋白和肌球蛋白的相互协调滑动才出现肌肉的收缩;调节机体生长、发育和代谢的一些激素也属于蛋白质;动物和人体抵御外界致病微生物入侵的重要免疫保护物质——抗体,也是一些高度专一性的蛋白质;感受光刺激和神经冲动的受体也是一些专一的蛋白质;人体和哺乳动物骨骼和皮肤之所以具有高抗张强度,也是由一种胶原纤维蛋白的作用产生的结果。

人们也有根据蛋白质分子的形状,将蛋白质分为球蛋白和纤维蛋白。球蛋白分子似球形,较易溶解,如血液的血红蛋白,豆类球蛋白。纤维蛋白的形状似纤维,不溶于水,如指甲、羽毛中的角蛋白。蚕丝的丝蛋白和胶原蛋白等。

(四) 蛋白质的胶体性质

蛋白质具有胶体特性,对于理解机体内细胞和体液的活动是极其重要的。蛋白质分子形成的胶体可以处于溶胶状态或凝胶状态,前者是指流动较大的胶体状态,后者是指流动较小的胶体状态。

组成细胞的蛋白质,有些处于凝胶状态,有些处于溶胶状态。细胞膜结构中的蛋白质是处于凝胶状态,细胞质基质和核质基本上是处于溶胶状态。

细胞或生物体的生命活动过程中,无时无刻不在进行着复杂的化学变化。这些化学变化所以能迅速而有规律地进行,是由于存在着催化这些化学反应的生物催化剂——酶。

酶的本质是蛋白质,也可以说是特化了的蛋白质,它是由生活细胞产生的,能在细胞内或细胞外起催化作用,机体内的氧化还原、水解合成等化学过程。在酶的参与下能异常迅速地完成。现在已知,机体存在着上千种具有不同功能的酶,机体的新陈代谢受酶的控制和调节,如果离开了酶,新陈代谢就不能进行,生命就停止。酶虽不是细胞结构的成分,但却是重要的生命物质。酶是细胞的产物,也可以离开细胞而起催化作用。酿酒就是一系列的酶促反应。德国化学家布克纳通过对没有酵母细胞的提取液的研究发现了酶,标志着人类对生命本质的深入认识。

三、核酸

核酸是一种复杂的、相对分子质量巨大的高分子有机化合物,它的组成成分主要为核苷酸,它是生物体遗传的物质基础。它对生物的生长、遗传、变异等现象起着重要的决定作用。核酸可分为

脱氧核糖核酸(简称 DNA)和核糖核酸(简称 RNA)两类。DNA 为相互缠绕的 2 条链(称双螺旋)所决定。每条链由核苷酸的亚单位聚合而成,它的主链由交替的磷酸基团和脱氧核糖通过共价链,连接形成一种由共享电子对而紧密结合的结构。这些链有极性和方向性,即在双螺旋中它们以右手螺旋方式反向平行排列。连接在每个核苷酸糖环上的是 4 种碱基:腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、胸腺嘧啶(T)和胞嘧啶(C)。这些碱基从糖-磷酸主键伸向双螺旋的中轴。每个碱基通过 2 或 3 个氢键与相对链上的碱基相连接。由于这些碱基有一定的大小和结构,一条链上的 A 与另一条链上的 T 配对,一条链上的 G 与另一条链上的 C 配对。这样,一条链上的核苷酸顺序决定了另一条链上的顺序。构成 RNA 的核苷酸上的碱基是腺嘌呤(A)、鸟嘌呤(G)、尿嘧啶(U)和胞嘧啶(C)。最早揭示 DNA 分子结构的是沃森和克里克。

(一) 核酸的组成成分

核酸是一种复杂的高分子有机化合物,核酸是单核苷酸的聚合物。组成核酸的单核苷酸少则几十个,多至几百万个。每个单核苷酸是由五碳单糖、碱基和磷酸三部分组成。五碳糖有核糖和脱氧核糖两种。碱基分嘌呤和嘧啶两大类,嘌呤是双环化合物,嘧啶是单环化合物。嘌呤中有腺嘌呤(符号为 A)和鸟嘌呤(符号为 G),嘧啶中有胞嘧啶(符号为 C)、胸腺嘧啶(符号为 T)和尿嘧啶(符号为 U)。

现已清楚,含氮碱基与戊糖第 1' 位碳原子结合形成核苷,核苷中糖部分的第 2'、第 3' 或第 5' 位碳原子的羧基再与磷酸相连形成核苷酸。

组成核糖核酸(RNA)的核苷酸有四种,即腺嘌呤核苷酸(ANP)、鸟嘌呤核苷酸(CMP)、胞嘧啶核苷酸(CMP)和尿嘧啶核苷酸(UMP)。同样,组成脱氧核糖核酸(DNA)的核苷酸也有四种,即腺嘌呤脱氧核苷酸(dAMP)、鸟嘌呤脱氧核苷酸(dGMP)、胞嘧啶脱氧核苷酸(dCMP)和胸腺嘧啶脱氧核苷酸(dTMP)。

一个核酸分子是由许多核苷酸(单体)通过一个核苷酸的戊糖与另一个核苷酸的磷酸聚合串联成为长链。所以核酸的分子又称为多核苷酸。核苷酸之间借 3' - C 和 5' - C 间的磷酸二酯键連結起来的高分子化合物就是核酸。

无论是 RNA 或是 DNA 通过一些化学键(如氢键)使本来的长链形成盘曲或螺旋状空间结构。

(二) DNA 的分子结构

每一个 DNA 的分子是由两条互相缠绕的多核苷酸长链所组成,脱氧核糖和磷酸排列在每条链的外侧,碱基在内侧。两条长链上的单核苷酸是相对的。相对的单核苷酸中的碱基之间的氢键互补配对,相对的碱基排列是有规律的,一条长链上的 A 总是跟另一条长链上的 T 通过氢键(—H)互相结合,G 总是和 C 互相结合的,这称为“互补原则”。这样特定碱基的结合叫做互补碱基对。DNA 分子链上的碱基对的组合有以下几种: A = T、G ≡ C、T = A、C ≡ G(A 和 T 及 G 和 C 之间的横线表示氢键联系和氢键数目)。

一个 DNA 分子的碱基对数目很多,一般总是在数千个以上,多的可达数百万。如果一个 DNA 分子上以 100 对碱基来计算,这 100 对碱基对这个分子上的排列的可能方式就在 4^{100} 以上,同样是个天文数字。这些多种多样的 DNA 分子内蕴藏着个体中无数的遗传信息。换句话说,遗传信息就蕴藏在 DNA 分子上许多碱基排列的顺序中。一个 DNA 分子上部分结构发生变化,就意味遗传信息的改变。

DNA 分布于细胞中的位置,可以因生物的种类而不同,病毒(包括噬菌体)位于病毒的核心部分;细菌位于分散的染色体中;动、植物细胞均位于细胞核中,线粒体和叶绿体含有少量的 DNA。

(三) RNA 的种类及其功能

RNA 有三种,它们基本上是单链,一种叫信使核糖核酸(mRNA)、一种叫转移核糖核酸(tRNA)和另一种叫核糖体核糖核酸

(rRNA)。mRNA 携带 DNA 分子给予的遗传信息(碱基的不同排列次序) ,是作为蛋白质合成的模板。tRNA 的功能是担负着蛋白质合成过程中氨基酸运输功能 ,不同的 tRNA 可以运输不同的氨基酸。tRNA 基本上也是单链的 ,但常常扭曲折叠成三叶草状 ,rRNA 三叶草状结构柄部有反密码环 ,不同的反密码子(三个碱基)运送不同的氨基酸。rRNA 不单独存在 ,而是和蛋白质结合形成核糖体。核糖体又称核糖核蛋白体 ,是蛋白质合成的场所。蛋白质合成问题 ,是涉及遗传和代谢的分子生物学的中心问题之一 ,这里不加细述。

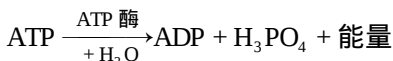
以上三种不同的 RNA 均由细胞内的 DNA 合成。DNA 双链的氢键打开 ,以其中的一条 DNA 单链为模板 ,以核糖、磷酸和碱基为原料 ,按 $A = U$ 、 $T = A$ 、 $G \equiv C$ 、 $C \equiv G$ 的碱基互补原则合成 RNA 单链 ,最后单链解脱 ,这一过程叫做转录。

核酸和蛋白质同是最重要的生命物质 ,它们都是细胞内的生命物质体系的主体 ,核酸(DNA)是细胞核的分子基础 ,这也就是每当谈到原生质就会和细胞结构联系在一起的道理。原生质的组成成分 ,作为生命的分子基础 ,就是糖、脂质和无机物(无机盐和水) ,也都是生物的生活不可少的 ,这类物质称为“生活物质”比之称为“生命物质”似乎较为恰当些。

讲到核酸的结构和功能 ,有趣的是组成核酸的腺嘌呤核苷酸 ,如与二个分子磷酸结合称为腺苷三磷酸 ,简称腺三磷(符号为 ATP) ,另一种高能化合物 ,是机体内与能量运转有关的一种核苷酸。

ATP 分子中三个磷酸分子后两个磷酸基团连结的化学键中蕴藏着很多能量 ,这种化学键称为高能键 ,常用“ $\sim$ ”符号表示 ,以区别普通键的符号“ $—$ ”。

在通常情况下 ,ATP 分子中任何高能磷酸键水解后均可释放高达 33.5J 左右的能量 ,但一般 ATP 只能分解末端一个高能磷酸键 ,而变为腺苷二磷酸(ADP) ,第二个高能磷酸键很少被利用 :



体内物质氧化所产生的能量一般不直接用于生命活动,而是供 ADP 磷酸化形成 ATP。物质氧化后所释放的能量实际上是以高能磷酸键的形成贮存于 ATP 之中,然后运到细胞各部分。所以,高能化合物 ATP 是一类贮藏和转换能量的极其重要的有机物。因其随时可以取用和收藏能量,故非常形象地称之为“流通货币”。

应当指出,ATP 这个奇妙的高能化合物,相对分子质量是不大的,但它确实是一种重要的生命物质。

第二节 生命的本质

生命的本质是什么?恩格斯在《反杜林论》中指出:“生命是蛋白体的存在方式。这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成部分的不断自我更新。”20 世纪 50 年代,沃森和克里克提出了 DNA 的双螺旋模型,宣告了一个富有生命力的新学科——分子生物学的诞生。分子生物学的研究成果,丰富和发展了恩格斯的预见,使我们加深了对生命本质的认识。

生命现象的本质特征是核酸和蛋白质化学成分的自我更新,生命现象最本质的内容是生物大分子的自我复制和生命体的自我组织。

生物体内化学组成的自我更新,即生物体的新陈代谢,它包括同化作用与异化作用两个过程。生物体从食物中摄取养料转换成自身的组成物质,是贮存能量的过程,称为同化作用(或称“合成代谢”)。反之,生物体将自身的组成物质分解以释放能量或排出体外,称为“异化作用”(或称“分解代谢”)。

生物体内部大分子的自我复制是生命物质的另一个重要特征。在生物体内,有一个 DNA 的复制酶系统,在它的作用下,以一条 DNA 的正链作为模板,以脱氧核苷三磷酸为原料,根据碱基配对规律,在模板上面聚合成与正链互补的负链;同样以一条负链为

模板合成了正链。这样一个 DNA 分子就变成 2 个一模一样的 DNA 分子。

当然,这种自我复制的特点是从分子水平上考察的。从细胞水平来看,表现为细胞分裂;从个体水平来看,表现为个体增殖。因此,以所有的生物共同具有的“自我复制”来标志这一特征,具有更不一般的意义。

一、生物大分子的自我复制

(一) DNA 的复制

遗传物质 DNA 一方面通过自我复制传递遗传信息,另一方面在后代的个体发育中,使遗传信息得以表达,从而使后代表现出与亲代相似的性状(形态特征和生理特性等)。生物大分子 DNA 的自我复制机制是 20 世纪最令人振奋的科学发现之一。DNA 分子的复制是指以亲代 DNA 分子为样板(生物学上称“模板”)来合成子代 DNA 的过程。DNA 分子是边解旋边复制的(如图 1-3-2-1)。DNA 分子利用细胞提供的能量,在解旋酶的作用下,按照碱基互补配对原则,合成出与母链互补的子链。新合成的子链不断地延伸,同时每条子链与对应的母链互相盘绕成螺旋结构,形成一个新的 DNA 分子。这样,一个 DNA 分子就变成两个完全相同的 DNA 分子。由此可见,DNA 复制时需要模板、原料、能量和酶等基本条件。从复制过程还可以看出,DNA 分子独特的双螺旋结构为复制 DNA 提供了精确的模板,而碱基互补配对能力保证了复制能够准确无误地完成。遗传信息,就是依靠 DNA 的复制过程进行传递的。

(二) 基因与人类基因组

基因在遗传过程中决定着特定蛋白质的化学组成,即基因的功能是编码蛋白质。每个 DNA 分子含有很多基因,这些基因按一定顺序排列,就成为制造蛋白质的图纸和指挥复制的命令。现代遗传学认为,基因是控制生物性状的遗传物质的功能单位和结构

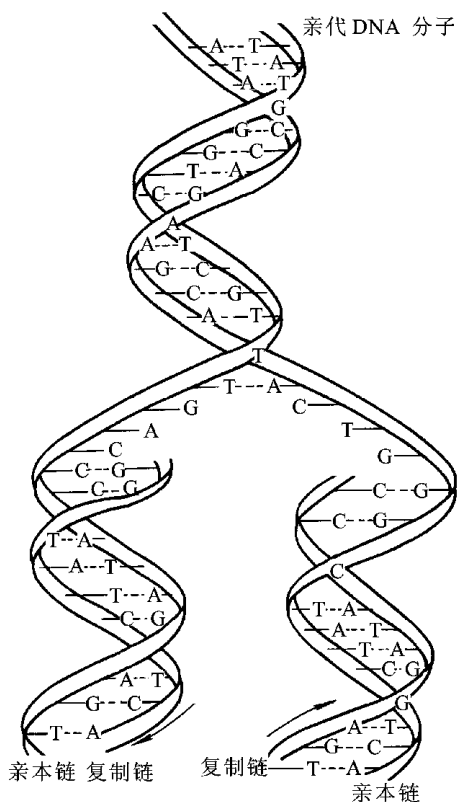


图 1 - 3 - 2 - 1 沃森和克里克提出的 DNA 双螺旋复制模型

单位,是有遗传效应的 DNA 片段,每个基因中可以含有成百上千个脱氧核苷酸。一种生命体的全部基因叫做这种生命体的基因组,人基因组 DNA(即编码在螺旋形 DNA 里的全部遗传信息)大约由 30 亿个核苷酸组成,其信息量约为 120 亿比特,可以编码 20 万种蛋白质。不同的基因,碱基排列顺序不同。人类的基因组大约有 3 万至 4 万个基因,迄今为止,只部分破译了其中近万个基

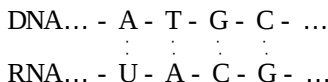
因。到 2001 年 2 月 ,科学家已把人类基因组图谱及初步分析结果公布。

一旦破译工作全部完成 ,就能掌握人类遗传信息 ,建立起完整的遗传信息库。危害人类健康的 5000 多种遗传病以及与遗传密切相关的癌症、心血管疾病和精神疾患等 ,可以因此得到预测、预防、早期诊断与治疗。

(三) 蛋白质合成的控制

基因控制蛋白合成的过程 ,包括“ 转录 ”和“ 翻译 ”两个重要步骤 :

转录过程是在细胞核内进行的 ,它是以 DNA 的一条链为模板 ,按照碱基互补配对原则 ,合成 RNA 的过程。由于 RNA 没有碱基 T(胸腺嘧啶) ,而有碱基 U(尿嘧啶) ,因此在合成 RNA 时 ,就以 U 代替 T 与 A 配对。转录的方法可以表示如下 :



可见 ,通过转录 ,DNA 的遗传信息就传递到 RNA 上 ,这种 RNA 叫做信使 RNA(用 mRNA 表示)。

翻译是在细胞质中进行的 ,它是指以信使 RNA 为模板 ,合成具有一定氨基酸顺序的蛋白质的过程。信使 RNA 形成以后 ,就从细胞核中出来 ,进入细胞质 ,与核糖体结合起来。核糖体是细胞内将氨基酸合成蛋白质的场所。那么 ,氨基酸是怎样被送到核糖体中信使 RNA 上去的呢 ? 这需要有运载工具 ,这种工具就叫转移 RNA(tRNA)。每种转移 RNA 的一端都有三个碱基 ,这三个碱基能与信使 RNA 的碱基相配对。转移 RNA 的另一端是携带氨基酸的部位 ,一种转移 RNA 只能转运一种特定的氨基酸。当转移 RNA 运载着氨基酸进入核糖体以后 ,就以信使 RNA 为模板 ,把氨基酸一个个连接起来 ,合成为具有一定氨基酸顺序的蛋白质。

如果我们将信使 RNA 分子比作一条磁带 ,那么核糖体就好比

是录音机的磁头,所演奏出的音乐就是根据上面的信息所生成的氨基酸构成的蛋白质。蛋白质不仅是有一定氨基酸排列顺序的多肽链,它还必须按一定方式卷曲、折叠,形成特定的空间结构,才能表现出其特定的功能。如果说,从 DNA/RNA 复制出反映蛋白质一级结构的肽链,只是完成了遗传密码翻译过程的一半,那么由氨基酸序列预测确定蛋白质三级结构就是译码过程的另一半。

就这样,在细胞核内,子代以 DNA 为模板合成信使 RNA,通过转录, DNA 的遗传信息就传递到了 RNA 上,信使 RNA 从细胞核进入细胞质,在细胞质中再以信使 RNA 为模板,以转移 RNA 为运载工具,使氨基酸在核糖体中按照一定的顺序排列起来,合成了与亲代一样的蛋白质,从而显示出与亲代一样的性状,完成了遗传过程。这种遗传信息从 DNA 传递给 RNA,再从 RNA 传递给蛋白质的转录和翻译的过程,以及遗传信息从 DNA 传递给 DNA 的复制过程,就叫“中心法则”。RNA 在这里起一种载体作用,它把 DNA 携带的遗传信息从细胞核传递到细胞质中去。

后来的科学研究发现,某些病毒的 RNA 也可以自我复制,并且还发现在蛋白质的合成过程中,不单是由 DNA 决定 RNA, RNA 同样可以反过来决定 DNA。例如,1970 年发现某些致癌病毒中有一种酶,叫做反转录酶。在这种反转录酶的作用下,能够以 RNA 为模板,合成 DNA。可以说,这些发现是对“中心法则”的一个重要补充。

(四) 遗传密码

遗传密码是大自然最伟大的创造之一。在密码中蕴藏着“生命机器”工作的重要原理,包含了生命形成和进化的丰富信息。在中心法则里, DNA 决定 RNA 的性质是遵循着碱基互补配对原则的。那么, RNA 是如何决定蛋白质性质的呢?我们知道,蛋白质是由比较普遍存在的 20 种氨基酸按照一定的顺序连接起来的。不同的蛋白质,组成它的氨基酸各有特定的排列顺序。而 RNA 只有四种核苷酸(以四种碱基 A, G, C, U 来代表),这就发生了四种

核苷酸如何决定 20 种氨基酸的问题。如果一种碱基决定一种氨基酸,那么,四种碱基只能决定四种氨基酸。如果两个碱基决定一种氨基酸,运用数学知识可以得出最多只能有 $16(4^2 = 16)$ 种组合。因此有人推测,每三个碱基决定一种氨基酸,这样碱基的组合可以达到 $64(4^3 = 64)$ 种。20 世纪 60 年代,这种推测已经被实验所证实。同时,科学家们还弄清了哪三个碱基决定哪种氨基酸。例如,UUU 决定苯丙氨酸,CGU 决定精氨酸。核苷酸的这种组合方式,就叫遗传密码,也叫“密码子”或“三联体密码”。1966 年,科学家们破译了全部密码子。遗传密码一共有 64 种,其中有 61 种用于编码氨基酸,另外 3 种用于编码终止信号。多数氨基酸是由几种密码编码的。地球上现有的生命体的遗传密码都是基本相同的。

许多氨基酸的密码子不止一个,如 UUU 和 UUC 都编码苯丙氨酸。上面提到的 64 种可能组合中,有 61 种可用于编码各种特异的氨基酸。另外三种核苷酸组合(UAA, UAG, UGA)并不编码任何氨基酸。它们都是编码终止信号,指令肽链合成的终止。人们可以想像,由于遗传密码对生命是如此重要,所以它可能是万能的。然而,事实并非完全如此:用于解释细胞核 RNA 的密码与解释线粒体 RNA 的密码就略有不同。大量的实验显示密码有时是可变的。为制成某些蛋白质,核糖体必须改变对信使 RNA 中的有用密码子的转移。而且,信使 RNA 中的有用密码子并不总是依次排列,核糖体有时必须“移码”,跳过一种或更多的碱基后寻找密码子继续翻译。这种由核糖体对信使 RNA 所做的重新解释被命名为“RNA 再编码”。遗传学家正在探索能更好地解释大肠杆菌、玫瑰、长颈鹿和人类等形形色色的生物体性状的遗传学规律,动态基因组的出现并不会贬低传统的模型。一百多年来对遗传和变异现象的研究经历了漫长而曲折的道路,人们对遗传物质结构与功能的认识,经历了一次又一次的升华。曲折的道路还在延伸,认识的升华还会多次发生。正是在曲折与升华之中,人类增强了对生命本质的认识和对自然的把握。

二、生命世界的自组织

核酸和蛋白质等生命物质构成细胞,各种细胞构成不同的组织,组织构成器官,器官构成系统,系统构成整个生命体,这些层次结构都是按照特定规律和方式自发组织而成的有序结构。生命现象是个维持高度有序结构的过程。这种自发组织形成的有序结构的过程叫做“自组织”。自组织是自然界普遍存在的现象,宇宙起源、天体形成与演化、元素起源、分子构成、生命起源、物种形成乃至生物的系统发育,基本上都是自组织过程。自组织是生命世界的一个重要特征。

一切生命物质在一定空间和时间内有一定的稳定性,但随着环境条件变化会变得不稳定,不过随着物质的重调整分配又会建立新的平衡态。这个过程本身的实际进展也是自组织过程。这种自组织过程在生命世界是普遍存在的。

达尔文在 1859 年发表了震动科学界和整个社会的《物种起源》,创立了进化论。达尔文的进化论主要讨论了两个互相联系的问题:生物是不是由进化而来的?生物是怎样进化的?他提出自然选择学说来说明生物进化的原因和过程。

但是,达尔文并不可能预见到自组织的力量。自从达尔文以来,生物学家一直把自然选择看作是有序的唯一来源。自组织是最近发现的某些复杂系统的固有性质,即某些非常有序的系统自发地“结晶”成为高度有序。当一个开放系统(与外界既有能量又有物质交换的系统)在远离热力学平衡时,无序的非平衡态的稳定性并不像在近平衡条件下那样有保证;系统通过与外界环境不断变换物质和能量,当外界变化达到一定的阈值时,无序有可能失去稳定性。其中的某些涨落可能被放大而使系统达到一种在时间上、空间上或功能上的新状态。这种在远离平衡情况下所形成的有序结构是自发出现的,故称自组织。自组织是生命世界的重要特征之一。计算机模型正揭示这类复杂系统如何能自发地自己组

织起来以实现稳定的基因活动循环——所有生命的基本特征。有人认为人类基因库也许是个自组织系统。这样,有机体之所以具有某些特征,也许并不是因为自然选择造成的,而是因为自然选择作用的对象具有自组织特性。人们已经开始认识到,进化是自然选择和自组织结合的产物。

第三节 生命起源与生物进化

科学家们正在艰难地探索地球上出现第一次生命的奥秘。生命已经用了大约几十亿年写下了它的历史,一切都是在 45 亿年前,在一个受过亿万颗彗星和陨石撞击的世界上开始的。由于各种进化的动力和错综复杂的机遇,造就了我们这个地球上丰富多彩的生命的生命的世界。生物进化过程是以螺旋上升的形式。(图 1-3-3-1)。

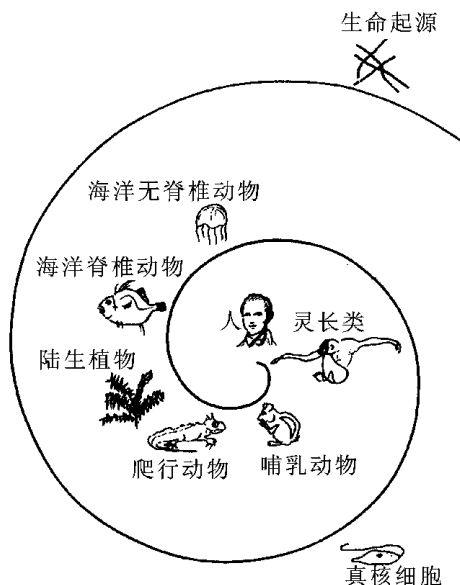


图 1-3-3-1 生物进化的螺旋

毫无疑问,人类在未来相当长的时间里将看懂这部历史,并使生命演化的最古老的时代进入视野。

一、生命起源

关于生命的起源,历史上曾有过种种假说。有的认为,生命是由上帝或神所创造;有的认为,生命尤其是简单的生命可于短时期内由无生命物质自然发生;也有的认为,生命与物质一样是永恒的,于地球形成的同时或稍后生命即来到了地球;近代则多认为,生命是在原始地球条件下经过一系列化学变化而产生的。从1993年7月巴塞罗那第10次国际生命起源学术会议提出的研究论文看,当代关于生命起源的假说可归结为两大类,即“化学进化说”和“宇宙胚种说”。化学进化说主张,生命起源于原始地球从无机到有机、由简单到复杂的化学进化过程。而宇宙胚种说则认为,地球上最初的生命是来自地球以外的宇宙空间,只是后来才在地球上发展起来。

根据现在已有知识可知,地球上的生命应该是从无生命的物质产生的。地球上没有生命的阶段,是地球的化学发展阶段,然后才是有生命的阶段。原始地球上碳、氢、氧、氮、磷五种元素的存在,为重要生命物质的形成准备了条件。因此,生命起源问题首先是原始有机物的起源与早期演化问题,这是考虑和研究生命起源的基础和关键。1922年,苏联生物化学家奥巴林(Oparin A. I.)第一个提出了一种可验证的假说,认为原始地球上的某些无机物质在来自闪电、太阳辐射的能量的作用下变成了第一批有机分子。时隔31年之后的1953年,美国化学家米勒(Miller S. L.)首次实验验证了奥巴林的这一假说。他模拟原始地球上大气成分,用氢、甲烷、氨和水蒸气等,通过加热和火花放电,合成了氨基酸。继米勒之后,许多通过模拟地球原始条件的实验又合成出了生命体中重要生物高分子的其他组成原材料,如嘌呤、嘧啶、核糖、脱氧核糖、核苷、核苷酸、脂肪酸、卟啉、脂质等等。

1965 年和 1981 年,我国又在世界上先后首次人工合成了胰岛素和酵母丙氨酸转移核糖核酸,蛋白质和核酸的形成是无生命到有生命的转折点,两者的人工合成成功地使人类进入了开始进行人工合成生命研究的新时代。基本上可以说,生命的化学进化过程包括四个阶段:

- ① 从无机小分子物质生成有机小分子物质;
- ② 从有机小分子物质形成有机高分子物质;
- ③ 从有机高分子物质组成多分子体系;
- ④ 从多分子体系演变为原始生命。

原始生命是最简单的生命形态,它至少要能进行新陈代谢和自我繁殖,才能生存和传种接代。原始生命形态要从自催化发展成为酶催化需要一定的物质基础,也需要一定的形态结构。可以推断,地球上的生命在发展成为细胞形态以前,先有非细胞形态,如团聚体或微球体等形态。说地球上最初出现的生命就有细胞形态,是违反事物发展规律的。细胞是生命体具备完整功能的基本结构单位和功能单位,细胞起源问题是生命起源的重要问题。

生命起源和细胞起源的研究意义不仅在于追根溯源,还在于可以深入了解生物与环境、整体与部分、结构与功能、微观与宏观、个体发育与系统发育以及物质和能量与信息之间的辩证关系,可以进一步阐明遗传变异、生长分化、复制繁殖、新陈代谢、运动感应、调节控制等的生物机制,可以认识和阐明生命的本质,从而实现控制生命、改造生命的目标。虽然,生命起源和细胞起源问题的研究是在试图重建一个历史过程,有别于大多数其他研究领域,完整的起源过程不可能在实验室很快得以重复,但是我们却可以分阶段地、一个一个问题地在实验室去模拟、去检验。在这个意义上讲,生命起源和细胞起源的研究应该是一种实验科学。研究起源的问题,一方面要到大自然中、到地层中去寻找答案,另一方面也是更重要的是在实验室进行各个进化(演化)阶段的模拟研究,开展人工合成生命、人工合成细胞的研究。例如,可以考虑从团聚

体、生物膜或某种细胞器开始,形成能进行代谢和自我繁殖的原始细胞;同时,在自然界哺乳动物的造血器官中、动植物创伤愈合中、昆虫或其他动物的变态过程中、动物的性别转变过程中、正常细胞和肿瘤细胞的相互转化以及辐射损伤及其恢复过程中,去广泛寻找非细胞形态演化为细胞的事例,并进行天然细胞的人工拆合研究,以期获得生命起源和细胞起源的线索与证据。人工合成生命、人工合成细胞的研究有助于了解生命起源和细胞起源,反过来,生命起源和细胞起源的研究结果又可以指导根据人类的需要人工合成生命和人工合成细胞,实现生物科学的最终目标——控制生命和改造生命。

过去和现在,直到第10次国际生命起源学术会议,都提出了很多属于宇宙胚种说的资料或论文。如此次会议上有人提出“造成化学反应并导致生命产生的有机物质毫无疑问是与地球碰撞的彗星带来的”观点。尽管诸如此类的观点仍是一些尚需进一步证明的问题,但通过对陨石、彗星、星际尘云以及其他行星上有机分子的研究,探索那些有机分子的形成与发展规律,并把它们与地球上的有机分子进行比较,都将为地球上生命起源的研究提供更多有价值的资料。如果能够肯定在宇宙的其他星球上有生命存在,甚至有处于高级阶段的生命形式(智慧生命),还将表明生命的产生是物质运动本身的属性和普遍规律,而不只是地球上仅有的一个特例。所有这一切,正是地外生物学的研究内容。当然,地外生物学的意义不仅在于为探索生命起源问题提供资料。随着天文观测手段和科学技术的发展,以及航天事业和生物科学的发展,地外生物学必定会有较大的发展。

二、生物进化

细胞的起源是生物学中最诱人的问题。对它们的研究不仅有生物学的意义,而且有科学的宇宙观的意义。

细胞的起源实际上包含着两个不同的问题:一个是构成所有

真核生物的真核细胞的起源问题,另一个是与生命的起源相伴随的原核细胞的起源问题。

在细胞生物学、分子生物学、原生生物学和微生物学有了巨大发展的基础上,通过国内外许多科学家的努力,近 30 年来真核细胞起源获得了重大的进展:有些问题已经基本解决,例如叶绿体和线粒体的起源;有的正在取得重大突破;有一些尚待解决,但已找到了一些线索,如鞭毛和细胞骨架的起源问题,在此基础上已经开创了一门介于进化生物学、细胞生物学、分子生物学、原生生物学与微生物学之间的新生交叉学科——进化细胞生物学(进化分子细胞生物学)。其根本目的即在于从生命的发展、进化的角度考察一切细胞生物学现象的“所以然”。这是当代的分子细胞生物学的一个必然的发展方向。其具体研究的内容与研究方法上的特点等等都已明确。在这一学科的奠基上所遇到的理论难题,也已初步得到解决。

真核细胞起源的根本关键是细胞核的起源,因为具有核被膜的细胞核是真核细胞,在形态结构上的最根本的标志。迄今在国际上还只有我国在细胞核的起源问题上持续地作了较为系统全面并较为细致的研究。这是我国的优势之所在。近年来我们对所有现存真核生物中目前所知的最为原始的类群——双滴虫类(diplomonads)的细胞核及核分裂方式进行了研究,已发现了一系列独特的极为原始的特征(如尚无核仁,核被膜不完整,核分裂方式极为原始,贾第虫(*Giardia*)的核分裂中看来没有纺锤体参与)。这些发现结合近年来国外在原核生物的染色质结构及其分裂机理上的一些重要发现,正在给细胞核的起源研究和有丝分裂的起源研究带来重大的新突破。这就需要国家在这个方面给予支持,否则我们目前在这一领域中的优势肯定无法保持。

从目前的研究情况估计,到 21 世纪初期,真核细胞的起源问题应即可得到较为全面的基本上的解决。在此基础上,在 21 世纪前几十年,进化细胞生物学的研究将会得到全面的开展,并为细胞

生物学的进一步发展作出不可替代的重要贡献。举例来说,对于调控有丝分裂之进行的整个复杂系统,人们将不仅了解其全部细节,而且由于进行了进化细胞生物学的研究,考察了这一复杂系统的起源和演化,了解了其每一步进化的原因,从而也就充分地了解了这一复杂系统的全部“所以然”。如果细胞生物学的所有部分都达到这一步,细胞生物学也就将不再是一门“发展中”的学科。

(一) 生物的分界

真核细胞产生以后,生物界很快发生了大分化,产生不同的系统群(界)。围绕着生物界(group)的系统分类,出现了下列不同的学说:

1. 两界说

1935年,林耐最先提出“两界说”。他以生物能否运动为标准,把生物界分两大类,即植物界和动物界(Kingdom Animalia)。他认为,“能成长而生活的是植物”,“能成长、生活且能运动”的是动物。后来,又有人认为前者能自行制造养料,而后者则靠摄取现成有机物为生。二百多年来,这种分类体系一直被大多数学者所接受和采用。

2. 三界说

自从有了显微镜之后,人们发现了许多单细胞的微生物,它们兼有动植物的某些特性。就拿眼虫(Euglena)来说,其具有叶绿体,可以营光合作用制造有机物进行自养,又可以用鞭毛在水中游泳,它还具有能感光的红色眼点。这一类生物究竟是属于动物还是植物,往往难以分清。于是,霍格(Hogg, 1860)、海克尔(1866)提出“三界说”,即把生物界分为植物界、动物界和原生生物界(Kingdom Protista)。所谓原生生物界,包括没有细胞核的原核生物(细菌、蓝藻)、单细胞真核生物(真菌、原生动物和低等藻类植物等)和单细胞群体生物(海绵)等。此后,谷那特(Conard, 1939)、陶特生(Dodson, 1971)曾分别提出其他的三界学说。

3. 四界说

随着人们对生物界分类认识的发展,1938年,科普兰(Copeland)根据生物体的组织水平提出“四界说”,即植物界、动物界、原始生物界(Kingdom Protocista,包括原生动物、红藻、褐藻、真菌)和菌界(Kingdom Mychota,包括细菌、蓝藻)。此外,还有惠特克(R. H. Whittake 1959)、李代尔(Leedale, 1974)也分别提出其他的四界说。

4. 五界说

1969年惠特克又根据现代生物学中的一些进展,按生物营养方式的不同,把多细胞生物中主要以摄食为生,在体内有消化道的类型划为动物界;行自养生活,能进行光合作用,有根茎叶分化和明显世代交替的多细胞生物划为植物界;行腐生生活的多细胞生物划为真菌界(Kingdom Fungi)。又根据身体细胞的多少把真核生物中的单细胞和无组织分化的单细胞群体生物划为原生生物界,把原核生物仍列为原核界(Kingdom Monera)。

此外还有提出过六界说,即动物界、植物界、真菌界、原生生物界、原核界和病毒界(Kingdom Archetista)。

值得注意的是,随着多界分类的发展,近年来又出现了界上升级的趋向。胡先骕(1965)把生物首先分为两大类,称“Suprastatus”,地位处于界级之上,相当于“总界”。两大类的名称是始生(Protobiota)总界和胞生(Cytobiota)总界,前者包括非细胞形态的病毒,后者包括细胞形态的生物,从细菌到人。陈世骧、陈受宜对生物分界问题,提出了自己的见解。他们认为:“生命的历史经历了三个主要阶段:非细胞阶段、原核阶段和真核阶段(见图1-3-3-2)。原核阶段是细菌和蓝藻的时代,形成一个菌、藻生态系统;真核阶段是植物、真菌和动物的时代,形成一个植、菌、动生态系统。三个阶段成为三个总界,菌、藻和植、菌、动成为总界下的五个界——这就是我们建议的系统:

I. 非细胞总界 Superkingdom Acytotonia

总界下分类应由病毒学者考虑

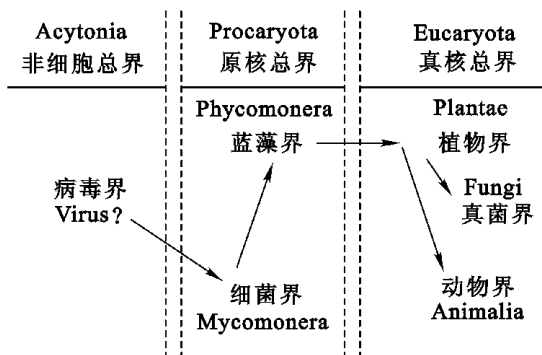


图 1 - 3 - 3 - 2 生物的界级分类系统简图

II. 原核总界 Superkingdom Procaryota

① 细菌界 Kingdom Mycomonera

② 蓝藻界 Kingdom Phycomonera

III. 真核总界 Superkingdom Eucaryota

③ 植物界 Kingdom Plantae

④ 真菌界 Kingdom Fungi

⑤ 动物界 Kingdom Animalia (陈世骧, 陈受宜. 生物的界级分类. 见《动物分类学报》, 第 4 卷第 1 期, 1979 年 2 月)

(二) 植物进化的主要阶段

一般认为植物、动物的共同祖先是原始绿色鞭毛生物。随着营养方式的分化, 其中一支发展成了植物, 另一支发展成了动物。动植物的出现是自然界的一次大分化。从此, 它们分道扬镳, 开始了各自的发展史。

化石研究表明植物已有了 19 亿年的历史, 它的发展过程一般可划分为四个主要阶段(图 1 - 3 - 3 - 3): 藻类植物、蕨类植物、裸子植物、被子植物。

(三) 动物进化的主要阶段

动物也有一部历史,即动物从起源逐渐发展到现在这个样子的历史。这部历史一般可划分为两个主要阶段(图 1 - 3 - 3 - 4):无脊椎动物的阶段、脊椎动物的阶段。

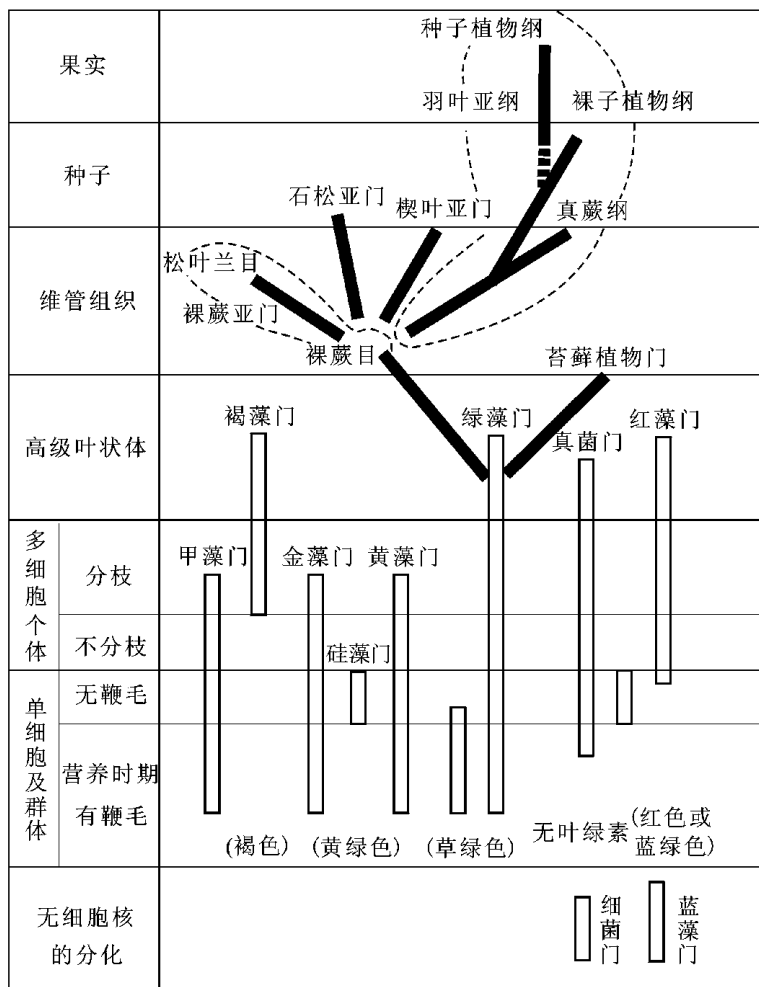


图 1 - 3 - 3 - 3 植物界系统树

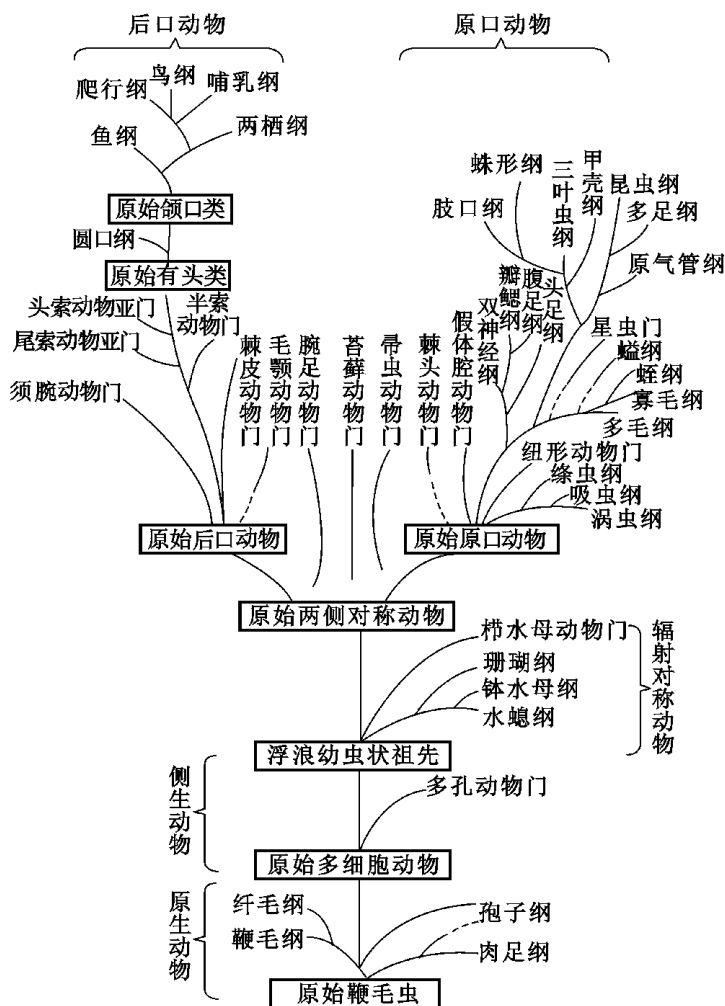


图 1-3-3-4 动物界的系统树

(四) 分子树

分子树是根据生物大分子的序列资料建立起来的用图解法表示的、类似树状的分子进化模型。两个同源蛋白质的差异程度可用它们的氨基酸的差异数目或百分率来表示,也可用相应的基因之间的核苷酸差异的最小数目来表示。将差异的数据进行排列组合,即可得出表示各物种之间亲缘关系的系统图。(图 1 - 3 - 3 - 5)。

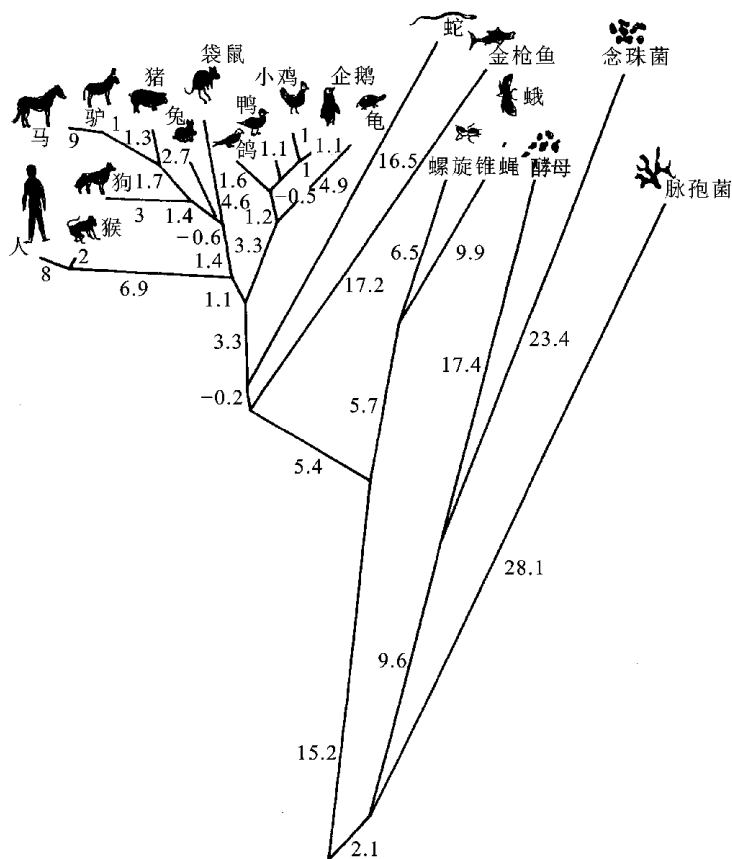


图 1 - 3 - 3 - 5 20 种不同生物细胞色素 c 的分子树

分子树使我们对种间差异的认识系统化,树上的先后分支组成一个统一的整体,为认识生物进化的程序提供了一个大致的轮廓。可以看出,这个包含从真菌、昆虫、鱼、爬行类、鸟类、哺乳类和人这样不同进化等级的生物的系统树与对应的化石等资料所建立的进化树极其相似。

分子树的建立,是对进化论研究的一大贡献,与传统的进化系统树相比,有它的优越之处:

首先,分子树比较客观。传统的世系图,由于以形态性状的差别为依据,多少带有主观的性质;而分子序列差异为依据的分子树,由于应用数理统计的处理方法,不需要经验判断。

其次,分子树比较精确。经典的系统树能从形态性状的差异上表示种间亲缘关系上的联系,但这类差异不可能用数量来表达,它所需要的突变数目也难以知晓;分子树上的差异以量计数的(如最小碱基替换数),因而较为精确。

同样道理,分子树除能表明物种之间亲缘关系的顺序外,还包含着其分歧年代的信息。

(五) 分子系统学研究的重要成果

最初,多用不同生物的同源蛋白质大分子作比较,如比较血红蛋白、细胞色素 c 等。将蛋白质分子的氨基酸替换数换算为相应的编码基因 DNA 分子的核苷酸最小替换数(遗传距离),在此基础上建立系统树。由于所用的蛋白质分子只存在于较高等的生物,而且在技术操作上也较麻烦,所以近些年来的分子系统学研究多用核糖体核酸小亚单位(srRNA),如 5S rRNA、16S rRNA 以及 18S rRNA 序列作比较,所得到的数据用计算机进行分析,由此建立的分子系统树涵盖了原核生物和真核生物的大多数门类,并揭示出以往建立在表型比较分析基础上的系统树所未能显示的不同生物类群深远的亲缘关系和进化的规律(参考 Van de Peer, 1995; Wilmotte, 1994; Hillis and Noritx, 1990)。

下面是近年来一些最重要的分子系统学研究的进展。

(1) 生物进化系统的三条主干 :美国学者福克斯(G. E. Fox)及其同事在 1980 年综合了原核生物各类群及部分真核生物的 16s rRNA 的一级结构的资料 ,提出了一个新的进化谱系。在这个谱系中有三条根源深远的进化主干 ,据福克斯推算的它们之间的 16S rRNA 的差异量 ,表明它们的根可追溯到 30 多亿年以前。也就是说 ,30 多亿年以前 ,整个生物界就一分为三 ,“分道扬镳”了(图 1 - 3 - 3 - 6)。

(2) 分子系统学的研究支持了真核细胞的共生起源说 ,即真核生物可能是一些原核生物通过细胞内共生途径进化而来 ,线粒体可能来自类似紫细菌的共生者 ,质体可能来自类似蓝菌的共生者。

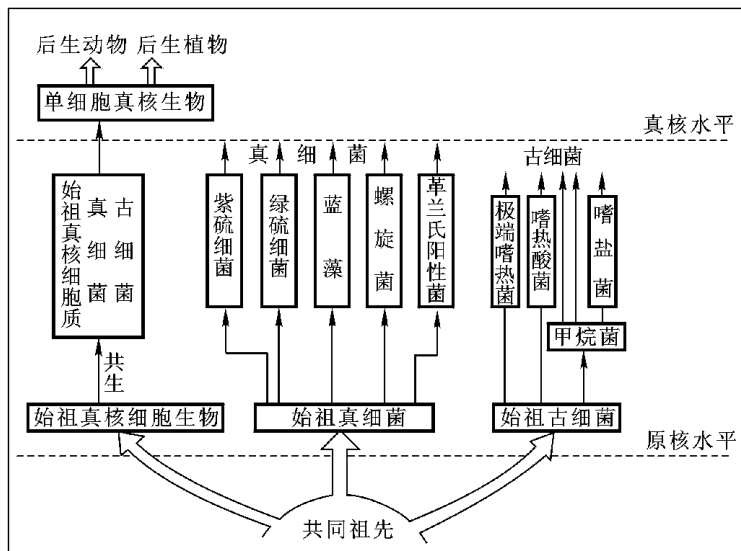


图 1 - 3 - 3 - 6 根据 16S rRNA 序列分析推断的生物界系统发生示意图
(详见正文 根据 Fox et al. ,1980 的资料改绘)

(3) 分子系统学的研究结果(例如图 1 - 3 - 3 - 7 的系统树)大部分与传统的根据表型比较而建立的系统树相符合,但也有一些与传统的系统进化观点不吻合的结论。例如,分子系统学研究表明辐射对称的动物与两侧对称的动物是两个平行的进化支,否定了辐射对称动物比两侧对称动物古老的传统观点(L. Hendriks 等,1990);又如,分子系统学研究还表明光合作用表型是极其古

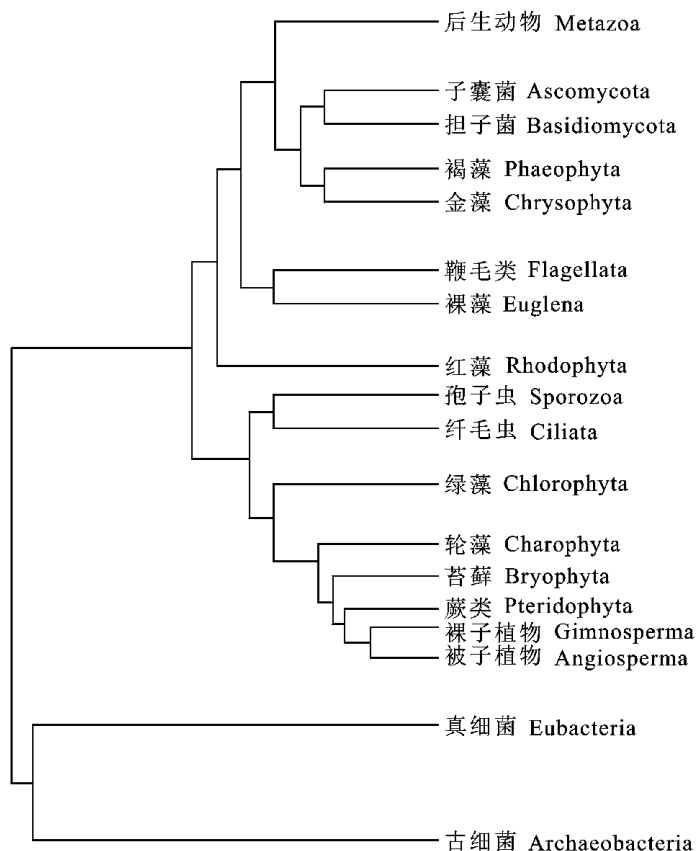


图 1 - 3 - 3 - 7 分子系统树与基于表型分析的传统系统分析的结果基本一致

老的,许多非光合自养的生物类群来自光合自养的祖先,这也和传统观点冲突。同时,分子系统学也提出疑问:最早的原始生命是否为厌氧异养的?

(4) 最近的分子系统研究揭示了一些过去表型系统树上模糊不清的或争论未决的系统进化问题。例如,对于蓝菌的各类群在系统进化中的位置的重新认识(Wilmotte and Golubic, 1991);又如,根据 5S rRNA 的顺序比较研究得出绿色植物起源于绿色鞭毛藻,陆地高等植物可能起源于轮藻类的某些类型,如丽藻 *Nitella* (van de Peer 等, 1990)。我国学者比较了熊猫、熊、狐、犬等动物的血红蛋白,为确定熊猫的分类地位提供了一些证据。人类学家用血红蛋白顺序的比较确定人类与类人猿的亲缘关系,也取得了一些结果。

第四节 人类智力的起源和进化

在讨论生命的本质和起源之后,我们将讨论智力的起源。这里我们不是从哲学或认知心理学的角度,而是从生物学,即遗传、进化、发育、自适应和自组织的角度探讨这一问题。

人类大脑是已知的最复杂的组织结构。它有上千亿个神经细胞(神经元)。这个数字相当于整个银河系星星的数目。神经细胞之间通过突触相互连结。突触的结构和功能的发现,其重要性可以与原子和 DNA 的发现相提并论。因为原子的发现有助于回答物质是什么, DNA 的发现有助于理解生命的本质,而突触的发现对于认识脑功能是至关重要的。假定每个突触有两个状态,那么,人脑中所包含的不同状态总数则为 2 的 10^{15} 幂。这个数字大大超过了整个宇宙中的基本粒子(质子和中子)的总数(不超过 2^{1000})。作为进化的一种结果来看,人类大脑无疑是生物史上最伟大的成功之一。自然选择在脑的进化中起着一种智力筛选的作用,从而产生出愈来愈能胜任应付自然法则的大脑与智力。

一、什么是智力

智力是指人认识客观事物并运用知识解决实际问题的能力,集中表现在反映客观事物深刻、正确、完全的程序上,往往通过观察、记忆、想像、思考、判断等表现出来。它是在掌握人类知识经验和从事实践活动中发展的,但又不等同于知识和实践。它是先天素质、社会历史遗产和教育的影响以及个人努力三方面因素相互作用的产物。智能是人的内在智力和由智力外化的行为的总和。明斯基在《智力社会》一书中写道:“我们的智力包含了能使我们解决认为困难的问题的过程,智能是我们仍不了解的那些过程的统称。”智力包含在“知其然”中,而智能却表现在处理“知其然而不知其所以然”的过程中。

二、脑的进化

像脑这样复杂的器官系统的发展进化,一定不可避免地依赖生命的早期历史,生命的发生、适应和演化,还要依赖于机体对再次变化了的条件的曲折适应。大脑进化的策略是怎样的?它的进化与修饰只能是在先前已有的脑组织和结构的基础上进行。大自然并非一个聪明的工程师,可以将先前的设计推倒重来。进化不可能不考虑环境和条件而一味追求最完美的设计。很难通过改变脑的深层组织结构而达到脑的进化,因为深层结构的任何变化可能都是致命的。但是通过在旧系统上面增殖新系统可以达到根本的变化。脑的每一步进化都得保留原有部分,但其功能必须被新层所控制,同时具有新功能的新层又增殖出来,最后,就是覆盖在脑的其余部分之上最新进化的堆积物——新皮层。新皮层进化得最出色的是人、海豚和鲸,这大概已有几千万年的进化史了。在人出现后的近几百万年这种进化又大大加快了速度。

三、智力进化与人类的起源

如果将 DNA 所含的遗传信息和大脑所含信息量相比,我们看到脑的进化经历了三个重大转折。几亿年前,脑的信息量只有几十亿比特。石炭纪时,地球上首次出现了一种脑内信息大于基因信息生命体,这就是早期的爬行动物,这在生命史上,是一个象征性的转折点。而后,随着哺乳动物的出现以及包括人类在内的灵长目动物的诞生,在脑进化中两次相继完成的重大飞跃大大地促进了智力的进化。其特点是:①脑重从来没有这么大;②脑重与体重之比从来没有这么高;③从未有这样大的额叶和颞叶;④从来没有这么丰富的神经连结;⑤从来没有这么大的生存竞争压力。自石炭纪后,生命史上有许多事件可以说明对于基因已逐步地、当然不是完全地取得了优势。

我们可以有把握地说,至少在 900 万年前,地球上还没有出现人的智力。人的智力存在年限是地球年龄的千分之几。为什么人的智力出现这么晚?这是因为高级灵长目动物及鲸目动物的脑的独特性能在全新世以前毫无进展的缘故。智力的进化和人类的起源是相互联系的。古人类学家和分子遗传学家正在对何时、何地和怎样从猿的系统分化出来并如何进化成现代人的问题,卷入一场论战。古人类学家以化石遗骸和人工制造物为证据,坚持认为现代人类是由其居住在世界各地的古老祖先进化而来的,这一进化历程历时数百万年。相反,分子遗传学家根据人类线粒体 DNA 谱系推断,当今人类所有各个种族共同的女性祖先,也就是人类始祖夏娃,其生存年代大约距今 15 万~18 万年之间。

四、人类对大脑和智力的不断探索

假设我们已经知道了大脑的全部突触,全部递质,全部离子通道和每一个神经细胞的全部反应模式,是否就懂得了智力是如何产生的呢?我们是否就理解了脑是如何工作的,个性是如何形成

的,人类又怎样成为有感情的有社会性的有思想的生命体?

单个神经元是不能推理的,不可能有智力的。就拿视觉来说,一个人要辨识某种形象,要有一个“结晶”的过程,这并不单单取决于对视网膜上光感受细胞的物理刺激,也取决于大脑的模式生成和模式识别的机理。一个形象的“结晶”是按一定方式对视觉信号进行处理才完成的。生命和思维的世界不仅是量的世界,更是质的世界,它的运动和发展带有明显的整体性。这十分类似于人们不可能用色谱分析去理解凡高油画作品中独特色彩产生的美感,也不可能仅仅通过个别的音符就能理解肖邦的琴思。

人类的思想在 20 世纪末已发生了根本的变化,人们不再把自然界看成美、和谐和简单的统一,代替它的是一个演化的、复杂的缠绕的世界。

关于复杂系统的某些性质正在引起科学界广泛的兴趣。对于认识生命与智力的本质会带来新的启迪。由于混沌,最初有序的动态系统和非线性系统经过一段时间可转变成完全无组织的状态。还有另外一种反直觉的现象被称为反混沌,某些非常无序的系统自发地“结晶”成为高度有序。为了有助于理解不同的网络集中了混沌与有序之间的变化,兰汤提出了一个比拟,他把网络的行为特征与物相变化联系起来,有序的网络为固相,混沌网络为气相,处于中间状态的为液相。如果一个有序的网络接近于临界的某一点,就可能轻微地“熔化”冻结部分。这样在混沌与有序边缘上将会出现有趣的动态特性。在这种相变中,小的和大的未冻结的岛块将同时存在。小的扰动会引起大批的“小雪崩”和少量的“大雪崩”。于是,网络内的各区域间可以互相通讯,也就是互相影响其行为特性。兰汤预见到处于混沌与有序边缘的并行处理网络或许能进行异常复杂的计算,而且处于有序和混沌之间的边界上的系统可能具有通过有益变异的积累迅速而成功地获得适应的能力。这样的网络将不可避免地成为自然选择的目标,利用自然选择的能力应当是被自然选择选出的首选特性之一。

让我们以兔子的嗅觉系统的实验与建模研究成果为例,说明脑如何处于混沌与有序的边缘上以感知外部世界的。嗅球是对气味进行加工的初级皮层,它在体位上的可及性及作为旧皮层在解剖结构上的相对简单性,使它成为研究脑模式识别和模式生成的理想模型系统。在吸气期间,一类气味分子会在鼻子上的感受器阵列上形成特定的空间活动分布,随后嗅觉系统以抽象的方式直接完成分类。弗里曼通过在神经解剖学、神经生理学和神经行为各个水平的实验研究,确证嗅球中的每个神经元都参与嗅觉感知。当动物吸入熟悉的气味时,脑电波变得更为有序,形成一种特殊的空间模式。当没有气味输入的时候,嗅球系统的脑电波就表现出低维混沌状态。弗里曼说,低幅混沌等价于一种“我不知道”的状态。混沌能使几百万神经细胞处于一种活性“值班”状态,以便可以瞬间转入工作状态,对刺激作出反应。看来,混沌吸引子是脑复杂性的不可避免的产物,它的确有可能是脑区别于一台人工智能机器的主要特征。

由于脑的复杂性,我们似乎不可能期待在某一个早上,宣布脑的奥秘已经揭开的时刻的到来,这也许是一个只有里程碑而没有终点的科学探索。但我们同时相信,在人类清除超自然概念的科学发现的连续过程中,下一件大事就是脑……这正是一个深入到人的核心的问题,因此,我们对人脑的观念的根本性变化,不可能不深刻地影响到人类对自身和对世界的观点。

参 考 文 献

1. 中国版协科技出版委员会. 高技术理论发展趋势. 北京: 科学出版社, 1993
2. 谈家桢. 生物技术. 上海: 上海科技教育出版社, 1996
3. 吴义生. 现代领导者的科学技术素养. 北京: 中国中央党校出版社, 1990
4. 沈同. 生物化学. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1994

5. 郑国锷. 细胞生物学. 北京: 高等教育出版社, 1997
6. 朱玉贤. 现代分子生物学. 北京: 高等教育出版社, 1997
7. 张昀. 生物进化. 北京: 北京大学出版社, 1998
8. 楼士林. 基因工程. 北京: 科学出版社, 2002

第四章 宇宙的结构层次和物质的基本单元

宇宙是物质的。宇宙的结构层次是怎么样的？构成物质的基本单元是什么？这是自然科学中的重大基本问题。从亘古开始，人类就开始探索，至今，人们仍在不停地研究，从来没有停止过。现在人们按照空间尺度和质量大小，粗略地把世界分为宇观、宏观和微观三个层次。从研究晶体开始，经过了分子、原子、核、核子和介子，一直到夸克这样一个连续的研究过程，人们的认识逐渐深化，现在确信构成物质的基本单元是夸克、轻子和传播子。

第一节 宇宙的宇观、宏观和微观三个层次

宇宙按其空间尺度和质量大小可分为宇观、宏观和微观三个层次。其分布如图 1-4-1-1 所示。图中纵坐标是物体的大小，横坐标是它的质量，都是对数标尺。

一、微观层次

微观层次通常又分为粒子亚原子和原子分子两个层次。图 1-4-1-1 中通过质子位置 (1fm , 10^{-27}kg) 有两条线，斜线

$$\lambda/2\pi = h/2\pi mc$$

是粒子约化康普顿波长 λ 与其质量 m 的关系。斜线左下方，是粒子物理正在研究的前沿。另一条从质子画向右上方的粗线段终止于 (10fm , 10^{-24}kg) 附近，是原子核的区域，原子核作为核子在强相互作用下凝聚成的核物质液滴，密度 ρ_N 基本是常数，

$$\rho_N \approx 2.4 \times 10^{17} \text{kg/m}^3$$

随着原子核增大,质子间静电排斥逐渐增大,最终超过核力的约束,就不存在稳定的原子核,所以原子核的尺度有一个上限,这个上限由强相互作用与电磁相互作用的平衡条件所决定。原子核的尺度的上限 R_N 和原子核质量分别为

$$R_N < 1.2 \times 300^{1/3} \text{ fm} = 8 \text{ fm}$$

$$m_N < 300 m_n = 5 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

其中 m_n 为中子的质量。原子分子结构相应于图 1-4-1-1 中从 H 原子(1A 即 0.1 nm , 10^{-27} kg)附近,画向右上方的两条粗线段,斜率与原子核的基本相同。原子的密度 ρ_A 比原子核小得多,但其数量级基本是常数,作为粗略的估计,

$$\rho_A \approx 10^3 \sim 10^4 \text{ kg/m}^3$$

原子的大小,受原子核大小的限制,原子质量的上限 m_A 也为

$$m_A < 300 m_n = 5 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

分子的大小,可以比原子大几个数量级,分子的质量在图中画到了 $10^{-23} \sim 10^{-22} \text{ kg}$ 的范围。

二、宏观层次

宏观层次相应于图 1-4-1-1 中从星际尘埃到陨石和流星那条粗线,它的斜率比原子核和原子分子的略小,相应的密度随体积或质量的增加而略有增加,万有引力逐渐增强,开始起作用。

宏观物质是由大量原子分子形成的凝聚体系,其稳定条件,由电子所受原子核的库仑吸引作用与电子之间因泡利不相容原理而具有的排斥作用之间的平衡所决定。宏观物体密度 ρ_M 的数量级与原子分子的相同,

$$\rho_M \approx \rho_A$$

三、宇观层次

宇观与宏观之间也没有明显界限。在图 1-4-1-1 中,从与

宏观层次相接的阿波罗神(Apollo)小行星($1\text{km}, 10^{12}\text{ kg}$)附近开始,经过行星、恒星、星系、星系团、超级星系,直到可观测的宇宙,构成一个系列。在这个系列中,随着尺度和质量的增加,密度逐渐减小。万有引力作用与电磁相互作用不同,它不能被屏蔽和中和,随着质量的增加,万有引力逐渐成为占支配地位的相互作用。

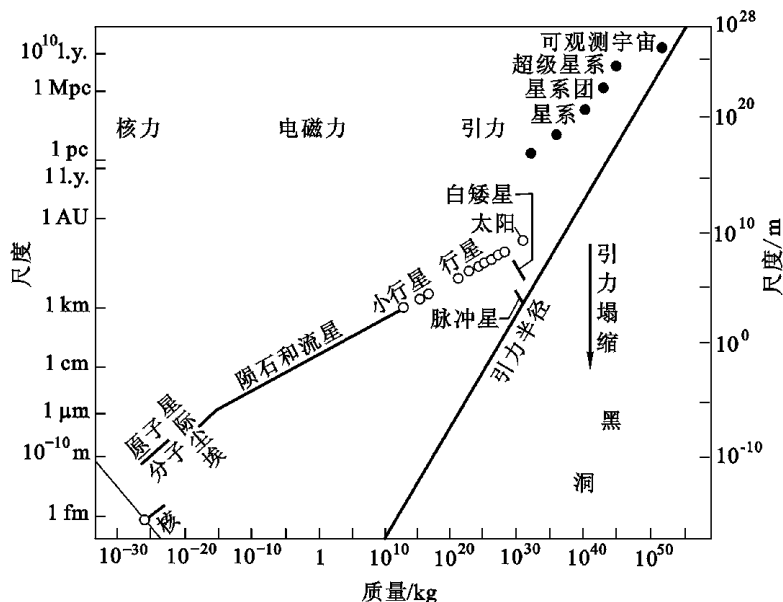


图 1 - 4 - 1 - 1

除了上述系列外,图 1 - 4 - 1 - 1 中还有从左上画向右下方方向的两条短粗线段,分别相应于白矮星和脉冲星,它们是恒星演化到晚期形成的两种致密星体。此外,图中右方从左下画到右上的那条斜线,是引力半径的关系。在它右边的区域,相应于在引力坍缩下形成的黑洞,其中万有引力超过了任何抗拒作用,成为主宰一切的唯一因素。

大体上说,强相互作用和弱、电磁相互作用是支配微观层次的

决定性因素,电磁相互作用是支配宏观层次的决定性因素,而万有引力相互作用则是支配宇观层次的决定性因素。

第二节 古代人的早期的物质观

世界万物是由什么构成的?构成物质的基本单元是什么?或者说它有最小结构吗?如果有,那是什么呢?古代,人们是如何对待的?现代科学家对这个问题研究到什么程度,是怎么样认识的?

早在周代,我们的祖先就提出了五行说,认为万物都是由金、木、水、火、土这五种物质原料构成。《周易》中有“太极生两仪,两仪生四象,四象生八卦”的哲学思想。太极即世界的本源,两仪是天地,四象是春、夏、秋、冬四季,八卦是天、地、雷、风、水、火、山、泽,它们演出世界万物。战国时的老子说:“道生一,一生二、二生三、三生万物。”二指的是阴和阳,阴阳统一称为“冲气”,阴、阳、冲气三者产生万物。在汉代出现了天地万物由“元气”组成的哲学观。

在古希腊曾流行过一元说。有个叫泰勒斯的认为水是万物的本源;后来,有个叫阿那克西米尼的认为万物起源于空气;再后来,又有个叫拉克利特的认为火的变化能生万物。大约在公元前400多年,古希腊哲学家德谟克利特把构成物质的最小单元叫做“原子”,认为宇宙万物乃至灵魂都是由这种不可分割的原子构成的。中国战国时的墨翟也提出了类似原子说的观点。他认为“端,体之无厚,而最前者也”。端是物的起始,把物体分割到“无厚”,便达到“最前”即无限小的质点,就是说:物体可以两半两半地分下去,如果剖到“无厚”,就不能再剖下去了。这就是原子说的思想。古代思想家和哲学家对物质结构的认识,只是靠思辩和猜想,他们没有想到或没有条件用实验去检验他们的假说,也没有用这些假说所预言的情况来验证假说本身。因此,古代人关于物质本源的假说,只能当作近代科学研究的一种背景,而不能视为科学真谛。

真正对物质构成进行科学的研究和解释,是从 17 世纪开始的。17 世纪初,比利时的海尔蒙特认为宇宙中的万物都是由水和空气这两种基元构成的。为证实这种猜想,他做了柳树实验。1661 年,英国科学家玻意耳(R. Boyle, 1627—1691)提出了化学元素概念,为科学地研究化学奠定了基础。

1803 年,英国化学家和物理学家道尔顿用原子的观念阐明化合物的组成及其所服从的定量规律,并通过实验来测量不同元素的原子质量之比。这种始于化学的原子假说叫做“化学原子论”。

1811 年,意大利科学家阿伏加德罗提出了分子假说,弥补了道尔顿原子学说中忽视了原子和分子区别的缺陷,两者结合成为“原子-分子学说”。

1869 年,俄国科学家门捷列夫(Д. И. Менделеев, 1834—1907)发现了元素的周期性递变规律制成了元素周期表,这在人类认识物质结构的进程中,是一个重大的成就。

第三节 物质结构的基本单元

从这一节开始,我们来探讨物质结构的基本单元。很久以来,人们一直在探索物质结构的基本单元,最初把元素的最小单元——原子看作不可分的,是各种物质结构的基本单元。但到了 20 世纪初期,认识到原子是由原子核和电子构成的,1932 年中子被发现以后,进一步认识到原子核还有内部结构,是由质子和中子构成的。这以后,人们把质子、中子和电子认为是物质结构的基本单元,把这些粒子,再加光子和 π 介子,看作“基本粒子”。但后来,在 β 衰变中和宇宙线中发现了正电子、中微子、 μ 介子、K 介子、 Λ 超子等等,加速器发展后,获得了更多的微观粒子,人们发现,原来看作是基本粒子不再是基本的了。1964 年,盖尔曼提出了夸克模型,认为强子,包括质子和中子,都是由夸克组成的。

这一节,我们来依次介绍电子、质子、中子、正电子、中微子、介子和超子等微观粒子的发现和夸克模型。

一、第一个粒子——电子的发现

19 世纪初,电学家们发现在充有稀薄气体的玻璃管两端加上高电压后,玻璃管发生放电现象。如果管内真空度高,就在阳极方面的玻璃上看到荧光,由此推测,荧光是从阴极发出的某种射线打在管壁上所致,这种射线被命名为阴极射线。如果把一块磁铁放在玻璃管旁,阴极射线在磁场作用下不再沿直线前进,而是发生了弯曲,由弯曲方向判断,阴极射线是带有负电的粒子。

1897 年,汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940)根据带电粒子在电场和磁场中的运动规律,利用构造上类似电视机的显像管的阴极射线管测量了阴极射线粒子速度以及该粒子的荷质比,即电荷量与质量的比值。这样就完全弄清了阴极射线粒子的存在和性质,汤姆逊称这种粒子为“微粒”,把它所带的电荷称为“电子”。后来,人们把阴极射线粒子本身称为“电子”。

电子的体积极其微小,小到无法测量,目前人们用最精密的方法已经能够做到把两个距离 10^{-18} m 以上的目标分开,但是,即使达到这个精度,还不足以看出电子的大小。假想在不考虑电子由于都带有完全相等的负电荷,彼此靠近时的互相排斥作用,把 1 亿亿个电子一个挨一个地排成一条长蛇阵,这条长蛇阵最长超不过 1 cm。电子小到如此之程度,可以把它当作没有大小的几何点,肉眼根本观察不到。知道了电荷与质量之比后,汤姆逊又测量它的电荷值,但是用他的方法得到的数据精度不够高。后来,美国科学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953)于 1913 年完成了著名的油滴实验,首次测得电子电荷的精确值是 1.6×10^{-19} C,由此和荷质比一起算出每个电子的质量是 9.1×10^{-31} kg。这两个数表明电子真是太微小了。如果用 200 V 的电压,点亮一个约 36 W 的白炽灯,导线中的电流强度为 0.16 A,意味着每 1 秒钟就有 1 亿亿个电子通过导线横截面,而所有这么多电子的质量还不足 1 毫克的一亿分之一!电子还有一种运动属性,叫做自旋,是电子自身永远存

在的运动属性,这种运动属性是电子与生俱来的。自旋是微观世界粒子特有的属性,电子是人类发现体现这种特性的第一个粒子。

现在对电子的认识已经很清楚了,它的主要性质是:电荷数 $Q = -1$ (以单位电荷为单位),质量 $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$,自旋角动量 $J = 1/2$ (以 $\hbar/2\pi$ 为单位),只参与电磁相互作用和弱相互作用,电子是质量很轻的粒子,称为轻子。

电子的发现不仅带来了产业上的巨大变革,造就了今天计算机联网、卫星通讯等电子科技时代,而且,它还打破了统治人们思想多年的“原子是物质不可再分的最小单元”的错误观点。由于汤姆逊测出了电子的荷质比,勇敢地做出了“有比原子小得多的微粒存在”的正确结论,而荣获 1906 年诺贝尔物理学奖,被誉为“一位最先打开通向基本粒子物理学大门的伟人”。

二、质子的发现

1909 年 ~ 1911 年,英国物理学家卢瑟福 (E. Rutherford, 1871—1937) 用一束 α 粒子轰击金箔,发现有大角度散射,因而提出原子的有核模型,认为原子是由非常小(线度约为 $10^{-12} \sim 10^{-13} \text{ cm}$)的原子和核外电子组成,原子核集中了原子的全部正电荷和绝大部分质量。如果原子有核,那么原子核是由什么构成的呢?由于原子表现出电中性,它有带负电的电子,所以原子核一定是带正电的,其带电量与核外电子所带负电量一样。1914 年,卢瑟福用阴极射线轰击氢,结果使氢原子的电子被打掉,变成了带正电的阳离子,它实际上就是氢的原子核。卢瑟福推测,它就是人们从前所发现的与阴极射线相对的阳极射线,它的电荷量为一个单位,质量也为一个单位,卢瑟福将之命名为质子。1919 年,卢瑟福用加速了的高能 α 粒子轰击氮原子,结果发现 α 粒子与氮-14 的核作用生成氧-17 的核,并有一个质子从氮原子核中被打出来,这证实了质子的存在。这可能是人类第一次真正将一种元素变成另一种元素,几千年来炼金术士的梦想第一次成为现实。但

是,这种元素的嬗变暂时还没有实用价值,因为几十万个粒子中才有一个被高能粒子打中。到1924年,卢瑟福已经从许多种轻元素的原子核中打出了质子,进一步证实了质子的存在。

质子的主要性质是:电荷数 $Q = +1$,质量 $m_p = 938.3 \text{ MeV}/c^2$,自旋角动量 $J = 1/2$,参强相互作用在内的一切相互作用。质子比电子重,称为重子。质子的重子数 $B = 1$ 。

三、中子的发现

发现了电子和质子之后,人们一开始猜测原子核由电子和质子组成,因为 α 粒子和 β 粒子都是从原子核里放射出来的。但卢瑟福的学生莫塞莱(H. G. J. Moseley, 1887—1915)注意到,原子核所带正电数与原子序数相等,但相对原子质量却比原子序数大,这说明,如果原子核仅仅由质子和电子组成,它的质量将是不足的,因为电子的质量相比起来可以忽略不计。基于此,卢瑟福早在1920年就猜测在原子核内可能还有一种电中性的粒子。卢瑟福的另一位学生查德威克(J. Chadwick, 1891—1974)就在卡文迪许实验室里寻找这种电中性粒子。与此同时,德国物理学家波特及其学生贝克尔已经先走一步。从1928年开始,他们就在做对铍原子核的轰击实验,结果发现,当用 α 粒子轰击它时,它能发射出穿透力极强的射线,而且该射线呈电中性。但他们断定这是一种特殊的 γ 射线。在法国,居里夫人的女婿约里奥(F. Joliot, 1897—1956)和女儿伊雷娜·居里(I. Curie, 1900—1958)也正在做类似的实验,波特的结果一发表,就被他们进一步证实了,但他们也误认为新射线是一种 γ 射线。这一年是1932年,见到德国和法国同行的实验结果后,查德威克意识到这种新射线很可能就是多年来苦苦寻找的中子。他立即着手实验,花了不到一个月的时间,就发表了“中子可能存在”的论文。他指出, γ 射线没有质量,根本就不可能用 α 粒子将它从原子核里撞出来,只有那些与 α 粒子质量大

体相当的粒子才有这种可能。其次,查德威克用云室方法测量了中子的质量,还确证了中子确实是电中性的。中子就这样被发现了。约里奥和居里后来谈到,如果他们去听了卢瑟福于1932年在法国的一次演讲,就不会坐失这次重大发现的良机,因为卢瑟福那次正好讲到自己关于中子存在的猜想。查德威克由于发现中子而获1935年度诺贝尔物理奖。这就证明了原子核既包含质子,也包含中子(氢原子核是唯一的例外),其质量数等于质子和中子质量的总和,原子序数等于质子数目。

中子不带电,电荷数 $Q=0$,质量 $m_n = 939.6\text{MeV}/c^2$,自旋角动量 $J = 1/2$,参与强相互作用在内的一切相互作用,重子数 $B = 1$ 。中子一般是以束缚态稳定存在的,自由中子是不稳定的,它会蜕变成一个质子、一个电子和一个中微子。这个过程可以用下面的式子来表示:

$$n(\text{代表中子}) \rightarrow p(\text{代表质子}) + e(\text{代表电子}) + \bar{\nu}(\text{代表反中微子})$$

反中微子是一种既无质量又不带电的粒子。

四、反粒子——正电子的发现

中子发现不久,安德森(C. D. Anderson, 1905—)通过观测云室照片,发现了正电子 e^+ ,正电子的发现具有十分重要的意义,它是人类认识反粒子的开端。粒子和反粒子的质量 m 、寿命 τ 、自旋 J 、参与相互作用等性质都相同,仅电荷 Q 、重子数 B 、轻子数 L 等相加性量子数的符号相反。例如,电子和正电子的质量 m 均为 $0.511\text{MeV}/c^2$,寿命 τ 均为无限长,自旋均为 $J = 1/2$,都只参与电磁相互作用和弱相互作用,但是,电子的 $Q = -1$,轻子数 $L = +1$,而正电子的 $Q = +1$, $L = -1$ 。同样,互为正反粒子的质子和反质子的质量 m 、寿命 τ 、自旋 J 都相同,仅电荷 Q 、重子数 B 等符号相反。正反粒子相互作用的重要特征是它们碰撞时显现湮没,生成相加量子数等于零的态。例如,正电子和负电子湮没生成两个光子,均不带电,总电荷自然为零,轻子数 L 也为零。研究反粒子,对于探索

微观世界的奥秘,认识相互作用和对称性都具有十分重要的意义。

五、原子核结构模型与 π 介子的发现

就在发现中子的当年,海森伯(W. K. Heisenberg, 1901—1976)当即提出,原子核是由质子和中子组成的,新模型很快为人们所接受。核子是如何组成原子核呢?这又是一个新的问题。起初人们相信,核内并没有中心,中子和质子以弥漫的云雾状均匀地分布于核内。1936年,玻尔发现原子核的密度几乎都相同,因此提出了液滴模型,他认为每个核粒子就像液滴那样紧密地压在一起,就像水由水滴组成那样。这个模型比较好地解释了核裂变现象。

二次世界大战后,物理学家在实验室里发现了一个奇妙的现象,即当核内质子和中子数等于某些特定的数值如2、8、20、50等等时,原子核表现得特别稳定。为了解释这一现象,美籍德国物理学家迈耶尔和詹森分别提出了原子核的壳层结构模型理论。他们认为,质子和中子以壳层的方式层层相套,当层的数目与上述特定数值相等时,核就表现得特别稳定。可是,该模型不能说明,原子核的放射性是如何产生的。为了解释核的放射和吸收现象,有人又提出了半透明模型。

1953年,玻尔的儿子建立了一个综合模型,认为当核子数等于某数值时,核表现为壳层结构,而其他时候则表现为液滴结构。

这些层出不穷的结构模型,反映了对于原子核的结构,人们尚未有足够的认识。最主要的原因是人们尚不知道核子的相互作用情况。我们已经知道宇宙间有两种普遍的相互作用,一是万有引力,一是电磁力。但这两种力均不足以解释核内质子与中子的结构情况。中子是电中性的,因此,它们之间不可能有电磁相互作用,而引力过于微弱,靠它绝不可能保持原子核的稳定性。在核内部必定存在着一种新的作用力,它具有吸引力,而且与电荷无关。

1935年,日本物理学家汤川秀树(1907—1981)为了解释核子之间的相互作用,提出了它们之间是通过交换 π 介子而实现的。

汤川指出 π 介子的自旋角动量 $J = 0$,参与强相互作用在内的一切相互作用。 π 介子有三种： π^+ 介子, $Q = +1$; π^0 介子, $Q = 0$; π^- 介子, $Q = -1$ 。汤川还预期言了 π 介子的质量 m_π 。

1937 年,安德森在宇宙射线的研究中发现了一种质量为电子 207 倍的粒子,开始人们以为它就是汤川秀树所预言的那种介子,但后来发现,它并不是传递核力的那种介子,而是另一种粒子叫做 μ ,属于轻子类。

1947 年,英国物理学家鲍威尔(C. F. Powell, 1903—1969)用乳胶研究宇宙射线终于发现了 π 介子,其质量是电子的 273 倍。经反复检测,确定是汤川秀树所预言的介子,被命名为 π 介子。人们发现,以 π 介子传递方式产生的相互作用具有这样的特点:强度极大、独立于电荷、作用距离和作用时间均极短。这种相互作用被称为强相互作用。

六、第一代“基本粒子”

汤川秀树的理论被确立之后,原子核内相互作用的理论研究开始活跃起来。 π 介子发现以后,许多物理学家认为,组成物质的基本单元(称为第一代基本粒子)都找到了。它们列在表 1 - 4 - 3 - 1 中。表中的质子 p ,中子 n 组成原子核,加上电子 e^- 组成原子, π 介子传递核力, γ 光子传递电磁力, ν 体现弱作用,仅 μ 子似乎是多余的。

表 1 - 4 - 3 - 1 第一代基本粒子

电荷		粒子		绝对中 性粒子	反粒子		特性	
		正	中		负	正	中	负
轻子		$e^- \mu^-$			$e^+ \mu^+$		1/2	电弱引
		$\nu_e \nu_u$			$\overline{\nu_e} \overline{\nu_\mu}$			弱
强子	介子	π^-		π^0	π^+		0	一切
	重子	p	n		$\bar{n} \quad \bar{p}$		1/2	一切
媒介粒子				γ			1	电

物理学家立即认识到原子核由质子 p 和中子 n 组成,通常就把质子和中子称为核子。核子由比电磁相互作用(电磁力)更强的相互作用——核相互作用(核力)结合成原子核,否则,原子核就会因为带正电荷的质子间的斥力而崩解。核力就是强相互作用力。核力仅在原子核线度(约 10^{-13}cm)范围内呈现,它是短程力,粗略地说,核力是一种强吸引的短程力。

七、超子的发现

1. Λ 超子的发现与奇异数 S 的引入

1947年,罗切斯特(G. D. Rochester)、布特勒(C. C. Butler)在云室中发现了宇宙射线产生的 Λ 粒子,后来用加速器进行的核反应中也产生了 Λ 粒子。实验确定, Λ 粒子的自旋角动量 $J = 1/2$,参与强相互作用的一切相互作用。质量 $m_{\Lambda} = 1115.6\text{MeV}/c^2$,寿命 $\tau_{\Lambda} = 2.578 \times 10^{-10}\text{s}$, $Q = 0$ 。 Λ 粒子质量比核子(质子和中子)重,称为超子。超子也属于重子一类, Λ 超子的重子数 $B = 1$ 。

值得注意的是,产生 Λ 超子的反应作用强烈,时间短暂,约 10^{-23}s ,属于强相互作用的快过程,而 Λ 超子的衰变作用微弱,时间缓慢,约 10^{-10}s ,属于弱相互过程的慢过程。 Λ 超子的这种强作用产生,弱作用衰变,在发现 Λ 超子后的一段时间里,很难理解,认为是一种奇怪现象,因此称 Λ 粒子为奇异粒子。后来引入一个新的量子数——奇异数 S 表征这种过程。定义 Λ 超子的 $S = -1$ 。实验发现,强作用过程和电磁作用过程的前后, S 的改变量 $\Delta S = 0$,即奇异数 S 守恒,而弱作用过程的 $|\Delta S| = 0, 1$ 。奇异数是强子(重子和介子)的重要属性,它在相互作用过程前后的变化量的值是过程能否发生,是强作用、电磁作用,或弱作用的判据。显然,引入奇异数 S ,并定义了相应粒子的 S 值后,就能圆满地解释 Λ 超子的快产生和慢衰变现象。

2. Ω 超子的寻找

20 世纪 60 年代初,已发现的粒子达到几十种,多数为强子。实验证实,强子种类多,又有结构,不可能是基本的,自然不能称为基本粒子,需要研究强子的组成和结构。有人提出了超多重态理论,根据这种理论预言,应存在 Ω^- 粒子,称它为超子。1964 年,在美国的布洛克海文国家实验室果然在氢气泡室中发现了 Ω^- 粒子, Ω^- 粒子的发现是超多重态理论的重大胜利。

超子是奇异数 S 不为零的重子的通称。超子的寿命大于 10^{-22}s ,以发射光子或以弱相互作用方式衰变。

超子的发现说明,第一代基本粒子并不是构成物质结构的基本单元。

八、夸克模型

1964 年,盖尔曼(M. Gell - Mann, 1929—)和兹瓦格(G. Zweig)分别独立提出了形象的、易于理解的强子结构模型——夸克模型,该模型认为“强子是由三个更基本的粒子(现记为上夸克、下夸克、奇异夸克)组成”。夸克(quark)一词源于詹姆斯·乔伊斯(James Joyce)的小说《芬尼根彻夜祭》(Finnegan's Wake)中的“对着马克叫三声夸克”(Three quarks for muster mark)这句话中的“quark”一词。

在这一模型中,三种不同类型,被称为具有三种“味”(flavors)的夸克(即上夸克、下夸克和奇异夸克)及其反夸克,代替坂田模型中的基础粒子。经巧妙地组合,所有的强子(即静质量比较大的基本粒子)均可以由这三个夸克组成,在相互作用中强子的生成、湮灭和转化均可以归结为夸克的重新组合。该模型还指出了某些不允许出现的组合,而且这些被禁止的组合果然没有在实验中发现。夸克模型出现后,很快吸引了理论物理学家的注意,被认为是统一基本粒子的一个卓有成效的方向。

夸克除了有不同的味以外,还有另外一个重要的特点,称为“色”(color)。这里所说的味,并不是真正的食品的味,色也不是

真正的颜色。色的名称几乎是一个玩笑,只是用来作一种隐喻。色有三种:红、绿、蓝,这只是仿效人的色觉理论中有3种基本色(在绘画时,3原色常常说成是红、黄、蓝,但在人观察混合光的效应时,黄色被绿色所代替)。组成一个中子或一个质子的秘诀是,应有不同颜色的3个夸克,即红、绿、蓝夸克各一,这样组合后,颜色就消失了。因为,在视觉里白色可以看成是红、绿、蓝3种光的混合光,我们可以用此作为隐喻,说中子和质子是白色的。

中国的理论物理学家在1965年,从结构的角度出发,发展了计算方法,提出了强子结构的层子模型,丰富了夸克模型。

1974年12月,美籍华裔物理学家丁肇中(1936—)领导的一个小组和美国物理学家里克特(B. Richter 1931—)领导的另一个小组独立地发现了一个新的粒子 J/ψ ,其质量相当重,约为 $3.1 \text{ MeV}/c^2$,寿命很长,约为 10^{-20} s 。三个夸克的模型已不能解释它的产生和衰变特征,必须引入一种新夸克才能组成它。这种新夸克命名为C(charm),中文译为“粲”(取自诗经:“今夕何夕,见此粲者。”)。实验证明, J/ψ 粒子是由粲夸克和反粲夸克(奇异夸克)组成的。丁肇中和里克特的发现,第一次从实验上揭示了粲夸克的存在,为夸克模型的正确性提供了有力证据。为此,他们两人于1976年共享诺贝尔物理学奖。

1977年莱德曼(L. M. Lederman, 1922—)领导的实验组又发现了一个称为 Υ 的新粒子,它不能由前四种夸克构成,必须引入第五种夸克,称为底(bottom)夸克,或美(beauty)夸克。

从夸克—轻子对称性等理论推论,至少还应存在第六个夸克,人们取名为顶(top)夸克,或真理(truth)夸克。1995年3月2日,美国费米国家实验室宣布找到了顶夸克。从夸克模型的建立到顶夸克的发现,人们经历了31年的细致而又耐心的探索。

九、物质的基本单元

在20世纪70年代建立起来的描述强力、电磁力和弱力的标

准模型中 ,是把夸克和轻子放在同一物质结构层次上来看待的。在这个层次上 ,构成物质的基本单元只有如下几种基本粒子 :

- ① 六种轻子 :电子、缪子、陶子、电子中微子、缪子中微子、陶子中微子 ;
- ② 六种夸克 :上夸克、下夸克、粲夸克、奇异夸克、顶夸克、底夸克 ;
- ③ 五种传播子 :光子、带电中间玻色子、中性中间玻色子、胶子、引力子 ;
- ④ 希格斯粒子。

它们的名称和属性见表 1 - 4 - 3 - 2。

夸克的主要性质如下 :

- ① 夸克是费米子 , $J = 1/2$,保证构成各种强子 ;
- ② 电荷 Q 和重子数 B 为分数 ,这是三个夸克构成重子所要求的 ;
- ③ 有奇异数 $S \neq 0$ 的夸克 ,以组成奇异粒子 ;
- ④ 满足盖尔曼 - 西岛关系。

根据夸克模型 ,介子由一个夸克和一个反夸克组成 ,重子由三个夸克组成。例如 ,质子由 2 个上夸克和 1 个下夸克组成 ,中子由 2 个下夸克和 1 个上夸克组成。

表 1 - 4 - 3 - 2 基本粒子的名称和属性

类别		粒子名称	符号	质量 /GeV	电荷 /e	自旋
夸克	第一代	上夸克	u	0.3	2/3	1/2
		下夸克	d	0.3	- 1/3	1/2
	第二代	粲夸克	c	1.5	2/3	1/2
		奇异夸克	s	0.45	- 1/3	1/2
	第三代	顶夸克	t	176	2/3	1/2
		底夸克	b	5	- 1/3	1/2

续表

类别		粒子名称	符号	质量 / GeV	电荷 / e	自旋
轻子	第一代	电子	e	5.1×10^{-4}	- 1	1/2
		中微子	ν_e	小于 2×10^{-9}	0	1/2
	第二代	μ 子	μ	0.016	- 1	1/2
		μ 中微子	ν_μ	小于 2.7×10^{-4}	0	1/2
	第三代	τ 子	τ	1.78	- 1	1/2
		τ 中微子	ν_τ	小于 3.1×10^{-2}	0	1/2
传播子	电磁	光子	γ	0	0	1
	弱	带电中间玻色子	$W^\pm$	81	± 1	1
		中性中间玻色子	Z^0	91	0	1
	强	胶子	G	0	0	1
	引力	引力子	g	0	0	2
		希格斯粒子	H^0	52 ~ 1 000	0	0

尽管人们已经提出了六种夸克,但这六种夸克究竟是些什么东西并没有搞清楚。盖尔曼起初并没有将夸克当成物质实体,只不过是些数学模型而已,但由于夸克模型在解释实验事实上越来越成功。人们开始越来越相信夸克确实就是存在于更深层次的物质实体。但是,高能实验中从未发现有单个的自由夸克。也就是说,虽然人们提出这么多的夸克,但实验中从未发现过一个。如果夸克确实是更深层次的粒子,为什么实验总是发现不了呢?为此有人提出了夸克禁闭假说。其意思是说,之所以看不到单独的夸克,可能是因为自然界中根本就不可能有自由夸克。所有的夸克都有色,由它们复合的强子却是无色的,从实验中只可能看到不带色的粒子,因此所有的夸克均因其“色”而被禁闭在强子之中。但也有人认为,之所以没有发现自由夸克,是由于现今的高能粒子能

量还不够高,不足以从强子中打出自由夸克来,只有继续发展高能加速器,大大提高能量才有可能找到自由夸克。今天多数物理学家倾向于认为,由于夸克间的相互结合力随距离的增大而急剧增大趋向无穷,夸克可能永远被禁闭。夸克可能会永远禁闭,也可能被打出来,但是,人类对微观世界的认识岂不穷乎?

第四节 微观粒子的性质

20 世纪 60 年代以来,人们在对相继发现的数百种微观粒子性质的研究中,总结出如下规律:所有粒子的运动都遵循四种基本的相互作用规律,都遵循守恒律和对称律,都具有波动微粒二象性。粒子的尺度、质量、寿命等是微观粒子的主要特征量。

一、参与四种基本的相互作用

人类迄今认识到自然界存在着四种基本的相互作用,即万有引力相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和强相互作用。微观粒子参与四种基本的相互作用。

1. 万有引力

万有引力表现为所有粒子之间的一种长程吸引力。在两个量为 m_1 和 m_2 且间隔距离为 r 的粒子之间的作用力 F 可由牛顿公式 $F = G(m_1 m_2 / r^2)$ 很好地近似表达出来,其中的 G 是引力常数 [$G = (6.672\ 59 \pm 0.000\ 85) \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$]。一般取无量纲常数 $2\pi G m_e m_p / \hbar c$ 作为表征万有引力相互作用的常数(这里 m_e 和 m_p 分别为电子和质子的质量, $\hbar$ 为普朗克常数, c 为光速)。

早在 17 世纪 60 年代,牛顿就发现了万有引力定律,并用大量事实说明,支配物体落地的地球引力和保持行星在太阳周围轨道上运行的天体引力是相同的力。所有物体都通过与它们的质量成正比、距离的平方成反比的力相互吸引。这种支配着行星和星系行为的万有引力,决定着日月经天、江河行地的自然状态乃至整个

宇宙的基本特征。

引力虽然主宰着宏观天体的运动,但因微观粒子的质量极其微小而对它们的影响甚微。在目前的实验所能达到的能量标度上,微观粒子间的万有引力作用可以忽略不计。因此,在粒子物理学中,考虑较多的是比万有引力强得多的其他三种自然力。

2. 电磁相互作用

这种相互作用是使同号电荷相互排斥而异号电荷相互吸引的一种长程力。电磁相互作用强度用精细结构常数 α 表征, $\alpha = 2\pi e^2 / hc = 1/137$, 其中的 e 是电子电荷, α 是无量纲常数。在可相比的距离上,引力与电磁力的比值(当由在一个电子和一个质子之间的相应的两种力的强度来确定时)大约为 10^{-37} 数量级。

电流产生、化学反应、原子和分子的构成、晶体的形成等,都是电磁力起的作用。建立电磁场理论的是苏格兰卓越物理学家麦克斯韦。

原子得以构成并保持其稳定性,全靠电磁力起作用。分子的形成则是靠电磁力的剩余作用。一切化学力都是剩余电磁力,即本质上是电磁力。包括人类在内的所有生物的存在形式,全是由电磁力约束的。

3. 弱相互作用

弱相互作用对低能的特征强度可以用所谓费米常量 G_F (近似等于 $1.026 \times 10^{-5} m_p^{-2} h^3 / 8\pi^3 c$) 来量度,它比电磁作用要弱上约千倍。它与电磁作用和引力作用不同,弱相互作用是短程的相互作用,其相互作用的定律具有 $(1/r^2)e^{-Kr}$ 形式,力程 K^{-1} 比 10^{-15}cm 要小得多。

弱相互作用的发现经历了一个历程。自从 1896 年放射性现象被发现之后,人们发现某些原子会衰变成另外一些原子,后来才知道是这些原子的原子核不稳定而发生衰变的结果。有时这些衰变过程伴随着 β 射线的产生,因此,这种伴随着 β 射线产生的衰

变被人们称为 β 衰变。

人们进而认识到 β 射线是电子流。 β 衰变是由一种以前不曾知道的自然力引起的。实验测得这种力的强度比电磁力弱得多，于是把这种相互作用被称为弱相互作用。

实验上最早观测到的 β 衰变，是由弱相互作用引起的中子的衰变。当初以为这种核的反应是原子核里面的中子衰变成一个质子，同时放出一个电子，从而变成另一种原子核。可是，若真是这样，在这些过程中能量就不守恒。

1931 年，泡利 (W. E. Pauli, 1900—1958) 提出了中微子假说。他认为，中子衰变成质子时，不仅放出一个电子，还会放出一个质量大约为零的中性微粒子。后来费米给这个粒子起名叫中微子。它果真于 50 年代初在原子反应堆中被发现。

根据电磁力是由光子来传递的经验，不少物理学家早在 20 世纪 30 年代就已想到，弱相互作用可能是由有静止质量的粒子来传递的。物理学家们设想的中间玻色子，是类似于光子角色的传递弱力的媒介子，因而用英文“弱”字的首字母 W 命名。人们推测 W 粒子的质量必须很大，才能反映出弱相互作用力程极短的特点。

在杨振宁和密尔斯于 1954 年建立的规范理论的框架内，格拉肖于 1961 年把弱相互作用和电磁相互作用当作同一种相互作用来处理，提出了一个弱电统一模型。1967 年和 1968 年，温伯格和萨拉姆先后在格拉肖的理论模型中引入一种非常有用的机制，使这个模型趋于完善。该机制预言了一种叫做希格斯粒子的存在。

1983 年，欧洲核子研究中心的实验发现了弱电统一模型所预言的三种传递弱相互作用的媒介子。迄今，在所有的实验中都没发现过与这一模型不相符的实验证据。因此，弱电统一理论确立起来了，被公认为 20 世纪物理学最辉煌的成就之一。

4. 强相互作用

最初人们推测强相互作用是一种能使原子核得以形成并保持

稳定的力,故又称核力。

原子是靠带负电的电子对带正电的原子核的吸引力而结合形成的。然而在原子核里带同号正电的质子之间的斥力是相当大的。假如没有一种强大的另一种力来聚拢质子的话,原子核势必会四分五裂。因此,核力被认为是一种力度很强、力程像核的尺度一样短的吸引力。由于核力与电荷无关,从而能将质子和中子束缚在一起。从20世纪40年代第一颗原子弹爆炸开始,核反应堆中的裂变反应、核能发电站、氢弹实验等核力的表现形式,足以让人们感受到这种自然力的慑人威力。

表征强相互作用强度的物理量是个随反应能量变化而变化的量。一般来说,强力的强度是电磁力强度的100倍以上。它是一种短程力,力程大约为 10^{-13} cm,在此力程之内,强相互作用力超过这些粒子之间的所有其他的力。

人们认为,传递强相互作用的媒介子是8种质量为零且不带电荷的胶子。与光子不同的是,胶子带有一种叫做“颜色”的新奇东西,并且不能单个出现,只能以胶子球的形式显示出来。

5. 强子、轻子和传播子

根据作用力的特点,可把微观粒子分为强子、轻子和传播子三大类。强子是所有参与强相互作用的粒子的总称,它们由夸克组成。现有粒子中绝大部分是强子,例如,质子、中子、 π 介子等都属于强子。

轻子只参与弱相互作用、电磁相互作用和引力相互作用,而不参与强相互作用。轻子共有六种,即电子、电子中微子、 μ 子、 μ 子中微子、 τ 子、 τ 子中微子。电子、 μ 子和 τ 子是带电的,所有的中微子则不带电。 τ 子是1975年发现的重要粒子。它的质量很重,是电子的3600倍、质子的1.8倍,不参与强相互作用,仍属轻子,因而又称重轻子。

传播子也属于基本粒子。每一种相互作用都通过一种相应的

传播子来传播。弱相互作用的传播子是 W^+ 、 W^- 和 Z^0 中间玻色子,它们是 1983 年被发现的,非常重,质量是质子的 80 ~ 90 倍。电磁力的传播子是光子。强相互作用的传播子是胶子。引力相互作用的传播子叫引力子,由于引力作用太弱,极难探测到,至今尚未发现引力子。

二、微观粒子的尺度

一些粒子要比原子、分子小得多,用现有最高倍的电子显微镜也不能观察到。原子的尺度为 10^{-8} cm,质子、中子的尺度为 10^{-13} cm,也就是说,只有原子的十万分之一。轻子和夸克的尺寸更小,都小于 10^{-17} cm,即不到质子、中子的万分之一。

三、微观粒子的质量

微观粒子的质量是粒子的主要特征量。现有的粒子质量范围很大从 0 ~ 90 GeV。光子、胶子是无静止质量的;电子质量很小,只有 0.5 MeV; π 介子质量为电子质量的 280 倍;质子、中子都很重,接近电子质量的 2 000 倍,约为 1 GeV;已知最重的粒子是 Z^0 ,其质量为 90 GeV。

已被确认的六种夸克,从下夸克到底夸克,质量从轻到重。下夸克质量只有 0.3 GeV,而底夸克重达 5 GeV,顶夸克质量超过 170 GeV。质量的大小不是粒子是否基本的判据。例如底夸克是基本的,但其质量约为质子(不是基本的)的 5 倍,为 π 介子(也不是基本的)的 30 多倍。

中微子有无静止质量?这是理论和实验都十分关心的问题,不但对粒子物理而且对宇宙学和天体物理都有很大影响。目前给出三种中微子质量的上限越来越小,例如已测得电子中微子的质量小于 7 eV,即为电子质量的七万分之一,已非常接近于零。实验物理学家仍在努力,企望继续提高测量精度,来测出三种中微子的质量。

为什么粒子具有不同的质量？有何规律性？按照粒子物理的规范理论，所有规范粒子的质量为零，而规范不变性以某种方式被破坏了，使夸克、带电轻子、中间玻色子获得质量。这种理论获得一定的成功，但将继续受到实验的检验。

四、微观粒子的寿命

粒子的寿命也不尽相同。从质子和中子这个物质结构层次来看，微观粒子数目多达几百种。在这几百种粒子当中，只有电子、质子、中微子和光子及其各自的反粒子的寿命长，它们被称为稳定粒子，也叫“长寿命”粒子，而其他绝大多数的粒子是不稳定的粒子。不稳定的意思是指这些粒子存在的时间很短。例如：一个自由的中子其寿命长的也不过 887 s，它要衰变成一个质子、一个电子和一个中微子，粒子的寿命是以强度衰减到一半的时间来定义。粒子大多数是“短命”的，其短促的程度，以作用力的形式而定，以一个小质量强子为例，其典型的寿命是：弱力衰变为 10^{-10} s 左右；电磁力衰变为 10^{-20} s 左右，强力衰变则是 10^{-23} s。可见，要在这样短暂的一瞬间，去“抓住”它们进行研究，是一件极不容易的事情。

质子的稳定性虽曾受到理论挑战，但实验已测得的质子寿命大于 10^{33} a (a 是年的符号)，也就是说，那些预言质子不稳定的论断没有得到已有实验的支持。

五、正、反粒子对称

19 世纪末发现了电子，测得了它的质量和所带的负电荷。1932 年发现了一个与电子质量相同但带一个正电荷的粒子，称为正电子。以后又陆续发现许多相类似的情况，例如发现一个带负电、质量与质子完全相同的粒子，称为反质子。从大量实验测量和理论分析中得知：每一个粒子都有相应的反粒子。质子、中子、电子是这样，夸克和轻子也是这样。反粒子的反粒子就是它的本身。

如果两个粒子是各自的反粒子,那么它们就有相反的电荷(电荷大小相等但符号相反)和相同的质量。有些电中性的粒子,如光子,是它们自己的反粒子。

一对正、反粒子相碰可以湮灭,变成携带能量的光子,即粒子质量转变为能量。反之,两个高能粒子碰撞时有可能产生一对新的正、反粒子,即能量也可以转变成具有质量的粒子。

六、微观粒子的自旋

粒子还有另一种属性——自旋。微观粒子一个非常重要的区别是它们的自旋角动量(简单地称之为自旋)不同。自旋是在数值上描述粒子绕自己的轴旋转的快慢。在量子力学里,自旋使用的是一个自然单位。用这个单位衡量,自旋为半整数的粒子称为费米子,为整数的称为玻色子。光子、中间玻色子和胶子的自旋值是1。电子、质子、轻子和夸克的自旋量值是 $1/2$ 。引力子的自旋值是2。希格斯粒子的自旋值是0。

七、微观粒子的荷电量

微观粒子的荷电量是微观粒子的重要属性。以电子电荷为单位,质子带电为 $+1$,电子、 μ 子和 τ 子带电为 -1 ,中子、胶子、引力子、希格斯粒子和中微子不带电,上夸克、粲夸克和顶夸克带电 $+2/3$,下夸克、奇异夸克和底夸克带电 $-1/3$ 。

八、微观粒子具有波粒二象性

微观世界的粒子具有双重性——粒子性和波动性,所有微观粒子都有波动微粒二象性。例如,电子束和中子束不但有粒子性,而且具有波动性,在一定条件下都可以形成衍射图像。衍射是波动的特有现象。

九、守恒律和对称性

物质是不断运动和变化的。在变化中也有些东西不变,即守恒。例如运动过程中能量是守恒的。粒子的产生和衰变过程都要遵循能量守恒定律。此外还有其他的守恒定律,例如轻子数和夸克数守恒,这是基于实验上观察不到单个轻子和夸克的产生和湮灭,必须是粒子、反粒子成对地产生和湮灭而总结出来的。自然界许多图像表现了某种对称性,物理规律也有这种对称性。例如:物理过程在空间反射下是对称的,在粒子物理中用宇称(P)来描写这种对称性。在粒子相互作用过程中,也存在着这种左右对称性。1956年,李政道、杨振宁根据某些实验的迹象大胆提出在弱相互作用下宇称可以不守恒,后来被 β 衰变左右不对称实验所证实。

对称性还包括时间反演、粒子与反粒子变换等。实验上也发现了粒子、反粒子变换与宇称联合反演对称性(CP对称性)在弱作用下同样可以被破坏,但其原因尚不清楚,是粒子物理学家正在研究的一个重要课题。

十、标准模型的粒子物理理论

描述粒子的粒子性和波动性的双重属性以及粒子的产生和消灭过程的基本理论是量子场论。各种粒子由相应的量子场来表示。量子场论和规范理论十分成功地描述了粒子及其相互作用。经过20多年的不断摸索,从实践—理论—实践反复过程中,逐步建立和发展了一种称为标准模型的粒子物理理论。标准模型的粒子物理理论是以夸克、轻子作为研究对象,以弱相互作用和电磁相互作用(简称弱-电)统一理论以及量子色动力学理论为框架。前面已经讲过,世界上存在四种基本相互作用。它们是完全无关的吗?经过长时间的探索、研究,物理学家发现弱相互作用与电磁相互作用之间存在着某些联系,逐步建立起来弱-电统一理论。

这一理论与实验符合得很好,它预言的三个中间玻色子 W^+ , W^- 和 Z^0 都在实验中发现了。它预言的另一个“希格斯”粒子 H 至今尚未找到,是因为质量太大,加速器能量不够呢,还是什么别的原因?现在还不清楚,当然,只有通过实践才能搞明白。目前有些理论物理学家很想建立一种称为“大统一”的理论,试图把弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用统一起来,但遇到很多困难。近年来又提出了超对称大统一理论。

量子色动力学是描述强相互作用的理论,它较好地解释了为什么看不到单个的夸克以及解释了强子喷注现象等事实。迄今为止,标准模型的粒子物理理论是一个比较成功的理论,有实验基础的支持,但也还存在着一些问题。理论和实验都在寻找超越标准模型的理论 and 违反标准模型的实验。这是寻求新物理突破的希望,但根本也还在于实验。

十一、粒子物理面临的挑战

20 世纪 60 年代以来,粒子物理学有很大进展,但仍有许多基本问题需要解决。如:为什么看不见夸克?夸克和轻子有没有结构?难道它们是最基本的吗?标准模型预言的希格斯粒 H 子为什么至今尚未发现?弱相互作用下粒子反粒子变换 - 宇称联合反演对称性(CP)破坏的来源是什么?这些问题都是今后粒子物理要研究的课题。标准模型仍存在着问题,人们希望能在理论和实验上取得新的结果,使标准模型有所突破。物理学的基础是实验,因此,人们寄希望于未来的超高能和高亮度加速器。

第五节 粒子探测器和粒子加速器

研究微观粒子离不开粒子探测器和粒子加速器,这一节我们就来介绍粒子探测器和粒子加速器。

一、粒子探测器

粒子探测器主要用来探测天然放射性物质、宇宙射线和其他微观粒子。宇宙射线是来自宇宙深处的各种高能射线的总称,实际上是存在于宇宙空间的各種高能粒子。常用的粒子探测器有:

1. 威尔逊云室

威尔逊云室的原理是,使带电粒子通过过饱和的湿空气,这时在粒子经过的路上产生了离子,过饱和的汽就以离子为核心凝结成液滴从而留下一条可见的由水滴组成的径迹。威尔逊(C. T. R. Wilson, 1869—1959)曾经用他发明和改进的云室拍摄过很多珍贵的照片。1932年美国加州理工学院的物理学家安德逊利用威尔逊云室首先发现了正电子。为此,他和宇宙射线的发现者 V. F. 赫斯共享 1936 年的诺贝尔物理学奖。

1937 年安德逊又和尼德迈尔一起利用威尔逊云室在宇宙射线中发现了 μ 子。 μ 子是一种比电子重而比质子轻的粒子,可以带正电,也可以带负电。威尔逊云室还帮助物理学家罗彻斯特和巴特拉于 1947 年在宇宙射线中发现了一种新的带 V 字形径迹的粒子。

2. 照相乳胶

照相乳胶(核乳胶)也是物理学家们用来研究宇宙射线的有力工具。物理学家们将照相乳胶密封在一个盒子中,然后送上高空,探测宇宙射线。当有宇宙射线穿过时,照相乳胶冲洗后,宇宙射线的径迹在核乳胶上呈现暗线。根据暗线的长度、曲率和黑度等,就可以计算出造成径迹的粒子的质量、电荷和速度。物理学家们利用核乳胶也在宇宙射线中发现了许多新粒子。1947 年莱蒂斯发现了 π 介子。 π 介子的质量比 μ 子稍大,可以带正电,可以带负电,也可以不带电。1949 年鲍威尔发现了比 π 介子还重的 K 介子。1953 年伯尼特发现了 Σ 粒子。

3. 气泡室

气泡室也是一种径迹探测器。在气泡室中充以压缩的透明工作液体(液氢或丙烷),在一定的温度下,突然减压而膨胀时,室内压力低于液体的平衡蒸汽压,液体处于过热的亚稳态。当带电粒子通过时,液体沿带电粒子运动轨迹沸腾,产生气泡,显示轨迹。气泡室是美国物理学家格拉泽(D. A. Glaser)1952年发明的,因此,他于1960年获得了诺贝尔物理学奖。反质子和反 λ 子就是在气泡室的照片中发现的。

从以上的这些例子中,我们还可以清楚地看到,在近代物理学的发展中,许多新的基本粒子都是首先在宇宙射线中发现的。

4. 多丝正比室

1968年,夏帕克研制成功了多根阳极丝的正比计数器——多丝正比室。他将每一根阳极丝与特殊设计的电路联结起来,再联结计算机,构成多丝正比室——电子学线路——计算机系统。当带电粒子进入此系统的多丝正比室时,其运动轨道的信息由多丝正比室记下,通过电子学线路,馈送至计算机,以使图像重现,呈现出带电粒子的径迹。

多丝正比室的空间分辨本领由阳极丝间距决定,可以达到1 mm。时间分辨本领达到25 ns,每秒钟可以记录百万次。

多丝正比室发明以后,物理学家又以它为基础研制成功了漂移室,其空间分辨可以达到0.1 mm,时间分辨达到2~4 ns。多丝正比室和漂移室具有较高的空间分辨本领和较快的时间响应特性,并能与现代电子学线路和计算机联结,重现粒子径迹,它是寻找极稀少粒子的强有力工具。1974年,丁肇中和里希特发现的 J/ψ 粒子(获取1976年诺贝尔物理学奖)和在1982年由鲁比亚与范德梅尔发现的中间玻色子 W^+ , W^- 和 Z^0 (获取1984年诺贝尔奖)都是用多丝正比室和漂移室探测到的。

5. 硅微条探测器

硅微条探测器是20世纪80年代初研究成功的一种基于硅pn结二极管的径迹探测器。在它的高阻(约2 000 $\Omega \cdot \text{cm}$)的n

型硅晶片的一边制成条状(条间距 $20\text{ }\mu\text{m}$) p^+ 掺杂层(掺硼),并镀上铝层(约 $1\text{ }\mu\text{m}$ 厚),另一边制成 n^+ 掺杂层(掺磷),也镀上铝层(约 $1\text{ }\mu\text{m}$ 厚)。在 p^+ 和 n^+ 电极上加适当的反向电压,则硅晶片中的载流子将被耗尽,形成耗尽层区。当带电粒子通过耗尽层区时,沿其轨道处便产生正负电荷对,负电荷——电子向正极漂移,正电荷——空穴向负极漂移。电子和空穴的运动,使附近的一个或几个微条上产生电信号,这种电信号经放大并被记录,确定出带电粒子与微条探测器作用处的一维坐标,多层微条探测器即可确定带电粒子运动轨迹的空间坐标。探测器本体与放大记录系统均采用现代集成电路标准制造工艺制成,探测器的微条间距可做到小于 $20\text{ }\mu\text{m}$,而显示带电粒子径迹的精度为微条间距的几分之一,因此,硅微条探测器的空间分辨率在 $5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$,为多丝正比室的 $1/10$ 到 $1/20$,为漂移室的 $1/5$ 到 $1/10$,显然它能更精确地确定粒子的轨迹。自 20 世纪 80 年代以来,硅微条探测器已广泛用于粒子物理实验中。

二、粒子加速器

我们知道,许多粒子如电子、质子、 α 粒子等等都是带电的,它们可在电磁场中被加速而获得很高的能量。这种能够使带电粒子在电磁场作用下加速并获得很高能量的机器就是粒子加速器。

粒子加速器有很多种。按粒子最终可获得的能量来分,有低能、中能和高能粒子加速器。粒子的能量单位是电子伏特,通常把带一个单位电荷的粒子在电场中经过 1 V 电位差时所获得的能量定为 1 电子伏特,用符号 eV 表示。常用的单位是千电子伏特(keV , 1000 eV)、兆电子伏特(MeV , 10^6 eV)和吉电子伏特(GeV , 10^9 eV)。通常把能量在 100 MeV 以下的称为低能粒子加速器,能量在 $0.1\sim 1\text{ GeV}$ 之间的称为中能粒子加速器,而能量在 1 GeV 以上的称为高能粒子加速器。

粒子加速器按带电粒子所走的轨迹来分,有直线型、圆型和螺

旋型 按加速器所利用的电场分类,有直流高压电场加速、有高频谐振电场加速和磁场变化所产生的感应电场加速等等;按被加速的带电粒子种类来分,则有电子、质子、氘核和各种重元素离子加速器。它们各自都有适用于自己的粒子品种、能量范围以及性能等特色。几十年来,各种加速器在相互竞争中不断地发展、完善和更新,同时也在竞争和发展中相互补充。许多大中型的粒子加速器(如重离子加速器和高能加速器)往往采用多种粒子加速器的组合,例如先用直流高压型加速器作预加速器,再用直流谐振式加速器将带电粒子加速到中能,最后再注入到回旋谐振式加速器加速到高能。

带电粒子加速器的研制是在核物理研究的兴趣开始高涨的20世纪30年代初开始发展起来的。1932年世界上第1台范德格喇夫加速器(静电加速器)、第1台考克饶夫-瓦尔顿加速器(高压倍加速器)和第1个回旋加速器几乎同时问世。这些粒子加速器的原理和结构是简明而巧妙的。它们打开了加速器研究和开发的道路,成为现代科学技术中一个相当重要的领域。几位著名的研制加速器的先驱者范德格喇夫、考克饶夫、瓦尔顿和劳伦斯后来分别获得了诺贝尔物理学奖。

随着原子核物理和基本粒子物理研究的不断深入,以及各种科学技术对粒子加速器需求的不断增长,许多科学家进一步提出了很多种新的加速原理和技术,研制成功了一批各具特色的新加速器。1940年克斯特研制成功电子感应加速器,利用电磁感应产生的涡旋电场将带电粒子加速到很高能量。1945年韦克斯勒和麦克米伦各自独立提出了谐振加速的自动稳相原理,为高能粒子加速器的发展开辟了道路。二战期间,阿尔瓦雷茨和汉森分别研制成功第一台质子驻波直线加速器和电子行波直线加速器,为直线加速器的发展奠定了基础。

1956年克斯特提出了一种通过高能粒子束之间的对头碰撞(对撞)来提高粒子束的有效作用能的新建议,从而导致了高能对

撞机这种新颖高能加速器的问世。20 世纪 60 年代后期,重离子加速器的发展,使得可加速的粒子从最初的一些轻元素离子发展到元素周期表上的全部天然元素的离子。

人们利用粒子加速器发现了绝大多数的新的超铀元素,合成了上千种新的放射性核素,极大地促进了原子核物理学的发展。高能加速器的发展,使人们迅速发现了上百种基本粒子,包括重子、介子、轻子和各种共振态粒子,大大地促进了基本粒子物理学的形成和发展。近 30 年来,粒子加速器——这种能够产生各种射线的机器,主要是低能粒子加速器,已经远远地超出了原子核物理学和基本粒子物理学的范畴,在半导体、材料科学、表面科学、生物学、医学等其他科技领域如同位素生产、疾病的诊断和治疗、射线消毒与保鲜、材料的辐照改性、粒子束表面分析、离子注入等等发挥着日益重要的作用。

迄今被广泛应用的粒子加速器不下 20 种,每种加速器都有各自适用的能量范围和粒子种类。为了满足科学技术和实际应用的日益增长的需求,世界各地已先后建造了数以千计的粒子加速器,其中主要是能量在 100 MeV 以上的粒子加速器。

粒子加速器主要由 3 部分组成:

(1) 带电粒子源,如电子枪和离子源等,是粒子加速器的源头,用以提供所需的各种带电粒子。

(2) 真空加速系统,是装有加速电场产生机构的真空室,如加速管、加速枪等,用以向带电粒子施加一定形态的加速电场,同时保证带电粒子在加速的过程中不至于受到空气分子碰撞的影响。

(3) 带电粒子束的导引和聚焦系统,应用某种形式的电磁场来引导和约束被加速的粒子束,使之沿着既定轨道加速和前进。

半个世纪以来,粒子加速器的发展取得了非常大的成就,不但已知的加速器种类超过了 20 种。而且另据统计资料表明,大约每隔 6~10 年,粒子加速器的能量就提高 10 倍。然而,随着加速器的能量不断提高,加速器的规模也越来越大,造价也越来越高。美

国费米国家实验室于 1972 年建成的一台能量为 500 GeV 的粒子加速器,其直径约为 2 km,圆周长 6 km,足见其规模之大。

我国用在基础研究的粒子加速器的典型代表是北京正负电子对撞机(BEPC)和国家同步辐射实验室(NSRF)。

北京正负电子对撞机(BEPC),是国际上在该能区工作的最先进的粒子探测器之一,主要用在高能物理实验并兼顾同步辐射应用,最佳时每年正常运行时间平均约为 5 500 h,运行效率可达 95%。运行十年来,获得的物理结果受到国际上的关注。在高能物理实验方面,如 τ 轻子质量的测量精度提高了 10 倍,胶子球候选者 $\xi(2230)$ 粒子的确认和新的衰变道的发现及研究,粲介子 D_s 衰变的研究, J/ψ 粒子共振参数的测定等方面都取得了令人瞩目的结果。

国家同步辐射实验室(NSRF),它主要是由直线加速器及 800 MeV 储存环组成。典型的运行参数为 800 MeV,150 Ma,束流发射度为 $166 \text{ nm} \cdot \text{rad}$,寿命为 10 h。从 1993 到 1999 年 5 月,已经提供给用户共 25 000 h 的机时。NSRF 已有注册用户 100 多家,批准申请课题 120 多项,并取得了一批重要的成果。例如,利用超细微加工技术可加工直径为 $35 \text{ }\mu\text{m}$,厚度为 $100 \text{ }\mu\text{m}$ 的微齿轮;利用 X 射线光刻已得到线宽小于 $0.2 \text{ }\mu\text{m}$ 的图形,做出了癌细胞的软 X 射线显微照片,分辨率达 $60 \text{ }\mu\text{m}$ 。

低能电子和质子直线加速器在我国得到了广泛应用。中国科学院高能物理研究所应用电子直线加速器进行自由电子激光的研究。清华大学成功地将行波电子加速器用于海关大型集装箱检测系统。据不完全统计,到 1999 年 6 月为止,医用电子直线加速器的总数已达 220 台,其中大约有一半是国产的。电子直线加速器对某些癌症,进行放射性治疗和化疗是十分有效的。中国科学院高能物理研究的 35 MeV 质子直线加速器轰击铍靶产生的快中子用于癌症治疗,对于鼻癌、胰腺癌、前列腺癌等有显著效果。

参 考 文 献

1. 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京 :中共中央党校出版社 , 1994
2. 张礼. 近代物理学进展. 北京 :清华大学出版社 , 1997
3. 宗占国 ,马骥良. 高技术概论. 北京 :学苑出版社 , 1996
4. 戴元本 ,顾以藩. 我国粒子物理研究进展——50 年回顾. 物理 , 1999 28(9)
5. 方守贤. 我国粒子加速器的现状和发展. 物理 , 1999 28(9)

第五章 非线性科学

当前,自然科学正面临着深刻的变化,学科之间的相互渗透,正推动着许多交叉学科和综合性学科的产生,突飞猛进地发展着的非线性科学就是影响深远的综合性科学之一。

在过去,人们比较熟悉的是线性系统。线性系统满足叠加原理,数学的发展早已为线性系统的研究提供了强有力的解析方法和工具。然而,在近几十年,科学发展的另一主流方向已显现出更加旺盛的生命力。这就是向着宏观、交叉,向着复杂的系统集成或整体化趋势发展。由静态到动态、由局部到整体、由简单到复杂都与从线性到非线性的新的科学思维模式和认知走向相联系。非线性已成为 21 世纪新的科学革命突破的方向之一。从有序到无序,从无机到有机,从无生命体系到有生命体系,从平衡态到非平衡态,从均衡过程到不均衡过程,从相互作用的随机性到可控性和选择性,将是研究的基本发展趋势。

非线性与复杂性紧密联系在一起不仅表现在自然科学、工程技术,甚至社会科学的各领域中。非线性是复杂性的集中体现。非线性系统具有超越不同学科领域局限性的共同性质,从而形成了非线性科学这样综合性、交叉性的前沿学科。

第一节 耗散结构

一、耗散结构产生的背景

早在 19 世纪 40 年代,人们就发现了热力学第一定律,揭示了各种能量间转化的当量关系。19 世纪 50 年代,人们又发现了热力学第二定律,揭示了热过程进行的方向和规律。以后,随着对热

的本质的认识,由宏观进入微观,建立了统计物理学。热力学和统计物理学主要研究一个系统处于平衡态,以及从一个平衡态过渡到另一个平衡态的过程,即可逆过程的运动规律。这时期的理论对于非平衡态研究很少,以至于对非平衡态系统束手无策,并且造成导致耗散结构问题的第一个矛盾冲突——平衡态和非平衡态的矛盾。

在描述时间的问题上,热力学与经典动力学又发生了根本性的分歧。经典动力学中的方程对于时间来说都是对称的、可逆的。也就是说,这些方程可以说明过去,又可以决定未来,在方程中不出现“时间”箭头问题。然而,热力学第二定律指出,自然界的一切实际过程都是不可逆的。对于孤立系,各种自发过程总是使系统的分子或其他单元的运动,从某种有序的状态向无序的状态转化,最后达到最无序的平衡态而保持稳定。换言之,在孤立系中,即使初始存在着某种有序或某种差别,随着时间的推移,由于不可逆过程的进行,这种有序将被破坏,任何的差别将逐渐消失,有序状态将转变为最无序的状态——平衡态,这时熵 S 达到其极大值。熵是热力学中的一个态函数,是系统无序程度的量度:熵越大,越无序;熵越小,越有序。热力学第二定律指明了不可逆过程的方向性,即“时间箭头”只能指向熵增加的方向。热力学与动力学给我们提供了两幅不同的物理图像,产生了第二个矛盾——可逆的微观方程和不可逆的宏观现象的矛盾,使潜藏着的耗散结构问题初露端倪。

19 世纪的热力学和生物学涉及到世界运动变化的方向。热力学第二定律说明的是一个孤立系统朝着均匀、无序、简单、趋向平衡的方向演化,这实际上是一种退化的方向。克劳修斯把这个理论推广到全宇宙,得出了“宇宙热寂说”的悲观结论。生物学中的达尔文进化论所描述的却是系统从无序到有序,由简单到复杂,由低级到高级,由无功能到有功能、多功能的有组织的演化。这是一个进化的方向。于是,又产生了第三个矛盾——进化与退化的

矛盾。

此外,还有一个动力学规律和统计规律的关系问题,即所谓的第四个矛盾。动力学规律是必然的、决定论的。而统计规律是概率性的、随机的、非决定论的。每一矛盾都预示着一个深刻的科学问题。在这重要矛盾之下,在这种问题之后,潜伏着一个重要的理论——耗散结构理论。

为了解决上述的四个科学问题,普利高津提出了最小熵原理。这个原理指出,对于接近平衡态的非平衡态(即线性非平衡区)系统,随着时间的发展,总是朝着熵产生减少的方向进行,直到达到极小时成为一个稳恒态。根据最小熵原理,线性非平衡区的系统可以自动地趋于稳恒状态。因此,线性区的状态具有接近平衡的一些性质,不可能发生自组织而产生有序结构。

最小熵产生原理在近平衡线性区的成功,促使普利高津试图将它用到远离平衡的非线性区去。然而经过多年的努力,这种尝试没能成功。在这一领域,人们发现问题变得更为复杂,线性关系不再适用。以普利高津为首的布鲁塞尔学派在挫折中吸取了有益的启示,认识到在远离平衡的系统的热力学性质不能与平衡态、近平衡态的热力学性质有重大原则差别。这时应当把各个科学问题综合起来考虑。在这些科学问题的诱发下,他们重新探索,终于作出了重大发现,创立了耗散结构理论。

普利高津首先考察了不同系统在远离平衡态时的不可逆过程,例如:流体力学中贝纳德对流、物理学中的激光、化学中的贝洛索夫——托布金斯基振荡反应,发现这些过程与平衡或近平衡过程具有十分不同的图像。在上述各过程中,整个体系中的所有分子都参加到有序的振荡过程,它意味着它的各个部分各个分子间都互通信息,使各部分之间保持明确的相位关系且协调一致的行动,称为长程关联,导致结构的出现即有序化。从这些问题的一些现象中,普利高津发现在物理、化学、生物学以及社会学的不可逆现象中,存在着与生物进化类似的演化方式,存在着从简单到复

杂、从无序到有序、从对称到对称破缺的进化。他概括了这些性质迥然不同的系统在进化过程中的共同特点,他指出:一个远离平衡态的开放系统,一旦系统的某一参量变化达到一定的阈值,通过涨落,系统就可能发生突变,即非平衡相变,由原来的无序的混乱状态转变为一种时间、空间或功能有序的新的状态。这种有序状态需要不断地与外界交换物质和能量才能维持,并保持一定的稳定性,且不因外界微小扰动而消失。这种在远离平衡的非线性区形成的新的稳定的宏观有序结构,称为耗散结构。系统这种能够自行产生的组织性和相干性,称为自组织现象。因此,耗散结构理论又称之为非平衡系统的自组织理论。

二、自组织现象

组织如工厂的车间,其工种安排、倒班顺序是由班、组长或车间主任安排的,而不是通过工人之间互通信息之后,由他们之间的默契形成的自愿结合。前者是组织,后者为自组织,它说明,系统演化动力来自于系统内部各个子系统之间的竞争和协同,而不是外部命令。自组织系统不仅无需外指令自行组织,而且可以自行创生、自行演化,即能自主地从无序走向有序。自组织系统不仅极其普遍,而且与物质世界关系密切。

1. 生命过程的自组织现象

在相当长的时间内,物理学家们曾经认为自发过程总是使系统趋于平衡的,以为平衡结构是唯一可以用物理学原理解释并可以在实验室上重现的有序状态,然而,当用物理学原理来解释生物有序现象时,却碰到了巨大的困难。

按照概率的观点,生物有序状态的形成是一种概率极小的事件。例如,自然界中约有 20 种不同的基本氨基酸,它们可以有许许多多不同的排列方式。如果像在平衡态统计物理中那样,假定各种排列方式的出现是等概率的,那么形成具有某种特定的氨基酸残基排列方式的蛋白质分子的概率是极其微小的。假如蛋白质分

子中氨基酸残基的排列方式可以自动调整,则需要等待长得不可想像的时间,才能得到一个具有特定结构的蛋白质分子。

具体而言,对于一个具有 100 个氨基酸残基的蛋白质分子,20 个不同种类的氨基酸残基可有多达 10^{130} 种不同的排列方式。即使设想蛋白质分子每秒可以变换 10^6 次排列方式,也要等待 10^{124} s,而地球的年龄是 10^{17} s,这显然与实际情况不符。由此可见,生物有序状态的形成,背离了平衡态统计物理的基本假设——等概率假设,不可能用玻耳兹曼有序原理来解释。

在自然界中,生物是由各种细胞按精确的规律组成的高度有序的组织。例如,人的大脑是由 150 亿个神经细胞组成的极其精密、极其有序的组织。每一个生物细胞中也有非常奇特的有序结构,它至少含有一个 DNA(脱氧核糖核酸)或 RNA(核糖核酸)分子。

一个 DNA 分子可能由 10^8 到 10^{10} 个原子组成,按照各种有机体的不同,它们都按一定的顺序排列着,犹如密码,记载着生物的千姿百态的遗传性状。由这些密码解读出来的组成肽的氨基酸顺序各不相同,因而所生成的蛋白质也就具有千差万别的结构和功能,这样就导致自然界中有各种各样的生物。从大象到人类,从蚂蚁到细菌,所用的遗传密码都是一样的。令人震惊的是,这么神奇的高度有序的结构,竟然来源于生物食物中那些混乱无序地堆积着的原子。

在生命过程中,从分子和细胞直到有机个体和群体的不同水平上,无论在空间上还是在时间上,都呈现出了有序现象。例如,许多树叶、花朵和各种动物的皮毛等,常呈现出漂亮的规则图案。生命过程还常表现出随时间作周期性变化的振荡行为,即所谓生物振荡现象。例如我国北方各种候鸟的冬去春来,亚德里亚海中有两类鱼总是交替地出现,等等。

由此可见,生命过程实际上就是生物体持续进行自组织的过程。这一过程是系统内不平衡的表现,而且,这一过程不会达到平

衡 ;一旦达到平衡 ,有序态就会消失 ,生命也就终止了。因此 ,这些自组织现象无法用玻尔兹曼有序原理来解释。这构成了对经典热力学的挑战。

如果考虑到生物体的生长和物种的进化 ,可以更明显地看到从无序到有序的发展。按照达尔文的生物进化学说以及社会学家关于人类社会的进化学说 ,发展过程总是趋于种类繁多 ,结构和功能变得复杂 ,生物体系和社会体系趋于更加有序、更加有组织 ,而不像经典的热力学对孤立系所描绘的那样 ,总是趋于平衡或趋于无序。人们曾经把这种不一致解释为 ,生命现象与非生命现象是由不同的规律支配着的。

2. 无生命世界的自组织现象

不仅生命过程中有自组织现象 ,即使在无生命的世界里 ,实际上也大量地存在着从无序到有序的自组织现象。例如 ,天空中的云有时会形成整齐的鱼鳞状排列(细胞云)或带状间隔排列(云街) ;在高空中水汽凝结会形成非常有规则的六角形雪花 ;由火山岩浆形成的花岗岩中 ,有时会发现非常有规则的形状或带状结构等等。实际上 ,这些都是大自然中产生空间有序的自组织现象的例子。

然而 ,出现化学振荡这样的非生命周期现象 ,却是十分出乎人们意料的。按照化学热力学的传统观点 ,化学反应都是单向地不可逆地趋于平衡态的。从经典化学动力学的观点来看 ,化学反应是由反应物分子间的碰撞引起的 ;由于分子的热运动 ,反应物分子间的碰撞总是杂乱无章的 ,空间各点的反应概率是相同的 ,各时刻的反应事件应该是彼此独立和等概率的。但是 ,人们却发现 ,在化学振荡以及形成有序花纹的过程中 ,反应分子在宏观的空间距离上和宏观的时间间隔上 ,呈现出了一种长程的一致性 ,即长程的相关。系统中的分子好像是受到了某种统一的命令 ,自己组织起来形成了宏观的空间和时间上的一致行动。

在时间有序的物理自组织现象中 ,最突出的例子是 20 世纪

60 年代出现的激光。在气体激光器中,当泵浦输运给原子系统的能量没达到一定的阈值时,每个活性原子都独立而无规地发射光子,这些管子的频率和相位都是无序的,彼此间没有相干性,整个光子系统处于无序的状态。当泵浦的能量提高到某一阈值以上时,就产生了一种全新的现象,各原子集体一致行动,发现频率和相位都相同的“相干光波”,这就是激光。发射激光时,发光物质的原子处在一种非常有序的状态,它们不断地进行着自组织过程。

无生命世界和有生命都有自组织现象,这一事实促使人们认识到,这两个世界在这方面遵循着相同规律。普利高津的耗散结构理论,就是在把物理和生物过程结合起来研究时,于 1969 年提出来的。

三、耗散结构与熵

1. 熵产生和熵流

对于非孤立系统,可以把熵的变化分成两部分:一部分是由系统内部的不可逆过程引起的,称为熵产生,用 dS_1 表示;另一部分是由系统与外界交换能量或物质引起的,称为熵流,用 dS_2 表示。于是,整个系统熵的变化就是

$$dS = dS_1 + dS_2$$

显然,熵产生 dS_1 永远不可能是负的。当系统内部经历了可逆变化时, $dS_1 = 0$;而当系统内部经历了不可逆变化时, $dS_1 > 0$ 。

对于孤立系,系统与外界环境之间没有任何物质和能量的交换,也没有熵的交换。因此,对于孤立系有:

$$dS_2 = 0 \quad dS = dS_1 \geq 0$$

由式 $dS = dS_1 + dS_2$ 可见,对于开放系,要使系统的熵减少,或者说要使系统进入比原来更加有序的状态,就必须由外界环境向系统提供足够的负熵流,从而使

$$dS = dS_1 + dS_2 < 0$$

因此,对于一个开放系,存在着从无序到有序转化的可能性。可

见,只有开放系才能通过与外界交换物质流,能流和信息流产生有序。

2. 远离平衡的系统

为了找出自组织现象从无序到有序转化的规律,需要研究系统离开平衡态时的行为。

系统处在非平衡态时,总是存在着某种流,例如热流、质量流和电流等。产生这些流的原因是,在外界影响下的系统中存在着相应的梯度,如温度梯度、浓度梯度和电势梯度等,这些梯度是产生流的力。一般而言,流和力的关系是比较复杂的,但当系统对平衡态的偏离很小时,这种关系接近于线性。以这种情况为研究对象的热力学,称为线性非平衡热力学。

线性非平衡热力学的一个重要的原理,是普利高津于1945年提出的最小熵产生定理。按照这一定理,在接近平衡态的条件下,与外界强加的限制相适应的非平衡定态,它的熵产生具有最小值。最小熵产生定理,反映了非平衡态在能量耗散上的一种“惯性”行为;当外界迫使系统离开平衡态时,系统中要进行某种不可逆过程,从而要引起能量的耗散。但在这种条件下,系统将总是选择一个能量耗散最小,即熵产生最小的状态。

由最小熵产生定理可知,靠近平衡态的非平衡定态是稳定的,不会自发地形成时空有序结构,自组织现象不可能发生。

研究表明,要产生自组织现象,必须使系统处在远离平衡的状态。为了达到远离平衡的状态,就要使外界对系统的影响如此之强烈,以致它在系统内部所引起的响应与它的强度不成线性关系。

当系统远离平衡时,在一定的条件下,它们可以发展到某个不随时间改变的,然而并不稳定的定态。这时系统的熵不再具有极值行为,最小熵产生定理也不再有效。

在极小的微扰(涨落)作用下,就有可能产生失稳现象并从而发生突变。这种突变可以使系统向熵减少的方向发展,形成新的有序结构。

总之,在平衡态附近,过程的发展主要表现为趋向平衡态或非平衡定态,而在远离平衡的条件下,非平衡定态可以变得不稳定,过程的发展可能发生突变,从而导致宏观有序的增加或宏观有序结构的形成。

四、耗散结构的形成和应用

1. 负熵流和失稳现象

分析表明,玻耳兹曼有序原理和最小熵产生定理等结论,是在平衡态或偏离平衡态不远的条件下总结出来的规律。而在大量的自组织现象的例子中,系统都处在开放的远离平衡态的条件下,上述原理已不再适用。例如,生物体每时每刻都离不开它所赖以生存的外界环境,它们总是不断地从环境中吸取营养,并不断地把废物排放到外界环境中去,它们总是处在远离平衡的状态。

如前所述,与孤立系不同,对于开放系统,随着与外界环境间的物质和能量的交换,存在着一个非零的熵流 dS_2 ,只要维持一个绝对值足够大的负熵流 dS_2 ,例如动物食用高度有序的低熵大分子——蛋白质和淀粉等,排泄出无序的高熵小分子——粪便等,则在原则上就有可能使系统维持在某种比平衡态低熵的状态,这种低熵状态可以对应于某种有序状态。

观察表明,自组织现象中的有序状态是突然出现的。例如当从下面缓慢加热某一流体薄层时,起初在流体中只有热传导存在,流体处在均匀的无序状态。当流体中的温度梯度超过某一临界值时,原来静止的流体中会突然出现许多规则的六角形对流格子,这就是所谓贝纳尔对流。

众所周知,相变现象就是一种突变现象。例如,水变成冰这样的相变过程,是由于分子间的相互作用使得原来无序的均匀状态变得不稳定而形成的。由此可见,突变现象是一种失稳现象,任何一种有序状态的出现,都可以看作是某种无序的参考状态失去稳定性的结果。

2. 远离平衡和非线性

如前所述,除了在有相变的情况下以外,平衡态总是稳定的,因此在平衡条件下最多只能形成在分子水平上定义的平衡结构。为要认识自组织现象这种宏观的时空有序结构,热力学上唯一出路就是研究非平衡条件下的热力学稳定性。

研究表明,当系统远离热力学平衡时,均匀的非平衡定态有可能失去稳定性,从而在原则上表明了宏观的有序结构有可能在远离平衡的系统中形成,这在概念上是个巨大的飞跃,冲破了过去那种认为热力学第二定律已经注定不可能在无生命系统中形成宏观有序结构的观念。当然,远离平衡仅仅是产生不稳定性的一个必要条件,而不是充分条件。

从数学的角度看,能正确地描述系统的这种动力学行为的动力学方程,必须既有不稳定的特解,用以描述失稳现象;又允许又稳定的特解,用以描述在宏观时间间隔内可观测到的时空有序状态。按照微分方程的理论,具有这种特性的微分方程必须是非线性的。因此,在产生不稳定现象的同时,又允许产生稳定的时空有序状态的另一个必要条件是,在系统的动力学过程中必须包括适当的非线性反馈步骤。

例如,生物体中的生物化学过程总是涉及大量的生物催化剂——酶,这些复杂的蛋白质分子的催化活性对外界条件通常是很敏感的,它们所催化的反应物也会反过来影响到这些酶的活性,因而反应结果会影响到生物过程本身,这就是一种反馈过程。

远离平衡并且内部涉及非线性动力学的系统,有可能失去稳定性并由此产生时空有序结构。这意味着,非平衡的不可逆过程,并不总是像在平衡态附近那样,起一种破坏有序的作用;相反,它们可以成为有序结构所不能缺少的因素,成为有序之源。

3. 耗散结构的形成

不论是平衡态还是非平衡定态,都是在宏观上不随时间改变的状态。实际上,由于组成系统的分子在不停地做无规运动,系统

的状态在局部上经常与宏观平均态有暂时的偏离,这种自发产生的微小偏离称为涨落。另外,宏观系统的外界环境也或多或少地总有一些变动,即宏观系统的宏观状态总是不停地受到各种各样的扰动。

在一般情况下,涨落是非常微弱的,并且是随机的。但是,可以调节外界条件以控制参数,使系统处于远离平衡的临界状态。在临界状态下,系统的小涨落可以被放大。个别无规的局部涨落,通过非线性的相互作用和协调,可以相互耦合而形成宏观的巨大涨落,这种巨涨落可使系统形成新的有序结构,这就是自组织现象。

自组织现象中出现的各种宏观有序结构,它们的形成和维持的条件与平衡结构大不相同。为了与平衡结构相区别,普利高津把这些在开放和远离平衡的条件下,在与外界交换物质和能量的过程中,通过能量耗散过程和内部的非线性动力学机制来形成和维持的宏观时空有序结构,称为“耗散结构”。

4. 耗散结构理论的应用

经典的热力学和统计物理学主要是研究系统的平衡结构,而耗散结构理论则是研究非平衡系统中的稳定有序结构。任何生物都是一个远离平衡态的开放系统,生物借以维持生命的新陈代谢就是不断与周围环境进行能量和物质的交换,生命是一种远离平衡态的高度有序的结构。事实上,宇宙中各种各样的系统,无论是无生命的还是有生命的,不论是社会的还是观念的,都是与周围环境有着相互作用和相互依存关系的开放系统。人们将耗散结构理论应用到这些领域,已经取得了不少可喜的成果。

在不违反热力学第二定律的条件下,普利高津通过引入负熵流来抵消熵产生,说明了系统有可能从混沌无序的状态向新的有序状态转化,从而解决了经典热力学和进化论之间的矛盾。克劳修斯认为,根据熵增加原理,作为孤立系的整个宇宙将自发地从有序变为无序,随着宇宙的熵趋于极大,宇宙万物终将达到热平衡状

态而死亡,这就是历史上所谓“热寂论”。然而,达尔文的生物进化论却告诉我们,生物从单细胞进化到人,发展的方向越来越复杂,越来越有序。因此,在经典概念下的物理学和生物学虽然都讲发展变化,两者却具有截然不同的方向,一个是退化,一个是进化。耗散结构理论表明,即使按克劳修斯等人所说的那样,作为孤立系的整个宇宙可能要走向无序,但是其中的一个局部却可以在演化过程中不断形成新的有序结构,从而走向有序化和复杂化,这就把物理世界的规律与生物发展的规律统一了起来,符合现代进化论的思想。

总之,物理学虽然已经有了很大的发展,作为近代物理学基础的相对论和量子力学已经取得了很大的成功,但还有更多的问题有待于解决,人们正期待着物理学的新突破。

第二节 混沌

一、混沌运动的认识过程

混沌,带着古老传说的神秘和当代科学前沿的探索,正不胫而走,引起了越来越多的关注。有的学者甚至宣称,20 世纪的科学只有三件事将被人们记住。这就是相对论、量子论和混沌论,把混沌誉为 20 世纪科学的第三次革命,正如一位物理学家所说:“相对论排除了绝对空间和时间的牛顿幻觉,量子论排除了对可控测量过程的牛顿迷梦,混沌则排除了拉普拉斯的可预见性的狂想。”在这三大革命中,混沌革命不仅适用于大的宇观天体和小的微观粒子,而且适用于我们看得见、摸得到的世界,适用于和人自己同一尺度的对象,因而是一次范围更为广泛的革命。

混沌研究的进展,正在消除对统一的自然界的决定论和概率论两大对立描述体系间的鸿沟,使复杂系统的理论开始建立在“有限性”这更符合客观实际的基础之上。

混沌是非线性动力系统所特有的一种运动形式,其理论基础可追溯到 19 世纪末创立的定性理论,但真正得到发展是在 20 世纪 70 年代以后,尤其是 80 年代以后,混沌的研究有如星星之火,渐成燎原之势。

早在 20 世纪初的 1903 年,法国数学家庞加莱从动力系统和拓扑学的全局思想出发,指出可能存在混沌特性,从而成为世界上最先了解存在混沌可能性的人。1954 年,苏联概率论大师柯尔莫哥洛夫在探索概率论起源过程中注意到了哈密顿函数中条件微小变化时周期运动的保持,该思想为如下结论奠定了基础:不仅耗散系统有混沌,而且保守系统也有混沌。1960 年前后,柯尔莫哥洛夫与阿诺尔德及莫塞深入研究了哈密顿系统中运动稳定性,得出了著名的 KAM 定理。该定理为揭示哈密顿系统中 KAM 环面的破坏以及混沌运动奠定了基础。1963 年,美国气象学家洛伦兹在《大气科学》杂志上发表了“决定性的非周期流”一文,指出在气候不能精确重演与长期天气预报的无能为力之间必然存在着一种联系,这就是非周期性 with 不可预见性之间的联系。他还认为一串事件可能有一个临界点,在这一点上,小的变化可以放大为大的变化。这些研究清楚地描述了“对初始条件的敏感依赖性”这一混沌的基本性质。这就是所谓著名的“蝴蝶效应”,它来自洛伦兹一次科学演讲,“一只蝴蝶在巴西扇动翅膀,可能会在得克萨斯引起一场龙卷风。”

1975 年中国学者李天岩和美国数学家约克发表了“周期 3 蕴含混沌”的著名论文,被认为是混沌的第一次正式表述。1976 年美国科学家梅在《自然》杂志上发表了“具有极复杂的动力学的简单数学模型”一文,它向人们表明了混沌理论的惊人信息:简单的确定论数学模型竟然也可以产生看似随机的行为。

1977 年,第一次国际会议在意大利召开,标志着混沌科学的诞生。1978 年,美国物理学家费根鲍姆在《统计物理学杂志》上发表了关于普适性的论文“一类非线性变换的定量的普适性”,轰动

了世界。正是普适性的研究使混沌科学确定起自己坚固的地位。

进入 20 世纪 80 年代,混沌科学又得到进一步发展。1980 年,波兰出生的美国数学家曼德尔布罗特用计算机绘制了第一张以他名字命名的曼德尔布罗特集图像。这是一张五彩缤纷、绚丽无比的混沌图像。到了 90 年代,混沌科学与其他科学互相渗透。混沌打破了各门学科的界限,由于它是关于系统整体性质的科学,它把思考者们从相距甚远的各个领域带到了一起。

混沌研究得以迅速发展,实应归功于计算机技术的日新月异。这十年来,大容量高速度计算机,特别是计算机绘图技术的应用,是混沌赖以发展的重要基础。借助逼真的电脑模拟和电视技术,人们已能通过屏幕观察到一个系统动态的演进与复杂的混沌效应。尤其是对混沌控制的研究,使 90 年代的混沌研究进入了一个新的历史时期。

二、混沌现象的基本特征

混沌是一种貌似无规的运动,是在确定论系统中出现的类似随机的行为过程,是系统在内禀不确定性因素作用下产生时间演化的宏观复杂现象。混沌现象把表面的无序性与内在的规律性融为一体。基本特征有:

1. 确定性系统的内禀随机性

混沌现象是由系统内部的非线性因素引起的,是系统内在随机性的一种表现,而不是外来随机扰动所产生的不规则结果。混沌理论的研究表明,只要确定性系统中有非线性因素作用,系统就会在一定的控制参数范围内产生一种内禀随机性,即确定性混沌。

所谓确定性系统一般是指动力学系统,它们可用常微分方程、偏微分方程、差分方程或一些简单的迭代方程来描述。而方程中的系数都是确定的,只要给定初始值和边界条件,方程就能给出确定的过程。

随机性是指不规则的、不能预测的。若按传统的看法,会认为

随机性是系统受到外界环境中大量并存事物的影响而产生的,这种由外因导致的随机现象称为外在随机性,如布朗运动。布朗运动不是分子运动的直接形象,而仅是分子运动的见证。

2. 对初值依赖的敏感性

系统的长期行为对初始条件的敏感依赖性混沌运动的本质特征。中国人常说,“差之毫厘,失之千里”,讲的也是这个道理。在西方,控制论的创立者维纳引用过民谣对这种情况作了特别生动的描述:

钉子缺,蹄铁卸;

蹄铁卸,战马蹶;

战马蹶,骑士绝;

骑士绝,战事折;

战事折,国家灭。

马蹄铁上缺了根钉子本是一件微不足道的事,但经过逐级放大后,竟然导致了整个国家的灭亡这种灾难性的后果。

在牛顿的时空观中,只要近似地知道了一个系统的初始条件和理解了自然定律,就可以计算系统的近似行为。极小的影响是可以忽略的。事物的行为方式有一种收敛性,任意小的影响是不会放大成为任意大的效果的。从经典科学的角度讲,近似和收敛的信念是很有根据的,它确曾起过作用。1910年确定哈雷彗星位置的小误差,只会对预言它1986年的回归产生小小的误差。对于今后几百万年,这一误差也永远是小的。计算机为宇宙飞船导航也遵守同一假定,近似准确的输入导致近似准确的输出。

众所周知,动力学系统的行为或运动轨道决定于两个因素:一个是系统的运行演化规律,在数学上就是动力学方程;另一个就是系统现在的状态,数学上称为初始条件。一个确定性系统在给定了运动方程之后,如果满足利普希茨条件,则根据“存在唯一性”定理,轨道唯一地取决于初始条件。通过一个初值有且只有一条轨道。这就是系统行为或轨道对初值的依赖性。按照经典力学观

点,轨道对初值的依赖是不敏感的。

但是,混沌研究改变了这一观点。处在混沌状态的系统,运动轨道将敏感地依赖于初始条件。从两个极邻近的初值出发的两条轨道,在短时间内似乎差距不大,但在足够长的时间以后,必然呈现出显著的差别来。从长期行为看,初值的小改变在运动过程中不断被放大,导致轨道发生巨大的偏差,以至在相空间中的距离要多远就有多远。这就是系统长期行为对初值的敏感依赖性。由此可见,由于对初值的依赖十分敏感,微小的扰动将导致解的巨大变化,有时甚至会面目全非。

三、混沌的基本理论

1. 贝诺勒变换模型

以如下一维映射为例

$$f(x) = x_{n+1} = \begin{cases} 2x_n & \text{当 } 0 \leq x_n < \frac{1}{2} \\ 2x_n - 1 & \text{当 } \frac{1}{2} \leq x_n < 1 \end{cases}$$

这是一个简单迭代方程, x 是单位格距 $I = [0, 1]$ 中的变量,见图 1-5-2-1 所示。图中的实线是映射 $f(x)$, 虚线是 $y = x$ 的直线。在图中迭代方程从 x_0 出发,作平行 y 轴的直线交 $f(x)$, 即求得 $x_1 = f(x_0)$ 。 x_1 的求得是从交点处作平行 x 轴的直线交 $y = x$ 线的一点,该点的横坐标就是 x_1 。 x_1 是第二次迭代的起点,以此类推可求得 $x_2, x_3, \dots$ 构成一个迭代序列。显然全部迭代过程被限制在 $[0, 1]$ 区间内,即映射 $f(x)$ 有两个不动点。

$$x = 0, x = 1$$

它们是 $y = f(x)$ 和 $y = x$ 的交点。由于 $f'(x) = 2 > 1$, 因而它们都是不稳定的不动点(即不会实现的点)

从表面看,序列 $x_0, x_1, x_2, \dots$ 似乎有三种形态:

A. 当 x_0 是有理数,且用分数表示,其分母为 2 的幂数 2^k (k

是正整数)时,此时 $x_n \rightarrow 0$ 。例如 $x_0 = \frac{11}{32}$, 则 $x_1 = \frac{11}{16}$, $x_2 = \frac{3}{8}$, $x_3 = \frac{3}{4}$, $x_4 = \frac{1}{2}$, $x_5 = 0$, $x_6 = 0$,

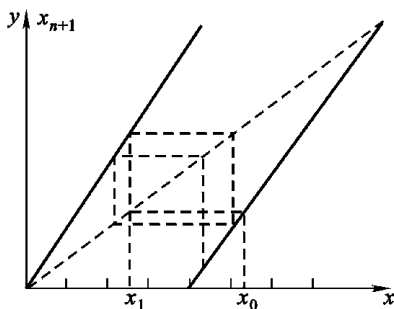


图 1 - 5 - 2 - 1 一维映射

B. 当 x_0 是有理数,且用分数表示,其分母有非 2 的因子时,则序列为周期解。例如 $x_0 = \frac{13}{28}$, 则 $x_1 = \frac{13}{14}$, $x_2 = \frac{6}{7}$, $x_3 = \frac{5}{7}$, $x_4 = \frac{3}{7}$, $x_5 = \frac{6}{7}$, $x_6 = \frac{5}{7}$, $x_7 = \frac{3}{7}$, ... ,即 n 很大以后在三个数 $\frac{6}{7}, \frac{5}{7}, \frac{3}{7}$ 之间循环,这叫做周期 3。

C. 当 x_0 为无理数时,则序列既不趋于零,也不趋向于周期解,而是一个貌似无规则的解。

但实际情况并非如此,其实序列只能有一种形态,即混沌。以 $x_0 = \frac{13}{28}$ 为例,迭代下去有 $x_{3002} = \frac{6}{7}$ 。但若一个初值 x_{01} 和 x_0 前 900 多位小数都相同,后面只差一点,如:

$$x_{01} = \frac{13}{28} \left(1 - \frac{1}{8^{1000}} \right)$$

$$= \frac{13}{28} \left(\frac{(8-1)(8^{999} + 8^{998} + \dots)}{8^{1000}} \right)$$

$$= \frac{\text{整数}}{2^{3002}}$$

用 x_{01} 去作迭代, 则到第 3002 次有 $x_{3002} = 0$ 。再换一个和 x_0 相差很小的无理数 x_{02} ,

$$x_{02} = \frac{13}{28} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{8^{1000}} \right)$$

它的迭代结果是一个无周期的序列。

x_0, x_{01}, x_{02} 是一个相差很小的初始条件, 但迭代到 3002 次以后, 则相差甚远。真是“差之毫厘, 失之千里”, 运动对初始条件敏感依赖性使运动变得不可预测, 呈现出不确定性。但是这种不可预测与真正的随机过程的不可预测又不相同。真正的随机过程, 在一定条件下即使是“近距离”或“短时期”都是不可预测的, 例如掷第一次硬币和第 100 次硬币的结果都是不可预测的。但内在随机性在“近距离”或“短时期”内其结果是确定的。这种现象就是确定性混沌现象。造成这种现象的根本原因就在于迭代过程中把误差逐渐“放大”了, 以至于最后与初值相比面目全非了。从这个意义上说, 混沌可说是内在随机性的代名词。

2. 虫口模型

我们来探讨一个简单而又典型的生态学问题: 构造一种昆虫数目变化的数学模型, 这种模型通常称之为“虫口模型”。

假定有某种昆虫, 每年夏季成虫产卵后全部死亡, 第二年春天每个虫卵孵化成一只虫子, 其间没有代际交叠。设第 n 年的虫口数目为 x_n , 每只成虫平均产卵 a 个, 这样年复一年地重复下去, 一般规律可以写成

$$x_{n+1} = ax_n$$

这是一个线性差分方程。容易求得

$$x_n = x_0 a^n$$

其中 x_0 是起始年度的虫口数目。我们看到,只要 $a > 1$,即每只虫子平均产卵数多于 1 个,虫口数目就会按指数上升,用不了许多年,整个地球就要虫满为患。相反,如果 $a < 1$,则意味着虫口数目按指数规律减少,最终当 $n \rightarrow \infty$ 时, $x_n \rightarrow 0$ 。于是这种昆虫就会在若干年后灭绝。

按数学术语, x_0 是个任意数,特别是当 $x_0 = 0$ 是映射中一个不动点,也就是其轨道为 $x_n = x_0$,与 n 无关。当 $|a| > 1$ 时, x_n 按指数规律增长,而当 $|a| < 1$ 时, x_n 按指数规律减少,最终当 $n \rightarrow \infty$ 时, $x_n \rightarrow 0$,这意味着轨道被引向不动点 $x_0 = 0$ 。我们称这样的 x_0 为当 $-1 < a < 1$ 时的吸引子。很明显,不动点是稳定的,因为从略微偏离不动点的某处出发,任何轨道都会逐渐接近于它。对于 $|a| > 1$ 的情况,运动轨道永远是发散的。在这种情况下,不动点是不稳定的,称这样的点为排斥点。不管轨道的初始点如何接近排斥点,经过足够长的时间,轨道总会远离。

吸引子的基本特征是对初始条件不敏感。从吸引子附近的任何初始条件开始,运动轨道都要汇拢到该吸引子。

其实对于人口问题也是类似的,马尔萨斯的人口论就是基于这样的模型:“人口在不加控制时,每 25 年翻一番,即按几何比例增长”,这就是在 $a = 2$,一代和下一代时间间隔取 25 年所得的结果。

为了把这个模型修正得更符合实际一些,我们想一下在走向虫满为患的过程中会发生什么事情。第一,食物和空间有限,虫子们会为争夺生存条件而咬斗;其次,虫子数目多了,传染病会因为接触增加而蔓延。这里还完全没有考虑虫口增加有利于天敌繁殖的多物种竞争问题。咬斗和接触,都是发生在两只虫子之间的事件。我们知道, x_n 只虫子配对的事件总数是 $x_n(x_n - 1)/2$ 。当 $x_n \gg 1$ 时,这基本上是 $x_n^2/2$ 。上面两类事件都会造成减员,即对下一代虫口数作出负贡献。因此,修正后的虫口方程是

$$x_{n+1} = ax_n - bx_n^2$$

这是一个非线性差分方程,通常称为逻辑斯蒂映象。

重新定义一下变量和参数,或者说,适当选择坐标,可以把上式写成标准形式:

$$x_{n+1} = 1 - \mu x_n^2 \quad \mu \in (0, 2) \quad x_n \in [-1, 1]$$

其一般形式即为:

$$x_{n+1} = f(\mu, x_n)$$

这是一个离散化的时间演化方程,是一个有限差分方程,通常称为逻辑斯蒂方程。其中 f 是一个非线性函数, μ 代表一个或多个参量。在有限差分方程中,一旦选定初始条件 x_0 ,其后的 x_1 值即确定,再把 x_1 作为新的变量,计算 x_2 ,如此重复上述过程:

$$x_1 = f(\mu, x_0)$$

$$x_2 = f(\mu, x_1)$$

$$x_3 = f(\mu, x_2)$$

.....

就会得出一条轨道:

$$x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, x_{i+1}, \dots$$

其中每个 x_i 是一个轨道点。由 x_n 值确定 x_{n+1} 值的过程叫作“迭代”。

考虑一般形式的线段 I 到自身的映射。如果 x_n 属于一定线段 I ,非线性变换 f 把 x_n 变换(映射)成线段 I 中的某个点 x_{n+1} 。一般来说,即使 x_n 取遍线段 I 上所有可能的值, x_{n+1} 也只能达到 I 内的一部分点,这称为线段的内映射;只有对特殊的参量值,则 x_{n+1} 才可能充满整个线段 $I = [-1, 1]$,这称为线段的满映射。满映射是一种典型的混沌映射,对理解混沌运动有特殊作用。

对于轨道的长时间行为,我们可以设想几种可能性。

A. 从某次迭代开始,所有的 x_i 都不再变化,即

$$x_i = x^*$$

x^* 称为迭代的不动点。在图中作业中, x^* 是映射函数与分角线的

交点。如图 1 - 5 - 2 - 2 所示。

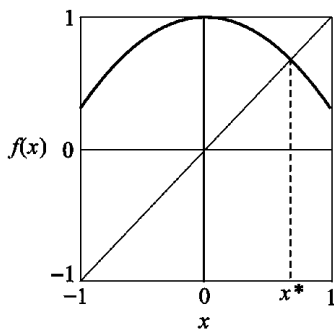


图 1 - 5 - 2 - 2 不动点

B. 从某次迭代开始 x_i 进入有限个数字周而复始、无限重复的状态。例如 ,当 $i \geq n$ 之后 ,

$$x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+p-1}$$

和

$$x_{n+p}, x_{n+p+1}, \dots, x_{n+2p-1}$$

完全相同。这称为周期 P 轨道. 不动点是 $P = 1$ 的特例 ,有时称为周期 1 轨道。图 1 - 5 - 2 - 3 中(a)和(b)分别为周期 2 和周期 3 轨道示例。

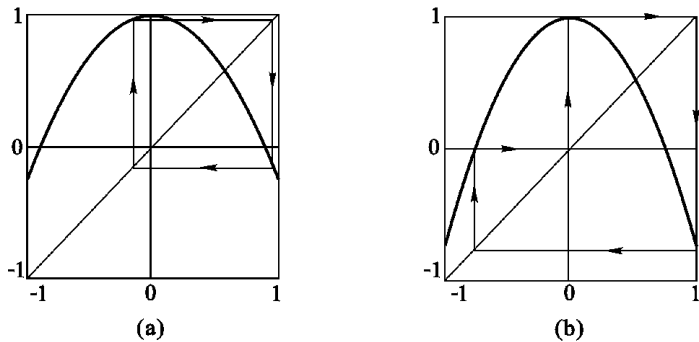


图 1 - 5 - 2 - 3 周期 2(a)和周期 3(b)轨道示例

C. 轨道点 x_i 永不重复, 永不进入任何周期状态, 这里还包含各种不同的可能性。我们盯住一个点 x_k , 每迭代一定次数, 轨道点就回到 x_k 附近来; 如果要求轨道点更靠近 x_k , 就必须迭代更多次。然而, 任何轨道点都不准确重复 x_k 的数值。这种情形称为准周期轨道。

D. 与以上三类不同, 所有轨道点随机地取值, 看不出任何规律性; 取出轨道中任意长的一段, 就像是一批在一定范围内随机分布的数字。自然, 偶尔会遇到某个轨道点, 其数值很靠近先前有过的一点, 但又不准确相同。这种靠近事件的出现间隔也无规律可循, 这是一条随机轨道。

E. 还有一种可能的状态是: 轨道点像是随机地取值。但取出有限长为一段轨道点进行精度有限的观察时, 又会发现其中有某些近似的重复图式或“结构”。如果把这些近似的重复图式作为考察的单位, 则它们在整个轨道中的出现方式又是随机的。这是一种混沌的轨道。如图 1-5-2-4 所示。

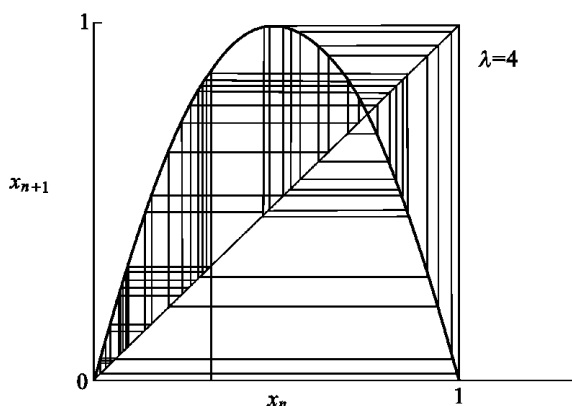


图 1-5-2-4 混沌

确定论系统中的随机轨道是混沌轨道的特例, 即其中近似重

复图式的长度为 1 ,没有任何局部结构。混沌轨道同任意长的周期轨道都有充分大的偏离。

上面我们从最简单的无代际交叠的虫口模型出发 ,叙述了混沌的概貌。从虫口模型的初衷看 ,周期 2 的出现有着特别的实际意义。它表示虫口数目以 2 年为周期 ,呈现多寡交替。倍周期现象在客观世界中比较常见。

一般来说 ,在鼓励和抑制两种因素起作用的过程中 ,在考虑了“过犹不及”的模型里 ,都有可能出现倍周期分岔和更复杂的动力学行为。周期 2 是较容易看到的制式。从这个简单的模型我们看到 ,混沌动力学系统不但可以产生复杂的行为 ,而且蕴藏着许多规律。混沌是一种非周期的动力学过程 ,看似无序 ,杂乱无章 ,但却蕴藏着丰富的内涵 ,如奇异吸引子、分岔、窗口等。因此可以说 ,混沌中蕴含着有序 ,而绝不仅仅是一个无从控制的随机过程。近年来已发展了一些有效控制混沌的方法 ,为某些疾病的治疗带来了希望。

另外 ,我们着重指出 ,迭代是一个完全确定性的演化方程 ,不包含任何随机因素 ,但它确实可以导致完全随机的轨道。认识到这种可能性 ,是 20 世纪科学的一个重要进步 ,也是人类认知的一个大飞跃。确定论描述和概率论描述之间并没有不可逾越的鸿沟 ,而是存在着由此及彼的桥梁。

第三节 分 形

当今 ,科学技术的发展日新月异 ,人类对自然界奥秘的认识正在深化与飞跃。世界正经历深刻而巨大的变化。一批崭新的科学概念和思潮正在崛起 ,并逐步形成各具特色的新学科 ,以迎接世界向着未来发展面临的挑战。分形论就诞生在以多种概念和方法的相互冲击和汇合为特征的当代。

分形是指其组成部分以某种方式与整体相似的形。可以展开来说 ,分形是指一类无规则、混乱而复杂 ,但其局部与整体有相似

性的体系,称这样的体系为自相似体系。分形的研究对象是具有自相似的无序系统。因此,分形的研究有助于我们加深对物质世界的认识。

一、分形论的建立

在经典的欧几里得几何中,我们可以用直线、圆锥、球等这一类规则的形状去描述诸如墙、车轮、道路、建筑物等人造物体,这是极自然的事情,因为这些物体本来就是根据欧氏几何的规则图形生成的。然而在自然界中,却存在着许许多多极其复杂的形状,如山不是锥,云不是球,闪电不是折线,雪花边缘也不是圆等等,再如宇宙中点点繁星所构成的集合更非经典几何所能描述的,它们不再具有我们早已熟知的数学分析中的连续、光滑这一基本性质了,这一大类奇形怪状长期以来被认为是“不可名状的”或“病态的”,而很容易被人们忽视了。

在漫长的岁月中,曼德布罗特通过对照实验数据,用由分析、统计和拓扑融合成的理论,研究了上述不规则形状和过程的性质,逐渐形成了对自然界和现实世界的一幅图画。大约经历30年的不懈奋斗,终于以奇异而真实的面目出现于世,这就是今天的分形论。

曼德布罗特于1924年出生在华沙的一个犹太家庭中。父亲是成衣批发商,母亲是牙科医生。1936年迁往巴黎。他受的教育很不正规,时断时续,他自己说从来没有学过字母表,没有学过5乘5以上的乘法表。巴黎解放后,由于他的天赋好,虽然缺乏准备,却通过了高等师范和高等工业学院的严格考试。由于学术思想上的尖锐冲突,他离开法国到美国居住。1958年,他接受国际商用机器公司(IBM)沃森研究中心的聘请,开始他的异国科学研究生涯。

他孤独地搜寻道路。他尝试过语言学,解释词的一种分布规律,在哈佛大学教过经济学,在耶鲁大学教过工程学。在爱因斯坦

医学院教过生理学等等。他自己说过：“当我听到过去从事过的一连串职业时，常常怀疑自己是否存在，这些集合的交集肯定是空的。”他在 IBM 公司工作的初期，主要是研究商品价格，不久碰上公司非常关心的一个实际问题。工程师们被计算机和计算机之间通讯用的电话线中的噪声问题所困扰。工程师们采用加强信号来淹没噪声的方法，但某种自发噪声怎么也无法消除，而且偶尔会抹掉信号，而造成误差。他提出一种描述误差分布的方式，可以对观察到的模式作出预言。

假设把一天分成小时，可能有一小时无误差，其后一小时可能有误差，然后又可能一小时无误地通过。随后把有误差的一小时分为 20 分钟的小段，又可以发现带有误差聚群和完全无误差的期间。但根本不可能找到一段时间，其误差是连续分布的。在任何一群误差中，无论时间多短，总会存在几段完全无误差的传输。无论是在小时或在秒的尺度上，无误差期间与有误差期间之比总是常数。

曼德布罗特所作的描述，正是以 19 世纪数学家康托尔命名的抽象构造。这种高度抽象的描述对试图控制误差是有意义的。分析表明，不应靠加强信号来淹没噪声，而应采用适当的信号为好。

弯弯曲曲的海岸线，蜿蜒起伏的山峦轮廓线，变幻飞渡的浮云，袅袅上升的烟柱，一泻千里的江河，……他反复观察，持续思考，试图从中悟出大自然的真谛。1967 年，他在美国《科学》杂志上发表了一篇题为“美国的海岸线有多长？”的论文。他对海岸线的本质作了独特的分析而震惊了学术界。这篇论文也成为他自己思想的转折点，分形概念就从这里萌芽生长。

曼德布罗特于 1973 年在法兰西学院讲学期间，提出分形几何学的思想，认为分形几何学可以处理自然界中那些极不规则的构型，指出分形几何学将成为研究许多物理现象的有力工具。这个期间他关于分形的思想逐步明朗化，但并未给出明确名字。1975 年，在他写第一本专著时创造出了“分形”这个新术语。今天，这

个词已被众多学术界人士所熟悉,并激发了巨大的兴趣。1977年,他出版了奠基性的著作:《分形·形、机遇与维数》,提出了分形的三要素,即构形、机遇和维数。紧接着于1982年又出版了《自然界的形几何学》,这两部著作的发表标志着分形论迈进了现代新兴学科之林。

曼德布罗特的持续奋斗,获得了巨大成就,赢得了崇高的荣誉。他是IBM公司的高级研究员,哈佛大学应用数学教授,美国国家科学院院士,美国艺术与科学研究院院士。近年来,他获得了许多荣誉奖。获1985年度巴纳德奖,以表彰他以科学造福于人类取得新成就;1986年获富兰克林奖;1988年获科学为艺术奖等。从中我们似乎可以看到分形论所具有的旺盛的生命力。

二、分形类型

1. 广义分形

分形论的自相似性概念,最初是指形态或结构的相似性。也就是说,在形态或结构上具有自相似性的几何对象称为分形。研究这种分形特性的几何学称为分形几何学。它是曼德布罗特创立的。而后随着研究工作的深入发展和领域的拓宽,又由于一批新学科,如系统论、信息论、控制论、耗散结构理论和协同论等相继涌现的影响,自相似性概念得到充实与扩充,把信息、功能和时间上的相似性也包含在自相似性概念之中。于是,把形态(结构),或信息,或功能,或时间上具有自相似性的客体称为广义分形。

广义分形及其生成元可以是几何实体,也可以是由信息或功能支撑的数理模型;分形体系可以在形态、信息和功能各方面同时具有自相似性,也允许只有其中某一方面具有自相似性;分形体系中的自相似性可以是完全相同,这种情况占绝大多数,相似性有层次或级别上的差别。级别最低的为生成元,级别最高的为分形体系的整体。级别愈接近,相似程度越好,级别相差愈大,相似程度愈差,当超出某一范围时,则相似性不复存在。

2. 自然分形

自然分形所涉及的范围极广阔,内容十分丰富,遍及数学、物理学、化学、材料科学、表面科学、计算机科学、电子学、微电子技术、生物学、生理学、医学、农学、天文学、气象学、地理学、地质学和地震学等等。总之,自然界客观存在的或经过理论抽象的,具有自相似的客体,称为自然分形。

当对具有自相似性的具体系统进行分形分析时,根据系统的具体特点,又可以分为几何分形、功能分形、能量分形、信息分形和重演分形等。

自相似性表现在系统的几何结构和形态上的,称为几何分形。如具有线状缠绕的高分子链为线状分形,具有表面自相似结构的催化剂表面,为表面分形,材料制备过程中形成的凝聚团具有体积分形的特性等。

在功能或信息方面具有自相似性的客体,分别称为功能分形或信息分形。这两方面研究的领域十分广阔,从植物生长到人类发育,从都市边界线的变迁到气象预报,都关系到功能和信息的分形性质。一个胡萝卜的根细胞可以培养成一株完整的胡萝卜。人类的一个受精卵可以在母腹中发育成一个人。可见细胞是一个分形元,它内涵着整体的全部功能和信息。中医的人体穴位群,在功能和信息上是人类各个器官的缩影。针灸治病的缘由就在于此。

无线电通信的能量传输和地震波的传播等能量传递过程存在着自相似特征。能量传播方面存在自相似性的系统,称为能量分形。

系统在演变过程中,在时间轴上具有自相似性质称为重演分形或时间分形。如生物学中的重演定律就是重演分形的典型例子。实际上,整个有机界的发展史与个别有机体的发展史之间都存在着惊人的相似。太阳黑子爆炸,地震周期重演等,都是在时间轴上表现出系统发展和演变的自相似性。

3. 社会分形

社会科学是研究人类社会各种文化现象的。社会科学从来十分关注自然科学的新理论和新成就,常常乐于吸收自然科学领域提出的新概念和新方法。当代一大批新科学先后问世,分形论是最年轻的一支新军。分形概念已走出自然科学的天地,触角伸向广阔的社会领域。社会科学的学者们十分敏感于这一新兴学科的新颖思想和独特的方法,很快被引入到广阔的社会科学领地,作为社会科学定量化和现代化的新方法和新途径。社会分形是指人类社会活动或社会现象中所表现出来的自相似现象,如史学分形、文艺分形、思维分形、美学分形、经济分形和管理分形等。

三、分维

维数是几何学和空间理论的基本概念。1 维的直线,2 维的平面,3 维的普通空间,这些都是人们的常识。但是如果有人问:雪花、云彩、山脉、江河、树枝、花朵,还有漩涡、烟圈,等等自然构型的维数有多少?传统数学难于作出回答,至多只能定性描述。分形论则将给出定量的分析,用分维加以表征。

何谓维数?从传统的观点看,维数是确定几何对象中一点位置所需要的坐标数,或者说独立变量的数目。科学上有时根据处理问题的需要,经常推广到大于 3 的 n 维空间。在这种推广中,人们总是把维数看成非负的整数。实际上,在处理质点运动时,把坐标和动量看作独立变数,把 N 个粒子的系统看作 $6N$ 维相空间中一个点的运动是力学的基础。由此可见,把维数作为自由度的设想是非常自然的。上述这种认识定义的维数通常叫做经验维数。

但是,早在 100 多年以前,即 1890 年,对经验维数的这种认识已提出了深刻的质疑。这是因为可以只用 1 个实数表示应是 2 维正方形的任意点。数学家皮亚诺构造出了以他名字命名的曲线,该曲线具有自相似的特征,处处都不能微分。用一条皮亚诺曲线可以把平面完全覆盖。皮亚诺曲线的考虑方法既可适于 3 维以上,同时也可以用一个实数表示 n 维空间的任意点。也就是说,如

果从自由度的角度考虑,也可以把 n 维看作 1 维。由此看来,把独立坐标数视为维数在数学逻辑推理上是不允许的。

为了避免上述矛盾,必须重新考虑维数的意义。

我们来考虑一个简单的几何图形,取一边长为单位长度的正方形,若每边放大 2 倍,则正方形的面积放大 4 倍。其数学表达式为 $2^2 = 4$,这是 2 维图形。

对 3 维图形,如考虑一个棱边长为单位长度的立方体,若令每个棱边长度放大 2 倍,则立方体体积放大 8 倍。其表达式为 $2^3 = 8$ 。诚然,对于一个 d 维的几何对象,若每个棱边长度都放大 L 倍,则这个几何对象相应地放大 K 倍。归纳上述结果, d 、 L 和 K 三者的关系应为

$$L^d = K$$

读者不难验证,对任何普通几何对象,这个简单关系式都是成立的。现在取对数,则有

$$d = \ln K / \ln L$$

这里 d 不必是整数,对具有奇异构型的分形结构,体系的维数一般是分数,只有个别情形可以是整数。这就是 1919 年豪斯道夫引进的分数维概念。所以称为豪斯道夫维。

将上边式子应用到普通的几何体,算得的维数自然都是整数。但对于一些具有无穷层次自相似的结构,其计算结果将给出非整数维。人们习惯上称之为分维。维数从最初只能取整数扩展到可以取分数,这是维数概念发展中划时代的突破。

四、几种规则分形

分形可分两类:一类是规则分形,又称决定论的分形,它是按一定规则构造出的具有严格自相似性的分形;另一类是无规则的分形,它是在生长现象中和许多物理问题中产生的分形,其特点是不具有严格的自相似性,只是在统计意义上是自相似的。

下面介绍几种在现代文献中谈论最多的分形。

1. 科克曲线

科克曲线是在 1904 年由瑞典数学家科克设计的,属于人们称之为“妖魔”曲线的一种。其特点是处处连续,但处处不光滑、不可微。过去人们对它感到不解和难以掌握,故称为“妖魔”曲线,它们也是从一个普通的图形出发,按一定的规律进行无穷多次演变而形成的。作为出发点的图形,通常是一条直线或一个多边形,称为源多边形,其演变规律往往是将源多边形中直线段(比如源多边形的各边)用折线来取代,此折线称为生成元。源多边形和生成元一旦确定,该分形也就确定了。我们所介绍的科克雪花曲线,它的源多边形为正三角形,如图 1-5-3-1(a)所示,生成元如图 1-5-3-1(b)所示。在图 1-5-3-2 中示出从该正三角形出发进行演变的过程:首先将正三角形每个边的直线按生成元变形,接着将所得六角形各边的直线再按生成元变形,如此不断继续下去,由于它的形状酷似雪花的外沿线,故称为科克雪花曲线。考虑到在极限情况下的曲线是经无穷多次演变而得来的,组成曲线的折线长度都趋于无穷小,所以它既是处处连续,但又处处不可微。由于在每步演变中都会使曲线的长度增加,所以科克雪花曲线的总长度趋于无穷,但它却是一个闭合曲线,所围的面积是一个确定数值。

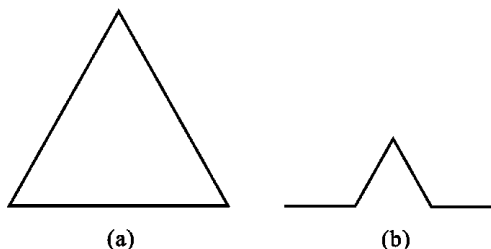


图 1-5-3-1 科克雪花曲线的源多边形和生成元

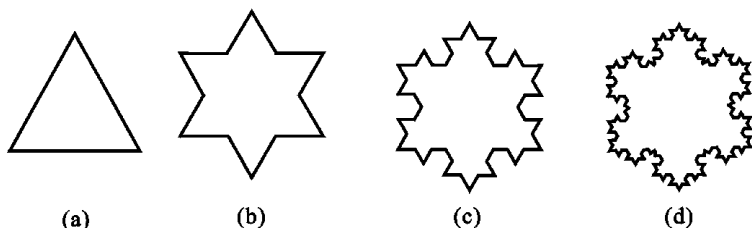


图 1 - 5 - 3 - 2 科克雪花曲线的生成过程

设最初等边三角形边长为 1 ,边周总长为 3 ,对以后各图形均取边周的每一直线段落为测量长度单位 ,则每经一次演变后 ,测量单位减小为原来的 $\frac{1}{3}$,而直线的数目则增加至原来的 4 倍 ,即边周曲线总长增至原来的 4 倍。根据维数定义 ,得到维数是

$$d = \frac{\ln 4}{\ln 3} = 1.261\ 86$$

2. 谢尔宾斯基垫片

取一等边三角形 ,将其分割为 4 等份 ,挖去其中间的那一份 ,然后把剩下的三个三角形的每一个又分成四等份 ,分别又挖去其中间那一份 ,如此不断重复 ,所得的图案便构成一无穷层次自相似的结构(图 1 - 5 - 3 - 3) 。试把某次挖割后留下的三个三角形边长放大 2 倍 ,即 $L=2$,这样每个三角形就等于挖割前的三角形 ,也就是说边长放大二倍得到三个这样的三角形 ,因此 $k=3$ 。于是得谢尔宾斯基垫片的维数为

$$d = \frac{\ln 3}{\ln 2} = 1.584\ 96$$

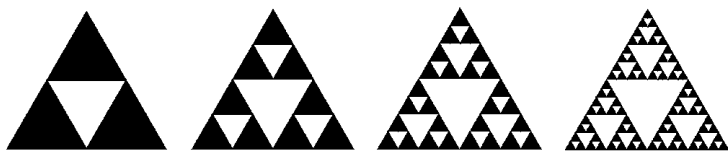


图 1 - 5 - 3 - 3 谢尔宾斯基垫片

参 考 文 献

1. 黄润荣,任光耀. 耗散结构与协同学. 贵阳:贵州人民出版社, 1988
2. 张建树. 混沌生物学. 西安:陕西科学技术出版社, 1998
3. 王东生,曹磊. 混沌、分形及其应用. 合肥:中国科技大学出版社, 1995
4. 杨晨如. 分形物理学. 上海:上海科技教育出版社, 1996
5. 陆果. 基础物理学教程. 北京:高等教育出版社, 1998

第二篇

这一篇介绍现代高新技术的几个重要领域。它们分别是生物技术、微电子技术、计算机技术、现代信息技术、新材料技术、激光技术、空间技术、新能源技术、海洋开发技术、环境保护技术和现代教育技术。

现代高新技术究竟应该包括哪些内容,现在还没有准确和统一的说法。我们这里所介绍的现代高新技术,基本是根据世界各国制定的发展现代高新技术的战略规划的内容而选定的。

现代高新技术

第一章 生物技术

从现代科学意义上说,生物技术这个名词是在 1975 年开始频繁出现的。其实,生物技术这个词最初是由一位匈牙利工程师卡尔·依里基(Karl Ereky)于 1917 年提出的。当时他提出的生物技术这一名词的涵义是指用甜菜作为饲料进行大规模养猪,即利用生物技术将原材料转变为产品。鉴于生物技术的迅速发展,1982 年国际合作及发展组织对生物技术这一名词的含义进行了重新定义:生物技术是应用自然科学的原理,依靠微生物、动物、植物等作为反应器,将物料进行加工以提供产品来为社会服务的技术。生物技术已逐步成为与微生物学、生物化学、化学工程等多学科密切相关的综合性边缘学科。

生物技术是当代的高新技术,它通过人为控制的方法,改变生物的遗传性状,定向地创造出生物新品种或新物种,生物技术是一个具有巨大潜力的新技术群,它包括酶工程、基因工程、细胞工程和发酵工程。有的科学家预言:以基因工程为标志的生物技术将成为 21 世纪的技术核心。本章讲述克隆羊“多莉”的诞生、基因工程产生和发展的历史、酶工程、发酵工程、细胞工程、基因工程、生物技术的应用和前景等内容。

第一节 克隆羊“多莉”引起的震撼

1997 年 2 月 24 日,英国爱丁堡附近的罗斯林研究所与 PPL 生物技术公司宣布,他们利用一只 6 岁母羊的体细胞于 1996 年 7 月成功地繁殖出了一只小母羊“多莉”。这头看起来与普通绵羊别无二致,名叫“多莉”的小绵羊问世的消息在全世界引起了强烈反响,举世大哗。从科学家到大学生,上至各国政要,下至普通百

姓众说纷纭,真可谓一石激起千重浪。克隆羊多莉的诞生被誉为20世纪最重大,同时也是最有争议性的科技成果之一。

“克隆”这个词对生物界可以说是尽人皆知,但对非生物界的人来说可能相对陌生,而许多老百姓更是不知道“克隆”为何物。

“克隆”是英文“Clone”的音译,其含义是“无性繁殖”。对于动物而言,克隆动物就是指不经过生殖细胞而直接由体细胞获得新的个体。所谓“克隆羊”就是无性繁殖的羊,它没有父母双亲,而是某一只羊的“翻版”后代。形象地说,就像孙悟空拔下一根汗毛再吹口气,便又生出一个一模一样的小孙悟空。克隆一词既可作名词解释为“无性繁殖系”,又可作动词解释为“使无性繁殖系”。

克隆绵羊“多莉”诞生的简要过程是:英国科学家们首先从一只6岁的芬兰母羊的乳腺中提取一个普通细胞,在特殊条件下培养6天,繁殖成为一个细胞系,再从苏格兰黑面母羊体内取出卵细胞,通过显微操作的方法移出卵细胞的细胞核,并将芬兰母羊的乳腺细胞与苏格兰黑面母羊的无核的卵细胞融合,得到重组的卵细胞,并开始增殖。最后将移核后开始发育的重组卵细胞植入第三头母羊(即代孕母羊)的子宫,最终产下发育完全的羊羔。就这样,世界上第一只用无性繁殖技术由成年动物体细胞复制出的哺乳动物就诞生了。

按照哺乳动物界的规律,动物的繁衍须由两性生殖细胞来完成,由于父体和母体的遗传物质在后代体内各占一半,因此后代绝对不是父母的复制品。克隆绵羊的诞生就意味着人类可以利用动物的一个细胞大量生产出完全相同的生命体,完全打破了千古不变的自然规律。这是遗传工程的巨大飞跃,也是人类历史上的一项重大科学突破。

每一个植物和动物个体,从一株小草到一棵大树,从一只蚂蚁到一头大象,都是由一个细胞经无数次分裂后形成的无数个细胞组成的,每次细胞分裂时,细胞中遗传信息携带着的DNA分子都要精确地“拷贝”并平均分配到两个分开的新细胞中,其结果是,

尽管叶子和根的细胞的不同,肌肉和血液中的细胞不同,但同一个植物或动物个体身上的每个细胞的细胞核中携带的遗传信息是完全相同的,从理论上讲,从动物或植物上取下任何一个细胞,在合适的条件下都能发育成一个新的个体,因其携带的遗传信息相同,所以这个新的个体应是原来个体的“复制品”,这种现象叫做“细胞的全能性”。现在的科学技术水平能够在许多植物上实现这种细胞的全能性,即从植物上取下一个细胞,可以培育成一株新的植株。

包括人类在内的高等动物,都是严格按照有性繁殖的方式繁衍后代,即分别来源于雌雄个体的卵细胞和精子细胞融合,形成受精卵,受精卵经过不断分裂,最后孕育成一个新的个体。也就是说,在高等动物体内,只有受精卵能够实现细胞的全能性。这种有性生殖的后代分别继承了父母各一半的遗传信息。

鉴于此,科学家们设想,能不能借助受精卵,甚至卵细胞实现动物细胞的全能性,使高等动物进行无性繁殖,获得大量完全相同的动物“拷贝”。

这种研究是从胚胎分割研究入手的,当牛的受精卵细胞经数次分裂后形成一个小细胞团——胚胎时,科学家将胚胎分成两半,并分别移植到两只母牛的子宫中,结果生出了两只“双胞胎牛”。

随后,科学家们又开始进行胚胎细胞的核移植研究,当一个受精卵经过分裂形成数个或十几个细胞后,将这些细胞分开(注意,这时每个细胞已失去了发育成完整个体的能力),将这些细胞的细胞核取出来,分别移植到别的已去掉细胞核的受精卵或细胞中,再分别移植到雌性动物的子宫中孕育成熟,这样一个受精卵就产生了“多胞胎”,核移植后的细胞分裂后获得的第二代细胞还可以再进行核移植,还有第三代、第四代……这样一个受精卵就会产生无限多的“多胞胎”,这种核移植的技术便被称为胚胎克隆。

英国科学家培育成功的绵羊“多莉”,因其细胞核来自一头成年绵羊身上的乳腺细胞,这比胚胎克隆更进了一大步。克隆羊

“多莉”的科学意义正在于此。

动物克隆技术的研究,不仅使人们对高等动物的发育机理的认识不断深化,而且具有巨大的经济和社会价值。利用这项技术,可以加快优良家畜品种的繁殖速度,从而有可能使畜牧业发生一场“绿色革命”,还可以挽救大熊猫等濒危野生动物,维持生态平衡,还可以培育出一批特殊的牛、羊品种,其奶汁中含有各种药物或其他有用的蛋白质,此外,科学家们设想利用这种技术,培育出为人类器官移植提供器官来源的特殊动物品种,甚至直接利用克隆技术“生产”出人体的心脏、肝脏、乳房、耳朵等各种组织和器官,供临床使用。

就在克隆绵羊问世不久,1998年7月初日本科学家宣布采用类似的核转移技术得到了两头克隆牛,两个星期之后,美、英等国的科学家们通力合作又宣布成功地获得了几十只克隆鼠。以上都是从雌性动物身上的细胞克隆出来的动物。1999年6月,夏威夷大学的柳町隆藏和若山辉彦采用雄性老鼠尾巴上的体细胞成功克隆出雄鼠,而且和原来的雄鼠一模一样,都是浅红色的。2002年5月,澳大利亚博物馆馆长迈克阿彻在悉尼宣布,科学家从保存130年之久的塔斯马尼亚虎标本中提取了DNA并复制成功,这只标本1866年以来一直泡在酒精中保存。如果克隆塔斯马尼亚虎成功,可以推而广之到其他灭绝的动物。克隆动物已经获得成功,从理论上讲,利用此技术克隆人是可能的。2001年11月,美国先进细胞技术公司(ACT)利用克隆技术培育出人类早期胚胎(4、6细胞期),它离克隆人只有一步之遥,因为只要把早期胚胎移入妇女子宫,就有可能发育成克隆人。这正是克隆绵羊的消息引起轩然大波,其轰动效应不亚于制造出原子弹的原因所在。

英国科学家维尔穆特在为他们的杰作——克隆绵羊起名时颇费了一番脑筋。“多莉”这个美妙的名字是维尔穆特借用了他所喜欢的乡村歌手多莉·帕顿的名字,这多少有些浪漫色彩。

克隆羊能否产生下一代?1998年4月13日,多莉顺利产出

了它的第一只重 1.7 kg 的母羊羔,起名邦尼。邦尼的诞生表明,由一只成熟细胞克隆出的羊可以受孕并足月怀胎,产生一个健康的羊羔。

伊恩·维尔穆特博士是克隆羊“多莉”的培育者,是英国爱丁堡罗斯林研究所的胚胎学家。他出生于英格兰中部城市沃里克附近的一个名叫汉普顿·露塞的地方,曾就读于诺丁汉大学,辅导老师是世界著名生殖学专家埃里克·拉明,毕业后他进入了胚胎学领域。他曾说:“我知道动物的基因技术将是我生命中的追求。”1971年,他去剑桥大学达尔文学院深造,两年以后在那里获得了博士学位,他博士论文的题目是《关于猪精液的冷冻技术》。毕业以后,他立即前往苏格兰的爱丁堡市加入了罗斯林动物繁殖研究机构,以后,该机构发展为罗斯林研究所。

维尔穆特博士喜欢漫步于苏格兰的山林中,爱好饮用一种优质的苏格兰威士忌。他居住在距爱丁堡不远的的一个宁静的小村庄。他说:“这个地方实在太小了,你在地图上不可能找到。”其实,维尔穆特博士真正的兴趣却是在实验室,他在实验室里度过了整整 23 个年头,每天至少在那里工作 9 个小时。

就在他的实验室里,维尔穆特博士率领着一个由 12 名科学家组成的小组完成了一项令世人惊叹的科研项目:首次“无性繁殖”了一只哺乳动物——绵羊“多莉”。1996 年 7 月,当一只被命名为“多莉”的小羊羔“咩咩”落地时,他们终于成功了。虽然这项实验已经进行了一段时间,但是,整个实验的全部细节只有 4 名科学家清楚,维尔穆特博士认为,这种保密措施是非常必要的,这是为了等待第一只“无性繁殖”小羊羔(又称:“克隆绵羊”)的顺利诞生,即使在诞生之后,他们还是保持了较长一段时间的沉默,在此期间,他们登记申请了专利,确保这项惊人的生物新技术被世人认可。1997 年 2 月 23 日以前,除了维尔穆特博士及其科学研究小组以外,世界舆论对此一无所知。

与此同时,这项生物学上先进的技术也带来了新的问题,因为

“无性繁殖”技术在哺乳动物——绵羊身上取得了成功,从理论上讲,人类自身亦可进行无性繁殖,这必将导致伦理学和哲学方面一系列难题的产生。

接触过维尔穆特的人都高度评价说:“维尔穆特给人的印象是做事谨慎,工作勤奋,为人诚实,并且富有创见性。”

目前,维尔穆特博士和妻子维安正过着平静的生活,他们的三个子女都已长大成才。

动物克隆的发展经历了一个漫长的历史。动物克隆首先要用到核移植技术,而核移植技术最先于1934年在单细胞有机体中取得成功。1938年,斯伯麦姆(Speman)证明在两栖类动物中,8细胞期以前的胚胎细胞核具有发育全能性,布里格斯(Briggs)与金(King)在1952年成功地用豹纹蛙囊胚期细胞核进行了一次核移植试验并获得可以摄食的幼体。

1975年,哥顿等继续用成年青蛙脚蹼角质化细胞核进行移植试验并获得了可以摄食的蝌蚪,这进一步证实了上述观点。对于哺乳动物的核移植试验最早由伊尔漫斯(Illmenses)与惠普(Hoppe)于1981年提出,并在1982年报道体内细胞群细胞核可以支持去核1细胞期小鼠卵的早期发育。莫诃格莱斯(Mc Grath)等人在1984年发现来源于1细胞期和2细胞期的小鼠细胞核可以使去核卵发育成胚胎,而来源于4细胞期或更后期的细胞却没有这个能力。

开创家畜克隆先例的先行者是英国科学家威尔莱森(Willadsen),1986年,他将绵羊8细胞期及16细胞期分裂球与去核未受精卵融合,并用仙台病毒或电激诱导,成功地进行了一次移植细胞核绵羊克隆的尝试,从此开启了家畜哺乳动物克隆的先河。在接下来的几年里,类似的试验也分别在牛、兔、猪和山羊中取得成功。开姆皮尔(Campell)与威尔马特(Wilmut)在1996年又首次报道了利用培养细胞系的细胞核作为核供体进行了一次成功的试验,使哺乳动物克隆又朝前迈出了一步。

我国的克隆技术虽比不上克隆多莉的技术,但仍处于世界先

进水平。中国至少应用核移植技术已经克隆出鼠、兔、猪、牛、羊等五种哺乳动物。

著名生物学家童第周早在 20 世纪 60 年代就带领一批科学工作者对金鱼、鲫鱼做了大量的细胞核移植实验,积累了丰富的资料。对哺乳动物进行核移植的设想,童第周也早在 70 年代就提出来了。

1990 年 5 月,我国哺乳动物的核移植首先在山羊上取得突破。西北农大畜牧所张涌教授及其同事用两年的时间用核移植的办法得到了一只克隆山羊。这也是用核移植技术获得的世界首只克隆山羊。

1995 年 7 月,华南师大与广西农大合作,通过核移植获得一头克隆牛。两个大学的科研人员从黄牛的卵巢中取出未成熟的卵母细胞,在体外培养成熟后,吸出其细胞核。另一些培养成熟的卵细胞则用黑白花公牛的冷冻精液进行体外受精,得到体外受精的杂种胚胎,将胚胎细胞打散为单个细胞后,再将一个细胞显微注入上述去核的卵母细胞的卵周隙内,用电激法把两者融合,融合后的克隆胚胎经体外培养 9 天后,将它植入周期发情的奶牛子宫内,经孕育成熟足月,就产下这头奶牛、黄牛杂种克隆牛。这是国内首例应用完全体外化技术进行的牛细胞核移植。

1995 年 10 月,西北农业大学畜牧所克隆猪获得成功。研究过程是这样的:首先把猪的胚胎用手术分成单个细胞,再到屠宰场取猪的卵巢,把卵母细胞取出来,进行体外培养成熟,再把卵母细胞染色体去掉,将整个细胞用显微操作放进卵母细胞的卵周隙,进行电融合,细胞质和细胞核同时重新发育为一个胚胎,再用手术操作把胚胎移植到受体猪的输卵管里,妊娠产仔。共移植了 15 头猪,有一头产了 6 个仔。

1996 年 12 月,6 只克隆鼠在湖南医科大学人类生殖工程研究室诞生。他们的这几只克隆鼠的与众不同之处在于它们是从优生学的角度被克隆出来的。把父母有病的细胞核去掉,可以帮助生

出健康的孩子,这对于克服遗传病对人类的困扰有重要意义。

1998年2月,上海医学研究所和复旦大学合作进行的转基因山羊已取得了重大进展,在一头转基因的母羊乳汁中分泌出一种有活性的治疗血友病的人凝血因子IX。课题组新创造的转基因羊技术属国际首创,标志着我国的动物转基因技术已达到国际领先水平。

目前,我国科研人员采用体外受精、显微注射后培养、阳性胚移植前分子筛选等新技术,使获转基因羊的阳性率大大提高。目前,已移植胚胎85枚,获转基因羊4只,利用新西兰丰富的卵巢资源,注射牛羊胚胎7000多枚,并为研究转基因牛作好了充分的技术准备。

第二节 基因工程产生和发展的历史

据有关科学家预测,以基因工程为标志的生物技术将成为21世纪技术的核心。没有基因工程就谈不上系统的生物技术。

要想明白基因工程,首先应该了解基因工程产生和发展的历史。

基因是gene的译音。基因一般指细胞核中染色体上的遗传单位,它控制生物性状的发育和表现。因此,基因是遗传的物质基础,也是遗传学研究的核心。

生物有遗传和变异的功能。所谓遗传,就是物生其类,是指生物上下代的相似现象。俗语说:“种瓜得瓜,种豆得豆”“龙生龙,凤生凤,老鼠的儿子会打洞”就是这个道理。所谓变异是指生物的前后代之间或同一代不同个体之间,总是或多或少地存在着一些差异。俗话说:“一母生九子,九子都个别”就是这个道理。

对于遗传和变异奥秘的探讨,可以追溯到若干万年以前。人类的祖先,为了生存,在狩猎、采摘、饲养和种植的过程中,看到了动物和植物的遗传和变异现象,经过多年的探索,其中的奥秘虽然没有揭开,但是,人们利用生物的这个特性培养出了各种栽培作物

和家养动物。仅就我国而论,水稻栽培已有一万年的历史,小麦种植至少也有 4 000 年了。据甲骨文记载,3000 年前的殷商时期,我国就选育出黍和稷,这是同一物种的两个栽培变种。在动物方面,当时我国已盛行饲养马、牛、羊、犬、鸡等家畜和家禽。至于淡水养鱼、植桑养蚕,以及种植果树、蔬菜、花卉等等,我国古书都有很多记载,在世界上居领先地位。这些成就,为遗传学的发展,提供了丰富的资料,然而,在古代,人们对遗传和变异的认识,只是停留在经验上。

对遗传和变异进行比较系统的研究,开始于 18 世纪下半叶到 19 世纪中叶。当时,正处于欧洲资本主义萌芽和发展的时期,工农业生产的发展十分迅速,生物育种蓬勃发展,生物科学领域十分活跃。法国生物学家拉马克(1744—1829)提出了用进废退学说,这是最早的生物进化学说。这个学说的中心论点是环境变化是物种变化的原因。环境变化了,使得生活在这个环境中的生物,有的器官由于经常使用而发达,有的器官则由于不用而退化,这些后天获得的性状能够遗传下去,也就是说,获得性能够遗传。拉马克提出的物种是可变的,生物是发展进化的观点是正确的,但是他用来解释生物是怎样进化的所谓获得性遗传理论是不正确的。

伟大的生物进化论者、英国科学家达尔文(1809—1882),曾随英国海军勘探船“贝格尔”号,作了历时五年的环球旅行,在动植物和地质等方面进行了大量的观测和采集,经过综合分析,形成了生物进化的观点,终于在 1859 年出版了震惊当时学术界的巨著《物种起源》,在这部著作中,他用极其翔实可靠的材料,提出了以自然选择为基础的生物进化学说。概括起来就是“物竞天择,适者生存”。这个学说能够正确解释生物界的多样性和适应性,这对于人们正确认识生物界具有划时代意义。因此,恩格斯把达尔文学说列为 19 世纪自然科学的三大发现之一,并恰当地评价了达尔文的伟大功绩。可是,他对于遗传和变异的现象如何解释,自然选择对遗传和变异如何起作用等问题,却感到束手无策。他说:

“控制遗传性状的法则,大部分还不知道。没有人能够解释:为什么这个遗传而那个却不遗传,为什么小孩往往会带有祖父、祖母及先代祖宗的若干性状。”为解释遗传变异现象,达尔文晚年提出了泛生论,认为生物体各部分都存在能够自身繁殖的粒子,这种粒子被称为“泛子”(pangen)。泛子通过自由运动集中到生殖细胞,而传给子代,使子代表现亲代的性状。泛子的性质可随环境改变,所以亲代获得的性状能够遗传给后代。但是现代生物科学已经证明,生物体内根本不存在这种泛子。在他以后,许多学者对生物的遗传和变异作了进一步探索,其中孟德尔把遗传理论推向第一个高峰。

一、孟德尔与遗传因子

奥地利神父孟德尔(G. J. Mendel)是近代遗传学的奠基人。孟德尔 1822 年生于奥地利海赞多夫(Heinzendorf)一个贫穷的农民家庭里,他幼年时就聪颖好学,21 岁时,因生活所迫而中途辍学,进入布隆修道院当见习修道士,曾兼任中学教师。他于 1851—1853 年在维也纳大学学习自然科学,他长于物理学和数学,尤其对植物学有浓厚的兴趣。1853 年夏,他再次回到布隆修道院。他在修道院的后花园开辟了一块试验田,种植了豌豆、南瓜、紫茉莉、玉米等植物,还饲养了老鼠和蜜蜂。他用这些植物和小动物作实验品,进行杂交试验。其中,卓有成效的是豌豆杂交试验。这项试验工作从 1856 年开始,直至 1864 年结束,历时 8 年。1865 年 2 月,孟德尔在布隆博物学会上宣读了他的论文《植物杂交的试验》,翌年,该学会会刊发表了他的论文。在这篇论文中,他提出了植物具有特殊的遗传颗粒——因子的观点,总结了粒子遗传传递的规律,提出著名的因子分离定律和因子自由组合定律,把粒子性遗传的理论推向一个新高峰。在人类对生物遗传的认识上,大胆地否定了传统的融合遗传或血统遗传的观念。所谓融合遗传就是认为两亲的遗传物质在子代中就像血液那样地混合在一

起,混合后两亲的被稀释的遗传物质决定子代的遗传趋向。孟德尔的遗传理论认为,生物的遗传是由遗传因子所支配的。他的理论没有受到人们应有的重视,被遗忘了 35 年。当时,孟德尔希望自己的工作得到学者名流的肯定和支持,就在《植物杂交的试验》刊出的当年,孟德尔将一份论文寄给了植物学权威耐格里(Naegeli)。但是,耐格里看不起这位不知名的修道士,怀疑后花园的试验结果,给予不礼貌的回答。在耐格里看来,植物的性状只能发生变异,至于孟德尔的试验数据和由此得出的遗传规律,他认为单纯依靠经验,而不是依靠理智,因而加以否定。第二年,孟德尔又给耐格里写了一封长信,详细地说明了自己的工作和结论,希望得到这位权威的支持和帮助。然而,耐格里没有回信,直到耐格里死后,这封信才由他的学生公开发表。以后这封信成为研究孟德尔理论的重要资料。我们可以想像,发现遗传规律的孟德尔当时遭受了多大的冷落,难怪有人认为,如果不是耐格里的压制,现代遗传工程的历史,还可以提早 35 年,孟德尔可能还会做出更大的贡献。

1900 年春天,荷兰植物学家德弗里斯(G. De. Vries),德国植物学家科伦斯(C. Correns)和奥地利植物学家切尔马克(E. Tschermak),几乎同时在不同地方通过植物杂交进行遗传试验,为了解释自己的试验结果,他们查阅了有关文献。在查阅过程中,三人不约而同地发现了孟德尔于 1866 年发表的论文《植物杂交的试验》,使这篇被埋没了 35 年之久的论文,重新公之于世,引起了生物科学界的极大重视。三位植物学家重新发现并且用实验证实了孟德尔遗传定律的正确性。孟德尔遗传定律的重新发现,标志着遗传学进入了一个新时期。它用缜密的科学实验方法和创新的科学思想,来代替两千多年来人们关于生殖遗传的纯粹以粗俗体验为基础的种种臆想,揭示了生物遗传和变异的规律。从此,孟德尔被公认为是遗传学的奠基人,孟德尔谱写了近代遗传学的第一章。遗憾的是,当他由于卓越的科学成就而誉满全球的时候,他已经离

开人间 16 年了。

在《植物杂交的试验》一文中,孟德尔提出了遗传因子的概念,并用不同的字母代替不同的遗传因子。通过试验,孟德尔认识到遗传因子的性质和功能。遗传因子是在生物世代传递中,具有稳定性、连续性、控制性状发育和表现的假定的遗传单位。当时,遗传因子只是停留在逻辑推理上的一个抽象的概念,还没有物质化。遗传因子究竟是什么?孟德尔是不知道的。然而,孟德尔对遗传因子性质和功能认识,已经具有现代基因概念的基本含义。

二、摩尔根与基因

1909 年,丹麦遗传学家约翰森(Johannson)提出以“基因”这个专用术语来代替遗传因子,认为孟德尔关于遗传因子这个概念没有特定的含义,应该摒弃。但是,约翰森所说的基因,仍然是个抽象的概念,基因的物质基础究竟是什么,还是不清楚的。

1909 年,美国胚胎学家、遗传学家摩尔根(T. H. Morgan, 1866—1945)和他的几个学生,在培养的红眼果蝇的群体中,意外地发现了一只白眼雄蝇。他们把这只白眼雄蝇和红眼雌蝇交配,子一代中,无论雌雄都是红眼,这说明,红眼对白眼是显性性状。让子代相互交配得到的子二代中,表现红眼的,既有雄蝇,也有雌蝇,而白眼的只限于雄蝇。为了解释这个现象,摩尔根提出如下假设:控制白眼的隐性基因 w 位于 X 染色体上,而 Y 染色体上没有它的等位基因。为了检验这个假设是否正确,他设计了三个试验。这些试验都是从基因 w 在 X 染色体上为出发点的。试验结果完全证实了摩尔根的假定。这就在基因工程发展史上,第一次把一个具体的基因安插到 X 染色体上,雄辩地证实了基因就在染色体上。1926 年,摩尔根发表了“基因论”,从理论和实践的结合上说明生物的遗传是由基因负责从亲代到子代的性状传递的,这些基因排列在染色体上;一个染色体通常含有许多基因,这些基因在染色体上呈线性排列。摩尔根确定了所有生物的遗传都是由基因决

定的,一个生物体的细胞核里含有一定数量的染色体(例如,人有23对染色体)基因就在染色体上。孟德尔提出的遗传因子,通过摩尔根的研究具体落实到生物体细胞核的染色体上,从而建立了基因理论和染色体遗传学说。摩尔根的研究进一步发现了在同一条染色体上的某些性状的基因彼此靠近,“连锁”在一起的不容易分开的现象和规律,使遗传学继孟德尔发现的两大定律以后又揭示了一个基本定律——连锁定律。由于摩尔根的巨大贡献,他荣获了1934年的诺贝尔奖金。但是,摩尔根提出的基因的化学成分和结构是什么?基因是怎样控制性状的发育等一系列重大问题并没有得到解决。

三、克里克与 DNA

遗传学家经过不断的探索,逐步认识到基因是有遗传效应的DNA的特定区段。生物学家曾错误地认为:基因是由蛋白质构成的,蛋白质是遗传信息的贮存者。

蛋白质的主要功能是进行新陈代谢活动和作为细胞的组成成分。蛋白质是由20种不同的氨基酸以一定顺序连接起来形成的大分子。20种氨基酸的顺序排列的数目是无法估算的,所以存在的蛋白质的种类也是不可胜数的。

20世纪40年代以来,科学家发现了在含有DNA的生物中,DNA是它的遗传物质,在不含有DNA而含RNA的生物中,RNA是遗传物质。

20世纪40年代初卡斯佩森(T. O. Caspersson)用定量细胞化学的方法证明了DNA存在于细胞核中。1944年,美国细菌学家艾弗里(O. T. Avery, 1877—1955)等在用纯化因子研究肺炎双球菌的转化试验中,证明了遗传物质是DNA而不是蛋白质。

1953年4月,英国的物理学家克里克(F. Crick, 1916—)和美国分子生物学家沃森(J. Watson, 1928—)在英国《自然》杂志上,发表了划时代的论文《核酸的分子结构——DNA的结构模型》。

这篇论文提出了脱氧核糖核酸(DNA)分子的双螺旋梯形结构模型。从而解决了DNA分子结构与DNA的自我复制问题,从此诞生了分子生物学,这是生物学领域继达尔文、孟德尔、摩尔根之后新的里程碑。达尔文在1859年发表《物种起源》,提出所有的生物都有进化的历程这样一个普遍规律,孟德尔把遗传观念从融合性观念提高到因子性观念,摩尔根确定基因位于染色体上,沃森和克里克把基因概念具体地物质化了。从此,人们认识到遗传只是信息传递,而不是颗粒传递。信息概念一旦引进了生物科学研究中,就使生命科学研究别开生面,进入了一个崭新的领域。从通过对生命的重要物质基础,特别是蛋白质、核酸等生物大分子的结构和运动规律的研究,逐渐从观察生命活动的现象深入到认识生命活动的本质。对遗传信息的深入研究,揭开了生命活动的“奥秘”。

DNA的双螺旋梯形结构区别于任何生物体或非生物体的化学分子结构。DNA是核酸,核酸是高分子化合物,它的单体是核苷酸,每个核苷酸由一个磷酸分子、一个糖分子和一个碱基(嘌呤或嘧啶)三部分组成。DNA含有的碱基是腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和胸腺嘧啶。因为有4种碱基,核苷酸也有4种,DNA就是这4种脱氧核苷酸的多聚体。DNA是分子量很大的高分子,它含有的碱基数很多。就以100对碱基来说,其排列可能的方式就有 4^{100} 种之多。实际上,一般说DNA分子所包含的碱基对数,要远远超过100对,这样就能组成巨大数量种类的DNA。这就从理论上解决了遗传信息的贮存问题。克里克和沃森他们还进一步提出了DNA分子在聚合酶的参与下,具有精确的自我复制能力,这是生命物质区别于非生命物质的根本所在。

在证实DNA是遗传物质以后,克里克在1957年提出了中心法则,在1958年提出了三联密码,这为阐明DNA功能表现的机理奠定了基础。

中心法则是1957年提出的,并在1970年因逆转录酶的发现

作了修正。所谓中心法则是指细胞蛋白质合成的一条法则。中心法则表明,遗传信息从 DNA 流向 RNA,再从 RNA 流向蛋白质。中心法则合理地说明了在细胞生命活动中核酸大分子的功能是储存和转移遗传信息、指导和控制蛋白质合成。“中心法则”解决了遗传信息的传递途径和流向问题。

1961 年,克里克和同事们用实验证明了关于遗传三联密码的推测。从 1957 年开始,尼伦伯格(M. W. Nirenberg)等就着手解译遗传密码,经多人努力至 1969 年全部解译出 64 种遗传密码。遗传密码及其破译解决了遗传信息本身的物质基础及其含义等问题。

在千变万化的生命世界中,小到 10 nm 左右直径的口蹄疫病毒,大到 30 m 长、135 t 重的蓝鲸;低到菌藻,高到人类,都服从三联体密码和中心法则。

1970 年,史密斯(Smith)发现了一个 II 型限制性内切酶 *Hinf*I,可对 DNA 分子进行体外切割,成功地实现了 DNA 的体外重组。人类开始进入按照需要设计并能主动地改造物种和创造自然界原先不存在的新物种的新时代。由此而兴起以 DNA 重组技术为核心的生物工程不仅推动了整个科学生命的研究,而且打破了自然界不同物种之间不能自由交配和繁殖的束缚,在理论上大大地加快了生物进化的进程,在应用上开辟了以基因工程为核心的生物技术新兴工业。

基因究竟是什么?它与 DNA 有什么关系?现代遗传学的研究认为,基因是有遗传效应的 DNA 的特定区段,是含特定遗传信息的核苷酸序列,是控制生物性状的遗传物质的功能和结构单位。每个染色体含有一个 DNA 分子,每个 DNA 分子上有很多个基因。基因在染色体上呈线性排列。每个基因中可以含有成百上千个脱氧核苷酸。4 种脱氧核苷酸在各个基因中可以按照互不相同的,但对每个基因又有一定的顺序来排列。如果我们把生物的具体性状用“信息”来表示,那么,基因的脱氧核苷酸排列顺序就代表遗传信息。因此说,生物的性状遗传主要是通过染色体上的基因传

递给后代的,实际上就是通过脱氧核苷酸的排列顺序来传递遗传信息的。

四、基因与生命

我们都知道,一个生命最初都是从一个细胞即一个卵子和一个精子结合的受精卵开始的。为什么一个细胞通过逐渐分裂就能够最后长成一个由不同细胞组成的个体?那就是因为在这一个细胞里包含着这一个体的全部信息,而这些信息要按一定的规律展开。比如人,是从一个受精卵开始,要经过胚胎—小孩—青年—成人阶段,他的全身器官是在一步一步地发展,包括他的脑子,不是从一二岁就发达的,而是逐渐发达起来的。在胚胎的发育过程中,器官的形成也有先后的次序。那么,到底是什么因素能够使人的器官按照一定的时间序列和空间位置排列?为什么所有的人基本上是一样的,但又不完全一样,每个人总有一些比较特别的地方?为什么人会经过生长发育—衰老—死亡这样的过程?这一系列问题一直都是科技界和人们关注的问题。经过多年的研究,现在已经基本上弄清楚了一个细胞里边的结构和细胞分裂中各个器官生长发育的信息来源及如何起作用的。细胞由细胞膜、细胞质、细胞核等构成。人体细胞核里边有 23 对染色体,每一个染色体里边有一个脱氧核糖核酸 DNA。DNA 是由 4 种不同的核苷酸组成的两根长链条互相以螺旋状缠绕在一起的链条,然后在空间有一个分布。4 种不同的核苷酸的不同排列顺序,就可以形成某一种特殊的基因。器官生长发育的信息来源于基因,比如控制长一只手的基因,就是由四种不同分子的不同排列次序决定的。就好像用电报码、四角号码、五角号码等可以得出许多不同的汉字来一样。我们现在已知道,在一个人的身体里边有 3 万~4 万个基因,每一个基因又有复杂的分子结构。

1993 年 1 月 7 日印度科学家在全印第 80 届科技大会上报告说,他们通过对 5 种青蛙和蟾蜍的试验证实,动物腿的生长受体内

主宰基因的控制。他们把蝌蚪的尾巴割掉,然后把他们放入含有维生素 A 的溶液中,几天以后,这些蝌蚪的尾巴根部长出了腿,而且是成对生成的。正常情况下,蝌蚪的腿是从尾巴中生长出来的,割掉了尾巴,竟然还长出了腿。很显然,这是主宰基因在起作用。这一发现有可能使失去腿的动物重新长出腿来。

基因是如何启动和关闭的问题,也是科技界和人们关注的。比如要长出一只手来,基因要在某一个时间启动,如在胚胎的第几个星期,才有一部分细胞受到这种影响,分裂生长变成手。同时,等这只手长好以后,这个基因就必须关闭,不能无休止地长下去或再长出一只手来。问题是基因是怎么表达的,即如何在一定的时间次序里把它的信息表示出来而影响生长过程,它又是怎么控制的,即怎么到一定时间就不起作用了。

人的身体里边有许多器官,成分也非常多,人体里有许多内分泌腺,有很多种酶,这些都由不同的基因控制着。如果哪一个基因出了问题,那就会得一种病。现在遗传病相当多,就是因为某一些基因的某个部位上有点错位或分子上有些缺陷造成的。

大家知道,每个人都有人的共同点,但又都长得不完全一样。那么,人的基因中到底哪一块是管共同点的?哪一块是管不同点的?这些基因之间是怎么表达、调控、互相影响的?人的衰老到底是什么基因在起作用?人的细胞一直在不断分裂,为什么人在经历过年轻阶段后就一定变得老气了?这一定是在时间顺序上有的基因关闭了,有的基因开动了所造成的。当然,人不可能总是年轻,这是一条基本的客观规律。但是,研究清楚了这个问题肯定可以延缓这个衰老过程。还有,比如一个人的手被砍断了,有没有可能再开启一个基因,让他再长出一只手来?原则上讲,是可能的,因为他细胞中有这个基因。当然,开启这个基因会有什么后果,这还不知道。有可能乱长起来,或发生很多严重后果。

目前,我们已经实现把一些基因接种到一些动物或植物里边去。例如,1985年中国水生所在世界上第一个做出来的转基因

鱼就是把管人生长的基因从人的细胞里取出来,然后接到鱼的DNA里边去。这种鱼就能产出生长激素来,它就长得特别大。大家都认为这种鱼好,效益高,因为它吃的饲料少,长得又很大。但是,目前没有人敢吃这种鱼,因为这个鱼里边有许多人的生长激素,人吃下去会变成什么样子,这个问题现在还不清楚。再例如,把一些瘦肉猪的基因放到猪里边去,产生瘦肉的基因,这样猪长的瘦肉就多。但发现这种猪很容易生病。可能是因为送进去一个因子的时候,又开启了另外一个基因,把基因的次序变了一下后,启动了有害的基因。启动这种有害基因以后,假如人吃了这种猪肉,会不会产生什么十分严重的后果?所以现在还没有人敢吃它,目前还在做实验。基因接种已在植物里做到了,例如把抗病的基因放到棉花、烟草里去,还有把一些不同品种的基因加以杂合,可以得出新的品种,这些,世界上都在做,我们国家也在做这种事情。

基因能否控制器官形状?科学研究结果作出了肯定的回答。1999年6月,美国科学家已经发现了控制器官形状 of 的基因。美国麦迪逊威斯康星大学的生物技术教授朱迪思·金布尔的研究报告指出,他们在低级蠕虫——C线虫的身上发现了控制C线虫生殖腺(一种复杂的生殖器官)形状的基因,通过操纵它可以随意改变器官的形状。

基因与衰老有没有关系?研究发现基因突变与衰老有关系。1999年10月,加利福尼亚理工学院的朱塞佩阿塔尔迪等人发现衰老与基因突变有关,基因突变随着年龄的增加而增加。

基因与智力有没有关系?1997年11月,英国伦敦精神病学研究所罗伯特·普洛明教授领导的一个科研小组经过六年的研究发现一个与智力发育有关的基因,这一基因位于第六条染色体上,代号为IGF2R,这一基因可控制与智力发育有关的蛋白质的形成。

随着科学技术的进步和生物学家的多年研究工作,人们对DNA的认识和改造取得了突破性进展。

1. 我们可以看见DNA了

用量子穿透显微镜就可以看见 DNA 的螺旋状结构。中国科学院化学所就有这种量子穿透显微镜。

2. 可以找到一种内切酶把 DNA 切断

这是一个重要的突破,由于 DNA 里边包含有很多基因和控制表达基因程序的东西,只有把 DNA 一段一段拿出来,才能弄清楚那部分起什么作用。

3. 能够复制 DNA

现在,有两种复制 DNA 的方法:一种方法是用单克隆抗体去复制。单克隆抗体能把某一种特殊的基因变成抗体,与抗原相结合,然后,就能很快地繁殖;另一种方法是用 DNA 的链式的聚合酶去复制。DNA 的链式的聚合酶也能够把 DNA 的某个片段很快地重复。这几个基本的技术都是在实验室里发展的。这也说明科学研究的重要性。

4. 绘制完成了人类基因组序列图

始于 1990 年的国际人类基因组计划,被誉为生命科学的“登月”计划。各国所承担工作的比例约为美国 54%,英国 33%,日本 7%,法国 2.8%,德国 2.2%,中国 1%。原计划 15 年完成,但是经过科学家的努力,提前 2 年,于 2003 年完成了。这项工作的目的是识别人类的大约 3 万~4 万个基因,并且确定 30 亿个组成脱氧核糖核酸的碱基的排列顺序,这些碱基是构成人类所有生命现象和多样性的基础。基因组序列图首次在分子层面上为人类提供了一份生命“说明书”,揭示了生命的奥秘,不仅奠定了人类认识自我的基石,推动了生命与医学科学的革命性进展,而且为全人类的健康带来了福音。科学家将对人类基因组进行更深入的研究,一方面寻找不同人群之间的基因差异,一方面破译不同基因的功能,以取得更多的数据,为人类战胜疾病、提高生命质量提供更多的参考。

我国于 1999 年跻身人类基因组计划,承担了“国际人类基因组计划 1% 基因组测序”的项目,具体工作是由中科院遗传研究所

人类基因中心做的,对3号染色体上3 000万个碱基进行测序。我国于2001年8月26日绘制完成了“中国卷”,赢得国际科学界的高度评价。我国是成为继美、英、德、日、法之后第六个参与该计划的国家,也是唯一的发展中国家。这项工作代表着中国科学家在人类基因组计划中占有一席之地。在这个划时代的里程碑上,已经刻上了中国人的名字。

以上所讲的从基因出发来改变物种、控制生长过程的技术,还要做基础性的研究,可望在今后几年会有较大的突破。

第三节 酶 工 程

所谓酶工程,就是在一定的生物反应器中,利用酶的特异催化功能,快速、高效地将相应的原料转化成有用物质的技术。它可使某些原来在高温、高压下进行的反应得以在常温、常压下进行,这不仅可以节约能源、节约材料,减少污染,而且可以获得高纯度的物质。

酶是什么?它是一种特殊的蛋白质,是蛋白类的生物催化剂,是由活的生物细胞产生的。

1. 酶的重大作用和应用

一切生物化学反应都是由酶来控制的。我们每天吃的米饭、鸡蛋、肉类等食物都必须在胃分泌的胃蛋白酶和胰脏分泌的淀粉酶、胰蛋白酶和脂肪酶的作用下,分解成葡萄糖、氨基酸、脂肪酸和甘油等小分子,才能透过小肠壁,被组织吸收和利用;而当人体生长的时候,体内又会进行各种蛋白质、脂肪等的合成反应,这些合成反应也需要在酶的催化下完成。如果人体内的酶的催化作用被破坏,人就会得病。例如,在人体内有一种酪氨酸酶,当它不能正常行使催化作用时,人就要得白化病。白化病患者不能或几乎不能合成黑色素,所以患者的皮肤很白,带粉红色,眼睛怕光,视力差,虹膜粉红色。一个小小的细菌的细胞,在长度不足 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的空间里,同时进行着 $1\ 500\sim 2\ 000$ 个化学反应,由1 000多种酶对这

些反应进行催化、监视、调节和控制。

酶在食品工业、医疗诊断、纺织工业和皮革工业中有广泛的应用。1973年,人们通过固定化葡萄糖异构酶作用葡萄糖生产出了高果糖浆,“雪碧”和“可乐”的甜味剂就是高果糖浆;用蛋白酶降低面粉中的蛋白质含量,制成的饼干更加松脆。谷丙转氨酶(GPT)的测定已普遍用于肝病的诊断;MB型肌酸激酶活性检查已是临床诊断心肌梗塞的重要指标之一,尿激酶是治疗心肌梗塞、肺动脉栓塞等疾病引起的血栓所需要的药物。在纺织工业中,过去普遍采用腐蚀性强的化学药物来除去糊在织物上的淀粉,现在改用淀粉酶进行脱浆,操作更加安全和容易。在皮革制造业中,细菌蛋白酶可用于皮革的脱毛。

酶在传统的化学工业和基因工程中都有重要应用。酶作为生物催化剂,具有高效率的催化能力。酶比一般化学催化剂效率高几十到几百万倍,与没有催化剂的反应相比,最多可高出 10^{17} 倍,而且简化了设备装置,节省了能源,从而降低了产品的成本。

酶在基因工程中也有重要的作用。没有种类繁多的工具酶的应用,就不可能出现各种各样的具有一定生物功能的重组分子。在基因工程的研究中,常用的工具酶包括限制性内切酶、DNA连接酶、末端转移酶、DNA聚合酶、多核苷酸激酶、碱性磷酸酯酶、核酸外切酶等等,仅限制性内切酶一类就有100种以上。根据需要选择适当的工具酶对DNA分子进行剪接、修饰,就能重组预定的DNA分子。

2. 酶工程的主要技术

酶工程的主要技术有酶的开发与生产技术,酶的固定化技术,酶的分子改造、修饰技术,酶的抑制剂的开发研究技术,其中酶的固定化技术是酶工程的核心。

(1) 酶的开发与生产技术。早期酶制剂主要来源于动植物材料,目前酶的主要来源是微生物。到目前为止,已知酶的种类大约有8000种,实际已经用于工业生产的仅10余种,主要有淀粉酶、

糖化酶、蛋白酶、葡萄糖异构酶等。

(2) 酶的固定化技术。酶的固定化技术是在 1969 年从日本开始发展起来的。近年来,固定化葡萄糖异构酶在工业上用量最大。每千克固定化酶的转化能力已达到 $10^4 \sim 2 \times 10^4$ kg 葡萄糖。用量占第二位的是青霉素固定化酶。

在实践中发现,自由酶虽然有许多优点,但同时也有些不足:
①它在溶液中以游离的状态存在时,稳定性较差;②每次使用后,几乎所有的酶都无法回收。如何才能解决上述问题呢?经过探索,采用一些物理的或化学的手段处理水溶性的酶,将它制成不溶于水的颗粒物,或者将酶直接与某种不溶于水的载体连接或被载体包埋,这种酶称为固定化酶。固定化酶与自由酶相比,具有以下优点:①是稳定性高;②是酶可以反复使用;③是产物纯度高;④是生产可连续化和自动化;⑤是设备小型化以及可节约能源等优点。应用固定化酶技术,人们不仅可以大量生产出与人们日常生活密切相关的产品,而且还可以在临床上用于某些疾病的诊断。利用固定化青霉酰化酶生产青霉素,可以使酶的实际使用效率比原先提高几百倍,且反应产物中不带有酶蛋白,产品更加纯净。假如将用于临床诊断的酶液固定在试纸上就可以制造出各种酶试纸,用这种酶试纸来测定尿液、唾液,从试纸上的颜色变化就可以确定身体的健康情况。人们将固定化酶安置在人工肾里,就能连续地排除人体代谢的废物。

(3) 酶分子的改造和修饰技术。酶分子的改造和修饰技术是在固定化酶的基础上提出来的。固定化酶只局限于应用天然酶,而且固定化酶本身也仍然有必要提高其活性,改善其某些性质,以便更好地发挥酶的催化功能。于是酶分子改造与修饰的任务就被提出来了。我们把改变蛋白质一级结构的过程称为改造,而把侧链基团的共价变化称为化学修饰。改造和修饰是通过酶的主链的“切割”、“剪接”和侧链的修饰,对酶蛋白进行分子改造,以改变酶蛋白的物理化学性质以及生物活性或赋予其新的功能,并最终

达到人工设计合成高效的具有生物活性的非天然酶蛋白。自然界本身就存在酶的改造与修饰过程,比较突出的是“DNA 转录后的修饰作用”,如酶激活,酶蛋白肽链的化学修饰等,这是自然界提高酶活力,赋予酶分子以特异功能的本能。酶的人为改造与修饰可以较自然过程更加广泛和深入,是人们在分子水平上对大自然的改造,是提高酶性能和应用价值的非常有效的措施。例如,支链淀粉酶是分解多糖类支链淀粉的酶,能把胚芽转变为色泽较好的麦芽糖糖浆。麦芽糖的甜味没有葡萄糖浓,但很适口,并且容易发酵、黏度小、溶解度大,用其制作糖果可以防止遇热变色,用于制作冰激凌可以防止产生砂糖结晶。应用改造与修饰的支链淀粉酶可以大大提高产量、改善质量。

(4) 酶的抑制剂的开发研究技术。酶的抑制剂的开发研究技术也是酶工程的重要组成部分之一。人们发现酶的催化作用并不都是有益的,例如,生物体的某些炎症是由于蛋白水解酶活力过高,关节炎是因为胶原酶活力过高的缘故,肺气肿是因为弹性酶活力过高的缘故,等等。研究酶抑制剂就能促使这类酶活力下降,甚至使其完全丧失活性。以前的临床药物绝大部分都是酶的抑制剂,如青霉素等。正因为酶的抑制剂具有这种重要作用,所以近年来在这方面的研究十分活跃。

目前酶抑制剂是第三代抗生素的主要开发目标,这类抗生素的开发被誉为抗生素生产的新的里程碑,既克服了医疗上使用抗生素的浪费滥用现象,又大大提高了医疗水平。酶抑制剂特别是新蛋白水解酶抑制剂、内脏酶抑制剂如胃酶抑制剂、抗胰酶、糜酶抑制剂及弹性蛋白酶抑制剂等的开发与应用,都具有低毒、高效的特点,具有消炎和抗肿瘤作用。酶抑制剂还为开发新杀虫剂、除草剂作出了重要贡献,它比有机磷化合物安全而不污染环境,比原来的除草剂的抑制作用高好几倍。

1997 年,博耶和沃克因在研究三磷酸腺苷合成酶如何利用能量进行自身再生方面取得的成就而获得当年诺贝尔化学奖金。沃

克和他的同事们确立了三磷酸腺苷合成酶的结构并证明了博耶提出的原理。三磷酸腺苷合成酶发现于 1929 年。但是直到 1941 年才揭示出它是细胞化学能量的普遍载体。三磷酸腺苷合成酶是从细菌、真菌到植物,包括人在内的动物等所有生命有机体的能量载体。成年人在休息状态时每天能转化相当于人体质量一半的腺苷三磷酸,而在高强度体力劳动中,一天能转化多达 1 t 的腺苷三磷酸。

第四节 现代发酵工程

现代发酵工程也称微生物工程,是将传统发酵技术与现代 DNA 重组、细胞融合等新技术结合起来的现代微生物发酵技术。这种技术的主体是利用微生物,特别是用经过 DNA 重组技术改造过的微生物来生产商业产品。

1. 在历史上,发酵工程经历了六次发展

以纯培养技术为主要特征的发酵工程是第一次发展。这次发展获得了微生物的纯培养物,设计了能灭除杂菌的密闭式发酵罐,实行了酒精、丙酮、丁醇发酵新技术。20 世纪 40 年代中期在发酵中引入了通气、搅拌技术,使发酵工程发生了第二次发展,在这个阶段青霉素投入了工业生产。1956 年以后,以代谢调控的技术为特征的发酵工程是第三次发展,在 DNA 分子水平上对微生物代谢活性进行调控。在这次发展中,氨基酸、核苷酸发酵业应运而生。70 年代末期,以发酵原料转变为主要特征的发酵工程是第四次发展,由于单细胞蛋白工业的兴起,发酵原料由过去单一性碳水化合物向非碳水化合物过渡,从过去仅仅依靠农产品的状况,过渡成为从工厂、矿业资源中寻找原料。从 1973 年起,随着 DNA 重组技术的发展,遗传工程和固定化技术引入了发酵工程,这是第五次发展,从此,现代发酵工程开始了。80 年代末,随着遗传工程的崛起,一颗生物技术新星从地平线上升起来了。以将发酵工程综合于生物技术范围里为主要特征的发酵工程是第六次发展。

现代发酵工程与旧的发酵工程有许多根本性区别。旧的发酵工程使用的原料是微生物,而现代发酵工程不仅利用微生物,还利用植物、动物和酶;旧的发酵是分批式的发酵,现代发酵是连续式的发酵;旧的发酵使用的是发酵罐,现代发酵方法还要利用各式各样的反应器,包括生物反应器;旧的发酵大多数用手工操作,这样不仅效率低、不精确,而且易污染,而现在则完全用电脑来控制,并采用了生物传感器,利用酶或细胞的化学反应,把化学反应信息变成电信号,然后通过电信号的变化来测定化学反应的信息。

2. 发酵工程的操作一般可分为四个阶段

第一个阶段是选取发酵原料及对原料进行预处理。传统的发酵技术多需用薯类、谷类等粮食作物作为发酵的原料。如今随着某些微生物酶的开发、利用以及新菌种的选用和制备,可利用的发酵原料的种类也在增加。有时还可采用某些废料。如甘蔗渣、麦秆等材料作为发酵的原料。如选择的原料不能被微生物利用,还需要对原料进行粉碎、蒸煮、水解等预处理。

第二个阶段是发酵过程的准备。这个阶段的操作可分三步进行。第一步是对发酵原料进行高压灭菌。灭菌操作是要去除原料中的任何杂菌,这是发酵能否成功的关键。第二步是根据发酵类型来选择所需要的目标菌种。第三步是将目标菌种接到灭过菌并已冷却了的发酵原料中。

第三个阶段是发酵过程。由于不同的微生物对生活条件有不同的要求,在发酵过程中应根据目标菌种需氧或厌氧的特点,通入无菌空气发酵或密闭静止发酵。

第四阶段是对发酵产品进行分离和提纯,以获得符合要求的发酵产品。

酱油制造始于秦朝,距今已有 3 000 多年的历史了,是经久不衰的调料。目前我国每年要消耗酱油 200 万吨,生产工艺一直沿用传统的制曲法,进行固体发酵,工艺流程长,操作繁复,劳动条件差,技术也不稳定。其流程和发酵时间通常需要半年或一年。而

现在由于应用了物质反应器新技术,可使时间缩短为3天。日本的久克曼(Kiocoman)公司已实现了这项新技术,他们将耐乳酸细菌和酵母这两种微生物一起固定于海藻酸钙凝胶上,然后组装成制造酱油的生物反应器。只要将营养物质和水徐徐地从反应器顶注入,不出3天,最终产品——酱油就会从反应器底部源源不断地流出。

发酵的产物名目很多,并且大都与人们的日常生活有关,酒、醋、酱、甘油、味精、酒精、抗生素、维生素和微生物杀虫剂等都是发酵的产物。比如,醋是由醋酸杆菌发酵产生的,甘油是酵母菌帮助发酵产生的。同时,人们还利用微生物发酵来生产粮食,微生物发酵生产蛋白质的速度比植物快500倍,比动物快2000倍。一个细菌一昼夜里发酵生产的蛋白质,大约等于它自身质量的30~40倍。

3. 现代发酵工程

(1) 现代发酵工程的步骤。现代大规模发酵与产物纯化是一个连续过程。具体的步骤包括:配制培养基,对培养基和发酵设备进行灭菌处理,先进行种子初级培养(5~10 mL),再在振荡的锥形瓶中(200~1000 mL)进行次级培养,培养产生一级种子,再在种子发酵器中(10~100 L)进行初级发酵培养,获得二级种子,最后,将培养物接种于生产发酵器中(1000~10000 L),进行大规模发酵。发酵后,再对发酵产品进行分离和纯化,通过离心或过滤的方法将所需要的细胞与培养基分开,如果产物在细胞内,则还需要破碎细胞,去掉细胞碎片,再从液体中分离产物,如果产物在细胞外,则可从无细胞的培养基中分离出来。

(2) 现代发酵方式。现代发酵方式可分为罐批发酵、补料分批发酵和连续发酵等三种方式。

① 罐批发酵时,在灭菌的培养基上接种相应的微生物,然后,不再加入新的培养基。罐批发酵是传统的发酵培养方式,其生产是间断进行的。每进行一次培养都要经过灭菌、装料、接种、发酵、

放料等一系列过程。因此,非生产时间长,使得发酵产品的成本较高。

② 补料分批发酵是指发酵过程中在不同时期加入越来越多的培养物,但不除去旧的培养基。

③ 连续发酵是指在发酵过程中不断加入新鲜的培养基,同时除去等体积的旧的培养基。连续发酵与罐批发酵比,所用的生物反应器较小,停工时间相应较短,细胞的物理状态更一致,产物生产的持续性更好,因此,成本较低,而且,易于实现生产过程的仪表化和自动化,有利于对微生物生理、生态及反应机制的研究。现在啤酒生产、酒精、酵母、有机酸的生产及污水处理等方面都已采用连续发酵的生产方式。

每一种发酵方式都需要氧气和消泡剂,氧气一般是以无菌空气的形式提供的,在一些特殊情况下,还需要加入酸和碱。无论采取什么样的发酵方式,人们都需要对发酵的各种参数进行控制,如反应器中溶解的氧气的浓度、pH、温度、菌种与培养基的混合程度等,使发酵过程优化。

(3) 生物反应器。现代发酵工程离不开生物反应器。所谓生物反应器是指在发酵工程中用于生物催化反应的核心设备。它是在发酵工程中使用的发酵器。生物反应器可分为细胞反应器和酶反应器两类。通常用于微生物细胞培养的生物反应器的体积为 $10 \sim 200 \text{ m}^3$,大的生物反应器可以达到 $1\,500 \sim 1\,900 \text{ m}^3$ 。一般来说,生物反应器的容积越大,其生产效率就越高。目前,生物反应器主要包括以下几种基本类型:

① 搅拌釜反应器,含内置搅拌装置,最传统也是至今应用最广的生物反应器是搅拌釜反应器。

② 气泡注式反应器,搅拌主要依赖于以喷雾形式引入的空气或其他气体。

③ 气升式反应器,含有内置或外置的循环管道。由于引入气体的运动,导致了反应器内不同位置的密度不同,使培养液能够进

行混合,并保持循环流动。

(4) 发酵产品的分离和纯化。发酵完成以后所得到的发酵液实际上是混合物,其中除了有需要的产物之外,还有残余的培养基、各种杂质和微生物的菌体等大量杂质。因此对于发酵产品必须进行分离和纯化。一般说来,分离和纯化需要经过以下几个步骤:

- ① 将微生物细胞与培养基分开;
- ② 微生物细胞的破碎;
- ③ 固体杂质的去除;
- ④ 产物的初步分离浓缩;
- ⑤ 产物的进一步纯化;
- ⑥ 产物的最终分离、纯化。

当前发酵工程的发展趋势是,使天然菌种逐渐向工程菌种过渡,即改造自然筛选的方法,用细胞融合技术、基因重组技术生产出所需要的工程菌。同时,发酵的规模也越来越大。

现代发酵工程能够生产药用蛋白及其他蛋白质,近年来,发酵工程在农业产品开发方面也取得了巨大的进展。现在人们已经通过发酵生产获得了可以改良酸性土壤的菌剂,还获得了可降解的蓄水聚合物,用来蓄水抗旱、改造沙漠、绿化沙漠。另外还可以通过发酵工程生产某些灭蝇灭蝗菌剂。

第五节 细胞工程

细胞工程是在细胞水平上利用生物、改良生物和创造生物的技术。按遗传操作对象的结构层次,细胞工程可分为4个方面:染色体工程、染色体组工程、细胞质工程、细胞融合技术。染色体工程是将一种生物的特定染色体,按照人们的意图予以消除、添加或同别的生物的染色体置换或改造的技术。染色体组工程是诱导增加或减少一个生物体内整套染色体组数的技术。细胞质工程主要研究内容是细胞质的置换。细胞融合技术是人为地使种类不同的

两种生物细胞融合在一起,从而产生出兼备两个亲本的遗传性状的技术。

细胞融合技术。细胞工程的主要内容是指细胞融合技术,目的是创造出新的物种。细胞融合技术的应用范围很广,从种内、种间、属间、科间,一直到动物植物两界之间都可以进行细胞融合操作。

雌、雄生殖细胞,即卵子和精子受精形成合体也可以看成是自然界进行的细胞融合,但是这种融合只能发生在同一种生物或亲缘关系很近的生物种之间。生物世界,总是亲子相像,世代相传,要想变出新品种,传统的办法就是强制不同的生物进行杂交。但是,不同种生物之间的杂交许多是做不到的,它们的精子和卵子是不能结合而实现受精的,有的即使产生了杂种后代(比如驴马杂交生骡),子代也是不育的。细胞融合技术,就可以避开有性生殖,利用现代科学技术,分别取出两种生物的单个体细胞,并诱使其融合成一个细胞,把这个细胞,看成受精卵一样,作为新一代生命的起始,在人为的条件下,诱导它最后长成完整的生物体。可望实现动物和植物的任意杂交。由于它来源于两种生物的细胞,保留了两种生物的遗传物质,因而具有两个亲本类型的遗传特性。

细胞融合技术的过程是这样的:先获得要进行融合的两种细胞,如果是微生物或植物细胞,则要用某些酶把其细胞壁溶解掉,然后把两种细胞混合于某种缓冲溶液中,再加进聚乙二醇或别的合适的融合促进剂,经过一段时间后便有一部分细胞融合,这里有多种可能性,有同种细胞融合的,也有异种细胞融合的,还可能有2个以上细胞融合在一起的,也还有细胞没有融合的……最后的工作是将细胞进行选择,选出需要的融合细胞,然后移到合适的培养环境中进行培养并观察表现性状。

不同细胞融合获得成功的最早记录是1957年,1975年人们实现了动物细胞与植物细胞的融合。1978年,瑞士的埃勒门斯和

美国柯路斯利用细胞融合技术培育出了含有人类染色体的小鼠,人们叫它人造小鼠。

多少年来,人们一直渴望诞生这样的植物:地上部分,挂满了营养丰富、甜润可口的西红柿;地下部分,长出一堆贮藏着大量糖类的大土豆,这就是番茄马铃薯。1978年,国外已经利用细胞融合技术初步诱导成功,为了获得理想的番茄马铃薯,工作仍在继续进行。1986年,日本一家公司的研究小组用细胞融合技术培育成新型蔬菜——“生物白蓝”,这是用白菜和红甘蓝杂交而成的,新型蔬菜形状类似白菜,味道却近似甘蓝,所含的铁质为红甘蓝的5倍,富有矿物质,味道也好,经细胞染色体分析,生物白蓝含有38条染色体,正好是白菜的20条与红甘蓝的18条染色体之和,证明“生物白蓝”确实继承双亲的遗传物质。1987年,这种蔬菜已经出现在市场上。它的显著特点是生长期短,种植35天就可收获,而且具有耐寒性,好存放。

在医学上应用了细胞工程技术使免疫学得到了划时代的发展。1975年,英国科学家利用细胞融合技术,发明了单克隆抗体技术。

植物组织培养技术。植物组织培养技术,主要依据植物细胞具有全能性的特点,即植物的细胞具有母体植株全部遗传信息并发育成为完整个体的潜力,因而,每一个植物细胞可以像胚胎细胞一样,经离体培养再生成植株。植物的根尖、茎尖、叶肉细胞、花粉、胚、胚乳等组织,甚至去壁的裸细胞都可以再生成一个完整的植株。实践证明,利用植物组织培养方法进行快速繁殖优良品种是一个行之有效并具有重大经济价值的一种技术方法。现在世界上通过细胞组织培养获得植株的植物有1000种左右。我国在这一领域发展很快,特别是花粉单倍体育种居世界领先地位,培养成功的水稻、小麦等作物新品种已被推广种植。

细胞核和卵移植技术。细胞核和卵移植技术的内容在本章第一节——克隆羊“多莉”引起的震撼中已经讲了许多,在这里就不

叙述了。

第六节 基因工程

基因工程又称重组 DNA 技术。基因工程是利用基因拼接技术把我们所需要的基因(DNA 片段)提取出来,在生物体外人工进行分离、剪切、重组、拼接,然后植入某种细胞的 DNA 中去,使后者具有用常规方法无法获得的新的遗传性,从而改造或组建生物的现代技术。基因工程可以把特定的基因组合到载体上,并使之在受体细胞中增殖和表达,因此,它不受亲缘关系限制。

基因工程操作过程十分精细复杂,大致可分为以下步骤:

1. 目的基因的制备

基因工程是有目的、有计划的细致工作,要进行这项工作,首先要制备所需要的基因——目的基因。1969 年,美国哈佛大学的莎皮洛等第一次成功地取得独立的基因——大肠杆菌的半乳糖苷酶基因。

在生物界存在极为丰富的基因。仅就单细胞的大肠杆菌来说,其 DNA 的相对分子质量只有 4.175×10^{-15} kg,竟有数以万计个基因。至于动物,它们拥有的基因数量,则数以万计。最近科学家发现人类基因数目约为 3.4 万个至 3.5 万个。可以说,生物界是取之不尽用之不竭的庞大基因库。但是,由于基因是位于染色体中 DNA 的特定区段,因此难以任意索取。从 DNA 上取出单个基因,是在分子水平上进行的手术,它既不能像外科手术那样用手术刀直接去操作,也无法在显微镜下进行。基因的分离是借助于分子手术的特殊工具——内切酶进行的。内切酶也叫限制性内切酶,它是一种特殊物质,种类很多,常用的有 20 种左右。它能够使 DNA 在某一点上断裂,也就是说,内切酶像“刀”一样能把 DNA 中的基因切下来。内切酶在基因工程中扮演了手术刀的角色。

具体工作是这样操作的:首先从某种生物特定的细胞里取出染色体,去掉染色体上的蛋白质,剩下的就是 DNA 分子;得到

DNA 分子后,由于我们已经知道了目的基因在 DNA 分子中的确切位置,我们就可以用相应的限制性内切酶动手术,在特定位置上断裂开 DNA 分子,这样,就得到我们所需要的基因了。

除了利用内切酶外,还可以利用反转录酶来取得天然基因,这种方法叫酶促合成法。另外,还可以采用化学合成的办法制取目的基因。

2. 把目的基因结合到基因运载体上

有了目的基因后,下一步的工作就是要设法使之与基因运载体结合起来。为什么不能直接用显微注射法把目的基因引入受体细胞中去呢?因为世界上的任何生物,即使最简单的细菌,都是长期进化的产物,每种生物都有保卫自己不受异种生物侵害和稳定地延续自己种族的本领。异源基因如果单独直接闯入受体细胞中去,就会被受体细胞中的限制性内切酶所破坏,既无法保存,更谈不上增殖和发挥功能,因此必须用运载体把目的基因送进受体细胞。细菌的质粒、病毒、 λ 噬菌体、柯斯质粒、YAC 载体等均可以充当运载体。它们都是比较理想的基因载体,易于提取、分离和纯化,易于进入其他同种和异种细菌的细胞内,它能够自我复制,目的基因也能随着复制。质粒载体最大可以克隆的 DNA 片段一般在 10 kb,质粒是能自主复制的双链环状 DNA 分子,它们在细菌中以独立于染色体之外的方式存在;从理论上讲,所有的细菌株系都含有质粒,有些质粒携带有帮助其自身从一个细胞转入另一个细胞的信息。 λ 噬菌体载体和柯斯质粒最大可以克隆的 DNA 片段一般在 50 kb;目前能容纳最大 DNA 片段的载体是 YAC, YAC 是酵母人工染色体的缩写。

怎样使目的基因与运载体结合呢?首先要从细菌的细胞里分离出来适宜的质粒,然后用一定的限制性内切酶处理质粒,使质粒在一定位置上断裂,出现断裂口,露出黏性末端,以便与某些 DNA 片段连接;最后把目的基因,用适宜的连接酶处理,与质粒连接起来,成为稳定的结构,这个结构通常叫重组 DNA 分子。

3. 将重组 DNA 分子引进到受体细胞中去并在受体细胞中复制保存

有了重组 DNA 分子后 ,接下来的就是将其引进受体细胞中去并在受体细胞中复制保存。

把纯化的 DNA 导入细菌细胞的过程称为转化。

氯化钙转化法 :原核细胞的转化过程就是一个导入外源 DNA 的过程 ,对于大肠杆菌来说 ,人们一般采用冰冷的氯化钙处理 ,提高膜的透性 ,然后置于 42 °C 高温 ,用热激 90 s 的方法把重组 DNA 分子打进受体细胞中去 ,这种方法的最大转化率为 10^{-3} ,其效率是每微克 DNA 转化 $10^7 \sim 10^8$ 个细胞 ,这种方法是夏威夷大学孟德尔等发明的。

电穿孔转化法 :简单地说就是把受体细胞置于一个高强度电场中 ,通过电场脉冲在细胞壁上打孔 ,重组 DNA 分子随即进入细胞 ,电穿孔转化法也因菌而异 ,对大肠杆菌来说 ,一般是 50 mL 细胞 ,用 25 μ F 2.5 kV 和 200 Ω 的脉冲处理 4.6 ms ,其转化效率可以达到小质粒每微克 DNA 转化 10^9 个细胞 ,大质粒也可达到每微克 DNA 转化 10^6 个细胞。

4. 转化之后 ,还要对吸收了重组 DNA 的受体细胞进行筛选和鉴定。

5. 最后 ,对含有重组 DNA 的细胞进行大量培养 ,检测外源基因是否表达。

如果以上工作都获得了成功 ,那么 ,基因技术工程就实现了。

21 世纪 ,基因工程技术会有新的发展。全新学科“生物信息学”正在发展 ,这是一门管理和诠释大量新的生物和基因组信息的学科。生物计算机科学也很可能会出现 ,并与以硅为基础的计算机技术进行有力的竞争。采用生物分子和光子处理器的生物光子计算机可能成为有史以来速度最快的交换系统。

第七节 生物技术的应用和发展趋势

生物技术的应用范围已遍及医学卫生、农林牧渔、环境保护、轻工食品、化工能源、冶金采矿等各个领域,将成为人类解决当今世界所面临的健康、食物、能源、资源和环境等诸多重大问题的有力手段。生物技术的发展和应用将对整个人类社会产生深远影响。生物技术经历了第一次浪潮(医药和健康),又迎来了第二次浪潮,即农业生物技术。

一、生物技术在医学上的应用

生物技术在医学上的应用,已经给医学带来一场革命性的变化。

1. 基因工程药物

世界上已经获准上市治疗疑难病的基因工程药品 120 多种,还有 400 多种处于临床研究阶段。我国的医药生物技术产业已初步形成,现已有 20 种产品投放市场,产业化初具规模。我国自主开发的 α -1b 干扰素的国内市场占有率达 60%。又有痢疾菌素、人生长激素和人胰岛素等 6 种产品获新药证书,霍乱疫苗等近 10 种产品正在临床试验中,人血浆代用品研制已完成小试。早在 1989 年底,美国食品和药物管理局批准上市销售的就有 10 种生物技术产品用于药物,其中有 9 种是重组 DNA 产品。它们是胰岛素,用于治疗糖尿病,两种人生长激素,用于治疗儿童生长激素缺乏,生长不良等,两种干扰素,治疗毛状细胞白血病等,组织型血纤蛋白溶酶原激活因子,治疗心脏病突发症,两种乙型肝炎疫苗,用于乙型肝炎的预防,促红细胞生成素,治疗贫血症。正在进行临床试验的基因药物有近百种。

生物技术的另一医药开发是诊断试剂。自 1981 年以来,上市销售的单克隆抗体体外诊断试剂已有 100 种以上。单克隆抗体特异性强,成分均一、纯度高,可大量制备,它用于各种疾病的体外诊

断或微量蛋白质成分的测定,其性能大大优于一般抗血清。这里还应提及 DNA 探针技术在诊断疾病中的应用。所谓 DNA 探针就是合成的单链 DNA 片段用同位素、酶、荧光分子或化学发光催化等作标记信号,用它同被检测的 DNA 同源互补序列杂交,从而测出所要查明的 DNA 分子。事实证明,应用 DNA 探针方法,对病毒病、遗传病、糖尿病、癌症等多种疾病的诊断都很灵敏、简便、快速、可靠。

2. 大显身手的基因疗法

基因疗法是指用基因工程技术将修补好的或经改造的基因注入人体,替代不正常基因进行工作而达到治疗目的。在 20 世纪 70 年代末,医学科学家就开始对这种疗法进行研究。近几年来,研究工作有很大进展,在美国、中国、荷兰已进入试验性治疗阶段。

(1) 基因疗法治癌 癌症的基因治疗研究取得了令人瞩目的突破。现在,科学家们正从五个方面考虑癌的基因治疗:①信息药物法,导入反义核酸或核酸代酶药物抑制癌恶性基因的表达;②正常细胞保护法,导入外源基因增强正常细胞对化疗和放疗的抗性,最大限度地减小化疗和放疗对正常细胞的损伤;③药物打靶法,导入外源病毒特殊酶的基因,使这个基因选择性地在肿瘤细胞中表达,进而把一些低毒的原药转化为高毒药物,有针对性地杀伤癌细胞;④遗传免疫调节法,导入细胞因子基因刺激对癌细胞的免疫反应;⑤基因取代疗法,导入外源基因纠正抑癌基因的缺陷,恢复抑癌功能。

从 1983 年以来,科学家们发现了大约 36 个人类癌基因,并发现 70% 的癌基因集中在染色体遗传性较弱的片段附近,在这里,基因容易发生改变,对化学致癌物、X 射线的攻击特别敏感。如果染色体从某个癌基因处发生断裂,那么正常的基因控制系统就会被破坏,从而导致癌变。

1991 年 5 月,美国全国健康研究所的医生罗森伯格首次采用基因疗法治疗晚期恶性黑色素瘤病人。他从病人身上取出能穿透癌

细胞的淋巴球(TIL),改变其基因,使之能生产反癌蛋白——癌坏死因子(TNF),再注入患者体内,进而他又将细胞内激发免疫系统复合物的IL-2植入TIL,再注入患者体内,使患者凭自身的免疫系统攻击癌细胞。在接受这种疗法的50名恶性黑色素瘤病人中,19人的病症部分或全部消退。

(2) 心脏病的基因疗法 世界各国的遗传学家正在竞相攻克一个大难题——去鉴别引起冠心病的大约12个基因。探索冠心病遗传基因上的第一个突破是在1983年取得的。遗传学家迈克尔·布朗和约瑟夫·戈尔茨坦发现了与冠心病有关的一种基因,有这种基因缺陷的人,不能有效地清除能引起冠心病的低密度脂蛋白,约每500人中有一人携带这种变异的基因。布朗和戈尔茨坦的发现使他们获得了1985年诺贝尔医学奖。近年来,又发现了另一种有缺陷的基因,这种基因与在40岁以后发生的冠心病有关联。它妨碍人体产生高密度脂蛋白。高密度脂蛋白能清除血管壁上的胆固醇。大约每25人中就有一人携带这种基因,因而使它成为心血管疾病最常见的基因诱因。

1991年11月,美国科学家通过控制人体基因预防心脏病取得了初步成效。他们的目标是在心脏动脉内植入基因,阻止细胞急剧增长,从而达到防止心脏病发作的目的。细胞骤增是诱发心脏病的主要原因。过去,常用血管整形去疏通被堵塞的心脏动脉。这种手术成功率只有60%。因为疏通了的动脉很快又会被新生的细胞堵塞,医生称之为再狭窄,这是心脏病治疗中最伤脑筋的难题之一。为了找到治疗心脏动脉堵塞的办法,科学家们已经试验了种种新方法,如激光和微型旋刀,但成功率仍然只停留在60%左右。近年来,发现手术之后之所以容易发生再狭窄是因为血管平滑肌细胞增长迅速。现在,医治这种血管阻塞的方法,已经在狗和兔子身上进行了试验,成功地植入了带有标记的基因并正在观察效果。

(3) 遗传病的基因疗法 现在已知的遗传病达5000多种。

这种病在各国特别在不发达国家发生率很高。先天愚型和先天缺陷患儿出生率持续增长,已严重影响人口质量和社会进步。遗传病都是由于遗传基因的结构和功能出了毛病所引起的。例如,有一种罕见的多发于幼儿眼部的恶性肿瘤——视网膜母细胞瘤(RB),已知这种 RB 基因位于人的第 13 号染色体上,是由于 13 号染色体的一个区域出现缺失引起的。因此,将来可能通过矫正原来缺欠的基因,或是调换不正常的基因,从根本上治愈遗传病。

遗传病发病率之高是惊人的,拿美国来说,因患遗传病住院的人数,约占病床总数的四分之一。在我国,遗传病的相对发病率呈逐年增高趋势。

莱斯克 - 奈汉(Lesch - Nyhan)综合征,是由于细胞染色体中十万个基因中有一个不健全造成的。由于这一基因缺损,使细胞不能产生一种叫做次黄嘌呤鸟嘌呤磷酸核糖转移酶(HPRT)的物质,如果缺乏这种酶,患者的肾脏和关节会有大量的尿酸结晶积聚,大脑可发生思维迟钝和麻痹,从而引起一系列稀奇古怪的症状。这是一种典型的遗传病。美国一些实验室的遗传工程研究人员已选定这种遗传病进行基因移植。1984 年,美国休斯敦贝勒医院的托马斯·卡斯基和加利福尼亚大学的西奥多·福里德曼分别用逆转录病毒做载体,把人工合成方法制成的 HPRT 基因,移植到人的骨髓干细胞中获得成功。实验表明,把正常基因移植到莱斯克 - 奈汉综合征病人的骨髓干细胞之后,缺乏的酶开始产生,治愈率一般达到了 2% ~ 23% 的水平。如果再加以改进,就可以治愈这种遗传病了。

3. 器官移植的基因技术

1992 年 9 月,生物学家彼得·林斯利和他的同事用新型基因合成了一种新型蛋白质,这种新的蛋白质叫作 CTLA4Ig,它是通常在人体免疫细胞里发现的一种蛋白的改进型。这种蛋白质能够同白血球上的排斥移植物的一种特有蛋白质连结在一起。因此,这

种蛋白不仅能保护移植的器官不受排斥,而且又不影响免疫系统抗御感染的能力。

这种新型基因合成的蛋白,如果在人体上行之有效,将使“人对人”的器官移植的效果更加显著,而且也大大提高“动物对人”的器官移植的成功比例,解决了当今器官移植所面临的大问题。

以免疫学家杰弗里·布卢斯通为首的研究小组,已经用这种新型基因合成的蛋白质在老鼠身上作了试验,他们把人体胰腺组织移植到老鼠身上,获得了初步成功。在头两周,这种蛋白质产生了持久容忍外来组织的作用。

美国1992年要进行的器官移植有将近16 000例,由于捐献器官者少,还有26 000人以上将继续等待移植。如果这种新型蛋白质在人身上试验成功,它将使人们可利用的器官数目多得多,从而大大缓解器官移植需要等待很长时间的现象。这是器官移植的新途径。

二、生物技术在农业中的应用

农业是生物技术最重要的应用领域之一。应用生物技术可以培育出优质、高产、抗病虫害的农作物,可以培育出畜禽、林木、鱼类等新品种;可以进行再生能源的利用,解决能源短缺问题;可以扩大食物、饲料、药品等来源,满足人类生活日益增长的需要;可以进行废物的良性循环,减少环境污染,充分利用各种资源。当前,生物技术在农业中的应用主要有以下几个方面。

1. 基因重组技术(转基因技术)在农业中的应用

1982年美国孟山都公司和比利时根特大学分别成功地把细菌的抗卡那霉素基因导入向日葵、烟草、胡萝卜细胞中,并得到了表达,使这些植物的抗卡那霉素的能力比同类植物强8倍以上,随后陆续获得抗病毒、抗细菌、抗虫、抗除草剂等转基因植株。孟山都公司每年拨款2亿多美元在农业基因工程方面进行研究,率先获得抗虫棉花、抗病毒烟草和抗除草剂的大豆等,并将进入田间试

验阶段。

我国已建立了野生大豆等植物的基因文库,分离出一些目的基因,开展了基因载体研究。在此基础上,1988年中科院微生物所、昆明植物所在国内分别首次培育成抗黄瓜花叶病病毒的转基因黄瓜植株和抗烟草花叶病病毒的转基因烟草植株,其抗性可以世代遗传。至目前,我国有10种左右植物获得转基因植株,有的已进入大田试验。如用经花粉管通道导入DNA的方法,培育出的抗枯萎病优质棉花3118新品系,已在生产上应用推广4万亩,平均增产15%,展现了作物抗病育种的美好前景。

不少国家正大力研究用转基因动植物生产药物,基因技术正在把动物变成“制药厂”。日本雪印乳业生物科学研究所于1991年9月宣布,已经成功地从老鼠的乳汁中获取了和牛奶一样的蛋白质。这一试验成功的关键在于对老鼠受精卵的改造。将制造牛奶蛋白质的遗传基因从牛的乳房中取出,用细针将遗传基因移植到老鼠母体的受精卵内,当幼鼠出生的时候,便带有了牛的遗传基因,幼鼠长大后产出的乳汁中也就含有了牛奶的成分。这一老鼠的后代由于继承了这一特性,因而所产乳中同样带有牛奶的成分。如果使用遗传基因转换技术,将生产牛蛋白质的部分用生产医药品蛋白质的遗传基因部分进行转换,那么就可以用老鼠的乳腺生产出所需的药品。1991年9月英国报告从转基因绵羊的奶中生产人 α -1抗胰蛋白酶,表达量最高达60g/L,在7周泌乳期中保持35g/L,每只绵羊每天泌乳4~5L,约相当于一个50L的发酵罐。荷兰报告转基因马铃薯生产人血清白蛋白,以每公顷生产马铃薯50t计,可得12kg白蛋白。比利时则在开发利用转基因油菜生产多肽药物。1989年,我国中科院上海细胞所将乙肝病毒表面抗原基因及人生长激素基因导入家兔受精卵内,获得我国首批转基因兔及其后代,为家畜育种提供了新技术。

特别值得一提的是,转基因花卉可能是最早商用的工程植物。英国某研究小组已经分离出开花所必需的基因,在矮牵牛和烟草

上已证明导入查尔酮合成酶的反义基因,可把红花转变成白花,或在白色的背景上形成红色的斑点或条纹。因此,未来有可能人为地改变花色和花形,创造出各种奇花异草。

2. 动物胚胎工程在农业中的应用

动物胚胎移植技术也已进入实用阶段。美国和加拿大 1980 年移植 4 万多头牛,1985 年增至 15 万头。欧洲一些国家也陆续开始应用这一技术,它已被列为常规技术范畴。据统计,现在世界上有家畜胚胎移植公司 200 多家,仅牛胚胎移植就达每年 200 万头左右,说明这一生物技术应用的普及性。

我国在这方面的研究工作始于 20 世纪 70 年代,80 年代以来不断突破。1980 年绵羊冷冻胚胎首次移植成功。随后奶牛冷冻胚胎移植成功。1984—1986 年我国有 18 个单位从事牛胚胎移植研究,超数排卵(使用激素处理供体母牛使其多排卵)的供体牛 1 900 多头,可用胚胎 6 100 多头。1988 年从每头供体牛获得的可用胚胎数平均为 4 枚,接近世界先进水平。近年来,胚胎移植技术不断提高,每头供体牛平均可得 5~9 枚可用胚,鲜胚移植平均受胎率达 50% 左右,冷冻胚达 40% 左右。在胚胎分割方面,1986 年西北农业大学首次获得一批半胚犊牛,1989 年中科院遗传所获得四分胚犊牛,1990 年新疆畜牧科学院获得绵羊四分胚羔羊。在体外受精方面,1986—1990 年江苏农科院、中国农科院、内蒙古大学、西北农大等先后获得体外受精的试管家兔、试管牛、试管绵羊、试管猪和试管山羊等。其中已建立起稳定有效的试管牛犊技术体系,先后获得试管牛犊近 20 头,该项研究的技术水平进入了国际先进行列,为我国引进和开发良种牛奠定了基础。

3. 单克隆抗体技术在农业中的应用

这项技术在不断完善的基础上进入了实用阶段。20 世纪 80 年代初,美国在兽医方面研制出牛病毒性腹泻病毒、鸡新城疫病毒等 20 多种克隆抗体。1983 年瑞士联邦农业试验站研制出马铃薯 Y 病毒单克隆抗体。此后,各国研制出数百种单克隆抗体。已有

几十种产品实现商品化,被广泛应用于提纯抗原,制备标准诊断试剂作为微生物或病毒诊断等。我国自 80 年代初开始,相继研制出马铃薯 x、y 病毒、猪大肠杆菌、马传贫病毒、猪瘟等几十种单克隆抗体。其中研制成功的马铃薯 y 病毒、马传贫病毒、布氏杆菌等的单克隆抗体试剂盒已应用于畜禽疫病和农作物病害等鉴别诊断上。

专家们预测,运用生物技术与其他增产措施增产的粮食相比,生物技术所增产的粮食将占世界粮食增产的 5/6。21 世纪初,抗虫、抗病毒的农作物将得到推广,到 2030 年,现代生物技术将全面改造农业,并广泛地得到应用,从而使农业生产的面貌彻底改观,基因工程将导致农业的第二次绿色革命。

三、生物技术在工业上的应用

化学工业中使用基因技术,不仅能节约能源,还能避免环境污染。传统的化学工业过程几乎都是在高温高压下进行,耗能很大。就以生产农药来说,用传统的方法不仅投资多、耗能高,而且严重污染环境。自 20 世纪 70 年代以来,我国把苏云金杆菌毒蛋白基因转移到大肠杆菌体内,生产出的天然杀虫剂,不仅投资少、耗能低,而且避免了环境污染。利用基因工程的方法构建工程菌可以对工厂排出的废水、废料、残渣进行净化处理,一方面可以清理环境,另一方面也可以提取食用和饲料用的单细胞蛋白。微生物发酵法可以生产许多化工原料,如乙醇、丁醇、乙酸、乳酸、柠檬酸和苹果酸等。利用生物技术构建的工程菌可以生产出聚羟基丁酸,聚羟基丁酸是制造塑料的原料。生物学家还在研究通过转基因的方法制造多功能的超级工程菌,使之分解纤维素和木质素,以便利用稻草、木屑、植物秸秆、食物的下脚料等生产酒精。这些酒精有绿色石油的美称。

四、生物技术的发展趋势

生物技术的发展趋势主要体现在下列几个方面：

(1) 基因重组技术日新月异,日臻完善。新技术和新方法一旦产生,便迅速地通过商业渠道出售专项技术并在市场上加以应用。

(2) 转基因植物和动物取得重大突破。生物学在农业上的广泛应用在 21 世纪将全面展开。

(3) 基因工程药物和疫苗研究与开发突飞猛进。新的生物治疗制剂的产业化前景十分光明,21 世纪整个医药工业将面临全面的更新改造。

(4) 阐明生物体基因组及其编码蛋白质的结构与功能是当今生命科学发展的一个主流方向。与人类重大疾病相关的基因和与农作物产量、质量、抗病虫害等有关基因的结构与功能及其应用研究是今后一个时期研究的热点和重点。

(5) 基因治疗将取得重大进展,有可能革新整个疾病的预防和治疗领域。估计到 21 世纪,心血管病、遗传性痴呆症、恶性肿瘤、艾滋病等严重疾病的防治可望有所突破。

(6) 生物信息学将得到快速发展。

生物技术产业正在世界范围内迅猛崛起,而且竞争十分激烈。现在,美国的生物技术公司已有 1 300 多家,欧洲也有 800 多家,日本有 300 多家。

生物技术产业市场迅速扩张,1991 年第一季度,美国整个生物技术工业有史以来第一次开始获得赢利。美国生物技术产业销售额在 1990 年为 10 亿美元,然而,到 1998 年,年销售总额达 134 亿美元。1992 年日本的医学生物技术产品销售额也已超过 4 000 亿日元。

在生物技术方面,世界各国均投入巨额资金。据统计,1998 年的美国生物技术产业用于研究与开发的投入已高达 99 亿美元。

日本政府用于生物技术研究 and 开发的经费每年以 20% 的速度递增,到 1997 年投入的经费已达 5 000 多亿日元。欧共体国家对生物技术的投资额与美国十分接近,生产的单克隆抗体药物无论在数量上还是在质量上都名列前茅。

21 世纪将是生命科学和生物工程技术的世纪。

参 考 文 献

1. 宗占国,马骥良. 高技术概论. 北京:学苑出版社,1996
2. 瞿礼嘉,顾红雅,胡苹,陈章良. 现代生物技术导论. 北京:高等教育出版社,1998
3. 国家自然科学基金委员会. 遗传学. 北京:科学出版社,1997
4. 林平. 克隆震撼. 经济日报出版社,1997
5. 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京:中共中央党校出版社,1994
6. 中国版协科技出版工作委员会. 高技术现状与发展趋势. 北京:科学出版社,1993
7. 童克中. 基因及其表达. 北京:科学出版社,1996
8. 周光召,朱光亚. 共同走向科学—百名院士科技系列报告集. 北京:新华出版社,1997

第二章 微电子技术与计算机技术

在现代科学技术中,微电子技术扮演着十分重要的角色,它已渗透到人类社会的各个领域和人类生活的各个方面,被人们誉为支撑高技术发展的基础和推进社会信息化的动力。

以微电子技术为基础的计算机技术飞速发展,使计算机迅速普及和广泛应用。多媒体电脑作为一种消费时尚进入寻常百姓家,因特网连接世界的各个角落,拉近了人们之间的距离,整个地球变成了一个“村庄”。从政府机关到企事业单位,从金融到交通、通讯,从军事、国防到日常生活,计算机确实已成为当代社会和人们不可缺少的工具,正在推动着社会进步和改变着人类的工作、生产和生活方式。

第一节 微电子技术

微电子技术是微小型电子元器件和电路的研制、生产以及用它们实现电子系统功能的技术领域。它是 20 世纪 50 年代后随着集成电路技术,特别是大规模集成电路技术的发展而逐渐兴起的新技术。

微电子技术不仅使电子设备和系统的微型化成为可能,更重要的是它引起了电子设备和系统的设计、工艺、封装等的巨大变革。所有的传统元器件,如晶体管、电阻、连线等,都将以整体的形式互相连接,设计的出发点不再是单个元器件,而是整个系统或设备。

一、从晶体管到集成电路

20 世纪 30 年代,量子力学取得了举世瞩目的成就,它应用于

固体物理,产生了固体能带理论,成为理解包括半导体在内的固体的基本性质、发展半导体技术的重要理论基础。1947年,美国电报电话公司(AT&T)的贝尔实验室的三位科学家巴丁、布莱顿和肖克莱发明了晶体管。这一发明是20世纪电子技术上的重大突破,为微电子技术的出台拉开了序幕。

晶体管取代电子管,只是一种器件代替另一种器件。生产和军事部门还希望电子设备进一步微小型化,这又强烈地推动着人们去开辟电子技术的新途径。

1952年5月,英国人达默在一次电子元件会议上首次提出了集成电路的设想。达默认为:可以将电子设备做在一个没有导线的固体块上,这种固体块由一些绝缘的、导电的、整流的以及放大的材料层构成,把每层分割出来的区域直接相连,可以实现某种功能。1957年,英国普列斯公司与马耳维尔雷达研究所协作,在 $6.3\text{ mm} \times 6.3\text{ mm} \times 3.15\text{ mm}$ 的硅晶上,制成了触发器电路。1958年,美国得克萨斯公司的基尔比和仙童公司的诺伊斯在 6.45 mm^2 的硅片上做成了一个包括电阻、电容在内的由12个元件组成的RC移相振荡器。1959年,仙童公司的诺伊斯和摩尔研制出了一种特别适合于做集成电路的工艺。它巧妙地利用了二氧化硅对某些杂质的扩散的屏蔽作用,在硅片上的二氧化硅层被刻蚀的窗口中,扩散一定的材料,以形成各种元器件,同时,又应用了pn结的隔离技术,并在二氧化硅上沉积金属作为导线,这样就基本上完成了集成电路的全部工艺。奠定了半导体集成电路发展的坚实基础。

集成电路的发明导致了电子技术的一次新的革命,标志着电子技术进入了电子技术的新阶段。

集成电路是以半导体晶体材料为基片,采用专门工艺技术将组成电路的元器件和互连线集成在基片内部、表面或基片之上的微小型化电路或系统。

标志集成电路水平的指标之一是集成度。所谓集成度就是指在一定尺寸的芯片上能做多少个晶体管。一般将每片集成100个

晶体管以下的集成电路称为小规模集成电路 (small scale integration, 简称 SSI), 集成 100 ~ 1 000 个晶体管的集成电路称为中规模集成电路 (medium scale integration, 简称 MSI), 集成 1 000 ~ 100 000 个晶体管的集成电路成为大规模集成电路 (large scale integration, 简称 LSI), 集成 10 万 ~ 1 000 万晶体管的集成电路成为超大规模集成电路 (very large scale integration, 简称 VLSI)。

集成电路发展的初期仅能在一个芯片上制造十几个和几十个晶体管, 因而电路的功能是有限的。到 20 世纪 60 年代中期, 集成度水平已提高到几百甚至上千个元器件。70 年代是集成电路飞速发展的时期, 进入大规模集成电路时代, 这期间已经出现了集成 20 多万个元器件的芯片。大规模集成电路不仅仅是元器件集成数量的增加, 集成的对象也发生了根本的变化, 它可以是一个复杂的功能部件, 也可以是一台整机 (单片计算机)。80 年代可以看作是超大规模集成电路的时代, 芯片上元器件的集成数量已突破了百万大关。1993 年已出现集成 5.6 亿个晶体管的芯片。这样多的元件集成在一小块硅片上, 元件所占的面积及元件间的连线细到 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ ($1\text{ }\mu\text{m} = 10^{-6}\text{ m}$)。

目前, 世界上集成电路在向 $0.18\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ 加工工艺过渡, 世界最高水平的单片集成电路芯片上所容纳的元器件数量已经达到 80 多亿个。

二、微电子技术的摇篮——硅谷

在美国加利福尼亚州的旧金山以南有一个狭长的山谷, 这里空气清新, 气候宜人。20 世纪初, 此地果园葱葱, 是人所共知的“心悦之谷”。今天, 用硅制成的半导体芯片成了当地高科技产业的主导产品, 该地也成了闻名遐迩的硅谷。

硅谷现在已是高技术产业的代名词了。作为微电子技术的摇篮、微电子革命的发源地, 它有着一种神奇的魅力。

意大利佛罗伦萨在文艺复兴时产生过许多影响世界的艺术家

和艺术品,而硅谷在今天产生了许多影响世界的发明家和技术发明。像仙童公司的世界上第一块硅集成电路、Intel 公司的世界上第一个微处理器、Apple 公司的个人电脑,还有电子游戏机、无线电话、电子手表等等,这些对人类社会产生深远影响的发明,都是在硅谷诞生的。硅谷有一种特殊的氛围,激励人们去创造。

20 世纪初,硅谷的斯坦福大学的电子工程系,已成为世界电子学的中心。当时,电子三极管的发明人弗罗斯特从纽约来到这里。50 年代,诺贝尔物理奖的获得者、被称为“晶体管”之父的肖光利从贝尔实验室回到家乡创业,他们的声望,吸引全美国电子学领域的年轻精英来追随。这样,在硅谷汇聚了技术和人才。其知识密集、人才密集程度之高在美国可谓首屈一指。

硅谷发展成为美国电子工业最大的研究和制造中心、高技术的摇篮,成为享誉全球的科技工业园,是与加州政府长期注重科技工作和倡导科工贸相结合的努力分不开的。早在 20 世纪 60 年代,加州就出台一项科技政策,明确表示支持大学的研究与发展工作,并提供一些相应的扶植政策,包括提供教育经费和筹措风险资金等。其目的不仅要提高大学的研究开发水平,更重要的是要靠智力和技术促进本地区企业的进步,形成促进经济增长的机制。

在硅谷,人们善于配合、协调,极少官场习气。那里的人虽然个性极强,但却很容易合作,想尽一切办法尽快把事情办好。

鼓励冒险、刺激创新、容忍失败、绝少束缚的氛围形成了硅谷独特的文化。这就是创新。企业在创新中实现梦想,人在创新中实现价值。创新像基因,植根于每一个硅谷人的身体。创新像空气,滋养着每一个硅谷人的生命。当你天天接触着别人更新、更快、更大胆的想法时,你的眼光自然在变宽,你的灵性自然被点燃,你的想像力和创造力自然在增值。

除去技术、人才、外部环境,硅谷的形成还有一个重要因素,这就是风险资金。亚瑟·罗克,是个有名的风险投资家,像 Intel、Apple 公司的创业,都与亚瑟·罗克有很大的关系。Intel 的创始

人诺依斯曾说过,他从亚瑟·罗克那里“只用五分钟就筹齐创建 Intel 公司的资金”。风险投资家投入资金,帮助公司上市,然后获得收益。

Kleiner Perkins(KP)是一家创立于 1972 年的风险投资公司,它投资了像 AOL、Netscape、Sun、@ Home 和 Amazon 等一群被公认为当今美国发展最快的新技术企业,KP 投资过的企业曾创造过 16 万个就业机会、61 亿美元的税收和 125 亿美元的市场价值。

完善的投资环境和风险投资机制使这里变成了思想和技术冒险者的天堂。

如今,这儿聚集了大约 2 000 多家电子和信息技术公司,还有无数的服务和供应公司。包括计算机、半导体、激光、光纤、机器人、医疗器材、磁记录设备、教育和家用电子学等技术领域。一些大公司的总部虽不在硅谷,但它们在那里建立机构或设立分部,及时把握住技术前沿的脉搏。

硅谷的公司好多成为巨人级的公司。营业额动不动就是几十亿、上百亿甚至几百亿美元。在全美最大的 500 家企业中,硅谷有十多家。硅谷的公司好多都在跨国经营,HP、Intel、Apple、AMD、Sun、Oracle 等等,都逐渐为中国电脑用户所熟悉。

崇尚自由创造的美国硅谷成了世界科技史上的奇迹,这种奇迹有没有可能在中国发生?

随着硅谷(中国)发展有限公司和北京经济技术开发区“中国硅谷城”国有土地使用权预约合同的敲定,随着总投资达 1.7 亿美元的 8 个项目(电脑软件产业基地、美国文化村、电子媒体出版系统等)的正式签约,落户在北京经济技术开发区的中国硅谷城的雏形已经基本形成。

以美国高科技中心硅谷为蓝本,引进世界各知名企业及高科技公司的技术、资金以及先进的管理模式是实施中国硅谷计划的初衷。

中国在高科技领域的人才资源优势,加上国内较大的潜在市场都将成为中国硅谷城发展的有利契机。美国硅谷经过最近二三十年的长足发展,取得的成绩举世瞩目,但发展到顶峰后必然会出现制约瓶颈,土地、房租、工资待遇日益上涨的开销使得高新技术企业成本提高、风险加大,而丰厚的资源优势和政策环境使他们不约而同地把目光投向了中国。

中国硅谷的目标定位是:以大学、科研院所为依托,创造一个极具孵化功能的企业生长环境,同时,引入完善活跃的风险投资基金,倡导健康的敢于冒险的园区风气,最终形成一座颇具规模的、富有现代文化色彩的国际化中国硅谷城。中国硅谷城必将成为创业者们的首选园区。

三、微型计算机的心脏——微处理器

微电子技术最重要的应用领域就是计算机技术领域。计算机的发展建立在微电子技术基础之上,而计算机应用领域的拓宽,反过来更促进了微电子技术的发展。

在计算机家族中,影响面最大、应用最广泛的是微型计算机(简称微机)。微机的组成部分,从运算器、控制器、存储器,到输入/输出设备都是微电子技术的结晶。其中运算器和控制器集成在一个芯片上,称为中央处理单元(central processing unit,简称 CPU),也叫微处理器,它是微型计算机的心脏。运算器是完成数学运算和逻辑运算的部分,控制器则起指挥计算机的作用。计算机之所以叫电脑,就是由于微处理器像人的大脑一样起指挥作用。人们常说的奔腾 III、奔腾 IV 计算机,实际上指的是微处理器的型号。微处理器指挥着计算机各部分的工作,可以接收和传输信息,并在其内部进行数据的运算、比较、交换、分类、排序和检索等信息处理。

微处理器的历史可追溯到 1971 年,当时 Intel 公司推出了世界上第一台微处理器 4004。它有 2300 个晶体管,具有每秒 6 万次的运算速度,它可从半导体存储器中提取指令,可实现大量不同的

功能。这在当时是非常了不起的。

1980 年, Intel 的 16 位 8088 微处理器被 IBM 选中做第一代 PC 机的核心, 开创了个人电脑的时代。作为第一代 PC 机特征芯片的 8088 变得越来越受欢迎, 并使计算机用于桌面印刷系统, 这在当时是具有重大意义的。

1982 年, Intel 推出了 80286 芯片, 内部装有 13.4 万个晶体管, 具有当时的其他 16 位处理器三倍的性能。这种芯片用在 IBM PC/AT 计算机上。

1985 年, 80386 处理器投放市场, 采用新的 32 位结构, 内装 27.5 万个晶体管, 芯片每秒钟可完成 5 百万条指令(5 MIPS)。

1989 年, 出现了 80486 处理器, 芯片内装 120 万个晶体管, 带有数字协处理器。这种新芯片大约比最初的 4004 快 50 倍。

1993 年, Intel 公司推出了奔腾处理器。奔腾处理器用了 310 万个晶体管, 运算速度达到 90 MIPS, 是原始的 4004 处理器的 1 500 倍。

1997 年, Intel 推出有 750 万个晶体管的奔腾 II, AMD 公司推出具有 880 万个晶体管的 K6MMX 微处理器。利用这种芯片的计算机, 具有更高的性能价格比。

2002 年, Intel 推出了主频为 2.2 GHz 的奔腾 IV 芯片, 采用 0.13 μm 工艺生产。AMD 推出了主频为 1.67 GHz 的 Athlon XP 2000 + 芯片, 尽管主频较低, 但性能不比英特尔逊色。

Intel 公司称, 他们将在 2010 年推出容纳 10 亿个晶体管的芯片, 处理速度将达 10 万 MIPS。

有人预计到 2020 年一台计算机的能力将是目前美国硅谷所有计算机能力的总和。

集成电路面世以来便遵循摩尔定律发展, 就是说集成度每三年便翻两番。美国半导体工业协会预测, 到 2016 年将采用 0.022 μm 工艺。

微电子技术发展日新月异, 令人兴奋不已。

四、微电子技术的广泛应用

除了计算机以外,微电子技术在其他方面的应用也是相当广泛的。从通讯卫星、军事雷达、信息高速公路,到程控电话、BP机、手机,从气象预报、遥感、遥测,到闭路电视、激光唱盘、DVD,从医疗卫生、能源、交通,到环境工程、自动化生产、日常生活,各个领域无不渗透着微电子技术。它已经成为一种既代表国家现代化水平又与人民生活息息相关的高新技术。

现代的广播电视系统是微电子技术大有用武之地的领域之一。集成电路代替了彩色电视机中大部分分立元件组成的功能电路,使电视机电路简洁清楚、性能稳定、维修方便、价格低廉。采用微电子技术的数字调谐技术,使电视机可以对多达上百个频道任选,而且大大提高了声音、图像的保真度。

微电子技术对电子产品的消费者市场也产生了深远的影响。价廉、可靠、体积小且质量轻的微电子产品,使电子产品面貌一新。电子技术产品和微处理器不再是专门的科学仪器世界的贵族,而落户于各式各样的普及型产品之中,进入普通百姓家。例如电子玩具、游戏机、学习机以及其他家用电器产品等。就连汽车这种传统的机械产品也渗透进了微电子技术,采用微电子技术的电子引擎监控系统、汽车安全防盗系统、出租车的计价器等已得到广泛的应用,现代汽车上有时甚至要有十几到几十个微处理器。

微电子技术的应用例子举不胜举,它对我们工作、生活和生产的影响无法估量。

第二节 计算机技术

一、计算机及其特点

我们通常所说的计算机,全称应叫电子计算机。它可以存储

各种信息,会按人们事先设计的程序自动完成计算、控制等许多工作。计算机又称做电脑,这是因为计算机不仅仅是一种计算工具,而且还可以模仿人脑的许多功能,代替人脑的某些思维活动。实际上,电脑是人脑的延伸,是一种脑力劳动工具。计算机与人脑有许多相似之处,如人脑有记忆细胞,计算机有可以存储数据和程序的存储器;人脑有神经中枢处理信息并控制人的动作,计算机有中央处理器,可以处理信息并发出控制指令;人靠眼、耳、鼻、四肢感受信息并传递至神经中枢,计算机靠输入设备接收数据;人靠五官、四肢作出反应,计算机靠输出设备处理结果。

计算机具有以下特点:

1. 快速的运算能力

电子计算机的工作基于电子脉冲电路原理,由电子线路构成其各个功能部件,其中电场的传播扮演主要角色。电场传播的速度是极快的,现在高性能计算机每秒能进行上万亿次以上的加法运算。如果一个人在一秒钟内能作一次运算,那么一般的电子计算机一小时的工作量,一个人得做 100 多年。很多场合下,运算速度起决定作用。例如,计算机控制导航,要求“运算速度比飞机飞得还快”;气象预报要分析大量资料,如用手工计算需要十天半月,就失去了预报的意义。而用计算机,几分钟就能算出一个地区内数天的气象预报信息。

2. 足够高的计算精度

电子计算机的计算精度在理论上不受限制,一般的计算机均能达到 15 位有效数字,通过一定的技术手段,可以实现任何精度要求。历史上有位著名数学家鞏依列,曾经为计算圆周率 π ,整整花了 15 年时间,才算到 707 位。现在将这件事交给计算机做,几个小时内就可计算到 10 万位。

3. 超强的记忆能力

计算机中有许多存储单元,用以记忆信息。内部记忆能力,是电子计算机和其他计算工具的一个重要区别。由于具有内部记忆

信息的能力,在运算过程中就可以不必每次都从外部去取数据,而只需事先将数据输入到内部的存储单元中,运算时即可直接从存储单元中获得数据,从而大大提高了运算速度。

计算机存储器的容量可以做得很大,而且它记忆力特别强。目前普通计算机的内部存储器容量为 256 MB(兆字节),即 $256 \times 1\,024 \times 1\,024$ 个字节(每两个字节可以存储一个汉字),通过磁盘、光盘存储的信息更是“海量”。

4. 复杂的逻辑判断能力

人是有思维能力的。思维能力本质上是一种逻辑判断能力,也可以说是因果关系分析能力。借助于逻辑运算,可以让计算机作出逻辑判断,分析命题是否成立,并可根据命题成立与否作出相应对策。例如,数学中有个“四色问题”,说是不论多么复杂的地图,使相邻区域颜色不同,最多只需四种颜色就够了。100 多年来不少数学家一直想去证明它或者推翻它,却一直没有结果,成了数学中著名的难题。1976 年两位美国数学家终于使用计算机进行了非常复杂的逻辑推理验证了这个著名的猜想。

5. 按程序自动工作的能力

一般的机器是由人控制的,人给机器一个指令,机器就完成一个操作。计算机的操作也是受人控制的,但由于计算机具有内部存储能力,可以将指令事先输入到计算机存储起来,在计算机开始工作以后,从存储单元中依次去取指令,用来控制计算机的操作,从而使人们可以不必干预计算机工作,实现操作的自动化。这种工作方式称为程序控制方式。

二、计算机的分类

电子计算机分为模拟式、数字式和模拟数字混合式三种。模拟式电子计算机内部表示和处理的数据所使用的电信号,是模拟自然界的实际信号。如它可以用电信号模拟随时间连续变化的温度、湿度等。这种模拟自然界实际信号的电信号称为“模拟电信

号” ,其主要特点是“ 随时间连续变化 ”。数字式电子计算机内部处理的是一种称为符号信号或数字信号的电信号 ,这种信号的主要特点是“ 离散 ” ,即在相邻的两个符号之间不可能有第三个符号。

我们通常所说的计算机指的是数字式电子计算机。

电子计算机从规模上分为巨型、大型、中型、小型、微型和单片型。

计算机中的“ 巨型 ” ,并非从外观、体积上衡量 ,主要是从性能方面定义的。20 世纪 70 年代初期 ,国际上常以运算速度在每秒 1 000 万次以上 ,存储容量在 1 000 万位以上 ,价格在 1 000 万美元以上的所谓“ 三个 1 000 万以上 ”来衡量一台计算机是否为“ 巨型 ”。到了 80 年代中期 ,巨型机的标准是运算速度为每秒 1 亿次以上 ,字长达 64 位 ,主存储器的容量达 4 ~ 16 MB。这一标准还在逐年增长 ,目前 ,运算速度为每秒 100 ~ 100 000 亿次。

按 80 年代中期的标准 ,大型机运算速度为每秒 100 万 ~ 1 000 万次 ,字长 32 ~ 64 位 ,主存储器的容量为 0.5 ~ 8 MB ;中型机运算速度为每秒 10 万 ~ 100 万次 ,字长一般 32 位 ,主存储器的容量在 1 兆字节左右。

小型机和微型机很难有严格的界限。特别是微型计算机发展最快、应用最广 ,大家所熟悉的奔腾 III、奔腾 IV 等 PC 机都属于微型计算机。目前 ,微型机已达到每秒 20 亿次的运算速度 ,字长 64 位 ,主存储器的容量 512 MB 以上 ,超过了 80 年代中期巨型机的标准。

单片机在结构上与上述几类计算机有很大的差别 ,它是在制作时就已经将计算机中的所有功能部件集成在一起 ,形成外观上仅仅是一片集成电路的计算机。

三、计算机发展简史

第二次世界大战期间 ,美国陆军出于军事上的目的与宾夕法

尼亚大学签定了研制计算炮弹弹道轨迹的高速计算机的合同。耗资约 15 万美元,历时三年,终于在 1946 年 2 月 15 日,世界上第一台电子计算机诞生了,取名 ENIAC。看上去它是一个庞然大物,总质量约 30 t,长 30 m,占地面积 170 m²,差不多相当于 10 个普通房间的大小,耗电量为 150 kW,它的运算速度是每秒 5 000 次,使用了 18 000 多个电子管,工作时,常常因为电子管的烧坏而不得不停机维修。尽管如此,在人类计算工具发展史上,它仍然是一座不朽的里程碑。自它以后,人类在智力解放的道路上开始突飞猛进。

计算机从其诞生自今只有 50 多年的历史,这期间,它的发展经历了四代:

第一代(1946—1958)

主要特点是使用电子管作为逻辑元件。运算器和控制器采用电子管,存储器采用电子管和延迟线,只能用机器语言和汇编语言编程序。这一代计算机在控制上的特点是高度的中央集权制,一切操作,包括输入、输出在内,都由中央处理器集中控制。这种计算机主要用于科学技术方面的计算。

在这一时期,美籍匈牙利科学家冯·诺伊曼提出了“程序存储”的概念,其基本思想是把一些常用的基本操作都制成电路,每一个这样的操作都用一个数来代表,由这个数指挥计算机执行某项操作。程序员根据解题的要求,用这些数作为指令来编制程序,并把程序同数据一起放在计算机的内存储器里。当计算机运行时,它可以依次以很高的速度从存储器中取出一条条指令,逐一予以执行,以完成全部计算的各项操作,它自动从一个指令进到下一个指令,作业顺序通过“条件转移”指令自动完成。“程序存储”使全部计算真正自动进行,它的出现被誉为电子计算机史上的里程碑,而这种类型的计算机被人们称为“冯·诺伊曼机”。

第二代(1958—1964)

采用了性能优异的晶体管代替电子管为逻辑元件。

晶体管的体积比电子管小得多,这样晶体管计算机的体积大大缩小,但使用寿命和效率却大大提高。它的计算速度达到了每秒几万到几十万次。

磁记录设备的应用是第二代计算机的又一个特点。主存储器用磁芯,外存储器用磁鼓,主存储器的容量从几千字节提高到10万字节。

程序系统也发展得非常快。提出了高级语言及其编译程序的思想,出现了ALGOL、FORTRAN、COBOL等高级语言,使计算机的总体性能大大提高。除在科研、数据处理方面得到广泛的应用外,还用于航空、航天和生产过程的实时控制。

第三代(1964—1971)

重要标志是采用了集成电路。集成电路使计算机的体积、可靠性、速度、功能及成本等方面都有了大幅度的改善。它的体积比晶体管计算机又缩小了百倍以上,运算速度和内存容量比第二代计算机提高了一个数量级,分别达到每秒上千万次和十几万字节,价格大幅度下降,通用性提高,软件支持成倍增加,有利地推动了计算机的普及。

在体系结构上,第三代计算机的最大特点是采用了微程序设计技术,使大部分机器系列兼容。

在存储技术方面,出现了速度更快、更可靠的半导体存储器,代替磁芯存储器。外存储器用磁盘代替了磁鼓。

在应用方式上广泛发展了多用户自动分时系统并开始建立计算机网络。

第四代(1971年以后)

最显著特点是大规模集成电路和超大规模集成电路的运用。

大规模集成电路的采用,使得计算机向微型化发展,计算机不但可以放在办公桌上,而且可以放在手提包里,甚至衣服的口袋里,其功能大大增强,可靠性大大提高,价格却大大下降,一般家庭就可以买得起。

第四代计算机在语言和操作系统方面发展尤其快。形成了软件工程,建立了数据库,出现了大量工具软件。

在应用方面,第四代计算机全面建立了计算机网络,实现了计算机之间的相互信息交流。多媒体技术崛起,计算机集图形、图像、声音、文字处理于一体。

当前,第五代计算机——智能计算机的研究正渐入佳境。智能计算机的主要特征是具备人工智能,能像人一样思维,并且运算速度极快,它不仅具有一种能够支持高度并行和推理的硬件系统,还具有能够处理知识信息的软件系统。

四、我国计算机的发展

1956年,我国制定十二年科学技术发展规划,把发展计算机作为国家四大紧急措施之一。1958年,在中国科学院、工业部门和国防部门的大力合作下,研制成通用电子管计算机(又称103机)。这是我国第一台电子计算机。随后,又制成104机。103、104机投入使用后,解决了水坝应力分析、天气数值预报、大地测量、石油勘探等与国家建设事业有密切关系的复杂计算问题,为社会主义建设事业做出了贡献。从此以后,国内计算机的研制、生产和使用逐渐广泛地开展起来。从1964年起,北京、天津、上海等地相继研制成一批晶体管计算机,如DJS-6型计算机。20世纪70年代以后,我国进入集成电路计算机时期,1974年,高等院校、研究所、工厂联合设计的DJS-130通过鉴定,随后在十多个工厂投产。

1983年,我国先后研制成功“757”大型计算机和“银河”巨型计算机。757型机是我国自行设计的第一台大型向量计算机,每秒运行千万次。“银河”是每秒运算一亿次的计算机。它填补了国内巨型计算机的空白,使我国跨进世界研制巨型计算机的行列。

1993年初,我国自行设计的“银河二号”巨型机在国防科大通过了鉴定,它的运算速度高达每秒钟10亿次。

1995 年 5 月,我国研制成功曙光 1000 并行计算机。曙光 1000 突破了一大批大规模并行处理的关键技术,其峰值速度可达每秒 25 亿次,内存容量 1024 MB。曙光 1000 的研制成功,标志着我国并行处理技术迈上了一个新台阶。它可广泛应用于气象预报、石油勘探与地震数据处理及科研等领域。

1997 年 6 月,我国自行研制生产的“银河 - III”并行巨型计算机投入使用。“银河 - III”计算机是具有当时国际先进水平的高性能巨型计算机,其运算速度达每秒 130 亿次以上。

1999 年 1 月,曙光 2000 - I 超级服务器通过了国家鉴定。它是一种符合当前计算机发展趋势的超级服务器,不仅擅长大规模科学工程计算,最高浮点运算速度可达到每秒 200 亿次,而且适用于事务处理、网络与信息服务以及决策支持等非科学计算领域。这样的超级服务器当时全世界只有极少数大公司才能制造。

1999 年 9 月,由国家并行计算机工程技术研究中心牵头研制成功的计算机系统投入运行。江泽民亲笔题名“神威”。“神威 I”的峰值运算速度为每秒 3 840 亿次,在世界已投入商业运行的前 500 台高性能计算机中排名第 48 位,其主要技术指标和性能达到国际先进水平。标志着我国成为继美国、日本之后,世界上第三个具备研制高性能计算机能力的国家。

2001 年,我国研制生产了三台“曙光 3000”巨型计算机,运算速度达到每秒 1 万亿次。其中两台用于人类基因组研究。

2003 年 3 月,我国研制的峰值速度每秒 3 万亿次、百万亿字节存储、644 个 CPU 的超级服务器——曙光 4000 L 通过专家验收,成为超级服务器中的“航空母舰”。曙光 4000 L 的推出,标志着国产超级服务器产业正逐渐步入辉煌。

中国信息产业正在只争朝夕,以超常规的速度发展,21 世纪是信息化的时代,21 世纪将是中国的世纪。

五、计算机系统的组成及工作原理

一般所说的计算机,严格地讲,应该称为“计算机系统”。因为它不单独是一台机器,而是由硬件和软件两大部分组成的系统。

什么是硬件?什么是软件?

回答这两个问题之前,先看一下日常生活中的两个实例。

假如一个人要驾驶汽车,那至少应具备两个条件:一是设备齐全的汽车;二是驾驶技术。这两个条件缺少哪一个都是不行的。再如,一个会计要用算盘统计数字,也应具备两个条件:一是计算工具——算盘;二是使用算盘的珠算技术。

用计算机进行计算和数据处理,同样应具备两个条件:一是计算机设备,即硬件;二是使用计算机的方法,或运用计算机的技术,即软件。

如果用硬件和软件这两个专用术语解释前面的两个实例,则汽车、算盘可以看成硬件;驾驶技术、珠算技术可以看作软件。

计算机硬件是指计算机系统的全部设备。包括:计算机的主机及外围设备。它由各种机械的、磁性的、电子的装置或部件组成,是计算机进行工作的物质基础。

计算机软件是指使用计算机系统的全部技术,包括计算机中使用的所有程序和有关技术资料。

1. 计算机的硬件系统

我们先来看一下计算机是怎样工作的。

试想一下:如果有人出一道题,并附有详细解题步骤,你是怎样完成解题的呢?首先,得将纸上的题目连同解法通过眼睛送入大脑,然后利用记在大脑中的解法逐步进行计算,最后,通过手用笔将算出的结果写在纸上,或用嘴告诉别人。计算机处理问题的过程也与此相仿,题目以及解题的步骤首先以程序的形式送入计算机存储起来,然后,计算机将按程序的顺序一条条执行,并将中间结果也存到计算机的某一地方,最后将计算结果显示或打印

出来。

从上面计算机解决问题的一般步骤可以看出,作为一个计算机,首先应具有输入装置和输出装置,只有通过它们才能把事先准备的数据和编好的程序送到计算机内,将算得的结果送出来。由于执行程序是有前后顺序的,数据和计算程序输入到计算机后,必须先存储,然后,依次序从存储处取出,加以计算,这样计算机就必须有用于储存数据和程序的存储部分以及具体进行运算的运算部分。运算部分从存储部分中取数据和指令,并将运算结果储存在存储部分中。那么计算机指令是怎样执行的呢?各部分如何才能协调一致地工作呢?这需要有一个控制部分,对计算机的各个部分和计算过程中的每一步骤实行控制。

所以,构成计算机的硬件系统通常有五部分:存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备。

下面对这五部分分别作简单的介绍:

(1) 输入设备 人通过眼睛(视觉)、耳朵(听觉)、鼻子(嗅觉)、手和皮肤(触觉)接受外界的各种信息,计算机也有相应的设备,将数据、程序、文字符号、图像以及声音等输送到计算机中,我们称它为输入设备。常用的输入设备有:键盘、鼠标器、数字化仪(相当于人的触觉)、光笔、光电阅读器和图像扫描器(相当于人的眼睛)及各种传感器等。

(2) 输出设备 人通过口说、笔写、动作和表情传达各种信息,而计算机通过其输出设备将运算结果输出来。

计算机常用的输出设备有:显示器、打印机、绘图仪等。

打印机按其印字方式可分为击打式打印和非击打式打印两种。击打式打印机是利用打印钢针撞击色带和纸打出点阵组成字符图形。非击打式印字机是用各种物理的或化学的方法印刷字符,如静电感应、电灼、热敏效应、激光扫描和喷墨等。

(3) 存储器 人通过各种感觉器官,将接受到的信息存入大脑,而计算机将输入设备接收到的信息以二进制的形式存入

存储器中。存储器有两种,分别叫做内存储器 and 外存储器。

① 内存储器 内存储器简称内存(也称主存储器),用来存放当前计算机运行所需要的程序和数据。它很像一个大仓库,里面有许多房间(存储单元),每个房间又放一定量的“柜子”,这种“柜子”叫记忆元。每个记忆元都只有两种状态,可分别用来表示(存储)数字“1”和“0”。每个记忆元存储的0或1称作一个二进制位(bit),连续的八个二进制位叫作字节(byte)。存储器容量的大小通常用字节数表示。1 024 个字节为1 KB,1 024 KB 为1 MB,1 024 MB 为1 GB。内存容量的大小是衡量计算机性能的主要指标之一。

按存储方式,内存储器可分为只读存储器(ROM)和随机存储器(RAM)。前者只能读出信息,而不能写入信息,已存入的信息不会因关机而消失,通常只读存储器的内容是由厂家做好的。后者可随机读出和存入信息,但关机后,所存入的信息将全部消失。所以 RAM 通常存放变动的程序和数据,而 ROM 则存放固定不变的程序或数据。

② 外存储器 内存速度快,使用起来很方便,但其容量是有限的。另外, RAM 内存是接电才能反映存储状态的一种易失性存储电路,不能长期保存信息,所以计算机还要配备容量更大的、能够长期保存信息的外部仓库——外存储器。

外存储器(简称外存)是内存存储器的后备,它的速度较低,但容量大。计算机工作时将一些常用的信息放在内存,暂时不用的留在外存。可以说,外存是内存的延伸和扩大,它的容量几乎是没有什么限制的。内存与外存间信息的传递是相当方便的,几秒内就可完成。由此可见,外存既是计算机中主要信息的源地,又是被处理信息的归宿。计算机的各种软件,正是通过外存得以转移,甚至作为商品销售的。

常用的外存是磁盘存储器。磁盘有硬盘和软盘之分。软盘很像唱片,软盘尺寸通常为 5.25 in(英寸)和 3.5 in 两种。前者的存

储容量一般为 1.2 MB ,后者的容量一般为 1.44 MB。硬盘是一种不可更换的固定盘 ,它的存取速度比软盘快 ,容量也比软盘要大得多 ,目前常见的有 80 GB、40 GB 等。

大家知道 ,磁带靠录音机才能录放 ,同样磁盘也得靠一种称为驱动器的装置才能进行读写。这是一种十分精密的机电装置 ,以每分钟 300 或 360 转的速度带动软盘旋转。驱动器里还有一个或一对(硬盘驱动器通常有几对)灵敏度很高的磁头 ,工作时贴在磁盘的磁性表面上进行读或写信息。

目前被广泛使用的另一种外存储器是光盘(CD - ROM) ,光盘存储容量大、便于携带。一张光盘的存储容量通常是 650 ~ 800 MB。光盘驱动器是多媒体计算机的必备部件。

(4) 运算器 计算机的运算器是完成各种算术运算和逻辑运算的装置 ,能作加、减、乘、除等数学运算 ,也能作比较、判断、查找等逻辑运算。

(5) 控制器 控制器是指挥和控制其各部件协调工作的机构。其工作过程和人的大脑指挥和控制人的各器官类似。

前面提到过 ,在微型计算机中 ,运算器和控制器是集成在一个芯片上的 ,叫中央处理单元(CPU) ,也叫微处理器。CPU 是计算机系统的核心 ,CPU 性能的高低直接决定了一个计算机系统的档次。CPU 的主要技术指标有 :

字长——CPU 能同时处理的二进制数据的位数。它决定了计算机一次数据操作的吞吐量。一般说来 ,字长越长 ,运算精度越高 ,处理速度越快 ,但价格也越高。386、486 机的字长为 32 位 ,奔腾机是字长为 32 位的高档微机。

主频——计算机的时钟频率 ,指 CPU 在单位时间内平均“动作”的次数。通常时钟频率以 MHz 或 GHz 为单位 ,如 800 MHz、2.0 GHz 等。时钟频率越高 ,运算速度就越快。

2. 计算机软件系统

软件是指程序、程序运行所需要的数据以及与程序相关的文

档资料的集合。

程序是一系列有序的指令的集合。计算机之所以能够自动而且连续地完成预定的操作,就是运行特定程序的结果。计算机程序是用某种计算机语言来编制的,编制程序的工作就称为程序设计。

对程序进行描述的文本称为文档。因为程序是用抽象化的计算机语言编写的,如果不是专业的程序员是很难看懂它们的,因此就需用自然语言来对程序进行解释说明,形成文档。

软件是计算机的灵魂。计算机的所有操作都是在相应软件的控制下进行的,没有软件的计算机被称为“裸机”,什么也干不了。通常根据软件用途将其分为两大类:系统软件和应用软件。

(1) 系统软件 系统软件是管理、监控和维护计算机资源,使计算机能够正常高效工作的程序及相关资料的集合。主要包括以下几个方面:

① 操作系统。它是控制和管理计算机的平台。如:DOS、UNIX、XENIX、WINDOWS 和 OS/2 等。

② 各种程序设计语言及其解释程序和编译程序。

③ 各种服务性程序。如:监控管理程序、调试程序、故障检查和诊断程序等。

④ 各种数据库管理系统。

系统软件是计算机正常运转不可缺少的,一般都是作为计算机系统的一部分提供给用户的。

(2) 应用软件 应用软件是为了解决用户的各种问题而编制的程序及相关资料的集合,因此应用软件都是针对某一特定的问题或需要而编制的软件。

应用软件的种类非常多。例如:各种财务软件包、统计软件包、科学计算软件包、人事管理软件、档案管理软件等。应用软件丰富与否、质量好坏,直接影响到计算机的应用范围与实际经济效益。

应用软件需要系统软件的支持,或者说系统软件是应用软件开发和运行的支撑环境。以系统软件作为基础,用户就能够使用各种各样的应用软件,让计算机来为自己完成各种工作。随着计算机应用领域的不断扩大,应用软件越来越多。软件开发是个艰苦的脑力劳动过程,硬件生产日益自动化,相比之下软件水平还很低,为此,包括我国在内的许多国家正在投入大量人力从事软件工作。

六、计算机病毒及其防治

计算机病毒是具有自我复制能力的计算机程序,它影响和破坏正常程序的执行及数据的安全。

1987年,在世界的许多角落,出现了形形色色的计算机病毒,如 Brain、Lenigh、IBM 圣诞树、黑色星期五等等。1988年底,我国开始出现计算机病毒。如今,计算机病毒已有数万种。

计算机病毒按其寄生场所不同,可分为文件型病毒、引导型病毒和混合型病毒三大类。引导型病毒寄生在磁盘的引导记录区,文件型病毒寄生在可执行文件里。混合型病毒不仅感染磁盘文件,也感染引导记录区。

按破坏程度,计算机病毒分为良性病毒和恶性病毒。良性病毒对磁盘信息、用户数据不产生破坏作用,只是对屏幕产生干扰,或使计算机的运行速度降低。如小球、音乐和毛毛虫病毒等就属于这一类。恶性病毒对磁盘信息、用户数据产生不同程度的破坏。这类病毒危害性极大,大麻病毒、方块病毒就属于这一类。

计算机病毒具有隐藏性、潜伏性、传染性和破坏性。它往往寄生在软盘或硬盘的特殊位置或程序文件里,很难被觉察。计算机被染上病毒后,一般并不立刻发作,而是等待特定的条件或时间,时机成熟时才发作。计算机工作离不开对磁盘的读写操作,绝大多数病毒都利用了这一特点,一旦对磁盘进行读写操作时,它便将自身复制到被读写的磁盘,或其他正在执行的程序中,这样便达到

了病毒传染扩散的目的。病毒发作时会占用系统资源、破坏数据、干扰程序运行,甚至造成系统瘫痪。

计算机病毒并不可怕。首先,我们应当知道它的破坏范围是有限的,它无法破坏 ROM 中的信息,也不会对微机的各种硬件造成损害,更不会传染给人。其次,我们应该知道病毒的传染是有条件的、可预防的,万一感染上病毒也是有办法清除的。

计算机病毒防治包括预防、检测、清除等几个方面。预防是关键,堵塞传播渠道是防止计算机病毒入侵的有效方法,为此应从以下几个方面注意:

- (1) 经常对硬盘上的重要文件进行备份。
- (2) 凡是不需要再写入数据的软盘都应进行写保护。
- (3) 不要随意将系统盘、应用程序盘借给他人使用。
- (4) 不要使用来历不明的程序或不是正当途径复制的程序。
- (5) 对交换的软件及数据文件进行检查,确定无毒后方可使用。
- (6) 经常用杀毒软件对系统进行查毒、杀毒。

常用的杀毒软件有 KV3000、瑞星 2003 等。这些软件功能强大并且不断进行版本升级。但任何杀毒软件都不是万能的,用杀毒软件对付病毒只能是一种消极的方法,“预防为主,防治结合”才是我们应该坚持的最好方法。

七、计算机安全法规与软件保护

1. 计算机犯罪及安全法规

制造蠕虫病毒的美国康奈尔大学计算机专业的研究生,当时年仅 23 岁的罗伯特·莫里斯,他的律师在法庭辩护时说:“莫里斯是一位诚实的值得信赖的计算机奇才,作为实验他编出了病毒程序,暴露出全美计算机网络安全缺陷”。但是,莫里斯还是被判处有期徒刑五年,缓期三年执行,罚款 15 万美元,并罚做社会工作 400 小时。因此,莫里斯成为世界上因制造计算机病毒而

受到法庭审判的第一人。

计算机的广泛应用促进了经济和社会的发展。然而,随着人们对计算机的依赖与日俱增,计算机系统涉及到国防、科研、经济、技术等领域的信息资源和秘密如被破坏或损失,将给经济和社会带来严重的危害。

当前,国内外利用计算机犯罪的表现形式主要有以下几种:

(1) 盗窃国家政治、军事、经济情报。1988 年一个德国学生将自己的计算机与军方计算机联网,搜集到大量的国防机密,从而被定为犯罪。

(2) 诈骗窃取资金。据美国报刊披露,最近几年美国因计算机诈骗盗窃案件平均每年损失 40 亿美元,且均为大案,平均每起 45 万美元。

(3) 破坏信息。主要是利用计算机病毒进行破坏。

为了确保计算机系统的安全,除了采取一些技术性措施外,还需强化管理措施和法制建设。自 1973 年瑞典制定了数据安全法以来,不少国家陆续制定了各种计算机安全法律和法规,有的对刑事法典作了相应的补充修改,有的建立了计算机安全管理监察和审查机构。我国公安部的计算机安全监察局成立以后,颁布了计算机安全规范,已经并正在做大量的法制、法规方面的工作。

计算机用户要增强法制观念和社会责任感,抵制一切有损于信息系统安全的误用、滥用和破坏行为。

2. 计算机软件著作权的保护

计算机软件的应用往往可以产生巨大的社会效益和经济效益,它在人们认识自然、认识社会、履行社会职责的活动中具有越来越重要的地位。有人甚至称它为“现代炼金术”。目前,软件已成为市场上流通的商品,具有越来越大的商品价值。因此,计算机软件著作权的保护问题已引起人们的高度重视。

计算机软件主要包括程序及其文档。非法复制、抄袭程序及其文档是侵害软件开发者利益的主要方式。国际上相当多的国家

以一般作品的著作权法保护软件。

我国国务院依据《中华人民共和国著作权法》的规定,颁布了《计算机软件保护条例》,并于1991年10月1日起实施。该条例对于计算机软件的著作权、法律责任、软件的登记管理等作出了具体的规定。

条例禁止任何人对他人的软件进行非法复制、非法销售及任意剽窃。对于上述侵权行为,将根据情况,承担停止侵害、消除影响、公开赔礼道歉、赔偿损失等民事责任,并可由国家有关部门予以没收非法所得、罚款等行政处罚。

该条例还规定新开发的软件可向软件登记管理机构办理软件著作权登记,这是提出软件权利纠纷行政处理或诉讼的前提。

为了划清界限,该条例还规定,对于软件的保护,不能扩大到开发软件所应用的思想、概念、原理、算法、处理过程和运行方法,以避免阻碍人类知识的传播和科学技术的进步,条例还允许因课堂教学、科学研究、国家机关执行公务等非商业性的需要对软件进行少量的复制,但要求在使用时加以说明,并不得侵犯有关人员所享有的权利。

该条例的颁布是我国计算机界的一件大事,是我国政府尊重知识、尊重人才政策的具体体现,它将保护并激发人们进行智力劳动的创造性、积极性,形成正常的软件市场。同时,也有利于对外贸易、外国投资和进行技术的引进,从而促进我国计算机软件事业的健康发展。

第三节 计算机的应用

随着计算机技术的发展,计算机文化的推广,用户不断为计算机开辟新的应用领域。反过来,计算机应用的扩展又持续地推动信息产业的新增长。

20世纪50年代,计算机主要用于科学计算。60年代,计算机应用扩展到工业、交通、军事部门的实时控制和大公司、大银行的

数据处理。70年代以后,许多中、小企业和事业单位用上了计算机,一方面扩展了在事务管理和工程控制方面的应用,另一方面在计算机辅助设计、数据库应用、图形处理、专家系统等领域也开展了应用。目前,计算机应用正进一步向各行各业渗透,上至高新的尖端技术,下至家庭生活与各种电器,计算机几乎无处不在,无时不在。计算机把社会生产力提高到前所未有的水平。它已经成为人脑的延伸,使社会信息化真正成为可能。

以下介绍计算机在几个方面的应用。

一、科学计算

科学计算是计算机最早的应用领域,第一批问世的计算机最初取名 Calculator,以后又改称 Computer,就是因为它们当时全都用作快速计算的工具。同人工计算相比,计算机不仅速度快,而且精度高。特别是对于大量的重复计算,计算机从不会感到疲劳和厌烦。比如中央电视台每天播出的天气预报,必须事先进行大量的数值运算,而这些计算用手工是无法完成的。我国研制的“银河”计算机就承担了这一繁重的计算任务。

今天,科学计算在计算机应用中所占的比重虽不断下降,但是在天文、地质、生物、数学等基础科学研究以及空间技术、新材料研制、原子能研究等高新技术领域中,仍然占有重要的地位。在某些应用领域,对计算的速度和精度仍不时提出更高的要求。

二、信息处理

现代社会是信息化社会。随着生产的高度发展,导致信息量急剧膨胀。信息是资源,人类进行各项社会活动,不仅要考虑物质条件,而且要认真研究信息。信息已经和物质、能量一起被列为人类社会活动的三个基本要素。信息处理就是指对各种信息进行收集、存储、整理、分类、统计、加工、利用和传播等一系列活动的统称,目的是获得有用的信息作为决策的依据。

目前,计算机信息处理已经广泛应用于办公自动化、企业计算机辅助管理与决策、文字处理、文档管理、情报检索、激光照排、电影电视动画设计、会计电算化、图书管理以及医疗诊断等各行各业,信息正在形成独立的产业。多媒体技术更是为信息产业插上了腾飞的翅膀。有了多媒体,展现在人们面前的不再是枯燥的数字、文字,而是人们喜闻乐见、声情并茂的声音和图像信息了。

微型计算机正在使办公室工作发生根本性的变化,利用磁盘、光盘,将大量的文件、档案、资料、信件等存储起来,只要按几下键,所需的资料就可在屏幕上显示出来或通过打印机打印出来。如果要销毁某些文件,操作也是同样的简单。

据统计,世界上的计算机 80% 以上主要用于信息处理。这类工作量大面宽,决定了计算机应用的主导方向。

三、自动控制与机器人

计算机具有准确的逻辑判断能力,它能够根据一些具体的信息来自动控制设备的工作。从 20 世纪 60 年代起,就在冶金、机械、电力、石油化工等产业中用计算机进行实时控制。其工作过程是首先用传感器在现场采集受控制对象的数据,求出它们与设定数据的偏差,接着由计算机按控制模型进行计算,然后产生相应的控制信号,驱动伺服装置对受控对象进行控制或调整。

实时控制不仅能通过连续监控提高生产的安全性和自动化水平,同时也提高了产品的质量,降低了成本,减轻了劳动强度。

在军事上,用计算机控制导弹等武器的发射与导航,自动修正导弹在飞行中的航向。在海湾战争中,美国的爱国者导弹之所以能准确地拦截了伊拉克的飞毛腿导弹,就是因为从捕获信息到控制导弹的发射,均使用了计算机等先进设备。

最早的机器人诞生在美国。20 世纪 60 年代初期,美国万能自动公司和机械铸造公司的机器人问世以后,世界上掀起了工业机器人的热潮。到 1989 年底,全世界已有近 40 万台工业机器人

在运行。

机器人在生产、科研和生活等各个领域中的作用是巨大的。日本生产的一种被称为“铺地王”的水泥机器人,每小时可铺水泥地面 500 m^2 ,约是一个工人工作量的 40 倍。澳大利亚的剪羊毛机器人,可在 20 min 内剪一头羊,轻微损伤只有 3% ~ 5%。1966 年,美国一架 B - 52 轰炸机不慎把一枚氢弹失落海中,海洋机器人“卡布”只身把氢弹从 750 m 深的海底捞起。

机器人是生产高度自动化的标志。因此,我国“863”计划将其列为自动化领域的两个主题项目之一,中国科学院在沈阳建立了机器人示范工程。机器人在我国虽然是“小荷才露尖尖角”,但也已功成名就。比如,水下机器人圆满地解决了检查小丰满水坝拦污栅的难题;建设机器人刚刚问世就在石洞口电厂成功地顶升双钢内筒烟囱,令世人刮目相看。

1997 年,我国研制的 6 000 m 无缆水下机器人深入海底 5 100 ~ 5 200 m,圆满地完成各项太平洋海底调查任务,获得大量数据、图片和资料,并顺利回收。6 000m 无缆机器人的研制涉及自动化、计算机、水声、深潜等多项专业技术,需要解决水中通信、高压密封、自主航行控制、动力系统、能源系统、各种信息的采集和处理、特种材料及可靠性等高技术难题。我国是世界上能研制这项尖端设备的少数几个国家之一。

四、计算机辅助设计与辅助制造(CAD/CAM)

计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)主要服务于机械、电子、宇航、建筑、纺织和化工等产品的总体设计、造型设计、结构设计、运动机构模拟设计、有限元分析处理、工艺过程设计、数控加工和控制等环节。应用 CAD/CAM 技术,可以缩短产品开发周期、提高设计质量、增加产品种类、增强产品在市场中的应变能力和竞争能力。

在美国、日本、西欧等发达国家,飞机、汽车制造、集成电路企

业全都采用 CAD/CAM 技术 ,约 60% 的机械工业、40% 的建筑设计部门采用了 CAD 技术。统计资料表明 ,采用 CAD 技术后 ,集成电路设计效益提高 18 倍 ,机械产品设计效益提高 5 倍 ,建筑设计效益提高 3 倍 ,社会经济效益显著。CAD 技术已成为新一代生产技术的核心。

我国 CAD 技术的开发应用始于 20 世纪 80 年代 ,20 年来不仅在科学界得到重视 ,而且各主要工业部门在各自的领域中都已经开始应用这一技术 ,应用面迅速扩大。

五、计算机辅助教学与计算机管理教学(CAI/CMI)

计算机辅助教学(CAI)和计算机管理教学(CMI)是计算机在教育领域的应用 ,也是一种新兴的教育技术。

计算机可以模拟自然界各种变化的现象 ,用屏幕作为直观的教具 ,显示的图像具有直观性 ,动感强、速度快、色彩丰富并且还可配有音响效果。某些以往只能用语言来间接描述的微观的、宏观的、瞬时的现象可以得到准确、直观的表达。

利用 CAI ,计算机不仅可以向人们传授知识、提供资料 ,还可以帮助学生做练习、复习、解题、辅导和测验等。

CAI 与传统教学方式相比较 ,最突出的特点是真正实现了以学生为中心的人格化教学方法 ,学生可以按照自己的实际情况来选择学习内容 ,控制学习进度 ,及时了解自己的学习效果。同时 ,由于计算机在教学过程中表现出的无比“耐心” ,所提供的安详和谐的学习气氛 ,使学生完全可以消除畏惧心理 ,从而使学习的成功性大大提高。

CMI 用计算机实现各种教学管理 ,例如教务管理、教学计划制订、课程安排、计算机题库与计算机评分等。

六、多媒体应用

多媒体是计算机技术与图形、图像、动画、声音和视频等技术

相结合的产物。多媒体计算机的出现提高了计算机的应用水平,扩大了计算机技术的应用领域,使得计算机除了能够处理文字信息外,还能处理声音、视频等信息。

多媒体家电是多媒体应用的一个重要领域。人们离不开娱乐,离不开家电,也离不开多媒体家电。利用多媒体技术可以进行建筑设计、建模、渲染和修改,只要将建筑工程的立体图进行旋转,近处、远处就一目了然。用多媒体来解决交通问题,可以根据人口分布和车辆流向来扩建或改建原来的交通布局。采用多媒体监控的办法,在各个路口和主要交通干线上,对行人、车辆进行实时监控和疏导,可以减少交通拥堵现象。

多媒体会议系统,也就是视频会议,使人们之间的信息交互可以超越时间、空间的约束,千里咫尺能“听其声、看其人”,能进行实时的信息交互。

多媒体可用于各种办公系统、监控系统、家庭影院(VOD)、远程医疗、远程教学和培训等。

家庭影院与视频点播是同一个概念,即 VOD,是多媒体应用的一个方面。利用 VOD,在一个小区中,用户不需要从电视频道上收视电视节目,而可以直接从视频点播系统中任意点播装在这个系统中的影片,可以随意切换,可以重复点播一个影片,还能控制快进、快退、查看、暂停和转换到其他场景。当然它可以点播新闻、卡拉 OK、游戏等等。

多媒体技术的发展虽只有短短十几年的时间,但它对人们生产方式、生活方式和交互环境的改变所起的作用,不容忽视。它对各个学科发展和融合的促进,对计算机应用领域的开拓意义深远。

七、网络应用

早在 20 世纪 70 年代,国外已有一批广域网投入运行。例如,美国国立医学图书馆的国际情报检索网当时共连接 1 000 余个终端,其中约 4/5 分布在美国,其余 1/5 分布在日、德、法和加拿大。

加拿大的科技情报网,在全国 253 个大型图书馆设有近 400 个终端,到 70 年代末期已存储了 650 万条书刊目录索引。

从 20 世纪 70 年代末到 80 年代,是局域网(LAN)取得巨大进展的时期。一个大楼内的计算机用 LAN 连接起来,可以在全系统内实现资源共享,提高了系统工作的可靠性和单台计算机的可用性。PC 机的普及推动了 LAN 的发展,而大批 LAN 的出现,又为人们熟悉网络工作方式,加速各国和全球的网络建设准备了条件。

在这种背景下,美国提出了建设信息高速公路的计划。我国也在政府的统一领导下,制订并开始实施规模空前的国家经济信息网、教育科研网和公用数据通信网的建设计划。在经济信息网的“金卡”工程中,计划要用 10 年或更长一点的时间,在 3 亿人口中推广使用信用卡。计划通过“金关”工程来加强外贸管理,开展 EDI(即电子数据交换,并称“无纸贸易”)的应用试点。而“金桥”工程则要通过在全国范围内建立主干网、基干网和区域网,联通全国 500 个大中城市,上万个大、中型企业、科研基地、重点高校和国家经济管理部门。与此同时,国家还建设了中国教育科研网(CERNET),并与 Internet 相连,目前,全国几乎所有高校的校园网都与 CERNET 连接起来了。

Internet 具有一种非常重要的特性——资源共享。正是这一特性让国界洲界消失于无形之中,缩短了我们的时间与空间距离。也是这种性质使计算机与计算机、网络与网络之间可以彼此连结起来,互相使用彼此的传输线路、计算机硬件以及应用软件。

Internet 提供了多项资源,以及五花八门的服务系统。如 E-mail(电子邮件)、TELNET(远程登陆)、FTP(远程文件传输)、Talk(交互对话)、WWW(全球信息网)等。

电子邮件的内容可以包含文字、图像、音乐等。它与传统邮件的最大不同之处是投递邮件的速度,电子邮件的投递通常是一瞬间,而且可以跨越遥远的空间。

Internet 是近年来发展最快的网络,用“爆炸”来形容其发展规

模和速度一点也不过分。到 1998 年 2 月 ,全世界 Internet 用户已达 1.13 亿 ,年增长率高达 300%。

我国上网用户总数 ,1998 年底为 210 万 ,2000 年 1 月为 890 万 ,2000 年 8 月超过了 1 000 万 ,2001 年底达到 3 370 万 ,2002 年 10 月超过 5 400 万。

可以毫不夸张地讲 ,Internet 是人类历史上最伟大的成就之一 ,它的重要意义可以与工业革命给人类社会带来的巨大影响相媲美。现在 ,我们已经无法想像一个没有电话的世界会怎样 ,将来我们更无法想像一个没有计算机网络的世界又会是什么样。

八、电子商务

借助于电子技术和网络技术来解决商贸业务过程中的各类单证交换和数据处理是人类多年的梦想。20 世纪 90 年代以来 ,由于计算机技术、网络通讯技术以及单证数据交换技术的出现为人们实现这一梦想提供了可能。于是自 90 年代中期 ,各式各样的电子商贸系统风靡全球 ,成为国际学术界、高新技术界和工商管理界研究和开发的热点。

从狭义上讲 ,电子商务指在网上进行交易活动 ,包括通过 Internet 买卖产品和提供服务 ,产品可以是实体化的 ,如汽车、电视机 ,也可以是数字化的 ,如新闻、录像、软件等基于知识的产品。此外 ,还可以提供各类服务 ,如安排旅游、远程教育等。

事实上 ,电子商务并不仅仅局限于在线买卖。它将从生产到消费各个方面影响商务活动的方式。除了网上购物 ,电子商务还大大改变了产品的定制、分配和交换的手段。而对于顾客 ,查找和购买产品乃至寻求服务的方式也将大为改进。

总之 ,电子商务的革命性在于它对整个过程的影响。包括企业内部商务活动(如生产、管理、财务等) ,也包括企业间的商务活动 ,它不仅仅是硬件和软件的结合 ,更是把买家、卖家、厂家和合作伙伴利用 Internet 技术与现有的系统结合起来进行业务活动。

目前,我国电子商务已在外经贸、海关、银行、税务等许多领域和层次上得到应用,并取得了很大成绩,为中国电子商务的发展打下了良好基础,也积累了宝贵的经验。1996年2月,外经贸部决定成立中国国际电子商务中心,负责研究、建设、运营中国国际电子商务工程。

九、电子出版物

电子出版物是指以数字代码方式将图文声像等信息存储在磁、光、电介质上,通过计算机或者具有类似功能的设备阅读使用,用以表达思想、普及知识和积累文化,并可复制发行的大众传播媒体。

目前我国电子出版物从功能上主要分为三类:娱乐类、资料类和教学类。电子游戏是娱乐类的主角;资料类是指各种数据库以及由百科全书之类的传统书籍转变成的电子书籍,这样更便于检索和携带;教学类是指一些教育软件,如幼儿教育、在职培训、CAI软件等等。

通过电脑和网络进行研究是研究方法的革命性的变化。它突破了传统的收集资料和研究的方法。以前所谓“秀才不出门,全知天下事”,如今已不再是一句空话。由于网上图书馆全天24小时服务,而且完全免费,因此,从理论上讲,个人能够拥有全世界的图书资料。通过Internet到世界各地图书馆查询资料,不但方便、快捷,省时省力,而且能够弥补我们所在地图书馆馆藏的不足。

作为一个学者,在确定研究方向之后,首先应当收集与研读相关资料,以便了解学术界对此问题的研究现状。最快的方式,即是查询光盘版的博士论文摘要。通过研读比照,我们可以发现已有的研究成果及存在的问题,从而避开现成的结论,找出没有或较少被论及的方面,确定研究题目,并将相关的论文作为参考资料。一个可能有创见的选题就诞生了。以此作为出发点,可以进一步检

索有关光盘中的论文及专著资料,也可以上 Internet 进行查询。

无论是从光盘还是从网络中获得的资料,都是电子文本,最适合用电脑进行进一步的处理。经过必要的排列、裁剪和比勘之后得出的结论,就是我们的初步研究成果。除此之外,我们还有一些可以利用的软件工具,如自动编写摘要工具、自动编制索引工具、自动校对工具、自动翻译工具等等,都是我们进行研究的辅助工具。

十、人工智能与“人机大战”

计算机虽称作电脑,但目前与人的大脑还相差甚远。人的左、右脑是有分工的,左脑承担运算、推理等逻辑思维,右脑承担感知、认识、学习等形象思维。目前的计算机主要完成运算、推理,属于左脑型。使计算机具有人脑的智能一直是计算机科学家追求的一个目标。

人工智能(AI)是计算机科学的一个分支,是指用计算机和工程的方法来理解人的智能行为,使计算机具有智能和模拟人的智能行为的能力。使计算机能应用在需要认知、感知、推理、学习、理解及其他类似有认识和思维能力的任务中。

人工智能理论自 1956 年诞生之后,经历了博弈时期、自然语言理解、知识工程和目前的机器学习等阶段,人工智能的成果也得到了较好的应用,如包括语音识别、手写体和印刷体识别在内的多模式人机接口、机器翻译、专家系统在医学等方面的应用等等。智能控制将人工智能应用于传统的控制技术方面也取得了明显的进展,收到了很好的经济效益和社会效益。

1997 年 5 月,在美国纽约城,国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫与 IBM 的超级计算机“深蓝”下了一场世纪棋赛,展开了一场“人机大战”。结果,计算机战胜人类冠军,引起了计算机界的轰动。这标志着人工智能的重大进展。

1997 年 5 月 11 日,星期一,早晨 4 点 50 分(北京时间),当名

为“深蓝”的那台超级电脑将棋盘上的一个兵走到 C4 位置时,人类有史以来最伟大的棋手不得不沮丧地承认自己输了。20 世纪末的一场人机大战终于以计算机的微弱优势取胜而结束。

六局比赛,双方杀得难解难分,引来全世界无数棋迷和非棋迷的热切关注。人们对此此次人机对弈倾注巨大热情,各种报刊也对这场世人注目的人机大战予以密集报道和评论,显然不只是出于对国际象棋的本身的兴趣。事实上,许多关心比赛的记者和读者可能本身是棋盲。是这场比赛所蕴涵的机器与人类智慧较量的特殊意义吸引了他们。

作为人类最伟大的棋手,卡斯帕罗夫在国际象棋棋坛上独步天下,无人能出其右。前世界冠军卡尔波夫号称是唯一能与卡斯帕罗夫抗衡的人类棋手,但在两人交战史上,多为卡斯帕罗夫取胜。至于排名在后面的棋手,即使是印度的阿南德,这位世界排名第二的棋手,也无力撼动卡斯帕罗夫的霸主位置。

可是,在临近 20 世纪末的 1997 年,“独孤求败”的卡斯帕罗夫却输给了一台电脑,一个没有生命力、没有感情的机器。

此次赛前,卡斯帕罗夫充满信心,发誓要为捍卫人类之优于机器的尊严而战。然而,最终结果却未如卡斯帕罗夫及其拥戴者之意。他所捍卫的人类尊严在一台冷漠的“蓝色巨人”面前被无情地击溃了。虽然人类的骄傲可以把这场比赛的结果仍然归咎于人类自身的胜利,毕竟“深蓝”自己也是人类研制出来的一台计算机而已,或者说是一件豪华精密的工具罢了。但不能不承认,人类所创造出来的工具击溃了人类,而且是在人类引以为骄傲的智慧领域。

象棋本身是一种高深的逻辑运算游戏,其每一个棋子的每一步都蕴涵着无数的可能性。自电脑发明以来,许多电脑专家都试图发明能够战胜一流棋手的程序。由于这是一项高智能活动,要想让电脑能够和世界一流的象棋大师对弈,需要极高的运算速度、丰富的信息资源、强大的信息处理能力和先进的人工智能

技术。

就电脑硬件而言,“深蓝”是世界第一台超级国际象棋电脑,是超级并行处理计算机,它有32个微处理器,每个微处理器上有八块专门设计的国际著名棋局芯片,每秒钟可以计算两亿步棋。观察比赛的记者发现“深蓝”每步棋平均要三分钟,也就是说,每走一步棋,它要“思考”360亿个棋位。这即使还不能穷尽全部的逻辑可能性,用来对付人也显得绰绰有余了。相比之下,超一流的大师卡斯帕罗夫,每秒钟可思考三步棋,那么以他每步棋思考10分钟计,也不过是计算了1800个棋位。

“深蓝”研制小组请来了美国特级象棋大师乔·本杰明,让他帮助改进“深蓝”对局面的判断,提高其思考效率,将他对局面的全部理解输入“深蓝”。研制人员还给“深蓝”输入了一百多年来优秀棋手对弈的两百多万棋局。使它具有了非常强的攻击性,在平和的情况下也善于把握“杀机”。

面对这样一个对手,卡斯帕罗夫的失败几乎是注定的了。正像他本人说的那样:我和不少电脑交过手,但从未遇到过这种情况。我能感到——我能嗅到——坐在桌子对面的一种新智能。尽管在这一局收场时我使出浑身解数,但我还是输了。它的棋下得漂亮极了,一着接着一着,步步为营,走得天衣无缝,终于轻取此局。

“人机大战”的结果标志着计算机技术、特别是人工智能技术达到了一个崭新的阶段,但并不能以此说明“电脑”就战胜了“人脑”,因为“电脑”的背后实际上是包括美籍华人谭宗仁、许峰雄等一大批计算机专家,他们经过多年的努力,培养出这样一个超级电脑棋手。电脑的进步表明人类对人脑的思维方式有了更深的理解。从科学的意义上讲,“人机大战”只是一项科学实验。

中国科学院院士吴文俊说,“深蓝”没有智慧,有智慧的是它背后那些设计人员。

负责深蓝技术开发的 IBM 华裔科学家谭宗仁先生指出 ,开发深蓝 ,其根本的目的在于找出人与机器相协作解决复杂人类问题的道路。

专家们预计 ,深蓝所采用的技术将被广泛地应用在分子动力学、天气预报、决策辅助系统、金融风险分析和数据采掘等各个方面。所有这些应用的共同之处在于 ,它们都涉及海量的数据并要对这些数据之间无穷的逻辑关系做出判断。这里需要的不仅仅是高速的运算能力 ,而且包括电脑程序中必要的“智能化”成分。比如类似人类直觉的模型认知。逻辑判断加上少许拟人的直觉式判断 ,电脑就将带人类进入一个新时代。

英国作家赫胥黎曾言 :“ 棋盘就是整个世界 ”。这句名言的意思是 ,解决世界问题同解决棋盘上的问题一样 ,都需要非凡的计算能力和直觉判断的完美结合。那么我们可以推论说 :电脑已经解决了棋盘上的问题 ,那就该让它来解决世界的问题了。

第四节 计算机技术的发展与展望

任何事物都是在不断发展变化的 ,而且这种发展和变化是无止境的。随着人类需求的日益提高 ,对计算机也将提出更高、更新、更快、更智能化的要求。计算机技术正在向以下几个方向发展。

一、微型计算机

由于超大规模集成电路技术的进一步发展 ,微型机的发展日新月异。2003 年 ,基于 Intel 处理器的主流桌面系统主频已升至 2.0 GHz。在未来的几年里 ,更多的微处理器会角逐 CPU 市场 ,新的内存标准将会确立。所有这些性能上的增强使 PC 在处理 3D 动画、MPEG - 2 视频以及实时语音识别等任务时能做到游刃有余。

PC 将是一个速度更快、性能更强、易于连接的系统 ,而且更小

巧,价格也会更便宜。最引人注目的是 PC 的外形将会更美观。而不一定是单调乏味的硬壳子。

下一代显示器是 PC 机“减肥”的灵丹妙药。现在常用的 CRT 显示器体积大、笨重。而 LCD 平板显示器在提供同样显示面积的情况下,质量只有 CRT 显示器的 $1/5$,体积为其 $1/3$,大约节省一半的电能。LCD 显示更加清晰,并且不容易使人眼睛疲劳。LCD 本身的技术发展前景也十分看好,显示精度可以与现在高级打印机的打印分辨率相媲美。随着技术的不断进步,这种 LCD 显示器完全可以应用于对精度要求高的领域,如医学图像或精密机械维修。

今后的 PC 部件可能是简单易行、即插即用的模块,没有扁平电缆,没有小螺钉,而且连接任何设备时都不再需要将机盖打开了。

在今后的几年里,计算机语音识别技术、面部表情以及手势识别技术的飞速发展将会给人机界面带来新的革命。IBM 研究中心的技术专家认为,显示器上的数字摄像头以及高速硬件将使人机界面更加多样化。他们正致力于将键盘、手写输入笔、数字摄像头以及语音识别等输入技术集成在一起。未来的计算机输入技术在儿童教育以及帮助残疾人用电脑方面会起到很好的作用。

采用传统磁技术的硬盘容量还会继续高速发展,硬盘的容量很容易达到 80 GB 或 100 GB。

随着 Internet 的蓬勃发展及广泛应用,计算机(Computer)、通信(Communication)、消费类电子(Consumer Electronics)及内容(Content)的相互结合和渗透而形成的 3 C 或 4 C 信息世界将成为信息技术发展的一个重要趋势。

二、高性能计算机

衡量高性能计算机的一个重要指标是其运算速度,2000 年 6

月美国 IBM 公司宣布已经研制成功世界上速度最快的高性能计算机,每秒运算速度达 12.3 万亿次,随后日本宣布从 2001 年起开发运算速度高达每秒 130 万亿次的超级计算机。

近年来高性能计算机呈现出两个发展趋势:首先,高性能计算机原来主要用于科学计算,现在则逐渐在诸如数据仓库、在线分析处理、决策支持、数据挖掘等商业智能化和网络信息服务等领域有所应用。其次,高性能计算机原来主要强调的是运算速度,而现在也开始重视高性能计算机的效率、易用性、易管理性和可靠性等非速度因素。

随着数字家电、机顶盒、移动计算和移动通讯设备等客户端的发展,服务器的重要性也日渐突出。高性能计算机开始由从前的超级计算机向超级服务器方向过渡。

超级服务器的应用领域兼顾科学计算、事务处理、网络信息服务等方面,目前已经成为了高性能计算机的主流,今后的发展还将越来越快。

三、网络计算机

下一代计算机产品的发展主要围绕着两个方向展开:一个是实现电脑、电视和电话的三合一,换句话说,就是使电脑具有彻底的多媒体功能;另一个是传统的个人电脑与网络个人电脑的竞争。

网络个人电脑,即网络计算机(NC)。它是一种通过网络提供大部分资源的无盘工作站。程序、数据甚至操作系统都需要从网络服务器下载,因此不需要硬盘,同样也不需要软盘驱动器和光盘驱动器。因此,是一种无噪音、微型、价格便宜、易于使用的简化设备。业界许多人士和分析家均预言,这种计算机(或者称其为通讯设备)在家庭和办公室将大量普及。

为家庭设计的 NC,甚至不需要专门的显示器,新技术的发展可以将电视转化为一种高分辨率的显示器,NC 可以直接把电视与网络相连。在办公室应用中,NC 将直接通过企业内部网存取数

据、下载程序,并在客户端运行。

网络世纪的特点,是把硬件和软件资源都尽可能集中于网络由大家共享,处理也尽可能由网络上的服务器来进行。在这样的使用方式下,用户无需经常对自己的个人机升级以求得更多功能和更好性能,而且不必为操作系统的兼容性而烦恼,更不必经常去购买和安装层出不穷的新应用软件,所以用户将省心、方便多了。

由于资源和处理都尽可能集中到网络上,所以用户面前使用的 NC,可以只起进出网络的端口作用。更形象地说,它成为接到网络上的“水龙头”。这和人们常说的,计算机由最初的计算工具发展成为办公工具,而现在又从办公工具变为信息媒体的说法是一致的。所谓信息媒体是指可以像利用报纸、电视那样,利用计算机来取得所需的各种信息。网络的“水龙头”正是指可以通过它从网络上源源不断地取得所需信息。

由于 NC 只起“水龙头”作用,大部分功能都转到网络上,所以 NC 变得非常简单,价格降至很低。

四、智能计算机

智能计算机是指有人工智能的计算机系统。人工智能及智能计算机成为当前国际科学技术竞争的焦点之一,各国对这方面的技术都十分重视,进行了大量的研究与开发工作。智能计算机,在模拟人脑以及一些器官方面将有新的突破,在实现脑力劳动自动化方面将有重大进展。它具有如下特点:

(1) 对于声音、文字、图形、图像等各种形式的信息处理能力大大增强。

(2) 具有自然语言的理解能力。用户可以用自然语言与计算机会话,使用计算机变得更方便。

(3) 具有学习、联想、推理和解释问题的能力,可以帮助人们更有效地处理信息,进行创造、发明、总结规律、发现规律等。

(4) 能处理自然语言或接近自然语言书写的程序,只要把需计算或处理的问题用自然语言写出要求及说明,计算机就会进行相应的计算和处理,不必像目前书写程序那样要使用专门的语言把解题过程与数据描述出来,到那时,软件生产自动化将真正得到解决。

现在人工智能已经取得了较大的进展,可以辅助或部分代替人们做一些智能工作,如计算机博弈、自动定理证明、自然语言理解、机器人、专家系统等,但人工智能的继续发展也面临着许多难题,如知识表达、自学习等。传统的人工智能、专家系统一直是用产生式规则或框架式结构来表达专家知识的,然而就连一些人类学专家也很难用这种规则表达他们的经验,而一些“常识知识”甚至往往难以用语言描述清楚。另一方面人的知识越多,人越聪明,而在专家系统中,知识越多,系统解决问题搜索所花费的时间就越长,因而就显得越笨。以上这些问题向传统的人工智能提出了尖锐的挑战,许多学者在认真研究之后认为症结就在于传统的冯·诺依曼型计算机结构本身。数字计算机发展到今天已经经历了四代的变化。但即使是现代巨型计算机,其基本原理仍然是最原始的冯·诺依曼原理。由于受其本身所固有的程序存贮式串行处理以及局域式地址存贮等特征的限制,冯·诺依曼型计算机虽然在数值计算等方面取得了巨大的成功,但在自学习、联想、记忆、识别、形象思维等方面却显得能力低下。人们期待着新一代计算机的出现,国际科技界也开始了新一代计算机的艰难探索。

五、新型计算机

电子计算机由于多种因素的制约,其运算速度和处理能力不可能无限制地提高,因此,科学家们不得不跳出传统的电子计算机的结构模式,去寻找新的途径,研制开发新型的计算机。

1. 光计算机

光计算机是用光电集成电路(即由光学器件和电子器件相集成的新型器件,主要由激光器、光纤和开关等组成)代替传统的电子型集成电路制成的计算机。它的工作原理不是利用电子,而是利用光子束处理信息和存储程序。由于光速大于电子传输速度,所以其运算速度可以大为提高;又由于光计算机采用并行传输原理,故其传输的信息量也大大提高;此外,由于光空间传输的平行性好,所以光计算机中不需要布线,这既简化了工艺,又避免了在电子计算机中由于相邻布线之间存在的电磁干扰。

科学家估算,光计算机处理信号的能力将是电子计算机的成千上万倍。这种计算机可以具有人脑一样的联想能力及自学能力。这种复杂多变的联想能力是电子计算机无法实现的,而这正是光计算机施展本领的机会。光计算机的应用主要包括语音和图像的识别,交换大量的电话信号,以及通常的工作量极大的计算工作。

2. 神经元计算机

神经元计算机是一种仿真人脑神经网络原理的一种新型计算机。生物学家研究表明,人脑之所以能在瞬间完成学习、逻辑推理等复杂的信息处理,是因为人脑和担任信息处理基本要素的神经细胞以并行方式传输信息的缘故。而传统的电子计算机则采用逐次处理信息的方式,所以信息处理速度慢,难以实现仿人脑的功能。正是基于这种机理,神经元计算机的设计方案则设想利用多个处理器并行连接方式,来加速计算机的信息处理能力,使之接近于人脑的功能。

我国目前已研制出“高精度双权值突触神经元计算机 CAS-SANN - II”。该计算机在一次运算中可实现具有 1 024 个神经元 512 K 个双权值突触的神经网络规模,其通用性强,适用面宽,总体技术达国际先进水平。

3. 生物计算机

20 世纪 70 年代以来,人们发现,脱氧核糖核酸(DNA)处在不

同状态下,可产生有信息和无信息的变化。联想到逻辑电路中的 0 与 1、晶体管的通导或截止、电压的高或低、脉冲信号的有或无等等,科学家们激发了研制生物元件的灵感。

生物计算机的主要原材料是生物工程技术产生的蛋白质分子,并以此作为生物芯片。生物元件比硅芯片上的电子元件要小很多,甚至可小到几十亿分之一米,而且生物芯片本身具有天然独特的立体化结构,其密度要比平面型的硅集成电路高五个数量级。如让几万亿个 DNA 分子在某种酶的作用下进行化学反应,就能使生物计算机同时运行几十亿次。生物计算机芯片本身还具有并行处理的功能,其运算速度要比当今最新一代计算机快 10 万倍,能量消耗仅相当于普通计算机的十亿分之一,存储信息的空间仅占百亿亿分之一。

生物芯片一旦出现故障,可以进行自我修复,所以具有自愈能力。生物计算机具有生物活性,能够和人体的组织有机地结合起来,尤其是能够与大脑和神经系统相连。这样,生物计算机就可直接接受大脑的综合指挥,成为人脑的辅助装置或扩充部分,并能由人体细胞吸收营养补充能量,因而不需要外界能源。

把生物学和工程学结合起来制造生物计算机已不是天方夜谭。1997 年,美国南加州大学计算机科学家伦纳德·艾德曼已研制成功一台 DNA 计算机。艾德曼说“DNA 分子本质上就是数学式,用它来代表信息是非常方便的,试管中的 DNA 分子在某种酶的作用下迅速完成生物化学反应。28.3 gDNA 的运行速度超过了现代超级计算机的 10 万倍”。

2003 年,以色列科学家研制出一台速度达每秒 330 万亿次运算的生物计算机。这种计算机中的 DNA 既可以为整个计算机输入信息,又可以为计算机提供运行所必需的能量。

科学家们认为:生物工程是全球高科技领域最具活力和发展潜力的一门学科,加上计算机、电子工程等学科的专家通力合作,有可能在 21 世纪将实用的生物计算机推向世界。

4. 量子计算机

量子计算机既指它用的处理器是量子器件,又指它的计算机过程将建立在量子理论的基础上。

电子和光子一样具有波粒二象性。即有时表现出波动性质,有时表现出粒子性质。当集成电路线宽在 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下时,电子的波动性质便不能忽略。由于波动性质而表现出来的种种现象,例如隧道效应,便是量子效应。利用量子效应作为工作基础的器件便是量子器件。

量子器件不仅体积小,而且工作原理和现在的电子器件完全不同,能够实现更高的响应速度和更低的电力消耗,使电子器件这两个最主要性能指标有较大的提高。它不仅将支持未来计算机的发展,还将导致整个电子技术的革命。

量子计算机除了所用器件同现有计算机不同外,其工作原理也与之不同。由于出现量子效应时波的模糊性(当电子表现为波动时,它的位置是不确定的),使量子计算机具有并行性。

目前还没有真正意义上的量子计算机问世,但是量子计算机和量子信息技术在科技界的地位却是不可动摇的。科学家们正在逐渐克服障碍从而使量子计算机能够成为最快的超级计算机。可能未来的某一天,你会发现如今的电子数字计算机已经因为过时而被丢进了历史的垃圾堆。

参 考 文 献

1. 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京:中央党校出版社,1994
2. 张智善. 电脑技术:新技术革命的开路先锋. 北京:中国科学技术出版社,1996
3. 吕武平. 深蓝终结者. 天津:天津人民出版社,1997
4. 谢希德. 微电脑应用天地广阔. 微型电脑应用,1997(5)

第三章 现代信息技术

现代社会已进入信息时代,信息技术成为高新技术的主导和核心。信息技术的飞速发展和广泛应用对现代社会的影响和冲击是巨大而深远的,它波及到社会的各个领域和人类生产、生活的各个方面。信息技术为人们提供了新的、更加高效的信息获取、传输、处理和控制的手段,信息技术改变了现代产业结构,不仅孕育了一个新的产业——信息产业,而且给传统产业注入了活力,信息技术导致了职业结构的变化,改变了人们的职业观念,信息技术引起了家庭信息化和工作家庭化,改变了人们工作和生活方式。随着高新技术的迅猛发展和信息技术产品的大量涌现,以信息技术为核心的新技术革命将会大大推动经济和社会形态的巨大变革。人们称这场变革为第五次信息技术革命。

第一节 信息技术的发展

自从有了人类的群体活动,就开始了信息的传输、存储和处理,信息活动从来都是和世界文明的发展息息相关的,而且对世界文明的发展起了巨大的促进作用。信息技术与世界文明发展的关系可以简单归纳如表 2-3-1-1:

表 2-3-1-1 信息技术和世界文明发展的关系

信息技术	世界文明发展
语言	人类文明开始
文字	文化
印刷	文艺复兴
邮政	第一次工业革命
电报和电话	第二次工业革命
广播和电视	第三次工业革命
现代信息技术	知识经济

在人类历史的长河中,信息技术革命已经有五次。今天人们所谈的信息技术常常仅限于最近的第五次信息技术或者包括第四次信息技术在内的 20 世纪后半叶的信息技术。

一、第一次信息技术革命——语言的产生

利用信息和传递信息是动物的本能,最初的猿人和动物一样,只能用自己的躯体传递信息,实现动物式的通讯,他们的通讯方式与灵长类动物的通讯方式难以区分。在长期的劳动过程中,猿类不发达的喉头和口部器官逐步得到改善,发音器官不断完善,发出的声音也由简到繁,音域由窄到宽,词汇由少到多,形成了越来越丰富的语言,成为人类思维和交流思想的工具。

语言与意识具有同样长的历史,在长期的劳动过程中产生的语言,具有实践的功能。它是改造客观世界的一种力量,帮助人们结成社会、组织生产,同时又是改造主观世界的一种力量,帮助人们脱离动物、彼此传递信息、发展自己的思维能力。因此,语言信息在人脑的存在和加工,并利用声波进行传递,确实是人类历史上的第一次信息技术革命。

二、第二次信息技术革命——文字的创造

语言产生之后,经过几十万年,人类创造出文字。文字是用来表述和记录自然语言的工具,使口语脱离人变为书面语言而独立存在,使信息传递更远、贮存更久,突破声波传递信息的空间范围和时间限制。从此人类历史可以用文字记载,脱离了“史前时期”,成为人类历史的一大进步,堪称是第二次信息技术革命。

文字的来源,可追溯到石器时代的原始绘画和抽象图案,祭祀记账的数目符号和标物图形。在青铜器时代,早期记录中的图画符号简化成表意形式,最后变为楔形刻痕的组合,这就是楔形文字。在铁器时代,才开始有简化的字母表,其中符号只代表声音,

不代表词。公元前 13 世纪,腓尼基人创造了两种字母文字:一种是来自巴比伦的楔形字母,另一种是来自埃及的象形文字,象形文字更适宜书写,后来成为印欧文字的祖先。中国是文明古国,专家预测中国文字在 5000 年前就已经萌生,然而考古发现最早的文字记载是殷代(公元前 14 世纪)的甲骨文。

三、第三次信息技术革命——印刷术的发明

印刷术的发明,使信息大量而又快速地传递,被称为第三次信息技术革命,其策源地是中国,然后传播到欧洲,对世界文化产生了重大影响。中国是造纸起源国,据《汉书》记载,公元 2 世纪,中国东汉时期就已有了纸。当时的纸为丝质及麻质纤维纸。纸逐步成为了传递、存储信息的主要载体和传播科学、文化、文明的主要工具。

公元 593 年,中国隋代的刻版印刷是世界上最早的印刷术。在唐代,活版印刷逐步流行。唐懿宗咸通九年(868 年)印刷的“金刚经”长达 16 尺、宽 1 尺,是现存于世的最早的印刷品。后来,中国的印刷术传入欧洲。印刷术使历代积累的知识能以书本和报刊的形式长期贮存和广泛传播,大大提高了人类的科学文化水平。

四、第四次信息技术革命——电信、广播和电视

1832 年德国人韦伯和高斯发明实验电报机,并进行了短距离的通讯。1876 年贝尔发明电话,1877 年开始电话交换业务。电话逐步成为使用最多的一种通讯方式,约占电信业务的 90%。1971 年开始使用的可视电话,电话不仅能满足传递听觉信息,同时也能满足传递视觉信息的需要。

电报、电话是双向通讯,广播、电视则是单向通讯。1920 年美国无线电广播开播,1925 年英国开播电扫描式电视,1928 年又首次试播机电式彩色电视。由于新闻报道的及时性、生活节目的

娱乐性和视觉信息的丰富性使电视受到普遍欢迎。电视的观众比报纸的读者和无线电广播的听众多得多,成为最重要的传播媒介。如果说电视扩大了人的视觉空间,广播扩大了人的听觉范围,那么电话便延长了人的语言本身。这一切,都是由于有了新的信息传递工具,使信息传递方式发生了变革,这次变革被称为第四次信息技术革命。

五、第五次信息技术革命——现代信息技术

所谓的现代信息技术是借助以微电子学为基础的计算机技术和电信技术的结合而形成的手段,对声音的、图像的、文字的、数字的和各种传感信号的信息进行获取、加工、处理、存贮、传播和使用的能动技术。

目前,世界各国都致力于高新技术的研究和发展。在 21 世纪重点研究开发的高新技术领域中,信息技术是重点研究开发领域。人类文明的发展史告诉我们,科学技术的每一次重大突破,都会引起生产力深刻变革与人类社会的巨大进步。科学技术已成为推动生产力发展的最活跃的因素,并且是现代社会的决定性力量。信息技术作为现代科学技术领域中的一项关键技术必将给人类社会带来光明前程。

现代国际间的竞争,关键的关键是信息技术的竞争。然而,科学技术,尤其是信息技术,其生产力作用的前提是技术与社会的结合。信息技术与社会的主要结合方式之一就是信息技术产业化。产业化的信息技术才能给社会带来巨大的影响,这些影响主要体现在如下五个方面:一是信息技术产业化使产业结构发生一系列变化,传统产业比重大大下降,而以智力为主的知识经济迅速增长。二是由于知识经济的特点,使世界经济格局变化和财富积累的速度都大大加快。三是信息技术产业化帮助劳动者获得空前解放。四是信息技术产业化为全球经济一体化创造了有利条件,使全球经济成为一个不可分割整体。五是信息技术产业化意味着信

息技术设备与信息产品、信息服务的生产、流通和分配的扩大化、普遍化,从而推动国民经济和社会的信息化进程,并进而带来现实的信息社会。

现代信息技术就像一棵参天大树,有它的“土壤”,即基础技术,有它的根系,即支撑技术,有它的躯干,即主体技术,也有它的枝叶和花果,即应用技术。若说肥沃的土壤、发达的根系、粗壮的躯干、繁茂的枝叶和丰硕的果实彼此关系密切,互为因果,同属一棵参天大树,那么,基础技术、支撑技术、主体技术和应用技术也是紧密相连的,它们共同构成信息技术体系,形成完整的信息技术概念。感测技术、通信技术、智能技术和控制显示技术都属于信息技术的主体技术,新材料和新能量技术是其基础技术。信息技术在性能水平方面的进步,依赖于材料和能量技术的进步,如电子信息技术由真空管时代向晶体管时代、集成电路及超大规模集成电路时代的迈进,就归功于锗、硅半导体材料、金属氧化物半导体材料、砷化镓材料等的开发和利用。激光信息技术的出现和发展,则有赖于各种激光材料的开发和激光能量的利用。

信息技术的支撑技术是机械技术、电子与微电子技术、激光技术和生物技术等。用机械技术实现的信息技术称为机械信息技术,用电子或微电子技术手段实现的信息技术称为电子信息技术,如激光光导纤维通信、激光控制、激光遥感、激光计算机等。用生物技术手段实现的信息技术称为生物信息技术,如生物传感器、生物计算机等。信息技术的应用技术是针对种种实用目的,由主体技术繁衍出来的丰富多彩的具体技术群类,如工业、农业、国防、交通、运输和科学研究等。信息技术是多种多样的,又是不断变化发展的,一般情况下,人们把这个体系中的主体技术称为实用信息技术或简称信息技术,至于支撑技术和基础技术,一般不称为信息技术。

第二节 现代信息搜集技术

信息搜集技术就是在信息社会的海洋中搜取人们所需的每一条信息。世界历史和现实生活都说明信息搜集及其技术的竞争是没有硝烟的战场,是信息技术竞争中看不见的前线阵地。无论是经济建设,还是军事对抗;无论是从科学研究到技术开发,还是从分析预测到科学决策,或是民间活动,信息搜集技术都在强有力地发挥着侦察兵、突击队和参谋部的作用。信息是看不见、摸不着的,在人们使用前甚至是想不到的,也正因为如此,信息搜集工作具有很大难度与神秘色彩。当然,一旦搜集到重要信息,其作用往往无法用人力、物力和财力所替代。

第二次世界大战中著名的珍珠港事件,日本海军以迅雷不及掩耳之势偷袭了美国在珍珠港的军事基地致使美军几乎全军覆没,迫使美军对日宣战,进入太平洋战场。事后美国军界、政界不得不承认:在炮火硝烟的背后,美军实际上“是一场情报战的失利”。美军因珍珠港之损失惨重而兵力空虚,只好加强情报战攻势,就在日军正得意于偷袭珍珠港成功,而准备乘胜再袭中途岛时,美军已破译了日本海军的通信密码并不断截获日方情报,“知己知彼”,一战而胜,最后连日军联合舰队司令山本五十六的座机也被击落在布干维尔岛,美军以此扭转了太平洋战局。这两个战役对二战历史发展的意义非常之大,在大炮、战舰、轰炸机开火之前,情报战已“硝烟弥漫”,美军“败也情报,成也情报”。

如今,“情报战”渗透在各个领域:政治、经济、教育、医疗、卫生、科学技术和日常生活等,情报搜集的广度、速度、准确度已成为取胜的关键。

100多年前,林肯总统遇刺的消息传到英国伦敦时,用了整整12天时间,而当时位于美国一些偏僻乡村的人们两个月后才知道这一噩耗。但今天的信息搜集速度已不可同日而语,日本人5~60秒钟便可获得世界各地金融行情,1~3分钟可查询日本与世界

各地进口贸易,商品品种,规格等资料,3~5分钟可查寻国内外1万个重要公司各年度经营与生产情况,5分钟前在西半球发生的事,1分钟后就可在日本商社总部的收报机上出现。世界上任一地区发生的重大相关事件,日本商社都会派人在24小时内到场;东京时间午夜在法国巴黎举行的世界名模服装展的服装新款,东京赶时髦的姑娘上早班时就穿在了身上。日本人搜集信息的速度很能说明目前信息搜集技术的发展水平。谁能在信息战场上处于有利地位,谁就能在世界经济舞台上占据主导和支配地位。

信息存在于我们现实生活中,有时人与信息的关系是朋友式的友好关系,即人们利用信息或信息帮助人们更好地学习、工作、生活,但也有类似敌我关系的非友好的时候,比如假冒伪劣信息混淆视听,能够造成巨大的损失或失败。因此,在今天或明天的信息社会中,我们要真正做到迅速、广泛、准确地搜集信息,就要像军事作战一样,即打阵地战又打游击战,研究战略与战术,确保搜集到的信息用于解决实际问题,创造社会财富。

信息搜集的技术和方法是各种各样的,因人、因事、因时而变化,归纳起来,可把信息搜集技术分为常规技术和非常规技术,常规技术就像打仗中的“阵地战”,阵线相对固定,准备充分,各种保障比较严密;非常规技术就像打仗中的“游击战”,具有高度的主动性、灵活性、进攻性、快速性和流动性。

一、常规的信息搜集技术

目前,常规的信息搜集技术主要以计算机检索为基本手段与方法,从正式的、公开的信息系统中检索出所需信息。它是从传统的手工检索发展而来的。手工检索的基础是书本式、卡片式的印刷检索工具,如图书馆的卡片式目录体系,某个国家或地区的综合目录以及科技文摘检索书刊。计算机信息检索是近二十年发展起来的新的检索方法与技术,其基础主要是数据库,按照计算机是单机操作还是联机操作,计算机信息检索可分单机检索与联机检索,

单机检索只有单个的计算机,如利用计算机阅读磁盘中存储的数据与信息。学生成绩,教师的业务档案,图书馆的图书目录等都可以以数据形式存储在磁盘或光盘上,建立单机检索系统,人们就可以在计算机屏幕上查找所需要的信息。联机检索涉及多台分布于不同地点的互相连接的计算机。联机检索系统由终端设备、通信线路及计算机主机三个部分构成,如图 2-3-2-1。其中终端是用来供检索人员输入检索式,显示检索结果,由打印机打印输出;调制解调器的功能是将终端计算机识别的信号与可以在通信线路中传输的信号进行转换;主机则在其软件的支持下,供用户终端检索其存储的各个数据库,并把检索结果反馈到用户终端。这里,主机系统可以是多个,而终端就更多,可通过卫星或光缆将用户终端与主机相连接。



图 2-3-2-1 联机检索系统

二、非常规信息搜集技术

非常规信息搜集技术是八仙过海,各尽其能,手段上有正式、合法的,非正式、不合法的,有公开的,也有隐蔽的,有个人行为的,也有政府行为的。

平时的所见、所闻、所思、所为,有目的的或无目的的,都可记录下来,或存储于计算机中,还可以通过阅读期刊、杂志、信件、传真(Fax)、电子信箱(E-mail)以及语音信箱等搜集信息。这些都是正式的、合法的。当然,许多非正式甚至是非法的信息搜集技术也被广泛使用,如监视、监听、间谍技术等,许多政府间、公司间、企

业间的政治、军事、经济情报都是被非法搜集的。

据纽约时报(New York Times)报道,1994 年对美国 2 100 家大公司的调查结果表明,其中 1 893 家公司公开承认他们经常对国内外进行间谍活动,除了绑架、欺诈、贿赂等恶劣手段外,最常用的是利用现代化手段隐蔽地盗窃工业技术情报。

例如,日本名古屋维尼龙公司在负债 15 亿日元宣告破产前,极力掩盖公司运营状况,加紧向银行申请大笔贷款,银行巧妙地将微型收发报机装入患牙病的该公司总会计师石田德川的牙根里,几天内就了解到该公司的实情,避免了银行的巨额损失。又如,美国牙膏大王盖贝惊疑地发现,“朋友”送的高级室内装饰礼品鳄鱼标本的眼睛可以活灵活现地转动,原来里面是一台微型电视摄像机。又如,日本某大公司雇用五名专业人员,利用一种微型针状灯,插入公司技术人员来往的私人信件中,不用启封就可以清晰地获取信息的内容。

另外,政府间、大公司间利用间谍卫星或激光窃听信息已习以为常,美国、前苏联发射的卫星中,有相当大的一部分属于军事侦察卫星。卫星侦察具有高速、大范围、高精度等优点,它每 1.5 小时绕地球一周,可以搜集地面上人们无法到达的地区,如原始森林、大沙漠,也能探测地下、水下的奥秘,不仅能分析地形、地貌、颜色、大小,还能探测诸如温度、结构、成分等信息。在两万米以上的高空,拍摄的照片能清晰分辨小汽车牌号、士兵胡子长短等,是现代战争中使用最频繁,必不可少的侦察手段之一。某大国借助侦察卫星,能搜集世界上 100% 的通信信号,包括电话、通讯、电视等,并能破译 98% 以上。海湾战争中,美军就动用了以侦察卫星为主的侦察系统,包括 15 颗电子侦察卫星,5 颗照相侦察卫星,3 颗预警卫星。除了军事领域外,卫星在民用方面也提供了广泛的应用,最典型的是对地观测卫星系统和卫星导航定位系统。前者可提供地质学、生物学、大气学、经济学和生态学等大量信息,并可揭示地面多种目标,从而为人类对地球资源的开发和管理,自然灾

害的预防和监控提供极为有效的手段。卫星导航全球定位系统 (GPS) 是一种以卫星为基础的无线电导航系统, 空间段由 18 ~ 24 颗卫星组成, 它们分布于 6 个轨道面, 地面物体通过无线电与卫星联络进行测距和测速。全球各地用户随时可通过捕获卫星上发出的距离码, 来计算出自己的位置, 对民用开放的粗码, 定位精度约为 100 m。

第三节 现代信息存贮技术

人类文明和智慧的继承和发扬也逐渐要依靠信息的存贮和利用, 同时, 人类社会的进步也逐渐发展和改善了信息存贮技术。

记录和保存信息所用的物质材料称为记录介质, 又称媒体。随着技术进步和科技发展, 信息媒体家族也丰富壮大起来, 一改千百年来纸张独霸信息媒体家族的状态, 电影片、录像带、唱片、录音带、幻灯片、缩微品、磁盘、光盘和多媒体系统等, 形形色色, 丰富多彩。它们发挥着不同的作用, 都是人类用来记录、存贮和查询信息的工具。所以, 我们有必要了解这些媒体的产生和发展, 各有何性能和用途。

一、纸张的用途

纸张, 作为一种古老的信息存贮媒体对人类社会的发展和进步起了不可磨灭的作用, 它的发明、使用使原始的信息存贮技术发生了一次革命性的飞跃。正是造纸术的发明, 以及后来的机械化造纸产业的兴起, 繁荣了出版业, 促进了科学技术的发展, 丰富了人们的文化生活, 后来发明的无酸性纸的去酸技术对纸张的应用发挥了重要影响。但纸张存贮信息的容量小, 占据空间大, 存贮工序复杂等也是纸张作为一种存贮信息媒体的不足。

二、缩微技术

缩微技术是为适应节省存贮空间和保存重要文献的需要而产

生的。它起源于普法战争时期的法国,当时巴黎被普鲁士军队包围,为了与外界联系,法国人达格龙把重要的电报、文件和信件拍摄成缩微品,绑在信鸽腿上传递出去。19世纪初,缩微技术开始应用于珍贵文献复制。二次世界大战期间,缩微技术广泛用于战时通信和军用资料的保存。

20世纪60年代,缩微技术的应用已日趋完善,这时,缩微设备性能和胶片质量有了较大提高,实现了系列化、多样化,缩微胶片产量也迅速上升,标准化工作取得了较大进展,推动了缩微技术的进步和缩微出版业的繁荣。

与纸张相比,缩微品有许多突出的优点,首先它存贮密度高,信息容量大,可节省大量存贮空间,容易制作,尺寸规格化,价格便宜,发行方便,保存期长,易放大等,但不便于阅读,需专门的设备进行浏览,不能在文献上作批注。

三、磁存储技术

利用磁性物质的磁性记录信息是1898年丹麦人保生最先使用的,他使用碳钢丝发明了磁性录音机。其后,使用钢片和不锈钢丝作磁记录介质,直到1940年前后,人们发明了细颗粒磁粉,才奠定了磁媒体在信息存贮技术领域的地位。

磁媒体记录、存贮信息的基本原理是:经过磁化的磁性材料,在磁场消失后仍具有剩余磁化强度。记录信息时,记录磁头(磁化装置)将载有信息的电流转变为磁场,并作用于磁性材料的某一区域,当该磁场消失后,此区域内仍留有剩余磁化强度,且其大小与初始磁化强度(即信息电流的强弱)有关。这样,信息就记录在介质上了,而且可以长期保存。另一方面,由电磁感应原理,用重放磁头可以使原来记录的信息重现出来。若原来记录的信息,也有很简便的消磁设备与方法,所以磁媒体可以反复使用多次。相对于纸张和缩微品而言,磁媒体存储频带宽广,能同时进行多路信息存储,便于改变时基特性,因而广泛应用于各个领域,成为现

代信息媒体的支柱。

磁媒体可以分为动态型和静态型两种。动态型可作循环运动(如磁盘、磁鼓)或前进运动(如磁带、磁卡)。静态型媒体是固定的,通过电流运动来完成信息的记录和读写,如磁芯、磁泡、磁膜。按记录信息的特征,磁媒体可分为数字式(如硬盘、软盘、磁带)和模拟式(如录音带、录像带)两种。下面简单介绍一下计算机中常用的磁盘。

磁盘是一种表面镀有或涂有磁记录材料的圆形薄片,其存储信息的基本原理是利用读写磁头与存储信息用的盘片的相对运动来记录和读写信息,与其他媒体相比,它具有存储容量大、读写速度快、信息可脱机保存等优点。按应用方式可分为数字式磁盘(占大多数)和模拟式磁盘(如电视唱片),按所用的基片材料分,有硬盘和软盘两种。

1. 硬盘

硬盘指供计算机用来记录数字化数据的外部存储器,从20世纪50年代末开始发展到80年代初,其技术已基本成熟,磁头和磁记录介质技术工艺,每面磁头自动同步技术,伺服定位技术,记录方式,大规模集成读写系统技术等已日趋完善,存储密度已达到15 000 bit/in、2.667 磁道/in,存储容量达到1 260 Mbit,传递速度为2.4 Mbit/s,存取时间降至16 μ s,转速达到3 600 r/s。

20世纪80年代中期至90年代初,磁盘存储技术的发展进入成熟期,盘径减少,容量扩大,传输数据速度大大提高。盘的直径从14 in依次缩小到8、5.25、3.5、2.5、1.8和1.3 in。到1992年,后面五种尺寸的硬盘的存储容量分别达到2 000、1 200、800~1 000、20~40、21 Mbit。存取时间降至4.7 μ s,转速提高到6 300 r/s。硬盘的优点是容量大、速度快、功耗省、通用性强。

2. 软盘

软盘是为取代电传机、穿孔纸带和穿孔卡片等代为输入设备而于1972年由IBM公司研制出来的,当时开发的8 in软盘、软盘

驱动器、键盘和单色显示器组成了一套数据输入设备,为微机的普及应用创造了有利条件。20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代分别由 8 in、5.25 in、3.5 in 软盘控制市场。软盘及其驱动器结构简单、价格低廉、便于携带和保护,随微机一起得到广泛应用。缺点是存储容量小(最大为 1.4 Mbit),存取速度慢。

四、USB 移动存储技术

在 PC 存储外设产品中,USB 接口的存储器已经广泛地被大众接受。随着市场占有率的提高,市场价格越来越低。我们可以看到的有:可移动硬盘、USB 移动 Flash 盘,俗称优盘。再者就是各种固态可移动的存储卡,这些存储介质为我们带来极大的方便。随着其被广泛地使用,USB 的 Flash 盘已在一定程度上代替了 1.44 M 软盘,甚至取代 PC 机上的软驱直接启动计算机。

五、光磁存储技术

美国和日本在提高软盘存储容量方面取得了重大突破。美国 Insite 公司 1991 年研制出一种大容量软盘——光磁软盘(Ecoptical),它以软铁氧体为记录介质,直径 3.5 in 格式化后容量达到 21 M,使转速为 1.6 Mbit/s,存取时间为 80 ~ 170 μ s,转速 720 r/s,记录密度 23 980 bit/in,磁道密度 1 245 磁道/英寸,有两个磁头。光磁驱动器具有向下兼容能力。

六、光存储技术

光盘是 20 世纪 80 年代信息存储技术领域里升起的一颗璀璨的明星,它与计算机结合,为人们提供了一种容量大、体积小、价廉易用的信息存储和检索设备。

光盘的研制始于 20 世纪 60 年代的荷兰的飞利浦公司,经过一系列商业上的失败以后,最终于 1978 年推出了一种新式的唱盘,就是我们所说的激光唱盘,英文称 A - CD(Audio - CD)。其直

径为 12 cm ,厚 1.2 mm ,以镀合金属的聚碳酸酯为材料 ,盘上布有约 4.8 km 长螺形轨道 ,每条转道的宽度仅为千分之一点六毫米。能记录 60 ~ 75 min 的音乐节目 ,每分钟转速为 200 ~ 430 转。

世界各大公司又纷纷研制出各种各样的光盘 ,组成了一个绚丽多彩的光盘大家庭 ,可分为四类 :只读光盘 ,可写一次型光盘 ,可擦型光盘 ,蓝光 DVD。

1. 只读光盘

只读光盘就是用户只能读取盘上的信息 ,不能往盘上写信息或修改原有的信息 ,盘上的信息是光盘生产厂家事先复制好的 ,由工业化生产方式大量拷贝发行 ,价格低廉。用户需使用标准的只读光盘驱动器读取信息。只读式光盘有数字式和模拟式两种 ,前者存储数字化信息 ,后者存储模拟化信息。数字化只读光盘有 CD - A、CD - ROM、交互式只读光盘 CD - I、CD - ROM/XA、OROM、DataROM、DVI、PhotoCD 等 ,各种数字光盘各有其应用特点。

2. 可写一次型光盘

可写一次型光盘可供用户自己刻写数据 ,但只能写一次 ,盘上某个区域一旦写入数据 ,既不能抹掉 ,也不能原地修改 ,故得此名。它的存储密度小于 CD - ROM ,适用于用户现场记录数据 ,不能大量拷贝。主要有 WORM、DRAM、CD - PROM、CD - R 和光卡等种类。

3. 可擦型光盘

可擦型光盘因采用了特殊材料 ,具有普通磁盘特性 ,信息写入后可抹去重写 ,是可再生的记录媒体 ,主要用途是代替计算机硬盘。尺寸规格主要有 5.25 in 和 3.5 in。

光盘的盘片通常由基板、记录层和保护层组成 ,基板通常选用有机玻璃或某些模压聚合物等具有极好的光学性能和机械性能的材料 ,记录层是附着在基板上的一层薄膜 ,是实现激光记录和保存信息的关键部分。保护层是覆盖在记录层表面的一层透明聚合物 ,保护记录介质免遭划伤或被灰尘和指纹污染。记录层所用记

录介质主要有:光刻胶、金属薄膜(碲膜、碲合、金膜等)、非晶体薄膜、色素薄膜、光磁材料和非结晶半导体等。在光盘上用来存取数据的光学读、写头(简称光头)就是由激光器、聚焦透镜和光检测器等部件组成。

光源输出的是一定波长的、连续的且经过准直的线偏振激光束,通过调制器时,光束受到输入信号的调制,成为带有信息的激光脉冲,再经过光学系统,最后在光盘记录介质表面聚焦成极少的光斑,将薄膜烧蚀成凹点、微孔或气泡,记录下信息。当光头沿径向平移,盘片在转台上旋转时,记录层上就形成了螺旋状或同心圆状的凹点(或气泡)与平台相间的信息轨道。在轨道上,二进制符号“1”用凹点或气泡表示,“0”用平台表示。

数据读取原理是将光盘放入光驱动器中,驱动器中的读取光头经过光学系统聚焦于盘面的信息轨道上。由于凹点和平台部分对光的反射强度不同,所以光检测器能检测出轨道上记录的每一个二进制信息,然后转换为电信号输出,显示在终端屏幕上。

可写一次型光盘目前主要采取五种不同记录技术,即碲膜熔蚀记录技术、基于有机染料的记录技术、双合金记录技术、相变记录技术和气泡记录技术。写一次记录技术是一种中间技术,将逐渐被可擦型光学记录技术所取代。

可擦型光盘的记录技术主要是磁光记录技术和相变记录技术。磁光记录技术采用能产生强的磁光效应的材料(如:铽铁钴合金)为记录介质,在基板上形成磁化膜,然后利用光磁相互作用原理来记录、擦除和读取信息。要写入信息时,用经过调制的激光束照射磁化膜,同时在光盘的另一侧放一个磁场方向相反的弱磁场(但比磁膜的磁场强)。当照射温度达到居里点以上时,被照射点的磁化方向发生倒转,与外加磁场一致,从而记录下信息。要抹去信息时,只要外加一个与记录方向相反的磁场,并用激光束照射磁膜,即可恢复到记录前的磁化状态,达到擦去信息的目的。读取信息时,用透射光或反射光检测记录介质的磁化方向,就可读出所

要的信息。

相变记录技术的记录介质是那些在晶态与非晶态之间能发生可逆性转换的物质材料(如砷碳锗族,铋硒族材料)。记录时,用经过调制的激光束照射光盘,使被照射区域由晶态转变为非晶态(反射率发生显著变化),达到记录信息的目的。要抹去信息时,则使该区域再转变为晶态,就抹去了原有信息,且同时写入了新信息。目前可重复写入型记录技术和材料的研究方兴未艾,采用电子陷阱技术、频率范围技术和变式波长技术以有机染料为基本材料的可重写型记录介质已接近商品化。

4. 蓝光 DVD

当前流行的 DVD 技术采用波长为 650 nm 的红色激光和数字光圈为 0.6 的聚焦镜头,盘片厚度为 0.6 mm。而蓝光 DVD 技术采用波长为 450 nm 的蓝紫色激光,通过广角镜头上比率为 0.85 的数字光圈,成功地将聚焦的光点尺寸缩到极小的程度。此外,蓝光 DVD 的盘片结构采用了 0.1 mm 厚的光学透明保护层,以减少在转动过程中由于倾斜而造成的读写失常,使盘片存储的数据读取更加容易,并极大地提高存储密度。蓝光 DVD 盘片的轨道间距缩小至当前红光 DVD 的一半;其记录单元的最小直径远比红光 DVD 盘片小得多。蓝光 DVD 单面单层的存储容量被定义为 23.3 GB、25 GB 和 27 GB,其中最高容量(27 GB)是当前红光 DVD 单面单层容量(4.7 GB)的近 6 倍。

七、光存储技术的突破

目前,清华大学研制的多波长多阶存储技术及实验系统通过了专家鉴定。这项技术可以把普通 CD 光盘片的容量提高三倍,它是国家重点基础研究 973 项目“超高密度、超快速光信息存储与处理的基础研究”阶段性突破。以国家光盘工程中心主任徐端颐教授担任首席科学家的研究小组经过三年的研究,取得了这一独创性成果。它是继 DVD 之后,下一代光存储技术的新型存储方

案。这一技术的研制成功,从根本上解决了因为不掌握核心技术,而只有向国外企业缴纳专利费用的被动局面,为中国光盘产业的发展开辟了一条具有自主知识产权的道路。

八、纳米级存储技术

中国科学院近期内开发出了一项最新的信息存储技术,运用这一技术,在有机功能分子体系介质上存储的信息量比现有的光盘高100万倍,达到纳米级水平。目前所用的光盘存储技术的单位是以微米为最基本的信息单位,而新技术采用有机功能材料,每个最基本存储单元的直径仅有0.6 nm,这些存储单元的间距也只有1.5 nm。形象地说,存储美国国会图书馆的所有信息只需要方糖大小的介质即可。目前,这项技术领先国际先进水平一个数量级。但要运用到实践中还需要解决好两个方面的问题,第一是提高分子材料的稳定性和可重复性,第二是提高存储的速度。

第四节 现代信息传递技术

从广义上讲,各种信息的传递均可称之为通信,但由于现代信息的内容非常广泛,种类繁多,因而人们并不把所有信息的传递均纳入通信的范畴。通常只把语音、文字、数据、图像等信息的传播称为通信。

现代信息对社会的影响是极其显著的,信息已成为最重要的战略资源,传递信息的通信网已成为社会和经济发展的生命线。通信是国民经济的“神经系统”,因为它通过提供各种通信手段,传递多种信息,在社会化大生产过程中协调人们的活动。因而有的经济学家认为,社会发生阶段性转变的关键乃是通信交流手段的变化,实际上,通信技术的发展能促进经济的发展,而经济的发展又反过来对通信提出更高的要求,这样,通信与经济的发展是相互促进的和相辅相成的。

在经济领域的竞争日益激烈的今天,信息资源的及时传递至关重要,通信的重要性更加突出,没有及时准确的信息传递与处理,就必然影响经济效益。有的国家自然资源非常贫乏,但由于十分重视信息资源和通讯技术,其经济仍很发达(如日本);也有不少国家,尽管自然资源非常丰富,但由于通信落后因而无法利用其信息资源,结果其经济十分落后。

与过去不同,现代通信具有极大的社会、经济效益。国际上通常以平均每百人拥有的电话机数(即电话普及率)来表明一个国家的通信发展程度。现代社会电话普及率与一个国家的经济发展状况有密切的联系。据美国学者对世界上50多个国家历史数据的分析,若一个国家前五年电话普及率提高1%时,则其后7年的人均国民生产总值可提高3%。根据这一分析,邮电部经济技术发展研究中心计算了我国电话的宏观社会效益,他们得出结论是:我国20世纪80年代初期,每投资1元于电话建设,给社会带来的宏观经济效益为6.78元。据国际电信联盟统计,一个国家对通信建设的投资每增加1%,其人均国民经济收入将提高3%,现代发达国家国民收入的10%得益于通信的社会效益。

人类的通信技术经历了从烽火台、驿站、人工邮递服务、车拉船载、航空邮寄逐步发展到现代各种有线通信和无线通信。现代通信建立在19世纪的五项重大发明的基础上:19世纪40年代由莫尔斯发明的电报技术,1876年美国人贝尔发明的电话技术,由麦克斯韦预言并由德国物理学家赫兹发现的电磁波,由意大利物理学家马可尼发现的无线电波和法国电报员博多发明的数字编码技术。20世纪中叶发明的计算机技术、卫星技术、光纤技术的广泛应用,使通信技术进入了高速化、网络化、数字化和综合化时代。

一、通信系统

一个通信系统包括通信终端和连接通信终端的信道,由于信道是多种多样的,这就产生了多种通信系统。从物理角度看,信道

有两种,一种是看得见的有线信道,一种是看不见的电磁波信道,这样通信系统就有有线通信系统和无线通信系统两种。对于前者本节只介绍发展最快的光纤通信系统,而不讨论传统的有线电载通信系统,对于后者,我们介绍比较新的移动通信系统,微波接力通信系统和卫星通信系统。

1. 光纤通信系统

光纤通信系统是利用光纤传导光信号的一种通信系统,是20世纪70年代发展起来的一种新的通信方式。它避免了大气激光通信的弱点,具有通信容量大,传输损耗小,抗电磁干扰性能好,保密性能好的优点。1991年我国已开通传输速率为140 Mbit/s,共1 920个话路的光纤通信系统,国际上传输速率为565 Mbit/s,共7 680个话路的光纤通信系统已经商用,1.6 Gbit/s(约25 000个话路)、2.5 Gbit/s(约39 000个话路)的光纤通信系统不久即将商用。预计利用简单的直接强度调制的方法传输速率可达510 Gbit/s。有人预测,以后一根光纤可以传输25 000 Gbit/s的信息,10根这样的光纤一秒内可传输全世界已记录下来的全部知识。由于信号在金属导线中传输时要受到衰减,因为导线总是有一定电阻的,所以长途有线电路上,每隔一定距离就要设置一个再生中继器(中继站),将衰减了的电信号放大到合适的数值,然后再继续向前传送。光纤的损耗很小,再生中继器间的距离远比其他传输线(如双绞线,同轴电缆等)要长的多。由于光纤中传送的是光波,对于雷电干扰、电离层变化和太阳黑子活动等天然干扰具有很强的抗干扰能力。

光纤通信系统由光发送机、光纤、光中继器、光检测器及接收机等组成,在光纤通信系统的发送端,信息通过电发送机转换成电信号,对光源的光载波进行调制,经过调制的光波耦合到光纤内,通过光纤传输到光纤通信系统的接收端,经光接收机的检测和放大转换成电信号,最后由电接收机恢复出原信息。为了补偿光纤线路的损耗和消除信号的失真和噪声干扰,每隔一定距离要接入

光中继器。

光纤通常由石英玻璃组成,主要由纤芯和包层构成双层通信圆柱体,纤芯用来传导光波,包层用来封闭光波,使光波在纤芯中传播。光源是光发送机的核心,光纤通信中使用的光源是由发光二极管和半导体激光器产生的。发光二极管价格低,寿命较长,发光功率较低,谱线亮度较亮,一般使用在短距离、低传输速率的系统。半导体激光器价格较高,谱线宽度较窄,使用在长距离和中、高传输速率的系统。光检测器是光接收器的核心,完成光信号到电信号的转换。

2. 移动通信系统

移动通信是处于移动状态对象之间的通信。移动通信涉及范围广、门类多。按服务对象可分为公用移动通信和专用移动通信两大类。专用移动通信可用于汽车调度、军事指挥、列车通信以及森林、油田、电力、水文、机场、码头、宾馆和银行等部门的通信。按地域可分为陆地移动通信、海上移动通信及空中移动通信。

移动通信系统由基地台、控制交换中心、移动通信用户等组成。在实施移动通信的区域中,可划分多个区,每个区有一个基地台。整个服务区有许多移动台和一个控制交换中心。每个基地台和移动台都设有收发信机和天线馈电设备。控制交换中心的主要功能是信息交换和整个系统的集中控制管理。在进行通信时,移动电话用户经过基地台、控制交换中心和中继线 and 市话局连接,就能实现移动用户和市话用户之间的通信。这样就构成了一个有线、无线相结合的公用移动通信系统。

陆地移动通信一般使用 150 MHz、450 MHz 和 900 MHz 附近的频带。由于移动电话用户越来越多,为解决电台之间互相干扰的矛盾,国内外大城市都采用小区制,即蜂窝状移动电话。

小区制通信系统是将一个服务区划分成若干个半径为 2 ~ 10 km 的六角形小区,类似蜂窝状。每个小区有一个基地台,为在该小区内的移动电话用户服务。相邻的小区使用不同的频率,但相

隔 23 个小区的距离后 ,可再次使用相同的频率而不互相干扰。这样就可使有限的频谱为大量的用户服务 ,提高了频道的利用率。小区制系统还使基地台和移动台使用更小的发射机 ,从而减少了电台间的干扰。随着用户数目的增加 ,每个小区还可继续划小 ,所以小区制具有相当大的灵活性。

移动通讯技术是高新技术中最活跃的领域之一 ,在这里我们只介绍两种比较突出的技术 :第三代手机(3G)和蓝牙技术。

第一代手机为模拟制式 ,第二代手机为 GSM、TDMA 等数字手机 ,而所谓第三代手机 ,则是泛称能够将语音通信和多媒体通信相结合的新一代移动通信系统 ,其可能的增值服务将包括图像、音乐、网页浏览、电话会议以及其他一些信息服务。第三代手机的名称繁多 ,目标电联称之为“IMT - 2000” ,欧洲的电信业巨头们则称其为“UMTS” (通用移动通信系统) ,而第三代手机可能应用的技术标准 WCDMA、CDMA - 2000 等也在一些场合被作为第三代手机的代称 ,而更笼统的称呼则为“3G”。

3G 手机完全是通信业和计算机工业相融合的产物 ,和此前的手机相比差别实在是太大了 ,因此越来越多的人开始称呼这类新的移动通信产品为“个人通信器” 。即使是对通信业最外行的人也可从外形上轻易地判断出一台手机是否是“第三代” ,第三代手机都有一个超大的显示屏 ,往往还是触摸式的 ,它除了能高质量地完成目前手机所做的语音通信外 ,还能进行多媒体通信。用户可以在 3G 手机的触摸显示屏上直接写字、绘图 ,并将其传送给另一台手机 ,而所需时间可能不到一秒。当然 ,也可以将这些信息传送给一台电脑 ,可从电脑中下载某些信息 ;用户可以用 3G 手机直接上网 ,查看电子邮件或浏览网页 ;将有不少型号的 3G 手机自带摄像头 ,这将使用户可以利用手机进行电脑会议。

具备强大功能的基础是 3G 手机极高的数据传输速度 ,目前的 GSM 移动通信网的传输速度为每秒 9 600 字节 ,而第三代手机最终可能达到的数据传输速度将高达每秒 2M 字节。而为此作支

撑的则是互联网技术充分糅合到 3G 手机系统中,其中最重要的就是数据打包技术,在现在 GSM 上应用数据打包技术发展出的 GPRS 目前已可达到 384 K 字节每秒的传输速度,这相当于 D- ISDN 传输速度的两倍。支持高质量的话音,分组数据,多媒体业务和多用户速率通讯,将大大扩展手机通讯的内涵。

所谓的蓝牙技术(Blue tooth)是由东芝、爱立信、IBM、Intel 和诺基亚于 1998 年 5 月共同提出的近距离无线数据通讯技术标准。它能在 10 m 范围内实现单点对多点的无线数据和声音传输,其数据传输带宽可达 1Mbps。通讯介质为频率在 2.402 GHz 到 2.480 GHz 之间的电磁波。蓝牙通讯使用了跳频频谱扩展技术,把频带分成若干个跳频信道,在一次连接中,无线电收发器按一定的编码序列不断地从一个信道跳到另一个信道。一台蓝牙设备可同时与其他七台蓝牙设备建立连接,在有效的范围内可越过障碍物,没有特别的方向要求和角度限制,它组网方便,低功耗,通讯安全,数据传输速率可达到 1Mbps。蓝牙通讯技术是一项新兴的技术,目前许多蓝牙设备还处于实验阶段,但它却为我们描述了一个近乎完美的近距离无线数据通讯的解决方案。

3. 微波接力通信系统

微波常指波长 1 m 到 1 mm 的电磁波,微波具有类似光波的特性,在空间主要是直线传播,也可以从物理上得到反射。它不能像无线电的中波那样沿地球表面传播,因为地面会很快把它吸收掉。微波也不像短波那样,可以经电离层反射传播到地面上很远的地方,因为它会穿透电离层,进入宇宙空间,而不再返回地面。根据微波传播的特点,利用微波进行远距离通讯的方式主要有 3 种:地面微波接力通信、卫星通信和对流层散射通信,下面简单介绍微波接力通信。

微波在空间是直线传播的,而地球表面是个曲面,因此使传播距离受到限制(一般为 50 km 左右)。为实现远距离通信必须在一条无线电通信信道的两个终端之间建立若干个中继站。中继站

把前一站送来的信号经过放大后再到下一站,就像接力赛一样。所以这种通信方式称为微波接力通信。例如:北京中央电视台的节目就是这样一站一站地传送到祖国各地。各国大量用的微波设备波道空量为 960 路、1 200 路和 2 700 路。我国每个波道容量为 960 路。

微波接力通信可传输电话、电报、图像、数据等信息,它的特点是,其微波波段频率很高,其频率范围也很广,因而可以容纳很多互不干扰的宽频通信电路,频率比工业和天电干扰信号频率高得多,因而抗干扰能力强,传输质量高,不受季节和昼夜变化影响,工作稳定性好,其缺点是相邻站之间必须直视,不能有障碍物,通信距离受天线高度和接力站数目的限制,隐蔽性和保密性差等。

4. 卫星通信系统

卫星通信是当前远距离及国际通信中一种先进的通信手段,是地球站之间利用人造地球卫星转发信号的无线电通信。卫星通信就是利用人造地球卫星作为中继站发射无线电信号,实现在两个太空的延伸,是微波接力通信技术和空间接力技术相结合的产物。通信卫星就是设在太空的无人值守的微波通信的中继站。

卫星通信的主要特点是通信距离远,一颗地球同步卫星在太空圆形轨道上,距地面约 3.6 万公里。它发射出的电磁波能辐射到地球上的广阔地区,通信覆盖区的跨度达 1.8 万多公里,约为地球表面的三分之一。不管展翅云天的飞机,还是地面高速行驶的汽车,或在海洋乘风破浪的船舶,甚至身带接收机的便步行人,都可以通过卫星取得通信。可见只要在地球赤道上空的同步轨道上,等距离地放置三颗相隔 120° 的卫星,就能基本上实现全球通信和电视传播。

卫星通信的另一特点是频带很宽,通信容量很大。目前已有 100 多个国家和地区建立了几百个卫星地球站,担负着一半以上的国际电话、电报业务和洲际电视广播。卫星通信的信号受到的干扰较小,通信比较稳定,是一种容量大、距离远、使用灵活、可靠

性高的新型通信工具。其缺点是卫星本身和发射卫星的火箭造价都较高,由于受电源和元器件寿命的限制,同步卫星的使用寿命并不太长,只有7~8年时间,此外,卫星地球站的技术比较复杂,价格也比较贵。

随着社会的进步和经济的发展,人们对通信的要求也越来越高了。前面谈到的地面用的移动通信电话“大哥大”已不能满足人们在全球范围内随时通话的使用要求。为了更加方便地沟通人们的联系,保证可在任何时候、任何地方,能与任何人通话的一种称为全球“个人通信系统”(Personal Communication System,即“PCS”)正在实施中,可望在21世纪初投入使用。

这种被誉为“人类通信的最高境界”的“PCS”是在数字式或蜂窝式移动电话、智能化电信网和综合化电信网的基础上发展起来的一种最新通信技术。其特点是:世界上每个人都设有一个特定的电话代码,如同个人身份证号码一样,长期不变。当别人需要找你通话时,只有拨动便携式袖珍电话机的号码盘,按你的专用号码,便能通过围绕地球运转的一组低轨道移动通信卫星,把你找到,无论你在地球任何一个地方;而当你需要找别人通话时,按同样的方法拨通你所需找的人的专用代码,也就可以找到他接电话,不过你向“外”拨号通话时,移动通信卫星管理局就会根据你的代码把通话费准确地记在你的账上。可以想像这种通信手段是多么方便啊。

这个新型移动通信系统方案,是1990年6月美国摩托罗拉公司宣布的一项称为“艾拉迪姆”(Iridium)系统计划。这种新型无线通信系统,使全球个人通信进入一个崭新的时代。

这种新系统的核心,是运行在近地轨道上的77颗人造卫星。目前的通信卫星都是距地面有3.58万km高的地球同步卫星,而“PCS”的通信卫星距地面只有765km,之所以选用低轨道,是考虑到袖珍移动电话发出的信号很弱,卫星太高了就收不到;反之卫星转播的输入电话信号很弱,卫星太高了,受话方的机器同样收不

到。由于低轨道卫星与地球不同步,它同地球的相对位置变化很快,这就需把许多颗卫星均衡地部署在 7 条环形极地轨道上,才能保证地球表面的任一地点都有连续的覆盖,以保证能及时收发任一用户发出的电话信号。

摩托罗拉公司要发射 77 颗卫星,这个计划又称为“铯”行动计划。为什么叫“铯”行动?这是因为“铯原子”中有 77 个电子。“铯”卫星将在 7 条极地轨道上绕地运转,每条轨道上部署 11 颗卫星。这种卫星的直径约为 1 m,高 2 m,质量为 315 kg。这些卫星可用多种运载火箭发射,如美国的“德尔它”或“阿拉斯”,欧洲的“阿丽亚娜”,或中国的“长征”等型号的火箭。每枚运载火箭可发射 11 颗卫星。计划要求卫星的寿命至少达 5~6 年。

二、通信网络

能够为分处异地的多用户之间使用的系统称为通信网络或电信网络,简称通信网,其功能就是根据用户的呼叫,沟通网络中任意两个或多个用户之间的信息。

通信网有三种主要设备,一是末端设备(又称用户设备),它是用户与通信网之间的接口设备,可将用户的信息转换成电或光信号,或者进行相反的转换。二是传输系统,它是传输电或光信号的通道,包括有线电、无线电、光缆等线路。三是交换设备,它是在终端之间和局间进行路径选择,接续控制的设备。

通信网可以从不同角度进行分类,按业务内容可分为电报网、电话网、图像网、数据网等;按地区规模可分为农村网、市区网、长途网、国际网等;按服务对象分为公用网、军用网、专用网等;按信号形式分为模拟网、数字网等。

网络的结构类型有多种,星形网多在交换局分散且局间的业务量较少时,或在传输费用高于交换费用时采用,如用于长途电话。网形网多在近距离,或传输费用低于交换费用时采用,如用于市内电话网、链形网和环形网需要具备多级中继交换功能,但结

构简单,传输信道可以公用,业务量处理效率高,主要用于数据通信网。栅格形网结构比较复杂,但路由选择的自由度大,业务处理效率高,可靠性也高,多用于移动通信网。多栅格网和多面体网由于路由众多,提供了可靠性,多用于军事通信网。而当通信网规模很大时,一般又把全区分成若干等级的分区,而在各分区与分区之间逐级各取最佳的结构,这就是蜂窝形网。

通信网的信号传输也逐渐由传统的模拟网转变为数据网、数字网及综合业务数字网。

三、通信应用

通信的应用非常广泛,种类繁多,这里对大家已熟悉的电报、电话、传真、无线寻呼等传统的通信不再讨论,只介绍近年来兴起并广泛应用的电子邮件(E-mail)、电子数据交换(EDI)、远程议事系统、国际互联网络与信息高速公路。

1. 电子邮件(E-mail)

电子邮件(E-mail)是指通过一个计算机系统在电信系统的各个组成部分和用户之间传递邮件或报文信息,其前身就是电传打字机。电子邮件系统的工作模式是:大型计算机(主机)系统承担着邮政服务的职能。系统为每个用户设置一个电子邮箱或地址,存贮在这台主机中。发信人要按一种标准格式写信。信件一般由四部分组成:发信日期;收信人身份代码、名字和地址;发信人名字和地址;信件正文。发信人通过自己的终端把信发出,存在收信人的电子邮箱中,不必考虑收信人是否外出,是否占线。收信人则可以随时随地查看自己的邮箱。收信人要想收到邮件,必须与主机连接,进行检索。系统不会把邮件直接送到收信人手中。这是它与普通邮递服务的主要区别。

为了达到特定的目的,电子邮件系统还能把某一电子报文与一系列传送对象联系在一起。比如,除了把它送给第一收信人以外,再把报文副本传送给第二收信人、第三收信人等等,这就是

“群式邮寄”。

电子邮件系统所需要的设备有：一台微机或计算机终端、一个调制解调器和一条电话线。另外，还必须有通信软件即电子邮件系统软件，才能发送或接收信件，或对信件作进一步处理。购买电子邮件服务一般要支付注册费。平时的使用费包括：连接主机的机时费、通信网费、信息传送费（以公里字费为单位）等。

电子邮件的应用范围很广，除用于个人通信外，主要应用于商业和经营管理，如用来发送每天的新闻、政策性通告、备忘录、订单、销售报表、追索信函以及问卷调查等。现代发达国家，个人间交换通讯地址时，除个人住址、单位地址、电话外，还必须提供电子邮件地址。

电子邮件作为现代通信业的重要组成部分，目前全世界已装有上亿个电子邮箱。据美国电子邮件协会估计，仅北美地区就有 3 000 万个用户。对社会发展和人类进步都起了显著作用。

国际间的电子邮件都是通过国际互联网（Internet）传送的，国际互联网络目前连接世界上 170 多个国家和地区，6 万多个信息网络，数亿用户的洲际通信网，是目前世界上最大的、连接面最广的一条信息通道。

2. 因特网（Internet）

因特网又称国际互联网 Internet，其发源地是美国。它最早起源于美国国防部远景规划署 1969 年建立的世界第一个分组交换通信网 ARPANET。这个网络促进了科研人员之间的信息交流，逐渐引起了人们的重视。后来逐渐发展成为一个分布全美的网络，能提供电子邮件、远程登陆和文件传送等服务。但是，由于这个网络的专用通信干线属于美国国防部所有，那些没有获得美国联邦政府科研项目合同的学校不能加入这个网络。为了解决这个问题，1980 年美国国家科学基金会（NSF）在 ARPANET 的基础上，同时利用公用的 X.25 网络线路和其他方式，组建了由 150 多所大学计算机学院构成的计算机通信网 CSNET，提供与前者类似的

服务。1984 年,CSNET 扩建为 NSFNET(科学基金会通信网)。它用高速的联网专线连接 6 个超级电脑中心。同时,在全美分片建立了 20 个区域性网络,连接到 NSFNET 的主干线上。每个区域又与当地的大学和研究机构的局域网连接,形成了一个三级的网络结构。由于这个网络采用了符合国际标准的通信协议,可以顺利地与其他国家和同类通信网相连接,变成了连接全球的计算机通信网。这就是洲际通信网 Internet 的主体网络,除了 NSFNET 网外,美国许多其他通信网如 NASANET(航天网)、HEPNET(卫生网)、ESNET(能源网)、MILNET(军用网)、BITNET(大学网)等都属于 Internet 的一部分,世界其他国家的计算机网如欧洲的 EARN(包括 27 个国家)、英国 JANET 网、法国 FNET 网等都已与 Internet 连成一体。Internet 是一个计算机信息传输网,它能向用户提供丰富的信息资源和信息传送服务,实现全球范围的信息资源共享,它的基本功能是电子邮件、远程登陆、文件传送。

电子邮件功能就是收、发、转发、保存电子邮件、传送电子出版物。远程登陆就是供用户调用远处的其他计算机上的计算资源为自己所用,使它们与本地或本单位的计算机一起去完成某个较大的计算任务或数据处理作业。因为用户要使用某台计算机时,都要有一个户号,这样才能操作该计算机,远程登陆就是通过 Internet,把自己的户号传送过去,申请使用远处的某台计算机,它就可以获得与当地终端用户相同的操作权。这样既方便了用户,又便于调节和充分利用各地的计算机资源,避免闲置和浪费。例如,当一个用户在外地或国外旅行时,身边只有一台微机,他便可以利用 Internet 的这种功能,便利地找到可以利用的计算机,在旅途中处理完某些紧急任务。另外,当有些较小的机构买不起大型计算机或没有超级计算机中心时,这些机构的工作人员也可以通过 Internet 把要处理的数据传送到别的机构的大型机或计算中心,利用远程登陆功能,在人家的大型机上进行操作,如同把计算机搬到本单位来一样。

3. 远程议事系统

远程议事系统是三人以上的用户利用发达的通信网进行异地议事,讨论问题。其前身是电话会议或电视会议,这种会议只是由一个人讲,其他与会者被动地收听或收看,不能当即讨论和交换意见,是一种单向的信息交流。远程议事系统是指利用计算机和电视摄像机将一个地方的与会者的声音和映像传送给装有同样设备的其他地方的与会者。有了这样的系统和设备,不同地方的人就能在一起开会,讨论问题,不仅能互相说话,还能互相看着对方。虽然相互之间可能远隔千山万水,或近在咫尺,其实际效果和在一个会议室里开会没有什么不同。

目前的远程议事系统主要有两种模式:实时方式与非实时方式。实时议事系统要求与会者在同一时间联机,通过计算机键盘和屏幕相互交流信息。系统要有一套功能很强的软件来支持会议议程的顺利进行,包括制订活动计划、发通告、问题讨论、文件编辑与传送、提案表决等功能。与会者必须装备有个人计算机,调制解调器以及专用的电话线,个人有较熟练的打字技巧。

非实时方式只要求与会者按照会议议程参加交流,不要求同时联机,个人有一定的自行处置机动权。非实时议事系统能提供信息交流,问题求解帮助或其他合作活动等功能。

4. 电子数据交换(EDI)

所谓电子数据交换(EDI),就是将贸易、运输、保险、银行和海关等行业的信息(单据和报文等)按照一种国际公认的标准格式填写,通过计算机通信网发送给各有关方,接收方也按此格式对单据和报文进行处理,以实现整体贸易过程的自动化和标准化。

EDI技术起源于20世纪60年代末西欧和北美地区一些中小型连锁店使用的货柜清点、商品调度和账目结算系统,目前已发展为一种全球性的具有重大商业价值的贸易手段,全球已有超过100万家企业使用EDI处理与贸易伙伴之间的商务往来。许多厂家宣布EDI将是今后商业往来中的唯一方法。无法提供和接收

EDI 格式资料的公司将会失去与上述公司的贸易机会。

EDI 的优点是迅速、准确、费用低,因而其经济效益十分明显。例如美国 IBM 公司 1997 年底的统计表明,五年间由采用电子数据交换使其产品零售额上升了 55%,库存由 30 天降为 8 天,其文件处理费每年可节约 80 万美元,每张订单的处理费由 135 美元降至 36 美元。

1991 年 5 月在北京举行了国际无纸贸易战略与技术研讨会,成立了由经贸部、海关总署、国家技术监督局、中国人民银行、保险公司、交通部等部门参加的促进 EDI 应用协调小组。这对我国更快地采用国际先进的通信手段来进行国际和国内贸易,都将起到重大的推动作用,这也必然会给我国的商业界带来巨大的经济效益。

5. 信息高速公路

20 世纪 90 年代,响遍全球几乎家喻户晓的另一个通信技术名词是“信息高速公路”,它是美国总统克林顿提出的。1993 年 9 月,克林顿政府放弃由里根总统提出,由共和党执政的里根政府和布什政府实施的星球大战计划和新一代高能加速器计划,同时推出了一个新的高科技计划国家信息基础设施建设计划(英文简称 NII),人们通常称为“信息高速公路”计划。

根据美国政府的解释,所谓信息高速公路具有广泛的涵义,不仅包括那些用于各种信息(声音、图像、文字数据)存贮、处理和传递的,技术先进的硬件设备,还包括信息本身(如数据库、图像、音像资料、电视节目等)、应用软件和系统、网络标准、传输编码以及从事与信息服务业有关的工作的各种人员。就是一个覆盖美国全境并连接世界各地的高速信息传输网络,是“网络的网络”。

“信息高速公路”计划的目标是用光缆和相应的硬、软件设备以及网络体系把美国所有的政府机构、学校、公司、企业、医院和图书馆等不同机构以及每个普通家庭都连接起来,建成一个全国性的计算机化的信息高速网,通过它向全体美国人迅速准确地传递

各种信息。美国 NII 计划公布后,世界各国纷纷提出了自己的信息高速公路计划,日本的曼蔡罗计划目标要使日本成为第一流的信息大国,欧共体的神经网络计划目标是用 10 年建成遍布欧洲的宽频带信息通道和一批数字化城市;新加坡的目标是成为首批开通信息高速公路国家,使新加坡成为一个智能岛。总之,一场全球性的,通过建立四通八达的高速信息网来争夺世界信息服务市场的国际竞争已经开始。

自改革开放以来,我国政府也加强了国家信息基础设施的建设,邮电部门在大力发展电话通信的同时,加快了计算机数据通信设施的建设和业务开发。在公用数据通信方面,我国已建成中国公用分组交换数据网 CHINAPAC 和中国公用数字数据网 CHINADDN。用户可以通过这两个网开放或使用各种信息增值业务,如分组交换业务、数值数据服务、电子邮件服务、电子数据交换(EDI)、传真存贮转发业务、可视图文传送服务以及远程议事系统等,并于 1994 年开始建设了中国公用 Internet 网 CHINANET,实现了与国际网的互联和国内公用数据网的互联,为国内各城市提供 INTERNET 服务。

第五节 信息分析处理技术

人是万物之灵,其大脑最为发达,最聪明。不过,对于每个人来讲,其智力又是有限的。由于时间和精力限制,或知识水平的局限,我们往往无法完成一些费时、费力的工作,或者不能很好地分析和解决一些比较复杂的问题。计算机的发明,使人类有可能从繁重的记忆、计算和分析比较的劳作中解脱出来,即计算机具有扩展人脑的能力和部分地代替人脑的功能,从而使人类将更多的精力投入那些需要更多智慧的工作,同时,也提高了信息利用率和管理决策水平。现代信息分析处理技术主要包括管理信息系统(MIS)、人工智能(AI)与专家系统、机器翻译、自然语言分析与理解系统、办公自动化系统(OA)和计算机辅助设计与制造系统

(CAD/CAM)。人工智能与专家系统和计算机辅助设计与制造系统已在第二章作了介绍,这一节对其余三个领域作简单介绍。

一、管理信息系统

管理信息系统是指向管理者提供信息,以支持企事业的管理为目的的计算机信息系统,简称 MIS。管理信息系统是建立在计算机技术、数学方法、管理科学和其他相关的信息技术的基础上,对各种可用于管理的信息或数据进行收集、加工、分析、传输、保存和利用的一种人机系统。它以各基层业务部门的作业系统和事务处理系统为基础,把来自这些系统的信息进行加工分析,最后向管理者提供有关生产计划、管理、作业控制、市场预测等方面的功能和信息产品,其中一部分表现为文件报表。

一个公司或企业的管理部门通常都是等级化、多层次的。管理信息系统把这种管理结构分为三个层次,即高层管理、中层管理和基层管理。高层管理主要关心公司企业的长期发展方向,主要责任是进行战略决策,即研究和确定公司的总目标。中层管理的主要责任是执行和实施高层的决策,制订具体的实施计划,比如考虑如何最好地宣传和推销本公司的产品。同时,中层管理者还要对基层管理加以指导。基层管理又叫事务性管理,就是利用此系统提高单项事务如库房管理、工资计算、财会账务等的文件的效率及质量。

基层管理又称单项事务性处理,是管理信息系统最基本的,也是最初等的功能,就是使用计算机来作日常管理事务中的数据录入、存储、统计分析 & 查询制表等工作,主要目标在于提高这些日常例行事务的处理效率及质量。单项数据处理系统几乎都是在—台微机上实现。有时在一台微机上可能运行多个单项数据处理功能,但尽管它们都在一台微机上,它们有各自的一套数据,彼此独立,所以仍属单项事务处理系统。中层管理系统主要应用于中层管理,利用基本的统计方法去处理各种事务数据,然后生成各种状

态报告,指出公司当前的生产和经营状况,存在的问题和解决办法,以供中层管理者参考。中层管理者据此来指挥公司的生产和经营活动,协调各方面的工作和利益,使整个生产和经营过程处于最佳状态。

中层管理信息系统早期主要应用于会计和统计部门,后来逐步扩展到生产和销售管理方面。20世纪70年代以后,随着计算机和通信技术的发展,其功能逐步完善,走向一体化。例如,面向生产性企业的系统,其功能以生产管理和调度为核心,面向生产和销售的全过程,包括生产计划管理、材料计划管理、生产资料管理、财务管理、人事管理、销售和客户服务、技术资产管理、合同和项目管理等系统各组成部分和接口逐步实现无缝化,信息的采集和存储格式统一化,以便于信息共享。

适用于高层管理的管理信息系统又称决策支持系统(DSS),是信息系统的高级形式,是面向高层管理和决策人员的。由于高层管理者的主要责任是确定企业的长远发展方向和总体目标,即战略决策,所以他们对信息系统的要求更高,要求它能帮助分析那些更复杂的带有全局性的问题,提出解决这些问题的方法和方案,供决策者选择。因此,决策支持系统要为决策者提供一种分析问题构造决策模型和模拟决策过程及其效果的决策环境和工具,充当顾问和谋士。决策支持系统通常包括数据采集系统、数据库管理系统、知识库管理系统、模型库管理系统、用户接口等部分,并与各部门的信息系统相连接。其主要功能特征是采集、存储、编辑和检索各种综合性信息或文件,以使用户洞察问题的本质和作出判断,利用统计模型、会计模型或经济模型去分析和综合各种数据,生成观点鲜明的状态报告和预测结果,利用管理科学模型去评价各种决策方案,并形成推荐性的最优化策略。总的来说,决策支持系统是一种更具有分析性的、为解决某结构化问题而设计的信息系统。

值得注意的是,一个企业有了管理信息系统,不管是买来的,

还是自己专门开发的,并不一定就能保证企业成功。因为一个系统的应用效益如何,不仅与系统本身的质量有关,而且还与企业的管理水平和应用者的素质有关。因此,企业要引进管理信息系统时,一定要先引进先进的管理思想与方法,改造学来的管理模式或思维方式,用新瓶装陈醋是不行的。国内外已有许多成功地运用管理信息系统的实例,如日本敷岛面包公司,是日本四大面包公司之一,生产 1 300 多种各式点心,拥有 10 个工厂、17 个服务站、19 600 个销售点。该公司从 20 世纪 60 年代初引入计算机作辅助管理,到 80 年代中期就已拥有 100 多台计算机,在工厂生产现场及 800 多个销售点上都安装了终端,全公司 90% 的业务都实现了计算机处理,形成了一个“订货生产收费”为一体的自动化管理系统,该系统直接读入订单上的数据,经分类统计,编制出生产计划,紧接着的任务分配、车间任务的调度、制成品的分装发运、送货管理、贷款结算及银行转账等也全部由计算机自动处理,因而大大提高了公司的运行效率。该公司从订货开始到成品发运至全国每个销售点,时间最长不超过三天,并保证所有店出售的食品时间最长的也是昨天出炉的,从订货到货款回收整个周期仅 5 天。我国的管理信息系统的开发研制起步于 20 世纪 70 年代中期,经 80 年代的试验探索,目前开始步入实用化阶段,现在全国大多数大中型企业都已建立了不同规模和等级的计算机辅助管理系统。

二、机器翻译、自然语言分析与理解系统

机器翻译就是计算机把一种语言的文献翻译成另一种或几种语言的文献,其实质就是不同语言信息的自动处理和转换。根据自动化程度的不同,机器翻译可以分为机器辅助翻译、机助翻译、全自动翻译和口语自动翻译。

机助翻译是一种自动化水平较低的机器翻译,它的主要任务是利用计算机内存贮的大型语言资料库来帮助人进行翻译工作。翻译前,翻译人员先要对文献进行翻译加工(编辑),把一些计算

机不易识别和翻译的词句和符号先行加以处理。翻译过程中,计算机主要对文献中的词汇进行自动检索、处理和转换。机器翻译后,还要进行人工译后加工。全自动翻译一般不需要人去做译前或译后的编辑加工工作,由机器代替人完成整个翻译过程。目前所说的机器翻译通常都指全自动翻译。翻译的过程一般分为四步:源语文输入、识别分析、生成与综合、目标语文输出。源语文识别与分析一般包括查词典和语法分析两个方面。目标语的生成与综合指生成或综合成通顺的句子。其中包括对组成句子的各种成分的加工与修饰,如调整译文的词序。

目前,国外有近二十个机器翻译系统在工作,且将有更多的机译系统投入运行,我国的机器翻译研究经过近 30 年的不懈努力,终于在 20 世纪 90 年代初取得了重大突破。国家 863 计划重点项目智能型英汉机器翻译系统(IMT/EC)经过中科院计算所等研究机构几十位机译专家长达 7 年的攻关,终于研制成功。其理论基础、总体设计、系统实现和应用水平均明显超过国内外同类系统。该系统的词典已存有 45 000 条英语基本词汇和 25 万条汉语对应词汇,各种规则 15 万多条。译文正确率高达 83%。多次在国内外展览会上展出并引起轰动。系统已达到实用化水平,其袖珍版的一年使用权已转让给香港的公司,获得了很好的经济效益和社会效益。口语自动翻译的技术难度更大,因为它首先要解决语音的自动识别问题,在输出阶段又要解决语音自动合成问题。目前,正在研究探索之中,有几个翻译系统已试用于微机语音录入中,尚不完全成熟。口语自动翻译的实现,将给人类带来更大的便利。自然语言分析理解系统就是利用计算机分析和理解自然语言,这不仅对实现人与机器用自然语言直接通信,推动计算机应用,提高自动化操作的效率,而对于深入了解自然语言内部机制,探索人类智能的奥秘,都具有重要意义。

我国学者自 20 世纪 70 年代以来也进行了一些计算机辅助语言分析与处理的研究,如武汉大学语言自动处理研究组从 1978 年

开始对《毛主席诗词》,《骆驼祥子》,《倪焕之》等作品进行了统计分析,深圳大学把我国古典文学名著《红楼梦》全部输入计算机中,建立了全文数据库,供红学研究查询。

利用计算机研究语言的高级阶段是自然语言理解,就是使计算机系统具有理解人类语言的能力。1968年美国NIT的拉菲尔开发了一个语义信息检索系统,能听懂人的一些话。我国第一个汉语理解系统是70年代末由中科院心理学研究所的李家治、陈永明与自动化所的郭荣江合作研制的,用来模拟一堂动物课。社科院语言所范继淹和徐志敏1980年也研制出了一个人机直接用汉语进行书面对话的问答系统。

三、办公自动化(OA)

所谓办公自动化就是利用计算机及其他电子机械设备辅助办公室工作的进行,以提高办公室工作的效率和质量。

众所周知,传统的办公过程是以纸张作为数据的基本媒体的,这种办公方式严重地影响着办公事务处理的效率及质量,另外,纸张文件在数据的共享及安全保密控制等方面也存在许多困难,还有通过纸张作为媒体的办公业务处理起来费工费时且易出差错,凡此种种,说明传统的办公方式已不能适应当今快节奏的社会经济活动的要求,成了进一步发展生产力的障碍。办公自动化正是在这种背景下,随着微型计算机及现代通信技术的崛起而迅速发展起来的一门综合性的新兴技术,使传统办公方式发生了革命性变化。

办公自动化有许多别名,如“电子办公”或“无纸办公”等,它们反映了这种新型办公系统的某些基本特征。办公自动化系统中运用了计算机、数据通信及轻印刷装置等现代电子机械设备,各种数据主要不是以纸张作为载体,而是存储在计算机的存储器中,由计算机加工处理并经电子通信线路传送。系统中各种成分连接在一起,成为一个有机的整体,组成了一个高度集成化的信息系统。

办公事务中的许多功能如数据的采集、存储、处理和检索,数据的交换、拷贝及分发、文稿准备、信函往来,工程管理秘书事务、银行存/取款、电子会议、辅助决策及公共信息服务等等,都实现了电子化、自动化,从而大大加快了信息传送和处理的速度,提高了办公事务处理的效率及质量。

第六节 现代信息使用技术

合理地继承、借鉴和利用前人的研究成果是科技发展的重要前提,没有继承就不可能有创新,这也就说明了利用信息的巨大作用。关于现代信息的使用,在整个社会生活中涉及的范围及其广泛,这里只介绍一下智能型知识获取与应用技术、信息武器与信息战以及信息安全等。

一、信息年龄

在当今信息时代,每个人都有三个年龄,一个是衡量一个人的生理进化过程的生理年龄,也就是通常我们说的多少岁,第二个是衡量一个人心理平衡能力的心理年龄,第三个就是衡量一个人掌握和使用信息程度的信息年龄,一个人因使用信息或信息技术而相对延长生命,早知、早熟、信息量增大、活动领域拓宽等的程度,就可作为信息年龄的指标。如果一个人使用现有信息而节省了很多时间,我们就可以认为他的信息年龄很大,如果他因使用信息而比同生理年龄的人早知或早熟,那么他的信息年龄就较高;如果一个人因利用信息技术而使用了更大量的信息或达到了更广泛的领域,那么他就有更高的信息年龄。看得出,人的信息年龄在不断增长,人们也在不断地追求更高的信息年龄。

二、智能型知识获取与应用技术

面对当今社会浩瀚的信息海洋,靠手工去搜取和利用信息已相当困难,借用智能化的信息使用技术,能较为容易地利用信息资

源。智能化信息使用技术主要有人工智能技术和外智能网络技术。

研究表明,人类的大脑是左右脑分工的,左脑承担推理思考,右脑承担感知、认识、学习。从模拟人类大脑功能方面看,目前的冯·诺依曼计算机是属于承担推理思考能力,进行数值计算的左型脑。而智能计算机应是模拟直观感知、认识、学习和推理的右型脑。为此,人工智能技术就要解决计算机理解外部环境,提出概念、建立方法、进行演绎、归纳、推理、作出决策、解决问题、自学习和自适应等问题。

人工智能的主要研究领域除了第二章介绍的专家系统外,就是人工神经网络技术。由于计算机并行处理技术的进展,神经网络的研究取得了较快的进展,它有三个方面的特点和优越性,一是具有自学习功能,二是具有联想存储功能,三是具有高速寻找优化解的能力。

实现人工智能有两种途径:一是研制具有类似于人脑结构,能够像人脑一样思维的计算机,但这至少要先弄清楚人脑的思维机理和研制出分子级器件。这将是21世纪的目标。二是以传统计算机硬件为基础,在一些知识比较完备且可形式化表示的领域里,通过软件,在一定程度上实现类似人们智能活动的效果,这是比较现实的方法,目前人工智能研究主要集中在这一方面。

前面介绍的人工智能技术属于内智能网络技术,内智能网络精确地把收到的信息原封不动地传送出去,因此科学家和工程师总是努力保护信息的纯净,极力消灭任何可能使信息错乱或变更的噪音,从而确保信息在发送前与接收后其内容完全一致。外智能网络却不同。这种网络不仅仅传送信息,还能分析、综合、重新组装或改变信息,有时在途中改变信息。这种处理的目的是为了被传送的信息增加价值。这样一来经过外智能网络处理后所接收到的信息,其内容就与被传送前的不一样,而是增值了。因而外智能网络也称“增值网络”,其基本特点是网络收到信息后,在信息

的传送过程中让其在一部计算机化的模型上过一遍,然后把一部分增值信息送给信息的使用者。例如,一家设在美国纽约的卡车运输公司必须经常派车送货到北美地区 50 家不同的分销商那里,北美地区各地公路和天气情况各不相同,汽油价格及其他因素也不一样。过去,每个司机各自斟酌,凭经验选择最佳路线,有了一个独立的增值网络后,这个网络能收集有关公路情况、交通情况、天气情况和汽油价格等的最新资料,然后通过这一网络的软件程序处理,自动地调整路线,能迅速选择最短的行车时间、里程、最少的汽油费和兑换货币费用的线路,并提示给司机。这时,司机得到的是增值的信息,当然是更好的信息,司机可用最少的成本获最大利润。

三、信息武器与信息战

美国一位信息专家说:信息就是权力。控制通信服务就是权力的源泉。对国家来说,信息是一种重要的战略资源。信息获取、处理和利用能力是衡量国力的重要标志。在军事上,信息更是决定战争胜负的关键要素之一。信息的控制权是现代战争的制高点。

古代战争主要使用冷兵器,战争是依靠人的体能的战争。近代战争主要使用热兵器,是依靠武器的能量和军队的技能的战争。现代战争则从热兵器时代逐渐进入信息武器时代。军队是信息化的军队,战争几乎无边界,它不仅仅是一种立体战争,而且扩展到地球外层空间,信息武器在这种战争中发挥的巨大作用是难以想像的。信息武器就是战争双方为争夺信息控制权直至战争胜利所使用的,以现代信息技术为核心技术的武器装备和武器系统。现代信息专家把信息武器分为非杀伤性信息武器、软杀伤性信息武器和硬杀伤性信息武器。

非杀伤性信息武器在战争中主要用来支援和保障自己一方的作战力量。它包括一切用来搜集、传输、处理信息的武器,也就是

主要用于军事侦察的武器,如军用雷达、红外线遥感装置、夜视仪器、可见光遥感装置、多光谱遥感装置、激光探测装置电子侦察设备、通信设备、武器控制系统以及信息安全保密设施等。

软杀伤性武器是一种只破坏敌方信息武器和系统的功能,使其不能正常发挥作用或陷于瘫痪,而不直接破坏或摧毁其本身的武器。其中使用最普通的就是信息干扰设备,包括各种电子干扰设备和水声干扰设备。如雷达干扰机、通信干扰机、导航干扰机、电子干扰箔条、诱饵导弹、诱饵遥控飞行器、陆基电子干扰站以及电子干扰飞机等。它们在战争中发挥着重要作用。

硬杀伤性信息武器则直接用来破坏或摧毁敌方的目标。使用最多的是制导武器和遥感武器。制导武器能根据特定的基准选择飞行路线,控制和引导自身对目标进行攻击,命中精度高。人们称之为长了眼睛的武器,如导弹、制导炸弹、制导鱼雷等。

一些综合性的信息武器或军用信息系统更具效力。目前美国已建立了许多在世界上居于领先地位的综合性军用信息系统,如由分别定位于印度洋、太平洋和南美洲赤道上空的地球同步轨道上的三颗卫星组成预警卫星系统,可覆盖苏联和中国的所有陆地和海上发射场。自投入运行以来,已观测到苏、英、法和我国所进行的1 000多次导弹发射。在海湾战争中还参加了对伊拉克飞毛腿导弹的预警。由三个预警雷达站组成的弹道导弹预警信息系统用来探测和预报来自北方和东方的洲际导弹对北美地区的攻击。间谍卫星全年全天监视全球各地的情况,美国的秘密军事情报大部分来自间谍卫星。另外,空间监视网、E-3空中预警与控制系统、美国全球军事指挥与控制系统、国家军事指挥中心的信息系统、北美防空防天司令部地下指挥中心的信息系统、国家紧急空中指挥所、美国战略空军司令部自动化指挥与控制系统等军用信息系统也在日夜工作。

1990年发生的海湾战争,就是现代信息战的一个典型战例。美国及其盟国军队充分地全面地利用了它们所拥有的各种信息武

器和信息系统,打了一战高度信息化和高科技化的战争。

据指挥这场战争的美国前参谋长联席会议主席鲍威尔的自传《我的美国之路》记载,在海湾危机爆发前后,美国的信息系统就投入了全面的信息搜集和分析处理工作,使美国在5天内就完成了了一系列的政治、外交活动和军事部署,为实施“沙漠盾牌”行动提供了有利条件。在“沙漠盾牌”行动中,多国部队首先攻击的是伊拉克军队的中枢神经系统,即指挥、控制、通信与情报系统(简称C3I),目的就是要先夺取信息控制权,确立自己一方的信息优势,使伊拉克军队成为“聋子”和“瞎子”。然后,多国部队在先进的指挥系统和信息保障下,对伊拉克军队展开了各种攻击。海湾战争成了各种信息武器的综合试验场,其中被称为“十大明星”的10种信息武器或系统都发挥了重大作用,它们是“锁眼”和“长曲棍球”等多种间谍卫星,E-3等多种预警飞机,隐形战斗轰炸机,激光制导炸弹(能穿透6m厚的混凝土板)、“战斧”式巡航导弹,B-52轰炸机,“爱国者”导弹,综合型的战场信息一体化系统,有夜视能力和射击精确的武装直升机,坦克和步兵战车以及卫星导航系统。2003年的伊拉克战争则又是一场典型的现代信息战,美国利用现代信息技术的优势,在短短的3周内,就几乎全面地占领了伊拉克。

目前一些发达国家正在研制的信息武器可能更具威力,如电磁脉冲武器、计算机病毒武器、反卫星武器、太空攻击武器和人工智能武器等。

四、信息安全

过去人们已习惯于谈论信息技术的积极作用和美好前景。然而我们知道,信息和信息技术若使用不当,会造成不该有的损失,更不用说其本身就是假冒伪劣的信息和信息技术给人们带来的危害。信息也具有安全性,只有安全的信息才是财富,才会增值,才能造福于人类。

1979年11月9日,美国五角大楼突然得到苏联要发动大规模进攻的信息,所有信息迅速地反映到五角大楼国家军事指挥中心、檀香山太平洋总部以及“某地”的监视屏上。美国1000枚具有击中苏联本土目标能力的民兵式洲际弹道导弹马上进入戒备状态,当然备战速度较快,使当时的苏联水下导弹能有8分钟时间去组织反击。结果是虚报警。间隔不到一年,1980年6月3日,美国战略空军司令部值班军官根据得到的信息命令全部待命的B-52机组人员登机并发动引擎,以使在遭到打击时载弹起飞升空,否则很可能全部在基地被敌方导弹毁灭殆尽,3分钟后证实是一桩假报警。分析证明,是一个极小的计算机集成电路失效,导致指挥部输送信息的“多路调制器”失控所致。

其实,就是在信息控制技术高度发达的今天,信息事故仍相当频繁。法国电力公司1992年统计的结果表明,70%的“断电”事故是由于信息错误引起的。1993年10月5日,由计算机控制日本市郊自动化列车因3个单独的安全信息系统失灵而发生撞车,造成180人受伤。就在作者来到此处的前两天1997年10月15日,又有两辆日本自动化列车在站内相撞,作者相信也是信息系统错误所致。

尽管有现代高级计算机系统和先进的微电子技术,信息错误或信息事故也在所难免,原因有如下三个方面。一是不可能将信息封闭在一个固定系统内,使用信息就需要与其他系统交流,这样就有可能导致信息的无效泄出以导致事故。二是来自外界的不安全环境的打击。如地震、火灾、水灾、化学生物危害等,使信息资源无端损坏。三是由于信息系统的软、硬件故障及计算机病毒,将使日趋高级的信息系统必须增加相应的安全保障对策。

信息安全涉及国家立法、管理、涉及信息系统的物理安全、人事安全以及如何用科技手段来提供信息安全功能。随着现代信息系统的应用,信息安全的内涵已扩充到以下四个方面:信息的保密性,就是保证信息不泄漏给未经授权的人;信息的完整性就是防

止信息被未经授权的人篡改 ;信息与信息系统的可用性 ,就是保证信息及信息系统确实为授权使用者使用 ,防止由于计算机病毒或其他人为因素造成系统拒绝服务或反过来为敌方服务 ;信息与信息系统的可控性 ,就是对信息及信息系统实施安全监控 ,防止敌方利用某些设备或技术来干扰对抗政府及破坏社会安全的犯罪活动。

参 考 文 献

1. 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京 :中央党校出版社 ,1994
2. 宗占国 ,马骥良. 高技术概论. 北京 :学苑出版社 ,1996
3. 张效祥. 大步跨越时空. 上海 :上海科技教育出版社 ,1996
4. 杨钧锡. 信息技术. 北京 :中国科学技术出版社 ,1994
5. 吴季松. 知识经济. 北京 :北京科学技术出版社 ,1998
6. 珍妮特·沃斯. 学习的革命. 上海 :上海三联书店 ,1998
7. Bill Gates. The road ahead. New York :William H Gates ,1995
8. 赖茂生 ,陈建龙. 信息世界的挑战 21 世纪的信息技术. 北京 :科学技术文献出版社 ,1995
9. 陶德言. 知识经济浪潮. 北京 :中国城市出版社 ,1998
10. 孙钟秀. 电子信息技术. 南京 :江苏科学技术出版社 ,1992

第四章 新材料技术

材料是人类一切生产和生活活动的物质基础,是社会生产力的重要因素。每一种新材料的出现和应用,都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。材料科学技术的每一次重大突破,都会引起生产技术的革命,都会加速社会发展的过程。人类社会进入 20 世纪中叶以来,科学技术突飞猛进,世界各国对新材料的研究和开发都十分重视,作为新技术革命支柱的新材料的研究异常活跃,出现了一个“材料革命”的新时代。

材料是指人们可以用来做成器件、结构件或其他可供使用的那些物质。所谓新材料(或称先进材料)是指那些新近发展或正在发展之中的具有比传统材料的性能更为优异的一类材料。新材料的品种繁多,若按材料的属性划分可分为金属、有机高分子、无机非金属材料三大类以及它们的复合材料。如果按材料的使用性能来分,可将材料分为两大类,即结构材料和功能材料。

新材料是高技术的一部分,同时又为高技术服务。它具有以下特点:①是知识密集、技术密集、资金密集的一类新兴产业;②其发展与新技术密切相关,在新材料的设计、制备、性能检测等方面往往都需要高新技术,而某些未来的高新技术的实现往往依赖于新材料的研制;③常常是多种学科的相互交叉和渗透的结果。新材料是新技术发展的必要物质基础,是当代新技术革命的先导。

在浩瀚的材料世界里,我们不可能将其全部展现在读者面前。本章仅就先进的金属材料、特种陶瓷材料、新型高分子材料、高性能复合材料、电子及光电子材料、超导材料、纳米材料及富勒烯材料等分别作简单的介绍。

第一节 先进的金属材料

金属的发现和应用,曾经对人类文明的发展起过重要的作用,加速了人类社会发展的历史进程。由于金属材料具有优良的性能,直到 20 世纪中叶,在材料工业中一直占统治地位。高新技术的发展,一方面促进了高分子材料、无机非金属材料的迅速发展,同时也促进了金属材料的发展。许多有别于传统金属材料的新型金属材料应运而生,提供了许多具有独特性能和用途的先进的金属材料。有人估计,21 世纪将出现金属材料、高分子材料以及各种复合材料并驾齐驱的局面。这里仅就主要的几种新型金属材料作一些简单的介绍。

一、形状记忆合金

1951 年美国瑞德(Read)等人首先在 Au - Cd 合金中发现形状记忆效应,但当时却没有引起人们的足够重视。直到 1964 年有人在 Ti - Ni 合金中发现形状记忆效应后才受到世界瞩目。所谓形状记忆效应是指将在高温下处理成一定形状的金属急冷下来,在低温相状态下经塑性变形成另一种形状,然后加热到高温相成为稳定状态的温度时通过马氏体逆相变恢复到低温塑性变形前形状的现象。具有这种效应的金属,通常是由两种以上的金属元素构成的合金,故称为形状记忆合金。形状记忆效应其本质主要来自热弹性马氏体相变的可逆性。至今为止已发现有十几种记忆合金体系。包括 Au - Cd、Ag - Cd、Cu - Zn、Cu - Zn - Al、Cu - Zn、Au - Cd、Ag - Cd、Cu - Al - Ni、Cu - Zn - Ga、In - Ti、Fe - Pt、Fe - Pt、Fe - Mn - Si 等。目前已实用化的形状记忆合金主要有 Ti - Ni、Cu - Zn - Al 及铁基等合金。

形状记忆合金在军事、电子、汽车、能源、机械、宇航和医疗等领域得到了广泛的应用。在军事上,可用在战斗机、潜艇、军用卫星等方面。据报道,美国在喷气式战斗机的油压系统中,用 Ti - Ni

形状记忆合金制成管接头套,在低温下扩径,随即装套。随着温度回升到室温,接头套即自动箍紧。据称用这种接头,从未发生过漏油、脱落或破损等事故。在机械工业领域,形状记忆合金可以在各种场合下应用的微型促动器中发挥其特异功能。例如,可以利用它在加热、冷却时产生的伸缩力来驱动机器人手臂机构,这样就不需要传统的促动器的齿轮或凸轮等机械部件,而由材料本身的功能来代替,从而可以使促动器大幅度地小型化和轻量化。形状记忆合金在医学领域也有广泛应用。利用形状记忆合金的超弹性可以制造血栓过滤器、脊柱矫形棒、牙齿矫形弓丝、人工关节和人造心脏等。如用 Ti - Ni 合金制成的牙齿矫正弓形丝,具有操作简单、方便、有良好的生物相容性和耐腐蚀性等优点。形状记忆合金在航空航天领域也得到了广泛的应用。例如,可用来制造人造卫星的天线和能量转换热机等。

二、超塑性合金

某些材料在特定的组织状态(如晶粒尺寸、相变等)、一定的温度和形变速率下表现出极高的塑性,这种现象称为超塑性。金属的超塑性现象首先在 Zn - Al 合金中被发现,到目前至少发现 100 多种金属合金材料具有超塑性现象,包括纯的 Pb、Al、Cu、Be 以及 Al、Ti、Zn、Fe、Ni 为基的合金。处于超塑性状态的合金,其变形抵抗力较小,而延伸率则很高,可以达到百分之几千。超塑性的研究已经遍及材料加工、力学、机械等许多学科。

金属合金的超塑性可分为两类:

1. 微晶超塑性

微晶超塑性的条件要求晶粒微细化、等轴化和稳定化。有些材料(如 Al - Cu - Zn 合金等)超塑变形前为变形组织,利用超塑性中的高温和加载形变进行动态再结晶,形成细晶组织,即所谓再结晶超塑性,本质上属于这一类。大多数金属和合金的超塑性属于细晶超塑性。

2. 相变超塑性

相变超塑性是在相变点的温度附近,进行反复地温度循环(加热和冷却),在此过程中施加一定的外力,也可导致超塑性变形。因此相变超塑性又称环境超塑性。超塑性现象的微观机制比较复杂,有些问题尚在继续研究之中。

超塑性现象的实际应用首先是在金属合金的形变加工方面。因为材料处于超塑性状态,其可成型性将大大改善,并可大大降低成型应力。目前用 Zn - Al 合金通过超塑性成型加工成某种汽车零件,已用于工业生产。用钛合金经超塑性成型技术制造的某些飞机零件,如整流罩、舱门、壁板等已在飞机上使用。超塑性在其他领域也有很多应用,如钢在相变超塑变形时扩散能力很强,可以实现固态焊接,利用这种相变扩散焊接方法可以使钢、钛、铸铁、硬质合金等同种或异种材料焊接到一起。利用材料在超塑状态下强度低、塑性高的特点可以实现超塑切削加工。

三、减振合金

解决机械结构中的振动和噪音的根本办法是使振动源和零部件材料具有良好的减振能力,理想的减振材料不仅应该具备一般金属的强度及耐高温等特性,同时又要要有高减振(或称高阻尼)的特性。为此,就应运产生了减振合金。减振合金又称为高阻尼合金。

20 世纪 50 年代初,为提高疲劳强度,减少振动,降低噪音,英、美等国首先开始了金属材料减振特性的研究,并成功地开发了 Mn - Cu 系减振合金。随后引起了世界各国的注意。迄今已开发出包括耐腐蚀和耐疲劳的 Co - Ni 系合金、耐腐蚀的 Ni - Ti 系合金、质轻的 Mg - Zr 系合金及易加工又耐腐蚀的 Fe - Cr - Al 系合金等几十种新型减振合金。

已经开发的减振合金都具有良好的减振能力,但它们的减振机制并不都是一样的。在已发现的减振合金中,主要有:复相型减

振合金、强磁性型减振合金、李晶型减振合金等。

减振合金的应用领域非常广泛,几乎遍及一切领域,如在航空航天领域,可以用于火箭、导弹、喷气机等控制盘或陀螺仪的外壳、座舱等;在汽车领域可用于刹车盘、发动机的转动部件、空气净化器等;在土木建筑领域,用于桥梁、凿岩机、钢梯等;在机械方面,如链式输送机导板,大型鼓风机框架及叶片等;家用电器方面,用于空调器、洗衣机、垃圾处理机等、音响设备的喇叭等;在铁路领域,可以用于车轮、铁轨及线路修补机;在船舶领域,可用于推进器传动部件、舱室隔板等等。总之,实践表明,减振合金的应用范围十分广泛。

四、贮氢合金

氢在新能源的开发中占有重要的地位。所以人们在探寻简便地造氢方法的同时,也探寻着简便而有效地贮存氢的方法。科学家们进行了艰苦的探索,根据金属能吸氢的特点,提出了用金属贮氢的办法。这种用于贮氢的金属称为贮氢合金。

贮氢合金是靠其与氢进行化学反应生成金属氢化物来贮氢的,这个化学反应是可逆的,无论是金属合金吸氢生成金属氢化物还是金属氢化物分解释放出氢,都受温度、压力及合金成分的控制。需要贮氢时,让合金与氢反应生成金属氢化物;需要用氢时,则可将金属氢化物加热,使氢释放出来,并可通过温度、压力调节其释放量。

虽然许多金属能与氢反应生成金属氢化物,但并非都适合作为贮氢材料。实际用作贮氢材料的金属应具备下列条件:贮氢能力要强,反复吸氢和放氢时,材料性能稳定,吸氢和放氢时速度快;金属氢化物的生成热要适当,这样吸氢与放氢过程能较容易进行;平衡氢气压不太高,以便于氢的吸贮与释放。

纯金属一般都不能满足作为贮氢材料的基本条件。为了改善其贮氢性能,必须添加一些合金元素形成贮氢合金。研究结果表

明,能够满足贮氢材料基本条件的合金,其成分中的主要元素有 Mg、Ti、Nb、V、Zr 及稀土类金属,添加元素有 Cr、Fe、Mn、Co、Ni、Cu 等。目前研究发展中的贮氢合金主要有 La - Ni 类贮氢合金、Fe - Ni 类贮氢合金、Mg - Ni(Cu)类贮氢合金、混合稀土类贮氢合金和非晶态类贮氢合金。

贮氢合金的应用领域很多,而且还在不断地开拓新的应用领域。以贮氢合金贮存的氢为动力,取代汽油发动机而制成的燃氢汽车已有实验样品。以燃氢为动力的汽车可以大大减少对环境的污染,但目前需要解决的是贮氢材料的质量比汽油箱质量大,影响车辆速度的问题。人们设想,在电厂中用贮氢材料可以完成能量的转换与贮存;可利用其可逆反应中的吸热和放热特性来设计调节温度的供暖与制冷系统;还可以利用氢燃料无污染的特性将贮氢合金引入家用厨房设备。总之,贮氢合金的应用前景是十分广阔的。

五、多孔金属材料

一般情况下,在金属材料的生产中,总是力图获得致密而均匀的金属合金,以保证良好的性能。但是,出于某种特殊的性能要求和使用要求,有时也可有意识地制备出充满着分散的小孔的金属合金。这就是所谓的多孔金属。

通过不同的制备方法,可以制作出不同孔隙结构的多孔金属,其中孔隙的大小、形状、分布、孔隙率以及孔隙之间的连通程度等,都可以在很大的范围内变化。多孔金属除具有本体金属的强度、导热、导电、耐腐蚀等性能外,还具有质轻、比表面积大等特性,因此具有广泛的应用前景。如用作过滤器材料,在工业上用来进行液体和气体的净化。多孔金属材料作为一种新型材料,其制备工艺及潜在的应用价值还在继续开发中。

六、金属磁性材料

凡是实际中可以用其磁性的金属磁性体,都可称为金属磁性材料。金属磁性材料在磁性材料中占主要地位,应用范围极其广泛,主要有用于变压器和电动机铁芯的软磁材料和作永久磁铁的永磁材料(硬磁材料)、磁致伸缩材料以及利用磁滞曲线非线性部分的磁记录材料和磁存储材料等等。

1. 永磁材料

永磁材料是指具有强的抗退磁能力和高的剩余磁感应强度的强磁性材料。永磁材料大体分成以下几类:①可变形永磁合金,包括含碳(或钨、铬、钴)的磁钢、Fe - Cr - Co 系合金、Fe - Co - V 系合金、Pt - Fe(Pt - Co)系合金、Mn - Al - C 系合金、Cu - Ni - Fe (Cu - Ni - Co)系合金等。这类材料可以通过热、冷塑性变形和机械加工制成丝、带及各种形状的永磁体。②铸造永磁合金,主要指铸造的 Fe - Ni - Al 和 Fe - Ni - Al - Cu 系合金,其特点是质脆而硬,只能通过铸造(或粉末冶金)成型和磨削加工制成磁体。③稀土永磁合金,是永磁材料中最新的材料,它是稀土元素(R),尤其是轻稀土元素与过渡族 Fe、Co、Zr 等或非金属元素 B、C、N 等组成的金属间化合物经适当处理后得到的。第一代稀土永磁合金 SmCo_5 于 1967 年研究成功,它的最大磁能积可达到 114 kJ/m^2 ,几乎是普通 Al - Ni - Co 永磁合金的 3 倍多,1975 年,这种永磁材料正式投入生产,1972 年,成分为 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 的第二代稀土永磁材料问世,1982 年前后投入大规模生产,它的最大磁能积可达到 262.7 kJ/m^2 ,1983 年底以 Nd - Fe - B 为代表的第三代铁基新型稀土永磁材料崛起,典型合金成分为 $\text{Nd}_{15}\text{B}_8\text{Fe}_{77}$ 。第三代新型稀土永磁材料的制造主要有粉末冶金和急冷快淬这两种工艺。

目前人们比较关注的还有两类正在发展中的新型稀土永磁材料,一类是稀土铁系间隙化合物永磁材料;另一类是双相纳米晶复

合交换耦合永磁材料。后一类永磁材料有可能大大地促进黏结永磁材料的发展。

2. 软磁材料

软磁材料和永磁材料不同,它们在较低的磁场中即可被饱和磁化,从而呈现很强的磁性,但在磁场撤除以后,磁性就基本消失。典型的软磁材料有纯铁、锰锌铁氧体、镍锌铁氧体、镁锌铁氧体、Fe - Si 合金、Fe - Ni 合金和 Fe - Co 合金等。非晶态软磁材料性能优异,目前重点研究的非晶态软磁材料主要有过渡金属 - 类金属非晶态磁性合金、稀土 - 过渡族非晶态磁性合金、过渡金属 - 过渡金属非晶态磁性合金。

据科技日报报道,日本久保田公司利用非晶态金属粉末开发出一种新型软磁性材料。将这种新型软磁性材料喷涂在铜线上,只要通过微弱电流就能成为磁体。这种软磁性新材料是 Fe - Si - B 非晶态合金。这三种物质经高温溶化后被喷洒成雾状,再置入高速流动的冷水中急速冷却,使其形成原子无秩序排列的非晶体,最后在这种非晶体中加入以硼和硅为主要成分的黏合剂,在 500 °C 以下的温度中成型。据报道,这种新型软磁性材料的最大磁感应强度为 1.3 万 T,比目前的主要磁性材料铁氧体高出 2 倍以上。用该新型磁性材料生产电机线圈其体积可缩小 60%,不仅可以使电子机械产品进一步实现小型化,而且还能大幅度节约能源。

3. 超高磁致伸缩材料

磁致伸缩现象是指磁性材料在磁场中被磁化后,其外形尺寸发生伸长或缩短的现象。尺寸变化的大小通常随着磁场的增大而增大,当磁场强度增大到一定值时,材料的长度便不再随磁场强度的进一步增大而改变。这时材料长度的相对变化率称为饱和磁致伸缩系数。磁致伸缩性质是铁磁体所具有的特性。传统磁致伸缩材料包括有镍及镍基合金、铁基合金、铁氧体材料等,饱和磁致伸缩都在 10^{-5} 以上。这些磁性材料已在实际器件中得到了广泛应用。

20 世纪 70 年代以来,人们对一系列稀土元素和铁组成的合

金的磁致伸缩特性进行了广泛的研究。首先,在一些二元合金(如 SmFe_2 和 TbFe_2)中发现了很大的磁致伸缩特性,它们的饱和磁致伸缩系数在 10^{-5} 以上。随后,又在一些三元和四元合金中测到了很大的磁致伸缩。现在我们把这类具有超高的饱和磁致伸缩系数的材料统称为超磁致伸缩合金。

当前开发的典型超高磁致伸缩材料是三元系合金,即 $\text{Tb}_{1-x}\text{Dy}_x\text{Fe}_{2-y}$ 。研究结果表明这样的三元系合金其磁性、机械性能均明显优于二元系合金。

由于超高磁致伸缩材料具有优异的特性,用这种材料可以开发出许多最新高技术产品。例如可用于制造强力超声波发生器,这是工业上广泛使用的超声波清洗设备的关键部件;也可以用来制造声呐,用于水下的探测。现在,世界范围内的许多公司正加紧超高磁致伸缩材料的应用开发工作。

金属磁性材料种类很多,除了上面谈到的几类以外,还有磁记录材料、磁流体材料、磁光材料等等。

七、非晶态合金

在通常的情况下,液态金属冷却凝固时,原子总是按一定的规则排列,成为晶体。液态金属的凝固过程同时也是一个结晶的过程,所以金属凝固又称金属结晶。1960年美国科学家首次通过快速冷却的方法(冷却速度每秒 100 万度),抑制了液固结晶过程,使得凝固后的 $\text{Au}-\text{Si}$ (70% $\text{Au}-30\%$ Si)合金中的原子基本上保持着原来液态时的无序状态,没有发生结晶过程,成为非晶态合金。非晶态合金在化学成分上它们是金属或合金,而在微观结构上呈现出典型的玻璃态结构,因此又被称之为金属玻璃。由于这种新型材料具有许多优异的物理性能和化学性能,所以这种材料一出现,立即引起了各国材料科学家的兴趣和注意。

自 20 世纪 60 年代以来,对其制备方法、结构及性能特点开展

了大量的工作。目前,通过将金属熔体急速冷却而制成的非晶态合金已有很多种,它们一般是由过渡金属元素(或贵金属)与类金属元素组成的合金。非晶态合金的微观结构特点决定了它具有一系列不同于晶态合金材料的新特性。由于非晶态合金的新特性使得它具有特殊的应用。

非晶态合金的强度和硬度比现有的一般晶态金属都高,如果用它制作高强度控制电缆和橡胶轮胎的增强材料,将大大提高其使用寿命。非晶态合金兼有良好的韧性,有的非晶态合金薄带可反复弯曲 180° 而不断裂。

非晶态合金具有高的耐腐蚀性。例如,常用不锈钢在温度为 60°C 浓度为 10% 的三氯化铁溶液中,每年表层被蚀掉 120 mm ,而含铬的非晶态合金在同样的环境下年腐蚀速率却接近于零。所以非晶态合金的耐腐蚀性特别强,是一种极有发展前景的耐腐蚀材料。

非晶态合金的电阻率很高,电阻率一般为晶态的 $2 \sim 5$ 倍,电阻温度系数低,不同的非晶态合金的电阻温度系数可以由正到负在很大的范围内变化,因此可望用非晶态合金制备出具有高电阻率和低电阻温度系数的材料。

非晶态软磁合金材料性能优异,采用轧辊法制得的 $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ 快淬薄带,电阻率是取向硅钢的 2.5 倍还多,用这种材料绕制配电变压器铁芯,使铁芯在交变场下工作时涡流损耗大大下降,其损耗只有硅钢铁芯变压器的 $1/3$,如果我国能够全部用非晶铁芯变压器代替硅钢铁芯变压器,据估计,每年可节省电能 60 多亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,约合 10 亿元人民币。

有些非晶态合金具有很好的催化特性,比一般的晶态材料的催化活性及稳定性都高得多。有的非晶态材料还具有很强的吸氢能力,有的非晶态材料还具有超导性等。

非晶态合金材料、工艺技术、应用开发至今仍在迅速发展。可望随着非晶化技术的发展,非晶态合金的品种和应用范围将日益

扩大。

先进的金属材料,远不止上面所提到的那些,如超导合金材料、金属间化合物材料、纳米金属材料以及高温合金材料等新型的金属材料发展也十分迅速,都具有广阔的应用前景。

第二节 特种陶瓷材料

特种陶瓷是以高纯、超细的人工合成的无机化合物为原料,采用精密控制的制备工艺烧结而成的,是比传统陶瓷性能更加优异的新一代陶瓷。特种陶瓷又称为精细陶瓷或新型陶瓷等。它的出现与现代工业和高技术密切相关。特种陶瓷在许多方面都突破了传统陶瓷的概念和范畴,是陶瓷发展史上的一次革命性的变化。

特种陶瓷按其化学成分可分为氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷、硼化物陶瓷、硅化物陶瓷、氟化物陶瓷、硫化物陶瓷和磷化物陶瓷等。除以上由一种化合物为主构成的单相陶瓷外,还有由两种或两种以上的化合物构成的复合陶瓷。

按性能和用途,特种陶瓷一般分为结构陶瓷和功能陶瓷两类。也有人把它分成三类,其中另一类为生物陶瓷。

特种陶瓷材料性能优越,用途广泛,并且已成为现代化工业的重要组成部分。下面仅就一些有代表性的结构陶瓷、功能陶瓷和生物陶瓷略作介绍。

一、结构陶瓷

结构陶瓷主要指特种陶瓷中发挥其机械、热、化学等效能的材料。由于它们具有耐高温、耐冲刷、耐腐蚀、高耐磨、高硬度、高强度以及低蠕变速率等一系列优异性能,可以承受金属材料和高分子材料难以胜任的严酷工作环境,常常成为某种科学技术得以实现的关键。

1. 氮化物陶瓷

氮化物陶瓷是 20 多年来迅速发展起来的结构陶瓷。

① 氮化硅陶瓷,具有高温强度高、抗热震性能好、高温蠕变小、耐腐蚀和低密度等优良性能,应用非常广泛。可用于热机的陶瓷材料,如陶瓷电热塞、增压器陶瓷叶轮等已在日本等国工业化生产;可用于高温结构材料,如可用于在空气中,高温条件下使用的支架、轴、螺丝及焊接用喷嘴等结构材料;可用作耐磨材料,如轴承、轴瓦等;还可以用作金属加工的刀具材料等。

② 氮化硼,又称白色的石墨,因其耐高温、电绝缘性好、热导率高和高润滑性而引人注目。它的化学稳定性极好,致密的氮化硼陶瓷材料已广泛用于高温电炉,低频、高频电热装置,等离子体和电弧脉冲发生器的绝缘材料,自动焊接保护套,雷达天线支架和窗口材料,中子吸收剂和核反应堆保护装置材料等。立方氮化硼硬度仅略低于金刚石,可用作制造切削刀具和拔丝模具。

③ 赛隆(silalon),在氮化硅中添加氧化铝,用氧原子取代一部分氮,用铝原子取代一部分硅,这样就从氮化硅派生出一种新化合物,即赛隆。后来又发现铍、锂原子也可取代硅,这样就构成了一系列新的化合物。这类化合物还未能为人们所熟知,对其进行研究,可能得到一批性能优良的新型陶瓷材料。

2. 碳化硅陶瓷

碳化硅即金刚砂,它有许多优良的特性。在硬度方面,它仅次于金刚石、碳化硼和立方氮化硼。通过热压烧结法制得的高密度碳化硅陶瓷,它的抗弯强度即使在 1 400 左右的高温下仍可达到 500 ~ 600 MPa。而其他陶瓷材料在 1 200 以后,强度都会急剧下降,因此说碳化硅是在高温空气中强度最高的材料。碳化硅陶瓷在高温下不仅有足够的强度,而且有良好的抗氧化能力和抗热震性,这些优良品质都使它极其适合作为高温结构材料。碳化硅陶瓷的热导率仅次于氧化铍陶瓷,利用这一特性,可作为优良的热交换器材料。此外,在原子能反应堆中可用它作核燃料的包封材料,还可作为火箭尾喷管的喷气嘴等。

3. 氧化铝陶瓷

氧化铝陶瓷具有耐高温、抗腐蚀、高强度、高硬度、高绝缘性及耐磨性,所以用途特别广。如作为高纯金属的坩埚及生长单晶用坩埚、高温炉的结构部件、机械加工部件、各种切削工具材料等。氧化铝陶瓷的生物相容性好,属于惰性材料,可作为齿根、髋关节、膝关节等人工骨骼。除此之外,氧化铝陶瓷还具有透光特性。

4. 高韧性陶瓷

由于陶瓷材料的抗冲击性差,因而限制了它的使用范围。人们发现在某些陶瓷材料中引入一定量亚稳氧化锆微粒($1\mu\text{m}$ 以下)并使其均匀分布,可大大提高材料的强度和韧性。这类材料如氧化锆增韧氧化锆陶瓷、氧化锆增韧氮化硅陶瓷等。氧化锆增韧陶瓷已在结构陶瓷研究中取得了重大进展。氧化锆增韧陶瓷种类很多,现在已经发现可稳定氧化锆的添加物有氧化镁、氧化钙、氧化镧、氧化铈和氧化钇等单一氧化物或它的复合氧化物,被增韧的基质材料,除了稳定的氧化锆外,常用的有氧化铝、氧化钪、尖晶石、莫来石等氧化物陶瓷,还有氮化硅和碳化硅等非氧化物陶瓷。氧化锆增韧陶瓷由于具有优良的性能,已在机械加工、冶金工业、化学工业、国防工业、航空航天等领域有了广泛应用。

5. 透明陶瓷

制造陶瓷透明的关键是,原料要有很高的纯度,而且对称性越高越好(否则会发生双折射),采用使光散射减至最小的生产控制工艺。透明陶瓷的品种很多,主要有氧化铝、氧化镁、氧化钇、氧化钪和氧化铍等氧化物陶瓷。在非氧化物陶瓷方面也有报道,如氟化镁、硒化锌等。这些陶瓷都具有耐高温、抗腐蚀的特点,最早的应用是透明氧化铝陶瓷作为高压钠灯的灯管材料,目前透明陶瓷材料已广泛的应用于航空航天等领域。例如,透明氧化镁陶瓷,透明氧化钇陶瓷是理想的高温红外材料,可用于火箭、导弹及宇航器的红外窗口、整流罩、红外透镜等。

二、功能陶瓷材料

功能陶瓷是指那些利用其电、磁、声、光、热、弹等直接效应及其耦合效应所提供的一种或多种性质来实现某种使用功能的先进陶瓷。功能陶瓷又称为电子陶瓷。在电子通讯、自动控制、集成电路、计算机技术和信息处理等方面日益得到广泛的应用。对深入了解功能陶瓷的性质以及开拓新的应用领域,无疑将有重要意义。目前功能陶瓷正向可靠、微型化、薄膜化、多功能和高效能方向发展。

1. 导电陶瓷

导电陶瓷是指电导率大于 10^{-2} S/cm 的一类陶瓷材料。一般可以分为非氧化物导电陶瓷和氧化物导电陶瓷两类。非氧化物导电陶瓷有碳化硅、二硅化钼、硼化锆等,它们的使用温度分别为 1 450、1 700、2 000 ~ 2 800。氧化物导电陶瓷品种较多,如氧化锆、氧化钍、铬酸镧等掺杂或不掺杂的氧化物烧结体。氧化物导电陶瓷比非氧化物导电陶瓷更耐高温,抗氧化能力更强,用途更广泛。导电陶瓷材料在许多领域都已被应用而且具有广阔的应用前景。例如,铬酸镧导电陶瓷它的使用温度可达 1 800,在空气中的使用寿命在 1 700 h 以上,用于 1 500 ~ 1 800 的高温电炉,可称得上是最好的电热材料;硼化锆导电陶瓷的使用温度在 2 000 以上,因此,可作为磁流体发电机中通道的电极材料。

2. 新型高性能介电陶瓷

介电陶瓷材料目前已被广泛用于电子工业,由于集成电路基板的陶瓷材料要求绝缘电阻高、耐高压、介电常数小、介电损耗低、具有一定强度、耐热性好、导热系数高以及化学性质稳定等特点,氧化铝、氧化铍、碳化硅及氮化铝等是作为集成电路基板的候选陶瓷材料。氧化铝的性能随坯体中氧化铝含量的提高而提高。这类陶瓷的介电损耗低,电性能与温度的关系不大、机械强度高、化学稳定性好,已被广泛应用于基板材料。除了在基板材料方面的应

用外,某些具有高介电常数的陶瓷也广泛应用于电容器制造行业。

3. 半导体陶瓷

半导体陶瓷又简称为半导瓷,是具有半导体特性的陶瓷材料,导电性能介于金属与绝缘体之间。通常具有比较大的负电阻温度特性,微量杂质可以改变其电阻率,与金属或不同导电体接触形成势垒显示整流作用等性质。半导体陶瓷的晶粒、晶界及界面现象显示多种多样的功能特性,除了半导体晶界层陶瓷电容器外,其主要应用有:热敏陶瓷、气敏陶瓷、压敏陶瓷、湿敏陶瓷和光敏陶瓷。

① 热敏陶瓷是利用半导体陶瓷的电阻值对温度敏感的特性制成的一种对温度敏感的器件。热敏陶瓷分负温度系数、正温度系数、临界温度系数热敏陶瓷。主要用于制作热敏电阻器、温度传感器、加热器及限电流器件等。

② 气敏陶瓷是利用材料对气体的吸附化学反应而制成的半导体陶瓷。因其对气体敏感主要用于防灾报警。

③ 压敏陶瓷是一类具有压电电流非线性的半导体材料。

④ 湿敏陶瓷可用于对温度的控制和测量。

⑤ 光敏半导体陶瓷材料的电参量随环境的变化而变化,按照光敏效应可以分为:光电池效应材料、光导电效应材料、光电子发射效应材料及热释电效应材料。

4. 压电陶瓷

某些电介质在力的作用下,产生形变,极化状态发生变化,引起介质表面带电。如果表面电荷密度与应力成正比,称为正压电效应。反之,施加激励电场,介质将产生机械变形,应变与电场强度成正比,这称为逆压电效应。正压电效应和逆压电效应统称为压电效应。

并非所有的陶瓷都具有压电效应。作为压电陶瓷在晶体结构上必须是不具有对称中心。常用的压电陶瓷有钛酸钡、钛酸铅、锆钛酸铅以及三元系压电陶瓷等等。

压电陶瓷的应用范围非常广泛,压电陶瓷可将机械能转换为

电能,压电点火就是最典型的例子。用压电陶瓷也可以把电能转换为超声振动,用于对金属无损探伤,超声探伤等。用压电陶瓷制成的传感器可用于声呐系统、遥感遥测等。压电陶瓷还可以用来制造各种滤波器和谐振器。

三、生物陶瓷

生物陶瓷是指具有特殊生理行为的陶瓷材料,可以用来构成人体骨骼和牙齿的某些部位,甚至可望部分或整体的修复或替换人体的某种组织或器官,或增进其功能。作为生物陶瓷必须具有良好的生物相容性和力学匹配性。根据在生理环境中所发生的生物化学反应,生物陶瓷大体包括三种类型:①惰性生物陶瓷;②表面活性生物陶瓷;③可吸收生物陶瓷。此外,用生物陶瓷和其他材料所构成的复合材料可被认为是第四种生物陶瓷材料。

惰性生物陶瓷长期置于生理环境中,它将不发生或仅发生有限的化学变化,能保持长期稳定。使用最为广泛的惰性生物陶瓷是氧化铝、氧化锆陶瓷。应用于临床的高密性、高纯度的氧化铝陶瓷,它具有良好的生物相容性、优良的耐磨性、化学稳定性极高的机械强度,因此能用于人工牙根、人工骨骼及关节的修复和置换。

表面活性生物陶瓷材料在生理环境中的变化主要体现在可发生选择性化学反应,从而使其表面和周围组织形成化学性结合,产生键合的界面,这将阻止植入材料随时间进一步降解。这类材料主要包括致密羟基磷灰石陶瓷及生物活性玻璃等。

可吸收生物陶瓷植入体内后会被逐渐吸收和降解,并随之为新生组织所代替,从而达到修复或替换被损坏的组织的目的。目前被广泛应用的生物降解陶瓷材料也比较多,如磷酸三钙,铝酸钙等。在临床上主要用作损伤骨的修复、骨及组织的修复填充材料和药物载体等。

第三节 新型高分子材料

高分子材料以其原料来源丰富、质量轻、可塑性好、成型加工简便以及制品成本低等优点,已经占领了巨大的市场,其现在的生产规模在体积上早已超过了金属产量的总和。与此同时,高分子科学的三大组成部分——高分子化学、高分子物理和高分子工程,都已日趋成熟。虽然高分子材料因普遍具有许多金属和无机材料所无法取代的优点而获得了迅速的发展,但目前业已大规模生产的还是只能在寻常条件下使用的高分子材料(即三大合成材料——塑料、纤维和橡胶,称为通用高分子材料),它们存在着机械强度和刚性差、耐热性低等缺点。而近代科学技术的发展则向高分子材料提出了更高的要求,因而推动了高分子材料向高性能化、功能化和生物化方向发展。这样,在近代就出现了许多性能优异的,所谓高档的高分子材料新品种,通常被称为精细高分子材料。精细高分子材料的研究开发备受重视,发展迅速,在试验中和已经生产的品种很多。下面仅就实用性较强的产品作一介绍。

一、高性能高分子材料

通过对现有通用品种的改性,特别是通过分子设计和材料设计,目前已经开发出了许多能与铁媲美的塑料、纤维新品种,从而赋予了高分子材料在高技术领域中具有更强的竞争力。

1. 工程塑料

工程塑料一般是指工业用的高性能热塑性塑料,是为了满足电子、电工、航空、航天等领域的需要而发展起来的。它不同于用来制作日常生活用品和包装材料的通用塑料。工程塑料具有良好的综合性能,特别是刚性大、蠕变小、机械强度高(拉伸强度大于50 MPa、冲击强度大于6 kJ/m²)、耐热性能好(可在100℃以上长期工作)、电绝缘性好,可在较苛刻的化学、物理环境中长期使用。

目前,已工业化的工程塑料已有数十种之多,其中产量较大的

有聚酰胺(俗称尼龙,简称 PA)、聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、改性聚苯醚(改性 PPO)和热塑性聚酯。人们称它们为五大通用工程塑料,而将聚苯硫醚(PPS)、聚酰亚胺(PI)、聚醚砜(PSF)、醚醚酮(PEEK)和聚醚酰亚胺(PEI)等称为特种工程塑料或高性能工程塑料。高性能工程塑料价格昂贵,世界年消费量很小,但是它的增长速度很快。

工程塑料具有良好的综合性能,广泛应用电子电器、机械零件、仪器仪表、办公机器、家用电器、文化娱乐、建筑行业、交通运输(特别是汽车制造)、医疗卫生和国防工业等尖端科技领域,目前已产生了较大的经济和社会效益。

2. 高强度、高模量的高分子材料

高强度、高模量的高分子材料与无机或金属材料相比,它们具有极大的比强度和比模量,因而在高新技术领域中备受关注。在一般的高分子材料里,大分子链是蜷曲或折叠的。如果在加工成型过程中把大分子链拉直,并使大分子之间彼此平行排列,犹如把一团棉纱拧成一根绳索,就能大幅度提高高分子材料的抗拉强度和弹性模量。于是人们通过超拉伸凝胶纺丝、液晶纺丝等方法使高分子的分子链高度取向,成为具有高强度、高模量、质轻的高分子材料。目前在国际上已推出芳纶 Kevlar 和 Arenka、热致性共聚酯 Vectra 和 Xyder 以及聚乙烯纤维 Spetra900 等高强度、高模量的高分子材料。这些材料可用作宇航材料、防弹复合材料、轮胎帘子线、绳索缆线及体育器材等。

3. 高分子合金

通过物理或化学方法将已有的两种或多种树脂制成复合体系,来满足其中任一组分树脂所不能满足的要求,使得多种组分之间可以彼此弥补性能上的缺点,或起协同作用,使其性能更能符合使用要求,这样的高分子复合体系被称为高分子合金。制备高分子合金主要有共混、共聚、嵌段共聚、链的相互贯穿(PIN)、接枝共聚等方法。

高分子合金材料品种很多,性能各异,例如 HIPS 是用橡胶增韧的聚苯乙烯(即高抗冲聚苯乙烯),它既保留了聚苯乙烯光泽性好、易加工等优点,同时又因含有橡胶,从而改善了材料的韧性;ABS 是丙烯腈、丁二烯和苯乙烯三者共聚或共混的产物,它既保留了聚苯乙烯的良好模塑加工性能和光泽,同时又因含有聚丁二烯而改善了材料的韧性,并用聚丙烯腈增加了材料的稳定性和表面硬度。高分子合金材料发展迅速,已成为新型材料中必不可少的重要方面,并且应用也很广泛。这样的例子很多,不一一列举。这里值得一提的是 20 世纪 80 年代初,日、美两国科学家各自独立地研究开发了一种新型的高分子合金——分子复合材料(MC),它是用刚性高分子在分子水平上对柔性高分子组成的基质进行增强而成的材料。用这种方法,只要在柔性高分子基质中加入百分之几的少量刚性棒状高分子,就可大幅度地提高材料的强度和模量。此类方法是今后将有可能成为开发高性能高分子合金的一种有力的手段。

二、功能高分子材料

功能高分子材料大体上可以分为化学功能和物理功能高分子材料,以化学功能为主的功能高分子材料主要有离子交换树脂、感光性树脂、螯合树脂、氧化还原树脂、高分子试剂和高分子催化剂等;以物理功能为主的高分子材料主要有导电性高分子材料(包括电子型导电高分子、高分子固态离子导体、高分子半导体、高分子超导体和高分子电磁屏蔽材料)、高介电性高分子材料、高分子光电导材料、高分子显示材料、高分子光致变色材料、高分子光导纤维和高分子非线性光学材料等;介于化学和物理功能之间或具有复合功能的有高吸水性高分子、高分子吸附剂、高分子功能膜和高分子功能电极等,有人也将生物医用高分子材料归入功能高分子材料。功能高分子材料,目前已经开发出许多品种,几乎可以说凡金属系、陶瓷系功能材料所有的品种它都具有,而且高分子功能

材料通常具有高分子材料固有的特点,因此它已成为发展高科技和开拓未来产业不可缺少的新型材料。

1. 高分子分离膜

高分子分离膜是用高分子材料制成的具有选择性透过功能的半透性薄膜。采用这样的半透性薄膜,以压力差、温度梯度、浓度梯度或电位差为动力,使气体混合物、液体混合物或有机物、无机物的溶液等分离成各种成分的技术,称为膜分离技术。膜分离技术,以其具有操作简便、耗能少、无污染等集于一体的优越性,而成为当代物质分离和输运方法中一项受到普遍重视并迅速发展的分离技术。高分子分离膜从功能上分,有气体分离膜、反渗透膜、超滤膜、渗透汽化膜、渗析膜和离子交换膜等;从膜体结构上分有致密膜和多孔膜;从膜的形态上分有均质膜和非对称膜、复合膜;从应用形式上分则有平面膜、中空纤维膜和管状膜。用来制备分离膜的高分子材料主要有醋酸纤维素、芳香族聚酰胺、聚苯并咪唑、聚砜、聚四氟乙烯、聚酰亚胺、聚丙烯腈、硅橡胶和全氟羧酸树脂等。

推广应用高分子分离膜能获得巨大的经济效益和社会效益。例如,目前海水淡化技术用得最多的是蒸发法,但这种方法耗能大,制水成本高,而用反渗透法耗能仅为蒸发法的 $1/4$,如今,反渗透海水淡化方法已在为人类服务了。据不完全统计,世界上已有反渗透海水淡化厂 1 000 多家,其中最大的建在位于地中海中部的马耳他。再比如,利用气体分离膜可以从空气中富集氧,从天然气中收集氢,从石油裂解的混合气中分离氢、一氧化碳,从合成氨尾气中回收氢等。功能性高分子膜除分离外,还有各种信息转换膜、反应控制膜、能量输送膜等等。这些大都还处于发展阶段。总之,膜分离技术进一步推广应用,无疑将对相关的新技术进步起重要作用,并将获得巨大的经济效益。

2. 导电高分子材料

导电高分子按导电机理分,可分为复合型和结构型两大类,前

者依靠混在分子绝缘体中的炭黑、金属或电解质离子导电。后者依靠分子本身产生的导电载流子导电。导电高分子是指结构型导电高分子,有时也叫电响应高分子或电活性高分子。

世界上第一种有应用前景的结构型导电有机高分子材料是聚乙炔,1977年由美国和日本科学家合作,用 I_2 或 A_3F_5 与聚乙炔反应,首次观察到聚乙炔的电导率从 $10^{-9} S/cm$ 提高到 $10^3 S/cm$ 数量级。从此,聚乙炔作为一种导电高分子材料吸引了众多的物理学家和化学家对其进行系统的研究。例如,德国 BASF 公司制得的高纯聚乙炔,经掺杂后,不仅电导率高达 $1.47 \times 10^5 S/cm$,而且在空气中能保持 10 个月以上,1990 年,报道日本科学家制得的聚乙炔的电导率($8 \times 10^5 S/cm$),已超过铜的电导率。

除了对聚丙烯的导电性进行广泛研究之外,到目前已先后开发出了聚对苯、聚吡咯、聚噻吩、聚苯胺和聚对亚苯乙烯等几十个可导电高分子品种。电导率可达 $10^0 - 10^3 S/cm$ 数量级,并且化学稳定性比聚乙炔优越得多。导电高分子的研究除了在开发品种上之外,在导电机理、应用及超导电性等方面的研究也取得了进展。美国 Bridgestone 公司和日本 SeikoEpson 公司合资生产的一种锂聚合物电池,它的一个电极就是用导电聚苯胺制成的。这种只有一个硬币大小的电池是一种可反复充电的电池,它虽然没有普通电池的能量密度大,但它的自放电速度很慢,可保持很长时间。非常适合作计算机的辅助电源。导电高分子除作为电极材料使用外,在许多方面都有应用。导电高分子材料在一定掺杂上呈现出半导体性质,因此可以制成二极管和三极管。某些导电高分子材料在电化学掺杂时伴随有颜色的变化,利用这种特性可以制作电致变色显示器。导电高分子材料还可以用来制作控制药物释放的“装置”、传感器、检测器和分子器件等。此外,导电高分子材料在电磁屏蔽和抗静电方面也有实际应用。近几年来,人们发现许多导电高分子材料具有优良的三阶非线性光学特性,可望应用于

新一代的光计算机中,这势必将引起光电子工业和信息科学技术的重大变革和突破。

3. 高吸水性树脂

高吸水性高分子材料是指能吸收自重几百倍乃至数千倍水分的聚合物。1974 年美国首先发现了吸水能力达自重 1 000 倍的树脂,它是由淀粉和丙烯腈进行接枝共聚后用碱进行水解而得到的。现在,除了用天然产物、纤维素作原料外还开发了以聚丙烯酸、聚乙烯醇、聚丙烯酰胺等合成聚合物作原料的高吸水性高分子材料。

高吸水性树脂的应用非常广泛,例如可用作了卫生材料、农业园林材料、建筑材料、防静电材料、沙漠绿化材料、传感器材料、化学能-机械能转换元件和生物反应器材料等。

4. 高分子催化剂

催化是现代化学工业的基础。基本化工原料的生产、石油化工、高聚物的生产都离不开催化剂。所谓高分子催化剂是一类具有催化活性的功能高分子。美国杜邦公司开发的全氟磺酸树脂“Nafion H”,不仅酸性超过硫酸,而且耐化学药品性、耐热性好,可在水中使用,被认为是具有较大发展前途的高分子超强酸催化剂。后来,日本也开发了一种含氟磺酸树脂催化剂,它的活性比 Nafion H 高 200 多倍,酸性为硫酸的 10 倍左右。

具有工业意义的高分子催化剂还有高分子金属络合物催化剂和高分子金属催化剂。它们分别是将有机金属络合物或金属胶体结合到高分子载体上。与小分子催化剂相比,它们具有对水、空气稳定,活性高,能反复使用等特点。

酶是自然界中最有效的催化剂,酶催化的特点是在常温、常压下起催化作用,并且有高度的选择性、专一性和活性。所谓酶的固定化技术,就是将生物酶固定到高分子载体上,这不但保持了生物酶的高活性和高选择性,同时变成了不溶于水的固相状态,弥补了天然酶的易失活、易污染产物及不能反复使用的缺点。目前,固定化酶主要用于生产精细化工品和药物,另外固定化酶在食品工业、

疾病的诊断、人工脏器、生物制品的分离及提纯等领域也有广阔的应用前景。

三、医用高分子材料

高分子是构成人类肌体的基本物质。自古以来,人类就在不断地探求天然或合成材料来修补创伤或医治疾病。用于修复或替代已损坏或患病组织,用于生物环境中的以及用于医疗诊断中的高聚物材料都属于医用高分子材料的范围。

为了满足医疗要求,医用高分子材料不仅要有良好的物理、化学及机械性能来满足医用设计和功能的要求,而且应具有良好的生物学性能。例如,作为体内使用的高分子材料,应具有良好的耐生物老化性,不因血液、体液及人体组织的影响而引起性能的显著变化,并且应具有无致癌和致畸变性;与血液接触的高分子材料,应具有抗血栓性,不引起溶血,不造成血中蛋白质变性,不破坏血液的有效成分;用作药物缓释材料的高分子材料,则应能被机体分解、吸收或及时排泄。

目前已应用临床的人工器官用高分子材料主要有:聚乙烯、聚丙烯酸酯、芳香聚酯、硅橡胶和聚甲醛等几十种,用这些高分子材料能制造出各种人工器官和组织。例如硅橡胶可用于置换人工心脏瓣膜及用作人工肺的氧合器膜等。

临床应用表明,采用医用高分子材料来修补和替换人体病变、衰竭或受伤的器官和组织,矫正或修补畸形器官和组织,是促进组织的修复和再生的有效方法。

采用合成高分子材料为载体,做成各种长效的药物剂型,并控制药物释放速度,这是20世纪80年代发展起来的药物缓释系统,控制药物释放速度的最简单办法是将药物包埋在膜内,通过采用不同材料的膜和改变膜的性质,就能控制药物向膜外的释放速度。用于药物释放的高分子材料,必须具有良好的生物相容性、透过性、不能与包埋的药物发生反应以及易成型加工和价格便宜等特

点。例如,用于治癌的化学疗法的缓释药物,理想的情况是能够将治疗部位组织内的药物浓度,在1~2月内保持在有效浓度,而药物全部释放后,用作包膜或基体的高分子材料能被消化吸收。

控制药物释放的另一种办法是以高分子为载体,连接上小分子药物,即所谓的药物高分子化。药物经高分子化后,就有可能降低毒性,提高疗效,并能做到缓释、长效。例如,通常的抗癌药物都有较大的毒性,而且容易引起恶心、脱发等不良反应,若将小分子抗癌药物高分子化,其效果就会大大改善。

此外,还有一类高分子药物,如聚赖氨酸、聚乙撑亚胺、聚乙烯基-N-羟基吡啶等阳离子型高聚物,可中和癌细胞上的负电荷,阻止癌细胞分裂,具有抗癌作用。又如水溶性高分子聚丙烯酰胺,若以 10^{-6} 级的量加入到血液中,可以改变动脉中的血液流动状况,减少管内阻力,可治疗动脉硬化,心血管疾病等。高分子药物也很多,有些已成功地用于临床,有些药物的研究则刚刚开始,尚有许多问题需要解决。

医用高分子是生物工程的一个重要领域,经过几十年的努力,已卓有成效,今后医用高分子材料的研究将不仅是简单模仿人体器官的形状和功能,而且会在研究生命过程、人体结构和机制上取得进展。

第四节 高性能复合材料

由于现代科学技术的发展对材料提出的要求越来越高,一种材料往往难以满足多方面的高要求,这就促成了复合材料的诞生。所谓复合材料是指由两种或两种以上的材料按一定方式组合而成的,具有单一材料所不能获得的优良性能的材料。通过复合,不仅能使几种材料的性能互为补充,而且能够产生单一材料所没有的新特性。复合材料主要可分为结构复合材料和功能复合材料两大类。

高性能复合材料包括用各种高性能增强剂(纤维等)与耐热

性能好的热固性和热塑性树脂基体构成的树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料、碳基复合材料等。

高性能复合材料已在建筑、交通运输、化工、船舶、航空和航天等领域广泛应用,这里,首先介绍高性能增强用纤维,然后依次介绍高性能树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料、碳基复合材料和梯度复合材料,最后介绍功能复合材料。

一、高性能增强用纤维

在结构型复合材料中,高性能增强材料(或称高性能增强剂)是关键部分。碳纤维、有机纤维中的芳香族聚酰胺纤维(我国也称之为尼龙)、陶瓷纤维等是常用的高性能增强剂。碳纤维是由碳元素组成的一种特种纤维,其碳含量就种类不同而异,其质量分数一般在90%以上,碳纤维不仅具有质轻、耐高温、耐摩擦、导电、导热、耐腐蚀以及柔软易加工等优点,更重要的是微晶结构沿纤维轴有择优取向,从而沿纤维轴方向有较高的抗拉强度和杨氏模量。如牌号为T300的PAN基碳纤维抗拉强度为3.5 GPa,杨氏模量为230 GPa。新近发展的牌号P120的沥青基碳纤维拉伸强度为2.1 GPa,而杨氏模量达到了810 GPa。PAN基碳纤维特别适合树脂基复合材料的需要。高模量沥青基碳纤维适合用作金属基复合材料的增强剂。在有机纤维中,芳香族聚酰胺是最适合高性能增强用的有机纤维。如商品名为Kevlar系列纤维是性能优异的高强度、高模量有机纤维,适合于制造高性能的树脂基复合材料。采用先进的冻胶纺丝法制成超高相对分子质量的聚乙烯纤维,强度和模量都超过Kevlar49(Kevlar49拉伸强度3.9 GPa、模量120 GPa),但其缺点是耐热性差只能适合于低温使用。用无机高分子作为先驱体,经纺丝后烧成陶瓷纤维,是当前受到关注的工艺方法。继Nicalon(SiC)纤维(抗拉强度3.0 GPa 模量200 GPa)开发成功之后,又推出了Tyrammo(含Ti的SiC)纤维,其性能与Nicalon相当,但耐热性明显高于Nicalon。陶瓷纤维具有有机纤维无法比拟的

耐高温及抗氧化性。高强度、高模量的陶瓷纤维作为复合材料增强剂备受重视。晶须已有较长的历史,尽管强度和模量极高,但由于分散困难一直未能发挥作用。当前由于金属基和陶瓷基复合材料的要求,又重新活跃起来。

二、高性能树脂基复合材料

树脂基复合材料是现在使用最多的一种。按树脂基体类型的不同,树脂基复合材料分为热固性树脂基复合材料和热塑性树脂基复合材料。目前树脂基复合材料的基体仍以热固性树脂为主,其通用品种为不饱和聚酯、环氧树脂和酚醛树脂等。作为高性能树脂基复合材料用的热固性树脂目前主要是热固性聚酰亚胺,现已有 PMR-15、LARC-160 和 LR600 等牌号的商晶出现,其耐热性最高可达 300℃。这类树脂可以通过共聚、改变封头结构和主链结构进行改性。双马聚酰亚胺耐热性虽不如聚酰亚胺,但略高于环氧树脂,可以满足在 200℃ 的温度下使用。它的工艺性能比聚亚酰胺好,交联度高从而刚度高和耐溶剂性好是其优点,但是它存在脆性大的弱点。现在这种树脂已有许多商品牌号,如 FE7003、XU295、H795 和 EA9102 等等。耐热更高的树脂基体只有杂环类高分子。如聚喹恶啉树脂、聚苯并咪唑树脂等,但由于价格昂贵,加工性能差,所以只有在特殊情况下使用。近些年来,热塑性树脂基复合材料发展很快,这是因为最近出现一大批高性能热塑性高分子材料,其力学性能和耐热性均能满足先进复合材料的要求,同时它还有明显节约加工周期和提高韧性的特点。特别是它具有的可修复性、二次加工成形和长期贮存等特点是热固性树脂所不具有。常用的热塑性树脂有聚苯硫醚、聚醚醚酮、聚砜、聚醚砜和聚酰亚胺等。例如,日本航空技术研究所用聚醚醚酮和碳纤维制成的新型复合材料,其疲劳寿命比环氧树脂复合材料长几百倍。

通用树脂基复合材料已广泛应用于建筑、汽车制造、化工耐

蚀、造船以及一般民用工业等领域。高性能树脂基复合材料则主要用于航天、航空及体育器具等方面。

三、金属基复合材料

20 世纪 80 年代以来,金属基复合材料发展很快。金属基复合材料除了和树脂基复合材料同样具有高强度、高模量和低膨胀系数的特点外,它能耐高温,同时不燃、不吸潮、高导热与导电、抗辐射性能好,而且在较高温度下不会放出气体污染环境。这些都是树脂基复合材料无法比拟的,但金属基复合材料也存在一些如密度大、造价高,特别是它容易发生界面化学反应从而对性能产生明显影响等缺点。

金属基复合材料基本上可分为纤维增强型(包括短纤维和毡)、颗粒和晶须增强型、交替叠层型和共晶定向凝固型几类。在纤维增强金属基复合材料中常用的增强剂有:硼纤维、碳(石墨)纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维、钨丝、钼丝等。低温用(350 ~ 600)纤维增强金属基复合材料,目前已有碳(石墨)纤维、硼纤维、碳化硅纤维、氧化铝纤维等增强铝、镁和钛及其合金,尤其是高性能铝-锂合金和金属间化合物作为基体材料则备受重视。高温(1 000 ~ 1 400)用纤维增强金属基复合材料则以碳化硅纤维、钨与钼丝等增强镍基合金、金属间化合物等。颗粒与晶须增强的金属基复合材料目前多数用碳化硅颗粒与晶须增强铝、镁、钛、镍及各种金属间化合物。特别是 SiC 颗粒增强铝合金是当前金属基复合材料最早能实现大规模产业化的品种。交叠型金属复合材料是金属与陶瓷、金属与金属以及金属与高性能纤维增强树脂交替叠合而成的超混杂型复合材料。

金属基复合材料最早应用于航天航空领域,如美国的飞机推动系统、机身耐热结构、框架与横梁等都已成功地用硼/铝等金属基复合材料来制造。利用金属基复合材料具有膨胀系数小等特点,可以用于制造人造卫星的天线及摄像机的零部件。日本、美国

成功地开发了用氧化铝纤维或硅酸铝纤维增强铝,用于汽车工业中制造汽缸活塞,现已形成一定的生产规模。总之,金属基复合材料在航空航天、汽车工业等领域都有广泛的应用。

四、陶瓷基复合材料

氮化硅、碳化硅等高温结构陶瓷材料,尽管其高温力学性能、耐磨性及耐腐蚀性优于金属材料,但陶瓷材料固有的脆性限制了它们的应用,单元组分的陶瓷材料已经不能满足现代高技术的应用环境,因此,促进了陶瓷基复合材料的发展。陶瓷基复合材料一般可由多种陶瓷纤维、晶须、难熔的金属纤维、异相颗粒为增强剂。陶瓷基复合材料主要为改善原陶瓷基体材料的本征脆性,避免突发性破坏,提高其工程可靠性。由于一般不强调复合后的增强效果,通常用“补强”一词代替“增强”。目前研究较多的是以碳化硅或氧化铝纤维和晶须增强碳化硅、氧化硅、氧化铝等陶瓷。

陶瓷基复合材料具有优异的耐高温和防腐蚀性,主要用作高温及耐腐制品,耐高温防腐蚀材料等。法国已将长纤维增强碳化硅复合材料应用于制造高速列车的制动机,得到了满意的使用效果。

五、碳基复合材料

这种复合材料即以碳(石墨)纤维增强碳(石墨)的复合材料,又称碳/碳复合材料,它是以碳(石墨)纤维毯、布或三维及多维编织物与可碳化物质(如树脂、沥青等)复合,再碳化与石墨化,如此反复进行多次直到所要求的密度为止。或者用化学气相沉积法把碳沉积在纤维上,这样反复进行可得到碳/碳复合材料,但密度较低。碳/碳复合材料具有良好的强度和刚度,在惰性气氛下有好的热稳定性和化学稳定性。碳/碳复合材料的最大缺点是在氧化气氛下 600℃ 左右开始氧化而失去强度。但在复合材料表面上镀上保护膜,就可能在高温条件下长期使用。碳/碳复合材料已用于

赛车和飞机上的刹车片、喷气发动机燃烧室喷嘴、航天飞机鼻帽和前缘等部分。

六、梯度复合材料

梯度复合材料是采用先进的材料复合技术,通过控制构成材料的要素(组成、结构等)由一侧向另一侧呈连续梯度变化,这样可使其内部界面消失,从而获得材料的性质和功能相应于组成和结构的变化而呈现梯度变化的非均质复合材料。其目的是减小和克服结合部位不匹配的因素。这种材料首先是针对超耐热材料而提出的。通常隔热性耐热材料都是在耐热金属表面涂覆一层耐高温陶瓷,在高温下由于两种材料的热膨胀系数的差异很大而在界面处产生很大的热应力,从而导致二者剥离破坏。如果使金属与陶瓷的复合组分、结构能连续的变化,由金属侧过渡到陶瓷侧形成一种物性参数也是连续变化的复合材料,就可消除两者间的界面,缓和热应力,使整体材料耐热性和机械性能均得到提高。目前,已合成的梯度复合材料主要有 Ti - TiC 系、ZrO₂ - Mo 系、Ni - TiB₂ 系、Cu - TiB₂ 系、Ni - TiC 系和 C - SiC 系等梯度复合材料。梯度复合材料的制备主要有化学气相沉积、粒子排列烧结、等离子喷镀、自蔓延高温合成等方法。梯度复合材料在航天工业已得到广泛的应用。如可被用来作为航天飞机超音速燃烧冲压式发动机的燃烧室壁材料。不仅如此,该材料在电子、光学、化学、电磁学、生物学以至日常生活领域都有着广泛的潜在应用前景。

七、功能复合材料

上面提到的几类复合材料,除了可以作为结构材料使用外,有些还可以作为功能材料而被使用。目前已经发现了许多功能复合材料而且有的已经获得了应用。如复合压电材料、导电和超导材料、磁性材料、阻尼材料、摩擦磨耗材料、吸声材料、隐身吸波材料以及各种敏感换能材料等等。如功能陶瓷锆钛酸铅具有很好的压

电性能,但其很脆,而且密度较大。但以锆钛酸铅粉末与树脂复合后,不仅制成柔性易加工成型的压电材料,而且压电系数大幅度增加。这些功能复合材料大都应用了线性复合效应。关于非线性的复合效应还仅仅有极少的应用。例如有一个实例可以说明乘积效应的作用,即树脂基自控发热带。它是由导电颗粒与树脂以一定的形式复合成半导体材料,使其通电时产生热/变形与变形/变阻的乘积效应,使通电所发生的热自动控制材料的电阻以达到恒温的目的。这种材料已有产品在石油化工上应用。另外某些功能复合材料还可能具有多种功能的综合效果,或兼有结构和功能的双重效应。

第五节 电子、光电子材料

随着科学技术的发展,特别是信息科学技术的发展,人类正在步入信息时代,而现代信息技术的发展依赖于电子和电子材料的研究与开发。比如没有半导体材料的发展、没有大规模集成电路的出现就没有现代的计算机工业,可以说包括信息技术在内的一切当代高新技术的发展都与电子、光电子材料紧密相关。电子、光电子材料在现代科学技术以及现代社会的各个领域已变得越来越重要。

一、电子材料

电子材料是指在电子技术和微电子技术中使用的材料。包括半导体材料、介电材料、磁性材料、压电及铁电材料、电子陶瓷、电子用塑料等,其中最重要的是半导体材料,这里仅就重要的半导体材料略加介绍。

半导体材料是一种具有特殊导电性能的功能材料,是最重要、最有影响的功能材料之一,其电阻率介于金属和绝缘体之间。当其很纯时,其电导率随温度升高而呈指数增加。半导体材料的种类很多,从单质到化合物,从无机物到有机物,从晶态到非晶态等。

但归纳起来大致可以分为:元素半导体、化合物半导体、固溶体半导体、非晶半导体和有机半导体等。

半导体材料的性能与表征参数主要有:能带结构、带隙、载流子迁移率、非平衡载流子寿命、电阻率、导电类型、晶向、缺陷的类别与密度等。所有的半导体材料都需要有高的背景纯度,因此需要提纯。

半导体材料是制作晶体管、集成电路、电力电子器件、光电子器件的重要材料。

重要的元素半导体材料主要有硅(Si)、锗(Ge)等。目前,在电子工业使用最多的元素半导体材料还是硅,它的主要特点是:机械强度高、结晶性好、自然界储量丰富、成本低,并且可拉制出大尺寸的完整单晶。目前它是制造大规模集成电路最关键的材料。就目前来说,单晶硅是人工能获得的最纯最完整的晶体材料。它的纯度、完整性、均匀性以及直径尺寸是衡量单晶硅质量的指标。

单晶硅的制作可采用直拉法、悬浮区熔法等。采用较多的是直拉法,该法可以生长出较均匀、无缺陷的硅单晶体。目前利用直拉法,可以生长出直径为200 mm的硅单晶,不久的将来直径可望达到250~300 mm。

半导体材料从元素半导体材料发展到Ⅲ-V族化合物类型(GaAs、InP)等半导体材料,是半导体发展史上的一次重大突破。化合物半导体显示了优于单一元素半导体的性能,如电子迁移率,GaAs是Si的6倍以上。实验表明,用GaAs制成的晶体管的开关速度比Si晶体管的开关速度快一至四倍,用这样的晶体管可制造出速度更快、功能更高的计算机。GaAs作为太阳能电池材料,其转换效率高于Si单晶,且抗辐射能力强,因而可成为一种重要的空间能源材料。

Ⅲ-V族化合物半导体材料主要有体单晶和外延材料两大类。体单晶是通过直拉法等方法制备的大面积、高均匀性和低位错的不同导电类型的二元化合物。外延材料是通过气相外延

(VPE)、液相外延(LPE)、气束外延(VBE)研制的多元、多层、异质、超晶格和量子阱等结构的外延材料,如 GaAlAs/GaAs、GaInAsP/InP 等。体单晶一般作为外延、离子注入和集成工艺的衬底。外延材料则是器件的有源层、限制层或缓冲层。目前,化合物半导体材料制作电子器件还处在发展之中,远不如硅材料作电子器件那样成熟。

半导体超晶格量子阱材料是近些年来迅速发展起来的。它是按特定设计的能带结构,用分子束外延(MBE)和金属有机物化学气相沉积(MOCVD)、化学束外延(CBE)及原子层外延(ALE)等技术,对材料进行原子级尺度的微细加工而制备出来的超薄多层膜结构材料。材料的组分和掺杂可以随意改变,每层的厚度可薄至几埃、几十埃,层的数目可达几十、几百,甚至几千层。这种材料会出现一系列新的物理特性,如量子尺寸效应、室温激子非线性效应、迁移率增强效应、量子霍尔效应、共振隧穿效应等。

所谓半导体超晶格是指两种(或两种以上)组分不同、或导电类型不同的极薄的半导体薄膜交替地叠合在一起而形成的多周期结构。超晶格又称人造晶格,它是一种人造的周期性结构。在这种新结构材料中,人们可以在原子尺度上人工设计和改变材料的结构和参数,改变材料的能带结构和物理性能。半导体超晶格材料研究的范围十分广泛,种类已有数十种之多,它们涉及到Ⅲ-V族、Ⅱ-VI族、Ⅳ-VI族、Ⅳ族和非晶态等多种材料体系。半导体超晶格按其所含的组分数目可以区分为只含一种组分的掺杂超晶格,含两种组分的组分超晶格,含两种组分以上的复型超晶格。根据组分材料之间的晶格匹配情况可分为晶格匹配的超晶格和失配的应变层超晶格。由于半导体超晶格材料具有一系列新的物理特性,因而用这种超晶格材料可研制出各种结构新颖、性能优异的新型半导体电子、光电子器件。

二、光电子材料

尽管电子技术还有很大的发展潜力,但是随着人们对信息容量和信息传输速度的要求日益提高,电子技术和微电子技术遇到了新的挑战,光电子技术正在兴起。

光电子学是由光学和电子学相结合而形成的,主要研究光子和电子的产生、转换与运动规律以及应用。光电子技术则是激光技术与电子技术的结合。

光电子材料是指光电子技术中所用的材料。光电子材料包括的种类很多,下面以材料的功能应用为线索简单的对光电子材料加以介绍。

1. 激光材料

激光材料多种多样,用于制作不同波长、不同功率水平和不同类别的激光器,并应用于光电子技术的不同领域。在光电子信息技术的广泛应用的半导体激光器,激光管和发光管都用半导体化合物做材料,如 GaP、CdS、GaAs、InP、GaSb 等,其中 GaP 发红-绿光、CdS 发黄-红光、GaAs、InP、GaSb 发近红外光。

近年来,半导体超晶格材料的出现以及相应制备技术的发展,极大地推动了半导体激光器的研制。由 III-V 族和 II-VI 族半导体超晶格量子阱材料制成的激光器,其优良特性已为实验和应用所证实。

用于高功率和高能量固体激光器的材料,主要是激光晶体和激光玻璃,它们大都是用稀土金属离子如 Nd^{3+} 、 Er^{3+} 、 Ho^{3+} 、 Ni^{2+} 等和过渡金属离子如 Cr^{3+} 、 Cr^{4+} 、 Ti^{3+} 、 Co^{2+} 等掺杂的电介质。固体激光材料的基质一般以氧化物和氟化物为主。如硅酸盐玻璃、磷酸盐和氟化物玻璃、 Al_2O_3 晶体、钇铝石榴石(YAG)晶体。常用的固体激光材料为掺钕(Nd^{3+})硅酸盐和磷酸盐玻璃、红宝石($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)、掺钕石榴石($\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$)等。高的均匀性和大

尺寸掺铈激光玻璃已成功地应用于激光聚变和高功率激光系统中。

其他固体激光材料主要是调谐激光晶体,目前已有多种调谐晶体,最有发展前途的是钛宝石($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)、金绿宝石($\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$)、铬橄榄石($\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$)等晶体。另一类新发展的固体激光材料为自掺杂激光晶体。有五磷酸铈(NdP_5O_4)、铝硼酸钕酸钕钕(NYAB)、铝酸镁镧钕(LNA)等。

2. 光电子控制元件材料

光电子控制元件材料用于制作光电子技术中起开关、调制、隔离、偏转、变频等功能的元件。这类功能元件主要应用光学非线性材料来制作,光学非线性效应是指当外加于介质的电场、磁场、声场和光场引起介质内部的非线性极化,因而使通过介质的光特性(如强度、位相、偏振及频率等)也随之改变,这些效应广泛用来实现对光波的控制。

电光材料便是通过电场引起材料变化或光吸收的变化,来达到控制光波振幅、频率和位相的变化,以制成电光器件。重要的电光材料有铌酸锂(LiNbO_3)、磷酸二氢钾(KDP)等晶体,磁光材料有钇铁石榴石(YIG)等,声光材料有 $\text{Pb}-\text{MoO}_4$ 、高铅玻璃等。

介质的非线性极化引起材料的光学性质发生变化,导致不同频率光波之间能量耦合。这些非线性光学材料主要有偏硼酸钡(BBO)、铌酸锂、磷酸二氢钾等。

3. 光电探测及光电信息传输材料

光电探测材料是将光信号转变为电信号的材料,主要是制作光电二极管的半导体材料。近来发展图像显示和接受的列阵光电探测器材料,常用的如硅、锗、Ⅲ-V族、Ⅳ-VI族化合物半导体等。光电信息传输材料是以光导纤维用作光通信的材料。光导纤维从组成可分为多组分硅酸盐玻璃光导纤维、熔石英玻璃光导纤维、氟化物玻璃光导纤维和单晶光导纤维。目前以熔石英玻璃光

导纤维为主要材料,氟化物玻璃光导纤维和单晶光导纤维还在发展之中。

4. 光存储和显示材料

长期以来电子计算机上的存储都用半导体动态存储器作内存,用磁盘等磁记录方式作外存储,20世纪80年代出现的数字化光盘存储技术开辟了光存储的新道路,光盘存储技术经历了只读式(ROM)、一次写入多次读出(WORM)可擦重写方式(ERW)等不同阶段。前两种光盘介质材料是烧蚀型的,一般使用碲基合金和有机染料作为材料。可擦重写光盘介质材料有磁光型和相变型两类,磁光型光盘材料主要有稀土-过渡元素合金和非晶薄膜(如GdCo、TbFe)等,相变型光盘材料大都采用低熔点半导体材料(如Ge-Te、In-Sb-Se、Sb-Se等)。光电子显示器材料主要用于计算机终端显示等方面,当前主要应用电致发光材料,大都使用稀土掺杂和过渡元素掺杂硫化物、氧化物。液晶显示材料也在迅速发展,目前发展的铁电液晶,其响应时间可达微秒量级。

5. 光电转换、光电子集成化所用材料

目前,光电转换材料以单晶、多晶和非晶硅为主要材料,主要应用于太阳能利用上。GaAs单晶和CdS(Se)多晶薄膜也应用于制造光电转换材料,但由于制备面积上的困难,还没有像硅材料那样普遍使用。

早在20世纪70年代,有人就提出光电子集成,试图将光学器件与电子器件集成在同一芯片上。多功能量子阱结构材料被认为是实现光电子集成的最合适的材料。半绝缘衬底平面化集成结构被认为是获得高性能光电子集成芯片的可能途径。目前研究最多的有以下几类材料体系:① GaAs/Si体系。把成熟的Si集成电路工艺技术与良好的GaAs光电子器件材料结合起来,可降低成本,改善其热学性能,可望在光互联、信息处理和光计算机中占有重要地位;② InP/Si体系。现在光通信采用长波长(1.5 μm)激光,InP/Si材料适宜于制作这类激光材料;③ GaAs/InP体系,这种体系可

充分利用 InP 的长波长特性 ,用它和 GaAs 做成的金属—半导体场效应晶体管具有很高的性能 ,因而备受重视。

光电子材料今后主要应用于信息领域 ,在能源和国防上也将起重要作用。

第六节 超 导 材 料

有些物质在一定的临界温度 T_c 以下会转变为完全没有电阻的状态 ,同时具有完全抗磁性 ,这就是所谓的超导现象。具有这种性质的材料称为超导材料 ,超导材料构成了当今新材料领域中一个十分重要的方面。超导材料的发现是 20 世纪物理学的一项重大成就。它为人类展现出前景十分广阔的技术领域 ,人们深信 ,超导技术的广泛应用将对社会发展产生深远的影响。

一、超导现象的基本特征和临界参数

1911 年 ,荷兰物理学家昂尼斯发现 ,水银的电阻在温度下降到 4.2 K 附近或更低时突然减小到零 ,随后他又相继发现锡、铅也有类似的效应。1913 年 ,昂尼斯宣称 ,这些材料在低温下“进入了一种新的状态 ,这种状态具有特殊的电磁学性质。”他把这种电阻消失的状态定名为超导状态 ,因而零电阻就被看作是超导态的基本特征。对于水银 ,4 K 是其超导临界温度(T_c) ,当温度高于 T_c 时 ,它是有电阻的正常态 ,低于 T_c 时是无电阻的超导态。

超导态的另一个基本特征是完全抗磁性。迈斯纳和奥克森弗尔德发现 ,不仅是外加磁场不能进入超导体的内部 ,而且原来处在外磁场中的正常态样品 ,当温度下降到 T_c 以下使它变成超导体时 ,也会把原来在体内的磁场完全排出去 ,完全抗磁性通常称作迈斯纳效应。

进一步研究发现 ,即使温度低于临界温度 T_c 时 ,强磁场也会破坏超导态 ,即当磁场值超过某一临界值 B_c 时 ,超导态就转变为

正常态。 B_c 叫临界磁场。不同超导体的 B_c 不同,并且受温度的影响。此外,通过超导体的电流也会破坏超导态,当样品的电流密度达到或超过某一值 J_c 时,超导体就有电阻了, J_c 叫临界电流密度。 T_c 、 B_c 和 J_c 被称为超导体的三个临界参数。

二、超导体的探索及其种类

自 1911 年发现超导现象到 1986 年的几十年中,经过科学家不懈的努力,发现或制造出了上千种超导材料,其中包括元素、合金、化合物等。在这上千种超导体中,超导临界温度最高的 Nb_3Ge 仅为 23.2 K,大多数超导体的临界温度比这个温度还要低得多,这就意味着超导现象只能在液氮温度(绝对温度 4.2 K)区域才能出现。这就大大地限制了它们的应用。

因此,探索具有更高临界温度的超导材料就成了科学家们追求的目标。1986 年贝德诺兹和缪勒发现 T_c 约为 35 K 的钡镧铜氧化物超导材料,才使超导研究取得突破性进展,从此在全世界掀起一场超导研究热潮。1986 年 12 月,日本、美国和中国的科学家相继宣布研制出分别为 37.5 K、40 K 和 48.6 K 的氧化物超导材料,1987 初,美、中两国科学家各自独立地发现临界温度超过 90 K 的氧化物(钇钡铜氧化物)超导材料,日本曾宣布获得了 175 K 的超导材料。

已发现的高温超导材料很多,其中有四种属典型复杂金属氧化物。钡镧铜氧化物体系(T_c 约为 35 K);钇钡铜氧化物体系(T_c 约等于 92 K)铋锶钙铜氧化物体系(有两个不同的高温超导相 T_c 分别为 110 K 和 85 K)铌钇钙铜氧化物体系(最高 T_c 约等于 125 K)。后三种体系已是可以在液氮温区实现超导的材料。

除了高临界温度氧化物超导体的迅速发展之外,重电子金属超导体、有机物超导体等也得到了迅速发展。2001 年又获得了若干具有里程碑意义的重要成果:发现了新型高温超导材料二硼化

镁,开发出世界上第一个塑料超导体材料;发现 C_{60} 分子和一维碳纳米管具有超导性。

超导材料的种类很多,按物质的结构组成来分类,可分为:单质(如铌、镧、钽、汞等);合金(如铌钛合金、铌锆合金、铌钛钽合金等);化合物(如铌三锗、铌三镓、金属氧化物、有机化合物等);若按超导材料的特性来分类,则可分为第Ⅰ类超导体和第Ⅱ类超导体。

三、超导材料的应用

目前能够在工业上实用的超导材料可分为合金型和化合物型两大类,合金型主要有铌钛合金,它比较成熟,真正达到了商品化,并成为一种“工程材料”。化合物型超导材料主要有铌三锡和铌三镓等,已发展成为一种实用超导体。

高温超导材料的稳定性,尤其是成材工艺问题尚未完全解决,所以临界温度较高的超导体还未进入实际使用阶段。一旦高温超导材料的成材工艺有所突破,那么超导技术将在能源、交通、电子技术等方面发挥其巨大威力。下面就超导材料和超导技术已有的应用和可能的应用前景作一简要的介绍。

1. 作为超导磁体的应用

目前,在超导应用上,处于领先地位的是超导磁体的制造和应用。超导磁体不只是常规(铜线绕成)磁体的替代品,而是对常规磁体的革命,它具有许多常规磁体无法比拟的优点,应用领域也十分广阔。

高能物理研究所用的加速器中,需要大型超导磁体,用作粒子的加速、探测、聚焦和储能等。最早在高能加速器上使用超导磁体的是美国的费米实验室,他们制造的世界第一台超导加速器,能量为 $8 \times 10^{11} \text{ eV}$,用近 1 000 块二极超导偏转磁体和四极集束超导磁体。

核电站的发展是解决能源危机的重要方面,而受控热核反应

的实现,将从根本上解决能源危机。受控热核反应堆中温度高达亿摄氏度,它需一个超导磁体在数十立方米的广大空间内产生高强的磁场作为热核反应的“磁炉”,而常规磁体是无法做到的。人们认为,核聚变的成败,主要取决于装置中能否用超导磁体代替常规磁体。显然,受控热核反应中的大型磁体将成为超导工业应用中的一个十分重要的方面。磁流体发电可将火力发电的热效率从40%提高到55%,它也需要大空间中有强磁场,用大型超导体最适合。超导材料应用于交通上的技术关键技术也是超导材料产生的强磁场技术。典型的例子是超导列车。所谓超导列车,就是在车上安装强大的超导磁体,地上安放一系列金属环状线圈,当车辆行进时,车上的磁体在地上的线圈中感应起相反的磁极,使两者的斥力足以将车子浮起。车辆在电机牵引下无摩擦地前进,时速可高达500公里。这种超导列车已于20世纪70年代成功地进行过载人可行性试验(日本国铁研究项目),后因运行费用太高而搁置。高温超导体发现后,超导列车的问题重又被提起。在第五届国际超导大会上,我国科学家展示的高温超导磁悬浮列车实验装置,吸引了各国科学家的注意力,国内外超导专家称这台装置是当时世界上最大的高温超导磁悬浮列车模型。

超导磁体在医学和生物学上也有应用。如核磁共振断层成像系统是大型医学诊断设备,其中配有一个强磁体,因采用超导磁体,不仅体积小,场强高,还可大大改善系统的灵敏度及分辨率。在生物学领域,利用超导磁体研究人体磁场现象,有助于揭示“磁生物学”的机制。

2. 能源和动力方面的应用

利用超导材料的零电阻特性,超导电缆在理论上可以无损耗地输送电能。而常规输电即使采用高压线,能量损失仍很大,因此,电能的输送将是超导体最重要的应用之一。

利用超导材料制造变压器,可以大幅度降低激磁损耗、缩小体积、减轻质量、提高效率。用常规导体制成的发电机,由于导线发

热和散热技术以及材料的强度等限制,单机功率极限为 2 000 MW,如用超导发电机则至少可提高 5~10 倍,而且体积小、质量轻。未来特大容量的发电机势必考虑超导化。超导贮能装置可将夜间剩余的电能输进巨型超导磁体,需要时引出。这一应用,目前尚处于工程技术试验阶段。

3. 超导材料在其他领域的应用

基于超导约瑟夫森(Josephson)效应的方法制作的超导量子干涉器件(SQUID)是精密测量磁、电、辐射、重力等参量的高级仪表。这些设备有灵敏度高、反应速度快、功耗小、噪声低等优点。例如,超导磁强计,这是目前分辨率最高的磁场测量仪。其磁通分辨率可达 10^{-19} Wb,可用来测量生物磁场、人体磁场等微弱磁场;超导电子照相机用于天文望远镜,有效地扩大了天文望远镜的极限观测能力,使图像的清晰度大大提高。在超导计算机研究方面,超导开关器件、超导存储器已显示出得天独厚的优点。例如,超导开关器件的开关速度已达几皮秒,比高速硅集成电路要快几百倍。超导材料在军事上也有广泛的应用。例如 SQUID 系列可以构成灵敏的低频信号接收机,这在海军通讯中具有重要意义,当信号频率低时,电磁波在海水中的穿透深度增大。利用 SQUID 作高灵敏度低噪声放大器,与一个超导线构成的环形天线相联接,就可以构成一个比常规系统体积小、灵敏度高的低频通讯接收机,该接收机可以用于航海中的潜艇。

总之,随着超导技术的不断发展,高温氧化物超导材料和有机物超导材料的不断问世,21 世纪,超导技术将广泛应用于国民经济、生物医疗和现代国防建设之中,必将导致一场新的产业革命和军事革命,超导材料的应用前景是非常广阔的。

第七节 纳米材料

纳米材料研究是目前普遍关注的一个新的材料科学技术领域,纳米技术被公认为是 21 世纪最有前途的科研领域。对纳米材

料的研究开发是历史发展的必然趋势,是人类对客观世界认识的新层次。

纳米材料可分为纳米颗粒和纳米固体两个层次,纳米颗粒(也称为超微粒)是指颗粒尺寸为纳米量级的超细颗粒,它的尺寸大于原子簇,小于通常的微粒,它是介于原子簇与固体之间的过渡物质,纳米固体(也称为纳米结构材料),它是由超微粒子凝聚而成的块体、薄膜、多层膜和纤维。纳米微粒的结构同样具有晶态、非晶态和准晶态三种形式。按着纳米颗粒的结构状态,纳米固体可分为纳米晶体材料、纳米非晶态材料和纳米准晶态材料。若按着纳米颗粒键的形式又可以把纳米固体分为纳米金属材料、纳米离子晶体材料、纳米半导体以及纳米陶瓷材料。

纳米材料所具有的不同于传统常规微粉和块体材料的特殊性质,使得它的应用前景十分宽广,发展潜力巨大,在当今和未来科学技术中将发挥重要的作用。下面仅就纳米材料的基本特性和广泛的应用领域作一简单的介绍。

一、纳米材料的性质

目前的研究结果表明,纳米材料的特殊性质主要取决于纳米颗粒的表面效应、小尺寸效应以及量子效应。

1. 超微粒大的比表面积和活性

普通物质,表面原子所占的比例非常小,它们所显示的性质对整个物质的性质几乎没有影响,但对于超微粒,由于其比表面积显著增大,表面原子对整个物质性能的影响已不能忽略。因此超微粒的表面对于纳米材料的性质将具有重要的作用,这就是所谓的表面效应。超微粒的表面效应主要表现在两个方面:①随着微粒粒度的减小,颗粒的比表面积迅速增加,其表面能也迅速增加。例如,计算表明,对于 Cu 超微粒,当粒度分别为 100 nm 和 1 nm 时,则比表面积分别为 $6.7\text{m}^2/\text{g}$ 和 $6.7 \times 10^2\text{m}^2/\text{g}$,表面能分别为 $5.9 \times$

10^2 J/mol 和 $5.9 \times 10^4 \text{ J/mol}$ 。②随颗粒粒度的减小,颗粒表面的原子数占颗粒的总原子数的比例也迅速增大。由于粒径的减小,比表面积和表面原子的迅速增加,这就使得超微粒的表面成为极有活性的表面。如果将刚制成的金属超微粒暴露在空气中,瞬间就会氧化。

2. 纳米材料的热学性质

固态物质在其形态为大尺寸时,其熔点是固定的。超微粒被发现其熔点将明显下降(与同种大尺寸固态物质相比较)。超微粒和大块物质之间的热学性质的区别来源于表面效应或量子尺寸效应。当颗粒小于 10 nm 量级时尤为显著。例如,金的常规熔点为 1064°C ,当颗粒尺寸减小到 10 nm 时,则降低 27°C ,当颗粒尺寸为 2 nm 时,熔点仅为 327°C 左右。纳米固体材料的比热容也和晶体物质或非晶态物质有明显的不同,并且明显增加。实验和分析表明,比热容的增加主要是界面部分引起的。

3. 纳米材料的光学性质

尺寸效应和表面效应使超微粒对光有极强的吸收能力。例如,所有的金属在超微粒状态下都呈现为黑色。尺寸越小,颜色愈黑。金属超微粒对光的反射率很低,一般低于 1% ,大约几微米的厚度就能完全消光。与大块材料相比纳米微粒的吸收带普遍存在“蓝移”现象,即吸收带向短波方向漂移。由超微粒构成的纳米固体材料也显示很好的吸波性。

4. 纳米材料的力学性质

材料的力学性能取决于材料的显微结构,由超微粒构成的纳米固体材料,界面占有显著比例,其显微结构明显不同于晶态和非晶态材料。因此纳米固体材料的力学性质和传统材料相比就有明显的差别。例如传统陶瓷材料在通常情况下呈脆性,然而由纳米超微颗粒压制成的纳米陶瓷材料却具有良好的韧性,这是因为纳米材料具有大的界面,因为界面的原子排列是相当地混乱,原子在外力变形的条件下很容易迁移,因此表现出极佳的韧性与一定的

延展性,使陶瓷材料具有新奇的力学性质。

材料中的杂质常在晶界析出,影响材料的力学性能,由于纳米固体材料有很大的界面浓度,使杂质在界面的浓度大大降低。在杂质总浓度相同的情况下,纳米微晶界面的杂质浓度仅为通常晶态材料的万分之一至百万分之一,从而提高了材料的性能。

此外,纳米材料的磁学性质和电学性质与常规微粉和块体材料的磁学性质和电学性质也有很大的不同(读者可参阅相关的文献)。

二、纳米材料的应用前景

由于纳米材料的表面效应、小尺寸效应、宏观量子隧道效应使得纳米材料在光、热、电、磁等方面呈现出常规材料所不具备的特性。因此纳米材料具有十分广泛的应用前景。

1. 作为磁性材料的应用

磁流体是使强磁性超微粒外包裹一层长链的表面活性剂,稳定地分散在基液中形成胶体,具有固有的强磁性和液体的流动性。磁流体在旋转轴密封和磁液扬声器等许多领域得到了应用。

磁性超微粒由于尺寸小,具有单磁畴结构,矫顽力很高的特性,已被用作高贮存密度的磁记录磁粉,大量应用于磁带、磁盘、磁卡等。用这样的材料制作的磁记录材料可以提高声噪比,改善图像质量。

磁性纳米微粒除了上述应用外,还可作光快门、光调节器、病毒检测仪等仪器仪表材料;抗癌药物磁性载体、细胞磁分离介质材料;复印机墨粉材料以及磁墨水和磁印刷材料等。

2. 作为传感器材料及微电子器件材料的应用

传感器是超微粒的最有前途的应用领域之一,例如,用纳米二氧化锡膜制成的传感器,可用于可燃性气体泄露报警器和湿度传感器。由金超微粒沉积在基板上形成的膜可用作红外线传感器,金超微粒膜的特点是对可见至红外整个范围的光吸收率很高。大

量红外线被金属膜吸收后转变成热,由膜与冷接点之间的温差可测出温差电动势,因此可制成辐射热测量器。

作为跨世纪的新材料,纳米材料将用于下一代的微电子器件(即纳米电子器件),使未来的电脑、电视、卫星、机器人等的体积变得越来越小。例如,北京大学用单壁碳纳米管做出了世界上最细的、性能最好的扫描探针,获得了精美的热解石墨的原子形貌像,利用单壁短管作为场电子显微镜(FEM)的电子发射源,拍摄到过去认为不可能的原子像。关于碳纳米管的性质及潜在的应用前景详见本章的第八节。

3. 纳米材料在催化方面的应用

超微粒的表面有效活性中心多,这就为做催化剂提供了基本条件。通常的金属催化剂 Fe、Co、Pd、Pt 等制成纳米微粒可大大改善催化效应。以粒径小于 $0.3\mu\text{m}$ 的镍和铜-锌合金的超微粒为主要成分制成的催化剂可使有机物氢化的效率达到传统镍催化剂的 10 倍。纳米铜粉在冶金和石油化工中是优良的催化剂。在分子聚合物的氢化和脱氢反应中,纳米铜粉催化剂有极高的活性和选择性;在汽车尾气净化处理过程中,纳米铜粉作为催化剂可以用来部分代替贵金属铂和铑。近年来国际上对超微粒催化剂十分重视。

4. 作为光学材料的应用

纳米微粒具有的常规大块材料不具备的光学特性,如光学非线性、光吸收、光反射、光传输过程中的能量损耗等,使得用纳米材料制备的光学材料在日常生活和高技术领域得到广泛的应用,在现代通讯和光传输方面占有极其重要的地位。纳米微粒作为光纤材料已显示出它的优越性。它可以降低光导纤维的传输损耗。

纳米微粒用于红外反射材料上主要制成薄膜和多层膜来使用,由纳米微粒制成的红外膜有透明导电膜、多层干涉膜。例如用纳米二氧化硅和纳米二氧化钛微粒制成的多层干涉膜,总厚度为微米级,衬在灯泡罩的内壁,不但透光率好,而且有很强的红外线

反射能力。

5. 在医学、生物工程方面的应用

纳米微粒的尺寸一般比生物体内的细胞、红血球小得多,这就为生物学研究提供了一个新的研究途径。即利用纳米微粒进行细胞分离及利用纳米微粒制成特殊药物或新型抗体进行局部定向治疗等。

6. 复合材料应用

纳米材料在复合材料的制备方面也有广泛的应用。例如把金属的纳米颗粒放入常规陶瓷中可大大改善材料的力学性能。将金属超微粒掺入合成纤维中可防止带静电,在塑料中掺入金属超微粒可不改变其强度而控制电磁性质等。超微粒也有可能作为梯度功能材料的原材料,例如,材料的耐高温表面为陶瓷,与冷却系统相接触的一面为导热性好的金属,其间为陶瓷与金属的复合体,使其间的成分缓慢连续地发生变化。这种材料可用于温差达 1 000 的航天飞机隔热材料、核聚变反应堆的结构材料等。

人们对纳米材料的物理、化学性质进行了大量的研究工作,目前纳米材料的某些应用已进入了工业化的生产阶段,但一些新的应用领域还需要进一步的开拓。从国内外关于纳米材料的研制、生产及应用的形势来看,纳米材料的工业生产与广泛的应用正处于重大突破的前夕,纳米材料未来应用的前景将是十分广阔的。纳米科学技术必将发展成为 21 世纪最重要的高技术。必将对经济建设、国防实力以及社会进步产生巨大的影响。

第八节 富勒烯材料及其潜在的应用前景

20 世纪 80 年代中期至 90 年代初期,以 C_{60} 为代表的一系列富勒烯材料的发现开辟了材料科学的一个全新的领域,形成了一门蓬勃发展的交叉学科——富勒烯科学。 C_{60} 的发现被认为是化学史上继高温超导体之后最激动人心的事件。材料科学家们将

C_{60} 誉为“新材料皇后”。它们所具有的一系列独特性质,使得它们可能在光学、半导体、超导和微电子等领域具有广阔的应用前景,它们的出现极有可能导致科学技术的一场革命。

一、 C_{60} 及其他富勒烯的结构

在人类已知的 100 多种元素中,碳是十分重要的元素之一,过去人们一直认为自然界中的纯碳只存在两种同素异构体——金刚石和石墨,这两种物质都是由原子堆积构成的网状固体,不存在单个的碳分子。然而在 1985 年,柯克里(J. R. Cur)、克罗托(H. W. Kroto)、斯莫利(R. E. Smalley)三人一项具有划时代意义的发现,改变了人们的传统观念,以 C_{60} 为代表的全碳分子系固体的出现宣告了碳的多种稳定的同素异构体结构的诞生,实验和理论研究都揭示出纯碳存在多种形态,包括球形、管状等结构。他们三人因此共同获得了诺贝尔化学奖。

C_{60} 分子的结构现在已完全得到确认, C_{60} 分子有 60 个碳原子所组成,它是由 12 个五边形和 20 个六边形组成的空心 32 面体,这种结构很像美国建筑设计师巴基敏斯特·富勒(Buckminster Fuller)发明的笼形屋顶,因此人们将这种分子命名为富勒烯。由于其外形状酷似足球,又称之为巴基球或足球烯。后来人们又将包括 C_{60} 在内的全碳分子统称为富勒烯。 C_{60} 是目前发现的自然界中最圆的分子,碳原子占据的 60 个顶点位于一个半径为 3.55 Å 的球面上。它含有两种不等价的化学键,所有的五元环均由单键构成,而所有的六元环由单键和双键交替构成。单键键长 1.46 Å,双键键长 1.40 Å,这些单、双键既不像石墨那样的 sp^2 杂化,也不像金刚石那样的 sp^3 杂化,而是介于二者之间。后来进一步的研究发现,除了 C_{60} 之外, C_{20} 、 C_{24} 、 C_{28} 、 C_{32} 、 C_{36} 、 C_{50} 、 C_{70} 、 C_{76} 、 C_{84} 、 C_{90} 、 C_{94} ……都是存在的。其中, C_{70} 、 C_{76} 、 C_{84} 、 C_{90} 以及 C_{94} 都已被分离出来并得到研究,并初步测定了它们的分子几何构型、电子结构

和有关的基本参数。例如 C_{70} 的分子结构包含了 12 个五边形和 25 个六边形,由于六边形的数目增多其结构偏离球状,形成比 C_{60} 略扁的橄榄球形状。 C_{60} 的制备主要是用高功率的激光蒸发石墨,蒸发出来的碳蒸气在惰性气体的气氛中冷凝,形成大量原子紧密结合的凝聚体(团簇),然后把碳团簇束导致真空室膨胀,并冷却到比绝对零度高几度的低温,就可以分离出 C_{60} 。 C_{60} 在室温下可以形成分子晶体,但制备大尺寸的 C_{60} 单晶体却很困难。

1991 年,日本电气公司基础研究室的饭岛(Iijima)在研究巴基球分子的过程中发现了一种直径 4 ~ 30 nm,长达微米量级的多壁碳管状结构,并命名为巴基管。巴基管是由一些同轴的圆柱形管状碳层叠套而成,原子层的数目从二到几十不等,碳原子在管壁上形成六边形结构并沿管壁方向呈螺旋状,其两端往往依靠引入五边形环而封闭。不同巴基管以及同一巴基管的不同原子层其螺旋度都有所不同,并且这种螺旋结构有助于巴基管的生长。由于巴基管的直径在几纳米到几十纳米之间,因而又被称为碳纳米管。碳纳米管的发现是继 C_{60} 之后的又一令人振奋的发现。碳纳米管的制备主要有电弧放电法、脉冲激光蒸发法和化学气相法等方法。

二、 C_{60} 及碳纳米管的性质

以 C_{60} 为代表的富勒烯一被发现,有关它们性质的研究就引起了人们的极大兴趣。这些富勒烯几乎无一例外地表现出十分独特的物理化学性质,具有丰富的物理化学内涵,对富勒烯进行化学修饰可以得到丰富的各种化合物。这里仅就 C_{60} 及碳纳米管的性质做一简单的介绍。

1. C_{60} 的物理、化学性质

(1) C_{60} 的物理性质 ① C_{60} 分子的对称性 C_{60} 分子的结构现在已完全得到确认,它是由二十面体截去十二个顶角而得到的。碳原子占据 60 个顶点位置。这种分子是三维欧几里得空间可能

存在的最对称的分子,它具有 I_h 群的对称性。② 固态 C_{60} 的结构及相变 C_{60} 分子之间主要通过范德瓦尔斯力相互作用而凝聚在一起。在室温下,形成面心立方结构,其晶格常数 $a = 14.198 \text{ \AA}$,但在 294 K C_{60} 固体发生相变,形成简单立方结构,这种相变是由于分子取向从无序到有序而形成。③ C_{60} 的振动特性及电子结构 C_{60} 是由 60 个碳原子组成的三维分子,因此 C_{60} 共有 $3 \times 60 - 6 = 174$ 个振动自由度。理论计算表明 C_{60} 有 48 个可分辨的振动频率,其中 10 个为拉曼(Raman)激活的,4 个是红外激活的。人们用不同的理论方法计算了 C_{60} 的电子结构,其最高占据态是 5 重简并的,最低未占据态是 3 重简并的,能隙为 1.9 eV 。④ C_{60} 固体的半导体特性 理论计算表明 C_{60} 固体是一种类似于 GaAs 的直接能隙半导体。与 GaAs 不同的是 C_{60} 分子在格点位置高速无序地自由转动。导致 C_{60} 固体在某些方面类似于非晶硅。因此 C_{60} 固体成为继 Si、Ge 和 GaAs 等之后的又一种新型半导体材料。⑤ 掺杂 C_{60} 固体的超导电性质 在 C_{60} 固体中掺入碱金属 A 形成 $A_x C_{60}$ ($A = K, Rb, Cs$) 晶体, A 原子处于 C_{60} 点阵的间隙位置,并呈现完全离子化状态。研究表明 $A_3 C_{60}$ 为面心立方结构,它是超导相。 $A_1 C_{60}$ 为体心正交结构,而 $A_6 C_{60}$ 为体心立方结构,它们均为非超导相。除了上面提到的 C_{60} 的一些物理性质以外, C_{60} 有很弱的抗磁性以及非线性光学特性等性质。

(2) C_{60} 的化学性质 目前,人们采用各种办法,对 C_{60} 分子进行修饰,比如使其分子笼内俘获其他原子或分子,称为内修饰;使其在分子笼外俘获其他原子或分子,称为外修饰;在表面进行原子替代,称为表面修饰。

C_{60} 能够进行的化学反应很多,例如 C_{60} 的氢化和脱氢反应、 C_{60} 的卤化反应、 C_{60} 的自由基反应、 C_{60} 的亲核加成反应以及富勒烯的骨架扩大反应等等,这里就不一一列举了。总之,富勒烯的化学修饰开辟了一条合成种类繁多的新化合物的道路。

2. 碳纳米管的性质

碳纳米管是除了 C_{60} 之外的另一种十分奇特的富勒烯,这种具有纳米尺度的全碳分子微管具有许多奇特的性质,主要表现在:

① 具有不同寻常的电磁性能。对单根碳纳米管的导电性能的理论计算和实测结果表明,由于结构的不同,碳纳米管可能是导体,也可能是半导体。进一步研究表明,完美碳纳米管的电阻要比有缺陷的碳纳米管的电阻小一个数量级或更小。碳纳米管的径向电阻大于轴向电阻,并且这种电阻的各向异性随温度的降低而增大。有人通过计算认为直径为 0.7 nm 的碳纳米管具有超导性。对于碳纳米管的磁性研究表明轴向磁感应系数与径向磁感应系数不同。

② 碳纳米管具有极高的强度、韧性和弹性模量。其弹性模量可达 1 Tpa,弹性应变最高可达 12%,约为钢的 60 倍。

③ 纳米碳管具有奇特的热学性能和光学性能。

三、富勒烯材料潜在的应用前景

以 C_{60} 为核心的富勒烯材料由于具有许多优异的性质,开辟了材料科学中的一个崭新的研究领域, C_{60} 的许多不寻常的特性几乎都可以在现代科技和工业领域找到实际应用价值。已经预见到 C_{60} 材料的应用是多方面的,包括润滑剂、催化剂、研磨剂、半导体、非线性光学器件、超导材料、高能电池、燃料、传感器、分子器件、医学成像及治疗等方面。这些 C_{60} 材料在许多高科技领域的应用可能是关键的和无法替代的。这些材料进入实用化必将带来材料技术的一场革命,无疑具有重大而深远的意义。以下简单的介绍 C_{60} 及碳纳米管的潜在的用途。

1. C_{60} 的潜在应用前景

(1) 用于润滑剂、研磨剂和制造超硬切削刀具 C_{60} 具有特殊的圆球形状,是目前发现的最圆的分子,同时 C_{60} 的结构具有特殊的稳定性。在分子水平上,单个 C_{60} 分子是异常坚硬的, C_{60} 一被发现,就有人提议用它来作“分子滚珠”。 C_{60} 的这种异常坚硬性,极

可能使得它成为高级润滑油的核心材料。将 C_{60} 完全氟化得到的 $F_{60}C_{60}$ 是一种比氟化石墨更好的优良润滑剂。

C_{60} 的特殊形状和极强的抵抗外界压力能力,使其有希望转化成为一类新的超高硬度的研磨材料。一种有希望的方法是通过在室温下加高压直接将 C_{60} 转化成为金刚石。

在正常的情况下, C_{60} 晶体同石墨一样柔软,这是因为其结构中两个 C_{60} 分子球心间的距离大约是 10Å 左右,空隙较大。但是当把它压缩到小于原体积的 70% 时,预测它变得比金刚石还坚硬。这种压缩了的 C_{60} 晶体很可能被用来制造超硬切削刀具。

(2) 作为半导体材料、超导材料的应用 目前 Si、Ge 和 GaAs 是主要的半导体材料, C_{60} 固体是一种直接能隙半导体。有人在 GaAs 衬底的 (110) 面上成功地制出了 $C_{60} - K_3C_{60}$ 异质膜,由于 C_{60} 膜和 K_3C_{60} 膜之间无 K 的扩散,固这种异质膜结构具有清晰而稳定的界面,利用它可望制出优良的微电子器件。

研究表明, K_3C_{60} 在 18 K 时会变成超导体, Rb_3C_{60} 和 Cs_3C_{60} 的超导临界温度分别为 29 K 和 33 K,如果将铯、铷一起掺入 C_{60} 晶体,形成 $Rb_1Tl_2C_{60}$,其超导临界温度会进一步提高可达 48 K。这类材料能够制造成三维超导体,因此,它们极有可能成为实用超导体。

(3) 作为软铁磁材料、贮氢材料的应用 最近合成的强磁性盐 $TDAE_{0.86}C_{60}$ (TDAE 是有机分子 4 - 二甲胺乙烯的简称)则是一种不含金属元素的软铁磁材料,居里温度为 16.1 K,用这种材料制作的磁体可望替代昂贵的金属磁体。

由于 C_{60} 是个中空分子,因而其内部可以贮存一些直径较小的原子。氢原子的直径最小,每个 C_{60} 分子内部可以贮存若干个氢原子,这就为未来的新能源开发带来了契机。如果用充满氢的 C_{60} 分子做成贮氢罐,就可以装在各种运输工具上,利用燃烧氢能源来提供动力,从而既节省了能源,又改善了环境。

(4) 作为非线性光学材料的应用 实验研究发现, C_{60} 薄膜具有很大的三次非线性响应, 有人对 C_{60} 苯溶液进行实验, 发现很大的超快三次非线性响应。 C_{60} 的这种非线性光学性质使其成为集成非线性光学装置的理想材料。

(5) 作为超导材料的应用 在 C_{60} 固体中适当掺杂碱金属可以成为超导体。1991 年, 在 C_{60} 的结构仅仅被证实一年多, 就报道了掺钾的 C_{60} 超导临界温度为 18 K。美国哈佛大学的科学家把金属铷、掺入 C_{60} , 使超导临界温度提高到 29 K, 又有报道掺铷、铯的 C_{60} 固体, 其超导临界温度高达 48 K, 进入了高温超导材料行列。有人预言 C_{60} 有可能成为临界温度大于 100 K 的高温超导体。

C_{60} 超导体不同于金属氧化物超导体。它是有机物, 并且具有三维特性。在目前所有的有机物超导体中, 它的超导临界温度最高, 且具有较大的临界电流、临界磁场, 还具有易于加工成型、质轻等优点。因而预期有广泛的应用前景。

C_{60} 及其衍生物的潜在应用是多方面的, 除上面提到的以外, 在生物学、化学、医学等其他领域都有广阔的应用前景。

2. 碳纳米管的潜在应用前景

(1) 作为储氢材料的应用 碳纳米管由于其管道结构及多壁碳管之间的类石墨层空隙, 使其成为最有潜力的储氢材料, 可能是未来燃料电池汽车氢气储运材料的最佳选择。已经证实, 碱金属嵌入碳纳米管会极大地提高其储氢性能。

(2) 作为场发射的阴极材料 碳纳米管具极好的场致电子发射性, 这一性能可用于制作平面显示装置取代体积大、质量大的阴极电子管技术。加州大学的研究人员证明碳纳米管具有稳定性好和抗离子轰击能力强等良好性能, 可以在 10^{-4} Pa 真空环境下工作, 电流密度达到 0.4 A/cm^2 。用碳纳米管制成的电子枪与传统的相比, 不但具有在空气中稳定、易制作的特点, 而且具有较低的工作电压和大的发射电流, 适用于制造大的平面显示器。

(3) 用作复合材料的增强体 碳纳米管由于纳米中空管及螺

旋度的共同作用,具有极高的强度和理想的弹性,杨氏模量甚至可达 1 TPa,碳纳米管长径比在 1 万倍以上,强度比钢高 100 倍,密度仅为钢的 1/6,碳纳米管无论是强度还是韧性,都远远优于任何纤维材料。将碳纳米管作为复合材料的纤维增强体,可表现出极好的强度、弹性、抗疲劳性等特性,这可能带来复合材料性能的一次飞跃。

(4) 用作超级电容器电极材料 超级电容器,又叫电化学电容器,双电层电容器,是一种新型的电容器,它的出现使得电容器的极限容量骤然上升了 3~4 个数量级。由于双电层电容器的工作原理是基于电极与电解液界面形成所谓的双电层的空间电荷层,在这种双电层中积蓄电荷,从而来实现储能之目的。它不同于传统意义上的电容器,类似于充电电池,但比传统的充电电池(镍氢电池和锂离子电池)具有更高的比功率和更长的循环寿命,因此电化学电容器在移动通讯、信息技术、电动汽车、航天和国防科技等方面具有极其重要广阔的应用前景。目前一般用多孔炭作电极材料,不但微孔分布宽(对存储量有贡献的孔不到 30%),而且结晶度低,导电性差,导致容量小。碳纳米管结晶度高、导电性好、比表面积大、微孔大小可通过合成工艺加以控制,比表面利用率可达 100%,具备理想的超级电容器电极材料的所有要求。碳纳米管的出现为超级电容器的开发提供了新机遇。

(5) 作为传感器材料 利用碳纳米管对气体吸附的选择性和碳纳米管的导电性,可以做成气体传感器。不同温度下吸附氧气可以改变碳纳米管的导电性。在碳纳米管内填充光敏、湿敏、压敏等材料,可以制成纳米级的各种功能传感器。纳米管传感器将会是一个很大的产业。

(6) 用于锂离子充电电池的电极材料 目前,锂离子电池正朝高能量密度方向发展,因此要求材料具有高的可逆容量。碳纳米管的层间距略大于石墨的层间距,充放电容量大于石墨,而且碳纳米管的筒状结构在多次充一放电循环后不会塌陷,循环性好。

碱金属如锂离子和碳纳米管有强的相互作用。用碳纳米管做负极材料做成的锂电池的首次放电容量达 $1\ 600\ \text{Ah/g}$,可逆容量为 $700\ \text{mAh/g}$ 远大于石墨的理论可逆容量 $372\ \text{mAh/g}$ 。

(7) 其他方面的应用 碳纳米管的小尺寸和高的机械强度使得它可以作为扫描探针显微镜的探针。碳纳米管独特的电学性能使其在大规模集成电路、超导线材等领域具有良好的应用前景。碳纳米管由于其管状结构和较高的介电常数 ,并且可植入磁性粒子 ,呈现出较好的高频宽带吸收特性 ,在 $2\sim 18\ \text{GHz}$ 范围内有很好的介电损耗。比传统的铁氧体、碳纤维和石墨优越 ,加上它的低密度、耐腐蚀、耐高温、抗氧化等优点 ,是极好的吸波和屏蔽材料。纳米碳管也可用于诊断、治疗、修复人体器官或组织更换的生物材料、环保材料及催化剂材料等等。此外 ,碳纳米管在军事领域 ,特别是在未来的纳米战争中必将有广泛的应用。

参 考 文 献

1. 张杏奎. 新材料技术. 南京 :江苏科学技术出版社 ,1992
2. 师昌绪. 新材料与材料科学. 北京 :科学出版社 ,1988
3. 师昌绪. 材料大辞典. 北京 :化学工业出版社 ,1994
4. 曾汉民. 高技术新材料要览. 北京 :中国科学技术出版社 ,1993
5. 张 礼. 近代物理学进展. 北京 :清华大学出版社 ,1998
6. 朱宏伟 ,吴德海 ,徐才录. 纳米碳管. 北京 :机械工业出版社 ,2003

第五章 激光技术

第一台激光器问世以来,光学这门古老的学科发生了日新月异的变化,并且带动了其他许多科学的新突破。激光技术是以激光器为基础、科学为先导的新兴技术。激光是 20 世纪最重大的、最实用的发明之一。本章将介绍激光产生的简单机理,激光与普通光源的区别,以及激光在军事、工农业生产、医疗卫生、科学研究等各领域的广泛应用。

第一节 激光的产生

一、“激光”的来历

1958 年肖洛和汤斯首先公开发表了在光频段工作的激射器——激光(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation,取每个词首字母,缩写为 Laser)的理论工作和设计方案。1960 年 7 月 7 日纽约时报报导了梅曼制成了世界上第一台红宝石激光器的消息,激光输出是脉冲输出,其峰值功率为 104 W,输出波长为 6 943Å(深红色)。所用的泵浦源是螺旋形脉冲氙灯。

我国第一台激光器在 1961 年 8 月由中国科学院长春光学精密机械研究所研制成功。负责这台激光器的设计师是王之江教授,所以至今中国光学界仍尊称他为“中国激光之父”。这说明当时我国在激光领域的研究水平与世界前沿相差无几。我国制造第一台激光器所遇到的困难,比梅曼当时遇到的困难大得多。美国的工业比我国发达,许多东西可以在市场上采购。而我国差不多样样都要研究人员自己设计,自己动手做出来。就以那只最普通的氙灯来说,梅曼是从通用电气公司买来的,而我国当时不仅没有

这样的产品,就是制造氙灯的氙气也没有。制造当时用的那只氙灯,是采购员跑遍了大半个中国,最后在上海一家灯泡厂的仓库中,找到了解放前进口留下的两瓶氙气,才解决了泵浦氙灯的问题。我国第一台激光器的问世,比世界上的第一台才晚了13个月,这是非常了不起的。这项成就凝结了中国科学家和工程技术人员们多少心血啊!

直到1964年12月,我国对“Laser”的称呼还不统一,有好几种叫法,比如“受激辐射放大器”,“光激射器”,“光量子放大器”,“莱塞”等。同一种东西的几种名称,对学术交流和推广应用都不方便。1964年12月在上海召开的第三次受激光辐射讲座会前夕,《光受激发射情报》杂志(即现在的《国外激光》杂志)编辑部给著名科学家钱学森写了一封信,请他给“Laser”起一个统一的名称。不久,钱学森教授给编辑写了回信,建议命名为“激光”。这个建议在全国第三次受激光辐射讲座会上受到与会者一致赞同,在这以后,我国学术界开始统一使用“激光”这个名词。

二、激光的产生

1. 原子的能级

电灯,日光灯,激光器……它们是怎么发光的呢?上述种种发光现象,都与光源内部原子的运动状态有关。原子的运动状态改变了,其内能将会有相应的变化,因此许多物质的发光现象,往往是与原子(或者离子,分子)的内能变化联系在一起。从而了解原子的能级结构,作为我们了解发光现象的基础。

原子是由原子核和电子组成的。每个原子有一个原子核,它带有正电荷,核外有一些电子,每个电子带有一份负单位电荷。电子绕核转动,就像月亮围绕地球转动一样。电子一方面由于转动而有离开核的趋向,另一方面又受核的正电荷的吸引,有趋近核的趋向,这两者对立的统一,就使电子与核之间有一定距离。若没有外界作用,这个距离是不会改变的。结构最简单的原子是氢原

子,如图 2-5-1-1 所示,它的核带有一个正的单位电荷,核外只有一个电子在转动。电子绕核转动就有一定动能,电子被核吸引就有一定势能,这两者之和就是原子的内能。核与电子间的距离保持不变,原子的内能也不会变化。如果由于外界的作用,使电子与核的距离增大,则原子内能增大;若距离缩小,其内能减少。

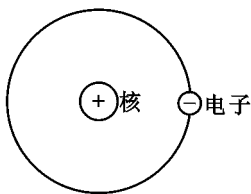


图 2-5-1-1 氢原子模型

人造卫星围绕地球转动时,它的能量可以连续变化,所以它的运动轨道也可以连续地变化。但原子的内能却不能连续地变化,原子所允许具有的能量数值是一些不连续的量,它们是一档一档地分开的,而不可以是任意的。这是一切微观粒子所共有的属性。它们能量的不连续是绝对的,而有时其能量可以看成是连续的,则是相对的,有条件的。这种不连续性还与电子与核之间相互束缚强弱有关,相互束缚越强,这种不连续性越显著。例如氢原子,电子越靠近核,则其一档一档的能量值分得越开;当电子越远离核,则其一档一档的能量值就隔得越近。当电子离核很远,远到大于亿分之一厘米(10^{-8} 厘米)时,核与电子之间的相互束缚就小到可以忽略,此时分开一档一档的能量值就几乎是连成一片了,在这种情况下,这个电子实际上已经脱了原子核,而成为“自由电子”了。

我们把分裂成一档一档的原子的能量值称为原子的能级,氢原子的能级分布如图 2-5-1-2 所示,图中氢原子最低的能级 1 称为基态,其余的能级 2、3、4 等都称为高能级(或称激发态)。在图中基态的能量值记为“0”,这并不是说处于基态的原子内能为 0,而是说

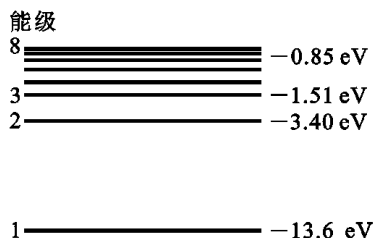


图 2 - 5 - 1 - 2 原子的能级

由于电子运动轨道的变化所引起的原子内能的变化,是从这里算起的。除了氢原子外,其他各种原子在核中都带有多个正电荷,其核外有多个电子在转动。对于原子来说,核中的正电荷数与核外的电子数总是相等的(当核中的正电荷数与核外电子数不相等时,此时原子就变成了离子)。在元素周期表中,原子序数越大的原子,它的电子数就越多。但在原子中却总是只有一个电子的运动状态会变化,在一个原子中两个电子同时改变运动状态的情况是比较少见的。因此我们可以把原子核与运动状态没有改变的电子和在一起看成是一个“原子实”,另一个电子则相对于原子实改变其运动状态,所以多电子的原子也有类似于氢原子的能级结构。在原子基团中,能量较低的能级上原子数较多,能量较高的能级上的原子数要少一些,而基态的原子数量多。例如红宝石晶体中,在室温时(300 K)处于基态的铬离子数为激发态铬离子数 1 030 倍,因此在室温下,红宝石中的铬离子都处于基态,即便是在 3 000 K 高温下,基态的铬离子数也要比激发态的多 1 000 倍。

2. 普通光是自发产生的

在自然界中,任何东西都有从高处向底处落的自发倾向。比如,山高海低,水就往低处流,形成百川归大海的现象。在微观世界,深入到物质的分子结构里面,同样也存在着类似的现象,处在激发状态(高能级)的原子,即使没有外界影响,过一段时间之后,

它自己也会从高能级跃迁到低能级,同时放出一个光子。这种现象在物理学上叫做自发辐射。

普通光源的发光就是这种自发辐射的结果。比如一盏普通的白炽灯,它的钨丝中有大量的发光原子,每一种原子都有着自己特定的能级结构。当给白炽灯通电后,输入的电能很快转化为钨丝的热能,于是部分钨原子在获得能量后,纷纷从低能级跃迁到高能级。但这种高能级是不稳定的,就像尖屋顶上的一只球,由于位能很高,很容易掉下来。一旦这些原子从高能量状态掉下来,回到低位能状态时,就会释放出一份能量,这份能量以光子的形式释放出来,于是灯就发光了。再如高压水银灯,放电后会产生许多能自由运动的电子,这些电子在电场作用下加速,当它们与水银原子碰撞时,就把能量传给水银原子,使水银原子受到激发,达到不稳定的高能级,然后,又自发的从高能量状态掉下来,回到低能量状态时,就发出了光。不论是白炽灯、日光灯还是高压水银灯,它们的发光原子自发地由不稳定的高能级向低能级跃迁时,都是独立进行的,彼此之间没有任何联系,这就好像枣子成熟后总是各自落到地面上,彼此之间没有任何联系一样。因而,普通光发出的光子,状态是各不相同的,不仅波长不一样,发射的方向也都不一样。自发辐射产生的光,它的波长和方向是杂乱无章的。

3. 激光是受激辐射产生的

上面讲的自发辐射是发光的一种形式,除此之外,还有另一种发光形式,那就是受激辐射。什么是受激辐射呢?原来处在高能级的原子,还可以在其他光子的刺激或感应下,跃迁到低能级,同时发射出一个同样的光子。由于这一过程是在外来光子的刺激下产生的,所以叫受激辐射。有趣的是,所产生的光子与外来光子具有完全相同的状态,即频率一样、波长一样、方向一样。只要一次受激辐射,就能使一个光子变成两个光子,这两个光子又会引起其他原子发生受激辐射,于是,在极短的瞬间内激发出无数的光子,从而将光放大了。在这种情况下,只要辅以必要的设备,就可以形

成具有完全相同频率和方向的光子流,这就是激光,而放大光的设备就是激光器。

4. 激光器的结构

激光器基本上有以下三部分组成:

(1) 工作物质 在大千世界里,各种各样的物质都是由分子、原子、电子等微观粒子组成的。如果有了强大的激励是否在物质中产生激光呢?不是的,激励是一个外部条件,激光的产生还取决于合适的工作物质,也称之为激光器的工作物质,这是产生激光的内因。工作物质的功能和普通光源的发光材料——比如气体电光源中的气体,白炽灯中的钨丝相同。从原则上说,任何光学透明的固体、气体、液体都可以做激光器中的工作物质。不过所用材料的能级结构若能满足一定要求,会使激光器获得更好的性能,比如能量转换效率高,输出的激光功率高,可以脉冲泵浦输出激光,也可以连续泵浦输出激光,输出激光的波长可以连续变化等。

(2) 泵浦源 这是向工作物质输入能量,把原子从基态搬迁到高能级的动力。常用的泵浦源有:普通光源(如氙灯、氪灯),气体放电(利用气体放电中产生的电子碰撞气体原子,把它泵浦到高能级),化学反应能(化学激光器就是利用化学反应的能量泵浦产物的原子)等。

各种激励方式又有脉冲和连续之分。前者指激励和激光的输出均以脉冲方式工作,后者是指激励和激光输出是连续的。

(3) 谐振腔 这是由放在工作物质两端的反射镜组成的光学系统,其中一块反射镜的反射率接近100%,另一块有适量的透射率,激光是从这块反射镜输出来。谐振腔的作用主要有两方面:一是让工作物质产生的受激辐射来回多次通过工作物质,增强受激辐射强度,最后达到激光振荡;二是有选择地只让沿工作物质光轴附近传播的以及波长在原子谱线中心附近的受激辐射不断地受到工作物质放大,达到激光振荡。显然,这有助于改善激光器的方向性和单色性。

激光器的结构示意图如图 2 - 5 - 1 - 3 所示 :

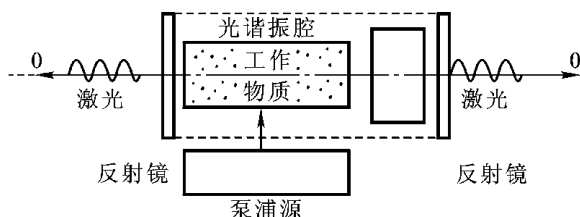


图 2 - 5 - 1 - 3 激光器的结构

三、激光器的种类

由于科学技术的发展 ,激光器的设计和制造也日趋完善 ,名目繁多的各种型号激光器 ,像雨后春笋般地不断涌现。激光器的分类目前尚无统一的标准。如按工作介质分 ,有固体、气体、液体、半导体激光器 ;按功率大小区分 ,有微功率、小功率、中功率、大功率激光器 ;按不同的用途区分 ,有工业加工用激光器、有通信用激光器、医用激光器、测量用激光器等 ;按频谱区分 ,有红外激光器、可见光激光器、紫外线、X 射线激光器、其中紫外线激光器由于大部分是以准分子为工作物质的 ,故又称准分子激光器。无论什么样的激光器 ,其原理和基本结构都是相同的。

下面简单的介绍几种按工作介质分类的激光器。

1. 气体激光器

在气体激光器中 ,最常见的是氦氖激光器。世界上第一台氦氖激光器是继第一台红宝石激光器不久 ,于 1960 年在美国贝尔实验室里由伊朗物理学家贾万制成的。由于发出光束的方向性和单色性好 ,又可连续工作 ,所以这种激光器是当今使用最多的激光器 ,主要用于全息照相、精密测量和准直定位等。

气体激光器中一种典型代表是氩离子激光器 ,它可以发出鲜

艳的蓝绿色光,可连续工作,输出功率达一百多瓦。由于人眼对蓝绿色反应最为灵敏,因此,用氩离子激光器进行眼科手术,能迅速形成局部加热,使网膜上蛋白质变成凝胶状态,它是焊接视网膜的理想光源。氩离子激光器发出的蓝绿色光还能深入海水层,而不被海水吸收,因而可广泛用于海下勘测作业。

2. 液体、化学和半导体激光器

液体激光也称染料激光器,因为这类激光器的激活物质,是某些有机染料溶解在乙醇、甲醇或水等液体中而形成。为了激发它们发射出激光,一般采用高速闪光灯或者由其他激光器发出很短的光脉冲作为激发光源。液体激光器发出的激光对于光谱分析、激光化学和其他科学研究具有重要意义。

化学激光器是用化学反应来产生激光的,如氟原子和氢原子发生化学反应时,能生成处于激发状态的氟化氢分子。这样,当两种气体迅速混合后,便能产生激光,因此不需别的能量,就能直接从化学反应中获得很强大光能。令人畏惧的死光武器就是应用化学激光器的一项成果。

在当今激光器中,还在一些是用半导体制成的,它们叫砷化镓半导体激光器,体积只有火柴盒大小,这是一种微型激光器,输出人眼看不见的红外线,波长在 $0.8 \sim 0.9 \mu\text{m}$ 之间。由于这种激光器体积小,结构简单,只要加以适当强度的电流就有激光射出,再加上输出波长在红外区,所以保密性特别强,适合用在飞机、军舰、坦克上。2001年,瑞士科学家研制一种波长约为 $9 \mu\text{m}$ 的新型半导体红外激光。科学家们正将这种激光用于自由空间光学系统,不久的将来,人们就会利用它从因特网上下载一部完整的电影或者通过高清晰度视频电话聊天。

3. 固体激光器

世上第一台激光器——红宝石激光器就是固体激光器,其工作物质是直径 1 cm 、长 2 cm 的红宝石棒,所用泵浦源为螺旋形脉冲氙灯,红宝石棒刚好套入螺旋氙灯,在红宝石棒两端镀银膜,构

成谐振腔。常用的固体激光器还有钕铝石榴石激光器,它的工作物质是氧化铝和氧化钕合成的晶体,并掺有氧化钕。激光由钕离子发出,是人眼看不见的红外光。该激光器既可以连续工作,也可脉冲式工作,可用于军事、工业和医疗等领域,例如,对治疗青光眼十分有效。

4. 原子激光器

1997年,科学家在世界上首次获得原子激光。美国麻省理工学院的物理学家首次用钠原子获得与普通激光有某些相似特性的原子激光,在物理学界引起轰动。

第二节 激光的特性

普通光源的发光机理是自发辐射,就好像拥挤的人群从刚刚散场的影院走出,男女不一,高矮各异,衣着千种;人们有的向东,有的向西,杂乱无章。激光的发光机理是受激辐射,就好像是解放军的仪仗队,身体整齐,衣着统一、步调一致、向着一个方向前进。从而,我们就可以看出,激光与普通光源的不同及激光的特性。

一、激光的方向性

光束的方向性是用光束的发散角来度量的。普通光源是自发辐射发光,它向空间的一切方向传播,要让光朝一个方向传播,就要给光源装一些聚光装置,汽车的车前灯和探照灯就是装了反光镜,把朝各处方向传播的光汇集起来往一个方向传播,大大增加有效照射距离。即便如此,若使发散角小于 0.1 rad ,也是十分困难的。由于激光器是受激辐射发光,而且有光学谐振腔的存在,使得激光基本上是沿着谐振腔的轴线方向传播的,发散角很小,可以小到 10^{-7} rad 度量级。用望远镜把激光束发射出去,发散度还可以减小,称得上是严格的平行光了。如果把发散角这样小的激光束射到 $3.8 \times 10^5\text{ km}$ 的月球上去,在月球上光斑的直径不足 2 km ,而设想用最好的探照灯光束射到月球上,其光束扩散直径可达几百

公里。由于激光的方向性极好,故能把激光会聚到小于 10^{-6} cm^2 的面积上,使激光能量得到更高的集中,可达到 $1\,017 \text{ W/cm}^2$ 以上的辐射功率密度和 $1\,010 \text{ V/cm}$ 的辐射场强,这样高的辐射功率密度和辐射场强是前所未有的。

由于激光器的方向性好,强度又高,因此可以瞄得准,射得远。利用这个特性制成激光测距仪和激光雷达,他们测量目标的距离、方位和速度比普通微波雷达精确得多。如用激光对月球测距, 38.4 万 km 误差才 1 m (最好的纪录为 10 cm)非常精确。激光雷达能自动精密跟踪飞机、导弹、卫星等高速飞行体。用激光进行短距离地面通信,保密性特别强,不易被敌方获取和干扰。此外,利用激光的高方向性可以制成激光制导武器,使命中率大大提高。在兴修水利、修建铁路和公路中,需要挖掘长距离隧道时,可以用激光来导向,沿着激光照射的方向进行施工,隧道打得又准又直。

二、激光的亮度

光源的亮度通常是指光源表面的单位面积上,在其法线方向上的发光强度,用 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 做单位,名称叫坎德拉每平方米。表 2 - 5 - 2 - 1 列出了一些光源的亮度,从中可以看到一台高功率的固体激光器的亮度比太阳亮度高出几千亿倍,这是多么巨大的飞跃!激光为什么能在亮度上实现如此惊人的飞跃呢?主要原因在于激光能实现能量在空间和时间上的高度集中。

表 2 - 5 - 2 - 1 几种光源的亮度

光 源	亮度 / ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)
蜡 烛	$\sim 90 \times 10^4$
电 灯	$\sim 90 \times 10^7$
碳 弧	$\sim 100 \times 10^8$
超高压汞灯	$\sim 220 \times 10^9$

续表

光源	亮度/($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)
太阳	$\sim 300 \times 10^9$
高压脉氙灯	$\sim 180 \times 10^{10}$
红宝石激光器	$\sim 300 \times 10^{20}$

先来说激光在空间上的高度集中。大家看到,日光灯每个发光点都是向 180° 的空间内传播的,如果能把它压缩到 0.18° 的范围内的空间传播(如图 2-5-2-1),那么在不增加总发射功率的情况下,日光灯在单位立体角内的功率将提高近 1 000 万倍,即其亮度提高 1 000 万倍。但是日光灯这种压缩是无法实现的,原因在于日光灯内各个发光中心的发射方向是很不一致的。然而,在激光的发射过程中,各个发光中心的发射方向基本上是一致的,因此光在空间中的这种压缩是完全可以的。

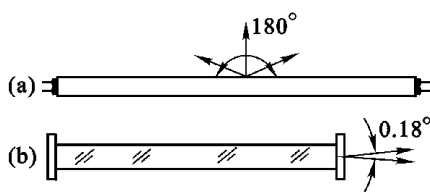


图 2-5-2-1

(a) 日光灯管上的每一点在 180° 内发光

(b) 激光器能定向发光

通过调 Q 技术和锁模技术,使激光以脉冲形式输出,其闪光时间可以极短,达到 6 fs ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$)。则在平均功率不变的情况下,激光功率又可以提高几个数量级,这样又可大大提高激光的

亮度。而对普通光源来说,像照相用的闪光灯,闪光时间只能达到 ms 量级。

在生产和科研中,也常常需要闪光时间很短的光源。利用它可以帮助我们了解变化非常迅速的过程。比如光合作用过程,时间间隔往往只有 ps($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$)量级,而在过程每一步经历的时间就更短了。化学反应过程也有类似情况,从反应开始至结束,中间每一步时间间隔也都非常短暂。有闪光时间短的光源,便可以利用光谱技术深入了解瞬变过程的每一步,以达到更好地控制过程的进行方向,提高生产效率。

因为激光的亮度极高,所以它能照亮极远距离的物体。1962年,人类第一次用从地球发射的光束照亮了月球表面。一台普通的红宝石激光器,它发射的光在月球上产生的照度比星星高 100 倍,加上它的颜色鲜红、显眼,所以,照在月球表面的红色激光斑明显可见。

三、激光的单色性

雨后复斜阳,彩虹架长空,这是我们常见的自然现象。用一块分光镜,就能将太阳光分解成一条彩虹般的色带,其中包括逐渐变化着的红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种颜色。相反地,多种颜色的光按照一定的强度比例混合起来,就成了白光。因此,可以说白光是各种颜色光的组合。不同颜色的光有什么区别呢?在长期的生产和科学实验过程中,人们认识到光和无线电波一样是一种电磁波,只是它们的波长不同而已(如图 2-5-2-2)。我们感觉到的不同颜色,正是不同波长的光作用在眼睛的视网膜上所引起的不同反映。波长比 $0.76 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{ cm}$) 长的光就叫做红外光(红外线),波长比 $0.40 \mu\text{m}$ 短的光叫紫外光(紫外线)。波长从 $0.40 \sim 0.76 \mu\text{m}$ 的光才能被人眼看见,所以叫可见光。单色光是指波长范围很小的一段辐射,一般小于 10^{-10} m 。

凡是发射一种或分立的几种单色光的光源,称为单色光源。

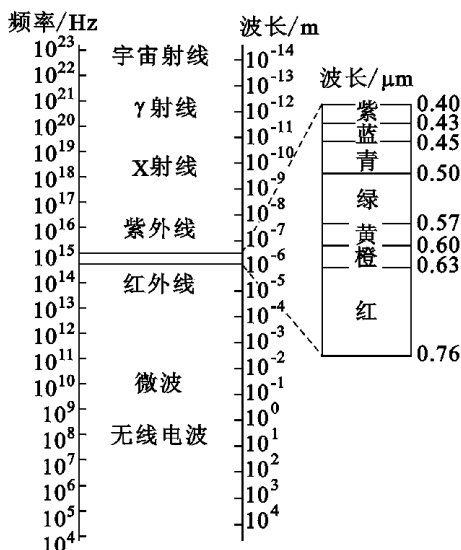


图 2 - 5 - 2 - 2 电磁波谱

单色光经分光镜分解后,不是一段色带,而是一条条分立的亮线,通常称为谱线。可见,单色光并不是单一波长的光,而是有一个波长范围,这个范围就叫单色光的谱线宽度。波长范围越小,即谱线宽度越窄,单色性就越好,或者说颜色越纯,因此,谱线宽度是衡量光源单色性好坏的标志。

表 2 - 5 - 2 - 2 各色光波长范围

光的颜色	大致的波长范围/μm
红色	0.76 ~ 0.63
橙色	0.63 ~ 0.60
黄色	0.60 ~ 0.57
绿色	0.57 ~ 0.50

续表

光的颜色	大致的波长范围/ μm
青色	0.50 ~ 0.45
蓝色	0.45 ~ 0.43
紫色	0.43 ~ 0.40

科学家们长期以来一直努力寻找一种波长一致的单色光源。当然单色光源在理论上是存在的,但在实践中却总是踏破铁鞋无觅处,后来,总算发明了氪灯,它能利用稀薄的氪气体发出较好的单色光,其波长宽度远不到万分之五微米。但与激光相比,氪灯光就大为逊色了,因为激光的波长范围还要小得多。拿氦氖激光器来说,它发出光的波长宽度不到一百亿分之一微米,比氪灯的约窄十万倍,因此,激光完全可视为单一而没有偏差的波长,是极纯的单色光。

激光这种高单色性有什么意义呢?众所周知,在日常生活和工作中,测量长度是十分重要的。如果测量得精密度要求很高,靠米尺、游标卡尺、千分尺都不行,那人们就得用光波的波长作单位来测量长度。这种“光尺”能够准确地测量的最大长度取决于光的单色性。单色性越好,准确测量的最大程度越大。中国科技人员为世界提供了两把这样的“尺子”。中国计量研究院1978年研制的稳频氦激光器,由于稳定性和再现性都非常高。用这种激光器进行测试试验,其结果复现性令人十分满意。这一成就促成了第17届国际计量大会通过的光速统一标准,即在真空中,光的速度为299 792 458 m/s。

1984年,他们又研制和完善了碘稳频激光器,其波长为612 nm。该波长被17届国际大会通过,作为实现新长度单位“米”的国际波长标准。

这一系列稳频激光器的研制成功,是中国人为发展人类的长

度量量,开展基本物理常数的精度测定等作出的重大贡献。

四、激光的相干性

当用手将水盆中的水激起水波,并使这些水波的波峰和波峰相叠,波谷与波谷相叠时,水波的起伏就会加剧,这种波就叫相干波。同样道理,激光也是一种相干光波,它的波长,方向等都一致。我们把一束光比作一支正在行进的队伍,那么普通光队伍里每个成员的步伐大小,起步时间和行进方向是不一样的,这就是说,各成员之间互不相干。而激光这支队伍则是全体成员步调一致,目标一致,纪律严明,训练有素,也就是说相干性极好。物理学通常用相干长度来表示光的相干性,光源的相干长度越长,光的相干性就越好。在激光问世前,单色性最好的是氪灯,相干长度只有38.5 cm,而激光的相干长度可达几十公里。因此,如将激光用于精密测量,它的最大可测长度比普通光源大10万倍以上。

我们可以利用激光的这种相干性,将其能量会聚在空间极小的区域内,从而用引发热核聚变。如果把核燃料做成比芝麻还小的固体微型小球,然后用激光作为点火器去照射它,就可以使微型小球加热到上亿度的高温,所产出的能量密度高达 10^{15} J/cm^3 。这样高的能量密度,相当于几十吨炸药在 1 m^3 的体积内爆炸所产生的能量,既达到了原子爆炸时所得到的超高能量密度的数量级。

上述四个特点是笼统地就激光整体与普通光源加以比较而言的。实际上,在应用中不必对四个都提出很高的要求。例如,激光测距主要是要求方向性好和高亮度,激光通信主要是要求方向性好。单色性和相干性好,激光各有它的特而优异的性能,但它并不能完全取代所有的普通光,如大面积照明激光就不适用。

第三节 激光的广泛应用

激光作为人类认识世界和改造世界的武器,它的出现标志着人们对自然认识的强化和对自然改造能力的提高,而且在科学技

术、工农业生产、人类生活等领域引起了一次深刻变革。它使光学这个古老的科学分支变得面貌一新,而且在物理、化学、医学、军事等方面得到广泛应用。

一、激光武器

任何一种新技术,常常首先应用在军事上,激光技术也是如此。激光武器是一种利用定向发射的激光束直接毁伤目标或使之失效的定向能武器。根据作战用途的不同,激光武器可分为战术激光武器和战略激光武器两大类。武器系统主要由激光器和跟踪、瞄准、发射装置等部分组成,目前通常采用的激光器有化学激光器、固体激光器和 CO_2 激光器等。激光武器具有攻击速度快、转向灵活、可实现精确打击、不受电磁干扰等优点,但也存在易受天气和环境影响等弱点。激光武器已有 30 多年的发展历史,其关键技术也已取得突破,美国、俄罗斯、法国、以色列等国都成功进行了各种激光打靶实验。目前低能激光武器已经投入使用,主要用于干扰和致盲较近距离的光电传感器,以及攻击人眼和一些增强型观测设备,高能激光武器主要采用化学激光器,按照现有的水平,不久就可以大面积的在地面和空中平台上部署使用,用于战术防空、战区反导和反卫星作战等。

1. 激光致盲武器

激光致盲武器射击对象是人眼以及光学和光电装置等“软”目标。它一般由激光器、精密瞄准跟踪系统和光束控制和发射系统组成。激光器是激光武器的核心,用于产生起致盲作用的激光光束,如二氧化碳激光器等,功率一般在 $1\,000 \sim 10\,000\text{ W}$ 的平均输出功率,精密瞄准跟踪系统用于跟踪瞄准所要攻击的目标,引导激光束对准目标射击,如采用红外跟踪仪、电视跟踪器和激光雷达等的光电瞄准跟踪系统,光束控制和发射系统的作用是将激光束快速准确地聚焦到目标上,其主要部件是反射镜。

激光致盲武器与一般常规武器相比,具有高速、准确、灵活和

抗干扰的独特优点。它能以 3×10^5 km/s 的速度射击目标,瞬发即中,一般不考虑提前量。它几乎没有后坐力,变换方向迅速,射击频率高,可在短时间对付许多个目标。它可准确对准某个方向,选择杀伤目标群中的某个目标,甚至射击目标上的某个部分或元器件,而对其他目标或周围环境无附加损害或污染作用,它抗干扰能力强,现有的电子干扰手段对其不起作用或影响很小。

激光致盲武器射击人眼,可造成暂时失明或永久性致盲,甚至使视网膜爆裂,眼底大面积出血。激光致盲武器也可对光学系统和光电装置造成损伤,使其失去观测能力。它可使导弹导引头中的光电传感致盲,从而失去跟踪目标能力,它可使光电引信过早或不能引爆,从而使弹头失去杀伤作用。

在反坦克、反潜艇作战中,激光致盲武器也有很大发展潜力。坐在坦克里的敌人,全身都处在厚厚的铁甲保护下,潜水艇则有深深的海水掩蔽,要杀伤它们不大容易。但它们的活动离不开那只潜望镜,对准潜望镜的入口发射激光,它沿着潜望镜的光路进入,就会把在用潜望镜观察外界情况的指挥员、驾驶员的眼睛损伤,坦克、潜艇就失去了作战能力。

2. 激光制导炸弹

激光制导炸弹主要由导引头,战斗部和尾翼三大部分组成。激光导引头又分为激光接收器和控制舱两部分。战斗部主要是采用通用炸弹,也有采用集束炸弹的。尾翼的作用是增加升力,延长射程。

激光制导的基本原理是:导引头上装有光学系统和四象限光探测元件,接收由目标反射的激光能量,经处理输出表征目标视线与制导炸弹速度方向之间的角视差信号,形成制导指令,输送给舵机,转动相应舵面,产生控制力,从而修正飞行弹道。

据报导,美军使用的激光制导炸弹,其轰炸精度的圆周概率误差不大于 10 m,而普通炸弹则为 100 m 左右。美军在 20 世纪 60 年代,在越南战场上投下了 25 000 枚激光制导炸弹。激光制导炸

弹是美国首先研制的,现在已经研制成功第二代激光制导炸弹,并在 B-52 飞机上进行过投放试验。

1983 年 9 月 9 日,以色列采用“灵巧”式激光制导炸弹,对叙利亚导弹基地进行了大规模空袭,仅用 6 分钟就将十九个萨姆-6 导弹营地全部击毁。

1991 年,海湾战争的“沙漠风暴”行动中,最富于戏剧性的激光导弹轰炸实例也许是战争初期全世界的电视观众都视看到的:一架 F-117A 轰炸机发射一枚激光制导炸弹,炸弹闪光横过电视屏幕,通过伊拉克的钢筋混凝土弹药库的库门,精确命中该库,将其摧毁。这种激光制导炸弹是“铺路 III 号”。由得克萨斯仪器公司制造的。

在“沙漠风暴”行动中,法国空军从其“美洲虎”战斗机上发射了约 60 枚 AS30L 激光制导导弹,精确攻击伊拉克的地面与海上目标——机场、桥梁、建筑物和油轮。战斗机从万米高空投射导弹,命中率超过 80%。美国军方计划人员说,美国空军 F-117A 型飞机用激光制导炸弹摧毁了“沙漠风暴”巴格达主要目标的 95%。摧毁的目标之一是设在巴格达的伊拉克空军总部,这座多层楼的建筑是被激光制导炸弹穿透大楼顶部而摧毁的,弹着点几乎是在房顶的正中心。摧毁的另一目标是钢筋混凝土构造的伊拉克防空总部,也是 F-117A 投下一枚激光制导炸弹,炸弹通过楼顶三个通气井之一引入内部破坏的。摄像表明,炸弹钻进通气孔,然后爆炸,炸掉了建筑物密封舱的前门。

2003 年,伊拉克战争中,美国使用的 CBU 激光制导炸弹重 5 000 kg,不仅打击目标精确,而且能穿入地下几十米,到达目标然后爆炸。

3. 激光打击远程目标

1997 年 10 月 17 日,美国陆军空军和导弹防御指挥部已使用强大的陆基“中红外高级化学激光器”照射日益老化的“MST1-3”号卫星。据称这是为了检验卫星的抗激光能力。美国的空军

“MST1-3”号卫星是1996年5月发射的,该卫星携带有普通望远镜的中红外、近红外和视觉聚焦平面天线阵,该卫星设计用于观测地球,以便帮助设计红外地球观测卫星,该卫星使用寿命已经结束,目前在426 km上空的环形极地轨道运行。激光束击中卫星时,卫星位于地平线上方 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。被击中的卫星及其携带的红外传感器并未毁坏。这项实验还在继续研究之中。美军2002年11月4日成功使用其最新研制的高能激光武器击中了一枚在空中高速飞行的炮弹。在实验中,该激光武器系统首先跟踪并锁定目标,然后向其发射了高能激光束。几秒钟后,目标就被完全摧毁,整个系统作战反映时间比预计的要少许多。这种名为“移动战术高能激光武器”的系统是为美国和以色列两国军队研制的,在此前进行的试验中,充当靶子的是飞行速度较慢的“喀秋莎”火箭。美军认为,这次成功击落炮弹的试验表明,即使那些能进行超音速飞行的目标也难以逃出激光武器的“手心”。据介绍,一旦这种新型武器投入实战,必将大大改变未来战场的格局。在美国此前进行的反导弹试验中,从地面发射的拦截导弹曾多次在大气层内外摧毁模拟的敌方弹道导弹。今后,美军将试验用远程激光武器来将“来犯者”予以“烧毁”,从而进一步提高其武器系统的快速反映能力和可靠性。

据美国《宇航日报》2003年3月7日报道,美国导弹防御局计划在2004年另外实施2~4个新的激光技术发展项目,它们是“天基激光器”(SBL)的小型化,并用做其后继型。美国导弹防御局已经计划实施的激光技术发展项目有6个,到2005年为止,每年总预算经费约2 250万美元,现在处于向工业部门招标之中。在2002年将所要求的1.7亿美元削减至0.5亿美元之后,“天基激光器”转变为一个综合飞行试验技术项目(SBL-IFX),将在2012年进行天基发射激光攻击助推段的弹道导弹试验。现在增加的新计划旨在开发用于未来“天基激光器”的高能激光器技术,以及包含跟踪、武器制导和成像的低能激光器与有关组件技术。

天基激光武器系统是一种以太空为发射基地的尖端激光武器,较之以前的陆基激光武器,它的覆盖面更广,更容易捕捉目标。它通常是以卫星作为承载平台,一起称为天基激光集成飞行器。

二、激光与人类生活

1. 激光在农业和生物技术方面的应用

利用激光照射,可以诱发农作物的突变和遗传变异,改变农作物品种。现在已经发现或应用的激光育种包括小麦、大豆、水稻、油菜等等,总共有几十个种类,几百个品种。据有关部门的统计,我国采用激光技术培育出的3个水稻新品种和3个小麦新品种,推广种植面积达5 000多万亩,增产粮食5多亿公斤。培育的大豆新品种,其产量比现在的良种还高25%(亩产150多公斤),而且它们的脂肪含量也提高2.5%~2.7%。用激光诱发家蚕变异,育成了性能优良的家蚕,初步结果是茧层量提高16%,茧成率提高15.7%,茧丝长度平均加长80 m。激光技术帮助我们培育出了品质优良的水果。沙田柚是享誉海内外的名果,果肉柔嫩,味甜如蜜,主要缺点是果内的籽太多,平均每个果子含籽140~150粒,现在用激光改进了柚子树性能,结的柚子含籽很少,而且有4%果内一粒籽都没有。果肉更甜,含可溶性固性物高达12%~14%,比通常的果子含量高2%左右,产量也提高,以往一花结一果,结两个果的就很少了,现在,一般一花都结二三个果,还出现了一花结40个果的事。以前每棵树结果150~200个,现在平均每棵树结400个果。

有一种外国的桃树,其果肉厚、嫩、甜,但我国引种了好几年,座果率很低,果树专家说这是患有“不育症”。现在用激光照射处理的办法,终于治好了它的“不育症”,座果率达85%以上,产量比原来提高4倍多,而果子的品质也获得提高,含糖量高达74.5%,恢复疲劳素的含量提高35%左右。

激光还可以用在诱虫灭虫、除草和食物储藏等方面。实验证

明,用适当波长和强度的激光对害虫进行辐射处理,实现遗传防治,其效果要比化学防治效果高4倍,成本低85%,而且不会留下残毒造成公害,也不会对生物群体产生有害的影响。人们发现,经激光照射昆虫的卵,会产生永久性遗传变异。激光还能改变细胞中的染色体结构,改变遗传基因。目前,激光技术在生物工程中也正在发挥作用。用氦氖激光器照射番鸭的精子,其存活时间由3小时延长到60小时,用激光照射山羊精子,有效保存时间能延长1倍以上,而且活力也获得加强,这对于通过人工受精方法繁殖牲畜有十分重要价值。鸡蛋、鱼卵经激光照射后孵化率也得到提高。

利用光学系统可将激光束聚焦成比针头还小的光点,有很高的光功率密度,作为理想的手术刀,对细胞、染色体甚至遗传基因作剪切、移植等超显微外科手术,从而实现控制和改变遗传特性的目的。利用激光显微技术,超短脉冲技术,可以更好地了解各种生化过程和生命过程。应用激光超显微分析技术可分析生物组织器官中各种元素的含量,其灵敏度达到 $10^{-14} \sim 10^{-16}$ g,例如,已经有人分析红细胞中铁的含量平均为 10^{-13} g。

2. 激光在医学上的应用

激光器发明后的第二年就被应用到医学上来。医学上主要是利用激光的光效应、热效应、压力效应和电磁效应。过去一些需要住院做的手术,现在用激光诊断就可以完成,而且疗效比较高,切除组织出血少,损伤轻,而且治好一些过去认为难治疗的疾病。

用激光可以有效地治疗包括外科、内科、妇科、五官科,肿瘤科在内的几百种疾病。每年有数以万计的病人用激光解除病痛。比如作先天晶状体囊切除手术,一年就有20余万病例。根据我国5000例激光治肿瘤临床报告结果,有效率达91.6%,其中治疗皮肤肿瘤有效率达94.5%,血骨肿瘤为96%,耳、鼻、喉、口腔为92.2%,消化系统为86%,泌尿系统为93.5%。

用准分子激光治疗仪做手术治近视,现已成为各大医院常用的医疗手段。它是用一个如大号铁钉的激光头“打磨”角膜,以恢

复角膜正确的曲光率。手术仅用几十秒,有患者从手术室出来说:整个手术没什么感觉,一下手术台我就能清楚地看见东西。

激光在脑外科、心脏科、肠胃科方面也显示很大的发展潜力。在颅脑外科手术中,利用细小的激光束作手术,能够有效地消除神经病变组织,又能避免损伤其周围的神经,降低了出现脑外科后遗症的可能性。利用激光血管成形术治疗冠状动脉阻塞,比现有的冠状动脉搭桥术,以及气体血管成形术更优越。

内窥镜检查法是一种体内的检查方法,不用开刀剖腹就可检查身体内五脏六腑。用软管通过自然体腔(气管,食道或肠)插入,光纤将照明光传送到检查处,使医生清晰观察所研究的部位,并且可以用光学系统在体外成像,用摄像机拍摄并显示在监视器上。

格鲁吉亚共和国保健部门用激光治疗心肌梗塞获得成功。他们用特殊导管,经肺动脉将激光导入内腔,对患部照射,历时20分钟左右即有疗效。他们对19名心肌梗塞患者运用了这种疗法,取得100%疗效。治疗操作简单,一般医生都能掌握,一般门诊都可做到。

用低功率激光束照射穴位,具有用金属针刺激穴位同样的效果,这就是激光针。其优点:①“扎”针时没有疼痛,可以消除病人怕疼的心理;②与组织没有机械接触,可以避免滞针、断针的事发生,也可以避免因消毒不彻底而引起的交叉感染。通过计点机控制的“车床”,可对近视或远视的角膜进行雕刻,纠正到正常视力形态。

用于人体组织点焊的“激光钳”,其优点是被焊接组织的生长如同病人一样慢慢恢复,消除了疤痕。科学家最近取得了科幻小说一样的进步:他们在试验室里用激光束可能引导和控制脑细胞的生长。德国莱比锡大学埃里希说,这并不是第一次用激光来处理人类细胞,但这一新方法取得了重大进展,与另一种称为“光镊”的激光技术不同,新研究所用的方法可以不接触细胞而移动

它们。移动细胞时可能会伤害它们,但用这种新方法时,细胞受到刺激能以快于正常的生长速度达到 90° 的转向。这样最终可在试验室里用激光来培育神经细胞网络,这种“瓶装大脑”能用于检验实验性药物,还可以用来研究激光是否能修复神经。尽管埃里希等研究的是神经元,但他们认为该方法也能让科学家处理其他细胞,还可以用于研究侵袭性癌细胞。这些科学家说他们接下来的工作之一是对系统进行更多的实验。

据外刊报道,西班牙的生物遗传专家杰罗多·卢克博士已经 52 岁了,事业有成,但美中不足的是膝下无子。为了解决这一问题,他与太太合作,进行了一次大胆的尝试。卢克博采用一种特殊的激光刀,将太太玛丽娅子宫内的一个卵细胞的染色体串分开,让卵细胞自己繁殖,就如同她自己受孕一样,玛丽娅怀孕了 9 个月,已顺利生下一个可爱的小女孩,取名叫伊莎贝拉。

意大利的一位专家杰诺福图内特说,卢克博士成功地运用激光和无性生殖技术,复制了他的太太,因为这孩子体内所有的染色体与母亲都是一样的。儿科专家发现,伊莎贝拉的成长过程与母亲一样,两人在同一年龄学会说话和走路。医生的预计,伊莎贝拉甚至可能与玛丽娅同一个年龄出麻疹和水痘。这例天方夜谭似的手术和结果,离开了激光技术显然是不可能实现的。

3. 激光艺术

1960 年以来,随着激光技术的发展,激光开始迈入音乐、歌舞、电影、雕刻、绘画和摄影等文化艺术领域,它以独特的艺术效果,紧紧地扣住了艺术家的心弦,从而出现了新颖的“激光艺术”。

1970 年以来,激光娱乐显示技术获得较快发展和应用,并进入一些表演场合。主要用于为音乐演出配备动态激光背景,为歌舞剧伴映,为舞台背景映射激光动画、图片、特技显示。

激光与音乐相结合,根据音乐旋律和歌舞情态变化,激光束在天幕上一会现出变幻的云雾,一会又化成无边无际、波光粼粼的大海;一会又化为火光闪亮,硝烟弥漫的战场;一会又化为蒙蒙细雨,

化为彩色群星,化为飘动的轻纱……既有美妙的音乐歌声,又有随之变化的景色,情景歌声交融,着实令人陶醉。用激光做唱针放声的 CD 唱片和放声及图像的视盘,是激光艺术花园中的一朵奇葩。放出来的音乐非常动听,没有一点杂音,而且有身临其境之感,仿佛歌唱家、乐队就在自己的近前演奏一样。视盘和普通录像带一样,能够播放出电视和电影节目,但它比录像带像质和音质更好。因为激光与盘表面没有机械摩擦,不会出现磨损,可以长期反复使用,而且存储信息容量大,一张普通视盘能看 3 小时的节目。美国洛杉矶激光介质公司是激光娱乐领域中最有实力的一家,它主要是为摇滚音乐会伴映,该公司每年举行上千次各类露天表演的激光音乐会。最惊奇的表演是在左治亚洲石头山公园。在那里,他们把动画片投射到 300 多米高的一堵巨大石壁。由计算机控制的十多种彩色的激光束,从十几个不同地方投向石壁,并以极快的速度换画面,同时配以激昂的音乐,使人怦然心动,取得神奇艺术效果。每晚观众 6 000 人,周末多达 2 万人。

1988 年 9 月夏季奥运会期间,汉城上空用激光束装点,接连表演七个晚上,表演的是激光动画、图片、特技等,这次表演给奥运会增添了魅力和光彩。

美国视听影像公司用的配有氩-氦多色激光器的激光投影机,在纽约的一个天文馆内,举行了一场别开生面的“激光音乐会”。放映了与音乐同步瞬息多变的激光图像。这是一组进行式的摆动波图,使人有身临其境的真实感,引起观众的极大兴趣。在美国描写一部未来宇宙之战的科学幻想片“星球大战”中也运用了激光刀、激光枪以及立体全息图像,耗资数千万美元。在银幕上产生了惊险奇幻的艺术效果,使影片获得极大成功。

激光绘图和书写采用功率较小的二氧化碳激光器,在丙烯酸板上或画布上进行烧蚀,就能绘出浓淡变化的图画。激光能在钻石和其他宝石上镌刻代码、文字、名字和信息,平均刻写尺寸可小到 $60\text{ }\mu\text{m} \times 5\text{ }\mu\text{m}$,深度仅为 $4\text{ }\mu\text{m}$,需用显微镜观看。调节激光的能

量密度和聚焦点的大小,它就能像刻刀一样,在有机玻璃上刻出奇异而迷人的图案。同样,激光还能在海泡石、绿松石、雪花石膏等硬度较低的宝石上进行雕刻。美国控制激光仪器公司研制出一种能广泛用于各种材料的计算机数控激光雕刻装置,它能进行高速雕刻,速度可达 20 mm/s 。它可刻出由计算机认定的各种文字、图像或标记。可在铝、钢、钛、陶瓷以及各种硬、软塑料上进行各种规格字、特殊形铝字及装饰性设计的雕刻。

三、激光技术走向产业化

激光技术已渗透到各个生产领域,创造的产值持续增长。世界激光市场在 1988 年为 250 亿美元,估计到 2000 年可达 620 亿美元。其中以激光加工材料的市场增长最快,1988 年为 40 亿美元,1995 年为 220 美元。激光在信息处理、计量检测方面也有很大的发展潜力。

1. 激光加工

利用激光高亮度特性可把激光作为一种光学加工手段来对各种材料和产品进行加工。如激光焊接、打孔、切割、划片、表面热处理和微细加工等等。激光加工的主要特点是适应性强、加工质量好、加工精度高、加工效率高、加工方法多、无公害和污染。

激光加工主要包括以下几种:

① 激光焊接 激光除了能焊接导热性良好的材料之外,还能在保护气体中焊接熔点较高的金属:钨、钼、钨和钽。激光焊接能使平面(直径达 1 mm)无收缩、变形、脆化或裂缝等副作用。用 100 kW 的二氧化碳可全深透焊 3.6 cm 的钢板,焊速达 4.8 m/s 。

② 激光打孔 几乎所有的材料都可用激光打孔,无论是金属还是非金属(例如陶瓷、玻璃、石英、金刚钻石等)都能用激光很准确打出直径仅 $10\text{ }\mu\text{m}$ 的小孔,孔径与孔深比达 $1:50$ 。激光除能垂直打孔外,也能与材料表面成 30° 角进行锐角打孔。激光打孔的速度极快,在薄壁上打孔只要一瞬间,厚壁结构的部件也只要几秒

加工时间。金刚石拉丝模用机械方法打孔,要花 24 小时,用 YAG 激光打孔,只需 2 秒,提高工效 43 200 倍。

③ 激光切割 激光可用来切割高硬度高熔点的金属材料。激光切割具有切缝窄、速度快的特点,即使是脆性材料也能够进行切割。目前,激光已成功地应用于切割钢板、钛板、石英、陶瓷以及布匹、纸张等等。像陶瓷这样硬脆材料,目前多采用金刚石砂轮切割,一般只能直线切割,形状复杂的切割便很困难,而且在加工中必须经常更换和修理砂轮等。用 5 000 W 的二氧化碳激光器,加吹氧,能加工厚度 2 mm 的金属板,切割速度达 50 ~ 300 cm/s。

④ 激光划片 在电子工业中,在 1 cm^2 面积的硅片上可以制作数十个集成电路或上百个晶体管管芯,工艺上要求把它们无损伤的分割开来,以便下一步的焊接和封装。归式的分割方法是操作者在显微镜下在基片正面反复划几次,造成较深的刻痕,然后把管芯一一掀开。这种划片方法刻痕较宽浪费材料,辅助工艺较多,效率低,金钢刀反复割划,产生机械应力,影响管芯质量。而采用激光划片,由于激光聚焦后光斑极小,作用时间很短,因此,划片的速度快,操作方便,克服了归式划片的缺点。而且经激光切后的基片,只需轻轻一按,便可分开。切口边缘平直,质量很好。

⑤ 激光热处理 激光表面热处理是近十几年发展起来的一种新技术。激光作为热处理的工具,原因在于激光束的温度在半秒钟内可加热到 760 ℃,且不需要淬火介质。另外,可以精确控制激光束的穿透深度,通过光学系统几乎能对任何一个几何形体进行扫描。用激光对金属表面加热,可产生相变硬化、熔化和冲击作用。

航空发动机冷缸经激光淬硬后,可获得 60 ~ 65 HRC 的硬度,淬火变形小(不超过 0.05 mm),并可大大缩短淬硬所需时间。

激光溶化(涂覆技术)与传统的透炭、渗铬、氮化等合金化方法相比,具有效率高、合金元素和能量消耗少、变形小等优点。与通常的热喷镀、电镀、离子镀等工艺相比,具有缩短涂层制备时间,黏结牢固、涂复层可以控制、材料省和避免裂纹等优点。

激光冲击硬化技术是正在开发中的一种材料表面改变技术。激光冲击能提高大部分材料的硬度、强度,尤其对铝合金,可提高疲劳强度 3 倍。

20 世纪 80 年代以来,国外激光加工机床普及速度非常惊人。近几年,日本已有几千台激光机床投入使用。在美国直接或间接从事航空航天工业的公司至少有 3 000 家,这些企业均采用激光加工技术。预计到 2000 年将达到 3 万台激光加工机床。

2. 激光测距

激光的高方向性,表明它具有在极远的距离上传播光能的能力,从而实现远距离激光测距。激光测距方法有:基准脉冲技术法,调幅连续光波法和干涉方法。

用激光测量月球和地球之间距离。从地球射向月球一束激光,测量出从激光出发到反射回来的时间间隔,就可计算出地球到月球之间的距离。为了增强反射光强,人们在月球上放了反射镜。至今为止已安置到月球上五组立体棱镜反射镜。(即 A11、A14、A15、L17 和 L21 棱镜反射器)。

在阿波罗 11 号刚将反射器放置好后不久,美国天文观测所、克里天文台、麦克康天文台相继用激光测量了地球到月球的距离。据称,现在精度已达到 1.5 m,进一步精度可提高到 10 cm。要注意,地月之间距离约 38 万 km,10 cm 的精度是何等的惊人啊!这是过去传统的光视差测量法(准确度为 ± 3.2 km)和雷达脉冲法(准确度为 ± 1.1 km)所不及的,也是用普通光源难以办到的。假设一个直径为 10 mm 的普通圆形面光源,置于口径为 1 m 的凸透镜或抛物面镜的焦点上,形成平行光束,射向离地球约 38 万 km 的月球,光束直径将达 3 800 km,将包围整个月球,因为月球的直径为 3 476 km,这时月球表面的光强减少到发射处的 10^{-13} 。这束光如果再返回地球,光能再次衰减 10^{-13} 。这就是说,光在地球和月球之间往返一次后,其光强减弱为原来的 10^{-26} ,按目前的技术水平,检测如此微弱的光是极其困难的。

3. 激光清除海面浮油

俄国研制出一种激光装置,可利用激光清除海洋表面的石油。在利用机械清除水面上的石油或者利用分散剂使石油中和之后,水面上总会留下一层石油薄膜。据生态学家调查,世界海洋的表面有很大一部分被这种薄膜覆盖,污染严重,对生态环境造成严重影响。

这种激光装置是用来清除这层薄膜的。该装置的名称就叫做“薄膜”。可安装在船上来探测和清除石油薄膜。其工作原理是:利用激光射线加热水面的石油薄膜,使之蒸发。再由专门的吸收装置吸掉水气混合物,吸收装置的工作原理类似吸尘器。此装置的奥妙之处在于它既能吸掉薄膜,又能很少吸进海水。

这种装置可安装在任何舰船上。整个装置由下列部分组成:激光器、操作装置、探测装置和清除装置。此外还附有红外光学电子观测仪和工业电视。为了遥测石油薄膜的各项参数,以及及时掌握薄膜的温度变化,在100 m距离以内发射激光时,利用温度测量仪和激光雷达光谱仪进行探测,以选择最佳工作方式并利用计算机处理各种数据。这种激光装置的功率为5 kW,除污能力为每小时60 kg石油。如果水面很大,该公司可提供功率为100 kW的装置,除污能力为每小时15 t石油。激光除污装置的优点是:它的工作效率不受石油成分、黏度、波浪(4级浪以下)以及昼夜时间的影响,也不需要通常用清除油污的专用设备——防栅、大功率泵、分离器、大容量的储油池等。据称,船用“薄膜”装置不仅能探明油污厚度,还能测出其质量,化学成分,甚至能确定石油生产国。

4. 激光通信

用光传递信息,在今天仍十分普遍,比如船只用灯语通令,交通灯用红、黄、绿三色调度等等。但所有这些用普通光传递信息的方式,都只能局限在短距离内,要想把信息通过光直接传到较远的地方,就不能用普通光,而只能用激光,我们知道,电是沿着铜线输送的,而传送光的细线叫光导纤维。只有亮度高、颜色佳、方向性

好的激光才是传递信息的最理想的光源,它从光导纤维一端输入,几乎没有什么损失就能从另一端输出。激光通信的优点是容量大、保密性强、经久耐用。用于激光的频率要比无线电波高得多,所以激光通信的信息容量要比电气通信大 10 亿倍,由 20 根光纤组成的光缆只有一支铅笔那么粗细,每天可以通话 76 200 人次,而由 1 800 根铜线组成的电缆,直径约 7.6 cm,每天却只能通话 900 人次。

光纤通信特别适合电视、图像和数字的传递。据报导,一对光纤可在一分钟内传递全套“大英百科全书”。此外,制造光导纤维的材料是地球上到处都有的沙子,只要几克石英,就能造出近千米长的光纤维,不仅原材料取之不尽,还可大大节省铜和铝材。

5. 激光计算机

目前,美国、日本的不少公司都不惜巨资研制激光计算机。预计在最近 10 年内,将开发出超级激光计算机,运算速度至少比现有的计算机快 1 000 倍。以激光为基础的计算机能广泛地用来执行一些新任务,例如预测天气、气候等一些复杂而多变的过程。它还可以应用在电话的传输上,因为电话信号现在逐步由光导纤维中的激光束来传送,如果用激光计算机来处理这些信号,就不必像现在这样,需要先在电话局里将携带声音的光脉冲发送出去。即可省掉光 - 电 - 光转换过程,直接将携带声音信号的光脉冲加以处理后发送出去,便大大提高了传送效率。

由于激光计算机善于进行大量的运算,所以能高效地直接处理视觉形式、声波形式以用其他任何自然形式的信息。此外,它还是识别和合成语言、图画和手势的理想工具。这样,激光计算机就能以最自然形式实现人机对话和人机交流。

四、激光是科学研究的得力助手

科学家采用各种各样的方法探索微观世界和宏观世界的变化,开拓新的科学技术领域,激光技术是其中非常有效的方法。

1. 激光光谱

激光的出现把物理和化学等基础学科的研究推进一个崭新的阶段。激光与光谱学的结合形成了激光光谱学。光谱技术已有几百年历史,如今是非常重要的分析技术。早在19世纪中叶,科学家用分光镜就能检测出三百万分之一毫克的物质。今天光谱技术引入激光之后,开创了光谱技术新天地,它的分析灵敏度和分辨本领高得惊人。

用激光光谱仪对检测物质进行分析,其绝对灵敏度可达 $10^{-12} \sim 10^{-16}$ g,分析只需要微量的样品,一般在微克左右。分析区域也极小,为 $10 \sim 100 \mu\text{m}$,在地质部门和公安部门都有很重要的应用价值。地质部门利用这种光谱技术鉴定微细疑难矿物,分析花岗岩中的石英、黑云母和白云母的微量元素,鉴定诸如砷镍矿、红锑矿、毒砂、钙铬榴石等原先猜测的矿物,公安部门则利用这门技术分析作案现场留下的微量金属屑末、血迹等,协助破案。

2. 激光检测

检测是工业生产的“眼睛”,采用激光技术后,这双“眼睛”更明亮。激光检测是非接触式的,不直接碰触物体,不影响测量对象和现场,还可遥测,比较方便地对处在高温或者不宜接近的有害场所做检测。同时激光检测与电子技术相结合,能实现自动化检测和在线检测。

激光技术还用于导向和准直。生产过程中经常碰到导向、准直的问题。比如矿井坑道的掘进过程中,就需要仪器给挖掘机导向,让它定向直线掘进。高层建筑安装电梯、大型发电机组安装转子,造大轮船时调整发动机主轴系统、定中心线等,都需要一条准直线。激光有很好的方向性,亮度又高,用它作准直线和导向,操作简便、快捷,而且精度高。有一家电厂采用激光准直仪配合安装30万kW汽轮机组,缩短工程40天,相当于多发电2亿kW·h。一煤矿采用激光导向仪施工,曾连续两次创斜开掘进世界纪录。在一大桥工程中,采用激光准直仪配合施工,70多米高的桥墩偏

差不到 1 mm ,远远高于原设计要求的精度。造轮船采用激光准直仪定中心线 ,精度比一般方法提高一个数量级 ,工效提高 2 ~ 60 倍 ,用激光检测表面质量和形状也被广泛应用。过去 ,在生产线上检验产品表面质量 ,很大一部分工作是由工人观察鉴别。这不仅劳动强度大 ,眼睛容易疲劳 ,而且工效低 ,漏检率也比较高。采用激光代替眼睛观察检查 ,检查速度快 ,漏检率低 ,并且还能在生产线上对产品表面质量进行分类 ,检查的项目有 :纸张、磁带、玻璃、纺织品、电子线路等元件的疵点、压痕、裂纹、针孔等。在生产线上可以检测 0.1 mm 的疵点 ,测量光洁度和精度达 0.05 μm 。

利用激光技术(主要是全息术)能够比较方便地检查设备的热变形、静态刚度、帮助工程师了解设备中的薄弱环节 ,改进设备的设计 ,提高产品质量。利用激光技术帮助设计师找出了我国生产的某种机床的薄弱环节 ,设计了新产品 ,提高了该产品质量。

利用激光技术也可以测量和分析设备的机械振动的振型。汽轮机生产厂家就是用这种技术 ,检验叶片振动频率和叶片的加工精度。

3. 激光开发新技术

激光技术在一些世界前沿科学技术开发中起着重要作用。可控核聚变(两个质量轻的原子聚合成一个较重的原子核)是世界重大科学研究课题 ,它成功之后 ,便可以找到一种用之不竭的能源。利用激光把两个原子核聚合(即激光核聚变)是目前最有希望的两条途径之一。我国从 20 世纪 60 年代中期就开始这项研究。在 70 年代用激光打在氘靶上 ,产生出了热中子 ,从而使这项研究挤入世界先进水平的行列 ,80 年代 ,中国科学院上海精密机械研究所建成一台输出功率 1 012 W 的激光装置。利用这个装置在核聚变研究上取得了一系列重大成果 ,其中不少达到世界领先水平。

X 射线激光是另一项受人瞩目的研究课题 ,它的出现对许多重大科学技术的发展都有重要意义 ,特别是在生物技术研究 ,它

能帮助我们拍摄到活的生物组织、生物细胞、生物分子的三维立体图像。

利用激光产生的力,可以分离病毒,还可以抓住原子、分子让我们拍照、研究。

由于光在介质中传播速度快(约为每秒 30 万公里)。几束光穿插传播时,彼此不发生干扰,也不受电磁场的影响。所以,用光进行传播、存储、交换信息、处理速度快捷,数量大。激光计算机就是计算机技术中的一种前沿技术,而激光技术又是其中的关键技术之一。在将来的宇宙卫星通信中,激光技术也是不可缺少的。2002 年上海市激光研究所开发了六项与时俱进的激光应用技术:

① 绿色环保的激光高速打码技术——Laser Coding 主要应用于 GMP 方式流水生产的各种药品、饮料、保健品包装所用的塑料容器瓶、纸盒标签表面永久性打上生产日期、批号、最佳食用期。

② 回归自然的激光绘画技术和激光标刻技术——Laser Engraving and Laser Marking 主要用在非金属材料像木材、塑料、玻璃、大理石、陶瓷或在各种金属材料表面。

③ 现代制造业的不可缺少的先进加工技术——激光切割、激光打孔、激光焊接、激光调阻、调频、激光细微加工以及激光立体成型等。主要应用于汽车、微电子、光通讯、光显示、航天航空以及现代生物等领域。

④ 动感绚丽的数码激光全息制版技术——Digital Holographic Imaging 主要应用在名优产品防伪包装、装饰材料、旅游纪念品等。

⑤ 气势恢弘的都市空间世纪之光——Light Projector and Laser Performance 主要应用在城市标志性场所、重大节庆活动、都市广告等。

⑥ 有利于生命健康的激光生物医疗技术——激光内照射仪可以增加血红细胞活力,提高携氧量,运动恢复,戒毒理疗,降血脂。激光美容技术可以用激光去皱纹、消疤痕、激光脱毛、激光消纹身。

五、激光开发新能源

1. 激光分离同位素

第二次世界大战末期,美国与 1945 年将绰号为“小男孩”和“胖子”的两颗原子弹,分别投到了日本广岛和长崎两座城市上空。给两个城市 and 居民造成了巨大破坏和伤亡,其威力超过历史上任何一种武器。自从出现了原子弹后,就有人设想巨大的核能造福于人类。爱因斯坦有一个著名的质能关系公式:能量 = 质量 $\times$ 光速的平方($E = mc^2$),所以极少的质量就可以转化为极大的能量,例如 1 g 质量的铀所具有的能量足够一盏 1 000 W 的电灯点燃 2 850 年,或相当燃烧 2 000 t 汽油。1 kg 铀完全分裂产生的能量,相当于 2 万 t TNT 爆炸时所放出的能量。

核电站用的燃料是铀。但铀家族中相貌相似的三兄弟:相对原子质量是 238 的称铀 - 238;相对原子质量是 235 的称铀 - 235;相对原子质量是 234 的称铀 - 234。在物理学中把这种含有相同电荷数,而质量数不同的原子核称为同位素。在三兄弟中,只有铀 - 235 才能作为核电站的原料。偏偏自然界中铀 - 235 的含量很少。在铀矿中铀 - 238 占 99.28%;铀 - 234 占 0.01%;铀 235 占 0.71%。在铀燃料中铀 - 238 和铀 - 234 就成了杂质,这就需要提纯,只要把铀 235 从其他同位素中分离出来,使其在总数中占 3% 以上,就可以送到核电站做燃料了。

人们为了把铀 235 的含量从原来的 0.71% 提高到 3.2%,想了许多办法,其中气体扩散法和离心法是比较成功的。但这两种方法的技术和设备是比较复杂的,成本非常高。如造一座气体扩散铀燃料生产工厂,得投资 30 亿元,耗电达 200 万 kW,要经历上千道工序,生产出来的铀比黄金还贵。

由于不同的同位素原子或分子的能级结构有十分微小的差异,所以激光出现以后,人们就利用其优异的单色性,对不同的同位素进行选择性的激发,达到分离的目的。自从 1970 年世界上首

次用氟化氢气体激光器成功地分离了氢同位素以来,用激光法分离其他多种同位素也取得成功。用激光技术把同位素铀-238与铀-235分离开来,从而实现提纯铀燃料的目的。其具体步骤是:首先把铀矿石采用局部加热等方法使之变成蒸气,然后利用铀-238和铀-235在某些光谱线上的微小差异。用适当波长的激光,分步选择激发铀-235并使之电离,而不激发铀-238,使其保持中性。然后让这种铀蒸气流过电场,被电离的铀-235在通过电场时被负极吸引过去。其余的两种同位素铀-238和铀-234没有发生电离,不会在电场中发生偏转,沿气流方向流出电场,聚集电场的负极附近的铀-235离子,在这里俘获了电子后还原成原子。这样我们就可以在这阴极附近搜集到含铀-235的量较高的铀燃料了。

日本原子能研究所声称,用实验室规模的激光浓缩装置,从天然铀中1 h可以分离并回收0.01 g核电站燃料铀-235。效率是美国和法国正在使用的气扩散法的10倍左右,所以被日本政府定为解决21世纪能源问题的“国策”之一。

2. 激光核聚变

用铀-235做燃料的核电站,一个难以解决的问题就是放射性废弃物处理十分困难。而且地球上的铀矿资源有限,而对人们日益增长的对电力的需求。能不能找到比现有的核电站更“干净”、效率更高、更丰富的能源供应发电的方法,就成为摆在一代人面前一个重大课题。而激光技术很可能就是解决这一课题的一把钥匙。

1952年11月1日,美国爆炸了世界上第一颗氢弹,爆炸力相当于1 000万t TNT炸药,等于500颗在广岛、长岐投下的原子弹的当量。1954年3月1日,美国在太平洋的比基尼岛上爆炸一颗称为“氢铀弹”的氢弹,其威力相当于1 500万t TNT炸药。这使人们看到热核聚变反应所潜在的巨大能量。

原来,除了重核分裂能释放巨大能量以外,氢核聚合较重的

核,也能放出巨大的能量。例如,由4个氢核合成氦核,就释放出28 MeV的能量。这种合成原子核的反应叫聚变反应。氢的三种同位素中,最普通的叫氕(H) ,水就是由它和氧组成。但它最难发生聚变,这是因为它的核只有一个质子,没有中子。重氢又叫 2H ,它的核中有一个质子和一个中子,质量数是2,通常称为氘。超重氢又叫 3H 它的核中有一个质子和2个中子,质量数是3,通常叫氚。因为氘和氚比氢容易发生聚变,所以被选中做核聚变的材料。在自然界中,氘的含量很丰富。1 L海水中所含氘聚变后放出的能量,大致相当于燃烧300 L汽油。1 g氘所产生的能量,可达350 MJ,相当1万L石油燃烧所放出的能量。在海洋里大约含有35万亿吨氘,这些氘的聚变反应所放出的能量,可供人类使用一二百亿年!

氘既然宜于核聚变,又有许多铀所不能比拟的优点,为什么人们迟迟不能用呢?这要从核聚变的条件谈起。

由于原子核带正电,核与核之间有静电库仑斥力,不易靠近,所以必须设法克服库仑斥力,才能发生聚变反应。通常的氢弹爆炸,就是利用装在它里面的一颗小原子弹爆炸为引信,在原子弹爆炸的瞬间产生几千万度的高温,使核聚变燃烧热运动能增大,点燃核聚变反应所需高温,通常叫点火温度,由于这个温度为几千万度到1亿度以上,所以核聚变反应通常称为热核聚变反应。点火后,要使它顺利地燃烧下去,必须有两个条件:一是核燃料要达到一定的密度,二是要使这个密度维持一定的时间。这就是所谓的“劳森条件”。目前比较实用的能达到劳森条件的装置有两大类。一是托卡马克设计的一种环形腔,能使氘和氚经高温变成等离子体,绕磁力线在环形腔内转圈子,既所谓的“环形约束法”。我国于1984年11月建成了自动的“中国环流器一号”,日本正在建造的4 000 t巨大环形核聚变实验堆均属此类。这种装置复杂、庞大、昂贵又不安全,尤其是距点火温度差得尚远。

另一种是利用高能脉冲激光聚焦,在直径百分之几到千分之

几毫米范围内,产生几百万度的高温。几百万大气压和每平方厘米几百万伏的强电场,以达到劳森条件,这种原理被称为“惯性约束方法”。目前法国里梅尔的“太阳神”激光系统水平较高。美国弗莫尔国家实验室的“诺瓦”系统。我国上海光机所的“神光”系统都属同一类型。

在激光向心照射的约束聚变中,直径仅为数毫米得氘氚混合燃料球形靶丸,在十亿分之几秒内,辐射出几百万焦耳的能量,在加热面形成等离子体包膜,包膜降压时因反冲造成中心压缩,此时中心密度大于氘氚液体密度的1千倍,点火温度达到1亿度,点火后产生聚变反应,靶丸通过辐射出的 α 粒子波加热到所需温度,产生燃烧。燃烧可以放出几亿焦耳的能量,应用工程技术,把这种热能转变为可供使用的电能,就实现了核聚变发电的目的。

六、激光技术诱人的前景

1. 迎接光子时代的到来

自从世界上第一台激光器问世至今,激光已涉足于许多科学学科和技术领域,并分化出不少重要的分支学科和交叉学科,激光技术、纤维光学和集成光学,也打开了光计算机的信息传输、存储和处理的时代的大门。

光计算机给人们带来了美好的希望。电子计算机发展到今日,却始终没有脱离电子学的范畴,运算速度和存储容量均已不能满足突飞猛进发展的科学技术的需要。集成光学和激光技术为研制运算速度极快、存储容量极大、使用稳定可靠的光计算机提供了基础条件。光模拟计算机在几分钟里就可以完成电子计算机几天才能完成的工作量。现在,科学家们正在向特高运算速度和特大信息存储量的光数字计算机进攻。

纤维光学是研究光学纤维传光理论及制造的一门新学科。光学纤维已发展成为一种新型的光学元件,应用于光纤通信、光学窥视、某些特殊激光器和新型光学系统之中。光纤通信具有容量巨

大、抗干扰能力强、保密性好、节省有色金属和适用范围广泛等特点,逐步发展成为大容量、远距离通信的重要手段,必定成为未来通信事业的主角。

光子学作为一门新学科必将迅速发展起来,同时,还将促进其他学科的发展。一些新学科将不断涌现出来,如光子物理学、光子化学、光子生物学、光子医学等等。

光子科学技术不断出现的新成就,对现代化社会的影响是无法估量的。到那时,天上飞的是用光子充填燃料的宇航飞机,地下跑的是光子发动机驱动的各种车辆,家庭里用的是多种多样的光子器具,军队装备的是各式各样的光子武器……如同今天的煤、油、电一样,光子科学技术将渗透到整个社会肌体的各个部位,成为人类生产和生活中不可缺少的东西。

未来的家庭,将是光子化的家庭。在你的家庭里,你只要按动那台用集成光学元件制造的终端设备,激光信号就会通过光学纤维构成的光缆网络联系于办公室、商场、电台……你可以通过面前的荧光屏,同千里之外的亲人会晤,和办公室里的同事交谈,跟商场里的售货员订货,向图书馆索取有用的资料,以及阅读新闻、科技情报。在你的家庭里,你的光智能计算机是你的忠实仆人,控制着空调设备调节室温,控制家用电器来烹调食物、开窗关门、清扫房间。茶余饭后,你坐在舒适的沙发上,可以用手中的微型光控器,打开面前的光视机,观看光纤传来的丰富多彩的全息彩色光机节目,那是立体的景象,真实的景象!到那时,电子将让位给光子,光子将成为人类的第一助手,处处为人类服务。人类将生活在一个崭新的光子时代里!

2. 太空城里创大业

“嫦娥奔月”、“牛郎织女”、“孙悟空大闹天宫”……在我国,流传着多少关于“天宫”的神话故事,现代的中外科科幻小说或电视剧目,更是不乏有关太空城市与生活的描写。当然,人类是不会停留在神话故事、科学幻想里面的。人类正在创造条件,现代科学技

术的各个领域,正在突飞猛进地发展,人类终有一天会建立起“太空城”、“太空村”,到那里去进行科学实验,制造新材料和新产品。

因为太空里有地球上所不具备的或很难获得的实验条件,如低温、真空、失重和无菌等。在那样的特殊条件下,一些物质将具有优异的特性,一些实验会呈现出异乎寻常的现象,因而给科学技术带来新的突破,使人类获得新的生产力。

人们在“太空城”里工作和生活,第一需要是氧气,怎么样把氧气输送到遥远的“太空城”里去呢?我们看到,自来水管把水送到千家万户,煤气管道将煤气送进每家每户。那么,采用什么管能把氧气或其他气体从地球输送到月球的或其他的“太空城”、“太空村”里去呢?科学家认为,将来激光有可能成为行星距离间输送氧气及其他气体的有效管道。这可真是科学发达,无奇不有,光还能成为“管道”!

到太空去工作和生活,这一天已经为期不远了。到那时,人们在“太空城”里办工厂,在“太空村”里种果菜,好一派生机盎然的喜人景象。

3. 未来的宇宙飞船

对未来的宇宙飞船,科学家们作出种种设想,如量子飞船、光子飞船、原子能飞船、太阳帆飞船、等离子体飞船等。太阳帆飞船是麦克斯韦提出的预言,它是以太阳的压力为动力,太阳光线就好像“宇宙风”一样,推动着宇宙飞船的“船帆”而使飞船前进。

自从方向性极强的激光问世以后,科学家们又预言,激光可以作为未来宇宙飞船动力。如果太阳光线能够给宇宙空间里自由飘荡的物体加速的话,那么,激光这样强大的辐射光束也完全可能给宇宙飞船加速。科学家们认为,实现激光动力飞船的可能性,不会比实现前面设想的种种飞船的可能性小。从物理学的观点来看,各种发动机无非是利用反作用力,激光发动机的反作用力能由具有质量的光子产生。

美国着手研究以激光为动力,推进航天飞行器的飞行,已经取

得卓有成效的结果。激光航天飞行器实际上就是激光飞船,它以激光为动力往返于地面与空间轨道站飞行,来回运送人员和器材,实现空间研究和制造。它起飞像火箭,垂直而起,返回大气层时又像飞机一样,滑翔到地面作水平着陆。它不需要火箭发射,也不使用火箭燃料,费用低廉,其发射费用仅为航天机的 0.1%,每公斤有效载荷 6~9 美元。

参 考 文 献

1. 宗占国,马骥良. 高技术概论. 北京:学苑出版社,1996
2. 杨立忠. 激光技术. 北京:中国科学技术出版社,1994
3. 宋健. 现代科学技术基础知识. 北京:中央党校出版社,1994

第六章 空间技术

空间技术是 20 世纪 50 年代后期蓬勃发展起来的一门新兴的、综合性的高技术,它主要是利用空间飞行器作为手段来研究发生在空间的物理、化学和生命等自然现象,综合应用了几百年来人类在数学、天文学、物理学、化学、生物学和医学等方面的研究成果,又和当代许多科学的发展密切相关,是衡量一个国家科技水平和工业发展程度的主要标志之一。

空间技术的日益发展,不仅使人类摆脱了世代生息的地球的束缚,飞向广阔无垠的空间去探索宇宙的奥秘,而且这项技术广泛应用于对地观察、通信、气象、导航等许多方面,渗透到自然科学的许多领域,对发展生产力,改善人们生活,推动社会进步起到越来越大的作用。

第一节 空间技术发展简史

空间技术,从经典理论到科学幻想,再由航天理论到实现迈向太空的道路,经过几代人努力,关于飞天的一个个梦想,终于变成了一个事实。

一、航天理论的形成

在我国有关飞天的神话中,最为人们熟悉的是“嫦娥奔月”。从这个民间传说中,我们可以看到:人们曾经想像,飞天是件不容易的事,人们如果可以飞天,第一个目标就是月亮,但那儿十分荒芜,十分寒冷(所以月亮上的那座宫殿叫广寒宫)。在古代神话中并无根据的想像,竟惊人地被现代空间技术所证实。

在西方,也有不少有关飞天的神话故事。典型的是:公元 160

年,希腊著名作家卢基阿诺斯写的神话小说《伊卡罗·米尼朱波斯》,1639年,德国的朱安·波得旺写的《德米尼克·冈扎莱斯的月球旅行》。第一个故事告诉我们,西方人想像的飞天工具竟是鸟类的翅膀,而且他们认为月球离地球只有5 500 km。第二个故事想像月球上有着智能生物,很热闹,这同我国的“嫦娥奔月”完全不同。所有这些神话和故事表达了古代人对太空的向往,都没有科学依据。

19世纪,欧洲的科学技术有了较快的发展,出现了以一定科学知识为基础的科学幻想小说。当时,最有名的科幻小说作家法国的儒勒·凡尔纳写了两本关于太空飞行的小说,一本是《从地球到月球》,另一本是《环绕月球》,这两本书都描写了主人公从地球出发飞到月球,再从月球返回地球的整个冒险过程。他的科幻小说不再是纯粹的神话,里面有以牛顿万有引力定律为科学依据的计算。书中用燃料化学反应的爆炸力作为飞天动力的方案,可以说是孕育了现代空间技术的基本思想。

“嫦娥奔月”之类是神话,凡尔纳笔下是幻想,那时人们不可能飞入太空,因为科学还太贫乏。到19世纪末,俄国的齐奥尔科夫斯基才用科学为人类打开了迈向太空的道路。

齐奥尔科夫斯基1857年生于俄国一个贫苦的护林员家庭,经过努力成为一名中学教师,进入中年之后,他开始研究火箭原理和航天理论,其主要结论是:

(1) 要实现太空飞行,必须解决发射装置的问题。他通过计算,认为在没有空气的太空中,利用喷气反作用力推进的火箭,是实现太空飞行的最有效的理想的交通工具。

(2) 单位时间里喷射的气体越多,喷气速度越快,火箭获得的加速度也越大。长时间地喷射气体,火箭不断地加速,越来越快,等到气体喷完时,火箭可以达到很高的速度。如果气体喷射速度一定,那么为了提高火箭的最终速度,就必须提高火箭装满燃料后的总质量与燃料的装载量。但是,要增加燃料,燃料箱要造得很

大,发动机必须制造得十分牢固,整个火箭的总质量和体积都会增加,结果火箭的最终速度不会增加到很大。因此,一枚火箭的质量是有限的。

(3) 可采用多级火箭提高速度。多级火箭是将几个火箭串接起来组成的,通常是三级,每一级都像是独立的火箭,有自己的发动机和燃料系统。第一级首先点火发动,把整个火箭带到空中,一定时间后燃料耗尽,自动脱落;接着第二级点火发动,继续加速。这样,经过三级点火,三级发动,不断脱落,不断加速,整个飞行器也就越来越轻,速度也就越来越大。

(4) 火箭的喷气速度取决于燃气的温度和气体的相对分子质量,因此他提出使用大推力液体火箭,用氧作为氧化剂,用液氢作为燃烧剂。

齐奥尔科夫斯基的多级火箭方案及其他一些设想,为把人们飞天的梦想变成现实奠定了坚实的基础。因此,人们称颂齐奥尔科夫斯基为“航天之父”。

二、火箭的研制

火箭起源于中国,是中国古代的重大发明之一。北宋后期,民间流行的能升空的烟火——“流星”(后称“起火”),已利用火药燃气的反作用力。这类烟火就是世界上最早的火箭。到明朝初年,军用火箭已相当完善并广泛用于战场。明代晚期兵书《武备志》中记载了20多种火药火箭,其中“火龙出水”已是二级火箭的雏形。

20世纪初,美国、欧洲的一些科学家才开始研制齐奥尔科夫斯基所设想的航天运载工具——火箭。其中,美国的哥达德成就斐然,被人们誉为“火箭之父”。

哥达德1882年10月5日出生在美国马萨诸塞州。还在中学念书的时候,他便迷上了太空飞行。1913年他通过计算指出,一枚质量为90 kg的火箭,可以把质量为450 g的物体推出大气层而

送入太空。接着他又获得两项专利：火箭用的液体、固体推进剂；可飞入太空的多级火箭。1919年5月，哥达德发表了一篇震惊科学界的论文《一种达到极大高度的方法》。1926年3月16日，哥达德进行了一次正式实验：先支起一个金属框架组成的火箭发射架。发射架上放置着一枚火箭。火箭有3 m多长，既无遮盖又无罩子，一个贮存箱里装有汽油，另一个贮存箱里装有液氧。下午2时30分点火，汽油和液氧混合燃烧，喷出了急速的火焰气流，火箭上升了12.5 m后，向左拐，向前飞行了56 m，最后落在田野上，燃料燃烧时间仅2.5 s。这就是世界上第一枚液体燃料火箭。它的试飞成功标志着人类在通向太空的道路上迈出了决定性的第一步。1935年，他进行了一次极为成功的试验：火箭以超音速飞行，最大行程20 km。他未能见到在自己的实验场里飞起一枚能冲出大气层的太空火箭。

哥达德没有能使自己的理想付诸现实，但是他那些开创性的工作启发了德国的奥伯特和布劳恩。奥伯特在哥达德首次成功发射液体火箭之后三年，也开始研制液体燃料火箭。1931年，他研究的火箭升到了91 m的高度。

1942年10月3日德国人布劳恩研制的第一枚“V-2”军用火箭发射成功，它打破了以往火箭在载重、速度、高度、飞行距离等方面的记录。从1944年9月到1945年3月，德国制造了6 000枚“V-2”火箭，大部分用于袭击英国，使英国伦敦、考文垂等城市的人民生命财产遭受严重的损失。

第二次世界大战结束后，德国大部分火箭专家投降了美国，苏联则占领了德国制造“V-2”火箭的基地，将剩下的科技人员和火箭制造设备运往苏联。德国先进的火箭技术由此被美国、苏联两国瓜分。美国和苏联从德国获取了大量的“V-2”火箭的资料、图纸和技术人员，各自发展自己的运载火箭和航天器。起初，美国似乎对发展远程火箭热情不高，没有很大的投入，所以火箭技术进展缓慢。而苏联预见到远射程火箭能在军事上发挥巨大作用，因而

极为重视,火箭技术的发展也很迅速。1957年8月26日,苏联成功地发射了两级液体洲际弹道导弹SS-6;同年10月4日,又发射了第一颗人造地球卫星——“斯普特尼克”1号,开创了航天事业的新纪元。

三、空间技术发展的简要回顾

空间科技包括空间科学和空间技术两部分。空间科学是关于宇宙空间的物质、特点及其运动规律方面的学问,它主要包括空间物理、化学、生物等分支。空间技术则是人们探索空间奥秘,利用和开发空间条件为人类服务的方法和手段,是从事空间飞行的综合性技术,它主要包括空间飞行技术、控制与导航、通讯与遥感、遥控、图像与数据处理以及包括火箭、卫星、飞船、航天飞机的制造与发射等在内的空间系统工程技术。这里主要谈空间技术。

空间技术的形成以1957年10月4日苏联发射第一颗人造地球卫星——“斯普特尼克1号”为标志,从此开始了航天时代,至今已有四十几年,空间技术发展极为迅速。大体经历了三个阶段:

1. 第一阶段(1957—1964年)是基础技术和实际应用试验阶段

向地球周围及太阳系发射了一些无人的探测卫星和探测器,了解这些地方的温度,宇宙线强度及其他一些环境条件。首先是检验电子仪器是否能正常工作,然后再测试如果飞到那里去能否保证生命安全,并保持工作能力,要不要采取特殊的防护措施。这种探路的工作主要是由美国、苏联两国来完成的。此间的重要发射试验有:1959年1月2日,苏联的“月球1号”飞行器第一个飞过月球;1959年3月7日,美国的“先锋4号”进入绕太阳运行的轨道,成为人造行星;1960年8月11日,美国首先从轨道上回收了“发现者13号”侦察卫星;1961年4月12日,苏联宇航员加加林乘坐“东方1号”飞船在太空飞行108分钟后安全返回地面,实现了人类遨游太空的梦想。

2. 第二阶段(1964—1979年)是实际应用迅速发展阶段

发展各种应用卫星技术,如通信卫星、地球资源探测卫星、导航卫星等等。重要的应用成就有:美国和苏联在太空布置各种卫星网,为数众多的探测器飞向太阳系各大行星;1969年7月21日,乘坐“阿波罗11号”的美国宇航员阿姆斯特朗第一个登上月球;1975年7月15日,美国的“阿波罗”飞船和苏联的“联盟9号”飞船在太空中实现对接,进行联合飞行。

3. 第三阶段(1980年至今)是空间技术的商业与军事化阶段

这一阶段的主要特点是:一系列的应用卫星投入商业及军事使用,整个社会进入了信息时代。这时候,一些第二世界的国家如西欧、日本积极发展空间技术,第三世界的国家如中国、印度等国也进入了航天国家的行列,建立了独立的航天事业,打破了美国与苏联的垄断,空间技术进入了既合作又竞争的新阶段。在这一阶段,最突出的成就是一次性使用的返地空间运载工具将被可重复使用的航天飞机所取代。下面将叙述的一系列成就正是这一阶段取得的。

从1957年至今,有关国家共发射了近3000种不同的太空飞行器,其中不少已陨落、烧毁,少数被收回。目前,每天仍有1000多个飞行器在太空中飞行。冷清的广寒宫已留下了人类的脚印;12个载人的空间实验室已在太空安了“家”,接待了一批批宇航员。航天飞机已进行了几十次飞行。宇航员还成功地滑出舱外,以28500 km/h的速度在太空中“行走”,成了人造地球卫星;太阳系家庭中的成员金星、火星、木星、土星等的奥秘已被行星探测器初步揭开,一些行星探测器还肩负着探测行星际空间、寻找宇宙生命的更艰巨的使命,继续飞向无边无际的远方……

空间技术在较短的四十几年的时间里能够如此迅速地发展,一方面是科技本身的成就和发达的工业能力为其提供了基础;另一方面是军事竞争、科研和经济文化发展的需要,为其提供了动力。随着科技成果的积累,空间技术在不远的将来定将跃上更加闪光的峰巅。

第二节 火 箭

火箭是把空间飞行器送入轨道的工具,是开发空间技术的前提条件,也是空间技术的重要组成部分,可以说,没有火箭技术的发展,就没有空间科技的蓬勃发展,火箭为人类打开了探索宇宙的大门。

一、火箭的原理

1. 火箭的基本原理

火箭是利用喷气的反作用力作为推力的飞行器。原始火箭最早起源于中国,这已为世界公认。今天的空间运载火箭在技术上有划时代的改进,但喷气推进的基本原理同原始火箭仍是相同的。

现代火箭是在第二次世界大战时在德国最先出现的,典型的是 V-2 火箭,它是一种运用液体燃料的单级火箭,最大速度为 1.5 km/s ,总推力 27 t ,射程 300 km 。40 多年来,空间运载火箭发展得很快,推力不断增加,性能不断改进。目前运用火箭技术,可以使运载的飞行器达到第一宇宙速度 7.9 km/s ,成为绕地球运行的人造卫星;也可以达到 11.2 km/s 的第二宇宙速度,成为绕太阳运行的人造行星;还可以达到 16.6 km/s 的第三宇宙速度,脱离太阳系进入星际空间。因此,在一定意义上说,空间技术的发展,完全建立在火箭技术发展的基础之上。

2. 现代火箭的构造

现在,世界各国已研制出几十种运载火箭,它们把各种航天器送入预定的空间轨道,以完成各种任务。其中,巨型运载火箭质量达两三千吨,能把上百吨质量的载荷送上太空。

用于发射航天器的火箭大多为三级火箭。火箭主要由箭体结构、推进系统、制导系统三大部分组成。

箭体结构的功能是安装与连接有效载荷(卫星、宇宙飞船),仪器设备和动力装置,以及贮存推进剂等,以构成一个结构紧凑、

外形具有良好的空气动力特性的整体。有效载荷在火箭的顶部,外面设有整流罩。整流罩用来保护有效载荷,在火箭飞出大气层后即被抛弃。

推进系统为火箭飞行提供动力,由发动机和推进剂输送系统组成。如今,运载火箭上使用的火箭发动机均为化学火箭发动机。化学火箭发动机有固体火箭和液体火箭之分。运载火箭大多采用液体推进剂,例如,第一、第二级可用液氧和煤油作推进剂,末级可使用液氧和液氢作推进剂。推进系统能产生强大的推力,使运载火箭达到预定的速度,从而把卫星、宇宙飞船等有效载荷送入太空。

制导系统的作用是实时测量和控制火箭的飞行姿态、位置和速度,保证火箭姿态稳定,使火箭能按预定路线飞行,并控制火箭发动机关机,使卫星等航天器精确地进入轨道。制导系统的仪器大多要装在火箭的仪器舱内。

3. 运载火箭的发射

火箭作为空间飞行器的运载工具,按射程的远近,一般可分为近程、中程和远程三种,但是界限是不严格的。一般地说,近程火箭的射程在 2 000 km 以内,中程火箭的射程在 2 000 ~ 8 000 km 之间,远程火箭的射程为 8 000 km 以上,其中射程在 10 000 km 以上的又叫洲际火箭。

运载火箭的射程取决于发动机熄火时火箭达到的速度。火箭熄火时速度的大小,并不与它所带的推进剂的绝对质量成正比,而是要看推进剂的质量在火箭总量中所占的比例,或者说,火箭起飞质量与熄火质量之比,比值越大,速度就越大。所以要提高火箭的速度,不能一味增大火箭的尺寸,而是要靠提高推进剂的性质和减轻火箭结构的质量。采用多级火箭是提高起飞质量和熄火质量之比的好办法。

中程以远的运载火箭总是由二级或三级火箭组成。下面以三级运载火箭为例,说明它的飞行过程。起飞时,火箭第一级发动机点火工作,垂直于地面离开,以使尽快地飞离稠密的底层大气。起

飞后不久控制系统操纵火箭按预定程序拐弯,逐步增加水平方向的速度。第一级火箭推进剂烧完,熄火并脱落;第二级火箭接着燃烧、熄火、脱落。第三级火箭工作,达到规定的高度和速度时,控制系统命令发动机熄火,运载物和运载火箭分离。

当运载物是卫星或飞船时,运载火箭熄火时,运载物就在预定的高度上达到环绕地球或太阳及其行星的飞行所需要的速度,飞行方向与地面或太阳及其行星的表面平行。

如果运载物是弹头,熄火时的速度与地面成一个向上的角度。弹头就像炮弹一样,先爬高,然后落下来,再进入大气层,飞向预定的目标。

带有弹头的运载火箭实际上就是弹道式导弹。同运载火箭一样,弹道导弹也按照射程的远近分为近程、远程和洲际导弹。通常,把卫星换成弹头,飞行程序变一变,卫星运载工具就变成了远程和洲际导弹;反过来,将远程和洲际导弹变一下飞行程序就可以用来发射卫星。

二、我国火箭技术的发展现状

作为古代火箭发明国的中国,从20世纪50年代中期开始发展航天技术。1964年6月29日成功地发射了自行研制的第一枚液体火箭。1970年4月24日“东方红一号”人造卫星从酒泉飞上太空,使我国成为继苏、美、法、日之后世界上第五个独立研制成火箭并发射卫星的国家,这颗卫星质量为173 kg。比上述4个国家第一颗卫星的质量和还多33 kg,这标志着中国真正的航天时代的开始。

此后,中国新式导弹取得了相当可观的成绩,有“红旗”、“红樱”、“海鹰”、“鹰击”(有C-601、C-801等型号,为空舰导弹)、“上游”(舰舰导弹)等。与战略武器和卫星相关的巨型火箭更为引人注目,因为它是洲际核导弹和卫星的运载工具。中国战略火箭最有名的是长征系列运载火箭,即长征1号、2号、3号、4号等。

其中长征 1 号适合于发射小型卫星,长征 2 号适应于发射低轨道卫星,长征 3 号是一种在第三级采用低温燃料的太空运载火箭,适合发射同步卫星,现在这三种火箭都已开始进入世界发射市场,长征 4 号是一种大推力火箭。

从运载火箭的技术水平来看,我国液体火箭的组合推力已达到 300 t,而且成功地发展了液氢、液氧火箭发动机,达到与法国阿里安火箭相当的水平。1990 年 7 月 16 日我国试验发射成功的长征 2 号是一种推力大的捆绑式运载火箭,用以发射重型卫星。

继我国第一颗人造卫星上天之后,1971 年 3 月 3 日我国又发射了一颗科学试验卫星“实践一号”,它重 211 kg,在空间正常工作达 8 年之久,这在 20 世纪 60 年代国外发射的卫星中是少见的。我国的洲际火箭也于 1971 年基本试验成功。在不断进行发射试验的过程中,1975 年 11 月 26 日,我国又成功地发射了一颗可回收的人造地球卫星,成为继苏联、美国之后世界第 3 个掌握卫星回收技术的国家。1981 年 9 月 20 日,我国又首次实现了用一枚火箭(上海航天基地研制的风暴一号),同时发射 3 颗科学试验卫星,成为世界上第 4 个用一枚火箭发射多颗卫星的国家。1982 年由潜艇在水下发射运载火箭获得成功,这是中国拥有海基战略武器的开端。1984 年 4 月 8 日中国成功地发射了地球同步通讯试验卫星,成为世界上第 5 个能独立发射地球同步卫星的国家,它表明我国的运载火箭技术和卫星通讯技术均接近了世界先进水平,是中国加强航天技术在通讯和军事上应用的第一步。1987 年 8 月 5 日,我国用“长征 2 号”运载火箭发射的第 9 颗返回式卫星,首次为国外公司提供了卫星搭载服务,结果用户十分满意,获得了许多国家科学家的一致赞誉,使包括美国在内的好几个国家和我国签订了租用我国火箭发射卫星的合同,还有一些国家和我们洽谈引进科学探测卫星技术。1988 年 9 月 7 日,中国发射了一颗地球同步轨道试验性气象卫星“风云一号”,卫星给地面上的几个接收站发回了清晰的地球上空云图照片,提高了天气预报的准确度。

同年,性能优秀的长征系列火箭承担了为欧洲国家发射卫星的任务。1990年4月7日,长征3号火箭在西昌基地把美国制造的“亚洲一号”卫星送入轨道,这在技术、经济、政治上都有很大的意义,表明中国已加入了国际卫星发射市场的竞争。1990年9月3日太原卫星发射基地又发射了一颗“风云2号”气象卫星。同年10月发射的一颗卫星舱内装有试验性的动物和植物,说明中国已开始了太空生物学的研究。自20世纪80年代以来,原来保密的航天工业界,因改革开放政策而带来了生机,加大了与国外同行的接触。到1992年11月,我国共发射了30多颗不同类型的巨星。1992年8月14日,我国利用“长征2号E”捆绑式运载火箭在西昌卫星发射中心,成功地为澳大利亚发射了一颗美国制造的通讯卫星,再次向世界表明了中国火箭技术已达世界一流水平,中国的空间技术已经走向世界。1992年12月21日19时31分,“长征2号E”捆绑式火箭将第二颗“澳星”送入预定轨道。从此,太空又多了一颗耀眼的星。在发射澳星之前,中国没有火箭捆绑的先例,在合同要求的18个月里,“长征2号E”捆绑式火箭的设计师王德臣主持攻克了20多项技术难题,仅图纸就用了上百万张。如今,中国已计划研制更大推力的运载火箭,以发射自己的航天飞机和空间站。

与火箭和卫星技术并行发展的还有一个完整的卫星测控系统,测控系统的中心在古城西安。我国的卫星测控技术也达到了世界先进水平。1992年10月6日,我国已回收了14颗科学探测与技术试验卫星,成功率为100%。这标志我国的卫星回收技术已成熟,居世界先进行列。现在我国的回收型微重力试验平台已开始为国内外用户服务。

目前,我国正式改进现有的运载火箭,以提高其运载能力。从近期讲,要把低轨道运载能力提高到9t,同步轨道的运载能力提高到2.5~4.5t。从远期讲,要研制更大型的运载火箭,以发射我国的空间站。我们相信,随着中国火箭技术参与国际发射市场的

成功,我国的火箭技术必将跃上新台阶。

三、火箭技术的发展前景

目前使用的运载火箭,几乎都是利用推进燃料的化学反应获得推力的化学火箭。由于能够得到很大的推力,所以它可作为发射人造卫星或者发射“阿波罗”宇宙飞船和航天飞机等用的火箭。但它却不能进行以火星或木星等行星为目标的旅行。因此,发射大型火箭需大量的燃料,且进行以太阳系以外的宇宙为目标的银河旅行时,其速度又将感到不足。作为弥补这些缺点的火箭,迫切需要一种能够飞往银河系以外的新式火箭,因而提出了离子火箭,电子火箭,原子能火箭等设想,其中一部分已进入研究阶段。

离子火箭正被研究用于到太阳系的其他行星去旅行。它虽比化学火箭的推力小得多,但可长时间地保持推力,所以适应长期旅行用,利用它的高比推力,还可将其作为一个寿命很长的小型火箭用来控制人造卫星的姿势或修正轨道用。

离子火箭是把铯、水银等金属原子离子化,以极快的速度,边喷射边飞行。对气体状态的阳离子或阴离子施加强电压或电磁之后,即从火箭喷嘴向后喷射。虽说进行了一次离子化,但如不在喷口附近再次消灭电荷,实现中性化,其推力就会降低。

电源可利用太阳能或原子能,包括离子化装置在内,将成为大型装置,因此很难用作发射用的火箭,但可以用作在宇宙站或宇宙殖民地等进行发射时使用的火箭。

光子火箭是利用光子这种粒子组成的原理,如果不断提高它的速度,那么它能以接近 3×10^5 km/s 的光速飞行。人类的宇宙活动迟早会飞出太阳系,扩大到银河系和宇宙的,离太阳最近的恒星是距离约 4.3 l. y. 的半人马座。利用化学火箭到那里需几十万年,利用离子火箭也需 6 000 年;若光子火箭以接近光速度飞行,用 5 年左右的时间就可到达。光子火箭出现的意义是很大的,但在开发能够产生这种火箭推力的热源和能耐 10^8 以上超高温材

料上还有困难,实现它尚需相当长的岁月。

原子能火箭有若干类,主要方式是在核反应堆内加热液氢,然后从尾部喷出它所产生的氢气。问题是:当载人飞行时,需要防止射线照射的厚防护墙,火箭本身会变得很重,这是一个弱点。只有大型行星旅行用宇宙飞船才能取得很大推力。前面谈到美国正在研究开发这方面的技术。

关于未来的火箭,有许多设想,诸如离子火箭、电弧火箭、游离基火箭以及太阳能火箭等。但进入正式研究还是今后的事情,估计在充分研究它们各自的利弊之后,作为 21 世纪宇宙旅行用的火箭会各得其所吧!

第三节 人造地球卫星及应用

人造地球卫星是指在地球大气层以外空间环绕地球飞行的人造天体,它是迄今为止人类开发和利用空间资源的最主要的手段。也就是说,人造卫星的发射与应用是现代空间技术的重要内容之一,这方面的技术水平是衡量一个国家科技现代化程度的重要标志。到目前为止,世界上近 20 个国家和组织发射了几千颗卫星,其中,完全依靠本国力量独立发射的只有苏联、美国、法国、中国、日本和印度等少数几个国家。

一、人造卫星的发射

用运载火箭发射人造地球卫星时,运载火箭从地面起飞到进入预定的轨道分为三个阶段。在加速飞行阶段,运载火箭由地面垂直地飞,在发动机推力的作用下,运载火箭飞出稠密的大气层,到达预定高度的速度时熄火,然后进行星箭分离。有时为了进入地球同步轨道,运载火箭熄火后进入滑行阶段,此时靠已获得能量作惯性飞行。最后,运载火箭再一次点火,将卫星加速,弹射入预定的轨道。将卫星送入地球轨道的方法有三种,第一种就是用运载火箭发射。第二种就是用航天飞机发射。航天飞机的货舱内

能容纳两颗卫星。当航天飞机进入地球轨道后,利用机械手将卫星从货舱中取出,直接送入太空轨道。如果轨道上运行的卫星出了毛病,航天飞机可以伸出机械手把它抓回来,放进货舱,修好后再送入太空。第三种方法是用飞机发射。1990年4月5日,美国一架“B-52”飞机从基地起飞,当飞行到离地面12 km的高空,速度为272 m/s时,悬挂在机翼下的“飞马座”运载火箭脱离飞机自由下降5 s后,火箭高度比飞机低500 m,处于与飞机机身平行的状态。此时,火箭第一级开始自动点火;之后,第二级、第三级相继点火,直到第9 s,第三级火箭燃烧结束,由火箭携带的卫星便进入高度约为450 km的预定轨道。用飞机发射卫星费用较低。因为火箭在空中已从飞机获得了一定的初速度,这就节约了一部分昂贵的燃料费用;第一级火箭在高空工作,不需同时顾及地面的状况,因此发动机的设计和制造较简单;而且,飞机发射不需要有设备齐全的地面发射基地,随时可以从世界上任何一个机场起飞发射。不过,用飞机发射卫星也有局限性,一是卫星不能太重、二是轨道不能太高。

二、人造卫星的回收

卫星上的部分有效载荷是需要回收的,这种卫星在太空中完成任务后就要返回地面。卫星返回之前先要调整飞行状态,即脱离原运行轨道。卫星脱离原轨道时的速度叫再入速度。要脱离运行轨道,必须降低卫星的运行速度,而且再入速度方向要往下偏,与地平线形成一个俯角,这个俯角称为再入角。这由卫星上的制动火箭朝运动方向喷气来实现。对再入角的要求十分严格,一般控制在 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。因为太大了,卫星比较陡直地进入大气层,会引起较大的空气阻力和空气摩擦加热;如果太小了,卫星下不来,仍在原轨道上运行。再入速度和再入角必须控制得很准。“失之毫厘、差之千里”,如果速度误差为6 m/s,或再入角差 0.1° ,那么卫星的着陆点可能要偏差300 km,可能会掉到别的国家或落入公

海。再入速度与再入角的准确与否取决于制动火箭点火时间、推动方向、推力的大小与时间长短。这些分别由卫星上的程序控制系统、姿态控制系统、计算机程序控制系统来决定。

卫星脱离原来的轨道以后,沿弯向地面的路线向下降落。当它降到离地面 60 ~ 70 km 后,与大气层摩擦,产生大量的热能,致使表面燃烧起来,整个卫星好像一团火。为了减少卫星受热,卫星的头部包上一层轻质耐烧蚀材料,任它烧掉,带走大量热量,保护卫星本体不受损害。

卫星降落到离地 10 ~ 20 km 时,尽管速度已经大减,但还有 200 m/s 的速度。卫星以这样高的速度撞击地面,必然粉身碎骨,所以还要降速。此时,卫星上的高度表和钟表机构会发出命令,先打开一顶较小的减速伞,稳定卫星姿态,初步减速。卫星降落到离地 5 km 高度时,打开主伞,使降落速度小于 10 m/s。降落伞开伞机构的工作必须准确、可靠。降落伞如果打不开或开晚了,都将导致返回失败。

卫星降落后,地面人员必须立即进行搜索。为了搜索方便,卫星上必须有标位手段。标位手段有两种:一种是卫星上装有信标记,在离地面 20 ~ 30 km 时发出无线电信号,地面接到信号后测定卫星的方位和距离;另一种手段是卫星上装有灯光信标,在着陆时发出强烈的闪光,以引起搜索人员的注意。

当地面人员利用标位搜索系统发现卫星后,必须不失时机地回收。回收方式有三种。一种是陆上回收,第二种是海上回收。卫星是密封的,掉入海中会浮出水面,同时卫星带有染色剂,遇水后立即溶解,将海水染成一片彩色,便于搜索飞机发现它。一旦发现,就通知附近的船艇迅速打捞。第三种回收方法是空中打捞。当卫星带着降落伞在空中向下降落时,就用飞机将之回收。飞机下面挂一根长绳,绳子末端带一个钩子,用钩子将卫星的伞绳钩住,吊进飞机机舱。

回收一关,必须认真小心。否则,携带了大量观测资料的卫星

回收不成 ,前功尽弃。

三、人造卫星的应用

卫星技术已从试验阶段步入实用阶段 ,根据卫星的功能与作用 ,可将卫星分为多种类型。

1. 通信卫星

早在 20 世纪 40 年代中期 ,就有人设想 ,利用人造卫星来实现地面远距离通信。到 60 年代中期 ,人造卫星上天还不到 10 年 ,这个设想就实现了 ,人们开始利用通信卫星作为空间的中继站和转发站来进行地球上各地之间的通信。从此 ,人类进入了信息时代。

目前 ,通信卫星大多运行在地球同步轨道上。一颗运行在赤道上空约 36 000 km 的地球同步轨道通信卫星 ,其通信范围能覆盖地球表面三分之一以上的地区。如果在赤道上空均匀地分布着三颗这样的通信卫星 ,就能实现全球范围(除两级地区外)的卫星通信。

通信卫星实际上是一个太空的中转站。它能把地面站送来的信号有条不紊地进行中转 ,使两个地面站之间能进行通话、数据传输、图文传真、电视传播等信息传递工作。如上海与北京两地要求通信 ,则上海地面站通过信息转换机构 ,把发信者的信息 ,如声音、文字、图像等转变为电波信号。由无线电设备进行调频(或调幅)处理和功率放大 ,然后由发射机把电波发向卫星 ;卫星上的天线收到上海卫星地面站的电波信号后 ,由转发器对它进行处理并放大 ,再转发到北京卫星地面站。北京卫星地面站把接到的电波信号进行功率放大和解调 ,还原成声音、文字、图像等 ,传输给受信者接收 ,这就完成了单向通信。如果北京的卫星地面站也向卫星发射电波信号 ,经通信卫星中转给上海卫星地面站 ,这就实现了双向通信。

在还没有通信卫星的时候 ,人们要在两地之间进行通信 ,除了使用信函这种费时费力的手段外 ,就是通过无线电波或通过电缆

用电信号来传输信息。但是,无线电波只能直线传播,而我们的地球表面是弯曲的,如果不设较多的中转站,传播距离就十分有限;电缆不但铺设麻烦,而且传输容量受到很大的限制。有了通信卫星,这些问题便迎刃而解,世界各地的人们都可以十分方便地互相打电话、发电报、收看远距离电视台,甚至地球另一面的电视台播放的电视节目,虽然远隔千山万水,却好似近在咫尺。

我国1984年4月8日用自制的大型运载火箭发射成功的通信卫星,其传输信息的覆盖面不仅包括我国的全部领土,还可以覆盖周围一些国家和地区,是继美国、苏联、日本、欧洲之后第五个能独立发射这种卫星的国家。1986年2月,我国实用通信卫星发射并在东经 103° 赤道上空定点成功。1988年3月8日我国又发射了一颗通信卫星,标志着我国空间技术进入了新的阶段。

2. 导航卫星

一种专门用于给舰船航行和飞机导航的卫星叫导航卫星。导航卫星是继通信卫星之后升起的一颗新“星”。

它把无线电信标机装在导航卫星上,信标机不断地向海上和空中目标发出无线电信号,由于舰船或飞机等已预先知道导航卫星的运行轨道,舰船或飞机上所装的无线电接收设备,根据接收到的卫星无线电信号,用专门计算机便可计算出舰船或飞机的位置坐标。以往的导航都用天文导航、无线电导航或惯性导航,这些导航方法,有的受气象条件影响,传播距离有限;有的不能保持长期的导航精度。而用卫星导航,不受气象条件和航行距离的限制,导航精度也较高。目前,国际上使用的导航卫星网是由美国发射的5颗子午仪导航卫星组成的。不论气候和电离层的条件如何,也不论在任何时间、地点,都能由卫星给出均匀良好的三维定位导航信息,又能给出航向和速度,为舰船和飞机导航。

在美国军事航天活动中,导航卫星投资仅次于登月计划和航天飞机。美国迄今已发射了50余颗导航卫星,其中大多数是子午仪卫星,此外还有蒂马申卫星、三体卫星、导航技术卫星、新星卫星

等,还有导航星全球定位系统的发展型。子午仪卫星是美国目前唯一能实用的导航卫星系统,也是目前唯一能提供全球覆盖的商用导航卫星系统。导航星全球定位系统(NAVSTAR/GPS)是美国三军共用的国防导航卫星计划,该系统能在全球范围内为飞机、舰船及各种车辆和地面部分提供连续高精度的三维定位数据及速度数据。1985年该计划进行实用型导航星的生产和发射阶段,为保证整个系统连续工作,美国空军从1987年开始用6.5亿美元购买第二批导航卫星,用来替换第一代导航卫星。

3. 天文观测卫星

1990年4月24日由美国发射的哈勃太空望远镜,被人们称为最重要的天文观测卫星。哈勃太空望远镜是迄今口径最大的轨道天文台,在主镜焦平面上装有多台科学仪器,拍摄了大量宝贵的天文照片。有人做过粗略统计,哈勃太空望远镜平均每月拍摄近1400幅天文照片,1990—1997年的7年间共计约拍摄了10万张。到目前为止,对哈勃太空望远镜,已经做过两次太空“手术”了。在第二次修理前的7年里,哈勃取得的主要成就包括:增进了人类对宇宙大小和年龄的了解;证明某些星系中央存在超高质量的黑洞;在可见光谱范围内,对宇宙进行了最深入的研究,观察了数千个星系,探测到了宇宙诞生早期的“原始星系”,使天文学家有可能跟踪宇宙发展的历史;清楚地展现了银河系中类星体这种最明亮的天体存在的环境;更清楚地阐述了恒星形成的不同过程;发现木卫二、木卫三的大气层中存在氧气;证明行星形成是普遍现象;证明大爆炸以来,宇宙膨胀并未减慢,而且永远不会停止……

经过两次在轨修理,哈勃太空望远镜开始走向它事业的顶峰。从太阳系的行星大气,到新诞生或将死亡的恒星,直至100多亿光年以外的星系和类星体,哈勃太空望远镜向人们揭示了地面望远镜依稀难辨的细节,使人类辨别天体的能力提高了40亿倍。1997年10月7日美国宣布,哈勃太空望远镜发现了比太阳亮1000万倍的一颗恒星,这可能是全宇宙最大和最亮的星体,有望为了解恒

星的形成和演化提供线索。此后,它又首次观测到超新星气尘环与高速中微子流剧烈碰撞,这一结果对加速了解恒星的形成、演化和衰亡过程及超新星的外围结构意义重大。1998年5月14日美国宣布,哈勃太空望远镜又发现距地球最近的巨大黑洞,10月又说发现迄今最遥远的星系。

除哈勃太空望远镜之外,美国于1991年又发射了康普顿伽马射线望远镜(GRO)。它是目前太空中最敏感的伽马射线探测器,把宇宙射线的可观测范围扩大了300倍,取得了不少成果。1997年底,美国曾借助它观测到了银河系中喷射出来的反物质粒子云,在天文界引起轰动。不过它的灵敏度,还不是很高,美国计划发射更高灵敏度的伽马射线探测器。

除此还有专门用于地球自然资源考察的地球资源卫星(也称时地观察卫星);用于研究气象预报和勘察资源的气象卫星;用于军事目的的军用卫星(包括军用侦察卫星、军用预警卫星、军用导航卫星、地雷卫星等)。从中我们可以看出人造卫星在加速开发人类生存和发展所必须的物质资源、能源和信息等领域有广泛应用。

第四节 载人宇宙飞行

载人飞行是空间技术中的重要组成部分。从1961年4月12日苏联宇航员加加林成功地进行太空飞行以来,至今全世界已有300余人在宇宙空间留下了足迹,其中美国、苏联占有90%以上。载人飞行器目前主要有三种类型即宇宙飞船、空间站和航空飞机。下面简单介绍一下:

一、宇宙飞船

宇宙飞船就是体积大并能载人从事多种实验活动的太空飞行器。目前这种飞船分两种:一种是环绕地球轨道飞行的飞船;一种是脱离地球轨道,以载人登月为目标的飞船(如阿波罗飞船)。

1. 环绕地球飞行的宇宙飞船

首次载人遨游太空的飞船是苏联发射的“东方一号”。它于1961年4月12日,由宇航员加加林乘坐发射入轨,环绕地球一周安全返回地面,从此揭开了载人太空飞行的序幕。直至1963年6月16日,东方二、三、四、五、六号飞船相继发射,有的编队飞行,都获得了成功。继东方号之后,苏联又发射了“上升号”、“联盟号”,共进行了十几次太空飞行和试验。

美国最先上天的载人飞船是1961年5月5日发射的“水星”号。它自1958年10月制定计划到1963年5月间共进行了6次不载人(其中3次失败)2次载物飞行6次载人飞行。飞行目的是考察人在宇宙空间环境中的适应性,并试验飞船上各种工程设备系统的工作性能。美国第二代宇宙飞船是“双子星座”飞船,它自1961年11月计划至1966年11月共进行14次飞行试验,其中三次无人飞行(失败1次)。它所肩负的使命是探索、解决两个飞行器的轨道交会、对接、宇航舱外活动和变轨飞行等问题,为“阿波罗”载人登月做好技术上的准备。在“水星”号和“双子星座”号多次载人实验的基础上,最后终于在1969年7月16日成功地发射了载人登月的“阿波罗”11号宇宙飞船。

2. “阿波罗”宇宙飞船

“阿波罗”11号宇宙飞船经过100小时的飞行,首次在月球上的静海着陆。1969年7月21日格林尼治时间3时51分,“阿波罗”11号指令长阿姆斯特朗首先走出舱门,站在小平台上,面对这个陌生而又满目荒凉的新世界凝视了好几分钟,然后伸出左脚走下扶梯。扶梯5 m高9级,阿姆斯特朗竟花了3分钟!

4时07分,他的左脚小心翼翼地触及月面,而右脚仍留在扶梯上。当他感到左脚陷入月面很浅时,才鼓足勇气将右脚踏上月面。这时,他说出了等待已久的第一句话:“对一个人来说,这是一小步,但对人类来说,这是一次飞跃。”地球上几亿人在电视屏幕上看到了他创造历史的壮举。尼克松总统用无线电话祝贺登月成功:“由于你们的成就,天空已成为人类世界的一部分……大家

为你们的成就而感到自豪。”

18 分钟后, 奥尔德林也登上了月面。他们两人不加选择地挖取一勺土壤样品, 装入塑料袋, 放进裤袋内。

他们身穿宇宙服, 像幽灵一样在月面“游动”。月球的重力只及地球的六分之一, 因而他们在月面上行动并不费力, 只是每走一步所花的时间要比在地球上长。他们在月面上的“行走”, 实际上是像袋鼠那样的跳跃。

阿姆斯特朗和奥尔德林在登月舱附近插上了一面用尼龙丝编织而成的星条旗。通过一根弹簧状金属线的作用, 即使在无风的月面上, 看起来星条旗也好像在迎风招展。他们在月面上留下了一块金属匾, 上面写着: “1969 年 7 月, 地球人在此首次踏上月球, 我们为全人类的和平而来。”然后, 他们又在月面上安装了自动月震仪、激光反射器、太阳风探测器, 采集了 20 多千克的月球岩石和土壤。

阿姆斯特朗和奥尔德林在月面上共停留了 21 小时 36 分, 其中舱外月面活动只有 2 小时 24 分。月面活动结束后, 他们回到登月舱休息和睡觉。醒来后, 他们开始准备飞离月球。月球, 这个不毛之地, 并非久留之地。为了减轻质量, 他们把价值 60 万美元的宇宙服、价值 7 万美元的 3 架摄影机等不需要的东西留在月面上, 也表明地球人“到此一游”。

当地面发出“离开月球”的命令时, 登月舱上升段和下降段之间的爆炸螺栓炸开, 上升段的发动机启动, 上升段脱离下降段而上升进入月球轨道, 并与指挥舱对接。他们回到指挥舱后, 将登月舱分离。登月舱撞击月面, 导致了一次人工月震。

三位宇航员乘着指挥舱返回地球。在返回途中, 阿姆斯特朗高兴地说: “不管你到什么地方去旅行, 回家总是开心的。”他在太空中最后一次对地球观众发表的谈话中说: “一百年前, 法国科幻作家儒勒·凡尔纳写了一本关于月宫旅行的小说, 他的宇宙飞船‘哥伦比亚’号从佛罗里达出发, 结束月宫旅行之后, 降落在太平

洋上。现代的‘哥伦比亚’号一样溅落到太平洋上了。”飞船返回时,尼克松总统亲临太平洋,在“大黄蜂”号航空母舰上迎接他们胜利归来。

“阿波罗”11号宇宙飞船历史性地登上月球之后,人类又曾5次登上月球。世界上共有12人拥抱过月球。

3. 我国的神州号宇宙飞船

1999年11月20日6点30分,我国在酒泉卫星发射中心成功地进行了第一次载人航天飞行试验。江泽民同志为试验飞船题名为“神州”号。该飞船于11月21日3点41分在内蒙古中部地区着陆成功。紧接着,我国于2001年1月10日凌晨,又将自行研制的“神州二号”无人飞船在酒泉卫星发射中心送入太空。该飞船发射10分钟后进入预定轨道,环绕地球108圈,在太空中飞行近七昼夜,于同月16日19时22分,在内蒙古中部地区准确着陆。

“神州二号”所担负的主要任务之一是考核宇航员生命保障系统的工作情况,其二是进行科学实验。实验内容主要有空间生命科学、空间材料、空间天文和空间物理、微重力等领域的多方面有效载荷实验。

“神州二号”宇宙飞船上装有空间晶体生长炉,空间生物培养箱,宇宙天体高能辐射监测仪,大气密度探测器等实验设备60多台件。这是我国首次在自己研制并发射的飞船上进行多学科、大规模和前沿性空间科学与应用研究。

继“神州一号”和“神州二号”发射成功之后,我国又于2002年3月25日和2002年12月30日分别发射了“神州三号”和“神州四号”宇宙飞船,并且都取得成功。更让人高兴的是,在2003年10月15日上午9时成功地发射了“神州五号”载人宇宙飞船,宇航员是杨利伟,真正的实现了载人航天飞行。

二、空间站

进入20世纪70年代以来,美国、苏联、欧空局相继又研制了

一种比宇宙飞船体积更大、宇航员在其中活动更自由、运行时间更长的飞行器,目的是想把地面上的实验室搬到天上去,可以长时间地环绕地球轨道飞行,进行规模更大、项目更多的科学实验考察活动。这种飞行器就叫做空间站。

目前,已发射的空间站有美国的“天空实验室”,苏联的“礼炮号”和“和平号”空间站及欧洲空间局的“太空实验室”等。

1. 天空实验室

“天空实验室”是在“阿波罗”登月计划取得丰硕成果的基础上发展起来的。它有轨道舱、太阳望远镜、过渡舱、对接舱和指挥服务部 5 个部分组成,外加 6 块太阳能电池板。总长 36 m,直径 6.7 m,重 82 t,工作容积 $3\,160\text{ m}^3$ 。它于 1973 年 5 月 14 日由“土星五号”火箭发射入轨,运行了 6 年多,先后接待了 3 批共 9 名宇航员。这些宇航员在实验室里分别生活和工作了 28 天、59 天、84 天,他们用各种仪器进行了一系列的科学实验,拍摄了大量太阳活动照片和地面照片。

2. “礼炮号”和“和平号”空间站

苏联的“礼炮号空间站”比美国的“天空实验室”小得多。全长近 13 m,最大直径 4 m,重约 19 t。但后来苏联在“空间站”发射方面取得的成就大大优先于美国的整体水平,领先于世界。当然它主要依靠空间轨道站来从事研究和实验。从 1971 年 4 月 19 日到 1984 年 3 月,共发射了 7 个“礼炮号空间站”。空间站入轨后,又分期分批发射了载人的“联盟号”飞船与之对接,对接后,宇航员进入空间站进行实验、考察活动,并将上批宇航员接回地面。空间站所需的各种仪器、燃料和生活必需品由“进步”号货运飞船或“宇宙”号供给飞船运送。于 1984 年 2 月发射上天的“礼炮 - 7”号空间站,在 1986 年 6 月完成了预定的飞行和科研计划后,又升高到更高轨道(480 km)上飞行。其中有 3 名宇航员在站上连续飞行 237 天,并 6 次走出舱外。

1987 年 2 月 8 日,苏联宇航员尤里·罗曼年科和另一名单航

员乘“联盟 TM-2”号宇宙飞船进入“和平”号空间站,罗曼年科在空间站工作、生活了 326 天(另一名宇航员因身体不适提前返回),创造了人类在太空连续飞行时间的新记录。

3. 太空实验室

“太空实验室”是由联邦德国、比利时、法国、英国等 10 个国家参加的欧空局费时 10 年、耗资 17 亿美元研制成功的。1983 年 11 月 28 日到 12 月 8 日,“太空实验室一号”由美国航天飞机运载,成功地实现了首航。实验室中可乘坐 4 名宇航员,设计使用寿命 10 年,可重复利用 100 次。太空实验室密闭环境舱提供了比较优良的工作环境,不仅宇航员,就是身体素质好、但未经严格训练的科学家也可在实验室内进行工作和生活。它的实验项目多、范围广。这次飞行时间虽然只有 9 天,但所获得的科学实验资料比美国宇航员在天空实验室 172 天中所获得的资料还要多。

4. 曙光号国际空间站

1998 年 11 月 20 日,俄罗斯在拜科努尔航天发射场用一枚质子号运载火箭,成功地把国际空间站的第一个组件送上了太空。1998 年 12 月 4 日,美国奋进号航天飞机又把节点 1 号舱送入轨道,并对接到曙光号上。

曙光号舱直径约 4.1 m,长约 12.5 m,太阳能帆板展开后“翼展”可达将近 24.4 m。它的前部有 1 个大型球形对接体,其上带 3 个对接口;后部有一个对接口。美国的所有设备以及欧洲和日本的所有舱段都将从前部对接体向外发展。俄罗斯的其他设备将对接到后边的对接口上。整个空间站预计 2005 年前后才能建成。建成后的空间站将重 426 t,跨度为 108.5 m $\times$ 88.4 m。

三、航天飞机

用运载火箭发射人造卫星、宇宙飞船,都是一次性使用,耗资巨大。空间科学家便设想将航空与航天结合起来,研制一种能经常往返于太空与地面的运载工具。到 20 世纪 70 年代末,这种设

想终于向它的实现迈出第一步,航天飞机研制成功。

1. 第一架航天飞机

1981年4月21日,世界上第一架航天飞机“哥伦比亚”号在美国升起,在近地轨道运行了54个小时后,安全返回地面。

“哥伦比亚”号航天飞机全长56.14 m,高23.34 m,起飞时质量为2 000 t。它由上下两级组成,上面一级为轨道飞行器,下面一级为助推器。

轨道飞行器是航天飞机的核心部分,外形酷似飞机,全长37 m,起落架放下后,总高度为17 m。它分前中后三段。前段是乘员座舱,下部装有在飞行过程中可以收起的起落架。座舱分上中下三层。上层是驾驶台,装有指示和控制的仪器,可以进行飞行指挥,检查其他部件和有效载荷。通过仪器设备,可以将有效载荷移动或运出载荷舱,推入太空或重新回收。驾驶台同现代民航飞行很相似,驾驶员和副驾驶员各有一个座位,关键操纵设备有双份,两人可以同时操作。一旦有一套操纵设备失灵,另一个驾驶员可单独操纵,返回地面。中层是航天员及随行的科学家的卧室。下层是机房,安装有空调系统和供给系统,以确保座舱内气温、湿度、气压与地面上相同。轨道飞行器的中段由机翼和货舱组成。货舱特别宽,一次可容纳两颗大型的人造地球卫星。轨道飞行器的后段除装有三台主发动机和两台机动发动机外,还有能控制飞行姿态和稳定飞行的发动机。

助推器由两个固体火箭助推器和一个推进剂外贮存箱组成。固体火箭助推器长45 m,直径3.7 m,装有500多吨固体燃料,能产生1 300 t推力,可重复使用20次。外贮存箱长47 m,直径8.4 m,可装700 t液氧、液氢推进剂。

航天飞机飞行到50 km高度时,固体火箭助推器分离,溅落在海洋中,然后地面人员用船只将它拖上岸,供下次再用。航天飞机飞行到109 km高度时,外贮存箱中的燃料耗尽,轨道飞行器与助推器分离,此时轨道飞行器的速度为7.5 km/s。轨道飞行器与助

推器分离后,靠其本身的机动发动机推动进入预定的近地轨道,开始执行各种航天任务。任务完成之后,启动发动机,使其脱离原来的地球轨道,高度逐渐降低,再入大气层。在大气阻力的作用下,速度逐渐减小,在大气中作无动力滑翔飞行,最后,像普通喷气客机那样滑翔着陆。

2. 航天飞机的应用

航天飞机的用途很广泛。它能发射各种卫星,即在起飞前将卫星装入货舱内,当进入地球轨道后用机械装置将卫星抓起,送入太空。这种发射方式,不仅简化了卫星发射程序,还可降低发射成本。如果卫星出了毛病,航天飞机可以把它抓回货舱,进行修理,然后再送入太空。

航天飞机上装有各种科学仪器和设备,从而成为一个太空实验室。科学家可以在此进行各种科学研究,他们可以利用太空的特殊环境,完成一些在地面上难以完成的科学实验。

航天飞机还可以进行军事侦察,执行各种军事任务。

第五节 行星际探测

利用现代空间科技成果,从地球向各行星发射探测器,是20世纪60年代初开始的。目前使用的行星探测工具叫宇宙探测器或深空探测器,是地球飞往太阳系各大行星或飞出太阳系的一种探空装置。世界上现有的宇宙探测器都是美国、苏联两国先后发射的。30年来,已有近40多个宇宙探测器成功地飞往太阳系各大行星,并在金星、火星降落,收集到不少宝贵的资料,但尚未发现任何生命现象。其中,美国发射的探测器主要有“水手”“海盗”“先锋”“旅行者”四种。苏联发射的探测器主要有“金星”和“火星”两种。

一、“水手”宇宙飞船

“水手”是美国最初飞往水星、金星和火星的行星际飞行器,

获得了大量科学资料,但未能在这类行星上着陆。

1965年,美国派出“水手”4号宇宙飞船,它在距火星表面大约10 000 km的地方飞过,发回了22张火星照片。这是人类第一次在比较近的距离上看到火星的真面貌。

1969年,美国先后派出了“水手”6号、“水手”7号宇宙飞船,它们在距火星表面大约3 000 km的地方飞过,发回了200张火星照片。

1971年,美国又派出了“水手”9号宇宙飞船,可是正当它进入围绕火星飞行的轨道,成为火星的第一颗人造卫星的时候,火星上风云突变,刮起了风暴,什么也看不清。直到1972年2月,它才发回资料。科学家根据“水手”9号宇宙飞船发回的资料,给出了一幅火星地图。

二、“海盗”宇宙飞船

“海盗”是在“水手”的基础上发展起来的,专门用来探测火星的飞行器,它由轨道飞行器和着陆器两部分组成。

1975年,美国派出了“海盗”1号宇宙飞船,它飞了11个月,行程 6.8×10^{12} km,在火星的“黄金平原”上着陆。在“海盗”1号宇宙飞船上天没多久,“海盗”2号宇宙飞船接踵而去,并在火星的“乌托邦平原”着陆。这两艘宇宙飞船拍摄到了火星的照片,测量了火星大气的湿度和火星表面的温度,研究了火星表面的特征,分析了火星表面的土壤,测量了风速,探测了火星的星震。它们测得了大量的资料,并用无线电将这些资料发回地球。

人们期待“海盗”号宇宙飞船送来有关火星人的喜讯,但结果是令人失望的。在火星上不仅没有发现火星人的踪迹,甚至没有找到任何生命的踪迹。火星只不过是一个干燥寒冷、荒凉的世界,遍布着沙丘、岩石和火山口。传说的“运河”只是一些排列成行、靠得比较近的火山口。那极冠只不过是二氧化碳冷凝成的干冰。火星像南极那样寒冷,像撒哈拉大沙漠那样干燥。它上面的峡谷之大使

地球上的大峡谷相形见绌。火星上的山峰要比珠穆朗玛峰高几倍。对人类来说,这种环境实在太冷酷了。

三、“先锋”星际宇宙飞船

1972年,美国派出了“先锋”10号星际宇宙飞船。它们分别飞过木星、土星,未发现木星人、土星人的蛛丝马迹,便离开太阳系,进入银河之中。

“先锋”10号和11号星际宇宙飞船肩负着重大的使命。它们都带着人类给宇宙的“慰问信”——宽15 cm,长23 cm的金属标记牌。标记牌上面刻画着一对裸体男女,标志着地球上有人,男人举起右手,表示向宇宙人致以亲切的问候。在他们的背后,是这艘宇宙飞船的外形图。金属牌下面的10个圆圈(表示太阳系,左面最大的是太阳)和一艘小的宇宙飞船表示携带礼物的这艘宇宙飞船是从太阳系内的地球上出去的。金属牌左面部分是表示地球上的人类所认识的物理学和天文学,最上面的两个圆圈表示地球上的氢分子结构。让宇宙飞船携带金属牌的目的是让宇宙人看到地球人的形象并希望宇宙人能按照金属牌上表示的位置来寻找我们。

四、“金星”、“火星”探测器

苏联在行星际空间探测方面,注意力集中在金星和火星上。

苏联的金星七号、九号、十号、十一号、十二号,都在金星表面软着陆成功。从传回的照片上发现金星上有剥蚀的花岗石。

苏联的“火星三号”重达4.5 t,其着陆舱形如宫灯,于1971年12月首次在火星表面实现软着陆,发回了许多探测资料。从资料中可以看出火星空气稀薄,气候寒冷,气温范围大约是 $-85 \sim -30$ 。火星土壤并没有微生物,二氧化碳虽然很多,却没有找到有机分子,没有任何生命迹象。

五、“旅行者”宇宙飞船

1977年,美国派出了“旅行者”1号和“旅行者”2号宇宙飞船,飞向离太阳系更遥远的宇宙深处。它们都载有一台特别的电唱机和一张名为“地球之音”的镀金唱片。这张唱片一次可播放2个小时。唱片记录的是地球上各种具有典型意义的信息,包括116张图片、35种地球自然界的音响、27种世界名曲、近60种语言的问候语、一段联合国秘书长的口述录音以及美国总统签署的一份电报。

唱片一开始是116幅图,图的表现形式是编码信号。这些图分别介绍了太阳系在银河系中的位置及概况,地球和地球大气层的结构成分;人体图解,细胞中的脱氧核糖核酸、染色体;海洋、河流、沙漠、高山、大陆、花草、树木、昆虫、鸟、兽和海洋生物;一片下雪的景象;牛顿著的《世界体系》中说明怎样把一颗炮弹射入弹道的插图;一幅日落图;一个弦乐四重奏乐团;一把小提琴与贝多芬降B大调第十三弦乐四重奏总谱中的一页,该乐曲的实际演奏情景,还有各国风土人情、科学与文明的成就,例如飞机、火车、联合国大厦、旧金山的金门桥、印度的泰姬陵、中国的长城、中国人吃饭的情况。

接着是美国总统签署的电文。电文前有一段说明:“‘旅行者’1号宇宙飞船是美国制造的。地球上住有40多亿人,我们是其中一个拥有2.4亿人口的国家。我们人类虽然分成许多国家,但这些国家正迅速地变为一个单一的文明的世界。我们向宇宙发出的这份电文,它大概可以存在到未来的10亿年。到那时候,我们的文明将发生深远的变化,地球的表面也可能发生巨大的变化。在银河系2000亿颗恒星中,有一些,也许有很多,可能是有人居住的行星和文明世界。如果这些文明的人类截获到‘旅行者’探测器,并能懂得这些记录的内容,那么下面就是我们的电文。”

联合国秘书长瓦尔德海姆口述的录音是:“作为联合国的秘

书长,一个包括地球上几乎全部人类的 147 个国家组织的代表,我代表我们星球的人民向你们表示敬意。我们走出我们的太阳系进入宇宙,只是为了寻求和平和友谊。我们知道,我们的星球和它的全体居民,只不过是浩瀚宇宙中的一小部分。正是带着这种善良的愿望,我们采取了这一步骤。”

近 60 种语言的问候词包括了世界上几乎所有的语种,其中除我国的标准普通话外,还有我国的广东话、厦门话和客家话。还有一对鲸的热情叫声,代表其他生物的“问候”。

唱片录下了 35 种地球自然界的音响。开始是令人耳晕的回旋声,象征地球围绕太阳在运行,然后是地球混沌初开时的巨响,接着是汇成海洋的暴雨声,再后来是生命的发生,从冰川时代的寒风呼啸中传来的人类声音。还有火山爆发的巨响,海浪的拍击声,火箭、飞机的巨响,各种鸟鸣、狗叫、兽吼,人的笑声、婴儿的哭声,甚至人的呼吸声、脉搏声以及宇宙噪声。

唱片中录下的各种代表地球上不同地区、不同民族的音乐,有巴赫、贝多芬、莫扎特的名曲,还有西方的爵士音乐、摇摆舞曲,其中还有中国的京剧和用古筝演奏的中国古典乐曲《高山流水》。

“旅行者”号宇宙飞船肩负人类的期望,正在茫茫宇宙中寻找宇宙人。但是,至少要等上几十万年才有可能遇上宇宙人;一旦遇上宇宙人,把这消息传回给地球,又要过几十万年。所以,只有我们的后代才有可能看到这个结果。

六、星际探测的新进展

1998 年 3 月 5 日,美宣布勘月者探测器证实月球上确实存在水(冰),并初步测算出月面上水的总储量可能在 $1.1 \times 10^8 \sim 3.3 \times 10^8 \text{ t}$ 之间。9 月 4 日美国航宇局又宣布,月球两极可能存在 $10^9 \sim 10^{10} \text{ t}$ 的水(冰),引起了人们极大的兴趣。因为水可用于未来载人登月的生活需要,栽种农作物,还能分解出氢和氧,为空间探测器提供燃料,它将使开发月球和行星探测变得更为容易。

1996 年 11 月 7 日和 12 月 4 日美分别发射了火星全球勘测者和火星探路者探测器,取得了出人预料的收获。火星探路者于 1997 年 7 月 4 日在火星着陆,利用无人遥控漫游车进行了考察。它发回了蔚为壮观的火星全色全景照片,使人类对火星地表的景观有了直观的认识,深入了解了火星气候,对火星岩石和土壤也有了初步的了解,找到一些“火星生命说”的证据。1998 年 3 月 4 日美宣布,火星探路者停止工作。

火星全球勘测者是 1997 年 9 月 11 日进入预定轨道的。这一轨道使探测器可以飞到离火星表面 125 km 的地方,探测器上的照相机能饱览火星地貌,并已意外获得大量火星数据,其中包括一块面积有南大西洋那么大的沙暴照片。它还发现火星上存在强磁体。这一发现对正确认识火星的演化历史,探明火星上究竟有生命存在的条件具有极其重要的价值,从探测器上的激光高度计获悉,火星上有海洋的遗迹,火星北半球存在太阳系中最平整的表面,其他区域则是古代高原。它发现了火星上敞着口的峡谷。它的照片揭示了火星地质层的构成。火星全球勘测者仍在继续绕火星飞行,进行探测工作。它载有 7 台探测器,主要观测火星的大气、气温、地表、有无水的存在、磁场、生命痕迹等。2003 年 6 月 10 日和 7 月 7 日,美国发射了“勇气”号和“机遇”号火星探测器,获得了许多火星上存在水的证据。2005 年,美国还拟用飞船把火星样品运回地球进行分析,以最终确定火星上是否曾经存在生命。

行星际探测是人类空间技术发展的重要方面。目前的探测已向外行星发展。不久的将来,人类不仅继续发射太空探测器,而且将乘坐行星际飞行器,脱离地球的引力场,直接飞向其他行星,实现行星际航行。

参 考 文 献

1. 宗占国,马骥良. 高技术概论. 北京:学苑出版社,1996
2. 庄逢甘. 摆脱地球的羁绊. 上海:上海科技教育出版社,1995

第七章 新能源技术

能源是产生各种能量的资源,是人类生存和发展不可缺少的物质基础,它的开发和利用状况是衡量一个时代、一个国家经济发展和科学技术水平的重要标志,直接关系到人们生活水平的高低。长期以来,人类大量使用煤炭、石油和天然气等化石能源,不仅使这些有限的资源日益枯竭,而且对环境造成严重污染,人类已面临能源与环境的双重挑战。因此,世界各国都在研究开发利用清洁和可再生的新能源,以求人类的持续发展。

第一节 常规能源及人类面临的能源挑战

一、能源的分类

按能源的来源可分三类:

第一类是来自地球以外天体的能量,其中最主要的是太阳的辐射能。除了太阳直接照射到地球的光和热外,还有煤炭、石油、天然气,以及生物质能、水能、海洋热能和风能等,都间接地来自太阳。第二类来自地球自身的能源,其中一种是地球内部蕴藏着的地热能,常见的地下蒸汽、温泉、火山爆发的能量都属于地热能。另一种是地球上存在的铀、钍、锂等核燃料所蕴含的核能。第三类是由于地球和其他天体相互作用而产生的能量如潮汐能等。

如按能否从自然界中得到补充,能源又分成可再生和非再生两类。太阳辐射能、水能、生物质能、风能、潮汐能、波浪能和海洋热能等都是能不断地再生和得到补充的能源,称为可再生能源。而煤炭、石油、天然气等化石燃料和铀、钍等核燃料,都是亿万年以前遗留下来的,无法得到补充,称为非再生能源。

根据利用能源的形态不同,可将能源分为一次能源和二次能源两类:一次能源是指直接取自自然界而不改变它的形态的能源,如煤炭、石油、天然气、柴草、地热和风力等都属于一次能源范畴。二次能源是指一次能源经人为加工成另一形态的能源。如电能、热水、蒸汽、煤气、焦炭以及各种石油制品及生产中的余能和余热都属于二次能源范畴。

根据应用范围、技术成熟程度等条件又可将能源分为常规能源和新能源两类。煤炭、石油、天然气、水能、核裂变能都已得到大规模经济开发和利用,被称为常规能源,而太阳辐射能、地热能、风能、海洋能、核聚变能、潮汐能、生物质能和氢能等都是正在开发研究中的能源,尚未得到经济开采和利用,被称为非常规能源,又叫新能源。人类利用能源的历史,就是不断进行能源更换的历史,也是人类发展和社会进步的历史。

二、常规能源

常规能源包括煤炭、石油、天然气、水力及核电,它们在目前能源结构中占主要地位。煤炭、石油、天然气均属化石燃料,它们分别是古代植物和低等动物的遗体在缺氧条件下,经高温高压作用,经漫长的地质年代演变而成的。

1. 煤炭

煤炭的化学成分主要是碳、氢、氧和氮,一般碳占 60% ~ 90%,氧占 4% ~ 8%,热值约 $1.08 \times 10^7 \sim 3.34 \times 10^7$ J/kg,可作为燃料和化工原料,素有“乌金”之称。我国是世界上最早利用煤炭的国家,英国在 9 世纪、德国在 10 世纪先后发现煤炭。18 世纪 60 年代从英国开始的产业革命,促使世界能源结构发生第一次大转变,即从薪柴转向煤炭。1765 年瓦特发明了蒸汽机,1825 年世界第一条铁路通车。蒸汽机的推广,冶金工业兴起,铁路及航运的发展,使煤炭成为整个 19 世纪资本主义工业化的动力基础,形成了以煤炭为主要能源的时期,煤炭占能源结构比例在 70% 以上。

从 20 世纪 20 年代开始 ,世界能源结构发生第二次大转变 ,即从煤炭转向石油和天然气。到 20 世纪中叶以后 ,世界各工业国家能源消耗以石油和天然气为主。

世界探明煤炭可开采储量近 10^{12} t ,比石油资源丰富得多 ,中国可采储量 1.7×10^{11} t。人类已经历了两次能源转换 ,如今 ,面对“石油危机”的影响 ,许多国家又把希望寄托于煤炭 ,煤炭在能源结构中又呈再升趋向。在今后几十年内可大量增产弥补石油不足的能源是煤炭 ,它是过渡到 21 世纪以核能及可再生能源为主的未来能源时代的桥梁。

鉴于未来能源结构中煤炭仍占有很大比重 ,各国对洁净煤技术的研究与推广都很重视 ,它包括煤炭利用各环节的净化和减少污染技术 ,主要有 :

燃烧前技术 :选煤(常规选煤、高效物理选煤、化学选煤、微生物脱硫) ,型煤(工业型煤、民用型煤、特种型煤) ,水煤浆(普通水煤浆、精细水煤浆)。

燃烧中的技术 :低污染燃烧 ,燃烧中固硫 ,流化床燃烧 ,涡旋燃烧。

燃烧后的技术 :烟气净化 ,灰渣处理。

转换技术 :煤气联合循环发电、城市煤炭汽化、煤炭地下汽化 ,煤炭液化、燃料电池、磁流体发电。

简单介绍煤的汽化和液化 :

煤的汽化 :煤在一定的温度和压力下 ,通过汽化剂以一定流动方式转化成可燃气体的过程。煤气中有用成分是 H_2 、 CO 、 CH_4 等 ,用空气和水蒸气作汽化剂制得低热值煤气 ,用氧气和水蒸气作汽化剂可制得中热值煤气 ,中热值煤气经甲烷化可制得高热值煤气 ,即代用天然气。煤炭汽化可将所有种类的煤转化为用途广泛(民用煤气、化工合成原料气、工业燃料气)的气体产品。

煤的液化 :有直接液化法和间接液化法。

直接液化是煤在适当的温度和压力下 ,催化加氢裂化成液态

烃、在反应过程中脱除氮、氧、硫等,20世纪80年代又开发出两段催化加氢液化新工艺,目前还均处在试验阶段。

间接液化是利用煤炭汽化产品为原料气,经净化后进行改质反应,调整 H_2 与 CO 之比,制成液体产品。煤炭的汽化、液化可提高煤的利用效率,也可减少污染。

2. 石油

石油的主要成分为碳氢化合物和少量氧化物、硫化物等混合物。碳占 84% ~ 87%,氢占 11% ~ 14%,密度在 $0.65 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$,热值达 $4.096 \times 10^7 \sim 4.514 \times 10^7 \text{ J/kg}$ 。用蒸馏和裂化等方法可提炼出汽油、煤油、柴油、重油等不同沸点的石油产品,是宝贵的非再生能源。

人类利用石油已有悠久的历史,后汉班固所著的《汉书》曾记“高奴有洧水,肥可燃”。二千多年前我们祖先就利用石油点灯做饭。1859年,美国人德莱克在宾夕法尼亚州用七马力单缸发动机钻成日产 5 000 L 的石油井,由此揭开了石油开采的序幕,接着,苏联开发了巴库油田。1854年,美国的西利曼建立了最早的石油分离装置,分离出煤油和汽油。19世纪末,新型热机的出现,即内燃机的普遍使用,尤其是航空事业的发展,促进了石油炼制工业的发展。石油需求量的剧增促进了勘探、开发和炼制技术的进步,也使石油产量大增,到20世纪,有些国家能源结构转换到以石油为主。

目前世界已有 100 多个国家产油,世界探明可开采储量约 10^{11} t ,主要集中在中东地区。石油是现代工业的重要支柱,被称为工业生存的血液,是优质能源。需求量不断增大但储量却极为有限,迫使人们不得不另寻佳径。

(1) 积极开发海底石油 早在 19 世纪末期,就在海底发现了石油,20 世纪 60 年代开始勘探开发,目前,浅海石油日产量在 10^6 t 以上,已占世界石油日产量的 17%。

海底石油开采,目前主要在大陆架的浅水海域,但是,经海洋

调查发现,在那些分布着第三纪沉积层的大陆坡、陆基和海洋盆的深水海域具有很大的潜力,所以,海底油田不仅在水深只有 300 m 的大陆架上开采,而且出现了在更深海底采油的动向。美国、日本等国家开始建立海底采油装置与海上贮油槽联结一起的一种管道系统,即深海底石油生产系统。日本通产省也正在建立独自の深海底石油生产系统。

我国东临太平洋,大陆架面积为 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$,在辽阔的近海海域,分布着 16 个以新生代沉积为主的中、新生代沉积盆地,它们具有面积大、沉积快、厚度大、有机质丰度高、有机质热位化条件好、储集层发育和圈闭类型多等油气地质条件,具有很大的石油潜在能力。(详细情况可参见海洋技术一章)。

(2) 由煤炭生产石油 煤炭和石油都是以碳和氢为主的化石燃料,主要区别是氢的含量不同,石油含 11% ~ 14% 的氢,煤含 4% ~ 8% 的氢。煤经液化后可相应分馏出各种石油产品。

(3) 从植物中提取石油 某些植物分泌的液体,稍经加工便可作燃料使用,如我国海南的油楠树。另外,用木材加工石油在英、美等国已初步达实用阶段。

(4) 从废垃圾中提取石油 这是变废为宝,一举多得的好办法。日本研究人员用 1 kg 废塑料制成 0.5 L 汽油、0.5 L 煤油和 0.5 L 柴油,加拿大废水处理中心建立一个以粪便为原料提取柴油的工厂,目前替代石油的各种办法都在探索中。

3. 天然气

天然气是可燃的低相对分子质量的烷烃气体混合物,主要成分是甲烷、乙烷和少量的丙烷、丁烷,可用作燃料和化工原料。

天然气具有燃烧时不产生灰渣、产生二氧化碳量少(比石油少 50%,比煤炭少 75%)、使用方便(可液化,也可经管道输送)、开采成本低等优点,近些年消耗量上升,占世界能耗的 20%,1993 年世界探明可采储量 $1.28 \times 10^{14} \text{ m}^3$,各国在开发海上石油的同时,也在积极开发海洋天然气,海洋天然气产量已占天然气总产量

的 20%。

4. 水力

水能是天然水流的位能和动能,地球上的水在太阳辐射下受热蒸发,水汽上升到高空成为云,在一定条件下凝成雨、雪落到地面,汇集成江、河,形成循环不息的无污染的可再生能源。人类开发利用水能历史已久,水轮机是最早使用的机械发动机。但水能利用长期发展缓慢,一是受煤炭大量使用的冲击,另外只能在河流旁边使用,限制了它的发展。

随着水轮机技术的改进,尤其是发电机和输电技术的发展,水力发电已成为电力能源的重要组成。水力发电是让水冲击水轮机旋转,带动发电机发电。

1878 年法国建成了世界上第一座水力发电站,目前,美国是开发水力发电最多的国家,据 1992 年统计,已建成常规水电站 2 304 座,装机共 73 490 MW。

我国水力资源居世界第一,可开发量达 3×10^8 kW,主要分布在西南部地区,但目前开发的还不多,至 1991 年,总装机容量 3.788×10^7 kW,最大的水电站是葛洲坝水利枢纽工程,装机 2.715×10^6 kW,年发电量 1.4×10^{10} kW·h。正在修建的长江三峡水利工程是充分开发水能利用的典型,具有防洪、发电、航运、供水等多种功能。设计安装 68×10^4 kW 机组 26 台,年发电量 8.4×10^{10} kW·h,是世界最大的水电站。2003 年 6 月 25 日,三峡电站首批发电二号机组发电机带负荷运行 55 min 试验成功。我国水电开发采取大、中、小并举的方针,重点是黄河上游、长江中上游和澜沧江等,预计到 2020 年我国水电装机可达 1.8×10^8 kW,2020—2050 年再开发 1.1×10^8 kW,到那时,可开发水能资源基本开发出来,达到 2.9×10^8 kW,我国的水电发电量将雄踞世界首位。

据 1987 年勘查,我国常规能源储量如下:

煤炭:保有贮量 8.594×10^{11} t

精探贮量 $1.7 \times 10^{11} \text{ t}$

石油 资源量 $7.88 \times 10^{10} \text{ t}$

探明贮量 $1.37 \times 10^{10} \text{ t}$

天然气 资源量 $33.3 \times 10^{13} \text{ m}^3$

可采量 $1.0 \times 10^{13} \sim 1.65 \times 10^{13} \text{ m}^3$

水能 : 蕴藏量 $6.8 \times 10^8 \text{ kW}$

可开发量 $3.7 \times 10^8 \text{ kW}$

我国虽能源储量丰富 , 但人均拥有量还属资源缺乏的国家。

三、人类面临的能源挑战

1. 非再生能源资源面临枯竭的危险

据世界能源会议 1992 年大会期间提出的《1992 年能源资源调查》, 对世界各国 1990 年的资源调查和产量作了统计。

煤炭 : 世界各国煤炭探明共可采储量 , 烟煤和无烟煤 $5.214 \times 10^{11} \text{ t}$, 次烟煤和褐煤 $5.177 \times 10^{11} \text{ t}$, 合计 $1.0391 \times 10^{12} \text{ t}$, 1990 年产量共计 烟煤和无烟煤 $3.314 \times 10^9 \text{ t}$, 次烟煤与褐煤 $1.435 \times 10^9 \text{ t}$, 合计 $4.749 \times 10^9 \text{ t}$, 还可开采 219 年。

石油 : 世界各国原油探明可采储量共计 $1.348 \times 10^{11} \text{ t}$, 1990 年原油产量 $3.016 \times 10^9 \text{ t}$, 还可开采 44 年。

天然气 : 世界各国探明天然气可采储量共计 $1.2885 \times 10^{14} \text{ m}^3$, 1990 年净产量 $2.135 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 还可开采 60 年。

铀资源 31 个国家铀资源探明可开采储量是每千克 80 美元以下的共 $1.41 \times 10^6 \text{ t}$, 每千克 80 ~ 130 美元的共 $6.7 \times 10^5 \text{ t}$, 合计 $2.08 \times 10^6 \text{ t}$ 。 1990 年产量 $3.18 \times 10^4 \text{ t}$, 还可开采 65 年。

从总体看 , 虽然今后会有新的探明储量 , 由于现代社会对能源需求越来越大 , 能源短缺将是人类面对的实际问题。

2. 直接燃烧化石燃料对环境构成严重威胁

燃烧化石燃料给环境造成的危害是当今世界性的严重问题。常规能源的生产和利用是产生公害的重要原因。

化石燃料在燃烧过程中都要产生二氧化硫、一氧化碳、烟尘、3,4-苯并芘、放射性飘尘、氮氧化物以及二氧化碳等。这些排放物中,3,4-苯并芘是致癌物质,二氧化硫和氮氧化物会形成酸雨,使植物死亡,饮水变质。二氧化碳是造成温室效应,使地球温度升高的罪魁祸首。尤其是煤炭的燃烧,危害最大。20世纪五六十年代伦敦有“雾都”之称,就是由于大量使用煤炭造成的。

厄尔尼诺气候现象根本原因是有待于科学家们继续研究,但气温上升造成气候紊乱,破坏生态平衡。而气温上升是与现行能源结构有关。现在发达国家改变能源结构比例,减少煤炭消耗,使本国环境质量得到改善,但是发展中国家的一些城市却变得越来越脏,比20世纪50年代西方国家的情况还严重。

我国是煤炭大国,煤炭占能源消费的比例达76%,燃煤排放到大气的烟尘和二氧化硫分别占总排放量的73%和90%,如果气象条件出现不利情况,也会出现伦敦事件的情况。

酸雨会使大片森林毁灭,使农作物减产,使桥梁、建筑物受侵蚀,全国环境污染造成的经济损失达每年800~1000亿元。

常规能源中煤、石油耗量的增加导致大气中二氧化碳浓度相应增加,使全球气温随之升高,19世纪末,全球平均气温为14.5℃,目前已达15℃,如果不限制二氧化碳的排放量,到21世纪中叶,预测地球平均气温还将升高到17~18℃,到21世纪末,可能达到20多度。全球气温继续升高变暖,将危及人类的生存。它将造成海平面升高,淹没大片陆地;农业生产条件的发生变化,引起农作物大迁移而使农作物大幅度减产。全球变暖是十分有害的自然变化现象,1992年在“联合国环境与发展大会”上,人们对全球暖化问题进行了认真探讨。会议对造成全球变暖的重要根源之一的能源问题,提出了相应对策,并对能源结构变革寄予厚望,确定极力减少使用有污染的化石燃料,积极开发非炭能源、尽可能减缓全球暖化的程度和推迟缓化时间,为创造优美、文明、平衡的适于人类生存发展的生态环境而努力。

第二节 核 能

核能俗称原子能,它是指原子核发生裂变或聚变时所放出的能量。核能分为两类,一类叫核裂变能,是指重元素(铀或钚等)的原子核发生裂变时放出的能量。另一类叫聚变能,是指轻元素(氘和氚)的原子核发生聚变反应时放出的能量。

核能有巨大的威力,一座 1 000 MW 的核电站,每年只需 25 ~ 30 t 低浓度铀核燃料,而相同功率的火电站,每年则需要 300 多万 t 煤炭。

地球上蕴藏着数量可观的铀、钍等核资源,如果把它们的裂变能充分利用起来,可以满足人类上千年的能源需求。

在大海中蕴藏着 2×10^{13} t 氘,如果把其聚变能充分利用,可以满足人类百亿年的能源需求。

核能是人类解决能源问题的希望。截止 1993 年 12 月,全世界已有 34 个国家或地区 422 座核电站在运行,正在建造核电站(堆)61 座(堆),核发电量占世界总发电量的 17% 以上,随着核电事业的发展,这个比例还将继续提高。

一、核裂变能

核能的发现,是与人类认识原子核内部结构以及它们的质量与能量关系联系在一起的。大家知道,一切物质都是由原子组成,原子由居于中心带正电的原子核与核外带负电的电子组成。原子核体积很小,只占原子体积的千亿分之一。原子核由不同数量的质子与中子组成,质子与中子统称为核子,核子间靠核力紧密结合在一起。把这种使核子凝聚在一起的能量称为“结合能”,原子只有在受外力作用时,才能释放出能量。

1898 年 12 月,波兰科学家居里夫人发现放射性元素镭,并发现镭在蜕变时伴随着能量的释放。

后来,人们又发现用高速运动的带电粒子轰击原子核可使能

量释放出来,但命中率太低,直到1938年12月22日德国放射化学家哈恩和奥地利籍犹太人迈特纳两位科学家在《自然科学》上发文确认,铀核在中子的轰击下分裂成了质量相近的两块碎片,并计算出,反应过程中释放出2 MeV的能量,与此同时,居里夫人的女儿伊伦·约里奥·居里和费米等人立即着手从裂变中寻找自由中子并几乎同时得到肯定的答案。他们发现用中子轰击铀原子核,除产生两个裂变原子核并释放出能量外,还会产生出两三个新的中子来,这两三个中子再轰击两三个铀核,再分裂出更多的中子来,如此按几何级数陡增的中子可使铀核瞬间全部分裂,称此为“链式反应”过程,在这过程中,失去的质量转变为巨大的能量释放出来,即核能。“链式反应”的发现为人类利用核能开辟了通路。原子核能的开发和利用就是在这样的基础上产生和发展起来的。

1905年,爱因斯坦提出质能关系式,从理论上预示了核能利用的可能性,1938年发现链式反应为核能利用打开了大门。核能的成就虽然首先用于军事目的,但其后就实现了核能的和平利用,最主要的是通过核电站发电。

在核能利用上,不希望铀核一下子都裂变掉,要有控制地按要求进行裂变,需要设计特殊的可受控制的反应装置——原子核反应堆。由于控制方法不同,有几种不同的堆型。本书主要介绍第一代堆型热——中子转换堆和第二代堆型——快中子增殖堆。

1. 热中子转换堆

由于热中子易引起铀-235裂变,比较容易控制,目前大量运行的都属这种堆型,它是通过子核与快中子弹性碰撞,将快中子慢化成热中子。热中子堆利用低浓度浓缩铀为燃料。按慢化剂和冷却剂的不同,热中子堆又分为轻水堆(包括压水堆、沸水堆)、重水堆和气冷堆。轻水堆技术上比较成熟,用净化的普通水做慢化剂和冷却剂,分为两类:压水堆型和沸水堆型。压水堆型,热量是通过一次冷却介质带出堆芯传给二次冷却介质进行工作,比较安全,

放射性物质不易被带出一次冷却介质之外,是最常用的堆型。核反应堆芯里的轻水,是非常重要的输送热能、保障安全的组成部分,如果堆芯温度不降低就可能发生严重事故,所以一次冷却回路、二次冷却回路都不许发生故障。压水堆核裂变速度由中子数目多少来控制。用铪或银铟镉特种合金控制棒插入核燃料堆芯的深度来控制其吸收中子的多少达到控制裂变速度的目的。

重水堆使用重水作为中子减速剂和冷却剂,重水即氧化氘(D_2O),其提取获得很复杂,故重水堆推广不普遍。但它可使用富铀天然铀为燃料,燃料利用率高、连续工作时间长,不必停机更换燃料,是一种安全、经济型堆型。

气冷堆利用气体(氦气)冷却反应堆,慢化剂采用石墨。是公认的固有安全性反应堆,应用有两种形式,即发电同时采用抽气供热,另一种方式低温低压运行只供热不发电。

2. 快中子增殖堆

热中子堆,是目前实用的第一代核反应堆。都要以天然铀中只含0.7%的铀-235作为基本燃料,在反应中,大部分铀-235裂变,只有一部分铀-238吸收中子转换成核燃料钚-239,实际只把天然铀中1%~2%的能量利用了,燃料利用率太低。解决这个问题现实可行的办法是发展快中子增殖核反应堆,简称“快堆”。快堆相当于把核燃料的利用率提高50~60倍。

快堆显著特点是直接靠核裂变产生的快速中子维持链式裂变反应,不设慢化剂,只设冷却剂(钠或氦)。它以钚-239作燃料,每裂变一个钚-239原子能够使铀-238吸收中子后新产生出1.4个钚-239原子,快堆开动起来以后,会不断地有铀-238吸收中子变成钚-239,只要继续填加热堆中不能作燃料的铀-238贫料,经过一段时间(例如15~20年)就可以从燃料的“灰烬”中提取足以装备与自身功率一样大的新堆所需的钚燃料。

30多年来,一些发达国家投入大量人力、物力,耗资几十亿美元发展快堆,目前全世界共有21座快堆,正在运行的有13座,电

功率为 1 200 MW 的大型商业验证快堆正在法国运行,快堆技术已从实验阶段步入工业化生产,是 21 世纪初核电的主要堆型,目前虽有些技术尚未成熟,但随着技术进步,是替代第一代堆型的理想堆型。

我国开发核电的成绩令世人瞩目,我国自行设计建设的秦山核电站(装机 300 MW)1983 年 6 月 1 日动工,1991 年 12 月 15 日第一期工程建成,正式并网发电。广东大亚湾核电站(900 MW)1992 年 1 月 2 日试运转成功,1993 年 8 月正式投入运行。秦山核电站是压水堆型反应堆,经国际原子能机构专家组检查,结论是完全符合国际标准的、十分优质、可靠的先进核电站,已经达到世界先进水平,完全可以保证正常运行生产。

二、核聚变能

核聚变能是利用轻原子核(氘—氘或氘—氚)在极高温(几千万度或上亿度)下聚合成较重原子核(如氦)过程中释放出来巨大能量。因这种反应是在极高温下才能进行,所以又叫热核反应。作为杀伤武器的氢弹,就是热核聚变原理,但氢弹的热核反应速度不能控制,不能作为能源来利用,需要使核聚变顺从地在人为控制下进行,即建立受控热核聚变反应装置。为实现这个目的,有两种可能的途径:一是用强磁场把低密度的高温重氢原子核长时间约束在容器内使其发生聚变反应,称为磁约束受控核聚变。二是利用运动惯性把高密度的高温重氢原子核在短时间内约束住,使其形成微型爆炸式的聚变反应,称为惯性约束核聚变。1991 年 11 月 9 日在欧洲的联合核聚变环形实验装置里实现了人类首次受控核聚变,产生 1.8 MW 电力的聚变功率,温度达 3×10^8 ,持续时间 2 s。这是受控核聚变研究上的重要突破。21 世纪初是热核聚变反应堆研究史上产生飞跃的年代。

核聚变能是名副其实的理想、干净的能源,是永远解决人类能源的希望所在。虽然目前尚处于研究阶段,许多高难度技术问题

没有解决,有待于激光技术、超导技术、新材料技术等崭新技术的发展,但在能源革命中占有重要地位的核聚变能开发和利用已经为期不远。

三、核能利用的安全性

提起核能,人们会想到原子弹、氢弹,担心是否安全,特别是世界几次核事故,尤其苏联切尔诺贝利核电站事故更给人们增加了担心。发展核能源,安全因素至关重要:

1. 核电站不会像原子弹那样爆炸

建造核电站的设计和使用的材料、燃料等都与原子弹完全不同,其工作方式和介质也不一样,不可能发生核爆炸。这是因为,原子弹是一种不可控的链式裂变反应。用高浓度铀-235或钚-239做原料,纯度在90%以上,并用极复杂精密引爆系统才能引爆。而核电站的反应堆是用由低浓缩铀作燃料的可控制裂变反应装置,其燃料只含百分之几的铀-235,封装在锆合金包壳管内,成为一根根细长的燃料棒,分散固定在反应堆内,中间有高速流动的冷却水通过,堆内还有许多吸收中子能力很强的控制棒。反应堆在控制棒未提起之前,不会发生裂变反应。只有当控制棒被提起时,才会发生部分裂变反应,将能量有控制地释放。还有许多控制装置,即使发生最严重的核事故也不会发生核爆炸。

美国为证明反应堆的可靠性,曾在沙漠地区的一座压水堆核电站做过控制棒完全失控的实验,结果证明不会爆炸。即使1986年4月26日,苏联切尔诺贝利核电站发生最严重事故,反应堆失控过热,堆芯熔化,石墨高温燃烧,电站发生火灾,也没发生核爆炸,这次事故也证实,核电站根本不会发生像原子弹式的爆炸。

1986年4月26日切尔诺贝利核电站事故后经调查,是人为责任事故。按核电站运行操作规程规定,运行期间,不能将安全保护系统切断。但那天,当4号机组在降功率运行时,为了进行汽轮机惰性运转实验,实验人员违反规定,将所有事故安全设施系统的

电源切除,当反应堆功率回升时,由于失去保护,也就失去了控制,最后使堆芯石墨过热而烧毁。发生化学爆炸和失火。据有关专家分析,除人为责任外,也存在设计方面的缺陷,该反应堆的石墨减速剂是在超出常规的高温下运行,2 000 t 石墨工作温度 700℃,一旦失去冷却,石墨本身就会燃烧爆炸,该电站又无安全喷淋系统。另外,设计上未采用安全壳将反应堆密封起来,一旦发生事故,放射性气体就会向外界扩散,危及人畜。

这次事故为世界各国发展核电提供了许多宝贵经验,有助于防止核事故的发生。

2. 核能应用的安全保障措施

今后发展的先进核反应堆是“固有安全性”的反应堆,即当反应出现异常情况时,可不靠人为操作或外部设备的强制性干预,只是由于反应堆的自然安全性和非能动安全性,使反应堆趋于正常运行或完全停闭。

自然安全性是指只取决于内在负反应性系数、多普勒效应等自然法则的安全性,事故发生时反应堆能自动终止裂变反应。非能动安全性是指建立在惯性原理(如泵的惰性)、重力法则(如位差)、热传递法则等基础上的非能动设备(无源设备)的安全性。

为进一步确保反应堆安全,设计上还有“能动的安全性”和“后备的安全性”。能动的安全性是依靠有源的能动设备作为保证安全性的外部条件,而后备的安全性指防止放射性逸出的多道屏障。可见,核反应堆是用多层保险设施来保证其安全的。要彻底解决安全性问题,需进一步将“固有安全性”概念用于反应堆的整个设计过程中。目前核安全保险系数虽然不能达到 100%,但在各国科学家们的努力下,可以使核安全完全处于自动化控制之下。

第三节 太 阳 能

太阳是一颗炽热的恒星,地球上万物生长都依赖它的光和热。

从太阳光谱分析中发现,氢和氦占整个太阳质量 96%,太阳能的来源,主要是氢原子核间的高温热核聚变反应释放的辐射能,这种热核反应不停地进行,所以太阳不断地向宇宙空间辐射能量。其辐射功率约为 3.8×10^{23} kW。能达到地球大气层的能量约占总辐射能的二十亿分之一,其中 30% 被大气层反射回宇宙空间,23% 被大气层吸收,即使如此,达到地面的辐射功率高达 8.0×10^{13} kW,相当于目前地球上总发电功率的 8 万倍。

太阳辐射能主要表现为光和热的能量,太阳能是清洁的可再生能源,阳光普照,分布广泛,到处都有。但利用太阳能也有很大难度,这是因为它照在地球上的能量密度小,而且受云、雨气候变化的影响。大规模利用太阳能,投资、设备费用也很高。尽管如此,太阳能还是最诱人的、潜力最大的新能源。

实际上,草木燃料、化石燃料、风力、水力及海洋热能等都来自太阳的辐射能,它们的利用属间接利用太阳能。而太阳能的直接利用大体有三种形式,即光 - 热转换,光 - 电转换,光 - 化学转换。

一、光 - 热转换利用太阳能

光 - 热转换是把太阳辐射能直接转换成热能,方法就是使太阳光聚集,用以加热某物体获得热能。人类利用太阳能已有悠久的历史,而且首先是利用的光 - 热转换,我国战国时代就已经用金属凹面镜聚焦太阳光用以点火,又据晋代《博物志》记载:“消冰命园、举以向日,以艾承其影,则得火”。将冰制成凸透镜也可以聚焦阳光而点火。近代人们对太阳能的利用逐渐前进了,1837 年英国天文学家赫胥黎在去非洲探险途中首先使用太阳灶烧饭,1860 年出现了用抛物面反射阳光装置,可使聚焦面温度达 500℃,1875 年又出现了太阳能集能器。要充分收集并使太阳光发挥热能效益,就必须采取能把太阳光反射并集中在一起、变成热能的系统,并要有把收集的热能加以储存和热交换设备。目前,聚光装置有平板型集热器和抛物面型反射聚光器。太阳能热水器就是最简单

的平板型集热器,它由涂黑的采热板及与采热板接触的水构成,用透明盖层与外界隔开,防止散热。输入冷水后,可以得到较高温度的水,这种热水器转换效率低,为取得足够的热,要把集热器表面做得很大。为提高转换效率,人们还制成一种“选择性涂层”,使较小面积的集热器就能获得较多的热量。

利用平板型太阳集热器可以制造各种太阳能热水器满足各方面的热水需要。截止1994年底,我国安装太阳热水器面积近 $3.00 \times 10^6 \text{ m}^2$,居世界首位,国际上美、日、以色列和澳大利亚等国都是大量使用太阳能热水器的国家。

聚光型集热器是利用光线的反射和折射原理,采用反射器或折射器使阳光改变方向,集中照射吸热物体上,吸热体面积小于采光面积,聚焦处可得到较高温度,一般应用在太阳能聚光灶和太阳能高温炉。聚光的形状有线状聚焦和点状聚焦,聚光器的光孔面积与接收器的吸收面积之比称聚光比,它是聚光型集热器的特性参数,聚光比愈大,集热器温度愈高。太阳能高温炉温度可达 $2\,500 \sim 3\,000$,特别适合作高温材料研究,进行难熔金属冶炼,生产高纯合金。20世纪70年代初法国在比利牛斯山麓的奥台陆建成一座高40 m的大型太阳能高温炉,最高聚焦温度达 $3\,500$,输出功率约 $1\,000 \text{ kW}$,它由11 000多块平面反光镜组成,全自动跟踪太阳,平面反射镜将反射光全部投射到处在抛物面焦点的集热器上聚焦。苏联在乌兹别克斯坦的塔什干市郊也建一座 $1\,000 \text{ kW}$ 功率的太阳炉,最高温度 $2\,500$,专门用来冶炼钛酸铝和钇铝石榴石等高纯和超纯材料。

太阳能蒸汽锅炉是大规模利用太阳能的装置。用许多块平面镜或抛物面反射镜把太阳光聚集到位于镜面上方的锅炉上,产生高参数的蒸汽作为动力源。以太阳能蒸汽锅炉为主所构成的太阳热站可用于农田灌溉、室内取暖、海水淡化等。如将产生的蒸汽用于推动涡轮机发电,就构成了太阳能热电站。太阳能电站要有聚光系统、储能系统、热交换系统、传导系统,经过蒸汽涡轮机,将热

能转换成机械能,驱动发电机运行。

20 世纪 70 年代末,日本、美国等进行数百至数千千瓦容量太阳能发电机组的实验,到 80 年代进入十兆瓦级电站实验,1989 年美国南加利福尼亚的 275 MW 太阳能发电站建成投产,并还计划建 600 MW 及 1 000 MW 级的太阳能发电站。目前,美国的太阳能发电站的电费平均成本为每千瓦时 8~9 美分,已接近平均电力成本每千瓦时 6 美分,苏联也于 1989 年建造了 30 MW 的世界最大规模的太阳能发电站。

为充分发挥太阳能的作用,各国对太阳能发电技术不断探索、不断有新的进展。

储能问题是太阳能利用中的一个重要问题,晴天光线强,用放大镜聚光就能把纸点燃,而夜间或阴雨天没有阳光怎么办?这就需要有储能的办法,可以利用物质的一种“潜热”性质。目前,发现“潜”热特性最好的物质是易熔的“碱金属盐类”,如硝酸盐等,这些碱金属盐类吸收太阳能熔化之后,就把热能潜存起来,在夜间水温下降时,让水通过熔盐存热器,在熔盐凝固过程中释放热量,这样就可以保证连续发电,这种方法称熔盐储能方式。还有其他储能方式,如将白天的电能储存起来一部分,或向蓄电池充电,或向高处储水,或向巨大的洞穴中泵入压缩空气。在阴天、夜间使用储存的能量发电。联邦德国 1989 年研制一种新型太阳能存储器,其太阳能利用率可高达 80%,大大降低了太阳能发电的成本。它是用聚集的太阳能使镁-氢化合物分解,产生作为反应媒介的氢气。再将氢气输回到镁床,在这连续的化学反应中产生热量,根据需要随时释放出热量,比简单地利用太阳能技高一筹。

目前,各国都在积极研究太阳能热发电技术,并正向大功率、实用化方向发展,前景十分广阔。

二、光-电转换利用太阳能

光-电转换,就是把太阳的辐射能直接转换成电能,原理是利

用“光电效应”。太阳能电池就是利用光电效应将太阳辐射能直接转换成电能的装置,分结晶太阳能电池和非结晶太阳能电池两种。

太阳能电池是半导体材料内部光电效应的产物,当太阳光照射到硅半导体的 pn 结上时,波长极短的光很容易被半导体晶体内部吸收,并去碰撞硅原子中的价电子,价电子得到能量成为自由电子而逸出晶格,产生电子流动。

世界上第一台实用型的硅太阳能电池是 1954 年在美国贝尔实验室研制的,1958 年就被用作人造卫星的电源,这种电池取代了化学电池,使卫星电源安全工作 20 年之久,为航天器提供了重要的能源。用于太阳能光 - 电转换的材料有许多种,如硅(包括单晶硅、多晶硅、非晶硅)电池,硫化镉电池,磷化铟电池,砷化镓电池,砷化镓 - 砷化铝镓电池等等。砷化镓、磷化铟材料光电转换效率高,但原料少,造价高,目前主要用于卫星上用的太阳能电池。常用的单晶硅电池,目前,转换效率达 15% 左右。但单晶硅工艺复杂,加之拉制的单晶硅成圆柱状,切片制作组件平面利用率低,因此 20 世纪 80 年代以来,开始多晶硅太阳能电池的研制,多晶硅太阳能电池光电转换效率 12% 左右,但生产成本较低,因此得到大量发展。

非晶硅太阳能电池是 1981 年才出现的新型薄膜式太阳能电池,消耗材料少,生产电耗低,工艺简单,可大规模生产,很有前途。制造非晶硅太阳能电池方法有多种,常见的辉光放电法是将一石英容器抽成真空,充入氢气或氩气稀释的硅烷,用射频电源加热,使硅烷电离,形成等离子体,非晶硅膜就沉积在被加热的衬底上。若在硅烷中掺入适量的氢化磷或氢化硼,即可得到 n 型或 p 型的非晶硅膜,衬底材料一般用玻璃或不锈钢板。

太阳能电池新技术开发是世界热门,现在国外出现了一些建材一体型太阳能电池,最早是在玻璃基瓦上,后又开发出板式建材一体型太阳能电池,使用于建筑上,不需另外占用土地。

当太阳能电池具有成本低、功率强、转换效率高等优点时,才能成为大动力能源,各国都在这方面创造成绩。1991年澳大利亚将光电转换效率提高到24.2%。还有人设想利用卫星收集太阳光发电,在同步卫星上用大型收集器和硅电池把太阳能转化为直流电,通过超导电缆输送到卫星的微波发生器上,以微波形式将能量传送到地面接收站。

太阳能电池制造技术改进及新的光-电转换装置的发明,必将为人类大规模利用太阳辐射能带来广阔的前景。

三、光-化学转换利用太阳能

光-化学转换是将太阳辐射能直接转换成化学能,实现这种转换方式主要是利用植物的光合作用。但通过绿色植物实现光-化学转换不能完全受人控制,是非完全可控的能量转换过程,完全可控的光-化学转换只有模拟绿色植物的光合作用才能实现。我国有960万平方公里的领土,每年可获得 10^{16} kW·h的太阳能,相当于 1.2×10^{12} t标准煤。中国大部分地区太阳能资源都超过国外同纬度地区,特别是西部地区太阳能资源十分丰富。

自20世纪70年代以来,太阳能利用技术的研究列入国家“六五”、“七五”、“八五”科研攻关计划,获得的成果从生活到工农业生产已在国内推广应用。据1993年的统计,全国已推广太阳房 1.2×10^6 m²,太阳灶15万台。全国已有200家企业生产太阳能热水器,有10多家企业生产太阳能电池,太阳能工业初步形成,太阳能利用进程加快,边远地区民用独立电源,电围栏,水泵系统,无人守值的通讯、交通、气象台(站)等用电应用也已逐步推广。21世纪将在太阳能动力、发电等工业应用上有大的进展。

太阳能是巨大的,同时又不存在污染和放射性,是很有开发前途的新能源。从目前对太阳能的研究、利用状况看,实现光-热转换研究较充分,开发、利用的早,一些成本低、结构简单的小型装置已得到较广泛的实际应用,随着材料的改进将会得到更大的普及。

实现光 - 电转换 ,利用太阳能发电对解决未来能源具有重大意义。降低成本 ,解决能量储存是大规模利用太阳能发电的关键。太阳能发电的大规模采用必将引起能源构成及对人类生产和生活带来巨大变革。

第四节 其他新能源的开发利用

一、风能

风是地球上常见的一种自然现象 ,它是由太阳辐射热引起的。地球各处受热情况不同 ,由温差而形成大气压差 ,形成地表大量空气的流动。

在公元前 ,风车提水、磨米和风帆助航等是人类利用风能的较早形式。风能存在能量密度低、不稳定、地区差异性大等特点 ,从而影响了它的发展。

风能是蕴藏量大、分布广、可再生、无污染的能源 ,据估算 ,全世界可开发的风力达 2×10^{10} kW ,比地球上可开发的水力资源大 10 倍 ,在现代科技的支持下 ,风能正在成为新能源的重要成员。

风能的利用主要有以下几种形式 :

1. 风能转换成机械能

通过风力机将风能转换成机械能而直接利用。传统风车是水平轴式 ,由若干桨片组成 ,近代研制出成本低、结构简单的立轴式风车。

2. 风能转换成电能

风力发电是风能利用的最主要形式 ,它是通过风力发电机将风力机提供的机械能转换成电能 ,即风力机带动发电机运行。小型风力发电机组通常备有蓄电池储能装置 ,以保证无风时供电。近年来 ,许多国家兴建了“风车田” ,是大规模的风力发电装置。在某一多风地区安装多台风力发电装置 ,统一由计算机控制向电网供电 ,这是风能利用的重要突破 ,继 20 世纪 80 年代美国在加利

福尼亚州获得成功后,世界各国都在规划和建设。我国到 1994 年底已建立 13 处风车田,装机容量 30 MW。利用风力发电的装置还有“风力发电栅”,是根据分离的正、负电荷要相互吸引的基本原理,由美国人发明设计的。

3. 风能转换成热能

利用风力搅拌液体、挤压液体或涡电流致热,被用来取暖及供热,这也是近年引人注意的一种风能利用形式。

4. 风帆助航

帆船已有悠久的历史,现代风帆每平方米可获得 200 ~ 300 W 的风能,这为风能在远航运输中的应用展现了新的前景,美国正在筹建 4 500 t 的风帆助航远洋货轮。风力这个古老的能源在新技术支持下,也正在成为新能源的重要组成。

二、地热能

地球内部蕴藏着巨大的热能,人类很久以前开采温泉洗澡、取暖、医疗等,但是把它视为一种储量巨大、有经济竞争力的能源,特别是用来发电,还是 20 世纪初才开始的。

地热来源于地球内部,地球是一个平均半径为 6 370 km 的实心椭圆球体,构造分为三层,地壳、地幔、地核。地壳厚度不均,几公里至几十公里。地球内部热量来自地壳下放射性元素缓慢放射性衰变不断释放的热量。

世界上已知的地热资源主要分布在三个地带:环太平洋沿岸的地热带;从大西洋中脊向东横跨地中海,中东到我国滇藏的地热带;非洲大裂谷和红海大裂谷地热带。目前,世界上已有 80 多个国家发现有地热资源,有 60 多个国家正在开发利用。地热能储量巨大,仅地下热水和地热蒸汽存储的热能总量为地球全部煤炭储能的上亿倍。

按存在形式,地热资源可分为五个类型,即蒸汽型、热水型、地压型、干热岩型和岩浆型。目前人类开发利用的仅限于蒸汽型和

热水型两类,而地压型及干热岩热型的开发处于试验阶段,岩浆型的利用尚处于基础研究阶段。

在目前技术条件下,利用地热能的方式主要有地热发电和地热取暖两种。

1. 地热发电

地热发电的基本原理和一般火力发电一样,是利用地热能通过机械能的中间转换产生电能,它不用燃料,不需锅炉,热能直接取自于地热流体。由于利用地热流体类型不同,采用的做功流体不一样,发电方式也不同,主要方式有:

(1) 地热干蒸汽发电 这种发电方式是将地热干蒸汽从地热井中取出,经过分离器分离出固体杂质和水滴后进入汽轮机内膨胀做功,做功后的蒸汽用于其他供热系统或直接排入大气。

为提高热力系统循环效率和机组发电能力,也可将做功后的蒸汽排入冷凝器,而采用凝汽式汽轮发电系统。这种发电方式比较简单,但由于干蒸汽地热资源蕴藏量比较少,且多存于较深的地层中,因此,干蒸汽型发电站还不太多,美国盖瑟斯地热电站属此类型,是当今世界上最大的地热电站,17台机组,总容量1 135 MW。

(2) 地下热水(湿蒸汽)发电 地下热水温度处于或接近覆盖岩层压力下相应的沸点。当热水通过钻井向地面冒出时由于压力减轻,一部分水扩容(闪蒸)为蒸汽。这类地热资源一般采用以下两种热力循环方式发电:

一种是从蒸汽井里出来的水-气混合液中分离出来蒸汽引入汽轮发电机组驱动发电,剩下的热水可通过渠道送回地下,向地热源补充给水,也可以作为工业热源直接使用,这种地下热水钻井深度一般为300~1 500 m,温度为150~300℃。

在地下热水层中,一般多含有各种腐蚀性气体、杂质等,这些物质对汽轮机组腐蚀磨损很大,为解决这些问题,要采取多种净化办法。

另一种是以地热蒸汽为热源,加热干净的水,使干净的水变成蒸汽再驱动汽轮机发电;或用地热水加热低沸点工作物质(如氯化烷、氟利昂等),使之汽化,驱动汽轮机做功后,又令其凝结成液态,循环使用。这种方式有两种流体同时循环,一个是地热流体,作热源用;一个是工作物质流体产生蒸汽做功,称双流体循环系统。

目前,地热发电转换效率不高,只有 15% ~ 20%,但地热发电是地热能应用最有前途的方式,目前,已有十多个国家建立了地热发电站,我国西藏羊八井地热电站 6 MW 机组已投入运行。地热发电技术的不断提高必给这一能源的开发带来活力。

2. 地热采暖

地热能源的利用,除用于发电外,地热能供热、供暖、供水是仅次于发电的地热能利用方法。地热能用来采暖、供热是最经济、最简便、最有效的用途,采用这种利用方式的国家很多,最典型的国家是冰岛,首都雷克雅未克在 20 世纪 40 年代就实现了“天然暖气化”,是世界最清洁的城市之一。我国地热供暖、供水比较普遍,北京、天津、熊岳、兴城、任丘和威海等城镇都发展很快,北京市地热供暖面积有 20 多万平方米,福州市成功利用 87 地热水制冰,供工业和生活使用。但是,更多的地热资源有待于人们去开发。

三、生物质能

生物质能又称“绿色能源”,它是指通过植物的光合作用而将太阳的辐射能量以一种生物质形式固定下来的能源。它包括世界上所有的动物、植物和微生物,以及由这些生物产生的排泄物和代谢物。生物质能来源于太阳辐射能,是取之不尽的可再生能源,据推算,地球上每年由植物固定下来的太阳辐射能是当今世界年能耗总量的 10 倍多。生物质能是人类利用很久的能源了,只是随着科学技术的发展,对地球上生物质有了新的认识,对开发利用这种

能源有了新的创造,才把它提上新能源技术领域。

世界上生物能源种类繁多,有农作物和农业有机残余物、林木和森林工业残余物,有动物排泄物、江河湖泊沉积物、农副产品加工后的有机废物、城市生活有机废水、垃圾等。科学开发利用生物质能即可获得干净无污染的新能源,又能充分利用城市垃圾、有机废物等能源。

生物质能的转换技术,大体分为三类。

(1) 直接燃烧,获取热量 这是最简单的方法,但转换效率很低,且污染环境,目前有的国家研究生物质压块燃料以提高热效。

(2) 生物转换技术 通过微生物发酵方法将生物质转换成液体或气体燃料。我国农村广泛使用的“沼气”就是这种转换。沼气发酵原料十分广泛而丰富,这是解决农村能源和处理城市垃圾变废为宝的现实途径,而且潜力很大。据推测,我国的农作物废弃物和人畜粪便等如全部入池发酵,每年可制取 10^{11} m^3 沼气。从20世纪80年代以来,沼气的利用已从生活领域走向生产领域,从农村走向城镇。

(3) 化学转换技术 通过化学方法使生物质转换成燃料物质,化学方法目前有三种:有机溶剂提取法、气化法、热分解法。

在现代高技术群体的支撑下,生物质能的开发利用必将进一步发展,成为新能源的重要组成。

四、氢能

在许许多多的能源品种中,人们一直在选择能量最大、使用方便、来源丰富和没有污染的持久能源,这就是氢能。

氢,在常温常压下是气体状态,在超低温高压下又可成为液态。作为能源,它有几大特点。①质量最轻,它的原子序数为1。②热值高,是汽油热值的三倍。③爆发力强,极易燃烧,且燃烧速度快。④来源广,除空气中含有外,主要以化合物的形态贮存于水中。⑤品质最纯洁,本身无色、无臭、无毒,十分纯净,燃烧后生成

水而无碳化物污染。⑥能量形式多,可通过燃烧产生热能,也可以通过燃料电池和燃气-蒸汽涡轮发电机转换成电能。⑦储运方便,可以用气态、液态或固态金属氢化物形态加以运输和贮存。

氢是通过科学方法,利用其他能源来制取的,因此属于二次能源。目前,制氢的原料是天然气、石油和煤。但是,用矿物燃料制氢并非长久之计,因为它们的储量也是有限的,要大量制氢,从根本上说,只有用取之不尽的水和用之不竭的太阳能制氢才是最妥当的。当前,一些国家正在摸索一些太阳能制氢技术。如:太阳热分解水制氢法,利用太阳能聚光器将水加热到 3 000 K 以上,水中的氢和氧开始分解,如果在水中加进化学元素或化合物等催化剂,则可在 900 ~ 1 200 K 温度分解;太阳能电解水制氢,首先将太阳能转换成电能,再电解水;太阳能光化学分解水制氢;太阳能光电化学电池分解水制氢;模拟植物光合作用分解水制氢;太阳光络合催化分解水制氢;微生物发酵制氢;光合微生物制氢等方法。这些方法目前大部分还处于理论研究和实验室阶段,随着技术的进步,低价制取、储运、安全使用氢这个干净优质的新能源不会太遥远,21 世纪,它将成为能源舞台上的重要角色之一。

五、海洋能

海洋能开发和利用很有发展前途,详细情况请参阅第八章海洋开发技术。

六、其他新技术

1. 磁流体发电技术

磁流体发电,就是用燃料(石油、天然气、煤)进行高温加热,直至电离成导电的等离子气体,高速通过磁场,切割磁感应线产生感应电动势,这样直接将热能转换成电能。由于磁流体发电排气温度很高,如果与常规汽轮发电厂联合循环发电,可将燃料热能利用率从 40% 提高到 60%。

在磁流体发电的工作物质中加入一种低游离电位的物质作为电离种子,一般为钾盐,可在 2 500 °C 温度使工作物质电离。钾与硫有化学亲和力,回收种子时起到了脱硫的作用。磁流体发电装置主要由燃烧室、发电通道和磁体组成。

磁流体发电技术是一种新的能源转换方式,它热效率高,很大程度上降低了排入大气中的粉尘和二氧化硫等有害气体,大大减轻对大气的污染。

我国是煤炭大国,若燃煤磁流体发电技术达到实用程度,无疑将产生巨大的效益。

美国是最早研制磁流体发电的国家,20 世纪 60 年代先后研制两台功率分别为 32 MW 和 18 MW 的机组。70 年代起确定以燃煤磁流体发电为主攻方向。

磁流体发电目前已成功建成 10 MW 级装置,数百兆瓦级实验装置在实验中。

2. 燃料电池发电技术

从原理上讲,燃料电池和传统电池基本相同,也是通过电化学反应把物质的化学能转换成电能。所不同的是,传统电池是将内部物质事先充填好,而燃料电池进行化学反应所用的物质则是由外部不断充填,因此,它能够源源不断地发电。

燃料电池是将作为反应物的原燃料(天然气、石油、甲醇等)经过“燃料改质装置”分离出氢后,进入电池本体,另一端的空气中的氧也进入电池本体,分别供给电池的电极,通过电解质使氢氧发生电化学反应,产生电位差,形成低压直流电对外输出。按理论计算燃料电池效率可达 90%,但实际在化学反应中也有费功消耗,实际效率只能达 60% ~ 70%。

燃料电池在美、日等国已进入商业化阶段,并已制成 10 MW 的大容量电池。燃料电池因具有热耗少、效率高、低污染、不需加速旋转设备、无噪音、原料适应性强等特点,故其用途较广,可用于地面供电,也可用于宇航,很有发展前途。

在现代高科技相互渗透下,能源开发新成果不断出现。能源问题世界瞩目,开发新能源是重要的战略任务。近些年来,世界很多著名科学家,在寻找反物质的科学活动中,付出了很多艰辛的劳动。如果科学家们能够找到反物质和收集储存反物质的方法,由于正物质和反物质的接触与碰撞将会释放出巨大的能量,这就可能为人类社会开辟新的能源途径。美国航天局正在致力于开发一种反物质发动机用来作为航天器的推进装置。

我国遵循可持续发展战略思想,贯彻开发与节能并重的方针,改善能源结构与布局,依靠科技进步提高能源利用效率,合理利用资源,保证国民经济持续、稳定发展。

随着社会的发展,对新能源的需求必然增加,研究开发利用新能源是现代科学技术的永恒主题,是人类生存发展的希望。

参 考 文 献

1. 黄毅成. 能源百科全书. 北京:中国大百科全书出版社,1997
2. 宗占国,马骥良. 高技术概论. 北京:学苑出版社,1993
3. 鲍云樵. 能源与我们. 上海:上海科技教育出版社,1995
4. 杨立忠. 能源新技术:跨世纪国民经济的新动力. 北京:中国科学技术出版社,1994
5. 虎成春. 清洁新能源 21 世纪的能源. 北京:科学技术文献出版社,1994

第八章 海洋开发技术

世界海洋面积 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$, 约占地球总面积的 70.8%。在深广浩瀚的大海中蕴藏着丰富的能量、能源和空间。当今世界正面临着人口、资源、环境三大问题。随着人口的急剧增长 , 能源消耗的日益增多 , 环境污染的加剧 , 人类陆地生存空间受到越来越大的威胁 , 于是人们将目光投向了海洋。

海洋既是生命的摇篮 , 也是天然的聚宝盆 , 所以人类离不开海洋。尤其是 20 世纪以来 , 人们陆续发现了海底油气 , 深海热液矿床、大洋“锰结核”等资源 , 更使世界各国将先进的科学技术和精力投入到海洋资源的开发上 , 从而形成了海洋开发技术。

海洋开发技术也称为海洋技术 , 它主要包括 , 海洋勘探、海洋资源开发、海洋空间利用和海洋生态环境保护在内的综合性活动。本章将对海洋资源开发和海洋空间的利用进行重点介绍。

第一节 海洋科学与技术进展

现代海洋开发利用的突出特点是融合了现代高科技成果 , 成为知识技术密集、资金密集的综合性的活动。海洋开发利用的深度与广度取决于海洋科学与技术的突破和进展程度。在联合国和一系列国际宣言的倡导下 , 世界海洋国家不同程度地把海洋开发与保护问题提到了政府重要工作议程之中 , 同时也充分认识到海洋科学技术能力是参与世界海洋竞争的关键 , 将发展海洋科学技术、开发海洋资源、保护海洋生态环境作为国家战略中的重要组成部分 , 以发展海洋科技促进本国经济的新增长 , 正成为全球海洋发展战略趋势。

一、海洋大科学研究进展

为了解决全球性的重大科学问题,近十几年来出现了全球性的“海洋大科学”(ocean megascience)研究,包括全球海洋观测系统(GOOS),海洋科学钻探(scientific ocean drilling),热液海洋过程及其生态系统(hydrothermal ocean processes and ecosystems),海洋生物多样性(ocean biodiversity),海岸带综合管理科学(coastal science for integrated coastal management)等多个领域。这些海洋大科学研究特别注重对区域性和全球性的重大课题研究,例如:海洋与气候波动研究,包括厄尔尼诺现象研究、太平洋周期变化研究、极地冰海变化研究、地球变暖与物质循环等;海底动态与地震研究,包括板块形成过程研究、海底热点区域动态研究、地震产生过程研究等;海洋生态系统研究,包括生态系统结构和物质循环机制研究、深海和地壳内微生物研究,海洋生态环境修复科学技术研究等。

1. 全球海洋观测系统

为了增进对海洋在控制气候变化上的作用的了解,科学家已开始将海洋作为一个全球系统进行试验研究和预测。全球海洋观测系统(GOOS)即出自于此目的。GOOS计划是在政府间海洋学委员会(IOC)、世界气象组织(WMO)、联合国环境规划署(UNEP)及世界科学联合会论坛(ISCU)的支持下提出并实施的。

GOOS计划的中心原则是:它必须是一个有效运行的全球项目,但它基本上是由一个国家或国家的区域性组织来实施的。有几个区域组织已制定了在其所在区域实施GOOS计划。例如欧洲GOOS是由14个欧洲国家、22个政府机构所组成的联合体。欧洲全球海洋观测系统的主要目的是满足欧盟成员国海洋产业持续发展对海洋环境数据和服务的需要。欧洲GOOS(EURO GOOS)目前正在北冰洋、西北壳、地中海及大西洋盆区建立导航系统及示范项目,如大西洋计划、北极计划、地中海预报系统及欧洲西北陆架

海域计划。EURO GOOS 已成为 GOOS 计划开展的最好的两个地区系统之一。当前,利用 EURO GOOS 提供的新数据源和按协议共享的数据,已建立了波罗的海、地中海和大西洋西北陆架区的地区模拟中心。EURO GOOS 将全面带动欧洲应用海洋学和海洋观测技术的发展。在它的带动下,近期又启动了地中海全球海洋观测计划(MED GOOS)。

东北亚 GOOS(NEAR GOOS)涉及到日本、中国、韩国及俄罗斯。当前研究的重点是在日本与亚洲大陆之间的海区建立一个能够包含实时及延时数据库以满足使用者需要的数据流系统。

2. 海洋科学钻探

海洋科学钻探由第一阶段的深海钻探计划(DSDP)至第二阶段的大洋钻探计划(ODP)一直处于国际科学合作的前缘。至今已有 22 个国家加入 ODP 并取得了巨大的成就,为导致地球上生物大绝灭(包括恐龙在内)的“行星撞击学说”提供了有利的证据,在诸多方面改写了地球科学的历史。主要成就有:① 通过在活动裂谷边缘钻探,获悉了岩石圈增生机制、物质平衡的演化过程及聚敛型板块边界的构造、力学和地球化学过程;② 大大丰富了全球气候变化的高分辨率记录,并建立了冰盖的产生、生长及衰亡历史;目前正在利用新的地层学和地球化学仪器设备,通过侧向钻探和深部横断面继续研究大洋循环模式;③ 通过对大陆边缘和环礁的钻探,加深了人类对新生代海平面变化的规模、持续时间及其变化机制的了解。

3. 热液海洋过程及其生态系统

海底喷发的热液流有着复杂的物理、化学和生物相互作用。对热液作用及其构成热液系统的过程的了解将为生物、化学、地质和物理海洋学问题提供信息。在现代世界海洋研究活动中,不同程度地研究了 100 余个活动的和残流的热液场。对热液沉积物的地质年代学、形成机制以及对大西洋和热液场的构造位置进行了分析研究。区域性研究工作表明,大部分热液矿化点位于大西洋

中脊新火山裂谷区范围内,并趋向于火山顶部,延续的海底凹陷(断裂)与热液场的分布区相接。另外,科学家们还对热液系统循环方式及其对海洋化学的影响、影响热液释放的可变因素、化学合成类细菌的角色、热液系统中或其他附近的生物共同体的特征等进行了研究。

4. 海洋生物多样性

自从1993年联合国“生物多样性公约”正式生效后,引起国际社会的高度重视。国际 Species 2000 计划已经把海洋生物多样性保护列为世界最急需保护和研究的三个领域之一,同时各国相继开展了生物多样性研究。目前国际上正在开展的重大研究项目有:“生物多样性与遗传资源”,其研究目的一是加强非洲、加勒比海和太平洋地区发展中国家渔业和生物多样性的管理,并进一步发展鱼类生物数据库;二是开展海岸带鱼类多样性的研究。另外,2000年启动的“国际生物多样性观察年”(IBOY)计划中开展的海洋生物多样性研究项目有:①不同纬度带大西洋深海中的生物多样性(DIVA),该项目将采用样线调查的方式,考察大西洋深海海床,以加强人们对深海生物多样性的认识。研究范围覆盖南极、欧洲、北美和南美;②海洋生物地球信息系统(OBIS),该项目的主要目的是根据分类学家所掌握的有关物种分布的地理资料,做出可追加资料的海洋生物地理信息的数字化地图,覆盖范围包括亚澳、欧洲、非洲、北美和南美。③海洋中的生物多样性指示物种,该项目将确定出一系列用以持续监测不同海洋环境下的生物多样性和生态系统的指示物种,并制定出监测标准草案。④沙质海岸上的生物多样性、生产力和旅游间的相互关系(LITUS),海岸带具有丰富的动、植物物种多样性,是极具生产力的生态系统,也是受自然和人类环境压力的脆弱地区。该项目将对从热带、亚热带地区到北极圈的沙质沿海地区的动物区系进行调查、研究。

5. 海岸带综合管理科学

海洋和海岸带综合管理是海洋自然科学与人文科学结合的产

物,是海洋科学向应用方向发展的一个重要领域,已经成为政府间海洋学委员会关注的海洋科学主要领域之一。为此,海洋学委员会建立了海岸带综合管理计划,目的是把自然科学和社会科学结合起来,科学家和管理人员及决策者结合起来,海委会和其他国际组织结合起来,达到海洋科学与海洋可持续利用服务的目的。这是海洋学委员会从单纯海洋调查科研国际机构向包括海洋科研调查、海洋服务、海洋与海岸带管理、海洋法律与政策制定转变的一部分,这种转变也推动了海洋和海岸带管理本身成为新的应用性科学。自此,20世纪90年代以来,全世界沿海国家的海洋与海岸带综合管理研究取得了较快进展,目前国际的、地区的和国家的等各种层次的综合管理模式研究和实践以及海岸带综合管理学科建设的初级阶段基本完成,形成了跨越自然科学和社会科学的新兴海洋边缘学科。

二、海洋高新技术进展

现代科学技术手段的迅速发展大大地促进了海洋科学新发现,同时,科学的新发现又极大地刺激了技术开发和海洋资源、空间的开发利用。为了认识海洋、开发利用海洋和保护海洋,许多国家积极发展海洋高新技术,提高在海洋技术领域的国际竞争力。

1. 海洋监测预报技术

发展海洋监测领域的高新技术,重视海洋自动监测技术的研究和应用,与GOOS接轨,是沿海各国目前都在努力的方向。卫星遥感技术越来越广泛地应用于海洋环境监测。1995—2001年国外专门用于海洋探测的卫星将达10多颗。高频地波雷达海面环境探测技术进入到业务化应用阶段。在近海区域建立完整的立体监测系统是国际上先进海洋国家正在试验解决的问题,以美国开发的REINAS为代表的示范系统是海天一体化的立体实时监测服务系统的典型范例。发达国家发展了长期水下无人观测站,以获取长时间序列资料,定量和有效地表述海洋过程的相互关系,漂流

浮标、锚泊浮标、拖曳体、自动沉浮式滑行器等观测平台的研制正朝着低成本、耐久型方向发展。水声技术日趋成熟,并逐步从军用为主转向民用,提高了常规海洋监测能力。

海洋预报技术主要注重于海洋物理机制研究,发展物理过程全面的数值预报模式,海洋环境预报中的关键技术如:四维变分同化技术业务化等发展迅速;注重海洋环境观测预报的基础领域的技术发展,近海和边缘海域的海洋温、盐、流三维预报技术取得长足发展。近期美国重点开展全球风场预报、海浪预报、海流预报及全球大洋的海温、盐度和跃层预报。预计海洋环境预报技术将在 21 世纪的前十年取得突破性发展。

2. 海洋生物技术

海洋生物技术研究已经进入了基因组时代,进入 20 世纪 90 年代以来,国际上鱼、虾模式种的基因作图全面展开,基因工程技术在养殖动物病害中的应用日渐广泛。欧美发达国家将现代生物技术和传统技术相结合进行养殖生物育种,取得重要成果,研制出一些有特殊疗效的海洋药物和海洋功能食品,已有多个海洋活性天然产物进入了临床实验。海洋极端环境下的生物酶受到发达国家重视。目前国际上采用的分子筛选模型、基因工程受体模型等研究技术,为活性物质筛选和研究逐步趋向系统化、规范化、规模化提供了有效的手段。美国已成功驯化并选育了抗盐、耐海水的高产经济作物盐角草品系。利用培养植物细胞或愈伤组织,诱导耐盐突变体已在一些农作物及经济作物上取得成功。未来十年,国际上将可能出现针对各类海洋生物病害的序列检疫技术,新型的基因芯片技术可能将在该领域实现应用。

3. 深海资源勘探与开发技术

当代飞速发展的微电子技术、信息技术广泛应用于深海勘探与开发的各个领域,20 世纪 70 年代以来国际上相继发展了多波束声呐、旁侧声呐和干涉仪、非线性差频探测与信号处理技术、水下声控和定位技术等多种深海探查技术,形成了以常压载人深潜

器(ADS)、无人遥控深潜器(ROV)、自治无人深潜器(AUV)等主要水下平台的声学光学探测的高分辨率数字化海底地质、地形地貌和矿产资源探查等高效系统。分辨率可达厘米级,海底穿透深度可达数十米。目前世界上已有83艘调查船装备了多波束声纳测深系统,建成各种用途的载人深潜器200余艘,深潜器制造和潜水服务已经成为两大高技术产业,年营业额约为32亿美元。

目前国际上勘探技术的发展主要集中在以下几个方面:海底集成高精定位技术;海底探测高精度运动稳定平台技术;高分辨率海底侧扫声像合成孔径雷达(SAR)技术;快速高灵敏度的测量探头技术;多功能深潜器技术;远距离水声通讯技术等等。

4. 海洋环境保护与生态修复技术

海洋环境保护与海洋生态环境修复技术是近20年兴起的以高技术为主体的新技术领域,主要包括污染物在环境中的行为和影响、局部海域环境自净能力和环境容量、污染的生物效应及局部生态过程等的研究;海洋生态环境变异的监测、预警、预报控制和管理技术;海洋污染的测控技术;海域生态环境修复技术、生态工程技术和污染损害的应急处置技术等研究。日本的濑户内海和英国的泰晤士河口整治成为这方面的示范实例。利用原位生物和遗传工程等降解或消除海洋中的污染物,已得到深入发展和广泛应用。总体发展将注重于各相关学科和技术方法的应用和转化,并依据海洋生态环境特点形成具有独特适应性的技术。

5. 海水资源综合利用技术

海水资源综合利用主要由海水直接利用、海水淡化、海水化学资源综合利用等技术领域组成。以海水作为工业冷却水在国外已大量应用,有关技术基本成熟;海水循环冷却技术已经成为海水冷却技术的主要发展方向之一;目前海水冷却技术的研究主要针对冷却过程中的无污染技术及相关技术的研究;大生活用海水技术是解决沿海城市淡水资源紧缺的重要途径之一,目前香港地区每

天大生活用海水量已达 35 万 m^3 ;海水蒸馏淡化技术和反渗透法海水淡化技术 ,在沿海发达国家和一些缺水国家已经形成了巨大的产业。

6. 海洋信息技术

空间技术、GIS 技术、可视技术和计算机网络技术已经广泛应用于海洋信息领域 ,国外主要海洋国家已经将遥感和 GIS 技术应用于海洋军事领域、海洋资源与生态环境的监测和保护、海岸带管理、海洋防护工程规划、海岸演变趋势预报和海洋地理信息系统建设等方面 ,信息服务方式已经逐渐向可视化、产品化、网络化和信息共享等方面发展。

第二节 开发海洋中的生物资源

海洋技术不只是为了探索海洋世界的奥秘 ,更重要的在于获取和开发海洋资源。海洋中的生物资源极其丰富 ,具有很高的经济价值。所以 ,海洋生物资源的开发技术是海洋技术的重要组成部分。

一、海洋中的植物资源

藻类是海洋中的低等水生植物 ,大致可分为两大类 :第一类为在水中浮游生活的浮游植物 ,主要是单细胞水上植物 ,以硅藻和绿藻为主。它们主要靠阳光和海水里的营养盐类生活。浮游植物是海洋里有机物的基本生产者 ,它们除了含有某些维生素外 ,还含有人体所需要的多种多样的营养物质。第二类为近岸大型水生植物 ,如绿色的、褐色的和红色的海藻和海草等。

另据海洋资料记载 ,一些海洋中有一种巨型藻体 ,它的高度从几十米至上百米 ,最高的达 500 多米。陆地上的巨杉与之相比也是小巫见大巫。这些巨藻主要分布在太平洋东部沿岸、非洲南部沿岸、大洋洲沿岸 ,以及这些地区附近岛屿的周围。巨藻称得上是植物王国的高植物之最了 ,一般的都在百米左右 ,重达 180 多公

斤。巨藻是多年生植物,生活期可长达 12 年之久。巨藻不仅藻体巨大,而且生长速度也很快,恐怕也够得上地球植物生长速度之最。幼苗的日生长速度可达 60 cm,一年可生长 50 余米。同时,巨藻还有很强的再生能力,收割后的藻体能够快速生长,一年可收获三四次之多。有关实验数据已证实,如果每公顷海底种植 1 000 株巨藻的话,那么年产量就可达 750 ~ 1 200 t,这实际上相当每公顷巨藻将 400 MJ 的太阳能转变为化学能。

我国的南海诸岛海域生长有 500 多种藻类,比较常见的蕨藻、总状蕨藻、网膜藻、团扇藻、乳节藻、棉絮藻、松藻、石灰藻、仙掌藻、法囊藻、喇叭藻、粉枝藻、海萝和麒麟菜等。上述藻类若按颜色分又有红藻、绿藻、褐藻、蓝藻。它们在水下世界,既是生物的基础饵料,又是珊瑚礁盘必不可少的“参与者”。南海诸岛的礁湖区域已知可产的马尾藻即有 30 多种。此外,还有一些闻名中外,唯此盛产的藻类,如海人草。它是一种热带性较强的多年生藻类,以东沙岛为主要产地。其藻体丛生,长 5 ~ 25 cm,暗紫红色,软骨质,干后变成绿色或灰色,分叉多,茎部因分枝早脱落而裸露,根部呈盘状固着在礁石上,生长在 2 ~ 5 m 深处的珊瑚块中,成熟期在 8 月。采割后,一年又可复生,产量比较稳定。海萝又称红菜或毛毛菜,分布很广,但主要长在中潮带和高潮带下部的珊瑚礁石上,常成群丛生,成熟期为头年 12 月至下一年 4 月。石花菜为人们所熟知,呈紫、红或黄绿颜色,有不规则的叉枝,枝形扁平,用盘状根固着在珊瑚礁的碎块上,枝叉互穿成团,生于低潮面 1 ~ 2 m 处,再生能力强,采摘后残体次年再收,一般夏天收获。珍珠菜,呈黄绿色到紫红色,腹面暗红,往往为团块状,多年生,分布在低潮海面下 1 ~ 2 m 的碎珊瑚上。

海藻具有很高的工业、农业、食用及药用等价值。巨藻是很重要的工业原料,不但可以从中提取碘、钾、褐藻胶、甘露醇、甲烷、乙醇、轻油、润滑油、石蜡、橡胶和塑料等多种工业产品,而且它可作为一种新的生物能源,为解决未来的能源问题开辟一条崭新的途

径。美国的海洋科学家曾在离太平洋沿岸城市圣地亚哥大约 100 km 处建立了一个水下种植场。在水深 12 m 的海中,人工移植了一种巨型褐藻。它一天能生长 60 cm,含有丰富的有机物质。只需借助于细菌就可以很容易地把这些有机物质变成可燃气体——甲烷,还可以采用简单的加热办法把它们变成“类石油”产品。根据有关专家计算,一个面积为 4 万 hm^2 的水下种植场,能够为一个 5 万人口的小城市提供全部用油。一个延伸 750 km 的大型海藻种植场所提供的甲烷,足够顶替美国目前使用的所有天然气用量。目前,美国能源部与太阳能研究所正在扩大实验,在水池中灌注海水培养这种单细胞的海藻,用来直接炼制汽车用的汽油与柴油。在黑海沿岸,苏联早已进行用海藻作肥料和工业原料,提取氮及微量元素的工作。由藻类提取的琼脂用途更为广泛,实验室中可用它作为培养基培养各种细菌和微生物。皮革、纸张等经过琼脂处理后变得更加结实,而且具有光泽;也可用于除去锅炉中的水垢,或作为冶金工业中的防锈剂。在香料制作中,琼脂被用作加固剂,它还被广泛应用于食品工业中。

不少藻类可以直接食用,而且营养价值很高。例如,海菜、紫菜等。藻类植物所含的蛋白质、脂肪和糖类要大大超过谷物和蔬菜。如褐藻和红藻平均含蛋白质 20%,绿藻的蛋白质高达 45%,而荞麦和小麦则分别只有 9% 和 14%。就某些维生素的含量而言,藻类植物还大大超过了许多蔬菜和水果。例如海带中的维生素 B_2 的含量等于土豆的 200 倍,胡萝卜的 40 倍。有些藻类植物所含的维生素,甚至比苹果的还要多;个别的维生素如 B_{12} 还是一般植物所没有的。可以预见,藻类植物的食用价值进一步被开发、被利用,必将成为被人类所接受的一种全新的食物资源。

但是,海藻也不能无限地随意繁殖,否则,它们将给海洋环境造成相当大的危害。为此,挪威海洋技术研制出一种专门监视对海洋造成危害的藻类的生长状况的特殊传感器。这种传感器能够监视 33 种藻类。瑞典和挪威等国已在沿岸设置了监视网,主要安

装在水下 2 ~ 3 m ,并且还配置了其他 13 ~ 20 种传感器 ,用于记录海洋的各种状态和物质情况。此外 ,泰国和柬埔寨也开始在沿岸区域设置这种传感器 ,专门监视藻类生长的情况。

二、海洋中的动物资源

世界上鱼的种类有 1.5 万 ~ 4 万种。有关专家认为 ,比较可靠的种类约 2.5 万种 ,经常供人们食用的就有 1 500 多种。

海洋鱼类中鲨鱼最令人恐怖。它凶残、贪婪 ,被称为“海中霸王”。据统计 ,全世界海洋中共有各种鲨鱼 350 种左右 ,通常栖息于 3 000 m 深处。它们分布很广 ,热带、亚热带海洋及温带、寒带水域中都有其踪迹 ,生活在我国的鲨鱼约有 70 多种。海中鲨鱼并非全都噬杀成性 ,其实大多数鲨鱼并不主动攻击人 ,只有大青鲨、双鲨、锥齿鲨、噬人鲨等少数鲨鱼会向人发起攻击 ,而且通常是在非常饥饿的情况下或闻到了腥味时才进行。

海洋中的游泳冠军是箭鱼 ,它的体型呈非常漂亮的流线型 ,尾部较细 ,摆动有力 ,体表还有一层光滑的黏液 ,可使阻力大为减少。箭鱼体长 3 ~ 4 m ,重达 300 kg 左右 ,速度为 120 km/h。它们的活动范围很广 ,热带、亚热带、温带的海洋里都可以捕到。

大、小黄鱼栖息于我国沿海浅近海域。它们的肉味鲜美 ,产量较大 ,在我国海洋渔业中占有重要的地位 ,是我国近海重要的经济鱼类 ,并深为中国人民所喜爱。

带鱼也是我国沿海重要的鱼类之一 ,广泛分布于我国黄海、渤海、东海和南海 ,其中以东海产量最高。带鱼是一种中下层集群性回游鱼类 ,肉质细嫩、营养丰富。

鱼类是人类最喜爱的食物之一。许多鱼类不仅味道鲜美 ,营养也极丰富 :含有蛋白质、脂肪、糖类、矿物质和维生素等多种人体不可短缺的营养物质。研究数据表明 ,鱼肉中蛋白质的含量超过了牛奶和鸡蛋 ,接近鸡肉、牛肉和猪肉等肉类中蛋白质的含量 ,而且鱼类中的蛋白质更易被人体所消化和吸收。著名的鱼翅就是鲨

鱼鳍,它不仅是上等佳肴,而且有益气开胃、补虚、消食的功效。鱼体身上除可食用部分外,占鱼体 30% ~ 50% 的头、尾和内脏经过加工,还可以作为工业原料、医药原料、饲料,还有其他广泛用途。从鱼体中提取的鱼脑油,其黏度和熔点都较低,可以用来做许多精密食品和钟表的润滑油。黄鱼体内的鳔,可以制成工业和食用的鱼胶;另外,鲨鱼及其他大型鱼类的皮可以制革。鱼肝可以提取鱼肝油。鱼肝油含有大量的维生素 A 和 D,是防止和治疗眼病、呼吸器官疾病的药物,对儿童的生长有促进作用;同时,它对家畜的成长,提高家畜的排乳量和家禽的产卵量都起着十分重要的作用。一些鱼类如鳕鱼、鲑鱼、鲨鱼腺体中的胰岛素含量要超过陆生动物,提取出的胰岛素是治疗糖尿病和神经痛的重要药物。经加工制取的有毒鱼类的毒素,临床上已用于治疗神经痛、痉挛、关节炎等疾病。

据统计,海洋中的甲壳类动物有 2 万多种,但人们最熟悉的是虾和蟹。它们的体外长有一层坚硬的几丁质外骨骼。虾、蟹的分布范围很广,而且体长大小相差极为悬殊。生长在大西洋亚速尔群岛附近深海底的巨蟹,其宽度竟达 6 m 以上,而小的蟹有的只有几毫米宽。

龙虾是现存虾类中体态最大的一种。一般体长约 40 cm、体重为 2 ~ 3 kg,大的可达 10 kg,最大的达到 20 kg,真可谓虾中之王。

对虾是我国沿海重要的虾类,主要产于黄海、渤海。对虾并非一雌一雄成对伴游才得其名,而是由于它们体型较大,市场常成对出售而流传下来的。

生长在南极的磷虾,被人们誉为“21 世纪的流行食品”,这是因为它有着极为惊人的资源量和很高的营养价值。据统计,南极磷虾的总量约 $5 \times 10^9 \sim 6 \times 10^9$ t。按联合国粮农组织计算,在不破坏生态平衡的前提下,年捕捞量约为 $5 \times 10^7 \sim 7 \times 10^7$ t,相当于世界 20 世纪 80 年代的渔获量的总和。有关专家由此计算得出,磷

虾的繁殖速度极快,年增长率大于5%,远远超过目前人类对它的捕捞量。

蟹也是肉质细、营养丰富、味道鲜美的海产品。蟹的头胸甲非常发达,横宽而背腹扁平。蟹的第一对螯足,像两把大钳子,既是捕食工具,又是御敌武器。蟹终生披着盔甲,其成分是几丁质,里面沉淀着甲壳素和钙盐蛋白,与陆上动物的骨骼成分十分相似,只是陆上动物的骨骼长在肉里,而蟹的骨骼长在肉外面罢了。幼年蟹的盔甲软而薄,从幼年到长大,需要更换几次盔甲。在去旧换新的过程中,可将旧甲上的寄生物清除掉,从而大大减轻盔甲的质量和身体的负担。同时鳃上的污泥也可借此机会清除干净。

蟹、虾不仅肉可食用,而且可以从它的甲壳中提取许多有用的东西。蟹、虾甲壳制成的染料,具有颜色鲜明,不易被水洗掉且成本很低等特点,蟹壳还可以入药,古代医书曾记载,蟹壳烧成灰内服,可以治疗妇科病。蟹壳灰用麻油调成糊状,是治疗冻疮的上等药膏。蟹、虾壳经盐酸处理后,从几丁质的甲壳中可提取几丁胺。几丁胺的用途相当广泛,有抑制胆固醇的作用。几丁胺还有一种妙用,就是可制成手术用的缝合线,这种线不会引起手术感染,能够被人体吸收而不用拆线。

海兽和陆地上的哺乳动物一样,是胎生的,体温恒定,用肺呼吸。它们的感觉均十分灵敏,而且大多有回声定位本领。

就整个海兽而言,以鲸的种类为最多,数量最可观,经济价值最高,与人民生活关系也最为密切。所以,可以说它构成了海兽的主体。全世界的鲸类共90余种,可分为两大类:一种口中没有牙齿,只有须的叫须鲸,如蓝鲸等。须鲸种类较少,仅10种左右,身躯巨大。另一类口中无须而保留着牙齿,叫齿鲸。它的种类很多,计80余种,包括凶猛无比的虎鲸和结队遨游的海豚。

海中巨兽——蓝鲸为世界动物之冠。最大的蓝鲸是1904年在大西洋的福克兰群岛附近捕获的。这条蓝鲸体长35 m,体重

195 t,相当于二三十头大象的质量。别看蓝鲸身躯庞大,长有一张大口,但它最爱吃的却是一种体长只有6~7 cm的磷虾,它一天要吃掉4~5 t磷虾。现在世界上只有南极附近海域或北冰洋才有这样丰富的食物资源,热带海域很少有蓝鲸等须鲸吃的充足浮游生物团。因而,每年夏季蓝鲸主要到南极海域去索饵觅食,到了冬季,又回到温暖的海域求偶交配,生儿育女。世界上原有蓝鲸20万头左右。但从1904年开始建立南极捕鲸基地,尤其是近四五十年来,人们对鲸狂捕乱猎,致使蓝鲸数量急剧下降,目前蓝鲸仅剩下2 000多头。

抹香鲸最大体长达20 m,重60多吨,是齿鲸中的“巨人”。它整个身躯宛如一个巨大的蝌蚪,头重尾轻,仅头部就占去全身长1/3。抹香鲸的牙齿很长,足有20多厘米,每侧40~50枚。抹香鲸喜食海中一种体长10~18 m的大乌贼。由于大乌贼生活在深海中,抹香鲸要吃到这种美味就得潜至千米以下的深海中去寻觅。抹香鲸喜群居,数量多时可形成二三百头的大群。

抹香鲸有很高的经济价值,除了肉可食用、皮可制革外,在它巨大的头部中有一种特殊的鲸蜡油,是一种用途很广的高级润滑油,许多精密仪器如手表、天文钟,甚至宇宙火箭都离不开它。一头抹香鲸的巨大头部内储存有1 t这样的高级润滑油。抹香鲸肠道中的异物——龙涎香是一种名贵的香料,燃烧时香气四溢,似麝香,但更为幽香。在香水中只要加上一丁点儿,就能使香味变得更加美妙沁人,而且不易消失,被它熏过的物体可以长期保持芬芳气味,因此龙涎香的价格比黄金还要贵。一头普通抹香鲸的龙涎香仅约1 kg,小的只有几克。苏联捕鲸队曾在南极海面捕获过两头抹香鲸的龙涎香分别重达20多公斤,可谓“稀世之宝”。正由于抹香鲸用途广、效能奇,所以早已成为各国大肆捕猎的重点对象,以致其数量急剧减少。据估计,现存于北太平洋海域的抹香鲸仅剩几万头。

海豚是一种聪明绝顶的海洋动物,实际上是小型齿鲸,它们的

体长在 3 ~ 5 m。海豚有一套极其灵敏而又精密的声呐系统,能探测到 2 000 ~ 200 000 Hz 的高频,具有高超的回声定位本领。它可以发出声音,并能随意改变声调的高低,以排除各种噪音的干扰;它还可以用下颌骨接收回声,送入耳内,再对回声分析和判别,最后对目标作出正确的判断。事实证明,海豚比猩猩和猴子还要聪明,如控制电流开关,海豚只学 20 次就能关闭,而猴子则需要几百次甚至上千次训练才能学会。有一次,一头海豚只训练 5 次就成功了。海豚之所以如此聪明,是因为它有一个发达的大脑。海豚的大脑不仅很大,而且沟回很多,像核桃仁一样。一头成体海豚的脑重平均为 1.6 kg,人的脑重约为 1.5 kg,而猩猩的脑重不到 0.5 kg。从绝对质量看,海豚脑比人脑还重,但从脑重和体重比看,人仍占第一位。人脑的质量占体重的 2.1%,而海豚脑重与体重比为 1.17%,猩猩只占 0.7%。这表明,控制单位体重的脑组织,海豚要比猩猩多得多。此外,海豚的脑还有一些独特的本领,如在睡眠中大脑左右两个半球可以轮流休息:当左侧大脑的半球处于抑制状态时,右侧的大脑半球却处在兴奋状态,每隔十几分钟轮换一次。

海豚的聪明和高超的游泳本领,深受一些国家海洋学家的重视。早在 20 世纪 50 年代末期,美国就成立了专门利用海豚等海兽从事水下活动和作战的研究机构。60 年代中期,美海军成立了海兽研究实验基地。1964 年,一只由美国海军训练的名叫凯基的海豚,携带装有仪器的挽具进行了航行实验。1965 年,美又训练了另一只名为塔非的海豚,在海底搜寻由空间返回地球而落入海中的宇航员座舱,并出色地保护落水人员免受鲨鱼的袭击。越南战争期间,美国海军水下训练中心训练的 6 头海豚和 12 名海豚训练员参加了越南金兰湾的巡逻和警戒。海豚身上装有无无线电发射机,一旦发现入侵蛙人,海豚就返回到船上的水面武器平台,台上装设了适合海豚鼻状的锥形物,锥形体顶部装有测量仪和空心针头。装了毒针的海豚紧接着就返身入

水,向蛙人发起突袭,用针头直刺蛙人使其即刻毙命。有时,训练员还在海豚的鳍和口鼻上都绑上利刃,训练海豚专门切割潜水员的供气管和面罩。海豚还非常擅长深海打捞,1965年,美军在试验“阿斯洛克”反潜火箭和“天狮星”巡航导弹时,曾进行过一项有趣的实验。他们在火箭战斗部和导弹发射架上装设音响信标,结果海豚没费吹灰之力,便找到了落在60 m深的海中的“阿斯洛克”反潜火箭的战斗部和“天狮星”导弹发射架。1987年10月海湾风云骤紧,美国海军紧急调来了5只海豚,以保证锚泊、游弋于该海域的美舰船的安全,这5名“水下特种兵”日夜守护在编队周围,有效地防止了伊拉克蛙人的可能袭击,同时还协助扫雷人员搜寻出数量可观的水雷。为了摧毁敌方舰艇,美海军还对海豚进行携载弹、雷试验。如将炸药或水雷固定在海豚的背鳍上,通过外科手术将炸药包埋入海豚的胃中或让海豚拖带触发水雷去碰撞目标,达到毁灭目标的目的。在1991年海湾战争中,美国在向波斯湾派出数艘扫雷艇的同时,还向海湾运去一支训练有素的海豚部队,执行探雷及水下作战任务。伊拉克曾组织一批敢死蛙人,企图从水下袭击美舰。但是美舰受到海豚的严密保护,海豚在美舰周围组成一个防线,它们凭着灵敏的感觉,搜寻着进犯者;一旦发现敌方蛙人,迅速前往与之搏斗,并将敌方蛙人刺死。由于有海豚部队的守卫,伊拉克蛙人无法接近美舰。不仅如此,海豚还保护着己方蛙人,使他们免遭致命的海蛇的袭击。如果美海军蛙人或水兵在海里出现危险,它们立刻前往救护。尽管战争期间,美、英等国派出的扫雷舰艇的探测设备非常先进,但还有不少弱点。因此,多国部队充分利用海豚来协助,以弥补探测手段的不足。据美国海军情报人员透露,战争期间海豚至少有7次发现了海湾中的水雷,并立即发出了信号通知舰艇,使舰艇多次及时避开了水雷。

当然,能充当“水下特种兵”的远不止海豚,海狮、海豹和鲸类也常被训练来应用于水下战场。

第三节 海洋捕捞技术

所谓的海洋捕捞技术,就是利用各种先进技术和手段,进行海洋捕捞的行为方式。海洋捕捞技术的主要表现是探鱼仪的使用,声、光、电捕鱼术和智能捕捞系统的应用等。

一、探鱼仪的发明与应用

1917年法国物理学家郎之万利用有压电效应的石英晶体振荡器,发明了超声波测距测深仪。1919年,英国制造了装有磁致伸缩振荡器的测深仪。超声波测深仪的发明,使这些国家的船只最先配备了这种堪称当时世界上最先进的测深仪。1926年,一艘法国轮船航行在世界著名的纽芬兰渔场海域,船员们偶然发现船上用来测量水深的超声波测深仪上,接收到一种特殊的信号,这种信号多次出现,凭经验可以断定它不是来自海底的回声信号。1930年,一艘英国渔船的船长鲍尔斯在进行捕捞鲱鱼的作业时,超声波测深仪上也出现了类似的特殊信号,他发现这种来自海洋中层的回声信号是鲱鱼群反射回来的。鲍尔斯在英国水产学家霍奇森的指导下,于1948年和1951年发表了两篇关于用超声波测深仪探测鱼群的论文。无独有偶,在这以前,挪威海洋生物学家奥斯卡·森德,于1935年发表了关于利用超声波探测鱼群的报告。他最早证实了超声波测深仪可以作为鱼群探测仪器,探明鱼群的所在位置。

但是,真正以探鱼为目的使用的探鱼仪却是在1948年研制成功的,用这种探鱼仪出海仅1个多小时就满载沙丁鱼而归。

从20世纪50年代起,许多国家在渔船上装备了探鱼仪,这种仪器在捕捞生产中确实起到了前所未有的作用,但是使用中还是碰到了不少问题。例如,由于底层鱼生活在海底附近,底层鱼的声音回波与海底的声音回波该怎样进行区分?鱼的种类和数量怎样进行判别?当时,电子技术只能对反射信号比较强的鱼种(例如

一些长鳐的中上层鱼)或具有一定数量的鱼群起作用。

随着电子技术的发展,人们在探鱼仪中增设了不少特殊电路来解决上述问题。

在 1990 年召开的世界渔业展览会上,人们展出了挪威西姆拉公司生产的 R3240 超远程探鱼仪。它使用新的滤波技术抑制噪声,因此能够探测到 3 000 m 以外的目标。探鱼仪有一个能仰俯、转动的球面发射器,发射频率为 24 kHz 的声波,其回波信号在屏幕上能用 64 种颜色显示出来。如果把探鱼仪与陀螺通过电脑联结控制,还可以自动跟踪鱼群。再以 E3380 彩色探鱼仪为例,在其显示的数字彩色鱼群映象中,海底反射波由最强到最弱,是由红、橙、黄、绿等颜色组成的海底线,海底上方的鱼群,根据不同鱼种反射的强弱,用绿、蓝、黄、橙等颜色显示。屏幕的左下方有一个显示窗口,以方框图的形式显示主要鱼种的相对数量,它还能显示出各鱼种的体长和分别占捕获量的百分比。由此可以看到,彩色探鱼仪已跨过了解决定量探测鱼群的门槛,并找到了定性探测鱼种的方法,成为当前最新颖的探鱼仪器。如果以电子元器件作为划分探鱼仪代系的标准,那么,电子管式探鱼仪是第一代探鱼仪;晶体管式探鱼仪是第二代探鱼仪;综合了集成电路、电脑技术和彩色显示技术的彩色探鱼仪则属于第三代探鱼仪。

目前,探鱼仪正朝着多功能、自动化、数字显示、彩色立体显示的方向发展。最新颖的探鱼仪可贮存 360° 方向上探测的瞬时信息,并能自动进行鱼群信息处理分析。同时,还可以连接其他机械设备,实现起、收网的自动控制。

现在,市场上不仅有声学探鱼仪,而且出现了激光探鱼仪。美国研制的机载激光探鱼仪,可在航速为每 100 km/h 的飞机上、以覆盖宽度为 75 m 的激光进行扫描探鱼,每小时可以搜索 12 km^2 的海面,大大加快了探鱼的速度,扩大了探鱼的范围。俄罗斯应用激光雷达探测鱼群,能探测到海面以下 30 m 范围内的鱼群。这种激光雷达装在飞机上,跟海上的围网渔船一起工作,在巴伦支海曾

一网捕到 300 t 的鱼。装置在飞机上的主要设备还有红外图像显示器、光谱仪、空中摄影系统、投弃式海水测温仪和计算机等。它能确定海水的温度、透明度、海浪高度、海流流速和流向、海水表面温度分布图等。船长可以根据这些数据和图像资料跟踪鱼群,确定渔场的位置,这就大大提高了海洋捕捞效率。

二、声、光、电捕鱼术

鱼类既有发声器官,又有接收声音的器官。鱼类虽然不长外耳,但在颅骨里却有一对内耳,此外,鱼体内受第 10 对脑神经控制的侧线感觉球也是一种听觉器官。更令人称奇的是,鱼类的皮肤也能感知声音。不过,鱼的这些听觉器官是有分工的,对频率极低的声波是由皮肤感知的,频率为十几赫的声波由侧线感知,只有频率大于十几赫的声波才由内耳来感知。鱼能感知的声波频率范围为 5 ~ 13 000 Hz,而人能感知的声波频率范围则为 20 ~ 20 000 Hz。所以,鱼类不仅能听到大部分人耳能听到的声音,而且还能听到人耳听不到的频率小于 20 Hz 的次声波。

于是,人们利用水声学和电子技术研制了各种音响集鱼器和威吓声发声器,在水中播入有效的声响,即利用鱼群喜爱的声音来引诱鱼类,利用它们厌恶的声音来威吓、驱赶鱼群,以此来提高捕捞量。目前,已有各种不同的水下放音设备直接用于捕捞作业中。

这种水下放音设备是由放声器、功率放大器、磁带录放机及振荡器等组成的。放声器一般是封存在橡胶中的圆筒形钛酸钡换能器。20 世纪 60 年代初,日本就开始了声诱捕鱼方面的实验。人们用录音机把诱鱼的声音和威吓鱼的声音录制下来,然后用水下放音设备向渔场水域播放。几年的试验结果表明,在捕捞真鲷、金枪鱼的渔船上,使用水下放音设备能提高渔获量。20 世纪 80 年代初,联邦德国的渔民采用音响集鱼新技术捕捞鲈鱼,也获得很大的成功。3 h 就捕获了 700 kg 鲈鱼,而不用音响集鱼的船 5 h 仅捕获 250 kg 鱼。

为了提高捕鱼效率,防止鱼从围网中逃逸,科学家还发明了威吓鱼类的装置。

通过实验,人们发现鱼类对于声压超过 50 dB 的声音感到害怕。据此,有人发明了冲击式威吓声发生器,它可产生连续的冲击声。在频率为 400 ~ 4 000 Hz 时,离发生器 1 m 处的声压达到 107 dB;频率为 8 000 ~ 11 000 Hz 时,声压达 114 dB。将发生器放在网口的前方可以防止鱼群逃跑。

近年来,日本、俄罗斯、美国、英国、德国和荷兰等国家都把这种声音驱、诱鱼技术作为捕捞技术研究的一个重点课题。

很多海洋生物有一种趋光的本能。例如螃蟹一见光源,就会慢慢爬过去。大多数的鱼,特别是一些中、上层鱼都有喜光的习性,受到光的刺激时,就纷纷向光源处游动、聚集。也有些鱼自身虽然没有趋光的习性,但为了捕食聚集到灯光下的小鱼、小虾和浮游生物,也聚集到灯光周围来“凑热闹”。灯光围网正是巧妙地利用了鱼类的这种习性而发明的一种新式捕鱼方法。

用灯光捕鱼的工具一般由灯船、网船和灯艇等组成。船上装的诱集灯分为水上灯和水下灯。水上灯装在船的左、右舷,水下灯则通过电缆放入水中。水下灯的深度和亮度可以自由调整。水上灯可以在水面上较大的范围内起到集鱼作用,但由于灯光会被反射,照到水中又会被衰减,所以生活在较深处的鱼儿就很难被诱到上层来。而水下灯却正好弥补了这个不足,因为人们可以通过调整灯的深度把下层的鱼诱向上层,进行诱捕,但由于海水对光会起衰减作用,故集鱼的范围比较小。将水上灯和水下灯结合,就能在灯船把鱼诱集起来,然后让网船迅速下网,进行捕捞。

舟山市普陀山一带渔民采用灯光围网,每组由一条网船、一条灯船和两条灯艇组成。诱鱼时,灯船上有 8 盏 1 500 w 的水上灯,两条灯艇有 4 盏 1 500 w 的水下灯,这些灯齐放光明,在海上形成一个方圆 5 km² 的光照区,将趋光性鱼类纷纷诱入围区。当鱼群密集之后,灯艇便采用向上提拉水下灯的办法,慢慢将鱼群诱向上

层集中。然后,再由网船迅速放网,进行围捕。

配合灯光捕鱼的工具很多,例如围网、鱼竿、鱼泵等等。较大型的围网,仅网的质量就有十几吨,围网的下部有许多铁环,在海中形成一道直径近 500 m、高 200 m 的围网墙,一旦把鱼群团团围住,这时先将铁环索揪紧,使鱼网成为一个袋子,然后开动起网机起网。灯光围网捕鱼发达的国家有日本、美国、俄罗斯、挪威、澳大利亚和秘鲁等国。

最近几年,我国的灯光围捕作业已由近海向外海发展。渔民通过改造光源、增大马力,创造了灯艇抛锚诱鱼法等先进的捕捞技术,使灯光围捕作业的总产量和单位产量成倍地增加。所以,有人称灯光围网作业为“渔业之王”。

科学家们发现,一般鱼类对电场的反应都很敏感,它们的头通常总是朝着阳极。鲨鱼正是利用它的这种电感受器准确地捕食埋在砂石中的比目鱼和小鲽鱼的,因为这些鱼的头部会发出频率为 1 Hz 左右的电信号,因而鲨鱼能发现它们。有趣的是,有人做过这样一个试验:在砂石中埋入一个电极,其电极的电场强度与比目鱼或小鲽鱼的相近,鲨鱼居然扑向电极,进行捕食。

根据鱼类的这一特性,人们同样可以利用电信号来诱鱼,把鱼群引入捕鱼装置内,或利用电信号来威吓鱼群,把鱼群赶入捕鱼装置内。

利用电流捕鱼的新技术适用于捕捞沙丁鱼、鲱鱼、鲭鱼等生活在海洋上层的鱼类。具体做法是:当探鱼仪探测到鱼群以后,先采用灯光诱鱼技术把鱼群引来,然后通过电极向海水中释放电流。由于鱼群的游动方向是由阴极趋向阳极的,所以这时如果在阳极附近装上一台可以大量吸入海水的鱼泵,那么,鱼群很快会被捕尽。

电流捕鱼新技术采用小功率的直流电场把鱼诱向阳极,然后进行捕捞,它所要求的功率很低,只要 2 ~ 5 kW 就行了,所以耗电量比灯光捕鱼还小。同时,渔船在作业时停驶不动,可以充分利用

渔船上所有的供能设备。因此,它具有很大的优势。但是,这种捕鱼技术暂时解决不了捕大留小的问题。

三、智能捕捞系统

1970 年联邦德国有位科学家提出了把捕捞作业的每一个步骤都用计算机来控制,实现自动化、智能化的设想。

日本于 1973 年首先实现了这一设想,他们在东京水产大学的海洋调查船“第三海鹰丸”上配备了这一系统。在这艘船上,通过计算机汇集和处理关于海洋气象、航海、捕捞和船上主机等的各种数据,并发出自动控制的各种指令。例如,要控制中层拖网的深度,当网情仪的网具深度信号、曳网拉力、曳网长度、船位、航速等数据自动传送到电脑室的计算机时,计算机就会根据网口深度的变化,自动调节船的航速或曳网长度,使网口保持在最佳的深度上。其起网时间和起网操作也由计算机自动控制,一旦达到了起网时间,计算机会通告绞机进行起网操作。所以,整个捕捞作业过程就像工厂的自动化生产作业流水线一样,不需人工来操作。这不仅大大地节省了人力,而且显著地提高了捕捞作业的效率,开创了智能化捕捞作业的先河。

1988 年,法国和西班牙两国共同投资 6 000 万美元,建造了一艘更新式的捕鱼船,有人称它为 20 世纪 90 年代的智能捕鱼船。这艘新型的捕鱼船上装备了卫星接收装置,能接收卫星观测到的各种信息,从而获得与鱼群活动密切相关的水温、盐度、悬浮颗粒和叶绿素含量等分布情况,再经计算机综合分析,确定鱼群的位置,并由计算机发出指令,控制渔船的航向、航速,自动跟踪鱼群。这时,渔船上的其他仪器(如探测鱼群的声呐系统、水下摄像系统等)同时配合工作,不断把鱼群的信息反馈给计算机系统,再由计算机控制拖网捕捞作业的第一个过程。据报道,这艘捕鱼船每小时拖网扫海的面积可达 $60\,000 \sim 70\,000 \text{ m}^2$,每小时至少捕鱼 $2 \sim 3 \text{ t}$ 。

海洋渔业捕捞是一项有着久远历史的技术,智能化捕捞系统的诞生是海洋渔业捕捞技术史上的一次飞跃,它不仅大大地提高了捕捞效率,而且也合理捕捞、保护渔业资源开辟了潜在的应用前景。日本、美国、挪威等国先后在 20 世纪 80 年代末,在渔船上配备了拖网作业自动化系统,并向更高水平的智能化方向发展。

第四节 海水淡化技术和海洋能源的利用

在陆地淡水资源极度匮乏和能源极端紧张的情况下,开发、利用海水和海能具有十分重要的现实意义和历史意义。

一、海水淡化技术

海水淡化也可称为海水脱盐,无非就是把海水中的盐和水分离开来。从海水中取出水来,或者把海水中的盐除去,都可以达到使海水淡化的目的。人们沿着这两种途径,找到了数十种海水淡化的办法。

1. 蒸馏法

蒸馏法便是海水淡化中最古老最简便的一种方法。蒸馏法的原理其实很简单,就是使海水受热汽化,再使水蒸气冷凝,从而获得淡水。从 20 世纪 50 年代起,多级闪急蒸馏法、多效蒸馏法、压气蒸馏法等新方法相继问世,并不断被完善。同时,太阳能蒸馏法也在某些方面获得了突破性的进展。

目前技术上最为成熟的蒸馏法首推多级闪急蒸馏法。就数量和造水量而言,它都占绝对优势。

这种方法最吸引人的地方,在于它采用了减压的节能办法。由物理学的相变理论可知,液体的沸点温度是随外界的压强而变化的。外界的压强大,则沸点高;外界的压强小,则沸点低。水在标准大气压下,沸点是 100,而在地面气压较低的西藏高原,沸点则在 80 左右。

闪急蒸馏时,先将海水在管路中加热,然后引至一个压力较低

的设备(闪蒸室)中,这时海水便急速汽化,此即“闪急”名称的由来。在闪急蒸馏过程中,海水温度迅速下降到与闪蒸室压强所对应的饱和蒸汽温度,温度降低所放出的这部分热量便成为闪急蒸馏使海水汽化的热能,而不再需要外界提供热量。所产生的蒸汽经冷凝器冷凝,便得到了淡水,而冷凝器中的冷却剂就是海水,从而使海水预热,回收了热能。若使预热后的海水依次进入多个压强逐级降低的闪蒸室,进行逐级闪蒸和冷凝,便组成了一个多级闪急蒸馏系统。

多效蒸馏虽然是蒸馏法中最早问世的一种大型海水淡化系统,但由于结垢严重而一度处于停滞状态。20世纪70年代以后,随着防垢技术的进步,它又东山再起。目前,人们已建成了日产淡水54 000 t的大型多效蒸馏系统。

多效蒸馏与多级闪急蒸馏的工作流程有些相似。它是将多个蒸发器按压强逐级降低的顺序串联起来。串联蒸发器的个数,称作效数。它把经前一效蒸发器产生的蒸汽(二次蒸汽)用作加热进入后一效蒸发器海水的热源,使海水汽化。经过这样的串联,热利用效率提高了,能源也节约了。

蒸汽压缩蒸馏系统是蒸馏法中热利用效率最高的一种系统。由于高效离心式压缩机的研制成功以及机械密封技术的提高,确保了压气系统运行的可靠性和造水质量。它的热利用效率较高,结构简单且适应范围广。最近,法国有家公司研制成功了一种4效的蒸汽压缩蒸馏系统,造水能力为每天1 500 t,每吨水的耗电量仅为11 kW·h。正由于这些优点,它的发展十分迅速,1990年,全世界日产水量超过100 t的蒸汽压缩蒸馏系统已有590多个。

利用太阳能蒸发海水来生产淡水,可以说是对自然界中海水在阳光照射下蒸发,然后凝结,形成云雨过程的一种模仿。它最大的优点是节约能源。

直接利用太阳能来蒸馏海水的历史可以追溯到18世纪80年

代,但直到1972年,智利才建立了世界上第一个顶棚式太阳能蒸馏装置。这种蒸馏装置是一个用混凝土制成的池子,池内充满海水,池面的上方覆盖着一层玻璃罩。阳光通过玻璃罩加热池内的海水,罩的下沿安装了若干的沟槽,凝结的淡水细流顺槽而下,聚积起来。利用这种装置产出的淡水并不多,即使在最有利的条件下,每平方米水面的日产淡水量也不超过5 kg。因此,为了增加日产淡水量就必须增加水池面积。以后,世界上又出现了倾斜式太阳能蒸馏装置,这种装置将产水量提高了30%~60%。

多年来,太阳能蒸馏装置热能利用率比较低,产水量也不高。所以,有人设想是否也可把它制成多效或多级的,以提高热能利用率呢?1982年,日本在冲绳建立的太阳能多效热扩散蒸馏装置,就是根据这种设计思想建成的,它的产水量大约为顶棚式的7.5~10倍。稍后,出现了效率比较高的间接太阳能淡化法:先用集热器将光能变为热能,或用太阳能电池将光能变成电能储集起来,然后,把它作为海水淡化的能源。日本、阿联酋等国家都建成了这样的太阳能蒸馏装置。

总的来讲,太阳能蒸馏由于一次性投资大,所以造水的成本比一般蒸馏法要高。不过,它能节约能源,对于能源缺乏、日照时间长的海岛或沿海地区,仍不失为是一种具有吸引力的好方法。

2. 电渗析淡化法

1954年,美国人利用离子交换膜建造成功世界上第一台日产106 t淡水的电渗析淡化装置,开创了海水淡化的新纪元。

离子交换膜分阳离子膜(简称阳膜)和阴离子膜(简称阴膜)两种。阳膜带负电,只让带正电的离子通过;阴膜带正电,只让带负电荷的离子通过。正是利用离子交换膜的这种神奇功能,人们研制出了形形色色的电渗析淡化装置。

人们都知道,海水是导电的。这是因为海水实际上是含多种盐类物质的溶液,在海水中盐类物质以金属离子和酸根离子的形式存在着。海水中含量最大的是氯化钠,即食盐。氯化钠中的钠

离子带正电,氯离子带负电。因此,如果把海水中的正、负离子都去掉,就等于把海水中的盐类给去掉了,那么留下来的就是没有盐分的淡水了。由此人们提出了一个巧妙的海水淡化方案:将阳离子交换膜和阴离子交换膜置入盛有海水的容器中,将海水分隔成三个部分。通电后,海水中的离子就按自己的带电性质运动。正离子穿过阳离子交换膜趋向负电极;负离子则穿过阴离子交换膜趋向正电极。当两膜之间海水中的阴、阳离子都跑掉时,留下来的就只有淡水了。这就是电渗析海水淡化的原理。

用电渗析法淡化海水,最关键的材料是阴、阳两种离子交换膜。目前,开发离子交换膜的技术已趋向成熟。电渗析方法不仅可以应用于海水淡化,而且还可应用于海水浓缩制盐、牛奶及乳清脱盐、药物制造、血清疫苗精制等方面。特别是用电解食盐水制备烧碱的方法,带来了烧碱工业的一场革命。

3. 反渗透膜淡化法

反渗透膜具有让淡水畅通无阻而对盐分禁止通行的功能。如果用这种反渗透膜把一个容器分隔成两部分,在一侧放进淡水,另一侧放进海水,刚开始时使两者的液面高度保持一致。过了一会儿海水一侧的液面高度渐渐升高了。但是,这种升高不是无止境的,当海水和淡水两者的液面高度差达到一定值时液面就会静止。两者液面高度差所对应的压力就是渗透压差。一般来说,含盐量越高,溶液的渗透压就越大。这时,如果在海水液面上再施加一个比渗透压差更大一些的压力,人们就会看到与上述现象相反的过程,海水的液面又慢慢地降下去了。最后剩下的只是浓度更大的海水。这种通过加压产生的与自然渗透相反的过程称作反渗透。有了反渗透膜,利用反渗透的原理,就可以设计出另一种新型的淡化装置——反渗透淡化器了。

反渗透海水淡化的关键是反渗透膜的选择性能。1960年,美国的罗伯等人用醋酸纤维制出了世界上第一张商业性反渗透脱盐膜,并用它获得了相当可观的淡水产量。这一发现,改变了膜法淡

化海水的历史。由于用反渗透法淡化海水费用低,耗能少,脱盐效率高,适用范围广,所以它已成为目前海水淡化中最有发展前途的方法之一。在沙特阿拉伯,人们已建成日产 128 000 t 的世界上最大的反渗透淡化工厂。

4. 其他淡化方法

海水结冰时,只有纯水才能呈冰晶析出,盐则不随水析出,取冰融化,可得淡水。利用这一原理进行海水淡化的方法,即为冷冻法。

美国、以色列、英国等国的科学家研制出了一种冷冻脱盐装置。他们把不溶于水、沸点接近于海水冰点的丁烷作为冷冻剂,把它与海水混合,经预冷后进入冷冻室中。室内温度约为 -3°C ,压力稍低于地面气压。这时丁烷便气化吸热,使海水冷冻结成冰。

某些有机溶剂,如三乙胺等,在低温下能溶解一定量的水,而当温度升高时,又能将溶解的水分离出来,利用这一特性,又产生了一种新的海水淡化方法——溶剂萃取法。

某些气体化合物,如丙烷等,与水互不相溶,但在低温下能与水结合形成多分子的水合晶体,利用这一特性进行海水淡化的方法称为水合物法。

利用离子交换树脂的活性基团,与海水中的阴、阳离子进行交换,用树脂中的氢氧根离子取代阴离子,用氢离子取代阳离子,最后氢氧根离子与氢离子结合成水,海水中的盐则被去掉,这种方法叫做离子交换法。

还有一种海水淡化方法更特别,叫做植物海水淡化法。20 世纪 80 年代,人们发现红树能够淡化海水,可作为未来价廉物美的“植物海水淡化工厂”。据美国一些科学家的研究表明:深褐红树能从海水中吸收盐分,并把盐分送到叶片上,而又把水保存在体内。一些研究人员认为,可用红树林来充当大型海水淡化厂。据估计,如果在海岸和耕地之间种上一片宽为 50 m 的红树林,当海水通过这片红树林时,海水的含盐量就可以从 3.5% 下降到

1.7% ,这样的水就可以用来灌溉某些农作物了。更加可喜的是俄罗斯海洋学家探测查明世界各大洋底部拥有极为丰富的淡水资源 ,其蕴藏量约占海水总量的 20% ,这也将为解决淡水危机展示出一条新的光明之路。

目前 ,海水淡化技术尽管已经取得了令人瞩目的进展 ,但是要真正解决人类面临的水资源危机还需付出更大的努力。

二、海洋能的利用

据海洋学家估算 ,世界海洋中“能”蕴藏量达 7.5×10^{10} kW ,而且它们都属于“再生性能源” ,不会枯竭 ,也不必担心二氧化碳、二氧化硫和核废料的污染。海洋能中占比例最大的是波浪能 ,约占 93% ,达 7×10^{10} kW ;潮汐能为 1×10^9 kW ,温差能达 2×10^9 kW ,海流能为 1×10^9 kW ,盐差能约为 2.6×10^9 kW。

1. 海浪能的利用

海上掀起的洪波巨浪所具有的能量是相当可观的。历史曾有过如下记载 :巨大的涌浪曾把一块 20 t 重的水泥构件从 4 m 深的水里托到岸上 ;一场宏大的拍岸浪涛将 130 t 重的岩石抛到 20 m 高 ;洪波巨浪曾把一块 1 370 t 重的水泥块推移了 15 m ,60 m 高的惊涛骇浪把瓦胡岛的北部熔岩海岸砸得粉碎 ;一艘美国轮船遭到巨浪袭击后 ,船被截为两段 ,一截抛上海岸 ,一截留在海里……波浪能造成严重的灾难 ,但是若能将它化害为利 ,它将产生难以估计的影响和有效的收益。1964 年 ,日本制成世界第一盏用海浪发电的航标灯。1978—1979 年 ,日本海洋科技中心建成了一艘世界上最大的海浪发电船“海明”号 ,并进行海上试验。“海明”号严格地说并不是船 ,它没有底 ,只是一个长 80 m、宽 12 m 的浮动设备。船上装有三台两阀式涡轮机组 ,额定功率为 25 kW ,最大输出功率曾达到过 150 kW。1979 年下半年 ,“海明”号发电船纳入国际能源机构的共同开发项目 ,由日、英、美、加拿大、爱尔兰五国参加。

当时船上装设了 8 台机组,总装机容量达到 2 000 kW,一下子跃居为世界上最大规模的海上波浪发电站。1985 年 8 月,日本又在“海明”号发电船试验海域附近的岩边建造了一座 40 kW 的固定波浪发电站。该站在有效波高 0.8 m 时开始发电,有效波高 4 m 时的输出功率达 44 kW。这种波能发电装置是利用自行车打气筒的原理,靠波浪起伏运动产生压缩空气,推动空气涡轮机运动带动发电机发电。

我国的波能资源也相当丰富,大约在 5×10^8 kW 以上。我国近海受季风控制,冬季浪大,夏季浪小。特别是冬季在强烈的偏北风的吹刮下,从黄海到南海形成一条东北——西南走向的大浪带,波浪具有波高而周期小的特点,有利于波能发电。从 20 世纪 70 年代中期开始,我国开始研究波力发电技术,现已能生产系列化的小型波能发电装置,以作为航标灯、浮标的电源。1990 年 12 月,我国第一座海浪发电站发电试验成功。

然而,波浪能的开发还不如潮汐能那样方便,主要困难在于:波浪能是一种散布在海洋表面上的低密度不稳定能源,难以集中。更使人头痛,难于有效驾驭的是:波浪能变化无常,往往越是大风大浪大海区,越是波浪能集中的地方,而此时发电设备要在极其恶劣的条件下运转,就必须改进技术,从而大大提高设备的造价。

2. 潮汐能发电

潮汐能是人类最早开发利用的一种海洋动力资源。早在 11 ~ 12 世纪,法国、英格兰和苏格兰沿岸就知道利用潮汐能来碾磨谷米。中国应用潮汐能要更早些,唐朝在沿海一些地区出现不少利用潮汐冲击石磨转动来磨面的小作坊。然而,人类利用潮汐能来发电,还是在科学技术有了一定程度发展的近代。

德国人派恩于 1913 年在诺德斯特兰德岛与大陆之间建立一座潮汐发电站。第一次世界大战期间,这座电站开始正式发电。大战结束后,各国出现了能源危机,于是法国也热衷于潮汐发电的研究。1961 年,法国在英吉利海峡沿岸的朗斯河河口靠近圣马诺

城建了一座潮汐发电站。这是世界上最早建成的潮汐发电站之一,也曾是世界上最大的潮汐发电站。这里的潮差平均为 10.9 m,最大可达 13.5 m;水库坝长 350 m,涨潮时水库的水面能延伸到 20 km 长。电站坝内安装有直径为 5.35 m 的可逆水轮机 24 台,每台功率 10 MW,发电量达 240 MW,每年可供电 5.44×10^8 kW·h。1968 年,苏联在科拉半岛摩尔曼斯克沿岸的基斯洛亚湾建成一座小型潮汐发电站。这座发电站的功率只有 400 kW,充其量只是个试验站而已。然而,它的顺利运转却为苏联建立大功率的潮汐发电站提供了极为可靠的依据。应用基斯洛亚湾的经验,苏联又在白海海岸的卢姆勃夫建立一座潮汐发电站。该站的输出功率为 360 MW,年发电量 10^9 kW·h 左右。几乎相当于法国朗斯潮汐电站年发电量的 2 倍。

我国海岸线长达 1.8 万多公里,岛屿岸线长 1.4 万多公里,且港湾交错,蕴藏着极其丰富的海洋潮汐能源。据有关部门估计,如果把我国潮汐能源利用起来,每年可以得到 3×10^{11} kW·h 的电能。近年来我国潮汐发电站发展迅速,目前沿海各地区陆续有一批中小型潮汐发电站已投入运行发电。其中最大的潮汐发电站是浙江省温岭县江夏潮汐发电站,它也是目前世界已建成的较大双向潮汐电站之一。这里的最大潮差 8.39 m,平均潮差 5.08 m;电站功率 3 200 kW,1989 年发电量 6.2×10^6 kW·h。我国另一座较大规模的潮汐发电站,是福建平潭幸福洋潮汐发电站。潮差平均为 4.54 m,最大 7.16 m,该站年发电量可达 3.15×10^6 kW·h。

如何最有效地发挥潮汐能的功效,人们在长期实践中逐渐摸索出多种行之有效的潮汐发电形式。第一种是单库单向式。海水涨潮时,打开堤上的闸门向水库放水;平潮时,将闸门关闭。等潮水退后,利用水库内外水位差推动水轮机发电。单库单向式的缺点是显而易见的:发电时间较短,发电量较小。第二种是单库双向式。安装一种既能顺转,又能倒转的水轮机,并配上能正反转的发电机。这样不论是涨潮还是落潮都能进行发电,它的优点是发电

时间长,发电量要比前一种方式增加 20% 以上。第三种称为双库双向式。这种方式的最大优点是可以不间断地全日连续发电,但需要建造一高一低两个水库,把机组安装在高低水库之间的坝段内。利用涨落潮时海水在高低水库间流动,使机组连续发电。

现代运用潮汐能发电技术已比较成熟,但潮汐能的开发和使用远没有达到人类理想的要求。潮汐发电还存在着成本高,技术复杂,不能与水力发电、核能发电相竞争等缺点。但它的潜力是无限的,资源是用之不竭的,只要注意研究改进,降低成本,必将成为 21 世纪极有希望的动力资源。

3. 温差海洋能的利用

人类经过长期的观察测量发现,太阳的辐射能可以达到海水的一定深度,大约有 60% 可以透射到 1 m 的深度,有 18% 可以达到海面以下 10 m 的深度,因此,不同的深度水温不相同;不同的海域,水温也不相同。有关专家进一步研究还发现:在热带和亚热带海区,表层海水和深层海水之间的温差高达 $20 \sim 25$ 。这种奇趣的现象,引起了不少科学家深思。1881 年,法国科学家德尔松瓦拉首次大胆提出利用海水温差发电的设想,他还预言海洋中的温差能量迟早有一天会被人类大规模地利用,但由于当时的技术条件不够,这位科学家的设想未能实现。直到 1926 年,德尔松瓦拉的学生克劳德才实现了老师的夙愿。这年 11 月 5 日,他和鲍切特合作,进行了一次海水温差发电的模拟实验。他们取来两只容积为 25 M 的烧瓶,一只里盛有 28°C 的温水,代表热带海域表面水温,另一只则盛入冰水混合物,代表深层低温的海水。在连接两只烧瓶的一段粗玻璃管中,安装着一台制作得十分精巧的汽轮发电机,组成了一个封闭的发电系统。同时,这个系统里还装有一台抽气机,并用引线接出 3 只小灯泡。随着抽气机不断地把烧瓶内的空气抽出,使瓶内的空气压强降到只在大气压的 $1/25$ 时, 28°C 的温水猛烈地翻泡沸腾起来。水蒸气越来越浓,强大的气流把汽轮发电机冲击得飞速旋转,一时间 3 个小灯泡同时发出耀眼的光芒。

1930年,克劳德带着他改进的实验成果,来到古巴的马坦萨斯港,建立了一座海水温差电站。这里离岸不远就是很深的海区,水温落差很大。该站以海边 27 °C 的表面温海水为“热源”,以离岸 2 km 远的 600 m 深处冷海水为“冷源”,以开式循环方式发电,它的工作过程是这样的:用真空泵将系统内抽到一定的真空,接着启动温水泵把一层温海水抽入蒸发器,由于系统内已保持有一定的真空度,所以海水就在蒸发器内沸腾蒸发,变为蒸汽。蒸汽经管道由喷嘴喷出推动汽轮机运转,带动发电机发电。从汽轮机排出的废气进入冷凝器,被由冷水泵从深层海水中抽上的冷水所冷却,重新凝结为水,并排入海中。在这个系统中,作为工作介质的海水,由泵吸入蒸发器蒸发,然后推动汽轮机转动,并经冷凝器冷凝后直接排入海中,所以这种工作方式被称为开式循环系统。这个世界上第一座海水温差发电站获得了 10 kW 的输出功率。尽管输出功率很小,但却使人们看到了利用海水温差发电的光明前景。遗憾的是,这座电站没运行多久就遭到海浪袭击而被摧毁了。而且,这个系统效率极低,它所发出的电量还满足不了抽水泵的需要。

1964年,英国的安德森父子在总结克劳德等人的经验教训后,提出了不使海水降压沸腾,而仅仅利用表层海水的热量把怕热的液体“煮沸”,再利用这种液体的蒸汽来发电的方案,称为“闭式循环发电系统”。这种设想着实奇妙:它是把整个发电设备安装在一个巨大的浮体上,使之浮于海中,这样就可以大大缩短冷水取水管的长度,所谓怕热液体即沸点低的液态丙烷、氨、氟利昂等等,它们即使在很低温度下也很容易沸腾,从而产生大量蒸汽,得到较高的压力。1979年8月2日,根据安德森父子设想原理建造的一座海洋温差电站终于正式在夏威夷海面上发电了。这座电站安装在一艘改装了的海军驳船上,采用一种称为闭式循环温差的发电方式,把海面上 25 °C 的温水抽送到一个热交换器中,交换器内通过一根弯弯曲曲的管子,里面装有低沸点液体,它们在热交换器里吸收了表层海水的热量后变为具有一定压强的蒸汽,于是就推动

汽轮发电机组发出电来。

这座夏威夷海洋温差发电站的发电能力为 50 kW ,它除了把船上所有的实验系统都开动起来 ,剩下的只够点亮 9 盏 500 W 的灯泡和 1 台电视机。

关于海洋的利用 ,除以上介绍的之外 ,还有盐差能的利用 ,海流能的利用等。但是 ,至今为止人类对海洋能源的开发和利用还是十分有限的 ,有些甚至是刚刚起步。不过 ,人类在向海洋进军中从来就是百折不挠、积极进取的。可以预期 ,充满无穷魅力的海洋将会向人类奉献越来越大量、越来越丰富的能源 !

第五节 海底矿物资源的开发

海洋矿物资源极其丰富 ,这里主要介绍一下“ 锰结核 ”、海底石油及海滨砂矿等三个方面。

一、大洋深处的锰结核

1873 年 2 月 18 日英国海洋学家汤姆森教授在北大西洋加那利群岛的费罗岛西南大约 300 km 的海域中 ,用拖网采集洋底沉积物时发现了一种黑糊糊的类似鹅卵石的团块 ,当初并没有引起人们注意。但在 3 月 7 日又捞起了这种卵石块 ,此次汤姆森兴致勃发 ,断定它为化石。经随队考察的化石学家布查南教授简单化验后 ,发现这种团块几乎全由纯净的氧化锰和氧化铁组成。1882 年 ,英国约·雷默爵士和地质学家雷纳教授 ,经系统分析成分后 ,把这种鹅卵块正式命名为“ 锰结核 ”(亦称多金属结核)。

锰结核直径多为 1 ~ 20 cm ,散布于 3 000 ~ 6 000 m 水深的大洋底表层沉积物上。据有关专家估算 ,世界洋底的锰结核总量达 3×10^{12} t ,其中太平洋底最多 ,约为 1.7×10^{12} t ,含锰 4×10^{11} t、镍 1.64×10^{10} t、铜 8.8×10^9 t 和钴 5.8×10^9 t。这些储量相当于目前陆地矿产锰储量的 400 多倍 ,镍的 1 000 多倍 ,铜的 88 倍和钴的

5 000多倍。若以每年消耗 2.4×10^7 t 锰算,可供全世界使用 7 年以上;以世界每年消耗 4×10^6 t 铜算,可供使用 2 200 年;以世界每年消耗 5×10^4 t 钴算,可供使用 10 万年;以每年消耗 6×10^5 t 镍算,可供全世界用 2.5 万年。更有趣和更重要的是,这种鹅卵状的黑色物质还在不断生长。据美国科学家梅鲁估算,太平洋底的锰结核,以每年 10^7 t 左右的速度在“疯狂”的生长。如果仅从每年从太平洋底新生出来的锰结核中提取金属的话,其中铜可供全世界用 3 年,钴可用 4 年,镍可以用 1 年。所以可以毫不夸张地说,深海中的锰结核是一种取之不尽、用之不竭的资源。

关于锰结核的调查研究工作美国起步较早,而且一直名列前茅。美国在 1958 年就对大洋锰结核进行了调查。日本起步于 20 世纪 60 年代,联邦德国于 1972 年对太平洋锰结核进行了调查和勘探。我国自 20 世纪 70 年代中期以来相继开展了大洋海底资源的勘查活动,并制订了大洋锰结核资源调查开发研究计划。自 1987 年 12 月 10 日我国签署《联合国海洋法公约》以来,该计划执行规模更加扩大。至 1990 年,我国先后在太平洋赤道水域中,太平洋海盆和东太平洋海盆进行了数十次的调查,勘查面积达 200 多万平方公里,从而在太平洋 CC 区范围内圈选出有商用价值的,可进行开采作业的结核矿区 3×10^5 m²。1990 年 8 月 22 日,我国向联合国国际海底管理局和国际海洋法法庭筹委会申请国际海洋矿区,要求登记为先驱投资者,并要求分配到一定的国际海底矿区,目的是遵照《联合国海洋法公约》所规定的原则,开辟新的矿产资源的来源,满足我国对矿产资源的进一步需求。该申请方案于 1990 年 12 月在纽约经联合国国际海底管理局和国际海洋法法庭筹委会技术专家组的严格技术审查,已获通过,并在 1991 年二三月间得到批准。从此,我国获得了 1.5×10^5 m² 的国际海底矿区。

锰结核的开采规模由小到大,由一、两个国家开采逐步扩大到跨国集团联合开采。商业开采的技术已日益提高。对锰结核的调

查是一项费时、费钱见效缓慢的工作,而它的开采更是一项难度极大的技术问题。在多年开采摸索的基础上,目前世界上普遍趋向采用以下三种开发技术:一种是气(液)压提升采矿技术。整个系统由高压气泵、采矿管、集矿装置等组成。开始采矿作业时,首先在船上启动高压气泵,气泵产生的高压空气通过输气管道向下,并从泵管的深、中、浅三个部分输入,在采矿管中产生高速上升的固、气、液三态混合流,将经过集矿装置的筛滤系统选择过的锰结核提升到采矿船内。此种采矿系统早在1970年即已试验成功,具有提取5 000 m深处日产300 t锰结核的能力。

另一种是连续戽斗式采矿系统。它是在长1 500 m的尼龙绳链上,每隔25~50 m安装一个采矿戽斗。采矿时,船上牵引机带动绳链,通过绞车滑轮使戽斗在海底循环翻转,并连续不断地提升,将矿石卸到船上随即筛选并排除泥沙。作业时,船的航行方向与绳链的循环绕转的方向成直角。采矿船一边行进,一边将矿渣泥沙从船尾排入海中。这种采矿系统在20世纪六七十年代进行过大量的试验,它有结构简单、适应性强、采矿成本低等特点。

还有一种水力提升式采矿系统。它主要由采矿管、浮筒、高压水泵和集矿装置四部分构成。采矿管悬挂在采矿船和浮筒下,起输送锰结核的作用。浮筒安装在采矿管道上部15%的地方,其内充以高压空气,以支撑高压水泵的质量。高压使采矿管道内产生5 m/s的高速上升水流,使锰结核和水一道由海底提升到采矿船内,集矿装置起着筛选、采集锰结核的作用。这种开采方式自1975年试验成功以来,现日采矿能力为500 t。

再一种是海底自动采矿技术。主要利用遥感潜水器潜到海底采集锰结核,然后自动上浮,把采集到的矿石卸到海上半潜式采矿平台上。迄今为止,已有不少国家在使用这种采矿技术的样机。深潜开采,技术上已成熟。即使深度超过四五千米也不在话下。但它每次采集量有限,且沉浮时间太长,因而经济上不及前三种方法合算。目前,深潜开采主要用于大量开采前的取样、试样。

锰结核的冶炼方法眼下主要有两种:一是低温湿式冶炼法。这种方法用酸、氨或二氧化硫之类的还原剂浸析粉碎后的锰结核,将金属氧化物首先还原到金属或较低氧化状态的化合物,然后使其中的镍、铜、钴等离子析出。再就是高温干湿提炼法。该方法将粉碎后的锰结核经过高温熔融、氯化处理、分离和还原等步骤,获取其中有用的金属。

二、海底石油资源

目前,初步查明大陆架海底石油可开采储量约有 2.5×10^{11} t (包括天然气折算为石油的产量),相当于陆地石油储量的 3 倍。20 世纪 70 年代以来的能源危机,使人们对海底石油的开发更加重视。迄今已有一百多个国家在海洋上探寻油田,近四十个国家在开采海底石油。有人预测世界石油主要埋藏在深海底。为此,各国对深海底的勘探大大加强了。

我国自 20 世纪 50 年代末期就开始对海洋石油进行调查勘探和研究工作,现已查明有 17 个新生代沉积为主的中、新生代沉积盆地。估计有许多盆地的油气资源量达 $1.0 \times 10^{10} \sim 1.3 \times 10^{10}$ t,构成了环太平洋区含油气带西带的主体部分,是中国油气资源的重要后备基地。从 1980 年开始,中法、中日合作先后在渤海中部、西部和南部进行联合勘探开发。1981 年在中日合作区打了第一口预深井,日产原油近千吨,天然气约 6×10^5 m³,同年 10 月又打出一口井,日产原油 270 t。1982 年 4 月中日合作又打完一口井,日产原油 390 t,天然气 70 800 m³。1980 年 4~5 月中法合作在南海北部湾打了一口高产油井,日产原油 320 t,天然气 70 000 m³。1982 年 7 月,在涠洲岛南部海区打成一口高产油井,初步获得日产 135 m³ 的轻质、低蜡、不含硫的优质原油。1986—1989 年期间,中国海洋石油总公司自筹资金,在辽东湾开展自营油气勘探开发工作,找到一些大油田、复式油气带等。目前海上石油产量的 2/3

以上为渤海生产,该海域为当前开发工程建设和原油生产的主要海区。1989年,我国东海域油气勘探获得重大突破。“平湖”四井、“宝云亭”一井、“残雪”一井等三口油井都获得高产工业油气流。其中“平湖”四井日产优质原油 $1\,892.85\text{ m}^3$,天然气 $1\,486\,000\text{ m}^3$,是我国海上单井日产量最高的探井。

采油是海上石油开采的最后一道工序,也是其根本目的。现今,各国采用的开采装置有:固定式生产平台、浮式生产系统、海底采油装置和人工岛屿。由于建造一座固定式采油平台耗资巨大,因而在一个采油平台上除打一口直井外,往往还要打几十口斜井,以开采更大范围的石油和天然气。浮式生产系统,有半潜式和油轮式两种,半潜式比较适合 $900\sim 1\,500\text{ m}$ 的深海区或边际小油田开采油气。油轮式的最大作业水深可达 $1\,800$ 余米。有的国家还向海里填沙石、泥土和废料等建造人工岛,岛与海岸则用堤或栈桥连接。钻井采油,通过集油、输油泵或海底管线把油气输送到岸上。使用这种方式开采油气的最大好处是稳定性好。不过它适用于离岸不远,水深 12 m 以内的近岸油气田采集。由于钻井平台的安装耗资巨大,技术复杂而且还常受到狂风怒涛的袭击而发生事故,尤其是水深超过 300 m 时,作业难度就更大。所以一些国家把传统的海底钻探和开采由海面转入海底。英国曾研制过一种名为“深海采油工”的海底采油装置。它可潜放到 $200\sim 1\,000\text{ m}$ 的海底深处工作,同时还在水下完成油、气、水的分离加工。

海洋石油及天然气的开发和利用已为人类获取资源开辟了又一个光辉前景。但这种资源也是有限的。有人推测按目前的耗油量,即使把全球海底石油和天然气全部开发出来,使用年限也不足 300 年。所以合理的开发海底石油已成为世界各国亟待解决的重大问题。

三、海滨的砂矿资源

旖旎美丽的滨海沙滩是人们旅游度假的好去处,然而不少人

大概不知道,在滨海砂砾堆里埋有许许多多的财宝:金灿灿的黄金、闪晶晶的钻石、用途广泛的锡以及钨矿、钛铁矿、金红石、独居石、锆石等等,它们分层富集于滨海砂砾层内,真可谓品种繁多,数量可观。

海滩砂矿由于分布在海滨地带或水不太深的水域,因而比其他海底矿产的开采技术容易得多。此外,它们经过水流的淘刷和分选,分布比较集中,品位比较高,往往又含有可供综合利用的多种矿产,所以开采价值较高。

我国跻身砂矿开采行列是在20世纪50年代初到60年代中叶。70年代以后,中国的滨海砂矿的调查研究和开发利用出现了令人可喜的前景。经过广泛、周密的海岩资源调查研究,先后发现了金、金刚石、砂锡矿等,并在浅水区圈出了40多个重矿物区。现已查明的140多个大、小工业矿床中,已有一大部分进入详查阶段。这不但进一步证实了我国广东、山东是海滨砂矿的富集地区,而且证明我国海滨砂矿分布广泛,广西、福建地区的远景很好。中国目前已经开发利用的砂矿有:锆石、金红石、钛铁矿、独居石、磷钇、砂金和石英等。开采的砂矿床有30多处。从这些滨海砂矿中,我国已能提取所需的工业矿物,其中多数供本国需要,并有少数可供出口。

为了最有效地开采和提取滨海砂矿,经过长期的开采实践和反复改进,人们现在主要使用以下四类开采方法:第一种是链斗式,它主要应用于最大作业深度45 m以内的浅海或海滩。第二种是泵吸式,它适用于40~60 m的海底。第三种是钢索式,它如同挖土吊车,钢缆下部安装一个采矿抓斗,它开采效率低,一般较少使用。第四种是空气提升式,这种方式的原理并不复杂,往吸砂管内泵入高压空气,使空气气泡、矿砂和海水三者混合成比重较小的混合物,然后利用吸管内外的压力差,将混合物吸入船舱内。

第六节 海洋中的化学和医药资源

大量事实证明,海洋中存在着丰富而珍贵的化学和医药资源,对这些资源的开发和利用,将是 21 世纪很重要的课题。

一、海水中的化学资源

海水中溶解的主要物质是盐。经过计算,海水中溶解盐的含量占海水总量的 3.5%,约 4×10^8 t。若将盐从中全部提炼出来,均匀地铺在地球表面,便可铺成一个约 40 m 厚的盐层。此外海水中还含有镁,镁的含量次于钠和溴,位居第三。由于镁锂合金的重量轻,又耐热,所以在火箭、导弹、飞机制造业中被广泛采用。从海水中提取镁砂在各国早就兴起。如今美国有 8 家工厂从海水中提取镁砂,年产量 7.75×10^5 t,是目前世界上生产海水镁砂最多的国家。日本海水镁砂的产量现居世界第二,年产 7×10^5 t。从海水中还可以提取溴,现在,美、英、法、日、印度、加拿大、巴西和意大利等国每年都从海中提取 10^5 t 以上的溴。

值得一提的是,从海水中可以提取核原料铀。自 1954 年苏联首先建设成世界上第一座小型核电站以来,到 1991 年底,全世界已有 420 座核电站在 26 个国家运行,另外还有 80 余座核电站正在建设中。1991 年 12 月 15 日,我国自行设计制造的第一座核电站——秦山核电站一次并网发电成功,从而结束了中国大陆无核电的历史。又经过 3 年半的运行,1995 年 7 月 13 日,秦山核电站通过了国家工程竣工验收。这些核电站的主要燃料就是铀。它是利用铀原子裂变而产生的巨大能量来发电的。这种能量不仅能用于发电,而且还能用于运输和航空、航天事业。

1 t 铀燃料的能量相当于 2.5×10^6 t 优质煤或 2.0×10^6 t 石油燃烧释放出来的能量。1 kg 铀裂变产生的核能可使飞机以 1 300 km/s 的速度连续飞行 1.0×10^5 km,相当于环绕地球飞行 2 圈半,在宇宙航行中,100 t 重的火箭,大致需用 90 t 的推进剂,而改用铀

燃料代替,只要 50 g 左右就够了。

据估计,地球上铀的储量有几十亿吨,陆地上主要储藏在铀矿石中,可供开采的储量不超过 $1.0 \times 10^6 \sim 1.5 \times 10^6$ t。而在巨大的海洋水体中,却含有丰富的铀矿资源。尽管每升海水中铀的含量仅有 0.033 mg,但整个海洋铀的含量却大得惊人,达 4.5×10^9 t 左右,关于从海洋中提取铀,许多国家对此进行了大量的研究。早在 20 世纪 40 年代末,英国率先开始了用吸附法从海水中提取铀的实验,然而由于种种原因,至今仍处在试验研究阶段。在这方面,日本的研究相对比较先进,1986 年 4 月,日本在香川县建成 10 kg 级的海水提铀试验厂,当年提取 5.3 kg 铀,1987 年又提取了 7.5 kg 铀,1988 年提取的铀达 10 kg,成为世界上第一个成功开发海水铀资源的国家。

目前,人们提出的海水提铀的方法不下数百种,但都不成熟。比较有前途的主要有吸附法和生物富集法,至于溶剂萃取法、起泡分离、离子浮选法等则局限在实验室,难以形成规模生产。

吸附是人们常见的一种物理化学现象,工业上常用它回收少量的稀有金属。所以,一开始人们就想用吸附法来进行海水提铀实验,利用某些物质吸附铀的特性,把它们作为吸附剂,放到海水中吸附海水中的铀,再进行回收。这种方法的关键是能否找到一种对铀吸附力强、选择性好的吸附剂,这种吸附剂既要成本低廉、耐腐蚀,又要能在海水中保持自己的形状,经得起海水的冲击和工艺流程中的机械压力。

经过几十年的努力,人们从数百种吸附剂中找到了几种比较有希望的吸附剂,一种是无机吸附剂,主要有方铅矿石、氢氧化铀等;一种是人工合成的有机吸附剂,主要有离子交换树脂、APH 凝胶树脂、酰胺脒树脂等。

方铅矿石的主要成分是硫化铅,经过一番处理以后,每克方铅矿石能吸附 0.69 mg 的铀,这使人们看到一线希望。那么,被方铅矿石吸附的铀,如何回收呢?只要将吸附铀的方铅矿石浸泡在碳

酸铀的水溶液当中,1 小时以后铀就进入这种溶液中,便可以提取了。更可贵的是,这种矿石吸附的选择性很强,只吸附铀,对海水中的其他元素则不予“理睬”。而且,当吸附的铀被取出以后,它又能被重新使用。氢氧化钛也是一种对铀具有很强吸附能力的吸附剂。1971 年日本的研究人员在氢氧化钛中加入了一些活性炭。提高了吸铀效率,缩短了吸铀时间。使用 1 g 这种新型的吸附剂便可得到 1 mg(最高可达 1.55 mg)铀。

人工合成的有机吸附剂吸附铀的效率更高。1958 年,苏联从石油和天然气的加工产品中得到一种能够吸附海水中的铀和贵金属的离子交换树脂,第二年就用它在海上进行实验航行。

海水源源不断地通过装有离子交换树脂材料的过滤圆桶。整个航程有 6×10^4 L 海水通过过滤圆桶,结果每千克的离子交换树脂从海水中吸取了 0.15 g 铀以及其他数量不等的金、银、镉、铋等金属。我国研制成功的有机交换树脂吸附剂每克可吸附 1 mg 以上的铀。

最近日本原子能研究所研制成功的 AHP 凝胶树脂和酰胺原树脂的吸铀量分别为氢氧化钛的 1.55 倍和 5.5 倍,而且可以反复作用十次。特别是酰胺原树脂吸附剂,它还可以吸附钛和钡,这些稀有金属,用不同浓度的盐酸浸洗,即可分别提取出来。

目前,研究人员正在设法降低树脂的制造成本,提高树脂的利用次数,以便大幅度地降低提取铀的成本。

近年来,人们发现许多海洋生物具有高集铀的能力,一些奇特的绿藻,其体内的含铀量比海水的含铀量高一万倍以上。为此德国科学家在海水里培养了一些特殊的吸铀海藻,铀被吸附在海藻上,采用离子交换法便可把铀从海藻中分离出来。这种方法具有选择性好、容易提取、价格便宜等特点,为海水提铀开辟了一条重要途径。

海水提铀的小规模实验早已成功,德国计划在 2005 年建造一座年产 130 t 的制取铀化物的提铀工厂。海水提铀的前景是非常

光明的 终有一天 ,海洋将真正成为人类的核燃料仓库。

二、海洋中的医药资源

1. 心血管疾病的良药

目前 ,心血管疾病已被列入全世界死亡率最高的四大疾病之一。在寻找医治心血管疾病的药物的过程中 ,人们发现许多海藻类的提取物 ,如藻酸双酯钠(简称 PSS)、褐藻淀粉硫酸酯(简称 LS)等等 ,已在心血管疾病的防治方面崭露头角。

实验和临床研究都证明 ,海藻类的提取物具有多方面的生理功能。它能有效地降低血脂和血液凝固性 ,抗血小板凝集 ,改善血液流动状况 ,提高血液高密度脂蛋白水平 ,从多方面起到预防心血管疾病的作用。我国在 1985 年研制成功的藻酸双酯钠产品 ,于 1987 年获第十五届国际发明金奖。它对缺血性心、脑血管疾病及高血黏度综合征有显著疗效。治疗高血脂症及冠心病的褐藻淀粉硫酸酯及防治冠心病、脑血栓的甘露醇烟酸酯也于 1985 年研制成功。1992 年 ,人们研制成功高效降脂抗栓药甘糖酯。特别值得一提的是 ,1995 年专家们又开发出我国首创的类肝素海洋新药——“海通”。该药以海洋生物提取物为基础原料 ,经科学加工精制而成。它是一种高效、低毒、能降血脂、预防和治疗心脑血管疾病的海洋新药。药理研究证明 ,该药能抑制血栓形成 ,有显著的体内溶栓作用。该药降血脂作用明显 ,具有降低胆固醇 ,升高高密度脂蛋白 ,增加高密度脂蛋白与低密度脂蛋白比值的作用 ,还可降低血液粘度 ,改善微循环。临床研究证明 ,服用此药的病人疗效显著 ,心电图及其他试验指标均有相应的改善。

2. 癌症患者的福音

1985 年 ,我国首次发现鲨鱼血清在体外对人类红血球性白血病肿瘤细胞具有杀伤作用。日本科学家从深海鲨鱼的肝脏中 ,提取出可用于治疗肿瘤的活性物质。还有人从双髻鲨的体表分泌物中 ,分离出一种超强的抗癌物质。我国科学家从鲨鱼体内提取抗

癌药物角鲨烯也获得成功。

最近,科学家们还发现,鲨鱼的软骨里有一种名叫“抑制新生血管生长因子”的物质,它能有效地阻止血管向癌组织供血,因而防止了癌细胞的转移。牛犊的软骨里也有这种物质,但是鲨鱼软骨中的这种物质所具有的抗癌能力比牛犊软骨中的这种物质要强10万倍。目前,在美国、古巴、欧洲等地已将其大量地应用于临床研究中。另外,它对“血管生长性疾病”,如牛皮癣、糖尿病性视网膜病变、新生血管性青光眼等顽症也有独特疗效,这些抗癌活性物质的发现,给癌症患者带来了福音,“十癌九死”的年代已经过去了。

不少海洋生物体内都含有抗癌物质。除脊椎动物鲨鱼外,人们还发现海绵动物中的海绵,腔肠动物中的海葵、珊瑚,软体动物中的章鱼、乌贼、牡蛎、杂色蛤、扇贝,棘皮动物中的海星、海胆、刺参等体内都含有抗癌活性物质。另外,海洋植物体内也含有抗癌活性物质。其中褐藻是提取抗癌物质的一个重要来源。褐藻中含有大量的碘,多吃褐藻可以预防乳腺癌。日本人食用紫菜海带最多,日本妇女患乳腺癌的比率很低。这主要是因为海带中所含的钙具有防止血液酸化的作用,而血液酸化是一种重要的致癌因素。一些研究结果还表明,硫酸多糖类中的岩藻多糖对大肠癌具有明显的抑制作用,它主要存在于海带的黏液中。据报道,从海带中提取的褐藻胶能抑制癌细胞转移,有效率可达68%。的确,海洋中蕴藏着极其丰富、多样的抗癌药物资源,给癌症患者带来征服癌症的希望。而且,随着科学技术的不断进步,已出现了先进的分离技术和萃取工艺,为大批量生产海洋抗癌药物创造了可供利用的先进技术。毫无疑问,在人类最终战胜癌症的征途上,海洋药物将发挥出其独特的功能。

3. 河豚毒素

在河豚的身体里存在一种耐高温、耐酸性环境的河豚毒素,它主要集中在皮肤、血液、肝脏、眼、卵巢和卵中,其中以肝脏和卵巢

中的毒性最强。河豚毒素的毒性极强,只要 0.48 mg 的河豚毒素就足以把人毒死。它的毒性比马钱子、氰化物还要大 25 倍和 275 倍。目前在国际市场上,每克河豚毒素的标价可达 5.5 万美元。可见河豚毒素有多么贵重。

河豚毒素的麻醉作用非常强,比常用的麻醉药可卡因强 16 万倍。另外,河豚毒素使用以后在体内不会积累,也不会成瘾,所以它是一种高级的麻醉剂,同时它有极为显著的镇痛效果,日本医学家已成功地把这种毒素经中和、稀释后,制成止痛片,用来治疗患有神经痛、关节炎和风湿症的病人。据研究,河豚毒素还有止喘作用,可用来治疗哮喘、百日咳、遗尿等多种疾病,对脑外伤也有显著的疗效。

提取河豚毒素的技术已成为国际上的热门课题。1980 年我国河北省水产研究所与中国人民解放军药物化学研究所合作,成功地从河豚的卵巢中分离出河豚毒素,填补了我国的一项空白,打破了日本独家垄断国际河豚毒素市场的局面。

除河豚以外,其他海洋生物也含有相应的毒素。海洋生物毒素正以其独特的功能发挥出神奇的疗效。

总之,海洋医药资源既丰富又珍贵,必将为人类的健康发挥其应有的作用。

第七节 海洋工程

在人们向海洋索取物质资源的同时,向海洋索取生活空间的工作也取得了可喜的成果,并在继续努力。

一、海上城市

提起海上城市,人们不禁会想到海市蜃楼。1995 年 8 月,我国山东蓬莱沿海出现了海市蜃楼的奇景,被很多人亲眼所见。在人口极度膨胀,现有耕地逐年减少的今天,在海上建造城市的设想便被提到日程上来了。在茫茫的大海上建造现代化的城市是一项

庞大的系统工程,从工程前期的海洋环境调查,一直到预测未来城市对周围环境的影响,从规划设计一直到施工都不是一件容易的事。但随着科学技术的发展,特别是海洋工程技术的进步和新型建筑材料的诞生,才使得建造海上城市的设想变为可能。20世纪60年代初,日本的一位叫原口中次郎的科学家提出了一个大胆的设想,他计划在位于日本神户东南3 km,水深10~12 m的海面上,用移山填海的办法建造一座当时世界上最大的海上城市。到了20世纪80年代初,这项本来被认为不可能实现的工程居然实现了。人类在征服海洋的历程中又跨出了新的坚实的一步。

这座在海上建造的城市叫做神户人工岛,它是一座大型的海上文化城。总面积为 $4.36 \times 10^6 \text{ m}^2$,拥有可供2万人居住的公寓和住宅,居住区内设有商店、学校、医院、博物馆、体育馆和公园等一批现代化的公共设施。

城市的外侧堪称世界一流的集装箱码头,可以同时停靠28艘货轮进行装卸作业。人工岛内专门建有一座宽14 m、长300 m的双层大桥。这座大桥通向神户市新港,人们可以乘坐快速电车往来于神户和人工岛之间。从高处俯瞰,这座海上城市高楼林立,道路纵横,船来车往,呈现出现代化城市的景象。可是有谁想到,在1966年以前这里竟还是一片汪洋大海!

这座海上城市从动工兴建到工程竣工,整整用了15年的时间,耗资达5300亿日元。人们削平了神户西侧六甲山系中的两座山峰,把 $8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的土石填进了大海。如果把这些土石铺成10 m宽、0.2 m厚的公路,它可以绕地球整整一周!所以说,建设这样宏伟的工程,没有高新技术,没有现代化的大型作业机械是根本办不到的。

海上城市建成以后,增强了人们建造这类城市的信心。神户人工岛建成10年之后,1992年日本又开始着手这座人工岛的二期扩建工程,并计划将该岛的面积再扩展 $3.4 \times 10^6 \text{ m}^2$,开凿通往神户市的海底隧道,建造通往关西国际机场的客运码头。

不幸的是,1995年1月17日,日本发生了里氏7级的阪神大地震。该人工城市的集装箱码头的深水岩壁和港区的大型装卸设施都遭到严重的破坏。但是,不管怎么说,神户人工岛海上城市的建设开创了移山填海、建设现代化城市的先例,在人类把陆地向海洋延伸的伟大工程中迈出了重要的一步。

二、海上工厂

很久以来,人们就设想着如何预先在船上建造大楼和工厂的各种方案,然后能向搬家一样把整个大楼和工厂随意从一个地方搬迁到另一个合适的地方。水上工厂的这种设想终于变成了现实。现在德国在海上已建起了一座日产1 000 t氨的海上浮动工厂。特别有趣的是,新加坡利用远洋货船改装成一个海上浮动奶牛场。这个奶牛场饲养了大约6 000头奶牛,奶牛吃的饲料主要是海藻,而牛粪则变成了能源。用牛粪发酵生成的沼气来发电,给海水淡化装置提供电力,人畜饮用水都来自海水淡化装置生产出来的淡水。

这些浮动式海上工厂正在海上各显神通,它们机动性好,适应性强,又不占用陆上的土地,充分利用了海上空间,具有很多优点。特别是对于那些交通闭塞而资源丰富、亟待开发的沿海地区,不失为一种独特的开发手段。将来有可能发展成多模块的海上浮动工厂。也就是说,每一个模块就像电子仪器里的集成块一样,发挥某一种功能,先在船厂里按模块式建造一个个工厂部件,再装运到现场按要求进行组装拼接,最后形成一个漂浮在海上的现代化工厂。

三、海上宾馆

澳大利亚东北部的海面上,有一片美丽神奇的海域,这就是世界闻名的珊瑚海。珊瑚海之所以有名,就在于它有着世界上最大的珊瑚礁——大堡礁。大堡礁由500多个岛礁组成,一个色彩斑斓的珊瑚岛礁蜿蜒于那辽阔碧透的海洋上,长达2 000多千米,气

势极为壮观。它不是地壳运动营造的结果,也不是人工修筑的海上长堤,而是一个个小小的珊瑚虫千百万年来用自己的躯体堆垒出来的奇迹。1989年8月,国际保护、教育、潜水、考古、博物组织把它列为世界水域的七大奇观之一。澳大利亚在此建立了面积为 $3 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的大堡礁海洋公园,这里共有400多种珊瑚礁,1500多种鱼类和数以万计的软体动物。它既像是巨大的海洋生物博物馆,又像是生气盎然的海中大花园。

得天独厚的自然景观,使大堡礁成为闻名遐迩的旅游胜地,吸引着世界各地的游客。落潮时,海风吹拂,礁石突起,游人漫步其上,拾珊瑚,捡贝壳乐在其中;涨潮时礁石没入水中,海茫茫,天苍苍,海天一色,游人赤足踩着依稀可见的珊瑚礁,与海龟竞走,捉海蟹寻乐。若是乘坐潜艇,身临海底世界,与鱼虾结伴,观珊瑚风姿更富情趣。倘能住一住海上宾馆,那更是人生的一大乐趣。

这一天终于到来了。新加坡造船厂为旅游者专门设计了一座浮体式海上宾馆。它坐落在大堡礁中心区域的海面上。海上宾馆在造船厂建成之后,经过两个星期的海上旅行,来到这里定居。这座海上宾馆长90 m、宽27 m,共分7层175间客房,还有可容纳200人的会议大厅。当人们坐在露天餐厅用餐的同时,可欣赏到奇丽壮观的海上美景。宾馆还备有一艘海底旅游潜艇,游客可以透过玻璃舷窗,观看梦幻般的海底世界。宾馆旁还建造了两个浮体式体育活动场所,一个是网球场,网球爱好者可以在这里显一显身手,另一个是潜水活动基地,游客中的潜水爱好者可以戴上宾馆准备好的水下呼吸器,直接潜入海中,漫游神奇的水下世界,用自持式水下摄像机摄下最珍贵的镜头。这座宾馆交通也很方便,从澳大利亚沿岸的汤斯维尔登上双体客轮,不到两个小时即可到达,或者乘坐直升飞机,仅用20分钟就可降落在宾馆附近的浮体式直升飞机停机坪上。

四、海底光缆

继电报电缆和电话电缆之后,20世纪70年代起海底通信又进入了光缆称雄的新阶段。一根头发粗细的光缆就可以传送成万门电话和几百路电视,于是人们又着手研究铺设海底光缆了。1988年12月14日,第一条跨越大西洋的海底光缆TAT-8正式投入使用。它全长6700 km,含6芯光导纤维,可同时提供4万路话音通信,比当时全世界所有海底铜质电缆电话话量的总和还要高出一倍,这标志着人类已跨入光纤通信时代。

1990年12月,从日本到美国横越太平洋的海底光缆投入使用。这条光缆含6芯光导纤维,全长13363 km,可以传送声音、图像和各种信息,同时可提供4万对话路。自此以后,太平洋、大西洋、印度洋的海底光缆接二连三地被打通,各大洲间的海底光缆相连接以后,构成了全球海底光缆网络。

值得一提的是,1995年10月人们又开始铺设世界上最长的一条海底光缆,它全长28000 km,始于英国伦敦,途经西班牙、意大利、埃及、阿联酋直到日本,后再延长到韩国、中国、印度、泰国、马来西亚等12个国家和地区。光缆可同时传送电话、电视节目和电脑信息,为了保护光纤不受损坏,设计者在光缆外面加上了一层胶套管、一层塑料套管,最外面包以铜和钢丝。光缆还有自动报警系统,一旦某处出现故障或者损坏,控制中心立即可以确定损坏的地点并投入抢修。光缆上每40~70 km设一个光信号增强器,以保证光信号能无衰减地达到终点。

光纤通信主要由激光器、光导纤维、检测器等部分组成。各种信号输入到光导纤维中,就以 3×10^5 km/s的速度传播。到达目的地后,检测器将激光信号转变为电信号,再把电信号还原为声音、图像或数据,从而达到通信的目的。

海底光缆系统与电报电缆、同轴电缆系统相比,具有频带宽、损耗低、不受干扰、质量轻、体积小等优点。与卫星通信相比,它比

卫星通信稳定、抗干扰性好、质量高、保密性强、通信容量也更大。海底光缆网的形成使陆上光缆网的空间获得延伸,它成为当代信息高速公路中的重要干线,使全球通信系统发生了革命性的变化,从而使当今的时代真正跨入了信息时代。

五、海底深潜器

潜水器是人们进行水下考察、勘探、资源开发和打捞、救生的重要工具。随着科学技术的发展,深潜器在人类向海洋进军的历史上写下了一页页激动人心的篇章,使人类“可下五洋捉鳖”的梦想终于变为现实。

1960年1月23日,雅克·皮卡德和美国人沃尔什乘坐的“里雅斯特”号潜水器,在太平洋的马里亚纳海沟下潜到10 916 m处,创造了人类下潜最深的世界纪录。它的成功向世人表明了,人类有能力向世界最深处发起挑战。1973—1979年,在美法联合调查大西洋计划期间,“阿基米德”号深潜器和它的同伴“阿尔文”号,“塞纳”号一起,对地球的大“伤痕”——大西洋中脊上的裂谷进行调查,发现了两个块状热液矿床,每个矿床的覆盖面积约为600 m²,在2 800 m深的裂谷中发现了宽达6~7.3 m的巨蟹,又在7 000 m深的裂谷中发现了生长在岩石裂缝中的海绵和软珊瑚以及生长在沉积层上的海百合。

1995年3月24日,日本“海沟”号潜入海洋最深处,成功地拍摄到了鱼儿在地球上最深的海底畅游的图像,这在世界深潜历史上还是第一次。“海沟”号潜水器还拍摄了海底的图像,采集了海底岩石和沉积物的标本。

据悉,1995年11月,被誉为“水下飞机”的“深潜”1号新型潜水器在美国蒙特雷湾水域进行了首次深潜试验。“深潜”1号能像鱼儿一样在海底自由遨游,与那些速度慢、操纵困难的普通潜水器相比,“深潜”1号就像一架F-16战斗机在水下飞行一样,它无需使用压载箱,就可以在水下作横滚动作,最高时速达28 km/h,并

且能垂直上浮或下潜。

1997年,中国利用自制的无缆水下深潜机器人,进行深潜6 000 m深度的科学试验,并取得成功。这标志着中国的深海开发已步入正轨。

潜水器技术的进步开创了深海探索的新时代,极大地改变了生物学、地质学和海洋学的面貌,它将给人类带来巨大的利益,为海洋开发提供重要的手段。毫无疑问,它将担任21世纪海洋舞台上的重要角色。

六、水下居住层

从1962年到1977年的16年间,世界上先后有65个水下居住屋问世,1962年9月,美国的埃德华·林克率先在位于地中海的法国土伦港附近海域,进行“海中人”1号水下居住屋实验,参加实验的四名潜水员在水深61 m的海底生活了1~4天,成为世界上第一批在水下生活时间超过24 h的居民。

自20世纪80年代开始,水下居住屋又进入了一个新的发展阶段,它朝着与潜艇、深浅器系统有机结合的方向发展,逐步成为一种具有高度机动性的水下活动基地。

1983年,日本海洋科学技术中心开始了“新海底作业基地”计划,进行大深度饱和潜水实验。1988年,日本人在相模湾水域进行的饱和潜水实验中,有6名潜水员在300 m深的海底生活了7天,并进行了平台安装作业和水下测量。1987年9月,美国国家海洋大气局研制成功了可移动式“水族馆”号水下居住屋,它是目前最先进的用于海洋开发和研究的水下居住屋。这个居住屋长13.1 m、宽3.7 m、高5 m,其质量达到81 t,工作水深15 m,居住屋的外壳是用1.9 cm厚的特种钢材制成的。居住屋由湿舱、主舱和进口舱三部分组成,主舱备有生活设施、实验仪器、计算机、现代化工作台等设备,可容纳6名科学家在海底工作30天,每天可派出一部分研究人员到居住屋外的海底进行9个小时的作业,该水

下居住屋通过一个“脐带”系统同水面无人支援船连接,由支援船供给电力和呼吸用的气体。一旦供电、供气系统发生故障,它可依靠应急系统工作 72 h,使居住屋内的工作人员有充分的时间进行减压返回水面。1993 年,该水下工作屋转交给北卡罗来纳大学进行海洋科学研究,并对该校的师生开放,成为一个海洋教学基地。

今天,人们把更多的注意力投向了海洋,因为这里是大自然留给人类的最后一笔遗产。水下居住屋的诞生为人类移居海底进行海洋资源开发取得了一个立足点,为实现重返海洋的梦想跨出了重要的一步。从乘坐深潜探测器探访神话中的海底龙宫,到建造人类自己的海底“龙宫”——水下居住屋的事实表明,21 世纪将是开发利用海洋的世纪,人类终将成为海洋真正的主人。

参 考 文 献

1. 曾呈奎,万同德. 向蔚蓝的世界进军:海洋技术. 上海:上海科技教育出版社,1996
2. 李杰,别义勋,张智善. 海洋开发技术. 北京:中国科学技术出版社,1994

第九章 现代教育技术

在人类的文明史上,教育曾经历了学校的产生、文字的使用和印刷术的推广这三次革命。从第一次教育革命到第三次教育革命,人类跨越了数千年的历程,其中每次革命都对教育的发展产生了极为深远的影响。进入 20 世纪以后,科学技术的发展,特别是 50 年代以后,以微电子、计算机技术、音像技术为标志的高新技术的出现,使教育物质条件和手段又发生了重大变革。也正是由于计算机技术、音像技术作为现代教育技术涌向教育领域,以及卫星转播的实现,计算机联网等交互式多媒体技术的发展,信息高速公路的建立,使教育摆脱“手工业方式”的束缚,走上了现代化道路。因而,人们也就把这种新型的教育方式称为第四次教育革命。

第一节 现代教育技术研究领域

一、现代教育技术定义

教育技术在国外已有近百年的历史,我国是在 20 世纪 20 年代以电化教育的名称,从国外引进的,至今也已经经历了几个发展时期。但由于各个国家在发展教育技术的过程中所采用的方式、方法各不相同,因此在具体定义什么是教育技术的问题上也略有区别。但总的来说,不论是哪个国家,教育技术在发展中一直同科学、技术以及科学的方法论相关联。

日本是对“教育技术”研究开展较早的国家之一,早在 1964 年,日本国内就出版有《教育工艺学》一书。然而,最为引人注目的是由东京工业大学教授板元昂 1971 年编写的《现代社会的教育工艺学》。他在此书中给教育技术的定义是“教育工艺学是对关

系到教育的所有可操作的因素加以分析、选择、组合和控制,然后进行实验的实际研究,以便取得最大效果的一门工艺科学。这些可操作的因素有教育目标、教育内容、教学目标、教学内容一类的教育情报;教材教具、教学机器一类的教学媒体;教育方法、教授方法、教育环境、学生行为、教师行为和师生编组以及上述因素的相互关系。教育工艺学是在教育行政与教育财政、学校管理与班级管理、智育、训育、咨询等教学活动及教育情报的收集、整理、利用、时间表的制作,出勤考核等教务工作中,广泛地利用工业技术、信息科学、自然科学、行为科学以及人类工艺学的成果,以求提高教育效率的研究领域。”

英国教育技术委员会对于“教育技术”的表述是:“教育技术就是开发、应用和评价种种旨在改善人类学习过程的系统、技巧和教学工具。”

加拿大学者米切尔对“教育技术”的认识是“教育技术是跨学科的综合产物,几乎涉及教育的各个方面,从较小的教育范围到整个国家的教育体系,它都起作用。教育技术是理论和基础知识,而不是视听教育和教学媒体的同义词”。“教育技术是教育范围内的一个研究和实践的领域,它涉及教育系统和教育过程的所有方面,并依靠配给的资源取得具体的和可靠的教育成果”。

以色列学者 A·帕尔伯格认为:“教育技术就是根据特定的目标设计、执行和评定教与学的整个过程,并综合利用人力资源和技术资源,产生更为有效的学习的一种系统化方法……我们不把教育技术仅仅视为如电视、电影、程序教学书籍、计算机和其他项目的硬件和软件之类的媒体和装置,而是广义地指它试图应用比较系统的,有理论根据的,而且在一定程度上是科学的原理,使教学过程程序化。”

荷兰学者 T·普罗帕姆认为:“‘教育技术’的核心是用系统方法解决教育问题,由需要估计、模式设计、评价、执行等四个方面组成,而每个方面又都有它自己特殊的方法和技能。”

上述关于“教育技术”的意义,虽解释不尽相同,但内涵是基本一致的。

但对“教育技术”作较为全面描述的是美国教育传播与技术协会 1977 年出版的《教育技术定义》一书中对教育技术所下的定义,此书认为:“‘教育技术’是分析问题,并对解决问题的方法进行设计、实施、评价和管理的一个综合的、有机组成的过程,它涉及人员、程序、思想、设备和组织等各个方面,与人类学习的所有方面都有关系。在教育技术中,解决问题的方法的表现形式是为了促进学习而设计或选择与使用的学习资源。学习资源分为信息、人员、材料设备、技巧和环境。对问题进行分析,并对解决问题的方法进行设计、实施和评价的过程称为教育开发职能,它包括研究与理论、设计、制作、评价与选择、供应、利用和推广等项。对其中某项或多项职能进行指导或协调的过程称为教育管理职能,它包括组织管理和人事管理。”

我国学者认为,教育技术有广义和狭义之分。广义的教育技术就是“教育中的技术”,是人类在教育活动中所采用的一切技术手段和方法的总和。它分为有形(物化形态)和无形(智能形态)两大类。物化的技术指的是凝固和体现在有形的物体中的科学知识,它包括从黑板、粉笔、教科书等传统的教具到电子计算机、卫星通讯等一切可用于教育的器材、设施和相应的软件。智能形态的技术指的是那些以抽象形式表现出来,以功能形式作用于教育实践的科学知识,如系统方法等。狭义的含义指的是在解决教育教学问题中所运用的媒体技术和系统技术。

二、现代教育技术研究领域

从现代教育技术的发展来看,它主要是对传统教育技术的继承和发扬,它和传统教育的主要区别在于它是随科学技术的发展把现代教育媒体引进教育领域,并通过先后开发,应用各种技术手段、操作方法使现代教育技术形成以下几个相对有特点的实践

领域,其目的是为了获得有效的教学。

1. 视听传播教学领域(也称媒体传播教学)

所谓视听传播教学领域是指任何一种通过机械或电子的手段来控制与有关材料一起为教学提供视觉或听觉的信息,辅助教师进行教学或直接利用视听手段来传送教学的一个领域。它是在传统的学校教育基础上形成的以学校与教师为中心的教学系统,它基本的组织形式是集体教学模式,即班级授课制。该教学系统的特点是以学校与教师为中心结构,以教师为主,其他要素如教育目的、教学目标、教学计划、教学大纲、经费、资源和环境等都已经由上级部门确立,学校和教师的工作主要是根据学校的培养目标和学习者的心理发展水平,设计教学和评价标准、安排教学活动,研究采用适当的教学方法,选择使用或开发有效的教育媒体,把教学内容有效地传递给学生,以达到预期的学习目的,从而使学生得到更好的发展。现行的学校教育基本属于这种类型,教学过程主要由教师借助媒体辅助教学或直接利用媒体传送教学信息。因而,根据教学设计的要求对教育媒体进行设计、开发、选择和有效使用,也就成为这一实践领域的主要环节。

2. 个别化教学领域

所谓个别化教学就是以学习者为中心适合于满足个别学生的需要的教学。在20世纪50年代后期,出现了程序教学。程序教学的出现,标志着教学过程的重点从注重教师的教学开始转到学习过程和个别学生身上,并认为学习是教学过程的目的,是评判教学过程的标准。因此,学习的个别化成了教学设计者及教育技术领域开发人员所关注的中心。这种教学系统与视听传播教学系统明显不同是不在以教师为主体,而是以学生为中心。

在实践中,为了实践这种程序教学的思想,为了满足学生的需要,设计了各种各样的教学机器,从不具备信息显示装置的简单的教学机器开始,直到像克劳德的分支装置那样对数个框面的信息进行随机送取的教学机器。这些技术包括允许学生在通过一个

教学序列时设定他们自己的步子,允许根据个人特点为每位学生选择教学方法、媒体和材料,允许选择每位学生想要达到的目的。但到了20世纪60年代末,由于技术水平的原因,使拥有模式功能的教学机器设计对复杂的教学内容,难以有更大作为,使程序教学处于低谷。到了70年代,正当程序教学机器即将消失时,随着计算机技术的迅速发展,程序教学机器迅速被计算机所替代,计算机成了实现程序教学思想的最高级的程序教学机。因此以个别化教学为核心的程序教学,逐步地发展为以计算机为基础的个别化教学技术,从而发展成为计算机辅助教学的领域。

计算机辅助教学(CAI)是指利用计算机系统来模拟教师的教学活动,组织实施和指导整个教学过程以实现最优化的教学目标。在教学过程中,CAI可以帮助教师讲课,促进学生理解为目标。其施教的方法和步骤是计算机循序渐进地向学生描述新知识,不断地就学习内容向学生提问,并对学生的学习效果进行测试,对学习能力和学习速度进行评估。同时向学生提供适当的指导,学生也可随时选择自己有兴趣的、合适的学习速度,以便迅速有效地获取知识,从而达到提高教学水平和教学质量的目的。它不仅充分体现“主动教学”和“寓教于乐”的教育思想。而且也正是在这种人-机相互作用的过程中,真正的个别化学习才能够得以实现。

这种以学习者为中心的教学系统还可以延伸到社会机构中去,以适应各种继续教育的需要。另外,伴随着人工智能技术的发展,计算机辅助教学又向前迈进一步,新一代高性能的智能辅助教学系统正在兴起。它的介入不仅可以大大改善辅助教学环境,而且更容易激发学生的学习积极性和主动性,从而能显著提高教育教学效果。

3. 教育系统设计领域

教育系统设计是以系统方法为基础的教学设计技术,其特点是应用系统论的思想和系统工程解决实际问题的方法来分析教育教学问题,确立问题的需求,并用技术学的一套规则系统来操作,

使问题得到解决。因而可以说系统方法是现代教育技术的核心。这是因为教育是一个系统。如果要把现代科学技术运用到教育教学过程中,就必须对其进行系统分析,深入研究教育教学过程中的各个要素。包括目标的确立、最优化的教学方法、最优化的媒体选择和资源利用,适当的学习内容和适宜的学习进程,并通过有效性评价来实现教学的反馈控制。从而使教学设计具有很强的理论性、科学性、再现性和可操作性,以便实现教育教学的最优化。

教育系统设计的理论与技术除了在上述实践领域得到应用外,它更广泛地应用在职业教育的课程开发、军事训练、工业、商业等方面的教育培训课程的开发和教学开发上,从而形成了一个教育系统设计实践领域。

三、现代教育技术在我国的发展

一般认为,教育技术作为新兴的研究领域,它的形成是第二次产业革命时期,是科学技术发展对教育的影响的结果。美国教育技术界人士大多把 19 世纪末 20 世纪初期,美国教育领域内兴起的视觉教学运动视为教育技术的开端,具体的发展历程可用表 2-9-1-1 说明。在中国则是以电化教育的出现为标志。

表 2-9-1-1 教育技术的发展历程

时 间	代 表 技 术
19 世纪后半叶	幻灯
20 世纪初	无声电影、唱片
20 世纪 20 年代	无线电收音机
20 世纪 30 年代	有声电影
20 世纪 50 年代	电视、磁带录音机、语言专用教室程序教学 and 教学机器
20 世纪 60 年代	闭路电视
20 世纪 70 年代	电子计算机

早在 1919 年国内已有人开始幻灯教学的实验。1922 年南京

金陵大学农学院从美国农业部购买了幻灯片、电影片,用唱片配音或播映员口头讲解,到各地宣传科学种棉知识,这可以说是我国利用幻灯片进行教育的开始。1930年南京金陵大学理学院又引进了若干部无声影片结合课程放映,并与上海柯达公司合作,翻译了60多部教学影片,这也是较早进行电影教育的学校。20世纪30年代中期,又开展了广播教学。但由于政治、经济和科技上的原因,我国的现代化教育技术只是在少数几个城市有所开展,未能大面积推行。

中华人民共和国成立后,尤其是在党的十一届三中全会以后,党和政府的重视和关怀,在方针、政策、人力、物力和财力等方面的支持使我国的电化教育发展呈现了勃勃生机。

为了便于领导和推动学校电化教育的开展,1978年7月经国务院批准,教育部(即国家教育委员会)建立了中央电化教育馆。负责全国高校电化教育的行政管理工作。随后,全国各地也先后建立了电教机构。在各级电教机构的组织和推动下,学校电化教育迅速展开。

20世纪80年代后期,随着国际学术交流的增多,国外教育技术发展的新经验、理论研究的新成果不断被介绍进来。在国外教育技术系统观的影响下,电化教育研究重心开始转移,从电化教学与传统教学、现代媒体与传统媒体优劣的比较,转向了对“多媒体教学”、“系统方法”、“教学设计”、“整体教育技术”等原理的研究和实践。

除此之外,我国电化教育事业最引人注目的成就就是在较短的时期内建成了一个以广播电视教育为主体的巨大的远距离教育系统,建立了卫星电视教育网。再由于计算机辅助教育在高等学校和中小学的迅速开展,使我国电化教育突破了视听范围并开始向多媒体技术的应用方向发展。可以说计算机辅助教育迅速发展,已成为20世纪90年代我国教育技术的研究和实践领域。

第二节 现代教育媒体

一、现代教育媒体的概念

“媒体”意思是指载有信息的物体或储存和传递信息的工具。没有承载信息的物体,不能说是“媒体”,因为它起不了中介作用。

“教育媒体”是指储存和传递教学信息的工具,是置于教育者和受教育者之间的各种中介物的总称。如教科书、直观教具、幻灯片、录音带、录像带、电影片和磁盘等。

在实际教育活动中,人们往往根据在教育活动中是否使用教学机器,又把教育媒体分为常规教育媒体和现代教育媒体。

常规教育媒体又称传统教育媒体,它主要指教科书、图书以及直观教具(即指实物、标本、模型、图片、挂图、黑板和图书等)

现代教育媒体主要指应用现代技术记录、储存、传输、处理和呈现教育信息的载体,它由硬件与软件两部分组成。现代教育媒体的硬件,是指运用声、光、电磁等科学技术传递教育信息的设备。如以传递静止画面、图表、文字、图片为主要信息的幻灯机和投影机;以传递语言、音乐和各种模拟音为主要教育信息的录音机、扩音机、电唱机等;以传递活动录像及其配音为主要教育信息的电影放映机、电视机、视盘播放机等;以交互作用形式传递教育信息的程序学习机和计算机等。现代教育媒体软件是指载有教育信息的幻灯片、投影片、电影片、录音带、录像带、激光视盘和磁盘。没有硬件就不能将软件中存储的信号转换成教学信息,没有软件就没有记录教学信息的载体。因而在教育实践中,人们常将二者融合,统称现代教育媒体。

二、现代教育媒体的种类

根据现代教育媒体物理特性来划分,可把现代教育媒体分为

以下几大类

1. 电声类媒体

电声类媒体包括电唱机、扩音机、收音机、录音机及其相应的软件。目前在教学活动中最常用的是录音媒体。录音媒体由录音机和录音带组成。

录音媒体主要有开盘录音机和盒式录音机

开盘录音机具有走带稳定、转速协调、使用的磁带宽、动态范围广、杂音小以及录放音质量高等特点,适于录制音乐和一些质量高的节目。

盒式录音机的动态范围小,磁带窄、转速慢,但盒式录音机使用灵活方便、便于携带、价格便宜、极易普及。

录音的优点是:录音磁带价格比较便宜,可以长期使用;录音材料容易得到,使用简单;对于年幼或没有阅读能力的学生,可通过录音来学习。由于盒式录音机携带方便,便于学生在各种场合学习,便于复制,还可以暂停重听。

录音的缺点是:录音内容顺序不能随意改变,学生单纯听录音没有视觉材料配合,注意力不易较长时间集中;如果学生听的能力同学习材料相差很大,则难以收到实效;由教师制作录音材料,质量难以保证。

现在录音的应用已非常广泛,特别在外语教育方面,录音已成为外语教学的重要教学媒体。

2. 光学投影类媒体

光学投影媒体主要包括投影、幻灯、电影。

实物投影是一种使用实物投影器,对不透明材料的投影方法。其优点是:可以当场投影课堂教学所用的材料;可以对三维物体进行放大作为特写镜头观察;可用于集体观察教学;使用实物投影器可节省制作投影片的时间,比较方便实用。其缺点是在使用实物投影时,室内遮光必须严密,否则达不到所要求的清晰度;实物投影设备比较笨重,难以搬动,使用时不方便;安全性能差,不注

意时 D1000 镉灯会损伤眼睛或因投影材料放置在投影器上太久,有时会被烧毁。实物投影对于几个小组或一个不超过 20 人班级需要同时看某些实物时特别有用。

图片投影是用投影器来投影事先绘制好的图画和文字材料或在投影器上当场书写和绘图投影到屏幕上,起到粉笔和黑板的作用。其优点是教室内不用严密遮光使用,可以面对学生操作,放映时间可长可短,内容可以利用遮盖,一步一步揭示,教师可自制投影片;其缺点是:投影效果在很大程度上取决于使用者的使用技能,投影器不能连续不间断展示图像,也不能配音;一般只适合于集体教学,不能投影不透明的插图。投影器因操作方便,室内不用遮光,并能使学生在静止的状态下观察,扩大了图像以及具有黑板作用等优点,现在学校课堂教学中已被广泛应用。

幻灯片一般是用 35 mm 感光胶片摄制而成。其优点是幻灯片坚实、价格便宜,幻灯机质量轻,易于操作,可以自制幻灯片;使用时节奏可控制,幻灯片易于管理,便于大量复制、分发和教师收集和保存。其缺点是:室内光线太亮会影响画面的清晰度,胶片在通过幻灯机的齿轮时,容易受损。幻灯由于不论对个别学习还是小组学习都很方便,其使用范围现已极为广泛。

电影是最早出现的视听媒体。其优点是:电影能将图像和声音结合在一起,可以同时作用于视听两种感觉器官,声情并茂,可促进更有效的学习,能够提供不易重现的事件,能够帮助人们观察到微观与宏观世界中的事物和现象,能够突破时间和空间限制,使人们看到事物运动过程和异国风光。其缺点是:影片制作费用较高,技术复杂,要求影片制作人员有较高的技术素质和素养,影片制作日期比较长,影片的质量和效果较难控制,电影机操作方法也较复杂,放映影片要求遮光严密,影片对存放环境的温度和湿度要求比较高。其运用范围也比较广泛。

3. 电视类教育媒体

电视类媒体包括电视、录像和激光视盘

电视作为大众传播媒介的后起之秀,已成为今天人们生活中不可缺少的部分,其优点:电视可以将信息即时、迅速、远距离大范围传播,能以活动的图像逼真地、系统地呈现事物的情节及其变化过程,可以替代现场参观,并提供典型示范。其缺点:电视信息是单向传播,学习者不能主动地参与教学活动,不能及时提出问题,教者不能及时了解学习者情况,学习比较被动;电视以固定的速度播放,难以满足不同学习者不同的要求。电视现已成为教育领域不可缺少的现代教育媒体,尤其在远距离教育系统中,日益发挥出巨大作用。

磁带录像机是一种能录放电视图像信号和声音信号的设备,它可以记录电视台发出的信号(收录电视节目)和记录从别的录像机传播信号。其优点是:可以记录、储存、重放电视节目,磁带可以重复使用,学生可按照自定的时间学习,录像带制作成本通常也比较低。其缺点是:录像机价格比较昂贵,还未普及到所有的学校和家庭;录像机的规格、制式、种类繁多,不利于资料交流,录像资料的质量、数量还不能满足需要,音像质量还不够理想。但它现已成为一种重要的电化教育设备,它既适用于录制、编辑和播放电视教材,也能用于教学训练等活动。

视盘是一种用激光来记录和摄取电视信息的最新技术。它是把电视信号送到激光调制器调制成激光束,在通过光学系统聚焦到一张镀有一层极薄金属材料的圆盘上,然后通过激光的热效应在薄膜上蚀坑或形成气泡,将信息记录下来成为模板,再压膜成视盘。其优点是:图像和伴音质量高、记录密度高、存储容量大、交互性强、检索快、寿命长、不怕灰尘,有利于大批量生产和廉价复制。其缺点是:视盘设备价格昂贵、视盘生产费用高。但视盘能发挥出电影幻灯、书刊等媒体特点。能够提供多媒体学习经验,适合个别化教学的需要。

4. 计算机类媒体

电子计算机是一种自动、高速地存取信息,处理信息的电子设

备。其优点是:使用计算机能够增加色彩、音响和动画图形的真实性,能够使练习、实验、模拟等教学活动具有吸引力,有利于激发学生学习动机;使用计算机有利于实施个别化教学,能为学生提供积极学习的条件,能增大教师对教学实际的有效控制。其缺点是:购置计算机比较昂贵;计算机使用和保养比较困难;适合学习者学习的教学软件比较缺乏,软件开发费用也比较高。但是计算机作为一种先进、高效的教育媒体,在教育中作用正在扩大,比如,在教育领域中,把计算机作为运算工具、建立数据库等其功能越来越得到充分开发和利用。进入20世纪90年代,随着多媒体技术的发展,计算机在教育领域适用范围将越来越广泛。

5. 综合类教育媒体

综合类媒体是指由两种以上教学媒体结合起来的多媒体系统。常见的有,语言实验室、录音-幻灯组合系统、多图像系统以及多媒体教学软件包。

语言实验室是以语言的学习为目的而装备起来的现代化教室。是一种包含有音响设备、视觉设备和测试设备的多媒体系统。语言实验室按功能分主要有听音型(AP)语言实验室、视听型(APV)语言实验室、听说型(AA)语言实验室、视听说型(AAV)语言实验室、听说对比型(AAC)语言实验室以及视听说对比型(AACL)语言实验室。其优点是:能提供标准的有声语言,能为学生提供大量实践机会;有利于教师因材施教,能提高课堂教学效率;有助于实现媒体选择组合的最优化。其缺点是语言实验室设备昂贵且维修困难;在使用中,由于是强化训练,缺少“人情味”,容易引起学生疲劳;使用语言实验室,教师需要经过专门训练,才能获得比较好的教学效果;教学软件制作费时,且质量难以保证。但语言实验室适用于语言技能训练和因材施教。

录音-幻灯组合系统,是一种幻灯配上录音比较适用的综合媒体。其优点是:声画同步的录音-幻灯系统有利于激发学生学习兴趣,容易引起学生注意,有利于学生的观察和思考;使用时能

够传递声形并茂的教学信息,硬件设备比较普及,系统形成比较容易,内容修改也比较方便。适合在教育教学中推广和使用。

多图像系统是一种很普及的多媒体系统,它涉及到两个或多个独立图像的同步显示。多图像系统可以由两个幻灯机和一个渐隐装置构成,也可以由一台多放映镜头幻灯机构成。其用途是可以对事物或物体进行对比;可以讲述某个系统内部的具体结构及其相互关系;讲述一个事物的过程或某工艺的过程;可以从不同的角度或距离显示物体,或多层次表现同一物体;可以通过静止画面来模拟物体运动,再现体育运动中的连续动作或分解慢动作;可以用几幅图像描述抽象思维表现物体的全景或远景;可以艺术地表达概念以及显示实物物体与函数、模型或图像的关系。

多媒体教学软件包是教学内容的集合,它是围绕某个问题而组织的多种媒体的综合体,它即包括传统的教育媒体也包括现代教育媒体。它主要是为学生独立学习或小组学习而设计的。其优点是标准化、操作命令少、易学易用,即使是不懂计算机的人一看就明白、一学就会;有利于自学;在学生每完成一项学习任务,系统都可以进行检查,并提供正确信息,利于学生再学习。其缺点是在用户虚机的环境下,要阻止系统信息和其他终端用户对屏幕的干扰;要阻止按键引起的错误输入。但在教育领域中可以利用多媒体教学软件包改进教育教学手段,提高教育质量和效益。

三、现代教育媒体的教学特性

现代教育媒体在教学中使用具有以下特性:

1. 现代教育媒体具有人体延伸特性

加拿大学者马歇尔·麦克卢汉早在1964年就提出现代教育媒体是人体的延伸观点,这一观点揭示了现代教育媒体的外部特点:比如,广播相当于听觉的延伸,摄像机相当于眼睛的延伸;电视、电视相当于视听觉的共同延伸;录像机、录音机的信息存储功能和计算机的逻辑判断功能相当于人脑部分的延伸;现代教育媒

体在教育教学中的运用,可以说延伸了人体的学习功能。

2. 现代化教育媒体具有多符号表现和传递教学信息的特性

现代教育媒体传递和再现的信息归根结底就是表现事物的空间、时间和运动特性。这些特征的信息可以用数字符号、形状符号和模拟符号来描述,它们是构成信息特征的基本要素。现代教育媒体不但可以把数字符号(如文字、语言)、形状符号(如路标、地图)和模拟符号(如有声电影、电视)转换成可存储、变换、加工、传输信息(如电视视频信号、伴音信号、电视高频信号)等,而且还能把信号还原,在需要的时候还可以再现信息。

3. 现代教育媒体软件和文字教材有互补性

现代教育媒体软件与文字教材相比具有形象性、替代性、重复性、多样性和片段性特点,它可以弥补文字教材具有抽象,只可直接阅读,形式单一以及缺少形象性的缺点。

4. 现代教育媒体具有综合教学特性

现代教育媒体可以表现客观事物的空间、时间和运动特性,可以不受空间、时间的限制,把记录存储内容随时重现出来,可以把信息同时传递给接受者;可以使学习者有参加活动机会;还可以根据教学目标优选媒体和组合媒体。成为为教师发挥主导作用创造的条件。

第三节 现代实用教育技术

在学校教育教学活动中,比较常用的现代实用教育技术主要有幻灯、投影教学技术、广播、录音教育技术、电影教学技术、电视教育技术和语言实验室教学技术。

一、幻灯、投影教学技术

幻灯、投影教学是指教师在课堂教学的活动中,利用幻灯、投影设备把教学材料投射到银幕上,并以此配合讲授教学内容的过程。在教学中,幻灯机和投影器是最常用的现代化教学手段,其优

点是 幻灯、投影手段能够与传统教学方法密切配合,对画面停留时间和解说速度可根据教学需要加以控制;能够给学生提供大量色彩鲜明、真实生动的视觉现象,有利于学生对学习材料加深理解和记忆;所用设备制作简单、价格低廉、操作容易,所用教学材料可就地取材,能及时运用到教学活动中来。

应注意的问题是:

第一,课前要严格检查幻灯片、投影片和幻灯机、投影机以及投影教具的质量,要事先布置放映设备;课前要试映幻灯片、投影片和投影教具,并保证画面清晰,使最后一排同学也能看清楚;课前要做好放映的一切准备工作,并做到正确使用,熟练操作。

第二,在使用幻灯、投影教学过程中,要把握住幻灯片、投影片演示时机。

第三,在使用中要注意幻灯、投影教学技术与传统教学手段的配合,要有针对性地指导学生观察画面,适时讲解。

第四,教师要避免那些分散学生注意力,影响学生观察和思维的不良细节。

二、广播、录音教育技术

广播、录音教育技术是指在教育教学活动中,运用广播、录音等现代教育媒体,根据教育目的和教育内容的要求,把各种声音信号通过能量转换、放大、传输、记录和存储,实现教育过程最优化所采取的新型教育手段和方法。其教育形式主要有无线电声广播教育,有线电声广播教育和录音教育。运用广播、录音教育技术可以辅助教学,即在课堂教学过程中,教师可以把教学内容有关的电台节目和录音教材作为教学内容的一部分,丰富教学内容,提高教学效果;可以用于系统教学,即由听觉手段完成一个专题或一门学科的系统知识的教学任务(如广播函授教学);可以用于欣赏教学,即在课堂上或课余时间,利用广播或录音播放教学节目和文娱节目,增长学生兴趣,陶冶情操。

应注意的问题是：

第一 ,要事先准备好与听觉手段相配套的辅助教学媒体。比如在运用扩音机进行大班教学时 ,为了解决好学生看的问题 ,要事先准备好放大图像文字的设备 ,如采用大屏幕投影书写器 ;在广播教学中 ,课前要编制好播音教材以及为学生使用的文字教材。

第二 ,要确立周密的播放计划。也就是在广播、录音教学中针对不同的收听对象以及播出的要求 ,确立播放时间 ,以利于那些对学习内容感兴趣的人能按时进行收听。

第三 ,在运用广播、录音教育技术教学过程中 ,要正确放置器材和排列座位 ,使扬声器与听众之间不要有东西阻挡声波 ,安排好学习环境。

第四 ,事先要准备好器材 ,并对器材进行检查 ,使广播、录音教学设备 ,处于良好的工作状态。

三、电影教学技术

电影教学技术是将活动画面和声音结合在一起 ,同时作用于学习者的听觉和视觉器官 ,可促进有效的学习 ,电影可以采用特殊的视觉效果 ,使事物变化加速或减速 ,压缩或扩大 ,能用“定画”或“动画” ,帮助研究特别动作 ,能用实物、色彩使教学内容声情并茂 ,使人产生真实感 ,激发学习动机兴趣 ,提高学习效率。

应注意的问题是：

第一 ,教师要事先了解电影教材特技的原理 ,掌握电影特技摄影常识 ,以保证学生在认识和鉴别有关活动变化的教学内容及模仿运动技能上由于不理解特技摄影产生的负效应 ,得到及时消除。

第二 ,教师要事先根据教学内容 ,学生年龄特点 ,选好电影教材 ,保证电影教学作用得到有效发挥。

第三 ,在运用电影进行教学前 ,教师一定要预看 ,了解其具体内容。并要仔细分析研究 ,以利于合理选用电影内容来辅助教学。

第四 ,在运用电影教育技术辅助教学时 ,教师要在视看的基础

上,编写电影教学教案,要将电影教材与课程系统内容联系起来备课,以利于增强电影教学的目的性。

四、电视教育技术

电视是由无线电子和电影结合发展起来的一种新技术。在教育领域中,电视除具有传递特点外,它还具有即时性,即能在事件与发生的同时把现场实况传播到世界各地,能高速度、高质量传递和再现形声教育信息;广泛性,即由于电视普及率逐年提高和卫星通信技术介入,并由其构成的卫星电视教育系统,使电视比任何教育手段更能突破时间和空间限制,学习者可根据自己的特点对学习内容、时间和环境进行有效选择,扩大了参与学习的人数和范围;可重复性,即在同一载体上能重复记录或重复播放教育信息;灵活性,即电视教学软件不仅能按正常速度录放而且还能倒退、快进、暂停等方式进行放录。由于电视具有上述特点,也就为教师、学生进行各种形式的教学和创新他们的教学资源提供了方便条件。

应注意的问题:

第一,要熟悉制作电视教材的系统设备,要确保编制的电视教材并保证电视教材选题合理、主题明确、题材扼要、结构严谨、图像清晰、声音清楚、色彩逼真、声画同步并有丰富的表现力和感染力,能激发学生的感情。

第二,利用电视教育技术进行系统课程教学时,要安排好系统的课程表和作息时间表,并预先说明下次教学内容,以便学生预习好相应的文字教材,作好相应的收看准备工作。

第三,利用电视教育技术进行辅助课堂教学时,要掌握好电视教材运用时机,在播放中要注意观察学生的外部行为表现和表情,并把握学生的心理活动来调控播放节奏。以保证电视教育技术在课堂教学中起到良好的辅助作用。

第四,利用电视教育技术进行部分专题电视教学时,要事先给

学生印发提纲式的专题电视教材讲义,并指出该课程的教学目标,以利于学生把专题教材内容和文字教材相关内容融为一体,促进学生有效的学习。

五、语言实验室教学技术

语言实验室是由以录音机为主的音响设备、控制设备装配起来的,用于语言训练的多媒体专用教室。它可根据教学对象与内容的不同,采用不同的课型。比较常见课型有听力课,即以训练和提高学生听懂外语能力为主要目标的课型;语音课,即训练语言音调为主的课型;口译课,即以训练学生的口译能力的课型;句型训练课,是为了帮助学生掌握各种不同的句型结合,说明句式的语法规律,提高学生模仿运用语言能力的课型;会话课,即发展学生口语能力的一种课型;视听说课,即一种以训练和发展学生听说能力和语言交际能力的课程,它需要利用幻灯、电视、录像等提供视觉形象,创造以语言环境来配合听说,它需要在视听对比型语言实验室进行。

应注意的问题是:

第一,课前要确立好语篇材料,准备好课程教学所需的现代教育媒体及书面材料。

第二,要在课前提出要求,要让学生熟悉材料,记生词及习惯表达,确立教学目标。

第三,在课程教学过程中,听力材料语速要自然、现实,语调发音要正确。

第四,在实施教学的过程中,要予以适当指导。

第五,在课堂教学过程中,要不断训练巩固,抽查学生的掌握程度。

第四节 计算机技术在教育中的应用

一、计算机辅助教学(CAI)技术

1. CAI 的特点及作用

计算机辅助教学(CAI)就是用计算机帮助或代替教师向学生传授知识和训练技能,其特点是:

(1) 示教性强。CAI 可以通过动画模拟、局部放大、变化过程演示等手段,对那些用语言和图像难以表达,抽象性强,变化过程复杂的课程有极好的教学效果,能使一些抽象、难懂的内容变得易于理解和掌握。

(2) 界面性好,信息反馈及时,能发挥学生的主动性和灵活性,激发学习兴趣,能够实现教学中以学生为中心,教与学结合,学生能及时发现、纠正错误,自主性强。

(3) 模拟性强。CAI 软件不仅能补充、改进、优化一些传统的教学实验,而且可使一些设备复杂、费用昂贵,危险性大的实验在计算机上模拟实验或进行预实验,增强实验效果,提高学生动手能力。

(4) 自学性强。CAI 软件可以根据个人的时间、要求和原有的基础来安排自己的学习计划和速度,自主选择学习内容,可以改变传统教学那种整齐划一、消极被动局面。有利于实现“因材施教”的教学原则。

2. CAI 研究与发展趋势

(1) CAI 的研究模式 计算机辅助教学 CAI 起源于 20 世纪 50 年代。其理论研究有 3 种不同的研究模式:

① 50 年代从认识论出发的经典研究模式:这种模式以程序教学和视听教学为理论基础,研制一种程序计算机教学系统,能循序渐进、直观、形象和生动地进行教学,便于学生从感性认识上升到理论认识,从而达到提高教学质量和效率的目的。

② 60 年代从方法论出发的系统论研究模式：这种模式主要以系统论和控制论为理论基础，要求研究一种以计算机为核心的多媒体教学系统，使学生在这样的教学支持环境下能获得最优化的学习效果。

③ 70 年代起从认知心理学出发的智能化研究模式：这种模式以人工智能科学、认知科学和思维科学为理论基础，研究人类思维的过程和特征，其目的在于寻找学习的认知模型，这是当今最受重视的模式。它的优点是使学习者能更灵活、更主动地进行自适应学习，智能计算机辅助教学（简称 ICAI）的研究就属于这种研究模式。

（2）CAI 的发展趋势 传统的 CAI 是以行为理论即刺激 - 反应为基础的，仅强调学习起因于对外部刺激的反应。据此观点制作的 CAI 软件都是为某一课程专门设计的各种教材信息、提示信息和评价信息，事先设定的方案存储于计算机中，其提示、回答，处理形式全部固定化，学习者不能主动提问题，一旦询问信息超出预先设定的范围，计算机就不能处理，所以整个学习过程基本上是静态的。学习者总是处于被动回答地位。同时由于计算机存储介质和课件的容量，当一个学习者反复使用某个课件时，会使学习者感到雷同和厌烦，从而会失去继续学习的兴趣。为此，在 20 世纪 70 年代这种传统的 CAI 受到认知心理学家的批评，他们主张采用使学生处于主动地位的教学方法，培养学生解决问题能力。目前出现在各个学科领域的 ICAI 系统就是这一研究思想的产物。

现在，国际上 CAI 研究有 3 个主要方向：

① 分布式大容量系统。它主要采用计算机网络、卫星通讯等现代化通讯技术进行局部地区或区域性联网。

② 智能型系统。就是让计算机模拟教师的智能，根据学生实际学习情况，调整教学策略，提高教学水平。

③ 多媒体型系统，利用计算机进行信息管理，提供图文并茂生动活泼的学习环境，进行视、听、触等多种方式的形象化教学。

另外,网络化是CAI发展的又一大趋势。网络化是世界计算机发展的主流。目前我国各重点大学以及科研院所已经联网。CAI通过教室与教室、学校与学校、国家与国家建立起来的计算机网络,教师与学生可以足不出户地进行教学交流和讨论。学校传统的教师在黑板上进行知识传播这一单一的课堂教学模式必将产生根本性改变。学生可以在网络上接受来自任何地方教师的指导、查询各类知识等。从根本上确立学生在学习中的主体地位,教师成为指导者和咨询者。

二、多媒体计算机辅助教学系统

1. 多媒体计算机教学系统的特点及作用

所谓多媒体辅助计算机教学系统,是一种以微机为中心,并通过微机对数据、文字、声音、音乐、图形和动画等媒体信息进行组合加工,使其能够在不同界面进行交互式流通的,综合性教学系统。其特点:

(1) 媒体的集成性 多媒体计算机系统能充分利用多媒体计算机具有数字信息处理、视音频信号高效实时的压缩及大容量信息的存储能力,将文字、图形、音频、视频等各种媒体的教学信息,全部集中到计算机中,并对这些信息进行综合处理。它通过对视音频设备的控制实现以往幻灯、投影、实物投影、播放等全部教学功能,光盘作为大量多媒体信息的载体,可将分散各种媒体上的教学信息集中在一起,统一调用。

(2) 信息的多维性 多媒体计算机教学系统具有处理信息范围空间扩展和放大的能力,它通过各种媒体的信息变换、加工、制作二维、三维动画,在时空四维空间中,自由展现各种动态图像,甚至通过时域的放大,揭示高速运动物体的真实面貌,增强动态效果。在教学中,通过多媒体计算机教学系统,可以使学生透视各种复杂的结构、揭示宏观和微观的奥秘,领略身临其境的感受。

(3) 操作的交互性 多媒体计算机教学系统,可以使操作者

获得对信息的完全控制权,并利用人机之间交互功能灵活调用声、像、文并茂的教学信息,激发学生的求知欲、创造欲,增强对知识的认识和理解能力。可以突破传统教育的三中心论,使学生成为教学的主体。

(4) 资源的共享性 即多媒体计算机教学系统可以依靠高速通信网络,在自己的多媒体终端上,随意调用全校、全市、全国乃至全世界的教育资源。

(5) 教学形式的多样性 多媒体计算机教学系统通过高速通信网络,完全可以不分地点、场合、距离远近及学习形式的限制,学习者可采取多种方式进行学习。它即适合于一般的课堂教学,也适用于专用教室中的人机对话的个别教学。

2. 多媒体计算机教学系统发展趋势

随着计算机技术应用的普及,多媒体计算机教育系统将成为21世纪现代教育技术的重要内容,它将随着教育事业的发展,多媒体技术的进步、多媒体产业的繁荣而发展。据分析,多媒体计算机教学系统有四大发展趋势。

(1) 网络化发展趋势 多媒体计算机辅助教学系统发展初期,各种教学服务系统都是由多媒体计算机或工作站独立完成多媒体信息的采集、存储、传输、加工和提示。为了适应教学实际需要,随着信息高速公路的建立,多媒体计算机辅助教学系统也将利用现代通信手段,将分布在各地的多媒体教育系统联成一个分布系统构成多媒体网络型教育系统,以利于综合利用所有的教学信息和重要成果,实现资源共享。

(2) 智能化发展趋势 随着社会科技进步,各种多媒体教学设备的品质、档次也迅速提高,发展到一定阶段,多媒体计算机教学系统又将向智能型发展,即系统具有人的某种智力功能,它不但能对多媒体信息进行简单的检索、加工,而且具有识别、分析和各种复杂的处理能力,使多媒体计算机教学系统产生飞跃。

(3) 综合化发展趋势 综合化既指多媒体计算机教学系统功

能的综合,也指服务项目、服务对象的综合。单机发展阶段课件的开发是对准某项教学活动的要求,因此功能单一。如 CAI 系统用于学生自控学习;语言学习系统用于语言专业教学;图文制作系统用于处理动画、字幕等。随着硬件配置的完善和软件档次的提高,许多功能就合并在一个系统之中,如用于电视制作系统的“数字新闻播放系统”、“桌面演播系统”等。随着信息高速公路的建立,将全球联成一个整体,多媒体教育网络的扩大,综合资料库的完善,未来的多媒体终端,可使知识信息随处可得,随需可取,随时更新。

(4) 与仿真技术结合的发展趋势 多媒体计算机和仿真技术结合可以产生一种强烈的幻觉,使得置身其中的人全身心地投入到当前的虚拟现实世界中,并对其真实性丝毫不产生怀疑,通常把这种技术称之为“虚拟现实”(virtual reality,简称 VR)。换句话说,虚拟现实是由多媒体技术与仿真技术相结合而生成的一种交互式人工世界,在这个人工世界中可以创造一种身临其境的完全真实的感觉。要进入虚拟现实的环境通常需要戴上一个特殊的头盔(head mounted display),他可以使你看到并感觉到计算机所生成的整个人工世界。为了和虚拟环境进行交互,还需要戴上一副数据手套——它使穿戴者不仅能感知而且能操作虚拟世界中的各种对象。

三、多媒体教育网络系统

多媒体教育网络系统是基于信息高速公路的建立而出现的一种全新的教育形式。多媒体教育网络的结构框图 2-9-4-1。

所谓信息高速公路即是以现代计算机网络通信技术为基础,在现有计算机网络有线电视等信息系统的基础上,以光导纤维为骨干,建立纵横贯通全国及世界各地的双向大容量和调整库电子数据传递系统。届时网络传输能力将达 100 ~ 800 Mbps,甚至更高。网上将流动着从音频到视频讯号,从一般数据库信息到教育、

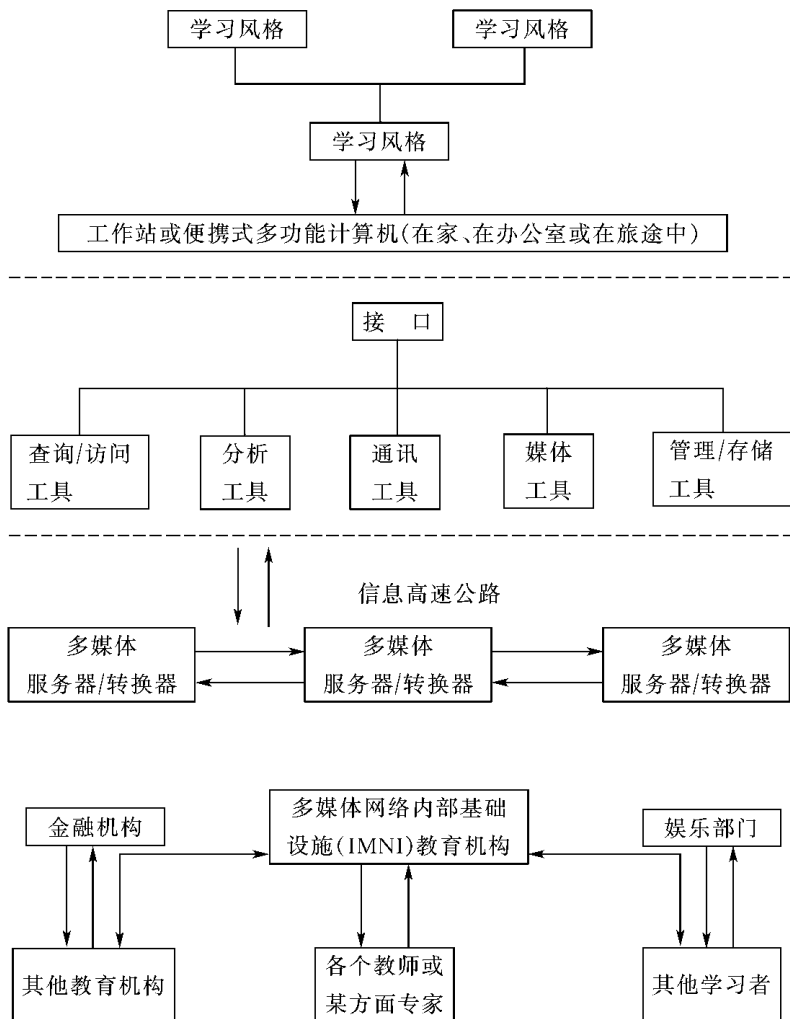


图 2-9-4-1 多媒体教育网络的结构框图

文化、体育以及金融股票信息等,无所不有。通过此网,高速公路可将家庭、办公室、医院、图书馆、教室、企业、商业、电视台和信息

中心等相互连接,只要学习者用多功能计算机、驱动此网,无论何时何地都可以获取自己所需要的信息。多媒体教育网络系统就是建立在此网上的。现出现在美国的虚拟大学就是基于信息高速公路的多媒体教育网络系统在教育领域实际应用的具体表现。我们通过了解虚拟大学特点,也就不难看出基于信息高速公路的多媒体教育网络系统对传统教育提出的挑战。

虚拟大学(virtual university)的称谓来源于计算机术语虚拟的现实。是指一种新型的高等教育机构,这种机构不是传统的物理意义上的教室或校园。作为传统教育手段的补充或拓展,由传统高校单独或联合将部分课程通过网络实施,虽多冠以虚拟校园等类似的名称,但都不是严格意义上的虚拟大学。因为它们所提供给学生的教育内容相对有限,而且一般不授予虚拟大学自身的学位、证书,有人称之为在线课程或在线课程目录。虚拟大学是运用虚拟技术(即运用信息技术——包括智能计算机系统、多媒体技术、光电子系统集成技术,以及信息的获取、传递与处理技术等,以假逼真地模拟某种现实环境,并以互联网络为载体,实现视听目标的一种操作方法和技能)创办在互联网络上的,不消耗或少消耗现实教育资源和能量的,并具有现实大学特征和功能的一个办学实体。它与传统大学相比,不同的地方就是虚拟大学是用虚拟技术,并通过“信息高速公路网”来实现人才培养功能的。它的特点是教学硬件的虚拟性,即运用虚拟技术可以模拟出实际不存在的,又和现实大学逼真的校园、教室、实验室、图书馆和实习基地等教学环境;教学过程的网络性,即在虚拟大学内学生知识的获取是通过互联网络实现的,学生可以在家通过联网的电脑攻读大学课程,还可以实现不出门就到海外留学;教材的多媒体性;即在虚拟大学,可以用教授编制出的适应不同类别、不同水平需要的声、形、像俱全的科学性和通俗性相结合的内容,可以迅速更新的光盘书籍,从而取代了传统、枯燥单一的文字课本,可接受性强;教学管理的遥控性,即它对学生入学资格的审查、学生学习计划的核定、

个人学习计划中的出勤情况、学习情况、课程考试情况、学分的评定以及毕业证书和学位证书颁发都通过“网上”监控系统进行遥控和监督,以保证教学质量;学生成才的个性化,即在这种教育体制下,每个学生随时随地可以通过网络提取材料进行学习,课程可以随时开始和结束,可以随时凭自身的需要对学习内容和学习方法进行选择,真正实现教育的个性化。

虚拟大学的开设是信息技术的高度发达与高等教育需求快速增长相互作用和结合的结果。20世纪90年代以来,高等教育向更广阔的空间——终身教育拓展,国家财政经费日益紧张;同时,局域网、区域网日益发达,国际互联网的使用已相当普及,虚拟图书馆、虚拟实验室及虚拟校园也取得长足进展。与大量学生涌入高校相伴随的是对成本效益的更高追求,使得以计算机技术为基础开展的教学和评价工作具有了得天独厚的优势,进而为虚拟大学的产生和发展提供了前提与可能。用 Kumiko Aoki 等人的话说,虚拟大学的发展受到了三方面因素的直接推动。第一是高等学校致力于吸引走读的学生以增加入学人数;第二是成年学生克服时间和距离的限制为学习技能和获取学院学分的需求日益增长;第三是新技术的发展使远距离教育的实施具有了更强大的吸引力。

通过对虚拟大学特点的了解,我们不难看出基于信息调整公路的多媒体教育网络系统介入教育行列,它不仅仅是设计了一种全新的办学模式,而且,也使教育产生许多全新的形态。比如通过多媒体教育网络可以改变当前多数孤立的单机的“人-机”对话方式,形成“人-机-人”教学模式;通过多媒体教育网络信息交流的瞬间性,可以使学生知识结构中存在的纵横两方面的间断点得到及时帮助,有利于实现个别教学;通过多媒体教育网络可以使学习者选择课程多样化、学习自主化、考证国际化以及教育终身化等。这些教育新形态的出现,必将对传统的教育体制和教学模式提出变革。

四、计算机管理教学系统

在教育领域中利用计算机还有另一个方面,即起到行政管理的作用。也就是计算机管理教学(简称 CMI)系统

CMI 系统的主要功能有以下几个方面:

(1) 教学管理 如制定教学计划,控制教学进度,进行教育评价等。

(2) 教务管理 如安排和调整课程,计算教师的工作量和教学设备的利用率、对班级管理的效果进行评价等。

(3) 学生管理 如管理学生学籍、档案、测评并记录学生的成绩和能力水平以及平时的行为表现,对学生的学业成绩和品德行为进行评价等。

(4) 总务管理 如编制学校收支预算,管理教师工资、物资报表等。

CMI 系统的优点是:计算机对教学过程起着支持和监督作用;可节省时间和人力,能够减轻教师和管理人员所担负的各种乏味或耗费时间的管理任务,在实施管理过程中,具有保密性强,不徇私情等特点。

参 考 文 献

1. 吴广勋,赵澄江. 简明电化教育教程. 北京:教育科学出版社, 1997
2. 尹俊华. 教育技术导论. 北京:高等教育出版社, 1996

第十章 环境保护技术

什么是环境？环境是指影响人类生存发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体。天然因素有阳光、水、大气、土地、海洋、矿藏、森林、草原及野生生物等；自然因素有自然遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。环境的主要功能表现在两个方面，一方面它是人类自下而上与发展的物质条件，另一方面它承受着人在活动中产生的各种作用的结果。

当前，人类社会扩大开发自然资源 and 无偿利用环境为主要标志的经济发展方式，一方面造成了空前巨大的物质财富和前所未有的精神文明，另一方面也造成全球性的生态破坏、环境污染。这就从根本上动摇了现代经济社会赖以生存和继续发展的基础。因而，解决经济增长与环境保护的矛盾问题，谋求人类经济与生态环境的可持续发展，是当代人类的历史使命。

我国是一个发展中的国家，生态环境的优劣，不仅直接关系到我国城乡人民的生活，而且还将对整个现代化进程产生全局性和深远的影响。我国的国情及社会主义市场经济都要求我们必须对赖以生存与发展的生态环境状况及变化趋势作出科学的分析和判断，研究环境保护技术和对策，进而做出符合国情的选择，寻求可持续发展的模式。

本章讲述全球的十大环境问题：气候变暖、臭氧层被破坏、大气污染、海洋污染、废物污染、酸雨蔓延、森林锐减、土地荒漠化、淡水资源短缺和生物多样性损失，以及造成环境问题的原因，对我国的环境状况进行分析，从理论和实践上论述我们必须走可持续发展的道路，并介绍几种重要的环境保护技术。

第一节 全球性的环境污染

目前,全球正面临环境污染问题,造成全球环境污染的原因复杂多样。本节论述全球气候变暖、臭氧层破坏及大气环境污染、固体废弃物污染、海洋环境污染、酸雨蔓延等环境污染问题,分析造成环境污染的原因。

一、全球气候变暖

1. 温室效应的实质

大气中天然存在的气体、水蒸气及其他吸收红外线的气体,阻挡了地球红外线的辐射热的散发,起到了地球大气的吸热保温的作用,这就是“温室效应”。

温室效应对保持地球气温是重要的和必不可少的,如果没有这种效应,地球温度会比现在低 4℃ 左右。

起温室效应作用的是大气中的部分微量成分,称作温室效应气体,主要是二氧化碳,其他还有水蒸气、甲烷、氧化亚氮、臭氧、氟氯烷烃等。正是由于向大气排放了大量温室效应气体,导致大气微量成分的改变,从而引起温室效应的增强,并由此造成地球气候的变化。

2. 温室气体的作用

在人类产生的温室效应气体所造成的辐射压力中,二氧化碳排放的作用占 55%、氟利昂占大气加热贡献的 24%、甲烷占 15%、氧化亚氮占 6%。各种温室气体在相同浓度下,所起温室效应的作用力是不同的:若 CO_2 为 1,甲烷为其 40 倍, NO_2 为其 100 倍,臭氧为 1 000 倍,而氟利昂则比 CO_2 高 10 000 倍。

3. 温室效应的影响

温室效应将使地球温度上升,导致气候变暖、海平面上升以及地球生态的一系列变化。由于温室效应,在过去的 100 年间全球

平均地面气温已增加了 $0.3 \sim 0.6$ 。如果大气中 CO_2 浓度以目前的速度增长,到 21 世纪就可增加 1 倍,全球气温将上升 $2 \sim 5$,这是过去 1 万年中从未有过的速度。随着全球变暖,到 21 世纪末,全球气温将上升 $6 \sim 8$,海平面也将上升 65 ± 35 cm。13 万年前地球气温比现在高约 $2 \sim 3$,海平面就比现在高 6 m 左右。科学家经预测,由于海平面上升,到 2030 年左右,一些大城市如纽约、威尼斯、曼谷、伦敦、上海、雅加达、台北、悉尼和东京等地将面临海水淹没的危机,荷兰和日本将在 2100 年完全沉没。

此外,气候变化所带来的降雨量增减或地区性重新分配,造成森林推移、物种优势变化、某些物种灭绝、自然灾害等一系列生态环境变化,这些变化都可能大大加剧现有的全球资源、人口和消费之间的严重失调问题。

二、臭氧层破坏及其危害

1. 臭氧层的作用

臭氧是一种地球大气中自然存在的气体,它的分子式是 O_3 ,臭氧浓度随高度变化,主要分布在地球表面上空 $25 \sim 30$ km 的范围内,该气体分布的空间叫臭氧层。臭氧的总量只占大气的几百万分之一,总质量约 30 亿 t。

臭氧层对地球的生命具有两种作用:第一,能阻止过量的紫外线到达地球表面,通常可过滤掉 $70\% \sim 90\%$ 的太阳紫外线,从而保护人和地球其他生命免遭过量紫外线的伤害;第二,臭氧与二氧化碳一样,也是一种温室气体,能吸收地球表面反射回宇宙间的红外辐射,对调节地球气温具有很大作用,大气中臭氧浓度发生变化时就会影响地球气候。因此,臭氧层对地球生命如同氧气和水一样重要,没有臭氧层的防护,地球生命就会遭到毁灭性灾难。

2. 臭氧层破坏及危害

自 1958 年对臭氧层观察研究以来,人们发现高空臭氧有减少趋势,20 世纪 70 年代以来,这种趋势更为明显。1985 年,在南极

上空首次观察到“臭氧空洞”,面积为 2000 万 m^2 ,比两个地球的面积还大。到 20 世纪 90 年代,还有增大的趋势,深度相当于珠穆朗玛峰之高。北极上空也出现了臭氧空洞。人类呼唤“女娲”再来补天。高空飞行观察数据表明,平流层臭氧浓度已出现全球性下降。距地表面 15 ~ 50 km 的高空称平流层,那里风平浪静,非常稳定,是地球上一切生命的保护伞。1995 年春天,西伯利亚北部地区上空平流层臭氧减少 35%。平流层臭氧浓度减少 10%,地球表面的紫外线辐射强度将增加 20%,这将对人类健康和其他生物乃至整个地球生态系统产生严重后果,紫外线被各种细胞吸收后会引起不良的生理效应,破坏蛋白质和核酸的分子结构,使其失去应有的生物功能。

不仅人类的眼病和皮肤病患者增多,植物也会受到危害,农林牧业等将因之减产,整个水生生态系统都会受到影响,包括食用鱼类,因为海藻对紫外线辐射特别敏感,它的变化会影响整个海洋食物链。

3. 破坏臭氧层的主要化学物质

在所有与臭氧起化学反应的物质中,最简单而又最活泼的是含碳、氢、氯和氮几种元素的化学物质。这些物质在低层大气层中可能是稳定的,但在高空经紫外线作用活化后,就能与臭氧反应。这类气体包括:氧化亚氮、四氯化碳、甲烷和氟氯烷烃(CFCs)等。

氟氯烷烃。氟氯烷烃进入平流层后,受到强烈紫外线照射,进一步与臭氧分子作用,生成新的氯游离基,形成一种链式反应。这样,一个氟氯烷烃分子进入平流层就可能消耗掉成千上万的臭氧分子,因此,目前认为氟氯烷烃消耗臭氧的潜能值最大,并且由于这类物质可在大气中存留几十年甚至上百年,因而目前已存留于大气中的氟氯烷烃所引起的危害,其效应会延续一个世纪。

氧化亚氮。当氧化亚氮受高紫外线作用后,即发生光解,生成氮气和激发态原子氧,与臭氧发生反应,从而消耗掉臭氧。此外 N_2O 光解产生的激发态原子氧亦直接与臭氧反应,生成氧分子。

根据最近研究,人类施用的氮肥约有 1% 以 N_2O 的形式从土壤释放到大气中,汽车尾气中 N_2O 的含量亦达 17×10^{-6} ,每年排入大气的氮氧化物(NO_x)和大气层核试验排放的氧化氮(NO),可直接进入平流层,造成对臭氧层的破坏。

1987 年,全球主要工业国家在加拿大的蒙特利尔签署了一项条约,规定到 2000 年要把“臭氧杀手”氟利昂的产量削减一半。1990 年后,又多次修订这个条约,规定在 2000 年前终止和使用氟利昂。

三、大气环境污染

1. 大气污染物

某物质进入大气,对人类或人类环境产生了可观察出的各种慢性不良影响,该物质就被称为大气污染物。大气污染物可分两大类,即气态物质(如 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 NH_3 、烃等)和颗粒物质(如碳粒、粉尘、烟尘等)。污染物还能在大气中发生转换,因此又有一次污染物和二次污染物之分。直接由污染源(工厂、汽车等)排出,其理化特性未发生变化的物质,称为一次污染物,它是造成大气污染的主要原因和直接来源。一次污染物在大气受到阳光和其他物质的作用,发生复杂的化学变化而形成新的污染物,称为二次污染物。二次污染物对环境 and 人体的危害通常比一次污染物更为严重。主要的一次污染物和二次污染物如表 2-10-1-1 所示。

表 2-10-1-1 主要的大气污染物

污染物	一次污染物	二次污染物
含硫化合物	SO_2 H_2S	SO_2 H_2SO_4 硫酸盐
含氮化合物	NO_x NH_3 N_2O	NO_2 HNO_3 硝酸盐
碳氧化物	CO CO_2	
有机化合物	$\text{C}_1 \sim \text{C}_5$ 的有机化合物	NO_x 与烃形成 O_3 、甲醛、过氧乙酰硝酸酯等
氟氯烷烃	CFC-11 CFC-12 等	
颗粒物	各类烟尘和粉尘	

2. 光化学烟雾污染

大气中的氮的氧化物和碳氢化合物主要来自汽车废气以及石油和煤燃烧时产生的废气。废气中的氮氧化物主要是一氧化氮。一氧化氮和空气中的氧结合生成二氧化氮。二氧化氮在太阳紫外线的照射下,产生一系列光化学反应。在光化学反应的产物中,臭氧占85%以上,过氧酰基硝酸酯约占10%,其他物质如醛类等所占比率很小。它们都是光化学反应生成的二次污染物。在特定的地理条件下,当遇到逆温或不利扩散的气象条件时,烟雾便会积聚不散,造成大气污染事件,使人眼和呼吸道受到刺激或诱发各种呼吸道炎症,危及人体健康。

在一年中,夏秋是最可能发生光化学烟雾的季节。而在一天时间中,下午2时前后是光化学烟雾浓度达到峰值的时刻。光化学氧化剂可由城市污染区扩散到100 km甚至700 km以外。洛杉矶市区的光化学烟雾,就使远在100 km之外高山上的柑橘减产,松树枯萎。

3. 烟尘污染

随着工业的发展,人们在获取能源和工业产品的同时,排放了大量的烟尘,污染了自己的环境。大气中的颗粒物又称为气溶胶,一般是极复杂的混合物,不仅有不同的化学组成,而且大小也是分散的,重要的粒子大小范围为 $6 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ 。颗粒物可分两类,一类是粒径大于 $10 \mu\text{m}$ 的,它们可在重力作用下很快降到地面,故称为降尘;另一类是粒径小于 $10 \mu\text{m}$ 的粒子,它们可以长时间(达数月或数年)地飘荡在空中,所以叫做飘尘。

由于飘尘的粒径较小,因此可以进入人体呼吸系统的内部并在肺部和支气管沉积。恰恰是这部分粒子常含有大量的有毒有害物质,因此可以极大地损害人体健康,成为许多疾病的罪魁祸首。加拿大1961年有近3千人死于肺癌,为30年前的8倍。近10年美国肺癌死亡率增加5倍。

马斯河谷烟雾事件,一星期内有60人死亡,整个河谷地区几

千人胸痛、咳嗽、呼吸困难 ;素有“雾都”之称的英国伦敦 ,在 1952 年 12 月 5 日的一次烟雾事件中 ,死亡达数万人 ;美国近十年肺癌的死亡率增加 35 倍。专家调查证明 ,肺癌的 90% 以上是由于大气污染经过长期作用诱发的。

四、固体废弃物污染

人类正生活在一个化学品生产和使用最高峰的时代 ,自 20 世纪以来 ,全世界已有了 1 000 多万种化合物 ,每年还有数以万计的化学品问世。在生产和使用化学物品时 ,都会产生某些特定的废弃物 ,其中不乏有毒有害或危险废物。

1. 有毒有害废物的产生

目前 ,全世界每年消耗钢铁 7 亿 t、铝 1 300 万 t、铜 700 万 t、镍 70 万 t ;开采与消耗的能源超过 90 亿 t 石油当量 ;生产与消耗的其他非金属材料数量更大。随着资源的大量消耗 ,世界废物排放量亦与日俱增。全球每年新增垃圾约 100 亿 t ,其中约有 3% ~ 5% 为有毒有害废物。

美国是世界上危险废物产生量最高的国家 ,按美国环保局根据危险废物产生过程的“标准工业分类”估计 ,它每年产生的危险废物量为 2.5 亿 ~ 6 亿 t。其中 70% 产生于化学工业 ,8% 源于炼油和金属工业 ,10% 来源于运输设备及动力货物运输 ,7% 来自机械和电子机械 ,4% 为电气、煤气、卫生设备等产生。所产生危险废物类型 ,65% 为溶剂和污泥 ,39% 的废弃物具有反应性 ,34% 的废弃物有腐蚀性 ,EP 毒性废弃物占 9%。

2. 有毒有害废物对环境的危害

有毒有害废物或危险废物造成人类的疾病、死亡或对健康生命造成重大或潜在威胁。过去发生的大量事件和造成的巨大损失 ,第一是由于化学品的品种发展得太快 ,以致人们对它们的毒性都来不及充分认识 ,因而在一旦发生事故时 ,往往措手不及和束手无策。实际生活中遇到的中毒往往是小剂量长期积累的效应和多

种物质复杂的暴露形式。第二在生物体内或在环境中发生化学反应而生成新的毒物或二次污染问题,使实际情况变得异常复杂。第三是由于化学污染往往是由于泄漏、火灾、公路铁路突发事件或爆炸等引起,其影响和危害在极短的时间内突然发生,要获得及时的处理措施十分困难,造成因措施延误而带来的巨大损失。

20 世纪 50 年代是有毒化学品造成严重危害的第一个重要的国际灾难年代,当时在日本水俣湾很多人患的是一种罕见的疾病,甚至发生疯猫跳河的奇特现象。结果表明,这里人患的是甲基汞中毒,由于鱼吃了排入下水道的汞,然后人吃了这种鱼使毒物转移到人体内引起。在日本,发现了镉污染稻米而导致人患骨痛病,患者因疼痛致死。

近二十年来,化学品的大量生产和使用为解决人类衣食住行和文明发展提供了物质基础。但是,太多的化学品进入人们的家庭、生存环境,甚至进入人体,正造成一种空前的化学大混战,其对环境、生态、经济、社会以及人类健康造成的威胁日益增加。

3. 有毒有害物质的越境转移

20 世纪 70 年代中期以来,发达国家相继实施危险废物控制法,以法律的形式规定不准在装运和处理危险废物时产生有害影响,导致废物处理费用越来越高,于是一些国家开始寻求境外处理废物的途径,出现了有毒有害废物越境转移问题。

近年来,不少发达国家把危险废物非法倾倒在第三世界国家,付给发展中国家的接收公司或政府以现金,有的则完全是非法运往别国倾倒。在促成转移有害废物的行动中,经费考虑是一个关键因素。在许多工业化国家,处理 1 t 有害废物要花费 2 000 美元,在某些发展中国家甚至只需几美元。但是,有毒有害废物的越境转移会造成废物对全球环境更广泛的污染,特别是将这类废物转移到缺乏监控和处置能力的发展中国家,更造成危险后果。1989 年 3 月,100 多个国家在瑞士通过了《巴塞尔公约》以控制有害废物越境转移的发展趋势。

五、海洋污染

1. 海洋资源与经济潜力

海洋面积占地球表面的 71% ,海水占地球水资源总量的 97% 左右。世界上约有 60% 的人口生活在距海岸 60 km 以内的地区。海洋拥有地球上最丰富的资源 ,海洋资源大体上可分为矿物资源、生物资源、化学资源、动力资源和海水资源。

海洋矿物资源最主要的是大陆架油气资源和海底锰结核。化学资源是利用潜力最大的海洋资源。海水中含有 80 多种元素 ,有 70 多种可以提取 ,其中包括至关重要的铀 ,其总含量达 40 亿 t ,相当于陆地储量的 4 000 多倍。海洋动力资源 ,即海洋能 ,包括潮汐能、波浪能、海流能、温差能、盐差能和海洋风能等 ,总蕴藏能量达 750 多亿 kW。海洋中还有 5×10^{16} kg 重氢 ,蕴藏能量相当于 10^{24} kg 优质煤。海洋生物资源包括动物和植物。海洋动物有 18 万种 ,海洋动物包括鱼类、贝类、海兽、海鸟等。海洋植物有 2.5 万种 ,包括藻类等。海洋生物提供食物总能力比陆地作物高上千倍 ,从海洋生物提供的工业原料和药物具有巨大的经济价值。但是 ,随着海洋开发的迅速发展 ,海洋污染和海洋环境的恶化也是接踵而至。

2. 海洋污染及危害

海洋污染主要来自陆源性污染物排入、海上生产活动如采油、航运以及直接向海洋倾废。对海洋影响最大的污染物是石油、有机营养盐类以及重金属等。据估计 ,由于人类活动每年流入海洋的石油为 1 000 万 t ,其中 ,由陆地和海洋作业排入的石油每年为 300 万 ~ 600 万 t ,运输排入海洋的石油每年约 150 万 t ;海洋每年还接收 2.5 万多吨氯联苯、25 万 t 铜、390 多万吨锌、30 多万吨铅 ;留存在海洋的放射物质约 7.4×10^{13} Bq ;全世界每年生产 5 600 ~ 9 000 t 汞 ,约有 5 000 t 最终进入海洋 ;排入海洋的有机营养盐类

数量更大,每年有 4.1 km^3 陆水携带着 200 亿 t 悬浮物质和溶解盐类从河流流入海洋。

海洋是许多废物的最终归宿。大量向海洋倾泄废弃物和污染物,已对海洋生态系统特别是海洋动物构成巨大威胁。工业废物已毒死了北海的几千只海豹,死亡海豹的含汞量最高达 0.286%,高出正常水平 600 倍以上。在许多国家的近海海域,鱼贝类因受重金属、医药或其他有毒物质污染而不能食用,西班牙的奥廷托弯牡蛎含铜高达 0.0165%,法国地中海沿岸哈贝中汞浓度高达 0.03%,镉浓度高达 0.1%。

油污染对海洋生态的破坏是严重的,油在海面上漂移会杀死或严重影响浮游生物,从而破坏海洋生物的食物链,而且越是高等的生物所受影响越大。甲壳类动物和某些海洋底栖生物,对油污很敏感,一般 $(1 \sim 10) \times 10^{-6}$ 的浓度就可能致死。哺乳动物和鸟类,也常是小剂量油污污染的主要受害者,世界上已有多次发生过事故性溢油所造成的海鸟和哺乳动物大量死亡的事件。

随着海洋活动的加剧,人类带给海洋的污染和破坏是多方面的,一些貌似无害的行动,往往也会造成很大的危害。据美国科学院估计,由商业捕鱼每年抛弃入海洋的塑料袋高达 2.2 t,丢失和扔掉的渔网、绳索和救生圈大约 13.6 万 t。这些塑料废物造成的危害使每年 100 万只鸟及 10 万只鲸类动物和海豹死亡,仅美国加利福尼亚中部沿海,每年死于大比目鱼网的海鸟就有 29 000 只之多,相当于该海域栖息海鸟的 17%。

六、酸雨蔓延

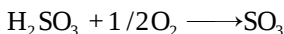
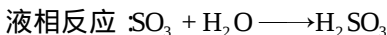
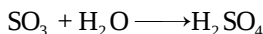
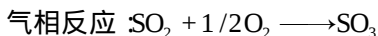
1. 酸雨的形成

平常的雨水都略呈酸性, pH 在 5.6 以上。

pH 低于 5.6 的雨雪或其他形式的大气降水,统称为酸雨。酸雨的形成是一种极为复杂的大气化学和大气物理过程。酸雨中含有多种无机酸和有机酸,一般为硫酸和硝酸,主要是燃烧煤和石油

的过程中向大气大量排放的二氧化硫和氮氧化物转化而成。

二氧化硫气体可以通过气相或液相化学反应生成硫酸。其化学反应过程为：



2. 酸雨的危害

今天,酸雨已成为地球上很多区域环境问题。在欧洲,雨水的酸度每年以 10% 的速度递增;在北美,降落 pH 只有 3 ~ 4 的强酸雨已经司空见惯;在加拿大,酸雨危害面积已达 120 ~ 150 km²;在日本,全国降落的酸雨 pH 是 4.5;在印度和东南亚,一些土壤已经因频降酸雨而酸化。

通常我们喝的食醋 pH 为 4 左右,而酸雨的 pH 竟低于食醋。

哪里有酸雨,哪里就会发生灾难。酸雨落在水里,可使水中的鱼群丧命;酸雨落在植物上,可使嫩绿的叶子变得枯黄凋零;酸雨落到建筑物上,可把材料腐蚀得千疮百孔,污迹斑斑。

世界各地的古迹、桥梁受酸雨损坏、腐蚀的速度越来越快。号称世界最大露天博物馆的智利复活岛上的石雕人像,正面临着解体 and 倒塌的威胁,美国每年花在修理受损古迹方面的费用超过了 50 亿美元。

3. 转嫁污染

二氧化硫或氮氧化物可能是当地排放的,也可能是跨国飘来的高烟囱排放物。

近年来,英美等国家采用加高烟囱的方法,将酸雨“偷运”到别国。结果,英国的酸雨移到了 2 000 km 之外的北欧;而美国工业区排放的大量二氧化硫,越过国界在加拿大形成酸雨,使加拿大几百个湖泊因酸化而遭到毁灭性打击,另有几千个湖泊的水质也极为恶化,湖中的生物更是难逃厄运。这种不道德的做法已受到

国际社会的谴责。

但愿酸雨问题能真正引起人类的重视,从而能采取措施,根绝酸雨。控制酸雨的根本措施是减少二氧化硫和氮氧化物的排放。为此,需要工厂增加脱硫设施,在汽车上安装尾气净化装置。由于酸雨的跨国污染问题,所以还需要有关国家共同努力。

第二节 全球生态环境恶化

地球是一切生命的摇篮,在广阔无垠的宇宙中,人迄今为止还没有发现其他星球上有生命存在。我们的地球,具备有生命所必需的阳光、空气和水等物质,生物为地球增加了绚丽的光彩。

然而随着人类活动的增加,随着工业革命的进行,对生态环境的污染破坏随之而来,造成生物损失与灭绝、森林锐减、土地荒漠化、淡水资源短缺等问题。

一、生物多样性损失

1. 生物多样性的定义

生物多样性包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性。它们包括数以百万计的动物、植物、微生物和它们拥有的基因、它们与其生存环境所组成的复杂的生态系统以及组成这个复合体的各个部分之间的相互作用,是人类赖以生存的各种生命资源的总汇,是未来农业、医学和工业发展的生命资源基础。

生物多样性是大自然留给人类最宝贵的财富。生物多样性的维护是保护人类生存环境、保障自然资源永续利用的一个极为重要的方面。

2. 世界生物多样性的基本状况

目前人类还不能准确地知道地球上究竟有多少生物物种。科学家们认为,地球物种保守的估计是1 300万~1 400万种,现在已知的约有200万种。根据物种的发现增长率来预测动物物种总数为:哺乳动物4 300种,鸟类约9 000种,爬行动物6 000种,两

栖动物 3 500 种 , 鱼类 2.3 万种。最近 , 根据对秘鲁热带森林中昆虫进行的调查 , 发现了许多种新的物种 , 因而有人估计地球物种总数超过 3 000 万种。

在世界上 , 亚马逊和扎伊尔盆地被认为是物种最丰富的地区。其余物种中 20% 生长于亚马逊以外的拉丁美洲森林中 , 另外 20% 生长于亚洲森林和除扎伊尔盆地以外的非洲森林中。

迄今为止 , 已被鉴定的物种总数只有 140 万 ~ 174 万种。约 87% 的哺乳动物、爬行动物、两栖动物、鸟类和鱼类已被鉴定 , 而无脊椎动物和微生物的大部分尚未认识 , 全部植物的 90% 以上尚未开展研究。因此 , 人类至今对丰富的物种资源的认识还十分有限 , 已利用的更是其中的少部分。

3. 物种损失及原因

自地球出现生命以来 , 物种就处于不断创生而又时有灭绝的动态进化过程中 , 类似恐龙灭绝的事件已出现 6 次 , 使 52% 的海洋动物家族、78% 的两栖动物家族和 81% 的爬行动物家族消失了。但是自工业革命以来 , 随着人口增长 , 人为造成的生物物种灭绝速度大大超过了以前任何一个时期。近 50 年来 , 鸟类已灭绝了 80 种 , 兽类已灭绝约 40 种。迄今为止 , 人类只能利用而不能创造物种和基因 , 而一个新物种的进化需要 2 000 到 10 万年 , 因而物种损失是一种不可弥补的损失。联合国环境规划署的一份文件形象地指出 , 人类正在进行着一场空前的物种“大屠杀”。

造成物种灭绝的首要原因是人为活动破坏了生物的生存环境 , 使生态系统不断简化 , 从根本上破坏了许多野生生物赖以生存和发展的基础。

生存环境损失首先表现在森林减少上 , 特别是物种最为丰富的热带森林。热带森林只占地球表面的 6% , 但养育的生物物种却占物种总数的 50% ~ 90%。

湿地减少。湿地既具有多方面的环境功能 , 又是重要的野生生物的生存环境。人们至今对湿地的认识和保护还很缺乏 , 扩大

耕地以及其他土地利用方式,使许多湿地被疏干或改造,世界沼泽地已损失 25% ~ 50%,沿海红树林湿地更所剩无几了。

岛屿是许多脆弱的特有物种的生存环境,世界上有约 900 种鸟类的分布区仅限于某个岛屿。当海岛的生存环境面积减少 10% 时,将损失一半物种。事实上,近代史上灭绝的哺乳动物和鸟类大约有 3/4 是岛屿居住物种。

狂捕滥猎和环境污染也是造成一些高经济价值生物和敏感生物灭绝的重要原因,猎捕经济价值高的野生动物以获取兽皮、兽肉、兽角、象牙、麝香和其他产品,是造成某些野生生物物种群减少甚至灭绝的重要原因,世界性贸易的发达更增加了猎捕的强度,野生生物新用途的不断发现则大大扩大了猎捕的范围。

环境污染导致生物多样性减少,特别是生物物种最丰富的河口和近岸海域,也恰恰是污染最集中的地方,因而所受危害更大。

二、森林的锐减与破坏

1. 森林的作用

森林是地球生态环境的重要组成部分,是陆地最大的生态系统。森林是经济发展和人类生活的必不可少的可更新自然能源。森林对人类文明的发展产生过巨大的影响,并且是人类生存和持续发展不可缺少的基础。

森林具有调节气候、涵养水分、保护生物、防风固土、净化空气以及维持生态平衡的多种功能。

2. 森林被破坏

盘古开天以来,地球上 2/3 的陆地被茂密的森林覆盖,人类是在绿色的环抱中生息的。而如今世界森林的面积已不到陆地的 1/3。平均每分钟就有 40 hm^2 的绿色森林被破坏。

目前地球上热带雨林面积共约 9 亿 hm^2 ,其中,拉丁美洲地区占 58%,非洲占 19%,东南亚和澳洲占 23%。在中美洲,从 1961—1978 年,39% 的森林被砍光变成牧场。巴西大西洋沿岸的

热带雨林竟减少了 90% 以上,加纳减少了 80%,菲律宾已毁林 25%,低地森林被伐尽,原木出口降至原来水平的 $1/4$ 。目前非洲许多国家将森林产品出口作为主要的外汇来源,致使非洲每年损失森林 360 万 hm^2 以上。赤道南北两侧的热带雨林已损失 50%。

在世界各大洲中,森林锐减速度最快的当属亚洲。亚洲 1980 年有林地 3.11 万 hm^2 ,到 1990 年减少至 2.75 万 hm^2 ,减少了 12%;其次为南美洲,十年间减少了 9%;非洲的森林则略有增加。这与发达国家保护本国资源,掠夺性获取发展中国家资源,转嫁环境危机有直接关系。

3. 森林锐减导致生态环境恶化

森林的减少,将给人类和地球生态系统带来极大影响。这能引起全球性气候变化,特别是全球变暖,能引起物种的变化和绝迹,引起强烈的水土地流失和自然灾害。

亚马逊平原是世界上最大的热带雨林区,占地球热带雨林部面积 $1/3$ 。丰富的自然资源和复杂的生态环境,被誉为“最后的边疆”。亚马逊的森林一旦被砍伐殆尽,地球上维持人类生存的氧气将减少 $1/3$ 。然而最新资料表明,该地区每年约有 800 万 hm^2 的原始森林遭破坏。

在巴西圣灵州哈陆河以北的广大地区,20 多年前还是林木参天,如今热带雨林全部被毁,450 种植物和 204 种鸟类绝迹,虫害和寄生虫繁衍,这里将沦为寸草不生的荒地。

三、淡水资源短缺

1. 地球上有限的淡水资源

淡水资源的短缺,已成为全球性的问题。虽然地球表面 71% 被水覆盖,但是全球水资源的 96.5% 是咸水(即海水),其余 3.5% 是淡水(即陆地水),绝大部分又是冰川、雪山,深层地下水仅占淡水总量的 0.26%。按全球人口分,每年人均淡水资源量低于

9 000 m^3 。而这些淡水还有一些是以暴雨和洪水的形式出现,因此,据科学家计算,只有大约 1/3 的淡水资源才是稳定可靠的水源,全球大约为 15 万亿 m^3 ,人均大约 3 000 m^3 。而且淡水资源分布又不均匀。全世界有 100 多个国家缺水,其中严重缺水的有 40 多个。

2. 全球水污染普遍

严重水污染也令人吃惊。全世界每年约有 4 200 多亿 m^3 的污水排入江河、湖泊,造成 55 000 亿 m^3 的水体被污染。全世界河流稳定流量的 40% 受到污染。发展中国家至少有 3/4 的农村和 1/5 的城市人口得不到安全卫生的饮用水,每年有数以万计的人死于腹泻,有 80% 的疾病和 1/3 的死亡率与受到污染的水有关。

3. 严重的后果

号称“母亲河”的伏尔加河,近来日子越来越不好过,它接纳了俄罗斯将近一半的工业污水。这些污水中不仅有生活废弃物、重金属及其化合物,而且还有放射物质、有机毒物和油类物质。如此一来,伏尔加河流域的人们“守着大河无水喝”,面临缺水危机了。

类似的情况不止发生在素有“老人河”之称的密西西比河、欧洲著名的莱茵河、我国第一大河长江以及世界上许许多多河流。

水源污染已严重威胁到人类的健康。生活污水中常常含有很多致病的病毒、病菌和寄生虫。这些含有病原体的污水一旦污染了饮用水源并进入人体,就会迅速引起各种疾病,如痢疾、腹泻、伤寒、肝炎、霍乱等传染病流行,进而导致大批人死亡。联合国儿童基金会的一份资料披露,不安全饮水引起的腹泻和其他疾病,每年造成数百万儿童的死亡。

饮用水被重金属离子以及有毒的有机物污染,后果将更可怕。水中含有各种重金属离子和难以分解的有机物,其中对人体危害极大的有酚类、氰化物、汞、铬、砷、铅、镉等。这些物质可引起人们畸形、患癌症、器官病变。水俣病、骨痛病就是这方面最典型的

例子。

四、土地沙漠化严重

1. 土地沙漠化

绿色植物起着涵养水源、调节气候、净化空气的作用。因此，一旦这些绿色“长城”被毁，造成的后果将十分严重。

科学家告诉我们，植物能够蓄积雨水、保护水土。因此在植物繁茂的地方，即使下瓢泼大雨，山间流淌的仍是清泉。而在植被遭到破坏的地方，情况就大不相同了。大雨过后，泥沙俱下，大量肥沃泥土被冲走。久而久之，剩下的只能是裸岩和碎石。由于森林资源被严重破坏，使得越来越多的肥沃的土地由于缺少了植物的保护，经风雨侵蚀变成了沙地。据统计，地球上的土地已有 30% 的面积已经沙化或正在沙化。近 10 多年来，全世界每年有 6 万 ~ 7 万 km^2 的土地成为寸草不生的荒漠。

2. 土地退化和耕地损失

土地退化是当代最为严重的生态环境问题之一，这从根本上削弱人类赖以生存和发展的基础。土地退化的根本原因在于人口增长、农业生产规模扩大和强度增加、过度放牧以及人为破坏植被导致水土流失、沙漠化、土地贫瘠以及土地盐碱化。

世界大部分地区都存在土壤侵蚀的问题，每年流失土壤达 250 亿 t，高出世界上土壤再造速度数倍。据 UNEP 估计，全世界每年损失土地 600 万 ~ 700 万 hm^2 ，受土壤侵蚀影响的人口 80% 在发展中国家。

更可悲的是，水土的流失导致了耕地贫瘠和荒漠化，而土地的荒漠化又倒过来加剧了当地的贫困化，恶性循环就是这样形成的。

第三节 中国的环境状况

中国的环境问题主要是环境污染和生态破坏两个问题，它也是我国改革开放与发展过程中面临的一个重大问题。生态环境质

量的优劣,不仅直接关系到我国城乡人民的生活,而且还将对整个现代化进程产生全局性和深远的影响。

我国开发自然的历史相当悠久,生态环境也曾经是相当优越的。据考证,我国古代森林覆盖面很广,先秦时期,整个黄土高原的森林覆盖率超过 50%,东北、西南等地高达 80%~90%。在农业和畜牧业出现之后,人类改造环境的能力大幅度提高,由于食物来源的稳定,人类改变了自己在生态系统中的地位,但与此同时也产生了相应的环境问题。

改革开放以来中国国民经济继续保持稳定增长的良好态势。中国政府在环境保护方面作出了巨大努力,污染物排放总量控制、工业污染源达标排放和城市环境综合整治工作取得进展,环境保护投资显著增加,国家重点治理的太湖流域水污染防治取得阶段性成果,北京市被列为国家污染治理的重点城市。国务院发布了《全国生态环境建设规划》,启动了天然林保护工程。生态建设和保护得到重视和加强。

但是,中国面临的环境形势依然严峻。相当多的地区环境污染状况仍然没有得到改变,有的甚至还在加剧。中国的生态环境相当脆弱,水土流失、荒漠化、森林和草地功能衰退等生态问题比较突出,一些地方生态环境破坏的范围在扩大。1998 年发生了洪水、赤潮和沙尘暴等严重的自然灾害。

一、我国环境的现状分析

1. 水土流失严重

我国 960 万 km^2 的国土面积,山地、丘陵和高原约占 65%,各种生态环境脆弱带占 97%。人均耕地面积 0.11 hm^2 ,仅为世界人均水平的 43%。这些国土开发利用不当,自然植被一旦破坏,易于造成大范围的水土流失,加速生态环境失衡。多年来我国水土流失总的情况是小片治理,大片加重;上游流失,下游淤积;灾害加重,恶性循环;水土流失面积有增无减。20 世纪 50 年代初水土流

失面积为 116 万 km^2 ,目前已经增加到 367 万 km^2 ,占国土面积的 38.2%。每年水土流失的土壤至少在 50 亿 t 以上。40 年来 ,因水土流失减少耕地达 4000 多万亩 ,造成的经济损失每年约 100 亿元。其中水土流失最严重的黄土高原 ,全区约 54 万 km^2 的土地上 ,水土流失面积已达到 90% ,严重水土流失地区占一半以上。黄土高原由于水力、重力和风暴共同作用所造成的水土流失 ,在世界上也是罕见的。

2. 自然灾害影响

我国的自然灾害主要有洪水、季风、赤潮、沙尘暴和地质灾害。过去 2 200 多年间 ,共发生 1 600 多次大水灾 ,1 300 多次大旱灾 ,常常是旱涝先后交替或同时异地出现。年代越近 ,灾害发生的频率越高。特别是近 40 年来 ,灾害发生频率越来越快 ,危害越来越重。几乎平均每三年就有 1 年发生重旱 ,1 年发生雨涝。1998 年 ,我国相继发生了 3 次大的自然灾害 :长江、松花江和嫩江流域的洪水 ,近海海域的赤潮和内蒙、新疆的沙尘暴。

科学家认为 ,厄尔尼诺现象是造成我国南方洪涝灾害的主要原因 ,厄尔尼诺现象使西太平洋副热带高压明显增强 ,强大而稳定的副热带高压西侧偏南气流将大量暖湿空气输向我国大陆 ,遇到北方冷空气南下 ,在长江流域形成了稳定的多雨带 ,造成南方的边疆性暴雨 ,导致洪涝灾害。

20 世纪 50 年代以来 ,全国还出现了气温上升 ,降水量下降的趋势 ,导致了巨大的不可逆转的生态效应。显然 ,这些都与人类破坏导致自然生态加速失衡有关。

3. 森林资源短缺

森林是维持陆地自然生态系统平衡的重要组成部分。据估计 ,一个国家森林覆盖率在 30% 以上并分布相对均衡 ,才能满足生态良性循环的需要。我国属贫林大国 ,据全国第四次森林资源调查 ,全国林业用地面积为 2.6 亿 hm^2 ,其中森林面积 1.3 亿 hm^2 ,

全国森林覆盖率为 13.92%。中国人均占有森林面积 0.11 hm^2 , 只相当于世界人均水平的 17.2%, 居世界第 119 位;中国人均占有森林蓄积量 8.6 m^3 , 仅相当于世界人均水平的 12.0%, 是世界上人均占有森林蓄积量最低的国家之一。

我国森林生态系统的结构不尽合理,从整体看,生长率低,生长量小。目前全国用材林面积缩小,森林质量下降,森林蓄积量持续减少,用材林年消耗量超过生长量 0.97 亿 m^3 , 出现严重“赤字”。一些地区昔日郁郁葱葱的林海已一去不复返了。黄土高原森林破坏后造成水土流失,近几年频发洪水,给中华民族带来灾难。按此种状态延续下去,再过七八年,全国森林将无成熟林可采。自然生态系统将更加不稳定。

1998 年,国务院批准并颁布了《全国生态环境建设规划》,并发出紧急通知,要求坚决制止毁林开垦和乱占林地的行为,禁止砍伐天然林,启动了国家天然林保护工程。四川省曾计划对现有天然林资源分步采取封山育林、森林抚育和人工造林等不同营造措施,其中,封山育林 $690\,225 \text{ hm}^2$, 森林抚育 $840\,375 \text{ hm}^2$, 人工造林 $422\,766 \text{ hm}^2$ 。云南省也曾计划在天然林保护工程实施范围内全部停止天然林采伐,对金沙江流域林区和生态脆弱地区的 330 万 hm^2 国有天然林实行常年管护。到 2010 年,营造 82 万 hm^2 公益林,平均每年营造 6.3 万 hm^2 。

4. 草原退化加剧

我国是草地资源大国,仍有各类天然草地 3.9 亿 hm^2 , 约占国土面积的 40%, 但人均占有草地面积仅 0.33 hm^2 , 约为世界人均占有草地面积的 $1/2$ 。

近年来,由于对草地的掠夺式开发,乱开滥垦、过度樵采和长期超载过牧,草地面积逐年缩小,草地质量逐渐下降。由于草地植被覆盖度降低,涵养水源、保持水土的能力减弱。目前,90%的草地已经或正在退化,其中,中度退化程度以上(包括沙化、碱化)的

草地达 1.3 亿 hm^2 。

5. 沙漠化速度加快

我国又是世界上沙漠化受害最深的国家之一。北方地区沙漠、戈壁、沙漠化土地的面积已达 149 万 km^2 , 占国土面积的 15.5% , 其中沙漠化土地面积为 33.4 km^2 , 涉及 212 个旗县, 断续分布约 $5\,500 \text{ km}$ 长。近 4 亿人口生活在荒漠化或受其影响的地区。据 20 世纪 50 年代与 70 年代航拍对比分析, 我国沙漠化土地每年以约 1600 km^2 的速度扩展, 近 25 年共丧失土地 3.9 万 km^2 , 仅农牧交错带, 每年因沙化造成的生产量下降和肥力损失就达 4.5 亿元。目前约有 5 900 万亩农田、7 400 万 km^2 草场、2 000 多公里铁路以及许多城镇工矿和水库受到沙漠化威胁。

6. 生物物种加速灭绝

中国是生物多样性最丰富的国家之一。生物物种种类丰富, 生态系统类型齐全, 遗传物质的野生亲缘种类繁多。我国具有陆地生态系统的各种类型, 包括森林 212 类, 竹林 36 类, 灌丛 113 类, 草原 55 类, 草甸 77 类, 荒漠 52 类, 高山冻土、流石滩植被 17 类, 总共 599 类。中国有高等植物 30 000 种, 占世界 10% , 居第三位, 其中裸子植物 250 种, 占世界 29.4% , 居首位; 中国有脊椎动物 6 347 种, 占世界 14% , 其中鸟类 1 244 种, 居世界首位; 鱼类 3 862 种, 居世界前列。中国特有物种繁多, 其中高等植物 17 300 种, 脊椎动物 667 种。中国经济植物和家养动物的丰富程度居世界首位。

目前, 生物多样性面临着森林砍伐、湿地开发、野生动植物生存空间急剧缩小和环境污染等威胁。

我国野生动植物资源下降, 濒危物种日益增多。据估计, 我国的植物物种中约 $15\% \sim 20\%$ 处于濒危状态, 仅高等植物中濒危植物就高达 4 000 ~ 5 000 种。近 30 多年来的资料表明, 高鼻羚羊、白鳍豚、野象、熊猫、东北虎等珍贵动物分布区显著缩小, 种群数量锐减。属于我国独有的物种和国家规定重点保护的珍贵、濒危野

生动物有 312 种,正式列入国家濒危植物名录的第一批植物有 354 种。

近年来我国制订了中国白鳍豚、白海豚、海龟等水生野生动物保护行动计划。组织开展了长江白鳍豚、江豚的同步监测,为进一步摸清长江白鳍豚、江豚的现状 & 活动规律,制定相应物种的保护措施和对策提供了依据。1998 年,在黄渤海、东海区实施禁渔的基础上,开始在南海区实施禁渔。

7. 地下水位下降,湖泊面积缩小

多年监测结果表明,我国大部分城市和地区地下水位连续下降,形成了不同规模的地下水位降落漏斗。地下水位下降严重和漏斗规模较大的地区,主要在人口集中和经济发达的黄淮海平原及长江三角洲地区。目前,全国漏斗面积超过 100 km^2 的漏斗有 50 多个,主要分布在北方缺水地区和东南沿海地区。北京市、沧州市、德州市、阜阳市和苏锡常地区以海市地下水位降落漏斗面积超过了 $1\,000\text{ km}^2$ 。沧州市水位降落漏斗(-50 m 封闭等水位线)的面积达到 $2\,225\text{ km}^2$,德州市深层水降落漏斗面积达 $3\,200\text{ km}^2$;苏州市、无锡市和常州市的地下水位降落漏斗已连成一片,漏斗面积为 $5\,000$ 多 km^2 。

建国以来,我国湖泊减少了 500 个,面积缩小约 1.86 km^2 ,占现有面积的 58%,湖泊蓄水量减少了 513 亿 m^3 ,其中淡水量减少 340 亿 m^3 。

8. 水体污染明显加重

据 120 多个城市地下水水质监测资料统计分析,多数城市地下水受到不同程度的点状或面状污染,且有逐年加重的趋势。主要超标因子有矿化度、总硬度、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、铁和锰、氯化物、硫酸盐、氟化物、pH 等。污染较严重的有锦州、阜新、辽源、廊坊、沧州、烟台、许昌、包头、西安、库尔勒和漳州等城市。

在调查的 532 条河流中,有 82% 的河流受到不同程度的污染。全国约有 7 亿人口饮用大肠杆菌超标水,约有 1.7 亿人饮用

受有机物污染的水。例如奎河,发源于江苏徐州市,每日约有近 25 t 有毒有害废水排入,沿河群众每年喝污染的水,吃污染的粮,癌症发病率极高,畸形胎儿也明显增加。岸南江苏、岸北山东的渔民过去是靠着这水生活的,那时的水清澈见底,水中有湖鸭游戏,天上有水鸟飞翔,还曾有过天鹅光顾。现如今这水人畜都不能饮用。原先每年有近百吨的银鱼也都绝迹,鱼打不成了。岸上,养猪不下崽,喂鹅不长毛,用水浇地地板结,种子根本不发芽,就连沙子也因遭受了污染卖不出去,生活无着落。许多人下河洗澡,浑身起红疹,这里的渔民不再敢光脚。

9. 大气污染严重

中国的大气污染属于煤烟型污染,北方重于南方;中小城市污染重于大城市;产煤区重于非产煤区;冬季重于夏季;早晚重于中午。目前我国能源消耗以煤为主,约占能源消耗总量的四分之三。煤是一种肮脏的能源,燃烧产生大量的粉尘、二氧化碳等污染物,是中国大气污染日益严重的主要原因。

本溪是中国东北的著名钢都,它地处群山环抱之中。在 43.2 km^2 的区域内,分布着钢铁、煤炭、水泥等 420 多家企业。然而在联合国环境署拍摄的卫星遥测照片上却无法找到本溪,尽管卫星能拍摄地面上行人腕上的手表的商标,本溪却被弥漫的烟雾、扑面的灰尘、刺激的气味所笼罩。近年来,酸雨不断蔓延,世界各地的古迹、桥梁、建筑物受酸雨的损坏和腐蚀越来越严重。我国的重庆受酸雨危害最重,嘉陵江大桥的钢每年锈蚀 0.16 mm ,每半年就要除锈一次。新建的电视塔仅三年即开始生锈。重庆南山的马尾松在强酸的作用下已死亡 90%。

10. 废渣存放量过大,垃圾包围城市

我国废渣年产生量已超过 5 亿 t,处理能力赶不上排放量,1988 年全国积存量为 66 亿 t,人均 6 t 废渣。1998 年统计结果为:工业固体废物的产生量为 8 亿 t,其中县及县以上工业固体废物排放量为 7 034 万 t,其中乡镇工业排放 5 212 万 t,占排放总量的

74.1%。危险废物的产生量为 974 万 t,其中县及县以上工业的产生量为 905 万 t,占危险废物产生量的 92.9%。全国城市生活垃圾为 6 000 万 t/年,比 10 年前增加了一倍,在 666 个城市中,至少有 200 个城市在垃圾包围之中。在北京三环、四环路之间就有 50 m 以上的垃圾山 4 500 多座,占地超过 $4.67 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 。据悉,近几年来,北京街头树梢、绿化带、屋角、路边等地飘落的白色塑料袋已经有碍观瞻,污染了首都的环境,也引起了市民的不满。

11. 环境污染向农村蔓延

乡镇企业迅速发展成为农村工业化的重要方向以及二元经济结构向现代经济结构转变的中介。与此同时,这也给农村生态环境带来更大的污染,对农业资源、矿产资源造成更为严重的浪费。1978 年以来,农村环境污染主要是化肥、农药等,1978 年以后乡镇成为农村主要污染源。据 1997 年统计结果,乡镇企业废气排放量达 1.2 亿 m^3 ,排放废水总量达 18.3 亿 t。全国近万家造纸厂中,乡镇企业占 8 000 家,排放废水 8 亿 t,一个造纸厂污染一条河。

二、造成中国环境不断恶化的主要原因

造成中国环境恶化的原因是多方面的,也是复杂的。它主要来自于三个压力:

1. 人口压力

中国现代人口数量异常迅猛增长,这既成为中国现代化进程的最大障碍,又成为中国生态环境的最大压力。迫于生存,人们毁林开荒,围湖造田,乱采滥挖,破坏植被,众多人口的不合理活动超过了大自然许多支持系统的支付能力、输出能力和承载力。

2. 工业化压力

中国工业化时间晚,发展起点低,又面临赶超发达国家的繁重任务,不仅以资本的高投入支持经济调整增长,而且以资源高消费、环境高代价换取经济繁荣,重视近利,失之远谋;重视经济,忽视生态,短期经济行为给中国环境带来长期性、积累性后果。

3. 市场压力

中国正处在经济转型过程中,市场经济本身也产生许多外部经济效应,环境污染就是最明显的例子。环境作为一种公共财产,这种公共财产的提供,例如清洁水、良好的大气环境,对所有人都 有好处,多人享受也不会增加总成本。但是如果没有公共财产,所有人的利益都会受到损失。公共财产受到破坏,个人或市场都不会提供控制环境污染的费用和服务,只有政府是公共财产的提供者。来自市场经济的压力愈大,政府对防治环境污染、整治国土资源的责任就愈大。

需要说明的是,中国所处的地理位置,独特的自然环境,异常变化的气候条件,幅员辽阔的国土面积等客观因素,既产生了中国生态环境的复杂性和地区差异性,也决定了脆弱性和失衡性,如果开发利用不当,极易破坏,又难以恢复。

第四节 可持续发展之路

持续发展就是指社会、经济、人口、资源和环境的协调和长期延续的发展。当前,实现社会经济的可持续发展是人类面临的最严峻的挑战,以扩大自然资源 and 无偿利用环境为主要标志的经济发展方式在创造空前巨大物质财富和社会文明的同时,也造成全球性的生态破坏、资源短缺、环境污染等重大问题。从根本上削弱和动摇了现代经济社会赖以生存的基础。因而解决经济增长与环境保护的矛盾问题,谋求人类经济、社会和生态的持续发展,是当代人的历史使命。

一、发展与环境

环境污染和生态破坏已在我国造成巨额的经济损失,生态指标恶化已经直接而明显地影响了经济指标和经济趋势。因灾害全国每年粮食减产数字逐年增加,有关专家估计我国每年因环境污染和生态破坏造成的经济损失约 860 亿元,使我国物质财富总量,

特别是使在国民经济核算体系中尚未或难以计算的土壤、水资源、森林、草场、矿产等环境资本蒙受巨大损失。同时恶性的突发性的事件迭起、范围广泛、危害严重、增长速度惊人。

今后,随着历史欠账积重难返,生存与发展的压力日益沉重,处理环境问题的能力与条件低下及生态恢复与环境治理的长期性,使我们面临更加严峻的局面。从现在起,如果不采取果断有效的措施,在发展战略、经济增长、消费模式、人口控制等方面进行调整和作出符合国情的选择,那么,中国生态环境恶化的趋势将更无法控制。任何只顾眼前利益的政策和行为,都可能带来对生态环境的深刻影响,使在其他领域的改革与发展所取得的成绩变得毫无意义,并给未来造成灾难性的甚至难以挽回的后果,从某种意义上说今天的生态指标将预示着明天的经济趋势。

二、我们的选择

我们必须清楚地认识到,环境资源是一种经济资源,它意味着一种选择,即要改善环境质量,社会就必须放弃一部分发展的机会。纵观加入工业化进程的国家,都难以避免地出现过生态环境破坏的时期,这是不以人的意志为转移的,但不同的发展战略所造成的生态环境破坏的幅度是不同的,这是可以人为控制的。

我们可以得出这样的结论:如果不把合理地使用资源、保护生态环境等内容包括在发展目标之内,任何经济增长都不会得到持续的发展,任何经济改革都不会取得真正的成功。中国未来的发展战略必须从单纯追求国民生产总值增长为中心的传统战略,转向以保证生存与持续发展为基本内容的整个民族的生存战略。所谓保证生存,即保证整个民族的生存条件和生存空间,所谓持续发展是指既满足当代人的需要,又不对后人赖以生存的基础和发展能力构成破坏和障碍,它旨在促进人类之间以及人与环境之间的和谐。

上述发展战略的目标,首先是保证生存,其次是持续发展,在

生存中求发展。在发展中改善生存。它所追求的不是短期的经济繁荣而是寻求人类在长远未来中的持续发展。创建一个具有持续性、协调性和经济发展与保护地球资源和环境的机制是绝对必需的。同时,它也是在激烈竞争的国际环境中维持本民族生存与发展的根本保证。

具体的指导行动和政策为:

1. 制定目标和政策时应充分考虑环境问题

如果经济政策既带来经济效益,又带来环境效益,它们就能促进经济持续发展。如果它们可以带来极为不利的环境损失,那么就需要调整计划,以便抵消这种损失。

2. 解决人口过快增长和贫困人口问题

为了发展和环境,需要比以往更加重视人口的问题,控制人口数量问题,提高人口质量问题。贫困人口既是环境破坏的受害者,也是环境破坏的创造者。消除贫困也是减轻了环境破坏的压力。

3. 采用污染减少型技术

开发新技术、新工艺,降低单位产出能源消耗,开发清洁工业技术以减少污染排放量,调整产业结构,着重发展附加价值高、轻污染或无污染的产业,要淘汰能源消耗高、资源浪费大、污染严重的产品产量,逐步降低重污染的工业比重,减少工业污染。

4. 加强对资源的公众管理和全民环境教育

强化现有资源管理机构,充分运用法律手段加强政府与非政府组织在管理资源方面的合作。利用国家掌握的新闻媒介强化公众的生态知识和环境意识,使他们意识到环境质量的优劣与他们的切身利益之间的关系,积极指导公众主动参与意识,使保护环境成为人们自觉的行动,这将是中国生态环境问题得到解决的根本保证。

5. 大力开展国土整治,改善生态环境

国土整治是政府的主要职能之一,政府应负责大江大河治理、区域性防护林体系工程、大范围水土保持和沙漠化土地治理。

6. 治理城市环境

重点是治理烟尘污染普及工业与民用型煤,限制原煤散烧,实行集中供热;治理汽车废气,使用无铅汽油、柴油,对超标准排入废气实行罚款;城市污水实行清污分流,集中处理;开展固体废物、生活垃圾综合利用和无害化处理;严格控制交通与工业噪音污染。

7. 推广生态农业,植树造林,保护生物多样性

改进耕作制度,集约经营,多业结合,不断提高农业生态系统和生产力。扩大绿色植被面积,提高林木覆盖率,营造农田林网,扩大果树林、经济林、薪炭林或其他林木,提高产品利用率,保护有益的物种和害虫的天敌,保护农作物、牲畜的野生新物种。

第五节 环境保护技术

可持续发展的模式研究和实施是一个复杂的系统工程,是一个庞大的综合课题。它既涉及经济、法律、政治、教育等社会科学各领域的理论与实际政策,而且还需要与环境保护有关的科学技术的较大发展和环境保护技术的应用推广。

一、减少温室气体排放技术

温室效应会导致全球温度升高,天气变暖。未来总有一天,南极和北极的冰雪都融化了。水面不断提高,原来的大陆和岛屿相继被汪洋大海所吞没,陆上的生物几乎完全消失。

防止地球气温变暖的长期战略中,控制能源使用释放 CO_2 是一个关键。以前,能源消费以化石能源为主,煤、石油、天然气燃烧时都要放出大量的二氧化碳,因而必须寻求减少化石能源消费的发展模式。必须设法改善能源结构,大幅度提高能源效率,实行广泛节能。

1. 改善能源结构

从减少 CO_2 排放出发改善能源结构主要是增加非化石燃料的消费,减少化石燃料的消费。

(1) 利用水能 中国的水力资源居世界首位。全国水力资源的蕴藏量为 6.76 亿 kW 时,发电量可达 5.92×10^{12} kW · h。但资源分布不均衡,开发难度高,利用程度低。今后将逐步开发长江和西南诸河的水力能源,加速这些水资源的开发有助于减少 CO₂ 排放,而且有助于增加中国高质能源的比重,特别是促进西南地区的经济发展。

(2) 发展核能 核能是世界公认的最现实的替代化石能源的大规模能源。世界上技术愈发达的国家兴建的核电厂数目愈多,因此核能是一项高技术产业。国外核电迅速发展的原因主要是 1 g 核燃料比 1 g 碳的能量大 300 万倍,1 g U²³⁸ 相当于 2 800 t 标准煤或 2 000 t 石油,储存和运输因量小而显得方便,核电成本不高,在国外煤、油发电与核电成本之比为 1.25:1.70,建设投资也基本上与火电相当。研究表明核电事故带来的风险远比非核电事故少,放射性物质的影响也比煤火电厂低。一座 100 万 kW · h 的核电厂和微量放射元素的辐射剂量仅为同容量火电厂排烟中主要钍元素放射剂量的 1/3。因此发展核电应作为中国改善能源结构的重要战略考虑。中国已探明的铀矿可满足 1 500 万 kW 轻水堆核电站运行 30 年的需要,钍资源亦较丰富,具备发展核电的基础和条件。已投入运行的泰山和大亚湾电站是中国核电的基础事业的起点。预计到 20 世纪末投入运行的核电装机容量达 600 万 ~ 700 万 kW,相当于每年减少 700 万 t 碳排放量。发展核电不仅是减少 CO₂ 排放的措施,更是中国东部、南部缺煤地区解决能源问题的根本出路。

2. 开发新能源

新一代能源指太阳能、风能、海洋能、沼气、地热以及高科技氢能这类自然和绿色能源。我国有比较丰富的太阳能和风能资源,已有一定应用。但在能源的结构中尚不能构成比例,包括地热和海洋能在内,我国都有一定的试用基础,也形成规模的科技队伍。这类能源的发展,应从长远看,着眼于未来,加强科技投入,特别是

应从经济效益、社会效益和环境效益进行综合评价,确定它们在经济和科技发展计划中的地位。

3. 提高能源效率与节能

能源效率是国际上普遍认为近期减少 CO_2 排放的最现实的途径。提高能源效率包括能源的生产特别是能源转换、能源输送以及能源的使用等方面。目前中国的能源生产和使用技术都比较落后,能源短缺与浪费同时存在;在能源中,清洁能源和高质能源所占比重低,能源利用生成污染严重,因而提高能源利用效率不仅仅是为减少 CO_2 的排放,也是改善整个大气环境、减少 SO_2 等和促进经济健康发展的战略性措施。

(1) 降低火电消耗 1988 年,中国平均供电煤耗 $431 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。我国计划到达 2000 年将全国火电组平均发电煤耗降低到 $335 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,届时若发火电 1 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 可节约 9 200 万 t 标准煤,相当于每年少排二氧化碳 4 000 万 t。

(2) 发展热电联产和集中供热 热电联产是一项公认的能效较高的途径,发展集中供热亦有明显的经济效益和环境效益,在我国有很大潜力。

(3) 开发应用联合循环发电技术 这是一种最有前途的煤炭发电方案,并且技术已经成熟。

(4) 推进火煤浆技术的应用 这项技术业已成熟,是实行以煤代油、节能和改善环境的途径之一。

(5) 发展循环流化床锅炉 我国煤炭中劣质煤比重较大,而循环流化床对这类燃料的燃烧效率可达 $95\% \sim 99\%$,锅炉效率 $85\% \sim 90\%$,与粉煤锅炉相比,有较高的热效率,因而在获取相同能量时,其煤耗低, CO_2 排放少。

(6) 城市燃气化 城市用煤特别是居民用的小型散煤炉耗煤量大,浪费严重且污染重,因而城市燃气化是减少能耗、提高煤炭利用率的重要环节。据我国城市煤气化经验,民用煤气使用热效率如果能够实现煤气、电力、供热和副产化工原料的“四联供”,其

经济效益和环境效益会更高,我国煤能源利用也就真正开始了新纪元。

4. 保护与扩大森林植被

温带森林的发展已被证明有巨大的吸收 CO_2 的功能。中国大部分国土位于温带气候区,因而保护与扩大森林植被,可作为控制 CO_2 增长的重要战略措施。中国是一个多林的国家,经过数千年的毁林垦耕,自 20 世纪 40 年代以来,成为一个少林的国家。据全国第四次森林资源清查统计,全国森林覆盖率 12.98%,全世界为 32.3%,中国现有活立木蓄积量 95.23 亿 m^3 ,森林面积 11 948 万 hm^2 。

经过 20 世纪 80 年代大力开展植树造林,终于在进入 90 年代实现了森林资源生长量大于森林资源消耗量的历史性转变,全国人工林所占面积剧增。目前正在实施五大防护林工程,其中仅三北(是指东北、华北、西北)、长江中上游、沿海防护林和太行山绿化工程完成后,就可增加森林面积 1 亿 hm^2 以上,由此每年吸收 CO_2 约 1.4 亿 ~ 5 亿 t,再加上平原绿化工程的实现,我国森林将成为巨大而有效的 CO_2 储库。

从控制 CO_2 出发,发展薪炭林是一个主要方面,薪柴燃烧释放的碳大致相当于生长时吸收的碳,是一种可保持碳平衡的能源。

二、酸雨的控制技术

酸雨是指 pH 于 5.6 的天然降雨,氮氧化物和硫化物是酸雨和酸沉降的主要物质。中国是以煤炭为主要能源的国家,大部分煤炭以直接燃烧为主,而且缺乏烟气交换装置,因而大气呈煤烟污染型,与此相应,中国酸雨也以硫酸型污染为基本特征。

中国的酸雨形成发展有一些显著的特征。生态影响已经开始发生,并可能迅速加重,且威胁中国的主要农林业经济区。酸雨的形成和发展是一个逐步累积和渐进的过程,当环境的缓冲容量被消耗殆尽时,酸雨造成的生态灾害就会突然降临。因而中国的酸

雨对策应该以预防为主、总量控制的政策,并且围绕煤能源的利用,实施综合技术战略,主要为清洁能源战略,提高能源利用率和节能、烟气脱硫与除尘并举,以及促进技术进步的战略等。

1. 清洁煤能源

中国酸雨的成因同整个大气污染的成因一样,主要是由于用煤能源生成的,全国平均每吨原煤排 SO_2 的量为 30 kg 左右,远高于使用石油和天然气的排放。

(1) 煤炭洗选 煤炭洗选脱硫脱灰,是煤炭清洁利用的重要环节,也是国际上通用的技术措施。

(2) 固硫型煤 早在 1920 年英国人就开始研究使用无烟固体燃料,作为民用污染控制的途径之一。此后国际上相继出现了型煤的各种配方。无烟固体燃料是将煤进行干馏,然后压制成型的一种型煤。由于在压制过程中除掉了灰分和挥发物,因而是一种清洁的用煤方式。

(3) 流化床燃烧 在煤炭燃烧过程中脱硫,是颇受重视的清洁用煤方法。循环床燃烧效率高,高热值煤可达 99%,可燃用低热值燃料和劣质燃料,燃烧温度低,一般 $800 \sim 1100^\circ\text{C}$; NO_x 生成少、灰渣活性高,炉内脱硫率可达 87%;灰渣可综合利用,制硅酸盐制品、水泥、膨胀剂等。

2. 烟气脱硫

烟气脱硫是欧美和日本等发达国家采用控制硫排放的主要方法。全世界各国开发研究和使用的 S 煤控制技术已超过 200 种。这类技术按照脱硫方式可分为干法和湿法两类,按照对产生物的处理方式又可分为抛弃法和再生回收法两类。

三、臭氧层保护技术

臭氧层的作用,一是太阳紫外线的一种过滤器,能够滤掉 70% ~ 90% 的太阳紫外线,从而保护地球上的生物和人免受过量的紫外线伤害,二是臭氧层对调节地球的气温有重要作用。

在自然状态下,大气中的臭氧处于动态平衡状态。当大气中没有其他化学物质时,臭氧的形成和破坏速度几乎是相同的。破坏臭氧层的物质最简单而又最活泼的是含碳、氢、氯和氮等几种元素的化学物质:氟氯烷烃类、溴化物,如氧化亚氮、水蒸气、四氯化碳、甲烷和氟氯烷烃等,其中氟氯烷烃类物质等对臭氧的破坏最严重。因而停止这类物质的生产使用,是保护臭氧层的重要措施。

1. 氟氯烷烃替代技术

氟氯烷烃类(CFC)物质具有优良的化学性质,如稳定性、不可燃性、低毒性和低腐蚀性,因而设备费用低廉和应用安全;热稳定性高使它用于压缩机,适宜的沸点、凝固点和蒸气压,以及其他的优良的物理性能,使它用作冷冻剂、洗净和喷射剂,有利于创造舒适的环境。因而CFC的替代物质就具有CFC相同的性质,并且它的臭氧破坏潜能值和温室效应系数要小,并应具有在对流层中寿命短、价格适宜,易于被市场接受等特点。也要同时开发相应的使用技术和设备。目前已经成功地应用了清洗剂替代技术、制冷剂替代技术、发泡剂替代技术、喷雾剂替代技术等。

2. 特定的CFC的回收和再利用

CFC的回收有两重意义,一是为了防止污染,二是为了回收再利用。技术上要解决的问题是回收率和回收液的品质。常用的回收技术主要有吸附、吸收、冷凝、压缩凝聚法及这些方法的组合。一般选用活性炭作吸附剂。

3. 煤炭氟氯烷烃的破坏技术

CFC中含有各种杂质,提纯和精制有很大困难。相比之下,破坏似乎是一种比较容易的防止污染的方法,而且破坏所得的HF可作为新的氟化合物的原料,如合成HCFC和HFC等。由于CFC化学性能稳定,破坏极难,因而需用专门的破坏技术。目前世界上常用的破坏技术为燃烧与热分解破坏法、等离子分解法、催化分解法、化学试剂分解法、超临界水分解法等。

① 燃烧与热分解破坏法 燃烧与热分解法借助于石油类燃

料加热分解,燃烧装置分内热式和外热式两种。CFC 的热分解需 700 的高温。

② 等离子体分解法 等离子体分解是使用使 CFC 在大气压下通过管型的等离子火炬区并在氩气环境中进行的高频诱导加热分解。等离子体火炬中的温度可高达 10 000 ,因而 CFC 的分解速度很快。

③ 催化分解法 是在固体催化剂上使用 CFC 和水蒸气一起在大气压下连续流过而分解 CFC 的方法。所用催化剂有沸石、氧化铝、混合的钛氧化物、担体活性炭等。

④ 化学试剂分解 试剂分解法是把萘基钠($\text{Na}^+ \text{nph}^-$)溶于有机溶剂中,使之与气体或流体的 CFC 反应,试剂中的 Na^+ 就与 CFC 中的 Cl 及 F 反应,生成 NaCl 和 NaF,使 CFC 发生还原分解。

⑤ 超临界水分解 在超过水的临界点 374 、22 MPa 的情况下,使流体和气体处于特异的临界状态而进行的加水分解。在 400 和 32 MPa 的情况下 CFC - 11 及 CFC - 113 几乎全部分解。

四、有毒有害及危险废物的防止技术

在过去的 30 年中世界上发生过好多次重大化学污染事故,使成千上万的人蒙受死亡和灾难的威胁。

处理有毒有害废物的传统方法是填埋、地面设施贮存或深井注入,但是最近发现,许多这类填埋场和贮存设施是十分不完善的,经常发生大量的酸腐蚀、持续性的生物作用、有毒金属积累以及地下水污染。在美国,根据记录大约有 7.6 万个活性地下填埋场院是不符合标准的,已发现有几百处地下水受到不良填埋场和地面贮存设施渗漏的化学物质污染,水中鉴定出 175 种化学物质,其中包括疑为致癌物的 32 种有机物和 5 种重金属。经济合作与发展组织估计,其成员国 80% 的工业危险废物都采用填埋处理。东欧和前苏联采用地下填埋和地面堆存方法处理危险废物占 90% ~ 95%。这些处理场院地同样成为重要的二次污染源。

有毒有害废物处置不当、管理不善所造成的污染事件已发生多起,造成严重的经济损失。现在,对这些积累的有毒有害废物不得不进行清理或重新处置。

1. 有毒有害物质的控制

对有毒有害物质的控制以预防为主。可以简要地概括为四个“R”,即减少(reduce)、循环(recycle)、再生(recover)和再利用(reuse)。

减少废物的产生量也就相应避免了废物处理、贮存运输和处置的风险和费用,管理也变得简单易行。要做到减少废物,首先必须对传统的设计思想进行革新,发展无废少废工艺技术,要替换传统使用的原料、材料,并且产品的设计不仅要考虑到生产过程和使用过程,而且还要考虑到环境的最终的处理问题,即需要进行全程设计。

循环、再生、再利用实际上是从不同的角度、不同的阶段实现废物减少的具体措施,在工业上要通过改善工艺流程、采用高效率分离和浓缩废物的手段。现在日本、美国和西欧实行的废物交换,即一种工业的废物可作为另一种工业的原料,对推动废物的再循环利用起到了十分积极的作用。在这方面社区服务和牵线搭桥至关重要。这种作法可使买方降低原料成本,卖方减少废物处理费用,双方都能获益。我国北方是世界上严重缺水的地区之一,因此推行水资源的循环再利用对该地区有特别重要的意义。

回收利用废物和废旧物资资源既是一种经济活动,又是一项环境保护行动。目前利用最大宗的是废纸、废金属、废塑料和废玻璃。实践证明,每回收1 t废纸可造好纸850 kg,节约木材3 m³,比一般造纸的等量生产减少污染74%。为了提高废物回收的效率,目前世界上很多国家实行垃圾分类。将废纸、废金属、废塑料和废玻璃分类收集。最近北京街头出现了会说话的垃圾箱,提醒人们将不同的垃圾倒入专用的垃圾箱内。然后进行分类存放。

2. 有毒有害物质的处理

对有毒有害的物质的处理有两种目的 :一是为了循环或回用 ,二是作为处置前的预处理 ,目的是减少体积、降低有毒成分的流动性、去毒等。目前所用的处理方法有两类 :物理方法和化学方法。物理处理常用的方法有相分离、固体过滤等 ,比较复杂的还有空气悬浮、离心分离等。从工艺残渣中回收有价值物质所用的方法有解吸、吸附、真空处理、抽提、共沸蒸馏等 ,在处置前还有固化等方法的应用。化学方法用于破坏有毒废物的毒性或改变废物的化学性质。焚化处理是减少废物容量的最佳方法 ,而且可以回收废物所含的热能。如选用技术适当 ,某些有毒有害物质经过焚化可以转化为无害物质。

参 考 文 献

1. 符淙斌 ,严中伟. 全球的变化与我国未来的生存环境. 北京 :气象出版社 ,1996
2. 毛文永 ,文剑平. 全球环境问题与对策. 北京 :中国科学技术出版社 ,1993
3. 钱易. 爱护我们的“地球村” :环境保护技术. 上海 :上海科技教育出版社 ,1996
4. 北京大学中国可持续发展研究中心. 可持续发展之路. 北京 :北京大学出版社 ,1995