



修订版

基础科学与高新技术科普丛书

科坛 无冕之王

——数学与高新技术

湖北省科普作家协会组编
邓宗琦 编著

湖北科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

科坛无冕之王：数学与高新技术/邓宗琦编著，
湖北省科普作家协会组编. —武汉：湖北科学技术出版社
， 2012. 3

【丛书名】基础科学与高新技术科普丛书（修订版）

ISBN 9787535222947

《基础科学与高新技术科普丛书》(修订版)

编辑委员会

顾 问 曲 颖

主 任 夏 航

副 主 任 栗陶生 邓宗琦 蔡华东 刘洪峰
刘健飞

编 委 (按姓氏笔画排列)

龙 敏 刘 虹 刘声远 李小虎

李合生 李慎谦 余永东 陈 炜

张端明 周有恒 高布锡 景才瑞

执行主编 李小虎 李慎谦

出版说明

当今世界,社会高速发展,生活瞬息万变。人们正在从各种途径汲取营养,丰富自己,以求得多元的知识结构。世界科学技术突飞猛进,一个国家、一个民族在科学技术上不断进取,就可能实现社会经济跨越式发展。国人,尤其是背负着时代赋予重大责任的青年人,已清醒地意识到,科学技术知识蕴含着恰能开发他们担负起这种责任的巨大潜能,基础科学和高新技术知识便成为他们涉猎的热点。

正是为了满足人们对基础科学和高新技术的这种迫切需要,十多年前湖北省科普作家协会即组织数十位专家、教授,撰写了一套《基础科学与高新技术科普丛书》,并获得了湖北省科普创作一等奖;在其影响下,有的在管理岗位上健康发展,有的则成为科研之栋梁。随着时间的推移和科学技术的高速发展,广大读者迫切期望看到一套更及时更全面介绍新科学、新技术、新知识的丛书。深入实施《全民科学素质行动计划纲要》的需要及使命感,特别是在读者的感召下,我们重新修订、出版了这套《基础科学与高新技术科普丛书》(修订版)。

《丛书》(修订版)力图从发展观的高度把握当代科学的最新

成就和特点,通过精选、咀嚼、消化了的高新科技知识,使读者在了解新知识的同时,认识世界科技发展的趋势,激发全民的科技热情,以及对祖国、对民族的热爱和使命感。还特别注重于科学精神、科学思想和科学方法的介绍,企望以此引导人们改变传统的、陈旧的思想观念,确立新的科学理念,运用科学方法,启迪科学思维,激发创新活力。

全书文字表述力求通俗易懂、生动活泼,插图力求准确逼真,这一切都基本保持来了原书科学性、通俗性、趣味性的传统风格。

《丛书》(修订版)即将付梓印刷,我们倍感欣慰。与此同时,我们对在《丛书》策划、编写、修订、出版过程中,给予关心和支持的湖北省科学技术协会、湖北省财政厅和湖北省科普作家协会的领导深表敬意;对应邀担任《丛书》(修订版)编委会顾问和委员的各位领导、专家表示深深的谢意;对付出辛苦劳动和智慧的各位作者表示衷心的感谢;对承担该书编辑、出版工作的出版社领导和编、印、发人员致以真切的慰问。

《基础科学与高新技术科普丛书》(修订版)编委会

2011年12月18日

目 录

一、高技术本质上是数学技术	1
以数学为基础的若干高技术	2
二、若干数学技术	31
1. 计算技术	31
2. 运筹学	33
3. 模糊技术	34
4. 编码技术	37
5. 小波技术	38
6. 统计技术	41
7. 均匀设计技术	42
8. 最优技术	43
9. 对策技术	45
10. 网络技术	46
11. 数学模型技术	48
12. 滤波技术	50
13. 控制技术	53
14. 混沌技术	54

15. 概率技术	58
16. 分形技术	62
17. 机械化方法	66
18. 线性规划	68
19. 其他数学技术	72
三、综合运用数学技术的若干领域	73
1. 制造业中的数学技术	73
2. 石油业中的数学技术	77
3. 人工智能中的数学技术	78
4. 战争中的数学技术	79
5. 自动化中的数学技术	81
6. 生命科学中的数学技术	83
7. 系统模拟中的数学技术	85
8. 保险业中的数学技术	88
9. 经济系统中的数学技术	90
10. 医学中的数学技术	95
11. 生物高技术与数学技术	99
12. 天气预报中的数学技术	104
13. 农业中的数学技术	105
14. 汽车制造业中的数学技术	108

一、高技术本质上是数学技术

美国前总统尼克松的科学顾问 E. Darid 于 1984 年 1 月 25 日在美国数学会 (AMS) 和美国数学协会 (MAA) 联合年会上说：“……对数学研究的低水平的资助只能显出对数学带来的好处的完全不适当的估价。显然，很少的人认识到如今被如此称颂的高技术本质上是数学技术。”

如果说，20 世纪 80 年代并不是太多的人认识到这个惊人的论断，那么，今天是 2010 年的时代，恐怕相当多的人都会从各个领域来证实这点。

我国著名科学家钱学森指出“数学的发展关系到整个科学技术的发展，而科学技术是第一生产力，所以数学的发展是一件国家大事。”

“一切科学技术都要用数学，数学应该称为‘数学科学’。数学科学是现代科学技术的一个大部门。”“一个科学的大部门里有三个层次，第一个层次就是基础科学或叫基础学科；比方自然科学的物理、化学、生物、天文等。第二层次可以说在 100 年前是没有的，就是技术学科，它是把基础学科的理论用到具体工程上做准备的；比如自然科学里的电子学、力学，或者叫应用力学，都

属于这一类。第三层次就是直接应用的,那就是工程技术。”

我们将按钱先生的思路去论述高技术本质上是数学技术。因而,数学作为科坛无冕之王也就当之无愧了。

■ 以数学为基础的若干高技术

计算机技术与数学技术几乎无法分开,它们几乎是同一的。计算机技术本质上是数学技术。其实,以数学为基础的高技术还有许多。今只择其中几个略作介绍。

(1) 微电子技术

是指采用计算机辅助设计将数万、数百万晶体构成功能电路,将图形微缩至毫米级甚至微米级的面积,应用微缩掩膜,采用微米和厘微米光刻及腐蚀加工技术,在中导体单晶芯片上制成微型电路的整套技术,以及用这些电路装备成各类微电子设备的总称。微电子技术对信息技术、自动化技术、机电一体化等都有重大影响,是高技术发展的重要领域。自20世纪60年代初制成第一块集成电路以来,微电子技术逐步形成,之后,由于其功能优异、价格低廉,在20世纪70—80年代得到迅速发展。以存储器为例,从1970年至1983年,集成度提高1 000倍,单位价格只有原价格的2.5‰。微电子技术出现后,微处理器(微型计算机的运算和控制部分)等应运而生,大大推动了计算机在各行各业的应用。该技术还引起了许多商品结构的变化,如电子钟表、袖珍计算机、家用微型计算机、收录机、数字式电话交换机以及各行各业的自动化装备等等。

微电子技术的发展,数学是立下了大功的。

首先,微电子的基础是逻辑代数,这是大家已知的;其次,得益于“货郎问题”的逐步被征服。最初的货郎问题是指一个城市,一位货郎打算从这座城市进出一次,走哪条路最短?这是一个古老的问题。看起来问题并不难,只要列出所有的路线,比较

后,即可找到最短路线。其实不然,如果城市到100个,所有路线则是100的阶乘,大约与10的210次方的大数相当。比较如此之多的路线实际上是不可能的,这就是货郎问题的困难之处。对现代工业来说,100座城市的货郎问题还是小问题。微电子技术的最基础技术的印刷电路板制造就是一个货郎问题。人们用激光束在电路板上打数十万甚至数百万个孔,激光束是固定的,而电路是运动的,电路板如何动作才能使激光束走的路线最短?这就是几十万甚至上百万个城市的货郎问题。现在由于数学家们逐步征服了这个问题,解决了这个关键技术问题,才使微电子技术有如此神速的进步!

(2) 信息技术

应用信息科学的原理和方法研究信息的产生、获取、交换、传输、存储、处理和利用的工程技术,称为信息技术,又称信息工程。信息技术是在计算机、通信和微电子技术、控制技术的基础上发展起来的。信息技术的研究对象是各种信息系统的实现技术,主要是运用“三C”(计算机、通信、控制的英文的第一个字母)来构成各种信息系统。信息技术包括信息获取技术和信息传输技术。

① 信息获取技术 这是把含有所需信息的数据检测出来的方法。采用的设备有各种传感器、打印机和键盘,以及各种语言、符号、文字、图形的识别装置。

② 信息传输技术 利用通信系统在各用户之间传输信息。用通信系统把分散的数据库和计算机设备联成一体,可使广大用户计算机按一定目的以一定的方式进行加工处理。

信息技术是以数学为基础、数学含量最高的高新技术。哈特莱(L. P. Hartly, 1895—1972, 英国数学家)首先提出,用对数作为信息量的测度。这样,信息就可以用数学方法从数量上加以测量。接着,哈特莱又在1928年发表《信息的传输》,首次提出了消息是代码、符号,它与信息有区别(消息是信息的载体,消息的形式是多样的、具体的,如各种语言、文字、图像等,而信息是指包含在

各种具体消息中的抽象量)。他具体区分了消息和信息在概念上的差异,并提出了用消息出现的概率的对数来度量其中包含的信息。接着是申农(C. E. Shannon, 1916年生,美国数学家)发表了著名论文《通信的数学理论》及1949年的《在噪声中的通信》。当时申农在著名的贝尔电话公司工作,在研究过程中,他为了解决信息的编码问题,为了提高通信系统的效率和可靠性,需要对信息进行数学处理,这就要求合并通信系统中消息的具体内容(如信息的语义),把信源发生的信息仅仅看作一个抽象的量。同时,由于通信的对象——信息具有随机性的特点,因此申农还提出了通信系统模型以及编码定理等方面有关的信息理论问题。他还把数理统计方法应用到通信领域,并提出了信息熵的数学公式,从量的方面来描述了信息的传输和提取问题。

20世纪40年代,通信工作中所遇到的一个突出问题,就是怎样从收到的信号中把各种噪声滤除,以及在控制火炮射击的随动系统中如何跟踪一个具有机动性的活动目标。而各种噪声的瞬时或火炮的跟踪目标位置的有关信息都是随机的,这就要求用概率和统计法对它进行研究,用统计模型进行处理。维纳(R. Wiener, 1894—1964,美国数学家)从控制和通信的角度研究了信息问题,建立了维纳的滤波理论(即从获得的信息与干扰中尽可能地滤除干扰,分离出所期望的信息),维纳还提出了信息量的概念、测量信息量的数学公式,叙述了信息概念形成的思想前提,并把信息概念推广,认为信息不仅仅是通信领域研究的对象,而且与控制系统有密切联系。维纳正是抓住了通信与控制系统的共同特点,站在一个更为概括的理论高度,揭示了它们共同的本质。维纳在更为广泛的高度上提出了信息概念。由于对信息量可以用概率和统计的方法进行计算,因此,就能够求出各种通信系统的信息传输率,对它们进行分析比较,从而对它们的通信性能作出评价,以改进和提高信息的传输能力和可靠性;同时,对各种不同形式的信息,可以用统一的通信理论(即数学理论),从量

的观点去设计它们的传输系统,从而解决了同一信息可以用不同的信道进行传输,不同信息可用同一信道传输的问题;还可以把不同类型的系统,如技术系统、生物系统、管理系统看作是对信息的获取、传递、加工、处理的信息调节控制系统,统一进行研究,不仅促进了信息理论研究,更推动了信息技术更加成熟。

信息技术中还有一项是非常重要的,即信息的安全性。要解决这个问题仍然要依靠数学。数学的研究形式以及考虑问题的方法,在新的 21 世纪应有很大变化。由于技术进步和实际要求不同,在过去认为没有考虑价值的问题,今天却成了不得不考虑并解决的重大问题。如因子分解,过去认为只要证明唯一分解成几个素数乘积即可。而今天为信息安全的加密技术要求把一个大的整数分解成两个奇数的因子,并要认识如何分解的。若 A 要通过公共信道向 B 送去信息 M,由于公共信道缺乏足够的安全保护,信息容易被第三者获取,甚至被篡改,为此在 M 进入公共信道之前,先对它进行加密变换成密文 C, A 将密文 C 送给 B, B 收到后对 C 作解密变换,恢复 M,故一个有几个用户的信道网络,两两间的秘密信道共需 $\frac{1}{2}n(n-1)$ 个密钥。当 $n=1\ 000$ 时,则 $\frac{1}{2}n(n-1)=499\ 500$,即约有 50 万个密钥,而密钥的安全性依赖于将一个大整数分解为奇数积。

由上可见,信息技术几乎就是数学技术。

(3) 数字化技术

正在发生一切“出乎意料”的“革命”就是“数字革命”。所谓“数字革命”是指从模拟向数字化转化。数字化就是用 0 和 1 来表示所有的信息,每秒数百、数千、数万、数亿比特的存取和传输技术才有可能实用化。电报是 4 位数编码传送的信息。微电子技术是数字革命的关键。其难题是 1 秒内要控制亿、百亿次的开关。这是半导体技术。现在更理想的是光半导体,超导开关技术。信息传输都与频率直接联系。电话是频率 4 千赫以下。

300、3 000 到 20 兆赫以下的长波、中波、短波广播可传输声、像、色的电视,约有 50 个频道。光波可到 $1\ 014 \sim 1\ 015$ 赫,每秒振荡亿次。由于散射并不实用,而激光是能量集中、颜色单一、方向性强的光,因而很适合传输大容量的信息。这种光必须在透明体极高的光导纤维中传播。3 千克光纤相当于 1 吨重的铜线的功能,但生产耗能只有铜的 5%。

数字技术包括微电子、计算机及软件技术、通信技术和自动控制技术,这是一个信息技术群。1993 年东芝生产的第三代 16 兆位芯片,存取速度已达每秒 500 亿次。

数字技术是带动 21 世纪经济增长的火车头。未来将把电话、计算机、电视结合在一起。克林顿曾发表《技术:经济增长的发动机的竞选声明》,未来将以数字方式把世界所有的书、报、电影、电视等存储在多媒体数据库里。33 卷的《大不列颠百科全书》只需 4.7 秒即可全部传输到任何一个地方。装有 2.5 亿只晶体管的芯片将把一台超级计算机压缩到一张信用卡大小的装置里。光纤的传输速度将以每万亿比特计算,一根光纤在几分之一秒之内就能传输一部电影,而单位成本却急剧下降,这就将把廉价的数字技术送到地球上的每个角落,地球就像现在的一个村庄。与此同时,数字技术的发展,还会带来很大的不确定性。未来的 10 年内,技术上的世界领先地位是可以竞争的,竞争中谁能折桂,确难预料。

目前人们所获得的信息处理能力越来越多。据国际数字公司称,全世界的买主前几年每年抢购约 5 000 万台 PC 机,它们将落到未感受到计算机效率的学校、医院和政府机关里。正如贝尔实验室主任所说,下一阶段的信息革命将不仅改变工业而且改变社会本身。数以千万计的个人手中有 PC 机,世界经济就会发生深刻变化。零售商将利用网络同全球的客户接触,发货人将使用立足于卫星全球的定位系统,以厘米级的精确度跟踪收集集装箱、小到包裹的一切东西,某些大医疗中心的专家可使用高速电

视会诊线路去诊断和治疗遥远地区的病人;在文化教育方面,以巨资兴建数字图书馆,它将向全国学生提供利用图书馆藏资料的无限可能性;在出版和娱乐方面,人们将直接从“比特流”(即在电脑空间中不断地流动中显示数字电视图像、音响资料和数据)中提取新闻、电影、电视或文献。

建造一个数字世界的内部结构——硬件、软件、光纤和微处理器等——将会导致计算机产业和信息产业的重组。

由于数学是数字技术发展的基础,中国、印度等有长期良好数学教育传统的国家,基础良好,正在挑战数字技术,争做数字技术的强国。韩国已经打破了日本在存储芯片和消费电子产品方面的垄断。三星集团在1984年世界存储芯片行业中排名还只占第9位,到1993年急升到第一位。我国台湾省已占全球PC机装备业的大部分,不仅制造计算机外壳、键盘,而且2/3的母板(含微处理器和其他芯片)也由其制造。

数字技术已把强大的科研工具送到科学家的桌子上。超级计算机和高级软件降低了对昂贵实验设备的需求。更优良的仪器、更逼真的模拟和更快的科学杂志检索方法已使科学家们能在实验室里做出5倍于15年前所做的事。这是发展中国家也可以做到的。

当今,在世界范围内,通信系统正走向数字化,并在数字化技术的基础上,向智能化、个人化方向发展。

随着人们对数字、文本、图形、图像等通信业务要求增长,多媒体通信将是新的通信要求,而数字化技术是实现多媒体通信的基础。综合业务数字通信网(ISDN)就是典型的多媒体通信系统。它可以在一条线路上同时快捷、方便地传递电话、数据、传真、图像等多种信息,美国苹果公司推入市场的名为“牛顿”的个人数字助手(PDA)系列产品可称得上是高技术的数字化多媒体个人通信设备。还有《个人电子通信簿》,体积小、功能强。这个装置有计算机技术、通信技术和常用电器,可打电话、发传真、接

收电子邮件,还可以处理信息,并将其分类、加工和编辑。香港地区电话网络已全部数字化,现在每接通 1 次电话比数字化以前快 12 秒,全港每日节省的接通电话的时间高达 2.5 万小时。许多国家和地区正在开发数字化的可视电话。

过去我们搞电化教育,而现在我们要搞的是“数字化教育”(Digital Education),简称 DE,数字化教育的主要形式是:数字化教室、阅览室等,其具体含义是超文本服务器网络计算机(NC) + 浏览器,用公式表示如下。

数字化教室 = Web 服务器 + NC + 浏览器

每一所学校,可以采用 Web 站下载技术,有计划地从国际互联网的 Web 站点自动地获取随时更新的相关信息,不断充实本校的数字化教育中心。教室里的 PC 机直接与全球联系,使 PC 机不仅是辅助教育的工具,而且成为教育的一个主体部分,使 PC 机的显示屏和黑板一样重要。互联网将是常规课堂的一种延伸,除教师教学之外,让学生直接与世界沟通,开阔自己的眼界,迎接迅速变化的信息时代。在今后,采用 NC 建立一个连接着世界的先进的数字化教室,费用并不高。采用离线(off-line)方式,运行 Web 服务器,形成一个交互式的数字化教育环境(教室、阅览室)是完全有可能的。这样,有利于对学生的素质教育,培养 21 世纪的人才。我们要搞的是连接世界的网络化的数字化教室,而不仅仅是电脑教师。

21 世纪伊始,人类向数字技术发起了新的挑战。无论是电视会议系统,还是电子商务,贯穿于信息高速公路的各种数字技术已实实在在地改变着我们的生活,改变着这个社会的工业和经济运作模式。

(4) CT 技术

20 世纪 70 年代,由于使用了巧妙的计算,出现了一种神奇的医疗仪器——X 射线计算机分析摄影仪(简称 CT)。在不损害病人身体的前提下,医生可观察到人体内不同部位的断层图像或

三维图像,从而可对疾病作出迅速的准确的诊断。美籍南非人科马克(A. M. Cormack, 1924年生)由于巧算为发明CT奠定了理论基础,与CT发明者豪斯菲尔德(G. N. Hounsfield, 1919年生,英国人)一起分享了1979年的诺贝尔医学与生理学奖。科马克发表了论文《函数的线积分表示与一些放射学应用》(I)、(II),《143-mev极化质子的小角度散射》,《以中子为目标的交叉断层的测量》。根据他自己的理论,科马克绘出了图像重构所必需的公式,即解决了发明CT的理论问题,为发明CT技术奠定了基础。所谓图像重构过程,就是利用计算机将样品各个不同角度的X射线投影组合起来,形成扫描样品的物像。人们知道,1895年伦琴(W. C. Röntgen, 1845—1923,德国人)由于发现了X射线而获1901年首届诺贝尔物理学奖。X射线在被发现后的一个多世纪中,在医学、工程技术、晶体化学等方面得到相当广泛的应用。

CT是英国EMI公司的豪斯菲尔德于1972年发明的,目前广泛使用的CT属于第三代。它采用扇形扫描方式,扫描1周仅需5~10秒。在扫描过程中,X光源和检测器同时转动。由于不同物质对X射线的阻力不同,从而有不同的衰减系数。人体各部分的衰减系数自然也不相同,于是可得到衰减系数在人体各部分的分布。问题在于,只能得到测量的X射线穿过人体的直接的衰减系数的平均值(积分值),通过平均值获得实际分布,这就是技术突破的关键。科马克通过在测量中运用极坐标把问题转化为数学问题。

穿透人体的X射线束的初始强度 I_0 与穿透后的强度 I 之比的自然对数和X射线的衰减系数 (X, Y) 的体积分值成正比关系

$$P(X, 0) = \ln \frac{I_0}{I}$$

不同方向的投影值 $P(X, 0)$ 可测量得到。由 $P(X, 0)$ 求 $N(X, Y)$,数学为其提供了诸如二维傅里叶变换法、一维滤波反射

影法等近 10 种方法。其基本数学工具是傅里叶变换。如有计算公式

$$\text{真值} = F^{-1} \frac{1}{2} [\text{映射(投影值)}]$$

公式的含义为:先将投影值变换到频域,求得 F^1 (投影值),再变换为二维直角坐标,最后得到傅里叶逆变换反演到真实空间,从而得到重构图像。

又如有计算公式

$$\text{真值} = \text{反投影(投影值} * K)$$

式中,* 代表卷积,公式中是利用投影值和滤波函数 K 作卷积运算,相当于在空间域进行滤波,去掉噪声。这种方法重构图像质量好、计算量少、计算格式简单、硬件容易实现,可快速高效得到 CT 图像。

CT 机装置由主计算机、高频高压发生器、X 光球管、数据采集系统、扫描控制部件、阵列计算机、诊断台、多幅照相机和 CT 软件共九大部件组成。

数学技术主要在 CT 软件中发挥了关键作用。CT 机的机械扫描措施系统首先进行扫描,将 X 射线穿透人体原检测器得到的采样值——投影值,进行道通正确性、偏差值和射束硬化等校正及处理,并通过阵列计算机完成卷积和反投影运算。然后再进行显示、准备等后处理。最后完成图像存贮、显示和照相输出等工作。

CT 研制成功关键是利用积分变换,这是 CT 理论的核心。当然用到的数学理论还有级数、数论、群论、概率、统计等。因此,CT 这项高技术成果本质上是数学技术。诺贝尔评奖委员会将其资金的一半给了不懂医学的数学家科马克也就毫不奇怪了。

(5) 预测技术

对事物的发展方向、进程和可能导致的结果进行推断或测算的技术,称为预测技术。该技术是在调查研究事物历史和现状的