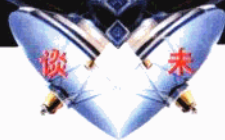


科 学 家 来 科 技



塑造人类新思维

—— 信息技术与信息世界

王行刚 王 晨 / 编著

◆ 湖南师范大学出版社



总 序

徐冠华

(国家科学技术部部长)

《科学家谈未来科技》丛书与广大读者见面了。它们精练地介绍了现代科学技术基础知识，并主要论及其未来发展趋势。

丛书共有14册，它们涉及物理世界、化学世界、宇宙繁星、茫茫太空、广阔深邃的海洋、人类居住的行星地球、生命之谜、太空生存与地外文明、太空航行、绿色能源、造万物的材料、制造自动化、信息世界、社会可持续发展等。全书图文并茂，向读者展现出自然界的图景，以及人类在生存和发展中改变自然环境的多种技术。它们包含着大量的知识，引导读者不断地追求知识，进入无限宽广的科学技术世界。

在人类发展的历史长河中，科学技术是人类创造的最成熟的知识体系，正是它使人类认识自然、认识自我，摆脱愚昧，从而建立起近现代文明，并将一直指引着人类走向更加文明的世界。

在构筑人类文明的过程中，中华民族曾创造了灿烂辉煌的古代文明，但自近代以来，我们落后了。华夏儿

女从反思中觉醒，并经一百多年的艰苦奋斗，才从近代社会转向了现代社会。在未来社会中，更需要崭新的科学技术知识，这就使我们立志，必须终身不断地学习，创造崭新的知识，最大限度地从整体上提高全民的科学文化素质。惟其如此，在新的历史时期，中华民族才能再现辉煌。

丛书的宗旨就在于启迪广大民众，特别是广大青年，在进入人类知识的海洋中，奠定牢固的基础，开拓视野，激起求知的兴趣，立志攀登科学技术的高峰。

徐冠华

2001年1月3日

前 言

在 20 世纪，人类创造了许多科技奇迹，其中一类新景观便是近半个世纪世界上增添了数以十亿计的电话机、电视机，上亿台计算机与人共处，更奇妙的是这些机器还通过“网络”连接在一起，形成了与交通网、电力网相似的另一个大网——“信息网络”。这个大网与人类的关系空前密切，正在迈向“无论何人在何时、何地都可以与任何人实现任何形式的信息交流”和“更大、更快、更安全、更及时、更方便”的目标。在我们的日常生活、学习和工作环境中，越来越频繁地接触到与“信息”有关的术语：信息技术（information technology, IT）、信息产业、信息经济、信息社会、信息化……这一切与“信息”有关的新技术、新事物、新现象，我们笼统地称之为“信息世界”吧，而支撑信息世界演变的重要支柱是“信息技术”。在这本小书中，我们就来谈谈信息技术的方方面面，谈谈信息技术和信息世界的近期发展。

目 录

第一章 21 世纪——信息革命时代	(1)
一、计算机快速换代	(1)
二、因特网异军突起	(3)
三、通信技术推陈出新	(5)
四、信息资源大开发，信息应用大发展	(7)
第二章 信息技术与信息学的学科体系框架	(12)
一、关于信息	(12)
二、信息技术学科分支	(14)
三、信息学	(16)
第三章 信息网络技术	(21)
一、复用技术	(21)
二、交换技术	(24)
三、组网技术	(28)
四、网络终端与人—机接口技术	(32)
第四章 信息处理技术	(35)
一、计算机的基本构成	(35)
二、计算机系统技术	(38)
三、深度计算	(41)
四、广度计算	(44)

第五章 信息应用技术	(47)
一、数值计算	(47)
二、非数值应用	(50)
三、计算机模拟	(54)
四、网络应用	(56)
结语：塑造人类新思维	(59)
附录：事件与人物	(61)
一、事件	(61)
二、人物	(66)

第一章 21 世纪——信息革命时代

回顾历史，19 世纪开始了工业革命，以英国发明的蒸汽机为标志。20 世纪开始了技术革命的进程，从物质、能源到信息，全面展开了技术革命，新材料技术、生物技术、核能技术、航天技术和信息技术等等都取得了令人震惊的长足进步。

21 世纪，人们从不同的领域出发有许许多多的预测。仅从信息技术发展的角度来看，信息技术的快速发展将对世界经济和全球社会产生更广泛而深刻的影响，因而有“信息革命”之说，甚至将 21 世纪称之为信息革命时代。这类说法有什么依据呢？

一、计算机快速换代

大家知道，通常把美国 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculator) 称为世界上第一台电子数字计算机。1946 年由宾夕法尼亚大学研制成功的这台计算机的主要器件是真空电子管，所以也称为电子管计算机。40 年代至 50 年代，世界各国研制的计算机主要是电子管计算机，后来也称它们为第一代计算机。我国在 1958 年试制成功第一台第一代计算机。

50 年代，科学家用晶体管代替电子管，到 50 年代末和 60 年代，世界上主要生产晶体管计算机，称之为第二代计算机。我国在 60 年代中期研制成功一批第二代计算机。

从 60 年代开始，科学家把许多晶体管“集成”到一块半导体材料（硅片）上，形成了“集成电路”（integrated circuit, IC），简称 IC 芯片。用 IC 代替分立的晶体管，使计算机功能增强、性能提高、体积缩小，计算机从此迈入了快速发展的时期。我国在 60 年代研制成功 IC 及 IC 计算机。

IC 计算机是伴随 IC 集成度的提高而发展的。IC 集成度以一块硅片上包含的晶体管数量来度量，通常划分为小规模、中规模、大规模和超大规模四个级别。早期的小规模 IC 芯片包含的晶体管数仅几支至几十支，成百上千支算中规模，上万支就算大规模集成电路（LSI）；现在的超大规模集成电路（VLSI）则达到上千万支晶体管/芯片。通常将采用中、小规模 IC 的计算机称为第三代计算机，将采用 LSI 和 VLSI 的计算机称为第四代计算机。我国在 60 年代末期研制成功第三代计算机，在 80 年代研制成功第四代计算机。

早在 1965 年就有人（美国人 Gordon Moore）预测，IC 芯片上的晶体管数会每 18 个月提高 1 倍，芯片的性能，包括信息存储容量和运算速度也将提高 1 倍。实践表明，这个预测大体上是正确的，被称之为“摩尔定律”。它具体而定量地描述了计算机的快速发展：18 个月性能翻一番！并且说明了计算机与集成电路的紧密依赖关系。

IC 芯片有很多种类，一类是专门存储信息的存储芯片，另一类是实现信息处理的微处理器芯片。除了以上两类比较通用的芯片以外，还有许许多多的专门用途的专用芯片。我们略微仔细地分析一下，可以发现，存储芯片的存储容量翻一番的周期比 18 个月还要略微短一些，微处理器芯片的性能翻一番的周期则比 18 个月略微长一些。随着 IC 工艺的更新，有人预测，未来几

年内翻一番的周期还有可能缩短，例如有可能从 18 个月缩短至 9 个月，预示着计算机仍处在高速发展时期。

二、因特网异军突起

电子计算机问世之后，将计算机技术与通信技术相结合，构建既有信息存储和处理能力（靠计算机），也有信息传输和交换能力（靠通信网）的信息网络，便成为一个研究、开发、应用的新领域。最初，计算机曾经与电报网、电信网结合。后来，电信领域推出了专门为数据通信服务的“数据网”，计算机与之结合构成计算机网络就更方便了。在地理上分布的一些独立工作的计算机，通过通信线路实现互连形成的计算机网络有些什么用处和好处呢？

从人与机器之间的关系来看，计算机的使用者不仅面对一台计算机，而且可以面对包括许多计算机的网络，“人—机”关系变成“人—网”关系。网中的计算机硬件、软件和存储的各种信息资源，网络使用者都有可能使用，即常说的可以实现“资源共享”。例如，只拥有微型机的用户可以使用网中的超级计算机完成非常复杂的计算任务，实现计算机硬件和软件资源的共同利用。只要拥有一台微型机，便有可能访问网中许多计算机数据库中的各种资料，实现宝贵的信息资料共享。自然在利用网络资源时，大家都是“远程”使用的，非常方便。

从机器与机器之间的关系来看，若干计算机互连之后形成的“机群”或“大系统”，其功能增强、性能提高都会是非常显著的。计算机网络中可包含具有各种功能特色的计算机。例如有的适合作科学计算，每秒钟能完成几千亿次甚至上万亿次计算；有的适合于数据处理，拥有 10^{12} 字节（1 个字节为 8 个二进位制的

“位”，即 $1\text{Byte}=8\text{bits}$ ）的海量数据，而且有能力对海量信息进行查找/查询；有的计算机特别可靠，无论什么时候都保证是在工作的，随时可用……这样多功能各异的计算机组成的“集体”，其功能自然是极大地增强了，网络性能的提高就更容易理解了，网络的计算能力的“潜力”可以说是网络所包含的所有计算机的计算能力之“和”。不过，实际上网络中总有不少计算机在许多时候是空闲的。另外，缺乏网络“调度”管理的能力的话，也很难让各台计算机都忙碌不闲。尽管有许多妨碍网络计算潜力发挥出来的限制因素，但网络性能比无论多高性能的单一计算机系统或单一机群系统要高得多。

计算机网络的优越性，早在 60 年代末期计算机系统设计师们就已经有所认识了。50 年代和 60 年代在一批研究试验计算机通信网的基础上，1968 年美国国防部高级计划研究署（ARPA）设计了有名的 ARPA 网（ARPAnet），随后在 1972 年使 ARPAnet 初具规模。由于这个网络在理论上和技术上都超过了过去的研究试验网，比较完整、先进，为计算机网络的发展奠定了基础，因此通常以 1972 年 ARPAnet 的初步建成作为计算机网络诞生的标志。

正是这个 ARPAnet，经过 20 多年的发展逐步成熟、不断扩展，形成了当今遍布世界的因特网（Internet），并且来到了我们身边。在 90 年代中期，这个原本主要是为科学研究服务的计算机网开始了商业化服务，计算机网从为特定领域部门服务的“专用网”迈向为公众服务的新型“公用网”，这是计算机网络发展的又一个重要里程碑。

因特网对全球社会、经济的影响是空前的，人们不断在观察、分析它的发展进程。仅从因特网的主干线传输速率的变化，

就可以看到其快速发展的步伐：1994年10月为45Mb/s ($1\text{Mb/s} = 10^6$ 比特/秒)，1996年4月为155 Mb/s，1996年12月为622 Mb/s，1997年12月为1.2 Gb/s ($1\text{Gb/s} = 10^9$ 比特/秒)，1999年提升到10 Gb/s。粗略地说，因特网主干网速率每6个月翻一番！目前，因特网仍处于高速发展的时期。

三、通信技术推陈出新

因特网主干网高速化的进程是有普遍意义的，说明全球范围内的经济发展、社会进步迫切需要一个高速信息网络环境。

过去，在相当长的一段时期内，电信网的主要业务是话音通信。在一些经济比较发达的国家，电话普及率达到40%~50%（即每100人有40~50部电话机）之后，电话网业务量年增长率大体上保持在5%左右。为了拓宽电信网业务，必须另辟蹊径，即发展数据业务和图像业务，并且在话音业务基础上发展各种“增值”业务。

先说说增值业务吧。过去，电话局是按话机计费的，从一部电话机打出的电话，无论什么人打的电话，都把账计在这部电话机的电话号码账上。如果这部电话机装在家里，这种计费方式的问题不大，如果是一些人公用的，则给交费带来困难。现在大家都开始习惯用“电话卡”了，大家可共用一部电话机，各自按自己的卡号交费。这一变，岂不是电话网的服务增加价值了吗？自然，电话网的计费系统要有所改变。另外，现今电话网还可实现“对方付费”等其他许多增值服务。

推动电信网业务量（网上通信量）增长的主要因素是数据业务，其中包括数字化的图像业务（区别于按模拟信号传输的图像信息）和数字化的话音业务（典型的是通过因特网传输的话音信

息，简称 IP 电话)。在一些发达国家，数据业务量已经超过话音业务量了，这说明了数字化进程的快速进展。在通信网络领域中，数字技术正在快速取代模拟技术而居主要地位。

与通信网数字化进程相适应，通信网正在高速化、大容量化，无论有线通信还是无线通信领域都在这样发展。首先看看有线通信领域。光纤/光缆代替铜缆（包括以双绞线为基础的铜缆和同轴电缆）的进程，已从主干线路扩展到越来越靠近“用户驻地网”，出现了光纤到路边、光纤到大楼、光纤到户的趋势，也就是说，传输容量大而且可靠的光纤传输介质将成为有线通信网的主体。光纤传输网的传输容量（或称传输速率）有多大呢？

目前实际运行的网络中，一根光纤可以每秒传输 2.5Gb 的信息量（即 25 亿比特/秒）。近年来，光通信技术取得新突破，一根光纤可以按波长复用：同一根光纤上可以同时传输多个不同波长的光信号，每个波长的光信号可以独立承载信息。这样，当 n 个波长复用同一根光纤（称为波分复用，WDM），则光纤的传输速率增大 n 倍。目前商用化的 WDM 技术， n 可达 16, 32, $\dots$, 96，不久便可上百。当进一步改进光纤技术和制造工艺，“全波”光纤问世后， n 还可翻一番，达到数百个波长的信号在同一光纤中传输。改进光器件，则可望将每一波长的传输速率从 2.5Gb/s 提高到 10Gb/s 的数量级，甚至更高，目前商用产品已达 10 Gb/s 水平。因此，一根光纤的传输容量可望达到 1000 Gb/s 的数量级，即 Tb/s（1Tb/s = 10^{12} 比特/秒）的数量级，而一根光缆内包装几十至几百根光纤，可见光缆通信网的传输容量或传输速率将会是何等巨大、快速。可以说，未来的通信基础设施是越来越广、越来越密的光纤传输网了。

光缆网优点很多，但也有缺点，光缆敷设毕竟是麻烦的事。

在边远地区，在深山峡谷，光缆敷设会非常困难，成本也会增加。在这类地域靠地下/地面上的有线通信网就不是好的选择了，而适宜选择无线通信，特别是采用天上的卫星通信。

从通信方式上看，可以分为两大类：一类是点-点式通信，即发信方和收信方是一对一的，一点发信号，另一点收信号；另一类是广播式通信，即发信方和收信方是一对多的关系，一点发信号，多点可同时收信号。有线通信是以点-点式通信方式为基础，通常通信双方（点）用一条线路/信道连接起来。如果一点要实现与多点间广播式通信，则一个发信点与多个收信点之间需要有多条线路/信道连接。广播式通信采用无线通信技术一般更容易实现，例如采用通信卫星实现广播、电视转播和移动通信。目前通信卫星也在向大容量方向发展，将来也可能达到 Gb/s 的数量级。此外，无线通信技术还包括微波、超短波、短波等各个波段的通信技术，都各有所用。

总之，地面的通信光纤、天上的通信卫星将是信息网络的主要传输媒质，综合地利用它们可以构造出覆盖全球，以至延伸到宇宙空间的巨型网络，为人类一切通信提供信息通信的全面支持。

四、信息资源大开发，信息应用大发展

计算机和信息网为信息资源大开发、信息应用大发展提供了强有力的技术基础。人类几千年的文明过去主要靠纸介质（如书刊、字画）和实物（如文物、建筑）等方式存储、保存，靠集中存放在图书馆、博物馆或现场供人们观看、查找。现代生活中许多活动，例如购物、看病、上学，仍然沿袭亲临现场、面对面的方式。但是，伴随 IT 的发展及其日益广泛的应用普及，人们的

传统生活方式正在发生着潜移默化的大改变。这种变化不知道你注意到没有？

1. 数字化

在日常生活中我们看到“数字化”进程的例子是很多的。信封上的地址要写用数字表示的“邮政编码”，以便自动信函分检机通过识别数字进行信函分检，提高分检速度；超市商品上贴上了“条形码”，以便收银台工作人员手持条形码识别器进行商品品种识别，提高计费速度……这些实例其实是在解决两类问题：首先要让信息便于“进入”机器，例如识别手写体数字和用条形码表示的数字、符号；其次是要让机器便于“处理”这些信息，通常采用单独的计算机处理或者采用联网的计算机处理。

在科学技术领域中，许多物理量都是“模拟”变量，例如温度、压力、声音等，它们都是随时间连续变化的。为了便于机器处理这些物理量信息，通常采用“采样”的方法，用若干个时刻的物理量的值来近似地表示连续变量，即首先实现“离散化”，然后再将各个离散的物理量“数值化”为数值数据。经过这种数字化处理的数据便能直接输入到计算机中，以便作进一步处理。

文字、图形、静止图像和活动图像也是通过类似的数字化处理而变成二进制数码序列的。例如，向计算机里输入汉字时，无论是采用拼音或某种字型编码方式，首先在于将一个汉字用一串符号表示，每个符号再用一串二进制数字表示，因此进入计算机中的一个汉字通常变成了 16 个二进制数字（8 个二进制数字称为一个字节，每个二进制数字用 0/1 表示）。由于 2 个字节的二进制序列可有 2^{16} 种组合，即有 65536 种不同的二进制序列，足可以表示所有的汉字了。再看活动图像，虽然它是随时间连续变化的，但首先可以将它在时间上离散化，例如用每秒 25 帧/30

帧的静止图像来近似表示活动图像，然后在空间上离散化，将每幅静止图像再变换成二进制序列。由于人眼的视觉滞留效应，经过上述处理的活动图像再还原时，人们感觉不到数字化会带来畸变。

类似的，我们对自然界和社会生活中的各种现象、景观、文字、图像、声音都可以进行数字化处理，将各种各样的信息都“收”进机器中，特别是计算机和计算机网络中。这样的进程正在我们身边发生着，这是一个意义重大的变革！

2. 网络化

自从有了计算机，开展计算机应用以后，世界各地的计算机已经“收”进了许许多多的信息了，诸如各种机构、组织的人事档案、财务报表、统计报表、图书文献、技术资料、计算程序等等。这一进程还在持续不断地进行着。

自从有了计算机网络，各个孤立的计算机实现互连后，各个计算机系统内的各种信息资源开始实现远程共享。过去，可共享的信息资源主要是文字、数据、软件。随着多媒体技术的发展，解决了声音、图形、图像等多种媒体信息的采集和压缩技术，以及多种媒体信息的综合存储和处理技术，使得计算机网络不只是一种数据通信网络，而成为多媒体信息网络了。这是近 10 年取得的重要进展。不过，目前离理想的多媒体信息网络尚有距离，还有待努力：要进一步解决保证各种媒体信息的传输质量，各种媒体信息间的同步问题、交互作用问题等。

在有了多媒体信息网络之后，人们开始设想许多新的网络应用了，诸如远程教育、远程医疗、远程购物……这些“远程”作业成功的关键是要“逼真”，这种“逼真”自然是“虚拟”的，即关键是构建“虚拟现实”环境。因此“虚拟现实”技术成为现

在新的研究开发热点，今后还会热一阵子，才有望较好地解决人们所渴望的各种“远程”作业。

3. 信息世界

人们渴望建立的“信息世界”，将是一个数字化的世界、网络化的世界：信息资源极大丰富，人们可以方便快捷地、平等地享用信息资源；一切经济活动、社会活动、日常生活都依托信息网络进行……真能如此，人们可谓从“必然王国”进入了“自由王国”。

首先要数字化，才有可能把各学科、各领域、各行业、各部门、各单位、各个人的信息都“统一”地收入计算机系统中存储起来，也只有靠数字化，才能实现使文字、数据、声音、图形、静止图像和活动图像都“统一”地进行处理和利用。

其次要网络化，才能把分布在各个单位、各个城市、各个国家以至全球的各类信息资源、信息应用系统、信息终端“统一”地连接在一起，也只有靠网络化才能实现将信息资源输送到千家万户、各个单位以至每个人的身边、身上（例如传输至佩戴式的信息装置上）。

信息资源极大丰富要靠长期、持续不断的努力，才能把现在的、未来不断产生的信息及时整理、收藏到计算机中，而且还要把过去的历史信息也陆陆续续地加以数字化并存储到计算机中，也就是要“把世界装入信息网络中”，才能算真正的信息资源极大丰富。

在平等使用全球的信息资源时，应当没有富国和穷国之分，没有富人和穷人之分，每个人都应当有平等的权利。只有这样才能缩短穷国和富国之间的财富鸿沟，缩小穷人和富人之间的贫富鸿沟。目前，这还只是一种理想，但是从信息技术研究的出发点

看，应当有这种为人类平等享用信息资源而奋斗的目标。

至于谈到人类一切活动都依托信息网络来展开的话题，人们会有说不完的设想和计划，只会是越来越丰富、越来越实际、越来越令人兴奋的。人们有理由期望通过迈入“信息世界”而迈向“自由王国”。

在这本小书的余下章节中，我们先弄清楚一些 IT 的基本概念、基本方法，培养起兴趣来，以后有机会再进行专业学习，不断深造，共同为创建信息世界而努力。