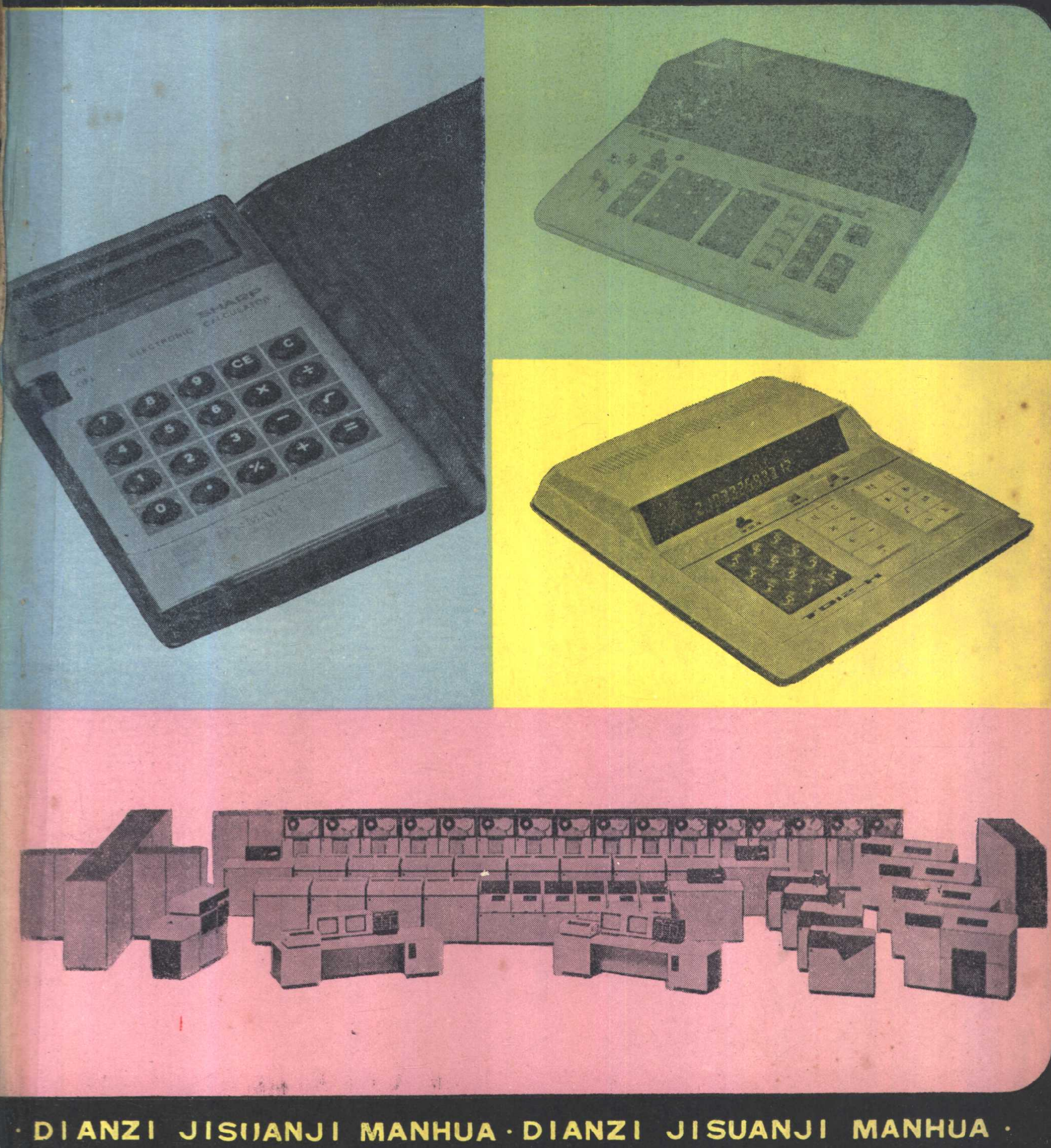
中学科技丛书

电子计算机漫话

张根法

上海教育出版社



·DIANZI JISUANJI MANHUA·DIANZI JISUANJI MANHUA·

电子计算机漫话

张 根 法

上海教育出版社

中学科技丛书

电子计算机漫话

张 根 法

上海教育出版社出版

（上海永福路123号）

新华书店上海发行所发行　江苏宜兴印刷厂印刷

开本787×1092　1/16　印张4.25　字数96,000

1979年8月第1版　1979年8月第1次印刷

印数1—30,000本

统一书号：7150·2083　　定价0.41元

目　录

一　现代科学技术的卓越成就

二　从节日彩灯所想起的

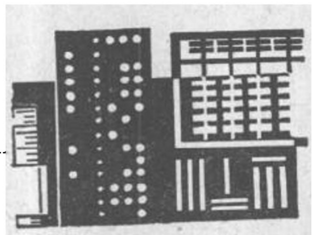
三　电子“脑细胞”的奥秘

四　从算盘看电子计算机的组成

五　独特的工作方式

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

一　现代科学技术的卓越成就



鹰击长空，鸽翔千里。人类遨游太空的幻想早就有之，我国古代的传说"嫦娥奔月"便是一例；花繁叶茂，虫鸣鸟啭，生物也会作数学"游戏"：你看那富有诗意的"茉莉花瓣"，原来它的花形曲线还是一个很有趣的数学方程式$x^3-3axy+y^3=0$呢！蚂蚁识路，人有智能。能否创造出具有某种"智能"的机器，叫它模拟人的感觉和思维，使人们从大量繁重的体力和脑力劳动中解放出来，甚至逾越人体机能的限制去完成人们无法承担的任务呢？

在人类征服大自然的历史长河中，作为二十世纪的伟大发明，现代科学技术的卓越成就之一——电子计算机，终于为我们开创了一条达到这些目标的重要途径。

1　电子计算机的由来

本世纪的三十年代初，美国的一位物理学博士毛奇莱，对计算的机械化很有兴趣，花了好几年的时间制成了一台用于谐波分析的模拟装置和一台不大的专用计算机。四十年代初，电子学有了很大发展。毛奇莱认为必须把电子学的最新成果——电子管用到计算装置中。1942年，这位物理学博士设计了一个新型的计算机方案。这个方案在被冷落了一年后，由于美军的一个弹导研究室对它发生兴趣，故而在1943年，这个研究室与宾夕法尼亚大学订了合同，在毛奇莱和另一位名叫爱克特的博士的领导下，开展了大规模的方案实施工作。结果，世界上第一台电子计算机ENIAC——电子数值积分机和自动计算机(图1—1)在1946年2月问世了。

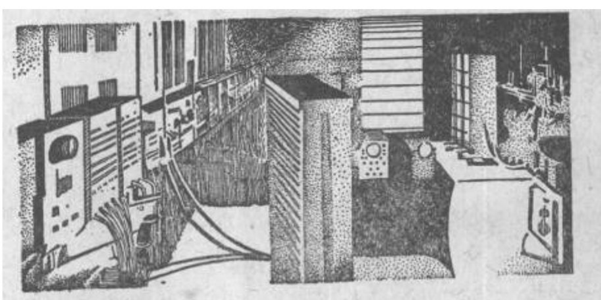


图1—1　世界上第一台电子计算机ENIAC

电子计算机的出现，是计算技术史上的一个重大飞跃。电子计算机技术的发展，至今已成为现代化水平的重要标志。

我们都知道，计算技术是有着悠久的历史的。早在远古时代，我们的祖先在与野兽作斗争的过程中，就逐渐产生了"数"的概念。例如狩猎到五头野牛，就用五块石子来记数，或用绳子打五个结来记数，这就是所谓"结绳记事"。以后，又出现了用"筹"记数的办法。所谓"筹"，就是一些小棍。古代劳

动人民用这种小棍摆成不同的位置来表示不同的数，并能进行各种简单的运算。例如，一到九这些数字是这样摆成的(有纵式和横式两种排列)：

数	一	二	三	四	五	六	七	八	九	
筹的排列法	𝍠	𝍡	𝍢	𝍣	𝍤	𝍥	𝍦	𝍧	𝍨	(纵式)
	𝍩	𝍪	𝍫	𝍬	𝍭	𝍮	𝍯	𝍰	𝍱	(横式)

又如三百七十八这样的数，根据《孙子算经》上所说的“凡算之法，先识其位，一纵十横，百立千僵，千十相望，万百相当”的规定，应该自个位起以纵横交叉排列的方式表示：

𝍢 𝍯 𝍧

(纵)(横)(纵)

元朝末年，我国已出现了许多繁荣的商业城市，海外贸易也很发达，因而迫切需要有新的计算方法和计算工具。当时“筹算”的算法虽很盛行，但毕竟十分麻烦。于是我们的祖先在“筹算”的基础上，发明了易于计算、使用方便的算盘。这种简单的计算工具到了明代已得到极为广泛的应用。明朝末年，还有人设计制造了八十一档的长算盘，这种长算盘可以用来作开方运算。

在算盘出现后许久，法国人帕斯卡在1642年搞成了第一台加法演算机。这种帕斯卡演算机与算盘的不同之处，在于能自动进位。它是用手摇方式操作运算的，向右转为加，向左转则减，在读出窗读出结果。工作原理见图1—2。

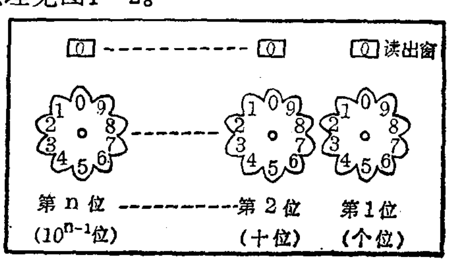


图1—2 帕斯卡计算机演算原理图

例如要做35＋7，先把第一位的齿轮右转5个齿，把第二位右转3个齿，这时读出窗的数为000……035。然后再把第一位的齿轮右转7个齿，此时第一位的读出窗的数为2，同时进位给第二位的读出窗，即成4，故而得和42。

帕斯卡的演算机只能作加减运算。以后由德国人莱布尼兹在1672年制成了不仅能作加减、而且能作乘除运算的机械计算机。他的机器是运用反复加法或反复减法来达到乘法或除法的目的的。之后它又发展演变成我们现在看到的手摇台式计算机（图1—3）。

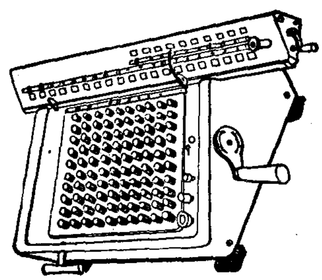


图1—3 手摇台式计算机

到了1944年，人们已经能研制出解微分方程式的计算机了。这是一台由美国哈佛大学研制的MARK-I计算机。它用3000个继电器进行操作，将要计算的内容送入机器就能自动计算。它做一次加法的时间是0.3秒，也就是说，它的运算速度每秒钟三次多一点。

在计算技术的发展中，还有各式各样的计算机，有的是机械计算机，有的是机电计算机。它们都在一定时期内，对许多计算问题起了一定的作用。

然而，过去的一切计算工具，计算速度慢，精确度也不高，特别是工农业生产和科学技术的迅速发展，对于大量繁杂的、精确

度要求又很高的计算问题，它们就无法胜任了。幸好，科学技术的发展，特别是电子学的进步，使计算机武装上电子管。于是，一种快速的计算机终于出现了。

现在还是来看看毛奇莱的“作品”吧！他的那台ENIAC用了18000个电子管、70000个电阻、10000个电容以及6000个开关，整个机器长30米、高3米、宽1米、重30吨、运行时耗电140千瓦。这台机器每秒钟可以作5000次加法运算，显然是过去的那些计算机望尘莫及的。

但是，我们在讲到毛奇莱的作品时，不能不谈及美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(1903～1957)的功绩。

诺依曼早在1945年就设计了关于电子计算机的两个方案。后来，他又在总结ENIAC的基础上提出了一些新思想。我们知道，ENIAC计算机没有真正的存贮器，它仅用二十个寄存器来存贮数字。至于中间结果，是靠穿成孔码的卡片再输入的。有人在这台机器上算一道题花了半小时，而计算机实际计算只需两分钟，其余时间都花在输入、输出上了。这台机器也没有真正的运控装置，大量的运算部件——也就是它的“程序”，是由人工象搭积木似的连接而成的，换算一道题就得花半小时到八小时的时间重搭一次，十分麻烦。

然而诺依曼的新思想彻底改变了这种状况。例如，他提出电子计算机必须采用二进制，程序和数据应该存贮在存贮器中，运算器只需加法线路，根本不必搞得那样复杂。这种存贮程序的新思想，在他1952年研制成功的EDVAC计算机中得到了实现。事实证明，冯·诺依曼关于电子计算机结构的思想是完全正确的。他的研究和实践对以后计算机的发展产生了不可磨灭的影响。冯·诺依曼无愧是电子计算机的奠基人。他不仅发表了不少论文，病故前还为我们写了一本科普读物《计算机和人脑》呢。

2　三十年的变迁

犹如时代的前进一样，电子计算机也在大踏步地一代又一代地向前发展。

电子计算机，无非是一种快速的、高精度的，而且是具有大容量的计算工具。电子计算机和过去的各种计算机的不同之处，主要是采用了能快速运算的电子器件，它不仅可作数学运算，还能作逻辑控制。

科学技术的不断发展，电子技术、光电技术、通讯技术、控制理论、计算数学等等的迅速发展，有力地促进了电子计算机科学技术的发展步伐。就拿电子技术来说吧，已陆续出现了越来越先进的电子元件：电子管、晶体管、集成电路，现在又出现了集成度更高的大规模集成电路（图1—4）。

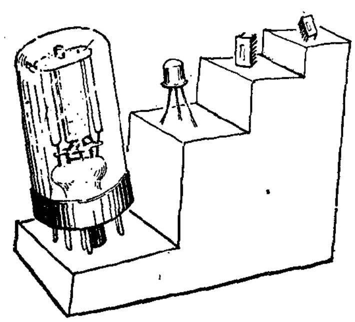


图1—4　电子元件谱

电子管、晶体管，这是大家很熟悉的。什么叫集成电路和大规模集成电路呢？一般说来，集成电路就是将微型化的晶体管、电阻、电容等电子元件搭成的电路，嵌制在一块相当小的硅片上。大家知道，方块糖不算太大吧，可是现今的电子工艺竟能把成千上万个电子元件组成的千百个门电路嵌制在一块仅有小半块方糖大小的硅片上！这就是前面讲的大规模集成电路。如果我们把它放在显微镜下，就能看到它的线路结构。集成电路突飞猛进的发展是令人鼓舞的。在1960年出现第一个硅片集成电路时，一个平方毫米上

可以作一个门电路就被认为是一件很了不起的事情了。然而时隔十年，即1970年已能集成1000个门电路，在1976年竟能集成33000个门电路！于是，人们可以乐观地预料在二十年后，集成十亿个门电路将是不成问题的了。

由于上面的原因，电子计算机从它诞生的那天起，发展的速度就十分惊人。时至今日，短短的三十几年，它已经历了四代更新。

看看第一代的电子计算机吧！这第一代是指早期的那种用电子管作运算元件的计算机。它们主要被用作科学运算，ENIAC就是如此。比方当你给定了决定旋转体形状的一系列参数值，它便可以为你解算描述旋转体周围气流的数个双曲型偏微分联立方案。只是由于第一代计算机尚处于初期发展阶段，机器的可靠性、稳定性比较差，耗电量也十分大，因而它的应用受到了限制。

1959年，电子计算机发展到了第二代。这一代的特征是运算元件被晶体管替代了，从而计算机的可靠性有了很大的提高，体积也大为缩小。这时计算机的应用范围已扩大到了数据信息处理，被广泛地用在商业、银行保险和企业管理等方面。

第三代是从1965年起，直至七十年代初期。这一代的电子计算机，基本电路已采用了组件工艺结构——集成电路。因此，计算机的体积大大缩小，速度、精确度、容量以及可靠性大为增加。特别是计算技术与通讯技术结合起来，利用专用电话线或卫星通讯，就可以把不同地方的计算机联系起来使用。因而这一代计算机的应用得到了进一步的提高和扩大，特别是被用在自动控制方面，有力地推动了工业生产的自动化。

七十年代初期开始的第四代电子计算机，可以说是第三代的延续，其基本电路采用了集成度更高的大规模集成电路。目前电子计算机的应用，已遍及社会生产的每一个领域、商业领域，甚至开始闯入了人们的生活领域。

3 电子模拟计算机和电子数字计算机

人们知道，用作测量的仪器有模拟式和数字式两类。如模拟式电压表是利用指针的转动角度来描述电压的大小，其数值是通过刻度读出的，这个读出数称为模拟量。数字式电压表是直接用数字来表示被测到的电压数值，这个数值称为数字量。类似地，计算工具也有模拟式和数字式两类。典型的例子是计算尺和算盘。计算尺是根据尺面长度所划分的刻度来表达计算结果的。这个数值是一个模拟量。算盘是根据各档上算珠的分布来表示出具体的数值的，这个数值显然是数字量。从而可见，模拟量是利用长度、角度、电压等物理量来表达的，它是一个连续量的操作。数字量是直接用数字来表达的，它是一个非连续量的操作，具有直观、使用方便的特点。

电子计算机也可以分成两大类：电子模拟计算机和电子数字计算机。

电子模拟计算机，是利用电子线路中电压的变化来模拟各种连续量的运算。例如计算正弦函数$y=\sin(t)$，它以时间的长短来替代自变量t，而利用某个电路在这个时间t内的电压变化来模拟正弦函数值y。另外，电子模拟计算机还要求用电压模拟量输入，其结果的输出也是电压模拟量。这类计算机的特点是结构简单，运算方便，解题时间短。但通用性差，它往往只能作某方面的计算，而且由于它的“数”是以时间、电压等物理量模拟的，加上这种模拟量不一定测得很准，因此它的运算精确度是很低的。

电子数字计算机，它是利用电脉冲编码进行数字量的运算的。这种运算按算术法则进行。我们也以计算正弦函数$y=\sin(t)$为

例，它可以通过下列的近似计算而得到函数值

$$y=x-\frac{x^3}{3!}+\frac{x^5}{5!}-\frac{x^7}{7!}+\cdots\cdots$$

至于该算到哪一项结束，可由要求的精确度而定。这类计算机的特点是运算速度快、精确度高、通用性强。

目前，电子模拟计算机和电子数字计算机都在不断地发展着。但由于电子数字计算机容易实现高速度、高精度、大容量和多功能，又由于它的计算结果是以数字量表达的，使用起来既方便又直观，因此它的发展就更为迅速，应用更加广泛。通常人们所说的和一般书中所谈的“电子计算机”或“计算机”，都是指电子数字计算机。

4　电子计算机的特点和用途

众所周知，电子计算机是以运算速度快、精确度高和通用性强而著称的。

电子计算机的运算速度，慢则每秒数万次，快则每秒上亿次。现在，一台每秒一百万次的电子计算机是比较普通的。试想如果一个人在一秒钟内作一次运算的话，那么电子计算机一小时完成的工作量，人得做一百多年，这简直是终生难以完成的任务！就拿圆周率的计算来说吧，早在一千五百年前，我国古代著名的数学家祖冲之，采取了割圆术，算得了π值在3.1415926与3.1415927之间。可想而知，对于这样大的数据，反复进行大量的计算，他该花上多少时间才能算出来啊！后来，又有位英国数学家叫香克斯的曾花了十五年的时间才算到小数点后707位，十分可惜，他算的最后一百多位还是错误的呢！如果用上现代快速电子计算机的话，那么用不到一分钟就可以算出来了。

计算精确度高，这是电子计算机的又一特点。譬如在进行某一滤波器设计时，有位工程师曾用计算尺、手摇计算机花了三个月的时间求解一个高次代数方程。算到后来，终于因为误差积累太大而没有取得正确的结果。可是用了电子计算机，由于计算的精确度高，就是在速度每秒10万次的计算机上，才花了不到一分钟的时间，便获得了正确的答案。一般计算机的精确度可以达到九位左右的有效数字。由于是用数字进行运算的，有效数字的位数还可以视实际需要来决定。必要时，可以增加它的位数来确保计算的精确度。

电子计算机还具有准确的逻辑判断能力。它除了能进行一般的数值计算外，还能进行逻辑判断和逻辑推理。它可以根据人们事先给定的逻辑顺序有条不紊、准确无误地进行运算。由于磁芯、磁带、磁鼓和磁盘的应用，使得电子计算机具有惊人的记忆能力。它能把程序、原始数据、中间结果和最终结果牢牢记住，通常把这种记忆能力的大小称为存贮容量。目前的计算机，可以存贮上万甚至上亿个数据，例如把一个大图书馆的全部文献资料的目录、一本字典或者国民经济中各项庞大的数字都存贮起来。正是由于电子计算机具有这两个能力，因此它可以根据一定的逻辑安排进行科学资料分类、文字翻译和编制国民经济计划、报表等工作。所谓通用性强，是说电子计算机不仅能作数字运算，还能作逻辑运算；它不仅能作各种复杂的数值计算，进行各种科学计算和工程设计计算，还能用于大量的数据信息处理和工业生产的自动控制等等。

5　我国电子计算机的迅速发展

解放后，在党和毛主席的英明领导下，1958年我国研制成功了第一台电子计算机(图1—5)，填补了电子计算技术的空白。这是一台运算速度近万次的电子管计算机。以后，仅仅用了十几年的时间，就从第一代计算机发展到第三代计算机，并向第四代迈

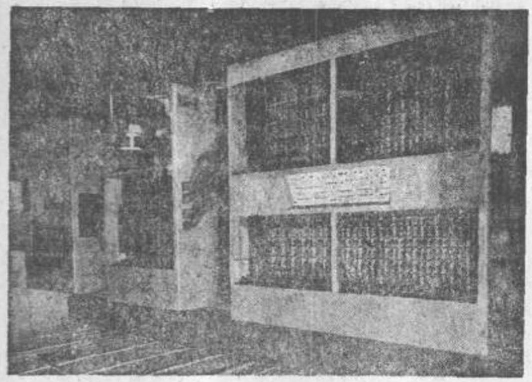


图1—5 “103”型通用电子数字计算机

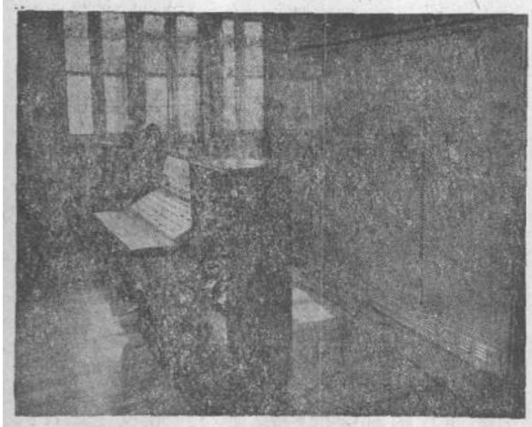


图1—6 “709”型集成电路计算机

进。1965年，我国的电子计算机跨进了第二代，并在1967年研制成功了一台大型晶体管电子计算机，它的运算速度是每秒12万次。四年后的1971年，我国的电子计算机以“709”型集成电路计算机(图1—6)开始，进入了第三代的行列。“709”机是一台小型通用电子数字计算机，运算速度每秒11万次，是由上海计算技术研究所、长江无线电厂和复旦大学协作研制的。目前，我国已能自行设计制造每秒百万次乃至更高速的集成电路电子计算机。例如1973年研制成功了百万次计算机；1976年年底，中国科学院计算技术研究所研制成功了一台每秒二百万次的高速大型通用电子计算机；1978年12月，华东计算技术研究所又研制成功了一台运算速度为每秒五百万次的大型计算机，这标志着我国电子计算机基础理论研究和技术水平又有了新的提高。另外，工业控制用的小型多功能计算机、数据处理计算机等电子计算机象雨后春笋般地大批涌现……。由于电子计算机的迅速发展，因而它在航空、造船、铁路、光学、水文、测量、建筑、机电、水电、冶金、化工、机械等工农业生产、科学技术和国防建设事业中得到了广泛的应用，有力地促进了社会主义建设事业的发展。

当前，全党全国人民正大踏步向2000年奋进。我们深信，我国的电子计算机事业一定会更快地发展，在不远的将来赶上和超过世界先进水平，在实现四个现代化的宏伟目标中必将发挥更大的作用。

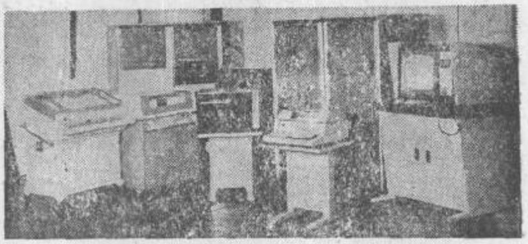


图1—7 小型多功能电子计算机

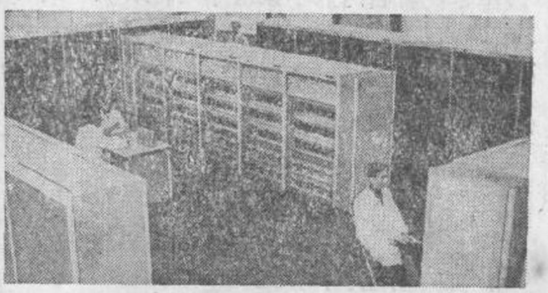
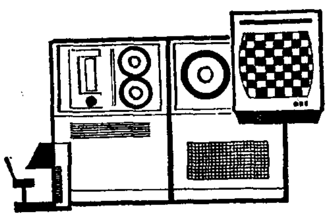


图1—8 我国最近研制成功的五百万次电子计算机

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

二　从节日彩灯所想起的



节日的夜晚，灯火辉煌。游园观灯之余，不知你是否留意，在那一串串红、绿色的彩灯上，还有着十分有趣的数学问题呢！

请看图2—1，六只具有两种颜色的彩灯，从右边数起的第一只和第四只为红灯，其余为绿灯。如果我们把红灯当作1，绿灯当作0，那么这六只灯便组成了一个数：

001001

这就是下面要讲的二进制数。说也凑巧，这种在平常看来并不引人注目的"数"，在电子计算机中却发挥了巨大的作用。通常，电子计算机正是采用了二进位计数制。

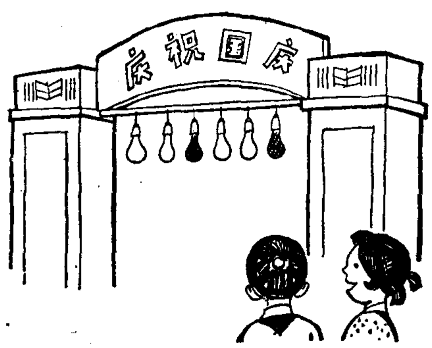


图2—1　彩灯和数

1　什么叫二进制

二进制，是人们计数的一种方法。

通常，人们是习惯于用十进制计数法记数的。这连小孩也懂得，他会伸出小手来给你一个手指一个手指地数着：一、二、三、……。十进制计数中，最大的数码是9，相加时满十就要进一，这就是我们常讲的"逢十进一"。

其实，在日常生活中还经常遇到各种各样的计数制。例如，一年为十二个月，是十二进制；一天为二十四个小时，是二十四进制；一小时为六十分，是六十进制；又如旧秤一斤为十六两，是十六进制等等。

所谓二进制，就是仅有0和1两个数码而在相加时为"逢二进一"的计数制。二进制数，类似十进制数，有正数、负数，也有整数、小数。

十进制数0～9可以写成如下二进制数：零写成"0"；一写成"1"；二等于一加一，逢二进一，就成"10"(图2—2)；三等于二加一，于是便成二进制数"11"；以下可以类推，排列成

十进制数	二进制数
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001

事实上，任意一个十进制数都可以用二进制数来表示。例如，十进制数37.625可用二进制数100101.101表示；十进制数 −127的二进制数是−1111111。

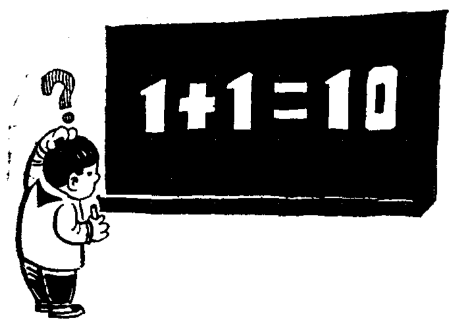


图2—2　1＋1＝10

2　电子计算机为啥要用二进制数

电子计算机为什么不用大家习惯的十进制数而要用二进制数呢？

首先，这是因为在计算机中二进制数是比较容易表示的。

大家知道，电灯开了就亮，关了就暗。它有“亮”与“暗”两种状态，如果我们把“亮”当作“1”，把“暗”当作“0”，这样它就起到了计数的作用。

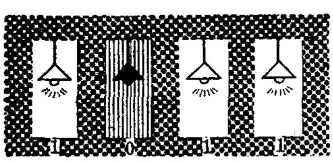


图2—3　电灯计数

在电子计算机中，人们是利用了晶体管的截止和导通，或者可磁化物质的正负剩磁，把两种不同的状态分别规定为“1”或“0”的。

其次，计算机中用二进制数可以节省设备。若用十进制表示0～9的话，每一位就得有十个设备状态，但用了二进制，就是最大的数字9也只需用四个二进制数码(1001)，由于每一位仅有两种设备状态，因而只需要八种设备状态来表示0000到1001这十个数就足够了！由于计算机的存贮容量是很大的，即容纳的数是极多的，所以，这种设备的节省是十分可贵的。

但可以证明，采用三进制可以做到设备最节省。只因较难找到合适的三稳态设备，因而一般是不采纳的。目前，国内外也有人正在对三值和多值计算机进行探讨。

第三，二进制数运算简单。

十进制数的运算大家是很熟悉的。但是做加法也好，乘法也好，要记住“九九表”口诀，即有55个算式。

二进制数的算术运算规则和十进制很相似，但要简单得多。由于它只对0和1两个数运算，所以只要三条“口诀”就行。例如

加法　$0+0=0$

$0+1=1+0=1$

$1+1=10$

乘法　$0\times0=0$

$0\times1=1\times0=0$

$1\times1=1$

因为二进制具有以上的特点，所以它在电子计算机中被广泛地采用着。

3　二进制数与十进制数是怎样换算的

二进制数固然很适用于电子计算机，但给我们带来了这样的问题：十进制数，我们一看就明白它的值有多大；但二进制数，写起来很长，看起来也别扭。大家或许会想：如果能利用它们之间的某种关系，使它们互相转换，该多好！

这个想法很好。二进制数与十进制数之间，是有关系的。以下约定：一个数字的右下角注有$_{(二)}$的，表示这个数字是二进制数，如$101_{(二)}$；一个数字的右下角注有$_{(十)}$的，表示是十进制数，如$5_{(十)}$。

十进制数137.625的六个数码中，“7”是个位数，它的数值当然是7，即$7\times(10)^0$；“3”是十位数，它表示的数值是30，即$3\times(10)^1$；类推出百位数“1”，表示的值是

$1\times(10)^2$。而小数点后各位上的数码均表示其前一位上单位数码的十分之一：小数点后第一位的数值是$6\times(10)^{-1}$；第二位是$2\times(10)^{-2}$；第三位是$5\times(10)^{-3}$。于是，这个数便可表示成：

$$137.625_{(十)}=1\times(10)^2+3\times(10)^1+7\times(10)^0+6\times(10)^{-1}+2\times(10)^{-2}+5\times(10)^{-3}$$

式中圆括号里的10是十进制的基数，这里应指出的是$(10)^0=1$。

类似地，对于二进制数111101，由于基数是2，所以它可以表示成：

$$111101_{(二)}=1\times(2)^5+1\times(2)^4+1\times(2)^3+1\times(2)^2+0\times(2)^1+1\times(2)^0$$

当我们知道了表2—1的等值关系后，就容易实现二进制数与十进制数间的换算了。

表2—1 部分二进制数与十进制数对照表

二 进 制 数	十 进 制 数
…………	…………
0.001	$0.125=(2)^{-3}$
0.01	$0.25=(2)^{-2}$
0.1	$0.5=(2)^{-1}$
0	0
1	$1=(2)^0$
10	$2=(2)^1$
100	$4=(2)^2$
1000	$8=(2)^3$
10000	$16=(2)^4$
100000	$32=(2)^5$
1000000	$64=(2)^6$
…………	…………

下面，我们举例说明正整数的一种比较直观的换算办法。

例如：将$107_{(十)}$换算成二进制数。

先利用表2—1将$107_{(十)}$化成2的幂式：

$$107=64+32+8+2+1=2^6+2^5+2^3+2^1+2^0$$

然后，由2^6，2^5，2^3，2^1，2^0的二进制数关系进行相加：

$$1000000+100000+1000+10+1$$

于是：

$$107_{(十)}=1101011_{(二)}$$

例如：将二进制数1100010001换算成十进制数。

先将该数分解成

$$1100010001=1000000000+100000000+10000+1$$

然后由1000000000，100000000，10000，1所对应的十进制数相加：

$$(2)^9+(2)^8+(2)^4+(2)^0=512+256+16+1=785$$

即得

$$1100010001_{(二)}=785_{(十)}$$

实际上，二进制数与十进制数间的换算办法很多，这里不再一一列举。

4　二进制数的算术运算

前面已经讲过，二进制数的算术运算十分简单，这里仅以正整数的四则运算为例加以说明。

先看加法运算：　$4+6=?$

十进制运算　　二进制运算

$$\begin{array}{r}4\\+\ 6\\\hline 10\end{array}\qquad\begin{array}{r}100\\+110\\\hline \underbrace{10}10\end{array}$$

—1+1=10，记0，并向高位进一（即“逢二进一”）

再看减法运算：　$12-9=?$

$$\begin{array}{r}12\\-\ 9\\\hline 3\end{array}\qquad\begin{array}{r}1100\\-\ 1001\\\hline 00\underbrace{1}1\end{array}$$

—被减数上不足，向高位借1

乘法运算是这样的：

$4\times6=?$

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times\ 6 \\ \hline 24 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 100 \\ \times\ 110 \\ \hline 000 \\ 100 \\ +\ 100 \\ \hline 11000 \end{array}$$

最后看除法运算： $28\div4=?$

$$\begin{array}{r} 7 \\ 4\overline{)\,28} \\ 28 \\ \hline 0 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 111 \\ 100\overline{)\,11100} \\ -\ 100 \\ \hline 110 \\ -\ 100 \\ \hline 100 \\ -\ 100 \\ \hline 0 \end{array}$$

从以上二进制数的四则运算可见，它们最终都可归结为加法和减法的运算：乘法由移位和加法两种操作即可实现；除法由移位及减法两种操作即可实现。

事实上，在电子计算机中的减法运算一般也是由加法实现的。由于有这种可能，因而可使计算机中的运算装置大大简化。

怎样才能使减法运算变成加法运算呢？我们拿12－9＝？为例来说明：

$$12-9=12+(-9)$$

上式可见，我们已将原来的减“正数”变成了加“负数”。通常，在计算机中所谓“加负数”是通过“加补码”实现的。

现在，我们先从日常生活中的例子来讲一讲什么叫“补码”。

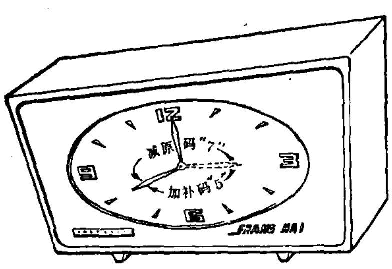


图2—4　时钟与补码

比方说，现在是8点钟，但是你的钟表停在3点钟。这时你想拨正它。怎么拨法呢？你很快会想到，不是倒拨7小时，就是顺拨5小时。

由于时针转一圈刚好是12小时，所以5是7的补码。当你倒拨7小时时，实际上作了3－7的运算。由于3不够减7，故而借过一个12（因为它是十二进制）成了3＋(12－7)＝8；当你顺拨5小时时，实际上作了3＋5（＋5的补码仍为5）＝8的运算。这说明减正数相当于加上“补码”。

二进制数的补码的求法很简单。对负数而言，只要把原码中的每一位取反，即凡原码为“0”者，取反后为“1”，反之亦然，经取反后的数码叫反码；然后在反码的最低位上加1，便得补码。例如－9的三种编码如下：

原码	1001
反码	0110
补码	0111

简单说来，补码就是该数原码的反码加1。但注意，正整数的三种编码是相同的，即均为原码形式。

有了补码的概念，“加补码”运算即可实现了。

十进制运算　二进制运算　二进制加补运算

$$\begin{array}{r} 12 \\ -\ 9 \\ \hline 3 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1100 \\ -\ 1001 \\ \hline 0011 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1100 \\ +\ 0111 \\ \hline \boxed{1}\,0011 \end{array}$$

—舍去此位

这里应注意，此例是对四位二进制数加补运算，因而，加补后在第五位上出现的1必须舍去，这样便得到了减法运算的结果。

5　数在计算机中是怎样表示的

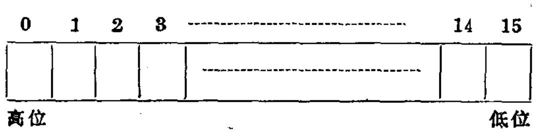
小学生在打算盘时，常常在算盘某一档上贴一个标记，表示“个位”，实际上这就叫数的定位。计算机同样存在一个定位问题。

电子计算机中，一般有两种定位方式：一种叫定点，就是小数点固定在一个位置上；一种叫浮点，小数点是可以浮动变化的。

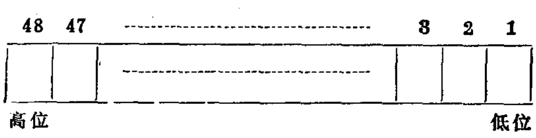
我们把采用定点方式的计算机叫做定点机；把采用浮点方式的计算机叫做浮点机。但是，现在也有不少计算机既可以用定点方式表示，也可以用浮点方式表示，这样的机器我们叫它为混合式计算机。

计算机中，数据是存放在存贮单元中的。这种存贮单元是由一连串相互联系着的小元件构成的，每一个小元件可以记住一个二进制数码。对于某一台计算机来说，这一连串小元件的数目是固定的，这个数目就是人们常说的存贮单元的“字长”。

例如，我国的DJS-130型电子计算机，是一台字长为16位的定点机。就是说，在这台机器上一个数可以用16位二进制数码表示。存贮单元示意如下：



又例如，我国的“709”型电子计算机，是一台字长为48位的浮点机。也就是说，在这台计算机上一个数可以用48位二进制数码表示。存贮单元示意如下：



应该指出，单元上面写的数字是二进制数位的序号，通常左边是高位，右边是低位。也就是说，一个数的全部二进制数码是依次从高位到低位存放的。

现在，我们先谈谈数的定点表示。

前面讲过打算盘的定位问题。由于它的标记是贴在固定的一档上，也就是说小数点是“定死”在一个位置上的，因此，我们在算盘上拨出的数是定点数。

同样地，在定点机中，也得在每一个存贮单元的某一位上“贴”一个“标记”。当然，这样讲并非真的去贴一个标记，而是指把小数点固定在这个位置上。

但是该定在哪一位上呢，是否任意确定呢？当然不行。譬如说，某计算机的字长是16位，假如我们把小数点固定在第7位与第8位之间，又假设第0位表示数的正负号，我们还规定正号为“0”，负号为“1”。

现在有两个二进制数10111.01及0.01101，它们可以存放到存贮单元中：

数	+				1	0	1	1	1.	0	1					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
单元存放法	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
数	+							0·	0	1	1	0	1			
单元存放法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0

但是，如果遇到象下面这样的两个数，就麻烦了。因为一个数的整数部分超过了7位，另一个数的小数部分超过了8位：

111000111.01　　1.0001111011

那怎么办呢？如果把小数点定在左边一些，只能照顾到小数部分位数多的数，却顾不了整数部分位数多的数；若是定在右边一些吧，也只能顾到一头，仍顾不到另一头。

办法是有的。

第一个办法，把小数点定在单元的最低位后面。就是说，单元中只允许出现整数。大家会问，那小数点怎么处理？情况是这样的：这个办法要求所有参与运算的数都是整数，若原数是有小数部分的，那么就要求事先按照一定的比例放大，使这个数是以整数的形式存入存贮单元并参与运算。这种放大(或缩小)的比例，我们把它叫做比例因子。对于在一个运算过程中找到一个恰当的比例因子，使得能保证计算的精确度，这就叫选择比例因子。举上面的例子来讲，数

1.0001111011，先将它乘上一个比例因子2^{10}（即把小数点右移 10 位），便成10001111011，于是它可按如下方式存放：

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	.小数点位置
数符	尾数数码															

一般说来，这样处理的定点数的形式如下：

	高位　　　　低位	
数　符	尾　数　数　码	.小数点位置

第二个办法，把小数点定在数符和尾数的最高位之间。这样一来，所有的数只能用小数部分表示。也就是说，在计算机中只允许小于1的数。类似第一种办法，若原数有整数部分的，就要选取一个比例因子进行处理。例如，上面举的例子1.0001111011，只需乘以2^{-1}（即把小数点左移1位），那么便有：

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
数符	.小数点位置　尾数数码														

经过这样处理的定点数的一般形式是：

		高位　　　　低位
数　符	.小数点位置	尾　数　数　码

下面，我们再谈谈数的浮点表示。

在十进制中，下列等式显然是正确的：

$$37.5 = 0.375 \times 10^2 = 0.0375 \times 10^3 = \cdots\cdots。$$

在二进制中，下列等式无疑也是对的：

$$100101.1 = 0.1001011 \times 2^6 = 0.01001011 \times 2^7 = \cdots\cdots。$$

如果我们把式中 2 的幂次叫做阶码，乘号前面的小数部分叫做尾数数码的话，那么可以将一个数表达成：

阶部分		尾数部分		
阶　符	阶　码	数　符	.小数点位置	尾　数　数　码

假定某计算机的字长仍是16位，这16位的安排如下：

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
阶符	阶　　码					数符	尾　数　数　码								
							.小数点位置								

那么，数100101.1可以有如下不同的表示方式：

$2^{+6} \times (+0.1001011)$

0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0

$2^{+7} \times (+0.01001011)$

0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0

………

从这个例子中看到了，一个数的小数点的位置是在一定范围内自由浮动的。所以，我们把这样表示的数叫做浮点数。

显然，浮点机中数的范围已大大超过了1，所以人们在算题时十分方便，一般是用不到考虑比例因子的。

目前，在大、中型计算机中，基本上具备定点及浮点两种功能。而小型计算机一般都是定点机，因为定点机的设计比起浮点机来说要简单得多，设备也省，因此把小型定点的、特别是具有多功能的计算机用作工业生产自动控制是比较合适的。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com