

目 录

序言

引论	1
1. 本书研究的特点	1
2. 分期原则	3
3. 各个时期的年代划分	18
第一部分 从算盘到电子计算机	23
第一章 机械装置以前阶段(算盘阶段)	23
1. 用手指计数, 筹码	23
2. 古代算盘	30
3. 算盘在中国	35
4. 算盘在欧洲	42
5. 算盘在俄国	46
6. 纳皮尔棒	54
第二章 机械演算机	59
1. 什卡尔机和帕斯卡尔机	59
2. 莱布尼茨梯形轴	68
3. 雅可松机	74
4. 开始生产演算机(托马斯机)	81
5. 十九世纪最简单的演算机	89
6. 卡尔·巴贝——他的思想和机器	109
7. 切贝绍夫计算器	126
8. 齿数可变的齿轮, 奥涅尔计算器	135
9. 在进入机电计算机以前的计算技术状况	141
第三章 机电(电动)计算机	147

1. 第一批造表机, 霍列瑞斯造表机	147
2. 电能机械计数器中的利用	152
3. 在进入电子计算机以前的计算技术状况	157
第二部分 电子计算机	161
第四章 电子计算技术的诞生	161
1. 制造电子计算机的历史前提	161
2. 电子计算机的第一批方案	170
3. 建立电子计算机结构的新概念	175
4. 电子计算机诞生时期的概貌	182
第五章 电子真空元件计算机	187
1. 概论	187
2. 存储程序电子管计算机的一些主要方案	191
3. 第一代通用计算机发展概貌	219
第六章 分离式半导体和磁元件计算机	226
1. 概论	226
2. 通用计算机结构的发展	237
3. 程序设计手段的发展	244
4. 扩大计算机的应用范围	247
5. 通用计算机生产的发展, 第二代计算机的一些主要方案	253
6. 发展趋向的相互联系	276
第七章 集成电路和大规模集成电路计算机	280
1. 集成工艺的采用	280
2. 计算机设计中的体系问题	296
3. 用户间自动分时的工作方式	297
4. 计算工业的发展	301
5. 大规模集成电路计算机	308
第八章 计算机在现代科学技术革命中的作用	317
1. 科学技术革命的分期	317

2. 电子计算机在科学技术革命的第一阶段和第二阶段中的作用	324
3. 扩大电子计算机应用范围的问题	336
4. 计算机应用领域的进展	347
第九章 计算技术发展的预测	370
大事记	381
人物介绍	385
计算设备年表	391
译后记	407

引 论

1. 本书研究的特点

计算工具历史发展过程的一个特点,就是随着电子计算机的出现,在二十世纪中叶,计算技术在社会生活中的作用显著提高。电子计算技术的发展史具有下列特点。

1. 电子计算技术的发展是与许多其他的科学技术领域紧密联系在一起的。

2. 随着电子数字计算技术发展,需要解决的问题也就象雪崩似地增加了(越来越多的结构方案,程序设计方法,采用元件的类型,电子线路的类型等)。所以,为了保持本书结构的匀称性,对于电子计算机发展的每个新阶段,都是概括性地进行介绍。例如,如果说比较详细地介绍了第一批电子管计算机的主要机种的话,则在叙述电子计算机发展的现阶段(集成电路计算机——见第七章)时,仅仅具体介绍了一个系列机(IBM 860),以及几个其他机种。当时有许多有意思的新奇的结构,但是从电子计算机发展的基本途径来看,它们没有什么重要意义,自然就被略去了。

3. 在电子计算技术领域,大量新的思想与改进都与军用计算机的发展有关。因此,许多相应的数据在文献中根本没有,即使有也是不完整的(往往是广告式的)和相互矛盾的。这里也不能对专利进行分析,因为很多专利和发明证书都是不公布的。这种状况就很难确定某些发明的优先权,从而也

很难估价在发展电子计算机中某些学者的贡献，以及相应国家的贡献。

在介绍制造电子计算机的预先研究工作时，应当指出：苏联第一个提出了静态触发器线路（班奇·布鲁叶维奇，1918年）和首先制定了用数理逻辑综合继电器线路的方法（什斯塔柯夫，1935年）。

在电子计算机阶段，苏联学者对计算技术发展的各个主要方向，都做出了很大贡献。其中应当指出的有：БЭСМ 机的制成（1952 年），它在若干年内都是欧洲最快的计算机；制成世界上第一台三进制计算机（Сетунь，1959 年）；以及在六十年代提出在计算机领域内使用剩余码。在程序设计领域内，对世界计算技术的发展也做了重要贡献。其中首先必须指出的有：在苏联科学院斯铁柯洛夫数学研究所的里阿普诺夫和舒拉·布拉领导下，提出了程序设计的算子方法；以及在乌克兰科学院控制论研究所的格鲁什柯夫领导下，在算法和程序设计理论方面所进行的工作。

苏联第一批电子计算机的研制工作，是在列别捷夫、布鲁克、巴则列夫斯基和拉米叶夫领导下，由许多学者、工程师和设计师集体完成的。它奠定了苏联计算技术进一步发展的基础。在计算技术及其应用的进一步发展中，做出了很大贡献的有：阿库什斯基、别尔格、格鲁什柯夫、达洛尼岑、古庭马赫尔、叶尔绍夫、卡尔采夫、基托夫、马尔丘克、帕别尔诺夫、费多连柯、尤基茨基和许多其他苏联学者、工程师和设计师。

关于计算机在电子化以前的历史也有自己的特点。其中主要一点是：并非以往所有的机器在当时都被很好地研究和描述了，某些资料不是没有被保存到现在，就是没有被我们找到。除此以外，保存的机器也分散到苏联各个博物馆中的几

十个收藏家手里。

由于作者的任务是写一本为广大读者所能接受的读物，即包括那些不具备有关计算机设计、程序设计、电子学工艺等专业知识的读者，因此，书中对专业术语和知识作了简短介绍。

2. 分期原则

分期问题，即根据什么来划分发展时期的问题，乃是技术史研究中最复杂的问题之一。这里不去深入探讨技术史研究中的各种分期概念，只想指出，现阶段苏联历史学公认的分期概念是：根据这一技术领域发展所固有的内部逻辑，并能够反映这个领域内技术发展的规律。这个概念被作者充分理解为：作者的任务就是要使数字计算技术发展的分期，能有利于对其发展规律的理解。

在探讨本书所用的分期原则以前，先作若干说明。

可以从不同观点来研究某个具体技术领域的发展。在每种情况下，都可以提出自己的分期，以反映该技术领域发展的内部逻辑。例如，可以从其结构的发展角度来研究通用电子计算机的历史并进行分期，它的基础就是信息并行处理原理的发展。

第一批存储程序电子计算机是串行机，即对机器字的处理是一位一位地进行的。这样组织计算过程，在很大程度上，是与第一批用汞延迟线做主存储器的工作特点有关的。

由于要提高计算机效率而制造的阴极射线管存储器，就导致了制造并行计算机，即对机器字的各个数位同时进行处理的计算机。信息并行处理原理的继续发展，到六十年代在

国外就采用了各种形式的多道程序工作，即机器同时执行几道程序或一道程序的若干部分。多道程序发展的初期出现了输入输出设备和运算器同时工作。由于使用多道程序，使各个部件的负载更加匀称，从而大大提高了计算设备的使用效率。通用计算机结构发展的下一个重要环节是，在六十年代中期出现了用户分时工作的计算机，即从若干用户的控制台向计算机输入信息，而这些控制台是用数据传输线与中央计算机联系的。中央数据处理机的速度很高，能同时为很多用户工作，就是说同时执行若干道程序。为了提高机器的计算能力，往往使用多处理机原理，就是在一个计算机内，有几个数据处理部件(处理机)同时工作。

在信息并行处理原理发展的基础上，对通用电子计算机发展道路的分期，就可能有如下的形式：

1. 串行处理信息的单处理机计算机——四十年代末期。
2. 并行处理信息，没有使用多道程序方法的，单处理机计算机——五十年代。
3. 用多道程序处理信息的单处理机计算机——六十年代早期。
4. 用多道程序处理信息，采用多处理机，以用户间分时方式工作的计算机——六十年代后期。

通用计算机结构的发展，也可以从使用计算技术的领域不断扩大的过程来研究。由此可以进行分期，认为一开始出现了科学计算用的计算机，然后是处理大量信息的通用计算机，最后是功用广泛的控制机。

还可以从数字计算技术的设计方法所遵循的途径看结构的发展。这样就可能提出下列的分期：数字计算机——数字计算系统——多机综合的计算工具。

当然，结构的发展远远没有概括通用电子计算机发展的所有方面。不再去详细讨论各种可能的分期方法，仅指出分期还可以以下列问题为基础进行划分：

1. 程序设计的发展(可能的分期方法有：用计算机语言编程序——用有定义的符号编程序——用通用算法语言编程序)；

2. 小型化的发展(分期方法有：计算机分离元件的小型化——微型组件——混合集成电路——单块集成电路——大规模集成电路)；

3. 人-机相互作用的进展；

4. 系统模拟在制造通用电子计算机中的作用等。

可以提出多种分期方法，反映了电子数字计算技术发展趋势的客观事实。在研究这种或那种趋向时，相应的分期方法，可以作为将资料系统化的手段。从这个观点来看，不论哪种分期方法，只要它客观地反映了某种进步过程，就都是正确的。尽管从其内容来看，即从阐明通用电子计算机发展的基本方向的实质来看，并不都是一样的。因此，就提出了一个任务，为了阐明其最具有实质性的特点，而去研究通用电子计算机的发展，以便将其研究结果，用做一般的(基本的)分期方法的基础。所有其余的分期方法，则用做在研究发展过程的某个方面时的辅助方法。

从而产生了一个问题：如何判定研究过程中基本观点的正确性，相应地如何判定分期的基本方法的正确性。从作者的观点来看，合理的判据要符合于(或适应于)所研究的过程的实质，从包含这一过程的更一般的过程的实质中揭示出来。换句话说，通用电子计算机分期的基本方法，不仅应当反映其本身发展的主要特征，而且应当适应更一般的分期方法。例

如,应当是整个数字计算技术历史的分期方法的合理引伸,或者从另一个角度来看,应当是电子学史分期的合理的引伸。

对数字计算技术历史的研究表明,其发展的最重要的特点是不断地扩大实际解题的范围和类型,或者换句话说,不断地扩大数字计算设备、机器和系统的计算能力。

所谓计算能力,可以理解为计算机做为一种信息转换设备的性能。正确地从数量上估价这一性能是很困难的,甚至是不可克服的。例如,如何对包括通用机和专用机在内的各种类型计算机进行比较评价。当前,评价各种类型和结构的计算机性能的问题,乃是非常迫切的问题。已有两种解决办法:解析法和在模拟基础上的实验法。本书后面引用的对某些计算机的性能比较性的评价,是按柯奈特标准提供的。他提出了一种计算通用计算机性能的算法,并具体地计算了从1944到1967年间美国制成的计算机的性能。本书表2中列举出柯奈特所得到的某些数据。它反映了从四十年代到六十年代这一期间在通用计算机的性能和计算工作的成本方面,所发生的重大变化。

若是从计算能力变化的角度,来看数字计算设备的历史时,首先就注意到,由于制成电子计算机而发生的急剧的(质变的,革命的)飞跃。五十年代国外出现的这个飞跃,是在下列情况下发生的。

直到二十世纪三十年代中期以前,数字计算技术还是以两类并行发展的设备为代表的:台式计算机和穿孔式计算设备。台式机用作简单算术操作的机械化,而穿孔式计算设备主要用在解决统计核算问题。在三十年代后期到四十年代,美国和其他国家就试图在穿孔式计算设备的基础上,制造新型数字计算设备——程序控制自动计算机。这些方案的目的

是制造用于完成科学计算的计算机。在这方面首先制成了机电继电器式的机器，它按照记录在卡片和纸带上的程序顺利地工作。

在第一批机电继电器式、程序控制自动计算机开始运行不久，就着手设计类似的电子管计算机。由此导致计算技术的革命。

使用电子线路，不仅使计算机工作速度提高了几个数量级，而且造成了一种潜在的可能性，迅速地进一步提高机器的计算能力。因此，计算机计算能力发生质变的主要原因是采用了电子线路，它有很高的速度和无触点元件所特有的工作可靠性。如果没有高速线路，那么结构方法、程序设计方法，以及任何提高计算机效率的方法都不可能使计算技术实现这一转变。当时，与电子线路相配合，程序结构的方法也对继续提高计算机性能给予极为重要的影响。在这方面首先必须指出，制成第一台电子计算机（美国的 ENIAC）以后不久，就确定了最适合于电子元件特点的程序设计与计算机组成的方法。从此制成了新型计算机，即存储程序计算机，它最适于解决复杂的科学技术问题。

从对二十世纪五十年代中期计算机发展中质的飞跃的研究，可以得出结论：元件的特性在此起了决定性的作用，它主要地提高了机器的计算能力。任何元件的特性，都不仅依赖对元件参数起决定作用的物理现象的本质，而且与设计水平和工程技术水平有关。设计和工程技术决定了在使用这种物理现象时，实现其潜在能力的程度，以及在批量生产时参数的稳定性和元件的成本，从而极大地影响了它的技术特性。因此物理和工程之间有着紧密的联系。一方面，工程技术决定了对新的物理现象和规律实际利用的程度；而另一方面，在工

程技术中使用新的物理现象又会从本质上提高工程技术的水平。所以,可以把元件的特性,看作是物理和工程因素的综合函数。

在搞清楚二十世纪五十年代中期的计算能力剧变中,物理工程因素所起的决定性作用以后,自然应当继续探讨这个因素对数字计算设备的整个发展历史中的意义。从研究数字计算技术电子化以前的发展史中看到,当制成机械设备,以及采用机电(电动)式的设备和机器时,数字计算设备的计算能力也都发生了重大变化。因此,将计算设备电子化以前的发展过程,分为下列三个主要阶段是合理的。

1. 机械化以前的阶段(算盘阶段)。计算装置的特点是沒有用机械进行从低位到高位数字传送(十进位传送)。数字用各种物体的数量来表示,而数位由物体摆放的位置来确定。执行运算就是按一定规则移动物体的位置。这一时期的设备有各种计算板和算盘,统一都称为“算盘”。当时算盘成了主要的,甚至是唯一的进行数学运算的工具。算盘的计算能力,在很大程度上决定了数学知识,首先是算术和代数知识的水平。当用算盘进行运算时,以及把已定的运算规则推广到更一般的情况时,引起了一些问题,这些问题的解决导致了数学上的重大发现。算盘成为数学知识的体现。如果一个数学问题能用算盘算出来,它就认为是可解的。以后随着十进制笔算的推广,算盘才逐渐转为辅助的计算工具。

2. 机械阶段。最典型的机器是各种形式的计算器。计算器是随着计算实践提出的要求而不断完善的。它们只是计算人员的辅助工具,并不能决定数学知识的水平,它们的作用已经很微薄了。在此期间,并没有由于用计算器计算,而对数学发展提出新课题。计算机(即计算器)在计算质量上也没有

满足数学的要求。计算机在数学中的作用只是计算人员在进行相当初级的运算时的辅助工具。计算器主要用于处理统计数据,会计核算,财政计算等。

计算器的主要特点是,借助于各种机械装置,自动传送十进位。而做为这种机械运动的动力,就是计算员的手。当时制成的各种计算器,现在还在使用。象莱布尼茨轴、奥涅尔齿轮、连续进位传动装置、比例杠杆等。

3. 机电(电动)阶段的标志是制成统计分析机(造表机)和所谓电传台式计算机。所有这些机器的主要特点是开始使用电力做动力,而计算机构本身还停留在机械式的,从而大大限制了电动计算机的能力。

统计分析机首先用于处理人口登记。当时也试图利用统计机来解决复杂的科学问题。

至于电子计算机阶段,则从物理工程因素对机器计算能力增长的影响来看,得出下列结论:

1. 电子计算机性能的提高,主要由于四个因素:物理工程因素——制成更完善的元件;线路因素——由这些元件有效地组成线路、设备和部件;结构因素——将组成计算机的线路、部件和设备完美地组织在一起;程序因素——拟定更有效的程序设计方法。

所有这些因素是互相联系的,而且在很多情况下,不可能分出工程因素还是线路因素,结构因素还是程序因素,等等。所以,电子计算机性能的提高,应当说是受了某种综合因素的影响(线路-工程,线路-程序,结构-程序等)。

2. 这四个因素中最重要的是物理工程因素。其他的因素作用也很大,但比不上物理工程因素。物理工程因素与其他因素的相互关系大体上应当是:许多从线路-结构方面提出

的新的解决办法,只能在一定的元件特性的基础上实现。

搞清楚物理工程因素的特别重要作用,也就确定了电子计算机发展的分期原则。这个原则就是:对元件特性引起计算机计算能力的变化进行分析,并按照它划分电子数字计算技术发展的各个阶段。此处所谓“元件”乃是指不可分的(单个生产的,损坏时要更换的,等等)执行一定功能的线路、器件或设备。

由于电子计算机通常是电子设备和非电子设备复杂的综合,作为它的元件(不可分的器件)可以有分离的无源和有源的电子电路元件(电阻、电容、磁心、电子管、晶体管),外存储元件(磁带、磁鼓和磁盘、读出磁头),机械的,机电的,电子的,光学的和其他的输入输出设备的元件等等。

理应指出:上述关于元件的定义并没有反映电子计算机的特点。“元件”这个词从工程角度看通常被解释为:组成部分。本书提出这个定义,仅仅是由于没有一个术语可以用来概括其功能不同,但是在工程方面却是不可分的所有器件。请注意,在电子数字计算技术方面广泛使用这样一个概念,即“计算机元件系统”,它包括了“两类元件:用以实现所有逻辑和运算功能的逻辑元件和用以将信号放大、产生、整形和反相,即为了保证逻辑元件所需条件的辅助元件”。为避免术语混乱,以后都用“逻辑线路”这个术语代替“逻辑元件”。

每种元件的特性,都对机器的计算能力有影响。但影响程度各不相同。在整个电子计算机发展时期使用的大量元件之中,逻辑线路的有源元件和内存储器元件被认为是主要的(即对机器参数影响最大的)。为了证明这点,应当指出:从组成进行逻辑运算和算术运算的线路及设备的观点来看,电路中有源元件(即完成的功能需要能源的元件,如功率放大,

信号的整形和产生)乃是最重要的。有源元件(真空三极管和五极管, 晶体管)用于电子计算机的所有内部设备, 而且在很大程度上决定了全部内部设备的特性, 其中也包括存储设备。

在存储器中有源元件多半用于存储器的控制线路, 因此对它的特性也有重大的影响。然而起主要作用的还是存储信息的元件, 即存储元件的特性。在通用电子计算机的整个发展时期, 内存储器广泛使用汞延迟线、阴极射线管、磁心、磁膜元件, 在快速存储器中还使用某些线路元件, 如真空三极管、晶体管和隧道二极管。

讨论了计算机计算能力的变化与元件特性改进之间的关系以后, 看到电子计算机性能的两次重大变化分别起因于: 第一、由真空器件(真空管、阴极射线管)转变到固体元件(半导体、磁心); 第二、由分离式半导体和磁元件(晶体管、磁心)转变到集成电路, 即利用集成工艺制成的固体器件。

所谓集成工艺是指, 把制造单个元件和线路时所经过的工艺阶段混合(集成)在一起的各种方法。与那些由分离的有源和无源元件组成, 并在元件间进行相应连接的普通电子线路不同, 集成电路是按统一的工艺过程生产的(真空蒸发, 半导体晶体的外延生长, 扩散等)。使用集成工艺做成的计算机元件, 已经不是单个的晶体管或电阻, 而是将电路集成为一个整体。例如, 在一个单块固体线路中, 电阻和晶体管的功能分别由硅片的某些部分来完成。

集成电路工艺的发展导致建立电子学的新部门——集成电子学, 从线路设计方法及其工作特点来看, 它与使用分离元件的经典电子学有很大的不同。

用集成电路代替分离元件, 和用晶体管线路代替电子管线路一样, 都导致计算机参数的明显改变: 提高速度, 降低功

耗、重量和体积，提高可靠性和工艺性。

集成工艺发展的主要方向之一是逐步提高线路集成化程度。集成化程度可以近似地用如果以分离元件做成同样功能的线路时所需的元件数量来估计。集成电路复杂到一定程度，使计算机参数发生了新的飞跃，同时也改变了它们的设计方法和程序设计方法。在制成大规模集成电路后，计算机性能再次发生了重大变化。就是说，集成工艺发展到一定阶段，计算机的个别部件(例如整个运算器)将做在一块微型半导体薄片上。这时，作为计算机元件，即不可分的器件，已经是单个部件，从工艺角度可看做是多成分的集成电路。

从本书表 2 所引用的数据可以看到：通用电子计算机的特性是怎样随着所用元件的不同而发生了显著变化。

第一台电子计算机 ENIAC (1945 年)的性能大约比同时制成的继电器式计算机，如 MARK-I (1944 年) 和 Bell-V (1947 年)的性能提高两个数量级。然而，电子元件的能力在 ENIAC 中远远没有被充分利用。它的结构和采用的程序设计方法(用插头连线的办法进行程序设计，以后简称为插线式程序设计)在很大程度上还是照抄机电式计算机的。第一批存储程序通用电子计算机，如 EDVAC、SEAC、UNIVAC、IAS(1950~1952 年)的性能，比 ENIAC 和 IBM-604(1948 年)这样一类插线式程序设计电子计算机的性能，又超过了一、二个数量级。而与 MARK-I(1944 年)和 MARK-II(1947 年)这样的机电式计算机比较，第一批存储程序电子计算机的性能提高了三、四个数量级。

电子计算机发展的另一个重要关键，是逐步用固体元件(磁心、半导体二极管、晶体管)代替真空器件(电子管、阴极射线管)。结果是，象 Philco-2000-210(1958 年)和 IBM 7090

(1959年)这样的第一批全晶体管通用计算机,比第一批存储程序电子管计算机(EDVAC、SEAC等)的性能,差不多又提高了两个数量级。

再一个重大技术进展是用集成电路代替分离元件。它的效果现在还难以全面估计。但是,从本书表2中仍然可以看到,第一批集成电路大型通用计算机,如Burroughs 5500(1964年)和IBM 360/75(1965年)的性能,比同类型的第一批晶体管计算机(Philco-2000-210, IBM-7090等)的性能,也提高了一、二个数量级。

综上所述,把电子计算机的发展分为下列四个时期比较合理:

1. 真空管计算机。这一时期的典型代表乃是B9CM^①计算机,它用电子管线路来执行信息的传送和转换,而主存储器用阴极射线管。

2. 分离半导体和磁元件计算机,这一时期的主要机种是用半导体元件做的,而主存储器用磁心(例如B9CM-6)。

3. 集成电路(混合的、薄膜的、半导体的和磁性的)计算机。这个时期持续到现在。因此找出主要机种是相当困难的。最合理的一种趋向性看法是,单块半导体线路(也包括存储器)比其他集成电路,取得了更为广泛的应用。也就是说,以整个主机用半导体集成电路来做的计算机作为这一时期的主要机种是恰当的。

4. 第四(远景)阶段与大规模集成电路计算机的制造有关。

从优先采用一种元件变成优先采用另一种元件,极大地

^① 此处及以后都引用机器的最初名称,即B9CM而非B9CM-1, UNIVAC而非UNIVAC-1等等。

改变了计算机的所有主要参数,例如工作速度和存储容量、可靠性和工艺性、重量和体积、设备价值和使用价值。当然,所有这些变化不仅受物理工程因素影响,而且还受线路、结构和程序设计等因素的影响。在每个发展时期,所以能够使用新的线路并使计算机结构日趋复杂,在很大程度上也是由于元件的物理工程特性有所改变,从而提高了元件的可靠性。因为可靠性水平在很大程度上决定了计算机及其各个设备所使用的元件数量。而元件数量在很大程度上又是实现新线路和新结构的基础。例如,所以能够用分离式半导体和磁心线路元件制成大型机 Stretch(美国)、Atlas(英国)和 BESM-6(苏联)等比真空管计算机复杂得多的结构,主要是由于半导体和磁心比真空管具有更高的可靠性。因而,有可能在一台机器中使用十万个有源电路元件,即大约比电子管计算机高一个数量级。由于采用集成电路,在这方面的可能性就更大了。

1972年制成的 ILLIAC-4(美国),使用的半导体集成电路的数量,相当于一千万个分离晶体管。它主要是从体系结构方面提高了性能,特别是因为64个数据处理设备可以同时工作。实现如此复杂的多处理机结构的基础,是集成电路比分离元件的可靠性从原理上要高得多。在早先的工艺水平上,例如用真空管制造这样的机器,简直是不可想象的,因为电子管线路的可靠性指标、功耗、体积和其他参数都不适应。所以,物理工程因素在电子计算机历史中是作为制造新的线路和结构的基础,而新的线路和结构又对提高计算机性能作出更大的贡献。

相对独立的是程序设计的发展,它对提高计算机性能也作出了相当巨大的贡献。新的程序设计手段和软件的提出,在一定程度上与电子计算机结构的发展有关。在电子数字计