

## 计算机系统概述

计算机系统是能按照人的要求接受和存储信息，自动进行数据处理和计算，并输出结果信息的机器系统。本章首先说明计算机的发展历程，然后理解计算机硬件的基本组成，接着分析程序设计语言和计算机的层次结构，最后介绍计算机的主要性能指标。

### 1.1 计算机的发展历程

#### 1.1.1 计算机的早期发展

计算机产生的动力是人们想发明一种能进行科学计算的机器，后来称这种机器为计算机。计算机的诞生，代表了先进生产力的发展，掀开自工业革命后的又一场新的科学技术革命。人类所使用的计算工具随着社会的进步，逐渐经历了从简单到复杂、从低级到高级的发展过程，计算工具相继出现了，如算盘、计算尺、手摇机械计算机、电动机械计算机等。

据史书记载，我国出现最早的计算工具是“算筹”。算筹产生于春秋战国之前，使用了 2000 多年，南北朝时期数学家祖冲之就是用它计算出 7 位有效数字的圆周率，比欧洲数学家早了 1000 多年，在我国东汉时期的典籍中出现了新的计算工具——“算盘”。从 17 世纪开始，欧洲数学家制造出机械式或机电式的数字运算机器，十进制加法器和计算器相继被发明出来。

现代电子计算机发展的技术基础是从基本电子元件的发明和应用开始的。1883 年美国科学家爱迪生(T. A. Edison)在白炽灯泡中加入第二个电极，发现电极与灯丝之间电流飞渡。1897 年物理学家汤姆逊(J. J. Thomson)用实验证实了真空管(电子管)中导电的粒子是从阴极逸出的，因发现电子而获得了诺贝尔(Nobel)物理学奖。后来，实验所用的仪器发展为阴极射线管，产生了显像管和示波管。1904 年英国科学家弗莱明(Fleming)发明了真空二极管。1906 年福莱斯特(Forrester)发明了具有信号放大作用的真空三极管。

电子计算机发展的理论基础是二进制计数制和布尔代数。1847 年英国数学家乔治·布尔(G. Boole)发表了论文《思维规律研究》，进而建立了逻辑代数(布尔代数)，为计算机的二进制计算提供了数学基础。1938 年美国数学家香农(C. Shannon)在其硕士论文中提出可以用二进制系统来表示布尔代数中的逻辑关系，这样任何一个机械性的推理都能当作普通计算一样处理，他的三大定理是信息论的基础理论。同一时期，英国 24 岁的青年数学家



阿兰·图灵(A. Turing)在其题为《论可计算数及在密码中的应用》的论文中,严格地描述了计算机的逻辑结构,首次提出了计算机的通用模型——图灵机。1945年,图灵在关于自动计算机器的报告中描述了有关计算机存储程序、微程序控制的设计概念以及计算机出错自检系统的设想,并提出高级语言的预言及机器自动编译的可能性,1950年发表论文《计算机器与智能》,奠定了人工智能理论基础。为纪念他对计算机发展所做的贡献,设立了有“计算机界的诺贝尔奖”之称的——图灵奖。

### 1.1.2 计算机的五代变化

计算机从使用器件的角度来划分,可以认为经过了电子管、晶体管、集成电路、超大规模集成电路和巨大规模集成电路五个阶段。随着电子元件的发展,计算机的体积变得越来越小,功能越来越强,价格越来越低,应用越来越广,智能化越来越强。

第一代电子管计算机(1946—1957)。在第二次世界大战中,美国政府努力挖掘计算机潜在的战略价值,促进了计算机的研究与发展。早期研制的全电子计算机曾经为美国海军绘制弹道图。1946年2月14日,由美国政府和宾夕法尼亚大学合作研发的电子数字积分计算机(Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC)在费城公之于世,标志着现代计算机的诞生。如图1-1所示。

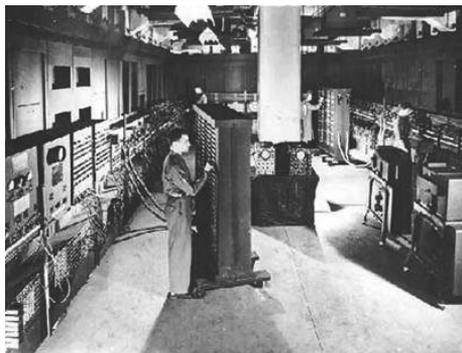


图1-1 ENIAC

ENIAC是计算机发展史上的里程碑,它共用18800个电子管,1500个继电器,70000个电阻,10000个电容,重达30吨,占地面积约170平方米,功率150千瓦,计算速度为每秒5000次加法(相当于330次乘法或100次除法运算)。当时主要用来进行弹道计算,用它计算炮弹弹道只需要3秒钟,而在此之前,则需要200人手工计算两个月,它的计算速度是手工的20万倍。此时期的计算机处理速度为每秒几千次至几万次,简单计算的数据处理机开始得到应用。

第二代晶体管计算机(1958—1964)。此时期晶体管的发明大大促进了计算机的发展,因为晶体管代替了体积庞大的电子管,所以电子设备的体积减小。晶体管和磁芯存储器在计算机中的使用导致了第二代计算机的产生。与第一代计算机相比,第二代计算机拥有体积更小、速度更快、功耗更低、性能更稳定的优点。首先使用晶体管技术的是早期的超级计算机,主要用于原子科学的大量数据处理,这些机器价格昂贵,生产的数量极少。接着



出现了一些成功地应用商业领域、大学和政府部门的第二代计算机。由于计算机中存储的程序使得计算机有很好的适应性，所以此时期编程语言也有了一定的发展，使计算机编程变得更容易，应用更加广泛。此时期的计算机处理速度为每秒几万次至几十万次，工业控制机开始得到应用。

第三代集成电路计算机(1965—1971)。虽然晶体管替代电子管是一个明显的进步，但晶体管还是存在产热量大的缺点，这会损害计算机内部的敏感部件。随着集成电路技术的发展，科学家们将三种电子元件结合到一片小小的硅片上。将更多的元件集成到单一的半导体芯片上形成小、中规模集成电路电子器件。于是，计算机变得更小，功耗更低，速度更快。这一时期计算机的发展还包括使用了操作系统，使得计算机在中心程序的控制协调下可以同时运行许多不同的程序，此阶段计算机的功能越来越强，应用范围越来越广，它们不仅用于科学计算，还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域。出现了计算机技术与通信技术相结合的信息管理系统，可用于生产管理、交通管理、情报检索等领域。此时期的计算机处理速度为每秒几十万次至几百万次，小型计算机开始出现。

第四代大规模集成电路计算机(1972—1990)。出现集成电路后，唯一的发展方向是扩大规模。大规模集成电路可以在一个芯片上容纳几百个元件，到了20世纪80年代，超大规模集成电路在芯片上可以容纳几十万个元件。1972年，第一部真正的个人计算机诞生了。所使用的微处理器内集成包含了2300多个晶体管，可以每秒内执行60000条指令，体积也缩小很多。70年代中期，计算机制造商开始将计算机带给普通消费者，这时的小型机带有软件包，供非专业人员使用的程序和最受欢迎的字处理和电子表格程序。1981年，IBM推出个人计算机(Personal Computer, PC)用于家庭、办公室和学校。20世纪80年代个人计算机的竞争使得价格不断下跌，微机的拥有量不断增加，计算机继续缩小体积，从桌上到膝上到掌上。出现了友好的图形界面，用户可以用鼠标方便地操作。此时期的计算机处理速度为每秒一百万次至1亿次，微型计算机开始出现。

第五代巨大规模集成电路计算机(1991至今)。随着大规模、超大规模集成电路的发展，巨大规模集成电路随之产生，巨大规模集成电路可以在硬币大小的芯片上容纳百万数量级的电子元件，使得计算机的体积和价格不断下降，而功能和可靠性不断增强。计算机的应用领域越来越广泛，从数值计算到信息管理，从可用于计算机辅助工程、计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助测试到生产自动化，无时无刻不贴近我们的生活。现阶段随着人工智能技术的不断发展，正在提高计算机为人类服务的本领，如计算机推理、智能学习系统、专家系统、自动驾驶系统、机器人等正在走进人们的生活。此时期的计算机处理速度可以达到为每秒10亿次或更高，单片计算机开始出现。

总之，计算机的发展与计算机硬件的发展息息相关，1965年摩尔观察到芯片上的晶体管数量每年翻一番，1970减慢为每18个月翻一番，这就是人们所说的摩尔定律。由于硬件发展速度日新月异，为手机等电子产品的更新换代提供了硬件支持，这类电子产品也随之发展迅速。我国2016年由工程技术研究中心研制的“神威·太湖之光”峰值运算速度为12.5亿亿次每秒，持续性能为9.3亿亿次每秒，速度非常快。



### 1.1.3 半导体存储器的发展

半导体(Semiconductor)是指常温下导电性能介于导体(Conductor)与绝缘体(Insulator)之间的材料。无论从科技或是经济发展的角度来看,半导体的重要性都是非常巨大的。今天大部分的电子产品,如计算机、移动电话的核心单元都和半导体有着极为密切的关联。常见的半导体材料有硅、锗、砷化镓等,硅是在商业应用上最具有影响力的一种。

20世纪50—60年代,所有计算机存储器都是磁芯(微小的铁磁体环)做成,每个磁芯直径约1mm,磁芯存储器是随机存取计算机存储器的主要形式。这种存储器通常被称为核心存储器。核心通过线程来写入和读取信息。每个核心代表一个信息。磁芯用两种不同的方式(顺时针或逆时针)磁化,不同的磁化方向表示存储在磁芯中的信息为“0”或“1”,通过向所选择的导线发送适当的电流脉冲来改变其磁化方向来改变磁芯中的“0”或“1”。读取信息的过程会导致内核中原来的信息丢失,这种读取数据的方式是破坏性的,读出后需要及时将读出的数据回写。在不进行读写操作时,即使关闭电源,内核也会保持最后的值,这使它们成为非易失性的。

1970年,仙童半导体公司生产出了第一个较大容量的半导体存储器,它是一种以半导体电路作为存储媒体的存储器。按其制造工艺可分为双极晶体管存储器和MOS晶体管存储器。双极型存储器的特点是存取速度比磁芯存储器快3个数量级左右,由于与双极型逻辑电路形式相同,使其接口大为简化。MOS晶体管存储器的特点是集成度高、容量大、体积小、存取速度快、功耗低、价格便宜、维护简单。按其存储原理可分为静态和动态两种。静态存储器特点是需要电源才能工作,只要电源正常,就能稳定的保存信息。一般用它来制作寄存器、缓冲存储器等器件。动态存储器的特点是采用超大容量的存储技术,跟其他类型的存储器相比,每兆比特的价格低,一般用它来制作主存储器。

由于存储器的存取速度和容量直接影响计算机的性能指标,所以它的发展迅速。集成度的不断提高使得存储器的容量越来越大而体积越来越小,价格也不断下降。从1970年起,半导体存储器单个芯片容量为1KB、4KB、16KB、64KB、256KB、1MB、4MB、16MB、64MB、256MB、1GB、2GB和4GB。

### 1.1.4 微处理器的发展

微处理器的发展历史可追溯到1971年,当时Intel推出了世界上第一台微处理器4004。它集成了2300个晶体管,运行最高频率108KHz,用于计算器的4位微处理器,从此以后它便与微处理器结下了不解之缘。一年后,Intel推出8008,它集成了3500个晶体管,运行最高频率为500~800KHz,用于计算器的8位微处理器。

1978和1979年,Intel公司先后推出了8086和8088芯片,它们都是16位微处理器,内含29000个晶体管,时钟频率为4.77MHz,地址总线为20位,可使用1MB内存。它们的内部数据总线都是16位,外部数据总线8088是8位,8086是16位。1981年8088芯片首次用于IBMPC机中,开创了全新的微机时代。

1982年,Intel推出了80286芯片,该芯片含有13.4万个晶体管,时钟频率提高到



6MHz。其内部和外部数据总线皆为16位，地址总线24位，可寻址16MB内存。80286有实模式和保护模式两种不同的工作方式。

1985年Intel推出了80386芯片，它是80x86系列中的第一种32位微处理器，内含27.5万个晶体管，时钟频率为12.5MHz，后提高到20MHz、25MHz和33MHz，为了增强浮点运算能力配合使用80387数字协处理器。其内部和外部数据总线都为32位，地址总线也为32位，可寻址4GB的内存空间。这类处理器除具有实模式和保护模式外，还可以同时模拟多个8086处理器来提供多任务处理能力。

1989年Intel推出了80486芯片，这种芯片突破了100万个晶体管的界限，集成了120万个晶体管。其时钟频率从25MHz逐步提高到33MHz、33MHz和50MHz。80486是将80386和数字协处理器80387以及一个8KB的高速缓存集成在一个芯片内，并且在80x86系列中首次采用了精简指令集计算机(Reduced Instruction Set Computer, RISC)技术，可以在一个时钟周期内执行一条指令。总线上的数据采用了猝发式传递方式，提高了与内存的数据交换速度。由于这些改进，80486的性能比带有80387数字协处理器的80386DX提高了4倍。

1993年Intel推出了80586，其正式名称为Pentium(奔腾)。它是x86系列的一大革新。其中晶体管数大幅增加，增强了浮点运算功能，并把十年未变的工作电压降至3.3V。随着第一代的推出，技术的革新使得Pentium的处理频率逐次提高，到2000年止，相继推出图Pentium II、Pentium III和Pentium IV，晶体管数量已经集成到4200万，速度以GHz为单位，接着推出多核处理器。2003年推出Pentium M，2005年推出Pentium D等新版本。

2006年7月，Intel公司正式面向家用和商用的个人电脑与笔记本电脑发布了全新的，英特尔酷睿2双核处理器和英特尔酷睿至尊处理器。该双核处理器包含2.91亿个晶体管。2010年1月英特尔正式面向全球发布最新的革命性产品，基于全新32纳米制程的i3、i5、i7处理器产品，发布4核处理器。2014年9月上市的i7-5960X处理器是第一款基于22nm工艺的8核处理器，拥有20MB的三级缓存，主频达到3.5GHz，热功耗140W。

纵观Intel公司的处理器发展历程，我们可以发现以下特点：晶体管数量不断增多，由最初的4004芯片的两千多个到如今的上亿个；高集成度使得体积越来越小，由最初的10微米发展到现在的14纳米，功耗低至15W；数据总线由最初4位增加到现在的是32或64位，缓存、显存容量不断增加，运算速度不断加快，由最初的只能处理算术运算任务，发展到现在能处理多媒体、网络、多线程等任务。

## 1.2 计算机硬件的基本组成

### 1.2.1 计算机的基本组成结构

计算机硬件(Computer Hardware)是指计算机系统中由电子、机械和光电元件等组成的各种物理装置的总称。这些物理装置按系统结构的要求构成一个有机整体，为计算机软件运行提供物质基础。从外观上来看，微机由主机箱和外部设备组成，主机箱内主要包括



CPU、内存、主板、硬盘驱动器、光盘驱动器、各种扩展卡、连接线、电源等，外部设备包括鼠标、键盘、显示器等。通常将计算机的硬件划分为主机和外部设备两部分，主机包括 CPU 和内存，外部设备包括输入、输出设备和外存储器。

现代计算机是一个自动化的信息处理装置，它之所以能实现自动化信息处理，是由于采用了“存储程序”工作原理。这一原理是 1946 年由冯·诺依曼和他的同事们在一篇题为《关于电子计算机逻辑设计的初步讨论》的论文中提出并论证的。这一原理确立了现代计算机的基本组成和工作方式。

冯·诺依曼类型计算机的特点：计算机硬件由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备五个基本部分组成；计算机内部采用二进制来表示程序和数据；采用“存储程序”的方式，将程序和数据放入同一个存储器中(内存储器)，计算机能够自动高速地从存储器中取出指令加以执行。

可以认为计算机硬件的五大部件中每一个部件都有相对独立的功能，分别完成各自不同的功能。如图 1-2 所示，五大部件实际上是在控制器的控制下协调统一地工作。例如进行运算的过程可以描述为以下步骤：

- (1) 在控制器输入命令的控制下，把要执行的程序和计算中需要的数据通过输入设备送入到计算机的存储器存储；
- (2) 接下来当程序开始执行时，在取指令作用下通过内存地址将程序指令从存储器中逐条取出并送入控制器；
- (3) 控制器对依次取出的指令进行译码并根据指令的操作要求依次发出控制信号；
- (4) 本例中，控制器首先向存储器和运算器发出操作命令，完成取数任务，接着控制器向运算器发出操作命令让运算器运算，最后控制器向存储器和运算器发出操作命令，将运算器运算结果存放到存储器内，完成存数任务；
- (5) 在控制器输出命令的控制下，把存储器中存放的运算结果输出到输出设备。

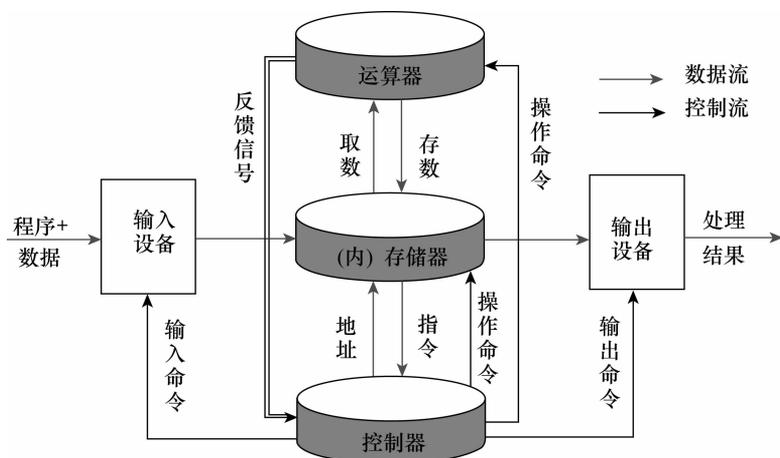


图 1-2 冯·诺依曼结构框图

通过图 1-2 可以看出，计算机五大部分是通过计算机总线连接的，总线是计算机两个或两个以上的部件之间相互连接与通信的公共通路。一般根据总线传递信号的不同将总



线分为数据总线、地址总线和控制总线，下面较详细地介绍上图中各部件及其功能。

## 1.2.2 存储器

存储器是计算机的记忆装置，它的主要功能是存放程序和数据。程序是计算机操作的依据，数据是计算机操作的对象。计算机中全部信息，包括输入的原始数据、计算机程序、中间运行结果和最终运行结果都保存在存储器中。它根据控制器指定的位置存入或取出信息。有了存储器，计算机才有记忆功能，才能保证计算机正常工作。下面说明存储器的单位、分类和工作原理。

### 1. 信息存储单位

程序和数据在计算机中以二进制的形式存放于存储器中。位(bit，简称 b)是计算机存储数据的最小单位，也是信息量的最小单位，计算机中一个二进制位可存放一位二进制数“0”或“1”。字节(Byte，简称 B)是计算机存储容量的度量单位，也是数据处理的基本单位，8个二进制位构成一个字节。一个字节的存储空间称为一个存储单元。计算机处理数据时，一次存取、加工和传递的数据长度称为字(Word)。一个字通常由若干字节组成。

存储容量的大小以字节为单位来度量。经常使用 KB(千字节)、MB(兆字节)、GB(吉字节)和 TB(太字节)来表示。它们之间的关系是： $1\text{K} = 2^{10}$ ， $1\text{M} = 2^{20}$ ， $1\text{G} = 2^{30}$ ， $1\text{T} = 2^{40}$ ，在某些计算中为了计算简便经常把  $2^{10}$ (1024)按 1000 来计算。

### 2. 存储器的分类

根据存储器与 CPU 联系的密切程度可分为内存储器(主存储器)和外存储器(辅助存储器)两大类。内存储器简称为内存，在计算机主机内部，它直接与运算器、控制器交换信息，容量虽小，但存取速度快，一般只存放那些正在运行的程序和待处理的数据。内存储器按其工作方式的不同，可以分为随机存取存储器(RAM)和只读存储器(ROM)。计算机工作时使用的程序和数据等都存储在 RAM 中，断电后信息将丢失。通常所说的内存大小就是指内存中 RAM 的大小。当计算机断电后，ROM 中的信息不会丢失。ROM 中宜存放计算机启动的引导程序，启动后的检测程序等数据。

为了弥补计算机内存容量小且断电内容丢失的缺点引入了外存储器，外存作为内存存储器的延伸和后援，间接和 CPU 联系，用来存放一些系统必须使用，但又不急于使用的程序和数据，程序必须调入内存方可被 CPU 执行。外存存取速度慢，但存储容量大，断电后信息不丢失，可以长时间地保存大量信息。

### 3. 内存储器工作原理

为了更好地存放程序和数据，内存储器通常被分为许多等长的存储单元，每个单元可以存放一个适当单位的信息。全部存储单元按一定顺序编号，这个编号被称为内存存储单元的地址，简称地址。存储单元与地址的关系是一一对应的，地址可以认为是某存储单元的标识，存储单元则是存储信息的空间。访问内存储器的方法有两种，一种是选定地址后向存储单元存入数据，被称为“写”；另一种是从选定的存储单元中取出数据，被称为“读”。可见，不论是读还是写，都必须先给出存储单元的地址。来自地址总线的存储器地址信息由地址译码器译码(转换)后，找到相应的存储单元，由读/写控制电路根据相应的



读、写命令来确定对存储器的访问方式，完成读或写操作。数据总线则用于传送写入内存或从内存取出的数据。

### 1.2.3 运算器

运算器由算术逻辑单元(Arithmetic Logic Unit, ALU)、通用寄存器组、状态寄存器等组成。计算机的计算任务主要是由它来完成的。ALU是运算器的核心部件，计算机的基本加、减、乘、除四则运算，与、或、非、异或等逻辑操作都由它来完成。在计算机中，任何复杂的运算都转化为基本的算术与逻辑运算，然后在运算器中完成。通用寄存器组主要为运算器提供运算数据或临时存放运算结果数据，状态寄存器记录运算器运算结果状态。计算机运行时，运算器的操作和操作种类由控制器对指令的译码情况决定。从整体上考虑，运算器处理的数据来自存储器，处理后的结果数据通常送回存储器，或暂时寄存在运算器的通用寄存器中。

### 1.2.4 控制器

控制器(Control Unit, CU)是计算机的指挥系统，控制器一般由指令寄存器、指令译码器、时序电路和控制电路组成，它是整个计算机系统的控制中心，它指挥计算机各部件协调地工作，保证计算机按照预先规定的目标和步骤有条不紊地进行工作。控制器从存储器中逐条取出指令，分析每条指令规定的是什么操作以及所需数据的存放位置等，然后根据分析的结果向计算机其他部件发出控制信号，统一指挥整个计算机完成指令所规定的操作。计算机自动工作的过程，实际上是自动执行程序的过程，而程序中的每条指令都是由控制器来分析执行的，它是计算机实现“程序控制”的主要设备。

通常把控制器与运算器合称为中央处理器(Central Processing Unit, CPU)。CPU是整个计算机的核心部件，是计算机的“大脑”。它控制了计算机的运算、处理、输入和输出等工作。工业生产中总是采用最先进的巨大规模集成电路技术来制造中央处理器，又称微处理器芯片。微处理器的性能主要体现为计算机工作速度和计算精度，对机器的整体性能有全面的影响。CPU品质的高低，直接决定了一个计算机系统的档次。

### 1.2.5 输入输出设备

#### 1. 输入设备

输入设备是将信息从计算机外部向计算机内部传送的装置，其功能是将数据、程序及其他信息，从人们熟悉的形式转换为计算机能够识别和处理的形式输入到计算机内部。计算机能够接收各种各样的数据，既可以是数值型的数据，也可以是各种非数值型的数据，如图形、图像、视频、音频等信息都可以通过不同类型的输入设备输入到计算机以二进制的形式存储和处理。常用的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪、数字化仪、条形码阅读器等。

#### 2. 输出设备

输出设备是将计算机的处理结果传送到计算机外部供计算机用户使用的装置。输出设



备是计算机的终端设备,用于接收计算机数据的输出显示、打印、声音、控制外围设备操作等。其功能是将计算机内部二进制形式的数据信息转换成人们所需要的能接受和识别的,以数字、字符、图形、图像、动画、音频和视频等形式表示输出。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、影像输出系统、语音输出系统、磁记录设备等。

通常我们将输入设备和输出设备统称为 I/O(Input/Output)设备。它们都属于计算机的外部设备。

## 1.3 程序设计语言和计算机的层次结构

### 1.3.1 程序设计语言的发展历程

语言的基础是一组记号和规则,根据规则由记号构成的记号串的总体就是语言。程序是计算机处理的对象和计算规则的描述,计算机程序语言是用来书写计算机程序的语言。任何程序设计语言都有自己的词汇,一般说来词汇集是由标识符、保留字、特殊符号、指令字、数、字符串及标号等组成。程序语言就是人们向计算机传达工作内容和工作步骤的工具,通过它可以实现人与计算机的交流,进而实现人与人的交流。伴随着计算机硬件的不断更新换代,计算机程序设计语言也有了很大的发展,下面介绍它的发展历程。

#### 1. 机器语言

机器语言就是计算机可以直接识别和执行的语言。机器语言以“0”和“1”组成特定的序列二进制串为指令,由多个有序的二进制串组成指令序列。这种语言虽然效率高但缺点也很明显,可读性差和不易记忆、编写程序既难又繁,且容易出错、程序调试和修改难度大都是它的缺点,因此机器语言不容易掌握和使用。机器语言直接依赖于中央处理器,所以用某种机器语言编写的程序只能在相应类型的计算机上执行,无法在其他型号的计算机上执行,可移植性差。

#### 2. 汇编语言

为了减轻使用机器语言编程带来的痛苦,20世纪50年代初,出现了汇编语言。汇编语言用比较容易识别、记忆的助记符替代特定的二进制串。通过助记符,人们就能较容易地读懂程序,调试和维护也更方便了。但这些助记符号计算机无法识别,需要一个专门的程序将其翻译成机器语言,这种翻译程序被称为汇编程序。汇编语言同样十分依赖于机器硬件,效率仍十分高,针对计算机特定硬件而编制的汇编语言程序,能准确发挥计算机硬件的功能和特长,程序精炼而质量高,所以至今仍是一种常用而强有力的软件开发工具。但汇编语言编写程序的效率远远不能满足需要,而且可移植性差。

#### 3. 高级语言

1954年,第一个高级语言——FORTRAN问世了。接着,种类繁多的高级语言相继出现,其中影响较大、使用较普遍的有FORTRAN、ALGOL、COBOL、BASIC、LISP、SNOBOL、Pascal、C、PROLOG、Ada、Python、C、VC、VB、Delphi、JAVA等。高级语言与自然语言和数学表达式相当接近,不依赖于计算机型号,通用性好。高级语言的使用,



大大提高了程序编写的效率和程序的可读性。与汇编语言一样，计算机无法直接识别和执行高级语言，必须翻译成等价的机器语言程序(称为目标程序)才能执行。高级语言源程序翻译成机器语言程序的方法有“解释”和“编译”两种。解释程序采用一边解释一边执行的方法，即解释一条指令便执行一条指令。编译程序也叫编译系统，是把用高级语言编写的面向过程的源程序翻译成目标程序的语言处理程序，它是整体解释完之后在统一执行的，一般执行效率较高。汇编程序和编译程序都经常依赖于连接程序，连接程序负责将目标程序和各種标准库函数连接装配成完整的可执行文件。执行这个文件就可以看到运行结果。

高级语言经历了从结构化高级语言到面向对象的程序设计语言的转变。到了 20 世纪 70 年代末期，随着计算机应用领域的不断扩大，对软件技术的要求越来越高。C 语言等结构化程序设计语言的代码的可重用性差、可维护性差、稳定性差以及难以实现等缺点逐渐暴露出来。面向对象程序设计语言应运而生，它提供了比函数更高一级的抽象和封装，引入类和对象等概念，使用继承与多态等模拟现实世界，现在使用的很多可视化编程工具都是基于面向对象程序设计语言的。

### 1.3.2 计算机的层次结构

计算机系统由计算机硬件系统与计算机软件系统组成。把计算机系统按功能分为多级层次结构，有利于正确理解计算机系统的工作过程，明确软件、硬件在计算机系统中的地位 and 作用。下面通过图 1-3 计算机的层次结构图来说明各层次之间的关系。

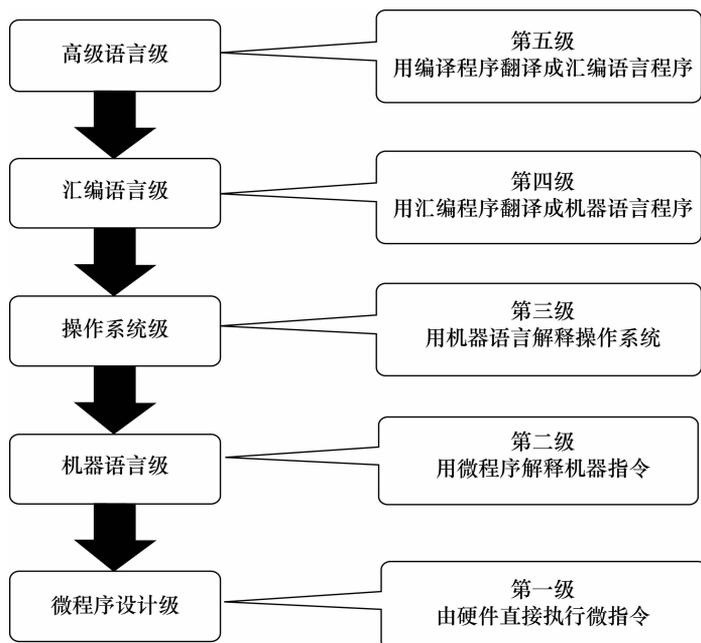


图 1-3 计算机的层次结构图

计算机系统的层次结构如下。

第一级是微程序设计级。该级别编程工具来自微指令集，程序员用微指令编写微程



序，微程序可由硬件直接执行。微指令是为实现计算机指令的一个步骤而发出的控制计算机硬件一组信号。

第二级是机器语言级。该级别编程工具来自指令集，程序员用机器指令编写的程序可以解释成微程序后由硬件直接执行。一条机器指令一般可以对应一条或多条微指令，通过这些微指令的执行实现本条机器指令的功能。

第三级是操作系统级。从操作系统的基本功能来看，一方面它要直接管理传统机器中的软硬件资源，另一方面它又是传统机器的延伸。可理解为操作系统的任务用机器语言解释后，通过执行机器语言程序完成操作系统的任务。

第四级是汇编语言级。该级别的编程工具来自汇编语言指令集。在编写程序时汇编语言编程工具比机器语言编程工具更加易于理解与记忆。但汇编语言指令计算机是不能直接识别的，必须要将汇编语言翻译成机器语言，完成这一翻译任务的程序叫作汇编程序，汇编程序属于系统软件级别。

第五级是高级语言级。该级别的编程工具可以是不同的高级程序设计语言。高级语言源程序通常用编译程序完成高级语言到低级语言的翻译，如 C 语言。也有一些高级语言通过解释程序翻译到低级语言，如 VB 语言。编译程序和解释程序属于系统软件级别。

计算机软件系统可以分为系统软件与应用软件两部分。系统软件由操作系统、语言处理系统、数据库服务系统、系统服务系统等组成，应用软件包括文字处理软件、信息管理软件、媒体播放软件、辅助设计软件和各种程序包等组成。计算机软件系统与计算机硬件系统统称为计算机系统。

下面以 C 语言为例说明高级语言程序的执行过程。首先，为了完成既定任务编写和调试好扩展名为 c 的 C 语言源程序，接下来由编译程序将 C 语言源程序翻译成扩展名为 asm 的汇编语言程序，再由汇编程序将汇编语言程序翻译成扩展名为 obj 的机器语言模块文件，接下来由链接程序生成的机器语言模块文件与库程序组合在一起形成扩展名为 exe 的可执行性代码——机器语言程序。接下来将机器语言程序加载到内存，处理器从内存中取出指令、译码指令后按指令的功能将机器指令转换成若干条微指令，通过微指令的执行完成指令功能，处理器依次执行程序中的机器指令以完成整个程序的运行，最终输出程序执行结果。

## 1.4 计算机的主要性能指标

计算机的主要性能指标可以从机器字长、运算速度和信息存储能力三方面考虑。

### 1.4.1 机器字长

字长是指计算机的运算部件能同时处理的二进制数据的位数，它与计算机的功能和用途有很大的关系。通常 CPU 的数据总线以及运算器的位数同计算机的字长一致。字长直接反映了一台计算机的计算精度，为适应不同的要求及协调运算精度和硬件造价间的关系，大多数计算机均支持变字长运算，即机内可实现半字长、单字长和双倍字长运算。在其他指标相同时，字长越长的计算机处理数据的速度就越快。早期的微机字长一般是 8 位



和 16 位的，386 以及更高的处理器一般就为 32 位了。目前市面上的计算机的处理器大部分已达到 64 位。

### 1.4.2 运算速度

运算速度是以每秒钟执行多少条指令来表示的，用来衡量计算机运算的快慢程度。它是衡量计算机性能的一项重要指标。同一台计算机，执行不同的运算所需时间可能不同，因此对运算速度的描述采用不同的方法。一般以 MIPS、MFLOPS、GFLOPS、TFLOPS 为单位，分别表示每秒执行多少百万条指令、每秒执行多少百万次浮点运算、每秒执行多少十亿次浮点运算、每秒执行多少万亿次浮点运算，数值越大说明机器运行速度越快。微型计算机一般采用主频来描述运算速度，主频（CPU 时钟频率）是指计算机内部主时钟的频率。对于同一型号的计算机，主频越高，完成指令的一个执行步骤所用的时间越短，执行指令的速度越快。主频通常以 MHz（兆赫兹）、GHz（吉赫兹）为单位。例如 Pentium 系列机为 60MHz ~ 266MHz，Pentium 4 升至 3.6GHz。

### 1.4.3 信息存储能力

存储器容量是衡量计算机系统中存储器存储能力的一个指标，包括内存（主存）容量和外存（辅存）容量。内存储器容量的大小反映了计算机即时存储信息的能力，内存容量越大，系统功能越强大，单位时间内处理的数据量越庞大。外存储器容量越大，可安装的应用软件就越丰富，可存储的信息越多。通常我们将一些临时用的、少量的数据和程序放在内存中，将要永久保存的、大量的数据存储在外存中。平时所说的内存速度是指它的存取速度，一般用存储器存取时间和存储周期来表示。存储器存取时间是指从启动一次存储器操作到完成该操作所经历的时间。存储周期是指连续启动两次读或写操作的最短时间。此外，用存储器带宽来衡量从存储器读取数据的速度，存储器带宽是指单位时间内从存储器读出的二进制数信息量。

## 习 题

1. 简述现代计算机发展的五个阶段。
2. 说明半导体存储器的发展过程。
3. 说明微处理器的发展过程。
4. 冯·诺依曼型计算机的特点是什么？它的主要组成部分有哪些？
5. 说明 CPU 由什么构成？它在计算机中起着怎样的作用？
6. 说明主存储器在计算机中是如何工作的？
7. 简述计算机程序设计语言的发展历程。
8. 简述计算机的层次结构。
9. 简述 C 语言源程序在计算机中是如何执行的？
10. 什么是 CPU 时钟频率？什么是 CPU 时钟周期？他们有什么关系？