

高等学校教材

# 计算机组成原理

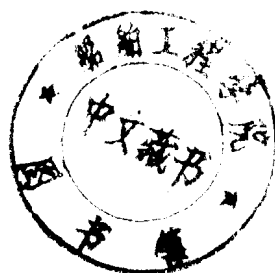
俸远楨 阎慧娟 编



電子工業出版社

# 计算机组成原理

俸远祯 阎慧娟 编



电子工业出版社

## 内 容 简 介

本书系统地介绍计算机各大部件的工作原理、逻辑实现、设计方法及其相互联接组成整机的有关技术。全书共分八章：第一章概述数字计算机的基本框图、层次结构与硬件组成；第二章讲述各类数据信息的表示方法及补码运算基础；第三章介绍指令格式、寻址方式与指令设置；第四章讨论运算器组成、四则运算方法及其逻辑实现；第五章讲述控制器的一般原理，并通过模型机设计介绍总体设计、分析指令流程的方法，及组合逻辑控制与微程序控制的原理；第六章介绍存储系统的组成、半导体存储器与磁表面存储器的工作原理；第七章简述打印设备、CRT 显示器等常规 I/O 设备的工作原理；第八章介绍中断系统的工作原理、同步接口与异步接口，以及单总线控制方式。

本书可作为计算机专业的教材，也可作为有关科技人员的参考书。

## 计 算 机 组 成 原 理

俸远祯 阎慧娟 编

责任编辑 吴明卒

\*

电子工业出版社出版 (北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京科技印刷厂印刷

\*

开本：787×1092 1/16 印张：22.875 字数：556 千字

1985 年 11 月第 1 版 1985 年 11 月第 1 次印刷

印数：12,500 册 定价：4.90 元

统一书号：15290·190

## 出 版 说 明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定,我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初,由于各有关院校,特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合,共编审出版了教材159种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要,反映国内外电子科学技术水平,达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求,在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上,电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》,中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》等八个教材编审委员会,作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划,列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。在努力提高教材质量,适当增加教材品种的思想指导下,这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿,主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者,各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材,分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验,这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处,希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议,共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本书系由《计算机与自动控制》教材编审委员会《计算机》教材编审小组评选审定,并推荐出版,作为《计算机组成原理》课程的教材。

该教材由成都电讯工程学院俸远祯、阎慧娟合编,西安交通大学郑守琪同志担任主审。编者均依照计算机教材编审小组审定的编审大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为90~110学时,其主要内容与章节划分如内容简介所述,系按照编审小组提出的要求进行编写的,主要讲述计算机各大部件的工作原理、逻辑实现、设计方法及其相互联接构成整机的技术,注重接口部分的作用、联系及控制器的构成原理、重点讲解指令流程、组合逻辑控制、微程序控制、中断、DMA、I/O接口等内容,并对数据信息的表示、运算方法与运算器、各类半导体存储器与磁表面存储器、打印设备与显示装置等基本I/O设备作了系统介绍。本书内容比教学时数允许的分量稍多,可供各院校根据自己的需要选取,有些内容可供读者自学用。在编写方法上主要从横向组织教材并联系了一些国内外典型机器实例(其中对PDP-11的介绍相对多些),但又限于某一机型。控制器部分提出了一种较规整的模型机,讨论了两种基本的组成方式,力求建立整机概念并具有一定的普遍性。

建议教学时可以按照教材的安排次序分为三个层次:前三章讨论程序设计者需了解的机器属性和基础知识,第四、五、六、七章分别讨论几大部件与基本外围设备的有关原理与设计方法,第八章则通过对信息交换方式、接口与总线等的讨论将各部件与外围设备联系起来,建立起基本系统的整体概念。也可以在学习第二章后直接学习第四章运算方法与运算器,在第三章后就学习第五章控制器。中断系统可放在最后一章也可以放在第五章中介绍。如学时数允许,也可根据需要最后选讲某一典型机器实例,系统地介绍它的组成与工作原理。

本教材由俸远祯编写第1~5章,阎慧娟编写第6~8章。在本书的编写与修改过程中,计算机教材编审小组责任编委胡正家同志给予了指导和帮助;主审郑守琪同志细致地审阅了初稿与修改稿,提出了许多宝贵而重要的意见;参加审阅工作的还有国防科技大学李勇、清华大学何全来、西北工业大学柴佩琪、西北电讯工程学院董惠如、北京工业大学李大友等同志,他们也为本书提出了许多宝贵意见;在编写过程中还得到了成都电讯工程学院孙贞运、曾家治、向世清等同志的大力支持和帮助;谨向上述同志表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中定有不少缺点和错误,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

一九八四年十二月

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一章 概论                   | 1  |
| 1.1 电子数字计算机的基本组成         | 1  |
| 1.1.1 电子计算机的分类           | 1  |
| 1.1.2 存储程序的概念            | 1  |
| 1.1.3 电子数字计算机的简单框图       | 2  |
| 1.2 计算机系统的层次结构           | 3  |
| 1.2.1 硬件与软件              | 3  |
| 1.2.2 软件的基本内容            | 4  |
| 1.2.3 计算机系统的层次结构         | 5  |
| 1.2.4 硬、软件的功能分配与逻辑上的等价   | 6  |
| 1.3 计算机系统的硬件组成           | 7  |
| 1.3.1 小型机与微型机的典型结构(总线结构) | 7  |
| 1.3.2 大、中型计算机的典型结构       | 10 |
| 1.4 计算机的主要部件             | 11 |
| 1.4.1 输入设备               | 11 |
| 1.4.2 输出设备               | 12 |
| 1.4.3 存储器                | 12 |
| 1.4.4 运算器                | 13 |
| 1.4.5 控制器                | 14 |
| 1.5 计算机的特点与性能指标          | 14 |
| 1.5.1 数字计算机的工作特点         | 14 |
| 1.5.2 数字计算机的性能指标         | 15 |
| 第二章 数据信息的表示              | 17 |
| 2.1 进位计数制                | 17 |
| 2.1.1 进位计数制的基本概念         | 17 |
| 2.1.2 计算机中常用的进位计数制       | 18 |
| 2.1.3 各种数制间的相互转换         | 19 |
| 2.2 带符号数的表示              | 22 |
| 2.2.1 真值与机器数             | 22 |
| 2.2.2 原码表示法              | 22 |
| 2.2.3 补码表示法              | 23 |
| 2.2.4 反码表示法              | 27 |
| 2.3 数的定点表示与浮点表示          | 27 |
| 2.3.1 定点表示法              | 27 |
| 2.3.2 浮点表示法              | 28 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 2.3.3 移码(增码).....             | 29  |
| 2.3.4 定点表示与浮点表示的比较.....       | 30  |
| <b>2.4 补码运算基础</b> .....       | 31  |
| 2.4.1 补码运算所依据的基本关系.....       | 31  |
| 2.4.2 补码运算的基本法则.....          | 33  |
| 2.4.3 溢出判断与变形补码.....          | 34  |
| 2.4.4 移位.....                 | 35  |
| 2.4.5 舍入.....                 | 36  |
| <b>2.5 字符的表示</b> .....        | 37  |
| <b>2.6 校验码</b> .....          | 39  |
| 2.6.1 奇偶校验.....               | 40  |
| 2.6.2 海明校验.....               | 42  |
| 2.6.3 循环码校验.....              | 46  |
| <b>习题</b> .....               | 50  |
| <b>第三章 指令系统</b> .....         | 53  |
| <b>3.1 指令格式</b> .....         | 53  |
| <b>3.2 信息的存储结构与存取方式</b> ..... | 54  |
| <b>3.3 地址结构</b> .....         | 57  |
| <b>3.4 寻址方式</b> .....         | 59  |
| 3.4.1 常见的寻址方式.....            | 59  |
| 3.4.2 PDP-11 寻址方式实例.....      | 64  |
| 3.4.3 按内容寻址(相关寻址).....        | 69  |
| <b>3.5 指令的类型</b> .....        | 70  |
| <b>习题</b> .....               | 78  |
| <b>第四章 运算方法与运算器</b> .....     | 80  |
| <b>4.1 算术逻辑运算基本部件</b> .....   | 80  |
| 4.1.1 加法单元.....               | 80  |
| 4.1.2 串行加法器与并行加法器.....        | 83  |
| 4.1.3 并行加法器的进位链.....          | 83  |
| 4.1.4 用小规模集成电路构成的运算器.....     | 90  |
| 4.1.5 用中规模集成电路构成的运算器.....     | 91  |
| 4.1.6 十进制加法器.....             | 93  |
| <b>4.2 定点加减运算</b> .....       | 95  |
| 4.2.1 原码加减运算.....             | 95  |
| 4.2.2 补码加减运算.....             | 97  |
| 4.2.3 反码加减运算.....             | 98  |
| <b>4.3 定点乘法运算</b> .....       | 98  |
| 4.3.1 原码一位乘法.....             | 98  |
| 4.3.2 补码一位乘法.....             | 101 |
| 4.3.3 原码两位乘法.....             | 104 |

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 4.3.4 | 补码两位乘法          | 105 |
| 4.3.5 | 多位乘法简介          | 106 |
| 4.4   | 定点除法运算          | 109 |
| 4.4.1 | 原码比较法与恢复余数法     | 110 |
| 4.4.2 | 原码不恢复余数法(加减交替法) | 111 |
| 4.4.3 | 补码不恢复余数法        | 111 |
| 4.4.4 | 快速除法简介          | 115 |
| 4.5   | 浮点运算            | 117 |
| 4.5.1 | 浮点加减运算          | 117 |
| 4.5.2 | 浮点乘法运算          | 119 |
| 4.5.3 | 浮点除法运算          | 119 |
| 4.5.4 | 浮点运算的舍入问题       | 120 |
| 习题    |                 | 120 |
| 第五章   | 控制器原理           | 123 |
| 5.1   | 控制方式与时序         | 124 |
| 5.1.1 | 控制方式            | 124 |
| 5.1.2 | 指令的执行过程         | 125 |
| 5.1.3 | 串行处理与并行重叠处理     | 126 |
| 5.1.4 | 多级时序系统          | 127 |
| 5.2   | 中央处理器的总体结构      | 128 |
| 5.2.1 | 寄存器设置与算术逻辑运算部件  | 128 |
| 5.2.2 | CPU 与主存储器间的信息交换 | 130 |
| 5.2.3 | CPU 内部的数据通路     | 131 |
| 5.3   | 主机与外围设备间的数据通路   | 132 |
| 5.4   | 主机与外围设备间的信息交换方式 | 134 |
| 5.4.1 | 直接程序传送方式        | 134 |
| 5.4.2 | 程序中断传送方式        | 135 |
| 5.4.3 | 直接访存方式(DMA)     | 136 |
| 5.4.4 | 通道控制方式          | 138 |
| 5.5   | 控制器组成           | 139 |
| 5.6   | 一台模型机的总体设计      | 140 |
| 5.6.1 | 模型机的指令系统        | 141 |
| 5.6.2 | 数据通路与总体结构       | 143 |
| 5.7   | 组合逻辑控制器设计       | 146 |
| 5.7.1 | 时序系统            | 146 |
| 5.7.2 | 指令流程图与操作时间表     | 147 |
| 5.7.3 | 微操作信号的综合        | 154 |
| 5.8   | 微程序控制器原理        | 156 |
| 5.8.1 | 微程序控制的基本概念      | 156 |
| 5.8.2 | 微指令的编码方法        | 158 |
| 5.8.3 | 微程序的顺序控制        | 160 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5.8.4 微指令格式的分类            | 162 |
| 5.8.5 微指令实例               | 163 |
| <b>5.9 模型机的微程序设计</b>      | 166 |
| 5.9.1 微程序时序               | 166 |
| 5.9.2 微指令格式               | 167 |
| 5.9.3 微程序编制               | 170 |
| <b>5.10 微程序技术的发展前景</b>    | 172 |
| <b>习题</b>                 | 174 |
| <b>第六章 存储系统</b>           | 175 |
| <b>6.1 概述</b>             | 175 |
| 6.1.1 存储系统的层次结构           | 175 |
| 6.1.2 存储器的类型              | 179 |
| 6.1.3 存储器的基本组成与技术要求       | 181 |
| <b>6.2 磁芯存储器简介</b>        | 183 |
| 6.2.1 一位磁芯的存储原理           | 183 |
| 6.2.2 磁芯体的存取方式            | 186 |
| 6.2.3 寻址系统(地址译码与驱动系统)     | 190 |
| 6.2.4 读出信息的鉴别             | 193 |
| 6.2.5 读写控制时序举例            | 195 |
| <b>6.3 半导体存储器</b>         | 195 |
| 6.3.1 双极型存储单元及其存储器芯片      | 196 |
| 6.3.2 MOS 存储单元与存储器芯片外特性   | 205 |
| 6.3.3 半导体存储器逻辑框图举例        | 213 |
| 6.3.4 动态 MOS 存储器的刷新方式     | 219 |
| <b>6.4 半导体只读存储器</b>       | 220 |
| 6.4.1 固定掩模编程的 ROM         | 221 |
| 6.4.2 一次可编程只读存储器 PROM     | 223 |
| 6.4.3 可重编程只读存储器 EPROM     | 224 |
| <b>6.5 磁表面存储器</b>         | 231 |
| 6.5.1 磁表面存储原理             | 232 |
| 6.5.2 数据记录方式              | 236 |
| <b>6.6 磁带存储器简介</b>        | 243 |
| 6.6.1 基本结构                | 243 |
| 6.6.2 数据记录格式              | 246 |
| 6.6.3 信息表示格式              | 246 |
| 6.6.4 磁带机与主机交换信息的方式及其主要操作 | 248 |
| <b>6.7 磁盘</b>             | 251 |
| 6.7.1 磁盘的基本结构             | 252 |
| 6.7.2 磁盘的记录方式与信息分布格式      | 255 |
| 6.7.3 磁盘驱动器逻辑框图           | 260 |
| <b>习题</b>                 | 261 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第七章 输入/输出设备 .....         | 263 |
| 7.1 概述 .....              | 263 |
| 7.2 穿孔信息的输入/输出设备 .....    | 264 |
| 7.2.1 纸带 .....            | 264 |
| 7.2.2 纸带输入机 .....         | 266 |
| 7.2.3 纸带穿孔机 .....         | 268 |
| 7.2.4 卡片设备 .....          | 270 |
| 7.3 控制台打字机 .....          | 272 |
| 7.3.1 DCY 型电传打字机 .....    | 272 |
| 7.3.2 HZD-3 型控制台打字机 ..... | 274 |
| 7.4 打印设备 .....            | 276 |
| 7.4.1 概述 .....            | 276 |
| 7.4.2 宽行打印机 .....         | 276 |
| 7.4.3 点阵式(针式)打印机的特点 ..... | 282 |
| 7.4.4 新型打印技术简介 .....      | 283 |
| 7.5 键盘输入设备 .....          | 286 |
| 7.5.1 无编码小型键盘 .....       | 286 |
| 7.5.2 电子编码式键盘 .....       | 288 |
| 7.6 CRT 显示装置 .....        | 290 |
| 7.6.1 概述 .....            | 290 |
| 7.6.2 字符显示器的组成 .....      | 291 |
| 7.6.3 字符形成方法 .....        | 292 |
| 7.6.4 字符发生器 .....         | 294 |
| 7.6.5 字符显示器举例 .....       | 295 |
| 习题 .....                  | 301 |
| 第八章 外围接口与总线 .....         | 302 |
| 8.1 接口的功能、组成及类型 .....     | 303 |
| 8.1.1 接口的主要功能 .....       | 303 |
| 8.1.2 接口的组成 .....         | 303 |
| 8.1.3 接口的类型 .....         | 304 |
| 8.2 中断系统 .....            | 305 |
| 8.2.1 中断的基本概念 .....       | 306 |
| 8.2.2 中断请求的提出与传送 .....    | 309 |
| 8.2.3 中断的优先排队 .....       | 310 |
| 8.2.4 中断响应 .....          | 313 |
| 8.2.5 单级中断与多级中断 .....     | 314 |
| 8.2.6 中断屏蔽与中断升级 .....     | 314 |
| 8.2.7 中断处理的步骤 .....       | 315 |
| 8.3 程序中断接口举例 .....        | 315 |
| 8.3.1 同步控制的程序中断接口 .....   | 316 |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 8.3.2 并行接口举例.....          | 318        |
| 8.3.3 串行接口举例.....          | 321        |
| <b>8.4 直接访存方式与接口.....</b>  | <b>323</b> |
| 8.4.1 直接访存方式的特点.....       | 323        |
| 8.4.2 DMA 接口的组成.....       | 324        |
| 8.4.3 同步控制式 DMA 接口举例 ..... | 324        |
| 8.4.4 磁盘存储器接口举例.....       | 328        |
| <b>8.5 通道控制方式.....</b>     | <b>335</b> |
| 8.5.1 概述.....              | 335        |
| 8.5.2 通道的类型.....           | 336        |
| 8.5.3 通道指令格式与通道操作.....     | 337        |
| <b>8.6 单总线与异步式接口.....</b>  | <b>339</b> |
| 8.6.1 单总线结构.....           | 339        |
| 8.6.2 单总线控制权的转移.....       | 340        |
| 8.6.3 总线数据传送.....          | 346        |
| 8.6.4 异步式接口举例.....         | 347        |
| <b>习题 .....</b>            | <b>354</b> |
| <b>参考文献.....</b>           | <b>356</b> |

# 第一章 概 论

在本章中我们将从存储程序的概念入手,说明电子数字计算机的基本组成框图;从对信息进行处理的一般过程出发,说明一个完整的计算机系统是由硬件和软件构成的,并简略地讨论它们之间的关系。由于本课程的任务是侧重于从硬件组成的角度来讨论计算机的工作原理,而计算机系统的各个部件又往往是互相关联的,所以我们在介绍几个典型的系统框图之后,就简单地说明一下各个功能部件的作用,以便在今后深入讨论各部件的工作原理之前,能够对系统总的组成先建立一个整体概念。

## 1.1 电子数字计算机的基本组成

### 1.1.1 电子计算机的分类

电子计算机是一种由电子线路对信息进行加工处理以实现其计算功能的机器。从广义上说存在着两大类型:电子模拟计算机和电子数字计算机。

电子模拟计算机所处理的电信号在时间上是连续的,称为模拟量。例如,用电信号的幅值去模拟数值或某一物理量的大小,(电信号的幅值越大表示被模拟的数值越大),人们就能够用信号的不同幅值去表示大小不同的数值。

电子数字计算机所处理的电信号在时间上是离散的,称为数字量。如同在数字电路课程中指出的那样,用输出信号电平的高低或脉冲的有无来表示数值的0或1。这样我们就可以用一串彼此在时间上是离散的脉冲,或用一组触发器的输出电平的高低来表示一个数值。其不同的组合就能够表示大小不同的数值,增加组合的位数就能增加数的表示范围和精度。如果不考虑设备的代价,数字计算机所能表示的数值范围与精度几乎是没有限制的。

采用数字化信息还带来了一系列可能性:数字化信息能够用各种存储器和寄存器加以保存,使数字计算机可以具有极大的存储容量,从而能够对大量的数据信息进行自动的加工处理;数字信息可以用来表示各种物理量和逻辑变量,以至文字符号、图形等,因而数字计算机除了可以进行数值计算外还能进行逻辑加工,具有范围广泛的功能。到目前为止,数字计算机采用二进制数字系统作为运算的基础,用数字逻辑电路实现各种功能,用逻辑代数作为工具去设计逻辑电路。

由于数字计算机具有这些明显的优点,它成为信息处理装置的主流,所以通常所说的计算机就是电子数字计算机。本书所讨论的对象就是这种电子数字计算机。

### 1.1.2 存储程序的概念

为了告诉计算机做什么事、按什么步骤做,就需要编制程序,使计算机能够按规定的程序自动工作。

冯·诺依曼等人提出了数字计算机设计的一些基本思想,概括起来有如下一些要点:

(1) 采用二进制形式表示数据和指令。

(2) 将程序(包括数和指令序列)事先存入主存储器中,使计算机在工作时能够自动高速地从存储器中取出指令加以执行。这就是存储程序概念的基本含义。

(3) 由运算器、存储器、控制器、输入装置和输出装置五大基本部件组成计算机系统。并规定了这五部分的基本功能。

这样一些概念奠定了现代计算机的基本结构思想,并开创了程序设计的时代。到目前为止大多数计算机仍沿用这一体制,称为诺依曼机制,上述结构思想就称为诺依曼思想,它的最主要之点就是存储程序概念。

### 1.1.3 电子数字计算机的简单框图

原始的诺依曼机在结构上是以运算控制器为中心。演变到现在,电子数字计算机已转向以存储系统为中心,图 1-1 表示其最基本的组成框图。

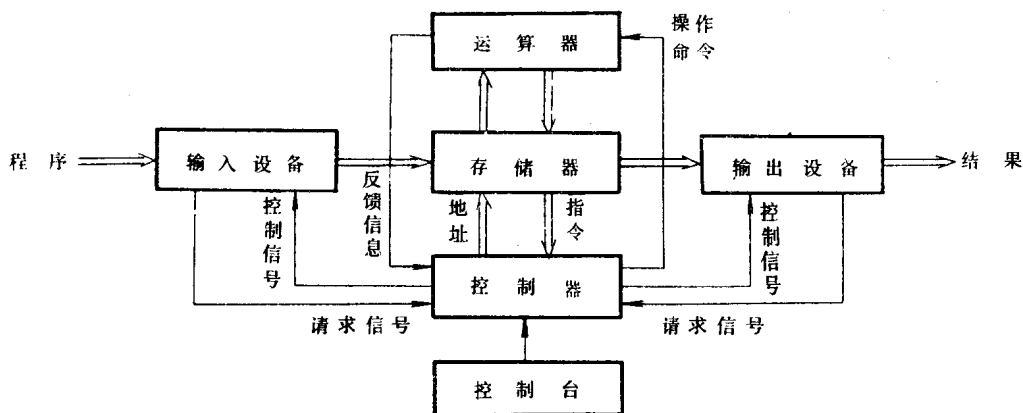


图 1-1 数字计算机的简单框图

为使计算机按预定要求工作而编制的程序,包括特定的指令序列和原始数据。它告诉机器要做哪些事,按什么步骤做,以及所要处理的原始数据信息。操作人员将程序通过输入设备送入存储器;启动运行后,计算机就从存储器中取出指令送到控制器去识别,分析该指令要求做什么事;控制器根据指令的含义发出相应的命令,例如将某存储单元中存放的操作数取出送往运算器进行运算,再把运算结果送回存储器指定的单元中;当运算任务完成后,就可以根据指令序列将结果通过输出设备输出。操作人员可以通过控制台启动或停止机器的运行,或对程序的执行进行某种干预。

通常将运算器和控制器合称为中央处理器(CPU)。在采用大规模集成电路(LSI)的微型计算机中,往往把CPU制作在一块芯片上。中央处理器和主存储器一起组成所谓主机部分,而将输入设备和输出设备(I/O)称为外围设备。有时计算机的处理结果需要送入磁带、磁盘一类存储器保存,以便下一次工作时再输入到该机或送入更高一级的计算机进行再处理。从主机的角度看,磁带、磁盘等存储器属于I/O设备的范畴。但从整个计算机系统来看,它们又属于存储系统的一部分。为了区别,通常将它们叫做辅助存储器或称为外存储器,而把图 1-1 中的存储器叫做主存储器或内存。

计算机的基本功能就是对信息进行处理,因此我们可以将计算机的工作归纳为:

(1) 信息如何表示。即以何种形式表示信息(穿孔、磁记录、电信号等),数据信息采用何种格式(数制、码制、指令格式、语言等)。

(2) 信息如何存储。

(3) 信息的变换。输入设备如何将程序信息变换为计算机能识别的信息形式;输出设备又如何将计算机内的结果变换为操作员所能识别的形式。

(4) 信息的传送。外围设备与主机之间、主机内部 CPU 与存储器之间、CPU 内各寄存器之间信息是如何传送的。

(5) 信息的加工处理。一台计算机有哪些运算部件,能完成哪些基本的算术与逻辑运算,是如何完成这些运算的,又如何以这些基本的处理能力为基础,在软件的支持下完成更复杂的加工处理任务。

(6) 对上述过程的控制。计算机以什么形式表示它的各种控制命令信息,如何有序地发出这些控制命令以协调各部分的工作。

上面提到的问题可以作为学习或分析计算机工作原理的一些线索。在信息变换部件与运算处理部件确定以后,从控制的角度来看,各种操作基本上可以归结为信息的传送问题。例如对一次运算操作的控制可以归结为选择有关操作数送往运算器,并将运算器的输出送往目的地。在本书的有关分析中将强调“信息如何传送”这一主要线索,请读者予以重视。

## 1.2 计算机系统的层次结构

### 1.2.1 硬件与软件

上节概述了一台数字计算机最基本的硬件组成。为了使计算机系统能够实用并具有尽可能完善的功能,一个完整的计算机系统要包含硬件与软件两大范畴。

硬件通常是指构成计算机的设备实体。例如前述五大部件这样一些人们可以触摸到的设备和器件,当然还包括如何把它们组织成一个计算机整体的体系结构。一个计算机系统应具备哪些基本功能,包含哪些部件,这些部件按什么结构方式相互连接成有机的整体,各部件应具备何种功能,采用什么样的器件和电路构成,以及在工艺上如何进行组装等,都属于硬件设计的范畴。

软件通常泛指各类程序和文件。它们实际上是由一些算法(说明如何完成某任务的指令序列)和它们在计算机中的表示所构成,体现为一些触摸不到的二进制状态,所以称为软件。有的参考书还强调,应当把编制程序所依赖的文件也归入软件范畴。按照这种概念,从系统中除去计算机实体(硬件)之后剩下的所有部分都属于软件。它包含:应用程序、系统程序、文件。

硬件与软件的组合构成了实用的计算机系统。显然二者是相互依存的,硬件是物质基础,没有硬件或者没有良好的硬件支持就谈不上软件的执行或高效率软件的编制。反之,没有软件或没有完善良好的软件,计算机就无法工作或不能高效率地工作。指令系统反映了一台计算机能干哪些事,可以看成是硬件与软件的结合点,它既是硬件设计的出发点,也是编制程序最基本的依据。

## 1.2.2 软件的基本内容

前前面已经指出,计算机系统是一个硬件与软件的综合体,在硬件与软件之间,在系统软件与应用程序之间存在一种层次结构。软件是在硬件支持下工作的,而应用软件又是在系统软件支持下工作的。

比较基本的软件系统可归纳为下述几方面:

### 1 应用程序

在计算机技术中常常用“信息”这样一个名词,它泛指数据、符号、语言、文字、图形等。数字计算机就是进行信息处理的机器。为了将计算机用来解决各种问题,必须编制相应的应用程序。例如各种科学计算程序、数据统计与处理程序、情报检索程序、企业管理程序、生产过程自动控制程序等。由于计算机已应用到几乎所有领域,因而应用程序将是多种多样、极其丰富的。

### 2 系统程序

#### (1) 语言处理程序

计算机硬件只能直接识别代码化的机器语言,即用数字代码表示的指令序列。现在已经提出了许多种程序设计语言,相应地要编制翻译程序或解释程序来进行转换。前者通称为“编译程序”,它先将用高级语言编写的程序翻译为机器语言程序,然后执行。后者则是边解释边执行。

#### (2) 管理程序

需要编制一些系统程序来管理调度计算机系统的运行,以便尽可能合理地调用系统的硬件资源与软件资源,这是使系统能高效率运行和易于扩展的关键。

较完善的计算机系统常常可以提供这样的工作方式:操作人员通过带显示器的键盘终端使用主机,开机后屏幕上将显示出机器所处的工作状态和它可供用户选择的各项功能;用户选取所需的功能后,通过键盘或其他手段输入程序;每步操作后显示屏上将作出反应,并提醒你下一步应采取的动作;如果操作有误,显示屏上将显示出出错标志,并指出错误性质,甚至提出纠正办法。显然,这样的工作方式对使用者是很方便的。这就需要一套复杂的管理程序。

为了提高计算机使用效率,功能稍强的计算机都允许多个用户同时使用,即允许有多道程序分时地在一台计算机中运行。为了合理地调用与共享硬、软件资源,又需要一个复杂的管理系统。

功能强、规模大的管理程序就是现在称为操作系统(O.S.)的系统程序。

#### (3) 服务程序

一个完善的计算机系统往往配置有许多服务性程序,它们或者被包含在操作系统之内,或者被操作系统所调用。例如:

计算机的一种常见的使用方式是:将程序穿成纸带或卡片,然后通过输入机送入主存储器。这就需要解决一些问题:如何将程序送入主存的指定区间,又如何检测输入是否正确。为此需要编制输入引导程序,先将引导程序送入计算机,机器执行“引导程序”以引导用户程序进入主存的指定区间,并检测输入过程是否正确,如果无误就可启动执行该用户程序。

在程序的输入或调试过程中,常常需要进行修改、整理或进行几段程序间的连接,为此又编制了“编辑程序”。

为了判断机器是否正常工作,如果有故障则希望能判明出错部位以至定位到某一器件上,许多系统配置了“诊断程序”。

以上仅仅是从使用者容易想到的角度引出软件的部分基本内容,事实上系统软件正在极为迅速的发展和丰富,使计算机的功能越来越强。

### 1.2.3 计算机系统的层次结构

当使用一个较完善的计算机系统来解决问题时,我们可以这样描述它的工作过程:

提出任务→用适于程序设计的方式描述算法过程(例如用流程图)→用某种语言编制程序→由计算机将它编译为机器语言程序→由硬件实现。

从这一角度出发可用图 1-2 的形式表示计算机系统的分层结构。

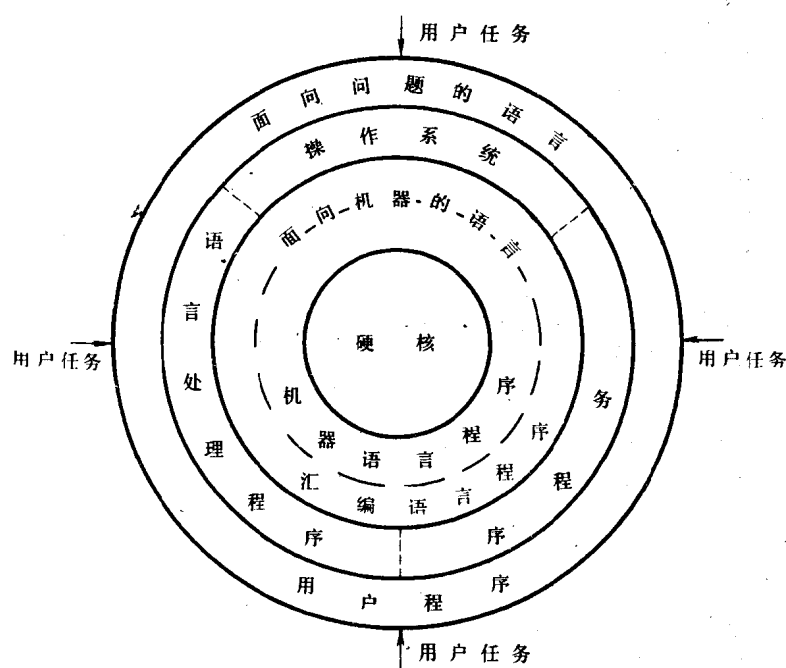


图 1-2 计算机系统层次结构示意图

图 1-2 表示计算机系统硬件与软件的组成及相互间的关系。从外向内看,它表明了从用户提出任务到硬件执行的过程。用户提出任务,然后用面向问题即面向算法的高级语言编写程序,称为用户程序。在操作系统的控制下调用系统的硬件与软件资源;例如编译程序,将用户程序翻译为机器语言程序。汇编语言虽然比代码化的机器语言高级些,但它仍是与特定机器密切相关的语言,所以也属于面向机器的语言这一级中。最后,一切程序都需由硬件来实现,在分层结构中就将硬件称为“硬核”,或称为裸机。

在学习控制器的组成方法后,读者将会了解到许多计算机采用微程序控制方法来解释并执行指令。这样硬核部分又可以分为两级。从程序员的角度看,某台计算机具有一个指令系统,表明它能做哪些事,可作为用户编制程序的依据,计算机硬件将能执行它,这

就是通常所说的传统机器级。从硬件设计者或维护调试者的角度看,还有更基础的一级,即计算机内部有一个微程序控制器,它具体地解释并执行机器指令,这一级可称为微程序控制级。

强调计算机系统的层次概念,有助于我们对整个系统建立一个整体概念,便于根据不同的工作任务要求,从各自的角度并从相应的层次去了解与分析系统的组成和特性,或完成这一级的组成任务。显然,从不同的角度可以将计算机系统表示为各种类型的层次结构,图 1-2 仅是其中的一种。

还需要提及一个常见的概念即“虚拟机”。从软件工作者的角度来看,在编写用户程序时主要关心的是用何种语言编写,机器能否识别并且执行。如果用机器语言  $L_1$  编写,所看到的是一台能执行语言  $L_1$  的机器  $M_1$ ,这是一台实际的机器。如果用高一级的语言  $L_2$  编写,所看到的是一台能执行语言  $L_2$  的机器  $M_2$ 。然而机器实际上是依靠编译程序将  $L_2$  翻译为  $L_1$  才能执行的,所以称  $M_2$  为虚拟机  $M_2$ 。对程序员来说,理想的程序语言应当与日常的语言文字和算法相一致,这和机器所能直接理解的语言  $L_1$  之间的差距很大,可能需要设计一些中间语言,以便将高级语言逐级翻译。因此从语言的层次上又可提出一种分级的概念,如图 1-3。

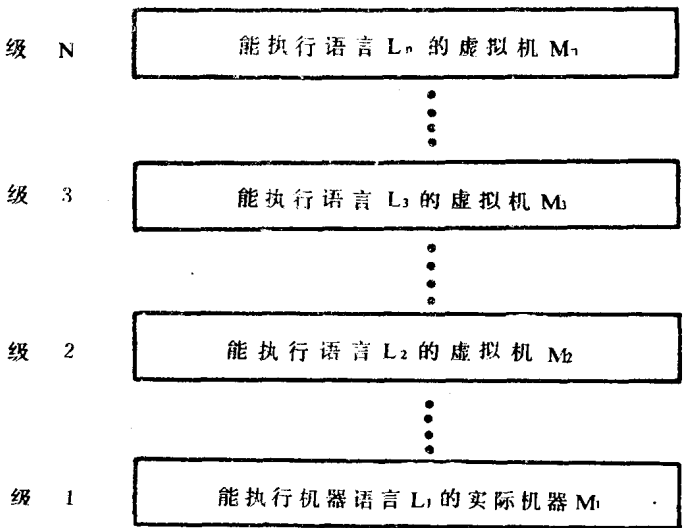


图 1-3 从语言角度区分的多级机层次图

用硬件直接执行高级语言是一个方向,但目前仍较困难,代价太高。所以目前多采用软件编译的方法,例如第三级的用  $L_3$  编写的程序可以由运行在  $M_2$  级的翻译程序(用  $L_2$  编写的)将之翻译成由  $L_2$  描述的程序,再由运行在  $M_1$  级的编译程序翻译成由  $L_1$  描述的程序。当然,如果  $L_3$  与  $L_1$  之间的差距不是很大,通常就直接翻译成  $L_1$ 。

#### 1.2.4 硬、软件的功能分配与逻辑上的等价

设计计算机系统时首先需解决一个功能分配问题,即哪些功能应由硬件实现,哪些由软件实现。例如乘法功能,可以设置硬件乘法器,则指令系统中含有乘法指令;也可以只设置加减运算器硬件,用子程序实现乘法。又如键盘命令识别,可以设置专门的功能键与译