



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

# 计算机组成与结构

(第4版)

王爱英 主编



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

清华大学计算机系列教材

# 计算机组成与结构 (第4版)

王爱英 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书共分 12 章,第 1 章~第 10 章主要论述计算机的基本组成原理和结构。内容包括数制和码制,基本逻辑部件,构成整个计算机系统的中央处理器(CPU)、存储器系统、输入输出(I/O)系统以及计算机网络等。并注意与当代先进的计算机技术相结合,例如在书中讨论了流水线组织、多级 cache、系统总线 and 外设接口的最新进展等。第 11 章全面讨论了各种类型的计算机,诸如微机、便携机、PDA、工作站/服务器、多媒体、并行多处理机等。第 12 章简单介绍了计算机的硬件设计方法。

本书可作为理工科大学生学习“计算机组成与结构”课程或“计算机组成原理”课程的教科书,也可供从事计算机事业的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与结构/王爱英主编. —4 版. —北京:清华大学出版社,2007.7

(清华大学计算机系列教材)

ISBN 978-7-302-14894-4

I. 计… II. 王… III. 计算机体系结构—高等学校—教材 IV. TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 037481 号

责任编辑:马瑛珺 薛 阳

责任校对:白 蕾

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:29.25

字 数:705 千字

版 次:2007 年 7 月第 4 版

印 次:2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~5000

定 价:39.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。  
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:024318-01

# 前 言

本书是为计算机专业的学生以及从事计算机科学与工程技术的工程技术人员编写的,但同样适合于电子类其他(例如自动化、微电子、通信等)专业的学生使用。本书从计算机基本原理讲起,密切注意与当前计算机发展水平相结合,内容广泛,但仍力图贯彻少而精的原则。

本书于1989年初次出版,第2版与第3版分别在1995年和2001年问世。承蒙各界厚爱,在十余年时间内,本书印刷了36次,并先后获得电子部和教育部的奖励,第3版被评定为精品教材。众所周知,计算机技术的发展是极为迅猛的,为了更好地为读者服务,我们将不断对本书进行修订,跟踪技术的发展,调整充实内容,并提高可读性,以有利于教学工作的开展。

改革开放以来,我国经济建设各方面取得了很大成就,在科学、技术和制造等领域,正从引进向创新阶段迈进,只有创新才能自立。计算机软件和微电子是国家重点发展的目标之一,计算机软件运行在计算机上,微电子的水平体现在微处理器的设计和制造能力上,其他学科也有类似情况,这就说明了,为什么多个专业都需要了解计算机硬件。

在本书中我们把计算机结构定义为系统程序员所能见到的计算机硬件特性,计算机组成则是指计算机硬件的具体实现。

本书的第1章~第10章是基本部分,着重阐述构成一台计算机的基本原理。由于计算机技术发展很快,某些观点会随着计算机的发展而产生变化,因此希望读者着重于基本原理的理解。例如,对于计算机的各个功能部件,应着重了解它们在整机中的作用以及由此而分配给各部件所要完成的任务,从而正确设计或选用硬件,而不致被众多的、风格各异的计算机结构及组成所迷惑。根据摩尔定律,半导体芯片的集成度每隔18个月翻一番,计算机的功能和性能也随之提高,由此可理解计算机技术的发展是必然的。这就可以说明为什么过去仅在大型机中才采用的流水线组织、并行处理、cache等技术可以移到微处理器芯片中去实现,甚至还可实现二级cache和三级cache;为什么计算机中主存DRAM的容量增加得这样快,而且又有多种DRAM类型出现。随着互联网(Internet)的发展,计算机和网络已融为一体,对计算机的结构影响很大,因此我们在第1章中介绍了计算机网络的基本概念,以便以后各章需要时可以引用。

第11章对当前出现的多种计算机诸如笔记本式计算机、多媒体PC、个人数字助理(PDA)和片上系统(SoC)等进行了分析,强调其特点。并行处理虽不是本书的重点,却是很重要的,了解一些概念是必要的。

第12章简单地讲述了计算机硬件设计的若干问题,目前计算机的硬件设计已深入到微电子领域,作为计算机、微电子和其他电子类专业的学生,今后会有一部分人从事硬件设计工作。有一些基础知识后,可在工作中进一步自学。各校可根据具体情况进行取舍。

本书的第1版经过当时的清华大学计算机系“计算机原理”教学小组讨论、参与和试用。后来因工作变动、计算机科技的发展以及进一步提高教学质量等原因,对本书进行了多次重大的修改、调整和补充。在本书第4版中,第2章和第12章的12.2.2节(硬件描述语言)由

王尔乾编写,其余各章节由王爱英编写和整理,蔡月茹提供了一部分习题和答案。在此向一切为本书的出版付出劳动的老师和同事们表示感谢。

最后向使用本书作为教材的老师和同学们以及广大的读者表示感谢,正是依靠你们,才使本书的作用得以发挥。

编 者

2006年11月

# 目 录

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的语言	1
1.2 计算机的硬件	3
1.3 计算机系统的层次结构	4
1.4 电子计算机的发展简史	6
1.5 计算机的应用	12
1.6 计算机网络	14
1.6.1 计算机网络基础知识	14
1.6.2 局域网	15
1.6.3 广域网和网络协议(ISO/OSI 基本参考模型、TCP/IP 协议)	16
1.6.4 网络互连设备	21
习题	22
第 2 章 计算机的逻辑部件	24
2.1 计算机中常用的组合逻辑电路	24
2.1.1 三态电路	24
2.1.2 异或门及其应用	26
2.1.3 加法器	28
2.1.4 算术逻辑单元	30
2.1.5 译码器	34
2.1.6 数据选择器	35
2.2 时序逻辑电路	36
2.2.1 触发器	36
2.2.2 寄存器和移位寄存器	39
2.2.3 计数器	41
2.3 阵列逻辑电路	43
2.3.1 只读存储器(ROM)	43
2.3.2 可编程逻辑阵列(PLA)	45
2.3.3 可编程阵列逻辑(PAL)	50
2.3.4 通用阵列逻辑(GAL)	51
2.3.5 门阵列(GA)、宏单元阵列(MCA)、标准单元阵列(SCA)	52
2.3.6 可编程门阵列(PGA)	61
习题	66

<b>第3章 运算方法和运算部件</b> .....	68
3.1 数据的表示方法和转换 .....	68
3.1.1 数值型数据的表示和转换 .....	68
3.1.2 十进制数的编码与运算 .....	71
3.2 带符号的二进制数据在计算机中的表示方法及加减法运算 .....	73
3.2.1 原码、补码、反码及其加减法运算 .....	73
3.2.2 加减法运算的溢出处理 .....	78
3.2.3 定点数和浮点数 .....	79
3.3 二进制乘法运算 .....	81
3.3.1 定点数一位乘法 .....	81
3.3.2 定点数二位乘法 .....	87
3.3.3 阵列乘法器 .....	91
3.4 二进制除法运算 .....	91
3.4.1 定点除法运算 .....	91
3.4.2 提高除法运算速度的方法举例 .....	96
3.5 浮点数的运算方法 .....	98
3.5.1 浮点数的加减法运算 .....	98
3.5.2 浮点数的乘除法运算 .....	100
3.6 运算部件 .....	103
3.7 数据校验码 .....	105
3.7.1 奇偶校验码 .....	105
3.7.2 海明校验码 .....	106
3.7.3 循环冗余校验(CRC)码 .....	109
习题 .....	112
<b>第4章 主存储器</b> .....	115
4.1 主存储器处于全机中心地位 .....	115
4.2 主存储器分类 .....	115
4.3 主存储器的主要技术指标 .....	116
4.4 主存储器的基本操作 .....	116
4.5 读/写存储器 .....	117
4.6 非易失性半导体存储器 .....	125
4.7 DRAM 的研制与发展 .....	127
4.8 半导体存储器的组成与控制 .....	129
4.9 多体交叉存储器 .....	134
4.9.1 编址方式 .....	134
4.9.2 重叠与交叉存取控制 .....	135
习题 .....	136

<b>第 5 章 指令系统</b> .....	138
5.1 指令系统的发展 .....	138
5.2 指令格式 .....	139
5.2.1 指令格式 .....	139
5.2.2 指令操作码的扩展技术 .....	141
5.2.3 指令长度与字长的关系 .....	143
5.3 数据表示 .....	143
5.4 寻址方式(编址方式) .....	145
5.5 指令类型 .....	148
5.5.1 指令的分类及功能 .....	149
5.5.2 双字长运算(子程序举例) .....	156
5.6 指令系统的兼容性 .....	157
5.7 精简指令系统计算机(RISC)和复杂指令系统计算机(CISC).....	158
5.7.1 什么是复杂指令系统计算机 .....	158
5.7.2 RISC 的产生与发展 .....	158
5.7.3 RISC 的特点 .....	159
5.8 指令系统举例 .....	160
5.8.1 SPARC 的指令系统 .....	160
5.8.2 Pentium 微处理器指令系统 .....	163
5.8.3 IBM 大型机指令系统 .....	165
5.8.4 向量指令举例 .....	166
5.9 机器语言、汇编语言和高级语言.....	168
习题.....	169
<b>第 6 章 中央处理器</b> .....	171
6.1 计算机的硬件系统 .....	172
6.2 控制器的组成 .....	176
6.2.1 控制器的功能 .....	176
6.2.2 控制器的组成 .....	177
6.2.3 指令执行过程 .....	178
6.3 微程序控制计算机的基本工作原理 .....	182
6.3.1 微程序控制的基本概念 .....	182
6.3.2 实现微程序控制的基本原理 .....	183
6.4 微程序设计技术 .....	192
6.4.1 微指令的编译法(编码译码方法) .....	192
6.4.2 微程序流的控制 .....	194
6.4.3 微指令格式 .....	200
6.4.4 微程序控制存储器和动态微程序设计 .....	201
6.4.5 微程序设计语言 .....	204



6.5	硬布线控制的计算机 .....	206
6.5.1	时序与节拍 .....	206
6.5.2	操作控制信号的产生 .....	208
6.5.3	控制器的组成 .....	210
6.5.4	硬布线控制逻辑设计中的若干问题 .....	212
6.5.5	硬布线控制与微程序控制的比较 .....	214
6.6	控制器的控制方式 .....	215
6.7	流水线工作原理 .....	216
6.8	CPU 举例 .....	220
6.8.1	RISC 的 CPU .....	220
6.8.2	RISC 的编译系统 .....	229
6.8.3	Pentium 微处理器 .....	231
6.9	计算机的加电及控制过程 .....	232
	习题 .....	234
<b>第 7 章</b>	<b>存储系统</b> .....	<b>239</b>
7.1	存储系统的层次结构 .....	239
7.2	高速缓冲存储器(cache) .....	240
7.2.1	cache 存储器工作原理 .....	240
7.2.2	cache 存储器组织 .....	242
7.2.3	cache 存储器举例 .....	245
7.2.4	多层次 cache 存储器 .....	248
7.3	虚拟存储器 .....	250
7.3.1	虚拟存储器概述 .....	250
7.3.2	页式虚拟存储器 .....	251
7.3.3	段页式虚拟存储器 .....	253
7.3.4	虚拟存储器工作的全过程 .....	254
7.3.5	Pentium 处理机的虚拟存储器 .....	256
7.3.6	存储管理部件(MMU) .....	256
7.4	相联存储器 .....	257
7.5	存储保护 .....	258
	习题 .....	259
<b>第 8 章</b>	<b>辅助存储器</b> .....	<b>262</b>
8.1	辅助存储器的种类与技术指标 .....	262
8.2	磁记录原理与记录方式 .....	264
8.2.1	磁记录原理 .....	264
8.2.2	磁记录介质与磁头 .....	265
8.2.3	磁记录方式 .....	268
8.3	硬磁盘存储器 .....	273

8.3.1	硬磁盘存储器的种类及基本结构 .....	273
8.3.2	硬磁盘驱动器(HDD)及硬磁盘控制器(HDC) .....	274
8.3.3	磁盘 cache .....	278
8.3.4	磁盘阵列存储器 .....	278
8.3.5	硬磁盘驱动器的发展动向 .....	280
8.4	软磁盘存储器 .....	281
8.4.1	概述 .....	281
8.4.2	软磁盘的记录格式 .....	281
8.4.3	软磁盘驱动器和控制器 .....	283
8.4.4	软磁盘驱动器发展动向 .....	283
8.5	磁带存储器 .....	284
8.5.1	磁带机的结构 .....	284
8.5.2	磁带的记录格式 .....	286
8.5.3	循环冗余校验码(CRC) .....	288
8.5.4	磁带机的发展动向 .....	290
8.6	光盘存储器 .....	291
8.6.1	光盘存储器种类 .....	291
8.6.2	光盘的读写原理 .....	293
8.6.3	光盘存储器的组成 .....	294
8.7	硬盘、软盘、磁带和光盘存储器的综合比较 .....	295
8.8	固态硬盘 .....	296
	习题 .....	297
<b>第9章</b>	<b>输入输出(I/O)设备 .....</b>	<b>299</b>
9.1	外部设备概述 .....	299
9.2	输入设备 .....	300
9.2.1	键盘 .....	300
9.2.2	光笔、图形板和画笔(或游动标)输入 .....	301
9.2.3	鼠标、跟踪球和操作杆输入 .....	302
9.2.4	触摸屏 .....	303
9.2.5	图像输入设备(摄像机和数字照相机) .....	304
9.2.6	条形码及其技术 .....	305
9.2.7	光学字符识别(OCR)技术和语音文字输入系统 .....	306
9.3	输出设备——显示器 .....	310
9.3.1	显示技术中的有关术语 .....	310
9.3.2	显示设备种类 .....	312
9.3.3	字符显示器 .....	315
9.3.4	图形和图像显示 .....	317
9.4	输出设备——打印机 .....	318
9.4.1	点阵针式打印机 .....	318

9.4.2	激光打印机 .....	319
9.4.3	喷墨打印机 .....	322
9.4.4	热转印打字机 .....	325
9.4.5	打印机的发展趋势 .....	326
9.5	汉字处理技术 .....	327
9.5.1	汉字编码标准 .....	327
9.5.2	汉字的输入方法 .....	328
9.5.3	汉字的存储 .....	329
9.5.4	汉字的输出 .....	330
	习题 .....	330
<b>第 10 章</b>	<b>输入输出(I/O)系统 .....</b>	<b>332</b>
10.1	输入输出(I/O)系统概述 .....	332
10.1.1	输入输出设备的编址及设备控制器的基本功能 .....	332
10.1.2	I/O 设备数据传送控制方式 .....	333
10.2	程序中断输入输出方式 .....	335
10.2.1	中断的作用、产生和响应 .....	335
10.2.2	中断处理 .....	337
10.2.3	程序中断设备接口的组成和工作原理 .....	341
10.3	DMA 输入输出方式 .....	344
10.3.1	DMA 三种工作方式 .....	344
10.3.2	DMA 控制器组成 .....	344
10.3.3	DMA 的数据传送过程 .....	346
10.4	通道控制方式和外围处理机方式 .....	347
10.4.1	I/O 通道的种类 .....	348
10.4.2	I/O 处理机(IOP)和外围处理机 .....	349
10.5	总线结构 .....	350
10.5.1	总线类型 .....	350
10.5.2	总线组成 .....	351
10.5.3	微机总线 .....	353
10.6	外设接口 .....	357
10.6.1	ATA(IDE)和 SATA 接口 .....	357
10.6.2	SCSI、SAS 和 iSCSI 接口 .....	359
10.6.3	光纤通道 FC 和 InfiniBand .....	363
10.6.4	PCMCIA .....	364
10.6.5	串行通信接口 RS-232、USB 和 IEEE 1394 .....	364
10.6.6	Pentium 处理器外围接口(芯片组)介绍 .....	366
10.6.7	网络存储——SAN 和 NAS .....	367
	习题 .....	369

<b>第 11 章 计算机系统</b> .....	372
11.1 计算机系统概述 .....	372
11.1.1 计算机系统的分类 .....	372
11.1.2 提高计算机系统运算速度的方法 .....	373
11.1.3 开放系统 .....	373
11.1.4 计算机系统的性能评测 .....	374
11.2 微机系统 .....	376
11.2.1 微处理器及个人计算机(PC) .....	376
11.2.2 台式机、笔记本式计算机、PDA 和智能手机 .....	378
11.2.3 商用计算机和家用计算机 .....	382
11.2.4 嵌入式计算机和片上系统 .....	383
11.2.5 智能卡和电子标签 .....	385
11.3 工作站和服务器的 .....	388
11.3.1 工作站 .....	388
11.3.2 服务器 .....	388
11.3.3 瘦客户机 .....	390
11.4 多媒体计算机 .....	390
11.4.1 概述 .....	390
11.4.2 多媒体计算机系统的组成 .....	391
11.4.3 多媒体计算机系统的核心技术 .....	392
11.4.4 多媒体计算机的用途与实例 .....	393
11.5 超级标量处理机、超级流水线处理机和超长指令字处理机 .....	393
11.5.1 超级标量、超级流水线和超长指令字处理机特点 .....	393
11.5.2 超级标量处理器举例——Ultra SPARC IV+处理器 .....	395
11.6 向量处理机 .....	396
11.7 阵列处理机和多处理机系统 .....	398
11.7.1 SIMD 并行处理机系统(阵列处理机系统) .....	398
11.7.2 多处理机系统 .....	399
11.7.3 SGI Origin 多处理机体系结构 .....	402
11.7.4 高性能计算和网格计算 .....	406
习题 .....	408
<b>第 12 章 计算机硬件设计和实现导论</b> .....	409
12.1 计算机硬件的总体设计 .....	409
12.1.1 计算机硬件设计过程 .....	409
12.1.2 指令系统的模拟与仿真 .....	413
12.1.3 微程序设计自动化 .....	414
12.1.4 引进、消化、吸收、创新 .....	415
12.2 集成电路设计概述 .....	415

12.2.1 集成电路的设计过程.....	416
12.2.2 硬件描述语言(VHDL).....	418
12.3 电子设计自动化 EDA .....	428
12.3.1 面向 SoC 的系统级设计 .....	428
12.3.2 集成电路物理设计.....	430
习题.....	432
习题答案.....	434
参考文献.....	450

# 第 1 章 计算机系统概论

## 1.1 计算机的语言

科学技术的高度发展,导致了计算机的诞生。在现代化社会中,计算机已深入到人类工作与生活的各个角落。计算机与其他机器一样,是人类和自然作斗争以及从事各项社会活动的工具。由于它具有计算、模拟、分析问题、操纵机器和处理事务等能力,所以被看作是人脑的延伸,是一种有“思维”能力的机器,从这点出发,计算机又被称为“电脑”。但是一切机器,包括计算机在内,都是人类智慧的结晶,都是人创造的,同时又受人的操纵与控制。

人们经常用语言(或文字)来表达思想、交流经验、互通信息。其中汉语、英语、法语等是使用人数最多的语种。人类相互交流信息所用的语言称为自然语言,但是当前的计算机还不具备理解自然语言的能力,于是人们希望找到一种和自然语言接近,并能为计算机接受的语言,这种语言被称为计算机的高级语言。从计算机的发展历史来看,最初在计算机中使用的语言难以理解,使用困难,因而需要改进,这样才导致了高级语言的诞生。

常用于科学计算和数据处理的高级语言有: C、BASIC、FORTRAN、ALGOL、Pascal、COBOL 和 Ada 等。常用于人工智能的语言有 LISP 和 Prolog 等。用这些语言编写的程序是由英文字母、数字、运算符等按照一定的语法规则组成的。然而目前的通用计算机不会直接执行用高级语言编写的程序,而是先将其翻译成机器能执行的语言,称为机器语言(由二进制代码表示的指令组成),再在机器上运行,因此解题的过程可归结如下。

(1) 程序员用高级语言编写程序。

(2) 将程序与数据输入计算机,并由计算机将程序翻译成机器语言程序,保存在计算机的存储器中。

(3) 运行程序,输出结果。

存储器是计算机中用以存放原始数据、程序以及中间运算结果的设备,最后的处理结果也往往先暂时存放在存储器中,然后再输送出去。存储器分成一个个单元,每个单元有自己的编号,称为该单元的地址。数据或指令以二进制代码形式存放在存储器中。

在计算机中能执行的程序是由指令组成的,因此计算机执行程序的过程,实际上就是按照给定次序执行一组指令的过程。

一条指令通常分成两部分。

(1) 操作码。规定该指令执行什么样的运算(或操作),因此被命名为操作码。

(2) 地址码。规定对哪些数据进行运算,通常表示的是数据地址,因此被称为地址码。当前,计算机指令类型很多,各条指令的功能差异很大,并不局限于对数据进行运算,甚至有的指令不需要地址,因此地址码的含义是灵活多变的。在第 5 章指令系统专门讨论这个问题。

由于二进制码不易辨认,因此往往用符号来表示一条指令,例如加法运算指令可用符号表示如下。

ADD A,B

其中 ADD 为指令的操作码,A,B 为两个操作数的地址码,并隐含指定将运算结果送到地址 A 或 B 中。假如 A 中已存放有十进制数 2,B 中为 3,并默认运算结果送 A,那么执行本条指令以后,A 中的内容将更换成 5,B 中的内容保持不变,仍为 3。

用机器语言编写程序,比用高级语言麻烦得多,那是因为一条机器指令的功能比一条高级语言的语句功能弱很多而造成的,例如用 BASIC 语言编写的程序,执行语句

LET  $d = b^2 - 4 * a * c$

即可得到  $d = b^2 - 4ac$  的值,而用机器语言则需要五条指令才能实现。当用符号来表示指令时,其程序如下:

程序	注释(运算结果)
1. MUL B B	; $b^2$ 送入 B
2. MUL A E	; $4a$ 送入 A
3. MUL A C	; $4ac$ 送入 A
4. SUB B A	; $b^2 - 4ac$ 送入 B
5. MOV D B	; $b^2 - 4ac$ 从 B 传送到 D
A a	; 数据
B b	; 数据
C c	; 数据
D d	; 数据
E 4	; 数据

其中 1~5 条为指令,MUL 为乘法指令的操作码,SUB 为减法指令,MOV 为传送指令。A,B,C,D,E 分别表示存储数 a,b,c,d 及常数 4 的地址,上述这些指令统称为算术逻辑运算指令。

指令前面的序号表示指令的执行顺序,也表示该指令在存储器中的相对位置,必须按此顺序将指令存放在相邻的存储单元中。

例如,第 1 条指令存放在地址为  $n$  的存储单元中,则其后继的指令依次存放在  $n+1$ ,  $n+2$ ,  $n+3$  和  $n+4$  的存储单元中。编制程序时还需考虑求得  $d$  值后机器如何运行问题。如果已不再需要进行其他工作,则在  $n+5$  存储单元可安排一条停机指令或动态停机指令(等待指令)。动态停机指令不完成任何有效的具体操作,仅使计算机处于“空转”状态,待有某些特定信号(如中断信号,见本书第 10 章)来到时,才转到相应的程序入口继续运行。如果还需要进行其他工作,则从  $n+5$  开始继续编制程序,或者安排一条转移指令,将程序转到需执行处。

数据地址 A,B,C,D 和 E,从原则上讲,相互之间不受约束,即可存放在主存储器任何有空闲的地方。但习惯上经常也是顺序安放的。于是可将程序改写如下:

$n$	MUL	$n+7$	$n+7$	$n+6$	$a$
$n+1$	MUL	$n+6$	$n+10$	$n+7$	$b$
$n+2$	MUL	$n+6$	$n+8$	$n+8$	$c$
$n+3$	SUB	$n+7$	$n+6$	$n+9$	$d$
$n+4$	MOV	$n+9$	$n+7$	$n+10$	4
$n+5$	HLT				

HLT 为停机指令。

## 1.2 计算机的硬件

组成计算机的基本部件有中央处理器(CPU, 运算器和控制器)、存储器和输入输出设备。

输入设备用来输入原始数据和处理这些数据的程序。输入的信息有数字符、字母和控制符等,人们经常用 8 位二进制码表示一个数字符(0~9)、一个字母(A, B, C, ..., X, Y, Z)或其他符号,当前通用的是 ASCII 码,它用 7 位二进制码表示一个字符,最高的一位可用于奇偶校验或作其他用处。在计算机中一般把 8 位二进制码称为一个字节。在我国使用的计算机一般有处理汉字的能力,在本书第 9 章作进一步说明。

输出设备用来输出计算机的处理结果,可以是数字、字母、表格和图形等。最常用的输入输出设备是显示终端和打印机,终端设备采用键盘作为输入工具,处理结果显示在屏幕上,而打印机则将结果打印在纸上;除此以外,为了监视人工输入信息的正确性,在用键盘输入信息时,将刚输入的信息显示在屏幕上,如有错误,可及时纠正。

目前常见的输入输出信号还有图像、影视和语音等。

存储器用来存放程序和数据,是计算机各种信息的存储和交流中心。存储器可与 CPU、输入输出设备交换信息,起存储、缓冲、传递信息的作用,在这里要注意把存储单元的地址和存储单元里存放的内容(数据或指令)区分开。

存储器又有主存储器和辅助存储器之分。当前正在计算机上运行的程序和数据是存放在主存储器中的。

中央处理器又叫 CPU,在早期的计算机中分成运算器和控制器两部分,由于电路集成度的提高,已把它们集成在一个芯片中。

运算器是对信息或数据进行处理和运算的部件,经常进行的是算术运算和逻辑运算,所以在其内部有一个算术及逻辑运算部件(ALU)。算术运算是按照算术规则进行的运算,例如加、减、乘、除、求绝对值、求负值等。逻辑运算一般是指非算术性质的运算,例如比较大、移位、逻辑乘、逻辑加等。在计算机中,一些复杂的运算往往被分解成一系列算术运算和逻辑运算。

当 CPU 处理的数据局限于整数时,这个 CPU 有时被称为整数运算部件 IU。为了快速而有效地对实数进行处理,一般 CPU 中都设置有浮点运算部件。

控制器主要用来实现计算机本身运行过程的自动化,即实现程序的自动执行。在控制器控制之下,从输入设备输入程序和数据,并自动存放在存储器中,然后由控制器指挥各部件(运算器、存储器……)协同工作以执行程序,最后将结果打印(或其他方式)输出。作为控制用的计算机则直接控制对象。

在计算机中,各部件间来往的信号可分成三种类型,即地址、数据和控制信号。通常这些信号是通过总线传送的,如图 1.1 所示。CPU 发出的控制信号,经控制总线送到存储器和输入输出设备,控制这些部件完成指定的操作。与此同时,CPU(或其他设备)经地址总线向存储器或输入输出设备发送地址,使得计算机各个部件中的数据能根据需要互相传送。



输入输出设备和存储器有时也向 CPU 送回一些信号, CPU 可根据这些信号来调整本身发出的控制信号。现代计算机还允许输入输出设备直接向存储器提出读写要求, 控制数据传送。

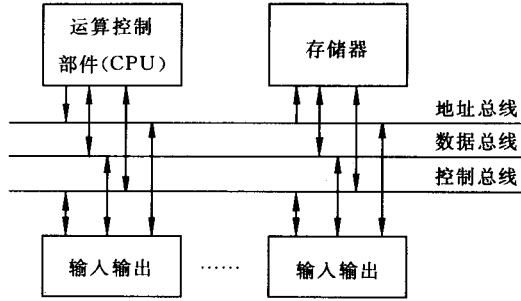


图 1.1 以总线连接的计算机框图

### 1.3 计算机系统的层次结构

现代计算机解题的一般过程是, 用户用高级语言编写程序, 连同数据一起送入计算机 (用户程序一般称为源程序), 然后由计算机将其翻译成机器语言程序 (称为目标程序), 在计算机上运行后输出结果, 其过程如图 1.2 所示。

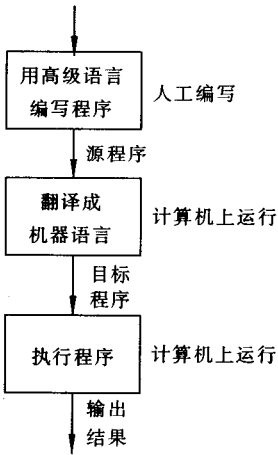


图 1.2 计算机的解题过程

早期的计算机只有机器语言, 用户必须用二进制码表示的机器语言编写程序 (用八进制或十六进制书写), 因此工作量大, 容易出错。而且对程序员的要求很高, 要求他们对计算机的硬件和指令系统有正确和深入的理解, 并有熟练的编程技巧, 只有少数专家才能达到此要求。于是在 20 世纪 50 年代, 出现了符号式程序设计语言, 称为汇编语言。对此, 程序员可用 ADD、SUB、MUL 和 DIV 等符号分别表示加法、减法、乘法、除法的操作码, 并用符号来表示指令和数据的地址。汇编语言程序的大部分语句是和机器指令一一对应的。用户用汇编语言编写程序后, 依靠计算机将它翻译成机器语言 (二进制代码), 然后再在计算机上运行。这个翻译过程是由汇编程序实现的。

可以把一台具有汇编程序的计算机看作是在实际机器级 (硬件) 之上出现的一台虚拟机, 该机允许使用汇编语言编程。称它为虚拟机器的原因是因为它依靠了软件 (汇编程序) 才存在。

由于汇编语言的语法、语义结构仍然和机器语言基本一样, 而与人的传统解题方法相差甚远, 因而经过了人们的努力又出现了面向题目的高级语言。随同研制出来的是这些语言的翻译程序, 因此可以设想在汇编语言级之上又出现了高级语言级, 它的实现是先把高级语言程序翻译成汇编语言程序或中间语言程序, 然后再翻译成机器语言程序 (如图 1.3 所示)。