



北京市高等教育精品教材立项项目

普通高等教育计算机规划教材

计算机 组成原理

王 诚 董长洪 编著



提供电子教案

下载网址 <http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



北京市高等教育精品教材立项项目
普通高等教育计算机规划教材

计算机组成原理

王 诚 董长洪 编著



机械工业出版社

本书共分9章。第1章介绍计算机系统,第2章介绍数字电路基础和常规器件选用实例,第3~8章是计算机组成原理的主体内容,包括运算器部件、指令系统、控制器部件、存储器系统和输入/输出系统等;第9章是系统结构课程的入门性知识。本书配有电子教案,读者可登录机工教材网(<http://www.cmpedu.com>)进行下载。

本书可作为普通高等院校计算机组成原理课程的教材,也可作为大专或高职层次的计算机专业教材,还可作为从事计算机相关业务的生产、科研人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理/王诚,董长洪编著. —北京:机械工业出版社,2009.4
(普通高等教育计算机规划教材)

ISBN 978-7-111-26734-8

I. 计… II. ①王…②董… 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(2009)第049895号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:陈皓

责任印制:杨曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2009年5月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·16.75印张·410千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26734-8

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294 68993821

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

信息技术是当今世界发展最快、渗透性最强、应用最广的关键技术，是推动经济增长和知识传播的重要引擎。在我国，随着国家信息化发展战略的贯彻实施，信息化建设已进入了全方位、多层次推进应用的新阶段。现在，掌握计算机技术已成为 21 世纪人才应具备的基础素质之一。

为了进一步推动计算机技术的发展，满足计算机学科教育的需求，机械工业出版社聘请了全国多所高等院校的一线教师，进行了充分的调研和讨论，针对计算机相关课程的特点，总结教学中的实践经验，组织出版了这套“普通高等教育计算机规划教材”。

本套教材具有以下特点：

- (1) 反映计算机技术领域的新发展和新应用。
- (2) 注重立体化教材的建设，多数教材配有电子教案、习题与上机指导或多媒体光盘等。
- (3) 针对多数学生的学习特点，采用通俗易懂的方法讲解知识，逻辑性强，层次分明，叙述准确而精炼，图文并茂，使学生可以快速掌握，学以致用。
- (4) 符合高等院校各专业人才的培养目标及课程体系设置，注重培养学生的应用能力，强调知识、能力与素质的综合训练。
- (5) 适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学，也可作为各类培训班和自学用书。

机械工业出版社

前 言

本书基本定位在普通高等院校计算机专业的教学需求,同时兼顾大专、高职层次计算机专业的教学需要。本书遵照“计算机组成原理”课程教学大纲的规定,围绕如何理解和构建一台简单的计算机硬件系统来安排,全面而比较系统地讲解了计算机组成的原理知识和内部运行机制。作为课程的预备性知识,本书提供了数字电路与逻辑设计的基础内容;作为补充性知识,本书给出了指令流水线、并行计算机系统结构的基本概念和基础知识,以便更好地适应不同院校的不同培养目标和各有特色的课程安排。

在编写过程中,本着突出基本原理知识学习、加强实践能力培养的人才培养目标,坚持力求知识深浅适度,叙述简练清晰的处理原则,作者把多年来在清华大学主持建设“计算机组成原理”国家级精品课程、研制和建设丰富的教学资源所取得的成果和心得体会充分反映到本书中,把变革教学理念和多年的教学实践结合在一起是本书的第1个特点。

在知识层次方面,把主要的教学内容按照基本通用原理、简明原理示例、典型产品现状3个层次逐层讲解。基本通用原理是基础,是学习与理解计算机组成与运行机制的核心知识,其特点是稳定性(不随时间变迁而改变)和通用性(不随具体机型而变化),是必须掌握的部分。这部分内容强调知识的基础性原理,所用文字并不多,是容易学懂的。问题是没有一台实际的计算机是完全遵照基本原理来实现的。换句话说,要把原理转化成真实的计算机系统,还有许多的技术与工程、性能价格比的平衡关系等问题需要解决。在简明原理示例这个层次,强调运用学习到的基本原理知识,学会设计实现一台硬软件基本完整、实现简单(易懂、价廉)、但不一定是最理想(不追求更完备的性能、更好的实用价值)的计算机系统的方法,增加对所学知识的理解深度和应用能力,做到把学习知识和增长能力结合起来。在典型产品现状这个层次,选择某些典型的计算机系统实例,给出其设计实现的结果及其外特性,体现用到的基本原理,强调学生要了解计算机当前的技术水平和发展现状。提供这样3个层次的教学内容是本书的第2个特点。

在讲解计算机组成和功能时,把通常的文字叙述和选用硬件描述语言VHDL的程序描述结合起来,体现计算机的最新设计手段和实现技术,保证教学内容适度的先进性,并尽量在提高授课质量,降低实验、学习的难度方面做出新的探索。这是本书的第3个特点。

全书分为9章,其中第1章、第3~8章提供本课程的基本教学内容,包括计算机系统、数据表示和运算方法、计算机的运算器部件、指令系统和汇编语言程序设计、计算机的控制部件、多级结构的存储器系统、输入/输出设备和输入/输出系统;第2章中的数字电路与逻辑设计属于先修课的内容,各教学单位和选课学生可按自己的实际情况采用跳过、复习、补学等不同方式来对待,如果缺乏这部分知识,要学好计算机组成原理课程是困难的;第9章中的并行计算机的体系结构应该划分到“计算机系统结构”课程的知识范围,任课教师可参照教学要求和学时情况灵活掌握,可以选择简单介绍、学生自学、指明不学等不同的处理方式。

教学安排中,可以在60~90个学时之间选择,要适当地开展某些硬件内容为主的教学实验,安排一定数量的课外作业,只靠课堂讲解和听课这个教学环节难以真正学懂课程的教

学内容，也不符合教育部多次强调的加强实践教育和增强能力培养的要求。

本书的第1章、第3~6章和第9章由王诚编写，第2章、第7章和第8章由董长洪编写，王诚对全书进行了统稿。

由于编者水平有限，书中难免有错误或不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 计算机系统	1
1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构	1
1.2 计算机硬件的 5 个功能部件及其功能	4
1.3 计算机系统主要的技术与性能指标	6
1.4 计算机的体系结构、组成和实现概述	8
1.5 计算机发展进步、分类与拓展应用的进程	10
1.6 本章小结	13
1.7 习题与思考题	13
第 2 章 数字电路基础和常规器件选用实例	14
2.1 数字电路基础	14
2.1.1 半导体材料和晶体二极管简介	14
2.1.2 双极型三极管的结构及其伏安特性	16
2.1.3 MOS 管的结构和它的伏安特性	17
2.2 基本逻辑门和布尔代数知识基础	19
2.2.1 最基本的逻辑门电路	19
2.2.2 布尔代数知识基础及其应用	21
2.3 组合逻辑电路及其应用	24
2.3.1 基本逻辑门器件	24
2.3.2 三态门器件	25
2.3.3 多路选择器	26
2.3.4 编码器和译码器	26
2.3.5 组合逻辑电路应用案例	28
2.4 时序逻辑电路及其应用	29
2.4.1 基本 RS 触发器	30
2.4.2 D 触发器与寄存器、计数器器件	30
2.4.3 存储器芯片简介	31
2.4.4 时序逻辑电路应用案例	31
2.5 现场可编程逻辑器件及其应用	32
2.5.1 现场可编程器件简介	33
2.5.2 现场可编程器件的编程和应用	34
2.5.3 现场可编程器件应用案例	35

2.6	本章小结	41
2.7	习题与思考题	41
第3章	数据表示和运算方法	44
3.1	数字化信息编码的概念和二进制编码知识	44
3.1.1	数字化信息编码的概念	44
3.1.2	二进制编码和码制转换	44
3.1.3	检错纠错码	50
3.2	数据表示——常用的信息编码	54
3.2.1	逻辑型数据的表示	54
3.2.2	字符型数据的表示	54
3.2.3	多媒体信息编码	57
3.2.4	数值型数据的表示	59
3.3	二进制数值数据的编码方案与运算算法	63
3.3.1	原码、反码、补码的定义	63
3.3.2	补码加、减运算规则和电路实现	66
3.3.3	原码一位乘法、除法的实现方案	67
3.3.4	实现乘法、除法的其他方案	73
3.4	本章小结	74
3.5	习题与思考题	75
第4章	计算机的运算器部件	76
4.1	算术逻辑运算单元的线路实现	76
4.2	计算机的定点运算器	79
4.2.1	定点运算器的功能、组成与控制	79
4.2.2	示例计算机的运算器部件的功能、组成与实现	81
4.2.3	MIPS 计算机多周期 CPU 系统中的运算器部件的组成与实现	85
4.3	浮点运算与浮点运算器	87
4.3.1	浮点数的运算规则	87
4.3.2	浮点运算器举例	93
4.4	提高运算器部件处理能力的可行途径	94
4.4.1	计算机性能的提高和并行性发展简介	94
4.4.2	提高计算机运算器处理能力的可行途径	95
4.5	本章小结	96
4.6	习题与思考题	97
第5章	指令系统和汇编语言程序设计	99
5.1	指令格式和指令系统概述	99
5.1.1	操作码的组织与编码	100
5.1.2	有关操作数的个数、来源、去向和地址安排	101
5.1.3	指令的分类	102
5.2	基本寻址方式概述	104

5.3	指令系统举例	106
5.3.1	MIPS 计算机的指令系统	107
5.3.2	TH-FPGA 示例计算机的指令系统	107
5.4	计算机的汇编语言程序设计	111
5.4.1	汇编语言程序设计中的有关概念	111
5.4.2	示例计算机的汇编语言程序设计举例	113
5.5	本章小结	116
5.6	习题与思考题	117
第 6 章	计算机的控制器部件	118
6.1	控制器的功能、组成与指令执行步骤概述	118
6.1.1	控制器部件的功能、组成简介	118
6.1.2	指令的执行步骤简介	119
6.2	硬连线控制器部件	121
6.2.1	硬连线控制器的组成和运行原理简介	121
6.2.2	TH-FPGA 教学计算机系统实例	123
6.2.3	MIPS 计算机的控制器部件	136
6.3	微程序的控制器部件	141
6.3.1	微程序控制器的基本组成和运行原理简介	141
6.3.2	微程序设计中的下地址形成逻辑和微程序设计	143
6.4	指令流水线的概念和实现技术	144
6.4.1	流水线的基本概念和主要性能指标	145
6.4.2	指令流水线中的相关问题及其解决思路	147
6.4.3	TH-FPGA 系统中的指令流水线方案	148
6.4.4	指令级并行技术	153
6.5	本章小结	155
6.6	习题与思考题	155
第 7 章	多级结构的存储器系统	157
7.1	存储器系统概述	157
7.1.1	存储器的性能指标	158
7.1.2	存储器的分类	159
7.1.3	存储系统运行遵循的原理	161
7.2	主存部件的组成与设计	163
7.2.1	存储器芯片	164
7.2.2	主存的基本组成	168
7.2.3	教学计算机内存的组成与设计	171
7.2.4	摩尔定律与软件第一定律	174
7.3	外存储器设备与磁盘阵列技术	176
7.3.1	外存设备简介	176
7.3.2	磁盘设备的组成与运行原理	176

7.3.3	磁盘阵列技术与 RAID 盘	179
7.3.4	光盘存储设备的组成与运行原理	181
7.4	高速缓冲存储器	187
7.4.1	高速缓冲存储器的运行原理	187
7.4.2	Cache 的 3 种地址映像方式	190
7.5	虚拟存储器概述	199
7.5.1	虚拟存储器的功能与特点	199
7.5.2	3 种虚拟存储器	200
7.5.3	虚拟存储器与 Cache 的比较	202
7.6	本章小结	203
7.7	习题与思考题	203
第 8 章	输入/输出设备和输入/输出系统	205
8.1	基本输入/输出设备	205
8.1.1	输入/输出设备简介	205
8.1.2	点阵式设备运行原理简介	206
8.1.3	计算机键盘与鼠标的组成和运行原理	207
8.1.4	显示器的组成和运行原理	209
8.1.5	打印输出设备	213
8.2	计算机总线与接口	219
8.2.1	总线简介	219
8.2.2	总线仲裁和数据传输控制	222
8.2.3	输入/输出接口的基本功能	223
8.2.4	通用可编程接口的一般组成和串行接口实例	224
8.3	常用的输入/输出方式	229
8.3.1	常用的输入/输出方式简介	229
8.3.2	中断的概念和中断处理过程	231
8.3.3	DMA 及其处理过程	235
8.4	本章小结	237
8.5	习题与思考题	238
第 9 章	并行计算机的体系结构	240
9.1	基础知识与基本概念	240
9.1.1	计算机体系结构的分类	240
9.1.2	并行计算机系统的性能问题	241
9.1.3	并行计算机系统的软件技术	243
9.2	SIMD 计算机概述	246
9.3	基于共享内存的多处理机系统	247
9.3.1	一致性内存访问的多处理机系统	248
9.3.2	非一致性内存访问的多处理机系统	249
9.3.3	仅高速缓存访问的多处理机系统	249

9.4	基于消息传递的多计算机系统	250
9.4.1	大规模并行处理机	251
9.4.2	工作站集群	252
9.5	本章小结	252
9.6	习题与思考题	253
附录	逻辑符号对照表	254
参考文献	.....	255
005	.....	255
006	.....	255
009	.....	255
100	.....	255
101	.....	255
102	.....	255
103	.....	255
104	.....	255
105	.....	255
106	.....	255
107	.....	255
108	.....	255
109	.....	255
110	.....	255
111	.....	255
112	.....	255
113	.....	255
114	.....	255
115	.....	255
116	.....	255
117	.....	255
118	.....	255
119	.....	255
120	.....	255
121	.....	255
122	.....	255
123	.....	255
124	.....	255
125	.....	255
126	.....	255
127	.....	255
128	.....	255
129	.....	255
130	.....	255
131	.....	255
132	.....	255
133	.....	255
134	.....	255
135	.....	255
136	.....	255
137	.....	255
138	.....	255
139	.....	255
140	.....	255
141	.....	255
142	.....	255
143	.....	255
144	.....	255
145	.....	255
146	.....	255
147	.....	255
148	.....	255
149	.....	255
150	.....	255

第1章 计算机系统

本章首先介绍计算机系统的基本组成和它的层次结构，使读者从层次的观点，初步认识计算机系统硬件与软件的基本组成，重点集中到计算机硬件的5个功能部件各自分担的功能及其相互的连接关系。接下来初步讨论计算机系统主要的性能和技术指标。之后对计算机硬件子系统的3部分知识，即计算机的体系结构、计算机组成和计算机实现进行说明，指明它们之间的联系与区别，帮助读者把握学习本课程的主脉络。最后介绍计算机的发展过程，计算机系统的分类和推广应用的状况。

本章作为学习计算机组成原理课程的引导性提纲，讲解计算机系统某些基本概念和常用术语，希望读者能够从硬件和软件、整机和部件、知识和能力等多种对应关系的角度提高自己的学习质量。

1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构

这里说的计算机系统（Computer System），是指电子数字通用计算机系统，三个定语各自表明了计算机系统某一方面的特性。“电子”一词表明使用电子线路（不同于机械、继电器等）来实现计算机硬件的关键逻辑功能；“数字”一词表明使用的电子线路是数字式电路（不同于模拟电路），运算和处理的数据是二进制的离散数据（不同于连续的电压或电流）；“通用”一词表明计算机本身的功能多样（不是专用于某种特定功能），具有完成各种运算或事物处理的能力。

完整的计算机系统是由硬件（Hardware）和软件（Software）两大部分（两类资源）组成的。计算机的硬件系统是计算机系统中看得见、摸得着的物理设备，是一种高度复杂的、由多种电子线路、精密机械装置等构成的、能自动并且高速地完成数据计算与处理的装置或者工具。计算机的软件系统是计算机系统内的程序和相关数据，包括完成计算机资源管理、方便用户使用的系统软件（厂家提供）和完成用户对数据的预期处理功能的用户软件（用户设计并自己使用）这样两大部分。硬件和软件二者相互依存，分工互动，缺一不可。硬件是计算机系统中保存与运行软件程序的物质基础，软件则是指挥硬件完成预期功能的智力部分，正如同一个健全和健康的人一样，必须同时具备物质性的肉体和精神性的智力与思维。

若进一步深入分析，还可以通过6个层次来认识计算机硬件和软件系统的组成关系，如图1-1所示。最下面的两层属于硬件内容，最上面的3层属于软件内容，中间的指令系统层连接硬件和软件两部分，与两部分都有密切关系。

从图1-1中可以看出，计算机系统具有6层结构。在不同层次之间的关系表现如下。

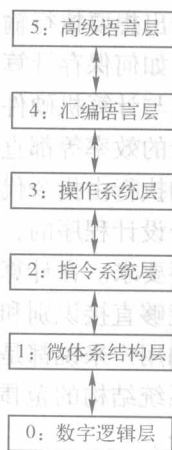


图1-1 计算机系统的层次结构

处在上面的一层是在下一层的基础上实现出来的，它实现的功能更强大。也就是说，更接近人解决问题的思维方式和处理问题的具体过程，对使用人员更方便，使用这一层提供的功能时，不必关心其下一层的实现细节。

处在下面的一层是实现上一层的基础，更接近计算机硬件实现的细节，它实现的功能相对简单，人们使用这些功能更感到困难。在实现这一层的功能时，可能尚无法了解其上一层的最终目标和将要解决的问题，也不必理解其更下一层实现中的有关细节问题，只要使用下一层所提供出来的功能来实现本层次的功能处理即可。

采用这种分层次的方法来分析 and 解决某些问题，有利于简化处理问题的难度，在某一段时间，在处理某一层中的问题时，只需集中精力解决当前最需要关心的核心问题即可，而不必牵扯各上下层中的其他问题。例如，在用高级语言设计程序时，无需深入了解各低层的内容。

第0层是数字逻辑层，着重体现实现计算机硬件的最重要的物质材料是电子线路，能够直接处理离散的数字信号。设计计算机硬件的基础知识就是数字逻辑和数字门电路，解决的基本问题包括使用何种线路和如何存储信息，使用何种线路和如何传送信息，使用何种线路和如何运算与加工信息等方面。这一部分属于计算机组成原理预备性的知识。

第1层是微体系结构（Micro Architecture）层，也称其为计算机裸机。前面已经说过，计算机的核心功能是执行程序，程序是按一定规则和顺序组织起来的指令序列。这个层次着重体现的是，为了执行指令，需要在计算机中设置哪些功能部件（如存储、运算、输入和输出、接口和总线等部件，当然还有更复杂一点的控制部件），每个部件具体如何组成和怎样运行，这些部件如何实现相互连接并协同工作等方面的知识和技术。计算机硬件系统通常由运算器部件（数据通路）、控制器部件、存储器部件、输入设备和输出设备5个部分组成，这几个部分是计算机组成原理的主要内容。

第2层是指令系统（Instruction Set）层，介于硬件和软件之间。它涉及到需要确定使用哪些指令，以及指令能够处理的数据类型和对各种类型数据可以执行的运算，每一条指令的格式和实现的功能，如何指出想要对其执行读操作或者写操作的存储器的一个存储单元，如何指出想要执行输入或者输出操作的一个外围设备，对哪些数据进行运算，执行哪一种运算，如何保存计算结果等。指令系统是计算机硬件系统设计、实现的最基本和最重要的依据，与计算机硬件实现的复杂程度、设计程序的难易程度、程序占用硬件资源的多少、程序运行的效率等都直接相关，也就是说，硬件系统就是要实现每一条指令的功能，能够直接识别和执行由指令代码组成的程序。当然，指令系统与计算机软件的关系也十分密切，指令是用于设计程序的，方便程序设计，节省硬件资源、有利于提高程序运行效率是对指令系统的主要要求。在计算机内部，全部的程序最终都由指令系统所提供的指令代码组成，计算机硬件能够直接识别和执行的只能是由指令代码组成的程序。一台计算机的指令系统对计算机厂家和用户来说都是很重要的事情，需要非常认真仔细地分析和对待。指令系统设计属于计算机系统结构的范围，合理选择可用的线路实现每一条指令的功能则是计算机组成的主要任务。

第3层是操作系统（Operating System）层。它是计算机系统最重要的软件，主要负责计算机系统资源的管理与分配，以及向使用者和程序设计人员提供简单、方便、高效的服务。一个计算机系统中包含了大量高价的、管理和使用相当复杂的硬件资源和软件资源，不

仅一般水平的使用人员，就是水平很高的专业人员都难以直接控制和操作，因此把资源管理和调度功能留给计算机系统本身来完成更可靠，这些功能是由操作系统承担的。操作系统还为使用计算机的用户提供了许多支持，它与程序设计语言相结合，使得程序设计更简单，创建用户的应用程序和操作计算机也更方便。它是使用（直接或者间接）计算机硬件指令系统所提供的指令设计出来的程序，并把一些常用功能以操作命令或者系统调用的方式提供给使用人员。也可以说，操作系统进一步扩展了原来的指令系统，提供了新的可用命令，从而构成一台比纯硬件系统（计算机裸机）功能更加强大的计算机系统。操作系统不属于计算机组成的范围，在计算机专业的教学安排中应该设置这门软件课程。

第4层是汇编语言（Assembly Language）层。计算机是由人指挥控制，供人来使用的。使用计算机的人员要有办法把自己的意图告知给计算机，为完成这种“对话”，就需要使用某种语言。遗憾的是，计算机还不能（至少目前尚不能低成本地实现）听懂人类的自然语言，更无法执行人类自然语言的全部命令。最简单的解决办法是让计算机使用它的硬件可以直接识别、理解的，用电子线路容易处理的一种语言，这就是计算机的机器语言，又称为二进制代码语言，也就是计算机的指令。一台计算机的全部指令构成该计算机的指令系统。由此可以看出，实质上计算机的基础硬件是在机器语言的层次上被设计与实现出来的，并且可以直接识别和执行的只能是由机器语言构成的程序。这样做的结果，计算机一方的矛盾是解决了，但是使用计算机的人员却很难接受并使用这种语言。为此，必须找出一种折中方案，做到人员使用和计算机实现都更容易一点，这就是汇编语言、高级语言和各种专用的语言。

汇编语言大体上是对计算机机器语言的符号化处理的结果，再增加一些为方便程序设计而实现的扩展功能。与机器语言相比，汇编语言至少有两大优点。首先实现用英文单词或其缩写形式替代二进制的指令代码，更容易为人们记忆和理解；其次是可以选用含义明确的英文单词来表示程序中用到的数据（常量和变量），并且避免程序设计人员亲自花费精力为这些数据分配存储单元，而是将这些工作留给汇编程序去安排，这样的语言就达到了实用的最基本标准。如果在此基础上，再在支持程序的不同结构特性（如循环和重复执行等结构），及将子程序所用哑变元替换为真实参数等方面提供必要的支持，使用这个语言设计程序就更为方便。因此，汇编语言是面向计算机硬件本身的、程序设计人员可以使用的一种计算机语言。汇编语言的程序必须经过一个叫做汇编程序的系统软件的翻译，将其转换为计算机的机器语言后，才能在计算机的硬件系统上予以执行。由于汇编语言和机器语言存在十分紧密的对应关系，在讲授和学习计算机组成原理课程时，通常应使用汇编语言来设计实例程序。

第5层是高级语言层，高级语言又称算法语言（Algorithm Language），它的实现思路不再过分地“靠拢”计算机硬件的指令系统，而是着重面向解决实际问题所用的算法，更多的是为方便程序设计人员写出自己解决问题的处理方案和解题过程的程序。目前常用的高级语言有 Basic、C、C++、Pascal、Java 和 PROLOG 等。用这些语言设计出来的程序通常需要经过一个叫做编译程序的软件编译成机器语言程序，或者首先编译成汇编程序后，再经过汇编操作后得到机器语言程序，才能在计算机的硬件系统上予以执行。也可以由一个叫做解释执行程序的软件逐条取来相应高级语言程序的每个语句并直接控制其执行过程，而不是把整个程序编译为机器语言程序之后再交给硬件系统加以执行，解释执行程序的最大缺点是运行效率比较低。高级语言不属于计算机组成课程的范围。

在高级语言层之上，还可以有应用层，由解决实际问题的处理程序组成，例如文字处理软件、数据库软件、网络软件、多媒体信息处理软件和办公自动化软件等。但这些内容已经超出了本书的讨论范围，这里不再赘述。换句话说，计算机是用于解决各种应用问题的系统，为有应用而存在，通过处理各种应用问题而体现出它的性能和价值。

在大部分的教材中，人们通常把没有配备软件的纯硬件系统称为“裸机”，这是计算机系统的根基或称“内核”，它的设计目标更多地集中到方便硬件实现和有利于降低成本两个方面，因此提供的功能相对较弱，只能执行由机器语言构成的程序，非常难用。为此，人们期望能开发出功能更强、更接近人的思维方式和使用习惯的语言，这是通过在裸机上配备适当的软件来完成的。每加一层软件就构成一个新的“虚拟计算机”，功能更强大，使用也更加方便。例如，配备了操作系统之后，就可以通过操作系统的命令（Command）或者窗口上的图标方便地操作使用这个新的虚拟机系统；再配备上汇编语言，用户就可以用它来编写用户程序，实现用户预期的处理功能；配备了高级语言之后，用户就可以用它来更方便、高效地编写程序，处理规模更为庞大、逻辑关系更加复杂的问题。可见，可以把前面说明的计算机系统第1~5层分别称为裸机、L₁虚拟机（支持机器语言）、L₂虚拟机（增加了操作系统）、L₃虚拟机（支持汇编语言）、L₄虚拟机（支持高级语言）。

1.2 计算机硬件的5个功能部件及其功能

计算机系统的核心功能是执行程序。为此，首先必须有能力把要运行的程序和要用到的原始数据输入到计算机内部并存储起来，接下来应该有办法逐条执行这个程序中的指令以完成数据运算并得到运算结果，最后还要可以把运算结果输出出来供人检查和使用。为此，一套计算机的硬件系统至少需要由下述几个相互连接在一起的部件和设备组成，如图1-2所示。

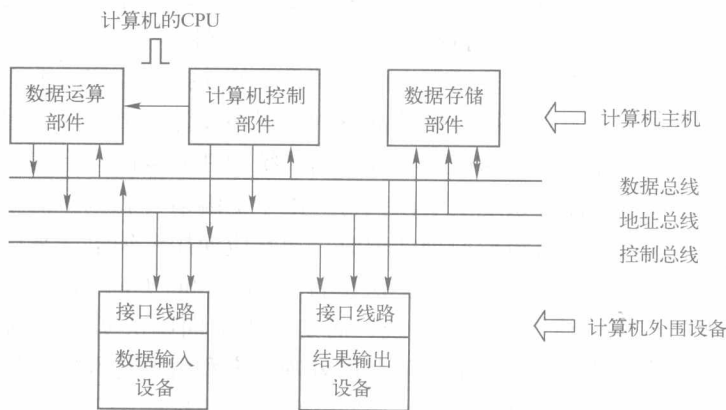


图1-2 计算机硬件系统的组成示意图

图1-2中通过5个方框图给出了计算机硬件的5个基本功能部件。其中的4个部件所分担的功能，通过方框中的文字说明已经表示出来。例如，数据输入设备完成对程序和原始数据的输入功能；数据存储部件完成对程序和数据的存储功能；数据运算部件完成对数据的运

算处理功能；结果输出设备完成对运算处理结果的输出功能。而计算机控制部件则是依照每条指令运行功能的需要，向各个部件或设备提供它们协调运行所需要的控制信号，在整个硬件系统中起到指挥、协调和控制的作用。

可以把计算机想象为一个加工处理数据的工厂，则数据运算部件就是数据加工车间，数据存储部件就是存放原材料、半成品和最终产品的库房，输入设备相当于运入原材料的运货卡车，输出设备相当于发出最终产品的运货卡车，控制部件则相当于承担领导指挥功能的厂长和各个职能办公室。在领导的正确指挥下，如果能够源源不断地取得原材料，工厂内又有存放的场所，车间能够对这些原材料进行指定的加工处理，加工后的产品可以畅通地运出去销售，则这个工厂（计算机）就纳入正常运行的轨道。

图 1-2 中上面标记为部件的 3 个组成部分通常是使用电子线路实现出来的，安装在一个金属机柜内或者印制电路板上，被称为计算机的主机。左边的数据运算部件和计算机控制部件合称为计算机的中央处理器（Center Processing Unit, CPU），又称为处理机（Processor）。

图 1-2 中下面标记为设备的 2 个组成部分通常是使用精密机械装置和电子线路共同制作出来的，也可以合称为输入输出设备，又称为计算机的外围设备。

图 1-2 中的中间部分是计算机的 3 种总线。数据总线用于在这些部件或设备之间传送属于数据信息（指令和数据）的电气信号；地址总线用于在这些部件或设备之间传送属于地址信息的电气信号，以选择数据存储部件中的一个存储单元，或者外围设备中的一个设备；控制总线用于向存储部件和外围设备传送起控制作用的电气信号，也就是指定在 CPU 和这些部件或者设备之间数据传送的方向以及操作的性质（读操作还是写操作）等。可以看出，计算机的 5 个功能部件正是通过这 3 种类型的总线被有机地连接在一起，从而构成一台完整的、可以协调运行（执行程序）的计算机硬件系统。

在计算机中，普遍的体系结构是由冯·诺依曼先生提出来的被称之为存储程序的计算机。早期计算机的几个部件是围绕着运算器部件来组织的，如图 1-3a 所示，其特点是在存储器和输入输出设备之间传送数据都需要经过运算器。在当前流行的计算机中，更常用的方案则是围绕着存储器部件来组织的，如图 1-3b 所示。方案 b 和方案 a 相比，并无实质性的区别，只是在一些小的方面做了部分改进，使输入输出操作尽可能地绕过 CPU，即直接在输入输出设备和存储器系统之间完成，以提高系统的整体运行性能。

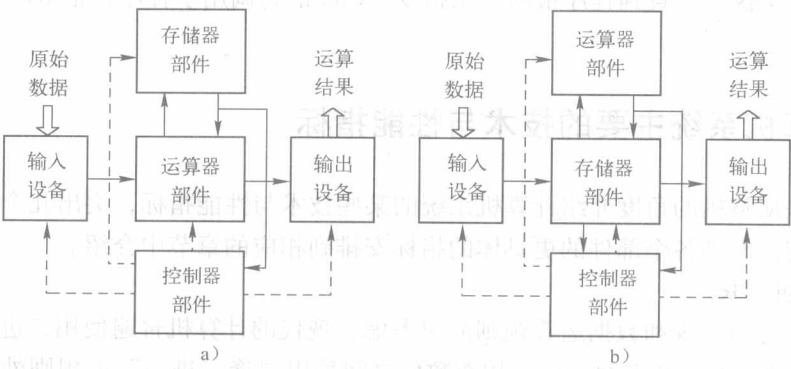


图 1-3 计算机的组成结构

a) 围绕运算器构建的系统 b) 围绕存储器构建的系统

前面说到的还只限于“工厂的硬件”组成，也就是人员和厂房设备等，仅有这些，工厂还是运转不起来，至少是很难运行的。要成功运转，还需要有一系列的规章制度、管理策略和经营办法等“软件”部分。计算机系统也一样，在硬件组成的基础之上，还必须要有它的软件部分，主要包括操作系统、程序设计语言及其支持软件等，这些在前面已经提到。

下面以计算 1~10 的累加和为例，看一看 3 个级别语言的程序例子（见表 1-1），并简单介绍该机器语言程序在计算机内部的执行过程。下面的程序可以在一个模拟软件中实际运行。

表 1-1 3 个级别语言的程序例子

高级语言 BASIC 的程序	汇编语言的程序	机器语言的程序（十六进制表示）
10 sum = 0	2000: sub R15, R15	01FF
20 for i = 1 to 10	2004: sub R1, R1	0111
30 sum = sum + i	mvr d R0, 0A	8800 000A
40 next i	inc R1	0910
50 print sum	add R15, R1	00F1
60 end	cmp R1, R0	0310
	jrnz 2004	47FC
	cala 0664	CE00 0064
	ret	8F00
说明：每个 BASIC 语句都带数字标号，用于表明语句次序关系。用高级语言设计程序，重点关注运算功能，而不是计算机硬件组成及使用，很方便	说明：设计汇编语言程序要懂得计算机硬件的某些特性，要自己安排通用寄存器和内存地址等，工作比较繁琐复杂，效率低	说明：机器语言程序是计算机指令代码的序列，很难记忆指令代码并用其设计程序，每个基本汇编语句都对应一条指令。

机器码程序的执行过程为：首先把机器语言的程序用输入设备输入到计算机的存储器中，从十六进制的 2000H 地址单元开始依次存放每一条指令。用操作系统（监控程序）的命令运行这个程序，则 CPU 将从程序的首地址（2000H）到存储器读来第一条指令并保存到控制器中，接下来依据指令功能指挥各部件完成必要操作。例如第 1 条就是控制运算器完成一次减法运算，与此同时形成下一条指令的地址，待本条指令完成后，用这个地址去读下一条指令，继续执行，直到程序最后一条指令。cala 语句调用子程序，把 R15 中的累加和输出到屏幕上。

1.3 计算机系统主要的技术与性能指标

这里只是从整机的角度介绍计算机系统的某些技术与性能指标，突出几个重要概念和基本术语，而把涉及到各个部件的更具体的指标安排到相应的章节中介绍。

1. 计算机字长

从物理上容易实现和数据运算规则简单考虑，现代的计算机普遍使用二进制，即每一位（bit）上的数值只有 0 和 1 两个值，相邻数位之间采用“逢二进一”的规则处理，用从右到左依次排列起来的一串二进制的数表示不同的数值和信息。

在计算机系统内部，通常选用多少个二进制位来表示一个数据或一条指令是一个关键技术