



21 世纪大学本科  
计算机专业系列教材

王诚 宋佳兴 编著

# 计算机组成与体系结构

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

- 根据教育部高教司主持评审的《中国计算机科学与技术学科教程 2002》组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE/CS 《Computing Curricula 2001》同步

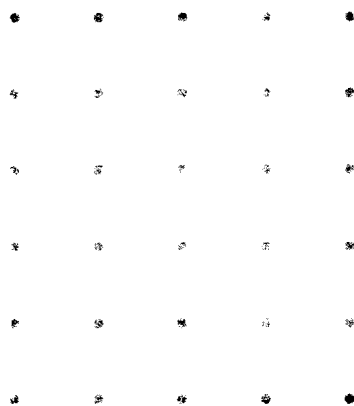


清华大学出版社

21世纪大学本科计算机专业系列教材

# 计算机组成与体系结构

王诚 宋佳兴 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以数字电路与逻辑设计(基础部分)、计算机组成(主体部分)、计算机体系结构(提高部分)3部分内容为主线,重点讲解计算机系统的完整组成和提高性能的可行途径。本书适合作为计算机组成原理课程,或者计算机组成与体系结构课程的教材,也可供从事计算机领域的广大工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与体系结构/王诚,宋佳兴编著. —北京:清华大学出版社,2003

(21世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 7-302-07745-2

I. 计… II. ①王… ②宋… 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(2003)第 112307 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 张瑞庆

文稿编辑: 王冰飞

封面设计: 孟繁聪

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印张: 24 字数: 490 千字

版 次: 2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-07745-2/TP·5661

印 数: 1~6000

定 价: 29.80 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、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)62770175-3103 或(010)62795704。

## 21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主任：李晓明

副主任：钱德沛 焦金生

委员：(按姓氏笔画为序)

马殿富 王志英 王晓东 宁 洪 刘 辰

孙茂松 李大友 李仲麟 吴朝晖 何炎祥

宋方敏 张大方 张长海 周兴社 侯文永

袁开榜 钱乐秋 黄国兴 蒋宗礼 曾 明

廖明宏 樊孝忠

秘书：张瑞庆

本书责任编辑：李大友

010086871 Xinhua Education Publishing House

# 序 言

## PREFACE

21 世纪是知识经济的时代,是人才竞争的时代。随着 21 世纪的到来,人类已步入信息社会,信息产业正成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术的信息产业中占据了最重要的地位,这就对培养 21 世纪高素质创新型计算机专业人才提出了迫切的要求。

为了培养高素质创新型人才,必须建立高水平的教学计划和课程体系。在 20 多年跟踪分析 ACM 和 IEEE 计算机课程体系的基础上,紧跟计算机科学与技术的发展潮流,及时制定并修正教学计划和课程体系是尤其重要的。计算机科学与技术的发展对高水平人才的要求,需要我们从总体上优化课程结构,精炼教学内容,拓宽专业基础,加强教学实践,特别注重综合素质的培养,形成“基础课程精深,专业课程宽新”的格局。

为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

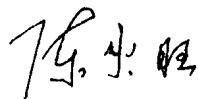
为了提高教学质量,需要不断改革教学方法与手段,倡导因材施教,强调知识的总结、梳理、推演和挖掘,通过加快教案的不断更新,使学生掌握教材中未及时反映的学科发展新动向,进一步拓广视野。教学与科研相结合是培养学生实践能力的有效途径。高水平的科研可以为教学提供最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研还可以为高水平人才的素质教育提供良好的物质基础。学生在课题研究中不但能了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,而且能熏陶和培养良好的科研作风,锻炼和培养攻关能力和协作精神。

进入 21 世纪,我国高等教育进入了前所未有的大发展时期,时代的进步与发展对高等教育质量提出了更高、更新的要求。2001 年 8 月,教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》。文件指出,本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。随着高等教育的普及和高等学校的扩招,在校大学本科计算机专业学生的人数将大量上升,对适合 21 世纪大学本科计算机科学与技术学科课程体系要求的,并且适合中国学生学习的计算机专业教材的需求量

也将急剧增加。为此,中国计算机学会和清华大学出版社共同规划了面向全国高等院校计算机专业本科生的“21世纪大学本科计算机专业系列教材”。本系列教材借鉴美国 ACM 和 IEEE/CS 最新制定的《Computing Curricula 2001》(简称 CC2001)课程体系,反映当代计算机科学与技术学科水平和计算机科学技术的新发展、新技术,并且结合中国计算机教育改革成果和中国国情。

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会,在清华大学出版社的大力支持下,跟踪分析 CC2001,并结合中国计算机科学与技术学科的发展现状和计算机教育的改革成果,研究出了《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(China Computing Curricula 2002,简称 CCC2002),该项研究成果对中国高等学校计算机科学与技术学科教育的改革和发展具有重要的参考价值和积极的推动作用。

“21世纪大学本科计算机专业系列教材”正是借鉴美国 ACM 和 IEEE/CS CC2001 课程体系,依据 CCC2002 基本要求组织编写的计算机专业教材。相信通过这套教材的编写和出版,能够在内容和形式上显著地提高我国计算机专业教材的整体水平,继而提高我国大学本科计算机专业的教学质量,培养出符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才。



中国工程院院士  
国防科学技术大学教授

21世纪大学本科计算机专业系列教材编委会名誉主任

2002年7月

# 前 言

## FOREWORD

作为“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”，遵照本系列教材编委会评审组专家的意见，本书包括了数字电路与逻辑设计、计算机组成、计算机体系结构 3 部分内容。本书读者对象主要是学习计算机课程的大学本科生，包括计算机系的学生、软件学院的学生和非计算机专业选修计算机课程的学生。可以根据不同的课程安排和教学要求，合理分配本教材中 3 部分内容的课时比例。对于课前未学习过数字电路内容，课后也不学习计算机体系结构课程的教学安排，总的教学学时约为 60~80。全书共分 13 章。其中，第 1 章和第 2 章属于基础内容，约占课程总量的 10%；第 3 章至第 11 章是课程的主体部分，约占课程总量的 70%，主要是计算机组成方面的知识，分析和讨论基本计算机系统各个部件的组成；第 12 章和第 13 章主要属于计算机体系结构方面的内容，是课程的提高部分，约占课程总量的 20%，重点介绍提高计算机系统性能的主要概念与各种可行思路。本书若作为计算机组成原理课程的教材，重点讲解第 3 章至第 11 章中的知识，第 2 章、第 12 章和第 13 章可作为学生选读内容。

教学内容具体安排如下。

第 1 章是全书内容的概述部分，简要介绍计算机组成与体系结构的基本概念，从实现功能的角度来说明计算机硬件系统的基本组成，从功能和层次的观点来讲解计算机组成与体系结构各自需要研究和解决的问题，并简要说明了本课程的教学目标和对学习方法的建议。

第 2 章简明讲解数字逻辑电路基础和计算机中的逻辑部件，属于本书的第一个知识单元。在给出部分基本知识的同时，更多地强调为计算机组成实例奠定电子线路知识与逻辑设计的基础。

第 3 章的数据表示、数据运算算法和逻辑电路实现，第 4 章的计算机中的运算器部件，共同构成本书的第二个知识单元。主要围绕计算机的运算器部件进行讲解，内容涉及运算器部件的物理实现，给出了教学计算机的运算器部件的实际例子。

第 5 章的指令、指令系统和汇编语言程序设计，第 6 章的计算机的控制器部件，共同构成本书的第三个知识单元。主要围绕计算机的控制器部件进行讲解，在讲解控制器部

件的功能和组成时,重点讲解硬连线控制器,适当介绍微程序控制器。内容涉及控制器部件的逻辑设计和物理实现,给出教学计算机的控制器部件的实际例子。

第7章的多级结构的存储器系统概述和主存储器,第8章的高速缓冲存储器和虚拟存储器,第9章的辅助存储器设备与磁盘阵列技术,共同构成本书的第四个知识单元。主要围绕计算机的存储器系统进行讲解,给出了教学计算机的主存储器的具体例子。

第10章的输入输出设备,第11章的输入输出系统,共同构成本书的第五个知识单元。主要围绕计算机的输入和输出功能进行讲解,给出了教学计算机实际的总线构成和使用串行接口芯片的具体例子。

第12章的流水线技术和第13章的并行计算机体系结构,共同构成本书的第六个知识单元,对应计算机系统结构教材中的主要知识。这部分内容,更多地强调基本概念、提出问题的思路和解决问题的方案、对性能的影响等,基本上止步于定性说明。

通过本教材,学生可以学到数字电路和逻辑设计的基本知识;可以从层次的观点,掌握基本的计算机组成和运行机制方面的知识,奠定必要的专业知识基础,为下一步的学习和进一步提高实际工作水平做好准备;可以从系统的观点,了解计算机体系结构领域的基本知识,理解提高计算机的部件和整机硬件性能的各种可行途径,理解计算机系统中硬件、软件的功能划分和相互配合关系,能站在更高的层次上思考与解决工作中遇到的问题。

为方便教学,本教材配有 PowerPoint 电子教案。除此之外,还有硬件实现的教学计算机设备和软件模拟实现的相同功能的模拟系统,以及相应的使用手册和教学实验指导书等。通过对教学计算机系统实例的学习和实验,能够加深对课堂教学内容的理解,并在一定程度上获得进行科学研究和开展计算机硬件系统设计的实际经验,全面提高解决实际问题和创新思维的能力。

本书的第1章至第11章由王诚教授编写,第12章和第13章由宋佳兴老师编写,作者具有多年从事本专业教学和科研工作的经验。

由于作者水平所限,加上时间仓促,书中难免存在不足或不当之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

清华大学计算机科学与技术系

2003年6月



# 目 录

## CONTENTS

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 计算机系统的基本组成及其层次结构 .....	1
1.2 计算机的体系结构、组成和实现 .....	6
1.3 计算机发展进步与拓展应用的历程 .....	8
1.4 课程的教学目标和学习建议 .....	11
本章小结 .....	11
思考练习题 .....	12
<b>第 2 章 数字电路基础和计算机中的逻辑部件</b> .....	13
2.1 数字电路基础 .....	13
2.1.1 半导体材料和晶体二极管简介 .....	13
2.1.2 双极型三极管的结构及其伏安特性 .....	15
2.1.3 MOS 管的结构及其伏安特性 .....	16
2.2 基本逻辑门和布尔代数知识基础 .....	17
2.2.1 最基本的逻辑门电路 .....	17
2.2.2 布尔代数知识基础 .....	19
2.3 组合逻辑电路及其应用 .....	26
2.3.1 基本逻辑门 .....	26
2.3.2 三态门 .....	26
2.3.3 数据选择器 .....	30
2.3.4 译码器和编码器 .....	31
2.3.5 组合逻辑电路应用举例 .....	33
2.4 时序逻辑电路及其应用 .....	36
2.4.1 基本 R-S 触发器 .....	36
2.4.2 D 型触发器与寄存器、计数器器件 .....	37

2.4.3	时序逻辑电路应用举例 .....	42
2.5	现场可编程器件及其应用 .....	49
2.5.1	现场可编程器件概述 .....	49
2.5.2	通用可编程器件 GAL20V8 的内部结构及其编程使用 .....	50
2.5.3	MACH 器件的内部结构与编程使用 .....	52
2.5.4	FPGA 器件及其在实现 CPU 功能中的应用 .....	58
2.6	几个专用功能器件和存储器芯片的引脚图 .....	59
	本章小结 .....	61
	思考练习题 .....	61
<b>第 3 章</b>	<b>数据表示、数据运算算法和逻辑电路实现 .....</b>	<b>62</b>
3.1	数字化信息编码的概念和二进制编码知识 .....	62
3.1.1	数字化信息编码的概念 .....	62
3.1.2	二进制编码和码制转换 .....	63
3.1.3	检错纠错码 .....	69
3.2	数据表示——常用的信息编码 .....	73
3.2.1	逻辑类型数据的表示 .....	73
3.2.2	字符类型数据的表示 .....	74
3.2.3	数值类型数据的表示 .....	76
3.3	二进制数值数据的编码与运算算法 .....	82
3.3.1	原码、反码、补码的定义 .....	82
3.3.2	补码加、减运算规则和电路实现 .....	88
3.3.3	原码一位乘法的实现算法和电路实现 .....	90
3.3.4	原码一位除法的实现算法和电路实现 .....	92
3.3.5	补码一位乘法、除法和其他快速乘除法的实现思路 .....	95
	本章小结 .....	97
	思考练习题 .....	97
<b>第 4 章</b>	<b>计算机中的运算器部件 .....</b>	<b>99</b>
4.1	运算器部件概述 .....	99
4.2	定点运算器部件的功能、组成与设计 .....	101
4.2.1	定点运算器部件概述 .....	101
4.2.2	位片结构的运算器芯片 Am2901 .....	102
4.2.3	教学计算机运算器的设计与实现实例 .....	107

4.3 浮点运算与浮点运算器 .....	113
4.3.1 浮点数的运算规则 .....	113
4.3.2 浮点运算器举例 .....	120
4.4 当前流行的计算机中的运算器部件概述 .....	124
本章小结 .....	125
思考练习题 .....	125
<b>第5章 指令、指令系统和汇编语言程序设计 .....</b>	<b>127</b>
5.1 指令格式和指令系统概述 .....	127
5.1.1 操作码的组织与编码 .....	128
5.1.2 有关操作数的个数、来源、去向和地址安排 .....	129
5.1.3 关于指令的分类 .....	130
5.2 寻址方式概述与应用实例 .....	132
5.2.1 基本寻址方式概述 .....	132
5.2.2 寻址方式应用举例 .....	135
5.3 指令系统和汇编语言程序设计举例 .....	137
5.3.1 教学计算机的指令系统说明 .....	138
5.3.2 教学计算机的汇编程序设计举例 .....	144
本章小结 .....	151
思考练习题 .....	151
<b>第6章 计算机的控制器部件 .....</b>	<b>153</b>
6.1 控制器的功能、组成与指令执行步骤 .....	153
6.1.1 控制器部件的功能及其组成 .....	153
6.1.2 指令的执行步骤 .....	154
6.2 硬连线控制器部件 .....	158
6.2.1 硬连线控制器的组成和运行原理简介 .....	159
6.2.2 教学计算机的硬连线控制器的组成、设计与实现实例 .....	161
6.3 微程序控制器部件 .....	180
6.3.1 微程序控制器的基本组成和工作原理 .....	180
6.3.2 微程序设计中的下地址形成逻辑的硬件技术 .....	182
6.3.3 教学计算机微程序控制器的组成、设计与实现实例 .....	185
本章小结 .....	195
思考练习题 .....	195

<b>第 7 章 多级结构的存储器系统概述和主存储器</b> .....	197
7.1 多级结构的存储器系统概述 .....	197
7.2 主存储器部件的组成与设计 .....	199
7.2.1 主存储器概述 .....	199
7.2.2 动态存储器的记忆原理和读写过程 .....	201
7.2.3 静态存储器的存储原理和芯片内部结构 .....	204
7.3 教学计算机的内存储器实例 .....	206
7.4 提高存储器系统性能的可行途径 .....	210
本章小结 .....	212
思考练习题 .....	213
<b>第 8 章 高速缓冲存储器和虚拟存储器</b> .....	214
8.1 高速缓冲存储器 .....	214
8.1.1 高速缓冲存储器的运行原理 .....	215
8.1.2 高速缓冲存储器的 3 种映像方式 .....	216
8.1.3 高速缓冲存储器使用中的几个问题 .....	219
8.2 虚拟存储器部件 .....	224
8.2.1 虚拟存储器概述 .....	224
8.2.2 段式存储管理 .....	224
8.2.3 页式存储管理 .....	226
本章小结 .....	229
思考练习题 .....	229
<b>第 9 章 辅助存储器设备与磁盘阵列技术</b> .....	230
9.1 外部存储设备概述 .....	230
9.2 磁盘设备的组成与运行原理 .....	233
9.3 光盘设备的组成与运行原理 .....	240
9.4 磁盘阵列技术与容错支持 .....	241
本章小结 .....	245
思考练习题 .....	245
<b>第 10 章 输入输出设备</b> .....	246
10.1 输入输出设备概述 .....	246
10.1.1 设备简介 .....	246

10.1.2	点阵式设备运行原理概述	247
10.2	显示器设备的组成和运行原理	249
10.2.1	显示器设备概述	249
10.2.2	CRT 阴极射线管的组成和运行原理	250
10.2.3	CRT 字符显示器的组成和运行原理	251
10.2.4	CRT 图形显示器	254
10.2.5	液晶显示器的组成和运行原理	255
10.2.6	计算机终端	256
10.3	打印机设备的组成与运行原理	256
10.3.1	针式打印机的组成及其打印过程	257
10.3.2	喷墨打印机的组成及其打印过程	259
10.3.3	激光打印机的组成及其打印过程	260
10.4	计算机的输入设备	262
10.4.1	计算机键盘的组成和运行原理	262
10.4.2	鼠标设备	264
	本章小结	264
	思考练习题	264
<b>第 11 章</b>	<b>输入输出系统</b>	<b>266</b>
11.1	计算机输入输出系统概述	266
11.2	计算机总线的功能与组成	268
11.2.1	计算机总线概述	268
11.2.2	计算机总线构成	269
11.2.3	总线仲裁和数据传输控制	271
11.2.4	教学计算机的总线系统实例	272
11.3	输入输出接口概述	275
11.3.1	计算机输入输出接口的基本功能	275
11.3.2	通用可编程接口的一般组成	275
11.3.3	串行接口实例	276
11.4	常用的输入输出方式概述	281
11.4.1	常用的输入输出方式	281
11.4.2	中断的概念和中断处理过程	283
11.4.3	DMA 的概念和 DMA 处理过程	287

本章小结·····	289
思考练习题·····	290
<b>第 12 章 流水线技术</b> ·····	<b>291</b>
12.1 流水线的概念·····	291
12.1.1 流水线简介·····	291
12.1.2 流水线的表示方法·····	294
12.1.3 流水线的特点·····	295
12.1.4 流水线的分类方法·····	296
12.2 流水线的性能指标·····	298
12.2.1 流水线的吞吐率·····	299
12.2.2 流水线的加速比·····	301
12.2.3 流水线的效率·····	302
12.2.4 流水线的最佳段数·····	303
12.3 DLX 指令集与 DLX 流水线·····	303
12.3.1 DLX 指令集结构介绍·····	303
12.3.2 DLX 的一种简单实现·····	305
12.3.3 DLX 流水线的实现原理·····	308
12.4 流水线中的相关问题·····	310
12.4.1 结构相关·····	311
12.4.2 数据相关·····	312
12.4.3 控制相关·····	319
12.5 指令级并行技术·····	324
12.5.1 基本概念·····	324
12.5.2 多指令发射技术·····	324
本章小结·····	328
思考练习题·····	328
<b>第 13 章 并行计算机体系结构</b> ·····	<b>330</b>
13.1 计算机体系结构概述·····	330
13.1.1 计算机体系结构的发展·····	330
13.1.2 计算机体系结构的分类·····	330
13.2 并行计算机系统概述·····	333
13.2.1 并行计算机系统分类·····	333

13.2.2 并行性、可扩展性和可编程性 .....	335
13.3 并行计算机系统的设计问题 .....	336
13.3.1 并行计算机系统的互连网络 .....	336
13.3.2 并行计算机系统的性能问题 .....	342
13.3.3 并行计算机系统的软件问题 .....	344
13.4 SIMD 计算机简介 .....	345
13.4.1 阵列处理机 .....	345
13.4.2 向量处理机 .....	346
13.5 共享内存的多处理机系统 .....	348
13.5.1 一致性内存访问的 UMA 多处理机系统 .....	349
13.5.2 非一致性内存访问的 NUMA 多处理机系统 .....	356
13.6 基于消息传递的多计算机系统 .....	357
13.6.1 大规模并行处理机 .....	360
13.6.2 工作站集群 .....	360
13.6.3 消息传递软件包 .....	361
本章小结 .....	363
思考练习题 .....	363
<b>参考文献</b> .....	<b>365</b>

# 第 1 章

## 概 述

本章首先介绍计算机系统的基本组成及其层次结构,使读者从层次的观点初步认识完整计算机的基本组成。接下来对计算机硬件子系统的三部分知识,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。然后是计算机的发展进步和推广应用的历程,扼要地介绍某些基本概念和常用术语。最后简单说明本书的内容组织和学习建议,帮助读者从系统和部件、硬件和软件、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

计算机系统的含义是什么?这可以从它所完成的功能和相应的组成两个方面来回答。

#### 1. 从完成功能角度来分析

从它所完成的功能的角度看,计算机系统能够完成原始数据的输入、存储、对数据的运算和处理、把计算处理的结果输出这4项操作功能。因此,计算机的硬件系统至少需要由几个相互连接在一起的部件和设备组成,如图1.1所示。

图1.1中的5个方框图所给出的,正是计算机硬件系统的5个基本组成部分。其中,数据输入设备完成对原始数据的输入,数据存储部件完成对数据的存储功能,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,而计算机控制部件的功能则是向各个部件或设备提供它们协调运行所需要的控制信号。

如果把计算机想象成一个加工处理数据的“工厂”,数据运算部件就是产品加工车间,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



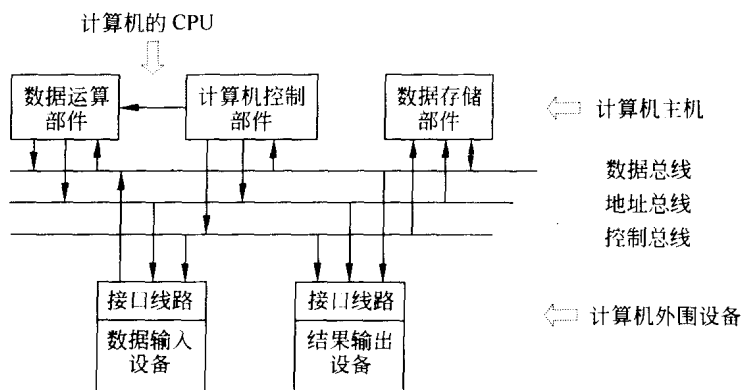


图 1.1 计算机硬件系统的组成示意图

畅通地运出去销售,则这个工厂(计算机)就可纳入正常运行的轨道。

图中上方所示为部件的 3 个组成部分,通常是通过电子线路实现的,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器部件合称为中央处理器(central processing unit, CPU),又称为计算机的处理机。

图中下方所示为设备的两个组成部分,通常是使用精密机械装置和电子线路共同制作出来的,合称为输入输出设备,又称为计算机的外围设备。

图中中部所示为计算机的 3 种类型的总线,分别是数据总线,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。可以看到,计算机的 5 个组成部分正是通过这 3 种类型的总线有机地连接在一起,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。

在早期的计算机中,普遍的体系结构是由冯·诺依曼提出来的被称为存储程序的计算机,计算机的几个部件是围绕着运算器部件来组织的,如图 1.2(a)所示,其特点是存储器和输入输出设备之间通过运算器来传送数据。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 1.2(b)所示。(b)图方案和(a)图方案相比,并无实质性的区别,它仍然是冯·诺依曼结构的计算机系统,只是在一些小的方面,后者对前一种方案做了部分改进。

上面说到的还只限于“工厂的硬件”组成,也就是人员和厂房设备等,仅有这些,工厂还是运行不起来,至少是很难运行。要成功运行,还需要有一系列的规章制度、管理策略和办法等“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