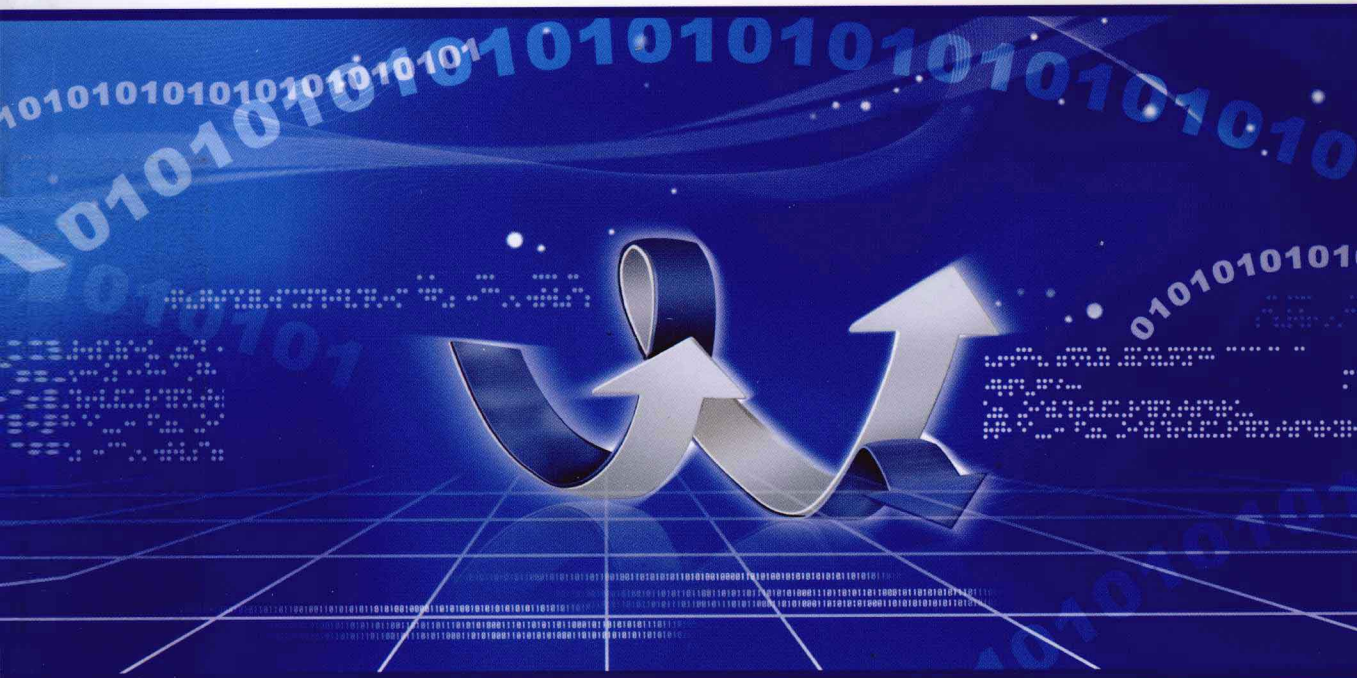


高等院校计算机教材系列

计算机组成原理 与系统设计

Computer Organization
and Design

马礼 等编著

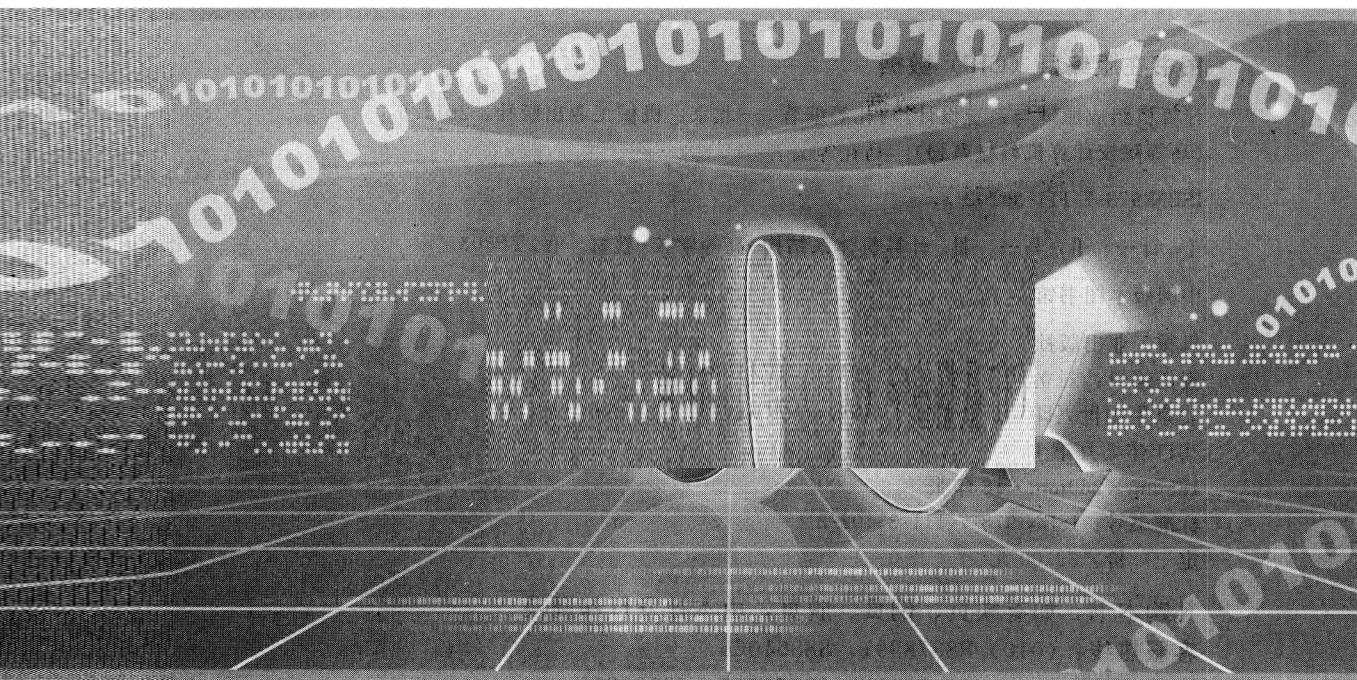


机械工业出版社
China Machine Press

计算机组成原理 与系统设计

Computer Organization
and Design

马礼 等编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书以计算机组成原理为主，兼顾了计算机系统结构的主要内容。全书共包含9章：第1章简述计算机系统概念；第2章讲述构成计算机硬件的基本逻辑电路基础；第3章介绍运算方法和运算器的实现；第4、5章描述处理器内部实现原理，包括指令系统的设计及其优化、控制器的基本组成与功能、组合逻辑控制器的组成原理与实现方法、微程序控制器的组成原理与实现方法等；第6、7章讲述存储系统的构成原理等；第8章讲述输入输出设备原理；第9章重点是计算机系统结构的内容，包括先行控制技术、流水线处理技术、超标量处理器、超流水线处理器等。

本书可作为高等院校计算机及相关专业的计算机组成原理的教材，也可供参加研究生考试的人员和计算机工程技术人员参考。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机组成原理与系统设计/马礼等编著. —北京：机械工业出版社，2011.6
(高等院校计算机教材系列)

ISBN 978-7-111-35102-3

I. 计… II. 马… 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 (2011) 第 118644 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：刘立卿

北京牛山世兴印刷厂印刷

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

185mm×260mm·18 印张

标准书号：ISBN 978-7-111-35102-3

定 价：32.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88378991, 88361066

购书热线：(010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线：(010) 88379604

读者信箱：hzjsj@hzbook.com

前 言

随着计算机技术的迅速发展，计算机专业教育从教学计划到教学内容等方面的改革正在国内各高校中广泛展开，不同的学校对其本科生的培养计划和培养方案都作了适当的调整，对教学大纲进行了不同程度的修订。业内人士普遍认为，传统的计算机专业教学计划已经不能适应快速发展的技术需求。

目前在国内计算机科学与技术学科的本科生教育普遍存在着教学计划、教学大纲以及教材落后于计算机技术发展的问題，而且这种差距还有继续扩大的趋势。作为教育工作者，教师很希望能有时间和机会为学生介绍新技术的发展，但在目前的情况下是比较困难的。究其原因，我们认为主要有以下几方面：

1) 技术发展快。计算机技术是高科技的代表，各行各业以及家庭都有使用计算机的需求，从而刺激计算机的设计和生产厂家不断改进其性能，增加其功能，促进了计算机技术的发展，也使得计算机系统教育相应落后。

2) 教学过程本身的性质。作为系统培养人才的教育单位，能搬上讲台的东西，一定要是成熟的，而且要经过研究和教育工作者系统化的整理工作，编辑成教材才能进入课堂。由于这些制约的存在，使得在教学计划中难以体现出外部世界技术的飞速发展，成功的产品早已为人所用，但这些产品设计时使用的新技术却不能进入教材，也不能进入课堂。

3) 教学时数的限制。教育部对高等学校本科生四年中的总教学时数是有指导性建议的。根据这个教学时数的规定，在基本理论和实践环节完成的前提下，已经很难再有多余的时间为学生介绍最新的技术发展，故而不能系统地讲述最新的行业发展。

由这些事实带来的问题就是：高校的教育在有限的教学时数内，在完成基本专业课程教学的情况下，已经不可能挤出很多的时间为学生们讲述技术的最新发展。带着这些问题，我们启动了教学计划的调整和培养计划的改革。

事实上，在目前计算机专业课程的设置上，经过仔细分析就会发现，部分内容是重复的。在各门课程中重复讲述同一个内容，这不符合教育的目的。针对这种情况，我们将计算机专业的硬件类课程进行了课程群规划和建设，对硬件类专业技术课程中相近的内容进行整合，将“计算机组成原理”和“计算机系统结构”两门课程的内容有机地整合为一门课程，即“计算机组成原理与系统设计”。经过整合，新的课程中包含了原来两门课程的全部主要内容，避免了重复，这样既保证了包含基础专业课程的全部内容，同时又从总体上节约了教学时数，可谓一举两得。

本书就是在上述思路的基础上，结合作者多年来的教学实践经验编写而成。

全书共包含9章，在内容上兼顾了计算机组成原理和系统结构的主要内容。第1章对计算机系统中的概念、计算机系统的发展以及计算机系统的性能评价等进行了介绍；第2章讲述了构成计算机硬件的基本逻辑电路基础，使用时可以根据学生的先修课程情况来选讲，对于数字电路基础较好的学生，本章可以简略过一下；第3章介绍运算方法和运算器实现，其中讲述了数据在计算机内部的表示方法，同时讲述了定点数和浮点数的运算方法，在内容的安排上，为了保持运算方法描述的连贯性，将“浮点数的运算”安排在了“浮点数据表示”之前，这样做是为了使学生在学习时先有一个基本的浮点数概念，再引入较深入的数据表示，以利于理解浮点数；第4、5章描述处理器内部，包括指令系统的设计、指令系统的优

化设计、控制器的基本组成与基本功能、组合逻辑控制器的组成原理与实现方法、微程序控制器的组成原理与实现方法等内容；第 6 章讲述主存储器的分类与构成，包括存储系统、Cache 的组成原理与地址映射方式、虚拟存储器的构成原理等；第 7 章讲述辅助存储器的构成、原理、性能指标及记录方式等；第 8 章讲述输入输出设备的原理与输入输出系统；第 9 章重点讲述计算机系统结构，包括先行控制技术、流水线处理技术、超标量处理器、超流水线处理器等，读者可以从中学习高性能计算机设计中所使用到的一些新技术。文中带星号部分为选讲内容。

本书的另一特点是兼顾全国计算机专业硕士研究生入学考试大纲，内容涵盖了大纲要求的所有知识点。

本书可作为高等院校计算机专业本专科生的教材使用，也可作为计算机专业及计算机工程技术人员参考书。

本书由马礼统稿，并完成了第 1 章、第 4 章、第 5 章的编写；张永梅完成了第 7、8 章的编写；宋丽华完成了第 2 章、第 5.4 节及全书中有关 VHDL 描述器件部分的编写；李华玲完成了第 3、9 章的编写；吴志华完成了第 6 章的编写。由于作者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者提出宝贵意见，也请同行多提宝贵意见。

编 者

2011 年 4 月

教学建议

学习内容	教 学 内 容	学时
第 1 章 计算机组成与系统 结构概述	<p>本章主要介绍计算机组成原理与系统结构的概念,讲述计算机发展、计算机组成、计算机实现、计算机系统结构等概念;同时介绍计算机系统结构的分类、计算机系统的性能评价等内容。重点掌握计算机系统结构的层次结构、计算机系统结构的分类和计算机系统的性能评价标准等。使用本书时结合各自的特点,以讲清楚基本概念为主,使学生认识到课程的重要性并对学习课程感兴趣。一定要讲清楚计算机组成原理是学哪些内容,讲清楚计算机系统的层次结构。</p>	2~4
第 2 章 数字逻辑基础	<p>本章以数字电路知识和逻辑门电路知识为基础,主要介绍计算机中常用的组合逻辑电路、时序逻辑电路、VHDL 硬件描述语言。重点讨论组合逻辑电路与时序逻辑电路,在组合逻辑电路部分介绍译码器、加法器、算术逻辑单元、数值比较器等,在时序逻辑电路部分简单介绍触发器、寄存器及计数器等,最后介绍使用 VHDL 描述逻辑器件的方法。使用本书时根据先修课程的实际情况做取舍。如果先修课程学习了数字逻辑,则这部分可以略过。VHDL 语言的介绍是为学生后面的实验做准备,这部分用 2~4 学时讲述,从具体器件描述出发,要求入门即可。</p>	4~6
第 3 章 运算方法与实现 电路	<p>本章主要讨论各种数据类型的二进制表示以及不同数制之间的相互转换。介绍数据的表示方法,包括定点数表示、浮点数表示、自定义表示方法,重点介绍浮点数表示,包括表示范围、表示精度、表示效率及浮点数的设计。简单介绍常用的校验编码。主要讲解定点数的加、减、乘、除运算及实现技术。最后讨论浮点运算方法及加法器的构成。本章的重点在于掌握定点数、浮点数的数据表示方法和表示范围,以及数值运算和运算器的构成原理。学生一定要掌握定点数、浮点数表示方法与表示范围,特别是浮点数表示范围和 IEEE 754 标准。最后的运算器 VHDL 实现可以根据情况取舍。</p>	8~10
第 4 章 指令系统	<p>本章讲述指令系统。指令是使计算机完成某种操作的指示或命令,只有在指令的作用下计算机才能完成对应的功能。指令系统是某种 CPU 指令的全集。在计算机系统的设计过程中,指令系统的设计占有十分重要的地位,合理的指令系统对于提高计算机系统的性能十分重要。本章介绍指令系统的结构、指令格式、寻址方式等内容。介绍指令系统发展的两个方向,即 CISC 计算机和 RISC 计算机,并介绍它们各自的特点。学习时重点掌握指令系统的设计与指令系统的优化。指令格式中的扩展操作码编码方法和寻址方式是学生不易掌握的,讲述时需要重点强调。</p>	4~6
第 5 章 控制器组成原理	<p>本章讲述控制器的基本组成、基本功能、组合逻辑控制器的组成原理与实现方法、微程序控制器的组成原理与实现方法及控制器的控制方式、流水线基本概念等内容。重点掌握两种控制器的实现方法。本章是计算机组成原理课程的重点内容,讲授和学习时一定要紧紧抓住指令在某种数据通路的模型机下的执行过程,以取指令—分析指令—执行指令为主线,说明指令流程和控制器的工作过程,区别出组合逻辑控制器和微程序控制器的实现方法。用 VHDL 实现一个控制器的过程可以作为参考,让学生在实验过程中完成设计与调试。</p>	8~10
第 6 章 主存储器与存储系统	<p>本章讲述存储器的分类、主存储器的构成、并行主存储器的思想及设计方法、介绍存储系统的概念及存储系统的构成。重点掌握并行主存储器的构成,Cache 的组成原理与地址映射方式、替换算法;掌握段式、页式和段页式虚拟存储器的构成原理、地址映射方式等。存储器的分类、半导体存储器的内部原理讲清楚即可,主存储器的构成、Cache 原理作为重点讲述内容。</p>	6~8
第 7 章 辅助存储器	<p>本章讲述辅助存储器的构成、原理、性能指标及记录方式等内容,重点要求掌握磁记录方式以及磁盘存储器的性能参数计算。本章没有难点,重点掌握辅助存储器的工作原理与性能参数计算。</p>	4~6

(续)

学习内容	教 学 内 容	学时
<p style="text-align: center;">第 8 章 输入输出设备及系统</p>	<p>本章讲述输入输出设备的分类、具体的输入输出设备以及 CPU 对外部设备的管理等。外部设备大体分为输入设备、输出设备、外存设备、数据通信设备、过程控制设备五大类。每一种设备,都是在各自的设备控制器控制下进行工作,而设备控制器则通过适配器(接口)和主机相连,并受主机控制。在计算机系统中,CPU 对外部设备的管理有以下四种方式:程序查询方式,程序中断方式,DMA 方式;通道和外围处理器(PPU)方式。其中第一种对 CPU 的资源浪费最大,而第四种使 CPU 的效率得到最大发挥,但是需要更多的硬件支持。本章将对这些外部设备和输入输出方式给出较为详细的阐述。本章重点掌握中断方式的实现过程、总线的概念以及总线仲裁方式、总线带宽计算等内容,其他几种 I/O 方式了解即可。</p>	4~6
<p style="text-align: center;">第 9 章 高性能计算机体系结构</p>	<p>本章讲述流水线处理器及其他几种常用的计算机系统结构。首先,阐述流水处理的基本原理、流水线的分类和流水线处理器的主要性能。其次,讨论影响流水性能的各种相关处理和流水线的调度问题。最后,简要讲述有关指令级高度并行的超标量、超长指令字、超流水线处理器的概念。重点要求掌握流水线处理器的基本原理和流水线的性能分析。</p>	4~6

另外,根据作者的经验,在讲授本课程的过程中最好在增加 2~3 次习题课。对于数据表示和运算部分,以及指令系统和控制器部分的习题一定要讲解。通过讲解习题,学生更容易理解和掌握课程的核心内容。

教师服务登记表

尊敬的老师:

您好!感谢您购买我们出版的_____教材。

机械工业出版社华章公司为了进一步加强与高校教师的联系与沟通,更好地为高校教师服务,特制此表,请您填妥后发回给我们,我们将定期向您寄送华章公司最新的图书出版信息!感谢合作!

个人资料(请用正楷完整填写)

教师姓名		<input type="checkbox"/> 先生 <input type="checkbox"/> 女士	出生年月		职务		职称: <input type="checkbox"/> 教授 <input type="checkbox"/> 副教授 <input type="checkbox"/> 讲师 <input type="checkbox"/> 助教 <input type="checkbox"/> 其他
学校				学院			系别
联系电话	办公:			联系地址及邮编			
	宅电:			E-mail			
移动:							
学历		毕业院校			国外进修及讲学经历		
研究领域							
主讲课程			现用教材名		作者及出版社	共同授课教师	教材满意度
课程: <input type="checkbox"/> 专 <input type="checkbox"/> 本 <input type="checkbox"/> 研 人数: 学期: <input type="checkbox"/> 春 <input type="checkbox"/> 秋							<input type="checkbox"/> 满意 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不满意 <input type="checkbox"/> 希望更换
课程: <input type="checkbox"/> 专 <input type="checkbox"/> 本 <input type="checkbox"/> 研 人数: 学期: <input type="checkbox"/> 春 <input type="checkbox"/> 秋							<input type="checkbox"/> 满意 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 不满意 <input type="checkbox"/> 希望更换
样书申请							
已出版著作				已出版译作			
是否愿意从事翻译/著作工作 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否				方向			
意见和建议							

填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回:(如方便请赐名片)

地 址: 北京市西城区百万庄南街1号 华章公司营销中心 邮编: 100037

电 话: (010)68353079 88378995 传真: (010)68995260

E-mail: hzedu@hzbook.com marketing@hzbook.com 图书详情可登录<http://www.hzbook.com>网站查询

华章高等院校计算机教材系列

书 名	书号 (ISBN)	作 者	出版年	定价
网络编程与分层协议设计:基于Linux平台实现	7-111-35052-1	刘飏等	2011	29.00
多媒体技术教程(第2版)	7-111-34077-5	朱洁等	2011	33.00
软件测试技术:基于案例的测试	7-111-33697-6	赵翀 孙宁	2011	36.00
数据库原理与应用 第2版	7-111-32501-7	何玉洁 梁琦等	2011	35.00
16/32位微机原理、汇编语言及接口技术(第3版)	7-111-32632-8	钱晓捷	2011	36.00
数据结构及应用:C语言描述	7-111-32155-2	沈华等	2011	30.00
C++程序设计教程:基于案例与实验驱动	7-111-30794-5	郭延辉 王小权等	2010	29.00
计算机网络	7-111-31137-9	张杰 甘勇等	2010	29.00
大学计算机网络基础 第2版	7-111-31383-0	陈庆章 王子仁	2010	28.00
ASP.NET基础及应用教程	7-111-31057-0	明安龙 宋桂岭等	2010	29.00
计算机网络技术与应用	7-111-30519-4	张建忠 徐敬东	2010	29.00
离散数学 张清华	7-111-30238-4	张清华 蒲兴成等	2010	25.00
ARM嵌入式Linux系统设计与开发	7-111-30004-5	俞辉 李永等	2010	30.00
计算机网络技术教程例题解析与同步练习	7-111-27675-3	吴英	2010	25.00
计算机网络考研习题解析	7-111-28309-6	朱晓玲	2010	26.00
多媒体技术实验与习题指导	7-111-27676-0	赵淑芬 康宇光	2010	25.00
多媒体技术教程	7-111-27678-4	赵淑芬 周斌等	2010	28.00
软件工程-基于项目的面向对象研究方法	7-111-26683-9	贾可荣, 何智勇	2009	32.00
操作系统原理与设计	7-111-25795-0	张红光 李福才	2009	35.00
C语言程序设计习题解析与上机指导	7-111-12132-9	罗晓芳 李慧等	2009	17.00
汇编语言程序设计	7-111-25841-4	程学先 林姗等	2009	36.00
计算机网络安全原理与实现	7-111-24531-5	刘海燕	2009	34.00
并行计算应用及实战	7-111-24022-8	王鹏 吕爽等	2009	32.00
计算机科学与技术导论	7-111-24893-4	陈庆章 叶蕾	2008	30.00
多媒体技术基础与实验教程	7-111-24724-1	陈永强 张聪	2008	36.00
大学计算机网络基础	7-111-24476-9	陈庆章 王子仁	2008	22.00
算法与数据结构(C语言版) 第2版	7-111-14620-9	陈守孔 孟佳娜等	2008	28.00
面向对象程序设计C++语言编程	7-111-22664-2	张冰	2008	32.00
JSP 2.0大学教程	7-111-22887-5	覃华 韦兆文等	2008	32.00
C++面向对象编程基础	7-111-22474-7	刁成嘉 刁爽	2008	30.00
编译原理	7-111-22278-1	苏运霖	2008	33.00
微型计算机原理及其接口技术	7-111-22277-4	原菊梅	2007	36.00
计算机网络	7-111-22191-3	肖明	2007	30.00
微机系统与汇编语言	7-111-22279-8	颜志英	2007	30.00
C#程序设计大学教程	7-111-21721-3	罗兵 刘艺等	2007	30.00
算法与数据结构考研试题精析 第2版	7-111-15159-3	陈守孔 胡满琨等	2007	42.00
面向对象程序设计C++版	7-111-21296-6	钱丽萍 郝莹等	2007	25.00
C++语言程序设计	7-111-21211-9	管建和	2007	29.00
面向对象技术与UML	7-111-20912-6	刘振安 董兰芳等	2007	22.00
C/C++ 程序设计实验教程	7-111-20610-1	秦维佳 侯春光等	2007	18.00
C/C++ 程序设计教程	7-111-20609-5	秦维佳 伞宏力等	2007	29.00
C语言程序设计	7-111-20078-0	刘振安	2007	29.00
面向对象程序设计 C++版	7-111-19714-3	刘振安	2007	28.00
Windows 可视化程序设计	7-111-19715-1	刘振安	2007	26.00
Java 程序设计教程 第2版	7-111-19971-5	施霞萍 张欢欢等	2006	30.00
计算机文化基础	7-111-19745-3	刘景春 刁树民	2006	29.00
计算机网络技术与应用	7-111-19427-6	李向丽 李磊等	2006	33.00

目 录

前言	
教学建议	
第 1 章 计算机组成与系统结构概述	1
1.1 计算机系统的概念	1
1.1.1 计算机的产生与发展	1
1.1.2 计算机的应用	3
1.1.3 计算机系统结构、计算机组成、 计算机实现	4
1.2 计算机系统的层次结构	5
1.3 计算机系统组成	6
1.4 计算机系统结构的分类	7
1.4.1 弗林分类法	7
1.4.2 冯氏分类法	8
1.4.3 海德勒分类法	9
1.5 计算机系统结构的评价	10
1.5.1 系统运行速度	10
1.5.2 加速比	13
1.5.3 CPU 性能	14
1.5.4 性能价格比	16
1.6 计算机系统结构的发展	16
1.6.1 冯·诺伊曼机组系统结构的 演变	17
1.6.2 软件、应用和器件对系统 结构的影响	17
1.6.3 系统结构中并行性的发展	19
1.6.4 多核/众核系统结构	20
习题	21
第 2 章 数字逻辑基础	22
2.1 计算机中常用的组合逻辑电路	22
2.1.1 编码器	22
2.1.2 译码器	25
2.1.3 数据选择器	26
2.1.4 数值比较器	28
2.1.5 加法器	29
2.2 时序逻辑电路	36
2.2.1 常用时序逻辑电路	36
2.2.2 时序逻辑电路分析	40
2.2.3 时序逻辑电路设计	44
2.3 阵列逻辑电路	48
2.3.1 阵列逻辑电路基础	48
2.3.2 复杂可编程逻辑器件与现场 可编程门阵列	50
2.4 VHDL	52
2.4.1 VHDL 概述	52
2.4.2 VHDL 基本规范	53
2.4.3 VHDL 语言的描述语句	64
2.4.4 VHDL 语言结构体的描述 方法	76
习题	80
第 3 章 运算方法与运算器	82
3.1 计算机中数据的表示与数制之间 的转换	82
3.1.1 计算机中数的表示方法与 转换	82
3.1.2 十进制数的编码与运算	83
3.2 机器数的编码表示及加减运算	84
3.2.1 机器数的编码表示	84
3.2.2 定点数加减运算	85
3.2.3 定点数加减运算溢出的处理	87
3.3 二进制乘除法运算	88
3.3.1 二进制乘法运算	88
3.3.2 二进制除法运算	93
3.4 浮点数的运算方法	95
3.4.1 浮点数的加减法运算	95
3.4.2 浮点数的乘除法运算	96
3.5 浮点数设计	98
3.5.1 浮点数表示格式	98
3.5.2 浮点数表示范围	100
3.5.3 浮点数的表示精度	100
3.5.4 浮点数的表示效率	101
3.5.5 浮点数尾数的下溢处理 方法	102
3.6 数据校验码	102

3.6.1 奇偶校验码	102	5.4.2 微程序设计的技术问题	144
3.6.2 海明校验码	103	5.4.3 微程序控制器设计实例	149
3.6.3 循环冗余校验码	105	5.4.4 运用 VHDL 设计简单的微程序 控制器实例	150
3.7 用 VHDL 实现 8 位 ALU	107	5.5 控制器的控制方式	160
3.7.1 设计分析	107	5.5.1 同步控制方式	160
3.7.2 设计实例	108	5.5.2 异步控制方式	161
习题	110	5.5.3 混合控制方式	162
第 4 章 指令系统	112	习题	162
4.1 引言	112	第 6 章 主存储器与存储系统	163
4.1.1 传统计算机指令系统的设计 技术	112	6.1 存储器分类	163
4.1.2 指令系统发展的两种途径: CISC, RISC	113	6.2 主存储器的主要技术指标	164
4.2 指令格式	115	6.3 读写存储器	164
4.2.1 指令字长度	115	6.3.1 静态 RAM	165
4.2.2 操作码	115	6.3.2 动态 RAM	169
4.2.3 地址码	117	6.4 非易失性半导体存储器	171
4.3 寻址技术	119	6.4.1 只读存储器	171
4.3.1 指令寻址方式	119	6.4.2 可编程只读存储器	172
4.3.2 操作数寻址方式	120	6.4.3 可擦除可编程只读存储器	172
4.4 典型的指令系统	121	6.4.4 电可擦除可编程只读存储器	173
4.4.1 指令的分类	121	6.4.5 快速擦写存储器	173
4.4.2 精简指令系统	122	6.4.6 其他几种新型存储器	174
4.5 指令系统的优化设计	125	6.5 主存储器容量的扩展	175
4.5.1 操作码的优化设计	125	6.5.1 位扩展	176
4.5.2 地址码的优化设计	128	6.5.2 字扩展	176
习题	131	6.5.3 字位扩展	176
第 5 章 控制器组成原理	134	6.6 相联存储器	177
5.1 控制器的基本功能及结构	134	6.7 存储系统与并行存储器	179
5.1.1 控制器的功能	134	6.7.1 存储系统的概念	179
5.1.2 控制器的组成	134	6.7.2 增加存储器的数据宽度	181
5.2 指令的执行过程	136	6.7.3 多体交叉存储技术	181
5.2.1 时序系统	136	6.8 高速缓冲器 Cache	184
5.2.2 指令的执行过程	137	6.8.1 Cache 的工作原理	184
5.2.3 指令的执行过程举例	138	6.8.2 Cache 的地址映像与地址 变换	185
5.3 硬布线控制器的组成原理与实现 方法	139	6.8.3 替换算法	190
5.3.1 硬布线控制器的组成原理	139	6.8.4 Cache 的加速比	190
5.3.2 硬布线控制器设计实例	140	6.9 虚拟存储器原理	191
5.4 微程序控制器的组成原理与实现 方法	143	6.9.1 虚拟存储器的工作原理	191
5.4.1 微程序控制器的基本原理	143	6.9.2 地址映像与变换	192
		6.9.3 页面替换算法及其实现	194
		6.9.4 虚拟存储器实例	195

习题	196	8.5.1 输入输出系统概述	227
第7章 辅助存储器	197	8.5.2 程序查询方式	229
7.1 硬盘存储设备	197	8.5.3 程序中断方式	230
7.1.1 磁记录原理与记录方式	197	8.5.4 DMA方式	236
7.1.2 硬盘的基本组成和分类	199	8.5.5 通道与外围处理器方式	239
7.1.3 硬盘驱动器和硬盘控制器	200	8.5.6 通道的流量分析	242
7.1.4 硬盘的主要技术指标	201	8.6 总线	243
7.2 RAID	203	8.6.1 总线的概念	243
7.2.1 RAID 0级	204	8.6.2 总线的连接方式	244
7.2.2 RAID 1级	205	8.6.3 总线的内部结构	245
7.2.3 RAID 2级	205	8.6.4 总线仲裁	245
7.2.4 RAID 3级	206	8.6.5 几种常用的总线结构	246
7.2.5 RAID 4级	207	习题	251
7.2.6 RAID 5级	207	第9章 高性能计算机体系结构	253
7.3 激光存储设备	208	9.1 先行控制技术	253
7.3.1 光盘存储器的种类	208	9.1.1 重叠控制与先行控制	253
7.3.2 光盘的读写原理	210	9.1.2 先行控制方式中处理器的 结构	254
7.3.3 光盘驱动器及接口	210	9.1.3 先行控制方式中缓冲深度 的设计	256
习题	211	9.1.4 数据相关	257
第8章 输入输出设备及系统	212	9.1.5 控制相关	258
8.1 输入输出设备概述	212	9.2 流水线工作原理	258
8.1.1 输入输出设备的作用	212	9.2.1 流水线的工作原理及定义	259
8.1.2 输入输出设备的分类	212	9.2.2 流水线的分类	259
8.2 显示设备	213	9.3 流水线性能分析	261
8.2.1 显示设备的概念与分类	213	9.3.1 线性流水线的性能分析	262
8.2.2 CRT显示器	214	9.3.2 线性流水线的性能分析 举例	265
8.2.3 字符/图形显示设备	217	9.3.3 非线性流水线的调度技术 简介	267
8.2.4 图像显示设备	220	9.4 其他结构的高性能处理器	269
8.2.5 液晶显示器	220	9.4.1 超标量处理器	269
8.3 输入设备	222	9.4.2 超流水线处理器	270
8.3.1 图形输入设备	222	9.4.3 超标量超流水线处理器	271
8.3.2 图像输入设备	223	9.4.4 超长指令字技术	272
8.3.3 语音输入设备	224	习题	273
8.4 打印设备	224	参考文献	275
8.4.1 打印设备的分类	224		
8.4.2 点阵针式打印机	224		
8.4.3 激光打印机	225		
8.5 输入输出系统	227		

第 1 章 计算机组成与系统结构概述

内容提要：本章将讲述计算机发展、计算机系统构成、计算机组成、计算机实现、计算机系统结构等概念，同时介绍计算机系统结构的分类、计算机系统的性能评价等内容。重点掌握计算机系统结构的层次结构、计算机系统结构的分类和计算机系统的性能评价标准等。

计算机诞生于 20 世纪 40 年代，在这短短的几十年中，计算机系统发生了翻天覆地的变化。集成电路芯片按照摩尔定律发展，即每过约 18 个月集成的晶体管数目增加 1 倍。第一台微型机 Intel 4004 微处理器在 $3\text{mm}\times 4\text{mm}$ 上共集成了 2300 个晶体管，而到 2000 年 3 月推出的 Celeron 处理器，其核心集成了 19 000 个晶体管，采用了 $0.18\mu\text{m}$ 工艺制造。在集成度提高的同时，处理器核心的结构也在发生着变化，从单核发展到多核、众核。最近新推出的 Intel Core i7 处理器，采用了 32nm 逻辑工艺制造，极大提高了集成度，降低了功耗。随着低碳经济、绿色计算等环保新概念的提出，计算机领域的这些改变仍在继续。计算机系统的这种变化，极大地方便了用户，同时也促进了经济和社会的发展。

1.1 计算机系统的概念

一个完整的计算机系统由计算机硬件系统和计算机软件系统两部分构成。只有硬件系统的计算机不是计算机系统，而只是计算机的躯体，是硬件，只有结合计算机软件系统才能构成一个完整的计算机系统。下面从计算机的发展角度描述一下计算机系统。

1.1.1 计算机的产生与发展

世界上第一台现代电子计算机诞生于 1946 年，是由美国宾夕法尼亚大学莫尔学院机电系莫克利 (J. Mauchly) 教授及其同事们共同研制成功的，称为 ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)，即电子数字积分和计算机。ENIAC 电路结构十分复杂，一共使用了 18 000 多个电子管，运行时耗电量达 150 千瓦；体积庞大，占地面积约 1500 平方英尺，重 30 吨；采用十进制运算，每秒可以进行 5000 多次加法运算。

ENIAC 的出现，标志着人类计算工具进入了一个崭新的时代，是人类文明发展史中的一个里程碑。

从第一台计算机诞生到现在，计算机作为主要贡献者已经使人类社会从制造业社会发展到了信息化社会，它的出现和发展改变了社会结构，也促使人们的工作和生活方式发生了惊人的变化。计算机已经成为科技发展最有影响力的商品。

从问世以来，计算机技术发展异常迅速，而在推动计算机硬件发展的各种因素中，电子逻辑器件的发展是起决定作用的因素。因此，人们常常用计算机器件的发展来划分计算机的发展史。

1. 机械时代计算机 (1642 年~1945 年)

法国科学家 Blaise Pascal (1623—1662) 于 1642 年制成了世界上第一台能够工作的计算机器。该机器是纯机械式的设备，使用齿轮传动，用手柄驱动。这台机器是 Pascal 为他的父亲——一名法国政府的税务官而设计的，当时的 Pascal 只有 19 岁。因为这一突出贡献，后来瑞士的 Worth 教授以他的名字命名了其发明的程序设计语言，即 Pascal 语言。

Pascal 设计的机器只能做加法和减法运算。在 30 年之后，伟大的德国数学家 Baron Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646—1716) 制造出还能做乘法和除法运算的另一台机械式计算器。也就是说，在 18 世纪前，Leibniz 就建造出了与四函数袖珍计算器同等功能的计算器。

此后的150多年间,计算机没有什么大的发展,但在第一台电子计算机诞生之前,人们一直做着各种各样能提高运算速度的计算机器。20世纪30年代晚期,德国一名工程专业的学生Konrad Zuse用电磁继电器建造了一系列自动的计算机器。战争开始后,他无法从政府得到资助,Zuse的机器也在1944年盟军轰炸柏林时被损坏。虽然他的工作对后来的机器并没有太大的影响,但他仍然是计算机领域的先锋之一。之后的几年中,美国做出更多不同种类的计算机,为电子计算机的诞生奠定了一定的基础。

2. 第一代电子计算机 (1946年至20世纪50年代末期)

第一代计算机以1946年第一台电子计算机诞生为标志。它由单个CPU组成,将电子管和继电器存储器用绝缘导线互连在一起,完成定点运算,采用机器语言或汇编语言。代表性的系统有ENIAC、IBM 701计算机等。在我国,中国科学院数学研究所从1952年开始开展了一些小规模计算机的研究工作。1958年,由中国科学院及有关工业部门和国防单位通力合作,研制成功了“八一”型通用电子计算机(又称103机),这也是我国的第一台电子计算机。

3. 第二代计算机 (20世纪50年代末期至20世纪60年代中期)

第二代计算机的标志是以晶体管取代了电子管。晶体管是由贝尔实验室于1947年发明的,它的体积小、耗电少,并且有载流子高速运行的特点。它在计算机中的使用,使得电子管望尘莫及。进入20世纪50年代以后,全球进入了一场以晶体管取代电子管的革命。这种取代完成以后,计算机的性能有了很大的提高,内部采用了更复杂的算术逻辑部件和控制部件,而且使用了高级语言编程,为计算机提供了系统软件。在这一代的计算机中,代表性的系统有IBM 7094、CDC 1604和DEC公司的PDP-11计算机等。IBM 7094与前面提到的IBM 701相比,主存容量由2KB增加到32KB,存取周期从 $30\mu\text{s}$ 下降到 $1.4\mu\text{s}$,操作码数目从24增加到185,运算速度从每秒上万次提高到每秒50万次。

4. 第三代计算机 (20世纪60年代中期至20世纪70年代初期)

单个独立封装的晶体管称为分立元件。分立元件分开制造,首先封装在一个独立的容器中,然后焊接到或连接到电路板上,最后装到计算机中去。这是一个复杂、费时、容易出错的过程。第二代早期的计算机大约包含10000个晶体管,后来增加到数万个,这时生产更新的、功能更强大的计算机变得越来越困难。

为了生产出功能更强大的计算机,在构成器件上必须要进行改进。计算机的基本器件必须完成存储、传送、处理和等基本功能,而要完成这些功能,门电路和存储位元是必需的。门电路用来实现逻辑功能;存储位元用来存储一位数据,它有两个任何时刻都是稳定的状态。将这些门电路和存储位元等基本元件按照一定的逻辑关系连接起来,就构成了一台计算机。因此,计算机包含门电路、存储位元以及它们的连接结构。而这些门电路、存储位元都是由晶体管、电阻和电容等连接而成。将这些基本元件(如晶体管、电阻、电容等器件)使用特定的技术制作在一块硅片上的技术称为集成电路。集成电路的出现,大大地缩小了计算机的体积,降低了耗电量,极大地提高了机器的可靠性和运行速度。使用集成电路作为计算机主要构成元件的计算机就是人们所说的第三代计算机。第三代计算机使用的主要是小规模集成电路(SSD)和中规模集成电路(MSI)。

在第三代计算机中,主要的代表机型有IBM System/360和DEC公司的PDP-8。

5. 第三代以后的计算机 (20世纪70年代初开始)

从第三代以后,人们对计算机的代数没有达成一致的意見,但是从计算机的构成器件上来看,主要是以大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)为主。由于集成电路一直在发展,从小规模、中规模、大规模到超大规模,所以,三代以后的计算机不好划分。这一代计算机的一个突出的代表就是微型计算机。

1971年,Intel公司的第一台微型机4004诞生,应该说这是计算机发展史上的又一个里程碑。从此以后,微型计算机的字长从4位→8位→16位→32位→64位迅速升级,其性能也达到甚至超

过 20 世纪 70 年代中小型计算机的水平。微型机以其体积小、性能稳定、可靠性高、对环境无特殊要求为特点,尤其是价格便宜,吸引了越来越多的用户,显示出了强大的生命力。到 20 世纪 80 年代,微型机进入了全盛时期,1989 年 Intel 公司推出的 80486,其指令运行速度已经达到了 90MIPS,与同期的某些大型机不相上下,之后又相继推出 Pentium、Pentium 2、Pentium 3 和 Pentium 4,其机器字长已经达到了 64 位。这些机型都是使用大规模或超大规模集成电路设计的。至此,用机器的构成器件来对计算机进行时代划分已不那么确切了。

进入 21 世纪,计算机是否应该进入一个更新的时期,到目前还没有一个权威性的说法。纵观计算机的发展历程,尤其是从 20 世纪 80 年代开始,计算机的发展真是日新月异,越来越人性化,以人为本的思路逐步体现到计算机的软硬件当中。有专家说,这种快速变化式的发展,说明还处于一个变化的时期,一个适应的时期。发展迅速,说明计算机的某些功能还不能满足人类的需求,所以需要发展。以后的时期,应该说是多媒体、网络计算机的时期,是智能化计算机的时期。尽管在 20 世纪 80 年代日本着手研制的以人工智能为主要特点的 5 代机失败了,但那是由于人类对自己的思维过程、思维方法还没有研究透彻,当科学发展到对人的思维过程十分清楚的情况下,那时的计算机可能就是另一个面孔,可能会真正成为人类的助手,可以帮助人去思维、分析问题等。

表 1-1 列出了计算机的发展阶段及特点。

表 1-1 计算机的发展阶段

发展阶段	大约时间 (年)	主要器件	典型指令 执行速度	发展阶段	大约时间 (年)	主要器件	典型指令 执行速度
0	1642~1945	机械式	很低	3	1965~1971	SSI 和 MSI	1 000 000
1	1946~1957	电子管	40 000	4	1972~1977	LSI	10 000 000
2	1958~1964	晶体管	200 000	5	1978~	VLSI	100 000 000

1.1.2 计算机的应用

计算机的应用十分广泛,而且随着计算机技术的迅猛发展,其应用范围也在不断扩大,从居民的日常生活到国家的防卫设施,从小电子玩具到卫星、宇宙飞船等。计算机应用已经渗透到国民经济的各个部门。2003 年开始的第二次海湾战争,就是一场高技术信息对抗的战争,而离开计算机是谈不上高技术信息的。归纳起来,计算机的应用领域包括以下几个方面。

1. 科学计算

科学计算从计算机诞生之初就是计算机应用的一个主要领域,在科学研究和各种工程设计中,常常会有大量需要计算和处理的数据。例如天气预报系统,需要根据最近的气候条件和历史同期同一地区的气候变化等数据,结合当时的气象条件来对未来的天气情况做出最为接近的预测和预报,这样的推算和预测,需要大量的数据分析,而单凭人力计算是难以胜任的。我国自行研制的银河巨型机有一台就在国家气象局。实践证明,计算机的速度和高精度改变了科学研究和工程设计的面貌,使得计算机成为广大科学工作者和工程设计人员不可缺少的重要工具之一。

2. 数据处理

数据处理与科学计算不同,其任务是对大量的数据进行分析、加工、变换和综合处理等,从得到的一些原始数据中发掘出有价值的信息。近年来的数据挖掘技术就是要对大量的原始数据进行分析,发现其中对某一特定需求有用的信息。没有计算机的参与,靠人力来完成这些复杂的过程几乎是不可能的。地理信息系统、火车票查询系统、图书资料管理系统、银行管理系统、股票分析系统、市场预测系统等均属于数据处理的范畴。可以想象,这些领域如果没有计算机将是一种什么样的状况。

3. 实时控制

计算机广泛应用于工业生产过程当中。目前的工业控制系统比 20 世纪六七十年代要先进得多, 其中一个重要的原因就是引入了计算机的软硬件平台。使用计算机后, 大大减轻了工人的劳动强度。计算机在工业生产过程中的使用, 使得产品的质量和生产效率有了大幅度的提高, 一些靠人很难进行的生产过程使用计算机以后变得非常容易。一般来讲, 计算机根据给定的数据实时地实现生产过程的自动化控制, 因此也被称为“过程控制”。各种种类的数控机床的推出和使用, 对于提高产品的精度和合格率非常有用。使用数控机床达到的产品的精度和合格率, 是任何人工都难以达到的。除此之外, 化工产品的自动配料、冶炼中的温度控制、铸造中的成型工艺曲线的实现以及通信系统中的自动接续等均属于实时控制系统。

4. 计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机集成制造系统

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 是人们借助计算机来进行设计的一项专门技术, 它广泛应用于航空、航天、造船、建筑工程、电子设计等过程中。CAD 的使用, 使得在加快设计速度、提高设计精度等方面有了大幅度的改善。使用 CAD 比人工绘图要迅速得多、精确得多。

计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 是利用计算机来代替人去完成制造系统中的以及与制造系统有关的工作。广义的 CAM 一般指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接或间接的活动, 包括工艺内准备、生产作业计划、物料作业计划的运行控制、生产控制、质量控制等。狭义的 CAM 仅指数控程序的编制, 包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真及数控代码的生成等。使用计算机控制可以完成数控、物料流控制及存储、机器人、柔性制造、生产过程仿真等过程, 这些过程的相关技术统称为计算机辅助制造。

计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是将企业生产过程中的有关人、技术、设备、经费管理及信息流和物资流进行有机集成, 并优化运行。包括信息流、物资流与组织的集成, 生产自动化、管理现代化与决策科学化的集成, 设计制造、监测控制和经营管理的集成。具体而言, 以企业选定的产品为龙头, 在产品设计过程、管理决策过程、加工制造过程、产品质量管理和控制等过程中, 采用各种计算机辅助技术和先进的科学管理方法, 在计算机网络和数据库的支持下, 实现信息集成, 进而使企业优化运行, 达到产品上市快、质量好、成本低、服务好的目的, 以此来提高产品的市场占有率和企业的市场竞争力。

5. 计算机信息管理

计算机信息管理是指计算机在信息管理、办公自动化等领域的应用。随着数字图书馆、数字城市、数字中国以至数字地球等系统的建设和实施, 计算机在信息管理系统方面的应用已无所不在。有了计算机, 信息管理过程中的数据查询、统计等功能变得十分方便。通过使用计算机进行信息管理, 企事业单位可以大大提高办事效率, 提高管理水平。

此外, 计算机还广泛应用于人工智能、决策支持和多媒体系统等领域。计算机网络的普及, 更增加了计算机应用的范围。进入 21 世纪后, 以计算机为龙头的信息产业得到了突飞猛进的发展, 计算机渗透到了各个领域, 其应用领域已经突破传统的单机式应用, 各种嵌入式系统、掌上电脑、网络系统等应用层出不穷。近年来, 新兴的网络计算、云计算等新型计算技术进一步将计算机技术推向一个新的发展阶段。随着技术的发展与进步, 计算机的应用必将更上一个台阶。

1.1.3 计算机系统结构、计算机组成、计算机实现

1. 计算机系统结构

计算机系统结构 (computer architecture) 也称计算机体系结构, 是由 Amdahl 于 1964 年提出并应用于计算机领域的, 它主要研究计算机系统的设计。在最初 Amdahl 的描述中, 计算机系统是指“程序设计者所看到的计算机的属性”, 也就是指一个计算机的概念性的结构及其在功能上的表现。这里的程序设计者, 指的是使用机器语言进行程序设计的程序员, 他们看到的是计算

机的硬件属性，以及由该硬件表现出来的功能特性。

对于通常意义上的系统结构设计者，他们的主要任务是界定计算机硬件与计算机软件在一个计算机系统中的功能分配，即哪些功能由计算机硬件实现，哪些功能由计算机软件实现，这也就是常说的计算机硬件与软件的界面。因此，一般来讲，计算机系统结构设计的主要任务是确定机器的硬件与软件的界面。

系统结构的设计主要包括指令系统（如指令格式、寻址方式等）的设计、数据类型（如数据表示与数据结构）的确定、机器工作状态的转换设计（如管态与目态）、中断系统（如中断类型、中断响应等）的设计、输入/输出系统的设计以及计算机安全与信息保护的设计等内容。

在完成上述功能的设计后，就可以确定计算机系统软件与硬件分工，同时也给出了一个概念性的硬件计算机。也就是说，确定了计算机系统的软硬件界面。

2. 计算机组成

计算机组成是指计算机系统结构的逻辑实现。根据系统结构所设计的概念性计算机（或称功能性计算机），从逻辑上完成计算机的设计，这就是计算机组成所要完成的工作。计算机组成具体包括计算机各组成部件内部的逻辑实现，以及各部件之间的相互连接等逻辑设计。在设计过程中，我们既要考虑计算机功能部件的自身功能，同时也要注意部件之间的相互配合关系。例如，在设计完运算器以后，为了全系统的性能平衡，就要考虑存储系统，从而要考虑存储系统中的高速缓冲器设置、主存储器的配置等，不能因为存储器的速度延迟而影响整体系统的运行效率。当然这些设计、配合之间是存在矛盾的，做到理想的完全匹配是不现实的，但是作为计算机组成的设计者来说，这些都是要设计和考虑的主要内容。

3. 计算机实现

计算机是实现计算机组成的物理实现。计算机实现是最具体的，是依据计算机组成来完成物理实现的过程。它包括各部件的物理结构、基本元器件的选用、电路板的设计与制作、机箱和接插件的设计或选用、散热装置的安装等。计算机实现突出的是制造技术和实现工艺的问题。

从以上的描述中可以看出，计算机系统结构、计算机组成和计算机实现有各自的特定研究领域，即划分软硬件的功能界面、逻辑设计与物理实现。在实际计算机的设计过程中，这几部分往往是互相联系、不可分割的，系统结构与逻辑结构设计有时是交织在一起的，这样才能使整体的计算机系统更完善。本书将重点阐述计算机系统结构与计算机组成原理的设计过程，而计算机实现作为工艺和制造部分不在本书的讨论范围之内。

1.2 计算机系统的层次结构

计算机系统由硬件和软件构成，如果以硬件为核心，计算机系统可以表示为图 1-1。硬件位于内层，软件围绕硬件而设置，用户使用计算机是通过软件而使用硬件的。计算机硬件既可以识别二进制数，也可以识别机器语言。用户必须通过不同的软件才能与硬件交换信息。

从计算机的设计者和使用者的角度出发，处于不同层次的主体对计算机的理解是不同的。硬件层可以分成三个不同的层级。最底层是微处理器的核心，其中包括中央处理器中的算术和逻辑处理单元、寄存器以及操作控制用的逻辑电路；第二层是硬件计算机级，这是通过在微处理器的基础上设计适当的总线结构以及存储器、外部设备接口等而构成的一个硬件计算机；第三层是机器语言级，这个包含了核心处理程序的计算机提供了使用计算机语言的硬件环境，使得机

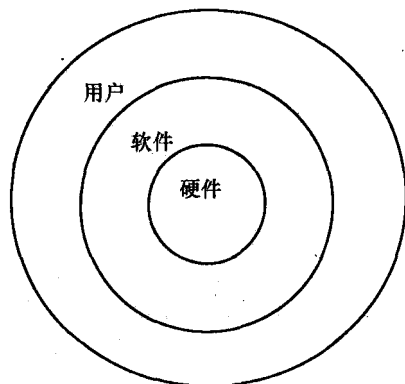


图 1-1 计算机硬件、软件和用户