

面向“十三五”高等教育规划教材

计算机综合设计实验指导

宋 平 王 欣 吴 燕 沈美娥 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是一本关于计算机综合设计实验的教材,目的在于通过实验提高对组成原理中一些概念的理解。

本书共分4章:第1章为计算机基本组成原理,简要介绍了计算机基本组成原理和计算机系统的一些基本技术;第2章为计算机组成原理实验仪,详细介绍了开发的计算机组成原理实验仪,为完成后续实验做好准备;第3章为计算机组成原理部件实验,编排了若干个部件实验供选用;第4章为模型计算机的研制,主要讲述了如何自行完成一台包含若干条指令的微程序控制计算机。

本书可作为计算机科学与技术、网络工程、软件工程等专业的计算机组成原理实验教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

计算机综合设计实验指导 / 宋平等编著. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-5682-5176-1

I. ①计… II. ①宋… III. ①计算机组成原理-教材 IV. ①TP301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 002118 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 7.25

字 数 / 175 千字

版 次 / 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 19.00 元

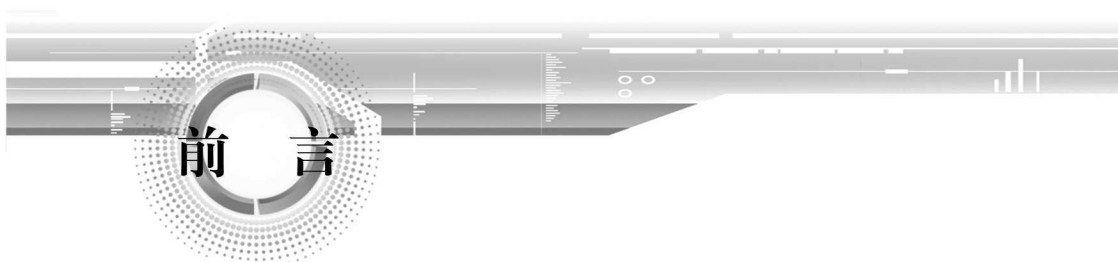
责任编辑 / 李秀梅

文案编辑 / 李秀梅

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

现代计算机技术在最近几十年已经取得巨大的进步，与计算机相关的新材料、新器件、新工艺、新体系、新软件及新应用层出不穷，令人目不暇接。然而，迄今为止，绝大多数电子数字计算机的基本组成依然是处理器、存储器和外部设备，其基本工作原理依然是存储程序和程序控制，这些仍将是今后相当一段时期内“计算机组成原理”课程的基本内容。

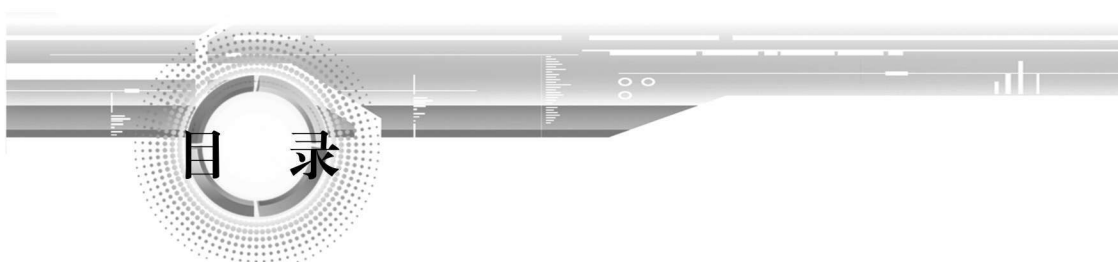
“计算机组成原理”是计算机类各专业一门重要的专业基础课，属于硬件范畴。为配合“计算机组成原理”课程的教学，本书特别安排了计算机组成原理实验。开设“计算机组成原理实验”课程的目的旨在帮助学生加深理解课堂上所学的理论知识，了解计算机各部件的基本组成原理，并为建立计算机整机概念打下一个良好的基础。总之，开设“计算机组成原理实验”课程对培养合格的计算机人才是不可或缺的。

开设“计算机组成原理实验”需要合适的实验仪器，以保证该课程的教学效果。为此，作者在总结该课程多年教学实践的基础上研制了一台计算机组成原理实验仪，并编写了本书。

本书共分4章，第1章概要介绍了计算机基本组成原理和计算机系统的一些基本技术；第2章详细介绍了计算机组成原理实验仪，为完成实验做好准备；第3章编排了若干计算机部件实验；第4章设计完成计算机整机实验，让学生有机会在完成部件实验的基础上，对计算机整机有一个完全的了解，使其具有独立设计一台微程序控制计算机的能力。

由于作者水平和时间有限，书中难免有不妥和错误，恳请读者批评指正。

作 者



第 1 章 计算机基本组成原理	1
1.1 电子计算机与存储程序控制	1
1.1.1 电子计算机的发展	1
1.1.2 存储程序概念	2
1.1.3 计算机的主要部件	3
1.2 计算机的指令系统	4
1.2.1 指令类型	4
1.2.2 指令格式及其设计	6
1.2.3 指令系统设计举例	7
1.3 存储器	8
1.3.1 半导体存储器	9
1.3.2 半导体存储器容量扩展技术	10
1.4 运算器	12
1.4.1 暂存器型运算器	12
1.4.2 多路选择器型运算器	13
1.5 控制器	14
1.5.1 指令部件	14
1.5.2 时序部件	14
1.5.3 微操作信号发生器	16
1.6 外部设备	17
1.6.1 主机和外部设备的接口	17
1.6.2 主机对外设的寻址方式	17
1.6.3 主机与外设的信息传送方式	18
1.7 微程序控制的计算机	19
1.7.1 微指令编码格式的设计	20
1.7.2 微程序控制器	20
第 2 章 计算机组成原理实验仪	22
2.1 实验设备介绍	22
2.2 数据格式与指令系统	25



2.2.1	数据格式	25
2.2.2	指令格式	25
2.2.3	指令系统	27
2.2.4	控制台指令	28
2.3	运算器部件	29
2.3.1	运算器部件逻辑框图和符号说明	29
2.3.2	运算器部件的工作原理	31
2.4	存储器部件	32
2.4.1	存储器部件逻辑框图和符号说明	32
2.4.2	存储器部件的工作原理	34
2.5	控制信号板	34
2.5.1	控制信号板的原理图	34
2.5.2	微命令信号开关组	36
2.5.3	数据开关组 ($SW_7 \sim SW_0$)	39
2.5.4	显示电路	39
2.5.5	时序电路	39
2.6	微程序控制器	41
2.6.1	微指令寄存器与微指令格式	41
2.6.2	控制存储器 (CM)	44
2.6.3	微地址寄存器 (MAR)	44
2.6.4	地址转移逻辑	47
2.7	微程序流程图	47
第3章	计算机组成原理部件实验	50
实验一	基本控制信号及简单运算器组成	50
实验二	运算器组成实验	56
实验三	主存储器原理实验	59
实验四	简单数据通路组成	64
实验五	微程序控制器组成实验	65
实验六	微程序控制器	69
第4章	模型计算机的研制	72
4.1	模型计算机的设计	72
4.1.1	确定设计总要求	72
4.1.2	设计模型计算机数据通路	72
4.1.3	设计模型计算机指令系统	72
4.1.4	设计指令执行流程	75
4.1.5	设计微指令格式	77
4.1.6	设计微程序流程图	78
4.1.7	设计微程序表	78
4.1.8	设计调试程序	78

4.2	模型计算机的调试	79
4.3	模型计算机样机分析	79
4.3.1	设计总要求	79
4.3.2	样机数据通路	79
4.3.3	样机指令系统	79
4.3.4	样机指令流程	82
4.3.5	样机微程序流程图	90
4.3.6	样机微程序表	92
4.3.7	样机调试程序	95
4.4	整机实验题	97
4.4.1	研制一台性能如下的简单实验计算机	97
4.4.2	研制一台性能如下的实验计算机	98
附录一	芯片写入仪使用说明	100
附录二	实验仪有关集成电路	101
参考文献		105

第 1 章

计算机基本组成原理

计算机由硬件和软件两大部分组成。硬件是计算机的物理实体，是执行软件的物质基础。其中存储器、运算器、控制器和输入、输出设备是计算机的基本功能部件，它们构成了计算机系统的内核。计算机的工作语言是指令系统。软件是计算机系统中各种程序和资料的统称，这包括计算机正常工作不可缺少的基本监控程序和为了扩大计算机功能、方便计算机用户和提高计算机工作效率的操作系统，以及各种计算机符号语言的编译程序等，其中操作系统是计算机和用户的交互界面，是软件的基本成分。计算机的工作是由硬件和软件配合完成的，有些功能既能由硬件实现也可由软件实现。

本章首先介绍计算机的发展情况，然后讲解计算机主要功能部件 CPU、存储器和外设接口，以及计算机的组成原理和一些有关技术。

1.1 电子计算机与存储程序控制

电子计算机是一种不需要人工直接干预，能够自动、高速、准确地对各种信息进行处理和存储的电子设备。电子计算机从总体上来说可以分为两大类：电子模拟计算机和电子数字计算机。电子模拟计算机中处理的信息是连续变化的物理量，运算的过程也是连续的；而电子数字计算机中处理的信息是在时间上离散的数字量，运算的过程是不连续的。通常所说的计算机都是指电子数字计算机。

1.1.1 电子计算机的发展

一、计算机的发展历史

人们习惯把电子计算机的发展历史分“代”，其实分代并没有统一的标准。若按计算机所采用的微电子器件的发展，大致可以将电子计算机分成以下几代：

第一代，1946—1959 年，电子管计算机；

第二代，1959—1964 年，晶体管计算机；

第三代，1964—1970 年，小、中规模集成电路计算机；



第四代, 1971—今, 大、超大规模集成电路计算机。

(1) 电子管计算机时代。

这一时期的计算机采用电子管作为基本器件, 初期使用延迟线作为存储器, 之后发明了磁芯存储器。早期的计算机主要用于科学计算, 为军事与国防尖端科技服务。

(2) 晶体管计算机时代。

这一时期计算机的基本器件为晶体管, 存储器采用磁芯存储器。运算速度从每秒几千次提高到每秒几十万次, 存储器的容量从几千存储单元提高到 10 万存储单元以上。这不仅使计算机在军事与尖端技术上的应用范围进一步扩大, 也使其在气象、工程设计、数据处理以及其他科学研究领域得到应用。

(3) 小、中规模集成电路计算机时代。

这一时期的计算机采用小、中规模集成电路为基本器件, 因此使其功耗、体积和价格等进一步下降, 而速度及可靠性相应提高, 使得计算机的应用范围进一步扩大。

(4) 大、超大规模集成电路计算机时代。

20 世纪 60 年代后, 微电子技术发展迅猛, 半导体存储器问世, 迅速取代了磁芯存储器, 并不断向大容量、高集成度和高速度方向发展。

1973 年开始出现包含 CPU 的单片 IC (微处理器), 以微处理器为核心的电子计算机就是微型计算机。微型计算机的出现, 形成了计算机发展史上的又一次革命, 使计算机几乎进入了所有的行业。

20 世纪 90 年代开始, 单片集成电路规模达 100 万只晶体管以上, 目前达到几千万只, 使得计算机向越来越集成化的方向发展。

二、计算机的发展趋势

现在, 世界已进入计算机时代, 计算机的发展趋势正向着“两极”分化。一极是微型计算机向更微型化、网络化、高性能、多用途方向发展。微型计算机分为台式机、便携机、笔记本机、掌上机等。由于其体积小、成本低, 几乎占领了整个国民经济和社会生活的各个领域。另一极则由巨型机向更巨型化、超高速、并行处理、智能化方向发展。它是一个国家科技水平、经济实力、军事实力的象征。在解决天气预报、地震分析、航空气动、流体力学、卫星遥感、海洋工程等方面的问题上, 巨型机将大显身手。

随着新的元器件及其技术的发展, 新型的超导计算机、量子计算机、光子计算机、生物计算机、纳米计算机等将在 21 世纪走进人们的生活, 遍布各个领域。

1.1.2 存储程序概念

世界上第一台电子数字计算机是 1946 年 2 月在美国宾夕法尼亚大学诞生的 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer)。ENIAC 是一个庞然大物, 它共用了 18 000 多个电子管, 重达 30 t, 占地面积为 170 m², 每秒可完成 5 000 次加法运算。ENIAC 有一个很大的缺点, 即它的存储容量极小, 只能存储 20 个字长为 10 位的十进制数, 所以只能用线路连接的方法来编排程序, 每次解题都要依靠人工来改变接线, 准备时间将大大超过实际计算时间。

在研制 ENIAC 的同时, 以美籍匈牙利数学家冯·诺依曼为首的研制小组提出了“存储



程序控制”的概念，这是冯·诺依曼等人对计算机界的最大贡献。存储程序控制的基本思想为：

(1) 计算机内部采用二进制来表示信息（包括指令和数据）。

(2) 将编好的程序和原始数据事先存入存储器中，然后再启动计算机工作，这就是存储程序的基本含义。

(3) 计算机硬件由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五大基本部件构成。

70多年来，虽然计算机的发展速度是惊人的，但就其结构原理来说，目前绝大多数计算机仍建立在存储程序概念的基础上。通常把符合“存储程序概念”的计算机统称为冯·诺依曼型计算机。当然，现代计算机与早期计算机相比在结构上还是有许多改进的。

1.1.3 计算机的主要部件

一、运算器

运算器是对信息进行处理和运算的部件。经常进行的运算是算术运算和逻辑运算，所以运算器又称为算术逻辑运算部件（Arithmetic and Logic Unit, ALU）。

运算器的核心是加法器。运算器中还有若干个通用寄存器或累加寄存器，用来暂存操作数并存放运算结果。寄存器的存取速度比存储器的存取速度快得多。

二、存储器

存储器是用来存放程序 and 数据的部件，它是一个记忆装置，也是计算机能够实现“存储程序控制”的基础。

在计算机系统中，规模较大的存储器往往分成若干级，称为存储系统。图 1-1 所示为常见的三级存储系统。主存储器（简称主存）可由 CPU（Central Processing Unit）直接访问，其存取速度快，但容量较小，一般用来存放当前正在执行的程序和数据。辅助存储器（简称辅存）设置主机外部，它的存储容量大，价格较低，但存取速度较慢，一般用来存放暂时不参与运行的程序和数据。CPU 不可以直接访问辅存，辅存中的程序和数据在需要时才传送到主存，因此它是主存的补充和后援。当 CPU 速度很高时，为了使访问存储器的速度能与 CPU 的速度匹配，又在主存和 CPU 间增设了一级 Cache（高速缓冲存储器）。Cache 的存取速度比主存更快，但容量更小，用来存放当前最急需处理的程序和数据，以便快速地向 CPU 提供指令和数据。

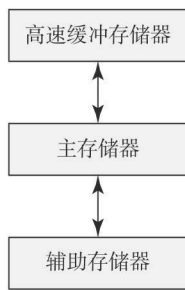


图 1-1 三级存储系统

三、控制器

控制器是整个计算机的指挥中心，它的主要功能是按照人们预先确定的操作步骤，控制整个计算机各部件有条不紊地自动工作。

控制器从主存中逐条地取出指令进行分析，根据指令的不同来安排操作顺序，向各部件发出相应的操作信号，控制它们执行指令所规定的任务。

控制器中包括一些专用的寄存器。

四、输入设备

输入设备的任务是把人们编好的程序和数据送到计算机中去，并将它们转换成计算机内



部所能识别和接受的信息方式。

按输入信息的形态可将输入信息分为字符（包括汉字）输入、图形输入、图像输入及语音输入等。目前，常见的输入设备有键盘、鼠标、扫描仪等。辅助存储器（磁盘、磁带）也可以看作输入设备。另外，自动控制和检测系统中使用的模数（A/D）转换装置也是一种输入设备。

五、输出设备

输出设备的任务是将计算机的处理结果以人或其他设备所能接受的形式送出计算机。

目前最常用的输出设备是打印机和显示器。辅助存储器也可以看作输出设备。另外，数模（D/A）转换装置也是一种输出设备。

1.2 计算机的指令系统

指令和指令系统是计算机中最基本的概念。指令是指示计算机执行某些操作的命令，一台计算机所有指令的集合构成该机的指令系统。

任何一台计算机都有一套指令系统，指令系统描述了该台计算机所能执行的全部操作命令，即指令。一台计算机的指令系统与该计算机的硬件组成结构密切相关。不同系列计算机的指令系统不同，同一系列计算机的指令系统具有兼容性。

计算机的功能是通过执行程序来体现的。程序员可以采用符号化语言编写解决某一问题的程序（称源程序）。但归根结底，计算机能实际执行的程序（称目标程序）是该机的机器指令的有机组合。

1.2.1 指令类型

计算机的指令系统通常包括运算类、数据传送类和程序控制类等指令。

一、运算类指令

1. 算术运算指令

这类指令主要指加、减、乘、除四则运算指令。例如：

ADD Rs, Rd; $(Rs) + (Rd) \rightarrow Rd$, 加法指令；

SUB Rs, Rd; $(Rd) - (Rs) \rightarrow Rd$, 减法指令。

减法指令在计算机里是通过补码加法执行的。乘法可用连加来实现，除法可以用连减来实现，因此，乘除法可以通过补码加法和移位两种操作来实现。对于运算速度要求不高的计算机，其指令系统通常不设乘法、除法指令。而对于运算速度要求较高的计算机，其指令系统设有乘法和除法指令，并且机内通常设有乘除部件，通过硬件执行乘除运算。

2. 逻辑运算指令

这类指令指执行“与”“或”“非”“异或”等逻辑操作的指令。这类指令的执行都是对操作数按位进行的。例如：

AND Rs, Rd; $(Rs) \wedge (Rd) \rightarrow Rd$, 与操作指令；



COM Rd; $\overline{(Rd)} \rightarrow Rd$, 非操作指令。

3. 移位指令

这类指令实现将一个 n 位二进制代码串左移或右移的操作, 移位指令具体又分带进位位移、不带进位位移、带进位环移、不带进位环移, 等等。

例如: RAR Rd; $\frac{1}{2}(Rd) \rightarrow Rd$, 右移指令;

RAL Rd; $2(Rd) \rightarrow Rd$, 左移指令。

二、数据传送类指令

数据传送类指令功能是将数据从计算机某处传送到另一处, 这通常包括以下几方面。

1. 运算器内部的数据传送指令

例如: MOV Rs, Rd; $(Rs) \rightarrow Rd$, 寄存器 Rs 的内容送寄存器 Rd。

2. 内存和运算器之间的数据传送指令

例如: LAD X, D, Rd; $(MD) \rightarrow Rd$, 内存 D 中的数据送寄存器 Rd;

STA X, D, Rd; $(Rd) \rightarrow MD$, 寄存器 Rd 的内容送内存 D 号单元。

3. 外设和运算器之间的数据传送指令

例如: IN A, Port; 某外设接口数据输入累加器;

OUT Port, A; 累加器数据输出到某外设接口。

三、程序控制类指令

程序控制类指令用于控制程序进程, 可以使程序不用逐条顺序执行, 而可以跳转到另一处去执行。这类指令通常包括以下几种。

1. 子程序调用和返回指令

例如: CALL addr; 调用子程序指令, 具体操作是把当前程序计数器 PC 值保存到堆栈, 然后子程序首址 $addr \rightarrow PC$, 使程序控制转向子程序首址执行子程序;

RET; 结束子程序, 从堆栈恢复 PC 值, 使程序控制返回主程序继续执行。

2. 条件转移指令

这种指令是根据某种条件成立与否决定程序是否跳转。“条件”通常是计算机内部状态标志或外设的状态标志等。

例如: JC addr; 若运算器进位标志 CY 为“1”, 则 $addr \rightarrow PC$, 否则 PC 加“1”。

3. 无条件转移指令

例如: JMP addr; $addr \rightarrow PC$, 使程序控制转向 addr 处执行。

4. 中断返回指令

例如: RETI; 该指令结束中断服务程序, 从堆栈中恢复 PC 值, 返回主程序继续执行。

四、其他类型指令

1. 堆栈操作指令

例如: PUSH A; 将累加器内容压入堆栈;

POP A; 从堆栈恢复累加器内容。



2. 系统复位指令

例如：RESET；初始化计算机系统。

3. 空操作指令

例如：NOP；空操作。常用于编制软件延时程序或暂时空占内存单元以备用。

4. 停机指令

例如：HALT；停机。通常使计算机内时序部件停止工作。

5. 陷阱指令（软中断指令）

例如：TRAP；模拟计算机内部出现了某种意外事件（如计算溢出、非法地址、非法操作等），使程序执行自动转移到陷阱子程序。陷阱指令常用来调试程序。

1.2.2 指令格式及其设计

指令格式指一条指令的具体表示方法。

指令的必需成分是操作码，它是表示指令意义的二进制编码。每条指令都有一个确定的操作码与其对应。

指令还常含有 n 段操作数地址码。若 $n=0$ ，则为零地址指令；若 $n=1$ ，则为单地址指令；若 $n=2$ ，则为双地址指令；若 $n=3$ ，则为三地址指令。操作数地址码段直接或间接指明获得操作数的方法（称为操作数寻址方式）。

指令格式设计准则：一是能表示出指令系统的全部指令；二是指令长度尽量短并且是机器字长的整数倍。

一、指令操作码的设计

指令操作码设计主要是确定操作码位数和编码方法。

理论上讲，对于 N 条指令，则操作码需要 $\log_2 N$ 位。例如 16 条指令，需要 4 位操作码；64 条指令，需要 6 位操作码。但实际上一个机器指令系统的指令格式并非单一固定，其中指令操作码的位数和位置也是变化的。这样做的目的是使指令格式编排高效、紧凑。

二、指令操作数地址码的设计

操作数地址码用来指出保存源操作数或操作结果的内存单元，所以操作数地址码位数 m 与内存容量 M 有关。理论上讲，如果 M 为 8KB，则 m 需 13 位；如果 M 为 1MB，则 m 需 20 位。如果是多地址指令，那么指令总长度 L （等于操作码与地址段之和）会很长。

操作数地址码对指令总长度影响最大。为了缩短指令总长度，指令格式设计时经常使指令中的操作数地址码位数小于内存实际地址码位数。即指令给出的是形式地址，再按一定寻址方式经运算得到内存实际地址，即有效地址。

三、操作数寻址方式及其设计

指令操作数并非只能根据指令操作数地址段信息从内存单元获得，而且指令给出的操作数地址也并非就是内存有效地址。一台计算机指令系统获取操作数的方法也就是操作数寻址方式，往往有多种。设计操作数寻址方式，一要保证硬件能够实现，二要能为程序员编程带来灵活性。各类计算机中较普遍采用的操作数寻址方式有以下几种。



1. 直接地址寻址方式

指令中给出的形式地址就是内存有效地址，其内容是操作数。

例如：LAD X0, D, Rd; (MD) → Rd, 这里的 MD 即内存有效地址，其内容是操作数。

2. 间接地址寻址方式

指令中给出的形式地址的内容不是操作数而是内存有效地址，需据此再次访问内存才能得到操作数。

例如：STA X1, D, Rd; (Rd) → (MD), 需访问内存两次。

3. 立即数寻址方式

指令编码中直接给出操作数。

例如：LDI DATA, Rd; DATA → Rd, 这里的 DATA 是可操作的数据而不是操作数地址。

4. 寄存器直接寻址方式

操作数由运算器中某个寄存器提供，而不是由内存单元提供。

例如：ADD Rs, Rd; (Rs) + (Rd) → Rd, 寄存器 Rs 的内容和寄存器 Rd 的内容相加送入寄存器 Rd。

5. 相对寻址方式

使用计算机内的程序计数器 PC 提供基本地址，加上指令给出的位移量 D，便是操作数有效地址，D 可正可负。

例如：JMP X3, D D+ (PC) → PC。

6. 变址寻址方式

设定某个寄存器为变址寄存器，由变址寄存器提供位移量，加上指令中给出的形式地址，便是操作数的有效地址。

例如：JC X2, D 若 CY=1, 则 PC = (R2) + D, 否则 PC+1 → PC, 此指令为一条进位转移指令，并把寄存器 R2 设为变址寄存器。

1.2.3 指令系统设计举例

表 1-1 所示为根据本书的实验仪所设计的指令系统，该指令系统共由 15 条指令构成，有关它的内容在第 2 章会详细论述，在此先让读者大致有所了解，并深刻体会它的重要性。

表 1-1 指令系统举例

指令名称	助记符	功能	指令代码格式
右移	RAR Rd	$\frac{1}{2} (Rd) \rightarrow Rd$	0101 * * Rd
左移	RAL Rd	$2 (Rd) \rightarrow Rd$	0110 * * Rd
加“1”	INC Rd	$(Rd) + 1 \rightarrow Rd$	1010 * * Rd
取反	COM Rd	$(\overline{Rd}) \rightarrow Rd$	1011 * * Rd
传送	MOV Rs, Rd	$(Rs) \rightarrow Rd$	1001 Rs Rd



续表

指令名称	助记符	功能	指令代码格式
与	AND Rs, Rd	$(Rd) \wedge (Rs) \rightarrow Rd$	1100 Rs Rd
加法	ADD Rs, Rd	$(Rs) + (Rd) \rightarrow Rd$	1101 Rs Rd
减法	SUB Rs, Rd	$(Rd) - (Rs) \rightarrow Rd$	1110 Rs Rd
输出	OUT Rd	$(Rd) \rightarrow \text{BUS} \rightarrow \text{DR}_2$	1000 * * Rd
停机	HLT	HALT	0111 * * * *
立即数传送	LDI DATA, Rd	$\text{DATA} \rightarrow Rd$	0100 * * Rd DATA
取数	LAD X, D, Rd	$(MD) \rightarrow Rd$	00 X 00 Rd D
存数	STA X, D, Rd	$(Rd) \rightarrow MD$	00 X 01 Rd D
无条件转移	JMP X, D	$D \rightarrow PC$	00 X 10 * * D
进位条件转移	JC X, D	若 $CY=1$, 则 $D \rightarrow PC$	00 X 11 * * D

注: X 为寻址方式字段, * 为任意值 (0 或 1)。

1.3 存储器

计算机的存储器是存储各种二进制信息的记忆装置。一个现代计算机常有多个不同类型的存储器, 它们在一定的硬件和软件的支持下, 构成多级 (多层次) 的存储体系。这里要介绍的存储器是计算机的主存, 它被用来存放计算机正在执行或将要执行的程序和数据等信息, 是计算机必不可少的主要功能部件, 由于它位于计算机内部, 故又可称其为内存。

早期计算机的内存多采用磁芯存储器, 一颗磁芯寄存一个“0”或“1”信息, 制作工艺复杂、体积大、功耗高、存取速度慢、存取控制复杂。

现代计算机内存多采用半导体存储器, 它集成度高、功耗低、存取速度快、存取控制简单。

衡量存储性能的主要指标: 存储容量和存取速度。

容量的最小单位是 bit (二进制信息位), n bit 组成一个存储单元, 存储单元是 CPU 访问存储器的基本单位。 n 通常为 4、8、12、16 等 4 的倍数, 其中 8 bit 称为一个字节 (Byte)。

存储器由存储体、地址寄存器、地址译码器和数据寄存器组成, 如图 1-2 所示。若存储体含 m 个存储单元, 每个存储单元字长 n bit, 则地址寄存器就为 $\log_2 m$ 位, 数据寄存器应为 n 位。地址译码器对地址寄存器内容译码, 以选择具体某个存储单元。

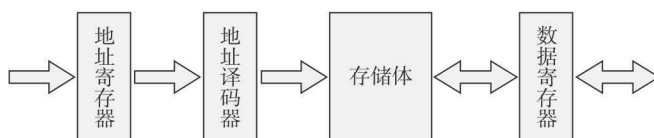


图 1-2 存储器组成

存储器的速度通常是以存取时间或存取周期衡量的。存取时间指存储器完成一次读或写操作所需的时间，存取周期指存储器连续两次操作的最小时间间隔。它大于存取时间，如图 1-3 所示，它决定了存储器与外部的数据传送速率。

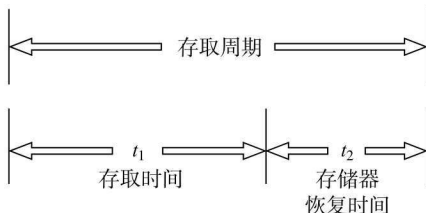


图 1-3 存取周期

1.3.1 半导体存储器

半导体存储器自 20 世纪 70 年代开始已逐渐取代磁芯在内存中的地位。半导体存储器有多种类型，按工艺分 MOS 型和双极型。两者相比，后者存取速度快，前者功耗低。从工作方式和性能来看，半导体存储器有 RAM、ROM、PROM、EPROM、EEPROM 等多种类型，以下对此分别作出介绍。

一、RAM

RAM (Random Access Memory) 是半导体随机存取存储器的简称。RAM 加电后可随机读写，所以在计算机里，RAM 常用来存放当前正在调试运行的程序或参数，若干连续 RAM 单元也可作为堆栈暂存一些需要保护的有特殊性质的数据。

MOS 型 RAM 按其信息存储原理又分动态 RAM 和静态 RAM。

1. 动态 RAM (DRAM)

动态 RAM 内部电路简单，它是利用其内部栅极对地电容来存储信息的，一定时间后，电容所存信息会因电容放电而丢失，所以每隔一定时间（约 2ms）需由外界对 RAM 内所有电容充电，进行“动态刷新”。

动态 RAM 与静态 RAM 相比，动态 RAM 使用不如静态 RAM 简单，但动态 RAM 内部电路简单，集成度高，价格低。动态 RAM 常用于需要大容量信息存储的视频处理系统，所以也被称为 VRAM。

2. 静态 RAM (SRAM)

静态 RAM 不是利用内部电容来存储信息的，所以使用中不需要“动态刷新”。常用的静态 RAM 集成电路有 2114 (1K×4bit)、6116 (2K×8bit)、6264 (8K×8bit) 等。

动态 RAM 和静态 RAM 的共同缺点是电源断电后所存信息不再保存。



二、ROM

ROM (Read Only Memory) 是半导体只读存储器的简称,意思是在计算机工作中,ROM 只能读不能写。ROM 的优点是电源消失后其所存信息依然保存,所以 ROM 常用来存放固定程序和常数。

按照 ROM 信息的写入和擦除的方法,ROM 具体又分为以下几种。

1. 掩膜只读存储器 (MROM)

MROM 所存信息由工厂按用户要求“刻”好,用户不能改写。

2. 用户一次性编程只读存储器 (PROM)

可由用户对它一次性写入,以后就不能再改写了。

3. 紫外光擦除电可改写只读存储器 (EPROM)

可由专门的编程器对 EPROM 改写,编程后应及时用不透明标签遮盖住它的玻璃窗口,以免受紫外光照射后信息丢失。而在编程改写前,需先用紫外光照 EPROM 以擦除旧内容。常用的 EPROM 集成电路有 2716 ($2K \times 8\text{bit}$)、2732 ($4K \times 8\text{bit}$)、2764 ($8K \times 8\text{bit}$)、27128 ($16K \times 8\text{bit}$),等等。

4. 电可改写电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM)

这类半导体存储器和 RAM 一样,加电后可在线随机读/写存储单元内容,又和 ROM 一样,断电后所存信息依然保持,称为 EEPROM,即电可改写电可擦除可编程 ROM。对 EEPROM 的读/写操作很简单,读出过程与普通 EPROM 相同,写入过程比 EPROM 简单得多,且不必事先擦除,执行写入操作时,会自动对写入单元进行擦除。

5. 闪速存储器 (Flash Memory)

闪速存储器是 20 世纪 80 年代中期出现的一种快擦写型存储器,它的主要特点是既可在不加电的情况下长期保存信息,又能在线进行快速擦除与重写,兼备 EEPROM 和 RAM 的优点。

目前,大多数微型计算机的主板采用闪速存储器来存储 BIOS 程序。由于 BIOS 的数据和程序非常重要,不允许修改,故早期主板 BIOS 芯片多采用 PROM 或 EPROM。闪速存储器除了具有 ROM 的一般特性外,还有低电压改写的特点,便于用户自动升级 BIOS。

1.3.2 半导体存储器容量扩展技术

通过位扩展、字扩展,可将若干片小容量半导体存储器集成电路构成一个大容量的半导体存储器。

1. 位扩展方法

如果每一片 ROM 或 RAM 中的字数(单元数目)已经够用,而每个字(每个单元)的位数不够用,采用此方法,将多片 ROM 或 RAM 并联起来组合成位数更多的存储器,即达到计算机字的宽度,如 8 位宽、16 位宽、32 位宽和 64 位宽等。

RAM 的位扩展连接方法如图 1-4 所示。图中用 8 片 $1M \times 1\text{bit}$ 的 RAM 接成一个 $1M \times 8\text{bit}$ 的 RAM。把 8 片的所有地址线、 $\overline{\text{WE}}$ 、 $\overline{\text{CS}}$ 分别并联起来,每一片的 I/O 数据端分别连接到数据总线上的相应位,就构成了 8 位宽的存储器,每次与 CPU 交换数据时,按 8 位进行。



ROM 芯片只有读信号，没有 $\overline{\text{WE}}$ 读写信号，其他连接与 RAM 相同。

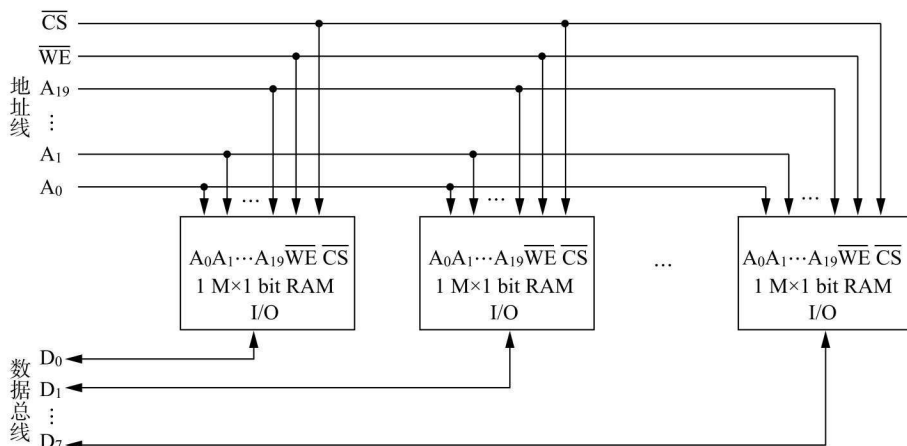


图 1-4 RAM 位扩展示意

2. 字扩展方法

如果每一片存储器的数据位数够用而字数（单元数）不够用，则将多片存储器芯片接成一个字数（单元数）更多的存储器。

图 1-5 所示为用字扩展方法将 8 片 $32\text{M} \times 8 \text{ bit}$ 的 RAM 接成一个 $256\text{M} \times 8 \text{ bit}$ 的 RAM 的例子。

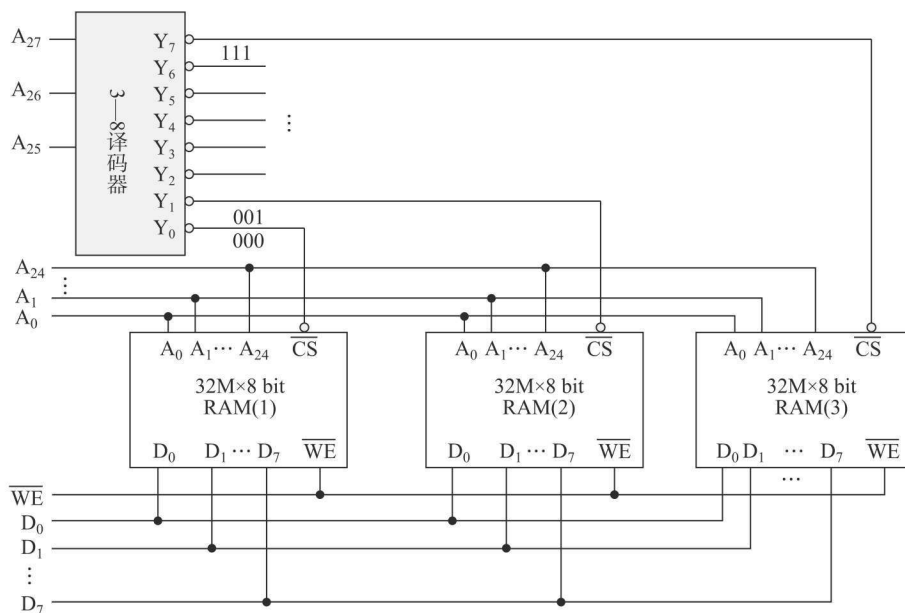


图 1-5 RAM 字扩展示意

3. 字位扩展方法

如果一片 RAM 或 ROM 的位数和字数都不够用，就需要同时采用位扩展和字扩展方法。

例：用 $16\text{M} \times 4 \text{ bit}$ 的存储器芯片，组成 $64\text{M} \times 8 \text{ bit}$ 的存储器空间系统。问：