

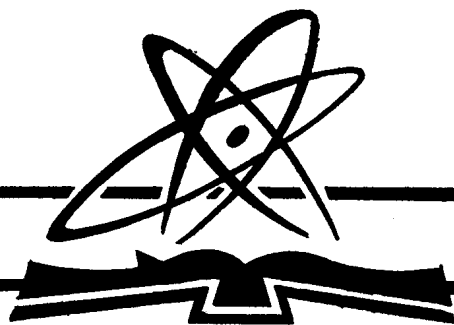
电子数字计算机组成原理

(下 册)

重 庆 大 学

童 频 主 编

国 防 工 业 出 版 社



电子数字计算机组成原理

(下 册)

重 庆 大 学

童 频 主编

国 防 工 业 出 版 社

电子数字计算机组成原理

重 庆 大 学

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

解放军第七二二六工厂印刷 内部发行

*

787×1092¹/₁₆ 印张19¹/₄ 458 千字

1981 年 7 月第一版 1981 年 7 月第一次印刷 印数 1-8,000 册

统一书号: N15034 (四教 49) 定价 2.00 元

前 言

本书系《电子数字计算机组成原理》一书之下册，是高等学校电子类计算机专业统编教材之一。

本书根据四机部在武昌和上海两次教材会议所审议通过之《电子数字计算机组成原理》数学大纲精神编写。供 80 学时教学用。本书在编写过程中力求贯彻“面向系统、软硬结合”的思想。在教材内容上，处理“抽象（原理概念）和具体（结合机型）”的关系时，着重原理的描述较多，联系具体设备较少。然而由于编者水平有限，离此目标尚有一定距离。期望通过教学实践后，予以补充提高。

本书由重庆大学童颖主编。其中第二、四、五、六章由童颖编写；第一章（除磁表面存储器部份外）由刘兆毓编写；第一章之磁表面存储器部份及第三章由黄松龄编写。童颖同志负责了全书的统编工作。

本书由华南工学院倪永仁同志负责主审。于 80 年 5 月份召开了审稿会对下册初稿进行了审议。参加会议的兄弟院校有：华南工学院、清华大学、西北电讯工程学院、上海交通大学、西安交通大学、天津大学、南京工学院、成都电讯工程学院、中国科技大学、上海科技大学、上海工业学院、中国矿业学院、北方交通大学。与会代表对教材初稿进行了认真地审议，提出了许多宝贵意见。会后编者根据审稿会议纪要精神对教材初稿进行了修改。倪永仁同志、王作新同志还仔细地审阅了修改稿。在本书编写过程中还得到校系各有关领导及校印刷厂的关心、指导及帮助，在此编者一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，因此本书中定有不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

1980.12.

内 容 简 介

本书系高等学校工科电子类计算机专业统编（试用）教材之一。

该教材力求把硬件和软件结合起来介绍计算机这个信息处理系统的基本原理。全书内容按信息的表达、加工处理、加工处理的过程控制、存储、变换与传送等五个方面进行组织安排。各章节以阐述计算机的一般组成原理为主，适当引入一些具体机器，如国产 DJS-180 系列的 183 机、DJS-100 系列的 130 和 140 机、及其它某些小型和微型机的有关材料来加深对一般原理的理解。

全书除绪论外共分十三章，绪论和前六章为上册，后六章为下册。本书下册主要包括信息的存储、变换与传送等方面的内容。

这是一本计算机专业试用教材，也可供从事电子计算机方面的工作人员参考。

目 录

第一章 计算机存储设备	(1)
1-1 概述	(1)
1-1.1 存储器的性能指标及基本存取方式	(1)
1-1.2 构成存储器的器件和媒体	(4)
1-2 磁心存储器	(5)
1-2.1 单个磁心存储代码的原理	(5)
1-2.2 电流重合法存储器矩阵结构 (3D存取方式)	(6)
1-2.3 磁心的基本特性	(9)
1-2.3.1 矩形性	(9)
1-2.3.2 开关时间	(10)
1-2.3.3 温度特性	(11)
1-2.4 线选法存储器 (2D存取方式)	(11)
1-2.5 两度半存储器 ($2\frac{1}{2}D$)	(13)
1-2.6 地址选择 (译码) 系统	(15)
1-2.6.1 二管/线电流译码器	(15)
1-2.6.2 四管/线电流译码器	(16)
1-2.7 电流重合法 (3D3W) 存储器举例	(17)
1-2.8 磁心存储器的检查	(21)
1-2.8.1 磁心存储器的硬件检查	(21)
1-2.8.2 磁心存储器的软件检查 (程序检查)	(23)
1-2.9 三种结构磁心存储器的性能评价	(26)
1-2.9.1 可靠工作范围	(26)
1-2.9.2 存取速度	(28)
1-2.9.3 存储器的价格	(28)
1-3 半导体存储器	(30)
1-3.1 存储单元电路	(30)
1-3.1.1 双极型存储单元电路	(30)
1-3.1.2 ECL 存储单元	(31)
1-3.1.3 MOS 存储单元	(31)
1-3.2 存储器芯片 (全译码存储单元)	(35)
1-3.3 半导体存储器的组成	(39)
1-3.3.1 逻辑字数 W_L 等于每片集成电路上位数的存储器的组成	(40)
1-3.3.2 逻辑字数 W_L 起过每片集成电路上的位数时存储器的构成	(40)
1-3.4 MOS 存储器举例	(40)

1-3.4.1	存储器系统负载分析	(41)
1-3.4.2	存储器组成	(42)
1-3.4.3	存储系统的刷新和控制器	(48)
1-3.5	磁心和半导体存储器的性能比较	(53)
1-4	只读存储器 (ROM)	(54)
1-4.1	MOS 掩模编程只读存储器工作原理	(54)
1-4.1.1	存储矩阵	(56)
1-4.1.2	位选择电路 (纵向选择输出译码)	(57)
1-4.2	可编程只读存储器 (PROM) 工作原理	(58)
1-4.2.1	双极型 PROM	(58)
1-4.2.2	MOS 型 PROM	(62)
1-5	磁表面存储器——外存	(64)
1-5.1	概述	(64)
1-5.2	数字磁记录方式	(67)
1-5.2.1	归零制记录方式 (RZ) 制	(68)
1-5.2.2	不归零制记录方式 (NRZ) 制	(70)
1-5.2.3	调频制记录方式	(72)
1-5.2.4	调相制记录方式 (PM) 制	(77)
1-5.3	各种记录方式的比较	(79)
1-5.4	磁带存储器	(81)
1-5.4.1	磁带机所使用的磁带	(81)
1-5.4.2	磁带存储器的组成及工作原理	(82)
1-5.4.3	磁带拖带机构	(84)
1-5.4.4	带盘驱动机构和磁带缓冲器	(86)
1-5.5	磁盘存储器	(87)
1-5.5.1	概述	(87)
1-5.5.2	磁盘存储器的组成	(90)
1-5.5.3	浮动磁头	(92)
1-5.5.4	磁头定位及驱动系统	(93)
1-5.5.5	塑料软磁盘	(95)
第一章小结及思考题		(96)
第二章 存储系统结构		(98)
2-1	存储系统的层次结构	(98)
2-2	虚拟存储技术	(101)
2-2.1	存储空间的扩充和管理问题	(101)
2-2.2	虚拟存储器	(104)
2-2.3	小型计算机和微型计算机系统地址空间的扩充与存储管理	(106)
2-2.3.1	页地址扩充	(107)

2-3.3.2 页——块地址扩充	(107)
2-3.3.3 上下界限方式	(108)
2-3 多模块交叉存储技术	(110)
2-4 相联(联想)存储器	(112)
2-5 高速缓冲存储器	(115)
第二章小结及思考题	(116)
第三章 输入/输出设备	(119)
3-1 概述	(119)
3-2 穿孔数据读入装置	(120)
3-2.1 纸带输入机	(120)
3-2.1.1 纸带输入机的读数机构	(121)
3-2.1.2 输纸机构	(122)
3-2.2 卡片输入机	(123)
3-3 穿孔输出设备	(126)
3-3.1 穿孔机构	(126)
3-3.2 输纸机构及松纸机构	(127)
3-3.3 纸带穿孔机控制逻辑	(128)
3-4 打印装置	(129)
3-4.1 控制台打字机	(131)
3-4.1.1 球形控制台打字机的基本原理	(131)
3-4.1.2 键及键盘	(135)
3-4.1.3 键盘编码器	(135)
3-4.1.4 键码同步脉冲的产生	(138)
3-4.1.5 控制台打字机控制逻辑	(138)
3-4.2 行式印刷机	(141)
3-4.2.1 行式印刷机的工作原理	(141)
3-4.2.2 行式印刷机的打印系统	(142)
3-4.2.3 行式印刷机的控制逻辑	(145)
3-5 数据显示装置	(149)
3-5.1 字符显示器的组成及工作原理	(150)
3-5.2 字符发生器	(152)
3-5.3 字符显示器举例	(154)
第三章小结及思考题	(159)
第四章 外围接口与通道	(160)
4-1 引言	(160)
4-1.1 外围设备	(160)
4-1.2 外围设备和计算机主机相比的主要特点	(161)
4-1.3 设备控制器与外围接口	(161)

4-1.4 主机与外围设备交换数据的控制方式	(162)
4-1.4.1 直接程序控制方式	(162)
4-1.4.2 中断控制方式	(163)
4-1.4.3 直接访问主存方式 (DMA)	(163)
4-1.4.4 通道控制方式	(164)
4-1.5 外围设备的调度管理	(165)
4-2 系统部件之间的通讯	(167)
4-2.1 系统连接的方式	(168)
4-2.1.1 数据传送通路的连接方式	(168)
4-2.1.2 状态/控制信号的连接方式	(170)
4-2.2 设备选择	(171)
4-2.2.1 独立 I/O 选择方式	(171)
4-2.2.2 和主存统一编址的 I/O 设备选择方式	(172)
4-2.3 通讯联络控制信号	(174)
4-3 直接程序控制输入/输出	(177)
4-4 中断控制输入/输出方式	(179)
4-4.1 中断 (Interrupt)	(179)
4-4.2 中断控制系统	(180)
4-4.2.1 中断控制系统的共同要求和基本结构	(180)
4-4.2.2 中断控制逻辑	(185)
4-4.2.3 中断响应和返回过程	(188)
4-4.3 中断方式输入/输出	(196)
4-5 DMA 输入/输出方式	(200)
4-6 通道控制输入/输出	(205)
4-6.1 通道的类型	(205)
4-6.2 通道命令和通道程序	(208)
4-6.3 通道工作过程	(210)
4-7 外围接口	(213)
4-7.1 外围接口的基本类型	(214)
4-7.2 并行接口的结构	(214)
4-7.3 串行接口的结构	(217)
4-7.4 输入/输出接口程序	(219)
第四章小结及思考题	(220)
第五章 系统软件	(224)
5-1 引言	(224)
5-2 语言处理程序	(225)
5-2.1 汇编语言和汇编程序	(226)
5-2.1.1 指令语句和汇编命令	(226)

5-2.1.2 汇编程序	(228)
5-2.1.3 宏指令及宏汇编程序	(232)
5-2.2 从算法语言源程序到机器代码程序的翻译过程	(234)
5-3 编辑程序 (Editor)	(236)
5-4 输入/输出系统程序	(238)
5-4.1 输入/输出执行程序	(239)
5-4.1.1 IOT 指令和 I/O 命令	(239)
5-4.1.2 IOX 程序	(241)
5-5 装入程序 (Loader)	(244)
5-5.1 绝对装入程序	(244)
5-5.2 可重定位 (浮动) 装入程序	(244)
5-5.3 连接装入程序	(245)
5-5.4 初始装入程序	(247)
5-6 调整程序 (Debugging Program)	(251)
5-7 操作系统 (Operating System)	(253)
5-7.1 基本概念	(253)
5-7.2 操作系统的基本类型	(256)
5-7.2.1 批处理系统	(257)
5-7.2.2 分时系统	(258)
5-7.2.3 实时系统	(259)
5-7.3 人机通讯	(260)
5-7.3.1 命令方式	(260)
5-7.3.2 程序请求方式	(261)
5-7.4 监控程序 (Monitor)	(263)
5-7.4.1 监控程序的基本功能	(264)
5-7.4.2 监控程序的数据库 (Data base)	(264)
5-7.4.3 监控程序结构	(267)
第五章小结及思考题	(269)
第六章 计算机系统的组成	(273)
6-1 前言	(273)
6-2 计算机系统的组成	(278)
6-2.1 存储程序控制设计思想概要	(278)
6-2.2 计算机系统的基本组成部份	(280)
6-3 计算机系统结构的剖析	(281)
6-3.1 从实现信息处理功能的角度对计算机系统层次结构的剖析	(281)
6-3.2 从硬件构造的角度对计算机系统层次结构的剖析	(283)
6-3.2.1 系统级	(284)
6-3.2.2 寄存器传送级	(288)

6-3.2.3 逻辑线路级	(290)
6-3.2.4 电子线路级	(292)
6-3.2.5 元器件和设备级	(292)
6-3.3 从系统组织的角度看计算机的层次结构	(293)
第六章小结及思考题	(296)

第一章 计算机存储设备

1-1 概 述

1-1.1 存储器的性能指标及基本存取方式

存储器的基本功能是存放程序和数据。标志存储器性能的主要指标有存储容量，存取速度，取数时间，价格以及可靠性等。

1. 存储容量：是指存储器所能记存指令或数据的个数，由于在计算机中指令和数据都以二进制编码表示，故以后将指令和数据一样看待，统称为数据。存储容量一般用字数和字长两个参数的乘积，即总位数来表示。例如：

国产 DJS-220 计算机主存储器的容量为 $32,768$ 个字 $\times 32$ 位；

国产 DJS-140 计算机主存储器的容量为 $65,536$ 个字 $\times 16$ 位。

为简便起见，通常用 K 表示字数，这里 $1K = 1,024$ 个字。于是上述两台机器的存储容量分别为 $32K \times 32$ 和 $64K \times 16$ 。

有些机器的存储器是以字节为基本组成单位，而由几个字节构成一个全字长的字，所以说字长的概念也不是绝对的。例如 905 乙机的主存储器容量为 $32K \times 45$ 位，但它是由五个相同的 $32K \times 9$ 位存储器构成的。

在成批存储数据的外存储器中，常以比特 (*bit*) 来表示存储容量，例如：在微型计算机中配备的软磁盘存储器，每一盘面的容量为几百万比特，即数量级为 10^6 比特。

2. 存取速度，又称存取周期，是指存入（写入）或取出（读出）一个数据所需的时间，通常用微秒 (μs) 或毫微秒 (ns) 来表示。在外存储器中则用平均等待时间来表示存取速度。

3. 取数时间：一般定义为中央处理机给出访问地址信号到存储器数据输出端有信号输出为止的时间。这一时间对提高计算机运算速度关系甚大，所以是一个重要指标。

4. 可靠性：除了泛指机器可靠性外，在存储器中还有所谓信息的易失性问题。这在半导体存储器中十分突出，因为在这种存储器中，当电源关断后，所存信息便完全消失。

5. 价格：这项指标关系到一台存储器有无实用价值的问题。通常，用性能/价格比作为衡量存储器的综合指标。性能就包括了前面的四项指标。

随着计算机体系结构的不断发展，存储器的种类也日益繁多，但从存取方式来看，基本上有三种类型：

(1) 读/写存储器，又称随机存储器 (*Random Access Memory*，简称 *RAM*)；

(2) 只读存储器 (*Read Only Memory*，简称 *ROM*)；

(3) 顺序读/写存储器 (*Sequential Access Memory*，简称 *SAM*)。

1. 读/写存储器 (*RAM*)

读/写存储器人们习惯称为随机存储器，其特点是读出和写入的时间是一样的，并且对每一存储单元的读写几率也是相同的。图 1-1(a)为读/写存储器逻辑简图。

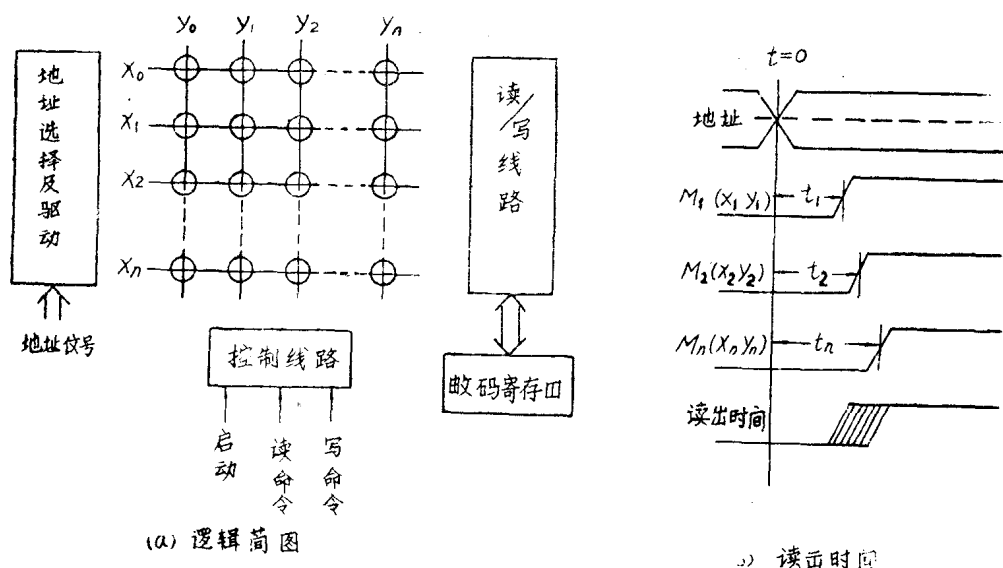


图 1-1 读写存储器结构

图中中间部分是记忆元件组成的矩阵，而每一圆圈代表一个字。 $X_1 \sim X_n$, $Y_1 \sim Y_n$ 为驱动线，若存储容量为 M ，则 $M = X_n \cdot Y_n$ 。图中左边为地址选择及驱动部分，由它决定选择 M 个字中的一个。右边的读/写线路负责将被选中地址的数读出并送往数码寄存器，或将数码寄存器中的数写入到矩阵中。控制线路接收中央处理机的启动、读命令或写命令并在这些命令作用下完成存储器的全部读写工作。

由上述的简单结构可知，这种存储器的地址选择是随机的，也就是 M 个字中到底选择哪一个字，完全由中央处理机所给出的地址来决定。而且所完成的操作可以是读，也可以是写。

读/写存储器的另一个特点是不论数据处在哪个地址，读出到数码寄存器的时间大致相同。图 1-1(b) 为读出时间图。例如在 $t=0$ 时接受地址，对于地址 $M_1(X_1Y_1)$ 的数据读出时间为 t_1 ，对于地址 $M_2(X_2Y_2)$ 的读出时间为 t_2 ，对于 $M_n(X_nY_n)$ 的读出时间为 t_n ，一般要求 t_1 、 t_2 、 t_n 应基本相等，而全部地址的读出的时间差别应限制在一个很窄的带中。

读/写存储器无论是在小型机或大型计算机中，主要是用作主存储器，目前的容量范围一般在 64K 位到 1 千万位。当然，后者是对扩充容量而言。它的存取周期为 $10\mu s$ 到几百 ns 。

读/写存储器也用作缓冲存储器，其容量约为 64K 位，存取周期为几十 $ns \sim 100ns$ 左右；用作便笺存储器，其容量范围是 256 位到几万位，存取周期可以从 $10ns$ 到数十 ns 。

读/写存储器用于外围设备时，主要是作为局部存储器或慢速缓冲存储器（输入输出缓冲器），它的容量最大为几万位，存取时间为 μs 数量级。

办公设备中使用更小更慢的随机存储器，容量一般为 2 万位，存取时间也是 μs 数量级。

2. 只读存储器 (ROM)

只读存储器顾名思义是在操作时只能读出而不能写入新的信息，也就是只能在制造它时一次写入信息，这是它最初的概念。（随着存储器元件工艺的不断改进，现在已经有了可以重新改写的只读存储器）。根据这一定义，只读存储器也可叫做固定程序存储器、固定存储器或永久性存储器。

只读存储器的构成基本上与随机存储器一样，因为它在制造时写入信息以后就不再需要写入了，所以只要将 1-1(a) 图中的写入线路去掉就成为一个只读存储器了，而读/写存储器的两个特点也适用于只读存储器。所以实际上只读存储器是读写存储器的一个特殊情况。

只读存储器的基本功能，用图 1-2(a) 简单地描述，就是当输入端加上某一地址信号时，经过只读存储器，输出端就有与该地址相对应的固定数据输出。输入地址不同，输出端的固定数据也就不同。

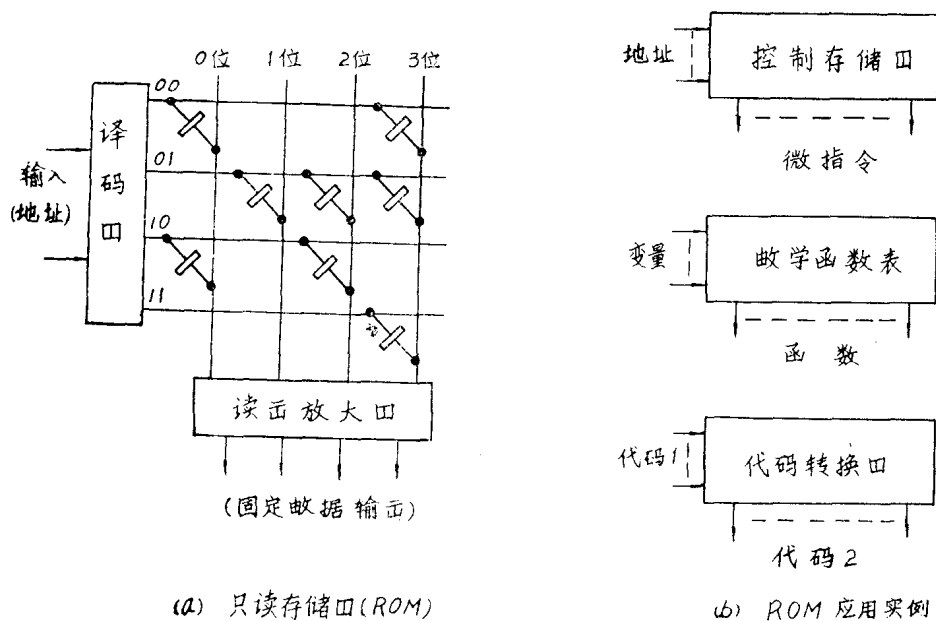


图 1-2 ROM 存储器及应用

只读存储器用途很广，除了用于存放固定程序外，还在某些外部设备中用来存放专用数据，如存储字符图形等。

在本书上册第六章控制技术中所叙述的微程序控制器就是使用了只读存储器作为控制存储器。因而只要输入端给出不同的地址，在输出端便可得到不同的微指令，图1-2(b)最上端就表示了这种功能。此外，只读存储器还可用来存放计算机的专用启动程序，有了它就可以很方便地输入二进制引导程序

只读存储器也可以用来构成数学函数表。这种“表”的输入端是变量，输出端就是变量的函数。有了这种表，计算机在进行科学计算和数据处理时就很方便了。类似这种方法，还

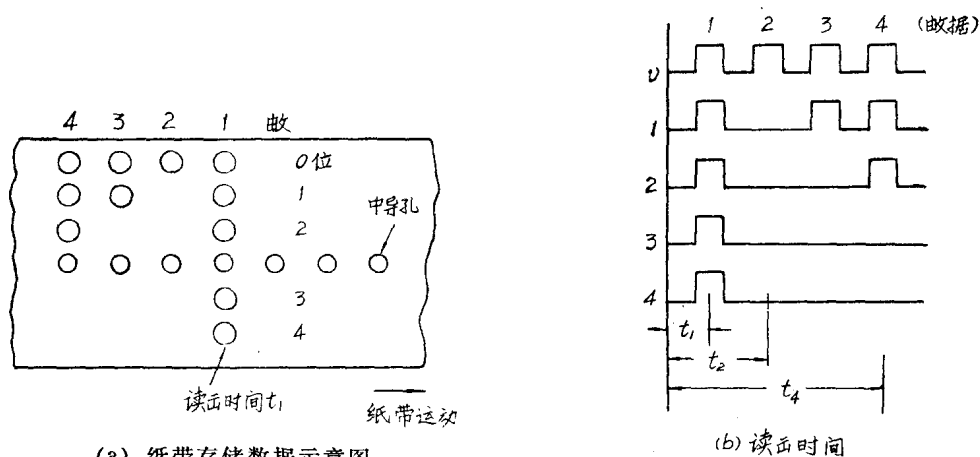
可以构成其它的查表机构。也可以构成代码转换机构，图 1-2(b) 下端为代码 1 转换成代码 2 的示意图。

只读存储器还可用在键盘译码，智能模拟以及计算机出错保护等方面。

由于只读存储器是减少了写入功能的随机存储器，所以它的造价要比一般随机存储器低很多。

3. 顺序存取存储器 (SAM)

顺序存取存储器与前两种存储器不同，在进行读写操作时，随着数字在存储媒体中的位置不同，读写时间也就不同，也就是在时间上是顺序存取的。比较直观的例子是以纸带做为存储媒体时，用有孔或无孔表示某位代码为“1”或为“0”，如图 1-3(a) 所示，上面存入了 4 个数，每个数有 5 位。如果在 $t=t_1$ 时开始读出第一个数，那么在读第二个数时，就得等到纸带上的第二个数移动到读出位置时，即时间延迟到 $t=t_2$ 时。如此类推，到读第 4 个数时，时间为 $t=t_4$ ，图 1-3(b) 为这种顺序读出的时间图。



(a) 纸带存储数据示意图

(b) 读出时间

图 1-3 顺序存取存储器示意

顺序存取存储器有两种存取方式。图 1-3 所示的方式叫位并一字串方式，就是说在读出数据时，一个数的所有位同时并行读出，而数与数之间的读出是串行的，属于这种方式的还有磁带存储器和固定头磁盘存储器以及磁鼓存储器。

另一种存取方式是位串字串方式，在这种方式中，读出时不但字与字之间是串行的，而且一个字的各位也是串行读出的。每面一个活动头的磁盘存储器属于这一种。

顺序存取存储器主要是作为计算机的大容量存储器，也可用作外部设备、终端设备和办公仪器中的小容量辅助存储器。其大量使用的主要原因是这种存储器造价较低。

1-1.2 构成存储器的器件和媒体

计算机的硬件是以电子器件为基础逐渐发展起来的，存储器在这几十年中也不断出现新的组成器件和媒体。从存储器的结构层次来看，由于计算机规模的不同，以及制造时间的先后差别，很难指明哪些器件或媒体用作什么类型的存储器，例如磁鼓存储器曾经用作内存

器,但后来却用作外存储器。从最近来看,用作读/写存储器的器件多是具有矩形磁滞回线的铁氧体磁心(以后简称磁心)和半导体器件。而只读存储器则大部分是采用半导体器件做成。顺序存取存储器当前主要是用铁氧体材料作为媒体,做成磁表面存储器如磁带、磁盘和磁鼓存储器。也可以用半导体器件做成顺序存取存储器。而具有广阔前景的磁泡、激光等新型存储器尚在研制阶段,并未进入实用阶段。

本章重点介绍读/写存储器和顺序存储存储器,对只读存储器只做一般介绍。

1-2 磁 心 存 储 器

1-2.1 单个磁心存储代码的原理

用作存储器的记忆磁心是用铁磁性材料,如铁(Fe)、锰(Mn)、镍(Ni)、锂(Li)、钴(Co)等的氧化物经研磨,混合、搅拌、冲压、烧结而成的环状元件,称为磁心,如图1-4(a)所示。磁心的尺寸以外径(D) $\times$ 内径(d) $\times$ 高(H)来表示,单位用毫米或密耳(1密耳 $=10^{-3}$ 吋)。这种磁心由于具有矩形磁滞回线(图1-4(b)),通常又称为矩磁性磁心。单个磁心存储代码的原理可在磁滞回线上加以说明。

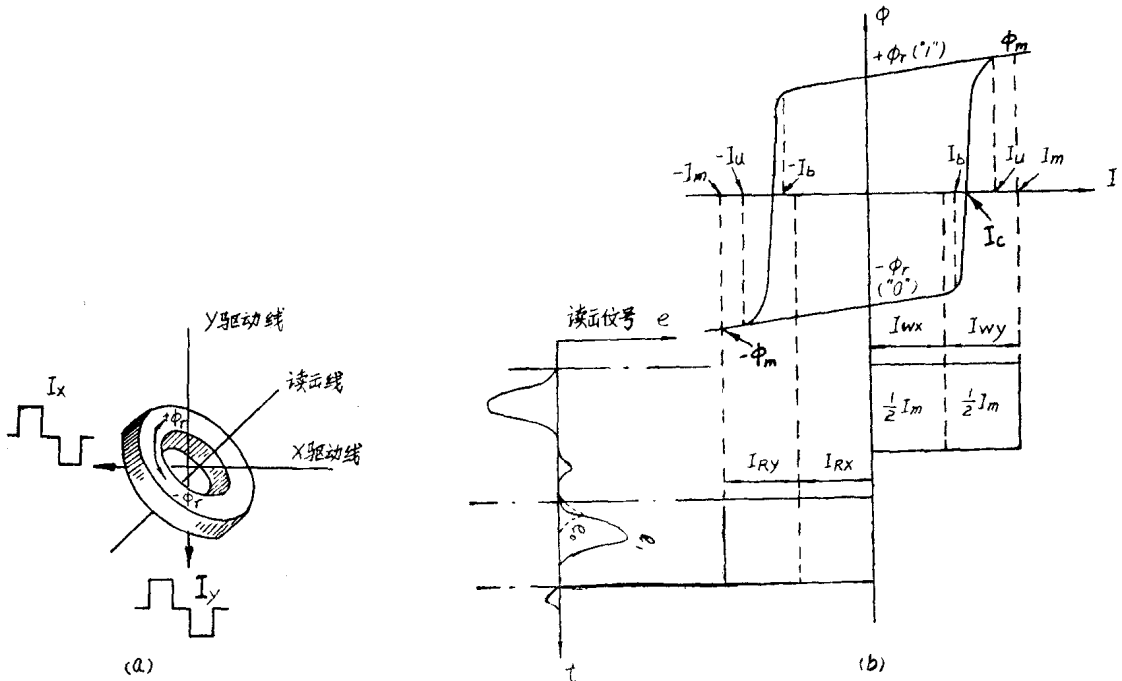


图 1-4 磁滞回线及读写工作原理

在静态时,磁心处于 $+\phi_r$ 或 $-\phi_r$ 两个剩磁状态之一。如果将 $+\phi_r$ 状态作为二进制数码的“1”, $-\phi_r$ 作为“0”,那么一颗这样的磁心就可作为一个存储元件。当然,也可以用 $-\phi_r$ 代表“1”, $+\phi_r$ 代表“0”。

如果在磁心中穿入两根驱动线,一根叫X驱动线,一根叫Y驱动线,另外再穿一根读

出线 S ，就可以对这颗磁心进行写入和读出操作了。

写入：只要在 X 和 Y 驱动线上通以正向写驱动电流 I_{WX} 和 I_{WY} ，其幅度满足

$$I_{WX} + I_{WY} = I_m > I_u \quad (1-1)$$

即驱动电流幅度 I_m 超过磁心完全翻转磁化所需的电流值 I_u ，（自然也超过对应于磁心矫顽力 H_c 的电流 I_c ），磁心就被磁化到 $+\phi_r$ 状态，而不管磁心原来处于什么状态，这就完成了写“1”。

读出：如果在 X 和 Y 驱动线上通以和 I_{WX} 、 I_{WY} 方向相反的读驱动电流 $-I_{RX}$ 和 $-I_{RY}$ ，并且满足

$$|-(I_{RX} + I_{RY})| = |-I_m| > |-I_u| \quad (1-2)$$

就可在读出线上得到读出信号。若磁心原存“1”，在 $-I_m$ 作用下，磁心沿 $+\phi_r \rightarrow -\phi_m \rightarrow -\phi_r$ 翻转，于是在读出线上就感应出一个幅度较大的读“1”信号 e_1 ，图 1-4(b) 中画出了与驱动电流相对应的读出信号波形，由于

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$\text{故读“1”信号 } e_1 = -\frac{\phi_m + \phi_r}{\Delta t} \quad (1-3)$$

若磁心原存“0”，在 $-I_m$ 作用下，磁心沿 $-\phi_r \rightarrow -\phi_m \rightarrow -\phi_r$ 磁化，磁通变化甚小，在读出线上感应的电压也很小，这就是读“0”信号 e_0 ，它的数值是

$$e_0 = -\frac{\phi_m - \phi_r}{\Delta t} \quad (1-4)$$

从磁滞回线上可以看出 $\phi_m + \phi_r \gg \phi_m - \phi_r$ ，因而读“1”信号 e_1 远大于读“0”信号 e_0 。读出的“1”信号经读出放大器送往数码寄存器暂存起来。

不论是读“1”还是读“0”，最后磁心均处于“0”状态，这就等于写“0”。

以后，称正向驱动电流为写电流，负向驱动电流为读电流。显然，当写入“1”时，在读出线上也会感应出一个大信号（若磁心原处于“0”状态时）。其极性与读“1”信号 e_1 相反，只不过在实际存储器中不去用它。

应该指出的是在读出“1”信号时，虽然得到了 e_1 信号，但磁心却被翻转到了“0”状态，也就是破坏了原存信息，这就是破坏读出的概念。为了恢复原有“1”状态，必须在读出“1”信号以后，再通以写电流，重新写入“1”，这样就额外地增加了操作时间。

1-2.2 电流重合法存储器矩阵结构

(3D 存取方式)

单个磁心的读、写原理很简单，但要能存储很多数据，必须用很多磁心构成一个矩阵，矩阵中每颗磁心存储一位二进制数。构成磁心矩阵的方法很多，图 1-5 为电流重合法存储器磁心矩阵（4×4）的一种结构，称为磁心板。板上 16 颗磁心呈八字形排列用短粗线表示，每颗磁心穿四根线： X 、 Y 驱动线、读出线和禁

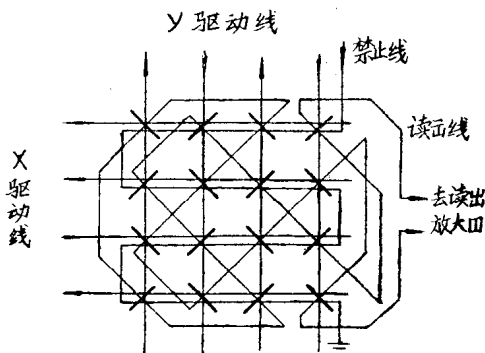


图 1-5 电流重合法（4×4）磁心矩阵