

电子数字计算机原理

第三册

北京大学计算机科学技术系 编著

科学出版社

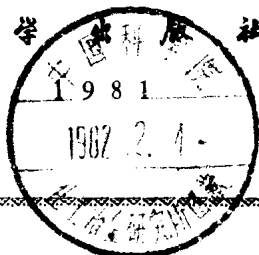
73.8721
171
3:1

电子数字计算机原理

第三册

北京大学计算机科学技术系 编著

科学出版社



内 容 简 介

《电子数字计算机原理》第三册介绍了计算机的主存储器(或内存贮器)以及只读存储器的组成与工作原理。全书共分六章。第一章讨论了磁芯的一些物理性质;第二章介绍了六种存取方式的磁芯存储器和各种存储器的主要用途;第三章分析了磁芯存储器中经常使用的一些电流译码电路和它们的优缺点;第四章介绍了存储器中常用的检查方式和单误差校正的基本知识及其实现方法;第五章介绍了半导体存储器中的 MOS 存储器;第六章介绍了半导体的双极型存储器和几种只读存储器。

本书由周炜、陆钟辉同志执笔编写。

本书可作为计算机专业教学参考书,也可供有关专业的科技人员自学参考。

电子数字计算机原理

第三册

北京大学计算机科学技术系 编著

责任编辑 黄岁新

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1981年11月第一版 开本: 850×1168 1/32

1981年11月第一次印刷 印张: 11 3/8

印数: 0001—23,700 字数: 301,000

统一书号: 15031·365

本社书号: 2336·15—8

定价: 1.45 元

目 录

引言	1
第一章 磁芯	4
第一节 磁芯存贮二进制代码	4
第二节 磁芯板与磁芯体	10
第三节 磁芯的主要参数	14
第四节 磁芯的分层磁化理论简介	30
第五节 磁芯的挑选	38
第二章 磁芯存贮器的存取方式	44
第一节 三度四线存贮器	44
第二节 三度三线存贮器	59
第三节 二度三线存贮器	73
第四节 二度二线存贮器	96
第五节 二度半三线存贮器	103
第六节 二度半二线存贮器	142
第三章 电流译码方式	156
第一节 直接驱动的电​​流译码	156
第二节 均分负载变压器	167
第四章 磁芯存贮器的检查和误差校正	184
第一节 磁芯板与体的检查	184
第二节 存贮器的单误差校正	217
第五章 金属-氧化物-半导体存贮器	254
第一节 MOS 场效应晶体管的工作原理	254
第二节 MOS 反相器	270
第三节 基本逻辑电路	283
第四节 MOS 存贮器	285
第五节 MOS 存贮器的检测	301

第六章 其他存贮器	306
第一节 双极型半导体存贮器	306
第二节 只读存贮器	333

引 言

一、存贮器在计算机中的作用

在本书第一册绪论里曾讲到计算机主要由控制器、运算器、存贮器、输入输出控制器（或叫外控）和各种外围设备（如纸带输入机、行式输出打印机等）组成。存贮器在计算机中是存放程序和各種数据的部件。算题时运算器所用的数据，控制器所用的指令都来自存贮器。计算的中间结果或最后结果也存放在存贮器里。计算机使用者的程序与数据送到机器里去是经过输入设备和输入输出通道送到存贮器里……。总之存贮器在计算机中占有重要的地位，所以有人把它比拟为计算机的“大脑”，计算机要“记忆”数据与程序主要靠存贮器。这仅仅是一种比喻而已，因为真正的大脑不但有记忆的功能，还有能动的思维功能。可是计算机的存贮器只有“有限的记忆能力”，而没有能动的思维能力。计算机中直接与控制器运算器交换信息的叫主存贮器（或叫内存贮器），此外还有外存贮器如磁鼓、磁盘、磁带等等，一般情况下外存贮器只与主存贮器交换信息，而不与控制器运算器交换信息。外存贮器是主存贮器的扩充，它帮助主存贮器“记忆”更多的东西。本书只讨论主存贮器的有关问题。

二、存贮器的主要指标

(1) 存贮容量：一个存贮器的容量常用多少个存贮单元，每个单元有多少位来表示，或者用能存贮多少字节（一个字节为八位二进制代码）表示。存贮器的容量越大，它所记忆的信息就越多，一台计算机解题的能力与存贮容量有很大的关系。如一台中型机主存贮器的容量为 65536 个单元，每个单元 32 位二进制代

码（常常以 $65536 \text{ 字} \times 32 \text{ 位}$ 来表示其容量）。而一台大型机主存贮器的容量在 $131072 \text{ 字} \times 64 \text{ 位}$ 以上。为了表示容量的方便起见常以 1024 为单位， $1\text{K} = 1024$ 。上述的存贮器容量可以分别记成 $64\text{K 字} \times 32 \text{ 位}$ 和 $128\text{K 字} \times 64 \text{ 位}$ 。若用字节表示容量则 $64\text{K 字} \times 32 \text{ 位}$ 的存贮器可写成存贮器容量为 256K 字节。

(2) 存取周期：这是指从存贮器中取一个字到能够再取下一个字中间所需的时间。目前容量为 $32\text{K 字} \times 32 \text{ 位}$ 的磁芯存贮器存取周期约为 $1-2 \mu\text{s}$ 。存取周期的长短与它的容量有关，一般讲容量越大存取周期比较长，反之则比较短。另外，存贮器的存取周期的长短又直接影响计算机的工作速度，人们希望存贮器的容量大，存取周期又短。

(3) 存贮器的可靠性：存贮器是记忆信息的部件，人们希望它工作时有很高的可靠性，否则计算机无法正确地进行算题工作。因此要求存贮器正确地读出数据和指令，不容许有一点错误。度量可靠性好坏的标志是平均故障间隔时间 MTBF，MTBF 越长表示其可靠性越高。现在许多主存贮器采用了误差校正技术以延长 MTBF，提高可靠性。

(4) 耗电与体积：一般说要求耗电要少体积要小，特别是飞机和人造卫星上用的存贮器对耗电量和体积有较严格的要求。

(5) 价格：只有存贮器的上述性能好价格又便宜才受人们的欢迎，也便于计算机的广泛运用，有利科学技术的发展。尽管存贮器的性能较好而价格昂贵就大大限制了它的使用范围。

三、存贮器的概况

随着科学技术的发展，存贮元件不断更新。四十年代末期的存贮器是用电子管或继电器做的，后来改用汞延迟线，镍延迟线或示波管作存贮元件，它们或是价格贵，或是速度慢，或是容量太小都相继被淘汰了。在五十年代初出现了磁鼓存贮器到 1952 年开始用具有矩形磁滞回线的磁芯做存贮器。

磁芯存贮器本身发展也很快，在 20 多年的时间里磁芯的外形

尺寸由外径 2mm 缩小到 0.3mm。一台磁芯存贮器的容量从 1024 个字扩大到 32K 字或更大，存取周期由几十微秒缩短到几百毫微秒。现在一颗磁芯的价格下降到早期的几分之一。

六十年代初期集成电路问世后，半导体存贮器迅速发展起来，它与磁芯存贮器相比最突出的优点是存取时间短，体积小，不要穿线，随着技术的进步价格也越来越便宜。七十年代出现了大规模集成电路，不少的计算机已经开始用半导体的 MOS 存贮器作主存贮器，从而开始取代了磁芯存贮器。虽然半导体存贮器在切断电源后所存信息全部丢失，但是它在许多方面比磁芯存贮器优越，由它取代磁芯存贮器的趋势是肯定的。

第一章 磁 芯

第一节 磁芯存贮二进制代码

磁芯存贮元件是由非金属材料铁氧体制成的,外形为环状.磁芯外形尺寸用环形的外径 D_1 , 内径 D_2 , 高 h 表示. 简称为 $D_1 \times D_2 \times h$, 其单位用毫米. 图 1.1 是一颗磁芯的示意图.

物理学的基本知识告诉我们,磁性材料都有磁滞回线.不同的磁性材料有不同形状的磁滞回线. 磁滞回线就是描述磁性材料在一缓变的外磁场 H 的作用下, 它的磁感应强度 B 随着外磁场强度 H 的变化而变化的曲线, 而且有磁滞现象. 图 1.2 就是磁芯在一缓变的磁场 H 作用下的磁滞回线.

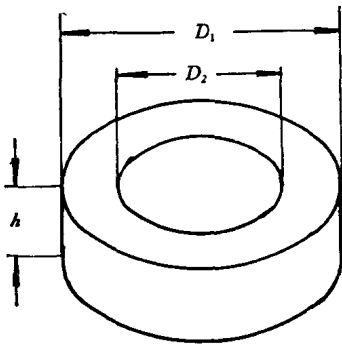


图 1.1

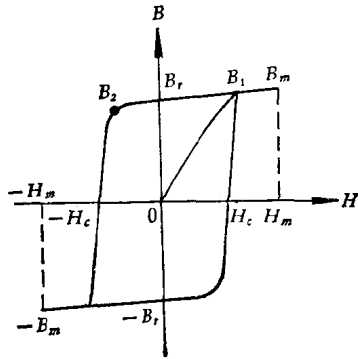


图 1.2

磁芯第一次在外磁场 H 作用下, 当 H 由 0 增至 H_c 时, 磁感应强度 B 随之由 0 增大至 B_1 . 若 H 继续增大至 H_m , 磁感应强度 B 随之增大至 B_m . 如果 H 再增大则 B 趋于饱和, 出现磁饱和现象. 故称 B_m 为饱和磁感应强度. 若 H 从 H_m 减小到 0 , B 从 B_m 经过 B_1 达到 $+B_r$, 这就是剩磁现象. 虽然这时外场为 0 , 但

磁芯仍保持有 $+B_r$ 的磁感应强度。当外场 H 向反方向增大到 $-H_c$ 时， B 经过 B_2 达到0。这表明在外场 $H = -H_c$ 时，磁芯的磁感应强度 $B = 0$ ，这是磁滞现象，即磁感应强度 B 的变化滞后于外场 H 的变化。当 H 变化到 $-H_m$ 时， B 由0变到 $-B_m$ ，同样 H 在负方向再增大而 B 仍旧保持为 $-B_m$ ，即负方向的饱和现象。当 H 由 $-H_m$ 回到0时， B 从 $-B_m$ 回到 $-B_r$ ，出现负方向的剩磁现象。当 H 再次由0到 $+H_c$ 时 B 由 $-B_r$ 到0这也是磁滞现象。 H 由 $+H_c$ 增大到 H_m 时 B 由0到达 B_m 。上述磁化过程绘成曲线就是图1.2的磁滞回线。

磁滞回线上的 H_c 叫做磁芯的矫顽力， $+H_c$ 为正方向的矫顽力， $-H_c$ 为负方向的矫顽力。

磁芯被磁化以后磁芯的工作点总是在磁滞回线上， H 和 B 不会同时为0，由磁滞回线可以看到当外场 $H=0$ 时，磁芯可能处于 $+B_r$ 状态也可能处在 $-B_r$ 状态，也就是磁芯在 $H=0$ 时有两个稳定的状态。我们可以利用这两个稳定状态表示二进制代码，通常把磁芯处于 $-B_r$ 状态表示磁芯中存有“1”，把磁芯处于 $+B_r$ 状态表示磁芯存有“0”。很显然有了这样的规定以后，一颗磁芯就可以存贮一个二进制代码。这一点可以和一个触发器相比拟，一个触发器有两个稳定的状态，它也可以存贮一个二进制代码，如果触发器“1”端为高电位就表示存有“1”信号，它的“0”端为高电位就表示存有“0”信号。从原理上讲任何有两个稳定状态的物理元件都可以存贮一个二进制代码。

磁芯所存贮的二进制代码以什么方式表现出来呢？或者说磁芯怎么把它所存的二进制代码“告诉”计算机呢？物理学中的电磁感应现象告诉我们磁可以转化为电。磁芯就是利用磁转化为电的规律把自己所存的二进制代码“告诉”计算机的。具体做法是一颗磁芯穿有两条导线如图1.3(a)，假设磁芯原来存有“1”，即磁芯处于 $-B_r$ 状态，那么磁芯的截面包含的磁通量 $\Phi = -\Phi_r = -SB_r$ ，其中 S 为磁芯的截面积。磁芯中磁通量 $-\Phi_r$ 是图1.3(a)中箭头所指示的逆时针方向。当有电流脉冲 I_m 沿 ab 箭头方向通过导

线 ab 时, 电流脉冲 I_m 产生一磁场 H , 而且离导线 ab 的距离为 r 处的磁场强度为

$$H = \frac{0.2 I_m}{r}$$

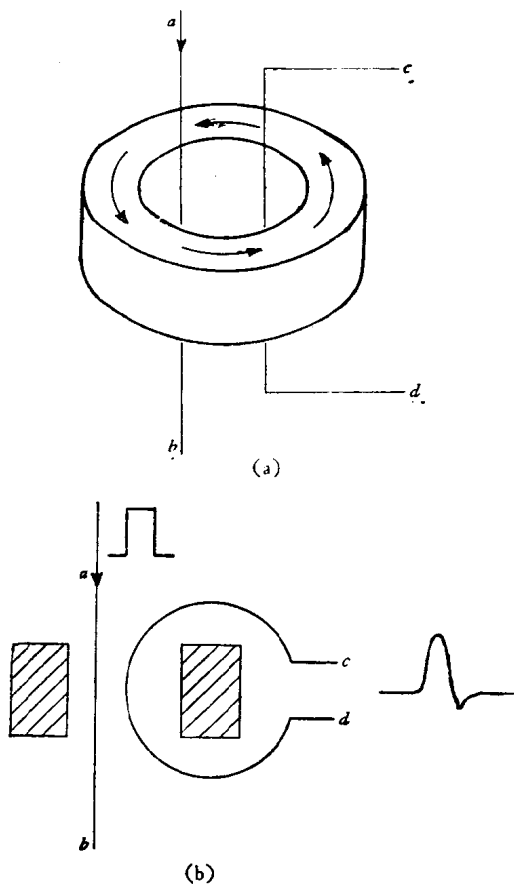


图 1.3

H 以奥斯特为单位, I_m 以安培为单位, r 以厘米为单位。此时 H 的方向是顺时针方向。

只要 I_m 的值取得适当可以保证磁芯的磁场达到 H_m 的值,

磁芯在 H_m 的作用下,磁芯由 $-B_r$ 状态变为 $+B_m$ 状态. 磁芯状态的改变也伴随着磁通量的改变,磁芯在电流 I_m 作用下它的磁通量由 $-\Phi_r$ 改变为 $+\Phi_m$ [$\Phi_m = SB_m$], 线圈 cd 所包的磁芯截面中发生 $\Phi_m + \Phi_r$ 的磁通量的变化,在 cd 的两端有感应电势存在,感应电势以电压信号的方式表现出来. 如图 1.3 (b) 所示. 通常我们把电流 I_m 叫做读电流,在读电流作用下磁芯产生一个相应于磁通改变量 $\Phi_m + \Phi_r$ 的感应电压,这个感应电压就是磁芯读出的“1”信号,记为 e_1 . e_1 就是计算机所要的“1”信号.

当电流脉冲 I_m 结束后,磁芯回到 $+B_r$ 状态(注意不是回到原先的 $-B_r$ 状态). 磁芯原先存有“1”经读电流 I_m 作用后产生 e_1 , 与此同时磁芯的状态也改变了,磁芯存有的“1”信号只能使用一次,我们称磁芯为破坏性读出的存贮元件.

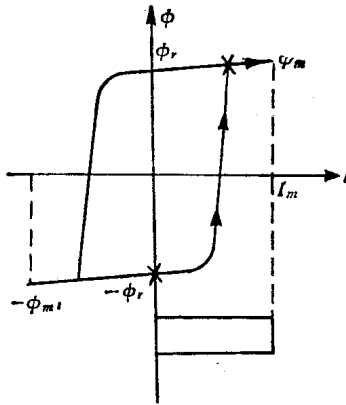


图 1.4

从上面讲的关于磁芯读“1”过程中看到 H 与 B 的对应关系和 I 与 Φ 的对应关系是完全相同的,只是计算中注意物理单位有一些不同,所以图 1.2 的 $H-B$ 的磁滞回线也可表示成 $I-\Phi$ 的磁滞回线,如图 1.4 所示. 以后我们常用 $I-\Phi$ 表示的磁滞回线. 只要知道 $\Phi = SB$, $H = \frac{0.2 I}{r}$ 两个对应关系就可进行两种回线的换算,图 1.4 中的 Φ_r , $-\Phi_r$, I_m , I_c , $-I_m$ 与图 1.2 的 B_r , $-B_r$,

H_m , H_c , $-H_m$ 是一一对应的。图 1.4 就是读电流 I_m 作用于磁芯的状态变化的示意图。

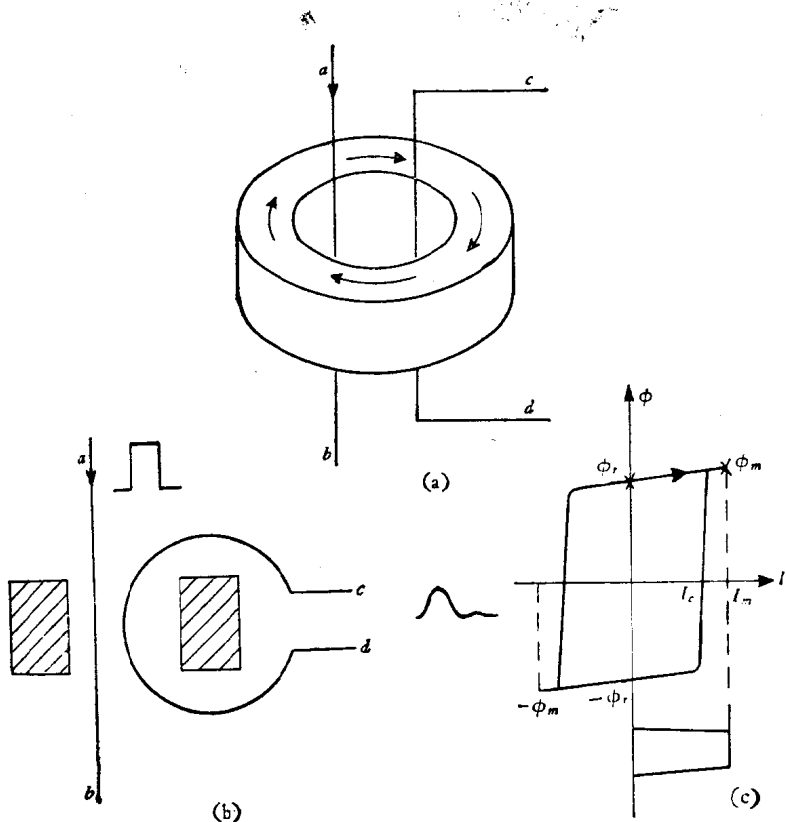


图 1.5

如果磁芯原来存有“0”，即磁芯处于 $+B_r$ 状态。也就是磁芯中磁通量为 $\Phi_r = SB_r$ ，其方向为图 1.5 (a) 所示顺时针方向。图 1.5 (b) 是图 1.5 (a) 的截面图，当沿导线的箭头方向通以电流 I_m 时，线圈 cd 两端有一很小的感应电压即“0”信号，这是因为磁芯原来处于图 1.5 (c) 的 $+\Phi_r$ 点，在读电流 I_m 驱动下，磁芯中的磁通改变量为 $\Phi_m - \Phi_r$ ，由于 $\Phi_m - \Phi_r$ 值很小，所以感应电压也小。当读电流消失以后磁芯由 Φ_m 回到 $+\Phi_r$ 。

以上分析可知磁芯在读电流 I_m 驱动下以感应电压形式表示

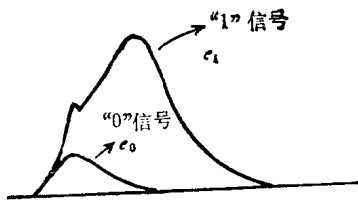
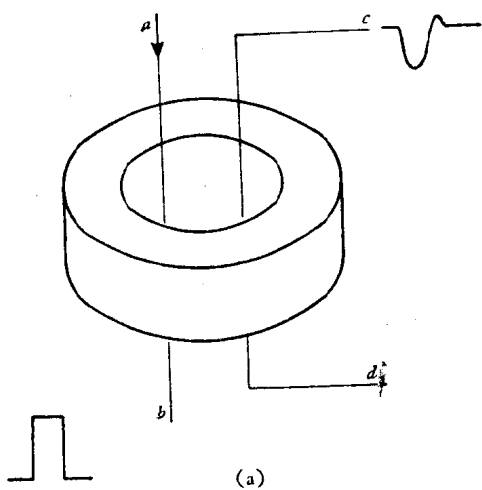
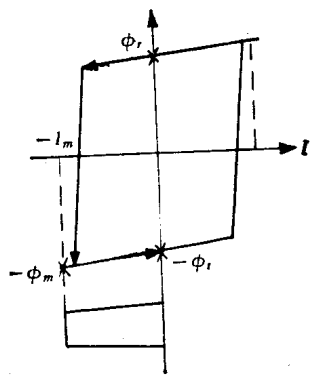


图 1.6



(a)



(b)

图 1.7

它所存放的内容，“1”信号电压值大，“0”信号电压值小，图1.6表示了“1”信号和“0”信号。以后我们称图1.3(a)和图1.5(a)中线圈 cd 为读出线。

磁芯的写“1”：

在两种情况下都需要对磁芯进行写“1”，原来磁芯中没有存“1”，现在要存入“1”，另外是磁芯中原来虽存有“1”，由于读出“1”信号后原来的内容遭到破坏需要重新写入“1”以备将来用。写“1”动作是沿图1.7(a)的导线 ab 箭头的相反方向通以电流 I_m ，显然这个电流与读电流方向相反，所以在图1.7(b)中以 $-I_m$ 表示，磁芯在写电流 $-I_m$ 驱动下其工作点由 $+\Phi_r$ 转变到 $-\Phi_m$ ，当 $-I_m$ 结束后再回到 $-\Phi_r$ 状态。这就是磁芯的写“1”。在写“1”时有磁通改变量 $-(\Phi_m + \Phi_r)$ ，在 cd 两端有一负感应电压信号，这个信号在计算机中没有用处。

一颗磁芯的写“0”动作是很简单的，给磁芯通以读电流 I_m 就可以达到磁芯写“0”的目的。

第二节 磁芯板与磁芯体

计算机中通常总是把很多磁芯穿织成磁芯板，再把许多磁芯板装成磁芯体。而且存贮器中磁芯的读写过程比一颗磁芯的读写过程要复杂。

计算机中常用一串二进制代码组成一个字，一个字既可以代表一个数，也可以代表一条指令。一个长度为64位的字，常以下列形式表示

$$a_1 a_2 a_3 \cdots a_{63} a_{64} \tag{1.1}$$

a_1 是字的第一位， a_2 是第二位，……， a_{64} 是字的第64位。很显然，要记忆一个(1.1)式所代表的字，需要64颗磁芯。因为一颗磁芯只能记忆一个二进制代码。如果存贮器容量为4096个字，每个字64位，这样的存贮器需用的磁芯数目是

$$4096 \times 64 = 262144 \text{ 颗}$$

把 262144 颗磁芯，按一定规律排列起来，方可能分清哪些磁芯组成第一个字，哪些磁芯组成第二个字，……哪些磁芯组成第 4096 个字，每一个字也要排列好，以便认出谁是第一位谁是第二位。这就是存储器字和位的排列问题。

一种常用的字位排列方法是把所有字的第一位的磁芯共 4096 颗安排成一个方阵，这个方阵就是第一块磁芯板。同理所有字的第 k 位的磁芯共 4096 颗也排成一方阵，成为第 k 块磁芯板。这种磁芯板共有 64 块如图 1.8 (a) 所示。

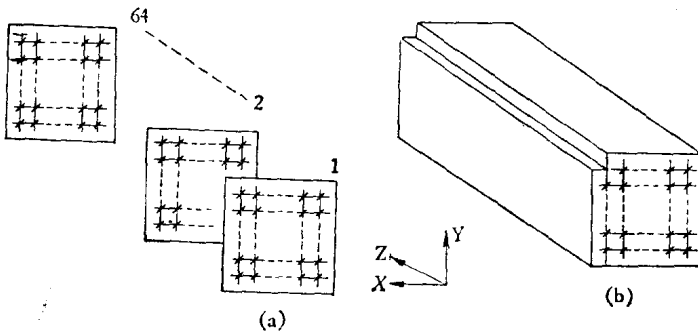


图 1.8

图 1.8(a) 是 64 块磁芯板，每块磁芯板是一个 XY 平面，每个 XY 平面上有 $64 \times 64 = 4096$ 颗磁芯的方阵，图中每个短斜线表示一颗磁芯。

图 1.8 (b) 是 64 块磁芯板迭在一起构成一磁芯体。可以规定图 1.8(b) 的磁芯体中具有同样 X 、 Y 坐标的磁芯组成一个字，图 1.8(b) 中挖出一细长条，正好是一个字的全部磁芯共 64 颗。这些磁芯的 X 坐标都是 64， Y 坐标都是 64，但是它们的 Z 坐标各不相同，它们的 Z 坐标分别是 $1, 2, 3, \dots, 63, 64$ 。

把磁芯按图 1.8 的方式排列起来主要是为了从存储器中寻找所要的字带来方便。同时又能准确地辨认出字的第一位，第二位。在以后各章中可看到磁芯的排列方法是多种多样的。

图 1.8 中一块磁芯板上有 4096 颗磁芯，现在我们要求只对其中某一颗磁芯进行读写，其他磁芯的原有状态不允许破坏。为了

叙述方便把图 1.8 的磁芯板缩小成 $4 \times 4 = 16$ 颗磁芯, 这种缩小不影响问题的讨论。

图 1.9(a) 是 4 条 X 线 4 条 Y 线交织成 $4 \times 4 = 16$ 的方阵, 它们有 16 个交叉点, 每个交叉点穿一颗磁芯, 如图 1.9 (b) 所示。我们把 X 线和 Y 线都叫选择线。

现在对其中磁芯 A (其坐标是 $X = 1, Y = 4$) 进行读的动作。在选择线 X_1 和 Y_4 上沿箭头方向分别通以大小为 $1/2 I_m$ 的电流 ($1/2 I_m$ 电流叫半选电流, 沿箭头方向通过的半选电流又叫读半选电流)。

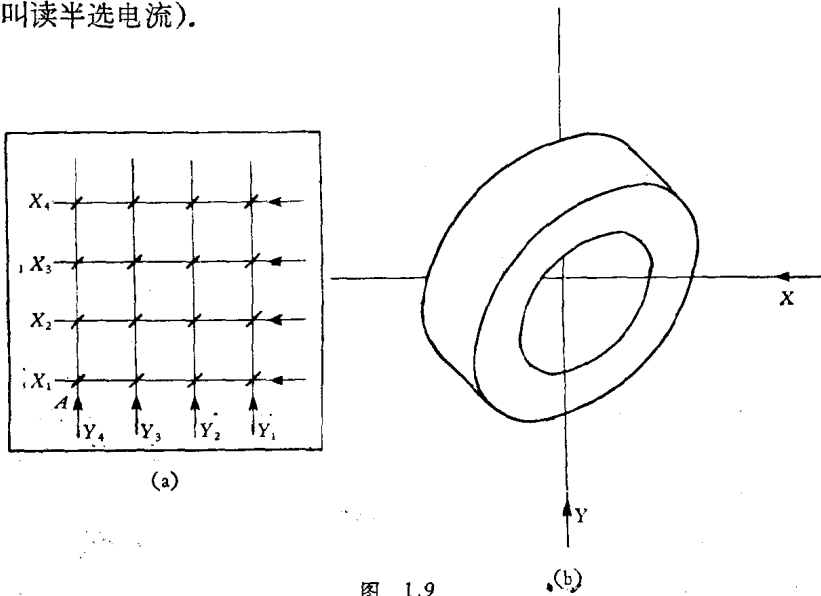


图 1.9

很明显, 磁芯 A 受到 X 方向和 Y 方向的两个读半选电流的共同作用, 根据磁场叠加的原理, 磁芯 A 受到 I_m 的作用。所以磁芯 A 在全选电流 I_m 的作用下产生读出信号。

如果磁芯 A 处于 $-\Phi_r$ 状态, 那么产生读“1”的信号 e_1 。而且磁芯 A 状态由 $-\Phi_r$ 变为 $+\Phi_r$ 。

坐标为 (2, 4), (3, 4), (4, 4) 的三颗磁芯也在选择线 Y_4 上, 它们只受半选读电流的作用。坐标为 (1, 1) (1, 2) (1, 3) 的三颗磁芯都在选择线 X_1 上, 它们也只受半选读电流的作用。当记忆