

输入/输出和存贮器讲义

上海交通大学 330 教研室

1980. 9

10. 存 储 器 总 论

做为记忆装置的存储器在近代计算机中是个非常关键的组成部分，尤其是对于大型数据处理机，其中各式各样的存储器构成了机器的核心，整机的设计也以存储和交换系统为中心。在这类机器中，存储系统在造价和体积等方面常占据全机的80%或以上。

近年来在其他技术部门中广泛采用了数字控制，对数字存储的需要量也日益增长，例如在电子电话交换台、程控机中都有存储装置，但无论如何到目前为止，计算机中的应用仍主导着存储器的生产、研究和发展。本篇内容仅限于计算机中常用的存储器。

10-1 存储器的发展概述

从原理上讲，矛盾统一体内的两个对立物理状态都有可能用来代表二进制的0和1，我们曾指出，可以用磁性材料某方向的磁化代表0，反方向磁化代表1；低电位代表0，高电位代表1，等等。由此推论，可用做存储的物质，或叫存储介质，应当是很多的。但是做为一个有使用价值的存储器，除去要有两个显明的物理状态以外，还必须满足一些技术要求：1) 能够方便、经济地相互改变这两个物理状态，也就是说需要时能把数写入，不需要时能把数抹去。不能够抹去重写的存储器叫做固定存储器，因为它只能读出而不能写入，所以也叫做只读存储器(ROM)。这种存储器在计算机中虽然也有广泛应用，但不能用做主存储器。2) 必须能够把这两种物理状态经济、可靠地变成电信号，反过来也能把电数字信号改变成两种不同的物理状态，否则就不能实现信息的交换。3) 必须能以高速度读出和写入数据，以便与运算器的高速工作相匹配。4) 对于某些用途的存储器，要求被存储的信息不因断电或停机而消失。5) 因为存储器要存放大量数据，所以除去速度和可靠性以外，经济性是必须考虑的重要因素。

最简单和最早期的存储元件是普通的机电开关，开关的接通和断开分别代表1和0。当然大量使用这种元件在体积和价格方面都不经济，但是用少量的手动开关组成的开关存储器目前仍在很多机器的控制台中使用。



10319227

早期计算机使用超声波水银延迟线和磁鼓做为存储器。这类存储器的存和取都必须按顺序进行，即从始点起，按顺序经过中间介入的单元，才能达到目的单元。例如要访问磁鼓内的1000号单元，而给出命令时磁鼓正转到10号单元，则必须经过10、11、12……998、999各单元才能达到1000单元。存储器从接收到“读命令”起，到读出的数据可被利用为止，这段时间叫做读出时间，对于顺序存取的存储器，读出时间是不定的，它取决于起始位置与信息位置间的距离。如果一组数据是接地址以后，这组数据就可以连续读出，这性质导致早期的计算机大多按串行方式工作。顺序连接存储的，则到达存储地址

最早出现的并行工作的存储器是静电管式的，它没有应用多久，到1953年就为新出现的磁心存储器所代替。磁心存储器的应用是计算机发展中的一个重大阶段，它采用了大量的分立元件（磁心），经济有效地存储大量二进制码，使随机存取成为可能。所谓随机存取就是不需经过中间单元而可立即访问任一指定的单元，所以读出时间与信息所存的位置无关。此外，磁心存储器所存信息不会因断电而消失，而静电管和超声延迟线却不能避免这一缺点。使用证明，磁心存储器的可靠性也远远高于以前的各种所谓高速存储器。在过去的二十几年中，磁心存储器的发展很迅速，体积不断缩小，速度不断提高，价格不断降低，在计算机的主存储器中它占据最重要的地位。

由于磁心具有内在的速度限制（由材料、体积等因素决定的速度极限），促使科学工作者对其他存储技术也进行了大量的研究，如磁膜、超导体膜、半导体存储器件等。平面和圆柱面磁膜存储器曾在高速的小型缓冲存储器中比较广泛地应用，但由于大规模半导体集成电路的问世，主攻方向似已转向后者。多数人认为，在最近一段时期内，最有发展前途的主存储器是半导体存储器。

速度较低而容量极大的大容量存储器是计算机存储器发展的另一个方面。早期计算机用穿孔纸带、穿孔卡片做为大容量存储，它们的共同缺点是读出时间长和占用的体积大。磁带机的应用克服了部分缺点，但顺序工作的特性仍然限制着速度的提高。按半随机存取方式工作的磁鼓、磁盘和磁片机在这方面有很大改进，尤其是磁盘存储器，它已成为近代计算机的非常重要的存储设备。

10-2 计算机中的存储器

从设计和使用角度看，一部计算机最好只有一个存储器，容量要求大，存取时间要求很短。按目前的技术水平，实现这样的存储器是有困难的。因为同一类型的存储器，其容量愈大存取时间就愈长。在一个大型计算机中如果只有一个存储器，很难满足容量、速度和价格三方面的要求。为解决这一矛盾，采用了分级存储的方法，即把整个的存储系统分成不同容量和速度的几级，每一级满足不同的设计要求，各级之间可以互相交换数据。图1-1是大型计算机的存储系统。存储分为三级。主存储直接和运算器打交道。它要求最高的存取速度，一般采用磁心或磁膜。后备存储器通常采用磁盘或磁鼓，如果它能自动成批地和主存储器交换数据，就可以把两者看成是一个扩大容量的随机存取的存储器。主存储器也叫做内存储器，辅助存储器也叫做外

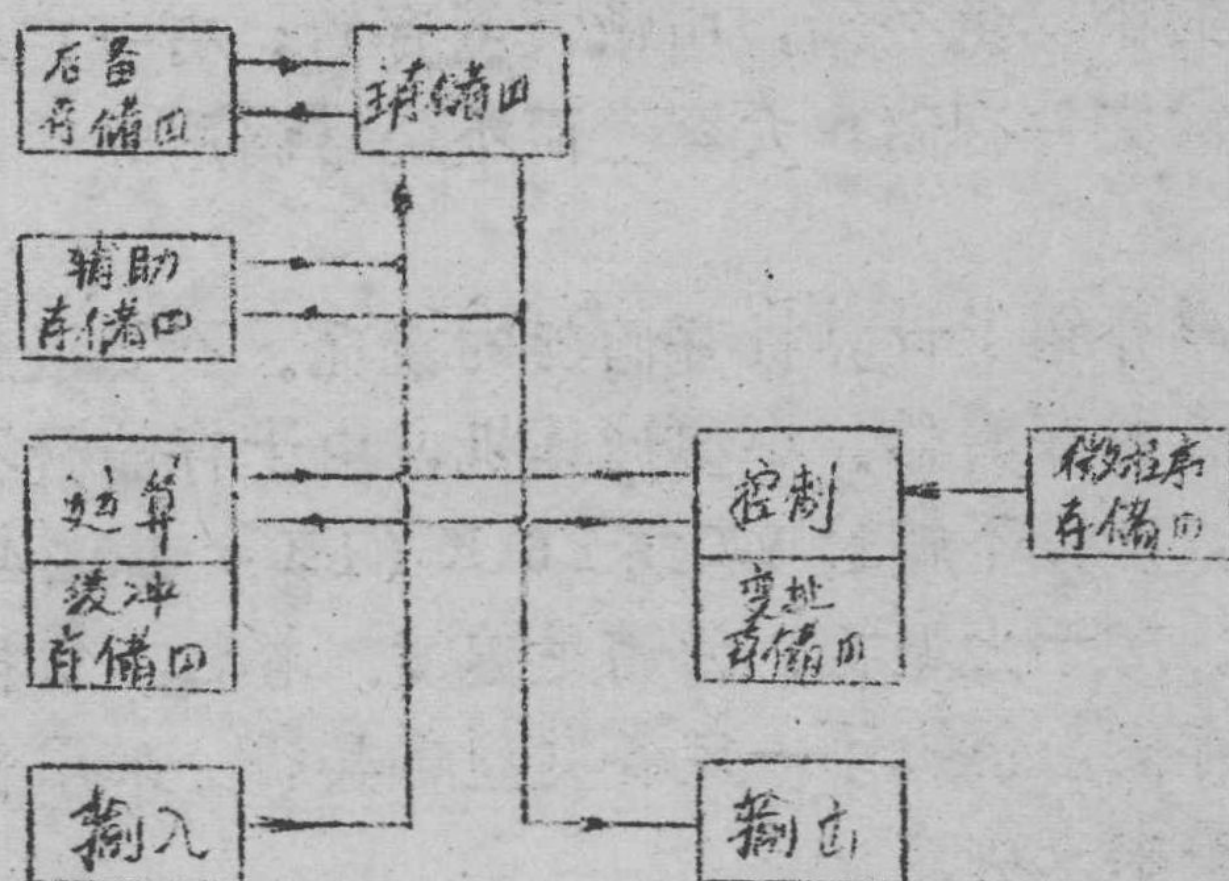


图10-1 计算机中的存储器

存储器。外存储器的容量极大但存取时间较长，通常采用磁带机。三种存储器之间利用程序来交换数据。

图10-1的控制部分中包括一个变址寄存器，它专门存放“变址修正值”，这修正值是寻找地址所需要的数据（详见程序初步一章）。这种存储器的速度比主存储器更高，但容量很小，通常不超过128个字。

很多近代计算机中还设有一个只读存储器，存放执行各种指令的

微程序，所以也叫微程序存储器。采用这种存储器能够简化控制线路并提高工作可靠性。

有些计算机在运算器和主存储器之间还增加了一级缓冲存储器，通常用半导体器件组成。因为大型的磁心主存储器很难做到和运算器相匹配的速度，所以用个小容量的缓冲存储器先行自动地从主存储器中调出所需的指令和数据，从而使计算速度不受或少受磁心存取速度的限制。

在大型计算机中，各外部设备之间的数据交换也常要通过缓冲存储器进行，例如一批存于磁带内的数据要送往打印机去打印，可按磁带的数据传送速度把它送到缓冲存储器，再按打印机所需的速度由缓冲存储器送往打印机。这种缓冲存储器通常用磁心组成。

在数据处理系统领域内，时常给各种存储器起些专业名称，比如把经常访问的小容量存储，叫做便笺存储；有一定容量比较经常调用的存储，叫做文件存储；大容量而不经常调用的存储，叫做档案存储等。

以上简单介绍了计算机存储器的概况。不要误解为每一部计算机都具有上述各种存储器。小型计算机，由于存储量不大，通常只有一个主存储器，容量不超过8K或16K（1K=1024个单元），必要时可以扩充。对于大型机，为满足速度、容量、价格等方面的要求，常采用分级存储，但也不一定各类型都具备。采用什么样的存储系统，要根据使用要求来决定。

本篇的重点是磁心主存储器。

存储器的分类

按照在计算机中的应用，存储器分为内存储器和外存储器。

存储器也可以根据其主要特性分为：

可抹去的，半固定的，固定的；

消失的，不消失的；

随机的，顺序的，半随机半顺序的。

此外，存储器还可以按其存取速度和容量大小分为高速、中速、低速、小容量、中容量和大容量等等。不过我们对速度和容量的概念是随着计算机发展而在改变的，早期的高速存储器目前只能称为中速，

所以下述的分类标准只能说是符合于当前的实践，不能说是不变的。容量在 10^7 个二进制字符以上的存储器可算是大容量存储器， $10^5 \sim 10^7$ 二进制字符属于中容量， 10^3 个字符以下属于小容量。存取时间大于 $1ms$ 一般属于低速， $1ms \sim 1\mu s$ 是中速，小于 $1\mu s$ 是高速，小于 $0.1\mu s$ 叫做甚高速。

11. 磁心存储器

磁心存储器有四个主要组成部分：译码线路、控制线路、位线路和磁心体（或磁心板），图 11.1 示出了各部分间的联系。当存储器接到读命令时，译码线路把一个读电流波送到地址码所指定的存储单元，位线路则把这一单元存储的信息变成电信号按位输出。当存储器接到写命令时，译码线路发出写电流波，把输入的信息写入地址码指定的存储单元。不么我们就会看到，译码线路和读出线路是磁心存储中问题较多的部件。

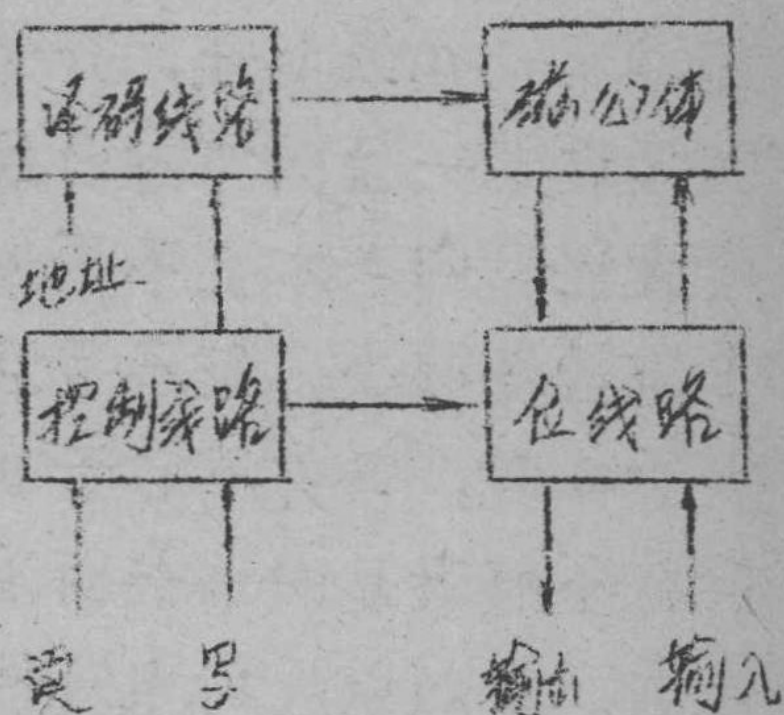


图 11.1 磁心存储器的组成

11.1 磁心存储二进制数码的原理

磁心是用化铁、氧化锰、氧化镁等的混合粉末在精密模具中压制成型，然后在严格控制的温度下和保护气体中烧结制成的。为获得所需的电磁特性，有时用锂、镍的化合物代替镁、锰。这种材料通称为铁氧体或铁淦氧。磁心的几何尺寸用它的外直径 D ，内直径 d 和高度 h 表示。现在生产的记忆磁心，外直径 D 从 $0.3mm$ 到 $2mm$ ，内直径大约等于 $0.7D$ ，高为 $0.3 \sim 0.45D$ 。使用最多的是外直径在 $0.4 \sim 0.8mm$ 范围内的磁心。同一规格品种的磁心在几何尺寸和电磁性能方面都要求严格一致。

磁滞回线

从物理学知道，一根导线通以电流，它的周围就产生磁场。某一点处的磁场强弱用该点处的磁场强度 H 表示。在相同的磁场强度作用下，不同的磁性物体被磁化的程度并不一样。用通过单位面积的磁

通数量表示被磁化的程度，叫做磁感应强度 B 。对于环形的铁磁体，缠以 N 匝线圈并通以 1 安培的电流，环内的磁场强度可以认为是均匀分布的，其大小与 IN 成正比， IN 的单位为安培一匝数，叫做磁势，因为环的截面是不变的，通过环截面的总磁通量 Φ 应与 B 成正比。对于铁磁类物体， B 值随着 H 变化的曲线叫做磁滞回线。常用 $\Phi - I$ 曲线代替 $B - H$ 曲线，两者的关系完全一样，所差只不过是个比例系数。

图 11.2 是个典型铁磁物质的磁滞回线。一个未使用过的铁磁体第一次通以电流，当 H （或 I ）从 0 逐渐增大时， B （或 Φ ）就从 0 起沿着 oa 线上升，开始 B 增加缓慢，不久速度加快（曲线变陡），到接近某一极限值时曲线又逐渐变得平缓。当 B 达到 B_m ， H 虽继续增大但 B 却基本上不再增加，这现象叫做磁饱和，从饱和点起减小 H ， B 也虽着减小，但不是沿着老路 ao 而沿着另一条路 ab 下降，当 H 等于 0 时， B 并不等于 0 而保持在 $+B_r$ 。铁磁体被磁化以后，其磁性并不随着 H 的消失而消失，这现象叫做剩磁，剩磁感应强度用 B_r 表示。如加以反向电流使 H 成为负值，则 B 继续沿着 bc 曲线下降，到 C 点时， B 等于 0。所以要使磁性完全消失，必须加以一个负的磁场强度 $-H_c$ ， H_c 叫做矫顽力。如 H 沿着负方向继续增大，最后达到另一个饱和点 $-B_m$ 。

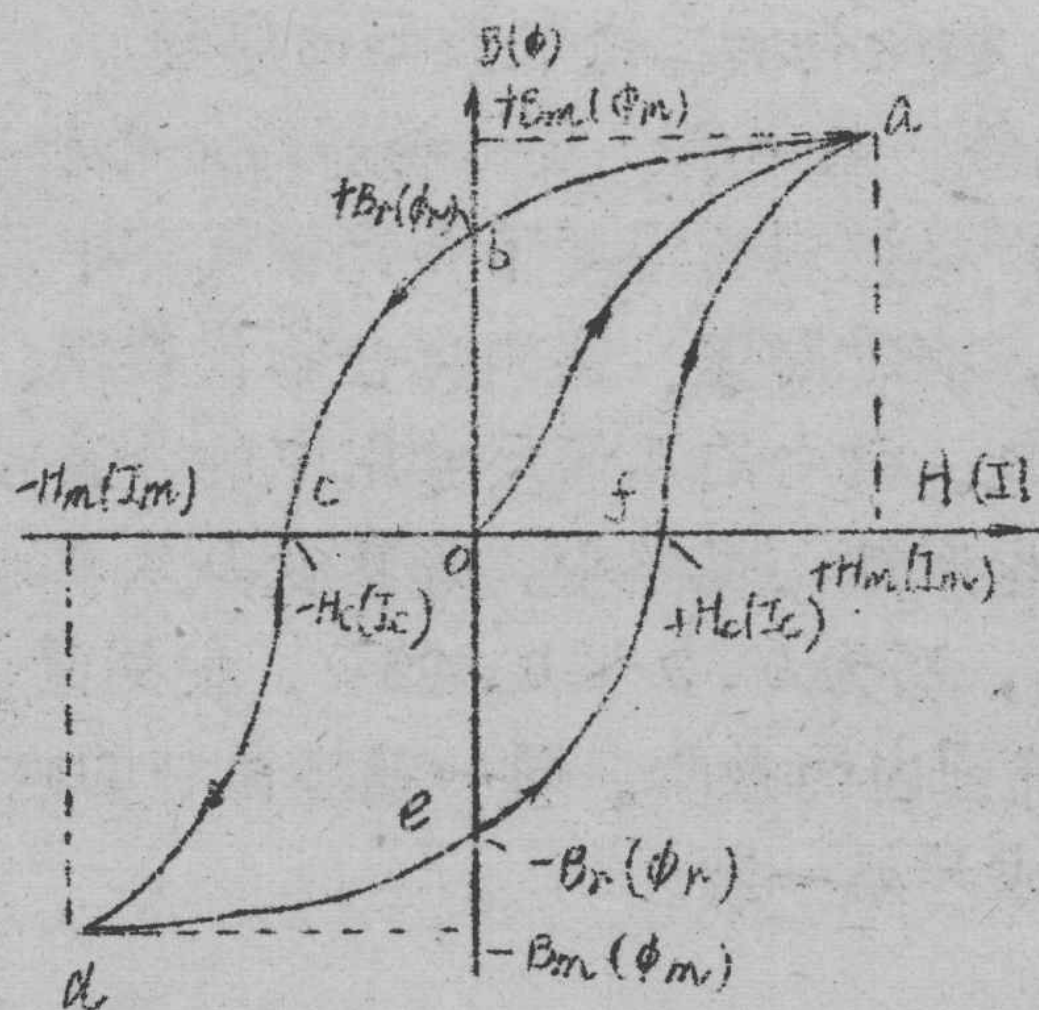


图 11.2 铁磁体的磁滞回线

从 d 点起逐渐增大电流， B 并不沿着减小电流时的曲线 $a b c d$ 变化，而是沿着另一条曲线 $d e f a$ 变化，当 $H = 0$ ，也出现剩磁 $-B_r$ ，而 $B = 0$ 时，矫顽力为 $+H_c$ 。以后如果 H 在两个饱和点 $\pm H_m$ 之间继续变化， B 就沿着闭合曲线 $a b c d e f$ 变化。可以看出，不论电流是加大还是缩小， B 的变化总是落后于（滞后）电流的变化，所以这种曲线叫做磁滞曲线或磁滞回线。

铁磁物质根据其磁滞回线的形状可分为两类：矩形性的和非矩形性的。图 11.3a 是矩形的磁滞回线。 H 从其他和值 $\pm H_m$ 减小或增大的行程中， B 随 H 的变化明显地分为三个阶段前一阶段中 B 的变化很缓慢， $B-H$ 曲线近似是一条水平线段。在约 $3/4$ 行程处，变化突然加快，曲线出现拐点，拐点以后的曲线近似是一条垂直线段。等到 B 接近它的饱和值时，变化又突然缓慢，所以闭合曲线的形状近似一个矩形。图 11.3b 是非矩形性磁滞回线，虽然 B 随 H 的变化也经历缓慢—加速—缓慢的过程，但曲线平滑，没有拐点。

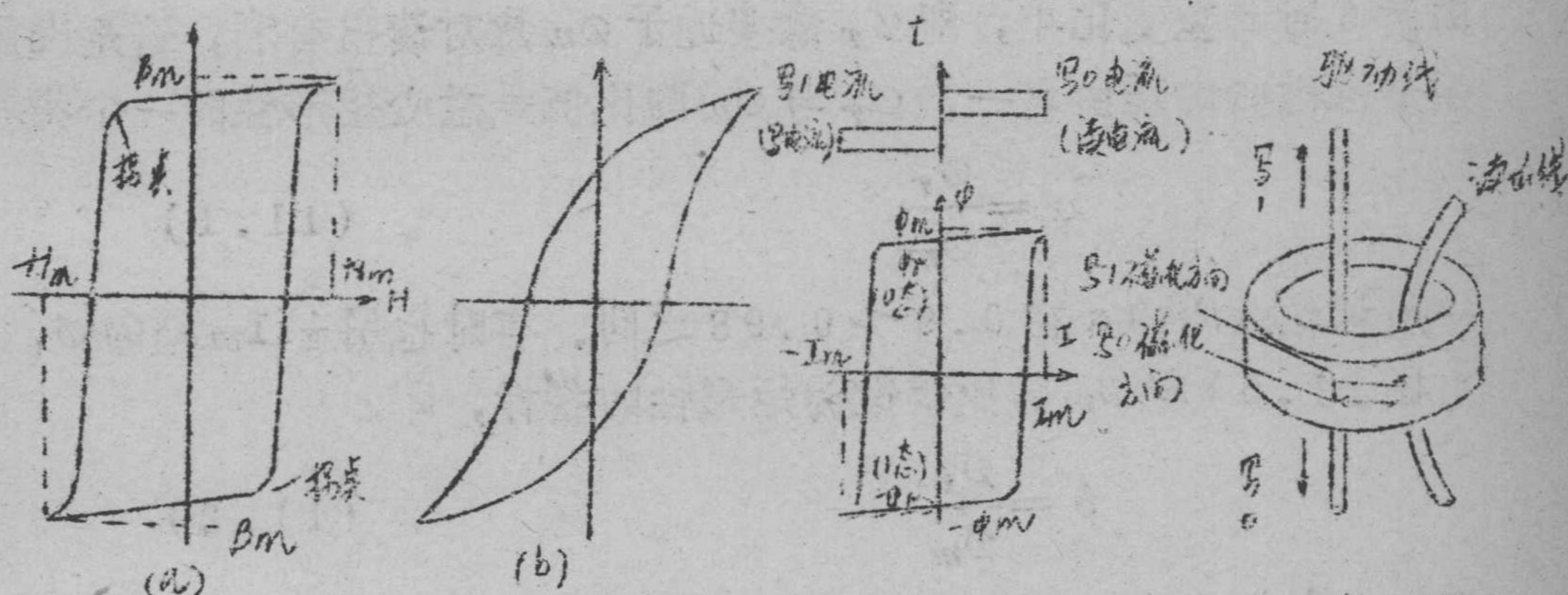


图 11.3 矩形 (a) 和非矩形 (b) 的磁滞回线 图 11.4 磁心工作

矩形性和非矩形性磁心都有两个剩磁状态，都可用以代表二进制的 0 和 1。但是做为记忆磁心，为了能经济有效地组成读写线路，要求磁心的磁滞回线具有较严格的矩形性。这个要求是由采用的读写方法所决定的。

下面简单介绍一下磁心读写原理。参看图 11.4，穿过磁心的电流线叫做驱动线，另一根线是读出线。用 $-\phi_r$ 状态记存 1， $+\phi_r$ 记存 0，并设未通电流以前磁心是 0 态。

(1) 当写 1 时，在驱动线上馈以反向的脉冲电流，如电流大于 $-I_m$ ，则磁心被磁化到反向饱和。电流波消失以后，磁心的剩磁为 $-\phi_r$ ，这表示 1 已写入磁心。

(2) 当写 0 时，在驱动线上馈以正向的脉冲电流 $+I_m$ ，电流消失后磁心处于 0 态。

(3) 读出时，在驱动线上也馈以正向脉冲电流 $+I_m$ ，如果磁心原记存 1，则磁通由 $-\phi_r$ 变到 $+\phi_m$ ，这个磁通变化在读出线上感应出一个电压；如果磁心原记存 0，磁通由 $+\phi_r$ 变到 $+\phi_m$ ，因为磁通变化很小，所以读出线上感应出的电压要小得多。把读出的信号加以鉴别放大和整形，就可使读 1 时出现 1 信号，读 0 时没有信号。

因为要用磁通的不同变化识别 1 和 0，所以读 1 时希望变化大，而读 0 时希望变化小，即 ϕ_r 愈接近于 ϕ_m 愈对读出有利，这是选用矩形性磁心的理由之一。 ϕ_r 与 ϕ_m 的比值是磁心矩形性的一个指标

$$\alpha = \frac{\phi_r}{\phi_m} \quad (11.1)$$

一般记忆磁心的 α 在 $0.9 \sim 0.98$ 之间。有时也用 $\frac{1}{2} I_m$ 处的 ϕ ，(图 11.5) 与 ϕ_m 的比值做为矩形性的指标，即

$$\beta = \frac{\phi_{\frac{1}{2}}}{\phi_m} \quad (11.2)$$

记忆磁心的 β 值一般在 $0.8 \sim 0.95$ 之间。

(4) 为了减少译码线路的器材用量，读和写电流常由两根导线 x 和 y 共同提供，如果电流从同一个方向通过磁心，则 x 和 y 方向电流所起的磁化作用相当于两个电流相加，这种方法称为电流重合法。图 11.5 b 所示的磁心穿有四根导线， x 方向和 y 方向的电流驱动线，一根读出线和另一根叫做禁止电流线。把磁心编穿成一个平面式结构，如图 11.5 c 所示，叫做磁心板，一个磁心板在存储器中存储字的同一位。如要想读出 x, y ，这颗磁心，就在导线 x_2 和 y_2 上馈以写 0 方向的电流，其大小都等于 $\frac{1}{2} I_m$ ，叫做半选电流。 x_2 和 y_2 导线上

的两串磁心都受到半选电流的作用，但只有两线相交处的这颗磁心（ x_i, y_j ）受到 $\frac{1}{2} I_m + \frac{1}{2} I_m = I_m$ 即全选电流的作用。我们希望受半选电流作用的磁心不改变状态，而受全选电流作用的磁心能从 $-\phi_m$ 翻转到 $+\phi_m$ 。从拐点处做 x 轴的垂线，交 x 轴于 I_T ， I_T 叫做门槛电流，驱动电流如大于 I_T ，就进入磁滞回线的急剧变化区，磁心开始翻转。为使半选电流不改变磁心状态，应保证 $I_T > \frac{1}{2} I_m$ 。 I_T 愈接近于 I_m ，陡边即愈接近于垂直。 I_T 和 I_m 的比值是磁心的另一个重要特性，即

$$\gamma = \frac{I_T}{I_m} \quad (11.3)$$

理想磁心的 $\gamma = 1$ ，通常它在 $0.5 \sim 0.75$ 之间。

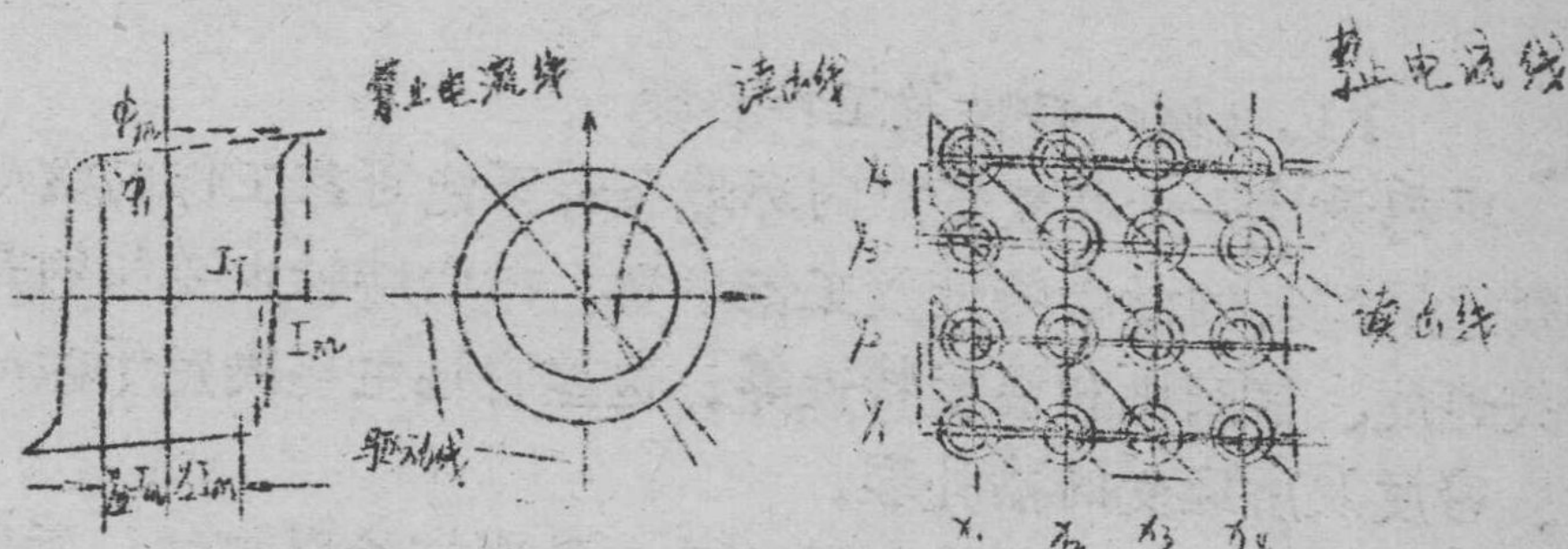


图 11.5 磁心穿线和磁心板

每一块磁心板上只有一根读出线，它穿过同一板上所有的磁心。因为任何时只能有一颗磁心被 x 和 y 两方向的电流所选中，所以读出信号就表示这个被选中磁心的记存数，0 或 1。除去相交处的磁心以外， x, y 电流线上的其他磁心受半选电流作用它只发生少量的磁通变化；但它的数量很大，如果半选所引起的干扰累积在一起也足以造成错误读出。怎样减少半选干扰是以后要谈到的重要问题之一。

电流重合法能显著减少电流驱动线路的数量。设磁心矩阵在 x 和 y 方面各有 N 颗磁心，不用电流重合法则每一颗磁心都需要一套驱动线路，总数是 N^2 套，采用电流重合法则只需 $2N$ 套。

(5) 所谓读出，实际就是写 0。每颗磁心一经读出，不论它原先处

于什么状态，结果都处于 0 态，也就是说读出原存信息存在，因此叫做破坏性读出。在一般情况下，被读出的信息还要重新写回存储器中去，所以要把它暂时保存在读写寄存器（或叫重写寄存器）中，以备重写使用。图 11.5 中，有一根禁止电流线穿过一块磁心板上的所有磁心。重写时，对 ϕ_1 和 ϕ_2 线馈以写 1 方向的半选电流，如果磁心原存信息是 1（这信息保留在重写寄存器中），禁止电流线上没有电流，这颗磁心就受到全选电流的作用，最终处于 1 态；如果它存 0，则馈给禁止电流线以 $\frac{1}{2}I_m$ 写 0 方向的电流，这电流部分地抵销了写 1 电流的作用，使它小于门槛电流 I_T ，因而磁心不翻转而保持 0 态。

以上就是磁心工作的轮廓，其中细节留到以后讨论。通过这简短讨论，我们能得出初步结论，磁心的磁滞回线愈接近矩形愈对工作有利，为了可靠工作，磁心的电磁特性还应当严格保持一致。

11.2 磁心特性及工作参数

要想设计一个在较宽广的环境条件下能可靠工作的磁心存储器，必须选用适当的磁心特性及工作参数。磁心特性主要指的是矩形性、开关速度、信杂比和温度特性等，这些特性主要决定于磁心材料、尺寸、密度及所经受的热处理。

磁心存储器中的很多问题都是由半选干扰引起的，所以首先讲明什么是半选干扰。

半选干扰

存储器和主机协同工作时，主机对存储器进行随机存取。在存取过程中，磁心所处的状态不外下列三种：1）被选磁心，它受到全选电流的作用；2）半选磁心，它受半选电流的作用；3）未选磁心，它不受任何驱动电流的作用。受半选电流作用而未被选中的磁心，我们说它受到半选电流的干扰。因为磁滞回线不是理想的矩形，磁心受干扰以后其剩磁状态会发生少量变化，这将影响其以后的读出。参看图 11.6，设 $-\phi_r$ 状态是记存 1 的状态，当磁心受到半选读电流 $\frac{1}{2}I_m$ 的作用时， ϕ 沿着磁滞回线上升到 1 点，电流消失时， ϕ 并不沿着老路退回到 $-\phi_r$ ，却沿着另一条路退回到 $-\phi_{r1}$ ，使剩磁强度稍

有减弱。如在 $-\phi_r$ 处再经受一次半选干扰，则剩磁状态又升到 $-\phi_{r2}$ 。每经一次半选干扰，剩磁状态都稍有减弱，但就减弱的程度而言，第一次最显著，以后逐次减缓，经过几次或十几次干扰，状态就基本不再改变。最后磁心所处的剩磁状态是 $-\phi_{r'}$ 。如果这时磁心受到全选电流的作用，磁通变化由 $-\phi_{r'}$ 变到 $+\phi_m$ ，可以看出变化量小于未受干扰时由 $-\phi_r$ 到 $+\phi_m$ 的变化量，因此受干扰后的读1幅度将小于未干扰时的读1幅度。

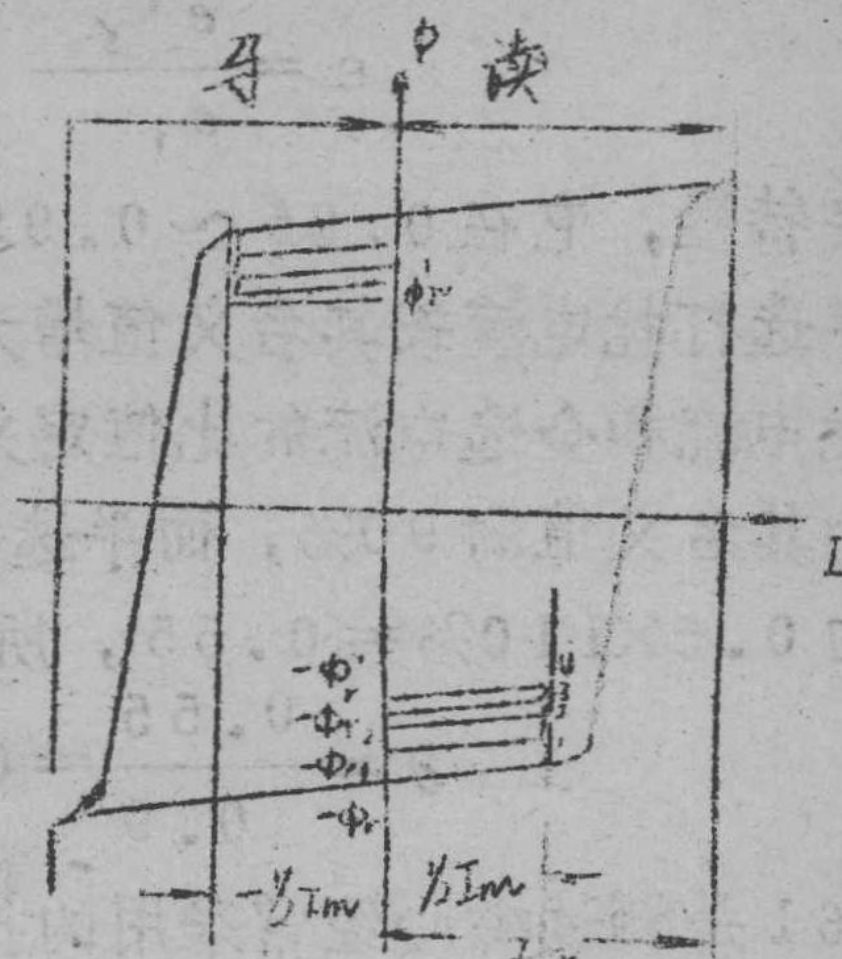


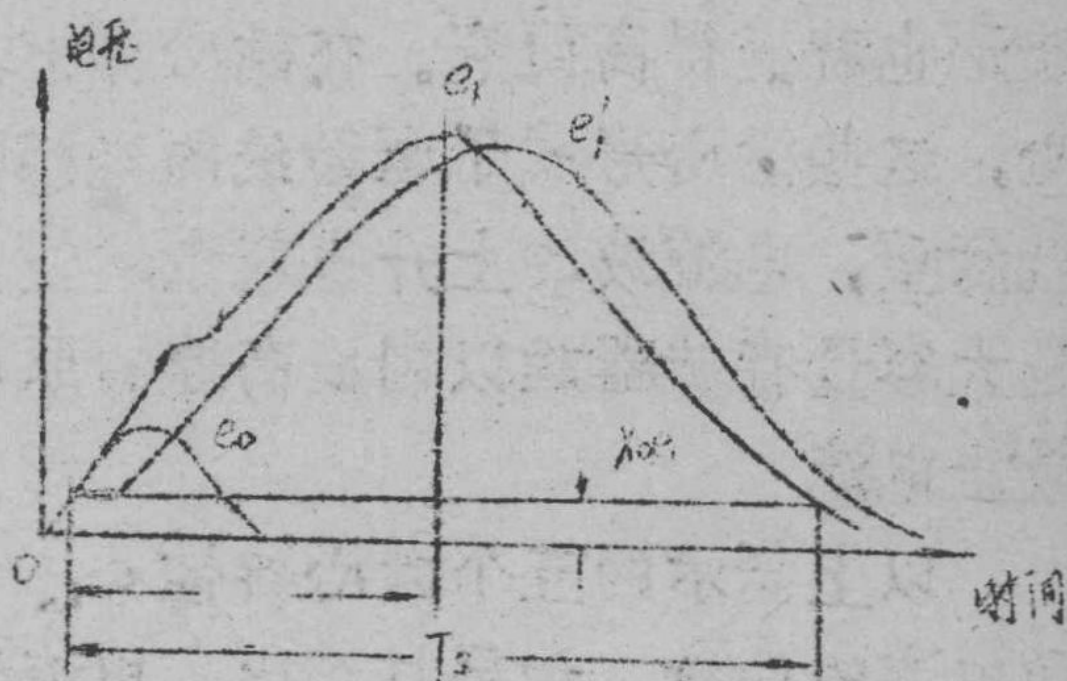
图 11.6 干扰对剩磁状态影响

如果磁心原处于0态，剩磁为 $+\phi_r$ ，经过多次半选写电流的干扰剩磁减弱为 $+\phi_{r'}$ 。这时如受到全选读电流的作用，则磁通由 $+\phi_{r'}$ 变到 $+\phi_m$ ，其变化量大于未受干扰时由 $+\phi_r$ 到 $+\phi_m$ 的变化量，因此受干扰后的读0幅度将大于未干扰时的读0幅度。

读1幅度的减小和读0幅度的增加都对读出不利。

读出信号

测试磁心的读出信号，应模拟磁心在实际工作中可能遇到的最坏的驱动条件，组成测试线路，用示波器观测其波形。图11.7示出了三个典型的读出波形。幅度最大的 e_1 是未经干扰的1读出，即最初把磁心完全置成1态，随后馈以全选读电流。 e_1' 是干扰后的1读出，即磁心最初置成1态，经受多次半选电流的干扰，最后馈以全选读电流。 e_1' 与 e_1 的比值 ϵ 是磁心的一个



$$\varepsilon = \frac{e'_{11}}{e_1} \quad (11.14)$$

重要特性，它在 0.85 ~ 0.95 的范围内。为了模拟最坏情况，通常把半选干扰电流按其名义值增大 10%，而全选电流则减少 10%。半选干扰电流和全选电流的比值定义为干扰比。如全选电流减少 10%，则为其名义值的 90%，而半选干扰电流增大 10%，则为全选名义电流的 $0.5 \times 110\% = 0.55$ ，所以干扰比为

$$\partial = \frac{0.55}{0.9} = 0.61 \quad (11.5)$$

0.61 是测试磁心经常采用的干扰比。

e' 是经过干扰的 0 读出。磁心先被置成 0 态，然后经受多次半选写 1 电流的干扰，最后再受到全选写 0 电流的作用。读 0 波形的宽度和幅度都比读 1 波形小得多，并且出现高峰时间也早于读 1 波形。读出放大器就利用这些区别鉴定读出的是 0 还是 1。

图 11-7 中，读 1 波形的底部宽度标志着磁心翻转所需的时间，叫做磁心的开关时间 T_s 。 T_s 通常从波形上升到其幅值的 10% 时算起，到衰减为幅值的 10% 时为止。开关时间是决定存储器速度的一个重要因素。因为一个存取周期包括读出和重写两步，所以至少需要 $2T_s$ 的时间，由于以后要说明的原因，实际上它比 $2T_s$ 要长得多。

读出波形中另一个重要的参数是峰值时间 T_p ，从 10% 幅值算起到 100% 幅值时为止。

同一磁心，驱动电流愈大读出幅度就愈大而开关时间 T_s 即愈短，波形也就变得高而窄。在磁心体中，每根电流驱动线都穿过很多颗磁心，这些磁心形成了驱动线的电感性负载。磁心体的容量愈大，负载就愈重，电流波的上升也就愈缓慢，从而延长了磁心的开关时间。这是大容量存储器难以制成高速的原因之一。

最佳电流

以上指示的五个磁心特性 e_1 、 e'_{11} 、 e' 、 T_s 和 T_p 都是磁心驱动电流的函数，如果干扰比，电流波上升时间和测试温度保持不变，只变更驱动电流，则此五个特性的变化如图 11.8 所示。读 1 幅值 e_1 随着驱动电流 I_W 的增大基本上线性上升，这是因为磁通变化率随电

流加大而线性加速，所以读出线上感应出较大的电压。开关时间 T_s 和峰值时间 T_p 随 I_W 的增大基本上线性地减小，这是因为磁通的总变化量是固定的

($+\phi_r$ 到 $-\phi_m$)，变化速度加快则所需时间即相对减小。干扰后的读 1 幅值 e_1' ，最初也随 I_W 的加大而线性上升，但当 I_W 超过磁滞回线的拐点电流以后，读出幅值就迅速下降，这是因为干扰电流过大地改变了剩磁状态。干扰后的 0 读出 e_0' 。也有类似的情况，最初它随 I_W 的增大而缓慢上升，但当 I_W 超过拐点电流时，则 e_0' 的上升就突然加速。

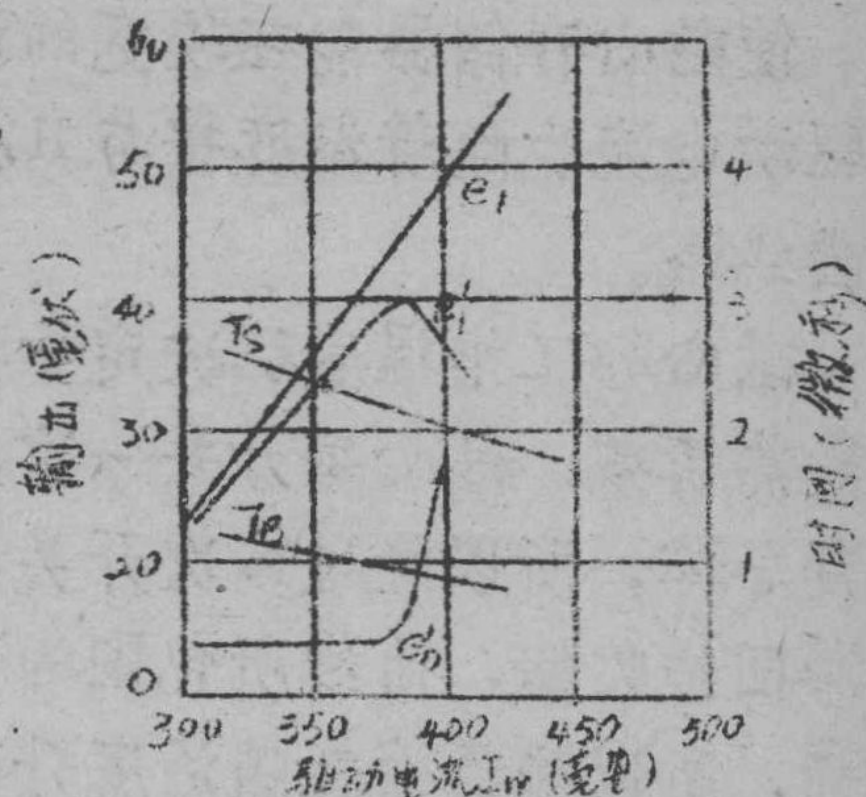


图 11.8 典型的磁心特性曲线

为了区别读 1 和读 0 信号，希望 e_1' 和 e_0' 的比值愈大愈好，即希望

$$\lambda = \frac{e_1'}{e_0'} \quad (11.6)$$

为最大值。最大 λ 值所对应的驱动电流就叫最佳电流，根据磁心的特性曲线，不难求出最佳电流。磁心的矩形性愈好，其最大的 λ 值就愈大，所以 λ 常称为磁心的动态矩形系数。

磁心的温度特性

磁性材料的电磁特性和温度有密切关系，温度升高则饱和磁通量 ϕ_m 、矫顽力 H_c 和剩磁通量 ϕ_r 都随着减小。温度升高到一定程度，磁性材料将失去磁性，这个温度叫做居里点。镁锰铁氧体的居里点为 $200^\circ \sim 300^\circ\text{C}$ ，铈镍铁氧体的居里点为 $300^\circ \sim 500^\circ\text{C}$ 。居里点愈高，其电磁特性受温度的影响即愈小。

磁心的温度系数是：温度每改变一度其 H_c 的改变量。一般的镁锰铁氧体磁心的温度系数约为 $-0.01 H_c / ^\circ\text{C}$ ，即温度每升高一度矫顽力约减小 1%。这样的磁心叫做常温磁心，它要求在比较恒定的温度环境中工作。铈镍铁氧体磁心叫做宽温磁心，其温度系数约为 $0.0025 H_c / ^\circ\text{C}$ ，它能适应较宽的温度变化，但需要较大的驱动电流，

并且读出幅度也较小。

使磁心存储器能在较宽的温度范围内工作所采用的方法之一是：使驱动电流也随着温度按与 H_c 相同的规律变化，这种线路叫做温度补偿线路。

磁心的工作温度既决定于环境（大气）温度又决定于本身的发热和散热情况。磁心每开关一次，磁滞消耗都变为热量，而磁心是热的不良导体，所以经过多次开关，磁心温度可能上升很多。温度上升则磁滞回线收缩，曲线所包围的面积也随着减小，而这面积正表示能量损失，所以能量消耗随温度升高而减小。当磁心产生的热量恰足以补足磁心表面所散失的热量时，就达到热平衡，工作温度就不再上升。在计算机中常采用不同的措施帮助磁心体散热，以降低工作温度，如用人工通风，或把磁心浸入油内，或使它接近大块金属（如底板）以吸收和散发热量等。

国产磁心的特性

综上所述，磁心的主要特性为 B_m 、 B_r 、 H_c 、 β 、 e_1 、 e'_1 、 e_0 、 e'_0 、 T_p 、 T_s 等，这些特性对存储器的影响简要地列于表 11.1

表 11.1 磁心特性及其对存储器的影响

名 称	符 合	单 位	影 响 与 作 用	存 储 器 要 求
磁饱和强度	B_m	高 斯	} B_m 、 B_r 值大则读出幅度也大 H_c 大则驱动电流大	大
剩磁强度	B_r	高 斯		大
矫 顽 力	H_c	奥斯特		小
读 1 幅 度	e_1, e'_1	毫 伏	} 影响存取周期	大
读 0 幅 度	e_0, e'_0	毫 伏		小
开 关 时 间	T_s	毫微秒		小
峰 值 时 间	T_p	毫微秒	} 影响存储器工作稳定性 影响磁心抗干扰能力	小
温 度 系 数		$H_c/^\circ\text{C}$		小
矩 形 性 系 数	β			大

表 11.2 列出部分国产磁心的特性，由于规格不统一并且测试方法也不同，此表只提供个数量概念，不做为正式数据。

表 11.2 部分国产磁心的特性

磁心尺寸 $D \times d \times h$ (mm)	类别	e'_{11} (mV)	e'_{10} (mV)	T_s (ns)	驱动电流 (mA)	干扰比 δ
1.2×0.88×0.53	常温	>50		1000	600	0.6
1.2×0.88×0.53	宽温	>55	<15	600	750	0.6
0.8×0.56×0.3	宽温	>45	<15	340	720	0.6
0.62×0.4×0.2	宽温	>40	<10	280	800	0.6
0.58	宽温	>45	<6	260	800	0.6
0.46	宽温	>3	<10	240	600	0.6

磁心测试

一台计算机的磁心存储器要用到几十万颗到几百万颗记忆磁心，对每颗磁心都必须进行性能测试，既要保证性能合格又要保证性能一致。测试和挑选工作可用手工测试仪或自动测试仪。两者结构虽不同而原理一样。手工测试要用示波器观测波形，测试速度较慢，对眼的劳动强度也大，它的优点是便于分析。下面用手工测试法说明测试原理。

手工测试仪主要由测试电流波发生器、测试台和示波器组成，见图 11.9。电流波发生器按图中所示或其他模式给出全选读写电流和半选干扰电流，电流波的幅度、宽度和频率应能调节。在图 11.9 中测试电流波的干扰比 δ 为 0.6，半选干扰电流波一般从几个到十几个。各电流波的宽度必须大于 T_s ，但也不需要大得过多。电流波的上升时间 T_r 应尽量小，以免影响磁心的开关时间，通常 $T_r \leq 0.1 T_s$ 。

测试时用测试叉把磁心移到图示的位置，使测试电流波通过被测磁心形成回路，在示波器上就可读出感应信号。测试的主要内容为：1) 未干扰读 1 幅度，2) 干扰后读 1 幅度，3) 干扰后读 0 幅度，4) 信号峰值的时间漂移，5) 开关时间等。当电流通过铜叉和台面的接触处时，接触面相当一个电容性负载。为了抵销它的影响使用一个补偿磁心。用补偿磁心的电感去抵销电容的影响。补偿磁心是非矩

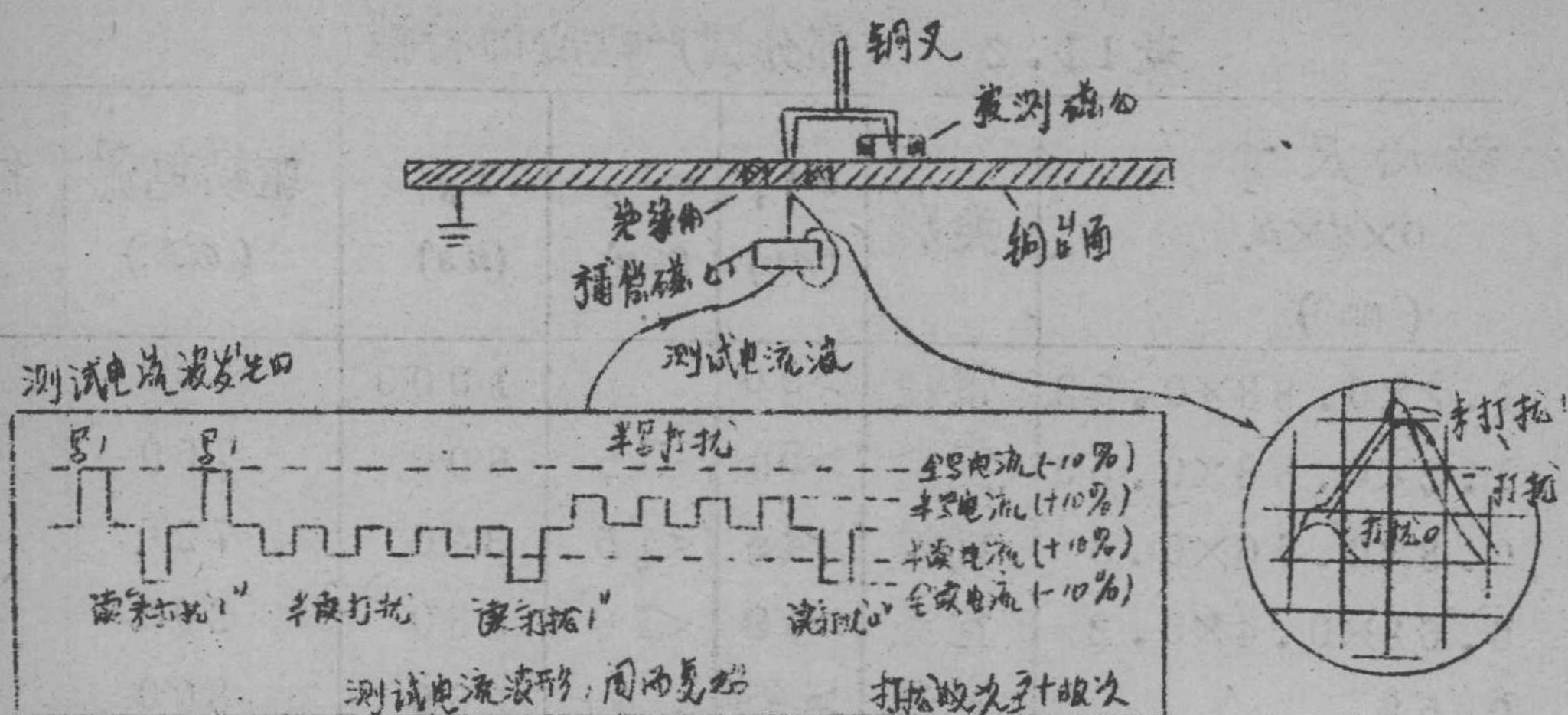


图 11.9 手工测试磁心的原理

形性磁心。

可根据不同的存储器设计要求制定不同的测试指标,既要保证存储器稳定可靠地工作,又要尽可能提高磁心的使用率。举例说来,磁心材料为铈锰铁氧体,尺寸为 $0.8 \times 0.56 \times 0.3$ 工作电流为 725mA 干扰比 $\delta = 0.6$,半选干扰电流为 435mA ,电流波的前后沿小于 100ns 。规定被测磁心的读1信号大于 40mV 小于 55mV ,读0信号小于 8mV ,峰值时间漂移小于 $\pm 40\text{ns}$, $\epsilon \geq 0.9$ 。 $40 \sim 55\text{mV}$ 的读1信号离散度较大,可在此范围内再细分成几档,如分为 $40 \sim 45$ 、 $46 \sim 50$ 、 $51 \sim 55$ 三档。因为每一块磁心板都有一套读出线路,所以只要同一块磁心板上使用同一档的磁心并对读出线路各别调整,存储器是可以稳定工作的。

测试磁心的环境温度应基本恒定,以保证测试结果的一致性,对于宽温磁心其条件要求较低。在大批磁心测试之前,往往要选出几颗磁心作为标准磁心,以便在测试进行中做校对用。由于人工挑选可能出现漏测或错分,因此一般要挑选三次。

11.3 磁心存储器的字符选择系统

一个磁心只能存储一个二进制字符,如果一个存储器有 4096 (4K)个字,每字 48 位就需用 $4096 \times 48 = 196608$ 颗磁心。

用大量的、分立的磁心组成存储体的一般方法是:先把一定数量