

第一篇 概述

本篇主要介绍磁记录原理和方式的基本知识, 5.25英寸磁盘机的基本结构和基本工作原理; 组成小型磁盘机的各主要环节的功能框图及其关键部件, 如驱动磁头和盘片的驱动电机的基本结构和性能; 磁盘机技术发展历史及趋势, 小温盘机的特点。本篇内容叙述避免过多的论证和推导, 以适应仅想使用和维修小型磁盘机的读者。

本书在内容的组织上突出“共、比、承”三字。“共”指的是: 将软盘机和硬盘机作为磁盘机来讨论, 突出讨论两者共同的功能、共同特点、共用部件(例如步进电机)。

“比”指对软盘机和硬盘机作一番比较, 让读者从对比中, 加深对两类磁盘机的了解。“承”是让读者通过对磁盘技术发展历史的了解, 认识到5.25英寸温盘机是一个继承大温盘机和软盘机技术并有所改进, 有所创新而生命力很强的综合性高技术工业产品。

第一章 磁盘机的基本知识

第一节 磁记录原理和方式

早在几千年前, 人们就认识了磁现象, 并将它应用到生活中去。到十九世纪, 已逐步揭示了磁现象的本质, 从而扩大了磁现象的应用范围。二十世纪初, 人们开始将磁现象应用于磁记录领域。随着电子计算机的诞生, 在录音技术的基础上, 人们研究了数字磁记录的技术和理论, 研制和生产了计算机外存储器的磁表面存储器, 推动了计算机技术的发展和应用的日益普及。

一、磁学基础知识

在日常生活中, 可以看到磁性体能够吸引铁、镍等物体的现象。进一步研究, 使人们认识到这种现象是由运动的电荷产生的。例如通电导线的四周就存在着磁场, 如果将铁、镍等物体放在磁场中, 这些物质也会带有磁性。

大家知道, 为了形象地描述磁场, 引入了磁力线的概念。任何磁铁周围都有磁力线的存在, 它从“N”极出发到“S”极。这种磁力线是肉眼看不到的。它的存在可以通过在磁铁的间隙中撒满细铁粉来验证, 如图 1-1 所示。

永久磁铁, 如硬磁钢, 不需要外界的影响, 而可保持自己的磁力线。而软磁铁, 例如用作磁头磁芯的铁氧体, 必须有外界电场或磁场的激励, 才具有磁力线。如果将磁性材料放在

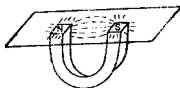


图1-1 永久磁铁的磁力线

1-1 中磁铁的磁力线附近，它便会被磁化。正是利用这个特性，磁盘机使信息从磁头转换到盘片。

为了认识磁记录技术的原理，下面简单介绍一些磁学中常用的物理参数和定律。至于详细的论述请参见其它磁学资料。

1. 磁感应强度、磁场强度和磁滞回线

通电的磁头周围会产生磁场，利用它可使盘片磁化以记录数据。可以用磁感应强度 $\vec{B}$ 定量地描述磁场，其值与磁力线垂直方向的单位面积上的磁力线数目相等。在高斯制中，它的单位为高斯(G)。

不同的磁性材料对磁场的影响也不同，主要是由于磁导率不同。磁导率用符号 μ 表示。采用不同材料制成的磁头，其周围产生的磁场量也不同。为了表达一个与磁介质无关的磁场量，引入了磁场强度 $\vec{H}$ ，它与 $\vec{B}$ 的关系可表示为：

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

在高斯制中， $\vec{H}$ 的单位为奥斯特(Oe)。

若改变磁头线圈的电流方向，在它周围便会产生随电流变化的交变磁场，因而可使磁盘上生成许多极性变化的磁信号。引入磁化强度 $\vec{M}$ 的概念，可以表示磁盘的磁化状态。用磁滞回线可描述交变磁场中 $\vec{H}$ 与 $\vec{M}$ 的关系。铁磁材料在磁化过程中的磁滞回线如图 1-2 所示。对于退过磁或未磁化过的材料，初始点开始于零点。经初始磁化后， $\vec{M}$ 循着 oa 线由零点逐渐增大到饱和 M_s 值处。当到达 a 点后，如果外磁场 $\vec{H}$ 减小到零，这时 $\vec{M}$ 着 ab 线变化并不回到零，仍有一定的数值 M_r ， M_r 叫作剩磁。如果继续从反向增加 $\vec{H}$ 值，这时 $\vec{M}$ 逐渐减小至零，这时的 H_c 值叫作矫顽力。如果从 c 点继续反向增大 $\vec{H}$ 值， $\vec{M}$ 达到反向饱和。外磁场 $\vec{H}$ 的变化，使 $\vec{M}$ 循着 $abcdef$ 闭合曲线变化。该曲线就称作磁滞回线。磁盘机采用了饱和磁化技术，磁介质在外磁场的作用下，循着它的磁滞回线形成许多极性变化的小磁元(参看图 1-4)。

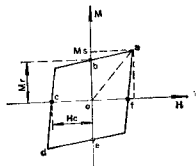


图1-2 磁滞回线

2. 安培环路定律

安培环路定律可定量地表达闭合回路的磁感应强度与环路所包围的电流的关系。在磁记录技术领域中，利用安培环路定律来分析磁头电流与它产生的磁场间的关系。利用该定律，求得某些由规则分布的电流产生的磁场强度。可以证明，在一个闭合路径上，磁场强度 $\vec{H}$ 在线元 $d\vec{l}$ 上的分量沿该闭合路径的积分 $\oint \vec{H} d\vec{l}$ 的值，为该闭合路径所包围的电流的代数和，即

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum \vec{I}$$

由此可见，与磁头线圈流过电流 $\vec{I}$ 时，磁头附近便会产生相应的磁场强度 $\vec{H}$ ，使磁盘磁化。

3. 电磁感应定律

当需要从盘片上读取信息时,通过磁头可以将盘片上记录的磁信号转变为我们需要的电信号。电磁感应定律揭示了电场与磁场之间的定量转换关系。根据电磁感应现象,当闭合导电回路所包围的磁通量发生变化时,该导线中就有电流产生。由磁通量变化产生的电动势叫作感应电动势,它可用下式表示:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

由式可知,当磁头从盘片上通过时,磁头线圈中便会感应出电动势 e 。

二、磁记录原理

磁盘机采用的数字磁记录是在录音技术基础上发展起来的一种饱和磁记录方式。利用通电磁头产生的磁场,在记录介质上产生标志二进制“0”、“1”数字的饱和磁体。需要取回这些信息时,根据电磁感应原理,这些小磁体可在相对它运动的磁头上感应出与“0”、“1”数字相对应的电动势。盘片介质被磁化的方向,依主磁化场方向不同而不同,目前在磁盘机中主要是采用如图 1-3 所示的纵向磁记录方式,盘片磁化方向与盘片水平面方向平行,故也称水平记录方式。

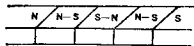


图1-3 纵向磁记录方式

数字磁记录的最主要目标,是寻求在合适的成本前提下,达到尽可能高的记录密度和可靠性。研究磁记录原理,分析写入和读出过程,正是为了实现上述目标,寻求正确、有效的记录方法。总的来讲,读出时影响记录密度的因素较写入时影响记录密度的因素多,故读出密度的限制因素要多于写入密度的限制因素。影响写入密度的主要因素是从一次饱和磁化翻转到另一次饱和磁化翻转之间的过渡区长度。由于写入是由写入磁头边缘磁场的后沿完成的,即后一位的写入磁场将修改前一位的磁化区宽度,因此可形成很小的过渡区。而在读出过程中,在磁头中感应出有效信号的同时,还存在着影响记录密度提高的诸因素:噪音信号,相邻位边缘磁场的相互干扰,读出信号的叠加效应造成读出信号幅度的降低和相位偏移,读电路的热噪音和线性度,记录编码方式及其同步能力,介质噪音等都会影响记录密度。所以读出过程是影响记录密度提高的首要因素。

本书虽然介绍软、硬二种不同类型的磁盘机。但从磁记录原理的角度看,软盘机与硬盘机两者并无本质差别。只不过前者采用柔性盘片,头和盘片是接触式工作的;后者采用硬盘片,头和盘片采用非接触工作。实质上,当磁盘机工作时,头和盘片之间的相对运动,会产生一层非常薄的空气膜。软盘机因头和盘片间是接触式工作,其空气膜较硬盘机得得多,故可把软盘机看成是空气膜极薄的一种特例。这样,以下的讨论对二者都能适用。

1. 磁记录的简单工作过程

目前,大多数磁盘机都是采用饱和磁记录方式将数据记录在盘片上,然后利用峰值检测的方法将磁头中感应出的电动势还原成数字信号。磁盘机的读、写磁头由高导磁率的软磁材料和线圈绕组等构成。将磁头的铁芯做成如图 1-4 所示的环形磁芯,靠近盘片一端开有前间隙 g 。当线圈通电后,前间隙处形成较强的磁场,足以饱和磁化前间隙下的

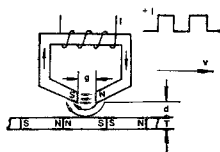


图1-4 磁化原理

磁介质。切断线圈电流，介质上仍存有剩磁形成的位元。如使盘片相对磁头作切向运动，并不断改变线圈的电流方向，便可在介质上记录下一连串的小磁性位元。为了使磁场集中，要求磁头的前隙做得很小，磁头前隙的冠顶与盘片之间的距离 d 尽量小。将 d 称为浮动间隙或磁头飞行高度。

磁介质上经磁化形成的小磁元就象一连串排列整齐的小磁铁，在它们四周建立起磁场。因磁芯的磁导率 μ 值很高，尽管磁头前间隙极小，但空气磁阻远大于磁芯的磁阻，所以当磁头靠近盘片时，磁元的磁场取道磁芯构成闭合回路，而不是通过前间隙构成闭合回路。当磁元以一定的速度通过磁头时，磁通线经过磁芯与线圈交链，并不断变化，在线圈的两端感应出如图 1-5 所示的交变电动势 e 。由图 1-5 可见，在相邻磁元的交界处，磁通变化最大，因此感应电势也最大。

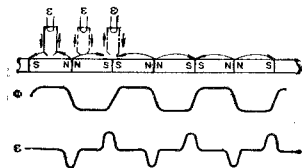


图1-5 磁头电势感应过程

2. 写入过程的分析

为了搞清楚写入过程对提高记录密度的影响，有必要简单分析一下记录磁场和磁化翻转过渡区问题。

当磁头通电后，在磁头前隙附近形成漏磁场，如图 1-6 所示。磁头漏磁场可近似等效于一些半圆，并可将磁场 H 分解为 H_x, H_y 两个分量。用水平磁场分量 H_x 作为盘片磁介

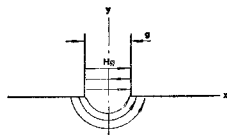


图1-6 磁头前隙处磁场分布

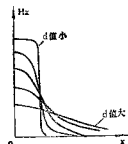


图1-7 H_x 分量磁场分布图

质的磁场(前文已提到称这种记录方式为纵向记录方式)。磁头浮动间隙越小,介质上的磁场强度就越强。 H_x 的最大值在磁头前隙中心,并向两侧逐渐减小。因垂直磁场分量 H_y 远比 H_x 小,故可忽略。当磁头线圈中的电流方向一定时,磁头两侧 H_x 的方向相同。图1-7是水平磁场分量 H_x 沿前隙水平位置 X 方向的分布图。

假设磁介质在记录数据前,已预先向一个方向饱和磁化,当磁头线圈接通正电流 $+I$ 时,磁层被磁化,见图1-8(a)中阴影部分。改变电流方向,接通 $-I$ 时,磁层向相反方向被磁化,见图1-8(b)。不断改变线圈的电流方向,磁层被交迭磁化。

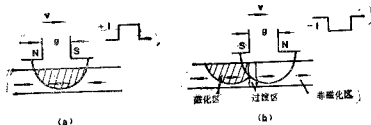


图1-8 薄片磁化过程
(a) $+I$ 磁化 (b) $-I$ 磁化

从磁介质的磁化过程可以看到:

(1) 每次写入的磁化场都修改前次记录的磁化区的边界。尽管写入的磁化区可能比较宽,但经下一位写入后,修改了上次写入的后沿,使上次写入的磁化区变窄,写入密度即可提高。因此每次写入的磁化区边界都不在磁头前隙中心,而在后沿,这就是通常所称的“后沿写入”。

(2) 假设磁介质相对磁头没有移动时,磁头线圈中通以电流,此时被磁化的介质可分为三个区域:一是受磁头饱和磁化后形成的磁化区;二是磁头间隙两侧远处为非磁化区;介于这两者之间的区域为过渡区。过渡区的介质处于非饱和磁化状态,即不稳定状态,过渡区是增加噪音和影响写记录密度提高的主要因素,所以越短越好。水平方向磁化强度的梯度 $\frac{\partial M}{\partial X}$ 可分解为 $\frac{\partial M}{\partial H}$ 与 $\frac{\partial H}{\partial X}$ 的乘积,见式

$$\frac{\partial M}{\partial X} = \frac{\partial M}{\partial H} \times \frac{\partial H}{\partial X}$$

可以用图来分别表示 $M-H$ 和 $H-X$ 之间的关系,见图1-9。由图1-9(a)、(b)、(c)介质的磁化状态可知:水平方向磁场强度梯度 $\partial H/\partial X$ 越大,过渡区 Δx 越小;磁化强度梯度 $\partial M/\partial H$ 越大,过渡场越小,由此而产生的过渡区也就越小。

此外,介质被磁化后,会在它的内部产生一种与外加磁场方向相反的自退磁场 H_d ,它会减小外磁场 H_0 的作用,因此介质的有效磁场 H 将被减弱,它可表达为

$$H = H_0 - H_d$$

由图1-9(a)的介质磁滞回线的虚线部分可见,如果没有退磁场时,介质在 H_c 处可饱和磁化,有了退磁场后,需在 $+H$ 处方可被饱和磁化。退磁场会减小磁滞回线的梯度 $\frac{\partial M}{\partial H}$,

增加过渡区的长度, 因此退磁场越小越好。

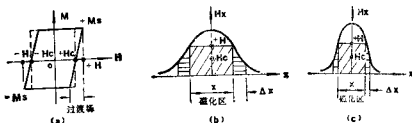


图1-9 盘片的磁化特性

(a) 盘片的磁滞回线

(b) 过渡区 Δx 大

(c) 过渡区 Δx 小

既然写入密度与过渡区长度有密切关系, 因此可通过具体分析影响过渡区长度和写入密度的主要因素, 提出减小过渡区长度和提高写入密度的办法。

(1) 选用的介质材料的矩形比要大, 使梯度 $\partial M/\partial H$ 增大, 过渡区变短。

(2) 由图1-7可见, 磁头浮动间隙 越小, 则梯度 $\partial H/\partial x$ 增大, 可减小过渡区的长度。

(3) 介质厚度越厚, 处于介质底层较深处的 磁化强度梯度 $\partial M/\partial x$ 越小, 将会增大过渡区长度, 所以应尽量采用较薄的介质。

(4) 写入电流太小, 介质不能充分饱和和磁化, 写入不可靠; 写入电流太大, H_x 将向X轴, 即磁头前隙两侧扩散, 影响写入密度; 另外写入电流太大, 会使磁层底部达到深度磁饱和, 增大退磁场, 使过渡区变长。要求写电流的上升沿陡, 因为过长的电流上升时间, 对于以一定速度 V 运动的介质来说, 将会产生不可靠的写入区, 影响写入密度的提高。

3. 读出过程的分析

信号的读出过程比较复杂, 它除了受到磁头和介质的影响外, 还受到读出电路和记录编码、译码等许多因素的影响。这里主要分析磁头、介质对读出信号的三种主要影响, 即对读出信号宽度、幅度以及相移的影响。

根据电磁感应定律, 当介质相对磁头以一定速度 V 运动时, 在磁头线圈的两端会感应出电动势 e , 即

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} = -NV \frac{d\phi}{dl}$$

式中 N 为线圈匝数, ϕ 为磁头线圈中通过的磁通量, 它正比于磁道宽度 l 。由式可见, 磁头感应电动势 e 与 V 、 N 及磁道宽度 l 有关。虽然硬盘机的盘片转速 V 较高, 一般为3600转/分, 但是道密度较高, 一般大于360道/英寸, 即允许的磁道宽度 l 较小, 而且磁头线圈匝数 N 受条件限制不可能太多, 所以感应电动势 e 较低, 一般都在1mV以下。而软盘机虽然转速低, 一般为300转/分, 但是道密度较低, 一般小于98道/英寸, 使道宽较硬盘大, 而且磁头与盘片是接触式工作的, 所以感应电动势 e 一般都大于3mV。显然, 硬盘磁头感应电动势 e 较软盘小得多, 对于后级电路的要求就高得多。

为了便于分析, 首先看一下磁头线圈中单个感应电动势波形。该波形如图1-10所示, 它是呈钟形的脉冲信号。设读出电压的最大幅度为 $e_{\max}$, 将半峰值 $e_{\max}$ 处的电压宽度称作半幅宽, 用 P_{50} 表示。 $e_{\max}$ 值大, 半幅宽 P_{50} 小, 有利于检读和记录密度的提高。

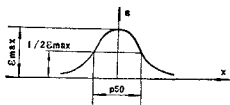


图1-10 磁头感应电动势波形

为了进一步搞清读出过程对记录密度的影响, 下面将详细讨论头-盘、单个和多个读出脉冲对读出信号的幅度和相移的影响, 它对设计和调整头-盘参数、选用合适的头-盘材料具有一定的意义。

(1) 读出电压的半幅宽 P_{50} 越小, 邻位间的干扰也就越小, 有利于提高记录密度。影响 P_{50} 的主要因素有:

- ① 薄的介质, 它上面的磁化位元中心的磁通变化较平坦, 感应电压小, 两磁元交界处磁通变化梯度 $d\phi/dt$ 大, 感应电压大, 所以使 P_{50} 较小。
- ② 浮动间隙 d 越小, P_{50} 也小。
- ③ 当 d 和过渡场较小时, 前隙宽度 g 对读出电压的影响就突出了, 此时如增大 g 值, 将会使 P_{50} 增大。

(2) 读出电压幅度过低, 将使检测产生困难, 信噪比被减小, 可靠性降低。影响读出幅度的因素有:

① 介质厚度 T 。 T 较厚, 可使读出幅度增大, 但是会增大过渡区, 使 P_{50} 变宽。此外, T 厚, 感应电压跳变沿较长, 引起 e 减小, 见图1-11。因此, 要提高位密度, T 不能太厚。在一些硬盘机中, 采用磁性能较氧化铁好的金属连续薄膜盘片, 求得磁层减薄后仍有一定的读出幅度。

② 磁头浮动间隙 d 。 d 增大, 则进入磁头的磁通量减少, 使得 e 减小。故希望 d 尽量小。

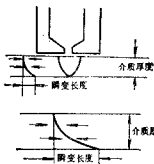


图1-11 介质厚度对过渡长度的影响

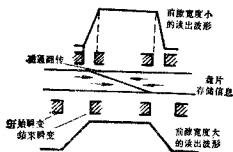


图1-12 磁头前隙宽度对读出波形的影响

③ 前隙宽度 g 。取记录波长为 λ , 如果 $g > \lambda/2$, 会有一部分磁通直接通过前隙、而不经磁头线圈形成交链。 ϕ 值减少因此导致 e 降低。由图1-12可见, g 大的磁头, 读出波形前、后沿变宽, 电压跳变的过渡时间长, P_{50} 增大。

(3) 目前, 小型磁盘机的读电路大多采用峰值检测的方法检出数据信号。峰值偏移后, 会造成信号检测和数据同步的困难, 使读出误码率增大, 因此希望读出信号的峰值不要偏离原来的位置。下面就来讨论造成峰值偏移的主要因素:

① 前隙 g 越宽, 峰值偏移越大。前隙宽度与写电流有密切关系。写电流应保证磁头建立足够的磁场强度, 使介质饱和以记录信息, 而宽的前隙需要更大的写电流才能保证介质可靠地饱和。大的写电流和宽的前隙都会使写入脉冲更“拥挤”, 造成读出时峰值偏移更甚。因此, 为减小峰值偏移, 应使磁头的前隙宽度做得尽可能小。另一方面, 前隙越小, 制造越困难、成本越高, 所以一般根据位密度的要求来选择磁头的前隙宽度。

② 介质厚度 T 越厚, 读出信号的跳变沿越宽, 峰值偏移加大。

③ 前间隙高度越短, 则峰值偏移越大。前间隙高度是指磁头极靴的高度, 由图 1-13 可知, 前间隙高度长的磁头比短的形成边缘磁场深度要浅, 即 $A < B$ 。因此, 前间隙高度长的磁头不容易引起磁介质饱和。虽然前间隙短的磁头容易使介质饱和, 但是它的边缘磁场深, 使介质的瞬变长度更长, 造成峰值偏移增大, 而且幅度也会减小, 这是我们所不希望的。

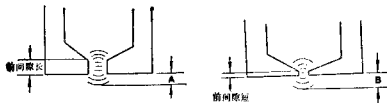


图 1-13 前间隙深度对边缘磁场的影响

(4) 脉冲拥挤效应引起的峰值偏移和幅度降低。

前面主要讨论了孤立脉冲的情况, 实际上, 在磁盘上记录的是一连串的信息, 它们相互之间会产生影响, 使读出的信号幅度降低, 峰值偏移。脉冲拥挤现象, 通常称作“脉冲拥挤效应”, 它是饱和数字磁记录中, 由于连续脉冲相互影响而引起的一种重要现象。记录密度越高, 脉冲拥挤效应也越明显, 所以它对提高记录密度影响较大。

不同记录编码、不同记录频率以及不同码字之间, 脉冲拥挤效应也不相同。从两次相邻磁化翻转读波形图 1-14 可见: 记录频率低 (1F), 见图 1-14(a), 拥挤效应不明显; 记录频率高 (2F), 见图 1-14(b), 峰偏 Δx 大, 幅度降低。而且频率越高, 记录密度越

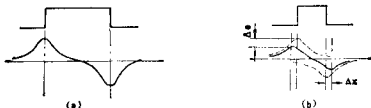


图 1-14 相邻磁化翻转读出波形间的影响

(a) 记 1F 频率的信号

(b) 记 2F 频率的信号

大, 则影响也越严重。从三次连续翻转的波形图 1-15 可见: 两边的波形出现峰偏 Δx , 中间的电压幅度降低, 但中间的电压峰值不会发生偏移。所以在一些读、写电路中, 根据不同的记录码组, 采用相应的预补偿, 以减小脉冲拥挤效应带来的问题。此外, 脉冲拥挤效应将会降低信噪比。因此, 记录密度不应超过脉冲拥挤效应的容许范围。

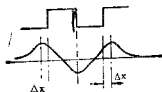


图 1-15 三次连续磁化翻转读出波形畸变的影响

除了连续脉冲相互间会产生影响, 造成脉冲拥挤效应而形成峰偏, 还有其它一些因素也会使读出信号产生峰偏。此外, 峰偏的方向也有正、负之分。朝向拥挤脉冲的两旁的峰偏方向为正偏移; 反之称为负偏移。以下将列举产生正、负峰偏的一些原因。

峰偏 移 的 方 向	峰 偏 移 的 原 因
正 偏	① 读写前缘太宽 ② 前间隔高度较小 ③ 介质较厚
负 偏	① 磁芯的剩磁 ② 残量不对称 ③ 不正常的写电流

三、磁记录方式与数字编码

数字磁记录方式就是指采用某种规律将计算机的二进制数字序列转换成磁层相应的磁化翻转的方法和形式。可以采用数字编码来实现不同的记录方式, 其目的就是为了提高记录密度、降低误码率。写入时, 如果要记录信息“1”, 利用饱和磁化技术让磁层翻转以记录信息, 如记录信息“0”, 可以让磁层不翻转, 读出时, 在磁化翻转处, 磁头上感应的电动势幅度最大, 利用峰值检测的方法, 可以还原信息“1”。这就是通常使用的见“1”就翻的“不归零制”磁化翻转记录方式。但是由于各种干扰因素的影响, 读回的信息“1”可能会偏离正确的位置, 这就需要在送存的计算机的数字序列中插入同步时钟信号, 以便同步检测电路利用同步信号, 检测出已发生偏移的数字信息。由此可见, 为确保读回的数字能被正确分离出来, 在被记录的信息序列中, 除计算机的数字序列外, 还可能插有同步时钟序列。插入时钟的个数和方法可以不同, 也可以不插入时钟, 只将数据序列的位置重新作一编排。将数字序列插入时钟, 或作一新的位置编排, 变换成记录序列, 称作数字编码。

记录序列中, 相邻“1”之间“0”的个数可能不同。换句话说, 不同的编码方式, 在数字序列中插入时钟的个数可以不同。从提高记录密度来看, 希望“1”之间“0”的个数多, 对应同一数字序列磁化翻转的次数少。但连续“0”的个数太多, 插入时钟过少, 往往容易造成后续同步电路的同步困难, 以致不能正确检出数字信息。另一方面, 经过编码的数据, 如果插入“1”的个数太多, 不但会造成磁化翻转过频, 而且“1”太密

集,根据脉冲拥挤效应,会使读出信号的幅度降低、峰值偏移。所以,需要根据具体条件和记录密度,选择合适的记录方式。

提高记录密度,降低误码率,是数字记录中同等重要的二个问题。虽然改进记录方式可以减少误码率,但是由于读写通道噪声干扰等多种因素的影响,在高密度的数据存取过程中,很难避免读写的错误。为了减少数据传输过程中发生的错误,可以利用另一种编码方式,即检、纠错编码方式,对数字序列进行检、纠错编码。在数据被读回时,再利用解码电路检测或纠正错误。在小型磁盘机中,一般将检、纠错电路,放置在磁盘控制器中,所以本节只讨论记录编码,而不讨论检、纠错编码。

可以用一些指标来评价各种记录方式,表征记录方式性能的指标主要有:

(1) 编码效率(η)

不同记录方式,数据记录位所对应的磁化翻转次数不一定相同。记录数据的位密度与最大磁化翻转的比值称作编码效率,可以表示为

$$\eta = \frac{\text{位密度}}{\text{最大磁化翻转密度}}$$

编码效率越高,说明记录的潜力利用发挥得越充分。例如每对应一位记录数字“1”,可让磁层翻转一次,也可以让磁层翻转二次,二次中有一次代表时钟。显然,对于同一记录空间来讲,前一种记录方式可放置更多的数字,因此,可以说实现这一记录方式的编码其效率也就高。

(2) 读出分辨率

由于脉冲拥挤等各种原因,读出信号的峰值会发生偏移。而不同记录方式,允许峰点偏移的范围可能不同,可采用检读窗宽(T_w)来评价检读分辨率。

(3) 磁化翻转间隔比(R_w)

不同记录方式,它所对应的最大磁化翻转间隔和最小磁化翻转间隔的比值不一定相同,用 R_w 表示这两种翻转间隔的比值。 R_w 越小,说明信道带宽越窄,抗干扰能力越强。

下面将分别介绍几种常用的编码方式。不同的编码,具有不同特性,可以有各种参数来表征。尽管编码方式很多,但是任何一种数字编码都可以把它看作是一种游程长度受限码(RLL),这样就便于找到各种编码的共性,利用统一的方法来研究它们的特征。RLL 码是对记录序列中两个“1”之间的“0”个数有限制的编码,可用两个主要参数(d 、 k)来表征它的特点:

(1) d 表示信息序列中相邻“1”中最少可插入的“0”的个数。

(2) k 表示信息序列中相邻“1”中最大可插入的“0”的个数。

数字编码是一门专门的技术学科,本书不可能对它们作过多的介绍,以下仅仅介绍在磁盘机中常用的几种编码的一般特性。

1. 见“1”就翻的不归零制编码

有两种不归零制编码。一种是见信息“1”时,磁层正向翻转,见“0”时,磁层反向翻转。另一种是见信息“1”时磁层便翻转,见“0”时,磁层不翻转,保持原来的状态。后一种称作见“1”就翻的不归零制编码,其编码效率为100%, R_w 为无限大。

2. FM 制编码

FM 是早期磁盘机最常用的编码方式。**FM** 也称调制编码方式。在 **FM** 编码中, 规定在位单元中心写入一个脉冲定义为逻辑 “1”; 在位单元的中心无电流脉冲定义为逻辑 “0”。在每个位单元的前沿有一个时钟脉冲, 如图 1-16 所示。

FM 制的优点:

- (1) 读出数据时有固有的自同步时钟脉冲。
- (2) 由于磁化翻转间隔的最大值与最小值之比 R_w 较小, 所以整个写入和读出系统不需较宽的频带。
- (3) 因为表面的磁化状态总是由写头的电流来达到饱和。所以写入前不需要预先抹去以前写入的信息。
- (4) 所有的数据转换成磁化状态(脉冲信号)是均匀分布的, 因此峰值偏移较小。

FM 制的缺点:

- (1) 与其它编码相比, 磁通翻转频率较高, 这就限制了在给定系统中的存储密度。
- (2) 需要较复杂的读写电路。
- (3) 在进行高位密度的读出时, 信号幅度有较大的变化。

3. MFM 制编码(改进调制制)

MFM 制是目前磁盘机最常用的记录方式。因为这种方式减少了每个单元磁通翻转次数, 所以用同样的磁介质可使其数据容量增加一倍。**MFM** 制规定在位单元中心写入一个脉冲为逻辑 “1”; 在位单元中心不写入脉冲为逻辑 “0”。只有在—一个位单元中记 “0”, 并且上一个位单元也记 “0” 时, 在这两个记 “0” 位单元的中间

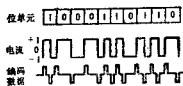


图1-16 FM 制编码方式

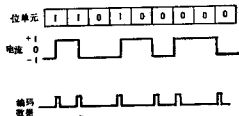


图1-17 MFM 编码方式

间写入时钟脉冲。这样, 每个位单元磁化状态最多改变一次。波形图参阅图 1-17。

MFM 制的优点:

- (1) 它代表的一个二进制数所需的磁化翻转次数少, 所以它的记录密度大于 **FM** 制的记录密度。
- (2) 对于给定的二进制数所需的磁化翻转次数少, 所以记录频率较低, 其信噪比、幅值分辨力和读出电路的效果及磁头的使用情况都得到了改善。
- (3) 由于有半自同步能力, 因此读出的信息脉冲中不必有单独的时钟信号通道。

MFM 制的缺点:

- (1) 因为不是每个位单元都有一个时钟脉冲, 故需要较复杂的读写电路。
- (2) 由于编码的不匀称, 峰值偏移将增加。与 **FM** 制相比, 它要求信道宽增加, 因此需在控制器或磁盘机中增加预补偿线路, 以补偿已知的峰值偏移。

4. M²FM 制编码

M²FM 制编码方式规定在位单元中心写一个脉冲为逻辑 “1”, 在位单元中心无脉冲为逻辑 “0”, 在位单元前一位既无数据又无时钟, 并且本位数据也不是 “1” 时, 在其

前面写一个时钟脉冲。

M²FM制的优点:

(1) 表示一个给定的二进制数所需的磁通翻转次数比 FM 制少, 提高了记录密度。
(2) 因为在磁介质上时钟脉冲比 MFM 时钟脉冲间隔时间长, 时钟脉冲的峰值偏移效应比 MFM 制小。

(3) 对给定的二进制数比 FM 制减小了磁通翻转次数, 记录频率相应也降低了。其信噪比、幅值分辨率和读出电路效果及磁头的使用情况都得到了改进。

M²FM制的缺点:

(1) 因为不是每个位单元前沿都有时钟脉冲, 它需要较复杂的读写电路。
(2) 由于编码的不匀称性, 峰值偏移将增加。与 FM 制相比, 通道带宽也增加了。在控制器或磁盘机电路中需增加补偿电路以补偿已知的峰值偏移。

5. GCR 制编码

这种方式将 4 位信息变换为 5 位进行记录, 变换的原则是禁止用连续 3 位以上为“0”的代码组合。5 位可组成 32 种状态, 除去了 3 位以上为“0”的组合, 尚有 17 种, 用其 16 种使之与 4 位数据信息构成十六种状态一一对应。

GCR 制优点:

- (1) 它的记录密度比 FM 制高, 为 FM 制的 1.6 倍。
- (2) 有一定的自同步能力。

GCR 制缺点:

GCR 制需要更多的线路来编码和译码及提供必须的查照表。它的线路要比 MFM 制和 M²FM 制复杂。

6. 2,7RLL 制编码

2,7RLL 码规定。在记录序列中, 两个“1”之间至少有 2 个“0”, 最多有 7 个“0”。2,7RLL 码的编码规则如表 1-1 所示。例如一个十六进制数 7B, 它的二进制码为 01111011。按表 1-1 规则, 对应的 2,7RLL 码为 0000100001001000。

RLL 制的优点:

(1) RLL 编码限制了两次翻转之间最小和最大距离, 因而提高了每英寸允许的翻转次数。以 2,7RLL 码为例, 在同样的磁通翻转密度情况下, 比 MFM 制容量可提高 50%。

- (2) RLL 码提高了数据传输率, 它是 MFM 制的 1.5 倍。

RLL 制的缺点:

(1) RLL 码与 MFM 码相比, 窗口余量减少了。它要求读写通道的频带也比 MFM 码宽。
(2) 编码和译码线路比 MFM 码复杂。

表 1-1 2,7RLL 码编码规则

二进制码	2,7RLL 码
11	1000
10	0100
000	100100
001	001000
010	000100
0110	00100100
0111	00001000

第二节 磁盘机的基本结构

计算机系统所使用的各种类型的存储器中,由于磁表面存储器具有如下特点:

- ① 记录的信息是非易失性的,不会因为断电等原因使信息自行消失。
- ② 记录信息的介质可更换和保存。
- ③ 性能价格比好。

所以它们普遍被计算机作为外存储器使用。磁表面存储器记录信息的共同特点是利用磁化技术,将数据存储在磁性材料的磁表层上。这类存储器主要有:磁带机、磁鼓和本书要讨论的磁盘机等。5.25英寸磁盘机分为软盘机和硬盘机两大类。

磁盘机是利用表面敷有磁性材料的盘片作为记录介质,写入电路将编码过的“0”、“1”脉冲信号转变为磁化电流波形,通过磁头使盘片上生成对应的磁元,信息便被记录在盘片上了。读出时,旋转的盘片上的磁元通过磁头下方,在磁头上感应出电压波形,经过读电路放大、整形又被还原成“0”和“1”信号。信息是沿盘片圆周方向一圈圈地被记录在盘片上的。写盘时,在盘片上便生成了许多记录信息的同心圆,即磁道,如图1-18所示。在磁道上一般都记有地址标志,以便查找。一个稍大点的文件,往往占据许多磁道。标磁道地址,辨别地址,分配文件的存储空间,一般都由计算机去完成。为了让磁头沿盘片径向方向作寻找磁道的运动,在磁盘机上采用一套定位驱动机构,由电机驱动,带动磁头移动的,利用电机带动盘片作旋转运动。因此,依靠磁头可以对整个磁盘面作扫描,以便实现存取信息的工作。

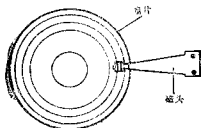


图1-18 盘片被分成许多同心圆磁道

一台完整的磁盘机,是由磁头、盘片、控制电路及驱动部件等构成的。在记录原理一节中,主要是对磁头、盘片的记录特性作了描述,并没有涉及到完整的磁盘机的工作原理。本节将介绍磁盘机的基本构成及其简单工作原理,主要介绍软、硬盘机共性的东西。为了加深了解,对这两种磁盘机各自的特点作必要的比较。此外,作为磁盘机的重要部件——磁头、电机等也在本节中给予介绍。

一、磁盘机结构概述

七十年代以来,磁盘机开始向小型化、高密度、大容量以及快速存取方向飞速发展。目前,在微型计算机中使用最多的是5.25英寸(指盘片尺寸)磁盘机。

按照盘片制造的材料不同,可分为软盘机和硬盘机。软盘机所使用的盘片,是在聚脂薄膜软片上涂上磁性层制成的,盘片具有柔软性,所以称作软盘机。软盘机的结构比较简单,盘片可以更换和保存。由于磁头、盘片是接触式工作的,提高了读写信号的分辨率,降低了磁盘机对环境的要求。但是,软盘机的存储容量比较小,数据存取速度也比较慢。硬盘机所使用的盘片是在铝合金基片上涂敷一层磁性材料制成的。目前微型计算机所使用的硬盘机,大多采用了“温彻斯特”头盘密封技术,所以又将它称作温盘机。温

盘机是在软盘机和大型磁盘机基础上发展起来的一种新型硬盘机，它既有软盘机结构简单的特点，又吸收了大型磁盘机记录密度高、容量大和存取速度快的许多优点，其磁头和盘片作为一个整体被密封在盘腔内，称为HDA部件，因而盘片一般是不可更换的。硬盘机在加电启动时，磁头和盘片保持接触，即接触式启/停(CSS)方式；工作时，磁头才浮离盘片表面。硬盘机和软盘机各有自己的特点，在微型计算机中，常常将它们配套使用。

软盘机和硬盘机的生产技术发展迅速，关于它们的技术发展，在第三章有详细介绍。为了便于对这两种磁盘机作一比较，在表1-2中列出了有代表性的软盘机和硬盘机的性能、特点。

表1-2 软盘机和硬盘机主要性能与特点

特 性	软 盘 机		硬 盘 机	
	第 一 类	第 二 类	第 一 类	第 二 类
盘片及其数量	单片软盘	单片软盘	用胶盘小于4片	磁盘，多达8片
磁 头			3350水平 开环或闭环	3380水平 闭 环
定位控制方式	开 环	开 环	开环或闭环	闭 环
平均存取时间	90ms~158ms	90ms~158ms	60ms~180ms	<55ms
存 储 容 量	0.125~0.5MB	1~1.6MB	10~40MB	高达380MB
道 密 度	48TPI	96TPI	300~600TPI	1000TPI
盘片转速	300rpm	300~360rpm	3600rpm	3600rpm
互 换 性	有 要 求	有 要 求	无 要 求	无 要 求
头 盘 结 构	结构简单、敞开	结构简单、敞开	头盘密封	头盘密封

下面将按磁盘机各部件的功能和物理构成，分别给以介绍，以便对磁盘机有一初步的了解。

1. 磁盘机的功能结构

磁盘机按其内部各部件的逻辑功能关系，可以将它们分为四大部分，见图1-10。它们相互配合，构成一个整体。这里仅对它们的功能作一简单介绍，在第二章中，将专门介绍其中主要的三大功能系统。

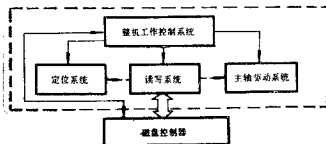


图1-10 磁盘机的逻辑功能框图

(1) 读写系统 读写系统在磁盘中占据着重要地位,它是磁盘数据吞吐的必经通路。在有些小磁盘机中,还依靠它来读取定位及稳速控制的基准信号。所以读写系统的性能是评价整机性能的重要依据。

(2) 定位系统 定位系统用来实现磁头对磁道的寻找和定位工作。评价其性能的主要指标是定位精度和找道速度。定位系统是由电路和机械部件混合组成的控制系统,在制造和调整上都有较大的难度。

(3) 主轴驱动系统 主轴驱动系统用以保证盘片按一定的速度稳定地旋转。盘片旋转稳定性较差会导致读、写出错,严重时会造成磁头、盘片的损坏。目前,小磁盘机大多采用了锁相控制技术以保证盘片稳速精度。

(4) 整机工作控制系统 为了保证磁盘机各部件协调、正常地工作,在磁盘机中设有控制系统。软盘机一般采用组合逻辑实现控制功能;硬盘机大多采用单片机实现整机的控制功能。利用单片机实现磁盘机整机控制,不但控制功能得到增强,而且电路元件可以大大减少。

2. 磁盘机的物理结构

磁盘机是机、电混合和技术密集型产品,其物理结构如图1-20所示。

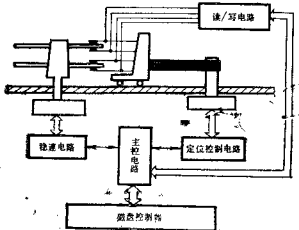
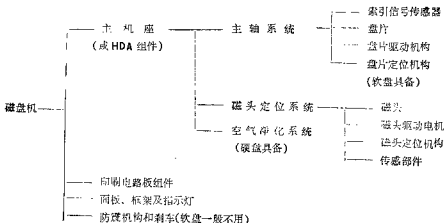


图1-20 磁盘机的基本结构

一台小磁盘机的主要构件包括以下各部分。



软盘机和硬盘机作为外存储器，虽然两者采用的具体技术有所不同，但是它们的功能和实现方法还是基本相同的。从以上列出的磁盘机的基本组成部件也可看到两者的共同点：都具有存储信息的盘片介质；完成读写数据的放大及处理电路；为在指定位置执行存取操作的驱动机构及控制电路等。

(1) 盘片 一般所指的 5.25 英寸盘片，其直径为 130mm，除去内、外圈不能记录信息的部分，实际可供使用的记录区域仅为 30mm 左右的一块圆环。软盘片可以更换、保存和交换使用。如果使用环境发生变化，在一台软盘机上记录了信息的盘片拿到另一台软盘机上读，可能读不出来，它存在着互换性问题，软盘片被封装在保护套内，盘片和保护套上开有索引圆孔。硬盘机盘片与磁头等有关部件一起封装在金属密封腔体内，称为头-盘组件(HDA)。HDA能整体更换的，称为可换式硬盘机；不能更换的，称为固定式硬盘机。不论是可换式，还是固定式，一般对用户来说，其盘片均不能互换使用。

(2) 盘片驱动机构 包括盘片驱动电机、主轴部件及电机稳速控制电路等。对软盘机来说，还应包括盘片插入软盘机时，将盘片定位于主轴中心的定位机构，主要由盘片导向、压紧和弹射等机构组成。利用这套装置和驱动电机带动盘片平稳、匀速地旋转，以保证磁头在盘片上正确无误地读写数据。

(3) 磁头定位系统组件 小型磁盘机一般采用步进电机或音圈电机作定位驱动电机。按照定位系统的控制方式不同，可分为开环、闭环和半闭环三种定位控制方式，闭环系统用在记录密度高、存取速度快的磁盘机中。不同的控制系统，其组件的数量和复杂程度也不相同。例如闭环控制系统除有电机、执行机构、控制电路外，还有位置传感部件和速度传感部件，供检测磁头位置和运动速度，实现定位伺服控制。

(4) 磁头与读写电路 软盘机一般装有一至二只磁头；硬盘机的磁头数目多数在二只以上。读写电路由选头电路(若有二只以上磁头)，读、写放大、整形等电路组成。硬盘机读出电压信号比较弱，为提高电路信噪比，有的硬盘机将前置放大器尽量装在磁头附近，例如装在密封腔体内，连接磁头的挠性电线上。

(5) 空气净化系统及其它辅助电路和结构 硬盘机上采用了头、盘密封组件，密封体通常采用金属压铸件，在密封体内装有空气过滤器。采用这些密封、净化技术后，显然比非密封式硬盘机，对环境净化要求就低多了，因此适合办公室、家庭等环境条件下使用。软盘机磁头、盘片是接触式工作的，盘片基片材料比较柔软，盘片保护套能清洗盘片上少量浮尘，软盘机本身不另设专门的净化系统。软盘机和硬盘机都装有索引传感器、“00”道检测等一些辅助装置和电路，以保证磁盘机正常、可靠地工作。

二、两种驱动电机

1. 盘片驱动电机(主轴电机)

(1) 对主轴电机的要求 主轴电机是带动主轴旋转的驱动部件，要求其：

① 体积小，功耗低——受小型磁盘机的结构和体积的限制，要求选用的主轴电机体积小，能驱动盘片正常旋转，而功耗又不宜大。电机功耗太大，不但增加了磁盘机的功耗，并且电机产生的热量将影响整机的可靠工作。软盘机和硬盘机对主轴电机这方面的要求也有所差别。

软盘机的主轴电机暴露在空中，散热条件较好。盘片数量少，至目前为止，商品化

的5.25英寸软盘机都只有一片盘片,风阻损耗小,因此电机负载轻。

硬盘机的主轴电机被密封在HDA组件内,电机的发热将导致密封腔体的温度升高。此外,硬盘机的盘片数量较多,风阻损耗大,负载较重。

② 转速均匀,偏摆小——如果主轴电机转速不稳,将使读写数据的相位产生偏移,导致误码率增高。电机转动时偏摆太大,过大的轴向跳动和径向跳动传递到盘片后,会使磁头定位不可靠,导致读写出错。旋转时噪音过大,将不宜在办公室或机房内使用。

早期的软盘机主轴电机采用交流同步电机或有刷直流电机,通过皮带轮带动主轴旋转。现在大多改用无刷直流电机,消除了因皮带张紧力变化而引起主轴转速的误差,还避免了有刷直流电机因硬刷磨损产生的粉尘和磨擦引起的电火花干扰。硬盘机均已采用高速无刷直流电机直接带动盘片旋转。电机均经精密动平衡校正,并采用精密轴承,使电机旋转平稳,噪音小。

③ 启动时间要短——一般情况下,软盘机在被选中时,才启动主轴电机旋转盘片。为了保证对软盘机的快速调用,要求主轴电机启动时间短。虽然硬盘机通电后电机一直旋转,但由于磁头和盘片是按接触启停方式工作的,电机的启动时间也有严格规定。

④ 外界干扰对电机应不易引起转速的变化,尤其是对硬盘机来说,因主轴电机的转速较软盘机的主轴电机的转速高(基本上高出一个数量级),电机采用外转子结构后,增大了电机的惯量,提高了转速稳定性。

(2) 无刷直流电机的结构与原理 无刷直流电机由三个基本部份组成:电机本体,转子位置传感器和电子换向开关电路。图1-21(a)和图1-21(b)是无刷直流电机的方框图和结构示意图。电机本体包括定子绕组和主转子等部份。主定子相当于普通直流电机的电枢,主转子相当于磁极。电枢绕组放在定子铁芯的槽内并制成多相形式。为了使电子换向开关电路依次对电枢绕组通电并保持电枢电流与磁场极性的相对关系不变,必须要有敏感转子位置的传感器。传感器的转子与主转子同轴,传感器的定子通常安装在电机的定子上。

无刷直流电机中的转子位置传感器有如下几种类型:

- ① 光电式角位置传感器;
- ② 霍尔磁敏式位置传感器;
- ③ 接近开关式位置传感器;

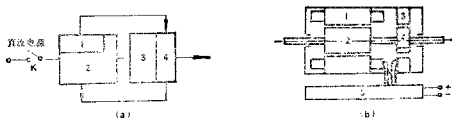


图1-21 无刷直流电机方框图和结构示意图

- (a) 1. 传感器电源 2. 电子换向开关电路 (b) 1. 定子 2. 主转子 3. 传感器定子
3. 电动机 4. 位置传感器 4. 传感器转子 5. 电子换向开关电路