

第二章 磁记录原理

- 2.1 概述
- 2.2 磁头场
- 2.3 媒体磁化与写入效果
- 2.4 读出信号波形分析
- 2.5 区位记录原理
- 2.6 应用

2.1.概述

(1)数据组织和格式化

- 数据分布

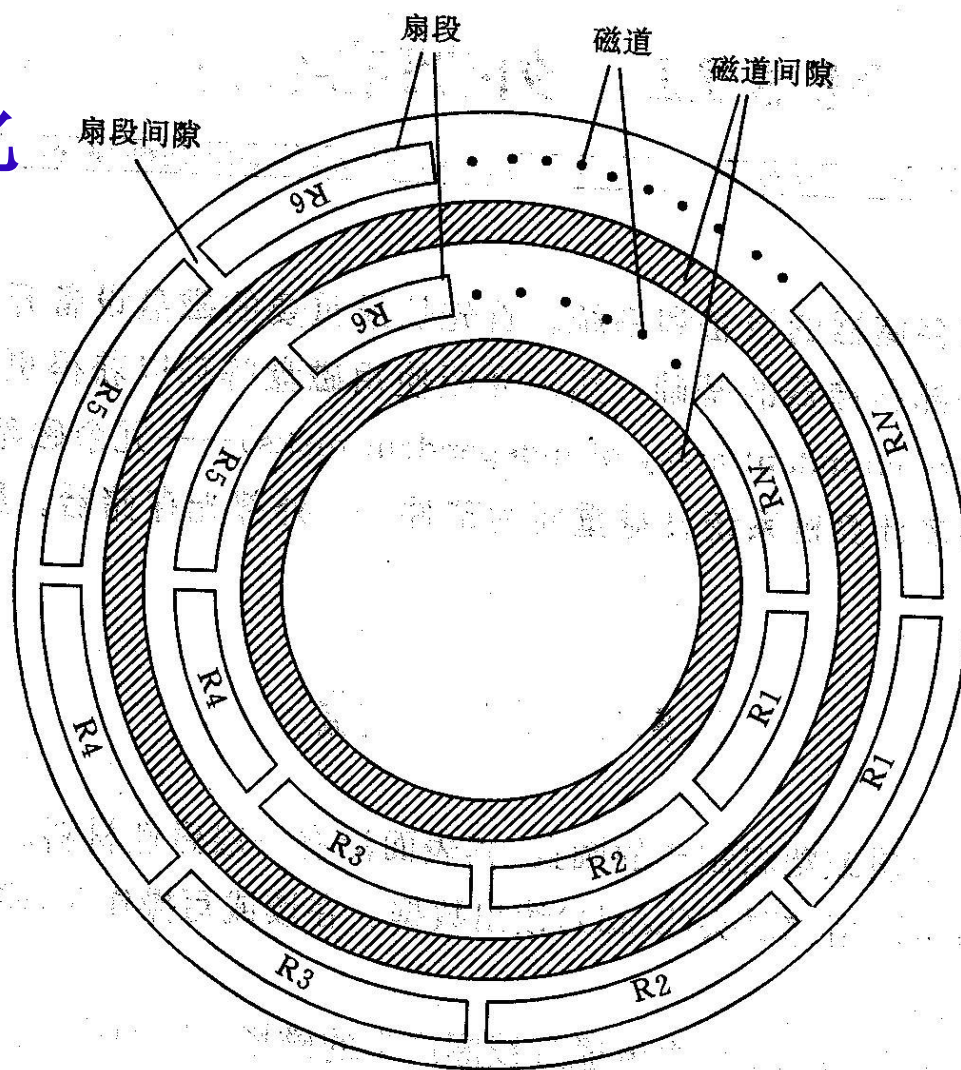


图 5.1 磁盘数据分布

磁盘磁道格式

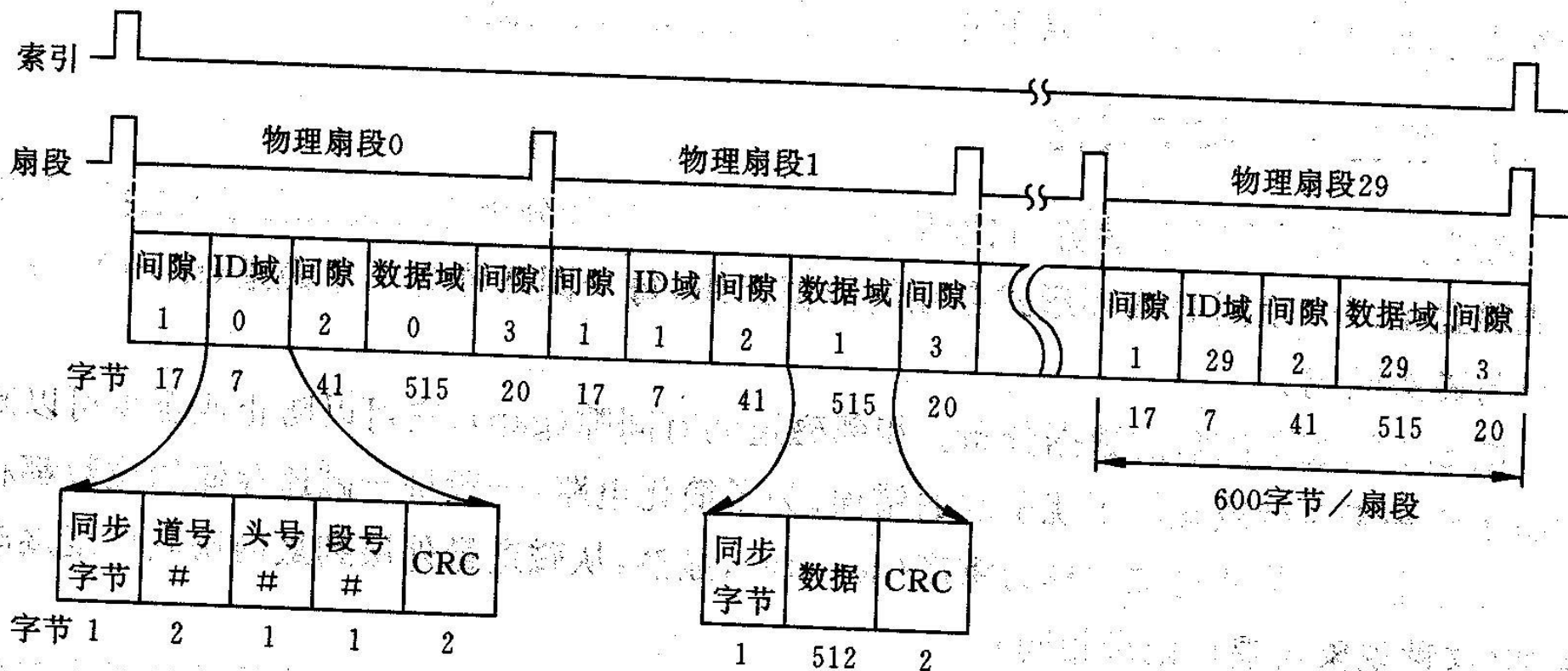


图 5.2 温彻斯特磁盘磁道格式 (Seagate ST506)

(2) 特性

磁盘系统特性

磁头运动

固定磁头(每磁道一个)

可移动磁头(每个面一个)

磁盘可移动性

不可更换磁盘

可更换磁盘

面

单面

双面

盘片

单盘片

多盘片

磁头机制

接触(软盘)

固定间隙

空气动压气隙(Winchester)

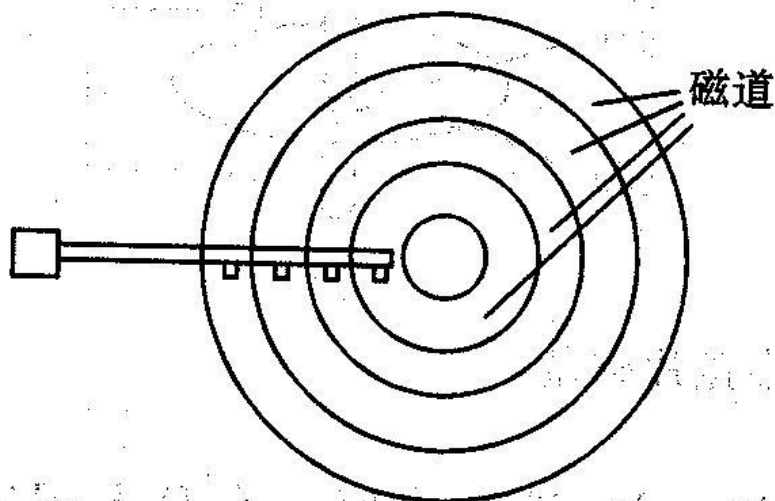
(2) 特性

- 磁头运动
 - 固定磁头(每磁道一个)
 - 可移动磁头(每个面一个)

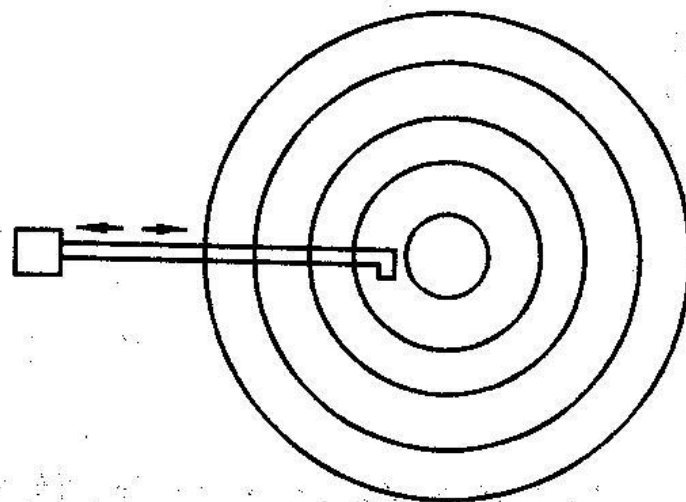


disk arm

disk platters



(a) 固定式磁头



(b) 移动式磁头

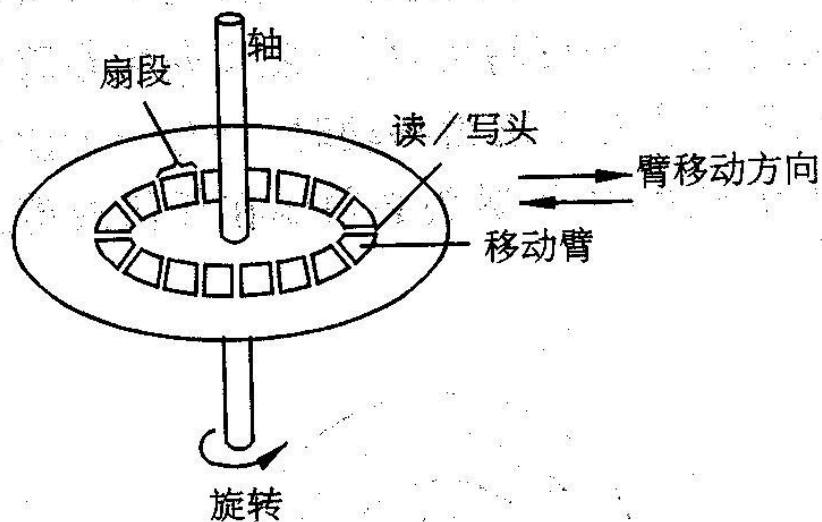
图 5.3 固定式和移动式磁头磁盘

(2) 特性

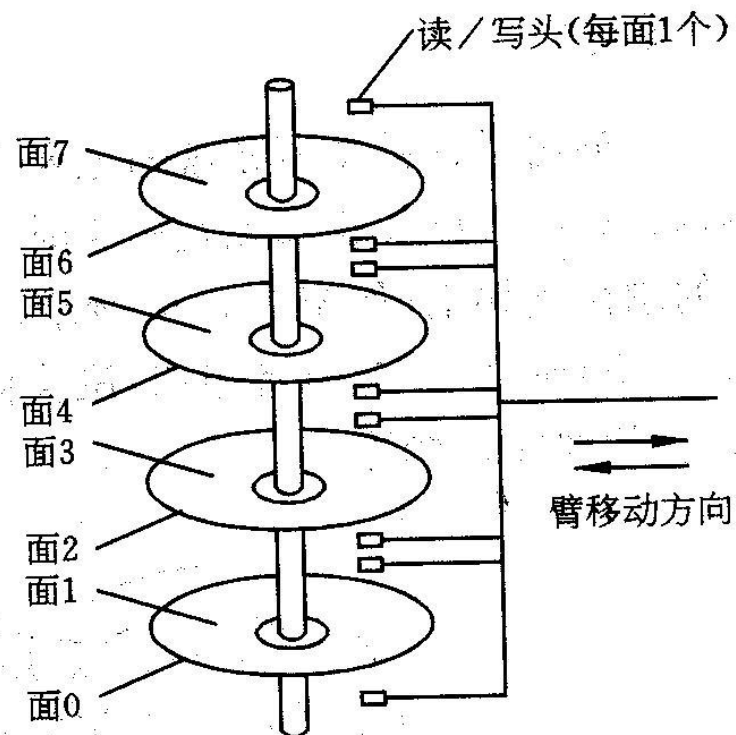
- 磁盘可移动性
不可更换磁盘: 永久安装在磁盘驱动器内;
可更换磁盘: 容量可扩展, 方便移动
- 面
单面
双面(两面有可磁化涂层)

(2) 特性

- 盘片
 - 单盘片
 - 多盘片(垂直安装多个盘片, 即盘片组)



(a)



(b)

多盘片磁盘

(2) 特性

- 磁头机制
接触(软盘)
固定间隙

空气动压气隙(Winchester): 密封, 磁盘不动时, 磁头以气垫的形态轻停在磁盘表面, 磁盘旋转产生的气压使气垫升高将磁头与磁盘分离.

非接触系统可使用更窄的磁头, 以更贴近的距离来读写磁盘表面数据.

(3) 磁盘存取时间

寻道时间(**seek time**): 定位到磁道

旋转等待时间(**rotational latency**): 定位到扇区

(4) 写入过程

将待记录的信息经过调制和电流驱动加入磁头线圈。产生磁场使媒体磁化，将电流的变化转换为媒体上相应的磁化状态的过程即写入过程，或称媒体的磁化过程。

留在媒体上的磁化图形是由极性彼此相反的、有序排列的磁化单元组成。

例：以有
无电流极
性变化表
示“1”和
“0”的动
态写入过
程。

翻转过渡区
内磁化强度
随X变化

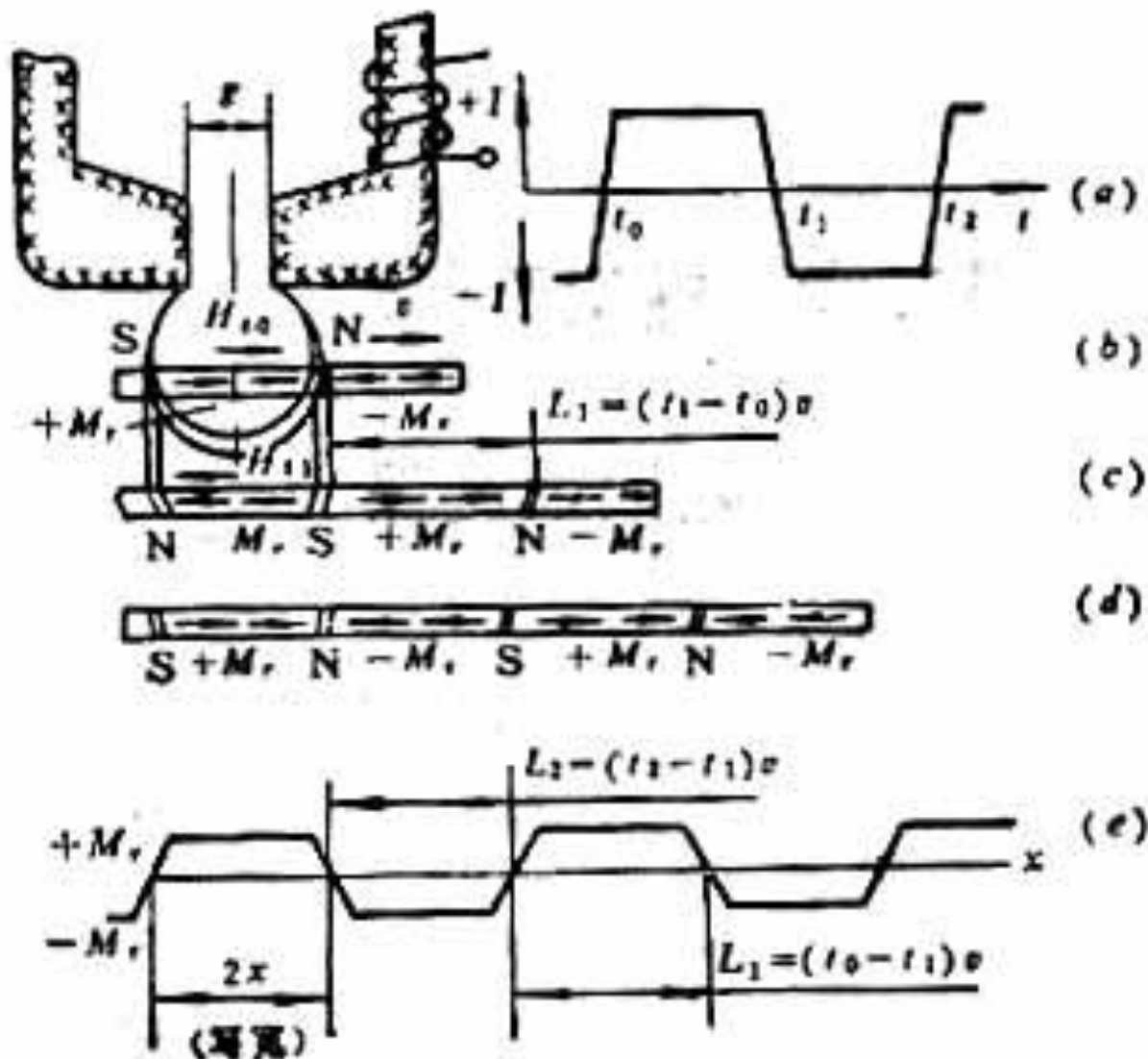


图2.1 动态写入过程

结论:

1) **磁化区域的长度**主要取决于磁头前隙边缘磁场后沿的翻转, 即所谓的**后缘写入**。若后沿有很大的梯度, 记录密度将不过分地受前隙宽度的限制, 而可使两次翻转相隔很近。

2) **磁化翻转过渡区长度**是限制写入密度的主要因素, 为了提高写入时的翻转密度, 应使过渡区长度为最小。极限翻转密度等于过渡区长度的倒数。

3) 只有当过渡区内磁化分布沿x方向的斜率很大, 即 $\frac{dM}{dx} = \frac{dM}{dH} \cdot \frac{dH}{dx}$ 很大时, 过渡区长度才能很小。

4) **过渡区**不在前隙的正中心处, 而在它的两侧。若加大写电流则Hx沿x方向两侧分散, 过度区的位置将发生变化。读波形的峰点将在过渡区的中心, 因此电流不稳定将造成附加的**峰点偏移**。

(5) 读出过程

当记录在媒体上的磁化图形在磁头下面通过时，磁头线圈中即感应出电压信号，经过处理后，可还原出原先记录的信息，这一过程即为**读出过程**。

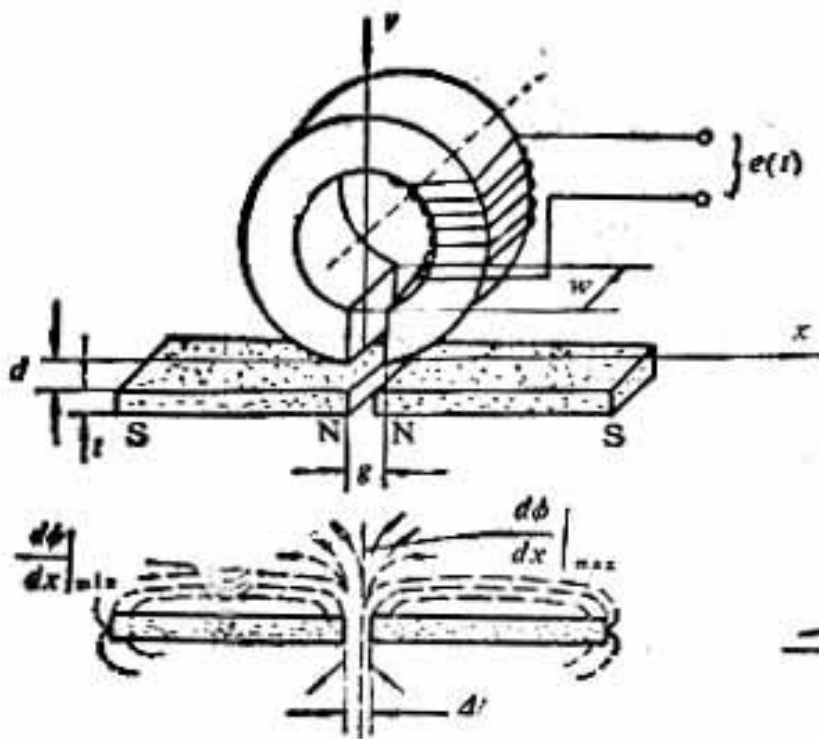


图2.2 读出过程模拟

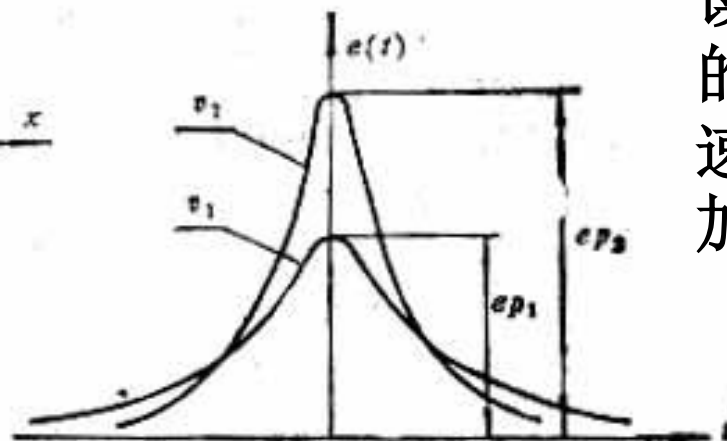


图2.3 读出信号波形

读出信号的幅度随速度的增加而增大。

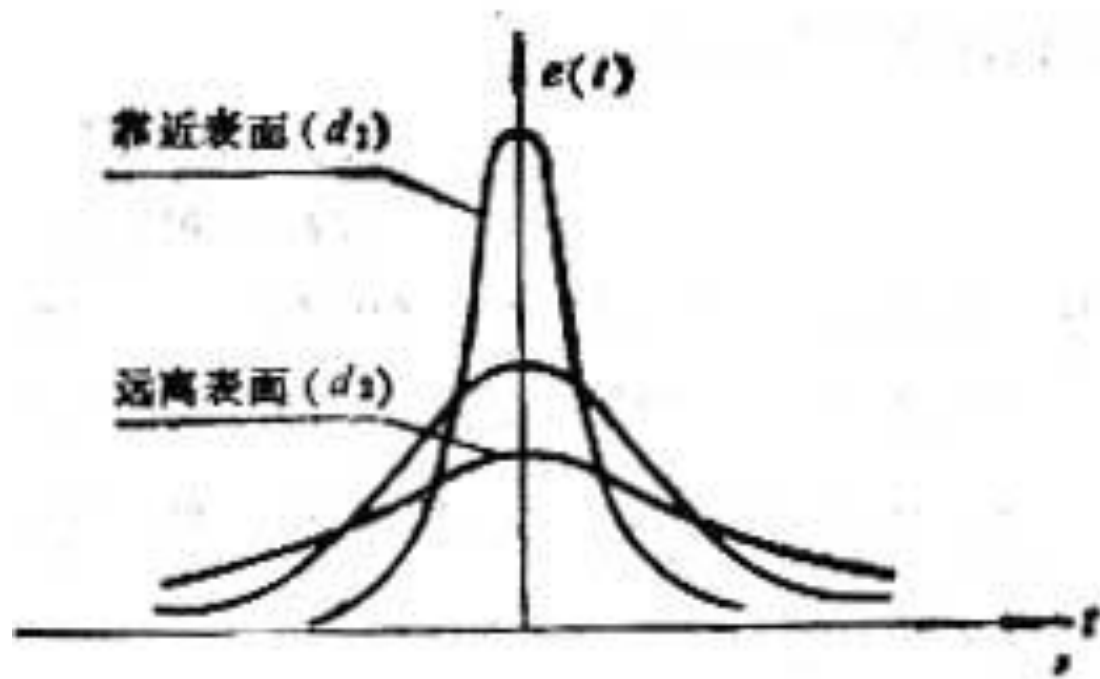


图2.4 磁头与媒体间距离对幅度的影响

信号幅度随磁头前极面与媒体表面距离的增大而减小。

2.2 磁头场

磁头前隙附近的边缘磁场

对于研究磁头的结构,媒体磁化翻转的过渡状态,回读信号的波形和读出电路的参数选择与波形处理方法是一个很重要的环节

由环形头前隙两侧磁荷求解磁头场函数

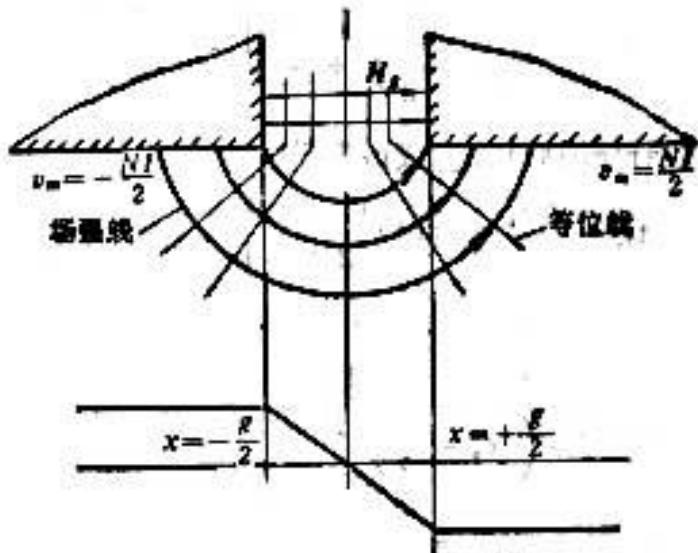
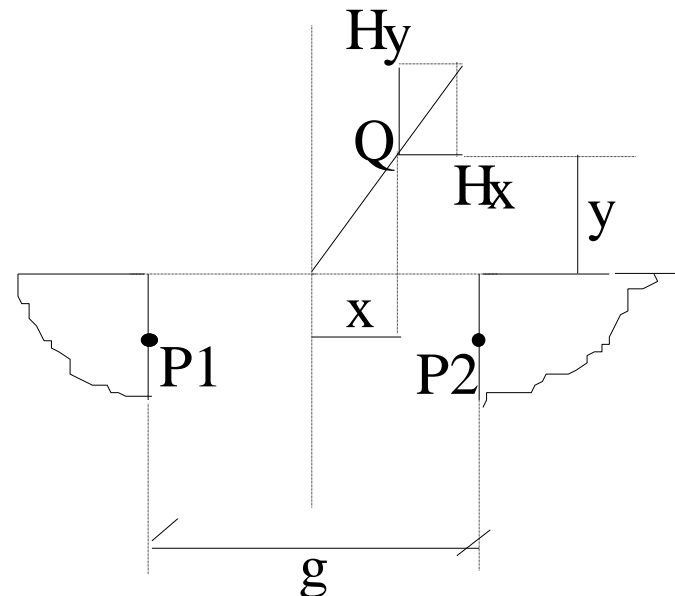


图2.5 边界条件



磁头极尖几何图形

磁头场水平分量和垂直分量 H_x, H_y : P20

Karlquist公式

$$H_x = \frac{1}{4\pi \cdot \mu_0} \int_{z_0=-\infty}^{\infty} \int_{y_0=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{I(\frac{g}{2} - x)}{[(\frac{g}{2} - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2]^{3/2}} + \frac{I(-\frac{g}{2} - x)}{[(\frac{g}{2} - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2]^{3/2}} \right\} dy_0 dz_0$$

$$\frac{H_x}{H_0} = \frac{1}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \frac{(1 + 2x/g)}{2y/g} + \tan^{-1} \frac{(1 - 2x/g)}{2y/g} \right\}$$

$$\frac{H_y}{H_0} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{(1 + 2x/g)^2 + (2y/g)^2}{(1 - 2x/g)^2 + (2y/g)^2}$$

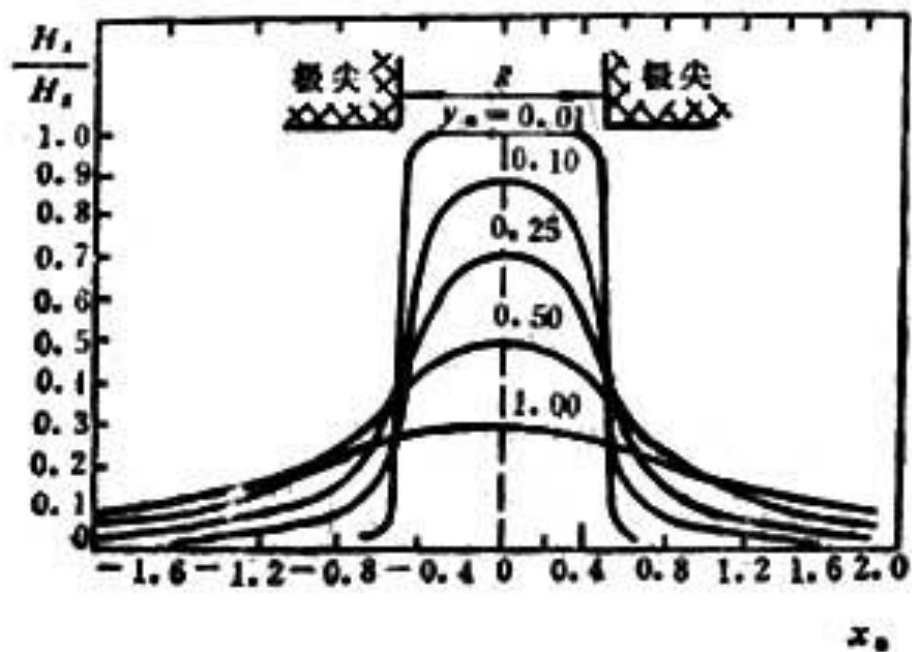


图2.6 磁头场水平分量

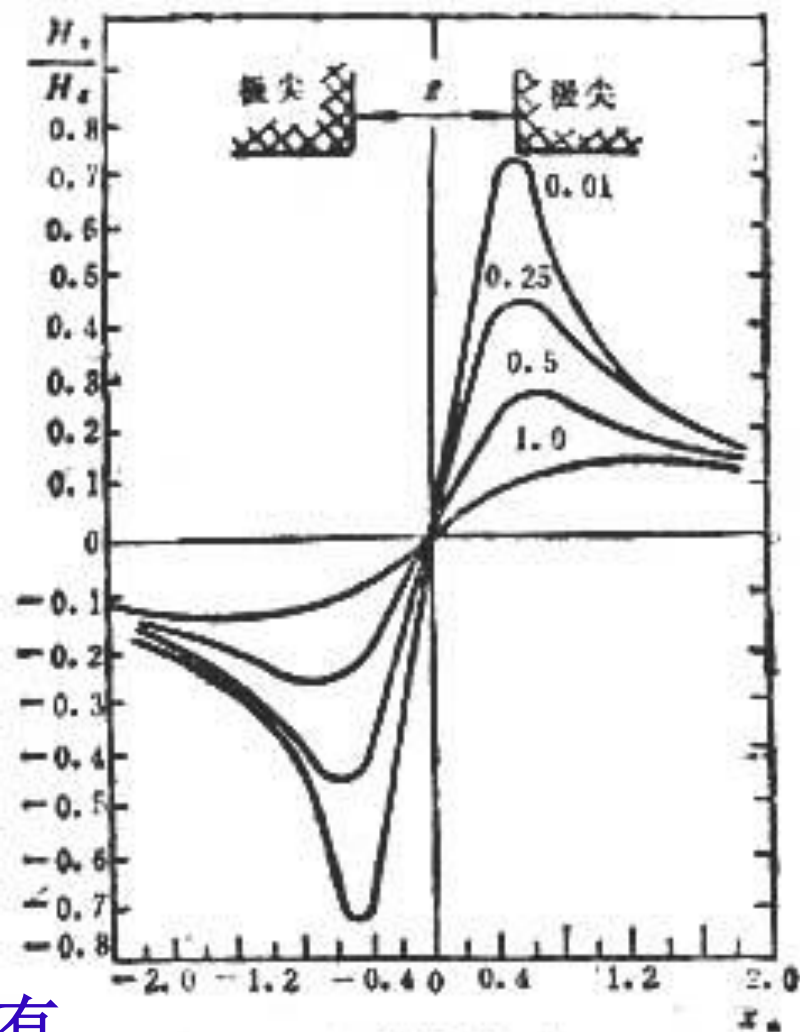


图2.7 磁头场垂直分量

前隙中心处 ($x=0$) 磁场的水平分量有最大值。垂直分量沿 x 轴有两个最大值。

2.3 媒体磁化与写入效果

媒体在磁头场的交变磁化下实现数据的写入,写入效果取决于两方面:第一,磁头场分布的形态;第二,媒体的磁特性及写入过程中的相关因素。

2.3.1 基本知识

1.媒体的磁化率

设磁化场为 \mathbf{H} ,媒体的磁化率为 x ,则媒体的磁化强度为 $\mathbf{I}=x\mathbf{H}$ 。

但是,由于非线性性质与自退磁现象,这种直观的计算是不恰当的。磁化率 x 一般不是常数,它依赖于 \mathbf{H} 和 \mathbf{I} 。当磁化场与 \mathbf{I} 的方向不同,且媒体各向异性时, x 应视作张量,即

$$\vec{I} = \begin{Bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_x & 0 & 0 \\ 0 & x_y & 0 \\ 0 & 0 & x_z \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{Bmatrix} = x \vec{H}$$

2.自退磁磁场

只要在磁化后出现磁极,便会产生磁场方向与磁化场方向相反的退磁场,此即自退磁场。

其值可表示为: $H_d = -NI$

式中, $N \sim$ 自退磁系数,它取决于磁化单元的几何形状,即构成单元的磁层厚度,磁道宽度和磁化翻转的间隔长度; I 为磁化强度。

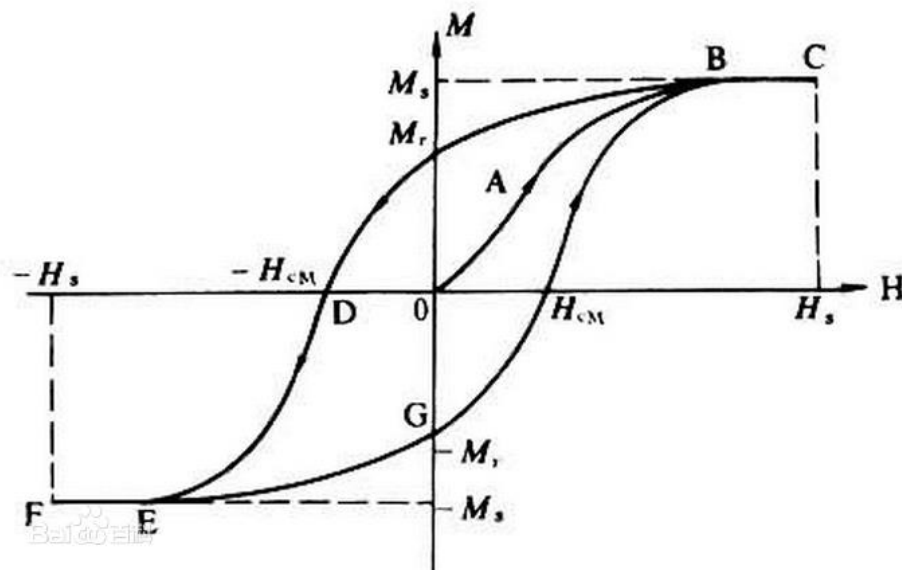
在考虑自退磁磁场后,总的磁化场表示为:

$$H = H_h + H_d = H_h - NI \quad \longrightarrow \quad I = \frac{x}{1 + Nx} H_h = x' H_h$$

式中, $H_h \sim$ 磁化场, $x' \sim$ 有效磁化率,即自退磁现象修改了磁化率,磁化状态也被修改

3.磁滞回线

磁滞回线包含说明媒体磁性能的重要技术内容。它有五个重要的特征参数,即矫顽力 H_c ,剩余磁化强度 M_r ,饱和磁化强度 M_s ,最大磁化场 H_m 和矩形比 S 。矩形比大的是硬磁材料,矩形比很小,则为软磁材料。



2.3.2 退磁场计算的一般方法

计算退磁场目的：求取磁化区域的形状与大小，以及磁化翻转过渡区的长度。

退磁场的一般**求法**是：先求磁位，由磁位梯度再求出退磁场强度。

设在已磁化的区域内取一微小体积 dv ，其磁化强度为 I ，磁矩为两者的乘积 $I dv$ 。由此求得相距为 r 点的磁位为：

$$dU = \frac{\vec{I} \cdot \vec{r}}{4\pi\mu r^3} dv = \frac{1}{4\pi\mu} \nabla \left(\frac{1}{r} \right) dv$$

$$U = \int_v \frac{1}{4\pi\mu} \cdot \frac{\vec{I} \cdot \vec{r}}{r^3} dv = \int_v \frac{1}{4\pi\mu} \nabla \left(\frac{1}{r} \right) dv$$

退磁场:

$$H = \frac{1}{4\pi\mu} \int_v \rho \left(\frac{\vec{r}}{r^3} \right) dv + \frac{1}{4\pi\mu} \int \sigma \left(\frac{\vec{r}}{r^3} \right) ds \quad (2-31)$$

ρ, σ 分别是体磁荷密度与面磁荷密度.

附注:

- (1) 对于任一磁化单元, 其正、负磁荷的总量等于零.
- (2) 磁荷产生在有磁化强度或磁化强度散发处.
- (3) 圆柱体被均匀磁化时, $\rho = -\nabla \cdot \vec{I} = 0$, 故只在两端面上有面磁荷 $\sigma = I_n$, I_n 为两端表面的磁化强度.

1.正弦磁化的自退磁场

设磁化状态为:

$$I_x = I_m \sin \frac{2\pi}{\lambda} x, I_y = I_z = 0$$

由此求得:

$$\rho = -\nabla \cdot I_x = -\frac{\partial I_x}{\partial x} = -(2\pi \cdot I_m / \lambda) \cos 2\pi \cdot x / \lambda; \sigma = 0$$

在磁化区域内取 $dv(=dx dy dz)$,其坐标(源点坐标)为 $P(x,y,z)$,观察点(场点)坐标为 $Q(x_0,y_0,z_0)$ 。 $T \sim$ 媒体厚度, $I \sim$ 剩余磁化强度

$$H_x = -\frac{I_r}{2\mu} \sin \frac{2\pi x_0}{\lambda} \left\{ 2 - e^{-\frac{\pi T}{\lambda}} \left(e^{-\frac{\pi T y_0}{\lambda}} + e^{\frac{\pi T y_0}{\lambda}} \right) \right\}$$

$$H_y = -\frac{I_r}{2\mu} \cos \frac{2\pi x_0}{\lambda} e^{-\frac{\pi T}{\lambda}} \left\{ e^{\frac{2\pi y_0}{\lambda}} - e^{-\frac{2\pi y_0}{\lambda}} \right\}$$

观察点，x轴设置在媒体厚度的一半处，若取 $y_0=0$ ，
媒体中间平面上的磁场强度为：

$$H_{x.m} = -(1 - e^{-\frac{\pi \cdot T}{\lambda}}) / \mu \cdot I_m \sin 2\pi x_0 / \lambda$$

$$H_{ym}=0$$

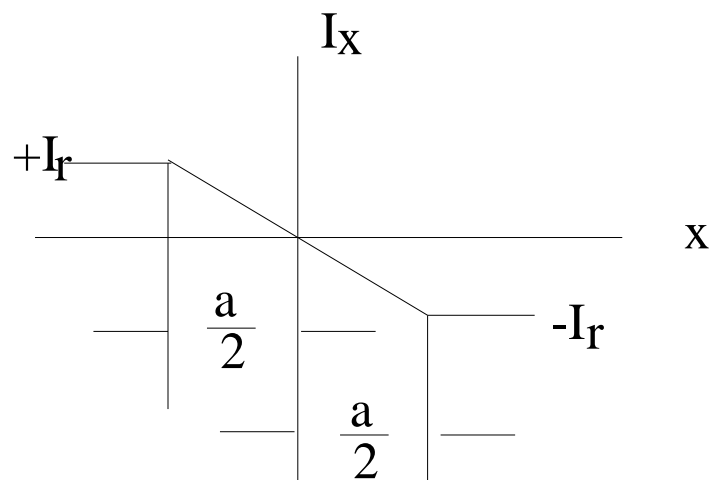
上、下两表层的磁强比 H_{xm} 为小。
上、下两层处， H_y 有最大值。

2.阶跃磁化的自退磁场

从正向磁化翻转到负向磁化时,由于存在着很大的交换能,因而真正的阶跃磁化状态是不存在的。

假设在过渡区内,磁化状态描述为：

$$I_x = \begin{cases} -I_r \\ x \cdot \frac{2}{a} \cdot I_r \\ +I_r \end{cases}$$



对于 $Lx = \pm Lr$ 时,自退磁场可求得

$$H_x = \frac{I_r}{\pi\mu} \left(\tan^{-1} \frac{y_0 + \frac{T}{2}}{x_0} - \tan^{-1} \frac{y_0 - \frac{T}{2}}{x_0} \right)$$

$$H_y = \frac{I_r}{\pi\mu} \ln \frac{x_0^2 + (y_0 + \frac{T}{2})^2}{x_0^2 + (y_0 - \frac{T}{2})^2}$$

对于 $Lx/Lr = 2x/a$ 时,自退磁场 : p33公式38、39

2.3.3 过渡区长度(或参数)的计算

目的： 在于从理论上估算媒体从磁化的角度, 即从写入的角度可能支持的记录密度。

媒体磁化赖以保持的是其矫顽力, 即自退磁场的最大临界值只能是其矫顽力。

方法： 使自退磁场等于媒体的矫顽力, 从而计算过渡区长度。

1. 阶跃磁化时的过渡区长度

(1) a 为零时, 则过渡区长度 $\Delta x = 0$ 。

(2) a 不等于零时, 则在 $x_0 = \pm a/2, y_0 = 0$ 处, 出现退磁场最大值, 使 $H_x = H_c$, 求得:

$$\Delta x = 2a = \frac{T}{2} \frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{H_c}{8M_r}\right)}$$


减小磁层厚度 T , 增大 $\frac{H_c}{M_r}$ 可以减小过渡区长度, 达到提高记录密度的目的。

2.考虑材料矩形比S时的过渡区长度

仍假定过渡区内磁化分布服从反正切形式。磁滞回线中的退磁曲线段以解析式表示,即

$$I_x = I_r \frac{H_c + H}{H_c + HS}$$

式中, S为矩形比 $S = \frac{I_r}{I_s}$


$$H = \frac{1 - \frac{I_x}{I_r}}{1 - I_x \frac{S}{M_r}}$$

P35 公式推导。 $a \approx 2I_r T(2-S)/H_c$

结论: 选择矩形比S越大越好。矩形比小的媒体,其可能的密度要低些。

当S=1时,与未考虑S时的情形一致。

2.4 用镜像法求读波形表达式

1. 媒体的剩余磁化强度

读出时,最原始的信号来自媒体上磁化翻转图形发出的剩磁,因此在求取读波形表达式时,应首先给出媒体上剩磁的解析式。

正弦记录, 剩磁的纵向和垂直分量表示如下

$$H_x = -\frac{M_\Gamma}{2\mu_0} \left\{ 2 - e^{-\frac{\pi T}{\lambda}} \left(e^{-\frac{2\pi y_0}{\lambda}} + e^{\frac{2\pi y_0}{\lambda}} \right) \sin \frac{2\pi x_0}{\lambda} \right\}$$
$$H_y = -\frac{M_\Gamma}{2\mu_0} e^{-\frac{\pi T}{\lambda}} \left\{ e^{-\frac{2\pi y_0}{\lambda}} - e^{\frac{2\pi y_0}{\lambda}} \right\} \cos \frac{2\pi x_0}{\lambda}$$

$y_0 = d + T/2$ 即 x_0 坐标设置在媒体的横断面中线上。
 d 为磁头与媒体表面距离,
 T 为媒体厚度。

2. 读波形表达式

设由剩磁产生的磁通密度为 B_y ,则进入磁芯后的磁通密度为:

$$B_{cy} = \frac{2\mu}{\mu + \mu_0} B_y \approx 2B_y$$

铁芯内的磁通量为:

$$\begin{aligned}\phi &= -\int_{x-\frac{g}{2}}^{x+\frac{g}{2}} WB_{cy} \cdot dx \\ &= -\int_{x-\frac{g}{2}}^{x+\frac{g}{2}} WM_m e^{-\frac{2\pi d}{\lambda}} (1 - e^{-\frac{2\pi T}{\lambda}}) \cos \frac{2\pi x}{\lambda} dx\end{aligned}$$

正弦磁化求得的读波形解析表达式为:

$$\begin{aligned}e(x) &= -n \frac{d\phi}{dt} \\ &= -n \left(\frac{dx}{dt} \right) \left(\frac{d\phi}{dx} \right) \\ &= 4\pi n v M_r \times 10^{-8} [\sin(\pi g / \lambda) (\pi g / \lambda)] e^{-\frac{2\pi d}{\lambda}} (1 - e^{-\frac{2\pi T}{\lambda}}) \times \cos(2\pi x / \lambda)\end{aligned}$$

3 磁记录读波形分析

1) .单脉冲半幅宽计算

半幅宽度是一个孤立的磁化翻转读波形在最大幅度一半处的波形宽度。根据实验与分析,可近似地算出媒体的密度可能达到的值。

通过对读波形表达式的处理,可求得半幅宽度为:

$$PW_{50} = [g^2 + 4(d + a)(d + a + T)]^{1/2}$$

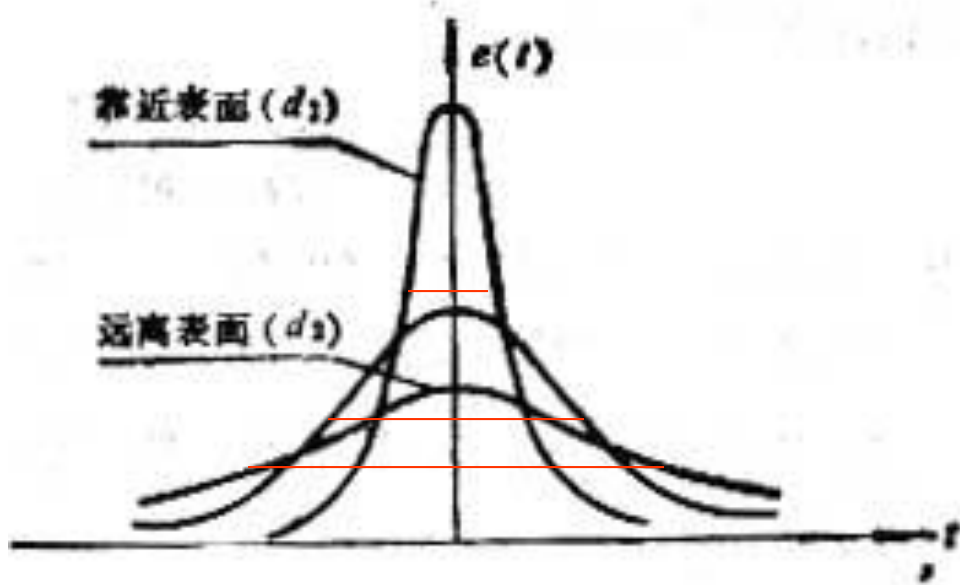
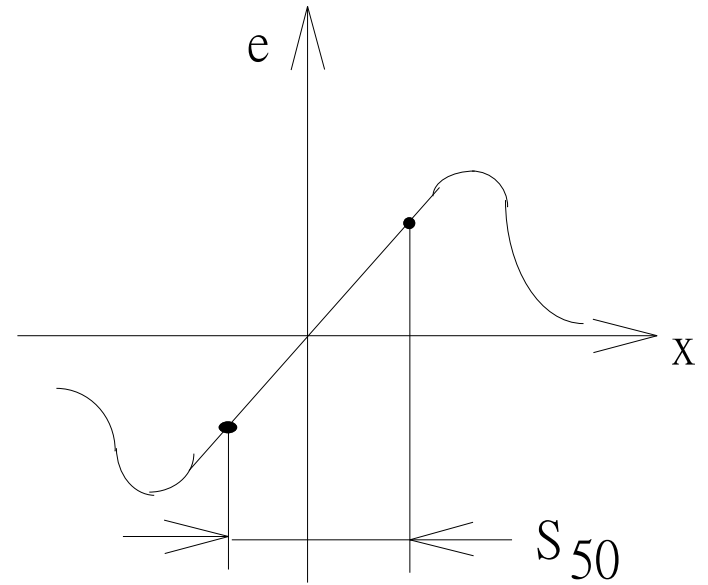


图2.4 磁头与媒体间距离对幅度的影响



垂直磁记录 S_{50} 的计算

若 x 为时间， $1/PW_{50}$ 为记录频率；

若 x 为磁化翻转长度， $1/PW_{50}$ 为记录密度。

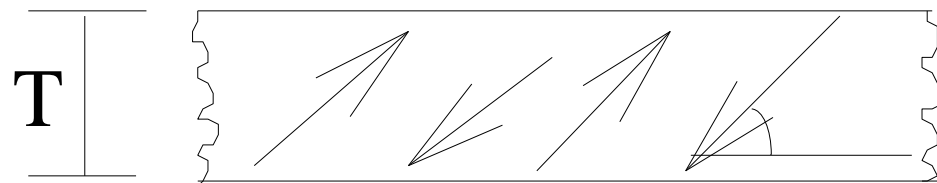
2) . 波形拥挤与不对称

波形拥挤引起峰偏和不对称,但为了提高记录密度,又必须使其密集。

取Karlquist表达式表示磁头场,媒体的磁化翻转过渡区的磁化分布假设为反正切形式,其垂直与纵向分量分别为:

$$M_y(x) = M_0 \arctg\left(\frac{x}{a}\right) \cdot \sin \theta$$

$$M_x(x) = M_0 \arctg\left(\frac{x}{a}\right) \cdot \cos \theta$$



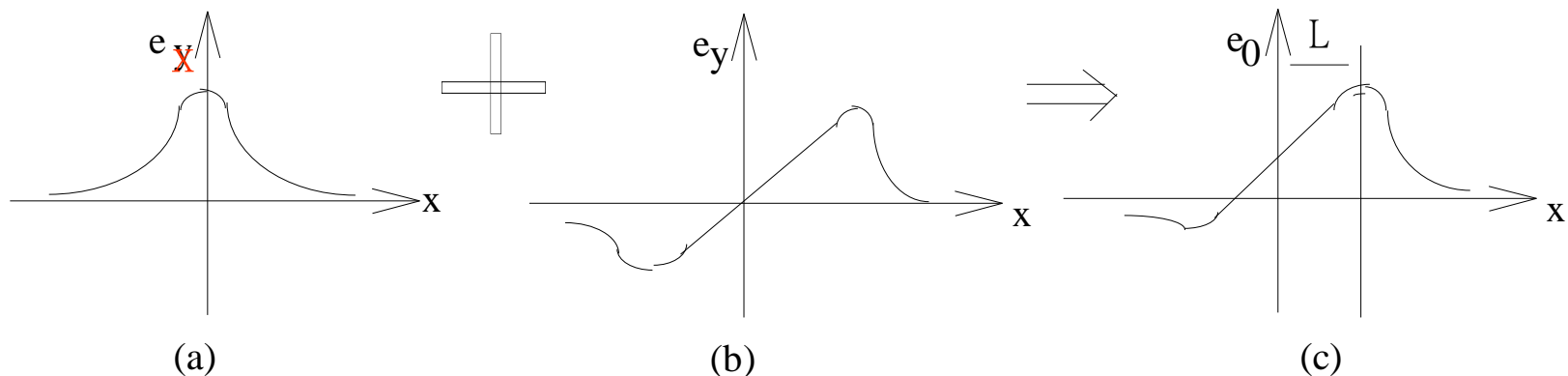
磁化方向角示意图

读波形解析式：

$$e_0(x) = e_x(x) \cos \theta + e_y(x) \sin \theta$$

$$e_x(x) = E_0 \left\{ \operatorname{arctg} \frac{x + g/2}{a + d + T/2} - \operatorname{arctg} \frac{x - g/2}{a + d + T/2} \right\}$$

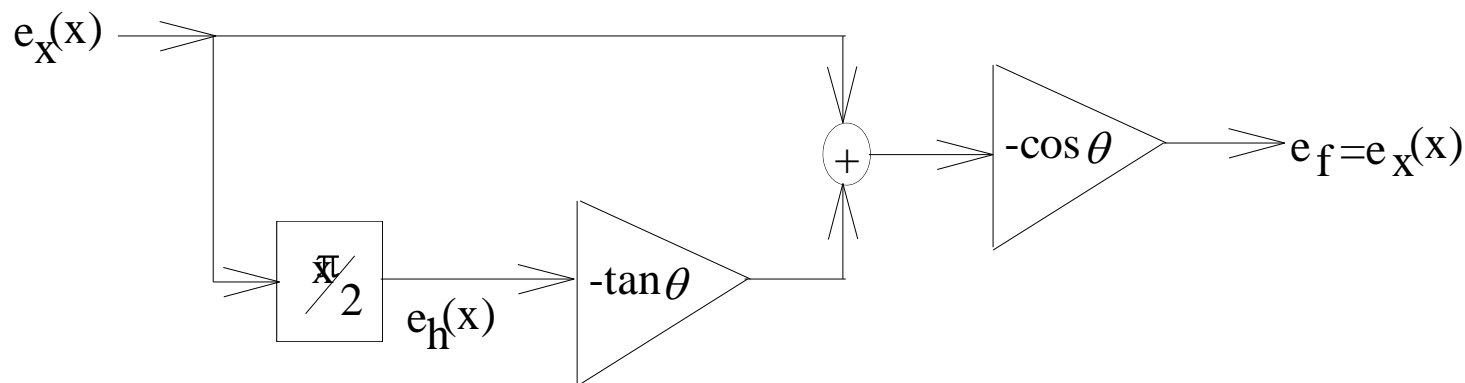
$$e_y(x) = \frac{E_0}{2} \left\{ \ln \frac{(x + g/2)^2 + (a + d + T/2)^2}{(x - g/2)^2 + (a + d + T/2)^2} \right\}$$



波形示意图

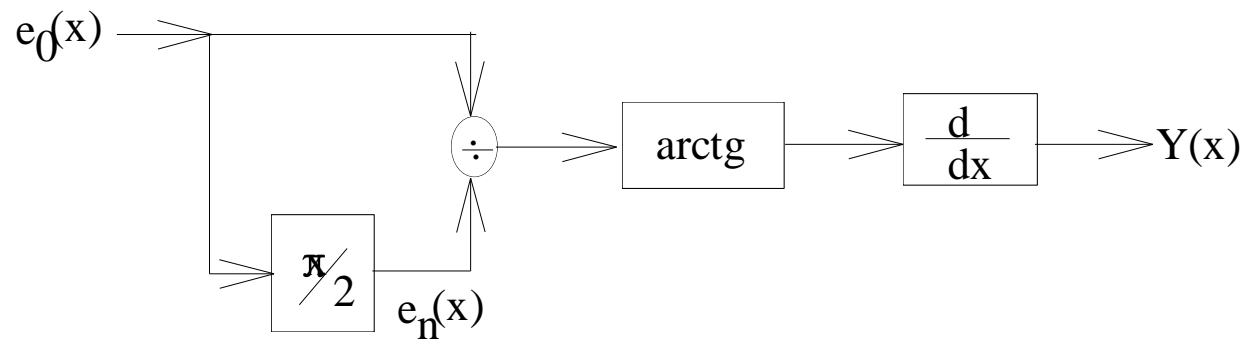
(1) 电路变换处理

Hilbert变换的处理方法： p45

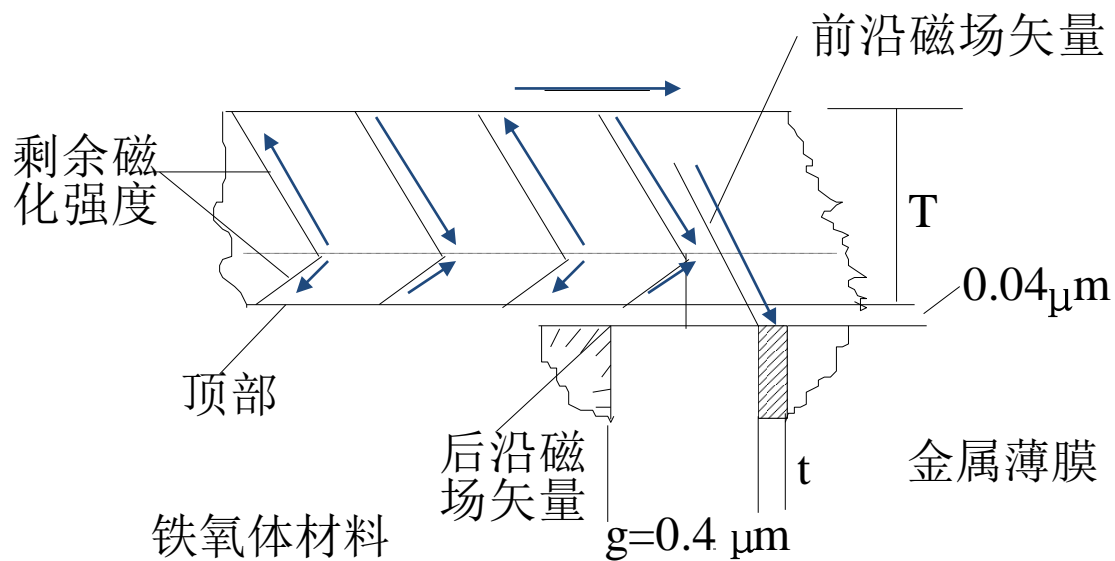


处理后的波形是对称的，即去掉垂直分量的影响。
缺点：进行处理时应预先知道 θ 的数值

另一种不必事先知道 θ 角的处理方法： p46



(2) 磁头结构处理



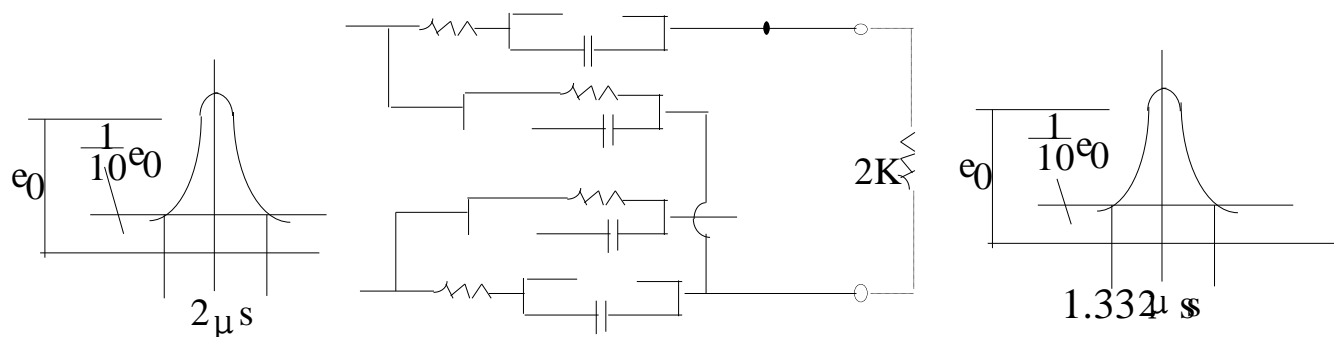
磁头及媒体磁化图形

3) . 峰点偏移与脉冲均衡

相邻脉冲的叠加引起峰点偏移。

多次翻转读波形的迭加, 会因翻转间隔的不一致, 而发生峰点偏移。如果我们在后续翻转读波形出现之前, 已将读得的**波形压窄或细化** (Compressing or Slimming) 则相邻脉冲的干扰也就消除了。

方法: 运用均衡的方法对峰偏加以抑制。



P49 图2-18 读波形处理(脉冲细化)

2.5 区位记录原理

按盘面划分多个区(环带)组织数据记录的格式称为**区位(Zone-Bit)记录**。它在同一环带内的各磁道**写入或读出数据的频率是相同的**。

随着环带直径的增大,若保持转速不变,提高频率,则数据记录的位密度也增大。

位密度: 最内磁道单位长度允许记录的位数。

区位记录则力求使内外磁道上的实际记录密度接近,以发挥磁盘记录的潜力,所以也称**等位密度**。

2.5.1 实现区位记录的要求

1、在内外磁道上读出波形的半幅宽度的比值应大于1,即:

$$\frac{PW50(t)_i}{PW50(t)_0} > 1$$

式中, $PW50(t)_i$, $PW50(t)_0$ 分别以时间计量的读出波形的内、外磁道上的半幅宽度。若 $PW50(t)_i$ 比 $PW50(t)_0$ 大很多, 则可以不同程度地实现“增量位密度”。

2、测量内,外磁道的读出幅度, 要求在等位密度时, 读出幅度相差不大。当外磁道的读出幅度远大于内磁道的幅度时(由于方位角度减小, 有效磁道宽度加大, 以及其他原因, 这是可能的), 可考虑从内到外逐步增加位密度。

3、内、外磁道上读出分辨率应接近。

分辨率：以 $2f$ 频率读出幅度与 $1f$ 频率读出幅度的比值定义。

若外磁道的分辨率低,则说明在外道处脉冲不拥挤,即 $1f$ 频率信号的幅度大。若此时 $2f$ 频率读出信号幅度也较大,则具有提高位密度的潜力。通常在内磁道上, $1f$ 和 $2f$ 信号读出幅度几近相同,分辨率较高,已接近头盘系统的支持限度。

4、检读窗宽有无裕度影响系统的可靠性,是决定性的主要因素。

窗口宽度根据峰偏大小决定。

磁盘系统的峰偏,以时间计为: $T_{total} = T_{noise} + T_p + T_f$

由噪声引起的峰偏: $T_{noise} = \frac{1}{2\pi f} \sin^{-1}(\frac{\beta N'}{S' \alpha})$

脉冲干扰引起的峰偏: $T_p = \frac{PW_{50}(t)}{8\pi T_{min}}$

系统的同步误差: $T_f = T_{f0} + T_{fm} + T_{f0} \cdot \frac{1}{W}$

按编码理论,窗口宽度为: $T_w = \frac{m}{n} \cdot \frac{T_0}{2}$

窗口裕度(即表示数据的脉冲容许的变化范围)为:

$$\begin{aligned} T_m &= T_w - T_{total} \\ &= \frac{m}{n} \cdot \frac{T_0}{2} - \frac{1}{2\pi f} \sin^{-1}(\frac{\beta N'}{\alpha S'}) - \frac{[PW_{50}(t)]^3}{8\pi T_{min}^2} - T_f \end{aligned}$$

2.5.2 盘道格式

理想状态：最好是每个磁道都逐一按等位密度记录。

实际：常采用分区方式, 即在同一环带内使用相同频率。这样, 虽非每道都按实际的等位度记录, 但实际密度也很接近, 故称**类等密度**。

特点：不同环带则频率不同, 从内向外, 频率逐增。若采取变速, 则同一环带转速相同, 从内向外逐步减速。

设分区数为M,在第i区内的磁道数为 H_i ,每道的扇区数为 $S_i, i=1,2,...M$ 。同时,设 $r=r'$ 为最内道半径, r_i 为第i分区内的最内磁道半径; D_b 为最内道的位密度,各分区最内道的位密度与最内道相同; D_T 为道密度; R 为最外磁道半径,则在类等密度下,容量V算得为:

$$\begin{aligned}
 V &= \sum_{i=1}^M H_i \cdot 2\pi \cdot r_i \cdot D_b \\
 &= \sum_{i=1}^M (r_{i+1} - r_i) D_T \cdot 2\pi \cdot r_i \cdot D_b \quad \Rightarrow \quad V_{\max} = 2\pi D_T D_b \sum_{i=1}^M \frac{R-r}{M} \left[r + (i-1) \frac{R-r}{M} \right] \\
 &= 2\pi D_T D_b \sum_{i=1}^M (r_{i+1} - r_i) r_i \quad \quad \quad = 2\pi D_T D_b r (R-r) \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{R-r}{r} \cdot \frac{M-1}{M} \right]
 \end{aligned}$$

容量增加率: $P = \frac{1}{2} \cdot \frac{R-r}{r} \cdot \frac{M-1}{M} \quad \Rightarrow \quad \frac{dP}{dM} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R-r}{r} \cdot \frac{1}{M^2}$

容量增加率与 M^2 成反比。通常M取3~5.

早期的低密度磁盘驱动器例子，容量增加27.2%。

参数 分区号	Hi	Track NO	Si	fi(Mb/s)	ri(mm)
1	77	305~228	32	5	34.71
2	75	227~152	38	5.93	41.16
3	75	151~76	44	6.86	47.62
4	75	75~0	50	7.79	54.07

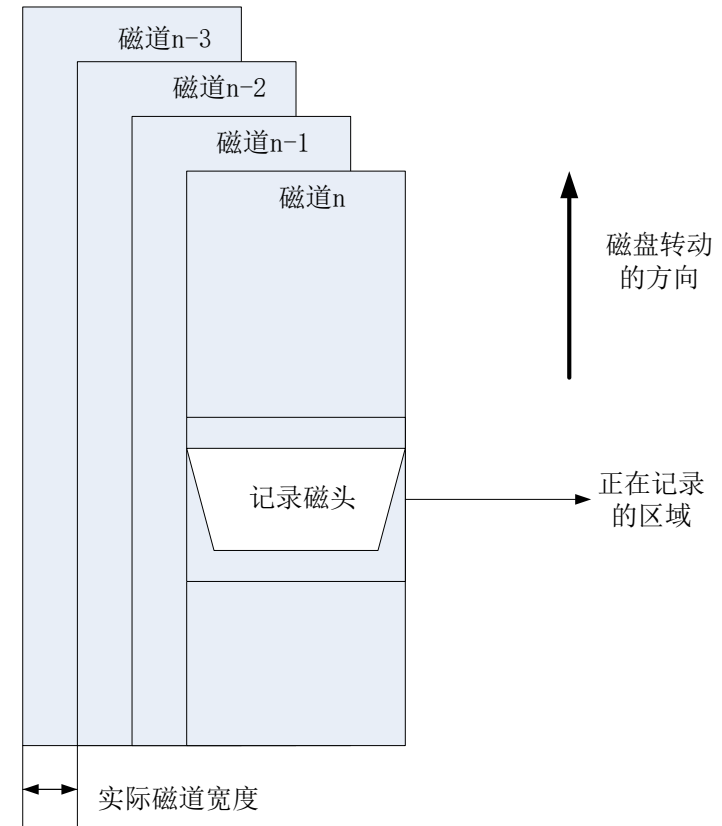
瓦记录方式 Shingled-Writing

瓦记录:一种提高磁道密度的记录技术。

原理:在上一磁道的部分区域重叠记录下一磁道的数据，如此反复，就像房屋的瓦片一样层叠式记录数据。该技术从本质上缩小磁道宽度，从而提高磁道密度。

例:记录磁头正在对磁道n的写操作覆盖了磁道n-1的右侧大部分，从而形成了像瓦片一样的结构。

优点:目前的磁盘存储密度为 400 Gb/in^2 并且这种增长受到了超顺磁效应的影响， 1 Tb/in^2 被认为是它的极限。瓦记录方式被认为是目前最有可能突破 1 Tb/in^2 的磁记录技术，目前模拟的存储密度可以达到 3 Tb/in^2 。



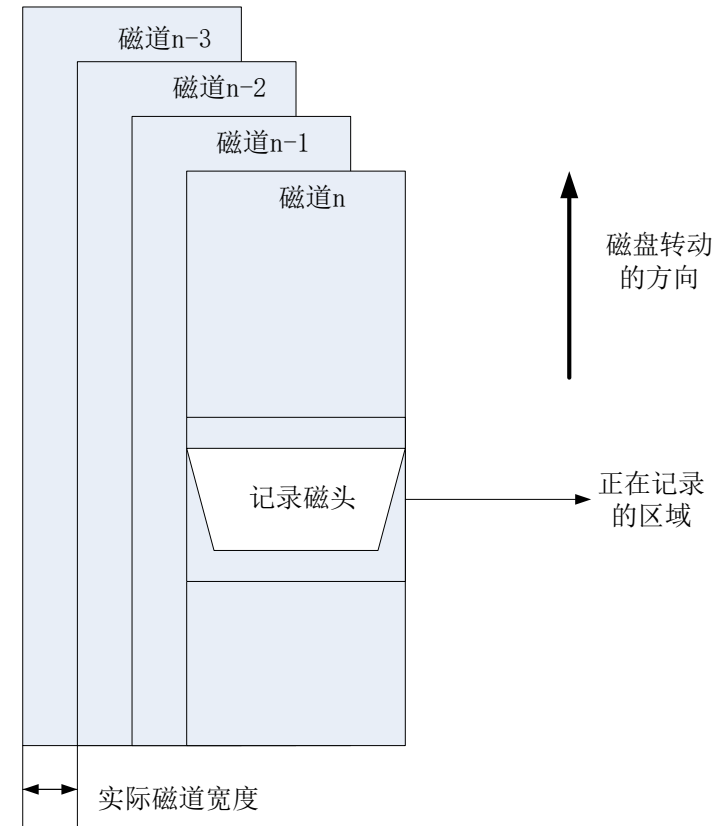
瓦记录方式 Shingled-Writing

面临的问题和挑战:

随机写问题。因为瓦记录通过部分重叠相邻磁道而使磁道变窄，因此即使想更新某磁道上的一小部分数据，也要连续擦写多个磁道上的数据，此数据操作方式目前比较适合用于顺序读写的虚拟磁带库系统。

研究热点:

- 1、日立环球存储科技（HGST）的研究表明，通过组合瓦记录和“二维磁记录”技术，理论上能够实现 $10\text{Tb}/\text{in}^2$ 的存储密度。
- 2、动态地址转化，满足顺序写需要。remap LBN dynamically
- 3、混合存储，用于存放冷数据
- 4、.....



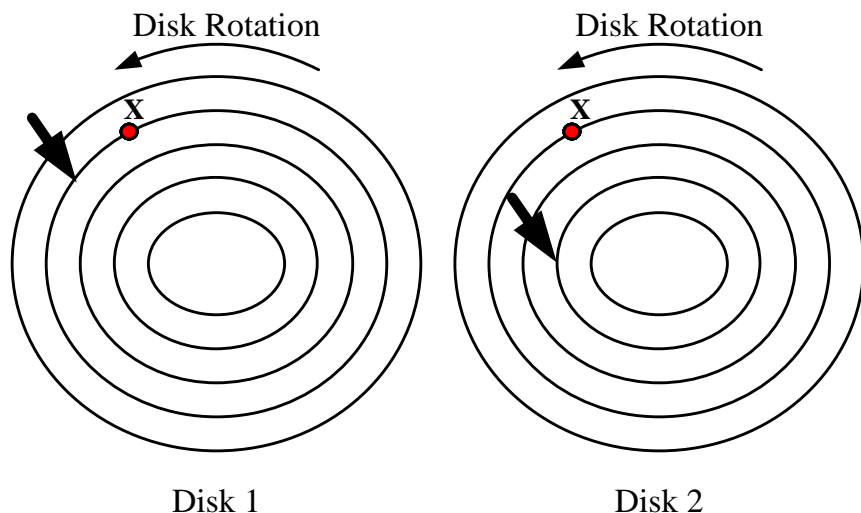
2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

背景知识

- 磁盘的非对称顺序和随机访问性能
 - 顺序读写性能大约是随机读写的20倍，甚至更高
 - 磁盘访问需要顺序！
- I/O访问的爆发特性
 - 间歇性的I/O高密度访问（缓存作用、周期性等）
 - 充分利用空闲时间段来减轻高密度访问的负载！

2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

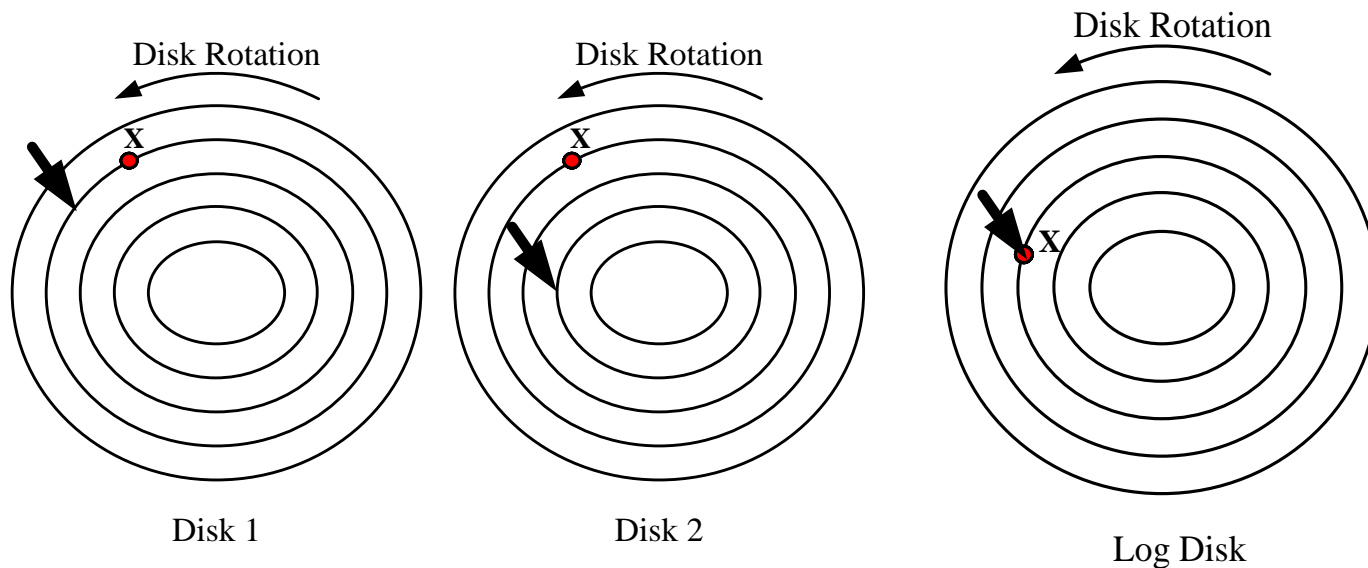
提高镜像磁盘阵列性能的数据布局



磁盘1比磁盘2先完成写操作，但是对于镜像磁盘阵列来说，只有当磁盘2完成后才会向上报告该请求操作完成。因此该请求的响应时间受限于最后完成该请求的磁盘响应时间，该现象即为通常所说的**木桶效应**。

2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

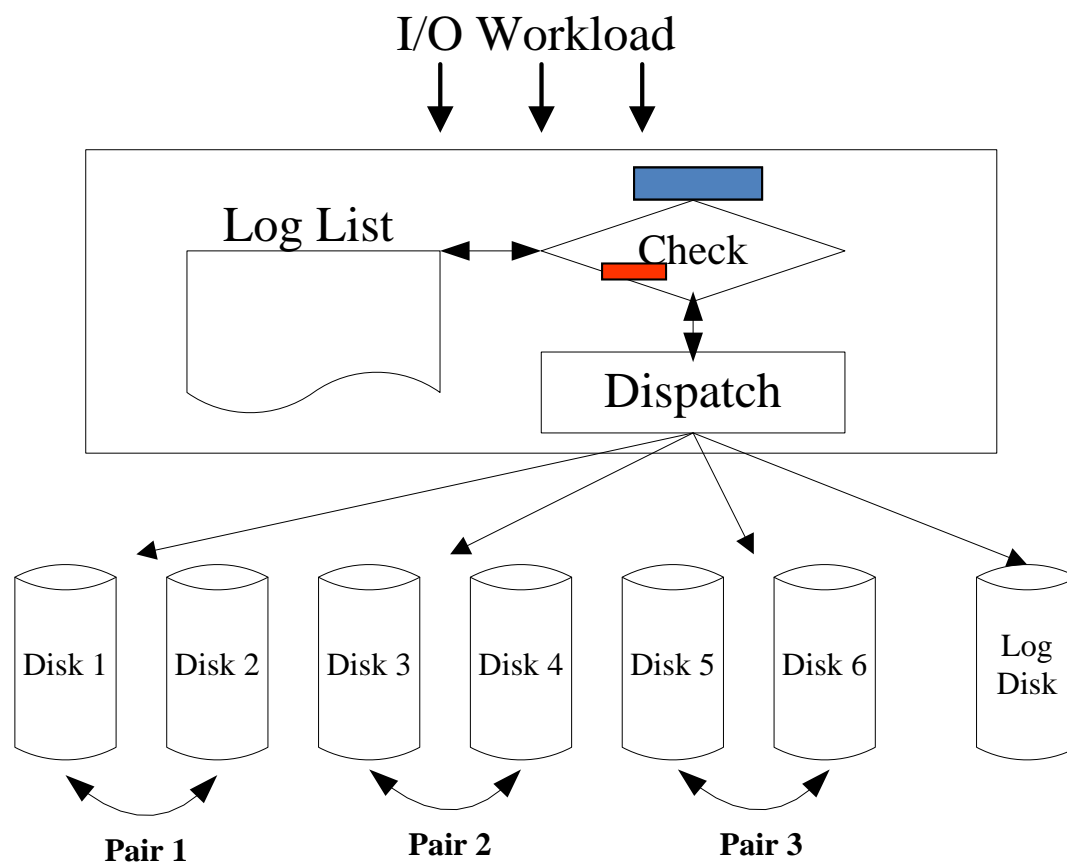
提高镜像磁盘阵列性能的数据布局



写入到磁盘1，另一份顺序地写入到日志盘中，并在日志链表中记录该写请求信息即可，则该请求即报告完成，响应时间将大大降低。

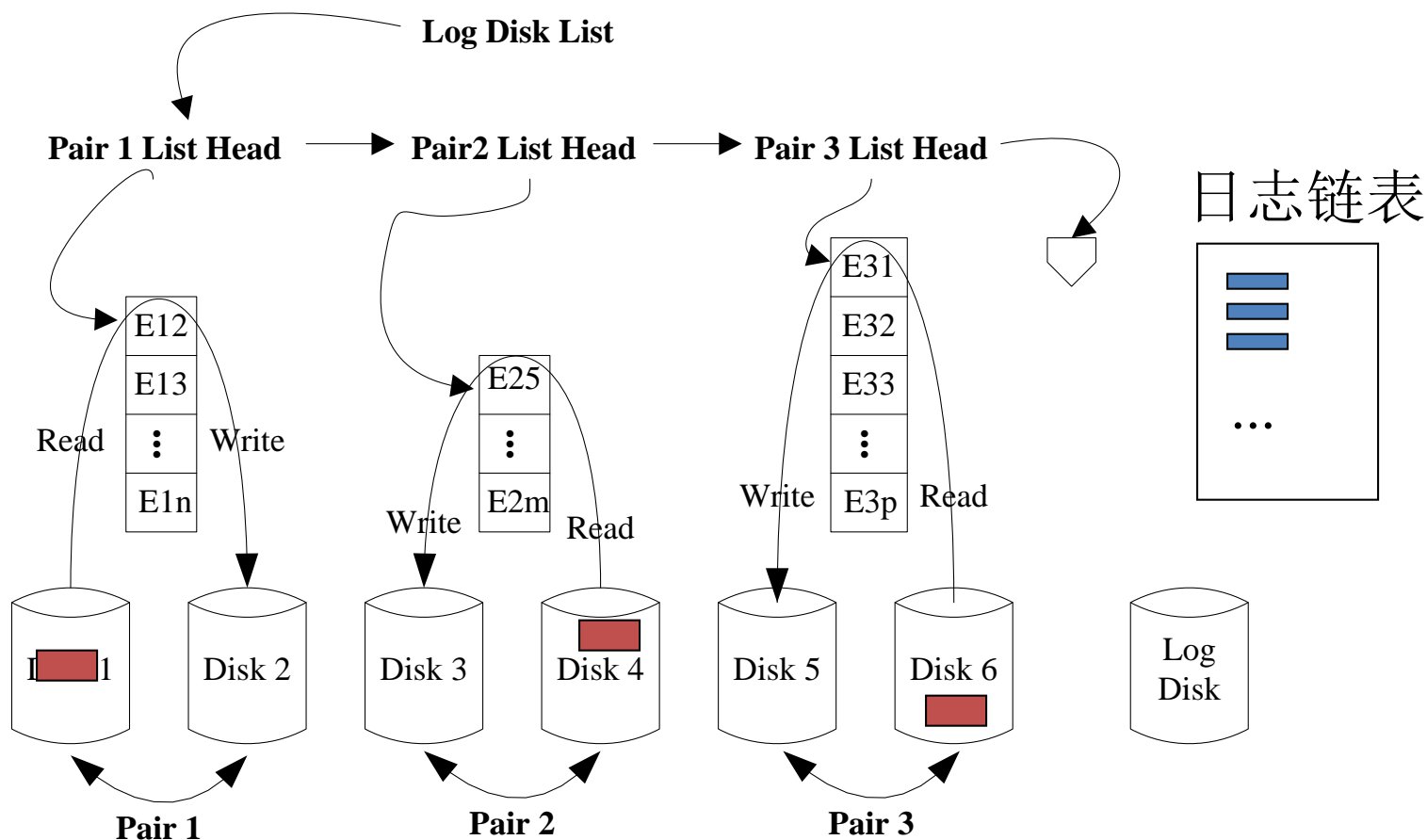
2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

提高镜像磁盘阵列性能的数据布局



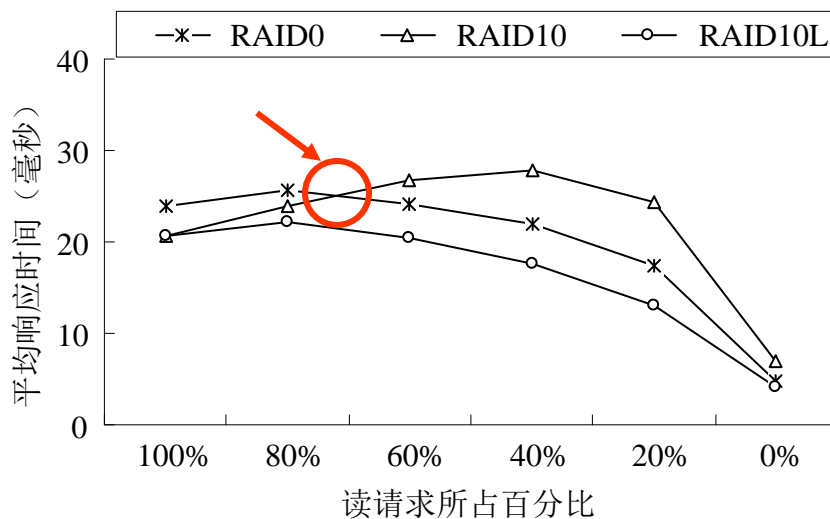
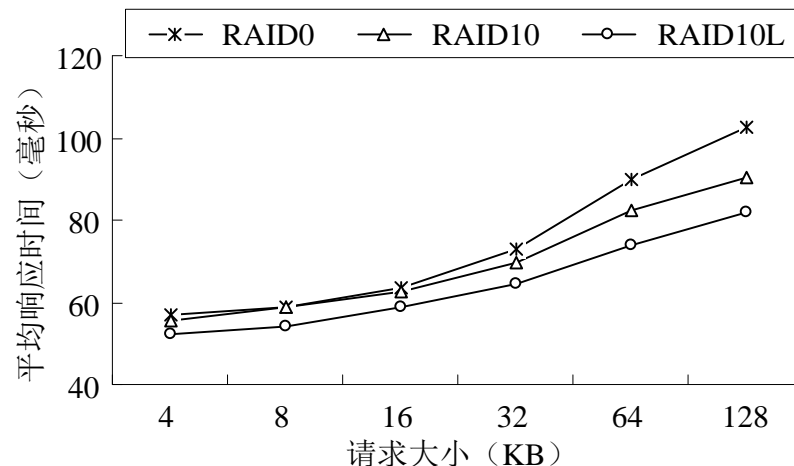
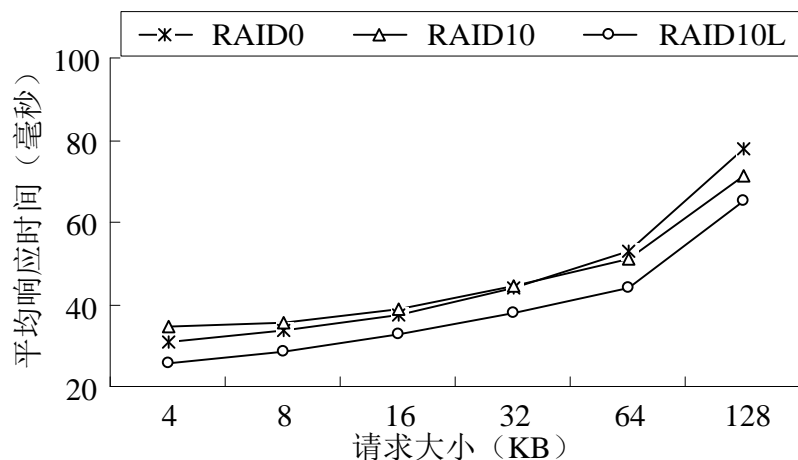
2.6 应用：利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

提高镜像磁盘阵列性能的数据布局



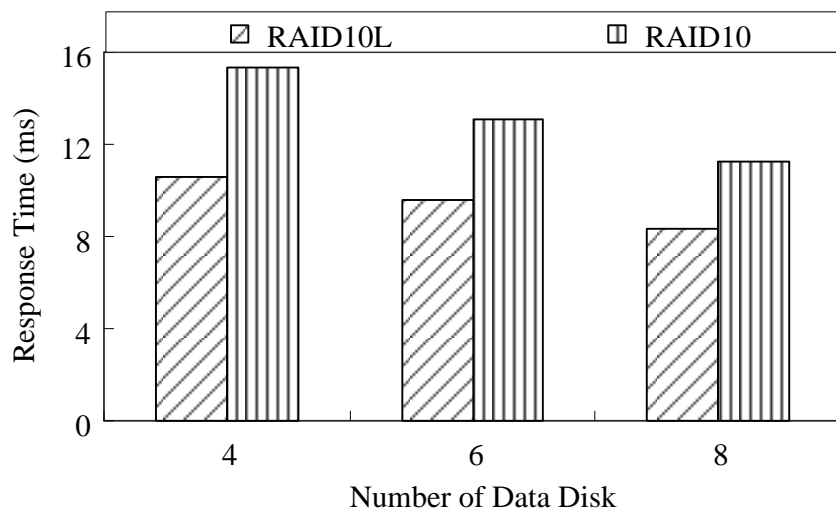
2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

提高镜像磁盘阵列性能的数据布局

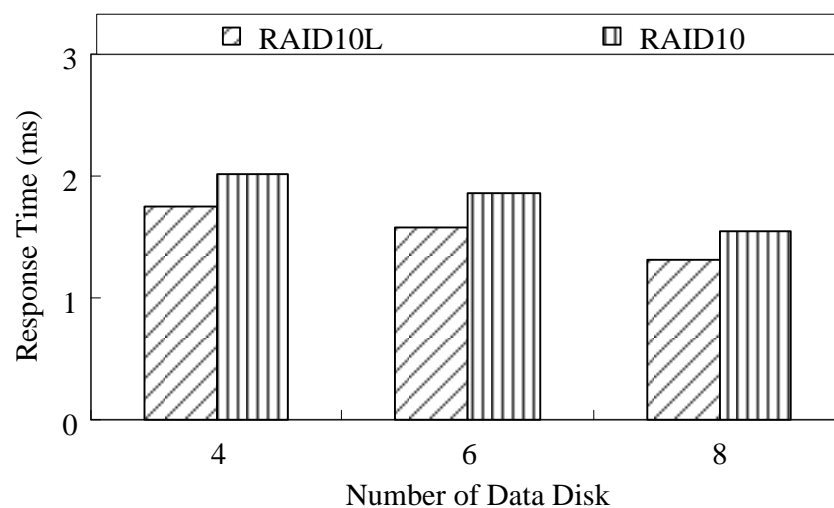


2.6 应用： 利用磁盘特性提高镜像盘阵列性能

提高镜像磁盘阵列性能的数据布局



(a) Financial1.spc



(b) Financial2.spc

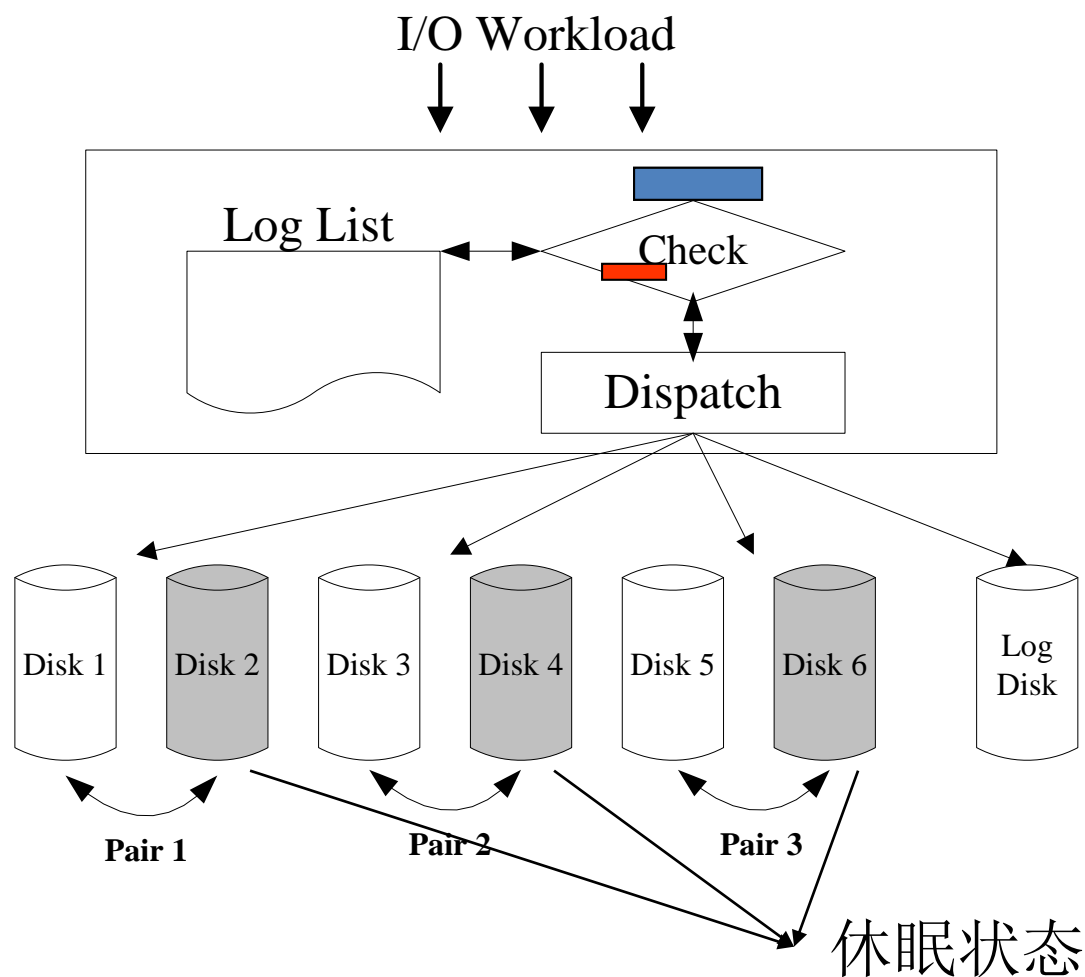
2.6 应用：利用磁盘特性降低镜像盘阵列能耗

降低镜像磁盘阵列能耗的数据布局

- 镜像磁盘阵列的双冗余结构造成其能耗比较大
- 现有的镜像磁盘阵列能耗优化策略重点考虑的是能耗与性能的平衡，而对可靠性考虑比较少
- 能耗固然重要，但数据的价值更为重要，如何在能耗与可靠性及性能之间找到平衡？

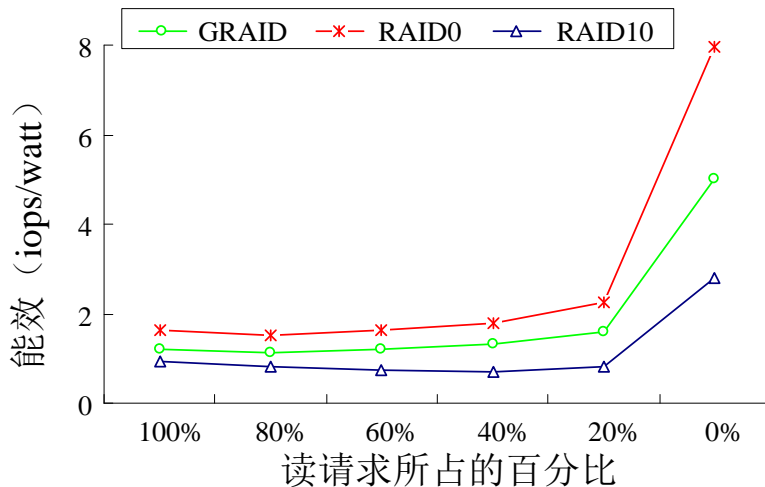
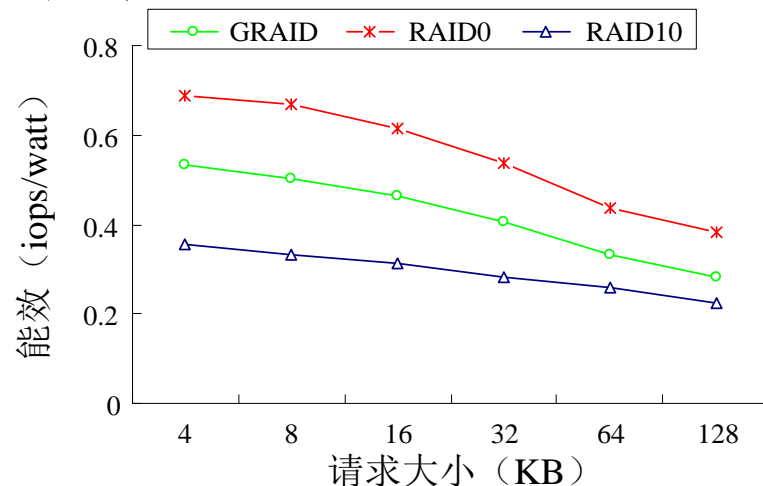
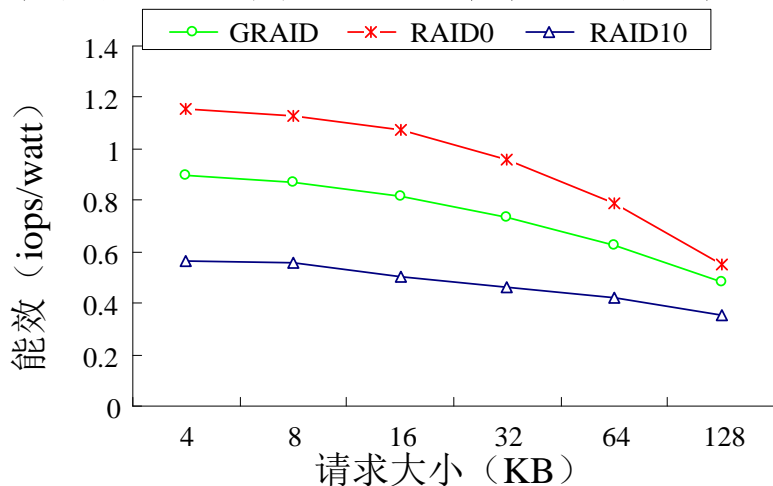
利用磁盘特性降低镜像盘阵列能耗

降低镜像磁盘阵列能耗的数据布局



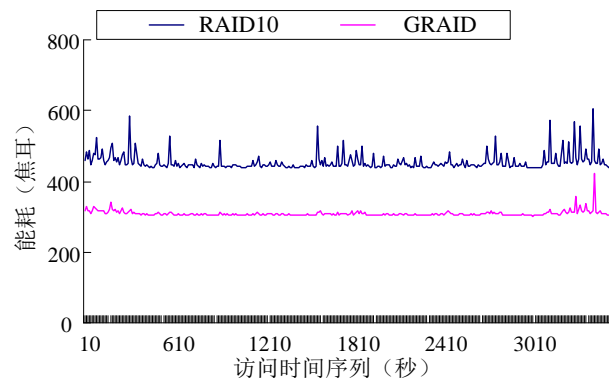
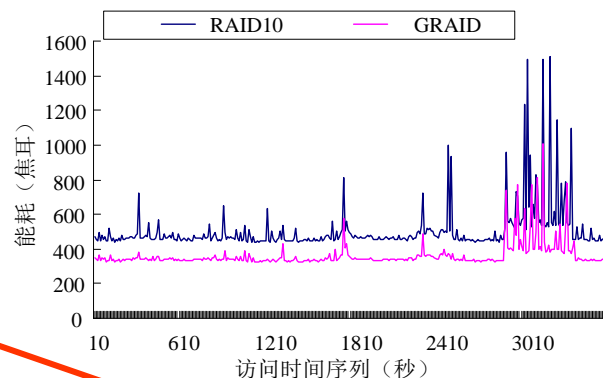
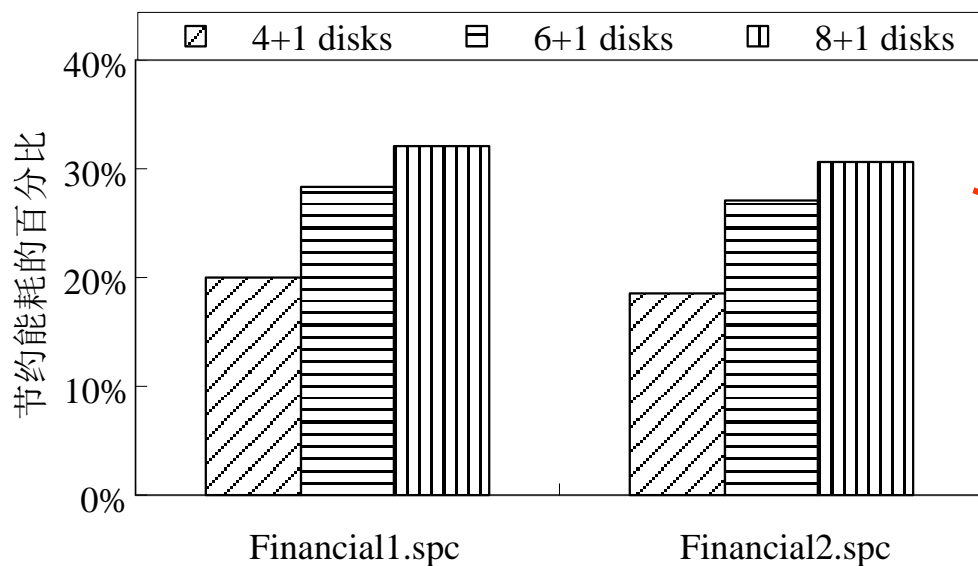
利用磁盘特性降低镜像盘阵列能耗

降低镜像磁盘阵列能耗的数据布局



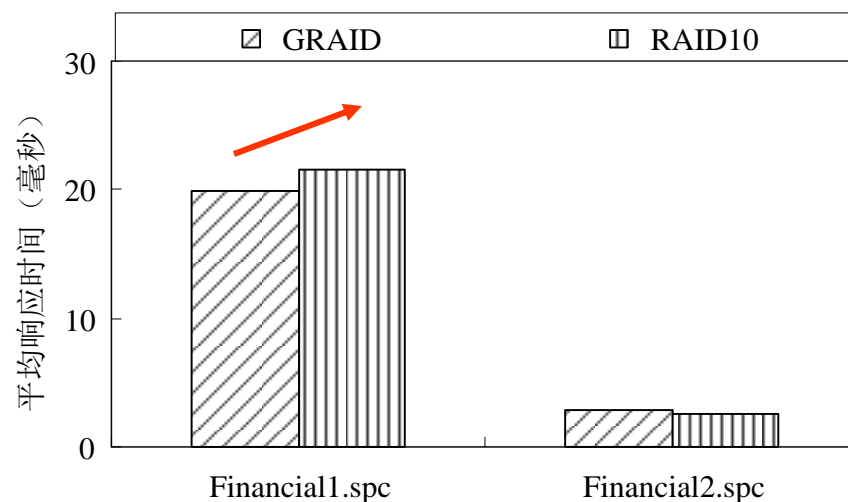
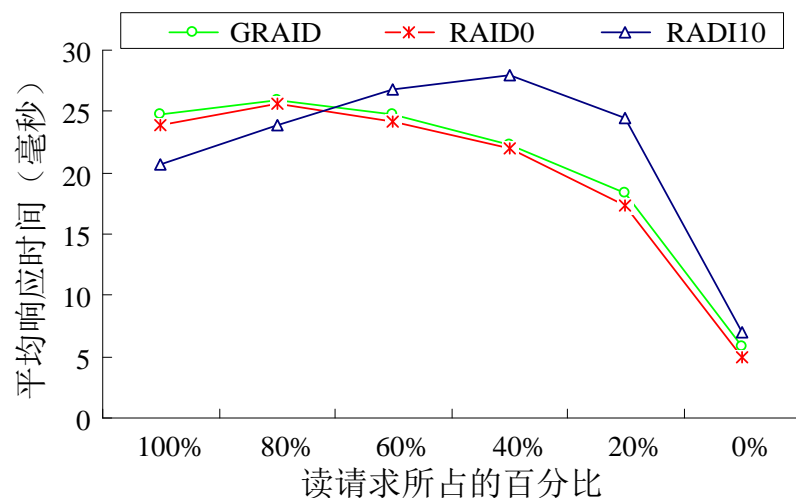
利用磁盘特性降低镜像盘阵列能耗

降低镜像磁盘阵列能耗的数据布局

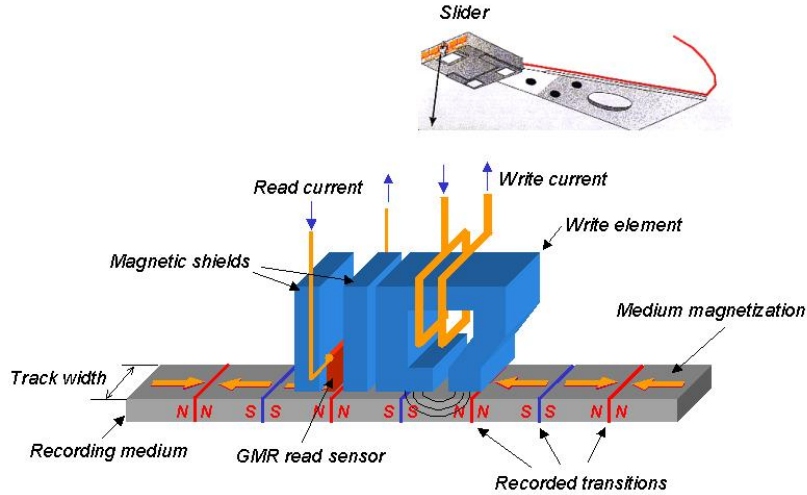


利用磁盘特性降低镜像盘阵列能耗

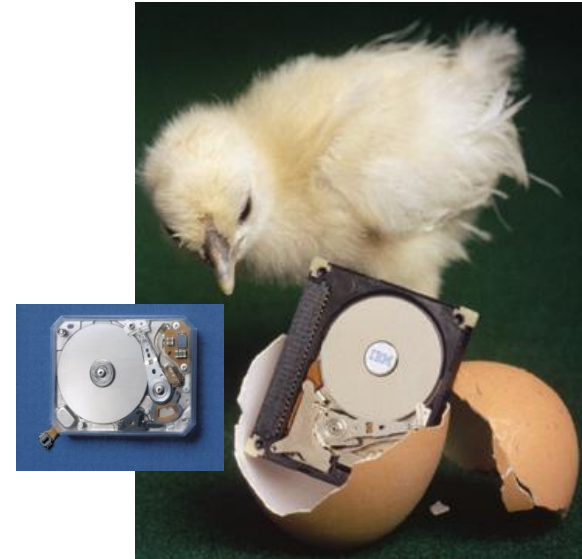
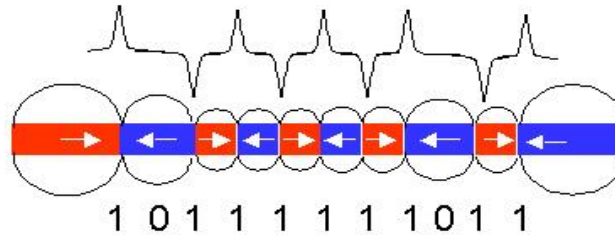
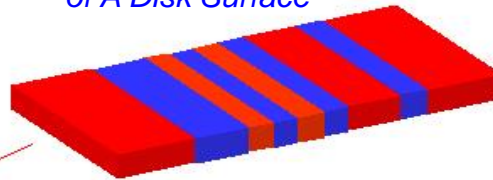
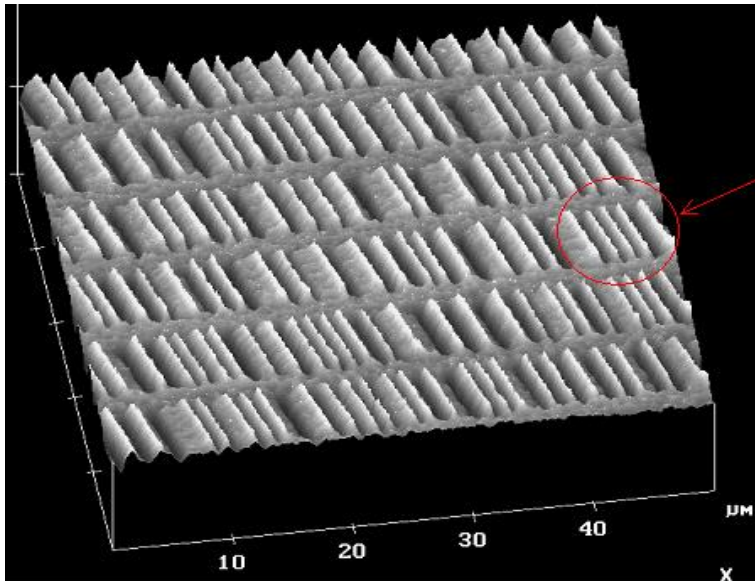
降低镜像磁盘阵列能耗的数据布局



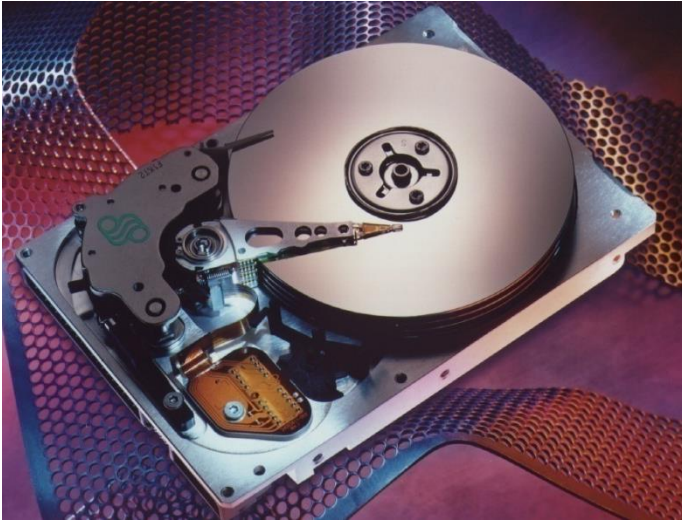
Hard Disk Drives



Magnetic Force Microscopy Image of A Disk Surface



Rotational Latency



Inexpensive: \$0.001/1MByte

Rotational Latency

- **Average latency: 3 – 6 ms**
- **Wait until desired sector passes under head**
- **Worst case: a complete rotation**
7,500 rpm = 8 ms
15,000 rpm = 4 ms

