

# 计算机组成原理

PRINCIPLES OF COMPUTER ORGANIZATION

第18次课：磁记录原理与记录方式-上

杜国栋

信息科学与工程学院计算机科学与工程系

gddu@ysu.edu.cn



燕山大学  
YANSHAN UNIVERSITY

主存储器和CPU之间增加Cache的目的是 ()

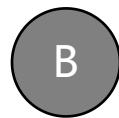
- A 解决CPU和主存之间的速度匹配问题
- B 扩大主存储器的容量
- C 扩大CPU中通用寄存器的数量
- D 既扩大主存容量又扩大CPU通用寄存器数量

提交

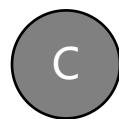
常用的虚拟存储器系统由（）两级存储器组成，其中辅存是大容量的磁表面存储器。



A 主存-辅存



B Cache-辅存



C 主存-Cache



D 通用寄存器-主存

提交



## 计算机存储系统



### 辅助（外部）存储器的特点：

- (1) 存放未被**CPU**执行的程序和数据；
- (2) 容量大、单位容量成本低、非易失性、寻址和访问速度慢、存储体可更换等。





# 课程目标

- 掌握磁记录原理与记录方式；
- 熟悉辅助存储器的种类与技术指标；
- 了解硬磁盘存储器和磁盘cache。





# 辅助存储器

- 计算机中的存储器分为**主存储器**和**辅助存储器**两大类。
- 主存储器用来存放需立即使用的程序和数据，要求存取速度快，通常由半导体存储器构成。
- 辅助存储器用于**存放当前不需立即使用的信息**，一旦需要，再和主存成批地交换数据。它作为主存的后备和补充，是主机的外部设备，因此又称为外存储器。





# 辅助存储器

- 辅助存储器的特点是容量大、成本低，通常在断电后仍能保存信息，是“非易失性”存储器，其中大部分存储介质还能脱机保存信息。





# 辅助存储器的种类

- 当前市场上流行的辅助存储器主要有**磁表面存储器**和**光存储器**两大类。
- **磁表面存储器**是将**磁性材料**沉积在盘片(或带)的基体上形成记录介质，并以**绕有线圈的磁头与记录介质的相对运动**来写入或读出信息。现代计算机系统中所使用的**磁表面存储器**又有**数字式磁记录**和**模拟式磁记录**两种，**数字式磁记录**主要有**硬盘**、**软盘**和**磁带**。**模拟式磁记录**是指**录音**和**录像设备**。





# 辅助存储器的种类

- 磁表面存储器是历史最久、应用最广的辅助存储器，而且存储信息的位价格(存储1位二进制信息的价格)低。
- 用于计算机系统的光存储器主要是**光盘**(optical disk)。光盘的记录原理不同于磁盘，它是**利用激光束在具有感光特性的表面上存储信息的**。光盘的容量比磁盘的容量大，是很有发展前途的新型辅助存储器。



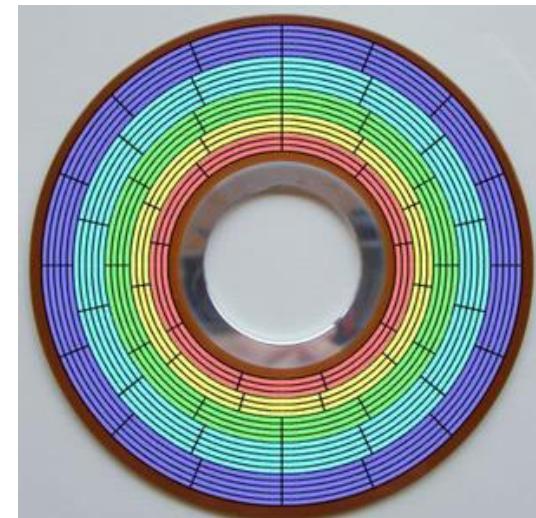
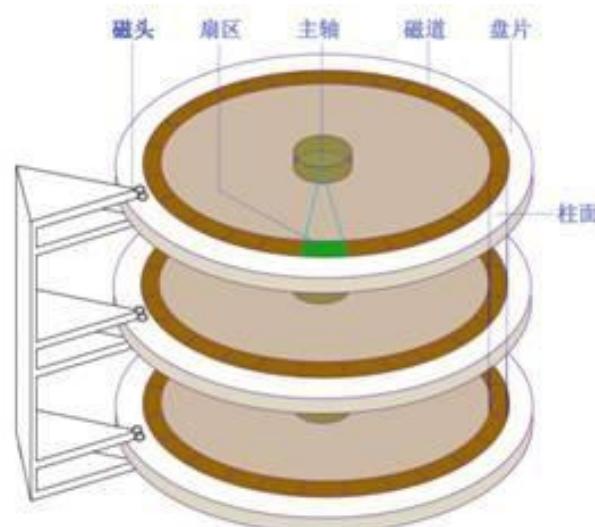


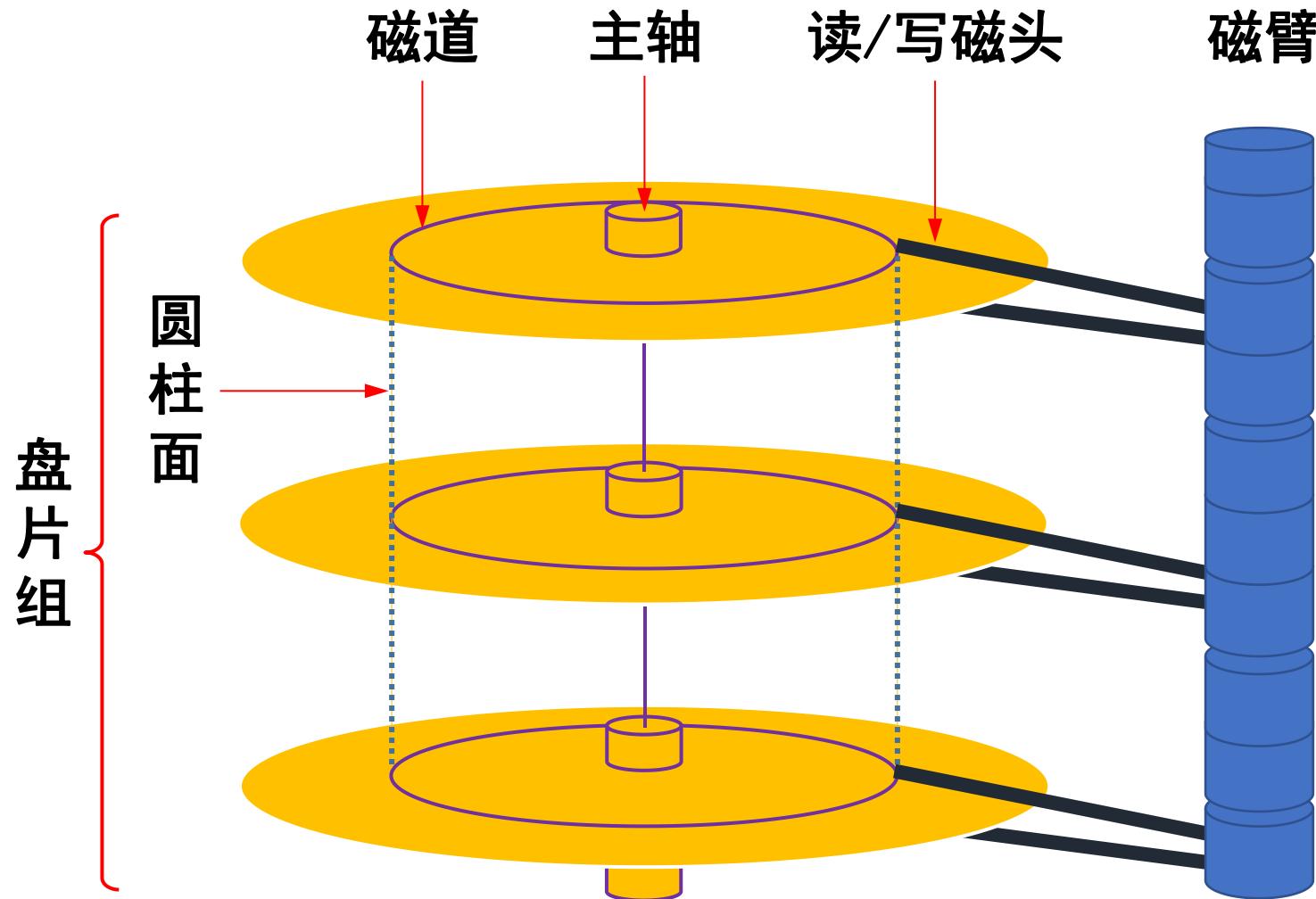
# 辅助存储器的种类

磁盘 磁盘控制器 + 接口 → 磁盘适配器

                          { 盘片、磁头

                          { 磁盘驱动器      { 定位系统、传动系统





磁盘的结构简图





# 辅助存储器的技术指标

## (1) 记录密度:

指单位长度内所存储的二进制信息量。磁盘存储器用道密度和位密度表示；磁带存储器则用位密度表示。磁盘沿半径方向单位长度的磁道数为道密度，单位是 tip 或 tpm。为了避免干扰，磁道与磁道之间需保持一定距离，相邻两条磁道中心线之间的距离称为道距，因此道密度  $D_t$  等于道距  $P$  的倒数，即

$$D_t = 1/p$$

单位长度磁道能记录二进制信息的位数，称为位密度或线密度，单位是 bpi 或 bpm。

$$D_b = f_t / \pi \cdot d_{\min}$$

其中， $f_t$  为每道总位数， $d_{\min}$  为同心圆中的最小直径。

在磁盘各磁道上所记录的信息量是相同的，而位密度不同，一般泛指磁盘位密度时，是指最内圈磁道上的位密度（最大位密度）。





# 辅助存储器的技术指标

## (2) 存储容量:

存储容量是指外存所能存储的二进制信息总数量，一般以位或字节为单位。

$$C = n \times k \times s$$

其中， $C$ 为存储总容量， $n$ 为存放信息的盘面数（每个盘片是有两面的）， $k$ 为每个盘面的磁道数， $s$ 为每条磁道上记录的二进制代码数。*f1*

磁盘有格式化容量和非格式化容量两个指标。

非格式化容量是磁表面可以利用的磁化单元总数。

格式化容量是指按某种特定的记录格式所能存储信息的总量，即用户可以使用的容量（格式化目的是形成磁道和扇区，而扇区除了存储 512Byte 的数据之外，其标准格式为：|头空|序号|存储(512Byte)|校验位|尾空|），故格式化之后的容量只有非格式化容量的 60%~70%。





# 辅助存储器的技术指标

## (3) 平均寻址时间:

磁盘采取直接存取方式，寻址时间分为两个部分，其一是磁头寻找目标磁道的找道时间  $t_s$ ，其二是找到磁道后，磁头等待欲读/写的磁道区段旋转到磁头下方所需要的等待时间  $t_w$ 。平均寻址时间  $T_a$ ，它是平均找道时间  $t_{sa}$  和平均等待时间  $t_{wa}$  之和：

$$\text{其中, } t_{sa} = [0 * t + (n-1) * t] / 2$$

$$T_a = t_{sa} + t_{wa}$$

$$t_{wa} = (1 / \text{RPM}) / 2$$

$t$ : 道间移动时间;  
 $n$ : 磁道数量;  
RPM: 转速;

硬磁盘的平均寻址时间比软磁盘的平均寻址时间短，所以硬磁盘存储器比软磁盘存储器速度快。

## (4) 数据传输率:

数据传输率  $D_r$  是指单位时间内磁表面存储器向主机传送数据的位数或字节数，它与记录密度  $D_b$  和记录截至的运动速度  $V$  有关：

$$D_r = D_b \times V = \text{RPM} / 60 * f_t$$



某磁盘的转速为10000转/分,平均寻道时间是6ms,磁盘传输速率是20MB/s,磁盘控制器延迟0.2ms,读取一个4KB的扇区所需的平均时间约为 ()

(平均磁盘访问时间=平均寻道时间+平均旋转时间+传输时间+控制器延时)

- A 9ms
- B 9.4ms
- C 12ms
- D 12.4ms

 提交



某磁盘的转速为10000转/分,平均寻道时间是6ms,磁盘传输速率是20MB/s,磁盘控制器延迟0.2ms,读取一个4KB的扇区所需的平均时间约为 ()

平均磁盘访问时间=平均寻道时间+平均旋转时间  
+传输时间+控制器延时

平均寻道时间是**6ms**

平均旋转时间**3ms**, 等于旋转一周时间的一半

(10000转/分--> 1分钟10000转-->6ms/转)

传输时间0.2ms ( $4\text{KB}/20\text{MB/S} = 1/5000\text{S}=0.2\text{ms}$ )

控制器延时为0.2ms

总时间为 $3+6+0.2+0.2 = 9.4\text{ms}$ 。





# 辅助存储器的技术指标

**例题** 磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两面不用。存储区域内直径**22cm**，外直径**33cm**，道密度为**40道/cm**,内层位密度**400位/cm**,转速**2400转/分**，问：

- ❖ 1、共有多少柱面？
- ❖ 2、盘组总存储容量是多少？
- ❖ 3、数据传输率多少？
- ❖ 4、采用定长数据块记录格式，直接寻址的最小单位是什么？寻址命令中如何表示磁盘地址？
- ❖ 5、如果某文件长度超过一个磁道的容量，应将它记录在同一个存储面上，还是记录在同一个柱面上？





# 辅助存储器的技术指标

**解：**1、有效存储区域=  $33/2-22/2 = 16.5-11 = 5.5\text{cm}$

柱面数=道密度\*有效区域=40道/cm\*5.5cm=220道，即220个圆柱面。

2、内道周长= $3.14*22=69.08\text{cm}$

道信息量 $N=400\text{位}/\text{cm}*69.08\text{cm}=27632\text{位}=3454\text{B}$

面信息量= $3454\text{B}*220=759880\text{B}$

盘组容量= $759880\text{B}*10=7598800\text{B}\approx7.25\text{MB}$

3、磁盘数据传输率=转数 $r$ \*道容量 $N$

= (2400转/60秒) \* $3454\text{B}=40*3454=13816\text{B/S}=13.492\text{K/S}$

4、最小单位是一个记录块（一个扇区），其编址方式可为如下格式：

台号	柱面号	盘面号	扇区号
----	-----	-----	-----

5、记录在同一个柱面上，因为不需要重新找道，数据读写速度快。





# 辅助存储器的技术指标

**例题:** 设有一个盘面直径为 18 inch 的磁盘组, 有 20 个记录面, 每面有 5 inch 的区域用于记录信息, 道密度为 100 道/inch, 位密度为 1000b/inch, 转速为 2400rpm, 道间移动时间为 0.2ms, 求:

- (1) 该盘组的容量;
- (2) 平均存取时间;
- (3) 数据传送率。





# 辅助存储器的技术指标

例题：设有一个盘面直径为 18 inch 的磁盘组，有 20 个记录面，每面有 5 inch 的区域用于记录信息，道密度为 100 道/inch，位密度为 1000b/inch，转速为 2400rpm，道间移动时间为 0.2ms，求：

- (1) 该盘组的容量；
- (2) 平均存取时间；
- (3) 数据传送率。

解：每面的磁道数量： $5 \text{ inch/面} * 100 \text{ 道/inch} = 500 \text{ 道/面}$ ；

**磁道距离： $1/100=0.01 \text{ inch}$ ；**

**最内磁道周长： $(18-2*500*0.01) * \pi = 25.12 \text{ inch}$ ；**

单个磁道的 bit 数（每个磁道都相同）： $25.12 \text{ inch} * 1000b/inch = 25120 \text{ bit}$

**总容量：**面数\*道/面\*bit/道= $20 * 500 * 25120 \text{ bit} = 31.4 \times 10^6 \text{ Byte}$

每转时间： $1/2400 * 60 = 25\text{ms}$ ；

平均等待时间： $25/2 = 12.5\text{ms}$ ；

平均找道时间： $(0+499) * 0.2/2 = 49.9\text{ms}$ ；

**平均寻址时间：**平均等待时间+平均找道时间= $62.4\text{ms}$ ；

**数据传输率：**每道容量/每转时间= $25120 \text{ bit} / 25 \text{ ms} = 0.1256 \text{ MB/s}$

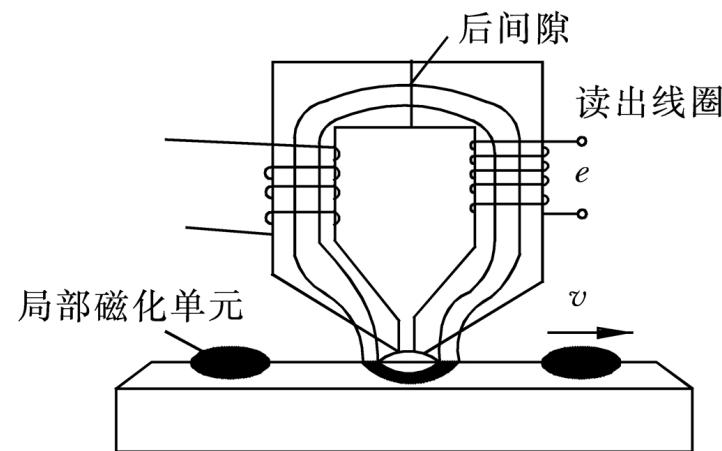
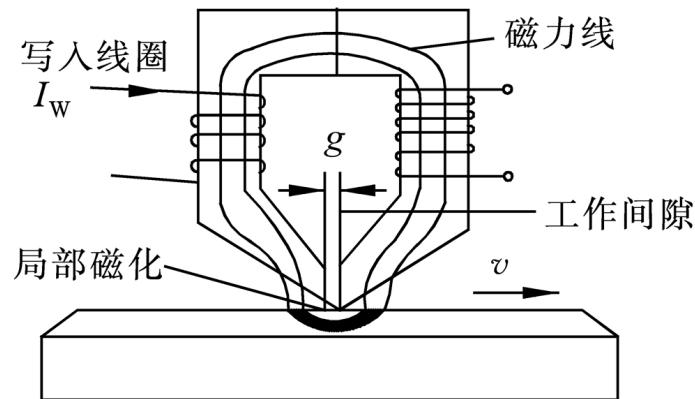




# 磁记录原理与记录方式

## ➤ 磁记录原理

- 磁表面存储器通过**磁头**和**记录介质的相对运动**完成写入和读出。
- 写入：磁头线圈中**加磁化电流**（写入电流），**磁层移动**，形成连续的小段磁化区（位单元区）。
- 读出：线圈中不加电流，**磁层移动**。当位单元的转变区经过磁头下方时，线圈两端会**产生感应电势e**



厚德·博学·求是

(a) 写入

写：并行数字信号→串行数字信号→电信号→磁信号

(b) 读出

读：磁信号→电信号→串行数字信号→并行数字信号



# 磁记录方式

磁记录方式是一种**编码方式**。是按某种规律将一串二进制数字信息变成磁层的相应磁化翻转形式，并经过读写控制电路实现这种转换规律。常见的方式有：

## ❖ 归零制（RZ）具有自同步能力

❖ 记录1时电流正向流动，记录0时电流反向流动。在记录2个信息位之间，电流为零。

## ❖ 不归零制（NRZ）

❖ 记录1时电流正向流动，电流保持到下一个信息到来，记录0时电流反向流动，并电流保持到下一个信息到来。当连续写入“1”或“0”时，写电流的方向是不改变的。

## ❖ 不归零-1制（NRZI）

❖ 记录1时电流改变极性，使磁记录层的磁化强度方向发生翻转；记录0时保持原来的写电流和磁化强度方向。也称为**见1就翻的不归零制**。

## ❖ 调相制（PM, Phasic Model）具有自同步能力

❖ 又称相位编码(PE)。在一个记录单元内，磁头线圈中的写入电流由负到正表示记录信息0，由正到负表示记录信息1。两者的相位相差180度。当二进制信息中出现连续两个1或连续两个0时，为了维持上述规则，在两个记录单元的交界处也要发生翻转。



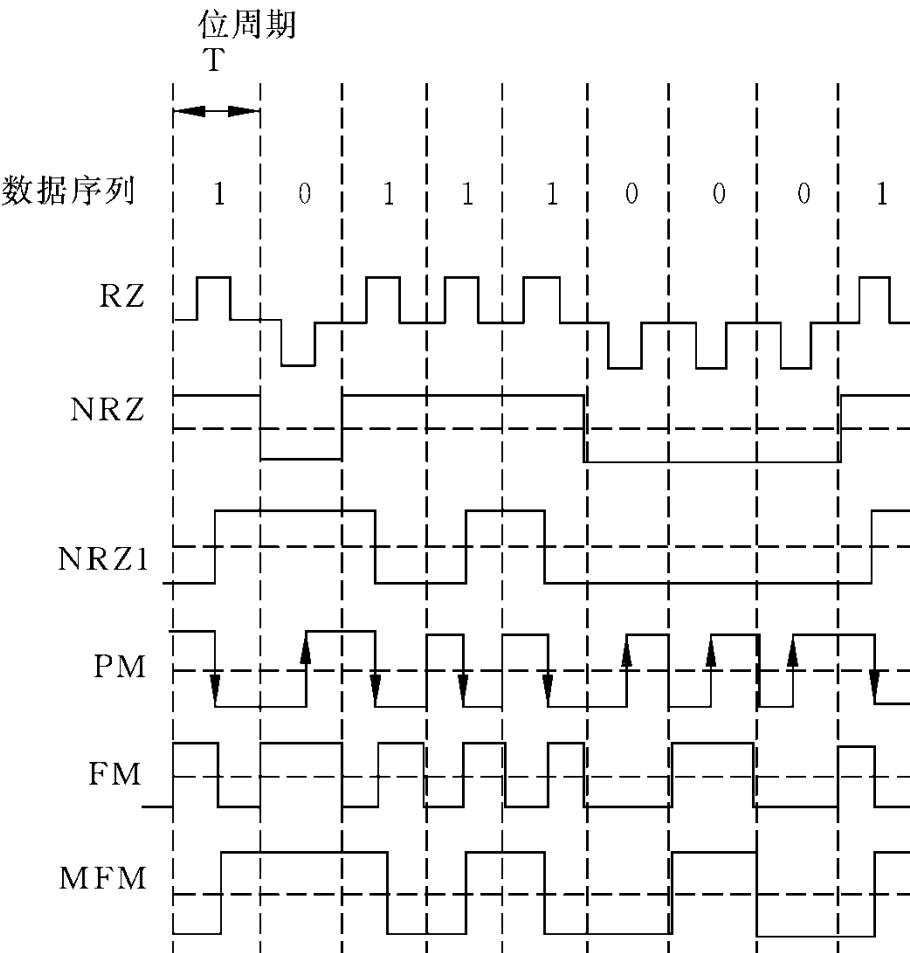
交流电的正弦波形： $y = A \sin(wt + \varphi)$  **电信号（脉冲）：正弦波形**

其中  $A$  为幅值、 $\varphi$  为初始相位、 $w$  为角速度， $f = 1/T$ ；

**幅值**：就相当于高低电平表示 0 和 1；

**相位**：就相当于用 0→1 和 1→0 的相位变化来表示 0 和 1 (也可以相反定义)；

**频率**：就相当于在位周期不变和有相位翻转来表示 0 和 1；





# 磁记录方式

## ◆ 调频制 (FM, Frequency Model) 具有自同步能力，编码效率50%

在记录单元起始处不论是记录0还是1，都要改变电流方向，产生翻转；在一个记录单元中间点，记录1时改变电流方向，产生翻转，记录0时不改变电流方向，不产生翻转。这样记录1的频率是记录0的频率的2倍。

## ◆ 改进型调频制 (MFM) 具有自同步能力，编码效率100%

当二进制信息中出现连续0时，其记录单元的交界处翻转一次。在其它情况下（0→1, 1→0, 1→1）其记录单元的交界处不翻转；在一个记录单元的中间点，记录1时改变电流方向，产生磁化翻转，记录0时不改变电流方向，不产生磁化翻转。

**衡量磁记录方式的标准：**记录一位信息所用的最多磁化翻转次数的倒数，编码效率越高存储密度越大。

指记录密度与最大磁化翻转密度之比。即为记录一位信息所用的最多磁化翻转次数的倒数。例如，若记录一位信息，最多要有一次磁化翻转，则编码效率为100%。

②自同步能力 **读取同一柱面不同盘面的数据时需要。**

指从读出的数据信息中提取同步时钟信号的难易程度。同步时钟信号是分隔出连续多个数据的不同位所必须的时间基准信号。若有，则称为有同步能力。

③可靠性

有能检查错误，甚至自动纠错等必要措施。



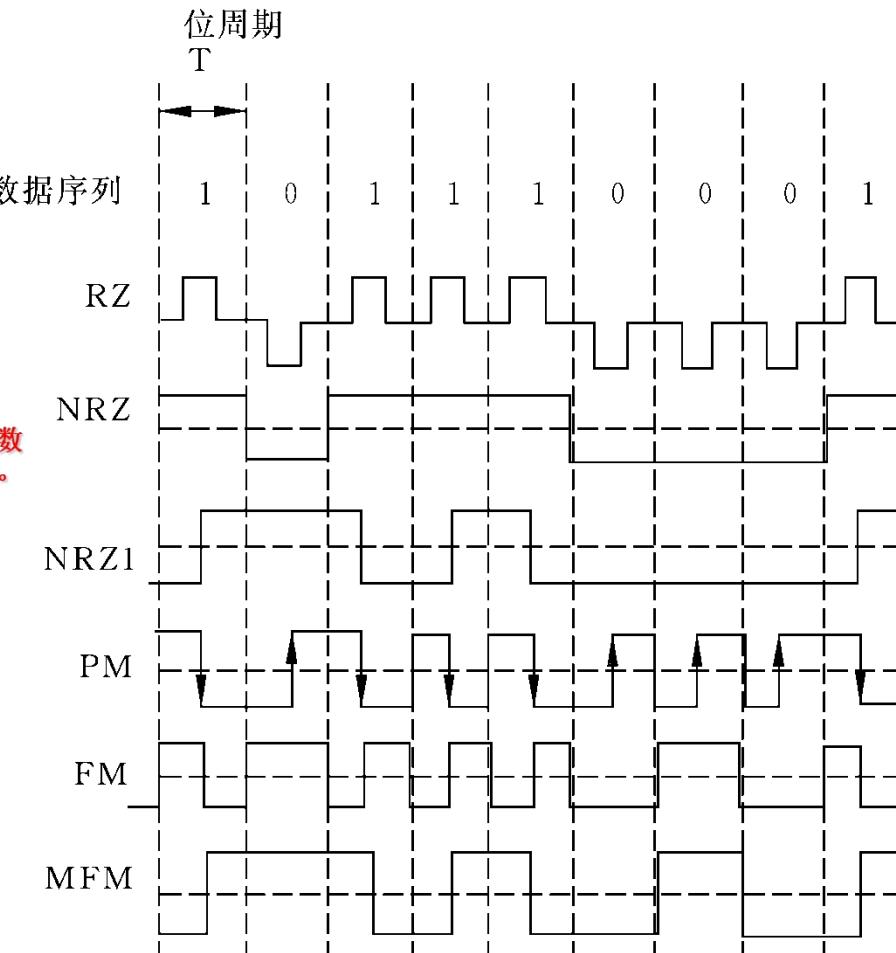
交流电的正弦波形： $y = A \sin(wt + \varphi)$  **电信号（脉冲）：正弦波形**

其中  $A$  为幅值、 $\varphi$  为初始相位、 $w$  为角速度， $f = 1/T$ ；

幅值：就相当于高低电平表示 0 和 1；

相位：就相当于用 0→1 和 1→0 的相位变化来表示 0 和 1（也可以相反定义）；

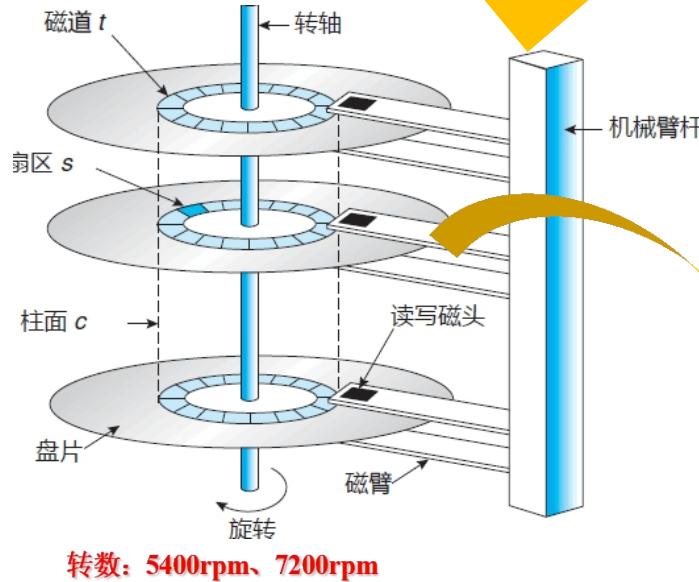
频率：就相当于在位周期不变和有相位翻转来表示 0 和 1；





# 磁盘存储器

## ➤ 硬盘



## ➤ 软盘 (已逐步淘汰)

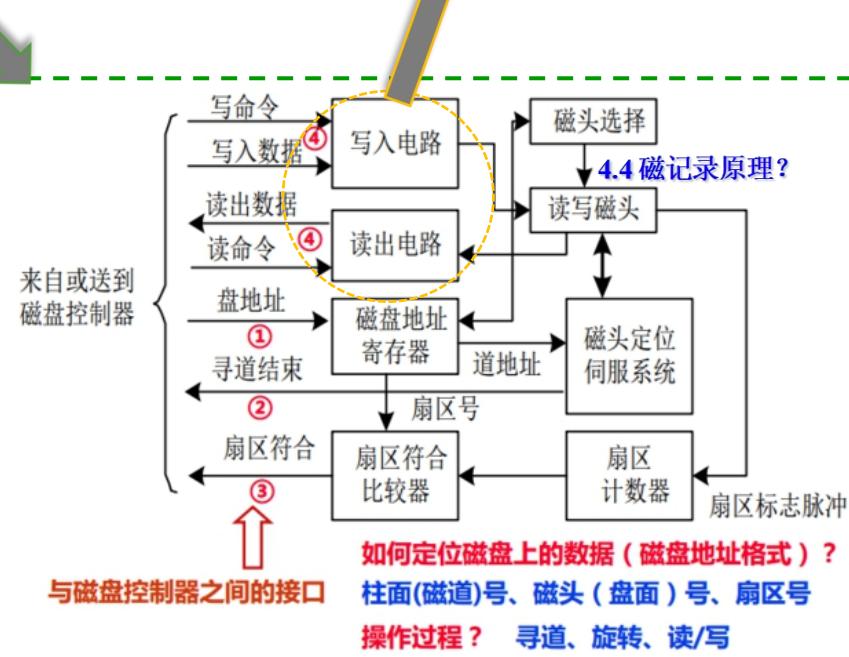
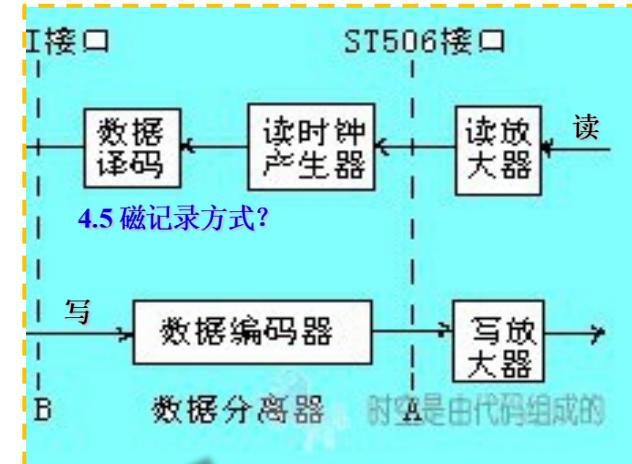
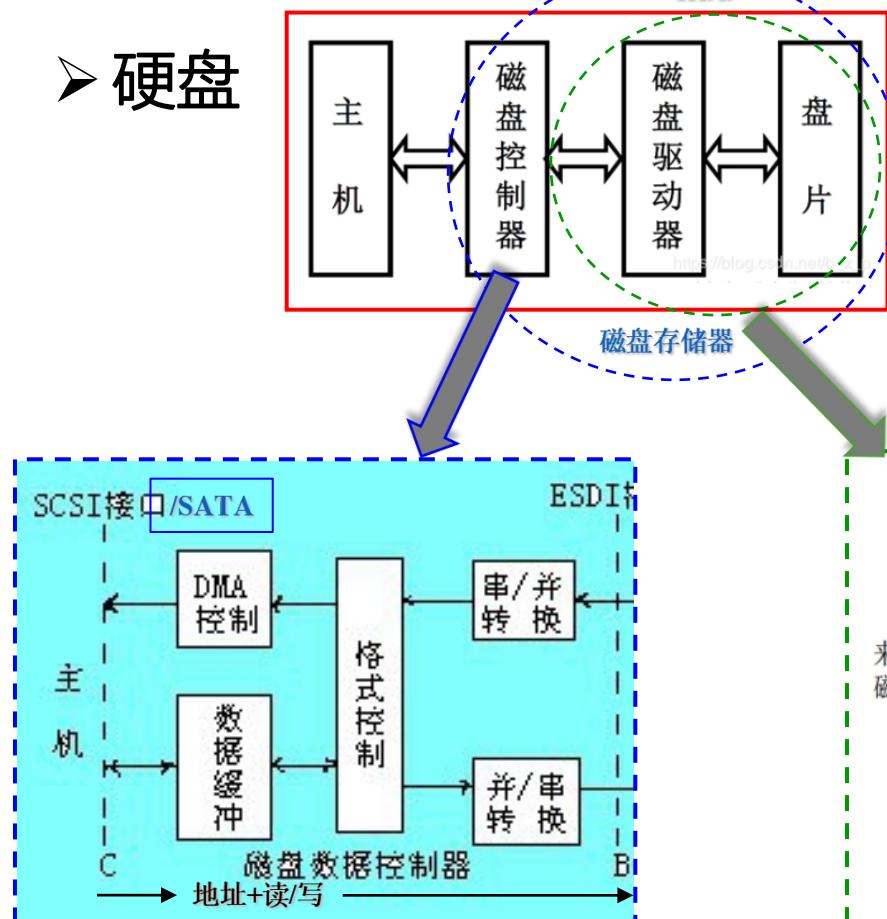


厚德·博学·求是



# 磁盘存储器

## ➤ 硬盘





- ❖ 硬磁盘起源于**1956年**
- ❖ 美国**IBM**研制成的**IBM350**型硬磁盘存储器，存储量为**40MB**
- ❖ **1975年**被**IBM3340**型(温彻斯特盘，简称温盘)
- ❖ **1976年**研制出存储容量为**317MB**的**IBM3350**系统
- ❖ **1980年**投放市场的**IBM3380**硬磁盘机存储容量高达**252MB**

- 盘片尺寸从14英寸逐步缩小到8英寸、5.25英寸，直至主流为3.5英寸
- 笔记本电脑用的硬盘更小为2.5、1.8英寸等



IBM 350

IBM 3380



IBM 3340

温切斯特硬盘：磁头与盘片无接触，需要无尘，所以将盘片、磁头和传动机构密封在一个盒子里面。

### 磁记录的优点：

- ❖ a. 存储的内容不易丢失，可长期保存
- ❖ b. 存储密度不断提高，存储的每一位信息占用的面积很小，存储容量增大，能满足计算机的发展需要
- ❖ c. 写入、读出的速度比较快，而且可以盖写，具有重复使用性能
- ❖ d. 价格相对较低

### 磁记录的缺点：

- 存取速度不够快，数据传输率比较低
- 磁头与磁介质的相对运动为机械运动，易磨损，寿命有限；存取速度进一步提高受到限制；对机械加工的精度要求高
- 体积相对较大
- ❖ 目前，磁表面存储器正面临光盘和U盘等的挑战





# 移动存储设备

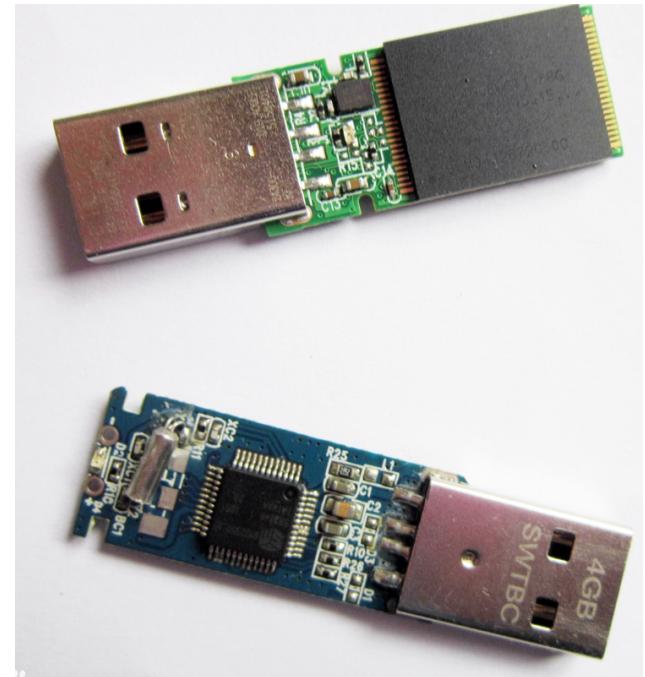
- 移动硬盘
  - 接口：USB 2.0、IEEE-1394。
  - 抗振性能好，可随身携带。
  - 功耗低，可直接由USB总线供电。
- 闪存盘（U盘）
  - 采用半导体存储器构成。
  - USB接口。
  - 体积小，重量轻，耗电少，抗振，便于携带。
- 固态硬盘
  - 没有机械部分。
  - 可靠性高，速度快，耗电低，体积小，抗振。





# 移动存储设备

- U盘，全称“USB闪存盘”，英文名“USB Flash Disk”。
- U盘的称呼最早来源于[朗科公司](#)生产的一种新型存储设备，名为“[优盘](#)”。
- 之后生产的类似技术的设备由于朗科已进行专利注册，而不能再称之为“优盘”，而改称谐音的“[U盘](#)”。



—— 百度百科 百科

若磁盘的转速提高一倍，则

- A 平均存取时间减半
- B 平均找道时间减半
- C 存储密度提升一倍
- D 平均定位时间不变

提交



# 有问题欢迎随时跟我讨论

办公地点：西校区信息馆423

邮 箱：[gddu@ysu.edu.cn](mailto:gddu@ysu.edu.cn)

