



# 计算机组成与系统结构

## 第七章 外存与I/O设备

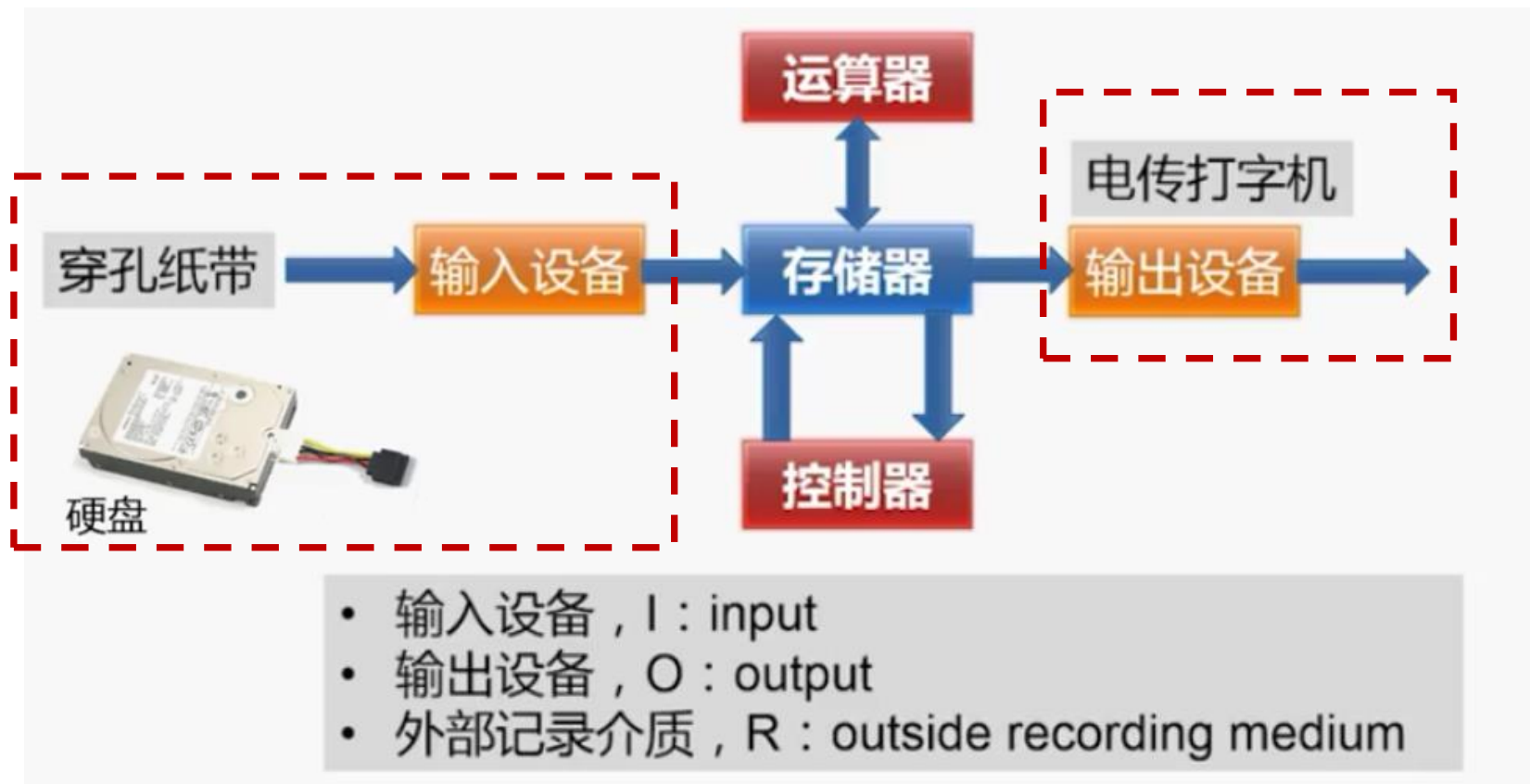
吕昕晨

[lvxinchen@bupt.edu.cn](mailto:lvxinchen@bupt.edu.cn)

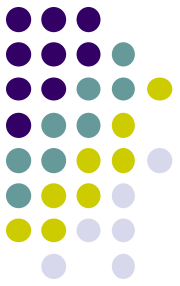
网络空间安全学院



# 冯·诺依曼结构——外存 & I/O



- 思考：I/O/R的作用是？如何分类？

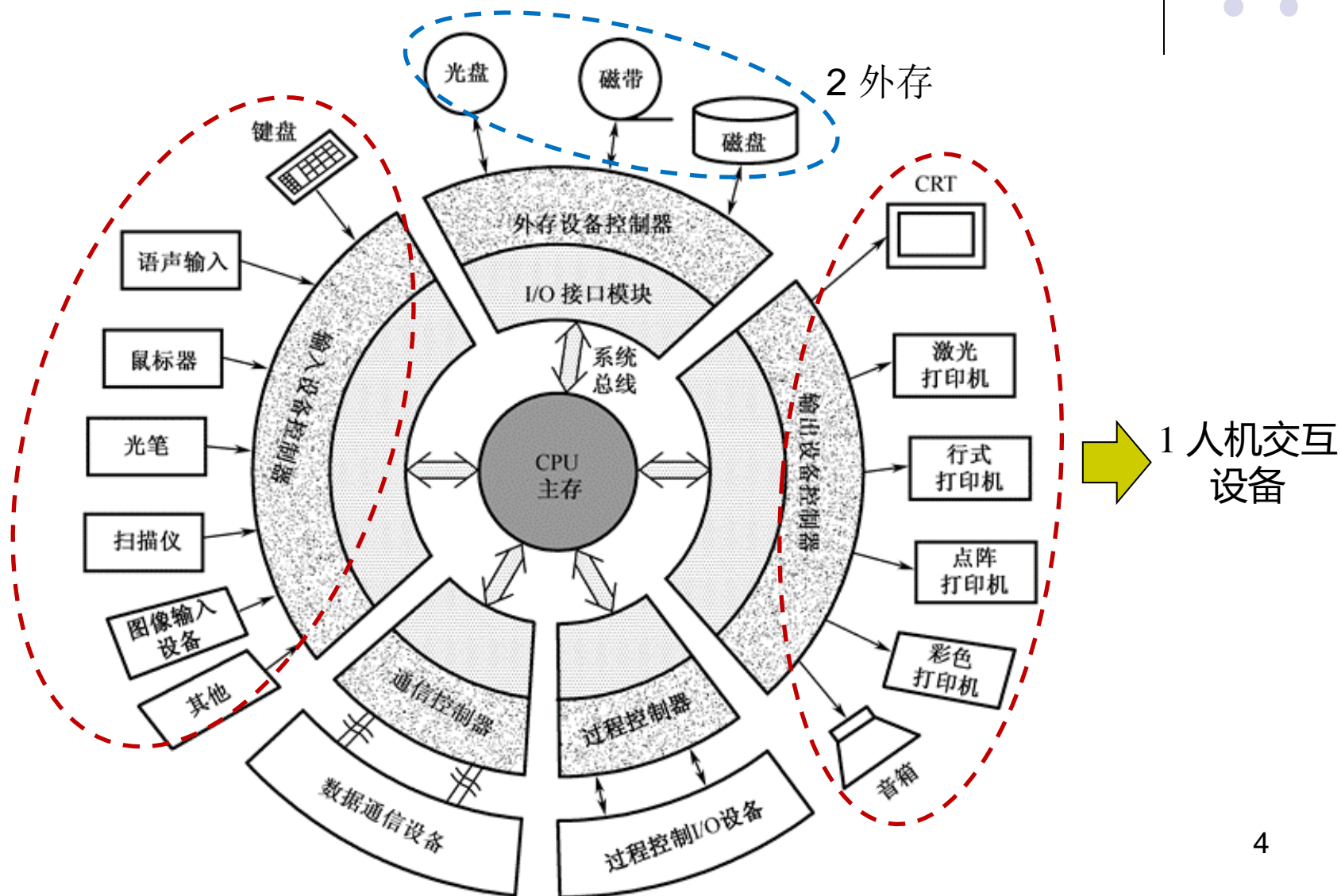


# 外部设备 vs. 外存 与 I/O

- 外设分为三类
  - 人机交互设备 (I/O)
    - 键盘、鼠标、打印机、显示器.....
  - 信息存储设备 (外存)
    - 磁盘、光盘、磁带.....
  - 多机通信设备
    - 网卡、调制解调器、A/D、D/A.....



# 外存与I/O设备——结构图/分类



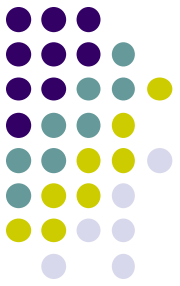


# 外存与I/O设备



## 外存与I/O



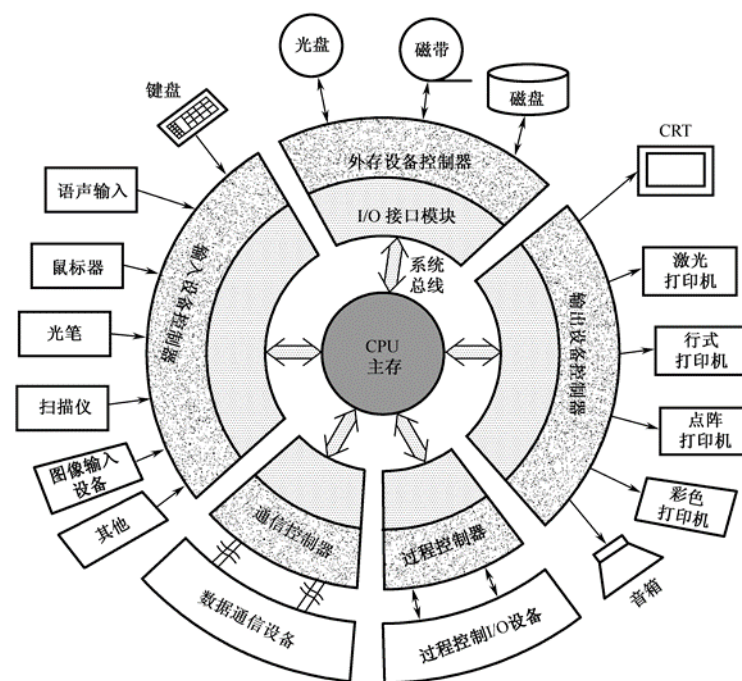


# 第七章 外存与I/O设备

- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布
  - 磁盘存储器技术指标

# 外围设备概述

- 计算机中外围设备结构关系
  - 中央部分：CPU与主存
  - 第二层：适配器（接口）
  - 第三层：外围设备控制器
  - **最外层：外围设备**
- 外围设备分类
  - 输入设备、输出设备
  - 外存设备
  - 数据通信设备
  - 过程控制设备







# 外围设备的名称、功能与速率

- 外围设备的功能是在计算机和其他机器之间，以及计算机与用户之间提供联系

- > 安全设备
- > 处理器
- > 磁盘驱动器
- > 存储控制器
- > 打印队列
- > 电池
- > 固件
- > 计算机
- > 监视器
- > 键盘
- > 蓝牙
- > 其他设备
- > 人体学输入设备
- > 软件设备
- > 软件组件
- > 声音、视频和游戏控制器
- > 鼠标和其他指针设备
- > 通用串行总线控制器
- > 图像设备
- > 网络适配器
- > 系统设备
- > 显示适配器
- > 音频输入和输出

设备名称	功能	人/机接口	数据速率 (Mbit/s)
键盘	输入	人	0.000 1
鼠标	输入	人	0.003 8
语音输入设备	输入	人	0.264 0
声音输入设备	输入	机器	3.000 0
扫描仪	输入	人	3.200 0
语音输出设备	输出	人	0.264 0
声音输出设备	输出	人	8.000 0
激光打印机	输出	人	3.200 0
图形显示器	输出	人	800.000 0~8 000.000 0
调制解调器	输入或输出	机器	0.016 0~0.064 0
网络/局域网	输入或输出	机器	100.000 0~1 000.000 0
网络/无线局域网	输入或输出	机器	11.000 0~54.000 0
光盘	存储	机器	80.000 0
磁带	存储	机器	32.000 0
磁盘	存储	机器	240.000 0~2560.000 0





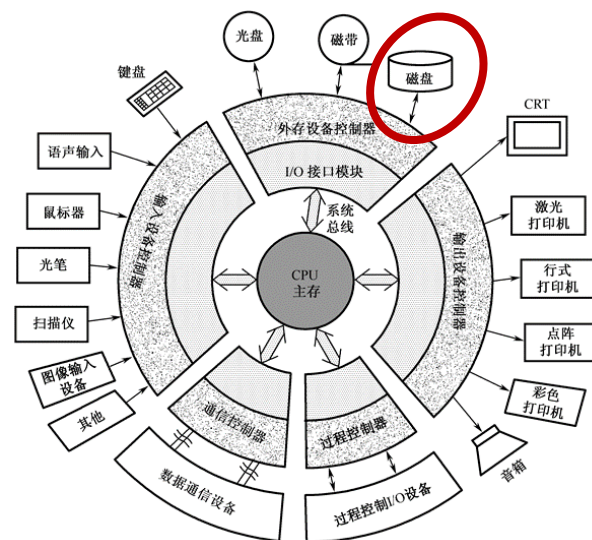
计算机外围设备是指

A 输入/输出设备

B 外存设备

C 输入输出设备与外存设备

D 输入输出设备、外存设备、数据通信设备、过程控制设备



提交



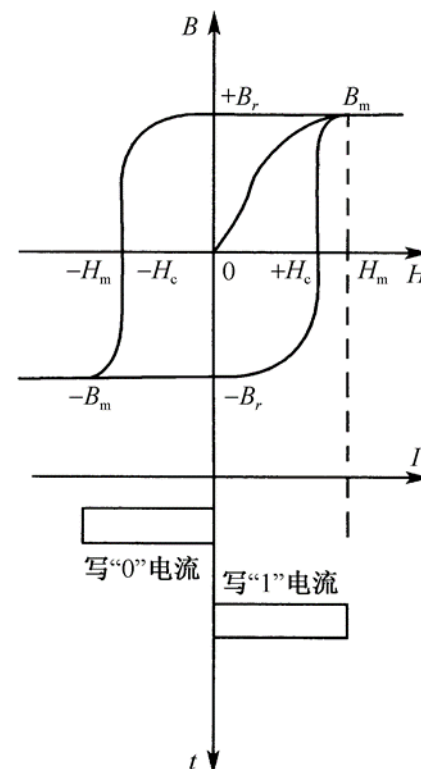
# 第七章 外存与I/O设备

- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布
  - 磁盘存储器技术指标

# 磁记录原理

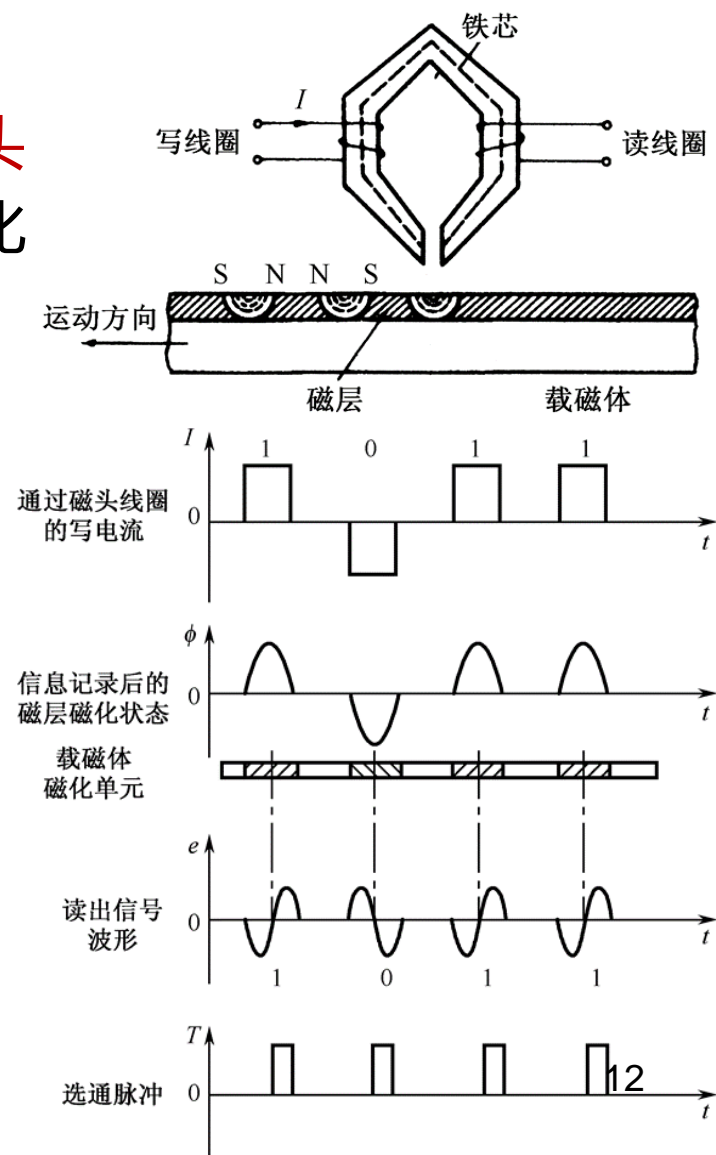


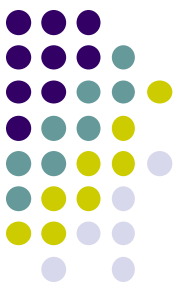
- 如何用磁表面介质存储信息
  - 原理：磁滞回线
  - 稳态
    - 正剩磁状态： $+B_r$
    - 负剩磁状态： $-B_r$
  - 稳态转变
    - 通过外加正向、负向脉冲电流
    - 写1（正脉冲）/写0（负脉冲）
- 基本存储单元
  - 磁化元（存储元）
  - 记录二进制信息位的单元



# 磁表面存储器读写原理

- 在磁表面存储器中，利用一种称为**磁头**的装置来形成和判别磁层中的不同磁化状态（软磁材料做铁芯绕有读写线圈）
- 写操作（电磁变换）**
  - 当写线圈中通过脉冲电流时，铁芯内就产生一定方向的磁通
- 读操作（磁电变换）**
  - 当磁头经过载磁体的磁化元时，由于磁头铁芯是良好的导磁材料，磁化元的磁力线很容易通过磁头而形成闭合磁通回路。不同极性的磁化元在铁芯里的方向是不同的。





# 磁表面存储器

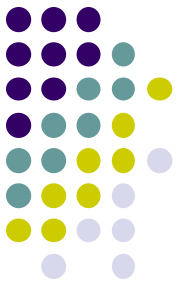
- 计算机的外存储器又称磁表面存储设备
- **磁表面存储**，是用某些磁性材料薄薄地涂在金属铝或塑料表面作载磁体来存储信息
- 磁盘存储器、磁带存储器均属于磁表面存储器
- 磁表面存储器由于**存储容量大，位成本低**，在计算机系统中作为辅助大容量存储器使用，用以存放系统软件、大型文件、数据库等大量程序与数据信息



# 磁表面存储器特点

- 优点
  - 存储容量大，位价格低；
  - 记录介质可以重复使用；
  - 记录信息可以长期保存而不丢失，甚至可以脱机存档
  - 非破坏性读出，读出时不需要再生信息
- 缺点
  - 存取速度较慢，机械结构复杂，对工作环境要求较高



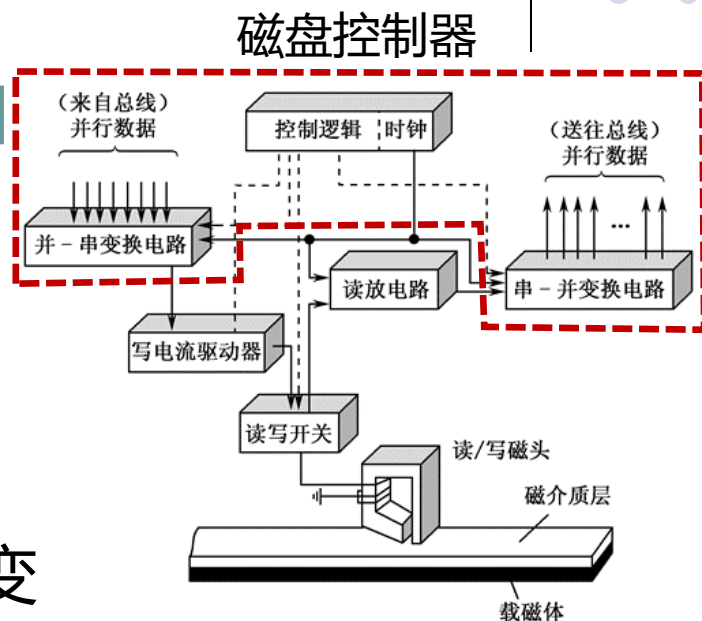


# 第七章 外存与I/O设备

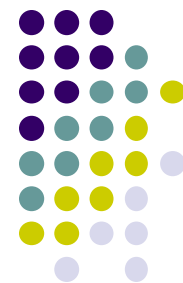
- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布
  - 磁盘存储器技术指标

# 磁盘存储器逻辑结构

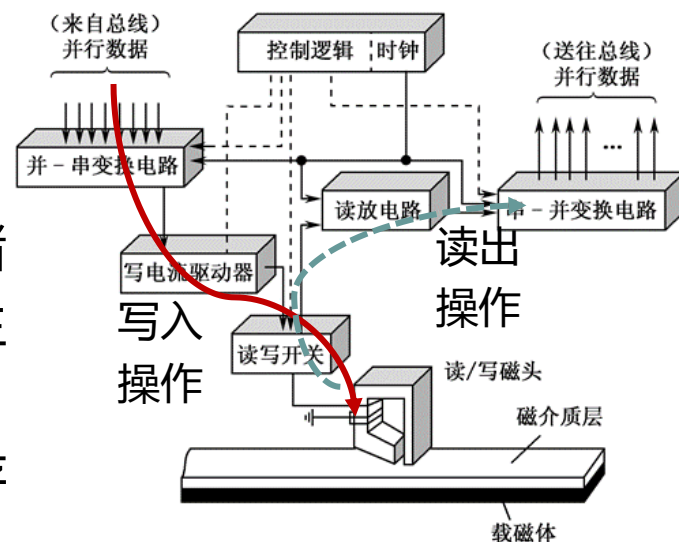
- **硬（磁）盘**是指记录介质为硬质圆形盘片的磁表面存储设备
- 组成结构
  - 磁记录介质
  - 磁盘控制器
    - 控制逻辑与时序、数据并-串变换电路和串-并变换电路
  - 磁盘驱动器
    - 写入电路与读出电路、读写转换开关、读写磁头与磁头定位伺服系统

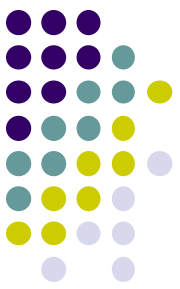


# 磁盘存储器读写过程



- 写入操作
  - 数据通过**并串变换电路**，变为串行数据
  - 一位一位地由**写电流驱动器**作功率放大并加到**写磁头线圈**上产生电流
  - 在盘片磁层上形成按位的磁化存储元
- 读出操作
  - 记录介质相对磁头运动时，位磁化存储元形成的空间磁场在**读磁头线圈**中产生感应电势
  - **读出信息经放大检测**就可还原成原来存入的数据
  - 串行数据送至**串并变换电路**变换为并行数据，再并行送至总线





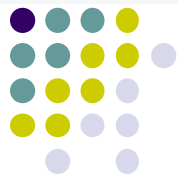
# 硬磁盘的分类

- 硬磁盘分类
  - 按**盘片结构**，分为可换盘片式与固定盘片式
  - 按**磁头类型**，分为可移动磁头和固定磁头
- **可移动磁头磁盘机**
  - **固定盘片式**：盘片固定在主轴上，盘片不可更换，盘片每面只有一个磁头，存取数据时磁头沿盘面径向移动
  - **可换盘片式**：盘片可以更换，磁头可沿盘面径向移动；优点是盘片可以脱机保存，同种型号的盘片具有互换性



# 硬磁盘的分类

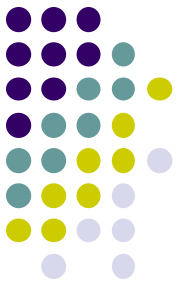
- **固定磁头**磁盘机
  - 特点是**磁头位置固定**，磁盘的每一个磁道对应一个磁头，盘片不可更换
  - 优点是**存取速度快**，省去磁头找道时间，缺点是结构复杂
- 典型案例：**温彻斯特磁盘机**，简称温盘
  - 一种采用先进技术研制的**可移动磁头****固定盘片**的磁盘机
  - **密封组合式**的硬磁盘，即磁头、盘片、电机等驱动部件乃至读写电路等组装成一个**不可随意拆卸**的整体
  - 工作时，高速旋转在盘面上形成的气垫将磁头平稳浮起
  - 优点是**防尘性能好**，**可靠性高**，对使用环境要求不高，成为最有代表性的硬磁盘存储器
  - 普通的硬磁盘要求具有超净环境，只能用于大型计算机



磁盘组成结构包括 [填空1] 、 [填空2] 、 [填空3]

- 磁盘组成结构
  - 磁记录介质
  - 磁盘控制器
    - 控制逻辑与时序、数据并-串变换电路和串-并变换电路
  - 磁盘驱动器
    - 写入电路与读出电路、读写转换开关、读写磁头与磁头定位伺服系统





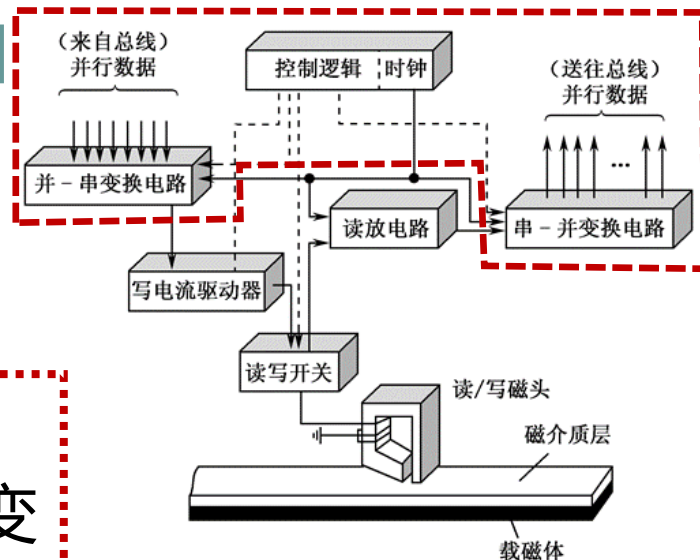
# 第七章 外存与I/O设备

- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布
  - 磁盘存储器技术指标

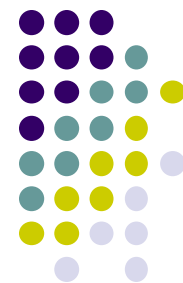
# 磁盘存储器逻辑结构

- **硬（磁）盘**是指记录介质为硬质圆形盘片的磁表面存储设备
- 组成结构
  - 磁记录介质
  - 磁盘控制器
    - 控制逻辑与时序、数据并-串变换电路和串-并变换电路
  - 磁盘驱动器
    - 写入电路与读出电路、读写转换开关、读写磁头与磁头定位伺服系统

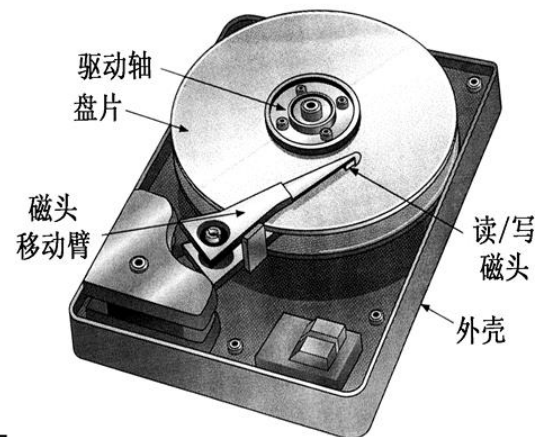
磁盘控制器



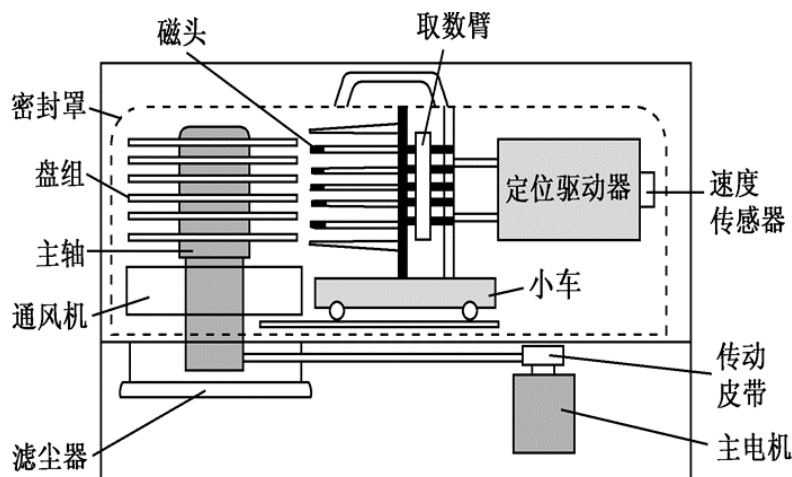
# 磁盘驱动器



- 磁盘驱动器是一种精密的电子和机械装置，因此各部件的加工安装有严格的技术要求
- 基本结构
  - 定位驱动系统
  - 主轴系统
  - 数据转换系统



(a) 外形





# 磁盘控制器

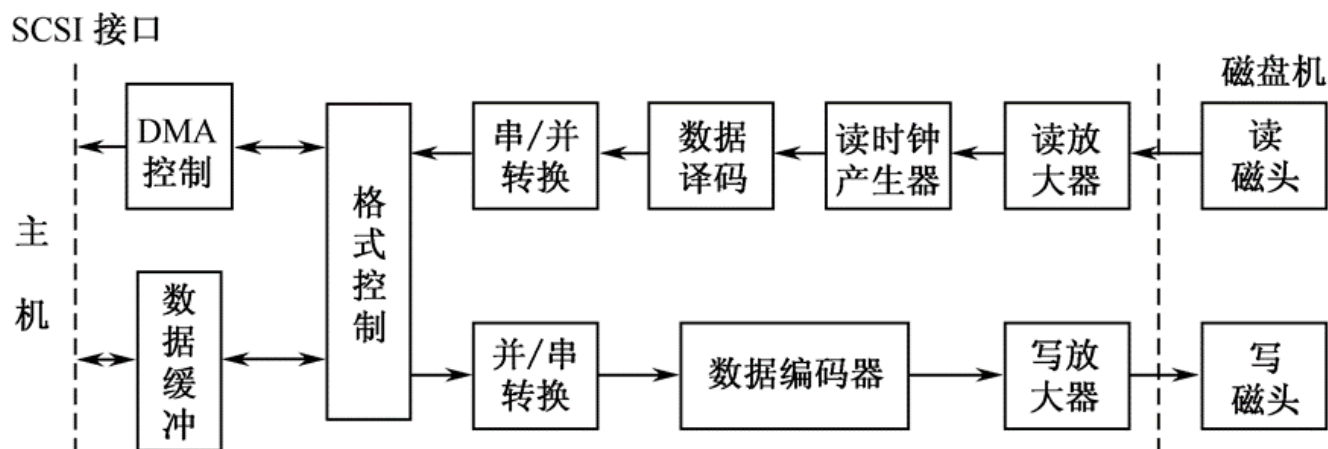
- 磁盘控制器是主机与磁盘驱动器之间的接口
- 由于磁盘存储器是高速外存设备，故与主机之间采用成批交换数据方式
- 控制器接口分为
  - 与主机的接口，控制外存与主机总线之间交换数据
  - 与设备的接口，根据主机命令控制设备的操作

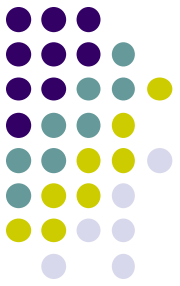




# 磁盘控制器逻辑框图

- 主机与磁盘驱动器交换数据的控制逻辑
  - 磁盘上的信息经读磁头读出以后送读出放大器
  - 进行数据与时钟的分离
  - 再进行串并变换、格式变换
  - 送入数据缓冲器
  - 经DMA(直接存储器传送)控制将数据传送到总线





# 第七章 外存与I/O设备

- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布（重点）
  - 磁盘存储器技术指标





# 磁道与扇区

- 记录面

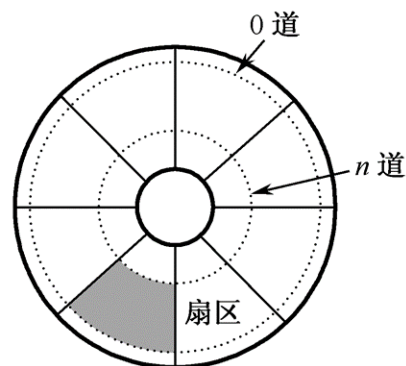
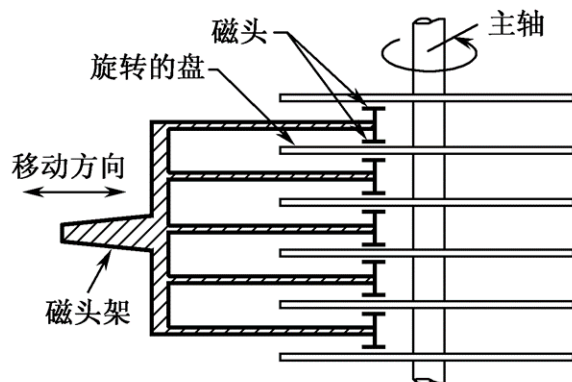
- 盘片的上下两面都能记录信息，磁盘片表面称为记录面

- 磁道（柱面）

- 记录面上一系列同心圆称为磁道
- 每个盘片表面通常有几百到几千个磁道

- 扇区

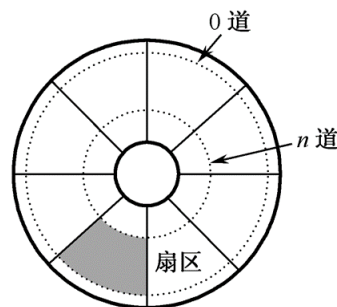
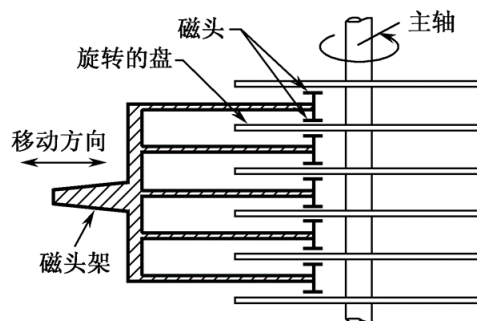
- 每个磁道又分为若干个扇区，外扇区比内扇区面积要大
- 磁盘上的这种磁道和扇区的排列称为格式





# 索引与记录块

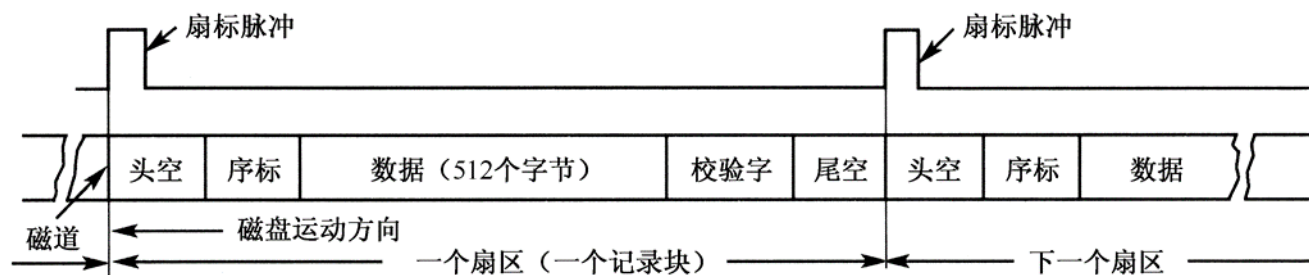
- 在磁道上，**信息是按区存放的**，每个区中存放一定数量的字或字节，各个区存放的字或字节数是相同的
- 索引**：为进行读/写操作，要求定出**磁道的起始位置**
  - 索引标志在传感器检索下可产生脉冲信号，再通过磁盘控制器处理，便可定出磁道起始位置
- 记录块
  - 每个扇区记录定长的数据**，因此**读/写操作是以扇区为单位一位一位串行进行的**。每一个扇区记录一个记录块。





# 数据记录格式

- 记录块组成
  - 头部空白段
    - 留出一定的时间作为磁盘控制器的读写准备时间
  - 序标段
    - 作为磁盘控制器的同步定时信号
  - 数据段
  - 校验字段
    - 校验磁盘读出的数据是否正确
  - 尾部空白段



此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

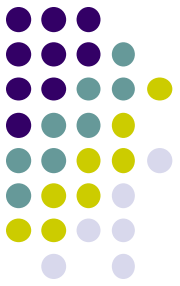


磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两个面不用。

每个记录面有220磁道，问共有多少磁道？

- ☐ A 220
- ☐ B 1320
- ☒ C 2200
- ☐ D 2640

提交



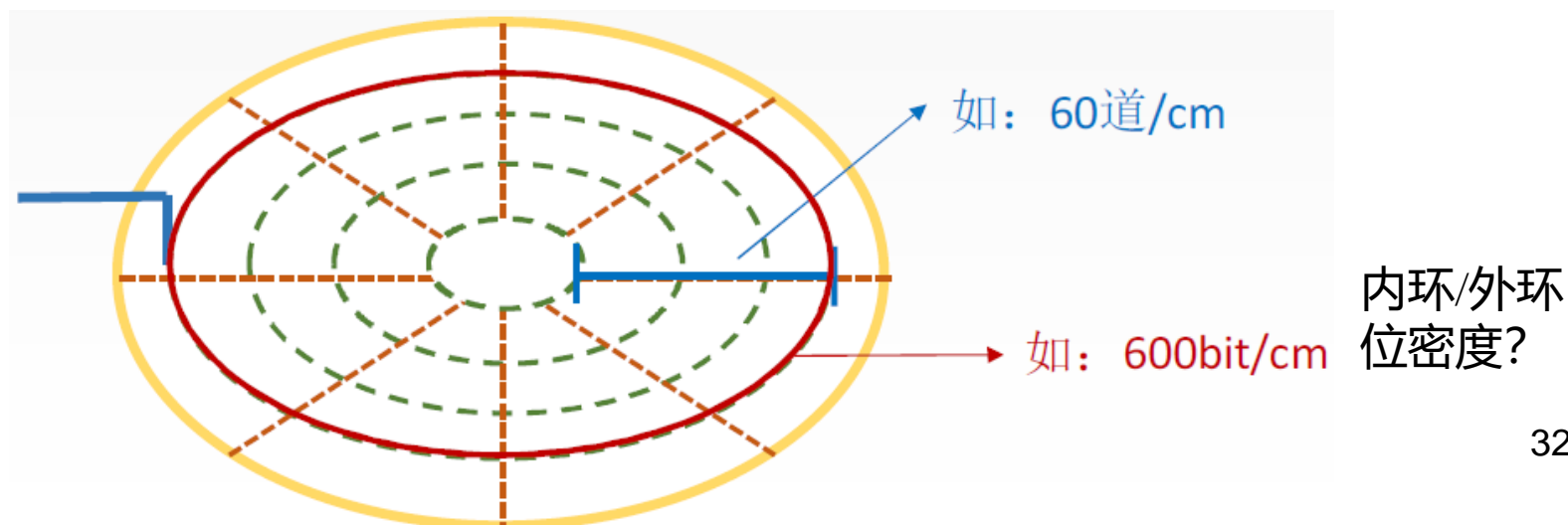
# 第七章 外存与I/O设备

- 外围设备概述
- 磁盘存储设备
  - 磁记录原理
  - 磁盘组成和分类
  - 磁盘驱动器和控制器
  - 磁盘信息的分布
  - 磁盘存储器技术指标（重点）

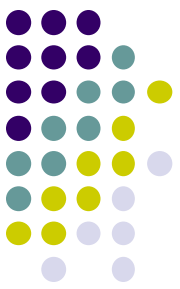


# 1 存储密度/容量

- 存储密度
  - 道密度：沿磁盘半径方向单位长度上的磁道数（道/英寸）
  - 位密度：磁道单位长度上能记录的二进制代码位数（位/英寸）
  - 面密度：位密度和道密度的乘积（位/平方英寸）
- 存储容量：硬盘所能存储的字节总量，根据存储密度计算

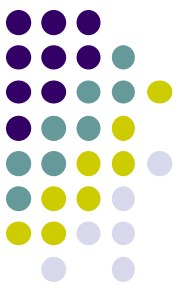






## 2 数据传输率

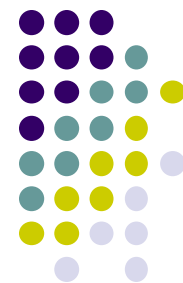
- **数据传输率**：  $D_r$ 
  - 磁盘存储器在单位时间内向主机传送数据的字节数
- 传输率与存储设备和主机接口逻辑有关
  - 从**主机接口逻辑考虑**，应有足够快的传送速度向设备接收/发送信息（**默认满足**）
  - 从存储设备考虑
    - 假设磁盘旋转速度为  $r$  转/秒，每条磁道容量为  $N$  个字节，则
      - $D_r = r \cdot N$  (字节/秒)
    - 假设  $D$  是存储器位密度（字节/英寸）， $v$  是磁盘旋转线速度（英寸/秒），则
      - $D_r = D \cdot v$  (字节/秒)



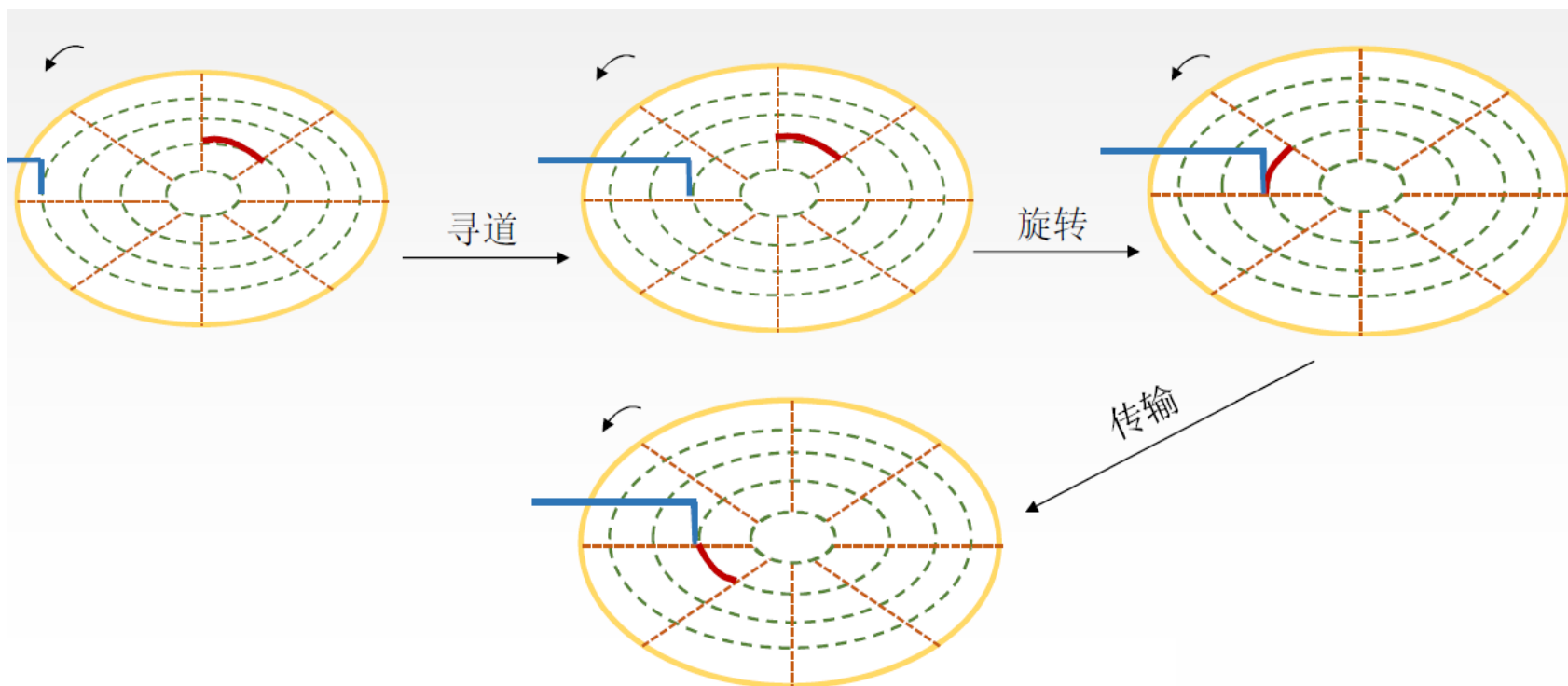
### 3 平均存取时间—定义

- 平均存取时间
  - 从发出读写命令后，磁头从某一起始位置移动至新的记录位置，到开始从盘片表面读出或写入信息加上传送数据所需要的时间
- 取决于以下三个因素
  - 找道时间
    - 将磁头定位至所要求的磁道上所需的时间
    - 平均找道时间是最大找道时间与最小找道时间的平均值
  - 等待时间
    - 需要访问的信息到达磁头下的时间
    - 平均等待时间和磁盘转速有关，它找道完成后至磁道上用磁盘旋转一周所需时间的一半来表示
  - 数据传送时间：传送数据所需时间

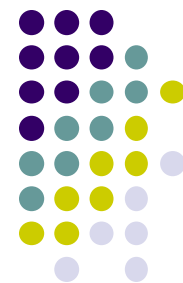
### 3 平均存取时间—公式



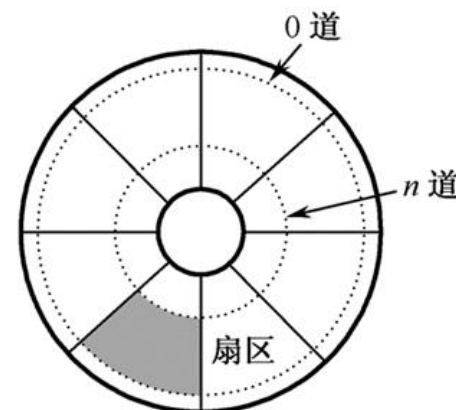
平均存取时间 = 寻道时间（磁头移动到目的磁道）+  
旋转延迟时间（磁头定位到所在扇区）+  
传输时间（传输数据所花费的时间）

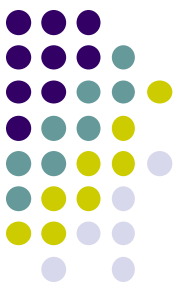


### 3 平均存取时间—计算示例



- 平均存取时间取决于
  - 找道时间:  $T_s$
  - 等待时间:  $1/2r$ 
    - $r$ 表示磁盘转速, 单位: 转/秒
    - 旋转一周所需时间一半
    - 例如, 硬盘常见有5400/7200转
  - 数据传送时间:  $B/rN$ 
    - $B$ 是待传送字节数,  $N$ 表示每磁道字节数
- 平均存取时间 $T_a$ 表达式
  - $T_a = T_s + 1/(2r) + b/rN$

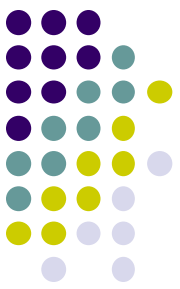




# 磁盘存储设备例题1（地址格式）

一盘组共11片，记录面为20面，每面上外道直径为14英寸，内道直径为10英寸，分203道。数据传输速率为983040B/s，转速3600转/分。假定每个记录块记录1024字节，且系统可挂多达16台此磁盘

请设计地址格式，并计算总存储容量。



一盘组共11片，记录面为20面，每面上外道直径为14英寸，内道直径为10英寸，分203道。数据传输速率为983040B/s，转速3600转/分。假定每个记录块记录1024字节，且系统可挂多达16台此磁盘

台号	柱号（磁道）号	盘面号/磁头号	扇区号
----	---------	---------	-----

请设计地址格式，并计算总存储容量。

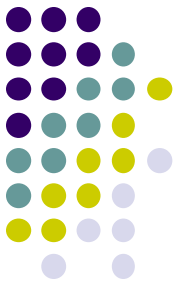
地址格式：台数：16台（4bit）、磁道数：203（8bit）、记录面：20面（5bit）、扇区数

根据速率与转速计算扇区数

$$C \text{ (速率)} = N \text{ (磁道容量)} \times r \text{ (转数)}$$

$$N = C / r = 16384B$$

$$\text{扇区数} = N / \text{扇区大小 (1024B)} = 16, 4bit$$



一盘组共11片，记录面为20面，每面上外道直径为14英寸，内道直径为10英寸，分203道。数据传输速率为983040B/s，转速3600转/分。假定每个记录块记录1024字节，且系统可挂多达16台此磁盘

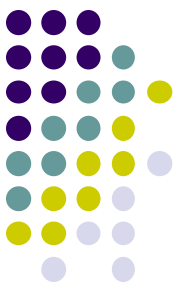
请设计地址格式，并**计算总存储容量**。

单盘总容量：

$$20 \times 203 \times 16384 = 66519040 \text{B}$$

系统（16盘）总容量

$$16 \times 20 \times 203 \times 16384 = 1064304640 \text{B}$$



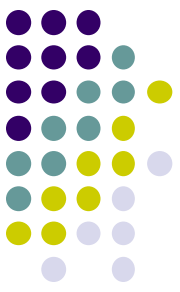
## 磁盘存储设备例题2

某磁盘，平均找道时间为 $20\text{ms}$ ，平均旋转等待时间为 $7\text{ms}$ ，数据传输速率为 $2.5\text{MB/s}$ 。磁盘上随机存放500个文件，每个文件大小 $1\text{MB}$ ，现需要将所有文件逐一读出并检查更新，每个文件平均需要 $2\text{ms}$ 额外处理时间。

问：

- (1) 检查并更新所有文件所需占用时间？
- (2) 磁盘及转速和数据传输速率均提高一倍，检查并更新全部文件时间是多少？





某磁盘，平均找道时间为20ms，平均旋转等待时间为7ms，数据传输速率为2.5MB/s。磁盘上随机存放500个文件，每个文件大小1MB，现需要将所有文件逐一读出并检查更新，每个文件平均需要2ms额外处理时间

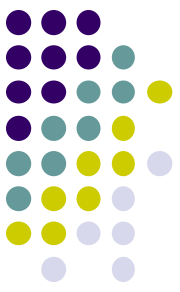
问：

(1) 检查并更新所有文件所需占用时间？

$$\begin{aligned}\text{单次读写时间} &= \text{找道时间} + \text{等待时间} + \text{数据传输时间} \\ &= 20\text{ms} + 7\text{ms} + (1/2.5) * 1000\text{ms} = 427\text{ms}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{检查并更新一个文件时间} &= \text{单次读写时间} * 2 + 2\text{ms} \\ &= 856\text{ms}\end{aligned}$$

$$\text{500文件总时间} = 856 * 500 = 428000\text{ms} = 428\text{s}$$



某磁盘，平均找道时间为20ms，平均旋转等待时间为7ms，数据传输速率为2.5MB/s。磁盘上随机存放500个文件，每个文件大小1MB，现需要将所有文件逐一读出并检查更新，每个文件平均需要2ms额外处理时间

问：

(2) 磁盘及转速和数据传输速率均提高一倍，检查并更新全部文件时间是多少？

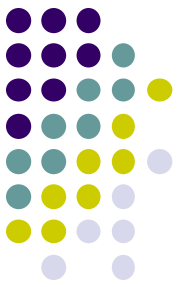
单次读写时间=找道时间+等待时间+数据传输时间

$$=20\text{ms}+7\text{ms}/2+(1/5)*1000\text{ms}=223.5\text{ms}$$

检查并更新一个文件时间=单次读写时间\*2+2ms

$$=449\text{ms}$$

500文件总时间=449\*500=224500ms=224.5s

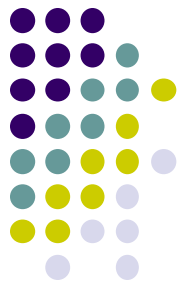


## 磁盘存储设备例题3

磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两个面不用。存储区域内径22cm，外径33cm，道密度为40道/cm，内层位密度400位/cm，转速6000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)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？

磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两个面不用。存储区域内径22cm，外径33cm，道密度为40道/cm，内层位密度400位/cm，转速6000转/分。问：

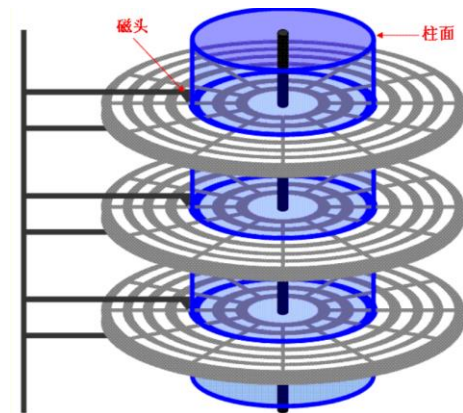


(1)共有多少柱面？（内径→直径）

有效存储区域=16.5  $(33/2)$  -11  $(22/2)$  =5.5(cm)

道密度=40道/cm

每一记录面共有 $40 \times 5.5 = 220$ 道，共有220柱面



(2)盘组总存储容量是多少？

内层磁道周长为 $2\pi R = 2 \times 3.14 \times 11 = 69.08$ (cm)

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

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

盘组总容量= $759880 \text{ B} \times 10$   $(12-2)$  =7598800B

磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两个面不用。存储区域内径22cm，外径33cm，道密度为40道/cm，内层位密度400位/cm，转速6000转/分。问：



(3)数据传输率多少？

磁盘数据传输率 $Dr=rN$

$N$ 为每条磁道容量， $N=3454B$

$r$ 为磁盘转速， $r=6000\text{转}/60\text{秒}=100\text{转}/\text{秒}$

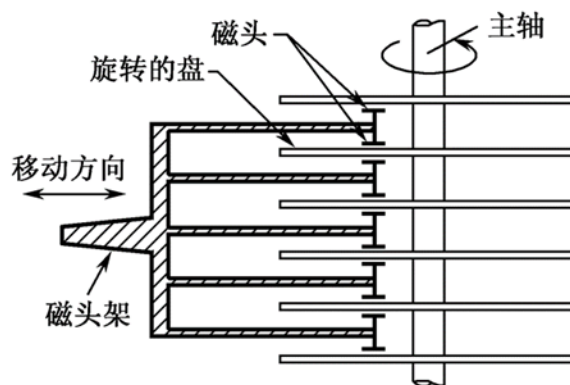
$Dr=rN=100\times 3454B=345400B/s$

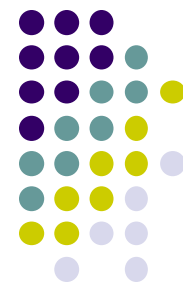
磁盘组有6片磁盘，每片有两个记录面，最上最下两个面不用。存储区域内径22cm，外径33cm，道密度为40道/cm，内层位密度400位/cm，转速6000转/分。问：



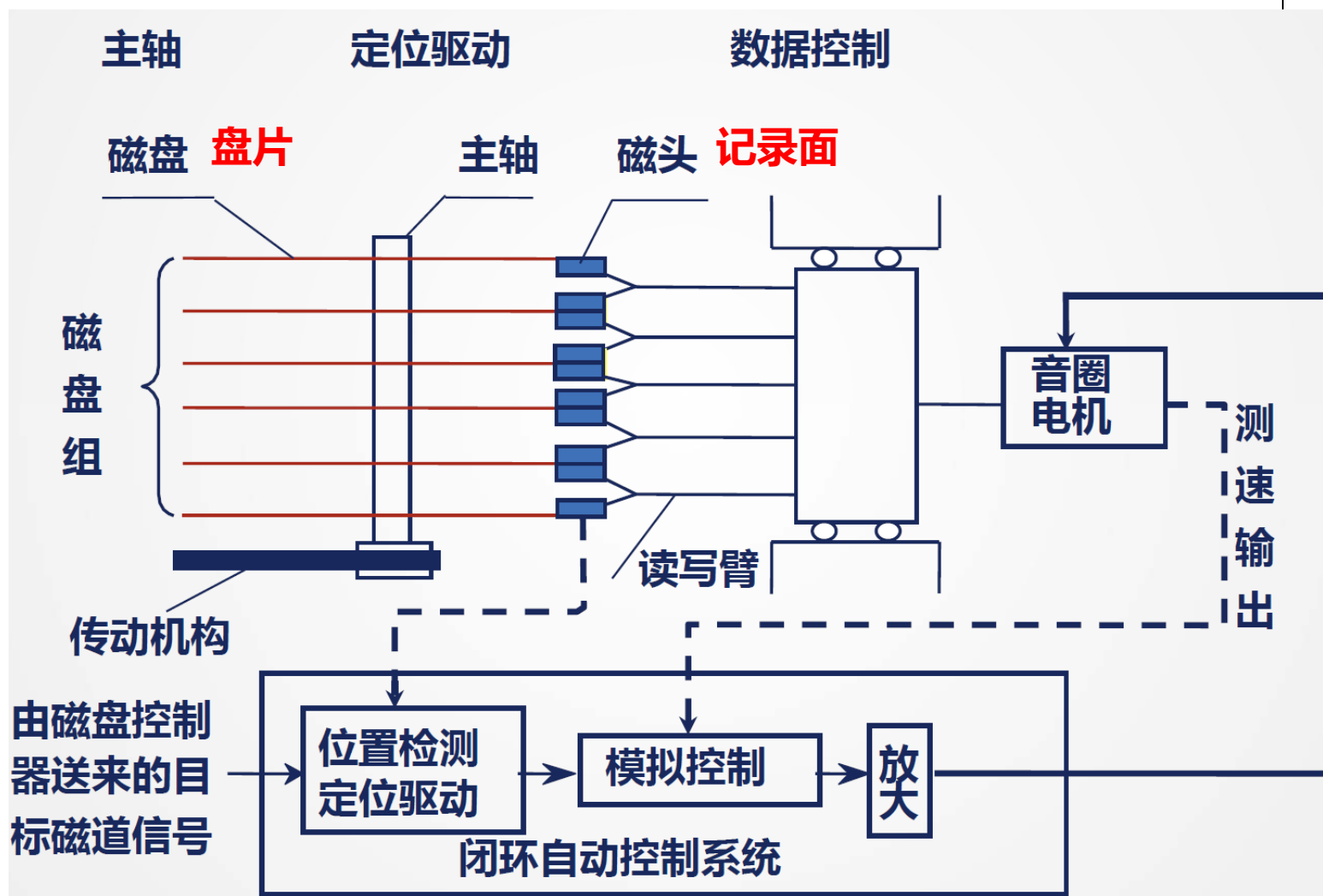
(4)如果某文件长度超过一个磁道的容量，应将它记录在同一个存储面上，还是记录在同一个柱面上？

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柱面上，因为不需要重新找道，数据读/写速度快。



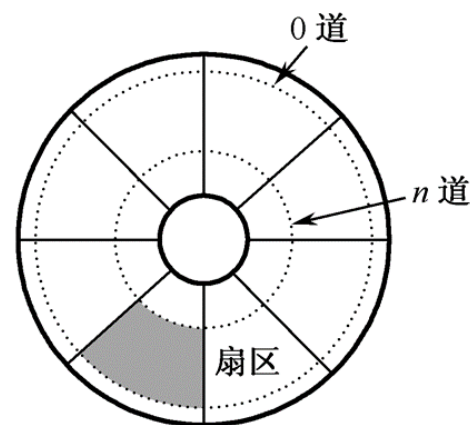
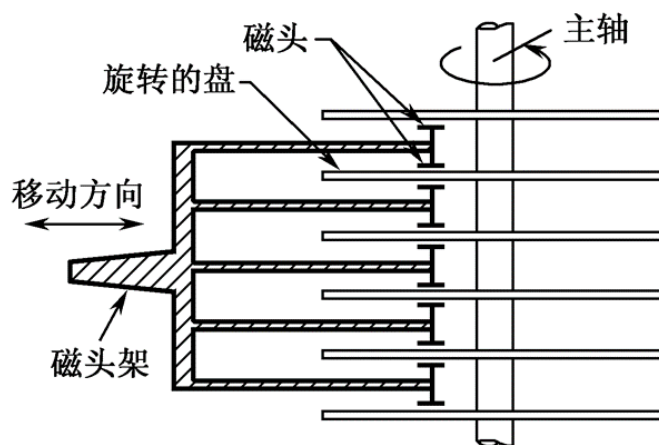
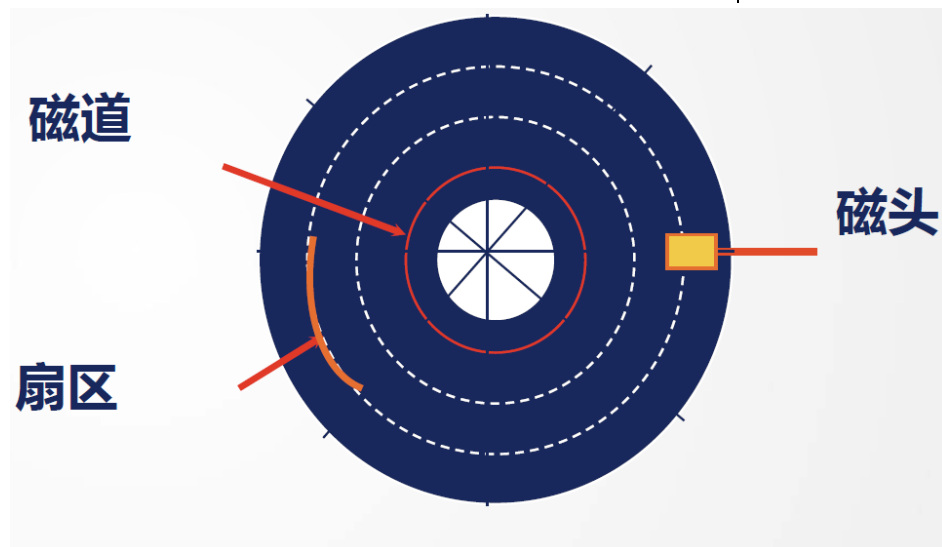


# 总结：磁盘计算相关

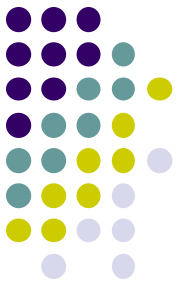


# 总结：磁盘计算相关

- 盘片
- 记录面
- 磁道 (柱面)
- 扇区
- 记录块







# 总结：磁盘计算相关

磁盘容量

- 扇区容量  $S$
- 磁道容量  $T = \text{每道扇区数 } n \times S$
- 单面容量  $P = \text{每面磁道数 } t \times T$
- 磁盘容量  $V = \text{总计盘面数 } m \times P$

磁盘速率

- 假设磁盘旋转速度为 $r$ 转/秒，每条磁道容量为 $N$ 个字节，则
  - $D_r = r \cdot N$  (字节/秒)

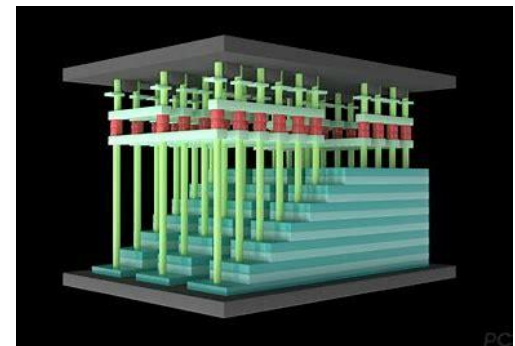
平均存取时间

- $T_a = T_s + 1/(2r) + b/rN$

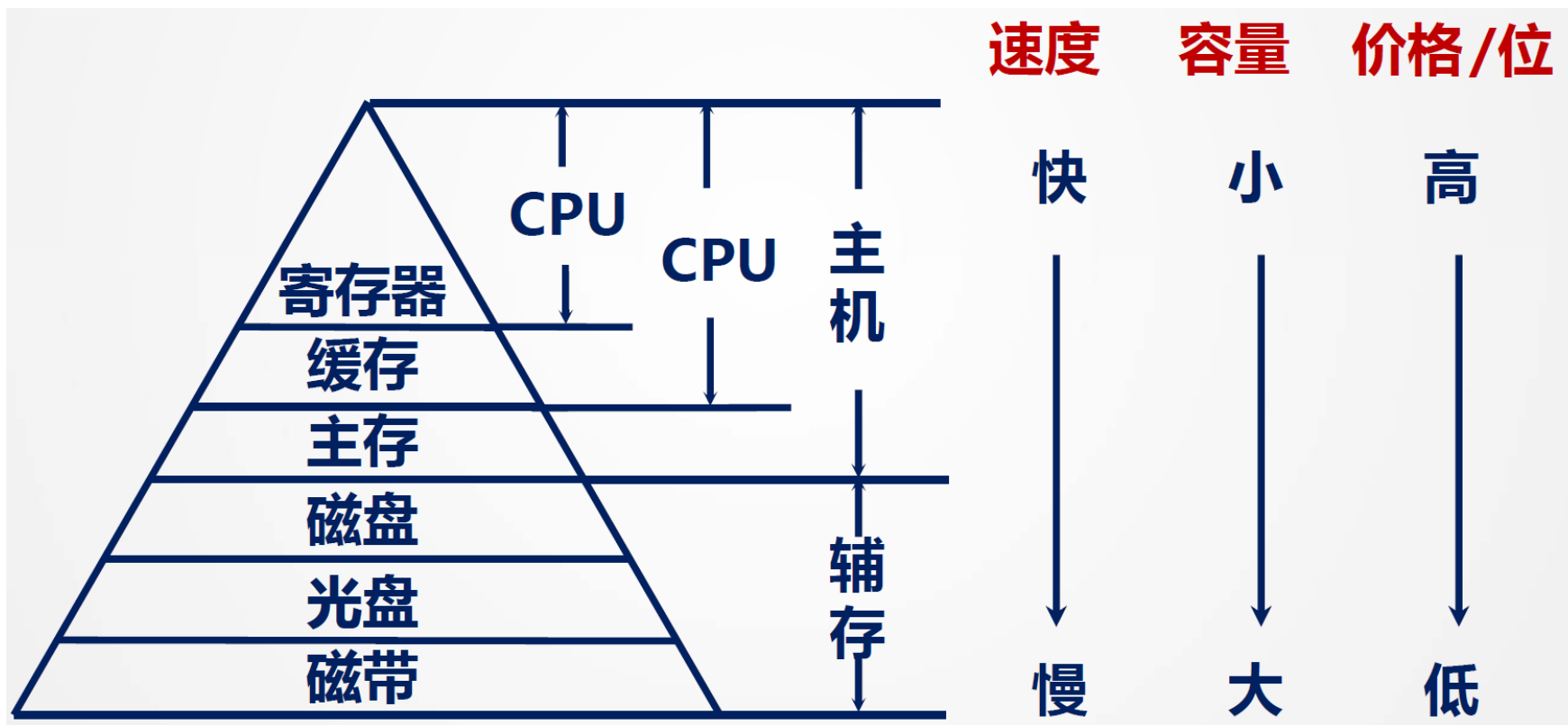


# 思考：实际磁盘用处？

- FLASH存储又称闪存，是高密度非易失性存储器，功耗低、集成度高、不需后备电源
- 访问时间是磁盘的1‰~1%，存在三种基本操作：读、写、擦除
- FLASH存储优点
  - 可编程，易于可读写；用途：U盘、SSD



# 思考：多级存储体系



# 硬盘、磁盘存储设备

磁记录存储原理

磁盘组成

记录介质、控制器、驱动器

分类

盘片结构

可换盘片

固定盘片

温盘

磁头类型

可移动磁头

固定磁头

磁盘信息分布

记录面、磁道（柱面）、扇区

记录块、索引、地址格式

性能指标

存储容量/密度：道密度、位密度、面密度

数据传输速率

转速/线速度

平均存取时间：找道时间+等待时间+传输时间