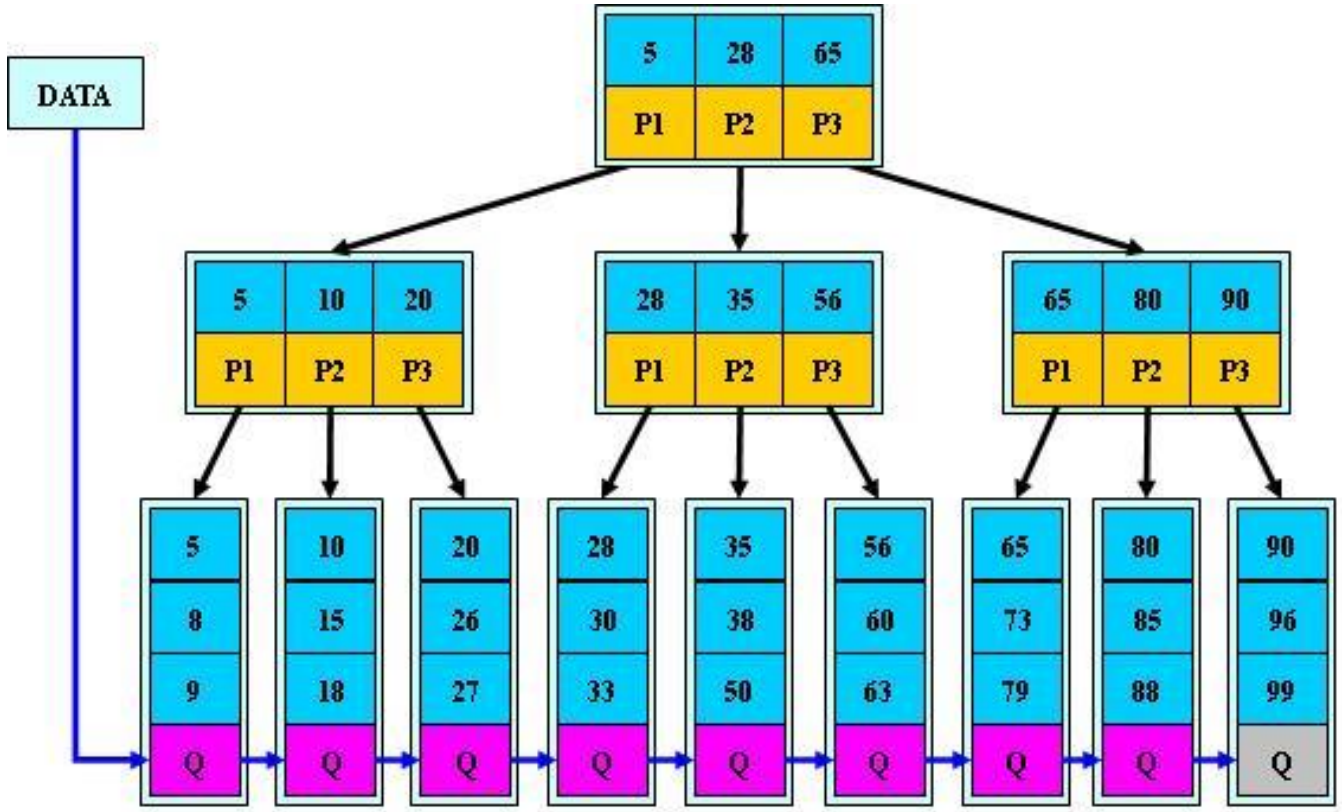
B+树

B+树

■ B+树是B树的变体，常用于数据库和操作系统的文件系统中

□ MySQL数据库的索引就是基于B+树实现的



■ B+树的特点

□ 分为内部节点（非叶子）、叶子节点2种节点

✓ 内部节点只存储key，不存储具体数据

✓ 叶子节点存储key和具体数据

□ 所有的叶子节点形成一条有序链表

□ m阶B+树非根节点的元素数量 x

✓ $\lceil m/2 \rceil \le x \le m$

关于MySQL发音的官方说明

- https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html
  - The official way to pronounce “MySQL” is “My Ess Que Ell” (not “my sequel”),
  - but we do not mind if you pronounce it as “my sequel” or in some other localized way.

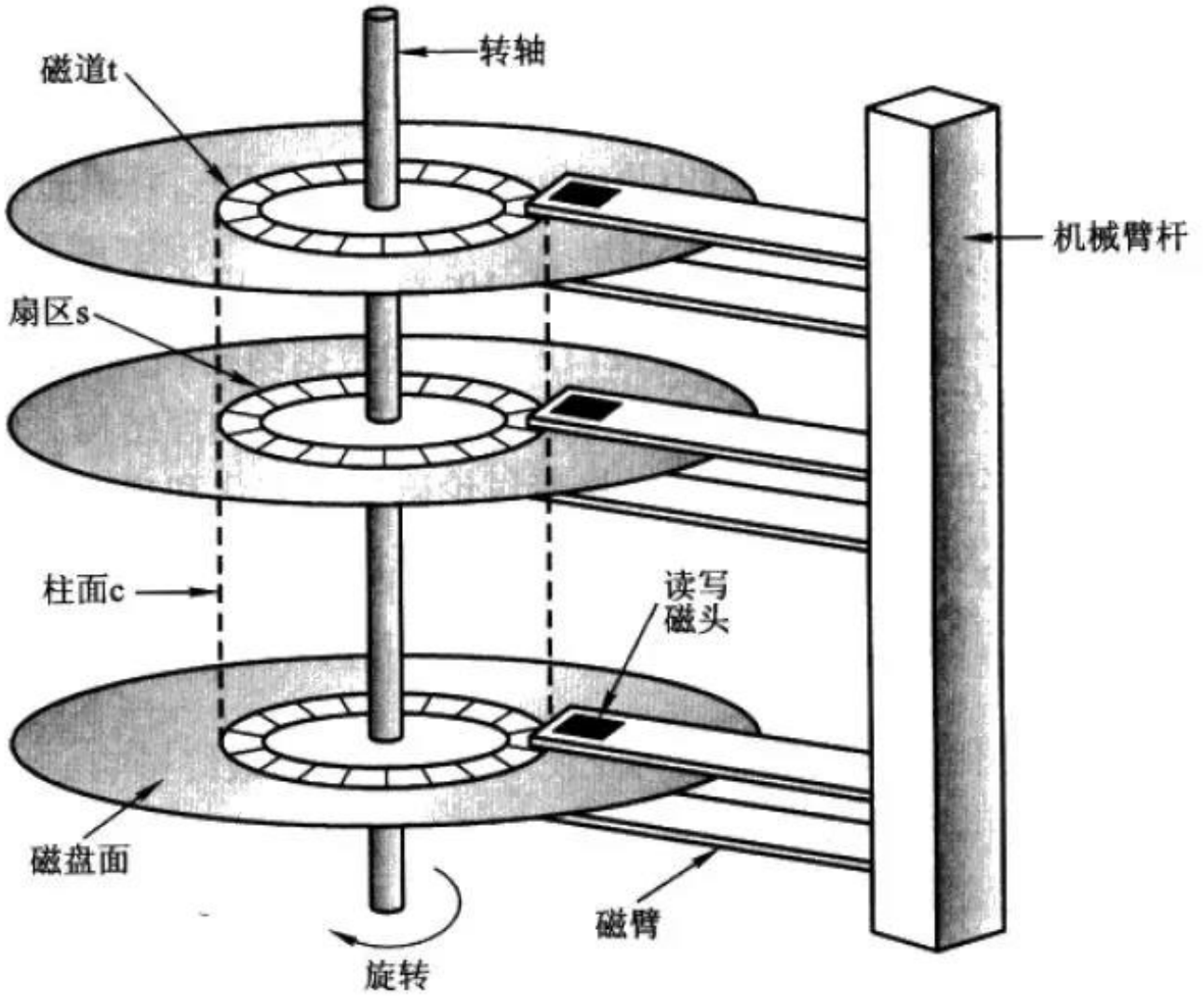
硬盘的分类

- 市面上常见的硬盘有：机械硬盘（Hard Disk Drive，HDD）、固态硬盘（Solid State Drive，SSD）
- 我们主要介绍一下机械硬盘相关概念

机械硬盘内部结构

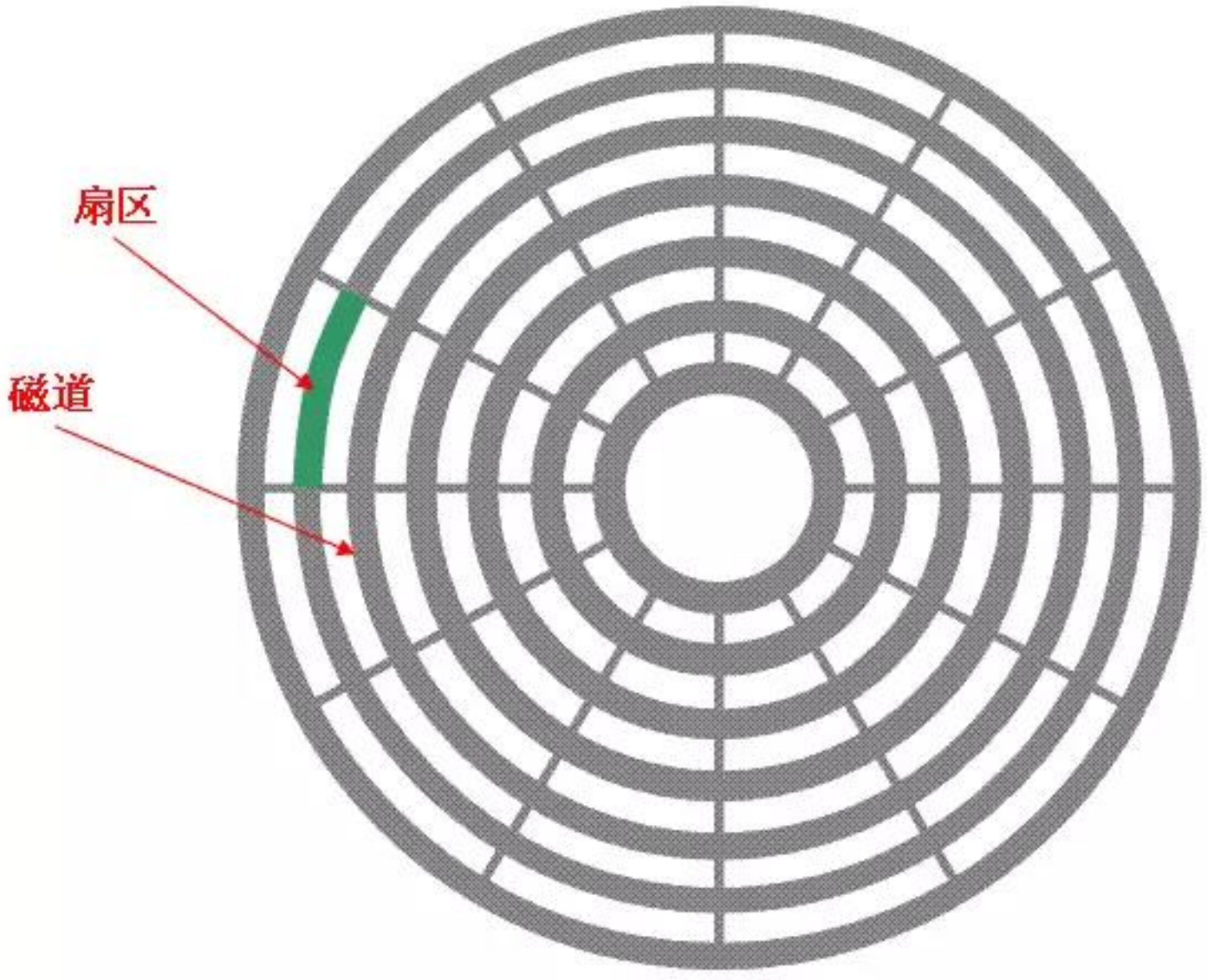
SSD固态硬盘内部结构

盘片（platter）、盘面（side）、读写磁头（head）



- 硬盘一般由多个盘片组成
- 每个盘片包含2个盘面
- 每个盘面有1个对应的读写磁头
  - 盘面、磁头由上到下从0开始编号

磁道（track）、扇区（sector）



- 盘面中的一圈圈灰色圆环为是一条条的磁道
  - 磁道由外到内从0开始编号

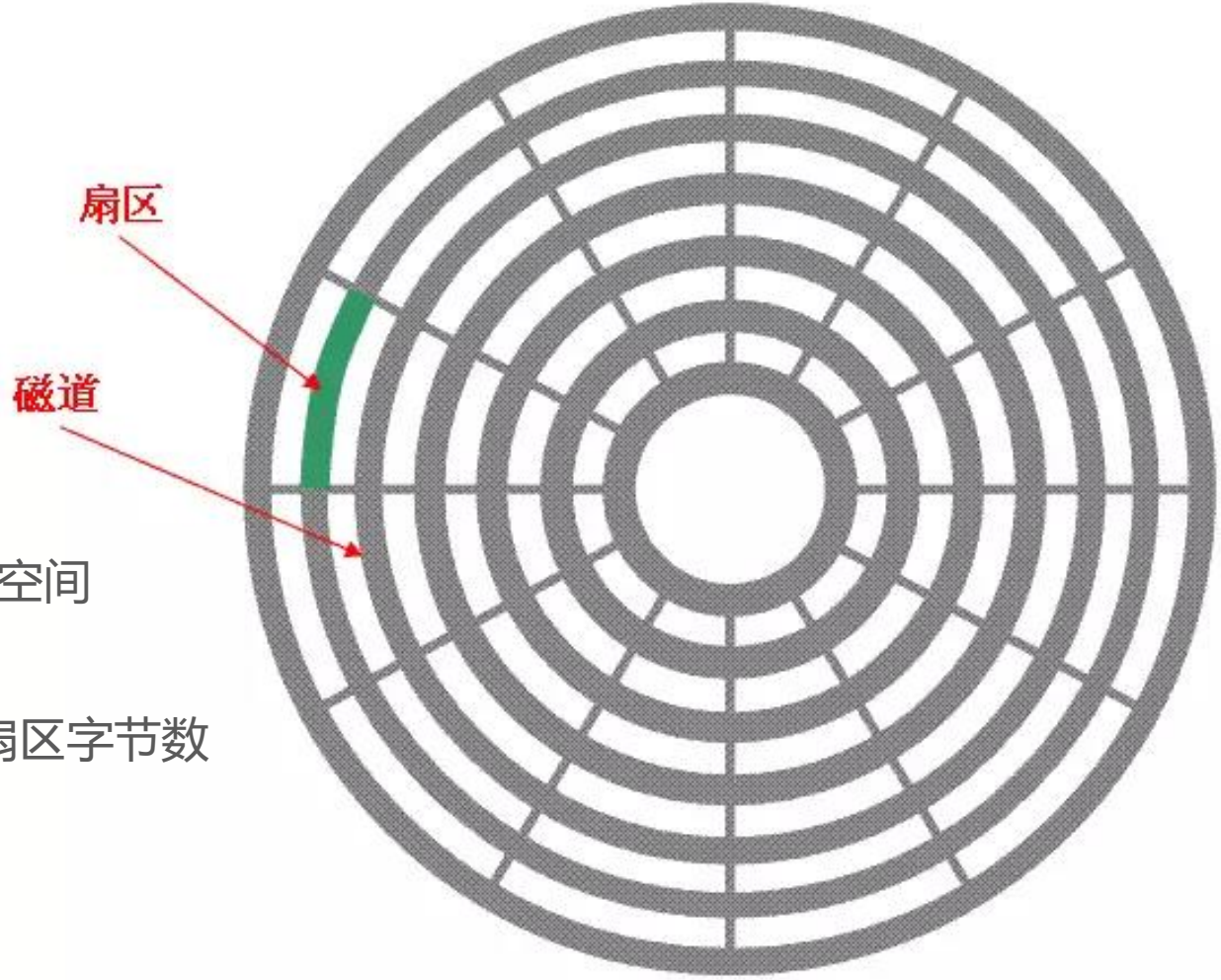
- 每条磁道上的一个弧段叫做一个扇区
  - 扇区是磁盘的最小读写单位
  - 一个扇区的大小通常是512字节
    - ✓ 也有4096字节的

早期硬盘的扇区细节

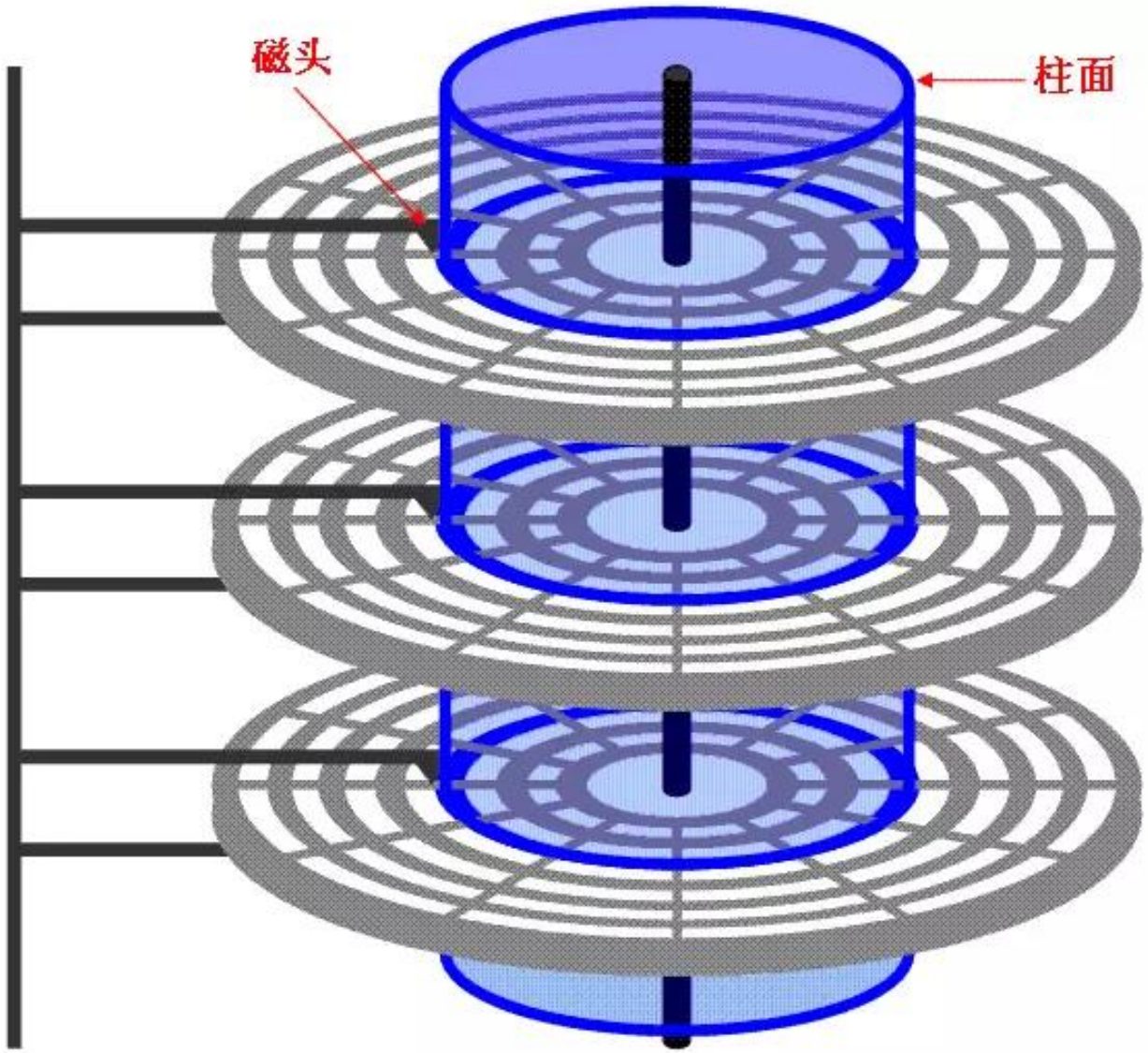
- 每条磁道的扇区数相同
  - 所以外圈扇区的面积会比内圈扇区大

- 为了更好的读取数据，它们会存放相同的字节数
  - 所以外圈扇区的记录密度要比内圈小，会浪费大量的存储空间

- 硬盘的存储容量 = 磁头数 * 盘面磁道数 * 磁道扇区数 * 扇区字节数



柱面（cylinder）



- 相同编号的磁道形成一个圆柱，称为柱面
- 磁盘的柱面数与一个盘面的磁道数是相等的

磁盘块

- 磁盘块，在Windows中叫做簇（cluster），在Linux中叫做块（ block ）
  - 相邻的 2^n 个扇区组合在一起，形成一个磁盘块
  - 操作系统对磁盘进行管理时，以磁盘块作为最小读写单位
    - ✓ 一般一个磁盘块是4096字节（4KB， 由8个连续的512字节扇区组成）

- 注意
  - 磁盘块是操作系统中的一个虚拟概念
  - 扇区是磁盘上真实存在的物理区域

查看硬盘信息

- Windows
  - 如果是查看D盘，管理员权限打开命令行工具，输入【fsutil fsinfo ntfsinfo d:】
  - 或者搜索框输入【系统信息】

- Mac
  - 使用【磁盘工具】

操作系统读取硬盘数据的过程

① 操作系统将LBA传送给磁盘驱动器并启动读取命令

✓ LBA（Logical Block Address，逻辑块地址）

✓ 比如类似设备号4、磁头号4、磁道号8、扇区号16、扇区计数8这样的信息

② 磁盘驱动器根据LBA将磁头移动到正确的磁道，盘片开始旋转，将目标扇区旋转到磁头下

③ 磁盘控制器将扇区数据等信息传送到一个处于磁盘界面的缓冲区

④ 磁盘驱动器向操作系统发出“数据就绪”信号

⑤ 操作系统从磁盘界面的缓冲区读取数据

✓ 既可以按照一个字节一个字节的方式读取

✓ 也可以启动DMA（Direct Memory Access，直接内存访问）命令读取

磁盘完成IO操作的时间

- 主要由寻道时间、旋转延迟时间、数据传输时间3部分构成
  - 寻道时间（seek）
    - ✓ 将读写磁头移动至正确的磁道上所需要的时间，这部分时间代价最高
  - 旋转延迟时间（rotation）
    - ✓ 盘片旋转将目标扇区移动到读写磁头下方所需要的时间，取决于磁盘转速
  - 数据传输时间（transfer）
    - ✓ 完成传输数据所需要的时间，取决于接口的数据传输率，通常远小于前两部分消耗时间

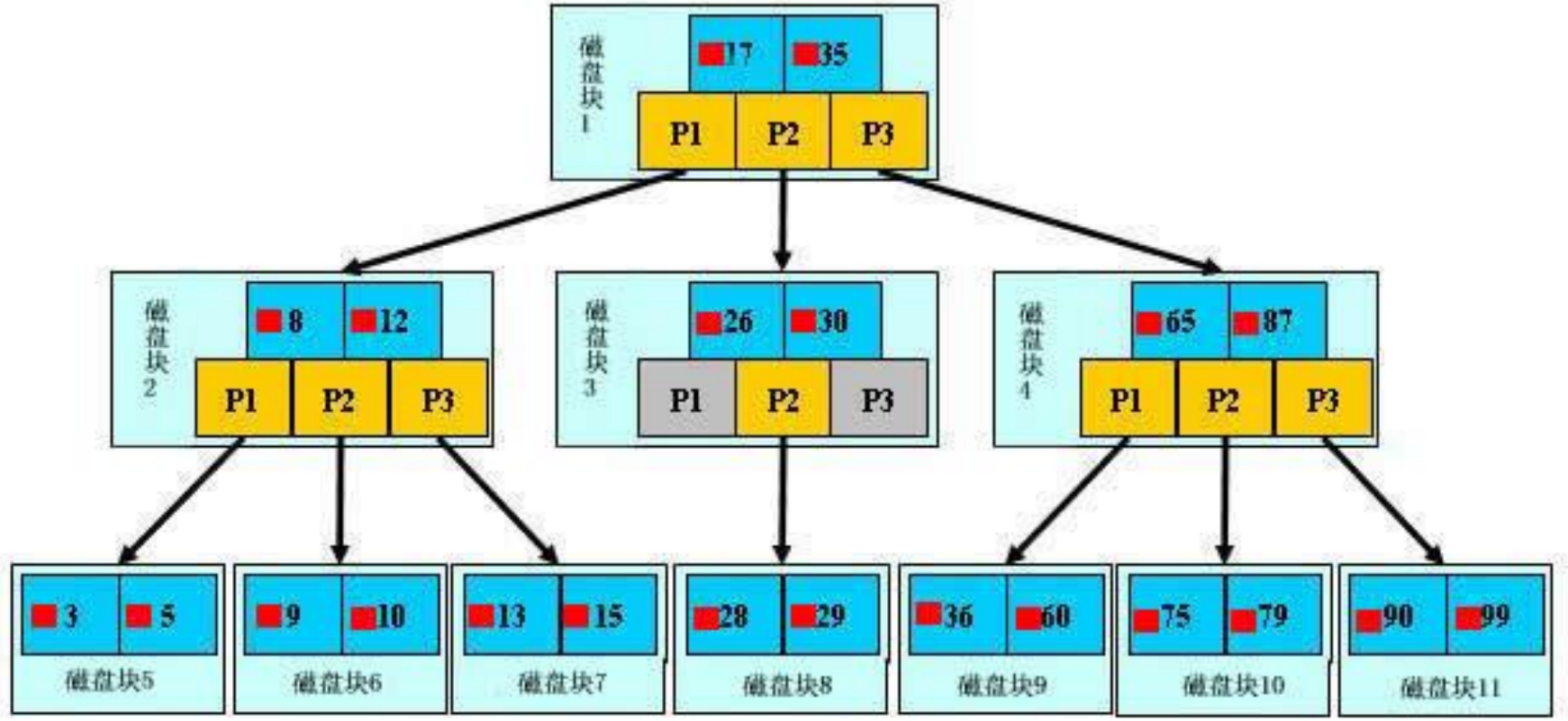
- 决定时间长短的大部分因素是和硬件相关的，但所需移动的磁道数是可以通过操作系统来进行控制的
  - 减少所需移动的磁道数是减少整个硬盘读写时间的有效办法
  - 合理安排磁头的移动以减少寻道时间就是磁盘调度算法的目的所在

MySQL的索引底层为何使用B+树?

- 为了减小IO操作数量，一般把一个节点的大小设计成最小读写单位的大小
  - MySQL的存储引擎InnoDB的最小读写单位是16K

- 对比B树，B+树的优势是
  - 每个节点存储的key数量更多，树的高度更低
  - 所有的具体数据都存在叶子节点上，所以每次查询都要查到叶子节点，查询速度比较稳定
  - 所有的叶子节点构成了一个有序链表，做区间查询时更方便

B树


磁盘块1
17
35
P1
P2
P3
磁盘块2
8
12
P1
P2
P3
磁盘块3
26
30
P1
P2
P3
磁盘块4
65
87
P1
P2
P3
3
5
磁盘块5
9
10
磁盘块6
13
15
磁盘块7
28
29
磁盘块8
36
60
磁盘块9
75
79
磁盘块10
90
99
磁盘块11

B*树

■ B*树是B+树的变体：给内部节点增加了指向兄弟节点的指针

□ m阶B*树非根节点的元素数量 x

✓ ⌈2m/3⌉ ≤ x ≤ m