

图 4.65 固定头和移动头磁盘

典型的的就是温切斯特磁盘。

可换盘磁盘存储器是指盘片可以脱机保存。这种磁盘可以在互为兼容的磁盘存储器之间交换数据,便于扩大存储容量。盘片可以只换单片,如在4片盒式磁盘存储器中,3片磁盘固定,只有1片可换。也可以将整个磁盘组(如6片、11片、12片等)换下。

固定盘磁盘存储器是指磁盘不能从驱动器中取下,更换时要把整个头盘组合体一起更换。

温切斯特磁盘是一种可移动磁头固定盘片的磁盘存储器,简称温盘。它是目前用得最广,最有代表性的硬磁盘存储器。它于1973年首先应用在IBM 3340硬磁盘存储器中。其特点是采用密封组合方式,将磁头、盘片、驱动部件以及读/写电路等制成一个不能随意拆卸的整体,称为头盘组合体。因此,它的防尘性能好,可靠性高,对环境要求不高。过去有些普通的硬磁盘存储器要求在超净环境中应用,往往只能用在特殊条件的大中型计算机系统中。

## 2. 硬磁盘存储器的结构

硬磁盘存储器由磁盘驱动器、磁盘控制器和盘片3大部分组成,如图4.66所示。

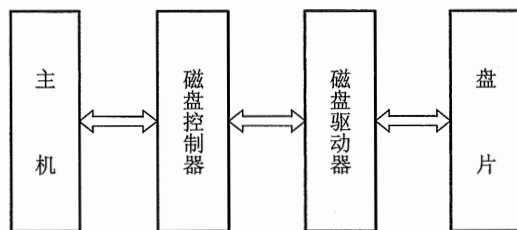


图 4.66 磁盘存储器基本结构示意图

### (1) 磁盘驱动器

磁盘驱动器是主机外的一个独立装置,又称磁盘机。大型磁盘驱动器要占用一个或几个机柜,温盘只是一个比砖还小的小匣子。驱动器主要包括主轴、定位驱动及数据控制3部分。

图 4.67 示意了磁盘驱动器的主轴系统和定位驱动系统。

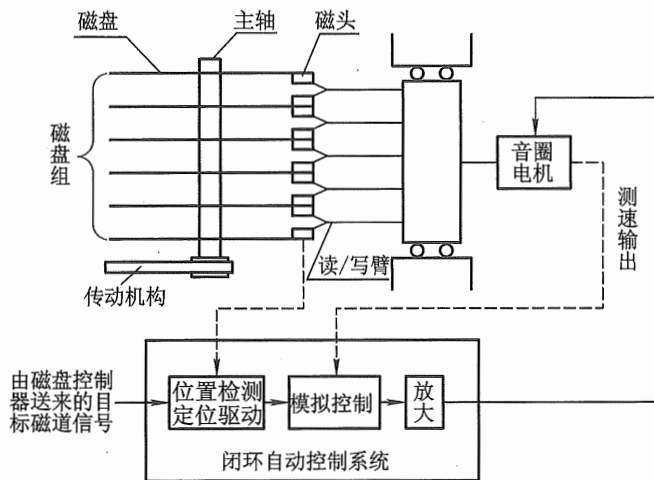


图 4.67 磁盘驱动器结构及定位驱动系统的示意图

图中主轴上装有6片磁盘,主轴受传动机构控制,可使磁盘组作高速旋转运动。磁盘组共有10个有效记录面,每一面对应一个磁头。10个磁头分装在读/写臂上,连成一体,固定在小车上,犹如一把梳子。在音圈电机带动下,小车可以平行移动,带着磁头作盘的径向运动,以便找到目标磁道。磁头还具备浮动的特性,即当盘面作高速旋转时,依靠盘面形成的高速气流将磁头微微“托”起,使磁头与盘面不直接接触形成微小的气隙。

整个驱动定位系统是一个带有速度和位置反馈的闭环调节自控系统。由位置检测电路测得磁头的即时位置,并与磁盘控制器送来的目标磁道位置进行比较,找出位差;再根据磁头即时平移的速度求出磁头正确运动的方向和速度,经放大送回给线性音圈电机,以改变小车的移动方向和速度,由此直到找到目标磁道为止。

数据控制部分主要完成数据转换及读/写控制操作。在写操作时,首先接收选头选址信号,用以确定道地址和扇段地址。再根据写命令和写数据选定的磁记录方式,并将其转化为按一定变化规律的驱动电流注入磁头的写线圈中。按4.4.2节所述的工作原理,便可将数据写入指定磁道上。读操作时,首先也要接收选头选址信号,然后通过读放大器以及译码电路,将数据脉冲分离出来。

## (2) 磁盘控制器

磁盘控制器通常制作成一块电路板,插在主机总线插槽中。其作用是接收由主机发来的命令,将它转换成磁盘驱动器的控制命令,实现主机和驱动器之间的数据格式转换和数据传送,并控制驱动器的读/写。可见,磁盘控制器是主机与磁盘驱动器之间的接口。其内部又包含两个接口,一个是对主机的接口,称为系统级接口,它通过系统总线与主机交换信息;另一个是对硬盘(设备)的接口,称为设备级接口,又称为设备控制器,它接收主机的命令以控制设备的各种操

作。一个磁盘控制器可以控制一台或几台驱动器。图 4.68 是磁盘控制器接口的示意图。

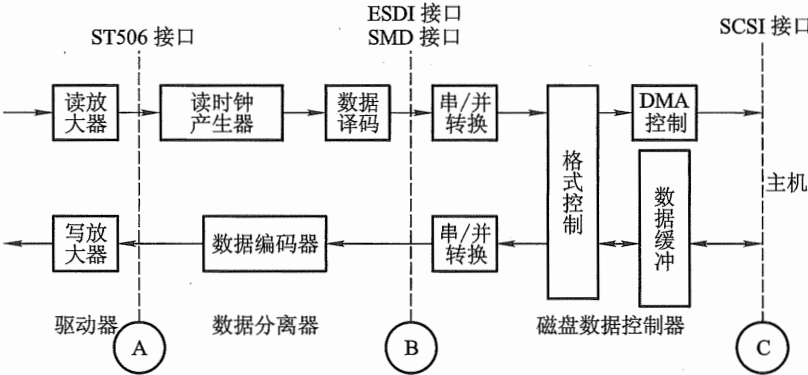


图 4.68 磁盘控制器接口的示意图

磁盘控制器与主机之间的界面比较清晰,只与主机的系统总线打交道,即数据的发送或接收都是通过总线完成的。磁盘存储器属快速外部设备,它与主机交换信息通常采用直接存储器访问(DMA)的控制方式(详见 5.6 节),图中所示的 SCSI 标准接口即可与系统总线相连。

磁盘控制器与驱动器的界面可设在图 4.68 的 A 处,则驱动器只完成读写和放大,如 ST506 接口就属于这种类型。如果将界面设在 B 处,则将数据分离电路和编码、解码电路划入驱动器内,磁盘控制器仅完成串/并(或并/串)转换、格式控制和 DMA 控制等逻辑功能,如 SMD 和 ESDI 等接口就属于这种类型。如果界面设在 C 处,则磁盘控制器的功能全部转入设备之中,主机与设备之间便可采用标准通用接口,如 SCSI 接口。现在的发展趋势是后两类,增强了设备的功能,使设备相对独立。图 4.69(a)是采用了 SCSI 接口的系统结构示意图,其接口信号线如图 4.69(b)所示。

(3) 盘片

盘片是存储信息的载体,随着计算机系统的不断小型化,硬盘也在朝着小体积和大容量的方向发展。十几年来商品化的硬盘盘面的记录密度已增长了 10 倍以上。表 4.5 列出了 1991 年以来正在研制或投产的各种硬盘某些主要指标所达到的水平(实际上这些指标都高于商品化硬盘指标)。

表 4.5 几种硬盘的某些指标

硬盘直径/英寸	5.25	3.5	2.5	1.8
驱动器容量	3.7 GB	1.4 GB	181.3 MB	20 MB
数据传输率/MBps	20	14.5	6	2
平均存取时间/ms	11	8.5	14.5	20

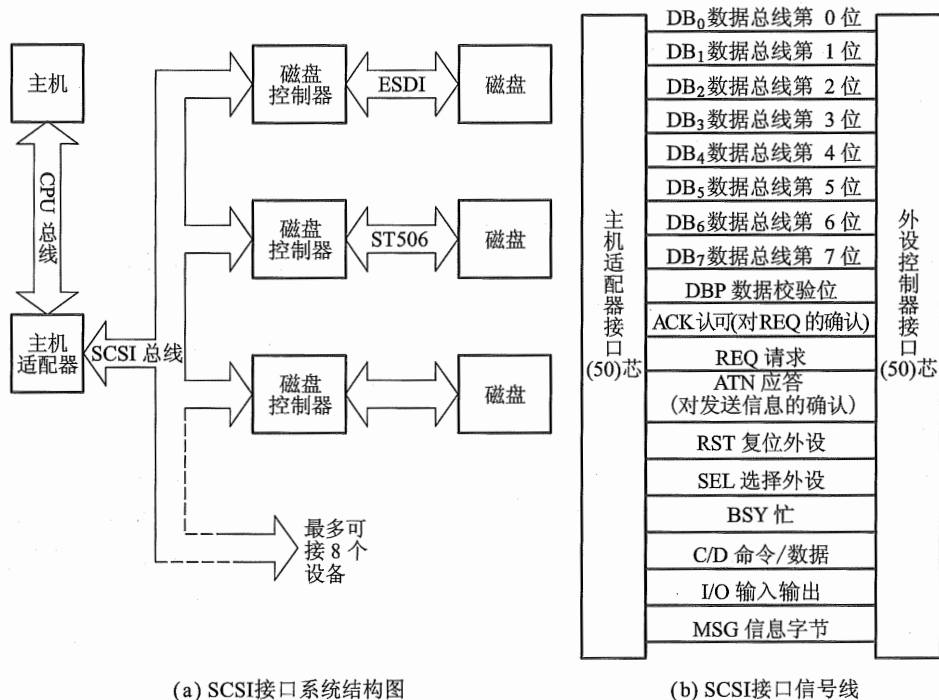


图 4.69 SCSI 接口系统结构和接口信号线

### 3. 硬磁盘存储器的发展动向

#### (1) 半导体盘

半导体盘是用半导体材料制成的“盘”，它既没有盘，也没有其他运动部件，它是以半导体芯片为核心，加上接口电路和其他控制电路，在功能上模拟硬盘，即按硬盘的工作方式存取数据。如 EEPROM，它可用电信号改写，断电时其原存信息也不被丢失，因此，它就可以做成半导体盘，其存取速度比硬盘要快得多，大约在 0.1 ms 以下。

Flash Memory 是在 EPROM 和 EEPROM 基础上产生的一种新型的、具有性能价格比和可靠性更高的可擦写、非易失性的存储器。大容量的 Flash Memory 既能长期反复使用，又不丢失信息，因此它可以用来替代磁盘。2006 年韩国三星电子公司开发的 Flash 存储芯片的容量已达 32 GB。

#### (2) 提高磁盘记录密度

为提高磁盘记录密度，通常可采用以下技术。

- 采用高密度记录磁头。
- 采用先进的信息处理技术，克服由高密度带来的读出信号减弱和信号干扰比下降的缺点。

- 降低磁头浮动高度和采用高性能磁头浮动块。
- 改进磁头伺服跟踪技术。
- 采用高性能介质和基板的磁盘。
- 改进编码方式。

(3) 提高磁盘的数据传输率和缩短平均存取时间

为实现磁盘高速化,可采用如下措施。

• 提高主轴转速,从过去的 2 400 rpm、3 600 rpm 提高到 4 400 rpm、4 500 rpm、5 400 rpm 和 6 300 rpm。例如,美国 Maxtor Corp 开发的 MXT-1240S 型的 3.5 英寸硬盘,主轴转速为 6 300 rpm,旋转等待时间为 4.76 ms,平均存取时间为 8.5 ms。

• 采用超高速缓冲存储器 Cache 芯片作为读/写操作控制电路。例如,IBM 3990 型 14 英寸硬盘以及 Quantum、Conner、日立制作所的 3.5 英寸硬盘的 Cache 容量已达 256 KB。

(4) 采用磁盘阵列 RAID

尽管磁盘存储器的速度有了很大的提高,但与处理器相比,差距仍然很大。这种状态使磁盘存储器成了整个计算机系统功能提高的瓶颈。于是又出现了磁盘阵列 RAID (Redundant Array of Independent Disks)。它的基本原理是将并行处理技术引入磁盘系统。使用多台小型温盘构成同步化的磁盘阵列,将数据展开分放在多台盘上,而这些盘又能像一台盘那样操作,使数据传输时间为单台盘的  $1/n$  ( $n$  为并行驱动器个数)。有关 RAID 的内容,读者可在“计算机体系结构”课程中重点学习。

#### 4. 硬磁盘的磁道记录格式

盘面的信息串行排列在磁道上,以字节为单位,若干相关的字节组成记录块,一系列的记录块又构成一个“记录”,一批相关的“记录”组成了文件。为了便于寻址,数据块在盘面上的分布遵循一定规律,称为磁道记录格式。常见的有定长记录格式和不定长记录格式两种。

(1) 定长记录格式

一个具有  $n$  个盘片的磁盘组,可将其  $n$  个面上同一半径的磁道看成一个圆柱面,这些磁道存储的信息称为柱面信息。在移动磁头组合盘中,磁头定位机构一次定位的磁道集合正好是一个柱面。信息的交换通常在圆柱面上进行,柱面个数正好等于磁道数,故柱面号就是磁道号,而磁头号则是盘面号。

盘面又分若干扇区,每条磁道被分割成若干个扇段,数据在盘片上的布局如图 4.70 所示。扇段是磁盘寻址的最小单位。在定长记录格式中,当台号决定后,磁盘寻址定位首先确定柱面,再选定磁头,最后找到扇段。因此寻址用的磁盘地址应由台号、磁道号、盘面号、扇段号等字段组成,也可将扇段号用扇区号代替。

CDC 6639 型、7637 型、ISOT-1370 型等磁盘都采用定长记录格式。ISOT-1370 型磁盘的磁道记录格式如图 4.71 所示。

ISOT 盘共有 12 个扇区,每个扇段内只记录一个数据块,每个扇段开始由扇区标志盘读出一个扇标脉冲,标志一个扇段的开始,0 扇区标志处再增加一个磁道标志,指明是起始扇区。

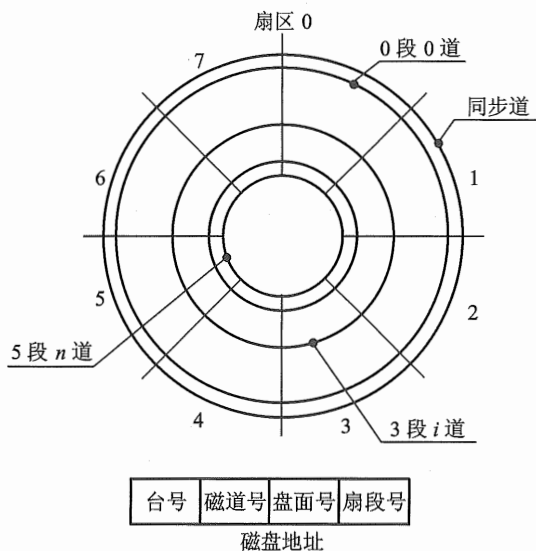


图 4.70 数据在盘片上的分布及磁盘地址定位

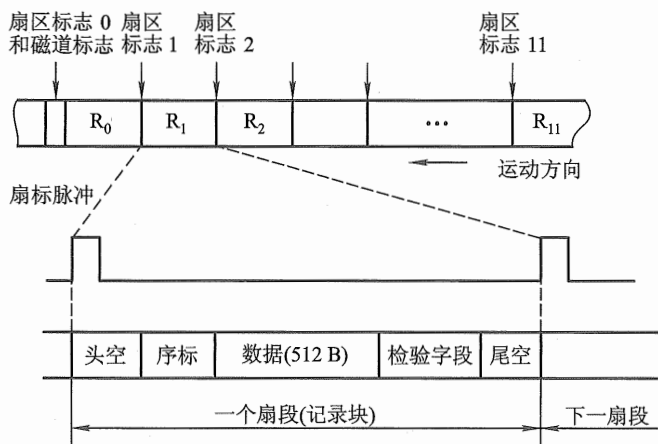


图 4.71 ISOT 型磁盘的磁道记录格式

每个扇段的头部是空白段,起到隧道清除作用。序标段以某种约定代码作为数据块的引导。数据段可写入 512 B,若不满 512 B,该扇段余下部分为空白;若超过 512 B,则可占用几个扇段。检验字段写一个校验字,常用循环冗余码(CRC)检验,尾空白段为全 0 或空白区以示数据结束。

这种记录格式结构简单,可按磁道号(柱面号)、盘面号、扇段号进行直接寻址,但记录区的利用率不高。

**例 4.12** 假设磁盘存储器共有 6 个盘片,最外两侧盘面不能记录,每面有 204 条磁道,每条

磁道有 12 个扇段,每个扇段有 512 B,磁盘机以 7 200 rpm 速度旋转,平均定位时间为 8 ms。

(1) 计算该磁盘存储器的存储容量。

(2) 计算该磁盘存储器的平均寻址时间。

解:(1) 6 个盘片共有 10 个记录面,磁盘存储器的总容量为  $512 \text{ B} \times 12 \times 204 \times 10 = 12\,533\,760 \text{ B}$

(2) 磁盘存储器的平均寻址时间包括平均寻道时间和平均等待时间。其中,平均寻道时间即平均定位时间为 8 ms,平均等待时间与磁盘转速有关。根据磁盘转速为 7 200 rpm,得磁盘每转一周的平均时间为

$$[60 \text{ s} / (7\,200 \text{ rpm})] \times 0.5 \approx 4.165 \text{ ms}$$

故平均寻址时间为

$$8 \text{ ms} + 4.165 \text{ ms} = 12.165 \text{ ms}$$

**例 4.13** 一个磁盘组共有 11 片,每片有 203 道,数据传输率为 983 040 Bps,磁盘组转速为 3 600 rpm。假设每个记录块有 1 024 B,且系统可挂 16 台这样的磁盘机,计算该磁盘存储器的总容量并设计磁盘地址格式。

解:(1) 由于数据传输速率 = 每一条磁道的容量  $\times$  磁盘转速,且磁盘转速为 3 600 rpm = 60 rps,故每一磁道的容量为  $983\,040 \text{ Bps} / 60 \text{ rps} = 16\,384 \text{ B}$ 。

(2) 根据每个记录块(即扇段)有 1 024 B,故每个磁道有  $16\,384 \text{ B} / 1\,024 \text{ B} = 16$  个扇段。

(3) 磁盘地址格式如图 4.72 所示。其中;台号 4 位,表示有 16 台磁盘机;磁道号 8 位,能反映 203 道;盘面号 5 位,对应 11 个盘片共有 20 个记录面;扇段号 4 位,对应 16 个扇段。

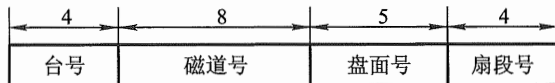


图 4.72 例 4.13 磁盘地址格式

**例 4.14** 对于一个由 6 个盘面组成的磁盘存储器,若某个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?

解:如果文件长度超过一个磁道的容量,应将它记录在同一柱面上,因为不需要重新找道,寻址时间减少,数据读/写速度快。

(2) 不定长记录格式

在实践应用中,信息常以文件形式存入磁盘。若文件长度不是定长记录块的整数倍时,往往造成记录块的浪费。不定长记录格式可根据需要来决定记录块的长度。例如,IBM 2311、2314 等磁盘驱动器采用不定长记录格式,图 4.73 是 IBM 2311 盘不定长度磁道记录格式的示意图。

图中 ID 是起始标志,又称索引标志,表示磁道的起点。间隙  $G_1$  是一段空白区,占 36~72 个字节长度,其作用是使连续的磁道分成不同的区,以利于磁盘控制器与磁盘机之间的同步和定

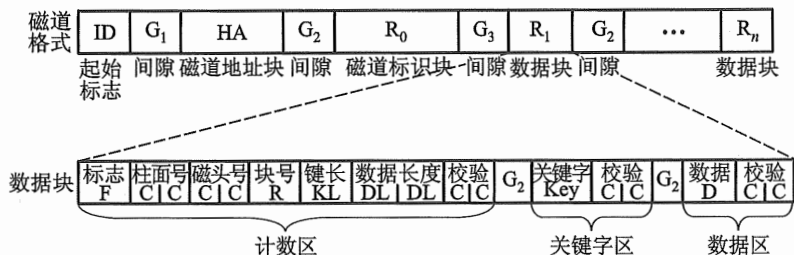


图 4.73 IBM 2311 盘不定长度磁道记录格式的示意图

位。磁道地址块 HA 又称为标识地址或专用地址,占 7 个字节,用来表明 4 部分的状况:磁道是否完好、柱面逻辑地址号、磁头逻辑地址号和校验码。间隙  $G_2$  占 18~38 个字节长度。 $R_0$  是磁道标识块,用来说明本磁道的状况,不作为用户数据区。间隙  $G_3$  包含一个以专用字符表示的地址标志,指明后面都是数据记录块。数据记录块  $R_1$  由计数区、关键字区和数据区 3 段组成,这 3 段都有循环校验码。一般要求一个记录限于同一磁道内,若设有专门的磁道溢出手段,则允许继续记录到同一柱面的另一磁道内。数据区长度不定,实际长度由计数区的 DL 给定,通常为 1~64 KB。从主存调出数据时,常常带有奇偶校验位,在写入磁盘时,则由磁盘控制器删去奇偶校验位,并在数据区结束时加上循环校验位。当从磁盘读出数据时,需进行一次校验操作,并恢复原来的奇偶校验位。可见,在磁盘数据区中,数据是串行的,字节之间没有间隙,字节后面没有校验位。

#### 4.4.4 软磁盘存储器

##### 1. 概述

软磁盘存储器与硬磁盘存储器的存储原理和记录方式是相同的,但在结构上有较大差别:硬盘转速高,存取速度快;软盘转速低,存取速度慢。硬盘有固定磁头、固定盘、盘组等结构;软盘都是活动头,可换盘片结构。硬盘是靠浮动磁头读/写,磁头不接触盘片;软盘磁头直接接触盘片进行读/写。硬盘系统及硬盘片价格比较贵,大部分盘片不能互换;软盘价格便宜,盘片保存方便、使用灵活、具有互换性。硬盘对环境要求苛刻,要求采用超净措施;软盘对环境的要求不苛刻。因此,软盘在微小型计算机系统中获得了广泛的应用,甚至有的大中型计算机系统中也配有软盘。

软磁盘存储器的种类主要是按其盘片尺寸不同而区分的,现有 8 英寸、5.25 英寸、3.5 英寸和 2.5 英寸几种。软盘尺寸越小,记录密度就越高,驱动器也越小。从内部结构来看,若按使用的磁记录面(磁头个数)不同和记录密度不同,又可分为单面单密度、单面双密度、双面双密度等多种软盘存储器。



世界上第一台软盘机是美国 IBM 公司于 1972 年制成的 IBM 3740 数据录入系统。它是 8 英寸单面单密度软盘,容量只有 256 KB。1976 年出现了 5.25 英寸软盘,20 世纪 80 年代又出现了 3.5 英寸和 2.5 英寸的微型软盘,其容量可达 1 MB 以上。由于软盘价格便宜,使用灵活,盘片保管方便,20 世纪八九十年代曾作为外存的主要部件。

软盘存储器除主要用作外存设备外,还可以和键盘一起构成脱机输入装置,其作用是给程序员提供输入程序和数据,然后再输入主机上运行,这样使输入操作不占用主机工作时间。

## 2. 软磁盘盘片

软磁盘盘片的盘基是由厚约为  $76\text{ }\mu\text{m}$  的聚酯薄膜制成,其两面涂有厚约为  $2.3\sim 3\text{ }\mu\text{m}$  的磁层。盘片装在塑料封套内,套内有一层无纺布,用来防尘,保护盘面不受碰撞,还起到消除静电的作用。盘片连封套一起插入软盘机中,盘片在塑料套内旋转,磁头通过槽孔和盘片上的记录区接触,无纺布消除因盘片转动而产生的静电,保证信息可以正常读/写。

塑料封套均为正方形,其上有许多孔,例如,用来装卡盘片的中心孔、用于定位的索引孔、用于磁头读/写盘片的读/写孔,以及写保护缺口(8 英寸盘)或允许写缺口(5.25 英寸盘)等。图 4.74 所示为软磁盘盘片及其外形示意图。

8 英寸软盘有 77 个磁道,从外往里依次为 00 道到 76 道。5.25 英寸软盘有 40 个和 80 个磁道两种。

与硬磁盘相同,软磁盘盘面也分为若干个扇区(参见图 4.70),每条磁道上的扇段数是相同的,记录同样多的信息。由于靠里的磁道圆周长小于外磁道的圆周长,因此,里圈磁道的位密度比外圈磁道的位密度高。至于一个盘面分成几个扇区,则取决于它的记录方式。区段的划分一般采用软分段方式,由软件写上的标志实现。

索引孔可作为旋转一圈开始或结束的标志,通常在盘片和保护套上各打有小孔。当盘片上的小孔转到与保护套上的小孔位置重合时,通过光电检测元件测出信号,即标志磁道已到起点或已为结束点。

3.5 英寸盘的盘片装在硬塑料封套内,它们的基本结构与 8 英寸盘和 5.25 英寸盘类似。

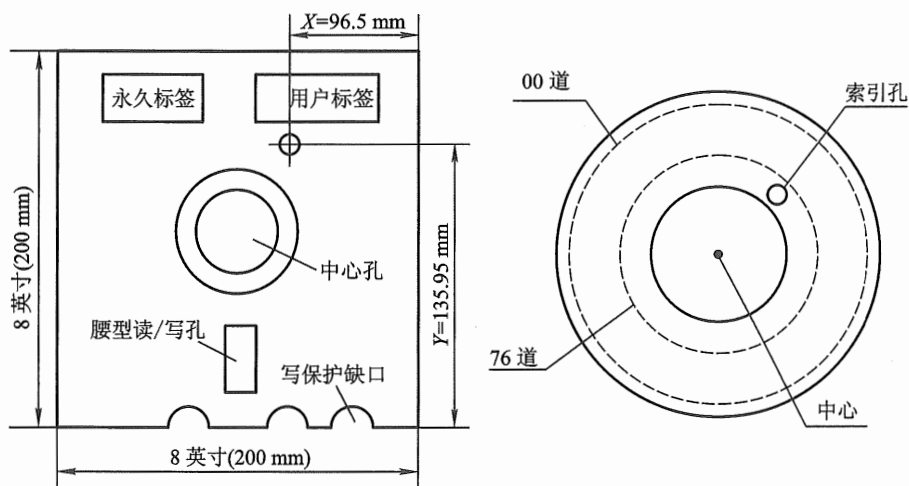
按软盘驱动器的性能区分,有单面盘和双面盘。前者驱动器只有一个磁头,盘片只有一个面可以记录信息。双面盘的驱动器有两个磁头,盘片有两个记录面。

按记录密度区分,有单密度和双密度两种。前者采用 FM 记录方式,后者采用 MFM 记录方式。

综上所述,软盘分为单面单密度(SS、SD)、双面单密度(DS、SD)、单面双密度(SS、DD)、双面双密度(DS、DD)四种。对于 5.25 英寸和 3.5 英寸的磁盘机而言,均采用双面双密度及高密度(四倍密度)的记录方式。

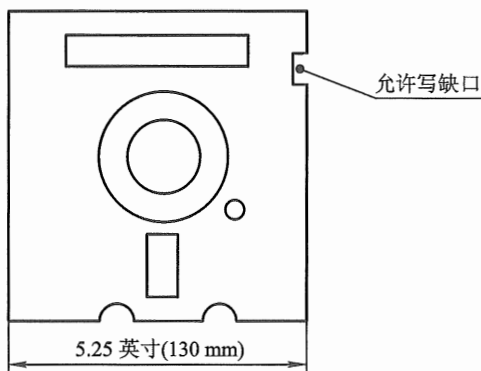
## 3. 软磁盘的记录格式

软磁盘存储器采用软分段格式,软分段格式有 IBM 格式和非 IBM 格式两种。IBM 格式被国际标准化组织(ISO)确定为国际标准。下面以 IBM 3740 的 8 英寸软盘为例,介绍其软分段格式,如图 4.75 所示。



(a) 8 英寸单面软盘外形

(b) 8 英寸软盘盘片



(c) 5.25 英寸软盘外形

图 4.74 软磁盘盘片及外形

软分段的磁道由首部、扇区部和尾部 3 部分组成。当磁盘驱动器检查到索引孔时,标志磁道的起始位已找到。首部是一段空隙,是为避免由于不同软盘驱动器的索引检测器和磁头机械尺寸误差引起读/写错误而设置的。尾部是依次设置在首部和各扇区后所剩下的间隙,起到转速变化的缓冲作用。首部和尾部之间的弧被划分成若干扇区,又称为扇段。

图 4.75(a) 中索引孔信号的前沿标志磁道开始,经 46 个字节的间隙后,有一个字节的软索引标志,后面再隔 26 个字节的间隙后,便是 26 个扇区(每个扇区 188 个字节),最后还有 247 个字节的间隙,表示一个磁道结束。

图 4.75(b) 中标出了一个扇区的 188 个字节的分配。前 13 个字节是地址区,详细内容可见图 4.75(c)。其中地址信息占 4 个字节,分别指明磁道号、磁头号、区段号和记录长度。地

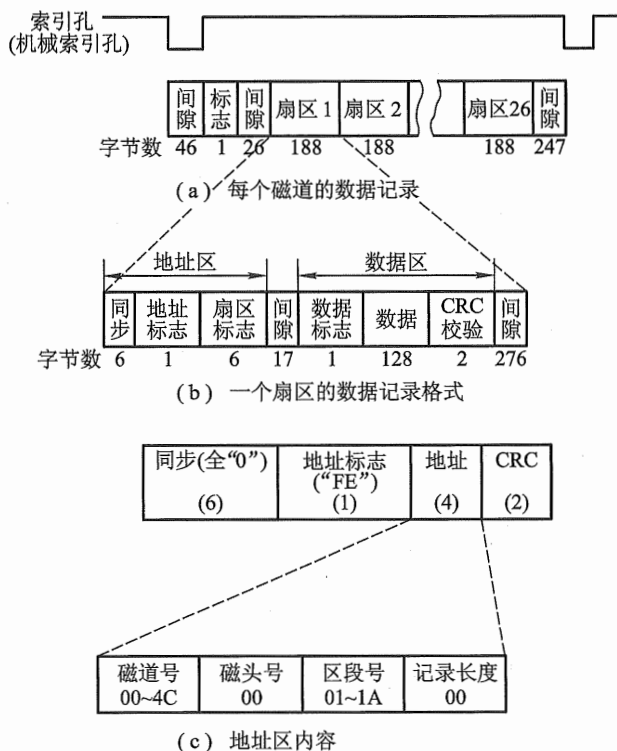


图 4.75 IBM 3740 软分段格式

址区字段的最后 2 个字节是 CRC 循环冗余校验码。此外,一个扇区内还有 131 个字节的数据区,它由数据标志、数据、CRC 校验码 3 部分组成。在地址区和数据区后各自都有一段间隙。

对图 4.75 所示的单面单密度软盘而言,其格式化容量为

$$\text{磁道数/盘片} \times \text{扇区数/磁道} \times \text{数据字节数/扇区} = 77 \times 26 \times 128 \approx 256 \text{ KB}$$

不同规格的软盘,每磁道究竟分成多少区段,IBM 格式都有明确规定。例如,5.25 英寸软盘,每磁道区段数为 15、9 或 8 三种,每个区段字节数均为 512 个。

出厂后未使用过的盘片称为白盘,需格式化后才能使用。采用统一的标准记录格式是为了达到盘片互换及简化系统设计的目的。但是软件生产厂家为了保护软件的产权,常用改变盘片上的数据格式来达到软件不被盗版的目的。因为通过对磁盘控制器编程,可以方便地指定每条磁道上的扇区数和所采用的记录格式,甚至可以调整间隙长度,改变磁盘地址的安排顺序等。经过这些处理,使用通用软件就不能正确复制磁盘文件了。

#### 4. 软磁盘驱动器和控制器

软磁盘存储器也由软磁盘驱动器、软磁盘控制器和软磁盘盘片 3 部分组成。软磁盘驱动器是一个相对独立的装置,又称软盘机,主要由驱动机构、磁头及定位机构和读/写电路组成。软磁

盘控制器的功能是解释来自主机的命令,并向软磁盘驱动器发出各种控制信号,同时还要检测驱动器的状态,按规定的格式向驱动器发出读/写数据命令等。具体操作如下。

① 寻道操作:将磁头定位在目标磁道上。

② 地址检测操作:主机将目标地址送往软磁盘控制器,控制器从驱动器上按记录格式读取地址信息,并与目标地址进行比较,找到欲读(写)信息的磁盘地址。

③ 读数据操作:首先检测数据标志是否正确,然后将数据字段的内容送入主存,最后用 CRC 校验。

④ 写数据操作:写数据时,不仅要写原始信息经编码后写入磁盘,同时要写上数据区标志和 CRC 校验码以及间隙。

⑤ 初始化:在盘片上写格式化信息,对每个磁道划分区段。

上述所有操作都是由软磁盘控制器完成的,为此设计了软磁盘控制器芯片,将许多功能集成在一块芯片上,如 FD1771、FD1991、 $\mu$ PD765 等。这些芯片都是可编程的,将磁盘最基本的操作作用这些芯片的指令编程,便可实现对驱动器的控制。

软磁盘控制器发给驱动器的信号有:驱动器选择信号(表示某台驱动器与控制器接通)、马达允许信号(表示驱动器的主轴电机旋转或停止)、步进信号(使所选驱动器的磁头按指定方向移动,一次移一道)、步进方向(磁头移动的方向)、写数据与写允许信号、选头信号(选择“0”面还是“1”面的磁头)。

驱动器提供给控制器的信号有:读出数据信号、写保护信号(表示盘片套上是否贴有写保护标志,如果贴有标记,则发写保护信号)、索引信号(表示盘片旋转到索引孔位置,表明一个磁道的开始)、0 磁道信号(表示磁头正停在 0 号磁道上)。

图 4.76 是 IBM PC 上的软盘控制器逻辑框图。

## 4.4.5 磁带存储器

### 1. 概述

磁带存储器也属于磁表面存储器,记录原理和记录方式与磁盘存储器是相同的。但从存取方式来看,磁盘存储器属于直接存取设备,即只要知道信息所在盘面、磁道和扇区的位置,磁头便可直接找到其位置并读/写。磁带存储器必须按顺序进行存取,即磁带上的文件是按磁带头尾顺序存放的。如果某文件存在磁带尾部,而磁头当前位置在磁带首部,那么必须等待磁带走到尾部时才能读取该文件,因此磁带存取时间比磁盘长。但由于磁带容量比较大,位价也比磁盘的低,而且格式统一,便于互换,因此,磁带存储器仍然是一种用于脱机存储的后备存储器。

磁带存储器由磁带和磁带机两部分组成。磁带按长度分,有 2 400 英尺、1 200 英尺、600 英尺几种;按宽度分,有 1/4 英寸、1/2 英寸、1 英寸、3 英寸几种;按记录密度分,有 800 bpi、1 600 bpi、6 250 bpi 等几种;按磁带表面并行记录信息的道数分,有 7 道、9 道、16 道等;按磁带外形分,有开盘式磁带和盒式磁带两种。现在计算机系统较广泛使用的两种标准磁带为:1/2 英寸开盘

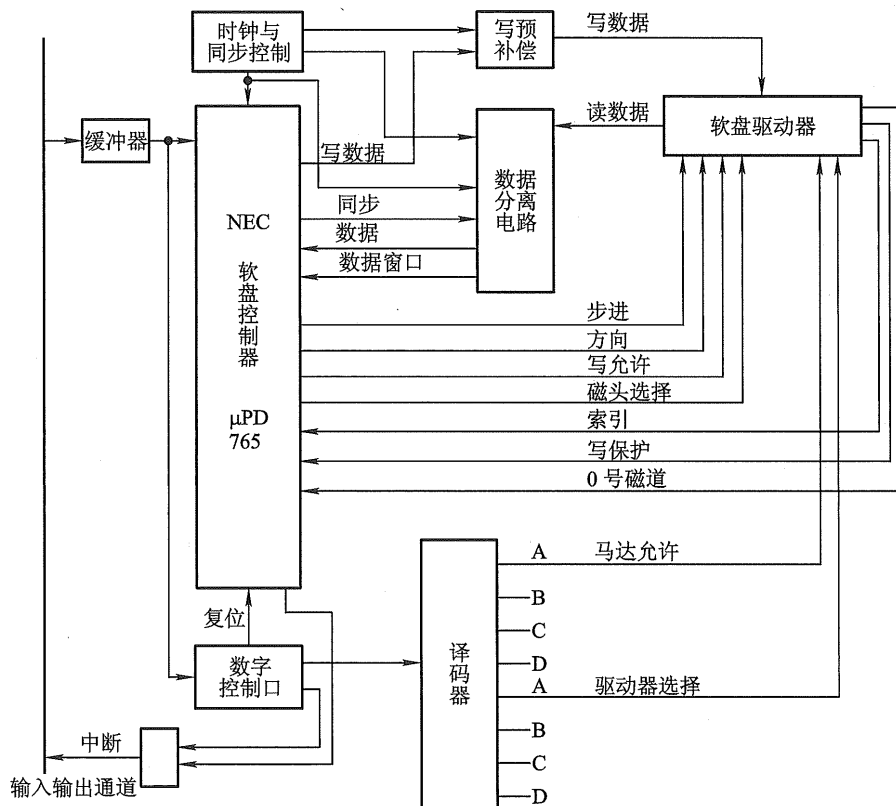


图 4.76 软盘控制器逻辑框图

式和 1/4 英寸盒式。

磁带机又有很多种类,按磁带机规模分有标准半英寸磁带机、海量宽带磁带机(Mass Storage)和盒式磁带机三种。按磁带机走带速度分,有高速磁带机(4~5 m/s)、中速磁带机(2~3 m/s)和低速磁带机(2 m/s 以下)。磁带机的数据传输率取决于记录密度和走带速度。在记录密度相同的情况下,带速越快,传输率就越高。按装卸磁带机构分,有手动装卸式和自动装卸式;按磁带传动缓冲机构分,有摆杆式和真空式;按磁带的记录格式分,有启停式和数据流式。数据流磁带机已成为现代计算机系统中主要的后备存储器,其位密度可达 8 000 bpi。它用于资料保存、文件复制,作为脱机后备存储装置,特别是当温盘出现故障时,用以恢复系统。

磁带机正朝着提高传输率、提高记录密度、改善机械结构、提高可靠性等方向发展。

## 2. 数据流磁带机

数据流磁带机是将数据连续地写到磁带上,每个数据块后有一个记录间隙,使磁带机在数据块间不启停,简化了磁带机的结构,用电子控制替代了机械启停式控制,降低了成本,提高了可靠性。

数据流磁带机有 1/2 英寸开盘式和 1/4 英寸盒式两种。盒式磁带的结构类似录音带和录像带。盒带内装有供带盘和收带盘,磁带长度有 450 英尺和 600 英尺两种,容量分别为 45 MB 和 60 MB。容量高达 1 GB 和 1.35 GB 的 1/4 英寸盒式数据流磁带机也已问世。当采用数据压缩技术时,1/4 英寸盒式数据流磁带机容量可达 2 GB 或 2.7 GB。

数据流磁带机与传统的启停式磁带机的多位并行读/写不同,它采用类似磁盘的串行读/写方式,记录格式与软盘类似。

以 4 道数据流磁带机为例,4 个磁道的排列次序如图 4.77 所示。在记录信息时,先在第 0 道上从磁带前端 BOT 记到磁带末端 EOT,然后在第 1 道上反向记录,即从 EOT 到 BOT,第 2 道又从 BOT 到 EOT,第 3 道从 EOT 到 BOT。读出信息时,也是这个顺序。这种方式称为蛇形 (Serpentine) 记录。9 道 1/4 英寸数据流磁带记录格式也与此相同,偶数磁道从 BOT 到 EOT,奇数磁道从 EOT 到 BOT,依次首尾相接。

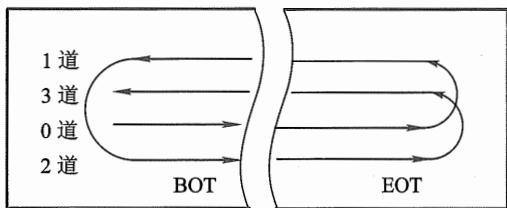


图 4.77 4 道 1/4 英寸磁带蛇形串行记录方式

盒式数据流磁带机与主机的接口是标准的通用接口,可用小型计算机系统接口 SCSI 与主机相连,也可以通过磁带控制器与主机相连。磁带控制器的作用类似于磁盘控制器,控制主机与磁带机之间进行信息交换。

### 3. 磁带的记录格式

磁带上的信息可以以文件形式存储,也可以按数据块存储。磁带可以在数据块之间启停,进行数据传输。按数据块存储的磁带互换性更好。

磁带机与主机之间进行信息传送的最小单位是数据块或称为记录块 (Block),记录块的长度可以是固定的,也可以是变化的,由操作系统决定。记录块之间有空白间隙,作为磁头停靠的地方,并保证磁带机停止或启动时有足够的惯性缓冲。记录块尾部有几行特殊的标记,表示数据块结束,接着便是校验区。图 4.78 示意了磁带机上的数据格式。

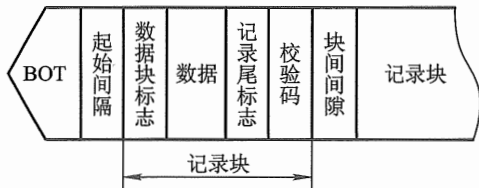


图 4.78 磁带的数据格式

磁带信息的校验属于多重校验,由奇偶校验、循环冗余校验和纵向冗余校验共同完成。以9道磁带为例,横向可以并排记录9位二进制信息(称为一行),其中8位是数据磁道,存储一个字节,另一位是这一字节的奇偶校验位,称为横向奇偶校验码。在每一个数据块内,沿纵向(走带方向)每一磁道还配有CRC校验码。此外对每一磁道上的信息(包括CRC在内),又有一个纵向奇偶校验码。纠错的原理是用循环冗余码的规律和专门线路,指出出错的磁道(CRC可发现一个磁道上的多个错误码),然后用横向校验码检测每一行是否有错,纵横交错后就可指明哪行哪道有错,如有错就立即纠正。

#### 4.4.6 循环冗余校验码

磁表面存储器由于磁介质表面的缺陷、尘埃等原因,致使出现多个错误码。循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)码可以发现并纠正信息在存储或传送过程中连续出现的多位错误代码。因此, CRC 校验码在磁介质存储器和计算机之间通信方面得到广泛应用。

CRC 码是基于模2运算而建立编码规律的校验码。模2运算的特点是不考虑进位和借位的运算,其规律如下:

① 模2加和模2减的结果是相等的,即  $0 \pm 1 = 1, 0 \pm 0 = 0, 1 \pm 0 = 1, 1 \pm 1 = 0$ 。可见,两个相同数的模2和恒为0。

② 模2乘是按模2和求部分积之和。

③ 模2除是按模2减求部分余数。每求一位商应使部分余数减少一位。上商的原则是:当部分余数的首位为1时,上商1;当部分余数的首位为0时,上商0。当部分余数的位数小于除数的位数时,该余数即为最后余数。

②和③的实例如下:

$  \begin{array}{r}  1010 \\  \times 101 \\  \hline  1010 \\  0000 \\  1010 \\  \hline  10010  \end{array}  $ <p>②</p>	$  \begin{array}{r}  101 \leftarrow \text{商} \\  101 \overline{) 10000} \\  \underline{101} \phantom{000} \\  010 \phantom{00} \\  \underline{000} \phantom{00} \\  100 \phantom{0} \\  \underline{101} \phantom{0} \\  01 \leftarrow \text{余数}  \end{array}  $ <p>③</p>
--	--

##### 1. CRC 码的编码方法

设待编的信息码组为  $D_{n-1}D_{n-2}\cdots D_2D_1D_0$ , 共  $n$  位, 它可用多项式  $M(x)$  表示: