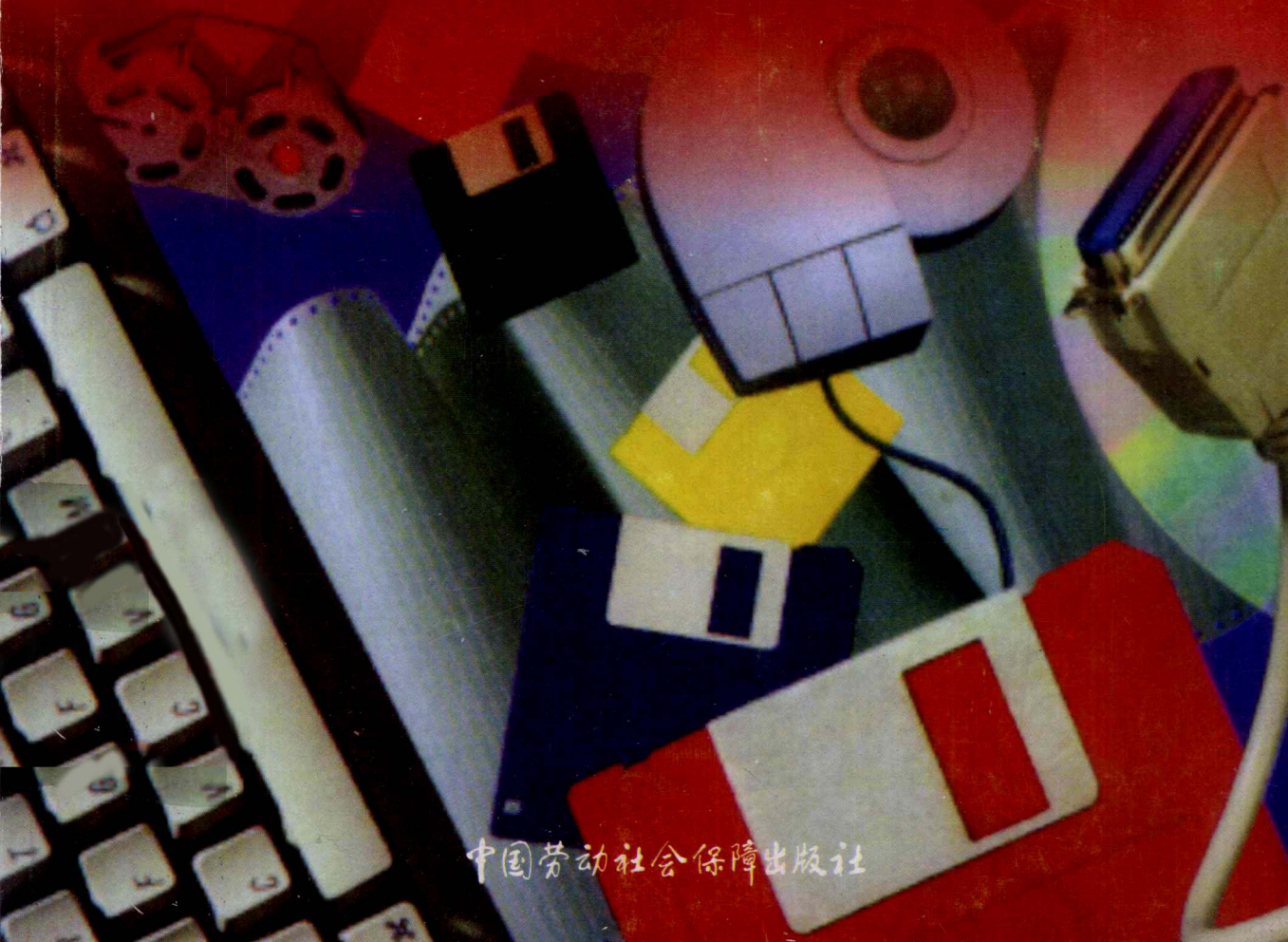


全国中等职业技术学校计算机教材

微型计算机外存储器 原理与维修

林兼 编写



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校计算机教材

微型计算机外存储器 原理与维修

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

林兼 编写

中国劳动社会保障出版社

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

微型计算机外存储器原理与维修/林兼编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2000.4
ISBN 7-5045-2534-0

I. 微...

II. 林...

III. ①微型计算机-外存储器-理论 ②微型计算机-外存储器-维修

IV. TP363.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 03322 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人 : 唐云岐

*

北京安泰印刷厂印刷 新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 151 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月第 1 次印刷

印数: 10100 册

定价: 10.00 元

简 介

本书对磁记录原理作了简要的介绍；对微型计算机常用的硬磁盘存储器和软磁盘存储器的基本结构、工作原理作了简要的论述；着重介绍了硬磁盘存储器和软磁盘存储器的使用方法和日常维护；对硬磁盘存储器和软磁盘存储器的常见故障，作了较详细的分析并提供了处理方法。

本书可供各类职业技术学校使用，也可作为职工培训教材和计算机使用者日常参考用书。

前 言

磁盘是微型计算机最常用的也是最重要的外存储设备。对于计算机使用者来说，除了要知道磁盘的正确使用方法之外，了解其基本工作原理和日常维护的基本知识，特别是常见故障的处理方法，也是非常必要的。本书的重点在于使学生能掌握分析和处理常见故障的基本能力，并对磁存储设备的工作原理有一定的了解，这些基本知识有助于进一步提高维修技术。

本书第一章对外围设备作一个简单的介绍。

第二章是磁存储器基础知识。对磁存储器的基本结构、数字磁记录原理、磁头、磁性层、编码作了一般介绍，详细介绍了常用术语和主要技术指标。

第三章是硬磁盘存储器。对硬磁盘存储器的机械结构、电路以及 3.5 英寸硬磁盘的接口等作了介绍，着重介绍正确使用和日常维护的知识，对常见故障作了较详细的分析并提供处理方法。

第四章是软磁盘存储器。本章从使用维护需要的角度出发，介绍了软磁盘存储器的机械结构、电路和接口等基本知识，着重介绍正确使用和日常维护的知识，对常见故障作了较详细的分析并提供处理方法。

本书可供各类职业技术学校使用，也可供计算机使用者作为日常参考书。

本书由林兼编写。

劳动和社会保障部教材办公室

1999 年 8 月

目 录

第一章 概论	(1)
第二章 磁存储器基础知识	(3)
§ 2—1 磁存储器的结构	(3)
§ 2—2 常用术语和主要技术指标	(4)
§ 2—3 数字磁记录原理	(6)
§ 2—4 记录编码方式	(8)
§ 2—5 磁头	(11)
§ 2—6 磁存储媒体	(17)
思考题	(18)
第三章 硬磁盘存储器	(20)
§ 3—1 概述	(20)
§ 3—2 硬磁盘驱动器的组成	(23)
§ 3—3 接口	(30)
§ 3—4 硬磁盘驱动器的安装	(37)
§ 3—5 硬磁盘驱动器的使用和维护	(42)
§ 3—6 硬磁盘驱动器的故障分析与维修	(47)
思考题	(71)
第四章 软磁盘存储器	(72)
§ 4—1 概述	(72)
§ 4—2 软磁盘驱动器的结构和电路	(72)
§ 4—3 软磁盘	(78)
§ 4—4 软磁盘控制器、软磁盘适配器及其接口	(81)
§ 4—5 软磁盘驱动器的使用	(82)
§ 4—6 软磁盘驱动器的故障诊断和处理	(86)
思考题	(90)

第一章 概 论

电子计算机从 1945 年诞生以来对人类社会和人民生活产生了巨大而且深远的影响。它的应用领域从最初的科学计算和数据处理,扩展到工程设计、生产控制、事务和信息管理、军事指挥、航天技术、武器控制等等领域,今天更进一步扩展到人们的日常生活领域。计算机的广泛应用已成为现代化的一个重要标志。

计算机由硬件和软件两大部分组成。所谓硬件,主要是各种电路和设备。人在使用计算机时,需要告诉它做什么和怎么做。计算机在完成指定的工作后,把结果用人所熟悉的、能感觉到的形式显示或表现出来。也就是说,人与计算机之间有许多通信联系,需要各种各样的设备。通常把人向计算机送入数据、指令等的设备称为“输入设备”,而把计算机向人送出信息的设备称为“输出设备”。另外,人们在计算的时候常常利用纸和笔记录暂时不用的数据或不易记住的数据,计算机也一样,需要一种设备来记忆暂时不用的或大量的数据,这类设备就是“外存储器”。输入设备、输出设备和外存储器通常合称为“外围设备”,也叫“外部设备”,简称“外设”。由微处理器和内存储器等组成的计算机的核心部分,称为主机。

需要指出的是,称为外围设备,仅仅是为了与主机区别不同的功能用途,并不是说它可有可无不重要。现在世界上从巨型机到掌上型计算机,没有一个计算机系统是没有外围设备的,只是数量多少、种类、大小有不同而已。随着计算机应用领域的不断扩大,计算机要处理的信息载体从单一字符发展到图形、图像、语音等多种形式。由于计算机网络和多媒体计算机的出现,要处理的数据量越来越大,外围设备在计算机系统中的作用也越来越重要。今天,外围设备是人与计算机通信联络的工具,是保存信息的仓库,是计算机在各行各业应用的桥梁。在计算机系统中,它在体积、品种和成本中所占比例上都超过了主机。

另外,外围设备本身虽属于硬件,但并不等于说它与软件无关。许多外围设备都有自己的驱动程序,没有这些软件,设备本身不能正常运行。

在计算机中除了主机之外都属于外围设备。外围设备主要有输入设备、输出设备和外存储器三大类。除此之外,还有终端设备、通信设备、脱机设备以及其他设备。

外存储设备是外围设备中最重要的也是品种最多的一个部分。它分为辅助存储器和后援存储器两部分。辅助存储器直接与内存储器交换数据,它的存储容量大于内存储器,存取速度比半导体存储器要慢。这一类存储器有硬磁盘存储器、软磁盘存储器和光盘存储器。后援存储器用来保存大量的长期不用的数据以及硬磁盘上重要的需要备份的数据。磁带存储器是最重要的后援存储器。磁带可脱机保存,容量几乎是无限大,而且成本低、体积小,用于备份非常适合。但在个人计算机中,安装磁带驱动器的较少,通常利用软磁盘作备份。

除了以上几种外,外存储器还有半导体盘、磁盘阵列、磁带库、光盘库等。

虽然外围设备近年来有巨大的发展,但还存在许多问题没有解决,例如:

(1) 瓶颈问题 主机运算速度越来越快,外围设备特别是外存储器的数据传输速度虽然

有提高，但是还是赶不上主机运算的速度，因此出现主机等待数据的情况，这就是通常所说的“瓶颈”问题。近几年，采取并行传输、高速缓存等技术，瓶颈问题有所缓和，但并没有完全解决。

(2) 功耗问题 “绿色革命”提出低功耗计算机的要求，而外围设备是功耗大户，如何降低外围设备的功耗，是需要进一步解决的问题。

(3) 可靠性问题 许多外围设备内有不少的机械零件和运动部件，是计算机系统中维修较多、可靠性较差的部分，因此提高可靠性仍是一个需要解决的问题。

第二章 磁存储器基础知识

当前微型计算机的外存储器有硬磁盘存储器、软磁盘存储器、磁带存储器、光盘存储器和固态盘存储器等。其中软磁盘存储器、硬磁盘存储器和磁带存储器都是利用磁表面存储技术的设备。为此，本章首先介绍磁存储器的结构、磁记录的基本原理、磁头和磁记录媒体等共同的内容。

§ 2—1 磁存储器的结构

在 PC 机中，磁存储器和其他外设一样，由硬件和软件组成。硬件部分可分成驱动器、控制器和适配器几个部分。软件部分包括驱动程序和管理程序。

计算机主机与外存储器之间除了数据交换外，还有其他的通信联系。以硬磁盘存储器为例，主机要向硬磁盘存储器发出寻道、读、写等操作的命令，硬磁盘驱动器要向主机报告正在忙、准备好、有故障等状态信息。如何使双方的通信能正常有序地进行，在主机与硬磁盘存储器的边界交接部分需要做一些约定。这种约定就是接口。接口包括硬件上的一些规定，如插头座形式、插针的信号规定等；还包括软件上的一些规定，如命令的格式、联络应答方式等。早期计算机主机直接控制管理硬磁盘驱动器，接口是专用的。这种直接控制管理的方式浪费了主机许多宝贵的时间。为了克服这一缺点，采取了分布管理的方式，由控制器来具体执行主机发出的命令。例如寻道操作，主机将命令和地址送到控制器，然后就可执行其他操作。控制器执行命令完成后，向主机发回信号（中断请求），主机中断其他操作，回过头来进行对硬磁盘驱动器的下一步操作，读数据或写数据。由于控制器是直接管理硬磁盘驱动器的，它必然随着驱动器不同而不同，不可能和各种微型计算机总线都匹配。为了解决与主机总线匹配的问题，在控制器与主机间增加一个适配器，这样便形成了如图 2—1 所示的结构。

图中 A 处是主机总线。如 PC 总线、AT 总线、EISA 总线等。通常把 B 处的接口称为系统级接口，C 处的接口称为设备级接口。各种计算机有不同的结构。在 IBM—PC/XT 中，采用设备级接口（ST506/412），而将控制器和适配器合在一起制成一个硬盘卡插在扩展槽上。也就是说硬盘卡的一端是系统的 I/O 总线，另一端通过 ST506/412 接口与驱动器连接。而在 486 等高档 PC 机中，采用 IDE、EIDE 接口（系统级接口），控制器和驱动器做成一体，形成硬磁盘机。适配器一端与主机总线相连，另一端通过 IDE 接口与硬磁盘机相连接。前面已提到适配器做的是信号转换工

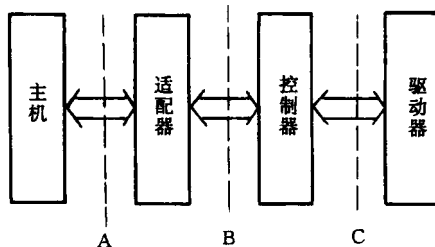


图 2—1 磁存储器的结构

作,例如将一台 SCSI 接口的硬磁盘机装在 EISA 总线的 PC 机上,就需要加一个适配器进行信号转换。而如果把一台 SCSI 接口的硬磁盘机装到本身就是 SCSI 总线的 Macintosh 机时,可以直接连接,并不需要适配器。

现在的 PC 机,由于集成度提高了,软磁盘适配器通常只有一个芯片,可直接放在主机板上。硬磁盘驱动器和软磁盘驱动器多安装在主机箱内。采用 ST506/412 接口的计算机(如 IBM-PC/XT),硬磁盘驱动程序在适配卡上的 ROM 内。采用 ISA 和 EISA 接口的硬磁盘驱动程序在主机板的 BIOS 上。

要注意的是,磁盘存储器与主机间的信息交换不是用字符或字节为单位,而是以某种“块”为单位,例如在软磁盘中用“扇区”(512 字节)为单位传送。在硬磁盘中,常常以“簇”为单位,一簇包括几个“扇区”。

§ 2—2 常用术语和主要技术指标

软磁盘存储器和硬磁盘存储器的术语和技术指标有许多是相同的。

磁盘存储器的术语和技术指标很多,但对用户来说,最关心的是生产厂家公布的技术参数规范表中的一些参数、指标的含义。特别是一些使用、维修和调整时应掌握的参数或指标,更应该明确其具体含义。

1. 存储面数 (surface)

指可存储数据的盘片的表面数。对于软磁盘驱动器,有单面和双面两种,存储面数为 1 或 2。现在常用的是双面的,单面已很少用了。对于硬磁盘驱动器,存储面数是盘片数的 2 倍。但有的硬磁盘驱动器采用伺服面技术,占用了一个盘面。例如,5 片的硬磁盘,存储面数只有 9 面。一般每面只用一个磁头,存储面数也就是磁头数。因此,在软磁盘驱动器中 0 面和 0 头、1 面和 1 头是对应的。在硬磁盘驱动器中,通常不说第几面,而只说第几头。

2. 磁道 (track)

磁盘存储表面被分成许多同心圆,每一个同心圆就是一个磁道。磁道有一定宽度,是存储信息的区域。

3. 扇区 (sector)

每个磁道所在的同心圆分成若干等份的段,每一段就称为一个扇区。在 MS-DOS 和 Windows 操作系统下,每个扇区存储的字节数是一定的。一般是 512 字节。软磁盘驱动器的各个磁道的扇区数是相等的。硬磁盘驱动器在等密度记录的情况下,一个盘面各个磁道的扇区数是不相等的。盘面内侧直径小的磁道,扇区数少;盘面外侧直径大的磁道,扇区数多。采用 ST506/412 接口的硬磁盘驱动器的各个磁道的扇区数是相等的。

4. 道柱面 (cylinder)

在硬磁盘驱动器中,把所有的盘面上的同一直径的磁道看成一个整体,就像一个圆柱体的外表面一样,称为道柱面,简称柱面。

5. 存储密度 (recording density)

存储密度常用道密度、位密度,或者用面密度来评定。

(1) 道密度 (track density) 道密度是指沿磁盘径向方向,在单位长度内的磁道数目。

道密度习惯上用每英寸的磁道数来表示,记作 tpi (tracks per inch);国家标准要求用每毫米的磁道数来表示。

(2) 位密度 (bit density) 位密度是指沿磁道圆周方向单位长度内所存储的二进制数的位 (bit) 数。习惯上用每英寸存储多少位来表示,记作 bpi (bits per inch);国家标准要求用每毫米存储多少位来表示。

(3) 面密度 (areal density) 面密度是指单位面积上存储的二进制数的位数,它等于道密度与位密度两者之乘积。

6. 存储容量

存储容量是指磁存储器所能存储的二进制数的总量,以位数或字节数计量。常用单位为千字节、兆字节和吉字节,分别记作 KB、MB 和 GB。

存储容量有未格式化和格式化两种。未格式化容量指的是,在磁盘机的全部存储面上所有磁道所能存储的二进制码的总量。

所谓格式化,就是指计算机系统按要求在数据存入之前在磁道上先写入地址、识别码和同步码等与地址有关的信息,目的在于能迅速辨认所存取的数据所在位置。格式化后的存储容量按下式计算:

$$\text{格式化容量} = (\text{存储字节数} / \text{扇区}) \times \text{扇区总数}$$

对于各个磁道的扇区数是相等的磁盘,其格式化容量可按下式计算:

$$\text{格式化容量} = (\text{存储字节数} / \text{扇区}) \times (\text{扇区} / \text{磁道}) \times (\text{磁道} / \text{面}) \times \text{面数}$$

例如,软磁盘驱动器每扇区有 512 个字节,每磁道有 15 个扇区,每面有 80 个磁道,共有 2 面,其格式化容量等于:

$$512 \times 15 \times 80 \times 2 = 1\,228\,800 \text{ 字节} = 1.2 \text{ MB}$$

显然,格式化后,与地址有关的信息要占去一定的存储容量,格式化容量低于未格式化容量,一般规律是格式化容量为未格式化容量的 80% 左右。

7. 平均存取时间

存取时间是指主机发出指令到数据传输结束所需的时间。即磁头从当前所在位置移动到目标位置 (目标磁道) 并稳定下来,并且从目标磁道上寻找到要读写的扇区并进行读写所需的全部时间。它由三个部分组成:寻道时间、等待时间和传输时间。

寻道时间是磁头运动所需的时间。显然,运动距离最小的即寻找相邻磁道的寻道时间最短,而运动距离最大即从首道寻找到末道 (或相反) 的寻道时间最长。前者称为最小寻道时间,后者称为最大寻道时间。平均寻道时间是采用统计平均值求得的,一般等于运动距离为最大距离的 $1/3$ 时所需的时间。

等待时间是指磁头到达目标磁道后等待要读写的扇区到达磁头下方所需的时间。最短是 0,最大是磁盘旋转一周所需的时间。显然,平均等待时间是磁盘旋转一周所需时间的一半。

传输时间是指数据从内存写到盘面或从盘面读出送到内存所需的时间。

传输时间在存取时间中所占比例很小。因此,对于用户来说,最关心的是平均寻道时间和平均等待时间,这二者之和即平均存取时间,它是一个综合反映存取速度的指标。

8. 数据传输率

数据传输率是指在单位时间内磁存储器传送的二进制数的位数或字节数。数据传输率用

每秒兆位或每秒兆字节表示, 记作 Mb/s 或 MB/s。

硬磁盘存储器的数据传输率有外部数据传输率和内部数据传输率之分。外部数据传输率指硬磁盘驱动器与主机内存存储器之间的数据传输速度。它与所采用的接口有关。通常指的是最大值, 即突发交换数据时的最大流量。例如, Ultra ATA/66 接口, 其最大数据传输率为 66.0 MB/s。

硬磁盘存储器的内部数据传输率是盘面与高速缓存之间的数据传输速度。它等于位密度与磁道线速度的乘积, 可表示为:

$$\text{内部数据传输率} = \text{位密度}(\text{b/in}) \times \text{磁盘转速}(\text{r/s}) \times \pi \times \text{磁道直径}(\text{in})$$

9. 主轴电机转速

即磁盘片的转速。提高转速有助于提高内部数据传输率。

10. 接口

接口是硬磁盘驱动器与外界连接的标准规范。常用的有 ST506/412、IDE、EIDE、SCSI、SMD、ESDI 等。接口不同的硬磁盘驱动器不能互换使用。

11. 平均故障间隔时间 (MTBF)

平均故障间隔时间是指正常工作的平均持续时间, 即两次故障的间隔时间。它表示设备的工作可靠性的程度。早期的硬磁盘驱动器的 MTBF 约在 800~20 000 h, 而目前有的已高达 250 000 h。

12. 误码率

误码率是指磁盘存储器在写入一批数据并回读后所检测出的错误位数与这一批数据的总位数之比值。它也是评价磁盘存储器可靠性的重要指标之一。

通常误码率有所谓“软错”和“硬错”之分。软错是指经过重读可以纠正的偶然性错误, 例如电磁干扰等引起的误码。而硬错则是重读也不能消除的错误, 例如磁盘片存在缺陷等引起的误码。

其他技术指标还有: 功耗、噪声、温升等。

§ 2—3 数字磁记录原理

按记录信号的方式, 磁记录可分为两类: 模拟磁记录和数字磁记录。

模拟磁记录是将原始的输入信号不失真地复制到磁记录媒体上。它的特征是磁记录媒体的磁化是不饱和的。通常的磁带录音、录像都是模拟磁记录。

数字磁记录的特征是磁记录媒体的磁化是饱和的。它的输入是数字化的代码信息, 在磁记录媒体上留下的是一连串等距或不等距的饱和磁化翻转, 以不同的磁化状态来表示数字“0”和“1”。这种记录主要用于计算机的外存储设备中, 如软磁盘机、硬磁盘机和磁带机等, 现在也用于数字式录音和数字式录像等方面。

模拟磁记录要求读出信号大、波形(其频率、幅值和极性)不失真、与输入信号完全相似。数字磁记录则要求写入和读出的数据完全一致, 要求所记录的信息密度高并且具有高可靠性。可见这两种记录存在着本质上的差别, 因而实现的方法和所用的元器件、部件也不完全相同。

数字磁记录具有以下主要特点：记录信息的密度高、存储容量大；可以形成便于交换、共享的脱机信息存储载体；具有抹去后再记录的重复使用性能；稳定性好，记录内容可长期保留。

数字磁记录方式有两大类：水平磁记录（也称纵向磁记录）和垂直磁记录。水平磁记录的磁性层磁化方向是和磁记录媒体表平面一致的。垂直磁记录的特点是磁性层磁化方向与磁记录媒体表平面相垂直。理论上讲，垂直磁记录的记录密度会大大高于水平磁记录。但由于诸如磁记录媒体、磁头结构等技术方面还存在许多难题，一时还不会得到广泛应用，目前还是以水平磁记录为主。

数字磁记录工作过程如图 2—2 所示。它包括把所要记录的数据序列记录在磁性层上的写入过程和把记录在磁性层上的信息转换成电流信号的读出过程。

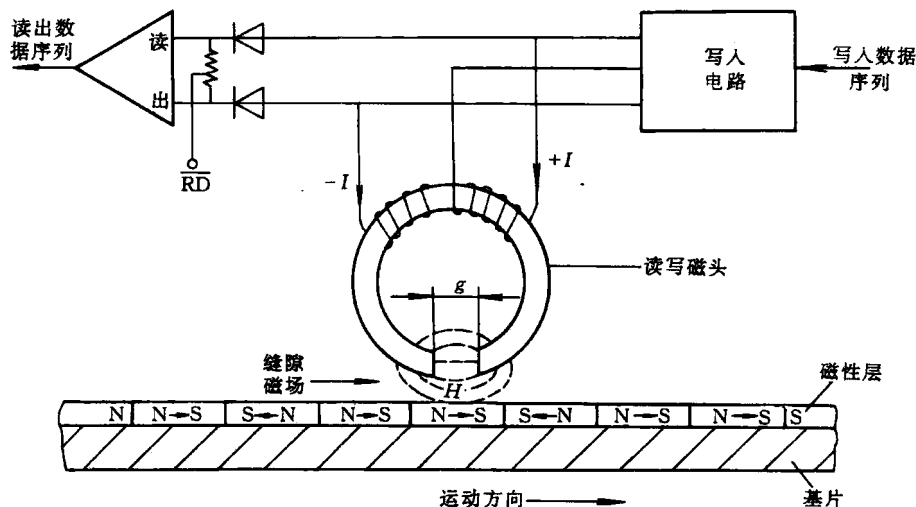


图 2—2 数字磁记录原理

下面分别讨论数据的写入和读出过程。

1. 数据写入过程

当写入的数据串行送到写入电路时，即在写线圈内产生相应的写入脉冲电流序列，如图 2—2 所示，在磁头缝隙 g 处形成与电流方向相应的磁场强度 H 。与磁头做相对运动的磁记录媒体，在靠近磁头缝隙 g 的小区域内被磁化。当磁场 H 大于磁性层的矫顽力时，磁性层被磁化翻转而达到饱和状态，形成一个磁化单元。磁化方向则与电流方向有关。随着磁记录媒体的运动，磁化的区域会沿着运动方向延伸，形成一个个磁化单元，直到电流消失为止。假定用磁头线圈中电流 $+I$ 在磁性层上最后形成的磁化方向是 $N \rightarrow S$ ，表示数字“1”，相反电流 $-I$ 在磁性层上最后形成的磁化方向是 $S \leftarrow N$ ，就可表示为数字“0”。这样，用代码表示的数据就被用磁化单元的形式记录在磁性层上，也就是存储在磁性层上。

2. 数据读出过程

读出过程与写入过程相反。当磁性层相对磁头做匀速运动时，实际上是磁头在做切割磁性层上磁力线的运动。所以，磁性层上的磁化单元以一定速度经过磁头时，磁头线圈内的磁

通量便发生变化,于是线圈就会感应出电动势。根据电磁感应定律,感应电动势的大小与磁头线圈匝数、磁性层相对磁头的运动速度和磁通沿磁性层水平方向的变化率成正比。

从上述分析可见,数字磁记录需要的基本条件是具有作为电磁转换元件的磁头、作为存储媒体的磁性层、保持磁头和磁性层相对运动的机械结构以及相关的电子电路。

§ 2—4 记录编码方式

由于数字磁记录读出的是一连串等距或不等距的磁化翻转产生的波形,它们之间不可避免地会产生相互影响,尤其是磁化翻转密度高时,相互干扰尤为显著。因增加磁化翻转密度而致使读出信号发生幅值衰减和峰点偏移的现象,称为波形拥挤效应。存储密度越高,波形拥挤效应就越严重。结果是发生读出错误。这种波形拥挤效应是限制存储密度提高的重要因素。

在数字磁存储设备中,为了提高磁存储密度,一方面要设计性能优良的磁头和制备性能优良的磁存储媒体;另一方面还要采用先进的磁记录编码方式解决拥挤效应。实践证明,在磁头、磁存储媒体等变化不大的情况下,改进编码方式后,会使存储密度有很大的提高,甚至成倍增加,使设备的存储容量进一步扩大,降低了单位信息的存储成本,提高了数据传输率。编码方式对改善系统性能具有重要的意义。

在数字磁存储系统中,信息的写入和读出是一种电磁转换过程。所以,将一串二进制数据序列以某种方式和规律变换成写入磁存储媒体上的记录序列的过程称为数字磁记录编码。反之,将磁存储媒体上的磁化翻转还原成数据序列的过程则称为译码。对于同一组数据,考虑到系统的机械结构、电路特点以及其他因素,可采用不同的编码方式而得到不同的记录序列。但记录的结果是不一样的。因此,数字磁记录编码方式,就是研究用什么样的变换规律,将一串二进制数据序列转换成磁性层上相应磁化状态的记录序列及其实现方法,以达到最佳的记录效果。

编码方式的种类很多,有归零制、不归零制、改进调频制、再改进调频制、调相制、成组编码、3PM、(2, 7) RLLC、(1, 7) RLLC等。下面介绍几种常见的编码方式。

1. 归零制(RZ)和不归零制(NRZ)、(NRZ1)

前面已讲过,以电流的正、负方向变化来写入二进制数字“0”和“1”,当相邻两位数字不同时,写电流改变一次方向,即磁化状态翻转一次。每次磁头线圈中的写电流都回到零,称为归零制(RZ)。磁头线圈中的写电流不回到零,就是不归零制(NRZ)。在不归零制中有一种是逢“1”翻转的不归零制(NRZ1),即被记录的数据位中,逢“1”时电流方向改变一次,磁化状态翻转一次,逢“0”就保持原来磁化状态不变。无法从读出信号中提取同步信号是NRZ、NRZ1的缺点。图2—3是RZ、NRZ、NRZ1编码的写电流波形。

RZ、NRZ是磁记录早期使用的编码方式,现已很少用了。NRZ1是磁记录的基本编码方式,不论哪一种编码方式,当把数据序列变换成记录序列后,均按照NRZ1规则写到磁性层上去。

2. 调频制(FM)

调频制的变换规律是在数据序列的每一个单元边界插入时钟信号,与数据信号叠加后再

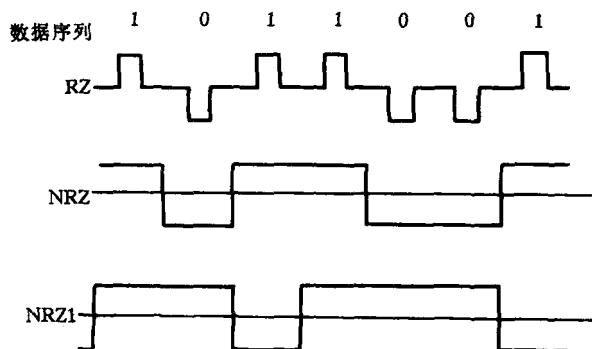


图 2—3 RZ、NRZ、NRZI 编码的写电流波形

按 NRZI 编码方式记录到磁性层上。

图 2—4 所示为调频制编码方式的原理。由图可知，在位单元中心是数据信号，在位边界是时钟信号，形成记录序列。在记录序列中，当数据为“1”时，既有数据脉冲，又有时钟脉冲；当数据为“0”时，只有时钟脉冲。磁头中的写入电流根据记录序列中“1”和“0”的次序最终按 NRZI 的规律进行变换，也就是说 FM 制的磁化翻转频率高于数据脉冲频率，这对提高存储密度显然是不利的。但另一方面，有时钟易得到同步脉冲，存储的数据可靠性高。

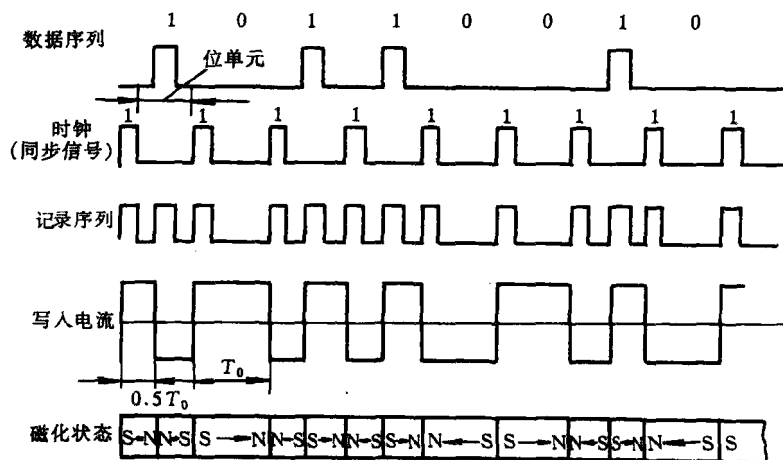


图 2—4 调频制编码方式

3. 改进调频制 (MFM)

顾名思义，它是在调频制基础上加以改进的一种编码方式。改进调频制的记录规则有三条：①对应数据“1”，在位单元中心处磁化状态翻转一次；②对应数据“0”，维持原有状态不翻转；③当数据序列中出现两个连续“0”，才在位单元边界处插入同步时钟而使磁化状态翻转一次。第三条和调频制是不同的，因而称为改进调频制。写入同样的数据，用改进调频制记录比用调频制记录磁化翻转次数少，在相同的磁性层上可以记录更多的信息，即提高了记录密度。在调频制方式下，记录一位二进制数最多为两次磁化翻转，而改进调频制最多只要一次，记录密度可以提高 1 倍。

图 2—5 给出数据序列 1010010011 的改进调频制写入电流波形和磁化状态。从图上看，磁化翻转间隔有三种：一个数据脉冲周期 (T_0)，一个半数据脉冲周期 ($1.5T_0$)，两个数据脉冲周期 ($2T_0$)。而调频制的磁化翻转间隔只有两种： T_0 和 $0.5T_0$ 。如果将图 2—4 和图 2—5 作一比较，可以看到，改进调频制的最小磁化翻转间隔 $T_{\min} = T_0$ ，而调频制的 $T_{\min} = 0.5T_0$ 。因此，可以说明在同样的磁头、磁性层情况下，改进调频制的存储密度是调频制的 1 倍。改进调频制的编码方式应用于存储密度较高的磁存储设备，现在仍在 5.25 英寸和 3.5 英寸软磁盘驱动器和硬磁盘驱动器中使用。

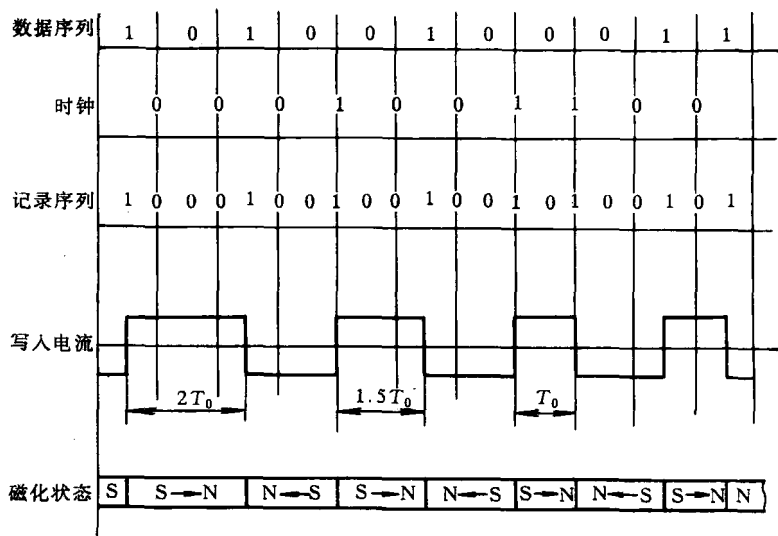


图 2—5 改进调频制写入电流波形和磁化状态

4. 游程长度受限码 (RLLC)

前面介绍了数字磁记录中常见的几种编码方式。把计算机送来的数据序列，按各自的编码规则转换成一定形式的记录序列。同样一组数据，由于采用不同的编码方式，可以得到不同的记录效果。比较各种编码优劣的指标主要有以下两个：

(1) 编码效率 又称为密度比，它是指磁性层上每一次磁化翻转所能存储的数据位数。一般用百分比表示。它等于最小磁化翻转间隔与数据脉冲周期的比值。例如改进调频制的编码效率等于 100%，而调频制的编码效率等于 50%。编码效率值愈大，表明存储相同数据位时，磁化翻转次数愈少，其结果是不仅提高存储密度，而且降低磁头、磁性层和写入电路的高频响应要求，这样工程上就比较容易实现。

(2) 自同步能力 指的是从一条磁道读出的脉冲序列中，提取同步脉冲的难易程度。如能直接提取同步时钟脉冲，称为有自同步能力；否则，称为没有自同步能力。自同步能力强的编码方式，提取同步时钟脉冲的电路比较简单，工程上也容易实现。

在大量研究各种记录方式的编码规则之后，在 70 年代逐步形成了游程长度受限码 (RLLC) 理论。前面已经提到，存储密度是受脉冲拥挤的影响。而在 NRZ1 的记录方法中，磁化翻转是由“1”决定的，两个相邻的“1”的距离近，则脉冲拥挤严重。而另一方面，两个相邻的“1”的距离远，自同步能力差。根据这个分析，RLLC 码最重要的结构参数是：

d ——在记录序列中，任意两个相邻的“1”之间的“0”的最少数。

k ——在记录序列中，任意两个相邻的“1”之间的“0”的最多数。

在这里， d 决定了任意两个相邻的“1”之间最小的距离，也就是决定了脉冲拥挤的情况。 d 等于 0，脉冲拥挤最严重。 k 决定了任意两个相邻的“1”之间最大的距离，也就是决定了自同步能力。 k 越大，自同步能力越差。

(2, 7) RLLC 码就是 $d=2$, $k=7$ 。它的编码规则见表 2—1。

表 2—1 (2, 7) RLLC 编码规则

数据序列	记录序列
11	1000
10	0100
011	001000
010	100100
000	000100
0011	00001000
0010	00100100

例：数据序列为 10100100011，根据表 2—1 的规则进行变换，

10—0100

10—0100

010—100100

0011—00001000

最后得到的记录序列是：0100010010010000001000。

(2, 7) RLLC 码最早用于大容量硬磁盘机上，如 IBM 3380E，现在广泛应用于小型硬磁盘机和光盘机上。

根据游程长度受限码的理论，不断有新的性能更好的编码出现。如 (1, 7) RLLC 码，(8/14) 变换码等，也已得到广泛应用。

§ 2—5 磁 头

磁头是磁盘存储器中的关键部件之一。磁头的功能是完成数据信息的写入和读出。数据的写入，是磁头将计算机送来的数据信息（电脉冲信号）通过磁头线圈转换成磁性层上的磁化状态。反过来，数据的读出，是磁性层上存储的磁化状态，经过磁头又变成电脉冲信号。所以，磁头实质上是一种电磁能量转换器。

一、磁头的基本结构及一般要求

磁头的基本结构如图 2—6 所示。这种磁头称为环形磁头，它由铁心和线圈组成。早期磁头的铁心是由两块铁氧体粉压制成的型条，在缝隙处用玻璃粘接起来，并将绕有线圈的另一块铁氧体搭接板用环氧树脂粘接在一起，构成封闭磁路。