

电子计算机 磁盘存储器

张江陵等 编著

国防工业出版社

73.87223
586

电子计算机 磁盘存储器

张江陵等 编著

国防工业出版社

1110017

JS123/35
内 容 简 介

本书是在收集和整理大量文献资料的基础上，结合作者的教学和科研实践编写而成。

全书共分八章。第一、二、三、八章的内容分别为存贮器概述、磁记录原理、数字磁记录方式、磁道格式。这四章的基本概念和基本理论，对所有磁表面存贮器都是适用的。第四、五、六、七章专门介绍了作为电子计算机外部设备的磁盘存贮器各组成部分的结构与电路，其具体内容分别为磁头与读/写电路、记录介质与盘组、磁头的驱动和定位、主轴部件与其他装置。

本书可作为大、专院校电子计算机外部设备专业的教学参考书，也可供从事磁盘存贮器的设计、制造、使用和维护工作的工人和工程技术人员参考。

**电 子 计 算 机
磁 盘 存 贮 器**

张江陵等 编著

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张15 344千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷 印数：0,001— 5,300册

统一书号：15034·2247 定价：1.55元

前 言

随着国内、外磁盘存贮器生产技术的发展，以及对于数字磁记录理论与编码技术的深入研究，积累了大量的文献和技术资料。但是，由于这些文献资料大都分散在各种杂志和书刊里，故对于想系统地专题了解磁盘存贮器的读者来说是很不方便的。因此，我们在收集和整理这方面资料的基础上，结合自己在教学、研究实践中的点滴体会，撰写了本书。力图对于从事外部设备专业学习和教学的大专院校师生，以及从事磁盘存贮器设计、制造、使用和维修工作的工人和工程技术人员能够提供一点帮助。

全书共分八章。前三章和最后一章为基本概念与基本理论，它对所有磁表面存贮器都是适用的；其余各章则分别叙述了磁盘存贮器各组成部分的结构与电路。

本书由华中工学院计算机系外部设备教研室和凯旋机械厂磁盘组部分同志共同编写。其中，第一、二、五章由张江陵编写，第三章由彭纪纲编写，第四章由李其平、万鹤鸣、金先级编写，第六章由裴先登、叶济中编写，第七章由张江陵、彭纪纲编写，第八章由金先级编写。

由于我们的理论水平与实践经验都很有限，而涉及的内容又较广，故缺点和错误一定不少，望读者批评指正。

目 录

第一章 存贮器概述	1	附录 3-1 现有主要数字磁记录方式的 结构参数 (d, k, l, n) 与 主要性能之间的关系	72
1.1 有关存贮器的基本概念	1	第四章 磁头与读/写电路	73
1.1.1 主存贮器与外部存贮器	1	4.1 磁头概述	73
1.1.2 存贮器的速度与容量	3	4.2 浮动磁头的浮动原理	74
1.1.3 磁盘存贮器的主要技术参数	5	4.2.1 浮动磁头的静态分析基础	74
1.2 磁盘存贮器的工作原理及其组成	6	4.2.2 浮动磁头的动态特性	78
1.2.1 一般工作原理	6	4.3 浮动组件的结构	80
1.2.2 磁盘存贮器结构简述	7	4.3.1 浮动块的设计	80
1.3 磁盘存贮器的现状与发展	8	4.3.2 浮动块的支承	82
1.3.1 磁盘存贮器的种类与结构特点	8	4.3.3 磁头加载装置	82
1.3.2 国内、外磁盘存贮技术的进展	10	4.3.4 浮动间隙的测量	84
第二章 磁记录原理	13	4.4 磁头电磁转换部分的设计	88
2.1 写入过程的分析	13	4.4.1 磁头铁芯(磁芯)的结构	88
2.1.1 磁头的记录磁场	13	4.4.2 结构参数的选择	89
2.1.2 静态写入与写入宽度	18	4.4.3 特性曲线与评定指标	92
2.1.3 动态写入过程	20	4.5 磁头材料	93
2.1.4 自退磁效应	21	4.5.1 对磁头铁芯材料的要求	93
2.1.5 过渡区长度的理论计算	23	4.5.2 磁头铁芯材料的种类	94
2.1.6 外磁路对磁化状态的影响	30	4.5.3 粘接材料及粘接方法	94
2.2 读出过程与波形	31	4.6 写入驱动电路	96
2.2.1 读出过程	31	4.6.1 电路的构成	96
2.2.2 读出波形	32	4.6.2 写入驱动电路	97
2.2.3 读出损失	37	4.7 读放大器及频率特性分析	100
2.2.4 垂直分量的作用与波形不对称	39	4.7.1 读放大器	100
2.2.5 脉冲拥挤与峰值偏移	39	4.7.2 读放大器频率特性的分析	102
2.3 数字磁记录理论的新进展	42	4.8 调频制读出线路实例	106
2.3.1 “自相一致”算法	42	4.9 磁记录中的自同步电路	110
2.3.2 有限极尖长度磁头理论	46	4.9.1 VFO 线路的工作原理	110
2.3.3 垂直磁化	48	4.9.2 VFO 的具体线路	111
第三章 数字磁记录方式	49	4.9.3 有关 VFO 电路的几个问题	114
3.1 概述	49	第五章 记录介质与盘组	116
3.2 用游程长度受限码分析数字磁 记录方式	51	5.1 记录介质	116
3.3 成组编码记录制	53	5.1.1 概述	116
3.4 调频制和改进调频制的编/译码电路	57	5.1.2 介质的主要技术参数	117
3.5 改进调频制的改进及峰点 偏移的预先补偿	61	5.1.3 介质材料	120
3.6 固定变比的可变长度码	64	5.1.4 磁盘基片	121
3.7 一种相关变换码	69	5.2 可换盘组	122
		5.2.1 软磁盘组	122
		5.2.2 单片可换盘组	123

5.2.3	多片可换盘组	126
5.2.4	盘组的检验	129
第六章	磁头的驱动和定位	133
6.1	概述	133
6.1.1	基本要求	133
6.1.2	发展概况	134
6.1.3	基本结构	135
6.2	驱动定位执行机构	136
6.2.1	步进电机执行机构	137
6.2.2	直流电机执行机构	138
6.2.3	音圈电机执行机构	138
6.2.4	音圈电机	141
6.3	磁头位置与速度检测方法	150
6.3.1	齿条磁性位置传感器	150
6.3.2	光栅位置检测器	151
6.3.3	感应同步器	154
6.3.4	伺服盘位置传感器	155
6.3.5	感应式速度传感器	156
6.3.6	电子测速器	164
6.4	磁头定位伺服系统的基本原理	166
6.4.1	总框图	166
6.4.2	速度控制	166
6.4.3	位置控制	169
6.5	直流电机驱动的定位系统	169
6.5.1	磁道差值计算电路	169
6.5.2	差值译码及速度函数产生电路	172
6.5.3	位置信号的产生与解调	173
6.5.4	道脉冲形成及电子测速电路	174
6.5.5	直流电机驱动电路	175
6.6	音圈电机驱动的定位系统	176
6.6.1	位置信号放大整形电路	177
6.6.2	道脉冲形成电路	177
6.6.3	磁道差值计数电路	178
6.6.4	目标速度产生电路	179
6.6.5	信号综合和电机驱动电路	182
6.6.6	系统结构图及动态特性分析	183
6.7	伺服盘磁头定位系统	185
6.7.1	伺服信息编码与解调	186
6.7.2	机械结构谐振的补偿	190
6.7.3	磁道跟随系统的跟随精度	191
6.7.4	伺服盘定位系统举例	192
第七章	主轴部件与其他装置	195
7.1	主轴部件的结构	195
7.1.1	典型的主轴部件	195

7.1.2	对主轴部件的要求	199
7.1.3	主轴的驱动与制动	200
7.2	索引与区段脉冲的产生	202
7.2.1	索引(区段)标志传感器	202
7.2.2	索引与区段脉冲的分离	204
7.3	主轴转速的控制	206
7.3.1	有刷直流电机的启动过程与转速控制电路	207
7.3.2	无刷电机控制电路	209
7.4	盘面清扫与机箱空气净化	212
7.4.1	空气净化	212
7.4.2	清扫装置	213
7.5	控制逻辑与电路	214
第八章	磁道格式	215
8.1	直接存取存贮器的一般特性	215
8.1.1	固定头磁盘	215
8.1.2	磁头移动的磁盘	216
8.2	信息的结构	217
8.2.1	字节	217
8.2.2	信息区的基本组成	217
8.2.3	信息块的具体内容	218
8.2.4	区段	219
8.3	对寻址的要求和基本的磁道格式	219
8.3.1	磁头移动磁盘的两种基本结构	219
8.3.2	寻址信息	220
8.3.3	直接存取存贮设备对寻址的基本要求	220
8.3.4	基本磁道格式	220
8.4	采用简单磁道格式的磁盘系统的特性	221
8.5	采用寻址信息可编入程序的磁道格式	222
8.5.1	索引标志	223
8.5.2	间隙(G1、G2、G3、G4、G5)	223
8.5.3	标识地址(HA)	224
8.6	磁道说明记录及数据记录	225
8.6.1	磁道说明记录R ₀	225
8.6.2	数据记录R ₁ ~R _n	227
8.7	数据校验	228
8.7.1	循环校验	228
8.7.2	位计数附加位	229
8.8	软盘的磁道格式	229
8.9	寻址操作的实例	230
	参考文献	231

第一章 存贮器概述

存贮器是电子计算机不可缺少的一个重要组成部分。它包括内部存贮器和外部存贮器两大部分。本书所要讨论的内容只是外部存贮器中的磁盘存贮器。为了使读者首先对存贮器有一概略的了解，本章就其用途、工作原理、基本技术性能以及磁盘存贮器的种类作一扼要的叙述。

1.1 有关存贮器的基本概念

1.1.1 主存贮器与外部存贮器

存贮器是一种用来存贮数码的装置。既可以在其中存入数码，也可以从其中取出已寄存的数码并覆盖（或抹去）原有的数码，重新存入新的内容，还可以只取出记录的内容而不致引起对这些内容的破坏。

电子计算机为什么要有存贮器呢？

在计算机开始运算之前，通过输入设备预先将程序指令和原始数据存入存贮器中。运算时，存贮器不断向运算器（计算机中进行各种基本运算的部件）输送所需的数据，同时又不断接收从运算器送来的计算结果，将其存放起来。此外，存贮器还不断地以其所寄存的程序指令供给控制器（计算机中统一指挥整个工作的部件），使控制器按程序指挥计算机的各个部件和所有外部设备执行程序指令规定的各种操作。

从这个简短的叙述中，我们可以看出，存贮器的职能就相当于计算机各部分的“信息交换中心”和“数据仓库”。作为“信息交换中心”，要求存贮器能以尽可能快的存取速度进行信息的交换；而作为“数据仓库”，则要求它具有足够大的信息存贮容量。因此，存贮器的速度与容量便成为计算机系统性能的两项重要指标，也是推动存贮器不断向前发展的两个主要因素。

在现代计算机诞生的最初几年里，基本逻辑电路的运算速度与存贮装置的速度基本上是相等的。但是，随着技术的进步，计算机本身的运算速度提高得非常迅速，而存贮器速度的提高则比较缓慢（不包括高速缓冲存贮器等），两者之间产生了很大的差距。在存贮容量方面，鉴于目前磁带和可换磁盘组的应用情况，可以认为：如果不考虑存取速度，则存贮容量理论上可以达到无限大的地步（当然，这种大容量的获得是在牺牲速度的情况下来取得的）；如果同时要求速度高、容量大而成本又较低，则实际上差不多目前所有的存贮器都满足不了这个要求。表 1-1 列出了几种有代表性的存贮器的主要技术性能以及成本比。

从表中可以看出，半导体存贮器和磁芯存贮器比磁盘和磁带的容量小几百倍，以至几千倍，每位信息的成本也高几百倍，但他们的存取速度则快几千以至几十万倍。由此可见，性能指标之间，以及性能与成本之间，存在着显著的矛盾。为了解决这个矛盾，通常在电

表1-1 存贮器比较表^①

指 标 类 型	容 量 (位)	存 取 时 间 (毫秒)	数 据 传 输 率 (位/秒)	每一位信息的 平均成本比 ^②
半导体存贮器	每单元256~1000可达 50×10^6	$(0.2 \sim 0.6) \times 10^{-3}$	$(10 \sim 30) \times 10^6$	500
磁芯存贮器	每单元 $(1 \sim 64) \times 10^3$ 可达 4×10^6	$(0.8 \sim 1.5) \times 10^{-3}$	$(10 \sim 20) \times 10^6$	350
固定头磁盘存贮器	$(5 \sim 50) \times 10^6$	5~17	$(3.36 \sim 24) \times 10^6$	30
可换磁盘存贮器	$(20 \sim 800) \times 10^6$	25~70	$(1 \sim 5) \times 10^6$	3
软磁盘存贮器	$(0.5 \sim 3) \times 10^6$	500	0.25×10^6	
磁带存贮器	$(10 \sim 300) \times 10^6$	$5 \sim 5 \times 10^6$	$8 \times 10^4 \sim 8 \times 10^6$	1

① 本表按文献〔1〕、〔2〕等综合整理。由于同一类型的品种很多，故表列数字只是粗略的。

② 以磁带存贮器的成本为1的成本比值。

子计算机系统中同时使用两种存贮器。一种是工作速度快、容量小的存贮器，它安装在计算机的内部，与运算器、控制器直接联系，用以存放当前求解问题急需的程序指令和原始数据。这种存贮器称为内部存贮器（简称“内存”）或称主存贮器（简称“主存”）。例如表中的半导体存贮器（双极型存贮器、MOS存贮器等）和磁芯存贮器就是主存贮器。另一种是工作速度较低而容量极大的存贮器，它们不放在计算机的内部，而是在计算机外部构成单独的设备。这种存贮器用以存放暂不需要或不经常使用的程序指令和数据，一旦需要，便可以和“内存”成批地交换信息。这种存贮器是“内存”的一种后备存贮器，因其在主机之外，故称为外部存贮器（简称“外存”）。如表1-1中所列的磁带和磁盘存贮器就是外部存贮器。

存贮器按其存取数码时的寻址方式，又可分为随机存取存贮器、直接存取存贮器和顺序存取存贮器（详见8.1节）。

有了“内存”和“外存”两种存贮器，就可以组成一个存贮系统，使高速、小容量的随机存取存贮器与低速、大容量的存贮器结合起来，在不增加成本的条件下，解决速度与容量间的矛盾，从而可以合理地提高计算机解决问题的规模与能力。这就是为什么需要外存的一个直接的原因。

目前，计算机已经渗透到了自然和社会的各个领域。大量数据资料需要经过计算机处理，并送入存贮器中保存起来（例如，保存在可以脱机存放的磁带和可换磁盘组内）。当需要重新使用这些资料时，只要把所需的带或盘组装在磁带或磁盘存贮器上，就可以重现这些数据资料。

在“外存”上存贮数据资料的方法，具有所占据空间位置小、寻找速度快的优点。例如，一卷磁带（2400英尺长、800位/英寸、8磁道、总容量 1.3×10^8 位、带速250英寸/秒）可以存贮印有 100×50 字符的文件达3200页，并且能在115秒钟内找到所需要的资料，而所占空间位置却比用纸印刷的文件要小。如果存贮在同等容量的可换磁盘组上，则寻找资料的时间可以更短，一般不超过10秒。

实质上，上述用途使外部存贮器变成了数据和资料仓库。这也是大量使用外部存贮器的一个重要原因。

如前所述,用“内存”和“外存”组成的存贮系统,已经可以比较经济地解决存取速度和存贮容量之间的矛盾。但是,这里仍需提出一个问题:是否当内存的制造成本进一步降低之后,就可以取消磁带和磁盘这类外部存贮器呢?回答是否定的。首先,“外存”作为数据资料仓库的职能是很难取消的。其次,“内存”是一种可以随机存取的快速存贮器,这种存贮器必须具有相当数量的用于寻址的译码门电路。例如,对于由集成电路组成的随机存取存贮器,用于译码所需的门数,可由下式求得^[2]:

$$N = \frac{W_m}{w_p} b \times (2w_p^{1/2}) = \frac{2W_m b}{w_p^{1/2}} \quad (1-1)$$

式中 W_m ——存贮器能存贮的字数;

w_p ——组成存贮器的集成电路的每片位数。如果是“方形”矩阵,则每边为 $w_p^{1/2}$ 位;

b ——每个字具有的位数(字长)。

假定由集成电路组成的存贮器的容量为: $W_m \times b = 10^5 \times 10^2 = 10^7$ 位,集成电路每片位数 $w_p = 4K$,那么,由式(1-1)便可算得所需的译码门数近似地等于 3.2×10^5 ,它比一台大型计算机本身的逻辑电路还要多,而存贮容量只相当于一个大型盘组。由此可见,只用一级随机存取存贮器代替由“内存”与“外存”组成的存贮系统,无论在结构上或制造成本上都是不合理的。同理,若以集成电路或磁泡组成大容量的随机存取存贮器或直接存取存贮器来代替磁表面存贮器,则也存在类似的情形。

外部存贮器按其原理与结构的不同有许多类型。在磁表面存贮器中,磁盘存贮器由于其容量大、成本低(相对于磁鼓)、存取时间短和数据传输快(相对于磁带),并且,既可直接存取,又可脱机保存,因此,它已成为目前广泛采用的外部存贮设备。虽然一些新型的存贮器(如磁泡存贮器、激光全息存贮器等)已经发展起来了,但是,目前尚存在价格与性能之间的矛盾。可以预见,在今后相当长的一段时间内,磁表面存贮器因其价格低廉、使用方便和技术上的不断提高而仍将处于支配地位。

1.1.2 存贮器的速度与容量

上面已经提到,存贮器的速度与容量都和主机的运算速度与解题规模有关。这就要求在合理的条件下,力求使存贮器的速度和容量与主机的能力相适应。从这个角度出发,可以近似地确定“主存”与“外存”的速度和容量。下面将扼要介绍有关这个问题的论述。

一、主存的速度与容量

主存贮器和主机(中央处理机,CPU)应当在负荷上彼此平衡,不应当存在彼忙此闲,以致相互等待,造成时间上的浪费。在两者的价格都十分昂贵的情况下,尤应如此。要想按照CPU的能力精确地决定主存的速度与容量是困难的,只能用统计的方法近似地找出它们之间的关系。如果以每秒钟能完成的指令数ips(或每秒兆指令数Mips)表示CPU的能力,以 I/B 表示各类数据需进行的数字运算总量,亦即对每一字节CPU所需执行的平均指令数,则按照“主存”与CPU相匹配的原则,可以决定“主存”每字节的周期时间 T_m ,

$$T_m = \frac{\left(\frac{I}{B}\right)}{\text{ips}} (\text{秒/字节}) \quad (1-2)$$

或“主存”的数据传输率 $D_{r,m}$,

$$D_{r,m} = \frac{1}{T_m} = \frac{\text{ips}}{(I/B)} (\text{字节/秒}) \quad (1-3)$$

而主存容量则近似地取为:

$$C_m = 0.5 \sim 1 \text{ Mips (兆字节)} \quad (1-4)$$

对于各种不同类型的问题, I/B 值是极不相同的。据统计, 对于科学与工程方面的计算, I/B 取值较大, 其平均值为 8; 对于商业方面, 取 I/B 为 4; 而对于行政管理与单纯的信息存贮, 则取 $I/B \approx 1 \sim 2$ 。至于式 (1-4) 中的系数 (0.5~1), 则完全是由统计一些典型的计算机的主存与 CPU 的参数后所确定的。

二、外存速度与容量

从充分发挥 CPU 和主存的作用来看, 外部存贮器应具有这样的速度, 即能够在预定的时间内供给主存以预先规定的一批数据。通常, 数据是分批供给的, 每批数据的长度以不致中断 CPU 处理为原则。设 CPU 处理一批数据的时间为 T_o , 从“外存”提取这批数据, 以及将用过的相同批量的数据从“主存”调入“外存”往返所需的等待时间为 T_{wo} , 则 CPU 的利用率为:

$$\text{CPU 利用率} = \frac{T_o}{T_o + T_{wo}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{T_{wo}}{T_o}\right)} \quad (1-5)$$

式中 T_{wo} 决定于“外存”的存取速度; T_o 由下式决定:

$$T_o = B_r \times \left(\frac{I}{B}\right) \times \frac{1}{\text{ips}} (\text{秒}) \quad (1-6)$$

式中, B_r 为每批数据包含的字节数; I/B 、ips 的意义同前。

从式 (1-5) 可以看出, 为了提高主机的利用率, 通常要求存取一批数据的等待时间 T_{wo} 最短, 亦即要求“外存”具有最快的存取速度。当然, 也可用增大每批数据的字节数来增大 T_o 的数值, 即以相对延长 CPU 的处理时间来增大利用率。但是, 在增大 T_o 的同时也使存取一批数据的等待时间 T_{wo} 增加了, 反过来又不利于 CPU 利用率的提高。所以, 最好的解决办法仍是加快“外存”的存取速度。这就是促使人们不断提高“外存”速度的一个积极因素。

下面再研究一下“外存”的容量。

处理不同的问题, 对存贮容量大小的要求是不同的。一般说来, 无论是科技问题的求解, 或是试验数据和统计资料的收集与处理, 都需较大的“外存”容量。例如在原子物理方面的试验中, 一次抽样就需 $20 \times 10^6 \sim 50 \times 10^6$ 位的存贮容量 (相当于一片高密度硬盘的总容量), 而且每隔一段时间 (约 10 分钟) 就需抽样一次。又如空间探索中的图象识别, 每帧 23×23 平方厘米的图片约有 $10^7 \sim 10^8$ 位的信息量, 若按 10^8 位计, 一帧图片就需花费一卷磁带的容量, 而在一次科学考察中图片的数量是成千上万的, 其存贮容量要求之

大是可以想见的。此外,如化学、物理问题和数理方程的求解、气象预报、图书资料的保存等,都要求有巨大的存贮容量。这就迫使人们为寻找廉价的大容量存贮器而不断努力。

1.1.3 磁盘存贮器的主要技术参数

对于所有“外存”来说,存取速度和存贮容量是表征其技术性能的两个重要方面。磁盘存贮器也不例外。此外,磁盘还有区别于其他存贮器的技术参数。

磁盘存贮器的主要性能参数有以下一些。

一、存贮密度

存贮密度通常以道密度与位密度来评定,也可用两者的乘积,即用单位面积上的存贮位数来评定。

1. 道密度

道密度系指沿磁盘径向单位长度内的磁道数。道密度 D_r 可按下式求得:

$$D_r = \frac{1}{W + G} \text{ (道/毫米或道/英寸, 记作 Tpm 或 Tpi)} \quad (1-7)$$

式中 W ——磁头铁芯厚度(毫米或英寸);

G ——道间距(毫米或英寸)。

2. 位密度

位密度是指磁道单位长度上所记录的二进制数码的位数(比特)。位密度 D_b 可按下式计算:

$$D_b = \frac{ft}{D_{\min} \pi} \text{ (位/毫米或位/英寸, 记作 bpm 或 bpi)} \quad (1-8)$$

式中 f ——数码的脉冲频率(位/秒);

t ——磁盘每转所需的时间(秒);

$D_{\min}$ ——最内圈磁道的直径(毫米或英寸)。

二、存贮容量

存贮容量是指存贮器所能容纳的二进制数码的总量(以位数或字节数计量)。

磁盘存贮器的存贮容量 C_D 为:

$$C_D = f(t - \Delta t)mn \text{ (位)} \quad (1-9)$$

式中 f ——数码的脉冲频率(位/秒);

t ——磁盘每转所需时间(秒);

Δt ——磁头通过空白区花费的时间(秒);

m ——记录盘面数;

n ——每面磁道数。

上式是假定脉冲频率在整个磁盘的各个磁道上都相同的情况下得到的。空白区时间的长短是难以预定的,通常取 Δt 为 t 的(4~8)%。这样,便可得:

$$C_D \approx 0.94ftmn \quad (1-10)$$

三、平均存取时间

存取时间是指磁头从起始位置到达所要求的某一位置,并完成写入或者读出所需的全

部时间。它包括两部分：一部分是寻找磁道所需的找道时间（或称驱动定位时间） T_s ；另一部分是磁头等待所需写入或读出的区段旋转到它的下方时所需的等待时间 t_w 。平均存取时间 T_a 可表示为：

$$T_a = \frac{(T_s + t_w)_{\min} + (T_s + t_w)_{\max}}{2} \quad (1-11)$$

四、数据传输率

数据传输率或传输速度是指在单位时间内磁盘存储器向主存储器传送数码的位数或字节数。数据传输率正比于位密度与盘面扫过磁头前隙处的线速度 v 的乘积。磁盘的数据传输率 $D_{r,d}$ 可表达为：

$$D_{r,d} = D_b v (\text{位/秒或字节/秒}) \quad (1-12)$$

通常，位密度取最内圈磁道上的位密度，线速度也是最内圈磁道上的切线速度。

在式 (1-5) 中，我们没有具体计算 T_{we} 的数值。现在可以看到，对于磁盘存储器， T_{we} 由两部分组成：一部分是由式 (1-11) 算得的 T_a ；另一部分为以数据传输率 $D_{r,d}$ 传送 B_s 字节所需的时间。由于送出与接收一批数据的过程在时间上不能重叠，因此 T_{we} 应是上述两部分时间之和的两倍。于是有，

$$T_{we} = 2 \left(T_a + 8B_s \frac{1}{D_{r,d}} \right) (\text{秒}) \quad (1-13)$$

由此可得：

$$\text{CPU 利用率} = \frac{T_a}{T_a + T_{we}} = \frac{B_s \left(\frac{I}{B} \right) \frac{1}{\text{ips}}}{B_s \left(\frac{I}{B} \right) \frac{1}{\text{ips}} + 2 \left(T_a + 8 \frac{B_s}{D_{r,d}} \right)} \quad (1-14)$$

例如，当主机的处理能力为 5Mips，按被处理问题的复杂程度取 $I/B = 5$ （指令数/字节）， $B_s = 32 \times 10^3$ （字节），被选用存储器的数据传输率和存取时间分别为 6.5×10^6 （位/秒）和 30×10^{-3} （秒）。代入式 (1-14)，算得：

$$\text{CPU 利用率} = \frac{32 \times 10^3 \times \frac{5}{5 \times 10^6}}{32 \times 10^3 \frac{5}{5 \times 10^6} + 2 \left(30 \times 10^{-3} + \frac{8 \times 32 \times 10^3}{6.5 \times 10^6} \right)} \approx 0.24$$

计算结果表明，即使采用具有较快存取速度和数据传输率的大型可换磁盘存储器，其利用率也是很低的。由此可见，进一步提高存储器的速度是很有必要的。

1.2 磁盘存储器的工作原理及其组成

1.2.1 一般工作原理

磁盘存储器从 1956 年开始出现以来的二十多年间，在结构、性能等方面都有了很大的改进，创造了多种型式的产品，磁记录技术理论也有相应的发展。但是，就其一般工作原理而言则大体相似。它们都是利用表面敷有一层磁性材料的、旋转着的盘片作为记录介质，通过一种称为磁头的器件（在一个具有极窄缝隙的环形铁芯上绕有线圈的电磁转换器件），

将以脉冲表示的二进制数码“0”和“1”转换为盘面上两种不同极性的磁化单元。反过来，盘面上记下的两种不同极性的磁化单元，通过磁头又可被还原成相应二进制数码。

图 1-1 为以某种方式进行读、写时的波形图。当一组数码(图 1-1 a)通过写电路后，在磁头线圈中便产生对应的电流极性变换(图 1-1 b)。数码为“1”时，电流方向改变一次；数码为“0”时，电流方向保持不变。这样，磁头铁芯中的磁通方向也作相应翻转，从而在旋转的盘面上留下了一圈许多极性彼此相反的细小的磁化单元(图 1-1 c)。这些磁化单元的剩磁极性完全与写电流的极性对应，亦即与数码对应。若沿盘面径向排列许多磁头，或使磁头(通常是 1~2 个)沿盘面径向移动，那么，就可使数码记录在许多同心圆磁道上。

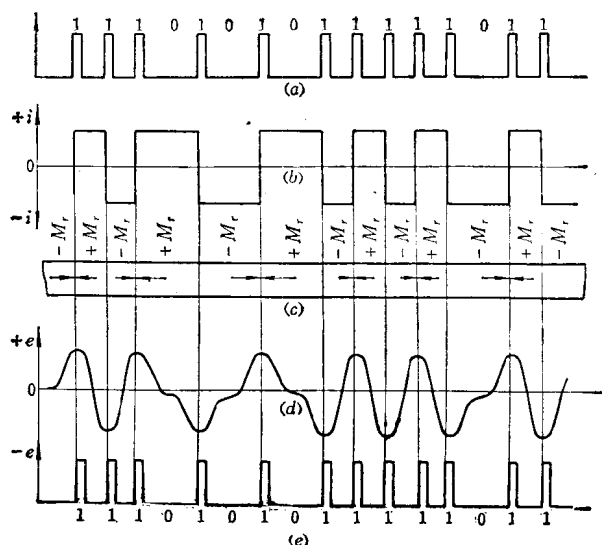


图 1-1 写、读变换过程略图

i —通过磁头线圈的电流； M_r —记录信息的剩余磁化强度；
 e —读出信号的电压。

读出时，盘面上记录的磁化单元沿磁道迅速扫过磁头写/读缝隙，磁化单元的剩磁通过磁头铁芯与线圈交链，剩磁因移动而变化。于是，在线圈中感应出电压信号。由于在剩磁方向改变处，其磁通变化率最大，因此，信号有极大值(即峰值)。经过放大、整形、检出峰点，即可还原出原先记录的数据(图 1-1 d、e)。

以上就是数字磁记录的简要工作原理。

1.2.2 磁盘存储器结构简述

根据上述工作原理，考虑磁头能在整个盘面上以至许多盘片上进行读、写，以及其他一些附属的功能，设计出了各种磁盘存储器。图 1-2 是其中的一例。

从这个略图可以看出，磁盘存储器大致由下列部分组成。

一、盘片和盘组

它们包括固定不换的盘片和可以更换的盘组。可换盘组可以脱机存放，也可以在同型号的其他存储器上使用，甚至可以在不同地区以及国际间进行信息交换。因此，可换盘组应具有互换性。

二、盘片或盘组的驱动装置

驱动装置包括驱动电机和主轴部件，以及电机的调速系统。它应能使盘片或盘组平稳而匀速地旋转。

三、磁头与读、写电路

它包括磁头组件(磁头、取数臂和加载装置等)、写入电路、读出电路，以及选择磁头的逻辑电路。

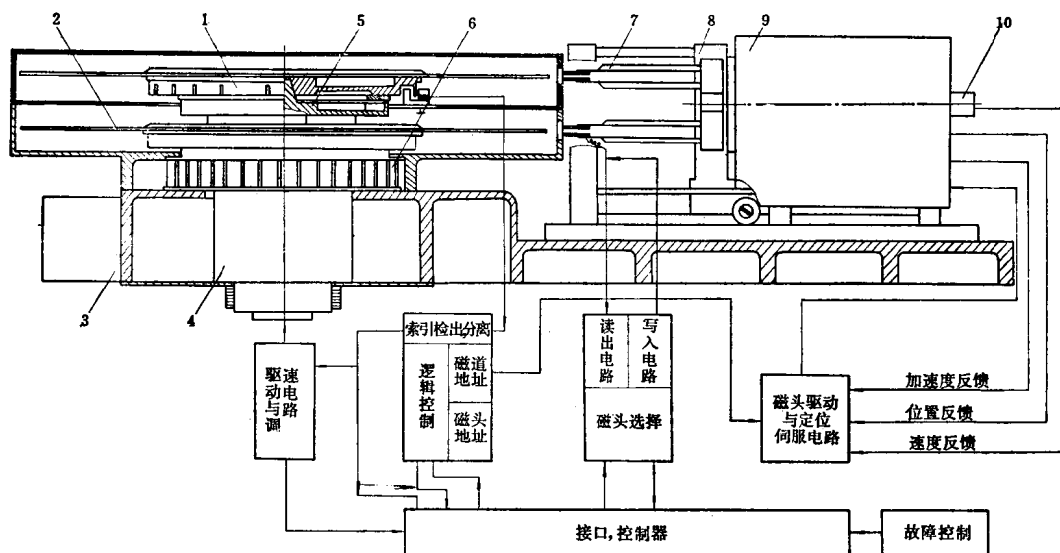


图1-2 磁盘存贮器结构举例

1—盘组；2—固定盘片；3—空气过滤器；4—电机；5—主轴部件；6—通风机；7—磁头组件；8—滑车；
9—驱动电机；10—速度传感器。

四、磁头驱动装置和伺服定位系统

对于磁头可移动的磁盘存贮器，磁头驱动装置用来沿径向移动磁头，使其定位于指定的磁道上，即完成寻找磁道的功能。为了使“找道”迅速、准确，必须对驱动装置进行速度和位置控制，伺服定位系统就是为完成这一目的设置的。

驱动装置和伺服定位系统包括下列一些部件：驱动电机（步进电机、直流伺服电机或音圈电机——一种可以作直线运动的电机）；位置传感器（装于小车上，图中未示出）；速度传感器；装载磁头取数臂和传感器的小车；伺服电路；等等。

五、空气净化系统

它用以过滤进入机腔的空气。其中包括通风机、风道、过滤器等。

六、其他机构和电路

诸如门锁、安全装置、电源、控制电路等。

以上所述只是一个梗概，其详细内容将在以后各章分别讨论。

1.3 磁盘存贮器的现状与发展

1.3.1 磁盘存贮器的种类与结构特点

磁盘存贮器的种类很多，结构上也千差万别，现概略地分类介绍如下。

一、磁头移动的固定磁盘存贮器

这类磁盘存贮器的主要结构特点是，一组盘片固定地装于主轴上，装有浮动磁头的磁头臂（取数臂）由驱动装置驱动，以便在盘面上寻找所需的磁道。它的早期产品都具有直径较大（600~1000毫米）的若干片磁盘（16~26片）。如我国早期试制产品CP-1型、655型就是这类产品。目前国外的这类磁盘存贮器，如IBM3350，H8595等都已改用较小

直径 ($\phi 356.25$) 的盘片, 其存贮容量达到了 317 兆字节, 平均取数时间缩短到了 25 毫秒。

在近来的一段时间内, 这类磁盘存贮器几乎为可换磁盘存贮器所取代。随着记录密度的大幅度提高和存贮容量的增大, 要求盘组可换的迫切性减小。因此, 采用固定磁盘的结构将是一种发展趋势。

二、固定头磁盘存贮器

对于这种磁盘存贮器, 每一条磁道都装有一个磁头, 几个磁头 (一般为 9 个) 组装在一个浮动块内, 悬挂在盘面的上方。当盘速到达额定值以后, 磁头加载处于工作状态, 即可进行读/写操作。由于磁头不沿盘面径向移动, 驱动定位时间 T_r 等于零, 故平均存取时间较短, 一般为 5~17 毫秒。通常, 由于整个头、盘装置都装在密封罩内, 其结构简单, 防尘措施好, 因此工作可靠。但由于容量小、使用磁头多, 故每位信息的价格较贵。

按盘片的数量, 这类磁盘存贮器分为: 单片、二片、六片和八片等几个品种。盘片直径为 8~14 英寸, 每片记录信息 8×10^6 位。数据传输率一般在 $4 \times 10^6 \sim 12 \times 10^6$ 位/秒范围内。

三、磁头移动的可换磁盘存贮器

这种磁盘存贮器如同磁头移动的固定磁盘存贮器一样, 其磁头可沿径向移动。不同之处是, 它的磁盘组可以更换, 可以脱机保存, 可以进行数据交换。

可换盘组的出现相对增大了容量, 并且便于使用。因此, 这类存贮器获得了广泛的应用。按可换盘组的片数, 这种磁盘存贮器有单片、三片、六片、十一片和十二片等几个品种。这些品种在结构上大多类似。其存贮容量从 1.5×10^6 字节 (单片) 到 200×10^6 字节 (十二片); 驱动定位时间较小, 一般 $T_r \approx 20 \sim 65$ 毫秒; 数据传输率为 78~806 千字节/秒。

近年来, 以这类磁盘存贮器为基础, 经过改进, 产生了一种新的可换盘组。这种可换盘组被称为“数据组件” (Data Modules)。它的特点是, 其盘片和磁头取数臂 (每面两个磁头) 一起装在一个密封的塑料壳里, 组成一个可换盘组。更换时, 磁头与盘片连同盘盒一起更换。其磁头为重量很轻、加载力极小的浮动磁头, 允许与盘面启停接触, 故可不出盘面。该盘组的盘片共 2~4 片 (其中有一面作为伺服面), 其道密度在 11Tpm 以上。这种盘组的好处是, 在提高磁道密度的同时, 减少了磁头径向位置调整到同一圆柱面上的麻烦, 比较可靠地实现了数据互换。这种新型盘组的存贮容量为 $35/70 \times 10^6$ 字节; 装在驱动定位装置上可以实现 25 毫秒的平均驱动定位时间; 其数据传输率为 885×10^6 字节/秒。

四、软磁盘存贮器

软磁盘是一种多用途的小型外部存贮器。它的盘片直径较小, 用聚脂薄膜作基片涂以磁胶制成。因它好象一张塑料唱片, 故称为软磁盘。

这种存贮器结构比较简单。盘片连同方形封套装在低速旋转的主轴端面圆盘上, 依靠旋转时的离心力来张紧盘面。磁头与盘面接触, 由步进电机驱动丝杆使其沿盘面径向移动, 以达到寻找磁道的目的。

这类磁盘多为单片可换磁盘, 也有类似硬磁盘的其他结构型式。单片可换软磁盘的存贮容量可达 3×10^6 位; 平均存取时间 400 毫秒; 转速 300~400 转/分; 数据传输率为 250×10^6 位/秒。由于其价格低廉, 故获得了广泛应用。例如: 与键盘组成输入设备; 用作大型

磁盘控制器的微程序寄存器；直接用作小型或微型计算机的存贮器等。但是，由于容量小、存取时间长，以及其他性能方面的原因，故其用途受到了一定的限制。

1.3.2 国内、外磁盘存贮技术的进展

存贮器的发展总是围绕着以最经济的手段，实现最短的存取时间和最大的存贮容量这样一些根本的技术要求展开的。为了增加容量，首先就要提高存贮密度，包括位密度与道密度两个方面。从理论上讲，影响位密度的因素有两个：一个是单位长度内饱和磁化翻转的次数；另一个是每次翻转能记录的位数。前者是数字磁记录理论方面的问题，而后者则是信息的编码问题。

关于磁记录理论方面，自从1954年卡尔奎斯特（Karlquist）导出磁头前隙附近的磁场表达式以来，一直是以这个表达式在给定自退磁磁场的前提下，来分析磁化翻转过渡区以及回读时读出信号波形的，并且，由此引伸出了提高记录密度的理论依据。因此，它收到了促进生产、提高产品质量的效果。

但是，随着实践的深入，记录信号的波长因位密度提高而不断缩短。人们发现，上述卡尔奎斯特的静态理论解释是不够精确的。岩崎俊一、勃特（R. I. Potter）等人，在1968年前后，采用了一种称为自相一致理论（theory self-consistent）^[3,4,5,6]，对磁化翻转过程中过渡区长度、读出信号的波形等，用计算机进行了更为接近实际的计算，提出了若干有意义的理论解释。此后，相继出现了集成薄膜磁头。这种磁头的极尖长度相对写、读缝隙来说较短，不符合以前导出理想磁头磁场表达式（即卡氏表达式）的假定条件。因此，这就相应地促进了磁记录理论的研究。近年来，岩崎俊一在自相一致理论的基础上进行了一系列试验。他指出了现在沿用的纵向磁化记录在理论上的缺陷，提出了垂直磁化的建议。他在实验装置上用磁带和试样作介质，从而达到了2000位/毫米以上的位密度^[7,8,9]。可以设想，如果在磁盘上也能实现这种磁化方式，则将使现在已经很高的位密度（246位/毫米）再提高十倍。当然，纵向磁化的传统方法也不是就此止步。理论和实践表明，目前已经达到的密度远非最终容限。

关于数字磁记录的编码技术方面也有了若干进展。改进调频制（包括第二和第三次改进）、莱斯码和成组编码的产生，以及采用可变长度和自适应等编码方法，不仅提高了编码效率和其他方面的性能，而且也为高密度磁记录提供了有效的记录方式。采用游程长度受限码来统一描述各种磁记录方式，根据这种码的参数来评定各种记录方式的性能，以及寻找新的更有效的记录方式，这是很有益处的。

以上是理论方面的某些进展。同样，在磁头、盘片和驱动定位装置的设计与制造技术方面，也有了很大的发展。

磁头方面的发展倾向可以用“小型化”和“集成化”概括。

从磁记录理论分析表明，若要提高记录密度，就必须减小磁头和盘面之间的间隙，而间隙的减小又将增加划伤盘面磁层的机会，特别是在启、停与寻找磁道的过渡状态尤为显著。因此，趋向于发展小浮力、轻载荷的磁头，使磁头小型化。三轨式浮动磁头就是这种倾向下的一个例子。

沿着小型化的途径，从六十年代中期到现在，浮动块的面积减少了近14倍，加载力

降低了 35 倍以上。这样一来, 就使头、盘间隙从 3 微米减到了 0.51 微米, 而位密度则从 44 位/毫米增加到了 246 位/毫米。

从磁头结构看, 若要增加磁道密度, 则要求减薄铁芯厚度。目前, 铁芯厚度已从 0.18 毫米 (4 Tpm) 减薄到了 0.037 毫米 (19 Tpm), 尚有进一步减薄的趋势。薄膜磁头的出现开辟了大幅度减薄铁芯厚度的途径, 并且导致了磁头生产的“集成化”。从六十年代末开始就进行了薄膜磁头的研究, 出现了单层和多层的、水平型的和垂直型的、单匝的和多匝的各种式样的薄膜磁头。但目前仍多处于试验研究阶段。

盘片方面则主要致力于新型磁性材料与磁层涂敷工艺的研究 (包括电镀和沉积等工艺研究)。一个共同的问题是, 在保持一定的磁性能下如何减薄层厚、提高磁层的均匀性和提高盘面的光洁度。只有解决好这个问题, 才能获得高的记录密度和减小噪声干扰。

国内在磁盘制造方面, 近年来已有一定的进展, 先后试制出了一些先进的工艺装备, 如车削盘片端面的镜面车床, 双面研磨机和双面甩胶机等。此外, 电镀盘面也有过许多实验研究。但是, 与国外相比, 应该说还存在着不小的差距。

对于磁头移动的磁盘存贮器, 提高磁头驱动定位系统的定位精度是提高磁道密度的一个十分重要的课题。伺服盘和伺服定位装置的出现, 使磁道密度获得了大幅度的提高 (从每毫米 4 道提高到了 30 道以上)。与此同时, 采取一些较为简易的措施 (如调节机腔内的温度或对盘面热变形采取适当补偿), 也收到了一定的效果。

关于存取速度方面, 如前所述, 主要在于减少平均等待时间和平均驱动定位时间。前者是一项相对容易的工作, 而后者则要困难得多。目前国际上能达到的最短平均定位时间是 20 毫秒, 即使再进一步减少, 也是非常有限的, 最终容限也只能是趋近于零。

固定头磁盘存贮器的存取速度主要决定于磁盘转速。若进行每分钟 12000 转的高速旋转, 则平均存取时间可以达到 2.5 毫秒。若要进一步提高转速 (如果必要的话), 则在技术上也是可能的。当提高盘速以后, 数据传输率也跟着提高。目前, 最高的数据传输率约为 24×10^6 位/秒。当然, 它的提高将受到读、写电路容许频率的限制, 也将视数据通道能否接受过高的数据传输速度而定。

从整机结构看, 变化是缓慢的。整机结构的某些变化是由于适应磁头、盘组和驱动定位装置的改进而引起的。决定整机结构的因素主要是: 每个盘面的磁头数目; 盘组的结构与大小; 寻找磁道地址的方式; 互换性程度, 等等。

从磁鼓演变而来的固定头磁盘存贮器, 每面具有数量很多的磁头。由于它的磁头与磁盘的相对位置不变, 故寻找磁道就等于选择磁头。因此, 它只有选头逻辑电路, 没有寻找磁道地址的机械装置。它的盘组是不能更换的, 基本上类似磁鼓, 只不过增大了记录介质的面积而已。这类磁盘的整机机械结构是比较简单的。

每面只有一个磁头的磁盘存贮器必须具备寻找磁道的电子机械装置。最初, 这种存贮器的磁盘是不可更换的。六十年代中期出现了可换盘组, 其整机结构也稍有改变。从此, 它的结构大体上就定下来了。在很长一段时间内, 只着重于磁头、记录介质、驱动定位装置等性能方面的研究, 以及使这些部件的功能进一步完善。当磁道密度提高以后, 为了保证盘组的互换性, 带来了将同一驱动装置上所有磁头的写/读缝隙调整到同一圆柱面上的困难。为了克服这一困难, 采用了一种新的可换盘组——“数据组件”, 这就导致了整机结