

计 标 机 的 数字磁带记录

上海市计算技术研究所情报资料室

计标机的数字磁带记录

L·G sebestyen 著

上海市计标技术研究所情报资料室

一九七七年八月

译 者 的 话

在华主席抓纲治国的战略决策指引下，全党全军全国人民大打揭批“四人帮”的人民战争，大力开展农业学大寨，工业学大庆的群众运动。科技战线也出现了一片新气象。

随着计算机事业的发展，要求外存储器容量大，价格便宜以及使用方便，由于磁带机具备这些优点，所以在各种类型的计算机中获得广泛的应用；与此同时，对磁带机的机电设计方面也提出了新的要求。

本书主要介绍了磁带机各部分的设计方法，尤其是磁头设计、记录理论、记录方式和误差检测方面介绍较为详细，在理论上和实际上作了分析，提供了必要的数学公式，并列出了许多参考文献供读者查阅。因此，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，翻译了这本书，供磁带机的设计人员和维修人员批判地参攷使用。

本书第一、第二、第五章由胡仁同志翻译，其余由张弼平同志翻译，在翻译本书过程中承夏复修同志和费志浩同志的指导。这本书得以完成，由于译者理论水平、业务水平不高，加之时间仓促，一定有错误和不足之处，希读者提出宝贵意见，给予批评指正。

目 录

第一章 引 言

1.1	计算机的存储器	1
1.2	磁带存储器	3
1.3	磁带的收缩结构	14
参考文献		18

第二章 磁记录材料；磁带

2.1	概述	21
2.2	磁粒的性质	25
2.3	粒子尺寸的作用	24
2.4	γ - Fe_2O_3	25
2.5	其它的氧化物材料	26
2.6	金属粒子	26
2.7	金属薄膜	27
2.8	基片和粘合剂	27
2.9	制造过程的概况	28
2.10	典型的磁带参数	29
2.11	磁带的维护管理	34
2.12	磁带寿命	34
参考文献		37

第三章 磁 头

3.1	原理与结构	47
-----	-------	----

3.2	多声道桥头-----	50
3.3	扭斜-----	53
3.4	汽泡桥头-----	55
3.5	桥头材料-----	55
3.6	设计考虑-----	58
3.7	桥头效率-----	65
3.8	桥头的外形和桥头跟桥节的间隔-----	67
3.9	通量感应桥头-----	68
3.10	新型桥头的结构-----	70
参考文献-----		74

第四章 记录理论

4.1	引言-----	88
4.2	记录桥头的桥节-----	89
4.3	介质桥化-----	91
4.4	自行退桥-----	93
4.5	桥化状态的过渡过程-----	98
4.6	桥滞的迭代形式-----	103
4.7	记录过渡状态的位置-----	105
4.8	过渡状态的长度测量-----	106
4.9	至阻（读出）过程-----	106
4.10	正弦桥化-----	110
4.11	以阶跃函数变化的桥化过程-----	112
4.12	脉冲的不对称性-----	116
4.13	峰值漂移和脉冲的拥挤-----	117
4.14	系统的优化-----	121
参考文献-----		123

第五章 取样记录方法

5.1	引 言	141
5.2	编码和译码	142
5.3	存储密度在实际应用中的界限	153
5.4	记录格式的标准	156
5.5	数据的恢复 (读出)	159
5.6	读/写线路	164
参考文献		168

第六章 磁带记录的检错和纠错

6.1	引 言	174
6.2	长道与几道磁带的出错校正 —— 不归零制 (NRZ) 记录	175
6.3	循环冗余校验 (CRC) 字符的形成	178
6.4	例 3	181
6.5	出错磁道的定位	183
6.6	不能校正的出错	186
6.7	CRC 奇偶位的变更	186
6.8	其他检错方法	187
6.9	几道相位编码格式的误差校验	188
参考文献		190

第七章 磁带处理机构

7.1	数字式磁带传动机构	192
7.2	磁带张力和缓冲	193
7.3	磁带驱动机构	196
7.4	磁带导轮	199
7.5	程序制约	200
7.6	匣式和盒式磁带记录器	200
参考文献		205

第八章 将承的趋势-----208

第九章 币单位

9.1 单位制-----210

9.2 基本关系-----212

9.3 币制曲线-----214

参考文献-----217

第十章 有关数字式币制记录方面的标准-----218

第十一章 主要符号表-----220

第一章 引言

1.1 计算机的存储器

1840年 Charles Babbage 提出了一种由存储器，加工单元（运算部件）和控制操作顺序的部件组成的“分析机器”。存储器设想由一些齿輪叠成的圈柱排列组成，每个齿輪可停在十个部位中的任意一个了，这样作为存储一个十进制数，而存储器总共可存储 50 位十进制数长度的数 1000 了。这种机器象早期的“差动机”一样，一直未能实现，但它包含了在 100 年后实现的许多基本思想。

一切现代数字计算机的性能特点就是它能存储数据和程序。被操作的数数和来数，以及指定操作的指令序列（即程序）都表现为同样的格式，即一组二进制位。在许多用途中，计算机主要用作存储大量数据的设备，数与运算可能是相当次要的。任何信息，诸如一个数，一个字母，或者一个程序，在计算机内就表现为一连串的二进制位。计算机的存储器必须包含大量的内存部件，并按一定的方法组织起来，使得能从存储器高速存取信息。存储器的容量和速度是任何数字计算机的基本参数，五十年代的早期计算机存储容量为 50×10^4 位数量级，由于更大和更复杂的计算机与系统的研制需要增加存储容量，故在 70 年代的系统中已有高达 10^7 — 10^8 位的随机存取高速存储器，甚至已有超过 10^{10} 位的大容量存储器， 10^{12} 位容量的存储器也开始出现。1972 年 9 月已报导了在 NASA Ames 研究中心使用的第一个 10^{12} 位的激光存储器。

我们在这里需要确定几个名词：随机存取存储器允许按任何所要求的顺序取回存于存储器中的信息，而且取出时间与信息在存储器中的位置无关。在磁表面存储类型的大容量存储器（磁盘、磁鼓和磁带存储器）中，数据取出是按顺序的，对任

何信息单元的存取时间均与存储位置有关。现代的随机存取存储器（RAM）的存取时间通常低于 $1 \mu s$ ，而磁盘的存取时间平均在 $10 - 100 ms$ 之间，磁带机在最坏情况下存取时间可长达几分钟。“信息单元”是一组二进制位，它作为一个整体被传送、处理和存取，计算机“字”的长度就是该字的位数，许多计算机——特别是主要设计为商业上应用的那些类型——采用 8 位（即称为字节）为最小单位，一个字可由一个或多个字节组成。在随机存取存储器中，单字或字节可直接存取，在大容量外存储器中，中央处理器和存储器之间的数据传送以“字组”（block）为单位，字组长度的字组中所含的字或字节数表示。

大量的机电、电子、光学和化学现象都适合于存储二进制的二种数字。凡是具有两种稳定的、可区别的状态，并能快速从一种状态转到另一种状态而不破坏其性能的器件基本上都可用作存储元件。选用何种器件要服从于诸如速度、每位成本、尺寸、功耗和可靠性等的考虑。把应用各种不同技术和结构的器件合理地加以组合，可取得最佳的性能。图 1.1 比较了各种最主要的存储技术的主要参数。快速随机存取类型的主存储器的每位成本要比大容量外存储器高 $100 - 500$ 倍，而且超过一定容量后，就会损失速度，所以需要速度较慢而价格便宜的大容量存储器。存储器按功能可分为如图 1.2 所示，主要的分类和应用的范围在各项中阐明。

铁氧磁芯 [2] 早在 50 年代引入后，已被广泛地用作随机存取主存储器的标准元件。其它的非磁存储元件，如磁厚膜存储器和磁导线存储器，则用得非常少。磁存储器是非易失性的，它们保存所存信息的时间与电源无关，所以实际上是无限的。半导体存储器 [3, 4, 5] 在 70 年代初开始侵占了铁氧磁芯存储器的领先地位。在早期的电子计算机中，由双稳器件组成寄存器（暂存存储器）。集成电路技术已经可以经济地实现巨大的双稳单元阵列。金属氧化物半导体（MOS）器件的每位价格低、体积小、功耗少，但信息的存储如同电容器元件一样，必须以电荷洩漏的速率予以更新。双极型和 MOS 这两种

都是易失性的存储器：若除去电源后，信息就丢失。这就需要提供一个紧接备用电源和一个“停电”例行程序，以便在停电时将半导体存储器的内容传送到非易失性存储器中。虽然半导体存储器普遍是小容量装置，但很大容量的存储器已提上日程，市面上已可购得 50 兆位的存储器。

图 1.1 的光学存储器一栏中列出了两大类存储器，它们基本上属于非破坏类型，虽然激光和全息照相存储器应用在专门用途和实验用的计算机上，但它们尚未达到具有商用意义的阶段。*

上述扼要回顾的目的是为了确立磁带存储器在计算机存储器分级中的地位。它们价格低、容量大、并具有完备和成熟技术的按序存取设备。在可靠性、单位面积的存储容量和每位价格方面都有不断的改进。在最近二十年中的进展是技术性上的精益求精比革命性的发明创造要多些。

1.2 磁带存储器

磁记录的历史开始于 Valdemar Poulsen 在 1899 年发表的专利“记录声音或信号的方法”，在 1900 年—1910 年之间结束有 11 篇专利发表 [6, 15] 虽然在专利中的这些思想成为商业上应用的打算是存在争议，但在很大程度上，声音和电信号的磁记录直到三十年代后期仍保留作为一种科学上的珍品。采用钢丝或钢带的磁带录音机已用于某些专门的领域，但真正的突破是在二次大战后不久，用一种薄而软的涂覆了磁性材料的塑料带取代钢丝作为记录介质，自此以后在动态速度下的模拟量记录（主要目的是不失真的复制输入波形），首先在声记录领域后承，在需要宽频的领域诸如科学和工业的应用，视频记录（录像）等方面有了扩大。

采用与计算机有联系的存储数字数据的磁记录技术的第一篇报告已在 1947 年—48 年发表 [7, 8]。从 50 年代起，磁表面存储器已成为提供计算机用大容量存储器的标准方法。文献 [14] 对目前水平作为归纳

等光相 光敏全黑相 (不可透射)	货币	大组	小组	电阻	电阻	电阻	半导电膜	每千匹的价格 (美分)
预计大容量 为0.2-7.0	纸速 1-5 高速 3-5	17-70 7-3	120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	100 X 10 ³ - 500 X 10 ³ 500 X 10 ³ - 300 X 10 ³	纸速 10 X 10 ³ - 300 X 10 ³ 高速 50 X 10 ³ - 300 X 10 ³	典型的每单元 为 1000, -直 到 50 X 10 ⁶	600-1500
			120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	100 X 10 ³ - 500 X 10 ³ 500 X 10 ³ - 300 X 10 ³	纸速 10 X 10 ³ - 300 X 10 ³ 高速 50 X 10 ³ - 300 X 10 ³	每单元为 1-64 K -直到 2 M	500-1000
			120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	100 X 10 ³ - 500 X 10 ³ 500 X 10 ³ - 300 X 10 ³	纸速 10 X 10 ³ - 300 X 10 ³ 高速 50 X 10 ³ - 300 X 10 ³	0.2-0.6	0.2-0.6
			120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	120 X 10 ³ - 100 X 10 ³ 100 X 10 ³ - 800 X 10 ³	100 X 10 ³ - 500 X 10 ³ 500 X 10 ³ - 300 X 10 ³	纸速 10 X 10 ³ - 300 X 10 ³ 高速 50 X 10 ³ - 300 X 10 ³	1-4	1-4

图 1.1 存储器主要参数的比较

型 式	应 用 范 围
双 总 线 器 件	在计算机控制与运算部件中作为基本的一位存储元件。
寄 存 器	是单等长的寄存寄存器，用来存放指令、中间结果、地址和数据。
变 址 寄 存 器	容量为1—几百字的寄存寄存器，作为存储计算机的中间结果或用于程序、参数表等。
主 存	通常容量超过1000字的随机存取存储器，用作存储数据、程序、运算结果、表格等。
大 容 量 外 存 存 贮 器	大容量(10^5 — 10^{10} 字)的按序存取存储器，用作存储数据、程序、表格等。
只 读 存 贮 器	非破坏性的随机存取存储器，存储容量从1—几百字，存储程序、微程序、表格。

图 1.2 存储器的级别介绍

法。[9]

简而言之，磁表面上的数据序列是通过磁头来磁化磁性材料涂层上很微小区域的结果。记录（或写）的过程留下了一组基本的永磁单元。它决定于所采用的记录方法，在磁带的一个特别区域中，以这些永磁单元的有或无或它极性的正或负来代表逻辑“零”或逻辑“1”。

数字数据记录技术几乎只采用纵向记录，这将在下一章中进行讨论和分析。

图 1.3 所示的纵向记录磁头是由具有较小气隙和一组线圈，一种高导磁率材料的环状结构组成的。线圈中的电流在铁芯中产生了磁通而“边缘磁通”离开空气隙而在磁性材料上产生一很微小的永磁单元。沿着介质表面的写磁头的行程称为一道。数据能连续在一道上或同时在几个平行磁道上被记录下来。

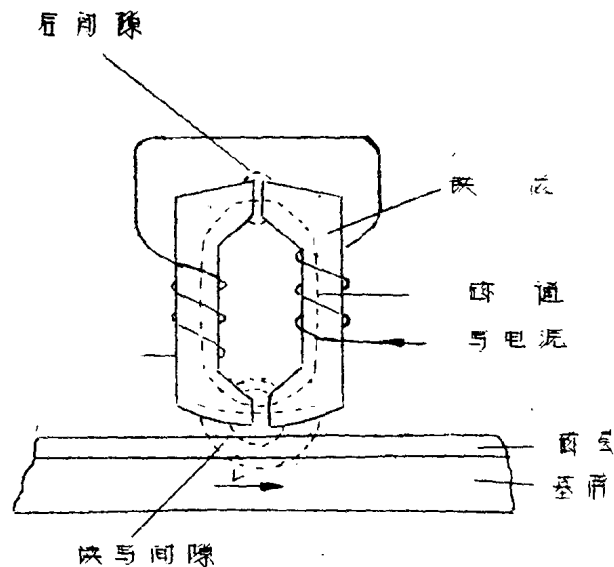


图 1.3 纵向记录磁头

读磁头的结构用与磁头相似，只是气隙较小，线圈匝数与磁道长度不同，读磁头与磁化介质靠得很近，所以由基本永磁单元产生的磁通通过读磁头线圈感应电动势，（图 1.4）使磁化介质经过磁头而移动，—— 原则上考虑确定只移动介质而不移动磁头—— 在读磁头输出端形成了电压。表征了故障的电压被检测、放大、整形后立即传送到计算机的各个寄存器中。

至今所叙述的过程是采用了几人皆知的和普遍存在的录音机的原理，在声和磁路的磁记录即模拟量的记录方面，目的是不失真的复制输入的信号，要求介质和记录方法允许有宽的动态量程（最高与最低的非破坏信号之比），在整了动态量程上减少后台噪音和达到记录的值—— 噪声是有根本意义的。介质用交流信号仔细的清除，通过叠加在被记录信号上的高频偏压校正了固有的非线性，读出信号电平的增加，（即交流信号只来回几次信号即被清除）是不会引起注意的，介质较小的缺陷也是允许的。

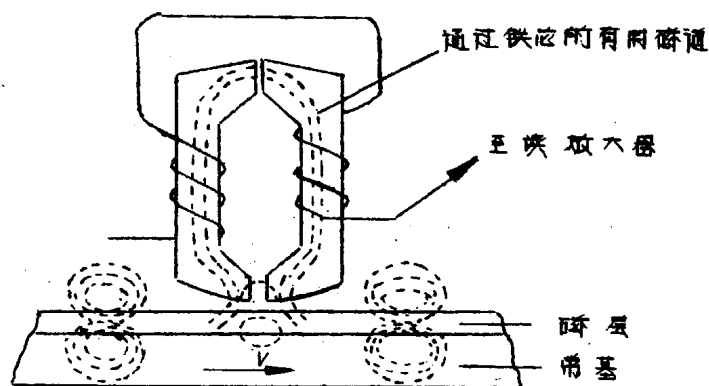


图 1.4 读过程说明

数字数据存储在磁化的两种唯一状态，介质进入反向时的饱和取得了两种最大不同的状态。大多数的编码系统采用“饱和—饱和”式记录。这对介质没有线性要求，也不用偏压。在饱和式记录中，新的信息清除了原先写的数据，因此不需要用交流来清除。基于后面的理由，在磁带上是在写过程前用直流清除过程，而在磁盘上是用直流清除头来清除记录磁道的磁。而在数字记录系统的两个信号电平之间的距离，相对较大时，后台噪音引起的麻烦就较少，然而每个记录位被单独拉波，单个信息位的丢失代表了一个不允许畸变的记录信号。介质的毛病能引起记录信号幅度的丢失。或者会产生不条件的短暂尖峰信号，计算机等级的磁带比电话等级的磁带误差校正更严格的多。记录系统的缺陷可通过冗余记录或各种灵敏的误差检测和校正系统来补偿。（看第六章）

磁带、磁盘、磁鼓：

构成存储介质的磁性材料的涂层能适用于各种基片，各种等级的电子—机械器件能影响介质与磁头间的相对运动，会计计算机是采用磁带基材料上涂覆磁片的磁性带在卡片，现金分配员是用涂覆磁性片的塑料卡片来运转。上述的器件存储了相对少量的数据，大容量计算机存储器可分成磁鼓、磁盘和磁带。

虽然磁鼓、磁盘和磁带表面磁化的存储数据原理是相同的，但处理涂覆表面的机械装置是不同的，因此数据结构也必须是不同的。在处理我们主要的项目磁带存储器之前，回顾一下这些主要设备（磁鼓、磁盘、磁带）之间的相似点和不同点是恰当的，[9, 10]

磁鼓这个词在这里的意思是：在圆柱形表面上涂覆了磁性材料的圆柱形刚体。磁鼓以恒速在圆柱体的轴上旋转。磁头安装在隣近磁层处，在磁鼓圆周上数据被记录成磁道，通常每道一个磁头，也可每道两个或多个磁头。在圆柱体和磁头间的相对速度是恒定的，故只需很少的维护，磁头与介质的间隔是不变

的，这是一了很重要的机械工程问题，它是测定性能的关键参数之一，我们在第四章中将要予以证明，采用接触式记录的早期结构在磁头与磁表面的寿命与可靠性方面受到很多限制，存储容量与圆柱体表面积成正比，而存储信息的存取时间与磁鼓旋转的速度成反比。固有的一大容量磁鼓的设计中的机械问题限制了它在某些专门领域的应用。对通用计算机特别在故障处理机的应用中，磁鼓已由磁盘与磁带所取代。

磁盘是在单面或双面涂覆磁性材料的薄圆盘，象这样的一组磁盘安装在水平（或垂直）轴上，而相邻磁盘之间有足夠的间隔，允许在两片盘之间插入磁头。已知有两种基本类型，一种是固定式（每道一个磁头），另一种是可移动式（活动磁头）。

固定磁头的磁盘通常为每道一个磁头，“磁道”是各个同心圆环，圆环的周长随着从外磁道到接近圆轴的内磁道方向而减少。因此读出电压和“位”密度随着道与道的不同而变化，磁盘的传动机构是不能移动的，并常是密封的。

几乎一切现代设计均采用“浮动磁头”原理 [16]，当磁盘高速旋转时，磁头固定座允许磁头漂浮在空气垫上，而在停止时磁头可收缩或降落在磁盘表面上。磁头与磁盘表面的距离通常在 $50 - 100 \mu$ 吋之间，平均存取时间在 $10 - 50 \text{ ms}$ 之间。

当需要很大的存储容量和相对较短的存取时间时，对磁表面存储器而言，活动磁头磁盘是一种具有吸引力的结构，一组磁盘——10片或更多——安装在主轴上，並以高速旋转。通常每面一个磁头，它被安排在所记录的位置上，通过精确度很大的伺服机构从磁头上取回信息。如在固定磁头磁盘上一样，数据记录在同心圆的环形磁道上；相对速度，读出电压，和位密度随道与道的不同而变化。存取时间比固定磁头的磁盘要长（ $25 - 100 \text{ ms}$ ），同时还需安放磁头的时间。磁盘是可移动的，在相容性设计中的各个传动部分之间是可互换的。现代磁盘设计所用的位密度约为每吋 2000 位，直到每吋 400 道，虽然高至每吋 4000 位密度的磁盘现在市面上已有出售。

浮动磁头的使用使在磁带系统中尚未实际使用的磁头材料和涂层的应用成为可能。在磁带系统中的磁头是与磁带直接接触的。与磁盘的浮动磁头结合在一起的一个特殊问题就是“磁头碰撞”。从四周进入系统的微粒干扰了保持浮动磁头在磁盘表面上的力的精确平衡，这就引起磁头击中和损坏记录表面，所以固定磁头的磁盘是用气密封接的，所提供的一重压缩惰性气体使记录室内的压力稍微超过大气压力。其它的磁盘没有复杂的空气滤清器，它可阻止冷室气流带进的杂质，最近的一些设计用了一种涂在记录表面上的涂层，这种涂层容许磁头作几千次“着陆”后，性能才变坏。

磁带传送机构和磁头设计的问题与磁盘传动部分、活动磁头调节装置以及浮动磁头的问题是迥然不同的。磁带由一系列圆形的基片组成，在基片上面涂一层薄的磁性材料。磁带传送机构必须以恒速和紧紧地持定的张力把磁带经过磁头，它必须能够在任一方向上快速按顺序在几毫秒内起、停磁带。这与连续旋转的磁鼓和磁盘是完全不同的。磁带的多道磁头通常要固定安装在主铸件上，并与磁带是密贴的。多道磁头中的单个磁头的调整和最为广泛地用于磁带的涂层材料——氧化物的磨损而引起的磁头的磨损是磁带区别于磁鼓和磁盘的两个特殊问题。材料和磁头的结构将在第二章和第三章中分别叙述。通常磁带存储器用两磁度的血流清除头，这就不再会发生写入新信息时，对原先记录数据不完全的重叠写的问题。

从磁头的观点考虑，单位面积上的磁道数，磁带与磁鼓和磁盘是相同的。然而，磁鼓和磁盘提供的是一个刚硬表面，在每道一个磁头结构时，磁头分散在磁鼓的四周或分布在磁盘的表面上。磁带需要把全部磁头安装在一条线上，以通过磁带的整过速度。安装在一组中的磁头物理尺寸是道宽度的极限系数。确定选用磁带的道宽和每吋磁道数的其它依据在§ 5.5节中讨论。

磁带的单位面积上的磁道数比磁盘要少得多（标准化的格式是磁带每吋 18 道，而磁盘为每吋 100 — 400 道）一些