

戴礼智 编

磁记录基础知识

科学出版社

磁记录基础知识

戴礼智 编

科学出版社

1980

内 容 简 介

磁记录包括一般录音、放音、电影同步录音、录象、仪表记录和电子计算机数字记录。书中介绍有关磁记录实际应用和理论的基础知识。

本书除引论外共分八章。第一章介绍磁带制造和国际上新兴的磁带工业。第二、三章扼要叙述声学、电声学和磁学。第四章论述磁记录的关键部件和材料。第五章介绍磁记录的有关实验和基础理论。第六、七章分别叙述电视录象和用于数字磁带机的数字记录。最后一章阐述磁记录的近期研究。

本书可供从事磁记录包括录音机、电影机械、录象机、仪表记录和数字记录等的专业人员参考。

磁 记 录 基 础 知 识

戴礼智 编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1980年11月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1980年11月第一次印刷 印张：4

印数：0001—8,700 字数：90,000

统一书号：15031·316

本社书号：1953·15—7

定 价： 0.52 元

前 言

在实现四个现代化的新长征中，我们常会体会到一个科学与技术结合的过程的问题。有人指出，在科学史上，科学与技术的结合是经过相当长的时间才实现的。例如十九世纪，虽然奥斯特、法拉第和麦克斯韦已经发现电和磁的相互关系，但还没有出现任何一种电器设备。1887年赫芝用实验证明了电磁波的存在，但直到二十年后才发明无线电。在十九世纪和二十世纪初期科学上的发现和技术上的实现二者间的间隔相当长。到了现代，科学与技术的结合才加快了步伐，主要是有了雄厚的工业基础和先进的科学实验设备，科学的发现和技术实现的周期就明显缩短了。以往时间较长是由于缺乏关键性的条件，这些关键条件中，材料也是其中之一。现代技术的发展需要各种类型的，包括十分精密的材料。

五十年代前在录音技术上使用了大量的不锈钢丝。到了轻便的磁带问世后，录音技术才得到较大发展。1975年在南京的第三届全国磁学及磁性材料会议上，曾呼吁大力发展磁带工业，快速赶上国际先进水平。目前，在遥测技术上已感到磁带的存储密度低和使用上的烦琐，正进行在方寸的材料上存储数十兆和数百兆位的实验研究，预期于1981年能够实现。

1977年六月全国各地从事磁记录的技术人员在西安进行了两种高磁导率磁头材料的鉴定并对磁记录技术进行了讨论。会后，我们被热情地接待参观了磁带厂和广播器材厂。从那时开始，我才想把有关现代磁记录的基础知识向读者介绍。

编写过程中，承陈大有、康诵诗、曾茂潮等同志提出宝贵的修改意见，特此表示深切谢意。

戴礼智 1979年1月

目 次

引论.....	1
第一章 磁记录材料: 磁带.....	11
第二章 声学与电声学简述.....	33
第三章 磁学基础.....	40
第四章 磁头和磁头材料.....	53
第五章 磁记录实验与理论概述.....	68
第六章 电视录象.....	89
第七章 数字记录.....	103
第八章 磁记录的近期研究.....	119
附录 磁学量换算表.....	124

引 论

一、磁记录概述

磁记录是一项重要的现代技术，也是一种信号的存储方式，因此也有人把磁记录归之于磁存储。磁存储中两种主要方法二十年来取得了迅速的进展，其中在计算机中可用来存储有限的信息，取出信息的速度高的一类可以称为静态的磁记忆器。而磁带存储系统能够存储无限数量的信息，但存取时间较长。一般说来，这两种磁记录方法不同，可是它们有某些相似的方面。

磁带记录机不仅用于无线电和电视的广播台，也广泛地用于计测仪器和数据记录。磁记录的原理牵涉到基本的磁化过程，因此可以说是一门应用磁学。为了对磁记录进一步的发展有所帮助，需要对在磁性材料中发生的磁化机制作较深入的物理学研究。目前磁带记录不只限于音频范围，作为现代通信技术的特点已扩展到短的脉冲。用磁学方法记录图象，频带宽度已进入兆赫范围。

在磁记录技术中一种可磁化的记录介质(磁带)以恒定的速度沿着一个磁性结构(记录磁头)移动，记录头能够在媒介物中感生与馈入结构的电流成比例的磁化强度。电流随时间的变化转化成磁化强度随距离的变化而被记录在磁带上，磁化的这种变化在媒介物附近产生磁场。如媒介物(已记录的磁带)重新接近一重放磁头，通过拾波线圈感生出磁通，磁通的大小与带中磁化强度成比例。磁头实际上是一种换能器。

一般录音机装有三个磁头：(i) 抹音头，(ii) 录音头，(iii) 还音头。抹音头的作用是将带上磁化涂复层进行退磁。录音头磁化涂复层沿纵向记录信号，输入录音头磁芯的电流信号在磁芯中产生磁通，在磁头的缝隙中的边缘场将媒介物磁化。当磁带移过还音头时，在磁芯中感生电压，输出电压主要为记录的输入电流的时间微商，因此输出电压信号基本与放音（或重放）的速度有线性关系。重放时磁带的运转速度与记录时磁带的运转速度一般相同。

磁存储的磁盘和磁鼓以恒定的速度在换能器的附近运转，采用相类似的换能技术。关于磁带记录和重放的许多分析对于磁盘和磁鼓往往也是适用的。

记录和重放两种换能器的主要目的是分别地磁化和检查尽可能短的磁带长度，以便在一卷磁带中可以存储大量信息。习惯上在录音时用高磁导率材料制成环芯和利用缝隙的漏磁场而完成记录，同样在还音时利用相似的磁路检测所录的磁化花样。绕在环芯上的线圈在记录时的作用是使磁芯磁化，在还音时用作磁通检测。磁换能器的上述作用和其高分辨力的优点在现代录音系统中得到密切的注意。制造了磁通敏感读出头，允许速度放慢和直流读出，以便用于特殊目的。

磁记录技术中所用磁带宽度由 6.35 毫米 (1/4 英寸)，12.7 毫米 (半英寸) 到 50.8 毫米 (2 英寸)。磁带表面光洁而且相当柔软，允许带和磁头之间连续地接触。纤维醋酸盐，聚氯乙烯或聚酯用作带的层底。据报道，由于质量优良，大多采用聚酯带，在 -60°C 和 95°C 之间有良好的温度稳定性和不吸收潮湿。层底约 30 微米 (μm) 厚，磁性涂复层约 15 微米厚。微细的氧化铁粉，其线性尺寸约 0.5 微米嵌在塑料的粘结剂或热固性的粘结剂内。除了个别例外，所用磁性材料多为针状细粒。由于近年来永磁材料的迅速发展以及磁带工业的扩

大需求，许多吸引人的底层材料和磁性涂复材料生产的品种不断增多。

录音室设备频率达 20 千赫，带速达 76.2 厘米/秒 (30 英寸/秒)。这种频率也适于直接记录或频率调制 (FM) 记录，有时也适于脉冲持续调制 (PDM) 或数字记录，以及适用于具有其他频率的频响设备。高频磁场和信号场同时并用的磁记录是最常用和较成功的技术，今天在录音设备中多数用这种方法，这种记录过程称为交流偏移场方法。偏移场的功用是使带磁化，但当其与信号结合时，应当产生与信号成比例的一个磁化基平。最普遍和成功的偏移场是有足够的振幅的高频场以饱和磁带。

近年来亦广泛采用无偏移场的直接记录，这种类型的记录有两种用途：首先，当仅存储两种或三种信号量的数据记录，磁带有三种重要的磁化态，即正和负的饱和，以及磁化为零的状态。这些磁化条件一般直接从记录头的信号场获得。直接记录的第二个重要领域为频率调制信号的存储，这时，振幅的线性是不重要的，系统的线性依赖于磁带的恒定速度。从磁记录的观点来看，其重要的特征为分辨率高和信号噪声比大。

直接记录的频率范围较宽，它与带速和磁头缝隙宽度有关。频率可到 100 千赫，带速 152.4 厘米/秒。在科研工作中，频率调制 (FM) 是最常用的方法，记录频率随输入信号的瞬时值而变化。有时特殊的记录机，直接记录达到 1.5 兆赫和调频 (FM) 记录为 500 千赫。录象应用旋转的磁头，频率一般为 4, 5 或 10 兆赫。某些录象机的磁头和记录介质两者都能运动。

脉冲持续调制 (PDM) 器中，用输入信号的瞬时值调制脉冲的持续。这个方法特别是与多信道 (多波道) 系统相配合，

用于无线电遥测技术。

二、磁带运转机制

现将包含有磁带推进器和卷轴(绞盘)的磁带运转机械简单地叙述如下。首先将磁带移动,通过记录头(写入头)和重放头(读出头),控制带速,启动和停止磁带运动。在卷轴装备中由驱动设备输送和收卷磁带。卷轴由电动机驱动,这些电动机的速度由检测带的张力来控制。电动机也作为绕紧和制动之用。

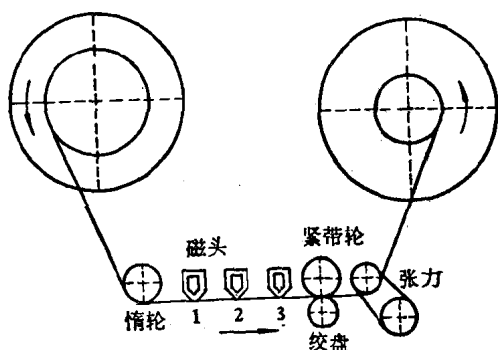


图1 磁带记录系统示意图

在带的驱动装置中,带压紧一个旋转的卷轴(绞盘),一般用磁滞同步电动机驱动,磁带移动的重要特征是无无论记录和重放,带经过磁头移动时要有固定的速度。录音机的磁带传送如图1所示。在音频记录中,如果卷轴和磁头之间的距离过大时引起高频速度变动成为不规则的抖动(flutter)或低频变化,称为放音失真。在高质量的设备中应用封闭式的驱动。在某些传送机械上不用磁滞同步电动机,而用带有速度反馈的直流电动机,因为磁滞同步电动机的转速直接依赖于电源

频率。为了更进一步控制速度变化,稳定的频率有时记录在一额外的声迹上。当放音时,所录频率可与标准相比较,控制驱动电机以减小相位差。标准带速为每秒 47.7 毫米 ($1\frac{1}{2}$ 英寸/秒) 到 3088 毫米 (120 英寸/秒) 的范围,在这个范围内速度的快慢可以在 0.25% 之内。

在数据记录中往往采用多道磁头部件,迹宽(道宽)和迹距(道距)业已制订出标准,以便在各机上通用。在音频记录时,在 6.35 毫米 ($1/4$ 英寸) 的带上记录 2 道和 4 道。为了减少时间误差,多道的带-头之间的间距应当排列在同一平面之内,对于两个间缝之间的最大距离,公差是 5 微米。

当以每秒 1524 毫米 (60 英寸/秒) 在 100 千赫频率记录时,读出头的缝隙宽度的数量级为 5 微米。对于高频记录则减至 0.5 微米。记录头的缝隙则略为宽些,允许磁场足以穿透到磁带的涂复层。

三、模拟记录与数字记录

模拟信号 “模拟”信号,当其用物理量表示时,原则上可以假定是在某一最小和最大之间的任何数值。物理量的值代表信号的大小的量度,在原则上,所用数值能连续地变化。通常的模拟信号,有电流、电压、功率、机械位置、角度、压力、温度等。设用 a 代表模拟信号,模拟信号能由 a - a 转换器转换为其他模拟信号。人们可以考虑,用安培表将电流转变为指针表示的位置。

数字信号 数字信号不能连续地改变,称为“数字的”信号当其是明晰的、不连续的值时,原则上为某种界限明晰的数目字并表明两种情况或两个态。又如在晶体管双稳态多谐振荡电路, -6.0 伏的基平表示 1, 而 0.0 伏表示数字 0。由于

漂移,有时发生—5.8 伏电压,这也视为数字 1.如以 d 表示数字信号,则 $d-d$ 说明数字信号可以转换为其他数字信号。

模拟记录含有模拟信号,例如磁带的磁化量。录音和计测仪器记录都称为模拟记录,其目的是为了忠实地重放(重发)输入信号。要求记录介质容纳一个宽的动态范围(最高的到最低的不失真的信号电平)。重要的是减低背景噪音和在整个动态范围达到优良的信号噪声比。媒介物用交流信号仔细地退磁,内在的非线性由在记录的信号上重叠一高频偏移而得到校正。录象过程也属于模拟记录,录象机基本上为一宽频带模拟记录机,能够在稳定的情况下显示和放映图象,雷达记录也属于宽频模拟记录。

模拟信号与数字信号也可以互相转变,即 $a-d$ 和 $d-a$,因此也称为混合信号。(模拟计算器件连续地应用可变量,数学运算由物理运算进行,例如克希霍夫定律 $i_3 = i_1 + i_2$ 可以用来完成加法。)

在数字记录技术中磁化与磁场的线性关系在这里已不重要;它不用偏移场。两个态之间的最大差别由记录介质在相反方向磁化而获得,多数编码系统应用磁饱和记录。用饱和记录时,新的信号抹去前次写入的数据,因此不需交流消磁。在写入过程之前一般附带有直流去磁,在磁盘上记录的道迹的边缘用直流消磁。由于数字记录系统的两个信号基平之间的距离相对说来是大的,背景噪声不那么可厌,可是每个记录的二进位数可单独地察出,失掉单个二进位数则代表数据的畸变。媒介物的瑕疵,能发生记录信号的振幅损耗或产生短时间的尖峰信号,这都是不允许的,因此对计算机级的磁带的要求和检查更比录音带的严格。记录系统的缺陷由冗余信号记录或各种精巧的误差检测和校正系统进行补偿。

四、磁学的应用

磁记录牵涉的物理学问题较多,也较复杂。在记录时磁带通过不均匀的磁场,磁场将随时间而变化,在低频上有时又重叠一高频的偏移场。磁带上的粉末颗粒受到磁场的影响,大小不同,性能也各异。记录的磁化随磁带深度而变化,一旦信号被记录,由于具有不同磁化的带中各部位发生相互作用,因而产生退磁场和降低磁化。

有关现代正弦波形的磁记录的基础,论述者往往提及 Wallace* 和 Westmijze** 两人早年的研究,他们的阐述比较详细,成为后来工作的重要参考资料。前者计算了在记录表面相应于正弦磁化分布的磁场,应用影象方法计算了存在高磁导率重放磁头时引起的变化。后者广泛地研究了录音和还音过程,计算了在磁头缝隙邻近处的磁场。两人的工作主要与模拟记录和正弦电压有关。关于磁记录的理论 and 实验,Speliotis*** 进行了较广泛的评述,他讨论了正弦波记录和阶跃记录。

物理学研究工作多只注意有关磁学的更为基础的方面。如果说磁记录技术目前已达到较为完善的地步,并不是由于它建立在一个坚固的理论基础之上,最初在理论方面的探讨还是很少的,最近几年理论阐述才增多。

正如某些作者† 所叙述的,对于磁记录过程如何给出一适当的数学描写,虽然这问题似乎还没有完全解决,但对于在

* Wallace, R. L., *Bell System Tech. Journ.*, **30** (1951), 1145

** Westmijze, W. K., *Philips Res. Reports*, **8** (1953), 161; 245, 343.

*** Speliotis, D. E., *J. appl. Phys.*, **39** (1968), 1310.

† Tiaden, D. L. A., Tercic, E. I., *Philips Res. Reports*, **30** (1975), 120.

磁带上无偏移场的数字记录, 其剩磁感 $4\pi M_r$, 对矫顽力 H_c 有大的比值时, 则解答还是比较令人满意的. 在用作记录介质的金属膜 (例如 Co-P) 情况下, 如 $4\pi M_r/H_c \gg 1$, 退磁效应阻碍了垂直于记录层的磁化分量的存在, 在分析中仅限于纵向场, 似乎可以得出较为满意的结果.

了解记录头的边缘场的性能是磁记录理论的一个中心问题*. 计算磁头缝隙邻近的磁场是一方面; 给出沿磁带路径的每处的磁场, 是问题的另一方面.

对于在饱和数字记录和重放中所发生的过程, 在系统的几何参量方面如缝隙长度, 缝隙深度, 磁头的磁导率, 记录介质的厚度, 头和介质间的分离等已有较好的了解, 但有关磁性参量, 如矫顽力和剩磁强度对最大的记录密度的影响则了解较少.

五、磁记录技术的发展

磁记录技术从录音和还音开始. 1898 年丹麦人浦尔生 (Poulsen) 制造了一台仪器, 在圆柱上缠绕一根钢丝, 钢丝在一个头的两极片之间移动. 这个头用来记录, 也用来放音, 这样, 他能够从传声器 (话筒) 记录电流并使所录的信息用耳机收听, 1900 年在巴黎的展览会上展出了这一器件.

在此以前已有留声机, 可是只在浦尔生发明时期才有商品. 用留声机盘所得的能量足够在一个房间内产生合适的声音基平, 反之用磁记录时, 如不放大则只能用耳机收听, 因此对磁记录的兴趣逐渐消失. 直至 1925 年有了电子管放大, 才重新开始了研究工作. 重放频率达 5000 赫, 1930 年钢带以 2 米/

* Mallinson, J. C., *IEEE Trans. on Mag.*, Mag-10 (1974), 773.

秒的速度在机器上运行,这是远大于目前所应用的。

粉末涂复的磁带的发展使磁记录技术向前迈进了一大步,在录音中引入高频偏移也是有决定意义的一个步骤,但这种技术在1941年才取得成功。

早期不锈钢丝在热处理后被用作记录介质,直径约0.1毫米的不锈钢丝在二次大战期间曾大量生产和应用。塑料的录音带在二十年代以后开始发展,不久即发现 γ 氧化铁粉用作磁性涂复有其优越性,今天已广泛地用作记录带的涂复层。

磁鼓和磁盘存储器件的发展约开始于二十五年前。现代程序控制数字计算机有两种基本类型:一是磁芯存储,用磁鼓作辅助存储,磁盘也是存储器的一种形式。磁鼓表面上有磁带,带上有自己的磁头,在带上记录信息或从带上读出信息。磁盘的两侧有磁头。磁带,打孔卡片或打孔带都用于计算机技术,数字磁带记录在可靠性和每单位面积的存储容量方面不断有所改进。数字记录和传输在通信技术中具有重要的地位。

为了记录电视节目,发展了磁带录象机,近年有彩色录象盒系统的创制。图象的存储技术过程较之音存储更为复杂,因此,要求开展图象存储方法的研究工作。

首次讨论到调频(FM)载波记录也是在1945年*,那时描写一个带环记录仪,仪器应用10千赫载波,钢带环以每秒20英尺的速度运行。信噪比据报道为45分贝。

1948至1950年期间在仪表工业中磁记录的应用逐渐增多。1948年首先制成了具有精密排列的缝隙的多道磁头,极片的每半个整体在作成磁头整件之前经过抛光。这种设计用在1英寸磁带的13道磁头上,道宽1.27毫米。对于5英寸宽

* Shaper, H. B., Frequency-modulated magnetic tape transient recorder, *Proc. IRE*, **33**(1945), 753.

的磁带,在一个磁头中达到 62 道。

1950 年发表了描写磁带设备用于遥测技术的文章,1950 年开始将磁带大规模地用于仪表。较大的应用领域,除遥测技术外,还有飞机飞行检验,喷气机和火箭机的检验和振动研究等。

第一章 磁记录材料: 磁带

永磁微粉用于制造磁带, 是永磁粉末材料最大的工业用途, 磁带工业的发展有赖于对永磁微粉磁性的掌握程度。永磁微粉材料由于其可靠性、使用简便和价格低廉, 并且一旦信息被存贮, 不受环境的影响, 因此在录音、录象、计测仪器和数字记录领域中得到广泛利用。

约二十年来, 一般都认为针状的 γ 氧化铁粉是制造磁带的优良材料, 即使到现在, $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 仍然广泛地应用于一般磁带的制造。据 1969 和 1975 年报道*, 工业应用的磁带和磁盘 99% 由 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 制成。因此在本章中我们从 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的结构、制备、物理性能、临界尺寸以及它的磁特性开始叙述, 然后再讨论其他最新发展的磁性材料。

$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 可以在氧化气氛中用铁磁性的 Fe_3O_4 加热制成; 产物是不稳定的, 约在 400°C 以上转变成 $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ 是反铁磁性的。自然界存在的磁铁矿粉一般不够纯净, 如用于记录表面, 晶粒的大小和形状也不适合, 因此必须加工。 Fe_3O_4 的自发磁化强度是由二价的铁离子而来, Fe_3O_4 含有二价的和三价的铁离子 ($\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{Fe}^{++} \cdot \text{Fe}_2^{+++}\text{O}_4$ 称为反尖晶石结构)。

一、 Fe_3O_4 和 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的晶体结构

尖晶石结构是一种较复杂的结构, 许多铁氧体材料是属

* Bate, G., Alstad, J. K., *IEEE Trans. on Magnetics*, Mag-5 (1969), 821; *Magnetic Oxides*, part 2(1975), p. 697.

于尖晶石结构,尖晶石原来是自然生成的矿物,矿物尖晶石的一般化学式为 $MgAl_2O_4$ 。由磁铁矿(Fe_3O_4)作成的永磁材料也许是最早的铁磁性的物体,在二次大战期间和以后发展了一系列在高频技术中有重要应用的铁氧体材料。铁氧体的化学式为 $MeFe_2O_4$,其中 Me 代表一个离子半径大约为0.6至1埃的二价金属离子, Me 可以是一种过渡元素,如 Mn , Fe , Co , Ni , Cu 及 Zn ,或者是 Mg 和 Ca 的二价离子。

具有立方对称的尖晶石点阵的最小晶胞包含8个 $MeFe_2O_4$ ‘分子’,相对大的氧离子(氧离子半径约1.32埃)形成一个面心立方点阵。在这个立方密集结构中两种间隙为阳离子(或称正离子)占据,即四面体和八面体晶位。前者四周有4个氧离子,后者有6个氧离子。在上述立方晶胞中存在64个四面体位置和32个八面体位置,但不是所有的间隙均被占据,其中每个单胞只有8个四面体位置和16个八面体位置由金属离子占据,它们称为 A 晶位和 B 晶位。

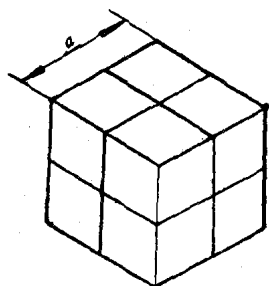


图 1-1 尖晶石结构和八个分区

为了描述这个结构,最好将各边长为 a 的这个基本立方体分成边长为 $\frac{1}{2}a$ 的八个立方分区,如图 1-1 所示。阴离子(现在是氧离子)在所有的分区中位置都相同,每个分区中包含四个氧离子,它们形成四面体的四角,面心立方氧点

阵的各边为 $\frac{1}{2}a$ 。图 1-2 表示两个相邻分区中离子的晶位,在一个分区中,被占据的四面体晶位,阳离子处于中心。在相邻的分区的中心位置则不为金属离子占据,但是由于平移对称的缘故,一半的各角晶位又被占据,被占的四面体晶位(A 晶位)形成边长为 a 的两个穿插的面心立方点阵,它们在立方