

工 程 测 试 技 术 丛 书

模 拟 磁 带 机

邵龙海 编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 3 年 • 北 京

内 容 提 要

本书对模拟磁带机的原理、结构以及使用方法作了较为全面、系统的叙述；对国内外部分模拟磁带机的主要技术性能作了介绍。全书共分五章：第一章叙述磁带机的发展和模拟磁带机的功能，用途及其特点；第二章叙述磁带机录、放的基础理论；第三章叙述磁带机的补偿和记录方式；第四、五章叙述模拟磁带机的结构及应用。附录介绍模拟磁带机中应用的名词术语以及国内外部分产品的技术数据和性能特点。

本书可供从事工程测试和科学试验的人员参考，也可供有关专业的师生阅读。

工程测试技术丛书

模拟磁带机

邵龙海 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 王俊法 封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$ 印张：5.75 字数：125千

1983年5月第1版 1983年5月第1次印刷

印数：00001—5,000册 定价：0.60元

目 录

第一章 概论	1
第一节 磁记录的发展概况	1
第二节 模拟磁带机的功能和用途	6
第三节 模拟磁带机的特点	7
第二章 磁带录放基础理论	9
第一节 磁的基本概念	9
第二节 铁磁性物质的磁性能	16
第三节 磁带录放原理和过程	21
第四节 磁头和磁带的录放损失	27
第三章 补偿和记录方式	36
第一节 补偿	36
第二节 记录方式	42
第四章 模拟磁带机的结构	56
第一节 概述	56
第二节 磁头	58
第三节 磁带	72
第四节 运带机构	81
第五节 电子线路	91
第五章 模拟磁带机的应用	123
第一节 模拟磁带机在动态量测中的应用	123
第二节 模拟磁带机的选择和使用	131
附录一 赫兹和分贝	146
附录二 模拟磁带机主要性能术语简介	151

附录三	国产部分模拟磁带机磁头技术参数	156
附录四	国际IRIG标准	157
附录五	锁相环电路基本原理和构成	159
附录六	国产模拟磁带机的主要性能	162
附录七	国外模拟磁带机的主要性能	166

第一章 概 论

第一节 磁记录的发展概况

磁现象在两千多年以前就已被发现，但是对磁现象作出理论的分析和应用，则是一百多年以来的事情。而磁记录技术的应用，就更是晚一些时候的事了。

磁记录的原理牵涉到基本的磁化过程，是属于“应用磁学”的科学技术。磁记录的发展与其基础科学——磁学、材料科学、电子科学、精密机械学以及许多新的科学技术有着密切的关系。磁记录是信号的一种存储方法，即磁存储方法，有磁带、磁盘、磁鼓等多种记录方式。

磁带记录技术是一种将磁化的记录介质（磁带）以恒定的速度沿着一个磁性结构（记录磁头）移动。记录磁头能够在磁带上感应出与馈入记录磁头的电流成比例的磁化强度。电流随时间的变化转换成磁化强度，随移动距离的变化，被记录在磁带上。当已记录有信号的磁带接近重放磁头时，通过线圈感应出电流。这个电流的大小与磁带中的磁化强度成比例。磁头实际上是一种换能器。

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

磁记录是现代一项重要的科学技术，发展到近期已被广泛运用到各个部门，并取得了丰富的成果。磁性记录也是声学、磁学、电磁学、精密机械学和电子学多年研究发展的结果。它的发展是从人们试图获得并保持人的声音这一要求开

1110982

始的。

早在公元前三世纪，希腊数学家希罗搞出一个能模仿动物叫声的装置。在公元1791年维也纳的狄开坡林（Dekem-pelin）介绍了一个“能说短句的讲话机器”。但这些都不能录音，而只能模仿。1857年法国的一位印刷工人斯克特（Scott）发明了一个声波振动记录器，第一次能录下人的声音。如图1—1所示，这种装置有一个桶形的塑胶讲话喇叭，其上端是空的，下端装一个直径102毫米（4英寸）的铜管，一头粘有易振动的薄膜。在薄膜的外层拴一根猪鬃，用作录音针或录音笔，一个熏黑的纸鼓在猪鬃下旋转。当对着喇叭发声时，薄膜和猪鬃就前后振动，在熏黑的纸鼓上记下一条波形。当然这个装置并不能使波形重放出声音，但却是人类第一次可以看到自己讲话的声波。

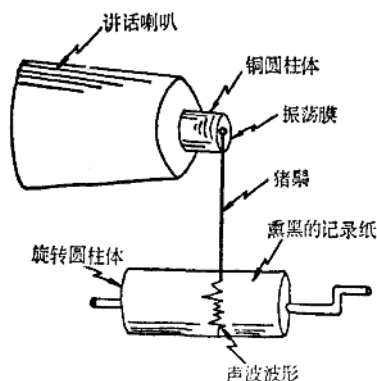


图 1—1 Scott 声波振动装置

1877年汤玛斯·爱迪逊（Thoms Edison）在此基础上发明了腊管式留声机。它基本上也是一个薄膜，上面有一根钢针，圆柱体上包一张锡箔。起初，薄膜如同人耳朵一样，在声波的作用下，上下振动，通过钢针把振动记在圆柱面锡箔上。当旋转这个圆柱体时，钢针就在箔面上刻划出一串细槽线。当钢针再沿此细槽经过时，薄膜就会在细槽的作用下产生振动，这样就能发出原来所记录下来的声音。由于从圆柱体上取下锡箔很困难，且也容易损坏和弄伤所刻划的槽

线。因此，爱迪逊又改进了他的发明，用腊管来代替锡箔圆柱体，用玛瑙或蓝宝石尖来代替钢针。蓝宝石的振动通过一系列的荷重杆传给薄膜。

此后十多年，艾玛尔·白林那 (Emile · Berliner) 发明了横向刻纹的平面录音圆盘，改进了喇叭口为牵牛花状。虽然作了这些改进，腊管式留声和平面圆盘式留声装置，仍然有着很大的限制，其主要原因是人的声音或乐器的功率太小，推动不了录音钢针，人的声音或乐器声的振动变化太弱，许多声音录不下来。

自1880年德国物理学家瓦尔堡 (Warburg E.G) 发现了磁滞现象以后，磁记录技术得到了进一步发展。

1898年丹麦电话工程师华德曼·波尔森 (Valdeman Poulsen) 首次通过磁畴体的定向来录还声音。波尔森发明的这个装置叫“留声电话机”。这种设备使用一根连贯的钢丝作为记录媒质，当记录磁头（实际上是一块电磁铁）沿着钢丝绕组移动时，磁头就使钢丝磁化，磁化量的大小由声音电流决定。在重放时，这块电磁铁便成为重放磁头，钢丝中变化的磁化量引起进入电磁铁绕组中的电流变化，这变化的电流馈入电话接收机，即还出声音。尽管这种装置的信号电平非常低，重放的噪声高，失真大，但是，它却揭开了磁记录技术的序幕。1900年在巴黎博览会上展出了这个装置。

1906年，波尔森发明了直流偏磁法，即在记录磁头里适当馈入少量的直流偏磁电流，这样就改善了失真和增加了输出幅度，但信噪比仍然很低劣。这一时期的磁性记录技术进展得不快。直到1927年前后，交流偏磁法发明之后，当时的钢丝录音机的失真和信噪比才得到了显著的改善。1928年后，用纸作为带基的磁带发明后，解决了钢丝录音机上出现的若干问题，特别是解决了钢丝易拧和钢丝上的磁通不能很好地

耦合到录音磁头上去的问题。随着磁带上氧化物的改进和逐步由塑料带基取代了纸带以后，从而在塑料带基上涂上氧化铁而制成的磁带就成为现代磁性记录的一种媒质。

到二十世纪四十年代，随着电子管的出现和交流偏磁法的运用，使录音机的构造及性能得到进一步改善。在以塑料为带基的磁带取代钢丝带之后，磁录音技术已发展到普遍应用的阶段。

五十年代初，由于医学、物理学、机械、工程以及电子研究方面需要把测量信号记录下来，研制了与录音机原理相似但频响要宽得多的记录设备。从这时期开始，磁记录被应用于电子计算机和外存储装置中，并开拓了录象的新领域。与此同时，开始运用于计测仪器上。目前这种数据磁带记录得到了迅速的发展，并在现代科学技术领域和国民经济各部门中得到了广泛的运用，它是一种先进的记录和信息存储设备。

利用磁带设备进行记录工作的磁记录器有：用于音响记录的磁带录音机；用于计测的磁带记录仪和用于图象记录的磁带录象机等。

自六十年代以来，利用磁带进行记录工作的磁记录器都得到了迅速的发展。拿磁带录音机来讲，为克服盘式录音机在使用时必须穿引磁带，磁带易被污染和携带不便等缺点，荷兰飞利浦（Philips）公司于1963年发明了盒式磁带录音机。盒式磁带录音机的磁带是卷在同一个塑料盒的两个轴上，两头由一段透明的片头固定，盒带是密封的，但装取均很方便（参见图1—2）。由于它有许多优点，

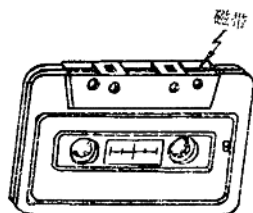


图 1—2 盒式磁带

很快就被各国采用。1966年飞利浦公司又介绍了立体声盒式磁带录音机，它很快地在单、双、四音轨立体声装置中得到了应用。至于在教学领域和家庭娱乐以及日常生活中就更是使用得广泛了。

近年来，由于出现了低噪声磁带、二氧化铬磁带；单晶铁氧体和高硬度坡莫合金磁头等，盒式磁带录音机采用适应于高保真度的组合设计，确实具有使用简便和易于维护的优点。但盒式磁带录音机也存在着速度低，磁带的音轨窄，抖动较大，磁带音轨间的隔离性差，动态范围小等缺点。为了解决这些缺点，日本的索尼、松下和东京电子声学等公司于1976年联合研制了一种新型磁带系统——“大带盒”（EL-CASET）。大带盒采用外导带方法，能实现稳定的带速，容易实现多磁头化，在提高动态范围，减小串音和抖动等性能上均得到了提高。

目前，在国外盘式磁带录音机的发展方向是日趋高级化，一般用在电影录音和广播录音等装置中。由于盒式磁带，特别是“大盒式”磁带在性能上不断提高和完善，使其进入高保真度录音和计测记录行列之中，且产品类型剧增。微型盒式磁带录音机已问世，其体积仅为盒式磁带机的四分之一，从方便使用者的角度来考虑，更完善的微型盒式磁带录音机是未来的发展方向。从技术上考虑，盒式磁带录音机今后将广泛地采用集成电路，声控开关，自动消除噪声系统以及逻辑控制系统等先进技术。

用于图象记录的磁带录象机是磁带录音和电视两门技术结合发展起来的，现已自成独特的系统。早在1936年就有旋转磁头沿磁带宽度方向记录，即横向扫描的基本设想，然而实际开始使用是1956年的美国Ampex公司生产的四磁头式广播录象机。1959年日本试制成功两磁头螺线扫描（斜扫

描)式录象机。经过不断地改进,到六十年代,磁带录象机技术基本上达到完善和成熟地步,原理和结构大致定型。70年以后,在原理上没有什么大的突破,主要做了一些改良,在小型化、自动化和普及方面取得了进展。由飞利浦盒式磁带录音机演变而来的盒式磁带录象机,在近年来与录音机一样,得到了迅速的发展。

数据磁带机自五十年代初问世以来,与磁带录音机一样也得到了迅速的发展。特别是在磁带和磁头的不断改进,广泛采用集成电路,电子伺服系统的运用等先进技术的基础上,在小型化、频率特性向宽频伸展、通道信息多、提高信噪比性能等方面均有迅速的发展和提高。

数据磁带机的种类繁多,按其记录数据的形式可分为两大类:模拟磁带机和数字磁带机。模拟磁带机被广泛地应用在数据的采集和自动处理过程中,它是量测自动化和数字化中不可缺少的仪器设备之一。本书主要叙述模拟磁带机的原理、结构和运用。

第二节 模拟磁带机的功能和用途

作为二次仪表的各种记录仪器,按记录方式分为模拟记录仪和数字记录仪两类。

模拟记录方式,就是直接将被测量的参数转换为其可动部分的机械位移,通过指示器在标度尺上或在显示器上,指示或显示被测量的数值或波形。它忠实地记录了输入的物理量,记录信号的大小直接模拟了被测参数,所记录的信号为某一最小和最大之间的任何数值,其数值是能连续地变化。模拟信号有电量(例如电压、电流、功率等)和非电量(例如压力、温度、应力、应变以及加速度等)两种类型。

数字记录方式,用某种界限明晰的数字化,即二进制数

码将测量信号记录下来。用数字表明两种情况或两种状态，例如用“1”表示高电位，“0”表示低电位，这两个数字之间是不能连续改变的。

模拟磁带机就是指按模拟记录方式进行记录的磁带设备。它是研究各种动态参数的记录设备和数据处理输入设备。它既可以记录各种电量参数，如电压或电流等模拟信号。也可以用来记录经转换成电量的各种非电量信号，如工程或机械中的应力、应变、压力、位移、转矩、加速度等，又如医疗中的心电流等。

模拟磁带机的主要功能有：

(1) 具有存取功能。模拟磁带机可以将电量模拟信号记录并存储在磁带中，即可以做到资料数据的记录和长期保存，需要时可以重放(再现)出所记录的信号。

(2) 在记录过程中，可以边记录边重放，便于观察研究所记录的信号，起监视作用。

(3) 可以进行时基转换。快录慢放或慢录快放，能做到压缩或伸长时间轴，这对于分析研究瞬态过程或长时间的变化过程提供了方便。

(4) 可以反复使用。磁带中不用的信号，可以通过消磁消去，然后可重新记录新的内容。这种功能其他记录仪器所不具备的。

(5) 运用两台磁带机，可以进行磁带信息的复制。

(6) 经适当的接口，能与数据处理装置或数字电子计算机衔接，进行高精度、高速度和多功能的数据分析。

第三节 模拟磁带机的特点

模拟记录仪根据工作原理的不同，可分为磁电式模拟记录仪(例如光线示波器和笔记录仪等)；自动平衡式模拟记录

仪（例如 $x-y$ 记录仪）；模拟磁带机以及电子示波器（阴极射线示波器）等。

模拟磁带机与其他模拟记录仪器相比，除了具有上节所述的六点独特功能以外，它还具有如下几个特点：

（1）工作频带宽。

从直流至交流几兆赫。直接记录方式的工作频带从100赫到2兆赫；调频记录方式的工作频带从直流到交流600千赫。

（2）动态范围宽，过载能力强。

动态范围是指过载电平与最小可接受电平之差，用分贝表示。动态范围大于40分贝，从满度到满度的0.3%左右，记录都很精确和保证线性。

（3）信噪比高，测量精确。

直接记录方式为40分贝；调频和脉冲调宽记录方式 ≥ 50 分贝；脉冲编码调制记录方式可达60分贝。

（4）直流漂移小，线性好。

（5）能进行多通道记录。

一般模拟磁带机具有4~14个通道，即可同时记录多个信号，而且各通道同时记录下来的信号可以保持精确的时间和相位关系。最多的可达42通道，即同时记录42个信号。

（6）经济。

因记录存储的信号可以通过消磁抹去，所以磁带可以多次使用。

（7）体积小、重量轻，便于携带，适于野外和现场使用。

由于模拟磁带机具有上述独特功能，所以已被广泛地应用于工程机械等试验中。特别是它与电子计算机或数据处理机能配合使用，给数据处理工作带来了更大的方便。同时，采用磁带记录可以省去大量的人力和费用，大大提高数据分析的速度和精度。

第二章 磁带录放基础理论

为了掌握模拟磁带机的测试技术，首先必须对磁带机中的电磁变换过程，即磁性录放过程的基本物理概念，有比较清楚的了解。本章从电流的磁场和物质的磁性能开始，分别介绍磁畴、磁滞回线；磁性录放过程以及录放中的各种损失等概念。

第一节 磁的基本概念

一、电流的磁场

（一）磁的基本现象

能够吸引铁、镍、钴等物质的物体称为具有“磁性”。具有磁性的物体一般叫做“磁铁”。使原来不带磁性的物体具有磁性叫“磁化”。磁铁的两端磁性最强，这两个区域叫“磁极”。磁极分为“北极”（ N ）和“南极”（ S ）。磁极间的相互作用与电荷相似，即具有同名极相斥，异名极相吸的性质。

磁极间的相互作用力是通过它周围的一种特殊物质来传递的，这种特殊物质称作“磁场”。空间是否有磁场存在，可以用小磁针是否受到磁力的作用来检验。若小磁针发生偏转，则证明该处有磁场存在，小针 N 极所指的方向就为该点磁场的方向。磁场是一个向量。

正、负电荷可以独立存在，但磁铁的 N 和 S 极是不能独立存在的，例如把一根条形磁铁从中间折成两段，会发现在折断处出现异性的两个磁极，每段都成为各具有南北极的磁

铁，若继续再分也是这样，这一点是电和磁的基本区别之一。

(二) 电流的磁场

把磁针放在通电导线的周围，它就会象放在磁铁附近一样，受到力的作用而发生偏转，这种力称为电磁力。和磁铁一样，通电的导线周围也存在着磁场。磁场对磁针作用，使其偏转。

磁场可以形象化地用一些闭合的曲线，称作“磁力线”来表示，例如图 2—1 中画出了通电线圈和条形磁铁的磁场磁力线。由图可见，两者极为相似。磁力线是有方向性的，电磁理论规定，磁力线上每点的切线方向表示放在该点的小磁针 N 极所指的方向，即为该点的磁场方向。磁力线的疏密程度则表示磁场的强弱。

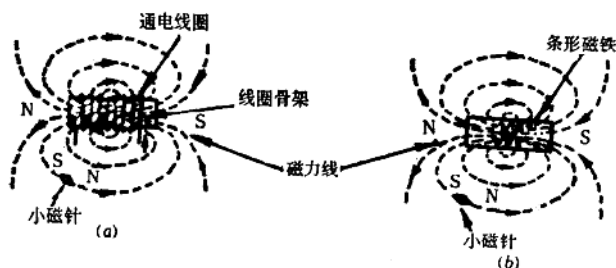


图 2—1 磁力线

通过某一面积的磁力线的根数叫做通过这一面积的“磁通”，常用 Φ 表示，其单位为“韦伯”，简称“韦”；当该面积与磁力线方向垂直时 Φ 为最大。

为了用磁力线的疏密程度表示磁场的强弱，引用了“磁感应强度” B （又称磁通密度）这个物理量，单位为“特斯拉”，简称“特”（1 特 = 1 韦/米²）。

在均匀磁场中

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (2-1)$$

它表示了磁场中该点磁力线的稠密程度，只要 S 足够小，它可以相当精确地反映该点磁场的强弱程度。磁感应强度 B 也是个向量。

在实际计算中，磁通 Φ 常用较小的单位“麦克斯韦”，简称“麦”。1 麦就是所说的一根磁力线。麦克斯韦与韦伯的关系是：

$$1 \text{ 麦} = 10^{-8} \text{ 韦}$$

磁感应强度常用的较小单位是“高斯”

$$1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 特斯拉} = 1 \text{ 麦/厘米}^2$$

即 1 高斯表示每平方厘米面积上有一根磁力线穿过。

通电导线周围的磁场磁力线方向可以用“右手定则”来确定，则右手握住导线，使姆指符合电流方向，那末其余四指所指的方向即为磁力线方向（见图 2—2）。如果知道了导线周围磁场磁力线的方向，也可以用这个定则来确定导线中电流的方向。至于磁感应强度的强弱，则与电流的大小成正比，与距离导线的垂直距离成反比。

对于通电线圈的磁场，磁力线的方向可用“右手螺旋法则”来确定，则用右手握住线圈，使四指符合电流方向，姆指所指方向就是磁力线的方向（见图 2—3）。磁感应强度的大小与通过线圈的电流 I 和线圈匝数 n 成正比，而与线圈的长度 l 成反比，且与周围的介质有关。



图 2—2 通电导线的磁力线方向

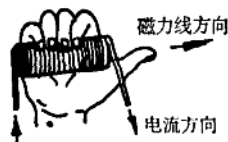


图 2—3 通电线圈的磁力线方向

$$B = \mu \frac{nI}{l} \quad (2-2)$$

式中 μ ——介质导磁率；它是表征各向同性的导磁物质的基本特性，即表示物质对磁场所呈现的性质的量，单位是亨利/米。

$$\mu = \frac{Bl}{nI} \quad (2-3)$$

表征真空介质磁特性的常数，叫做磁常数。在实用单位制中，磁常数

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \approx 1.257 \times 10^{-6} \text{ (亨利/米)}$$

导磁物质的导磁率 μ 与磁常数 μ_0 的比率 μ_r ，叫做导磁物质的相对导磁率，即

$$\mu_r = \mu / \mu_0$$

它是一个没有量纲的比例常数。

物质有抗磁质（例如氢、水、金、银、铜、铋等）和顺磁质（例如空气、氧、铝、钨、铂等）以及铁磁质（例如铁、镍、钴及其合金等）三种。抗磁质的导磁率 $\mu < \mu_0$ ，或相对导磁率 $\mu_r < 1$ ；顺磁质的导磁率 $\mu > \mu_0$ ，或相对导磁率 $\mu_r > 1$ ；而铁磁质的相对导磁率 $\mu_r \gg 1$ 。

表 2-1 列举了几种物质在室温下的相对导磁率。从表中可以看出，抗磁质和顺磁质的相对导磁率都近似等于 1。

根据实验，抗磁质和顺磁质的磁感应强度 B 与磁场强度 H 成正比

$$B = \mu H \quad (2-4)$$

式中 H 的单位是安培/米或奥斯特（1 奥斯特 = $\frac{10^3 \text{ 安培}}{4\pi \text{ 米}}$ ）。

式（2-4）是各向同性的导磁物质的性能方程，它也说明在抗磁质和顺磁质这两类物质中，导磁率 μ 是一常量。

但是在铁磁质中， B 与 H 之间没有正比关系，即 μ 不是常量，而是与磁场强度 H 有关。

相对导磁率

表 2—1

顺磁质		抗磁质	
物 质	μ_r	物 质	μ_r
氧	$1 + 13.34 \times 10^{-6}$	氢	$1 - 24.76 \times 10^{-6}$
铝	$1 + 8.16 \times 10^{-6}$	氮	$1 - 4.3 \times 10^{-6}$
铂	$1 + 13.82 \times 10^{-6}$	铜	$1 - 1.08 \times 10^{-6}$
钙	$1 + 13.82 \times 10^{-6}$	铋	$1 - 16.96 \times 10^{-6}$
镁	$1 + 6.92 \times 10^{-6}$	银	$1 - 2.51 \times 10^{-6}$
钽	$1 + 10.93 \times 10^{-6}$	铈	$1 - 10.93 \times 10^{-6}$
铬	$1 + 45.25 \times 10^{-6}$	水	$1 - 8.78 \times 10^{-6}$

二、抗磁质和顺磁质的磁性能

众所周知，在物质的分子中，原子是由带正电荷的原子核和环绕原子核周围有着沿轨道移动的电子所组成。电子的运动像地球绕太阳转动时一样，除了环绕原子核公转外，它自身还环绕自己的中心轴线而旋转。这些带电粒子的运动形成了分子中内在的分子电流。因为物质内存在着的这种电流是安培第一个假定的，所以分子电流又叫安培电流。每个分子电流就它的性质来说是一个磁偶极子。在物质没有受到外磁场作用以前，这些磁偶极子是按照任何可能的方向排列，它们的磁场在宏观上相互抵消，因而不显现磁性。但是当物质被放在外磁场中时，物质受磁场的作用而进入一种特殊状态，称作磁化状态。

由于物质的结构不同，所以当物质被放在外磁场中所进入的磁化状态也就不同。就抗磁质来讲，在未被引进外磁场以前，每个分子中的分子电流产生在分子范围外的磁场是相互抵消的，因此，整个分子不具磁性。但在抗磁质被引进外