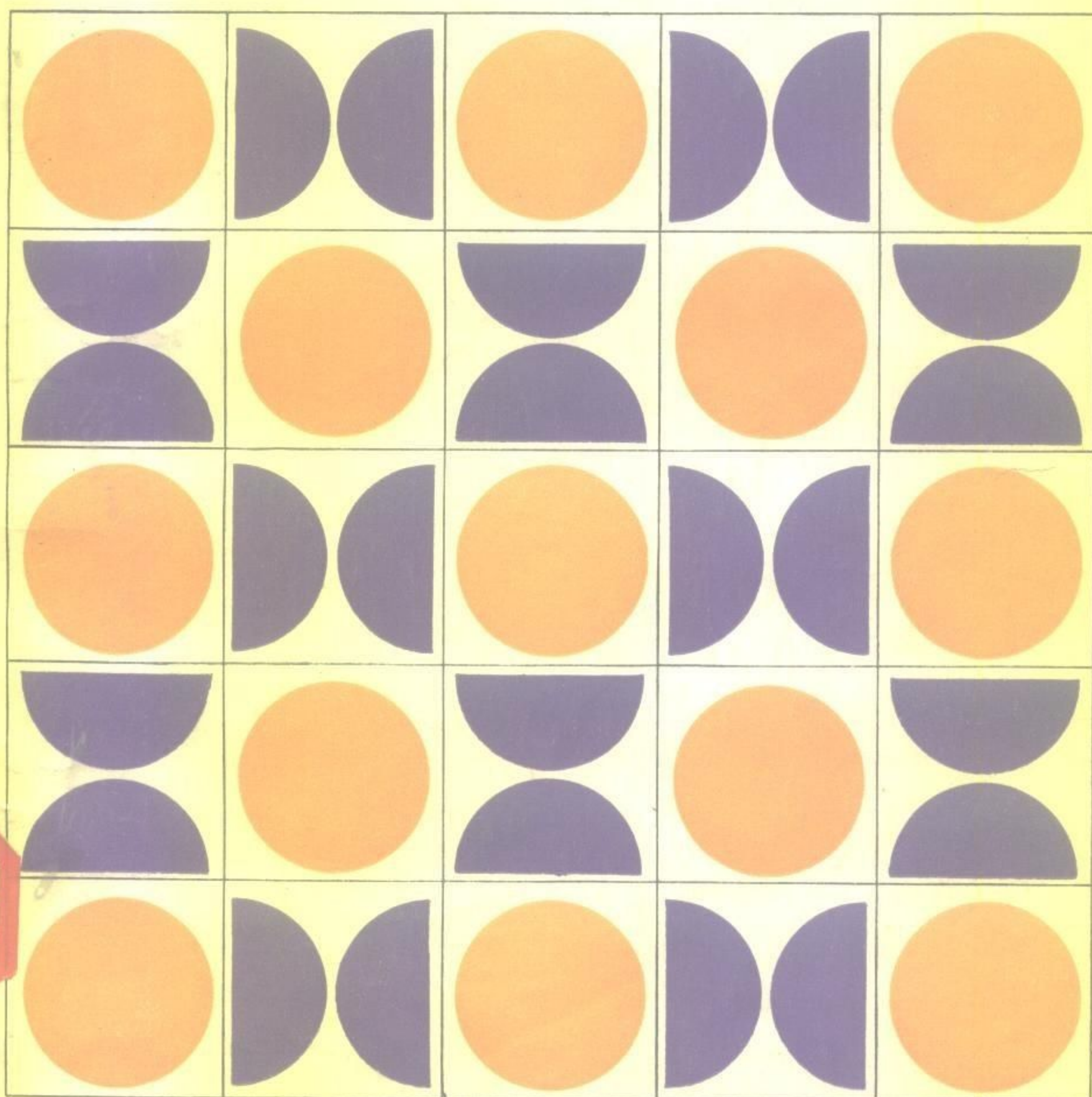


模拟磁记录原理

尹安样 编著

国防工业出版社



模拟磁记录原理

尹安祥 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书讨论了模拟磁记录技术中的录音、计测直接磁记录、计测调频磁记录和录象技术，重点介绍了模拟磁录放的基本理论，录音电路、计测直接和调频磁记录系统的电路原理、设计思想及调试方法，其次还介绍了适用于模拟磁记录的运带机及其控制原理。在头两章里叙述了两种重要磁性部件：磁头与磁带以及组成这两种部件的主要成分——软磁材料和硬磁材料，并简单地讲述了基础知识——铁磁原理。在最后一章中简介了磁带录象知识。

本书可作为从事模拟磁记录仪研制和生产的技术人员、工人以及磁记录仪的使用者阅读，也可作为大专院校该专业师生的参考书。前五章也是录音机业余爱好者的合适读物。

模 拟 磁 记 录 原 理

尹安祥 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

*

787×1092 $1/16$ 印张12 $1/4$ 277千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷 印数：0,001—3,800册

统一书号：15034·2501 定价：1.30元

前 言

自从波尔森 (V. Poulsen) 一八九八年发明第一台能录放语言的录音装置到现在已有八十多年的历史。在此期间, 磁记录技术有了极大的发展, 特别近一、二十年来, 发展更快。目前, 已有了高保真度的录音机, 也有低失真度的计测模拟磁记录仪和高密度数字磁记录仪, 同时, 在此基础上, 还出现了彩色磁带录象技术。

在模拟磁记录仪的研制和生产过程中, 深感这方面的参考资料太少, 不能适应磁记录技术高速发展的需要。写作本书的目的拟简要介绍模拟磁记录技术中的录放基本理论; 录放电路、计测直接磁记录和调频磁记录系统的电路原理、设计思想及调试方法; 适用于模拟磁记录的运带机及其控制原理, 本书最后还介绍了磁带录象知识。

书中有关录音技术的内容, 以四机部颁布的标准为依据, 同时参照一些国外标准, 如 NAB、CCIR、IEC、……等。而在计测磁记录技术中, 自始至终以国际公认的 IRIG 标准 (美国靶场仪表组的遥测标准, 其中部分列于书后附录中) 为根据。至于录象技术, 目前国际上尚无公认的标准。

本书写作过程中, 承蒙工程师程后瑾、颜贻豪、皇甫合等同志多次审校, 在此表示衷心的感谢!

由于本人水平所限, 一定有许多错误和不妥之处, 恳切希望读者批评指正。

编 者

一九八一年八月

目 录

绪论	1	第二节 重放损失	34
第一章 铁磁原理	3	一、高频范围的损失	34
引言	3	1. 缝隙损失	34
第一节 电子自旋和磁畴	3	2. 前缝隙离散损失	35
第二节 磁滞回线	3	3. 磁头方位角损失	35
第二章 磁头和磁带	6	4. 间隔损失	36
第一节 磁头	6	5. 涡流损失	36
一、软磁材料	7	二、低频范围的损失	36
二、录放抹磁头的共性问题	9	1. 电磁感应定律(微分效应)损失	37
三、记录磁头设计思想	11	2. 磁层厚度损失	37
四、重放磁头设计思想	12	3. 半波长与头带接触长度之比损失	37
五、抹磁头	14	4. 二次缝隙效应损失	37
第二节 磁带	15	第三节 补偿原理	38
一、对铁磁物质的主要要求	15	第四节 抹磁原理	41
二、对带基的主要要求	17	一、直流抹磁	41
三、对磁带的主要要求	17	二、交流抹磁	42
四、磁带生产的主要工序	17	第五章 录音机电路原理	44
五、其它	18	引言	44
第三章 记录的基础理论	20	第一节 录放电路的基本组成	44
第一节 录放过程的基础知识	20	第二节 高低频幅度补偿原理	45
第二节 剩磁曲线—— B_r-H 曲线	21	第三节 高低频补偿电路设计	48
第三节 磁记录的电磁转换关系	21	一、低频幅度补偿电路	50
第四节 钟形波——波形失真	22	1. 可变负载补偿电路	50
第五节 偏磁原理	23	2. 两级负反馈补偿电路之一	51
一、直流偏磁原理	23	3. 两级负反馈补偿电路之二	53
二、交流偏磁原理	23	4. 阻容分压式补偿电路	54
第六节 偏磁电流调整原理	25	二、高频幅度补偿电路	55
第七节 调频减小失真原理	27	1. 可变负载补偿电路	55
第八节 记录损失	28	2. 单级负反馈补偿电路之一	58
一、自退磁损失	28	3. 单级负反馈补偿电路之二	59
二、偏磁消磁损失	29	4. 单级负反馈补偿电路之三	60
三、涡流损失	29	5. 两级负反馈补偿电路之一	61
四、间隔损失	30	6. 两级负反馈补偿电路之二	63
第四章 重放的基础理论	31	7. 阻容分压式补偿电路	63
第一节 重放原理	31	第四节 降噪原理	65
		一、多尔贝降噪器	65
		1. 多尔贝A型	65
		2. 多尔贝B型	67
		3. 设计思想及调试	72
		二、其它降噪系统简介	74

1. 伯文(Burwen)噪声消除器	74
2. DBX 降噪器	74
3. 自动降噪器(ANRS)	75
第五节 录音电平自动控制电路	75
第六节 电路举例	78
第六章 直接记录与重放电路	82
第一节 直接记录电路	83
第二节 直接重放电路	88
一、偏磁滤除电路	88
二、幅度补偿网络	88
三、相位补偿及高端频率限制电路	91
四、转换开关及其它	93
第三节 读放大器原理	94
一、分立元件组成的读放大器	94
二、集成电路组成的读放大器	95
第七章 调频记录与解调电路	97
引言	97
第一节 调频理论	98
一、调制器的基本组成	98
二、调频记录理论	98
第二节 解调理论	101
一、解调器的基本组成	101
二、解调理论	102
第三节 窄频带调制器电路	106
第四节 窄频带解调器电路	108
第五节 中频带调制器电路	112
一、调制器方框图	112
二、直流放大器调节元件介绍	113
三、压控振荡器原理	113
四、压控振荡器的数学分析	116
五、控制电路及分频器介绍	118
六、互补集电极输出器	119
第六节 中频带解调器电路	119
第七节 宽频带调制器原理	123
一、压控多谐振荡器	125
二、分频器	125
三、过载指示电路	129
第八节 宽频带解调器原理	129
一、限幅放大器	130
二、倍频器	130
三、等能量脉冲形成过程	131
四、低通滤波器	133

五、噪声抑制电路	134
第九节 多载频调频原理	135
一、调制器	135
二、解调器	136
第八章 调频系统的设计、调整与测量	139
引言	139
第一节 设计思想	139
一、对调制器的主要要求及设计思想	139
二、对解调器的主要要求及设计思想	140
第二节 调制器电路调试	140
一、直流放大器	141
二、低通滤波器	141
三、压控振荡器	141
四、分频器	144
五、过载指示电路	144
第三节 解调器电路调试	146
一、整形电路	146
二、低通滤波器	146
三、低频放大器	148
第四节 主要指标测量	150
一、系统的线性度	150
二、系统的频率响应	151
三、系统的信噪比	151
四、系统的非线性失真	152
第九章 运带机及其控制电路介绍	153
引言	153
第一节 对运带机的主要要求	153
第二节 等弹性传动运带机	155
第三节 闭环传动的运带机	156
一、大惯量运带系统	156
二、低惯量运带系统	157
第四节 开环传动的运带机	157
第五节 最佳环路传动的运带机	158
第六节 稳频电源	160
第七节 200 千赫锁相伺服系统	160
一、伺服电路基本原理	162
二、实用锁相伺服电路介绍	163
第八节 录音运带机及其控制电路	168
第十章 磁带录象简介	171
引言	171

第一节 从录音机到录象机	171
第二节 录象机构造	172
一、螺旋扫描式录象机	172
二、四磁头录象机	173
第三节 伺服系统	175
一、磁鼓电机伺服系统	175
二、主导电机伺服系统	175
三、导向器伺服系统	176
第四节 黑白图象的录放	176

一、图象的记录	177
二、图象的重放	177
第五节 彩色图象的录放	178
一、彩色图象的记录	178
二、彩色图象的重放	181
结束语	181
参考文献	182
附录	183

绪 论

磁记录是磁记录技术和磁记录设备的简称。所谓磁记录技术就是使电信号经放大器（此处包括调制器和编码器等）放大，在记录磁头中将电信号转换成磁信号并存储到磁带上；然后重放磁头又将磁带上的磁信号取出来并转换成电信号（也要经过放大器或解调器或解码器等）的技术。为了连续地存储和取出信号，磁带必须运动，因此在磁记录设备中还必须有运带机构。磁记录设备的方框图如图1所示。

由此可见，磁记录技术主要由电子、电磁和机械三个学科组成，可以说，它是一门综合性的应用科学。

从现阶段看，磁记录技术可分成两大类：一类为模拟磁记录，它是将客观存在的模拟物理量不变样地直接传递的技术；另一类是数字磁记录，它是把模拟物理量进行脉冲数字编码后再传递的一种技术。

本书只讨论模拟磁记录技术，而不介绍数字磁记录。

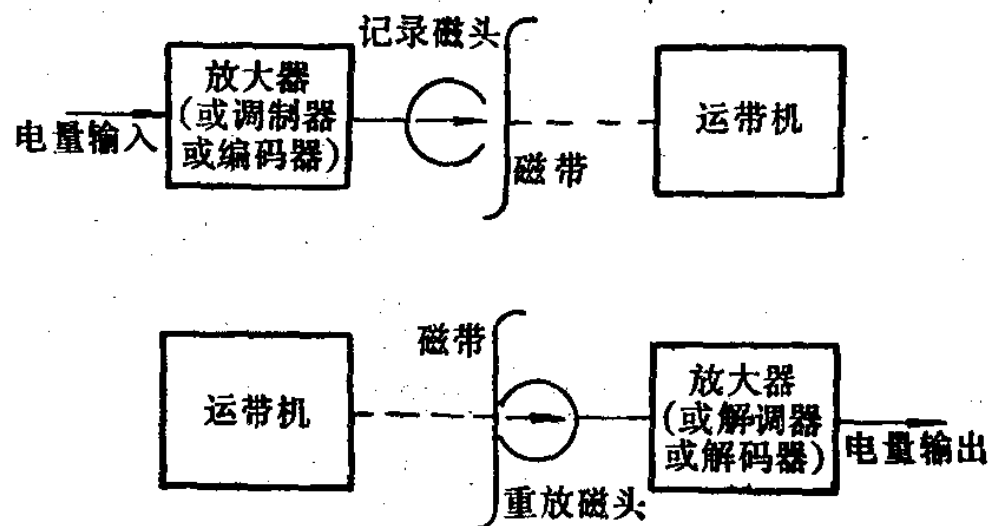


图 1

完成信息传递的全套磁记录设备统称磁记录系统，模拟磁记录系统就是完成模拟信号传递的全套磁记录设备。为了以后各章叙述方便，这里将模拟磁记录系统的主要技术指标简介一下（第八章将详细讨论它们的测试和计算方法）。

1) 系统的线性度：系统的输出信号正比于输入信号的范围。线性度宽不仅可以把小信号正确地传送出来，而且大的输入信号也可无误地输送出去。它由电路、磁头和磁带的线性范围宽窄决定。

2) 系统的频率响应（简称频响）：系统可以工作的频率范围（或叫频响动态范围）。这个指标的高低，直接反映系统质量好坏。如录音机的频响若为300赫~3千赫，就只能录放语音信号；若频响为125赫~6.3千赫，除录放语音外，还可录放歌曲，但录放鼓声（低频）和钢琴的高音部分（高频）就不大行；如果频响为40赫~1600千赫，就几乎可以录放所有的声音和音乐了。这个指标与电路、磁头和磁带的频响及运带机的运带速度有关。

3) 系统的信噪比：系统的有用输出信号幅度 u_s 与系统的内部固有输出噪声幅度 u_n 之比。此比值愈大愈好。信噪比大，输出的有用信号就比较干净，不受干扰。它与电路、磁头和磁带的固有噪声及运带机的抖动晃动量的大小有关。

4) 系统的非线性失真：有用信号（或叫基波信号）中增加了额外的谐波成分，使信号产生了变形。通常用失真系数（或失真度）表示，即谐波分量幅度与基波分量幅度之比。这个比值愈小愈好，失真小，原信号就可基本不变样地传递。非线性失真与电路的工作状

态、磁头和磁带材料的特性及工作状态有关，也与运带机的抖晃情况有关。

模拟磁记录技术包括录音技术、计测直接磁记录技术、计测调频磁记录技术和视频磁记录（录象）技术等。

综合来看，模拟磁记录技术有许多固有的特点：

1) 记录后可即时重放。它不像胶片、紫外线记录纸那样要有冲洗过程，因此既节约时间又降低了成本。

2) 录制的信号可多次重放，此信号用完后又可抹去重录，既经济又方便。

3) 记录的数据多且失真小，对科学研究及生产试验均实用。

4) 信息的时基可压缩和扩张。要记录瞬变信号时，可快速记录；为适应低频处理器或传递设备，可慢速重放；或者为了相反的目的，则可慢速记录快速重放，运用自如。

5) 记录信号幅度和频率的动态范围大。幅度范围可大于 40 分贝，频率范围可从直流到 10 兆赫。因此它可以处理多种不同形式的信号。

模拟磁记录技术的缺点（数字磁记录也如此）是：记录介质怕高、低温、潮湿、强磁场，长时间（几十年）保存会自然退磁等。

计测模拟磁记录技术可以应用在许多科研领域中，如飞机、大炮、火箭、坦克、汽车、拖拉机及各种大马力发动机振动情况的测试，以及地质勘探、地震预报和记录、海洋研究、文件档案管理、医学诊断等。因此在科学技术的现代化中，它将会作出巨大的贡献。

第一章 铁磁原理

引言

在磁记录中，磁头和磁带是磁记录系统中两种重要的电磁转换部件（第二章将专门讨论），而铁磁物质又是磁头和磁带的主要组成部分，为了更好地了解其特性，本章先简介一下铁磁原理。

铁磁原理有两个基础概念——磁畴和磁滞回线，下面分两节介绍之。

第一节 电子自旋和磁畴

铁磁物质的原子具有永久磁矩，永久磁矩的来源不是原子核而是电子自旋运动。根据量子理论，铁磁物质中有一种原子力（交换力）使许多原子的磁矩互相平行，这就是在微观上铁磁物质中的各部分有很强的磁性力的原因。可以想像，铁磁物质是由许许多多的体积元构成，同一体积元内的原子磁矩方向相同（矢量方向相同），即达到饱和磁化，这种体积元就叫磁畴。各磁畴矢量取向无规则时，由于相互抵消，宏观上磁化等于零（如图 1-1 所示）；磁畴矢量取向若偏于某一方向时，宏观上在该方向呈现磁化。

在铁族元素里，磁矩来源于电子自旋。在铁、钴、镍及其合金中，这些对磁矩有贡献的电子都在原子结构中的第三层（ $3d$ ），在稀土元素中是第四层（ $4f$ ）。就以铁原子为例，最外层有两个自由电子，因而它呈现导电特性。另外，除第三层外，其它各层电子顺时针自旋和反时针自旋的数目相等，故它们的磁矩相互抵消。然而在 $3d$ 层却有五个顺时针自旋电子和一个反时针自旋电子，自旋不平衡，故原子成为一个小永久磁铁。初步判断似乎铁原子应具有四个单位磁畴，其实不然，因为电子有从一电子层移动到另一电子层的倾向，这种移动不断进行着，所以不能说在哪一时刻电子磁矩是平衡还是不平衡，只能说宏观平均值有多少。对于铁来说这平均值是 2.22，钴是 1.70，镍是 0.61⁽¹⁾。

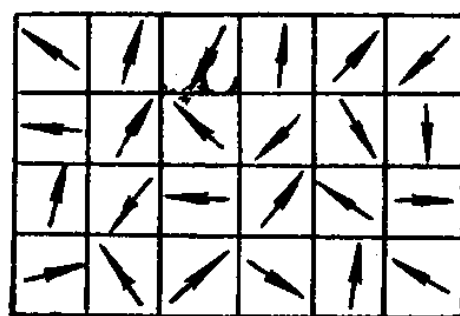


图 1-1

第二节 磁滞回线

铁磁物质由许许多多体积元组成，图 1-1 中一个小方格就代表一个体积元，格中箭头表示磁矩方向或磁畴矢量方向。

如果将一块普通铁磁物质放到较弱的磁场 H_1 中，因磁畴矢量本来有的方向接近磁场 H_1 的方向，这时由磁场中得到一点点能量，因而调整其方向与磁场 H_1 的方向基本一致，就有弱的磁化。但大多数磁畴矢量仍因得到的能量较小，不足以改变其方向。这时若将磁场 H_1 移开铁磁物质，各磁畴矢量因得到的能量不能达到稳定磁化状态，因而基本上都回到它们原来取向的状态中，即磁化自动消失。这时的磁化曲线就相当于其第一次弯曲以下的部分，如图 1-2 所示。

如果将铁磁物质置于较强的磁场中，因为磁畴矢量可以得到较多的能量，所以有较大量的磁畴被磁化，若所加磁场为 H_1 到 H_2 之间，磁化曲线就处于第一次弯曲和第二次弯曲之间，也就是说，铁磁物质在直线部分产生了磁化过程（图1-3）。若磁记录中的铁磁物质工作在直线部分，就可以得到较好的振幅线性度和较小的失真系数。直接磁记录技术和线性调频磁记录技术，正是需要工作在这种线性状态下。所谓直接磁记录技术，就是直接录放数据信号的磁记录技术；所谓调频磁记录技术，就是数据信号对某一特定频率进行频率调制后再录放的一种技术。调频又分线性调频和饱和调频两种，其中线性调频磁记录技术是工作在铁磁物质磁化曲线的线性范围内，而饱和调频磁记录技术则是工作在磁化曲线的饱和状态下。

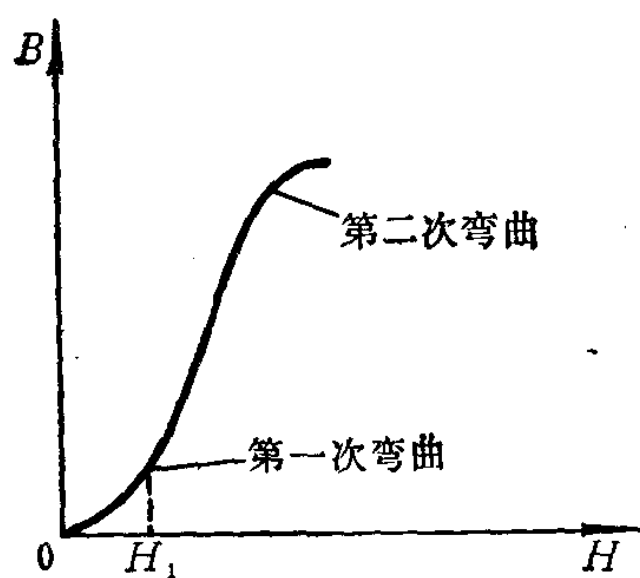


图 1-2

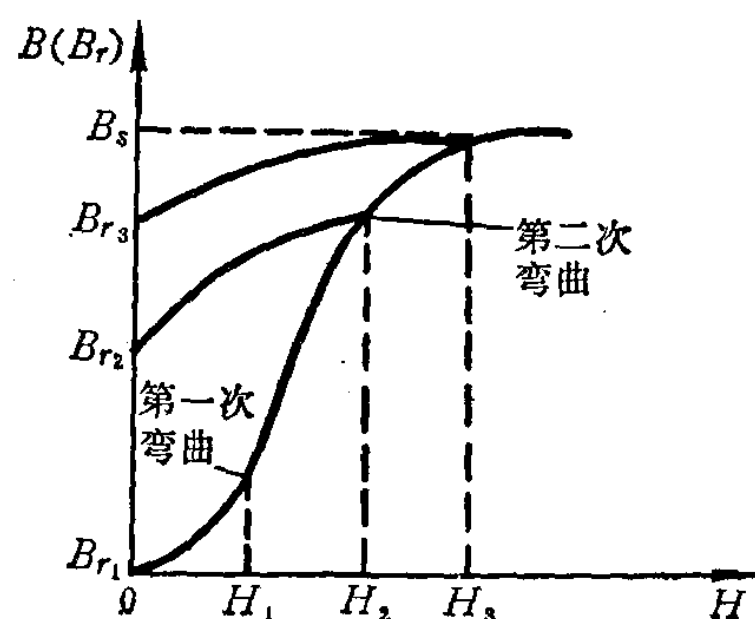


图 1-3

当磁场使铁磁物质处于线性状态时，大部分磁畴矢量因为所得能量还不够大，不能处于稳定的磁化状态，若突然将磁场移开，这些处于不稳定磁化状态的磁畴矢量，将要趋向回到它们原来较稳定的状态，而有一部分磁畴矢量，因原来所处的方向与磁场基本一致，所得能量可使磁畴矢量足够稳定地与 H_2 方向一致，若突然移开磁场，这部分磁畴矢量却仍保持其磁化方向不变，因而曲线就不能从原路回去，也不能回到原来的磁感应强度 B_{r1} ，而是回到 B_{r2} 处（图1-3）。这就是剩磁感应强度 B_{r2} 产生的原因。

若将铁磁物质置于很强的磁场中（如图 1-3 中的 H_3 ），磁场 H_3 使磁化曲线工作在第二次弯曲以上的部分，铁磁物质即工作于饱和状态。这时，所有或者几乎所有磁畴矢量所指的方向十分接近磁场 H_3 的方向（图 1-4），很显然，几乎所有的磁畴矢量都得到足够的能量，使其处于较稳定的磁化状态。此时若将磁场很快移开，必然只有极少数磁畴矢量离开稳定的磁化状态，剩磁感应强度即为 B_{r3} 。这时的 B_{r3} 就比 B_{r2} 大得多，并且比饱和磁感应强度 B_s 小不了多少。

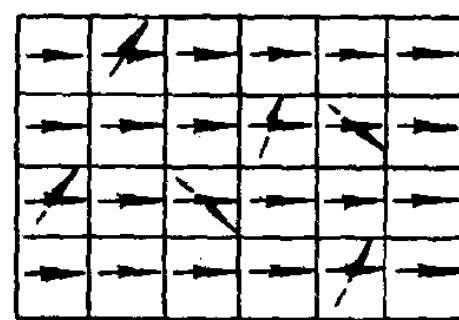


图 1-4

在磁记录中，采用饱和调频磁记录技术、脉宽调制磁记录技术和脉码调制（PCM）磁记录技术时，就是利用铁磁物质的饱和磁化状态。这种状态既可减少漏码率，也可以抵抗相当程度的外来干扰。

如果将铁磁物质置于交变磁场的作用下，如图 1-5 所示，当磁场强度 H 由零逐渐增强，磁感应强度 B 就从零开始沿虚线上升，当 H 增到 $+H_c$ 时， B 就变为 $+B_s$ ，如果再增强 H ，

B 就几乎不上升了。 B 开始不上升的一点 $+B_r$,就是铁磁物质的饱和点。所以 $+B_r$ 叫正饱和磁感应强度, $+H_s$ 叫正饱和磁场强度。若 H 由 $+H_s$ 减小到零, B 并不沿虚线回到零,而是由 $+B_r$ 回到 $+B_r$,也就是磁场磁化后,当 H 消失时,铁磁物质的磁感应强度没有完全消失,还剩下一部分,即剩磁感应强度 B_r 。在磁记录中,这个 $+B_r$ 很重要,它不仅决定记录信号磁平的大小,更重要的,它能很方便地帮助我们了解许多磁记录中的物理过程。要想消除 $+B_r$,就得加一个反方向的磁场强度 $-H_c$,即 H 由零变到 $-H_c$ 时, B 就由 $+B_r$ 减小到零。此处 $-H_c$ 有一个专有名词叫矫顽力。如果 H 由 $-H_c$ 变到 $-H_s$, B 就由零变到 $-B_r$ 。如此下去, H 由 $-H_s$ 变到零,又由零变到 $+H_s$ 再变到 $+H_s$, B 就由 $-B_r$ 变到 $-B_r$ 又变到零再变到 $+B_r$,形成封闭的 $B-H$ 曲线,这个 $B-H$ 曲线就叫磁滞回线。

因为剩磁感应强度 B_r 和矫顽力 H_c 在磁记录中有比较突出的作用,所以下面将它们的定义和作用强调一下。

剩磁感应强度 B_r 的定义为:当作用到铁磁物质上的磁化力减小到零时,仍保留在铁磁物质中的磁化强度 M ,或磁通密度 ϕ ,的量值。这个参数的大小,决定着记录信号磁平和重放电压大小,因此它与记录和重放过程有直接的联系。

矫顽力 H_c 的定义是:将剩磁感应强度 B_r 减小到零所需的磁化力的大小。在磁记录中,铁磁物质有足够高的矫顽力 H_c ,可以防止自然退磁,磁稳定性好,可以将记录信号的磁带保存很长的时间(如二十年)而其信号不变。

图 1-5 的磁滞回线可以说明以下几个问题:

(1) 磁感应强度 B 滞后于所加的磁场强度 H 。这是因为要改变铁磁物质的磁畴方向,就得给它能量,所加能量(如 H)没有达到一定的数值,磁畴矢量就保持其原来取向不变,因而 B 滞后于 H 。这就是叫磁滞回线的原因。

(2) 磁感应强度 B 不完全随磁场强度 H 作线性变化。 $B-H$ 曲线起始部分的非线性(第一次弯曲)是由磁滞效应引起的,而曲线的顶部又因为饱和而产生了非线性(第二次弯曲),这就是说,在足够强的 H 作用下,磁畴矢量几乎全部都与 H 方向一致,所以 B 不能再随 H 线性变化了。

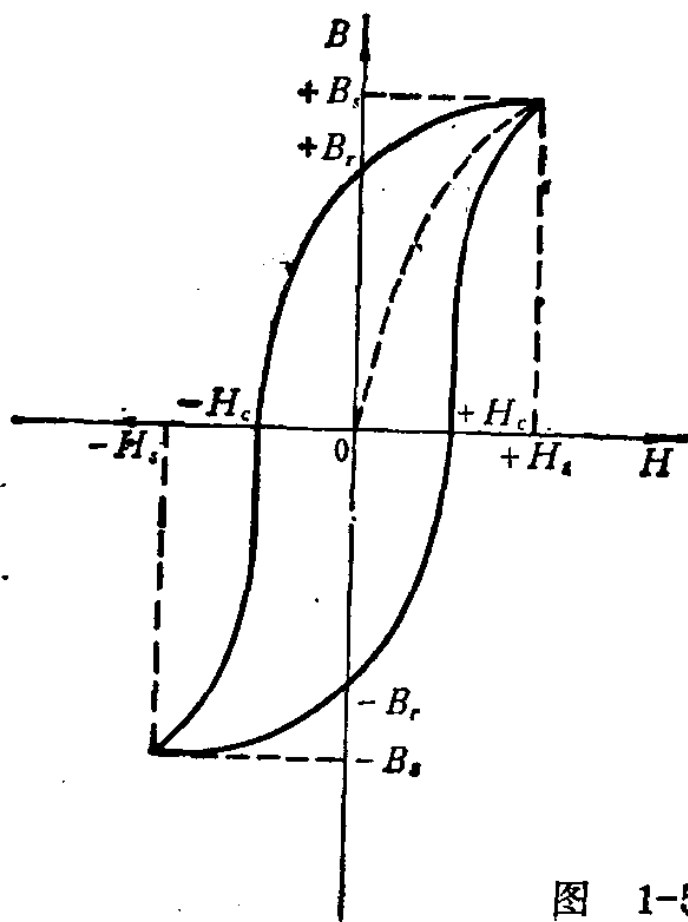


图 1-5

第二章 磁头和磁带

磁记录系统中两种电磁转换元件就是磁头和磁带，两者构成一个整体，完成电磁转换过程。首先电能可在记录磁头中转换成磁能，并将磁能贮存在磁带中，接着重放磁头又把磁能由磁带中取出，同时在重放磁头内又转换成电能，达到电磁转换的目的。因为磁头和磁带是磁记录系统中两种重要部件，在研究磁记录原理之前，必须对这两种部件作一介绍。

第一节 磁 头

磁记录系统中的许多重要指标，如：频率响应、记录和重放幅度、信噪比、失真系数等，虽然与电子线路、运带机构、磁带质量等有关，但它们都受磁头质量的直接影响。特别在高频端，对模拟磁记录系统来说，能否达到一个高指标，几乎完全取决于磁头的记录和重放磁平高低。

磁记录系统对磁头的主要要求是：

- 1) 频响动态范围要宽；
- 2) 有较大的记录和重放幅度；
- 3) 磁迹间串音（对多迹磁头而言）要小；
- 4) 失真系数要小。

在磁头设计中应尽量设法满足上述要求。

从不同角度可将磁头分成不同的类别，例如：按功能可分为记录（写）磁头、重放（读）磁头和抹磁头；按结构可分为单缝磁头和双缝磁头；也可按磁迹数目分为单迹（或叫单道或单路）磁头和多迹磁头，以及按记录密度等分类。

记录磁头、重放磁头和抹磁头的基本结构形式是差不多的。如果以单迹磁头为例，磁头基本上是由一个多层环状铁磁物质的铁芯和一个线圈构成（图 2-1）。

图中铁芯形状是为了制造和绕制线圈的方便将环状铁芯分成两半的，因此，这就不仅

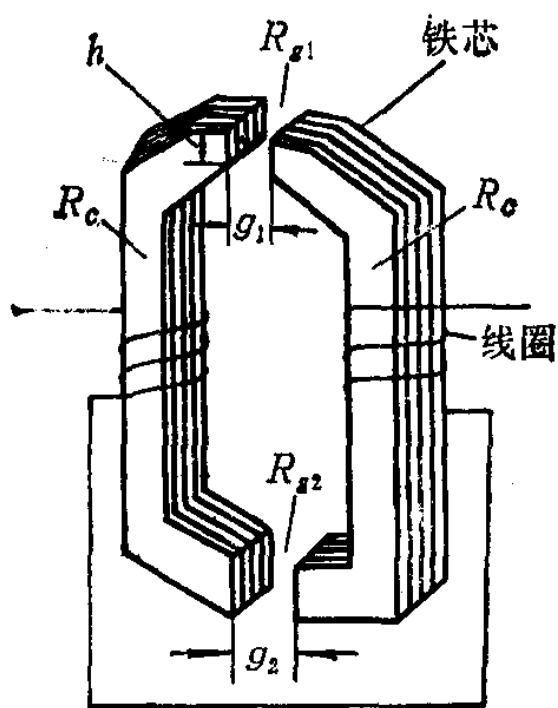


图 2-1

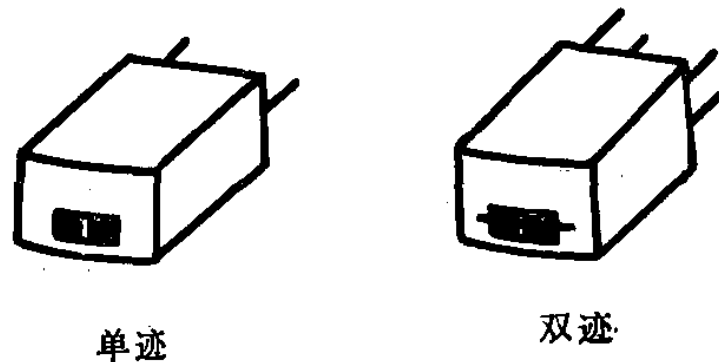


图 2-2

有一个前缝隙（写读过程在此进行），并且还有一个后缝隙。

录音机中常用的磁头有单迹磁头和双迹磁头，如图 2-2 所示。在比较高级的一级录音机中，录音磁头和放音磁头是分开制做，而普通二、三级盘式录音机或盒式录音机，为了降低成本和减小体积，常把录音放音磁头合二为一，称为录放磁头，而抹磁头则是单独的。

在计测模拟磁记录设备中，记录磁头和重放磁头总是分开的，同时，因为它要测量的参数较多，几乎没有用单迹或双迹磁头的，而要用多迹磁头。根据所用磁带宽度不同，有四迹、七迹、十四迹和三十一迹不一。图 2-3 是两种多迹磁头的简图，其中 (a) 图是普通四迹磁头；(b) 图是十四迹参差磁头。设计参差磁头的目的是为了减小串音提高信噪比。根据 IRIG 遥测标准规定，磁迹的新编号方法是从磁头安装座开始自下而上数起（如图 2-3 所示）。

录象机的磁头，到目前为止都是单迹磁头。而一台录象机磁头的个数不一，有的为单个磁头，有的为两个磁头（螺旋式的），有的为四个磁头（旋转式的）。图 2-4 (a) 是一种录象磁头铁芯的形状，磁头极尖为铁铝硅合金，它可增加磁头的耐磨性；(b)、(c) 图分别是两个和四个磁头的安装方式。

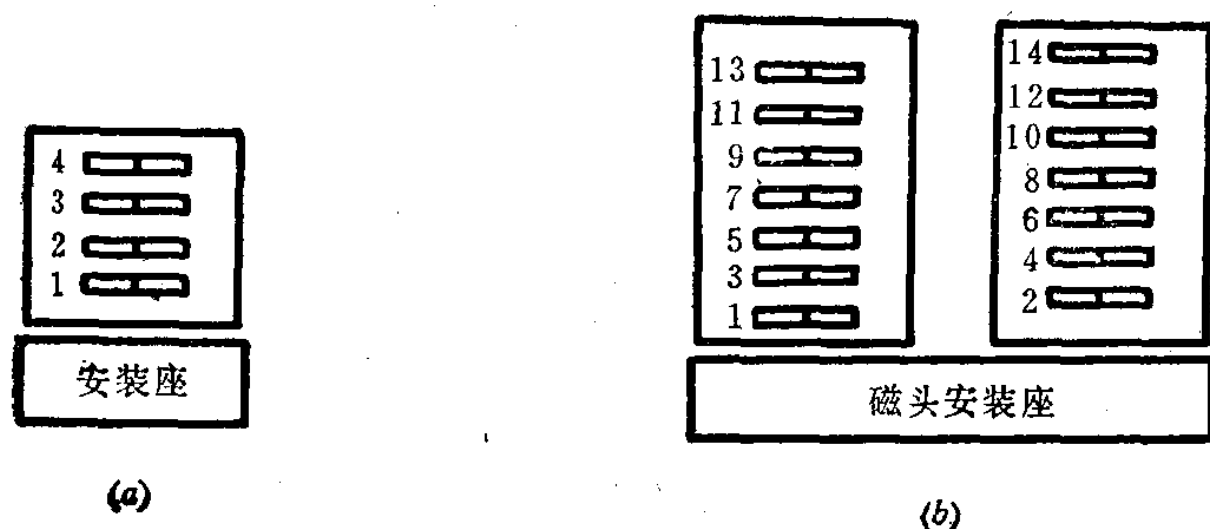


图 2-3

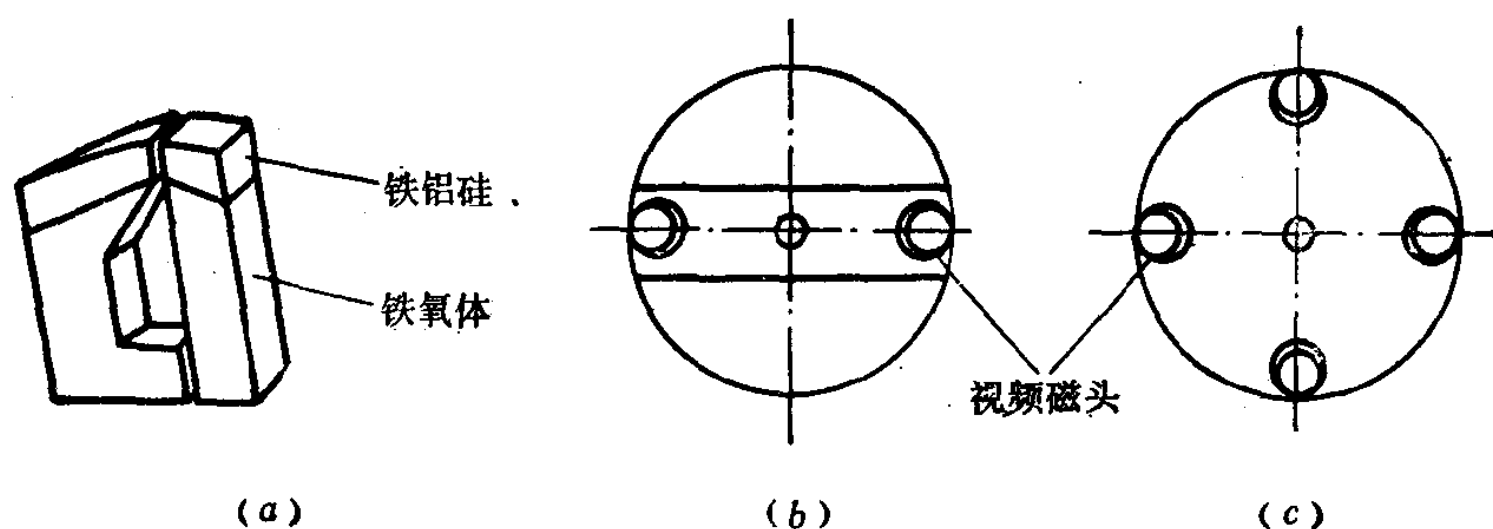


图 2-4

一、软磁材料

为了更好地了解磁头的特性，必须对磁头中铁芯材料的性能加以研究。磁头铁芯是由铁磁物质中的软磁材料制造的，软磁材料具有软磁特性。所谓软磁特性，就是当外加磁场消失之后，铁磁体内的磁通也随之消失，剩磁感应强度 B_r 很小，或者趋近于零，其磁滞回

线如图 2-5 所示。由图可见,此磁滞回线的形状特点是窄而长,曲线的变化率(斜率)很大。这就说明软磁材料的剩磁感应强度小,初始导磁率 μ_0 (由曲线起始斜率决定)和导磁率 μ (曲线线性部分的斜率)大。具有软磁特性的物质,常用的有坡莫合金、硬坡莫合金——铁镍合金和铁氧体等。

1) 坡莫合金

一般情况,当磁头工作在窄频带(由 IRIG 标准规定:带速为 152 厘米/秒,最高工作频率 75.6 千赫)时,可用普通的坡莫合金。通常做铁芯的坡莫合金有十几种,而最常用的只有几种,如 1J79、1J80、1J83、1J85 等。坡莫合金的厚度一般在 0.1~0.025 毫米之间,太厚了涡流会增大;太薄了导磁率 μ 将下降,两者都要影响磁头的记录和重放幅度。涡流大了还有一坏处,就是失真系数增大。因此,除特殊情况外,在磁头设计中,国内外几乎都不采用 0.1~0.025 毫米以外的厚度⁽²⁾⁽³⁾。

由图 2-6 可见,随着工作频率的增高,用坡莫合金铁芯做的磁头,重放幅度下降比较快。这是因为坡莫合金的电阻率低(55 微欧·毫米左右),涡流损失大。再由图 2-7 可见,导磁率 μ 与厚度有直接关系,太厚、太薄,导磁率 μ 都要下降,都会影响信号幅度。因此,在选择铁芯材料时,应根据各种磁头的具体情况(如记录磁头涡流影响大,初始导磁率 μ_0 是重放磁头重要要求之一等)来决定软磁材料的厚度。

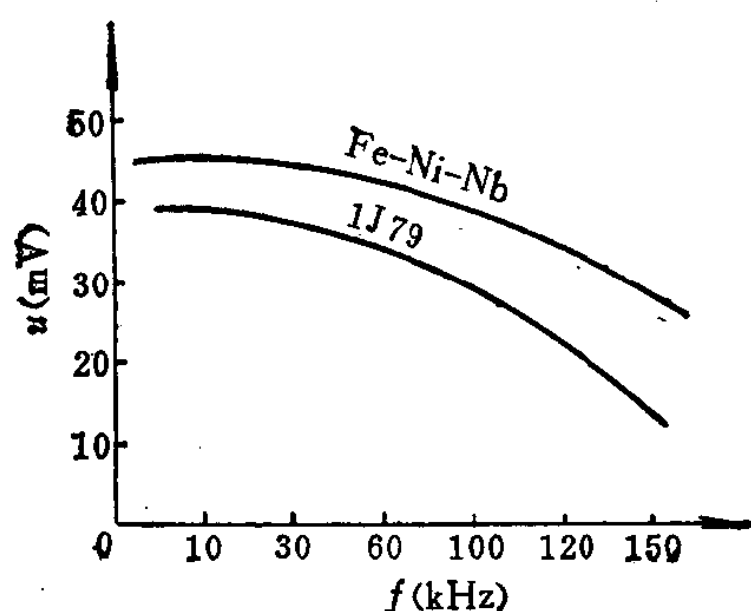


图 2-6

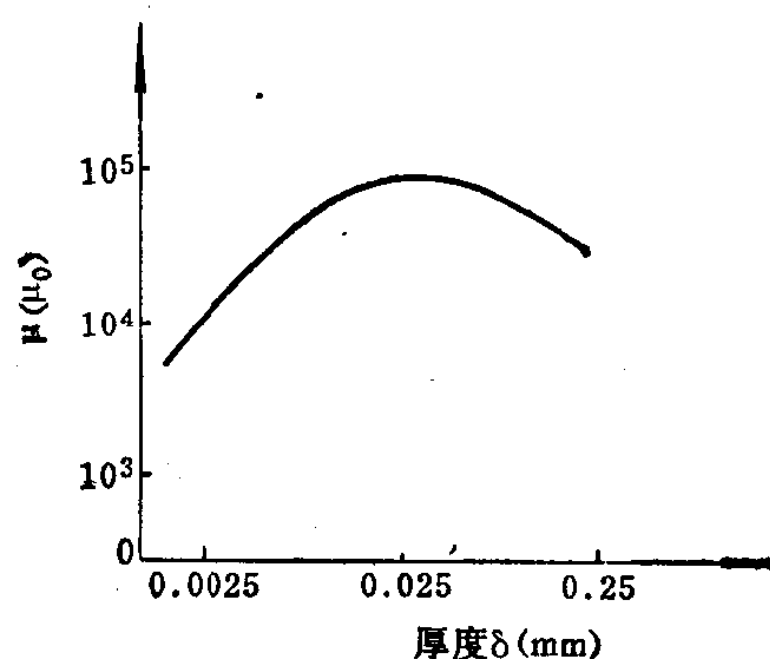


图 2-7

坡莫合金的优点是加工较容易,加工方法是根据坡莫合金的厚度不同、所需数量的多少而定,可分别采用模具冲制成型、电火花线切割机成型、化学腐蚀成型等。坡莫合金的缺点是热处理比较困难,外应力对导磁率的影响较敏感,因而热处理后的各工序往往会使导磁率大大下降并且一致性较差,所以由坡莫合金做出的磁头,各磁迹的重放幅度有大有小不易一致。我们做过一个实验,由 1J79 制成的 16 迹磁头,用 25 毫安的记录电流时,重放幅度有的为 2 毫伏,但也有的高达 3 毫伏,还有低到 1 毫伏左右的,可见各磁迹的一致性不是很理想。

电阻率低是坡莫合金工作频率不高的主要原因之一,导磁率因加工影响而不一致,也是影响它高频工作性能的一个原因。

2) 硬坡莫合金——铁镍合金

这是一种较新的软磁材料，它与坡莫合金比较有几个突出的优点：对外应力的敏感性差、频率特性较好、硬度高且耐磨、电阻率较高（70~100 微欧·毫米）。因为铁镍合金对外应力的敏感性差，热处理后各道工序对铁芯的导磁率影响比较小，所以，用同样方法做成的磁头中，普通铁镍合金磁头比 1J79 磁头的重放平均幅度提高 14% 左右，而且各磁迹（对多迹磁头而言）重放数值的一致性很好。如果再用含钛（Ti）钼（Mo）附加添料的材料更为优越^[2]，可使重放幅度提高 30% 左右。

由上述可见，铁镍合金比坡莫合金好，含有附加添料的铁镍合金对外应力的敏感性更差些，因此更适于做磁头的铁芯。

在频率特性方面，因为磁记录技术应用的领域逐渐扩大，工作频率不断提高，当工作频率大于 100 千赫时，由图 2-6 可见，在同样条件下，铁镍合金比 1J79 磁头的重放幅度要高一倍左右。可见，向较高的频率（大于 100 千赫）发展时，铁镍合金比 1J79 等坡莫合金更好些。

在硬度和耐磨性的比较上，铁镍合金有更大的优越性。坡莫合金硬度为 HV120~130；而铁镍合金可达 HV200~250，铁镍合金比坡莫合金硬 2~3 倍。而其耐磨性可提高 4~10 倍，即磁头的寿命可提高 4~10 倍。

除上述优点外，与坡莫合金相同，用铁镍合金制造铁芯，成型也比较容易。

综上所述，当工作在中频带（如 IRIG 规定，带速 152 厘米/秒，最高工作频率为 151 千赫左右），应多采用铁镍合金制造铁芯，特别应该采用含钛钼的铁镍合金。

3) 铁氧体

当工作在宽频带（由 IRIG 规定，带速为 304 厘米/秒时，其工作频率将近 1.2 兆赫）时，上述两种材料就无法使用了，必须采用新材料。铁氧体是目前国内外广泛采用的一种新材料，它的突出优点是电阻率高（140 微欧·毫米）、硬度高、高频特性好（图 2-8），用它做磁头，耐磨、寿命很长。因为有上述优点，在高频信号的模拟磁记录方面，在电子计算机的外存磁记录设备和录像机中，铁氧体做铁芯的磁头发挥着它独特的作用。

由图 2-8 可见，在低频段，坡莫合金（硬坡莫合金——铁镍合金也是如此）因导磁率 μ 高而工作得很好，铁氧体在此频段就不优越；而在高频段中，铁氧体就显出它独到之处。然而，铁氧体有一个比较大的缺点，即铁氧体质硬而脆，在高温下（500°C 以上）又容易氧化，故给加工带来一定困难。不仅如此，还有其它困难，如磁头的粘接固定问题等。

常用的铁氧体有两类：镍锌铁氧体和锰锌铁氧体。使用时，可视磁头工作频率及重放幅度大小（导磁率 μ 大小）的要求进行选择。

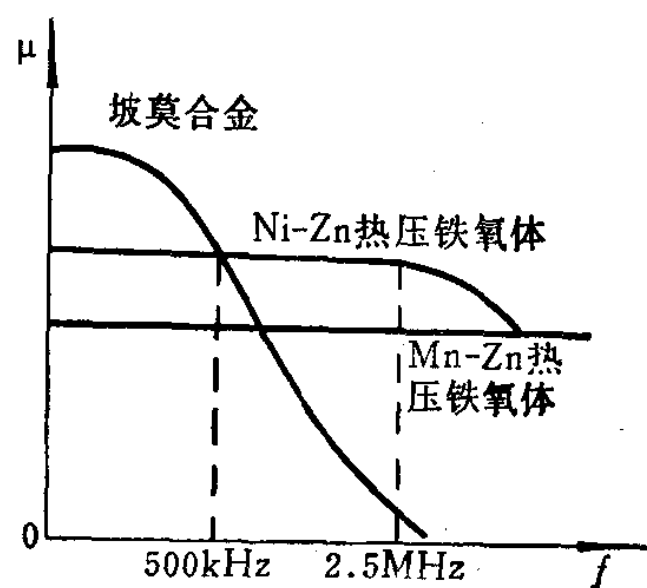


图 2-8

二、录放抹磁头的共性问题

由图 2-1 可见，假定通过铁芯的磁通是均匀的，而磁头磁带接触得很理想，它们之间

的磁阻很小，可以忽略不计；另外，磁头的漏磁通也很小，即漏磁阻很大，则磁头的等效电路可以简化为图 2-9 所示。

图中 R_{g2} 是后缝隙的磁阻； R_c 是铁芯的磁阻，两半铁芯对称，两边的磁阻就相等，若两半铁芯不对称，则两边磁阻就不一样； R_{g1} 是前缝隙的磁阻； R_d 是磁带的磁阻。

如果是记录磁头和抹磁头，则激励源就串联在 R_c 处；若为重放磁头，激励源则串接在 R_d 处。

由图 2-9 可见， R_{g1} 与 R_d 并联，我们希望录抹磁头中线圈内电流产生的磁通只通过 R_d ，这样才能有效地记录信号和抹磁，而不希望被 R_{g1} 旁路；重放磁头由磁带上读出的磁通，也不希望通过 R_{g1} ，而需要通过 R_c 产生感应电压。可见， R_{g1} 越大越好。

不难看出，不管哪种磁头， R_{g2} 都不希望很大，因为大了会增加磁头的损失，特别在重放磁头中， R_{g2} 等于零最好，这样就不会将本来就很微弱的信号再产生额外损失。但在录抹磁头中，有时为了增加安匝数，还希望留有一定的后缝隙。

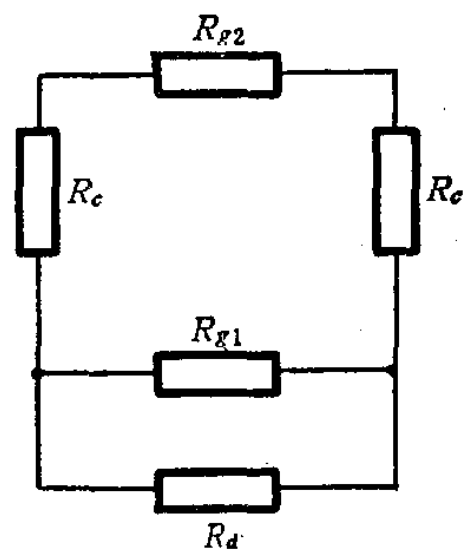


图 2-9

减小 R_{g2} 的有效方法就是后缝隙直接紧密接触在一起，而加大 R_{g1} 的方法则要在设计时慎重考虑，因为磁记录系统性能好坏与录放磁头的前缝隙的宽度 g_1 和深度 h （参看图 2-1）有直接关系（在其它因素相同的情况下）。加大宽度 g_1 和减小深度 h 可以增大 R_{g1} ，但宽度 g_1 大了，频响上限要下降（详见重放磁头的设计思想），磁通的变化梯度变小，影响写读效率。深度 h 小了，无疑地要减小磁头寿命。简言之，磁头前缝隙宽度 g_1 和深度 h 的大小，要根据三种磁头的具体要求，分别对待。

磁头前缝隙的宽度是由非磁性材料制成的垫片所决定。垫片材料范围很广，如：铜、金、银、铂、玻璃、云母和一氧化硅等，只要某种材料能方便地制成极薄的片，并且有适当的硬度及同铁芯材料有相近的温度系数就可以。在一般的录音和计测磁头中，铜钼合金能基本符合上述要求，因此用得较广。但在高频计测磁头及录象磁头中，因磁头前缝隙极窄（1 微米左右），不易做出这样薄的垫片，故最可行的办法是采用真空镀膜技术，将一氧化硅在两半边磁头前缝隙处极薄地镀上一层，以控制前缝隙宽度。重放磁头前缝隙宽度一般在 10~1 微米之间。为了扩大频响的动态范围，最近重放磁头前缝隙也有采用 0.6 或 0.4 微米的。

采用各种坡莫合金的录放磁头，还有一个共同的问题，就是铁芯片的厚度问题。一般用 0.025~0.1 毫米厚的铁芯片，因为高频时涡流损失与材料厚度的平方成正比，而且与材料的电阻率成反比。因此，厚度减小 1/2 后，由于涡流造成的损失应该减小到 1/4，故要想改善磁头的频率特性，除增大铁芯材料的电阻率外，还必须采用尽量薄的软磁材料做铁芯。但是材料薄于 0.01 毫米时，导磁率 μ 有明显的下降，同时还给铁芯加工带来更多的困难，不宜采用。通常不用薄于 0.025 毫米的材料做铁芯^[3]。

根据磁记录系统对磁头的要求，希望录放磁头串音要小。减小串音有两个措施：

1) 加大磁迹间距离。IRIG 遥测标准规定多迹普通计测磁头迹间宽度为 1.270 毫米。为了减小串音，设计了参差磁头，即用两个磁头记录信号和两个磁头重放信号；一个为奇