

16668

广播电视中等专业学校试用教材

录音与录像技术

赵兴甫 贺善义 王隆波 编

105

广播电视部干部司教育处

广播电视中等专业学校试用教材

录音与录像技术

赵兴甫 贺善义 王隆波 编

广播电视部干部司教育处

前 言

磁记录设备已经在国民经济的各个领域获得广泛应用,在广播电视节目的制作和播出中,磁带录音机和磁带录像机已作为最基本的设备。随着人民物质文化生活水平的提高,盒式录音机和家用录像机已经进入千家万户,成为人们所喜爱的视听工具。作为广播电视中等专业学校的学生,必须具备磁带录音和录像的基本知识。为此根据广播电视部于1984年在杭州召开的中等专业学校教学大纲审定会所通过的“录音与录像技术”教学大纲,编写了这本教材,作为非播控专业的试用教材。

全书分为上、下两篇,上篇录音技术;下篇录像技术,各校可根据专业要求和教学情况有所侧重,如电视发送专业可偏重于录像技术,广播发送专业则偏重于录音技术,总学时数为100学时,二年制可减为60学时左右。

本书上篇共分八章,主要内容有录音的基本原理和基础知识,立体声录音技术以及广播电台常用机型线路分析。下篇共分九章,主要介绍视频记录的特点,记录和重放电路分析,伺服系统及机械、控制系统,还简要地介绍了录像机在电视广播中的具体应用。

为了适应广播电视中专的教学水平,在编写过程中我们注意结合广播电视的实际应用,着重讲述设备的原理及维护使用中的问题,避免繁杂的教学分析。具有初中以上文化程度并初步掌握无线电和电视基本原理的读者都可以阅读,对从事录音和录像技术工作的同志也有一定的参考价值。

本书是在吉林省广播电视厅的直接领导下完成的,吉林省广播电台和电视台的有关领导对书稿的编写给予了很大的支持。参加编写的人员有赵兴甫、贺善义、王隆波和董义群,具体分工如下:上篇第一至五章由赵兴甫执笔,第六至八章由王隆波执笔,下篇第九至十六章由贺善义执笔,第十七章由董义群执笔。于海林同志承担了下篇部分插图的绘制。北京广播学院张绍高副教授和王明臣老师分别审阅了上、下篇初稿,提出了详细的修改意见,由于他们的支持和帮助,本书才得以和读者见面,他们为本书付出的心血,我们难以言表。还有许多同志为本书的定稿和出版付出了辛勤的劳动,借此机会向他们致以深切的谢意。

本书虽然已与读者见面,但仍然十分粗糙,有许多不足之处,请广大读者批评指正,如果它将给你的学习和工作带来新的收获,我们将感到欣慰。

编者

一九八五年九月

目 录

上篇 录音技术

第一章 概述

§ 1-1 磁记录在广播和各个领域中的应用.....	(1)
§ 1-2 磁记录设备所涉及的科学领域.....	(1)
§ 1-3 磁带录音机的组成.....	(2)
§ 1-4 磁带录音机的功能.....	(4)
§ 1-5 磁带录音机的种类、特点及新技术.....	(5)

第二章 磁带录音机中的电磁知识

§ 2-1 磁的基本概念.....	(8)
一、电流的磁场.....	(8)
二、磁感应强度和磁通.....	(10)
三、导磁率和磁场强度.....	(11)
四、铁磁材料的磁化与磁化曲线.....	(12)
五、铁磁材料的磁滞现象.....	(13)
六、磁阻.....	(15)
七、磁路的欧姆定律.....	(15)
八、铁磁材料的分类.....	(15)
§ 2-2 电磁感应.....	(17)

第三章 磁带录音机的录音、放音、消音原理

§ 3-1 磁带录音原理.....	(19)
一、录音磁头的功能.....	(19)
二、磁带录音原理.....	(19)
三、磁带录音的定量关系.....	(22)
四、偏磁作用原理.....	(24)
§ 3-2 磁带放音原理.....	(28)
一、放音磁头的功能.....	(28)
二、磁带放音原理.....	(28)
三、磁带放音的定量关系.....	(29)
§ 3-3 磁带消音原理.....	(30)
一、消音磁头的功能.....	(30)
二、磁带消音原理.....	(31)

三、消音的几种方法·····	(31)
第四章 磁带录音机录、放过程中的各种损失及特性校正	
§ 4-1 磁带录音机的综合频率特性·····	(34)
§ 4-2 录音过程中的各种损失·····	(35)
§ 4-3 放音过程中的各种损失·····	(37)
§ 4-4 放音过程中的低频特性——轮廓效应·····	(40)
§ 4-5 录音、放音系统的频率特性校正·····	(41)
§ 4-6 高频补偿电路·····	(44)
第五章 立体声技术	
§ 5-1 绪论·····	(47)
§ 5-2 立体声原理·····	(48)
§ 5-3 立体声拾音方式·····	(51)
§ 5-4 立体声系统的技术设备·····	(59)
§ 5-5 立体声磁带录音机·····	(60)
第六章 635 型磁带录音机	
§ 6-1 技术性能·····	(66)
§ 6-2 结构·····	(67)
§ 6-3 大面板上各部件的名称及作用·····	(69)
§ 6-4 工作状态控制装置及工作原理·····	(76)
§ 6-5 放音放大器·····	(80)
§ 6-6 录音放大器及电源·····	(84)
§ 6-7 技术指标测试·····	(87)
第七章 636 型磁带录音机	
§ 7-1 结构与特点·····	(91)
§ 7-2 录音放音放大器及附属电路·····	(94)
§ 7-3 维护与调整·····	(99)
第八章 盒式磁带录音机	
§ 8-1 特点与分类·····	(101)
§ 8-2 驱动机构·····	(102)
§ 8-3 录放电路·····	(112)
§ 8-4 直流电动机稳速电路·····	(118)
§ 8-5 盒式录音机的保养·····	(119)
§ 8-6 常见故障处理·····	(121)

下篇 录像技术

第九章 磁带录像概述	
§ 9-1 录像机的发展概况·····	(124)

§ 9-2 录像机的种类	(125)
§ 9-3 录像机的特点和应用	(129)
§ 9-4 螺旋扫描录像机	(132)
§ 9-5 录像机的总体组成	(135)
§ 9-6 录像机的发展方向	(138)
第十章 视频信号的记录和重放	
§ 10-1 铁磁物质的基本磁特性	(140)
§ 10-2 磁记录原理和高频损失	(143)
§ 10-3 重放原理和重放时的高频损失	(146)
§ 10-4 消磁原理	(150)
§ 10-5 视频信号的录放原理	(151)
第十一章 视频磁头和视频磁带	
§ 11-1 磁带的发展简史	(157)
§ 11-2 录像磁带的种类	(158)
§ 11-3 录像磁带的特性	(158)
§ 11-4 视频磁带的结构	(161)
§ 11-5 磁带的生产工艺	(163)
§ 11-6 录像磁带的使用、保管和维护	(164)
§ 11-7 视频磁头的结构	(167)
§ 11-8 视频磁头的特性	(170)
§ 11-9 视频磁头的维护	(175)
第十二章 录像机的记录系统	
§ 12-1 全电视信号的记录方法	(177)
§ 12-2 记录系统概述	(180)
§ 12-3 亮度信号处理电路	(182)
§ 12-4 调频器和记录放大器	(191)
§ 12-5 色度信号	(196)
§ 12-6 记录系统的其他电路	(201)
第十三章 录像机的重放系统	
§ 13-1 重放系统的组成	(205)
§ 13-2 预放器和电子切换开关	(206)
§ 13-3 重放亮度通道的基本电路	(208)
§ 13-4 重放色度通道的基本电路	(217)
§ 13-5 时基校正	(218)
§ 13-6 重放输出电路	(224)
第十四章 录像机的伺服系统	
§ 14-1 伺服系统概述	(227)
§ 14-2 帧脉冲和 CTL 信号形成	(231)
§ 14-3 鼓伺服系统	(234)

§ 14-4 主导伺服系统·····	(241)
§ 14-5 磁带张力伺服·····	(247)
第十五章 机械传动和控制系统	
§ 15-1 概述·····	(251)
§ 15-2 磁鼓组件·····	(252)
§ 15-3 穿带机构·····	(254)
§ 15-4 供带收带系统·····	(256)
§ 15-5 主导轴传动组件·····	(258)
§ 15-6 主要参数确定·····	(259)
§ 15-7 录像机的控制电路·····	(264)
第十六章 录像机在电视广播中的应用	
§ 16-1 电子新闻采访—ENG·····	(272)
§ 16-2 现场节目制作·····	(275)
§ 16-3 电视剧的制作·····	(275)
§ 16-4 演播室录像·····	(277)
§ 16-5 电视节目的收录·····	(279)
§ 16-6 电视教育·····	(282)
§ 16-7 电子编辑·····	(282)
§ 16-8 录像磁带的复制·····	(285)
§ 16-9 后期音响合成·····	(287)
§ 16-10 录像机播出系统·····	(289)
第十七章 录像机的维护和故障处理	
§ 17-1 使用录像机的注意事项·····	(292)
§ 17-2 录像机的维护·····	(292)
§ 17-3 录像机常见故障的处理·····	(304)

上篇 录音技术

第一章 概述

§ 1-1 磁记录在广播和各种领域中的应用

磁记录技术在我国是一门年青的科学，它包括磁性录音、磁性录像、电子计算机磁鼓、磁盘数码磁性记录等技术。目前这一技术已被广泛应用在各种科学技术部门和人们日常生活之中。

一、在广播技术中，使用磁带录音机把各种节目的声音录下来，经过复制、合成成为完整的节目，一方面可在预定的时间内播出，另一方面可以保存起来以备以后使用。还可以把一些有历史价值的文献资料记录下来加以长期保存。

二、在电视节目中使用磁带录像技术，可以节省大量人力物力。一部电影片有十几盘，转录到录像带上可以只有一两盘。用录像带播出电视节目，便于自动化操作，并可减少播出差错。

三、磁带录音机在现代化生产、科研、国防和文化教育等领域中应用日益广泛，正成为四个现代化建设中不可缺少的工具。

四、随着生产的发展和人民生活水平的提高，磁带录音机的使用将会越来越普遍。例如学习外语时，可以把老师的发音录下来，然后重放出来反复学习。特别对自学者来说，这一点更为必要。还可以录一些优美的乐曲和自己喜爱的文艺节目，在工余闲暇时重放出来进行欣赏，这不仅可以消除疲劳，而且丰富了生活，增加了乐趣。

今后磁性录音技术的应用范围还将不断地扩大，技术水平也将有极大地提高。

§ 1-2 磁记录设备所涉及的科学领域

随着科学技术的发展，各学科之间的分工愈来愈细，但是科技成果又往往是多门科学技术的综合成果，就以一部录音机来讲也涉及到好几门学科。

一、一部录音机的磁带传动部分是很重要的。这部分的技术指标不好其他电性能指标就无法提高。要使机械部分稳定可靠、性能良好，就必须掌握精密机械知识。

二、录音机中机械部分的“心脏”是主导电机。它涉及到电机学和微电机学方面的知识。

三、录音机对控制系统的要求也逐步提高，对控制技术的应用有了很大发展。从五十年代的开关控制（例如 MAT—8 型机），到六十年代继电器控制（如 635 型），在七十年代国内已采用了开关管控制电路，并具有一些逻辑功能（如 730 型录音机），而且国外有的机器已大量采用逻辑控制和电子计算机控制（如美国 AMPEX ATR—100），这样就使脉冲

电路和计算机等学科应用于录音机中。

四、录音机的放大器、振荡器、电源是属于无线电专业的内容，现在的放大器等已广泛应用集成电路，这又进一步扩大了需要掌握的知识面。

五、录音机的磁头、磁带是磁性物质构成的。要求录音机的维护工作者掌握一定的磁学知识，特别是对软磁性材料和硬磁性材料都要有一定的了解，才能更好的完成任务。

六、磁带的带基是高分子化合物涤纶薄膜，磁粉层粘合在带基上要使用化学粘合剂，这又要求具有化学方面的知识。

七、录音机的工作任务是记录声音。机器的输入输出端都要与电声器件相接。所以电声学和声学也是需要掌握的学科。

综上所述，录音机涉及的知识面很广，对于维护工作者虽然不可能样样精通。但是必须努力掌握有关基本知识，才能更好的维护好机器设备并能正确运用设备。

§ 1-3 磁带录音机的组成

现代，一部完整的磁带录音设备，一般都是由以下七个部分组成。即磁头、走带机构、录音放大器、超音频振荡器、放音放大器、电源装置以及录音磁带。图 1—1 表示它们之间的关系。

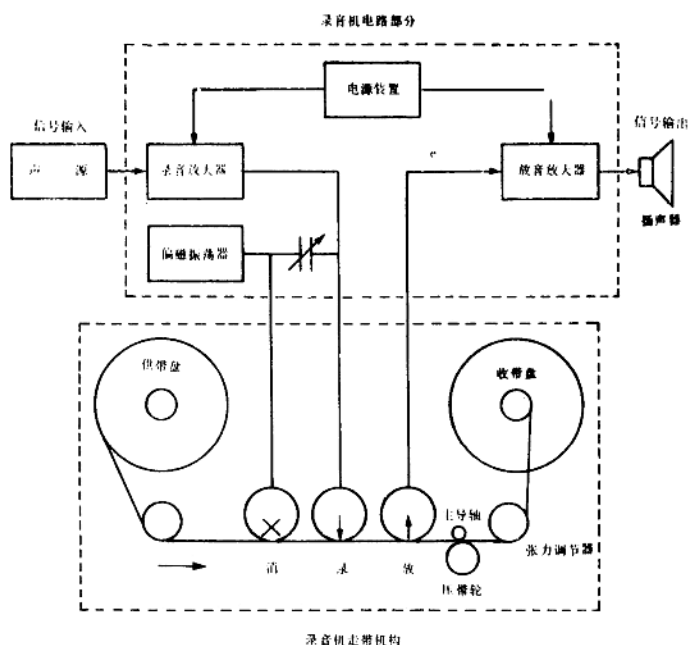


图1-1 磁带录音机方框图

在这里，就图 1—1 中各部分的作用简单的加以说明。

一、磁头

磁头、是磁带录音机的关键性部件，由于磁头的功能不同，一般情况下又分成录音磁头（或称记录磁头）、放音磁头（或称重放磁头）、消音磁头（或称抹音磁头）。此外，根据

特殊用途的需要，还有测速磁头、单路磁头、多路磁头、复合磁头（录放兼用）之分。

磁头是磁性录放音的电磁换能器。各种磁头的构造大致相同，如图 1—2 所示。它是一个小型电磁铁，它的铁芯一般由十几片或几十片高导磁率的坡莫合金片叠成，也有由铁氧体制成的。将两个半环形铁芯构成环状，并且形成前缝（工作缝隙），按功能不同还可形成后

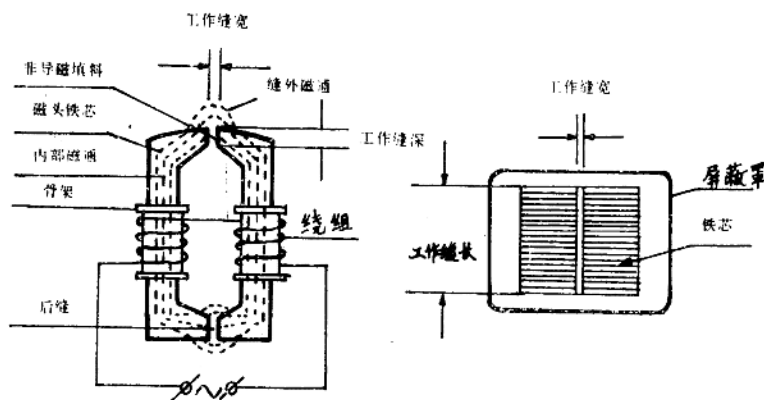


图1-2 磁头的结构

缝，隙缝中间夹有非磁性物质（例如铜箔、玻璃等）。在两个半圆环形铁芯上，分别绕有相同匝数的绕组。绕组绕在绝缘的骨架上。各种磁带录音机所用的磁头的形状、大小、工作缝宽和工作缝长都会有些不同。磁头工作时为了防止外界磁场的干扰，都装有 1—2 层屏蔽罩。

二、走带机构

专业用和民用的磁带录音机走带机构的主要部件有：

主导电机：磁带录音机对磁带的驱动需要恒速运转，这项工作是由主导电机来完成的。录音机的带速由主导电机的主导轴的转速及外径来决定。目前专业录音机的带速为 38.1、19.05、9.5 厘米/秒，而民用录音机的带速多为 9.5、4.75、2.38 厘米/秒。在一般专业用录音机中除主导电机外还有供带电机和收带电机。而民用录音机一般只装有一个电机，靠间接传动来完成三个电机的任务。高质量的专业用磁带录音机的主导电机都是采用交流同步稳速电机，而供带和收带用的是感应电机，采取电容分相式联接，从而满足录音机各种动作的需要。

压带轮：是将磁带压紧贴主导轴上的从动轮。一般采用在含油轴承外侧套上具有足够硬度和弹性的橡皮轮来构成。使录音磁带不致产生滑动。

导带柱：在高质量的录音机上，它的作用是引导录音磁带在正确的轨道上运行，同时防止磁带在运行过程中上下摆动，使磁带准确地通过磁头。导带柱应由光滑、耐磨、不易磁化的材料制成。并应防止感磁所导致的音质降低。

张力自动调节器：磁带录音机在正常工作的情况下，供带盘的磁带由多变少，而收带盘的磁带则由少变多，这样磁带的张力就会发生变化，需要张力自动调节装置来调节磁带所受的张力。张力自动调节器可采用摆动滑轮（习惯称 S 形轮）或导带柱作传感器，其中装有阻尼元件及弹簧控制部件等，从而控制和调节供带和收带的力矩。

操作按钮：各种用途的磁带录音机都装有操作按钮，可进行下列各项操作：录音、放音、快进、快退、停止、剪接等。

三、录音放大器

录音放大器的功能是把要记录的信号通过电子放大电路加以放大，转变为信号电流，输送到录音磁头中去。

四、超音频振荡器

磁带录音时，由于剩磁曲线是非线性的，因而剩磁感应强度 B_r 的波形对磁场强度 H 的波形来说有明显的失真。科学家们为了克服磁带的剩磁感应非线性所引起的波形失真，做了不少科学实验工作，曾发明了直流偏磁法，以后又发明了交流超音频偏磁法。现在几乎全部录音机都采用了超音频偏磁法来改善剩磁感应的非线性所引起的失真。录音机中对录音时所需要的超音频偏磁电流是由超音频振荡器产生的。超音频偏磁频率很高（一般为最高记录频率的4~8倍），如果偏磁频率取得太低，在录音时会产生差拍，出现鸣声；偏磁频率取得太高，在录音时会使磁头铁芯损耗增大，降低效率。

五、放音放大器

放音放大器的功能是：当录音机在放音状态时，磁带上已录信号通过放音磁头时使磁头铁芯中的磁通量 ϕ 产生变化，导致放音磁头绕组感生一个信号电压，这个信号电压的波形与录音信号相同或相似，输送到放音放大器，经电子放大电路放大后，送入扬声器，就可重放出声音。

六、电源装置

通常，高质量专业用录音机都采用交流电源；但便携式、背包式录音机都既有交流电源装置，又有直流电源装置，可以选用。

七、磁带

录音磁带是磁记录不可缺少的介质，用来记录和储存信息。现代磁带主要由两层或三层构成的。一层是带基，是用聚酯薄膜制成的，一般为无色透明体，用来承载磁性层。在带基上面涂一层或是两层磁性层，用来记录和贮存信息。磁性层中包括有①磁粉——是记录和贮存信息的主体，现代的磁粉有 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ， CrO_2 等。②粘合剂——将磁粉制成磁浆，涂布在带基上，起粘着作用。③助剂——为了改善磁带质量，在配制磁浆时需要加入润滑剂、分散剂、消静电剂、增塑剂等。此外，对专业用磁带讲，要求磁带背面涂上一层背面层，用来防止磁带（采用盘心时）在录音机上快进快退时引起的跳带乱带现象。

§ 1-4 磁带录音机的功能

磁带录音机有两大功能，第一是将声音信号、数码信号记录在磁带上（磁带录像机，同时可将声音和图像信号记录在磁带上），第二是在需要的时间可以进行重放。在磁记录技术中，将前一功能的过程称为录音过程；将后一功能的过程称为放音过程。如图1-3所示。

从图1-3可以看出，一部完整的磁带录音机的录音过程（记录过程）和放音过程（重放过程）可以看做是一个能量转换器。

录音过程（记录过程）：声能→电能→磁能。

放音过程（重放过程）：磁能→电能→声能。

一、录音过程

磁带录音机在录音时必须要有信号源，通常传声器、电唱机、收音机、音频信号发生器所产生的信号都可作为信号源之用。例如，人们讲话或者歌唱家的声音是通过传声器转换成电信号送入录音放大器的，这个阶段可看做是声能 $\rightarrow$ 电能。但是由于传声器产生的电信号很

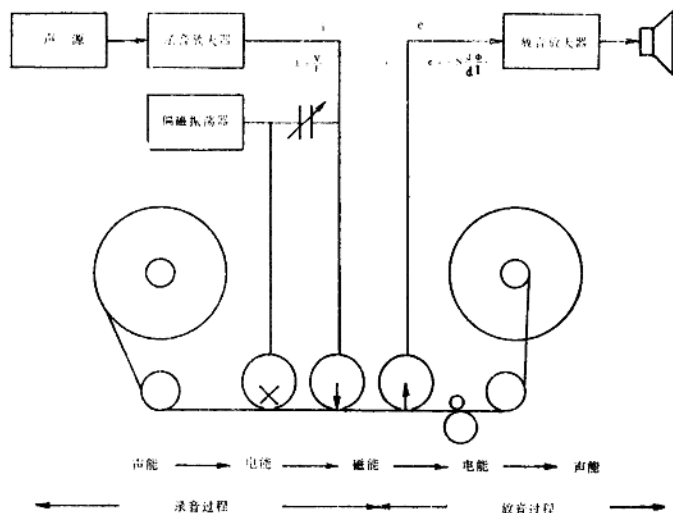


图1-3 磁带录音的能量转换

微弱，必须经过录音放大器加以放大后，再送到录音磁头上。由于录音磁头的功能，将信号电流大小的变化转换为磁头铁芯磁通量 ϕ 大小的变化，这个磁通量的变化就使磁带上和磁头接触的那一部分磁性层（磁粉颗粒）受到磁化，磁带就被录上了声音信号。这后一阶段可看做是电能 $\rightarrow$ 磁能的过程。由此可见，录音过程就是：声能 $\rightarrow$ 电能 $\rightarrow$ 磁能的转换过程。

二、放音过程

磁带录音机在放音时，录有信号的磁带通过放音磁头工作缝隙，由于放音磁头的结构特点，放音磁头所拾取的磁通量 ϕ 按磁带上剩余磁通的变化而变化。由于铁芯中磁通的变化，遵循M·法拉第（Michael Faraday）电磁感应定律，就会在放音磁头绕组的输出端感生一个微小信号电压 e ，将这个微小的感生电压 e 输送到放音放大器的输入端，这一段过程可看作是磁能 $\rightarrow$ 电能的过程。当放音放大器将微弱信号经过电子电路放大之后输送到扬声器中去，又转换成声能，则声音得到还原。后一段可看做是电能 $\rightarrow$ 声能的过程。由此可见，放音过程就是：磁能 $\rightarrow$ 电能 $\rightarrow$ 声能的转换过程。

§ 1-5 磁带录音机的种类、特点及新技术

一、磁带录音机的种类

磁带录音机的种类繁多，形式各异，下面我们介绍常见的分类方法。

1. 按结构和形状分类：

- (1) 落地式录音机（用于广播、电影及原版唱片制作）；
- (2) 台式录音机；
- (3) 便携式录音机；

(4) 袖珍式录音机。

2. 按功能分类:

(1) 单放音机 (只放音);

(2) 录放两用机;

(3) 多用录音机;

(4) 特殊录音机。

3. 按使用的磁带及卷绕磁带的方式分类:

(1) 盘式录音机 (也称开盘式录音机), 是指用金属或塑料盘心和盘架分别作供带盘和收带盘的录音机。通常使用带宽为 6.25 毫米的磁带, 带速为 38.1 厘米/秒和 19.05 厘米/秒。这种录音机质量高, 性能稳定, 但装卸磁带不便, 而且体积大, 不便于携带。

(2) 盒式录音机, 是指使用规定盒装磁带的录音机。这种录音机的磁带装在一个特制的塑料小盒或金属小盒子里, 盒内有两个平行的盘心, 磁带卷绕在盘心上。根据磁带盒尺寸不同, 又可将盒式录音机分为:

大盒式录音机;

普通盒式录音机;

微型盒式录音机。

(3) 卡式录音机

是指使用按规定将磁带卷绕在带卡的一个盘心上, 能够循环走带, 带卡尺寸为 $133.35 \times 107.95 \times 72.35$ 毫米, 带宽为 6.25 毫米, 带速为 9.53 厘米/秒。

二、磁记录的特点

记录声音的方法概括起来可分三类: 机械录音, 光学录音, 磁性录音。目前, 磁性录音已成为对声音信号存储 (记录) 的最主要和最常用的手段, 它与其他两类录音方式相比, 具有以下一些突出优点:

1. 可以得到高质量的声音信号存储效果。
2. 信号的记录与重放不需要任何附加的物理的与化学的再加工。
3. 已录信号的磁带能多次重复使用 (多次重放) 而不会明显降低质量。
4. 记录下的信号可以长期保存而质量无明显降低。
5. 不需要考虑机体放置状态, 无论机体是在水平状态, 垂直状态或是移动状态下都可以使用。
6. 便于后期剪接和复制。
7. 磁带上记录的信号在不需要时可以很方便的消去, 消音后的磁带又可以录制上新的信号。磁带可以多次使用。

由于磁记录具备这些优点, 因此它被广泛地应用在各个科学领域和人们日常生活当中。

3. 现代录音机的设计新技术

目前大多选用直流电机代替常用的交流电机, 并配有一套伺服系统以控制转速, 转速应不随电源电压和频率的变化而变动, 有的录音机选用直流、无刷稳速电机。

磁头铁芯用的磁性材料要求达到“四高”即高饱和磁感应强度、高有效导磁率、高电阻系数、高耐磨。目前大量选用坡莫合金、铁铝硅材料和热压铁氧体, 单晶铁氧体等制作磁头。

在机械传动系统上、目前很多录音机采用电子化的控制方式。其优点是准确、省力，而且使遥控成为可能。较高级的磁带录音机还采用无接点逻辑控制电路，从根本上消除了继电器火花干扰。

在电路的设计和运用中，最主要的是噪声降低系统。目前主要有下列三种降噪系统：

杜比系统：这是英国人杜比提出来的。它的原理是：在录音时，对低电平高频信号进行扩展，在放音时，对原提升部分加以压缩，以降低录音过程产生的噪声。该系统主要降低 1 kHz 以上的噪声，它可使信噪比改善 5~10dB。

自动降噪系统：它的原理和杜比系统差不多。

动态噪声限制器：它可以使信噪比在 6 千赫时改善 5dB，在 10 千赫时改善 20dB。

最后需要提出的是：许多高级优质录音机除了有优良的电声性能之外，还有一个十分突出的特点：稳定可靠，象 A—80 或那哥拉等录音机，在技术条件许可的场合使用几年至十几年，仍能保持原有的性能。究其原因，很重要的一个方面是选用了优良的元器件。可见在大力发展录音机生产时，认真抓好元器件的质量是非常重要的。

第二章 磁带录音机中的电磁知识

§ 2-1 磁的基本概念

磁带录音机是根据声、电、磁在一定条件下能相互转换的原理进行工作的。录音机中的磁带和磁头是完成电能和磁能相互转换的重要部件，它们都是用铁磁材料制成的。因此，要了解磁带录音机的录音、放音和消音原理，首先必须对基本电磁现象及铁磁物质的磁特性有所了解。

一、电流的磁场

1. 磁的基本现象

某些物体能吸引铁、钴、镍等物质的性质叫做“磁性”。这种具有磁性的物体叫“磁铁”。使原来不带磁性的物体具有磁性叫“磁化”。

磁铁两端磁性最强的区域叫“磁极”。若将一根磁针或条形磁铁的中心支持（或悬挂）起来，使它能在水平面内自由转动，则它将停止在指向南北的方向上，如图 2-1 所示。

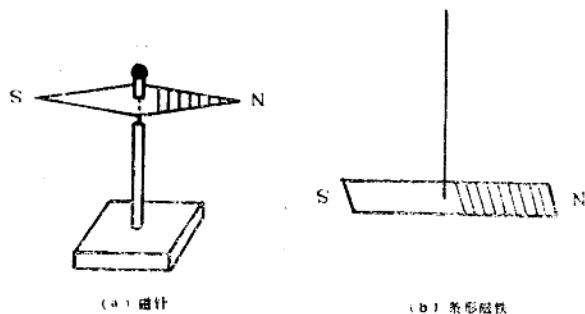


图 2-1 能指向南北方向的磁针和磁铁

指北的一端叫“北极”，以 N 表示；指南的一端叫“南极”，以 S 表示。和电荷间的相互作用力相似，磁极间也具有同名极相斥，异名极相吸的性质。

正、负电荷可以独立存在，但磁铁的南极和北极却不能独立存在。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，再分也是这样，如图 2-2 所示。这一点是电和磁的基本区别之一。

磁极与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，这样特殊物质我们

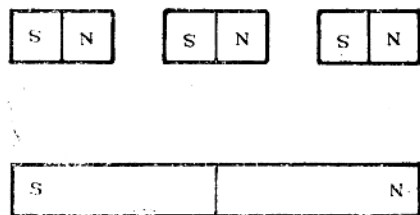


图 2-2 磁铁分成多段后的情况

叫它“磁场”。空间有没有磁场存在，可以用小磁针是否受到磁力的作用来检验。如把一个可以在竖直轴上自由回转的小磁针放在被检验的空间里，若小磁针发生偏转，则证明该处有磁场存在。当小磁针静止时，它的北极所指的方向就规定为该点磁场的方向，磁场是一个矢量。

为了直观起见，常用磁感应线（即磁力线）来描绘磁场。所谓磁感应线就是在磁场中画出许多曲线，使曲线上每一点的切线方向和放在该点的小磁针北极所指的方向一致（即该点磁场的方向）。磁感应线的疏密程度反映着磁场中各点磁场的强弱。图 2-3 为条形磁铁的磁感应线图。从图可以看出，每一根磁感应线均由磁铁的 N 极出发，经由外面空间到达 S 极，再由 S 极经磁铁内部回到 N 极，形成无头无尾的闭合曲线；小磁针在磁场中各点，只可能有一个确定的方向，因此，磁感应线是互不相交的。

2. 电流的磁场

(1) 载流直导线的磁场。若在一根小磁针上方放一根通电导线，结果会发现小磁针转动，并将停止在垂直于导线的位置上，如图 2-4 所示。如果导线电流中断，小磁针便会恢复原来

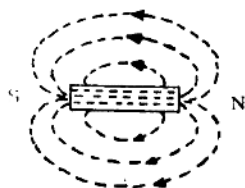


图 2-3 条形磁铁的磁感应线

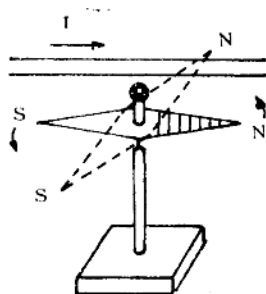


图 2-4 电流的磁场

的位置。若改变电流方向，小磁针又会向相反的方向转动，最后仍停留在垂直于导线的位置。这一结果表明，在电流周围的空间存在着磁场。这就是说，电流可以产生磁场，即在电荷运动的情况下，电可以转化为磁。

实验可进一步证明，载流直导线周围的磁感应线，是垂直于载流导线的平面上以导线为中心的许多同心圆，离导线越近，磁感应线分布越密，离导线越远，磁感应线分布越稀，如图 2-5(a) 所示。

磁感应线的方向和电流方向的关系，可用右手定则判断，即用右手握导线，大拇指伸直并指向电流的方向，则其余四指所指的方向就是磁感应线的方向，如图 2-5(b) 所示。

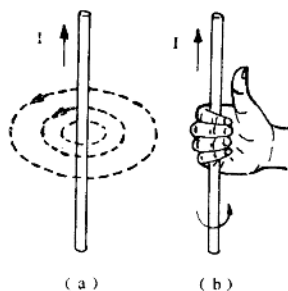


图 2-5 载流直导线产生的磁场

(2) 载流线圈的磁场。在实际应用中，常把导线绕在一个空心(或实心)的圆筒上制成线圈，叫做“螺线管”。载流线圈的磁感应线的方向，同样可用右手定则来判断，即以右手握螺线管线圈，四指指向电流的方向，则伸直的大拇指所指的方向就是线圈内部磁感应线的方向，如图 2-6 所示。

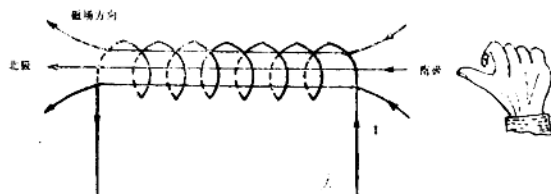


图 2-6 载流线圈的磁场

因此，右手定则不仅可以用来确定载流直导线的磁感应线的方向，而且也能确定载流线圈中磁感应线的方向。显然，如果磁感应线的方向已知时，也可用右手定则来确定直导线或线圈中产生此磁场的电流的方向。

二、磁感应强度和磁通

1. 磁感应强度

实验指出，在磁场中的载流导线，要受到磁场力的作用，导线的有效长度越长，通的电流越大，则受力越大。即导线在磁场中某一位置受力的大小与导线的有效长度及电流的大小成正比。

我们用与磁场方向垂直的载流导线在磁场中所受的力 F ，与导线中的电流 I 及导线的有效长度 L 的乘积的比值来表示某一点磁场的性质，叫做该点的“磁感应强度”，通常用 B 来表示。

$$B = F / IL$$

根据上式可以规定磁感应强度 B 的单位。

如果在磁场中某点，通电导线中的电流强度为 1 安培，导线的长度为 1 米，它受到磁场的作用力为 1 牛顿，那么，这一点的磁感应强度就规定为 1 “特斯拉”。即

$$1 \text{ 特斯拉} = 1 \text{ 牛顿/安} \cdot \text{米}$$

磁感应强度 B 的另一单位叫“高斯”，它与特斯拉的关系是

$$1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 特斯拉}$$

磁感应强度 B 不但表示了磁场中某点磁场的强弱，而且还能表示该点磁场的方向，因此磁感应强度 B 是个向量。某点磁感应线的方向，就是该点磁感应强度的方向。

对磁场中某一固定的点来说，磁感应强度 B 是个常数，而对磁场中位置不同的各点， B 可能是不相同的。因此，用 B 的大小和方向可以描述磁场中各点的性质。

若磁场中各点的磁感应强度的大小和方向完全相同时，这种磁场称为“均匀磁场”。在均匀磁场中的磁感应线是等距离的平行线。

2. 磁通

为了表示磁场在空间的分布情况，我们不仅可以用磁感应线来表示磁场的方向，而且，可以用磁感应线的疏密来表示磁场中各点磁感应强度的大小。为此，我们引出另一个物理量——磁通。