

LUXIANGJI YUANLI

录像机原理

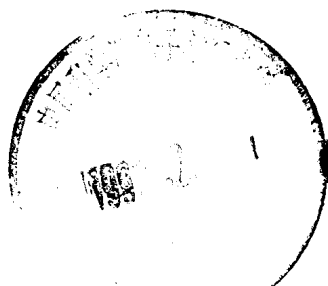
牟善详 高德珠 编



同济大学出版社

录像机原理

牟善祥 高德珠 编



同济大学出版社

9210124

沪 (204 号)

内 容 提 要

本书比较系统地讲述了录像机原理,从录像机的基本原理入手,全面、系统地介绍了录像机的整机结构与电路原理。并对录像机的各种格式标准进行了介绍,本书介绍的主要格式和实例以 VHS 型 (大 1/2 英寸) 录像机为主,兼顾专业型 (U 型) 和广播型等格式。同时,对各类高画质、高保真、摄录一体化、超小型录像机也进行了介绍。

全书内容丰富,深入浅出、通俗易懂,适用于大专院校作教材。也可供从事广播、电视、电化教育和有关科研、维修等方面工作的工程技术人员阅读。

责任编辑 许纪森

封面设计 王肖生

录像机原理

牟善祥 高德珠 编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

江苏省大丰县印刷二厂印刷

开本 850 × 1168 1/32 印张 7.125 字数 200 千字

1992 年 5 月第 1 版 1992 年 5 月第 1 次印刷

印数 1-4000 定价 4.95 元

ISBN7-5608-0936-7/TM·20

前 言

众所周知,录像机在短暂的十几年中是发展最迅速的电子产品,录像机不但广泛用于广播、教育、文艺、体育、卫生、军事和工业领域,而且家庭应用也日益增加。

录像机的飞跃发展同微电子技术的进步密切相关。录像机的发展反映了近几年来电、磁、声、光各领域的最新成果。

为了适应我国电子工业的发展,我们编写了录像机原理一书。

在本书的编写过程中,我们参考了国内外已发行的书刊和有关资料。本书由南京邮电学院顾永列教授主审,并提供了第九章内容。江苏省广播电视厅陈楚生高级工程师对全书内容提出了许多宝贵意见。在此对他们的辛勤劳动一并表示感谢!

由于水平有限,书中可能有不少错误和缺点,敬请读者批评指正。

牟善祥 高德珠

1990年11月15号

目 录

第一章 磁性记录基础.....	1
§ 1.1 磁性材料及其特征	1
§ 1.2 磁性录放原理	5
§ 1.3 录放视频信号的技术特点	14
§ 1.4 磁头的构造与特性	24
§ 1.5 磁带的构造与特性	31
§ 1.6 磁迹分布设计	33
§ 1.7 录像机的基本组成	37
第二章 录像机格式介绍	40
§ 2.1 2 吋四磁头横向磁迹录像机	40
§ 2.2 1 吋 B 型螺旋扫描录像机	43
§ 2.3 1 吋 C 型螺旋扫描录像机	46
§ 2.4 3/4 吋螺旋扫描 U 型录像机	49
§ 2.5 1/2 吋盒式磁带录像机	53
第三章 视频记录系统	69
§ 3.1 C 型录像机视频记录系统	69
§ 3.2 U 型录像机视频记录系统	71
§ 3.3 VHS, BETA 型家用录像机的记录系统	72
§ 3.4 组成视频信号记录系统的基本电路	78
第四章 视频重放系统	87

§ 4.1	C 型录像机视频重放系统	87
§ 4.2	U 型录像机视频重放系统	88
§ 4.3	VHS 型录像机视频重放系统	89
§ 4.4	BETA 型录像机视频重放系统	90
§ 4.5	重放系统基本电路	90
第五章 伺服系统		122
§ 5.1	伺服系统的工作原理	122
§ 5.2	磁头鼓伺服系统	125
§ 5.3	主导轴伺服系统	128
§ 5.4	张力调节机构	129
§ 5.5	非正常重放的实现	137
§ 5.6	VO—5850P 录像机的静像电路分析	142
第六章 机械控制系统		149
§ 6.1	机械控制系统概述	149
§ 6.2	机械控制系统的基本工作原理	149
§ 6.3	采用计算机的机械控制系统	153
第七章 机械系统		170
§ 7.1	螺旋扫描录像机机械起带系统	170
§ 7.2	VHS 格式录像机机械系统	174
第八章 电子编辑系统		185
§ 8.1	概述	185
§ 8.2	编辑的伺服	187
§ 8.3	编辑的消磁	189
§ 8.4	编辑控制器	194
第九章 视频、射频变换电路		199

§ 9.1	电视解调器	199
§ 9.2	电视调制器	209
§ 9.3	前置分配混合放大器	216

第一章 磁性记录基础

磁性录音或录像可归纳为以下两个转换过程：

电 - 磁转换过程(记录、存贮过程),是指在此过程中把随时间变化的语音电信号或彩色电视电信号转换为随磁带长度变化并记录在磁带上的磁信号。

磁 - 电转换过程(重放过程),这是电 - 磁转换的逆过程。此过程把记录在磁带上的磁信号复原成标准语音电信号或彩色电视电信号。

为了更好地介绍磁带录像机原理,本章将介绍磁性记录基础知识,以便为后面各章节奠定基础。

§ 1.1 磁性材料及其特征

自然界的物质就其磁特性而言可分为两类:一类为顺磁质,如锰、铬、铂等,其相对导磁系数 μ_r 大于 1;另一类为抗磁质,如水银、铜等,其 μ_r 小于 1。一切抗磁质和大部分顺磁质 μ_r 与 1 相差极微。另外,如铁、钴、镍等及其合金,其 μ_r 的数值很大,这些物质称为铁磁物质。在这三种磁质中,抗磁性物质和顺磁性物质的磁效应均很微弱,只有铁磁性物质表现很强的磁效应。铁磁效应的性质大体上可以归纳为以下三点:

(1) 磁场中放入铁磁物质后,在铁磁体中的磁力线密度——即磁感应强度 B 将比没有铁磁体时的 B 增大几百至几千倍。

(2) 磁场中放入铁磁物质后,铁磁物质中的磁感应强度 B 和磁场强度 H 不是简单的线性关系,而是非线性关系。

(3) 在外磁场消失后,铁磁物质并不完全失去磁性,而仍然能

保留一部分磁性,这叫做剩磁,剩磁大小与材料性质有关。

一、磁场特性物理量的描述

(1) 磁感应强度 B : 磁感应强度又称为磁通密度,它是描述磁场中各点磁场强弱和方向的物理量,是一个向量。根据磁场的特性,当一个载流导体放在磁场中时,磁场会对该载流导体产生一个作用力 F , F 的大小与载流导体的长度 l 和流过导体的电流 I 有关,也与该处的磁场的强弱与方向有关,因此定义: $B = F/Il$ 。 B 的方向按左手定则确定。亦 B 的方向对掌心, I 的方向顺着四指方向,则拇指为 F 的方向。

在国际标准单位制中, B 的单位是伏·秒/米²($V \cdot s/m^2$), 伏·秒为韦伯。在实用单位制中, B 的单位是高斯。

两种单位制的换算关系是: $1 \text{ 高斯} = 10^{-4} \text{ 韦伯/米}^2$

(2) 磁通量 Φ : 磁感应强度 B 对面积的积分,称为穿过面积 S 的磁通量。

$$\Phi = \int B \, dS$$

在国际标准单位制中, Φ 的单位是韦伯。在实用单位制中, Φ 的单位是马克斯韦, $1 \text{ 马克斯韦} = 1 \text{ 高斯} \cdot \text{厘米}^2$ 。

这两种单位制的换算关系是: $1 \text{ 马克斯韦} = 10^{-8} \text{ 韦伯}$ 。

(3) 导磁率 μ : 导磁率 μ 是衡量物质导磁性能的一个系数。真空中的导磁系数 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ 亨利/米 (H/m)}$ 。任一媒质的导磁率 μ 与 μ_0 的比值称为相对导磁率 μ_r 。即:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{B}{H \mu_0}$$

它的物理意义是:在同样的磁场强度下,某媒介质中的磁感应强度是真空中多少倍。

(4) 磁场强度 H : 磁场的特性与产生磁场的磁源以及媒介质的分布有关,而与放入磁场中的载流导体无关。在均匀媒介质中,磁场的这种特性可以用磁场中某点的 B 和 μ 来表示,称之为该点的 H 。 H 的方向与 B 相同, H 的大小为:

$$H = B/\mu$$

在国际单位制中, H 的单位是安/米(A/m)。

在实用单位制中, H 的单位是奥斯特(Oe)。

其换算关系是: $1 \text{ 安/米} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ 奥斯特}$ 。

二、磁滞曲线

磁滞曲线是表示在交变外磁场强度作用下铁磁性物质的磁化过程的一条曲线。典型的曲线如图 1-1 所示。由图可见, 当磁化开始时, 铁磁体的 B 随着外加 H 的增加, 按 $O-a-b-c-d-s$ 曲线上升, 当 H 增加到 H_m 时, 铁磁体的 B 达到饱和值 B_m , 这时即使 H 继续增加, B 值不再增加。 B_m 称为饱和磁感应强度, H_m 是铁磁体的磁化达到 B_m 时的外加磁场

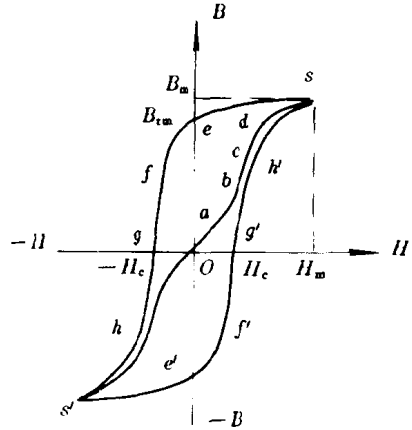


图 1-1 磁化过程

强度。如果这时减小外加磁场强度 H , B 并不沿着原路 $s-d-c-b-a$ 变化, 而是沿曲线 $s-e$ 变化, 当外加 H 由 H_m 减小到零时, 铁磁体的磁化状态并不恢复到零, 而是存在一个剩余磁感应强度 B_{rm} 值。这种现象称为磁滞。由饱和 B_m 引起的剩余磁感应强度 B_{rm} 称之为最大剩余磁感应强度。若要去掉这一剩磁, 则需加一反方向的外磁场强度 $-H_c$ 才能使 B 沿 $e-f-g$ 曲线变到零, H_c 常称为矫顽力。若反向磁场强度和数值超过矫顽力且继续增加时, 则铁磁体就沿曲线 $g-h-s'$ 反方向磁化, 直到饱和。这时若再改变外磁场方向, 铁磁体的磁化状态将沿曲线 $s'-e'-f'-g'-h'$ 重新回到 s 构成一个闭合曲线, 这一闭合曲线称为磁滞曲线。其中 $O-a-b-c-d-s$ 曲线称为初始磁化曲线, $O-s'$ 称为反向初始磁化曲线。

由图 1-1 可以看出, 磁滞曲线中的剩磁特性也可以把信号记

录、贮存在磁性体上。

如果磁化从零开始,如图 1-2(a)所示,把外磁场强度 H 增加到 i 点以后就开始减小 H 值,这时,磁感应强度 B 就会沿着另一条曲线 $i-j$ 下降,改变 H 值的大小和方向,可以形成面积较小的磁滞曲线,若交变磁化的磁场强度的幅度的变化过程中是逐渐减小的,则会得到一圈圈减小的磁滞曲线,最后缩成一个包围原点的极小的回线,如图 1-2(b)所示。

可看出,利用图 1-2 的特性就可以实现用交变磁场消去剩磁,亦即消去记录在磁性体上的信号,这就是消磁原理。

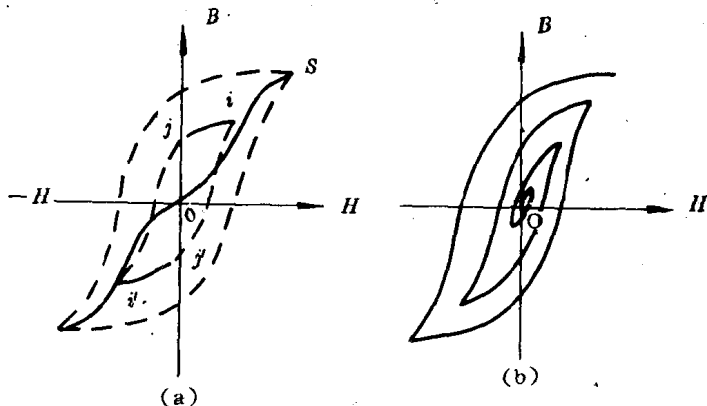


图 1-2 交变消磁过程

三、软磁性材料和硬磁性材料

磁性材料,按其性质不同,可分为软磁性材料和硬磁性材料两类。

软磁性材料:易于磁化也易于退磁,磁滞曲线狭而长,导磁率 μ 高 ($\mu = 15000 \sim 18000$)。矫顽力小 ($H_c = 0.05 \sim 0.10\text{Oe}$)。因而是制作磁头的理想材料,现在常用的磁头材料有玻莫合金和各种铁氧体材料。

硬磁性材料:它的磁滞曲线肥而大,剩磁 B_m 高 ($B_m = 800 \sim 1200$ 高斯)。 H_c 也高 ($H_c = 200 \sim 600\text{Oe}$) ,因磁化后易于保持被磁化的状态,多用于制造磁带和永久磁铁。

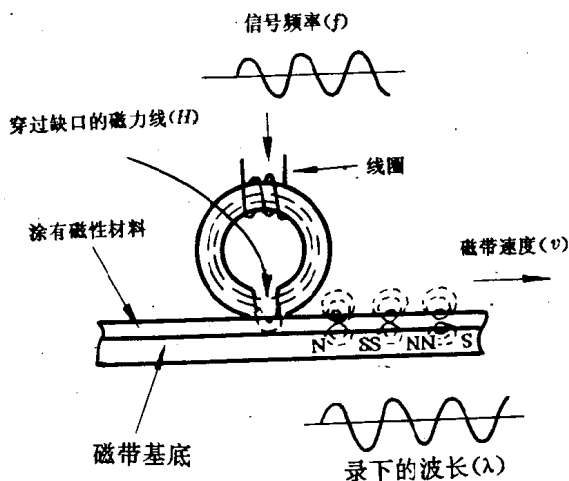


图 1-3 磁性记录原理图

§ 1.2 磁性录放原理

铁磁物质受到磁场作用时将被磁化,而被磁化的铁磁物质离开磁场以后能保留与磁化磁场方向和大小相对应的剩磁,磁性录放的过程正是铁磁物质这一特性的应用。

一、磁性记录原理

不论录音还是录像,都是将要记录的电信号通过磁头变成磁信号录在磁带上,而重放则是将磁带上的剩磁信号再复原成电信号。

记录过程如图 1-3 所示。当信号通过磁头线圈时,铁芯感应出磁通,在工作缝隙部分,磁力线从铁芯的一端渡越到另一端。因为缝隙部分磁阻大,磁力线从铁芯溢出,在缝隙周围产生漏磁场,当涂敷磁性层的磁带为磁头工作缝隙接触时,低磁阻的磁性层将磁头缝隙的磁力线旁路,磁通经过磁带构成闭合回路,结果使磁带上与磁头工作缝隙接触的磁性体被磁化。而当磁带以一定速度相对

于磁头移动时,被磁化的磁性体离开工作缝隙,留下与磁头内磁通大小方向完全一致的剩磁。磁带上的一条条磁化图样叫做磁迹。这样,就把随时间而变化的电信号转换为随距离而变化的磁信号,并在磁带上记录并保存下来。

在记录信号的一个变化周期内磁带走过的距离叫记录波长。记录波长与磁头磁带相对速度 v 成正比,与被记录的信号频率成反比。

$$\text{记录波长 } \lambda = \frac{\text{磁头磁带相对速度 } v}{\text{信号频率 } f}$$

在工程中,通常把记录波长分为两种:

(一) 长波长记录

在记录频率 f 很低和记录波长 λ 远远大于磁头缝隙 g 时,称为长波长记录,这时满足下列关系式

$$\lambda \gg g$$

由于 $f = v/\lambda$, 所以

$$f \ll v/g$$

其中 λ —— 记录波长;

g —— 磁头缝隙磁场有效分布范围;

f —— 记录信号频率;

v —— 磁头磁带相对速度。

(二) 短波长记录

在记录频率 f 比较高、记录波长等于或接近磁头缝隙时,称之为短波长记录,这时满足下列关系式

$$\lambda \leq g, \quad f \geq v/g$$

其中 v —— 磁头磁带相对速度;

g —— 磁头缝隙磁场有效分布范围。

二、记录中的损失

在记录过程中,主要有以下几种损耗:涡流损失、自消磁损失和磁带厚度损失等。

(一) 磁头的涡流损失

磁带头是由磁带绕以线圈构成,记录信号时通入电流,就会在磁芯中产生涡流,发热,因而会产生磁滞损失。通常,磁滞损失与磁通密度 B 和频率 f 的平方成正比,而与材料的固有电阻率 ρ 成反比。

$$\text{涡流损失} = kB^2f^2/\rho \quad (1-1)$$

由此可见,为了减少这种损失,应尽量使材料的电阻率增大。如铁氧体材料, ρ 就比较大,作磁头磁芯高频损耗较小。而金属材料,如坡莫合金,其固有电阻率很小,制作磁头磁芯时必须使用薄板叠层,并且使层间绝缘良好,以便使涡流损失尽可能减小。

(二) 自消磁损失

录在磁带上的信号剩磁,每半个波长相当于一个条形磁体留在磁带上,信号波长变短,相互之间的距离

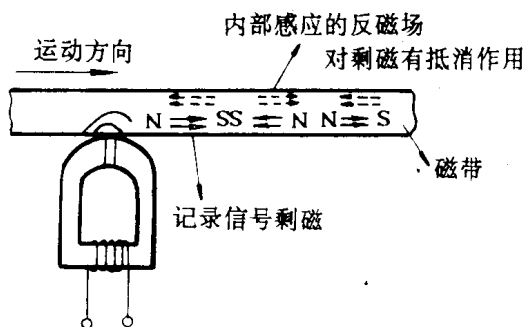


图 1-4 自消磁损失过程

变小,如图 1-4 所示,由于相邻的信号磁场产生的反方向的磁场,对信号剩磁有削弱作用,称之为自消磁损失。大家知道,永磁体吸引的钢片,所磁化的极性与永磁体相反,靠近磁体 N 极的位置是 S 极,靠近 S 极的 N 极。这种磁化现象在磁带上也会产生。磁带被磁头磁化的剩磁,也会在磁带内部产生反方向的磁场,这个反方向的磁化,对信号的剩磁有削弱作用。记录波长越短,越邻近反方向磁化磁场,减磁作用越大。在矫顽力强的磁性体中,难于起消磁作用。当磁性材料被磁化到饱和磁通,然后去掉磁场后,饱和剩磁宽度为 B_m ,由于自消磁场 H_d 的作用使剩磁减小到 B_r , B_r 越大,表明材料的消磁作用越小;不同的材料,磁滞回线的形状不同, B_r/B_m 比也不同, B_r/B_m (称矩形比)大的材料,其自消磁损失较小。

(三) 厚度损失

厚度损失与材料的性质无关,与磁性层的厚度与信号波长有关,磁带磁性层的厚度越厚,高频输出信号越弱。假设磁化强度在磁性层内是均匀的,其损失如下式所示:

$$\text{厚度损失 } L_r = 20 \lg \frac{2\pi\delta/\lambda}{1 - e^{-2\pi\delta/\lambda}} (\text{dB}) \quad (1-2)$$

其中 λ —— 记录波长;

δ —— 磁带磁性层厚度。

三、重放原理

重放时记录有磁迹的磁带表面和重放磁头接触。重放与记录一般用同一视频磁头。在磁头和磁带缝隙两端接触的地方形成磁带被铁芯桥接的状态。于是,任何时刻通过铁芯磁通的大小,都等于缝隙两端实际接触部分磁带磁化量的平均值。磁带经过磁通缝隙移运时,磁带磁化量发生变化,铁芯中磁通也发生变化,因此,在铁芯线圈中感应产生和磁化量变化相对应的电动势。如图 1-5 所示。从而实现了磁 - 电变换的过程。

根据电磁感应定律,视频磁头感应的电动势 E 的表示式如下:

$$E = - N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-3)$$

其中 N —— 线圈匝数;

Φ —— 磁通量。

现在,考虑理想的无损耗的重放情况,即指记录波长 $\lambda \gg g$ 和远远小于磁头与磁带接触表面弧长的情况,这时可认为视频磁头对磁迹上的所有剩磁强度都提供低磁阻磁路。

设记录信号电流 $i = I_m \sin \omega t$ 。记录在磁带上的剩磁磁通量 $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ 。

则

$$\begin{aligned} e &= - N d\Phi / dt = - N \Phi_m \cos \omega t \\ &= 2\pi f N \Phi_m \sin(\omega t - \pi/2) \\ &= E_m \sin(\omega t - \pi/2) \end{aligned}$$

其中, $E_m = 2\pi f N \Phi_m$, N 为磁头线圈匝数, 则

$$E = 2\pi f N \Phi \quad (1-4)$$

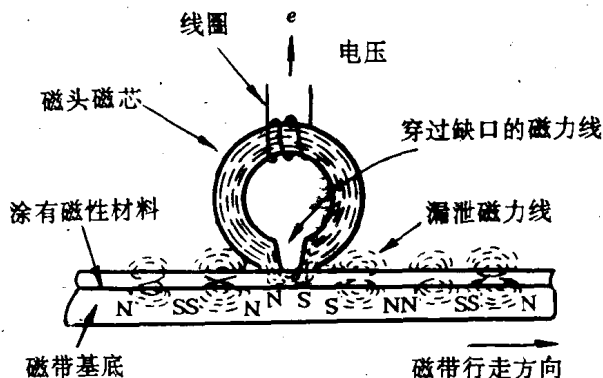


图 1-5 磁性重放过程

由于是理想的记录状态, 记录电流是一个与记录信号频率无关的固定值, Φ 值不随信号频率而变, 也是一个常数。所以, (1-4) 式可改写为

$$E = kf$$

其中, $k = 2\pi N \Phi$ 为常数。

当对 E 取对数后,

$$\begin{aligned} E_{(dB)} &= 20 \lg kf = 20 \lg k + 20 \lg f \\ &= k' + 20 \lg f \end{aligned}$$

k' 仍为常数。若 f 提高一倍, 令 $f_2 = 2f_1$, 则 E 的变化量 ΔE 为:

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_2 - E_1 = 20 \lg f_2 - 20 \lg f_1 \\ &= 20 \lg f_2 / f_1 = 20 \lg 2 = 6 \text{ dB} \end{aligned}$$

因此, 在恒流记录的情况下, 理想重放磁头的感应电动势随 f 的变化是一条以 6 dB/oct(倍频程)斜率上升的直线。这种分析只适于理想的长波长记录的情况, 如果记录频率逐渐增加, 则记录波长逐渐减小, 当减小到磁头缝隙接近时, 重放输出电压会随 f 的增加而迅速下降。下面定性分析记录波长对重放输出电压的影响。

图 1-6 为磁头间隙 g 与记录波长 λ 之比对重放输出电压的影

响。

图 1-6(a)和图 1-6(b)是 $g/\lambda \ll 1$ 的情况。这时相当于理想重放情况,即 E 随频率升高而线性增加,每倍频程增加 6 dB。当 $g/\lambda = 0.5$ 时, E 达到最大值。

图 1-6(c)和图 1-6(d)是 g/λ 大于 0.5 的情况,随着频率 f 的升高和记录波长 λ 的减小, E 减小。这是由于重放磁头缝隙 g 两端实际接触的磁带剩磁通量的平均值变小。当 $g/\lambda = 1$ 时,缝隙 g 两端的磁带剩磁磁通量的平均值为零,即 $E = 0$ 。当 λ 继续减小时,在磁头缝隙 g 两端又出现了磁通量的差值,因此,又使 E 上升;当 $g/\lambda = 2$ 时,出现了第二个 E 的零点。

因此,可以得到一条重要的重放输出特性曲线如图 1-7 所示。

录音机主要工作是在重放特性曲线的上升区与部分高频衰减区,取 $g/\lambda > 0.7$,而录像机记录的视音频频率范围很宽,最高频率甚至达到 10 MC,因此,重放磁头工作从 $g/\lambda \ll 1$ 直到 $g/\lambda \gg 1$ 的整个范围内。在这个范围内,录像机的重放信号电平包括了 6 dB/oct 上升和高频衰减两部分。为了得到重放的信号具有平坦频率特性,必须对记录的视频信号进行记录前的处理。处理过程在以后章节中详细讨论。

四、重放过程中的损失

(一) 磁隙损失

当记录波长减小到与磁头缝隙 g 接近时,重放的感应电动势将随记录波长减小而减小。这种现象称为磁隙损失。其损失 L_g 的表示式如下:

$$L_g(\text{dB}) = 20 \lg \frac{\pi g/\lambda}{\sin(\pi g/\lambda)} \quad (\text{dB}) \quad (1-5)$$

由(1-5)式可见,当 $g = (2n+1)\lambda/2$ 时(n 为正整数),损失最小。而 $g = (2n)\lambda/2 = n\lambda$ 时,损失最大。其磁隙损失曲线如图 1-8 所示。前面所述,录音机不使用 $g/\lambda = 1$ 以上部分,通常取 $g/\lambda < 0.7$ 。