

广播电视设备原理·使用·维修系列教材

家用录像机原理·使用·维修

曹直文 石昭生 编著

中国广播电视出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

家用录像机原理·使用·维修/曹直文,石昭生编著. —北京:
中国广播电视出版社, 1998. 4

ISBN 7-5043-3146-5

I. 家… I. ①曹…②石… II. 录像机-广播电视教育: -
中等教育-教材 IV. TN946

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 01790 号

中国广播电视出版社出版发行

(北京复外真武庙二条 9 号 邮政编码: 100866)

河北省高碑店市印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开 15 印张 8 插页 427(千)字

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 0001 ~ 5040 册 定价: 28.00 元

编 者 的 话

由我司和中国广播电视出版社共同组织编写的《广播电视设备原理·使用·维修》系列教材，历时三个春秋，即将与广大读者见面了。

这套书共 13 本，基本涵盖了广播电视家用和专业用的主要设备。为了组织好这套教材的编写，先后进行了三次大纲审定，有效地解决了交叉和重复问题，保证了教材的质量和体系。参加撰写教材的作者都是具有多年的维修经验、理论功底扎实、写作水平较高的专家、教授和高级工程师。

全套教材突出了广播电视行业特色，以突出先进性、科学性、实用性和系统性为宗旨，除了对必要的理论作深入浅出的讲述外，在兼顾当前先进技术的发展、使用的同时，着重介绍了各种广播电视设备的维修技术。书中介绍了各种设备常见故障的检修实例，是作者多年来从事维修实践的经验总结，具体实用，行之有效。

这套丛书包括：《家用音响设备原理·使用·维修》、《有线电视原理·设计·维修》、《常用电子仪器原理·使用·维修》、《家用摄录一体机原理·使用·维修》、《微型计算机原理·使用·维修》、《电视接收机原理·调试·维修》、《电视发射机与差转机原理·调试·维修》、《电视中心台设备原理·使用·维修》、《传录音设备原理·使用·维修》、《专业用摄像机原理·使用·维修》、《家用录像机原理·使用·维修》、《专业用录像机原理·调试·维修》、《调频广播发射机原理·调试·维修》。

这套丛书是我部首次组织编写的，主要用于岗位培训和在岗人员自学，对于全系统、全行业的各级技术与维护人员素质的提高、保证正常播出、延长设备寿命、提高使用效益都将产生积极的作用。

此书还适用于广播电视院校教学用书或教学参考书，也可作为有关院校相关专业的教材或师生的教学参考书和从事广播电视设备维修的社会人员使用。

广播电影电视部教育司

1996 年 11 月 18 日

前 言

本书是根据广播电影电视部教材编委会审核确认的《家用录像机原理·使用·维修》编写大纲编写的。在编写指导思想上，注意理论联系实际，以帮助读者在掌握基本工作原理的同时，掌握分析和维修录像机的方法。

本书共分五章。第一、二章系统地介绍了家用录像机的基本原理；第三、四章介绍了家用录像机的使用及维护方法；第五章详细地介绍了家用录像机的维修方法和维修实例。本书系广播电视中专工科的教材，也可以作为广播电视设备维修或家电维修技术人员的培训教材和自学参考书。

本书由石昭生和曹直文编写。第一、二、四、五章由曹直文执笔；第三章由石昭生执笔；全书由石昭生统稿。在本书的编写中，编者以多年的教学实践和检修经验为基础，同时参考了国内外有关资料、已发行的书刊和院校内部的讲义。在此，一并对原作者表示衷心的感谢！

由于水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1998年2月

目 录

第一章 家用录像机概述	(1)
第一节 录像机发展简史与分类	(1)
一、录像机发展简史	(1)
二、录像机的分类	(2)
第二节 磁带录像的基本原理	(4)
一、提高上限记录频率的方法	(5)
二、亮度信号调频记录方式	(6)
三、色度信号降频记录方式	(8)
第三节 家用录像机的特点及技术规格	(10)
一、高密度记录方式	(11)
二、主要技术规格	(12)
第二章 家用录像机的组成和工作原理	(16)
第一节 家用录像机的整机构成	(16)
一、基本构成	(16)
二、各部分主要功能	(16)
第二节 音频录放电路	(18)
一、普通音频录放电路	(18)
二、高保真 (Hi-Fi) 音频录放电路	(21)
三、录像机的卡拉 OK 电路	(25)
第三节 视频信号录放电路	(29)
一、视频信号记录电路	(29)
二、视频信号重放电路	(40)
三、HQ 和 S-VHS 的视频录放电路	(48)
第四节 伺服电路	(51)
一、伺服的基本概念	(51)
二、伺服电路的基本原理	(52)
三、磁鼓伺服电路	(57)
四、主导轴伺服电路	(60)
五、特技重放及其控制	(63)
第五节 系统控制电路	(69)
一、系统控制电路的作用和组成	(69)
二、系统控制微处理器	(71)

三、系统控制的输入电路·····	(74)
四、系统控制的输出电路·····	(80)
第六节 机械系统·····	(85)
一、磁头鼓组件·····	(85)
二、走带机构·····	(86)
三、加载机构·····	(91)
四、带盘机构·····	(93)
五、带盒仓机构·····	(94)
六、机械系统中的电机·····	(96)
第七节 家用录像机的其它电路·····	(97)
一、电视接收与射频变换电路·····	(97)
二、电源电路·····	(101)
三、字符显示电路·····	(105)
四、多制式视频电路·····	(106)
第三章 家用录像机的选购与使用·····	(112)
第一节 家用录像机的选购·····	(112)
一、当前流行的家用录像机·····	(112)
二、松下和日立的 VHS 录像机之比较·····	(117)
三、录像机的选购·····	(119)
第二节 家用录像机的使用·····	(125)
一、家用录像机的各种功能键(按钮)的作用·····	(125)
二、松下 NV-HD100 录像机的使用·····	(128)
三、使用录像机时的注意事项·····	(131)
第三节 家用录像机的基本操作方法·····	(133)
一、录像带的重放·····	(133)
二、用两台录像机复制磁带·····	(133)
三、收录电视节目·····	(134)
四、定时录像·····	(135)
五、画面编辑·····	(136)
六、配音·····	(138)
第四节 家用录像机新功能的使用·····	(140)
一、概述·····	(140)
二、节目检索功能·····	(141)
三、LP/SP 两种模式录像功能·····	(141)
四、多制式录、放功能·····	(142)
五、自动清洗磁头·····	(142)
六、屏幕显示功能·····	(144)
七、卡拉 OK 功能·····	(145)
第五节 家用录像机使用中人为故障的处理·····	(145)

第四章 家用录像机的维护	(149)
第一节 录像带的维护保养	(149)
第二节 家用录像机的日常维护和保养	(151)
一、磁头的清洁	(152)
二、磁带通路的清洁	(152)
三、消磁处理	(153)
第三节 磁鼓的更换与调整	(153)
一、视频磁头更换标准的判断	(153)
二、上磁鼓更换方法	(154)
第四节 其它零部件的更换与调整	(157)
一、ACE 磁头组件的更换与调整	(157)
二、传动皮带的更换	(159)
三、带盘惰轮组件的更换	(159)
第五章 家用录像机的维修	(161)
第一节 家用录像机的基本维修方法	(161)
一、维修应具备的条件	(161)
二、修理前的检查	(166)
三、分析、判断故障的方法	(170)
第二节 电源电路的故障检修	(172)
一、电源电路故障特点及检修方法	(172)
二、电源故障检修实例	(175)
第三节 视频录放电路的故障检修	(182)
一、视频录放电路故障特点及检修方法	(182)
二、视频录放电路故障检修实例	(188)
第四节 音频录/放电路故障的检修	(194)
一、音频录/放电路故障的检修要点	(194)
二、音频录/放电路故障检修实例	(196)
第五节 伺服电路故障的检修	(200)
一、伺服电路故障的检修要点	(200)
二、伺服电路故障检修实例	(202)
第六节 系统控制电路的故障检修	(206)
一、系统控制电路故障的检修要点	(207)
二、系统控制电路故障检修实例	(210)
第七节 机械系统的调整与维修	(215)
一、机械系统的调整	(215)
二、机械系统故障维修要点	(223)
三、机械系统故障检修实例	(225)

附图 NV-HD100 方框图与电路图

第一章

家用录像机概述

第一节 录像机发展简史与分类

录像机是磁带录像机的简称，它的英文缩写为 VTR (Video Tape Recorder)，是一种能即时记录和重放图像与声音的机电一体化设备。录像机技术是以磁性记录技术和电视技术为基础，并与微电子技术、精密机械技术、计算机技术及自动控制等现代技术结合的产物。录像机在现代社会的各个领域得到了广泛的应用，它对人类文化和科学技术的进步已产生并将继续产生巨大的影响。

一、录像机发展简史

从第一台录像机问世到现在，只有短短的 40 年时间。但在世界各国科学家和工程技术人员的努力下，录像机技术已得到了惊人的高度发展。

本世纪 50 年代初，电视广播的发展和录音机的逐步投入使用，为录像机的诞生创造了条件，人们开始了录像机的研制。美国 RCA 公司和英国 BBC 公司先后展示了相应的实验装置，但因录放时间短、走带不稳、重放图像抖动等问题无法解决而未能达到实用要求。1956 年，美国安培公司 (Ampex) 研制成功了旋转 4 磁头横向扫描磁带录像机。这种录像机的独到之处是采用旋转视频磁头的扫描方式，在不提高带速的情况下提高了磁头与磁带的相对速度，同时也改善了因高速走带不稳引起的时基误差。尽管它的结构复杂庞大，造价昂贵，性能还不理想，但它是世界上第一部达到实用水平的录像机，为录像机其后的发展奠定了理论与技术基础。1957 年，美国哥伦比亚广播公司用这种录像机正式播送了电视节目。

第一台实用录像机的出现使世界各国争先恐后地投入了对录像机技术的研究，各公司相继推出了各具特色的录像机，录像机技术的发展进入了第二阶段。1959 年 9 月，日本东芝公司研制出世界上第一台单磁头螺旋扫描录像机。1961 年，日本胜利公司 (JVC) 研制出双磁头螺旋扫描录像机，使普及型录像机开始进入实用阶段。1970 年，日本松下、胜利和索尼三个公司联合研制出 3/4 英寸 (1 英寸=2.54 厘米) U 型盒式彩色磁带录像机，它与以前的录像机相比，图像质量好、操作简单，能进行电子编辑，而且体积小、价格低，因而迅速在科研、生产和教育等方面得到了广泛应用，成为国际统一标准的专业用机。

70 年代中期，世界各大电子公司都积极开展小型家用录像机的研制。1975 年，日本索尼公司解决了高密度记录问题而研制成功 Betamax 型 (称 β 方式) 1/2 英寸录像机；次年，胜利、松下公司又推出了另一种格式的 VHS 型 1/2 英寸录像机。从此，录像机开始进入家

用阶段。家用录像机的问世,标志着录像机技术发展到了一个新水平。随着家用录像机市场的激烈竞争,录像机技术不断提高,更加优良的录像机不断脱颖而出。

进入80年代以后,随着科学技术的发展,录像机技术不断地采用新技术、新材料、新工艺,使得录像机的产品不断翻新,性能有了惊人的改善。广播用的高档录像机的性能和质量已发展到十分完美的程度,以至观众很难看出录像节目与实况播出节目有什么差别。为了满足电视广播业务发展的需要,日本索尼公司和松下公司分别推出了格式不同的1/2英寸模拟分量式录像机。由于它们图像质量高、体积小、操作方便且在电视节目后期制作、复制合成时具有独到的优点,已被电视广播系统广泛采用并取代了1英寸录像机。随着图像信号数字化技术的发展,数字式录像机进入了实用阶段。日本索尼公司在1987年推出了分量编码数字录像机,商品型号为DVR-100/DPC-100。它具有极高的记录质量,经多次编辑和复制,信号与原版几乎一样。美国安培公司也提出并研制了复合信号的数字录像机,录放音像质量亦很高。尽管数字录像机由于价格昂贵以及配套设备数字化程度不高,目前难于迅速普及,但数字式录像机必将是今后录像机技术发展的方向。

家用录像机在激烈的市场竞争中得到了空前未有的发展。VHS和Beta型录像机的两大生产集团为了进一步占领市场,在录放时间、音像质量及使用性能等方面不断进行改进,产品不断更新。1983年至1985年,两集团先后开发出Beta-HiFi、VHS-HiFi及高带Beta、VHS-HQ录像机,使音像质量提高了一大步。1987年,胜利公司推出S-VHS型录像机,其图像水平清晰度达到了430行。与此同时,索尼公司研制成功了ED-Beta型录像机,进一步提高了水平清晰度。这两种录像机改变了家用录像机的低清晰度状况,使家用录像机的质量向前跃进了一大步。

在家用录像机市场的竞争中,VHS集团争取到了世界上95%以上的用户。Beta集团在失利之后主要致力于8mm录像机的开发。而VHS集团为了保持其市场优势,在注意新产品与原有产品的兼容性同时,特别强调满足用户的各种要求,随时满足市场的新需求,不断推出不同型号的新VHS录像机。1990年,胜利公司又开发出S-VHS数字音频方式,使家用录像机的音质进入了新的阶段。近年来,家用录像机在机芯结构、电子编辑、故障自检功能等方面有许多新的进步,使家用录像机技术达到了很高水平。

总之,录像机技术正在朝着高音像质量化、多功能化、数字化和小型化的方向飞速发展。

二、录像机的分类

目前,世界上录像机的种类繁多,分类方法也很多。按使用磁带的宽度不同分为:2英寸、1英寸、3/4英寸、1/2英寸、8mm、1/4英寸、4mm等;按视频记录磁头数目分为:4磁头、2磁头、1.5磁头、单磁头等;按磁头扫描方式分为:横向扫描和螺旋扫描,其中按磁迹包含的信号又可分为场分段式和场不分段式;按记录信号的类型分为:复合信号记录型和分量记录型,其各自又可分为模拟型和数字型;因质量等级不同按使用场合分为:广播电视系统用、专业系统用和家用等。一般人们大多习惯于按使用场合不同对录像机进行分类。下面对这种分类作进一步说明。

(一) 广播电视系统用录像机

这是一种高质量的录像机,称作高档机,它代表着同时期录像机的最高水平。这类录

像机的特点是图像质量好,特别是多代复制后的图像质量好,可靠性高以及编辑功能好等。其典型代表机型有以下几种。

1.1 英寸 C 格式录像机

它是在 4 磁头录像机的基础上进行改进而形成的新机种,有 B 和 C 格式,我国中央电视台在 1981 年曾规定使用 C 型。这种录像机用 1 英寸标准盘式磁带、1.5 磁头系统,很容易实现静放、慢放,功能多,再加上数字技术和计算机技术的应用,能进行复杂多变的编辑和微机控制自我诊断、自动调整功能,是广播用模拟方式录像机的主流。其代表机型有安培公司的 VPR 系列和索尼公司的 BVH 系列。但是,近年来,这类录像机已逐步被模拟分量录像机所取代。

2. 1/2 英寸模拟分量录像机

这是一种为了满足电子新闻采集(ENG)和现场节目制作(EFP)要求而生产的高质量小型化录像机。这类录像机采用亮度信号、色度信号分开用不同磁迹记录的方式。亮度信号直接调频后用一对亮度磁头记录在亮度磁迹上。色度信号中的两个色差分量采用时间压缩的时分多工方式,将两个色差分量先进行压缩,各占半行时间,并在行内轮换,然后进行调频,再用一对色度磁头记录在色度磁迹上。因此,这类录像机不仅亮、色之间的互相影响减弱了,而且也大大减少了两个色差分量间的相互干扰,使图像质量有明显提高。加上机器体积小、容易实现摄录一体化等优点,它正日益广泛地被广播部门采用,成为过渡到数字录像机前的主流机型。

目前的模拟分量录像机主要有日本索尼公司的 Betacam-SP 和松下公司的 M I 两种机型。这两种录像机在原理和技术上没有很大的差别,但一些具体的技术参数不一样,不能互换。

3. 数字录像机

数字录像机的特点是图像声音录放质量高,尤其是复制性能非常好,复制 20 次后仍能保持高质量的图像和声音。

数字录像机的研制工作开始于 70 年代初。1974 年,英国 BBC 推出第一台试验样机,此后每年都有新的样机诞生,但一直到 1987 年才由日本索尼公司推出国际统一标准的 D- I 格式分量数字录像机,型号为 DVR/DVPC-1000。这种录像机电路过于复杂、价格昂贵(约 15 万美元),难以推广。针对这种情况,美国安培公司推出了 D- I 格式复合式数字录像机,造价与 C 型机相当,而录放质量明显地优于 C 型机,故很快被广播部门采用了。但它只能适应复合信号设备的使用环境。

随着数字设备不断开发和完善,成本的下降,预计数字录像机将会逐步成为广播电视系统的主要机种。

(二) 专业系统用录像机

专业系统用录像机是指适合于教育、科研、生产等专业部门使用的录像机,又称作工业用录像机。对它在记录、重放图像质量和复制次数方面的要求,不像广播用录像机那么高,设计所追求的目标是性能稳定、操作简单、可靠性高、小型轻便和价格低廉等。

这类录像机的特点是记录上限频率较低,约 7MHz 左右,视频带宽只能限制在 3~4 MHz,因此色度信号不能和亮度信号一起直接调频记录,只能变换到低频段进行记录。

专业系统用录像机以 3/4 英寸 U 型录像机为主流机种,其典型机型是日本索尼公司的

VO 系列（俗称低带机）和 BVU 系列（俗称高带机）。这类录像机的录放质量较高，复制性能和编辑功能较好，曾广泛应用于工业、教育、文化等业务领域以及部分地、市、县级电视广播部门。但是，近年来由于模拟分量录像机的流行以及家用录像机质量的提高，这类所谓专业用录像机有逐步被其它录像机取代的趋势。

（三）家用录像机

家用录像机是在录像机技术进入成熟阶段后，为个人和家庭的需要而设计、生产的。它的规格和机种很多，但经过多年的竞争，已决出优胜者。最有影响的是 VHS 型（俗称大 1/2）和 Beta 型（俗称小 1/2）以及 8mm 录像机。其中，VHS 型录像机约占世界录像机总量的 88% 以上，全球约有 95% 的用户使用 VHS 型家用录像机。1975 年率先开发出 Beta 型家用录像机的索尼公司，从 1988 年起，也开始生产和销售 VHS 型录像机。VHS 型录像机也是我国进口和引进生产的主要机型。为此，本书将着重讲述 VHS 型家用录像机。

VHS 型家用录像机使用 1/2 英寸磁带，两磁头螺旋扫描高密度记录方式。由于受到记录上限频率的限制，采用亮度、色度信号分开记录的方式，所以质量指标不是很高。但是，由于机器具有体积小、重量轻、磁带录放时间长、价格低廉，以及操作简便等优点，很适合家用要求，故而得到了迅速普及。

目前，市场上出现的家用录像机新机种很多，更新换代很快，家用录像机技术正向着小型化、多功能化和数字化方向发展。值得指出的是，随着家用录像机在我国家庭的逐步普及以及家用录像机技术的飞速发展，迫切需要大批掌握家用录像机维修技术的专业人才。为了适应这种需要，我们编写了此书，希望能对家用录像机维修人才的培养起到有益的作用。

第二节 磁带录像的基本原理

我们知道，录像和录音都是在磁性录放原理上建立起来的技术。它们之间有着许多共同的特点：都是利用以磁性材料制成的磁带作为信号的载体；都是用磁头进行录放过程的电磁变换，记录时把电信号变成磁信号保留在磁带上，重放时把磁信号变为电信号输出；工作时都必须让磁头与磁带作相对运动；机器都包含机械和电路两大部分；等等。但是，由于录像记录的视频信号与录音记录的音频信号存在着很大的差别，所以录像原理与录音原理也存在根本性的不同。要想满意地录放视频信号，必须考虑到以下几个问题。

1. 视频信号的上限频率为 6 MHz，比音频信号上限频率 20 kHz 要高出 300 倍，因此要想办法提高上限记录频率。

2. 视频信号的相对带宽比音频信号大得多。若从 25 Hz 算起到 6 MHz，就是 18 个倍频程。由磁记录原理我们知道，重放输出要以每倍频程 6 dB 上升，这样将导致信号的高频段和低频段的输出电平相差 108 dB，无法进行补偿，故不能直接记录和重放。为此，要设法减小倍频程。

3. 视频信号对相位失真的要求比音频信号要严格得多。特别对于色度信号而言，若有相位失真就会产生色调失真。这就要求录像机必须在机械和电路两方面采取措施，减小视频信号的相位失真。

在录放视频信号时，必须解决的主要技术问题可以归纳为：提高上限记录频率；减小相对带宽，保证亮度信号记录；减小相位失真；保证色度信号记录。

一、提高上限记录频率的方法

根据磁性录放原理，录像机的上限记录频率主要由以下两个公式确定

$$f = v/\lambda; \quad g/\lambda \leq 0.5$$

v : 磁头、磁带相对速度; g : 磁头缝隙宽度; λ : 记录波长。

由此得出，录放信号的上限频率为

$$f_{max} = \frac{1}{2} \frac{v}{g}$$

可见，提高上限记录频率的方法是减小磁头工作缝隙宽度和提高磁头与磁带的相对速度。

减小磁头工作缝隙宽度对提高上限记录频率是有效的，但有一定的限度。主要受到两个方面的限制：一是磁头制造工艺的限制，现在磁头缝隙已经做到 $0.3 \mu\text{m}$ 左右，再减小就困难了；二是缝隙减小，其磁阻也随之减小，导致录放过程中，一部分信号产生的磁通直接通过磁头缝隙构成回路，使录放灵敏度降低。所以，磁头工作缝隙也不能太小。在常用的广播用录像机中，磁头缝隙宽度为 $1 \mu\text{m}$ 左右， $3/4$ 英寸 U 型录像机约为 $0.5 \mu\text{m}$ 。而在家用录像机中，VHS 型录像机为 $0.49 \mu\text{m}$ ，Beta 型录像机为 $0.3 \mu\text{m}$ ，8mm 机为 $0.25 \mu\text{m}$ 。

当磁头缝隙大小确定以后，要进一步提高上限记录频率，就只有提高磁头磁带相对速度了。例如，磁头工作缝隙的宽度 $g=0.49 \mu\text{m}$ ，要求上限记录频率 $f_{max}=4.8 \text{ MHz}$ ，则必须使磁头磁带的相对速度达到

$$v = 2gf_{max} = 4.7 \text{ m/s}$$

这样高的速度，只靠磁带的运动来实现是不可能的。那样，不但会使磁带用量增大到不能容忍的程度，而且走带机构也无法保证这种高速恒速的要求，实际的解决办法是将视频磁头由固定磁头改为旋转磁头。把磁头固定在圆柱形磁头鼓（或盘）的外沿上，磁带仍以较低的速度移动，磁头鼓（盘）高速旋转时，磁头就以很高的速度扫过磁带，这样磁头与磁带间就有很高的相对速度。若要进一步提高上限记录频率可进一步提高旋转磁头的线速度。

视频磁头沿磁带运动称为扫描，将磁带按螺旋的形状绕在磁头鼓上则称为螺旋扫描方式。家用录像机采用两磁头螺旋扫描方式，其结构示意图见图 1-1。两视频磁头 A、B 互成 180° 对称地装在旋转的磁鼓的外沿，磁带通过导柱倾斜地包绕水平安装的磁鼓 180° 而运动。

磁鼓旋转时，磁头 A 从磁带的一边切入，斜方向记录上一条磁迹，然后从磁带另一边离开磁带，紧跟着磁头 B 切入磁带又记录上第二条磁迹。当磁头 A 离开磁带时，磁带已向

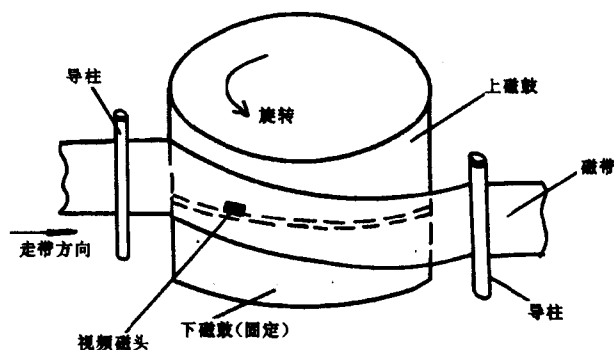


图 1-1 螺旋扫描方式

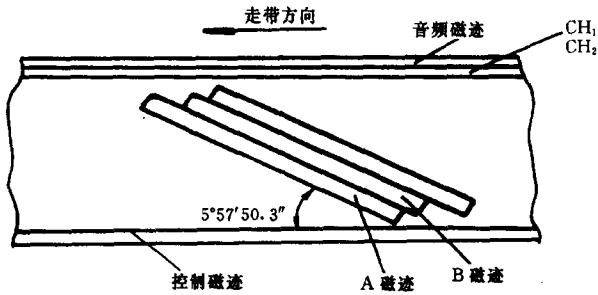


图 1-2 磁带磁迹格式图

前移动一段距离，所以第二条磁迹是紧靠在第一条磁迹旁边的。这样在磁带上形成了磁迹格式图，如图 1-2 所示。由于音频磁头和控制磁头是固定的，它们在磁带上形成的磁迹就不是倾斜的，而是水平直线（纵向）。

由于家用录像机磁鼓转速为 25 转/秒，视频磁头在磁带上每秒记录了 50 条视频磁迹，因而每一条视频磁迹

记录了一场电视信号，这种方式称为场不分段记录方式。

总之，通过减小磁头工作缝隙宽度和采用旋转磁头获得高的磁头磁带相对速度两项措施就能满足记录视频信号上限频率的要求。

二、亮度信号调频记录方式

采用上述两项措施后，可以达到提高录像机上限记录频率的目的。但是由于视频信号的频带宽度高达 6 MHz，所以还必须解决宽频带录放问题。

我们知道，在重放输出特性中，重放信号的幅度与录放频率成正比增加，亦即频率提高一倍（每倍频程）输出幅度增加 6 dB。如果视频信号的频率范围取 25 Hz~6 MHz，则视频信号的带宽为 18 个倍频程。因此，最低频率的信号重放输出幅度将与最高频率的信号幅度相差 108 dB。显然，最低频率的信号会被磁带噪声淹没，即使加补偿电路，也无法补偿这样大的差值。因此，视频信号就不能采用直接记录的方法，而必须在记录前压缩视频信号的相对频宽，减少倍频程数。

压缩视频信号相对带宽的有效方法是采用调制。利用调制改变信号的频谱分布，使其整个频谱上移。尽管经调制后，信号的绝对带宽可能增加，但由于同时提高了上、下限频率，上、下限频率的比值却降低了，倍频程数也减少。例如 VHS 型家用录像机，记录的视频信号带宽取 25 Hz~3 MHz，约 17 个倍频程。经调制后，下限频率为 1.1 MHz，上限频率为 7.8 MHz，倍频程数小于 3。显然，通过调制，信号倍频程数大为减小，用它作为记录信号完全可以满足要求。

一般调制方式有调幅、调频和调相三种方式。采用调幅方式得到的信号带宽最窄，但抗幅度干扰能力差。录像机中信号幅度干扰是经常发生的，如磁头、磁带接触的松紧变化，重放时磁头偏离磁迹以及磁头性能上的偏差等均会引起信号幅度的变化，用调幅方式则无法消除这种干扰，采用调相方式因频带过宽也不适用。目前实际上采用的都是调频方式。

录像机采用调频方式记录视频信号有一系列的优点。首先，调频波抗幅度性干扰能力强，调频波是由频率变化代表所传送的信号，在录放过程中出现的幅度干扰可以很容易地通过限幅的办法消除，而对信号不产生影响。其次，可以不加偏磁直接记录调频波。因为调频波是等幅的正弦波，记录时磁化特性的非线性会使调频波存在幅度失真，但重放时也可以通过限幅办法来消除。至于非线性产生的三次以上谐波，由于已超出基波频谱之外，不会造成干扰。第三，可以采用磁饱和和记录方式，即尽量加大信号幅度直到饱和，从而使重放信号有足够幅度，得到较大的信噪比，改善了图像质量。

录像机中采用的调频方式与广播、通信中所采用的调频方式有所不同，主要区别有以下两点。

1. 载频低

我们知道，在一般的调频方式中，载频是指调频波的中心频率，即对应调制信号幅度为平均值或其直流分量时（通常为零）的频率。但是，对录像机调频方式而言，由于视频信号具有单极性，它所含有直流分量随图像内容和亮度变化而变化，所以其直流分量对应的频率，即一般调频方式中所说的载频就是一个变化的频率。显然，在录像机的调频方式中就不能再沿用一般的方式规定单一的载频，而用同步顶电平、黑电平、白电平三个特征电平位置对应的调频波瞬时频率来表述调频信号的载频。有时，也称为特征频率。

不同类型录像机其规定的载频频率是不同的。载频频率要经过精心考虑和实践考验后决定，它们能表明录像机的电气性能。例如，广播用录像机 Betacam 型，同步顶载频 4.4 MHz 黑电平载频 5 MHz，白电平载频 6.4 MHz。而家用录像机 VHS 型，同步顶载频 3.8 MHz，黑电平载频 4.1 MHz，白电平载频 4.8 MHz。

由于受到上限记录频率的限制，录像机调频信号的载频不得不选得很低，只比视频信号的最高频率稍为高一点，称为低载频调频方式。这和一般的调频信号差别是很大的。在调频广播中，载频取值在 88~108 MHz 之间，音频信号最高频率 20 kHz，载频值远大于调制信号频率。在录像机的调频信号中，以家用 VHS 型录像机为例，其载频取值在 3.8~4.8 MHz 之间，而作为调制信号的亮度信号最高频率规定取为 3 MHz，其载频与调制信号的最高频率相差无几。

2. 调制指数小

根据调频理论，调频信号的抗干扰性能是随调频调制指数增加而增强的。所以，在一般的调频方式中，为了提高信噪比，均尽量增大调制指数 m_f ，其数值均大于 1。如电视伴音规定的最大频偏 Δf 为 50 kHz，调制信号（音频）最高频率 f_{max} 为 15 kHz，其调制指数

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_{max}} = \frac{50 \text{ kHz}}{15 \text{ kHz}} = 3.3$$

但是，调频信号的带宽也随调制指数的增加而展宽，通常认为调频信号的带宽

$$B = 2(m_f + 1)f_{max}$$

f_{max} 为调制信号最高频率。

只有当 $m_f \ll 1$ 时，调频信号的带宽才可以写为 $B = 2f_{max}$ 。这时调频波的带宽最窄，与调幅信号相同。录像机中，由于受到上限记录频率的限制，频带不能取得太宽，因而不得不减小调制指数 m_f 。其取值一般在 0.5 以下，例如家用 VHS 型录像机，当亮度信号以其 50% 的电平为中心在黑电平与白电平之间作满幅度变化时，具有最大频偏 $\Delta f = (4.8 - 4.1) \text{ MHz} / 2 = 0.35 \text{ MHz}$ ，亮度信号的最高频率 f_{max} 取为 3 MHz，所以对应亮度信号最高频率的调制指数为

$$m_f = \Delta f / f_{max} = 0.35 / 3 \approx 0.12 \ll 1$$

这样小的调制指数有利于压缩带宽减小倍频程。

· 必须指出，不同类型的录像机采用了不同的调频记录方式。对于广播用录像机来说，它的着眼点是图像的高质量，因而其磁头磁带相对速度都比较高，可达 20 m/s 以上，这样，

就可以使上限记录频率取得高些,从而可以把彩色全电视信号作为整体进行调频直接记录到磁带上,这种方法叫直接调频记录法。但是,对家用录像机以及专业用录像机(可以统称为非广播用录像机)来说,主要着眼点不是尽量提高图像的质量,而是在保证一定质量的前提下,降低成本和使用方便。这就要求电路简单,机械结构小巧,从而使磁头磁带相对速度较低,一般不超过 10 m/s。所以,非广播用录像机最高上限记录频率就被限制在 8 MHz 以下。在这种情况下,如果仍将彩色全电视信号直接调频记录,调制在 4.43 MHz 副载波上的色度信号会因上限频率限制而无法记录到磁带上。为此,在非广播用录像机中采用间接调频记录方式,即将彩色全电视信号中的亮度信号和色度信号先分离开,对亮度信号带宽进行限制后再采用低载频调频方式。这种方式又称为亮度信号调频记录方式。

三、色度信号降频记录方式

在非广播用录像机中,由于上限记录频率在 7~8 MHz 以下,使得采用调频记录的亮度信号的最高频率不得限制在 3 MHz 左右。这样,只有 3 MHz 以下的亮度信号可以通过,而调制在 4.43 MHz 色副载波上的色度信号就不能通过。为此,必须采用降低色副载波频率的办法把色度信号搬到频谱低端来实现色度信号的记录。这种方法称为色度信号降频记录方式。

降频过程实际上就是一个简单的外差变频过程。色度信号由中心频率为 4.43 MHz 的带通滤波器从彩色全电视信号中取出,同时限制其带宽在 ± 0.5 MHz 以下。然后送到混频器与来自本机振荡的振荡信号发生差频作用,产生出所需要的降频色度信号。这个过程就把色度信号的频谱搬到了低端。亮度信号则由彩色全电视信号通过限制频带用的低通滤波器取出,再送到调频器,从调频器输出亮度调频信号。然后将色度降频信号和亮度调频信号进行相加。使色度降频信号落在亮度调频信号频谱低端的空隙中(通常为 1.1 MHz 以下)。非广播用录像机中亮度调频和色度降频记录过程可用图 1-3 来表示。

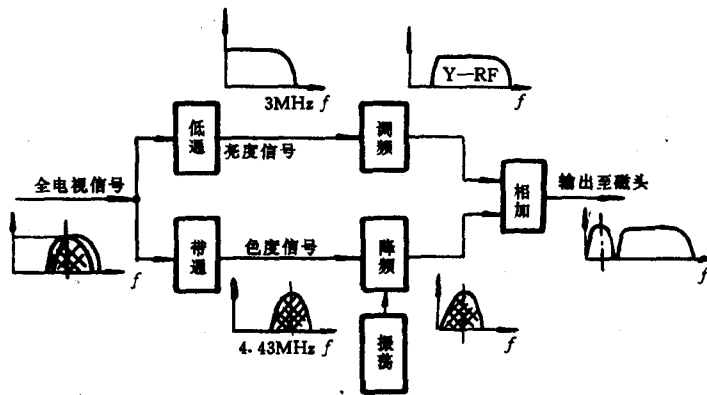


图 1-3 视频信号记录过程

色度信号降频记录方式不仅解决了用较窄的频带记录彩色电视信号的问题,而且还有下列几个优点。

1. 可以不另加偏磁记录。降频色度信号是调幅波,按理说应该采用偏磁法记录。但是,由于亮度调频信号频率较高,而且是等幅波,正好能满足降频色度信号的偏磁条件。因此

色度降频信号可以不另加偏磁信号而是以亮度调频信号作为偏磁信号，实际上是两种信号混合后直接记录的。

2. 可以减小时基误差的影响。我们知道，录像机中磁头和磁带的相对速度在记录时必须符合标准，在重放时必须与记录时完全相同，如果不一致，则重放信号的频率和相位就会和记录时不一样，即产生频率和相位的失真，这种失真用时间表示称为时基误差。对于彩色电视信号来说频率和相位的失真会引起色调失真，人眼对此是很敏感的。

为了减小时基误差，在录像机技术中采取了提高机械加工精度、电机跟踪精度以及设置伺服电路系统等措施。但是，从目前技术水平来看，以上措施仍未能完全满足正确重现彩色图像的要求。

采用降频法可以减小时基误差对色度信号的影响。同样的时基误差造成的频率或相位变化大为减小，减小的倍数就等于色副载波频率降低的倍数。例如，如果记录的色副载频为 4.43 MHz，在录放过程中产生 $\pm 1\%$ 的时基误差，则所引起的副载频变化为 ± 44.3 kHz；如果色度降频记录，设低载频为 627 kHz，则同样的时基误差引起的频率变化只有 ± 6.27 kHz。低载频再变回到标准副载频时，信号频谱向上移动，变化成分不改变，仍只有 ± 6.27 kHz，相对变化量变为 $\pm 0.14\%$ ，减小 7 倍，等于两个副载频之比。

此外，由于降频色度信号仍是调幅波，保留了原来的调幅包络，没有经过变换和处理，所以彩色保真度高。

正因为降频法有这些优点，所以在非广播用录像机中广泛应用。但它也存在着不可忽视的缺点。其一是亮度信号频带较窄，因而使图像的清晰度下降；其二是破坏了亮度信号与色度信号的频谱间置关系，因而增加了图像的干扰。

下面分析一下色度信号降频频率的选择。我们知道，采用色度降频记录方式应保证降频色度信号的频谱不能与亮度调频信号相重叠，即必须使色度信号落到亮度调频信号频谱下面的空隙区域。因此，降频色度信号的副载波频率应选在 1 MHz 以下。其具体数值的确定通常要考虑以下因素的影响：色度降频载频选得低，可增加亮度调频信号的带宽，并能减小时基误差的影响；降频载频选得高，能增加色度信号的带宽，也就是说要综合考虑色度与亮度带宽的配置。此外，还有一个重要的因素必须考虑，这就是要考虑它的谐波干扰和它与亮度调频信号间的差频干扰。由于降频色度信号和亮度调频信号是相加记录，在录放过程中的非线性必然产生谐波及各种差频信号。落在通频带范围内的成分经解调后会在图像上形成干扰。

理论分析指出：录放过程中的失真主要是对称性失真，主要影响是三次项。落在通频带内的干扰频率有 $3f_L$ ， $f_0 \pm 2f_L$ 和 $2f_0 \pm f_L$ (f_L 为降频色副载频， f_0 为亮度调频信号的载频)。经解调后的干扰分别是： $f_0 - 3f_L$ ， $2f_L$ 和 $f_0 \pm f_L$ 。由于亮度调频信号的载频 f_0 是随图像信号的平均分量变化而变化的，因此， $f_0 - 3f_L$ 和 $f_0 \pm f_L$ 这两个干扰信号的频率是变化的，在图像上的能见度很小。而 $2f_L$ 这个干扰，频率固定，能见度大。为了减小能见度，必须使 $2f_L$ 信号能落到亮度信号频谱的空隙处，在 PAL 制中，采用 $2f_L$ 与亮度信号 1/4 行频间置的方法，即选择

$$2f_L = \left(n \pm \frac{1}{4}\right) f_H \quad f_L = \left(\frac{n}{2} \pm \frac{1}{8}\right) f_H \quad (n \text{ 为整数})$$

也就是说，色度信号降频频率的选择要保证 1/8 行频间置关系。