

彩色电视机

CAI SE DIAN SHI JI



董政武 编著

北京师范学院出版社

彩色电视机

董政武 编著

北京师范学院出版社

内 容 简 介

本书是在作者多年教学讲义基础上补充修改而成。主要介绍彩色电视的基本编码原理、彩色电视机的原理及单元电路，概述了集成化彩色电视机及其典型整机分析。全书包括六章，即彩色电视原理、彩色电视机概述、亮度通道及解码矩阵电路、色度通道、色同步电路、集成电路彩色电视机。本书在理论体系上有所创新，把分立元件电路与集成电路内容有机地融合在一起；基本原理和典型电路紧密挂钩，讲深讲透；书中内容全面先进，并突出了集成解码器及集成化彩色机的内容。

本书可作师范大学、电大、夜大、电化教育等院校有关专业的教材或教学参考书。

彩 色 电 视 机

董 政 武 编 著

*

北京师范学院出版社出版发行

(北京阜成门外花园村)

全国新华书店总经销

国防印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：16.5 插页：2 字数：400千

1991年8月北京第1版 1991年8月北京第1次印刷

印数：0,001—3,500 册

ISBN 7-81014-503-7/O·7

定价：9.50元

目 录

第一章 彩色电视原理	1
第一节 色度学有关知识	1
第二节 彩色电视与黑白电视的兼容	9
第三节 正交平衡调幅制	15
第四节 逐行倒相的平衡调幅制	21
第五节 彩条信号的波形	31
第六节 彩色电视的制式	36
第二章 彩色电视机概述	41
第一节 彩色电视机的工作原理	41
第二节 彩色电视机的高、中频电路	44
第三节 彩色电视机的同步和扫描电路	58
第四节 彩色显像管及其失真校正	70
第五节 开关型稳压电源	85
第三章 亮度通道及解码矩阵电路	98
第一节 亮度通道	98
第二节 解码矩阵电路	108
第三节 集成亮度信号处理电路	113
第四章 色度通道	126
第一节 色度通道的作用和要求	126
第二节 色度信号预处理电路	127
第三节 延时解调器	137
第四节 同步解调器	148
第五节 色度电路举例	155
第五章 色同步电路	159
第一节 概述	159
第二节 副载波恢复电路	164
第三节 集成副载波恢复电路	178
第四节 PAL识别与倒相电路	181
第五节 色同步电路举例	200
第六章 集成电路彩色电视机	206
第一节 集成电路彩色电视机的组成和特点	206
第二节 日立CTP-236D型彩色电视机	225
第三节 昆仑S471型彩色电视机	244

第一章 彩色电视原理

黑白电视只能传送景像的亮度，得到明暗分布不同的黑白画面；而彩色电视不仅要传送景像的亮度，而且要传送彩色信息，因而真实性更强，艺术感染力更高，表达的内容也更广泛。研究彩色电视原理主要是研究彩色信息的传送、接收和处理问题，研究色彩与电信号的联系并用电信号反映色彩等问题。

本章先讨论光及彩色方面的基础知识，然后讨论彩色电视的编码原理，最后对三种彩电制式进行比较。

第一节 色度学有关知识

一 光和彩色的实质

光是客观存在的一种物质，它和无线电波一样，也是一种电磁波，不过光波比通常意义的电磁波频率更高，波长更短。人眼可以感知的光波波长为 380nm （毫微米）到 780nm 。因而，可见光在整个电磁波的频谱中仅仅占据一小段。不同波长的可见光射入眼睛后可引起不同的彩色感觉，因而彩色是一种视觉生理现象。波长 700nm 左右的光给人以红色感觉；波长逐渐变短，感觉分别为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫， 400nm 左右的光人眼感觉是紫色。波长大于 780nm 的光叫红外线，短于 380nm 的光叫紫外线，一般人眼睛看不到它们。

只具有单一波长的色光称单色光。因单色光不容易取得，有时也把占频带很窄（波长差别小于 5nm ）的色光，看成单色光。

白色光是各种单色光的混合效应。太阳光通过玻璃棱镜后，可以分解为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫一系列彩色光，见图1-1。这列彩色光带称为太阳光谱。玻璃棱镜能分解太阳光的

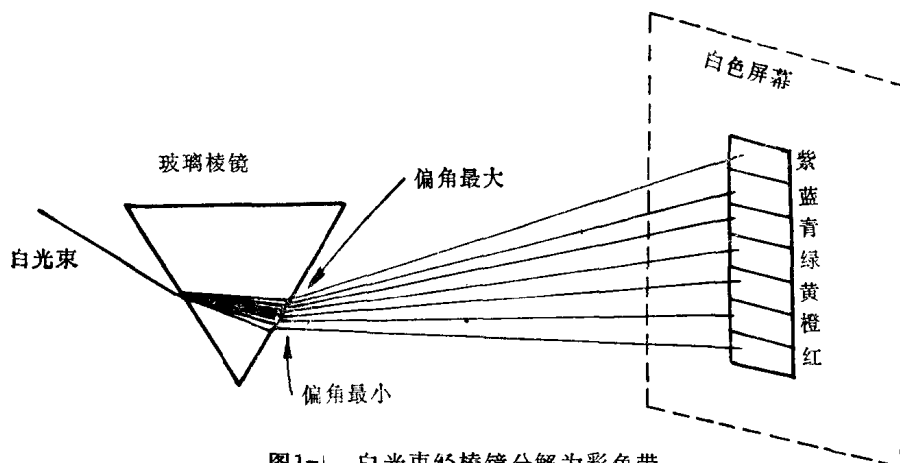


图1-1 白光束经棱镜分解为彩色带

道理是这样的：各色光通过棱镜时，折射角度与光波波长有关，波长越短，折射角越大，所以紫光折射角最大，红光折射角最小。于是，太阳光所含各种波长的彩色光按波长被依次排列开。

平时人们看到的彩色光有两个来源。一种是色光源，即眼睛接收的是直接射来的色光，例如各种彩色灯，彩色显像管荧光屏等。另一种是物体的反射光或透射光，这种彩色是通过物体的反射、透射而得到的。物体所呈现的彩色与照射光源性质有关，也与该物质的特性有关。太阳光照射不透明的物体，该物体将吸收太阳光中一部分彩色光，而反射另一部分彩色光。例如一块红布在日光照射下能反射红光，而吸收掉日光中其它色光，因而人眼感觉是红布；而仅用绿光照到红布上，绿光被吸收，而没有红光反射，因此红布几乎成了黑布。黑色物体是对各色光都不反射的物体，而白色物体是各色光均能反射的物体。白色物体在阳光下呈现白色，在红光照射下呈现红色，等等。

二 标准光源

我们所看到的各种物体的颜色，多是在阳光下显现的颜色；使用其它照射光源时，色彩都要产生偏差。为了研究彩色电视，应对照明光源做统一规定，为此国际上规定了以下几种常用的标准光源作为白色光源的标准。

(1) $A_{\text{白}}$ ：相当于钨丝灯在 2800K 时发出的光，即普通白炽灯灯光。其光谱能量主要集中于红外线区域，看起来带些橙红色，不如太阳光白，其相关色温为 2854K（即相当于绝对黑体温度在 2854K 时发光的颜色）。

(2) $B_{\text{白}}$ ：接近于正午直射的阳光。在实验中，可用特制的滤色镜由 $A_{\text{白}}$ 光源获得 $B_{\text{白}}$ ，它的相关色温为 4800K。

(3) $C_{\text{白}}$ ：相当于白天的自然光。其光谱能量主要集中于 400~500nm 波段，可见它是偏蓝色的白光。也可以用特制滤色镜由 $A_{\text{白}}$ 获得。色温为 6770K。后面所研究的彩电 NTSC 制就是以 $C_{\text{白}}$ 为标准白光。

(4) D_{65} （又可写为 D_{6500} 光源）：相当于白天的平均照明光。它的光谱能量比 $B_{\text{白}}$ 、 $C_{\text{白}}$ 都大一些。色温为 6500K，彩电 PAL 制以 D_{65} 为标准白光。

(5) $E_{\text{白}}$ ：是假想的等能白光，色温 5500K。让可见光波长范围内的所有波长的光都具有相等辐射功率时，所形成的这种白光称为 $E_{\text{白}}$ ，实际生活中不存在。在色度学的理论研究中，为了简化数学计算，引入这种白光。

在近代照明技术中，还采用一种新式卤钨灯，色温稳定为 3200K，它也是彩色演播室常用的照明光源。

三 彩色三要素

为了说明某一给定的彩色感觉，必须用亮度、色调及色饱和度三种参量来描写，这三个参量称为彩色三要素。这三个色参量全面反映了人眼视觉特性的三个方面。

亮度是彩色光的明暗程度，即光线的强弱。它反映该光的能量强弱。亮度大小与照射光源辐射功率强弱有关，也与物体的反射率大小有关。实际上，彩色的亮度与人眼的生理感觉也有关系，即人眼对不同波长的光有不同的视觉灵敏度。能量相同而波长不同的单光色，人眼的亮度感觉不相同；在明亮光和暗弱光条件下，亮度感觉也不相同。在明视觉条件下，一般感觉波长 555nm 的绿光最亮，而对其它色光感觉的亮度就低了，对红、紫色光感觉亮度最

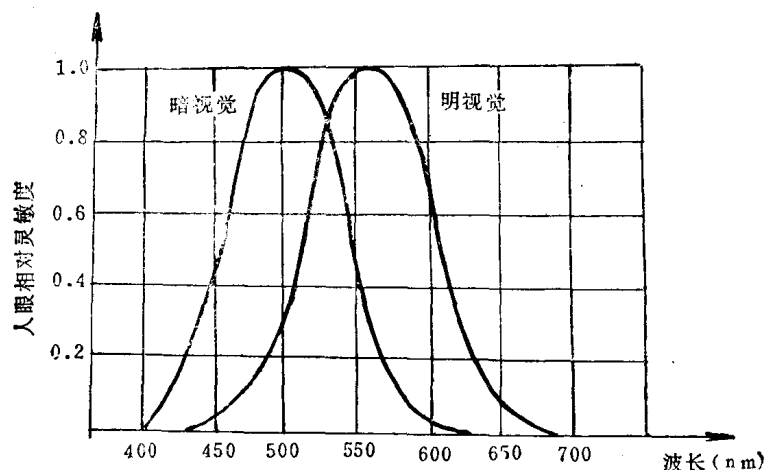


图1-2 人眼睛视觉特性

低。人眼亮度感觉曲线如图 1-2 所示。在暗光线下，人眼对短波光的相对灵敏度加大，对长波光的灵敏度减小，即亮度视觉曲线左移。

色调是指彩色光的颜色。不同波长的可见光在视觉上引起红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种颜色的感觉，色调与波长相关。可知色调是不同波长的单色光引起的不同生理感觉。但要注意，不仅单色光有某种颜色，混合光也有色彩。在日常生活中我们都见到过，在红光中混入少量绿光，则红色色调发生微小变化；随着绿色光成分增加，色调由红色变成橙色，当红光与绿光成分相同时，色调变成黄色。

色饱和度是指颜色的深浅程度，即颜色的浓淡。例如，颜色为红是指色调，而红色又分深红、中红、浅红、微红等深浅程度。色饱和度的物理实质是纯净色光中掺进白色光的程度，因此色饱和度可用纯色光和白光强度所占百分比来表示。例如纯净绿色光的饱和度是100%，当掺入白光后饱和度变浅；当绿色光与白色光强度相同时，色饱和度为50%。白光掺入越多，颜色越浅，色饱和度越低。显然白光的色饱和度为零。太阳光谱（及某些光谱）的光谱色是最纯的，它们的饱和度最高。

通常把色调和色饱和度统称为色度。在彩色电视机中彩色的亮度是用亮度电信号传送，它相当于黑白电视机中的图像信号；与此同时要传送色度电信号。亮度与色度是描述景物彩色的全部信息，欲全面反映景像须将亮度和色度同时传送给彩色电视机，尤其要解决色度信号的传送和处理问题。

四 三基色原理

在19世纪人们总结出：自然界绝大多数色彩的光都能分解为三种单色光；反之，由三个单色光可合成各种彩色光。至于用那三种光可有不同的选择。在彩色电视上都选定红、绿、蓝三种光。因各种彩色光均能分解为红、绿、蓝三种色光，同样，只要适当调配它们之间的比例，用红、绿、蓝三色也能合成各种色彩。这种原理称为三基色原理。而红、绿、蓝三色称为电视三基色。为了进行色度学理论研究，国际照明委员会（Commission Internationale de l'Eclairage，可简称为 CIE）经过精心选择，规定三基色光是纯单色光，红基色光波长是700nm，绿基色光波长是546.1nm，蓝基色光波长是435.8nm，该三色光统称物理三基色。用精确的配色实验，可由物理三基色单位量配成标准白光——等能白光 E_H 。

三基色原理可用图1-3来说明。把红、绿、蓝三束单色光（光束截面为圆形）部分重叠地投射到一个白色屏幕上，于是呈现一幅“品”字形的彩图，由图可见：

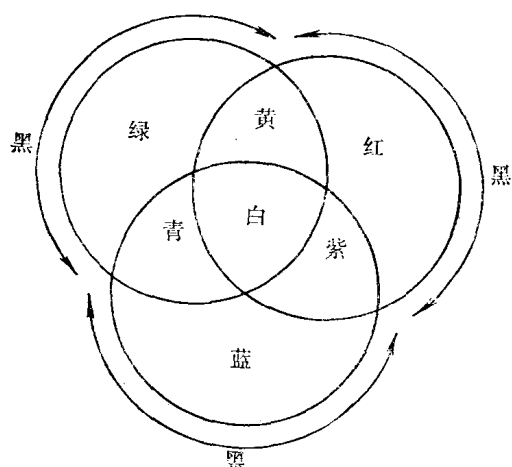


图1-3 相加混色原理

红光 + 绿光 + 蓝光 = 白光

红光 + 绿光 = 黄光

绿光 + 蓝光 = 青光

蓝光 + 红光 = 紫光

由该图还可以看到：

蓝光 + 黄光 = 白光

红光 + 青光 = 白光

绿光 + 紫光 = 白光

上面三式等号左侧每一对光色称为互补色，并称黄、青、紫三色各为蓝、红、绿三色的补色。

由红、绿、蓝三基色相加混色所能得到的色彩种类大大超过了太阳光谱的色彩，通过它们的不同比例搭配，可以得到光谱色以外更多的色彩，称这些新彩色为非谱色。

三基色原理应用十分广泛。彩色电视中采用了上面使用的相加混色法；而彩色绘画、彩色印刷和彩色胶片等则使用相减混色法。相减混色是利用了颜料、染料的吸色性质来实现混色的。在减色法中是选用黄、紫（品红）、青为三基色，它们分别吸收各自的补色光，即蓝、绿、红光。减色法的三基色按不同比例相混时，在白光照射下，蓝、绿、红光将按相应比例被吸收，从而呈现不同的彩色。此时减色法三基色相混的地方将显现黑色。

三基色原理的加法原理是彩色电视的基本原理之一。在发送端，它把任意彩色的景物分解为红、绿、蓝三基色，并分别转换为相应的电信号加以传送。最后在显示端用红、绿、蓝三种光的显像管在荧光屏上重现三基色图像，并由三基色原理合成彩色图像。图1-4是彩色电视原理示意图。

为了将彩色光图像分解为红（R）、绿（G）、蓝（B）三基色光图像，可以采用棱镜分

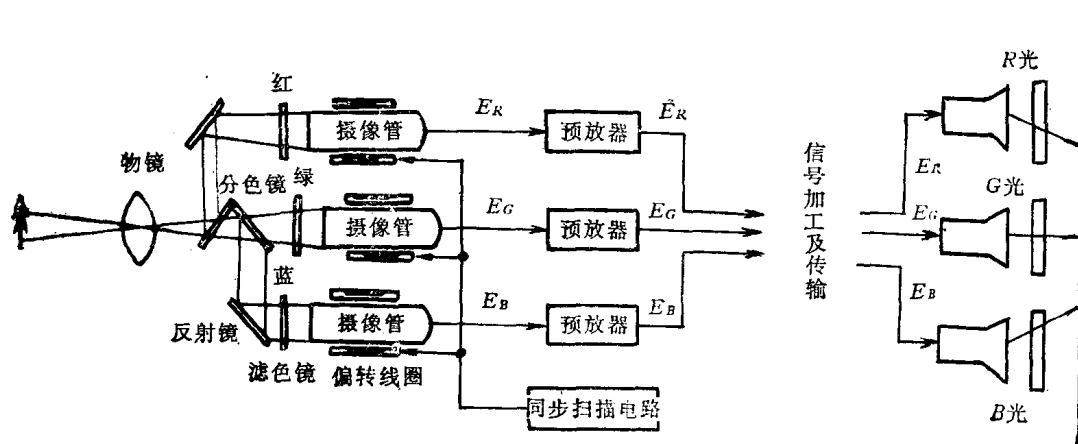


图1-4 彩色电视原理示意图

色系统，或本图中用滤色镜和分色镜组成的分色镜系统。滤色镜是一种仅能透过某种彩色，而吸收掉其它各彩色的玻璃；分色镜是一种仅能反射某种彩色光，而透过其它彩色的玻璃。 R 、 G 、 B 三基色图像达到摄像管后变成 E_R 、 E_G 、 E_B 三个电信号图像，并以电压形式输出。

光路上，前一个是红分色镜，能将图像中的红光成分反射而透过其余成分；反射的红光经红滤色镜进一步过滤后成像在红摄像管上，由摄像管转换成代表红光成分的电信号 E_R 。后一个是蓝滤色镜，将蓝光成分反射；经蓝滤色镜后成像在蓝摄像管上，产生蓝电信号 E_B 。剩下的只有绿光成分，经绿滤色镜后直达绿摄像管，产生绿电信号 E_G 。

电视图像信号是由电视摄像管中的电子射束扫描光电（变换）靶而产生的。这里经分光系统在三支摄像管光电靶上形成的三个单色光像，先由光电靶变成电子像，再用电子射束同时从左到右、从上到下，一点一点、一行一行地扫描整个光电靶面，分别产生 E_R 、 E_G 、 E_B 三个电信号。

三支摄像管得到的电信号 E_R 、 E_G 、 E_B 都很微弱，要经过预放大器放大几百倍以后，再通过摄像机电缆送出去加工、放大。最后通过超短波发射机的天线发射出去。为了保证摄像管中电子束与接收端显像管中电子束实现同步扫描，摄像机中扫描电路产生的锯齿形电流还要受电视台统一供给的同步信号控制。

E_R 、 E_G 、 E_B 三个电信号达到接收端后，可以控制能发红光、绿光和蓝光的三个显像管，将红、绿、蓝三个基色图像同时投射到银幕上，则重现为彩色图像，而且接收端显示的图像与发射端的景物完全一致。这种用三基色光向银幕投影来显示图像的方法成本较高，目前仅彩色投影电视机采用；而彩色电视机是将三色显像管通过复杂的工艺混在一起，制成彩色显像管。

至此可知，传输和处理彩色图像信息可以按两种不同的方式进行，一是直接传输、处理彩色三要素，即亮度和色度两信息；另一是直接传输、处理三个基色信息。两种途径都应能体现彩色图像的全部信息，正确重现彩色图像。

五 色度图

彩色信息可以通过数学解析方法研究，也可使用图形、曲线来研究。利用色度图研究色彩更直观、简便。色度图是用直角坐标系表示任何一种彩色的平面图形，严格的色度图应当是一幅着了色的彩色图形。由于彩色印刷技术的限制，难以真实地显现出所有各种彩色，但是可以用它提供精确的数字说明，即用坐标系中坐标值来严格地描述任一彩色。

历史上先后出现了 RGB 色度图， XYZ 色度图、均匀色标制色度图等。下面仅研究彩色电视中应用最广的 XYZ 色度图（CIE 色度图），如图 1-5 所示。它是根据大量的三基色配色实验所得结果，又通过数学运算及坐标系变换绘制而成的一幅平面彩色图形。它是用假想的三个过饱和基色作成直角三角形，两个直角边由 0 至 1.0 被均匀刻度，因而可看成 $X-Y$ 直角坐标系。两个基色 X 、 Y 分别位于 $x = 1$ 和 $y = 1$ 处，而基色 Z 位于原点 0。该坐标系内每个坐标点都表示一定色调和色饱和度的彩色。该图不能直接反映出相应的彩色亮度，欲反映亮度应当使用三维坐标系。

坐标系内有一条舌形曲线，一切可见光的谱色（或太阳光谱中各色）都作为一个点标在该曲线上，一些单色光的波长被标在曲线旁边。舌形线的一个极端由 380~400nm 的蓝色光

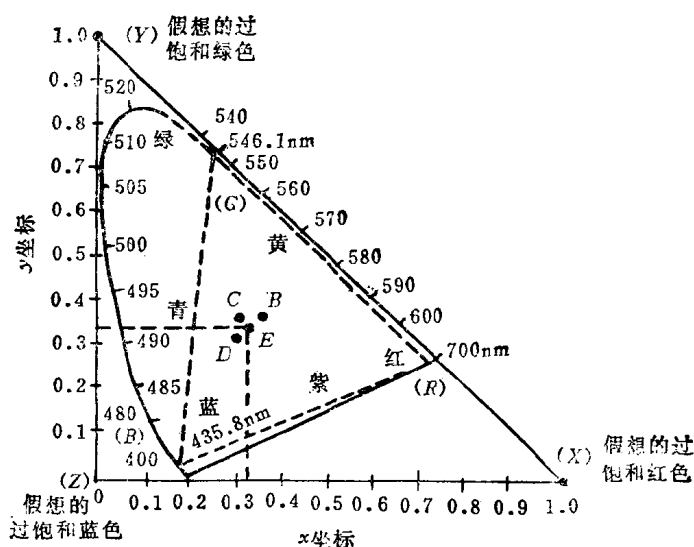


图1-5 XYZ色度图

开始，经过舌形顶点520nm的绿色光，最后到达另一个极端700~780nm的红色光。由图可见，前面说过的物理三基色也位于曲线上三个坐标点。

舌形线的臂端是开口的，用点画线连结起来呈封闭状。自然界存在的所有彩色都位于舌形内，并分别对应了舌内相应的坐标点。舌形内的彩色都是混合色，即非太阳光，非纯单色光。点画线上各点对应的色调也不是纯的谱色，称为非谱色。它们是由红色和蓝色光混合而得到的淡紫色、绛红色和紫色等。非谱色光人眼睛可以感觉到该颜色的存在，但没有特定的波长与它对应；混合色也没有特定的对应波长，但可与对应的谱色的波长相联系。谱色与非谱色都是100%饱和度的饱和色，而混合色是非饱和色。

在色度图上，可以看到利用相加混色原理得到新彩色的物理过程，例如，将绿光加入红光当中去，若加入少量绿，出现橙色；加入等量绿，可得黄色；加入多量绿，则得黄绿色。在上述彩色变化过程中，可以看到坐标点在沿舌形曲线移动。再例如，将红、绿、蓝光三色相加，可以得到白光，白光在舌形面积的中心处。因为标准白光有几种，所以各个白光坐标位置不在同一个坐标点上。可以看到等能白光 $E_{\text{白}}$ 位于 $x = y = 1/3$ 处，其它白光都在该点附近。

由标准白光 $E_{\text{白}}$ 坐标点向舌形曲线上任一点画直线，可以画出无数条辐射状直线。在每一条直线上的彩色光的色调都保持不变，即每条直线都对应了一种色调和色调波长；但每条直线上各点的色饱和度不同，中心点白光的色饱和度是0%，舌形边缘线上各点饱和度为100%，即最浓彩色，每条辐射直线上各点的色饱和度从0%连续变化到100%。在色度图上，舌形封闭曲线外侧的所有各对应的色彩都是超饱和度色，是自然界不存在的彩色，因而位于直角三角形三个顶点的假想三基色X、Y、Z也是实际不存在的。在色度图上，由物理三基色对应的三个坐标点可以联结成一个闭合三角形，三角形内各坐标点对应了以物理三基色为基础可重现的所有彩色。它的面积小于舌形封闭面积，因而重现的彩色种类少了许多。尽管如此，

使用物理三基色作彩色显像管的显像三基色仍是不可能的。这是因为，目前实现这种 100% 饱和度的彩色有技术上的困难，没有理想的发光材料可以方便地产生这种波长的光，即使有接近于此发光波长的材料，其发光效率又太低，因发光亮度太小，而不实用。所以，在实际的彩色重现技术中，必须另外寻找有实用价值的三种色光作为重现彩色的基色。实际彩色显像管上使用的这三种光的坐标点应当尽量靠近物理三基色的坐标点，使其显示彩色的区域尽量大，彩色尽量纯正；但又要尽量有更高的发光强度，以利于人眼睛观看。实际技术中使用的发光材料只能是非单色光，色饱和度不能达到 100%。这种可用实际显像荧光粉来显示彩色的三个基色，称为显像三基色。

经过大量研究，彩色电视显像管所使用的基色光的坐标点与彩色电视的制式、荧光材料的发光效率、标准光源的种类等因素有关。由图 1-6 可见，由显像三基色坐标点联结的闭合三角形面积明显地小于物理三基色所联结的三角形面积。该三角形内各点所对应的彩色均可忠实地显示于显像管荧光屏上；当然，三角形面积外的各点对应的彩色，荧光屏上均不能重现。可以相信，随着科学技术进步，荧光粉质量提高，电视制式不断改进，收发端电路指标接近于理想化，重现彩色的三角形面积将逐渐加大。尽管目前重现彩色的三角形面积还不够大，它已经基本上反映了生活中见到的各种彩色。实际上，它的面积比图画、彩色印刷、彩色染料对应的面积还要丰富和宽大呢。

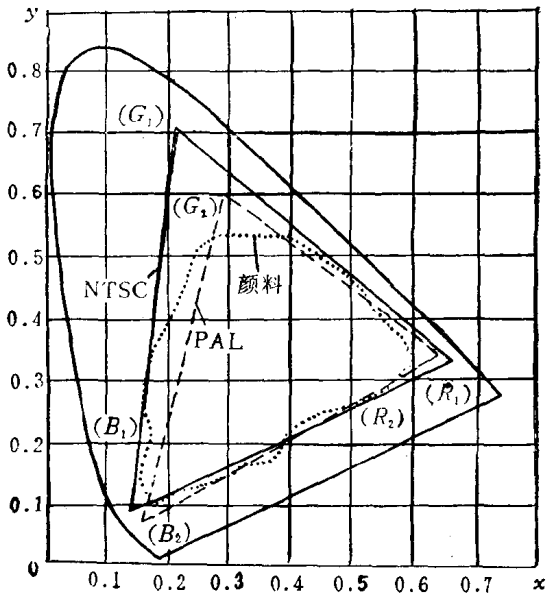


图1-6 彩色电视重现的色度范围

在NTSC制和PAL制两种彩色电视制式中，选用了不同的显像三基色及标准白光。为了方便，今后将显像三基色用 R 、 G 、 B 表示，它们在色度图上的坐标值见表1-1。两种制式的显像三基色不同，坐标值不同，显色三角形面积也不相同。PAL制的显色面积比NTSC制要小一些。NTSC制彩色丰富一些，但因PAL制显像三基色荧光粉的发光效率高一些，重现图像亮度高一些，显得彩色更鲜艳。

表1-1 显像三基色的色度坐标

		NTSC 制				PAL 制			
基色与标准光源		R_1	G_1	B_1	$C_{白}$	R_2	G_2	B_2	D_{65}
色坐标	x	0.67	0.21	0.14	0.310	0.64	0.29	0.15	0.313
	y	0.33	0.71	0.08	0.316	0.33	0.60	0.06	0.329

六 亮度公式

将三基色混合时，除表现为一定的色调和色饱和度外，还呈现为一定的亮度。混合色的

总亮度应当是三个基色亮度之和。由于各基色光对人眼睛的亮度灵敏度不同,所选取的标准白光种类不同,荧光粉的种类、效率不同(表现为三个基色的色度坐标值不同),它们的总亮度表现为一定线性叠加形式。经过理论上的研究可知,混合光的总亮度(用 Y 表示)与三基色光的关系为:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

一般使用其近似式:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (1-1)$$

此式称亮度公式,或亮度方程式。在实际计算中, Y 的单位可使用亮度(单位:尼特)或者光通量(流明或光瓦)的单位。实际多使用流明(lm),1光瓦=680lm。而 R 、 G 、 B 是各基色的单位基色量数目。

该公式与“三基色能混合为白光”是一致的。当式中三个基色的单位量数目相等时,就能合成白光。例如 $R = G = B = 1$ 时, $Y = 0.30 \times 1 + 0.59 \times 1 + 0.11 \times 1 = 1$ (lm)即合成1lm白光。它说明三个单位基色光可以合成为一个单位(即1lm)白光。或者说,以白光亮度为100%,则红光提供了30%,绿光提供59%,蓝光提供11%。也可以这样说,由0.30lm红光、0.59lm绿光和0.11lm蓝光可以混合为1lm的白光。当各基色量增加相同倍数时,合成白光亮度也增加同一倍数。

若已知三个基色光的单位量数目,可以由亮度公式计算出混合光的总亮度,例如 $R = G = 1$; $B = 2$; 则 $Y = 0.30 \times 1 + 0.59 \times 1 + 0.11 \times 2 = 1.11$ lm。此时总亮度为1.11lm,可想而知:白光亮度占1lm,此混合光的色调是蓝色,但色饱和度不是100%,它是浅蓝色。

在理想情况下,摄像机内的光电转换及显像管内的电光转换应当是线性变化关系。则基色光信号完全对应地转变为基色电信号,即有

$$E_Y = 0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B \quad (1-2)$$

在实际显像管中电光转化不是理想的线性转换过程,以上公式将不成立。信号传输及转换的非线性失真不仅造成图像亮度的失真,也引起彩色畸变,这种失真称 γ 失真。为了避免失真,在电视发送端都要进行预校正,这种措施称为 γ 校正。若未经校正的电信号为 E ,则经过 γ 校正的信号为 $E^{1/\gamma}$ 。对于黑白显像管一般取 $\gamma = 2.2$,彩色显像管取 $\gamma = 2.8$ 。本书后面的叙述,我们都认为已经经过 γ 校正了,不再作另外说明。

上面公式中的光信号 Y 及电信号 E_Y ,代表了彩色图像的亮度,它就是黑白电视中的图像信号。在理想情况下,彩色电视机呈现的图像亮度与黑白电视机呈现的图像亮度相同。电视技术要求:亮度信息仅由亮度信号携带,色度信息仅由色度信号携带,两者互相独立,互不影响;当色度信息改变时,亮度信息不发生变化,这个原理称亮度恒定原理。实际上,因 γ 失真的存在,亮度恒定原理将受到一定程度的破坏,从而造成色通道噪声干扰图像亮度,使图像杂波加大,细节模糊(尤其是红色和蓝色),黑白机收看彩色节目时图像亮度下降。

要注意,上述亮度公式是NTSC制使用标准白光 C_{65} 和特定三基色荧光粉条件下所得公式。如果NTSC制使用 D_{65} 光源时,则公式应当修正为 $Y = 0.289R + 0.605G + 0.104B$ 。而在PAL制,使用 D_{65} 光源和另一种荧光粉条件下,公式应当改为

$$Y = 0.222R + 0.707G + 0.071B \quad (1-3)$$

后面我们仅介绍PAL制彩色电视,但仍沿用最早使用的亮度公式。虽然将产生误差,但仍能基本满足视觉对亮度的要求。

第二节 彩色电视与黑白电视的兼容

当出现彩色电视时,黑白电视机已经大量使用了,客观现实要求,彩色电视机能够收看黑白电视节目(仍是黑白图像);黑白电视能够收看彩色电视节目(仍是黑白图像)。这种使彩色电视与黑白电视能够互相收看的技术叫做彩色电视与黑白电视“兼容”。另外,黑白电视采用两个发射机发送图像与伴音,若彩色电视采用三部发射机发送 E_R 、 E_G 、 E_B 三个电信号,再加一部伴音发射机,这不仅浪费,也不能解决“兼容”问题。应当也用一台图像信号发射机(发射彩色图像信号)和一台伴音信号发射机进行发送。本节讨论彩色电视是怎样实现“兼容”的。

一 “兼容”的必要条件

实现“兼容”必须具备以下要求:

(1) 应当保留黑白电视原有各项标准。比如电子射束扫描方式不变,行、场扫描频率相同;彩色电视与黑白电视有相同调制方式,图像载频 f_p 和伴音载频 f_s 相同,图像信号仍采用调幅制,采用残留边带发送制,伴音采用调频制;同步方式必须相同,复合同步信号及复合消隐信号的电平及脉宽不变;信号的频带宽度相同, f_p 与 f_s 的间距不变等。

(2) 彩色电视既要传送色度信号,又要传送亮度信号。保留亮度信号可以使黑白电视机正常收看彩色电视节目,色度信号进入黑白电视机应尽量不影响黑白图像质量。彩色电视信号由亮度信号及色度信号两者组成,又要易于分开而互不干扰。其中亮度信号能反映图像的明暗变化,色度信号反映图像的彩色变化,即色调和色饱和度变化。因此彩色电视机应由亮度电路和色度电路两部分构成,亮度电路就相当于黑白电视机的视频通道,它负责处理图像的明暗分布;色度电路可以辅助亮度电路来处理图像的彩色分布。如果接收黑白电视信号,彩色电视机色度通道自动关闭,仅亮度通道工作,呈现黑白图像。根据此要求可知,彩色电视不能直接传输三基色信号,必须传输和加工亮度和色度信号。

(3) 彩色电视信号与黑白电视信号占有相同的频带宽度。我国黑白电视广播的图像信号带宽6MHz宽,即彩色电视的亮度信号应有6MHz宽的频带。显然,色度信号也应当有相应的频带宽度。应想办法将彩色电视的亮度与色度两信号都“塞”到6MHz宽的频带里去,才能实现“兼容”的目的。经过多年努力,彩色电视通过限制色度信号的频带,使用大面积染色原理及频谱交错技术,这方面的要求已经实现。

以下重点分析彩色电视怎样实现后两项要求。先讨论怎样将三基色信号变换为亮度和色度信号。

二 亮度信号与色差信号

三基色信号 E_R 、 E_G 、 E_B 都应当具有亮度信息,利用亮度公式可以容易地由三基色信号转换为亮度信号,即

$$E_Y = 0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B \quad (1-2)$$

传输彩色信号应当传输三个独立参量。根据兼容要求,必须传送亮度 E_Y ,于是传送彩色信号时,需要再传输两个基色信号,即 E_R 、 E_B ,或 E_R 、 E_G ,或 E_B 、 E_G 。第三个基色信号可由亮度公式及已知两个基色量求得。从物理上讲,两个基色量应当代表彩色三要素中的色

度信号,即色调和色饱和度两个色度分量。但是,这种传输方式存在一些困难:在实际工程上,难于由基色信号简易地转换为色调和色饱和度; E_V 已经代表了彩色图像的总亮度,而两个基色量也含有亮度内容,它必引起亮度与色度信号之间的互相串扰。因而,一般不是选用两个基色信号作为色度分量,而是选用另外两个色度分量来描写色度信息,它们不含有亮度信息,又容易表述色调和色饱和度,也容易由三基色信号转换得到。实际所用色度分量称色差信号,它们是由三基色信号扣去亮度信息后所得到的物理量,色差信号仅带有色度成份。根据定义有:

$$\text{红(色)差信号: } E_{R-Y} = E_R - E_Y \quad (1-3)$$

$$\text{绿(色)差信号: } E_{G-Y} = E_G - E_Y \quad (1-4)$$

$$\text{蓝(色)差信号: } E_{B-Y} = E_B - E_Y \quad (1-5)$$

将亮度公式分别代入上面各式,则各色差信号分别为:

$$\begin{aligned} E_{R-Y} &= E_R - (0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B) \\ &= 0.70E_R - 0.59E_G - 0.11E_B \end{aligned} \quad (1-6)$$

$$\begin{aligned} E_{G-Y} &= E_G - (0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B) \\ &= -0.30E_R + 0.41E_G - 0.11E_B \end{aligned} \quad (1-7)$$

$$\begin{aligned} E_{B-Y} &= E_B - (0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B) \\ &= -0.30E_R - 0.59E_G + 0.89E_B \end{aligned} \quad (1-8)$$

引入色差信号以后,在理论和实践上带来一系列好处,除容易由它们表示色调和色饱和度外(下一节将谈到这一点),还容易实现“兼容”的第二项要求。前面已经谈到,当 $E_R = E_G = E_B$ 时,将呈现为黑白图像;若将此式代入上面三个色差信号公式中,容易得到:

$$E_{R-Y} = E_{G-Y} = E_{B-Y} = 0$$

可见,彩色电视传输黑白电视信号时,色差信号等于零,说明色差信号仅携带色度信息,而不带有亮度信息。

实际上三个色差信号仅有两个是独立量,第三个量可由另外两个量取得,于是只需用两个色差信号就可以反映色度信号的全部内容。例如,绿差信号 E_{G-Y} 容易由红、蓝两个色差信号取得:

$$\begin{aligned} \text{因为} \quad & 0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B = E_Y \\ \text{所以} \quad & 0.30(E_R - E_Y) + 0.59(E_G - E_Y) + 0.11(E_B - E_Y) = 0 \\ & 0.30E_{R-Y} + 0.59E_{G-Y} + 0.11E_{B-Y} = 0 \\ \text{即} \quad E_{G-Y} &= -\frac{0.30}{0.59}E_{R-Y} - \frac{0.11}{0.59}E_{B-Y} = -0.51E_{R-Y} - 0.19E_{B-Y} \end{aligned} \quad (1-9)$$

由于 E_{G-Y} 信号幅度较小,易受杂波干扰,为了提高信杂比,人们都使用 E_{R-Y} 和 E_{B-Y} 两个色差信号来组成色度信号。

在电视广播中,发送端需把三基色信号转变为亮度信号和色度信号后进行传输,在接收端也要使用亮度通道和色度通道处理亮度和色度信号。但是,一般彩色显像管仍需由三基色信号激励,利用三基色原理进行相加混色以获得彩色图像。使用色差信号代表色度信息的话,只须将它们与亮度信号叠加,就可以恢复出三基色信号:

$$E_{R-Y} + E_Y = E_R \quad (1-10)$$

$$E_{G-Y} + E_Y = E_G \quad (1-11)$$

$$E_{B-Y} + E_Y = E_B \quad (1-12)$$

不直接传送三基色信号，而是传输色差信号的话，可降低色度通道杂波对亮度信息的干扰，利于实现亮度恒定特性。下面说明此结论，先假设整个传输系统没有 γ 失真。若摄像端的亮度信号为：

$$E_{Y0} = 0.30E_{R0} + 0.59E_{G0} + 0.11E_{B0} \quad (1-13)$$

经过传输后的亮度信号和色差信号分别用 E'_Y 、 E'_{R-Y} 、 E'_{B-Y} 表示，且在色度通道内传输的色差信号已经混入杂波干扰，那么在显像端可以得到三基色信号：

$$\left. \begin{aligned} E'_{R-Y} + E'_Y &= E_R \\ E'_{B-Y} + E'_Y &= E_B \\ \left(-\frac{0.30}{0.59}E'_{R-Y} - \frac{0.11}{0.59}E'_{B-Y} \right) + E'_Y &= E_G \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

被恢复的三个基色信号显示的亮度应为：

$$E_Y = 0.30E_R + 0.59E_G + 0.11E_B \quad (1-15)$$

将(1-14)式各基色量代入(1-15)式中，则

$$\begin{aligned} E_Y &= 0.30E'_{R-Y} + 0.30E'_Y + (-0.30E'_{R-Y} - 0.11E'_{B-Y} + 0.59E'_Y) + 0.11E'_{B-Y} + 0.11E'_Y \\ &= 0.30E'_Y + 0.59E'_Y + 0.11E'_Y = E'_Y \end{aligned} \quad (1-16)$$

它说明，即使色差信号中混入干扰信号，也不影响亮度信号，最终显示的亮度仅由被传输的亮度信号 E'_Y 决定，即亮度恒定。

由三基色信号转变为亮度信号或色差信号，由红、蓝色差信号恢复出绿差信号，或者由色差信号恢复出三基色信号，都可以由矩阵电路来完成。用于发送端的矩阵电路称编码矩阵。最简单、易实现的矩阵电路就是电阻分压网络，图1-7就是由 E_R 、 E_G 、 E_B 合成 E_Y 的电阻矩阵电路，它实际是输入信号的线性叠加衰减器，它使传输信号衰减到所需要的相对幅度，并能叠加在一起。

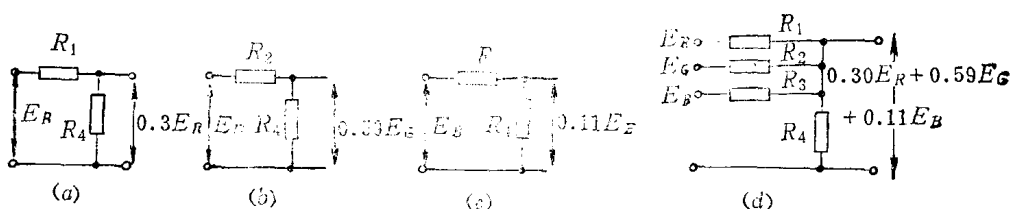


图1-7 由 E_R 、 E_G 、 E_B 合成 E_Y 的电阻矩阵

三 限制色信号带宽及大面积着色原理

彩色图像信号应由 E_Y 、 E_{R-Y} 、 E_{B-Y} 组成，但仅仅亮度 E_Y 就占据6MHz带宽，再没有 E_{R-Y} 及 E_{B-Y} 的频带位置，怎样才能在这个确定的频带内同时传送两个色差信号又不与亮度信号干扰呢？这正是“兼容”的第三项要求。这项任务可以通过两步来完成，第一步是限制、压缩色差信号频带宽度，第二步是把它们插入到亮度信号频带的空隙之中，使色度信号与亮度信号之间互不干扰。

细心观察可发现，某些彩色国画上图像的轮廓、细节是用墨勾画的，然后再加以大面积

涂色；过去有些彩色照片是将黑白照片再进行大面积着色制成的，艺术效果都不错。它们的共同特点是：图像的轮廓、细节用黑白色精细地描述，彩色分布用大面积着色粗略地描述。这种着色方法称大面积着色原理。为什么可以这样做呢？经研究发现人眼的视觉生理具有突出特点：眼睛对彩色的分辨本领远低于分辨亮度的本领，人眼睛观察图像的细节主要是辨别黑白差别，而对于色彩的辨别，仅能进行大面积部分的分辨。由于人眼对亮度信息敏感，而对色度信息反映迟钝，它给限制色差信号的频带宽度提供了可能性。

由于亮度信号是由 $0 \sim 6\text{MHz}$ 频带内不同频率分量组成，其高频分量对应于图像内容的轮廓和细节，低频分量对应于图像内容中大面积的部分。利用上述人眼生理特性，彩色图像的大面积部分必须通过传送色差信号的低频成分来实现，而彩色图像的轮廓、细节所对应的色差信号高频分量可以甩掉，用亮度的高频分量代替它即可。这种仅保留色差信号低频分量的办法完全符合大面积着色原理。

传送彩色图像时，其亮度信号 6MHz 带宽，色差信号用较窄频带传送，主观感知彩色图像的质量并不低。色差信号带宽应限制到多少呢？据统计，对于视力正常的人来说，采用 1MHz 带宽传送色差信号， 88% 的人已认为满意；采用 2MHz 带宽传送时，几乎所有参加评论的人都满意了。我国规定色差信号的频带宽度选用 1.3MHz 。

前面说过，在显像端由色差信号与亮度信号叠加可恢复出基色信号，若将大面积着色原理考虑进去，应当用下式反映其恢复过程：

$$(E_{R-Y})_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{0 \sim 6} = (E_R)_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{1.3 \sim 6} \quad (1-17)$$

$$(E_{G-Y})_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{0 \sim 6} = (E_G)_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{1.3 \sim 6} \quad (1-18)$$

$$(E_{B-Y})_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{0 \sim 6} = (E_B)_{0 \sim 1.3} + (E_Y)_{1.3 \sim 6} \quad (1-19)$$

上面各式中数字的单位为 MHz 。它们说明，恢复出的三个基色信号应是 6MHz 带宽，可是仅 $0 \sim 1.3\text{MHz}$ 之低频分量才是真正的三基色信号， $1.3 \sim 6\text{MHz}$ 的高、中频分量实为亮度信号的高、中频分量。它用亮度信号的高、中频分量代替了基色信号中未被传送的高、中频分量，因此，大面积着色原理又可称为高频混合原理。这里应注意：摄像机内形成的三基色信号是视频 6MHz 带宽。

四 频谱交错原理

压缩色差信号频带后仅完成了第一步工作，第二步工作是利用频谱交错原理把色差信号插入到亮度信号频谱空隙中去。经分析知，亮度信号的频率成分并没有占据 $0 \sim 6\text{MHz}$ 整个频带内的所有频率，它不是连续的频谱曲线，或者说它的能量分布是断续的，有相当大的空隙。如同庄稼地里一束束庄稼相隔一段距离集中到一个小范围内，还有一片空白区域未被利用一样。为什么呢？本来电视图像信号是没有规律的，但因电视系统采用周期性扫描方法来分解图像并取得图像信号，就使得电视图像信号具有一定的周期性。由傅里叶级数概念可知，亮度信号频谱应是场频和行频各次谐波的组合，是集中在以行频各次谐波为中心的一束束谱线，形成了一群群分离的线状频谱，在谱线束之间尚有较大空隙的频域。以下具体分析结论。

为简化起见，先假设图像信号波形如图1-8(a)所示，它代表“黑色”的光栅行，整个显像管屏幕应显全黑屏。若以此图像信号去调制图像载频 f_c ，则得负极性调制的高频图像信号波形，如图1-8(b)。因黑色光栅行波形可视为一串宽度与间隔不等的矩形脉冲波，它是周

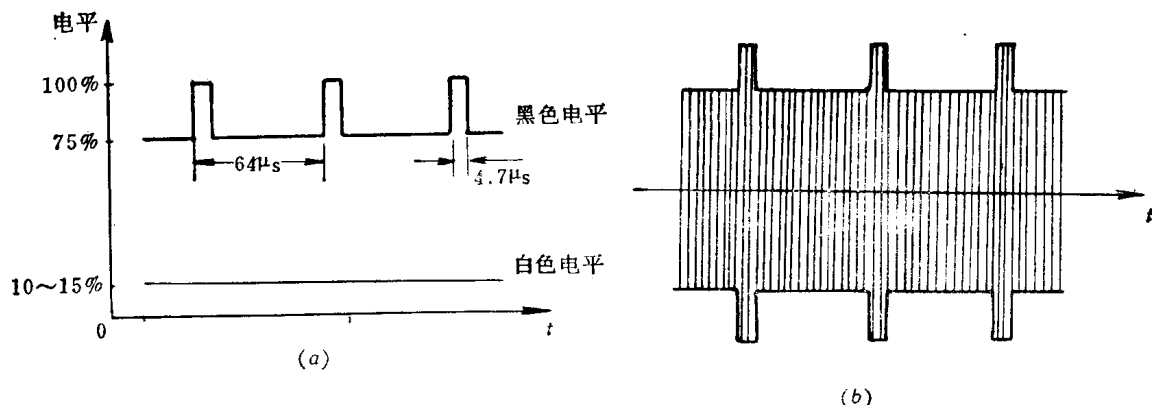


图1-8 调制信号及高频调幅信号波形
(a) 黑色光栅信号；(b) 经负极性调制的图像。

期函数，可应用傅里叶级数表示该波形，此低频调制信号的基频 $f_H=15625\text{Hz}$ ，则矩形脉冲可用傅氏级数表示为基波与无限次谐波（即 f_H 、 $2f_H$ 、 $3f_H$ 、…… nf_H ……）的总和，而且各谐波振幅随着频率的增高而逐渐减小。由于矩形波的频谱是由 f_H 、 $2f_H$ 、 $3f_H$ 、……组成，用它去调制载频 f_p 时，则调幅波的频谱应是 $f_p \pm f_H$ ， $f_p \pm 2f_H$ ， $f_p \pm 3f_H$ ……等等，图1-9(a)示出了行频谐波在调幅波频谱曲线上的分布规律。

如果进一步分析黑色光栅行的波形，上述调幅波还应被场同步信号引起的50Hz或25Hz分量所调制。应当类似于行频谐波调制载频 f_p 的情况，在每个行频谐波的两侧还应有以25Hz为间隔的一对对“边频”，形成图1-9(a)所示精细频谱规律。

如果图像信号波形复杂而且经常变动，频谱要复杂得多，但是它仍然表现为规则的间隔着的一束束频率分量，各频率线束之间有较宽的间隙，这些间隙为插入色差信号提供了广阔的场地。

以上分析同样适合于色差信号，它的频谱也是集中于行频整数倍附近的一束束谱线。各条主谱线之间的距离，也是一个行频的距离，其谱线分布规律与亮度信号谱线分布相同。进行频带限制后频谱如图1-9(b)所示。

可见，只要把色差信号与亮度信号的频谱错开半个行频，并插到亮度谱线的空白区域中，即可完成“兼容”第三项要求。各频谱低频分量幅度较大，应尽量减少亮度信号低频端与色差信号互相干扰。为此都是用带宽1.3MHz的色差信号调制一个频率较高的载频 f_{sc} ，通过调幅法将色差信号的频谱搬到亮度频谱高端，并使色差信号频谱恰好落在亮度频谱的空隙处，如图1-9(c)所示。经调幅后色差信号带宽2.6MHz，亮度谱线与色差谱线互相交错，互不重叠，完成了将色差信号频谱塞入亮度信号频谱中的任务。

可将色信号按插到亮度信号高频端的载频信号 f_{sc} 称为彩色副载波。 f_{sc} 的数值应当选取合适：首先应取值为半行频的奇数倍，数学表达式为 $\left(n + \frac{1}{2}\right)f_H$ ，其中 n 为行频谐波的次数， $n=0、1、2、\dots$ 。只有这样才能实现穿插，且互相干扰最小；其次，整数 n 不能取值过大，也不能过小，在亮度信号带宽为6MHz的情况下，一般取 $n=283$ 为宜。于是