



CAISEDIANSHISHEXIANGJI

张琦编

彩色电视摄像机



中国广播电视出版社

7346044
188

广播电视中等专业学校试用教材

彩色电视摄像机

张 琦 编



中国广播电视出版社

8810399

DT89/22

广播电视中等专业学校试用教材

彩色电视摄像机

张琦编

中国广播电视出版社出版

北京沙窝店印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

787×1092毫米 16开 19印张 471(千)字

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数: 1—20,000册

ISBN 7-5043-0040-3/TN·13 定价: 3.95元

0000132

出版者的话

为了适应广播电视中等教育事业发展的需要，改变教材严重缺乏的局面，广播电影电视部教材编审委员会组织力量编写了一批中专工科教材，并由中国广播电视出版社出版，公开发行。这批计划出版的专业教材有：《广播声学》、《广播播控设备》、《有线广播技术》、《电视播控设备》、《彩色电视摄象机》、《录象设备》、《数字电视》、《微波技术基础》、《微波中继原理和设备》，共计九种。在教材编写过程中，力求做到立论正确、概念清楚，理论联系实际。

这批教材暂作试用教材，适于招收初中毕业生、学制为四年的学校使用。鉴于目前各学校招生对象、学制、专业划分和课程设置不尽相同，各校可根据情况选用。设有相近专业的其它中等专业学校和职业高中也可选用本教材。

这批教材还可以作为干部培训的中级教材和职工自学的参考书，也可以供具有高中文化程度和一定无线电基础知识的读者阅读。我们殷切希望广大读者对本教材提出意见和建议，帮助我们做好教材出版工作。

前言

在现代信息社会中,电视作为记录、存贮和传播图象信息的手段已经广泛应用于国民经济的各个部门。今天,人们到处可以见到电视荧屏在各种不同的场合为人民提供信息服务,把丰富多彩的节目呈现在广大观众面前。

为了适应广播电视事业的迅速发展,近几年来各广播电视院校陆续开设了电视摄像设备和录像设备课程,广大从事电视工作的科技人员也迫切需要有一本适用的参考书。为此,笔者按照原广播电视部教材编审委员会1985年贵阳广播电视教材工作会议审定通过的彩色电视摄像设备教学大纲并以笔者在北京广播学院任教多年的教学材料为基础,编写了此书。

全书共分十章,第一章介绍了彩色摄像系统的基本原理;第二章至第四章介绍了摄像机的光学系统、常用的彩色摄像器件和摄像管的偏转聚焦系统及扫描电路;第五章至第七章主要从实用角度出发,系统地介绍彩色摄像机的视频信号处理电路和自动控制的工作原理,分析了各种典型电路;第八章介绍单管彩色摄像机,它在应用电视中获得广泛应用;第九章介绍了摄像机的调试、操作及指标测量;第十章讨论了各种电视电影设备——影片扫描器的工作原理和调整方法。书中还介绍了很有前途的固体摄像机及 CCD、CID 等固体摄像器件。

本书用于广播电视院校时,理论教学时数约为 100 学时,如果教学时数不够可根据教学计划的安排适当的删节,第九章可作为实验课。其他院校电视技术专业的学生和从事电视技术的科技工作者也可参阅此书。

本书的初稿承蒙北京广播学院张永辉副教授审阅修改,在此谨致诚挚谢意。在本书的编写出版过程中,曾得到中国广播电视出版社和有关单位的大力支持和帮助,愿借此机会向为本书出版付出辛勤劳动的所有同志表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限,书中不足甚至谬误之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

作者 1987年5月

目 录

第一章 彩色摄象系统

- 1.1 彩色电视摄象和显象系统..... (1)
- 1.2 彩色摄象机的分光特性..... (1)
- 1.3 白黑平衡..... (5)
- 1.4 摄象显象系统的非线性对重现彩色的影响..... (7)
- 1.5 三管彩色摄象机的组成..... (9)
- 1.6 彩色摄象机的分类..... (13)

第二章 彩色摄象机的光学系统

- 2.1 概 述..... (16)
- 2.2 彩色摄象机光学系统..... (16)
- 2.3 变焦距镜头..... (19)
- 2.4 分光棱镜的工作原理..... (32)

第三章 电视摄象器件

- 3.1 视象管..... (36)
- 3.2 氧化铅摄象管 (Pbo) (43)
- 3.3 几种实用的新型摄象管..... (47)
- 3.4 二极管枪..... (52)
- 3.5 半导体摄象器件..... (54)

第四章 摄象管的偏转聚焦系统

- 4.1 概 述..... (74)
- 4.2 磁聚焦和磁偏转原理..... (74)
- 4.3 聚焦偏转组件结构..... (78)
- 4.4 彩色摄象机的聚焦偏转电路..... (80)

第五章 预放器

- 5.1 预放器的特殊性和基本组成..... (100)
- 5.2 预放器的输入电路及放大器的幅频特性..... (101)
- 5.3 预放器的杂波特性及信杂比..... (103)
- 5.4 预放器的输入电阻..... (106)
- 5.5 预放器中的典型电路..... (108)
- 5.6 实际预放器电路..... (116)
- 5.7 预放器的调试要点..... (118)

第六章 视频信号处理

- 6.1 增益控制放大器..... (121)

6.2	黑斑补偿	(127)
6.3	图象信号的错位	(130)
6.4	电缆补偿电路	(134)
6.5	杂散光校正和预消隐	(141)
6.6	γ 校正	(143)
6.7	混消隐和黑白切割	(147)
6.8	孔阑校正	(151)
6.9	彩色校正电路	(162)
第七章 彩色电视摄像机的自动化		
7.1	自动光圈	(170)
7.2	自动白平衡	(175)
7.3	自动黑平衡	(177)
7.4	自动黑电平	(179)
7.5	自动中心重合	(182)
7.6	自动电子束佳化 (ABO)	(188)
第八章 单管彩色摄像机		
8.1	概 述	(194)
8.2	频率分离式单管彩色摄像机	(194)
8.3	三电极式单管彩色摄像机	(204)
8.4	电标志相位分离式 (托尼康式) 单管彩色摄像机	(205)
8.5	阶梯能量解调式单管彩色摄像机	(216)
第九章 彩色电视摄像机的测量、调整和操作		
9.1	彩色摄像机的测量	(221)
9.2	彩色摄像机各部分电路的调整	(232)
9.3	彩色摄像机的操作	(243)
第十章 电视电影扫描设备		
10.1	概 述	(245)
10.2	存储管式影片扫描器	(255)
10.3	飞点扫描器	(260)
10.4	CCD 彩色影片扫描器	(291)

第一章 彩色摄象系统

1.1 彩色电视摄象和显象系统

在绘画时常用黄、青、品红三种基本颜料来配制各种色彩。彩色电视也类似地用红、绿和蓝三种独立的基色来混合出五彩缤纷的彩色，所不同的前者是减法混色，后者是加法混色。

图 1-1 是彩色电视摄象和显象系统的原理图。在摄象端，分光系统首先将入射的色光分解为红、绿和蓝三种基色光，然后把这三种基色光分别送入红、绿、蓝路摄象管，变换成相应于红、绿、蓝光的三个电信号。这三个电信号在各自的通道中经过放大、处理和校正后，通过传输通路加到彩色显象管的三个阴极上，控制显象管的三个电子束流的大小。三个电子束流分别激励红、绿、蓝三种荧光粉，在荧光屏上重现出红、绿、蓝三种色光混配的形象。重现出与所摄彩色图象相同的彩色图象。

显然，彩色摄象机既是一个光-电转换设备，同时又是一个彩色分解设备；而彩色显象装置既是一个电-光变换设备，又是一个彩色混配设备。

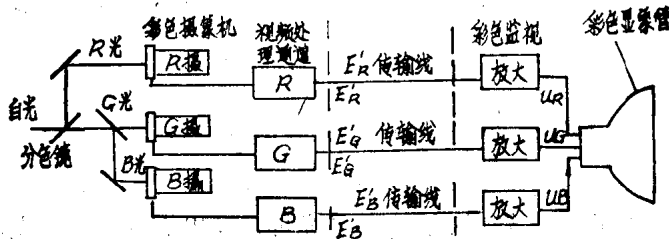


图 1-1 彩色电视摄象和显象系统

1.2 彩色摄象机的分光特性

一、理想的分光特性

要想在电视机荧光屏上得到彩色逼真的重现彩色图象，摄象机必须有一个理想的分光特性，同时，从摄象管的光-电变换到显象管的电-光变换，整个系统必须是一个线性系统。实际上这是可以做到的。显象管的非线性可以通过信号处理放大器预先校正。因此，从摄象到显象整个系统可以看成线性系统。在上述前提下，可以证明，摄象机的分光特性应当与显象管荧光粉的混色特性完全一致。

图 1-2 示出三个光路的光-电转换系统。设照射景物的光源光谱的功率分布为 $E(\lambda)$ ，景物上 P 点的光谱反射系数为 $R(\lambda)$ ，红色光路的光分特性为 $D_r(\lambda)$ ，红路摄象管的光谱灵敏度为 $S_r(\lambda)$ ，则 P 点呈现的彩色光谱特性为 $E(\lambda)R(\lambda)$ ，通常这是一种包含多种谱色光的混

合色光。红路摄像管产生的信号电压为：

$$U_r = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_r(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda \quad (1-1)$$

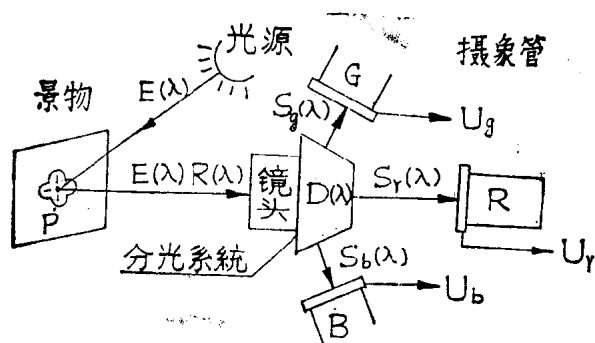


图 1-2 光-电转换系统

若绿路的分光特性为 $D_g(\lambda)$ ，摄像管的光谱灵敏度为 $S_g(\lambda)$ ，同样可以得到绿路的信号电压为：

$$U_g = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_g(\lambda) S_g(\lambda) d\lambda \quad (1-2)$$

若蓝路的光谱特性为 $D_b(\lambda)$ ，摄像管的光谱灵敏度为 $S_b(\lambda)$ ，可以得到蓝路的信号电压为：

$$U_b = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_b(\lambda) S_b(\lambda) d\lambda \quad (1-3)$$

上述三个基色信号电压送到显象管时，它的荧光屏上发出的三种基色光亮度分别为：

$$\begin{aligned} L_R &= K_r U_r (R_e) \\ &= (R_e) K_r \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_r(\lambda) S_r(\lambda) d\lambda \\ &= K_r R'_e (R_e) \end{aligned} \quad (1-4)$$

$$\begin{aligned} L_G &= K_g U_g (G_e) \\ &= (G_e) K_g \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_g(\lambda) S_g(\lambda) d\lambda \\ &= K_g G'_e (G_e) \end{aligned} \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} L_B &= K_b U_b (B_e) \\ &= (B_e) K_b \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) D_b(\lambda) S_b(\lambda) d\lambda \\ &= K_b B_e (B_e) \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中, K_r 、 K_g 、 K_b 为电-光变换比例系数, (R_e) 、 (G_e) 、 (B_e) 为荧光粉发出的三种基色光的单位量。荧光屏上发出的混合色光为:

$$C = L_R + L_G + L_B \quad (1-7)$$

若直接用荧光粉的三种色光混配 P 点发出的光, 则混合色光为

$$\begin{aligned} C_P &= (R_e) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) \overline{r_e}(\lambda) d\lambda + \\ &\quad (G_e) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) \overline{g_e}(\lambda) d\lambda + \\ &\quad (B_e) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) R(\lambda) \overline{b_e}(\lambda) d\lambda \\ &= R_e(R_e) + G_e(G_e) + B_e(B_e) \end{aligned} \quad (1-8)$$

式中, $\overline{r_e}(\lambda)$ 、 $\overline{g_e}(\lambda)$ 、 $\overline{b_e}(\lambda)$ 为给定的荧光粉混色曲线, 即分布色系数。

显然, 直接用荧光粉的三基色光混配的颜色, 应该与摄像机的三基色信号控制显象管混配的颜色完全相同, 即 $C_P = C$ 、 $K_r R'_e = R_e$ 、 $K_g G'_e = G_e$ 、 $K_b B'_e = B_e$ 。比较式 (1-8) 和式 (1-4)、(1-5)、(1-6) 可得出:

$$K_r D_r(\lambda) S_r(\lambda) = \overline{r_e}(\lambda) \quad (1-9)$$

$$K_g D_g(\lambda) S_g(\lambda) = \overline{g_e}(\lambda) \quad (1-10)$$

$$K_b D_b(\lambda) S_b(\lambda) = \overline{b_e}(\lambda) \quad (1-11)$$

在理想情况下 $K_r S_r(\lambda) = K_g S_g(\lambda) = K_b S_b(\lambda) = \text{常数}$, 则应有

$$D_r(\lambda) : D_g(\lambda) : D_b(\lambda) = \overline{r_e}(\lambda) : \overline{g_e}(\lambda) : \overline{b_e}(\lambda) \quad (1-12)$$

这意味着: 理想的摄像机分光特性应与相应的显象管荧光粉的混色特性一致。实际上摄像管的光谱灵敏度 $S(\lambda)$ 并不是常数。因此, 需要选定摄像管后才能求出分光系统的分光特性 $D_r(\lambda)$ 、 $D_g(\lambda)$ 、 $D_b(\lambda)$ 。因此, 如果分光系统的分光特性确定后, 更换了光谱灵敏度不同的摄像管, 重现彩色就会变化。同样, 如果更换了具有不同荧光粉的显象管, 重现彩色也会不同。

从式 (1-4)、(1-5)、(1-6) 和式 (1-8) 可以看出, 彩色摄像机输出的三个基色信号电压应分别代表所传输色光中的三种基色系数, 即混色系数 R_e 、 G_e 、 B_e 。它们的比例决定重现色光的色调, 它们的大小决定重现色光的亮度。

至于 $\overline{r_e}(\lambda)$ 、 $\overline{g_e}(\lambda)$ 、 $\overline{b_e}(\lambda)$, 可根据国际照明委员会规定的标准混色曲线求得。具体求法可参考色度学的有关部分。

对于 NTSC 制彩色电视来说, 它的基色荧光粉色座标如下:

基色	色座标 x	y
R_e	0.67	0.33
G_e	0.21	0.71
B_e	0.14	0.08

NTSC 制电视的基准白定为 $C_{\text{白}}$ ，其色座标为：

$$x = 0.310, y = 0.316$$

根据以上座标值可求得混色曲线如图 1-3 所示。

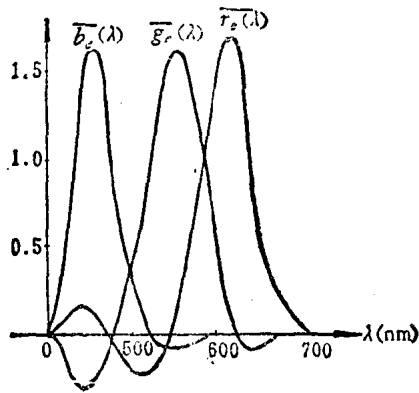


图 1-3 NTSC 制荧光粉三基色的混色曲线 ($C_{\text{白}}$)

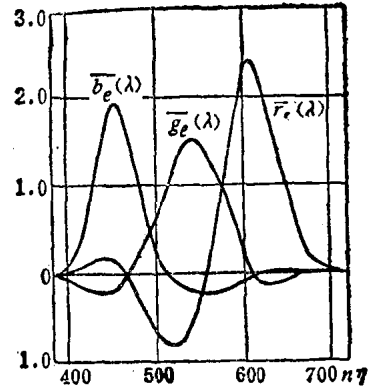


图 1-4 PAL 制荧光粉三基色的混色曲线 (D_{6500})

对于 PAL 制来说，它的荧光粉基色座标及基准白 D_{6500} 的色度座标如下：

基色	色座标 x	y
R_e	0.64	0.33
G_e	0.29	0.60
B_e	0.15	0.06
D_{6500}	0.313	0.329

根据这些座标值可求得 PAL 制荧光粉混色曲线如图 1-4 所示。

二、实际的分光特性

实际上摄像机的总光谱响应由光源的光谱功率分布、镜头的透过特性、分光系统的分光特性和摄像管的光谱灵敏度决定，如图 1-5 所示。

对比图中所示的理想系统和实际系统的光谱特性，可以看到摄像机的实际光谱响应与理想的光谱响应之间差异较大，最主要的差异是实际的光谱响应不可能有负值，而理想的分光特性必定有负值。

为了补偿两者之间的差异，常用电子方法模拟负值。仔细观察理想的分光特性，可以看出每条曲线的负区都在相邻的曲线的正区下面。例如，红色分光特性的负区主要在绿色特性的正区下面。因此，只要将绿基色信号倒相，分出一部分加入红基色信号，就可以模拟红色分光特性负区的作用。绿色分光特性和蓝色分光特性的负区可用同样的方法模拟。这部分电路叫做彩色校正矩阵电路。具体实施方法和电路原理将在处理放大器中讨论。

在单管彩色电视摄像机中，为了降低成本不用彩色校正矩阵电路，而是在分光特性中去理想曲线的负值部分，同时对正区的曲线形状作适当的修正。

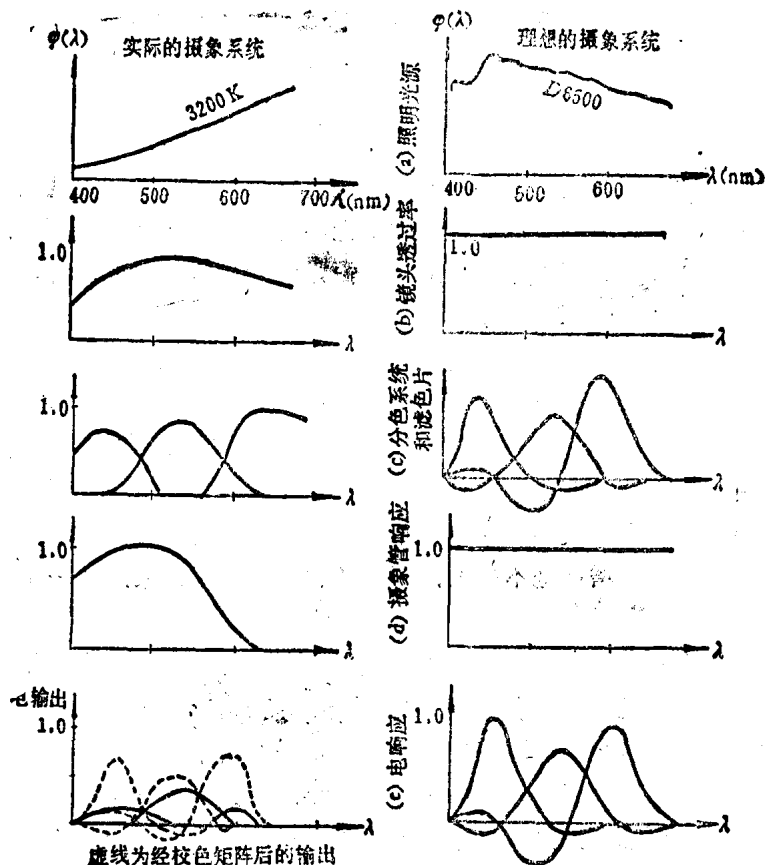


图 1-5 理想与实际的摄象机光谱特性比较

图 1-6 是对图 1-3 所示曲线的修正。修正后的曲线其主要部分的形状（上半部）并未变化，而只是把曲线的下半部缩窄了。缩窄的面积正好等于负区部分的面积。这样，白色就不会产生色调失真。

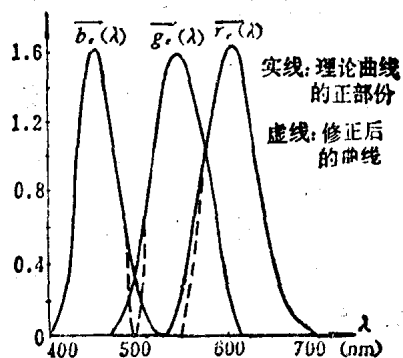


图 1-6 修正后的混色曲线

1.3 白黑平衡

一、白平衡

经过彩色校正矩阵电路后，摄象机的实际光谱特性如图 1-5(e)左图中的虚线所示，它与右图所示的理想光谱特性曲线形状很相近。因此，在摄象端摄取规定的标准白色时，由于三条曲线下包围的面积相等，三只摄象管得到的光能量相等，所以摄象机输出的红、绿、蓝

信号电压相等。这样的信号电压使显象管荧光屏上重显出规定的标准白色。人们把拍摄白色物体时摄像机输出的三基色信号电压 $U_r = U_g = U_b$ 的现象称为白平衡。

实际上, 摄像机拍摄物体时输出的三个基色信号电压幅度, 不仅与图象本身的色度和亮度有关, 而且与照射物体的光源的光谱功率分布特性有关。例如, 在室内用色温为 2800k 的白炽灯照射白色图象时, 红光比蓝光功率大。因此, 红色信号幅度比蓝色信号幅度大。这样的信号幅度差异使显象管重显的白色偏红, 即荧光屏上不显示标准白, 而显示很淡的红色。这表明光源的光谱特性改变了摄像机的输出特性, 如同分光特性改变一样, 影响重显图象的色度。当然重显的其它颜色也都失真了。

显象管只有得到三个幅度相同的基色电压时, 才能显示出标准白色。因此, 在拍摄同一白色物体的情况下, 光源的色温变化时必须设法保持摄像机输出的三个基色信号电压幅度相等。通常, 在光源色温变化时, 人们用调节红、绿、蓝三路增益的方法来维持 $U_r = U_g = U_b$ 。这种调节就叫做白平衡调节。变化基色信号增益相当于改变图 1-5(e) 左图虚线曲线的高度, 即改变了曲线下面包围的面积大小, 从而调节了重显白色的色座标。当然, 若光源的色温变化较大, 单靠调整基色信号增益是不够的, 还要通过色温校正片来改变一下入射到摄像管的光的光谱特性。

在摄像机处理放大器中设有增益微调级, 供调节白平衡用。在任何光源下, 拍摄图象之前首先要拍照一个标准白色目标, 调节红、绿、蓝路放大器的增益达到白平衡标准。然后才能正式拍摄其它图象。照射光源色温变化时, 必须重新调白平衡。

还应说明一点, 白平衡的影响和调节对不同的彩色电视制式都是相同的。拍摄白色物体时, 摄像机输出信号电压都应满足 $U_r = U_g = U_b$ 这一条件。但对于不同彩色电视制式来说, 显象管荧光屏上呈现出不同的基准白。例如, 对于 NTSC 制来说, 它的亮度公式为

$$Y = 0.299R_r + 0.587G_r + 0.114B_r \quad (1-13)$$

当 $R = G = B$ 时, 即 $U_r = U_g = U_b$ 时, 荧光屏上三种荧光粉的发光亮度比例为 0.299:0.587:0.114, 这种白色呈 C 标准白, 记为 $C_{白}$ 。

对于 PAL 制荧光粉来说, 亮度公式为

$$Y = 0.22R_r + 0.71G_r + 0.07B_r \quad (1-14)$$

当 $U_r = U_g = U_b$ 时, 三种荧光粉的发光亮度比例为 0.22:0.70:0.07, 呈现出 D_{50} 标准白, 记为 $D_{白}$ 。在实际的摄像显象系统中应注意摄像机和电视机色度关系的配合使用。

二、黑平衡

摄像机在拍摄黑色物体或者盖上镜头盖时输出的三个基色电平也应相等。这时显象管荧光屏上才能重显出纯黑色, 这种现象叫做黑平衡。否则将会出现黑里透红或黑里透绿等色调。总的来说, 摄像机在拍摄黑白图象时, 三个基色信号的所有电平都应一致。这样, 不同亮度的重显图象才能完全没有彩色。正确重显黑白图象是正确重显彩色的前提和基础, 因此, 黑白平衡调节对正确重显彩色是十分重要的。

导致黑色电平不一致的因素与白色电平不同。它主要是: 1. R 、 G 、 B 三个摄像管的暗电流不同; 2. 三个摄像管接收的偏置光不相等。为了减小低照度惰性, 不经过镜头, 在光学系统内部用小灯泡经分光系统投射到摄像管上的光, 叫偏置光。3. 放大器的直流电平

变化不同。这些因素以及减小其影响的方法，在后面的有关章节里要逐个讨论。

1.4 摄象显象系统的非线性对重现彩色的影响

在讨论分光特性时，我们假定了显象端的亮度随摄象端的亮度线性地变化。但是在实际的摄象系统中，摄象管的光-电变换特性基本上是线性的，而显象管的电-光变换特性却是非线性的，必须在摄象机的处理放大器中用预校正电路来保证整个系统的亮度传输是线性的。这个电路必须精心设计和调整，否则显象端的重显图象将有亮度和色度失真，而人眼对色度失真是非常敏感的。下面我们用图 1-7 所示的麦克斯韦计色三角形来讨论系统非线性对重现彩色的影响。

麦克斯韦计色三角形的三个顶点分别代表荧光粉的单位红基色 $[R_e]$ 、单位绿基色 $[G_e]$ 、单位蓝基色 $[B_e]$ ，从顶点到对应边的垂线的长度被规定为 1。三角形内任意一点到红、绿、蓝三个顶点对边的距离分别为 r 、 g 、 b ，不难证明 $r+g+b=1$ 。任何一点都可用一组 r 、 g 、 b 数值表示出它在三角形内的位置，一组 r 、 g 、 b 数值也就可以代表一种颜色，它们就是计色三角形的色度坐标。

显然 $[G_e]$ 的坐标值为 $r=0$ 、 $g=1$ 、 $b=0$ ； $[R_e]$ 的坐标值为 $r=1$ 、 $g=0$ 、 $b=0$ ； $[B_e]$ 的坐标值为 $r=0$ 、 $g=0$ 、 $b=1$ ；三角形的重心 W 点的坐标值为 $r=\frac{1}{3}$ 、 $g=\frac{1}{3}$ 、 $b=\frac{1}{3}$ ，它代表白色。黄色的坐标为 $r=\frac{1}{2}$ 、 $g=\frac{1}{2}$ 、 $b=0$ ，这一点在 $[G_e]$ 、 $[R_e]$ 边的中点。图中的小圆圈示出一些典型颜色的坐标点。离 W 点越远的颜色，色饱和度越高，三角形的顶点和三边上的颜色的色饱和度为 100%， W 点的色饱和度为零。图中各点的箭头表示其色度变化的趋势，带箭头的线段长度表示色度的变化量。

现在假设所拍摄图象的红、绿、蓝分量分别为 L_{1r} 、 L_{1g} 、 L_{1b} ，重现图象的红、绿、蓝分量分别为 L_{2r} 、 L_{2g} 、 L_{2b} 。又设整个传输系统的非线性系数为 2，而且三种基色光的传输特性都相同，于是

$$\begin{aligned} L_{2r} &= KL_{1r}^2, \\ L_{2g} &= KL_{1g}^2, \\ L_{2b} &= KL_{1b}^2, \end{aligned} \quad (1-15)$$

K 为常数。

因为光亮度与三色系数成正比，于是式 (1-15) 可写成：

$$\begin{aligned} R_2 &= KR_1^2, \\ G_2 &= KG_1^2, \\ B_2 &= KB_1^2, \end{aligned} \quad (1-16)$$

式中， R_2 、 G_2 、 B_2 分别表示彩色显象管重现色光的三个基色系数， R_1 、 G_1 、 B_1 分别表示直接混配原景物色光的三个基色系数。根据配色原理可知，彩色光的色度由三个基色系数之比决定，因此被摄景物的色度由 $R_1:G_1:B_1$ 决定。彩色光经过光-电转换和信号传输之后，

在显象管荧光屏上重现图象的色度则由 $R_2:G_2:B_2$ 决定。显然，由于传输系统的非线性失真，使 $R_2:G_2:B_2 \neq R_1:G_1:B_1$ 。所以，重显彩色图象，既有亮度失真，又有色度失真。下面以几种典型彩色为例分析非线性传输系数的影响，并设系数 $K=1$ 。

1. 被摄彩色为某种基色，以红色为例，配色方程为

$$F_R = R(R) + G(G) + B(B) = 1(R) + 0(G) + 0(B)$$

被摄彩色的基系数数之比为 $R_1:G_1:B_1=1:0:0$ ，重现彩色的基系数数之比为 $R_2:G_2:B_2=R_1^2:G_1^2:B_1^2=1^2:0:0=1:0:0$ ，可见，重现彩色的色度未变。被摄彩色为绿色或蓝色时也有同样结论。

2. 被摄光为 $C_{\text{白}}$ (图中的 W 点)；配色方程为

$$F_{C_{\text{白}}} = \frac{1}{3}(R) + \frac{1}{3}(G) + \frac{1}{3}(B)$$

即被摄光的基系数数之比为 $\frac{1}{3}:\frac{1}{3}:\frac{1}{3}=1:1:1$ 。重现白光的基系数数之比为 $\left(\frac{1}{3}\right)^2$ ：

$\left(\frac{1}{3}\right)^2:\left(\frac{1}{3}\right)^2:\left(\frac{1}{3}\right)^2=1:1:1$ 。可见色系数的比

例未变，重现色光的色度也不变，仍为 $C_{\text{白}}$ ，

但是基系数数减小了，因此亮度降低了。

3. 被摄彩色为三基色的补色，即坐标点位于三角形三条边中点的黄色、青色和品红色。现以黄色为例分析传输非线性对补色的影响，它的配色方程为

$$F_Y = \frac{1}{2}(R) + \frac{1}{2}(G) + 0$$

即被摄黄色的基系数数之比为 $\frac{1}{2}:\frac{1}{2}:0=1:$

$1:0$ ，而重现彩色的基系数数之比为 $\left(\frac{1}{2}\right)^2$ ：

$\left(\frac{1}{2}\right)^2:0=1:1:0$ 。所以色度不变，即色坐标位置不变，仍为黄色，但亮度降低。

4. 拍摄彩色为三角形内任意一点的彩色，例如饱和度为 50% 的黄色（即淡黄色），配色方程为

$$F_{Y'} = \frac{1}{2}F_{C_{\text{白}}} + \frac{1}{2}F_Y = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{3}(R) + \frac{1}{3}(G) + \frac{1}{3}(B)\right] + \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2}(R) + \frac{1}{2}(G)\right] = \frac{5}{12}(R) + \frac{5}{12}(G) + \frac{1}{6}(B)$$

即被摄彩色的基系数数之比为 $\frac{5}{12}:\frac{5}{12}:\frac{1}{6}=1:1:\frac{2}{5}$ ，而重现彩色的基系数数之比为

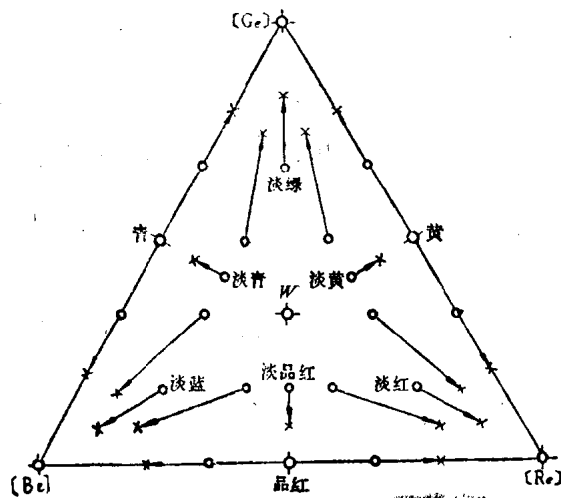


图 1-7 系统非线性引起的色度失真

$\left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{5}{12}\right)^2 : \left(\frac{1}{6}\right)^2 = 1:1:\frac{4}{25}$ 。蓝色分量相对减小，色坐标向纯黄色移动，如图 1-7 中箭头所示，饱和度增大亮度降低。用这样的方法还可以分析其它各种彩色的失真的情况。

根据以上分析可以归纳出如下结论：

(1) 三基色及其三补色的色度不受传输系统非线性影响，重现彩色的坐标位置不变。

(2) $C_{白}$ 的色度不受系统非线性影响，重现白色的坐标位置也不变。

(3) 其它各种彩色将受系统非线性影响。如果系统非线性系数用 γ 表示，那么传输特性可用 $L_2 = KL_1^\gamma$ 来描述。若 γ 大于 1，重现彩色的色坐标向三角形的三边或三个顶点方向移动；若 γ 小于 1 时，重现彩色的色坐标移动方向恰好相反，即向三角形中心或三边中心靠近。前一种情况下色饱和度增强；后一种情况下色饱和度下降。

以上讨论证明，在彩色电视系统中，系统的非线性使重现彩色不仅有亮度失真，而且有色度失真。前者不易被觉察；后者较为明显。因此，色度失真必须限制在人眼所能接受的容限之内。为此，处理放大器中必须设置非线性校正电路，它叫做 γ 校正电路。

1.5 三管彩色摄像机的组成

一、R、G、B 三管式彩色摄像机

图 1-8 是 R、G、B 三管式彩色摄像机的组成方框图。图中左面中部是由镜头和分光棱镜组成的光学系统。三只摄像管及其偏转线圈和聚焦线圈装成三个组件，同时要配备偏转电路，它产生扫描电流。还有聚焦电路，它产生聚焦电流供给聚焦线圈。摄像管保护电路可产生控制信号，在摄像管扫描系统中发生故障时，使摄像管内电子束流中断，停止轰击摄像管的光电导层，避免光电导层局部损伤。镜头伺服电路产生控制光圈和变焦距用的电压。电源部分除了提供各电路板用的直流电源外，还要为摄像管各电极提供工作电压。

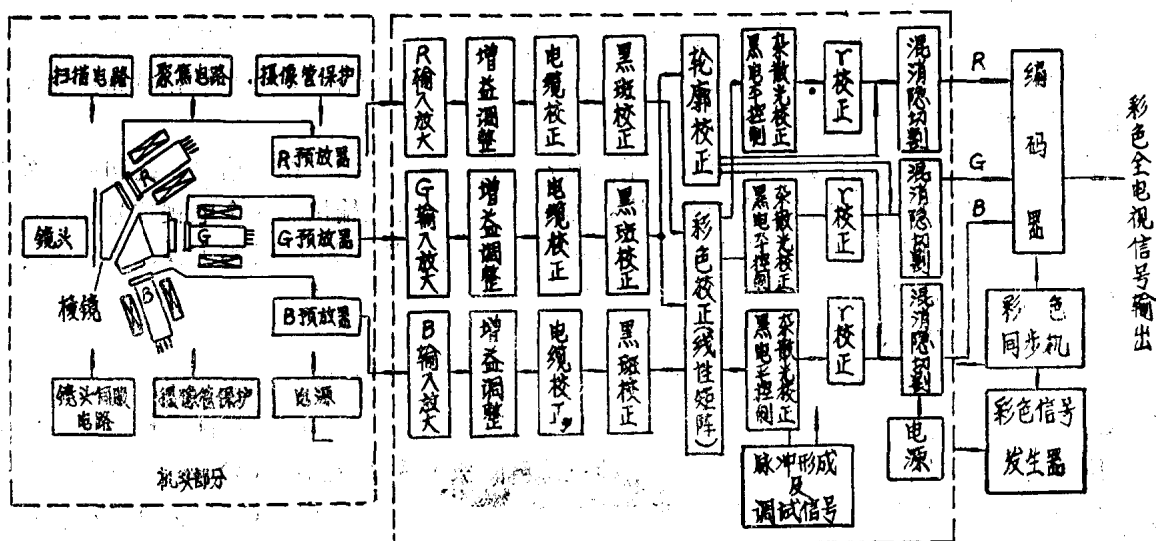


图 1-8 三管彩色摄像机组成方框图

摄像管输出的信号经预放大器放大后送入视频处理放大器。它主要包括以下几个部分:

1. 增益控制级

设有基色信号幅度调整电路,用来平衡三路基色信号幅度。

2. 电缆校正级

如果处理放大器装在摄像机控制单元(CCU)上,预放大器输出的信号需经较长的视频电缆送到处理放大器,这时高频信号分量在电缆内受到衰减,处理放大器中的电缆校正级可用来进行高频补偿。

3. 黑斑补偿

黑斑补偿电路用来补偿由分光系统的色渐变和摄像管光电导层灵敏度不均匀造成的图象亮度不均匀,同时还用来补偿由摄像管的暗电流和偏置光引起的黑电平不均匀。

4. 彩色校正

这部分电路产生模拟理想分光特性负区的等效电压,并叠加到相应的基色信号中,使重现图象的彩色逼真。

5. 轮廓校正电路

扫描电子束的孔阑效应,使摄像管输出的高频信号幅度下降,因此,重现图象细节模糊,图象的边棱也不够清晰。轮廓校正电路也称为孔阑校正电路,它可以提升高频图象信号幅度,使图象轮廓的对比度加强,提高人眼对图象的清晰度感。

6. 黑电平控制和杂散光校正

黑电平控制电路用于黑电平调整,使图象背景亮度可调。同时可用于调节黑色平衡。为了使图象底色稳定,还必须将镜头和摄像管内杂散光产生的平均电平减小到容许的程度。减小杂散光影响的这部分电路,叫做杂散光校正电路。

7. γ 校正电路

在1.4节已经提到,电视系统中必须设置系统非线性校正电路,以便对显象管电-光变换的非线性进行预校正,消除重现图象的亮度和色度失真。

8. 混消隐和切割电路

视频处理放大器输出的视频信号,必须混入标准的消隐信号,使重现图象的四周得到修整。配合黑电平切割电路,使信号建立起一定的黑电平提升。还设有白电平切割电路,它使输出信号的峰值限制在规定的电平以下。

此外,还设有电源电路,脉冲形成电路以及各种自动调节电路、指示信号系统和通话系统等。上述电路将在后面的章节中一一讨论。为了使摄像机能输出彩色全电视信号和 R 、 G 、 B 基色信号,摄像机内都设置了编码电路和同步信号发生器。为了调整方便,摄像机内还设有测试信号和彩条信号发生器。

二、 Y 、 R 、 B 亮度分离式彩色摄像机

R 、 G 、 B 三管式彩色摄像机的图象质量是由 R 、 G 、 B 三种基色图象共同决定的。若 R 、 G 、 B 三个基色图象不能完全重合一致,图象上就会出现彩色镶边,影响重现色调,也影响图象清晰度。图1-9示出可能出现的几种三基色图象不重合情况:(a)两个图象的中心不一致,实线图象正确,虚线图象失真;(b)方位旋转;(c)倾斜(菱形失真);(d)有弓形畸变;(e)有梯形畸变;(f)有枕形畸变的各种情况。此外,两个图象大小不一致、有非线性失真也会造成不重合。在重合误差小于0.1%时,人眼才觉察不出彩色镶边。