



(美) A. H. 威雷尔

日. H. 著

著

日. H. 拉姆伯顿

日. W. 赫罗尔德

彩色显象管

国防工业出版社

513

73.65513
614

彩色显象管

〔美〕 A.M.莫雷尔、H.B.劳、
E.G.拉姆伯格、E.W.赫罗尔德 著

蒋葆增、邹家祥、鲁人、鲍贤杰 译

陈遥白、刘正忱 校



国防工业出版社

1109544

内 容 简 介

本书全面和系统地介绍了彩色显象管的原理、工艺和工作性能。在重点介绍对彩色图像重显装置的要求、彩色显象管的分类方法和影响屏幕亮度的因素之后,详细叙述了三枪三束荫罩式彩色显象管的原理、结构、制造工艺以及在获得最佳特性时荫罩和荧光屏形状的设计。最后介绍了其它几种新型的彩色显象管,并与荫罩式管相比较,分析其优缺点。

本书可供从事彩色显象管设计和制造的工程技术人员和彩色电视机的制作和维修人员参考。

COLOR TELEVISION PICTURE TUBES

A. M. Morrell, H. B. Law, E. G. Ramberg, E. W. Herold
Academic Press, 1974

*

彩色显象管

〔美〕 A. M. 莫雷尔、H. B. 劳、E. G. 拉姆伯格、E. W. 赫罗尔德 著

蒋葆增、邹家祥、鲁 人、鲍贤杰 译

陈遜白、刘正忱 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

、国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7 176千字

1981年5月第一版 1981年5月第一次印刷 印数: 00,001—12,300册

统一书号: 15034·2164 定价: 0.92元

序 言

过去二十五年中，关于彩色显象管，积累的科技资料相当多，本卷是全面综述这些资料的头一本书。就我们目前所知，彩色电视只有到了大量生产显象管时才成为可能，而显象管的大量生产，从技术上看来，直到1949年还认为是不可能的。它所要求的阴极射线结构的制造技术所能达到的精度、均匀性和可靠性指标，在以往四十年的电子管生产中还未曾达到过，甚至未曾用这样大的结构尝试过。除了半导体器件及其许多派生产品之外，荫罩式彩色显象管是电子学在本世纪取得的最显著成就之一。自彩色显象管问世以来，作者们一直从事彩色显象管工作；但是，我们所介绍的成果，则是成千上万的研究者的成果。在他们之中，大多数是对这个最动人心弦的工程历险作出贡献而未经公布和未曾受到颂扬的人。我们援引了许多著作，但是提到的人名仅仅是从事这项工作的许许多多工程师中的少数几个。此外，我们还要向从事这方面工作的人们致谢，由于他们的钻研、事业心以及甘冒风险的勇敢精神，才使荫罩式彩色显象管变为现实。

在本书中，我们介绍了各类彩色显象管。但是，荫罩式彩色显象管所占篇幅最大，因为它是最重要的。我们希望，想要很好地了解其基本原理或工艺技术的人员，将发现这本书是有价值的。除此之外，我们对非荫罩式彩色显象管的介绍，不但对想探索图象重显新途径的那些读者应当有所帮助，而且对想估价这些方法未来潜力的读者也应当有所帮助。

本书一些部分是纯叙述性的，只作了文字描述；但是另外一些部分则是数学和分析性描述，以便专业读者详细地了解管子设计和工作性能。

目 录

第一章 绪论	1
第二章 彩色图象重显装置的要求	4
第三章 彩色图象重显方法分类	11
3.1 分色组荧光屏	11
3.1.1 荫罩式彩色显象管	12
3.1.2 聚焦荫罩型彩色显象管	14
3.1.3 束引示型彩色显象管	15
3.2 均匀荧光屏(穿透式彩色显象管)	16
3.3 其它方法	17
第四章 显象管荧光屏亮度的限制因素	19
4.1 阴极射线管中束电流的限制	20
4.2 三束管	33
4.3 单枪管	37
第五章 荫罩式彩色显象管	41
5.1 工作原理	41
5.2 早期的荫罩式彩色显象管	42
5.2.1 荧光屏	42
5.2.2 管壳	44
5.2.3 电子枪	46
5.3 荫罩式彩色显象管生产技术的发展	47
5.3.1 荧光屏和荫罩的几何形状	47
5.3.2 电子束着屏误差引起的图象畸变	61
5.3.3 曝光台光学和印制荧光屏的一些限制	66
5.3.4 荧光粉	85
5.3.5 荧光粉的应用	87
5.3.6 电子枪	89
5.3.7 荫罩	97
5.3.8 荫罩的支撑	99

5.3.9 彩色显象管玻壳	105
5.3.10 荫罩式彩色显象管的磁屏蔽	111
5.4 110°系统	113
5.5 黑底荧光屏彩色显象管系统	117
5.6 一系列式电子枪系统	129
5.6.1 一系列式电子枪彩色显象管的偏转和会聚	131
5.6.2 一系列式电子枪彩色显象管的荫罩结构特征	134
第六章 聚焦荫罩型彩色显象管	135
6.1 聚焦荫罩的原理	135
6.2 三束聚焦栅型彩色显象管	137
6.3 双栅网型彩色显象管	142
6.4 三束聚焦荫罩型彩色显象管	146
6.5 单束聚焦栅型彩色显象管	149
6.6 机械问题	154
6.7 小结	155
第七章 束引示彩色显象管	156
7.1 原理	156
7.2 引示系统	159
7.2.1 “苹果”系统	160
7.2.2 用紫外荧光粉引示带的束引示管	164
7.3 束引示系统的共同要求	169
7.4 小结	173
第八章 穿透式彩色显象管	174
8.1 原理	174
8.2 荧光粉层	174
8.3 工作方法	189
8.4 小结	194
第九章 其它彩色显示系统	195
9.1 引言	195
9.2 扁平型彩色显象管	195
9.3 香蕉型彩色电视系统	198
9.4 投影电视系统	201
第十章 现状和未来	210
参考文献	212

第一章 绪 论

最早的有关电视设想，就考虑了重显全彩色图象的概念。发明是颇多的，几乎普遍地局限于纸上的设计^[1]。1920年的几次发明表演，使用了扫描圆盘技术，仅仅证明用三基色现象通过电控制可显示彩色的概念。可是，到了1940年，利用摄像管和阴极射线管作为重显装置的黑白电视，取得了很大的进展。

这一年，进行了一次印象深刻的彩色电视表演^[2]，方法是在黑白显象管前面放一个同步旋转的色轮。然后，按照三种基色成分的亮度，对图象顺序地调制。可惜，尺寸和旋转速度的机械限制太苛刻，所以这种场顺序彩色图象重显就湮没无闻了（但是，尺寸小的旋转滤色片仍然有用，它可与电视摄像机配合使用，譬如用于拍摄月球的早期电视摄像机）。

彩色电视的发明者和创办人面临的巨大挑战，就是寻找一种在难易程度上可与黑白阴极射线管●相比拟的图象重显方法。过去曾尝试把三只管子的图象光学重合，这种方法仍然用在投影电视系统中。但是，为了在单个显象管上直接观看，在五十年代初，利用通常称为荫罩的一种内部结构，进行了首次成功的表演^[3,4]。这种管子使用三个电子束，三个电子束通过一个共同的偏转线圈^[5]，每一个电子束对应于各自的荧光粉基色，即红、绿和蓝色。电子束被一块穿孔的金属薄片“荫遮”住，致使只让每个电子束轰击一种基色的荧光粉。在1950到1957年间，荫罩式彩色显象管得到了巨大的发展，同时作了许多根本性改进。其中最重要的改进是利用球面荫罩^[6]（原来是平面形的）、采用曝光涂敷荧光粉点技术^[7]、发展新型荧光粉和改进制造技术，从而获得了更好

● 关于早期重要著作参考书目和介绍，这里不另援引，详见参考文献[1]。

的一致性，并且降低了成本。然而两种不同的单束管也同时被研制出来。其中一种单束管，当时称为劳伦斯管(Lawrence tube)^[8]，用垂直的荧光粉条形成条状荧光屏，这种荧光屏与一个栅网相隔一定距离。在该栅网上施加高频电压，使电子束从一荧光粉色条偏转到另一荧光粉色条。另一单束型管子也使用垂直的荧光粉条和一个电子束，但不需要荫罩或栅网^[9]。相反，荧光屏提供一个指引信号，用该指引信号来控制电子束的着屏点，使其转换到任何相应于要轰击的荧光粉条上去。轰击电流的大小仍然由彩色信号来决定。在早期阶段，对三束荫罩式彩色显象管还进行了一些建议性修改，有些管子使用栅网和条状荧光屏，而不是穿孔的荫罩^[10~12]。其它类型彩色显象管的原理，在实验室中虽然幸存下来，但是三束荫罩方法却将其竞争对手抛在后边，并且成功地进行了商品生产^[13,14]。

从1955年到1967年，生产了大约1500万只荫罩式彩色显象管，并且生产是十分令人满意的，产品已纳入常规。圆形金属外壳为玻壳所取代^[15]。后来，圆形玻壳又改为矩形的，图象尺寸增大，偏转角（对角线处的最大夹角）由 70° 改成 90° ，从而改善了图象鲜锐度，缩短了管子长度^[16~18]。到了1973年，在世界上大多数工业发达的国家中，彩色电视系统已经建立。全世界每年生产大约2000万只彩色显象管。荫罩基本原理得到改进和革新。其中较重要的发展趋势是，采用更大的 110° 偏转角和使用包围着每个荧光粉点的黑底技术，以便减少反射光的影响和提高对比度^[19,20]。与此同时，采用了新的高效彩色荧光粉，其中有些荧光粉使用稀土元素^[21,22]，这些改进促使图象亮度有了较大的提高。从电子束方面来讲，为了得到最常用的品字形排列的电子束和一系列式排列的电子束，对电子枪进行了修改^[23,24]。虽然荫罩最常用的小孔形状仍然是圆的，但是也出现了孔的垂直方向稍拉长的几种商用型号^[24,25]。这些类型的荧光屏，与上面提到的早期的单束管的垂直条状荧光屏相似，然而，其工作原理是属

于荫罩类型的。

在本文中，我们首先评述了彩色显象管的基本原理，并对用来制成这种管子的几种方法进行了分类。相比之下，由于荫罩方法占绝对优势，所以本书着重介绍荫罩彩色显象管的设计原理和制造工艺。至于其他选色方法，特别是那些看来还不能完全被淘汰的选色方法，本书也给予一般性介绍；但是，叙述得不那么详细。讨论的重点是用于彩色显示的管子，这种管子除产生三基色外，还应具有满足灰度等级所要求的屏幕亮度，这样才能得到好的对比度和逼真的彩色图象。显而易见，有些应用是不太讲究的，例如，双色显示系统，字母数字或线条图形显示系统，在这种系统中虽也使用彩色，但无“灰度等级”的要求。这类显示可用本书所述的电子束管来实现，但也可使用本书没有介绍的许多其它方法显示。

第二章 彩色图象重显装置的要求

衡量一幅重显图象的指标可以简单地归纳为：图象的尺寸和形状；鲜锐度和分辨能力；亮度；对比度；色调和色饱和度。其中某些指标是相互制约的，因而，在设计重显装置时要作通盘考虑。另外，还有一些重要的指标，诸如白色平衡和白场均匀性， γ 值或光输出随电信号输入变化的非线性程度，以及各单色图象在画面上的重合精度。下面分别讨论上述问题。

重显彩色图象的尺寸是诸要求中最有伸缩性的一个。据1973年资料，直观式显象管的对角线尺寸范围是从266毫米（9V）到677毫米（25V）。投影电视的图象面积还要大。由于众所周知的在一定距离内心理学上的“尺寸恒等性”原理^[26]，即使观看小图象的距离较近，而且与观看大图象有相同的视角，观看大图象也总是比观看小图象更舒适些。因为当前电视系统发送的图象是宽高比为4:3的矩形图象，所以重显的图象也应该是这样的宽高比，以免产生图象畸变或象素损失。通常的做法是要过扫描，或者说是光栅尺寸超过荧光屏尺寸，这一点对使用电子管线路尤为必要，因为与接收机配合使用时可能出现光栅收缩。当然，过扫描会引起图象象素损失和亮度下降，同时使景物显得稍大些。

重显彩色图象的鲜锐度和分辨能力最好是用调制传递函数（MTF）来说明。所谓MTF是指作为空间频率函数的正弦波亮度响应曲线^[27, 28]。鲜锐度是当加上阶梯信号电压后景物亮度变化给电视观众产生的主观效果；分辨能力则是识别图象细节的能力。根据MTF，极限分辨能力取决于可辨别出来的最高空间频率，鲜锐度取决于在空间频率低于分辨极限时的MTF特性曲线的形状。而电视的极限分辨能力还与系统本身有关。此外，人眼

有自己的 MTF 和分辨能力极限, 后者又取决于观看距离和瞳孔直径。图象重显装置的分辨能力无须超过电视系统和人眼的分辨能力极限。然而, 低于此极限时, 重显装置应该有尽可能接近 100% 的亮度 MTF。对大多数现有的彩色电视系统来说, 系统分辨能力的上限是处在 350 线到 600 线之间 (相当于隔行扫描情况下每幅图象高度有 175 线对到 300 线对)。水平方向上的扫描线数越少, 则由扫描线所决定的最小分辨像素就越大, 还未考虑垂直分辨能力受“克耳”(Kell) 因数^[29]降低到 0.7 的影响。在图象较亮和视距较近的情况下, 人眼的亮度 MTF 是不会低于重显图象分辨能力的, 因此可不予考虑。因为人眼对彩色鲜锐度比较迟钝, 所以对彩色的 MTF 就不太重要。但是, 大家熟知, 重显装置对三基色往往有相同的 MTF 特性曲线, 而且它们都超过了视觉要求。

为了说明上述问题的意义, 图 2.1 示出两种假设的彩色显象管的调制传递函数。管 A 具有几乎是理想的平顶状光点轮廓, 而管 B 光点的中心平顶部分要小得多, 但下部则是宽大的类似于晕圈的喇叭形状。光点轮廓和 MTF 响应曲线均进行傅里叶变换, 虽然重显装置 B 比 A 具有更加高的极限分辨能力, 且在扫描行频上 A 的响应较差, 但就图 2.1 所示电视系统而言, 管 A 的图象甚至比管 B 的更加鲜锐; 对于任何其他系统, 可能也是如此^[30]。

当图象最大亮度增加到高达几千烛光/米² 时[●], 投影电视演播室布景的彩色图象仍能得到较满意的效果。在采用 50 场/秒 的电视系统中, 当使用通常用在直观式显

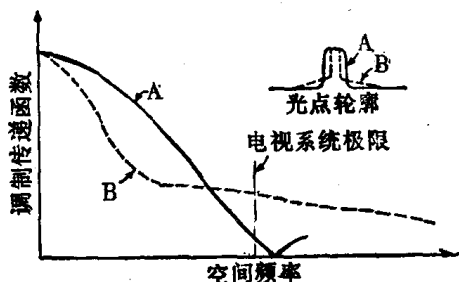


图 2.1 两种假设的显象管的响应曲线
虽然扫描线并未说明且管 A 的分辨能力仅为管 B 的一半, 但管 A 的图象比管 B 更鲜锐。

● 1 英尺朗伯 = 3.43 烛光/米² = 3.43 尼特。

象管中亮度随时间按指数衰减的荧光粉时，随着亮度增加到约超过 200 烛光/ m^2 ，就开始出现令人讨厌的闪烁。若象素信号波形的“接通”时间更接近于方顶形，那么，稍亮的图象还是可以允许的。对于采用 60 场/秒的电视系统，图象边缘亮度超过 350 烛光/ m^2 ，就会引起令人讨厌的闪烁；而当图象中心亮度远远超过此值时，也还是容许的^[31]。在直观式显象管中，获得这样高的亮度值是不难的，而在投影电视系统中，要达这样高的大屏幕亮度还十分困难。然而，人眼的适应性很强，若在黑暗中观看，亮度仅为几烛光/ m^2 的图象也还是可行的。另一方面，在家用电视中，通常应考虑环境的照明，允许在高亮度情况下观看电视显然是有利的。但是，在此情况下，环境亮度与图象对比度产生了相互影响，这是因为环境光线会从显象管荧光屏表面反射和漫射回来，从而使图象暗的部分变得较亮，即增加了黑色信号的电平，降低了对比度。

对于电视图象，特别是彩色电视图象，对比度是人们最敏感的因素之一。若由于环境光线的影响而使图象最大亮度与最小亮度之比下降，那么，彩色饱和度也将下降，图象的色彩和对比度好象是被冲淡而显得模糊不清^[22]。为了在环境光线照射下改善对比度，通常要牺牲亮度。正象在直观式显象管中那样，采用透光率较低的中性吸光玻璃来减少环境光线的影响。这类玻璃之所以有效，是因为环境光线被白色荧光粉所漫射，并两次通过荧光屏玻璃才透射出来，而图象信号通过荧光粉发出的光仅通过玻璃一次。在最近的荫罩式彩色显象管设计中，用黑底来包围荧光粉点^[20]，因而降低了对玻璃吸收环境光线的要求，这样管子的亮度就得到了提高。在暗环境中，直观式显象管的对比度受到散乱电子和散射光线的影响，被限制在 50:1。但是，这个对比度已足能得到优质的图象。通常，投影电视的图象对比度均低于此值。大量家用直观式显象管，都是在约 250 勒克司的环境光照明下观看，其对比度约 10:1。然而，这种情况仍然被认为是可以的。

人类对绝对色调和色饱和度的感受千差万别，这是因为各自有别，还因为人眼主要是识别色差而不是绝对色彩。另一方面，彩色电视系统必须设计得具有较高的彩色逼真度。幸而，仅仅三种基色就足够了。若摄象机部分的基色与图象重显所使用的基色配合得好，则可得到正确的色彩，所觉察到的色差同样将是正确的。利用图 2.2 所示的国际照明委员会色度图(称 CIE 图)，就能发现，正常人眼所观察到的整个彩色色域是在马蹄形图形内^[32]。

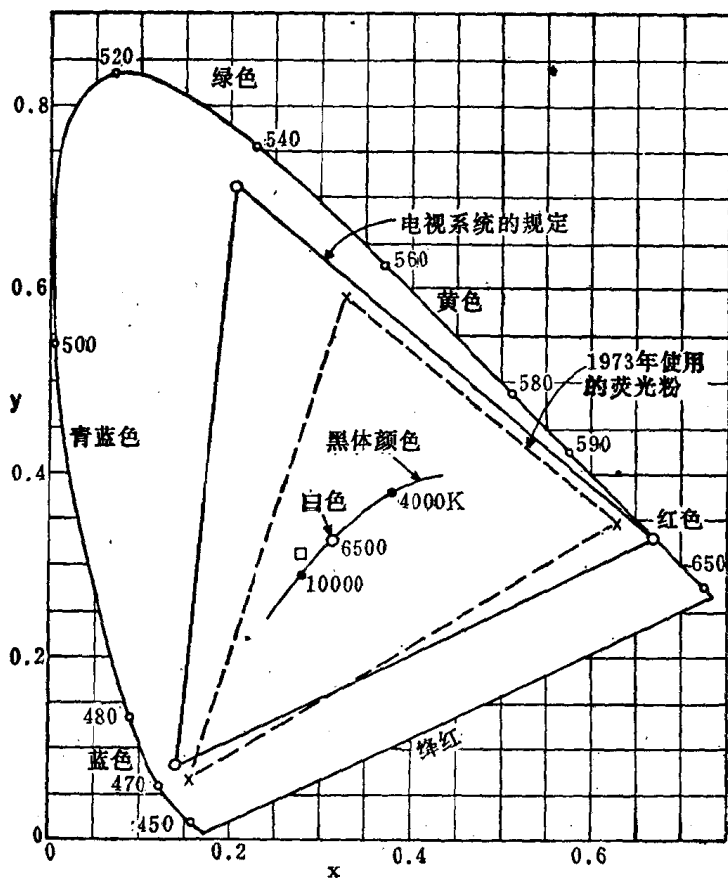


图 2.2 CIE 色度图

所规定的彩色电视系统的基色和白色点用○表示。典型的美国彩色显象管荧光粉用×表示。通常采用的白色点用□表示。

任何彩色都可以用该图的 x, y 坐标表示, 从图的中心“白色”向四周扩散, 就出现了各种逐渐加深的色调, 越接近马蹄形曲线边缘, 色饱和度就越大。两种彩色叠加后的新色彩是处在其两色彩对应坐标点的连线上。世界上大多数彩色电视系统所规定的三基色点, 在 CIE 图上用 0 表示。除了绿-青蓝这一块区域外, 三基色点覆盖着的面积足以产生极为满意的彩色重显。图中还示出了电视屏幕的“白色”点, 它非常接近于 6500K 黑体辐射的颜色, 近似于日光。

为了使重显装置最忠实地显示电视系统发送的彩色特性, 其基色要与电视系统所规定的基色一致。彩色显象管所使用的荧光粉是可以满足这一要求的, 但是, 这时它往往就不能工作在最高的效率, 达到最大的亮度。为此, 要进行折衷考虑, 尤其对于红色和绿色的荧光粉。考虑到电视观众的爱好, 以及大多数观众宁愿牺牲一些彩色逼真度来换取亮度, 人们宁可将显象管的彩色偏离于系统中所规定的位置, 如图 2.2 中符号 $\times$ 以及连接它们的虚线三角形所表示的那样。彩色饱和度的最大损失是在青蓝色到绿色的区域, 而在具有良好彩色逼真度的红色到黄-绿色区域, 将获得较亮的图象。幸而没有多少物体和景色处于被损失的彩色区域内^[22]。在美国, 因为顾客喜爱黑白电视发出带有浅蓝色的白光, 所以通常把彩色接收机的白色点调到对应于接近 9300K 黑体辐射色点。当彩色电视已经普及, 荧光粉进一步得到改进后, 白色点和三基色彩色点最终将可能与所设计的电视系统的白色点和三基色点相一致。

就所有的彩色电视系统而言, 重显装置及其有关的线路必须确保能够独立地调节各基色。用三基色中任何一种基色, 或者三基色中随意组合几种基色而产生的新色彩, 在整个图象面积上必须均匀。白色平衡, 即三基色组合而产生的白色, 必须既可调, 又可获得适应于电视系统所要求的在 CIE 色度图上的任意一点。除了这些要求以外, 白色平衡和彩色均匀性不得随光输出 (即从

暗到亮)而变化。例如,在使用三个电子束的显象管中,每个电子束各自控制一种颜色,这就要求每个电子束有极相似的控制特性。若荧光粉的光谱特性和发光效率使得白色平衡可以靠每个电子束的相等电流来获得,那么,上述要求就极容易达到。

为了改进信噪比(也为了其他原因)所有常用的彩色电视系统发送的电信号,与重显装置上所要求的光输出并非成线性比例关系。相反,信号有一个按分数幂定律的幅度压缩,其中,指数约为0.46,或者称发射系统的 γ 为0.46。在彩色电视系统中,要获得真正的彩色逼真度,就须要恢复这种比例关系,使重显的亮度正比于原来的亮度。为此, γ 值为0.46的传送信号必须按2.2次幂(0.46的倒数)来展开,以获得重显图象的亮度变化。好在大多数彩色显象管所用的电子枪很容易做到这一点。通过试验发现,实际电子枪设计,其光输出对控制信号的非线性关系近似于幂定律,其指数变化在2到3之间。因为在实际系统中,对比度的上限约在50:1,所以信号是以一种压缩形式传送的,运用的电压范围是 $50^{0.46}:1$ (即约为6:1)。因此,这个信号范围是不大的,在这个范围内显象管的电子枪必须近似地按所要求的2.2幂变化。此外,信号幅度还可用电视接收机的对比度电位器和视频激励线路进行调节,屏幕背景亮度(即黑电平)也是可调的(用亮度电位器调节)。已发现,当考虑到这些可变因素时,显象管电子枪在适用的信号范围内可使所要求的接收系统的 γ 值接近于2.2。因此,显象管中用的实际电子枪,即使不具有恒定的幂定律特性,也能够实现正确的彩色重显。在其光输出和信号之间的关系与阴极射线管完全不同的任何图象显示器件中,都必须引入 γ 电气补偿。

只有当显示的图象由三幅单独产生的图象合成时,例如普通的荫罩式彩色显象管,或是由三幅投影图象合成时,对彩色图象重显装置提出的最后一项要求才是有意义的。这最后一项要求就是重合。这些单独的图象应当在不损失分辨能力极限的条件下很

好地重合，并且必须在任何的亮度电平下和在整个画面上保持重合。幸好，在较远的观看距离上，小的不重合偏差是不易觉察的。影响也不象所想象的那样严重，因为在绿色信号中包含极丰富的亮度信息，同时人眼对其它彩色细节的辨色力是较小的。事实上，当彩色电视图象用精心设计和周密调整的荫罩式显象管重显时，或者是单独投影彩色图象时，重合一贯是不成问题的。

第三章 彩色图象重显方法分类

在一篇早期的文献^[1]中,综述了 1951 年以前专利文献中关于彩色显象管的许多建议。看法是多种多样的,其中大多数观点已不再被认为是可行的了。本章将着重介绍至今仍有意义的一般分类方法,并指出其发展前景。详细说明见第五~九章,关于参考文献,也请参阅这些章节。

产生彩色电视图象的最显而易见的途径,是用光学方法叠合三幅单色图象,每种基色都有一幅。这种方法仍然用在大屏幕投影电视系统中,并且曾一度用在实验型家用电视机中。但是,镜片或其它光学系统,要占去庞大的体积。更有价值的方法是直接把三幅图象叠合到显象管荧光屏上。实现这一点的途径是把彩色荧光粉分成小的三线色组或三点色组,每组的一个粉线或粉点对应各自的基色。当离开一定距离观看这样的荧光屏时,即使红、绿和蓝色图象实际上是由距离很近的细线或小点所产生,该三色图象也好像是重合的。第二类器件使用具有若干彩色层的不分色组的或是连续式的荧光屏。通过改变电子束的速度,使之穿透到各彩色层,屏上同一光点可产生任一基色(或几种基色相混而产生的颜色)。

3.1 分色组荧光屏

关于第一类采用分色组荧光屏的器件,必须独立控制各种基色。若电子束扫描足够精确,则可认为,在任一给定的时刻,可确切地确定电子束位置。假使那样的话,我们也能依据电子束扫描的直线性原理,使电子束对准规定的基色。然后对彩色输入信号加以编排,以便对某一给定的基色来说,在电子束正好打到该