

# 彩色印相用颜色测量探测器的光谱匹配

朱 德 魁  
(天津市照相器材厂)

## 提 要

本文从彩色负片、彩色相纸与 CIE 标准色度观察者光谱三刺激值相匹配的角度出发,对理论“银幕效果”进行了推导。提出了对彩色胶片进行颜色测量时所用的红色、绿色和蓝色峰值位置,半波宽度和峰值允差,并对通常波长数值进行颜色测量作了同色异谱分析和误差分析。从实验结果来看是成功的。可供彩色摄影工作者和照相器材研究设计人员参考。

## 一、引 言

在我国、彩色摄影和彩色印相已逐步地普及起来,可是关键的环节之一,印相过程的颜色难于掌握。据了解,很多彩色放大机都有偏色(即彩色平衡失效)现象,在试放过程中不会得到一次成功的结果。有经验的暗房工作人员根据经验加修正值,减少修改次数,解决这个问题的其他方法正在不断研讨中<sup>[1]</sup>。

实际的需要给色度学工作者提出了一个新的课题:解决彩色印相时的色还原理论与技术。众所周知,影响彩色照片彩色平衡的因素很多:如光源的光谱成分;光源的稳定度;曝光时间的准确性;负片的质量;显影液和漂定液的浓度及温度;操作人员的技术水平等。我们的工作主要是在色度学领域研究其原因,力图找到解决彩色平衡的途径。

## 二、理论和实验结果

### 1. 技术关键

彩色放大机和彩色扩印机的技术关键是经过彩色负片的三原色光(R·G·B光)要有合适的流明秒(对应于负片的C, M, Y染料的光谱吸收程度)。谱线经过精心设计的探测器和分析仪相配合,便是解决这个问题的钥匙,其简要过程是:先对标准底片的 $C_0$ ,  $M_0$ ,  $Y_0$ ,  $T_0$ 进行记忆,这与一般的仪器仪表的调零相似;接着对欲印放的负片进行颜色测量,调整靠近卤素灯的OMY干涉滤光片,使负片的C, M, Y, T与标准底片的 $C_0$ ,  $M_0$ ,  $Y_0$ ,  $T_0$ 一致,这时使可以对相纸曝光,按程序冲洗,得到彩色照片。上述对标准底片的数据进行记忆和对欲印放的负片的测试都是通过探测器进行的\*。

### 2. 光谱匹配

光谱匹配是指光电接收元件在光谱响应范围内,光源、接收器显示器与人眼睛视见函数

收稿日期:1985年7月24日;收到修改稿日期:1985年12月20日

\* 扩印机测量负片的反射光的情况也是有的。

在光谱分布之间的匹配。这里主要表现为三个过程;探测器与负片的匹配;相纸与探测器的匹配;眼睛与彩色相纸的匹配。只要探测器匹配得好,灵敏度就高,误差就小,一次试洗成功便有把握。

如图 1 所示,  $\phi_\lambda$  为负片的出射光谱曲线,  $S_{c\lambda}$  为探测器的光谱灵敏度曲线, 那么探测器的实际积分灵敏度为<sup>[7]</sup>

$$S = S_{c\lambda} \cdot \phi_\lambda = S_m \int \phi_\lambda S_{c\lambda} d\lambda / \int \phi_\lambda d\lambda = S_m (A_2 / A_1), \quad (1)$$

式中  $S_m$  为光全匹配时的峰值灵敏度,  $A_1$  为负片出射光谱的积分面积,  $A_2$  为探测器接收到的光谱积分面积。

如果光源是稳定的,  $\phi_\lambda$  的面积  $A_1$  可以看作常数, 那么探测器的  $S_{c\lambda}$  与  $\phi_\lambda$  重合得越好, 光谱响应面积  $A_2$  就越大, 总的积分灵敏度  $S$  就越大; 如果两条曲线没有重合之处, 即完全失配,  $S=0$ 。由此可见, 光谱匹配因子  $\alpha = (A_2 / A_1)$  是修改颜色测量探测器光谱曲线的重要依据。如果  $\alpha_R$ 、 $\alpha_G$  和  $\alpha_B$  都达到最大值, 也就是说光谱完全匹配, 色重现就可以实现, 由三原色合成的其他颜色也就相应地正确了。

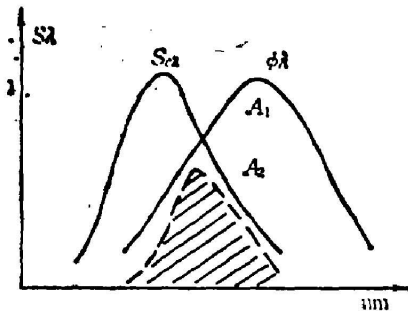


Fig. 1 Schematic drawing of spectral matching

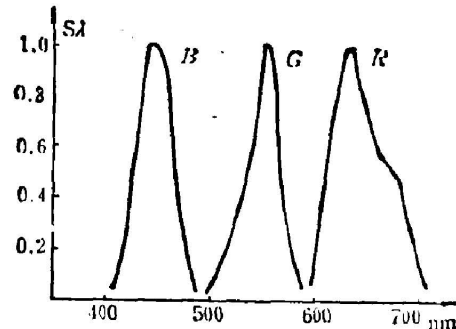


Fig. 2 "Screen effect" with ideal matching

### 3. 理想匹配的“银幕效果”

计算公式为: (负片染料吸收光谱) × (相纸光谱灵敏度) × (CIE 标准色度观察者光谱三刺激值) = 银幕效果。

$$\begin{bmatrix} 450 \\ 550 \\ 680 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 435 \\ 550 \\ 700 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 450 \\ 550 \\ 600 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 440 \\ 550 \\ 630 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{即: } B_\lambda = \sum \phi_\lambda P_\lambda \bar{b}(\lambda), \quad G_\lambda = \sum \phi_\lambda P_\lambda \bar{g}(\lambda), \quad R_\lambda = \phi_\lambda P_\lambda \bar{r}(\lambda), \quad (3)$$

说明:

- (1) 相隔 10 nm 取值, 分别相乘, 各自归一, 便得到“银幕效果”曲线, 如图 2 所示。
- (2) 卤素灯、滤光片与负片染料光谱吸收特性曲线<sup>[6]</sup>。
- (3) 探测器在此计算过程中只起旁路监控作用, 故其谱线不计算在内。
- (4) 彩色相纸特性, 如图 3 所示。
- (5) CIE 标准色度观察者光谱三刺激值<sup>[4]</sup>, 如图 4 所示。

根据有关彩色感光测定的理论<sup>[5]</sup>, 我们认为彩色胶片的颜色测量探测器的峰值响应要对应于负片染料的最大吸收峰 [450, 550, 680], 探测器各颜色光谱的半波宽度为 50~

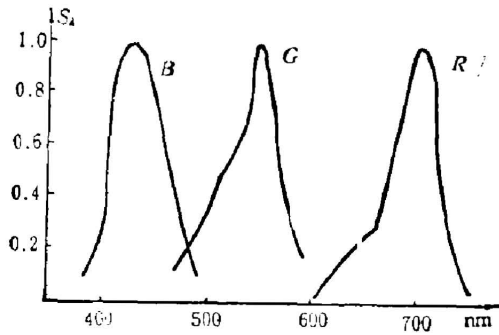


Fig. 3 Spectral absorbabilities of color films

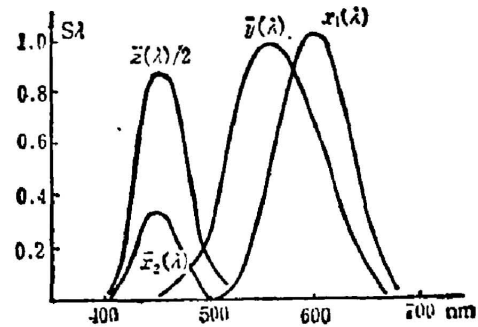


Fig. 4 Spectral tristimulus values of a CIE standard colorimetric observer

70 nm, 峰值允差为 2%。类似于人眼睛去看彩色电视, 这里是用探测器去“看”负片。

按照上述原则, 我们制造的颜色测量探测器于 1983 年 12 月 23 日进行试验, 接连几张负片都获得了一次试洗成功的结果。最近, 对某进口彩色扩印机的颜色测量探测器进行光谱测量, 其结果如图 5 所示, 为 [448, 548, 678], 与我们提出的理论数据亦是吻合的。

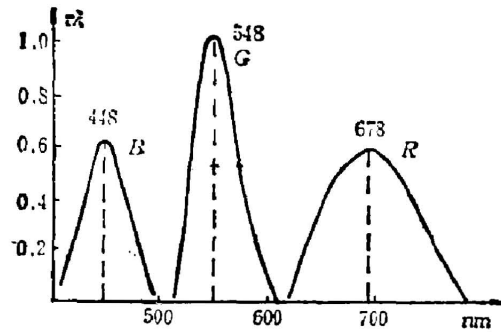


Fig. 5 Filter curve of a foreign color printer

### 三、讨 论

#### 1. 色复现的估价与探索依据减色法三色复制方程<sup>[3]</sup>

$$\left. \begin{aligned} C &= \gamma_{cr}D_r + \gamma_{cg}D_g + \gamma_{cb}D_b + K_c, \\ M &= \gamma_{mr}D_r + \gamma_{mg}D_g + \gamma_{mb}D_b + K_m, \\ Y &= \gamma_{yr}D_r + \gamma_{yg}D_g + \gamma_{yb}D_b + K_y. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$C, M, Y$  三种染料色密度需要求解十二个变量的行列式, 分别求得  $D_r, D_g, D_b$  后才能获得。显然, 这是非常繁杂的数学运算。在无配方而彩色摄影飞速发展起来的今天, 率先从光谱匹配角度解决彩色印相的色复现问题, 对彩色摄影事业是一个有益的工作。

从国内和阿克发色板坐标来看, [450, 550, 680] 数据组亦可以保证色板的色复现, 如图 6 所示。摄影光源的色温务必与彩色胶片所要求的色温一致, 以及在彩色胶片曝光宽容度之内等。

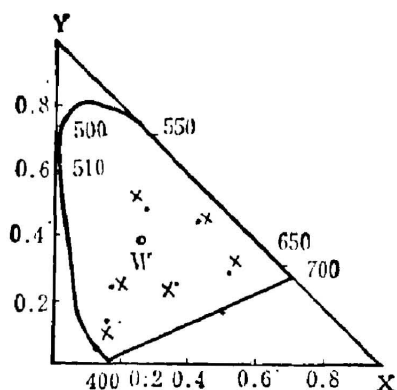


Fig. 6 Coordinates of color chip  
(x—Chinese; o—Agfa)

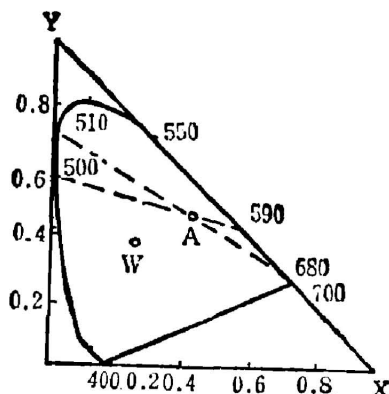


Fig. 7 Schematic drawing of metamerism

## 2. 同色异谱分析

$XYZ$  三刺激值相同, 光谱透率因数  $\phi_\lambda$  不同的物体色为同色异谱色, 这样的同色异谱色是不稳定的, 第一种情形如图 7 所示。在  $A$  点附近的微小区域的黄色染料色, 可以由 500 nm 的绿色与 590 nm 的橙色光谱色合成, 又可以由 506 nm 的绿色与 680 nm 的红色光谱色合成。这便是  $A$  点附近染料颜色的同色异谱现象。第二种情形如图 8 底片  $A$  与图 9 底片  $B$ 。它们的偏色不同, 如果都按“银幕效果”的 630 nm 处测量红色, 虽然探测器接收到光刺激量都是 0.87, 但却不能正确反映出截然不同的红绿光谱成分的比例, 导致颜色测量失败。以上便是对色品不同与刺激量不同两个角度的同色异谱分析。

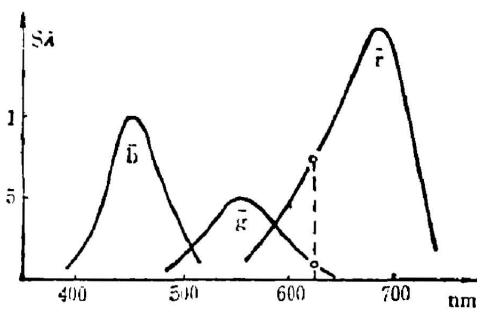


Fig. 8 Spectral curves of negative film A

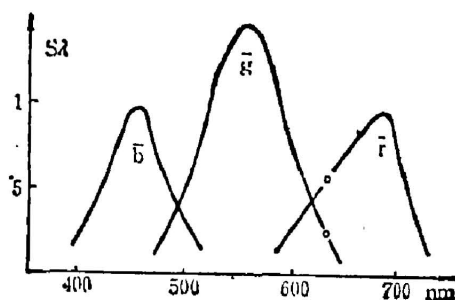


Fig. 9 Spectral curves of negative film B

## 3. 误差扩大

再从误差理论的角度来看, 彩色分析仪在 680 nm 处测量红色的精度为 1%, 而在 630 nm 处测量红色仅为 680 nm 处的 40%, 其测量精度为 2.5%。显然, 有可能将误差扩大很多, 这也是彩色失真的一个原因。

## 4. 评价方法

实际上评价彩色相片有两种方法: 一种是主观评价方法, 一种是客观评价方法。上述的用暖色调中性灰的观点, 应该在严格规定的条件下拍摄一组标准色板, 然后对照片上的色

板(复制品)进行色度测量与色差计算,予以更严格的论证。此项工作留待下一步去完成。

本工作得到天津大学吴继宗教授帮助与指导。崔顺才同志在实验中予以协助,在此一并致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Revised by S. Welford, *et al.*; *«PHOTOGRAPHY THEORY AND PRACTICE 6 Colour processes»* (Focal press london & New York, 1971.)
- [2] 高野荣一;《遥感》, (科学出版社,北京,1983), 217。
- [3] 束越新;《颜色光学基础理论》, (山东科学技术出版社,1981), 616。
- [4] 荆其诚等;《色度学》, (科学出版社,1979), 280。
- [5] B. T. Ryaw(Editor); *«Principles of Color Sensitometry»*, (中国电影出版社,1983), 51。
- [6] 笹井明;《写真工业》,1984, **42**, No. 9 (Sep), 88。
- [7] 薛君敦;《光辐射测量原理和方法》, (计量出版社,1980), 228。

### Spectral matching of color measurement detectors for color printing

ZHU DEKUI

(Tianjin Photographic Equipment Factory)

(Received 24 July 1985; revised 20 December 1985)

#### Abstract

The calculation of theoretical "screen effect" from the viewpoint of mutual matching of spectral tristimulus values of a CIE standard colorimetric observer with color negative films and color printing papers is described in this article. The corresponding peak value position, half band-width and peak value's allowance of Red, Green and Blue of color measurements of color negative films are provided. The metamerism analysis and error analysis for the color measurements of general wavelength values are given. The experimental results have borne out the analysis. Each peak value conforms to the data published by Kodak Co. and French Co., and is nearly equal to the data provided by a foreign color printer. Our data will provide reference for workers engaged in color photography and research and design of photographic equipment.