

关于照相物镜色贡献指数容限的讨论

沈 海 龙
(华东工学院)

提 要

关于照相物镜色贡献指数的国际标准于1983年公布。但是,关于色贡献指数(ISO/CCI)的容限仍保留在附录中,并以建议的形式给出。本文从色度学基本公式出发,对相应于容限范围内六个边缘点的照相物镜,计算了它们摄影效果的色度坐标。同时计算了它们和ISO标准照相物镜的摄影效果在均匀颜色空间的色差值。据此讨论了该容限的合理性,并提出把容限范围划分成两个区域的建议。

关键词: 照相物镜。

一、问题的提要

照相物镜的彩色还原性能是生产厂和使用者都十分关心的问题。国际标准化组织在美国国家标准化研究所大量工作的基础上,经过了廿多年的讨论和修改补充,公布了关于照相物镜色贡献指数的国际标准ISO 6728-1983。规定利用 D_{55} 光源经过照相物镜,分别对标准彩色胶片上蓝、绿和红三敏感层的总效果,及由此导出的三个数字作为评价照相物镜彩色还原性能的指标,并称其为色贡献指数(Colour Contribution Index)。

国际标准中还承认了一种标准照相物镜,它的色贡献指数为“ISO/CCI 0/5/4”。并推荐把它作为实际照相物镜彩色还原性能的目标值。

关于色贡献指数的容限范围,国际标准中仅以附录的形式作为建议给出:蓝 $0 \pm \frac{1}{2}$;绿 $5 \pm \frac{1}{2}$;红 $4 \pm \frac{1}{2}$ 。为了实际使用方便,上述容限范围用一张三线图上的一个不等边六边形来表示,如图1所示。其使用方法是根据测量计算得到的CCI值,以图中原点为起始点,顺序按蓝绿红的正方向数出其格数,最后得到的结点位置如落在六边形内或者边线上,以判断该照相物镜的彩色还原性能合格与否。

在贯彻使用这个国际标准时,很自然会想到为什么要把容限以附录形式给出?而且国际标准中还特别指明:“附录不是本标准的组成部分”。而在通常使用该标准时,又往往把它作为彩色还原性能合格与否的标准。很自然会产生疑问:这样做是否合理?彩色评价问题是涉及到心理物理学的复杂问题,如何使这个容限与国际规定的色度学标准相联系,作进一步的计算显然是很有必要的。

二、计算的思路和方法

基本的计算思路如下:设想用由 D_{55} 标准光源均匀照明的理想漫反射屏作为物平面,由

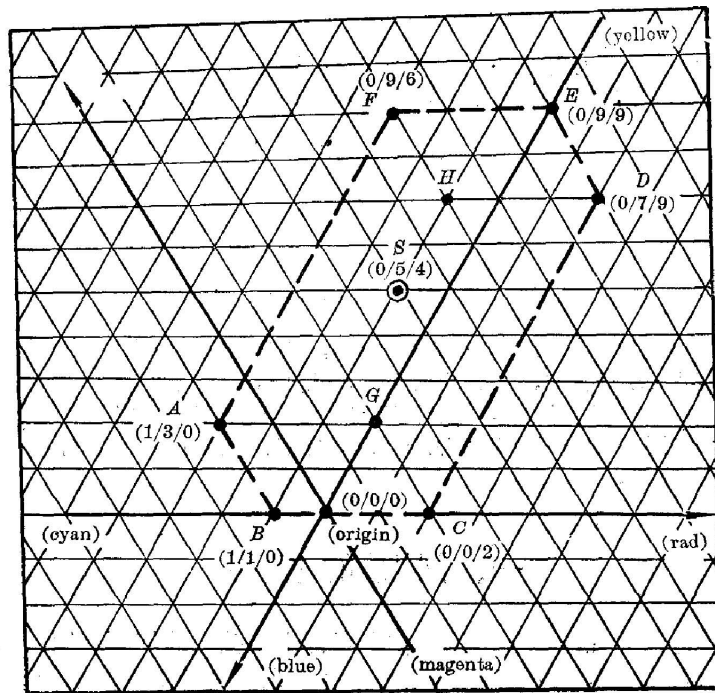


Fig. 1 The tolerance of ISO/CCI (Trilinear graph)

照相物镜将该物平面成像在标准彩色胶片上并形成彩色影像。根据已知的 D_{55} 光源的光谱功率分布和标准彩色胶片的光谱灵敏度，不同光谱透过率的照相物镜就可以求得相应的影像色度坐标。利用该坐标与标准照相物镜的影像色度坐标相比较，可求出它们的色差值。由照相物镜的光谱透过率可算得色贡献指数。这样就能使色贡献指数和彩色影像间的色差相联系。于是就有可能从色度学的角度来进一步讨论色贡献指数容限范围的合理性。

设 D_{55} 光源的相对光谱功率分布为 $p(\lambda)$ ^[1]，照相物镜的光谱透过率为 $\tau(\lambda)$ ，则经过照相物镜后像方光束的光谱功率分布 $p'(\lambda)$ 为：

$$p'(\lambda) = p(\lambda)\tau(\lambda) \tag{1}$$

这样的光束投射到彩色胶片上。彩色胶片中有三种分别对应于蓝绿红色的敏感层，国际标准中规定了它们的光谱灵敏度数据^[1]，分别用 $S_B(\lambda)$ ， $S_G(\lambda)$ 和 $S_R(\lambda)$ 表示。光谱灵敏度的定义是：在最后影像上造成规定密度所需要的每一波长辐射能量值的倒数。于是，在蓝绿红三敏感层上得到的光强度值为：

$$\left. \begin{aligned} \text{蓝: } B &= \int_{360}^{680} p(\lambda)\tau(\lambda)S_B(\lambda)d\lambda, \\ \text{绿: } G &= \int_{360}^{680} p(\lambda)\tau(\lambda)S_G(\lambda)d\lambda, \\ \text{红: } R &= \int_{360}^{680} p(\lambda)\tau(\lambda)S_R(\lambda)d\lambda. \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

设总辐射功率为 1，则三敏感层上的相对光强度值分别为：

$$\left. \begin{aligned} \text{蓝: } B' &= B/(B+G+R), \\ \text{绿: } G' &= G/(B+G+R), \\ \text{红: } R' &= R/(B+G+R). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

求得三色感光层上的曝光密度分别为^[4]:

$$\left. \begin{aligned} \text{蓝: } D_B &= -\lg B' = -\lg[B/(B+G+R)], \\ \text{绿: } D_G &= -\lg G' = -\lg[G/(B+G+R)], \\ \text{红: } D_R &= -\lg R' = -\lg[R/(B+G+R)]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

根据彩色摄影原理, 当已知曝光密度 D_B 、 D_G 和 D_R 后, 利用布朗关系式^[4]即可求得显影后在彩色胶片中三色感光层的染料密度分量:

$$\left. \begin{aligned} \text{青: } c &= 1.168 D_R - 0.223 D_G + 0.142 D_B, \\ \text{品红: } m &= -0.215 D_R + 1.579 D_G - 0.312 D_B, \\ \text{黄: } y &= -0.087 D_R - 0.406 D_G + 1.498 D_B. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

现设想用理想的等能白光照射在该底片上进行印相。根据补色原理, 在照片上所观察到的颜色在 R, G, B 表色系统中的三刺激值为:

$$R = 0.5(y+m), \quad G = 0.5(c+y), \quad B = 0.5(c+m). \quad (6)$$

根据 RGB 表色系统与 XYZ 表色系统的互换公式^[5], 很容易求出 XYZ 表色系统的三刺激值:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{0.49000 R + 0.31000 G + 0.2000 B}{0.66697 R + 1.13240 G + 1.20063 B}, \\ Y &= \frac{0.17697 R + 0.81240 G + 0.01063 B}{0.66697 R + 1.13240 G + 1.20063 B}, \\ Z &= \frac{0.01000 R + 0.99000 B}{0.66697 R + 1.13240 G + 1.20063 B}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

进一步可求得彩色照片上影像的色度坐标:

$$x = X/(X+Y+Z), \quad y = Y/(X+Y+Z), \quad z = 1-x-y. \quad (8)$$

为了求出由不同照相物镜所得到照片上影像颜色之间的差别, 可将色度坐标换算成 CIE 1964 均匀颜色空间的色度指数 u^* , v^* ^[6]:

$$u = -4x/(2x-12y-3), \quad v = -6y/(2x-12y-3), \quad (9)$$

$$u^* = 13 \omega^*(u-u_0), \quad v^* = 13 \omega^*(v-v_0), \quad (10)$$

其中 ω^* 是明度指数, 我们这里取 $\omega^* = 50$, 相当于彩色照片上的亮度为 $Y = 19.25 \text{ nit}$ 。 u_0 和 v_0 是 D_{55} 光源的均匀色品标尺的坐标, $u_0 = 0.2044$, $v_0 = 0.3025$ 。不同光谱透过率的照相物镜, 可以计算出不同的 u^* 和 v^* 。任何两种照相物镜在照片上造成影像颜色的差别, 可以用色差 ΔE 来衡量:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2},$$

其中 Δu^* 和 Δv^* 是两种颜色的色度指数的差值。

三、计算结果

首先把国际标准中建议的色贡献指数容限换算成八个极限点, 并用如下字母标注:

Table 1 The camera lens spectral transmittance $\tau(\lambda)$ corresponding to the six points, which limit the tolerance of ISO/CCI

		S(标准物镜)	A	B	C	D	E	F
	ISO/CCI	0/5/4	1/3/0	1/1/0	0/0/2	0/7/9	0/9/9	0/9/6
1	360nm	0.07	—	—	—	—	—	—
2	370	0.23	0.42	0.38	0.40	0.31	0.26	0.34
3	380	0.42	0.65	0.59	0.67	0.48	0.41	0.48
4	390	0.60	0.76	0.68	0.78	0.53	0.53	0.59
5	400	0.74	0.81	0.79	0.85	0.65	0.61	0.65
6	410	0.83	0.83	0.82	0.87	0.69	0.67	0.69
7	420	0.88	0.86	0.84	0.89	0.74	0.70	0.75
8	430	0.91	0.88	0.86	0.91	0.76	0.73	0.77
9	440	0.94	0.90	0.87	0.91	0.80	0.76	0.79
10	450	0.95	0.90	0.87	0.91	0.81	0.78	0.81
11	460	0.97	0.91	0.88	0.91	0.83	0.80	0.83
12	470	0.98	0.92	0.88	0.91	0.85	0.82	0.85
13	480	0.98	0.92	0.88	0.90	0.87	0.84	0.87
14	490	0.99	0.93	0.87	0.90	0.88	0.85	0.88
15	500	0.99	0.93	0.86	0.89	0.89	0.87	0.89
16	510	1.00	0.94	0.86	0.89	0.89	0.89	0.90
17	520	1.00	0.93	0.85	0.88	0.89	0.90	0.92
18	530	1.00	0.93	0.85	0.87	0.89	0.90	0.94
19	540	1.00	0.92	0.85	0.87	0.90	0.91	0.95
20	550	1.00	0.92	0.84	0.88	0.90	0.91	0.96
21	560	1.00	0.91	0.84	0.89	0.91	0.91	0.96
22	570	1.00	0.90	0.84	0.90	0.92	0.91	0.96
23	580	1.00	0.90	0.84	0.91	0.92	0.91	0.95
24	590	0.99	0.89	0.83	0.92	0.93	0.91	0.95
25	600	0.99	0.88	0.83	0.92	0.93	0.91	0.94
26	610	0.99	0.87	0.83	0.92	0.94	0.92	0.92
27	620	0.98	0.86	0.83	0.93	0.94	0.92	0.90
28	630	0.98	0.86	0.83	0.93	0.94	0.92	0.88
29	640	0.97	0.85	0.82	0.94	0.95	0.90	0.87
30	650	0.97	0.84	0.82	0.94	0.95	0.90	0.87
31	660	0.96	0.83	0.82	0.93	0.95	0.89	0.83
32	670	0.95	0.82	0.81	0.92	0.95	0.89	0.83
33	680	0.94	0.82	0.81	0.92	0.95	0.89	0.85

$$\begin{aligned}
 (0^{+3}/5^0/4^{+1}) &= (3/5/5) = (0/2/2) \Rightarrow G \\
 (0^{+3}/5^0/4_{-2}) &= (3/5/2) = (1/3/0) \Rightarrow A \\
 (0^{+3}/5_{-2}/4^{+1}) &= (3/3/5) = (0/0/2) \Rightarrow C \\
 (0^{+3}/5_{-2}/4_{-2}) &= (3/3/2) = (1/1/0) \Rightarrow B \\
 (0_{-4}/5^0/4^{+1}) &= (-4/5/5) = (0/9/9) \Rightarrow E \\
 (0_{-4}/5^0/4_{-2}) &= (-4/5/2) = (0/9/6) \Rightarrow F \\
 (0_{-4}/5_{-2}/4^{+1}) &= (-4/3/5) = (0/7/9) \Rightarrow D \\
 (0_{-4}/5_{-2}/4_{-2}) &= (-4/3/2) = (0/7/6) \Rightarrow H
 \end{aligned}$$

这八个点在三线图上的位置如图 1 所示。其中 G 和 H 两点位在六边形中间，有效的是边角上六个点。这六个点的色贡献指数值对应有不同的六种光谱透过率的照相物镜。可以用逐步调整逼近的办法找出对应这六个位置的光谱透过率。表 1 中表示的是一种逼近结果，它们是计算色度的依据。

表 2 中列出了利用上面的计算方法对标准照相物镜所形成彩色影象的色度计算结果，也列出了色贡献指数容限所对应的六个边缘位置的照相物镜所形成影象的色度计算结果。

表 3 中列出了色贡献指数容限的六个边缘位置对应的照相物镜与标准物镜在标准彩色胶片上形成颜色之间的色差 ΔE 。

Table 2 The computed results of colorimetry for photographic effects of lenses corresponding to some ISO/CCI

	S(标准物镜)	A	B	C	D	E	F
ISO/CCI	0/5/4	1/3/0	1/1/0	0/0/2	0/7/9	0/9/9	0/9/6
x	0.32713	0.32452	0.32735	0.33085	0.33105	0.32865	0.32499
y	0.36173	0.36889	0.37426	0.37471	0.35615	0.35073	0.35070
u	0.19569	0.19152	0.19153	0.19363	0.20028	0.20066	0.19821
v	0.32459	0.32657	0.32847	0.32894	0.32320	0.32121	0.32084
u^*	-5.38561	-8.09670	-8.08926	-6.72800	-2.40310	-2.15861	-3.74991
v^*	2.60416	3.88724	5.12498	5.43155	1.69825	0.40398	0.16560

Table 3 Calculated results of color difference

$\omega^* = 50$

	A	B	C	D	E	F
ISO/CCI	1/3/0	1/1/0	0/0/2	0/7/9	0/9/9	0/9/6
ΔE	3.00	3.70	3.13	3.12	3.91	2.94

Table 4 Calculated results of color difference

$\omega^* = 60$

	A	B	C	D	E	F
ISO/CCI	1/3/0	1/1/0	0/0/2	0/7/9	0/9/9	0/9/6
ΔE	3.60	4.40	3.76	3.74	4.96	3.53

表 3 中数值是当明度指数 ω^* 为 50 时的计算结果。如果使 $\omega^* = 60$, 相当于亮度为 $Y = 29.2$ 尼特时, 则可得到表 4 所列的计算结果。

四、结论和建议

(1) 色差 ΔE 的单位称为“CIE1964 色差单位”。通常认为人眼判别色差的允许范围为 1~10 色差单位^[6]。有资料指出:“象涂料和纺织品那样颜色稍有差别就比较明显, 其允许色差应控制在几个单位以内。而彩色电视的典型色复现, 其平均色差控制在 10 个单位以内便认为达到满意的效果^[5]。对照相物镜成像应控制到多大色差单位以内, 没有找到具体的数据资料。但是我认为对此没有必要提苛刻要求。因为人们总是看一张照片的彩色情况, 一般不会使两张照片作仔细比较。根据上面的参考数据, 我认为对于照相物镜来讲, 能使彩色平均色差控制在 6~7 个单位以内, 就可以认为满意了。”

(2) 表 3 和 4 表的计算结果表明, 国际标准中推荐的色贡献指数的容限范围是合理的。最大色差不超过 5 个单位, 一般为 3 个单位左右。可以认为该容限范围是比较严格的, 可以作为普通照相物镜彩色还原性能的验收标准。

(3) 从实际测量来看, 普通的照相物镜(如四片三组式)的色贡献指数测量值是很容易达到国际标准推荐的容限范围之内。只有较为复杂的照相物镜, 例如变焦距镜头和折反式照相物镜, 特别是使用较多镧系玻璃的物镜, 由于光波短波部分吸收较多, 实测结果往往超出容限范围。

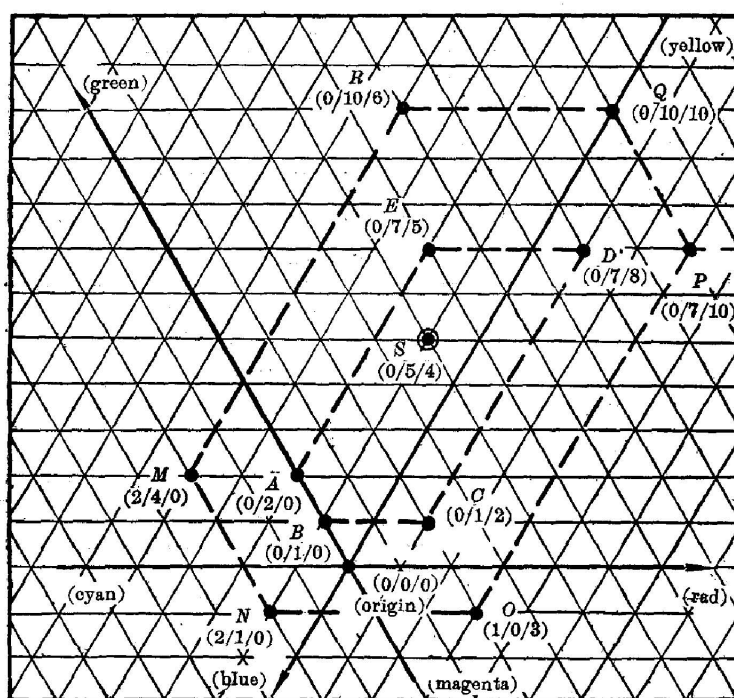


Fig. 2 Recommended tolerance

(4) 由于普通照相物镜很容易达到这个容限, 而且稍有超差的物镜所照的照片一般还是能够被接受的。我们用色贡献指数为(ISO/CCI 0/11/12)的物镜做过实拍试验。所以为了照顾到较为复杂的物镜, 建议将色贡献指数的容限范围划分成“优良”和“合格”两个区域, 如图 2 所示。实际照相物镜的色贡献指数实测值落在图中 $ABCDE$ 五边形之内或者边线上, 则可以为彩色还原性能优良, 它与标准照相物镜的色差不超过 3 个单位。如果落在该范围之外, 但是在 $MNOPQR$ 六边形之内或者边线上, 则可认为彩色还原性能合格, 它与标准照相物镜的色差不超过 7 个单位。这样划分成两个区域后, 可以对不同用途和复杂程度的照相物镜提出更为具体的要求。

笔者在该项工作中曾得到山东纺织工学院束越新教授的鼓励和指导。长春光学精密机械研究所金秋同志曾审阅过全文, 提出了很好的意见。在此向他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] ISO 6728-1983.
- [2] ANSI PH3.607-1981.
- [3] W. D. Wright; «The Measurement of Colour», 4th. ed., 1969, 167.
- [4] 束越新; «颜色光学基础理论», (山东科学技术出版社, 1981), 610~619.
- [5] 荆其诚等; «色度学», (科学出版社, 1979), 76~77; 124~129.
- [6] D. B. Judd, G. Wyszecki; «Color in Business, Science and Industry», 3rd. ed., 1975, 324~325.

Review on the tolerance for colour contribution index of camera lenses (ISO/CCI)

SHEN HAILONG

(East China Institute of Technology)

(Received 20 December 1984; revised 11 June 1986)

Abstract

In this paper, chromaticity co-ordinates of photographic effect of camera lenses corresponding to the six points, which limited the tolerance of ISO/CCI, is calculated by means of the basic formulae of colorimetry. The color difference of photographic effects between the lenses according with the six points and the ISO standard camera lens is computed by using the CIE 1964 color difference formulae. According to these results, the rationality of the tolerance of ISO/CCI is discussed and the proposal for dividing the tolerance of ISO/CCI into two regions is presented.

Key Words: Camera lens.