

CIE 标准照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 色度点的颜色匹配和允许范围

荆其诚 张增慧 焦书兰 喻柏林

(中国科学院心理研究所)

提 要

利用目视色度计研究了 CIE 标准照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 色度点的颜色匹配和允许范围。通过混合 (R) (G) (B) 原色产生近似于 CIE 标准照明体的颜色, 呈现在目视色度计的一半视场上。观察者按“匹配”和“恰可察觉差异”两种指标在相邻视场上调节颜色, 分别得出标准照明体的匹配和允许范围。

研究发现, CIE 标准照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 的匹配和允许范围在 CIE 1931 色度图上都接近椭圆形。CIE 标准照明体 D₅₅ 和 D₇₅ 的允许范围在 CIE 1960 UCS 图上更接近圆形, 而标准照明体 A 和 D₆₅ 的允许范围在 CIE 1976(L*u*v*) 空间图上更接近圆形。

一、前 言

1970 年 CIE 色度学委员会对 CIE 标准照明体作了规定, 除了确定标准照明体 A 以外, 还推荐了标准照明体 D₅₅、D₆₅、D₇₅, 并给出这些照明体 300~800 nm 的相对光谱功率分布及色度坐标。照明体 D₅₅、D₆₅、D₇₅ 代表不同时相的日光, 还提出将用它们代替原来的标准光源 B 和 C^[1]。

在 CIE 1931 色度图上, 每一个点代表一个确定的颜色, 但对视觉来说, 当这个颜色的坐标位置变化很小时, 人眼感觉不出颜色的变化。可见, 每一种颜色虽然在色度图上占一个点的位置, 而对视觉来说它实际上是一个范围, 在这个范围内的变化在视觉上是等效的。我们可以把这个人眼感觉不出来的颜色变化范围叫做颜色的等效范围。

MacAdam^[2] 曾测出 CIE 1931 色度图不同位置上的 25 个颜色的等效范围, 发现各种颜色的等效范围都呈现椭圆形。Wyszecki 等人^[3] 进行了颜色匹配实验研究, 他们采用大致均匀地分布在色度图三角形内的 28 个试验色, 发现新的颜色椭圆与 MacAdam 的实验结果有很好的近似。

我们用近似于 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 四种标准照明体的颜色作为标准进行匹配实验, 找出各个色度范围, 亦即等效范围。同时还测出各个色度点的允许范围。所谓颜色的允许范围是指两种颜色在视觉上略有差别, 而其差别甚为微小, 仍可作为“相同”的颜色来看待。从实验结果可进一步了解各标准照明体的色度范围在 CIE 1931 色度图、CIE 1960 UCS 图和 CIE 1976(L*u*v*) 空间上的分布。

收稿日期: 1981年2月24日

二、仪器和实验方法

利用一台自行设计的双积分球目视色度计进行实验,已有文章详细介绍^[4]。仪器示意图见图 1。仪器包括标准积分球和比较积分球。两积分球壁各有三个入射光孔和一个出射光孔。三个投光器分别将红(R)绿(G)蓝(B)三原色光束射入积分球,经球内壁氧化镁的多次反射,形成均匀的混合光,再出射到球外的两块直角反射棱镜,形成两半视场。投光器装有可调虹彩光阑,借以控制入射光的通量。通过调整积分球三原色光的比例,分别在两半视场产生标准颜色光和比较颜色光。

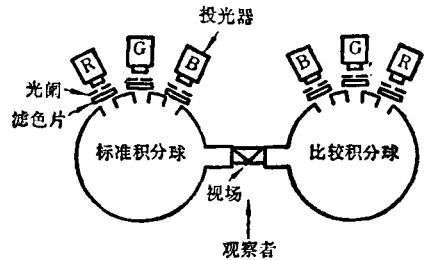


图 1 双积分球目视色度计

Fig. 1 Double integrating sphere visual colorimeter

观察者实验前先进行暗适应,并通过黑色长筒在 2° 视场进行观察。在标准视场呈现标准照明体的颜色后,改变比较视场的颜色,此时观察者认为两半视场的颜色和亮度相等时,可作为颜色匹配的数据。再改变比较光,观察者刚好能觉察到两半视场的颜色不同时,作为颜色允许范围的数据。用 CIE 标准方程式计算三刺激值和色度坐标。

三刺激值;

$$X = \sum S_i(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta(\lambda); \quad Y = \sum S_i(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta(\lambda); \quad Z = \sum S_i(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta(\lambda),$$

色度坐标:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}; \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}; \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z},$$

式中 $S_i(\lambda)$ 为每一半视场的相对光谱功率分布, $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 为 CIE 1931 标准观察者光谱三刺激值, $\Delta\lambda$ 取 10 nm 间隔。用光电积分亮度计分别测出各 Y 值的相应亮度值 L 。

在实验结果的计算中还大量使用了目视色度计的色度坐标算法^[5]。用光谱光度测量法与目视色度计色度坐标算法进行对比,二者的平均差异为 $\Delta x = 0.0014$, $\Delta y = 0.0005$ 。

共七名观察者,男 5 女 2, 年令 28~46 岁,具有正常视觉和色觉。每名观察者目视匹配的次数不等。

三、实验结果

七名观察者对 CIE 四种标准照明体在 2° 视场观察条件下进行的颜色匹配和允许范围实验结果如下。

1. 颜色匹配和允许范围

图 2 是 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 四种照明体在 CIE 1931 色度图上的匹配和允许范围数据点。图中的“0”代表标准点,“+”代表匹配点,“·”代表允许点。用图形分别把两种数据点的 95% 包括在内,形成两个圈,内圈是匹配范围圈,外圈是允许范围圈。

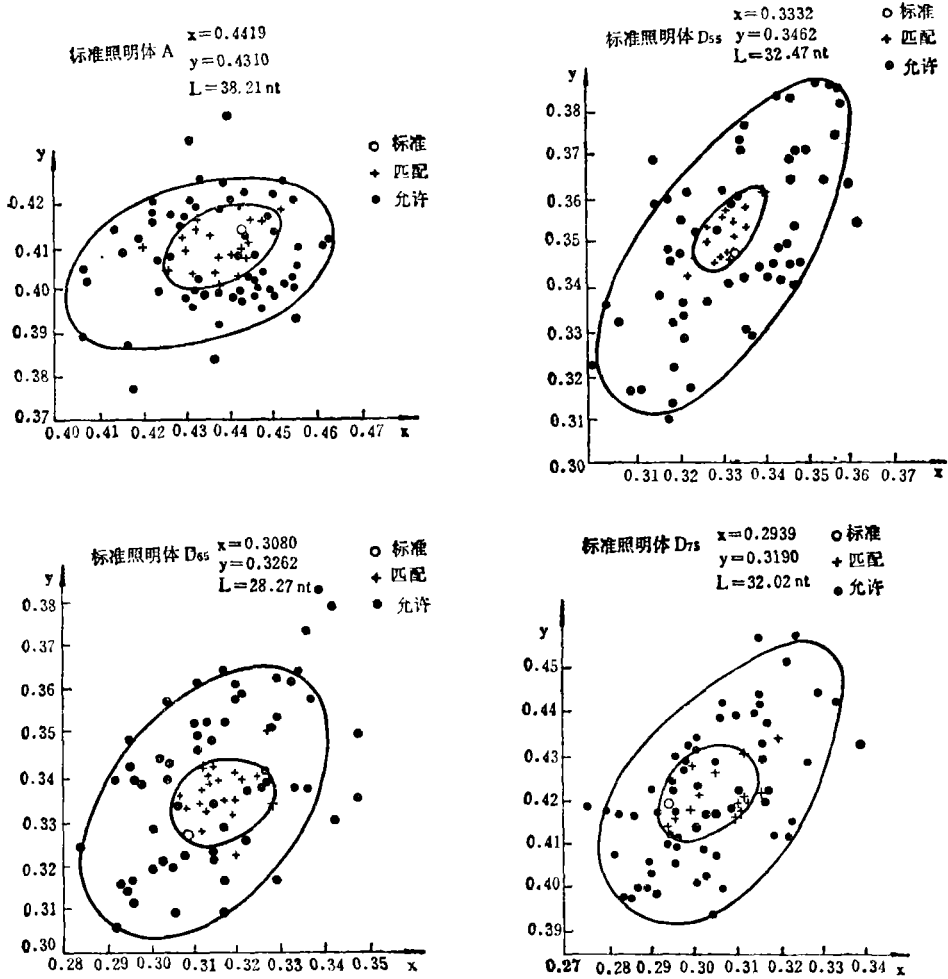


图2 CIE 标准照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 的颜色匹配和允许范围 (CIE 1931 色度图)
Fig. 2 Color matching and acceptability limits of CIE standard illuminants A, D₅₅, D₆₅, D₇₅

从实验结果可以看出:

(a) A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 四种照明体在 CIE 1931 色度图上的颜色匹配范围有一定的差别, D₆₅ 略为接近圆形, A、D₅₅、D₇₅ 接近卵圆形。在四种照明体中, D₅₅ 的匹配范围最小, D₆₅ 和 D₇₅ 次之。四种照明体的允许范围都呈椭圆形。

(b) 四种照明体在 CIE 1931 色度图上的允许范围的椭圆方向不同, A 照明体是水平方向, D₅₅、D₆₅、D₇₅ 均是 45° 方向。图 3 例举两名观察者对照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 的允许范围, 它们的形状和方向与全体观察者的结果是一致的。

2. 标准照明体的允许范围

CIE 1931 色度图不是均匀的色度图, 图中的空间在视觉上不是等距的, 所以不能如实地反映颜色的视觉差异。1960 年制定了 CIE 1960 均匀色度标尺图 (简称 CIE 1960 UCS 图)。这个图的横坐标 u 和纵坐标 v 可由下式求出:

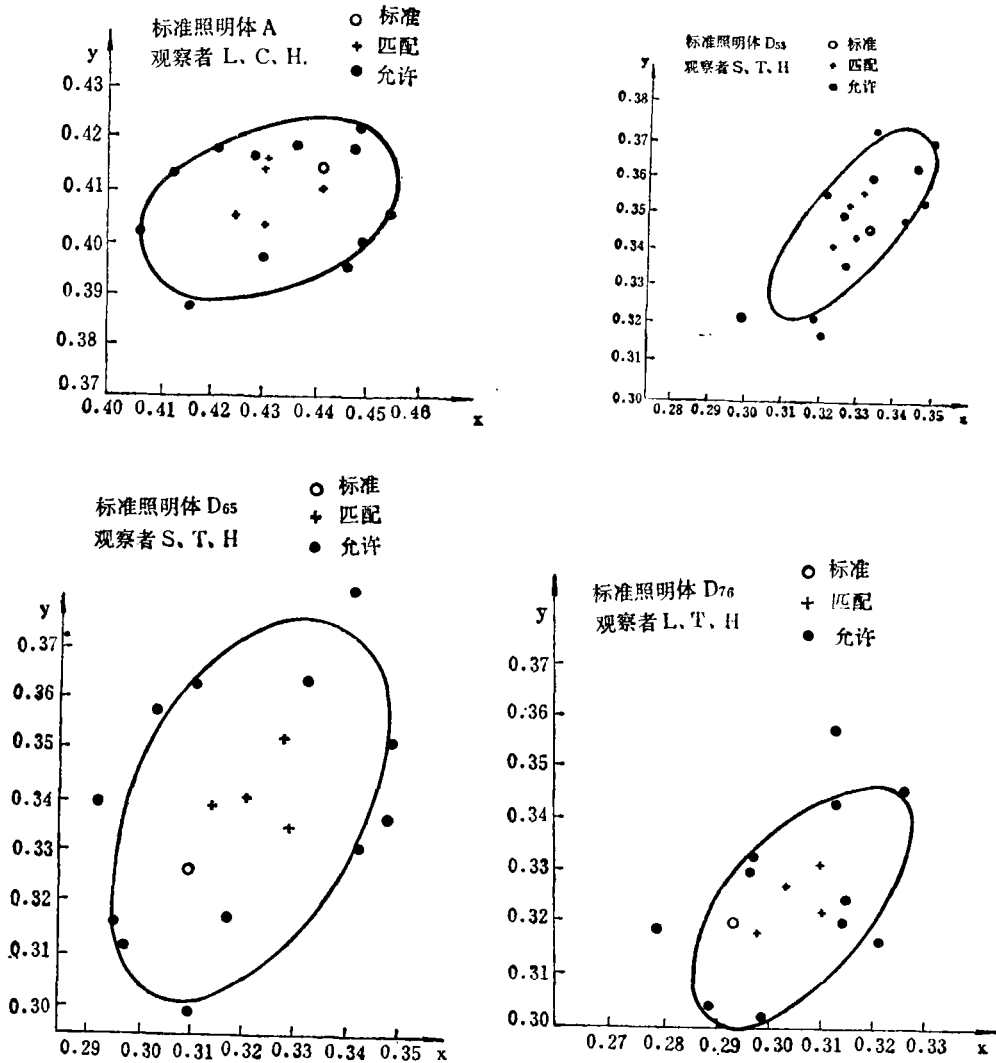


图3 个别观察者对 CIE 标准照明体 A、D₅₅、D₆₅、D₇₅ 的颜色允许范围

Fig. 3 Color acceptability limits of CIE standard illuminants A, D₅₅, D₆₅, D₇₅ by individual observers

$$u = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}, \quad v = \frac{6y}{-2x + 12y + 3}$$

其中 x, y 为 CIE1931 色度图的色度坐标。1976 年又提出 CIE1976 均匀颜色空间 (简称 CIE1976 ($L^*u^*v^*$) 空间)^[5], 这个空间的 u', v' 平面坐标 $u' = u, v' = 1.5v$ 。在两种均匀色度图上, 颜色允许范围椭圆形更接近圆形。

我们为考查四种标准照明体的允许范围在 CIE 1960 UCS 图和 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空间上的分布情况, 从 CIE 1931 色度图上四种标准照明体允许范围圈上选出若干色度点, 将 x, y 色度坐标转换成 u, v 坐标和 u', v' 坐标, 分别画在 CIE 1960 UCS 图上和 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空间图上, 如图 4 和图 5 所示。可以看出, 标准照明体 D₅₅ 和 D₇₅ 在 CIE 1960 UCS

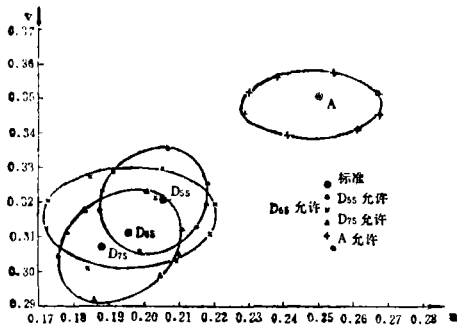


图 4 CIE 1960 UCS 图上四种标准照明体的颜色允许范围

Fig. 4 Color acceptability limits of 4 standard illuminants on the CIE 1960 UCS diagram

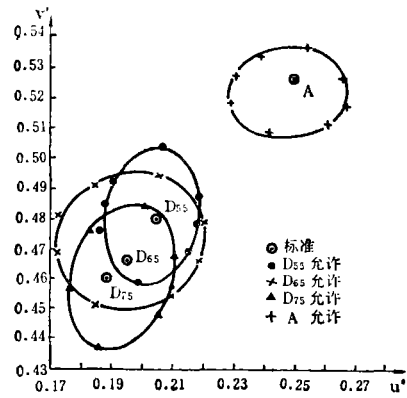


图 5 CIE 1976 均匀颜色空间图上四种标准照明体的颜色允许范围

Fig. 5 Color acceptability limits of 4 standard illuminants on the CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) space

图上更接近圆形,但是标准照明体 A 和 D_{65} 却在 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空间图上更接近圆形。

四、小 结

1. 从实验结果可以看出, A、 D_{55} 、 D_{65} 、 D_{75} 四种标准照明体的颜色匹配范围有差别。各种照明体在 CIE 1931 色度图上的匹配范围都接近椭圆形。这与 MacAdam 和 Wyszecki 的实验结果近似。

2. 四种照明体的允许范围都呈现椭圆形,与匹配范围的趋势一致。

3. 在 CIE 1960 UCS 图和 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空间图上考查了四种标准照明体允许范围的分布情况。标准照明体 D_{55} 和 D_{75} 在 CIE 1960 UCS 图上更接近圆形,而标准照明体 A 和 D_{65} 在 CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) 空间图上更接近圆形。

4. 本实验所得四种标准照明体的颜色匹配和允许范围对光源的检验和标定及电视白场的确定有参考意义。

参 考 文 献

- [1] Commission Internationale de l'Eclairage. Publication No. 15, Colorimetry, 1971.
- [2] D. L. MacAdam; *J. O. S. A.*, 1942, **32**, No. 2 (Feb), 247.
- [3] G. Wyszecki, G. H. Fielder; *J. O. S. A.*, 1971, **61**, No. 9 (Sep), 1135.
- [4] 荆其诚、张增慧、喻柏林、焦书兰、郑鸿祥;《科学通报》, 1980, **25**, No. 1 (Jan), 43.
- [5] 荆其诚、焦书兰、喻柏林、胡维生;《色度学》, (科学出版社, 1979), 127; 157.

Matching and acceptability tolerances of CIE standard illuminants A, D₅₅, D₆₅ and D₇₅

JING QICHENG ZHANG ZENGHUI JIAO SHULAN AND YU BAILIN

(Institute of Psychology, Academia Sinica, Beijing)

(Received 24 February 1981)

Abstract

Color matching and acceptability measurements were made on a visual colorimeter for chromaticities of CIE standard illuminants A, D₅₅, D₆₅ and D₇₅. It was found that the matching and acceptability tolerances of the 4 illuminants took the shape of ellipses on the CIE 1931 chromaticity diagram. The acceptability tolerance ellipses of these illuminants were then plotted on the CIE 1960 UCS diagram and CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) space and they all turned out to be more circular in shape. However, the illuminants A and D₆₅ were more circular on the CIE 1976 space, whereas D₅₅ and D₇₅ were more circular on the CIE 1960 diagram. Thus, from the shapes of the acceptability tolerance of the 4 CIE standard illuminants, it is not possible to tell that the CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) space is more uniform than the CIE 1960 UCS diagram.

全国第一届激光工程应用学术交 流会在四川省乐山召开

我国第一届全国激光工程应用学术交流会议于 1981 年 10 月 29 日至 11 月 3 日在四川省乐山举行。来自全国十几个省市 204 名代表出席了会议。会上宣读了六篇特邀报告和一百零八篇论文。这些论文报告显示了我国激光工程应用各领域的概貌和水平。会上还展出了部分元、器件和整机。

会议报告反映了我国应用激光器件的研制工作正在逐步深入,中、小功率激光器已向小型化、实用化方向迈进了一步;调 Q 倍频、放大、选模等技术日趋成熟;新型激光器的研制工作也有所发展,并为人们所重视;探测弱信号的技术和元、器件的研制也都有新的进展。

在整机的研制方面,如激光测距、信息图象识别、固体力学测试、信息传输、热处理机等,都在不同程度上有所发展。

从会议上发表的论文来看,也反映了我国激光工程应用水平与国外的水平,尚有差距,而且还有个别的空白;比较复杂的工程应用项目,进展缓慢,它反映出我国的基础薄弱;激光元、器件和一些配套技术还不能满足工程应用的需求;某些工程应用的总体测试和模拟试验等也比较薄弱。诸如此类,均值得我国从事激光工程应用的研究、技术人员重视并作出努力的。

(乙民)