

文章编号:1007-2780(2013)01-0146-06

两种不同类型的滤光片式彩色亮度计性能比较

张雪静¹, 徐莹莹^{1,2*}, 曹峰梅¹

(1. 北京理工大学 光电学院, 北京 100081, E-mail: zhangxuejing1627@163.com;
2. 中国计量科学研究院 光学与激光计量科学研究所, 北京 100013)

摘 要: 显示器的色度和亮度可以通过彩色亮度计进行测量。小视场滤光片式彩色亮度计因其低成本在生产线上应用广泛,而近来出现的影像式彩色亮度计虽然也属滤光片式,但是由于其探测器不同而具有大视场,且结构、原理和性能与前者都有差异。量化比较这两类滤光片式彩色亮度计的性能,可以为影像式彩色亮度计的质量评估提供依据。文章分别选取两类滤光片式彩色亮度计中的代表型号,通过进行原理分析和实验验证进行对比分析。结果表明,影像式彩色亮度计的性能不低于小视场滤光片式彩色亮度计。

关 键 词: 小视场滤光片式彩色亮度计;影像式彩色亮度计;性能比较

中图分类号: O753⁺.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132801.0146

Performance Contrast of Two Different Types of
Optical Filter Color Luminance Meter

ZHANG Xue-jing¹, XU Ying-ying^{1,2*}, CAO Feng-mei¹

(1. School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology,
Beijing 100081, China, E-mail: zhangxuejing1627@163.com;
2. Division of Metrology in Optics and Laser, National Institute of Metrology, Beijing 100013, China)

Abstract: The luminance and chromaticity of monitors are measured through color luminance meters. Small-field optical filter color luminance meter is widely used in production line for its low-cost. Image color luminance meter, as a new product, is also a kind of optical filter color luminance meters. But it is large-field because of the different detector. Its structure, principle and performance are also different. Making performance contrast between these two kinds of optical filter color luminance meters helps estimating the image color luminance meter's quality. This paper makes a performance contrast between the two kinds' representative through principle analysis and experiment. It turns out that the performance of the image color luminance meter is no worse than the small-field optical filter color luminance meter.

Key words: small-field optical filter color luminance meter; image color luminance meter; performance contrast

1 引 言

随着彩色显示器应用范围日渐拓宽及其产品

质量评估体系逐步完善,对显示器的色度和亮度进行精确测量体现出前所未有的重要性。

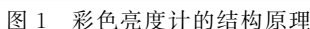
以硅光电二极管(或光电倍增管)作为探测器

收稿日期: 2012-06-13; 修订日期: 2012-11-14
基金项目: 国家质检总局 2010 年项目(No. 231116H)
作者简介: 张雪静(1988—),女,北京人,硕士,助理工程师,主要从事光学计量研究工作。
* 通信联系人, E-mail: xuyy@nim.ac.cn

2 滤光片式彩色亮度计的原理

根据图 1,利用光度学和几何光学的原理可得出:

式中 E 为成像面上的照度; L 为发光面上的亮度; τ 为光学系统的透过率; f 为透镜焦距; l 为透镜与发光面的距离(称为测量距离); f_m 为系统的相对孔径, 且有 $f_m = f/D$, 其中 D 为孔径直径。



当系统的设计能使 f/l 小到可忽略不计时 (在某误差范围内), 发光体的亮度 L 与成像面照度 E 呈线性关系。

光源的色度用色品坐标 x, y 表示,与光源的相对光谱功率分布有关。如果一个光源的相对功率分布函数用 $P(\lambda)$ 来表示, $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 代表 CIE1931 标准光谱三刺激值,如图 2 所示,则此光源的三刺激值可用公式(2)来表示^[7]:

Fig. 2 Color-matching function

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

若使用响应如 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 的 3 个探测器, 则三刺激值用式(4)表示:

式中; k_x 、 k_z 为色校准系数; R 、 G 、 B 是仪器相应各

探测器的输出值。

也可将 $\overline{x}(\lambda)$ 分为两部分,分别用 $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{x_b}(\lambda)$ 表示,如图 2 所示。由于 $\overline{x_b}(\lambda)$ 与 $\overline{z}(\lambda)$ 形状相近,因此也可由 $\overline{z}(\lambda)$ 乘一系数表示。因此可使用响应如 $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{y}(\lambda)$ 、 $\overline{z}(\lambda)$ 的 3 个探测器,或如 $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{x_b}(\lambda)$ 、 $\overline{y}(\lambda)$ 、 $\overline{z}(\lambda)$ 的 4 个探测器^[8]。

3 两种彩色亮度计的差异

3.1 结构的差异

BM-7 与 LC-1300 型彩色亮度计的结构差异主要有以下几方面:

(1)光电探测器不同。BM-7 采用硅光电二极管作为光电探测器,而 LC-1300 采用面阵 CCD 作为光电探测器。

(2)BM-7 使用响应如 $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{y}(\lambda)$ 、 $\overline{z}(\lambda)$ 的 3 个探测器,而 LC-1300 使用如 $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{x_b}(\lambda)$ 、 $\overline{y}(\lambda)$ 、 $\overline{z}(\lambda)$ 的 4 个探测器。

(3)由于探测器不同,BM-7 的观察模块、操作模块、结果输出模块均在仪器的机体上,而 LC-1300 的这些模块均合成在操作软件中。

3.2 测量原理的差异

两类彩色亮度计选用的探测器不同,导致了结构和探测原理上的差异。

3.2.1 BM-7 型彩色亮度计的测量原理

硅光电二极管是利用光生伏特效应工作的光探测器,当入射到光电二极管光敏面上光源的光谱辐射功率分布为 $P(\lambda)$ 时,硅光电二极管伏安特性可表示为

$$I_{\varphi} = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) R(\lambda) d\lambda \tag{5}$$

式中: I_0 为无光照时的反向饱和电流, S_d 为电流灵敏度, e 为电子电荷, k 为波耳兹曼常数, V 为二极管所加偏压, T 为结温, $R(\lambda)$ 是光电二极管的光谱响应,可通过测量得到, I_{ϕ} 为流过硅光电二极管的总电流^[9]。

三探测器分别使用光谱透过率为 $x_r(\lambda) = \overline{x_r}(\lambda)/R(\lambda)$ 、 $y(\lambda) = \overline{y}(\lambda)/R(\lambda)$ 、 $z(\lambda) = \overline{z}(\lambda)/R(\lambda)$ 的红、绿、蓝三色滤光片(其中, $\overline{x_r}(\lambda)$ 、 $\overline{y}(\lambda)$ 和 $\overline{z}(\lambda)$ 如图 2 所示),根据式(5)有:

$$\left. \begin{aligned} R &= I_r = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) x_r(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\ &= I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) \overline{x_r}(\lambda) d\lambda \\ G &= I_g = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) y(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\ &= I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) \overline{y}(\lambda) d\lambda \\ B &= I_b = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) z(\lambda) R(\lambda) d\lambda \\ &= I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{kT}\right) - 1 \right] + S_d \int_{380}^{780} P(\lambda) \overline{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

其中 R 、 G 、 B 为各探测器的输出值,则光源的三刺激值及色品坐标可根据本文 2.2 所述方法得到。

3.2.2 LC-1300 型彩色亮度计的测量原理

如 LC-1300 的影像式彩色亮度计采用面阵 CCD 作为探测器。CCD 作为检测工具,保证其输出与曝光量或光照度成线性是必要的,即需要进行 γ 校正。当使用不具有 γ 值调整功能的 CCD 时,其输出值必须使用查表转换法进行非线性校正^[10]。

CCD 摄像器件的光敏单元为光注入方式。波长为 λ 的单色光注入时产生的光生电荷为

$$Q_{in\lambda} = t_c \frac{\eta q A}{h\nu} \varphi_{e,\lambda} \tag{7}$$

q 为电子电荷量; A 为光敏单元的受光面积; t_c 为光的注入时间。 h 、 ν 均为常数, $\Phi_{e,\lambda}$ 为入射的光辐射通量, η 为材料的量子效率,材料确定后为常数。因此单位积分时间内,像元积累的光生电荷量与入射光功率呈线性关系^[11]。

对于不同波长的入射光,相同的入射功率却

引起不同的输出电流,即 CCD 存在光谱响应。CCD 的光谱响应曲线受多方面的影响,如光敏面的结构、各层介质的折射率和消光系数、各介质层的厚度、入射光的入射角等^[12]。

若 4 个探测器分别配合使用光谱透过率为 $x_r(\lambda)=\overline{x}_r(\lambda)/R(\lambda)$ 、 $x_b(\lambda)=\overline{x}_b(\lambda)/R(\lambda)$ 、 $y(\lambda)=\overline{y}(\lambda)/R(\lambda)$ 、 $z(\lambda)=\overline{z}(\lambda)/R(\lambda)$ 的 4 种滤光片,则有:

$$\left. \begin{aligned} R_r &= I_{rr} = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot x_r(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot \overline{x}_r(\lambda) d\lambda \\ R_b &= I_{rb} = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot x_b(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot \overline{x}_b(\lambda) d\lambda \\ G &= I_g = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot \overline{y}(\lambda) d\lambda \\ B &= I_b = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda = \int_{380}^{780} P(\lambda) \cdot \overline{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中, R_r 、 R_b 、 G 、 B 为 4 个探测器的输出值,则光源的三刺激值及色品坐标可根据本文 2.2 所述方法得到。

4 实验结果

实验的环境依照国家标准:暗室照度低于 1 lx,温度为 24 ,湿度为 45%RH。测量前首先使用色温为 2 856 K 的标准 A 光源将 LC-1300 和 BM-7 进行校准。测量中使用标准亮度计的测量值作为标准值,对比 LC-1300 与 BM-7 测量发光二极管背光液晶显示器(Large Electronic Display,LED)、冷阴极射线管背光液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)、低亮度发光体、色域边缘发光体的值。

4.1 液晶白场的测量精度对比

对 6 500 K 标准液晶白场的测量精度是评价

彩色亮度计的重要指标,实验选取 LED 与 LCD 白场的中心点为测量点,均匀选取 10~300 cd/m² 之间多个亮度点进行测量。分别计算 LC-1300 和 BM-7 在这些点的亮度与色度测量值与标准值的误差,计算这些误差的平均值和标准差,结果如表 1 所示。

由表 1 可见,在测量 LED 时,LC-1300 的亮度测量误差比 BM-7 小 30 倍,色度测量误差比 BM-7 小 30% 以上。同时,LC-1300 的亮度误差标准差比 BM-7 小 5 倍,色度误差标准差比 BM-7 小 40% 以上。而在测量 LCD 时,LC-1300 的亮度测量误差比 BM-7 小 8 倍,色度测量误差比 BM-7 小 60% 以上。同时,LC-1300 的亮度误差标准差比 BM-7 小 7 倍,色度误差标准差比 BM-7 小 60% 以上。

表 1 LC-1300 与 BM-7 的测量结果对比

Table 1 Contrastive measurement results

测量类型	亮度误差/%	色坐标 x 误差	色坐标 y 误差
LC-1300 测 LED	0.30±0.083	0.004 4±0.003 7	0.006 6±0.005 4
BM-7 测 LED	−6.05±5.17	−0.006 6±0.006 6	−0.015 1±0.013 7
LC-1300 测 LCD	−0.76±0.87	−0.000 8±0.000 8	0.004 0±0.005 0
BM-7 测 LCD	−6.57±6.85	−0.004 7±0.004 7	−0.012 6±0.014 8

4.2 低亮度发光体测量能力对比

对低亮度发光体的亮度和色度的测量能力和测量精度也是判定彩色亮度计性能的一项重要指标。对于多数彩色亮度计,在测量亮度低于 5 cd/m² 的发光体时,其测量精度都会大幅下降,且一些仪器的色度测量能力会关闭。

实验中使用低亮度标准 A 光源作为待测光源。当其亮度低于 5 cd/m² 时,BM-7 的色度测量功能关闭,表 2 给出了 LC-1300 的测量结果。

根据亮度计检定规程,认为亮度误差在 2% 以内,色度误差在 0.002 以内的仪器为标准亮度计。由表 2 可看出,LC-1300 型彩色亮度计在发

光体亮度大于 0.5 cd/m^2 量级均可当作标准亮度计使用。

表 2 LC-1300 测量低亮度发光体结果			
Table 2 Results of LC-1300 at low light level			
发光体亮度/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	亮度误差/ %	色坐标 x 误差	色坐标 y 误差
5.0	-1.84	0.002 0	0.001 5
1.0	1.00	0.001 6	0.000 4
0.5	-1.00	0.001 1	-0.001 7
0.1	-0.90	0.004 6	-0.003 3

4.3 色域边缘发光体测量能力对比

对色域边缘发光体的测量精度也是衡量彩色亮度计的一项重要指标。

实验中使用标准 A 光源配合红、绿、蓝滤光片做测量光源,以产生接近色域边缘的光。对比 LC-1300 与 BM-7 的测量结果,如表 3 所示,可以看出 LC-1300 的测量误差小于 BM-7。

表 3 LC-1300 与 BM-7 测量色域边缘发光体结果			
Table 3 Performance of LC-1300 and BM-7 when measuring red, green, blue light			
测量类型	亮度误差/ %	色坐标 x 误差	色坐标 y 误差
LC-1300 测红	-1.28	0.001 0	-0.000 2
LC-1300 测绿	-0.76	-0.000 5	0.009 5
LC-1300 测蓝	0.29	0.004 5	-0.003 1
BM-7 测红	6.82	0.029 6	-0.021 4
BM-7 测绿	5.92	-0.012 8	0.014 8
BM-7 测蓝	-25.81	-0.014 8	-0.011 1

两种仪器测量红、绿、蓝色发光体的色域三角形如图 3 所示。图中白色三角形由标准色度值绘出,黑色三角形分别由 LC-1300 和 BM-7 的测量值绘出,可见 BM-7 测量值色域三角形与标准值的偏差比 LC-1300 大。

可计算标准值与两台仪器测量值的色域覆盖率,如表 4 所示。可见,测量色域边缘发光体时,LC-1300 测量值的色域覆盖率误差小于 BM-7,此误差也可由图 3 观察出。此外,BM-7 测量色域边缘的点时,会有部分测量值偏出色域,这是不合理的。

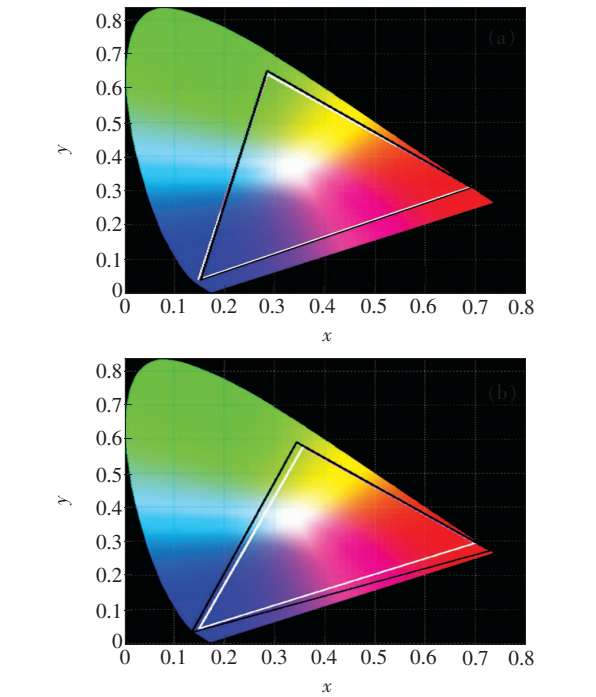


图 3 LC-1300 与 BM-7 测量红、绿、蓝色域三角形。(a) LC-1300;(b)BM-7.
Fig. 3 The triangle in color gamut of the LC-1300 and BM-7. (a)LC-1300;(b)BM-7.

表 4 LC-1300 与 BM-7 的色域覆盖率			
Table 4 Color gamut of LC-1300 and BM-7			
色域覆盖率	标准值/%	测量值/%	误差/%
LC-1300	46.4	47.5	+1.1
BM-7	44.3	55.7	+11.4

5 结 论

通过仪器的原理和结构分析,硅光电二极管(或光电倍增管)和 CCD 均可实现发光体亮度和色度测量,因此均可开发为常用的彩色亮度计。

通过对比实验,面阵 CCD 仪器(以 LC-1300 为代表)多方面的性能不低于小视场滤光片式彩色亮度计(以 BM-7 为代表)。(1)测量 LED 和 LCD 白场时,LC-1300 的亮度和色度测量精度更高、随机误差更小,说明其测量准确度和稳定度均不逊色于 BM-7。(2)测量低亮度发光体时,LC-1300 测量精度不低于 BM-7。(3) LC-1300 测量色域边缘发光体的测量精度更高,测量值扩展为色域覆盖率的值时误差更小。说明其对色域边缘

发光体的测量精度不低于 BM-7。

小视场滤光片式彩色亮度计作为市场主流，广泛应用于显示器件的研发部门和质检部门。而通过原理分析和实验验证可认为，影像式亮度计的多方面测量性能均不逊色于当今主流。并且，由于面阵 CCD 探测器本身大视场的特点，影像式亮度计可进一步开发用于显示器件均匀性的快速测量。

参 考 文 献：

[1] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T18910.6-2012，液晶显示器件测试方法 [S]. 北京:中国计量出版社,2012.

[2] Ohno Y,Hardis J E. Four-color matrix method for correction of tristimulus colorimeters [C]//*IS&T Fifth Color Imaging Conference*, Scottsdale,Arizona;Proc.,1997;301-305.

[3] 孙立新. LCD 显示器白平衡调整 [J]. 液晶与显示, 2011,26(2):220-223.

[4] 冯奇斌,王小丽,吕国强,等. 固态体积式真三维立体显示器的色度学特性 [J]. 液晶与显示, 2011,26(1):100-104.

[5] 张宝龙,李丹,戴凤智,等. 彩色滤光膜硅覆液晶微显示器中像素尺寸及滤光膜厚度对彩色侧向场效应的影响[J]. 液晶与显示, 2011,26(6):760-763.

[6] 王学亮,巩岩,赵磊. 基于液晶显示的白场仪设计及实现 [J]. 液晶与显示, 2011,26(6):774-779.

[7] 金伟其,胡威捷. 辐射度光度与色度及其测量 [M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.

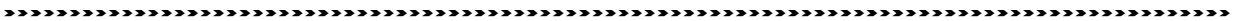
[8] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 211-2005，亮度计检定规程 [S]. 北京:中国计量出版社,2005.

[9] 张广军. 光电测试技术 [M]. 北京:中国计量出版社,2008.

[10] 董怡,王斧,程守澄,等. 面阵 CCD 非线性响应的测量 [J]. 军械工程学院学报,2001,13(4):39-42.

[11] 王庆友. 图像传感器应用技术 [M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[12] 白廷柱,金伟其. 光电成像原理与技术 [M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.



SI 单位的倍数单位

SI 单位的倍数单位是由 SI 词头与 SI 基本单位和 SI 导出单位构成。倍数单位的选取一般应量的数值处于 0.1~1 000 之间。

- SI 词头是用于构成倍数单位的因数符合，不能单独使用。
- 词头符号与所紧接着的单位符号应作为一个整体对待，它们共同组成一个新单位(十进倍数或分数单位)，并具有相同的幂次。例如： $10\text{ hm}^2=10\times(100\text{ m})^2=10^5\text{ m}^2$ ； $1\text{ cm}^3=(10^{-2}\text{ m})^3=10^{-6}\text{ m}^3$ 。
- 词头不能重叠使用，即不能使用由几个词头并列组成的组合词头。例如：不能用 $\text{m}\mu\text{s}$ (毫微秒)，正确的为 ns (纳秒)。
- 摄氏度、平面角和时间单位(s 除外)及 kg 等不得使用词头的倍数单位。例如：“mh”(毫小时)，“hkg”(百公斤)是不规范的。