doi：10. 11823/j. issn. 1674-5795. 2017. 01. 04

CCD 相机的亮度色度校准装置研制

黎俊，刘玉龙，刘宏欣，曾婷婷
（苏州市计量测试研究所，江苏 苏州 215128）

摘　要：CCD 相机的亮度和色度测试仪器凭借其一系列的测量优势已广泛应用于平板显示器的测量领域。本文在综合国内外相关计量标准技术优势的基础上，根据平板显示行业所特有的溯源需求进行校准装置的研制，基于积分球匀光和光谱测色原理，研制出 CCD 相机的亮度色度校准装置，并对校准装置的计量性能和特性进行研究以及对装置的测量结果进行验证。结果表明，该校准装置满足作为计量标准的技术要求，可用于 CCD 相机亮度和色度参数的校准。

关键词：CCD 相机；校准装置；平板显示器；亮度和色度；计量标准
中图分类号：TB96　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-5795(2017)01-0014-04

Development of a CCD Camera Calibration Device for Luminance and Color

LI Jun, LIU Yulong, LIU Hongxin, ZENG Tingting
(Suzhou Institute of Measurement and Testing Technology, Suzhou 215128, China)

Abstract: CCD camera test instruments for brightness and chromaticity have been widely used in flat panel display measurement field thanks to a series of measurement advantages. In this paper, based on the advantages of relevant measurement standards at home and abroad, the calibration device is developed aiming at the traceability requirements of the flat panel display industry. Based on the integrating sphere and spectral color measurement principles, the CCD camera calibration device for luminance and color is developed. And the measurement performance and characteristics of the calibration device are studied, and the measurement results are verified. The results show that the calibration device meets the technical requirements as a measurement standard and can be used for calibration of CCD camera brightness and chromaticity parameters.

Key words: CCD camera; calibration device; flat panel display; luminance and color; measurement standard

0　引言

近年来，随着技术的发展，平板显示器(FPD)在电视、监视器、笔记本电脑、车载显示器和移动终端等领域的应用越来越普及，无论从人眼观看舒适度还是从评价显示屏图像质量角度出发，显示屏的显示质量受到了越来越多的关注。为提高产品质量，平板显示行业需要有精确、全面、快速和经济高效的方法来测量显示器的亮度均匀性、色度均匀性、对比度和视角性能。

基于 CCD 相机的亮度和色度测试仪器主要测量参数为亮度和色度量值，成像系统可在短时间内拍摄空间图像，且根据其 CCD 像素的多少，可以在单次测量操作中采集几百万个测试点数据。能够快速、准确和高效的完成测试任务。不仅可以对不同尺寸大小的显示器进行亮度和色度的面测量，还可以根据测量结果对显示器的显示画面缺陷进行分析，也可以对显示器不同观测视角下的图像性能进行测试。基于 CCD 相机的测量装置凭借其高分辨力、高敏感度、宽动态范围、宽线性响应度、低噪声、面测量等一系列的优势，现已广泛应用于平板显示器测量领域。

目前，众多国内外光学测量仪器生产商已针对显示器行业的需求推出不同类型的测量解决方案，其测量系统的核心部件就是 CCD 相机。而国内此类设备的校准尚属于探索阶段，没有相应的计量标准作为保障。为保证测量量值的准确可靠，有必要研制一套用于校准 CCD 相机光色指标的校准装置，为此类仪器设备提供量值溯源。

1　亮度与色度量值传递路线

CCD 相机的主要测量参数为亮度与色度，因此校准装置也是将这两个参数作为校准对象，根据国家色

收稿日期：2016-09-01
作者简介：黎俊(1983-)，男，工程师，硕士，研究方向为光学计量、光电显示器件测试。

度和亮度计量基准量值传递系统表，制定以下量值传递路线。

依据 JJG 2033-89《光亮度计量器具检定系统》，本装置的亮度量值传递路线如图 1 所示。

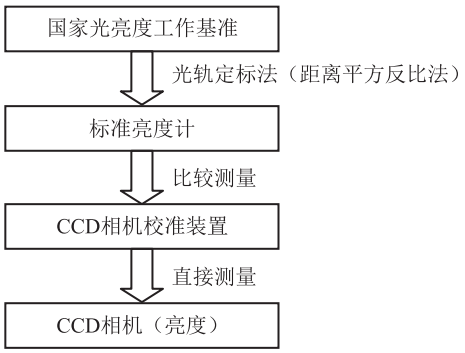

图 1　亮度量值传递路线

标准亮度计的亮度量值通过光轨定标法(距离平方反比法)溯源至国家光亮度工作基准[1]，再使用标准亮度计对 CCD 相机校准装置的亮度参数进行标定，把亮度量值保存在校准装置上，最后使用标定后的校准装置对 CCD 相机的亮度参数进行校准，达到量值传递的目的。

依据 JJG 2029-2006《色度计量器具检定系统表检定规程》和 JJG 2030-89《色温度(分布温度)计量器具检定系统》，本装置的色度量值传递路线如图 2 所示。

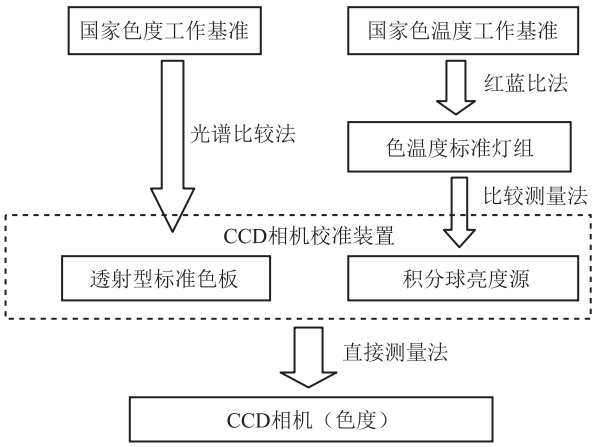

图 2　色度量值传递路线

使用透射型标准色板为物体色度标准，其量值通过光谱比较法溯源至国家色度工作基准[2]，将透射型标准色板加装在积分球亮度源前，形成校准装置的光源色度标准，再使用校准装置对 CCD 相机的色度参数进行校准，达到量值传递的目的。

2　CCD 相机校准装置

CCD 相机是面测量型仪器，具有二维亮度和色度测量功能，因此对 CCD 相机的校准也需采用面光源进行，为保证 CCD 传感器的每个测量像素在相同的亮度量值下校准，所选用的面光源必须具有良好的亮度均匀性。使用积分球产生一个均匀的亮度照射面是一项较为普遍应用的技术[3]，积分球光源是一个内壁均匀喷涂高反射率漫射涂料并内置多个小型光源的球形腔体，并通过改变内部点亮的光源个数来控制和调节其亮度输出并保持色温不变。由于积分球内壁漫反射涂层的“积分”作用，理论上我们可以在积分球出光口平面上获得均匀的朗伯照明。因此，根据 CCD 相机的成像原理以及测量视场来选择合适规格的积分球，可以用作 CCD 相机校准装置的主要部件——标准亮度源，如图 3 所示。

图 3　标准亮度源

为保证出光口的光照均匀性且能够输出足够强的光辐射，我们选用直径为 0.5 m 的积分球，并开有直径为 20 cm 的圆形出光口，这样可以在相机的成像距离下填充满整个 CCD 传感器。积分球内壁涂有聚四氟乙烯(PTFE)材料，在我们所关心的可见光光谱范围内具有很高的中性光谱反射率，以保证较为高效的光辐射输出和理想的光谱分布。

根据 JJG 211-2005《亮度计检定规程》中的规定，对于亮度和色度量值的计量，需要在标准 A 光源为 2856 K 下进行，因此我们选用色温范围在 2856 K 左右且光谱符合 A 光源光谱的钨丝灯作为校准光源。此外，为达到 1~20000 cd/m^{2}这样一个宽亮度范围，我们选用了六支不同规格和功率的卤钨灯作为输入光源，并且配置了一个精密可调的光衰减器，用于准确调节 1~1000 cd/m^{2}范围内的亮度输出值[4]。另一方面，为了调节每只卤钨灯的光源色温和保证光源输出的稳定性，我们为每只卤钨灯单独配置相应的直流稳压稳流电源。此外，为监测积分球的亮度输出值和稳定性，我们配

置了一个重复性和测量线性较好的硅探测器实时采集积分球输出的亮度数据[5]。

对于色度量值的计量，我们采用覆盖可见光谱的透射式标准色板配合积分球亮度源来实现，我们选用一组具有良好颜色稳定性的有色玻璃作为透射标准色板，加工成直径为 60 mm 的圆形，可以完全覆盖 CCD 相机的镜头，如图 4 所示。

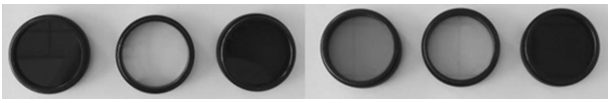

图 4 透射式标准色板

通过以上设计，该校准装置可实现功能：①20 cm 直径的面光源输出，亮度范围：1～20000 cd/m^2；②亮度实时监测；③标准 A 光源光谱输出，色温 2856±50 K；④配合标准透射色板可实现覆盖可见光范围的标准色。

3 CCD 相机校准方法

3.1 校准原理

积分球亮度源经亮度和色温标定后，能够提供一个 1～20000 cd/m^2 的均匀亮度发光面，将被校准 CCD 相机对准发光面并调节相机到亮度源的距离，使得光源发光面填充满 CCD 相机全部像素点并聚焦成像。通过调节积分球亮度源可产生不同的标准亮度值，将透射标准色板加在 CCD 相机镜头前可产生不同的标准色度值，由此对 CCD 相机的亮度和色度参数进行校准。

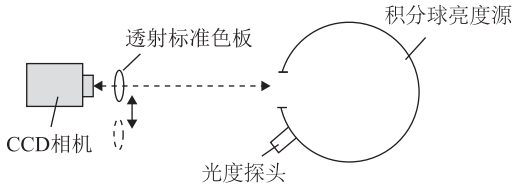

图 5 CCD 相机校准示意图

3.2 亮度示值校准

点燃积分球光源并预热，调节 CCD 相机进入测量状态。通过点燃不同功率的卤钨灯或调节光衰减器产生一个合适的标准亮度值，调整 CCD 相机测量参数使得相机在该亮度下具有较好的响应度。启动相机进行多次测量取平均值作为测量结果，将亮度标准值输入到 CCD 相机，使得测量结果校准到与标准值一致。

3.3 色度示值校准

完成亮度示值校准后，在 CCD 相机镜头前分别加上不同的透射标准色板，使得积分球光源的光束透过标准色板到达 CCD 相机，调整 CCD 相机测量参数使得相机在不同色度下具有较好的响应度。启动相机进行多次测量取平均值作为测量结果，将色度标准值输入到 CCD 相机，使得测量结果校准到与标准值一致。

4 校准装置特性研究

4.1 亮度源的光谱特性

根据国家亮度量值传递要求，需要使用色温为 2856 K 的标准 A 光源进行。我们使用型号为 CS－2000A 的光谱辐射亮度计对积分球亮度源不同功率的每只灯输出的色温进行标定并计算光谱失配系数。实验结果表明，使用卤钨灯作为积分球亮度源的光源时，标定色温至 2856 K，光谱失配较小与标准 A 光源光谱基本一致，如图 6 所示。

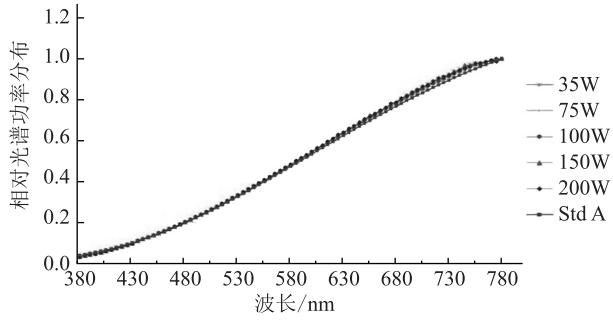

图 6 积分球亮度源与 A 光源的光谱比较

4.2 亮度源的亮度稳定性和均匀性

亮度源的亮度稳定性是保证亮度量值能够准确复现和传递的前提条件，使用该装置对 CCD 相机进行校准时，所用时间一般不超过 0.5 h，因此我们对亮度源进行 1 h 的亮度稳定性考察，监测结果表明，亮度源经预热 10 min 后，1 h 内的亮度稳定性优于 0.1%；此外通过使用光谱辐射亮度计结合二维电动平移台对发光面的均匀性进行测量[6]，结果表明，亮度源经预热后的亮度均匀性优于 1.0%，如图 7 所示。

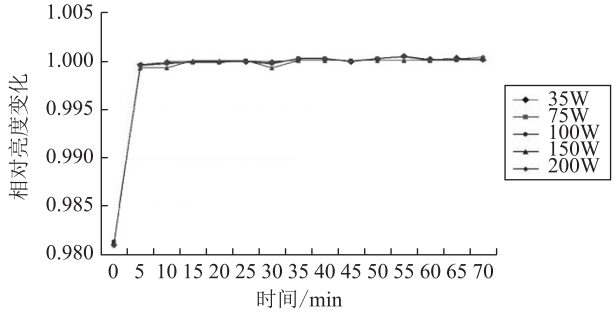

图 7 积分球亮度源的亮度稳定性

4.3 透射色板的色度稳定性和均匀性

透射色板是用来校准 CCD 相机色度指标的标准器，其色度稳定性需符合作为计量标准的要求。由于玻璃材质本身具有良好的化学稳定性，我们通过一年的考察，透射色板的均匀性最大为 0.0001，色坐标最大年变化量为 0.003，符合 JJG 453-2002《标准色板计量检定规程》中对于一级标准色板色坐标年变化量不大于 0.005 的技术要求。

通过对校准装置的主要特性考察可以看出，该装置可以满足亮度和色度量值传递的要求。

5 CCD 相机校准装置测量结果的验证

使用 CCD 相机校准装置和 JJG 211-2005《亮度计检定规程》中规定的亮度标准装置对同一台型号为 IC-PMG3 的 CCD 相机的亮度和色度参数进行单点校准，测量比对结果如表 1 所示。

表 1　CCD 相机校准装置和亮度标准装置比对测量结果

亮度校准点 /(cd·m^{-2})	CCD 相机校准装置测量值 /(cd·m^{-2})	亮度标准装置测量值 /(cd·m^{-2})	装置间相对偏差/%
10	10.22	10.32	0.98
100	100.2	100.3	0.1
1000	1003	1005	0.2

色度校准点	CCD 相机校准装置测量值/(cd·m^{-2})	亮度标准装置测量值/(cd·m^{-2})	装置间相对偏差/%
白 x=0.4495	0.4497	0.4496	0.0002
白 y=0.4103	0.4106	0.4105	0.0001
红 x=0.7264	0.7353	0.7345	0.0008
红 y=0.2736	0.2698	0.2703	0.0005
绿 x=0.4219	0.4257	0.4266	0.0009
绿 y=0.4617	0.4634	0.4639	0.0005
蓝 x=0.1652	0.1621	0.1630	0.0009
蓝 y=0.0454	0.0527	0.0517	0.0010

实验结果表明：在测量范围内，CCD 相机校准装置与亮度标准装置亮度测量结果的最大偏差为 0.98%，色度测量结果的最大偏差为 0.001，均小于亮度标准装置的测量不确定度，表明该 CCD 相机校准装置的测量结果是可靠的。

6 总结与展望

本文根据平板显示行业所特有的亮度和色度溯源需求，介绍了基于积分球匀光和光谱测色原理的 CCD 相机亮度色度校准装置的主要结构和研究内容，并对校准装置的计量性能和特性进行了研究。研究结果表明，该校准装置满足作为计量标准的技术要求，可用于 CCD 相机亮度和色度参数的校准。

随着技术发展，对于更低亮度和更高亮度范围仍有待去满足，尤其对于 1 cd·m^{-2}以下亮度的溯源，在测量显示屏黑画面时尤为重要，这有待装置进一步设计改进。另外校准装置需要人工介入，尚未实现自动测量。今后还需要针对不同 CCD 相机校准的特点，进一步研发自动化装置和测量软件，实现自动测量。

参 考 文 献

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

[2] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 453-2002 标准色板[S]. 北京：中国计量出版社，2002.

[3] Ohno Y. Photometric Calibration[J]. NIST Special Publication 250-37，1997.

[4] 李安. 基于等色温自动调光积分球光源的辐射定标研究[D]. 长春：长春理工大学，2009.

[5] Cromer C L，Eppeldauer G，Hardis J E，et al. The NIST detector-based luminous intensity scale [J]. Journal of Research of the National Institute of Standards & Technology，1997，101(2)：109-132.

[6] 赫英威，李平，吴厚平，等. 积分球辐射光源照度均匀性研究[J]. 应用光学，2012，33(3)：548-553.

(上接第 8 页)

[3] 蔡丽枝. 热电偶测量误差分析及使用注意事项[J]. 计测技术，2008，28(B10)：81-82.

[4] 胡鹏程，时玮泽，梅健挺. 高精度铂电阻测温系统[J]. 光学精密工程，2014，22(4)：988-995.

[5] 平亚明，赵海霞. 稳定环境下金属固体表面传热测温误差计算[J]. 山东大学学报工学版，2003，33(3)：279-281.

[6] 岳希明，梁晓军，王三保，等. 测温元件测量误差的传热学分析[J]. 郑州轻工业学院学报自然科学版，2003，18(3)：38-40.