

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.02.09

室内照明统一眩光值 (UGR) 校准装置的研制

刘玉龙¹, 黎俊¹, 刘宏欣¹, 江铖¹, 李奕²

(1. 苏州市计量测试院, 江苏 苏州 215128; 2. 陕西省计量科学研究院, 陕西 西安 710065)

摘要: 统一眩光值 UGR 是表征室内照明眩光程度高低和视觉舒适度的重要参数, 在室内照明检测和照明设计中有着广泛应用。目前国内对于眩光测试仪的溯源方法一般只采用光亮度标准装置校准亮度值, 而对于照明光源的亮度分布和几何位置信息都没有进行相关校准, 造成眩光测量结果的失准和不统一。针对此问题, 本文研制了一套统一眩光值 UGR 校准装置, 介绍了装置原理和结构, 并对其不确定度进行分析。该装置的研制对于保障眩光测量结果的准确统一, 有效提升照明设计质量, 保护视觉健康有着重要作用。

关键词: 计量学; 眩光; 统一眩光值 (UGR); 眩光测试仪校准

中图分类号: TB96

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)02-0048-06

Establishment of Calibration Facility for Unified Glare Rating (UGR) in Interior Lighting

LIU Yulong¹, LI Jun¹, LIU Hongxin¹, JIANG Cheng¹, LI Yi²

(1. Suzhou Institute of Metrology, Suzhou 215128, China; 2. Shanxi Institute of Metrology Science, Xi'an 710065, China)

Abstract: The unified glare rating UGR value is an important parameter to characterize the degree of glare and visual comfort of indoor lighting, which is widely used in indoor lighting detection and lighting design. At present, the tracing method of the glare tester in China only uses the brightness standard device to calibrate the brightness value, but there is no relevant calibration for the brightness distribution and geometric position information of the lighting source, resulting in the inaccuracy and inconsistency of the glare measurement results. In order to solve this problem, this paper developed a set of unified glare UGR calibration device, introduced the principle and structure of the device, and analyzed its uncertainty. The development of the device plays an important role in ensuring the accuracy and unity of the glare measurement results, effectively improving the lighting design quality and protecting the visual health.

Key words: metrology; glare; the unified glare rating (UGR); calibration of glare meter

0 引言

近年来,我国中小学生视力不良率居高不下,并呈现上升趋势,而教室照明的不达标是造成学生视力不良的重要原因之一^[1-2]。眩光是评价照明质量的重要参数之一^[3],眩光是指在观察视场中由于照明亮度分布不均匀,存在明显或极端的亮度对比,从而导致观察者视觉不舒适或者被观察物体可见度降低的照明现象^[4],对于室内不舒适眩光的表征,有 GI, CGI, VCP 和亮度限制曲线法等^[5-8],基于上述各种方法的优缺点, CIE 发展出了一套统一眩光值系统,即 UGR 系统^[9]。目前 CIE 关于室内不舒适照明的标准 CIE177-1995^[10]、原《工业企业照明设计标准》(GB 50034-92)^[11]、原《民用建筑照明设计标准》(GBJ133-90)^[12]以及现《建筑照明设计标准》(GB50034-2013)^[13]均把室内不舒适眩光作为表征室内照明质量的重要指标。

UGR 系统是目前与主观评价相关系数最高的眩光表征方法^[14],在室内眩光测量上有广泛应用。保障 UGR 系统校准的准确性与可靠性具有重要意义。

1 发展现状

随着人们对视觉健康关注度的增加,室内眩光的测量需求也越来越多,通常室内眩光主要使用眩光测试仪进行测量。眩光测试仪的工作原理是:使用一个带有广角镜头的测量相机对被测试场景进行拍摄测量,通过对成像在相机传感器上的图像信号强度和位置信息进行分析,得到整个照明场景的亮度分布和光源位置信息,从而计算出室内眩光等级 UGR。

目前国内对于眩光测试仪的溯源方法一般只采用光亮度标准装置校准亮度值,而对于照明光源的亮度分布和几何位置信息都没有进行相关校准,造成眩光测量结果的失准和不统一。选择两个照明条件不同的

场景,使用两台不同型号规格的眩光测试仪进行比对测试,同一照明场景下得到的统一眩光等级 UGR 测量结果差异较大,如表 1 所示。

表 1 眩光测试仪在不同照明场景下的比对测量结果

测量场景	统一眩光值(UGR)	
	A 仪器	B 仪器
场景 1	21.47	27.47
场景 2	12.53	16.55

可以看出,目前统一眩光值的测量确实存在量值不可靠的问题,因此研制统一眩光值 UGR 校准装置,保障眩光测量结果的准确和统一,对于有效提升照明设计质量,保护视觉健康具有积极意义。

2 统一眩光值 UGR

统一眩光值 UGR 与眩光源亮度、背景光亮度、眩光源尺寸和位置以及观察者的位置有关,由式(1)定义^[4]。

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right] \quad (1)$$

式中: L_b 为背景亮度, cd/m^2 ; L 为观察者观察方向上每个眩光源发光面的亮度, cd/m^2 ; ω 为观察者观察到的每个眩光源发光面的立体角, sr ; p 为每个眩光源的古斯位置指数(相对于视线的位置)。统一眩光值 (UGR) 定义示意图如图 1 所示。

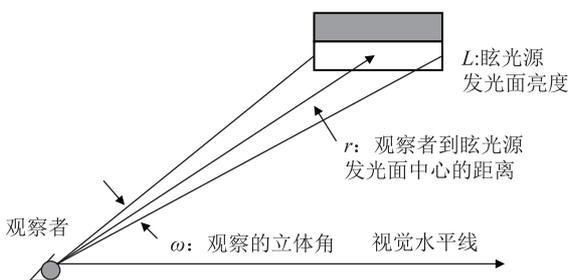


图 1 统一眩光值(UGR)定义示意图

古斯位置指数 p 通过对古斯位置指数表的数据进行插值获得,古斯位置指数由 T/R 和 H/R 确定,其中 (R, T, H) 是以观察者为原点建立的坐标系,如图 2 所示。

测量统一眩光值 UGR , 需要获得每个光源的形状和位置等几何信息以及眩光源和背景在观察者方向上的亮度分布,由于实际测试环境中眩光源的形状多变,眩光源和背景的亮度分布较为复杂,早期直接对亮度

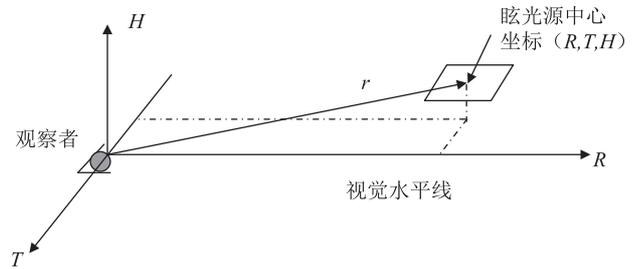


图 2 古斯位置指数坐标系(R, T, H)

进行测量难度极大,一般都是通过近似替代的方法进行间接测量,直到近年来图像亮度计的出现才解决了直接测量观察者视场中亮度分布的问题。

3 统一眩光值(UGR)校准装置的研制

3.1 装置原理和结构

统一眩光值 UGR 校准装置主要由不同位置的眩光源、背景光源、箱体后部漫反射板、箱体前部漫透射板以及控制电源构成,如图 3 所示。

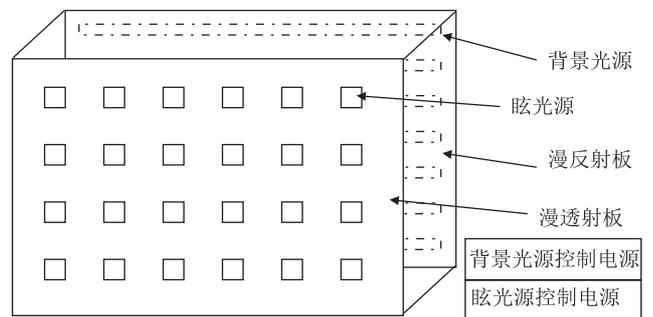


图 3 统一眩光等级 UGR 标准光源结构示意图

眩光源采用 24 个形状规则的方形 LED 光源,便于更精确的测量和计算从而得出光源发光面尺寸,光源发光面为白色漫透射扩散板,可有效保证发光面的亮度均匀性;24 个灯具按照 4×6 的方式均匀分布,安装在前部漫透射板上,前部漫透射板采用外表面光滑的高雾度高透过率的扩散板材料,用于模拟背景光;后部安装一组背景光源,箱体内部除前部漫透射板外均涂有高反射率的漫反射材料,以保证背景光的亮度均匀性;背景光和眩光源各使用一台直流稳压稳流电源供电,通过调整供电电流能够输出不同的亮度值。眩光源和背景光的不同亮度组合可以模拟出不同的 UGR 值,该校准装置可以提供测量范围包含但不限于 $10 \sim 30$ 的 UGR 值。图 4 为装置照片以及带鱼镜头的眩光测试仪测得的测试图。

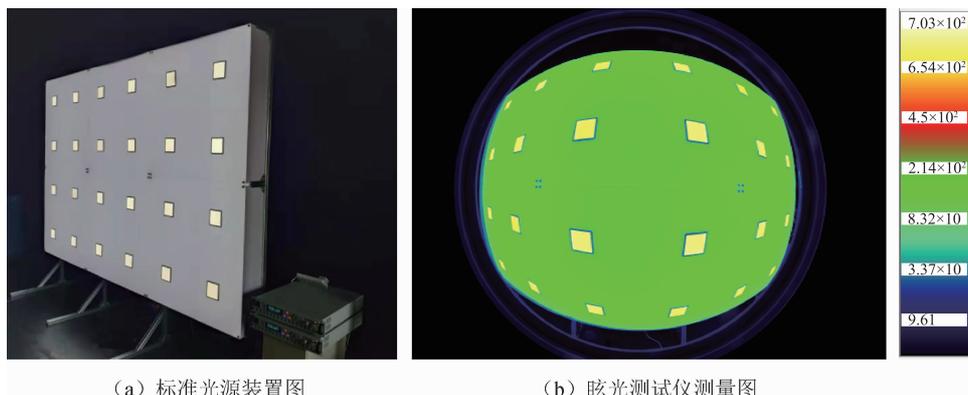


图 4 标准光源装置图及眩光测试仪测试图

计算 UGR 标准值需要准确测量眩光源和背光源的亮度值和几何位置参数。使用高精度的光谱辐射亮度计配合三维几何调整机构精确测量其亮度分布和位置

信息，亮度值和几何量值均可溯源至国家计量基准，量值溯源图如图 5 所示。

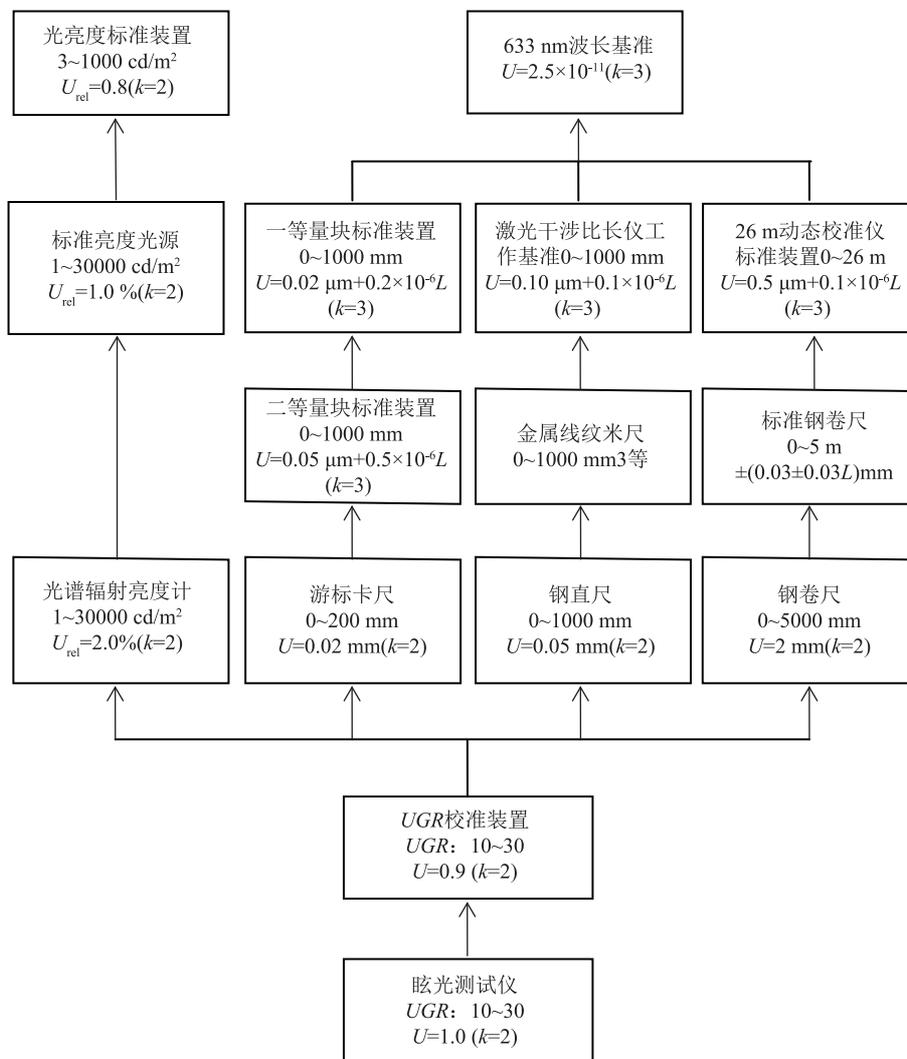
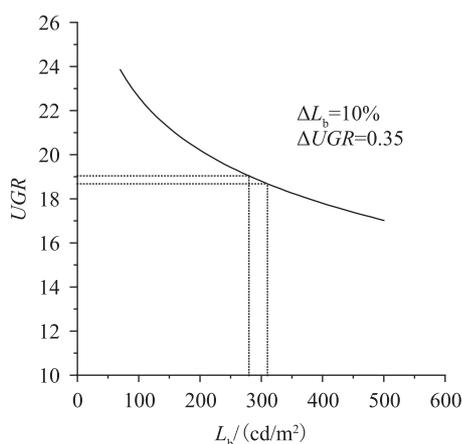


图 5 UGR 量值溯源图

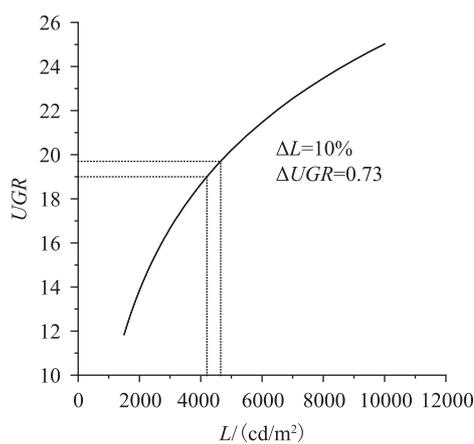
通过调整直流稳压稳流电源输出，分别控制背景光和眩光源亮度，经测量并计算得到不同范围的标准 UGR 值(环境温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，光源预热稳定 30 min ，测量距离 50 cm)，如表 2 所示。

表 2 标准 UGR 值

背景光控制电流/A	眩光源控制电流/A	UGR
0.200	0.100	8.35
0.200	0.500	18.50
0.200	2.500	28.05



(a) 背景光亮度对 UGR 的影响



(b) 眩光源亮度对 UGR 的影响

图 6 背景光亮度和眩光源亮度变化对 UGR 的影响

背景光和眩光源的亮度启动特性如图 7 所示，稳定 30 min 后，背景光亮度变化率 $< 0.5\%$ ，眩光源亮度变化率 $< 0.2\%$ ，二者对 UGR 的影响分别小于 0.017 和 0.015 ，考虑到眩光源和背景光亮度是独立控制的，根据不确定度传播率^[15]，其亮度稳定性对 UGR 短期稳定性的影响小于二者的算数平方根 0.023 ，满足作为计量校准装置的要求。

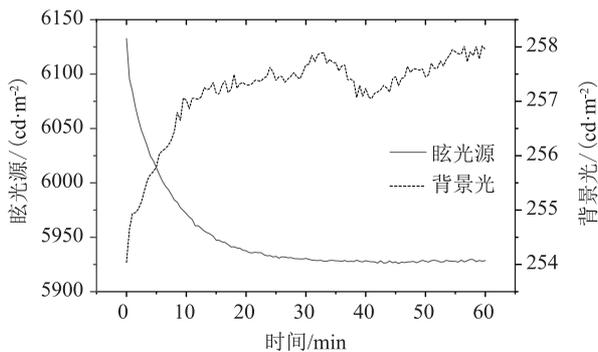


图 7 背景光和眩光源亮度启动特性

3.2 装置计量特性

UGR 校准装置在建立后，几何形状和位置参数的变化量很小，主要需要考察其光学参数特性。通过数据模拟计算，在几何参数固定、眩光源亮度不变时，背景光亮度变化对 UGR 的影响如图 6(a) 所示，背景光亮度不变时，眩光源亮度变化对 UGR 的影响如图 6(b) 所示，从图 6 可以看出，在亮度变化相同比例时，背景光亮度的变化影响更小一些(例如在 UGR 为 19 时，背景光亮度变化 10% 对 UGR 的影响为 0.35 ，眩光源亮度变化 10% 对 UGR 的影响为 0.73)。

4 眩光测试仪的校准

将眩光测试仪置于校准装置正前方中心位置，如图 8 所示， UGR 校准装置整个发光面尺寸为 $3\text{ m} \times 2\text{ m}$ ，可以满足在测试距离为 0.5 m 时覆盖整个古斯位置指数表所包含的视场范围。

校准时采用比对法，预热完成后，在正前方中心位置距离 0.5 m 处，用高精度光谱辐射亮度计和几何测量仪器测量其亮度分布和几何量，并根据 UGR 定义计算出标准值。然后在相同位置用眩光测试仪测量 UGR 值作为被测值。

在相同条件下使用校准装置对两台眩光测试仪进行校准，其中 A 仪器同时校准了亮度值和几何参数，B 仪器仅对亮度值进行了校准，测量结果如表 3 所示。

可以看出，A 仪器测量结果较为理想，而 B 仪器误差较大。经分析，B 仪器的测量结果中，位置指数 p 与标准值相差较大，对 B 仪器测试结果的位置指数按照标准值进行修正后，测量结果如表 4 所示。

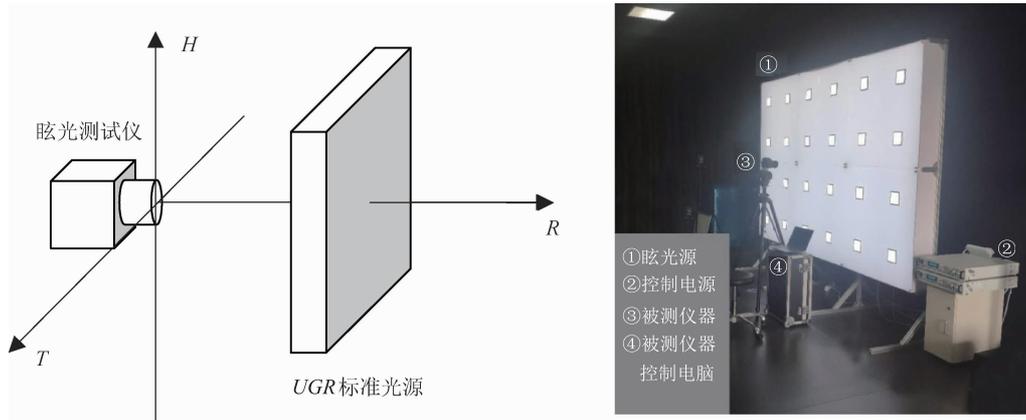


图 8 眩光测试仪校准图

表 3 眩光测试仪的校准结果

UGR 标准值	UGR 测量值	
	A 仪器	B 仪器
8.35	8.26	11.32
18.50	18.03	21.63
28.05	27.95	31.09

表 4 对 B 仪器位置指数进行修正后的测量结果

UGR 标准值	B 仪器 UGR 测量值	
	修正前	修正后
8.35	11.32	8.52
18.50	21.63	18.79
28.05	31.09	28.35

对几何位置参数修正后，仪器测量准确度得到了有效提升。可以看出，仅校准眩光测试仪的亮度值在测量 UGR 时仍会存在问题，使用 UGR 校准装置进行校准是必要的。

5 测量不确定度评定

统一眩光值 UGR 校准装置的不确定度来源主要有：亮度和几何量测量仪器的不确定度、测量距离和位置偏差、背景光和眩光源的亮度均匀性和稳定性、眩光源形状偏差、环境温度、杂散光以及测量重复性。以人眼视觉不舒适的临界点 $UGR = 19$ 为评定点，分别分析各个分量对相应的光学量和几何量的影响，然后将各参数的影响输入计算模型分析出各个分量对 UGR 的影响，得到的测量不确定度分量如表 5 所示。

表 5 测量不确定度来源和分量

序号	不确定度来源	不确定度分量 u_i
u_1	光谱辐射亮度计溯源的不确定度	0.22
u_2	钢卷尺溯源的不确定度	0.0022
u_3	游标卡尺溯源的不确定度	0.0007
u_4	钢直尺溯源的不确定度	0.0061
u_5	测试距离的位置偏差	0.032
u_6	眩光源位置测量偏差	0.046
u_7	眩光源尺寸的测量偏差	0.048
u_8	校准装置亮度稳定性	0.023
u_9	校准装置亮度均匀性	0.024
u_{10}	环境温度影响	0.063
u_{11}	环境杂散光影响	0.0046
u_{12}	测量重复性	0.37

根据不确定度传播率^[15]，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{\sum_i u_i^2} = 0.45 \quad i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

取 $k = 2$ ，扩展不确定度为

$$U = 0.9 (k = 2)$$

6 小结与展望

建立统一眩光值 UGR 校准装置，可对眩光测试仪 UGR 量值进行校准，并可溯源至国家光亮度及几何参数计量基准。装置计量性能稳定，UGR 测量不确定度小于 1，具有很好的准确性与可靠性，满足作为校准装置的要求。未来在以下两方面还有改进空间：①加强对环境温度的控制，减少温度对光源稳定性的影响，

优化测量重复性, 从而降低测量不确定度; ②建立更符合实际照明场景的标准眩光照明室或照明场地, 将二维面测量扩展为三维的场地测量。

参 考 文 献

- [1] 据晨光, 李春. 改善中小学校照明环境的必要性[J]. 实验教学与仪器, 2019, 36(12): 75-76.
- [2] 李忠凯. 论照明技术与儿童视力健康的关系[C]//海峡两岸第二十一届照明科技与营销研讨会专题报告暨论文集. 中国照明学会, 2014: 315-323.
- [3] 张鸣杰, 杨静华, 孙超, 等. 室内照明的眩光计算和测量及控制[J]. 光源与照明, 2016(2): 14-16, 43.
- [4] GB/Z 26212-2010 室内照明不舒适眩光[S]. 2010.
- [5] Guth. A method for the evaluation of discomfort glare[J]. IES, 1963, 57: 351-364.
- [6] Fisher D. European glare limiting method[J]. Lighting Research & Technology, 1972(4): 97-100.
- [7] Manabe H. The assessment of discomfort glare in practical lighting installation [J]. Oteman Economics Studies, 1976.
- [8] Sorensen K. Practical aspects of discomfort glare evaluation: interior lighting[C]// Proceedings of the First International Symposium on Glare. New York: Lighting Research Institute, 1991.
- [9] CIE 55 - 1983 Discomfort Glare in the Interior Working Environment[S]. 1983.
- [10] CIE 117 - 1995 Discomfort Glare in Interior Lighting [S]. 1995.
- [11] 中华人民共和国建设部. GB 50034-92 工业企业照明设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1992.
- [12] 中华人民共和国建设部. GBJ 133-90 民用建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1990.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50034-2013 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [14] 杨公侠, 杨旭东. 不舒适眩光与不舒适眩光评价[J]. 照明工程学报, 2006(2): 11-15.
- [15] 国家质量技术监督局. JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国计量出版社, 1999.

收稿日期: 2019-11-27; 修回日期: 2020-02-13

基金项目: 国家质量基础的共性技术研究与应用(2018YFF0212105)

作者简介



刘玉龙(1988-), 男, 硕士, 2014年毕业于中国计量科学研究院, 获工学硕士学位, 现就职于苏州市计量测试研究院国家平板显示产业计量测试中心(苏州), 主要从事物理光学计量与检测工作。