



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 211—2021

亮 度 计

Luminance Meters

2021-12-08 发布

2022-06-08 实施

国家市场监督管理总局 发布

亮度计检定规程
Verification Regulation of
Luminance Meters

JJG 211—2021
代替 JJG 211—2005

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

中国测试技术研究院

参加起草单位：浙江省计量科学研究院

陕西省计量科学研究院

本规程委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

姜晓梅（中国计量科学研究院）

苏昌林（中国测试技术研究院）

吕 亮（中国计量科学研究院）

参加起草人：

马 瑶（浙江省计量科学研究院）

李 奕（陕西省计量科学研究院）

孙若端（中国计量科学研究院）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量性能要求	(1)
5 通用技术要求	(2)
5.1 外观	(2)
5.2 色匹配	(2)
6 计量器具控制	(2)
6.1 检定条件	(2)
6.2 检定项目	(3)
6.3 检定方法	(4)
6.4 检定结果的处理	(10)
6.5 检定周期	(10)
附录 A 检定原始记录推荐格式	(11)
附录 B 检定证书和检定结果通知书内页推荐格式	(16)
附录 C 测量不确定度评定示例	(18)
附录 D 透射式标准色板的特性参数	(29)

引 言

JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》、JJF 1032《光学辐射计量名词术语及定义》共同构成支撑本规程修订工作的基础性系列规范。

本规程以 ISO/CIE 19476: 2014《照度计和亮度计性能表征方法》为基础,对 JJG 211—2005 进行修订。与 JJG 211—2005 相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

——更改了引用文件;

——删除了术语;

——简化了概述;

——在检定项目中,参照 ISO/CIE 19476: 2014 删除了稳定性,从可行性考虑去掉了色校准系数变化量,增加了针对图像亮度计的不均匀性响应误差,并在计量性能要求中进行了相应指标的增减;

——环境条件中的相对湿度小于 85%改为相对湿度小于 70%;

——增加了亮度源法的检定设备、检定方法描述;

——原标准灯白板法中,检定遮光筒式亮度计的方法由原来的使用标准透射白板的透射比计算亮度值改为使用标准亮度计的比较测量法,并去掉了原标准灯白板法中使用标准反射色板、升色温色板的相关内容。

——参照 ISO/CIE 19476: 2014 中 5.2、5.7、5.9、5.15、5.16,修改了 6.3 中对线性误差、换挡误差、疲劳误差、测量距离特性、视觉匹配误差的检定方法描述;

——增加了附录 A 亮度计检定原始记录推荐格式;

——修改了附录 B 亮度计检定证书和检定结果通知书内页推荐格式;

——修改了附录 C 测量不确定度评定示例;

——删除了原附录中 CIE1931 标准色度观察者色匹配函数。

本规程的历次版本发布情况为:

——JJG 211—2005;

——JJG 211—1989。

亮度计检定规程

1 范围

本规程适用于亮度计（含彩色亮度计）的首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

ISO/CIE 19476：2014 照度计和亮度计性能表征方法（Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 概述

亮度计是测量光亮度的仪器，其中彩色亮度计还具有测量目标色度的功能。亮度计广泛应用于显示屏、电光源、照明工程、交通运输、航空航天、电影电视等领域。亮度计按取景光路类型可分为成像式亮度计和遮光筒式亮度计，其中成像式亮度计又包括瞄准点式和图像式；按采样方式可分为光谱分光式亮度计和滤光片光电积分式亮度计；测量功能中具备测色功能的亮度计称为彩色亮度计。

亮度计的工作原理是通过一组确定仪器取景和测量视场角的光学系统获取规定视场目标的光信号，经由人眼视觉修正的光电探测器结合光电转换电路测量视场目标的亮度值。如果在结构内集成了色度修正滤光片或分光元件还可实现视场目标色度或光谱的测量。

4 计量性能要求

亮度计分为标准级、一级和二级共三个级别，各级亮度计的计量性能应满足表 1 的要求。

表 1 计量性能要求

级别	亮度 示值误差	色度（ x, y ） 示值误差	线性 误差	换挡 误差	疲劳 误差	不均匀性 响应误差	测量距离 特性误差	视觉 匹配误差
标准级	±2.5%	±0.01	0.5%	0.5%	0.5%	1.5%	0.5%	3.5%
一级	±5%	±0.02	1.0%	1.0%	1.0%	3.0%	1.0%	5.5%
二级	±10%	±0.04	2.0%	2.0%	2.0%	6.0%	2.0%	8.0%

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 仪器应有如下标记：名称、商标、型号、产品号、制造厂、出厂日期。

5.1.2 仪器不应有影响正常使用的缺陷。

5.1.3 仪器的光、机、电等零部件应接触良好，牢固可靠，显示数字清晰完整。

5.2 色匹配

仪器的探测器必须具备视觉或色觉修正功能，修正后的相对光谱响应度 $S_x(\lambda)$, $S_y(\lambda)$, $S_z(\lambda)$, 应分别与 CIE1931 标准色度观察者的色匹配函数 $\bar{x}(\lambda)$ [或 $\bar{x}_r(\lambda)$], $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 相接近。

6 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

6.1 检定条件

6.1.1 标准灯白板法检定设备

6.1.1.1 光度测量装置

光度测量装置由光轨、滑车、可调灯架、光阑、比高仪、灯丝平面调整仪等组成。光轨长度 6 m 以上，平直性误差不超过 ± 1 mm，测距标尺 1 m 内的总误差不大于 ± 0.2 mm。

6.1.1.2 发光强度标准灯组

同一级别的 2 856 K 发光强度标准灯组应不少于三只，检定各级亮度计的发光强度标准灯级别不得低于表 2 的要求。

表 2 发光强度标准灯级别要求

被检亮度计级别	发光强度标准灯级别
标准级	2 856 K 工作基准灯组
一级、二级	2 856 K 一级或二级标准灯组

6.1.1.3 标准白板

平面反射式标准白板：采用硫酸钡或聚四氟乙烯粉末等材质，经喷涂或压制工艺制作，其亮度分布接近于完全漫射体，光谱平坦性优于 95%。

平面透射式标准白板：采用乳白玻璃等材质制成的平行平面透射白板，其亮度分布接近于完全漫射体，光谱平坦性对于光谱失配误差的影响不超过 1%。

6.1.1.4 透射式标准色板

透射式标准色板由一套用有色玻璃加工成的红、橙、黄、绿、蓝、紫滤光片组成，特性参数见附录 D。

6.1.1.5 标准亮度计

标准级亮度计可检定不高于一级的遮光筒式亮度计，一级亮度计可检定不高于二级

的遮光筒式亮度计。

6.1.1.6 供电及电测设备

满足标准灯电压电流燃点范围要求的直流电源（稳流、稳压）一台，电压连续可调，10 min 内输出电压变化应不大于 0.02%。

电测仪表由数字电压表、标准电阻等组成，控制各级标准灯所用电测仪表准确度等级应不低于表 3 要求。

表 3 电测仪表准确度等级要求

级别	数字电压表	标准电阻
标准级	0.01	0.01
一级	0.02	0.02
二级	0.05	0.05

6.1.2 亮度源法检定设备

6.1.2.1 亮度源

亮度源亮度应连续可调并具有亮度输出显示功能，亮度显示不低于 $3_{1/2}$ 位。在测量范围内，亮度源出光面色温应不超过 $2\,856\text{ K} \pm 30\text{ K}$ ，线性误差优于 0.3%，面均匀性优于 98%，1 h 内短期稳定性优于 0.5%。

6.1.2.2 平面透射式标准白板

平面透射式标准白板是采用乳白玻璃等材质制成的平行平面透射式白板，其亮度分布接近于完全漫射体，光谱平坦性对于光谱失配误差的影响不超过 1%。

6.1.2.3 透射式标准色板

透射式标准色板由一套用有色玻璃加工成的红、橙、黄、绿、蓝、紫滤光片组成，特性参数见附录 D。

6.1.2.4 标准亮度计

标准级亮度计可检定不高于一级的亮度计，一级亮度计可检定不高于二级的亮度计。

6.1.2.5 其他

转台、探测器夹具等。

6.1.3 环境条件

实验室应为暗室，温度应保持在 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度小于 70%。

6.2 检定项目

检定项目见表 4。

表 4 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观检查	+	+	+
亮度示值误差	+	+	+
色度 (x, y) 示值误差	+	+	+

表 4 (续)

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
线性误差	+	—	—
换挡误差	+	—	—
疲劳误差	+	—	—
不均匀性响应误差	+	—	—
测量距离特性误差	+	—	—
视觉匹配误差	+	—	—
注： 1 “+”表示需检定项目，“—”表示可不检定项目； 2 色度示值误差的检定只适用于彩色亮度计； 3 不均匀性响应误差的检定只适用于图像亮度计； 4 视觉匹配误差的检定只适用于滤光片式亮度计。			

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查

用目视观察和手动结合，按 5.1 规定的各项内容进行检查。

6.3.2 检定装置及被检仪器的调整

6.3.2.1 标准灯白板法

将标准灯、标准白板分别安装在光度测量装置上，调整标准灯的灯丝平面和标准白板表面，使它们垂直于光轨的测光轴线，且中心点位于轴线上。在光路中放置若干带孔挡光屏，用于屏蔽杂散光。测量色度时，把透射式标准色板置于彩色亮度计物镜前。如图 1、图 2 所示，检定时，将标准灯与标准白板、透射式标准色板适当组合，测量亮度和色度值。

检定成像式亮度计时，如图 1 所示，将亮度计安装在夹持设备上，使亮度计的测光轴线与光轨的测光轴线处于同一平面并成 45° 角，瞄准标准白板中央，调节亮度计的物镜和目镜，使亮度计内的孔径光阑清晰可见，而且标准白板的表面成像清晰。此方法可用于检定各级别成像式亮度计。

检定遮光筒式亮度计时，如图 2 所示，将亮度计探测器遮光筒紧贴透射式标准白板，且遮光筒中心置于透射式标准白板中心测量。此方法可用于检定一级、二级遮光筒式亮度计。

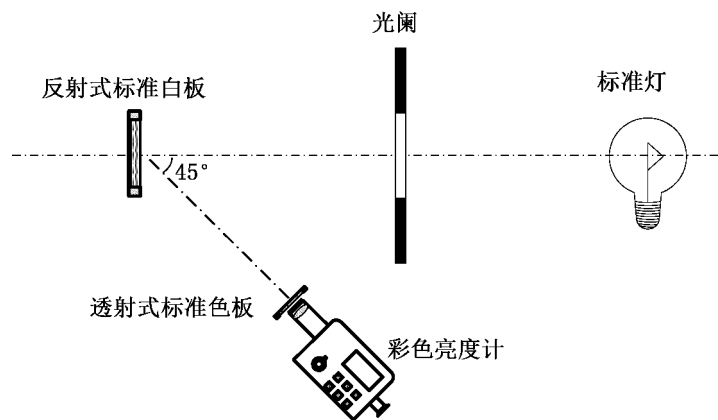


图 1 标准灯白板法检定成像式亮度计光路图

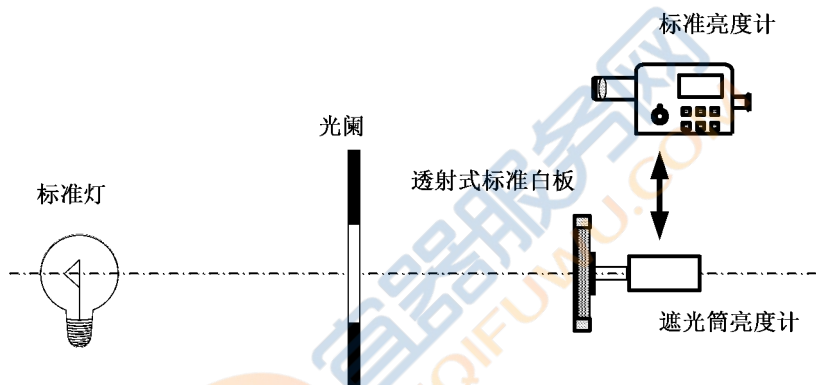


图 2 标准灯白板法检定遮光筒式亮度计光路图

6.3.2.2 亮度源法

将亮度源置于平稳台面上，如图 3 所示，先将标准亮度计安装在夹持设备上，使标准亮度计的测光轴线与亮度源出光面垂直，调节标准亮度计的目镜和物镜，瞄准亮度源出光面中心，使标准亮度计内的孔径光阑清晰可见，亮度源出光面成像清晰，并保证孔径光阑覆盖区域小于亮度源出光口面积的 2/3，然后对亮度源进行定标。检定时，如图 3 所示，将透射式白板、透射式标准色板适当组合，测量亮度和色度值。此方法用于检定一级、二级亮度计。标准级亮度计可用基于亮度定义复现的亮度源式亮度工作基准装置检定。

检定成像式亮度计时，按上述标准亮度计同样的步骤进行安装、调整。

检定遮光筒式亮度计时，需调整亮度计探测器位置，严格保证其被测光场落于亮度源出光面内。对于立体角过大的屏幕亮度计，如不能保证其被测光场落于亮度源出光面内，应在亮度源出光面前放置透射式白板，将亮度计探测器遮光筒紧贴透射式白板，且遮光筒中心置于透射式白板中心测量。

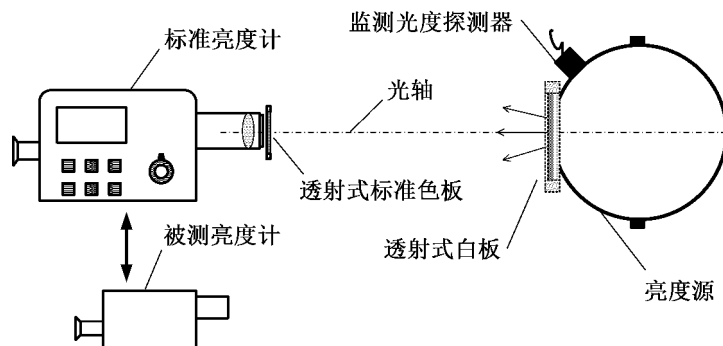


图3 亮度源法检定亮度计光路图

6.3.3 亮度示值误差

6.3.3.1 采用标准灯白板法时，开机并预热亮度计，在 2 856 K 对应的工作电流下点燃标准灯。改变标准灯至标准白板的距离，检定成像式亮度计时，其标准亮度值 L 由公式 (1) 给出：

$$L = \frac{\rho}{\pi} \frac{I}{l^2} \quad (1)$$

式中：

ρ ——标准白板在 0/45 几何条件、CIE 标准照明体 A、2°标准色度观察者条件下的积分反射比；

I ——标准灯的发光强度值，cd；

l ——标准白板与标准灯灯丝平面的距离，m。

检定遮光筒式亮度计时，其标准亮度值由标准亮度计测量透射式白板表面亮度得到。标准亮度计在透射式白板表面的测量视场应尽量接近被检亮度计在透射式白板表面的测量视场。

按说明书操作被检亮度计，读取对应标准亮度值的仪器亮度显示值。

6.3.3.2 采用亮度源法时，在 2 856 K 对应的工作电流下点燃标准灯泡，打开亮度源显示仪表，并预热亮度源，使其达到 6.1.2.1 对亮度源稳定性的要求。采用避光措施，遮挡亮度源，此时调节亮度源显示仪表零点。然后调整亮度源衰减器，用标准亮度计在亮度值为 100 cd/m²下定标亮度源出光口亮度值。

按说明书操作被检亮度计，屏蔽环境杂光，调整亮度源衰减器，使亮度源出光口亮度值显示至设定的标准亮度值，此时读取对应标准亮度值的仪器亮度显示值。

对于需要在亮度源出光面前放置透射式白板的被检亮度计，直接用标准亮度计测量透射式白板表面亮度作为标准亮度值。标准亮度计在透射式白板表面的测量视场应尽量接近被检亮度计在透射式白板表面的测量视场。

6.3.3.3 检定时，对于具备换挡功能的亮度计，每一挡内选取不少于 3 个等间隔测量点；对于只有自动量程功能的亮度计，选取不少于 6 个等间隔测量点，选取的测量点应覆盖满量程测量范围的 90% 以上；进行两轮实验，取两轮数据平均值作为最终结果。按公式 (2) 计算亮度计的亮度相对示值误差：

$$\Delta L = \frac{L_t - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ΔL ——亮度相对示值误差；

L_s ——标准亮度值， cd/m^2 ；

L_t ——仪器亮度显示值， cd/m^2 。

6.3.4 色度 (x, y) 示值误差

6.3.4.1 采用标准灯白板法时，如图 1 所示，在 6.3.3.1 检定条件下，在被检亮度计物镜前放置透射式标准色板，固定标准白板、标准灯之间的距离，读取对应色品坐标标准值的仪器色品坐标显示值。

6.3.4.2 采用亮度源法时，如图 3 所示，在 6.3.3.2 检定条件下，在被检亮度计物镜前放置透射式标准色板，读取对应色品坐标标准值的仪器色品坐标显示值。

6.3.4.3 检定时，进行两轮实验，取两轮数据平均值作为最终结果。按公式 (3) 计算亮度计的色度示值误差：

$$\begin{cases} \Delta x = x_t - x_s \\ \Delta y = y_t - y_s \end{cases} \quad (3)$$

式中：

$\Delta x, \Delta y$ ——色度 (x, y) 示值误差；

x_s, y_s ——色品坐标标准值，即在 0/0 几何条件、CIE 标准照明体 A、2°标准色度观察者条件下测量得到的标准色板色品坐标值；

x_t, y_t ——仪器色品坐标显示值。

6.3.5 线性误差

6.3.5.1 按 6.3.3.1 或 6.3.3.2 进行操作，在设定的标准亮度值下，读取被检亮度计的亮度显示值。实验进行两轮，取两轮数据平均值作为最终结果。

6.3.5.2 对于具备换挡功能的仪器，参照 ISO/CIE 19476:2014 中 5.7.3，按公式 (4) 计算每一挡的线性误差 $f_{\text{线性}}(Y)$ ，取最大值作为仪器挡内线性误差最终结果。

$$f_{\text{线性}}(Y) = \left| \frac{Y_{1/10}}{Y_{\max}} \cdot \frac{X_{\max}}{X_{1/10}} - 1 \right| \times 100\% \quad (4)$$

式中：

$Y_{1/10}$ ——仪器 1/10 满量程的亮度显示值；

$Y_{\max}$ ——仪器接近满量程的亮度显示值；

$X_{1/10}$ ——对应 $Y_{1/10}$ 的标准亮度值；

$X_{\max}$ ——对应 $Y_{\max}$ 的标准亮度值。

6.3.5.3 对于只有自动量程功能的仪器，首次测量仪器接近满量程（或检定装置测量范围上限）的亮度显示值 Y_0 ，然后按 10 倍倍率递减，逐次测量亮度显示值 Y_i ，直至测量点覆盖满量程的 99%（或检定装置测量能力下限），按公式 (5) 计算仪器线性误差 $f_{\text{线性}}$ 。

$$f_{\text{线性}} = \max \left(\left| \frac{Y_i}{Y_0} \cdot \frac{X_0}{X_i} - 1 \right| \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：

Y_0 ——首次测量的仪器亮度显示值（仪器接近满量程的亮度显示值或检定装置测量范围上限的亮度显示值）；

X_0 ——对应 Y_0 的标准亮度值；

Y_i ——第 i 次测量的仪器亮度显示值；

X_i ——对应 Y_i 的标准亮度值。

6.3.6 换挡误差

6.3.6.1 按 6.3.3.1 或 6.3.3.2 进行操作，在设定的标准亮度值下，读取某一视场角下被检亮度计的显示值。实验进行两轮，取两轮数据平均值作为最终结果。

6.3.6.2 参照 ISO/CIE 19476: 2014 的 5.15.3，按公式（6）计算相邻挡位的换挡误差 $f_{\text{换挡}}(Y)$ ，取最大值作为仪器换挡误差最终结果。

$$f_{\text{换挡}}(Y) = \left| \frac{Y_B}{k \cdot Y_A} - 1 \right| \times 100\% \quad (6)$$

式中：

Y_A ——在 A 挡对应满量程 90% 标准亮度值 X_A 的仪器显示值；

Y_B ——在下一个更高挡 B 挡对应满量程 90% 标准亮度值 X_B 的仪器显示值；

k ——换挡倍率， $k = X_B / X_A$ ，通常为 10。

6.3.7 疲劳误差

6.3.7.1 按 6.3.3.1 或 6.3.3.2 进行操作，在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，选择分辨力最高的测量挡，读取某一视场角下被检亮度计的显示值。测量前应保证被检亮度计探测器 24 h 不曝光。评价被检亮度计在 30 min 内的亮度显示值随时间变化的特性。实验进行两轮，取两轮数据平均值作为最终结果。

6.3.7.2 参照 ISO/CIE 19476: 2014 中 5.9.3，按公式（7）计算疲劳误差 $f_{\text{疲劳}}$ 。

$$f_{\text{疲劳}} = \left| \frac{Y_1}{Y_2} - 1 \right| \times 100\% \quad (7)$$

式中：

Y_1 ——在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，开机后 30 min 读取的亮度显示值；

Y_2 ——在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，开机后 10 s 读取的亮度显示值。

6.3.8 不均匀性响应误差

6.3.8.1 按 6.3.3.2 操作，把被检图像亮度计安装在转台上，使被检图像亮度计的测光轴线与亮度源出光面垂直，且瞄准亮度源出光面中心。在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，选择分辨力最高的测量挡，按图 4 所示，在测量全视场内选取 13 个评估区域，每个评估区域直径约为测量视场最大边长的 $1/20$ ，转动被检图像亮度计，在保证被检图像亮度计的镜头几何中心点始终在亮度源中心光轴的前提下，使每个评估区域逐一瞄准亮度源出光口中心且成像清晰，读取仪器亮度显示值。

6.3.8.2 检定时，进行两轮实验，取两轮数据平均值作为最终结果。按公式（8）计算不均匀性响应误差 $f_{\text{不均匀}}$ ：

$$f_{\text{不均匀}} = \left| \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{\bar{Y}} \right| \times 100\% \quad (8)$$

式中：

$Y_{\max}$ ——仪器评估区域中的最大亮度显示值；

$Y_{\min}$ ——仪器评估区域中的最小亮度显示值；

$\bar{Y}$ ——仪器评估区域中的亮度显示平均值。

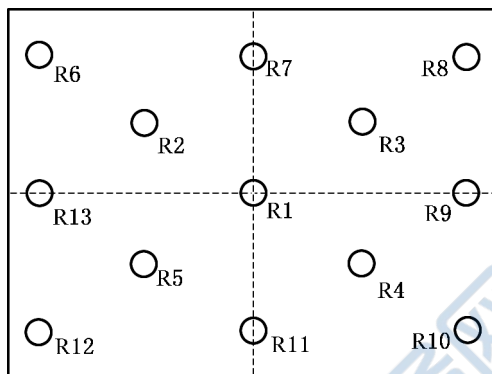


图4 不均匀性评估区域示意图

6.3.9 测量距离特性

6.3.9.1 按 6.3.3.1 或 6.3.3.2 进行操作，在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，选择分辨率最高的测量挡，旋转被检亮度计物镜至最小和最大物距指示位置，调整测量距离使成像清晰，选择合适的视场角，保证被检亮度计在最大物距条件下的测量覆盖区域仍能小于标准白板或亮度源出光口面积的 $2/3$ 。分别读取两个距离下的亮度显示值。实验进行两轮，取两轮数据平均值作为结果。

6.3.9.2 参照 ISO/CIE 19476:2014 中 5.16.3，按公式 (9) 计算测量距离特性误差 $f_{\text{距离}}$ 。

$$f_{\text{距离}} = \left| \frac{Y_1}{Y_2} - 1 \right| \times 100\% \quad (9)$$

式中：

Y_1 ——在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，仪器物镜旋至最小物距指示位置的亮度显示值；

Y_2 ——在 $1\,000\text{ cd/m}^2$ 的标准亮度值下，仪器物镜旋至最大物距指示位置的亮度显示值。

6.3.10 视觉匹配误差

6.3.10.1 在工作电流下，点燃相对光谱响应度测量装置的电源并预热；通过调节装置，保证挡屏、快门、通光孔中心、反射镜中心位于主光轴上；将标准探测器放置于测量窗口位置，且保证光线垂直于探测器接收面并穿过主光轴中心；在测量程序中设置测量起止波长为 $380\text{ nm} \sim 780\text{ nm}$ ，采样波长间隔为 5 nm ；先后测量标准探测器的输出电流 i_s 和被检亮度计探测器的输出电流 i_t 。

6.3.10.2 按公式 (10) 计算被检亮度计探测器的相对光谱响应度 $S(\lambda)_{\text{rel}}$ ：

$$S(\lambda)_{\text{rel}} = \frac{i_t(\lambda)}{i_s(\lambda)} \cdot S_0(\lambda)_{\text{rel}} \quad (10)$$

式中：

i_t ——被检亮度计探测器的输出电流；

i_s ——标准探测器的输出电流；

$S_0(\lambda)_{\text{rel}}$ ——标准探测器的相对光谱响应度。

参照 ISO/CIE 19476：2014 的 5.2.7，按公式（11）计算被检亮度计视觉匹配误差 $f_{\text{视觉匹配}}$ ：

$$f_{\text{视觉匹配}} = \frac{\int_{380}^{780} |S^*(\lambda)_{\text{rel}} - V(\lambda)| d\lambda}{\int_{380}^{780} V(\lambda) d\lambda} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

$V(\lambda)$ ——CIE 明视觉光谱光视效率；

$S^*(\lambda)_{\text{rel}}$ ——标准（归一）化了的探测器相对光谱响应度。

$$S^*(\lambda)_{\text{rel}} = \frac{\int_{380}^{780} S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} S_A(\lambda) S(\lambda)_{\text{rel}} d\lambda} \times S(\lambda)_{\text{rel}} \quad (12)$$

式中：

$S_A(\lambda)$ ——CIE 标准照明体 A 的相对光谱功率分布。

6.4 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的亮度计，发给检定证书；不符合本规程要求的亮度计发给检定结果通知书，并注明不合格项。检定原始记录参见附录 A，检定证书和检定结果通知书内页格式参见附录 B。

6.5 检定周期

亮度计的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

检定原始记录推荐格式

第 页 共 页

原始记录编号：	送检单位：		
证书编号：	地址：	电话：	
仪器名称：		受样时间：	
仪器型号：	外观检查： ☐ 合格 ☐ 有缺陷（ ）		
生产厂：		产品号：	
检定依据： ☐ JJG 211—2021 亮度计			
检定方法： ☐ 标准灯白板法 ☐ 亮度源法			
检定员：	核验员：	日期：	
温度：	湿度：	检定测地点：	

检定使用的基（标）准装置或主要标准器

名称	编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书号	有效期至

1. 外观检查						
2. 亮度示值误差						
标准值 cd/m^2	量程	视场角	仪器亮度显示值 cd/m^2			相对示值误差 %
			第一轮	第二轮	平均值	
备注	检定结果：					
3. 色度 (x, y) 示值误差						
光源		标准色品坐标	仪器色品坐标显示值		示值误差	
白光	x				Δx	
	y				Δy	
红光	x				Δx	
	y				Δy	
橙光	x				Δx	
	y				Δy	
黄光	x				Δx	
	y				Δy	
绿光	x				Δx	
	y				Δy	
蓝光	x				Δx	
	y				Δy	
紫光	x				Δx	
	y				Δy	
备注			检定结果：			

4. 线性误差						
标准 亮度值 X cd/m^2	量程	视场角	仪器显示值 Y cd/m^2			$f_{\text{线性}}(Y)$ %
			第一轮	第二轮	平均值	
$f_{\text{线性}}/\%$				检定结果：		
备注						
5. 换挡误差						
标准 亮度值 X cd/m^2	量程	视场角	仪器显示值 Y cd/m^2			$f_{\text{换挡}}(Y)$ %
			第一轮	第二轮	平均值	
$f_{\text{换挡}}/\%$				检定结果：		
备注						
6. 疲劳误差：						
标准 亮度值 X cd/m^2	时间	量程	视场角	仪器显示值 Y cd/m^2		
				第一轮	第二轮	平均值
	10 s					
	30 min					
$f_{\text{疲劳}}/\%$				检定结果：		
备注						

7. 不均匀性响应误差：

评估区域	量程	仪器显示值 Y cd/m ²		
		第一轮	第二轮	平均值
R1				
R2				
R3				
R4				
R5				
R6				
R7				
R8				
R9				
R10				
R11				
R12				
R13				
$f_{\text{不均匀}}/\%$	检定结果：			
备注				

8. 测量距离特性误差：

标准亮度值 X cd/m ²	物距 条件	量程	视场角	仪器显示值 Y cd/m ²		
				第一轮	第二轮	平均值
$f_{\text{距离}}/\%$					检定结果：	
备注						

9. 视觉匹配误差：	
波长 nm	相对光谱响应度
$f_{\text{视觉匹配}}/\%$ ：	检定结果：
备注：	



附录 B

检定证书和检定结果通知书内页推荐格式

B.1 检定证书内页格式

B.1.1 首次检定（检定结果栏）格式

首次检定项目	检定结果
外观检查	
亮度示值误差	
色度 (x, y) 示值误差	
线性误差	
换挡误差	
疲劳误差	
不均匀性响应误差	
测量距离特性误差	
视觉匹配误差	

B.1.2 后续检定（检定结果栏）格式

a) 外观检查：

b) 亮度示值误差：

亮度标准值 cd/m^2	量程	仪器亮度显示值 cd/m^2	相对示值误差 %

c) 色度 (x , y) 示值误差:

光源		标准色品坐标	仪器色品坐标显示值	示值误差	
白光	x			Δx	
	y			Δy	
红光	x			Δx	
	y			Δy	
橙光	x			Δx	
	y			Δy	
黄光	x			Δx	
	y			Δy	
绿光	x			Δx	
	y			Δy	
蓝光	x			Δx	
	y			Δy	
紫光	x			Δx	
	y			Δy	

B.2 检定结果通知书内页格式

要求同上,并注明不合格项目。

附录 C

测量不确定度评定示例

本附录仅对检定一级彩色亮度计的测量结果进行不确定度评定示例分析。

C.1 标准灯白板法亮度测量结果不确定度评定

C.1.1 检定方法

在 2 856 K 工作电流下点燃标准灯。改变标准灯至标准白板的距离，其标准亮度值 L_s 由式 (C.1) 给出。检定亮度计时，读取对应标准亮度值的仪器亮度显示值，计算亮度相对示值误差，给出修正因子。

$$L_s = \frac{\rho}{\pi} \frac{I}{l^2} \quad (\text{C.1})$$

式中：

ρ ——标准白板在 0/45 几何条件、CIE 标准照明体 A、2°标准色度观察者条件下的积分反射比；

I ——标准灯的发光强度值，cd；

l ——标准白板与标准灯灯丝平面的距离，m。

C.1.2 测量模型

被检亮度计的修正因子的测量模型为：

$$K = \frac{L_s}{L_t} = \frac{\rho I}{\pi l^2 L_t} \quad (\text{C.2})$$

式中：

L_s ——标准亮度值；

L_t ——仪器亮度显示值。

亮度计修正因子输入量的不确定度彼此不相关，则合成标准不确定度可表示为：

$$u_{\text{crel}}^2 = u_{\text{rel}}^2(\rho) + u_{\text{rel}}^2(I) + (-2)^2 u_{\text{rel}}^2(l) + (-1)^2 u_{\text{rel}}^2(L_t) \quad (\text{C.3})$$

C.1.3 输入量的相对标准不确定度评定

C.1.3.1 输入量 L_t 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(L_t)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(L_t)$ 的来源主要由亮度计的测量重复性和亮度计的分辨力两部分组成，分别用 A 类、B 类方法评定。

a) 亮度计测量重复性的不确定度

按 6.3.3 规定检定一台亮度计，连续读取 10 次亮度计读数，测量结果列于表 C.1。

表 C.1 亮度计测量重复性测量结果

序号	显示值 L_t cd/m^2
1	9.991E+01
2	9.987E+01
3	9.989E+01
4	9.982E+01
5	9.984E+01
6	9.993E+01
7	9.989E+01
8	9.986E+01
9	9.991E+01
10	9.995E+01
$\overline{L_t}$	9.989E+01
单次实验相对标准差	0.04%
两轮实验平均值的标准差	0.03%

$$u_{\text{rel1}}(L_t) = 0.03\%$$

b) 亮度计分辨力的不确定度

以四位显示的亮度计为例，计算亮度计分辨力引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(L_t)$ ，此项服从均匀分布： $u_{\text{rel2}}(L_t) = \frac{1/1\,000}{2\sqrt{3}} \times 100\% \approx 0.03\%$ 。

C.1.3.2 输入量 ρ 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\rho)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(\rho)$ 主要来源于标准白板反射比量值溯源的不确定度，以及标准白板空间不均匀性，用 B 类方法评定。

a) 标准白板反射比量值的不确定度

由标准白板的检定证书得到，反射比量值溯源引入的相对标准不确定度为： $u_{\text{rel1}}(\rho) = 0.8\%$

b) 标准白板空间不均匀性的不确定度

标准白板的反射比是在 $0/45$ 几何条件下测量的，而亮度计的测光轴线与光轨的测光轴线瞄准会存在一定的角度偏差，且标准白板不是完全漫射体，由于空间不均匀性会引入不确定度。按 $45^\circ \pm 3^\circ$ 考虑，由实验得到，此误差不超过 0.2% ，按均匀分布计算，则： $u_{\text{rel2}}(\rho) = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} \approx 0.12\%$ 。

C.1.3.3 输入量 I 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(I)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(I)$ 的来源主要由光强值的不确定度及电测系统的不确定度两部分组成, 均用 B 类方法评定。

a) 光强值的相对标准不确定度 $u_{\text{rel1}}(I)$

当使用发光强度一级标准灯检定一级亮度计时, 其测量结果相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = 0.8\%, k=2, \text{ 则光强值的相对标准不确定度为: } u_{\text{rel1}}(I) = \frac{0.8\%}{2} = 0.40\%。$$

b) 供给标准灯电流的相对标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(I)$

电流值: $i = \frac{U}{R}$, 可知电流 i 的不确定度由标准电阻 R 和电阻两端电压 U 测量的不确定度导出。

用 $5_{1/2}$ 数字电压表测量电压, 由检定证书得到 $5_{1/2}$ 数字电压表直流电压的测量结果扩展不确定度为 $U_{\text{rel}} = 8 \times 10^{-5} (k=2)$, 则电压的相对标准不确定度: $u_{\text{rel}}(U) = \frac{0.008\%}{2} = 0.004\%。$

0.01 级标准电阻按 $k=3$ 计算, 由检定证书得到, 测量扩展不确定度为 $U_{\text{rel}} = 30 \times 10^{-6}$, $k=3$, 则电阻的相对标准不确定度: $u_{\text{rel}}(R) = \frac{3 \times 10^{-7}}{3} = 1 \times 10^{-7}。$

电流的合成相对标准不确定度: $u_r(i) = 0.004\%。$

由经验公式得知: $\frac{dI}{I} = 6 \frac{di}{i}$, 则由于电流引入的光强相对标准不确定度为: $u_{\text{rel2}}(I) = 6 \times 0.004\% \approx 0.03\%。$

C.1.3.4 输入量 l 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(l)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(l)$ 的来源主要由测量距离的不确定度、灯丝平面与白板调整的不确定度两部分组成, 均用 B 类方法评定。

a) 测量距离的不确定度 $u_{\text{rel1}}(l)$

按 6.1.1.1 规定, 光轨测距米尺 1 m 内总误差不大于 ± 0.2 mm, 此项服从均匀分

布, 按最小测量距离 0.9 m 计算的相对标准不确定度为: $u_{\text{rel1}}(l) = \frac{\sqrt{900 \times \left(\frac{0.2}{1000}\right)^2}}{900 \times \sqrt{3}} \times 100\% \approx 0.01\%。$

b) 灯丝平面与白板调整的不确定度 $u_{\text{rel2}}(l)$

根据实验经验得到, 灯丝平面与白板调整带来的对 l 值的影响不会超过 ± 1 mm, 且服从三角分布, 仍按最小距离计算, 则灯丝平面与白板调整带给 l 值的标准不确定度为:

$$u_{\text{rel2}}(l) = \frac{1}{650 \times \sqrt{6}} \times 100\% \approx 0.06\%$$

C.1.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量及相关信息列于表 C.2。

表 C.2 标准灯白板法检定一级亮度计的标准不确定度分量汇总表

标准不确定度	不确定度来源	输入量的相对标准不确定度/%	指数	输出量相对标准不确定度分量/%
$u_{\text{rel1}}(L_t)$	亮度计的测量重复性	0.03	-1	0.03
$u_{\text{rel2}}(L_t)$	亮度计的分辨力	0.03	-1	0.03
$u_{\text{rel1}}(\rho)$	标准白板的反射比	0.80	1	0.80
$u_{\text{rel2}}(\rho)$	标准白板的空间不均匀性	0.12	1	0.12
$u_{\text{rel1}}(I)$	光强值	0.40	1	0.40
$u_{\text{rel2}}(I)$	电测系统	0.03	1	0.03
$u_{\text{rel1}}(l)$	测量距离	0.01	-2	0.02
$u_{\text{rel2}}(l)$	灯丝平面与白板调整	0.06	-2	0.12

C.1.5 相对合成标准不确定度的计算

各相对标准不确定度分量彼此不相关，则合成相对标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\rho) + u_{\text{rel}}^2(I) + (-2)^2 u_{\text{rel}}^2(l) + (-1)^2 u_{\text{rel}}^2(L_t)} = 0.91\%$$

C.1.6 相对扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，则相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 2 \times u_{\text{crel}} \approx 2.0\%$

C.1.7 测量结果不确定度报告

白板法检定一级亮度计的亮度示值误差的扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} \approx 2.0\%$ ， $k=2$ 。

C.2 亮度源法亮度测量结果不确定度评定

C.2.1 检定方法

首先用标准亮度计在亮度值为 100 cd/m^2 下定标亮度源出光口亮度值。然后，调整亮度源衰减器，使亮度源出光口亮度值显示至设定的标准亮度值，此时读取对应标准亮度值的仪器亮度显示值，计算亮度相对示值误差。

C.2.2 测量模型

被检亮度计的相对示值误差的测量模型为：

$$\Delta L = \frac{L_t - L_s}{L_s} \times 100\% \quad (\text{C.4})$$

式中：

ΔL ——亮度相对示值误差；

L_s ——标准亮度值。

亮度计相对示值误差的相对标准不确定度分量彼此不相关，则合成相对标准不确定度为：

$$\begin{aligned}
 u_{\text{crel}}^2(\Delta L) &= c_1^2 u_{\text{rel}}^2(L_t) + c_2^2 u_{\text{rel}}^2(L_s) \\
 &= u_{\text{rel}}^2(L_t) + u_{\text{rel}}^2(L_s)
 \end{aligned}
 \quad (\text{C.5})$$

其中, 灵敏系数 $c_1 = 1$, $c_2 = -1$ 。

C.2.3 输入量的相对标准不确定度评定

C.2.3.1 输入量 L_t 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(L_t)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(L_t)$ 的来源主要由亮度计的测量重复性、亮度计的分辨率两部分组成, 分别用 A 类、B 类方法评定。

a) 亮度计测量重复性的不确定度

按 6.3.3 规定检定一台亮度计, 连续读取 10 次亮度计读数, 测量结果列于表 C.3。

表 C.3 亮度计测量重复性测量结果

序号	显示值 L_t cd/m ²
1	9.991E+01
2	9.987E+01
3	9.989E+01
4	9.982E+01
5	9.984E+01
6	9.993E+01
7	9.989E+01
8	9.986E+01
9	9.991E+01
10	9.995E+01
$\overline{L_t}$	9.989E+01
单次实验相对标准差	0.04%
两轮实验平均值的标准差	0.03%

$$u_{\text{rel1}}(L_t) = 0.03\%$$

b) 亮度计分辨力引入的不确定度

以四位显示的亮度计为例, 计算亮度计分辨力引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(L_t)$, 此项服从均匀分布, 则: $u_{\text{rel2}}(L_t) = \frac{1/1000}{2\sqrt{3}} \times 100\% \approx 0.03\%$ 。

C. 2.3.2 输入量 L_s 的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(L_s)$ 的评定

$u_{\text{rel}}(L_s)$ 的来源主要由标准亮度计定标的亮度值、亮度源的分辨力、短期稳定性、非线性、不均匀性、光谱失配组成，均由 B 类方法评定。

a) 亮度值引入的不确定度

标准级亮度计在亮度值为 100 lx 时的测量结果不确定度为 1.0%， $k=2$ ，则亮度值溯源引入的相对标准不确定度为： $u_{\text{rel1}}(L_s) = \frac{1.0\%}{2} = 0.5\%$ 。

b) 亮度源分辨力引入的不确定度

按 6.1.2.1 规定，亮度源亮度显示不低于 $3\frac{1}{2}$ 位，计算亮度源分辨力引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(L_s)$ ，此项服从均匀分布，则： $u_{\text{rel2}}(L_s) = \frac{1/1\ 000}{2\sqrt{3}} \times 100\% \approx 0.03\%$ 。

c) 亮度源短期稳定性引入的不确定度

按 6.1.2.1 规定，亮度源 1 h 内短期稳定性优于 0.5%。此项服从均匀分布，则亮度源短期稳定性引入的相对标准不确定度为： $u_{\text{rel3}}(L_s) = \frac{0.50\%}{\sqrt{3}} \approx 0.29\%$ 。

d) 亮度源不均匀性引入的不确定度

亮度计的视场角变化，以及亮度计瞄准亮度源出光口中心的位置偏差，都会由于亮度源的不均匀性引入不确定度。按 6.1.2.1 规定，亮度源的面均匀性误差小于 2%，但检定亮度计时的测量区域不会超过亮度源出光口面积的 $\frac{2}{3}$ ，此区域的亮度面均匀性小于 1%，此项不确定度按三角分布计算，则相对标准不确定度为： $u_{\text{rel4}}(L_s) = \frac{1.0\%}{\sqrt{6}} \approx 0.58\%$ 。

e) 亮度源非线性引入的不确定度

由于亮度源出光口的亮度值是用标准亮度计在 100 cd/m^2 一点下定标的，因此检定亮度计时，亮度源的非线性会引入不确定度。按 6.1.2.1 规定，亮度源的线性误差优于 0.3%，此项不确定度按均匀分布计算，则相对标准不确定度为： $u_{\text{rel5}}(L_s) = \frac{0.3\%}{\sqrt{3}} \approx 0.17\%$ 。

f) 光谱失配引入的不确定度

由于亮度源与 CIE A 的光谱差异和在整个亮度测量范围内的光谱变化，以及被检亮度计的视觉匹配误差，都会引入光谱失配造成的不确定度，经试验结果表明，此项不确定度不超过 0.4%，此项不确定度按均匀分布计算，则相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel6}}(L_s) = \frac{0.4\%}{\sqrt{3}} \approx 0.23\%。$$

C. 2.4 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量及相关信息列于表 C. 4。

表 C.4 亮度源法检定一级亮度计的标准不确定度分量及相关信息

标准 不确定度	不确定度来源	输入量的相对标准 不确定度/ %	灵敏度 系数	输出量的相对标准 不确定度分量/ %
$u_{\text{rel1}}(L_t)$	亮度计的测量重复性	0.03	1	0.03
$u_{\text{rel2}}(L_t)$	亮度计的分辨力	0.03	1	0.03
$u_{\text{rel1}}(L_s)$	亮度值	0.50	—1	0.50
$u_{\text{rel2}}(L_s)$	亮度源的分辨力	0.03	—1	0.03
$u_{\text{rel3}}(L_s)$	亮度源的短期稳定性	0.29	—1	0.29
$u_{\text{rel4}}(L_s)$	亮度源的不均匀性	0.58	—1	0.58
$u_{\text{rel5}}(L_s)$	亮度源的非线性	0.17	—1	0.17
$u_{\text{rel6}}(L_s)$	光谱失配	0.23	—1	0.23

C.2.5 合成标准不确定度的计算

$$u_{\text{crel}}(\Delta L) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(L_t) + u_{\text{rel}}^2(L_s)} = 0.88\%$$

C.2.6 相对扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}}(\Delta L) \approx 1.8\%$

C.2.7 测量结果不确定度报告

积分球法检定一级亮度计的亮度示值误差的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} \approx 1.8\%, k=2$$

C.3 标准灯白板法色品坐标 (x, y) 测量结果不确定度评定

C.3.1 检定方法

采用标准白板法检定光谱分光式彩色亮度计时，如图 1 所示，在 6.3.3.1 检定条件下，在光路中加入透射式标准色板，固定标准白板、标准色板、光强灯之间距离，读取对应标准色品坐标的仪器色品坐标显示值。检定时，进行两轮实验，取两轮数据平均值作为最终结果。

C.3.2 测量模型

被检亮度计色品坐标示值误差：

$$\begin{cases} \Delta x = x_t - x_s \\ \Delta y = y_t - y_s \end{cases} \quad (\text{C.6})$$

式中：

$\Delta x, \Delta y$ ——色度 (x, y) 示值误差；

x_s, y_s ——色品坐标标准值，即在 0/0 几何条件、CIE 标准照明体 A、2°标准色度观察者条件下测量得到的标准色板色品坐标值；

x_t, y_t ——仪器色品坐标显示值。

亮度计色度示值误差的合成标准不确定度可表示为：

$$\begin{aligned} u^2(\Delta x) &= c_{x_t}^2 u^2(x_t) + c_{x_s}^2 u^2(x_s) \\ u^2(\Delta y) &= c_{y_t}^2 u^2(y_t) + c_{y_s}^2 u^2(y_s) \end{aligned} \quad (\text{C.7})$$

式中,灵敏系数 $c_{x_t}=1$, $c_{x_s}=-1$, $c_{y_t}=1$, $c_{y_s}=-1$

C.3.3 输入量的标准不确定度评定

C.3.3.1 被检亮度计色品坐标标准不确定度 $u(x_t)$ 、 $u(y_t)$ 的评定

以采用一级光强标准灯加标准白板检定光谱辐射亮度计为例,主要考虑 2 个不确定度来源,即仪器测量重复性和仪器波长准确度,分别用 A 类、B 类方法评定。在短时间内对于 A 光源连续光谱,仪器线性和稳定性引入的不确定度可忽略。

a) 测量重复性引入的不确定度

连续 10 次测量标准 A 光源 CIE1931 色品坐标 x_t , y_t , 见表 C.5。

表 C.5 色品坐标校准重复性数据

测量次数	CIE1931 色品坐标 (x_t)	CIE1931 色品坐标 (y_t)
1	0.447 6	0.407 5
2	0.447 7	0.407 5
3	0.447 6	0.407 5
4	0.447 6	0.407 5
5	0.447 6	0.407 4
6	0.447 6	0.407 5
7	0.447 7	0.407 5
8	0.447 6	0.407 5
9	0.447 6	0.407 5
10	0.447 6	0.407 4
单次实验标准差	0.000 05	0.000 05
两轮实验平均值的标准差	0.000 03	0.000 03

b) 光谱辐射亮度计波长准确度引入的不确定度 $u_\lambda(x_t)$ 、 $u_\lambda(y_t)$

如果采用解析方法严格评定波长准确度引入的不确定度十分繁杂,因此,采用数字分析方法。

取 $\delta\lambda$ 为一波长微量,设波长变化 $\delta\lambda$ 后,该波长点附近的光谱辐射亮度可表示为:

$$L(\lambda_i + \delta\lambda) = L(\lambda_i) + \Delta L(\lambda_i)$$

对于 A 光源和白板、色板所形成的连续光谱辐射亮度分布, $\Delta L(\lambda_i)$ 可近似通过相邻两波长点的光谱辐射亮度线性内插得出。分别将 $L(\lambda_i + \delta\lambda)$ 和 $L(\lambda_i)$ 代入色品坐标计算公式计算,得到 x , $x_{\delta\lambda}$ 和 y , $y_{\delta\lambda}$, 近似认为 $\delta\lambda$ 取正负时,对色品坐标的影响是对称的,其半宽可近似为: $\delta x = \text{ABS}(x - x_{\delta\lambda})$, $\delta y = \text{ABS}(y - y_{\delta\lambda})$ 。

设为均匀分布,则:

$$u_{B\lambda}(x_t) = \frac{\delta x}{\sqrt{3}}, u_{B\lambda}(y_t) = \frac{\delta y}{\sqrt{3}}$$

对于不同波长准确度的光谱辐射亮度计,分别计算得到标准 A 光源发出的光谱再

经过标准白板 and 标准色板所形成的色光引入的不确定度结果，见表 C.6。

表 C.6 波长误差引入的 CIE1931 色品坐标 x_i , y_i 的标准不确定度

波长误差/nm	0.2	0.5	1	2	3
A 光源					
u_x	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 7	0.001 0
u_y	0.000 1	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 4
A 光源+海伦 HL4					
u_x	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 7	0.001 0
u_y	0.000 0	0.000 1	0.000 1	0.000 2	0.000 4
A 光源+海伦 HL4+HB650 (红)					
u_x	0.000 0	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 2
u_y	0.000 0	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 2
A 光源+海伦 HL4+CB565 (橙)					
u_x	0.000 1	0.000 3	0.000 6	0.001 2	0.001 7
u_y	0.000 1	0.000 3	0.000 6	0.001 2	0.001 7
A 光源+海伦 HL4+JB510 (黄)					
u_x	0.000 1	0.000 2	0.000 5	0.000 9	0.001 3
u_y	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 8	0.001 1
A 光源+海伦 HL4+LB6 (绿)					
u_x	0.000 2	0.000 6	0.001 1	0.002 2	0.003 2
u_y	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
A 光源+海伦 HL4+QB3 (蓝)					
u_x	0.000 1	0.000 2	0.000 3	0.000 8	0.001 1
u_y	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
A 光源+海伦 HL4+ZB1 (紫)					
u_x	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 2	0.000 3
u_y	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 2	0.000 3

C.3.3.2 标准色光色品坐标 (x_s , y_s) 的标准不确定度 $u(x_s)$, $u(y_s)$ 评定

投射在标准色板或标准白板上的标准色光，其色品坐标的不确定度完全由透射或反射光谱辐射亮度决定，更确切地说其只与光谱辐射亮度的相对值有关，从相对光谱辐射亮度的不确定度到色品坐标的不确定度只是一个数学传递过程。

a) 相对光谱辐射亮度的标准不确定度 $u_L(\lambda_i)$

由于色品坐标只与相对光谱辐射亮度有关系，忽略光强标准灯的光强和距离对色品

坐标不确定度贡献的影响。主要有以下不确定度来源。

1) 钨灯光谱比因子 $K(\lambda)$ 引入的不确定度：相同发光强度和色温度值条件下，钨灯与黑体的光谱辐射强度值，在可见区虽然是近似相等的，但在 UV/IR 区则相差较大，应进行光谱比因子 $K(\lambda)$ 修正，按英国 NPL 公布的 $K(\lambda, T)$ 标准数值表及说明，其不确定度在可见区中央不超过 1%，按近似梯形分布为 0.5%，考虑到两边波长要稍大一些，对 $\lambda = 400 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 700 \text{ nm}$ ， $u_{L1}(\lambda_i)$ 分别取 0.7%、0.5%、0.6%。

2) 标准灯色温度值引入的不确定度：按 JJG 213—2003 规定，对一级色温标准灯，2 856 K 点，其标准不确定度为 4 K，由此，按普朗克公式计算得到 $L_\lambda(\lambda)$ 的相对标准不确定度，对 $\lambda = 400 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 550 \text{ nm}$ 、 $\lambda = 700 \text{ nm}$ 分别为：0.52%、0.04%、0.23%。

3) 标准灯电流测控：其相对标准不确定度为 0.01%，由此引起标准灯发光强度变化为 0.06%，色温度值变化为 0.2 K，两种因素综合引起 $L_\lambda(\lambda)$ 的相对标准不确定度，对 $\lambda = 400 \text{ nm}$ 、550 nm、700 nm，分别为 0.065%、0.060%、0.061%。

4) 杂光：因屏蔽不完善，引起 $L_\lambda(\lambda)$ 的相对标准不确定度估计为 0.75%。

5) 漫反射白板的光谱反射比 $\rho_\lambda(\lambda)$ 不平坦：在 (380~780) nm 范围内，反射比极差为 1.8% 左右，其半宽度为 0.9%，设为均匀分布， $L_\lambda(\lambda)$ 的相对标准不确定度对 $\lambda = 400 \text{ nm}$ 、550 nm、700 nm，估计分别为 0.7%、0.6%、0.6%。

6) 漫反射白板光谱反射比测量的相对标准不确定度为 0.8%。

上述 6 项结果汇总于表 C.7。

表 C.7 相对光谱辐射亮度 B 类标准不确定度分量

%

不确定度来源	$\lambda = 400 \text{ nm}$	$\lambda = 550 \text{ nm}$	$\lambda = 700 \text{ nm}$
钨灯光谱比因子 $K(\lambda)$	0.7	0.5	0.6
分布温度 (2 856 K 点, 4 K)	0.52	0.04	0.23
电流测控对光强、色温影响	0.06		
背景杂光	0.75		
漫反射白板光谱反射比不平	0.7	0.6	0.6
一级标准白板光谱反射比	0.8		
相对光谱辐射亮度标准不确定度	1.6	1.4	1.5

b) $u(L_\lambda(\lambda_i))$ 带来的色品坐标标准不确定度 $u_L(x_s), u_L(y_s)$

参考《光学学报》2005 年第 4 期中《颜色温度和相关色温的不确定度评定方法》，由于推导过程比较繁琐，涉及相关项的处理，因此忽略详细的推导过程，仅给出最后结论。在表 C.7 中取光谱辐射亮度不确定度的最大值，查阅表 C.8 直接得到色品坐标 (x, y) 的标准不确定度。由于亮度计对色品坐标不确定度的要求比较低，若表 C.8 中没有对应 $u_B(L_\lambda)$ 值，就选取临近较大值，比如在本示例中，光谱辐射亮度不确定度为 1.6%，就查 2% 的值，得到 $u_{BL}(x_s) = 0.000 6$ ， $u_{BL}(y_s) = 0.000 6$ 。

表 C.8 标准色光的光谱辐射亮度引入的色品坐标标准不确定度 $u_L(x_s)u_L(y_s)$

$u_B(L_\lambda)$	$u_{BL}(T_c)$	$u_{BL}(x_s)$	$u_{BL}(y_s)$
1.0%	6.0	0.000 3	0.000 3
1.5%	8.9	0.000 5	0.000 4
2.0%	11.9	0.000 6	0.000 6
2.5%	14.9	0.000 8	0.000 7
3.0%	17.9	0.001 0	0.000 9
3.5%	20.9	0.001 1	0.001 0
4.0%	23.8	0.001 3	0.001 1
4.5%	26.8	0.001 4	0.001 3
5.0%	29.8	0.001 6	0.001 4
6.0%	35.8	0.001 9	0.001 7
7.0%	41.7	0.002 2	0.002 0
8.0%	47.7	0.002 5	0.002 3
9.0%	53.6	0.002 9	0.002 6
10%	59.6	0.003 2	0.002 9

C.3.4 色品坐标示值误差合成标准不确定度 $u_c(\Delta x)$ 、 $u_c(\Delta y)$ 评定

波长误差取 1 nm，色品坐标示值误差合成标准不确定度如下：

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta x) &= \sqrt{u_A^2(x_t) + u_{B\lambda}^2(x_t) + u_{BL}^2(x_s)} \\
 &= \sqrt{0.000\ 03^2 + 0.000\ 6^2 + 0.000\ 6^2} = 0.000\ 9 \\
 u_c(\Delta y) &= \sqrt{u_A^2(y_t) + u_{B\lambda}^2(y_t) + u_{BL}^2(y_s)} \\
 &= \sqrt{0.000\ 03^2 + 0.000\ 6^2 + 0.000\ 6^2} = 0.000\ 9
 \end{aligned}$$

C.3.5 扩展不确定度的计算

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(\Delta x) = k \times u_c(\Delta x) = 0.001\ 8$$

$$U(\Delta y) = k \times u_c(\Delta y) = 0.001\ 8$$

C.3.6 测量结果不确定度报告

采用标准灯白板法检定光谱分光式彩色亮度计色品坐标的扩展不确定度为：

$$U(\Delta x) = U(\Delta y) = 0.001\ 8, k=2。$$

C.3.7 附加说明

由于色度不确定度分析稍显复杂，上述分析示例仅适用于采用标准灯白板法检定光谱分光式彩色亮度计；对于滤光片光电积分式亮度计、遮光筒式亮度计以及图像亮度计的不确定度分析可参考上述示例，在此不再赘述。

附录 D

透射式标准色板的特性参数

在本规程中提出的透射式标准色板，其规定特性参数如下：

a) 红色 HB650

界限波长 $\lambda_{ij} = (650 \pm 10) \text{ nm}$ ，斜率 $K > 1.0$ ；

峰值波长 $\lambda_0 = 720 \text{ nm}$ ，其透射比 $T = 87.5\%$ 。

b) 橙色 CB565

界限波长 $\lambda_{ij} = (565 \pm 10) \text{ nm}$ ，斜率 $K > 1.2$ ；

峰值波长 $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ ，其透射比 $T \geq 88.8\%$ 。

c) 黄色 JB510

界限波长 $\lambda_{ij} = (510 \pm 10) \text{ nm}$ ，斜率 $K > 1.2$ ；

峰值波长 $\lambda_0 = 600 \text{ nm}$ ，其透射比 $T \geq 89.5\%$ 。

d) 绿色 LB6

光谱透射比分布 T 为：

400 nm 处：40.0%~50.0%；

560 nm 处：大于或等于 79.0%；

660 nm 处：25.0%~32.0%。

e) 蓝色 QB3

光谱透射比分布 T 为：

450 nm 处：大于或等于 40.0%；

540 nm 处：小于 1.0%；

680 nm 处：小于 3.0%。

f) 紫色 ZB1

光谱透射比分布 T 为：

400 nm 处：大于 70.0%；

480 nm 处：小于 6.0%；

700 nm 处：小于 4.0%。