JJF

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJF ××××-××××**

LED光源光子通量校准规范

Calibration Specification for Photon Flux of LED Light Sources

**征求意见稿**

**（2022.10.24 第1次修改）**

**××××­××­××发布 ××××­××­××实施**

国家市场监督管理总局**发 布**

LED光源光子通量

**JJF ××××-××××**

校准规范

Calibration Specification for

Photon Flux of LED Light Sources

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

参加起草单位 ： 山东省计量科学研究院

中国兵器工业第二O五研究所

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

闫劲云（中国计量科学研究院）

赵伟强（中国计量科学研究院）

刘 慧（中国计量科学研究院）

参加起草人：

孔 炜（山东省计量科学研究院）

孙宇楠（中国兵器工业第二O五研究所）

目 录

[引 言 II](#_Toc117505831)

[1 范围 1](#_Toc117505832)

[2 引用文件 1](#_Toc117505833)

[3 术语及定义 1](#_Toc117505834)

[4 概述 2](#_Toc117505835)

[**5** 计量特性 2](#_Toc117505836)

[**6** 校准条件 2](#_Toc117505837)

[6.1 环境条件 2](#_Toc117505838)

[6.2 标准器及其它设备 3](#_Toc117505839)

[**7** 校准项目和校准方法 4](#_Toc117505840)

[7.1 校准项目 4](#_Toc117505841)

[7.2 校准方法 4](#_Toc117505842)

[7 校准结果表达 6](#_Toc117505843)

[8 复校时间间隔 6](#_Toc117505844)

[附录A 8](#_Toc117505845)

[附录B 9](#_Toc117505846)

[附录C 10](#_Toc117505847)

引 言

1. JJF 1001-2011 《通用计量术语》、JJF 1032-2005《光学辐射计量名词术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。
2. 本规范为首次发布。

LED光源光子通量校准规范

1 范围

本规范适用于LED光源光子通量的校准，其他类型光源的光子通量校准可参照执行。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1807—2020 光谱总辐射通量灯校准规范

GB/T 32655—2016 植物生长用LED光照 术语和定义

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

3 术语和计量单位

3.1 光子通量 photon flux

单位时间d*t*内发射、传播或接收的光子数目d*N*P。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

单位为：个每秒(s-1)。

注：光谱分布为或的辐射束，其光子通量为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

*h*，普朗克常数=6.626 070 15 ×10-34 J∙s；

*c*，真空中的光速=299 792 458 m∙s-1。

[来源：JJF 1032—2005 光学辐射计量名词术语及定义]

3.2 光合光子通量 photosynthetic photon flux; PPF

在植物光合作用过程中发挥效果或效应的光子通量。

单位为：个每秒(s-1)。

注：当数字比较大时可以利用1 mol=6.022 140 76×1023进行简化，以微摩尔每秒(μmol·s-1)作为单位。

[来源：GB/T 32655—2016 植物生长用LED光照 术语和定义，有修改]

3.3 光子通量效能 photon flux efficacy; PFE

特定波长范围内的灯具输出光子通量除以灯具的输入电功率。

单位为：个每焦(J-1)，或等效采用微摩尔每焦(μmol·J-1或μmol·s-1 W-1)。

3.4 外量子效率 external quantum efficiency

单位时间内注入的载流子数对外发出的光子数与注入载流子数之间的比值。可以表示为光子通量与用电子数表示电流数量的商：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

其中*Φ*p表示光源的光子通量，*ne*是单位时间内通过电流回路某一截面的电子数，*I*是电流值，*e*基本电荷= 1.602 176 634 ×10−19 C。

4 概述

光子通量是描述光源在单位时间内发出的光子数的物理量。在农业光照领域，由于植物光合是以光量子的形式吸收光能，因此用于植物照明领域的LED光源评价需以（光合）光子通量替代辐射通量或光通量，以（光合）光子通量效能替代发光效能。此外在半导体照明领域，LED芯片亦常使用光子通量以及外量子效率评价其性能。

**5** 计量特性

光子通量：*U*rel< 3.0 % (*k*=2)

注：以上指标不适用于合格性判断，仅供参考。

**6** 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)℃，测量过程中，变化不大于3℃；

6.1.2 相对湿度：≤85％；

6.1.3 环境应清洁，无腐蚀性气体，周围无影响仪器正常工作的粉尘、震动或电磁场干扰，并严格屏蔽杂散光。

6.2 标准器及其它设备

6.2.1 标准光源

至少由3只光谱光子通量标准灯组成。光衰率小于0.05%/h，年变化率≤0.8%，功率不低于100 W，色温不低于2856 K [来源JJF 1807—2020，有修改]。

表 1 标准灯光谱光子通量相对不确定度和一致性要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 波长范围 | 相对不确定度(*k*=2) | 灯组内一致性 |
| 360 nm ≤ *λ* < 400 nm | ≤5.0% | ≤3.0% |
| 400 nm ≤ *λ* < 500 nm | ≤3.5% | ≤1.0% |
| 500 nm ≤ *λ* < 830 nm | ≤2.0% | ≤0.5% |

6.2.2 光谱辐射计

最小输出带宽≤5 nm，最小采样间隔≤2 nm，波长示值最大允许误差为≤±0.3 nm，波长范围不小于(400～700) nm，非线性度≤±0.5%。

6.2.3 供电电源及电测仪表

采用直流稳流/稳压电源或交流稳压电源供电。电源的最大输出电压和输出电流均应分别不小于工作电压和工作电流的1.2倍，电源稳定性和电测仪表等级的要求见表1。电压必须从灯端测量（四线法连接）。

表 2 电源稳定性和电测仪表等级的要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 供电方式 | 电源 | 电测仪表 |
| 直流 | 直流稳流/稳压电源10分钟内变化率不大于0.02 % | 不低于0.02级 |
| 交流 | 交流稳压电源10分钟内变化率不大于0.1 % | 不低于0.1级 |

6.2.4 光子通量测量装置

球壳内表面应为一完整球面，不应有裂痕和凹凸不平等缺陷。球的内壁和球内物件如挡屏、导线、灯座等应涂有白色漫反射材料，且物件表面积和数量应减小到最少。积分球的赤道线上有一个窗口，嵌一块漫透射良好的平面余弦校正器。挡屏应使光源不能直接照射到窗口，其中心处在球心与窗口中心的连线上，且挡屏表面应与此连线垂直。积分球的尺寸相对于被测灯应足够大，被测灯总表面积不应超过积分球内壁面积的2%，相当于立方体被测灯边长为积分球直径的1/10。对于管装或条状灯，积分球直径应为被测灯长度的1.5倍以上。

光源、积分球、电测仪表和光谱辐射计组成的光子通量校准装置见图2。



图 2 光源光子通量校准装置

**7** 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

LED光源光子通量的校准项目为光子通量、光合光子通量、光子通量效能、光合光子通量效能和外量子效率。

7.2 校准方法

7.2.1校准前检查

采用目视法检查标准灯和被测灯的外观，不应有严重缺陷，不影响正常使用。

7.2.2校准前准备

积分球内点燃一只(50~200) W的灯泡，预照积分球30分钟以上。电源、电测仪表和光谱辐射计开机预热30分钟以上。

7.2.3光谱辐射计定标

采用一只标准灯定标校准装置的光子通量光谱密集度常数，用另外一只标准灯验证。由于很多光谱辐射计配套软件没有光谱光子通量的计算显示功能，为了操作简便可靠，可通过定标光谱总辐射通量密集度常数，利用光谱总辐射通量来定标和验证。

点燃一只标准灯，待稳定后开始测量，测量过程中电参数波动不得超过表 2的规定，测量完毕，熄灭标准灯。点燃和熄灭标准灯时应将电压或电流在30秒~60秒内完成缓升缓降。测量时，在选定的波长点的光电读数为*m*1(*λ*)，标准灯在相应波长点的光谱总辐射通量为*Φ*1,std(*λ*)，则光谱总辐射通量密集度常数为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

7.2.4光谱辐射计定标验证

系统定标后，测量光谱总辐射通量标准灯组内的另外一只标准灯，其光谱光电读数为*m*2(λ)，结合光谱总辐射通量密集度常数*c*1(λ)可得光谱总辐射通量为*Φ*2(λ) = *m*2(λ)*∙c*1(λ)。

比较验证用的标准灯的光谱总辐射通量标准值*Φ*2,std(λ)和测试值*Φ*2(λ)，光谱总辐射通量量值一致性偏差为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

*δ2*(λ)反映了灯组内各只灯的量值一致性和系统的测量重复性，应满足表 1中的一致性要求。若用于验证的标准灯光谱总辐射通量标准值和测试值偏差超过给定值，应重测，或更换标准灯重新定标并重复验证过程，直至偏差小于给定值。

7.2.5被测灯校准

将被测灯安装在光源光子通量校准装置上，按规定的电参数供电，被测灯和标准灯应当以相同的几何条件将光线入射，且应均匀照满光谱辐射计的入射狭缝。待发光稳定后，记录电参数值，并由光谱辐射计测得在选定的波长点的光谱总辐射通量密集度*Φ*e(*λ*)*=m*(*λ*)*∙c*1(*λ*)，*m*(*λ*)为被测灯的光谱光电读数，根据公式（2）计算被测灯的光子通量。

测量应进行2次，第一次测量完成后，应使得被测灯冷却至室温再进行第二次测量，第二次测量应重新安装和调整被测灯。光子通量的两次测量相对偏差不大于1.5%。若超差，则应增加测量次数，剔除偏差大的测量值，直到保证两次测量相对偏差不大于1.5%。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书内页推荐格式见附录B。校准证书应至少包含以下内容：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n）校准证书签发人的签名、职务或等效标识；

o）校准结果仅对被校对象有效的声明；

p）未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

LED光源光子通量的复校时间建议为1年。如果发现测量结果异常时，应随时进行校准。使用者可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录A

光谱吸收修正的计算方法

当标准灯和被测灯的外形尺寸相差较大时，应测量并计算球形光谱辐射计的修正系数。

在积分球内点燃辅助灯，通常是一只发光稳定的白炽灯，遮住其照射向光电接收器窗口和被测灯的直射光。安装标准灯但不点燃，闭合积分球，待辅助灯发光稳定后读取此时的光信号读数*m*std(*λ*)。

取下标准灯，在相同位置上点燃被测灯，同样不点燃，闭合积分球并读取光信号读数*m*test(*λ*)。

则该被测灯的光谱吸收修正因子计算公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (A.1) |

光谱吸收修正计算公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (A.2) |

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *Φ*0(*λ*)—— | 该灯的光谱总辐射通量测量值 |
| *Φ*(*λ*)—— | 修正后的光谱总辐射通量 |

附录B

光源光子通量校准证书内页参考格式

证书编号：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 灯号 | 灯电流A | 灯电压V | 光子通量s-1 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

说明：

1. 使用球形光谱辐射计进行校准。
2. 光子通量的校准不确定度为: *U*rel= 2.5% (*k* = 2)。

校准员： 核验员：

附录C

测量结果的不确定度评定示例

本附录以600 nm波长位置为例，对用光谱光子通量标准灯组，在直径3.5 m的积分球光谱辐射计内校准LED灯管的测量结果进行不确定度评定。其它波长以此类推。

C.1 校准方法

按照7.2所示方法得到被测灯的光子通量量值。

C.2 测量模型

采用一只标准灯定标校准装置的光谱总辐射通量密集度常数*c*1(λ)，用另外一只标准灯验证通过之后，被测灯的光谱光子通量*Φ*p(*λ*)用公式（C.1）计算:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C.1) |

式中：

|  |  |
| --- | --- |
| *c*1(*λ*)—— | 光谱总辐射通量密集度常数 |
| *m*(*λ*)—— | 光电读数 |
| *λ*—— | 波长，单位m |
| *h*—— | 普朗克常数=6.626 070 15 ×10-34 J∙s |
| *c*—— | 真空中的光速=299 792 458 m∙s-1 |
| *α*(*λ*)—— | 被测灯的光谱吸收修正因子 |

C.3 合成相对标准不确定度

根据测量模型（C.1），合成相对标准不确定度按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (C.2) |

C.4 *c*1(λ)的不确定度评定

主要包含三个分量：标准灯光谱光子通量的不确定度分量*u*11、电测系统差异的不确定度分量*u*12和其它随机因素导致的不确定度分量*u*13。

标准灯的量值通过变角辐射计给出，依据变角辐射计的不确定度评定，*u*11=0.8%。定标校准装置用的标准灯电流与参考值存在微小差异，最大为0.02%，光谱光子通量对电流差异的敏感系数根据经验约为6，因此*u*12= 0.02%/×6 = 0.07%。其它随机因素导致的不确定度分量*u*13= 0.03%。

*c*1(600)的不确定度由上述三项合成，*u*rel[*c*1(600)]= ≈ 0.8%。

C.5 被测灯量值的不确定度评定

被测灯量值重复性的不确定度*u*21：连续读取10次，计算平均值的相对标准差，得*u*21=0.02%。

被测灯重复点燃时量值的重复性*u*22：根据经验，*u*22=0.2%。

光谱辐射计非线性导致的不确定度分量*u*23：根据经验，*u*23=0.1%。

积分球空间响应不均匀导致的不确定度分量*u*24：根据经验，*u*24=0.22%。

则被测灯量值的不确定度*u*rel[*m*(600)] = = 0.36%。

C.6 波长测量的不确定度评定

波长的测量不确定度由光谱辐射计决定，经波长校准后，波长的测量不确定度为0.1 nm，则相对不确定度*u*rel[600]=0.1/600≈0.02%。

C.7 吸收修正的不确定度评定

标准灯为24V/100W的卤素灯，被测灯为长1.2 m的LED灯管，需根据附录B测量光谱吸收修正。测量10次光谱吸收修正系数*α*(600)，计算平均值的相对标准差，得*u*rel[*α*(600)]=0.15%。

C.8 相对合成不确定度及扩展不确定度

各项不确定度来源及评定值见下表。

表 3 波长600 nm处的相对标准不确定度来源的评定值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 测量不确定度分量 | 灵敏系数 | 类别 |
| 光谱总辐射通量密集度常数 | 0.80% | 1 | B |
| 被测灯量值重复性 | 0.02% | 1 | A |
| 被测灯点燃重复型 | 0.2% | 1 | A |
| 光谱辐射计非线性 | 0.1% | 1 | B |
| 积分球空间响应不均匀 | 0.2% | 1 | B |
| 波长测量 | 0.02% | 1 | A |
| 吸收修正 | 0.15% | 1 | B |

上述各项不确定度来源独立、不相关。相对合成标准不确定度*u*rel[*Φ*p(600)] = ≈0.9%。

取包含因子*k*=2，则扩展不确定度为*U*rel = 1.8%，(*k*=2)。