

小型光通量计校准方法研究

崔磊, 刘佳畅, 贾亚青, 张建亮

北京市计量检测科学研究院, 北京 100029



【摘要】 光通量是评价光源能效的重要指标。小型光通量计是针对发光二极管、小型灯泡等光源测量光通量参数的专用仪器。光通量计的测量准确与否直接决定了光源光通量值的准确度。本文根据小型光通量计仪器自身特点, 从分析光通量测量原理以及光通量传统校准方法出发, 研究探讨了光照度法和辐射功率法两种新的校准方法。通过设计实验方案与搭建测试平台, 对实验数据进行研究分析, 总结了测量中需要注意的问题, 对此类仪器的校准具有重要的参考意义。

【关键词】 光通量; 照度; 辐射功率; 测量; 校准方法

DOI: 10.12338/j.issn.2096-9015.2021.0510

【引用本文】 崔磊, 刘佳畅, 贾亚青, 等. 小型光通量计校准方法研究 [J]. 计量科学与技术, 2022, 66(1): 19-21, 31.

Research on Calibration Method for Small Luminous Flux Meters

CUI Lei, LIU Jiachang, JIA Yaqing, ZHANG Jianliang

Beijing Institute of Metrology, Beijing 100029, China

【Abstract】 The luminous flux is an important index in evaluating the energy efficiency of a light source. Small luminous flux meters are a special instrument for measuring luminous flux parameters of light sources such as light emitting diodes and small bulbs. The accuracy of the measurement of the luminous flux directly determines the accuracy of the luminous flux value of a light source. Based on the characteristics of a small-scale optical flux meter, this paper studies and discusses two new calibration methods, namely, illumination method and radiation power method, by analyzing the principles of optical flux measurement and the traditional calibration method of luminous flux. Through the design of an experimental scheme and the establishment of a test platform, the experimental data are studied and analyzed, and the problems needing attention in measurement are summarized, which can shed light on the calibration of such instruments.

【Key words】 luminous flux, illuminance, radiation power, measurement, calibration method

0 引言

光通量是根据辐射对标准光度观察者的作用导出的量, 它是人眼所能感觉到的辐射功率。光源的光通量表征光源的发光能力, 是光源能效评价的重要指标。光通量计是专门用于测量光源光通量的仪器, 光通量计的测量准确与否直接决定了光源光通量值的准确度, 因此对光通量计进行校准是十分必要的。

本文通过对一款型号为 TES 133 的光通量计进行校准分析, 在分析光通量测量基本原理和传统的

校准方法基础上, 根据仪器自身特点, 研究分析了光照度法和辐射功率法两种新的校准方法, 设计实验方案, 通过实验分析给出测量结果, 两种方法的实验结果具有较好的一致性。

1 光通量测量原理及传统的校准方法

1.1 测量原理

光通量是指人眼所能感觉到的辐射功率, 它是根据辐射对 CIE 标准光度观察者的作用, 从辐射通量 ϕ_e 导出的光度量^[1]。对于明视觉, 有:

基金项目:北京市计量检测科学研究院自主课题项目(KJ2021-07)。

作者简介:崔磊(1984-),北京市计量检测科学研究院工程师,研究方向:光学计量,邮箱:cuilei@bjil.cn。

$$\phi_v = K_m \int_0^\infty \frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

式中, $d\phi_e(\lambda)/d\lambda$ 表示辐射通量的光谱分布; $V(\lambda)$ 表示光谱光视效率。

波长为 λ 的光谱光视效率是指在规定的观测条件下, 波长为 λ_m 和 λ 的两辐射通量所引起的光亮度感觉相同时的两辐射通量之比。 $V(\lambda)$ 为明视觉光谱光视效率值, $V'(\lambda)$ 为暗视觉光谱光视效率。不同波长的辐射对人眼具有不同的光视效应。光谱光视效率曲线如图 1 所示。

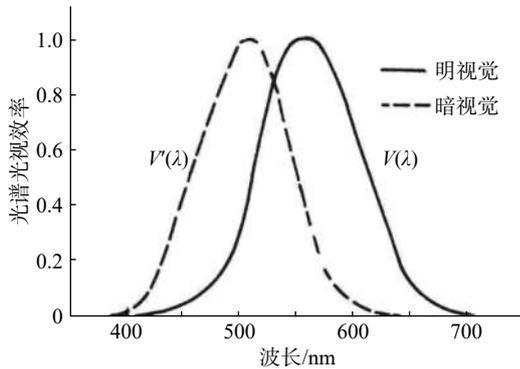


图 1 光谱光视效率曲线
Fig.1 Spectral luminous efficiency curve

测量光通量一般有两种方法: 分布光度计法和积分球法。分布光度计的测量原理是测量被测光源发光强度空间分布^[2], 根据光源发出的总光通量 ϕ 与约定球面的照度 E 具有如下关系:

$$\phi = \int E ds \quad (2)$$

式中, ds 表示照度测试点的面元。分布光度计测到约定球面上各点的照度分布, 通过计算得到光源的总光通量。

积分球法测量光通量是利用积分球内壁理想白色漫反射材料产生的漫射照度 E , 与光源总光通量的关系, 通过计算得到光源的总光通量^[3,7-8]。

$$\phi = \frac{4\pi R^2}{E} \cdot \frac{1-\rho}{\rho} \quad (3)$$

式中, ρ 表示球壁的反射比; R 表示积分球的半径。

1.2 传统校准方法

光通量计是以光度学理论为基础, 专门进行光源光通量测量的仪器^[9-10], 主要由积分球、电测仪表等部分组成。光通量计对光通量的测量是通过积分球将被测灯发出的光全部收集后, 测量在可见区内各波长的辐射功率并乘以 $V(\lambda)$ 函数, 经过计算得出光通量数据, 仪表上的显示值即为最后得到的光

通量值。

传统的光通量计校准方法是基于光通量标准灯。为了获得更准确的测量, 建议用三种不同的光通量标准灯进行校准^[4]。将一只经过定标的光通量标准灯, 安装在积分球内的测试中心位置, 点燃标准灯预热后, 开始测量光通量值, 连续测量三次, 取平均值即为仪器的光通量测量值 ϕ ^[5]。

$$\phi = \bar{\phi} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \phi_i \quad (4)$$

式中, ϕ_i 表示标准灯每次测得的光通量值, lm ; $\bar{\phi}$ 表示光通量平均值, lm 。

光通量标准灯通过上级溯源, 已知光通量标准值为 ϕ_0 , 得到光通量计光通量值的相对示值误差为: $(\phi - \phi_0) / \phi_0 \times 100\%$ 。

本文所测量的光通量计, 是一种小型、快速测量仪器, 积分球直径为 50 mm, 适于测量发光二极管、小型灯泡等微小光源。根据仪器自身特点, 基于光通量测量原理, 对光照度法和辐射功率法两种新的校准方法进行了研究探讨。

2 光照度法

2.1 原理分析

光照度 (E_v) 简称照度, 表面上一点处的照度指投射到包含该点的面元上的光通量 $d\phi_v$ 与该面元面积 dA 之比^[6,13-14]。

$$E_v = \frac{d\phi_v}{dA} \quad (5)$$

通过照度定义以及与光通量的关系, 只要得到标准照度值, 通过计算即可得到标准光通量值。在光度测量专用光轨上, 将发光强度标准灯点亮至额定电流, 将标准照度计放置于测量位置, 通过调节光路使照度计探测器中心与标准灯灯丝中心对准; 将标准照度计探测器取下, 将被测光通量计置于被测位置, 将积分球开孔中心与标准灯灯丝中心对准, 注意积分球开孔的横截面与标准照度计探测器横截面要在相同的位置, 可以通过激光定位来实现。调整好光路之后, 首先用标准照度计测量得到照度值 E_v , 光通量计积分球有不同的开孔尺寸, 根据选用的开孔尺寸 d , 算出开孔面积 A , 如式 6。

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (6)$$

由此得到标准光通量值 ϕ_0 , 如式 7。

$$\phi_0 = E_v \cdot A = E_v \cdot \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (7)$$

换上被测光通量计, 此时仪器所显示的光通量值即为仪器的光通量测量值 ϕ 。通过标准值和测量值, 即可得到仪器光通量值的修正系数。

2.2 实验分析

分别在 5 mm、8 mm、10 mm、24 mm 四种不同孔径的情况下, 按照 2.1 的方法对被测光通量计进行测量实验, 注意屏蔽杂散光。5 mm、8 mm、10 mm 情况下标准照度计的照度值为 25 000 lx, 24 mm 下标准照度计照度值为 5 000 lx。实验结果见表 1 所示。

表 1 光照度法实验结果

Tab.1 Experimental results of illumination method

开孔孔径/mm	光通量标准值/lm	光通量测量值/lm	修正系数
5	0.491	1.121	0.44
8	1.256	2.829	0.44
10	1.962	4.423	0.44
24	2.261	4.720	0.48

由实验结果可看出, 在开孔孔径较小时, 光通量的测量结果没有影响, 但是开孔较大时, 在 24mm 孔径时, 测得的光通量偏小, 导致最后的修正系数偏大。入射光经过积分球漫反射后, 其中一小部分光会通过开孔孔径反射出来, 因此开孔越大, 通过开孔出来的光就会越多, 这样仪器最终测得的光通量就会越小, 通过实验结果也验证了这个结论。因此, 用光照度法时, 不建议选择 24 mm 开孔尺寸, 建议选择 5 mm、8 mm、10 mm 的开孔尺寸进行测量。

3 辐射功率法

3.1 原理分析

辐射的光视效能(K)定义为光通量 ϕ_v 与相应的

辐射通量 ϕ_c 之比^[1], 即

$$K = \frac{\phi_v}{\phi_c} \quad (8)$$

对于单色辐射, 明视觉条件下 $K(\lambda)$ 的最大值用 K_m 表示, $K_m = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1} (\lambda_m = 555 \text{ nm})$, 对于其他波长则有:

$$K(\lambda) = K_m V(\lambda) \quad (9)$$

因此, 在明视觉、特定波长 λ 下的光通量为:

$$\phi_v = K(\lambda) \cdot \phi_c = K_m V(\lambda) \cdot \phi_c = 683 \cdot V(\lambda) \cdot \phi_c \quad (10)$$

通过以上分析, 如果知道某一光源在特定方向上的辐射功率, 通过查阅 $V(\lambda)$ 函数表得到相应波长下的 $V(\lambda)$ 值, 就能得到相应的光通量值。本文采用单色波长的稳定激光光源, 光斑直径不大于光通量计积分球的开孔孔径, 使得激光完全入射到积分球内。

在光学平台上进行实验。通过调节光路, 使激光光源中心与激光功率计探头中心、积分球开孔中心在同一水平线上对齐, 注意激光进入积分球开孔时避免直接打到挡板上, 让激光有一定角度倾斜进入球体。调节激光功率至合适的功率值, 用标准激光功率计测量此时的激光功率值^[11-12, 15], 通过式 10, 计算出标准光通量值。将相同功率的激光光源对被测光通量计进行测量, 光通量计显示值即为测量值。

3.2 实验分析

由于人眼对不同波长光的相对光谱光视效率不同, 不同波长光的辐射功率相等时, 其光通量并不相等。我们分别采用 532 nm 和 660 nm 波长的激光光源进行实验。通过查阅 $V(\lambda)$ 函数表, 得到 532 nm 波长对应的 $V(\lambda)$ 值为 0.885, 660 nm 波长对应的 $V(\lambda)$ 值为 0.061。所用激光光源的光斑直径为 5 mm, 激光功率标准值为 2.5 mW。实验结果见表 2 所示。

表 2 辐射功率法实验结果

Tab.2 Experimental results of radiation power method

光源类型		532 nm 激光光源			660 nm 激光光源		
开孔孔径/mm	光通量标准值/lm	光通量测量值/lm	修正系数	光通量标准值/lm	光通量测量值/lm	修正系数	
5	1.511	3.256	0.46	0.104	0.232	0.45	
8	1.511	3.465	0.44	0.104	0.241	0.43	
10	1.511	3.382	0.45	0.104	0.236	0.44	
24	1.511	3.186	0.47	0.104	0.212	0.49	

由实验结果可以看出, 相同辐射功率、不同波长的光源光通量是不同的, 这是由于不同波长的光谱光视效率 $V(\lambda)$ 不同导致的。不同开孔孔径得到的实验结果不同, 经分析, 开孔孔径在 5 mm 时, 与激光光斑直径相当, 会造成一小部分光没有入射到积

分球里面, 因此测得的光通量会偏小, 所以得到的修正系数会偏大。而开孔过大, 孔径在 24 mm 时, 入射的光经过积分球的漫反射, 其中的一小部分会通过开孔反射出来, 造成测得的光通量偏小, 所以最后