

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2171—2024

## 小功率 LED 光强计校准规范

Calibration Specification for Low Power LED  
Average Luminous Intensity Meters

2024-10-19 发布

2025-04-19 实施

国家市场监督管理总局 发布

小功率 LED 光强计  
校准规范

Calibration Specification for Low Power  
LED Average Luminous Intensity Meters

JJF 2171—2024

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：厦门市计量检定测试院

参加起草单位：中国计量科学研究院

中国测试技术研究院

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：**

康品春（厦门市计量检定测试院）

蒋淑恋（厦门市计量检定测试院）

阮育娇（厦门市计量检定测试院）

**参加起草人：**

赵伟强（中国计量科学研究院）

闫劲云（中国计量科学研究院）

曾丽梅（中国测试技术研究院）

穆亚勇（中国测试技术研究院）

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 概述 .....	( 1 )
4 计量特性 .....	( 1 )
4.1 LED 平均发光强度示值相对误差 .....	( 1 )
4.2 波长示值误差 .....	( 1 )
4.3 色品坐标示值误差 .....	( 2 )
5 校准条件 .....	( 2 )
5.1 环境条件 .....	( 2 )
5.2 测量标准及其他设备 .....	( 2 )
6 校准项目和校准方法 .....	( 2 )
6.1 校准前的检查 .....	( 2 )
6.2 校准项目 .....	( 2 )
6.3 校准方法 .....	( 2 )
7 校准结果表达 .....	( 4 )
8 复校时间间隔 .....	( 4 )
附录 A 小功率 LED 光强计校准证书内页推荐格式 .....	( 5 )
附录 B 小功率 LED 光强计校准原始记录推荐格式 .....	( 6 )
附录 C 测量结果的不确定度评定示例 .....	( 9 )
附录 D LED 平均发光强度测量的光谱失配修正 .....	( 14 )

## 引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、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。

本规范为首次发布。

## 小功率 LED 光强计校准规范

### 1 范围

本规范适用于测量单颗小功率发光二极管的光强计（以下简称 LED 光强计）的校准，测量范围为（0.1~100）cd，其他测量范围的 LED 光强计可参照本规范执行。

### 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1501—2015 小功率 LED 单管校准规范

CIE 127：2007 LED 测量（Measurement of LEDs）

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 概述

LED 光强计是用于测量 LED 光度特性的仪器，可在 CIE 127：2007 规定的标准条件下测量 LED 平均发光强度。LED 光强计一般由 LED 供电夹持装置、光度探头组成，光度探头有效接收面积为  $100\text{ mm}^2$ 。LED 前端面与光度探头接收面的距离  $d$  为 316 mm 时，测得的发光强度为 CIE 标准条件 A（远场）下的 LED 平均发光强度值；距离  $d$  为 100 mm 时为 CIE 标准条件 B（近场）下的 LED 平均发光强度值，如图 1 所示。光度探头也可采用光谱辐射计代替，用于 LED 测量的光谱辐射计输出带宽一般不大于 2.5 nm，扫描间隔不大于 5 nm。

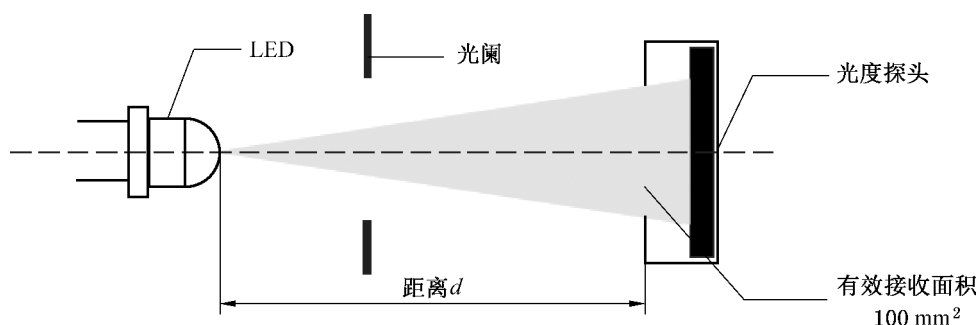


图 1 LED 平均发光强度测量示意图

### 4 计量特性

#### 4.1 LED 平均发光强度示值相对误差

LED 光强计的平均发光强度示值相对误差不超过  $\pm 8\%$ 。

#### 4.2 波长示值误差

采用光谱辐射计时，LED 光强计的波长示值误差不超过  $\pm 0.3\text{ nm}$ 。

#### 4.3 色品坐标示值误差

采用光谱辐射计时，LED 光强计的色品坐标示值误差不超过 $\pm 0.02$ 。

注：以上指标不适用于合格性判定，仅供参考。

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度： $(23\pm 3)$ ℃，相对湿度： $\leq 70\%$ 。

5.1.2 环境应清洁，无腐蚀性气体，周围无影响测量结果的粉尘、震动、电磁场及杂散光干扰。

#### 5.2 测量标准及其他设备

##### 5.2.1 LED 标准管

用于保持和传递 LED 管平均发光强度单位 cd 量值的标准计量器具，包括白、红、绿、蓝 4 种颜色，每种颜色至少 3 支，发光性能稳定，组成标准管组，LED 标准管性能应满足 JJF 1501 中计量特性的相关要求。

##### 5.2.2 直流稳流电源

用于 LED 标准管的供电，采用直流稳流电源，电源最大输出电压和输出电流均应分别不小于 LED 标准管工作电压和工作电流的 1.2 倍，10 min 内输出电流变化应小于 0.02%。

##### 5.2.3 波长标准灯

低压汞灯或汞氙灯等谱线灯。

### 6 校准项目和校准方法

#### 6.1 校准前的检查

6.1.1 LED 光强计的外形结构应完好，接通电源，观察仪器是否正常运行。

6.1.2 取放、安装和使用 LED 标准管时，应戴防尘手套，不得用手直接接触管壳。若管壳上有污迹，应及时清除。

#### 6.2 校准项目

LED 平均发光强度示值相对误差。LED 光强计采用光谱辐射计时，校准项目增加波长示值误差及色品坐标示值误差。

#### 6.3 校准方法

##### 6.3.1 LED 平均发光强度示值相对误差

6.3.1.1 LED 标准管采用恒流方式供电，测量时控制管电流为额定值，同时监测管电压。单管点亮后预热不少于 3 min，发光稳定后，即 10 s 间隔测量读数相对偏差不超过 0.5%后，方可进行测量。

6.3.1.2 按被校 LED 光强计的特性，参照 CIE 127: 2007 标准条件 A 和标准条件 B 要求的几何条件，使用被校 LED 光强计分别测量白、红、绿、蓝等 4 色 LED 标准管的 LED 平均发光强度值，每支单管测 3 次，取 3 次平均值作为测量结果。

6.3.1.3 将各标准管测量结果与其标准值做比较，按式 (1) 计算 LED 平均发光强度

示值相对误差。

$$\Delta I_i = \frac{I_i - I_{i0}}{I_{i0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$\Delta I_i$ ——LED 平均发光强度示值相对误差；

$I_i$  ——LED 平均发光强度测量值，cd；

$I_{i0}$  ——LED 平均发光强度标准值，cd；

$i$  ——LED 标准管的测量序号。

6.3.1.4 按式（2）计算 LED 光强计的 LED 平均发光强度修正因子。

$$k_i = \frac{I_{i0}}{I_i} \quad (2)$$

式中：

$k_i$ ——对应单管的 LED 平均发光强度修正因子。

6.3.1.5 测量时至少使用 3 支同色标准管，单只管的光强常数相对偏差  $\eta_i \leq 1.5\%$ ，按式（3）计算，否则该标准管应予重测，重测后仍超出规定，则剔除该标准管，另换一只标准管进行测量，并重新计算  $\eta_i$ 。

$$\eta_i = \left| \frac{I_i}{I_{i0}} - \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{I_i}{I_{i0}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

式中：

$\eta_i$ ——光强常数相对偏差。

6.3.1.6 LED 光强计校准用的 LED 标准管和测量的 LED 管存在不同的相对光谱功率分布时，按附录 D 进行光谱失配修正。

6.3.2 波长示值误差

使用被校 LED 光强计分别测量波长标准灯的各特征波长，每个特征波长测 3 次，取 3 次平均值作为测量结果，将各测量结果与其标准值做比较，按式（4）计算出各特征波长点的示值误差。

$$\Delta \lambda_i = \lambda_i - \lambda_{i0} \quad (4)$$

式中：

$\Delta \lambda_i$ ——波长示值误差，nm；

$\lambda_i$  ——各特征波长测量值，nm；

$\lambda_{i0}$  ——相应特征波长的标准值，nm。

测量时至少选择 3 个特征波长，所选波长尽量与 LED 波长接近。

6.3.3 色品坐标示值误差

6.3.3.1 使用被校 LED 光强计分别测量白、红、绿、蓝等 4 色 LED 标准管的色品坐标值，每支单管测 3 次，取 3 次平均值作为测量结果。

6.3.3.2 将各测量结果与其标准值做比较，按式（5）、式（6）计算出各标准灯的色品坐标示值误差。

$$\Delta x_i = x_i - x_{i0} \quad (5)$$



式中：

$\Delta x_i$ ——LED 色品坐标  $x$  示值误差；

$x_i$  ——LED 色品坐标  $x$  测量值；

$x_{i0}$  ——LED 色品坐标  $x$  标准值。

$$\Delta y_i = y_i - y_{i0} \quad (6)$$

式中：

$\Delta y_i$ ——LED 色品坐标  $y$  示值误差；

$y_i$  ——LED 色品坐标  $y$  测量值；

$y_{i0}$  ——LED 色品坐标  $y$  标准值。

## 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 A。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或应用有关时，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 光强计的复校时间建议为 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

## 小功率 LED 光强计校准证书内页推荐格式

校准结果：								
LED 平均发光强度								
CIE 标准条件 A ( $d=316$ mm)	LED 类型	标准值 cd	测量值 cd	示值相对 误差 %	修正因子 $k$	示值相对误差 扩展不确定度 $U(k=2)$		
	白光							
	红光							
	绿光							
	蓝光							
CIE 标准条件 B ( $d=100$ mm)	白光							
	红光							
	绿光							
	蓝光							
波长与 LED 色品坐标								
波长		标准值 nm		测量值 nm		示值误差 nm		示值误差扩 展不确定度 $U(k=2)$
色品 坐标	LED 类型	标准值		测量值		示值误差		示值误差扩 展不确定度 $U(k=2)$
		$x$	$y$	$x$	$y$	$x$	$y$	
	白光							
	红光							
	绿光							
蓝光								

## 附录 B

## 小功率 LED 光强计校准原始记录推荐格式

客户名称				客户地址			
样品	名称			型号规格			
	制造厂			出厂编号			
标准器	名称	型号/编号	技术特征	溯源机构	证书编号	证书有效至	
技术依据				温度： 相对湿度：		℃ %	
校准地点				证书编号			
校准员		核验员		接收日期			
校准日期		核验日期		发布日期			
校准结果：							
1. LED 平均发光强度							
CIE 标准 条件 A ( $d=316\text{ mm}$ )	LED 标准管	标准值 cd	测量值 cd	测量 平均值 cd	示值 相对误差 %	修正因子 $k$	示值相对 误差扩展 不确定度 $U(k=2)$
	白光						
	红光						
	绿光						
	蓝光						

(续)

LED 标准管	标准值 cd	测量值 cd	测量 平均值 cd	示值 相对误差 %	修正因子 $k$	示值相对 误差扩展 不确定度 $U(k=2)$
	CIE 标准 条件 B ( $d=100\text{ mm}$ )					
白光						
红光						
绿光						
蓝光						

LED 标准管	标准值 cd	测量值 cd	光强常数	相对偏差
白光				
红光				
绿光				
蓝光				

## 2. 波长与 LED 色品坐标 (测量条件: )

		标准值		测量值		测量平均值		示值误差		示值误差扩展不确定度 $U(k=2)$
		nm		nm		nm		nm		
波长										
LED 类型	标准值		测量值		测量平均值		示值误差		示值误差扩展不确定度 $U(k=2)$	
	$x$	$y$	$x$	$y$	$x$	$y$	$x$	$y$		
色品坐标	白光									
	红光									
	绿光									
	蓝光									

备注:

## 附录 C

## 测量结果的不确定度评定示例

## C.1 LED 平均发光强度示值相对误差测量结果的不确定度评定示例

## C.1.1 校准方法

按照本规范的要求和步骤，采用标准 LED 单管对 LED 光强计进行校准，取 LED 平均发光强度示值相对误差值作为测量结果。

## C.1.2 测量模型

建立测量模型：

$$\Delta I = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta I$  ——LED 平均发光强度示值相对误差；

$I$  ——LED 平均发光强度测量值；

$I_0$  ——LED 平均发光强度标准值。

对式 (C.1) 求偏导数，则灵敏系数：

$$c_1 = \frac{1}{I_0}, c_2 = -\frac{I}{I_0^2}$$

## C.1.3 不确定度分量评定

## C.1.3.1 测量重复性引入的标准不确定度评定

用被校 LED 光强计对标准 LED 单管进行 10 次独立重复测量，以白光 LED 单管为例，测量数据如表 C.1 所示。根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差。

$$s(\bar{I}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (\text{C.2})$$

$$u_1(I) = s(\bar{I}) = 0.0016 \text{ cd} \quad (\text{C.3})$$

表 C.1 重复性测量数据

单位：cd

校准点	测量值					平均值	标准偏差
1.409	1.406	1.409	1.405	1.406	1.406	1.406 4	0.001 6
	1.408	1.404	1.408	1.407	1.405		

## C.1.3.2 标准 LED 单管上级溯源引入的标准不确定度评定

上级溯源标准 LED 单管平均发光强度值的引入的相对扩展不确定度为 3.0%， $k=2$ ，则标准 LED 单管上级溯源引入的标准不确定度估计为：

$$u_2(I_0) = 1.409 \text{ cd} \times \frac{3.0\%}{2} \approx 0.0212 \text{ cd} \quad (\text{C.4})$$

## C.1.3.3 电测系统引入的标准不确定度评定

电测系统供给 LED 管的电流与真实值有一定差异，估计最大差异可达 0.1%，认为服从均匀分布， $u(A) = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.0577\%$ ，根据经验，电流变化 1% 导致光度的变化为 6%，则电测系统引入的标准不确定度估计为：

$$u_3(I_0) = 6 \times u(A) = 1.409 \text{ cd} \times 6 \times 0.0577\% \approx 0.0049 \text{ cd} \quad (\text{C.5})$$

## C.1.4 合成标准不确定度

标准不确定度分量列表如表 C.2 所示。

表 C.2 标准不确定度分量列表

不确定度来源		输入量的标准 不确定度/cd	灵敏 系数	标准不确 定度分量/%
$u_1(I)$	测量重复性引入的标准不确定度	0.0016	$c_1$	0.12
$u_2(I_0)$	标准器溯源引入的标准不确定度	0.0212	$c_2$	-1.51
$u_3(I_0)$	电测系统引入的标准不确定度	0.0049	$c_2$	-0.35

由于各标准不确定度分量不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{u_1^2(I) + u_2^2(I_0) + u_3^2(I_0)} \approx 1.6\% \quad (\text{C.6})$$

## C.1.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，故扩展不确定度为：

$$U(\Delta I) = k \cdot u_c(\Delta I) = 3.2\% \quad (\text{C.7})$$

## C.2 波长示值误差测量结果的不确定度评定示例

## C.2.1 测量方法

按照本规范的要求和步骤，用谱线灯对 LED 光强计进行校准，取波长示值误差值作为测量结果。

## C.2.2 测量模型

建立测量模型：

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \quad (\text{C.8})$$

式中：

$\Delta\lambda$  —— 波长示值误差；

$\lambda$  —— 波长测量值；

$\lambda_0$  —— 波长标准值。

对式 (C.8) 求偏导数，则灵敏系数：

$$c_1 = 1, c_2 = -1$$

## C.2.3 不确定度分量评定

## C.2.3.1 测量重复性引入的标准不确定度评定

用被校 LED 光强计对谱线灯进行 10 次独立重复测量，以校准点 404.66 为例，测

量数据如表 C.3 所示。根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差。

$$s(\bar{\lambda}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} \quad (\text{C.9})$$

$$u_1(\lambda) = s(\bar{\lambda}) \approx 0.058 \text{ nm} \quad (\text{C.10})$$

表 C.3 重复性测量数据

单位：nm

校准点	测量值					平均值	标准偏差
404.66	404.62	404.51	404.62	404.62	404.51	404.565	0.058
	404.51	404.62	404.51	404.62	404.51		

常见光谱辐射计在波长校准模式下分辨力为 0.01 nm。

#### C.2.3.2 波长标准灯上级溯源引入的标准不确定度评定

上级溯源波长标准灯引入的扩展不确定度为 0.02 nm,  $k=2$ , 则波长标准灯上级溯源引入的标准不确定度估计为:

$$u_2(\lambda_0) = \frac{0.02 \text{ nm}}{2} = 0.01 \text{ nm} \quad (\text{C.11})$$

#### C.2.3.3 谱线灯谱线强度相对漂移量 $\Delta_I$ 引入的标准不确定度评定

谱线灯谱线强度相对漂移量会影响到峰值波长的判读, 假定测量速度较慢, 引入的标准不确定度估计为:

$$u_3(\lambda_0) = 0.002 \text{ nm} \quad (\text{C.12})$$

#### C.2.3.4 空气折射率变动引入的标准不确定度评定

谱线灯用于量传时大气温度、湿度和压力会有所差异 (大气温度、湿度、压力和空气折射率的关系可参见 Edlén 公式), 其引入的标准不确定度估计为:

$$u_4(\lambda_0) = 0.002 \text{ nm} \quad (\text{C.13})$$

#### C.2.4 合成标准不确定度

标准不确定度分量列表如表 C.4 所示。

表 C.4 标准不确定度分量列表

不确定度来源	输入量的标准不确定度/nm	灵敏系数	标准不确定度分量/nm
$u_1(\lambda)$	测量重复性引入的标准不确定度	$c_1$	0.058
$u_2(\lambda_0)$	标准灯上级溯源引入的标准不确定度	$c_2$	-0.010
$u_3(\lambda_0)$	谱线强度相对漂移引入的标准不确定度	$c_2$	-0.002
$u_4(\lambda_0)$	空气折射率变动引入的标准不确定度	$c_2$	-0.002

由于各标准不确定度分量不相关, 故合成标准不确定度为:

$$u_c(\Delta\lambda) = \sqrt{u_1^2(\lambda) + u_2^2(\lambda_0) + u_3^2(\lambda_0) + u_4^2(\lambda_0)} \approx 0.06 \text{ nm} \quad (\text{C.14})$$



## C.2.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，故扩展不确定度为：

$$U(\Delta\lambda) = k \cdot u_c(\Delta\lambda) = 0.12 \text{ nm} \quad (\text{C.15})$$

## C.3 色品坐标示值误差测量结果的不确定度评定示例

## C.3.1 测量方法

按照本校准规范的要求和步骤，用标准 LED 单管对 LED 光强计进行校准，取色品坐标示值误差值作为测量结果。

## C.3.2 测量模型

建立测量模型：

$$\Delta x = x - x_0 \quad (\text{C.16})$$

式中：

$\Delta x$  ——色品坐标示值误差；

$x$  ——色品坐标测量值；

$x_0$  ——色品坐标标准值。

对公式 (C.16) 求偏导数，则灵敏系数：

$$c_1 = 1, c_2 = -1$$

## C.3.3 不确定度分量评定

## C.3.3.1 测量重复性引入的标准不确定度评定

用被校 LED 光强计对标准 LED 单管进行 10 次独立重复测量，以白光 LED 单管为例，测量数据如表 C.5 所示。根据贝塞尔公式计算单次测得值的实验标准偏差。

$$s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{C.17})$$

$$u_1(x) = s(\bar{x}) \approx 0.0002 \quad (\text{C.18})$$

表 C.5 重复性测量数据

单位：1

校准点	测量值					平均值	标准偏差
0.3062	0.3060	0.3063	0.3062	0.3061	0.3058	0.30616	0.0002
	0.3062	0.3062	0.3065	0.3062	0.3061		

## C.3.3.2 标准 LED 单管上级溯源引入的标准不确定度评定

标准 LED 单管色品坐标值的扩展不确定度为 0.0030， $k=2$ ，则标准 LED 单管上级溯源引入的标准不确定度估计为：

$$u_2(x_0) = \frac{0.0030}{2} = 0.0015 \quad (\text{C.19})$$

## C.3.4 合成标准不确定度

标准不确定度分量列表如表 C.6 所示。

表 C.6 标准不确定度分量列表

不确定度来源		输入量的标准不确定度	灵敏系数	标准不确定度分量
$u_1(x)$	测量重复性引入的标准不确定度	0.000 2	$c_1$	0.000 2
$u_2(x_0)$	上级溯源引入的标准不确定度	0.001 5	$c_2$	-0.001 5

由于各标准不确定度分量不相关，故合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta x) = \sqrt{u_1^2(x) + u_2^2(x_0)} \approx 0.001 6 \quad (\text{C. 20})$$

### C.3.5 扩展不确定度

取  $k=2$ ，故扩展不确定度为：

$$U(\Delta x) = k \cdot u_c(\Delta x) = 0.003 2 \quad (\text{C. 21})$$

## 附录 D

## LED 平均发光强度测量的光谱失配修正

校准 LED 光强计时，选择与其所测量的 LED 管同色的 LED 标准管。若 LED 光强计采用光谱辐射计进行 LED 平均发光强度测量，可不进行光谱失配修正。

若校准用的 LED 标准管和被测量的 LED 管存在不同的相对光谱功率分布，可按式 (D.1) 进行光谱失配修正。

$$I_{iF} = I_i \times F \quad (\text{D.1})$$

式中：

$I_{iF}$ ——LED 平均发光强度修正后的测量值，cd；

$I_i$ ——光度计测量显示值，cd；

$F$ ——光谱失配修正因子。

LED 光强计光度探头的相对光谱响应与其测量的 LED 的相对光谱功率分布需提前获得。

$$F = \frac{\int S_t(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int S_r(\lambda)V(\lambda)d\lambda} \times \frac{\int S_r(\lambda)s_{rel}(\lambda)d\lambda}{\int S_t(\lambda)s_{rel}(\lambda)d\lambda} \quad (\text{D.2})$$

式中：

$S_t(\lambda)$ ——被测 LED 管相对光谱功率分布；

$S_r(\lambda)$ ——标准 LED 管相对光谱功率分布；

$s_{rel}(\lambda)$ ——光度探头的相对光谱响应度；

$V(\lambda)$ ——CIE 明视觉光谱光视效率。