



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39388—2020/CIE S 023/E:2013

---

## 照度计和亮度计的性能表征方法

Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters

(CIE S 023/E:2013, IDT)

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 校准 .....	6
5 照度计和亮度计的特性 .....	9
6 缩略语 .....	27
附录 A (资料性附录) 测量红外和紫外响应时使用的光源和滤色片 .....	29
附录 B (资料性附录) 通用注释 .....	32
参考文献 .....	35

订单号: 0100210419080902 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 CIE S 023/E:2013《照度计和亮度计的性能表征方法》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 27418—2017 测量不确定度评定和表示(ISO/IEC Guide 98-3:2008,MOD)。

本标准做了下列编辑性修改：

——删除了国际标准中关于国际标准替代的描述；

——删除了第 3 章中质量指标的相关解释说明性的内容；

——修改了参考文献。

本标准由中国轻工业联合会提出。

本标准由全国照明电器标准化技术委员会(SAC/TC 224)归口。

本标准起草单位：杭州远方光电信息股份有限公司、中国计量科学研究院、广州计量检测技术研究院、国家电光源质量监督检验中心(上海)、杭州远方检测校准技术有限公司。

本标准主要起草人：潘建根、刘慧、汪立文、黄锋、裘继红、陈聪、李倩。

北京中培质联 专用

订单号: 0100210419080902 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

# 照度计和亮度计的性能表征方法

## 1 范围

本标准适用于照度计和亮度计。本标准定义了应用于普通照明测量的上述设备的性能表征的质量指标,以及各个指标的测量过程和标准校准程序。

照度和亮度的测量及其准确度受许多因素影响,例如操作条件、光源特性和所使用光度计的特性。对于一个具体的测量任务,仅根据光度计的特性无法估算其测量不确定度。然而,在大多数情况下,性能较好的设备比性能较差的设备的测量不确定度更小。本标准旨在:

- 为各个质量指标提供清晰明确的定义;
- 规定量化评估这些质量指标的测量步骤与方法;
- 规定照度计和亮度计的校准条件。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 20151—2006 光度学 CIE 物理光度系统(CIE S 010/E:2004, IDT)

ISO/IEC Guide 98-3:2008<sup>1)</sup> 测量不确定度 第3部分:测量不确定度的标示指导[(Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement(GUM:1995)]

ISO/IEC Guide 99:2007<sup>2)</sup> 国际计量学词汇 基本和通用概念及相关术语[International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)]

IEC 60051-1:1997 直动式指示模拟电气测量仪器及其附件 第1部分:所有零件通用的一般要求(Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories—Part 1: Definitions and general requirements common to all parts)

ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2/E:2006 色度学 第2部分:CIE 标准照明体(Colorimetry—Part 2: CIE standard illuminants)

CIE S 017/E:2011 国际照明词汇(ILV:International lighting vocabulary)

CIE 114/4:1994 CIE 光度测定与比色法汇编 分布温度和比例温度(CIE collection in photometry and colorimetry—Distribution temperature and ratio temperature)

CIE 198:2011 光度测量不确定度(Determination of measurement uncertainties in photometry)

CIE 202:2011 探测器、辐射计和光度计的光谱灵敏度测量(Spectral responsivity measurement of detectors, radiometers and photometers)

## 3 术语和定义

CIE S 017/E:2011 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

1) 亦为标准 JCGM 100:2008,来源于国际计量局(BIPM)网页。

2) 亦为标准 JCGM 200:2008,来源于国际计量局(BIPM)网页。

### 3.1 通用术语

#### 3.1.1

##### 测量准确度 measurement accuracy

被测量的测得值和真值之间一致程度。

注 1: 概念“测量准确度”不是一个量,也不给出数值。当测量提供较小的测量误差时就说该测量是较准确的。

注 2: 术语“测量准确度”不宜与“测量正确度”“测量精密性”相混淆,尽管它与这两个概念相关。

注 3: “测量准确度”有时被理解为赋予被测量的测得值之间的一致程度。

[ISO/IEC Guide 99:2007,定义 2.13]

#### 3.1.2

##### 测量误差 measurement error

测得的量值减去参考值。

注 1: 测量误差的概念在以下两种情况下均可使用:

- a) 给出一个参考量值,该量值通过测量不确定度可以忽略的测量标准进行校准得到或由约定量值给出,测量误差是已知的;
- b) 若被测量是由唯一的真值或可忽略范围的一组真值表示,则测量误差是未知的。

注 2: 测量误差不宜与出现的错误或过失相混淆。

[ISO/IEC Guide 99:2007,定义 2.16]

#### 3.1.3

##### 校准 calibration

在规定条件下的一组操作:第一步是确定由测量标准提供的量值与相应示值之间的关系,第二步则是用此信息确定由示值获得测量结果的关系。

注 1: 第一步中的测量标准提供的量值与相应示值都具有测量不确定度。

注 2: 校准可以用文字说明、校准函数、校准图、校准曲线或校准表格的形式表示。某些情况下,可以包含示值的具有测量不确定度的修正值或修正因子。

注 3: 校准不宜与测量系统的调整(常被错误称作“自校准”)相混淆,也不宜与校准的验证相混淆。

注 4: 通常只把上述定义中的第一步认为是校准。

[ISO/IEC Guide 99:2007,定义 2.39]

#### 3.1.4

##### 测量系统的调整 adjustment of a measuring system

为使测量系统提供相应于给定被测量值的指定示值,在测量系统上进行的一组操作。

注 1: 测量系统的调整的类型包括:系统的零位调整,偏置量调整,量程调整(有时称增益调整)。

注 2: 测量系统的调整不宜与测量系统的校准相混淆,校准是调整的一个先决条件。

注 3: 测量系统调整后,通常要再校准。

[ISO/IEC Guide 99:2007,定义 3.11]

#### 3.1.5

##### (计量的)溯源性 (metrological) traceability

通过文件规定的不间断的校准链,将测量结果与参照对象联系起来的测量结果的特性。

注 1: 校准链中的每项校准均会引入测量不确定度。

注 2: 本定义中的参照对象可以是实际实现的测量单位的定义,或包括无量测量单位的测量程序,或测量标准。

注 3: 计量溯源性要建立校准等级序列。

注 4: 参照对象的技术规范包括在建立等级序列时所使用该参照对象的时间,以及关于该参照对象的任何计量信息,如在这个校准等级序列中进行第一次校准的时间。

注 5: 对于在测量模型中具有一个以上输入量的测量,每个输入量本身宜是经过计量溯源的,并且校准等级序列可形成一个分支结构或网络。为每个输入量建立计量溯源性所作的努力宜与其对测量结果的贡献相适应。

注 6: 测量结果的计量溯源性不能保证其测量不确定度满足给定需求,也不能保证不发生错误。

注 7: 如果两个测量标准的比较是用于核查,必要时对量值进行修正,并且测量不确定度由其中一个测量标准给出,则该比较可看作一种校准。

注 8: 国际实验室认可合作组织(ILAC)认为,确认计量溯源性的要素是链接到国际测量标准或者国家测量标准不间断的计量溯源链、文件规定的测量不确定度、文件规定的测量程序、认可的技术能力、计量溯源到 SI 以及校准间隔(参见 ILAC P-10:2002)。

注 9: “溯源性”有时是指“计量溯源性”,有时也用于其他概念,诸如“样品可追溯性”“文件可追溯性”或“仪器可追溯性”等,其含义是指某项目的历程(“轨迹”)。所以,当有产生混淆的风险时,最好使用全称“计量溯源性”。

[ISO/IEC Guide 99:2007,定义 2.41]

### 3.1.6

#### 光度计 photometer

测量光度量的设备。

[CIE S 017/E:2011,定义:17-909]

注:光度计由光度探头、信号转换器、输出装置和供电电源组成。不同的部分可以构建在一个设备内,也可以分装在独立的多个外壳中。在本标准中,光度计指的是具有单个探测器进行光谱积分测量的照度计和亮度计。

### 3.1.7

#### (光度计或光源的)参考平面 reference plane (of a photometer or light source)

与光度计或光源相关联的用来测量二者间的距离的平面。

注:对于光度计,该平面为在校准光度计或光度探头时垂直于该光度探头光轴的平面。理想情况下,光度计的参考平面与有效参考平面一致。

### 3.1.8

#### (光度计的)有效参考平面 effective reference plane (of a photometer)

垂直于光度计探头光轴,且满足从该平面测得的点光源的照度和其与点光源的距离之间符合距离平方反比定律的平面。

注:有效参考平面可能随波长不同,在此情况下,与光源类型一起宣称有效参考平面,如 CIE 标准 A 光源。

### 3.1.9

#### 限定光度距离 limiting photometric distance

考虑到光度距离平方反比定律,对于给定的可接受误差,光源的参考平面到光度计的有效参考平面间的最短距离。

注:限定光度距离主要取决于光度计和光源的几何特性。

### 3.1.10

#### 接收孔径 acceptance aperture

照度计的光度探头或者亮度计的测量场上的接受区域。

注:接收孔径一般位于光度计的有效参考平面。

## 3.2 质量指标术语

### 3.2.1

#### 初始调节指数 initial adjustment index

$f_{\text{adj}}$

描述光度计的读数与对应参考值的相对偏差的绝对值的指数。

### 3.2.2

#### 通用 $V(\lambda)$ 失匹配指数 general $V(\lambda)$ mismatch index

$f_1'$

描述光度计的相对光谱响应度与  $V(\lambda)$  函数的偏差的指数。

3.2.3

紫外响应指数 UV response index

$f_{UV}$

描述光度计紫外辐射响应度的指数。

3.2.4

红外响应指数 IR response index

$f_{IR}$

描述光度计红外辐射响应度的指数。

3.2.5

照度的方向性响应指数(仅限照度计) directional response index for illuminance

$f_2$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

注:通用照度计宜满足余弦定律。LED光源可能是LED灯具的一个集成部分。

3.2.6

球面照度的方向性响应指数(仅限照度计) directional response index for spherical illuminance

$f_{2,0}$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

3.2.7

柱面照度的方向性响应指数(仅限照度计) directional response index for cylindrical illuminance

$f_{2,c}^{3)}$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

3.2.8

半柱面照度的方向性响应指数(仅限照度计) directional response index for semi-cylindrical illuminance

$f_{2,sc}$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

3.2.9

半球面照度的方向性响应指数(仅限照度计) directional response index for semi-spherical illuminance

$f_{2,2\pi}$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

3.2.10

亮度的方向性响应指数(仅限亮度计) directional response index for luminance

$f_{2,g}$

描述光度计对与法线成一定夹角入射光的响应度的指数。

3.2.11

方向对称性指数(仅限亮度计) directional symmetry index

$f_{2,s}$

描述在亮度计测量视场内光线入射角的影响的指数。

3.2.12

周边视场影响指数(仅限亮度计) surrounding field effect index

$f_{2,u}$

描述亮度计测量视场外的周围亮度的影响的指数。

3) 使用的符号为  $f_{2,z}$ 。

## 3.2.13

线性指数 **linearity index**

$f_3$

描述光度计对不同等级的照度或亮度响应的偏差的指数。

## 3.2.14

显示单元指数 **display-unit index**

$f_4$

描述光度计的模拟或数字显示的影响的指数。

## 3.2.15

疲劳指数 **fatigue index**

$f_5$

描述在长时间恒定照明下光度计响应度的稳定性的指数。

## 3.2.16

温度依赖性指数 **temperature dependence index**

$f_{6,T}$

描述当与定标时的环境温度不一样时,环境温度对光度计响应度的影响的指数。

## 3.2.17

湿度测试指数 **humidity test index**

$f_{6,H}$

描述光度计相对于湿度的稳定性指数。

## 3.2.18

调制光指数 **modulated light index**

$f_7$

描述与恒定光照的响应相比,不同频率调制光的影响的指数。

## 3.2.19

偏振响应指数 **polarization response index**

$f_8$

描述偏振光对光度计响应度的影响的指数。

## 3.2.20

空间响应指数 **spatial response index**

$f_9$

描述入射到接收孔径内的光度计的非均匀照射光线的影响的指数。

## 3.2.21

量程转换指数 **range change index**

$f_{11}$

描述显示单元或放大器的量程设置的影响的指数。

## 3.2.22

焦距指数(仅限亮度计) **focusing distance index(luminance meter only)**

$f_{12}$

描述亮度计的测量距离与对焦距离发生偏移的影响的指数。

## 4 校准

### 4.1 条件

应使用具有证书的、校准溯源至国际单位制(SI)的参考标准光源或探测器校准光度计。可溯源性是指由具有认可能力的实验室实现的不间断的校准或比对链条,最终将量值联系至 BIPM 的 CMC 清单上发布的测量 SI 单位的相关基准标准。

应在环境温度为 25 °C 下,使用相关色温为 2 856 K 的白炽灯(CIE A 光源)发出的非偏振光校准光度计。在校准之前,光度计应在该环境条件中至少 1 h,以达到热平衡。光度计的入射窗口应被均匀照射并且完全覆盖。

光度计应定期重新校准:

- 制造商给出的校准间隔;
- 或者至少每两年;
- 或者使用者怀疑仪器的性能改变时。

注:实际情况中,当灯建立为 CIE A 光源时,相关色温和分布温度是相等的。

### 4.2 照度计

#### 4.2.1 概述

校准照度计时,应保证入射光线垂直于有效参考平面,光源与有效参考平面的距离应大于限定光度距离。

如果照度计由参考光度计校准,两者的有效参考平面应是一致的。如果照度计是由标准灯校准的,则校准距离为标准灯的参考平面到照度计的有效参考平面间的距离。

#### 4.2.2 平面照度 $E$

平面照度  $E$  的照度计算见公式(1):

$$E = E_x \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$E_x$ ——有效参考平面上的照度。

制造商应指出有效参考平面相对于光度计前端区域的位置。对于具有平面扩散片的照度计,有效参考平面通常为平面扩散片的前端平面。

#### 4.2.3 球面照度 $E_0$ <sup>4)</sup>

球面照度  $E_0$  的照度计算见公式(2):

$$E_0 = E_x \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$E_x$ ——有效参考平面上的照度。

有效参考平面位于球面接收器内,位于距球面顶点  $\gamma_0 = 0.146$  倍球面直径  $d$  处。

注:  $\gamma_0$  是根据有效参考平面的截面积为光度计接收窗口投影面积的一半得到的,几何关系为:

$$\gamma_0 = \{1 - \cos[\arcsin(1/\sqrt{2})]\}/2 = 0.146$$

4) 对于“球面照度”的定义,可分别见 CIE S 017/E:2011,定义 17-1244 和定义 17-1245。

购买单位: 北京中培质联 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 订单号: 0100210419080902

北京中培质联 专用

4.2.4 柱面照度  $E_c$ <sup>5)</sup>

柱面照度  $E_c$  的照度计算见公式(3):

$$E_c = \frac{1}{\pi} E_x \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$E_x$ ——有效参考平面上的照度。

有效参考平面位于柱面接收器内,平行于光度计的入射窗口,距离柱面接收器侧边  $\gamma_c = 0.067$  倍直径  $d$  处(见图 1)。

注:  $\gamma_c$  是根据有效参考平面的截面积为光度计接收窗口投影面积的一半得到的。几何关系为:

$$\gamma_c = (1 - \cos(\arcsin(1/2)))/2 = 0.067$$

4.2.5 半柱面照度  $E_{sc}$ <sup>6)</sup>

半柱面照度  $E_{sc}$  的照度计算见公式(4):

$$E_{sc} = \frac{2}{\pi} E_x \quad \dots\dots\dots (4)$$

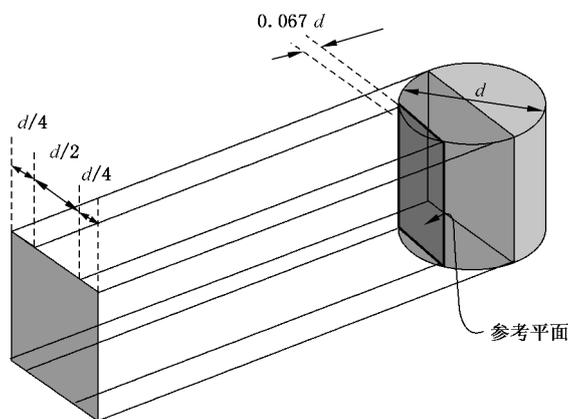
式中:

$E_x$ ——有效参考平面上的照度。

有效参考平面位于柱面接收器内,平行于光度计的入射窗口,距离柱面接收器侧边  $\gamma_c = 0.067$  倍直径  $d$  处(见图 1)。

注:  $\gamma_c$  是根据有效参考平面的截面积为光度计接收窗口投影面积的一半得到的。几何关系为:

$$\gamma_c = (1 - \cos(\arcsin(1/2)))/2 = 0.067$$



说明:

$d$ ——柱面直径。

图 1 一个柱面(半柱面)照度计的有效参考平面

4.2.6 半球面照度  $E_{2\pi}$

半球面照度  $E_{2\pi}$  的照度计算见公式(5):

5) 使用的符号为  $E_z$ 。对于“柱面照度”的定义,可分别见 CIE S 017/E:2011,定义 17-273 和定义 17-274。

6) 对于“半柱面照度”的定义,可分别见 CIE S 017/E:2011,定义 17-1160。

$$E_{2\pi} = \frac{1}{2} E_x \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$E_x$ ——有效参考平面上的照度。

有效参考平面位于柱面接收器内,平行于光度计的入射窗口,距离柱面接收器侧边  $\gamma_c=0.067$  倍直径  $d$  处(见图 1)。

注:  $\gamma_c$  是根据有效参考平面的截面积为光度计接收窗口投影面积的一半得到的。几何关系为:

$$\gamma_c = (1 - \cos(\arcsin(1/2)))/2 = 0.067$$

### 4.3 亮度计

亮度计的校准,应使用具有发光表面明显大于亮度计测量视场的亮度标准,应保证亮度标准的均匀性以确保不均匀问题不会对校准产生明显影响或者可以被校正。

### 4.4 校准不确定度

光度计校准因子的不确定度,是由测量过程产生的不确定度和有证书的参考标准的量值不确定度组合而成的。应宣称光度计校准因子的总不确定度。

参考标准的量值不确定度应来自该标准的校准证书。其他在测量过程中产生的不确定度贡献包括:

- 工作标准的量值不确定度;
- 标准的老化;
- 与测量光源相关的  $V(\lambda)$  函数失匹配(如采用 4.1 所述的相关色温为 2 856 K 的白炽灯校准光度计,则可用公式(10)中的失配指数  $m$  来表示);
- 与标准和被测设备的电学量测量值相关的不确定度;
- 与几何调整相关的不确定度(有效参考平面间的相互位置和角度设置);
- 杂散光;
- 环境温度改变;
- 由于光源的热辐射产生的光度计温度变化;
- 有限的显示分辨率。

如果上述的任何参数或者其他不确定度贡献可以被量化,并且由参数变化导致的光度计信号变化是已知的(例如灵敏度系数已知),则应对最终读数进行校正,而总不确定度会相应降低。

不确定度应根据 ISO/IEC Guide 98-3:2008(GUM)及其附则中规定的步骤进行评估,有关测量不确定度的细节见 CIE 198:2011。

### 4.5 初始调节

初始调节指数为光度计示值数与对应参考值的相对偏差的绝对值。初始调节的质量指数为光度计示值与对应参考值  $Y_{cal}$  相对偏差的绝对值,见公式(6):

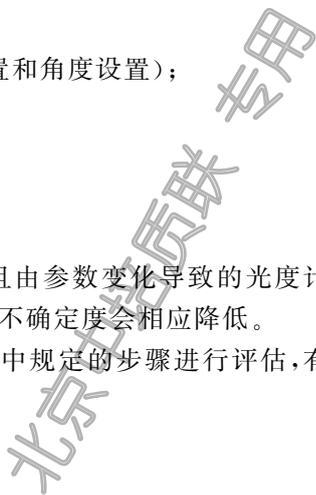
$$f_{adj} = |Y'_{cal}/Y_{cal} - 1| \dots\dots\dots (6)$$

生产商通常会将光度计示值调节至参考值,此时  $f_{adj}=0$ ,但  $f_{adj}$  的不确定度却与初始校准过程的不确定度相对应;该不确定度值应与  $f_{adj}$  一起给出(见 4.4)。

注:对于低成本的光度计,它们的示值调整过程常常被简化,并且参考标准的量值不确定度更大,因此该质量指数的值也会明显增大。

### 4.6 光度计的核查

应定期核查光度计与  $V(\lambda)$  函数的光谱匹配。一种简单的验证方法是,首先使用 CIE A 光源校准



光度计,然后与参考表比较对于三波段灯(荧光灯或 RGB-LED 灯)的光度响应。

通常没有必要核查光度计的其他质量指数,除非光度计遭到损坏或者怀疑光度计不能正确工作。

如果制造商或者校准实验室在日常维护核查中对仪器进行了调节,应通知用户并且向用户报告调节前后的校准因子。

## 5 照度计和亮度计的特性

### 5.1 一般考虑

本标准定义了具体的测量条件,例如光谱波长范围和带宽。如果因为某些原因,一些规定条件无法满足,也可使用替代步骤,此时应评估选择不同步骤的影响,但结果应按本标准的规定报告。不确定度分析取决于测量步骤,例如,5.3.2 中给出了确定光度计紫外响应时所使用的光源的要求,本标准的使用者允许使用不同类型的照明光源,如光谱扫描光源,然后利用数值方法计算出规定光源下的紫外响应,但应评估选择不同光源时的影响,并相应地调整不确定度分析。

大多数质量指标是基于理想特性和被测特性的绝对比较而得到的。若光度计的质量指标接近于理想值则应进行特殊考量。此时,不能直接用定义量值指标的公式,且应采用蒙特卡罗分析,某一特定质量指标(如  $f_1'$ ) 的值不仅取决于输入量  $s(\lambda)$ ,还由输入量的不确定度以及它们之间的关联所决定。

除非另有说明,质量指标应基于 ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2:2006 中规定的 CIE 标准 A 光源得出(实际测量中为 CIE A 光源)。

### 5.2 光谱特性

#### 5.2.1 概述

光度计的相对光谱响应度  $s_{rel}(\lambda)$  应与明视觉下的光谱光视效率函数  $V(\lambda)$ <sup>7)</sup> 匹配。有多个不同的参数来描述光谱匹配质量。如果光源的相对光谱分布  $S_z(\lambda)$  和探测器的相对光谱响应度已知,光度计的读数应使用光谱失配校正因子  $F[S_z(\lambda)]$  来校正。如果光源的相对光谱分布未知,则可使用通用  $V(\lambda)$  失匹配指数  $f_1'$ (参见附录 B)的概念来表征该光度计。

#### 5.2.2 测量

为了针对不同光谱分布的光源表征光度计的质量,需要获得光度计的光谱响应度。光谱测量应符合 CIE 202:2011 的规定。 $V(\lambda)$  函数的定义覆盖了完整的光度光谱范围:360 nm~830 nm。在实际测量中,该光谱范围的两端限值很难达到,对于评估  $f_1'$ ,测量 380 nm~780 nm 范围内的相对光谱响应度已经足够,因为本标准仅包含普通照明情况。

可见波长范围边界区域的光谱响应度小,因而对光度响应的贡献也很小,但是不确定度却较大。虽然如此,为了确定光度响应度和光谱失配校正因子,测量范围应涵盖光度计的全部波长敏感范围。应使用波长可调的单色光源测量,其扫描步长应小于或等于 5 nm,光谱带宽应小于或等于 5 nm。对于不对称的带通函数或者带宽大于 5 nm 的情况,应采用光谱带通校正方法。

#### 5.2.3 光度响应度

光度计的响应度通常定义为探测器输出和输入之比。在光度学中,输入辐射用光谱光视效率函数  $V(\lambda)$  进行光谱加权,得到的响应度被称为绝对光度响应度  $s_v$ ,按公式(7)定义:

7) 该标准仅针对明视觉条件下的光度计。

对于非明视觉,可类似推导出相应概念和参数。光谱光视效率函数在 GB/T 20151—2006 中定义。

$$s_V = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S_Z(\lambda) \cdot s(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_Z(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$K_m$  ——  $K_m \cong 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$  (在标准空气中);

$s(\lambda)$  ——光度计的光谱响应度;

$S_Z(\lambda)$  ——被测光源的相对光谱功率分布。

光度响应度包含照度响应度和亮度响应度,通常单位为安培每勒克斯( $\text{A} \cdot \text{lx}^{-1}$ )、伏特每勒克斯( $\text{V} \cdot \text{lx}^{-1}$ )、安培每坎德拉负二次方米 $[\text{A} \cdot (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}]$ 等。例如,如果  $s(\lambda)$  是单位为安培平方米每瓦( $\text{A} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2$ )的光谱照度响应度,则  $s_V$  是单位为安培每勒克斯( $\text{A} \cdot \text{lx}^{-1}$ )照度响应度。

积分的上下限( $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ )宜涵盖所有  $S_Z(\lambda) \cdot s(\lambda)$  非 0 的范围。光度计通常由 CIE A 光源校准。此时,对 CIE 标准 A 光源的响应度表示为公式(8):

$$s_V^* = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S_A(\lambda) \cdot s(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$S_A(\lambda)$  ——CIE 标准 A 光源的相对光谱功率分布。

5.2.4 相对光度响应度和光谱失配校正因子

若光度计在给定光谱范围内的光谱响应度与预设加权函数不同,则会得到不正确的测量结果。使用光谱积分的响应函数,在对比两种光谱分布,如 Z 光源和 CIE A 光源时,上述不同会在一定程度上相互补偿。为量化计算,需要知道光度计的相对光谱响应度  $s_{\text{rel}}(\lambda)$  和 Z 光源的相对光谱分布  $S_Z(\lambda)$ 。相对光度响应度  $a^*[S_Z(\lambda)]$  为探测器在 Z 光源下的光度响应度  $s_Z$  与探测器在 CIE A 光源下的光度响应度  $s_A$  的比值,见公式(9):

$$a^*[S_Z(\lambda)] = \frac{S_Z}{S_A} = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S_Z(\lambda) \cdot s_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda}{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_Z(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} S_A(\lambda) \cdot s_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda}{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$S_Z$  ——使用 Z 光源时光度计的光度响应度;

$S_A$  ——使用 CIE A 光源时光度计的光度响应度。

积分的上下限( $\lambda_{\min}, \lambda_{\max}$ )宜对应所有  $s_{\text{rel}}(\lambda)$  的非零波长区域。 $a^*[S_Z(\lambda)]$  的倒数被称为光谱失配校正因子  $F^*[S_Z(\lambda)] = \{a^*[S_Z(\lambda)]\}^{-1}$  (有时也简称为 SMCF)。

如果光度计的相对光谱响应度和光源的相对光谱分布已知,应根据公式(9)对测量进行校正。对于光谱较窄的光源(如 LED),应用光谱失配校正因子是最重要的。

5.2.5 颜色校正因子和失配指数

根据 CIE 114/4:1994 的规定,白炽灯或卤素灯的相对光谱功率分布与普朗克分布  $P(T_d, \lambda)$  类似,可用分布温度  $T_d$  表征。此时,光谱失配校正因子可近似为温度比值和失配指数  $m$ ,见公式(10):

$$F^*(T_d) = \{a^*[P(T_d, \lambda)]\}^{-1} \approx \left(\frac{T_d}{T_A}\right)^m \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$T_d$  ——光源的分布温度;

购买单位: 北京中培质联  
 订购号: 0100210419080902  
 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006

$T_A$  ——  $T_A = 2\,856\text{ K}$ , 为 CIE 标准 A 光源;

$m$  —— 光度计实验决定的失配指数。

公式(10)可用于光度计校准过程中的不确定度评估。

### 5.2.6 特定失配指数

针对一个特定光源,光度计与  $V(\lambda)$  函数的光谱匹配质量可以表达为公式(11):

$$f_1[S_Z(\lambda)] = a[S_Z(\lambda)] - 1 \quad \dots\dots\dots(11)$$

然而,如果光源的相对光谱分布和光度计的光谱响应度已知,则可对光度计的测量结果进行校正。

### 5.2.7 通用 $V(\lambda)$ 失匹配指数 $f_1'$

特定失匹配指数  $f_1[S_Z(\lambda)]$  并不适合于描述光度计的通用性能,因为如果光度计的相对光谱响应度与  $V(\lambda)$  函数相差很大,针对一个特定光谱分布理论上可以将  $f_1[S_Z(\lambda)]$  最小化,但对于其他光源,  $f_1[S_Z(\lambda)]$  的值可能会很大。对于普通照明条件,特别是白光光源,通用  $V(\lambda)$  失匹配指数  $f_1'$  可以最好地表征光谱失配的质量。为此,相对光谱响应度  $s_{\text{rel}}(\lambda)$  应使用归一化的光谱响应度函数表示,见公式(12):

$$s_{\text{rel}}^*(\lambda) = s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot S_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$S_A(\lambda)$  —— CIE 标准 A 光源的相对光谱功率分布,原则上,使用它来校准光度计。

指数  $f_1'$  定义为公式(13):

$$f_1' = \frac{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} |s_{\text{rel}}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_{380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} V(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots(13)$$

注 1:  $f_1'$  不能用作校正因子。

注 2: 对于匹配度较高的光度计,归一化的光谱响应度的不确定度会影响  $f_1'$  的值。此时,不能直接应用公式(13),而要进行蒙特卡罗仿真。

注 3: 为了确定  $V(\lambda)$  失匹配指数  $f_1'$ 、光谱失配校正因子和相应的测量不确定度,需要以足够高的分辨率获取响应度函数值及其不确定度。

## 5.3 紫外响应

### 5.3.1 概述

光度计应对紫外辐射没有响应。紫外响应可能是由于紫外阻挡不充分或者荧光效应引起的。

### 5.3.2 测量方法

使用主要在 UV-A 范围辐射的紫外灯和具有给定光谱透射比  $\tau_{\text{UV}}(\lambda)$  UV 带通滤色片来照射光度计来确定其紫外响应。

紫外灯应具有如图 2 所示的相对光谱分布函数,可见辐射(照度)与 UV-A 辐照度之比应为  $35\text{ lx} \cdot (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$ , 相对光谱功率分布的标称值数据列于表 A.2 中。

紫外带通滤色片的光谱透射比应与图 3 所示相接近,光谱数据列于表 A.1 中。

若使用不同的光谱分布或透射比,则应评估这种不同带来的影响,最终的结果应校正至标称值并进行报告。

紫外灯不加滤色片照射光度计产生的信号应至少为最小可解析信号的 1 000 倍。

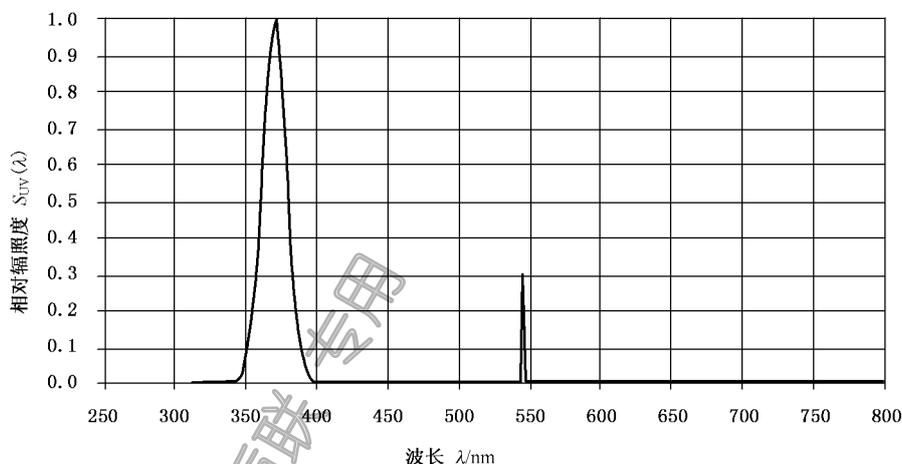


图 2 用于测量紫外响应  $f_{UV}$  的辐照度  $S_{UV}$  的相对光谱分布

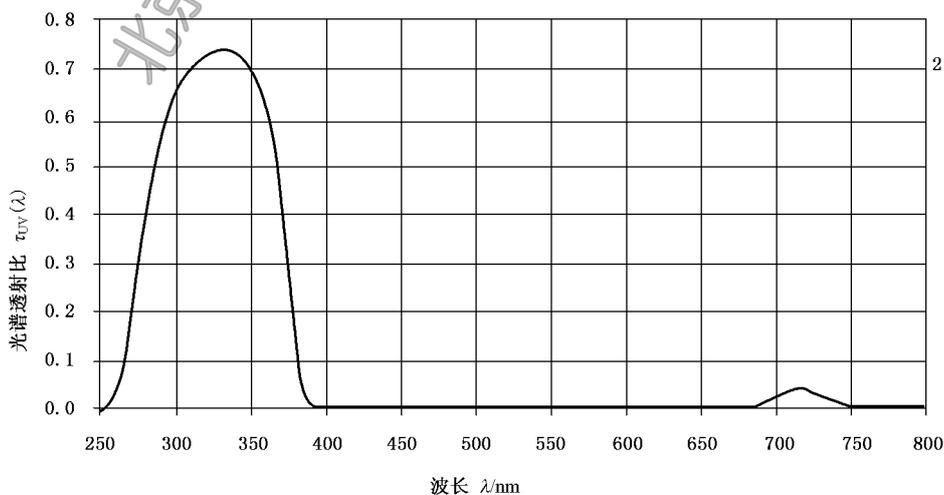


图 3 用于测量紫外响应  $f_{UV}$  的紫外滤光片的光谱透射比  $\tau_{UV}(\lambda)$

### 5.3.3 表征方法

光度计的紫外响应指数  $f_{UV}$  为信号  $Y_{UV}$  与信号  $Y$  之比,其中  $Y_{UV}$  为光度计在 5.3.2 所规定的紫外光源加紫外滤色片照射下的信号; $Y$  为光度计在相同光源但不加滤色片照射下的信号。具体见公式(14)和公式(15):

$$f_{UV} = \left| \frac{Y_{UV}}{Y} - u_0 \right| \dots\dots\dots (14)$$

其中,

订购号: 0100210419080902 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 购买单位: 北京中培质联

$$u_0 = \frac{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_A(\lambda) \cdot s_{\text{rel}}(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$\tau_{\text{UV}}(\lambda)$ ——紫外滤色片的光谱透射比；

$S_{\text{UV}}(\lambda)$ ——紫外光源的相对光谱功率分布。

## 5.4 红外响应

### 5.4.1 概述

光度计应对红外辐射不响应。

### 5.4.2 测量方法

应通过 CIE A 光源和 IR 滤色片照射光度计来测量红外响应，CIE A 光源灯为钨丝灯，IR 滤色片的光谱透射比见图 4 和参见表 A.3。如果使用不同的光谱分布或透射比，则应评估这种不同带来的影响，最终的结果应校正至标称值并进行报告。

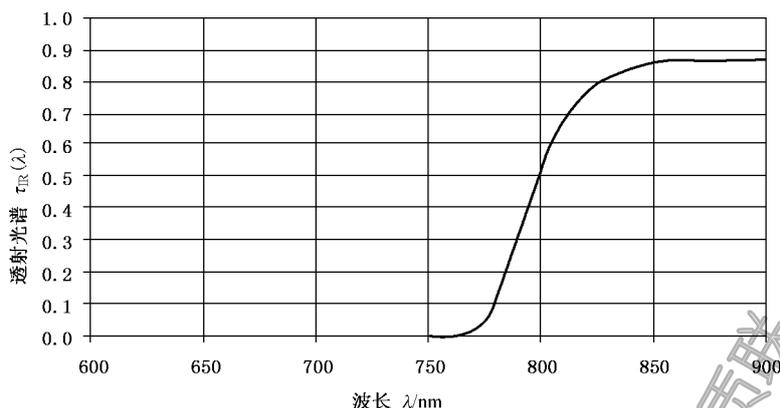


图 4 为确定红外响应指数  $f_{\text{IR}}$  给出红外滤光片的透射光谱  $\tau_{\text{IR}}(\lambda)$

所使用的灯应不包含反射器，并使用未处理的灯罩以确保红外辐射不衰减。不加滤色片的红外灯照射光度计产生的信号应至少为可解析最小信号 10 000 倍。

### 5.4.3 表征方法

光度计的红外响应指数  $f_{\text{IR}}$  为信号  $Y_{\text{IR}}$  与信号  $Y$  之比， $Y_{\text{IR}}$  为光度计在相关色温为 2 856 K 的白炽灯 (CIE A 光源) 和指定滤色片照射下所得的信号； $Y$  为光度计在相同光源但不加滤光片照射下所得的信号。具体见公式(16)和公式(17)：

$$f_{\text{IR}} = \left| \frac{Y_{\text{IR}}}{Y} - r_0 \right| \dots\dots\dots (16)$$

其中，

$$r_0 = \frac{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_{\text{IR}}(\lambda) \cdot \tau_{\text{IR}}(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} S_{\text{IR}}(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

$\tau_{\text{IR}}(\lambda)$ ——红外滤色片的光谱透射比；

$S_{\text{IR}}(\lambda)$ ——标准灯的相对光谱功率分布。

注：在实际应用中，光源建立为 CIE A 光源时，相关色温和分布温度是等效的。

## 5.5 照度计的方向响应

### 5.5.1 概述

光线入射到光度计接收区域产生的效应依赖于其入射角。方向响应函数(评价入射光关于入射角的函数)是由光度探头的形式和光学构造决定的。

通过在光度探头上配置方向选择性光学器件(例如：不同形状的漫射修正器和特殊的光学组件)来实现特定的响应函数。这些光学器件包括：

- 用于(平面)照度  $E$  测量的余弦修正器；
- 用于球面照度测量的  $E_0$  修正器；
- 用于半柱面和柱面照度测量的  $E_{\text{sc}}$  和  $E_{\text{c}}^{8)}$  修正器；
- 用于半球面照度测量的  $E_{2\pi}$  修正器。

注：5.5.3 至 5.5.7 中公式(19)、公式(22)、公式(27)、公式(33)和公式(39)的积分变量均以弧度为单位， $[d\epsilon]=\text{rad}$ 、 $[d\varphi]=\text{rad}$ 。

### 5.5.2 测量方法

对于方向响应的测量，应在距离光度计至少 2 倍于限定光度距离的位置设置一个小光源(CIE A 光源)。

应采取特殊的防范措施以避免来自光度探头接收面的杂散光。光源发出水平光束，光度探头以其接收面中心为原点绕水平轴或垂直轴转动来改变入射角。旋转中心应与制造商指定的接收面中心一致。应在至少两个相互垂直的平面内测量信号关于入射角的函数，并使用与对应角度权重函数的平均偏差来表征方向响应。为评估方向响应的质量指标，测量角度步长应为  $5^\circ$ ，最小范围应为  $0^\circ\sim 80^\circ$ 。然而，测量应覆盖光度计的所有角度敏感范围并予以报告。因此对于使用半球形漫射器作余弦修正的照度计，其测量角度范围的上限会超过  $90^\circ$ 。探测器对灯的张角应小于或等于  $1^\circ$ 。

注：对于输入量值和输出信号为非线性关系的光度计，测量宜保持在恒定的信号水平或者根据所测的光度计输入输出特性所对测量结果进行校正。前者宜按照规定方法调节照度(例如：变化距离)。

### 5.5.3 (平面)照度计的特征

对于具有平面输入窗口测量平面照度的光度计，对于入射辐射的方向响应偏差定义为公式(18)：

$$f_2(\epsilon, \varphi) = \frac{Y(\epsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi) \cdot \cos\epsilon} - 1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$Y(\epsilon, \varphi)$ ——输出信号关于入射角的函数；

$\epsilon$  ——入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图 5)；

$\varphi$  ——方位角(见图 5)。

8) 使用符号为  $E_z$ 。

购买单位：北京中培质联 2021-0419-0326-0419-9006 防伪编号：0100210419080902 订单号：0100210419080902

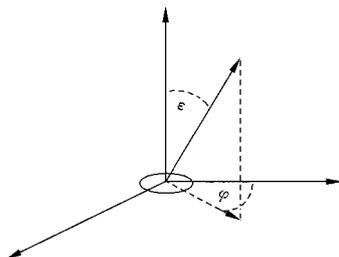


图5 定义函数  $f_2(\epsilon, \varphi)$  的坐标系

为了表征方向性响应,在四个正交平面(方位角  $\varphi = \{0, \pi/2, 3\pi/2\}$ )测量  $f_2(\epsilon, \varphi)$ ,指数  $f_2$  按公式(19)和公式(20)计算:

$$f_2 = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 f_2(\varphi = j \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (19)$$

其中:

$$f_2(\varphi) = \int_0^{80^\circ} |f_2(\epsilon, \varphi)| \cdot \sin 2\epsilon d\epsilon \dots\dots\dots (20)$$

5.5.4 球面照度计的特征

对于球面照度计,方向性响应的偏差表征为公式(21):

$$f_{2,0}(\epsilon, \varphi) = \frac{Y(\epsilon, \varphi)}{Y(0, 0)} - 1 \dots\dots\dots (21)$$

式中:

- $Y(\epsilon, \varphi)$  —— 输出信号关于入射角的函数;
- $\epsilon$  —— 入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图6);
- $\varphi$  —— 方位角(见图6)。

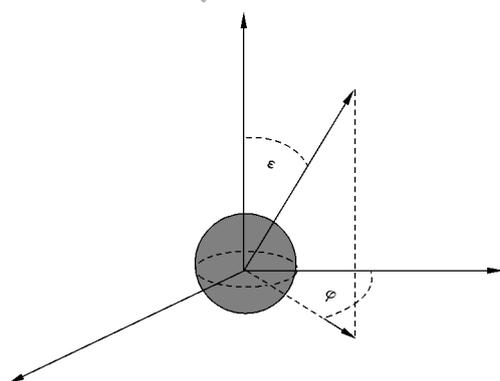


图6 定义函数  $f_{2,0}(\epsilon, \varphi)$  的坐标系

为表征方向性响应,在四个正交平面(方位角  $\varphi = \{0, \pi/2, 3\pi/2\}$ )测量  $f_{2,0}(\epsilon, \varphi)$ ,指数  $f_{2,0}$  按公式(22)和公式(23)计算:

$$f_{2,0} = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 f_{2,0}(\varphi = j \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (22)$$

其中：

$$f_{2,0}(\varphi) = \frac{1}{2} \int_0^\pi |f_{2,0}(\epsilon, \varphi)| \cdot \sin \epsilon \, d\epsilon \quad \dots\dots\dots (23)$$

5.5.5 柱面照度计的特征<sup>9)</sup>

对于柱面照度计，方向性响应的偏差表征为公式(24)：

$$f_{2,c}(\epsilon, \varphi) = \frac{Y(\epsilon, \varphi)}{Y\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \cdot \sin \epsilon} - 1 \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- $Y(\epsilon, \varphi)$ ——输出信号关于入射角的函数；
- $\epsilon$ ——入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图 7)；
- $\varphi$ ——方位角(见图 7)。

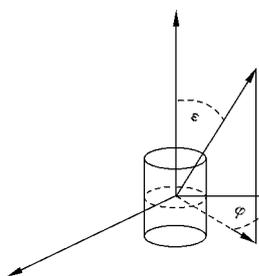


图 7 用于定义函数  $f_{2,c}(\epsilon, \varphi)$  的坐标系

注：宜分别给出水平平面( $\epsilon = \pi/2$ )和垂直平面( $\varphi = 0$ )的函数：

水平平面，见公式(25)：

$$f_{2,c}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) = \frac{Y\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right)}{Y\left(\frac{\pi}{2}, 0\right)} - 1 \quad \dots\dots\dots (25)$$

垂直平面，见公式(26)：

$$f_{2,c}(\epsilon, 0) = \frac{Y(\epsilon, 0)}{Y\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \cdot \sin \epsilon} - 1 \quad \dots\dots\dots (26)$$

使用一个数值来描述方向性响应，即指数  $f_{2,c}$ ，见公式(27)：

$$f_{2,c} = \frac{2}{\pi} \int_{10^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,c}(\epsilon, 0)| \cdot \sin^2 \epsilon \, d\epsilon + \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^\pi |f_{2,c}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right)| \cdot d\varphi \quad \dots\dots (27)$$

公式(27)中的两个组分分别由公式(28)和公式(29)给出，即：

$$f_{2,c,\epsilon} = \frac{2}{\pi} \int_{10^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,c}(\epsilon, 0)| \cdot \sin^2 \epsilon \, d\epsilon \quad \dots\dots\dots (28)$$

9) 使用的符号为  $f_{2,z}$ 。

$$f_{2,c,\varphi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left| f_{2,c} \left( \frac{\pi}{2}, \varphi \right) \right| \cdot d\varphi \quad \dots\dots\dots (29)$$

5.5.6 半柱面照度计的表征

对于半柱面照度计,方向性响应的偏差  $f_{2,sc}(\epsilon, \varphi)$  为,见公式(30):

$$f_{2,sc}(\epsilon, \varphi) = \frac{2Y(\epsilon, \varphi)}{Y\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \cdot \sin\epsilon (1 + \cos\varphi)} - 1 \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:

$Y(\epsilon, \varphi)$  —— 输出信号关于入射角的函数;

$\epsilon$  —— 入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图8);

$\varphi$  —— 方位角(见图8)。

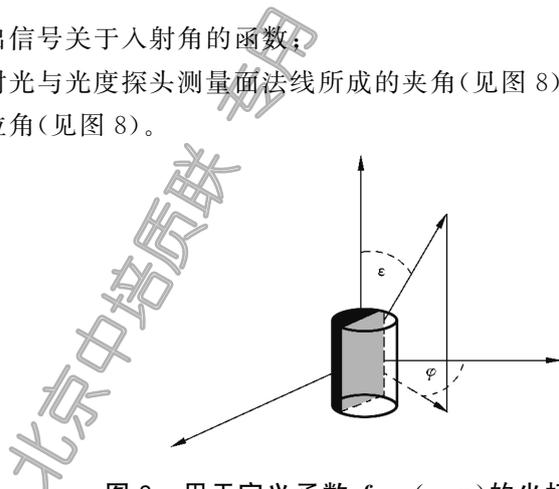


图8 用于定义函数  $f_{2,sc}(\epsilon, \varphi)$  的坐标系

注:宜分别给出水平平面( $\epsilon = \pi/2$ )和垂直平面( $\varphi = 0$ )的函数:

水平平面,见公式(31):

$$f_{2,sc} \left( \frac{\pi}{2}, \varphi \right) = \frac{2Y \left( \frac{\pi}{2}, \varphi \right)}{Y \left( \frac{\pi}{2}, 0 \right) (1 + \cos\varphi)} - 1 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

$\varphi$  —— 方位角(见图9)。

垂直平面,见公式(32):

$$f_{2,sc}(\epsilon, 0) = \frac{Y(\epsilon, 0)}{Y\left(\frac{\pi}{2}, 0\right) \sin\epsilon} - 1 \quad \dots\dots\dots (32)$$

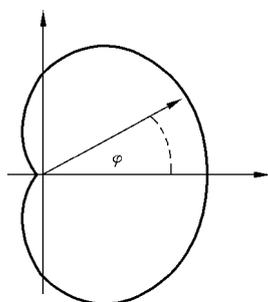


图9 半柱面照度计在水平平面的理想响应度

用指数  $f_{2,sc}$  表征方向性响应,见公式(33):

$$f_{2,sc} = \frac{2}{\pi} \int_{10^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,sc}(\epsilon, 0)| \cdot \sin^2 \epsilon d\epsilon + \frac{1}{2\pi} \int_{-170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} \left| f_{2,sc}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) \right| \cdot (1 + \cos \varphi) d\varphi \quad \dots\dots (33)$$

公式(33)中的两个组分分别公式(34)和公式(35)给出,即:

$$f_{2,sc,\epsilon} = \frac{2}{\pi} \int_{10^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,sc}(\epsilon, 0)| \cdot \sin^2 \epsilon d\epsilon \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$f_{2,sc,\varphi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} \left| f_{2,sc}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) \right| \cdot (1 + \cos \varphi) d\varphi \quad \dots\dots\dots (35)$$

### 5.5.7 半球面照度计的特征

对于半球面照度计,方向性响应的系统偏差  $f_{2,2\pi}(\epsilon, \varphi)$ 用公式(36)表达:

$$f_{2,2\pi}(\epsilon, \varphi) = \frac{2Y(\epsilon, \varphi)}{Y(0, 0) \cdot (1 + \cos \epsilon)} - 1 \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

$Y(\epsilon, \varphi)$ ——输出信号关于入射角的函数;

$\epsilon$  ——入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图 10);

$\varphi$  ——方位角(见图 10)。

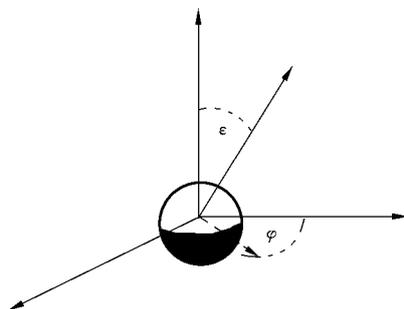


图 10 用于定义函数  $f_{2,2\pi}(\epsilon, \varphi)$  的坐标系统

注:宜分别给出水平平面( $\epsilon = \pi/2$ )和垂直平面( $\varphi = 0$ )的函数:

水平平面,见公式(37):

$$f_{2,2\pi}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) = \frac{2Y\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right)}{Y(0, 0)} - 1 \quad \dots\dots\dots (37)$$

垂直平面,见公式(38):

$$f_{2,2\pi}(\epsilon, 0) = \frac{2Y(\epsilon, 0)}{Y(0, 0) \cdot (1 + \cos \epsilon)} - 1 \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中:

$\epsilon$ ——入射光与光度探头测量面法线所成的夹角(见图 11)。

订购号: 0100210419080902 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 购买单位: 北京中培质联

北京中培质联 专用

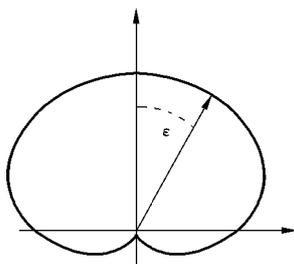


图 11 半球面照度计在垂直平面的理想响应度

使用指数  $f_{2,2\pi}$  表征方向性响应, 见公式(39):

$$f_{2,2\pi} = \frac{1}{\pi} \int_0^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,2\pi}(\epsilon, 0)| \cdot (1 + \cos\epsilon) \cdot d\epsilon + \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left| f_{2,2\pi}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) \right| \cdot d\varphi \quad \dots\dots(39)$$

如下分别给出公式(39)中的两个组分公式(40)和公式(41), 即:

$$f_{2,2\pi,\epsilon} = \frac{1}{\pi} \int_0^{170^\circ \cdot \frac{\pi}{180^\circ}} |f_{2,2\pi}(\epsilon, 0)| \cdot (1 + \cos\epsilon) \cdot d\epsilon \quad \dots\dots\dots(40)$$

$$f_{2,2\pi,\varphi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left| f_{2,2\pi}\left(\frac{\pi}{2}, \varphi\right) \right| \cdot d\varphi \quad \dots\dots\dots(41)$$

## 5.6 亮度计的方向响应

### 5.6.1 概述

亮度计应对测量视场以内的评价表面具有均匀亮度的响应, 且测量视场以外的光照区域不应影响测量结果。方向响应函数可以用来描述方向依赖性评估和在测量视场外环境亮度的影响。入射角函数是指光度探头的接受区域对入射光的响应, 方向响应函数(用入射角函数表示对入射光的评估)是由光学几何、光度探头的构造和光学系统内的杂散光共同决定的。特殊的方向响应函数可以通过在光度探头上配置特殊透镜或诸如此类的其他附件(例如: 可互换的器件)来实现, 例如对等效光幕亮度的测量。

### 5.6.2 测量方法

为了测量方向响应函数, 光源应放置在距离接收平面足够远的位置以保证光源发光区域的对边角不应大于测量视场角  $\alpha$  的 5%,  $\alpha$  是以光轴为中心的测量视场外围所形成的最大张角。亮度计应对焦光源, 并应围绕入瞳中心旋转。作为一种替代的方法, 保持光度探头固定, 光在垂直于光度计光轴的平面上移动。应在至少四个等间距的  $\varphi$  方向角内获取输出信号关于入射角的函数, 应阻止杂散光进入接收面。

### 5.6.3 表征方法

亮度计的方向响应由方向响应函数  $f_2(\epsilon, \varphi)$  表征, 见公式(42):

$$f_2(\epsilon, \varphi) = \frac{Y(\epsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi)} \quad \dots\dots\dots(42)$$

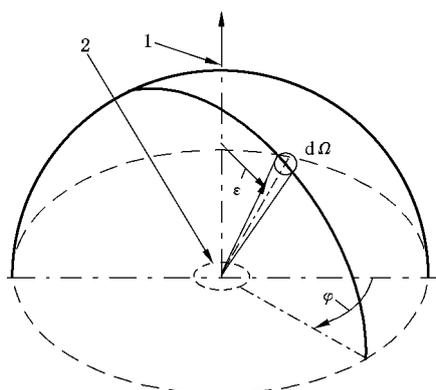
式中:

$Y(\epsilon, \varphi)$ ——在入射角  $\epsilon$  和方位角  $\varphi$  的输出信号(见图 12);

$Y(0, \varphi)$ ——光线沿光度计探头光学轴方向入射且方位角为  $\varphi$  的输出信号。

订购号: 0100210419080902 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 购买单位: 北京中培质联

购买单位: 北京中培质联  
2021-0419-0326-0419-9006  
防伪编号: 0100210419080902



说明:

- 1——光轴;
- 2——入瞳;
- $\epsilon$ ——入射角度,与光学轴的夹角;
- $\varphi$ ——方位角。

图 12 定义函数  $f_2(\epsilon, \varphi)$  的坐标系

方向响应指数  $f_{2,g}$  按公式(43)给出:

$$f_{2,g} = 1 - \frac{Y_{\min}}{Y_{\max}} \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中:

- $Y_{\min}$ ——使用 5.6.2 的测量方法,入射角在 90%测量视场内的最小输出信号;
- $Y_{\max}$ ——使用 5.6.2 的测量方法,入射角在 90%测量视场内的最大输出信号。

指标函数  $f_2(\bar{\epsilon}_{9/10})$  和  $f_2(\bar{\epsilon}_{1/100})$  由公式(44)和公式(45)定义:

$$f_2(\bar{\epsilon}_{9/10}) = 1 - \frac{\bar{\epsilon}_{9/10}}{\bar{\epsilon}_{1/100}} \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$f_2(\bar{\epsilon}_{1/100}) = 1 - \frac{\bar{\epsilon}_{1/10}}{\bar{\epsilon}_{1/100}} \quad \dots\dots\dots (45)$$

式中:

- $\bar{\epsilon}_{9/10}$  ——角度的平均值,在该角度内输出值大于或等于入射光在光轴方向输出值的 0.9 倍;
- $\bar{\epsilon}_{1/10}$  ——角度的平均值,在该角度内输出值大于或等于入射光在光轴方向输出值的 0.1 倍;
- $\bar{\epsilon}_{1/100}$  ——角度的平均值,在该角度内输出值大于或等于入射光在光轴方向输出值的 0.01 倍。

上述值是在至少四个等间距平面上测量的平均值。

测量的方向对称性用指标函数  $f_{2,s}$  描述,见公式(46):

$$f_{2,s} = \frac{Y_{\max}(\bar{\epsilon}_{1/10}, \varphi_1) - Y_{\min}(\bar{\epsilon}_{1/10}, \varphi_2)}{Y_{\max}(\bar{\epsilon}_{1/10}, \varphi_1) + Y_{\min}(\bar{\epsilon}_{1/10}, \varphi_2)} \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

- $Y_{\max}$  ——在  $\bar{\epsilon}_{1/10}$  内的最大输出信号;
- $Y_{\min}$  ——在  $\bar{\epsilon}_{1/10}$  内的最小输出信号;
- $\varphi_1$  ——输出值为  $Y_{\max}$  时的方位角;
- $\varphi_2$  ——输出值为  $Y_{\min}$  时的方位角;
- $\bar{\epsilon}_{1/10}$  ——角度的平均值,在该角度内输出值大于或等于入射光在光轴方向输出值的 0.1 倍。

为了简短地表征方向响应函数  $f_2(\epsilon, \varphi)$ , 应给出下列指标:

- 测量视场角  $\alpha$  (见 5.6.2);

- 方向响应指数  $f_{2,g}$ ;
- 指标函数  $f_2(\epsilon_{9/10})$ ;
- 指标函数  $f_2(\epsilon_{1/100})$ ;
- 用于表征方向对称性的指标函数  $f_{2,s}$ 。此外,也可给出 0.01 倍光轴方向输出值对应的方向对称性指标  $f_{2,s,1/100}$ 。

#### 5.6.4 周围视场影响的测量

为了测量周围亮度或光幕眩光的影响,需要采用特殊的照明设置。应使用至少十倍于测量视场的均匀发光面,该发光面的亮度应至少为最灵敏输出范围内最大信号的十倍。

在发光面前并以测量市场为中心应设置一个光陷阱(亮度小到可忽略的“黑色”表面),在亮度计的成像面上,该光陷阱应完全遮挡并超过测量视场直径的 10%(见图 13)。保持发光面工作,分别在使用和不使用光陷阱时进行测量。

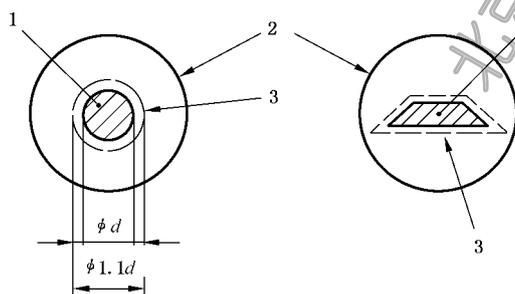
周围亮度的影响用函数  $f_{2,u}$  来表征,见公式(47):

$$f_{2,u} = \frac{Y_{\text{Surround}}}{Y_{\text{Total}} - Y_{\text{Surround}}} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

$Y_{\text{Surround}}$  ——带有光陷阱时的测量输出信号,也就是黑色测量视场和明亮周围环境;

$Y_{\text{Total}}$  ——不带有光陷阱时的测量输出信号,也就是明亮测量视场和明亮周围环境。



说明:

- 1——测量视场(直径  $d$ );
- 2——均匀发光面的视场;
- 3——光陷阱。

图 13 在确定  $f_{2,u}$  时光陷阱尺寸示意图

## 5.7 线性度

### 5.7.1 概述

线性度是表征光度计的输出量变化与输入量变化成比例的特性,即在特定的输入范围内,响应度是一个常数。

注 1: 探测器通常仅在一定的输入范围内呈线性。在该范围外,探测器会呈非线性。

注 2: 不合适的电路系会影响光度计的线性度范围。

### 5.7.2 测量方法

测量光度计线性度最方便的方法是与已知线性度的参考光度计进行比较。

注: 参考光度计的线性度的表征可通过最高精度的方法获得:通过多光源或多孔径技术实现光通量叠加的原理。

### 5.7.3 表征方法

光度计比例性(非线性)偏差描述为公式(48):

$$f_2(Y) = \left| \frac{Y}{Y_{\max}} \cdot \frac{X_{\max}}{X} - 1 \right| \dots\dots\dots (48)$$

式中:

- $Y$  —— 在输入量为  $X$  的光照下光度计的输出信号;
- $X_{\max}$  —— 最大输出信号  $Y_{\max}$  (量程的最大值)对应的输入量;
- $Y_{\max}$  —— 输入量为  $X_{\max}$  光照下光度计的输出信号。

根据公式(49),用指标  $f_3(Y)$  表征每个范围的线性度偏差。除了最高灵敏度范围外,取 10% 量程值到满量程的  $f_3(Y)$  最大值,对于最高灵敏度范围,取最低指定值到满量程值。

$$f_3 = \max[f_3(Y)] \dots\dots\dots (49)$$

对于每一个测量范围均应给出  $f_3$ 。

## 5.8 显示单元

### 5.8.1 概述

采用模拟显示的光度计读数准确度由模拟器件的级别决定(按 IEC 60051-1:1997 分类),数字显示光度计的精度由分辨率决定。

注:分类级别给出了满量程读数时的最大输出误差。

### 5.8.2 表征方法

模拟显示的显示单元质量指标  $f_4$ ,由公式(50)给出:

$$f_4 = k \cdot i_c \dots\dots\dots (50)$$

式中:

- $k$  —— 输出量程转换因子(例如, $k=10$  表示按 1:10 的比例切换量程范围);
  - $i_c$  —— IEC 60051-1:1997 的分级指数。
- $k$  由公式(51)给出:

$$k = \frac{Y_{B,\max}}{Y_{A,\max}} \dots\dots\dots (51)$$

式中:

- $Y_{B,\max}$  —— 较不敏感的量程范围 B 的满量程读数;
- $Y_{A,\max}$  —— 较敏感量程范围 A 的满量程读数。

注:使用公式(50)中  $f_4$  来表征是为了得到最大误差,一般发生在量程范围变化的边界处。

数字显示光度计的不确定度是由显示单元的偏差和转换偏差决定的(一般为  $\pm 1$  个字)。指标按公式(52)给出:

$$f_4 = \left| f_{\text{display}} \right| + \left| \frac{k \cdot D}{P_{\max}} \right| \dots\dots\dots (52)$$

式中:

- $f_{\text{display}}$  —— 与显示单位相关的相对偏差;
- $k$  —— 量程转换因子;
- $D$  —— 最小有效数字的可能偏差(例如, $\pm 1$  数位);
- $P_{\max}$  —— 数字设备的最大显示能力(例如,对于  $3\frac{1}{2}$  数位显示, $P_{\max}=1999$ )。

使用公式(52)和公式(50)表征  $f_4$  会得到最大偏差,一般发生在量程变化的边界处。

## 5.9 疲劳

### 5.9.1 概述

疲劳是指在稳定工作条件下由入射光照引起的响应度的临时性变化。疲劳特性所表征的响应度变化是可逆的,即去除光照后,响应度恢复正常。

注 1: 在光度计工作中,光谱响应度和光照响应度上都会发生可逆变化。这些变化都被认为是疲劳特性。然而,光谱响应度的变化很难量化,目前还没有针对这种影响进行的测试。这里只用绝对光度响应度作为特性指标。

注 2: 在光敏探测器上的高光照水平会带来更大的疲劳。疲劳与由光度探头受辐照引起的温度效应不可分割。使用温控并不能完全消除光敏探测器上由辐照引起的温度变化。

### 5.9.2 测量方法

应使用 5 000 lx 的稳定光照测量疲劳特性。工作条件(环境温度、供电等等)应保持恒定。测量输出信号关于照射周期的函数。在开始稳定照射前,光度探头应在非光照条件下静置 24 h。

### 5.9.3 表征方法

用对称偏差函数  $f_5(t)$  评估疲劳特性,由公式(53)给出:

$$f_5(t) = \frac{Y(t)}{Y(t_0)} - 1 \quad \dots\dots\dots (53)$$

式中:

$t$  ——光度计探头被恒定照射的持续时间;

$Y(t)$  —— $t$  时刻的输出信号;

$t_0$  ——参考时间,例如,10 s。

为了表征疲劳特性,指标  $f_5$  按公式(54)给出:

$$f_5 = \left| \frac{Y(t=30 \text{ min})}{Y(t_0=10 \text{ s})} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中:

$Y(t=30 \text{ min})$  ——从开始到光照 30 min 后的输出信号;

$Y(t_0=10 \text{ s})$  ——从开始到光照 10 s 后的输出信号。

## 5.10 温度

### 5.10.1 概述

温度依赖性描述的是周围温度对光度计绝对响应度和相对光谱响应度的影响。如果光度计工作时的环境温度与校准时不同,将产生测量误差。

虽然光度计相对光谱响应度会随环境温度变化,但这种变化很难量化,还没有针对这种影响的测试。只有对绝对光照响应度的特性表征。

### 5.10.2 测量方法

为了测量温度依赖性,整个光度计应暴露在要求的温度下。在开始测量前,仪器应达到热平衡状态。

应至少进行环境温度为 5 °C、25 °C(参考温度)和 40 °C 条件下的测量,光度探头上的光照应使测量值接近某个量程的最大值(这个量程的选定宜考虑使用足够低的照明条件以最小化疲劳,参见注 2)。

注 1: 一般而言,光度计置于要求温度环境中约 1 h 可认为达到热平衡状态。如果光度计的存储温度和要求的测试环境温度差距很大,则时间还要加长。

注2：如果存在疲劳效应，则光度计探头宜仅在测量时接受光照，且宜充分降低照度水平以使疲劳最小。

### 5.10.3 表征方法

使用函数  $f_{6,T}(T)$  表征温度依赖性，见公式(55)：

$$f_{6,T}(T) = \frac{Y(T)}{Y(T_0)} - 1 \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中：

$Y(T)$  —— 温度  $T$  下的输出信号；

$Y(T_0)$  —— 在 25 °C 参考环境温度下的输出信号。

温度依赖性指标由公式(56)给出：

$$f_{6,T} = \left| \frac{Y(T_2) - Y(T_1)}{Y(T_0)} \cdot \frac{\Delta T}{T_2 - T_1} \right| \quad \dots\dots\dots (56)$$

应使用下述值：

$$T_2 = 40 \text{ °C}; T_1 = 5 \text{ °C}; T_0 = 25 \text{ °C}; \Delta T = 10 \text{ °C}$$

## 5.11 湿度阻抗

### 5.11.1 概述

光度计应在一定范围内上阻隔湿度。用质量指标  $f_{6,H}$  描述对湿度的耐受性，通过比较暴露在湿度环境前后光度计的响应得到。然而， $f_{6,H}$  并不是光度计对湿度变化敏感因子。

### 5.11.2 测量

为了评估湿度阻抗，整个光度计应置于要求的湿度和温度环境中。在开始测量时，光度计需在要求的环境条件下达到热平衡状态。环境温度在测试时应设置在 21 °C 至 27 °C 之间，波动范围保持在 2 °C 以内。相对湿度应设置在 45%~75% 之间，光度计适应湿度环境的时间不应少于 3 h。在光度导轨上应使用光强标准灯在固定距离下照射获得光度计，获得信号  $Y_{\text{before}}$ 。然后将相对湿度增加到无凝结的 85% 至 95% 之间，光度计应置于该环境中 3 h。最终应将相对湿度设置回原条件，并在达到原条件后应立即测量相同的标准灯照射下的光度计信号  $Y_{\text{after}}$ 。

### 5.11.3 表征方法

湿度阻抗用  $f_{6,H}$  表征，见公式(57)：

$$f_{6,H} = \left| \frac{Y_{\text{after}}}{Y_{\text{before}}} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (57)$$

式中：

$Y_{\text{before}}$  —— 暴露在高湿度环境之前的输出信号；

$Y_{\text{after}}$  —— 暴露在高湿度环境之后的输出信号。

## 5.12 调制光

### 5.12.1 概述

在测量调制光时，如果调制光频率低于光度计频率下限或高于频率上限（见以下描述），或峰值过载，或设置时间未完成，则光度计读数会偏离算数平均值。

在正弦调制光（调制度 1，见图 14）的频率下限  $\nu_l$ （或频率上限  $\nu_u$ ）是指在该频率之下（或之上），与具有相同算数平均值的非调制光比的读数不超过 5%。

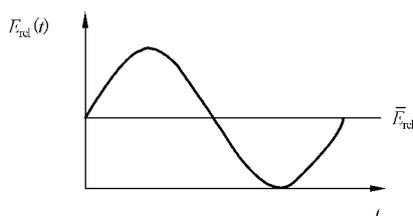


图 14 正弦调制光的调制程度 1

### 5.12.2 测量方法

为了表征光度计对频率依赖性,需要测量不同频率下的入射辐射。测量区域不需要均匀照射,但应保证光源的调制频率改变时,输出的算术平均值保持恒定。

对高频上限和低频下限的测量可以通过合适的电源对 LED 的光强输出进行正弦调制来实现。

替代方法是使用一个旋转的挡光盘和直流供电灯,虽然经验证明产生(非正弦)调制光的频率仅能达到  $10^4$  Hz 水平,然而这种方法比上述 LED 方法产生的照度值要高。对于占空比为 50% 的旋转挡光盘,用于调制辐射测量的信号应小于所用量程的满量程的一半。应注明测量量程。

### 5.12.3 表征方法

频率效应由函数  $f_7(\nu)$  表征,见公式(58):

$$f_7(\nu) = \frac{Y(\nu)}{Y(\nu_0 = 0 \text{ Hz})} - 1 \quad \dots\dots\dots (58)$$

式中:

$Y(\nu = 0 \text{ Hz})$  ——非调制光照明时的输出信号;

$Y(\nu)$  ——与稳定光照具有相同算术平均值的、调制频率为  $\nu$  的光照下的输出信号。

为了使用单个数值来表征调制效应,使用公式(59):

$$f_7 = \left| \frac{Y(\nu = 100 \text{ Hz or } \nu = 120 \text{ Hz})}{Y(\nu_0 = 0 \text{ Hz})} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (59)$$

用于测量高频光源的光度计,例如高频荧光灯和脉冲 LED,应额外注明高频下的  $f_7(\nu)$ 。

## 5.13 偏振依赖性

### 5.13.1 概述

光度计的输出信号可能依赖于被测光的偏振条件。此时,当线偏振准直光沿入射方向旋转时,输出信号  $Y$  会发生改变。

注:照度计的光度探头在一定的光线入射角内可能存在偏振依赖性。测量其他量值的光度探头(例如柱面照度、半柱面照度和亮度),使用垂直入射光时仍可能存在偏振依赖性。

### 5.13.2 测量方法

为了测量偏振依赖性,需要非偏振的点光源,例如按 5.5.2(照度)或 5.6.2(亮度)所描述的设置。从这个非偏振源发出的辐射,通过在光源前放置偏振片的方式被完全偏振化(例如背对背放置两片轴平行的偏振片)。偏振片可以绕入射光线方向转动以改变偏振面的位置。在转动偏振片时,测量光度计的最大和最小信号( $Y_{\max}, Y_{\min}$ )。

注 1:钨丝白炽灯发出的光往往是偏振的,可使用一块微微倾斜的玻璃片置于光源的前面来消除偏振。为了达到完全消偏振的效果,使用一个偏振依赖的探测器,例如设置在偏振片之后且垂直于入射光线的无窗硅平面发

光二极管,来帮助获得玻璃片的最佳位置。

注2:使用第二块偏振片(分析器)判断偏振片是否将入射光完全偏振化。在确定入射光被完全偏振化之后,测量信号  $Y_{\max}$  和  $Y_{\min}$  之前,去除第二块偏振片。

### 5.13.3 表征方法

为了描述偏振依赖性,公式(60)给出指标函数  $f_8(\epsilon, \varphi)$ :

$$f_8(\epsilon, \varphi) = \frac{Y_{\max}(\epsilon, \varphi) - Y_{\min}(\epsilon, \varphi)}{Y_{\max}(\epsilon, \varphi) + Y_{\min}(\epsilon, \varphi)} \dots\dots\dots (60)$$

式中:

$Y_{\max}$  ——最大输出信号;

$Y_{\min}$  ——最小输出信号;

$\epsilon$  ——入射光线与光学轴夹角;

$\varphi$  ——方位角。

为表征偏振依赖性,与测量参数一起宣称光度探头的  $f_8$ :

——照度:  $\epsilon = 30^\circ, \varphi = 0^\circ$  和  $\epsilon = 30^\circ, \varphi = 90^\circ$ , 应记录其平均值;

——球面照度:  $\varphi = 0^\circ$ ;

——柱面照度和半柱面照度:  $\epsilon = 60^\circ, \varphi = 30^\circ$  和  $\epsilon = 160^\circ, \varphi = 150^\circ$ , 应记录其平均值;

——亮度:  $\epsilon = 0^\circ$ 。

### 5.14 空间响应不均匀

#### 5.14.1 概述

一些光度计探头的构造,会导致它们的响应度和相对光谱响应度与其接收孔径内入射光的位置有明显的依赖性。当接收孔径被均匀照射时这种依赖性会消失。

#### 5.14.2 测量方法

对于这种测量,按 5.5.2(照度计)和 5.6.2(亮度计)所述设置光源。使用一个直径为光度计接收孔径 B 直径十分之一的圆形孔径 A,放置在光度计接收面之前。应避免杂散光落至接收孔径。

这个圆形孔径 A 分别放置在光度计接收面之前的五个位置:

- a) 位置 1: 孔径 A 的通孔中心位于光度计接收孔径 B 的中心;
- b) 位置 2 到 5: 接收面 A 通孔的中心位于距光度计接收孔径 B 中心三分之二半径处。四个位置(2 到 5)围绕入射面中心间隔  $90^\circ$  设置。

#### 5.14.3 表征方法

使用指标  $f_9$  描述照度的空间响应不均匀性,按公式(61)定义:

$$f_9 = \frac{\sum_{i=2}^5 |Y_i - Y_1|}{4Y_1} \dots\dots\dots (61)$$

式中:

$Y_i$  ——在接收孔径上 2 到 5 四个点测量到的入射辐射的输出信号;

$Y_1$  ——在接收孔径中心测量到的入射辐射的输出信号。

### 5.15 量程变化

#### 5.15.1 概述

由量程变化产生的偏差是光度计从一个量程切换到相邻的量程时产生的系统偏差。

购买单位: 北京中培质联 防伪编号: 2021-0419-0326-0419-9006 订单号: 0100210419080902

北京中培质联 专用

### 5.15.2 测量方法

用以下方法测量量程变化产生的系统偏差:调节光度探头上的光照使其读数为较低量程 A 的 90% 满量程。接着,光照增加到  $k$  倍,该倍数因子应与量程变化因子对应。

当改变光照时,量程从 A 转化到下一个更大的量程 B,在下一个更大量程 B 记录读数。

注 1:对于数字显示的光度计,量程范围的变化往往会以 1:10 的比例进行,即  $k=10$ 。

注 2:对于存在线性输入输出关系的光度计(线性光度计),在光度计探头关闭的情况下,可以通过一个精确的电流源模拟信号。

### 5.15.3 表征方法

使用指标  $f_{11}$  表征量程变化引起的偏差,见公式(62):

$$f_{11} = \left| \frac{Y_B}{k \cdot Y_A} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (62)$$

式中:

$Y_A$  —— 量程 A 上的读数,输入量  $X_A$  对应 90% 满量程(在数字光度计上的最大读数);

$Y_B$  —— 在下一个更大量程(量程 B)上的读数,输入量  $X_B$  是输入量  $X_A$  的  $k$  倍;

$k$  —— 5.12.2 定义的因子。

对每个量程变化给出指标  $f_{11}$ 。应列出量程变化产生的偏差。

## 5.16 对焦距离(仅限亮度计)

### 5.16.1 概述

即使聚焦的局部亮度在时间和空间上都不变,但当距离改变时亮度计的输出信号也可能发生变化。

### 5.16.2 测量方法

为了测量对焦距离变化的影响,需要使用一个发光面积充分大于光度计的测量视场或观察视场的亮度标准,以确保周围视场不会对测量产生影响。亮度标准以较短距离设置于入光孔径前,并使亮度标准的亮度设置在任意量程的 90% 满量程的信号输出水平。在制造商说明的光度探头的最长和最短对焦距离下测量信号输出。

### 5.16.3 表征方法

由对焦距离变化产生的影响由指标  $f_{12}$  表征,见公式(63):

$$f_{12} = \left| \frac{Y_1}{Y_2} - 1 \right| \quad \dots\dots\dots (63)$$

式中:

$Y_1$  —— 对焦在最短距离的输出信号;

$Y_2$  —— 对焦在最长距离的输出信号。

## 6 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

SI:国际单位制(International System of Units)

IEC:国际电工委员会(International Electrotechnical Commission)

ILAC:国际实验室认可合作组织(International Laboratory Accreditation Cooperation)

ISO: 国际标准化组织 (International Organization for Standardization)

GUM: 测量不确定度表示指引 (Guide to the expression of uncertainty in measurement)

VIM: 国际计量学词汇-基本和通用概念及相关术语 (International Vocabulary of Metrology—Basic and General Concepts and Associated Terms) (见 ISO/IEC Guide 99:2007)

CMC: 校准和测量能力 (Calibration and Measurement Capabilities)

BIPM: 国际计量局 (Bureau International des Poids et Mesures)

## 附录 A

(资料性附录)

## 测量红外和紫外响应时使用的光源和滤色片

紫外带通滤色片的标称光谱透射比、UV-A 灯的标称相对光谱功率分布、红外滤色片的标称光谱透射比数据表分别见表 A.1、表 A.2 和表 A.3。

表 A.1 紫外带通滤色片的标称光谱透射比  $\tau_{UV}(\lambda)$ 

波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{UV}(\lambda)$	波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{UV}(\lambda)$
<250	0	385	0.039 7
250	0.000 67	390	0.004 4
255	0.008 11	395	0.000 14
260	0.036 0	400~675	0
265	0.092 8	680	0.000 50
270	0.176	685	0.002 13
275	0.285	690	0.006 37
280	0.385	695	0.013 4
285	0.476	700	0.020 9
290	0.556	705	0.028 7
295	0.612	710	0.036 7
300	0.654	715	0.040 4
305	0.684	720	0.038 3
310	0.705	725	0.032 5
315	0.723	730	0.025 4
320	0.731	735	0.018 8
325	0.739	740	0.013 2
330	0.743	745	0.009 07
335	0.741	750	0.006 14
340	0.733	755	0.004 04
345	0.721	760	0.002 64
350	0.703	765	0.001 68
355	0.674	770	0.001 05
360	0.628	775	0.000 67
365	0.556	780	0.000 43
370	0.447	785	0.000 27
375	0.303	790	0.000 18
380	0.145	795	0.000 12

表 A.1 (续)

波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{UV}(\lambda)$	波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{UV}(\lambda)$
>795	0	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—

注：标称的光谱透射比是基于 2.5 mm 厚的滤色片，型号为 UG11(Schott, 德国), U-340(Hoya, 日本), 或 ZWB1 (SCOG, 中国)。如果使用与上表不同的光谱透射比的滤色片, 要评估其影响, 将结果校正到标称值并进行报告。

表 A.2 UV-A 灯的标称相对光谱功率分布

波长 $\lambda$ /nm	$S_{UV}(\lambda)$	波长 $\lambda$ /nm	$S_{UV}(\lambda)$
<335	0	375	0.840
335	0.000 2	380	0.499
340	0.001 6	385	0.210
345	0.013 0	390	0.062 1
350	0.062 1	395	0.013 0
355	0.209	400	0.001 9
360	0.499	405	0.000 2
365	0.840	大于 405 nm 时, 除 545 nm 外 $S_{uv}(\lambda)=0$ 。 可见部分(545 nm)与扩展的紫外部分( $\leq 405$ nm)的比例应为 $35 \text{ lx} \cdot (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$	
370	1		

注：标称的相对光谱分布值是基于 OSRAM colour 78 的 UV-A 荧光灯。  
如果使用了不同的光谱分布, 评估其影响, 将结果校正到标称值并予以报告。

表 A.3 红外滤色片的标称光谱透射比  $\tau_{IR}(\lambda)$

波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{IR}(\lambda)$	波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{IR}(\lambda)$
<760	0	795	0.421
760	0.001 2	800	0.524
765	0.005 7	805	0.609
770	0.019 8	810	0.676
775	0.053 4	815	0.729
780	0.114	820	0.769
785	0.203	825	0.796
790	0.310	830	0.814

表 A.3 (续)

波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{\text{IR}}(\lambda)$	波长 $\lambda$ /nm	$\tau_{\text{IR}}(\lambda)$
835	0.826	850	0.852
840	0.842	855	0.857
845	0.847	860~1 100	0.860

注：标称的光谱透射率值是基于一个 3 mm 厚的滤光片，型号为 RG780(Schott, 德国)。  
如果使用了与上表不同的光谱透射比的滤色片，评估其影响，将结果校正到标称值并进行报告。

北京中培质联 专用

## 附录 B

### (资料性附录)

#### 通用注释

### B.1 概述

本标准覆盖的光度计是基于明视觉函数  $V(\lambda)$  来测光的。需要指出的是  $V(\lambda)$  函数并不适用于评估某些特定光照环境的视觉感知,例如在中间视觉和暗视觉下的测量。本标准定义了普通照明条件下表征光度计性能的质量指标。

非通用照明测量条件举例:

- 窄光谱光源的光度测量(例如彩色 LED 灯、显示屏、激光器);
- 可见光谱范围以外的辐射为主的光源的光度测量;
- 特殊的照明几何条件(例如高度不均匀照度分布、掠入射、高亮度对比);
- 快速的时间变化响应(例如高于频率上限  $\nu_0$  情况,小占空比情况);
- 极端环境条件。

在这些情况下,要特别注意,以下章节中提供了一些准则。

### B.2 质量指标

#### B.2.1 $V(\lambda)$ 失配指数 $f'_1$

该指数描述的是光度计的相对光谱响应和  $V(\lambda)$  函数的匹配程度有多高。因为光度计是由 CIE A 光源即分布(颜色)温度为  $T_A=2\ 856\text{ K}$  的白炽钨丝灯来校准的,在测量所有典型白炽灯(相对光谱分布和 CIE A 光源类似)时,读数可认为是准确的,即便  $V(\lambda)$  失配指数的值较大。然而,当测量其他光源发出的光时,该指标则不再准确。如果其他光源的光谱分布和光度计的光谱响应度是已知的,则可以计算出光度计读数的校正系数。

#### B.2.2 紫外响应 $f_{UV}$

该指标描述的是设备对紫外辐射的灵敏度。当工作环境中没有紫外辐射时,该指标并不重要。当测量中具有紫外辐射时该指标很有意义:例如在日光下或某些气体放电灯下。

#### B.2.3 红外响应 $f_{IR}$

该指标描述的是设备对红外的灵敏度。当工作环境中没有红外辐射时,该指标并不重要。当测量中存在红外辐射时该指标很有意义:例如在白炽灯下。

#### B.2.4 余弦响应 $f_2$ (仅限照度计)

光度计的余弦响应决定了其在测量以非垂直角度入射到光度计探头接收面的光照的准确度。这对真实照明场景下的测量尤为重要,如办公室照明和街道照明,但对于实验室光学平台的测量不是很重要。该项指标对积分球中的光度计测量也很重要。

#### B.2.5 方向响应 $f_{2,g}$ 和周围视场 $f_{2,u}$ (仅限亮度计)

这两个指标描述的是测量范围内亮度不均一、周围环境亮度不同的情况下,光度计测量的准确度。

光度计在测量均匀面内的小部分区域亮度时,这些指标并不重要。但当测量高对比度的亮度和环境中的任意亮度时,该项指标非常重要。

#### B.2.6 线性度 $f_3$

线性度指标与不同光照条件下光度计灵敏度的变化引起的读数误差相关。线性度对所有的光照测量应用都十分重要。

#### B.2.7 显示单元 $f_4$

该指标与光度计显示单元的读数分辨率可能引起的误差相关,对所有的测量应用都重要。如果光度计的输出为模拟量且与一个电量仪表相连,则该用于记录和显示读数的单元的质量指标就很重要。

#### B.2.8 疲劳 $f_5$

该指标描述的是长曝光后的光度计性能。如果连续不断地使用光度计,该指标很重要。如果光度计的测量仅持续几秒钟时间,即使并不一定要该指标的数值较低。

注:光度计在高照度条件下的暴露会导致光度计温度升高,具体参见 B.2.9。

#### B.2.9 温度依赖性 $f_{6,T}$

光度计在 25 °C 条件下校准。如果光度计在其他温度条件下测量,则读数的准确度会降低。温度依赖性指标描述的是,温度变化时光度计响应变化引起的潜在测量误差。如果光度计在 25 °C 的实验室内使用,则该指标不是特别重要。若已知光度计将在一个特定的温度环境中使用,则可以在该温度下对光度计进行重新校准。一些光度计配有控温装置,使得光度计的一个特定部分的温度,在一定的外界温度范围保持不变,从而减小温度的影响。

#### B.2.10 耐湿度性 $f_{6,H}$

光度计在一定范围内具有防湿能力。耐湿性测试指标评估了其防湿能力。

#### B.2.11 调制光 $f_7$

当光度计测量调制照度或亮度时,读数以平均值给出。该指标反映了光度计平均光变化的能力。当测量光为非调制光时,例如日光或是直流供电灯发出的光,该指标不重要。但是对于脉冲和调制光源的测量,该指标十分重要,例如对于脉冲 LED 灯、放电灯。

#### B.2.12 偏振 $f_8$

镜面反射和某些灯具会产生偏振光,当存在偏振光时,光度计的该指标为低数值很重要。

#### B.2.13 空间响应不均匀 $f_9$

在通用照明条件下,一般假定对于光度计敏感区域的光照是均匀的。在某些情况下(短距离内 LED 的照度测量),照度分布会有明显的变化,此时光度计测量得到的是平均照度分布。根据光度计的结构,光谱响应率可能在光度计的敏感区域发生显著变化,并偏离测得的光谱照度或辐射响应函数。当光度计接受面内的光照分布不均匀时,该指标具有较小值很重要。

#### B.2.14 量程变化 $f_{11}$

该指标描述的是设备量程变化引起的误差。在量程变化的情况下,或是校准所用的量程与测试所用的量程不同时,该指标很重要。

**B.2.15 对焦距离  $f_{12}$  (仅限亮度计响应)**

该参数描述的是亮度计焦距变化引起的误差,在所有情况下都很重要。

注:因为会产生其他误差,在测量之前对焦亮度计是十分重要的,即使  $f_{12}$  值很低。在测量需要大景深时,例如在短量程内测量掠入射光,低  $f_{12}$  值特别重要。

北京中培质联 专用

参 考 文 献

- [1] ILAC P-10:2002, ILAC Policy on Traceability of Measurement Results, 2002.
- 

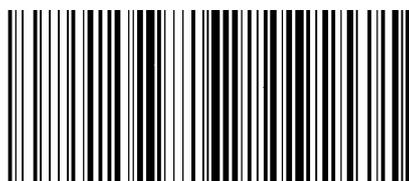
北京中培质联 专用

 **版权声明**

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!

中国标准在线服务网  
<http://www.spc.org.cn>

标准号: GB/T 39388-2020  
购买者: 北京中培质联  
订单号: 0100210419080902  
防伪号: 2021-0419-0326-0419-9006  
时 间: 2021-04-19  
定 价: 47元



GB/T 39388-2020

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
照度计和亮度计的性能表征方法  
GB/T 39388—2020/CIE S 023/E:2013

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.org.cn

服务热线:400-168-0010

2020年11月第一版

\*

书号: 155066·1-65985

版权专有 侵权必究