



中华人民共和国国家标准

GB/T 20145—2006/CIE S 009/E:2002

灯和灯系统的光生物安全性

Photobiological safety of lamps and lamp systems

(CIE S 009/E:2002, IDT)

2006-03-06 发布

2006-11-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义、符号及缩写	1
4 曝辐限值	6
5 灯和灯系统的测量	14
6 灯分类	20
附录 A(资料性附录) 生物学效应摘要	23
附录 B(资料性附录) 测量方法	28
附录 C(资料性附录) 不确定度分析	31
参考文献	33
图 1 皮肤和眼睛光化学紫外危害的光谱加权函数 $S_{UV}(\lambda)$	10
图 2 视网膜危害的光谱加权函数: $B(\lambda)$ 和 $R(\lambda)$	12
图 3 辐照度测量示意图	16
图 4 测量辐亮度的一个设想装置	17
图 5 可采用的辐亮度方法	18
图 6 恒曝辐的加权辐照度对时间的曝辐限值	20
图 7 恒曝辐的加权辐亮度对时间的曝辐限值	20
表 1 评价皮肤和眼睛紫外危害的光谱加权函数	9
表 2 评价宽波段的光源对视网膜危害的光谱加权函数	11
表 3 对皮肤表面或角膜的曝辐限值(辐照度基值)一览表	19
表 4 对视网膜的曝辐限值(辐亮度基值)一览表	19
表 5 连续辐射灯各危险类的发射限	22
表 B.1 推荐带宽	29
表 B.2 波长误差造成加权值误差的举例	29
表 B.3 推荐波长准确度	29
表 C.1 不确定度传递举例	31

前 言

本标准等同采用 CIE S 009/E:2002《灯和灯系统的光生物安全性》(英文版)。

此外,本标准做了下列编辑性修改:

- a) “本国际标准”一词改为“本标准”;
- b) 用小数点“.”代替作为小数点的“,”;
- c) 删除 CIE S 009/E:2002 的前言。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为资料性附录。

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:国家电光源质量监督检验中心(北京)、浙江大学三色仪器有限公司。

本标准主要起草人:张颖、华树明、牟同升。

本标准首次制定。

引 言

在工业安全标准还未正规的时代就已经发明和生产了大量的灯。与单一波长激光系统相比,对灯和灯系统的光学辐射危害的评估和控制更为复杂。其辐射测量十分困难,因为所要测量的不是一个简单的点光源,而是一个扩展光源,它有可能被漫射体或投影物镜改变,并且灯的光谱分布可能受辅助光学元件、漫射体、透镜以及类似的装置和操作条件变化的影响而改变。

为了评估一个宽波段光源,例如弧光灯、白炽灯、荧光灯,阵列灯或灯系统,首先需要确定在距人最近的一个或多个点上由光源发出的光辐射的光谱分布。对照明系统来说,这一重要的发射光谱分布,由于光路中光学元件(例如投影物镜)的过滤,可能与仅由灯自身发出的实际光谱分布不同;其次,光源的尺寸或投影的尺寸必须在视网膜危害光谱区加以说明;再者,可能有必要确定辐照度和有效辐亮度与距离的变化关系。在没有精密仪器的情况下,进行测量不是件容易的事。因此,决定在本标准中制定对灯和/或灯系统的参考测量技术。测量技术与所描述的危险类别分级计划一起将为灯的生产厂商和使用者提供确定一般灯和灯系统的具体生物学危害的依据。

光学辐射危害与某些灯和灯系统有关,本标准的目的是为了评估与不同灯和灯系统相关的辐射危害提供一个标准的技术。

灯和灯系统的光生物安全性

1 范围

本标准对评估灯和灯系统,包括各种灯具的光生物安全性给予指导。对于所有非相干宽带电光源,也包括发光二极管(LED)但不包括激光,在 200 nm 至 3 000 nm 波长范围的光学辐射的光生物危害的评估和控制,本标准对曝辐限值参考测量技术和分级计划进行了明确规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

CIE 17.4:1987 国际照明词汇 ILV(IEC/CIE 联合出版)

CIE 53:1982 辐射计和光度计性能的评价方法

CIE 63:1984 光源的光谱辐射测量

CIE 105:1993 脉冲光学辐射源的光谱辐射测量

ISO 测量不确定度的表示指南(ISO, Geneva, 1995. ISBN 92-67-10188-9)

3 术语、定义、符号及缩写

本标准采用下列术语、定义、符号及缩写。

3.1

光化学剂量 actinic dose

用相应的波长条件下的光化学反应光谱值进行加权的剂量。

单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$

注:这个定义意味着在考虑光化学作用的时候使用了光化学反应光谱,该反应光谱归一化到其最大值。由于剂量单位相同,所以当给出一个量值时,有必要指出这个数值指的是哪种剂量或是光化学剂量。

3.2

对边角 angular subtense

α

由视见光源对应于观察者的眼睛或测量点形成的视角。在本标准中的对边角指的是全角,而不是半角。

单位:rad

注:用作投射装置的反射镜和透镜通常会改变对边角,也就是说,视见光源的对边角不同于实际光源的对边角。

3.3

孔径、孔径光阑 aperture, aperture stop

用于限定平均光辐射测量区域的开孔。对光谱辐照度测量来说,这个开孔通常是放在辐射度计/光谱辐射度计入射狭缝前面的一个小积分球的入口。

3.4

蓝光危害 blue light hazard; BLH

由波长主要介于 400 nm 与 500 nm 的辐射照射后引起的光化学作用,导致视网膜损伤的潜能。如果照射时间超过 10 s,这种损害机理起主要作用,而且是热损害机理的数倍之多。

3.5

连续发光灯 continuous wave lamp; CW lamp

工作时,连续光输出时间大于 0.25 s 的灯,即非脉冲灯。

注:在本标准中,普通照明(GLS)灯泡是指连续灯。

3.6

红斑 erythema

皮肤发红的现象。在本标准中是指由于阳光或人造光源辐射导致的炎症而引起的皮肤发红。

注:留下的红斑的程度用于作为紫外治疗中所使用的剂量的指导。

3.7

辐照距离 exposure distance

人受灯或灯系统辐照的最近点的距离。对于向空间各方向辐射的灯,这个距离从灯丝或弧光灯的中心开始测量。对于有透镜的反射型灯,这个距离从透镜的外侧边缘开始测量,对于没有透镜的反射型灯,从反射器的端面开始测量。

单位:m

3.8

曝辐限值 exposure limit; EL

不会导致不利的生物作用的眼睛或皮肤所能承受的辐照水平。

3.9 眼睛运动 eye movements

正常人的眼睛,当注视一个物体时,会以几赫兹的频率做轻微的无规则运动。这种眼睛的快速运动导致一个点光源的图像被散布于视网膜的一个区域上,这个区域的大小相当于约 0.011 弧度的对边角。此外,对于由目标决定的眼睛运动来说,例如阅读,如果注视时间超过 100 s 左右,注视的能力就会下降,从而导致辐射能量在视网膜上的进一步散布。

3.10

视场 field of view

探测器(例如辐射度计/光谱辐射计)所能“看到”的立体角(接收角),探测器在这个区域内接收辐射。

单位:sr

注 1:视场不应与视见光源的对边角 α 相混淆。

注 2:有时候使用平面角来描述旋转对称的视场立体角。

3.11

普通照明用灯 general lighting service lamps; (GLS) lamps

用于照亮空间的灯泡,这一空间一般被人占据或观察。例如用于办公室、学校、家庭、工厂、道路或汽车照明的灯泡。但是并不包括用于电影放映、复印、“太阳晒黑”、工业加工、医疗和探照灯等方面的灯。

3.12

危害距离 hazard distance

参见皮肤危害距离或眼睛危害距离。

3.13

照度(表面上一点的) illuminance

E_v

投射到包含该点的面元上的光通量 $d\Phi_v$ 除以该面元面积 dA 。

$$E_v = \frac{d\Phi_v}{dA} \dots\dots\dots (1)$$

单位:lx

3.14

红外辐射 infrared radiation; IR

波长大于可见辐射波长的光学辐射。

注：780 nm 到 10^6 nm 这个区域的红外辐射通常被分为：IR-A(780 nm~1 400 nm)、IR-B(1 400 nm~3 000 nm)、IR-C(3 000 nm~ 10^6 nm)。

红外辐射经常用入射到表面的单位面积上的光谱总辐射量(辐射照度)来衡量。红外辐射应用的例子：工业加热、干燥、烘烤和照相复制。有些应用，例如红外观测系统，使用了对某一限定波长范围敏感的探测器。在这些应用中，光源和探测器的光谱特性非常重要。

3.15

预期使用 intended use

按照供应商提供的说明书、指导和信息来使用产品、享有服务或进行操作。

3.16

辐照度(在表面上的一点) irradiance

投射到包含该点的面元上的辐射通量 $d\Phi$ 除以该面元面积 dA 。

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \dots\dots\dots (2)$$

单位： $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

3.17

灯 lamp

为产生光辐射(通常是可见的)而制作的光源。

注：“灯”这个术语有时用于某些类型的灯具。

这些类型的灯具由灯和灯罩、反射器、封闭球形罩、灯箱或其他附件组成。在本标准中，灯是指除激光以外的电光源，这些光源产生电磁谱中可见区域的辐射。那些能够发光并集成有光学控制组件(如透镜或反射器)的装置，也认为是灯。例如有透镜的 LED、端部带有透镜的灯和反射型灯，它们由抛物线型或椭圆型反射器件和位于其中的光源组成，通常有一个透镜封盖。

3.18

灯系统 lamp system

任何与灯结合在一起或计划与灯结合在一起的产品或部件。

3.19

大光源 large source

光源在视网膜上的影像尺寸足够大，以至于从影像中心沿着径向发射到周围的生物组织的辐射热流与轴向辐射热流相比可以忽略不计。

3.20

激光 laser

由受激发射产生的，发出相干光辐射的光源。

3.21

光 light

参见 3.44 可见辐射。

3.22

发光二极管 light emitting diode; LED

被电流激发时能没有增益的发出光辐射的 p-n 结的固态器件。

3.23

流明 lumen

光通量的 SI 单位：由一个发光强度为 1 cd 的均匀点光源在单位立体角(球面度)内发射的光通量，

或等效为频率为 540×10^{12} Hz、辐射通量为 $1/683$ W 的单色辐射束的光通量。

3.24

灯具 luminaire

凡是能按设计分配、透出或转变一个或多个光源发出光线的一种器具,并包括支撑、固定和保护光源必需的所有部件,但不包括光源本身,以及必需的电路辅助装置和将他们与电源连接的设备。

注:灯具和灯系统通常被认为是同义词。在本标准中,灯具被限定于用于普通照明中发光的装置,而灯系统则是指灯在普通照明领域之外的应用。

3.25

亮度(实际的或假想的表面上的给定点在给定方向上的) luminance

L_v

由公式(3)定义的量。式中 $d\Phi_v$ 是经过给定点的光束元在包含给定方向的立体角 $d\Omega$ 内传播的光通量; dA 是包含给定点的该光束的截面面积; θ 是截面法线与辐射束方向之间的夹角。

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \quad \dots\dots\dots (3)$$

单位: $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$

3.26

勒克斯 lux

照度的 SI 单位;由 1 lx 的光通量均匀分布在 1 m^2 的表面上所产生的照度。

3.27

眼睛危害距离 ocular hazard distance

与光源间的一个距离,如果小于这个距离,那么在给定的辐照时间内,受到的辐射亮度或辐射照度会超过合理的曝辐限值。

单位: m

3.28

光学辐射 optical radiation

波长在 X 射线过渡区(波长约为 1 nm)和无线电波(波长约为 10^5 nm)之间的电磁辐射。

波长范围低于 180 nm (真空紫外)的紫外辐射在空气中被氧气强烈地吸收。在本标准中,光学辐射的波段限制为波长大于 200 nm ,而且,眼睛将 380 nm 至 1400 nm 之间的光学辐射传输到视网膜。

3.29

光致角膜炎和光致结膜炎 photokeratoconjunctivitis

角膜和结膜由于受到紫外照射所导致的炎症反应。波长小于 320 nm 的紫外辐射最容易导致这种情况。该反应光谱的峰值大约位于 270 nm 。

注:针对光致角膜炎和光致结膜炎已经出版了不同的反应光谱(CIE 106/2 和 CIE 106/3;1993);然而,最近的研究建议对这两者使用同一个反应光谱(CIE 106/1;1993)。

3.30

脉冲灯 pulsed lamp

以单个脉冲或一系列脉冲的形式释放能量的灯,每一个脉冲的宽度小于 0.25 s 。发射连续的脉冲系列或调制辐射能量的灯,其峰值辐射能量至少是平均辐射能量的 10 倍以上。

注 1: 灯的脉冲宽度是指脉冲上升沿能量达到一半这一点与脉冲下降沿能量下降到一半这一点之间的时间间隔。

注 2: 在本标准中,普通照明灯泡定义为连续发光灯(见 3.5)。脉冲灯如:照像闪光灯、复印机中的闪光灯、脉冲调制 LED 和频闪闪光灯等。

3.31

辐射亮度(实际的或假想的表面上的给定点在给定方向上的) **radiance**

由公式(4)定义的量:

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中 $d\Phi$ 是经过给定点的辐射束元在包含给定方向的立体角元 $d\Omega$ 内传播的辐射通量; dA 是包含给定点的该辐射束的截面面积; θ 是截面法线与辐射束方向之间的夹角。

单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

如果将公式中的辐射通量 $d\Phi$ 换成辐射能量 dQ , 该定义便成为时间积分辐射亮度的定义。

3.32

辐射能量 **radiant energy**

在给定的持续时间 Δt 内, 辐射通量 Φ 的时间积分。见式(5)

$$Q = \int_0^t \Phi \cdot dt \quad \dots\dots\dots (5)$$

单位: J

3.33

曝辐射量(表面上一点的, 在给定时程内的) **radiant exposure**

在给定的时程内, 投射到包含该点的面元上的辐射能量 dQ 除以该面元面积 dA 。见式(6a)

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad \dots\dots\dots (6a)$$

单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$

曝辐射量也可等效定义为在整个给定时程 Δt 内, 给定点上受到的辐照度 E 的时间积分。见式(6b)

$$H = \int_{\Delta t} E dt \quad \dots\dots\dots (6b)$$

3.34

辐射功率 **radiant power**

Φ

以辐射形式发射、传输或接收的功率。辐射功率通常被称为辐射通量。

单位: watt(W)

3.35

视网膜 **retina**

位于眼球内后部, 对光刺激敏感的膜, 它包括光感受器(锥状细胞和柱状细胞)和神经细胞, 后者将刺激光感受器所产生的信号传递给视神经。

3.36

视网膜灼伤 **retinal burn**

光化学或热导致的视网膜损伤。

3.37

视网膜危害区 **retinal hazard region**

介于 380 nm 和 1 400 nm 之间的光谱区域(可见区和 IR-A), 在这个区域内, 正常的眼睛介质能将光学辐射传输到视网膜上。

3.38

皮肤危害距离 **skin hazard distance**

在这个距离上, 经过 8 h 的照射, 辐射照度将超过合理的曝辐限值。

单位: m

3.39

光谱分布 **spectral distribution**

在波长 λ 处, 包含 λ 的波长间隔 $d\lambda$ 内的辐射量或光度量或光子量 $dx(\lambda)$ 与该波长间隔之商。见式(7)

$$X_{\lambda} = \frac{dx(\lambda)}{d\lambda} \dots\dots\dots (7)$$

单位: $[x] \cdot \text{nm}^{-1}$

注: 光谱分布更适于所涉及的函数 $X_{\lambda}(\lambda)$ 在一个宽的波长范围内, 而不是某一特定波长。

3.40

光谱辐照度 spectral irradiance

入射在一个面元上的一定波长间隔内发出的辐射功率 $d\Phi(\lambda)$ 与该面元的面积 dA 和波长间隔 $d\lambda$ 之商。见式(8)

$$E_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot d\lambda} \dots\dots\dots (8)$$

单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$

3.41

光谱辐亮度(在一定波长间隔 $d\lambda$ 内, 给定点在给定方向的) spectral radiance

L_{λ}

通过给定点并沿给定方向立体角传播的辐射功率 $d\Phi(\lambda)$ 与波长间隔 $d\lambda$ 、通过给定点并垂直于给定方向的光束截面积 ($\cos \theta dA$) 以及立体角 $d\Omega$ 之商。见式(9)

$$L_{\lambda} = \frac{d\Phi(\lambda)}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega \cdot d\lambda} \dots\dots\dots (9)$$

单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$

3.42

球面度 steradian

立体角的 SI 单位; 顶点处在球心的立体角所切割的球面面积等于一正方形面积, 正方形的边长等于球的半径。

3.43

紫外辐射 ultraviolet radiation; UV

波长小于可见辐射波长的光辐射。

注: 100 nm~400 nm 范围内的紫外辐射通常被分为: UV-A、315 nm~400 nm; UV-B、280 nm~315 nm; UV-C、100 nm~280 nm。

这些对紫外辐射的指定不应被看作是精确的限定, 尤其在考虑光生物作用的时候。

在光生物学的某些领域, 紫外波段被分为 200 nm~290 nm、290 nm~320 nm、320 nm~400 nm。有时候这些波段分别被(不正确地)称为 UV-A、UV-B、UV-C。波长小于 180 nm 的紫外辐射被认为是真空紫外辐射。注意的是尽管 380 nm~400 nm 这个波段位于前面所定义的紫外辐射波段中, 但是这个波段被认为是可见辐射。

3.44

可见辐射 visible radiation

任何具有能够直接引起视觉的光辐射。

注: 可见辐射的光谱范围没有精确的界限, 因为它取决于到达视网膜的辐射功率和观察者的响应度, 下限一般在 360 nm~400 nm 之间, 上限在 760 nm~830 nm。

3.45 视角 visual angle

物体或细节对应于观测点所形成的角。尽管视角可以用毫弧度、角度或分来衡量, 但是视角的 SI 单位是弧度。

4 曝辐限值

4.1 概述

入在灯和灯系统附近受到的辐射不应超过下面所讲述的曝辐限值。曝辐限值(EL)的具体值来自

于不同的 ICNIRP 导则,这些导则是根据实验研究中(见附录 A 摘要)所得到的最有用的信息制定的。

曝辐限值表明了这样一种条件,在该条件下,在一般人群中,几乎所有人可以被反复照射而没有任何对身体健康不利的影响。然而,这并不包括一些对光特别敏感的人,也没有包括整天和光敏剂打交道的人,因为光敏剂会使人变得对光十分敏感,以致受到光辐射后容易产生对健康不利的影响。总体上来说,这些人比不感光的人或者没有整天与光敏剂打交道的人更易在光辐射中受到对健康不利的影响。光敏感度因人而异,变化很大,因此不可能对这一部分人建立曝辐限值。

在本标准中曝辐限值适用于连续照射源,辐射持续时间不能少于 0.01 ms,也不能大于 8 h,该曝辐限值还应该被用作辐射控制的导则,但不应该被看作是安全与不安全的严格的分界线。

在宽波段的可见光或 IR-A 辐射下,眼睛所允许的曝辐限值以光源的光谱辐亮度 L_λ 和总辐射照度 E 为基础,这两个值在观察者眼睛所在位置测量得到。一般来说,只有当光源的亮度超过 $10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,才需要详细的精确的光谱数据。如果光源亮度小于这个值,则不会超出曝辐限值。各种曝辐限值将在 4.3 中给出。

4.2 与视网膜曝辐限值的确定和应用有关的特殊参数

4.2.1 瞳孔直径

进入眼睛并被视网膜吸收的辐射通量(380 nm~1 400 nm)正比于瞳孔的面积。众所周知,在低亮度($<0.01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$)时,瞳孔的直径大约为 7 mm,当亮度达到 $10\,000 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 时,瞳孔的直径会减小到大约 2 mm。在这里,最大亮度(对应 0.011 弧度的圆形视场的平均值)小于 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 的刺激被定义为微弱视觉刺激。对于一个给定的亮度,不同人的瞳孔直径差异相当大。因此,在建立这些曝辐限值时,仅假定了两种不同的瞳孔直径尺寸,如下所述:

- 当亮度足够高($>10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$),并且辐射持续时间大于 0.25 s,例如应用于蓝光危害或视网膜热危害时,使用 3 mm 瞳孔直径(面积为 7 mm^2)来计算出曝辐限值。
- 当亮度很低时,即红外辐射仅产生很小或根本不产生视觉刺激,曝辐限值是采用 7 mm 瞳孔直径(面积为 38.5 mm^2)为基础的。7 mm 瞳孔直径也用于对脉冲光源导致的/或辐射持续时间小于 0.25 s 导致的光生物危害的评价。
- 当周围环境光辐射很强并且使用近红外光源来作为辐射源时,采用 3 mm 瞳孔直径计算曝辐限值,而且曝辐限值通过乘以瞳孔直径比的平方来调整到比较高的数值。在这种情况下,曝辐限值可增加 $(7/3)^2 = 5.5$ 倍。

4.2.2 光源的对边角和测量视场

对于波长在 380 nm~1 400 nm 之间的辐射,视网膜受辐照面积在决定蓝光危害和视网膜热危害的曝辐限值上是一重要的因素。因为眼睛的角膜和晶状体将可视光源聚焦在视网膜上,因此描述受辐照面积的最好方法是把这个面积和可视光源的对边角 α 联系起来。由于眼睛在生理上的局限,在静止眼睛的视网膜上能成像的图像最小值为 $\alpha_{\min}$,甚至对点光源来说也是如此。在本标准中, $\alpha_{\min}$ 的值为 0.001 7 弧度。测量与 0.25 s(闪光反射时间)的视网膜的热危害曝辐限值相关的可视点光源发出的辐射时,无论是测量脉冲光源还是高辐亮度的连续发光光源,都应当使用 0.001 7 弧度的对边角作为测量的视场。

当时间大于 0.25 s 时,快速的眼睛运动就会使光源像模糊,形成一个更大的角度,这个角度在本标准中称之为 α_{eff} 。当辐射时间为 10 s 时,点光源的模糊像覆盖了视网膜上更大的区域,这个区域的大小大约为 0.011 弧度。因此,在用于测量与持续 10 s 照射下的视网膜热危害或是蓝光危害的曝辐限值对应的辐亮度时,有效对边角 α_{eff} 应该是 0.011 弧度。由于连续性,在 0.25 s 与 10 s 之间的 α_{eff} 被认为从 $\alpha_{\min}$ 到 0.11 弧度逐渐增加,并且与时间的平方根成正比,也就是 α_{eff} 与 $\alpha_{\min} \cdot t^{0.5}$ 成比例,即

$\alpha_{\text{eff}} = \alpha_{\text{min}} \cdot \sqrt{t/0.25}$ 。由于很少有数据可用于支持这个时间关系式,因此使用它时要十分注意。因为光源的辐亮度通常是在 0.25 s 或者是在 10 s 被评价的,这可以通过在第 6 章中描述的危险标准来确定,所以一般不需要这个时间的关系式。

另外,对于蓝光危害,当照射时间大于 100 s 时,由于眼睛运动使视网膜上被一个小光源照射的区域进一步扩散成一个较大的区域,这其中不包括眼睛被用医学方法固定住的情况,例如在做眼科手术时的情形。为了测量与光源蓝光危害的曝辐限值相对应的辐亮度,在时间短于 100 s 时,有效对边角 α_{eff} 被设定为 0.011 弧度,当时间大于 10 000 s 时被设定成 0.1 弧度。为了方便,在 100 s 至 10 000 s 之间,可以大致认为 α_{eff} 与时间的平方根成正比逐渐增加,也就是说, $\alpha_{\text{eff}} = 0.011 \cdot \sqrt{t/100}$ (注意,这个公式不是精确的)。在本标准中,对所有类型的视网膜危害对边角的最大值 α_{max} 都是 0.1 弧度。因此请注意,超过 10 000 s 的 α_{eff} 等于 α_{max} 。

对于那些对边角大于 α_{max} 的可视光源,对视网膜危害的曝辐限值与光源的尺寸无关。

长方形的光源的对边角由光源的最大和最小角度尺寸的数学平均值决定。例如,对于一个长 20 mm、直径 3 mm 的管状的光源,在距离光轴线正前方 $r=200$ mm 处的 α 将由平均尺寸 Z 决定:

$$Z = (20 + 3)/2 = 11.5 \text{ mm}$$

因此

$$\alpha = Z/r = 11.5/200 = 0.058 \text{ rad}$$

任何大于 α_{max} 的角度将被限定为 α_{max} , 而且任何角度小于 α_{min} 的辐射角度将被限定为 α_{min} , 这一规律优先于数学平均值。因此,在上面的例子中,如果光源的长度大于 20 mm,那么,在计算有效光源辐射角度的时候只能用 20 mm 来计算有效的光源尺寸。

4.3 辐射危害的曝辐限值

4.3.1 皮肤和眼睛的光化学紫外危害曝辐限值

入射到没有采取保护措施的皮肤和眼睛的紫外辐射的曝辐限值仅适用于照射时间在 8 h 以内的情况。在任何一天中连续超过 8 h 的辐射在这里都不予考虑。有效辐射的曝辐限值为 $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

为了保护眼睛或皮肤不受由宽带光谱光源产生的紫外辐射的损伤,光源的有效积分光谱辐照度 E_s 不应超过由公式(10)定义的限值。

$$E_s \cdot t = \sum_{200}^{400} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot S_{\text{UV}}(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 30 \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2}) \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$E_s(\lambda, t)$ ——光谱辐照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$S_{\text{UV}}(\lambda)$ ——光化学紫外危害加权函数;

$\Delta \lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——辐射持续时间,单位为 s。

光化学危害函数 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 以图的形式在图 1 中给出。由于该函数的值分布于好几个数量级,所以 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 以对数形式给出。此外,在表 1 中给出了 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 的光谱值。

皮肤和眼睛在没有保护的情况下,允许在紫外辐射下照射的时间由公式(11)确定。

$$t_{\text{max}} = \frac{30}{E_s} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

t_{max} ——允许紫外照射的时间,单位为 s;

E_s ——有效紫外辐射照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

表 1 评价皮肤和眼睛紫外危害的光谱加权函数

波长/nm ^a	紫外危害函数 $S_{UV}(\lambda)$	波长/nm	紫外危害函数 $S_{UV}(\lambda)$
200	0.030	313 ^b	0.006
205	0.051	315	0.003
210	0.075	316	0.002 4
215	0.095	317	0.002 0
220	0.120	318	0.001 6
225	0.150	319	0.001 2
230	0.190	320	0.001 0
235	0.240	322	0.000 67
240	0.300	323	0.000 54
245	0.360	325	0.000 50
250	0.430	328	0.000 44
254 ^b	0.500	330	0.000 41
255	0.520	333 ^b	0.000 37
260	0.650	335	0.000 34
265	0.810	340	0.000 28
270	1.000	345	0.000 24
275	0.960	350	0.000 20
280 ^b	0.880	355	0.000 16
285	0.770	360	0.000 13
290	0.640	365 ^b	0.000 11
295	0.540	370	0.000 093
297 ^b	0.460	375	0.000 077
300	0.300	380	0.000 064
303 ^b	0.120	385	0.000 053
305	0.060	390	0.000 044
308	0.026	395	0.000 036
310	0.015	400	0.000 030

a 波长的选择是有代表性的;其他波长的数据可通过插值法得到。

b 汞的发射谱线。

4.3.2 眼睛的近紫外危害曝辐限值

光谱范围在 315 nm~400 nm(UV-A)之间的光辐射对眼睛的总的曝辐量,在时间小于 1 000 s 的情况下将不能超过 $10\,000\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$;在时间大于 1 000 s(大约 16 min)的情况下,对没有保护措施的眼睛的 UV-A 波段辐照度 E_{UVA} 不应该超过 $10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

这些标准可以表示如下:

$$E_{\text{UVA}} \cdot t = \sum_{315}^{400} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leqslant 10\,000 \quad (\text{J}\cdot\text{m}^{-2}) (t < 1\,000\text{ s}) \quad \cdots\cdots (12a)$$

$$E_{\text{UVA}} \leq 10 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) (t \geq 1\,000 \text{ s}) \quad \dots\dots\dots (12\text{b})$$

式中:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ ——光谱辐照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——辐射持续时间,单位为 s。

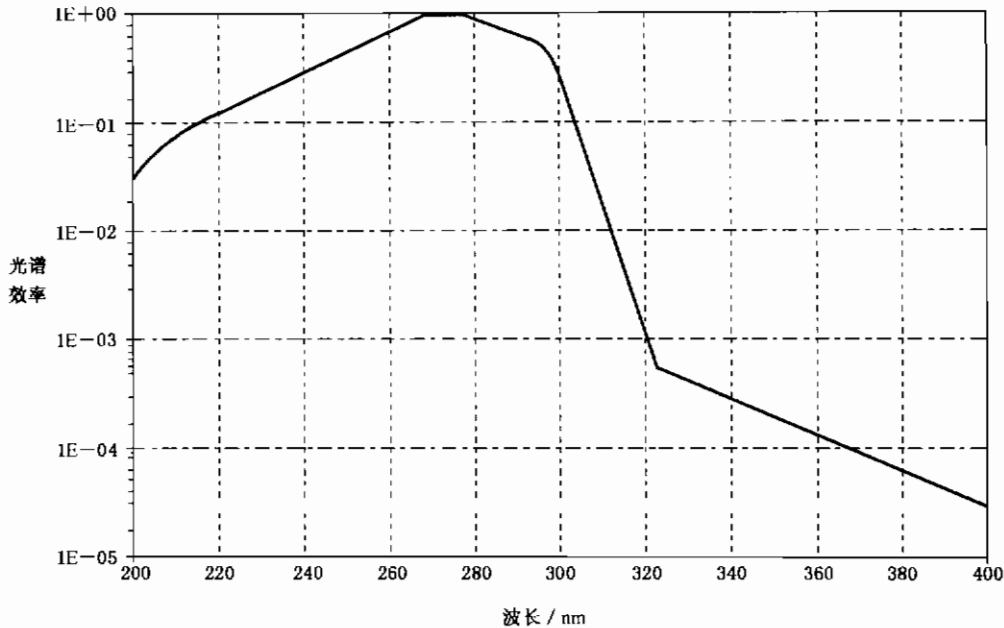


图 1 皮肤和眼睛光化学紫外危害的光谱加权函数 $S_{\text{UV}}(\lambda)$

当眼睛没有保护措施时,小于 1 000 s 的紫外照射允许时间由公式(13)计算。

$$t_{\text{max}} \leq 10\,000/E_{\text{UVA}} \quad (\text{s}) \quad \dots\dots\dots (13)$$

注:对近紫外区域对眼睛的照射,ICNIRP 在 1989 年改变了上面的曝辐限值,把 $10\,000 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 曝辐量的辐照时间从 1 000 s 增加到 10 000 s (2.6 h),并将辐照时间为 $10\,000 \text{ s} \leq t \leq 30\,000 \text{ s}$ (8 h) 的辐射照度改变为 $1 \text{ W}/\text{m}^2$ 。

4.3.3 视网膜蓝光危害曝辐限值

为了防止长期受到蓝光辐射的视网膜产生视网膜光化学损伤,光源的光谱辐亮度与蓝光危害函数 $B(\lambda)$ 加权积分后的能量,也就是蓝光加权辐亮度 L_{B} 不应该超过下面限值:见式(14a)、(14b)

$$L_{\text{B}} \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad \dots\dots\dots (14\text{a})$$

$$L_{\text{B}} = \sum_{300}^{700} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t > 10^4 \text{ s}) \quad \dots\dots\dots (14\text{b})$$

式中:

$L_{\lambda}(\lambda, t)$ ——光谱辐亮度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$B(\lambda)$ ——蓝光危害加权函数;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——辐射持续时间,单位为 s。

蓝光加权函数 $B(\lambda)$ 与视网膜热加权函数 $R(\lambda)$ 的曲线在图 2 中以图形的方式显示出来。和图 1 一样,因为函数值的范围包括了好几个数量级,因此坐标值用对数刻度。此外, $B(\lambda)$ 和 $R(\lambda)$ 的光谱值列于表 2 中。

表 2 评价宽波段的光源对视网膜危害的光谱加权函数

波长/nm	蓝光危害加权函数 $B(\lambda)$	热危害函数 $R(\lambda)$
300	0.01	
305	0.01	
310	0.01	
315	0.01	
320	0.01	
325	0.01	
330	0.01	
335	0.01	
340	0.01	
345	0.01	
350	0.01	
355	0.01	
360	0.01	
365	0.01	
370	0.01	
375	0.01	
380	0.01	0.1
385	0.013	0.13
390	0.025	0.25
395	0.05	0.5
400	0.10	1.0
405	0.20	2.0
410	0.40	4.0
415	0.80	8.0
420	0.90	9.0
425	0.95	9.5
430	0.98	9.8
435	1.00	10.0
440	1.00	10.0
445	0.97	9.7
450	0.94	9.4
455	0.90	9.0
460	0.80	8.0
465	0.70	7.0
470	0.62	6.2

表 2(续)

波长/nm	蓝光危害加权函数 $B(\lambda)$	热危害函数 $R(\lambda)$
475	0.55	5.5
480	0.45	4.5
485	0.40	4.0
490	0.22	2.2
495	0.16	1.6
500~600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1.0
600~700	0.001	1.0
700~1 050		$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1 050~1 150		0.2
1 150~1 200		$0.2 \times 10^{0.02(1\,150-\lambda)}$
1 200~1 400		0.02

若光源的加权辐亮度 L_B 超过 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$, 则最大允许照射时间 $t_{\max}$ 应该由公式(15)计算。

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B} \quad (\text{s}) \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$t_{\max}$ ——最大允许的照射时间,单位为 s;

L_B ——蓝光危害加权辐亮度。

注 1: 光谱辐亮度 L_λ 应该是在正圆锥形视场 α_{eff} 平均得到的,如 4.2.2 所述。

注 2: 对于由几个相互不临近的光源组成的复合光源,本标准仅适用于其中单个光源。当考虑所有光源的平均辐亮度时,本标准将光源视为一个整体。

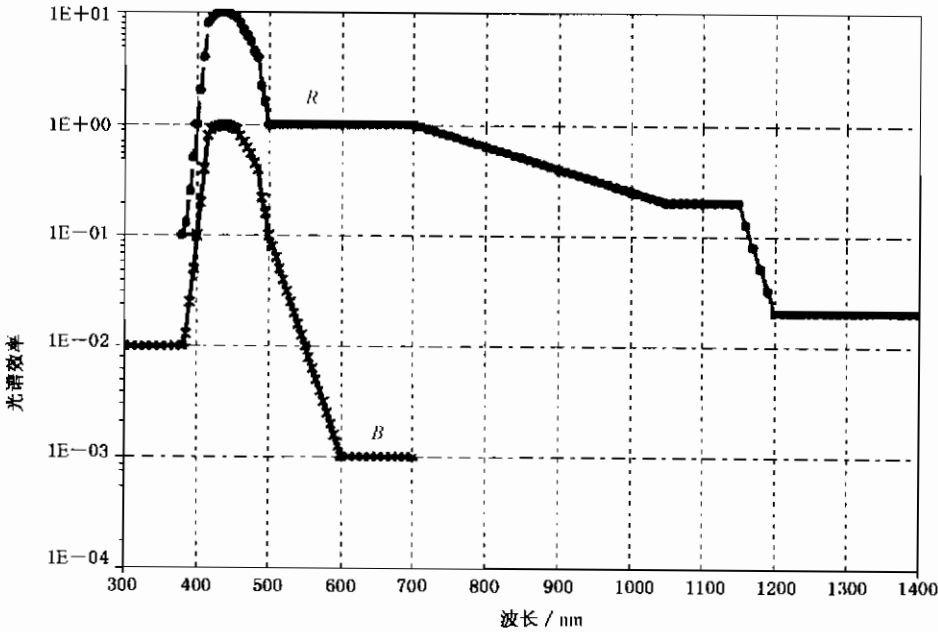


图 2 视网膜危害的光谱加权函数: $B(\lambda)$ 和 $R(\lambda)$

4.3.4 视网膜蓝光危害曝辐限值 小光源

对于对边角小于 0.011 弧度的小型光源,从 4.3.3 中推导出了一个基于光谱辐照度而不是基于光

谱亮度的简单方程。通过对方程 25 的应用,可以看出 L 和 E 之间的关系,对于一个对边角为 0.011 弧度的光源来说,系数大概是 10^4 。因此,眼睛的光谱辐照度 E_λ 与蓝光危害函数 $B(\lambda)$ (见表 2)加权积分后不应超出下面的限值,见式(16a)、(16b)。

$$E_B \cdot t = \sum_{380}^{700} \sum_{\lambda} E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (t \leq 100 \text{ s}) \quad \cdots (16a)$$

$$E_B = \sum_{380}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 1 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (t > 100 \text{ s}) \quad \cdots \cdots (16b)$$

式中:

$E_\lambda(\lambda, t)$ ——光谱辐照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$B(\lambda)$ ——蓝光危害加权函数;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——辐射持续时间,单位为 s。

对于蓝光加权辐照度 E_B 超过 $0.01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的光源,最大允许的辐照时间应该由公式(17)计算。

$$t_{\max} = \frac{100}{E_B} \quad (\text{s}) \quad (t \leq 100 \text{ s}) \quad \cdots \cdots (17)$$

式中:

$t_{\max}$ ——最大允许的照射时间,单位为 s;

E_B ——蓝光危害加权辐照度。

注 1: 请注意不同 E_B 限值的时间考察点是 100 s 而不是公式(15)中给定的 10 000 s。产生这个改变的原因是,当照射时间超过 100 s 后,认为视网膜上被照射的面积与时间的平方根成正比关系增加。因此视网膜上的有效的辐照度减小,在介于 100 s 和 10 000 s 的照射时间阶段,认为视网膜辐照沉积与时间无关,这是由于假设眼睛进行由任务定向的移动。这个特性在显示 E_B 的图 6 中得到了表述。

注 2: 对于眼科装置或者是对于外科手术期间的静止不动的眼睛,辐照时间被延伸到了 10 000 s。这意味着在那些情况下,蓝光加权辐照度应小于 $10^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,也就是比公式(16b)中给出的值要小 100 倍。

4.3.5 视网膜热危害曝辐限值

为了防止视网膜热损伤,光源的积分光谱辐亮度 L_λ 与灼伤危害加权函数 $R(\lambda)$ (从表 2 和图 2 可知)加权后得出的值,也就是热危害加权辐亮度不应该超过公式(18)定义的限值:

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50\,000}{\alpha \cdot t^{0.25}} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) (10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}) \quad \cdots \cdots (18)$$

式中:

L_λ ——光谱辐亮度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$R(\lambda)$ ——热危害加权函数;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——观察持续时间(对于脉冲灯则是脉冲宽度),单位为 s;

α ——光源的对边角,单位为 rad。

注 1: L_λ 应该是在角度在 0.001 7 和 0.1 弧度之间的正圆锥形视场中平均得到的。

注 2: 对于由几个相互不临近的光源组成的复合光源,本标准仅适用于其中单个光源。当考虑所有光源的平均辐亮度时,本标准将光源视为一个整体。

4.3.6 视网膜热危害曝辐限值——对微弱视觉刺激

对于一个红外热光源或者是任何近红外的光源,它们所产生的微弱视觉刺激不足以产生不适反应,当用眼睛观察且辐照时间大于 10 s 时,其近红外(780 nm~1 400 nm 之间)辐亮度 L_{IR} 应被限制在:

$$L_{\text{IR}} = \sum_{780}^{1400} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{6\,000}{\alpha} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t > 10 \text{ s}) \quad \cdots \cdots (19)$$

式中:

L_{λ} ——光谱辐亮度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$R(\lambda)$ ——灼伤危害加权函数;

t ——辐照时间,单位为 s;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

α ——光源的对边角,单位为 rad。

微弱视觉刺激在这里被定义为:最大亮度(在对边角为 0.011 弧度的圆形视场上的平均值)低于 $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 的视觉刺激。

注 1: L_{λ} 应该在角度介于 0.011 和 0.1 弧度之间的圆锥形视场上计算得到。

注 2: 因为认为光源的亮度是微弱的,所以在公式(20a)和(20b)中所表述的曝辐限值是基于 7 mm 直径的瞳孔得到的。在周围的环境光很高的情况下,采用 3 mm 直径的瞳孔进行计算,这意味着通过乘以瞳孔直径比的平方(5/5),曝辐限值可以被调整到更高的值,也就是说曝辐限值可以增加到 $33\,000/\alpha \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ (见 4.2.1)。

4.3.7 眼睛的红外辐射危害曝辐限值

为了避免对眼角膜的热危害以及对晶状体的后遗症(比如白内障),对于在波长 780 nm~3 000 nm 之间的红外辐射,当照射时间小于 1 000 s 时,红外辐射的视觉曝辐限值应该不能超过公式(20a)限值。

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3\,000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 18\,000 \cdot t^{-0.75} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (t \leq 1\,000 \text{ s}) \dots\dots\dots (20a)$$

对于照射时间大于 1 000 s 的情况,曝辐限值变公式(20b)。

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{3\,000} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (t > 1\,000 \text{ s}) \dots\dots\dots (20b)$$

式中:

E_{λ} ——光谱辐照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——照射持续时间,单位为 s。

注 1: 在寒冷的环境下,当红外光源被用作辐射取暖时,长时间曝辐限值可以增加,即在 0℃ 时为 $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,在 10℃ 时为 $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

注 2: 对于所有的白炽灯光源,IR-C 的辐射作用已经被考虑在这些曝辐限值之中了。

4.3.8 皮肤热危害曝辐限值

可见光和红外辐射(380 nm~3 000 nm)对皮肤的辐照应被限制见公式(21)。

$$E_{\text{H}} \cdot t = \sum_{380}^{3\,000} \sum_t E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot \Delta\lambda \leq 20\,000 \cdot t^{0.25} \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (t \leq 10 \text{ s}) \dots\dots\dots (21)$$

式中:

$E_{\lambda}(\lambda, t)$ ——光谱辐照度,单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$;

$\Delta\lambda$ ——波长带宽,单位为 nm;

t ——辐照时间,单位为 s。

注: 这里的曝辐限值根据皮肤由于机体组织温度的升高而导致的损害,并且仅适用于小面积辐照的情况下。不提供辐照时间大于 10 s 的曝辐限值。在低于产生皮肤伤的温度下,就会产生剧烈的疼痛,因此人受到的辐照常常被限定在舒适的程度。由于人与环境之间的热交换、身体的运动以及其他各种因素,所以不能对大面积的辐照和热应力作评价,这种情况也不能用来建立产品安全标准,但是必须通过环境热应力进行评估。

5 灯和灯系统的测量

应用于计算生物辐射值的光辐射测量向辐射度学家提出了重大的挑战。对于典型的光生物作用光谱,例如 $S_{\text{UV}}(\lambda)$,其波长很小的变化会带来该值较大的变化。此外,带有玻壳的灯光源的辐射透过率随着波长的增加而增加,而此时 $S_{\text{UV}}(\lambda)$ 却迅速减小。因此必须充分考虑加权结果的精度问题。

辐射照度的测量通常可按照惯例进行,而辐射亮度的测量并不具有规律可循,往往难于进行。尤其对于光生物危害的情况,因为它们通常包括了一系列问题,而且随着危害评价的不同而变化。

基于以上原因,对不同类型的灯以及灯系统的光辐射测量的条件和过程进行长期的探讨是非常有必要的。

需要强调的是,在本标准中描述的测量过程被用来解释生物物理现象。特别包括了孔径或视场的平均,这对于普通的辐射测量是不适合的。然而,如果非平均测量值与各自的曝辐限值相比,其危害可能被过高估计了。

为了更好地对 4.3 中描述的不同曝辐限值,包括视场效应进行比较,在本章的最后给出了总结的图表。图 6 和表 3 总结了基于危险辐射量的每种照度最大值作为曝辐时间函数。而图 7 和表 4 总结了基于视网膜危险辐射量的最大亮度值作为曝辐时间函数。

注:在条款 1 中评价各种危害的较高波长范围是 3 000 nm。由于信号响应较低以及难于得到定标光源,使用单色仪在红外区域进行光谱辐照度和光谱辐亮度测量通常是困难的,尤其是 2 500 nm~3 000 nm 波长范围。但是,当波长大于 1 400 nm 时,没有定义加权函数。因此在 1 400 nm~3 000 nm 宽波段测量,对于人眼和皮肤的红外危害条件的评估是适用的。

5.1 测量条件

测量条件应作为评估曝辐量和进行危险分类的一部分内容来指出。

5.1.1 灯的老炼

为了在测量过程中得到稳定的输出以及提供可重复的结果,灯需要进行适当的老炼。在最初的工作期间灯的输出特性将发生变化,因为其部件正在趋于平衡。如果测量一只没有进行过老炼的灯,在测量期间内和测量之间量值的变化将是显著的。由于灯的输出通常随着使用时间的增加而衰减,老化时间应当有所限制。

灯的老炼应当按照相应的灯标准执行。

注:放电灯典型的老炼时间是 100 h,如荧光或高强度放电(HID)型灯。老炼时间是灯寿命的 1%。但是,上述老炼准则对于特殊的应用将发生改变,例如太阳灯。

5.1.2 实验环境

光源的精确测量需要一个可控制的环境。光源和测量设备的操作受环境因素的影响。此外在测量光路中臭氧的形成将影响测量精度,还存在安全性问题。对于特殊的测试环境,参照相应合适的 IEC 灯标准。如果缺少这样的标准,可参照相应的国家标准或制造商建议。

环境温度将严重影响某种光源的光输出,例如荧光灯。测量中采用的环境温度应当与相应的 IEC 灯标准一致。

某些光源的特性还易受气流的影响。这是指被测试灯表面的空气流动,而不是指为自身内部的自然转换。应当尽可能地减小这种空气流动,并与臭氧的产生导致的安全问题一并解决。当测试系统具有内部循环状态,测量也应当在同样的循环状态下进行。

5.1.3 外界辐射

应当特别注意确保外界辐射源的辐射和反射不会给测量结果带来重大影响。通常使用挡屏阻挡外界辐射。需要注意的是,视觉上呈现的黑色表面也可能会反射紫外和红外辐射。此外,在红外测量中必须考虑来自热屏的辐射,这是由于正对着挡屏的大入射角造成的。

5.1.4 灯的操作

测试灯的操作应当同相应的灯的标准一致。如果某种灯的类型无相应标准,应当按照制造商的建议进行操作。

5.1.5 灯系统的操作

测试灯的供电电源应当与相应的标准一致。若没有,应当按照制造商的建议进行。

5.2 测量过程

5.2.1 辐照度测量

这里的描述适用于宽带辐照度和光谱辐照度的测量。一个理想的辐照度测量仪器包括一个直径为 D 的圆形平面探测器,且能充分满足所希望的信噪比要求,即:

- 在一个正确的圆锥角内接收辐射,圆锥角的中轴线垂直于探测器平面;
- 在垂直于探测器平面上具有余弦空间角度响应;
- 在一个特定的波段范围 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 内,对于特定位置,光谱响应度恒定。

在此标准中,最小输入孔径的直径为 7 mm,最大输入孔径的直径为 50 mm。推荐在小积分球上,开一个 25 mm 的平面圆孔作为单色仪的输入。对于空间均匀的光辐射模型源,建议使用直径为 25 mm 的孔径。对于那些空间辐射不均匀的源,例如带有窄光束反射器灯,其峰值辐照度(强度)与充满 25 mm 孔径的测量值相比要高得多。在这种情况下,探测器孔径应当限制为 7 mm。

图 3 系统地说明了在辐照度或光谱辐照度测量中的主要内容。包括了限制视场的光阑(如果需要),半角 A ,光源到接收器的距离要远远大于探测器直径。

测量在能够给出最大读数位置进行。仪器应当被定标,能够得到单位接收面积上的入射辐射功率。

注 1: 在某一位置改变入射光阑,需要做额外的工作去重新校准辐射计或光谱辐射计。如果辐照度随距离的变化已知,得到较小孔径的一种方法是将探测器光阑(假定使用的是 25 mm 直径的光阑)移动,直到在 200 mm 处 7 mm 直径光阑的锥形角正好充满 25 mm 的孔径。例如:距离大概是标准距离的 3.5 倍。

注 2: 测量辐照度不应当在一个比规定小的孔径内平均,因为这可能导致过高估计危害的结果。最小的平均孔径与生理和习惯的因素有关,使入射辐射在一个特定的面积内平均。

注 3: 由于一系列原因,包括人眼的生理特征,在 4.3.1 和 4.3.2 中讨论的紫外辐射的曝光水平应用光源,其张角不小于 80° (1.4 弧度)。即:光源对辐照面的法线有 40° 。因此对较大角度的来自光源的辐射仅在 80° 全角范围内测量。

应用于下列各种情况的辐照度测量见 4.3。

- 315 nm~400 nm 人眼的曝辐限值, E_{UVA} ;
- 红外各种情况的曝辐限值, E_{IR} ;
- 皮肤 热曝辐限值, E_R 。

应用于下列各种情况的光谱辐照度测量见 4.3。

- 200 nm~400 nm 皮肤的眼睛曝辐限值, E_S ;
- 视网膜的蓝光曝辐限值 对小光源的, E_B 。

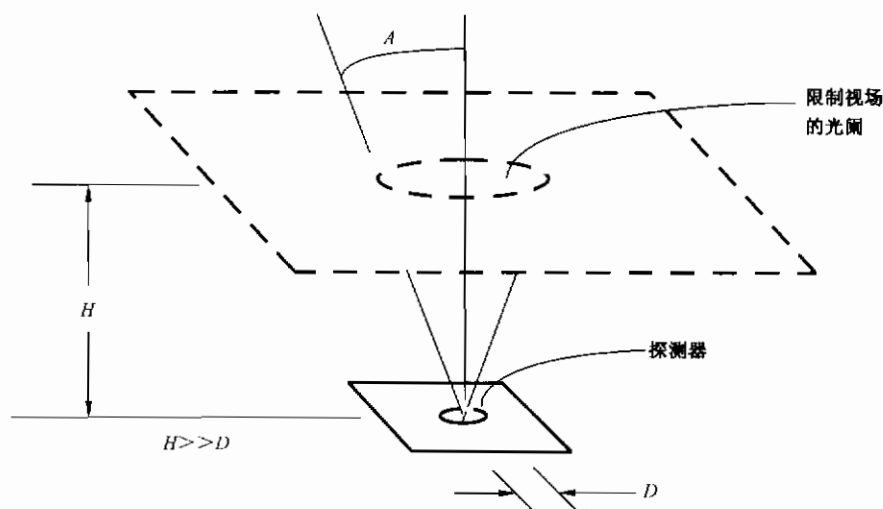


图 3 辐照度测量示意图

5.2.2 辐亮度测量

5.2.2.1 标准方法

这里的描述适用于宽带辐亮度以及光谱辐亮度的测量。辐亮度测量使用的光学系统见图 4:

- 将光源成像到探测器上;
- 具有一个圆形视场光阑,形成平均视场 α_{eff} 的角度范围;
- 具有一个圆形入射光瞳(孔径光阑),同辐照度测量中一样是一个平均光阑,完成 5.2.1 中描述的同样要求。对于小的角度,成像系统中探测器直径与焦距之间的关系为 $d = \alpha_{\text{eff}} H$ 。

同辐照度测量类似,图 4 中所述的最小限制直径为 D 的孔径光阑对于脉冲光源来说,相当于 7 mm 的瞳孔直径,对于 CW 光源来说是一个生物物理意义上的平均孔径。瞳孔很小,由于眼睛和头的移动允许这种孔径的平均。就角辐照度测量中一样,如果入射辐照度足够均匀,孔径光阑可以超过 7 mm。

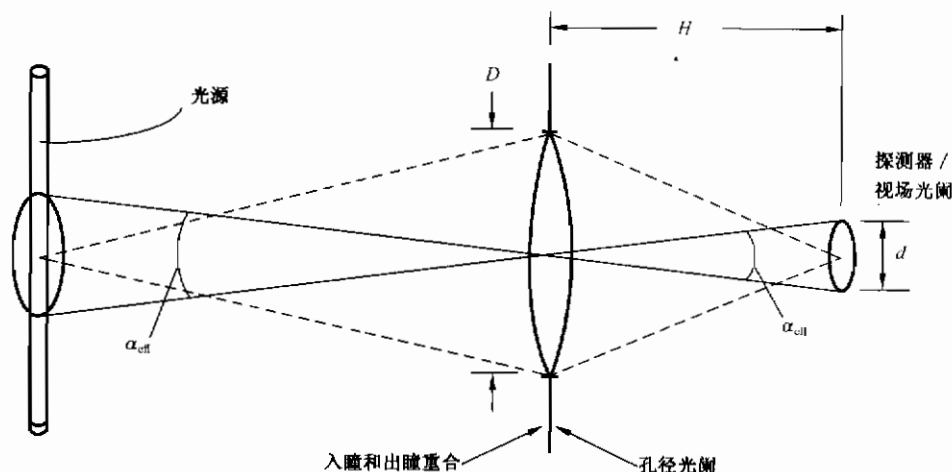


图 4 测量辐亮度的一个设想装置

仪器应当被定标,能够读出在仪器平均视场上的单位接收面积单位立体角内的人射辐射功率。

注:测量的辐亮度不应当是在比规定视场还小的视场上平均值。这样可能会过高地估计了危害。平均视场的大小与眼睛活动的范围,即大面积光源像的辐射功率在视网膜上的分布有关。平均视场的大小 α_{eff} 不依赖于光源的面积 a 。对于那些对应角比规定视场角 α_{eff} 小的光源,平均辐亮度值将小于实际光源的物理辐亮度。但是这种生理效应值与曝辐限值相比是适当的。

应用于下面各种情况的光谱辐亮度测量在本标准 4.3 中也有描述。

- 视网膜的蓝光曝辐限值, L_B ;
- 视网膜的热曝辐限值, L_R ;
- 视网膜的热曝辐限值,——对微弱可见光刺激, L_{IR} 。

5.2.2.2 替代方法

辐亮度测量能够转化为辐照度测量。只要确定一个准确定义的视场,测量出的辐照度值除以视场就能够得到辐亮度值。换言之,对于一个成像辐亮度装置(上述),光源前加上圆形视场光阑的辐照度测量,就能够实现辐亮度测量(图 5)。视场光阑的大小 F ,以及视场光阑到孔径光阑的距离 r ,确定了视场,见式(22)。

$$\gamma = F/r \quad \dots\dots\dots (22)$$

这种设置意味着视场光阑应能距离光源足够近,以得到所需要的视场。

测量辐照度 E 和光源辐亮度 L 之间的关系,对于正对光源的小角度探测($\theta=0, 3.31$ 中定义),能够给出公式(23)。

$$E = L \cdot \Omega \quad \dots\dots\dots (23)$$

这里 Ω ,单位为 sr,是测量的视场,即图 5 中所示的平面角 γ 所对的立体角。此外,对于很小的圆形光源,平面角 γ 和立体角 Ω 之间的关系见式(24)。

$$\Omega = \frac{\pi \cdot r^2}{4} \quad \dots\dots\dots (24)$$

因此,使用图 5 中所示的几何关系,由光源的辐亮度计算辐照度的公式见式(25)。

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \quad \dots\dots\dots (25)$$

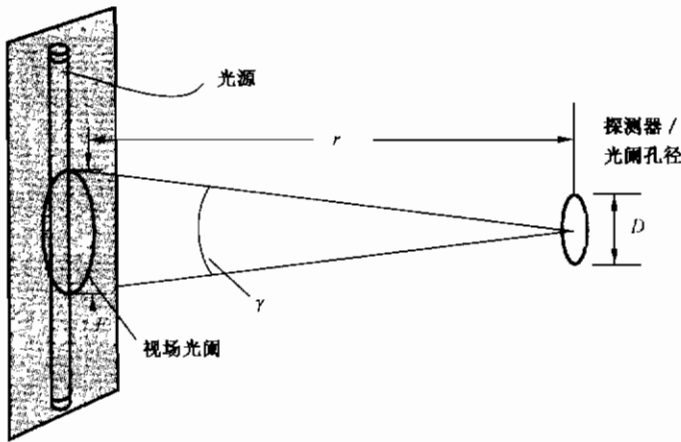


图 5 可采用的辐亮度方法

当使用辐照度得到辐亮度值去比较给定危害时,视场光阑的直径 F 必须设置得如公式(26)。

$$\gamma = \alpha_{\text{eff}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

注:蓝光情况下对小光源辐照度的限制相当于对特定测量平均视场辐亮度的限制。辐照度极限由辐亮度极限乘以平均测量视场式(25)得出。

5.2.3 光源大小的测量

为确定光源的张角 α ,需要确定光源 50% 的辐射点。通常的方法是使用摄影术或固定点像机,只有当确定光谱均匀性足够好时,可见辐射能够模拟红外辐射。光源频谱的变化能够导致在不同的频谱区域具有不同的大小(参见 Sliney and Wolbarsht, 1980, clause 12.6.6.)。

5.2.4 脉冲光源的脉冲宽度测量

一个光源正常的脉冲持续时间 Δt 的确定,需要确定达到 50% 峰值辐射所需要的时间。当光谱的均匀性足够好时,可见辐射能够作为红外和紫外辐射的近似,通常的方法是使用光电池和示波器。在脉冲中光谱的变化能导致不同光谱区域脉冲宽度的变化。

5.3 分析法

5.3.1 加权曲线的插值

表 1 定义的加权曲线通常不能解决光源的加权辐射计算。在半对数坐标系中的任何区域,函数应

当是线性的。因此对插值进行标准化,对于给定的对数值应用线性插值法,以得到所需波长间隔的中间值。例如,推荐使用一个纳米间隔。内插数的反对数运算需要考虑内插加权因子。

5.3.2 计算

光源危害值的计算是将光谱扫描进行加权,得到总的加权量。为了提供一种可重复操作的方法,本标准建议对于小于 400 nm 以下的光谱,内插或积分时的波长间隔为 1 nm,加权和积分计算在分辨率为 1 nm 情况下进行。对于大于 400 nm 的波长,推荐使用 5 nm 的波长间隔。

5.3.3 测量不确定度

所有的测量结果的质量都必须用不确定度分析量化。所有的计算结果必须附带有不确定值,使其符合通常参考文献中的规定。每一个结果的不确定度应按照扩展不确定度进行报告,根据 ISO 导则条款 2 所定义,通过合成标准不确定度 U_C 进行计算,覆盖因子 $k=2$ 。不确定度值应通过计算定标不确定度和附录 C 中所描述的所有误差源得到。

表 3 对皮肤表面或角膜的辐照限值(辐照度基值)一览表

危害名称	相应公式	波长范围 nm	曝辐时间 s	限制孔径弧度 (°)	恒辐照曝辐限值 $W \cdot m^{-2}$
光化学 UV 皮肤和眼睛	$E_s = \sum E_\lambda \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200~400	<30 000	1.4(80)	30/ t
眼睛 UV	$E_{UVA} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	315~400	$\leq 1\ 000$ >1 000	1.4(80)	10 000/ t 10
蓝光小光源	$E_B = \sum E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300~700	≤ 100 >100	<0.011	100/ t 1.0
眼睛红外	$E_{IR} = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	780~3 000	$\leq 1\ 000$ >1 000	1.4(80)	18 000/ $t^{0.75}$ 100
皮 肤 热	$E_H = \sum E_\lambda \cdot \Delta\lambda$	380~3 000	<10	$2\pi sr$	2 000/ $t^{0.75}$

表 4 对视网膜的曝辐限值(辐亮度基值)一览表

危害名称	相应公式	波长范围 nm	曝辐时间 s	视场弧度	恒亮度曝辐限值 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
蓝 光	$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300~700	0.25~10 10~100 100~10 000 $\geq 10\ 000$	$0.011 \cdot \sqrt{(t/10)}$ 0.011 $0.001\ 1\sqrt{t}$ 0.1	$10^6/t$ $10^5/t$ $10^6/t$ 100
视网膜热	$L_R = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380~1 400	<0.25 0.25~10	0.001 7 $0.011 \cdot \sqrt{(t/10)}$	$50\ 000/(\alpha \cdot t^{0.25})$ $50\ 000/(\alpha \cdot t^{0.25})$
视网膜热 (微弱视刺激)	$L_{IR} = \sum L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780~1 400	>10	0.011	6 000/ α

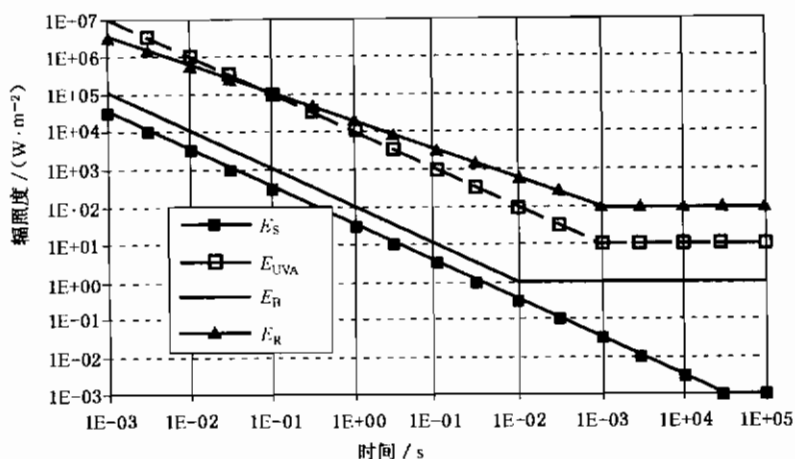


图6 恒曝辐的加权辐照度对时间的曝辐限值

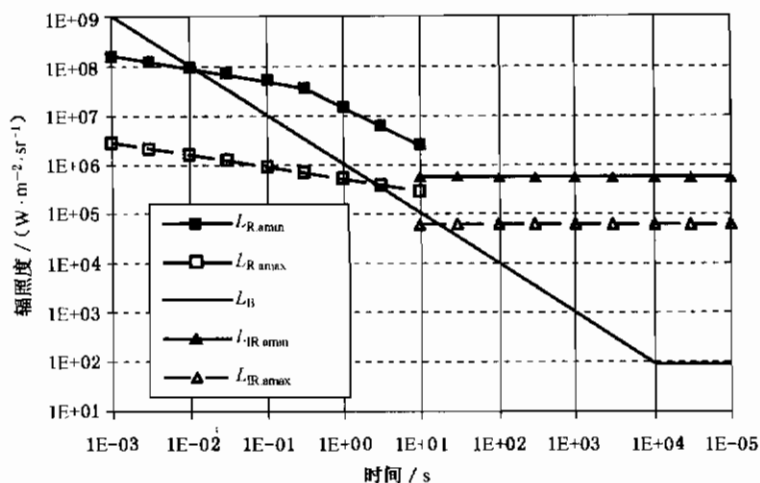


图7 恒曝辐的加权辐亮度对时间的曝辐限值

6 灯分类

本标准的分类是按照 CIE TC 6-47 规定分类的,这使涉及灯的危险分类和灯辐射产生的光生物危害值对距离的规定确定下来。既然从几方面讲灯可能都存在危害,那么有个分级的方案便是需要的。对本标准来说,下述准则是明确的:

- 对普通照明(GLS)的灯,见定义 3.11,危害值(无论辐照度或辐亮度)均应在产生 500 lx 照度的距离下给出,但这个距离不应小于 200 mm。
- 对其余所有光源,包括脉冲灯,危害值是在 200 mm 的距离上给出的。

本条款是对灯进行分类,然而,对灯具或其他灯系统,可进行相似分类。对一般照明灯,进行辐照度测量的距离依测量能力而定。

这个分类方案仅表现了潜在危险,是否能变成真正危害,那取决于利用率、曝光时间和照明设备的效果。表 5 总结了对 4.3 中讨论的每个危险分类所对应的不同辐照度和辐亮度发射限。

注:在某些情况下,同一个灯既用于普通照明又有其特殊用途,对此按特殊用途评估等级。

6.1 连续灯

6.1.1 无危险类

无危险类的科学基础是灯对于本标准在极限条件下也不造成任何光生物危害,满足此要求的灯应

是这样的:

- 在 8 h (30 000 s) 曝辐中不造成光化学紫外危害(E_s), 并且
- 在 1 000 s (约 16 min) 内不造成近紫外危害(E_{UVA}), 并且
- 在 10 000 s (约 2.8 h) 内不造成对视网膜蓝光危害(L_B), 并且
- 在 10 s 内不造成对视网膜热危害(L_R), 并且
- 在 1 000 s 内不造成对眼睛的红外辐射危害(E_{IR})。

这样的灯属于无危险类。

还有, 发射红外辐射但没有强视觉刺激(即小于 10 cd/m^2), 并且 1 000 s 内不造成近红外视网膜危害(L_{IR})的灯也属于无危险类。

6.1.2 1 类危险(低危险)

这个分类的科学基础是对曝光正常条件限定下, 灯不产生危害, 满足这一要求的灯, 其限制量比无危险级大, 但是,

- 在 10 000 s 内不造成光化学紫外危害(E_s), 并且
- 在 300 s 内不造成近紫外危害(E_{UVA}), 并且
- 在 100 s 内不造成视网膜蓝光危害(L_B), 并且
- 在 10 s 内不造成视网膜热危害(L_R), 并且
- 在 100 s 内不造成对眼睛的红外辐射危害(E_{IR})。

这样的灯属于 1 类危险(低危险)。

还有, 发射红外辐射但没有强视觉刺激(即小于 10 cd/m^2), 并且 100 s 内不造成近红外视网膜危害(L_{IR})的灯也属于 1 类危险。

6.1.3 2 类危险(中度危险)

2 类危险的分类科学基础是, 灯不产生对强光和温度的不适反映的危害。满足这一要求的灯的限制量超过 1 类危险。但是,

- 在 1 000 s 内不产生光化学紫外危害(E_s), 并且
- 在 100 s 内不产生近紫外危害(E_{UVA}), 并且
- 在 0.25 s 内不产生视网膜蓝光危害(L_B)(不适反应), 并且
- 在 0.25 s 内不产生视网膜热危害(L_R)(不适反应), 并且
- 在 10 s 内不产生对眼睛的红外辐射危害(E_{IR})。

这样的灯属于 2 类危险(中度危险)。

还有, 发射红外辐射但没有强视觉刺激(即小于 10 cd/m^2), 并且 10 s 内不造成近红外视网膜危害(L_{IR})的灯也属于 2 类危险(中度危险)。

6.1.4 3 类危险(高危险)

这个分类科学基础是灯在更短瞬间造成危害, 这一级别的限制量超过 2 类危险(中度危险), 即属于 3 类危险(高危险)。

6.2 脉冲灯

脉冲灯标准使用于单脉冲和 0.25 s 内的任何类型的脉冲灯。

脉冲灯应在制造商指定的最高负载下评价。

对每一个脉冲, 相对加权曝辐量(H 或 $E \cdot t$), 或者时间积分加权辐亮度剂量($L \cdot t$), 应是对加权辐照度或加权辐亮度覆盖整个脉冲进行积分取得, 积分时间的上限为 0.25 s。对每类生物危害的评价, 加权曝辐量要同 4.3 给出的曝辐限值进行比较。

注: 加权辐亮度值的获得是在 4.2.2 中讨论的夹角为 0.0017 弧度视场的圆锥内取平均。

被测灯的危险类别的确定方法如下:

- 超过曝辐限值的灯归入了 3 类危险(高危险),

- 对于单脉冲灯,加权曝辐量或加权辐亮度剂量低于 EL 时,采用脉冲发射的时间平均值,以 6.1 讨论的连续辐射灯的标准进行地评价。

表 5 连续辐射灯各危险类的发射限

危险	光化光谱	符号	发射限			单位
			无危险	低危险	中度危险	
光化紫外	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0.001	0.003	0.03	$W \cdot m^{-2}$
近紫外		E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
蓝光	$B(\lambda)$	L_B	100	10 000	4 000 000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
蓝光小光源	$B(\lambda)$	E_R	1.0 ^a	1.0	400	$W \cdot m^{-2}$
视网膜的热危险	$R(\lambda)$	L_R	28 000/ α	28 000/ α	71 000/ α	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
视网膜的热的、微弱的、视觉的刺激 ^b	$R(\lambda)$	L_{IR}	6 000/ α	6 000/ α	6 000/ α	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
红外辐射眼睛		E_{IR}	100	570	3 200	$W \cdot m^{-2}$
<p>^a 小光源被定义为 $A < 0.011$ rad 的源。在 10 000 s 时平均视场是 0.1 rad。</p> <p>^b 涉及非普通照明光源的评价。</p>						

附录 A

(资料性附录)

生物学效应摘要

生物学效应资料单 1#：红外线引起的白内障

A. 1 生物学效应：一般认为：“红外线引起的白内障”，也就是“热辐射产生的白内障”，“炉前工的白内障”，或者“玻璃工的白内障”。

A. 1.1 器官/位置：眼/晶状体。

A. 1.2 光谱范围：700 nm～1 400 nm，有可能达以 3 000 nm。

A. 1.3 光谱作用峰：不确定，可能在 900 nm～1 000 nm 之间。

A. 1.4 现有的知识：有限的研究资料表明，在 1 064 nm(Wolbarsht, 1992)和红外～A 区范围内(Pitts 和 Cullen, 1981)光能引起大鼠急性白内障；没有针对于人的试验资料。增加的程度和作用光谱并不知道。有好的流行病学证据(Lydahl, 1984)。

A. 1.5 时间过程：晶状体明显混浊通常是多年来的积累，时间过程依赖于出现混浊和开始混浊的不同而不同，重度暴露在很短的时间里就会产生反应。

A. 1.6 机理：通常推测是由热引起的，尽管新的证据表明有可能是光化学反应—详细的过程还不清楚。晶状体产生热可能通过直接辐照(vogt, 1919)或者由虹膜传导产生的热(Goldmann, 1983)。

A. 1.7 症状：视觉模糊。

A. 1.8 所必要的信息：如果存在急性和伴随紫外辐照的作用，就需要活动光谱的信息，以及有关多次辐照、反复辐照延迟效应的可能性。

A. 1.9 用灯方面的经验：意外的损伤，甚至很热的辐照所造成的损伤没有报道，这种污染很少披露。

A. 1.10 关键参考文献：

GOLDMANN, H. Experimentelle Untersuchungen über des Genese des Feuerstars. 111 Mitteilung. die Physik des Feuerstars I. Teil. Arch. Fur Ophthalmol., 130, 93-130(1983).

LYDAHL, E. 红外线辐射和白内障. Acta ophthalmologica, suppl. 166, 1-63(1984).

PITTS, D. G. 和 CULLEN, A. P. 红外线辐射水平对急性眼白内障基因的作用. Von Graefes Arch. Ophthal., 217, 285-297(1981).

SLINEY, D. H. 和 WOLBARSHT, M. L. 激光安全与其他光源. New York Plenum(1980).

VOGT, A. Experimentelle Erzeugung von katarakt durch isoliertes kurzwelliges Ultrarot, dem Rot beigemischt ist. Klin. Mb/Augenheilk., 63, 230-231(1919).

WOLBARSHT, M. L. 红外线激光引起的白内障：光化学机理证据. Lasers and Light Ophthalmology, 4, 91-96(1992).

生物学效应资料单 2#：光致角膜炎

A. 2 生物学效应：光致角膜炎

A. 2.1 器官/位置：眼/角膜。

A. 2.2 光谱范围：180 nm～200 nm 到 400 nm～420 nm，主要是 200 nm～320 nm。

A. 2.3 光谱作用峰：大约是 270 nm(Pitts, 1971)；也有可能是 288 nm(Gogan 和 Kinsey, 1946)。

A. 2.4 现有的知识：完整的能引起急性的症状临界的数据，兔 200 nm～400 nm；猴 200 nm～320 nm；人 200 nm～320 nm。资料来自于不同的实验室是一般都认可的。

A. 2.5 时间过程：照射 4 h～12 h 后一般才发生显著的反应，时间过程取决于照射和临界状况的不同，在很短的时间里重度照射就会产生反应，很清楚，一般在 24 h～48 h 之内，这种反应的后果就会消失，

除了很严重的照射。

A.2.6 机理:光化学反应引起生物学链,详细的过程并不清除。

A.2.7 症状:视网膜上出现弧光或盲点,辐照后 48 h 之内眼科检查可以看见视网膜损伤,可以永久性的失去视觉,尽管轻微病理也有恢复的现象。

A.2.8 所需要的知识信息:更多地了解损伤的机制,持续 10 s 照射后所需要的数据资料,多次照射低于急性临界紫外照射引起延迟反应的可能性。

A.2.9 在用灯方面的经验:过度照射而产生的损伤报道很少是由于凝视灯而产生的。人们自然讨厌这种以应传递,通常就会避免接触这种光而达到预防光照射视网膜炎的目的。

A.2.10 关键参考文献:

GOGAN,D. G. 和 KINSEY, V. E. 紫外辐射产生角膜眼的光学活性. Arch. Ophthalmol., 35, 670-617(1946).

HEDBLUM, E. E. 雪环境中眼睛的保护. Arch. Environ. Health, 2, 685-704(1961).

LEACH, W. M. 紫外辐射的生物学方面作用. A Review of Hazards, BRH/DBE 70-3, U. S. Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Rockville, Maryland(Sept. 1970).

MACKEEN, D., FINE, S., AARON, A., 和 FINE, B. S. 紫外波危险的防护.

Laser Focus, 7(4), 29(1971).

PITTS, D. G. 和 TREDICI, T. J. 紫外线对眼睛的作用. Amer. Ind. Hyg. Ass. J. 32(4), 235-246(1971).

生物学效应资料单 3#:光致视网膜炎

A.3 生物学效应:光致角膜炎

A.3.1 器官/位置:眼/视网膜。

A.3.2 光谱范围:400 nm~700 nm(主要是 400 nm~500 nm 在眼睛的 phakic(完整的晶状体); 310 nm~700 nm 在眼睛的 aphakic(离体的晶状体))(主要是 310 nm~500 nm)。

A.3.3 作用光谱峰:对于猴,在眼睛的 aphakic 可能是 310 nm(Ham, 1980)。

A.3.4 现有的知识:医用激光,太阳光和弧光,应了解有关的完整急性临界资料以及一些有关人眼相关的波长以及偶然观看太阳或电焊的弧光所受的损伤的确定资料。

A.3.5 时间过程:损伤的机制主要在经过长时间(超过 10 s)的作用,产生热损伤。照射超过 12 h 后一般才发生显著的反应,在很短的时间里重度照射就会产生反应,很清楚一般在 24 h~48 h 之内,这种反应的后果就会消失,除了很严重的照射。

A.3.6 机理:光化学反应引起生物学变化,明显集中在视网膜色素内表皮细胞,详细的过程并不清除。

A.3.7 症状:视网膜上出现弧光或盲点,辐照后 48 h 之内眼科检查可以看见视网膜损伤,可以永久性的失去视觉,尽管轻微病理也有恢复的现象。

A.3.8 所需要的知识信息:更多地了解损伤的机理,持续 10 s 照射后所需要的数据资料,多次照射低于急性临界紫外照射引起延迟反应的可能性。

A.3.9 用灯方面的经验:在灯下很少有报告出现损伤,自然状态下很少产生光致视网膜炎。很少有人潜在的暴露在这个环境中。

A.3.10 关键参考文献:

HAM, W. T. JR, MUELLER, H. A., 和 SLINNEY, D. H. 短波对视网膜明显损伤. Nature, 260 (5547), 153-155(1976).

HAM, W. T. JR, RUFFOLO, J. J. JR, MUELLER, H. A., 和 GUERRY, D. 视网膜自然辐射损伤:对波长,强度和照射时间的依赖. Vision Res., 20(12), 1105-1111(1980).

MAINSTER, M. A. 眼内晶状体和视网膜在强光传递过程中的损伤. Am. J. Ophthalmol., 85, 167-170(1978).

MARSHALL, J. 眼科学实践与光损伤. In: *Intraocular lens Implantation*, Rosen E., Amott, E., and Haining, W. (eds). London, Moseby-Yearbook, Ltd. (1983).

PITTS, D. G. 紫外光对人的作用. *Ame. J. Optom. Physiol. Opt.*, 51, 946-960 (1974).

SLINEY, D. H. 眼睛的强光保护技术. *Ophthalmology*, 90(8), 937-944 (1983).

SLINEY, D. H. 和 WOLBARSH, M. L. 晶状体和其他视觉过程的安全. New York, Plenum (1980).

SPERLING, H. G. (ed). 强光对眼睛的损伤的诊断和治疗. *Proceedings of a Symposium, Vision Res.*, 20(12), 1033-1203 (1980).

WAXIER, m. 和 BAKER, B. N. (eds). 光辐射与视觉健康. Boca Raton, CRC Press (1986).

WILLIAMS, T. B. 和 BAKER, B. N. (eds). 光的组成对视觉系统的作用. New York, Plenum Press (1980).

YOUNG, R. W. 视网膜中心疾病的治疗. In: *New Directions in Ophthalmic Research*, Sears, M. I (ed). New Haven, Yale University Press, 237-270 (1981).

生物学效应资料单 4#: 视网膜热损伤

A. 4 生物学效应: 视网膜热损伤

A. 4.1 器官/位置: 眼/视网膜和脉络膜。

A. 4.2 光谱范围: 400 nm~1 400 nm (主要是 400 nm~1 100 nm)。

A. 4.3 作用光谱峰: 大约是 500 nm (Ham, 1966)。

A. 4.4 现有的知识: 可利用的急性临界状态资料是关于猴和兔的, 人的资料很有限。资料来自于不同的实验室, 一般都认可。

A. 4.5 时间过程: 对于短时间 (不超过 10 s) 作用或者光的波长超过 700 nm 时的损伤的机制主要在光化学视网膜损伤, 在接触这种光 5 min 之内通常就会直接产生显著性的反应, 恢复或者不恢复。

A. 4.6 机理: 热化学反应使蛋白质和其他主要细胞生物成分发生变性, 同时生物组织损伤。光的吸收和开始损伤集中在接近视网膜色素上皮细胞和脉络膜部位。

A. 4.7 症状: 当明亮的弧光照射到视网膜上时, 沙点或者盲点就会出现。视网膜可视损伤 (一般退色), 在暴露 5 min 后在眼科检查中可以看到 24 h 之内照射后最严重的损伤就是失明, 有一些在 14 天后可以会有有限的恢复。

A. 4.8 所需要的知识信息: 需要更多有关大面积照射的资料 (大于 1 nm)。

A. 4.9 用灯方面的经验: 事实上在灯下很少出现这种损伤, 氙弧灯照射眼睛可以引起这种临床症状。这个症状一定是在极端的环境中或者是在很强的没有保护的损伤。因此事实上极少有这种报道, 人们自然的对这种反应的厌恶就限制了这种损伤的发生, 也就预防了这种损伤。

A. 4.10 关键参考文献:

ALLEN, R. A. 视网膜热损伤. *Proc ACGIH Topical Symposium*, 26-28 November 1979. ACGIH, Cincinnati, Ohio (1980).

HAM, W. T. Jr, RUFFOLO, J. J. Jr, MUELLER, H. a., 和 GUERRY, D. 视网膜自然辐射损伤: 对波长, 强度和照射时间的依赖. *Vision Res.*, 20(12), 1105-1111 (1980).

SLINEY, D. H. 和 WOLBARSH, M. L. 晶状体和其他视觉过程的安全. New York, Plenum (1980).

生物学效应资料单 5#: 紫外线引起的白内障

A. 5 生物学效应: 紫外线引起的白内障

A. 5.1 器官/位置: 眼/晶状体。

A. 5.2 光谱范围: 290 nm~325 nm, 可能达到 400 nm。

A. 5.3 作用光谱峰: 对于急性白内障大约是 305 nm (Pitts, 1977), 波长大于 325 nm 就没有作用

(Lerman, 1980, Zigman, 1979)。

A. 5.4 现有知识:可利用的急性临界状态资料是猴和兔的 295 nm~325 nm,人的急性状态资料没有。但有对于 UV-B 光线缓慢照射的流行病学资料证据。

A. 5.5 时间过程:在照射 4 h 或者更长时间以后,晶状体明显混浊,时间过程依赖于照射、阈值的不同而不同,在最短时间内强烈照射能产生变化。只有在接近阈值的几天里一些晶状体会变的透明,否则就会成为永久性的。

A. 5.6 机理:光化学反应,详细的情节不清楚。

A. 5.7 症状:视觉不清楚。

A. 5.8 必需的知识信息:如果存在能发生作用的光谱,对于急性的和 UV-A 照射的产生作用。增加多次照射和循环照射就可能延缓这个作用的出现。

A. 5.9 用灯的经验:偶然的操作是有的,甚至是暴露在氙光下。仅是有限的人暴露在这种状态下。

A. 5.10 关键参考文献:

BRACHEM, A. 紫外线辐射对眼睛作用. Am. J. Ophthalm., 41, 969-976 (1956).

LERMAN, S. 辐射能量与眼. Mac Millan, Inc., New York (1980).

PARRISH, J. A., ANDERSON, R. R., URBACH, F., 和 PITTS, D. UV-A: 长波紫外线对人的反应主要是紫外辐射的生物学作用. Plenum Press, New York (1978).

PITTS, D. G. 光紫外线对眼的作用与保护标准. Health Physics, 25, 559-566 (1973).

PITTS, D. G., CULLEN, A. P., 和 HACKER, P. D. 295-1 000 nm 紫外线对眼的作用. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 16(10), 932-939 (1977).

SLINEY, D. H. 太阳光紫外线辐射对眼晶状体的灌注. J. Cataract Refract. Surg., 13, 296-301, May 1987.

SLINEY, D. H., WEST, S. K., ROSENTHAL, F. S., MUNOZ, B., NEWLAND, H. S., ABBEY, H., 和 EMMETT, E. A. 紫外辐射对晶状体组成的作用. New England J. Medicine, 319, 1429 (1988).

WAAXIER, M 和 HICHEMS, v. (eds). 光辐射与视觉健康. Boca Raton, CRC Press (1986).

ZIGMAN, S., DATILES, M., 和 TORCZYNSKI, E. 太阳光与人的白内障.

Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 18(5), 462-467, 1979.

ZUCALICH, J. A. 和 CONNOLLY, J. S. 近紫外线辐射诱导的眼损伤. Invest. Ophthalmol., 15, 760-764 (1976).

生物学效应资料单 6#: 紫外线引起的红斑

A. 6 生物学效应: 紫外线引起的红斑

A. 6.1 器官/位置: 皮肤

A. 6.2 光谱范围: 180 nm~200 nm 到 400 nm~420 nm, 主要是 200 nm~320 nm。

A. 6.3 作用光谱峰: 大约是 295 nm (Urbach, 1968, Anders, 1995); 约 254 nm (Hausser, 1928, Coblentz, 1932, Freeman, 1966)。

A. 6.4 现有的知识: 人可利用的急性临界状态资料 254 nm~400 nm, 完整的数据是在不同的实验室获得的, 获得普遍认可, 如果一个试验在两个条件下做的, 一个是光照 4 h~8 h, 另一个是光照 24 h~48 h。

A. 6.5 时间过程: 在照射 4 h~12 h 后, 产生明显变化, 在很短时间内, 使用时间依赖于照射、阈值的不同而不同。24 h~48 h 可以恢复, 除非极其严重的辐照下。

A. 6.6 机理: 光化学反应引起生物学反应, 详细的情节不清楚 (Van der Lenun, 1965)。

A. 6.7 症状: “太阳晒伤”在紫外线照射的皮肤部位出现红点。

A. 6.8 必需的信息: 较高的临界值在 305 nm~320 nm。反复照射就可能延缓这个作用的出现。

A. 6.9 用灯的经验: 一般是在杀菌灯、汞灯和氙灯照射下产生, 但只是出现在特殊使用的情况下, 或者有意模拟太阳光照射情况下。

A.6.10 关键参考文献:

ANDERS, A., ALTHEIDE, H., KNÄKMAN, M., 和 TRONNIER, H. 染色激光研究光对人体红斑的作用. *Photochemistry and Photobiology*, 61, 200, (1995).

COBLENTZ, W. W. 和 STAER, R. 紫外辐射对人皮肤晒黑的红斑反应. *Bur. Stand. J. Res.* 8, 541 (1993).

COBLENTZ, W. W., STAIR, R. 和 HOGUE, J. M. 紫外辐射对人皮肤晒黑的红斑反应. *Proc. Nat. Acad. Sci. U. S.*, 17, 401-403 (June 1931).

FITZPATRICK, T. B., PATHAK, M. A., HARBER, L. C., SIEJE, M., KUKITA, A. (EDS) 太阳和人. Tokyo, Tokyo University Press (1974).

FITZPATRICK, T. B. 普通医用皮肤病学. 第5版, McGraw Hill, New York, 1555-1561, (1999).

HAUSSER, K. W. 辐射生物学中波长的影响. *Strahlentherapie*, 28, 25-44 (1928).

Hausser, K. W. VAHLE, W. 晒黑与卡叽军服. *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Siemens Konzerns* 6(1), 101-120 (1927), 翻译: 紫外辐射的生物作用. (F. Urbach, ed), Pergamon Press, New York (1969)

HAWK ed. 光致皮肤病学. Arnold, London, 43-52, (1999).

ISO 17166:1999/CIE S007—1998 红斑的参考作用光 and 标准红斑剂量.

Van der LEUN, J. C. 紫外红斑的治疗. *Photochemistry and Photobiology*, 4, 453, (1965).

LUCKIESH, M., HOLLADAY, L. L., TAYLOR, A. H. 紫外辐射人的皮肤不黑的反应. *J. Opt. Soc. Amer.*, 20, 423-432 (1930).

PARRISH, J. A., JAENICKE, K. F., ANDERSON, R. R. 正常人皮肤光致黑斑和黑色素的形成. *Photochemistry and Photobiology*, 36, 187, 1982.

SCHMIDT, K. 紫外辐射对皮肤黑斑的作用. *Strahlentherapie*, 124, 127-136 (1964).

URBACH, F. (ed) 紫外辐射的生物作用. Pergamon Press, New York, 83-39, 327-436, 542-654, (1968).

世界卫生组织, 紫外辐射. *Environmental Health Criteria* 14, WHO, Geneva (1979).

附录 B

(资料性附录)

测量方法

B.1 仪器

B.1.1 双单色仪:推荐仪器

对各种光源的测量和定标应有一定的测量精度。探测器的宽波段光谱响应以及高的光谱分辨率需要提供精确的加权计算,以满足对带外杂光截止能力的要求。定标光源提供的宽范围光谱输出必须截止带外杂光。对于钨丝灯或卤钨灯来说,在 270 nm 波长处的带外能量与带内能量之比应当小于 10^{-4} 。双光栅单色仪是唯一可选择的能满足需要的仪器,它是用于对紫外和可见波长辐射复杂测量的推荐仪器。由于单色仪系统在使用方便性和速度上的限制,在紫外或可见波长范围的测量中,只有当单色仪得到的结果与双单色仪结果相当时,可以使用单色仪。例如,对于一些光源如 LEDs 来说,由于其光谱辐射谱非常窄,应用单色仪完全能够满足要求。

B.1.2 宽波段探测器

当操作很谨慎时,可以使用通用的宽波段探测器对适当的光谱进行校准。当测量持续时间短的脉冲或低强度光源时,宽波段探测器使用起来非常方便。宽波段探测器通常配用滤光片来修正光谱。其结果不可能很精确,必然会带来一些误差。对那些光源的光谱或探测器光谱响应未知的情况,光谱误差才对不确定度有贡献。

如果光源的光谱未知,必须将探测器和实际光谱之间的最大百分比偏差假定为不确定度。此不确定度应当包括当实际光谱时光谱区域的情况。

当探测器光谱响应和光源的光谱已知时,直接计算产生一个修正因子。这种情况下,使用一个合适的修正因子,为宽波段探测器能提供一种有效的测量方法。对于辐射度学家来说,有义务证明在每一种特殊情况下修正因子都是有效的。情况变化可能会导致光谱变化,需要重新确定修正因子。

注:对于许多情况,加权宽波段辐射计与双光栅单色仪的组合能改善测量过程。使用带通探测器能够很迅速地完成对某种光源的空间、瞬时、或逐项变化。

B.2 仪器限制

B.2.1 噪声等效辐照度

所有的仪器都有一个限值,低于这个限值时,就不能进行测量。对于危害分析,当低于仪器限值而给出零信号都是不正确的。用于复杂情况测量的仪器都应当特征化地给出测量限制水平。当仪器读数为零,或者低于仪器的测量限时,应当报告出相应的测量极限。对于不同光源来说,仪器的限制范围非常重要,最好使用更高性能的仪器。

注:光谱辐射计的测量极限通常由探测器噪声限值来确定。探测器的噪声极限可取探测器暗电流信号的 RMS 变化。探测器的噪声限值乘以系统校准光谱,称为“噪声等效输入”NEI。在测量波段中,每一个波长的光谱测量值应当是一个比 NEI 较高的值。

B.2.2 仪器光谱响应

光谱响应的形状(狭缝函数)以及测量间隔与波长带宽的比将确定该系统是否能够精确地测量窄光谱信号,例如原子发射谱线(参见 Kostkowski, 1997, chapter 5)。

具有理想的三角形光谱响应(狭缝函数),同时又能将某波段平坦地划分成若干波长间隔的单色仪,能够精确地测量所有信号而可以不考虑其光谱形状(见 CIE 63:1984, 1.8.4.2.1 或者 Kostkowski, 1997, 5.9)。产生的偏差能导致测量能量分布的误差。系统的光谱响应必须使用窄波段光源通过高分辨率的测量方法得到。当设定在某一波长上测量时,测量光谱必须与光源的波长对称,来表示系统的响

应。系统精确测量窄带信号的能力是对每一个测量波长上光谱响应进行总和(积分)的精度。在积分光谱内的变化是总测量信号的潜在误差,必须包括在不确定度分析中。

表 B.1 下面列出了在加权积分计算中所对应的推荐带宽,2%上限不确定度。

表 B.1 推荐带宽

范围/nm	带宽(FWHM)/nm
$200 \leq \lambda \leq 400$	≤ 4
$400 \leq \lambda \leq 600$	≤ 8
$600 \leq \lambda \leq 1\,400$	≤ 20
$1\,400 \leq \lambda$	无带宽限制

考虑光源光谱的更全面的分析对所建议的带宽精度放宽要求。分析结果必须包含在测量不确定度中。

注:通常系统在光谱扫描过程中进行信号积分,将不会给根据光谱响应形状或带宽比得到的总功率测量带来误差。

但是用这种类型的仪器进行大带宽测量仍然会产生误差。

B.2.3 波长精度

用于确定光源的辐射光谱形状的仪器,其波长精度对加权值有很大的影响。例如,紫外光谱的加权函数 $S_{UV}(\lambda)$ 以很大的变化,例如波长在 300 nm 处 3 nm 范围变化 250%。如果想得到合理的误差极限,测量能量时必须设计合理的波长间隔,还必须相应地进行加权计算。

表 B.2 表示当波长间隔变化 0.1 nm 时,加权值在测量波长间隔的变化。测量值是假设光谱辐射计是理想的三角形响应情况下计算的,2 nm 带宽,1 nm 测量波长间隔。测量值的总和是相等的,只是谱线发生了移动,这是 B.2.2 所描述的原理。对应波长变化 0.1 nm,加权测量变化 2.5%。当仪器误差 0.1 nm 时,这个数值的误差就会发生。

表 B.2 波长误差造成加权值误差的举例

波长/nm	$S_{UV}(\lambda)$	305 nm		305.1 nm		和的比率
		测量的	加权的	测量的	加权的	
304	0.084 85	0.250 00	0.021 21	0.225 00	0.019 09	
305	0.060 00	0.500 00	0.030 00	0.475 00	0.028 50	
306	0.045 40	0.250 00	0.011 35	0.275 00	0.012 49	
307	0.034 36	0.000 0	0.000 0	0.025 00	0.000 86	
		1.000 0		1.000 0		$\geq 100\%$
			0.062 56		0.060 94	$\geq 97.4\%$

用于各种情况测量的单色仪的波长精度应当能够满足:加权结果由于波长的不精确而产生的误差小于 3%。因此需要的精度依赖于光谱区域以及所使用的加权函数。表 B.3 总结了相对于约 3% 误差的建议波长精度。

表 B.3 推荐波长准确度

范围/nm	波长准确度/nm
$200 \leq \lambda \leq 300$	0.2
$300 \leq \lambda \leq 325$	0.1
$325 \leq \lambda \leq 600$	0.2
$600 \leq \lambda \leq 1\,400$	2

光源光谱的更全面的分析能够放宽对建议波长精度的要求。分析结果必须包括在所述的测量不确定度中。

B.2.4 杂散辐射功率

光谱辐射计的绝对定标需要使用高能量的具有较宽光谱输出的光源。如果光谱截止是不充分的,在校准中将包含其他频谱的能量。由于光谱辐射计的定标不完善,这种类型的误差将可能导致读数低。总能量与通过单色仪的信号的典型比值是 10^4 ,为了得到 1% 的精度,带外辐射的截止能力需要达到 10^5 量级。(见 CIE 63:1984)

B.2.5 光谱辐照度测量的输入光学系统:推荐

单色仪大量使用的是正输入光学系统。定标光源和测量光源不具备同样的偏振特性,或者它们的大小不同,会导致输入角度不同。此外,光源的测量不同角度都可导致错误的测量结果。使用积分球作为单色仪的入射设备是推荐的辐射照度测量方法。因为材料的随机反射使入射光发生偏振现象,合理的设计将使其尽可能接近余弦响应,此外积分球内的多次反射可使以同样光谱特性的入射充满辐射的入射口径。紫外探测器的余弦响应修正比较困难。

设计合适的漫射器同样可以满足单色仪或辐射计的输入要求。

B.2.6 线性

测试的每个灯或设备与定标系统中的光源相比具有不同的辐射量值。定标有效必须知道系统的线性,而且测量必须在线性范围内进行。系统的非线性可以通过引入线性度定标函数进行修正。注意必须对定标和测量都要进行这种调整。

B.3 定标光源

在紫外波段推荐的定标光源是氘放电光源。对于较长的紫外波长,可见和近红外光谱,定标光源是用标准钨丝灯或卤钨灯。氘灯的光谱形状不变时,其输出功率可能会发生变化。因此系统在 200 nm~350 nm 使用氘灯的定标应当根据 250 nm~350 nm 使用钨丝灯(或卤钨灯)的定标进行修正。当应用于更短的波长时,考虑钨丝灯(或卤钨灯)定标时的噪声,不用修正。

附录 C

(资料性附录)

不确定度分析

不确定度的分析需要对氮的不确定源进行量化评估。不确定度分析的第一步是确定各种不确定度源。下面的列表对使用灯和灯系统的测量不确定度进行评估。详细情况见 CIE 53:1982 辐射计和光度计性能的评价方法。

仪器

波长

带宽

对变化光谱的响应度

线性度

稳定性

杂散光

光路外

波段外

定标

标准(赋值不确定度)

距离

装调

电操作

测量

装调

距离

测试光源

稳定性

温度

尺寸

电操作

必须发现并估计每一个不确定度因子。各个因子通过测量进行传播,发掘其在复杂分类中对加权值的影响。就像 5.3.3 一样,每一个不确定度因子对加权值的影响也不同。可以看到,白炽灯的光输出变化是其输入电流的函数。灯电流的变化改变了灯上能量的分配,从而改变了灯的电阻和温度。电流的变化与灯总输出功率的变化不遵从线性关系。由于温度的变化,当总输出功率变化时,在某一个波长的光输出可能恒定。尽管变化不是线性的,但对于微小的变化可以认为是线性的。通常不确定度的传输方法是找出最终的量值相对于原始因子的变化。这种对输入变化的影响的比值称为灵敏度。以白炽灯为例,在敏感的波长上很小的灯电流变化导致输出值的变化见表 C.1。

表 C.1 不确定度传递举例

	灯电流	在 300 nm 的信号
置 1	8.200 0	8.451
置 2	8.201 1	8.461
变化	0.013 4%	0.118%

灵敏度是 $0.118\%/0.0134\%=9$

在 300 nm, 电流 0.1% 的不确定度将产生输出 0.9% 的不确定度。

每一个不确定度必须带入最终值, 表示为百分比形式。所有不确定度以平方根形式合成。测量值和以百分比形式表示的合成不确定度在报告中都要列出。

参 考 文 献

- [1] ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). TLVs and BE/s; Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Exposure Indices. Cincinnati. ACGIH.
 - [2] ANSI/IESNA (American National Standard Institute/Illuminating Engineering Society of North America) RP27. 1-96. Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps—General Requirements. New York: IESNA 1996.
 - [3] ANSVIESNA (American National Standard Institute/Illuminating Engineering Society of North America) RP27. 3-96. recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps — Risk Group Classification & Labeling. New York: IESNA 1996.
 - [4] CIE 134/3—1999 Recp. ,emcommendation on Photobiological Safety of Lamps A review of standards. In CIE Collection in Photobiology and Photochemistry(1999).
 - [5] CIE x016—1998 Measurement of Optical Radiation Hazards.
 - [6] ICNIRP (International Commission on Non -Ionizing Radiation Protection). Guidelines on UV radiation exposure to broadband incoherent optical radiation (0.38 to 3 μm). Health Physics 73,539-554,(1997).
 - [7] IEC Technial Report 60825-9 Satety of laser prcducs. Part 9: Completion of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation,1999.
 - [8] IRPA/INIRC (International Non -ionizing Radiation Committee). Guicalines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent optical radiation). Health Physics 49. 332-340,(1985) and 56,971-972,(1989).
 - [9] KOSTKOWSKI. H. J. Reliable Spectroradiometry. Speotroradiometry Consulting. La Plata. MD(1997).
 - [10] SLINEY,D. H. and WOLBARSH,T,M. L. Safaty with Lasers and Cther Cotical Sources. Plenum, New York(1980).
-

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

灯和灯系统的光生物安全性

GB/T 20145—2006/CIE S 009/E:2002

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 www.bzcbbs.com

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.5 字数 66 千字

2006年11月第一版 2006年11月第一次印刷

*

书号: 155066·1-28107 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 20145-2006