

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 30117.1—2024

## 非相干光产品的光生物安全 第1部分：通用要求

Photobiological safety of non-coherent light products—  
Part 1: General requirements

(IEC 62471:2006, Photobiological safety of lamps and  
lamp systems, MOD)

2024-04-25 发布

2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



目 次

前言 ..... V

引言 ..... VI

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

4 光辐射危害 ..... 6

    4.1 概述 ..... 6

    4.2 光化学紫外危害评估 ..... 7

    4.3 近紫外危害评估 ..... 7

    4.4 视网膜蓝光危害评估 ..... 7

    4.5 视网膜蓝光(小光源)危害评估 ..... 8

    4.6 视网膜热危害评估 ..... 8

    4.7 视网膜热危害(弱视刺激)评估 ..... 8

    4.8 眼睛红外辐射危害评估 ..... 9

    4.9 皮肤辐射热危害评估 ..... 9

5 风险等级分类..... 10

    5.1 概述 ..... 10

    5.2 风险等级定义 ..... 10

    5.3 分类的基准时间 ..... 10

6 分类的通用评定条件..... 11

    6.1 概述 ..... 11

    6.2 试验条件 ..... 11

    6.3 分类 ..... 12

    6.4 确定表观光源对向角 ..... 12

    6.5 辐照度测量 ..... 14

    6.6 辐亮度测量 ..... 14

    6.7 评估孔径光阑 ..... 14

    6.8 光辐射时间特性 ..... 14

7 连续光辐射产品风险类别确定..... 14

    7.1 通则 ..... 14

    7.2 评估程序 ..... 15

    7.3 风险分类 ..... 16

8 脉冲光辐射产品风险类别确定..... 17

8.1 通则 ..... 17

8.2 视网膜热危害 ..... 17

8.3 角膜/晶状体红外危害 ..... 19

8.4 脉冲光产品的风险类别分类 ..... 19

9 光辐射风险标识 ..... 19

9.1 通用要求 ..... 19

9.2 光辐射风险的图形标志 ..... 20

9.3 光辐射风险的文字说明 ..... 20

10 光辐射控制措施 ..... 22

10.1 通用要求 ..... 22

10.2 光辐射风险控制要求 ..... 22

10.3 光辐射风险受控区域 ..... 23

附录 A (资料性) 本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照 ..... 24

附录 B (资料性) 本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因 ..... 27

附录 C (资料性) 危害描述 ..... 29

附录 D (规范性) 危害加权函数 ..... 30

D.1 概述 ..... 30

D.2 光化学紫外危害的光谱加权函数 ..... 30

D.3 视网膜蓝光危害和视网膜热危害的光谱加权函数 ..... 34

附录 E (资料性) 测量不确定度 ..... 39

E.1 通则 ..... 39

E.2 不确定度分析 ..... 39

E.3 不确定度使用 ..... 40

附录 F (资料性) 危害距离的确定 ..... 42

F.1 危害距离 ..... 42

F.2 投射型光束 ..... 42

附录 G (资料性) 曝辐限值 ..... 43

G.1 通则 ..... 43

G.2 瞳孔直径 ..... 43

G.3 视网膜图像大小 ..... 43

G.4 曝辐限值 ..... 43

附录 H (资料性) 关于非相干光产品风险类别的描述 ..... 45

H.1 风险类别 ..... 45

H.2 基准时间 ..... 46

H.3 时间加权平均 ..... 47

附录 I (资料性) 测量评估指南 ..... 49

I.1 概述 ..... 49



I.2	测量条件 .....	49
I.3	光源对向角的测量 .....	49
I.4	脉冲光源的脉冲持续时间测量 .....	50
I.5	辐照度测量 .....	50
I.6	辐亮度测量 .....	52
附录 J (资料性)	测量仪器 .....	56
J.1	概述 .....	56
J.2	光谱辐射计 .....	56
J.3	宽带辐射计 .....	58
J.4	入射光学 .....	59
J.5	仪器的限制 .....	59
附录 K (资料性)	确定可达发射的具体因素 .....	61
K.1	光源的对向角 .....	61
K.2	视网膜危害评估的接收角 .....	61
K.3	视网膜热危害评估的接收角 .....	61
K.4	视网膜蓝光危害评估的接收角 .....	61
K.5	皮肤及眼睛前部危害评估的接收角 .....	62
参考文献	.....	63
图 1	脉冲持续时间应用示例 .....	5
图 2	光辐射风险标识示例 .....	20
图 3	光辐射风险的图形标志 .....	20
图 4	光辐射风险的文字说明示例 .....	22
图 D.1	皮肤和眼睛光化学紫外危害的光谱加权函数 .....	30
图 D.2	视网膜危害光谱加权函数 .....	38
图 E.1	具有不同平均数和不确定度的两个测量值的概率密度分布示意图 .....	41
图 H.1	8 h 周期内的时间加权平均(TWA) .....	47
图 I.1	辐照度测量示意图 .....	51
图 I.2	用于辐亮度测量的成像装置的示意图 .....	53
图 I.3	辐亮度测量的替代方法设置示意图 .....	54
表 1	光辐射危害类型 .....	6
表 2	非相干光产品分类的基准时间 .....	10
表 3	连续光辐射产品的可达发射评估的接收角 .....	15
表 4	连续光辐射产品风险类别的可达发射限值 .....	15
表 5	脉冲光辐射产品视网膜热危害的可达发射限值 .....	18
表 6	用于计算视网膜热危害可达发射限值 $C_s$ 的值 .....	18

表 7 发射持续时间相关值  $\alpha_{\max}$  ..... 18

表 8 在  $\alpha=\alpha_{\max}$  和  $C_5=0.2$  时确定的最坏情况 AEL 值 ..... 19

表 9 各类光辐射风险标识要求 ..... 19

表 10 产品光辐射风险的文字说明 ..... 21

表 A.1 本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照情况 ..... 24

表 B.1 本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因 ..... 27

表 D.1 1 nm 间隔的光谱加权函数值  $S(\lambda)$  ..... 31

表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  ..... 34

表 E.1 不确定度评估要素的示例 ..... 39

表 G.1 光辐射危害的曝辐限值汇总表 ..... 44

表 J.1 使用光谱辐射计测量不同危害类型的示例 ..... 57

表 J.2 使用光谱辐射计的波长偏差示例 ..... 58

表 K.1 视网膜蓝光危害评估的接收角 ..... 62

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 30117 的第1部分。GB/T 30117 已经发布了以下部分：

- 非相干光产品的光生物安全 第1部分：通用要求；
- 灯和灯系统的光生物安全 第2部分：非激光光辐射安全相关的制造要求指南；
- 灯和灯系统的光生物安全 第3部分：对人体的强脉冲光源设备的安全使用准则；
- 灯和灯系统的光生物安全 第4部分：测量方法；
- 灯和灯系统的光生物安全 第5部分：投影仪。

本文件修改采用 IEC 62471:2006《灯和灯系统的光生物安全》。

本文件与 IEC 62471:2006 相比，在结构上有较多调整。两个文件之间的结构编号变化对照一览表见附录 A。

本文件与 IEC 62471:2006 相比，存在较多技术差异，在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直线(|)进行了标示。这些技术差异及其原因一览表见附录 B。

本文件做了下列编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《非相干光产品的光生物安全 第1部分：通用要求》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国光辐射安全与激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本文件起草单位：浙江三色光电技术有限公司、杭州三泰检测技术有限公司、福建省产品质量检验研究院、佛山电器照明股份有限公司、上海工程技术大学电子工程学院、广东省中山市质量计量监督检测所、浙江智慧照明技术有限公司、解放军总医院第一医学中心、厦门市产品质量监督检验院、杭州市质量技术监督检测院、中国计量科学研究院、温州市质量技术监督检测科学研究院、山东华鼎伟业能源科技股份有限公司、成都市计量检定测试院、中山市光圣半导体科技有限公司。

本文件主要起草人：牟同升、牟希、许巧云、丁文超、凌铭、彭振坚、顾瑛、代彩红、苗飞、王欣越、陈志忠、慎月强、胡秋红、杨立委、蒋泳涛、杨付兵、李轶、夏正浩。

## 引 言

各种非相干光产品已经广泛应用在人居照明环境、工业、医疗等各个领域。大多数非相干光产品,根据应用情况已经过光学设计,在正常使用中是安全的;个别产品发射的光辐射可能会对人体健康造成不利影响;还有些产品在异常情况下使用,则可能存在光生物辐射危害。

国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)规定了非相干光的光生物安全曝辐限值。本文件的目的是根据 ICNIRP 规定的光生物安全曝辐限值确定各风险等级的光发射限值,对各种潜在光辐射危害的人体接触状态进行分类,为非相干光产品的光辐射风险等级的确定提供依据。

与单一波长的激光产品相比,非相干光产品的光辐射危害的评估和风险控制更为复杂,涉及的光辐射量的测量也比较困难。因为它所测量的可能是宽光谱、空间扩展的面光源,不是一个简单的点光源;而且光束可能被产品中的其他漫射装置或光学镜头改变,光谱分布也可能因相关的光学滤光片、漫射器、透镜、其他附属装置及不同的工作条件而改变。因此,需综合考虑辐射结果。

为了评估一个非相干光产品,例如弧光灯、白炽灯、荧光灯、LED 灯或其他灯系统,首先,需要确定到达人眼睛和皮肤上光辐射的光谱分布。对光辐射系统来说,由于光路中的光学器件的过滤、光束变化(例如投影物镜)等,人体接收到光辐射光谱分布可能与灯自身的发射光谱分布不同。其次,眼睛视网膜危害与光源发光区或者由投影镜头成像后的表观光源有关。最后,实际的有效辐照度或辐亮度与观察者的距离有关。另外,不同的观看行为将会产生不一样结果;例如:普通照明应用的灯光产品,是非有意观看状态,在一天 8 h 的工作时间内仅仅是偶然会出现光源成像在视网膜上,而且与有意观看不一样,往往成像在视网膜的非中心黄斑区。因此,确定非相干光产品的光辐射风险等级,需要考虑光源本身的光发射状态、人体不同组织潜在危害的差异以及预期接触状态等情况。

GB/T 30117 拟由以下部分构成。

- 非相干光产品的光生物安全 第 1 部分:通用要求;目的在于规范非相干光产品光生物安全的评估要求、危害类型、发射限值、风险等级分类、风险标识和安全控制措施。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 2 部分:非激光光辐射安全相关的制造要求指南;目的在于给出非激光产品光辐射安全要求的基本原则,指导相应的通用产品规范对安全要求作出规定。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 3 部分:对人体的强脉冲光源设备的安全使用准则;目的在于为保护暴露在光辐射危险及相关危害中的人提供建立安全措施和程序的指导。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 4 部分:测量方法;目的在于规范灯和灯系统光生物安全的测试条件和测试方法。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 5 部分:投影仪;目的在于规定投影仪发射光辐射的光生物安全要求。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 6 部分:紫外线灯产品;目的在于规范紫外线灯产品的生产制造、安装使用和人体防护,从而保证使用相关产品的光辐射安全。
- 灯和灯系统的光生物安全 第 7 部分:主要发射可见光的光源和灯具。目的在于规定主要发射可见光的光源和灯具相关产品的光生物安全要求。

# 非相干光产品的光生物安全

## 第1部分：通用要求

### 1 范围

本文件规定了非相干光产品光生物安全的评估、危害类型、发射限值、风险等级分类方法、标识及安全控制措施等通用要求。

本文件适用于发射波长为 200 nm~3 000 nm 内的非相干光产品,包括各种灯和灯系统、有意观看和非有意观看类产品、LED 发光器件等。

同时,也适用于 GB/T 7247.1 中规定的与传统光源具有类似功能但由激光激发的非相干光产品,如激光投影仪、汽车激光照明灯等激光激发的宽带光源。不适用于 GB/T 7247.1 中规定的一般激光产品。

注 1: 本文件的主要内容也适用于评估非电产生发光的其他光辐射源风险,如炽热材料和燃气型的空间加热器等。

注 2: 光辐射可能不是产品的主要功能;例如,冰箱中的光源。

注 3: 非相干光产品通常也称为光源、光辐射源或非相干光源;主要是区别于定向发射单一波长(非常窄的带宽)且具有明显相干特性的激光产品。

本文件没有规定特定应用产品的安全要求。普通照明用(GLS)灯和灯系统、紫外线产品及投影仪等都包括在本文件的范围内,针对这些特定应用产品制定的光辐射安全标准,将提供特定产品具体的风险组评估条件、风险等级及安全控制措施等要求。

风险分类将有助于对产品进行风险评估,帮助确定用户需要的控制措施。其目的是尽可能确保市场上的产品安全。风险 3 类的产品通常不适合作为一般消费用产品。

下列情况也可能造成光辐射安全问题,但不在本文件的范围之内:

- 使人分心的干扰光;
- 强光眩目;
- 闪光盲;
- 暂时性视力障碍;
- 光闪烁;
- 异常光敏性;
- 接触光敏化学物质,或食用光敏性药物;
- 三岁以下儿童、无晶状体眼睛或使用人工晶体的眼睛;
- 光辐射引起的昼夜节律紊乱;
- 个人异常行为,例如故意凝视强光源;因酒精或毒品引起的异常表现。

本文件适用于正常成年人、健康眼睛和皮肤状态的人接触的非相干光产品。此外,本文件采用的光辐射危害类型及相应的发射限值,仅考虑短期使用情况;对于长期使用可能产生的风险,如长期紫外线辐照可能产生的皮肤癌等不在本文件的考虑范围内。

本文件不适用于电子日光美黑灯、眼科仪器或其他特殊医疗应用的设备,这些产品的安全要求由其他相应的标准规定。

注: 本文件中成年人是指接受过法定义务教育具备一定认知,一般年龄不小于 18 周岁的人。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文

件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 7247.1 激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求(GB/T 7247.1—2012,IEC 60825-1:2007,IDT)

GB/T 30117.3—2019 灯和灯系统的光生物安全 第3部分:对人体的强脉冲光源设备的安全使用准则(IEC TR 62471-3:2015,IDT)

GB/T 30117.4—2023 灯和灯系统的光生物安全 第4部分:测量方法(IEC TR 62471-4:2022,MOD)

GB/T 30117.5—2019 灯和灯系统的光生物安全 第5部分:投影仪(IEC 62471-5:2015,IDT)

GB/T 34034—2017 普通照明用LED产品光辐射安全要求

IEC 60050(所有部分) 国际电工词汇(International electrotechnical vocabulary)

注:GB/T 2900(所有部分) 电工术语[IEC 60050(所有部分)]

### 3 术语和定义

GB/T 30117.3—2019、GB/T 30117.4—2023、GB/T 30117.5—2019、GB/T 34034—2017、IEC 60050(所有部分)界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**可达发射** **accessible emission; AE**

按照本文件的规定在产品一定距离处,并且在相应的测量条件下测定的辐射水平。

注:可达发射用于与可达发射限值(3.2)进行比较,以确定产品的风险等级。

#### 3.2

**可达发射限值** **accessible emission limit; AEL**

在特定风险等级内允许的最大可达发射(3.1)值。

#### 3.3

**作用光谱** **action spectrum**

用于表示光学辐射对眼睛或皮肤的特定影响的相对光谱有效性的函数。

注:作用光谱为无量纲(单位)。如果没有另外说明,则将其归一化到最大值。

#### 3.4

**接收角** **angle of acceptance**

$\gamma$

限定探测器接收光辐射的视场(3.12)平面(全)角。

单位:rad

注1:平面接收角 $\gamma$ 与表观光源的对向角 $\alpha$ (3.5)或光束扩散角不同。

注2:接收角能通过视场孔径或探测器前的光学元件控制。

注3:接收角有时也被称为视场角。

注4:在测量空间平均辐亮度时,接收角 $\gamma$ 可能会大于或小于(表观)光源的对向角 $\alpha$ (3.5)。

#### 3.5

**对向角** **angular subtense**

$\alpha$

由表观光源相对于观察者的眼睛或测量点所形成的角。

单位:rad

注1:用作投影装置的反射镜和透镜通常会改变对向角,即表观光源的对向角不同于实际光源的对向角。

注 2: 本文件中的对向角指的是全角,而不是半角。

## 3.6

**孔径 aperture**

孔径光阑 aperture stop

用于限定平均光辐射测量区域的开孔。

## 3.7

**分类距离 classification distance**

评估距离 assessment distance

用于确定产品分类的风险组的距离。

注: 分类距离不一定是测量距离(3.19)。对于某些紫外线光源,为了得到高的信噪比,测量距离(3.19)可能不同于分类距离。

## 3.8

**蓝光危害 blue light hazard; BLH**

由波长主要介于 400 nm~500 nm 的辐照引起的光化学作用,可能导致视网膜的损伤。

注 1: 与视网膜热危害相比,如果照射时间超过 10 s,则这种损害机理起主要作用。

注 2: 对于 3 岁以下的儿童,其眼睛的晶状体在短波长的蓝光及近紫外区域的透射比不同。因此,本文件的蓝光危害评估不适用。

## 3.9

**发射限值 emission limit**

根据合理可预见的时间加权暴露条件,为每个风险组定义的限值。

注: 发射限值来自于曝辐限值(3.10),结合了暴露持续时间和辐照距离的概念。

## 3.10

**曝辐限值 exposure limit**

预期不会导致眼睛或皮肤遭受有害生物作用的最高辐射水平(见附录 C)。

## 3.11

**眼运动 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不规则运动。

注: 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 弧度的对向角(3.5)。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扩散。

## 3.12

**视场 field of view**

探测器(例如辐射度计/光谱辐射计)能够接收光辐射的立体角。

单位: sr

注 1: 视场与表观光源的对向角  $\alpha$ (3.5)不同。

注 2: 接收角(3.4)有时用来描述视场的平面角。

## 3.13

**普通照明用灯 general lighting service lamps; GLS lamps**

名义上为发出白光的灯和灯系统,通常用于照亮人居环境或作业空间。

注: 例如用于办公室、学校、家庭、工厂、道路或汽车等照明的灯和灯系统。但不包括用于电影放映、复印、日光美白、工业加工、医疗和探照灯等方面的灯。

## 3.14

**危害距离 hazard distance**

人体与非相干光产品之间的距离,在该距离内对于给定的曝光时间的辐照度或辐亮度等于相应的

曝辐限值(3.10)。

3.15

**有意观看 intentional viewing**

为了某种目的眼睛有意接触光辐射的情况。

注：例如电子显示屏、交通信号灯等产品，为了观看显示信息和信号标志，眼睛的视线会有意聚焦在目标上。在这种观看状态下，眼睛的生理性回避反应时间可能大于 0.25 s。

3.16

**预期辐照 intended exposure**

按照制造商或供应商提供的说明书、指导和信息来使用的产品光辐射状态。

3.17

**大光源 large source**

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扩散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的表观光源。

注：本文件设定为表观光源对向角(3.5)大于 0.1 rad 的情况。

3.18

**亮度 luminance**

$L_v$

在一个实的或虚的发光面上的一个给定点、给定方向上由公式(1)定义的光学量。

$$L_v = \frac{d\Phi_v}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$L_v$  ——亮度，单位为坎德拉每平方米( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )；

$d\Omega$  ——立体角；

$d\Phi_v$  ——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；

$dA$  ——包含给定点的光束的截面面积；

$\theta$  ——截面法线与光束方向之间的夹角。

注：用于光生物安全评估的亮度，是指在一个实的或表观光源的发光面上一个给定视场(3.11)区域、给定光束接收孔径(3.6)上的亮度。视场(3.11)区域和光束接收孔径(3.6)与相应的风险等级分类所规定的条件一致。

3.19

**测量距离 measurement distance**

根据风险等级分类规定的条件，对被测光源的可达发射进行测量的距离。

注：当测量距离偏离指定的分类距离(3.7)时，则需要将测量值换算到在分类距离(3.7)上才可以获得相应的发射限值(3.9)。

3.20

**连续光辐射产品 product emitting continuous wave(CW)optical radiation**

工作时，光输出持续时间大于或等于 0.25 s 的光辐射产品，即非脉冲灯(3.21)。

3.21

**脉冲光辐射产品 product emitting pulse optical radiation**

**脉冲灯 pulsed lamp**

以单个脉冲或脉冲序列的形式发射能量的光辐射产品，每一个脉冲持续时间(3.22)小于 0.25 s。

注 1：对于发射连续的脉冲序列或调制辐射能量的产品，其峰值辐射功率至少是平均辐射功率的 1.5 倍。

注 2：在本文件中，普通照明灯被定义为连续光辐射产品(3.20)。脉冲灯包括：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。



## 3.22

## 脉冲持续时间 pulse duration

 $t_p$ 

在脉冲的前沿和后沿上的半峰值功率点之间的时间间隔；对于不同波长的光谱随时间变化不一致的光辐射产品，脉冲的总辐亮度剂量和峰值辐亮度是危害加权函数计算值，如图 1 所示。

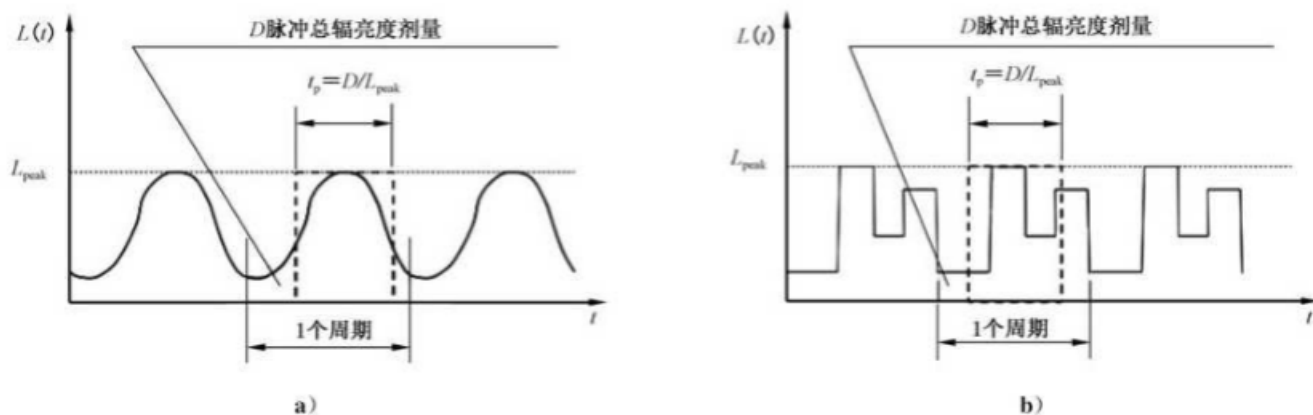


图 1 脉冲持续时间应用示例

注 1：不同电驱动波形下的多种 LED 组合的发光产品、短波激发（如 LED 或激光）荧光粉的混合白光产品以及一些气体放电灯等，在不同时间可能存在光谱变化。

注 2：对于视网膜热危害评估，时间间隔根据  $D/L_{\text{peak}}$  计算，其中  $D$  是脉冲的总辐亮度剂量， $L_{\text{peak}}$  是脉冲的峰值辐亮度，见 GB/T 30117.5—2019。

注 3：对于以三角形或矩形发射的脉冲，脉冲持续时间的定义与半峰全宽 (FWHM) 的定义相同。

注 4：如图 1b) 虚线中所示，对于矩形脉冲在脉冲持续时间  $t_p$  内实际脉冲具有相同的峰值辐亮度，与由总辐亮度剂量计算相同。

## 3.23

## 辐亮度剂量 radiance dose

 $D$ 

在整个给定时间  $\Delta t$  内，光源上定点发射的辐亮度  $L(t)$  的时间积分。见公式 (2)：

$$D = \int_{\Delta t} L(t) \cdot dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

## 3.24

## 曝辐量 radiant exposure

 $H$ 

在给定的时间内，给定点上接受到的辐射能量。可以通过公式 (3) 或公式 (4) 定义。

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$H$  ——曝辐量，单位为焦每平方米 ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )；

$dQ$  ——投射到包含给定点的面元上的辐射能量；

$dA$  ——包含给定点的光束的截面面积；

$$H = \int_{\Delta t} E(t) \cdot dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$H$  ——曝辐量，单位为焦每平方米 ( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )；

$E(t)$  ——整个给定时间  $\Delta t$  内给定点上接受到的辐照度；

3.25

辐射功率    **radiant power**

辐射通量    **radiant flux**

$\Phi$

以辐射形式发射、传输或接收的功率。

3.26

小光源    **small source**

对向角(3.5)小于视网膜危害相应风险组所对应的测量接收角(3.4)的表观光源。

3.27

非有意观看    **unintentional viewing**

眼睛非有意接触到光辐射的情况。

注：例如，普通照明用产品用于照亮环境或者工作区，产品本身不是人眼主要观看目标。

4 光辐射危害

4.1 概述

由于人体组织对光辐射的强烈吸收,对光辐射危害的评估需考虑皮肤、眼睛的前部组织(角膜、结膜和晶状体)和视网膜等人体组织的暴露情况。

本文件包括发射波长在 200 nm~3 000 nm 内的光辐射,由于成年人眼睛前部组织的透射特性,视网膜的暴露只需要考虑波长在 300 nm~1 400 nm 内的光辐射。

本文件考虑的光辐射危害类型见表 1,详细内容在本章后续条款中介绍。附录 C 提供了详细的背景信息。当产品的波长特性已知时,可能没有必要对所有的波长范围的各种危害都进行评估。例如,一个红色 LED 光源,不太可能发出紫外辐射,不需要评估紫外危害。

表 1 光辐射危害类型

目标组织	危害类型	作用光谱	波长范围 nm	评估物理量	符号	单位
皮肤和眼睛 前部组织	光化学紫外	$S_{UV}(\lambda)$	200~400	辐照度	$E_S$	$W \cdot m^{-2}$
晶状体	近紫外	—	315~400	辐照度	$E_{UVA}$	$W \cdot m^{-2}$
视网膜	视网膜蓝光	$B(\lambda)$	300~700	空间平均辐 亮度	$L_B$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
视网膜	视网膜蓝光 (小光源) <sup>a</sup>	$B(\lambda)$	300~700	辐照度	$E_B$	$W \cdot m^{-2}$
视网膜	视网膜热	$R(\lambda)$	380~1 400	空间平均辐亮度	$L_R$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
视网膜	视网膜热 (弱视刺激)	$R(\lambda)$	780~1 400	空间平均辐亮度	$L_{IR}$	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
眼睛前部组织	眼睛红外辐射	—	780~3 000	辐照度	$E_{IR}$	$W \cdot m^{-2}$
皮肤	辐射热	—	380~3 000	辐照度	$E_H$	$W \cdot m^{-2}$
<sup>a</sup> 视网膜蓝光(小光源)是视网膜蓝光危害的一种简化评估类型。						

## 4.2 光化学紫外危害评估

非相干光产品的光化学紫外危害评估的波长范围为 200 nm~400 nm。光化学紫外有效辐照度应按公式(5)计算:

$$E_s = \sum_{200}^{400} E_\lambda S_{UV}(\lambda) \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$E_s$  ——光化学紫外辐照度,单位为瓦每平方米( $W \cdot m^{-2}$ );

$E_\lambda$  ——光谱辐照度,单位为瓦每平方米纳米( $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ ),根据第 6 章规定的距离和表 3 的接收角进行测量;

$S_{UV}(\lambda)$  ——光化学紫外危害作用光谱;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

连续光源的测定值  $E_s$  应与表 4 中的风险组发射限值进行比较。对于脉冲光辐射,将  $E_s$  的时间平均值与表 6 中的风险组发射限值进行比较。

作用光谱  $S_{UV}(\lambda)$  应按照附录 D 中的表 D.1 取值。

## 4.3 近紫外危害评估

非相干光产品的近紫外危害评估的波长范围为 315 nm~400 nm。近紫外辐照度  $E_{UVA}$  应按公式(6)计算:

$$E_{UVA} = \sum_{315}^{400} E_\lambda \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$E_{UVA}$  ——近紫外辐照度,单位为瓦每平方米( $W \cdot m^{-2}$ );

$E_\lambda$  ——光谱辐照度,单位为瓦每平方米纳米( $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ ),根据第 6 章规定的距离和表 3 的接收角进行测量;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

将连续光源的测定值  $E_{UVA}$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。对于脉冲发射,将  $E_{UVA}$  的时间平均值与表 4 中的风险组发射限值进行比较。

## 4.4 视网膜蓝光危害评估

非相干光产品的视网膜蓝光危害评估的波长范围为 300 nm~700 nm。视网膜蓝光有效辐亮度  $L_B$ ,应按公式(7)计算:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda(t) B(\lambda) \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$L_B$  ——视网膜蓝光有效辐亮度,单位为瓦每平方米球面度( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ );

$L_\lambda(t)$  ——光谱辐亮度,单位为瓦每平方米球面度纳米( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ ),根据第 6 章规定的距离和表 3(连续)或表 5(脉冲)中与发射持续时间相关的接收角进行测量;

$B(\lambda)$  ——视网膜蓝光危害作用光谱;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

将连续光源的测定值  $L_B$  与表 4 中的风险组的发射限值进行比较。对于脉冲发射,将  $L_B$  的时间平均值与表 4 中的风险组发射限值进行比较。

作用光谱  $B(\lambda)$  应按照附录 D 中的表 D.2 取值。

注：这里视网膜蓝光危害“通用”辐亮度限值，也适用于小光源（小于  $\gamma_{ph}$ ）的情况；其中的辐亮度是在  $\gamma_{ph}$  范围内的平均值。视网膜蓝光（小光源）的危害限值（以辐照度表示）是对光源小于辐亮度测量所定义的接收角情况下的简化方法，不是另外一种危害类型。

4.5 视网膜蓝光（小光源）危害评估

对于发光区域不超过表 3 中规定“视网膜蓝光”测量接收角对应的圆形区域的非相干光产品，视网膜蓝光（小光源）有效辐照度  $E_B$  应按公式(8)计算：

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_{\lambda} B(\lambda) \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：  
 $E_B$  ——视网膜蓝光（小光源）有效辐照度，单位为瓦每平方米（ $W \cdot m^{-2}$ ）；  
 $E_{\lambda}$  ——光谱辐照度，单位为瓦每平方米纳米（ $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ ），根据第 6 章在一定距离进行测量，没有接收角限制，但光源不应大于规定的接收角对应的范围；  
 $B(\lambda)$ ——视网膜蓝光危害作用光谱；  
 $\Delta\lambda$  ——波长间隔，单位为纳米（nm）。

将连续光源的测定值  $E_B$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。对于脉冲发射，将  $E_B$  的时间平均值与表 4 中的风险组发射限值进行比较。

作用光谱  $B(\lambda)$  应按照附录 D 中的表 D.2 取值。

注：如果光源的整个发光面积都在表 3 中规定的“视网膜蓝光”指定的接收角（即为  $\gamma_{ph}$ ）范围内，那么根据本条款测量将与 4.4 使用接收角等于  $\gamma_{ph}$  进行空间平均测量得到相同的结果，即 AE 与 AEL 的比率是一样的。对于光源的发光面积超过  $\gamma_{ph}$  的情况，当采用等于  $\gamma_{ph}$  的接收角来确定“小光源限值”的可达发射时，“小光源限值”的应用会得到与辐亮度限值相同的 AE 与 AEL 的比值。小光源限值是表示视网膜蓝光危害辐亮度限值的一种等效方法，不是额外的限值。视网膜蓝光危害辐亮度限值也适用于光源小于  $\gamma_{ph}$  的情况，其中辐亮度是在  $\gamma_{ph}$  范围内平均测量得到。

4.6 视网膜热危害评估

非相干光产品的视网膜热危害评估的波长范围为 380 nm~1 400 nm。视网膜热危害有效辐亮度  $L_R$  应按公式(9)计算：

$$L_R = \sum_{380}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：  
 $L_R$  ——视网膜热危害有效辐亮度，单位为瓦每平方米球面度（ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ ）；  
 $L_{\lambda}$  ——光谱辐亮度，单位为  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ ，根据第 6 章规定的距离、表 3（连续）和第 8 章脉冲光辐射的接收角进行测量；  
 $R(\lambda)$ ——视网膜热危害作用光谱；  
 $\Delta\lambda$  ——波长间隔，单位为纳米（nm）。

对于脉冲发射，将辐亮度剂量  $D_R$  与相应的可达发射限值进行比较，按公式(10)计算

$$D_R = \int L_R(t) dt \quad \dots\dots\dots (10)$$

将连续光辐射的测定值  $L_R$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。脉冲光辐射应根据第 8 章进行评估。

作用光谱  $R(\lambda)$  应按照附录 D 中的表 D.2 取值。

4.7 视网膜热危害（弱视刺激）评估

非相干光产品的视网膜热危害（弱视刺激）评估的波长范围为 780 nm~1 400 nm。对于在光谱范

围 780 nm~1 400 nm 内发射光辐射的非相干光产品,对于连续光辐射在 0.011 rad 接收角进行空间平均测量的最大亮度或脉冲光辐射通过时间平均得到的亮度小于  $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  时,视网膜热危害(弱视刺激)有效辐亮度  $L_{\text{IR}}$  应按公式(11)计算:

$$L_{\text{IR}} = \sum_{780}^{1400} L_{\lambda} R(\lambda) \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

$L_{\text{IR}}$  ——视网膜热危害(弱视刺激)有效辐亮度,单位为瓦每平方米球面度( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ );

$L_{\lambda}$  ——光谱辐亮度,单位为  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$ ,根据第 6 章规定的距离、表 3(连续)和第 8 章脉冲光辐射的接收角进行测量;

$R(\lambda)$  ——视网膜热危害作用光谱;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

将连续光辐射的测定值  $L_{\text{IR}}$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。脉冲光辐射应根据第 8 章进行评估。

作用光谱  $R(\lambda)$  应按照附录 D 中的表 D.2 取值。

#### 4.8 眼睛红外辐射危害评估

非相干光产品的眼睛红外辐射危害评估的波长范围为 780 nm~3 000 nm。眼睛红外辐射危害辐照度  $E_{\text{IR}}$  应按公式(12)计算:

$$E_{\text{IR}} = \sum_{780}^{1000} 0.3 E_{\lambda} \Delta\lambda + \sum_{>1000}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$E_{\text{IR}}$  ——眼睛红外辐射危害辐照度,单位为瓦每平方米( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );

$E_{\lambda}$  ——光谱辐照度,单位为瓦每平方米纳米( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ),根据第 6 章规定的距离和表 3 的接收角进行测量;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

将连续光辐射的测定值  $E_{\text{IR}}$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。脉冲光辐射应与第 8 章中的风险组发射限值进行比较。

注:如果未加权的总辐照度不超过 AEL,则不需要进行公式(12)中的光谱加权计算。

#### 4.9 皮肤辐射热危害评估

非相干光产品的皮肤辐射热危害评估的波长范围为 380 nm~3 000 nm。皮肤辐射热危害辐照度  $E_{\text{H}}$  应按公式(13)计算:

$$E_{\text{H}} = \sum_{380}^{3000} E_{\lambda} \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$E_{\text{H}}$  ——皮肤辐射热危害辐照度,单位为瓦每平方米( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ );

$E_{\lambda}$  ——光谱辐照度,单位为瓦每平方米纳米( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$ ),根据第 6 章规定的距离和表 3 的接收角进行测量;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔,单位为纳米(nm)。

将连续光辐射的测定值  $E_{\text{H}}$  与表 4 中的风险组发射限值进行比较。脉冲光辐射应与第 8 章中的风险组发射限值进行比较。

注 1:对于皮肤和眼睛的光辐射危害评估,只需要将 3 000 nm 以下波长范围内的辐照度与相应的发射限值进行比较。如果用宽波段的热辐射探测器直接测量,那么 3 000 nm 以上的光谱辐照度可能会明显影响测定值。例如,对于表面温度为 1 000 °C 的热辐射器,波长 3 000 nm 以上的光辐射可能使测定值增加一倍。

注 2：与测量不确定度相关问题的信息摘要见附录 E。

5 风险等级分类

5.1 概述

风险等级分类表明潜在的不良健康影响的危害程度。根据使用条件、接触时间或环境,这些风险也可能不会真正造成实际不利的健康影响。在分类的帮助下,用户可以选择适当的控制措施来使风险降到最低。

5.2 风险等级定义

以下风险等级按照危害程度增加的顺序排列。

- 免除类(RG 0):在可预见的条件下没有光生物危险。
- 风险 1 类(RG 1):危险由于人体暴露的正常行为反应而受到限制。
- 风险 1C 类(RG 1C):危险由光辐射的工程控制而受到限制,使任何光辐射泄漏不超过 RG 1。RG 1C 是预期用于皮肤类的产品,对皮肤的风险可能很高。因此,只有当特定的产品标准提供了相应的工程控制规范时,产品才可以分为 RG 1C。
- 风险 2 类(RG 2):危险由于人体对强光辐射的厌恶反应、对主要发射红外辐射的热辐射光源的热感知或对主要发射紫外辐射光源的正常行为反应而受到限制。然而,这种厌恶反应可能会被有意识地克服。
- 风险 3 类(RG 3):即使是短暂或瞬间暴露,也可能对健康产生不利影响的光辐射源。

非相干光产品应根据这些分类等级从严(最高风险等级)确定其风险等级;并在适用的产品标准中规定最终风险等级要求。对于普通照明用(GLS)灯和灯系统或者特定应用目的产品,如果存在适用的产品标准,则按照对应标准的规定进行风险评估。

5.3 分类的基准时间

表 2 提供了每一种危害及风险类别的基准时间。

注 1：每一种危害类型和风险等级对应的 AEL 值,是根据各自对应的基准时间从曝辐限值(见附录 G)得出的。例如,风险 1 类(基准时间 10 000 s)的光化学紫外可达发射限值等于  $0.003\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,这是由曝辐限值  $30\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$  除以 10 000 s 得到的。因此,基准时间也是在分类评估距离上允许曝光持续时间的下限值。

注 2：关于非相干光产品风险类别的描述详见附录 H。

表 2 非相干光产品分类的基准时间

危害类型		波长范围 nm	时间 s		
			免除类	风险 1 类	风险 2 类
光化学紫外		200~400	30 000	10 000	1 000
近紫外		315~400	30 000	300	100
视网膜蓝光	非有意观看	300~700	10 000	100	0.25
	有意观看		30 000	1 000	10
视网膜蓝光 (小光源)	非有意观看	300~700	10 000	100	0.25
	有意观看		30 000	1 000	10

表 2 非相干光产品分类的基准时间（续）

危害类型		波长范围 nm	时间 s		
			免除类	风险 1 类	风险 2 类
视网膜热	非有意观看	380~1 400	0.25 <sup>a</sup>		
	有意观看		10	10	0.25
视网膜热 (弱视刺激)	非有意观看	780~1 400	100	10 <sup>b</sup>	
	有意观看		1 000	100	10
角膜/晶状体红外		780~3 000	1 000	100	10
皮肤辐射热		380~3 000	10		
<sup>a</sup> 非有意观看的视网膜热危害可达发射限值,超过曝辐时间 0.25 s 的规定,就是风险 3 类。					
<sup>b</sup> 由于主要发射红外线的非相干光不会引起厌恶反应,视网膜热(弱视刺激)(非有意观看)危害的可达发射超过由 10 s 导出的 AEL 时,产品为 RG 3;当低于 AEL 时,产品为 RG 1。					

6 分类的通用评定条件

6.1 概述

本条款包括关于所有非相干光产品的分类评估条件的通用信息。关于连续光辐射产品分类的详细内容见第 7 章,关于脉冲光辐射产品分类的详细内容见第 8 章。

风险等级分类考虑了非相干光产品发出的光辐射量和波长分布。在某些情况下,非相干光产品的分类不需要基于测量结果,也不需要考虑到第 4 章中的所有风险;根据预先了解的产品物理特性信息,可以确定这些产品排除在需要考虑的某些危害范围之外,或直接确定特定的风险等级(例如:由于发射光辐射水平极低,某些产品是 RG 0,或某些非常高功率的产品是 RG 3)。

风险类别的分类主要是基于对眼睛的危害,因为眼睛是人体比较敏感的组织。

RG 0 类的非相干光产品,包括其光源发射相对低水平光辐射或结构上的限制使可达发射达到 RG0 要求的产品。结构上的限制包括遮光罩、基于传感器使光发射降低等装置。来自组合光源的光辐射可能更高。本文件没有提供这种降低可达发射类型产品的特殊试验要求;但在相应产品的特定安全标准中规定。

有意用可见光辐射(380 nm~780 nm)照射面部的灯光产品需要更高的要求,以保证在正常工作期间始终保持在 RG 0 的限值以下。目前的光生物安全限值被认为是足够保守和合理的,由以防止在正常生理范围内的光照射对眼睛和皮肤的伤害。由不适眩光引起的行为(回避)反应,则需将长时间光照暴露限制在人生理范围内的舒适水平。

产品的可达发射数据的计算采用 ICNIRP 指南(见附录 G);有关测量方法按照 GB/T 30117.4—2023 规定的相关程序执行,也可参考附录 I 和附录 J。

注 1: 在评估产品系统时,不需要另外再评估光源的风险类别。

注 2: 先前评估的关于光源的风险类别的信息可能有助于对产品系统的分类。

6.2 试验条件

最大可达发射水平应在产品的整个运行期间的任何时间内进行确定,并考虑到光源启动时及后续



正常工作期间任何可能增加光发射的情况；还需要考虑单一故障条件下的可达发射状态。

在宽光谱(白光)光源的视网膜蓝光和视网膜热危害评估中,如果产品的最大亮度不超过  $10^4 \text{ cd m}^{-2}$ , 则不会超过视网膜蓝光和视网膜热危害的曝辐限值。

### 6.3 分类

#### 6.3.1 概述

为了评估宽光谱的非相干光产品,如果光源的光谱分布信息未知,则需要测量可达发射的光谱分布。由于光路中的光学元件(例如投影光学镜头)的过滤作用,最终产品的实际发射光谱分布可能不同于内部光源单独发出的光谱分布。如果总辐亮度和总辐照度的初始测量值低于表 3 中的限值,则不进行详细的光谱测量。其次,在视网膜危害光谱区域,需要确定光源的大小或投影像的大小,除非假定是最严酷的  $\alpha_{\max}$  情况。最后,如果产品为 RG 3 类,可能需要确定辐照度和有效辐亮度随距离的变化关系。

风险类别分类的评估距离见 6.3.2 和 6.3.3。当测量距离偏离评估距离时,则需要将测量值换算到相应的评估距离对应的值。如果存在产品(特定应用)标准,该标准将为非相干光产品的评估距离提供依据。

#### 6.3.2 非相干光产品的光源

非相干光源的默认评估距离为距离人可达的最近点 1 m 处。光源并不局限于一个特定的应用,为了允许将基于辐亮度的物理量(例如:视网膜蓝光危害或视网膜热危害)的光源评估结果转换到含有相同光源的产品上,光源的评估距离应为 0.2 m,视场为 1.7 mrad。该光源应在具有最大光输出的条件下运行和评估。

注 1: 测量距离不一定与评估距离相同,数据需要进行换算处理。

注 2: 选择 1.7 mrad 的视场作为最高辐亮度结果,是考虑到将结果传递到灯具上的最高辐射点。

#### 6.3.3 非相干光产品

非相干光产品的默认评估距离为 1 m。该距离是相对于人可达的最近点。

如果产品的预期辐照距离小于 1 m,则应在此更近的距离上确定分类。

对于视网膜热危害和视网膜蓝光危害,为了确定光源的辐亮度分布来确定可达发射,最近的适用距离(对一个实的或虚的物体成像)等于 0.2 m。

如果有特定的产品标准规定了分类或测量要求,则优先使用这些要求。

注 1: 在 IEC 62471:2006 中,普通照明用灯和灯系统以产生 500 lx 照度的位置作为分类的评估距离进行评估。

注 2: 例如体育场照明灯具、舞台追光灯和汽车前照灯等产品,分类的评估距离为 1 m。

注 3: 产品的测量距离不一定要与分类的评估距离一样。在这种情况下,产品的可达发射、与视网膜热危害评估相关的表观光源的对向角,需要根据测量距离的评估结果按照分类的评估距离进行换算修正。

注 4: 如果使用分类距离作为测量距离,则无需进一步修正。

注 5: 在附录 I 中提供了关于测量距离和分类距离之间的评估计算方法。

注 6: 对于非 GLS 的分类,采用默认距离为 0.2 m 的要求,并不意味着人体可能在该距离处暴露,特别是对于风险等级假定的整个暴露期间。

### 6.4 确定表观光源对向角

#### 6.4.1 通则

对于在视网膜热危害区域发射光辐射的非相干光产品的分类,需要表观光源的对向角  $\alpha$  来确定视



网膜热危害的可达发射限值[见表 3(连续)/表 6(脉冲)]

注 1: 假设  $\alpha$  为 0.1 rad(对于脉冲发射的情况,  $\alpha$  设置为 0.1 rad, 或者当脉冲持续时间已知时, 等于  $\alpha_{\max}$ ), 作为保守的简化评估方法。

如果非相干光产品不包括改变光束分布的光学器件, 如透镜或反射镜, 则使用光源的辐射发射面积的物理尺寸来确定分类距离处的对向角。

对于边缘明确的圆形光源, 光源的对向角  $\alpha$  由公式(14)计算:

$$\alpha = 2 \arctan(d/2r) \approx d/r \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$d$  ——光源的直径;

$r$  ——从光源到分类位置的距离。

如果非相干光产品包含使光束变化的光学器件, 其表观光源可能与实际物理光源光辐射的尺寸不同。在这种情况下, 表观光源的对向角  $\alpha$  应在分类距离处测定。

注 2: 为了准确地测定  $\alpha$  值, 通常需要用透镜将表观光源成像到一个图像平面上, 例如 CCD 阵列探测器。改变透镜和图像平面之间的距离, 以获得表观光源的图像。这相当于模拟眼睛的调节情况。需考虑在成像系统前 200 mm 的最近点和无穷远之间进行调节。

注 3: 如果测量时光源尺寸未知, 且无法对光源进行测量, 则参见附录 K。

#### 6.4.2 限制对向角

本文件中使用了两个限制对向角: 确定小光源和中等光源之间限值的角度(最小对向角  $\alpha_{\min}$ )和确定中等光源和大光源之间限值的角度(最大对向角  $\alpha_{\max}$ )。在这些限制对向角以下和以上时, 表 4(连续)、表 7 和表 8(脉冲)中的视网膜热危害可达发射限值与光源大小无关。

为了确定表 4 中连续光辐射  $L_R$  和  $L_{IR}$  测量的对向角  $\alpha$ ,  $\alpha_{\min}$  的值等于 0.011 rad。

对于脉冲光辐射(即发射持续时间小于 0.25 s), 为了确定可达发射限值中的  $\alpha$ ,  $\alpha_{\min}$  的值等于 0.005 rad。

对于小于 0.011 rad 的表观光源, 为了确定适用于连续光辐射限值的折减因子 RF,  $\alpha_{\min}$  值等于 0.001 5 rad。

为了确定连续光发射  $L_R$  和  $L_{IR}$  测量的对向角  $\alpha$ ,  $\alpha_{\max}$  值等于 0.1 rad; 对于脉冲发射,  $\alpha_{\max}$  值取决于发射的持续时间, 详见表 7。

注: 例如, 一个长方形光源的水平方向为 19 mrad, 垂直方向为 11 mrad。对于连续光的限值, 采用算术平均计算, 即  $(19 \text{ mrad} + 11 \text{ mrad}) / 2 = 15 \text{ mrad} = 0.015 \text{ rad}$ 。

#### 6.4.3 $\alpha$ 值的确定

对于表观光源为非圆形的发光面时,  $\alpha$  值是发光面的角宽度和角高度的算术平均值。在确定平均值之前, 每个方向的尺寸应限制在最小对向角  $\alpha_{\min}$  和最大对向角  $\alpha_{\max}$  之间(见 6.4.2)。

为了确定  $\alpha$ , 应在辐亮度分布图上使用 50% 峰值点进行简化分析。对于阵列分布或不规则的辐亮度分布, 使用峰值辐射 50% 的点给出的最外层分布进行简化分析, 这是一种保守的计算方法。 $\alpha$  的结果值用于确定可达发射限值。

对于这种简化的分析方法, 以辐亮度表示的可达发射应在表 3 定义的接收角上测量平均值。

对于不规则或阵列分布的情况, 有一种限制较少但较复杂的可选分析方法<sup>[15]</sup>。在辐亮度分布图(当表观光源成像在探测器上时, 相当于辐照度分布)上, 通过不同的视场以及表观光源上的位置进行分析。每个视场都与由视场的边界给出的  $\alpha$  值以及相应的可达发射限值( $\alpha$ )相关联。辐亮度(作为可达发射值)在这个视场上取平均值。这个分析方法是基于 AE 与 AEL 最大比率相关的视场进行测量。该特定视场的  $\alpha$  值, 用于确定可达发射限值和测量平均辐亮度(在特定视场上进行平均), 增加因子 1.3 用作产品分类的可达发射测量。

注: 为了确保可达发射限值和视网膜热损伤的损伤阈值之间有足够大的边界, 需要因子 1.3<sup>[15]</sup>。

复杂辐亮度和表观光源的分析步骤如下：

- a) 应独立地使用圆形和矩形的视场形状；
- b) 对于不同类型的视场，光源辐亮度分布上的位置以及视场的尺寸都是不同的（对于圆形视场，直径是独立变化的；对于矩形视场，角宽度和角高度是独立变化的）；
- c) 对于上述变化，视场的尺寸仅限于  $\alpha_{\max}$  作为每个维度的最大范围，并且最小限制在 0.005 mrad，适用于脉冲和连续光辐射；
- d) 分析的方法是在两种视场和对应的对向角和位置变化下，得到 AE 与 AEL 的最大比率。为了确定 AEL，对于该比率，当发射脉冲光时不使用因子  $C_s$ ；
- e) 用于分类的可达发射增加一个 1.3 的因子；
- f) 如果与简化分析相比，该分析得出的 AE 和 AEL 的比率更严格，则简化分析可用于分类。

注：用来确定辐亮度分布的成像系统，其不同调节状态会导致不同的辐亮度分布，上述分析适用于确定每种调节状态下的 AE 和 AEL。总而言之，对于所有评估的调节状态，解决方案是取所有 AE 和 AEL 比率中的最大值。当表观光源很明显时，产生 AE 与 AEL 最限制性的比率，改变成像系统的调节状态以产生一系列用于确定表观光源的辐亮度分布是没有必要的。

6.5 辐照度测量

如果辐照度或曝辐量规定了发射限值，用于测定辐照度或曝辐量的接收角见表 3(连续)和表 6(脉冲)。辐照度评估应按照 6.3 规定的距离进行，并应包括光束横截面内辐照度最高的局部区域。

6.6 辐亮度测量

如果辐亮度或辐亮度剂量规定发射限值，则用于评估的平均接收角见表 3(连续)和表 6(脉冲)。

通过成像装置(按照 GB/T 30117.4—2023 中的相关规定将表观光源成像到图像探测器上或视场光阑上，或者见附录 I)评估表观光源的辐亮度，成像装置的状态应与测定  $\alpha$  时的情况相同，即测量辐亮度和  $\alpha$  值的成像系统应是一体的，成像系统具有相同位置状态。如果表观光源的位置不明显，则可能需要改变成像状态以确定 AE 与 AEL 的最严苛情况的比值。

辐亮度评估应按照 6.3 规定的距离进行，并需考虑光束横截面内辐照度最高的局部区域以及(表观)光源平面上空间平均辐亮度最高的局部区域。

6.7 评估孔径光阑

所有评估应使用适当的圆形孔径光阑，其辐照度或辐亮度取平均值。

在辐照度分布是均匀的(恒定的辐照度分布)的条件下，对辐照度进行平均测量的孔径光阑直径不是十分重要。圆形孔径光阑的直径不应小于 7 mm 且不大于 50 mm。

对于产品发射的光束分布不均匀的情况，应该采用较小的 7 mm 孔径光阑进行测量。

6.8 光辐射时间特性

应评估光源发出的光辐射的时间特性，以确定光发射是连续还是脉冲的光辐射。

对于连续发光非相干光产品，其风险类别分类见第 7 章。

对于脉冲非相干光产品，其风险类别分类见第 8 章。

注：关于评估这一特性的说明见附录 K。

7 连续光辐射产品风险类别确定

7.1 通则

当产品的光辐射输出持续时间大于或等于 0.25 s，且峰值辐照度或辐亮度不超过平均辐射量的

1.5 倍时,应根据本条款进行风险类别分类。

7.2 评估程序

评估应按以下步骤进行:

- 根据光谱辐射范围确定需要考虑哪些危害;
- 根据第 6 章和表 3 评估可达发射;
- 比较可达发射与表 4 中的可达发射限值;
- 根据 7.3 确定适用的风险类别。

如果 11 mrad 的平均亮度低于  $10\text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ,用视网膜热危害(弱视刺激)的 AEL 代替视网膜热危害的 AEL。

表 3 连续光辐射产品的可达发射评估的接收角

危害类型		波长范围 nm	符号	接收角 $\gamma$ rad		
				免除类	风险 1 类	风险 2 类
光化学紫外		200~400	$E_{\text{S}}$	1.4	1.4	1.4
近紫外		315~400	$E_{\text{UVA}}$	1.4	1.4	1.4
视网膜蓝光	非有意观看	300~700	$L_{\text{B}}$	0.11	0.011	0.011
	有意观看			0.011		
视网膜蓝光(小光源) <sup>a</sup>		300~700	$E_{\text{B}}$	—	—	—
视网膜热		380~1 400	$L_{\text{R}}$	0.011	—	—
视网膜热(弱视刺激)		780~1 400	$L_{\text{IR}}$	0.011	0.011	—
角膜/晶状体红外		780~3 000	$E_{\text{IR}}$	1.4	1.4	1.4
皮肤辐射热		380~3 000	$E_{\text{H}}$	$2\pi$	$2\pi$	$2\pi$
<sup>a</sup> 测量视网膜蓝光(小光源)危害可达发射的接收角没有规定,可在开放视场下测量(见小光源的定义)。						

表 4 连续光辐射产品风险类别的可达发射限值

危害名称		波长范围 nm	符号	可达发射限值			单位
				免除类	风险 1 类	风险 2 类	
光化学紫外		200~400	$E_{\text{S}}$	0.001	0.003	0.03	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
近紫外		315~400	$E_{\text{UVA}}$	10	33	100	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
视网膜蓝光	非有意观看	300~700	$L_{\text{B}}$	100	10 000	4 000 000	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$
	有意观看			33 <sup>a</sup>	1 000	10 000	
视网膜蓝光 (小光源)	非有意观看	300~700	$E_{\text{B}}$	1.0 <sup>a</sup>		400	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
	有意观看			0.003 3	0.1	1.0	
视网膜热 <sup>b</sup>	非有意观看	380~1 400	$L_{\text{R}}$	$28\,000/\alpha$			$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$
	有意观看			$11\,000/\alpha$		$28\,000/\alpha$	

表 4 连续光辐射产品风险类别的可达发射限值（续）

危害名称		波长范围 nm	符号	可达发射限值			单位
				免除类	风险 1 类	风险 2 类	
视网膜热 (弱视刺激) <sup>a</sup>	非有意观看	780~1 400	$L_{IR}$	6 300/ $\alpha$	11 000/ $\alpha$		$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
	有意观看			3 500/ $\alpha$	6 300/ $\alpha$	11 000/ $\alpha$	
角膜/晶状体红外		780~3 000	$E_{IR}$	100	570	3 200	$W \cdot m^{-2}$
皮肤辐射热		380~3 000	$E_H$	3 500			$W \cdot m^{-2}$
<p>注 1：对于视网膜蓝光(小光源)危害,未定义风险 1 类。</p> <p>注 2：对于视网膜热危害,如果可达发射超过免除类风险组的 AEL,非相干光产品则属于风险 3 类。</p> <p>注 3：对于非有意观看的视网膜热危害(弱视刺激),如果可达发射超过风险 1 类的发射限值,非相干光产品则属于风险 3 类。</p>							
<p><sup>a</sup> 对于视网膜蓝光光化学危害,在有意观看状态下的可达发射限值按照辐亮度剂量的累加性进行计算。</p> <p><sup>b</sup> 当 <math>\alpha &lt; 0.011\text{ rad}</math> 时,视网膜热危害的可达发射限值降低,<math>RF=\alpha/0.011\text{ rad}</math>。参数 <math>\alpha</math> 等同于可达发射限值的参数 <math>\alpha</math>,不同之处在于 <math>\alpha_{min}=0.001\text{ 5 rad}</math>(见 6.4.2)。</p>							

7.3 风险分类

7.3.1 免除类(RG 0)

发射连续光辐射的产品,如果按照表 3 中规定的接收角进行评估,其可达发射未超过表 4 中的任何危害类型的发射限值,则应将其归为免除类(RG 0)。RG 0 也可以通过工程手段来实现,见 6.1。

7.3.2 风险 1 类(RG 1)

发射连续光辐射的产品,如果按照表 3 中规定的相关接收角进行评估,其可达发射超过表 4 中免除类规定的一个或多个发射限值,而不超过表 4 中规定的风险 1 类的任何危害类型的发射限值,则应将其归为风险 1 类(RG 1)。

7.3.3 风险 1C 类(RG 1C)

风险 1C 类是预期用于与皮肤接触的产品,它的光辐射风险受到工程控制的限制,而任何泄漏的光辐射不超过风险 1 类的发射限值。它对于接触皮肤的危害可能是高风险类别,但脱离接触皮肤后的任何危害类型的可达发射不超过表 4 风险 1 类的发射限值。因此,只有当产品符合相应的工程控制规范时,才可以归为风险 1C 类(RG 1C)。

7.3.4 风险 2 类(RG 2)

发射连续光辐射的产品,如果按照表 3 中规定的相关接收角进行评估,其可达发射超过表 4 风险 1 类规定的一个或多个发射限值,而不超过表 4 规定的风险 2 类的任何危害类型的发射限值,则应将其归为风险 2 类(RG 2)。

7.3.5 风险 3 类(RG 3)

发射连续光辐射的产品,其可达发射超过了表 4 中风险 2 类规定的一个或多个发射限值,则应将其归为风险 3 类(RG 3)。

## 8 脉冲光辐射产品风险类别确定

### 8.1 通则

当产品的光辐射输出为单个脉冲或脉冲序列,脉冲持续时间小于 0.25 s 时;或输出的持续时间大于或等于 0.25 s,但峰值辐照度或辐亮度超过平均辐射量的 1.5 倍时,应使用本条款来确定风险类别。

注:对于峰值辐照度或辐亮度小于或等于平均辐照度或辐亮度 1.5 倍的产品,平均辐照度或辐亮度能够用于评估风险类别。

评估应按以下方式进行。

- 确定需要考虑哪些危害类型(见 GB/T 30117.4 的附录 A)。
- 对于所有相关危害类型,将时间平均值与连续光辐射的可达发射限值进行比较,按照连续光辐射(见第 7 章)的规定确定可达发射的测量条件。平均的时间等于对应的各个基准时间。当在短于基准时间的发射持续时间内,光辐射是周期性的,时间平均值不受平均持续时间的影响,可以使用短于基准时间的平均持续时间。对于视网膜热危害(见 8.2)和角膜/晶状体红外危害(见 8.3),应使用另外的可达发射限值。
- 根据 8.4 确定适用的风险组。

### 8.2 视网膜热危害

对于视网膜热危害和视网膜热危害(弱视刺激),除了将时间平均辐亮度与连续光辐射的可达发射限值(见第 7 章)进行比较外,还应采用以下的脉冲光辐射的可达发射限值和评判方法。

注 1:对于脉冲发射,无论是否存在视觉刺激,限值都一样适用,因为发射持续时间的视网膜热限值是在瞳孔为 7 mm 的假设下推导出的。也就是说,对于脉冲发射和表示弱视刺激的发射,适用于视网膜热危害的可达发射限值。

表 5 定义了发射限值作为发射持续时间  $t$  的函数。

测定  $\alpha$  时所用的  $\alpha_{\max}$  的值见表 7(关于  $\alpha$  的确定,见第 6 章)。

用于确定与可达发射限值相比较的辐亮度剂量的接收角等于 0.005 rad(对于 6.4.3 所述的复杂分析,也采用了较大的接收角范围)。

对于常规脉冲序列(每个脉冲恒定辐亮度剂量、脉冲持续时间  $t_p$  和脉冲周期),每个脉冲的辐亮度剂量不应超过可达发射限值  $AEL(t_p) \cdot C_5$ (可达发射限值 AEL 见表 5,  $C_5$  见表 6,  $\alpha_{\max}$  的值见表 7)。

注 2:每个脉冲的辐亮度剂量是指总辐亮度剂量,而不仅仅是 50% 峰值内的辐亮度剂量。

对于不规则的脉冲序列,辐亮度剂量  $D_R(t)$  不应超过可达发射限值  $AEL(t) \cdot C_5$ ,其中积分持续时间  $t$  在最短脉冲(不小于 1  $\mu$ s)的脉冲持续时间和 0.25 s 之间发生变化。积分的开始时间(即积分时间窗在脉冲模式中的时间位置)也是变化的。用各自的积分持续时间  $t$  来确定  $\alpha_{\max}$  的值。

如果在 1  $\mu$ s 内出现多个脉冲,则将在 1  $\mu$ s 内的辐亮度剂量相加,并与  $t < 1 \mu$ s 时确定的可达发射限值进行比较。对于  $t < 1 \mu$ s 时确定的可达发射限值,没有必要使用  $C_5$ 。

注 3:在 1  $\mu$ s 内添加脉冲同时适用于规则和不规则的脉冲序列。

注 4: $\alpha$  以弧度表示,时间  $t$  的单位为 s。有关确定  $\alpha$  的规则,参见第 6 章。

注 5:脉冲发射的视网膜热危害可达发射限值也能表示为峰值辐亮度,而不是辐亮度剂量。以辐亮度剂量表示的限值由 ICNIRP 推荐的,与以峰值辐亮度表示的限值相比,其优点是当脉冲持续时间确定在 50% 峰值(半峰全宽)时,其适用于所有的时间发射模式。对于以峰值辐亮度表示的限值(由表 7 的限值除以  $t$  得到),脉冲持续时间需要通过将脉冲的辐亮度剂量除以峰值辐亮度来确定,以避免不必要地减少限值和伤害阈值之间的余量。

表 5 脉冲光辐射产品视网膜热危害的可达发射限值

发射持续时间	可达发射限值	单位
$t < 1 \mu\text{s}$	$0.63 \alpha^{-1}$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
$1 \mu\text{s} \leq t < 0.25 \text{ s}$	$2.0 \times 10^4 \alpha^{-1} \cdot t^{0.75}$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
$t \geq 0.25 \text{ s}$	确定为 CW	

表 6 用于计算视网膜热危害可达发射限值  $C_5$  的值

—		$C_5$
$\alpha < 0.005 \text{ rad}$	—	1.0
$0.005 \text{ rad} \leq \alpha < \alpha_{\text{max}}$	$N \leq 40$	$N^{-0.25}$
	$N > 40$	0.4
$\alpha_{\text{max}} \leq \alpha < 0.1 \text{ rad}$	$N \leq 625$	$N^{-0.25}$
	$N > 625$	0.2
$\geq 0.1 \text{ rad}$	—	1.0
<p><math>N</math> 是在基准时间或 10 s 内发生的脉冲数,以较短者为准。</p> <p><math>\alpha_{\text{max}}</math> 的确定见表 7。对于 <math>C_5</math> 的确定,<math>\alpha</math> 不受 <math>\alpha_{\text{max}}</math> 的限制,而是由外缘 50% 辐亮度点给出。对于非圆形分布,<math>\alpha</math> 取算术平均值</p>		

表 7 发射持续时间相关值  $\alpha_{\text{max}}$

发射持续时间	最大对向角 $\alpha_{\text{max}}$
$t < 625 \mu\text{s}$	0.005 rad
$625 \mu\text{s} \leq t < 0.25 \text{ s}$	$0.2 \cdot t^{0.5} \text{ rad}$ , 其中 $t$ 的单位为 s
$t \geq 0.25 \text{ s}$	0.1 rad

可以进行以下简化的最坏情况评估,代替上述分析。

方法 1a。将脉冲序列的时间峰值辐亮度与连续光的 AEL 进行比较,其中辐亮度(可达发射)在  $\gamma_{\text{th}} = 0.005 \text{ rad}$  上平均,以及  $\alpha$  由  $\alpha_{\text{max}} = 0.1 \text{ rad}$  确定。

方法 1b。此外,当假设  $\alpha = 0.1 \text{ rad}$  时,不需要确定  $\alpha$  的值,则  $\text{AEL} = 280\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。对于方法 1,不需要确定  $C_5$  和脉冲持续时间。该规范也没有必要将时间平均辐亮度与连续光的 AEL 进行比较。

方法 2(最坏情况不如方法 1)。对于规则的脉冲序列,应用于脉冲持续时间为  $t$  的每个脉冲的 AEL 可以由  $C_5 = 0.2$  来确定,并在 AEL 测定中假设  $\alpha$  为  $\alpha_{\text{max}}(t)$ 。该规范还适用于比较时间平均辐亮度与连续光限值。所得的 AEL 见表 8。对于不规则的脉冲序列,这些 AEL 可以用来分析不同的积分持续时间  $t$ 。辐亮度剂量值在  $0.005 \text{ rad}$  的接收角上取平均值, $t \geq 0.25 \text{ s}$  的连续光限值的辐亮度值在  $0.011 \text{ rad}$  的接收角上取平均值。该方法不需要确定  $\alpha$  和  $C_5$ 。



表 8 在  $\alpha=\alpha_{\max}$  和  $C_5=0.2$  时确定的最坏情况 AEL 值

发射持续时间 $t$	带有 $C_5$ 的 AEL(若适用) $t$ 的单位为 s	在 AEL 中, $C_5=0.2$ 的 值已包含在限值中
$t < 1\ \mu\text{s}$	$130\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$130\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
$1\ \mu\text{s} \leq t < 625\ \mu\text{s}$	$C_5 \times 4 \cdot 10^6 t^{0.75}\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$0.8 \cdot 10^6 t^{0.75}\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
$625\ \mu\text{s} \leq t < 0.25\ \text{s}$	$C_5 \times 10 \cdot 10^4 t^{0.25}\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^4 t^{0.25}\ \text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
$t \geq 0.25\ \text{s}$	$280\ 000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$280\ 000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
注: 对于规则的脉冲序列,测定平均辐亮度和脉冲重复频率 $f$ 通常比测定辐亮度剂量更容易。在这种情况下,对于 $< 0.25\ \text{s}$ 的发射持续时间,以辐亮度剂量表示的限值能够通过频率 $f$ 相乘转换为时间平均辐亮度限值。由此得到的限值的单位是 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ,并且该限值能够与时间平均辐亮度进行比较。还需要将平均辐亮度与 $t \geq 0.25\ \text{s}$ 时的限值 $280\ 000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 进行比较。		

8.3 角膜/晶状体红外危害

对于角膜/晶状体红外危害,除了将时间平均的眼睛红外辐射危害辐照度  $E_{\text{IR}}$  与连续光发射的 AEL (见第 7 章)进行比较外,脉冲的峰值眼睛红外辐射危害辐照度  $E_{\text{IR}}$  不应超过下列脉冲持续时间  $t_p$  的 AEL:

角膜/晶体红外危害的  $\text{AEL}=18\ 000\ t_p^{-0.75}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;

与角膜/晶状体红外危害的 AEL 相比较的有效辐照度  $E_{\text{IR}}(t_p)$ ,由 1.4 rad 的接收角来确定。

对于不规则的脉冲序列,该限值也适用于脉冲组,其中  $E_{\text{IR}}$  是脉冲组内持续时间的平均值,并按脉冲组持续时间计算 AEL。

8.4 脉冲光产品的风险类别分类

关于时间平均值与连续光辐射的 AEL(见第 7 章)相比较确定风险类别的规范也适用于脉冲发射。

此外,执行本条款根据脉冲辐射特性规定的可达发射限值 AEL。如果相应产品的可达发射超过本条款规定的一个或两个 AEL,则该非相干光产品应归为风险 3 类。

9 光辐射风险标识

9.1 通用要求

光辐射风险标识(简称“安全标识”),根据产品本身及应用中的光辐射风险类别,在产品表面、产品使用说明书、产品包装等显著位置进行标识。

风险标识包括图形标志和风险说明。各类光辐射安全风险标识要求应符合表 9 的规定。

表 9 各类光辐射风险标识要求

风险类别		图形标志				风险说明
		光辐射警告	禁止直射眼睛	禁止照射皮肤	指令标志	
RG 0 类		—	—	—	—	—
RG 1 类	可见光	—	—	—	—	—
	紫外、红外	+	+	+	—	+

表 9 各类光辐射风险标识要求（续）

风险类别	图形标志				风险说明
	光辐射警告	禁止直射眼睛	禁止照射皮肤	指令标志	
RG 1C 类	+	—	—	+	+
RG 2 类	+	+	+	—	+
RG 3 类	+	+	+	+	+

注：“+”为要求；“—”为不要求。

例如一个风险 2 类(RG 2)LED 产品的光辐射风险标识示例(见图 2)。多种图形和文字说明组合放置时,通常左边是光辐射安全“警告标志”,中间是“风险分类和文字说明”(简称“风险说明”),右边是“禁止标志”(或者是“指令标志”)。各部分也可以独立放置。



图 2 光辐射风险标识示例

9.2 光辐射风险的图形标志

光辐射风险的图形标志分为光辐射警告标志、光辐射禁止标志和指令标志三种(见图 3)：

- a) 光辐射警告标志[见图 3a)]：“当心强光”警告标志,在紫外和红外波段时也可以称为“当心紫外辐射”或“当心紫外线”“当心红外辐射”或“当心红外线”；
- b) 光辐射禁止标志:有“禁止直射眼睛”[见图 3b)]和“禁止照射皮肤”[见图 3c)]两种标志；
- c) 指令标志：“按照说明书使用”的蓝色背景图形[见图 3d)]。

IEC 等国际标准规定的类似图形标志也可作为非相干光辐射安全专业标识图形。



图 3 光辐射风险的图形标志

9.3 光辐射风险的文字说明

光辐射风险的文字说明用矩形黑框形式表示,分为上下两部分。上面是黄色底“注意”、橙色底“警告”或红色底“危险”等黑体字的提示信息,并在提示信息前加内含“!”的三角形图形,其中高风险类别“危险”文字优先使用白色字体。下面统一用黑色字体、黄色背景上标注相应的风险等级及说明文字,如图 3 的示例。



风险的文字说明必备要素包括光辐射危害的种类、风险类别、风险提示语,具体见表 10。

针对中风险级、高风险级的产品,例如:LED 手电筒、投影仪等,风险的文字说明中还要增加产品预期工作状态条件下的光辐射危害距离(或安全距离)。而 RG 1 类紫外或红外波段的产品,也要标注危害距离(或安全距离)参数。带有危害距离的风险的文字说明示例见图 4。

注:附录 F 给出了确定危害距离的相关说明。

对于用户可拆卸式产品,如果拆卸后的光源或发光组件的可达光辐射风险高于完整产品的风险类别,则在产品表面、使用说明书和产品包装上同时标识完整产品的风险类别信息和拆卸后的光源或发光组件的风险类别信息。

对于安装、维护等专业人员使用专用工具可拆卸式的产品,如果拆卸后的光源或发光组件的可达光辐射风险高于完整产品的风险类别,则在产品使用说明书上同时标识完整产品的风险类别信息和拆卸后的光源或发光组件的风险类别信息。

用作与传统光源类似功能的激光产品,即 GB/T 7247.1 中所规定的按照非相干光源进行风险分类的激光产品,按照上述用户可拆卸或专业人员使用专用工具可拆卸式的产品,还要相应地标识内部激光源或组件的可达光辐射风险类别信息。激光产品的风险类别相关要求按照 GB/T 7247.1 的规定。

受产品尺寸、标识位置等因素限制,产品上的风险文字说明可以分为多个方框分别说明。对于外表尺寸特别小的产品、无法包含光辐射风险的图形标志和风险文字说明的全部信息,可以省略图形标志;也可以省略风险文字说明的方框,仅保留风险提示信息(“注意”“警告”或“危险”)和风险等级。开放型发光产品,要标明“危害距离 $\leq x$  m”或“安全距离 $\geq x$  m”信息。例如:简化的风险文字说明为“警告! RG 2 类产品 安全距离 $\geq x$  m”。

表 10 产品光辐射风险的文字说明

危害类型	RG 0	RG 1	RG 1C	RG 2	RG 3
光化学紫外危害	—	注意 紫外辐射	警告 紫外辐射	警告 有紫外辐射	危险 紫外辐射危害
近紫外危害	—	注意 近紫外辐射	警告 近紫外辐射	警告 有近紫外辐射	危险 近紫外辐射危害
视网膜蓝光危害	—	—	—	警告 有蓝光辐射	危险 蓝光危害
视网膜热危害	—	—	—	警告 有强光辐射	危险 光辐射危害
视网膜热危害 (弱视刺激)	—	注意 红外辐射	警告 红外辐射	警告 有红外辐射	危险 红外辐射危害
角膜/晶状体 红外辐射危害	—	注意 红外辐射	警告 红外辐射	警告 有红外辐射	危险 红外辐射危害
皮肤红外热危害	—	—	—	—	危险 红外辐射危害

风险 1C 类(RG 1C)是预期用于与皮肤接触的产品,它对于接触皮肤的危害是高风险类别,光辐射风险受到工程控制的限制。其风险提示为“警告”,在风险的文字说明中增加“按照说明书使用”,例如 图 3 b)。

风险 3 类(RG 3)是高风险类别的产品,即使短时间的光辐射接触就可能产生危害。风险 3 类的产品需由专业人员在采取特定工程控制措施条件下使用。因此在风险的文字说明中增加“按照说明书使用”,例如图 3 d)。



图 4 光辐射风险的文字说明示例

10 光辐射控制措施

10.1 通用要求

应按照产品的预期用途,从设计上降低和控制光辐射安全的风险;将产品的光辐射风险类别、光辐射风险标识、适用的工程控制措施等纳入产品规范中;并保证在产品预期工作过程中发生可合理预见的单一故障条件时,其光辐射的风险处于相应的类别。

产品的光辐射控制用户信息至少包括下列几方面的内容。

- a) 产品的光辐射安全风险类别、最高风险类别对应的光辐射危害类型(见表 4)。最高风险类别对应的危害类型有两种及以上,则应列出所有的危害类型;
- b) 与产品的光辐射风险等级相适应的工程控制措施、其可合理预见的单一故障类型及维修方法等;
- c) 中风险类别、高风险类别产品预期的工作场所控制、人员培训和安全防护措施要求;
- d) 低风险级及以上风险等级的产品包装上,应按照表 9 规定的光辐射风险类别进行标识;
- e) 高风险类别(RG 3)的产品适用场合和条件,其安装、调试、使用及维护的受控方法及流程等。

10.2 光辐射风险控制要求

根据产品的预期用途和可达光辐射水平,确定光辐射安全风险等级,并采取有效措施,确保产品的光辐射的风险控制符合下列要求。

- a) 免除类产品:该类产品可以免除光辐射风险等级标识;不需专门控制和防护。
- b) 低风险级产品:该类产品应有低风险等级标识(见表 9);可以采取控制开关等适宜的工程控制措施和远离产品等使用控制措施保证光辐射安全。
- c) 中风险级产品:该类产品应有中风险等级标识(见表 9);应采取开关或急停开关、屏蔽、安全联锁控制、防护罩等适宜的工程控制措施;一般需要使用专门工具才能对产品的相关部位进行维修;该类产品应在受限场所且严格按照产品使用说明书操作、控制和使用;应提示操作过程佩戴防护眼镜等适当的防护措施。
- d) 高风险级产品:该类产品应有高风险等级标识(见表 9);这类产品在使用时应采取屏蔽、安全联锁控制、个人防护等工程措施。只有使用专门工具才能对产品的相关部位进行维修。该类产品预期在专门工作场所的限定区域内使用,应采取警告灯、屏蔽、安全联锁控制、隔离、控制进入等可行的管控措施,防止非相关人员接触;且严格按照产品使用说明书操作、控制和使用;操作使用人员应经过专业培训后持证上岗。应提示产品工作时,在场人员均应采取佩戴防护眼镜、穿防护服等适宜的防护措施。
- e) 产品具有不同光辐射风险类别的多种预期用途或者工作状态时,应按照最高风险等级进行标

识和控制;也可以在使用说明书和操作手册等产品随机文件中,按照不同工作状态,分别进行详细的风险等级、控制措施和使用说明。

根据产品预期用途,具体产品风险等级适用的控制措施和具体控制方法,如果有产品详细的光辐射安全规范,则按照产品安全规范执行。

### 10.3 光辐射风险受控区域

产品制造商向用户提供的安全信息,应包括限制和受控进入的区域等控制措施。

典型的限制进入区域的控制措施包括但不限于:

- 上锁或专用房间的设备柜;
- 服务/维护人员专用的位置;
- 需要专用设备才能接近的区域。

受控进入区域,例如包括严格受控进入的上锁房间、围栏设置的安全区域,以及需要专用工具或钥匙才能进入的设备内部区域。受控进入的区域的范围应由产品规范给定。

一般而言,在工作场所条件下的专用产品在其他控制方式不能实行时,才考虑培训、限制进入危害区和配备个人防护设备等措施。

附 录 A  
(资料性)

本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照

表 A.1 给出了本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照一览表。

表 A.1 本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照情况

本文件结构编号	IEC 62471:2006 结构编号
1	1
2	2
3	3
4	—
5	—
6	—
6.1	—
6.2	—
6.3	—
6.4	4.2.2
6.5	—
6.6	—
6.7	—
6.8	—
7	6.1
8	6.2
9	—
10	—
附录 A	—
附录 B	—
附录 C	—
附录 D	—
D.1	—
D.2	4.3.1, 4.3.2
D.3	4.3.3
附录 E	附录 C

表 A.1 本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照情况 (续)

本文件结构编号	IEC 62471:2006 结构编号
附录 F	—
附录 G	—
G.1	4.1
G.2	4.2.1
G.3	—
G.4	4.3.4, 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7, 4.3.8
附录 H	—
附录 I	5
I.1	—
I.2	5.1
I.2.1	5.1.2
I.2.2	5.1.3
I.2.3	5.1.4, 5.1.5
I.2.4	5.1.1
I.2.5	—
I.3	5.2.3
I.4	5.2.4
I.5	5.2.1
I.6	5.2.2
I.6.1	5.2.2.1
I.6.2	
I.6.3	5.2.2.2
I.6.4	—
附录 J	—
J.1	—
J.2	—
J.2.1	—
J.2.1.1	B.1.1
J.2.1.2	—
J.2.2	B.2.2
J.2.3	B.2.3
J.2.4	B.2.4

表 A.1 本文件与 IEC 62471:2006 结构编号对照情况 (续)

本文件结构编号	IEC 62471:2006 结构编号
J.3	B.1.2
J.4	B.2.5
J.5	—
J.5.1	B.2.1
J.5.2	B.2.6
J.5.3	B.3
附录 K	—
K.1	—
K.2	4.2.2
K.3	
K.4	
K.5	—
—	5.3,附录 A

附 录 B  
(资料性)

本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因

表 B.1 给出了本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因的一览表。

表 B.1 本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因

本文件结构编号	技术差异	原因
1	更改适用范围为非相干光产品,适用于发射波长为 200 nm~3 000 nm 内的非相干光产品,包括各种灯和灯系统、有意观看和非有意观看类产品、LED 发光器件等	根据 IEC 62471 及 GB/T 30117 的实际情况以及行业发展现状和产品的实际情况,进行范围调整
第 3 章	<p>删除以下术语和定义:光化学剂量(actinic dose)、红斑(erythema)、辐照距离(exposure distance)、照度(illuminance)、红外辐射(infrared radiation)、预期使用(intended use)、辐照度(irradiance)、灯(lamp)、灯系统(lamp system)、激光(laser)、光(light)、发光二极管(light emitting diode)、流明(lumen)、灯具(luminaire)、勒克斯(lux)、眼睛危害距离(ocular hazard distance)、光辐射(optical radiation)、光致角膜炎和光致结膜炎(photo-kerato-conjunctivitis)、辐亮度(radiance)、辐射能量(radiant energy)、视网膜(retina)、视网膜灼伤(retinal burn)、视网膜危害区域(retinal hazard region)、皮肤危害距离(skin hazard distance)、光谱分布(spectral distribution)、光谱辐照度(spectral irradiance)、光谱辐亮度(spectral radiance)、球面度(steradian)、紫外辐射(ultraviolet radiation)、可见辐射(visible radiation)、视角(visual angle)。</p> <p>更改以下术语的定义:对向角(angular subtense)、孔径、孔径光阑(aperture, aperture stop)、蓝光危害(blue light hazard)、连续光辐射产品(continuous wave lamp)、曝辐限值(exposure limit)、危害距离(hazard distance)、亮度(luminance)、脉冲灯(pulsed lamp)。</p> <p>增加以下术语和定义:可达发射(accessible emission)、可达发射限值(accessible emission limit)、作用光谱(action spectrum)、接收角(angle of acceptance)、分类距离(classification distance)、发射限值(emission limit)、有意观看(intentional viewing)、预期辐照(有意观看 intentional viewing)、测量距离(measurement distance)、脉冲持续时间(pulse duration)、辐亮度剂量(radiance dose)、小光源(small source)、非有意观看(unintentional viewing)</p>	符合本文件术语和定义的实际使用情况,便于本文件的理解和应用

表 B.1 本文件与 IEC 62471:2006 技术差异及其原因 (续)

本文件结构编号	技术差异	原因
第 1 章、表 2、表 4	增加不以照明为目的的“有意观看”等其他非相干光产品的要求内容	符合国家产业发展需要以及产品的实际情况,且本文件的适用范围为所有非相干光产品
5.2、7.3.3、9.1、9.3、H.1.3	增加预期与皮肤接触的风险 1C 类产品	市面上存在预期与皮肤接触的产品,其相关光辐射风险受到的限制
4.6、4.7、D.3	更改视网膜热危害的作用光谱	根据新的国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP2013)指南,原视网膜热危害的作用光谱有误
8.2	增加视网膜热危害评估的脉冲特性的评价要求	
表 1、表 2、表 3、表 4、4.9	增加皮肤辐射热危害的相关要求	符合国家产业发展需要以及产品的实际情况,规范相关产业的发展,确保产品的使用安全
第 9 章、第 10 章	增加产品标识和安全控制措施	
第 7 章、第 8 章	更改了 IEC 62471:2006 中以曝辐限值来评估,本文件是以产品的发射限值来评估	产品的安全是以产品的发射限值来评估,并参照 2006 年后发布的 IEC 62471 系列标准的原则
附录 D	更改了关于光谱加权函数的数值	根据新的国际非电离辐射防护委员会指南(ICNIRP 2004,2013)



附录 C  
(资料性)  
危害描述

非相干光源已广泛应用于消费品和一般照明中,以及工业、医疗、科学研究等领域。安全应用这些产品的关键是要注意使用中的风险类别(RG)。日常遇到的大多数非相干光产品没有光生物危险,风险类别是“免除”(也称为 RG 0)类,不需要做进一步的测试。例如,普通照明灯通常属于 RG 0。高风险 RG 3 的裸光源相对比较少见,但相比之下这些光源应使用或安装在有一定保护的设备中,或者要有保护外壳(如灯具)。风险分类系统最初仅适用于光源或裸灯,为最终产品制造商和设备系统的设计师提供依据,说明在使用 RG 2 或 RG 3 光源时是否需要预防措施或保护性外壳,或灯具的防护装置。光源产品的风险类别,有时也可用来确定非相干光设备和系统的风险类别。

5.2 简要描述了非相干光产品的风险类别。风险 1 类(RG 1)产品对于其预期用途应该是安全的,不需要预防措施。风险 2 类(RG 2)产品和非可见光的 RG 1 产品,使用警告和标志信息就足以起到防护作用;除非在超长时间的观看情况下,则要进行风险评估,适当的曝光限制。风险 3 类(RG 3)产品需要严格的警示,当观察光源或光辐射直接进入眼睛时,则要注意保护眼睛。RG 3 产品对眼睛和皮肤是有害的,因此要封闭使用或者对眼睛和皮肤进行全面防护,除非产品的可达光辐射受到位置的限制,例如安装在一定高度的专业高杆灯系统。

表 2 提供了 RG 2 及以下各个风险组的基准时间。如果产品的可达发射超过 RG 2 限值,则属于 RG 3, RG 3 没有发射限值的上限。针对任何特定风险组,防范各种危害的基准时间各不相同,经常有人会对表 2 的数值提出疑问。每个基准时间都与不同眼部和皮肤危害的曝辐限值,以及眼睛和皮肤直接暴露的可能性有关。除了理论上可能造成眼部热损伤的强力弧光灯外,限制性的光生物效应是由光化学引起的是累积暴露剂量的结果;即随时间叠加(至少可达 3 h~5 h),从而决定了不良影响的真正风险。紫外和蓝光光化学风险的暴露准则是随时间不断增加,这样在 10 000 s(约 2.8 h)~30 000 s(约 8 h)时就有足够的安全性来防止急性影响。应注意, RG 0 列中的基准时间相当于紫外和蓝光(光化学)危害限值的剂量累加的最长持续时间,以及视网膜热(弱视刺激)和角膜/晶状体红外热辐射曝辐限值对应于在该极限下风险增加的最长持续时间。暴露持续时间比免除类基准时间长是安全的。由于长时间暴露下 UV-A 的限值不同,1 000 s 的基准时间是对于直接观看时固有的较短暴露时间。RG 1 限值的基准时间考虑了合理可预见的暴露持续时间的经验。

厌恶反应是应对强光源的一种保护。保护措施包括头部运动、遮挡手和闭眼(眨眼)。该过程被认为可以在 0.25 s 内,减少对光辐射的接触时间。

大部分非相干光源是在非有意观看状态,如普通照明用灯具产品,光辐射是经过一定距离上的物体反射后由观看者的眼睛接收。眼睛仅仅在某些时候无意“看到”光源,一天 8 h 预期的累积时间不会超过 10 000 s(约 2.8 h)。但是,某些产品为了某种目的需要有意地去“看”发光的光源部分,而且视网膜中央凹区域可能受到较长时间的辐照,这种情况下需要根据产品的应用状况,预计最大可能的暴露时间。表 2 中包含有意观看时的预期基准时间。

附录 D  
(规范性)  
危害加权函数

D.1 概述

目标人体组织对光辐射的响应通常依赖于光辐射的波长。当光辐射有一个光谱宽度时,需要对每个入射波长施加重权,然后将加权值相加以产生有效辐照度或辐亮度,以便与本文件中规定的风险类别的 AEL 进行比较。加权函数取自国际非电离辐射防护委员会发布的指南(ICNIRP;2004 和 ICNIRP;2013)。

D.2 光化学紫外危害的光谱加权函数

加权函数曲线  $S_{UV}(\lambda)$  的插值列于表 D.1,  $S_{UV}(\lambda)$  如图 D.1 所示。

注:表 D.1 用对数插值法对 ICNIRP 发布的从 200 nm~400 nm 的数值进行插值计算。中间波长需要取值时,则使用线性插值。表 D.1 中  $S(\lambda)$  主要数字的数值与 ICNIRP 指南中公布的数值一致。

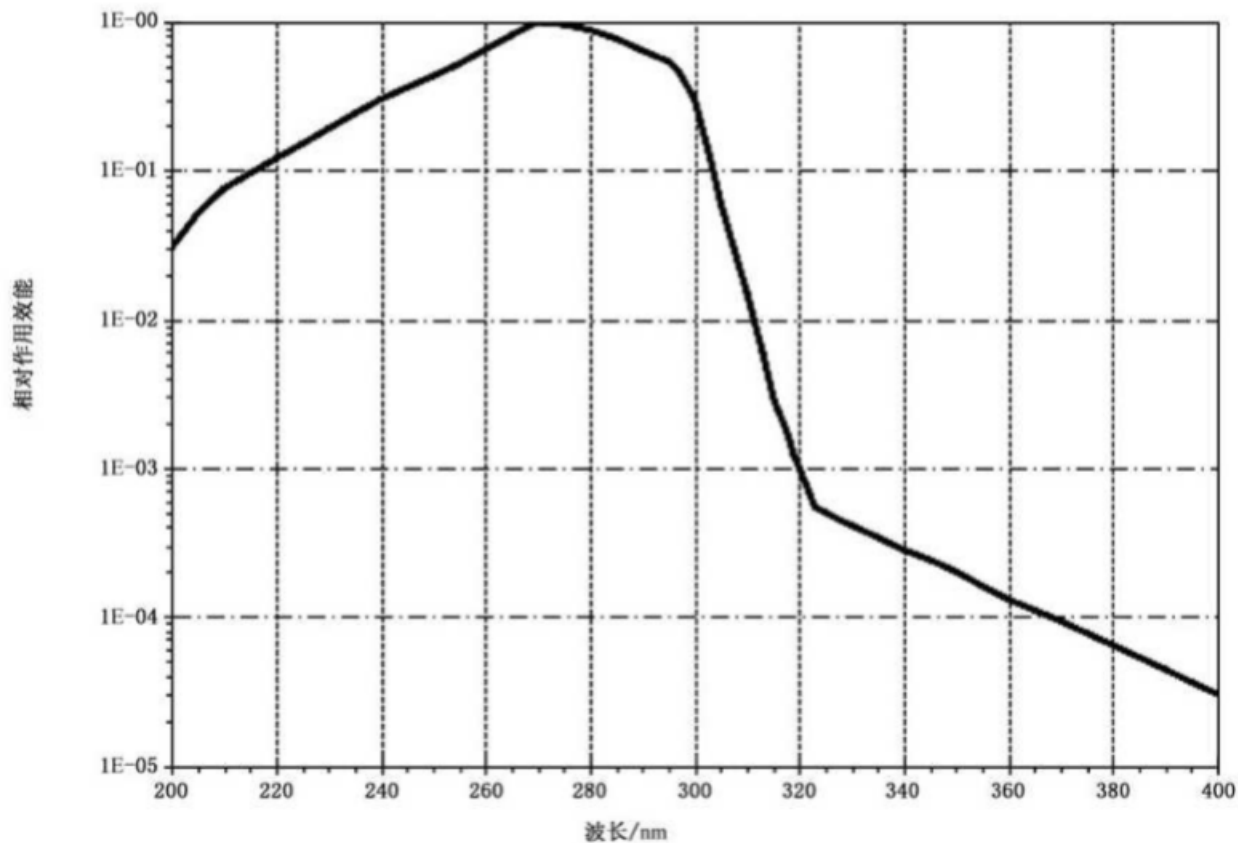


图 D.1 皮肤和眼睛光化学紫外危害的光谱加权函数

表 D.1 1 nm 间隔的光谱加权函数值  $S(\lambda)$ 

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
180 <sup>a</sup>	0.012	236	0.251
185 <sup>a</sup>	0.016	237	0.262
190 <sup>a</sup>	0.019	238	0.274
195 <sup>a</sup>	0.025	239	0.287
200	0.030	240	0.300
201	0.033	241	0.311
202	0.037	242	0.323
203	0.041	243	0.335
204	0.046	244	0.347
205	0.051	245	0.360
206	0.055	246	0.373
207	0.060	247	0.387
208	0.064	248	0.401
209	0.069	249	0.415
210	0.075	250	0.430
211	0.079	251	0.447
212	0.082	252	0.464
213	0.086	253	0.481
214	0.091	254	0.500
215	0.095	255	0.520
216	0.100	256	0.544
217	0.104	257	0.569
218	0.109	258	0.594
219	0.114	259	0.622
220	0.120	260	0.650
221	0.125	261	0.679
222	0.131	262	0.710
223	0.137	263	0.742
224	0.143	264	0.775
225	0.150	265	0.810
226	0.157	266	0.845
227	0.165	267	0.881
228	0.173	268	0.919
229	0.181	269	0.959
230	0.190	270	1.000
231	0.199	271	0.992
232	0.209	272	0.984
233	0.219	273	0.976
234	0.229	274	0.968
235	0.240	275	0.960

表 D.1 1 nm 间隔的光谱加权函数值  $S(\lambda)$  (续)

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
276	0.943	317	0.002 0
277	0.927	318	0.001 6
278	0.911	319	0.001 2
279	0.895	320	0.001 0
280	0.880	321	0.000 82
281	0.857	322	0.000 67
282	0.834	323	0.000 54
283	0.812	324	0.000 52
284	0.791	325	0.000 50
285	0.770	326	0.000 48
286	0.742	327	0.000 46
287	0.715	328	0.000 44
288	0.689	329	0.000 43
289	0.664	330	0.000 41
290	0.640	331	0.000 40
291	0.619	332	0.000 38
292	0.598	333	0.000 37
293	0.578	334	0.000 35
294	0.559	335	0.000 34
295	0.540	336	0.000 33
296	0.498	337	0.000 32
297	0.460	338	0.000 30
298	0.399	339	0.000 29
299	0.346	340	0.000 28
300	0.300	341	0.000 27
301	0.221	342	0.000 26
302	0.163	343	0.000 26
303	0.120	344	0.000 25
304	0.085	345	0.000 24
305	0.060	346	0.000 23
306	0.045	347	0.000 22
307	0.034	348	0.000 22
308	0.026	349	0.000 21
309	0.020	350	0.000 20
310	0.015	351	0.000 19
311	0.011	352	0.000 18
312	0.008	353	0.000 18
313	0.006	354	0.000 17
314	0.004	355	0.000 16
315	0.003	356	0.000 15
316	0.002 4	357	0.000 15

表 D.1 1 nm 间隔的光谱加权函数值  $S(\lambda)$  (续)

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
358	0.000 14	397	0.000 033
359	0.000 14	398	0.000 032
360	0.000 13	399	0.000 031
361	0.000 13	400	0.000 030
362	0.000 12	—	—
363	0.000 12	—	—
364	0.000 11	—	—
365	0.000 11	—	—
366	0.000 11	—	—
367	0.000 10	—	—
368	0.000 10	—	—
369	0.000 10	—	—
370	0.000 093	—	—
371	0.000 090	—	—
372	0.000 086	—	—
373	0.000 083	—	—
374	0.000 080	—	—
375	0.000 077	—	—
376	0.000 074	—	—
377	0.000 072	—	—
378	0.000 069	—	—
379	0.000 066	—	—
380	0.000 064	—	—
381	0.000 062	—	—
382	0.000 059	—	—
383	0.000 057	—	—
384	0.000 055	—	—
385	0.000 053	—	—
386	0.000 051	—	—
387	0.000 049	—	—
388	0.000 047	—	—
389	0.000 046	—	—
390	0.000 044	—	—
391	0.000 042	—	—
392	0.000 041	—	—
393	0.000 039	—	—
394	0.000 037	—	—
395	0.000 036	—	—
396	0.000 035		
* 这些值适用于发射辐射低于 200 nm 的光源(例如,带有发射 185 nm 辐射的具有石英灯罩的低压汞灯)。			

D.3 视网膜蓝光危害和视网膜热危害的光谱加权函数

表 D.2 列出了视网膜危害的光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  的值,图 D.2 以曲线形式表示。

表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$

波长 nm	视网膜蓝光危害光谱加权函数 $B(\lambda)$	视网膜热危害光谱加权函数 $R(\lambda)$
300~380	0.010	—
380	0.010	0.010
381	0.011	0.011
382	0.011	0.011
383	0.012	0.012
384	0.012	0.012
385	0.013	0.013
386	0.015	0.015
387	0.017	0.017
388	0.019	0.019
389	0.022	0.022
390	0.025	0.025
391	0.029	0.029
392	0.033	0.033
393	0.038	0.038
394	0.044	0.044
395	0.050	0.050
396	0.057	0.057
397	0.066	0.066
398	0.076	0.076
399	0.087	0.087
400	0.100	0.100
401	0.115	0.115
402	0.132	0.132
403	0.152	0.152
404	0.174	0.174
405	0.200	0.200
406	0.230	0.230

表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  (续)

波长 nm	视网膜蓝光危害光谱加权函数 $B(\lambda)$	视网膜热危害光谱加权函数 $R(\lambda)$
407	0.264	0.264
408	0.303	0.303
409	0.348	0.348
410	0.400	0.400
411	0.459	0.459
412	0.528	0.528
413	0.606	0.606
414	0.696	0.696
415	0.800	0.800
416	0.819	0.819
417	0.839	0.839
418	0.859	0.859
419	0.879	0.879
420	0.900	0.900
421	0.910	0.910
422	0.920	0.920
423	0.930	0.930
424	0.940	0.940
425	0.950	0.950
426	0.956	0.956
427	0.962	0.962
428	0.968	0.968
429	0.974	0.974
430	0.980	0.980
431	0.984	0.984
432	0.988	0.988
433	0.992	0.992
434	0.996	0.996
435	0.996	1.000
436	0.996	1.000



表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  (续)

波长 nm	视网膜蓝光危害光谱加权函数 $B(\lambda)$	视网膜热危害光谱加权函数 $R(\lambda)$
437	0.996	1.000
438	0.996	1.000
439	0.996	1.000
440	0.996	1.000
441	0.994	1.000
442	0.988	1.000
443	0.982	1.000
444	0.976	1.000
445	0.970	1.000
446	0.964	1.000
447	0.958	1.000
448	0.952	1.000
449	0.946	1.000
450	0.940	1.000
451	0.932	1.000
452	0.924	1.000
453	0.916	1.000
454	0.908	1.000
455	0.900	1.000
456	0.879	1.000
457	0.859	1.000
458	0.839	1.000
459	0.819	1.000
460	0.800	1.000
461	0.779	1.000
462	0.758	1.000
463	0.738	1.000
464	0.719	1.000
465	0.700	1.000
466	0.683	1.000

表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  (续)

波长 nm	视网膜蓝光危害光谱加权函数 $B(\lambda)$	视网膜热危害光谱加权函数 $R(\lambda)$
467	0.667	1.000
468	0.651	1.000
469	0.635	1.000
470	0.620	1.000
471	0.605	1.000
472	0.591	1.000
473	0.577	1.000
474	0.563	1.000
475	0.550	1.000
476	0.528	1.000
477	0.508	1.000
478	0.488	1.000
479	0.468	1.000
480	0.450	1.000
481	0.440	1.000
482	0.429	1.000
483	0.419	1.000
484	0.410	1.000
485	0.400	1.000
486	0.355	1.000
487	0.315	1.000
488	0.279	1.000
489	0.248	1.000
490	0.220	1.000
491	0.206	1.000
492	0.194	1.000
493	0.182	1.000
494	0.171	1.000
495	0.160	1.000
496	0.146	1.000

表 D.2 视网膜危害光谱加权函数  $B(\lambda)$  和  $R(\lambda)$  (续)

波长 nm	视网膜蓝光危害光谱加权函数 $B(\lambda)$	视网膜热危害光谱加权函数 $R(\lambda)$
497	0.133	1.000
498	0.121	1.000
499	0.110	1.000
500	0.100	1.000
500~<600	$10^{[(450-\lambda)/50]}$	1.0
600~<700	0.001	1.0
700~<1 050	—	$10^{[(700-\lambda)/500]}$
1 050~<1150	—	0.2
1 150~<1 200	—	$0.2 \times 10^{0.02(1\,150-\lambda)}$
1 200~<1 400	—	0.02

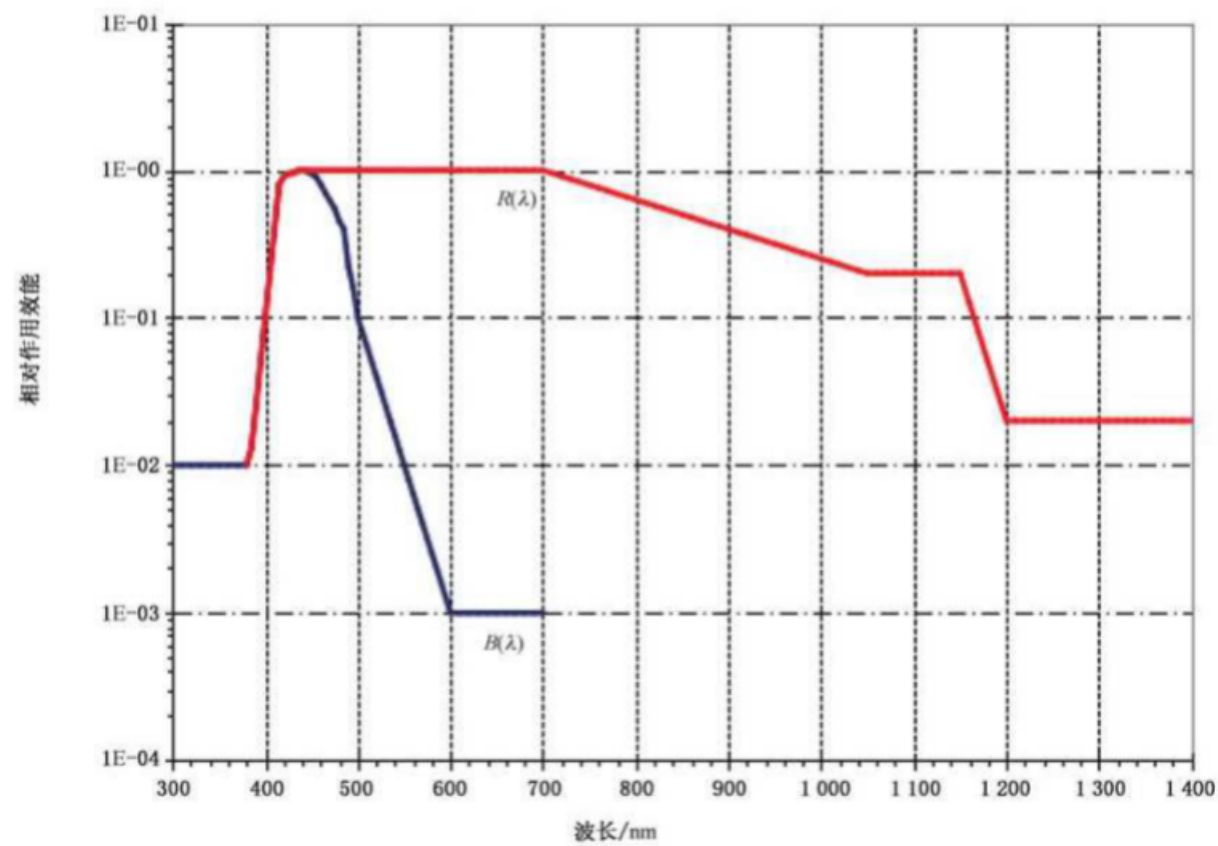


图 D.2 视网膜危害光谱加权函数

附录 E  
(资料性)  
测量不确定度

E.1 通则

本附录提供了与测量不确定度相关问题的信息摘要,并不构成在产品符合性评估中如何处理不确定度的规定或要求,即在比较 AE 和 AEL 以分配风险组的过程中。在符合性评估中可能考虑的不确定度的方式不在 CIE 标准或 IEC 62471 系列的范围内。例如,根据 ISO/IEC 17025:2017,测试机构应有不确定度评估的程序,但不要求在测试报告中提供不确定度值。对测试室而言,下文提到的“精度方法”是常见的国际通用做法。

对测量结果的总体不确定度分析应遵循国际建议(JCGM 100:2008、JCGM 106:2012、ISO/IEC 2017、IEC Guide 115:2007)。测量物理量的不确定度,如果报告,应报告为带有覆盖因子  $k$  的扩展不确定度,相当于 95% 的置信水平(通常为  $k=2$ )。用于描述不确定度的语言和定义应遵循官方定义和指导方针(CIE TN009:2019,JCGM 200:2012)。

E.2 不确定度分析

不确定度分析从测量模型开始。测量模型是依赖于计算测量结果的方程式,例如视网膜蓝光有效辐亮度的计算公式(7),但也考虑了公式中各项的贡献。例如,灯的电流或电压可以改变发出的光,因此其值中的任何不确定度都可能在最终结果中产生不确定度。

大多数有效辐亮度或辐照度方程都需要测量光谱辐亮度或光谱辐照度的值。相关测量设备的详细信息见附录 J。

不确定度分析的第一步是识别可能影响测量结果的性能参数、环境条件或程序变化。这在很大程度上取决于所用仪器的类型(例如,双单色仪或宽带辐射计)、测量程序(例如,测量距离、孔径等)和环境的适宜性(例如,实验室测试或现场测试)。可使用提供部件和相关不确定度的一般指南[例如,CIE220:2016,CIE198:2011,NBS(现 NIST):1987,CIE:1984]。附录 J 提供了与这些参考文献的一般指南不同的光生物危害测量情况的具体指南。表 E.1 例举了不确定度评估的要素。

表 E.1 不确定度评估要素的示例

—	光谱辐射计	宽带辐射计
仪器	波长误差	响应相对于期望的作用光谱的光谱失配
	带宽扩展	带外响应度的贡献
	带内和带外的杂散光	—
	线性	
	整个系统的稳定性	
	入射孔径和响应性的空间均匀性	
	光源偏振	
	组件的荧光(例如积分球或过滤器)	
	系统响应时间	

表 E.1 不确定度评估要素的示例（续）

—	光谱辐射计	宽带辐射计
校准 <sup>a</sup>	所用标准光源的测量不确定度	
	校准后的标准光源老练	
	路线、方向和距离	
	电气操作	
非相干光产品的 测量 <sup>b</sup>	设置(例如:距离、视场、孔径、路线和方向)	
	物理特性(如尺寸和稳定性)	
	操作(例如,电源、光源温度或环境湿度)	
环境 <sup>c</sup>	环境温度和湿度	
	来自显示器、指示器或从墙壁或其他表面反射的环境(外部)杂散光	
<sup>a</sup> 如果校准是由其他人执行,应从他们那里获得详细信息。		
<sup>b</sup> 如果使用 DUT 的“典型”不确定度,而不是特定的设备,那么设备组内的变化也应该包括在内。		
<sup>c</sup> 这些不仅适用于校准和测量,而且还适用于两者之间;如果校准和测量之间的条件不同,则可能导致测量中的系统偏移(偏差)。		

在测量光谱辐射度时,应在每个测量波长进行一个不确定度评估,以表示各分量对测量值的影响。这个评估将包括:对各分量可能出现的变化(标准不确定度)的估计;测量结果(光谱辐亮度或光谱辐照度)对各分量的灵敏度;以及由这两者的乘积所给出的由于各分量的变化引起的测量结果的变化。然后将这些分量组合起来,给出光谱辐亮度或光谱辐照度的总体不确定度。一般来说,这些分量是相互独立的,除非有已知特定的相关性,否则会以正交的方式相互组合。然后利用有效辐亮度或有效辐照度的测量方程将光谱值的不确定度扩展到测量结果的不确定度。

大多数不确定度的贡献与波长相关,所以除非已知特定的相关性,否则这些不确定度的贡献将视为完全相关。

这得到了最大的不确定度,并给出了一个“最差”的情形,因此不确定度就不会被低估。

E.3 不确定度使用

测量值和不确定度是可能值的潜在概率分布的简化表示方法。不确定度越小,分布就越窄。这种简化方法的假设是,概率分布具有一定的形状:例如高斯分布。图 E.1 显示了两个高斯分布的例子,其中中心“平均数”值只是一个钟形的峰值,而宽度(也是高度,因为曲线下的面积是 1)是不同的。

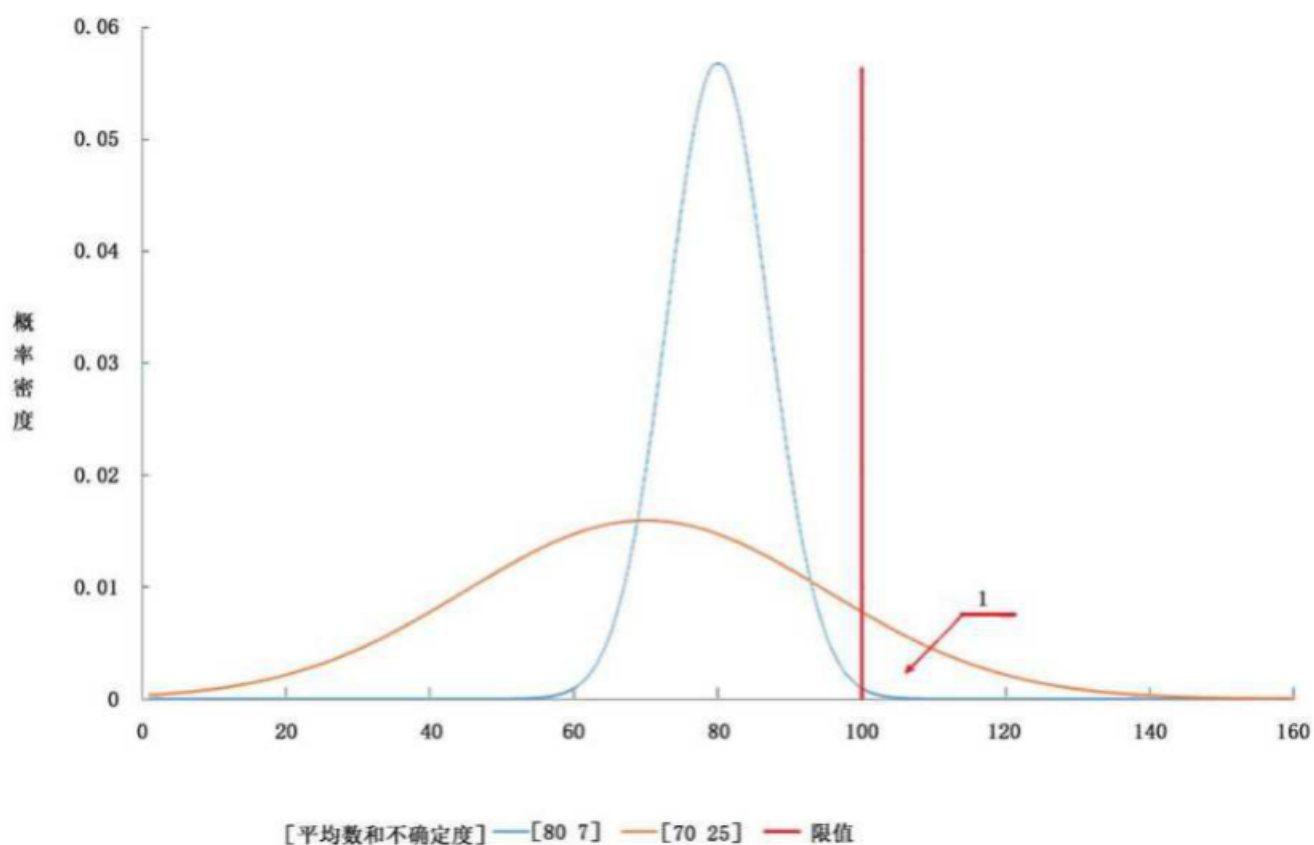


图 E.1 具有不同平均值和不确定度的两个测量值的概率密度分布示意图

为了说明目的,还显示了一个任意的“风险组限值”。高于该限定值的“真实”值的概率,由高于限值的曲线下的面积给出。

图 E.1 说明了如果测量不确定度较大,测量值较低(在本例中为 60)并不意味着设备更安全。在示例中显示,当于平均数和不确定度为[80 7]时,真值大于限值的概率是 0.21%,平均数和不确定度为[70 25]时,真值大于限值的概率是 11.5%。这个概率可以在 Excel 中使用公式“=1-NORM.DIST(risk group limit;measured value;uncertainty;TRUE)”或其他应用中的类似公式计算。测量值越低或不确定度越低,这个概率自然就越小。

这种方法的一种特殊情况被称为“共担风险”,在测量值接近限值时,对错误分配没有明显不利后果时这种情况相当常见。错误的低组(有利于生产者)和错误的高组(有利于用户)的概率被限制在 50%,对任何一方都没有好处。这符合 IEC Guide 115:2007 中描述的“程序 1”,并在 JCGM 106:2012 中进一步讨论了。当然,这种不确定度仍然应足够小,以便双方都能接受。

另一种方法见 IEC Guide 115:2007 的“程序 2”,该方法基于一种“精度方法”,包括通过控制仪器、程序和环境条件来限制不确定度。这里,适用的测试标准中规定了最大允许不确定度(MPU,其中 U 是在  $k=2$  时的扩展不确定度)。这通常是相关可达发射限值的  $1/3\sim 1/5$ 。证明测量值小于或等于该 MPU,并保持这样,不使用特定 DUT 测量的不确定度,仅将该值与限值进行比较。在这种情况下,如果测量结果在规定的限值内(即 AEL),则认为测量结果符合要求,并且不需要计算与测量结果相关的不确定度(见 IEC Guide 115:2007 的 4.4.4)。然而,“程序 2”只能用于定义良好的测试程序和定义良好的 DUT。在所有其他情况下,都应遵循“程序 1”。

附录 F  
(资料性)  
危害距离的确定

F.1 危害距离

非相干光产品的光生物安全风险,不仅与产品本身的可达发射相关,还与预期使用距离和持续暴露时间有关。对于高风险类的产品,危害距离为用户在实际使用产品中合理设置相关防护措施提供指导。

危害距离通常适用于 RG 3 和部分 RG 2 非相干光产品,如投影仪(参见 GB/T 30117.5)。

一般,空间发散型光束的非相干光产品,可达发射随距离增加而减小。小型发散光源的辐射照度可以按照距离平方衰减进行计算。除了小光源和均匀大光源外,由于光源表面区域分布的复杂性,基于辐射亮度的危害距离没有固定的推算方法。

对于一些大型光源和宽光束的非干光产品,危害距离涉及空间的一个区域。

F.2 投射型光束

辐射度测量中的距离平方反比定律,一般只适用于远场条件的情况下。对于投射型光束的产品,如投光灯,光源的距离是从“闪光距离”位置开始计算。

如果已知反射器或透镜的焦距  $f$ 、光源的直径  $D$  和反射器(或透镜)的孔径直径  $a$ ,则可以根据公式(F.1)估算投光系统的闪光距离  $r_f$ :

$$r_f \approx a \times f / D \quad \dots\dots\dots (F.1)$$

在实践中,孔径值通常是整个反射器直径的 50%~70%。更多信息参见 GB/T 30117.5。



## 附录 G

### (资料性)

### 曝辐限值

#### G.1 通则

本附录为产品制造商提供了曝辐限值的相关信息以便进行风险评估。在非相干光产品附近的人员不应暴露于超过曝辐限值(ELVs)的光辐射水平下。ELV 值来自国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)指南,该指南基于实验研究的最佳信息。

ELV 代表的条件是,一般人群中几乎所有人都可以反复接触而不会对健康产生不利影响。但不适用于异常光敏的个体或同时接触光敏剂的人员,光敏剂使人体更容易受到光辐射(通常是紫外线)的影响。光敏性个体的易感性差异很大,因此也不可能为这部分人群设定曝辐限值。对于在特定有意观看下使用的非相干光产品,眼睛的聚焦状态与非有意观看不太一样。

本文件中的发射限值适用于暴露时间不超过 8 h 的光源,并应在产品制造商提供的暴露控制建议中作为指南。这些限值不应被视为安全和不安全之间精确的分界点。

视网膜危害可能是光辐射的热损伤结果,暴露时间和光源的大小是决定风险的重要因素。但强可见光源也可能产生视网膜光化学损伤,短波长(蓝)光的比例和总观看时间是至关重要的。此外,在光源非常小的情况下,眼睛在若干秒时间上的不自主的运动,降低了视网膜损伤的风险;眼运动行为进一步扩大了视网膜照射区域。因此,用不同的接收角  $\gamma$  值对辐亮度进行空间平均。

#### G.2 瞳孔直径

进入眼睛并被视网膜吸收(380 nm~1 400 nm 波长范围内)的辐射通量与瞳孔面积成正比。一般,瞳孔直径由低亮度下约 7 mm 的直径,至很高亮度下减小到 2 mm 的直径。在给定的亮度下,不同个体的瞳孔直径差异很大。因此,在本文件中,根据 ICNIRP 的建议,假设了以下两种不同的瞳孔直径。

当光源的亮度大于  $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ,且曝光时间大于或等于 0.25 s 时,使用 3 mm 的瞳孔直径(面积为  $7 \text{ mm}^2$ )。

当光源的亮度低于  $10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  时,即在红外辐射较弱的可见光刺激的情况下,发射限值是基于一 个 7 mm 的瞳孔直径(面积为  $38.5 \text{ mm}^2$ )。7 mm 直径也被假设用于评估脉冲光源和/或小于 0.25 s 的暴露时间。

对于近红外光源用于高环境光水平的情况,瞳孔直径可设为 3 mm,并通过瞳孔直径比的平方将发射限值调整为更高的值。在这种条件下,发射限值可以增加一个  $(7/3)^2=5.5$  的系数。

#### G.3 视网膜图像大小

由于视网膜热损伤高度依赖于视网膜图像的大小(由于小斑点的散热效率最高)。较小图像所允许的发射限值远大于较大光源尺寸所允许的。

#### G.4 曝辐限值

表 G.1 是国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)指南(ICNIRP2004 和 ICNIRP2013)中曝辐限值的汇总数据。

表 G.1 光辐射危害的曝辐限值汇总表

危害名称	波长范围 nm	指标	暴露持续时间 s	曝辐限值	单位
光化学紫外	200~400 <sup>a</sup>	$H_{\text{eff}}^{\text{EL}}$	$t \leq 30\,000$	30	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$
近紫外	315~400	$H_{\text{UV-A}}^{\text{EL}}$	$t \leq 1\,000$ $1\,000 < t \leq 30\,000$	10 000 10	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
视网膜蓝光	300~700 <sup>b</sup>	$D_{\text{B}}^{\text{EL}}$ $L_{\text{B}}^{\text{EL}}$	$0.25 \leq t \leq 10\,000$ $10\,000 < t \leq 30\,000$	$10^6$ 100	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
视网膜蓝光(小光源)	300~700 <sup>b</sup>	$H_{\text{B}}^{\text{EL}}$ $E_{\text{B}}^{\text{EL}}$	$0.25 \leq t < 100$ $100 \leq t \leq 30\,000$	100 1	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
视网膜热 <sup>d</sup>	380~1 400 <sup>c</sup>	$L_{\text{R}}^{\text{EL}}$ $D_{\text{R}}^{\text{EL}}$ $L_{\text{R}}^{\text{EL}}$	$t < 10^{-6}$ $10^{-6} \leq t < 0.25$ $t \geq 0.25$	$0.63\alpha^{-1}$ $20\,000\alpha^{-1}t^{0.75}$ $28\,000\alpha^{-1}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
视网膜热(弱视刺激) <sup>d</sup>	780~1 400 <sup>c</sup>	$L_{\text{WVS}}^{\text{EL}}$ $L_{\text{WVS}}^{\text{EL}}$	$0.25 < t < 100$ $t \geq 100$	$20\,000\alpha^{-1}t^{-0.25}$ $6\,300 \cdot \alpha^{-1}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
角膜/晶状体红外	780~3 000	$E_{\text{IR}}^{\text{EL}}$	$t < 1\,000$ $t \geq 1\,000$	$18\,000 \cdot t^{-0.75}$ 100	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
皮肤辐射热	380~3 000	$H_{\text{skin}}^{\text{EL}}$	$t \leq 10$	$20\,000 \cdot t^{0.25}$	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$
<p><sup>a</sup> 需要有效的光化学紫外危害加权函数 <math>S(\lambda)</math> 来确定有效的辐照水平。</p> <p><sup>b</sup> 需要视网膜蓝光危害加权函数 <math>B(\lambda)</math> 来确定有效辐照水平。</p> <p><sup>c</sup> 需要视网膜热危害加权函数 <math>R(\lambda)</math> 来确定有效辐照水平。</p> <p><sup>d</sup> 其中 <math>\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}</math> 和 <math>\alpha</math> 的值不小于平均视场。对于连续光: <math>\alpha_{\max} = 0.1\text{ rad}</math>, <math>\alpha_{\min} = 0.011\text{ rad}</math>; 对于脉冲发射: <math>\alpha_{\max}</math> 详见表 7, <math>\alpha_{\min} = 0.005\text{ rad}</math>。</p>					

## 附录 H

(资料性)

## 关于非相干光产品风险类别的描述

## H.1 风险类别

## H.1.1 概述

对于非相干光辐射产品,选择每种光辐射危害对应风险组分类的基准时间,以便在暴露基准时间内不超过相应的曝辐限值。根据产品的预期用途范围内的可达发射和表 2 所示的基准时间对非相干光辐射产品进行分类。

## H.1.2 免除类(RG 0)

免除类是指所涉及产品的光辐射在下述极限条件下也不会造成人体的光生物损伤,满足此要求的条件应:

- 在 8 h(约 30 000 s)曝辐中不造成光化学紫外危害,并且,
- 在 30 000 s 内不造成近紫外危害,并且,
- 在 10 000 s(非有意观看)或 30 000 s(有意观看)内不造成视网膜蓝光危害,并且,
- 在 0.25 s(非有意观看)或 10 s(有意观看)内不造成视网膜热危害,并且,
- 在 1 000 s 内不造成眼睛的红外辐射危害,并且,
- 在 10 s 内不造成皮肤的红外辐射危害。

此外,对于发射红外辐射的弱视刺激(即亮度小于  $10 \text{ cd/m}^2$ ),并且 100 s(非有意观看)或 1 000 s(有意观看)内不造成近红外视网膜热危害。

## H.1.3 风险 1 类(RG 1)

RG1 类是指所涉及产品的光辐射在下述条件限定的正常行为下,不产生人体的光生物损伤,满足此要求的条件应:

- 在 10 000 s 曝辐中不造成光化学紫外危害,并且,
- 在 300 s 内不造成近紫外危害,并且,
- 在 100 s(非有意观看)或 1 000 s(有意观看)内不造成视网膜蓝光危害,并且,
- 在 10 s(有意观看)内不造成视网膜热危害,并且,
- 在 100 s 内不造成眼睛的红外辐射危害,并且,
- 在 10 s 内不造成皮肤的红外辐射危害。

此外,对于发射红外辐射的弱视刺激(即亮度小于  $10 \text{ cd/m}^2$ ),并且 10 s(非有意观看)或 100 s(有意观看)内不造成近红外视网膜热危害。

## H.1.4 风险 1C 类(RG 1C)

RG 1C 类是预期用于与皮肤接触的产品,它的光辐射风险受到工程控制的限制,而使得任何泄漏的光辐射不超过 RG 1 类的发射限值。它对于所接触皮肤的危害可能是高风险类别,但脱离接触皮肤后的任何危害类型的可达发射不超过 RG 1 类的发射限值。因此,只有当产品符合相应的工程控制规范时,才可以归为 RG 1C 类。

### H.1.5 风险 2 类(RG 2)

RG 2 类是指所涉及产品的光辐射在人体对强光和温度的不适反应条件下,不会造成光生物损伤,满足此要求的条件应:

- 在 1 000 s 曝辐中不造成光化学紫外危害,并且,
- 在 100 s 内不造成近紫外危害,并且,
- 在 0.25 s(非有意观看)或 10 s(有意观看)内不造成视网膜蓝光危害,并且,
- 在 0.25 s(有意观看)内不造成视网膜热危害,并且,
- 在 10 s 内不造成眼睛的红外辐射危害,并且,
- 在 10 s 内不造成皮肤的红外辐射危害。

此外,对于发射红外辐射的弱视刺激(即亮度小于  $10 \text{ cd/m}^2$ ),并且 10 s(有意观看)内不造成近红外视网膜热危害。

### H.1.6 风险 3 类(RG 3)

RG 3 类是指所涉及产品的光辐射在短时间的辐照下也会造成光生物损伤。即超过风险 2 类极限的光辐射,属于风险 3 类。

### H.1.7 特殊情况

视网膜(非有意观看)热危害  $L_R$ ,当曝光时间超过 0.25 s 时,不会随时间而变化。其结果是,如果发射限值为  $L_R$  超过 RG 0 的曝光时间高达 0.25 s,非相干光产品根据  $L_R$  进行风险分类则属于 RG 3。类似地,根据视网膜热危害进行分类,没有强烈的视觉刺激( $L_{IR}$ )则属于 RG 3,如果发射限值  $L_{IR}$  为 RG 1 的曝光时间将超过 100 s。

## H.2 基准时间

表 4 和表 5 中给出的不同危害和风险组的发射限值直接来自于眼睛的曝辐限值。对于每个风险组和危害,都使用特定的基准时间来计算发射限值。

RG 0 的基准时间是相应的曝辐限值达到恒定辐照度或辐亮度水平的时间值。如果发射水平低于该值,超过基准时间的暴露时间不会导致辐照超过曝辐限值。例如,对于 UV RG 0,基准时间是 30 000 s。紫外线的曝辐限值为  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  并指定了高达 30 000 s 的积分持续时间(暴露的可加性)。将  $30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  除以 30 000 s 得到的发射限值为  $0.001 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

对于 UV-A 危害,曝辐限值仅适用于眼睛的暴露而不适用于皮肤的暴露,GLS 光源 RG 0 的基准时间为 1 000 s。GLS 光源通常被放置在不被直接观看到的位置。因此,落在眼角膜上的发射明显减少。

RG 2 的基准时间被设置为一个暴露于可见光和红外辐射下的典型厌恶反应时间的值。明亮的可见辐射会引起如瞳孔收缩、眼睛闭合和头部运动等厌恶反应,基准时间设置为 0.25 s。红外辐射在引起热损伤之前会引起热和疼痛反应,因而将相应危害的基准时间设置为 10 s。紫外辐射的风险等级可能已经很高,但不会引起皮肤或眼睛发热。对于适用于皮肤和眼睛的紫外危害,设置近紫外危害 RG 2 的基准时间为 100 s,而光化学紫外危害 RG 2 的基准时间为 1 000 s,这是因为光化学紫外危害只适用于眼睛的暴露,并且与皮肤的暴露相比,眼睛暴露于照射光源(眼睛需要朝向照射光源)的可能性比较小。

RG 1 的基准时间的值介于 RG 0 和 RG 2 基准时间值之间,以反映风险组不断增加的风险水平。由于正常的人类行为,暴露持续时间达到 RG 1 基准时间的可能性要小于达到 RG 2 的基准时间。

弱视刺激近红外光源风险组的基准时间是基于这种暴露的曝辐限值,以防止视网膜损伤。曝辐限值在 100 s 内对时间的依赖性很弱,并且对于给定的  $\alpha$  值,在  $L_{IR} = 6\,000/\alpha$  下,曝光时间超过 100 s 时,曝辐限值是恒定的。因此,RG 0 的基准时间被设置为 100 s;对于较长时间的曝光,辐射限值是恒定

的。RG 1 的基准时间设为 10 s,表示  $L_{IR}=11\,000/\alpha$ 。如果发射量在 10 s 内超过该值,则非相干光产品则属于 RG 3。

H.3 时间加权平均

暴露的时间加权平均被广泛用于职业卫生领域,其中暴露量在一天内变化显著,潜在危害是一天的累积剂量。在本文件中,紫外线和蓝光(光化学引发的)的发射限值是基于一个允许的光生物加权限值。因此,瞬间或周期性的潜在人体照射率(即辐照度水平)可以超过适用于持续一天的曝辐限值,只要不超过总剂量(即曝辐量),就不会构成危害。图 H.1 说明了这一点。

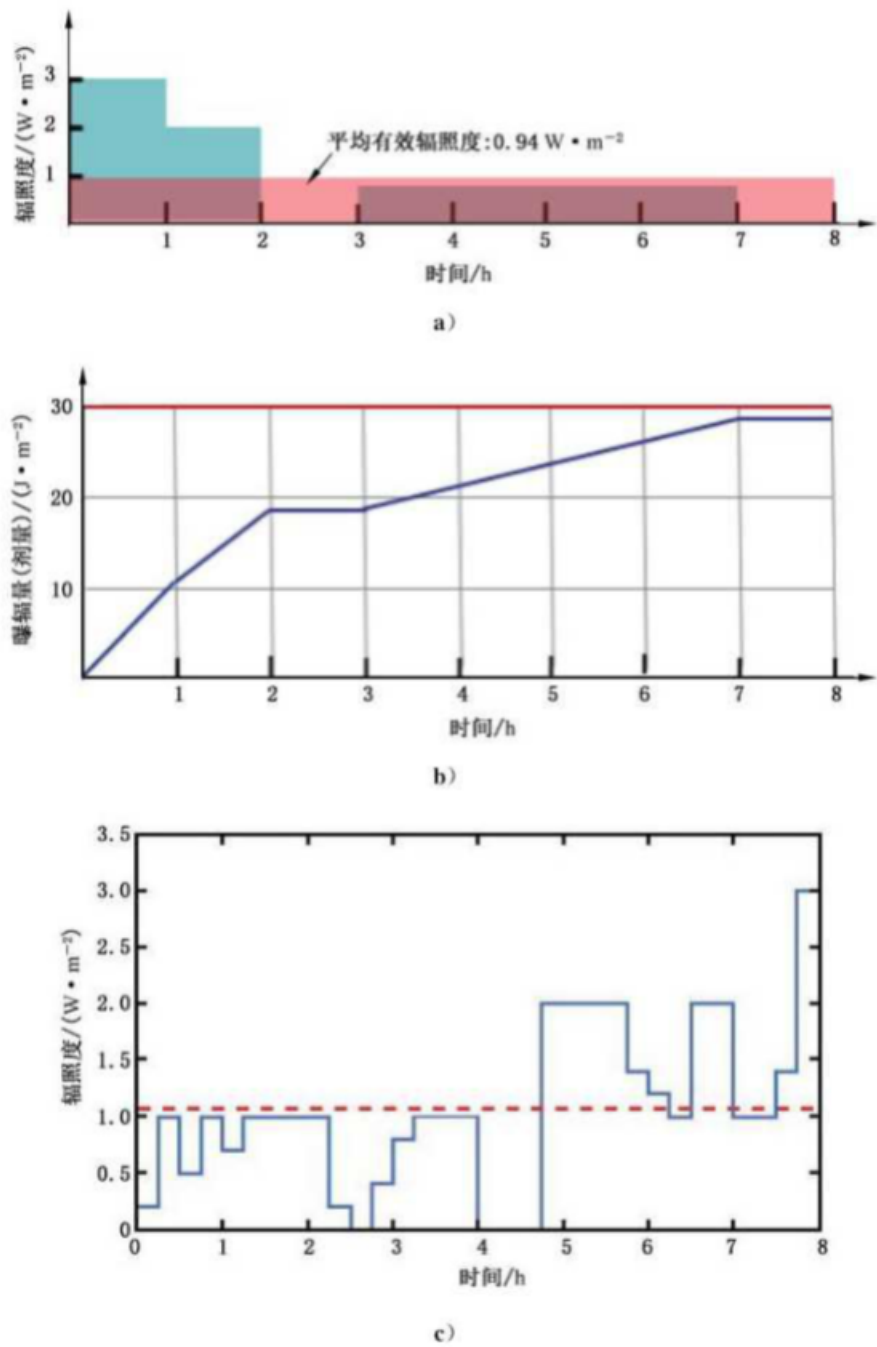


图 H.1 8 h 周期内的时间加权平均(TWA)

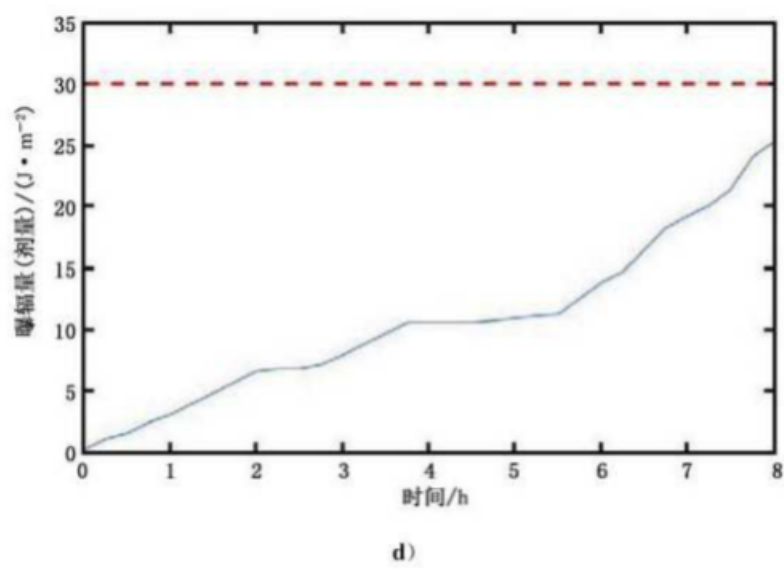


图 H.1 8 h 周期内的时间加权平均(TWA) (续)

图 H.1 a)和图 H.1 c)显示了一个个体在紫外线杀菌环境下一天的实际辐照度模式。图 H.1 b)和图 H.1d)显示了在同一时期内累积的曝辐量(光生物“剂量”)。

**附 录 I**  
**(资料性)**  
**测量评估指南**

## **I.1 概述**

本附录中描述的测量方法是考虑人眼的生物物理现象。具体来说,这些方法涉及测量的光辐射要在相应的孔径或视场上进行平均,这与一般的辐射度测量不一样。然而,如果将非平均(在光源上的一个点)测量值与相应的发射限值进行比较,危害程度可能会被高估。

在给出测量结果之前,测试产品的可达发射状态是未知的,可能存在光生物安全风险,测试操作人员要离开光辐射照射区域,避免光辐射损伤;或者做好严格的安全防护措施。

## **I.2 测量条件**

### **I.2.1 测试环境**

光源和测量设备的运行受环境因素的影响。此外,测量路径中形成的臭氧(例如由于空气吸收UV-C辐射而产生的气体)可能会影响准确性,并可能造成安全隐患。对于特定的测试条件,参见适用的IEC标准,或在没有此类标准的情况下,采用适用的国家标准或制造商的建议。

环境温度可能会显著影响某些光源的输出。测量的环境温度应按照适用的IEC灯的标准进行。

某些灯的特性也可能受到空气运动的显著影响。除试验光源表面的自然对流引起的空气运动外,测试光源表面的空气运动应尽可能减少,以符合安全方面的考虑(臭氧生成)。

### **I.2.2 暗室**

应仔细检查测试室,避免可能的杂散光辐射;同时确保测试产品的光辐射经周围环境反射后,不会影响测量结果。通常,通过设置挡板仅让测试光束进入测试设备的接收口,减少环境的反射光。应注意视觉上的黑色表面可能会反射紫外辐射和红外辐射。此外,由于测试过程吸收强辐射后的热挡板有相对较大的对向入射角,在红外测量中应注意来自热挡板的辐射。还要避免测量显示屏设置在测试暗室,不仅造成额外的杂散光辐射,而且也不利于操作人员的安全。

### **I.2.3 操作**

灯的操作应符合适用的产品标准。如果没有针对被测光源类型的标准,则应使用制造商的操作建议。

### **I.2.4 灯的老练**

为了在测量过程中保持稳定的输出,并提供可重复的结果,灯应保持适当时间的老练。在初始运行期间,光源的输出特性可能会发生变化。灯的老练应按照适用的产品标准进行。如果没有针对被测光源类型的标准,则应使用制造商推荐的老练时间。

### **I.2.5 报告**

测量条件应作为针对发射限值和风险组分类评估的一部分进行报告。

## **I.3 光源对向角的测量**

表观光源对观看点构成的对向角,涉及380 nm~1 400 nm的波长范围,在该范围内的光辐射可以



通过眼睛聚焦到视网膜上。使用两种限制对向角：

——确定小光源和中等光源之间的限制角(最小对向角  $\alpha_{\min}$ )和；

——确定中等光源和大光源之间的限制角(最大对向角  $\alpha_{\max}$ )。

低于最小对向角( $\alpha_{\min}$ )的发射限值与发射光源的大小无关：

—— $\alpha_{\min}$  等于 0.011 rad；

——对于连续光源， $\alpha_{\max}$  等于 0.10 rad(脉冲光源见表 7)。

需要注意的是，对于光源大于  $\alpha_{\max}$  的情况，将发射限值中的  $\alpha$  值设为  $\alpha_{\max}$ 。

$\alpha$  是一个光源对测量点的角度，光源的大小由其发射水平超过其峰值 50% 的有效面积来确定。只有在验证光源上各个位置的可见与红外辐射的光谱分布是一致的情况下，才能使用普通(可见光)摄影或 CCD 相机的方法来测量表观光源的辐射亮度分布。否则，当二维传感器(如 CCD 相机)的光谱灵敏度与光生物危害的光谱加权函数  $R(\lambda)$  不同时，光源上的光谱分布变化会导致测量误差。

在某些情况下(例如主要热危害)，应确定表观光源对向角  $\alpha$  的大小。在某些情况下，光源的物理尺寸是已知的。在该情况下，表观光源的尺寸等于光源的尺寸。在某些情况下，表观光源的大小不同于光源的物理尺寸，例如带有附加光束修改光学的光源。在该情况下，有效光源的尺寸可以通过成像来确定，例如，使用一个透镜。而表观光源的对向角  $\alpha$  则由公式(I.1)计算：

$$\alpha = d' / b \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

其中， $d'$  是成像平面中的图像直径(见 6.4.3 非圆形光源的平均要求)， $b$  是测量点到(透镜的第二主平面)图像的距离。成像光源峰值 50% 的点应用于确定  $d'$ 。

当散热器距离已知且表观光源与辐射光源重合时(例如当散热器不包含透镜或反射镜时)， $\alpha$  由公式(I.2)计算：

$$\alpha = d / g \quad \dots\dots\dots (I.2)$$

其中， $d$  是光源的大小， $g$  是测量点到光源的距离。

通过使用 CCD 等相机系统，可以从探测器上的相对辐照度分布中获得表观光源的大小。如果光源的形状不是圆形或矩形，则建议这样做。

**I.4 脉冲光源的脉冲持续时间测量**

确定光源的脉冲持续时间  $\Delta t$  需要确定发射量大于其峰值 50% 的时间间隔。

常见的方法是将一种快速响应的光电探测器与高速采样电子系统(如示波器)连接，也可以使用有足够快时间响应的宽带辐射计或光谱辐射计。

若产品在脉冲持续期间内的光谱分布发生变化，例如短波(蓝光或紫外线)激发的荧光粉发光，会导致不同波长的光谱脉冲宽度不同。这种情况下，需要按照相应危害类型的光谱加权函数来评价脉冲宽度。

对于视网膜热危害，脉冲持续时间可根据脉冲总辐亮度剂量和脉冲峰值辐亮度计算，见 GB/T 30117.5—2019。

**I.5 辐照度测量**

**I.5.1 概述**

可能需要进行适当的辐照度测量，以评估以下危害：

——光化学紫外危害发射水平， $E_S$ ；

——近紫外危害发射水平， $E_{UVA}$ ；

——视网膜蓝光(小光源)危害发射水平， $E_B$ ；

——红外辐射危害发射水平， $E_{IR}$ 。

注 1：对于辐照度测量，光谱辐射计和在危害类型光谱范围响应度恒定的宽带辐射计都适用。

注 2：当使用宽带辐射计测量光谱加权辐射量时，确保其光谱响应度能准确地匹配相应危害的作用光谱函数。宽带辐射计光谱失配系数的计算方法见 CIE 220:2016。

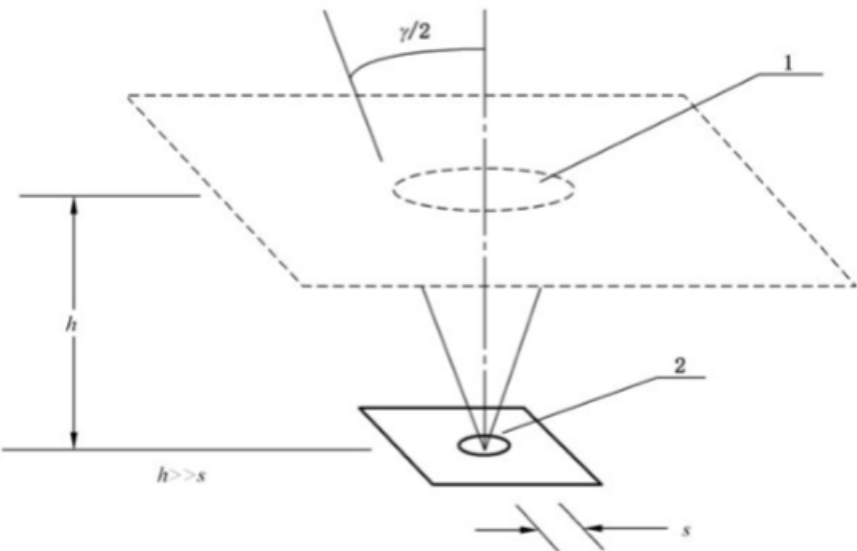
1.5.2 测量方法

所给出的描述同时适用于“宽带”（探测器的光谱响应范围与被测光源的的作用光谱相对应）和光谱辐照度测量。测量辐照度的仪器应包括具有一个直径为  $s$  的平面圆形入瞳的探测器，以达到所需的信噪比，并且：

- 接受中心线垂直于探测器区域平面的圆锥内的辐射；
- 具有符合风险规范的接收角  $\gamma$ ；
- 应用宽带探测器时，其光谱响应函数与被测光源相应的作用光谱一致；
- 探测器空间角度（即入射光方向与探测器表面法线方向之夹角）响应随该角度变化而呈余弦变化；
- 在指定波长范围内位置不变的光谱响应。

辐照度测量的入射孔径直径应为 7 mm~50 mm。当光源具有空间均匀的光辐射模式时，建议采用直径为 25 mm 或更大的孔径以获得良好的信噪比。对于不产生空间均匀辐照度的光源，例如窄光束反射灯，峰值辐照度（强度）可能明显高于使用不足的 25 mm 直径孔径测量获得的峰值辐照度。在这种情况下，探测器的孔径应被限制在一个 7 mm 直径的孔径内。如果有足够的信噪比，孔径直径为 7 mm 的余弦校正探测器始终能满足本文件中视网膜热危害的辐照度测量要求。

辐照度或光谱辐照度测量的示意图见图 I.1。如果需要，它包括一个视场光阑，以限制与入射孔径相距一定距离的全角  $\gamma$  的视场，该距离相对于孔径直径较大。



标引序号和符号说明：

1 ——限制视场的光阑；

2 ——探测器；

$s$  ——入射孔径；

$\gamma$  ——视场角；

$h$  ——两个孔径之间的距离。

图 I.1 辐照度测量示意图

应在给出最大读数的光束位置（与非相干光产品的指定距离处）进行测量。仪器应根据可追溯到国家计量机构的辐照度或光谱辐照度标准进行校准。

注 1：在小于 7 mm 的孔径上取测量的辐照度的平均值可能会导致对风险的高估。

注2: 当与角度大于  $80^\circ$  ( $1.4 \text{ rad}$ ) 的光源的发射限值进行比较时, 限制确定发射水平的接收角在  $80^\circ$  以内。

注3: 当待测光源充分位于探测器的视场内时, 接收角可能小于  $80^\circ$  ( $1.4 \text{ rad}$ )。

### 1.5.3 利用相对光谱分布的方法

在某些情况下, 被评估的光源具有除光谱辐照度以外的已知光谱分布 (例如光谱功率或光谱辐亮度)。在该情况下, 可以采用简化程序。

当相对光谱分布  $X_\lambda(\lambda)$  已知时, 可以基于有限光谱范围内的宽带测量或光谱辐照度测量的结果来计算光谱辐照度, 见公式 (I.3):

$$E_\lambda(\lambda) = \frac{E_{\text{act}} X_\lambda(\lambda)}{\sum_{\lambda_l} X_\lambda(\lambda) A_{\text{act}}(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad \dots\dots\dots (I.3)$$

式中:

$E_\lambda(\lambda)$  ——含相关作用光谱的光生物光谱辐照度;

$E_{\text{act}}$  ——已测量的含相关作用光谱的光生物光谱辐照度 (用宽带辐照度计测量);

$A_{\text{act}}(\lambda)$  —— $\lambda_l$  到  $\lambda_u$  光谱范围内的相关作用光谱;

$\Delta\lambda$  ——波长间隔。

注1: 保证光谱辐照度  $E_\lambda(\lambda)$  和已知光谱分布  $X_\lambda(\lambda)$  具有相似的光谱形状, 只是在测量值和幅度水平上有所不同。

如果辐射光源的辐亮度随视角的变化而变化, 或者辐射光源安装在带有反射元件的灯罩中, 则此方法不适用。

注2: 光谱分布  $X_\lambda(\lambda)$  的测量结果追溯至国家计量机构的标准。

注3: 用于此计算的作用光谱不需要在本文件中定义。例如, 如果在有限的光谱范围内已知光谱辐照度, 通过计算在有限光谱范围内的辐照度的积分就确定其在更宽波长范围内的光谱分布。

#### 示例

当被测光源在可见光区域有发射时, 可以测量其照度  $E_v$ 。在已知的 (相对) 光谱功率分布  $P_\lambda(\lambda)$  下, 光源在超过可见光的宽光谱范围内的光谱辐照度  $E_\lambda(\lambda)$  可以按公式 (I.4) 计算得到:

$$E_\lambda(\lambda) = \frac{E_v \cdot P_\lambda(\lambda)}{K_m \cdot \int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} P_\lambda(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad \dots\dots\dots (I.4)$$

其中,  $V(\lambda)$  是亮视觉的光谱发光效率函数, 以及  $K_m \approx 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ 。对于 GLS 的测量, 可以用  $500 \text{ lx}$  代入  $E_v$  进行计算。

### 1.5.4 在 2 500 nm~3 000 nm 的光谱范围内评估危害

国家计量机构的光谱辐照度校准仅限于 2 500 nm 的最高波长。在 2500 nm 以上没有明显的辐射, 则可以使用 780 nm~2 500 nm 的数据来表示  $E_{\text{IR}}$ 。热辐射  $E_{\text{IR}}$  可以用 780 nm~2 500 nm 的数据来表示, 通过应用基于黑体热辐射的外推技术计算。对于非热辐射, 可以采用其他方法。

## 1.6 辐亮度测量

### 1.6.1 概述

通过测量空间平均辐亮度来评估以下危害:

——视网膜蓝光危害发射水平,  $L_B$ ;

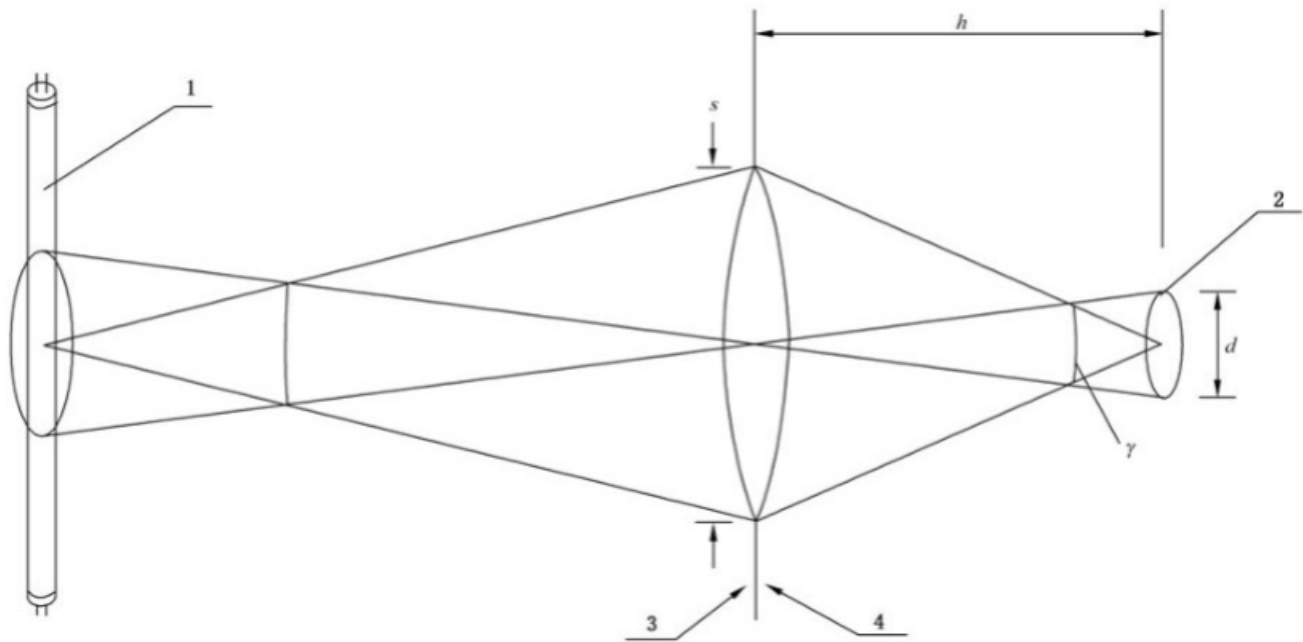
——视网膜热危害发射水平,  $L_R$ ;

——视网膜热危害 (弱视刺激) 发射水平,  $L_{\text{IR}}$ 。

### 1.6.2 测量方法

本方法同时适用于空间平均宽带和光谱辐射的测量。辐亮度测量是通过一个光学系统进行的, 该系统将辐射光源成像到探测器上 (见图 I.2), 并且具有一个直径为  $d$  的圆形视场光阑, 以建立指定的平均视场角 ( $\gamma$ ) 来检测光源的光辐射。对于小角度, 探测器 (视场光阑) 直径与成像设备的焦距  $h$  之间的关系为  $d = \gamma h$ 。应注意, 当调整光学元件 (距离  $h$  改变) 至成像某个表观光源时, 应调整视场光阑的直径以产生已知的指定视场。

同时,该光学系统还应具有一个直径为  $s$  的圆形入射孔径(孔径光阑),在辐亮度测量中作为平均孔径,并满足第 4 章和第 5 章的要求。



- 标引序号和符号说明:
- 1 —— 光源;
  - 2 —— 探测器/视场观测;
  - 3 —— 入瞳和出瞳重合;
  - 4 —— 孔径光阑;
  - $s$  —— 孔径光阑的直径;
  - $\gamma$  —— 视场角;
  - $d$  —— 探测器的孔径。

图 I.2 用于辐亮度测量的成像装置的示意图

对于辐亮度测量,最小入射孔径的直径  $s$ ,如图 I.2 所示,对应于脉冲光源和连续光源的 7 mm 瞳孔直径。如果入射辐照度分布足够均匀,孔径光阑可以超过 7 mm。

注:当孔径光阑位于成像镜头后面时,入射孔径可能是真实的或虚拟的图像。

在更宽的波长范围内,通过像差校正,通常难以满足 200 mm 距离的聚焦。如果在由入射孔径的位置决定的扩散角的变化范围内对空间分布均匀的光源进行辐亮度测量,则可以在距离和视场定义的固定区域内以不同的距离测量平均辐亮度(例如 2.2 mm 直径对应于在 200 mm 处 0.011 rad 的视网膜蓝光危害)。

应进行对准,以便测量结果是仪器探测到的最大辐亮度,作为适用的发射限值规定的圆形视场光阑上的平均值。

对于宽带探测器,其光谱响应函数应与待评估危害的相应作用光谱一致。

仪器应根据可溯源至国家计量机构的辐亮度或光谱辐亮度标准或等效标准进行校准。标准需要在视场角  $\gamma$  内具有足够的强度均匀性,以便用于风险评估。

测量的辐亮度不应在比指定视场小的视场上进行平均,因为这可能会导致高估了危害。对于光化学效应,如视网膜蓝光危害,平均视场角  $\gamma_B$  的大小与眼球运动的程度有关,眼球运动将光源图像的辐射功率分布到视网膜上的更大区域。平均视场角  $\gamma_B$  的大小与光源对向角  $\alpha$  的大小无关。对于对向角  $\alpha$  小于指定视场角  $\gamma_B$  的光源,空间平均辐亮度值可能小于光源的真实辐亮度。然而,该空间平均辐亮度的生物有效值是与发射限值进行比较的适当值。

I.6.3 替代方法

辐亮度可以从一个具有明确视场的辐照度测量结果中计算出来。光谱测量也可以用同样的方式进行。

除了使用透镜等成像光学设备进行辐亮度测量(见图 I.2)外,还可以使用在光源前放置一个圆形视场光阑的辐照度测量装置来获得辐亮度(见图 I.3)。由视场光阑的大小  $f$  以及视场光阑到孔径光阑的距离  $r$  确定视场,由公式(I.5)计算:

$$\gamma = f / r \qquad \dots\dots\dots ( I.5 )$$

该设置意味着视场光阑可以放置在距离表观光源足够近的地方,以产生所需的视场。

小立体角下测量的辐照度  $E$  与垂直于光源区域的辐亮度  $L$  之间的关系见公式(I.6):

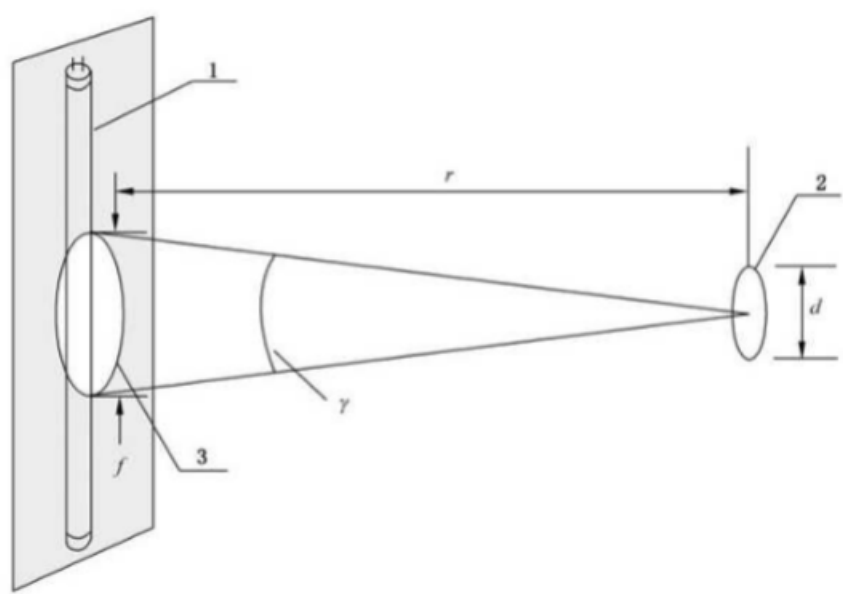
$$E = L \cdot \Omega \qquad \dots\dots\dots ( I.6 )$$

其中,立体角  $\Omega$ (单位为 sr)从视场获得,即图 I.3 所示的接收角  $\gamma$ (单位为 rad)所对应的立体角。对于小角度,平面角  $\gamma$  与立体角  $\Omega$  的关系见公式(I.7):

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \qquad \dots\dots\dots ( I.7 )$$

对于图 I.3 所示的配置,探测器/孔径光阑处的辐照度由公式(I.8)计算得到:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot f^2}{4 \cdot r^2} \qquad \dots\dots\dots ( I.8 )$$



- 标引序号和符号说明:
- 1 —— 光源;
  - 2 —— 探测器/孔径光阑;
  - 3 —— 视场光阑;
  - $r$  —— 视场光阑到孔径光阑的距离;
  - $f$  —— 视场光阑的直径;
  - $\gamma$  —— 接收角;
  - $d$  —— 孔径光阑的直径。

图 I.3 辐亮度测量的替代方法设置示意图

当使用辐照度测量来获得空间平均辐亮度值时,对于给定的风险组,应选择满足表 5 规定的  $\gamma$  的视场光阑直径。

注:视网膜蓝光(小光源)危害辐照度限值相当于指定测量平均视场的辐亮度限值。辐照度限值是通过将辐亮度限

值与平均测量视场角相乘得到的。

如果被测光源表面发光足够均匀、空间分布近似朗伯特特性,而且与风险分类指定的视场相比具有更宽的视场范围,且已知其光源尺寸,则可以根据公式(I.9)由辐照度  $E$  计算得到辐亮度  $L$  :

$$L = E \cdot \frac{r^2}{S}$$

.....( I.9 )

其中, $S$  为光源的发光面积, $r$  为从光源到探测器测量孔径的距离。在这种情况下, $r$  应比  $S$  的直径大得多,可以当作点光源来计算。

I.6.4 对测量距离的考虑因素

如 6.3 所述,当光源太强,会在规定的分类距离处损坏测量仪器时,在保证最终结果与规定的分类距离一致的情况下,可以采用更大的测量距离。在这种情况下,应注意调整测量对向角,以确保视网膜危害在光源的相同区域评估(由  $\gamma \cdot D_c/D$  计算。其中  $D_c$  为分类距离, $D$  是实际测量距离)。

在评估紫外光化学危害时,可能需要在比分类距离更近的距离处进行测量,以减少噪声对测量的影响。如上所述,最终的结果应与分类距离一致。

## 附录 J

### (资料性)

### 测量仪器

#### J.1 概述

对于一般的测量不确定度计算方法见 CIE 220:2016。本附录包括具体测量装置的各个部分信息。

关于非相干光产品的光生物安全分类的光辐射测量,主要涉及 200 nm~3 000 nm 波长范围内的辐射测量或光谱辐射测量。不仅要特别考虑测量的方法,而且还要特别考虑所使用仪器的特性,因为光生物安全分类的光辐射测量要考虑具体危害类型的光谱加权函数、测量的光学几何结构,接收与风险分类有关的光源上的发射光。产品的危害评估或风险分类的结果可能会受到仪器特性的影响。

下面给出了有关仪器特性的一般建议,还包括一些测量中可能用到的主要组件(如入射光学器件)。进一步更加详细的内容,见 GB/T 30117.4—2023。

#### J.2 光谱辐射计

##### J.2.1 仪器类型

##### J.2.1.1 单色仪光谱辐射计

基于单色仪的光谱辐射计进行光生物安全分类的光辐射测量,通常需要在危害类型相关的光谱区域有相应灵敏度的光谱响应和动态范围,较高的波长精度和光谱分辨率,并充分抑制带外辐射。通过组合从紫外、可见到红外的几种光栅,并结合相应的光电探测器,可以实现较宽的波长范围。例如从 200 nm 至 3 000 nm 整个范围的光谱辐射测量。

基于双单色仪的光谱辐射计更适合用于要求较低杂散光水平的危害类型评估的光谱辐射测量,如紫外危害的测量。

基于单色仪的光谱辐射计适合用于可见光或红外光谱测量。在紫外危害的光谱范围内,杂散光变得至关重要,如果能充分抑制紫外测量中的带外杂散光,例如结合多波段响应探测器(如可见盲光电倍增管)和紫外带通滤光片来消除或大幅度减少可见光的杂散光影响,这种类型的光谱辐射计也可以用于紫外危害的测量。当测试产品的发射光谱(如 LED 光源)仅在有限的光谱区时,而且在该区域之外没有明显的发射光谱,那么就不会导致杂散光的影响,这种情况下普通单色仪的光谱辐射计是完全适合的。

基于单色仪的光谱辐射计通常用于连续光源的测量,如果与脉冲光辐射探测器及信号同步设备相结合,则可以用于脉冲光源的测量。有关更多详情参见 GB/T 30117.4 附录 E。

##### J.2.1.2 阵列光谱辐射计

阵列光谱辐射计可以快速测量宽光谱范围的数据。与扫描式单色仪光谱辐射计通常需要几分钟相比,阵列光谱辐射计的优势在于可以在几十毫秒至几秒的时间内记录光谱信息。阵列光谱辐射计的一个缺点是通常只有一个光栅,因此可以测量的光谱范围有限。此外,对于短焦距的小阵列光谱辐射计(如 CCD 光谱仪),杂散光影响比较大;特别是在紫外危害评估的光谱范围内,可见光区域的杂散光可能对测量有显著干扰而导致无法使用。

阵列光谱辐射计的测量往往受到杂散光的限制,采用长焦距光谱仪以及杂散光校正方法,如杂散光校正矩阵修正、杂散光校正滤光片方等法,在近紫外、可见光和近红外区测量中可以获得满意的结果。



J.2.2 光谱带宽

对于基于单色仪的系统,光谱带宽被定义为光谱仪光谱带通函数的半峰全宽(FWHM)。光谱仪的这种带宽可以对不同水平的光谱加权结果产生显著影响。

光谱仪光谱带通的形状、测量间隔与带宽的比值决定了系统是否能够准确地测量窄谱线的光辐射。对于光谱特性变化迅速的光源,如气体放电光源,一般建议光谱仪应具有等腰三角形的光谱带通函数,测量波长间隔  $\Delta\lambda$  应等于仪器的波长带宽,或者是它的  $1/N$ ,  $N$  为整数(见 CIE 63)。

对于具有剧烈变化的光谱加权函数,如紫外危害的光谱加权函数,光谱测量间隔应小一些,以便对各个波长的光辐射进行精确的光谱加权计算。光谱仪的带宽太小,可能会导致信噪比降低,因此应该合理选择光谱仪的带宽和光谱测量间隔。因此,合适的带宽取决于该应用的作用光谱,以及要测量的光源。对于用于波长较短的紫外测量用的双单色仪和波长较长的可见和红外测量的单单色仪光谱仪,表 J.1 给出了一个仪器带宽的示例。这些带宽对应于普通光源的测量结果变化小于 2%。

表 J.1 使用光谱辐射计测量不同危害类型的示例

危害类型	范围 nm	测量间隔 nm	光谱带宽 nm
光化学紫外	200~400	1.0	5.0
近紫外	315~400	2.5	5.0
视网膜蓝光	300~700	5.0	5.0
视网膜热	380~780	5.0	5.0
视网膜热(弱视刺激)	780~1 400	10	10
眼睛红外辐射 *	780~3 000	20	20
皮肤辐射热 *	380~3 000	20	20
* 在没有红外光谱辐射计的情况下,宽带仪可以提供保守的信息来评估眼睛或皮肤红外危害。			

考虑到光源的光谱特性、光谱仪的测量间隔和光谱带宽等影响。在测量不确定度分析中要考虑这些因素。更多关于仪器带通函数、校正和测量间隔对光谱测量物理量影响的细节,见 CIE 214:2014。

J.2.3 波长精度

如果光谱加权函数曲线呈现剧烈变化,那么用于测量光源光谱辐射的仪器的波长精度就会对加权值有很大影响。特别是在光化学紫外危害的光谱范围内,紫外危害光谱加权函数在 300 nm 波长处在 3 nm 的范围内变化达到 250%,应采用较高波长精度(如达到 0.1nm)的光谱仪器进行测量。

用于危害评估的光谱仪器的波长精度不应显著影响加权结果。所需的波长精度取决于表 J.2 中所示的光谱区域和应用的作用光谱。

表 J.2 使用光谱辐射计的波长偏差示例

危害类型	范围 nm	波长偏差 nm
光化学紫外	200~400	0.2 其中 300 nm~325 nm 为 0.1
近紫外	315~400	0.2
视网膜蓝光	300~700	0.3
视网膜热	380~780	0.5
视网膜热(弱视刺激)	780~1 400	1.0
眼睛红外辐射	780~3 000	2.0
皮肤辐射热	380~3 000	5.0

J.2.4 光谱杂散光

光谱辐射计的绝对校准需要使用具有宽光谱输出和高强度的光源。如果杂散光抑制不足,则测量结果将包括来自光源其他部分光谱的额外能量。在某些情况下,比如光化学紫外危害的辐射照度测量,这将导致风险评估的巨大误差。因此,为了获得 1% 的精度,对带外辐射的抑制需要达到  $10^{-6}$  的量级。

宽光谱范围光源的总能量与单色仪等光谱仪器在每个波长上通过的杂散光信号的典型比值约为  $10^4$ 。对于阵列光谱辐射计的水平很大程度上取决于其本身的设计。通常情况下阵列光谱辐射计采用硅基底的阵列探测器,其在短波长区域的光谱灵敏度相对较低;因此特别是在短波光谱范围测量时,来自较长光谱波段(如可见光)的杂散光被阵列探测器接收,对被测信号的贡献很大。

为了估计杂散光的影响,建议使用长通滤光片来确定杂散光的水平。这些滤光片可以阻挡来自短波光谱区域的辐射,在较短波长区域测量每个波长由杂散光产生的信号。该信号与未加长通滤光片的测量值相比,得到该光谱区域内的杂散光比(水平)的估计值。如果测量中不进行杂散光校正,则该比率完全反映了由此产生的测量不确定度。使用长通滤光片进行测量,不仅适用于被测光源,还适用于校准光谱辐射计用的标准光源。

J.3 宽带辐射计

当面对短时间脉冲或低强度光源时,可以使用宽带辐射计。

然而,在使用宽带辐射计时,宜该考虑以下几个方面。宽带辐射计的光谱响应度应与相应的光谱加权函数相一致。如果有偏差,则需要考虑光谱失配校正因子。然而,确定这个校正因子需要了解被测非相干光产品的相对光谱分布。因此,需要确定每个特定情况下的个别光谱失配校正因子。导致或可能导致光谱变化的变化需要重新确定校正因子。如果使用与测试光源具有相似光谱分布的校准光源对宽带辐射计进行校准,则可以减少光谱失配。因此,如果没有给出关于光谱响应度和光谱失配的广泛信息,就在单个光谱线上校准宽带辐射计是不够的。关于(UV)辐射计的特征和校准方法的详细信息见 CIE 220:2016。

用于红外辐射照度( $E_{\text{IR}}$ )的测量,非选择性宽带辐射计可能会高估红外辐射的危害,因为它无法切断超过 3 000 nm 的较长光谱。这种类型的辐射计可以在较短的波长范围内进行校准,并且由于其与波长无关的光谱响应性,它们可以用于整个红外光谱范围。

注：加权宽带探测器和光谱辐射计的结合能在许多情况下改善测量过程。使用光谱滤波的探测器，能快速地完成对光源的空间、时间或相互间变化的调查测量。

## J.4 入射光学

### J.4.1 扩散器

辐照度的测量要求对入射角有余弦响应度。这通常是通过一个带有扩散/积分球的孔径作为入射光学来实现的。孔径给出了余弦响应和探测器有效参考平面的位置。

参考平面的确切位置应使用平方反比定律来确定。

校准光源和被测光源的偏振度一般不相同。扩散器通常会湮灭偏振，但这应该首先使用偏振器产生的强偏振辐射来检查。

不同的光源通常具有不同的光源大小和不同的空间辐亮度分布，导致入射孔径和接收角内的辐照度变化。此外，测量的光源可能具有小角度和大角度。扩散器对非均匀辐照的敏感性和角依赖性应得到很好的表征。所使用的扩散器的选择应使探测器在目标接收角内接近余弦响应。

使用积分球作为光谱辐射计的入射光学元件是进行辐照度测量的常用方法。但需要注意的是，由于积分球内部的多重反射，即使是由涂层材料引起的轻微荧光也可以被强烈放大。如果存在高含量的紫外辐射，并且扩散器材料含有聚四氟乙烯等氟碳化合物，则通常会出现这种情况。

设计正确的反射扩散板也可以用作光谱辐射计的入射，因为它通常具有更高的吞吐量。在这里，入射辐射垂直于扩散板，反射辐射以一定角度在光谱辐射计的入口狭缝上成像。因此，反射漫反射板应该是一个完美的朗伯漫反射板，光谱辐射计的成像光学元件不能遮挡来自被测光源的任何辐射。

入射光学的特性可根据相应标准(如 CIE S023)的要求来确定。

### J.4.2 成像光学

图 I.2 显示了一个用于辐亮度测量的成像光学系统的例子。在实际光学元件中，孔径光阑通常位于成像光学元件的内部。入瞳、孔径光阑和出瞳不应定位在同一平面上。在这种情况下，用于辐亮度测量的“孔径”是指成像光学元件的入瞳。图像应聚焦在测量系统的视场孔径平面上。

测量仪器的视场定义为图像空间中图像场与出瞳的夹角，或物体空间中物体场与入瞳的夹角。特别是在测量填充不足(小光源)或空间不均匀的光源时，测量仪器的视场应与根据风险组分类所需的视场相一致。

关于入射光学器件的更多详细信息，见 GB/T 30117.4—2023。

## J.5 仪器的限制

### J.5.1 噪声等效辐照度

所有仪器都有一个依赖于信噪比的限值，低于该极限时，即使积分时间最长，也无法进行测量。分析危害时，仪器的高灵敏度是必不可少的，当唯一已知的事实是测量值低于仪器的限值时，报告零信号是不够的。因此，用于危害量测量的仪器的噪声当量不应超过相对免除类发射限值的 10% 水平。用于危害测试的仪器应具有特征，以确定测量限值水平。当仪器读数为零或低于测量限值时，应报告相应的测量限值。

### J.5.2 线性

当被测单个光源与用于校准测量系统的光源相比具有较宽的功率范围时，测量系统的线性度会影响测量结果。应评估系统的线性度，并在确定线性响应的范围内进行测量。任何与功率级的差异相对应的非线性都应加以校正。

### J.5.3 校准光源

校准光源应在测量波长范围内具有连续的光谱功率分布,并具有足够的稳定性。

推荐的校准光源是用于紫外线区域的氘放电灯,以及用于更长波长紫外线、可见光和近红外区域的钨丝灯或卤钨灯。氘灯的光谱形状不太会变化,但输出强度会有变化。因此,在 200 nm~400 nm 区域使用氘灯对系统进行校准时,应与 350 nm~400 nm 之间的钨丝灯(或卤钨灯)的校准辐度进行比较调整。考虑到钨丝灯(或卤钨灯)校准中的噪声,使用氘形状的波长应尽可能短。

光源的校准应追溯至国家计量机构的量值基准。

关于校准光源和方法的更多细节见 CIE 220:2016 和 CIE 063:1984。

## 附录 K

## (资料性)

## 确定可达发射的具体因素

## K.1 光源的对向角

对于视网膜热危害,小面积光源在视网膜小区域产生的热量通过热传导的方式径向扩散。然而,更大面积的光源产生的热量不容易扩散。因此,对于热损伤机制普遍存在的情况,面积越小,辐亮度限值越高。

## K.2 视网膜危害评估的接收角

对于波长在 380 nm~1 400 nm 范围内的光辐射,视网膜的辐射面积是影响视网膜蓝光危害和视网膜热危害的重要因素。因为眼睛的聚焦能力并不完美,而且眼睛的扫视频率只有几赫兹,所以即使是来自一个点光源的照射,视网膜的特定区域也会受到辐射,该区域与时间有关。此外,对于视网膜蓝光危害和暴露时间超过 100 s 的情况,由于任务确定的眼运动,视网膜的小光源照射区域可能进一步扩散到更大的区域,除了医学上固定眼睛的情况,例如在眼科手术期间。由于这些原因,在评估视网膜蓝光危害和视网膜热危害时,使用空间平均辐亮度而不是光源辐亮度,其中用于平均辐亮度发射水平的接收角与时间有关。对于短脉冲,当在脉冲持续时间内没有眼运动,没有或只有少量热流时,视网膜热危害的平均视场被定义为 0.005 rad。对于连续光发射(即非脉冲灯),由于热流和眼运动,可以将视网膜热危害的平均接收角为 0.011 rad 是合理的。接收角与实际光源或表观光源的对向角  $\alpha$  无关。

对于均匀大面积光源(即大于平均接收角),当实际光源角度大于接收角时,用于评估的辐亮度等于实际光源辐亮度。对于小面积光源或远距离观看的光源,当光源的接收角小于指定的接收角(视场角)时,则在与视场角( $\gamma_R$  或  $\gamma_B$ )相对应的区域上辐亮度是平均的,以确定空间平均辐亮度。在这种情况下,空间平均辐亮度比实际光源辐亮度有所减小。

由于物理上的限制,即使是非常小的光源,在静止眼睛的视网膜上可以形成的最小光源图像也被限制在 0.0 015 rad 的最小角度值内。本文件中,用于测定  $\alpha$  的  $\alpha_{\min}$  值会更大,以反映辐亮度分别在 0.005 rad 或 0.011 rad 上取平均值。

## K.3 视网膜热危害评估的接收角

对于连续光源,由于热流和眼运动,没有必要确定接收角小于 0.011 rad 的热点。对于连续光源的风险组分类(评判时间为 0.25 s),用于评估辐亮度发射水平的接收角度规定为  $\gamma_R=0.011$  rad。

对于脉冲或可调制光源,应评估小于 0.011 rad 的热点(局部辐亮度最大值),其平均视场为 0.005 rad。

## K.4 视网膜蓝光危害评估的接收角

视网膜蓝光危害与较长暴露时间有关,暴露持续时间不小于 0.25 s。

对于在 0.25 s 和 100 s 之间的暴露持续时间,接收角  $\gamma_B$  设置为 0.011 rad(见表 K.1)。

对于暴露持续时间大于 100 s 但小于 10 000 s 的情况,视网膜的小光源照射区域可能由于眼球运动而进一步扩散到更大的区域。除医学上需要固定眼睛的情况外,如在眼科手术期间通过麻醉静止眼睛。当曝光时间大于或等于视场 10 000 s 时, $\gamma_B$  设置为 0.11 rad。对于 100 s~10 000 s 的暴露持续时间,接收角随曝光时间  $t$  而增加,见公式(K.1):

$$\gamma_B(t) = 0.011 \sqrt{(t/100)} \quad \dots\dots\dots (K.1)$$

表 K.1 视网膜蓝光危害评估的接收角

暴露持续时间 s	接收角 $\gamma_B$ rad
$0.25 \leq t < 100$	0.011
$100 \leq t < 10\,000$	$0.011 \sqrt{t/100}$
$t \geq 10\,000$	0.11

对于有意观看情况下,有意的眼睛聚焦使得小光源在视网膜上的照射区域可能处在一个相对小的区域。表 3 中的视网膜蓝光危害的评估采取了保守的接收角,即 0.011 rad。

K.5 皮肤及眼睛前部危害评估的接收角

对于同时暴露于眼睛前部的危害,接收角为 1.4 rad。对于皮肤的热危害,应使用半空间的接收角。

## 参 考 文 献

- [1] JCGM 100:2008 (ISO/IEC 98-3) Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement
- [2] JCGM 106:2012 (ISO/IEC 98-4) Evaluation of measurement data—The role of measurement uncertainty in conformity assessment
- [3] JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [4] ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories
- [5] IEC Guide 115:2007 Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector
- [6] CIE 198:2011 & supplements Determination of Measurement Uncertainties in Photometry and CIE 198-SP1 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry—Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties
- [7] CIE TN 009:2019 The Use of “Accuracy” and Related Terms in the Specifications of Testing and Measurement Equipment
- [8] CIE 220:2016 Characterization and Calibration Method of UV Radiometers
- [9] NBS special publication 250-20:1987 NBS measurement services; Spectral irradiance calibrations
- [10] GAW Report No.191:2010 Instruments to Measure Solar Ultraviolet Radiation Part 4
- [11] ICNIRP:2004 Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), Health Physics 87(2):171-186
- [12] ICNIRP:2013 Guidelines on limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-96
- [13] CIE 063:1984 The spectroradiometric measurement of light sources (currently under revision)
- [14] Jean M, Schulmeister K, Analysis method for the determination of the apparent source size in broadband radiation, IN Proceeding of the International Laser Safety Conference, March 23-26 2015, Albuquerque, New Mexico, pp 287-294. Published by the Laser Institute of America, 2015.











中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
非相干光产品的光生物安全  
第 1 部分：通用要求  
GB/T 30117.1—2024

\*

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.net.cn

服务热线：400-168-0010

2024 年 4 月第一版

\*

书号：155066 • 1-75879

版权专有 侵权必究



GB/T 30117.1-2024

# www.bzxz.net

免费标准下载网