



中华人民共和国国家标准

GB/T 30117.6—2025

灯和灯系统的光生物安全 第6部分：紫外线灯产品

Photobiological safety of lamps and lamp systems—
Part 6: Ultraviolet lamp products

(IEC 62471-6:2022, MOD)

2025-08-29 发布

2025-12-01 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	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 紫外线灯产品安全评估的风险等级	4
4.1 光辐射安全风险等级确定的依据	4
4.2 紫外线灯产品的评估准则	4
5 确定相应风险等级的测量	5
5.1 通用要求	5
5.2 时间累加平均辐照度	5
5.3 风险等级评估条件	6
6 RG2 和 RG3 紫外线灯系统的技术要求	9
6.1 通用要求	9
6.2 防护罩	9
6.3 RG2 和 RG3 产品	10
6.4 发射警告	10
6.5 可靠性	11
6.6 发射控制	11
7 信息和标签——制造商要求	11
7.1 通用要求	11
7.2 用户信息	11
7.3 紫外线灯的标签	12
7.4 紫外线灯产品的标签	12
7.5 用户手册	13
7.6 维护和服务	13
附录 A(资料性) 紫外线灯产品的典型应用	14
附录 B(资料性) 紫外线灯产品的测量	16
附录 C(资料性) 潜在的有害生物效应	19
附录 D(资料性) 应用光谱加权发射的 TWA 概念进行风险等级分类的示例	22
附录 E(资料性) 用于评估 180 nm~400 nm 光化学辐射危害的光谱加权函数 $S(\lambda)$	25
附录 F(资料性) 上层空间安装的 GUV——实现安全的背景和理论依据	29
参考文献	32

图 1	置于三角形内的基于 IEC 60417 中紫外线灯的 6040 图形	13
图 2	为窄带紫外线灯提供附加信息的三种标签	13
图 B.1	辐照度或光谱辐照度测量的几何结构	17
图 C.1	NMSC 的 CIE 标准作用光谱	20
图 C.2	在半对数坐标中比较的三种作用光谱	20
图 D.1	职业卫生师通过时间加权确定不同曝光区的例子	22
图 D.2	8 h 内的时间累加平均(TWA)	23
图 D.3	具有 80°全视野的现场 GUV 安全测量仪	24
表 1	时间累加平均辐照度风险等级的发射限值	6
表 2	无用途限制的产品风险等级评估距离	7
表 3	指定人员使用并限制用途的产品风险等级评估距离	7
表 4	仅供专业人士、技能人员使用的灯或灯系统的风险等级评估距离	8
表 E.1	光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值	25

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 6 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；
- 灯和灯系统的光生物安全 第 6 部分：紫外线灯产品。

本文件修改采用 IEC 62471-6:2022《灯和灯系统的光生物安全 第 6 部分：紫外线灯产品》。

本文件与 IEC 62471-6:2022 相比做了下述结构调整：

- 附录 B 对应 IEC 62471-6:2022 中的附录 C；
- 附录 C 对应 IEC 62471-6:2022 中的附录 B；
- 附录 D 对应 IEC 62471-6:2022 中的附录 E；
- 附录 E 对应 IEC 62471-6:2022 中的附录 D；
- 资料性附录中的“参考文件”统一调整到“参考文献”，并删除附录中相关条款号，将后续条款号往前顺延，保持条款号连续。

本文件与 IEC 62471-6:2022 的技术差异及其原因如下：

- 用规范性引用的 GB/T 31523.1—2015 替换了 ISO 7010，便于本文件的应用（见 7.3.3、7.3.4）；
- 用规范性引用的 GB/T 30117.1—2024 替换了 IEC 62471:2006，便于本文件的应用（见第 1 章、3.9、4.1、4.2、C.3.10、F.3.4）；
- 用规范性引用的 GB/T 21092—2013 替换了 IEC 61549，便于本文件的应用（见 7.3.4、7.4.4）；
- 用规范性引用的 GB/T 4706.85—2024 替换了 IEC 60335-2-27，便于本文件的应用（见第 1 章、4.1、表 3）；
- 用规范性引用的 YY 9706.257—2021 替换了 IEC 60601-2-57，便于本文件的应用（见第 1 章、表 3、表 4）。

本文件做了下列编辑性改动：

- 第 1 章范围中增加了注；
- 将表 1 的脚注 b 中“见 5.3.3”更正为“见 5.3.4”；
- 将 5.3.3 第 1 段“表 2 所列产品适用于需要特殊培训、通常仅需管理控制措施的应用场景”中的“表 2”更正为“表 3”；
- 将 5.3.3 第 2 段“表 2 列出了需要工程控制措施和/或个人防护设备以及行政控制和特殊培训的产品”中的“表 2”更正为“表 4”；
- 在 6.1 的列项前增加了引导语；
- 图 E.2 横坐标的数值“17”更正为“7”；
- 用资料性引用的 GB 4943.2—2022 替换了 IEC 62368-1:2018；
- 用资料性引用的 GB/T 30117.4—2023 替换了 IEC TR 62471-4:2022。

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和激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本文件起草单位：杭州三泰检测技术有限公司、佛山电器照明股份有限公司、浙江智慧照明技术有限公司、濮阳市质量技术监督检验测试中心、佛山柯维光电股份有限公司、浙江三色光电技术有限公司、解放军总医院第一医学中心、广东省中山市质量计量监督检测所、常州检验检测标准认证研究院、中国计量科学研究院、杭州市质量计量科学研究院、浙江智慧健康照明研究中心、成都市计量检定测试院、浙江硕而博科技股份有限公司、深圳市帝狼光电有限公司、宁波金羽桥照明科技有限公司、江西晶科电子股份有限公司、攀枝花镁森科技有限公司、西藏大学。

本文件主要起草人：牟希、苗飞、牟同升、霍磊、付志敏、顾瑛、彭振坚、代彩红、孙鹤源、朱腾飞、王彦飞、王欣越、巩合春、谭一舟、施加斌、李轶、何志明、王继恒、闵长伟、周耀锋、郑艺、陈小宁、张舒羽。

引 言

大多数的灯和灯系统是安全的,在正常的暴露条件下不会带来光生物危害。然而,紫外线灯产品在某些条件下使用过程中可能会造成光辐射危害;因此需要评估这些产品的光辐射对人眼睛和皮肤直接/间接辐照可能产生的风险。

GB/T 30117.1—2024 涉及所有类型的灯具及宽带光源所造成的光辐射危害,涵盖了发光二极管(LED)、白炽灯、低压和高压气体放电灯、弧光灯及其他类型光源产品;其中也包括主要产生紫外辐射的各种灯和灯具,例如荧光辐射材料激发的紫外线光源,用于诱虫、科学试验、矿物鉴定、无损检测、消毒和杀菌等。

而本文件则为所有紫外线灯产品提供了风险等级(RG)分类系统,以及不同产品的评估距离和测量条件(见附录 A 和附录 B)。本文件仅适用于以发射紫外线辐射为唯一目的的产品,并基于 GB/T 30117.1—2024 进行细化。其优势在于,对于主要发射紫外线的灯具,不必评估可见光和红外光辐射风险。采用本文件确定的风险等级,还有助于开展其他必要的风险评估,如工作场所的职业接触风险评估等。

GB/T 30117 拟由以下部分构成。

- 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、发射限值及危险等级分类方法。
- 第 2 部分:非激光光辐射安全相关的制造要求指南。目的在于规范非激光产品光辐射安全的基本原则,指导相应的通用产品规范对安全作出要求。
- 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。
- 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。
- 第 5 部分:投影仪。目的在于规范投影仪发射光辐射的光生物安全要求。
- 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。
- 第 7 部分:主要发射可见光的光源和灯具。目的在于为主要发射可见光的光源和灯具相关产品,根据照明对象和场景提供光生物安全的评估方法。

灯和灯系统的光生物安全

第 6 部分：紫外线灯产品

1 范围

本文件规定了紫外线灯产品[包括紫外线发光二极管(UV LED)灯产品]的光辐射安全要求,光辐射安全评估和紫外线灯产品风险等级的要求,给出了用户使用安全措施相关信息以及紫外线灯产品的相应标识。

本文件适用于以紫外辐射为主要用途的灯和灯系统,且 180 nm~3 000 nm 发射的辐射功率有一半以上位于 180 nm~400 nm 的光谱范围内。如果 180 nm~3 000 nm 发出的光辐射有一半以上不在 180 nm~400 nm 的光谱区内,则使用 GB/T 30117.1—2024。本文件适用于主要发射紫外辐射的医疗诊断和美容设备或产品。

由于紫外辐射的光生物效应是基于所接收的总累积曝辐量(剂量),本文件基于“时间累加平均”曝辐量的概念,其中用于确定风险等级(RG)的评估距离是根据实际照射距离和照射持续时间确定的。换言之,人们不会在很近距离(例如 20 cm~30 cm)下长时间暴露于紫外辐射中。本文件提供了针对特定应用和实际情况的评估距离和具体指导,不同于 GB/T 30117.1—2024 中的一般通用值;在 GB/T 30117.1—2024 中其具体应用是未知的,时间累加平均曝辐量不是针对特定应用的产品。

本文件不适用于:

- 主要发射可见光(如普通照明光源)和/或红外辐射的灯产品;
- 用于普通照明、红外照明或加热的灯产品,这些产品在在相应单独的标准中规定;
- 用于晒黑皮肤的紫外荧光灯(符合 GB/T 4706.85—2024,或见 GB/T 21096—2013);
- 医用治疗设备或产品(符合 YY 9706.257—2021);
- 非光学危害,如臭氧、汞等。

注:当产品在中国市场流通时,相关标识信息见 GB 44703。

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 4706.85—2024 家用和类似用途电器的安全 第 85 部分:光辐射皮肤器具的特殊要求(IEC 60335-2-27:2019,IDT)

GB/T 21092—2013 杂类灯(IEC 61549:2010,IDT)

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(IEC 62471:2006,MOD)

GB/T 31523.1—2015 安全信息识别系统 第 1 部分:标志(ISO 7010:2011,MOD)

YY 9706.257—2021 医用电气设备 第 2-57 部分:治疗、诊断、监测和整形/医疗美容使用的非激光光源设备基本安全和基本性能的专用要求

ISO 15004-2 眼科仪器 基本要求和试验方法 第 2 部分:光危害防护(Ophthalmic instruments—Fundamental requirements and test methods—Part 2:Light hazard protection)

IEC 60417:2002 设备用图形符号(Graphical symbols for use on equipment)

CIE 247:2021 上层空气紫外线杀菌灯具的变角辐射测量指南(Guide for the Gonioradiometric Measurement of Upper Air Ultraviolet Germicidal Irradiation Luminaires)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 维护的用于标准化的术语数据库网址如下：

——ISO 在线浏览平台：<http://www.iso.org/obp>

——IEC 电工百科：<http://www.electropedia.org/>

3.1

光化学紫外线 actinic UV

能产生光化学效应的紫外辐射。

注：在本文件中，生物效应有一已证明的作用光谱 $S(\lambda)$ ，主要指 B 波段紫外线(UV-B)和 C 波段紫外线(UV-C)效应，如紫外红斑(皮肤发红)、紫外光致角膜炎(“电弧眼”或“雪盲症”)等。见附录 C。

3.2

评估距离 assessment distance

用于确定灯或灯系统风险等级的距离。

注 1：风险等级评估距离考虑了时间累加平均曝辐量(变化的辐照度、辐照距离和持续时间)。

注 2：通常是从人体可接近发射光源的最近点到评估或测量点的距离。

3.3

蓝光危害 blue light hazard

由波长主要介于 400 nm~500 nm 之间的光辐射暴露引起的光化学诱导视网膜损伤的潜能。

注：对于观察时间超过 10 s 的强可见光，这种损伤机制通常比热损伤更严重，但紫外线灯很少会造成这种损伤(除非是弧光放电灯)。

[来源：GB/T 2900.65—2023,845-26-055,有修改]

3.4

技能人员 competent person

能结合知识和技术能力，有效、高效和安全地开展特定活动的人员。

3.5

用户 consumer

购买或使用商品和服务的人员或组织。

注 1：用户不仅包括紫外线灯产品的人，还包括可能接触或接近该灯产品的所有人。

注 2：在 GB 4943.2—2022 中也称为“一般人员”。

3.6

限制出入区域 controlled access location

设置了工程和/或管理控制措施以限制出入，只有经过适当安全培训的授权人员才能进入的区域。

3.7

剂量受限产品 dose-limited product

任何时候发出的曝辐量(剂量)由定时或在评估距离上监测实际曝辐量来设置而受到限定的产品。

3.8

发射限值 emission limit

根据合理可预见的时间累加平均曝辐量情况，为每个风险等级定义的限定值。

注：发射限值包含了暴露持续时间和可变曝辐距离，由曝辐限值得出；然而，风险等级评估距离与时间累加平均曝辐量相关。

3.9

普通照明光源 general lighting source; GLS

用于照明人们活动或观看空间的灯的总称,通常为“白色”光源。

注 1: 见 GB/T 30117.1—2024。

注 2: 本文件不包括 GLS 灯或灯产品。

3.10

杀菌灯产品 germicidal lamp product

预期通过紫外辐射杀菌(UVG)的紫外线灯产品,灭活微生物使其不能再繁殖,避免对健康造成不良影响。

3.11

受过培训的人员 instructed person

经过称职人员的指导、培训或在其监督下,能识别出可能引起疼痛或伤害的紫外线光源,且能采取预防措施,以避免无意中暴露于这些光源的人员。

[来源:GB 4943.1—2022,0.2.3,有修改]

3.12

预期用途 intended use

根据制造商或供应商提供的产品规格、说明书和信息使用产品、工艺或服务。

3.13

紫外线灯 UV lamp

紫外线辐射特别强,不以产生可见辐射(如有)为直接目的的电灯或发光二极管(LED)灯。

注:有几种紫外线灯用于光生物、光化学和生物医学目的。

[来源:GB/T 2900.65—2023,845-27-091,有修改]

3.14

紫外线灯产品 UV lamp product

用于发射紫外线,并且在 180 nm~3 000 nm 之间发射的光辐射中有一半以上是在 180 nm~400 nm 的光谱范围内、包含一个或多个紫外线灯的光源。

注:紫外线灯产品包括固定装置,可能还有滤光片。

3.15

紫外线灯具 UV luminaire

分配、滤光或转换来自至少一个光辐射源发射的紫外辐射能量的器具。

注:除了光源本身,紫外线灯具包括固定和保护光源必需的所有部件,必需的电路辅助设备,以及将其连接到电源的装置。

[来源:GB/T 2900.65—2023,845-27-091,有修改]

3.16

光固化灯产品 photocuring lamp product

通常使用 A 波段紫外线(UV-A)将液体聚合物光聚合成固态的灯产品。

注:例如在印刷中将液体油墨的光聚合或塑料制品的快速固化。

3.17

时间累加平均曝辐量 time-weighted average exposure; TWA exposure

在一定时间内(通常指 30 000 s,即约 8 h)的平均累积曝辐剂量除以曝光时间,以提供不同距离和时间下的有效辐照度。

注:时间累加平均(TWA)在考虑长时间暴露于紫外线危害时至关重要,因为不同辐照强度和暴露距离、持续时间的变化决定了可合理预见的最严重暴露情况(针对光化学危害)。这种情况对应于在指定距离测量或计算的辐照度,并用于确定风险等级的依据(类似于普通照明灯的 500 lx 评估距离)。见附录 D。

3.18

紫外辐射 ultraviolet radiation

100 nm~400 nm 波长范围内的光辐射。

注 1: UV-C 的波长范围为 100 nm~280 nm,UV-B 的波长范围为 280 nm~315 nm,UV-A 的波长范围为 315 nm~400 nm。

注 2: 波长小于 180 nm 的紫外辐射为真空紫外辐射,不包括在本文件的范围内。

[来源:GB/T 2900.65—2023,845-21-008,有修改]

3.19

紫外荧光照明器 ultraviolet-fluorescence illuminator

任何旨在通过照明并激发荧光以增强材料可视化的 UV-A 灯。

注: 示例包括“黑光”荧光照明器、用于检测假币的安全码读取 UV-A 灯、医疗应用等。

4 紫外线灯产品安全评估的风险等级

4.1 光辐射安全风险等级确定的依据

确定单个灯风险等级的基本方法,以及确定所有灯或含灯产品风险等级的默认测量条件应符合 GB/T 30117.1—2024 的要求;除非存在专用(特定应用)标准,其中包含了特定应用测量条件。GB/T 30117.1—2024 中的风险等级表明了潜在光辐射危害的风险程度,并最大限度地减少了进一步测量的需要。风险等级是基于数十年使用灯的经验和分析与光辐射发射相关的意外伤害而得来的(除紫外线灯伤害或弧光灯伤害外,这种伤害通常较为罕见)。风险等级也用于明确相应的风险管控措施。

四种基本风险等级分类如下。

- 免除类(RG0):即使是连续、无限制地使用,也不存在可预见的光辐射危害。典型案例,如用于紫外荧光照明器或家用诱虫灯的小型 UV-A LED 灯和 UV-A 荧光灯。
- 风险 1 类(RG1):大多数情况下安全的产品,除非长时间的直接眼部暴露。例如电池供电的 UV-A 手电筒或大型工业用诱虫灯。
- 风险 2 类(RG2):一般不会造成实际的光辐射危害的产品,因为它们通常不会因晶状体荧光产生令人不适的眩光或者不现实的长时间曝光下造成实际光辐射危害;例如 UV-C 杀菌灯具。
- 风险 3 类(RG3):产品即使在很短的时间内,近距离接触它,也会造成潜在的危害。此类产品的安全要求通常是必不可少的。例如,日光浴灯产品(按照 GB/T 4706.85—2024 中的规定执行)、促进人体吸收维生素 D 的灯产品和开放式 UV-C 紫外线杀菌灯产品。

本文件给出了每类紫外线灯产品风险等级的标签要求和用户信息(见 7.2 和 7.3)。

4.2 紫外线灯产品的评估准则

标准测量条件考虑(紫外线灯产品)发射光谱和紫外辐射的辐照度,以确定对眼睛和/或皮肤的风险。测量条件(见附录 B)充分利用从主要发射光谱范围在 UV-A 的灯产品中发射的微量 UV-B 和 UV-C 辐射信号。风险等级评估距离与潜在危险曝辐条件和时间累加平均(TWA)的有效评估距离有关,而有效评估距离是基于合理可预见的最坏情况下的暴露持续时间计算的,由此决定了发射限值。危害距离的概念通常不适用于光化学危害,因为紫外线的危害会累积,而日曝辐量决定了潜在的危害。在相同持续时间内,确定随时间变化的光源的时间累加平均曝辐量与确定连续(CW)辐射的曝辐量是相同的。光源几乎不会与眼睛保持固定的距离,人也不会每天盯着紫外线光源 30 000 s(约 8 h)或更长时间。紫外线(光化性)S(λ)角膜/皮肤限值(见附录 E)适用于长时间暴露,在几乎所有应用中,每天的皮肤暴露量都高于眼部暴露量。因此,风险等级评估距离因不同应用而异,5.3.3 中列出了不同类型灯产品的评估距离。

对于不同特殊应用的灯系统,如诱虫灯、杀菌灯、紫外线光固化灯产品或 UV-A 荧光灯具,评估和测量条件必然不同。不同的应用组定义了一系列相应的操作、维护和服务条件。因此,本文件中对紫外线灯产品的评估和测量条件与 GB/T 30117.1—2024 中对某些产品的默认测量/评估条件有所不同。

通常,单个灯或 LED 的评估方法不适用于最终灯产品。在特定条件下,单个灯或 LED 的评估方法可直接传递至灯系统。其风险等级将保持不变,或可降低(例如,通过滤光器等)。一般而言,紫外线灯具将改变紫外线灯本身的发射光谱或辐照度场的几何结构。使用反射器或适当的聚焦光学器件可增加辐照度并提高风险等级,在这种情况下,对灯的评估方法不能传递到灯系统。如果在灯系统中使用多个灯,则单个灯的评估结果不可直接被引用。

本文件特定应用准则的要求是针对某些产品在特定应用中的风险等级评估。例如能在家庭或非受控环境中无限制使用的产品。其性能特征基于风险等级的规范和特定应用的控制措施。第 7 章中给出了基于可能直接观察光源的行为的基本指导意见。适用安全措施等级遵循国际公认的制造商安全措施优先级顺序。即工程控制措施(如过滤器、屏蔽、联锁、相关接近传感器等)是最高优先级,其次是管理措施(如警告和标签,见 7.3),最后是个人防护设备。

本文件的初衷是,不需要将光辐射暴露降至尽可能低的水平;然而,作为一般性指导原则,宜尽量减少那些会导致不必要的人员暴露的多余辐射发射。

5 确定相应风险等级的测量

5.1 通用要求

本文件涉及在 180 nm~3 000 nm 之间发射的光辐射中有一半以上辐射功率位于 180 nm~400 nm 的光谱范围内的灯和灯系统。例如低压和中压汞灯、UV LED 灯、准分子灯和氙灯。

对于其他类型的灯,不必进行光谱测量来验证此辐射条件。对灯的光谱发射范围或灯产品中使用的光学器件的光谱透射率或反射率特性的先验知识足以确定该产品是否在本文件适用范围内。

如果有疑问,使用一个热探测器和一个具有大约 400 nm 截止波长(UV 滤除)的长波通滤波器能进行简单测试,以确定一个特定的灯是否满足规范要求。

紫外线辐照度的测量仅限于在 80°(即±40°)的锥角视场(FOV)中进行。

注:由于皮肤的折减系数较大,适用于眼部危害评估的 80°FOV 是合适的(见参考文献[38])。通常,80°FOV 将捕获主要辐射。然而,如果使用具有更大 FOV 的探测器(例如余弦响应探测器),则评估结果将高于实际曝辐量。

测量的通用要求如下:

- 规定的输出应根据环境中可预见的变化(温度、气压、湿度、室外使用等)来确定;
- 已安装的灯系统,其辐射功率不应因任何合理可预见的事件或单一故障条件而增加或改变其方向。

5.2 时间累加平均辐照度

表 1 规定了时间累加平均辐照度风险等级的适用发射限值。

虽然评估的全光谱范围是 180 nm~400 nm,但在如下所述情形,不需要在全范围内进行测量。

由于大气中的氧会强烈吸收波长为 180 nm~200 nm 的光子,因此很少有在该光谱区内工作的光谱辐射计,并且在该范围内很难获得可追溯的光谱辐照度准则。因此,低于 200 nm 的测量仅适用于带有真空紫外透射石英外壳的低压汞灯的特殊情况。

在 200 nm~250 nm 之间的波长范围,光谱辐射计的低灵敏度可导致测量结果具有较高的信噪比。这一问题可通过一些方法得到补救(见附录 B 中的 B.6),也可通过对灯具的光谱发射区域或灯具产品中使用的光学元件的光谱透射/反射特性的预先了解,来将测量的光谱范围限制在 250 nm~400 nm 之间。

表 1 时间累加平均辐照度风险等级的发射限值

危害类型	波长范围 nm	发射水 平符号	发射限值 ^a			单位
			免除类	风险 1 类	风险 2 类	
光化学紫外 ^b	180~400	E_S	0.001	0.003	0.03	$W \cdot m^{-2}$
近紫外 ^c	315~400	E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$

^a 发射限值表示为在给定应用相关评估距离上的辐照度,而不是在光源表面指定的辐照度。光化学紫外辐照度通过光谱加权得到,而近紫外辐照度不需要加权。

^b 对于剂量受限的产品,光谱加权发射剂量限值为 $30 J \cdot m^{-2}$,见 5.3.4。

^c 在非正规情况下直接和有意地观看光源,在任何 30 000 s(约 8 h)的时间内超过 1 000 s(观看相关的风险),则免除类的发射剂量限值将降低至 $10 kJ/m^2$,由预期凝视时间确定。

5.3 风险等级评估条件

5.3.1 最大输出调节量

光源应在最大光功率下运行,以实现最高可达的辐射功率发射。

5.3.2 紫外线灯产品的测量和评估距离

当测量紫外线灯产品的辐照度或光谱辐照度时,应在足够接近的距离处测量有效 UV-B 和 UV-C 辐照度和/或光谱辐照度,以尽量减少来自杂散光的测量误差,尽管杂散光经过过滤后相对主要辐射量非常微弱,但在光生物效应上仍具有重要意义。但如果辐射输出能量太强,仪器探测器可能饱和,则测量距离应更大。如果测量距离与表 2、表 3 和表 4 中的风险等级评估距离不同,则有必要将实际测量距离下的测量值转换为评估距离下的测量值。通常,在更近距离的测量转移是通过确定加权函数 $S(\lambda)$ 与总辐照度或辐射功率(即加权的 μW 总的 mW)的比值来获得,其方法与在评估 GLS 灯时确定 $\mu W/lm$ 比率相同。应报告评估距离处的实际测量值和外推测量值。

5.3.3 风险等级评估距离

表 2、表 3 和表 4 给出了针对特定紫外线灯产品的风险等级评估距离。表 2 适用于预期供用户在非受控环境中使用的产品,此类产品除需提供用户信息外不受其他使用限制。在正常或异常操作条件下,一般人员不宜暴露于可能引发疼痛或伤害的紫外线光源下。在单一故障条件下,一般人员不宜暴露于可能造成危害的紫外线光源下。表 3 所列产品适用于需要特殊培训、通常仅需管理控制措施的应用场景,这类产品通常用于专业用途或由受过培训的人员使用。

在正常操作条件、异常操作条件或单一故障条件下,受过培训的人员不宜暴露于包含可能造成危害的紫外线光源的部件中。预期供用户(一般人员)或受过培训的人员使用的灯和灯系统不应达到 RG3 的发射水平。表 4 列出了需要工程控制措施和/或个人防护设备以及行政控制和特殊培训的产品,通常仅限技能人员使用。对于表 2 中列出的紫外线灯产品,如果加权辐照度 $S(\lambda)$ 和 UV-A 辐照度在评估距离处满足免除类限值,不需要进一步测试。但宜通过计算,确保在 20 cm 处(除非表 2 中给出了更近的距离)的加权辐照度 $S(\lambda)$ 和 UV-A 辐照度不超过 RG2 发射限值。如果紫外线灯产品在 20 cm 处的加权辐照度 $S(\lambda)$ 超过 RG2 发射限值,则产品宜贴上 RG3 标签,并限制其使用,表示用户/一般人员不宜使用该紫外线灯产品。对于表 2、表 3 和表 4 中未列出的紫外线灯产品,评估距离应为 1 m,或者当在制造商建议的距离下长时间暴露(即大于 100 s)是可行的,则使用制造商建议的距离。

一些辐射超过 RG2 发射限值的灯系统,虽然通过技能人员的安装限制了人员进入,避免人员可能暴露在超过 RG2 限值的辐射下,但仍然是 RG3 产品,除非有完全阻挡人员进入的工程控制措施。

表2 无用途限制的产品风险等级评估距离^a

灯产品	评估距离 m
手持式荧光照明器	1.0
荧光室和舞台照明器,例如 UV-A“黑光”	2.0
荧光计/透射照明器	0.5
家用皮肤清洁照明器	0.5,参见 5.3.5
家用诱虫灯(< 50 W)	1.0
家用指甲固话产品	0.5,也限于制造商使用距离的剂量限值 ^b
手持式紫外线表面清洁(见 6.3.3)	0.2
紫外线水消毒产品	1.0

^a 供用户(有时称为“一般人员”)使用,即没有受过特殊培训或掌握技能的人。

^b 根据光源近似于点光源还是线性光源,使用平方反比定律或距离倒数关系通过计算能获得该距离处的辐照度。

表3 指定人员使用并限制用途的产品风险等级评估距离

灯产品	评估距离 m	
牙科诊断照明器	0.1,参见 5.3.5	
牙科光固化照明器	使用者为 0.5,患者为制造商应用发射剂量限值的使用距离(见 5.3.5)	
医学诊断	使用者为 0.5,患者为制造商应用发射剂量限值的使用距离(见 5.3.5)	
医疗	超出本文件范围——按照 YY 9706.257—2021 中的规定执行	
眼科诊断设备	超出本文件范围——按照 ISO 15004-2 中的规定执行	
指甲护理产品-专业	见 5.3.5 ^a ,眼部危害评估为 0.2	
诱虫灯	(50W~150 W)	2.0
	(>150 W)	3.0
光固化产品(油墨等)	1.0	
紫外线杀菌——管道辐照和空气净化器装置	距任何可达点 0.5	
紫外荧光照明器	0.6	
紫外漆硬化/固化	1.0	
紫外线粉末固化	1.0	
紫外线光纤固化	1.0	
紫外表面活化	1.0	

表3 指定人员使用并限制用途的产品风险等级评估距离(续)

灯产品	评估距离 m
日光浴灯产品/室内日光浴用具	超出本文件范围——按照 GB/T 4706.85—2024 中的规定执行
手持式紫外线表面清洁(见 6.3.3)	0.6
紫外线杀菌——上层空间辐射装置	1.0(在轴线上) 另外安装后要求,在预期地面上方 1.8 m 评估活动人员的时间累加平均曝辐量——见附录 D 和附录 F
紫外线杀菌空气净化器(外壳泄漏辐射)	0.4
* 根据光源近似于点光源还是线性光源,使用平方反比定律或距离倒数关系通过计算能获得该距离处的辐照度。	

表4 仅供专业人士、技能人员使用的灯或灯系统的风险等级评估距离

灯产品	评估距离 m
牙科诊断照明器	0.5, 参见 5.3.4 和 5.3.5
医用治疗	超出本文件范围——按照 YY 9706.257—2021 中的规定执行
用于人员活动的开放式空间的杀菌产品	1.0 最大光束轴上
限制进入的开放式空间的杀菌产品	0.5
上层空间杀菌产品	0.5(小光源)和 1.0(线性光源) 另外安装后要求,在预期地面上方 1.8 m 评估活动人员的时间累加平均曝辐量(见 6.3.4)
紫外线杀菌管道系统	距维护接触点 0.5
紫外线水净化系统	距维护接触点 0.5

5.3.4 剂量受限产品

一些灯产品设计为剂量限制型,在这种情况下,能通过比较发射限值与 30 000 s(约 8 h)内最大可能辐射剂量乘以最大可能暴露持续时间计算的值来进行风险等级分类(即 $0.001 \text{ Wm}^{-2} \times 30\,000 \text{ s} = 30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$)。

5.3.5 用于皮肤或眼睛辐照的产品

对于用于皮肤或眼睛辐照的产品,如果在制造商规定的使用距离处 UV-A 辐射超过 RG2 发射限值,则应采用双重限值。除了 $S(\lambda)$ 加权剂量发射限值 [$S(\lambda)$ 加权值见附录 E] 外,组织表面的总辐照度 (200 nm~3 000 nm) 也应限制在 1 kW/m^2 , 以防止过热。

6 RG2 和 RG3 紫外线灯系统的技术要求

6.1 通用要求

RG2 和 RG3 的灯、灯系统以及含有可发射 UV-C 和/或 UV-B 辐射的灯产品应符合 6.2~6.6 的要求。这些要求防止人员接触超过皮肤和眼睛的相应光化学紫外危害暴露限值的 UV-C 和/或 UV-B 辐射,这些主要来自杀菌紫外线(GUV)产品。

如果相关产品安全准则规定了具体要求,则可采用这些准则代替 6.2~6.6。

注:产品安全准则可能有额外的或更严格的要求,或者对产品的某些特定结构或功能不予许可。

示例:

GB 4943.2—2022 的要求适用于任何一般人员(用户)或受过培训的人员,超过 RG2 水平的辐射由灯和灯系统的外壳或设备的外壳控制。

对于 RG2 和 RG3 紫外线灯产品,在设计上的要求如下:

- 产品的设计应使其不会发出潜在不必要的有害光辐射;
 - 产品应基于可预见的安装条件变化(如安装在天花板、飞机上等可能性)来设计。
- 通过检验来验证符合性。

6.2 防护罩

6.2.1 通用要求

产品应有一个防护罩,当安装到位时,可防止人员接触到潜在危险的 UV-C 或 UV-B,即可达发射量不应超过 RG1 的发射限值。

通过检验并按 6.2.2 和 6.2.3 的规定进行符合性验证。

注:防护罩能单独作用;只有当它安装到位时,它才有效。防护罩也能与连锁系统或接近传感器一起作用;在这种情况下,无论防护罩的位置如何,都能确保保护作用有效。

6.2.2 外壳

用作防护罩的外壳应具有:

- a) 承受可合理预见的机械冲击所需的硬度;
- b) 由不会因紫外线照射而降解的材料制成,其降解方式不会增加光化学紫外线可达发射量;
- c) 其结构确保只有使用工具才能接触到危险的光化学紫外线。

通过检验来验证符合性。

6.2.3 开口、面板和门

对于允许接触有害 UV-C 的外壳开口、面板和门应符合以下要求。

- a) 确保其构造需要使用工具才能打开任何盖子、面板或门。
- b) 对于供受过培训的人员提供服务或维修用的开口,配备符合 6.5 要求的不可解除的连锁系统。
- c) 对于供技能人员提供服务或维修用的开口,配备:
 - 1) 符合 6.5 规定的不可解除的连锁系统,或;
 - 2) 符合 6.5 规定的可解除的连锁系统以及符合 6.4 和 6.5 的发射警告系统或警告装置。
- d) 符合 6.3 的要求。

注:连锁方式可能是密码、物理密钥或其他特定的工具。

通过检验来验证符合性。

6.3 RG2 和 RG3 产品

6.3.1 通用要求

如果预期用途需要接触具有潜在危险的 UV-C 或 UV-B,应为产品提供具体措施,以确保防止 UV-C 和 UV-B 的危害。

通过检验并按 6.2.2 和 6.2.3 的规定进行符合性验证。

6.3.2 接近传感器

在可能暴露于具有潜在危险的 UV-C 或 UV-B 的地方,应使用接近传感器代替防护外壳或连锁系统。如果进入主要发射范围,接近传感器应在 1 s 内自动终止发射。如果在延迟开启前检测到有人,则接近传感器应防止灯开启。如果感应到侵占已终止发射,则需要手动复位。如果技术或应用会阻止发射终止,制造商应提供风险评估,表明在距离光源 20 cm 处的发射量降低至 RG2 限值以下。

通过检验来验证符合性。

6.3.3 定向控制

手持式紫外线表面清洁产品应具有定向控制,当产品移出制造商规定的正常使用方向时,该定向控制会使有害 UV-C 或 UV-B 的发射失效。

注:定向控制可能是倾斜传感器或光电开关。

如果产品可无人看管,那么对于预期用于家庭环境或商业环境的产品,定向控制可能不是一种可接受的或充分的降低风险的手段。在这种情况下,需要采取其他降低风险的方法。

通过检验来验证符合性。

6.3.4 上层空间安装的紫外线灯具的调整

对于上层空间安装的杀菌紫外线灯具,应提供在安装现场调整对准的方法,以使进行安装的工作人员正确地调整灯的紫外辐射,使得距地板上方 1.8 m 高度处的暴露值低于时间加权人体暴露值的限值。制造商应提供上层空间的辐照度图(例如按照 CIE 247:2021 的要求),以协助安装人员。

6.3.5 延迟开启计时器

对于预期用于开放式或上层空间的产品,可使用延迟开关,足以允许用户在光源发出光辐射前移动到安全距离,以代替连锁(6.2.3)或接近传感器(6.3.2)。延迟时间不应少于 5 s。

通过检验来验证符合性。

6.3.6 曝光时间控制/自动关闭

对于预期用于开放式或上层空间的产品,可使用自动关闭定时器,该定时器将在特定时间后禁止发射,以允许用户在预期照射结束后接触该产品,以代替连锁(6.2.3)或接近传感器(6.3.2)。

通过检验来验证符合性。

6.4 发射警告

如果发射超过 RG1 水平(或连锁失效),产品应配备 UV-C 发射警告装置。当系统打开时,警告应发出可见或可听到的信号。发出可见辐射的灯(如低压汞灯)或在发射过程中发光的荧光标签应被视为符合可见辐射警告。

通过检验来验证符合性。

6.5 可靠性

用于保护人员的任何电子系统或传感器应确保系统或部件中的单一故障在设备的预期寿命内不太可能发生或不会造成危险。

注：可靠性和设计要求能通过应用 IEC 61508(所有部分)[安全完整性等级(SIL)]或 ISO 13849(所有部分)[性能等级(PL)]或其他提供同等功能安全的解决方案来确定。

6.6 发射控制

6.6.1 通用要求

产品应配备允许操作员安全操作设备的控制装置。

通过检验并按 6.2.2 和 6.2.3 的规定进行符合性验证。

6.6.2 发射停止

应提供一种永久附在产品上的装置,以防止有害的 UV-C 或 UV-B 发射。

通过检验来验证符合性。

6.6.3 密钥控制

仅供技能人员使用的产品,如果可合理预见这些产品可在居家或商业环境中无人看管,则应配备一个密钥操作的主控制装置。

如果这是一把物理钥匙,它应是可拆卸的,并且当钥匙被取下时,任何 UV-C 辐射都不应被接触。

注 1:可能是密码、物理钥匙或其他特定工具。

注 2:在居家或商业环境中无人看管的产品可能会被消费者或一般人员激活,无意中导致潜在的危险情况。

通过检验来验证符合性。

7 信息和标签——制造商要求

7.1 通用要求

制造商进行风险等级分类的主要目的,是确定是否需要工程控制措施,并告知用户安装时可能需要预防或限制的潜在危害。因此,当紫外线灯产品属于风险 2 类或风险 3 类时,应明确告知用户该产品对眼睛和皮肤的潜在危害,以及适用的危险控制措施。风险 1 类和免除类产品不构成需要控制的风险,因为对于任何应用(包括医疗应用),将紫外线灯对着眼睛照射数小时是不现实的。

灯产品风险等级分类决定了必要的安全措施,以降低相应的专用准则中规定的应用风险。

7.2 用户信息

制造商应向用户提供足够的信息,以根据紫外线灯产品的风险等级进行安全操作。用户信息包括产品的风险等级分类和必要的预防措施。如果紫外线灯产品为 RG3,则用户信息应表明该产品为“仅供专业人士使用”或“仅供技能人员安装”。如果系统能使用固定装置或修改光学器件,则用户手册中应列出可能的最坏情况暴露危害值和危害距离。

注:在 180 nm~400 nm 的波长范围内,风险等级分类基于辐照度或曝辐量,单个灯的评估不能自动转移到最终产品。

通过检验来验证符合性。

7.3 紫外线灯的标签

7.3.1 RG0 紫外线灯

不必贴标签。

7.3.2 RG1 紫外线灯

用户说明或灯的包装上应说明该灯会发射紫外线。

7.3.3 RG2 紫外线灯

用户说明或灯的包装上应说明该灯会发射紫外线。需要一个标签,说明“本产品会发射紫外线”。若有任何特殊用途或安全指令的需要,应添加“必须查阅操作手册”的符号(按 GB/T 31523.1—2015 中表 3 的编号 3-23)。

7.3.4 RG3 紫外线灯

产品上应贴有 GB/T 21092—2013 规定的或如图 1 所示的警告标签。应说明以下(或同等)措辞:“警告,此灯会发射紫外线。避免将眼睛和皮肤暴露在无屏蔽的灯下;RG3 灯,可能会导致皮肤或眼睛受伤。”若有任何特殊用途或安全指令的需要,应添加“必须查阅操作手册”的符号(按 GB/T 31523.1—2015 中表 3 的编号 3-23)。

7.4 紫外线灯产品的标签

7.4.1 RG0 紫外线灯产品

归类为 RG0 的紫外线灯产品不需要额外标签。但提示发射 UV 的标签是可选的。

7.4.2 RG1 紫外线灯产品

提示发射 UV 的标签不是必需的,而是可选的。但是用户说明书中宜提供相应信息以说明本产品会发射紫外线(以及紫外线波段范围,例如 UV-C、UV-B 或 UV-A,或 LED 灯的发射峰值波长,如适用)。

7.4.3 RG2 紫外线灯产品

应对风险等级和危害进行标识(见图 1 或图 2,视情况而定)。

用户说明中宜提供相应信息以说明本产品会发射紫外线(以及紫外线波段范围,如 UV-C、UV-B 或 UV-A,或 LED 灯的发射峰值波长,如适用)。

注:要报告的波段(UV-A、UV-B 或 UV-C)是超过相关发射限值的波段。

说明书和产品信息上应注明“避免直接接触眼睛或皮肤”。产品应贴上标签(见图 1 或图 2)。

7.4.4 RG3 紫外线灯产品

产品应贴有所属风险等级的标签(见图 1 或图 2,视情况而定)。产品标签和用户说明中应提供相应信息以说明本产品会发射紫外线(以及紫外线波段范围,如 UV-C、UV-B 或 UV-A,或 LED 灯的发射峰值波长,如适用)。

使用手册和产品信息应包含以下警告:“警告:打开前请关闭紫外线灯”和“警告:在维修过程中对眼睛和皮肤进行紫外线防护”。如果插入或移除可拆卸的整形光学元件会增加风险,则应在光学元件上贴警告标签。产品上应贴上与下列内容类似的标签:

“警告！
请勿直接接触眼睛或皮肤”

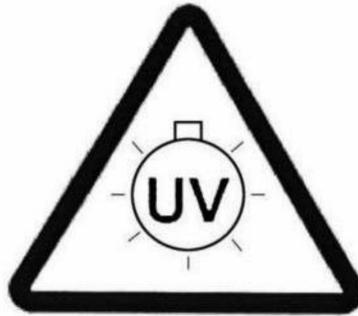


图 1 置于三角形内的基于 IEC 60417 中紫外线灯的 6040 图形

对于紫外线灯产品,应根据具体情况选用以下信息标签(见图 2)。

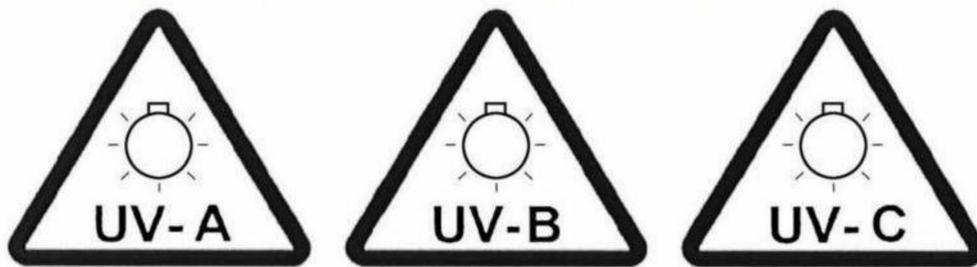


图 2 为窄带紫外线灯提供附加信息的三种标签

UV-C 杀菌灯应根据 GB/T 21092—2013 的规定使用 UV-C 标签。

7.5 用户手册

7.5.1 通用要求

应详细说明正常预期用途和安装要求。如果需要,应在用户手册中规定培训和禁区要求。

7.5.2 风险降低措施

在制造商对最终产品进行彻底的风险分析后,可适当地实施额外的风险降低指导,例如:

- 户外产品使用要求;
- 特定警告;
- 关于更换灯具的指导,如“仅在电源关闭时更换灯具”,并为更换灯具提供适当的指导;
- 需要采取的其他保护措施,如美甲客户在适当情况下佩戴露指手套。

7.5.3 有限使用

RG3 产品需要专业使用或特殊安装(例如,上层空间的 UVG),用户说明应明确说明辐射范围和特殊安装或监督使用的要求。

7.6 维护和服务

灯或灯系统的维修期间可能存在潜在危险。换灯的说明上应明确陈述风险和正确的程序。只有经过正确培训和掌握相关知识的人员才能对含有 RG3 灯的灯系统或灯产品进行维护或服务。在对含有 RG3 灯的灯系统进行维护或维修的情况下,只有经过正确培训并了解风险的人员才能执行这些任务。维护说明书中应明确规定限制出入区域的临时控制设置和所需的特殊防护面罩、手套或其他个人防护装备。

附录 A

(资料性)

紫外线灯产品的典型应用

A.1 背景

紫外线灯和灯系统应用广泛,从新颖的“黑光”照明器、舞台聚光灯到应用荧光的医用灯、诱虫灯和杀菌灯。典型的灯类型有:

- 低压汞荧光灯[管式紧凑型荧光灯(CFL)];
- 低压汞灯、UV-C 杀菌灯;
- 稀有气体卤化物,如氩-氯紫外线准分子灯;
- 紫外线 LED 灯[半峰全宽(FWHM)为 50 nm 或更小];
- 紫外线过滤金属蒸汽放电灯;
- 紫外线过滤白炽灯。

最典型的情况是在 A.2 所列的应用中。

A.2 紫外线灯产品的应用

A.2.1 近紫外(UV-A)“黑光”光源观察荧光颜料

手持式和固定式 UV-A 灯的典型发射峰值为 350 nm~400 nm,这类产品被广泛用于各种应用中,例如激发荧光涂层、涂料、颜料等材料,并通过显现可见荧光发射来实现无损检测。观看者可戴也可不戴紫外线防护眼镜——其主要作用在于提高可见荧光发射光谱的对比度。手持式 UV-A 聚光灯或“手电筒”被用于涂层和染料的无损检测。类似光源还用于检测货币、钞票、身份证和识别印章上的防伪标识码。在所有这些应用中,风险等级的确定均基于合理可预见的最严苛暴露条件(距离荧光材料表面 30 cm~50 cm 的观察距离下的反射光)下评估的最高时间加权曝辐量,对应的标准化评估条件为:在距离光源 100 cm 处,持续 30 000 s(约 8 h)。在实际使用中,UV-A 光束会避开观看者方向,因此用户不会受到如此高剂量的曝辐。

永久安装的“黑光”系统广泛应用于娱乐行业、博物馆、酒吧和银行等场所,其安装目的并非引导直接观看(除短时间的无意观看外)。因此,在时间加权评估条件下,系统安全性的标准化评估距离设定为 1 m。

A.2.2 近紫外线(UV-A)诱虫灯产品

在 350 nm~370 nm 光谱范围内具有典型峰值的固定式和便携式 UV-A 灯系统被用于各类诱虫灯(ILTs)中。为了确保装置有效性,需将诱虫灯安装在远离人的位置,使昆虫主要受 UV-A 光源吸引,而非被人群或常有人停留的区域所吸引。因此,即使对于室内装置(具体视应用场景而定),其最高时间加权曝辐量的评估通常基于 1 m 或更远距离进行测算。

A.2.3 UV-C 杀菌灯产品

紫外线杀菌灯产品通常被设计为完全阻挡紫外线辐射到有人驻留的空间。紫外线杀菌灯被应用于水净化系统、空气处理系统以及家用空气净化器中,这些设备均配备连锁防护结构,确保在正常运行期间防止潜在的紫外线危害暴露。连锁装置通常也能在设备维护或保养期间防止人员接触到紫外线。然而,为控制空气传播的病原体(如结核杆菌等生物气溶胶),部分医院、监狱和对感染控制要求严格的机

构会在上层空间(见附录 D)安装开放式的 UVG 固定装置,仅对 1.8 m 以上(见注)的上层空间进行照射,当灯具安装不当或维护不善时,在房间的低处空间可能会出现潜在的危险照射。通过适当的评估和测量几何学来评估时间加权曝光。在此类应用中,安装说明是必不可少的,且对安装杀菌灯后的房间进行安全评估也是必不可少的。因此,测量不仅要在空气处理区域进行,还要覆盖非处理区域(即人员活动区域)。风险等级分类的依据是基于空气处理区域的测量结果,而安装过程宜确保人员活动区域的安全。这是因为上层空间缺乏工程控制措施来限制人员接触紫外线。

注:站着的人 99%的眼高为 180 cm,坐着的人 99%的眼高为 130 cm,医院高床 99%的眼高为 112 cm。

紫外线杀菌灯是传统的低压汞灯,大部分(超过 90%)发射波长为 254 nm(UV-C)。较新型的紫外线杀菌灯包括 LED 和准分子等离子体(如氯化钾)灯。灯的外壳一般是石英,但现在最常用的是防止产生臭氧的 UV-C 透射玻璃(如怀格)(见参考文献[28])。

手持式的紫外线表面清洁产品(如紫外线棒)在一些消费市场和专业市场上有售。知情的情况下能安全用于专业用途。大多数出售给消费者使用的产品或辐照度不够,无法达到消毒的作用;或发射不安全的紫外辐射以达到杀菌效果,但却可能导致皮肤和/或眼睛受伤害。有些产品有一个定向开关,除非喷头朝下,否则会终止发射;然而,这种安全功能并不能完全消除直接和间接紫外辐射对人体造成伤害的风险。一般人员或消费者不可使用手持式紫外线表面清洁产品,如紫外线晒肤设备(不在本文件适用范围内,仅供参考)。

消费者对美黑的需求导致了商业紫外线晒肤设备的开发和销售。虽然这种设备必然使人的皮肤暴露在超过免除类灯产品的建议限值的辐射下,但有办法将潜在的延迟影响风险降到最低。术语“日光浴灯产品”或“日光浴床”经常被用来描述所有的晒肤设备,包括一些面部日光浴设备中的单一紫外辐射发射灯(发射 UV-A 和/或 UV-B 辐射),或在床、天棚、面板或其任何组合中包含的若干此类灯。暴露于紫外辐射的日光浴对健康的潜在不利影响有充分的记录和合理的量化(见参考文献[59][60])。

在许多国家都有关于日光浴灯产品的国家法规。例如,在美国,日光浴灯产品应符合美国食品和药物管理局的联邦法规(CFR)(见参考文献[58])。该法规规定了光辐射性能要求,旨在尽量减少对用户的风险。

A.2.4 紫外线指甲固化和治疗

用于指甲油和甲片光固化的紫外线灯产品采用安装在夹具中的 UV-A 灯,以尽量减少眼睛的暴露。指甲处的辐照量通常为 $10 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)(见参考文献[32])。制造商可选择建议采取保护措施,如在使用过程中戴上露指手套。

A.2.5 医疗和牙科用紫外辐射光源

使用 UV-A(“黑光”)荧光灯或过滤白炽灯的紫外线灯产品被广泛用于诊断仪器,通常被称为“伍德灯”。这些手持式产品在急诊室、眼科和皮肤科都有,用于荧光检测。这些产品一般是 RG0 或 RG1。UV-A 诱导蛋白质和脱氧核糖核酸(DNA)的自发荧光在一系列应用中十分有效。牙科检查可以使用 UV-A 来识别牙斑,曝光时间很少超过 2 min~3 min。医学实验室的紫外线透射器(包括 UV-A 和 UV-B)被用来观察通过琼脂糖凝胶电泳分离的 DNA 或核糖核酸(RNA),这些 DNA 和 RNA 的荧光是可见的。

紫外线光医疗设备用于治疗诊断的皮肤疾病,如银屑病、白癜风等。

在过去,UV-A 也被用于牙科修复的光固化,尽管现在的光固化材料通常需要短可见光波长而不是 UV-A。

附 录 B

(资料性)

紫外线灯产品的测量

B.1 概述

本文件规定的紫外线灯光生物安全性评估,仅适用于在适当距离处测量产品的辐照度或光谱辐照度来评估 UV 和 UV-A 危害。

有多种仪器可用于执行此类测量,包括辐射计、热探测器和光谱辐射计等。更多测量方面的通用指南见 GB/T 30117.4—2023。

B.2 辐射计

紫外辐射计的光谱测量范围通常覆盖一个或多个紫外线范围(UV-A、UV-B、UV-C)或与光化学紫外线危害加权函数或国际照明委员会(CIE)红斑作用光谱相匹配。通常很难设计出在扩展的光谱范围内具有平坦光谱响应的辐射计,也很难准确地复制具有简单函数(如 UV-A 响应)的矩形光谱响应曲线,或准确地匹配复杂的生物作用光谱。因此,可能会产生光谱失配误差(见参考文献[14])。如果标准紫外辐射计与被测紫外辐射计用具有相同光谱分布的标准光源进行校准,这些误差就会降到最低,例如在测量低压汞灯 253.65 nm 线(杀菌紫外线)时,就有这样的校准。

如果使用的辐射计的光谱范围覆盖一个具有光谱加权函数的光源,但其光谱响应不符合光源的光谱加权函数,则宜对测量结果进行修正。

热探测器是可用的,但其宽光谱响应会使宽带光源的评估变得复杂,如果不使用滤光片来消除不相关的光谱成分,可引入显著的不确定度。

B.3 光谱辐射计

光谱辐射计包括电荷耦合器件(CCD)阵列光谱仪和基于单色仪或双单色仪的仪器,GB/T 30117.4—2023 给出了推荐的测量带宽和波长精度。

光谱仪可准确地测量被测光源的光谱辐照度,可得到最准确的结果,但在窄带光谱范围测量被测光源的辐射时,特别是在较短的波长上,仪器光电探测器的信号水平可能很低,导致信噪比(SNR)很高。实际上,如果使用低灵敏度的探测器,仪器的本底噪声可能会主导测量结果。

此外,在使用 CCD 阵列光谱仪和单色仪的情况下,来自测量范围以外波长的杂散光辐射功率可能会被错误地记录。例如,在测量 UV-A 光源或 UV-C 光源的光谱辐照度时:

- 在 CCD 阵列光谱仪内,UV-C 波长的像素可能接收到 UV-A 辐射;
- 在被调谐为向系统探测器传输 UV-C 波长的单色仪内,系统探测器也可同时接收到 UV-A 辐射。

杂散辐射功率通常仅在需要检测痕量水平光辐射的光化学紫外危害测量中成为限制因素,并且可能导致显著误差。为了获得 1% 的精度,对带外辐射的抑制需要达到 10^6 的数量级。使用双单色仪可能很容易实现,也能用单色仪和 CCD 阵列光谱仪来获得,但需要配合滤光片以增强对杂散辐射功率的抑制。

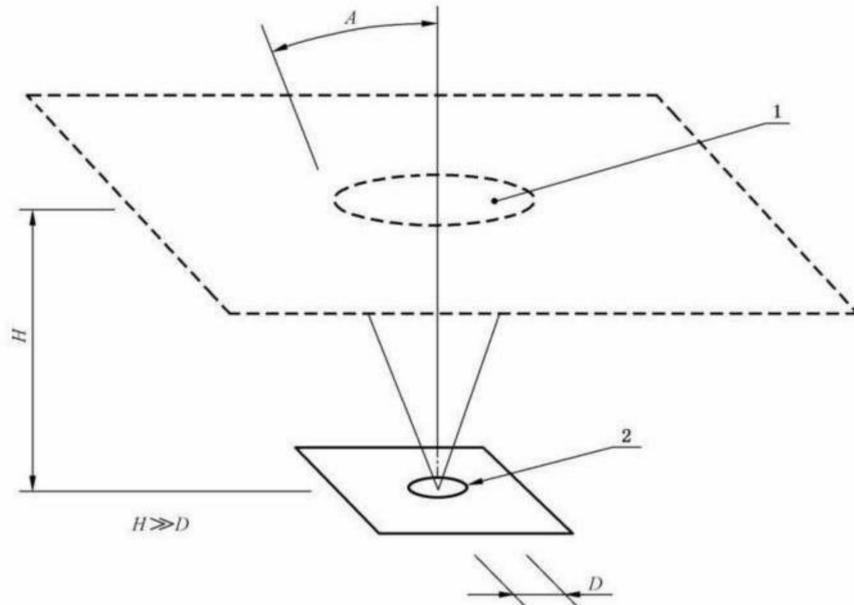
当考虑到有效的紫外线辐照度向下延伸到 200 nm,并且其发射限值辐照度相对较低时,上述问题尤为重要。

B.4 入射光学器件

尽管辐射计和光谱仪一般配备有全半球形视场余弦校正的入射光学器件,但曝光指南规定光谱辐

照度或辐照度的测量在 80° 圆锥角范围内进行。

当紫外线灯产品的对边角大于 80° 时,宜采用一个光阑来限制视场,如图 B.1 所示,其中 D 是仪器入射光圈的直径, H 是光阑与入射光圈平面之间的距离, A 是 80° 全测量锥角的半角。



标引序号说明:

1——限定视场的光阑;

2——探测器。

图 B.1 辐照度或光谱辐照度测量的几何结构

B.5 光谱辐射计-辐射计方法

光谱辐射计和 UV 辐射计配套使用可提供灵活的评估手段。在距离紫外线灯产品 $1\text{ m}\sim 2\text{ m}$ 处进行初始平行测量,如果两台仪器的入射光圈位于同一位置,则能对由于 B.2 中所述的任何潜在光谱失配误差产生一个修正系数,并能使用更便携的辐射计来评估被测产品周围的辐射。

此方法在评估室内上层空间杀菌装置和现场评估时特别有用。

B.6 测量距离与评估距离

B.6.1 通则

光谱辐照度的测量不一定要在表 2、表 3 和表 4 中的评估距离处进行。如果产品在评估距离处产生的光谱辐照度较低,噪声可在部分或全部光谱范围内主导测量结果。如果光源的光谱辐照度极高,系统探测器可能会饱和,仪器可能会损坏。在这两种情况下,宜在另一距离进行测量,以将测量误差降至最低。

如果测量距离与风险等级评估距离不同,则需要将测量结果修正到评估距离。

B.6.2 光谱仪方法

如果在评估距离处进行的光谱辐照度测量,在部分紫外光谱范围内无法获得满意的信噪比(SNRs)结果,则宜采用基于两次光谱辐照度测量的方法。

在评估距离处测量光谱辐照度 $E_0(\lambda)$,在距离产品较近处测量光谱辐照度 $E_1(\lambda)$,确保避免探测器

饱和和仪器热损坏。所测较高的光谱辐照度数值 $E_1(\lambda)$ 具有较好的信噪比和高于仪器噪声底的更大动态范围。

对 $E_1(\lambda)$ 光谱进行归一化,使其与 $E_0(\lambda)$ 光谱中测得的光谱辐照度相匹配,将提供一个准确的测量结果。修正后的 $E_{0,corr}(\lambda)$ 由公式(B.1)确定。归一化波长 λ_n 取自信噪比高的波长。

$$E_{0,corr}(\lambda) = \frac{E_1(\lambda) \times E_0(\lambda_n)}{E_1(\lambda_n)} \dots\dots\dots (B.1)$$

如果根据波长范围 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 内的积分,会得到更可靠的结果,具有满意的信噪比。见公式(B.2):

$$E_{0,corr}(\lambda) = \frac{E_1(\lambda) \times \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_0(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_1(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (B.2)$$

B.6.3 辐射计方法

这种方法适用于两种情况:

- 在评估距离处的光谱辐照度测量仅在部分(而不是全部)紫外光谱范围内产生令人满意的信噪比结果;
- 评估距离上的光谱辐照度过高或过低,无法测量。

紫外辐射计在与被测光源光谱分布相似的标准光源下进行校准后,且在测量距离处可获得满意的信噪比时,才可直接使用。

对于光源光谱分布的测量, $E_1(\lambda)$ 可在比评估距离(根据需要)更远或更近的距离处使用光谱仪来确定,以便使用校准的辐射计获得评估距离处的数值 $E_{0,rad}$ 。

如果紫外辐射计是为同一类型的光源而校准的,那么 $E_1(\lambda)$ 可在辐射计的光谱范围内($\lambda_1 \sim \lambda_2$, 根据需要应用相关的加权函数)进行积分,并按公式(B.3)和公式(B.4)计算出 UV 和 UV-A 的有效辐射量。

$$E_{UV} = E_{0,rad} \frac{\int_{200}^{400} E_1(\lambda) \times S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_1(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (B.3)$$

$$E_{UV-A} = E_{0,rad} \frac{\int_{315}^{400} E_1(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_1(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots (B.4)$$

如果辐射计没有根据被测产品的光谱分布进行校准,则宜在测量距离处平行测量光谱辐照度 $E_1(\lambda)$ 和辐射计记录的辐照度 $E_{1,rad}$, 见公式(B.5)和公式(B.6):

$$E_{UV} = E_{0,rad} \frac{\int_{200}^{400} E_1(\lambda) \times S(\lambda) d\lambda}{E_{1,rad}} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$E_{UV-A} = E_{0,rad} \frac{\int_{315}^{400} E_1(\lambda) d\lambda}{E_{1,rad}} \dots\dots\dots (B.6)$$

附 录 C

(资料性)

潜在的有害生物效应

C.1 背景

来自灯产品的潜在有害紫外辐射可产生急性(短期、瞬时)效应或慢性(长期、日复一日)辐射的延迟效应,本附录对这些生物效应进行了简要说明。因此,有益的生物效应,如在皮肤中产生维生素 D 或提高免疫力,不包括在本附录中(见参考文献[17][18][19]);但是,可注意到,即使是风险很低的灯产品,如 RG1,也可能通过长时间的照射产生这些有益的效应。

大多数紫外线光生物效应显示出强烈的“互惠性”,剂量反应显示出暴露率(辐照度)和暴露时间的互惠关系;无论是在几毫秒内还是在几个小时内,一个特定的反应需要相同的曝辐量。紫外线光生物效应的另一个重要特征是强烈的波长依赖性,光生物学家总是试图定义一个“作用光谱”,描述不同波长产生特定反应的相对有效性。虽然对急性效应如晒伤或“焊接闪光”来说,作用光谱的确定是直接的,但对于需要数年慢性暴露的紫外线白内障之类的延迟效应,几乎不可能准确定义。这种延迟效应的作用光谱只能通过一些动物研究提出建议,或者只能确定大致的波段。

C.2 紫外线照射的不良急性生物效应

C.2.1 光角膜炎和光结膜炎

光角膜炎和光结膜炎是眼睛角膜和结膜的急性、短暂的炎症反应,一般是由 UV-B(280 nm~315 nm)和 UV-C(100 nm~280 nm)引起的,如果存在于灯光谱中。对光角膜炎和相关的光结膜炎的非技术性描述是“焊接闪光”和“雪盲”,因为它们与较短波长的光源暴露有关(例如,来自阳光的 UV-B 以及来自开放电弧的 UV-B 和 UV-C)。眼睛的角膜是眼睛最前面的光学表面,结膜是覆盖眼睛巩膜(白色)的最外层组织。紫外线光角膜炎几乎总是与光结膜炎相关,因此,这种联合效应也被正确称为“光角膜结膜炎”。症状包括“眼睛里有沙子”,眼睑痉挛(眼睑肌肉突然、剧烈、不自主地收缩),视力有些模糊;眼睑裂隙处的反应(上下眼睑之间的开口)。因意外过度接触杀菌灯、汞灯和氙气灯的紫外线而引起的光角膜炎并不少见,但仅在特殊应用中才会出现。有少量关于意外过度照射的报告,如不适当地将 UV-C 杀菌灯安装在诱虫灯产品上。

在 200 nm~400 nm 之间的紫外线辐射可能产生光角膜炎,主要在 230 nm~32 nm 之间的波长最为有效。作用光谱的峰值约为 270 nm(见参考文献[45][46]),尽管早期的研究建议峰值为 288 nm(见参考文献[29])。阈值在人类和动物模型中有充分的文献记载,可用数据通常是一致的(见参考文献[27])。炎症反应一般在暴露后 4 h~12 h 内,时间取决于暴露量和阈值的差异,重度暴露在最短的时间内产生反应;24 h~48 h 内清除,除非是极其严重的暴露。光化学反应引发了一连串的生物反应。由于表面角膜(上皮)细胞的正常更新周期时间约为 48 h,受损的细胞在正常的新陈代谢过程中很快被清除。因此,单次暴露没有已知的永久性影响。尽管长期重复暴露于太阳 UV-B 可能是拉布拉多角膜病的病因的一个主要因素。最近对波长在 200 nm~254 nm 之间的短 UV-C 的光角膜炎的研究是由于在这个光谱范围使用杀菌紫外线而引起的(见参考文献[40]),并显示在波长小于 230 nm(有时被称为“远 UV-C”)时,阈值明显升高。在 222 nm 的辐照过程中,有一种即时的轻微刺激感,这可能是泪膜蒸发增加导致的(见参考文献[53]);但是在 254 nm 等较长波长下,辐照期间不会出现这种感觉。

C.2.2 红斑(晒伤)

红斑(俗称“晒伤”)是皮肤过度暴露于紫外线(主要来自 UV-B)辐射能量而导致的皮肤发红。这种皮肤变红是短暂的——在 8 h~24 h 内达到峰值反应(如果是 UV-C,则更快)。作用光谱已经公布,峰

值通常在 300 nm 左右(见参考文献[39])。

C.3 长期在紫外线照射下的不良生物效应

C.3.1 皮肤癌

皮肤癌最常与长期(或可能是非常严重的急性)过度暴露于紫外辐射(最主要是 UV-B)有关。鳞状细胞皮肤癌与多年来长期暴露在阳光下关系最大,户外工作者的发病率很高。这些癌症与紫外线日照量最高的纬度有很大关系。相比之下,黑色素细胞性皮肤癌经常出现在躯干、背部或上肢等未暴露的部位,这些部位一般不会长期暴露,与紫外线照射有关的流行病学证据似乎指向严重的晒伤,特别是青少年时期(见参考文献[22])。与 UV-B 相比,UV-C 和 UV-A 的致癌风险非常低(见参考文献[19])。光致癌作用光谱在约 300 nm 处达到峰值,在 UV-C 中迅速下降到小于 5% 的数值。非黑色素瘤皮肤癌(NMSC)作用光谱与急性影响、皮肤红斑和光角膜炎的作用光谱进行了比较。如图 C.1 和图 C.2 所示为 CIE 的 NMSC 作用光谱的线性和半对数图。

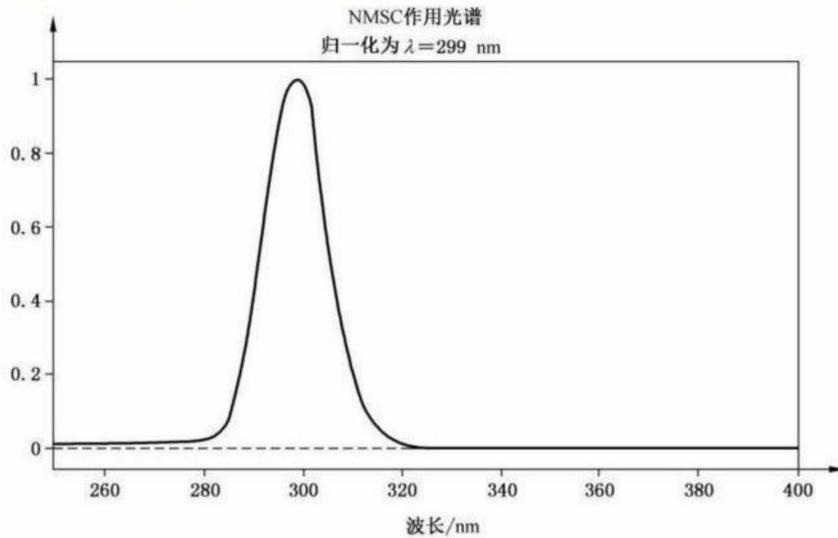
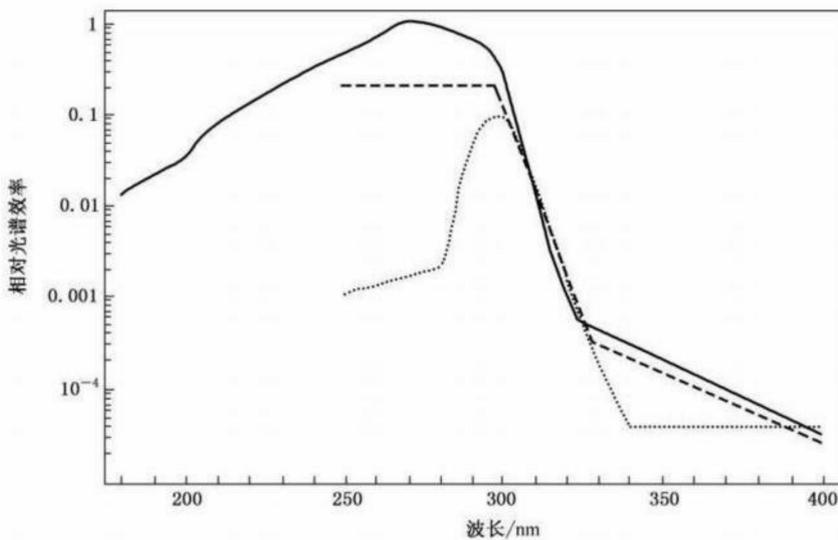


图 C.1 NMSC 的 CIE 标准作用光谱



ICNIRP $S(\lambda)$: 实线; McKinlay, Diffey 红斑: 虚线; NMSC: 圆点。

图 C.2 在半对数坐标中比较的三种作用光谱

C.3.2 翼状胬肉和黄斑翼状胬肉

翼状胬肉是结膜血管化并向角膜生长的组织,当它进入角膜中央时可降低视力。黄斑翼状胬肉是指在巩膜和角膜的鼻部或颞部交界处附近堆积的多余结膜组织。在热带地区长期暴露于高水平 UV-B 的户外工作者经常发生这些类型的新生物。翼状胬肉如果不加以管理会影响视力,但能通过手术管理。目前还没有关于人造光源造成这些影响的报告。

C.3.3 白内障

长期以来,环境紫外辐射被认为是老年性白内障发病机制中的一个病因(风险)。近几十年来,大量的证据表明,紫外线(尤其是太阳 UV-B)在一种白内障——皮质性白内障的形成中起了作用。Coroneo 的假设和 Sasaki 等人(见参考文献[48][49])的流行病学研究显著支持这一证据。核性白内障似乎与人一生暴露在高温环境中有关(见参考文献[52])。

C.3.4 拉布拉多角膜病

拉布拉多角膜病有许多眼科名称,如角膜球状体变性和角膜滴状病变,这是罕见疾病的特征。例如,在早春捕鱼期间,当极地环境中仍有冰雪时,海冰渔民的眼角膜会受到大量的慢性 UV-B 照射。

C.3.5 UV-A 照射的视觉效果——晶状体荧光

虽然一般认为 UV-A 对视网膜没有直接的刺激作用,但除了儿童和非常年轻的成年人(见参考文献[23][54]),晶状体荧光产生的光线是明显的。紫外线灯光源产生的波长在 365 nm 以上的 UV-A 到达晶状体并被大量吸收,甚至低于人类的暴露限值,可能诱发足以影响视觉表现的遮蔽性眩光。Zuclich 等人(见参考文献[62])的一项研究表明,荧光亮度产生的视觉眩光干扰随着受试者年龄的增长而变化不大。当在 UV-A 灯附近感受到时,这可能提供一些回避反应。

C.3.6 光性视网膜炎或光性黄斑病(蓝光危害)

光性视网膜炎(眼科医生也称之为光性黄斑病或“日蚀烧伤”),是由 305 nm~700 nm 的波长(主要是 400 nm 和 500 nm 的波段)的光照通常持续数分钟至数小时引起的。然而,对各种 UV-A 灯的评估表明,UV-A 中非常小的蓝光危害函数值(一般加权函数只有 0.01)表明对这种理论风险的评估不会改变风险等级的结果,为此,本文件中涉及的 UV 灯产品不需要进行这种评估。这是一种由光化学引起的视网膜损伤。在极少数没有正常晶状体(或已摘除晶状体)的人中,大量的视网膜暴露在 380 nm 至近 305 nm 的波长下可能会引起关注。

虽然在生产出发射波长在 390 nm~410 nm 的氮化镓 LED 之前这个问题并不严重,但一部分白内障(假性晶状体)患者能通过他们的眼内晶状体植入体将大量的能量传输到视网膜,因为一些“吸收 UV”的人工晶状体能将大量能量传输到 360 nm 的波长,在这种情况下,这些光源对人来说是非常不舒服的明亮,不适的眩光极大地限制了潜在的危险暴露。在正常(有晶状体)的眼睛中,作用光谱的峰值发生在大约 445 nm(见参考文献[35]),在无晶状体(见参考文献[36])的非人类灵长类动物中发生在大约 310 nm; $B(\lambda)$ 和 $A(\lambda)$ 的光谱加权函数是基于这项工作。无晶状体眼睛的 $A(\lambda)$ 函数被用于眼科手术中使用的眼科仪器的安全准则中(例如 ISO 15004-2)。更详细的内容见 GB/T 30117.1—2024,关于生物效应见附录 A。

附录 D

(资料性)

应用光谱加权发射的 TWA 概念进行风险等级分类的示例

D.1 使用 $S(\lambda)$ 进行光谱加权以确定有效辐照度

在评估时间累加平均曝辐量之前,确定光谱加权的暴露限值的第一步。按公式(D.1)采用光谱加权法来确定非单色光源的紫外线有效辐照度 E_{eff} 。

$$E_{\text{eff}} = \sum_{200}^{400} E_{\lambda} \times S(\lambda) \times \Delta\lambda \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- E_{λ} —— 光谱辐照度;
- $S(\lambda)$ —— 紫外危害光谱加权函数;
- $\Delta\lambda$ —— 波长间隔(例如,如果使用表 E.1,则为 1 nm)。

D.2 辐照量的时间加权

如何使用时间累加平均(TWA)值来评估作业空间内散射紫外线(UV-C)的风险,如在上层空间安装 GUV,使用传统的低压汞灯的紫外线灯具。图 D.1 是一个由合格安装人员进行评估的例子,通过一系列的测量,以确保在人员活动空间的每个区域不超过适当的 TWA。

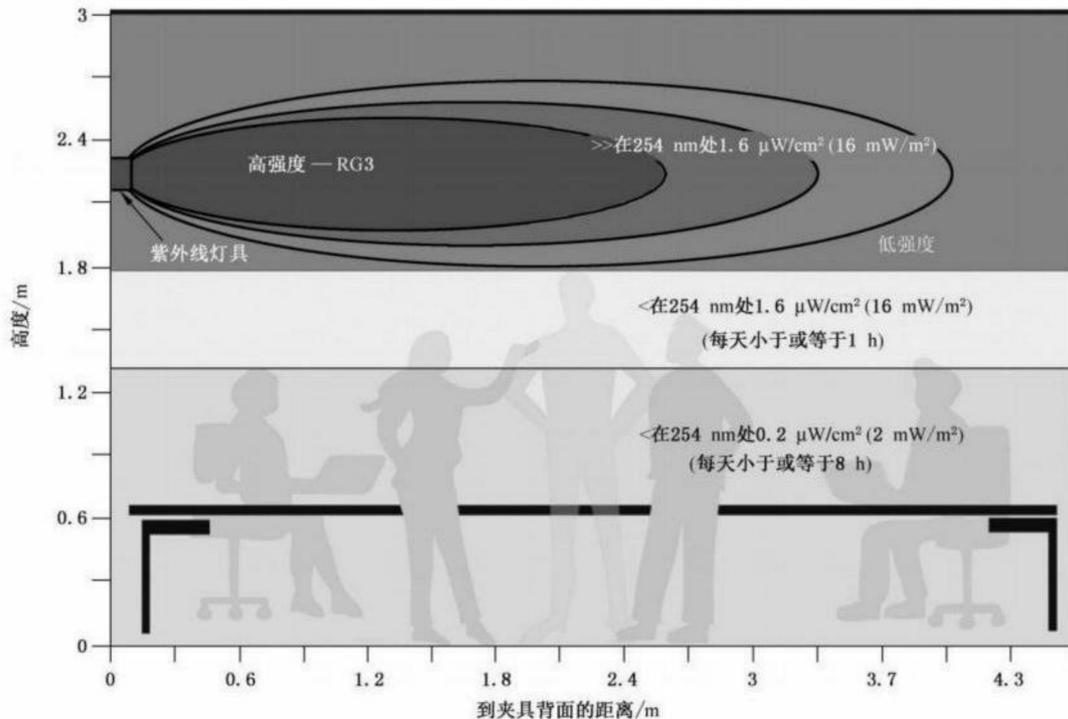


图 D.1 职业卫生师通过时间加权确定不同曝光区的例子

图 D.1 显示了具有评估的未加权暴露水平的区域。对于 254 nm 的波长, $S(\lambda)=0.5$, 因此加权值是图 D.1 中给出值的一半。在该情况下,时间运动研究提供了一天中最大的站立时间为 1 h,因此评估了视平线 1.8 m 处 1 h 的 TWA;而有的坐姿(眼平离地面 1.3 m)需要 8 h(不超过 RG0 的发射限值的)

有效辐照度限值为 $1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。然而,该灯产品仍然是 RG3。

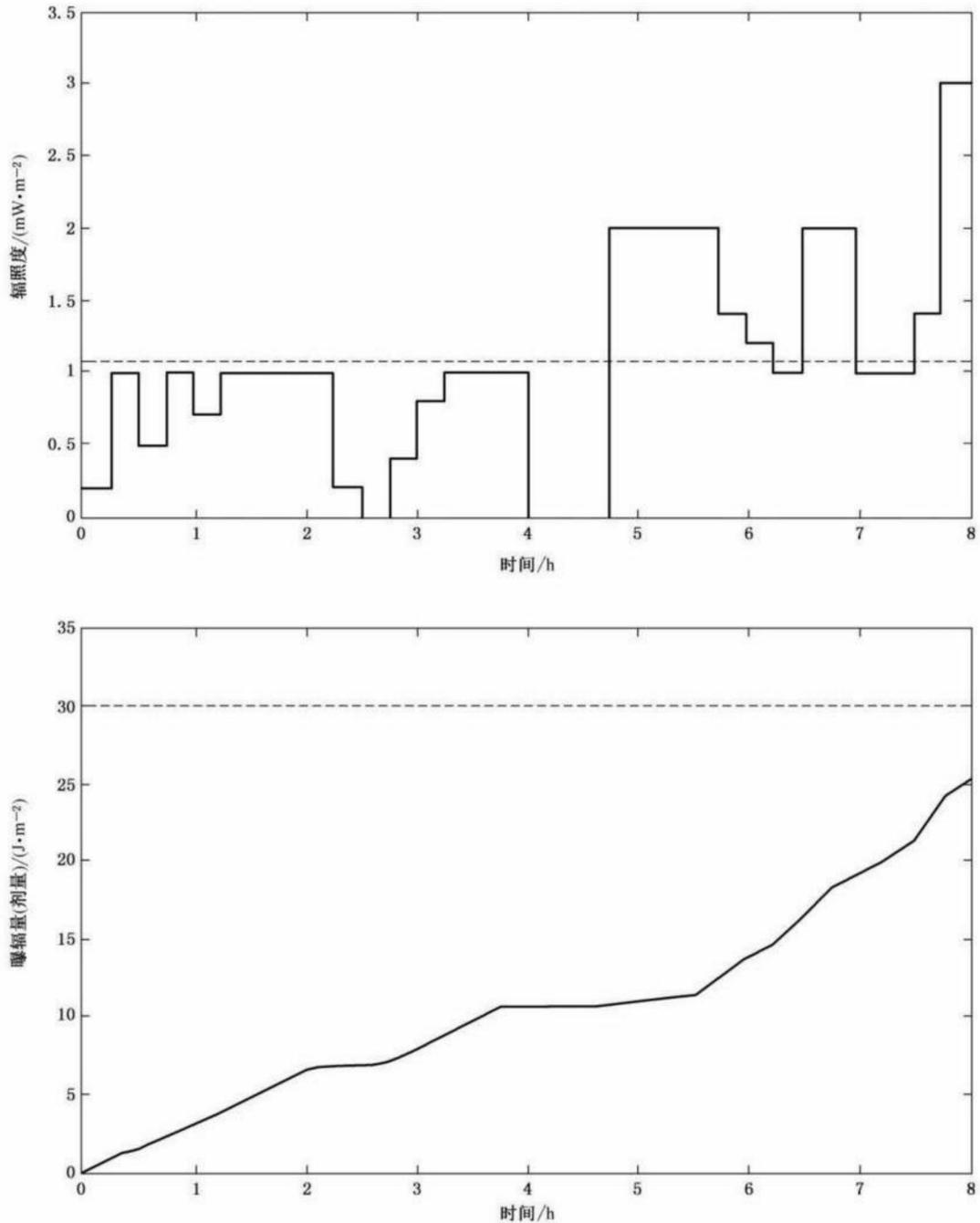


图 D.2 8 h 内的时间累加平均 (TWA)

图 D.2 的上图显示了一个人在 GU 环境中一天的实际辐照度模式。下图显示了同一时期的累积曝辐量(光生物“剂量”)。为清楚起见,上图中的水平虚线已略高于 $1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

D.3 对 GU 安装进行最终验收测试的现场辐射测量

对于最终验收测试,最好使用具有 80° 视场(FOV)的现场便携式辐射计,以确保较低空间的辐照度值低于可接受水平。测量的不确定性(如波长校准、视场、仪器噪声、带外杂散光和环境照明)宜加到测量的读数中。见图 D.3。用于评估辐照度的仪器宜有足够的灵敏度来测量适用的最低 TWA 辐照

度值。

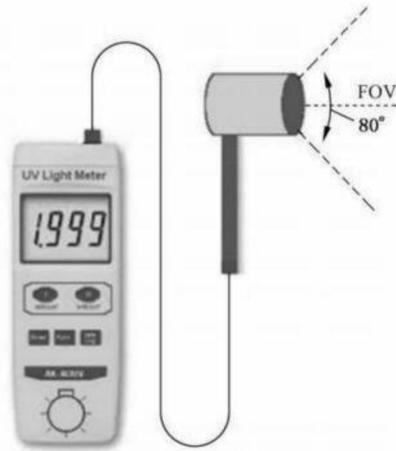


图 D.3 具有 80°全视野的现场 GUV 安全测量仪

附录 E

(资料性)

用于评估 180 nm~400 nm 光化学辐射危害的光谱加权函数 $S(\lambda)$

表 E.1 给出了光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值。

注：表 E.1 采用对数插值法对计算国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP)公布的 200 nm~400 nm 内 5 nm 间隔值之间的数值进行了计算。美国政府工业卫生师协会(ACGIH)已修订了 UV-C(见参考文献[20])的限值,因此在该波长范围与 ICNIRP 不同。

表 E.1 光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
(180) ^a	0.012 000	220	0.120 000
(185) *	0.015 500	221	0.125 477
(190) *	0.019 000	222	0.131 203
(195) *	0.024 500	223	0.137 192
200	0.030 000	224	0.143 453
201	0.033 359	225	0.150 000
202	0.037 094	226	0.157 262
203	0.041 247	227	0.164 876
204	0.045 865	228	0.172 858
205	0.051 000	229	0.181 226
206	0.055 089	230	0.190 000
207	0.059 507	231	0.199 088
208	0.064 278	232	0.208 611
209	0.069 433	233	0.218 589
210	0.075 000	234	0.229 044
211	0.078 631	235	0.240 000
212	0.082 438	236	0.250 953
213	0.086 429	237	0.262 407
214	0.090 613	238	0.274 383
215	0.095 000	239	0.286 906
216	0.099 544	240	0.300 000
217	0.104 305	241	0.311 141
218	0.109 294	242	0.322 696
219	0.114 522	243	0.334 680

表 E.1 光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值 (续)

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
244	0.347 109	273	0.975 804
245	0.360 000	274	0.967 870
246	0.373 023	275	0.960 000
247	0.386 517	276	0.943 438
248	0.400 500	277	0.927 162
249	0.414 988	278	0.911 167
250	0.430 000	279	0.895 448
251	0.446 523	280	0.880 000
252	0.463 681	281	0.856 810
253	0.481 498	282	0.834 230
254	0.500 000	283	0.812 246
255	0.520 000	284	0.790 841
256	0.543 733	285	0.770 000
257	0.568 548	286	0.742 042
258	0.594 497	287	0.715 099
259	0.621 629	288	0.689 135
260	0.650 000	289	0.664 113
261	0.679 247	290	0.640 000
262	0.709 810	291	0.618 618
263	0.741 748	292	0.597 951
264	0.775 123	293	0.577 974
265	0.810 000	294	0.558 664
266	0.844 866	295	0.540 000
267	0.881 234	296	0.498 397
268	0.919 166	297	0.460 000
269	0.958 732	298	0.398 914
270	1.000 000	299	0.345 939
271	0.991 869	300	0.300 000
272	0.983 804	301	0.221 042

表 E.1 光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值 (续)

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
302	0.162 865	330	0.000 410
303	0.120 000	331	0.000 395
304	0.084 853	332	0.000 380
305	0.060 000	333	0.000 366
306	0.045 404	334	0.000 353
307	0.034 358	335	0.000 340
308	0.026 000	336	0.000 327
309	0.019 748	337	0.000 315
310	0.015 000	338	0.000 303
311	0.011 052	339	0.000 291
312	0.008 143	340	0.000 280
313	0.006 000	341	0.000 271
314	0.004 243	342	0.000 263
315	0.003 000	343	0.000 255
316	0.002 400	344	0.000 248
317	0.002 000	345	0.000 240
318	0.001 600	346	0.000 231
319	0.001 200	347	0.000 223
320	0.001 000	348	0.000 215
321	0.000 819	349	0.000 207
322	0.000 670	350	0.000 200
323	0.000 540	351	0.000 191
324	0.000 520	352	0.000 183
325	0.000 500	353	0.000 175
326	0.000 479	354	0.000 167
327	0.000 459	355	0.000 160
328	0.000 440	356	0.000 153
329	0.000 425	357	0.000 147

表 E.1 光谱加权函数 $S(\lambda)$ 在 1 nm 间隔下的值 (续)

波长 nm	$S(\lambda)$	波长 nm	$S(\lambda)$
358	0.000 141	380	0.000 064
359	0.000 136	381	0.000 062
360	0.000 130	382	0.000 059
361	0.000 126	383	0.000 057
362	0.000 122	384	0.000 055
363	0.000 118	385	0.000 053
364	0.000 114	386	0.000 051
365	0.000 110	387	0.000 049
366	0.000 106	388	0.000 047
367	0.000 103	389	0.000 046
368	0.000 099	390	0.000 044
369	0.000 096	391	0.000 042
370	0.000 093	392	0.000 041
371	0.000 090	393	0.000 039
372	0.000 086	394	0.000 037
373	0.000 083	395	0.000 036
374	0.000 080	396	0.000 035
375	0.000 077	397	0.000 033
376	0.000 074	398	0.000 032
377	0.000 072	399	0.000 031
378	0.000 069	400	0.000 030
379	0.000066	—	—

* 这些数值适用于发射辐射低于 200 nm 的光源(例如,发射 185 nm 辐射的石英封套的低压汞灯)。

附录 F

(资料性)

上层空间安装的 GUV——实现安全的背景和理论依据

F.1 概述

本附录适用于用于上层空间和全屋空气消毒的 GUV 产品。全屋和上层空间的 GUV 是 RG3 紫外线灯产品广泛使用的重要示例。上层空间 GUV 用于对人员活动区域高处的空气进行消毒；而全屋 GUV 则是对房间内的所有空间进行照射，但能通过设计或接近传感器和类似手段来限制对占用区域的辐射，从而避免人员直接接触超过适用限值的辐射。本附录对因安装不当而存在潜在人员暴露风险的产品进行了评估，并阐明了制造商相关要求的制定依据，旨在为制造商提供指导——尤其是当开发使用 RG3 光源的上空间 GUV 产品时，需确保其安全性。

F.2 产品目标

本文件对 GUV 产品制造商要求的目标是尽量减少生产有问题的“UV 灯具”(该术语现被多个标准化委员会用于专指 GUV 产品)，这些灯具将使安装人员难以正确安装，从而使居住者处于不必要的危险之中。这里面临的巨大挑战是，过去半个多世纪的经验(见参考文献[33])表明，几乎所有情况下，由于安装不正确并且没有在现场进行有效的最终验收和安全评估，房间居住者都会意外地过度暴露在紫外辐射下。因此，本文件旨在为紫外线灯具制造商提供最低限度的要求，使其生产的紫外线灯具能随时正确安装，以防止这些危险情况的发生。目前，一旦紫外线灯具根据房间布局和空气循环模式被放置在所需的安装位置，安装人员就会负责最终的调试过程(最终验收测试)。因此，对制造商的 GUV 产品的要求和测试实际上仅限于紫外线辐射，以确保在安装后，潜在危险的直接紫外辐射不会进入人员占用的空间。制造商不能控制用户或安装人员是否正确安装。因此，任何制造商的要求和相关的测量，都是基于被测的灯具在正确的安装下进行的。上层空间的 GUV 灯具宜将发射的辐射能量完全地对准在照射区域内。本文件中的测试协议旨在确保制造商了解为确保安全所采取的措施，以及确保测试实验室之间的一致性。

F.3 产品测试测量条件

F.3.1 常规条件

需要指定测试室的尺寸，因为天花板反射和墙壁反射以及房间的大小/范围不宜限制“射线长度”的有效范围。建议测试室宜有一个非常高的天花板，以允许测试一系列的设计。对于旨在用于低天花板的良好准直设计，光束不会产生明显的天花板反射，在任何情况下，这是安装人员测试的一个主要因素。天花板的高度宜至少是 6 m，以适应半开放式的灯具(如在一些仓库或大型高天花板的零售店中所采用的灯)。根据在现场对紫外线灯具进行最终验收测试的经验，测试室的长度宜至少为 12 m。灯宜充分高于地面，以进行所需的下层空间测量，并有足够的高度以避免地面反射(如果不是在预定的紫外线灯具底座的最低高度 6.1 m 处进行测试)。房间宽度宜至少为 6 m，但最好至少有 9 m。这些最小的测试室尺寸是基于实际安装中的侧面辐射的测量。

F.3.2 辐射测量的垂直平面

测量位置已明确规定。为了安全起见，进行轴下 UV-C 辐射测量时，测量点距离地面的高度为 1.8 m，因为 99% 的人站立时眼睛高度离地面高度是 1.75 m~1.8 m(因此，1.8 m 更为保守)。

F.3.3 用于测量的测试网格

指定一个测试网格作为初始样本。例如,离地面 1.8 m 的水平面通常被划分为一个间距为 0.5 m 的网格,尽管测试实验室能根据使用特定紫外线灯具的经验来调整实际测量的数量。

F.3.4 探测器接收角度(视场角)

在验收测试时,宜指定探测器的视场角(FOV)或朝向。ICNIRP 的紫外线暴露指南和 GB/T 30117.1—2024 规定辐照度宜采用 80° 锥角($\pm 40^\circ$)视场(FOV)范围进行测量。虽然在安装后的最终测试中,天花板的反射是以垂直方向测试的,但这并不是测试实验室的目标,测试实验室宜将接受锥体朝向紫外线灯具,这将是实验室中最坏情况的评估。

注: ACGIH 在 2022 年提高了一些波长低于 250 nm 的紫外线限值,但这些变化在本文件中没有考虑。

F.3.5 仪器性能规格

辐射探测器和测量仪的性能规格宜在任何测试报告中提供。如果使用的是宽频计,宜对其进行全面的鉴定,以提供所测试灯光谱的加权辐照度 $S(\lambda)$ 。例如,低压汞蒸气灯的发射以 254 nm 为主, $S(\lambda)$ 为 0.5;因此,每日有效的辐照度限值为 $0.1 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$),在未加权时实际上为 $0.2 \mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$)。

在测试中使用的便携式测量仪的校准方法,能根据对灯类型的光谱辐射测量来提供,然后进行光谱加权,为现场测试仪提供传递校准。

F.4 GUV 灯具

F.4.1 可调节的紫外线灯具

从安装人员的角度来看,目前的一些测试建议是将上层空间的紫外线灯具固定在一个向下 1° 的位置上进行测试,这给灯具的安全安装带来了困难。这样的测试建议会对安全产生意想不到的后果。在实际使用经验中,可调节的挡板(即百叶窗)和/或反射器或输出功率,已经被制造商设计为帮助安装人员进行最终调整以确保安全。如果这些方向性的调整功能在最坏的情况下向下测试,就违背了测试初衷,破坏了对安装人员的安全保障价值。本文件建议至少调整 $5^\circ \sim 10^\circ$,以确保下层空间的充分安全。这种灵活性也能用来避免辐照空间内物体的反射。制造商的测试宜在“中立位置”进行,方向向下 1° ,除非紫外线灯具有自我平衡功能。

F.4.2 可移动挡板上的联锁保护装置

当挡板或保护装置被移除以更换灯管时,需要有联锁装置来使 UV-C 灯失效。

F.4.3 标签要求

额外的标记和说明只需要为产品提供适当的标签,宜避免相互矛盾的标签。

经验表明,多个相互矛盾的警告——即使是针对不同的读者——可能会引起用户产生负面的反应,不利于安全。

F.4.4 功效和对用户的信息

将指定波长和距紫外线灯具 1 m 处的辐照度,以帮助用户估计对特定生物气溶胶的功效。一些 GUV 产品的功效受到了公共卫生专家的强烈批评。公共卫生方面的担忧是,购买者和安装人员可能会读到一个产品被认证为符合 IEC 安全要求,但也可能是相当无效的。宜明确指出,安全认证并不意

味着有效。例如,如果一个“紫外线杀菌产品”的买家购买了一个 UV-A 灯具,其功效为每天消毒 1 个对数,他们可能会认为这相当于每 10 min 消毒 1 次的 UV-C 产品。事实证明,主要发射 UV-B 或 UV-A 的 GUV 产品对空气消毒是无效的;主要发射宜限制在 200 nm~280 nm。

F.5 验收测试

F.5.1 安装验收测试的范围

实际风险可取决于波长和预期用途,宜考虑强 UV-C 光源和其他产品之间的差异。根据房间的设计和大小,有必要考虑多于一个类别的 GUV 上层空间紫外线灯具。所需的辐射测试可因类别而异(如表 3 或表 4)。

F.5.2 时间累加平均法

实际上,合理可预见的暴露条件反映在任何制造商的测试中。重要的光生物安全风险评估取决于时间累加平均曝辐量,假设在站立状态下连续暴露 8 h,面对紫外线灯具,对某些产品来说可能是不合理的(见参考文献[20][6])。制造商的说明宜提供实例,说明安装人员如何评估时间累加平均曝辐量,并正确解释 ACGIH TLV 或 ICNIRP EL(在低压汞灯的 UV-C 中基本等同)。在用户手册中可推荐安装人员使用这些指南或标准。

注: ACGIH 在 2022 年增加了一些低于 250 nm 的紫外线限值,但这些变化在本文件中没有考虑。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.65—2023 电工术语 照明
- [2] GB 4943.1—2022 音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分:安全要求
- [3] GB/T 21096—2013 保健用荧光紫外灯 测量和规范方法
- [4] GB/T 30117.4—2023 灯和灯系统的光生物安全 第4部分:测量方法
- [5] GB 44703 光辐射安全通用要求
- [6] ISO 13849(all parts) Safety of machinery—Safety-related parts of control systems
- [7] ISO 15858:2016 UV-C devices—Safety information—Permissible human exposure
- [8] ISO/CIE 17166:2019 Erythema reference action spectrum and standard erythema dose
- [9] ISO/CIE 28077 Photocarcinogenesis action spectrum(non-melanoma skin cancers)
- [10] IEC 61010-2-040 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use—Part 2-040: Particular requirements for sterilizers and washer-disinfectors used to treat medical materials
- [11] IEC 61508(all parts) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
- [12] IEC 62035:2014 Discharge lamps(excluding fluorescent lamps)—Safety specifications
- [13] IEC 62061 Safety of machinery—Functional safety of safety-related control systems
- [14] CIE 220:2016 Characterization and calibration methods of UV radiometers
- [15] CIE S 017/E:2020 ILV, International Lighting Vocabulary, 2nd Edition
- [16] CIE Report 187:2010 Photocarcinogenesis risks from germicidal lamps
- [17] CIE 174:2006 Action Spectrum for the Production of Previtamin D3 in Human Skin, ISBN:978-3-901906 50 3, 2006, Vienna
- [18] CIE 201:2011 Recommendations on minimum levels of solar UV exposure, ISBN:978-3-902842-39-8, 2011, Vienna
- [19] CIE 219:2016 Maintaining summer levels of 25(OH)D during winter by minimal exposure to sunbeds: requirements and weighing the advantages and disadvantages, ISBN:978-3-902842-31-2, 2016, Vienna
- [20] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2022, TLVs and BEIs: Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Ultraviolet Radiation. Cincinnati, OH; American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- [21] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019, ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications, SI Edition. Chapter 62, Ultraviolet Air and Surface Treatment, Table 3, Suggested UVC Fixture Mounting Heights. Atlanta, GA; American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
- [22] Armstrong, B.K., Krieger, A.: 2001, The epidemiology of UV induced skin cancer, J Photochem Photobiol B; 63(1-3): 8-18, doi:10.1016/s1011-1344(01)00198-1
- [23] Brainard GC, Beacham S, Sanford BE, et al. 1999, Near ultraviolet radiation elicits visual evoked potentials in children, Clin Neurophysiol., 110(3): 379-83

- [24] Bradley JC, Yang W, Bradley RH, et al. The science of pterygia, *Br J Ophthalmol*, 94(7): 815-20, 2010
- [25] CDC/NIOSH Publication No.2009-105, Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings
- [26] Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Health Statistics, National Health and Nutrition Survey (NHANES). (2007-8), Table 205, Cumulative Percent Distribution of Population by Height and Sex; 2007 to 2008. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention
- [27] Chaney EK, Sliney DH, Re-evaluation of the ultraviolet hazard action spectrum - the impact of spectral bandwidth, *Health Phys.*, 2005; 89(4): 322-32
- [28] Claus, H., Ozone Generation by Ultraviolet Lamps, *Photochem. Photobiol.*, 2021, doi: 10.1111/php.13391
- [29] Cogan, D.G. and Kinsey, V.E., Action Spectrum of Keratitis Produced by Ultraviolet Radiation, *Arch. Ophthalmol.*, 35: 670-617, 1946
- [30] Coroneo MT, Müller-Stolzenburg NW, Ho A, 1991, Peripheral light focusing by the anterior eye and the ophthalmohelioses, *Ophthalmic Surg*
- [31] Dolin PJ, Johnson GJ., Solar ultraviolet radiation and ocular disease: a review of the epidemiological and experimental evidence, *Ophthalmic Epidemiol.*, 1(3): 155-64, 1994
- [32] Dowdy JC, Sayre RM, Photobiological safety evaluation of UV nail lamps, *Photochem Photobiol.*, 2013 Jul-Aug, 89(4): 961-7, doi: 10.1111/php.12075
- [33] First, MW, Weker, RA, Yasui, S and Nardell, EA, Monitoring human exposures to upper-room germicidal ultraviolet irradiation, *J Occup Environ Hyg.*, 2005, May; 2(5): 285-92. doi: 10.1080/15459620590952224
- [34] Forbes, P.D., Cole, C.A., Frank deGruijl, F., 2021, Origins and evolution of photocarcinogenesis action spectra, Including germicidal UVC, *Photochem. Photobiol.*, doi: 10.1111/php.13371
- [35] Ham, W. T. Jr, Mueller, H. A., and Sliney, D. H., Retinal Sensitivity to Damage by Short-Wavelength Light, *Nature*, 260(5547), 153-155, 1976
- [36] Ham, W. T. Jr, Ruffolo, J. J. Jr, Mueller, H. A., and Guerry, D. III, The Nature of Retinal Radiation Damage: Dependence on Wavelength, Power Level and Exposure Time, *Vision Res.*, 20(12), 1105-1111, 1980
- [37] Hedblom, E. E., Snowscape Eye Protection, *Arch. Environ. Health*, 2: 685-704, 1961
- [38] Illuminating Engineering Society, 2021, Recommended Practice UVGI, IES standard RP 44, New York, the Illuminating Engineering Society
- [39] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (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
- [40] Kaidzu S, Sugihara K, Sasaki M, Nishiaki A, Ohashi H, Igarashi T, Tanito M., Re-Evaluation of Rat Corneal Damage by Short Wavelength UV Revealed Extremely Less Hazardous Property of Far-UV-C, *Photochem Photobiol.*, 2021, doi: 10.1111/php.13419
- [41] Kwok LS, Coroneo MT., A model for pterygium formation, *Cornea*, 13(3): 219-24, 1994
- [42] Lund, D. L., Stuck, B. E., and Edsell, P., Retinal Injury Thresholds for Blue Wavelength

Lasers, Health Phys.,90(5):477-484,2006

[43] National Fire Protection Association,2020,NFPA 70,National Electric Code 2020,Clauses 320.23(A),394.23(A),398.15(C)and 411.6(C),Quincy,MA;National Fire Protection Association

[44] Nemet A.Y.,Vinker S.,Segal,O.,Mimouni,M.,Kaiserman,I.,Epidemiology and associated morbidity of pterygium;a large,community-based case-control study,Semin.Ophthalmol; 31(5): 446-51,doi:10.3109/08820538.2014.962169

[45] Pitts DG,Tredici TJ,The Effects of Ultraviolet on the Eye,Ameri.Ind.Hyg.Ass.J.,32(4): 235-246,1971

[46] Pitts, D. G., The Human Ultraviolet Action Spectrum, American Journal Optom. Physiol.Opt.,51,946-960,1974

[47] Rezvan,F.,Khabazkhoob,M.,Hooshm E.,Yekta,A.,Saatchi M.,Hashemi,H.,2018,Prevalence and risk factors of pterygium;a systematic review and meta-analysis,Surv Ophthalmol.,63(5): 719-735

[48] Sasaki H,Sakamoto Y,Fujita N,Hatsusaka N,Sliney DH,Sasaki K,2011,UV-B exposure to the eye depending on solar altitude,Eye Contact Lens,37(4):191-5

[49] Sasaki H,Kawakami,Y.,Ono,M.,Jonasson,F.,Shui,Y.B.,Cheng,H-M.,Robman,L.,McCarty,C.,Chew,S.J.,Sasaki K.,2003,Localization of Cortical Cataract in Subjects of Diverse Races and Latitude,Invest.Ophthalmol.Vis.Sci.,44(10):4210-4214

[50] Saw,S.M.,Tan,D.,1999,Pterygium:prevalence,demography and risk factors,Ophthalmic Epidemiol,6(3):219-28,doi:10.1076/oep.6.3.219.1504

[51] Sherwin JC,Hewitt AW,Kearns LS,Griffiths LR,Mackey DA,Coroneo MT,2013,The association between pterygium and conjunctival ultraviolet autofluorescence;The Norfolk Island Eye Study,Acta Ophthalmol.,91(4):363-70

[52] Sliney DH.,2002,Geometrical gradients in the distribution of temperature and absorbed ultraviolet radiation in ocular tissues,Dev Ophthalmol.,35:40-59

[53] Sliney D.H.,Stuck,B.E,A need to revise human exposure limits for ultraviolet UV-C radiation,Photochem Photobiol,2021,doi:10.1111/php.13402

[54] Sliney DH.,2016,What is light? The visible spectrum and beyond,Eye,Nature,Lond,30(2):222-9

[55] The Eastman Kodak Company, 2003, Ergonomic design for people at work, 2nd Edition,New York,NY:John Wiley and Sons,Inc.,DOI:10.1002/9780470172469

[56] Taylor,H,(Ed.),Pterygium,The Hague,Netherlands,Kugler Publications,2000,181 pp

[57] Taylor HR,West SK,Rosenthal FS,Munoz B,Newland HS,Emmett EA,Corneal changes associated with chronic UV irradiation,Arch Ophthalmol.,1989

[58] United States Code of Federal Regulations, Title 21, Chapter I, Subchapter J, 21 CFR 1040.20, Sunlamp products and ultraviolet lamps intended for use in sunlamp products, Washington,DC

[59] WHO,1994 Ultraviolet radiation,Environmental health criteria:160,ISBN 92 4 157160 8,Geneva(<https://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc160.htm>)

[60] WHO,2017 Artificial tanning devices;Public health interventions to manage sunbeds,

ISBN 978-92-4-151259-6, Geneva

[61] World Health Organization (WHO): 1994, Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria Document, EHC-160, 2nd edn., WHO, Geneva

[62] Zuclich JA, Previc FH, Novar BJ, Edsall PR, 2005, Near-UV/blue light-induced fluorescence in the human lens: potential interference with visual function, *J. Biomed. Opt.*, 10(4):10044021-1-10044021-7

[63] <https://www2.census.gov/library/publications/2010/compendia/statab/130ed/tables/11s0205.pdf>

中华人民共和国
国家标准
灯和灯系统的光生物安全
第6部分：紫外线灯产品
GB/T 30117.6—2025

*

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)

服务热线：400-168-0010
2025年8月第1版

*

书号：155066·1-81039

版权专有 侵权必究



GB/T 30117.6-2025