

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 7247.1—2024/IEC 60825-1:2014

代替GB 7247.1—2012

## 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

Safety of laser products—  
Part 1: Equipment classification and requirements  
(IEC 60825-1:2014, IDT)

2024-09-29发布

2025-04-01实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

发布



## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	2
3 术语和定义 .....	2
4 分类原则.....	14
4.1 分类概述 .....	14
4.2 分类职责 .....	14
4.3 分类规则.....	14
4.4 设计为传统照明的激光产品.....	18
5 可达发射水平的确定和产品分类.....	18
5.1 检测.....	18
5.2 激光辐射的测量.....	19
5.3 激光产品类别的确定.....	20
5.4 测量评估条件 .....	28
6 工程防护要求.....	32
6.1 一般要求和变更 .....	32
6.2 防护罩.....	32
6.3 挡板和安​​全联锁 .....	33
6.4 遥控联锁连接器 .....	34
6.5 人工复位 .....	34
6.6 钥匙控制器 .....	34
6.7 激光辐射发射警告.....	34
6.8 光束终止器或衰减器 .....	34
6.9 控制器 .....	35
6.10 光学观察器 .....	35
6.11 扫描安全装置 .....	35
6.12 1C类激光产品的安全防护 .....	35
6.13 "进入"通道 .....	35
6.14 环境条件 .....	35
6.15 其他危害防护 .....	36
6.16 功率限制电路 .....	36
7 标记.....	36
7.1 一般要求.....	36
7.2 1类和 1M类.....	38
7.3 1C类.....	39

7.4	2类 和2M类	39
7.5	3R类	40
7.6	3B类	40
7.7	74类	41
7.8	窗口标记	41
7.9	辐射输出和标准说明	42
7.10	挡板标记	42
7.11	不可见激光辐射警告	43
7.12	可见光激光辐射警告	43
7.13	<b>皮肤或眼睛前部区域存在潜在危害的警告</b>	43
8	其他资料性要求	43
8.1	向用户提供的资料	43
8.2	销售和维修信息	44
9	专用激光产品的其他要求	45
9.1	IEC 60825系列标准的其他部分	45
9.2	医用激光产品	45
9.3	激光加工机	45
9.4	电动玩具	45
9.5	消费电子产品	45
附录A	(资料性)最大允许照射量	46
A.1	概述	46
A.2	限制孔径	51
A.3	重复脉冲激光器或调制激光器	52
A.4	测量条件	53
A.5	扩展光源激光器	53
附录B	(资料性)计算示例	55
B.1	本附录中的示例所用的符号	55
B.2	激光产品的分类——简介	55
B.3	示例	60
附录C	(资料性)类别及其潜在危害的说明	64
C.1	概述	64
C.2	类别描述	64
C.3	分类方法的限制条件	67
C.4	参考文献	68
附录D	(资料性)生物物理学原理	69
D.1	眼睛的解剖结构	69
D.2	激光辐射对生物组织的作用	70
D.3	MPEs 和辐照度平均	74
D.4	参考文献	75
附录E	(资料性)用辐亮度表示MPEs 和 AELs	76
E.1	背景	76

<b>E.2 辐亮度值</b> .....	76
<b>E.3 基本原理</b> .....	77
附录F (资料性)汇总表 .....	79
附录G (资料性) IEC 60825相关部分一览表 .....	82
附录NA (资料性) IEC 60825相关部分的解释 .....	84
<b>NA.1 解释表1</b> .....	84
<b>NA.2 解释表2</b> .....	88
参考文献 .....	90



## 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/T7247《激光产品的安全》的第1部分。GB/T 7247已经发布了以下部分：

- 第1部分：设备分类和要求；
- 第2部分：光纤通信系统(OFC)的安全；
- 第3部分：激光显示与表演指南；
- 第4部分：激光防护屏；
- 第5部分：生产者关于GB/T 7247.1的检查清单；
- 第9部分：非相干光辐射最大允许照射量；
- 第13部分：激光产品的分类测量；
- 第14部分：用户指南。

本文件代替GB7247.1—2012《激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求》，与GB 7247.1—2012相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了真空超紫外波长、激光辐射造成的暂时性视力障碍、设计用于传统照明的激光产品等适用性的规定(见第1章)；
- 删除了术语和定义： $\alpha$ 最小值、防护围封(见2012年版的3.5和3.65)；
- 增加了术语和定义：对向角、1C类激光产品、接触模式、人眼安全(见3.6、3.19、3.27和3.37)；
- 更改了术语和定义的内容：表观光源对向角、表观光源、光束直径、光束发散角、3R和3B类激光产品、4类激光产品、演示类激光产品、嵌入式激光产品、发射持续时间、扩展源观察、失效保护安全联锁、光束内视、激光危害区、最大对向角、最大允许照射量、防护罩(见3.7、3.10、3.13、3.14、3.23、3.24、3.30、3.32、3.33、3.36、3.39、3.42、3.47、3.57、3.59和3.68,2012年版的3.7、3.10、3.13、3.14、3.22、3.23、3.28、3.30、3.33、3.34、3.36、3.39、3.44、3.54、3.56和3.66)；
- 将分类变为分类规则并更改内容(见第4章，2012年版的第8章)；
- 将确定可达发射水平变为可达发射水平的确定和产品分类，并更改内容(见第5章，2012年版的第9章)；
- 将要求变为工程防护要求并更改内容(见第6章，2012年版的第4章)；
- 更改了标记内容(见第7章，2012年版的第5章)；
- 更改了用户资料的内容(见第8章，2012年版的第6章)。

本文件等同采用IEC 60825-1:2014《激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 纳入了IEC 60825-1:2014/ISH1:2017与IEC 60825-1:2014/ISH2:2017的解释内容，作为资料性附录NA“IEC 60825相关部分的解释”。

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：中国科学院空天信息创新研究院、北京工业大学、西南技术物理研究所、中国电子科技集团公司第十一研究所、北京泰瑞特检测技术服务有限责任公司、中国计量科学研究院、军事科学院军事医学研究院、中国电子技术标准化研究院、大族激光科技产业集团股份有限公司、武汉华工激光

**GB/T 7247.1—2024/IEC 60825-1:2014**

工程有限责任公司、浙江省医疗器械检验研究院、之江实验室、上海禾赛科技有限公司、中国医学科学院  
生物医学工程研究所。

本文件主要起草人：吴爱平、陈虹、叶大华、戚燕、高宏伟、邓玉强、杨在富、刘云柱、曾丽霞、周小庄、  
杜堃、李敏、麻云凤、杨学博、乔波、孟颖、杨桦、蒲江波、程旺、廖利芬、冯建国、李婷。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为：

——GB 7247—1987、GB 7247—1995；

——GB7247.1—2001、GB 7247.1—2012。

## 引 言

GB/T 7247拟由以下部分组成。

- 第1部分：设备分类和要求。由于激光束的波长、能量及脉冲特性所涉及的范围广，在使用时，潜在危害的程度差别很大，不能简单地用统一的安全限值将激光产品分类。本文件旨在对激光器和激光产品光辐射危害程度的分类体系进行评估，确定控制措施。
- 第2部分：光纤通信系统(OFCs)的安全。基于在合理的可预见的故障条件[如光缆断裂、光纤连接器松脱(断开)等]下，以可接触光辐射的程度来划分等级。旨在以其延伸封闭的传输特性，来指定可达位置出现的相应危险级别，以确定同等的安全防护措施。
- 第3部分：激光显示与表演指南。对在剧场投影和舞台表演等类似场所使用的3B和4类激光产品，在激光运行中任何可能发生的超过对人眼和皮肤产生生物效应和危害的最大允许照射量(MPE)给出了分析，旨在明确现场设计、安装、操作和表演人员的职责及风险管控和评估，以降低风险。
- 第4部分：激光防护屏。旨在规定用来围封激光加工机工作区域的永久性和临时性(如检修维护期间)激光防护屏，以及专用激光防护屏的技术要求，以避免加工区域周围的人员受到激光辐射的危害。
- 第5部分：生产者关于GB/T7247.1 的检查清单。旨在提供一个参考性的检查程序，用来确认产品是否符合GB/T 7247.1对设备的分类和要求，增强GB/T7247.1 使用中的可执行性和可操作性。
- 第8部分：激光对人体安全的使用指南。旨在指导如何将激光安全使用纳入医疗激光实践，建立安全程序、预防措施和使用人员控制措施，加强对所有参与激光使用的人员建立系统安全框架体系和培训的必要性。
- 第9部分：非相干光辐射最大允许照射量。旨在给出180 nm~3000 nm 的人造光源照射人眼和皮肤时，控制光辐射照射量的MPE 限值。
- 第12部分：用于信息传输的自由空间光通信系统(FSOCSs)的安全。旨在给出180 nm~1 mm波长范围内，点对点或点对多点自由空间光学数据传输的激光产品和系统的制造指南，以及安全使用要求，以保护人们免受FSOCSs产生的潜在危险的光辐射。
- 第13部分：激光产品的分类测量。旨在依据GB/T 7247.1 给出激光输出能量的发射水平的测量和分析方法，给出激光产品的分类指南。
- 第14部分：用户指南。对用户使用超过1类和2类的激光产品提出了要求，旨在帮助激光产品用户及其制造商了解安全管理总则、识别可能产生的危害、评估潜在危险的危害性、建立和给予适当的控制措施。
- 第17部分：高光功率光纤通信系统使用无源光学元件和光缆的安全。旨在对在光纤通信系统中运行的3B类以上的高光功率，给出对应热效应、光机效应和相关效应的安全防范措施规定，以防范给连接器等带来其他的安全问题。
- 第18部分：传输系统指南。旨在规定导光系统的布置、安装和使用要求，包括自由空间激光传输和光纤传输，保护人员免受激光辐射危害而实施的防护措施，以及风险评估方法。
- 第19部分：移动平台激光产品。旨在对搭载于移动平台的激光产品，依据平台运动情况给出与速度相关的最近可达位置(VCPHA)用于评估激光危害，以在确保安全性的基础上避免过于严格地评估激光危害，并给出了应用此条件的注意事项。

- 第20部分：有意照射眼面部产品的激光辐射安全要求。旨在考虑直接照射面部或眼部区域的消费类1类激光产品(如面部或视网膜/虹膜识别、AR/VR/MR 眼镜/耳机等)可能出现的失效模式，采用以关注安全为重点的FMEA 方法，提供了基于风险分析的要求，以减少在产品预期使用寿命期间随时可能发生故障情况下，对眼面部造成潜在伤害的风险。
- 第21部分：自动发射控制(AEC)。旨在对解决制造商将自动发射控制(AEC) 纳入其激光产品中，以便在无防护的条件下，减少光辐射危害的同时生产性能更好的产品。本部分为AEC 的性能要求以及可用于确定危害分类，并验证其是否按预期运行的方法提供更好的指导。

# 激光产品的安全

## 第1部分：设备分类和要求

### 1 范围

本文件适用于波长为180 nm<sup>1</sup> ~ 1 mm 的激光产品的激光辐射的安全。

在真空超紫外环境中，激光辐射波长小于180 nm（在真空超紫外波段内）的激光产品不包括在本文件中，因为激光束通常被密封在真空环境中，其潜在的激光辐射的危害已经最小。

激光产品可以是附带或不附带独立电源的单一激光器，也可以是装配了一个或多个激光器的复杂的光学、电气或机械系统。激光产品一般用于物理和光学现象的演示、材料加工、数据读出及存储、信息传输及显示，等等。这些系统已应用于工业、商业、娱乐、研究、教育、医学和消费产品上。

出售给其他制造厂商用作系统部件的激光产品可以不符合本文件，因为最终产品本身将要符合本文件。然而，如果激光产品中的激光系统在与终端产品分离后仍是可运转设备，那么，则被移除的激光系统需符合本文件的要求。

注1：能运转的激光系统不需要为其运行准备工具。

如果制造商根据第4章和第5章，证明其激光产品在所有工作、维护、检修和故障条件下，其可达发射水平均不超过1类激光产品的可达发射极限，则可以免除本文件最低要求外的其他要求。这类激光产品被认为是“免除类激光产品”。

注2：上面提到的“免除”是为了保证具备固有安全的激光产品免除第6、第7、第8、第9章的要求。

除了因激光辐射照射产生的潜在危害外，激光设备也可引起其他相关危害，如电击、化学品危害和过高或过低的温度。激光辐射可能会造成暂时性视力障碍，如眩目和眩光。这种影响依赖于任务和环境照明水平，并且超出了本文件的范围。本文件的分类和其他要求仅针对激光辐射对眼睛和皮肤的危害。其他危害并不包括在本文件的范围内。

本文件阐述最低要求。符合本文件可能还不足以达到所要求的产品安全水平。激光产品也需符合其他相关产品安全标准相应的性能和试验要求。

注3：其他标准可能包含另外的要求。例如，3B类或4类激光产品不适合作为消费产品使用。

如果激光系统构成设备的一部分，则设备要符合其他产品安全标准，如医用电气设备(IEC 60601-2-22)、信息技术设备(IEC 60950)、音频和视频设备(IEC 60065)、音视频和信息技术(IEC 62368-1)、在有害环境中使用的设备(IEC 60079)或电玩具(IEC 62115)。根据IEC 导则1041)的条款，本文件适用于由激光辐射引起的危害。如果没有适用的产品安全标准，则使用IEC 61010-1。

对于眼科治疗仪器，为了确保患者安全，宜遵循ISO 150042的要求，其基本原理和限制适用于激光辐射。

在GB7247.1—2001 中，包含了发光二极管(LEDs)，现在仍包括在IEC 60825系列的其他部分中。然而，随着照明光源安全标准的发展，LEDs 的光辐射安全一般更适合在照明光源安全标准中规定。LEDs 从本文件的范围内删除，并不妨碍其他标准在涉及激光产品时包含LEDs。IEC 62471 可以用来确定LED 或包含一个或多个LEDs 产品的危险分类。IEC 60825-1的其他(专用)标准可能将本文件中的测量、分类、工程防护和标记应用于LED 产品。

设计用于传统照明光源，其可接近的辐亮度低于4.4中的规定，且满足4.4要求的激光产品，可选择

1)IEC 导则104:2010《安全出版物的制定、基本安全出版物和系列安全出版物的使用》

## GB/T 7247.1—2024/IEC60825-1:2014

按照IEC 62471系列标准“灯和灯系统的光生物安全”进行评估。尽管上述的光辐射发射无须进行安全分类，但这类产品仍然属于IEC 60825的范围。

附录A提供的最大允许照射量(MPE)仅适用于激光辐射，而不适用于伴随辐射。然而，如果涉及人员接触伴随辐射也存在危害，则可以使用激光辐射的MPE值对该潜在的危害进行谨慎的评估，或者宜按照IEC 62471的照射极限值进行评估。

附录A提供的MPE值不适用于医学上对患者进行治疗或美容时激光辐射的照射。

注4:附录A~附录G包括一些通用原则，并列举了一些典型示例。但这些附录并不是确定的或详尽的。

本文件有以下目的：

- 引入按照波长为180 nm~1mm 的激光器和激光产品光辐射危害程度的分类体系，用以帮助进行危害评估和帮助用户确定控制措施；
- 确定制造厂商提供信息的要求，以便采取适当的预防措施；
- 通过标记和说明确保能够警告与激光产品的可达辐射有关的各种危害；
- 为减小损伤的可能性，使不必要的可达辐射降至最小，并且通过保护措施改进对激光辐射危害的控制。

## 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。

IEC 60050(所有部分)国际电工术语(International electrotechnical vocabulary)

注：GB/T2900(所有部分)电工术语[IEC 60050(所有部分)]

IEC 62471(所有部分)灯和灯系统的光生物安全(Photobiological safety of lamps and lamp systems)

注：GB/T 30117(所有部分)灯和灯系统的光生物安全[IEC 62471(所有部分)]

## 3 术语和定义

IEC 60050-845界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

注：为了方便，所有定义按照英文字母顺序排列。与IEC 60050-845不一致的部分被着重指出。在这种情况下，依据IEC 60050-845部分的定义，参考文献被放在括号中并注明“有修改”。

### 3.1

**挡板** access panel

防护罩的一部分。当移开或拆除后，激光辐射可以通过。

### 3.2

**可达发射** accessible emission

根据第5章所述，在某个位置使用孔径光阑(AEL以W或J为单位)，或限制孔径(AEL以 $Wm^2$ 或 $Jm^{-2}$ 为单位)确定的辐射水平。

注1:如定义3.40的规定，只考虑在人员可接触的地方确定可达发射。为了确定激光产品的类别，将运行时的可达发射与可达发射极限(定义3.3)进行比较。本文件正文中使用术语“发射水平”都理解为可达发射。

注2:当激光束直径大于孔径光阑时，以W或J为单位给出的可达发射小于激光产品的总发射功率或能量。当激光束直径小于限制孔径的直径，以 $Wm^{-2}$ 或 $Jm^{-2}$ 为单位给出的可达发射，即在限制孔径上的平均辐照度或辐照量，小于激光束的实际辐照度或辐照量。参见孔径光阑(3.9)和限制孔径(3.55)。

### 3.3

**可达发射极限** accessible emission limit;AEL

所定危害类别内允许的最大可达发射。

注 1:正文提及“不超过AEL的发射水平”或类似的措辞时,其中的可达发射水平依据第5章的测量规则确定。  
注2:多个类别可达发射极限用AELs表示。

### 3.4

#### 管理控制 administrative control

非工程类安全措施,类型诸如:钥匙监管、人员安全培训、警告措施、倒计时程序及现场的安全控制。  
注:由制造商明确非工程类安全措施(见第8章)。

### 3.5

#### 接收角 angle of acceptance

Y

探测器响应光辐射的平面角,一般以弧度表示。

注1:通过置于探测器前的光阑或光学元件控制接收角(见图1和图2)。接收角有时也称为视场。

注2:SI单位为弧度(rad)。

注3:不要把接收角与光源的对向角或者光束的发散角混淆。

### 3.6

#### 对向角 angular subtense

圆弧所对的平面角,等于弧长和半径的比值。

注1:SI单位为弧度(rad)。

注2:对于小角度,在一定距离的一条线段的对向角通过线长除以距离进行计算;对于大角度,还需要考虑弦和弧之间的差异。

### 3.7

#### 表观光源对向角 angular subtense of the apparent source

如图1所示,从空间某点处观察时,表观光源所张的对向角。

注1:如果表观光源横截面的轮廓为高斯分布,比如漫反射的TEM<sub>00</sub>模光束,按照d63光束直径(见3.13)确定a。对于非均匀分布的光束轮廓或者多个光源,依据4.3 d)确定a。

注2:SI单位为弧度(rad)。

注3:表观光源(见3.10)的位置和对向角取决于在光束中的观察位置。

注4:表观光源的对向角在本文件仅适用于波长范围从400 nm~1400 nm视网膜危害区域。

注5:光源对向角不要与光束发散角混淆。光源对向角不大于光束发散角,它通常小于光束发散角。

### 3.8

#### 窗口 aperture

##### 孔径 aperture

激光产品防护罩或其他屏蔽物上的任一开孔,通过该孔发射的激光辐射允许人员接近。

注:也见限制孔径(3.55)。

### 3.9

#### 孔径光阑 aperture stop

用来确定辐射测量区域的开孔。

注:也见限制孔径(3.55)。

### 3.10

#### 表观光源 apparent source

对于给定的视网膜危害评估位置,在视网膜上可能形成最小像的实的或虚的发光体(考虑人眼的调节范围)。

注1:人眼的调节范围假设是从100 mm到无限远可变。对于给定的光束内观察位置,表观光源的位置是眼睛调节到产生最大危害视网膜辐射条件所对应的位置。

注2:本定义用于在给定评估位置上确定400 nm~1400 nm波长范围内的激光辐射表观光源的位置。在发散度为零的极限情况,即理想的平行光束情况下,表观光源的位置为无穷远。

注3:对于扩展光源在视网膜上成的符合高斯分布的圆形光斑像,可以用d63来确定表观光源对向角a。

3.11

光束 beam

以方向、发散角、直径或扫描特性表征的激光辐射。

注：由非镜面反射产生的散射辐射不作为光束看待。

3.12

光束衰减器 beam attenuator

将激光辐射降低到规定水平以下或降低特定比例的装置。

3.13

光束直径 beam diameter

光束宽度 beam width

*du*

包含 *u*% 的总激光功率(或能量)的最小圆的直径。

注1:本文件采用d63。

注 2:束腰位置是光束直径最小的位置。

注3:SI单位为米(m)。

注 4 : 因为含义不同, 这种光束直径的定义通常不宜用来确定表观光源对向角 $\alpha$ 。但是, 如果表观光源的像呈高斯分布,  $d3$ 用于确定表观光源对向角 $\alpha$ 。对于非高斯分布的表观光源对向角, 按照 4.3 d) 规定的方法确定。

注5:对于高斯光束,  $d63$  对应于辐照度(辐照量)降低到它中心峰值的1/e 的点。

注 6 : 二阶矩直径的定义(见 ISO11146-1) 不适用于具有中心高辐射峰值和低背景的光束轮廓。例如由非稳腔产生的远场激光束, 当使用二阶矩和用高斯光束轮廓假设计算功率时, 会明显低估通过出光窗口的功率。

3.14

光束发散角 beam divergence

由光束直径限定的锥形远场平面角。

注 1 : 如果间距为  $r$  的两点的光束直径(见 3.13) 分别是  $d_{s1}$  和  $d_{s2}$ , 则光束的发散角由下式表示为:

$$\varphi_{s,i} = 2 \arctan \left( \frac{d'_{s2} - d_{s1}}{2r} \right)$$

注2:SI单位为弧度(rad)。

注 3 : 二阶矩的发散角定义(见 ISO 11146-1) 不适用于具有中心高辐射峰值和低背景的光束轮廓(例如由非稳腔产生的远场激光束), 以及由出光窗口引起衍射图样的光束轮廓。

3.15

扩束器 beam expander

可增大激光光束直径的光学元件组合。

3.16

光路元件 beam path component

位于规定光路的光学元件。

示例: 光束转向镜、聚焦透镜或漫反射体。

3.17

光束终止器 beam stop

终止激光束路径的装置。

3.18

1类激光产品 Class 1 laser product

工作时在相应波长和发射持续时间内, 人员可接触的激光辐射(可达发射, 见3.2)不超过1类可达发射极限(AEL) 的激光产品(见5.3和4.3 e)]。

注1:参见附录C 中分类方法的限制条件。

注2:由于确定产品类别的检测仅限于在工作期间进行,可能存在像嵌入式激光产品一样的情况,即在维护、维修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者打开、拆开激光产品时,有可能接触到高于此类AEL的辐射。

### 3.19

#### 1C类激光产品 Class 1C laser product

任何明确设计为接触皮肤或其他非人眼组织的激光产品:

- 设备运行期间可以通过工程措施防止人眼伤害,例如当激光离开皮肤或非眼部组织时,可达发射被终止或者降低至1类激光产品的可达发射极限以下;
- 设备运行时与皮肤或非眼部组织接触,为了达到预定的治疗目的,辐照度或辐照量可能超过皮肤的最大允许照射量;
- 激光产品符合适用的专业标准。

注1:如果不符合适用的产品安全专业标准规定的要求,仅仅依据本文件将激光产品归类为1C类激光产品是不充分的,同样参见附录C中分类方法的限制条件。

注2:因为发射的辐射可能超过皮肤的最大允许照射量,1C类激光产品的输出对目标组织存在潜在的危害。在可接触条件下,例如可能与眼睑接触,适用的可达发射限制条件超出了本文件的范围,由其他适用的专业标准规定。

注3:由于确定产品类别的检测仅限于在工作期间进行,可能存在像嵌入式激光产品一样(取决于产品),即在维护、检修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者打开、拆开激光产品时,有可能接触到高于1类AEL的辐射。

### 3.20

#### 1M类激光产品 Class 1M laser product

在302.5 nm~4000 nm波长范围内,工作时在相应波长和发射持续时间内,人员可接触的激光辐射(可达发射,见3.2)不能超过1类可达发射极限(AEL)的激光产品,见4.3 e),其辐射水平按照5.3 a)测量。

注1:参见附录C中分类方法的限制条件。

注2:在使用望远镜之类的光学仪器观察时,1M类激光产品的输出存在潜在的危害[见5.3 a)]。

注3:由于确定产品类别的检测仅限于工作状态,可能存在像嵌入式激光产品一样的情况(取决于产品),即在维护、检修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者开、拆开激光产品时,有可能接触到高于此类AEL的辐射。

### 3.21

#### 2类激光产品 Class 2 laser product

在400 nm~700 nm波长范围内,工作时在相应波长和发射持续时间内,人员可接触的激光辐射(可达发射,见3.2)不能超过2类可达发射极限(AEL)的激光产品,见5.3 c)。

注1:参见附录C中分类方法的限制条件。

注2:由于确定产品类别的检测仅限于在工作期间进行,可能存在像嵌入式激光产品一样的情况(取决于产品),即在维护、检修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者打开、拆开激光产品时,有可能接触到高于此类AEL的辐射。

### 3.22

#### 2M类激光产品 Class 2M laser product

在400 nm~700 nm波长范围内,工作时在相应波长和发射持续时间内,人员可接触的激光辐射(可达发射,见3.2)不能超过2类可达发射极限(AEL)的激光产品,见4.3 e),辐射水平按照5.3 c)测量。

注1:参见附录C中分类方法的限制条件。

注2:在使用望远镜之类的光学仪器观察时,2M类激光产品的输出存在潜在的危害[见5.3 c)]。

注3:由于确定产品类别的检测仅限于在工作期间进行,可能存在像嵌入式激光产品一样的情况(取决于产品),即在维护、检修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者打开、拆开激光产品时,有可能接触到高于此类AEL的辐射。

### 3.23

#### 3R类和3B类激光产品 Class 3R and Class 3B laser product

工作时人员可接触的激光辐射(可达发射,见3.2)超过1类和2类可达发射极限(AEL),但在任何波长和发射持续时间内,人员可接触的激光辐射分别不超过3R类和3B类可达发射极限(AEL)的激光产品(见5.3 d)和5.3 e]。

注1:参见附录C中分类方法的限制条件。

注2:根据1M类和2M类激光产品的光学特性,它们的输出可能高于或低于3R类AEL。

注3:由于确定产品类别的检测仅限于在工作期间进行,可能存在像嵌入式激光产品一样的情况(取决于产品),即在维护、检修过程中解除挡板的联锁(见6.2.1)或者打开、拆开激光产品时,有可能接触到高于此类AEL的辐射。

### 3.24

#### 4类激光产品 Class 4 laser product

人员可接触的激光辐射(可达发射,见3.2)超过3B类可达发射极限(AEL)的激光产品[见5.3 f]。

注:参见附录C中分类方法的限制条件。

### 3.25

#### 伴随辐射 collateral radiation

激光器工作时所产生的,或者为了激光器运行而使激光产品发射的波长为180 nm~1mm的非激光辐射的电磁辐射。

### 3.26

#### 准直光束 collimated beam

发散角或会聚角非常小的辐射光束。

### 3.27

#### 接触模式 contact mode

光束传输系统与预定目标紧密接触的激光产品的使用方式。

注1:光束传输系统不一定是真正物理意义上的接触,例如,只要采取了足够的工程控制措施,光束传输系统可以靠近预定目标。

注2:本定义与1C类激光产品相关。

### 3.28

#### 连续波 continuous wave;CW

连续输出时间等于或大于0.25 s的激光。

### 3.29

#### 规定光路 defined beam path

在激光产品内部激光束的预定路径。

### 3.30

#### 演示类激光产品 demonstration laser product

为了演示、娱乐、广告、显示或艺术创作而设计、制造、设定或推销的激光产品。

注:“演示类激光产品”一词不适用于为其他应用而设计和设定的激光产品,虽然它们也可能应用于演示。

### 3.31

#### 漫反射 diffuse reflection

通过表面或介质多向散射而改变辐射光束空间分布的现象。

注:理想漫反射体会破坏出射方向与入射方向之间的所有相关性。

[来源:IEC 60050-845:1987,845-04-47,有修改]

## 3.32

**嵌入式激光产品 embedded laser product**

在本文件中，由于工程设计限制了可达发射，所定类别低于其中激光器固有发射能力的激光产品。

注：装入嵌入式激光产品的激光器称为封闭式激光产品或者封闭式激光系统。

## 3.33

**发射持续时间 emission duration**

在使用、维护或检修激光产品时，人员可能接触到单脉冲、脉冲串或系列脉冲的激光辐射，或连续波激光运转的持续时间。

注：对于单脉冲，发射持续时间是脉冲前沿半峰值功率点和后沿相应点之间的持续时间。对于脉冲串(或脉冲串的一部分)，发射持续时间是第一个脉冲前沿的半峰值功率点和最后一个脉冲后沿的半峰值功率点之间的持续时间。

## 3.34

**偏移激光辐射 errant laser radiation**

偏离设定光路的激光辐射。

注：这种辐射包括光路组件产生的不需要的反射，以及未对准或损坏的元件产生的异常辐射。

## 3.35

**照射持续时间 exposure duration**

单脉冲、系列脉冲、脉冲串或连续激光辐射照射到人体上的持续时间。

注：对于单脉冲，照射持续时间是脉冲前沿半峰值功率点和后沿相应点之间的持续时间。对于脉冲串(或脉冲串的一部分)，照射持续时间是第一个脉冲前沿的半峰值功率点和最后一个脉冲后沿的半峰值功率点之间的持续时间。

## 3.36

**扩展源观察 extended source viewing**

在100 mm 或更远处的表观光源对眼睛所成的张角大于最小对向角( $a_{\min}$ )的观察情况。

注1:当考虑视网膜热损伤的危害时，本文件考虑两种扩展光源条件：中等光源和大光源。根据表观光源的对向角  $a$  来划分这两种光源，介于  $a_{\min}$  和  $a_{\max}$  之间的为中等光源，大于  $a_{\max}$  的为大光源(见3.82)。

注2:如观察某些扩散激光源、漫反射、某些线激光器和某些激光二极管阵列时，4.3c)和表9中的修正因子  $C_c$  可能会大于1。

## 3.37

**人眼安全 eye-safe**

可达发射低于1类激光产品可达发射极限(AEL)，或在照射持续时间内照射量低于最大允许照射量(MPE) 的激光辐射。

注1:由于波长大于1400 nm 激光比视网膜危害波段具有更高的照射极限，该定义被一些广告资料误用。术语“人眼安全激光”仅仅适用于描述1类激光产品。即使1类激光可以称为人眼安全的，但如果是可见光辐射，直接观察光束也可能引起短期视觉障碍，如眩目、闪光盲和视后像。

注2:不能仅仅根据输出波长大于1400 nm, 就用术语“人眼安全激光”来描述这种激光，因为只要功率足够高，任何波长的激光都可能导致伤害。

## 3.38

**失效保护 fail safe**

元件故障不增大危险的设计措施。

注：失效模式时系统不工作或危险不增加。

## 3.39

**失效保护安全联锁 fail safe safety interlock**

失效模式下联锁作用不失效的安全装置。

注1:例如：一旦开始打开铰接盖或在拆除可拆卸盖之前，驱动联锁处于正确“关闭”位置。在关上铰接盖或锁定可拆卸盖到关闭位置之前，联锁仍然处于“关闭”位置。

注2:对于本文件而言,处于“关闭”位置的安全连锁的目的是终止光束或将输出减少到安全要求的水平。如果使用了电气、电子和可编程元件,则通过IEC 61508或ISO 13849评估连锁的可靠性。

3.40

人员可接触 human access

- a) 人体接触激光产品发射的激光辐射的可能性,即防护罩外辐射被拦截的可能性;
- b) 一个直径100 mm、长度100 mm 的圆柱探头接收到不大于3B类辐射水平的可能性;
- c) 人手或手臂拦截高于3B类 AEL 辐射水平的可能性;
- d) 当防护罩内存在3B类或4类激光辐射时,人体的任何部分接触到由产品内任意插入的单个平面直接反射,并通过防护罩的任一开孔输出有害激光辐射的可能性。

注:对于有进入通道的激光产品,界定人员接触时要同时兼顾防护罩内外的激光辐射,可能使用诸如自动检测系统之类的工程控制措施防止防护罩内的人员接触。

3.41

总辐[射]亮度 integrated radiance

辐射剂量 radiance dose

$L_t$

辐[射]亮度在给定照射时间内的积分,表示为单位发射立体角内、单位辐射面积上的辐射能量。

注1:在ICNIRP 导则中,也称为辐射剂量,用符号D表示。

注2:SI单位:焦耳每平方米球面度( $J \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ )。

3.42

光束内视 intrabeam viewing

与漫反射观察不同,是眼睛受到直接的或镜面反射的激光照射的观察状态。

3.43

辐照度 irradiance

E

投射到表面面元上的辐射通量  $d\phi$  与该面元的面积  $dA$  之商,由下式表示:

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

注:SI单位为瓦特每平方米( $W/m^2$ )。

3.44

激光器 laser

通过受控受激发射过程,主要产生或放大波长为180 nm~1mm 的电磁辐射的装置。

[来源:IEC 60050-845:1987,845-04-39,有修改]

3.45

激光受控区 laser controlled area

为了防止辐射危害而受到控制和监视的滞留和活动区域。

3.46

激光能源 laser energy source

与激光器一起使用,为激发电子、离子或分子提供能量的装置。

注:供电电源或电池之类的通用能源不是激光能源。

3.47

激光危害区 laser hazard area

光束辐照度或辐照量超过眼睛和皮肤相应的最大允许照射量(MPE) 的区域,见标称眼危害区(3.64)。

注：为了避免歧义，增加根据眼睛或皮肤的最大允许照射量来判定危害区的的信息。

### 3.48

#### 激光产品 laser product

构成、包含或将包含一个激光器或一个激光系统的任何产品或零部件的组合。

### 3.49

#### 激光辐射 laesr radiation

激光产品发射的由受控受激发射产生的波长为180 nm~1 mm的所有电磁辐射。

### 3.50

#### 激光安全员 laser safety officer

熟知激光危害评估与管理控制，并负责监督激光危害控制的人员。

### 3.51

#### 激光系统 laser system

激光器与激光能源的组合，可集成或不集成其他零部件。

### 3.52

#### 发光二极管 light emitting diode;LED

在半导体内通过辐射复合产生波长为180 nm~1 mm的电磁辐射的半导体p-n 结器件。

注：尽管也可能存在一些受激发射，但光辐射主要是由自发发射过程产生的。

### 3.53

#### 评估视网膜光化学危害的限制接收角 limiting angle of acceptance for evaluating retinal photo-chemical hazards

$Y_{ph}$

探测辐射的限定平面角，限定平面角内的辐射量决定了可达辐射或照射水平在与视网膜光化学危害限值比较时的量值。

注 1： $Y_m$ 角与眼睛运动有关，与光源对向角无关。如果光源对向角大于规定的限制接收角 $Y_{ph}$ ，那么接收角 $\gamma$ 为热点扫描光源范围内 $y_{ph}$ ，如果测量的接收角 $\gamma$ 没有被限制在规定水平，危害可能会被高估。

注 2：如果表观光源对向角小于规定的限制接收角 $Y_h$ ，测量仪器接收角的实际值不会影响测量值，不必限制接收角，即可以使用辐射计通常设置的接收角“打开”功能。

### 3.54

#### 评估热危害的限制接收角 limiting angle of acceptance for evaluating thermal hazards

$Y_{th}$

用于评估视网膜热危害的最大对向角。

注1:接收角 $\gamma_{th}$ 值在 $a_{min}$ 和 $a_{max}$ 之间变化(见4.3 d)、5.4.3 b[2]]。

注 2：SI 单位为弧度(rad)。

### 3.55

#### 限制孔径 limiting aperture

对辐照度和辐照量进行平均的圆形区域。

### 3.56

#### 维护 maintenance

为了保证激光产品达到预期的性能，用户按照激光产品制造商在用户使用说明书中规定的调整方法或步骤进行的工作。

注：不包括使用或维修。

### 3.57

#### 最大对向角 maximum angular subtense

$a_{max}$

表观光源对向角的值，当对向角大于该值时，其MPE 和 AEL 与光源大小无关。

注1：根据发射持续时间不同，最大对向角在5mrad~100 mrad之间变化(见表9)。

注2：SI单位为弧度(rad)。

### 3.58

#### 最大输出 maximum output

用于确定激光产品类别的最大可达发射。

注：除了其他条件以外，确定可达发射还要考虑单一故障条件(见5.1)，最大输出可能超过正常工作时的最高输出

### 3.59

#### 最大允许照射量 maximum permissible exposure;MPE

正常情况下人员受到激光照射不会产生不良后果的激光辐射水平。复数用MPEs 表示。

注1：MPE水平指眼或皮肤受到照射后，即刻或长时间后无损伤发生的最大照射水平，它与激光辐射波长、脉宽或照射持续时间、处于危险状态的生物组织以及暴露在400 nm~1400 nm的可见和近红外激光辐射中的视网膜成像的大小等有关。在附录A中具体规定了最大允许照射水平(就现有的知识状况而言)。

注2：根据附录A中规定的最大允许照射量的值，制造商可以计算标称眼危害距离(NOHd)，进行风险分析，提醒用户安全使用激光产品。许多国家在国家法律中明确规定公共场所和工作场所眼睛和皮肤的辐照极限。这些具有法律约束的辐照极限值可能与附录A所规定的值不同。

### 3.60

#### 医用激光产品 medical laser product

为了通过激光照射对人体的任何部位进行体内诊断、外科手术、美容或治疗而设计、制造或推销的任何激光产品。

### 3.61

#### 最小对向角 minimum angular subtense

$a_{min}$

表观光源对向角的值，对向角大于该值的光源被认为是扩展光源。

注1：光源的对向角小于  $a_{min}$ 时，MPE和AEL与光源尺寸无关。

注2：SI单位为弧度(rad)。

注3： $a_{min}=1.5$  mrad。

### 3.62

#### 锁模 mode-locking

激光谐振腔内产生脉宽非常窄(如亚纳秒)的脉冲串的机理或现象。

注：尽管通常在特定条件下才能达到锁模，但是有时也能自发产生“自锁模”。锁模产生的峰值功率可能远大于其平均功率。

### 3.63

#### 最严苛位置 most restrictive position

激光束中可达发射与AEL之比最大的位置。

注：可达发射与AEL两者都依赖于在激光束中评估的位置，见3.36。

### 3.64

#### 标称眼危害区 nominal ocular hazard area;NOHA

光束辐照度或辐照量超过相应角膜的最大允许照射量(MPE)的区域，其中包括可能出现的激光束意外导错方向的情况的区域。

注：如果NOHD包括通过辅助光学仪器观察激光束的情况，则定义为“扩展NOHA”。

3.65

标称眼危害距离 nominal ocular hazard distance;NOHD

光束辐照度或辐照量等于相应角膜的最大允许照射量(MPE) 时与输出窗口的距离。

注：如果NOHD包括通过辅助光学仪器观看激光束的情况，则定义为“扩展NOHD(ENOHD)”。

3.66

运行 operation

工作 operation

激光产品执行所有设定功能的动作。

注：不包括维护或检修。

3.67

光化学危害极限 photochemical hazard limit

保护人员不受光化学效应伤害的最大允许照射量或可达发射极限。

3.68

**防护罩 protective housing**

为防止人员接触超过规定可达发射极限的激光辐射而设计的激光产品(包括安装嵌入式激光器的产品)的组成部分(通常由制造商安装)。

注：根据5.1的测试要求，评估防护罩是否适合用于防止人员接触。

3.69

脉冲持续时间 pulse duration

在脉冲前、后沿的半峰值功率点间测得的时间差。

3.70

脉冲激光器 pulsed laser

以单脉冲或脉冲串形式释放能量的激光器。

注：在本文件中，单脉冲的持续时间要小于0.25 s。

3.71

辐[射]亮度 radiance

L

由下式定义的量：

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}$$

式中：

d $\Phi$ ——由光束通过某一点在给定方向上的立体角d $\Omega$  中传输的辐射通量；

dA——给定点的光束截面面积；

$\theta$  ——截面法线和光束方向的夹角。

注1:该定义是IEC 845-01-34的简化形式，足以满足本文件的使用。如有疑问，遵从IEC 的定义。

注2:SI单位为瓦特每平方米球面度(W·m<sup>-2</sup>·sr)。

[来源：IEC 60050-845:1987, 845-01-34, 有修改]

3.72

辐射能量 radiant energy

Q

辐射通量  $\Phi$  在给定持续时间 $\Delta t$  内对时间的积分，由下式表示为：

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt$$

注：SI单位为焦耳(J)。

[来源：IEC 60050-845:1987,845-01-27,有修改]

3.73

辐照量 radiant exposure

H

照射到表面某处的面元上的辐射能量除以该面元的面积，由下式表示为：

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt$$

注：SI单位为焦耳每平方米(J · m<sup>2</sup>)。

3.74

辐射通量 radiant flux

Φ

辐射功率 radiant power

P

以辐射形式发射、传输或接收的能量，由下式表示：

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

注：SI单位为瓦特(W)。

[来源：IEC 60050-845:1987,845-01-24]

3.75

反射比 reflectance

p

在给定条件下反射的辐射功率与入射的辐射功率之比。

注：无量纲比。

[来源：IEC 60050-845:1987,有修改，修改为辐射功率，而不是辐射通量]

3.76

遥控联锁连接器 remote interlock connector

连接激光产品和与其分离的外部控制器的连接器。

注：见6.4。

3.77

安全联锁 safety interlock

当拆除、打开或移动防护罩时，为防止人员接触3R类、3B类或4类激光辐射而设置的与防护罩相关联的自动装置。

注：见6.3。

3.78

扫描激光辐射 scanning laser radiation

相对于固定参照系，随时间的变化而改变辐射方向、源点或传播形状的激光辐射。

3.79

检修 service

执行制造商检修说明书中所描述的那些调整方法或步骤，它可影响产品的性能。

注：检修不包括维修和运行。

3.80

检修挡板 service panel

为检修设计的可移开或拆卸的挡板。

## 3.81

**单一故障条件** **single fault condition**

在产品中可能发生的单一故障和该故障的直接后果。

## 3.82

**小光源** **small source**

对向角  $\alpha$  小于或等于最小对向角  $\alpha_{\min}$  的光源。

## 3.83

**镜面反射** **specular reflection**

由一表面反射的可以当作光束(见3.11)的反射,包括来自镜面表面的反射。

注:本定义的目的是认可某些反射表面,例如抛物面反射器,可能增加入射激光束的危害。

## 3.84

**热效应危害极限** **thermal hazard limit**

保护人员不受热效应伤害(而不是光化学伤害)的最大允许照射量或可达发射极限。

## 3.85

**时间基准** **time base**

激光产品分类所考虑的发射持续时间。

注:见4.3 e)。

## 3.86

**工具** **tool**

用来操作螺钉或其他紧固件的螺丝刀、六角扳手或其他物品。

## 3.87

**透射比** **transmittance**

**T**

在给定条件下,透射的辐射通量与入射的辐射通量之比。

注:无量纲比。

[来源:IEC 60050-845:1987,845-04-59,有修改]

## 3.88

**透射密度** **transmittance density**

**光密度** **optical density**

**D**

透射比的倒数取以10为底的对数,由下式表示为:

$$D = -\log_{10} T$$

[来源:IEC 60050-845:1987,845-04-66]

## 3.89

**可见辐射** **visible radiation**

**光** **light**

能够直接引起视觉的光辐射。

注:在本文件中,可见辐射是指单色成分波长为400 nm~700 nm的电磁辐射。

[来源:IEC 60050-845:1987,845-01-03,有修改]

## 3.90

**工件** **workpiece**

用激光辐射进行加工处理的物体。

## 4 分类原则

### 4.1 分类概述

激光产品的分类是以其可达发射水平(根据第5章的规则确定)与相应类别的可达发射极限进行比较为基础,来确定激光产品的安全类别。对于1类、IM类、2类、2M类和3R类激光产品,如果有附加警告标记(见第7章),要进行额外的测量。部分激光产品,需要采用相应的分类规则,例如,对IC类激光产品,见5.3 b)和用于确定扩展光源激光产品的4.4。

由于激光束的波长、能量及脉冲特性涉及的范围很广,所以使用时潜在危害程度差别很大。不可能简单地用统一的安全限值将激光产品进行分类。附录C更详细地描述相应类别的危害和可能的限制条件(例如辅助光学仪器观察可能引起的危害)。

### 4.2 分类职责

对激光产品进行正确的分类是制造商的职责(6.1规定了对于其他情况的处理)。

### 4.3 分类规则

激光产品要在综合考虑其出厂后,在任何时间满负荷工作时,人员可接触的全部辐射波长和输出功率的基础上进行分类,并将其划分到相应的最高类别。激光产品分类评估应根据设备运行中任何可能发生的可合理预见的单一故障条件(见5.1关于风险分析原则的应用中,哪种单一故障是可合理预见的)。

激光产品仅在符合本文件对该类别的所有要求时,才被确定为某一特定类别:比如工程控制、标记和用户信息。

对于连续输出的激光产品,波长单一且可以被假定为从小光源发出的准直光束,其分类步骤可被简化,不必考虑下列条款:4.3 b),4.3 c),4.3 d),4.3 f)(见附录NA.1)。

作为分类规则,应使用以下类别等级(按照对人眼危害程度递增的顺序排列):1类、1C类、1M类、2类、2M类、3R类、3B类、4类。

注1:1C类激光产品对眼睛没有危害(与1类激光产品相同),但如果使用不当会对皮肤造成伤害[见5.3 b)]。

注2:1M或2M类激光产品分类时,使用条件3中规定的孔径光阑或限制孔径,限制了通过人眼瞳孔接收的大直径光束的激光辐射。当在条件1下进行测量时,1M类和2M类产品的能量或功率可能高于2类或3R类激光产品的AEL。这种激光产品适合确定为1M类或2M类。

表3至表8给出了1类和1M类、2类和2M类、3R类和3B类的可达发射极限(AELs)。表9给出了修正因子的值,它们是波长、发射持续时间、脉冲数量和对向角的函数。不同类型和条件下的AELs情况如下。

#### a) 单波长辐射

单波长激光产品光谱范围很窄,所以AELs值保持不变。它被划分为某一类别的条件为:在适合本类的条件下测得的可达激光辐射超过所有较低类AEL,但不超过本类AEL。

#### b) 多波长辐射

1) 发射两个或两个以上波长,且各波长处于表1所示的对眼睛有叠加效应光谱范围内的激光产品,被划分为某一类别的条件为:各波长可达激光辐射(在适合于本类的条件下测量)与相应波长的较低类AELs之比的总和大于1,但对所定类别而言其总和不超过1。这条规则同样适用于波长范围在400 nm~1400 nm内照射到人眼视网膜上叠加的非激光辐射,或者其他波长范围照射在孔径光阑重合的非激光辐射危害评估。因此,依据本文件,激光产品的分类应包含非激光辐射的部分。

2) 发射两个或两个以上波长的激光产品，但各波长之间没有表1所示叠加效应的激光产品，被划分为某一类别的条件为：在适合于本类的条件下测得的激光辐射至少在某一个波长上超过所有较低类别AELs 值，但所有波长的激光辐射均不超过本类别AEL。

表 1 不同光谱范围辐射对眼睛和皮肤的叠加效应°

光谱区	UV-C 和 UV-B	UV-A	可见光和 IR-A	IR-B 和 IR-C
	180 nm~315 nm	315 nm~400 nm	400 nm~1400 nm	1400 nm~10 <sup>6</sup> nm
UV-C 和 UV-B 180 nm~315 nm	0 s			
UV-A 315 nm~400 nm		0 s	s	0 s
可见光和 IR-A 400 nm~1400 nm		s	obs	S
IR-B 和 IR-C 1400 nm~10 <sup>6</sup> nm		0 s	s	0 s
o 眼睛 s 皮肤				
a 光谱范围的定义见表 D.1。 如果以时间基准或照射持续时间不小于 1 s，评价 AEL 和眼睛的 MPE 值时，应分别单独评价 400 nm~600 nm 的光化学叠加效应和 400 nm~1400 nm 热叠加效应，并选用最严格的值。 确定 AEL 时仅对眼睛的叠加规则适用。				

c) 扩展光源辐射

波长范围在 400 nm~1400 nm 内的激光源辐射对眼的危害依赖于表观光源的对向角  $\alpha$ 。这种依赖性通过修正因子  $C_6$  表达在适用的 AEL 值中(见表9), 以及在规定的接收角下确定可达发射。

注3:表观光源的对向角  $\alpha$  大于  $\alpha_{min}$  时的光源称为扩展光源, 这里  $\alpha_{min}=1.5 \text{ mrad}$ 。大多数激光源的对向角  $\alpha$  小于  $\alpha_{min}$ , 当束内观察激光时(光束内视), 表观光源视为一个“点光源”(小光源)。一圆形的激光束如果是扩展源, 则不能将发散角准直为小于 1.5 mrad 的光束, 因而对于任何激光, 只要规定的光束发散角在任何平面上不大于 1.5 mrad, 就不能视为扩展源。对于小光源,  $\alpha_{min}=1.5 \text{ mrad}$ , 且  $C_0=1$ 。

注4:对于视网膜热危害评估(400 nm~1400 nm), 扩展光源的 AELs 直接随光源对向角发生变化。对于视网膜光化学危害评估(400 nm~600 nm), 当照射持续时间大于 1s, AELs 不直接随光源对向角发生变化。根据发射持续时间[见 5.4.3 b)1)], 使用 11 mrad 或更大的限制接收角  $\gamma_{ph}$  进行光化学危害相关测量, 限制接收角  $\gamma_{ph}$  对表观光源对向角  $\alpha$  的关系会影响测量值。

注 5: 在  $C=1$  的默认条件下, 1 类和 IM 类激光产品的 AEL 在简化的表 3 中给出。对于 3R 类激光产品的 AEL 在简化的表 6 中给出。

当光源对向角小于或等于  $\alpha_{min}$  时, AEL 和 MPE 与表观光源的对向角  $\alpha$  无关。

使用条件 1(见 5.4.3) 在最严苛位置对激光产品分类时, 表观光源对向角  $\alpha$  的 7 倍放大倍率可用于确定  $C_6$ , 即  $C_6=7 \times \alpha / \alpha_{min}$ 。在计算  $C_6$  之前, 应限制表达式  $(7 \times \alpha)$  不大于  $\alpha_{max}$ 。对表 9 中  $T_2$  的确定应使用  $7 \times \alpha$  的值。

注6:当  $\alpha < 1.5 \text{ mrad}$  而  $7 \times \alpha > 1.5 \text{ mrad}$  时, 表 4 和表 7 适用于  $\alpha > 1.5 \text{ mrad}$  的限制。

d) 非均匀、非圆形或多个表观光源

与视网膜热危害限值相比较时, 如果:

——波长范围为400 nm~1400 nm; 而且

——AEL 依赖C<sub>0</sub>。

如果：

——表观光源在视网膜上的成像不是均匀的辐照度分布2); 或者

——表观光源在视网膜上的成像由多点组成。

应对以下每种情况进行测量或评估：

——每个单点；和

——点的不同组合；和

——局部区域。

有必要确保在每种情况下每个对向角  $\alpha$  对应的场景均不超过AEL。为了估算光源的组合或局部区域，改变接收角  $\gamma$  的值，使之在  $\alpha_{\min}$  和  $\alpha_{\max}$  之间变化，即  $\alpha_{\min} < \gamma < \alpha_{\max}$ ，以确定与各场景对应部分的可达发射。为了将这些部分可达发射水平与相应的 AEL 比较，设置  $\alpha$  值等于与表观光源这部分对应的对向角。

根据以下两者比值的最大值进行分类：

——对向角为  $\alpha$  的局部区域内的部分可达发射；和

——相应的AEL。

矩形或线性光源的对向角由光源的两个角度的算数平均值确定。在计算算数平均值之前，大于  $\alpha_{\min}$  或小于  $\alpha_{\min}$  的角度应被分别限制为  $\alpha_{\max}$  或  $\alpha_{\min}$ 。

使用条件1(见5.4.3)确定放大非圆形光源的对向角时，在计算算术平均值之前，c) 中描述的表观光源对向角  $\alpha$  的7×放大倍率宜分别独立应用于非均匀、非圆形或多个表观光源的每个光轴。

光化学限值(400 nm~600 nm)不依赖于光源的对向角，使用在5.4.3 b)中规定的限制接收角分析光源。对于大于限制接收角的光源，可达发射需对产生最大发射值的局部表观光源进行确定。

#### e) 时间基准

本文件分类采用下列时间基准：

- 1) 400 nm~700 nm 波长范围内，对2类、2M类和3R类激光辐射的时间基准为0.25s；
- 2) 对所有波长大于400 nm 的激光辐射，除1)和3)中列举的情况外，时间基准为100 s；
- 3) 对所有波长小于或等于400 nm 的激光辐射和波长大于400 nm，而且激光产品设计或功能本身要求有意识长期观察的激光辐射，时间基准为30000 s。

进行产品分类时，应评估时间基准内每个可能的发射持续时间。也就是，单脉冲发射水平应与适用于该脉冲持续时间的 AEL 相比较。仅将发射水平按分类时间基准的持续时间进行平均，或者仅按时间基准值进行评价而不考虑更短的发射持续时间，都是不充分的。

注7:对于光谱的可见光部分和不可见光部分在时间和空间上重叠发射的多波段激光产品，使用辐射叠加进行评价(见表1)。其可见光部分本身会被划分为2类、2M类或3R类，其不可见光部分本身会被划分为1类或1M类。评价不可见光辐射的时间基准为0.25 s。

#### f) 重复脉冲激光器或调制激光器

为了确定适用于重复脉冲或调制发射的激光产品的类别，应采用下列方法。

作为一般要求，在任意给定时间内的任何脉冲群(或脉冲串的一部分)产生的可达发射，不应超过同一给定时间内的可达发射极限[见4.3 e)]，并估算相关的所有发射持续时间。

- 2) 视网膜上像的辐照度是高斯光束分布时(由 TEM<sub>00</sub> 光束产生)，对向角可以用  $d_s/3$  直径确定(类似的光束直径定义，见3.13)，而不需要分析局部区域。

对于所有波长，应评估要求1)和2)。另外，对于在400 nm~1400 nm 内的波长，还应评估要求3)，以便与热危害限值进行比较。在与光化学危害限值比较时，或在确定3B 类激光产品的AEL 时，不需要评估要求3)。

按下述评估要求1)、评估要求2)，适用时也包括评估要求3)的最严苛要求来确定类别(见表3~表8)。

- 1) 脉冲串中任一脉冲的照射量不超过单脉冲 AEL(AELsingle)。确定扩展光源的可达发射时，脉冲持续时间用于确定 $\alpha_{max}$ 和接收角 $\gamma_{th}$ (见5.4.3 b)以及表9]。
- 2) 发射持续时间为T 的一脉冲串的平均功率，不应超过持续时间为T 的单脉冲 AEL 所对应的功率(AELT)。确定扩展光源的可达发射时，发射持续时间T 用于确定 $\alpha_{max}$ 和接收角 $\gamma_{th}$ (见5.4.3 b) 以及表9]。

对于不规则的脉冲模式(包括脉冲能量的变化), T 应在 $T_1$ (见表2)和时间基准之间变化。对于规则脉冲模式，取时间基准内的平均值即可(设置 $T=T_1$  时间基准)。

注8:为了确定最严苛的评估要求，AELr 表示为能量或辐照量除以脉冲数N，也就是 $AEL_{spT}$ ，再与AELsingle 和  $AEL_{sp,train}$ 进行比较。

- 3) 每个单脉冲的能量均不应超过单脉冲的AEL 值与修正因子 $C_5$  的乘积：

$$AEL_{sp,train}=AEL_{single} \times C_5 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$AEL_{sp,train}$ ——脉冲串中任一单脉冲的AEL 值；

$AEL_{single}$ ——单脉冲的 AEL 值(表3~表8)；

N ——脉冲串在所评估发射持续时间内的有效脉冲数[当脉冲在 $T_1$ (见表2)内产生时，N 小于实际的脉冲数，见下文]，最大发射持续时间需选择 $T_2$  (见表3)或适用的时间基准，取其中较短的一个；

$C_5$  ——仅适用于每个脉冲持续时间不大于0.25 s 的情况。

如果脉冲持续时间 $t \leq T_1$ ， 则：

如果时间基准小于或等于0.25 s: $C_5=1.0$ ;

如果时间基准大于0.25 s:

$$C_5=1.0(N \leq 600)$$

$$C_5=N-0.25, \text{ 最小值为 } C_5 =0.4(N > 600)$$

如果脉冲持续时间 $t > T_1$ ， 则：

如果 $\alpha \leq 5 \text{ mrad}$ :

$$C_5 =1.0$$

如果 $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$ :

$$C_5=N-0.25(N \leq 40)$$

$$C_5 =0.4(N > 40)$$

如果 $\alpha > \alpha_{max}$ :

$$C_5=N-0.25(N \leq 625)$$

$$C_5=0.2(N > 625)$$

除非 $\alpha > 100 \text{ mrad}$ ，则在任何情况下 $C_5 =1.0$ 。

如果在 $T_1$ (见表2)时段内出现多个脉冲，在确定N 时视其为单脉冲，并将其中每个单脉冲的能量相加后，与对应于 $T_1$  的 AEL 比较。

有时，AELsprain的计算值可能小于使用相同时间基准、具有相同峰值功率的连续波的 AEL 值。在这种情况下，可以采用连续波的AEL 值。

表 2 脉冲群相加的时间上限

波长 nm	T; S
400 ≤ λ < 1050	5 × 10 <sup>-6</sup>
1050 ≤ λ < 1400	13 × 10 <sup>-6</sup>
1400 ≤ λ < 1500	10 <sup>-3</sup>
1500 ≤ λ < 1800	10
1800 ≤ λ < 2600	10 <sup>-3</sup>
2600 ≤ λ ≤ 106	10 <sup>-7</sup>

注9:计算示例参见附录B。

#### 4.4 设计为传统照明的激光产品

除玩具外，将激光产品设计用于传统照明，且在距离200 mm 处的对向角α 大于5mrad，发射可见光和近红外光辐射(400 nm~1400 nm)的扩展光源，工作在可合理预见单一故障情况下，其波长在400 nm~1400 nm 内，总的未加权的峰值辐射水平在5 mrad 接收角上的平均值不超过LT，由公式(2)表示：

$$LT=(1 \text{ MW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr})/\alpha \dots\dots\dots \dots \dots (2)$$

也可以选择用IEC 62471系列标准“灯和灯系统的光生物安全”评估光辐射。计算Lr 时，对向角α 用弧度表示，在距离人员接触的最近点200 mm 处测量。公式(2)中α 的值被限制在0.005 rad 和0.1 rad之间。因此，对于对向角为0.005 rad 的光源，适用的辐亮度评估准则为200 MW·m<sup>2</sup>·Sr<sup>-1</sup>，当对向角大于0.1 rad 的光源，适用的辐亮度评估准则为10 MWm<sup>-2</sup>·sr<sup>-1</sup>。（关于辐亮度和辐照度更多解释见附录H.2）

注1:上述辐亮度不是照射限值或发射限值，仅作为当采用IEC 62471系列标准评估危害等级时的依据。

注2:免除激光分类的光辐射可能是单色的。

除上述提到的在设备正常运行及可合理预见的单一故障条件下产生的光辐射(即上述光辐射在正常工作情况下不被认为是人员可接触的激光辐射)可以不考虑分类外，其他激光产品应依据本文件的要求进行分类。激光产品在维护或检修期间产生的人员可接触激光辐射应符合本文件的要求。

注3:除了上述按照IEC 62471系列标准评估的激光产品外，如果在设备运行期间不产生人员可接触的激光辐射，则该激光产品被确定为1类激光产品。

这类激光产品应按照IEC 62471系列标准划分至相应的风险类别，还应包含风险类别对应的标记以及激光产品分类(包括1类激光产品)和适用的警告标记。

对于波长小于400 nm 或大于1400 nm 的人员可接触激光辐射应按照本文件进行激光产品分类。

### 5 可达发射水平的确定和产品分类

#### 5.1 检测

检测应注意测量过程中的所有误差、统计不确定度、发射功率的增加以及随时间推移的辐射安全性的降低。根据特定用户的要求，可能需要进行额外的测试。对于测量的进一步指导，请参考

IEC/TR 60825-13。

应采用在设备工作状态下的检测来确定产品的分类。同样，在产品运行、维护和检修期间，也应根据需要进行相应的检测，以准确确定对安全连锁、标记和使用说明书的要求。以上的检测应在每一个可合理预见的单一故障条件下进行。

然而，如果在发生故障时，激光辐射能够在一定时间内自动降低到低于可达发射极限(AEL)的水平，并且在可合理预见的情况下，没有人员可能会接触到超过AE的激光辐射，那么这类故障不需要考虑。根据风险分析的原则，应评估将辐射水平自动降低到特定水平的可靠性。例如，可以根据IEC 61508规定的安全完整性等级(SIL)来进行评估。为了确定SIL等级，设计自动降低激光辐射水平的装置时，需要确认故障反应时间，并根据风险分析确定目标反应时间。但是，本文件并不要求进行IEC 61508的完整性分析或应用。

风险分析可用于帮助确定可合理预见的单一故障条件。确定单一故障条件是否是可合理预见的，需要分析故障的概率(频率)和伤害风险(暴露于可能导致伤害水平的概率和伤害的严重程度)这两个因素。给定故障造成的伤害风险越低，就越能容忍“更频繁”发生的故障(可能导致一定辐射水平)，并且这些故障可以不用用于分类。可接受的故障概率和风险分析的模式包括故障模式和影响分析(FMEA)，以及IEC 61508规定的程序。

注1:自动降低包括发射的物理限制发射，例如组件或系统故障，以确保安全条件。它不包括手动降低或终止发射。

注2:例如，在故障条件下，扫描安全装置的反应速度可能不足以防止超出AEL的发射。然而，对于不可能照射到人员的激光产品，这种情况是能够接受的。

注3:分类在设备工作状态下确定的，并且维护中的限制取决于产品类别。

注4:通过除了物理诱发故障之外的方法来测试单一故障条件。

当评估防护罩是否适合防止人员接触到4类激光产品对应的照射水平时，应注重所有可合理预见的可能导致光束方向变化的单一故障事件。分析应包括单一故障事件是否会导致产生足够能量以致老化或破坏防护罩的情况。例如，在工作或发生单一故障条件时，引入机器人或其他光束处理机制，或使用光学镜片或工件，将能量导向防护罩的表面，可能会出现以下情况之一：

——应用工程措施消除单一故障；或

——防护罩材料承受能量照射后，其防护性能(可防护的最大激光能量)不会下降，仍然能承受有害激光能量的照射；或

——在防护罩老化之前检测到故障，并阻止激光辐射穿过防护罩。

IEC 60825-4中规定的小于30000 s的防护罩评估时间不适用于产品分类。

注5:这是因为确定分类不用考虑人员干预(见6.2.1)，所以不考虑用户检查防护罩。

注6:评价防护罩时考虑人员检查或干预，虽然与产品分类无关，但可用来建立安全级别，或者用来检测防护罩的潜在退化，即合理的不可预见故障事件或多故障事件引起防护罩的性能降低。

对光学放大器分类时，应使用最大可达总输出功率或能量来分类，可包括最大额定输入功率或能量。在没有明确输出功率或能量限制的情况下，宜采用放大器输出的最大功率(能量)加上达到放大效果所需的输入信号的功率(能量)来进行分类。

与第5章相同的检测或程序都是可接受的。

## 5.2 激光辐射的测量

根据5.1对激光产品分类时，需要对激光辐射水平进行测量。当激光源的物理特性及限制条件使得激光产品或激光设备明确归于某一类时，则无须进行测量，但是需要考虑a)~f)的原则。

应在下列条件下和过程中进行测量。

a) 可达发射水平达到最大的情况下和过程中，包括激光产品的启动、稳定发射及关闭。

b) 利用操作、维护及检修说明书中所列的所有控制和调节措施进行综合调节，使可达发射水平最大。使用可能增加辐射危害的附件(如准直镜)也应测量，这些附件是由制造商提供，与产

品一起使用，而且不使用工具就能加装或者拆除。

注：包括任何不使用工具或不破坏连锁就可获得的配置，也包括操作和维护指南中予以警告的配置和设置。例如，滤光镜、发散透镜或透镜之类的激光光路上的光学元件，不使用工具就可移开时，在导致最高危害水平的配置下进行测量。因制造商给出不移开光学元件的说明而将类别确定为较低级别是不合理的。分类的依据是产品的工程设计，而不是使用者的适当行为。

- c) 对激光产品而非激光系统来说，激光器与激光产品制造商规定的与激光器匹配的激光能源一起使用，并且可使产品产生的可达辐射达到最大。
- d) 在激光产品工作时人员可能接触的空间各点测量可达发射水平(例如，如果激光产品运行时需要拆除防护罩的某些部分，并且安全连锁失效，则应在产品的这种配置下进行测量)。
- e) 测量仪器的探测器相对激光产品的位置和方向，应使测量仪器探测到的辐射值最大。
- f) 应采取适当的预防措施避免或消除伴随辐射对测量的影响。

### 5.3 激光产品类别的确定

表3和表4给出了1类和1M类激光产品的可达发射极限，表5给出了2类激光产品的可达发射极限，表6和表7给出了3R类激光产品的可达发射极限，表8给出了3B类激光产品的可达发射极限。表3~表8中用到的修正因子 $C_i \sim C$ ，和转效点 $T_i$ 和 $T_2$ 在表9中规定。不同类别的激光产品确定如下。

#### a) 1类和1M类激光产品

1类适用的波长范围为 $180\text{ nm} \sim 1\text{ mm}$ 。1M类适用的波长范围为 $302.5\text{ nm} \sim 4000\text{ nm}$ 。按照表10确定条件1和条件3下的可达发射。

对于小于 $302.5\text{ nm}$ 和大于 $4000\text{ nm}$ 的波长，如果条件3下，可达发射小于或等于1类AEL，那么激光产品被确定为1类。

对于波长在 $302.5\text{ nm} \sim 4000\text{ nm}$ 内：

如果可达发射：

——在条件1和条件3下，小于或等于1类的AEL，那么激光产品确定为1类。

如果可达发射：

——在条件1下，大于1类AEL；并且

——在条件1, 小于3B类 AEL; 并且

——在条件3下，小于或等于1类AEL，那么激光产品确定为1M类。

注1:验证3B类AEL的原因是限制1M类激光产品的光束在通过光学仪器时的最大功率。

当将 $3.5\text{ mm}$ 直径的孔径光阑放置在人员接触的最近点进行测量，如果可达发射超过给定的3B类 AEL，还应给予存在潜在的皮肤/角膜/虹膜危害的警告(见7.13)。

注2:如果1M类激光产品的光束高度发散，在靠近或接触光源时(例如，光纤头),可能产生足够高的辐照度，以致可能造成皮肤和虹膜的伤害。在这种情况下，如果波长大于 $1000\text{ nm}$ ,也可能伤害角膜。

#### b) 1C类激光产品

当激光产品的预期用途就是激光辐射照射预期目标，并且有保护措施防止激光辐射超过1类AEL，则为1C类激光产品。只有符合IEC专业标准，且达到1类激光产品安全要求的激光产品，才能被确定为1C类激光产品。

只有依据IEC 60601或IEC 60335系列标准规定，并包含一套明确归为1C类激光产品的安全要求时，用于与人体皮肤或非眼部生物组织接触模式的激光产品才能被划分为1C类。此类1C类激光产品应具有工程控制(系统),在可合理预见的情况下，以确保激光辐射不会照射到眼睛。仅在存在适用的IEC标准的情况下，才准许将其划分为1C类，该标准规定了避免向周围环境或人眼照射的工程控制措施，以限制照射到预期目标组织上的辐射水平适合于预期用

途的水平。

测量杂散光或泄漏光辐射时，测试仪器放置在工作距离或者与白色漫反射表面接触，不应超过条件3下的1类激光产品的AEL。

注3:典型的1C类激光产品包括家庭用途在内的，用于脱毛、除皱和祛痤疮的激光产品。

c) 2类和2M类激光产品

2类和2M类适用的波长范围为400 nm~700 nm。按照表10确定条件1和条件3下的可达发射。

如果可达发射超过对1类和1M类要求的极限[见条款a)], 并且:

——在条件1和条件3下, 小于或等于2类的AEL, 那么激光产品被确定为2类。

如果可达发射超过对1类和1M类要求的极限[见条款a)], 并且:

——在条件1下, 大于2类AEL; 并且

——在条件1下, 小于3B类AEL; 并且

——在条件3下, 小于或等于2类AEL;

那么激光产品被确定为2M类。

注4:检验3B类AEL的原因是限制2M类激光产品的光束在通过光学仪器后的最大功率。

当将3.5 mm直径的孔径光阑放置在人员接触的最近点进行测量, 如果可达发射超过给定的3B类AEL, 还应给予存在潜在的皮肤/角膜/虹膜危害的警告(见7.13)。

注5:如果2类激光产品的光束高度发散, 在靠近光源或接触光源时(例如, 光纤头), 可能产生足够高的辐照度, 以致可能造成皮肤和虹膜损伤。

输出波长在400 nm~700 nm之外, 2类激光产品产生的辐射水平不能超过1类可达发射极限[见4.3e)时间基准]。另外, 如果波长对人眼有叠加效应(见表1), 可见可达光辐射与2类激光产品的AEL之比, 以及与不可见可达光辐射与1类激光产品的AEL之比的总和应小于1。

d) 3R类激光产品

如果在条件1和条件3下, 根据5.4确定的可达发射:

——小于或等于3R类AEL, 且

——在条件3下确定的可达发射高于1类和2类AEL;

那么, 该激光产品被确定为3R类激光产品。

当将3.5 mm直径的孔径光阑放置在人员接触的最近点进行测量, 如果可达发射超过给定的3B类AEL, 应给予警告以预防潜在的皮肤/角膜/虹膜危害(见7.13)。

注6:如果3R类激光产品的光束高度发散, 在靠近光源或接触光源时(例如, 光纤头), 可能产生足够高的辐射量, 以致可能造成皮肤或虹膜损伤。如果在测试条件下波长大于1000 nm, 则可能造成视网膜损伤。

e) 3B类激光产品

如果根据5.4确定的可达发射水平:

——在条件1和条件3下小于或等于3B类AEL, 且

——在条件1和条件3下超过3R类AEL, 且

——在条件3下超过1类和2类AEL;

那么, 激光产品被确定为3B类激光产品。

f) 4类激光产品

如果根据5.4在条件1或条件3下确定的可达发射超过3B类AEL, 则激光产品被确定为4类激光产品。

表3 C。=1时1类和1M类激光产品的可达发射极限“...

波长(λ)	发射持续时间(t)										
	10-13 ≤t<10-1	10-1 ≤t<10-9	10- ≤t<10-	10- <sup>-7</sup> ≤t <5×10-6	5×10-≤t <1.3×10-6	3×10-5 0-	1×10- ≤t<0.35	0.35 ≤t<10	11 ≤t<10 <sup>2</sup>	≤t<10	≤≤3×10
180~(302.5)	3×101W · ma					3QJ · m <sup>2</sup>					
302.5<315	2.4×10W		当t≤T时, (热危害) 7.9×10- <sup>-7</sup> CJ 当t>T <sub>h</sub> 时, (光化学危害) 7.9×10- <sup>-7</sup> G <sub>2</sub> J					7.9×10-C.			
315~<400			7.9×10- <sup>-7</sup> CJ					7.9×10J		7.9×10-	
400~<450	2.8C10*	7.7×10-8J			7×10- <sup>-4</sup> t0.75J			3.9×10- <sup>-7</sup> J		3.9×10-C <sub>3</sub> W	
450~<500								3.9×10-C. J			
500~<700								3.9×10-昆			
700~<1050	1.8×10-8J	7.7×10-8C <sub>4</sub> J			7×10-tossCtJ						
050~(1400)	3.8X 10-8C <sub>2</sub> J	7.7×10-C			3.5×10-t0.75C <sub>2</sub> J						
1 400~<1500	8×10W		8×10-4J			4.4X 10-e1o33J		10tJ		1.0×10-W	
1 500~<1800	8×10 <sup>o</sup> W		8×10- <sup>-7</sup> J			1.8X 10075]					
1800~<2 600	8×10W		8×10- <sup>-4</sup> J			4.4X 10-i0.2J		10-tJ			
2 600~<4000	8×10 <sup>W</sup>		8×10-J	4.4×10- <sup>-3</sup> t0.25J							

表3 C=1 时1类和1M类激光产品的可达发射极限ab(续)

波长(λ)	发射持续时间(t)										
	10 <sup>-13</sup> ≤t<10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> ≤t<10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> ≤t<10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> ≤t <5×10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-6</sup> ≤t <1.3×10 <sup>-5</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup> ≤t<1×10 <sup>-3</sup>	1×10 <sup>-3</sup> ≤t<0.35	0.35 ≤t<10	10 ≤t<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ≤t<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
4000~10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup> W · m <sup>2</sup>		100J · m	5600t. 25J · m <sup>-2</sup>				1000 · m			
注: 以满足测量条件1而达到1类分类要求的激光产品, 使用放大倍数大于7×或物镜直径大于表10的规定的光学仪器观察时, 可能会带来危害											
a修正因子和单位, 见表9.											
6发射持续时间小于10 <sup>-13</sup> s的AEL设定为与在10 <sup>-13</sup> s的AEL同等的功率或辐照度。											
波长在450 nm~500 nm内, 两个极限都适用, 激光产品的可达发射不应超过该类别的任一极限。											
d波长在1250 nm~1400 nm内, AEL的上限是3B类AEL。											

表4 波长在400 nm~1400 nm 内的1类和1M类激光产品的可达发射极限(视网膜危害区): 扩展源a, b, e, d, e

波长(λ)	发射持续时间(t)						
	10 <sup>-13</sup> ≤t<10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> ≤t<5×10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-6</sup> ≤t<1.3×10 <sup>-5</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup> ≤t<10e	10 ≤t<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ≤t<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
400~700	3.8×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7.7×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> J	400 nm~600 nm-视网膜的光化学危害d, e			
				3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> J 用Y <sub>ph</sub> =11 mrad	3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> W 用Y <sub>ph</sub> =1.1t0.5mrad	3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> W 用Y <sub>ph</sub> =110mrad	
				和			
				400 nm~700 nm-视网膜的热危害			
				t≤T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> t0.75C <sub>6</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> -0.25W			

**表4 波长在400 nm~1400 nm 内的1类和1M 类激光产品的可达发射极限(视网膜危害区):扩展源a, b, c, d, e(续)**

波长(λ) nm	发射持续时间(t) 5						
	10 <sup>-13</sup> ≤t<10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> ≤t<5×10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-6</sup> ≤t<1.3×10 <sup>-5</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup> ≤t<10 <sup>e</sup>	10 ≤t<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ≤t<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
700~<1050	3.8×10 <sup>-3</sup> C <sub>7</sub> J	7.7×10 <sup>-4</sup> C <sub>4</sub> C <sub>6</sub> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>4</sub> C <sub>7</sub> J		t≤T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>4</sub> C <sub>6</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> C <sub>4</sub> C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0.25</sup> W		
1050~14001	3.8×10 <sup>-3</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J	7.7×10 <sup>-7</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J		3.5X 10 <sup>-3</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J	t≤T <sub>2</sub> 时, 3.5×10 <sup>-3</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J >T <sub>2</sub> 时, 3.5×10 <sup>-3</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0.25</sup> W		
注: 以满足测量条件1而达到1类分类要求的激光产品, 使用放大倍数大于7×或物镜直径大于表10的规定的光学仪器观察时, 可能会带来危害。							
修正因子和单位, 见表9。 发射持续时间小于10 <sup>-3</sup> s时, AEL设定为与发射持续时间为10 <sup>-3</sup> s的AEL等效的功率或辐照度。 c波长在400 nm~600 nm内, 两个极限都适用, 激光产品的可达发射不应超过该类别的任一极限。 d角度Y <sub>ph</sub> 是测量时的极限接收角。 e当波长在400 nm~484 nm内, 并且表现光源大小在1.5 mrad~82mrad时, 如果 照射时间在1 s~10s之内, 那么光化学危害的极限值3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> J可延伸到1s。 f波长在1250 nm~1400 nm内, AEL的上限是3B类AEL。							

**表52类和2M 类激光产品的可达发射极限**

波长(λ)	发射持续时间(t) S	2类AEL
400~700	t<0.25 t≥0.25	同1类AEL C <sub>6</sub> ×10 <sup>-3</sup> Wa
注: 以满足测量条件1而达到2类分类要求的激光产品, 使用放大倍数大于7×或物镜直径大于表10的规定的光学仪器观察时, 可能会带来危害(参见附录C)		
修正因子和单位, 见表9。		

表 6 3R 类激光产品的可达发射极限和Ca=la, b, e

波长 (λ)	发射持续时间 (t)										
	10-13 ≤t<10-11	10-11 ≤t<10-	10-9 ≤t<10-	10-7 ≤t<5×10-6	5×10-6≤t <1.3×10-5	1.3×10-5 ≤t<1×10-3	1×10-3 ≤t<0.35	0.35 ≤t<10	10 ≤t<10³	10³ ≤t≤3×10⁴	
180~302.5	1.5×10 <sup>-7</sup> W · m²		150J ·								
302.5~315	1.2×10 <sup>6</sup> W		当 t ≤ T <sub>1</sub> 时 (热危害), 4 × 10 - C <sub>1</sub> J 当 t > T <sub>1</sub> 时 (光化学危害), 4. 0 × 10 - C <sub>2</sub> J						4. 0 × 10 - C <sub>2</sub> J		
315~<400			4. 0 × 10 - C <sub>2</sub> J						4. 0 × 10 - <sup>2</sup> J	4. 0 × 10 - W	
400~(700	1.9×10 <sup>-7</sup> J	3.8×10 <sup>-7</sup> J			t<0.25s时, 3.5×10 <sup>-3</sup> t0.75J t≥0.25s时, 5.0×10 <sup>-3</sup> W			5.0×10 <sup>-7</sup>			
700~(1050	1.9×10 <sup>-7</sup> J	3.8×10 <sup>-7</sup> C <sub>4</sub> J			3.5×10 <sup>-3</sup> t7.5C <sub>4</sub> J				2.0×10 <sup>-3</sup> C <sub>4</sub> C <sub>7</sub> W		
1050~<1400d	1.9×10 <sup>-7</sup> C <sub>7</sub> J	3.8×10 <sup>-7</sup> C <sub>7</sub> J			1.8X10 <sup>-2</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>7</sub> J						
1400~<1500	4×10%		4X10 <sup>-7</sup> J				2.2X 10 <sup>-2</sup> t0.25J	5×10 <sup>-7</sup> J	5.0×10 <sup>-2</sup> W		
1500~<1800	4×10 <sup>6</sup> W		4×10 <sup>-7</sup> J				9×10 <sup>-2</sup> t0.75J				
1800~<2600	4×10%		4X10 <sup>-7</sup> J				2.2X 10 <sup>-3</sup> t0.25J	5×10 <sup>-2</sup> tJ			
2600~<4000	4×10 <sup>6</sup> W		4×10 <sup>-4</sup> J	2.2×10 <sup>-2</sup> t0.25J						5000 W · m <sup>-2</sup>	
4000~10 <sup>4</sup>	5×10 <sup>7</sup> W · m²		500J · m²	2.8×10 <sup>4</sup> t0.25J · m²							
<p>a修正因子和单位, 见表9。                      发射持续时间小于10<sup>-3</sup> s的AEL, 设定为与在10<sup>-13</sup> s的AEL同等的功率或辐照度。                      紫外重复脉冲激光器不宜超过两个极限值中的任一极限。                      d波长在1250 nm~1400 nm内, AEL的上限是3B类AEL。</p>											

GB 7247.1-2024/IEC 60825-1:2014

表7 波长在400 nm~1400 nm内 3R类激光产品的可达发射极限(视网膜危害区):扩展光源<sup>a, b</sup>

波长 (λ)	发射持续时间(t)					
	10 <sup>-13</sup> ≤t<10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> ≤t<5×10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-6</sup> ≤t<1.3×10 <sup>-5</sup>	1.3×10 <sup>-5</sup> ≤t<0.25	0.25 ≤t<10	10 ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
400~(700)	1.9X10-C&J	3.8×10-C <sub>6</sub> J	t<0.25s时, 3.5×10 <sup>-3</sup> t0.75C <sub>6</sub> J t≥0.25 s时, 5.0×10-C <sub>6</sub> W		5.0×10 <sup>-3</sup> C <sub>6</sub> W	
700~(1050)	1.9×10-C <sub>7</sub> J	3.8×10-C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J	3.5×10 <sup>-3</sup> t0.75C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J			t≤T <sub>2</sub> 时, 3.5×10 <sup>-3</sup> t0.75C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 3.5×10-C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> -025 W
1050~1400	1.9×10-CC <sub>2</sub> J	3.8×10-C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J		1.8×10 <sup>-2</sup> t0.75C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J		t≤T <sub>2</sub> 时, 1.75×10 <sup>-2</sup> t <sup>a</sup> .75C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 1.75×10 <sup>-2</sup> C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> T <sub>2</sub> -025 W
<p><b>a修正因子和单位, 见表9。</b></p> <p>发射持续时间小于10<sup>-13</sup> s的AEL, 设定为与在10<sup>-13</sup> s的AEL同等的功率或辐照度。</p> <p>波长在1250 nm~1400 nm内, AEL的上限是3B类AEL。</p>						

表8 3B类激光产品的可达发射极限<sup>a</sup>

波长(λ) nm	发射持续时间(t) s		
	<10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> ≤ t < 0.25	0.25 ≤ t ≤ 3 × 10 <sup>4</sup>
180~<302.5	3.8 × 10 <sup>9</sup> W	3.8 × 10 <sup>-4</sup> J	1.5 × 10 <sup>-3</sup> W
302.5~<315	1.25 × 10 <sup>4</sup> C <sub>2</sub> W	1.25 × 10 <sup>-5</sup> C <sub>2</sub> J	5 × 10 <sup>-5</sup> C <sub>2</sub> W
315~<400	1.25 × 10 <sup>8</sup> W	0.125 J	0.5W
400~<700	3 × 10 <sup>7</sup> W	对于 t < 0.06 s, 0.03 J 对于 t ≥ 0.06 s, 0.5 W	0.5W
700~<1050	3 × 10 <sup>7</sup> C <sub>4</sub> W	对于 t < 0.06C <sub>4</sub> s, 0.03C <sub>4</sub> J 对于 t ≥ 0.06C <sub>4</sub> s, 0.5 W	0.5W
1050~<1400	1.5 × 10 <sup>8</sup> W	0.15 J	0.5W
1400~10 <sup>6</sup>	1.25 × 10 <sup>8</sup> W	0.125J	0.5W

<sup>a</sup>修正因子和单位, 见表9。

用于表3~表8的修正因子C<sub>1</sub>到C<sub>7</sub>和转效点T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>在下面的表达式中定义(见表9)。

表9 在AEL和MPE评估中使用的修正因子和转效点

参数	光谱范围 nm
$C_1 = 5.6 \times 10^3 t_0.25$	180~400
$T_1 = 100.8(a-295) \times 10^{-1} 5s$	302.5~315
$C_2 = 30$	180~302.5
$C_2 = 100.2(a-295)$	302.5~315
对于 $a \min < a \leq 100 \text{ mrad}$ , $T_2 = 10 \times 10 [(a - \text{“min”})/98.5] s$	400~1400
对于 $a \leq 1.5 \text{ mrad}$ , $T_2 = 10 \text{ s}$	400~1400
对于 $a > 100 \text{ mrad}$ , $T_2 = 100 \text{ s}$	400~1400
$C_3 = 1.0$	400~450
$C_3 = 100.02(a-450)$	450~600
$C_4 = 100.002(a-700)$	700~1050
$C_4 = 5$	1050~1400
$C_5 = 1$	180~400和1400~106
$C_5 = N-1/4a$	400~1400
$C_6 = 1$	180~400和1400~106
对于 $a \leq a \min_b$ , $C_6 = 1$	400~1400
对于 $a \min < a \leq a \max''$ , $C_6 = a / a \min$	400~1400
对于 $a > a \max_b, c$ , $C_6 = a \max / a \min$	400~1400

表 9 在 AEL 和 MPE 评估中使用的修正因子和转效点(续)

参数	光谱范围 nm
$C_7=1$	700~1150
$C_7=100.018(a-1150)$	1150~1200
$C_7=8+100.04(A-1250)$	1200~1400
$a_{\min}=1.5 \text{ mrad}$ $a_{\max}=5 \text{ mrad}$ 对于 $t < 625 \mu\text{s}$ $200t^{\circ} . 5\text{mrad}$ 对于 $625 \mu\text{s} \leq t \leq 0.25 \text{ s}$ $100 \text{ mrad}$ 对于 $t > 0.25 \text{ s}$ N是在适用的持续时间内的脉冲个数[见4.3 f)和A.3]。	
<b>注1:</b> 照射持续时间小于 $10^{-9}\text{s}$ 时,对于波长小于400 nm或大于400 nm的照射效果的认识是有限的。通过波长小于400 nm或大于1400 nm的 $10^{-9}\text{s}$ 的辐射功率或辐照量计算等效的辐射功率或辐照度,获得这些发射持续时间和波长的AELs。 <b>注2:</b> 孔径光阑见表11,限制孔径见表A.4。 <b>注3:</b> 在表3~表8的公式和注释中,波长的单位为纳米(nm),发射持续时间t的单位为秒(s),a的单位为毫弧度(mrad)。 <b>注4:</b> 在表3~表8中,对于处于单元边界的发射持续时间值(如10s),适用下限。	
$aC_5$ 仅用于脉冲宽度小于0.25s时。4.3 f)规定了确定 $C_5$ 的规则。 $hC_6$ 仅仅适用于热效应视网膜极限。 $c$ 最大极限接收角 $\gamma_{\text{th}}$ 应等于 $\alpha_{\max}$ (见4.3c)]。	

## 5.4 测量评估条件

### 5.4.1 一般要求

为确定可达发射,规定了2种测量条件。在条件1适用的波长范围内,使用光学辅助观察准直光束可能增加危害。条件3适用于肉眼观察。测量扫描激光辐射的功率和能量时,应采用条件3。

对于室内专用的激光产品,和不能合理预见到用户将使用双筒望远镜等辅助望远光学系统进行束内观察的激光产品,其分类不适用条件1。

注1:测量条件3也适用于使用低倍放大镜观察时可达发射的评估。可能使用高倍放大光学系统观察的光纤光学系统在IEC 60825-2中规定。C3 中给出了分类限制条件,在一些情况下增加附加风险评估和警告是合理的。GB 7247.1—2012中的条件2用于“放大镜条件”。

应采用最严苛的适用测量条件。如果最严苛的条件不易判断,应对每个适用条件都进行评估。对于 1M 和 2M 类激光产品,两种条件下都应进行评估。

两个评估方案规定如下:

- a) 简化(默认)方法,在相对于参考点的固定距离上进行(见表10)分类检测,参考点通常是容易识别的(见表11)。对于这种简化评估,不需要确定表观光源的对角角,因为 $C_6$  (见表9)等于1;
- b) 在400 nm~1400 nm波长范围内的视网膜危害区,对于扩展光源,参数 $C_6$ 大于1,则AEL增加,需要在光束内最严苛位置评估产品的类别(也就是,将可达发射值与相应的AEL比较)。

本方法比方法a)的评估复杂。但是，对于扩展光源，它能够准许更高的可达发射值。

注2:用于基本评估的参考点是100 mm 距离处，但是，在很多情况下最严苛位置并不在100 mm 处，而是更远。这种情况下，从距离参考点100 mm 处确定表观光源对向角而得到的AEL，要大于在最严苛位置上测量的AEL。

如果简化(默认)评估得到预期的类别，即使实际光源可能被扩展，实际因子 $C_0$ 可能大于1,并且最严苛位置不同于表10中给定的位置，也不需要按照扩展光源评估方式进行完整评估(见5.4.3)。

注3:如果光源是裸激光二极管或者光源出射良好的准直激光束，通常简化(默认)的评估是适用的，也就是，产生对扩展光源方法的等同结果，如5.4.3中的描述。

#### 5.4.2 默认(简化)评估

表10中默认的简化测量距离适用于:

- 波长范围小于400 nm 和大于1400 nm 的光源;或
- 如果因子 $C_0$ 设置等于1;或
- 时间基准值大于100s 时的光化学视网膜极限，接收测量角不被限制(即至少应与表观光源的对向角同样大小)时;
- 对于既不是光化学又不是热效应(即不依赖 $C_6$ ) 视网膜极限(例如3B类的AEL) 的其他极限。

表10中规定的距离定义为距参考点的距离，参考点列于表11。

**表10 用于默认(简化)评估的测量光阑直径和距离**

波长 nm	条件1 用于准直光束 例如望远镜或双筒望 远镜可能会增加危害		条件2 用于光纤通信系统 见IEC 60825-2	条件3 用于确定与裸眼、低倍率 扩束器和扫描光束有关的辐射	
	孔径光阑 mm	距离 mm		孔径光阑/限制孔径 mm	距离 mm
<302.5	—	—		1	0
302.5~<400	7	2000		1	100
400~<1400	50	2000	见5.4.1的注1	7	100
1400~<4000	7× 条件3	2000	见5.4.1的注1	1, $t \leq 0.35$ s 1.5t <sup>3</sup> /8, 0.35 s < t < 10 s 3.5, $t \geq 10$ s (t的单位为s)	100
4000~<10 <sup>5</sup>	—	—		1, $t \leq 0.35$ s 1.5t <sup>3</sup> /8, 0.35 s < t < 10 s 3.5, $t \geq 10$ s (t的单位为s)	0
10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup>	—	—		11	0
注:标题“条件”描述的只是典型例子,而无排他性。					
使用诸如双筒望远镜之类的望远光学系统观察时,不能合理预见束内观察的激光产品,以及室内专用的激光产品的分类不适用条件1。条件1不适用于室内专用的激光器,以及无法合理预见用双筒望远镜等望远镜进行束内观测的激光产品。					

表11 条件3的参考点

产品类型	参考点
半导体发射器(激光二极管、超荧光二极管)	发光芯片的物理位置
扫描发射(包括扫描线激光器)	扫描顶点(扫描光束的原点)
线激光器	线的焦点(扇角的顶点)
光纤输出	光纤头
全漫反射光源	漫反射表面
其他	光束束腰

在条件3下测量, 如果参考点在保护罩内(即不可接触), 与人员可接触的最近点的距离大于表10规定的测量距离, 则应在人员可接触的最近点进行测量。在条件1下, 在距离人员接触的最近点2 m之外进行测量, 不用考虑光源的位置

### 5.4.3 扩展光源的评估条件

对于在视网膜危害范围内的波长(400 nm~1400 nm), 应在最严苛位置确定分类用的可达发射和AEL:

——确定AEL 时需要考虑 $C_6$  的值大于1; 或

——为了与光化学视网膜极限相比较, 确定可达发射时需要考虑一个限制接收角。

可达发射和AEL( $C_6$ ) 在激光束内的不同位置同时确定(即两者是成对的值), 并且, 用在最严苛位置上获得的值来确定产品的类别。相当于可达发射(与AEL 相比较)和AEL 在激光束内的同一位置确定, 即在用于确定可达发射的孔径光阑处确定表观光源的对向角 $\alpha$  (当然也包括 $C_6$ )。

在条件3下测量, 测量位置到参考点的距离不能小于默认(简化)评估距离。在条件1下测量, 测量位置距离人员接触最近点不能小于2 m, 而且测量位置到小光源测量参考点的距离不能小于2m。如果光束发散角小于1.5 mrad, 表观光源对向角 $\alpha$  小于最小对向角  $\alpha_{min}$  mm, 可达发射的测量依据5.4.2规定的条件完成。孔径直径和接收角的条件如下。

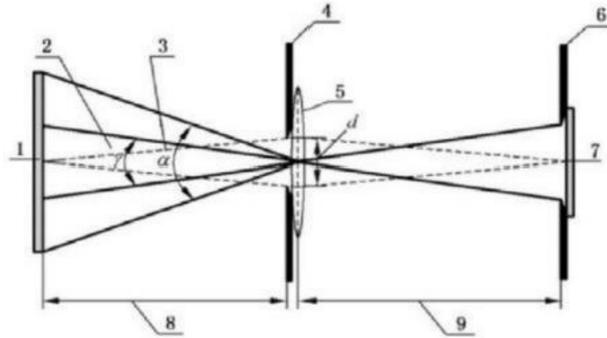
注1: 如果光源漫反射, 例如入射在一个透射式漫反射屏上, 该漫反射屏可看作是表观光源的位置, 将漫反射屏处的光斑图样作为表观光源用非均匀光斑的评估方法确定对向角[见4.3 d)]。

注2: 在更复杂的多点光源阵列或多重焦点的结构中, 适合使用更复杂的技术, 如光线追迹。

注3: 如果激光产品发射扫描光束, 根据表观光源成像的调节条件, 扫描光束在视网膜上的像能够移动, 形成移动表观光源。使用扩展光源评估方法(与简化分析不同, 简化分析时小光源被认为是固定的)对移动表观光源进行分类。4.3 d)描述了移动表观光源的评估条件, 同时, 重复脉冲的可达发射由相应的接收角确定。

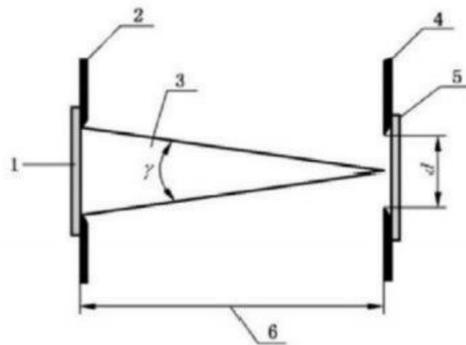
#### a) 孔径直径

在条件1和条件3下, 确定可达发射以及表观光源的对向角(两者都在激光束内最严苛位置确定)时, 应使用表10中规定的孔径直径和最小测量距离(见图1和图2)。



- 标引序号说明：
- 1——表观光源；
  - 2——接收角；
  - 3——表观光源对向角；
  - 4——圆形孔径光阑；
  - 5——透镜；
  - 6——圆形视场光阑；
  - 7——探测器有效区域；
  - 8——测量距离；
  - 9——成像距离。

图 1 通过表观光源成像到视场光阑平面来限制接收角的测量装置示意图



- 标引序号说明：
- 1——光源；
  - 2——圆形视场光阑；
  - 3——接收角；
  - 4——圆形孔径光阑；
  - 5——探测器有效区域；
  - 6——测量距离。

注：该装置适用于表观光源可触及的情况。

图 2 通过在表观光源附近放置圆形孔径或遮光板（作为视场光阑）来限制接收角的测量装置示意图

b) 接收角

接收角由接收视场光阑的直径相对于透镜中心点的张角确定，见图1(对小接收角)，或由接收视场光阑的直径与光源到探测器的距离的比值确定（图2）。由透镜带来的损耗要计算在内。

在条件3下确定可达发射水平的接收角时，应符合下列1)和2)的规定。在条件1下，接收角等于1)和2)中给定的值除以7。

1) 光化学视网膜极限

按照光化学极限(400 nm~600 nm)评估光源时，限制接收角  $\gamma_{ph}$  由表12给出。

表12 限制接收角  $\gamma_{ph}$

发射持续时间 S	条件1的 $\gamma_{ph}$ mrad	条件3的 $\gamma_{ph}$ mrad
$10 < t \leq 100$	1.6	11
$100 < t \leq 10^4$	$0.16 \times t^{0.5}$	$1.1 \times t^{0.5}$
$10^4 < t \leq 3 \times 10^4$	16	110

如果光源的对向角  $\alpha$  大于规定的极限接收角  $\gamma_{ph}$ , 接收角不宜大于  $\gamma_{ph}$  的规定值。如果光源的对向角  $\alpha$  小于规定的极限接收角  $\gamma_{ph}$ , 接收角应完全包围该光源，但不必精确定义(即接收角不必限制为  $\gamma_{ph}$ )。

注4:当  $\alpha$  小于  $\gamma_{ph}$  时，单一光源的测量不需要使用特别精确定义的接收角。为了获得精确定义的接收角，可以将光源成像到视场光阑上，或者将视场光阑放置在接近表观光源的位置，分别见图1和图2。

2) 其他的视网膜极限

为了测量辐射量，与光化学极限之外的视网膜极限进行比较，接收角应包含完整光源(即接收角至少应等于光源的对向角  $\alpha$ )。然而，如果  $\alpha > \alpha_{max}$  限制接收角就是  $\alpha_{max}$ 。在400 nm~1400 nm 波长范围内，如果表观光源的像具有不规则辐照量(或辐照度)分布，例如，由多个点光源组成的表观光源，接收角应在  $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$  范围内变化[见4.3 d)]。

6 工程防护要求

6.1 一般要求和变更

根据制造厂商确定的安全类别，在激光产品内部需采取一定的安全措施。6.2~6.13给出了这些要求。制造厂商应确保那些负责激光产品和激光系统分类的人员接受相应水平的培训，从而使他们充分理解分类方案的内容。

如果由于变更原已分类的激光产品而影响本文件范围内激光产品某方面性能或预设功能，则进行这种变更的人员或机构应负责确保对激光产品重新分类、标记。

注：术语“变更”仅限于改变类别或与本文件符合的改动。

6.2 防护罩

6.2.1 一般要求

每个激光产品应装有防护罩以防止人员接触超过1类AEL 的激光辐射(包括偏移激光辐射)，除非因执行产品的功能时需要人员接触激光辐射。

激光产品的分类是以防止人员接触相当于4类的能量水平(例如激光加工机)为基础，在不需要人员干预的情况下，防护罩应能承受在可合理预见的单一故障条件下(见5.1)的激光照射。如果防护罩的设计尺寸准许人员进入，则见6.13。

1类、1C类、1M类、2类、2M类或3R类激光产品的维护不准许人员接触到3B类或4类的激光辐射。3B类激光产品的维护不准许人员接触到4类的激光辐射。

### 6.2.2 检修

检修时，移开或拆除激光产品(包括嵌入式激光产品)防护罩或防护围封的任意部分，会使人员接触到超过指定AEL的激光辐射，而防护罩或防护围封又未被联锁(见6.3)，则该部分应使用这样一种方式紧固，即需要使用工具才能移开或拆除这些部分。

### 6.2.3 可分离激光系统

如果激光系统可移出防护罩或防护围封，并且只需接入供电电源或连接电池就能工作，则该激光系统应符合第6章和第7章与其安全类别相适应的制造要求。

## 6.3 挡板和安​​全联锁

### 6.3.1 当下列情况均满足时，应为防护罩的挡板提供安全联锁：

- a) 在维护或工作期间规定要移开或拆除挡板；并且
- b) 移开挡板可使人员接触到表13中有“X”标记类别的激光辐射水平。

表13中标有(X)的表示适宜用安全联锁。

**表13 安全联锁的要求**

产品类别	如果没有联锁或者解除了联锁，拆除挡板时或者移开挡板后的可达发射				
	1, 1M	2, 2M	3R	3B	4
1、1M、1C	-	-	×	×	×
2、2M	-	-	×	×	×
3R	-	-	-	×	×
3B	-	-	-	×	×
4	-	-	-	×	×

拆卸或打开1类、1C类、1M类、2类或2M类激光产品安全联锁的挡板时，不应产生超过1M类或2M类相应波长激光产品的可达发射极限的激光辐射，除非安全联锁在挡板打开后失效。拆卸或打开3R类、3B类或4类激光产品安全联锁的挡板时，除非安全联锁在挡板打开后失效，否则通过开孔的激光辐射不应超过3R类激光产品的可达发射极限。安全联锁失效时打开挡板，有可能产生更高功率或能量的激光辐射。

注：在维护时，可能产生超过该类别的可达发射极限的激光辐射，会影响产品的类别(见6.2.1)。为此在操作过程中，要注意超出产品等级AEL的辐射会导致产品等级升高。

要求安全联锁时，在挡板移开的情况下，安全联锁应防止人员接触到表13中X所指定的辐射水平。联锁意外复位时，它本身应不会使发射值恢复到表13中适用的AEL之上。联锁应符合可适用的IEC产品安全标准(见第1章)的要求。

### 5.1中关于可合理预见单一故障条件的要求也适用安全联锁。

### 6.3.2 优先控制装置

制造商如果为用户提供预设的优先控制(也称为超驰控制)装置，则应同时提供有关安全工作方法的详细说明书。挡板恢复原位时，优先控制不应继续起作用。如果选择优先控制模式自动隔离激光

束，并且防止设备重启，可以不作这样的要求。这种情况同时要求一个可锁定模式选择器，并且要求有手动优先控制激光束。

宜采用锁定继电器触点或其他技术设计联锁电路，这样即使在优先控制模式下，如果打开的门关闭，也可以自动恢复到正常的联锁工作状态（移除挡板或门导致的潜在“伪安全”的假象）。

联锁装置应具有符合7.10.2的明显标记。只要激光器受到激发或电容器组放电不充分，无论挡板是否被移开或拆除，采用优先控制时都应给出明显的可视或可闻的警告。可视警告透过专门设计的或针对可接触激光辐射波长的防护眼镜后应清晰可见。

#### 6.4 遥控联锁连接器

每个3B类和4类激光系统应装有遥控联锁连接器。当连接器的终端开路时，可达辐射不应超过可适用的1M类或2M类的AEL。对于手动控制、电池供电的3B类激光系统不需要。

注：制造厂商可采用第二个联锁连接器，启动发射时该连接器不需要动作，但是并不要求一台产品有两个连接器。

#### 6.5 人工复位

每个4类激光系统应安装人工复位装置，以使由于使用遥控联锁连接器或电器的主电源中断超过5s引起发射中断后，通过人工复位能恢复4类激光辐射的可达发射。

#### 6.6 钥匙控制器

每个3B类和4类激光系统应安装一个用钥匙操作的总开关。钥匙应是可取下的，而且当取下钥匙时激光辐射不应是可接触的。

注：在本文件中，“钥匙”一词包括任何其他管理控制装置，如磁卡、密码系统和计算机密码等。

#### 6.7 激光辐射发射警告

6.7.1 波长在400 nm以下和700 nm以上的每个3R类激光系统以及1C类、3B类和4类激光系统应符合6.7.2~6.7.5的要求。

6.7.2 每个激光系统在接通电源时，或脉冲激光器的电容器组正在充电时或确实尚未放电时，应配有可视或可闻的信号警告装置。警告装置应有失效保护或冗余设计。任何一种可视警告装置，即便通过为某波长（或波段）激光辐射专门设计的防护眼镜后，该信号也应清晰可见的。可视警告装置的安装位置应使观察者观察时不会受到超过1M类和2M类AEL值激光辐射的照射。

6.7.3 每个与辐射警告装置相隔2 m或更远的操作控制器和激光窗口本身应配备辐射警告装置。对于在操作控制器或激光窗口附近的人员，应清楚看到警告装置或听到警告声音。

注：对于窗口与控制器紧靠在一起的手持式激光产品，可以安装一个常“关”，瞬时“开”的控制器，以实现有清晰触觉的发射指示，来满足对发射指示器的要求。

6.7.4 如果激光辐射有可能从不只一个输出窗口发射出去，则可视警告装置应按照6.7.2清楚地指明输出窗口或激光辐射可能通过的窗口。

6.7.5 对于3R类手持激光设备，可以使用需要持续按住以允许发射激光辐射的瞬时型开关，来代替发射激光辐射指示器。

#### 6.8 光束终止器或衰减器

每一3B类和4类激光系统应带有一个或多个永久性的附加衰减装置（光束终止器、衰减器、电子控制或开关）。光束终止器或衰减器应防止人员接触超过可适用的1M类或2M类的AEL的激光辐射。

## 6.9 控制器

每一激光产品应装有控制装置，确保在调整和使用时，不会受到等于3R类、3B类及4类的激光辐射的照射。

## 6.10 光学观察器

激光产品上的任何光学观察器、观察孔或显示屏应提供充分的衰减以防人员接触超过1M类 AEL 的激光辐射。对于这些光学观察器、观察孔或显示屏上的任一光闸或可变衰减器，应提供某种手段使得：

- a) 当光闸打开或衰减量变化时，防止人员接触到超过1M类 AEL 的激光辐射；
- b) 当有可能受到超过1M类 AEL 的激光辐射照射时，防止打开光闸或改变衰减器的衰减量。

## 6.11 扫描安全装置

预设发射扫描辐射并按其分类的激光产品，在扫描失效或扫描速率与幅度发生变化时，不应使人员接触到超过所定类别的AEL 激光辐射，除非在故障和扫描安全装置将发射减少到低于产品AEL（见5.1）的间隔期间，在可合理预见的情况下人员不会受到激光照射。

## 6.12 1C类激光产品的安全防护

除了设计要求照射目标生物组织之外，1C类激光产品不准许人员接触超过的可达发射极限，

- a) 条件3下测量的1类激光产品的可达发射极限，并且
- b) 发射器横向移动时，距离发射器5 mm，用3.5 mm 孔径测量的3B类激光产品的可达发射极限。

以上适用于不接触目标生物组织后的光辐射持续发射期间，参见IEC 61508 中有安全装置的性能要求和可靠性指南，在这里不必要详细分析。

## 6.13 “进入”通道

如果防护罩安装了能够提供“进入”通道的挡板，则：

- a) 应采取措施使任何进入防护罩内的人员都能避免启动相当于3B类和4类的激光辐射的照射；
- b) 应安装警告装置，对处于防护罩中的人员给予足够警告，当心波长小于400 nm 或波长大于700 nm 范围内相当于3R类的激光辐射，或相当于3B类或4类的激光辐射；
- c) 若工作期间“进入”通道是预设的或可合理预见的，人员出现在1类、2类或3R类产品的封围中时，应使用工程方法预防相当于3B类或4类的激光辐射的发生。

注：防止人员在防护罩内接触激光辐射的方法包括压感地垫、红外探测器，等等。

## 6.14 环境条件

在适合于产品目标用途的所有预期工作条件下，激光产品应符合本文件规定的安全要求。应涉及的因素包括：

- 气候条件(例如：温度、相对湿度)；
- 振动和冲击。

如果专用产品的安全标准中无规定，应符合IEC 61010-1的相应规定。

注：有关电磁兼容性的要求正在考虑中。

## 6.15 其他危害防护

### 6.15.1 非光危害

在工作过程中和下述单一故障条件下，应符合相应产品安全标准的要求：

- 电气危害；
- 温度过高或过低；
- 设备中火焰的蔓延；
- 声音和超声波；
- 有害物质；
- 爆炸。

如果专用产品的安全标准中无规定，应符合IEC 61010-1的相应规定。

注：许多国家制定了控制有害物质的法规。

### 6.15.2 伴随辐射

激光产品的防护罩正常情况下能够防护伴随辐射(例如：紫外、可见、红外)的危害。然而，如果存在可接触的伴随辐射是危险的情况，则可用激光的最大允许照射量对这一危险进行保守的评估。

## 6.16 功率限制电路

如果使用功率控制电路来限制产生激光辐射装置的电功率，以使得设备运行中不会产生高于规定类别激光产品的可达发射极限，功率控制电路也应将其在可合理预见单一故障条件下，限制发射水平包括设备的温度相关性。

注：这通常适用于半导体二极管激光器，其峰值电流可能产生超过AEL的激光辐射。为确保良好的光谱特性，二极管激光器的推荐工作参数(如电流和温度)通常远低于增益饱和。因此，在超出推荐工作参数条件下运行可能提高激光辐射的水平。

## 7 标记

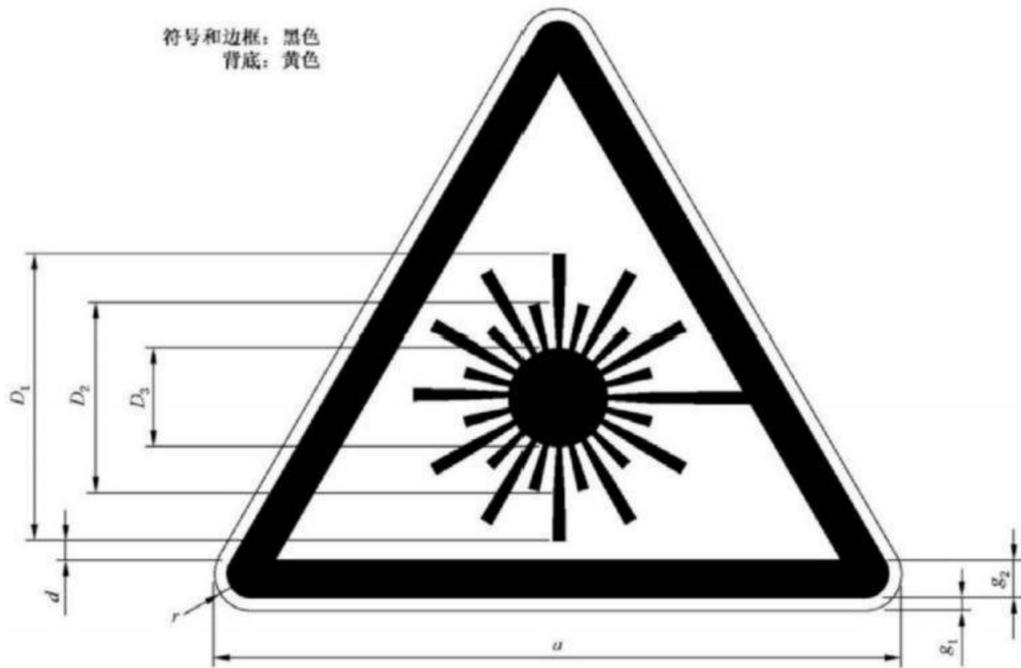
### 7.1 一般要求

每台激光产品根据下列各条要求带有标记。在激光产品的使用、维护或检修期间，标记按其目的应耐用、牢固，易读且清晰可见。标记应放置在人员不受到超过1类AE的激光辐射照射就能看到的位置。标记的边框及符号应为黑色，背底为黄色。但1类激光产品的标记不必用此颜色组合。

第7章的说明标记用语是推荐的而不是强制的。可以用表达同样意思的其他用语替代(包括本文件早期版本中的警告标记)。附录C提供了关于激光产品分类、限定条件的附加信息。

如果激光产品的尺寸或设计不可能使产品上有标记，则标记应附在使用说明书中或包装箱上。

直接印制或雕刻在激光产品或嵌板上的标记是可行的。



单位为毫米

a	g1	g2	r	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	d
25	0.5	1.5	1.25	10.5	7	3.5	3.5
50	1	3	2.5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7.5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

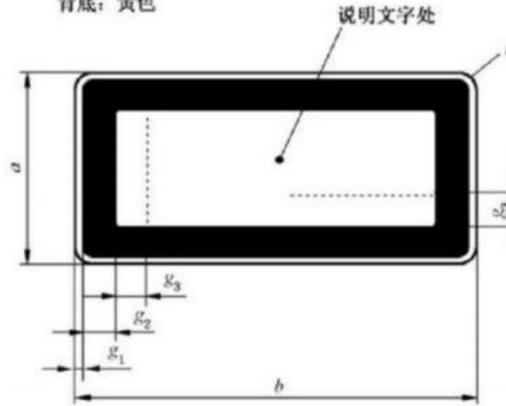
直径D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、g1和d的尺寸是推荐值。

注1: 能够识别标记的最大距离L 与标记的最小面积A 的关系为:  $A=L^2/2000$ , 其中A 和L 的单位分别用m<sup>2</sup> 和m 表示。这个公式适用于距离L 小于50 m 的场合。

注2: 这些尺寸都是推荐值。只要与这些推荐值成比例, 符号和边界清晰易读, 其大小可以是适应激光产品尺寸的任何值。

图 3 警告标记-危险符号

说明文字和边框：黑色  
背底：黄色



单位为毫米

a×b	g1	g2	g3	r	文字的最小高度
26×52	1	4	4	2	文字的大小应保证使其清晰易读。
52×105	1.6	5	5	3.2	
84×148	2	6	7.5	4	
100×250	2.5	8	12.5	5	
140×200	2.5	10	10	5	
140×250	2.5	10	12.5	5	
140×400	3	10	20	6	
200×250	3	12	12.5	6	
200×400	3	12	20	6	
250×400	4	15	25	8	

g1的尺寸是推荐值。

注1：标记的最大距离L与标记的最小面积A之间的关系为： $A=L^2/2000$ 。A和L分别用 $m^2$ 和m表示。这个公式适用于L小于50m的情况。

注2：这些尺寸都是推荐值。只要标记能包含要求的文字和边缘，可以是任何需要的尺寸。g2和g3的尺寸是标记短边长的0.06倍。

图4 说明标记

7.2 1类和1M类

除了第1章中允许的情况外，每台1类激光产品应具有说明标记(图4)，注明：

1类激光产品

或者用图5所示的标记替代。

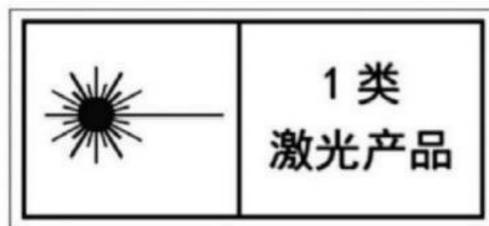


图5 1类激光产品的替代标记

每台 1M 类激光产品应具有说明标记(图4),注明:

激光辐射  
勿使用望远光学仪器直接观看  
1M 类激光产品

或者用图6所示的标记替代。



图 6 1M 类激光产品的替代标记

或者由制造商自行决定,在提供给用户的资料中给出同样的描述,而不在产品标记。

### 7.3 1C 类

每台 1C 类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4),注明:

激光辐射  
按照使用说明书  
1C 类激光产品

或者用图7所示的标记替代。

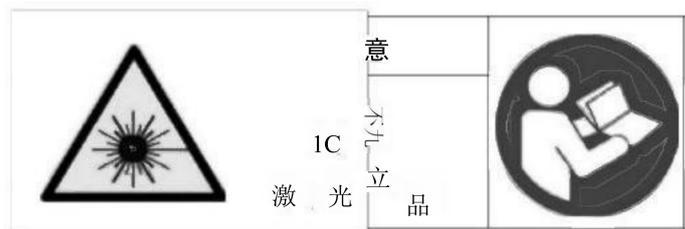


图 7 1C 类激光产品的替代标记

### 7.4 2 类和 2M 类

每台 2 类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4),注明:

激光辐射  
勿凝视光束  
2 类激光产品

或者用图8所示的标记替代。

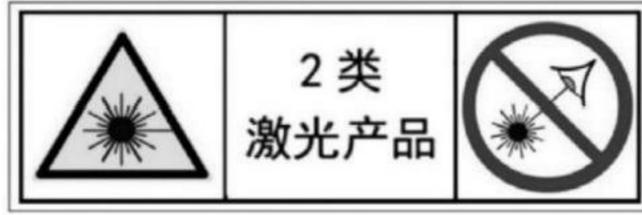


图 8 2类激光产品的替代标记

每台 2M 类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4), 注明:

激光辐射

勿凝视或通过望远光学仪器直接观看光束

2M 类激光产品

或者用图9所示的标记替代。

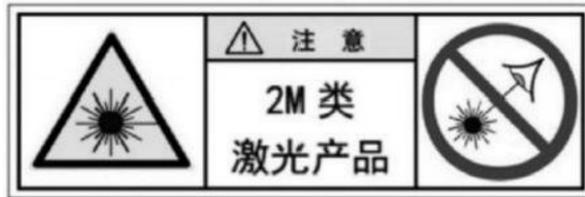


图 9 2M 类激光产品的替代标记

注: 上述标记指导用户不要凝视光束, 即通过移动头部或者 闭眼 的主动性保护反应, 避免持续有意的光束内视。详细信息见附录C。

### 7.5 3R 类

每台 3R 类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4), 注明:

激光辐射

避免眼睛受到直接照射

3R 类激光产品

注: 标记的第二行也可采用“避免光束照射”。

或者用图10所示的标记替代。



图10 3R 类激光产品的替代标记

### 7.6 3B 类

每台 3B 类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4), 注明:

警告—激光辐射

避免光束照射  
3B 类激光产品

或者用图11所示的标记替代。

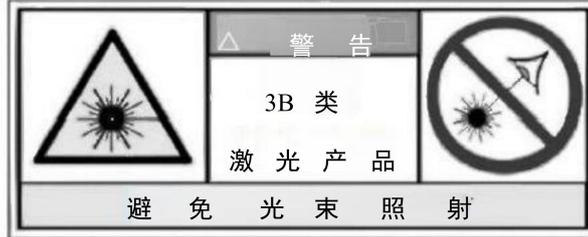


图 1 1 3B 类激光产品的替代标记

### 7.74 类

每台4类激光产品应具有警告标记(图3)和说明标记(图4), 注明:

危险—激光辐射

避免眼睛或皮肤受到直射或散射辐射的照射

4类激光产品

或者用图12所示的标记替代。



图 1 2 4类激光产品的替代标记

### 7.8 窗口标记

每台 3R 类、3B 类及 4 类激光产品在发射超过 1 类或 2 类 AEL 激光辐射的每一窗口处应具有标记, 标记应注明:

激光窗口

或

激光辐射窗口

或

避免受到从本窗口发出的激光辐射的照射

或者用图13所示的标记替代。

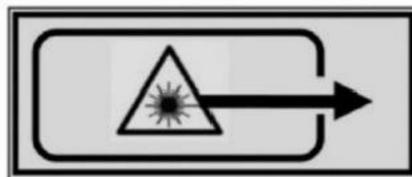


图 1 3 激光窗口的替代标记

## 7.9 辐射输出和标准说明

应在说明标记、7.2~7.7所示的标记或者邻近这些标记的其他位置上，注明划分激光产品类别所依据的标准名称及其出版日期。除了1类激光产品，每台激光产品应在说明标记(图4)上或在7.2~7.7所示的标记上注明激光辐射最大输出(见3.58)、脉冲宽度(如果适用)及发射波长。对于1类和1M类产品，可以不在产品上的标记上注明，可将信息包含在提供给用户的资料中。

如果7.9中的信息融入7.2~7.7所示的标记中，则可包含在激光产品类别标记中，或者在激光产品类别标记以下的单独标牌中，或者包含在激光产品类别标记以下的描述性文字中，依据标记的尺寸而定。

## 7.10 挡板标记

### 7.10.1 出光孔挡板标记

如果防护罩的每个接头、挡板一旦被移开或拆除，就会使人员接触到超过1类AEL的激光辐射，那么这些部分应具有标记(对于嵌入式1M类激光器，这些说明可以包含在提供给用户的资料中)，注明以下内容。

a)

**注意——打开时有1M类激光辐射  
勿通过光学仪器直接观看光束**

当可接触辐射不超过1M类AEL时，则根据5.3 a)和5.4测量辐射水平。

b)

**注意——打开时有2类激光辐射  
勿凝视光束**

当可接触辐射不超过2类的AEL时，则根据5.3 c)和5.4测量辐射水平。

c)

**注意——打开时有2M类激光辐射  
勿凝视或通过望远镜直视光束**

当可接触辐射不超过2M类的AEL时，则根据5.3 c)和5.4测量辐射水平。

d)

**注意——打开时有3R类激光辐射  
避免眼睛受到直接照射**

当可接触辐射不超过3R类AEL时，标记的第二行也可采用“避免光束照射”说明。

e)

当可接触辐射不超过3B类AEL时，则用以下标记：

**警告——打开时有3B类激光辐射  
避免光束照射**

f)

当可接触辐射超过3B类AEL时，则用以下标记：

**危险——打开时有4类激光辐射  
避免眼睛或皮肤受到直射或散射辐射的照射**

这些信息可在产品上用多个相邻标记标示。

### 7.10.2 安全联锁挡板标记

在联锁功能失效或被取消后，可能使人员接触超过1类AEL激光辐射的每一安全联锁应有明显的

相应标记。这些标记应紧邻移开防护罩形成的开口处，在联锁取消联锁功能前及取消功能期间都可以看到。该标记应注明7.10.1的a)~f) 规定的相应文字，在第一行之下增加一行，注明：

#### 联锁失效

#### 7.11 不可见激光辐射警告

许多情况下，第7章中标记的用语包括短语“激光辐射”。如果输出的激光波长在400 nm~700 nm以外，该短语应改为“不可见激光辐射”；如果输出波长一部分在此波长范围以内，另一部分在此范围以外，则应改为“可见和不可见激光辐射”。

如果根据可见激光辐射水平进行产品分类，并且在不可见波长激光辐射超过1类AEL，标记应以文字“可见和不可见激光辐射”替代“激光辐射”。

#### 7.12 可见光激光辐射警告

如果激光产品的输出波长在400 nm~700 nm (可见光)内，则第7章中标记中的“激光辐射”可以改为“可见激光”。

#### 7.13 皮肤或眼睛前部区域存在潜在危害的警告

对于1类、IM类、2类、2M类或3R类激光产品，如果在人员接触最近点采用3.5 mm孔径测量得到的可达发射超过3B类激光产品的可达发射极限，应在激光产品标记和给用户的信息中给出另外的警告(1类和1M类激光产品参见5.3 a), 2类和2M类激光产品参见5.3 c], 3R类激光产品参见5.3 d])。

在产品防护罩上和给用户的资料中应给出如下警告。文字边框及符号为黑色，背底为黄色，包括1类激光产品。

#### 激光(辐射)能量—接触窗口附近可能引起烧伤

注：只有高度发散光束在接近窗口附近存在损伤皮肤的风险。

是否设置1类和1M类激光产品的说明标记是可选择的(见7.2)，但上述警告是必不可少的。

### 8 其他资料性要求

#### 8.1 向用户提供的资料

激光产品制造商在提供激光产品时，应提供(或负责提供)包括所有相关安全信息的使用说明书或操作手册。制造商有责任提供下列安全信息，并确定相关的其他安全信息予以提供。

注1:信息是否相关取决于特定产品，包括它的预期应用，还要服从国家法律。

适用时，应提供以下信息。

- a) 正确装配、维护及安全使用的详细说明，包括为了避免可能受到有害激光辐射照射，采用明显的警告和适用的分类限制条件的说明(类别说明和可能的限制条件见附录C)。
- b) IM类和2M类产品的其他警告。警告应说明使用望远光学仪器(例如：望远镜和双筒望远镜)观察激光输出可能造成眼睛危害，因此用户要避免将激光束指向使用这类光学仪器的区域。
- c) 对于高于1类AEL的激光辐射，在执行操作和维护程序时，从防护罩发射出的任何辐射形式都要加以说明，适用时，应包括以相应单位给出的以下参数的数值：
  - 波长；
  - 光束发散角(束散角)；
  - 脉冲宽度和重复频率(或不规则脉冲形式的说明)；
  - 最大输出功率或能量。

在适当的情况下，这些值应包括累积测量不确定度和几个测量值，在出厂后任何时间段的所有的可预见增加量。不必规定由于自锁模引起的脉冲持续时间，但应说明激光产品产生自锁模的相关条件。对于超短脉冲，应规定辐射带宽(即发射辐射的波长范围)。

- d) 对于嵌入式激光产品和其他组合式激光产品，描述组合式激光产品的信息[见c)项]。这些信息也应包括相应的安全指南，以避免用户意外受到有害激光辐射的照射。这与1类、1M类、2类或2M类嵌入式激光产品特别有关，在维护期间光束内视可达发射水平可能超过相应类别的AEL。在这种情况下，制造商应提供防止激光光束内视的警告。
- e) 在适用时，给出3B类和4类激光产品适用的MPE(见附录A)和NOHD。因为光路中的光束传输系统和光学元件对NOHD的影响很大，所以建议对于不同的附件或光束传输系统给出不同的NOHD值。如果光束发散角是可变的，选择几种发散角，给出相应的NOHD。当说明MPE和NOHD时，同时应说明确定这些值时假定的照射持续时间。对于准直光束的1M类和2M类激光产品，在适用和相关的地方，应说明扩展NOHD(ENOH D)。

注2:对于在室内使用的准直光束，通常不要求特别说明ENOH D的信息。在这种情况下，通常只给出超过MPE范围的说明。

- f) 在防护眼镜上的适当位置，提供用于选择护眼设备的信息。其中应包括要求的入射到眼保护设备表面的光密度、波长范围以及辐照度或辐照量，以便确定防护等级。
- 注3:很多国家有关于个人防护设备的法规和标准。
- g) 所有要求的标记和危害警告。这些标记和危害警告应字迹清楚，使用第7章规定的字体和适用的颜色，可以贴在激光产品上或连同激光产品一道提供给用户。应标明每个标记在激光产品的位置；如果这些标记不能贴在激光产品上，则应说明已随激光产品一道提供给用户，并说明供给这些标记的形式和方法。如果激光产品使用了7.2~7.8的图形标记，其相应的解释说明和图形标记的复制品应包含在使用手册中。
- h) 在操作手册中清楚标明所有激光窗口的位置，通过这些窗口发射的激光辐射超过1类AEL。
- i) 控制、调整及使用和维护程序一览表，包括警告“注意：若不按此规定使用控制或调整装置、或执行各步操作，就可能引起有害的辐射照射”(可选择具有相同意义的适用警告)。
- j) 对于那些不带激光能源的激光产品，为了确保安全应说明对激光能源的兼容性要求。
- k) 1类、1M类、2类、2M类和3R类激光产品可能还需要其他警告(见5.3 a),5.3 c)和5.3 d))。应提供这些警告，确保用户能意识到危害，例如：皮肤或角膜灼伤的风险。
- l) 专用标准中规定提供给1C类激光产品的用户信息有明确的要求，适用的相关信息包括：
  - 警告应明确说明，如果不按照用户指南操作，激光产品输出的光辐射可能会造成伤害；
  - 应警告用户，不能将激光产品使用在不安全的皮肤区域，例如眼皮(脸)；和
  - 还应警告用户注意激光产品的使用频率，重复使用时可能产生风险。

## 8.2 销售和维修信息

激光产品制造商应提供或者确保提供下列信息：

- a) 应在所有的目录、技术规格书和产品手册中说明每个激光产品的类别和警告，适当时应包括8.1 b)和8.1 k)的规定；
- b) 对维修人员、销售商及其他需要者，应提供详细说明书，说明如何维修每个激光产品模块的维修调节方法和维修步骤，其中包括：
  - 清楚描述避免受到超过1类的激光辐射照射和其他危害的注意事项和警告；
  - 保持产品正常的维护计划；
  - 由制造商或其代理商以外的人操作，可能提高可达发射水平的一系列控制措施和步骤；
  - 清楚说明防护罩可拆卸部分的位置，拆卸后可能接触超过表3~表8规定的可达发射

- 极限；  
 ——维修人员的防护措施；以及  
 ——字迹清楚的标记和危害警告的复制件。

## 9 专用激光产品的其他要求

### 9.1 IEC 60825 系列标准的其他部分

对于专用激光产品，以下IEC 60825 系列标准的一部分或多部分可能适用(参见标准所附参考文献)：

- IEC 60825-2 Safety of laser products—Part 2:Safety of optical fibre communication systems(OFCs)(provides application notes and examples);
- IEC60825-4 Safety of laser products—Part 4:Laser guards(provides design and construction information for laser guards and materials especially where high power lasers are used);
- IEC 60825-12 Safety of laser products—Part 12:Safety of free space optical communication systems used for transmission of information.

更多信息可从以下资料得到：

- IEC/TR 60825-3 Safety of laser products—Part 3:Guidance for laser displays and shows;
- IEC/TR 60825-5 Safety of laser products—Part 5:Manufacturer's checklist for IEC 60825-1(suitable for use in a safety report);
- IEC/TR 60825-8 Safety of laser products—Part 8:Guidelines for the safe use of laser beams on humans;
- IEC/TR 60825-9 Safety of laser products—Part 9:Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation(broadband sources);
- IEC/TR 60825-13 Safety of laser products—Part 13:Measurements for classification of laser products;
- IEC/TR 60825-14 Safety of laser products—Part 14:A user's guide;
- IEC62471(CIE S009)Photobiological safety of lamps and lamp systems.

### 9.2 医用激光产品

每台医用激光产品应符合相应类别激光产品的所有使用要求。除本文件的要求外，任何3B 类及4类医用激光产品应符合IEC 60601-2-22的要求。

### 9.3 激光加工机

激光加工机应符合相应类别激光产品的所有适用要求。除本文件的要求外，激光加工机械应符合ISO/IEC 11553 系列标准的要求。

### 9.4 电动玩具

作为电动玩具的激光产品应符合相应类别激光产品的所有适用要求。除本文件的要求外，电动玩具应符合IEC 62115的要求。

### 9.5 消费电子产品

作为消费电子产品的激光产品应符合相应类别激光产品的所有适用要求。除本文件的要求外，消费电子产品应符合IEC 60950-1(IT设备)或IEC 60065(AV设备)。

**附 录 A**  
**(资料性)**  
**最大允许照射量**

**A.1 概述**

可达发射极限(AELs) 通常是由最大允许照射量(MPEs) 得到。本附录中的MPEs 有助于制造商根据产品预期用途评价产品的安全性(比如确定NOHD)。

注: 简化计算可能会大大低估NOHD。例如, 当激光窗口小于瑞利长度时, 当束腰在外部时, 或当假设光束轮廓是高斯光束分布而低估了通过窗口的功率时。在这些情况下, 通常通过测量来确定NOHD 更有利。

本文件中包含的最大允许照射量采用国际非电离辐射防护委员会发布的照射极限值。最大允许照射量(MPE) 的值低于已知的危害水平, 并且以实验研究中获得的最佳可用的资料为基础。MPE 只宜作为控制照射量的指导, 用于产品安全设计和为用户提供信息的基础, 而不宜作为确定安全与危害水平之间的严格分界线。在任何情况下, 对激光辐射的照射量宜尽可能低。

本资料性附录中描述的最大允许照射量(MPEs) 是资料性的, 不宜被理解为在工作场所的人员或普通大众受激光照射具备法律意义的限值。许多国家的法律中规定了对工作环境中的雇员和普通民众受激光辐射照射眼睛和皮肤的安全限值。这种照射限值可能与本附录中的最大允许照射量不同。

有叠加效应的光谱区在表1的矩形表格中列出, 其中符号(O)表示对眼睛照射, 符号(S) 表示对皮肤照射。当具有叠加效应时, 几个不同波长的照射应看作根据表A.1、表 A.2、表 A.3、表 A.4 和表A.5 给出的MPEs 值按光谱效应成比例叠加的效果。当辐射的波长没有叠加效应时, 应单独评估其危害性。

表A.1 C=1 时，以辐照度或辐照量表示的在角膜上的最大允许照射量(MPE)a,b

波长(λ)	照射时间(t) s									
	10-13 ≤t<10-11	10-11 ≤t<10-9	10-9 ≤t<10-7	10-7 ≤t<5×10-6	5×10-6 ≤t<13×10-6	13×10-6 ≤t<1×10-3	1×10-3 ≤t<10	10 ≤t<10	10 ≤t≤3×10 <sup>4</sup>	
180~<302.5	30J · m <sup>2</sup>									
302.5~(315	3×10 <sup>4</sup> W · m <sup>2</sup>						t≤T <sub>1</sub> 时, (热危害) C <sub>1</sub> J · m <sup>-2</sup>		G <sub>I</sub> · m <sup>2</sup>	
315~<400							t>T <sub>1</sub> 时, (光化学危害) d C <sub>2</sub> J · m <sup>-2</sup>		10*J · m <sup>2</sup>	
400~<450	CJ · s <sup>2</sup>									
450~<500	1×10 <sup>-1</sup> J · m	2×10 <sup>-1</sup> J · m <sup>-2</sup>			18t0.75J · m <sup>-2</sup>			100J · m <sup>2</sup>	G <sub>3</sub> W · m <sup>2</sup>	
500~<700								100 C <sub>4</sub> I · m <sup>2</sup> 和 “10W · m <sup>-2</sup>		
700~<1050	1×10 <sup>-1</sup> J · m <sup>-2</sup>	2×10 <sup>-3</sup> CJ · m <sup>2</sup>			18t0.75CJ · m <sup>2</sup>			10W		
1050~<1400e	×10 <sup>-6</sup> J · m <sup>-2</sup>	2×10 <sup>-2</sup> CJ · m <sup>2</sup>			90t <sup>2</sup> . 75GJ · m <sup>-2</sup>			10C <sub>4</sub> C <sub>3</sub> W · m <sup>2</sup>		
1400~<1500	10 <sup>2</sup> 2W · m		10 <sup>2</sup> J · m <sup>2</sup>			5600t0.25J · m <sup>2</sup>			1000W · s <sup>2</sup>	
1500~<1800	1013W · m <sup>-2</sup>		10J · s <sup>2</sup>							
1800~<2600	10 <sup>2</sup> 2W · m <sup>2</sup>		10 <sup>2</sup> J · m <sup>2</sup>			5600t0.25J · m <sup>2</sup>				
2600~10 <sup>4</sup>	10 <sup>1</sup> W · m <sup>2</sup>		100 J · m <sup>-2</sup>		5600t0.25J · m <sup>2</sup>					
<p>修正因子和单位, 见表9;与MPE值相比较的照射水平应为在相应孔径(表A.6)内的平均值。</p> <p>如果照射持续时间小于10<sup>-9</sup>s, 而且波长小于400 nm和大于1400 nm时, 可由使用于10<sup>-9</sup>s的辐照量极限值计算等效的辐照度获得MPEs。如果照射持续时间小于10<sup>-13</sup> s, MPEs设定为与在10<sup>-3</sup> s的MPE同等的辐照度。</p> <p>c波长在450 nm~500 nm内, 采用双重限值且照射量应不超过任一适用限值。</p> <p>d紫外重复脉冲激光器宜不超过任一极限。</p> <p>e波长在1250 nm~1400 nm内, 本表中给出的保护视网膜的限值可能无法充分保护眼球前端的生物组织(角膜、虹膜), 需要谨慎对待。如果照射量不超过皮肤的MPE值, 则不需要担心眼球前端的生物组织。</p>										

表 A.2 波长在 400 nm-1400 nm 范围（视网膜危害区）内，以辐照度或辐照量表示的扩展光源在角膜上的最大允许照射量d

波长 A	照射时间t s						
	10-13 ≤t<10-11	10-11 ≤t<5×10-6	5×10-6 ≤t<1.3×10-5	1.3×10-5 ≤t<10	10 ≤t<10	10 <sup>2</sup> ≤t<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
400~<700	1×10 <sup>-7</sup> CJ·m <sup>-2</sup>	2×10-CJ·m <sup>-2</sup>	18t0.75C <sub>6</sub> J·m <sup>-2</sup>	400 nm~600 nm-视网膜光化学危害a			
				100C <sub>6</sub> J·m <sup>2</sup> 用γ <sub>ph</sub> =11 mrad	ICI·m <sup>2</sup> 用Y <sub>ph</sub> =1.1t°.5mrad	GW· 用γ <sub>ph</sub> =110mrad	
				和b			
				400 nm~700 nm-视网膜热危害			
700~<1050	1×10-C <sub>6</sub> J·m <sup>-2</sup>	2×10-C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J·m <sup>-2</sup>	18t0.75C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J·m <sup>-2</sup>	t≤T <sub>2</sub> 时, 18t0.75C <sub>6</sub> C <sub>6</sub> J·m <sup>-2</sup>			
				t>T <sub>2</sub> 时, 18C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> -0.25W·m <sup>-2</sup>			
1050~1400*	×10-C <sub>2</sub> J·m	2×10-C <sub>6</sub> GJ·	90t°.75C <sub>7</sub> J·m <sup>2</sup>	t≤T <sub>2</sub> 时, 90t0.75C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> J·m <sup>-2</sup>			
t>T <sub>2</sub> 时, 90C <sub>6</sub> C <sub>7</sub> T <sub>2</sub> -0.25W·m <sup>-2</sup>							
注：使用眼科仪器时，眼球组织的照射限值可能有不同情况，参见ISO 15004-2。							
a角度Y <sub>ph</sub> 是极限测量接受角。 波长在400 nm~600 nm内，采用双重限值且照射值应不超过任一适用限值。一般情况下，光化学危害极限仅应用于照射持续时间大于10 s的情况。然而，波长在400 nm~484 nm内，表观光源的尺寸为1.5 mrad~82 mrad，二次光化学危害 极限值100 C <sub>3</sub> J m <sup>-2</sup> 对应于照射时间大于 或等于1s的情况。 波长在1250 nm~1400 nm内，本表给出的保护视网膜限值可能无法充分保护眼球前端生物组织(角膜、虹膜)，需要谨慎处理。若照射量没有超过皮肤的MPE值，则无需担心眼球前端的生物组织。 d如果照射持续时间小于0.25 s，本表给出的保护视网膜限值可能无法充分保护眼球前端的生物组织(角膜、虹膜)，需要谨慎处理。若照射量没有超过皮肤的MPE值，则无需担心眼球前端的生物组织。							

表 A.3 波长在400 nm~1400 nm 范围内,以功率或能量表示的表A.1 (Ca=1) 的最大允许照射量(MPE) aD

波 长 (A) nm	发射持续时间 (t) s					
	$10^{-3} \leq t < 10^{-11}$	$10^{-11} \leq t < 5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6} \leq t < 13 \times 10^{-6}$	$13 \times 10^{-6} \leq t < 10$	$10 \leq t < 10^2$	
400~<450	3.8×10 <sup>-8</sup> J	7.7×10 <sup>-8</sup> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> J	3.9×10 <sup>-3</sup> J	3.9×10 <sup>-3</sup> W	
450~<500						3.9×10 <sup>-3</sup> GJ 和 <sup>*</sup> 3.9×10 <sup>-4</sup> W
500~<700						3.9×10 <sup>-4</sup>
700~<1050	3.8×10 <sup>-8</sup> J	7.7×10 <sup>-8</sup> C <sub>4</sub> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>4</sub> J	3.9×10 <sup>-4</sup> C <sub>4</sub> W		
1050~1400d	3.8×10 <sup>-8</sup> C <sub>7</sub> J	7.7×10 <sup>-7</sup> C <sub>7</sub> J	3.5×10 <sup>-7</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>7</sub> J			
注:与用功率或能量表示的MPE值相比较时,照射水平是由通过直径为7 mm孔径光阑的功率或能量确定的(本表中的MPE值由表A.1中的值乘以直径7 mm孔径的面积得到)。						
a修正因子和单位,见表9。 如果照射持续时间小于10 <sup>-3</sup> s, MPE设定为与发射持续时间为10 <sup>-3</sup> s的MPE同等的功率值。 波长在450 nm~500 nm内,采用双重限值且照射量应不超过任一适用限值。 d波长在1250 nm~1400 nm内,本表中给出的保护视网膜的限值可能无法充分保护眼球前端的生物组织(角膜,虹膜),需要谨慎对待。如果照射量不超过皮肤的MPE值,则无须担心眼球前端的生物组织。						

表 A.4 波长在400 nm-1400 nm 范围内, 以功率或能量表示的表 A.2 (扩展光源) 的最大允许照射量a,b,c,d,e,f,g

波长 (λ)	发射持续时间 t						
	10 <sup>-13</sup> ≤t<10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> ≤t<5×10 <sup>-6</sup>	5×10 <sup>-6</sup> ≤t<1.3×10 <sup>-5</sup>	13×10 <sup>-6</sup> ≤t<10	10 ≤t<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> ≤t<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
400~<700	3.8×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7.7×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> J	400 nm~600 nm-视网膜光化学危害d, e			
				3.9×10 <sup>-3</sup> G <sub>3</sub> J 用Y <sub>ph</sub> =11 mrad	3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> W 用Y <sub>ph</sub> =1.1t <sup>0.5</sup> 5mrad	3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> W 用y <sub>ph</sub> =110 mrad	
				和C			
				400 nm~700 nm-视网膜热危害			
				t≤T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0.25</sup> W			
700~<1050	3.8×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7.7×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> J	t≤T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>6</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 7×10 <sup>-4</sup> C <sub>6</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0.25</sup> W			
1050~1400f	3.8×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	7.7×10 <sup>-8</sup> C <sub>6</sub> J	3.5×10 <sup>-3</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>7</sub> J	t≤T <sub>2</sub> 时, 3.5×10 <sup>-3</sup> t <sup>0.75</sup> C <sub>7</sub> J t>T <sub>2</sub> 时, 3.5×10 <sup>-3</sup> C <sub>7</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0.25</sup> W			
注1:使用眼科仪器时, 一些眼部组织的照射极限可能有所不同, 参见ISO15004-2							
注2: 与用功率或能量表达的MPE值相比较时, 照射水平是通过直径为7 mm的孔径光阑后的能量或功率确定的(本表中的MPE值由表A.2中的值乘以直径为7 mm的孔径的面积得到)。							
修正因子和单位, 见表9。							
如果照射持续时间小于10 <sup>-13</sup> s, MPEs设定为与发射持续时间为10 <sup>-13</sup> s的MPEs同等的功率值。							
c波长在450 nm~600 nm内, 采用双重限值且照射量应不超过任一极限。							
d角度Y <sub>ph</sub> 是测量时的极限接收角。							
e当波长在400 nm~484 nm内, 并且表观光源的尺寸为1.5 mrad 82 mrad时, 如果照射时间为1 s 10 s, 那么二次光化学危害的极限值3.9×10 <sup>-3</sup> C <sub>3</sub> J可延伸到1 s。							
f当波长在1250 nm~1400 nm内, 本表中给出的保护视网膜的限值可能无法充分保护眼球前端的生物组织(角膜、虹膜), 需要谨慎对待。如果照射量不超过皮肤的MPE值, 则无须担心眼球前端的生物组织。							
照射时间小于0.25 s时, 本表中给出的保护视网膜的限值可能无法充分保护眼球前端的生物组织(角膜、虹膜), 需要谨慎对待。如果照射不超过皮肤的MPE值, 则无须担心眼球前端的生物组织。							

表A.5 激光辐射对皮肤的最大允许照射量(MPE)a,b

波长(λ) nm	照射时间(t) s					
	<10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-9</sup> ≤t<10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup> ≤t<10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> ≤t<10	10 ≤t<10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup> ≤t≤3×10 <sup>4</sup>
180~<302.5	3×10 <sup>1</sup> W·m <sup>-2</sup>	30J·m <sup>2</sup>				
302.5~<315		t≤T <sub>1</sub> 时, C <sub>J</sub> ·m <sup>-2</sup> t>T <sub>1</sub> 时, C <sub>2J</sub> ·m <sup>-2</sup>			C <sub>2J</sub> ·m <sup>2</sup>	
315~<400		C <sub>J</sub> ·m <sup>2</sup>			10 <sup>4</sup> J·m <sup>2</sup>	10W·m <sup>2</sup>
400~<700	2×10 <sup>1</sup> W·m <sup>-2</sup>	200J·m <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>4</sup> t <sup>0.25</sup> J·m <sup>2</sup>		2000 W·m <sup>2</sup>	
700~<1400	2×10 <sup>1</sup> C <sub>4W</sub> ·m <sup>-2</sup>	200C <sub>4J</sub> ·m <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>4</sup> C <sub>4t</sub> 0.25J·m <sup>2</sup>		2000C <sub>4W</sub> ·m <sup>2</sup>	
1400~<1500	10 <sup>1</sup> 2W·m <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> J·m <sup>2</sup>		5600 t <sup>0.25</sup> J·m <sup>-2</sup>		1000 W·m <sup>-2e</sup>
1500~<1800	10 <sup>3</sup> W·m <sup>-2</sup>	104J·m <sup>2</sup>				
1800~<2600	10 <sup>2</sup> W·m <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> J·m <sup>2</sup>		5600 t <sup>0.25</sup> J·m <sup>-2</sup>		
2600~106	10 <sup>1</sup> W·m <sup>-2</sup>	100J·m <sup>2</sup>	5600t <sup>0.25</sup> J·m <sup>-2</sup>			
a修正因子和单位, 见表9。 照射时间小于10-s的照射作用的资料有限。该照射时间内的MPEs值由使用10-9s的辐照度导出。 c如果被照射皮肤面积大于0.1 m <sup>2</sup> , 则MPE减少到100 W·m <sup>-2</sup> 。如果被照射皮肤面积为0.01m <sup>2</sup> ~0.1 m <sup>2</sup> , 则MPE的变化与被照射皮肤的面积成反比。						

A.2 限制孔径

为了测量和计算照射量值, 宜采用一个合适的限制孔径。这个限制孔径为一个圆域的直径, 辐照度或辐照量是在该圆域的平均。限制孔径在表 A.6 中给出。当对视网膜危害区的最大允许照射量MPE使用功率或能量(表A3和表A4)表示时, 照射量值由7mm孔径圆域平均的功率或能量表示。

对于光谱范围在1400 nm~10<sup>6</sup> nm的重复脉冲激光照射, 采用1mm的孔径来估算单个脉冲的危害, 而3.5 mm的孔径则用于估算照射时间大于10 s照射的MPE。

波长在400 nm~1400 nm内的对眼照射量值是在7mm直径(瞳孔最大直径)的孔径上测量的。对于更小的瞳孔直径, 将不修正MPE值。

表 A.6 用于测量激光辐照度和辐照量的限制孔径

光谱范围 nm	限制孔径	
	眼睛	皮肤
180~<400	1	3.5
400~<1400	7	3.5

表 A.6 用于测量激光辐照度和辐照量的限制孔径 (续)

光谱范围 nm	限制孔径	
	眼睛	皮肤
1400~<105	对于 $t \leq 0.35 \text{ s}$ , 1 对于 $0.35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ , $1.5t^3/8$ 对于 $t \geq 10 \text{ s}$ , 3.5	3.5
$10^5 \sim 10^6$	11	11

注：对于多脉冲照射，见A.3。

A.3 重复脉冲激光器或调制激光器

在确定用于重复脉冲辐射的MPE 时，宜采用下列方法。

任何脉冲群 (或脉冲串的一部分) 在任意给定时间内的照射量不宜超过该段时间内的MPE。

波长小于400 nm 和波长大于1400 nm 的眼照射MPE, 与照射皮肤MPE 相同，都按照a) 和 b) 中限制性最强的要求。

按下述a)、b) 和 c) 中限制性最强的要求确定波长在400 nm~1400 nm 内对眼照射的MPE。要求 c) 仅适用于视网膜热极限，不适用于视网膜光化学极限。

- a) 脉冲串中任一单脉冲的照射量不应超过单脉冲的MPE。
- b) 照射持续时间为T 的脉冲串的平均照射量不应超过分别在表A.1、表 A2 和 表A3 中照射持续时间为T 的单脉冲的MPE。对于不规则的脉冲形状 (包括变化的脉冲能量), T 应在T<sub>1</sub>和最大假定的照射持续时间之间变化。对于规则的脉冲形状，在假定的最大照射持续时间内取平均值即可。
- c) 每个单脉冲的照射量不应超过单脉冲的MPE 值与修正因子C<sub>s</sub> 之积。C<sub>s</sub> 仅适用于持续时间小于0.25 s 的单脉冲：

$$MPE_{s,p,train} = MPE_{single} \times C_s \dots\dots\dots(A.1)$$

式中：

MPE<sub>single</sub>——单脉冲的MPE 值。

MPE<sub>s,p,train</sub>——脉冲串中任一单脉冲的MPE 值：

如果脉冲宽度 ≤ T， 则：

预期最大照射持续时间小于或等于0.25 s: C<sub>s</sub> = 1.0;

预期的最大照射持续时间大于0.25 s:

$$N \leq 600, C_s = 1.0$$

$$N > 600, C_s = 5 \times N^{-0.25}, C_s \text{ 最小值等于}$$

0.4 如果脉冲宽度 > T， 则：

对于  $\alpha \leq 5 \text{ mrad}$ :

$$C_s = 1.0$$

对 于  $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$ :

$$N \leq 40 \text{ 时}, C_s = N^{-0.25}$$

$$N > 40 \text{ 时}, C_s = 0.4$$

对 于  $\alpha > \alpha_{max}$ :

$$N \leq 625, C_s = N - 0.25$$

$$N > 625, C_s = 0.2$$

除非  $\alpha > 100 \text{ mrad}$ , 所有情况下  $C_s = 1.0$ 。

N 脉冲串在所评估照射持续时间内的有效脉冲数[当多个脉冲在  $T_1$  (见表 2) 内产生时, N 小于实际的脉冲数, 见下文]。评估最大照射持续时间时需选择  $T_2$  (见表 9) 或预期的照射持续时间, 选取其中较短的一个。

如果在  $T_1$  (见表 2) 时段内产生多个脉冲, 在确定 N 时视其为单个脉冲, 并将其中每个单脉冲的辐照量相加后, 与对应于  $T_1$  的 MPE 比较。

## A.4 测量条件

### A.4.1 概述

为了估算实际照射量, 宜采用下列测量条件。

### A.4.2 限制孔径

在表 A.6 规定的一圆形限制孔径光阑内测量的平均辐照量或辐照度与相应的 MPE 比较。在 400 nm~1400 nm 的波长范围内, 对眼睛照射量的最小测量距离为 100 mm。

### A.4.3 接收角

#### a) 光化学视网膜极限

为了测量用于评估光化学极限的光源 (400 nm~600 nm) 时, 极限接收角  $\gamma_{ph}$  为:

$$\text{对于 } 10 \text{ s} \leq t \leq 100 \text{ s: } \gamma_{ph} = 1 \text{ mrad}$$

$$\text{对于 } 100 \text{ s} \leq t \leq 10^4 \text{ s: } \gamma_{ph} = 1.1 t^{-0.5} \text{ mrad}$$

$$\text{对于 } 10^4 \text{ s} \leq t \leq 3 \times 10^5 \text{ s: } \gamma_{ph} = 110 \text{ mrad}$$

如果光源的对角  $\alpha$  大于规定的极限接收角  $\gamma_{ph}$ , 则接收角不宜大于规定的  $\gamma_{ph}$  值。如果光源的对角  $\alpha$  小于规定的极限接收角  $\gamma_{ph}$ , 则接收角宜完全覆盖该光源, 但不必严格定义 (即不需要限制接收角为  $\gamma_{ph}$ )。

注: 当  $\alpha$  小于  $\gamma_{ph}$  时, 单一光源的测量不需要使用特别精确限定的接收角。为了精确限定接收角, 可以将光源成像到视场光阑上, 或者将掩膜放置在接近表观光源的位置, 分别见图 1 和图 2。

#### b) 所有其他的限制

为了与不同于视网膜光化学危害极限以外的其他极限相比较, 测量激光辐射时, 接收角宜完全包围该光源 (即接收角至少应与光源的对角  $\alpha$  大小相同)。但是, 如果  $\alpha > \alpha_{max}$ , 在波长范围 302.5 nm~4000 nm 内, 对于热危害极限, 极限接收角不宜大于  $\alpha_{max}$  (0.1 rad)。在波长范围 400 nm~1400 nm 内, 对于热危害极限, 评估由多点组成的表观光源时, 接收角宜在  $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$  范围内变化 [见 4.3 d)]。

确定非圆形辐射的 MPE 时, 矩形或线光源的对角取其两个角度的算术平均值。在任一角度方向上, 当对角大于  $\alpha_{max}$  或小于  $\alpha_{min}$  时, 都应在计算平均值之前, 将其分别限定为  $\alpha_{max}$  或  $\alpha_{min}$ 。视网膜光化学危害极限不依赖于光源的对角, 并且光源用上面规定的接收角测量。

## A.5 扩展光源激光器

以下对小光源 MPE 的校正大多数情况下限于漫反射观察, 有时也用于激光器阵列、线激光器、束腰大于 0.2 mm 并且发散角大于 2 mrad 的激光器或扩展光源漫反射激光产品。

对波长为 400 nm~1400 nm 的扩展光源激光辐射 (如: 漫反射观察), 假如光源的对角  $\alpha$  (在观察

**GB/T 7247.1—2024/IEC 60825-1:2014**

者眼睛处测量)大于 $a_{\min}$ , 此处  $a_{\min}=1.5 \text{ mrad}$ , 对眼睛热危害的MPE 增大到 $C_6$  倍。

修正因子 $C_6$  定义为:

$$\begin{aligned} C_6 &= 1, && \text{当 } a \leq a_{\min} \\ C_6 &= a/a_{\min}, && \text{当 } a_{\min} < a \leq a_{\max} \\ C_6 &= a_{\max}/a_{\min}, && \text{当 } a > a_{\max} \end{aligned}$$

## 附录 B

### (资料性)

### 计算示例

#### B.1 本附录中的示例所用的符号

符号	单位	定义
<b>a</b>	<b>m</b>	出射激光束的直径
AEL	W,J,W·m <sup>-2</sup> 或Jm <sup>-2</sup>	可达发射极限
<sup>a</sup>	rad	从空间某点处观察表观光源(或漫反射体)所张的对向角
a <sub>min</sub>	rad	判定光源为扩展光源的最小对向角(1.5 mrad)
a <sub>max</sub>	rad	判定光源为扩展光源的最大对向角, 随光源大小线性变化(5 mrad~100 mrad 之间变化)
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> , ..., C <sub>7</sub>	1	修正因子(见表9)
PRF, F	Hz	脉冲重复频率
<b>H</b>	<b>J·m<sup>-2</sup></b>	辐照量
<b>E</b>	<b>W·m<sup>-2</sup></b>	距表观光源规定距离r 处的辐照度
H <sub>0</sub>	<b>J·m<sup>-2</sup></b>	距表观光源规定距离为0处的出射辐照量
E <sub>0</sub>	<b>W·m<sup>-2</sup></b>	距表观光源规定距离为0处的出射辐照度
$\lambda$	nm	激光辐射的波长
<b>N</b>	1	照射持续时间内的脉冲个数
P <sub>0</sub>	<b>W</b>	连续激光器的总辐射功率(辐射通量)或重复脉冲激光器的平均辐射功率
P <sub>p</sub>	<b>W</b>	脉冲激光器在单脉冲内的辐射功率
$\phi$	rad	出射激光束的发散角
$\pi$	1	常数3.142
<b>Q</b>	<b>J</b>	脉冲激光器的总辐射能量
<b>t</b>	<b>S</b>	单脉冲的持续时间
<b>T</b>	<b>S</b>	脉冲串的总照射持续时间
T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub>	<b>S</b>	时间转效点(见表9)

#### B.2 激光产品的分类——简介

本附录中的示例详细说明对激光产品分类的计算步骤, 按照本文件规定的测量条件获得测量参数, 对激光产品分类。本附录提供的流程图, 详细说明了激光产品分类计算的基本步骤。但这些流程图并不能覆盖所有的激光产品分类。

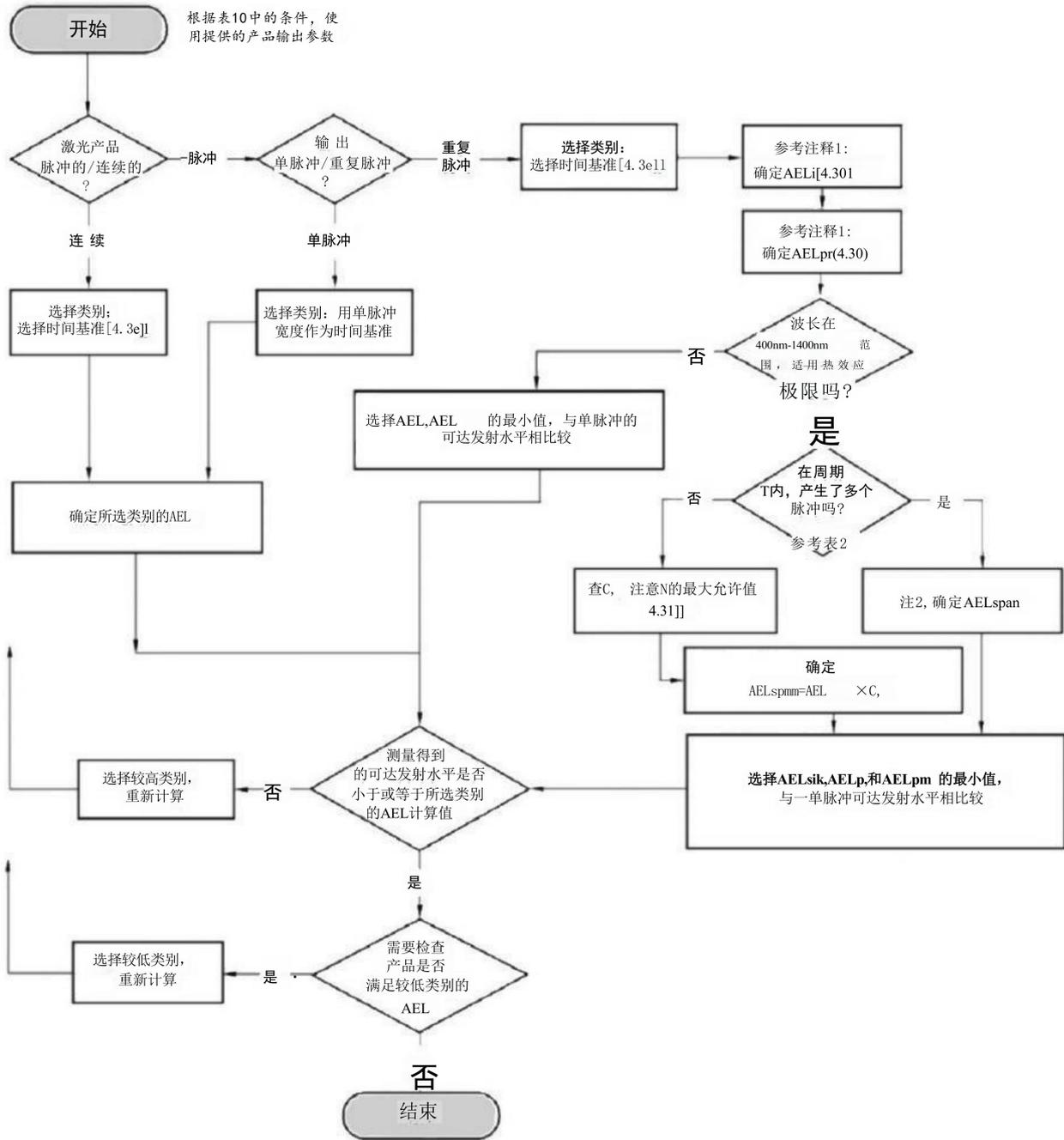
如同在4.2和4.3中的规定。

——提供激光产品的正确分类是制造商或其代理商的职责。产品分类要综合考虑在制造后的任何时间, 在产品工作能力范围内的可达激光辐射的输出功率和波长, 使激光产品归类到合适的最高级别。在表3~表8中给出了1类、1C类、1M类、2类、2M类、3R类、3B类(以危害增加的顺序)的可达发射极限(AELs)。

——表9给出了修正因子值，它是波长、发射持续时间、脉冲数量和对向角的函数。

如果用户对激光产品的改动引起可达激光辐射相应改变，则用户有责任确保对产品进行正确分类。

为了确定一个激光产品的正确类别，可能要对5.3所列的多类可达发射极限(AEL)进行计算，如图B.1和B.2所示。作为举例，1类可达发射极限(AELs)示于图B.3~图B.5中。



注 1 : AELsing根据一个单脉冲的持续时间确定。

AELs.p.T根据选定的时间基准确定的AELr 计算:

如果 AELr以 J 或 Jm-2 为单位, 那么, AELs.p.T=AELr/Nr (单位为J 或 Jm-);

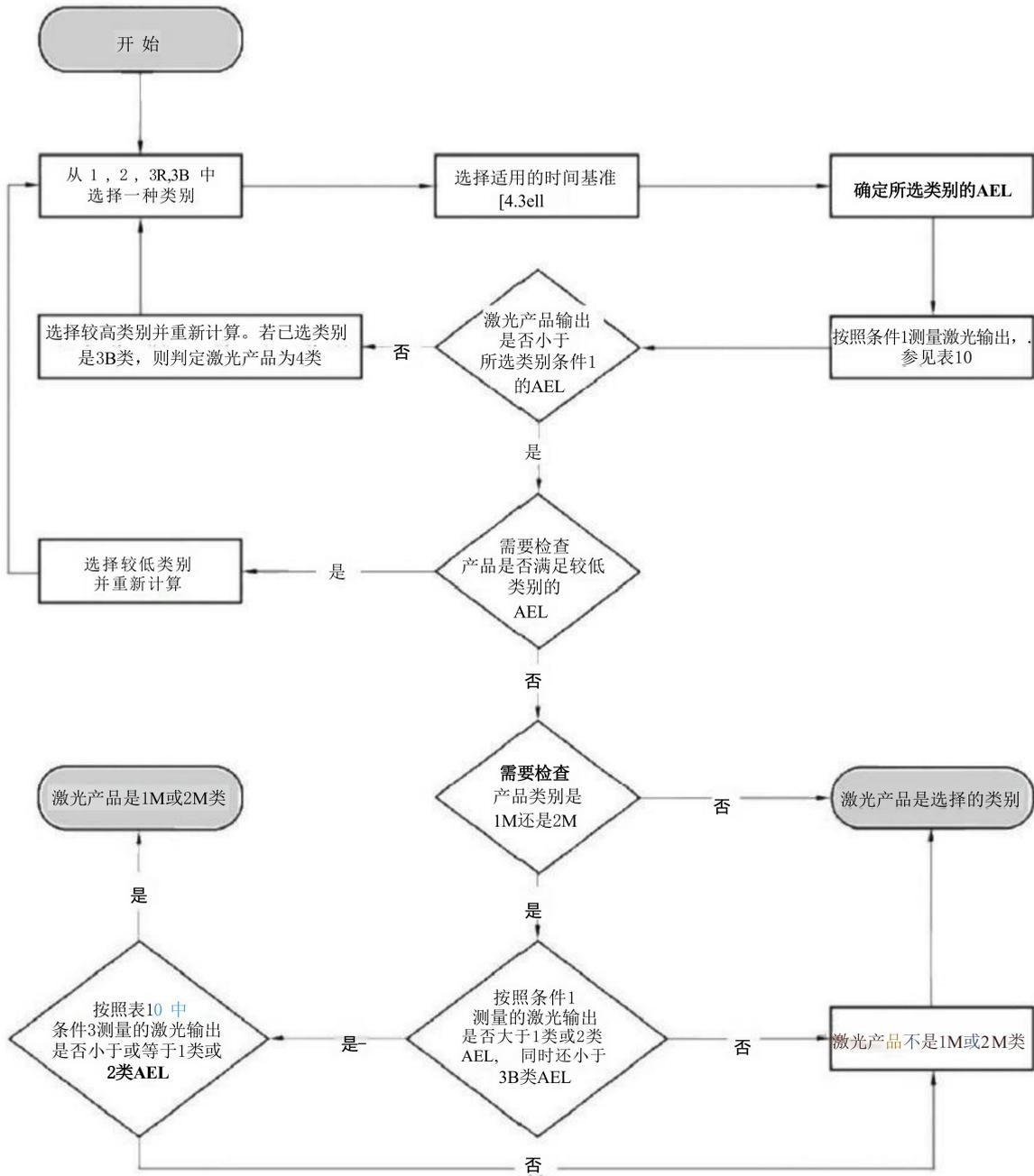
如果 AELr以 W 或 Wm-2 为单位, 那么, AELs.p.T=AELr/PRF (单位为J 或 Jm-2);

T= 选定的时间基准, 以s 为单位;

NT= 在时间T 内的脉冲个数。

注2: 如果在时间T; 内有多个脉冲, 则将单脉冲宽度改为T;, 并计算新的AELsingle值。相应修改PRF, 以确定N 的最大允许值[4.3f]。将新的 AELsiale的值除以时间T; 中包含的原始脉冲个数, 再将最终的 AELsiale值代入 AELs.p.train 的计算公式。

图 B.1 根据提供的输出参数, 对激光产品进行分类的流程图



图B.2 对 1M 类和2M 类激光产品的分类流程图

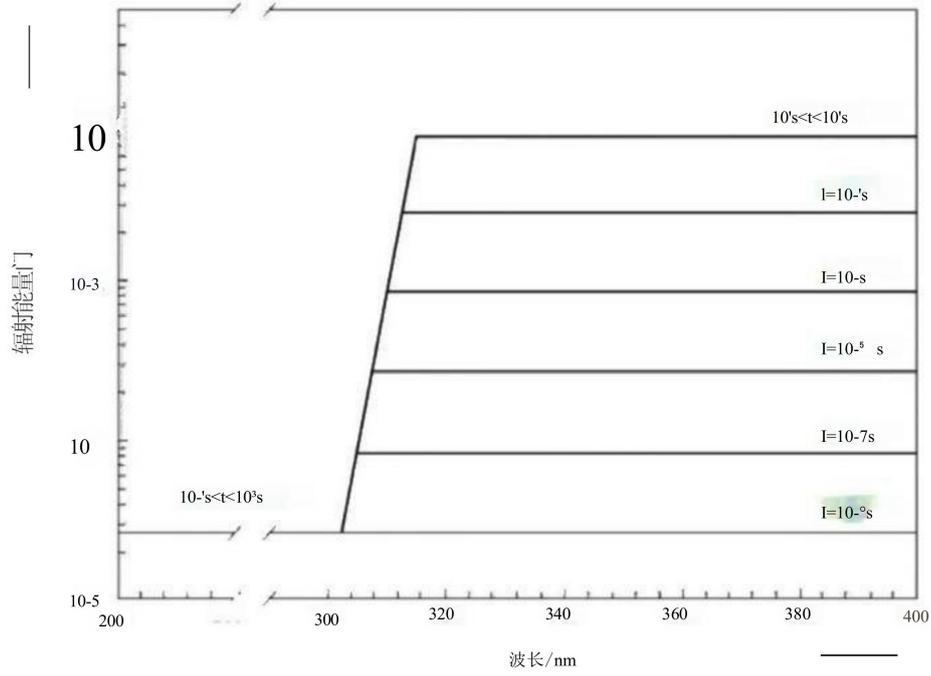


图 B.3 对选定发射持续时间 $10^{-9} \text{ s} \sim 10^3 \text{ s}$  的1类紫外激光产品的AEL

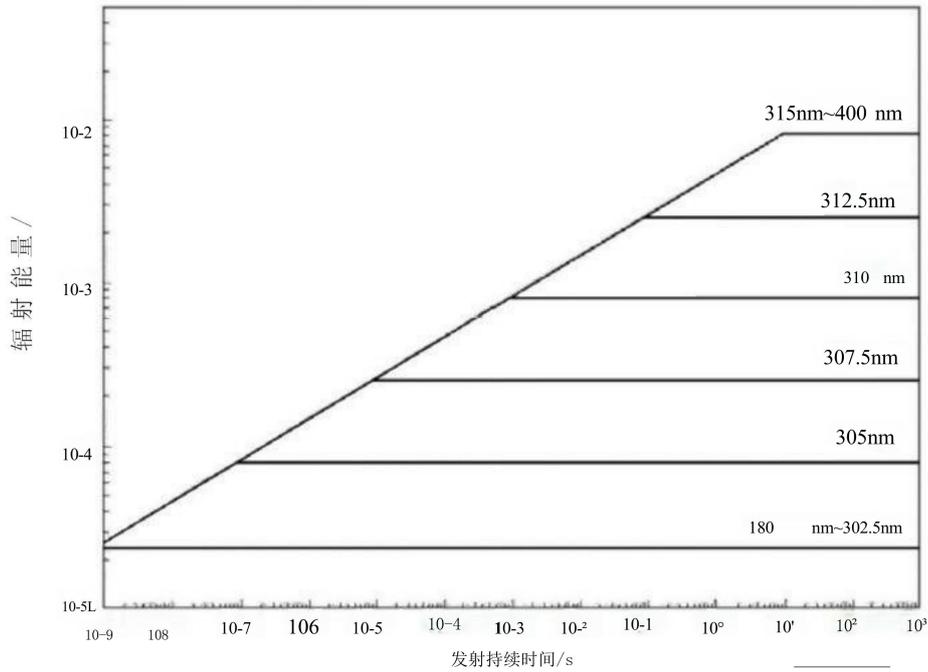


图 B.4 在选定波长发射持续时间 $10^{-9} \text{ s} \sim 10^3 \text{ s}$  的1类紫外激光产品的AEL

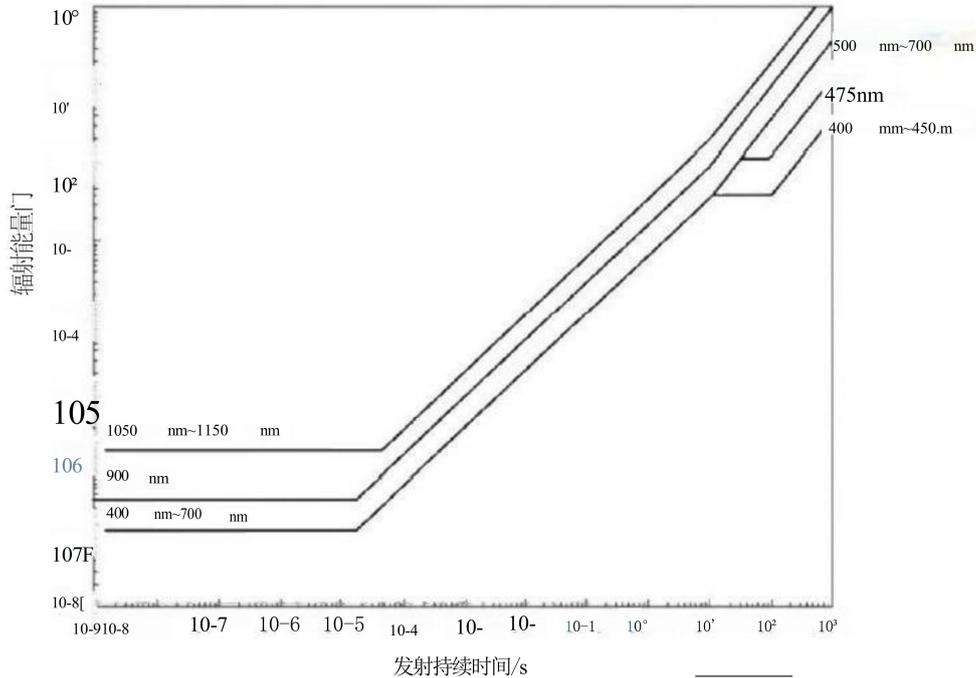


图 B.5 1类可见和选定红外激光产品的AEL(C6=1)

B.3 示例

示例 B.3.1

将一个输出功率为50mW、光束直径为3mm、光束发散角为1 mrad 的连续HeNe激光器(λ = 633 nm)分类。

解答：

从光束特性推断这是一个准直良好的点光源，它的α≤1.5 mrad。因为光束直径和发散角小，所有光束功率将通过7m 孔径，因此在测量条件1、条件3下会得到相同的可达发射水平。选定一个类别并选择合适的时间基准(见4.3e)。

选择3B类和100s时间基准。尽管激光输出在400 nm~700 nm可见光波长范围内，0.25s的时间基准不准用于3B类激光产品，故意观察是不太可能的。对于3B类激光产品，表8给出：

AEL=0.5 W

由于激光器仅仅发射50 mW 功率，没有超过3B类 AEL，所以可分类为3B类。4.3 a) 中规定应超过所有较低类别的AEL，然而，可能没有明显的证据表明该产品不符合较低类别的要求，因此，如果有疑问，可检查是否符合较低类别的要求。

对 3R 类产品，在400 nm~700 nm 波长范围内，应使用0.25s 时间基准，从表6可得：

AEL=5×10^-6 W

从表9可知，直接观察准直良好的激光束时，α≤1.5 mrad,C6 =1, 即：

α≤1.5 mrad,于是：

AEL=5 mW

因为激光器输出功率为50mW, 超过3R类 AEL, 但是小于3B类 AEL, 且条件1和条件3测试值相同，所以不能是1M类或2M类，因此，该激光产品可分类为3B类。

示例 B.3.2

一个未安装准直透镜的12 mW 连续波二极管激光器(λ=900 nm), 光束发散角为0.5 rad, 在表10

规定的测量条件下给出以下参数，它属于哪个类别？假设在测量距离100 mm 处光源的对向角  $\alpha$  小于  $\alpha_{\min}$ 。

条件1:  $<20 \mu\text{W}$  通过距离激光二极管芯片2 m 处的一个50 mm 的孔径光阑；

条件3:  $0.7 \text{ mW}$  通过距离激光二极管芯片100 mm 处的一个7mm 的孔径光阑。

解答：

对于这样的发散光源，显然条件3比条件1更严格。

选择1类和100 s 时间基准（见 4.3e），这样，对于波长在400 nm~1400 nm 范围内，且  $\alpha \leq 1.5 \text{ mrad}$  的激光器， $C_0=1$ （见表9），从表3得到的1类 AEL 如下：

$$\text{AEL}=3.9 \times 10^{-4} C_4 C_5 W$$

其中，根据表9， $C_4 = 100.002(\lambda - 700) = 2.51$ ， $C_5 = 1$ 。所以：

$$\text{AEL}=0.98 \text{ mW}$$

当我们将条件3的数据与1类激光产品的AEL 比较时，产品符合1类的要求。

如果使用者在激光二极管上安装准直透镜，产品可能需要重新分类。

而且，应注意当用高倍放大镜观察光束时可能有危害。本文件规定的分类范围仅包括7倍以下的手持式放大镜，见C.3。

### 示例 B.3.3

对一个有以下输出特性的单脉冲倍频钕激光器分类，假设两个波长同时发射。

输出脉冲能量100 mJ， $\lambda=1060 \text{ nm}$ ；

输出脉冲能量25 mJ， $\lambda=530 \text{ nm}$ ；

脉冲宽度=25 ns；

出口孔径=5 mm；

每个波长的光束发散角 $<1 \text{ mrad}$ 。

解答：

激光产品应在最严苛条件下进行分类，如果激光产品同时传播多个波长，那么就应按照多个波长分类。由于光束直径和发散角较小，很明显，在表10规定的条件下测量的是每个波长的总能量。假设激光器在100s 时间基准内只发射一个脉冲，那么，脉冲宽度可以作为照射持续时间。选择3B类产品，表8给出的 AELs 为：

$$\lambda=1060 \text{ nm}$$

$$\lambda=530 \text{ nm}$$

**AL50-003C5o05c6**

4.3 b) 规定了多波长激光产品的分类规则，表1表明这两个波长对眼睛的影响是叠加的。

因此，采用4.3 b)1) 规定的方法，判定是否满足下列条件，从而确定产品分类：

$$Q_{1060}/\text{AEL}_{1060} + Q_{530}/\text{AEL}_{530} \leq 1$$

带入单位为mJ 的相应值

$$100/150 + 25/30 = 1.5$$

因为这个值大于1，激光产品应归类为更高的类别。

因此，该激光产品为4类。

### 示例 B.3.4

对一个连续二氧化碳激光器分类（ $\lambda=10.6 \mu\text{m}$ ），该激光器用于常开光束安全系统。假设平均输出功率为0.4 W，光束直径为2 mm，光束发散角为1 mrad。

解答：

选择 3R 类，不希望有意观察，那么根据4.3 e) 选择100 s 时间基准。

表9表明在此波长下  $C_6 = 1$ ，所以用表6，查出：时间基准T 为100s 时，3R 类 AEL 为  $5000 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ 。

注意，根据表10这一波长仅适用于条件3，AEL 的单位为  $\text{W} \cdot \text{m}^2$ ，所以找出在条件3下的光束辐照度

才是合适的。根据表11确定条件3下测量的参考点。假设光束束腰位于防护罩内，根据表11底部的注释，在人员接触最近点确定辐照度。

注意，表10给出100 s照射时间的限制孔径为3.5 mm，但是光束直径仅有2 mm。为了计算光束辐照度(E=P/面积)，我们宜使用实际光束直径和限制孔径两者中更大的那个，这样：

$$E = P / \text{面积} = 4 \times 0.4 / \pi (3.5 \times 10^{-3})^2 = 4.16 \times 10 \text{ Wm}^{-2}$$

此值超过3R类AEL，所以需要评价更高类别。表8给出3B类AEL为0.5 W，大于激光器总的激光输出功率，所以该激光器应归为3B类。

**示例 B.3.5**

对一个激光器分类，该激光器发射脉冲宽度为1 μs，重复频率为500 Hz的脉冲，在X=694 mm时，输出峰值功率为10kW，光束直径为5 mm，光束发散角为0.5 mrad。表观光源对向角应小于或等于光束发散角。因此，我们可以假设为点光源，α<α<sub>min</sub>=1.5 mrad。

**解答：**

4.3 f)包括了重复脉冲激光器的详细要求，概述如下：

对于所有波长，应评估要求1)和2)。此外，对于400 nm-1400 nm内的波长，还应评估要求3)以与热效应极限相比较。要求3)仅适用于热效应极限，而不适用于光化学极限。

选定3B类，预期不会出现有意观察，依据见4.3 e)选择100 s时间基准。

4.3 f3)规定，如果在时间段T<sub>1</sub>(T<sub>1</sub>见表2)内出现多脉冲，则它们被视作一个单脉冲来确定N，并将各脉冲的辐照量相加后，与T<sub>1</sub>时间段内的AEL进行比较。因此，需要确定持续时间T<sub>1</sub>内是否出现多脉冲。如果激光脉冲间隔时间小于持续时间T<sub>1</sub>时，需考虑如下因素。

检查在表2给出的时段T<sub>1</sub>内是否发生多个脉冲。对于这个波长，T<sub>1</sub>=5×10<sup>-3</sup>s；脉冲之间的实际时间是1/f=2×10<sup>-3</sup>s，因此，在时段T<sub>1</sub>内没有发生多个脉冲。遵从4.3 f)中的步骤：

a) 4.3 f)1)考虑单脉冲照射，表8给出当t=1×10<sup>-6</sup>s时，  

$$AEL_{\text{single}} = 0.03 \text{ J}(t < 0.06 \text{ s})$$

b) 4.3 f)2)考虑脉冲串在持续时间T内的平均功率，表8给出T=100s时的AEL如下：

$$AEL_T = 0.5 \text{ W}$$

由于该激光器输出规则的脉冲序列，不需要在更短的持续时间内平均。为方便比较[见条款4.3 f)2)中的注释]，AEL<sub>T</sub>转换为相应的单脉冲。在本例题中AEL<sub>T</sub>的单位为W。除以PRF得到每个脉冲的等效AEL能量，于是：

$$AEL_{\text{p,train}} = \frac{AEL_T}{PRF} = \frac{0.5 \text{ W}}{500 \text{ Hz}} = 1 \times 10^{-3} \text{ J}$$

c) 4.3 f)3)考虑单脉冲能量乘以C<sub>s</sub>，即：AEL<sub>s,p,train</sub>=AEL<sub>single</sub> × C<sub>s</sub>。依据4.3 f)3)则：

对于t<T<sub>1</sub>和时间基准>0.25 s时：

如果N≤600, C<sub>s</sub> =1

N>600, C<sub>s</sub>=5·N-0.25, C<sub>s</sub>的最小值为0.4

当α ≤ α<sub>min</sub>时，T<sub>2</sub>=10s (见表9)，N被限制为在时段T<sub>2</sub>=10s内产生的脉冲个数。那么，脉冲重复频率为500 Hz，时间为10s时，N=500×10=5000，大于600，所以：

$$C_s = 5 \times 5000 - 0.25 = 0.59$$

于是：

$$AEL_{\text{s,p,train}} = 0.03 \times 0.59 \text{ J}$$

$$AEL_{\text{s,p,train}} = 0.018 \text{ J}$$

注意到以上三个AEL值都相对于单脉冲而言，可以直接进行比较找到最严苛的值。以上三个值中最严苛的是AEL<sub>s,p,T</sub>=1×10<sup>-3</sup>J，因此，3B类AEL的值为1×10<sup>-3</sup>J。

因为激光束的直径和发散角较小，在条件1和条件3(见表10)下的测量结果相同，等于总

的激光能量。可达发射极限（此时为脉冲能量）和发射水平（规定为峰值功率）应在同一基准线上，因此发射峰值功率应转换为脉冲能量（反之亦然）。

每个脉冲的激光能量 $Q$ 由以下关系计算：

$$Q = (\text{峰值功率}) \times (\text{脉冲宽度})$$

$$Q = 10^4 \times 1 \times 10^{-6} = 0.01$$

因为每个脉冲的可达发射能量超过了AEL<sub>p,T</sub>，激光产品超过3B类AEL，因此，该激光器应是4类。

## 附录 C

(资料性)

### 类别及其潜在危害的说明

#### C.1 概述

本附录描述了类别及其潜在相关危害的说明。

本附录旨在为制造商描述与产品相关危害提供指南。本附录也指出了分类方法的限制条件，即通常而言本类别不适合的场合。

分类是为了帮助用户评估激光器的危害，并确定必需的用户控制措施。激光器的分类与可达激光辐射对皮肤和眼睛的潜在危害有关，与其他潜在危害无关，例如电气危害、机械危害、化学危害，或二次光辐射的危害。分类是为了让人们认识到，激光伤害风险随可达功率(当超过基准线，即1类条件时)的增加而增大。且非常准确地描述了激光近距离照射时的潜在风险。在同一个类别中，不同的激光器的危害区可能差别很大。通过附加的用户防护措施，包括如防护罩等工程控制措施，潜在的危害可能会大大降低。

#### C.2 类别描述

##### C.2.1 1类

1类激光产品在使用过程中，包括长时间直接光束内视，甚至使用望远光学仪器观察时，仍然是安全的。1类也包括完全封闭的高功率激光产品，在使用中接触不到潜在的危害辐射(嵌入式激光产品)。对于发射可见辐射能量的1类激光产品，光束内视仍可能产生眩目的视觉效应，特别是在环境光线较暗时。

术语“人眼安全”仅仅用于1类激光产品。不宜仅仅根据输出波长大于1400 nm，就用术语“人眼安全激光”来描述这种激光器，因为只要功率足够高，任何波长的激光都可能导致伤害。

##### C.2.21M 类

在使用中包括裸眼长时间直接光束内视是安全的激光器。使用两种光学观察仪器，例如伸缩望远镜观察准直光束时，如果光束直径大于条件3(见表10)中规定的测量孔径，则照射量可能超过MPE，并可能造成眼损伤。

1类激光器的波长范围局限于光学仪器的玻璃光学材料的透光性特别好的光谱区，即302.5 nm~4000 nm。发射可见辐射能量的1M类激光产品光束内视仍可能产生眩目的视觉效果，特别是在光线暗的环境中。

##### C.2.3 1C类

直接用激光辐照皮肤或身体内部组织，进行医疗、诊断、治疗或整形手术，如脱毛、除皱、减少粉刺的激光产品。虽然发射的激光辐射可能超过3R类、3B类或4类激光产品的水平，但眼部辐照度通过一种或几种工程防护措施受到限制。本文件中介绍这类激光产品，是由于目前在市场上存在这类产品，通常对3B类或4类激光产品的控制措施不适用于这类产品。采用1C类激光产品应在其专用标准中制定所需的安全规范。

##### C.2.4 2类

激光产品发射的波长范围为400 nm~700 nm的可见辐射，其瞬时照射是安全的，但是有意注视激

光束可能是有危害的。时间基准为0.25 s 是本类别定义中所专有的，并假设对于时间稍微长些的瞬时照射，损伤的风险很低。

以下因素有助于防止在合理可预见条件下的损伤：

- 无意的照射很少遇到最严重情况，例如光束对准稳定头部瞳孔的最糟糕的情况，即最坏条件的眼睛适应性调节；
- 以AEL 为基础，MPE 的固有安全余量；
- 对亮光照射的自然躲避行为。

与 2M 类相比较，在使用光学仪器时，2类并不会增加眼睛受伤的风险。

然而，2类激光产品的激光束可引起眩目、闪光盲和视后像，特别是在环境光线较暗时。暂时的视觉干扰或受惊反应可引起间接的一般性的安全问题。如果在安全要求苛刻的操作中，可能需要特别关注这些视觉干扰，如操纵机器、高空作业、带高电压工作或驾驶中。

应有标记指示用户不要凝视激光束，即通过移开头部或闭眼完成主动防护反应，并避免继续有意的光束内视。

### C.2.5 2M 类

2M 类激光产品发射可见激光束，仅对裸眼(肉眼)短时照射是安全的。使用双筒望远镜之类的光学仪器观察准直光时，如果准直光束的直径大于条件3中规定的测量孔径(见表10)，可能超过MPE，伤害眼睛。

然而，2M 类激光产品的激光束可引起眩目、闪光盲和视后像，特别是在光线较暗的环境中。暂时的视觉干扰或受惊反应可引起间接的一般性的安全问题。如果在安全要求苛刻的操作中，可能需要特别关注这些视觉干扰，如操纵机器、高空作业、带高电压工作或驾驶中。

应有标记指示用户不要凝视激光束，即通过移开头部或闭眼完成主动防护反应，并避免继续有意的光束内视。同时，2M 类激光产品的标记提示使用望远光学仪器的观察者避免受到激光照射。

### C.2.6 3R 类

3R 类激光产品发射的辐射在直接光束内视时可能超过MPE，但是在大多数情况下受到伤害的风险相对较低，因为3R类 的AEL 仅是2类(可见激光辐射)AEL 或1类(不可见激光辐射)AEL 的 5 倍。损伤的风险性随着照射持续时间的增加而增强，有意的眼照射是危险的。由于风险较低，其适用的制造要求和用户控制措施(取决于国家法规)比3B类少。尽管并不认为3R类激光产品本质上是安全的，但是风险有限，因为：

- 无意的照射很少遇到最严重情况，例如光束对准大的瞳孔的情况，总的光束能量入射到眼睛，眼睛在最坏条件下的适应性调节；
- MPE 固有的安全余量；
- 可见光照射下人眼对亮光的自然眨眼行为，以及远红外照射下眼角膜受热的条件反射。

损伤的风险随着照射持续时间的增加而增强，在最坏情况下对眼睛照射或有意的光束内视是危险的。

由于与3R 类激光产品相关的风险变化范围较大，宜在使用说明书中明确说明有效的用户控制措施(包括管理控制和个人眼防护措施)。

**注：**与 GB 7247.1—2012中规定的1类、1M类、2类、2M类、3R类的眼睛最大允许照射量值相比较，本文件规定的对于一些单脉冲点光源各个相应值有所降低，但是对于大多数重复脉冲光源和大多数脉冲扩展光源，各相应值有所增加，各个值折减系数(安全冗余)也相应地改变。因此，有一些脉冲激光产品在2012年版中被分为3R类激光产品，但在本文件中被分为2类激光产品；另一些脉冲激光产品在2012年版中被分为3B类激光产品，但在本文件中被分为3R类激光产品。对于后者，由于关于受伤害的风险的认识、实践经验较少，因此多年来一直采用输出功率达5mW 的连续光源的准直光束作为校准光。

3R 类激光产品的激光束在可见光范围内(如同从2类激光产品发出的一样)，可引起眩目、闪光盲

和视后像，特别是在光线较暗的环境中。暂时的视觉干扰或受惊反应可能引起间接的一般性的安全问题。如果用户在安全要求苛刻的操作中，比如操纵机器、在高处工作、有高电压的工作环境或在驾驶中，可能特别需要留意视觉干扰。

3R类激光器宜仅用于不可能发生直接光束内视的场所。

### C.2.7 3B类

在发生光束内视(即在NOHD 内)时通常是危险的激光产品，包括意外的短时照射。观察漫反射时通常是安全的。接近3B类 AEL 的 3B类激光器可能对皮肤造成轻微损伤，甚至有点燃易燃材料的风险。但是，只有光束直径很小或被聚焦时才可能发生这种情况。

注：理论上存在某些观察条件(但实际上很罕见)，该处观察漫反射可能超过MPE，但这种情况极少。例如，对于功率接近AEL的3B类激光器，观察可见光辐射的真实漫反射，连续观察时间大于10s，在漫反射表面和角膜之间的观察距离小于13 cm处，那么，漫反射会超过MPE。

### C.2.8 4类

对于4类激光产品，光束内视和皮肤照射都是危险的，观察漫反射也可能是危险的。这类激光器也还经常会有火灾危险。

### C.2.9 命名法注释

1C类中的“C”来自于工作模式，其中只有当治疗探头接触(contact) [或非常接近(close)] 皮肤或体内组织时才允许发射高于1类AEL的激光辐射。

1M类和2M类中的“M”来自具有放大(magnifying)功能的光学观察仪器。3R类中的“R”来自于减少(reduced)或放宽(relaxed)要求：对制造商(例如不要求钥匙开关、光束终止器或衰减器和联锁连接器)和用户双方都减少要求。3B类的“B”有历史来源，在IEC 60825-1:1993中有3A类，它与现在的1M类和2M类相似。

应注意，在以上描述中，每当使用“有危险的”或涉及损伤风险较高时，只有在激光器周围超过相应的MPE的区域内才存在这样的危险和风险。对于裸眼照射，这个区域由NOHD 限定；对于使用双筒望远镜或望远镜观察高度准直的IM类和2M类，这个区域由扩展的NOHD(ENOH) 限定。很可能某特定的(3B类或4类)激光产品的NOHD非常短，因此在特定的安装或应用中，在NOHD外的人员可以不需要眼保护。例如将扫描激光器或线激光器安装在制造厂房的天花板上，将图案或者线条投影到下面工作区的工件上。尽管其功率的水平和扫描方式使得在工作区的照射量因低于MPE而是安全的，但是需要特别考虑日常维护和维修的规程。例如，当用户在梯子上去清洁激光输出窗口时，在更近距离的辐射可能是有危害的。又如，在扫描模式下是安全的，但是，如果激光束转到非扫描模式，就可能发生危害。此外，4类激光器有与漫反射相关的NOHD(尽管此NOHD的范围可能相当有限)。分析与特殊激光器和应用相关的危害特性也是风险评估的一部分。

为了确保即使在合理可预见的最坏情况下“低类别”(例如1类)产品也不产生对眼睛或皮肤的危害，分类测试宁可在“最坏情况”和苛刻条件下进行，设计了包含各种最坏情况的测试条件(见Slaney 等著的参考文献[2])。因此，3B类或4类产品也可以按这种方式设计，即在预期使用和正常工作时，可以认为产品是安全的，因为只有最坏的情况下才可能发生危害。例如，产品可以加装防护罩(符合IEC 60825-4)，但是由于以下原因，它不能是嵌入式1类激光产品：

- 防护罩不能通过按照本文件进行的长时间测试(但是根据IEC 60825-4可能使用较短的评估时间)；
- 防护罩上方没有顶盖，但是当人员不会出现在防护罩之上时，仍然认为是安全的；
- 防护罩没有配置步入通道的自动检测功能(但是，在一个受控环境中，可能用独立锁这种安全

管控措施代替，也就是防止防护罩内有人时门被关闭——这不影响产品分类，但是代表了一种达到用户所需安全级别的方法）。

如果将与3B类和4类激光产品相关的危害限制在防护罩之内，采取管理安全措施就足够了。类似地，如果激光系统没有顶盖或在某些较长时间的故障后可能烧穿防护罩，采取管理安全措施也足够了。

也存在其他一些例子，与3B类和4类激光产品相关的危害仅仅在特定情况下才发生。例如，考虑根据使用的附件进行分类的情况，比如低功率水平激光治疗中用于高度发散光源的准直透镜。因为这个透镜产生有潜在危害的准直光束。根据安装的透镜附件，该产品可能归为3B类，然而，如果使用时不安装附件，就是发散光束，就有可能是安全的（即对眼睛的照射将低于MPE）。因此，只有当安装了附件时，激光器周围才存在危险区域。

### C.3 分类方法的限制条件

尽管在相当严格和苛刻的条件下有多种分类测试方法，但仍然存在一些限制条件，在极少数情况下，有可能产生高于相应类别的危害。类别根据以下三个因素确定。

- a) 不同类别的AEL。
- b) 以测量距离、孔径直径和接收角表示的测量要求反映潜在的照射条件。测量要求表现了可能的照射条件。对于给定的激光产品，这些测量要求确定了可达发射，并与AEL相比较确定其安全类别。
- c) 确定AEL和可达发射的测试条件。其中包括考虑可合理预见单一故障条件。此外，还需要区分操作、维护和维修。还要考虑附件的使用情况，以及在不使用工具情况下产品可能达到的不同配置。

三个因素都隐含若干假设。在极少数情况下，当不满足这些假设时，可能产生超过通常认为的该类别的危害。例如，对于长时间照射的1类和1M类的AEL是基于没有麻醉眼的运动前提下获得的。因此，如果在对麻醉的眼睛进行治疗过程中延长了对眼睛的照射时间，1类和1M类激光辐射可导致潜在的危害。同时，测量要求是基于对照射时使用某种光学仪器的状态的假设和评估。例如，一个大口径望远镜接收直径很大（大于50 mm）的准直激光束，即使是1类激光产品，也可能是有危害的。然而，因为大望远镜的视场很小，发生这样的对眼睛意外照射的可能性很小。另外一个可能需要考虑的情况是，产品被放置在无须考虑分类的某种条件下，但是在该条件下可能产生有害辐射。例如，尽管产品的制造商没有提供准直透镜附件，当把准直透镜安装在产品上时，1M类和2M类产品的发散激光束仍可能转变为具有较大危害距离的准直激光束。然而，这种做法将被认为改变了产品，建议进行这种改变的人员对产品重新分类。

然而，制造商应清楚知道这些限制条件，以便在产品的用户使用手册中给出警告。以下给出了这些可能的限制条件的示例（注意这些限制条件仅是潜在的，因为是否适用取决于产品类型）。

- 使用大口径望远镜观看1类、2类或3R类激光产品的大直径准直光束。
- 使用放大镜观看大发散角的1类、2类或3R类激光产品的光束（见5.4.1下面的注1和IEC 60825-2）。
- 使用放大倍率小于7倍的双筒望远镜或望远镜。在这种情况下，对于条件1，可能适用对向角 $\alpha$ 的放大倍数[见4.3 c)]，或者选择接收角的减小倍数[见5.4.3 b)]，应等于真实的放大倍数，即小于7倍。
- 当使用望远镜观察扫描激光束。
- 在非常近的距离对1类激光产品的UV-A激光辐射束内观察，照射持续时间大于1000 s，可能超出眼睛的MPE。
- 可能发生的双重故障情况。即单个故障本身不会引起可达发射超过AEL，但是两个故障同时

发生时可能引起可达发射超过AEL。当预计故障的发生概率相对较高时，那么发生双重故障的概率也较高，因此在设计时应予以考虑。

——激光类别可能没有标明人员可能会暴露在激光束中危害的位置，尤其是发散角大的激光束，需要给出NOHD 或标记。

#### C.4 参考文献

[1] HENDERSON,R.and d SCHULMEISTER,K.Laser Safety,Taylor and Francis Ltd.,United Kingdom,2004

[2] SLINEY DH,MARSHALLWJ,BRUMAGE EC.Rationale for laser classification measurement conditions.J Laser Appl.2007;19(3):197-206

[3] ISO/EC GUIDE 51:1999,Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards

附录 D  
(资料性)  
生物物理学原理

D.1 眼睛的解剖结构

图 D.1 给出了人眼的解剖细节。

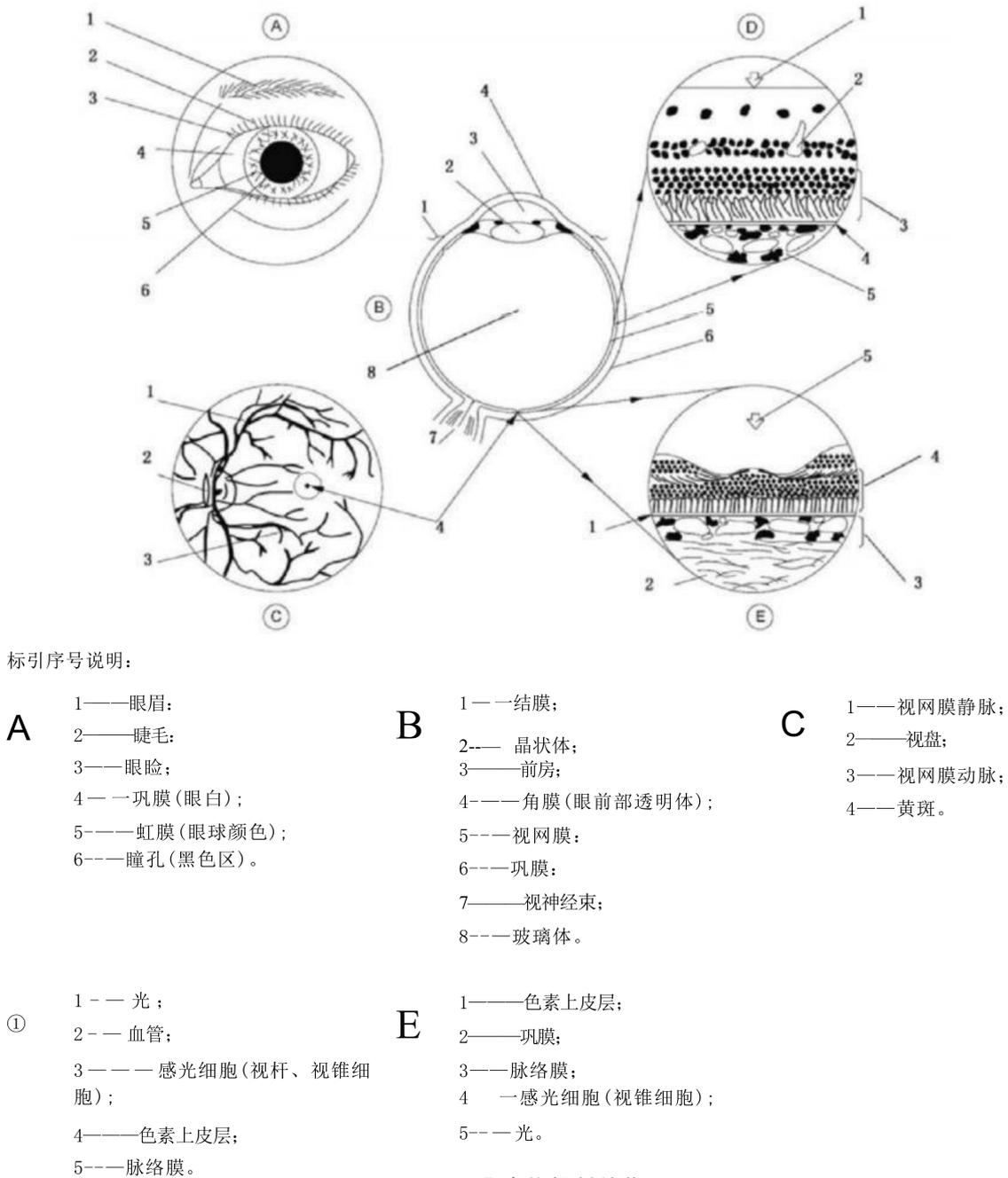


图 D.1 眼睛的解剖结构

在图D.1中：

④为左眼的外部结构图。睑裂限制了眼睛的外露区域，使眼睛呈杏仁状。标出了眼睛正前部的主要特征。

③为左眼的水平切面图。眼睛分为两部分：前部或前房，以角膜、虹膜、晶状体为界；后部或以视网膜为界和含有凝胶状玻璃体的眼杯。

◎为检眼镜下所见的正常左眼眼底。检眼镜的光束通过瞳孔直接照亮内部，所见到的图像是眼底。眼底是微红色，可清晰地看到较大的视网膜血管，其他突出的结构是白色的视盘和中央凹。中央凹是视网膜表面的一个凹陷，色素较周围视网膜多，是视觉最敏锐区。中央凹是黄斑的中心，黄斑用于分辨物体的细节。

①是图D.1(B)所示切面图中的视网膜结构，但比活体放大了数百倍。视网膜含有一组神经细胞层，位于感光的视杆和视锥细胞之上，即照射到视网膜表面的光应先穿过神经细胞层才能到达感光细胞。视锥、视杆细胞层的下面是色素上皮层，含有黑褐色的黑色素。色素上皮层下面是微细血管层，即脉络膜毛细血管。脉络膜是最后的吸收层，它既含有色素细胞，又含有血管。

⑤是放大数百倍的中央凹局部结构。中央凹仅有视锥细胞。神经细胞由于径向移位而远离视力最敏锐区(中央凹)。黄斑色素位于Henle纤维层内，对400 nm~500 nm的光吸收力最强。

## D.2 激光辐射对生物组织的作用

### D.2.1 概述

激光辐射引起损伤的机理，对于所有的生物系统来说都是相似的，可能包括热作用、热声瞬变、光化学过程和非线性效应。上述不同机理对组织损伤贡献度与辐照源的某些物理参数有关，其中最重要的是波长、脉冲宽度、光斑尺寸、辐照度和辐照量。

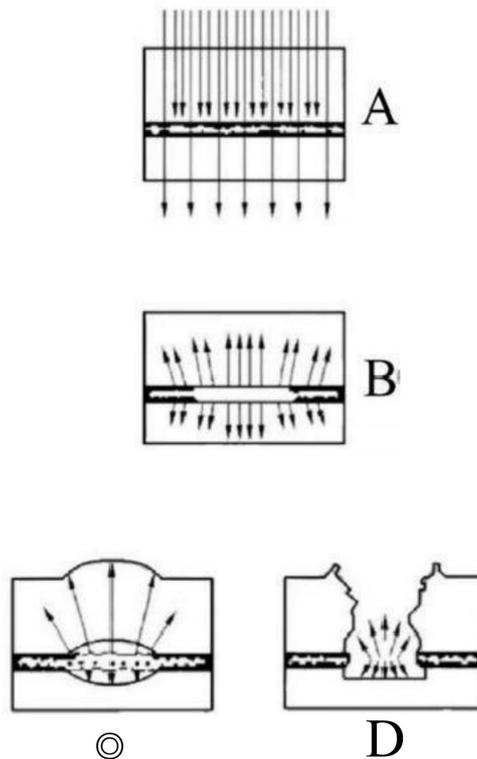
概括地讲，在超阈值照射中，主要的损伤机理与照射的脉冲宽度有关。按脉冲宽度逐渐增大的顺序，下列时间范围内起主要作用的损伤机理是：

- 照射时间为ns和亚ns时，主要是微空化、声瞬变和非线性效应；
- 照射时间为100 μs至数秒时，为热效应；
- 照射时间超过10 s时，为光化学效应。

激光辐射区别于大多数已知的其他辐射的特性，在于其很高的辐射出射度和光束准直性，加之其的初始能量高，可导致过多的能量传导到生物组织中。激光辐射对生物器官系统的任何形式的损伤，其初始过程都是该生物系统对激光辐射的吸收。吸收发生在原子或分子水平上，是一种波长特异性的过程。因此，波长决定了某特定激光束会引起哪种组织损伤。

#### 热效应

当一个系统吸收了足够的辐射能量时，其组成分子的振动增强，这是一种热容量的增加。多数激光损伤是由于组织受热所致。这种热损伤通常局限在以照射光束为中心、激光能量吸收边缘之内的有限区域。此区域内的细胞呈现明显的烧伤特征，组织损伤主要是由蛋白质变性引起。以上所述表明，激光二次损伤的发生可能与组织热作用过程有关，该热作用过程则与激光脉宽(图D.2)和冷却时间直接相关。组织在受热和冷却两个时段都会发生热化学反应，引起依赖光斑大小的热损伤。当组织受到连续波或长脉冲激光照射时，由于热传导作用，高温区的面积会持续增大。当越来越多的细胞温度升高到超过其耐受温度时，上述热扩散就可导致损伤区扩大。光斑(光束影像)大小也非常重要，因为热通过传导作用向周边扩散的程度既是组织最初被加热温度的函数，也是光斑大小的函数。这种类型的热损伤常见于连续波或长脉冲激光照射，但短脉冲照射时也会发生。对于1mm~2 mm或更小尺寸的照射光斑，径向热流导致的组织损伤依赖于光斑大小。



标引序号说明:

A— 组织吸收激光能量;

B— 能量被吸收后产生的热量向周围组织传导;

◎——对于长脉冲或连续激光, 持续的热扩散导致损伤区域逐渐扩大;

①——对于短脉冲激光, 高峰值功率密度导致细胞崩解和组织爆裂性损伤。

图 D.2 激光辐射对生物组织损伤的示意图

### 光化学效应

另一方面, 损伤效应也可能是光化学过程的直接结果。这一过程是由给定光能被吸收而产生的。该过程中组织并没有释放能量, 而是发生了一种激发态特异性的化学反应。这种光化学反应是低强度激光损伤的主要原因。基于这一机制, 某些生物组织, 如皮肤、眼的晶状体, 尤其是视网膜, 在受到适当强度的紫外辐射和短波可见光的长时间照射后, 会发生不可逆改变。如果照射持续时间过长, 或虽是短时间照射, 但重复照射的时间过长, 那么这种光化学过程导致的变化就可引起组织损伤。激光照射引发的有些光化学反应可能是异常化的, 或放大了的正常过程。光化学反应通常遵循本生-罗斯科定律, 即对于1h~3h 或更短的照射持续时间(这种情况下修复机制不能弥补损伤速度), 用辐照量表示的损伤阈值在很宽的持续时间范围内是恒定的。光化学效应中不存在热效应中那种热扩散引起的光斑大小依赖性。

### 非线性效应

短脉冲、高峰值功率(即调Q 或锁模)激光可以通过不同机理的联合作用造成组织损伤。能量在极短的时间内输送到生物靶标上, 会产生很高的辐照度。靶组织经受如此快速的升温, 致使其细胞内的液态成分变为气态。多数情况下, 上述相变过程极快, 可致组织爆裂和细胞崩解。热膨胀以及由此产生的压力瞬变, 还可引起远离吸收层的组织因整体移位而发生剪切损伤。对于亚纳秒激光照射, 眼介质的自聚焦效应会进一步聚集准直光束的激光能量, 并进一步降低10 ps~1ns 时段的损伤阈值。此外, 其他非线性光学机理在亚纳秒激光视网膜损伤中也起作用。

上述所有损伤机理都已在激光视网膜损伤中观察到, 并反映在本文件描述的安全照射量的转效点

或斜率变化上。

D.2.2 对眼睛的危害

在D1 中，简要描述了眼睛的解剖结构。眼睛特别适合于接收和转化光辐射。激光过量照射引起的眼病理学改变概括于表D.1 中，热相互作用机理显示于图 D.2 中。紫外和远红外激光辐射致使角膜损伤，而可见光和近红外辐射可透射到视网膜上引起损伤。

可见光和近红外激光对眼睛特别危险，这是由于眼睛本身是一个高效的光转化器，可使到达富含色素组织的辐照量很高。从角膜到视网膜，辐照度的增加近似等于瞳孔面积与视网膜像斑面积之比。辐照度增大是因为进入瞳孔的光在视网膜上被聚焦成一个“点”。瞳孔是一个可变的孔径，对年青人的眼睛而言，瞳孔直径最大可扩张至7mm，对应于这样一个瞳孔，视网膜像斑直径可在10 μm~20μm 之间。将眼内散射和角膜像差也考虑在内，从角膜到视网膜辐照度的增加有2×10<sup>5</sup>量级。

表 D.1 过量光照的病理效应一览表

CIE光谱范围a	眼 睛	皮 肤
紫外C(180 nm~<280 nm)	光致角膜炎	红斑(阳光灼伤) 加速皮肤的老化过程 色素沉着
紫外B(280 nm~<315 nm)		
紫外A(315 nm~<400 nm)	光化学白内障	色素加深 光敏感作用 皮肤灼伤
可见(400 nm~<780 nm)	光化学和热效应所致的 视网膜损伤	
红外A(780 nm~<1400 nm)	白内障、视网膜灼伤	皮肤灼伤
红外B(1.4 μm~<3.0 μm)	房水闪辉、白内障、角膜灼伤	
红外C(3.0 μm~1 mm)	仅为角膜灼伤	
CIE定义的光谱范围采用简化符号，便于描绘生物效应，可能与MPE表A.1到表A.3中光谱波段的划分不完全相同。		

假如增大2×10倍，那么在角膜上50 W/m<sup>2</sup> 的光束到视网膜上将变为1×10 W/m<sup>2</sup>。 在本文件中，7mm 瞳孔被认作是限制孔径，因为这是一种“最坏情况”条件，并且该值是对年青人最坏情况下的瞳孔直径进行测量而得到的。对7mm 瞳孔假设的一个例外是，在持续观看可见光(400 nm~700 nm) 激光源超过10s 的情况下计算不引起光照性视网膜炎的照射限值。在这种情况下，3mm 瞳孔被认为是“最坏情况”条件；不过，由于瞳孔在空间的生理性运动，用7mm 孔径进行平均辐照度测量仍被认为是合理的。因此，持续时间大于10 s 的 AEL 仍然用7 mm 孔径导出。

当一束强激光聚焦到视网膜上，仅有一小部分光(不超过5%)被视杆和视锥中的视色素所吸收。而绝大部分光将被色素上皮中的黑色素所吸收(在黄斑区，波长为400 nm~500 nm的部分能量将被黄色的黄斑色素吸收)。能量被吸收后会导致局部发热，并灼伤色素上皮和相邻的光敏视杆和视锥。这种烧伤或损伤可能导致视力丧失。光化学损伤，尽管是非热的，但也发生在色素上皮。

这种视力的丧失是否是永久性的，取决于照射的强度。通常只有当黄斑中心或中央凹损伤时，受照人员才会主观感觉到视力减退。中央凹是黄斑中心的一个小凹陷，是视网膜最重要的部分，是视觉最敏锐区。中央凹是视网膜用来“盯着看东西”的部分。中央凹所对的视角大约相当于月亮的张角。倘若此区受损伤，视力减退最初表现为一个模糊的白斑遮蔽视觉中心区，但在两周或数周内，白斑会变为黑斑。最后，患者可能在正常视觉中不会再察觉到这个盲点(暗点)。然而，当注视诸如一张空白纸样之类的场

景时,盲点就会立刻显露出来。只有在视网膜被整体破坏时,病人才会主观感觉到视网膜周边损伤。小的周边损伤往往被忽视,即使在系统的眼科检查中也未必会发现。

在400 nm~1400 nm 波长范围内,最大的危害是视网膜损伤。角膜、房水、晶状体和玻璃体对这些波长的辐射是透明的。对于准直良好的光束,其危害实际上与辐射源和眼之间的距离无关,因为视网膜像斑被认为是直径10 μm~20μm 的衍射极限光斑。在这种情况下,假定达到热平衡,则视网膜危害区域取决于最小对向角  $\alpha_{\min}$ ,它通常对应大约25 μm 直径的视网膜圆斑。

对于扩展源,其危害随光源和眼睛之间的观察距离而变化,因为尽管视网膜的瞬时辐照度只依赖于该光源的辐亮度及眼的成像特性,但视网膜像较大时能量热扩散效率较低,导致视网膜热损伤依赖于像斑大小,而光化学损伤(仅主导400 nm~600 nm光谱区)不存在这种依赖性。此外,眼动可使连续波激光照射时的能量吸收更加分散,导致对不同的视网膜图像尺寸有着不同的风险依赖性。

在推导视网膜危害区域的眼照射限值时,眼动修正因子仅适用于观察持续时间大于10s 的情况。虽然在0.1s~10s 的时间范围内,被称为眼跳的生理性眼动确实会分散视网膜最小像(25 μm 或更小)内吸收的能量,但眼照射限值为这一观察条件提供了一个期望的附加安全因子。照射时间为0.25 s 时,视网膜受照区域平均约为50 μm。照射时间为10s 时,视网膜受照区域约为75 μm,对处于固定状态的眼睛,将光斑大小依赖性也考虑在内,最小像条件下的附加安全因子为1.7。当照射时间为100 s 时,受照区域(在50%点测量)很难小到135 μm,导致最小像条件的附加安全因子为2.3或更大。

将来自眼动研究和视网膜热损伤研究的数据结合在一起,推导出观察时间转效点 $T_2$ ,在该时间点,眼动补偿了理论上眼睛固定不动时,因视网膜照射持续时间增加而增加的热损伤风险。由于以进入眼内的辐射功率表示的热损伤阈值随着照射持续时间 $t$ 的增加而降低(正比于 $t^{-0.25}$ ,即持续时间每增加10倍,损伤阈值仅减少44%),故对于更长观察时间带来的风险增加,只要适度增大视网膜受照区域就可以补偿。随着观察时间增加引起的眼动加大,视网膜受照区域也增大,对于较大的扩展源,需要用更长的时间补偿热扩散减少的影响。故而,随着对向角 $\alpha$ 的增大,转效点 $T_2$ 从小光源时的10s 增加到大光源时的100s。超过100s 后,小尺寸像和中等尺寸像的热损伤风险不再增加。照射限值和测量条件的规定力求遵循这些变量并进行适当简化,从而得到关于风险的保守确定。依据保守假设,视网膜像在大约25 μm 到1mm(相当于角度为1.5 mrad~59 mrad)时,视网膜热损伤阈值与视网膜像(稳定的)的大小成反比,超过1.7mm(相当于角度大于100 mrad),与光斑大小无关。在照射限值的与时间的关系上, $T_2$ 及其后恒定的辐照度和功率上限,反映了眼动和血流的影响以及损伤阈值在长时间照射时的时间相关性降低。但这并不适用于眼科仪器,见ISO 15004-2。

对于稳定的像,视网膜光化学损伤与光斑尺寸无关。与热损伤机理不同,光化学损伤阈值具有很强的波长依赖性和照射剂量依赖性,即随着照射持续时间的增加,损伤阈值反而减小。对向角为1 mrad~1.5 mrad 电弧引起的视网膜光化学损伤研究显示,其典型损伤斑大小为185 μm~200μm(相当于11 mrad~12 mrad 视角),这清楚地显示了固视眼动的影响。从这些和其他固视眼动研究推导出了防止视网膜光化学损伤的MPEs。基于这些研究,照射持续时间为10s~100s 的MPE 辐照度被规定为11 mrad 区域上的平均值。因此,张角 $\alpha$ 小于11 mrad 的光源视同“点状”光源,并且 $\alpha_{\min}$ 的概念被扩展到连续波激光观察。该做法并不严格正确,因为一个11 mrad 光源的辐照度测量并不等同于11 mrad视野(Y)上的平均辐照度,除非光源辐射度为矩形(“高帽”)分布。因此,本文件中对光源对向角和光化学MPE 值的平均辐照度做了区分。当观察时间超过约30s~60s 时,固视眼动一般由视觉任务支配的行为运动所控制,假设光源完全成像于中央凹的持续时间大于100s 是完全不合理的。由于这个原因,接收角 $\gamma_{ph}$ 随 $t$ 的平方根线性增大。对所有照射持续时间,最小对向角 $\alpha_{\min}$ 合理地保持在视网膜热危害评估时所用的1.5 mrad 参考角上。但是,对于视网膜光化学危害评估,表现光源对向角与光源接收角概念实际上是不同的,因为角 $\gamma_{ph}$ 是测量辐照度时的线性接收角,重要的是,仅适用于大于约11 mrad的扩展源。

## 观察距离

对于“点状”的发散光束光源，其危害随着光束束腰与眼睛距离的减小而增大。原因是，随着距离减小，眼收集功率增加，对于真实的激光光源，在距离减小到100 mm（基于眼的调节能力）之前，视网膜像斑尺寸可认为始终保持在接近衍射极限的水平。最大危害出现在最短调节距离上。随着距离的进一步减小，对裸眼的危害也会降低，因为视网膜像的迅速变大会导致辐照度相应减小，即使收集到的功率有可能更天。为模拟借助双目镜或望远镜对准直激光束进行光学辅助观察时的风险，根据这种情况下可清楚观察的最短距离，距50 mm 孔径光阑的最短距离设定为2 m。

从本文件来说，对于400 nm~1400 nm 范围内的所有波长，人眼调节的最短距离定为100 mm。选择100 mm 是一个折衷方案，因为除年青人和极少近视人员之外，其他人员不能把眼调节到100 mm 以内的距离上。这个距离可用于光束内视条件下的辐照度测量（见表10）。

对于小于400 nm 或大于1400 nm 的波长，最大危害是对晶状体或角膜的损伤。这些波长的光辐射或被角膜或被晶状体优先或者完全吸收（见表 D.1）。对于这些波长的发散光束光源（扩展的或点状的），应避免光源和眼之间的距离过短。

在1500 nm~2600 nm 的波长范围内，激光辐射可透入房水。加热效应因此会扩散到眼睛的更大体积内，因而照射时间小于10s 时的MPEs 升高。当脉冲宽度很短，且波长位于吸收体积最大的1500 nm~1800 nm 范围时，MPEs 升高最明显。当时间超过10s 时，热传导使热能量重新分布，因而透射深度的作用不再明显。

### D.2.3 皮肤危害

一般说来，皮肤比眼睛能耐受更大能量激光束的照射。可见光(400 nm~700 nm)和红外(大于700 nm)光谱范围的激光辐射照射皮肤引起的生物效应，包括从轻度红斑到严重水泡。表面吸收较强的组织受到极短脉冲、高峰值功率激光照射后，普遍会出现灰白色炭化层，而不出现红斑。

极强的辐射可造成皮肤的色素沉着、溃疡、瘢痕形成和皮下组织损伤。激光辐射的潜在效应或累积效应还未获得广泛认可。但是，一些有限的研究表明，在特定条件下，人体组织局部受到反复照射后会变得敏感，从而改变最小反应照射水平，并且该组织受到这种低水平照射时的反应更严重。

在1500 nm~2600 nm 波长范围内，生物学阈值研究表明，皮肤损伤风险与眼睛损伤相似。对于不超过10 s 的照射，在该光谱范围内MPEs 增加。

### D.3 MPEs和辐照度平均

在本文件中，已经采用由国际非电离辐射防护委员会(ICNIRP) 推荐的最大允许照射量(MPE)。已采用由ICNIRP 推荐的求辐照度平均值的孔径(测量孔径)，或应用ECTC76 推荐的附加安全因子。尽管AEL 的确定和推导通常基于MPEs，但也应进行风险分析并确定合理可预见照射条件。在AEL 的推导中，测量孔径的选择很重要，并且体现了生物物理学和生理学两方面因素。在某些情况下，风险评估的考量和表述方式的简化也有影响。表D.2 列举了在选择测量孔径时需要考虑的因素。总之，遵循 ICNIRP 的推荐，或采用附加安全因子。

表D.2 适用于眼睛MPE的测量孔径的说明

光谱段 $\lambda$ nm	照射持续时间t	孔径直径 mm	孔径直径的说明和原理
180~<400	所有t	1 mm	角膜上皮层和皮肤角质层散射导致1 mm孔径；IEC假定连续照射条件下被照射组织保持不动。但ICNIRP基于眼动影响，对于长时间照射推荐3.5 mm孔径
400~<600 光化学效应	$t > 10$ s	推导MPE时用3 mm 测量时用7 mm	对于光化学损伤机理，3 mm直径瞳孔的空间横向运动导致连续波照射时采用7mm孔径上取平均
400~<1400 热效应	所有t	7 mm	扩张的瞳孔直径，以及瞳孔在连续波照射条件下的横向运动
$1400 \leq \lambda < 10^5$	$t < 0.35$ s	1 mm	在角质层和上皮组织的热扩散
	$0.35 \text{ s} < t < 10$ s	$1.5 \times t^{3/8}$ mm	0.35 s后，更大的热扩散以及靶组织相对于激光束移动
	$t > 10$ s	3.5 mm	
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	所有t	11 mm	孔径大于衍射极限(即约 $10 \times$ )以确保精确测量

#### D.4 参考文献

[1] HENDERSON,R.and SCHULMEISTER,K:Laser Safety,Institute of Physics Publishing,Bristol,2003.

[2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP):Guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1,000  $\mu\text{m}$ .Health Phys.71(5):804-819,1996.

[3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP):Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1,4 $\mu\text{m}$ .Health Phys.9(4):431-440,2000.

[4] NESS,J.,ZWICK,H.A,STUCK,B.A.,LUND,D.J.,MOLCHANY,J.A.and SLINEY,D.H:Retinal image motion during deliberate fixation:implications to laser safety for long duration viewing.Health Phys.78(2):131-142.

[5]ROACH,W.P.,JOHNSON,P.E.and ROCKWELL,B.A.:Proposed maximum permissible exposure limits for ultrashort laser pulses,Health Phys.76(4):349-354.

[6] SLINEY,D.H.and WOLBARSHT,ML.Safety with Lasers and Other Optical Sources,New York,Plenum Publishing Corp.,1980.

[7] SLINEY,D.,ARON-ROSA,D.,DELORI,F.,et al:Adjustment of guidance for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments:statement of a task group of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection,Applied Optics,44(11),2162-2176,2000.

[8] United Nations Environment Programme(UNEP);World Health Organization(WHO); International Radiation Protection Association(IRPA):Environmental Health Criteria No. 23: Lasers and Optical Radiation,Geneva,WHO,1982.

附录 E

(资料性)

用辐亮度表示MPEs 和 AELs

E.1 背景

对于大的扩展光源，使用光源的辐亮度来分析潜在的视网膜损伤可能更容易。本附录给用户提供了最大允许辐亮度的一张表和一幅图。该图表基于 1 类、IM 类激光产品的 AELs 假设表观光源对向角大于  $\alpha_{mx}$  的观察条件下，得到的视网膜危害区 400 nm~1400 nm 波长范围内对应的 MPE 值。根据辐射守恒定律，即使有光学设备放置在散射光源的前面，所有散射的和发射低于表 E1 或图 E1 规定的辐亮度水平的扩展光源，都不可能超过 1 类可达发射极限(AELs)。

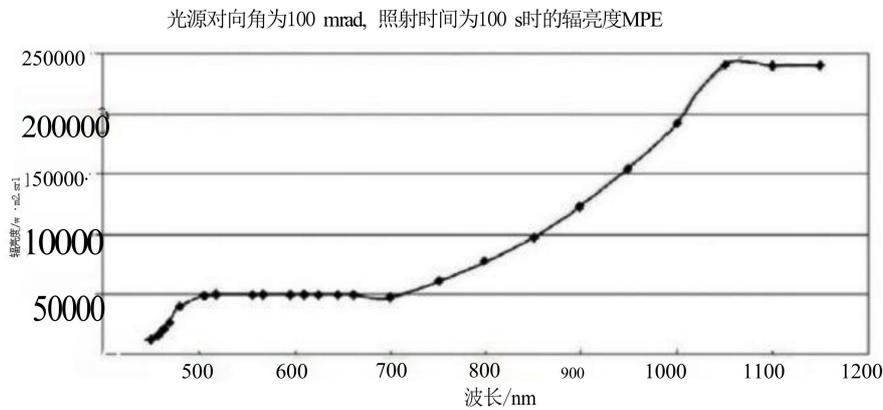


图 E.1 辐亮度与波长的关系曲线

E.2 辐亮度值

表 E.1 的辐亮度基于 IEC/EN 60825-1 推荐的 MPE 水平给出。因为 MPE 一般用辐照量 ( $J \cdot m^{-2}$ ) 或辐照度 ( $W \cdot m^{-2}$ ) 表示，需要将 MPE 转换为辐亮度 ( $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$ )。然后画出辐亮度与波长的关系曲线 (见 E.3)。

表 E.1 给出了照射持续时间 100s 内，作为波长函数的辐亮度允许照射值，其中对向角  $\alpha$  大于或等于 100 mrad。给出了光化学或热效应的最严苛的极限值。视网膜光化学危害极限采用斜体字表示。

表 E.1 1 类散射光源的最大辐亮度

波长 nm	辐亮度 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	辐亮度 $W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
430	10000	1.00
450	10000	1.00
460	15848	1.58
465	19952	2.00
470	25119	2.51

表 E.1 1 类散射光源的最大辐亮度(续)

波长 nm	辐亮度 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	辐亮度 $W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
480	39811	3.98
505	48316	4.83
520	48316	4.83
555	48316	4.83
565	48316	4.83
595	48316	4.83
610	48316	4.83
625	48316	4.83
645	48316	4.83
660	48316	4.83
700	48316	4.83
750	60826	6.08
800	76576	7.66
850	96403	9.64
900	121365	12.13
950	152789	15.28
1000	192350	19.24
1050	241580	24.16
1100	241580	24.16
1150	241580	24.16

注：斜体字表示视网膜光化学危害极限。

E.3 基本原理

辐亮度使用IEC/NIRP 推荐的MPE 水平进行计算。因为MPEs 一般用辐照量(Jm<sup>-2</sup>) 或辐照度(Wm<sup>-2</sup>) 表示，需要将MPE 转换为辐亮度(Wm<sup>-2</sup>·sr)。辐亮度的值作为波长的函数在图上标出。

因为MPEs 用辐照度表示，采用以下方法计算辐亮度。辐亮度L 定义见公式(E.1):

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta} \dots\dots\dots(E.1)$$

式中：

- Φ —— 辐射功率；
  - Q —— 立体角，顶点位于辐照度测量平面的立体角；
  - A —— 辐照度的确定面积。
- MPEs 常用辐照度(E) 表示，定义见式(E.2):

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

将公式(E.2) 代入公式(E.1), 得到辐亮度作为辐照度的函数, 见式(E.3):

$$L = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos\theta} \dots\dots\dots (E.3)$$

我们需要找到立体角  $\Omega$  和观察角  $\theta$ 。按式(E.4) 计算 9。

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \dots\dots\dots (E.4)$$

并假设最坏条件时观察角  $\theta = 0^\circ$  (观察者直视光束), 公式(E.3) 简化为公式(E.5):

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2} \dots\dots\dots (E.5)$$

MPEs 用辐照量表示, 方法稍有不同。辐照量H 定义见公式(E.1):

$$H = \frac{dQ}{dA} \dots\dots\dots (E.6)$$

式中:

Q——用焦耳表示的辐射能量。除以时间得到公式(E.7):

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt} \dots\dots\dots (E.7)$$

因为辐射功率更表示为公式(E.8):

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (E.8)$$

公 式(E.8) 代入公式(E.7), 得到公式(E.9)

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA} \dots\dots\dots (E.9)$$

返回公式(E.1), 并代入公式(E.9), 得到公式(E.10):

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos\theta} \dots\dots\dots (E.10)$$

再将公式(E.4) 代入, 并假设最坏的情况  $\theta = 0^\circ$ , 得到公式(E.11):

$$L = \frac{4H}{\pi\alpha^2 t} \dots\dots\dots (E.11)$$

为了计算, 我们假设最坏情况: 对向角100 mrad, 照射持续时间 1 0 0 s。结果在表E.1 和图 E.1 中给出。

**附录 F**  
**(资料性)**  
**汇总表**

表F.1 汇总了本文件所涉及的物理量，且给出了每个物理量所用的单位(以及单位的符号)。 SI 基本单位的定义引自ISO 80000-1, 单位和符号引自IEC 60027-1。表 F.2 汇总了制造商的要求。

**表F.1 本文件物理量汇总表**

物理量	单位名称	单位符号	定义
长度	米	m	米是光在真空中(1/299792458) s时间间隔内所经路径的长度
	毫米	mm	$10^{-3}$ m
	微米	$\mu$ m	$10^{-6}$ m
	纳米	nm	$10^{-9}$ m
面积	平方米	m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
质量	千克	kg	千克是质量单位，它等于国际千克原器的质量
时间	秒	s	秒是铯—133原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的192631770个周期的持续时间
频率	赫[兹]	Hz	1 Hz是周期为1 s的周期现象的频率，每秒循环1次等于1 Hz
平面角	弧度	rad	弧度是一圆内两条半径之间的平面角，这两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等
	毫弧度	mrad	$10^{-3}$ rad
立体角	球面度	sr	立体角，顶点位于球心，所截取的球面面积等于以球半径为边长的正方形面积
力	牛[顿]	N	$1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
能	焦[耳]	J	$1 \text{ N} \cdot \text{m}$
辐照量	焦耳每平方米	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$
总辐亮度	焦耳每平方米球面度	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}$	$1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
功率	瓦[特]	W	$1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$
	毫瓦	mW	$10^{-3}$ W
辐照度	瓦特每平方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
辐亮度	瓦特每平方米球面度	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
注：为了方便，在相应处列出了SI单位的倍数单位和分数单位。			

表F.2 制造商要求一览表

要求条号	类别						
	1类	1M类	2类	2M类	3R类	3 B 类	4类
危害类别的说明 附录C	在可合理预见的情况下是安全的	与1类相同，通过光学仪器直接进行光束内视可能有害	低功率；由回避反应提供正常的眼保护	与2类相同，通过光学仪器直接进行光束内视可能有害	直接光束内视可能是有害的	直接光束内视通常是有害的	高功率；漫反射可能是有害的
防护罩 6.2	每台激光产品都要求：为了执行产品的功能，限制必要的进入						
防护罩上的安全连锁6.3	设计用于防止挡板移动，除非可达发射值低于3R类的AEL				设计用于防止挡板移动，除非可达发射值低于3B类或3R类的AEL		
遥控连锁连接器6.4	无要求					允许在激光器安装中方便地添加外部连锁。一些3B类激光产品没有这个要求	
人工复位 6.5	无要求						如果电源中断或遥控连锁启动时要求人工复位
钥匙控制器6.6	无要求					当取下钥匙时，激光器不能使用	
发射警告装置6.7	无要求				当启动激光器或脉冲激光器电容器组充电时，给出可闻或可视警告。对3R类激光产品仅适用于不可见辐射		
衰减器 6.8	无要求					给出暂时切断激光束的措施	
定位控制器6.9	无要求				调节定位的控制装置，位于不高于1类或2类的AEL危险照射的位置		
光学观察仪器6.10	无要求						
扫描 6.11	扫描失效不应因此导致激光产品产生超过其自身类别的辐射						
分类标记7.2~7.7	要求文字		图3和图4及规定的文字				
窗口标记 7.8	无要求				要求规定的文字		
辐射输出标记 7.9	无要求	规定的文字					
标准信息标记7.9	依据产品或用户信息而定		规定的文字				

表F.2 制造商要求一览表(续)

要求条号	类别						
	1类	1M类	2类	2M类	3R类	3B类	4类
维修挡板标记7.10.1	无要求	要求与可达辐射的类别相对应					
优先控制联锁标记7.10.2	要求在确定的条件下与使用激光照射的类别相对应						
波长范围标记7.10和7.12	对特定波长范围要求						
燃烧危险标记7.13	当在人员接触最近点(3.5mm孔径)的可达发射超过3B类AEL时的规定文字				无要求		
用户资料8.1	操作手册应包括安全使用说明。附加要求适用1M类和2M类						
采购和维修信息8.2	推销简介应有分类标记；检修手册应包括安全说明						
医用产品9.2	无要求				对医用激光产品的安全，应适用标准GB 9706.222(位置变化)		
<p>注：本表提供一个方便的要求一览表。完整的要求见标准正文。由于1C类激光产品的明确概念，本表中不包含1C类激光产品的要求，在本文件中，明确了一般通用要求，各产品类型的特殊要求在专用标准中规定。</p>							

附 录 G  
(资料性)

IEC 60825相关部分一览表

IEC 60825的相关部分旨在与本文件一起使用。每个部分涵盖一个确定的范围，并提供附加的规范性的和资料性的指南，通过考虑特殊的使用条件、操作者/用户的能力/培训，使制造商和用户能够正确地对激光产品分类，并以安全的方式使用激光产品。涵盖的信息包括基本原理、示例、注释、方法、标记和其他限制条件及要求，见表G.1。

**表G.1 IEC 60825相关部分的补充资料概述**

部分号	类型	说明	产品设计者	产品供应者	产品使用者	安全关键部件提供者	测试方法	危害评估	相关标准
1	标准	设备分类和要求	是	是	是	是	是	是	
2	标准	光纤通信系统(OF CS)的安全(提供应用注解和示例)	是	是	是	是	是	是	
3	技术报告	激光显示与表演指南	否	否	是	否	否	是	
4	标准	激光防护屏(考虑高功率激光器消蚀防护材料的能力)	是	是	是	是	是	是	
5	技术报告	生产者关于IEC 60825-1的检查清单(适合在安全报告中使用的)	是	是	否	是	否	否	
6	技术规范 (撤销)								
7	技术规范 (撤销)								
8	技术报告	激光对人体安全性的使用指南	否	否	是	否	否	否	EC 60601-2-22
9	技术报告	非相干光辐射最大允许照射量(宽带光源)	否	否	是	否	是	是	EC 62471
10	技术报告 (撤销)								
12	标准	用于信息传输的自由空间光通信系统的安全	是	是	是	是	是	是	
13	技术报告	激光产品的分类测量	是	是	是	是	是	是	
14	技术报告	用户指南	否	是	是	否	否	是	
17	技术报告	高功率光纤通信系统使用无源光学元件和光缆的安全	否	是	是	是	是	是	

注：本表便于查找，但完整的内容见标准正文。 以上 所列的部分可能正在工作组的讨论过程中，没有 正式发布

附 录 NA  
(资料性)  
IEC 60825相关部分的解释

## NA.1 解释表1

### NA.1.1 介绍

对于一些复杂的扩展光源或不规则脉冲串，由于对本文件的修订，子条款4.3的应用需要加以说明。

注1:这份解释表，AE为可达发射(accessible emission)的缩写。

注2:这部分的说明同样适用于与MPE分析等价的方法，例如附录A。

### NA.1.2 子条款4.3 b) 多波长的辐射

参见NA.2。

### NA.1.3 子条款4.3 c) 扩展源的辐射

对波长 $\geq 400$  nm 和 $< 1400$  nm 的波长使用默认(简化)评估方法(子条款5.4.2)时，测定用于与可达发射极限比较的可达发射时，接收角可被限制在 $100$  mrad。但对于 $400$  nm~ $600$  nm、且持续时间超过 $10.0$  s 的情况除外，这种情况圆锥体的接收角不受限制。评估与3B类 AELs 比较的激光发射时，接收角也不受限制。

### NA.1.4 子条款4.3 d) 非均匀、非圆形或多个表观光源

在子条款4.3 d) 中，与视网膜热极限比较时，在每个方向变化接收角的要求可能看上去与子条款5.4.3中的图1和图2相矛盾，图1和图2中视场光阑看上去是圆形的。

#### 解读

圆形视场光阑可用于表观光源圆形对称的像，这种情况与子条款4.3 d) 中的步骤一致。对于表观光源非圆形对称的像，以下简单例子说明了如何应用子条款4.3 d)。

如果按照子条款4.3 d) 进行评估，对向角在两个方向变化时均得到  $\alpha_{\max}$ ，那么在这种情况下，对向角等于  $\alpha_{\max}$  的圆形视场光阑适用于非圆形对称的像。

作为一般原则，无论AEL 对应多长的发射持续时间 $t$  (例如脉冲持续时间、脉冲串群的持续时间或者用来平均功率的时间基准)，计算  $\alpha_{\max}(t)$  时应采用同一个发射持续时间 $t$ 。

下面的例子说明了子条款4.3 d) 中用来分析非规则或复杂图像光源的方法。需要注意的是这个例子与B.9.1 第二部分的例子(注意， $6$  mrad 而不是  $3$  mrad) 等价，然而在IEC/TR 60825-14:2004中，对于 $6$  mrad 的间隔，哪个组合最严格的结果不正确。光源为激光二极管阵列(图NA.1)，发射连续光。分析的目标是找到将可达发射限定为2类的适用可达发射极限。 $7$  mm 的孔径光阑放置于进行评估的距离，每个激光二极管都贡献了 $1$  mW 的可达发射(即通过孔径光阑的总功率为 $20$  mW)。分析过程需要通过改变接收角的位置和大小来实现不同的视场角，进而确定AE/AEL 最严格的情况。

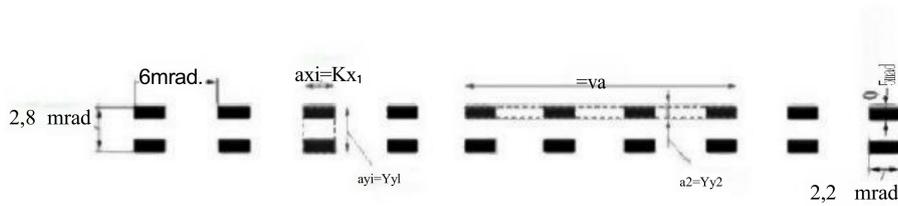


图 NA.1 由 20 个激光二极管组成的光源的成像图案。两种可能的组合模式通过各自的接收角  $\gamma_x$  和  $\gamma_y$ 。

分析这些激光二极管的子组合，需要将这些组合的  $\alpha$  和其对应的可达发射联系起来。例如单个激光二极管的  $a=(1.5 \text{ mrad}+2.2 \text{ mrad})/2=1.85 \text{ mrad}$ ，所以  $AEL=1.23 \text{ mW}$ 。对应的  $AE=1 \text{ mW}$ ，那么  $AE/AEL=1 \text{ mW}/1.23 \text{ mW}=0.8$ 。对于垂直两个激光二极管的组合，在图中由  $Y_x$  和  $Y_y$  标记， $a=(2.8+2.2)/2=2.5 \text{ mrad}$ ，所以  $AEL=1.66 \text{ mW}$ ； $AE=2 \times 1 \text{ mW}=2 \text{ mW}$ ，那么  $AE/AEL=1.2$ ，比单个激光二极管的结果严格。对于包含 10 个激光二极管的一行， $a=(1.5+56.2)/2=28.9 \text{ mrad}$ ， $AEL=19.2 \text{ mW}$ ， $AE=10 \times 1 \text{ mW}=10 \text{ mW}$ ，那么  $AE/AEL=0.5$ 。基于所有可能组合情况的分析显示，垂直两个激光二极管的组合得到的  $AE/AEL$  最大，也是这个分析的最终结果。这意味着可达发射是 2 类可达发射极限的 1.2 倍。注意，通过 7 mm 孔径光阑的 20 mW 中仅部分功率被认定为可达发射 (2 mW；因为这是在接收角内的功率部分，这里的接收角对应  $AE/AEL$  比值最大的图像部分)，并与可达发射极限作比较。如果二极管间的距离足够近，那么会得到整个阵列  $AEL$  比值最大的情况，例如额外的二极管对  $AE$  的贡献没有被张角扩大所导致的  $AEL$  的增加影响。

对于脉冲发射，通过以上  $AE/AEL$  比值最大的方法得到的  $a$  (4.3 f) 中的要求 3) 不适用，即  $AEL_{\text{sinale}}$  不因  $C_s$  减小。由于  $a_{\text{max}}$  取决于发射持续时间  $t$ ，根据 4.3 f) 分析的发射持续时间不同，表观光源的图像分析可能导致不同的  $a$  和部分可达发射。例如，对于短于  $625 \mu\text{s}$  ( $a_{\text{max}}=5 \text{ mrad}$ ) 的发射持续时间，图像分析中最大需要考虑的部分阵列为垂直方向两个二极管的组合。

**NA.1.5 子条款 4.3 f)3) 确定  $\alpha$**

对于分析脉冲发射， $a_{\text{max}}$  是时间的函数  $a_{\text{max}}(t)$ ， $a_{\text{max}}$  即限制了计算  $C_d(a)$  的  $\alpha$ ，也限制了测定可达发射的接收角  $\gamma$  [参见 4.3 c) 和 d)，以及 NA.1.4]。在这个过程中，用于确定  $AEL(t)$  的发射持续时间  $t$  同样用来确定  $a_{\text{max}}(t)$  (即 4.3 f)3) 中的脉冲持续时间或脉冲群持续时间，以及 4.3 f)2) 中的平均持续时间]。然而，参数  $a$  也被用在子条款 4.3 f)3) 的  $C_s$  的判据中。对于这些判据，参数  $a$  不像在 4.3 d) 中计算  $C_s$  时一样受限。

对于要求“除非  $a > 100 \text{ mrad}$ ”，表观光源的对角  $\alpha$  不受限于  $a_{\text{max}}$ 。对于不规则(椭圆形的、矩形的或者线形的)的光源，该不等式在两个方向上均得到满足时，才能应用  $C_s = 1$ 。

计算  $T_2(\alpha)$  以及在要求“ $\alpha \leq 5 \text{ mrad}$ ”“ $5 \text{ mrad} < a \leq a_{\text{max}}$ ”，以及“ $a > a_{\text{max}}$ ”中， $a$  最大值限定为

100 mrad 这个值与发射持续时间大于或等于 0.25 s 时的  $a_{\text{max}}$  相等。对于  $T_2$  和这些不等式， $a$  不受限于小于 100 mrad 的  $a_{\text{max}}(t)$ ，即其值与用发射持续时间大于或等于 0.25 s 决定的  $C_s$  值相等。参考通常的定义(参见子条款 4.3 d))，算数平均值用来计算  $\alpha$ ，也就是说，没必要两个方向上都独立满足“ $a \leq$

5 mrad”。

确定 4.3 f)3) 中  $C_s$  的适用值时，对于移动表观光源分析(来自扫描发射且眼调节不在中心或顶点)

4.3 f)3) 中与  $C_s$  选择相关的各不等式中的  $a$  值，取决于静态表观光源以及所分析的各种眼调节状态(例如眼调节至无穷远)。

**NA.1.6 子条款 4.3 f)3) 脉冲群持续时间超过  $T_2$  的多组脉冲群**

对于不规则的重复脉冲，即多组脉冲群(示例见图H.2)，当  $a > 5 \text{ mrad}$  并且脉冲组的持续时间大于

$T_i$  时, 4.3 f) 要求3)中没说清楚如何应用热叠加效应。对于“均一的”(即恒定的峰值功率、持续时间、和周期)重复脉冲串, 不必通过组合脉冲来分析发射模式。

当一组脉冲中的各个脉冲相隔很近时, 它们依据热效应组合成一个“有效”脉冲,  $C_s$ (除了根据实际脉冲和平均功率分析脉冲串)也同样适用于这些“有效”脉冲, 其中 $N$ 是  $T_2$  或时间基准中较短时间内的脉冲群的个数。

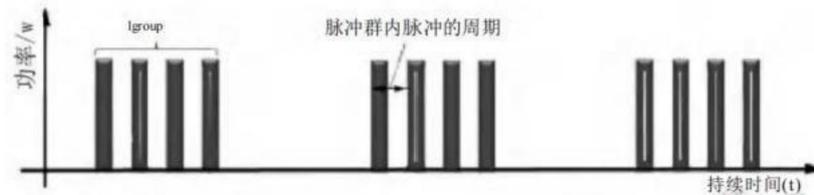


图 NA.2 三个脉冲群示例(每个脉冲群持续时间大于 $T_i$  时)每个脉冲群视为一个“有效”脉冲, 并且  $C_s$  应用在与脉冲群持续时间对应的可达发射极限上,  $C_s$  由评估时间内脉冲群的个数决定(图中 $N=3$ )

分析多个脉冲群时,  $AEL_{sigle}$ 的值由对应的脉冲群持续时间 $t_{group}$ 决定。确定 $C_s$  时,  $N$  是  $T_2$  和时间基准中较短时间内的脉冲群数。相应的 $C_s$  用于根据  $AEL_{sigle}$ 计算 $AEL_{sp. rmin}$ , 以限制脉冲群的可达发射。这里, 可达发射 $AE$  是该脉冲群中各脉冲能量的总和。

在将  $C_s$  应用于脉冲群时, 需要确定脉冲群的可达发射极限  $AEL(t_{grou})$ , 以及每个脉冲群的能量 ( $AE_{group}$ )。对于脉冲群内峰值功率变化的多个脉冲群, 脉冲群的持续时间无法定义清楚。为了简化分析,  $t_{group}$ 可以与确定每个脉冲群能量(即 $AE_{group}$ )的积分时间设置成一样。没有必要使用半高全宽(FWHM) 确定脉冲群的持续时间, 因为对于峰值功率变化的多个脉冲群 FWHM 无法定义清楚。将  $t_{grop}$ 设置为确定 $AE_{group}$  (用能量表示)的积分时间, 则 $C_s$ 在多个脉冲群上的应用就是4.3 f) 要求2)的简单扩展, 这里每个脉冲群的平均功率(等于平均时间 $t_{average}$  内的能量除以平均时间)应低于平均时间内的  $AEL(t_{average})$ [ $AE_{grop}$  和  $AEL(t_{group})$  用功率表示]。与通常在平均功率规则中, 对于不规则脉冲串, 平均时间窗(当表示为能量时, 对应积分时间窗)需要在时间点和持续长度上变化(例如, 如果一脉冲群在开始或结束时能量较低的脉冲, 则积分时间不仅需要考虑 整个脉冲群, 还需要考虑排除低能量脉冲)。

如果单个脉冲具有足够长的时间间隔(周期长于 $T_i$ , 见下文), 作为一种简化的分析, 不需要在4.3 63)中当作脉冲群进行分析。只需按分离脉冲进行分析(不需要按脉冲群进行额外分析)时间间隔, 取决于表观光源的对向角以及该脉冲群中的单个脉冲持续时间 $t_{pulse}$ 。注意这里可能有多种水平的组合, 那么群内各独立单元(脉冲持续时间 $t$ ) 可以自视为“有效脉冲”, 即子组合。

当下述三个条件同时满足时:

——脉冲群持续时间( $t_{group}$ )在  $T_i$  和0.25s 之间,

- 表观光源对向角大于5 mrad,

——脉冲周期(见图H.2) 小于临界周期 $T_{ci}$  (如果 $t_{pulse} < T_i$ ,  $t_{pulse}$  设置为与 $T_i$  相等; 此外, 对于 $T_i$  的确定,  $a_{max}$ 用于确定 $t_{pulse}$ , 而不是脉冲串持续时间), 其中:

当  $\alpha \leq a_{max}$  时,  $T_{crit} = 2 \cdot t_{pulse}$ , 其中 $t_{pulse}$ 以 s 为单位;

当  $\alpha > a_{max}$  时,  $T_{ci} = 0.04 \cdot t_{pulse} \cdot 0.5$ , 其中 $t_{pulse}$ 以 s 为单位,  $\alpha$  以mrad 为单位, 并且不受限于  $a_{max}$ 。

那么这些脉冲构成一个脉冲群, 可以当作一个有效脉冲看待, 而且 $C_s(N$  是  $T_2$  或时间基准中较短的时间内的脉冲群的个数)适用于脉冲群的可达发射极限。对于可达发射的确定,  $a_{mx}$  由被评估的脉冲群持续时间 $t_{grop}$ 决定。如果不满足以上条件, 那么当作“有效脉冲”分析的脉冲群内各脉冲不需要组合, 即脉冲群不需要被当作一个“有效”脉冲来分析。

注意, 如果 $T_i$  内有多个脉冲, 4.3 f3) 中的规则同样适用, 即它们被当作单脉冲来确定 $N$ , 并且 $T_i$

内各脉冲的能量相加后与 $T_i$ 的 AELs<sub>p,rain</sub> 比较, 这里的 $C_s$  对应发射持续时间 $t \leq T_i$ 。

#### NA. 1.7 子条款4.3 f)简化

##### a) 脉冲峰值功率恒定, 但持续时间更短时

取决于表观光源的对向角, 相比脉冲持续时间大于 $T_i$ 的情况,  $C_s$  可能在脉冲持续时间小于 $T_i$ 时更严格, 如果在峰值功率不变的情况下, 这与一般生物物理原理相违背。

##### 解读

对于脉冲串中脉冲持续时间变化的情况, 如果大于 $T_i$ 的脉冲的可达发射低于适用的可达发射极限, 那么可以认为对于脉冲持续时间小于 $T_i$ 但峰值功率与长脉冲相等(或更小)的脉冲, 结果将更不严格。这个解读所遵从的基本原理是, 当脉冲具有相同的峰值功率时, 较短的脉冲不可能比较长的脉冲更严格。

注: 这里的解读在划分产品等级时也可以被用来平滑在 $T_i$ 处的阶梯函数, 也就是说, 如果长脉冲满足适用的可达发射极限, 并且短脉冲有相同或者更低的峰值功率, 产品等级的划分可以基于脉冲持续时间大于 $T_i$ 的假设, 即使实际脉冲持续时间小于 $T_i$ 。

##### b) 表观光源的像更大时

发射持续时间超过 $T_i$ 时, 由于 $C_s$ 在 $5 \text{ mrad}$ 和 $\alpha_{\text{max}}$ 处的阶梯函数, 表观光源对向角更大时的可达发射极限(作为 $C_6$ 和 $C_6$ 的函数)可能比对向角小的时候更严格。这与一般生物物理原理相违背。

##### 解读

当激光产品的类别由扩展光源分析确定(子条款5.4.3), 并且表观光源的对向角大于 $5 \text{ mrad}$ 时, 分类可能基于表观光源对向角小于 $5 \text{ mrad}$ 时的数值(导致较小的 $C_6$ 但较大的 $C_s$ )。也就是说, 当可达发射小于假设的较小表观光源的可达发射极限时, 即使表观光源的像大于 $5 \text{ mrad}$ , 分类结果也同样适用。该方法同样适用于 $C_6$ 在 $\alpha_{\text{max}}$ 处的阶梯函数。

##### c) 使用方形孔径光阑时

在一些情况下, 例如二维扫描激光束, 用圆形的孔径光阑来确定可达发射可能会产生非常复杂的脉冲模式。

##### 解读

用 $7 \text{ mm}$ 边长的方形孔径光阑进行分析(确定可达发射和脉冲持续时间)可被认为与圆形孔径光阑等价或者更严格, 因此是一种有效的分析方法。

##### d) 简化默认分析的适用性

当脉冲持续时间大于 $T_i$ , 对向角 $> 5 \text{ mrad}$ 的 $C_s$ 比对向角 $\leq 5 \text{ mrad}$ 的要小(更严格)。 $a = 1.5 \text{ mrad}$ 的假设是简化(默认)评估方法的基础。因此对于表观光源对向角大于 $5 \text{ mrad}$ 即 $C_s < 1$ 的情形, 不明确简化(默认)评估方法是否仍是一种严格的简化分析。

##### 解读

应用 $a = 1.5 \text{ mrad}$ ( $C_6 = 1, C_s = 1$ )的简化严格假设, 即使对于光源对向角大于 $5 \text{ mrad}$ 的情况, 也是被认可的。这意味着为了应用 $C = 1$ 和 $C = 1$ 的简化分析, 不需要说明 $a < 5 \text{ mrad}$ , 这是由于整体来说这是一个保守的简化。需要注意的是简化默认分析中可达发射的确定不受接收角等于 $\alpha_{\text{max}}$ 的限制。

##### e) 最严格位置的确定

对于扩展光源的分析, 有必要改变光束中的评估位置。对于光束中每一个评估位置, 眼睛会改变调节状态并得到最严格图像。在给定位置确定最严格图像(AE/AEL的比值最大)时, 4.3 f)中的要求3)不适用。否则由眼调节导致的表观光源的模糊(更大)像可能更严格, 这与一般生物物理学原理相违背。一旦在光束中的每个位置的最严格像(及相应的 $a$ )被识别出

来, 4.3 f)中的三条要求需要全部采用以确定最严格的位置(识别AE/AEL 比值最大的位置)。

#### f) 脉冲总持续时间方法的应用

对于有规律的脉冲串, 以及脉冲持续时间变化和/或脉冲周期变化的脉冲串(但排除脉冲峰值功率剧烈变化的情况, 见下文), 脉冲总持续时间(TOTP) 方法[也见 IEC 60825-1:2007, 子条款8.3 f)3b)] 可以用作为4.3 f) 中要求3)的替代方法, 即只要TOTP 的  $a_{max}$ 已确定(或用最坏情况下的100 mrad), TOTP 方法就可作为把Cs 应用于单脉冲AEL 的替代方法。由于这种方法等价于不设下限的Cs ( $C_5$  不限制在0.2或0.4), 而且 TOTP 的  $a_{max}$ 一般比单个脉冲的大, 这种方法得到的结果将比4.3 f)的规则更严格。

对于TOTP 方法, 从IEC 60825-1:2007引用的以下内容适用:

可达发射极限由TOTP 的持续时间确定, TOTP 的持续时间是发射持续时间或  $T_2$  (以较小者为准)内所有脉冲持续时间的总和。脉冲持续时间小于 $T_i$  的, 按照 $T_i$  计算。如果在 $T_i$  内出现两个或者多个脉冲, 那么脉冲群的持续时间按照 $T_i$  计算。与相应持续时间的可达发射极限比较时, 所有脉冲能量加在一起计算。

注意TOTP 方法在IEC 60825-1:2007中专指“对于变化的脉冲宽度或变化的脉冲间隔”的情况, 而并非指变化的峰值功率。对于脉冲峰值功率剧烈变化的情况, TOTP 方法并不适用, 因为在脉冲串中增加峰值功率低且每个脉冲能量贡献低的脉冲, 可能导致可达发射极限的增加(通过提高总时间)大于总能量的增加, 从而导致这种评估不如单独评估高峰值功率的脉冲严格。

#### g) 脉冲峰值功率变化, 但持续时间恒定时

对于脉冲峰值功率变化但持续时间恒定(小于或大于 $T_i$ ) 的情形, 应用4.3 f) 中的要求3)时, 可以根据相对峰值功率大小, 通过脉冲计数来确定N, 即对于每一个最大峰值功率脉冲, N 增加1.0;对于峰值较小的脉冲, N 增加一个小于1.0的值, 例如对于峰值功率为最大峰值功率70%的脉冲, N 增加0.7。对于这个简化, 基于温度引起的热致损伤的强非线性, 不计峰值功率小于最高峰值功率1/10(即低于最高峰值功率的10%)的脉冲是合理的。注意, 得到的 AEL<sub>p,ran</sub> 适用于具有最大可达发射, 即最大单脉冲能量的脉冲, 且本段解释仅适用于脉冲持续时间恒定的脉冲串。

## NA.2 解释表 2

### NA.2.1 子条款4.4传统照明灯的替换

该子条款通过以下内容进行说明:

子条款4.4介绍了一个基于辐亮度的判据, 而激光产品通常不会确定辐亮度。NA.2 阐明辐亮度的测定以及辐亮度的限值。

#### 解读

对向角  $\alpha$  由表观光源50%峰值辐亮度(在不大于1.5 mrad 的接收角内平均)来确定, 这与 IEC 62471:2006和 IEC62471-5:2015 中的规定等效。对于不均匀或者包含多个发光面的光源, 即使表观光源轮廓内存在热点, 其外边界(通过峰值50%定义)仍被用于确定  $\alpha$  以计算辐亮度限值和表观光源最小尺寸的限值。辐亮度和表观光源的对向角  $\alpha$  均在距离人员接触最近点的200 mm 处确定。

注 1 :GB/T 30117系列中也用光源分布峰值50%的外边界来确定  $\alpha$  以计算视网膜热效应辐亮度限值。

注 2:在本文件中, 热点是指表观光源出射光束分布不均, 存在局部集中的情况。

子条款4.4中的辐亮度限值(LT) 不是可达发射极限(AEL), 而只是满足这个子条款的判据。满足这个限值并不意味着产品的发射在IEC 62471中被认定是安全的或符合其中的任何特定风险组。

尽管满足子条款4.4定义的可达发射在IEC 60825-1中不需要进行分类, 但IEC 60825-1适用的要求(即标记、工程措施、维修、用户信息等)同样需要满足, 且产品在IEC 60825-1也被划定为激光产品

(通常为1类),但应排除(即“忽略”)子条款4.4范围内的光发射。在划分为1类的情况下,与“通常”1类激光产品可以选择是否粘贴1类标记不同,当产品具有子条款4.4规定之外的光发射时,除了IEC 62471系列规定的“风险组”标记外,还应有1类标记。

当作为零部件销售给灯具生产商时,基于激光的光发射不在IEC 60825-1规定的范围内。然而,最终的产品(即灯具)在IEC 60825-1规定的范围内,包括子条款4.4。不过,光发射模块可按IEC 62471列来划分等级。

为了排除发射,不要求发射是广谱的;例如,发射可以由多个单色波组成,甚至也可以是单色的。此外,对于发射的相干度也没有明确的要求。

用来与辐亮度限值(LT)比较的辐亮度由以下条件决定。

- a) 未加权的最大辐亮度(即对于脉冲或扫描发射,相应地在脉冲内或扫过静止孔径光阑时的时域峰值辐亮度)在5 mrad 的接收角范围进行平均,并且在距离人员接触最近点的200 mm 处测定。
- b) 如果辐亮度规则用于200 mm 处直径小于7mm 的光束,成像系统中用来测定平均辐亮度的孔径光阑直径为1 mm。
- c) 有必要考虑在正常运行、维护和可合理预见的单一故障条件下的最大发射(如5.2 b)所述]。例如,漫射元件的失效可能导致超过子条款4.4中辐亮度判据的发射。
- d) 当激光和非激光(非相干)辐射同时照射在视网膜同一个区域(即发射来自同一个特定的接收角范围),激光和非激光(非相干)辐射都须考虑在内。不按激光分类的发射按IEC 62471标准确定一个“风险组”。

条目d)对子条款4.3 b)进行说明,且就预期的非激光辐射而言,子条款4.3 b)优先于5.2 f)。这意味着当不采用子条款4.4并且发射按照激光标准划分类别时,激光和非激光发射都需考虑在内。

## 参 考 文 献

- [1] ISO 11146-1 Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios—Part 1:Stigmatic and simple astigmatic beams
- [2] ISO 12100 Safety of machinery—General principles for design—Risk assessment and risk reduction
- [3] ISO 13694 Optics and optical instruments—Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam power(energy)density distribution
- [4] ISO 13849(all parts)Safety of machinery—Safety-related parts of control systems
- [5] ISO 15004-2:2007 Ophthalmic instruments—Fundamental requirements and test methods—Part 2:Light hazard protection
- [6] ISO 80000-1 Quantities and units—Part 1:General
- [7] IEC/ISO 11553(all parts)Safety of machinery—Laser processing machines
- [8] IEC/ISO 11553-1 Safety of machinery—Laser processing machines-Part 1:General safety requirements
- [9] IEC 60027-1 Letter symbols to be used in electrical technology—Part 1:General
- [10] IEC 60050-845:1987 Electrotechnical terminology—Lighting
- [11]IEC 60065 Audio,video and similar apparatus—Safety requirements
- [12] IEC 60079(all parts)Explosive atmospheres
- [13] IEC 60079-0:2011 Explosive atmospheres—Part 0:Equipment—General requirements
- [14] IEC 60204-1 Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1:General requirements
- [15] IEC60601-2-22 Medical electrical equipment—Part 2-22:Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical,cosmetic,therapeutic and diagnostic laser equipment
- [16] IEC 60825-2 Safety of laser products—Part 2:Safety of optical fibre communication systems(OFCS)
- [17] IEC/TR 60825-3 Safety of laser products—Part 3:Guidance for laser displays and shows
- [18] IEC 60825-4 Safety of laser products—Part 4:Laser guards
- [19] IEC/TR 60825-5 Safety of laser products—Part 5:Manufacturer's checklist for IEC 60825-1
- [20] IEC/TR 60825-8 Safety of laser products—Part 8:Guidelines for the safe use of laser beams on humans
- [21] IEC/TR 60825-9 Safety of laser products—Part 9:Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation
- [22] IEC60825-12 Safety of laser products—Part 12:Safety of free space optical communication systems used for transmission of information
- [23] IEC/TR 60825-13 Safety of laser products—Part 13:Measurements for classification of laser products
- [24] IEC/TR 60825-14:2004 Safety of laser products—Part 14:A user's guide
- [25]IEC 60950(all parts)Information technology equipment—Safety
- [26] IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement,control,and laboratory use—Part 1:General requirements
- [27] IEC 61508(all parts) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic

safety-related systems

[28] IEC 62115 Electric toys—Safety

[29] IEC 62368-1 Audio/video, information and communication technology equipment—Part 1: Safety requirements

---