



中华人民共和国国家标准

GB 7247.1—2012/IEC 60825-1:2007
代替 GB 7247.1—2001

激光产品的安全 第 1 部分：设备分类、要求

Safety of laser products—
Part 1: Equipment classification and requirements

(IEC 60825-1:2007, IDT)

2012-12-31 发布

2013-12-25 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 要求 12

 4.1 一般要求 12

 4.2 防护罩 12

 4.3 挡板和安安全联锁 13

 4.4 遥控联锁连接器 13

 4.5 人工复位 13

 4.6 钥匙控制器 14

 4.7 激光辐射发射警告 14

 4.8 光束终止器或衰减器 14

 4.9 控制器 14

 4.10 光学观察器 14

 4.11 扫描安全装置 14

 4.12 “进入”通道 14

 4.13 环境条件 15

 4.14 其他危害防护 15

5 标记 15

 5.1 一般要求 15

 5.2 1类和1M类 17

 5.3 2类和2M类 18

 5.4 3R类 18

 5.5 3B类 18

 5.6 4类 18

 5.7 窗口标记 19

 5.8 辐射输出和标准说明 19

 5.9 挡板标记 19

 5.10 不可见激光辐射警告 20

 5.11 可见激光辐射警告 20

6 其他说明性要求 20

 6.1 用户资料 20

 6.2 采购及检修说明 21

7 专用激光产品的附加要求 22

 7.1 IEC 60825 系列标准的其他部分 22

7.2 医用激光产品..... 22

7.3 激光加工机械..... 22

7.4 电子玩具..... 22

7.5 消费电子产品..... 22

8 分类..... 22

8.1 概述..... 22

8.2 分类职责..... 23

8.3 分类规则..... 23

9 确定可达发射水平..... 26

9.1 检测..... 26

9.2 激光辐射类别的测量..... 29

9.3 测量几何学..... 34

附录 A (资料性附录) 最大允许照射量 39

附录 B (资料性附录) 计算举例 45

附录 C (资料性附录) 类别描述和潜在的相关危害 52

附录 D (资料性附录) 生物物理学原理 56

附录 E (资料性附录) 用辐亮度表示 MPEs 和 AELs 63

附录 F (资料性附录) 汇总表 66

附录 G (资料性附录) IEC 60825 相关部分一览表 68

参考文献 70

图 1 警告标记——危险符号 16

图 2 说明标记 17

图 3 通过表观光源映射到视场光阑平面的测量极限接收角装置示意图 36

图 4 由圆形光阑或遮光板(作为视场光阑)放置在接近表观光源位置的测量极限接收角装置示意图 36

图 5 确定可达发射(a 图)和表观光源对向角(b 图)的试验装置示意图在条件 2 下,考虑扩展光源(即不使用默认简单评估方法) 37

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 46

图 B.2 对 1M 类和 2M 类激光产品的分类流程图 47

图 B.3 对选定发射持续时间 10^{-9} s~ 10^3 s 的 1 类紫外激光产品的 AEL 值 48

图 B.4 在选定波长上,发射持续时间 10^{-9} s~ 10^3 s 的 1 类紫外激光产品的 AEL 值 48

图 B.5 1 类可见和选定红外激光产品的 AEL 值($C_6=1$) 49

图 D.1 眼的解剖 56

图 D.2 激光辐射对生物组织损伤的示意图 58

图 E.1 辐亮度是波长的函数 63

表 1 安全连锁的要求 13

表 2 不同光谱区辐射对眼睛和皮肤的叠加效应 23

表 3 脉冲群相加的时间下限 26

表 4 1 类和 1M 类激光产品的可达发射极限和 $C_6=1^{a,b}$ 27

表 5 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内的 1 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} 28

表 6 2 类和 2M 类激光产品的可达发射极限 29

表 7 3 类激光产品的可达发射极限和 $C_6=1^{a,b,c}$ 31

表 8 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内 3R 类激光产品的可达发射极限(视网膜危害区):
扩展光源^{a,b} 32

表 9 3B 类激光产品的可达发射极限 33

表 10 在 AEL 和 MPE 评估中使用的修正因子和转效点 33

表 11 用于默认(简单)评估的测量孔径直径和测量距离 35

表 12 参考点 35

表 13 极限接收角 γ_{ph} 38

表 A.1 $C_6=1$ 时,激光辐射^{a,b}照射在角膜上的最大允许照射量(MPE) 40

表 A.2 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内,扩展光源的激光辐射照射在角膜上的最大允许
照射量(MPE)(视网膜危害区) 41

表 A.3 激光辐射^{a,b}皮肤的最大允许照射量(MPE) 42

表 A.4 用于测量激光辐照度和辐照量的孔径直径 42

表 D.1 过量光照的病理效应一览表 59

表 D.2 适用于 MPE 的测量孔径的说明 62

表 E.1 1 类散射光源的最大辐亮度 63

表 F.1 本部分中所有物理量一览表 66

表 F.2 制造厂商要求一览表 67

表 G.1 IEC 60825 相关部分的补充资料一览表 69

前 言

本部分的第3章、附录A~附录G为推荐性的,其余为强制性的。

GB 7247《激光产品的安全》分为以下部分:

——第1部分:设备分类、要求;

——第14部分:用户指南。

本部分为GB 7247的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB 7247.1—2001《激光产品的安全 第1部分:激光设备的分类、要求和用户指南》,与GB 7247.1—2001相比主要技术内容变化如下:

- 删除了发光二极管(LED)部分,(说明见第1章,2001年版的1.1);
- 增加了术语和定义:可达发射、接收角、光束、1M类激光产品、2M类激光产品、评估视网膜光化学危害的极限接收角、评估热危害的极限接收角、最大限制位置、光化学危害极限、小光源、热效应危害极限和时间基准(见3.2、3.6、3.11、3.19、3.21、3.50、3.51、3.60、3.64、3.80、3.82和3.83);
- 删除了术语和定义:准直用激光产品、激光光纤传输系统、水准测量用激光产品、检修接头和测绘用激光产品(2001年版的3.4、3.40、3.45、3.71和3.75);
- 修改了术语和定义的名称及内容:表观光源对向角、3R类和3B类激光产品、嵌入式激光产品、照射持续时间(见3.7、3.22、3.30和3.33,2001年版的3.6、3.17、3.25和3.28);
- 将术语和定义“窗口;孔径光阑”由一个变为两个(见3.8和3.9,2001年版的3.7);
- 修改了术语和定义的内容:可达发射极限、表观光源、光束直径、光束发散角、1类激光产品、2类激光产品、扩展光源观察、人员接触、光束内视、最大输出和镜面反射(见3.3、3.10、3.13、3.14、3.18、3.20、3.34、3.37、3.39、3.55和3.81,2001年版的3.2、3.8、3.10、3.11、3.15、3.16、3.29、3.32、3.34、3.50和3.74);
- 修改了防护罩的一般要求(见4.2.1,2001年版的4.2.1);
- 修改了挡板和安联锁、激光辐射发射警告、扫描安全装置和“进入”通道的内容(见4.3、4.7、4.11和4.12,2001年版的4.3、4.6、4.10和4.12);
- 增加了人工复位的内容(见4.5);
- 删除了准直辅助器的内容(见2001年版的4.11);
- 修改了标记中的内容(见5.2、5.3、5.4、5.8、5.9和5.10,2001年版的5.2、5.3、5.4、5.8、5.9和5.10);
- 修改了用户资料的内容(见6.1,2001年版的6.1);
- 增加了IEC 60825系列标准的其他部分、激光加工机械、电子玩具、消费电子产品(见7.1、7.3、7.4和7.5);
- 删除了激光光纤传输系统(见2001年版的7.2);
- 将分类由第九章变为第八章并修改内容(见第8章,2001年版的第9章);
- 将检测变为确定可达发射水平并修改内容(见第9章,2001年版的第8章);
- 删除了用户指南部分(见2001年版的第3篇及相关部分);
- 增加了最大允许照射量内容(见附录A);
- 修改了计算举例,在其中增加了分类计算的举例,删除了最大允许照射量计算的举例(见附录B,

2001年版的附录A);

- 增加了类别描述和潜在的相关危害内容(见附录C);
- 修改了生物物理学原理(见附录D,2001年版的附录B);
- 增加了用辐亮度表示MPEs和AELs(见附录E);
- 将附表改为汇总表并修改内容(见附录F,2001年版的附录D);
- 增加了IEC 60825相关部分一览表(见附录G);
- 删除了专用于材料加工的激光产品的高功率激光器内容(2001年版的附录E);
- 删除了相关标准(2001年版本的附录F)。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 2900.65—2004 电工术语 照明(IEC 60050-845:1987,MOD);
- GB 4793.1—2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分:通用要求(IEC 61010-1:2001,IDT);
- GB 9706.20—2000 医用电气设备 第2部分:诊断和治疗激光设备安全的专用要求(IEC 60601-2-22:1995,IDT)。

本部分使用翻译法等同采用IEC 60825-1:2007《激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求》(英文版)。IEC 60825-1:2007(英文版)中未提及IEV与IEC的关系,本文与IEC 60825-1:2007(英文版)相同。

本部分做了下列编辑性修改:

- 删除IEC 60825-1:2007的前言。

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这些专利的责任。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分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。

本部分起草单位:北京光电技术研究所、北京激光参量测试中心、中国电子科技集团公司第十一研究所。

本部分主要起草人:吴爱平、卢永红、段振广、李嘉伦、戚燕。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 7247—1987、GB 7247—1995;GB 7247.1—2001。

激光产品的安全

第 1 部分:设备分类、要求

1 范围

本部分适用于波长范围在 180 nm~1 mm 之内的激光产品的激光辐射的安全。

一个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。这些系统已用在工业、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遵守本部分,因为最终产品本身将要服从本部分。然而,如果激光产品中的激光系统在与设备分离后是可操作设备,那么,则被移开的单元应符合本部分的要求。

注 1:可运转设备不需要为其运转准备工具。

如果制造厂商根据第 3 章、第 8 章、第 9 章的分类生产激光产品,则不需考虑本部分的要求,表明激光产品在所有工作、维护、检修和故障条件下其发射水平不超过 1 类的可达发射极限(ALE)。

注 2:上面提到的免除是为了保证原本安全的激光产品不受到标准的约束。

除了激光辐射引起的危害外,激光设备也可引起其他伤害,诸如着火和电击。

注 3:但是,本部分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部分的范围内。

本部分阐述最低要求。符合本部分可能还不足以达到所要求的产品安全水平。激光产品必须符合与相应的产品安全标准相适应的性能和试验要求。

注 4:其他标准可能包括另外的要求。应考虑预定的应用和用户群。比如,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,则设备必须遵从其他 IEC 产品安全标准,〔如医疗设备(IEC 60601-2-22),信息技术设备(IEC 60950),音频和视频设备(IEC 60065),在有害环境中使用的设备(IEC 60079),电子玩具(IEC 62115)〕。根据 IEC 导则 104¹⁾的条款,本部分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,则应使用 IEC 61010-1。

在以前的版本中,LEDs(发光二极管)包括在 IEC 60825-1 的范围内,现在仍包括在 IEC 60825 系列标准的其他部分中。然而,随着照明器安全标准的发展,LEDs(发光二极管)的光辐射安全一般更适合在照明器安全标准中规定。LEDs(发光二极管)从本部分的范围中删除,并不妨碍其他标准在涉及激光产品时包括 LEDs(发光二极管)。CIE S009 可以用来确定 LED(发光二极管)或包含一个或多个 LEDs(发光二极管)产品的危险分类。

本部分的 MPE(最大允许照射量)值只针对激光辐射而不适用于伴随辐射。然而,如果某种业务存在一种危险的可接触伴随辐射,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。

MPE 值不适用于医学上对患者进行治疗或进行人体美容的激光照射。

注 5:附录 A~附录 G 包括一般指导并列举了许多典型例子。但一定不要将附录看作是确定的或详尽的,而应作为本部分的相应条款的参考资料。

本部分有以下目的:

——引入按照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

1) IEC 导则 104:1997,安全出版物的制定和基本安全出版物的使用及系列安全出版物。

确定控制措施；

- 为制造厂商建立提供信息的要求，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减至最小，并且通过保护措施改进激光辐射危害的控制。

2 规范性引用文件

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

IEC 60050-845: 1987 国际电工词汇 (IEV) 第 845 章: 光 (International Electrotechnical Vocabulary (IEV)—Chapter 845: Lighting)

IEC 60601-2-22 医用电气设备 第 2 部分: 诊断和治疗激光设备安全的专用要求 (Medical electrical equipment—Part 2: Particular requirements for the safety of diagnostic and therapeutic laser equipment)

IEC 61010-1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分: 通用要求 (Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use—Part 1: General requirements)

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。为了便于使用，以下重复列出了 IEC 60050-845 中的某些术语和定义。

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，根据 IEC 60050-845 部分的说明，参考文献被放在括号中并配以“已修改”的说明。

3.1

挡板 access panel

防护罩或防护围封的一部分。当移开或拆去时，可提供激光辐射的通路。

3.2

可达发射 accessible emission

在某个位置使用孔径光阑 (AEL 以瓦特或焦耳为单位) 或限制孔径 (AEL 以 $W \cdot m^{-2}$ 或 $J \cdot m^{-2}$ 为单位) 根据第 9 章确定辐射量。

如定义 3.37 的规定，只考虑在人员接触的地方确定可达发射。为了确定激光产品的类别，用可达发射与可达发射极限 (定义 3.3) 进行比较。标准正文中使用术语“发射水平”理解为可达发射。

注: 当激光束直径大于孔径光阑时，以瓦特或焦耳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 $W \cdot m^{-2}$ 或 $J \cdot m^{-2}$ 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 (3.52)。

3.3

可达发射极限 accessible emission limit; AEL

所定类别内允许的最大可达发射。

注: 正文中“不超过 AEL 的发射水平”或类似的措词，其含义为: 遵从第 9 章中规定的测试标准测定可达发射。

3.4

管理控制 administrative control

非工程类安全措施。例如: 钥匙监管、人员的安全培训、警告措施、倒计时程序及现场的安全控制。

3.5

 α 最小值 $\alpha_{\min}$ **$\alpha_{\min}$**

见对向角和最小对向角(见 3.7 和 3.58)。

3.6

接收角 γ angle of acceptance **γ**

检测器响应光辐射的平面角,一般以弧度测量。

接收角的角度可以通过置于探测器前的孔径或光学元件控制(见图 3 和图 4)。接收角有时也称为视野。

3.7

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

如图 3 所示,从空间某点处观察表观光源所张的对向角。

注 1: 表观光源的位置和对向角取决于在光束中的观察位置(见 3.11)。

注 2: 表观光源的对向角在本部分仅适用于波长范围从 400 nm~1 400 nm 视网膜危害区域。

注 3: 光源对向角不应与光束发散角混淆。光源对向角不可能大于光束发散角,通常小于光束发散角。

3.8

窗口 (孔径) aperture

窗口是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。也见限制孔径(3.52)。

3.9

孔径光阑 aperture stop

用来确定待测辐射通过面积的开孔。

3.10

表观光源 apparent source

给出视网膜危害的评估位置,在视网膜上可能形成最小影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。对于光束内给定的观察位置,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测定 400 nm~1 400 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。

3.11

光束 beam

由方向、发散角、直径或扫描特性表征的激光辐射。

对于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或低于规定水平的装置。

3.13

光束直径 beam diameter**光束宽度 beam width** **d_u** 在空间某点处的光束直径 d_u 是指其功率(或能量)为总激光功率(或能量)的 $u\%$ 的最小圆直径。

本部分采用 d_{63} 。

- 注 1：对于高斯光束， d_{63} 对应于辐照度(辐照量)降低到它中心峰值的 $1/e$ 的点。
- 注 2：二阶矩的直径定义(在 ISO 11146-1 定义)不用于剖面具有中心高辐射峰值和低背景的激光束，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剖面假设计算功率时，通过孔径的功率会被显著低估。

3. 14

光束发散角 beam divergence

由光束直径限定的锥形远场平面角。

如果间距为 r 的两点的光束直径(见 3. 13)是 d_{63} 和 d'_{63} ，则光束的发散角表示为[见式(1)]：

$$\varphi = 2\arctan\left(\frac{d_{63} - d'_{63}}{2r}\right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- φ —— 光束发散角；
- d —— 光束直径；
- r —— 两点之间的间距。

SI 单位：弧度。

- 注：二阶矩的发散角定义(在 ISO 11146-1 定义)不用于剖面具有中心高辐射峰值和低背景的激光束，例如由非稳腔产生的远场激光束，该光束剖面表现为由孔径引起的衍射图样。

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部件(例如：光束转向反射镜或聚焦透镜)。

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

在工作期间，在相应波长和发射持续时间内，人员接触的激光辐射不允许超过 1 类可达发射极限(AEL)的激光产品[见 8. 2 和 8. 3 e)]。

- 注 1：参见附录 C 的分类表中的限制。
- 注 2：由于确定产品类别的测试限于在工作期间进行，视产品而定的嵌入式激光产品，在维护过程中解除挡板的联锁时，有可能接触到高于 1 类 AEL 的辐射。

3. 19

1M 类激光产品 Class 1M laser product

在 302. 5 nm~4 000 nm 波长范围内，工作期间，在相应波长和发射持续时间内，人员接触可达激光辐射不允许超过 1 类可达发射极限(AEL)的激光产品[见 8. 3 e)](其辐射水平依据 9. 2g 测量)。

- 注 1：参见附录 C 的分类表中的限制。
- 注 2：因为采用比 1 类激光产品更小的测量孔径，或在距表观光源更远的距离评估辐射水平，所以在使用光学仪器观察时，1M 类激光产品的输出有潜在的危害(见 8. 2)。
- 注 3：由于确定产品类别的测试限于工作期间进行，视产品而定的嵌入式激光产品，在维护过程中解除挡板的联锁时，有可能接触到高于 1M 类 AEL 的辐射。

3. 20

2 类激光产品 Class 2 lase product

在 400 nm~700 nm 波长范围内，工作期间，在相应波长和发射持续时间内，人员接触可达激光辐

射不允许超过 2 类可达发射极限(AEL)的激光产品〔见 8.2 和 8.3 e)〕。

注 1: 参见附录 C 的分类表中的限制。

注 2: 由于确定产品类别的测试限于在工作期间进行,视产品而定的嵌入式激光产品,在维护过程中解除挡板的联锁时,有可能接触到高于 2 类 AEL 的辐射。

3.21

2M 类激光产品 Class 2M laser product

在 400 nm~700 nm 波长范围内,工作期间,在相应波长和发射持续时间内,人员接触可达激光辐射不允许超过 2 类可达发射极限(AEL)的激光产品〔见 8.3 e)〕〔辐射水平依据 9.2 h)测量〕。

注 1: 参见附录 C 的分类表中的限制。

注 2: 因为采用比 2 类激光产品更小的测量孔径,或在距表观光源更远的距离评估辐射水平,所以在使用光学仪器观察时,2M 类激光产品的输出有潜在的危害(见 8.2)。

注 3: 由于确定产品类别的测试限于工作期间进行,视产品而定的嵌入式激光产品,在维护过程中解除挡板的联锁时,有可能接触到高于 2M 类 AEL 的辐射。

3.22

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

在工作期间,人员接触激光辐射允许超过 1 类和 2 类可达发射极限(AEL),但在任何发射持续时间和波长,人员接触激光辐射不允许超过 3R 类和 3B 类各自可达发射极限(AEL)的激光产品(见 8.2)。

注 1: 参见附录 C 的分类表中的限制。

注 2: 1M 类和 2M 类产品的输出,根据它们的光学特性,可以高于或低于 3R 类的 AEL。

3.23

4 类激光产品 Class 4 laser product

人员接触激光辐射允许超过 3B 类可达发射极限(AEL)的激光产品(见 8.2)。

3.24

伴随辐射 collateral radiation

激光器运行时所必然产生的,或者因激光器运行而使激光产品发射的波长范围在 180 nm~1 mm 内的激光辐射之外的电磁辐射。

3.25

准直光束 collimated beam

发散角或会聚角极小的辐射光束。

3.26

连续波 continuous wave; CW

在本部分中,连续输出时间等于或大于 0.25 s 的激光视为连续波激光。

3.27

规定光路 defined beam path

在激光产品内部激光光束的预定路径。

3.28

演示类激光产品 demonstration laser product

为了演示、娱乐、广告宣传、显示或艺术构图而设计、制造、预定或推销的激光产品。

“演示类激光产品”一词不适用于为其他应用而设计和预定的激光产品,虽然它们也可能用于演示这些应用。

3.29

漫反射 diffuse reflection

辐射光束通过一表面或介质多向散射而改变了辐射光束的空间分布。

理想漫反射可破坏出射方向与入射方向之间的所有相关性。

[IEV 845-04-47,已修改]

3.30

嵌入式激光产品 embedded laser product

在本部分中,嵌入式激光产品是指由于工程设计限制了可达发射极限,因而所定类别低于其中激光器固有发射能力的激光产品。

注:作为嵌入式激光产品的组成部分的激光器被称为嵌入式激光器。

3.31

发射持续时间 emission duration

由于使用、维护或检修激光产品,可能出现人员接触激光辐射的单脉冲、脉冲串或系列脉冲,或连续波激光运转的持续时间。

对于单脉冲,这是脉冲前沿半功率点和后沿相应点之间的持续时间。对于脉冲串(或脉冲串的子段),这是前导脉冲的第一个功率峰值半高点和后续脉冲的最后一个功率峰值半高点之间的持续时间。

3.32

漂移激光辐射 errant laser radiation

与规定光路有偏离的激光辐射。

这样的辐射包括来自光路元件的多余反射,未调准或已损坏元件的异常辐射。

3.33

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。

对于脉冲串,是前导脉冲的第一个功率峰值半高点和后续脉冲的最后一个功率峰值半高点之间的持续时间。

3.34

扩展光源观察 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($\alpha_{\min}$)的观察情况。

当考虑视网膜热损伤的危害时,本部分考虑两种扩展光源条件:中等光源和大光源。光源根据表观光源的对向角 α 来划分,介于 $\alpha_{\min}$ 和 $\alpha_{\max}$ 之间的为中等光源,大于 $\alpha_{\max}$ 的为大光源。(参见 3.80)。

例如对某些散射激光源、漫反射和某些激光二极管阵列的观察。

3.35

失效保护 fail safe

当元件失效时不增加危害的保护设计。

在系统失效时,使系统不工作或无危害。

3.36

失效保护安全联锁 fail safe safety interlock

系统失效时,联锁作用不失效的安全装置。例如:一旦铰接盖开始打开或可拆卸盖被拆除之前,联锁必定处于并保持在“关闭”位置,直到铰接盖关上或可拆卸盖进入锁定状态,联锁才处于“开启”位置。

3.37

人员接触 human access

——人体受到由激光产品发射的激光辐射,即防护罩外可能被截取的辐射可能性;或者

——直径为 100 mm,长度不超过 100 mm 的圆柱探头截取 3B 类及其以下辐射水平的可能性;
或者

——人员的手或手臂阻断高于 3B 类 AEL 的辐射水平的可能性;

——在防护罩内,有相当于 3B 类或 4 类的辐射水平时,人体的任一部分受到由产品内部,任意插入的单个平面通过防护罩的任一开孔直接反射出来的有害激光辐射的可能性。

注:对于规定能进入接触的激光产品,为了限定人员的接触,必须对防护罩内部和外部的辐射都予以考虑。可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。

3.38

总辐(射)亮度 integrated radiance

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。
(通常用单位 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 表示)。

3.39

光束内视 intrabeam viewing

与漫反射观察不同,光束内视是指眼睛受到直接的或镜面反射的激光照射时观察光束。

3.40

辐照度 irradiance

E

投射到表面一点处的面元上的辐射通量与该面元的面积 dA 之商[见式(2)]。

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

式中:

$d\Phi$ —— 辐射通量;

dA —— 面元的面积。

SI 单位:瓦特每平方米($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。

3.41

激光器 laser

主要通过受控受激发射过程而产生或放大,波长在 $180 \text{ nm} \sim 1 \text{ mm}$ 范围的电磁辐射装置。

[IEV 845-04-39,已修改]

3.42

激光受控区 laser controlled area

受到控制和监视以防止辐射危害的滞留和活动区域。

3.43

激光能源 laser energy source

为激励电子、离子或分子等提供能量而与激光器联在一起的装置。

不认为一般能源(如供电电源或电池)是激光能源。

3.44

激光危害区 laser hazard area

见标称眼危害区(3.61)。

3.45

激光产品 laser product

用于构成或准备用于构成一个激光器或一个激光系统的任何产品或部件的组合。

3.46

激光辐射 laesr radiation

由激光产品的受激发射而产生的波长为 $180 \text{ nm} \sim 1 \text{ mm}$ 的所有电磁辐射。

3.47

激光安全员 laser safety officer

熟知激光危害评估与控制,并负责监督激光危害控制的人员。

3.48

激光系统 laser system

激光器与相应的带或不带附加元件的激光能源的组合。

3.49

发光二极管 light emitting diode; LED

在半导体内通过辐射再激活产生波长 180 nm~1 mm 范围内的电磁辐射的半导体 p-n 结器件。(光辐射主要由自发发射过程产生,尽管也存在一定的受激发射。)

3.50

评估视网膜光化学危害的极限接收角 limiting angle of acceptance for evaluating retinal photo-chemical hazards

γ_{ph}

为了评估视网膜光化学危害,规定接收角 γ_{ph} 的极限测量。 γ_{ph} 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极限接收角 γ_{ph} ,那么接收角 γ 被限制为 γ_{ph} ,且光源作为热点严密监视。如果测量的接收角 γ 不被限制在规定水平,危害可能被高估。

注:如果表观光源对向角小于规定的极限接收角,接收角的实际值不影响测量并不必限制,即可使用辐射计通常设置的接收角“打开”功能。

3.51

评估热危害的极限接收角 limiting angle of acceptance for evaluating retinal thermal hazards

γ_{th}

用于评估视网膜热危害的最大对向角。

接收角 γ_{th} 值可能在 α_{min} 和 α_{max} 之间变化〔见 8.3d)、9.3.3 b)2〕〕。

3.52

限制孔径 limiting aperture

对辐照度和辐照量进行平均的圆域。

3.53

维护 maintenance

激光产品制造厂商在用户使用说明书中规定的调整方式或程序。为了保证激光产品的正常工作,用户要执行这些程序。

不包括使用或检修。

3.54

最大对向角 maximum angular subtense

α_{max}

表观光源对向角的值,当对向角大于该值时,其 MPE 和 AEL 不依赖光源的尺寸。

注: $\alpha_{max} = 100 \text{ mrad}$ 。

3.55

最大输出 maximun output

出厂后的激光产品在整个工作范围内,任意时间向任何方向发射的,总的可达激光辐射中最大辐射功率或单脉冲最大辐射能量。

注:最大输出是用于确定激光产品类别的最大可达发射。除了其他条件以外,确定可达发射还包括考虑单一故障条件(见 9.2),最大输出可能超过正常工作期间的最高输出。

3.56

最大允许照射量 maximum permissible exposure; MPE

正常情况下人体受到激光照射不会产生不良后果的激光辐射水平。

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~1 400 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)。

3.57

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诊断、手术或治疗而设计、制造、预定或推销的任何激光产品。

3.58

最小对向角 angular subtense

$\alpha_{\min}$

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。

光源的对向角小于 $\alpha_{\min}$ 时,其 MPE 和 AEL 不依赖于光源尺寸。

注: $\alpha_{\min} = 1.5 \text{ mrad}$ 。

3.59

锁模 mode-locking

激光谐振腔内产生一规则的、脉宽非常窄(例如:亚纳秒)的脉冲串的机理或现象。

在特定条件下,它还能自发产生“自模锁”。锁模产生的峰值功率可远大于其平均功率。

3.60

最大限制位置 most restrictive position

激光束中的位置,在这个位置上可达发射与 AEL 之比最大。

注:可达发射与 AEL 可能都依赖于在激光束中评估的位置。

3.61

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指错方向的情况。

如果 NOHA 包括通过光学辅助器观看激光束的可能性,则定义为“扩展 NOHA”。

3.62

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)的距离。

如果 NOHD 包括通过光学辅助器观看激光束的可能性,则定义为“扩展 NOHD(ENOHd)”。

3.63

操作 operation

激光产品执行其所有预定功能。

不包括维护或检修。

3.64

光化学危害极限 photochemical hazard limit

无论是 MPE 或是 AEL 均基于保护人员不受光化学效应损害的极限值。

在紫外波长范围内,光化学危害极限保护角膜和晶状体不受有害影响;同样界定在 400 nm~600 nm 波长范围内,光化学危害极限防止受辐射照射引起的光照性视网膜炎—光化学视网膜损伤。

3.65

防护围封 protective enclosure

防止人员受到激光辐射照射的一种物理装置,除非安装预定功能时方能进入。

3.66

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安装在激光产品(包括安装嵌入式激光

器的产品)上的那些防护部分(一般由制造厂商安装)。

3.67

脉冲宽度 pulse duration

在脉冲前、后沿的半峰值功率点间测得的时间差。

3.68

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。在本部分中,一个脉冲的宽度要小于 0.25 s。

3.69

辐(射)亮度 radiance

L

由下式定义的量[见式(3)]:

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos\theta \cdot d\Omega} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

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

dA ——给定点的光束横截面积;

θ ——切面法线和光束方向的夹角。

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

[IEV 845-01-34, 已修改]

注: 该定义是 IEC 845-01-34 的简化形式, 足够本部分使用。如难以确定, 则应遵从 IEC 的定义。

3.70

辐射能量 radiant energy

Q

辐射通量在给定持续时间内对时间的积分, 表示为[见式(4)]:

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt \dots\dots\dots (4)$$

式中:

Δt ——给定持续时间。

SI 单位: 焦耳(J)。

[IEV 845-01-27]

3.71

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, 表示为[见式(5)]:

$$H = \frac{dQ}{dA} = \int E dt \dots\dots\dots (5)$$

SI 单位: 焦耳每平方米($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)。

3.72

辐射通量 radiant flux

Φ

辐射功率 radiant power

P

以辐射形式发射、传播或接收的功率, 表示为[见式(6)]:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (6)$$

SI 单位:瓦(W)。
[IEV 845-01-24]

3.73

反射比 reflectance

ρ
在给定条件下反射的辐射功率与入射的辐射功率之比。
SI 单位:1。
[IEV 845-04-58,已修改]

3.74

遥控联锁连接器 remote interlock connector

使外部控制器与隔开的激光产品的其他部件相连的连接器(见 4.4)。

3.75

安全联锁装置 safety interlock

当防护罩某部分移除、打开或拆卸时,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的每个部分相连的自动装置(见 4.3)。

3.76

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、源点或传播模式的激光辐射。

3.77

检修 service

执行制造厂商检修说明书中所描述的那些程序或调整,它可影响产品的性能。
但检修不包括维护或使用。

3.78

检修板 service panel

为检修设计的可移开或可拆卸的挡板。

3.79

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直接引发的结果。

3.80

小光源 small source

对向角 α 小于或等于最小对向角 α_{min} 的光源。

3.81

镜面反射 specular reflection

由一表面反射的一束光(见 3.11),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,或者至少不改变它。

3.82

热效应危害极限 thermal hazard limit

不同于光化学损伤,无论是 MPE 或是 AEL 均基于保护人员不受热效应损害的极限值。

3.83

时间基准 time base

激光产品分类所用的发射持续时间〔见 8.3e〕。

3.84

工具 tool

可用于操作螺钉或进行类似安装操作的螺丝刀、六角扳手或其他物品。

3.85

透射比 transmittance

τ

在给定条件下,透射的辐射通量与入射的辐射通量之比。

SI 单位:1。

[IEV 845-04-59,已修改]

3.86

透射(光)密度 transmittance (optical) density

D

透射比的倒数取以 10 为底的对数,表示为[见式(7)]:

$$D = -\log_{10} \tau \dots\dots\dots (7)$$

[IEV 845-04-66]

3.87

可见辐射(光)visible radiation (light)

任何能够直接引起视觉的光学辐射。

[IEV 845-01-03]

注:本部分中,取波长为 400 nm~700 nm 范围的电磁辐射为可见辐射。

3.88

工件 workpiece

用激光辐射进行加工处理的物体。

4 要求

4.1 一般要求

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。4.2~4.12 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。

变更

如果由于变更原已分类的激光产品而影响本部分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、贴标记。

4.2 防护罩

4.2.1 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(包括漂移激光辐射),除非因执行产品的功能需要时才可接触激光辐射。

激光产品的分类是基于防止人员接触相当于 4 类的能量水平(例如激光加工设备),防护罩在合理可预见的单一故障条件下(见 9.1),不需人员干预就应承受激光照射。如果防护罩的大小允许人员进入,则见 4.12。

1 类、1M 类、2 类、2M 类或 3R 类激光产品的维护不应允许人员接触到 3B 类或 4 类的激光辐射水

平。3B类激光产品的维护不应允许人员接触到4类的激光辐射水平。

4.2.2 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,这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 4.3),则该部分必须紧固,需要使用工具才应移开或拆除。

4.2.3 可分离激光系统

如果激光系统可移出防护罩或防护围封,并且不加变动仍能工作,则该激光系统应符合第4章和第5章与其安全类别相适应的制造要求。

4.3 挡板和安全联锁

4.3.1 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;
- b) 移开挡板可使人员接触到下面表1中有“×”标记类别的激光辐射水平。

下面表1中标有(×)的适宜用安全联锁。

根据波长,挡板移开开孔处不应有超过1M或2M类 AEL 的发射。

要求安全联锁时,在挡板移开的情况下,安全联锁应防止接触高于表1中可适用的 AEL 的可达发射水平。联锁意外复位时,它本身应不会使发射值恢复到表1中可适用的 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。

注:9.1的要求也适用联锁,即联锁必须可靠或有冗余量。

表1 安全联锁的要求

产品类别	移开挡板时的可达发射				
	1,1M	2,2M	3R	3B	4
1,1M	—	—	×	×	×
2,2M	—	—	×	×	×
3R	—	—	—	×	×
3B	—	—	—	×	×
4	—	—	—	×	×

4.3.2 制造厂商如果为用户提供预设的优先控制机械装置,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,优先控制不应起作用。这种联锁器必须贴上符合5.9.2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听警告。可视警告透过专门设计的或针对可接触辐射波长的防护眼镜后必须清晰可见。

4.4 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。

4.5 人工复位

每个4类激光系统应安装人工复位装置,以使中断后通过人工复位能恢复可达4类激光辐射的发

射;该中断是由于使用遥控联锁连接器引起的,或由于电气的主电源中断超过 5 s 引起的。

注:制造厂商可采用第二个联锁连接器,该连接器对于开始发射不要求主动动作,但是并不要求产品有两个连接器。

4.6 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是不应接触的。

注:在本部分中,“钥匙”一词包括任何其他控制装置,如磁卡、密码系统和计算机密码等。

4.7 激光辐射发射警告

4.7.1 波长在 400 nm 以下和 700 nm 以上的每个 3R 类激光系统以及 3B 类和 4 类激光系统应符合以下要求。

4.7.2 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,应给出一个可听或可视的信号警告装置。警告装置应有失效保护或冗余设计。任意一种可视警告装置,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。

4.7.3 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告警装置。对于在操作控制器或激光窗口附近的人员,警告装置应清楚可视或可听。

4.7.4 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 4.7.2 清楚地指明输出窗口或激光辐射可能通过的窗口。

4.8 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、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 值的激光辐射。

4.9 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。

4.10 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。

4.11 扫描安全装置

预定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 9.1)的间隔期间,在合理可预见的情况下人员不会受到激光照射。

4.12 “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相当于 3B 类和 4 类的激光危害；
- b) 应安装警告装置,对处于防护罩中的人员给予足够警告,当心波长低于 400 nm 高于 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”通道是预计的或合理可预见的,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 类的激光辐射的发射。

注：防止人员在防护罩内接触辐射的方法可包括压感地垫、红外探测器等。

4.13 环境条件

在适合于产品目标用途的所有预期工作条件下,激光产品应符合本部分规定的安全要求。应考虑的因素包括：

- 气候条件(例如:温度、相对湿度)；
- 振动和冲击。

如果产品的安全标准中无规定,应符合 IEC 61010-1 的相应规定。

注：有关电磁敏感度的要求正在考虑中。

4.14 其他危害防护

4.14.1 非光学危害

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；
- 设备中火焰的蔓延；
- 声音和超声波；
- 有害物质；
- 爆炸。

如果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规则。对于这些要求,请与相应的国家机构联系。

4.14.2 伴随辐射

激光产品的防护罩正常情况下应能防护伴随辐射(例如:紫外、可见、红外)的危害。然而,如果存在这种情况,即如果可接触的伴随辐射是危险的,则可用激光的 MPE 值对这一危险进行保守的评价。

5 标记

5.1 一般要求

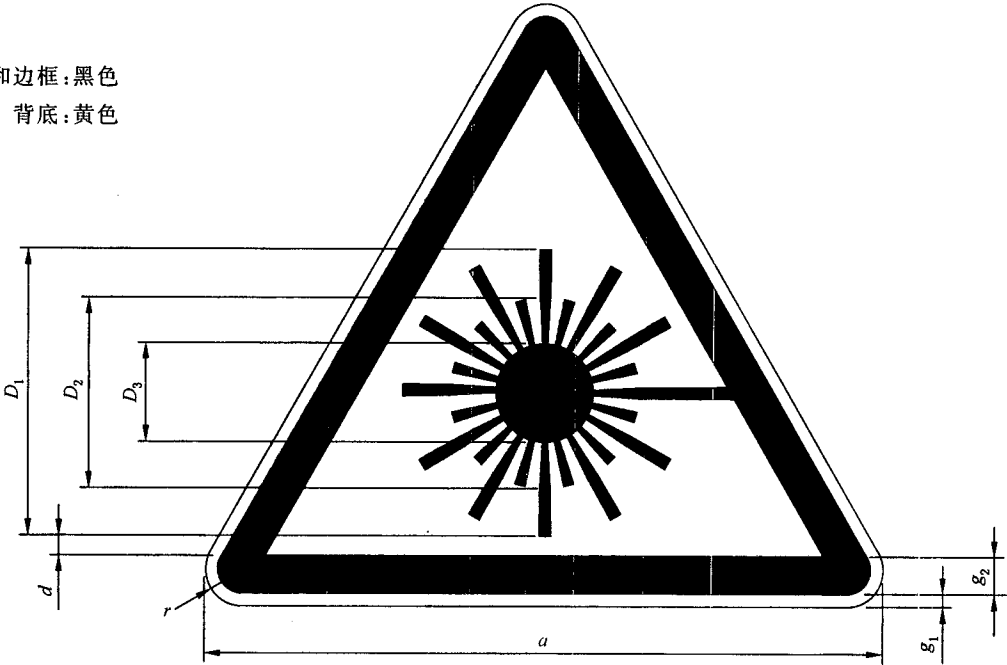
每台激光产品根据下列各条要求带有标记。在激光产品的使用、维护或检修期间,标记按其目的必须耐用,永久固定,字迹清楚,明显可见。标记应放置在人员不受到超过 1 类 AEL 的激光辐射照射就能看到的位置。标记的边框及符号应在黄底面上涂成黑色,但 1 类激光产品不必用此颜色组合。

第 5 章的说明标记用词是推荐的而不是强制的。可以用表达同样意思的其他用词替代。

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。

注：直接印制或雕刻在激光产品或嵌板上的标记是可行的。

符号和边框:黑色
背底:黄色



单位为毫米

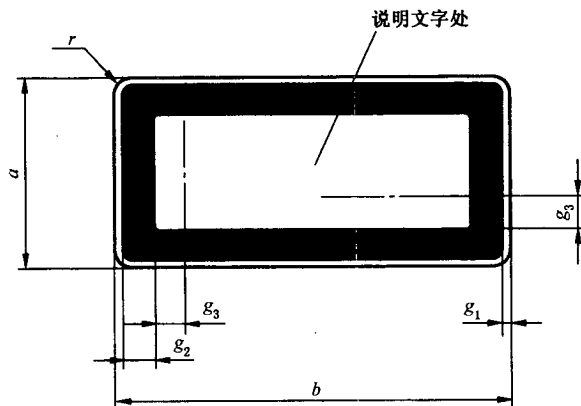
<i>a</i>	<i>g</i> ₁	<i>g</i> ₂	<i>r</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>d</i>
25	0.5	1.5	1.25	10.5	7	3.5	0.5
50	1	3	2.5	21	14	7	1
100	2	6	5	42	28	14	2
150	3	9	7.5	63	42	21	3
200	4	12	10	84	56	28	4
400	8	24	20	168	112	56	8
600	12	36	30	252	168	84	12

直径 *D*₁、*D*₂、*D*₃、*g*₁ 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： $A=L^2/2\,000$ ，其中 *A* 和 *L* 的单位分别用 m² 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，并与激光产品要求的尺寸相符合即可。

图 1 警告标记——危险符号

符号和边框:黑色
背底:黄色



单位为毫米

$a \times b$	g_1	g_2	g_3	r	文字的最小高度
26×52	1	4	4	2	文字的最小字号应保证文字能清楚复制
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	
g_1 的值是推荐的。					

注 1: 能够识别标记的最大距离 L 与标记的最小所示面积 A 之间的关系由公式给出: $A=L^2/2\ 000$ 。 A 和 L 分别用 m^2 和 m 表示。这个公式适用于 L 小于 50 m 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,那么可以是任何需要的尺寸。 g_2 和 g_3 的尺寸应是标记短边长的 0.06 倍。

图 2 说明标记

5.2 1 类和 1M 类

除了条款 1 中允许的之外,每台 1 类激光产品应具有说明标记(图 2),注明:

1 类激光产品

每台 1M 类激光产品应具有说明标记(图 2),注明:

激光辐射

勿使用光学仪器直接观看

1M 类激光产品

或者在用户资料中给出同样的叙述,由制造厂商自行处理。

可能增大危害的光学仪器的种类,可以添加到 1M 类标记中“仪器”这个词后面的括弧中。

对于具有准直、大直径光束的 1M 类激光产品,因为它不符合条件 1(见第 9 章),在括弧中增加的文

字可是特定的“(双筒望远镜或望远镜)”；或对于不符合条件 2(见第 9 章)(高发散光束)1M 类激光产品,在括弧中增加的文字可是特定的“(放大镜)”。

作为选择,1M 类标记的第二行可以是“勿使用双筒望远镜或望远镜观看”。

将 3.5 mm 直径的孔径放置在人员接触的最近点测量,如果可达发射超过 3B 类的 AEL,则产品标记上和用户资料中应有附加警告:

接近孔径的皮肤受到照射可引起灼伤

注:仅适用于条件 2 确定 AEL。

5.3 2 类和 2M 类

每台 2 类激光产品应具有警告标记(图 1)及说明标记(图 2),注明:

激光辐射
勿直视光束
2 类激光产品

每台 2M 类激光产品应具有警告标记(图 1)及说明标记(图 2),注明:

激光辐射
勿直视或通过光学仪器直接观看光束
2M 类激光产品

可能增大危害的光学仪器的种类,可以添加到“仪器”这个词后面的括弧中。对于具有准直、大直径光束的 2M 类激光产品,因为它不符合条件 1(见第 9 章),在括弧中增加的文字可是特定的“(双筒望远镜或望远镜)”；或对于不符合条件 2(见第 9 章)(高发散光束)的 2M 类激光产品,在括弧中增加的文字可是特定的“(放大镜)”。

作为选择,2M 类标记的第二行可以是“勿使用双筒望远镜或望远镜观看”。

将 3.5 mm 直径的孔径放置在人员接触的最近点测量,如果可达发射超过 3B 类的 AEL,则产品标记上和用户资料中应有附加警告:

接近孔径的皮肤受到照射可引起灼伤

注:仅适用于条件 2 确定 AEL。

5.4 3R 类

每台 3R 类激光产品应具有警告标记(图 1)及说明标记(图 2),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”。

5.5 3B 类

每台 3B 类激光产品应具有警告标记(图 1)及说明标记(图 2),注明:

激光辐射
避免光束照射
3B 类激光产品

5.6 4 类

每台 4 类激光产品应具有警告标记(图 1)及说明标记(图 2),注明:

激光辐射
避免眼或皮肤受到直射或散射辐射的照射
4 类激光产品

5.7 窗口标记

每台 3R 类、3B 类及 4 类激光产品应在发射超过 1 类或 2 类 AEL 激光辐射的每一窗口附近带有标记。标记必须注明：

激光窗口

或

激光辐射窗口

或

避免受到从本窗口射出的激光辐射的照射

5.8 辐射输出和标准说明

应在说明标记上或者在产品上,与该标记临近的其他位置上,注明划分激光产品类别所依据的标准名称及其出版日期。每台激光产品(除 1 类激光产品外)应在说明标记(图 2)上注明激光辐射最大输出(见定义 3.55)、脉冲宽度(如果适用)及发射波长。对于 1 类和 1M 类产品,可以不在标记上注明,信息可包含在用户的资料中。

5.9 挡板标记

5.9.1 挡板的标记

每个接头、防护罩上的每块挡板及防护围封的每块通道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,则这些部分应具有标记(对于 1M 类嵌入式激光器,说明可以包含在用户的资料中),注明:

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

如果根据 9.2 g) 和 9.3 测量辐射水平,可接触辐射不超过 1M 类的 AEL;

b)

注意——打开时有 2 类激光辐射
勿直视光束

如果根据 9.2 h) 和 9.3 测量辐射水平,可接触辐射不超过 2 类的 AEL;

c)

注意——打开时有 2M 类激光辐射
勿直视或通过光学仪器直视光束

如果根据 9.2 h) 和 9.3 测量辐射水平,可接触辐射不超过 2M 类的 AEL;

d)

注意——打开时有 3R 类激光辐射
避免眼睛受到直接照射

如果可接触辐射不超过 3R 类 AEL;

注: 标记的第二行也可采用“避免光束照射”。

e)

注意——打开时有 3B 类激光辐射
避免光束照射

如果可接触辐射不超过 3B 类 AEL;

f)

注意——打开时有 4 类激光辐射
避免眼或皮肤受到直射或散射辐射的照射

如果可接触辐射超过 4 类 AEL。

这些信息可在产品上用 一个以上的相邻标记提供。

5.9.2 安全联锁板标记

易于取消功能并在取消功能后,可能使人员接触超过 1 类 AEL 激光辐射的每一安全联锁板应有明显的相应标记。这些标记必须在联锁取消功能前及取消功能期间可以看到,并且要紧靠移开防护罩形成的开口处。该标记应注明 5.9.1 的 a) 项~f) 项规定的文字,根据情况,在第一行之下增加一行,应注明:

联锁失效

5.10 不可见激光辐射警告

许多情况下,第 5 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 范围以外,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“可见及不可见激光辐射”。

如果产品分类基于可见激光辐射水平,并且在不可见波长发射超过 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”。

5.11 可见激光辐射警告

如果激光产品的输出处在 400 nm~700 nm(可见)范围内,则第 5 章中标记中的“激光辐射”可以改为“可见激光”。

6 其他说明性要求

6.1 用户资料

激光产品制造厂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指南。制造厂商仍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:信息是否相关取决于特定产品,包括产品的预定应用和可能要服从的国家立法。

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的有害激光辐射的照射采用明显的警告和适用的分类限制说明(类别说明和可能的限制见附录 C);
- b) 1 M 类和 2 M 类产品的附加警告。对于发散光束,警告应说明使用某种光学仪器(例如眼用小 型放大镜、放大镜和显微镜)在 100 mm 内观察激光输出可能造成眼危害。对于准直光束,警告应说明使用某种为远距离设计的光学仪器(例如望远镜和双筒望远镜)观察激光输出可能造成眼危害;
- c) 对于高于 1 类 AEL 的激光辐射,在操作和维护过程中从防护罩发射出的辐射样式要加以说明。在适当的地方,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；
- 脉冲宽度和重复频率(或不规则脉冲图形的说明)；
- 最大功率或能量输出。

这些值应包括累积测量不确定度和出厂后随时附加在测量值上的预计增值。不必规定由于自锁模引起的脉冲持续时间,但应指明激光产品产生自锁模的条件。对于超短脉冲,也应规定辐射带宽(即发射波长范围)。

- d) 对于嵌入式激光产品和其他组合激光产品,说明组合激光产品的信息(见 c)项)。这些说明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这些类别的 AEL。在这种情况下,制造厂商应提供防止激光产品光束内视的警告。
 - e) 在适当和有关的地方,3B 类和 4 类激光产品适用的 MPE 和 NOHD。因为光束传输系统和光束中光学元件的位置极大地影响 NOHD,所以建议对于不同的附加装置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,对于一些选定的发散角数值给出 NOHD。当规定 MPE 和 NOHD 值时,确定这些值的假定照射持续时间也应说明。对于准直光束的 1M 类和 2M 类激光产品,在适当和有关的地方,应规定扩展 NOHD(ENOH D)。
- 注:对于在室内使用的准直波束,通常不要求明确的 NOHD 信息,在这种情况下,通常只给出可能超过 MPE 范围的说明就足够了。
- f) 在适当的地方,选择眼保护信息。其中应包括必需的光密度以及可能入射到眼保护装备表面的辐照度或辐射照射水平,以便可以确定阻抗水平。
- 注:很多国家有针对人身保护装备的法规和标准。对于这些要求,请与相应的国家机构联系。
- g) 提供欲贴在激光产品上或准备连同激光产品一道提供的所有要求标记及危害警告的字迹清楚的复制件(颜色任意)。应指明激光产品每张标记的粘贴位置;如果这些标记不能贴在激光产品上,则应予以说明且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。
 - h) 在操作手册中清楚指出所有激光窗口的设置位置,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,为了确保安全必须说明对激光能源的兼容性要求。

6.2 采购及检修说明

激光产品制造厂商应提供下列说明:

- a) 每个激光产品的分类和警告应在总目录、规范活页和明细手册中说明,如果适合,包括 6.1 b) 中的规定;
- b) 对检修人员、销售商及其他需要者,应提供详细说明书,说明如何检修每个型号激光产品的调整装置及其工作过程,其中包括:
 - 明显的警告、为避免受到超过 1 类的激光辐射照射和其他危害所应采取的防护措施;
 - 保持产品一致性的维护计划;
 - 列出可能是由制造者或其代理人以外的人使用的提高可达发射水平的控制 and 操作过程一览表;
 - 清楚地描述允许接触超过表 4 到表 9 中可达发射极限的防护罩可拆卸部分的位置;
 - 检修人员的防护措施;以及
 - 要求标记和危害警告的复制件字迹清楚(颜色任意)。

7 专用激光产品的附加要求

7.1 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(参见标准所附参考资料):

- IEC 60825-2 Safety of optical fibre communication systems(Provides application notes and examples);
- IEC 60825-4 Laser guards(provides design and construction information for laser guards and materials especially where high power lasers are used);
- IEC 60825-12 Safety of 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 Guidance for laser displays and shows;
- IEC/TR 60825- 5 Manufacturer's checklist for IEC 60825-1(suitable for use in a safety report);
- IEC/TR 60825- 8 Guidelines for the safe use of laser beams on humans;
- IEC/TR 60825- 9 Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation (broadband sources);
- IEC/TR 60825-10 Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1;
- IEC/TR 60825-13 Measurements for classification of laser products;
- IEC/TR 60825-14 A user's guide;
- IEC 62471 (CIE S009) Photobiological safety of lamps and lamp systems。

7.2 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要求。除此之外,任何 3B 类及 4 类医用激光产品应符合 IEC 60601-2-22 的要求。

7.3 激光加工机械

激光加工机械应符合相应类别激光产品的所适用要求。除此之外,激光加工机械可以符合 ISO/IEC 11553-1 的要求。

7.4 电子玩具

作为电子玩具的激光产品应符合相应类别激光产品的所适用要求。除此之外,电子玩具应符合 IEC 62115 的要求。

7.5 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适用要求。除此之外,消费电子产品可以符合以下标准之一:IEC 60950(IT 设备),IEC 60065(AV 设备)。

8 分类

8.1 概述

由于激光束的波长、能量及脉冲特性可能涉及的范围很广,所以使用时潜在的危害程度差别很大。

不可能按共同的安全限值把激光产品定为一组。附录 C 更详细地描述与类别关联的危害和可能的限制(例如辅助光学观察可能引起的危害)。

8.2 分类职责

制造商或其代理商有责任对激光产品进行正确的分类(否则,见 4.1)。

激光产品要在综合考虑其出厂后,任何时间工作时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上。

一激光产品仅在符合本部分对该类别的所有要求时,才被指定为某一特定类别:比如工程控制、标记和用户信息。

8.3 分类规则

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

注:1M 或 2M 类激光产品的分类划分,使用表 11 条件 3 中规定的孔径,这就限制了由大直径或高发散激光束收集到的辐射量。例如,1M 类和 2M 类产品在适当条件下测量时,测量的总能量或总功率可能高于 2 类或 3R 类。但这种激光产品适合定 1M 类或 2M 类。

1 类和 1M 类、2 类和 2M 类、3R 类和 3B 类的可达发射极限(AELs)在表 4 至表 9 中给出。在表 10 中给出了修正因子的值,它们是波长、发射持续时间、脉冲数量和对角角的函数。

a) 单波长辐射

对于发射光谱范围很窄,因而使得 AELs 值保持不变的单波长激光产品,被定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,且各波长落在表 2 所示的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。

表 2 不同光谱区辐射对眼睛和皮肤的叠加效应

光谱区 ^a	UV-CUV-B 180 nm~400 nm	UV-A 315 nm~400 nm	可见光和 IR-A 400 nm~1 400 nm	IR-B 和 IR-C 1 400 nm~10 ⁶ nm
UV-C 和 UV-B 180 nm~315 nm	o s			
UV-A 315 nm~400 nm		o s	s	o s
可见光和 IR-A 400 nm~1 400 nm		s	o ^b s	s
IR-B 和 IR-C 1 400 nm~10 ⁶ nm		o s	s	o s
o 眼睛; s 皮肤。				
^a 光谱范围的定义见表 D.1。 ^b 若评价 AELs 和眼的 MPEs 值的时基或照射持续时间为 1 s 或更长,则应对光化学叠加效应(400 nm~600 nm)和热叠加效应(400 nm~1 400 nm)分别计算,并取用最严格的值。				

2) 发射两个或两个以上波长,但各波长之间没有表 2 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。

c) 扩展源的辐射

波长范围为 400 nm~1 400 nm 之间的激光源辐射对眼的危害依赖于表观光源的对向角 α 。

注 1: 表观光源的对向角 α 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 α 小于 $\alpha_{\min}$,当从激光束内观察时(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为 1.5 mrad 或更小,激光源不能视为扩展源。

注 2: 对于视网膜的热危害评估(400 nm~1 400 nm),扩展源的 AELs 直接随光源对向角发生变化。对于视网膜的光化学危害评估(400 nm~600 nm),当照射大于 1s, AELs 不直接随光源对向角发生变化。根据发射持续时间[见 9.3.3 b)],使用 11 mrad 或更大的极限接收角 γ_{ph} 测量,极限接收角 γ_{ph} 对表观光源对向角 α 的关系可影响测量值。

注 3: 在 $C_6=1$ 的默认条件下,对于 1 类和 1M 类激光产品的 AEL 在简化的表 4 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 α 无关。使用条件 1(见 9.3.3)在最严格位置对激光产品分类时,表观光源对向角 α 的 7 倍放大倍率可用于确定 C_6 ,即 $C_6=7\times\alpha/\alpha_{\min}$ 。表达式 $(7\times\alpha)$ 应在计算 C_6 之前被限制为 α_{mir} 。 $7\times\alpha$ 值应用于表 10 中 T_2 的确定。

注: 当 $\alpha<1.5\text{ mrad}$ 而 $7\times\alpha>1.5\text{ mrad}$ 时,表 5 和表 8 适用 $\alpha>1.5\text{ mrad}$ 的限制。

d) 非均匀视网膜像辐照度剖面、非圆形和多点光源

与视网膜热极限相比较,如果:

- 波长范围为 400 nm~1 400 nm;而且
- AEL 依赖 C_6 。

那么如果:

- 视网膜像的辐照度剖面²⁾分布不均匀;或者
- 视网膜像剖面由多点组成。

那么,应对以下每项进行测量或估算:

- 对每个单点;和
- 对于点的不同组合;和
- 对于局部区域。

为了确保在每种情况每个可能的对向角 α 条件下均没有超过标准,这一做法是必要的。为了估算点的组合或局部区域,需要在 $\alpha_{\min}$ 和 $\alpha_{\max}$ 之间改变接收角 γ ,即 $\alpha_{\min}<\gamma<\alpha_{\max}$,以确定与各情况对应的部分可达发射。为了将部分可达发射水平与相应的 AEL 比较,设置 α 值等于 γ 。分类建立在下述基础之上:对向角为 α 的局部区域内的部分可达发射与相应的 AEL 之比为最大值。

矩形或线性光源的对向角由光源的两个角度的算数平均数确定。大于 $\alpha_{\max}$ 或 $\alpha_{\min}$ 的角度应在计算算数平均值之前分别被限制为 $\alpha_{\max}$ 或 $\alpha_{\min}$ 。

光化学极限(400 nm~600 nm)不依赖于光源的对向角,使用在 9.3.3 b) 中规定的接收角限值分析光源。对于大于接收角限值的光源,可达发射必须对产生最大发射值的局部表观光源进行确定。

e) 时间基准

本部分分类采用下列时间基准:

2) 视网膜辐照度是高斯分布时(由 TEM₀₀ 光束产生),对向角可以用 d_{63} 直径判据确定,而不需要分析局部区域。

- 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 0.25 s;
- 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 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 30 000 s。

进行产品分类时,必须考虑时间基准内每个可能的发射持续时间。也就是,单脉冲发射水平必须与适用于该脉冲持续时间的 AEL 相比较,等等。仅将发射水平按分类时间基准的持续时间进行平均,或者仅对时间基准值进行评价而不考虑较短的发射持续时间,那是不够的。

注:对于既发射可见光又发射不可见光的多波长激光产品,若其发射被评定为叠加的(见表 2),而且其可见光部分本身会被划分为 2 类或 2M 类或 3R 类,其不可见光部分本身会被划分为 1 类或 1M 类,则评定叠加发射的时间基准,即使对不可见的部分也可以是 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。

对于所有波长,应评定要求 1)和 2)。另外,对于在 400 nm~10⁶ nm 范围内的波长,对于要求 3),在与热极限比较时应评定,在与光化学极限比较时不应评定。

类别(见表 4 到表 9)按下述 1)、2)和适用 3)中最严格的要求确定。

- 1) 脉冲串中任一脉冲的照射量不超过单脉冲 AEL;
- 2) 发射持续时间为 T 的一脉冲串的平均功率 AEL_T 不得超过持续时间为 T 的单脉冲 AEL 所对应的功率;

注:与 $AEL_{\text{单}}$ 或 $AEL_{\text{s.p.串}}$ 比较时, AEL_T 应被 N 除并表示为 $AEL_{\text{s.p.串}}$ 。

- 3) i) 对于恒定的脉冲能量和脉冲持续时间:

每个单脉冲的能量不得超过单脉冲的 AEL 值与修正因子 C_5 的乘积[见式(8)]:

$$AEL_{\text{s.p.串}} = AEL_{\text{单}} \times C_5 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$AEL_{\text{s.p.串}}$ ——脉冲串中任一单脉冲的 AEL 值。

$AEL_{\text{单}}$ ——单脉冲的 AEL 值(表 4 到表 9)。

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_i (见表 3)内产生时, N 小于实际的脉冲数,见下文)。对于在 400 nm~1 400 nm 范围内的波长,评估时须考虑的最大持续时间为 T_2 (见表 10)或适用的时间基准,取其中较短的一个;对于大于 1 400 nm 的波长,须考虑的最大持续时间为 10 s。

C_5 —— $C_5 = N^{-0.25}$,仅在单脉冲持续时间短于 0.25 s 时适用。

如果在 T_i (见表 3)时段内出现多个脉冲,在确定 N 时视其为单脉冲,并将其各单脉冲的能量相加后,与对应于 T_i 的 AEL 比较。

任意给定时间内的脉冲群(或脉冲串的子脉冲群)的总能量不应超过该时间的 AEL。

- ii) 对于变化的脉冲宽度或变化的脉冲持续时间:

应使用脉冲总持续时间(TOTP)方法。由 TOTP 的持续时间确定 AEL;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 时按 T_i 计算。如果在时间段 T_i 的持续时间内出现两个或两个以上脉冲,则这些脉冲群的脉冲持续时间按 T_i 计算。对所有单个脉冲的能量求和后,与相应持续时间的 AEL 比较。

表 3 脉冲群相加的时间下限

波长 nm	T_i s
$400 \leq \lambda < 1\,050$	18×10^{-6}
$1\,050 \leq \lambda < 1\,400$	50×10^{-6}
$1\,400 \leq \lambda < 1\,500$	10^{-3}
$1\,500 \leq \lambda < 1\,800$	10
$1\,800 \leq \lambda < 2\,600$	10^{-3}
$2\,600 \leq \lambda \leq 10^6$	10^{-7}

9 确定可达发射水平

9.1 检测

检测应考虑测量过程中的所有误差、统计不确定度(见 IEC 61040)、发射的增加和辐射安全随时间推移的降低。对于特殊使用要求可进行附加测试。

采用工作状态下的检测来确定产品的类别。同样也应采用产品运转、维护和检修期间的检测,恰当确定对安全连锁、标记和用户说明的要求。以上检测应分别在合理可预见的每一个单一故障条件下进行。然而,如果某故障期间的激光发射会被自动降低到 AEL 值之下,那么在合理可预见的情况下不会造成人员接触辐射,此类故障不必考虑。

- 注 1: 自动降低包括发射的物理制约,例如可导致安全条件的组件或系统故障。它不包括手动降低或发射终止。
- 注 2: 例如,在故障条件下,一个扫描安全装置的反应速度可能不足以防止高于 AEL 的发射;然而,对于不可能发生人员照射的激光产品,是可以接受的。
- 注 3: 故障的可能性和风险分析的可接受模式是 FMEA(failure mode and effect analysis 故障模式和影响分析),等等(见 IEC 61508 的例子)。概率分析可用于帮助确定“合理可预见单一故障条件”。
- 注 4: 分类在工作状态下确定,维护中的限制由产品类别决定。

当评估防止人员接触到等于 4 类的能量值的防护罩的合适度时,对于所有合理可预见的光束方向变化单一故障事件都必须考虑。分析应包括单一故障事件是否会导致产生可致防护罩老化或破坏的足够能量。例如,在工作时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会使能量导向防护罩的表面,必然发生以下情况之一:

- 单一故障应通过工程方法消除;
- 防护罩材料承受了能量,不降低保护特性,仍然能承受有害激光能量的照射;
- 应在防护罩老化之前检测出故障,并阻止激光辐射穿过防护罩。

IEC 60825-4 中规定的小于 30 000 s 的防护罩评估时间不适用于产品分类。

- 注 1: 这是因为必须在没有人员干涉的情况下考虑分类(见 4.2.1),所以不考虑用户检查保护罩。
- 注 2: 考虑人员检查或干涉防护罩评估,可用于建立安全级别或检测防护罩的潜在老化,该老化由合理不可预见故障事件或多故障事件引起,与产品类别无关。

相同的检测或程序是可接受的。

光学放大器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。

注: 在没有明确输出功率或能量极限的情况下,可采用放大器增加的最大功率或能量,加上必需输入的信号功率或能量以实现使用要求。

表 4 1类和 1M 类激光产品的可达发射极限和 $C_6 = 1^{a,b}$

波长 λ nm	发射持续时间 t										
	s										
	10 ⁻¹³ ~10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ ~10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ ~10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ~ 1.8×10 ⁻⁵	1.8×10 ⁻⁵ ~ 5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵ ~ 1×10 ⁻³	1×10 ⁻³ ~ 0.35	0.35~10	10~10 ²	10 ² ~10 ³	10 ³ ~ 3×10 ⁴
180~302.5	3×10 ¹⁰ W·m ⁻²		30 J·m ⁻²								
302.5~315	2.4×10 ⁴ W		热危害 (t≤T ₁) 7.9×10 ⁻⁷ C ₁ J					光化学危害 7.9×10 ⁻⁷ C ₂ J (t<T ₁)		7.9×10 ⁻⁷ C ₂ J	
315~400			7.9×10 ⁻⁷ C ₁ J					7.9×10 ⁻³ J		7.9×10 ⁻⁶ W	
400~450	5.8×10 ⁻⁹ J	1.0t ^{0.75} J	2×10 ⁻⁷ J	7×10 ⁻⁴ t ^{0.75} J				3.9×10 ⁻³ J	3.9×10 ⁻⁵ C W		
450~500								3.9×10 ⁻³ C ₃ J 和 ^c 3.9×10 ⁻⁴ W			
500~700								3.9×10 ⁻⁴ W			
700~1 050	5.8×10 ⁻⁹ C ₄ J	1.0t ^{0.75} C ₄ J	2×10 ⁻⁷ C ₄ J	7×10 ⁻⁴ t ^{0.75} C ₄ J				3.9×10 ⁻⁴ C ₄ C ₇ W			
1 050~1 400	5.8×10 ⁻⁸ C ₇ J	10.4t ^{0.75} C ₇ J	2×10 ⁻⁶ C ₇ J		3.5×10 ⁻³ t ^{0.75} C ₇ J						
1 400~1 500	8×10 ⁵ W		8×10 ⁻⁴ J				4.4×10 ⁻³ t ^{0.25} J	10 ⁻² t J	1.0×10 ⁻² W		
1 500~1 800	8×10 ⁶ W		8×10 ⁻³ J				1.8×10 ⁻² t ^{0.75} J				
1 800~2 600	8×10 ⁵ W		8×10 ⁻⁴ J				4.4×10 ⁻³ t ^{0.25} J	10 ⁻² t J			
2 600~4 000	8×10 ⁴ W		8×10 ⁻⁵ J	4.4×10 ⁻³ t ^{0.25} J							
4 000~10 ⁶	10 ¹¹ W·m ⁻²		100 J·m ⁻²	5 600t ^{0.25} J·m ⁻²				1 000 W·m ⁻²			
注：使用观察光学器具的放大倍数大于 7 倍或大于表 11 指定的物镜直径的情况下，根据测量条件 1 和条件 2、分类级别判为 1 类，可能会带来危害。											
a 修正因子和单位，见表 10。											
b 发射持续时间少于 10 ⁻¹³ s 的 AELs，可设置其为等于 AEL 在 10 ⁻¹³ s 时的相等功率值或辐照度值。											
c 波长范围在 450 nm~500 nm 之间时，使用的双重限值和激光产品的发射极限必须不能超过分类级别所指定的任一适用限值。											

GB 7247.1—2012/IEC 60825-1:2007

表5 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内的 1 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}

波长 λ nm	发射持续时间 t s							
	$10^{-13} \sim 10^{-11}$	$10^{-11} \sim 10^{-9}$	$10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5} \sim 10$	$10 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^4$	$10^4 \sim 3 \times 10^4$
400~700	$5.8 \times 10^{-9} C_6 \text{ J}$	$1.0 t^{0.75} C_6 \text{ J}$	$2 \times 10^{-7} C_6 \text{ J}$	$7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_6 \text{ J}$	400 nm~600 nm 视网膜的光化学危害 ^d			
					$3.9 \times 10^{-3} C_3 \text{ J}$ 用 $\gamma_{ph}=11 \text{ mrad}$	$3.9 \times 10^{-5} C_3 \text{ W}$ 用 $\gamma_{ph}=1.1 t^{0.5} \text{ mrad}$	$3.9 \times 10^{-5} C_3 \text{ W}$ 用 $\gamma_{ph}=110 \text{ mrad}$	
					和 ^c			
					400 nm~700 nm 视网膜的热危害			
					$7 \times 10^{-4} C_6 T_2^{-0.25} \text{ W}$ $(t \leq T_2)$ $(t > T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_6 \text{ J}$			
700~1 050	$5.8 \times 10^{-9} C_4 C_6 \text{ J}$	$1.0 t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J}$	$2 \times 10^{-7} C_4 C_6 \text{ J}$	$7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J}$	$7 \times 10^{-4} C_4 C_6 C_7 T_2^{-0.25} \text{ W}$ $(t \leq T_2)$ $(t > T_2)$ $7 \times 10^{-4} t^{0.75} C_4 C_6 C_7 \text{ J}$			
1 050~1 400	$5.8 \times 10^{-8} C_6 C_7 \text{ J}$	$10.4 t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J}$	$2 \times 10^{-6} C_6 C_7 \text{ J}$	$3.5 \times 10^{-3} t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J}$				

注: 使用观察光学器具的放大倍数大于 7 倍或大于表 11 指定的物镜直径的情况下, 根据测量条件 1 和条件 2、分类级别判为 1 类, 可能会带来危害。

^a 修正因子和单位, 见表 10。

^b 发射持续时间少于 10^{-13} s 的 AELs, 可设置其为等于 AEL 在 10^{-13} s 时的相等功率值或辐照度值。

^c 波长范围在 450 nm~600 nm 之间时, 采用双重限值且产品的发射极限必须不能超过分类级别所指定的任一适用限值。

^d 角度 γ_{ph} 是可接受的极限测量角度。

^e 对于波长在 400 nm~484 nm 范围且表观光源大小在 1.5 mrad~82 mrad 时, 照射时间在 1 s~10 s 之间, 那么二次光化学危害的极限值为 $3.9 \times 10^{-3} \text{ sC}_3 \text{ J}$ 可延伸到 1 s。

表 6 2 类和 2M 类激光产品的可达发射极限

波长 λ nm	发射持续时间 t	2 类 AEL
400~700	$t < 0.25$	同 1 类 AEL
	$t \geq 0.25$	$C_6 \times 10^{-3} \text{ W}^a$
注：使用大于 7 倍的放大镜和直径大于表 11 中规定的窗口观察时，根据测量条件 1 和条件 2，分类级别判为 2 类的激光产品，可能产生危害。		
^a 修正因子和单位，见表 10。		

9.2 激光辐射类别的测量

根据 9.1 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局限性使得激光产品或激光设备明确归于某一类时，则无需进行测量。测量应在下列条件下进行：

- 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，以获得辐射的最大可达发射水平。使用可能增加辐射危害的附件也必须测量（例如平行光镜片），这些附件是由制造厂商提供或建议，与产品一起使用的。

注：包括任何不使用工具或联锁失效时可能出现的配置，也包括操作和维护指南中予以警告的配置和设置。

例如，光路上的光学元件，如滤光镜、发散透镜或透镜，不使用工具就可移开时，产品必须能在导致最高危害水平的配置下进行测量。制造厂商关于不移开光学元件的指南不能证明将类别指定为较低级别是合理的。分类的依据是产品的工程设计而不是使用者的相应行为。

- c) 对激光产品而非激光系统来说，激光器必须与这样的激光能源相连，该激光能源由激光产品制造厂商指定、与激光器匹配，且可使产品产生的可达辐射达到最大。
- d) 在测量可达发射水平的操作过程中，人员可能接触的空间各点（例如，如果操作时要求移开防护罩的某些部分，且安全联锁失效的话，则必须在产品外壳内可能接触的那些部位进行测量）。
- e) 测量仪器的探测器相对激光产品的位置和方向，应使测量仪器测量到最大的辐射探测值。
- f) 应采取适当的方法以避免或消除间接辐射对测量的干扰。
- g) 1 类和 1M 类

1 类适用的波长范围为 180 nm~1 mm。1M 类适用的波长范围为 302.5 nm~4 000 nm。为确定条件 1、条件 2 和条件 3 下的可达发射，见表 11。

对于小于 302.5 nm 和大于 4 000 nm 的波长，如果条件 3 下，可达发射小于 1 类的 AEL，那么激光产品被指定为 1 类。

对于波长在 302.5 nm~4 000 nm 范围内：

如果辐射水平为：

——在条件 1、条件 2 和条件 3 下，小于 1 类的 AEL，那么激光产品被指定为 1 类。

如果可达发射为：

——在条件 1 或条件 2 下，大于 1 类的 AEL；并且

——在条件 1 和条件 2 下，小于 3B 类的 AEL；并且

——在条件 3 下，小于 1 类的 AEL，那么激光产品被指定为 1M 类。

注 1：通常 1M 类产品的可达发射在条件 1 或条件 2 下超过 1 类 AEL。然而，当在条件 1 和条件 2 下都超过 AEL，则也可被指定为 1M 类。

注 2: 检验 3B 类 AEL 的原因是限制通过光学仪器的最大功率。

当将 3.5 mm 直径的孔径放置在人员接触的最近点进行测量,如果可达发射超过表 9 中给定的 3B 类 AEL,应给予警告以预防潜在的皮肤危害。

注 3: 具有高发散激光束的 1M 类激光产品,在靠近或接触光源时(例如光纤头),可能产生足够高的辐射量,以至可能造成皮肤损伤。

h) 2 类和 2M 类

2 类和 2M 类适用的波长范围为 400 nm~700 nm。为确定条件 1、条件 2 和条件 3 下的可达发射,见表 11。

如果可达发射超过对 1 类和 1M 类的要求极限(见条款 g)),并且:

——在条件 1、条件 2 和条件 3 下,小于 2 类的 AEL,那么激光产品被指定为 2 类。

如果可达发射超过对 1 类和 1M 类的要求极限(见条款 g)),并且:

——在条件 1 或条件 2 下,大于 2 类的 AEL;并且

——在条件 1 和条件 2 下,小于 3B 类的 AEL;并且

——在条件 3 下,小于 2 类的 AEL,那么激光产品被指定为 2M 类。

注 1: 检验 3B 类 AEL 的原因是限制通过光学仪器的最大功率,排除靠近或接触发散光源时可能引起皮肤伤害的高辐射量。

注 2: 通常 2M 类产品的可达发射在条件 1 或条件 2 下超过 2 类 AEL。然而,当在条件 1 和条件 2 下都超过 AEL,则可以被指定为 2M 类。

当将 3.5 mm 直径的光阑放置在人员接触的最近点测量,如果可达发射超过 3B 类 AEL,应给予警告预防可能的皮肤危害(见 5.3)。

注 3: 具有高发散激光束的 2M 类激光产品,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,以致可能造成皮肤损伤。

i) 3R 类、3B 类

如果在条件 1、条件 2 和条件 3 下,根据 9.3 确定的辐射水平小于或等于 3R 类或 3B 类的 AEL,那么激光产品被分别指定为 3R 类或 3B 类。亦见 8.3 第一段下面的注释。

j) 4 类

如果在条件 1 或条件 2 或条件 3 下,根据 9.3 确定的辐射水平超过 3B 类的 AEL,那么激光产品被指定 4 类。

表 7 3 类激光产品的可达发射极限和 $C_6 = 1^{a,b,c}$

波长 λ nm	发射持续时间 t s									
	$10^{-13} \sim 10^{-11}$	$10^{-11} \sim 10^{-9}$	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	$10^{-7} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3} \sim 0.35$	$0.35 \sim 10$	$10 \sim 10^3$	$10^3 \sim 3 \times 10^4$
180~302.5	$1.5 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$150 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
$4.0 \times 10^{-6} C_2 \text{ J}$ 302.5~315	$1.2 \times 10^5 \text{ W}$		热危害 $4 \times 10^{-6} C_1 \text{ J}$ $(t \leq T_1)^c$ 光化学危害 $4.0 \times 10^{-6} C_2 \text{ J}$ $(t > T_1)^c$						$4.0 \times 10^{-6} C_2 \text{ J}$	
315~400										
400~700	$2.9 \times 10^{-8} \text{ J}$	$5.0 t^{0.75} \text{ J}$	$1 \times 10^{-6} \text{ J}$	$5.0 \times 10^{-3} \text{ W}$ $(t \geq 0.25 \text{ s})$ $(t < 0.25 \text{ s})$ $3.5 \times 10^{-3} t^{0.75} \text{ J}$				$5.0 \times 10^{-3} \text{ W}$		
700~1 050	$2.9 \times 10^{-8} C_4 \text{ J}$	$5.0 t^{0.75} C_4 \text{ J}$	$1 \times 10^{-6} C_4 \text{ J}$	$3.5 \times 10^{-3} t^{0.75} C_4 \text{ J}$				$2.0 \times 10^{-3} C_4 C_7 \text{ W}$		
1 050~1 400	$2.9 \times 10^{-7} C_7 \text{ J}$	$52 t^{0.75} C_7 \text{ J}$	$1 \times 10^{-5} C_7 \text{ J}$	$1.8 \times 10^{-2} t^{0.75} C_7 \text{ J}$						
1 400~1 500	$4 \times 10^6 \text{ W}$		$4 \times 10^{-3} \text{ J}$			$2.2 \times 10^{-2} t^{0.25} \text{ J}$		$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$	$5.0 \times 10^{-2} \text{ W}$	
1 500~1 800	$4 \times 10^7 \text{ W}$		$4 \times 10^{-2} \text{ J}$					$9 \times 10^{-2} t^{0.75} \text{ J}$		
1 800~2 600	$4 \times 10^6 \text{ W}$		$4 \times 10^{-3} \text{ J}$			$2.2 \times 10^{-2} t^{0.25} \text{ J}$		$5 \times 10^{-2} t \text{ J}$		
2 600~4 000	$4 \times 10^5 \text{ W}$		$4 \times 10^{-4} \text{ J}$	$2.2 \times 10^{-2} t^{0.25} \text{ J}$						
4 000~ 10^6	$5 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$500 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2.8 \times 10^4 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$					$5\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
^a 修正因子和单位,见表 10。 ^b 发射持续时间少于 10^{-13} s 的 AELs,可设置其为等于 AEL 在 10^{-13} s 时的相等功率值或辐照度值。 ^c 紫外重复脉冲激光器宜不超过任何极限。										

表 8 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内 3R 类激光产品的可达发射极限(视网膜危害区):扩展光源^{a,b}

波长 λ nm	发射持续时间 t s									
	10 ⁻¹³ ~ 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ ~ 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ ~ 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ~ 1.8×10 ⁻⁵	1.8×10 ⁻⁵ ~ 5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵ ~ 1×10 ⁻³	1×10 ⁻³ ~ 0.35	0.35 ~ 10	10 ~ 10 ³	10 ³ ~ 3×10 ⁴
400~700	2.9×10 ⁻⁸ C ₆ J	5.0t ^{0.75} C ₆ J	1×10 ⁻⁶ C ₆ J		5.0×10⁻³ C₆ W (t≥0.25 s) (t<0.25 s) 3.5×10⁻³ t^{0.75} C₆ J		5.0×10 ⁻³ C ₆ W			
700~1 050	2.9×10 ⁻⁸ C ₄ C ₆ J	5.0t ^{0.75} C ₄ C ₆ J	1×10 ⁻⁶ C ₄ C ₆ J				3.5×10⁻³ t^{0.75} C₄ C₆ J (t≤T₂) 3.5×10⁻³ t^{0.75} C₄ C₆ C₇ J			3.5×10⁻³ C₄ C₆ C₇ T₂^{-0.25} W (t>T₂)
1 050~ 1 400	2.9×10 ⁻⁷ C ₆ C ₇ J	52t ^{0.75} C ₆ C ₇ J	1×10 ⁻⁵ C ₆ C ₇ J			1.8×10 ⁻² t ^{0.75} C ₆ C ₇ J				5.0×10 ⁻² W

^a 修正因子和单位,见表 10。

^b 发射持续时间少于 10⁻¹³ s 的 AELs,可设置其为等于 AEL 在 10⁻¹³ s 时的相等功率值或辐照度值。

表 9 3B 类激光产品的可达发射极限

波长 λ nm	发射持续时间 t/s		
	<10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ ~0.25	0.25~3×10 ⁴
180~302.5	3.8×10 ⁵ W	3.8×10 ⁻⁴ J	1.5×10 ⁻³ W
302.5~315	1.25×10 ⁴ C ₂ W	1.25×10 ⁻⁵ C ₂ J	5×10 ⁻⁵ C ₂ W
315~400	1.25×10 ⁸ W	0.125 J	0.5 W
400~700	3×10 ⁷ W	0.03 J t<0.06 s 0.5 W t≥0.06 s	0.5 W
700~1 050	3×10 ⁷ C ₄ W	0.03 C ₄ J t<0.06C ₄ s 0.5 W t≥0.06C ₄ s	0.5 W
1 050~1 400	1.5×10 ⁸ W	0.15 J	0.5 W
1 400~10 ⁶	1.25×10 ⁸ W	0.125 J	0.5 W
修正因子和单位,见表 10。			

用于表 4~表 9 的修正因子 C₁到 C₇ 和转效点 T₁和 T₂在下面的表达式中定义(见表 10)。

表 10 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
$C_1=5.6\times10^3t^{0.25}$	180~400
$T_1=10^{0.8(\lambda-295)}\times10^{-15}\text{ s}$	302.5~315
$C_2=30$	180~302.5
$C_2=10^{0.2(\lambda-295)}$	302.5~315
$T_2=10\times10^{[(\alpha-\alpha_{\min})/98.5]}\text{ s}$	400~1 400
$T_2=10\text{ s 对于 }\alpha<1.5\text{ mrad}$	400~1 400
$T_2=100\text{ s 对于 }\alpha>100\text{ mrad}$	400~1 400
$C_3=1.0$	400~450
$C_3=10^{0.02(\lambda-450)}$	450~600
$C_4=10^{0.002(\lambda-700)}$	700~1 050
$C_4=5$	1 050~1 400
$C_5=N^{-1/4\text{ a}}$	400~10 ⁶
$C_6=1$	180~400 和 1 400~10 ⁶
$C_6=1\text{ 对于 }\alpha\leq\alpha_{\min}^{\text{ b}}$	400~1 400
$C_6=\alpha/\alpha_{\min}\text{ 对于 }\alpha_{\min}<\alpha\leq\alpha_{\max}^{\text{ b}}$	400~1 400
$C_6=\alpha_{\max}/\alpha_{\min}=66.7\text{ 对于 }\alpha>\alpha_{\max}^{\text{ b,c}}$	400~1 400
$C_7=1$	700~1 150

表 10 (续)

参 数	光谱范围 nm
$C_7 = 10^{0.018(\lambda - 1\,150)}$	1 150~1 200
$C_7 = 8$	1 200~1 400
$\alpha_{\min} = 1.5 \text{ mrad}$ $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$ N 是包括在适用的持续时间内的脉冲个数(见 8.3 f)和条款 A.3)。	
注 1: 关于小于 10^{-9} s 且波长小于 400 nm 和大于 1 400 nm 的照射效果的研究案例有限。这些发射持续时间和波长的 AEL 已通过以下计算推导出: 在 10^{-9} s, 对于小于 400 nm 和大于 1 400 nm 的波长由辐射功率或辐照量来计算等值辐射功率或辐照度。 注 2: 关于孔径光阑, 见表 11, 关于限制孔径, 见表 A.4。 注 3: 在表 4~表 9 的公式和注释中, 波长必须用纳米表示, 发射持续时间 t 必须用秒表示, α 必须用毫弧度表示。 注 4: 在表 4~表 9 中, 对于处于单元边界的发射持续时间值(例如 10 s), 适用于较低极限。在使用符号“<”处, 意义是小于或等于。	
^a C_5 仅用于脉冲持续时间短于 0.25 s 时。 ^b C_6 对热效视视网膜极限仅用于脉冲激光器和连续波激光器。 ^c 最大极限接收角 γ_{th} 应等于 $\alpha_{\max}$ (见 8.3 d))。	

9.3 测量几何学

9.3.1 概述

为确定可达发射规定了 3 种测量条件。在条件 1 和条件 2 适用的波长范围内, 使用光学器具辅助观察可增加危害。条件 1 适用于准直激光束, 使用望远镜和双筒望远镜可增加危害。条件 2 适用于具有高发散输出的光源, 使用显微镜、手持放大镜和眼用小放大镜可增加危害。条件 3 适用于肉眼观察。对于扫描激光辐射的功率和能量测量, 应采用条件 3。

应采用最严格的适用测量条件。如果最严格的条件不易判断, 应对每个适用条件都进行评估。

两个评估方案规定如下:

- a) 简单(默认)方法, 分类检测在相对于参考点的固定距离上进行, 参考点通常是容易识别的。对于这种简单评估, 不需要确定表观光源的对向角, 因为 C_6 (见表 10) 等于 1;
- b) 在 400 nm~1 400 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, 需要在光束内最严格的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)。b) 的方法比简单(默认)方法 a) 的评估复杂。但是, 对于扩展光源, 它可允许更高的可达发射值。

注: 在很多情况下, 用于基本评估的参考点是 100 mm 距离, 但最严格的位置并不在此距离处, 而是更远。确定表观光源对向角在参考点 100 mm 距离处得到的 AEL 结果, 要大于在最严格位置上测量的 AEL。

如果简单(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_6 可能大于 1, 并且最严格位置不同于表 11 中给定的位置, 也不需要扩展光源进行完全评估(见 9.3.2)。

注: 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, 通常简单(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 9.3.3 中的描述。

9.3.2 默认(简单的)评估

表 11 中默认的简单的测量距离适用于:

- 波长范围小于 400 nm 和大于 1 400 nm 的光源；或
 - 如果因子 C_6 设置等于 1；或
 - 时间基准值大于 100 s 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 11 中规定的距离定义为距参考点的距离，参考点列于表 12。

表 11 用于默认(简单)评估的测量孔径直径和测量距离

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 用于发散光束 例如放大镜，显微镜可能会增加危害		条件 3 用于确定 与裸眼和扫描光束 有关的辐射	
	孔径光阑 mm	距离 mm	孔径光阑 mm	距离 mm	孔径光阑/极限孔径 mm	距离 mm
<302.5	—	—	—	—	1	0
≥302.5~400	25	2 000	7	70	1	100
≥400~1 400	50	2 000	7	70	7	100
≥1 400~4 000	7× 条件 3	2 000	7	70	1 $t \leq 0.35$ s 1.5 $t^{3/8}$ 0.35 s < $t < 10$ s 3.5 $t \geq 10$ s (t 为 s)	100
≥4 000~10 ⁵	—	—	—	—	1 $t \leq 0.35$ s 1.5 $t^{3/8}$ 0.35 s < $t < 10$ s 3.5 $t \geq 10$ s (t 为 s)	0
≥10 ⁵ ~10 ⁶	—	—	—	—	11	0

注：上面的条件标题仅仅描述的是典型例子，而且也不是唯一的。

表 12 参考点

产 品 类 型	参 考 点
半导体发射器(LED、激光二极管、高亮度二极管)	发光器件的物理位置
扫描发射(包括扫描线性激光器)	扫描顶点(扫描光束的中心点)
线激光器	线的焦点(扇角的顶点)
光纤输出	光纤头
所有发散光源	发散表面
其他	光束束腰

注：如果参考点在保护罩内(即不可接触)，距人员接触最近点的距离远于表 11 中规定的测量距离，则测量必须在人员接触最近点之外进行。

9.3.3 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~1 400 nm)，分类用的可达发射和 AEL 应在最严格的位置测量：

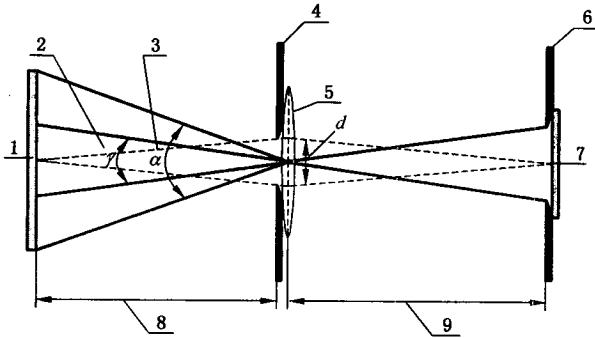
- 当确定 AEL 时需要考虑 C_6 的值大于 1;
- 当确定可达发射,为了与光化学视网膜极限比较,需要考虑一个极限接收角。

可达发射和 AEL (C_6)在激光束内的不同位置一起确定(即两者是成对的值),并且,在最严格位置上获得的值用于确定产品的类别。这意味着,可达发射(与 AEL 对照)和 AEL 在激光束内的相同位置确定,即,表观光源的对向角 α (和由此得出 C_6)在用于确定可达发射的孔径光阑处确定。

- 注 1: 当光束发散角小于 1.5 mrad,表观光源的对向角 α 是 α_{min} ,确定可达发射可在 9.3.1 规定的条件下完成。
- 注 2: 如果光源发散,例如入射在一个透射式散射屏板上,那么散射屏可被看作是表观光源的位置,在散射屏处的发射图样可用于确定表观光源对向角(见 8.3 d))中非均匀剖面的评估方法。
- 注 3: 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,如射线跟踪。

a) 孔径直径

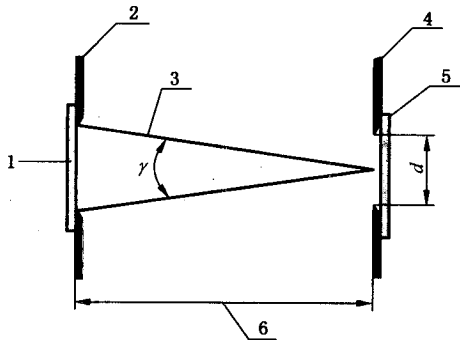
对于条件 1 和条件 3,为了确定可达发射以及表观光源的对向角(两者都在激光束内最严格的位置确定),应使用表 11 中规定的孔径直径(见图 3 和图 4)。



说明:

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

图 3 通过表观光源映射到视场光阑平面的测量极限接收角装置示意图



说明:

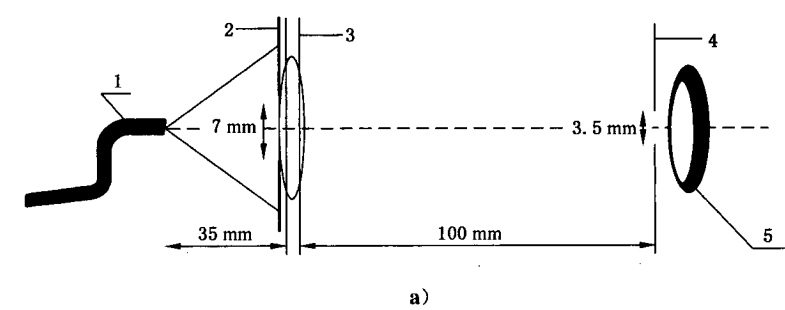
- | | | |
|------------|------------|-------------|
| 1——光源; | 3——接收角; | 5——探测器有效区域; |
| 2——圆形视场光阑; | 4——圆形孔径光阑; | 6——测量距离。 |
- 注: 当表观光源不可达时,这个设置不适用。

图 4 由圆形光阑或遮光板(作为视场光阑)放置在接近表观光源位置的测量极限接收角装置示意图

对于条件 2,为了确定可达发射以及表观光源的对向角,选用一个焦距为 35 mm 的正透镜 L1 和一

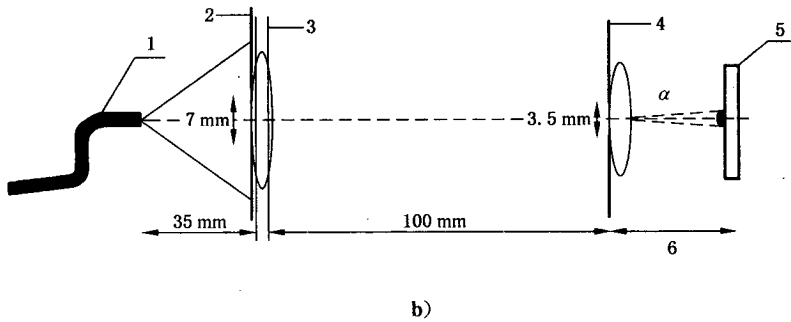
个直径为 7 mm 的孔径,放置在表 12 规定的距参考点 35 mm 的位置处(见图 5)。为了确定可达发射以及表观光源的对向角,孔径光阑被放置在距透镜 L1 100 mm 处,该孔径光阑的直径应为 3.5 mm。

注:透镜 L1 代表为放大倍率为 7 的放大镜。当发散光源被放置在透镜的焦点上,光辐射被准直。因此,将对孔径光阑确定的可达发射以及表观光源的对向角两者产生影响。因为所有距离都是固定的,对于条件 2,不需要找到最严格的位置。



说明:

- 1——光源的实例:光纤;
- 2——7 mm 孔径光阑;
- 3——L1: $f=35\text{ mm}$;
- 4——3.5 mm 孔径光阑;
- 5——辐射仪。



说明:

- 1——光源的实例:光纤;
- 2——7 mm 孔径光阑;
- 3——L1: $f=35\text{ mm}$;
- 4——3.5 mm 孔径光阑;
- 5——矩阵;
- 6——可变、最小对向角的图像。

图 5 确定可达发射(a 图)和表观光源对向角(b 图)的试验装置示意图
在条件 2 下,考虑扩展光源(即不使用默认简单评估方法)

b) 接收角

接收角由视场光阑的直径与透镜到视场光阑的距离(像距)之比确定(见图 3),或由视场光阑的直径与光源探测器的距离(图 4)之比确定。由透镜带来的损失应计算在内。

对于条件 2 和条件 3,应按以下 1)和 2)的规定,确定可达发射水平的接收角。对于条件 1,接收角等于 1)和 2)中给定的值除以因子 7。

1) 光化学视网膜极限

针对光化学极限(400 nm~600 nm)进行光源测量时,极限接收角 γ_{ph} 由表 13 给出。

表 13 极限接收角 γ_{ph}

发射持续时间 s	条件 1 的 γ_{ph} mrad	条件 2 和条件 3 的 γ_{ph} mrad
$10 < t \leq 100$	1.57	11
$100 < t \leq 10^4$	$0.16 \times t^{0.5}$	$1.1 t^{0.5}$
$10^4 < t \leq 3 \times 10^4$	16	110

如果光源的对向角 α 大于规定的极限接收角 γ_{ph} ,接收角不宜大于 γ_{ph} 的规定值。如果光源的对向角 α 小于规定的极限接收角 γ_{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 γ_{ph})。

注:当 α 小于 γ_{ph} 时,单一光源的测量不需要使用特别明确定义的接收角。为了获得明确定义的接收角,接收角可定义为:或者将光源映射到视场光阑,或者屏蔽光源,分别见图 3 和图 4。

2) 所有其他的视网膜极限

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,接收角应完全包围该光源(即接收角至少应与光源的对向角 α 大小相同)。然而,如果 α 大于 α_{max} ,极限接收角就是 α_{max} (100 mrad)。在 400 nm~1 400 nm 的波长范围内,为了评估由多个点组成的表观光源,接收角必须在 $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ 范围内变化(见 8.3 d))。

附 录 A
(资料性附录)
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(MPEs)得到。MPEs 已包括在本附录中,以便向制造厂商提供附加说明。这些附加说明能帮助评估有关产品预定使用方面的安全性(例如标称眼危害距离 NOHD 的确定)。

注:简化计算可能会大大低估 NOHD。例如,当激光窗口在大的 Raleigh 范围内,当有外部的束腰时,或光束剖面假设为高斯光束分布而使通过孔径的功率被低估时。在以上情况下,通常使用测量来确定 NOHD 是有益的。

本部分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 值宜作为控制照射量的指导,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应尽可能低。

几个不同波长的照射应看作按照表 A.1、表 A.2 和表 A.3 给出的 MPEs 值按光谱效应成比例叠加的效果。有叠加效应的光谱区在表 2 的矩形表格中列出,其中符号(o)表示对眼照射,符号(s)表示对皮肤照射。当辐射的波长不作为叠加效应显示时,其危害性宜单独评估。

表 A.1 $C_6 = 1$ 时, 激光辐射^{a,b}照射在角膜上的最大允许照射量(MPE)

波长 λ nm	照射时间 t										
	s										
	10 ⁻¹³ ~ 10 ⁻¹¹	10 ⁻¹¹ ~ 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ ~ 10 ⁻⁷	10 ⁻⁷ ~ 1.8×10 ⁻⁵	1.8×10 ⁻⁵ ~ 5×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵ ~ 1×10 ⁻³	1×10 ⁻³ ~ 10	10 ~ 10 ²	10 ² ~ 10 ³	10 ³ ~ 3×10 ⁴	
180~302.5	3×10 ¹⁰ W·m ⁻²		30 J·m ⁻²								
302.5~315			热危害^d (t≤T₁) C₁ J·m⁻² 光化学危害^d (t>T₁) C₂ J·m⁻²					C ₂ J·m ⁻²			
315~400											
400~450	1.5×10 ⁻⁴ J·m ⁻²	2.7×10 ⁴ t ^{0.75} J·m ⁻²	5×10 ⁻³ J·m ⁻²	18t ^{0.75} J·m ⁻²			C ₁ J·m ⁻²				10 ⁴ J·m ⁻²
450~500							100 J·m ⁻²		100C ₃ J·m ⁻² 和 ^c 10 W·m ⁻²	C ₃ W·m ⁻²	
500~700							10 W·m ⁻²				
700~1 050							1.5×10 ⁻⁴ C ₄ J·m ⁻²	2.7×10 ⁴ t ^{0.75} C ₄ J·m ⁻²	5×10 ⁻³ C ₄ J·m ⁻²	18t ^{0.75} C ₄ J·m ⁻²	
1 050~1 400	1.5×10 ⁻³ C ₇ J·m ⁻²	2.7×10 ⁵ t ^{0.75} C ₇ J·m ⁻²	5×10 ⁻² C ₇ J·m ⁻²			90t ^{0.75} C ₇ J·m ⁻²					
1 400~1 500	10 ¹² W·m ⁻²		10 ⁻³ J·m ⁻²				5 600t ^{0.25} J·m ⁻²		1 000 W·m ⁻²		
1 500~1 800	10 ¹³ W·m ⁻²		10 ⁴ J·m ⁻²								
1 800~2 600	10 ¹² W·m ⁻²		10 ³ J·m ⁻²				5 600t ^{0.25} J·m ⁻²				
2 600~10 ⁶	10 ¹¹ W·m ⁻²		100 J·m ⁻²	5 600t ^{0.25} J·m ⁻²							

^a 修正因子和单位, 见表 10。^b 如果照射持续时间少于 10^{-9} s 和波长范围小于 400 nm 和大于 1 400 nm 时, MPEs 可通过由使用于 10^{-9} s 的辐照量限值估算同等的辐照度导出。如果照射持续时间小于 10^{-13} s, MPEs 的值设置为 10^{-13} s 同等的辐照度值。^c 波长范围在 450 nm~500 nm 之间, 采用双重极限且照射值必须不能超过任一适用限值。^d 紫外重复脉冲激光器宜不超过任何极限。

表 A.2 波长在 400 nm~1 400 nm 范围内,扩展光源的激光辐射照射在角膜上的最大允许照射量(MPE)(视网膜危害区)

波长 λ nm	照射时间 t s							
	$10^{-13} \sim 10^{-11}$	$10^{-11} \sim 10^{-9}$	$10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5} \sim 10$	$10 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^4$	$10^4 \sim 3 \times 10^4$
400~700	$1.5 \times 10^{-4} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2.7 \times 10^4 t^{0.75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0.75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	400 nm~600 nm—视网膜光化学危害 ^a			
					$100 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 用 $\gamma_{\text{ph}}=11 \text{ mrad}$	$1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 用 $\gamma_{\text{ph}}=1.1 t^{0.5} \text{ mrad}$	$1 C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 用 $\gamma_{\text{ph}}=110 \text{ mrad}$	
					和 ^b			
					400 nm~700 nm—视网膜热危害			
					$18 C_6 T_2^{-0.25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_2$) ($t \leq T_2$) $18 t^{0.75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
700~1 050	$1.5 \times 10^{-4} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2.7 \times 10^4 t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-3} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$18 t^{0.75} C_4 C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$18 C_4 C_6 C_7 T_2^{-0.25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T^2$) ($t \leq T_2$) $18 t^{0.75} C_4 C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
1 050~1 400	$1.5 \times 10^{-3} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2.7 \times 10^5 t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 \times 10^{-2} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$90 t^{0.75} C_6 C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
^a 角度 γ_{ph} 是极限测量接受角。								
^b 波长在 400 nm~600 nm 之间,采用双重限值且照射值必须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,波长为 400 nm~484 nm,表观光源的尺寸为 1.5 mrad~82 mrad 之间时,二次光化学危害极限值 $100 C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 对应于照射时间大于或等于 1 s 的情况。								

表 A.3 激光辐射^{a,b}皮肤的最大允许照射量(MPE)

波长 λ nm	照射时间 t s					
	$<10^{-9}$	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	$10^{-7} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 10$	$10 \sim 10^3$ t	$10^3 \sim 3 \times 10^4$
180~302.5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
302.5~315		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t < T_1$)			$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ($t > T_1$)	
315~400		$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^2$	$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
400~700	$2 \times 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1.1 \times 10^4 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700~1 400	$2 \times 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$200 C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1.1 \times 10^4 C_4 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$2\,000 C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
1 400~1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ }^c$	
1 500~1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				
1 800~2 600	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
2 600~ 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5\,600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
^a 修正因子和单位,见表 10。 ^b 小于 10^{-9} s 照射作用的资料有限。该照射时间内的 MPEs 值由使用于 10^{-9} s 的辐照度导出。 ^c 如果被照射皮肤面积大于 0.1 m^2,则 MPE 减少到 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$。如果被照射皮肤面积在 $0.01 \text{ m}^2 \sim 0.1 \text{ m}^2$ 之间,则 MPE 的变化与被照射皮肤的面积成反比。						

A.2 限制孔径

应用一适当孔径供所有照射量值的测量和计算之用。这个限制孔径定义为一个圆域的直径,辐照度或辐照量在该圆域的平均。限制孔径在表 A.4 中给出。

对于光谱范围在 $1\,400 \text{ nm} \sim 10^5 \text{ nm}$ 之间的重复脉冲激光照射,采用 1 mm 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。

注:波长在 $400 \text{ nm} \sim 1\,400 \text{ nm}$ 范围内的对眼照射量值是在 7 mm 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.4 用于测量激光辐照度和辐照量的孔径直径

光谱范围 nm	孔径直径 mm	
	眼	皮肤
180~400	1	3.5
$\geq 400 \sim 1\,400$	7	3.5

表 A.4 (续)

光谱范围 nm	孔径直径 mm	
	眼	皮肤
$\geq 1\,400 \sim 10^5$	1 $t \leq 0.35\text{ s}$ 1.5 $t^{3/8}$ $0.35\text{ s} < t < 10\text{ s}$ 3.5 $t \geq 10\text{ s}$	3.5
$\geq 10^5 \sim 10^6$	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。

脉冲群(或脉冲串的子脉冲群)在任意给定时间内的照射量应不超过该段时间内的 MPE。

按下述 a)、b)和 c)中限制性最强的要求确定波长在 400 nm~10⁶ nm 范围内对眼照射的 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。

按下述 a)和 b)中限制性最强的要求确定在波长小于 400 nm 对眼照射的 MPE 和对皮肤照射的 MPE。

- 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 A.2 和表 A.3 中照射持续时间为 T 的单脉冲的 MPE；
- c) 1) 对于恒定的脉冲能量和脉冲持续时间：
每个单脉冲的照射量不得超过单脉冲的 MPE 值与修正因子 C_5 之积。 C_5 仅适用于持续时间小于 0.25 s 的单脉冲[见式(A.1)]。

$$MPE_{s.p.串} = MPE_{单} \times C_5 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- $MPE_{s.p.串}$ ——脉冲串中任一单脉冲的 MPE 值。
- $MPE_{单}$ ——单脉冲的 MPE 值。
- 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 3)内产生时， N 小于实际的脉冲数，见下文〕。对于在 400 nm~1 400 nm 范围内的波长，评估时须考虑的最大持续时间为 T_2 (见表 10)或适用的时间基准，取其中较短的一个；对于大于 1 400 nm 的波长，须考虑的最大持续时间为 10 s。

如果在 T_1 (见表 3)时段内产生多个脉冲，在确定 N 时视其为单脉冲，并将其各单脉冲的辐照量相加后，与对应于 T_1 的 MPE 比较。

- 2) 对于变化的脉冲宽度或变化的脉冲持续时间：
在变化的脉冲宽度或脉冲间隔的情况下，应使用脉冲总持续时间(TOTP)方法。由 TOTP 的持续时间确定 MPE；TOTP 的持续时间是照射持续时间或 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_1 时按 T_1 计算。如果在时间段 T_1 内出现两个或两个以上的脉冲，则这些脉冲群的脉冲持续时间按 T_1 计算。对所有单个脉冲的

辐照量求和后,与相应持续时间的 MPE 比较。

A. 4 测量条件

A. 4. 1 概述

为了估算实际照射量,应采用下列测量条件。

A. 4. 2 限制孔径

与各自的 MPE 相比较的辐照量或辐照度表示的值,是按照表 A. 4 选用的一圆形限制孔径光阑上取平均。在 400 nm~1 400 nm 的波长范围,对眼照射量的最小测量距离应为 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限制的光源(400 nm~600 nm),极限接收角 γ_{ph} 为:

对于 $10\text{ s} < t \leq 100\text{ s}$: $\gamma_{ph} = 11\text{ mrad}$

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

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

如果光源的对向角 α 大于规定的极限接收角 γ_{ph} ,则接收角不应大于规定的 γ_{ph} 值。如果光源的对向角 α 小于规定的极限接收角 γ_{ph} ,则接收角应完全覆盖该光源,但不必严格定义(即接收角不需要限制到 γ_{ph})。

注: 对于 $\alpha < \gamma_{ph}$ 的单个光源进行测量时,没有必要测量一个特定的、严格定义的接收角。为了获得一个严格定义的接收角,可以通过将光源成像在视场光阑上,或者用光源遮蔽的方式来定义接收角,见图 3 和图 4。

b) 所有其他的限制

与不同于视网膜光化学危害极限相比较进行的辐射测量,接收角应完全包围该光源(即接收角至少宜与光源的对向角 α 大小相同)。但是,如果 $\alpha > \alpha_{max}$,在波长范围 302.5 nm~4 000 nm 内,对于热伤害极限,极限接收角不宜大于 α_{max} (0.1 rad)。在波长范围 400 nm~1 400 nm 内,对于热伤害极限,评估由多点组成的表观光源,接收角宜在 $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ 范围内变化(见 8.3 d))。确定非圆形发射模式的 MPE 时,矩形或线光源的对向角取其两个角度方向上的算术平均值。在任一角度方向上,当对向角大于 α_{max} 或小于 α_{min} 时,都宜在计算平均值之前,将其分别限定为 α_{max} 或 α_{min} 。视网膜光化学危害极限不依赖于光源的对向角,并且光源用上面规定的接收角测量。

A. 5 扩展光源激光器

大多数情况下对观察漫反射小光源 MPEs 的下列修正是受限的。尽管在有些情况下,这些修正能用于激光阵列、线性激光器、具有 0.2 mrad 以上的光束束腰直径且激光发散角大于 2 mrad 的激光器或扩展光源漫反射激光产品。

对波长 400 nm~1 400 nm 的扩展源激光辐射(如:漫反射观察),假如光源的对向角 α (在观察者眼睛处测量)大于 α_{min} ,此处 $\alpha_{min} = 1.5\text{ mrad}$,对眼睛热伤害的 MPEs 被因子 C_6 放大。

修正因子 C_6 定义为

$$C_6 = 1$$
$$C_6 = \alpha / \alpha_{min}$$
$$C_6 = \alpha_{max} / \alpha_{min}$$

$$\alpha \leq \alpha_{min}$$
$$\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$$
$$\alpha > \alpha_{max}$$

附 录 B
(资料性附录)
计 算 举 例

B.1 本附录中的例子所用的符号

符号	单位	定义
a	m	出射激光束的直径
AEL	W, J, $W \cdot m^{-2}$ 或 $J \cdot m^{-2}$	可达发射极限
α	rad	从空间某点处观察表观光源(或漫反射体)所张的对向角
α_{min}	rad	判定光源为扩展光源的最小对向角
$C_1, C_2, \dots, C_7$	1	修正因子(见表 10)
PRF	Hz	脉冲重复频率
H	$J \cdot m^{-2}$	距表观光源规定距离 r 处的辐照量
E	$W \cdot m^{-2}$	距表观光源规定距离 r 处的辐照度
H_0	$J \cdot m^{-2}$	距表观光源规定距离为 0 处的出射辐照量
E_0	$W \cdot m^{-2}$	距表观光源规定距离为 0 处的出射辐照度
λ	nm	激光辐射的波长
N	1	照射持续时间内的脉冲个数
P_0	W	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_p	W	脉冲激光器在单脉冲内的辐射功率
ϕ	rad	出射激光束的发散角
π	1	(数学)常数 3.142
Q	J	脉冲激光器的总辐射能量
t	s	一个激光脉冲的持续时间
T	s	脉冲串的总照射时间
T_1, T_2	s	时间转效点(见表 10)

B.2 激光产品的类别——介绍

本附录中的例子详细说明对激光产品分类的计算步骤,按照本部分指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可能的激光产品分类。

如同在 8.2 和 8.3 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 4 到表 9 中给出了 1 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 10 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 8.3 所列的多类可达发射极限(AEL)进行计算,如图 B.1 和图 B.2 所示。作为举例,1 类可达发射极限(AELs)列于图 B.3~图 B.5 中。

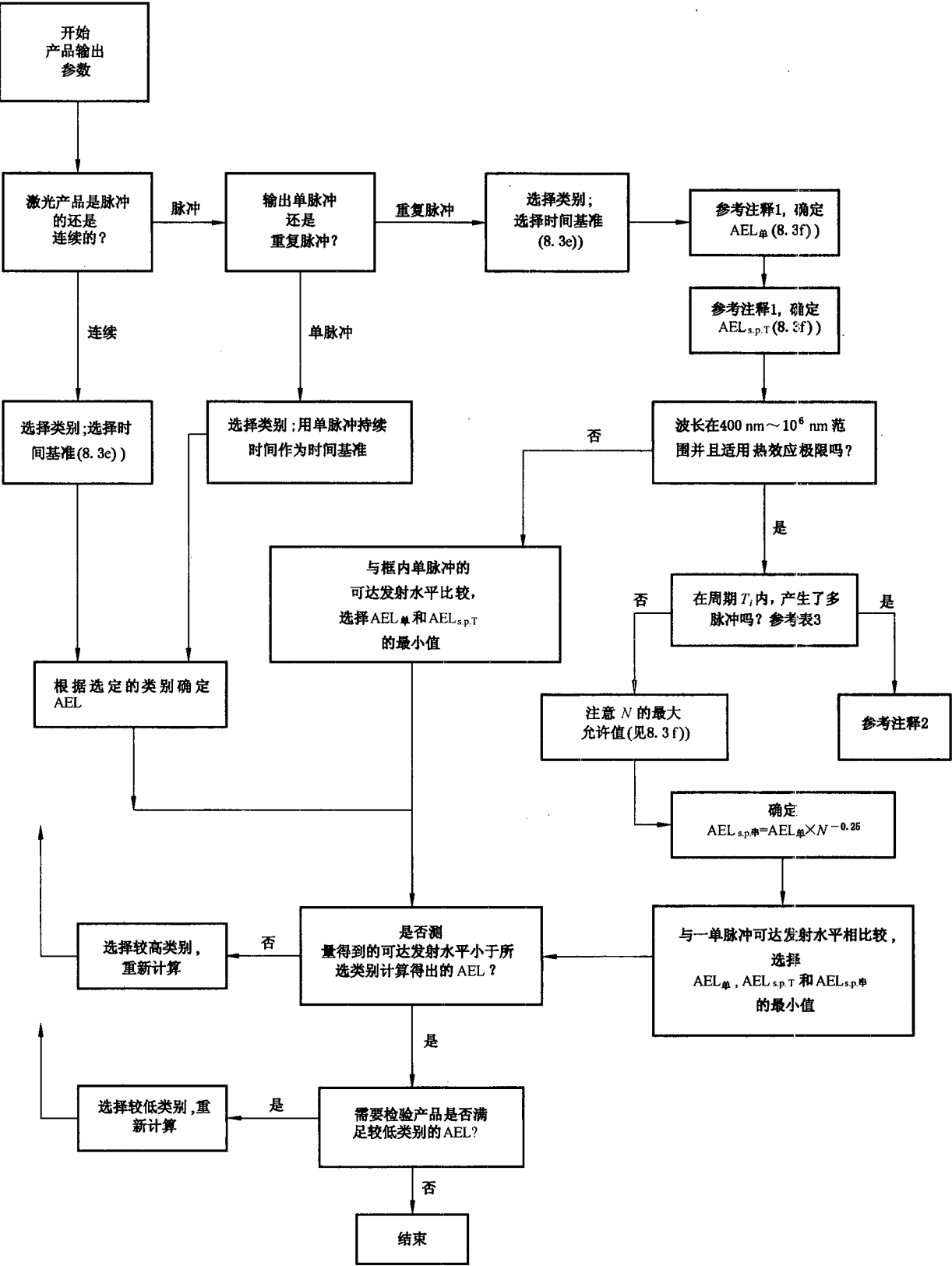


图 B.1 根据提供的输出参数,对激光产品进行分类的流程图

注 1: $AEL_{\text{单}}$ 根据一个单脉冲的持续时间确定。
 $AEL_{\text{s.p.T}}$ 根据选定的时间基准确定的 AEL_T 计算:
如果 AEL_T 以 J 或 $J \cdot m^{-2}$ 为单位,那么 $AEL_{\text{s.p.T}} = AEL_T / N_T$ (单位为 J 或 $J \cdot m^{-2}$);
如果 AEL_T 以 W 或 $W \cdot m^{-2}$ 为单位,那么 $AEL_{\text{s.p.T}} = AEL_T / PRF$ (单位为 J 或 $J \cdot m^{-2}$);
 T = 选定的时间基准,以 s 为单位; N_T = 在时间 T 内的脉冲个数。
注 2: 如果在时间 T_i 内有多个脉冲,则将单脉冲持续时间改为 T_i ,并计算新的 $AEL_{\text{单}}$ 值。相应修改 PRF,以确定 N 的最大允许值(8.3f)。将新的 $AEL_{\text{单}}$ 的值除以时间 T_i 中包含的原始脉冲个数,再将最终的 $AEL_{\text{单}}$ 值代入 $AEL_{\text{s.p.串}}$ 的计算公式。

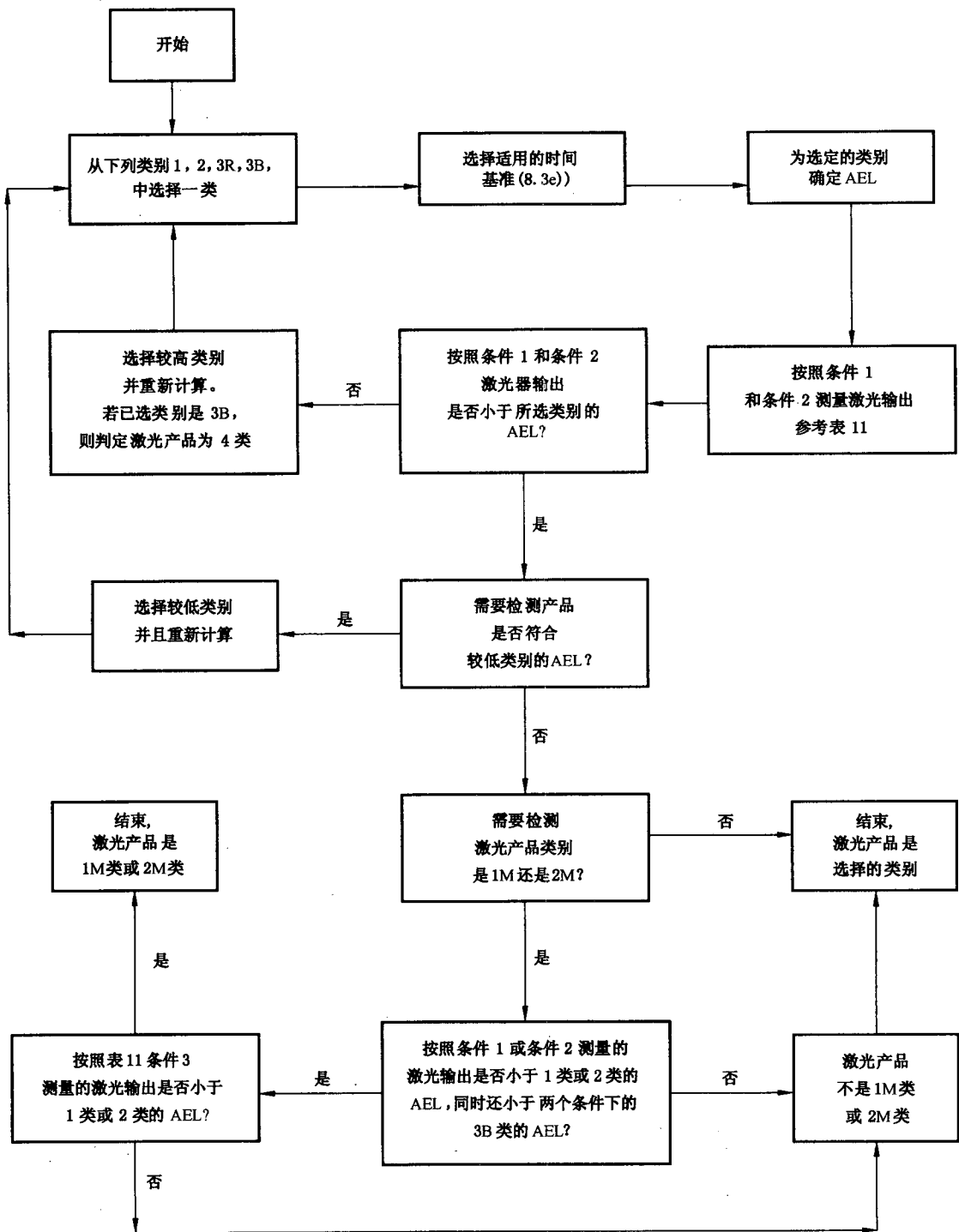


图 B.2 对 1M 类和 2M 类激光产品的分类流程图

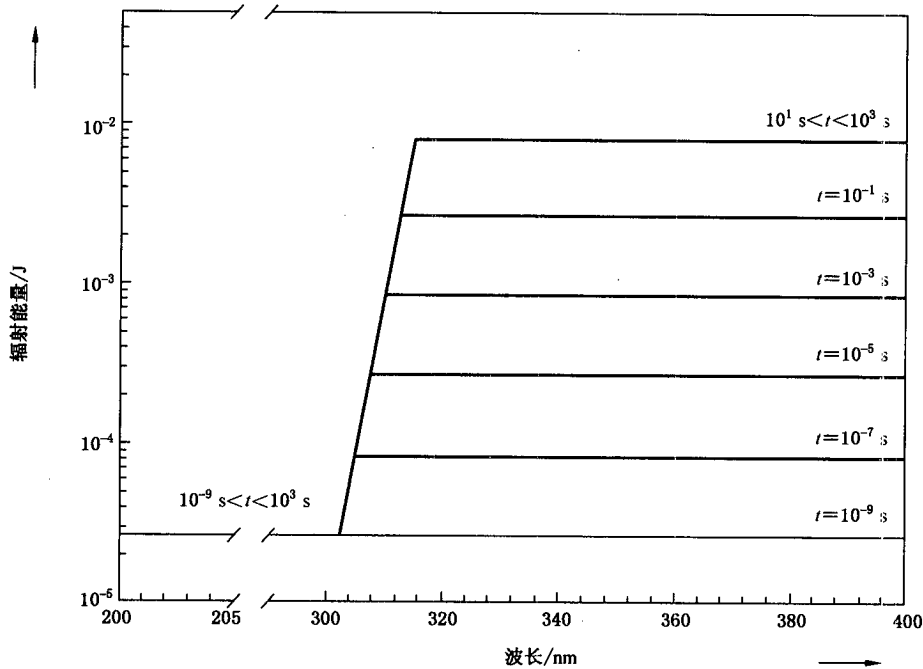


图 B.3 对选定发射持续时间 $10^{-9} \text{ s} \sim 10^3 \text{ s}$ 的 1 类紫外激光产品的 AEL 值

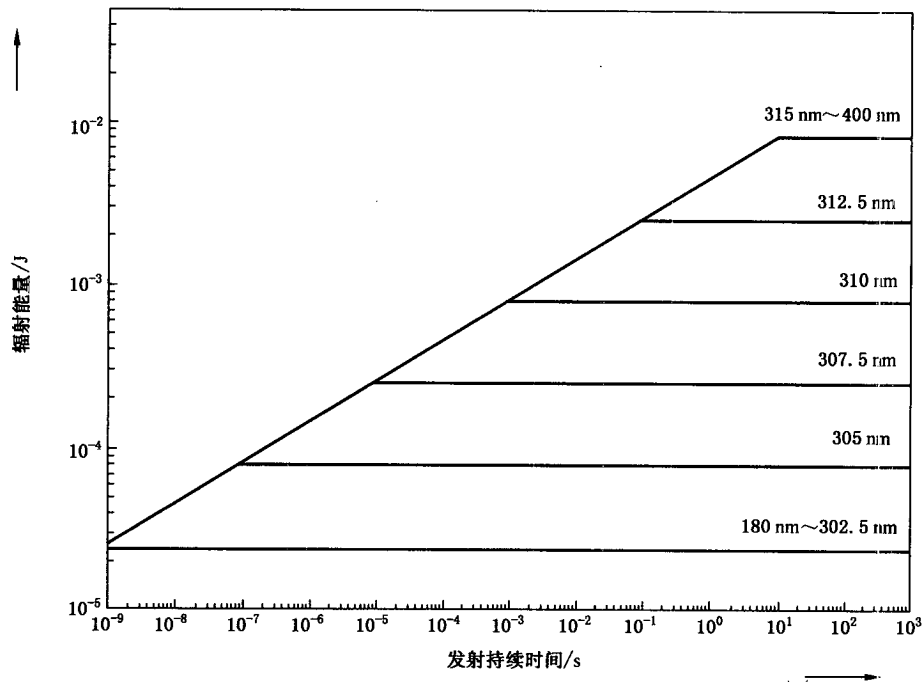


图 B.4 在选定波长上,发射持续时间 $10^{-9} \text{ s} \sim 10^3 \text{ s}$ 的 1 类紫外激光产品的 AEL 值

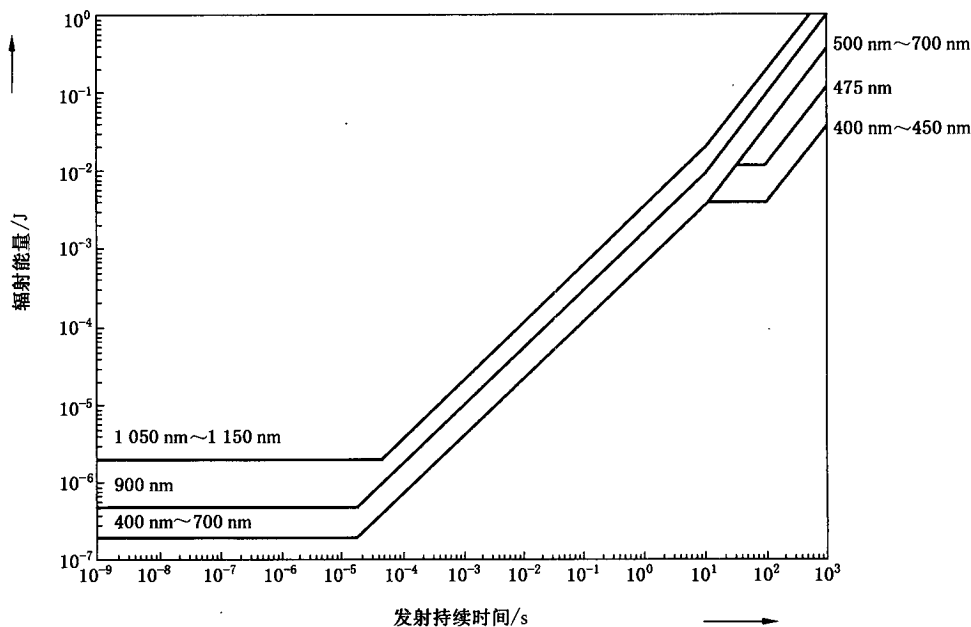


图 B.5 1 类可见和选定红外激光产品的 AEL 值($C_6 = 1$)

B.3 举例

B.3.1 将一个输出功率为 50 mW、光束直径为 3 mm、光束发散角为 1 mrad 的连续 HeNe 激光器($\lambda = 633 \text{ nm}$)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 $\alpha \leq \alpha_{\min} = 1.5 \text{ mrad}$ 。因为光束直径和发散角小，所有光束功率将通过 7 mm 孔径，因此在测量条件 1、条件 2、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 8.3e)。

选定 3B 类和 100 s 时间基准。尽管激光输出在 400 nm~700 nm 可见光波长范围内，0.25 s 的时间基准不允许用于 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：

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

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。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，可以使用 0.25 s 时间基准，从表 7 可得：

$$\text{AEL} = 5 \times 10^{-3} C_6 \text{ W}$$

从表 10 可知，直接观察准直良好的激光束时， $C_6 = 1$ ，即：

$$\alpha \leq 1.5 \text{ mrad, 于是:}$$

$$\text{AEL} = 5 \text{ mW}$$

因为激光器输出功率为 50 mW，超过 3R 类 AEL，但是小于 3B 类 AEL，因此，该激光产品可分类为 3B 类。

B.3.2 一个未安装准直透镜的 12 mW 连续波二极管激光器($\lambda = 900 \text{ nm}$)，光束发散角为 0.5 rad，在表 11 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 α 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 2:1.4 mW 通过距离激光二极管芯片 70 mm 处的一个 7 mm 的孔径光阑;
条件 3:0.7 mW 通过距离激光二极管芯片 100 mm 处的一个 7 mm 的孔径光阑。

解答:

对于这样的发散光源,显然条件 2 比条件 1 更严格。

选定 1 类和 100 s 时间基准(见 8.3e)),这样,对 $\alpha \leq 1.5$ mrad 并且 $t > T_2$ 的激光束,此处 $T_2 = 10$ s 当 $\alpha \leq 1.5$ mrad(见表 10),从表 4 得到的 AEL 如下:

$$AEL = 3.9 \times 10^{-4} C_4 C_7 \text{ W}$$

其中,根据表 10, $C_4 = 10^{0.002(\lambda - 700)} = 2.51$, $C_7 = 1$ 。所以:

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

该值小于激光二极管发射到距离激光器 70 mm 处通过 7 mm 孔径光阑的量值,意味着该产品对条件 2 超过 1 类。然而,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。

因为产品符合条件 1 和条件 3 的 1 类要求,但是不符合条件 2 的 1 类要求,没有超过 3B 类 AEL,它被分为 1M 类。

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。

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, $\lambda = 1\,060$ nm;
输出脉冲能量 25 mJ, $\lambda = 530$ nm;
脉冲持续时间 = 25 ns;
出口孔径 = 5 mm;
每个波长的光束发散角 < 1 mrad。

解答:

假设激光器在 100 s 时间基准内只发射一个脉冲,那么,脉冲持续时间可以作为照射持续时间。选定 3B 类产品,表 9 给出的 AEL 为:

$$\begin{aligned} \lambda = 1\,060 \text{ nm} \quad AEL_{1\,060} &= 0.15 \quad J = 150 \text{ mJ} \\ \lambda = 530 \text{ nm} \quad AEL_{530} &= 0.03 \quad J = 30 \text{ mJ} \end{aligned}$$

这两个波长的效果是叠加的,见 8.3 b) 和表 2 中关于多波长辐射的激光产品分类。
因此需要确定是否

$$Q_{1\,060} / AEL_{1\,060} + Q_{530} / AEL_{530} \leq 1$$

带入单位为 mJ 的相应值

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

因为这个值大于 1,激光产品必须归类为更高的类别。
因此,该激光产品为 4 类。

B. 3.4 对一个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:

选定 3R 类和 100 s 时间基准,预计不会出现有意观察。

表 7 给出:3R 类 AEL 为 $5\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。注意,表 11 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($E_0 = P_0 / \text{area}$),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

$$E_0 = P_0 / \text{area} = 4 \times 0.4 / \pi (3.5 \times 10^{-3})^2 = 4.16 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

此值超过 3R 类的 AEL。表 9 给出 3B 类 AEL 为 0.5 W,所以:
该激光器应归为 3B 类。

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 $\lambda = 694$ nm

时,输出峰值功率为 10 kW,光束直径为 5 mm,光束发散角为 0.5 mrad。

解答:

8.3 的 f) 条款包括了重复脉冲激光器的详细要求,概述如下。

对于 400 nm~10⁶ nm 的波长,按照要求 a)、b)和 c)中最严格者确定 AEL。对于其他波长,按照要求 a)和要求 b)中最严格者确定 AEL。要求 c)仅适用于热效应极限,而不适用于光化学极限。

选定 3B 类,并假设 100 s 时间基准。检查在表 3 给出的时段 T_i 内是否发生多个脉冲。对于这个波长, $T_i=18\times10^{-6}$ s;脉冲之间的实际时间是 $1/\text{PRF}=2\times10^{-3}$ s,因此,在时段 T_i 内没有发生多个脉冲。遵从 8.3 f)中的步骤:

a) 单脉冲照射。表 9 给出对于 $t=10^{-6}$ s,

$$\text{AEL}_{\text{单}}=0.03 \text{ J}$$

b) 表 9 给出 $T=100$ s 的 AEL 如下:

$$\text{AEL}_T=0.5 \text{ W}$$

除以 PRF 得到每个脉冲的等效 AEL 能量,于是,

$$\text{AEL}_{\text{s.p.T}}=\text{AEL}_T/\text{RPF}=0.5/500=1\times10^{-3} \text{ J}$$

c) $\text{AEL}_{\text{s.p.串}}=\text{AEL}_{\text{单}}\times C_5=\text{AEL}_{\text{单}}\times N^{-0.25}$

当 $\alpha\leq\alpha_{\text{min}}$ 时(见表 10) N 被限制为在时段 $T_2=10$ s 内产生的脉冲个数。

于是

$$\text{AEL}_{\text{s.p.串}}=0.03\times(10\times500)^{-0.25} \text{ J}$$

$$\text{AEL}_{\text{s.p.串}}=3.57\times10^{-3} \text{ J}$$

三个值中最严格的是 $\text{AEL}_{\text{s.p.T}}=1\times10^{-3} \text{ J}$ 。

每个脉冲的激光能量 Q 由以下关系计算:

$$Q=(\text{峰值功率})\times(\text{脉冲持续时间})$$

$$Q=10^4\times10^{-6}=0.01 \text{ J}$$

因为每个脉冲可达发射能量超过 $\text{AEL}_{\text{s.p.T}}$,激光产品超过 3B 类 AEL,因此,该激光器必然是 4 类。

附 录 C
(资料性附录)
类别描述和潜在的相关危害

C.1 概述

本附录包括类别描述以及潜在的相关危害。
本附录的目的是指导制造厂商描述与产品相关的危害。本附录也指出了分类方案的局限性,即通常意义上的类别不适合的情况。

C.2 前言

建立类别是为了帮助用户评估激光器的危害,确定必需的用户控制措施。激光器的分类涉及激光器的可达辐射对皮肤和眼睛损伤的潜在危害,并不涉及其他可能危害,例如电气危害、机械危害、化学危害或二次光辐射的危害。分类的目的是让人们认识到,随着可达功率增加到基准(最低限度)以上,即1类条件之上,受损伤的危险也增加;分类最精确地描述了在距激光器较近距离上潜在的照射危害。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,包括诸如防护罩等工程控制措施,潜在的危害可能会大大减少。

C.3 类别描述

1 类

在使用过程中,包括长时间直接光束内视,甚至在使用光学观察仪器(眼用小型放大镜或双筒望远镜)时受到激光照射仍然是安全的激光器。1类也包括完全被防护罩围封的高功率激光产品,在使用中接触不到潜在的危害辐射(嵌入式激光产品)。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果,特别是在光线暗的环境中。

1M 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。在下述条件下使用两种光学观察仪器(眼用小型放大镜或双筒望远镜)之一时,照射量超过 MPE,并可能造成眼损伤:

- a) 对于发散激光束,如果用户为了聚集(准直)光束将光学组件放置在距光源 100 mm 的距离之内;
- b) 对于准直激光束,其直径大于条件 3 规定的测量直径(见表 11)。

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~4 000 nm之间。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。

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:

- 无意识的照射很少反映最坏情况的条件,例如,光束对准瞳孔,最坏情况的眼的适应性调节;
- MPE 的固有安全余量,AEL 以其为基础;
- 对亮光照射的自然躲避行为。

与 2M 类相比较,2 类在使用光学仪器时并不增加眼损伤的风险。

然而,2 类激光产品的激光束可引起眩目、闪光盲和视后像,特别是在光线暗的环境中。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,视觉干扰就可能特别需要留意。

用户要根据标记的指示不要凝视激光束,即通过移开头部或闭眼完成主动防护反应,并避免持续有意的光束内视。

2M 类

这类激光产品发射可见激光束,仅对裸眼短时照射是安全的。在以下条件中,使用两种光学观察仪器(眼用小型放大镜或双筒望远镜)之一时受到照射,眼损伤可发生:

- a) 对于发散光束,如果用户为了聚集(准直)光束而将光学组件放置在距光源 100 mm 的距离之内;
- b) 对于准直光束,其直径大于条件 3 规定的测量直径(见表 11)。

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,视觉干扰可能特别需要留意。

用户要根据标记的指示不要凝视激光束,即通过移开头部或闭眼完成主动防护反应,并避免持续有意的光束内视。

3R 类

这类激光产品的发射辐射在直接光束内视时可能超过 MPE,但是在大多数情况下损伤风险相对较低。因为 3R 类的 AEL 仅是 2 类(可见激光束)AEL 或 1 类(不可见激光束)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。因为风险较低,其适用的制造要求和用户控制措施较 3B 类少。

风险有限是因为:

- 无意识的照射很少反映最坏情况的条件,例如光束对准瞳孔,最坏情况的眼的适应性调节;
- MPE 固有的安全余量;
- 可见光辐射下对亮光照射,以及远红外辐射下对角膜受热的自然回避行为。

3R 类激光产品的激光束在可见光范围内可引起眩目、闪光盲和视后像,特别是在光线暗的环境中。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,视觉干扰可能特别需要留意。

3R 类激光器仅宜在不可能发生直接光束内视的场合使用。

3B 类

这类激光产品发生束内眼照射(即在 NOHD 内)时,包括意外的短时照射,通常是有害的。

观察漫反射一般是安全的。接近 3B 类 AEL 的 3B 类激光器可引起较轻的皮肤损伤,甚至有点燃易燃材料的危险。然而,只有光束直径很小或被聚焦时才可能发生这种情况。

注:存在某些理论的(但极少)观察条件,在那里观察漫反射可能超过 MPE。比如,具有功率接近 AEL 的 3B 类激光器,观察可见光辐射的真实漫反射,观察时间大于 10 s,观察点在漫反射表面和角膜之间距离小于 13 cm 处,在以上条件下,漫反射会超过 MPE。

4 类

这类激光产品,光束内视和皮肤照射都是危险的,观看漫反射可能是危险的。这类激光器也经常会引起火灾。

对命名方法的注释

1M类和2M类中的“M”来自于具有放大(magnifying)功能的光学观察仪器。3R类中的“R”来自于减少(reduced)或放松(relaxed)要求:对制造厂商(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,在标准的 pre-Amendment A2:2001 版中有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“有危害的”或涉及损伤的高风险性时,这伤害和风险仅存在于激光器周围的一个区域内,在这个区域内相应的MPE量被超过。对于裸眼照射,这个区域由NOHD限定;或对于良好准直的1M类和2M类,用双筒望远镜或望远镜观察时,这个区域由扩展的NOHD(ENOH)限定。某特定(3B类或4类)激光产品的NOHD有可能很短,以致于在特定的安装或应用中,对于在NOHD外的人员,可以不需要眼保护。例如将扫描激光器或线性激光器安装在制造厂房的天花板上,该激光器的光束图形或光束直线投影到下面工作区的工件上。尽管其功率的水平和扫描模式能够使得在工作区的照射量低于MPE,因此是安全的,但在日常维护和维修时将需要特别考虑。例如,当用户登上梯子去清洁出射窗口时,在较近距离点的照射量可能是有危害的。又如,尽管扫描模式(图样)下可能是安全的,但是,如果激光束回复到非扫描模式,危害就可能出现。此外,4类激光器有与漫反射关联的NOHD(尽管该NOHD可能在范围上相当受限)。与特殊激光器和应用有关的危害特性也是风险评估的一部分。

为了使“低类别”(即1类)产品即使在合理可预见的最坏情况下也不产生对眼睛或皮肤的危害,分类测定宁可在“最坏情况”和苛刻条件下进行。相应地,3B类或4类产品也可以按这种方式设计,即对于预定的使用和正常的操作,该产品可以被认为是安全的,因为只有在最坏的情况下危害就可能出现。例如,产品可以有防护罩(符合IEC 60825-4),但是由于以下原因,它不是嵌入式1类激光产品。

- 防护罩没能通过按照第一部分做的长时间的测试(尽管根据IEC 60825-4可能使用较短的评估时间);
- 它没有顶盖,但是被认为对所处的环境是安全的,因为人员不会出现在护挡板之上;
- 它没有安装进入通道的自动检测(然而,在一个受控环境中,可能用独立锁这种机构安全措施代替。在防护罩内有人员时,该装置防止门关闭—这不影响类别,但提供防护措施以达到用户希望的安全级别)。

在与3B类和4类激光产品关联的危害被限制在防护罩之内的情况下,机构安全措施可能足够。类似地,没有顶盖的激光系统或在某些较长时间的故障后遮挡板会烧穿的情况下,机构安全措施可能不满足要求。

与3B类和4类激光产品关联的危害仅出现在特定情况下的其他一些例子。例如,考虑类别可能需要根据附件确定的情况,比如低水平激光治疗中用于高发散光源的准直透镜。根据被安装上的附件透镜,这种产品可能归类为3B类,因为这个透镜产生有潜在危害的准直光束。然而,如果使用时不安装附件,就发散光束,就有可能是安全的(即对眼睛的照射将低于MPE)。因此,只有当附件被安装上时,激光器周围才存在危害区。

C.4 类别方案的局限性

尽管分类测试有多种方法,而不仅限于严格条件和最坏情况,但仍然存在局限性,即在极少数情况

下,有可能激光器产生的危害高于它所属类别的危害。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、孔径直径和接收角三项表示的测量要求。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,可达发射与 AEL 相比较确定其类别。
- c) 确定 AEL 和可达发射的测试条件。其中包括考虑合理可预见单一故障条件。操作、维护和维修也要区分。还要考虑使用附件的情况,以及在不使用工具前提下产品可能达到的各种配置。

三个因素的每一个都含有若干假设。然而,在极少数情况下,当这些假设不满足时,会产生超过通常认为的类别的危害。例如,对于长期照射的 1 类和 1M 类的 AEL 基于非麻醉眼的眼动假设。然而,如果在对麻醉眼进行治疗过程中延长了眼照射时间,则 1 类激光发射可导致潜在的危害照射。同样,测量要求也基于对照射时使用某种光学仪器的可能性的假设和估计。例如,直径很大的准直激光束,即使是 1 类激光产品,当通过一个大望远镜后也可能是有危害的。然而,因为望远镜的视场很小,这样的意外眼照射的发生概率通常很低。另外一个可能需要考虑的情况是,产品被放置在某种条件下,该条件在确定类别时并不在考虑范围内,但是在该条件下可能产生有害辐射。例如,尽管产品的制造厂商不提供附件,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。但是,认为这种做法是改变了产品,进行这种改变的人员应对产品重新分类。

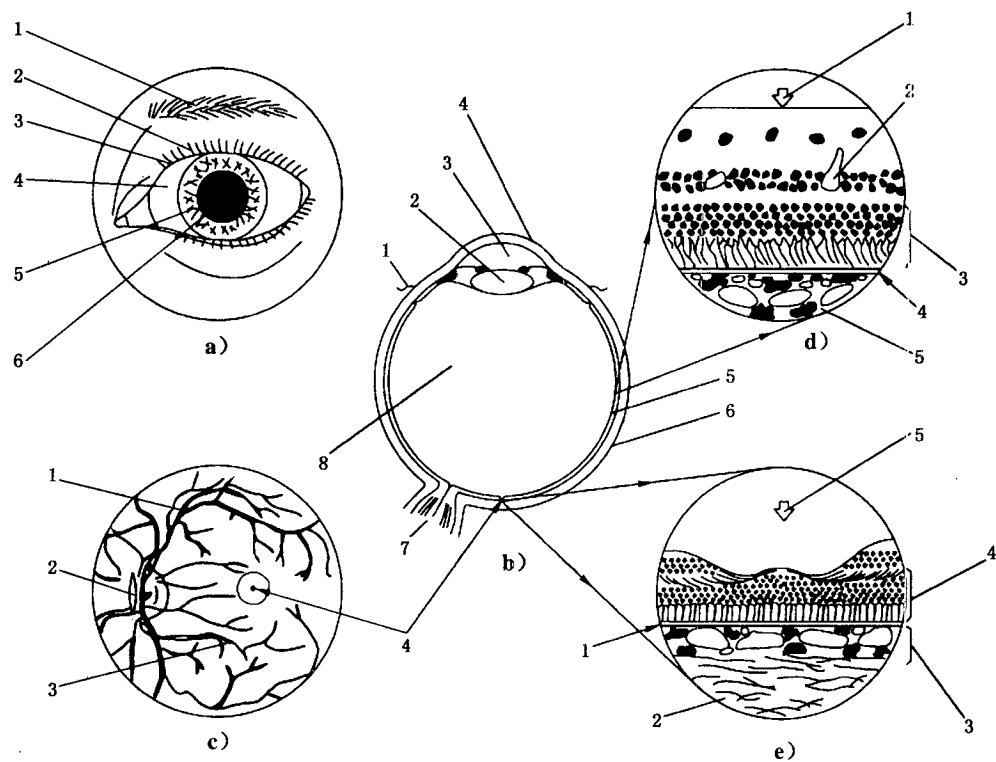
然而,制造厂商宜清楚知道局限性,以便将警告包含在产品的用户使用手册中。这种局限性的特定举例如下(注:这些局限性仅是可能的,因为适用与否依赖于产品类型):

- 使用大望远镜观看 1 类、2 类或 3R 类激光产品的大直径准直激光束;
- 使用高倍数放大镜观看 1 类、2 类或 3R 类激光产品的发散激光束;
- 使用小于 7 倍放大率的双筒望远镜或望远镜。在这种情况下,对于条件 1,可以采用(见 8.3 c))对向角 α 的放大倍率,或接收角的缩小倍率(见 9.3.3b)),两者选择其一,该放大率应等于真实的放大因子,即小于 7 倍;
- 扫描激光束,当使用望远镜观察时;
- 可能发生的双故障条件。每个故障单独发生时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,双故障发生概率可能相当高,这点在产品设计时宜被考虑。

附录 D
(资料性附录)
生物物理学原理

D.1 眼的解剖

图 D.1 给出了人眼的解剖细节。



说明：

- | | | |
|--|--|---|
| a) 1——眼眉；
2——睫毛；
3——眼睑；
4——巩膜(眼白)；
5——虹膜(眼球颜色)；
6——瞳孔(黑色区)。 | b) 1——结膜；
2——晶状体；
3——前房；
4——角膜(眼前部透明体)；
5——视网膜；
6——巩膜；
7——视神经束；
8——玻璃体。 | c) 1——视网膜静脉；
2——视盘；
3——视网膜动脉；
4——黄斑。 |
| d) 1——光；
2——血管；
3——感光细胞(视杆、视锥细胞)；
4——色素上皮层；
5——脉络膜。 | e) 1——色素上皮层；
2——巩膜；
3——脉络膜；
4——感光细胞(视锥细胞)；
5——光。 | |

图 D.1 眼的解剖

在图 D.1 中:

- a) 部分为左眼的外部结构图。睑裂限制了眼的可见视场(FOV),使眼呈杏仁状。眼前部的主要结构被标出。
- b) 部分为左眼的水平切面图。眼睛分为两部分,前部或以角膜、虹膜、晶状体为界的前房;后部或以视网膜为界和含有凝胶状玻璃体的眼杯。
- c) 部分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。
- d) 部分是剖面图,图 D.1b)中所见到的视网膜结构,但是它比活体放大了几百倍。视网膜由一组神经细胞层组成,最上面是感光的杆体和锥体细胞,即光射到视网膜表面,必须通过神经细胞层,才能到达感光细胞。锥体、杆体细胞层的下面是色素上皮层,它含有黑褐色的黑色素。色素上皮层下面是微细毛细血管层,即脉络膜毛细血管层。脉络是主要的吸收层,它既含有色素细胞,又含有血管。
- e) 部分是放大几百倍的中央凹局部结构,中央凹仅有锥体细胞。神经细胞径向移动而远离视力最敏锐区。黄斑区的色素位于 Henle 纤维层内,它对 400 nm~500 nm 的光吸收力最强。

D.2 激光辐射对生物组织的影响

D.2.1 概述

激光辐照引起损伤的机理,对于所有的生物系统来说都是相似的。可以包括热反应、热声瞬变和光化学相互作用的过程和非线性效应。上述任何一种机理引起损伤的程度均与辐照源的某些固有物理参数有关,其中最重要的是波长、脉宽、聚焦尺寸、辐照度和辐照量。

概括地讲,在超过阈值的照射中,主要的损伤机理与照射的持续时间有关。随着脉冲持续时间的逐渐延长,在如下的时间范围内,起主要作用的损伤机理是:

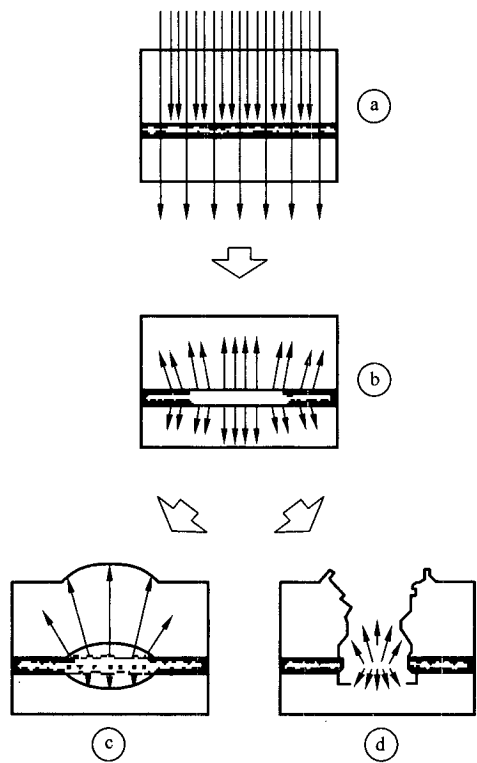
- 照射时间为 ns 和亚 ns 时,主要是声瞬变效应和非线性效应;
- 照射时间为 1 ms 至数秒时,为热效应;
- 照射时间超过 10 s 时,为光化学效应。

激光辐照,以其光束准直性区别于许多其他已知的辐照类型,加之光辐照原本含有高能量,使得过多的能量传导到生物组织中。各种激光辐照时对生物器官的损伤主要是由于该器官对辐照的吸收所致。吸收发生在原子与分子水平上,是一种波长特有的过程。因此,波长决定了一台特定的激光器引起哪种组织的损伤。

热效应

当一个系统吸收了足够的辐照能量时,其组成分子的振动增加,这是一种热容量的增加。多数激光损伤是由于部位的组织受热而致。这种热损伤通常局限在激光能量吸收部位的边缘区与辐照光束内。此区域内的细胞明显地烧伤。组织的损伤主要是由于蛋白质变性引起。以上所述表明,激光二次损伤的发生可能与组织受热反应的时间有关,反应的时间又直接地与激光的脉宽(图 D.2)和冷却时间有关。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。如果一台连续波或长脉冲激光装置直接照射组织,由于传导而使受照射组织区的温度逐渐增高。当越来越多细胞的温升超过它们所耐受的温度时,这种热扩散就可导致损伤面积的增加。由于传导是光斑聚焦大小的函数,它决定了周边扩散的程度及最初组织受热区的温度,因此,对于损伤来说,光斑(光束影像)大小也是非常重要的。这种类型的热损伤在连续照射和长脉冲激光照射中常常可以见到,但是对短脉冲也会发生。对于

1 mm~2 mm 或更小级别尺寸的辐照光斑,辐射热流导致的损伤取决于光斑大小。



- 说明:
- ①——组织吸收激光能量;
 - ②——所吸收能量传导到周围的组织上使其受热;
 - ③——长脉冲或连续激光所导致的热界面的扩大使损伤区域逐渐扩大;
 - ④——短脉冲高峰值功率激光导致细胞崩解、组织爆裂的损伤。

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,损伤效应也可能是特殊分子吸收了所给定光的直接结果。这一过程是由于吸收给定光能而产生,而不是能量的释放。然而,这种反应是分子激发态的一种独特的化学反应,这种光化学反应是低剂量照射损伤的主要原因。根据这个机制,中等剂量的紫外辐射和短波长光长时间照射,可引起某些生物组织,如皮肤、眼的晶状体,尤其是视网膜的不可逆改变。如果辐照时间太长,或虽是短时间照射,但重复照射的时间太长,那么这种光化学导致的变化就可引起器官的损伤。有些由激光照射引发的光化学反应可能是异常的,或放大了正常过程。光化学反应通常遵循本生(Bunsen)和罗斯科(Roscoe)定律,并且对于 1 h~3 h 或更短的持续时间(这里修理机理不能处理损伤等级),用辐照量表示的阈值在很宽的持续时间范围内是不变的。与热扩散引起的热效应不同,光化学效应不存在对光斑大小的依赖性。

非线性效应

短脉冲、高峰值功率(即 Q 开关或锁模)激光器,通过不同损伤机理的联合作用,可加重组织损伤。能量在极短的时间内释放到生物靶标上,受照射部位产生很高的辐照度。靶标组织受到如此快的温度升高,致使组织细胞由液态变为汽态。在多数情况下,这些相变极快,可使组织爆裂,细胞崩解。由此产

生的压力瞬变,在烧伤中心的外周缘产生一个环状的爆破带。相似的压力瞬变亦可由热膨胀引起,以上两种压力瞬变均可由于部分组织的移位,而导致远隔吸收层部位的组织出现切割状损伤。在亚毫微秒的照射中,眼睛介质的自聚焦进一步集中准直光束的激光能量,在约 10 ps~1 ns 之间进一步降低阈值。此外,其他非线性光学机理在亚毫微秒范围的视网膜损伤中也起作用。

激光作用于视网膜时,上述的所有损伤机理均已被见到,并反映在本部分描述的安全照射量的转效应或斜率的变化上。

D.2.2 对眼的伤害

在 D.1 中,简要叙述了眼的解剖。眼特别适合于接收和传导光辐射。因过量照射引起的有关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,然而可见光与近红外辐射将被透射到视网膜上引起损伤。

可见光和近红外激光对眼的损伤是特殊的,因为眼球能有效地透射光辐射,这一特性使得色素含量较多的组织受到较强的辐照。从角膜到视网膜,辐照度的增加近似等于瞳孔面积与其在视网膜的像面积之比。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,对年轻人的眼睛而言,其直径最大可扩张至 7 mm,对应于这样一个瞳孔的视网膜影像,直径可在 10 μm~20 μm 之间。考虑到眼内散射和角膜像差,从角膜到视网膜辐照度的增加有 2×10^5 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
紫外辐射 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
紫外辐射 B(280 nm~315 nm)		
紫外辐射 A(315 nm~400 nm)	光化学白内障	色素加深 光敏感作用 皮肤灼伤
可见光(400 nm~780 nm)	光化学和热效应所致的 视网膜损伤	
红外辐射 A(780 nm~1 400 nm)	白内障、视网膜灼伤	皮肤灼伤
红外辐射 B (1.4 μm~3.0 μm)	白内障、水分蒸发、角膜灼伤	
红外辐射 C (3.0 μm~1 mm)	仅为角膜灼伤	
^a CIE 中定义的光谱范围是简化符号,用于描绘生物效应,可能与 MPE 表 A.1 到表 A.3 中光谱波段的划分有所不同。		

假如增加了 2×10^5 倍,那么在角膜上为 $50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的光束到视网膜上将变为 $1 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。在本部分中,认为 7 mm 的瞳孔是限制孔径,因为该值是一种最坏的条件,并且是对年轻人最坏情况下的瞳孔直径进行测量而得到的。对 7 mm 瞳孔假设的一个例外是,当连续观看可见光(400 nm~700 nm)激光源超过 10 s 时,计算不致引起光照性视网膜炎的照射限值。在这种情况下,假设 3 mm 的瞳孔是最坏条件;不过,由于瞳孔在空间的生理性运动,用于平均辐照度测量的 7 mm 孔径仍被认为是合理的。因此,持续时间大于 10 s 的 AEL 仍然用 7 mm 的孔径导出。

如果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 范围内的部分能量将被黄色的黄斑色素吸收)。被吸收的能量会导致局部发热,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层。

这种视力的丧失是否是永久性的,取决于照射的强度。通常仅当黄斑中心或中央凹损伤时,受照人员才会自我感觉到视力减退。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“辨别物体真相”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,但在两周内或更长的时间,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,当在注视像一张空白纸样的视场时,盲点立刻就会显露出来。视网膜周边损伤只有在视网膜被整体破坏时,病人才会主观感觉到。小的周边损伤往往会被忽视,甚至在系统的眼科检查中也未必会发现。

在 $400\text{ nm}\sim 1\,400\text{ nm}$ 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。对于良好的平行光束,由于其视网膜像被假定是直径 $10\text{ }\mu\text{m}\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 的衍射极限光斑,故其危害实际上与辐射源和眼之间的距离无关。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 $25\text{ }\mu\text{m}$ 直径的视网膜圆斑。

对于扩展源,其危害随光源和眼之间的观察距离而变化,因为视网膜的瞬时辐照度只依赖于该光源的辐射亮度及眼球晶状体的特性,较大视网膜像的能量热扩散效率较低,导致视网膜热损伤依赖于光斑大小,而光化学损伤(仅在 $400\text{ nm}\sim 600\text{ nm}$ 光谱区占支配地位)不存在这种依赖性。此外,对于连续波激光照射,眼睛运动进一步扩散了吸收的能量,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极限值时,眼运动的修正因子仅适用于观察持续时间大于 10 s 的情况。虽然在 $0.1\text{ s}\sim 10\text{ s}$ 的时间范围内,被称为眼跳(眼急动)的生理性眼运动确实扩散了视网膜最小像($0.25\text{ }\mu\text{m}$ 或更小)内吸收的能量,但眼照射限值对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,视网膜上受照圆斑平均约为 $50\text{ }\mu\text{m}$ 。照射时间为 10 s 时,视网膜上受照区域约为 $75\text{ }\mu\text{m}$,并且相对固定的眼睛,在考虑到光斑大小依赖性时,最小像条件下的附加安全因子变为 1.7 。当照射时间为 100 s 时,受照区域(在 50% 点测量)很难小到 $135\text{ }\mu\text{m}$,导致最小像条件的附加安全因子为 $2\sim 3$ 或更大。

来自眼动研究和视网膜热伤害研究的数据结合在一起,推导出观察时间 T_2 的转效点,在这点上,眼动补偿了在眼睛固定不动时,由于视网膜照射持续时间增加而增加的热伤害的理论风险。因为以进入眼内的热损伤阈值(用辐射功率表示)随着照射持续时间 t 的增加而降低到 -0.25 次方(即持续时间每增加 10 倍,损伤阈值仅减少 44%),对于更长观看时间造成的风险增加,只要适度增加受照视网膜区域就可以进行补偿。随着观看时间增加,眼运动加大,引起视网膜受照区域增加,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。这样,随着对向角 α 的增大,转效点 T_2 从 10 s (对小光源)增加到 100 s (对大光源)。超过 100 s ,对于小的和中等大小的像,热损伤的风险不再增加。照射限值和测量条件的规定,力求根据这些变量进行简化处理,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 $25\text{ }\mu\text{m}\sim 1\text{ mm}$ (相当于角度为 $1.5\text{ mrad}\sim 59\text{ mrad}$)之间时,视网膜热损伤阈值与视网膜像(稳定的)的大小成反比,超过 1.7 mm (相当角度大于 100 mrad),与光斑大小无关。

对于稳定的像,光化学引起的视网膜损伤与光斑尺寸无关。与热损伤的机理不同,光化学损伤的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,阈值反而减小。对向角为 $1\text{ mrad}\sim 1.5\text{ mrad}$ 的焊弧引起的光化学损伤研究显示,其典型损害尺寸为 $185\text{ }\mu\text{m}\sim 200\text{ }\mu\text{m}$ (相当于 $11\text{ mrad}\sim 12\text{ mrad}$ 视角),这清楚地显示了在注视期间眼动的影响。从这些和其他注视期间眼动的研究,求解出防止视网膜光化学损伤的 MPEs。这些研究也导致照射持续时间为 $10\text{ s}\sim 100\text{ s}$ 的 MPE 辐照度被规定为在 11 mrad 区域上的平均值。因此,张角 α 小于 11 mrad 的光源被等同视为“点状”光源,并且 $\alpha_{\min}$ 的概念被扩展到连续波激光器观看。这个方法并不严格正确,因为一个 11 mrad 光源的辐照度测量并不等同于在 11 mrad 视场(γ)上平均的辐照度,除非光源属平顶(“顶帽”)辐射度分布。因此,本部分中,在光源对向角和光化学 MPE 值的辐照度平均之间做了区别。当观察时间超过约 $30\text{ s}\sim 60\text{ s}$

时,在注视期间急促的眼运动一般由视觉作业确定的行为运动所支配,完全没有理由假设光源完全成像于中央凹上的持续时间大于 100 s。由于这个原因,接收角 γ_{ph} 随着 t 的平方根线性增加。对所有照射持续时间,最小对眼角 α_{min} 合理地保持在视网膜热危害评价时所用的 1.5 mrad 参考角上。但是,对于视网膜光化学危害的评估,概念实际上是不同的,因为角 γ_{ph} 是测量辐照度的接收角的线性角,重要的是,仅适用于大于约 11 mrad 的扩展源。

观察距离。对于“点型”的发散激光束光源,其危害随着激光束束腰与眼睛的距离的减少而增加。原因是,随着距离减小,其收集的功率增加,对于真实的激光光源,距离下降到 100 mm 那样近时(由于眼的调节能力),视网膜上像的尺寸可假设保持在接近衍射极限的量级。最大危害出现在最短调节距离上。随着距离的进一步减小,对裸眼的危害也减少,这是由于视网膜像的迅速变大导致辐照度相应减小,即使有可能收集到更大的功率也是如此。为了模拟借助双目镜或望远镜对准直激光束进行光学辅助观看时的风险,根据获得清楚观看的最近距离,使用 50 mm 孔径的最近观看距离设定为 2 m 处。

对本部分来说,在 400 nm~1 400 nm 范围内的所有波长上,人眼调节的最短距离定为 100 mm。选择这样一个折衷方案是因为除年轻人和极少近视眼之外,其他人员不能把眼调节到 100 mm 以下的距离上。这个距离可以用于光束内视情况下的辐照度测量(见表 11)。

对于小于 400 nm 或大于 1 400 nm 的波长,最大的危害是对晶状体或角膜的损伤。根据波长,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(扩展或点型),光源和眼之间的距离应该避免过短。

在 1 500 nm~2 600 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,因而对于小于 10 s 的照射 MPEs 升高。当脉冲宽度很短,且波长在吸收体积最大的 1 500 nm 到 1 800 nm 范围内时,MPEs 升高最明显。当时间长于 10 s 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 皮肤损伤

一般说来,皮肤比眼能耐受更大激光能量的照射。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疱。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,而不出现红斑。

极强的辐射可造成皮肤的色素沉着、溃疡、瘢痕形成和内部器官损伤。但激光辐射的潜在效应或累积效应还未被普遍发现。但是,一些有限的研究表明,在特殊条件下,人体组织的小区域可能对反复的局部照射敏感,从而改变了最轻反应的照射水平,并且在这样低水平照射下组织的反应更严重。

在 1 500 nm~2 600 nm 波长范围内,生物学阈值研究指出,皮肤损伤风险与眼损伤有相似的模式。对于不超过 10 s 的照射,在该光谱范围内 MPE 随波长而增加。

D.3 MPE 和辐照度平均

在本部分中,已经采用由国际非电离化辐射防护委员会(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; ICNIRP)推荐的最大允许照射量(MPE)值。已采用由 ICNIRP 推荐的求辐照度平均值的孔径(测量孔径),或者被 IEC TC76 采用的一个附加安全因子。尽管 AEL 的确定和推导通常基于 MPEs,但也必须进行风险分析并确定合理可预见照射条件。在 AEL 的推导中,测量孔径的选择起着作用,并体现出生物学和生理学两方面的因素。在某些情况下,风险评估的考虑和表述方式的简化也有影响。表 D.2 提供了在选择测量孔径时,假设需要考虑的因素一览表。一般遵循 ICNIRP 的推荐或使用附加安全因子。

表 D.2 适用于 MPE 的测量孔径的说明

光谱段 λ nm	照射持续时间 t	孔径直径	孔径直径的 说明和原理
180~400	$t < 3 \times 10^4 \text{ s}$	1 mm	在角膜上皮层和角质层散射导致 1 mm; IEC 使用以下假设:在连续照射条件下被照射的组织没有移动。但是,对于过长照射,由于眼运动,ICNIRP 推荐 3.5 mm
400~600 光化学效应	$t > 10 \text{ s}$	推导 MPE 时用 3 mm 测量时用 7 mm	对于光化学损伤机理,3mm 直径的瞳孔在空间横向运动导致对连续波照射适用 7 mm 孔径平均
400~1 400 热效应	所有 t	7 mm	在连续波照射下,扩大了瞳孔的直径和横向运动
$\lambda > 1 400$	$t < 0.35 \text{ s}$	1 mm	在角质层和上皮组织的热扩散
$\lambda > 1 400$	$0.35 \text{ s} < t < 10 \text{ s}$ $t > 10 \text{ s}$	$1.5 \times t^{3/8} \text{ mm}$ 3.5 mm	在 0.35 s 后目标组织的更大热扩散和相对激光束的运动
$10^5 \leq \lambda \leq 10^6$	所有 t	11 mm	为了精确测量,大于衍射极限的孔径(即约 $10 \times$)

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 μm . 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 μm . 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, M. L. : 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, 200.

[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
(资料性附录)
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、1M 类激光产品和相应的 MPE 值的 AELs,在视网膜损伤波长 400 nm~1 400 nm 范围内,假设表观光源的对向角大于 $\alpha_{\max}$ 观察条件下得出的。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,所有的散射和发射量低于表 E.1 或图 E.1 规定的辐亮度的扩展光源都不能超过 1 类可达发射极限(AELs)。

对向角 100 mrad,照射时间 100 s 时的辐亮度 MPE 值

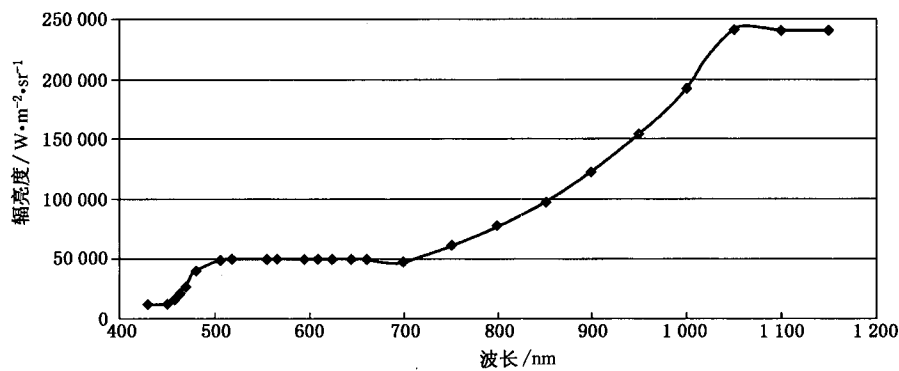


图 E.1 辐亮度是波长的函数

E.2 辐亮度值

表 E.1 的辐亮度值基于 IEC/ICNIRP MPE 水平。因为 MPEs 一般用辐照量($J \cdot m^{-2}$)或辐照度($W \cdot m^{-2}$)表示,需要将 MPE 值转换为辐亮度($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$)。辐亮度作为波长的函数在图上标出(见 E.3)。

表 E.1 给出作为波长函数的辐亮度允许照射值。照射持续时间为 100 s,对向角 α 大于或等于 100 mrad。给出了光化学或热效应的最严格限值。采用斜体给出视网膜光化学危害极限。

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	10 000	1.00
450	10 000	1.00
460	15 848	1.58
465	19 952	2.00

表 E. 1 (续)

波长 nm	辐亮度 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$	辐亮度 $W \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$
470	25 119	2. 51
480	39 811	3. 98
505	48 316	4. 83
520	48 316	4. 83
555	48 316	4. 83
565	48 316	4. 83
595	48 316	4. 83
610	48 316	4. 83
625	48 316	4. 83
645	48 316	4. 83
660	48 316	4. 83
700	48 316	4. 83
750	60 826	6. 08
800	76 576	7. 66
850	96 403	9. 64
900	121 365	12. 13
950	152 789	15. 28
1 000	192 350	19. 24
1 050	241 580	24. 16
1 100	241 580	24. 16
1 150	241 580	24. 16

注：用斜体表示的数字是视网膜光化学损伤的极限。

E. 3 基本原理

辐亮度使用 IEC/ICNIRP MPE 水平计算。因为 MPEs 一般用辐照量($J \cdot m^{-2}$)或辐照度($W \cdot m^{-2}$)表示,需要将 MPE 值转换为辐亮度($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$)。辐亮度的值作为波长的函数在图上标出。MPEs 用辐亮度表示,辐亮度定义为[见式(E. 1)]:

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

.....(E. 1)

- 式中:
- Φ ——辐射功率;
 - Ω ——立体角;
 - A——光源大小。

MPEs 经常用辐照度表示,定义如下[见式(E. 2)]:

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

将式 E.2 代入式 E.1,得到辐亮度是辐照量的函数[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 Ω 和观察角 θ 。用下面的公式取代[见式(E.4)] Ω :

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

并假设最坏情况的观察角 $\theta=0^\circ$ (观察者直接向激光束内看),式(E.3)简化为[见式(E.5)]:

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

对于用辐照量表示的 MPEs,方法稍有不同。辐照量定义为[见式(E.6)]:

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

式中:

Q——用焦耳表示的辐照能量。被时间除得到[见式(E.7)]:

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

因为辐射功率表示为[见式(E.8)]:

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

式(E.8)可以代入式(E.7),得到[见式(E.9)]:

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

返回式(E.1),将式(E.9)代入,得到[见式(E.10)]:

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

再将式(E.4)代入,并假设最坏的情况 $\theta=0^\circ$,得到[见式(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:对向角为 100 mrad,照射持续时间为 100 s。结果列在表 E.1 曲线,如图 E.1 所示。

附 录 F
(资料性附录)
汇 总 表

表 F.1 概括了本部分所涉及的物理量,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 1000,单位和符号引自 IEC 60027-1。表 F.2 汇总了制造厂商的要求。

表 F.1 本部分中所有物理量一览表

物理量	单位名称	单位符号	定 义
长度	米	m	米是光在真空中(1/299 792 458)s 时间间隔内所经路径的长度
	毫米	mm	10^{-3} m
	微米	μ m	10^{-6} m
	纳米	nm	10^{-9} m
面积	平方米	m ²	1 m ²
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 1 92 631 770 个周期的持续时间
频率	赫[兹]	Hz	周期性运动现象为每秒一周的频率等于 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	球面度是一立体角,其顶点位于球心,而它在球面上所截取的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	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1\text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
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,单位的倍数和分数单位列于相应处。			

表 F.2 制造厂商要求一览表

要求条号	类 别						
	1 类	1M 类	2 类	2M 类	3R 类	3B 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 4.2	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						
防护罩上的安全联锁 4.3	设计用于防止挡板移动,除非可达发射值低于 3R 类的 AEL						
遥控联锁装置 4.4	无要求					激光产品装配时,易附加外部联锁	
人工复位 4.5	无要求					如果电源中断或 遥控联锁启动时 要求人工复位	
钥匙控制装置 4.6	无要求					当取下钥匙时,激光器不能使用	
发射警告装置 4.7	无要求					当激光器打开或脉冲冲激光器电容器组充电时,给出可听 或可视警告。对 3R 类激光产品仅适用于不可见辐射	
衰减器 4.8	无要求					给出暂时切断激光束的措施	
定位控制装置 4.9	无要求					调节定位后的控制装置,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 4.10	无要求	通过所有光学系统的辐射必须低于 1 类的 AEL					
扫描 4.11	扫描失效不会导致激光产品产生超过其自身类别的辐射						
分类标记 5.1~5.6	要求文字	图 14 和图 15 及规定的文字					要求规定的文字
窗口标记 5.7	无要求						
检修入口标记 5.9.1	无要求	要求与可达辐射的类别相对应					
优先控制联锁标记 5.9.2	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 5.10~5.11	对特定波长范围要求						
用户资料 6.1	操作手册必须包括安全使用说明。附加要求适用 1M 类和 2M 类						
采购和检修资料 6.2	推销简介必须有分类标记;检修手册必须包括安全说明						
医用产品 7.2	无要求						对医用激光产品的 安全,应适用标准 IEC 60601-2-22

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。

附 录 G
(资料性附录)

IEC 60825 相关部分一览表

IEC 60825 的相关部分预计与 IEC 60825-1 基本部分共同使用。每个部分涵盖一个确定的范围,并提供附加的标准化和提示性的指导,使制造厂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产品,能考虑到特殊的使用条件、操作者和用户的能力及培训水平。涵盖的信息包括基本原理、例子、解释、方法、标记和附加限制以及要求。见表 G.1。

表 G.1 IEC 60825 相关部分的补充资料一览表

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、要求	是	是	是	是	是	是	
2	标准	光纤通信系统的安全 (提供应用注解和例子)	是	是	是	是	是	是	
3	技术报告	激光显示和展示指南	否	否	是	否	否	是	
4	标准	激光防护屏(也包括用于高功率激光器移动 防护材料的特性)	是	是	是	是	是	是	
5	技术报告	生产者关于激光辐射安全的检查清单(适宜 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	人员使用激光束安全性指南	否	否	是	否	否	否	IEC 60601-2-22
9	技术报告	非相干光辐射(宽带光源)最大允许曝光量 的汇编	否	否	是	否	是	是	
10	技术报告	激光安全的应用导则和注释	是	是	否	否	是	否	ISO 13694
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	
14	技术报告	用户指南	否	是	是	否	否	是	
注：本一览表便于查找,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过程中,可能没有正式发布。									

参 考 文 献

- [1] IEC 60027-1 Letter symbols to be used in electrical technology—Part 1:General
- [2] IEC 60065 Audio,video and similar apparatus—Safety requirements
- [3] IEC 60079 (all parts) Electrical apparatus for explosive gas atmospheres
- [4] IEC 60079-0:2004 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres—Part 0:General requirements
- [5] IEC 60204-1 Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1:General requirements
- [6] IEC 60825-2 Safety of laser products—Part 2:Safety of optical fibre communication systems (OFCS)
- [7] IEC TR 60825-3 Safety of laser products—Part 3:Guidance for laser displays and shows
- [8] IEC 60825-4 Safety of laser products—Part 4:Laser guards
- [9] IEC/TR 60825-5 Safety of laser products—Part 5:Manufacturer's checklist for IEC 60825-1
- [10] IEC/TR 60825-8 Safety of laser products—Part 8:Guidelines for the safe use of laser beams on humans
- [11] IEC/TR 60825-9 Safety of laser products—Part 9:Compilation of maximum permissible exposure to incoherent optical radiation
- [12] IEC/TR 60825-10 Safety of laser products—Part 10:Application guidelines and explanatory notes to IEC 60825-1
- [13] IEC 60825-12 Safety of laser products—Part 12:Safety of free space optical communication systems used for transmission of information
- [14] IEC/TR 60825-13 Safety of laser products—Part 13:Measurements for classification of laser products
- [15] IEC/TR 60825-14 Safety of laser products—Part 14:A user's guide
- [16] IEC 60950 (all parts) Information technology equipment—Safety
- [17] IEC 61040 Power and energy measuring detectors,instruments and equipment for laser radiation
- [18] IEC 61508 (all parts) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safetyrelated systems
- [19] IEC 62115 Electric toys—Safety
- [20] IEC 62471:2006 (CIE S009:2002) Photobiological safety of lamps and lamp systems
- [21] ISO 1000 SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units
- [22] 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
- [23] IEC/ISO 11553-1 Safety of machinery—Laser processing machines—Part 1:General safety requirements
- [24] ISO 12100-1 Safety of machinery—Basic concepts,general principles for design—Part 1:Basic terminology,methodology

[25] ISO 12100-2 Safety of machinery—Basic concepts, general principles for design—Part 2: Technical principles

[26] ISO 13694 Optics and optical instruments—Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam power (energy) density distribution

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

激光产品的安全

第 1 部分:设备分类、要求

GB 7247.1—2012/IEC 60825-1:2007

*

中国标准出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 5 字数 144 千字

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

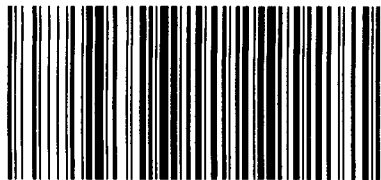
*

书号: 155066 · 1-47247 定价 66.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107



GB 7247.1-2012