



中华人民共和国国家标准

GB 46865—2025

消费类激光指示器产品光辐射安全要求

Safety requirements for optical radiation of consumer laser pointers

2025-12-02 发布

2026-07-01 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 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 安全分类和要求 2

 4.1 通则 2

 4.2 分类职责 3

 4.3 分类规则 3

 4.4 类别 3

 4.5 光辐射要求 3

 4.6 供电要求 4

 4.7 功能要求 4

5 测量和危害评估 4

 5.1 基本要求 4

 5.2 测量设备 4

 5.3 光辐射测量 4

 5.4 工作电压测量 6

 5.5 功能检查 6

 5.6 确定可达发射水平 6

6 标记和说明 7

 6.1 标记 7

 6.2 安全警示 7

 6.3 安全使用说明 7

 6.4 其他要求 8

附录 A（规范性） 激光指示器产品 AEL 值 9

附录 B（资料性） 激光指示器产品的潜在危害 10

 B.1 背景介绍 10

 B.2 瞬时视觉效应 10

 B.3 产生的原因 10

 B.4 意外视觉干扰的评价 11

附录 C（资料性） 激光的光辐射损伤机制 15

 C.1 眼部结构 15

C.2 眼睛的光学特性	15
C.3 眼睛的生物效应	16
C.4 对眼睛伤害的影响因素	16
C.5 儿童眼睛特性的差异	17
参考文献	18
图 1 400 nm~700 nm 范围内激光指示器产品发射功率限值图	3
图 2 激光发射波长测量装置框图	5
图 3 光电探测器法测量装置框图	5
图 4 激光发射功率测量装置框图	5
图 5 激光指示器产品警示标记示例	7
图 B.1 激光指示器产品视觉干扰场景的示意图	11
图 B.2 MDE 与 MPE 之间的关系示意图	14
图 C.1 眼睛的基本解剖结构	15
图 C.2 眼睛的光透射特性	15
图 C.3 眼睛的光束聚焦	16
图 C.4 不同年龄眼睛前部组织的透射特性	17
表 A.1 以功率表示的激光指示器产品 AEL 值 ^a	9
表 B.1 在夜间、黄昏以及白天不同环境光背景下眩目区域的 MDE 值	11
表 B.2 明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$	12



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。

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。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出并归口。

引 言

为减少消费类激光指示器产品在使用时对消费者造成的人眼危害,本文件明确了消费类激光指示器产品的功率输出限值,以及激光产品在使用中具有不可避免的内在危险。尤其是儿童通常不具备正常成年人的认知和操作能力,为此仅考虑成人可合理预见的使用场景不足以保障儿童的安全使用。

即使消费类激光指示器产品符合本文件要求,家长和/或其他监护人仍然负有监督儿童的责任。当儿童使用符合本文件要求的消费类激光指示器产品时,监护同样是必要的。



消费类激光指示器产品光辐射安全要求

1 范围

本文件规定了消费类激光指示器产品(以下简称“激光指示器产品”)的光辐射安全要求、标记和说明要求,描述了相应的测量评估方法。

本文件适用于标称波长在 400 nm~700 nm 可见光范围内的激光指示器产品(包括但不限于激光指示器、激光教鞭、激光瞄准器等具有指示、娱乐和办公等功能的激光产品)的生产、检测以及销售。

本文件不适用于电玩具中使用的激光产品,以及激光射击模拟器、激光测距仪、激光调平仪、激光定位辅助器和激光指星笔等专业用激光指示器产品。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 7247.1—2024 激光产品的安全 第 1 部分:设备分类和要求
- GB/T 7247.13—2018 激光产品的安全 第 13 部分:激光产品的分类测量
- GB/T 19865—2024 电玩具的安全

3 术语和定义

GB/T 7247.1—2024 和 GB/T 7247.13—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光指示器 laser pointer

具有指示目标物体或/和空间位置功能的手持式激光产品。

3.2

消费类激光指示器产品 consumer laser pointer

预期在可合理预见的情况下普通消费者而非专业人员使用的激光指示器。

- 注 1: 发射出低功率、小发散角的可见光辐射的激光产品,例如:俗称激光笔。
- 注 2: 直接照射人眼可能造成有潜在危害的视觉干扰,这种视觉干扰在低照度环境中尤其明显。

3.3

儿童感兴趣的消费类激光指示器产品 child appealing consumer laser pointer

外形和设计对儿童具有吸引力或预期供儿童使用的激光指示器。

- 注 1: 激光指示器产品因其功能、运动、色彩、人物、声音、灯光、形状、材质、尺寸、气味或味道等特征或特性可能对儿童有吸引力。
- 注 2: 单纯发射可见光的激光指示器产品,通常不会对儿童具有吸引力。
- 注 3: 外观设计成卡通形象的电话、手机或平板电脑,以及手表和乐器等形式的激光指示器产品对儿童具有吸引力。

3.4

标称波长 claimed wavelength

制造商在激光产品上标注的激光波长。

3.5

发射波长 **emission wavelength**

激光产品正常运转条件下输出的实际波长。

3.6

光束内视 **intrabeam viewing**

眼睛受到激光束直接照射或镜面反射(而不是漫反射)照射时观察激光束的状态。

[来源:GB/T 7247.1—2024,3.42]

3.7

凝视激光 **staring into the beam**

眼睛长时间光束内视激光束的观察状态。

3.8

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

所规定类别内允许的最大可达发射。

[来源:GB/T 7247.1—2024,3.3,有修改]

3.9

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。

[来源:GB/T 7247.1—2024,3.59,有修改]

3.10

视觉干扰 **visual interference**

人眼受到强光照射时,引起的暂时性视觉功能降低或丧失的生理现象。

注:例如失能性眩目、闪光盲和视后像,当强光消失即可得到缓解,但可能会因分散注意力或失控引发严重事故。

4 安全分类和要求

4.1 通则

为了帮助使用者评估激光指示器产品的潜在危害,建立类别是确定必要的控制措施。通常的激光产品分类是以正常运转条件下可能接触到的最大激光辐射水平为基础确定的。在 GB/T 7247.1—2024 中 3.18~3.24 所界定的激光产品的安全类别(按照危害程度递增的顺序排列):1 类、1C 类、1M 类、2 类、2M 类和 3R 类等,仅针对激光辐射对眼睛和皮肤的危害。

激光指示器产品的使用特点,除了因激光照射产生的潜在危害外,对于发射可见光的低功率激光指示器产品,光束内视还可能会造成暂时性视力障碍,如眩目、闪光盲和视后像,这种影响取决于使用条件 and 环境照度。

本文件规定的激光指示器产品类别仅为 1 类,其发射功率限值按照图 1 及附录 A 确定。

激光指示器产品应符合本文件的所有要求,包括控制措施、标记和用户信息。

激光指示器产品电气部分应符合相关电气安全标准。

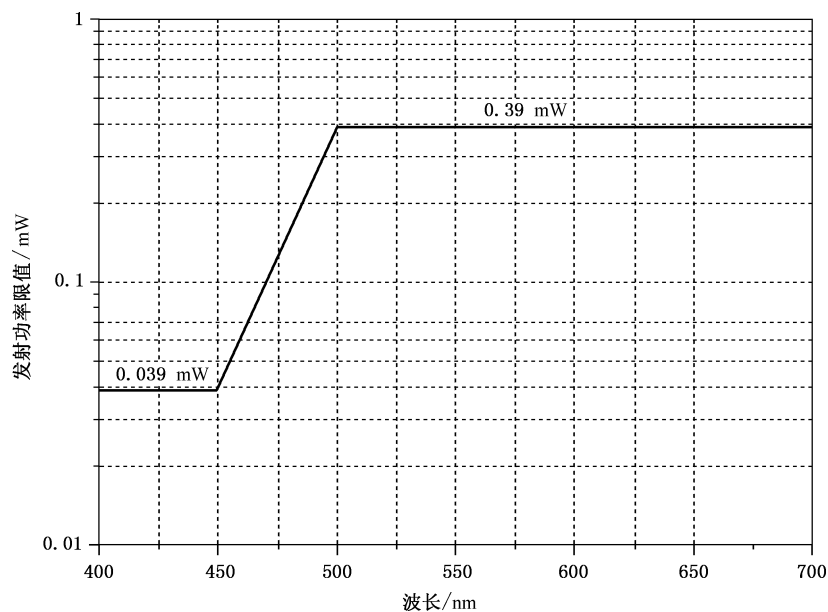


图 1 400 nm~700 nm 范围内激光指示器产品发射功率限值图

4.2 分类职责

正确确定激光指示器产品的安全类别是制造商(含经销商)的职责。

4.3 分类规则

激光指示器产品分类时,应对发射波长内所有的波长进行评估达到如下要求:

- a) 当存在不可见光发射波长时,所有波长输出的总功率不大于图 1 中可见光波长的发射功率限值,以避免消费者受到不可见光激光辐射的危害;
- b) 分类采用时间基准为 100 s。

4.4 类别

在合理可预见的使用条件下通常是安全的激光指示器产品。人员可接触的激光辐射不准许超过 1 类可达发射极限(AEL)。

在环境照度较低(黄昏或夜间)的情况下,光束内视时仍可能产生眩目的视觉效果,见附录 B。

注: 1 类可达发射极限值在图 1 中给出。

4.5 光辐射要求

4.5.1 发射波长

激光指示器产品的发射波长应在 400 nm~700 nm 范围内,该范围之外的激光输出功率应小于 400 nm~700 nm 波长范围内的激光输出。

4.5.2 输出方式

激光指示器产品输出方式应为连续波输出。

4.5.3 发射功率

激光指示器产品的发射功率按 GB/T 7247.1—2024 最严苛条件下的 1 类可达发射极限(AEL)进

行限定。

根据发射波长的不同,1类激光指示器产品发射功率要求如下。

- a) 单一波长输出的激光指示器产品的最大发射功率不应超过图1中规定的AEL。
- b) 发射波长为多波长的情况如下:
 - 1) 在波长500 nm~700 nm范围内,同时发射两个或两个以上波长,其发射总功率不应超过图1中规定的AEL(0.39 mW);
 - 2) 在波长400 nm~500 nm范围内,同时发射两个或两个以上波长,其发射总功率不应超过最短波长的AEL;
 - 3) 如果发射波长同时含有400 nm~500 nm和500 nm~700 nm范围内的激光,则应分别符合上述1)和2)的要求。

4.6 供电要求

激光指示器产品应采用电池供电,额定工作电压应不超过5 V;儿童感兴趣的激光指示器产品应符合GB/T 19865—2024中电池安全要求。

4.7 功能要求

激光指示器产品应具备以下功能,包括但不限于:

- a) 在激光发射启动之前设有(前置)开关,以防止激光意外开启;
- b) 激光发射启动开关无自锁功能,避免开关意外触发后的激光持续输出;
- c) 产品采用能防止消费者使用普通工具拆解的结构设计(如异型螺丝),或拆解过程中不产生激光发射;
- d) 产品全长大于8 cm,确保儿童手持时成人能及时发现和监督。

5 测量和危害评估

5.1 基本要求

激光指示器产品在任何时候使用时,人员可接触的全部发射波长和发射功率应符合第4章的要求。应对消费类激光指示器所有发射波长和最大发射功率进行测量。

5.2 测量设备

测量设备应满足以下要求:

- a) 激光功率计的探测面直径不小于光斑直径的2倍,测量不确定度 $U_{rel} \leq 5\%$ ($k=2$);
- b) 光谱仪或波长计分辨率优于1 nm,测量不确定度 $U \leq 1$ nm($k=2$);
- c) 万用表或直流电压表:电压测量范围覆盖0 V~60 V,最大允许误差为 $\pm 0.1\%$;
- d) 光电探测器:响应时间 < 10 ms;
- e) 示波器:带宽 > 100 MHz;
- f) 刻度尺或钢卷尺:最大允许误差为 ± 1 mm。

5.3 光辐射测量

5.3.1 发射波长



使用光谱仪或波长计测量激光指示器产品发射波长,其响应波长与被测激光指示器产品波长相匹配;光束衰减器不应改变被测激光的光谱特性,衰减倍率满足测量设备探测动态范围的要求。测量结果

应在 400 nm~700 nm 范围内。
测量所需的设备和连接方式如图 2 所示。



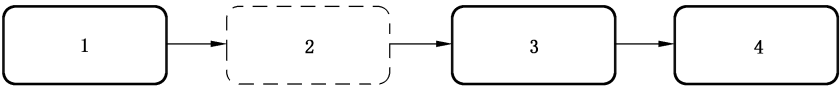
标引序号说明：
1——激光指示器产品；
2——光闸、衰减器、滤光片(必要时)；
3——光谱仪或波长计。

图 2 激光发射波长测量装置框图

5.3.2 输出方式

激光指示器产品开关处于持续开状态,光束指向漫反射观察屏或靶板,目视光斑判断激光输出应为连续输出(无闪烁现象);或将激光束照射到与示波器相连的光电探测器上,调节入射激光功率其在光电探测器线性范围内工作,示波器显示波形应为无重复脉冲起伏的曲线。

测量所需的设备和连接方式如图 3 所示。



标引序号说明：
1——激光指示器产品；
2——光闸、衰减器、滤光片(必要时)；
3——光电探测器；
4——示波器。

图 3 光电探测器法测量装置框图

5.3.3 发射功率

使用激光功率计测量激光指示器产品发射功率。激光功率计应选择与 5.3.1 测量结果匹配的波长和适宜的量程,光束指向探测面中心,并确保光斑全部落入探测器有效接收面内,激光束与探测器接收面相对垂直。记录测得的激光功率最大值,应不超过在图 1 中给出的对应波长的发射功率限值。

测量所需的设备和连接方式如图 4 所示。



标引序号说明：
1——激光指示器产品；
2——光闸、衰减器、滤光片(必要时)；
3——激光功率计。

图 4 激光发射功率测量装置框图

5.4 工作电压测量

用万用表或直流电压表测量激光指示器产品的额定供电电压,测量结果应不超过 5 V。电池连接状态应与激光指示器产品正常工作时的连接状态一致。

5.5 功能检查

使用刻度尺或钢卷尺测量激光指示器产品的长度,通过目视或手动操作检查激光指示器产品的外观、(前置)开关、无自锁功能开关和拆解难易特性等是否满足 4.7 的功能要求。

依据第 6 章标记和说明检查激光指示器产品上粘贴的警示语标记。

5.6 确定可达发射水平

5.6.1 基本要求

激光指示器产品在出厂前需综合考虑在任何使用情况下,人员可接触的全部辐射波长的范围和输出功率的可达发射,并将其划分到相应的最高类别上。为防止人员受到意外视觉干扰影响,对于所有可合理预见的、光束方向变化的单一故障事件,都应纳入激光指示器产品结构设计的安全防范措施中,以避免产生不可预期的人眼伤害和事故。评估时,应将激光指示器产品使用中可能发生的任何可合理预见的单一故障条件考虑在内。

5.6.2 测量条件

本文件确定可达发射采用的测量条件:

- a) 测量时,供电电池应处于满电量状态下;
- b) 在 400 nm~700 nm 范围内的所有波长上,距离出光口的最短测量距离为 100 mm;
- c) 对于发射光束外部有实焦点(光束束腰)的激光指示器产品,应在其焦点处进行测量评估。

5.6.3 可达发射

基于激光指示器产品在使用时,其输出的最高可达发射水平[根据 GB/T 7247.1—2024 中 5.3 a) 的规则,按照 GB/T 7247.13—2018 中方法确定]与相应类别的可达发射极限作比较,以确定激光指示器产品的安全类别。不论光束的总功率多大,分类时仅考虑通过给定测量距离处限制孔径内的功率。为此采用在距离 L 处,使用孔径光阑或限制孔径确定的辐射功率,与总辐射功率的比值用系数 η 表示,由公式(1)给出:

$$\eta = 1 - e^{-\frac{D_f^2}{D_L^2}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

D_f ——孔径光阑或限制孔径的直径,单位为米(m);

D_L ——距离 L 处的光束直径,单位为米(m);

注:公式中 D_L 值是距离 L 处可达激光辐射功率占光束总功率的 63% 时(相当于 $1/e$)的直径。

其中距离 L 处的光束直径 D_L 由公式(2)给出:

$$D_L = \sqrt{D_0^2 + L^2 \phi^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

D_0 ——光束束腰直径,单位为米(m);

L ——测量距离,单位为米(m);

ϕ ——光束发散角,单位为弧度(rad)。

可达发射(AE)由公式(3)给出:

$$AE = \eta \times P$$

.....(3)

式中:
P——辐射功率,单位为瓦(W)。

用公式(3)得出的可达发射(AE)值与可达发射极限(AEL)进行比较,判定激光指示器产品是否符合 4.5.3 的要求。

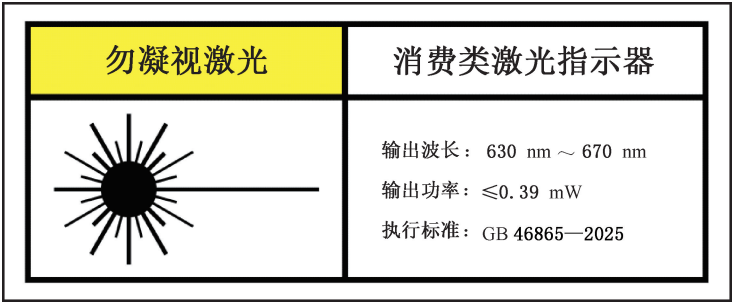
6 标记和说明

6.1 标记

激光指示器产品应具有警示标记,标记轮廓为矩形。并应包含以下告知信息:

- a) 明确产品是消费类激光指示器,并注明警告语“勿凝视激光”;
- b) 产品输出波长;
- c) 产品最大输出功率;
- d) 本文件编号。

警示标记应粘贴在激光指示器产品适宜的位置上。在使用期间,标记应字迹清楚,不脱落,明显可见。警示标记的典型示例如图 5 所示。



注: 符号、说明文字和边框为黑色;说明文字“勿凝视激光”背底为黄色;其他背底为白色。

图 5 激光指示器产品警示标记示例

6.2 安全警示

在产品外包装、广告及电子商务平台的商品描述页面中,应明确标明激光指示器产品类别,并提供以下字迹清晰、明显可见的安全说明或图示:

注意:

- a) 严禁 3 岁以下幼儿使用;
- b) 避免光束内视;
- c) 直接光束内视可能引起视觉干扰并带来间接危害。

6.3 安全使用说明

说明书应提供正确使用激光指示器产品的安全使用说明,且字迹清楚、明显可见,包括但不限于:

- a) 严禁不满 3 周岁的幼儿使用激光指示器产品;
- b) 3 周岁~12 周岁的儿童应在成年人指导和/或监督下使用激光指示器产品;
- c) 任何情况下不准将激光束指向人眼,包括通过镜面反射照射人眼;

- d) 任何情况下不准裸眼或使用光学仪器(例如望远镜或放大镜)观察激光束;
- e) 避免激光束随意指向各类光学反射面;
- f) 在公共场所,如机场附近、娱乐场所、舞台表演以及影视剧院不准许有意和/或随意照射人员;
- g) 激光指示器产品不应随意丢弃,应按照国家关于垃圾分类相关规定处理。

注:上述 a) 和 b) 对幼儿与儿童提出了更为严格的安全要求,激光的光辐射损伤机制见附录 C。

6.4 其他要求

6.1~6.3 规定的标记和说明内容应使消费者在购买时能够清楚地看到(包括网上购物的情况)。

附 录 A
(规范性)
激光指示器产品 AEL 值

表 A.1 中给出了以功率表示的激光指示器产品 AEL 值。

表 A.1 以功率表示的激光指示器产品 AEL 值^a

波长(λ) nm	发射功率限值(P) mW	波长(λ) nm	发射功率限值(P) mW
400~450	0.039	476	0.129
451	0.041	477	0.135
452	0.043	478	0.142
453	0.045	479	0.148
454	0.047	480	0.155
455	0.049	481	0.163
456	0.051	482	0.170
457	0.054	483	0.178
458	0.056	484	0.187
459	0.059	485	0.195
460	0.062	486	0.205
461	0.065	487	0.214
462	0.068	488	0.224
463	0.071	489	0.235
464	0.074	490	0.246
465	0.078	491	0.258
466	0.081	492	0.270
467	0.085	493	0.283
468	0.089	494	0.296
469	0.094	495	0.310
470	0.098	496	0.324
471	0.103	497	0.340
472	0.107	498	0.356
473	0.112	499	0.372
474	0.118	500~700	0.390
475	0.123		

^a 表中的发射功率限值与 1 类激光产品在发射持续时间 t 为 10^2 s~ 3×10^4 s 之间时的 AEL 值相同。

附 录 B

(资料性)

激光指示器产品的潜在危害

B.1 背景介绍

激光指示器产品对眼睛损伤的危害,一方面在于可造成轻度视网膜损伤,另一方面是对人员的视觉认知及心理行为造成干扰。这种干扰只要眼睛瞬间受到激光指示器照射即可发生,在环境光线不完全充足的条件下尤其严重。这种干扰对于公共场所的各类工作人员的作业能力和心理会造成影响,甚至导致严重事故发生。本附录主要对意外视觉干扰光提供了相关资料性文件,供参考。

B.2 瞬时视觉效应

可见的激光辐射在照射水平明显低于最大允许照射量限值时,也能引起干扰效应和潜在危险的眩目效应,并能引起非直接生理性损害。因此不宜将其有意或无意地指向人眼,否则会导致被照射人员受到惊吓、分散注意力和不专心,这对那些正在执行重要安全任务(例如驾驶员和控制机器)的人员会造成严重后果。

意外视觉干扰有以下几种表现形式。

- a) 失能性眩目是强光直接照射或强散射光照射引起的中心视野视觉功能部分或完全丧失,类似于在夜间观看迎面而来的车灯眩目效应,随强光束脱离视野而消除。眩目效应虽然不会对眼睛造成永久伤害,但会引起严重的注意力分散或恐慌。
- b) 闪光盲是高强度闪光引起的暂时性光敏感度下降,即在低或正常照明环境下已经适应的眼睛,若在短时间内受到高亮度闪光照射后,眼睛将突然处于非常高的明适应状态,从而短暂丧失低照明环境下的视觉。这种视觉功能损害可持续数分钟。
- c) 视后像或者视觉后像,是强光刺激作用于视觉器官时,细胞的兴奋并不随着刺激的终止而消失,并能保留一段时间的现象。这种在刺激停止后所保留下来的视觉影像称为视后像。例如白炽灯灯丝造成的视后像。

B.3 产生的原因

激光视觉干扰场景的示意图如图 B.1 所示,没有激光源时,视场中的目标物体图像聚焦在视网膜上,观察者可清楚地看到目标物体。当有激光源照射时,由此而产生的瞬间视觉效应使得光线在视网膜上不聚焦,发生散射,在视网膜方向上的散射会起到类似光幕作用叠加在清晰的图像上。在这种情况下,这种效应会减少视网膜上物象的对比度,造成较差的视觉效果,即对人员的视觉认知及心理行为造成干扰。

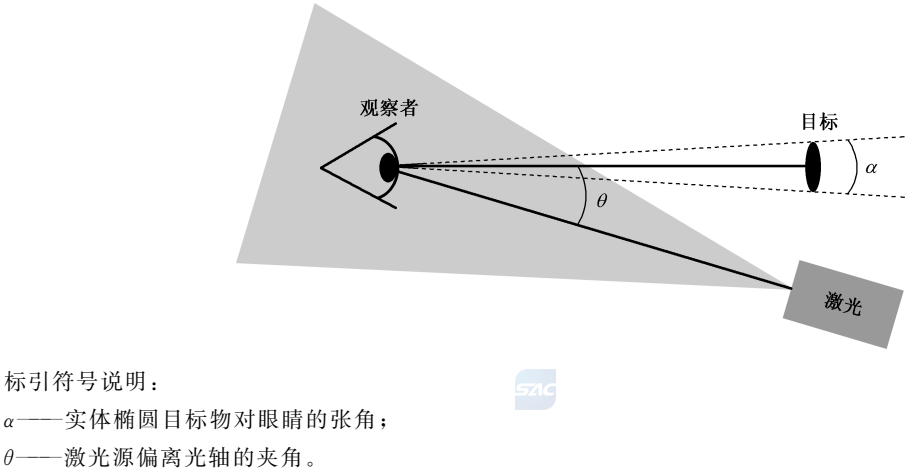


图 B.1 激光指示器产品视觉干扰场景的示意图

B.4 意外视觉干扰的评价

B.4.1 最大眩目照射量

可见光波长激光指示器产品可引起意外视觉干扰,并对人体眼部功能造成暂时性损害。现有的激光安全标准并没有给出对意外视觉干扰的普遍指导,为此需要一个新的安全框架来理解和量化激光眩目的影响。此外,还需要这种指导,以便为那些处于危险中的人员提供必要的保护措施,并确保激光眩目装置的安全和有效性。

最大眩目照射量(maximum dazzle exposure,MDE)是可分辨到某一特定目标物时,人眼处的激光辐照度阈值。这是对 MPE 的补充,MPE 决定了激光辐射照射对人眼的安全限值,在这种水平以下,不会有永久性眼睛损伤的危险。MDE 不仅适用于连续波激光源,也可用于重复脉冲激光源的平均功率计算。

在激光辐照度高于 MDE 的情况下,激光造成的眩目区域阻止了观察者分辨物体,而在低于 MDE 的情况下,观察者能够看清物体。表 B.1 中给出的 MDE 值是在夜间(0.1 cd/m^2)、黄昏(10 cd/m^2)和白天($1\,000 \text{ cd/m}^2$)不同环境光背景水平下的眩目区域的近似极限值,相应的明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$ 在表 B.2 中给出。

表 B.1 在夜间、黄昏以及白天不同环境光背景下眩目区域的 MDE 值

眩目等级	最大眩目照射量(MDE)值 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$		
	夜间	黄昏	白天
很低	$0.000\,01/V(\lambda)$	$0.006/V(\lambda)$	$0.4/V(\lambda)$
低	$0.000\,4/V(\lambda)$	$0.3/V(\lambda)$	$20/V(\lambda)$
中等	$0.001\,6/V(\lambda)$	$1.2/V(\lambda)$	$80/V(\lambda)$
高	$0.006/V(\lambda)$	$4.5/V(\lambda)$	$300/V(\lambda)$

表 B.2 明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$

波长(λ) nm	明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$
400	0.000 396
405	0.000 64
410	0.001 21
415	0.002 18
420	0.004 00
425	0.007 30
430	0.011 60
435	0.016 84
440	0.023 00
445	0.029 80
450	0.038 00
455	0.048 00
460	0.060 00
465	0.073 90
470	0.090 98
475	0.112 60
480	0.139 02
485	0.169 30
490	0.208 02
495	0.258 60
500	0.323 00
505	0.407 30
510	0.503 00
515	0.608 20
520	0.710 00
525	0.793 20
530	0.862 00
535	0.914 85
540	0.954 00
545	0.980 30
550	0.994 95
555	1.000 00
560	0.995 00

表 B.2 明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$ (续)

波长(λ) nm	明视觉光谱光视效率函数 $V(\lambda)$
565	0.978 60
570	0.952 00
575	0.915 40
580	0.870 00
585	0.816 30
590	0.757 00
595	0.694 90
600	0.631 00
605	0.566 80
610	0.503 00
615	0.441 20
620	0.381 00
625	0.321 00
630	0.265 00
635	0.217 00
640	0.175 00
645	0.138 20
650	0.107 00
655	0.081 60
660	0.061 00
665	0.044 58
670	0.032 00
675	0.023 20
680	0.017 00
685	0.011 92
690	0.008 21
695	0.005 723
700	0.004 102

MDE 值提供了一个有用的近似值,可快速地了解特定激光辐照的可能影响,因此将其使用在整体安全框架的考虑以及对 MPE 值的补充,图 B.2 给出了 MDE 与 MPE 之间的关系。对于不同的人、不同的应用场景和不同的视觉任务,眩目效果是不同的,给定的数字是从一系列人员和受试者的平均场景中得出的。

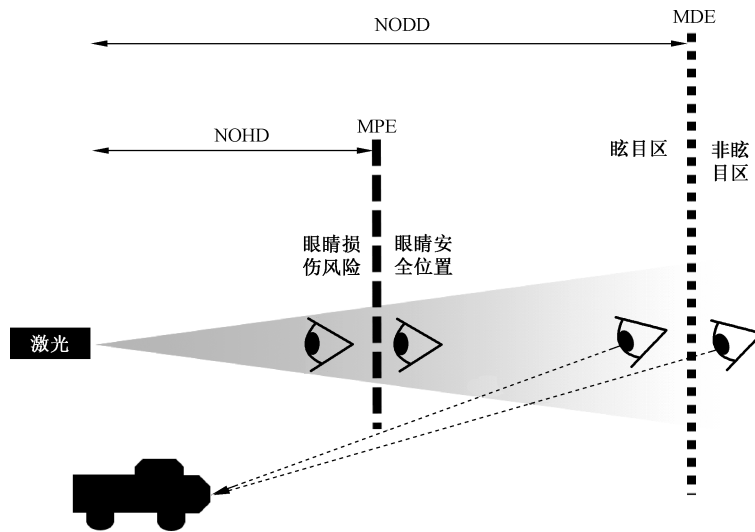


图 B.2 MDE 与 MPE 之间的关系示意图

B.4.2 标称眼眩目距离

给定光照环境下,光束辐照度等于人眼分辨目标物的最小距离,称为标称眼眩目距离(nominal ocular dazzle distance, NODD)。在接近于 NODD 的距离上,未超过 MDE,即眼睛处于 MDE 的眩目区,此时眼睛无法直观地分辨目标物;而在距离 NODD 更远的地方,辐照度低于 MDE,眼睛将可清晰地分辨目标物。NODD 可按公式(B.1)计算:

$$\text{NODD} = \sqrt{\frac{4P}{\pi d^2 \text{MDE}}} \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

式中:

P ——激光功率,单位为瓦(W);

d ——光束发散角,单位为弧度(rad);

MDE ——最大眩目照射量,单位为瓦每平方米($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)。

使用表 B.1 中的 MDE 值作为照射限值,NODD 确定最小的观察激光范围,以便将眩目区域限制在给定环境光条件下指定的眩目等级(dazzle level, DL)内。

MDE 值和 NODD 值的计算为快速评价眩目效应提供了有益的指导。它们帮助用户量化视觉模糊的程度,然后指定安全操作范围以保持视觉能力。同时帮助那些存在眩目危险的人员选择适宜的激光眼保护装备,并确保眩目装置的安全性和有效性。

附录 C
(资料性)
激光的光辐射损伤机制

C.1 眼部结构

眼睛是人体最重要的器官之一,基本解剖结构如图 C.1 所示。晶状体将外面景物成像聚焦在视网膜上形成视觉感知。视网膜的中心凹聚集了大量的视锥细胞,清晰图像是由中心凹感光细胞形成的。通过调节瞳孔大小,眼睛可适应不同亮度的环境状态。

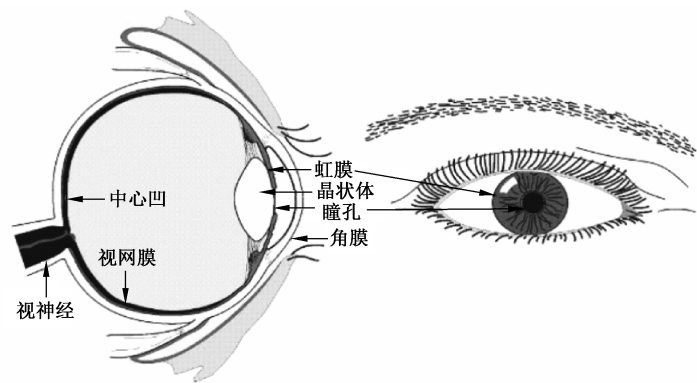


图 C.1 眼睛的基本解剖结构

C.2 眼睛的光学特性

图 C.2 显示出眼睛组织对不同波长光辐射的透射特性。经过眼睛前部组织到达视网膜的光辐射波长通常为 400 nm~1 400 nm。不同年龄的晶状体或者使用人工晶体的眼睛,到达视网膜的短波(蓝光)光辐射有一定的差别。儿童晶状体的透射比高,而老年人晶状体在短波区有一定的下降。

眼睛是对光最敏感的器官。就像放大镜可用来聚焦太阳和灼烧木头一样,人眼也可将激光束聚焦成一个微小的光斑,从而灼伤视网膜。进入眼睛的低发散激光束可聚焦到直径为 10 μm~20 μm 的区域。

视网膜辐照度与光束的辐(射)亮度及眼睛瞳孔尺寸 D 有关。对于正常眼睛,当一束平行光照到眼睛上时,视网膜组织上辐照度最大可能达到角膜辐照度的 50 万倍 [$E_{\text{视网膜}} = (7\,000^2/10^2) \times E_{\text{角膜}}$], 如图 C.3 所示。

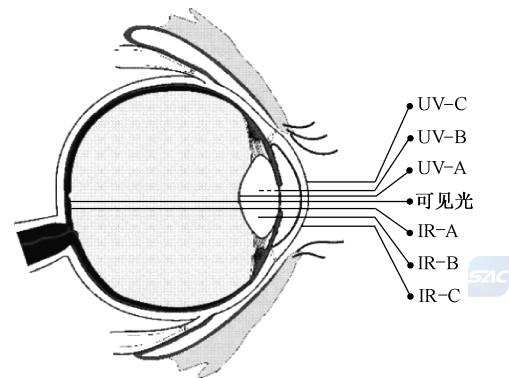


图 C.2 眼睛的光透射特性

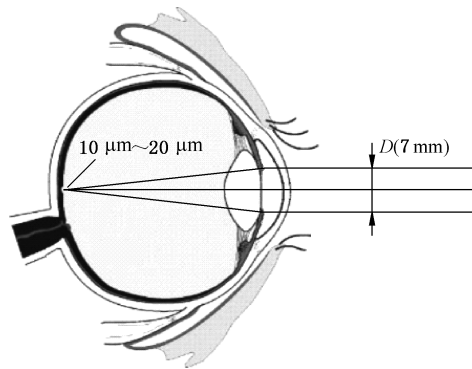


图 C.3 眼睛的光束聚焦

C.3 眼睛的生物效应

眼睛的作用是接收和聚焦可见光辐射,所以视网膜受到损伤的风险比皮肤高。凝视一个明亮的光源会导致视网膜损伤。如果病变发生在中心凹,可能导致严重的视觉障碍。

可见激光(400 nm~700 nm)的生物效应是一种或多种生物物理作用的结果,包括光化学、热、热声和光击穿等生物物理效应,取决于激光的光谱区域和照射持续时间。对于可见激光,当照射时间小于 10 s 时,主要是由色素上皮细胞温度升高而导致的视网膜热损伤;照射时间小于 10 ms 时,黑色素颗粒过热引起的微空化是损伤的主导机制;光击穿和等离子体的形成主要发生在亚纳秒的照射时间下。光化学效应是累积性的,主要是由于长时间(10 s 以上)受到短波长可见的光辐射(主要是“蓝光”)照射造成的视网膜损伤。

激光指示器产品的可见光辐射对眼睛的主要影响是视网膜的损伤。因为角膜和晶状体对这些波长的激光是透明的,晶状体可将激光能量聚焦到视网膜上。视网膜在这个光谱区域比身体的任何其他部位都更容易受到激光辐射的损害。尤其对于一个点激光光源,相对于角膜上的辐照度,视网膜的辐照度可能要高 10 万倍以上;到达视网膜的大部分光辐射被色素上皮和下面的脉络膜组织吸收,而光感受器只吸收入射辐射的一小部分(不到 15%)。

视网膜受光辐射照射而使组织的温度升高 10 °C~20 °C,则可导致不可逆的蛋白质变性损伤。如果光辐射覆盖较大的视野区域,视网膜上光斑图像变大,则处于图像中心区域的视网膜细胞很难迅速散热而导致损伤。

可见光辐射会引起与紫外辐射类似的视网膜光化学损伤(尽管在可见光波长下,眼睛对强光的厌恶反应会起到保护作用)。这种光化学损伤与 400 nm~520 nm 区域的视网膜色素上皮和脉络膜的吸收有关,被称为“蓝光危害”。但也被称为Ⅱ型光化学诱导的视网膜损伤。大约 3 岁以下儿童,晶状体在短波有更高的透射比,这种“蓝光危害”需要考虑短波透射比的差别。

如果激光灼伤发生在视网膜中心凹,大部分精细(阅读和工作)视力可能会瞬间丧失。如果激光灼伤发生在视网膜周边区域,则对精细视力影响很小或没有影响。视网膜反复激光灼伤则会导致失明。

然而,眼睛有一种自我防御机制-眨眼或厌恶反应。当强光照射眼睛时,眼睛往往会在 0.25 s 内眨眼或远离光源(厌恶)。在使用低功率激光时,这种防御机制保护眼睛免受伤害;但在使用高功率激光时就无能为力了,高功率激光可在不到 0.25 s 的时间内造成损害。

C.4 对眼睛伤害的影响因素

激光的性能参数对人眼的影响因素。

- a) 瞳孔大小:瞳孔直径的缩小会减少传递到视网膜组织上的总能量。瞳孔大小的范围从强光下的 2 mm 直径到黑暗中(夜视)的 8 mm 直径不等。
- b) 色素沉着程度:视网膜色素(黑色素)越多,吸热越多。
- c) 视网膜图像大小:视网膜损伤阈值依赖于径向热流,取决于视网膜图像的大小。图像面积越大,伤害就越大。热损伤阈值是视网膜图像大小的函数,也受到眼球运动的影响。图像大小的依赖性也取决于特定的损伤机制。
- d) 脉冲持续时间:时间越短(纳秒与毫秒),受伤的机会就越大。
- e) 脉冲重复频率:频率越快,散热和恢复的机会就越少。
- f) 波长:决定光辐射能量沉积的位置和通过眼球介质的多少。视网膜对激光能量的最大吸收可见光波长范围为 400 nm~520 nm。

C.5 儿童眼睛特性的差异

国际电工委员会(IEC)制定的激光产品的光辐射安全标准(IEC 60825-1),是根据激光工业卫生防护原则,依据国际非电离辐射委员会(ICNIRP)的激光辐射照射限值,规定了不同安全类别的光辐射限值。标准中的安全类别,主要考虑正常成年人的眼睛特性和行为。图 C.4 表示不同年龄眼睛前部组织对可见光的光谱透射特性(以年龄 32 岁的眼睛为基准)。图中 $c(\alpha, \lambda)$ 是以 32 岁成年人平均眼睛前部组织的光谱透射比为参考,对于不同年龄段人眼眼睛受到激光照射后,实际到达视网膜的光谱辐照度,将是在普通 32 岁成年人视网膜辐照度的基础上增加 $c(\alpha, \lambda)$ 倍。

低龄儿童的眼睛在短波蓝光区域的透射比明显高于年长者。对于儿童需要考虑这种蓝光视网膜危害的差别。尤其波长小于 420 nm 的激光,蓝光危害程度显著提高。

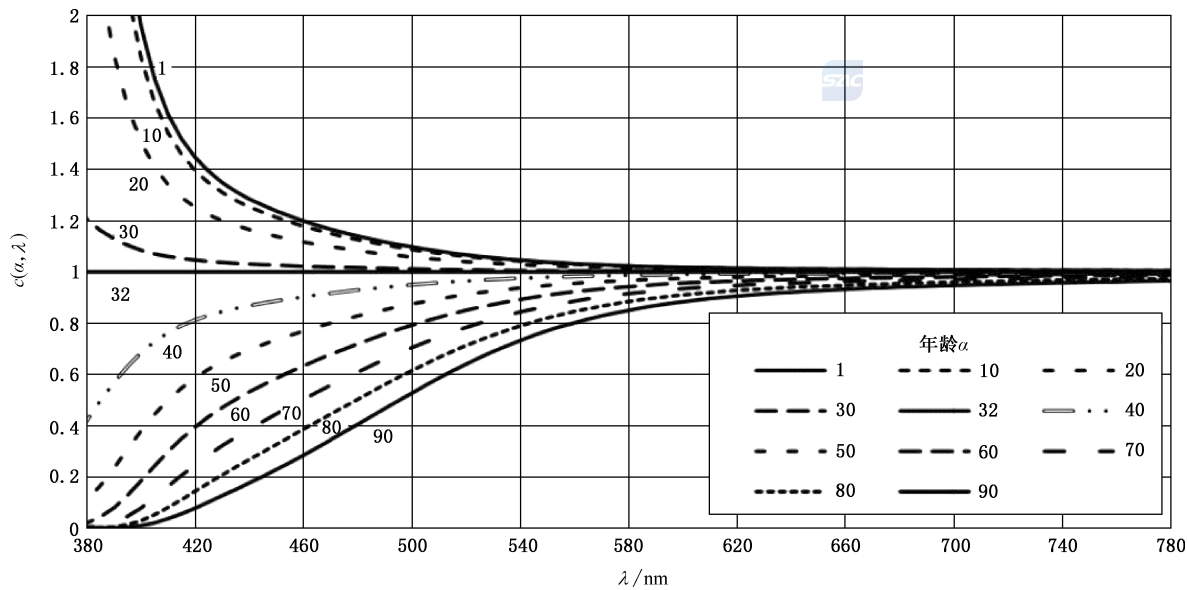


图 C.4 不同年龄眼睛前部组织的透射特性

此外,在制定的工业激光安全标准中,眼球运动和强光回避反应等普通成年人的视觉行为,与儿童的这些视觉行为相比较,在某些情况下可能存在明显差异,国际工业标准所设定的原则不完全适用。

参 考 文 献

- [1] IEC 60204-1 Safety of machinery—Electrical equipment of machines—Part 1:General requirements
 - [2] IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use—Part 1:General requirements
 - [3] IEC 60825-1 Safty of laser products—Part1:Equipment classification and requirements
 - [4] CIE 86—1990 CIE 1988 2° Spectral luminous efficiency function for photopic vision
 - [5] EN 50689:2021 Safety of laser products—Particular requirements for consumer laser products
 - [6] ANSI Z136.6—2015 American national standard for safe use of lasers outdoors
 - [7] Williamson CA, McLin LN.Determination of a laser eye dazzle safety framework.J.Laser Appl.30, 032010(2018)
-

