



激光安全指南

科学出版社

24

3

激光安全指南

刘普和 编译

科学出版社

内 容 简 介

随着激光研究与应用的迅速发展,安全使用激光问题已提到议事日程上,本书就是专门讨论激光安全问题的“工作手册”。全书共分两大部分:第一部分译自美国激光协会主编的《激光安全指南》第四版;第二部分为编译者结合我国具体情况提出来的“关于激光器安全操作规则的建议”。书中就激光及其有关因素对人体、眼、皮肤等的危害作了简明介绍,并对激光危害进行了分级,提出了明确的防护措施。可供激光工作者及有可能接触激光的人,如接受激光治疗的病人等参考。

激 光 安 全 指 南

刘普和 编译

责任编辑 马素卿

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1982 年 12 月第一次印刷 印张:1 1/2

印数:0001—4,700 字数:30,000

统一书号:13031·2115

本社书号:2886·13-10

定价:0.25 元

编译者的话

国家科委于1981年9月下旬在京召开了“激光医学研究工作”小型座谈会。鉴于激光研究和激光应用在我国迅猛开展,激光工作者和可能跟激光打交道的人们越来越多;毋庸讳言,激光是危险的,但和电一样,如果控制得当,就可使之无害地为人们服务;与会者一致认为,为了使激光工作者在激光防护方面有所遵循,我国激光防护标准的建立,就是一件刻不容缓的事。于是在国家科委直接领导下,由几个单位协作,为建立标准,正在积极工作中。

编译者认为标准的建立最早是两年之后的事,为了激光工作者在这两年中有所遵循,赶译了美国激光协会的《激光安全指南》1976年第四版,并附上编译者的“关于激光器安全操作规则的建议”一文,合成这本小册子,供激光工作者参考。后者的特点是,结合我国具体情况,删繁就简,明确地对十种激光器(如氦氖激光器、二氧化碳激光器等),一一提出了它们的危害、阈限值和安全操作规则。使工作者应用某种激光器时,只要注意其危害和安全操作规则就可放心工作,而不必顾及其它。

刘普和

1982年2月于中山医学院

激光安全指南

美国激光协会主编

刘普和 译

一、引言

激光器日益增长的广泛应用,要求更多的人了解,对现代科学这一可贵的新产品使用不当时可能带来什么样的潜在危害。许多技术都用到激光器,其中包括材料加工、建筑、医学、通信、能源和国防。然而从安全角度,目前具有重要性的是,激光装置被引入消费市场,如用激光扫描装置读出零售商店中的商品标签。激光器正在成为办公室复印机和电视记录仪的必不可少的部件。好在这些方面,激光装置发出的能量水平大都是相当低的,从而安全使用是不难管理的。

二、激光危害

激光仪器的基本危害可如下分类:

1. 激光

a. 眼

激光照射眼的急性反应,随波长而不同,可能是角膜或(和)视网膜烧伤。激光照射的慢性反应,可能是角膜或晶体混浊或视网膜损伤。

b. 皮肤

高水平激光照射皮肤的急性反应可能是皮肤烧伤。某些特定的紫外波长可能有致癌作用。

2. 化学危害

激光引起的反应可能释放有害的颗粒和气体产物。

3. 电危害

可能发生致命的电危害，特别是在用高能激光系统时。

4. 其他次要危害

它们包括：来自供研究用的激光器的低温致冷剂危害，某些极高能量激光器的过度噪声，不完善高压(大于 15 千伏)电源的 X 射线，光泵次品灯泡的爆炸以及火灾。

三、眼的危害

眼的危害涉及到其几种不同的结构，哪种结构吸收的辐射能最多，其受损的可能性就最大。波长在可见和近红外区(0.4—1.4 微米)的激光可能影响视网膜。该波长区的激光，无论是直接来自激光器或是来自镜式反射，在进入眼后将在视网膜上集聚成极小的象。入射到角膜的辐照度(或辐射照射量)，由于角膜和晶状体的聚焦作用，在视网膜上将大致增加 10^5 倍。

紫外和远红外区的激光(波长短于 0.4 微米和长于 1.4 微米)对眼的影响主要发生在角膜，但其中某一波段的激光仍能到达晶状体并伤害它。

辐射危害

不同波长的激光对眼的不同结构起作用。波长 200—315 毫微米的光化激光为角膜所吸收，引起电光眼炎（welder's flash）或光致角膜炎。光化激光也使皮肤产生晒斑或红斑。波长 315—400 毫微米的近紫外激光为晶状体所吸收，它们与形成某些形式的“内障”有关。在高辐照度时，这个波段能使皮肤产生“长波”红斑。

波长 400—780 毫微米的可见激光和 780—1400 毫微米的近红外激光能够几乎不减弱地通过眼球前几种结构，并通常在视网膜上聚焦成直径 10—20 微米的光斑，这种聚焦作用可能显著提高光强，使之伤害视网膜。

虽然波长 3 微米到 1 毫米的远红外激光为角膜所吸收，但波长 1.4—3 微米的中红外激光却可能透入得深些，甚至对“吹玻璃工人的内障”有影响。大量暴露于近红外激光也可能产生这类的内障。

损伤的定位总是给定组织强烈吸收特定波长的结果。

四、皮肤的 危害

从安全观点来看，皮肤危害只占据次要地位。然而，随着广泛采用紫外激光器以及高功率激光器，就安全来说，皮肤防护就越来越重要。

五、高功率激光的有关危害

高功率激光的应用，特别是材料加工，可能危害呼吸道。因激光焊接、切割或打孔过程可能产生潜在有害的烟雾和蒸

气。幸运的是，为常规焊接之类工艺而安装的局部通风或全室通气也可用于激光的这类应用。

与激光器有关的、最致命的危害是电危害。在美国至少发生了三起与激光器有关的死亡。死因是意外的高压触电，是由于在有危险的高压电源供电时工作，没有遵守通行安全规则。

某些高功率激光装置，如输出功率远大于 0.5 瓦的连续 (CW) 激光器，可能引起火灾。有时和高功率激光系统有关的另一危害来自于所使用的低温致冷剂：致冷剂与皮肤接触时可烧伤皮肤，管道安装不正确就可能引起爆炸，液态气（最常用的是氮）的蒸发可能取代空气中的氧而导致通气不足。这些危害只发生在实验室。

激光器工作时的噪声危害较少见，虽然某些极高功率脉冲激光器起动时，所产生的噪声可能超过准许值（140 分贝）。有这类问题的多是横向电激励大气压激光器 (TEA)。这种激光器用于产生远红外光谱区的极高峰值功率。

六、现行激光安全标准

大多数现行激光安全标准的基本内容是：根据其光辐射的潜在危害将激光器分成几种等级，然后针对各级危害详细说明应采取的控制措施。这样在使用某些激光器时就不会强加一些不必要的措施。根据这一原则，已提出几种具体的分级方案，如美国国家标准协会的 Z-136.1 号标准“激光器的安全使用（1976）”就是其一。美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH) 于 1973 发表的“激光危害控制指南”中也采用这种分级。ANSI 方案把危害分为四级。分级的根据是发射束的强度：若使用的是激光器本身，则强度指激光器发射的强度

(辐射限)；如果激光器构成激光系统的一部分而激光器的原光束又不会泄漏包封之外，则强度指整个激光系统发出的强度，即系统发出的是变动过的激光束。所分四级如下：

- (1) 豁免激光器和激光系统。
- (2) 低功率可见光连续激光器和激光系统。
高重复频率脉冲激光器和激光系统。
- (3) 中等功率激光器和激光系统。
- (4) 高功率激光器和激光系统。

这四级的基本情况如下：豁免级包括所有激光器和激光系统，它们在其设计的任何爆光条件下，其辐射水平都不会超过最大允许照射量，因而什么控制措施都不需要。

对低功率可见光连续激光器这一级，作为一种控制措施，只需要在激光器上加一“警告牌”，这一级不同于较高级之处在于：它们发射的可见激光，功率是足够低的，使得观察者的生理反应能够避开意外的照射。因而把这一级的最大辐射确定为 0.25 秒时的最大允许照射量 (MPE)，这相当于 ANSI 标准中平均一毫瓦的激光功率。

中等功率级包括这样一些激光器，它们发射的辐射水平低到其漫反射不能产生危害（除非是激光受到了聚焦作用），它们也不能引起火灾。这相应于输出为 0.5 瓦或以下的标准连续激光束。中等功率级的激光器或激光装置要采取一系列的控制措施。能够产生有害漫反射的激光器属于高功率级，因而须要采取更严格的控制措施。

任何完全封闭的激光器，如果在其设计所固有的任何条件下，泄漏出的激光都不超过 MPE 的话，则均可划为第一级（豁免）激光器。然而，在维修这类封闭激光器时，暂时采取适当的控制措施还是必要的。

美国卫生、教育和福利部的放射卫生局 (BRH) 和美国劳

工部的职业安全及卫生管理局 (OSHA), 分别对激光器制定了联邦政府的安全标准。BRH 标准是产品性能标准, 是激光器工厂必须满足的。而 OSHA 标准是用户标准, 是使用激光器时必须遵守的。这两种标准都采用了 ANSI 的分级方案。OSHA 标准到 1976 年 8 月尚未公布。

七、观看激光器的辐射

从安全的观点, 激光器可看作是高度平行的极强的单色电磁辐射源。由于这些独特的光束特性, 大多数激光器都被认为是亮度很大的点光源。常用光源或第二、三级激光束的漫反射都是亮度非常低的扩展源, 因为它们向四面八方辐射。从危害的观点, 这一点非常重要。因为眼将把来自点光源的光束在视网膜上聚焦成一个小斑点, 而常把来自扩展源的光束成象于一较大面积上。只有在一个人离漫反射相当远时 (远到眼不再能分辨象), 漫反射体才近似“点光源”。只有对于极高功率的第四级激光器, 漫反射才重要。

八、激光器危害分级

美国国家标准协会 (ANSI) 的 Z-136.1 号关于“安全使用激光器”的标准首先提出了危害分级的方案。下面描述的是 1976 年 8 月 2 日生效的放射卫生局生分级方案, 和 ANSI 的方案只有少许的变动, 这个方案是用于管理激光器的制造的。供用户安全使用激光器的 OSHA 标准也采用下述的危害分级。

第一级或豁免级激光器和激光系统, 它们在正常工作条件下所发射的激光是无害的。这类激光器既不需要张贴“警

告”，也无需采取控制措施。

第二级或低功率激光器，是发射可见光的激光器，其输出功率低到不会给人以意外损害，但长时间的注视可能伤害视网膜。BRH 要求激光器上有类似图 1 的 ANSI 的牌子，不同的是将“危险”改为“当心”，横线上注明低功率激光器的名称，横线下写“不准直视激光束”。

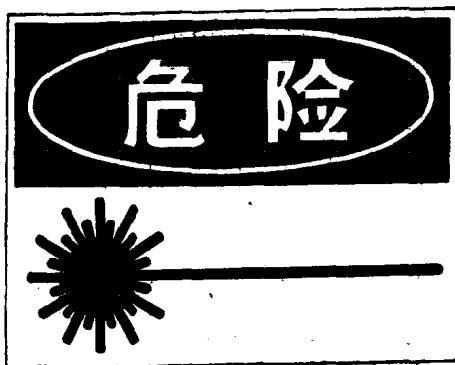


图 1 激光器的警告牌

第三(甲)级包括某些发射可见光的激光器，正常人肉眼看这种激光不会受伤，但如果将能量集中后送入眼内，象双筒目镜，那就能造成损害。BRH 要求的警告牌同第二级，不同的是在横线上注明“第三(甲)级激光器”。横线下除了“不准直视激光束”外，还要加“绝对不准许通过光学仪器看激光”。

对于第三(乙)级的激光器，直视能产生意外损伤。来自这类激光器的危险是直射光束和镜式反射光束。这类激光器的“警告”牌基本上同第三(甲)级，但横线上注明“第三(乙)级激光器”，横线下写“避免激光直接照射”。

第四级激光器，不仅能产生有害的直射或镜式反射光束，而且其漫反射也是有害的，还能引起火灾。这类激光器的“警

表 1 ANSI 和 BRH 标准对激光器的安全规定

要求的或推荐的性能	I		II		III		IV	
分级牌和警告牌	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
扫描激光器的防护外壳和扫描保险板以限制可通过的激光达到应用要求的最低级		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
防护外壳要有安全联锁以保证盖子打开时危害级别不变		✓		✓	✓	✓	✓	✓
安装遥控连接板使得封闭设备的活门能用联锁装置或采用其他辅助性的安全联锁					✓	✓	✓	✓
钥匙开动主控制器, 钥匙抽出时激光器就不工作						✓	✓	✓
发射激光时的指示器, 用光或声警告:								
a) 发射时(例如用指示灯)				✓		✓	✓	✓
b) 发射前和发射时(例如用有时间延迟的指示灯)						✓		✓
安装固定的衰减器以把主光束之外的其他输出减弱到第一级水平(如用光闸、可转动偏振器、翻转镜等)				✓		✓		✓
安装控制器以减少工作人员受到激光照射的可能性						✓		✓
用于观看激光的防护光学器件, 使观察者见到的激光属第一级水平		✓		✓	✓	✓	✓	✓
激光器应附有安全操作说明书		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

注: ✓ = 要求; A = 推荐; 甲 = ANSI; 乙 = BRH。

表 2 ANSI 和 OSHA 标准对使用激光器时要求的控制措施

安全操作规则	I		II		III		IV	
	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
当眼可能受到照射时应戴适当标记的护目镜	N/A	N/A		I	✓	✓	✓	✓
如果激光防护滤片出现损坏,就不要用激光器		✓		✓	(	✓		✓
只许合格人员使用;限制旁观者								
供观察用的光学器件应将激光减弱到 MPE 或第一级水平		✓		✓	✓	✓	✓	✓
不准追踪非目标物的车辆						✓*		✓
眼的照射量限于 MPE	N/A	N/A		✓	✓	✓	✓	✓
皮肤照射量限于 MPE	N/A	N/A	N/A	N/A	✓	✓	✓	✓
训练激光器的用户					✓		✓	
不用时应将激光器的输出水平降到第一级				✓		✓		✓
在“受控区”使用激光器								
发射激光时使用光或声指示器						✓*	✓	✓
从激光光路移走不必要的镜式反射表面;在激光区张贴“危险”标签						✓*		✓
“当心”警告标签或牌			✓	✓	✓†	✓†		
“危险”警告标签或牌					✓†	✓*	✓	✓
限制靠近光束或设置障碍					✓	✓*	✓	✓
室内用封闭激光设备							✓	✓
安全的动力切断开关							✓	✓
推荐远距启动和监视,钥匙开关主联锁							✓	✓

注: 甲=ANSI 乙=OSHA; ✓=要求; I = 重视时; * = III (甲)级的要求; † = III (乙)级的要求。

表3 表4, 5, 6中依赖于波长的改正因数 K_1 和 K_2

波长(毫微米)	k_1	k_2
250—302.4	1.0	1.0
>302.4—315	$10^{(\frac{\lambda-302.4}{5})}$	1.0
>315—400	330.0	1.0
>400—700	1.0	1.0
>700—800	$10^{(\frac{\lambda-700}{515})}$	若 $t \leq \frac{10100}{\lambda - 699}$ 则 $k_2 = 1.0$ 若 $\frac{10100}{\lambda - 699} < t \leq 10^*$ 则 $k_2 = \frac{t(\lambda - 699)}{10100}$ 若 $t > 10^*$ 则 $k_2 = \frac{\lambda - 699}{1.01}$
>800—1060	$10^{(\frac{\lambda-700}{515})}$	若 $t \leq 100$ 则 $k_2 = 1.0$ 若 $100 < t \leq 10^*$ 则 $k_2 = t/100$ 若 $t > 10^*$ 则 $k_2 = 100$
>1060—1400	5.0	
>1400—1535	1.0	1.0
>1535—1545	若 $t \leq 10^{-7}$, 则 $k_1 = 100$ 若 $t > 10^{-7}$, 则 $k_1 = 1.0$	1.0
>1545—13000	1.0	1.0

注: 波长 λ 单位为毫微米, t 的单位为秒, 是取样时间。表3—6取自联邦注册40148号(1975年7月31日)。

表4 第一级激光器的可接受辐射限

波长(毫微米)	发射持续时间(秒)	可接受的辐射限(单位)
$250 < \lambda \leq 400$	$\leq 3.0 \times 10^4$	$2.4 \times 10^{-9} k_1 k_2$ 焦耳
	$> 3.0 \times 10^4$	$8.0 \times 10^{-10} k_1 k_2 t$ 焦耳
$400 < \lambda \leq 1400$	$> 1.0 \times 10^{-9} - 2.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-7} k_1 k_2$ 焦耳
	$> 2.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^1$	$7.0 \times 10^{-4} k_1 k_2 t^{3/4}$ 焦耳
	$> 1.0 \times 10^1 - 1.0 \times 10^4$	$3.9 \times 10^{-1} k_1 k_2$ 焦耳
	$> 1.0 \times 10^4$	$3.9 \times 10^{-7} k_1 k_2$ 焦耳
	选择限制最少的	
	$> 1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^1$	$10 k_1 k_2 t^{1/3}$ 焦耳·厘米 ⁻² 立体角 ⁻¹
	$> 1.0 \times 10^1 - 1.0 \times 10^4$	$20 k_1 k_2$ 焦耳·厘米 ⁻² 立体角 ⁻¹
	$> 1.0 \times 10^4$	$2.0 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$ 焦耳·厘米 ⁻² 立体角 ⁻¹
$1400 < \lambda \leq 13000$	$> 1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-7}$	$7.9 \times 10^{-3} k_1 k_2$ 焦耳
	$> 1.0 \times 10^{-7} - 1.0 \times 10^1$	$4.4 \times 10^{-3} k_1 k_2 t^{3/4}$ 焦耳
	$> 1.0 \times 10^1$	$7.9 \times 10^{-4} k_1 k_2 t$ 焦耳

注: 250—400 毫微米波段的可接受辐射限一定不要大于 1400—13000 毫微米波段(在 $k_1 = k_2 = 1$ 和照射时间相近时)。

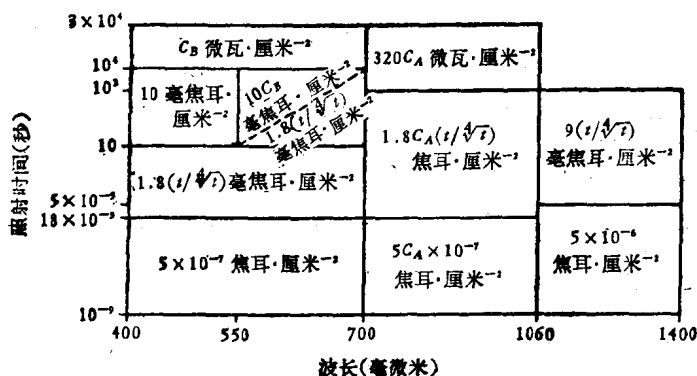
表5 第二级激光器的可接受辐射限

波长(毫微米)	发射持续时间(秒)	可接受的辐射限(焦耳)
$400 < \lambda \leq 700$	$> 2.5 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$

表 6 第三级激光器的可接受辐射限

波长(毫微米)	发射持续时间(秒)	可接受的辐射限(单位)
$250 < \lambda \leq 400$	$\leq 2.5 \times 10^{-1}$	$3.8 \times 10^{-4} k_1 k_2$ (焦耳)
	$> 2.5 \times 10^{-1}$	$1.5 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$ (焦耳)
$400 < \lambda \leq 1400$	$> 1.0 \times 10^{-9} - 2.5 \times 10^{-1}$	$10 k_1 k_2 t^{1/3}$ 到 最大 1.0×10^1 (焦耳·厘米 $^{-2}$)
	$> 2.5 \times 10^{-1}$	$5.0 \times 10^{-1} t$ (焦耳)
$1400 < \lambda \leq 13000$	$> 1.0 \times 10^{-9} - 1.0 \times 10^{-1}$	1.0×10^1 (焦耳·厘米 $^{-2}$)
	$> 1.0 \times 10^1$	$5.0 \times 10^{-1} t$ (焦耳)

表 7 Z-136.1 激光安全标准的图表



注: (1) C_A 是校正因子,当波长由 0.7 变到 1.06 微米时,其值由 1 半对数地变到 5。(2) $\lambda = 400 - 550$ 毫微米时, $C_B = 1$; $\lambda = 550 - 700$ 毫微米时, $C_B = 10^{0.015(\lambda - 550)}$ 。(3) $\lambda = 500 - 700$ 毫微米, $t = 10 - T_1$ 时, 辐射限 $= 1.8t/\sqrt{t}$ 毫焦耳·厘米 $^{-2}$; $t = T_1 - 10^4$ 时, 辐射限 $= 10C_B$ 毫焦耳·厘米 $^{-2}$; $T_1 = 10 \times 10^{20(1-330)}$ 秒。(4) t = 时间(秒)。

告”牌如图 1 所示,横线上写“第四级激光器”,横线下写“避免眼或皮肤受到直射或散射激光的照射”。

除了警告标签和牌之外,对危害的各个不同分级,还提出了必需的或推荐的其他控制措施,总结于表 1 到表 7。

Z-136.1 标准中已认可的变动

ANSI 激光安全委员会票决,把 Z-136.1 号激光安全标准中,550—1400 毫微米的激光照射眼的持续时间超过 10 秒的“许可照射量限”予以提高。票决的变动已于 1976 年 3 月初生效,已打印出版。

最大的变动是修改了眼曝光和皮肤曝光的最大许可照射量(表 5 和 6)。变动主要是基于 Ham 等提出的数据,他们于 1975 年 5 月 2 日在美国佛罗里达州萨拉苏塔市举行的 ARVO 年会上对热致视网膜损伤及光化作用引起的视网膜损伤进行了对比,他们的数据表明,红光和近红外光能量跟等照射量的蓝光能量比较,前者引起的损伤要小得多。所以 MPE 水平的变动主要是那些发射可见光及近红外线的激光器。

例如,看 He-Ne 激光器的 632.8 毫微米的谱线八小时,其照射量限将提高 17 倍,近红外线照射皮肤时的照射量限也有提高。ANSI 将取消第五级,以和 BRH 的分级相等。

ANSI 还第一次对光化紫外线的短暂曝光规定的照射量限,但比 BRH 的保守些。ANSI 1976 年秋季还将对可见光的蓝色区(400—500 毫微米)进一步降低其“照射量限”。

其他有意义的变化包括:删除了第五级激光器(因为谁也不会管一个完全密封系统内的辐射有多大),还在标准适宜处恰当地引入了半导体激光器,以及对皮肤曝光的 MPE 水平作了波长更正,这是根据 Cincinnati 大学医学中心 Rockwell 和 Goldman 所提供的数据作出的。