

目 录

序	〔7〕
第一章 激光器安全及危害简介	1
一、为何担忧?	1
二、人眼和皮肤受照射时的防护标准	1
三、激光器危害的评价和控制	2
四、小结	3
第二章 激光器的基础	4
一、绪言	4
二、电子能级	4
三、自发辐射和受激辐射	5
四、激光器的主要元件	6
五、连续型和脉冲型激光器	8
六、Q开关	9
七、激光器的特性	9
参考文献	10
第三章 激光的生物效应	11
一、绪言	11
二、眼球的结构	11
三、组织损害机制	13
四、对组织损伤起作用的诸因素	15
五、对眼的危害	19
六、对皮肤的危害	19
参考文献	21
第四章 与激光器有关的危害	23
一、绪言	23

二、电危害	23
三、气载污染物	27
四、低温液体	28
五、噪声危害	30
六、电离辐射	30
七、非激光束的光辐射危害	30
八、爆炸危害	30
九、火灾	31
参考文献	31
第五章 激光参数的测量	33
一、绪言	33
二、激光器输出能量和功率	33
三、激光脉冲宽度	38
四、辐照度和辐射照射量	40
五、光束分布	41
六、光束发散度	45
七、脉冲重复率	45
八、几种测量装置举例	45
参考文献	46
第六章 防护标准	48
一、绪言	48
二、关于束内和扩展光源照射时应考虑的诸因素	49
三、束内观察时的最大许可照射量	53
四、观察扩展光源时的最大许可照射量	59
五、激光束照射皮肤时的最大许可照射量	65
六、可见和近红外激光 MPE 校正因子和特殊处理技 术	65
七、重复脉冲激光器的 MPE 的测定	69
八、红外激光的 MPE 的校正因子	69

九、在评价激光器的各种应用时会用到的公式、例题及 应考虑的因素	82
参考文献	89
第七章 激光束危害的评价和分级	90
一、绪言	90
二、激光器分级应考虑的因素	90
三、各级激光器的定义	92
四、光束的中央辐照度或辐射照射量	98
五、关于激光器分级的例题	99
六、激光器所在的环境	103
七、激光器所在环境中的现场人员	105
参考文献	106
第八章 对激光危害的控制	107
一、绪言	107
二、对第一级——豁免级激光器的控制措施	109
三、对第二级——低功率激光器的控制措施	109
四、对第三级——中等功率激光器的控制措施	110
五、对第四级——高功率激光器的控制措施	117
六、对第五级——封闭式激光器的控制措施	120
七、对红外激光器的特殊控制措施	121
八、对紫外激光器的特殊控制措施	122
九、对野外和机载激光器的控制措施	122
十、激光防护眼罩	128
十一、警告牌和标记	128
十二、激光器输出功率或工作特性的改变	129
参考文献	129
第九章 控制与激光器有关的危害	131
一、对电危害的控制	131
二、对气载污染物的控制	136

三、对低温液体危害的控制	137
四、对噪声危害的控制	138
五、对电离辐射危害的控制	138
六、对非激光的光辐射危害的控制	138
七、对爆炸危害的控制	139
八、对火灾危害的控制	139
参考文献	139
第十章 公法	142
一、绪言	142
二、联邦的激光安全立法	142
三、州的激光安全立法	186
参考文献	213
第十一章 激光安全方案的管理	215
一、绪言	215
二、编制管理激光安全方案的一般指南	216
三、激光安全训练方案	223
四、训练方案的声、光资料	223
参考文献	227
第十二章 激光器在教室里的安全使用	229
一、绪言	229
二、安全设备	230
参考文献	234
第十三章 医务监督	235
一、绪言	235
二、冒险人员的分级	236
三、对人眼的各种检查	236
四、对皮肤的监督内容	238
五、推荐的医学检查内容	240
六、医学检查的频数	240

参考文献	241
第十四章 防御激光眼罩	242
一、绪言	242
二、挑选防御激光眼罩的诸因素	242
三、眼罩的标识	256
四、眼罩的检查	256
五、防御眼罩的类型	257
六、制造厂的责任	257
七、宽带防御眼罩的研制	259
参考文献	259
第十五章 大气效应	261
一、绪言	261
二、大气的一般效应	261
三、基本公式	263
四、镜式反射	266
五、漫反射	267
参考文献	268
附录甲 激光词汇浅释	270
附录乙 纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”	294
附录丙 可接触激光的级别	323

第一章 激光器安全及危害简介

自从15年前发明激光器以来，已涌现出一门朝气蓬勃的工业。激光器在科学上、工程上、和工业上已得到大量的应用，如外科、建筑业、材料加工、机器加工、核聚变实验、辨认包裹的编码标记的扫描器以及其他等等应用。激光器在军事上的应用自不用说了，就是在通讯方面也日益用上了激光器，以探索它能携带大量信息的巨大潜力。

一、为何担忧？

激光器危险，因其光束太亮。首当其冲的是人眼，因其聚焦本领会使达到眼底的光强增大好几万倍。在所用激光器强度日益增大的情况下，对皮肤的损害也不要掉以轻心。

除激光束本身的危害以外，工作于激光器系统时，象任何其他技术的或工业的过程一样，也会遇到一些有关的潜在危害。一个有关的主要危害是电击，很可能因电击而发生的意外事故比激光束的还多。和激光器有关的其他危害包括气载污染物、电离辐射、激光以外的其他光辐射、噪声等等。

二、人眼和皮肤受照射时的防护标准

认识到激光束的潜在危害，对该危害的适当控制使之有必要制订防护标准，这标准对人眼和皮肤许可受到的照射量提供了判断的根据。这样一些标准（民间的和政府法令）已渐次形成，基础是可能得到的实验研究的资料。这些标准有时称为最大许可照射量（maximum permissible expo-

sure, MPE) 水平。

MPE 的测定有时相当复杂，如下述情况就是：一个激光器同时发射许多波长相差很大的谱线或在连续 (CW) 背景上附加一些脉冲。

三、激光器危害的评价和控制

在考虑激光器危害的控制之前，最好先对激光器危害进行全面地评价。此外，要全面地评价危害，就必须顾及激光器危害的各个方面（如电击等），而不只是激光束危害。一个由适当组织施行的激光安全方案，加上必要的安全训练，就能大大地减少风险。

激光束危害的评价限于下述三种关键性的情况：

- 利用激光束相对危害的标准化的分级（如一级到四级），告诉全体人员激光束危害的可能性。
- 激光器的环境。
- 在激光器环境中的全体人员。

上述后两项，不同于第一项，不能给自己提供标准化的门径，因为能够使用激光器的环境太多，以及全体人员受激光束影响的情况也太多。

激光束危害的控制措施受到所用激光器级别的强烈影响。显然，第四级高功率激光器比级别较低的、功率小些的激光器，应受到最严格的控制措施。需要在经验和判断之间作出精心的权衡，以在工程控制、程序管理及其他控制之间取得平衡，其目的是既适当地保护了全体人员，又没有平白无故地束缚他们的手脚，后一种可能性是确实确实存在着的。

四、小结

以后的各章和附录将非常详尽地说明，上述有关激光安全的各关键性方面。如已说明，MPE的测定可能复杂化，激光器的分级也一样。所以，在认为特别有用之处，提出了一些习题和解答，以帮助读者更好地理解和应用安全判据和法则。

第二章 激光器的基础

一、绪言

激光器 (LASER) 的五个英文字母是“光受激辐射放大器” (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 的英文原文各取第一个字母组成。

激光器所发射的光截然不同于寻常光，这种光具有的特色是用其他光源多半得不到的。

光由原子的内部作用而产生，这些内部作用中的一种特殊形式产生了激光。为了简化，假设原子包含一个小而稠密的核以及绕核运动的一个或多个电子。

二、电子能级

诸电子相对其核只能处于某些确定的能级，在通常情况下它们处于基态，即处于最低能级。诸电子通过吸收能量，能跃迁到较高能级；并且通过发射能量，跃迁到较低的空级。图 2-1 表示一个电子跃迁到一个能量相差 ΔE 的较低能级， ΔE 就以一个光子的形式发射出去。

当电子从某些可能来源之一吸收能量时，就发生了向上跃迁。对于激光器的工作，有两种供能形式是极其重要的。一个光子的能量可以转移到一个轨道电子，于是该电子将跃迁到一个较高的或“受激”能级。原子的量子性质要求，电子只能吸取某一确定的能量值，才能由一个许可的能级跃迁到另一级。

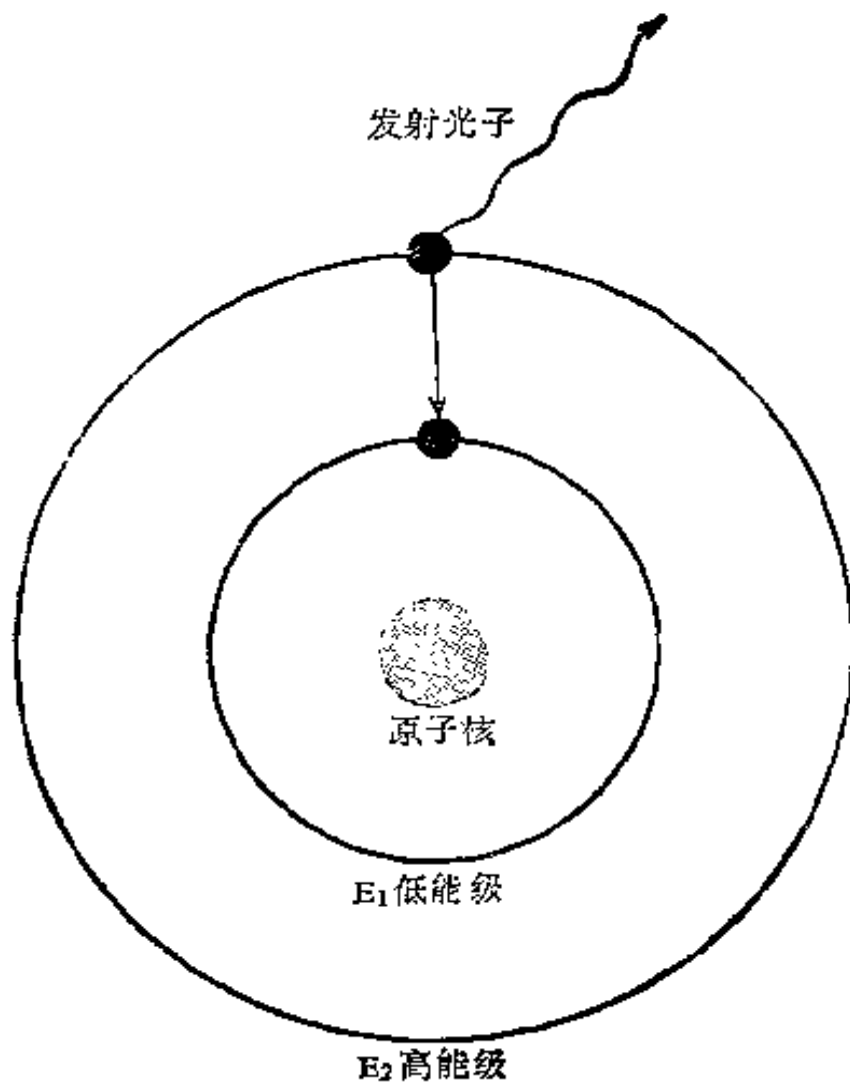


图 2-1 电子由高能级跃迁到低能级,并发射一个光子

放电是用于激发电子的第二种主要技术。此时是通过在电场中运动着的诸电子的碰撞而转移能量。无论是用光子还是用放电技术,当一个原子受激时,就有一个电子跃迁到较高的能级。

三、自发辐射和受激辐射

原子总是趋于返回最低能态,结果是,处于较高能级的受激电子迟早会回到较低能级。典型地,一个电子通过自发

辐射一个光子，失去了其激励能，而返回较低的轨道。光子的能量一定是等于受激能级和较低能级两者间的能量差。所释放光子的频率和能量差的关系由下式给出

$$E = hf$$

式中 E 是两能级的能量差，即光子的能量， h 是普朗克常数， f 是频率。提一下大家知道的公式 $f = c/\lambda$ ， c 是光速， λ 是波长。随着激光器类型的不同，其输出波长在0.2微米到1毫米之间。

由受激原子释放出的光子，在和另一个同样受激原子相互作用时，该原子将有一个电子回到较低能级，并释放一个光子，这过程叫做**受激辐射**。第二个光子的频率、能量、方向和位相跟第一个光子的一样。第一个光子将继续沿着原来路径前进，但伴有第二个光子。现在这两个光子将通过受激辐射过程使更多的原子由激发态回到较低能级。

对于自发辐射，诸受激原子是无规则地回到较低能级的，因而朝各个方向输出的光是或多或少地相等的。与之比较，受激辐射只增加沿特定方向运动的光子数。诚然，只要在光学腔的两端，放置高度反射的面镜，就能确立预先选定的方向。那些运动方向不垂直于面镜的光子将逸出腔外，而那些沿两面镜轴线运动的光子数因来回受激辐射而增大，即沿预定路径行进的光子数大大增加，或者说发生了光子数很大的放大。要得到有效的放大，有必要建立所谓粒子数反转的状态。当受激到高能级的电子数多于停留在正常较低能级的电子数时，就出现了粒子数反转。

四、激光器的主要元件

上述讨论已指出激光器的三种主要元件，第一种是能够

建立粒子数反转的工作物质。第二种是输入能源(或叫泵),其作用是把电子送上受激态。第三种是损耗小的光学腔,其作用是确立产生激光的轴线,并通过反复反射增大受激辐射。

(一) 工作物质

一种常用气体激光器用氦氖混合物作工作物质,发射强红光。另一种用气体作工作物质的是二氧化碳激光器,发射不可见的远红外线,第一个研制成功的激光器是固体激光器,它是一根红宝石棒,掺有有限量的铬杂质,后者是发射激光的工作物质。有机液体染料也用于激光器。第四种激光器是半导体激光器,有一个半导体结。小型和效率高是诸半导体激光器的特色。

(二) 能源(泵)

只有在工作物质中建立了粒子数反转才能有效地发射激光。为此必须给工作物质输入足够能量以达到粒子数反转。输入能量有好几种典型方法。

固体和液体激光器用的是光泵(即输入光能)。把强光源聚焦于发射激光的工作物质。光泵供给的光子,如果有恰合的能量,就能把工作物质中的电子送到较高能级^[1]。氙闪光灯常用固体激光器作光泵。液体激光器的典型光泵是某固体激光器的光束。

气体激光器的泵用电子碰撞。给充气管放电,放电电流中的行进电子和气体原子或分子碰撞时失去能量,而原子或分子因获得能量而受激。从而可得到连续激光输出,因电子碰撞,这种泵可连续作用。

(三) 光学腔

工作物质在泵作用下建立了粒子数反转后,激光器就可以开始工作了。然而,光子将朝四面八方飞散,如果对光束

传播方向不加以限制的话,用光学腔就能控制光束传播方向。在工作物质的两端各放上一个反射器就构成了光学腔。图 2-2 是典型光学腔的示意图。使两反射平面相对,并非常仔

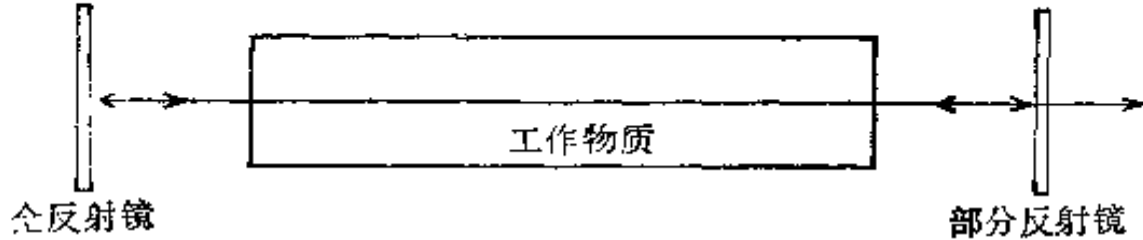


图 2-2 光学腔

细的调准使之平行。沿腔轴行进的光子将因受到反复的反射而通过工作物质,从而产生更多的受激辐射,即增大激光束的强度。两反射镜之一仅仅是部分地反射光线,而有一部分激光束逸出腔外。气体激光器用两反射镜作为充气管的两端面,当然也可置两反射镜于充气管之外。第一个红宝石激光器是将棒的两端打磨成平行的光平面然后镀银;半导体激光器也用类似工艺。

五、连续型和脉冲型激光器

利用泵的不断工作,可使上升到受激态的原子所释放的光子数,跟逸出腔外而失去的光子数,达到平衡。结果是输出连续激光,但连续激光通常只用低功率输入。高功率泵常用脉冲形式供给能量,因而激光输出属脉冲型。图 2-3 表示用光泵的固体激光器^[2]。当棱镜旋转时的取向,使得光在腔内能来回反射,此时就发射激光脉冲,这脉冲叫 Q 开关脉冲以别于用闪光灯作泵所得到简单脉冲。

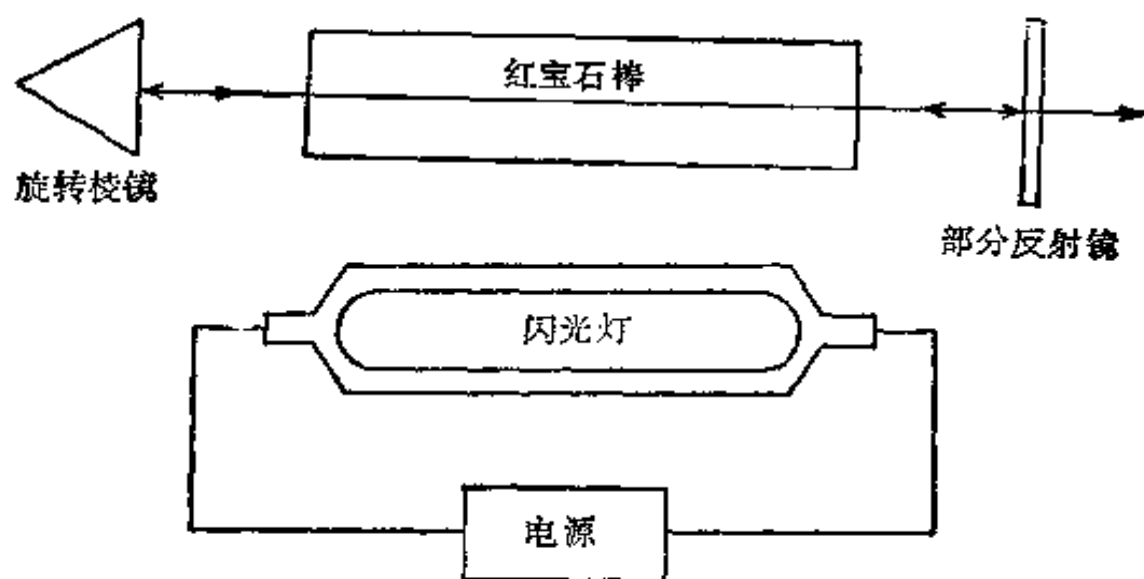


图 2-3 用光泵的固体激光器的示意图

六、Q 开关

Q 开关（或叫 Q 突变）是用以产生特高功率输出脉冲的一种工艺。此时光学腔实际是一种共振装置，Q 这一术语起源于它在电共振电路中的应用。激光器中的 Q 开关是指一种工艺，利用这一工艺，激光器就把功率在短促猝发中放射出去。Q 开关是一种装置，其作用是在光泵输入能量时阻断光学腔，使之不能因发射激光而损失能量（要不然的话，粒子数一反转就会发射激光，而且光泵能维持粒子数反转多久，就发射多久的激光）；就这样借光泵作用就可得到多得多的粒子数反转。然后借助于 Q 开关使光学腔回到共振状态，从而得到极短的、强好几个数量级的脉冲。

七、激光器的特性

激光器的能量用焦耳(J)量度，其功率则用瓦(W)量度，而瓦数等于每秒焦耳数。激光器的输出，特别是脉冲激

光器，其额定值常用焦耳·厘米⁻²或瓦·厘米⁻²。

从激光器发射的光能几乎很少发散，即在光束前进时发散很小。激光束的发散度用毫弧度量度，一个典型激光器的发散度可能是0.5到1.0毫弧度。激光束的直径^(2,3)是 $(a + r\theta)$ ，式中 a 是光束初始直径（厘米）， r 是离激光器的距离， θ 是光束发散度（毫弧度）， θ 很小。

激光器的另外两个重要特性是单色性和相干性。单色性这一术语意味着一种颜色或光的一种波长。激光极近于单色。空间相干性用于描述两个或更多的波，它们具有相同的频率、位相、振幅和振动方向。激光非常接近于完善的空间相干性。

参 考 文 献

1. Van Pelt, W. F. et al., "Laser Fundamentals and Experiments", Southwestern Radiological Health Laboratory, Nevada, May 1970.
2. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation" U. S. Department of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, Washington, May, 1975.
3. "American National Standard for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976" ANSI, N. Y., 1976.
4. Duly, W. W., "CO₂ Lasers, Effects and Applications", Academic Press, N. Y., 1976.
5. Marshall, S. L., Editor, "Laser Technology and Applications", McGraw-Hill Book Company, N. Y., 1968.
6. "Laser Hazards and Safety in the Military Environment", AGARD Lecture Series No. 79, North Atlantic Treaty Organization, 1975.

第三章 激光的生物效应

一、绪言

激光直射或反射到人体组织时可造成不同程度的损伤。此时最担心的是眼睛，因其伤害往往是不可逆的。尽管皮肤危害肯定是次要的，但也应受到重视。

本章描述组织损伤机制以及造成组织损伤的诸因素。尽管本章内容同时适用于眼睛和皮肤，但经常提到的是眼球结构，以使读者对该器官具有起码的必要知识。因此，首先简单描述眼球的结构^[1,2]。

最后，眼睛和皮肤的危害主要是从特异生物效应的观点进行描述的。对于眼睛，是用概括的表格形式，把特异的生物效应、眼球的特定结构和激光光谱带联系起来。对于皮肤，是先大致描述一下这一器官，接着讨论激光可能引起的种种生物效应。

二、眼球的结构

图 3-1 是人眼球结构示意图。眼球具球形，其内部绝大部分是一种叫做玻璃体的透明粘滞物质。环绕玻璃体的基本上有下述三层：

- 最外的巩膜层
- 中间层包括脉络膜、睫状肌和虹膜
- 内层是视网膜

巩膜是一种瓷白而硬的组织，它起着眼球的支持框架作

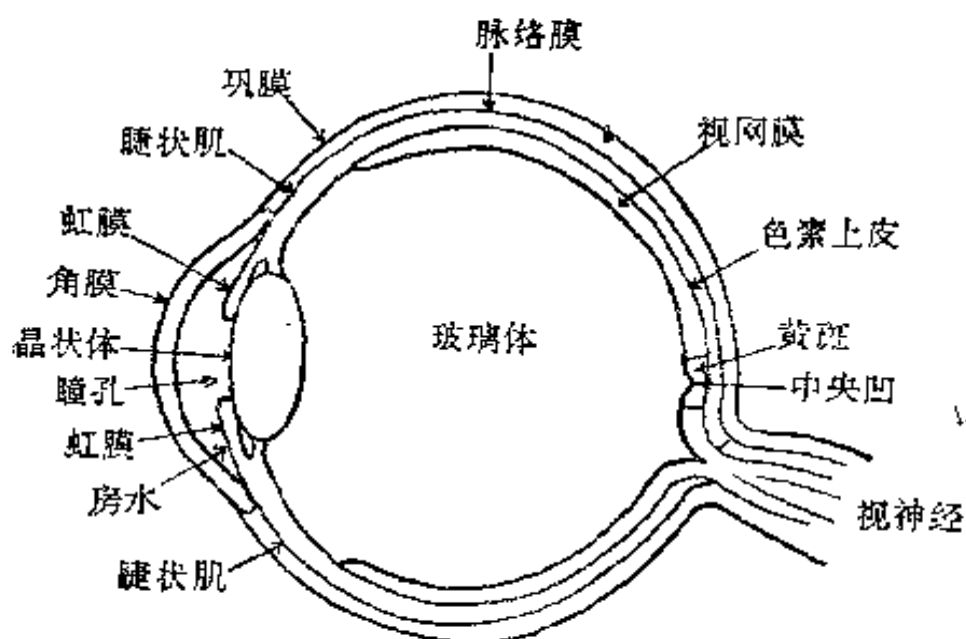


图 3-1 人眼球示意图

用。巩膜在眼球的前部形成角膜，角膜透明，它和晶状体一道参与眼球的聚焦机制。角膜后有一室，室内充满房水。覆盖巩膜前部的是结膜（角膜除外），其中含有神经，该神经对闯入眼睑下的异物有“警觉”作用。

脉络膜大致占中层的 80%，位于眼球的侧面和后面。供给眼营养的大量血管都在脉络脉内。这层前部是睫状肌，它通过相互联系的纤维结合于晶状体。睫状肌可改变晶状体的形状以聚焦入射光。夹在房水和晶状体之间的是薄而有色的虹膜。虹膜中部圆而黑色的孔叫瞳孔，光就是由瞳孔进入眼内的。虹膜肌借改变瞳孔的大小以控制进入眼内的光量。

视网膜是眼球的内层组织，位于玻璃体和脉络膜之间。视网膜截面大约有 240° 的视角。厚约 150 微米的视网膜层中有光感的神经细胞。其后是厚为 5~10 微米的视网膜色素上皮层，其作用是吸收散射光并阻止光的反射。它也起着支持光感细胞的作用。这类光感细胞有两种：一是长而细的杆体

细胞，一是较粗的锥体细胞。杆体细胞对弱光很敏感，但不能分辨颜色。反之，锥体细胞能分辨颜色，但对光的敏感不如杆体。锥体集中于视网膜的中部，而杆体则分散于其周边。二者都连于神经纤维，来自视网膜各处的神经纤维结合在一起而组成光学神经。这光学神经在眼球后部穿过视网膜、脉络膜和巩膜而进入脑。

视网膜的黄斑（图 3-1）位于角膜-晶状体系统的焦点。黄斑中有很小一块下凹，它是明视的关键性中心。通过角膜-晶状体系统把光聚焦于下凹，就能把射到角膜的光的能量密度放大 10 万倍。由于激光比寻常光不知强多少倍，眼的聚焦效应就易于使眼受伤。

三、组织损害机制

激光束的照射，由于下述任一种机制可导致组织损害：

- 热效应
- 光化效应
- 声瞬变
- 慢性照射
- 其他现象

（一）热效应

来自激光束照射的、和热有关的效应代表损害的主要类型。热损害的程度主要依赖于下述四个因素：受照面积的大小，照射的持续时间，入射激光束的辐照度或强度以及组织对吸收这激光器的特定波长是否最有效。由于激光器输出的能量可能相差很大，因而组织的反应也相差很大：可能一点什么事也没有，或者仅仅使组织发红；但在辐射照射量水平极高时，就可能发生组织的汽化、烧焦、或爆炸性的撕裂。

(二) 光化效应

紫外线对眼和皮肤的光化效应尚未彻底搞清。尽管如此，来自太阳的光化辐射，在产生皮肤发红或红斑方面，各谱线的相对有效性，已通过作用光谱在实验上得到确定^[3]。皮肤变色在建立红斑阈时起着重要作用。

ANSI 认为^[4]，紫外线为角膜上皮吸收，此时的损害大概是来源于细胞中的分子（DNA 或 RNA）或蛋白的变性。

(三) 声瞬变

激光脉冲射击组织时，其能量的一部分可能变为机械压缩波或声瞬变。这种声瞬变在足够强时，可能撕裂组织。但是，就 Q 开关的持续时间来说，视网膜损伤机制主要来源于热作用，但在吸收点（如每个黑色素粒）附近的迅速加热和热膨胀所产生的声瞬变效应，在损害机制上也可能起一定的作用^[3]。

(四) 慢性照射

波长长到大约 3~1,000 微米的远红外线的慢性照射，对眼或皮肤的损害机制和潜在危害，是需要进一步研究的领域。然而铸造炉和玻璃熔炉所发射近红外谱线^[5]，在角膜照射量达 0.08~0.4 瓦·厘米⁻²时，已认为是形成内障的原因。户外时角膜受到的远红外剂量大约是 1 毫瓦·厘米⁻²。

已知紫外线的慢性照射会加速皮肤的老化。人们还认为紫外线照射会产生某几种皮肤癌^[3]。

(五) 其他现象

其他可能的损害机制关系到比 Q 开关激光器和锁模激光器还要短的脉冲照射，这些机制包括下述诸现象^[3]：

- 电场的直接效应
- 喇曼散射和布里渊散射

- 多光子吸收

四、对组织损伤起作用的诸因素

激光束照射组织时所造成的损伤以及影响损害的程度，下述诸因素至少各起着一定的作用。

- 激光波长
- 组织对光谱线的吸收、反射和透射
- 入射激光束的强度或辐照度
- 受照面积的大小
- 照射持续时间
- 瞳孔大小
- 视网膜损伤部位

(一) 激光波长

与激光对组织的生物效应有关的三个主要光谱带是红外线，可见光和紫外线。在讨论生物效应时常用的光谱带标示如下：

近紫外线：UV-A (315~400 毫微米)

UV-B (280~315 毫微米)

UV-C (100~280 毫微米)

可见光：(400~700 毫微米)

近红外线：IR-A (700~1400 毫微米)

远红外线：IR-B (1.4~3 微米)

IR-C (3~1000 微米)

(二) 组织对光谱线的吸收、反射和透射

对于上面列举的激光器的光谱带，组织可能吸收、反射和（或）透射特定波长的辐射。不同组织对不同波长的表现不同。对其行为简略描述如下。

可见光和近红外线（400~1400 毫微米）可透过角膜、水样液、晶状体和玻璃体。并大量为视网膜和脉络膜所吸收。就照射角膜的光谱线来说，图 3-2 表示视网膜和脉络膜对谱线的吸收剂量和其波长的函数关系^[3]。

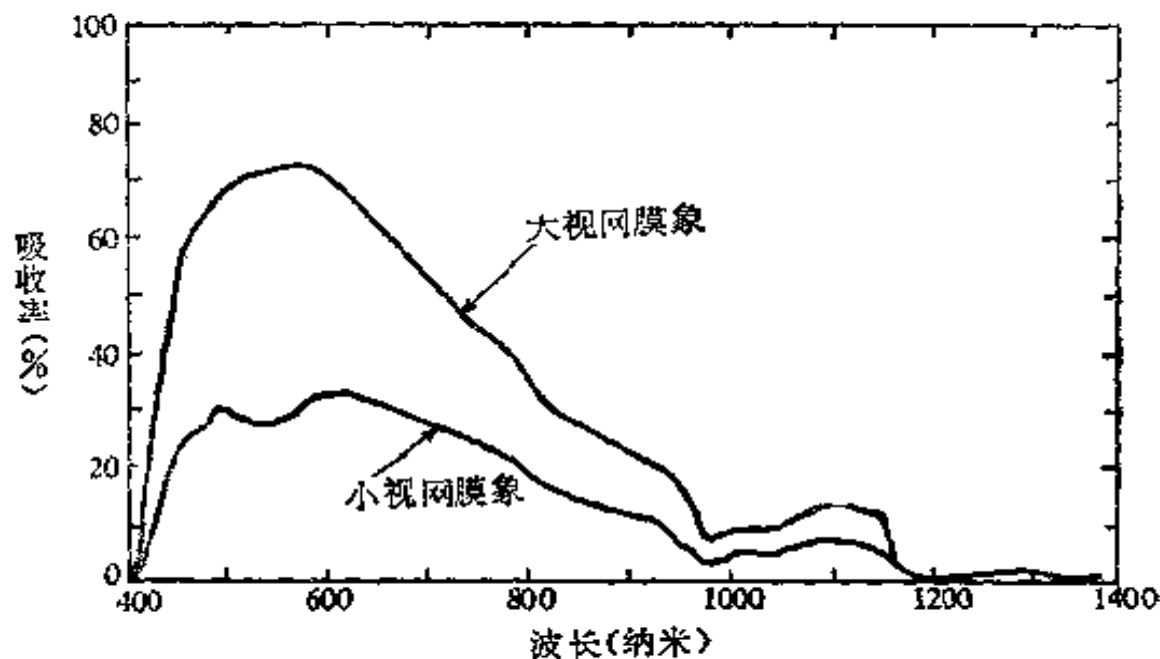


图 3-2 视网膜和脉络膜对照射角膜的谱线的吸收剂量和其波长的函数曲线

辐射在脉络膜和视网膜诸层次的表现如下：

- 它能透过视网膜的神经层。
- 杆体和锥体细胞吸收少量辐射。
- 其余能量为脉络膜和色素上皮吸收，后者在光学上是最强的吸收体层，因而温度上升最高。

对于波长 1.4~1.9 微米的入射红外线，角膜和水样液（房水）几乎吸收了它们的全部能量。在波长大于 1.9 微米时，角膜则是唯一的吸收体。

眼球的晶状体是近紫外线（315~400 毫微米）主要吸收

体，到达视网膜的辐射水平微不足道。

由图 3-3 可见^[3]，对于 UV-A、可见光和 IR-A 光谱带，人体皮肤的光谱反射比有明显的差异，肤色也有显著影响。肤色极白的人反射的辐射能量多一些，于是吸收的就少一些。反之，黑种人因皮肤黑，即黑色素粒多，于是吸收的辐射能量就多一些，从而更易于受伤。例如，对于波长约 0.6 微米的激光，白人的反射比约 0.45，而黑人的约 0.1。于是得增大白人的辐照度才能使之产生与黑人相同的反应或损伤。

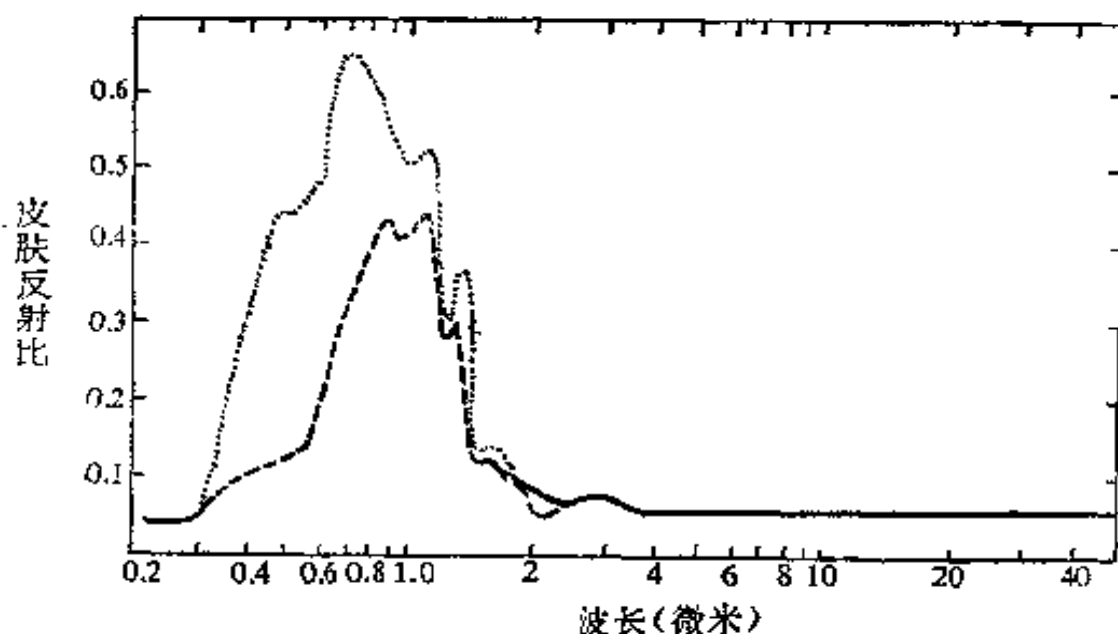


图 3-3 人体皮肤的光谱反射比

虚点线和虚短线是 Jacquez 等的数据，前者示白皮肤，后者示黑皮肤的反射比。表示紫外和红外的皮肤光谱反射比(实线)是 Hardy 等的数据

由图 3-3 还可看出，对于波长短于 0.3 毫微米的紫外线或波长长于 3 微米的远红外线，其光谱反射比几乎是恒定的，其值约 0.05。所以几乎发生了全吸收。受照射皮肤对于波长大于约 3 微米的远红外激光，吸收只发生在最表层。

(三) 入射激光束的强度或辐照度

人们直觉地理解到,射到组织的功率密度或辐照度越大,则组织受损害的机会越大。

值得重视的是,对于高功率红外连续(CW)型激光器,其输出功率超过1千瓦的在某些应用中已变得十分平常了。然而输出超过0.5瓦的连续型激光器已被定级为“高功率的”,因它能烧伤皮肤并能引起潜在的火灾。

(四) 受照面积的大小

一个小的受照面比一个大的,更容易把所吸收的热,传给其周围的组织。下述两例⁽³⁾能够很好地说明这种坚定的依赖性:

1. 中等的照射持续时间,视网膜损伤阈:

- 对于1,000微米的象,阈值是 $1\sim 10$ 瓦·厘米⁻²
- 对于20微米的象,阈值可高到 1 千瓦·厘米⁻²

2. 人体皮肤受到二氧化碳激光器(波长10.6微米)照射时产生温热的感觉:

- 对于直径1厘米的受射面,阈值是 0.1 瓦·厘米⁻²
- 对于全身照射,阈值是 0.01 瓦·厘米⁻²

(五) 照射的持续时间

照射量的大小只是辐照度(入射功率密度、单位是瓦·厘米⁻²)和照射持续时间的乘积。于是显然,辐射的照射持续时间,对于说明组织损伤或者定义损伤阈都是一个根本的参数。

(六) 瞳孔大小

瞳孔的大小在确定视网膜损害程度上起着极重要的作用,因为到达视网膜的光能正比于瞳孔面积。一个直径8毫米的瞳孔所许可通过的能量,是一个直径2毫米瞳孔的16.

倍。瞳孔的大小随所在环境的光亮程度而变；

- 暗适应的瞳孔直径是 7~8 毫米
- 室外日光下的是 2~3 毫米
- 瞬息观看太阳时的是 1.6 毫米

(七) 视网膜损伤部位

因为视网膜的不同部位，在视觉过程中起着不同的作用，损伤的轻重就随受累的部位而变。例如，中心窝，这一视觉极敏锐的部位，它的烧伤将使视力极其显著的下降。然而若视网膜周边受到同样大小的烧伤，很可能就根本觉察不到。

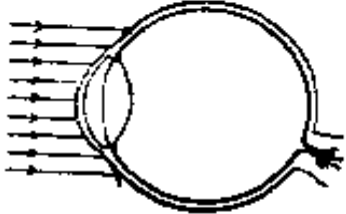
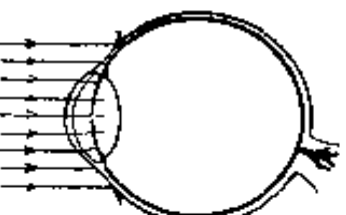
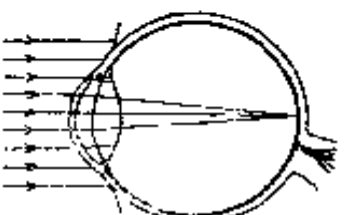
五、对眼的危害

很久以前就知道，直视太阳会使人失去视力。虽然本手册最关心的是激光器的及有关的危害，而且激光器的确是极其危险的。但还是值得指出，有些现代光源，它们损害眼的的能力，可与太阳匹敌，甚至超过太阳。强烈的电弧灯、电子闪光灯、燃烧着的镁以及核火球是这类光源中的几个。激光束损害的范围和潜力，一般依赖于眼的特定结构，即每单位体积的组织吸收辐射能最多的结构。表 3-1 概括了几个重要光谱带的激光，对眼的不同结构，所产生的许多特异的生物效应。

六、对皮肤的危害

由于激光对眼的损伤动辄具有不可逆的性质，特别是视网膜受伤时。然而皮肤损害却易于修复一些，显然皮肤损害只占据次要地位。然而随着高能激光器日益得到更广泛的使用，当能量密度接近几焦耳·厘米⁻²时，皮肤就可能遭受严重的损害。

表 3-1 眼的特异生物效应一览表

光谱带	吸收处	眼球的图示	特异生物效应	注释
远红外线 (IR-B和 IR-C) (1.1~ 1000微米)	角膜		<ul style="list-style-type: none"> 最小的角膜损害 角膜透明度下降或玻璃工及炉前工的内障 增加辐照度可以产生更严重的损害 	最小角膜损害只是在角膜上皮上有小的白斑，表面不红肿，照射10分钟后出现，24小时内痊愈，无可见疤痕
短紫外线 (UV-B和 UV-C) (100~315 毫微米)	角膜		<ul style="list-style-type: none"> 过量紫外照射可能产生红眼，流泪，眼球分泌粘液(结膜溢液)，从角膜剥出其细胞的表面层(基质烟雾) 蛋白或其他分子(如DNA、RNA等)的光化变性而引起的角膜上皮损害 	角膜上皮的损害可能是光化作用而不是热引起的
近紫外线 (UV-A) (315~400 毫微米)	主要是晶状体		<ul style="list-style-type: none"> 晶状体发荧光 极高剂量可能引起角膜和晶状体混浊 	
可见光 (400~ 700毫微米) 近红外线 (IR-A) (700~ 1400毫微米)	视网膜和脉络膜		<ul style="list-style-type: none"> 最轻微的反应仅是发红 视网膜最小或闪光损害 增大视网膜辐照度可能产生大些损害，炭化、出血以及气体形成、视网膜破裂和眼结构的物理变化 	视网膜的最小损害是用肉眼所能看到的最小可见变化(4)。它发生于照射后一整天，而且是象凝固那样的小白斑

象眼一样，皮肤也是人体一个执行重要任务的器官。体热的调节是通过汗腺和血管来处理的。脂腺分泌的油脂进入发囊，使得毛发光滑润泽，并可防止皮肤过于干燥。皮肤是人体较大器官之一，成人的约重6磅。皮肤主要分为两层：外面的是表皮，内面的是真皮。表皮中没有血管，但真皮中含有一些神经。一种叫做黑色素的色素确定了皮肤的颜色，这种色素位于表皮的下层。黑色素粒越多，皮肤的颜色就越黑。真皮厚度从 $\frac{1}{16}$ 英寸到 $\frac{1}{8}$ 英寸，其中含有汗腺、血管、淋巴管、神经、毛发、发脂腺和脂肪细胞。

皮肤显然不是均匀器官。然而和人体绝大多数组织一样，皮肤主要包含水，所以对大多数类型的激光是透明的，至少在遇到黑色素粒之前是这样，黑色素粒是皮肤的主要吸光体。可见光、近紫外线和红外线为黑色素粒选择吸收（图 3-3）。对高能量密度水平的足够强烈的吸收会引起温度的上升并导致黑色素粒的破裂。一般说来，皮肤的损害形式可能是：发红、起疱、烧焦和确实烧出空洞。

在光化反应上活跃的辐射，如来自太阳的 UV-B, C (100~315 毫微米) 的低水平慢性照射能够加速皮肤的老化。如前已指出，它们能引起某几种皮癌。某些个人对某些特定的光谱带有过敏反应。这种倾向或反应叫光敏性。

参 考 文 献

1. "Eye", The World Book Encyclopedia, Vol. 6, Field Enterprises Educational Corporation, pp. 357-360, 1968.
2. Van Pelt, W. F., et al., "Laser Fundamentals and Experiments", Southwestern Radiological Health Laboratory, Nevada, pp 28-35, 1970.

3. Slivey, D. H., et al., "Evaluation of Optical Radiation Hazards" *Applied Optics*, Vol. 12, pp. 1-14, Jan. 1973.
4. "American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z 136. 1-1976", American National Standards Institute, New York, 1976.
5. Sliney, D. H., et al., "Environmental Health Hazards From High-Powered, Infrared, Laser Devices", *Archives of Environmental Health*, Vol. 30, pp. 174-179, April 1975.
6. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation", U. S. Dept. of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, pp. 4, 5, May 1975.

第四章 与激光器有关的危害

一、绪言

对于工作在激光系统附近的全体人员，激光束的危害是一桩最令人担忧的事。然而，激光器系统的运转和其他许多工艺的或工业的过程一样，也涉及到形形色色的有关的潜在危害。下述一些与激光器有关的危害是必须重视的：

- 电击
- 气载污染物
- 低温液体
- 噪声
- 电离辐射
- 非激光束的光辐射
- 爆炸危害
- 火灾

第九章将讨论用于上述每一项的控制措施。

二、电危害

Franks 等^[1]早就注意到，使用激光器时所发生的电意外，在次数上要多于激光束直射或反射到眼和皮肤所造成的损伤。触电致死成了实际可能。在美国因进行和激光器有关的活动而触电死亡的，有记载的发生了四起。

(一) 影响电击损伤轻重的诸因素

电击所致损伤的轻重至少受下述一些因素的影响：

- 电流的大小
- 人体电阻
- 通过人体的电路
- 电击的持续时间
- 电压的高低
- 电流的频率
- 心周期的相

流过人体电流的大小，是确定电击损伤轻重的关键性因素。下面提出了和定义了几种电平：有的是实验测定的^(3,5)，其他是从动物实验外推的⁽³⁾，还有的是估计的。表 4-1 提供了一些实验的和外推的电平。

- **感觉阈**：能产生轻微刺痛电流（表 4-1）。
- **“释放”阈**：自愿受试者刚能放开导线的电平（见表 4-1 中等“释放”阈值）。
- **冻结电流**：略高于“释放”值的电平，其交流电压使受害者不能自动地摆脱火线。
- **心室纤维性颤动电流**：能使心脏产生纤维性颤动的中等强度电流。
- **超过纤维性颤动电平的电流**：中等强度到极高强度的电平。

人体电阻包括皮肤的接触电阻和人体内电阻。接触电阻值的变化大，出汗、皮肤穿孔、导体潮湿等都使此值下降。干燥完整皮肤的电阻约为 25 万欧姆。600 伏的电压能迅速消除皮肤电阻，剩下的基本是低得多的、约 500 欧姆的体内电阻，靠它限制着通过人体的电流强度。

当**电流路径**中有心脏、肺、或脑等重要器官时，增大电流会大大增加受到严重损伤的可能性。从手到足的电流路

径，正如在许多工业电意外那样，其中涉及到肺和心脏。这种情况，比起从足到足的电流路径来说，要严重得多。

电击的**持续时间**能够显著影响损伤程度。例如，超过“释放”阈的电流，持续时间较久时，可使受害者麻木、失去知觉、甚至死亡。

由于人体电阻的可变性很大，对于肯定的电击危害，就难于给出多大**电压**是危险的。高压无疑是危险的。但 ANSI 认为⁽¹⁾，当电流超过 0.5 毫安时，42.5 伏以上的电压就是

表 4-1 作用于人体的电流的定量效应一览表⁽¹⁾

效 应	交流(毫安)					
	直流(毫安)		60赫 ⁽²⁾		10000赫	
	男	女	男	女	男	女
手有轻微感觉	1	0.6	0.4	0.3	7	5
中等感觉阈	5.2	3.5	1.1	0.7	12	8
无痛电击，肌肉未失控	9	6	1.8	1.2	17	11
有痛电击，0.5%受试者肌肉失控	62	41	9	6	55	37
有痛电击，中等“释放”阈	76	51	16	10.5	75	50
很痛电击，呼吸困难，99.5%受试者肌肉失控	90	60	23	15	94	63
可能引起纤维性颤动 ⁽³⁾						
• 三秒电击	500	500	≈100	≈100		
• 短促电击(T单位是秒)			116/√T	116/√T		
• 电容器放电	50	50				
	焦耳	焦耳				

(1) 取自文献 3

(2) 110 伏交流电

(3) 从动物实验外推的估计值

危险的。

由表 4-1 可见，**频率** 1 万赫的交流电比 60 赫的交流和直流电的危害小一些。然而，高压直流却比高压交流更危险^[5]。不同于交流，直流电直接接触人体时不会引起强烈的肌肉收缩。

已查觉，在**心脏相对不应期**的部分时间^[6]或整个时间^[1]，电击容易使心脏发生心室纤维性颤动，所以它也是影响电击程度轻重的一个因素。

(二) 电击的生理效应

人体受电击时可能发生下述生理效应：

- **感觉效应**：这效应发生在人体接受阈电平时，它是一种轻微的感觉，或首次感到的刺觉(表 4-1)。
- **一些意识到的现象**：随着电平的增加，出现痛觉和肌肉痛，以及暂时耳鸣和视觉障碍，如闪光及眼前的光斑。
- **肌肉收缩**：交流电能引起肌肉收缩，其程度轻重依赖于电流大小和频率。“释放”电平或较低的电流(表 4-1)虽然有痛感，但不会产生持久的效果。然而，在“冻结”电平时，肌肉收缩使之不能释放火线，如长时间，其后果是非常严重的。
- **血压上升**：肌肉的强烈收缩会引起血压的迅猛上升。
- **昏迷、麻木或虚脱**：持久的或(和)强电击(如“冻结”电平)，能够使受害者失去知觉或虚脱。
- **人事不省**：持久的或(和)“冻结”电平的强电击可使受害者不省人事。
- **呼吸机制的瘫痪**：高电压或(和)电流流过胸部或重要的神经中枢，可使该神经中枢瘫痪，继而窒息和死亡。

- **心室纤维性颤动：**只要中等强度的电流，就可能使心脏发生心室纤维性颤动，此时心脏停止了节律性的泵作用，血液循环也停了。这是极其危险的，因为心脏纤维性颤动一经开始，绝不会自动回到正常节律。此时需要一个受控的反电击，可惜通常手边不会有这样的机器。表 4-1 所列出的这种情况的电平，是基于动物实验的外推值。
- **烧伤：**重要的烧伤有两类。第一，因电流流过人体组织而烧伤，这类烧伤痊愈慢。第二靠近人体的高温源，如电弧、蒸发金属或其他，所引起的热烧伤。
- **出血：**依赖于电击的大小，电击效应可能相差很大，从只是击伤眼到脑、神经系统或其他器官的大出血。
- **心停跳：**大电流能引起心停跳，若不立即施行人工复苏，几分钟内就会死亡。
- **神经系统损害：**相当大的电流能够给中枢神经系统造成致命的损害，小一些的电流可使神经细胞受伤或暂时麻痹。
- **体温上升：**极高电流能使体温升高，并且几乎立即导致死亡。

三、气载污染物

与激光器应用和工艺有关的某些物质，可能构成潜在的大气有毒污染物，其浓度可能高到危害用户的健康。气载污染物包括金属烟雾和尘埃，金属氧化物烟雾，化学的和气体的蒸气以及其他。值得重视的生物污染物是，激光轰击组织时产生烟雾，可能把活的癌组织散布于空气之中。

许可接触的浓度：美国职业安全及卫生管理局(OSHA)

举出了⁽³⁾限制污染物浓度的两种方案，为全体工作人员提供一个安全的环境。第一种方案对每周工作40小时的任一8小时的工作日，给出了污染物浓度的“8小时加权平均值”，从而限制了雇员接触污染物。第二种方案规定“许可的浓度上限”值，这值在8小时工作日的任何时间都不许超过。但对少量污染物，若接触时间为5~30分钟，特许超过“许可的浓度上限”值，到某一特定值。

表4-2列出 OSHA 规定的、由激光器运转和产物所产生的特定气载污染物的浓度限。OSHA 并没有提供与激光器有关的、所有有潜在危害的污染物的许可接触水平。

四、低温液体

某些高功率激光器系统用低温液体冷却激光器和传感器的接收元件。液态氮 (LN_2) 是一种常用的低温剂，但也用液态氢和氦。

与应用低温液体或低温系统有关的主要危害如下：

- **高压：** 在使用和储存低温剂时，由于低温液体变为气体，其体积扩张极大，存在着气压逐渐增大到爆炸的可能性。
- **易燃性：** 某些气体，如氢、臭氧等，本来就是易燃的。而氧尽管不是可燃的，但它和其他物质和气体混合时能助燃。
- **接助人体的：** 和低温液体的短暂接触能导致烧伤。较长接触能使人体接触部位冻伤和变脆。
- **窒息：** 在关闭和不通风的室内，氧从大气凝聚（如液化）可能引起窒息。这是使用液态氮时出现的一种可能性，因为氧的凝聚点约比液态氮高 $13^{\circ}K$ 。

表 4-2 某些激光器运转和产品所产生的气载污染物浓度的许可接触水平⁽¹⁾

气载污染物	污 染 源	污染物许可接触水平 ^(2,3)	
		8 小时加权平均值	许可的浓度上限
石棉	靶后障	2根纤维(长于5微米)/毫升	10根纤维(长于5微米)/毫升
溴	激光物质	百万分之0.1 (0.7毫克/米 ³)	—
二氧化碳	激光物质	百万分之5000 (9克/米 ³)	—
一氧化碳	激光物质	百万分之50 (55毫克/米 ³)	—
铜雾	金属靶	0.1毫克/米 ³	—
溴化氢	激光器放电管	百万分之3 (10毫克/米 ³)	—
碘	离子激光物质	—	百万分之0.1 (1毫克/米 ³)
氧化铁雾	金属靶	10毫克/米 ³	—
镍	金属靶	1毫克/米 ³	—
二氧化氮	液态氮	百万分之5 (9毫克/米 ³)	—
臭氧	闪光灯	百万分之0.1	—
硒化合物	液体激光物质	0.2毫克/米 ³	—
钽	线靶	5毫克/米 ³	—
氧化锌雾	靶	5毫克/米 ³	—

(1) 许可接触水平取自参考文献 8

(2) 就气体或蒸气来说, 百万分之几是指25℃, 760毫米汞柱时的体积

(3) 几毫克/米³是指一立方米空气中该微粒的毫克近似值

- **材料使用不当:** 用于处理或储存低温剂的材料, 必须从化学反应的观点仔仔细细地考虑其特性, 还要考虑

许多材料的低温效应，如变脆。所以容器材料选择不当，就存在着低温液漏出的潜在危险性。

- **毒性：**某些低温剂，如二氧化碳及氟化物本身就是有毒的，必须非常仔细处理。

这些危害绝大多数只出现在研究和研制的实验室。

五、噪声危害

在极大能量的脉冲激光器系统附近的电容器放电所产生的噪声，有时可高到危害水平。劳工部禁止人们受幅值声压超过 140 分贝水平的碰撞声和冲击声的影响。

六、电离辐射

当供给功率管的电压超过 15 千伏时，就可能产生 X 射线；然而大多数激光器系统所用电压都低于 8 千伏^[10]。可是某些高功率气体激光器^[11]却要用 Marx 发生器以得到高于 100 千伏的输入电压。

七、非激光束的光辐射危害

除了激光束本身之外，光泵灯和激光器放电管都可能产生有危害的紫外线。

八、爆炸危害

在高功率激光器系统工作时，次品光泵或电容器组就有可能爆炸。用于激光器设备中高压电弧灯或电丝灯也有类似潜在危害。应仔细评价激光器的靶的爆炸或粉碎效应。

如前已指出，低温剂的储存或使用，气压有可能逐渐增大到爆炸程度。

九、火灾

和激光器有关的火灾，一是直接来源于激光束，如果能量够大的话。一是来源于电装置。电路中各元件的选取应考虑到着火的危害，特别要注意电源电路的布线和变压器。

参 考 文 献

1. Franks, J. F. et al., "Electrical Hazards of Lasers", *Electro-Optical Systems Design*, pp. 20~23, Dec. 1975.
2. Dalziel, C. F., "The Threshold of Perception Currents", *AIEE Annual Index to Electrical Engineering*, Vol. 73, pp. 625~630, NY., July 1954.
3. Dalziel, C. F., "Deleterious Effects of Electric Shock", *CRC Handbook of Laboratory Safety*, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, pp. 521~527, 1971.
4. "American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z 136.1~1976", ANSI, NY., 1976.
5. Kouwenhoven, W. B., "Effects of Electricity on the Human Body", *AIEE Annual Index to Electrical Engineering*, Vol. 68, pp. 199~203, NY., March 1949.
6. Keesey, J. C., et al., "Human Thresholds of Electric Shock at Power Transmission Frequencies", *Archives of Environmental Health*, Vol. 21, pp. 547~552, Oct. 1970.
7. Goldman, L., et al., "Laser Laboratory Design and Personnel Protection from High Energy Lasers", *CRC Handbook of Laboratory Safety*, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, pp. 381~389, 1971.
8. "Title 29, Code of Federal Regulations, Subpart G-Occupational Health and Environmental Control, Section

1910. 13", OSHA Standards, 29 Jan. 1971.
9. "Federal Register, Safety and Health Regulations for Construction", Vol. 36, No. 75, Part I, Section 1518.52, BLS., Dept. of Labor, 17 April 1971.
 10. "Laser Safety Guide", 3rd Edition, LIA, Cincinnati, Jan. 1976.
 11. Geiges, K. S., "Electric Shock Hazard Analysis" AIEE Transactions Power Apparatus and Systems, No. 23, pp. 1329~1331, Feb. 1957.
 12. Price, L. D., "Codes and Standard Practices", Standard Handbook for Electrical Engineers, D. G. Fink, Editor, 10th Edition, Section 29, McGraw-Hill, 1972.
 13. Gagliano, F. P., "Lasers as a Thermal Energy Source for Metal Working", Engineering Publications, University Park, Pa., pp. 46~63, Aug. 1970.
 14. Ready, J. F., "Laser Applications in Metalworking", Engineering Publications, pp. 65~74, Aug. 1970.
 15. CRC Handbook of Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, 1971.

第五章 激光参数的测量

一、绪言

在评价激光器危害时具有重要意义的几种测量是：

- 激光器输出能量和功率
- 激光脉冲宽度
- 辐照度和辐射照射量
- 光束分布
- 光束发散度
- 脉冲重复率

这些参数将一一讨论，也要讨论一些实用的测量装置、检验技术及一些必须注意事项。

二、激光器输出能量和功率

用于测量激光器输出的技术有好几种，在这方面最成功的是量热器法。量热器常用作量子探测器之类的能量和功率测量装置的参照标准。

(一) 量热器技术

测量激光器输出能量的根本方法是，测量它引起的某物质的温度上升。设该物质吸收所有的能量，则温度的升高由下式给出：

$$\Delta T = \Delta Q / mC \quad (5-1)$$

式中 ΔT 是该物质温度的升高($^{\circ}\text{K}$)， m 是该物质的质量(克)， C 是该物质的比热(焦耳/克 $\cdot^{\circ}\text{K}$)， ΔQ 是所吸收的热量(焦

耳)。

探测一物质温度升高的主要方法是用两种不同金属的结，结的温度升高，将使结两边出现电压。这就是在热电偶中看到的典型作用。热电方法能够非常准确的测量温度，然而所要测量的电压确实太小了。例如铜-康铜结在 30°C 时温度每升高 1°C ，只产生 4 微伏的电压。

还应描述的重要技术有二：第一，若物质是金属，则由于激光的照射，其温度将升高，电阻也将随着升高。温度每升高 1°C ，所引起的电阻变化极小，因而需要用灵敏的电桥和电流计来测量。用热敏电阻作换能器，则温度每上升 1°C 时可得到大些的电阻变化。

检测一种物质温度上升的第二个另外的方法是，测量膨胀或物理尺寸的变化。将流体封闭于容器，再把流体因吸热而发生体积变化，变为毛细管内的线性变化，就能够借此测量少量的辐射能。

不管采用哪一种技术，都要密切注意有多少激光能量为物质所反射、吸收或透射。必须准确知道所吸收能量的百分数。即使就所吸收能量来说，可因辐射、对流和传导而失热，因辐射跃迁而再发光也构成一种损失。损失必须设法阻止或控制住，还应知道损失量。可用替换热量法来定标以查明上述诸因素的影响。例如把一个电阻加热器连于换能器，就能用它引入一定量的热量，然后把输出和已定标的热输入联系起来。

就上述三种方法来说，最广泛用作能量探测器的大概是热电技术，尽管其输出小到微伏级。不同于电桥电路，热电偶技术不需要在测量点放出什么热。

图 5-1 示热电偶激光能量计的基本原理图。入射热电偶

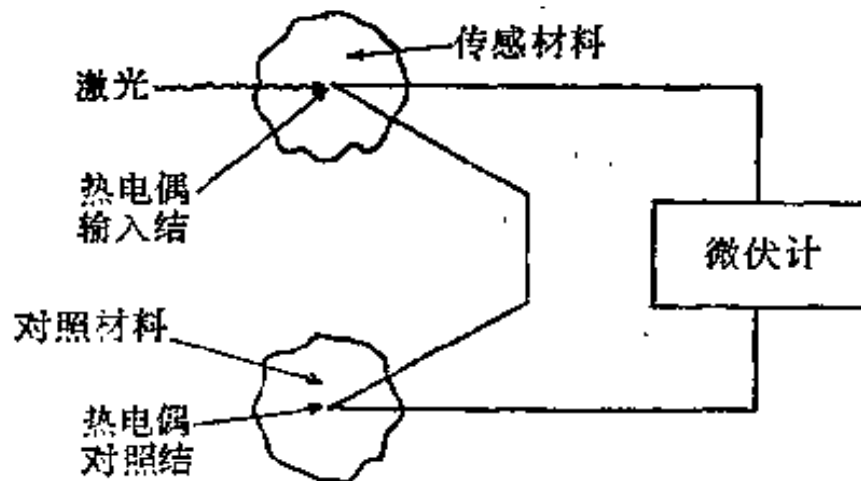


图 5-1 热电偶式激光能量计的基本原理图

结接受激光能量，使结的温度变化到 T_1 ，参照结的温度为 T_0 。能量计指出温度差 $(T_1 - T_0)$ ，没有温度差，就没有输出。这是热电偶能量测量技术的另一优点。

通常，在一个标准能量计中，输入孔既让环境能量又让激光能量达到传感器材料，但另一个同样的孔却只让环境能量落到参照材料上。在传感器材料上有一些热电偶，在参照材料上则有同样数目的热电偶。这两组热电偶是这样连接的，使得它们电压的方向相反。若能量计的这两部分有相同的环境温度，则输出电压之差为零。当激光器一脉冲光束送入输入孔后，绝大部分能量将被吸收，从而使传感器材料的温度高于参照的。输入侧的热电偶所产生的电压就大一些，因而在输出处就可测到净电压，热电偶的数目越大，则灵敏度越大。常用锥形接受器构成能量计的传感部分和参照部分。

例 5-1: 例如，需要计算一热电量热器的灵敏度。设锥体是银制的， $C = 0.056$ 卡/克·°K，每个质量为 10 克。热电偶由铬镍-镍铝镁制成，室温是 30°C，每升高 1°K，将产生 0.04 毫伏，每一锥体有 10 个热电偶，试计算吸收 1 焦耳脉冲时的输出电压多大？

1) 因为 1 卡约为 4 焦耳, 所以 1 焦耳的激光能为 0.25 卡。

2) 由式 (5-1): $\Delta T = \Delta Q / mC$
 $= 0.25 / 10 \times 0.056$
 $= 0.44^\circ K$

3) 每一热电偶相对参照锥体的电压输出:

$$\text{输出电压} = 0.44 \times 0.04 = 0.0176 \text{ 毫伏}$$

4) 总输出将是串联着的 10 个热电偶之和

$$\text{总输出电压} = 10 \times 0.0176 = 0.176 \text{ 毫伏}$$

所以量热器的灵敏度是每焦耳 176 微伏。20 个串联的热电偶的灵敏度将是每焦耳 352 微伏。

用量热器测量功率时, 一般不测量总热量, 而是测量从传感器材料出来的热流, 即用沿着出热路径的恒定温度差来指示功率。测量热流的热电传感器叫做热通量传感器^[1]。国家标准局已制成测量脉冲型和连续型激光器的功率和能量的、简单而可靠的量热器装置。市面也有好几种商品型号出售。

二) 量子探测器

迄今重点说明了最根本的量热器技术。然而对于 200~1100 毫微米光谱区, 光电发射型的、光电导型的和光生伏打型的探测器也有极高的灵敏度, 它们在激光器能量和功率计中也得到广泛采用。

光电发射型探测器的灵敏度, 在光谱的特定段, 随真空光电二极管或光电倍增管中的光阴极材料而变。固态硒的光电二极管可起着光生伏打型或光电导型探测器的作用。

有的表面受到光子碰击时就能发射出电子, 具有这种表

面的装置属**光电发射型**。它们可用来测量光谱的可见段。光电发射型中的光电倍增管能将入射光子转换成大得多、但成正比例的电流。辐射功率的计算依据下述三者：电流，光电发射面的光谱灵敏度以及所用窄带通滤光片的特性。灵敏度高和反应快是光电发射型的优点。然而它们不利于用来测量功率，因其光谱响应不均匀，加之光电发射表面的灵敏度也是不均匀的。

光生伏打型(太阳能电池)的半导体 P-N 结**光电二极管**，在吸收光子时会产生电压，使外电路出现电流。所以它们是自供能量的，可用作简单、灵敏、线性的功率指示器。

光电导型半导体需要能源供反向偏置电压，这种半导体受到光子照射时，其电阻值就会发生变化。它们能够高速测量激光的脉冲波形。

(三) 照相技术

照相辐射度学在激光器功率和能量测量中是重要的，可以在不同光谱段，测量光源的有效大小，也可评价光束分布。如果充分细致地进行操作，就可能估计辐射照射量 H (焦耳/厘米²)。

(四) 热电探测器

近几年来为商用而发展起来的这种探测器的核心是晶体，这种晶体感到温度变化时就表现出电效应。这些效应可用于探测和测量辐射。

热电探测器是一种电流源，其输出随探测器温度的变化率而变。这些探测器的响应极高，但对 DC 效应不敏感。它们已大量用于辐射度系统，包括广泛使用于激光器测量。

三、激光脉冲宽度

对于脉冲型激光器，一知道其脉冲能量，就可利用能量、功率和时间的基本公式算出该脉冲的功率，此时所涉及到的主要因素是脉冲宽度。

$$\text{能量} = \text{功率} \times \text{时间}$$

$$Q = \phi \times t$$

$$\text{焦耳} = \text{瓦} \times \text{秒} \quad (5-2)$$

要特别注意脉冲的形状。通常是将探测器所得到的脉冲输入示波器以监视脉冲。就图 5-2 所示的简单正方形或长方形脉冲来说， $Q = \phi t$ 这一关系式表明能量就是波形下的面积。

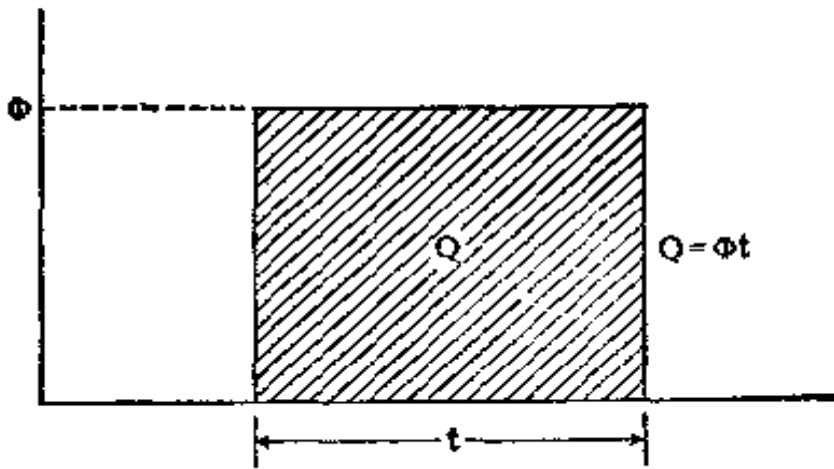


图 5-2 方形脉冲的能量-功率-时间的关系图

对于图 5-3 所示等腰三角形的脉冲，曲线下的面积是

$$Q = \frac{1}{2} \phi t$$

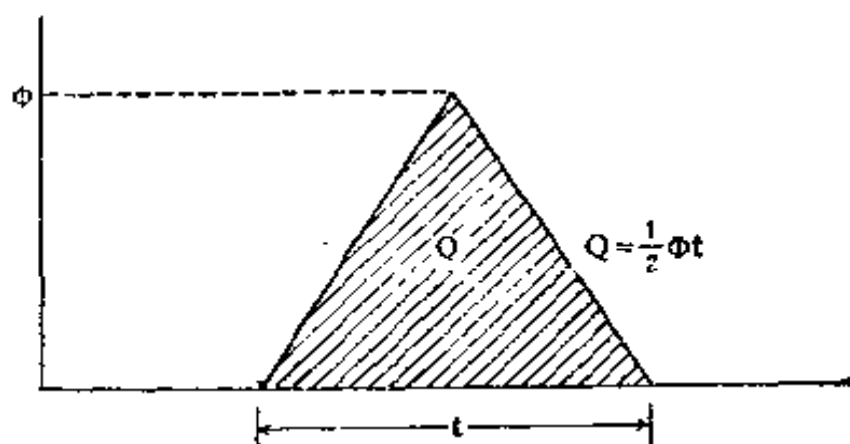


图 5-3 三角形脉冲的能量-功率-时间的关系图

在上两例中 ϕ 是幅值功率。对于一般的脉冲波形，能量-功率-时间的关系如图 5-4 所示：即

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \phi dt \quad (5-3)$$

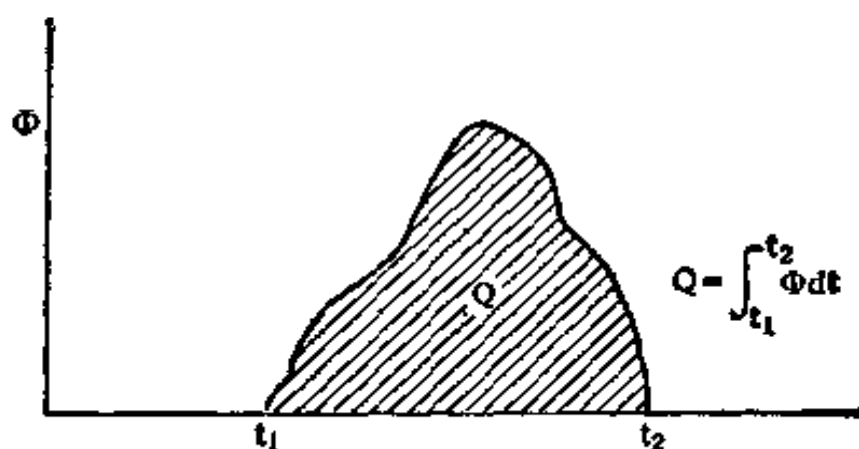


图 5-4 一般脉冲的能量-功率-时间的关系图

在典型测量中，脉冲的底端和顶部都是弯曲的，但三角形是脉冲的很好的近似。如图 5-5 所示，三角形近似高斯脉冲，而许多激光器所发出的就是高斯脉冲。三角形的边大致交于脉冲曲线的半高度处，脉冲宽度一般指这“半功率”或

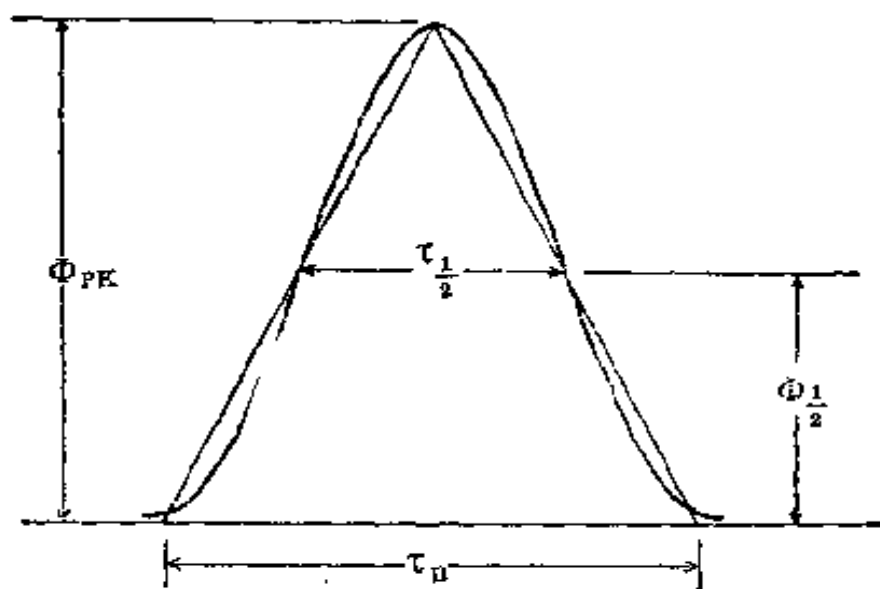


图 5-5 高斯脉冲近似三角形

“半幅值”两点之间测得的时间。

因为“半功率”脉冲宽度 $\tau_{1/2}$ 是脉冲三角形底 τ_B 的一半，于是得

$$Q = \frac{1}{2} \tau_B \phi_{PK} = \tau_{1/2} \phi_{PK}$$

在评价一个激光器的输出时，若其脉冲具有高斯波形，例如一个Q开关激光器，就可如下进行：

- 测量能量输出 Q (如用量热器)。
- 记录脉冲相对时间的波形(如用示波器和照相机)。
- 测量脉冲宽度 $\tau_{1/2}$ 。
- 计算幅值功率 ϕ_{PK} ，用 $\phi_{PK} = Q/\tau_{1/2}$ 公式

四、辐照度和辐射照射量

评价激光器的危害，需要两个主要的辐射度的参数：辐照度 E (瓦·厘米⁻²) 和辐射照射量 H (焦耳·厘米⁻²)。另一个也用到的参数是辐射率 L (瓦·厘米⁻²·球面度⁻¹)。关于这些

参数的其他知识以及对和它们有关的数学问题的求解见第六章。表 5-1 概括了在确定不同激光源(不同波长)对眼和皮肤的照射量时所必需的辐射度的参数。表中所用到的一些术语,如扩展光源、束内光束和 α_{min} 都将在第六章说明。

表 5-1 必需的辐射度的参数

激光源	眼			皮肤
	可见 0.4~1.4 毫微米	紫外 0.2~0.4 毫微米	红外 1.4~10 ³ 微米	全波长 0.2×10 ⁻³ ~ 10 ³ 微米
扩展光源 (观察角 > α_{min})	辐射率	辐照度	辐照度	辐照度
束内光源 (观察角 < α_{min})	辐照度	辐照度	辐照度	辐照度

五、光束分布

前面已提出一种简化近似法,以估计高斯或正常脉冲波形,即脉冲按正常方式随时间而变化。许多激光器光束中任一点的能量分布在时间上也具有高斯型。光束的高斯分布是单模激光器的特征。图 5-6 示激光器的四种不同的 TEM 模式。图 5-7 示激光束高斯分布单模辐照度截面。如果把曲线上的辐照度为幅值的 $1/e$ 的两点间的距离定义为光束直径,则光束总功率(或辐照度)除以这样定义的圆形光束面积,所给出的功率等于曲线所示的幅值。图 5-8 示通过孔的相对功率,而该孔是用光束的相对直径来表示的。两 $1/e$ 点间的距离的光束相对直径为 1.0,图中用 a 标记。两 $1/e^2$ (或 0.87) 点的距离,其相对光束的直径在图中用 $a\sqrt{2}$ 标记。

有些激光器制造商把功率为幅值 $1/e^2$ 的两点间的距离

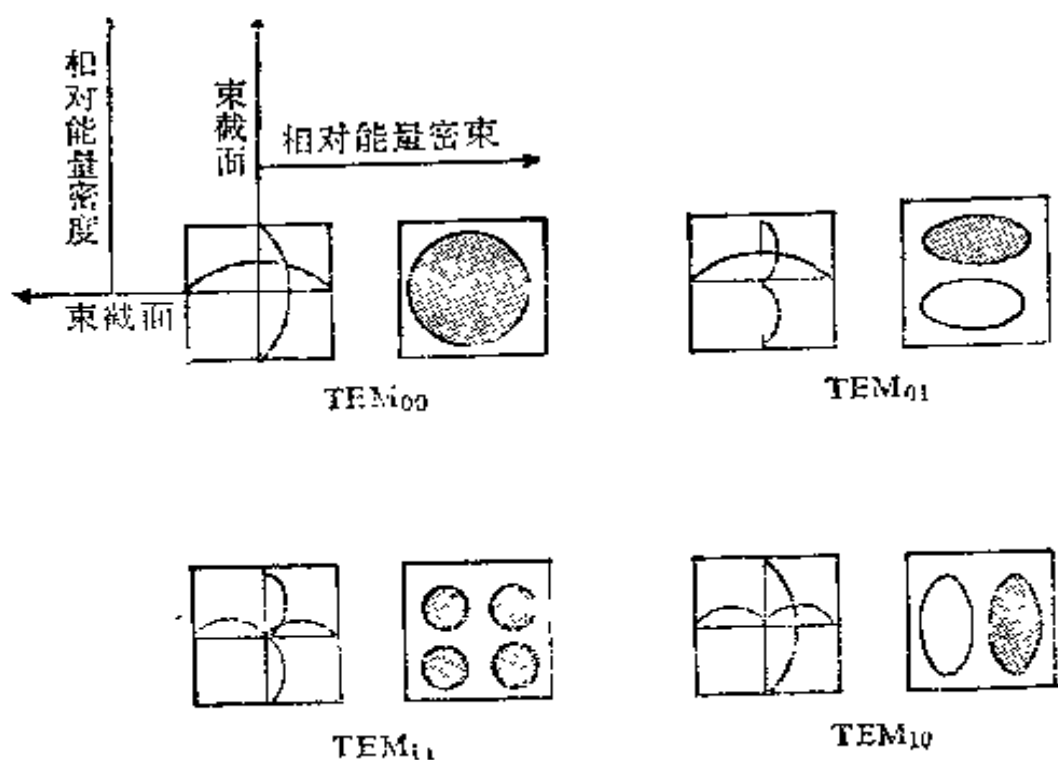


图 5-6 四种不同 TEM 模的束截面图

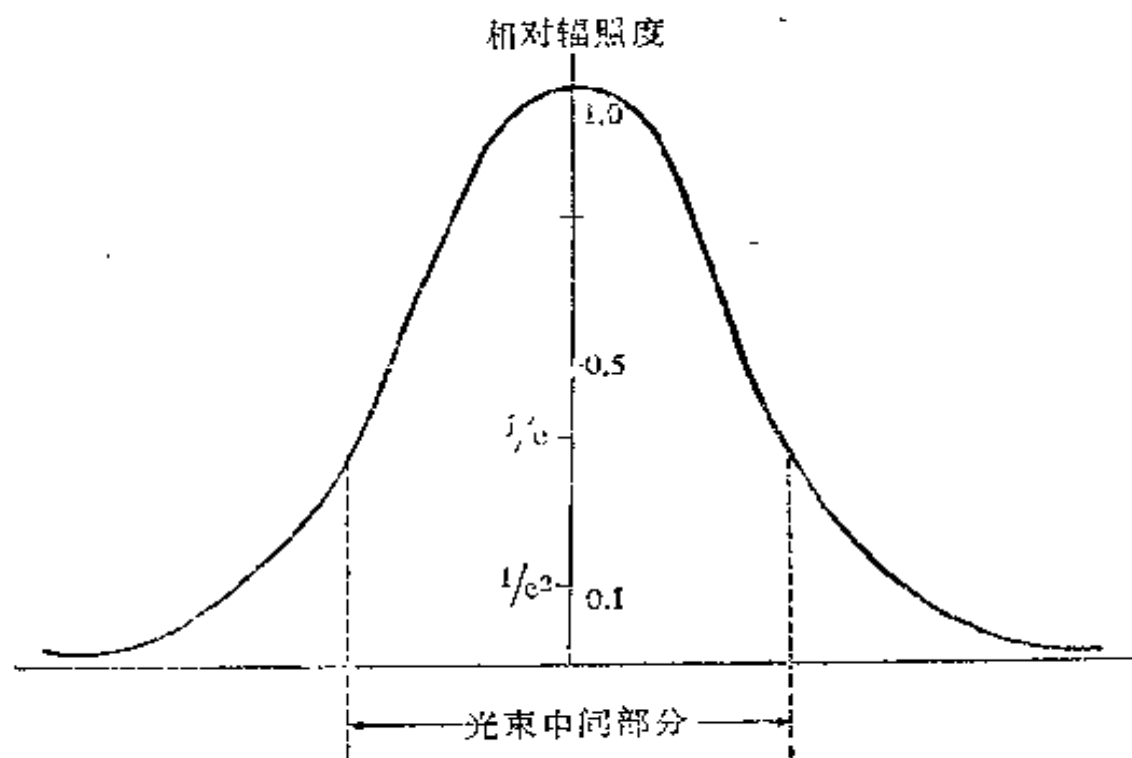


图 5-7 激光束高斯型辐照度截面图

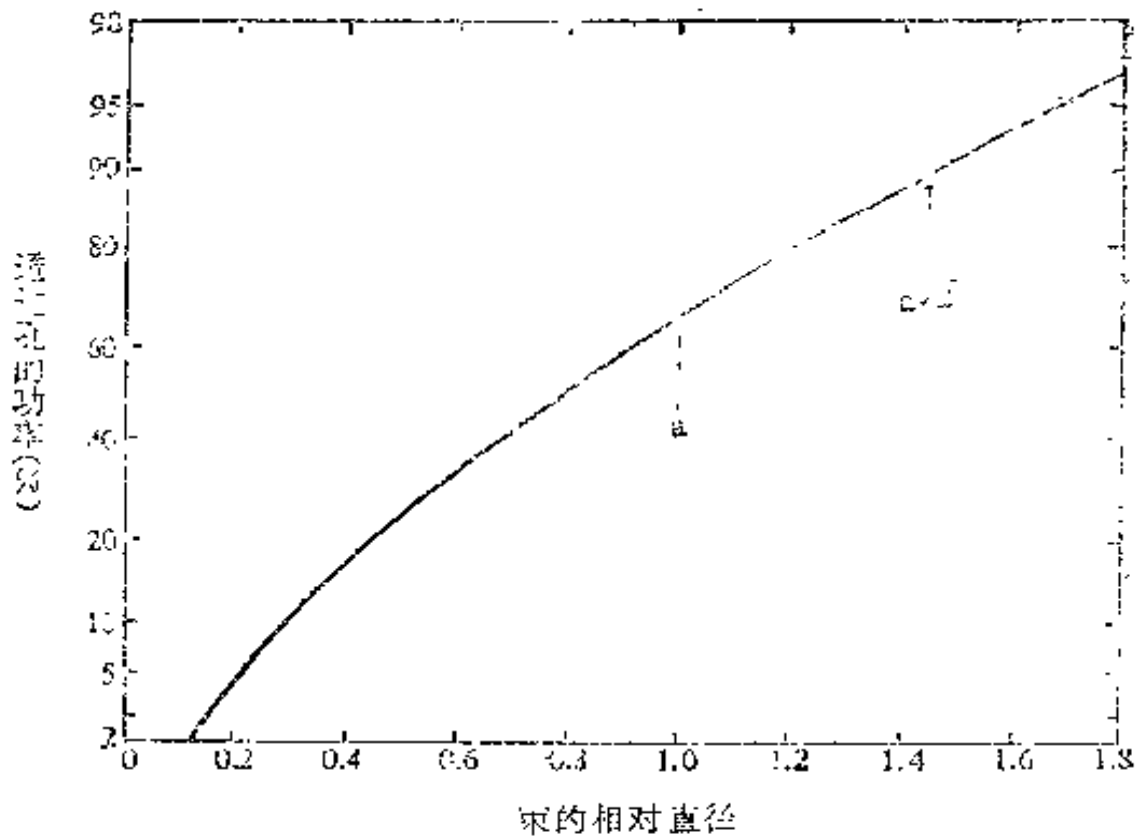


图 5-8 激光总功率通过圆孔的百分数, 单模激光器, 光束高斯分布

指定为光束直径。在这种情况下, 光束总功率(或辐照度)除以这样定义的圆形光束面积, 就只给出光束的平均功率, 这可能把危害的评价引入歧途。

还有些厂家不是把包含 0.87 面积的两 $1/e^2$ 点间的距离, 而是把包含 0.90 面积的两点间的距离定为束直径。为了安全目的而测定 MPE 时, 对于直径相当宽的光束(如上述 $1/e$ 直径), 就必须测得辐射照射量 H (焦耳·厘米⁻²) 或辐照度 E (瓦·厘米⁻²); 对于通过“限制孔径”则测定功率或能量。对于可见和近红外激光 (0.4~1.4 微米), 确定眼的照射量限时, 所用的限制孔径是 7 毫米, 和散瞳后的瞳孔相近⁽²⁾。对于紫外线和远红外线, 限制孔径是 1 毫米, 例外是

极远红外线 (0.1~1 毫米), 此时限制孔径为 1 厘米^[1]。

光束的断面并非总是单模, 如前已指出的 (图 5-6)。红宝石激光器就是一个典型的例子, 其光束断面常分裂为许多不对称的部分。当一个激光器的光束断面没有特别的形状时, 或者其形状总在迅速变动, 此时为了安全危害的评价, 来测定光束“直径”是不容易做到的。

ANSI 指出, 要测定一扩展光源的最大辐射率, 需把这一测量按如下方法平均:

- 相对一个用最小观察角 (α_{min}) 对边定义的锥形视场求平均。
- 或者用一个直径 1 毫米的圆形面, 只要它给出的辐射

表 5-2 (限制) 孔径最大直径, 用于求测平均值

测量	照射持续时间(秒)	波 长 (微米)			
		紫外线 (0.2~0.4)	可见光 和近红外线 (0.4~1.4)	中远红外线 (1.4~10 ²)	亚毫米波 (10 ² ~10 ³)
眼的 MPE	10 ⁻⁸ ~10 ³	1毫米	7毫米	1毫米	11毫米
皮肤的 MPE	10 ⁻⁸ ~10 ³	1毫米	1毫米	1毫米	11毫米
激光器 分级*	10 ⁻⁹ ~10 ³	80毫米	80毫米	80毫米	80毫米

*为了激光器分级的目的, 而测量总输出功率和输出能量时所用的限制孔径, 即用来区分所有的连续型激光器和一至三级的脉冲型激光器。80毫米那一种只在下述情况下使用: 激光束本来是准备用光学仪器 (常用眼镜除外) 观察的, 或者激光安全人员认为存在着偶而用光学仪器观察激光输出的可能性以及观察这种辐射的时间长到造成危害。不然的话, 就应该用为眼或皮肤 MPE 列出的孔径。

为了光学观察仪器 (会聚光束) 这一特定情况, 表中列出的皮肤和眼的 MPE 的孔径, 适用于该装置的出射光束。本表取自参考文献 3。

率大一些就可以。

当扩展源有不均匀的断面时(如其断面上有一些“热点”),则应测量的是辐射率最大的面。

表(5-2)给出最近的、关于孔径的相当详尽数据。在测量和计算辐照度和辐射照射量时,应使用正确的孔径。孔径是辐照度和辐射照射量求平均值时所用的最大圆形面积。

当整个光束通过限制孔径时就不必对光束大小和不均匀性进行校正。对于宽光束,危害评价测量应在光束给出最大读数处进行。

六、光束发散度

基本上,把一个激光器功率计置于光束中相距 r 厘米的两处,就可测量出光束发散度。在每一处用同一孔径测定以厘米为单位的光束直径(如 $1/e$ 点),确定光束直径变量 Δd ,再用下式算出光束发散度 ϕ

$$\phi = \Delta d/r \quad (5-4)$$

注意发散度一般以毫弧度为单位。

七、脉冲重复率

关于脉冲重复率,最好的根据是厂家最初提出的数据,或是从重复率可调的开关盘读出的。如果有问题,可用示波器测量,即数出给定时基上的脉冲数,辅以对示波器波纹的拍照。传感器输运的计数器组也可用于完成“单位时间的事件”的技术。

八、几种测量装置举例

图 5-9 是一典型的激光功率测量装备的示意图。激光源

是一种常用的激光器，即激光波长为 1.06 微米的、掺钕的钇铝石榴石激光器。图中所用的一件特别仪器是 EG&G 580/585。一个带有窄光束接收器的能量收集器，将能量输入给仪器，其输出信号则送到幅值信号读出器。需要两个校准因子：580/585 仪器的是 K_1 ，能量收集器的是 K_2 ，读出器给出的是每脉冲安培数，经 $K_1 K_2$ 校准后得每脉冲焦耳数。这仪器需要厂家非经常性的定期校准。其光谱响应是从 0.2 到 3.2 微米。

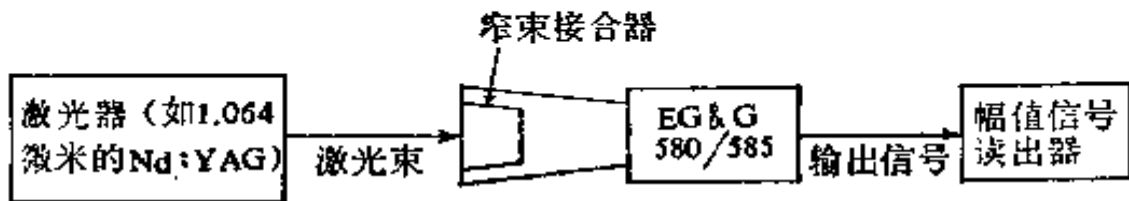


图 5-9 激光器功率测量

基本的辐射计是 580 型辐射计。频率响应是按照一毫微秒说明的。仪器内有范围显示装置，EG&G 公司把 580/585 列为光谱辐射计，因为在 580 型辐射计的探测器头之外增加了光学元件和一个光栅单色器。

其他标准装置包括 Scientech 公司的 364 型功率计和一个孔径 4 吋的吸收量热器，其读数是每脉冲多少焦耳。Scientech 公司的量热器可用电源（替代法）定标。Molelectron 公司也有一些仪器，其中许多是用热电效应量激光功率和能量。

参 考 文 献

1. Zimmerer, R. W., "Theory and Practice of Thermoelectric Laser Power and Energy Measurement".

2. "Laser Safety Guide", 3rd Edition, LIA, Cincinnati, Ohio, Jan. 1976.
3. "American National Standards for the Safe Use of Lasers Z-136. 1-1976" ANSI, NY., 1976.
4. Marshall, S. L., Editor, "Laser Technology and Applications", McGraw-Hill, 1968; Chapter 8, "Laser Instrumentation".
5. Heard, H. G., "Laser Parameter Measurements Handbook", John Wiley & Sons, Inc., NY., 1968.
6. Sliney, D. H., "Instrumentation and Measurements of Laser Radiations", AGARD Lecture series No. 79, NATO, 1973.

第六章 防护标准

一、绪言

提供激光照射人眼和皮肤时的判据的防护标准，其值在已知有害水平之下。这些值是根据实验研究中最可靠的数据中得出的。

在《美国关于激光器安全使用的国家标准》单行本中所包含的内容，是现时最全面的防护标准。对这些标准只消做稍许更动，就可用它们作为“广大用户防护标准”的基础，后一标准已指定由美国卫生教育和福利部的职业安全及卫生管理局（OHSA）制订。因此，本章所提出的防护标准，就是以美国国家标准协会（American National Standards Institute, ANSI）的资料（即本章参考文献 1）为基础的。

ANSI 以及其他机构把最大安全照射量，称之为最大许可照射量或 MPE 水平，本手册也将使用这一术语。

MPE 的测量有时相当复杂，例如一个激光器同时发射许多波长相差很大的谱线，或在连续背景上附有一些脉冲。本章提出了一些例题以及它们的解答，以帮助读者获得处理激光器安全的 MPE 方面的技巧。

本章的主要论题是：

- 关于束内和扩展光源照射时应考虑的因素
- 束内观察—最大许可照射量（MPE）
- 扩展光源观察—最大许可照射量（MPE）
- 激光照射皮肤时的最大许可照射量（MPE）

- 对可见和近红外激光的 MPE 校正因子及特殊的处理技术
- 重复脉冲激光器 MPE 的测定
- 红外激光的 MPE 校正因子
- 用于评价激光器各种应用的公式、因素和例题

二、关于束内和扩展光源照射时应考虑的诸因素

眼可能在两种情况下受到激光束的照射：即束内观察和扩展光源观察。对每一种观察，都规定了适当防护标准或 MPE 水平。

下面将对束内观察和扩展光源观察作出一些简单图象的说明，还将对全章用到的一些数学符号下定义，以逐步展开问题和公式。

(一) 简图和符号

图 6-1、6-2 和 6-3 以及下述符号的定义都取自本章参考文献 2。

a = 激光器出射光束的直径 (厘米)。

d_e = 眼瞳孔直径 (大约可从 0.2 变到 0.7 厘米)。

D_{min} = 扩展物体的最小尺寸 (厘米)。

D_o = 光学系统射出瞳孔直径 (厘米)。

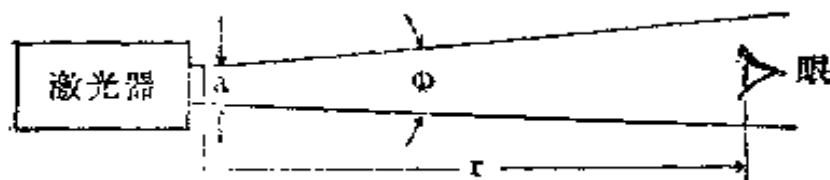


图 6-1 束内观察——直视原光束

D_L = 激光束在光程 r 处的直径 (厘米)。

D_0 = 光学系统物镜的直径 (厘米)。

e = 自然对数的底。

H = 脉冲激光器在光程 r 处的辐射照射量 (焦耳·厘米⁻²)。

E = 连续激光器在光程 r 处的辐照度 (瓦·厘米⁻²)。

E_0 = 出射光束辐照度, 光程为零, 单位同 E 。

H_0 = 出射光束的辐射照射量, 光程为零, 单位同 H 。

f = 人眼的有效焦距 (1.7 厘米)。

F = 脉冲重复频率 (PRF), 单位是秒⁻¹ 或赫。

G = 人眼用光学仪器时视网膜的辐照度 (或辐射照射量) 和不带时的比值。

L = 扩散光源的辐射率 (瓦·厘米⁻²·球面度⁻¹)。

L_p = 扩展光源累积辐射率 (焦耳·厘米⁻²·球面度⁻¹)。

P = 光学系统的放大率。

Q = 脉冲激光器的总辐射能输出 (焦耳)。

r = 从激光器到观察者 (或漫射目标) 的距离 (厘米)。

r_1 = 从激光器目标到观察者的距离 (厘米)。

r_{1max} = 当套用扩展光源的防护标准时, 从激光器目标到观察者的最大距离 (厘米)。

r_e = 从激光器弯曲目标到观察者的有效距离 (厘米)。

R = 镜式表面的曲率半径 (厘米)。

S = 扫描激光器的扫描率 (每秒扫过眼的次数)。

T = 一系列脉冲的总照射时间 (秒)。

T_i = 一系列脉冲累积的“发射时间”(TOTP)。

t = 单脉冲的宽度 (秒)。

T_{max} = 分级持续时间, 即激光设计中固有的每天最长的持续照射时间。

α = 扩展光源所对的观察角 (弧度)。

α_{min} = 一光源能应用扩展光源 MPE 时所对的最小观察角 (弧度)。

μ = 空气对特定波长的衰减系数 (厘米⁻¹)。

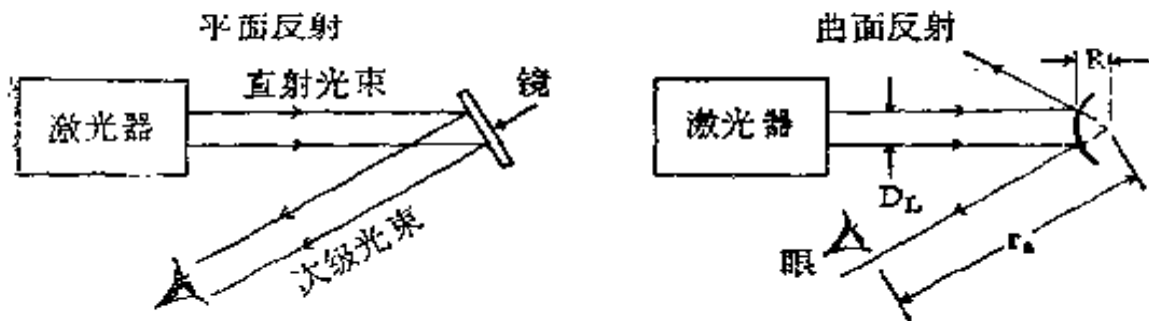


图 6-2 束内观察镜式反射的次级光束

ϕ = 出射光束发散度 (弧度)。

Φ = 连续型激光器的总辐射功率 (或辐射通量) 输出, 或是重复脉冲型激光器的平均辐射功率 (瓦)。

ρ_i = 漫射物体在波长 λ 时的光谱反射比。

γ = 滤光器的透射比。

θ_s = 扫描激光器的最大扫描角 (弧度)。

θ_v = 观察角 (见图 6-3)。

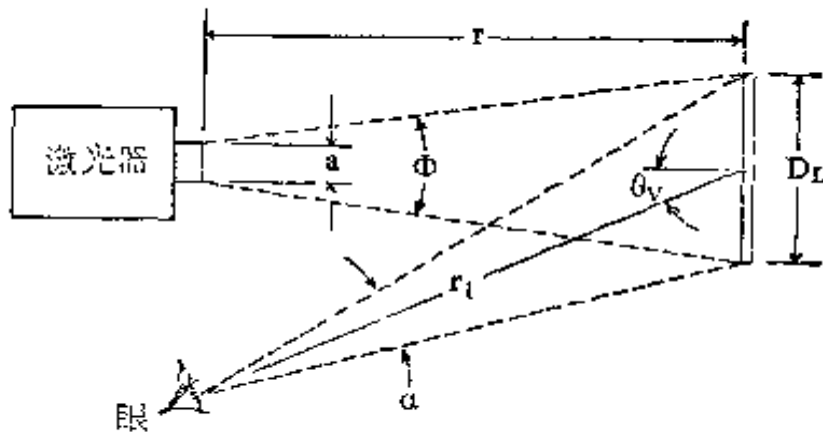


图 6-3 扩展光源观察——正常漫反射

(二) 最小观察角 (α_{min})

角 α_{min} 是用以检查对某一给定环境下, 观察距离 r_1 是否近到能用扩展光源防护标准。图 6-3 给出 r_1 , D_L , θ_v 和 α_{min} 的几何关系。从一般情况来看^[1,2], 对于 $\theta_v \leq 0.37$ 弧度 ($21'$),

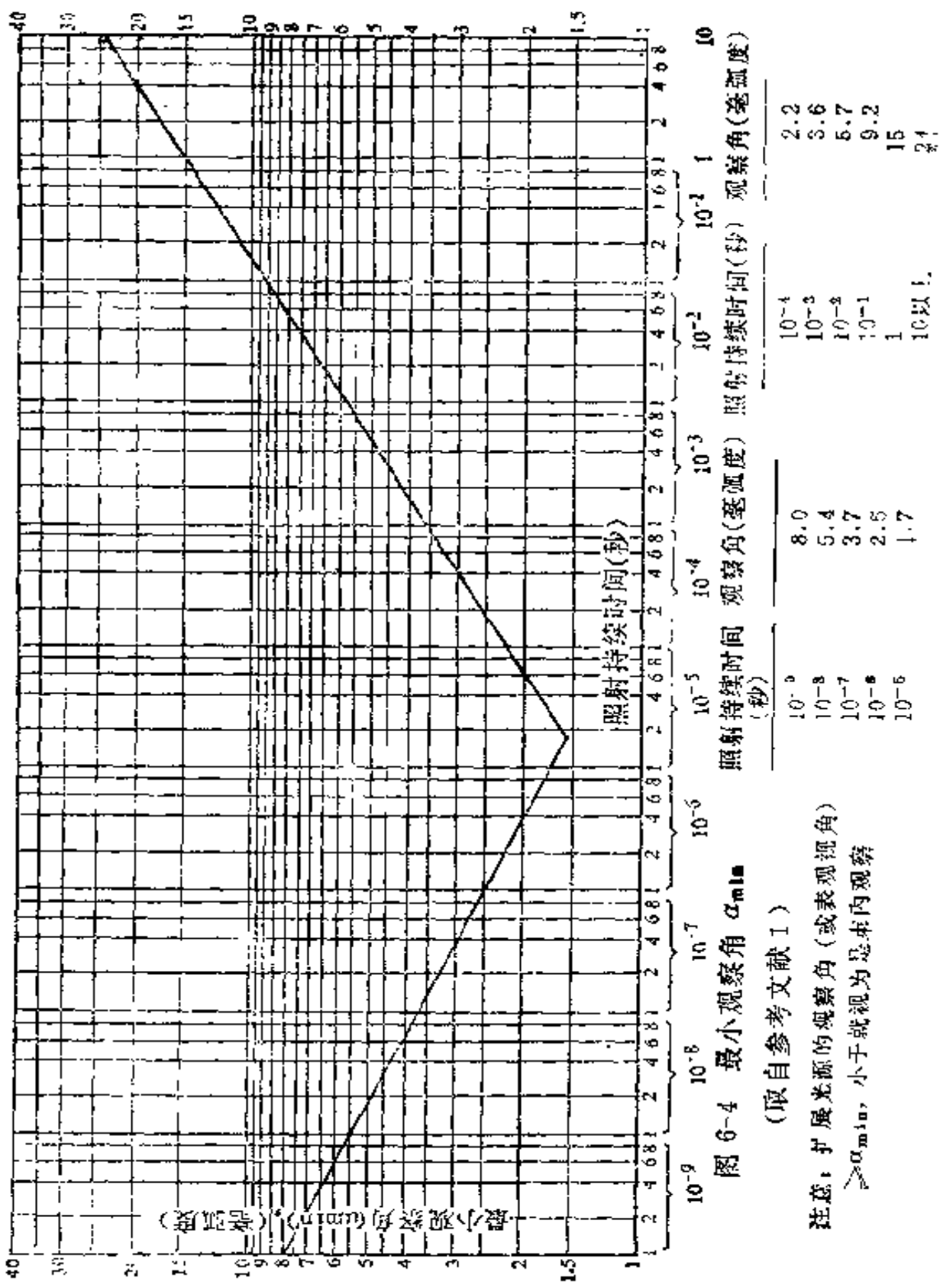


图 6-4 最小观察角 α_{min}
(取自参考文献 1)

注意：扩展光源的观察角（或表现视角）
 $\geq \alpha_{min}$ ，小于就视为是车内观察

$$\alpha = \frac{D_L \cdot \cos\theta_v}{r_1} \quad (6-1)$$

由此可得 $\alpha_{min} = D_L \cdot \cos\theta_v / r_{1max}$ (6-2)

当光源所对的观察角等于或大于图 6-4 所示的 α_{min} 时，用扩展光源的防护标准。当小于 α_{min} 时，就用束内观察的 MPE 水平。可见最小观察角是区分束内观察和扩展光源观察的“表观视角”。应注意， α_{min} 是随照射持续时间而变的。

(三) 束内观察源

下面是几种不同的束内观察源：

- 能够在视网膜上形成小象的激光器直射准直光束。
- 能够在视网膜上形成小象的、反射激光器准直光束的平面或曲面。
- 受准直激光束照射的漫反射表面，或激光器（或激光二极管组）的出射能量，条件是任一视网膜象的视角小于图 6-4 所示的 α_{min} 。

(四) 扩展源的现象

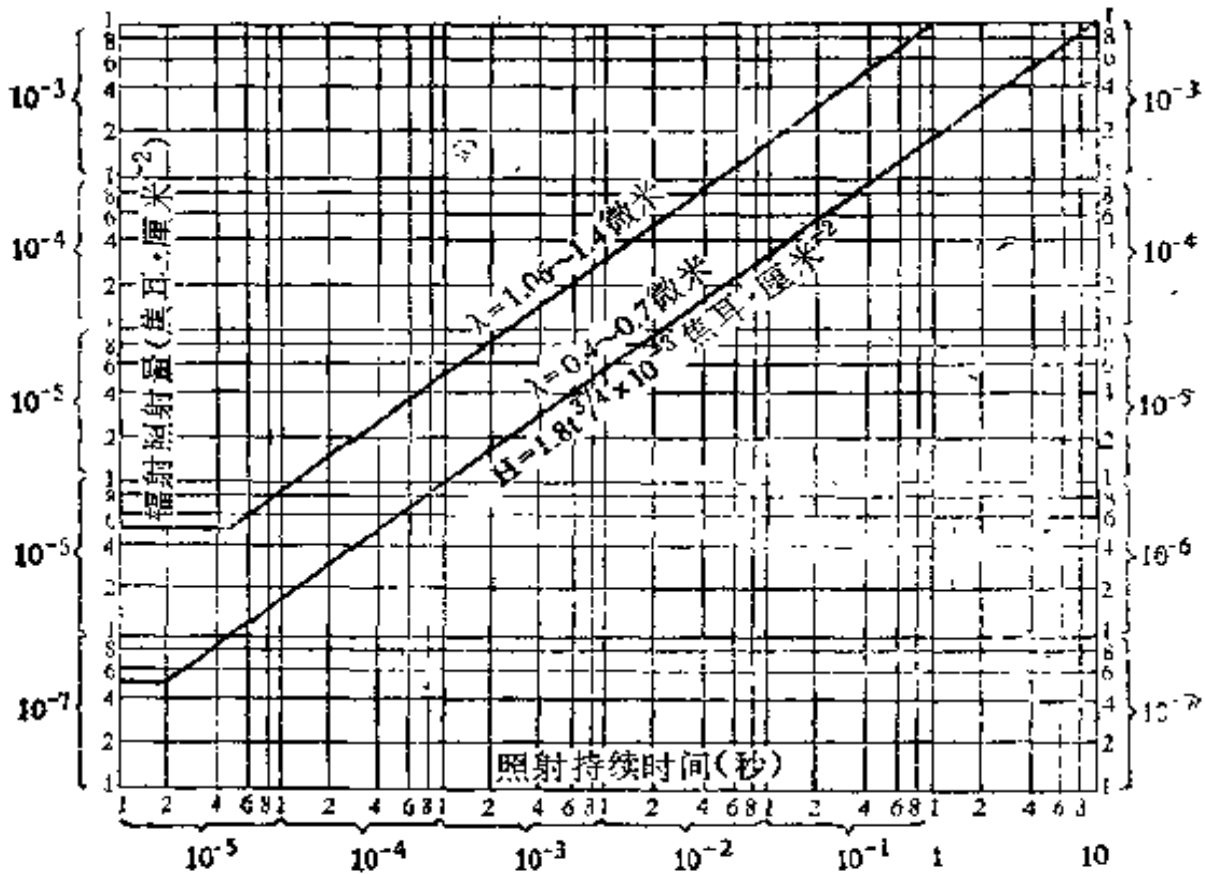
激光束照射的漫反射表面，或激光器（或激光二极管组）的出射能量，都可看作是扩展源，条件是任一视网膜象的视角等于或大于图 6-4 所示的 α_{min} 。

三、束内观察时的最大许可照射量

表 6-1 给出束内观察时，人眼受到连续激光或脉冲激光直接照射时的最大许可照射量（MPE）。图 6-5，6-6，6-7 通过图示防护标准给表 6-1 以补充。

本章下文还将给这些 MPE 值提出不同的校正因子。

例 6-1 用以说明怎样确定束内观察单个激光脉冲时的 MPE



照射持续时间 (秒)	辐射照射量 ($\lambda = 0.4 \sim 0.7$ 微米)
$10^0 - 2 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^{-4}	$1.8 \times 10^{-6} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^{-3}	$1.0 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^{-2}	$5.7 \times 10^{-5} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^{-1}	$3.2 \times 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
1	$1.8 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
$10 - 10^4$	$1.0 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
$> 10^4$	$10^{-6} \text{ W} \cdot \text{cm}^2$

图 6-5 束内观察(1) 诸脉冲或连续可见激光 ($\lambda = 0.4 \sim 1.4$ 微米)、人眼受到直接照射时的 MPE (焦耳·厘米⁻²) 和照射时间的关系曲线

观察角小于图 6-4 的 α_{\min}
注意: 0.7~1.4 微米波长的校正因子, 查表 6-5

值。

例 6-1 可见激光的单个脉冲: 红宝石激光器发射波长为 694.3 毫微米、脉冲宽度为 0.8 毫秒的单个脉冲, 试求人眼受到该脉冲束内照射时的防护标准 (MPE)。

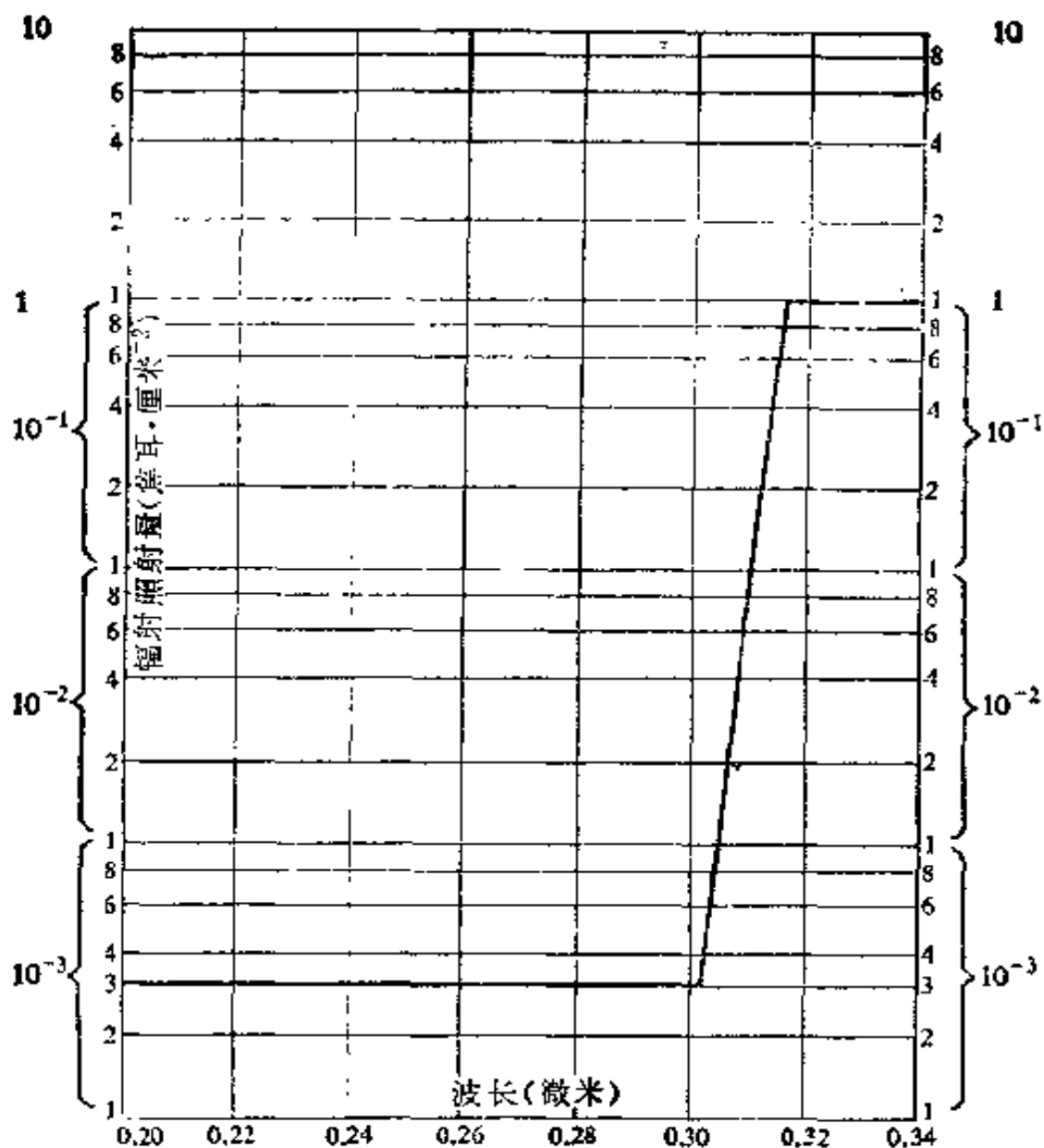


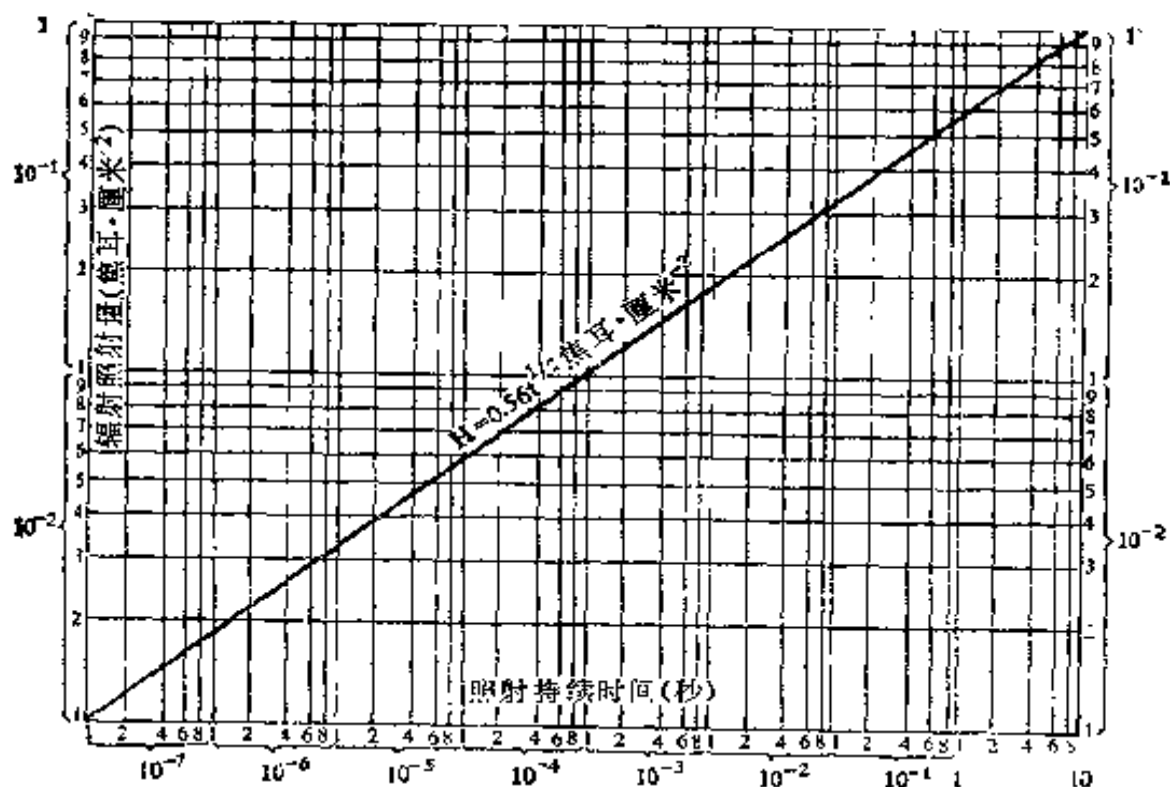
图 6-6 人眼受到紫外激光直射、持续时间为 $10^{-2} \sim 3 \times 10^4$ 秒时的MPE(焦耳·厘米⁻²)

1) 已知 $\lambda = 694.3$ 毫微米

$$t = 0.8 \text{ 毫秒} = 8 \times 10^{-4} \text{ 秒}$$

2) 解法 1: 直接由图 6-5 找出标准值

由图可见,当单个脉冲的照射时间为 8×10^{-4} 秒时,辐射照射量 (H) 约为 8×10^{-6} 焦耳·厘米⁻²。



照射持续时间(秒)	辐射照射量
$10^0 \sim 10^7$	$10 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^0	$1.8 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^5	$3.2 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^4	$5.6 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^3	$1.0 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^2	$1.8 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10^1	$3.2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
1	$5.6 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
10	$1.0 \text{ J} \cdot \text{cm}^2$
>10	$0.1 \text{ W} \cdot \text{cm}^2$

图 6-7 人眼受到诸脉冲或连续红外激光 ($\lambda = 1.4 \sim 10^3$ 微米) 直接照射时的 MPE (焦耳·厘米⁻²)

3) 解法 2:

- 由表 6-1 查激光照射时间为 8×10^{-4} 秒 (即 1.8×10^{-5} 到 10 秒) 的 MPE 得

$$H \approx 1.8t^{3/4} \times 10^{-3} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$= 1.8(8 \times 10^{-4})^{1/4} \times 10^{-8} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$= 8.56 \times 10^{-9} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

∵ $E \cdot t = H$, 所以 MPE 也可用辐照度 E 表示

$$E = H/t = 8.56 \times 10^{-9} / 8 \times 10^{-4}$$

$$= 1.07 \times 10^{-2} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

表 6-1 激光束直射人眼 (束内观察) 时的
最大许可照射量

波长 λ (微米)	照射持续时间 t (秒)	最大许可照射量 (焦耳·厘米 ⁻²)
紫外线		
0.200~0.302	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	3×10^{-3}
0.303	//	4×10^{-3}
0.304	//	6×10^{-3}
0.305	//	1.0×10^{-2}
0.306	//	1.6×10^{-2}
0.307	//	2.5×10^{-2}
0.308	//	4.0×10^{-2}
0.309	//	6.3×10^{-2}
0.310	//	1.0×10^{-1}
0.311	//	1.6×10^{-1}
0.312	//	2.5×10^{-1}
0.313	//	4.0×10^{-1}
0.314	//	6.3×10^{-1}
0.315~0.400	$10^{-9} \sim 10$	$0.56t^{1/4}$
0.315~0.400	$10 \sim 10^3$	1.0
0.315~0.400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	$1 \times 10^{-2} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$

波长 λ (微米)	照射持续时间 t (秒)	最大许可照射量 (焦耳·厘米 ⁻²)
----------------------	-------------------	-----------------------------------

计算和测量的注意事项：限制孔径1毫米。对于上列整个紫外区，角膜的总辐照度在任何情况下都不得大于1瓦·厘米⁻²。

可见光和近红外线 (见图6-5)

0.400~0.700	$10^{-5} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	5×10^{-7}
“	$1.8 \times 10^{-5} \sim 10$	$1.8t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.400~0.550	$10 \sim 10^4$	10×10^{-3}
0.550~0.700	$10 \sim T_1$	$1.8t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.550~0.700	$T_1 \sim 10^4$	$10 \times C_B \times 10^{-3}$
0.400~0.700	$10^4 \sim 3 \times 10^4$	$C_B \times 10^{-5}$ 瓦·厘米 ⁻²
0.700~1.059	$10^{-5} \sim 1.8 \times 10^{-5}$	$5 \times C_A \times 10^{-7}$
“	$1.8 \times 10^{-5} \sim 10^5$	$1.8C_A t^{3/4} \times 10^{-3}$
1.060~1.400	$10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}
“	$5 \times 10^{-5} \sim 10^5$	$9t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.700~1.400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	$320C_A \times 10^{-5}$ 瓦·厘米 ⁻²

计算和测量的注意事项：限制孔径7毫米。从表6-5查校正因子。

远红外线

1.4~10 ³	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	10^{-2}
“	$10^{-7} \sim 10$	$0.56t^{1/4}$
“	>10	0.1 瓦·厘米 ⁻²

计算和测量的注意事项：从表5-2查孔径，从第8节查校正因子并看图6-7

注：本表的 MPE 的单位，未注明的都是焦耳·厘米⁻²

C_A = 图6-9中的 $CF_{8.5.2}$

$C_B = 1$ ，当 $\lambda = 0.400 \sim 0.550$ 微米时 (见图3-10)

$C_B = 10^{0.13(\lambda - 0.550)^2}$ ，当 $\lambda = 0.550 \sim 0.700$ 微米时

$T_1 = 10$ 秒，当 $\lambda = 0.400 \sim 0.550$ 微米时 (见图6-10)

$T_1 = 10 \times 10^{0.20(\lambda - 0.550)^2}$ 秒，当 $\lambda = 0.550 \sim 0.700$ 微米时。

四、观察扩展光源时的最大许可照射量

表 6-2 给出眼受到扩展光源脉冲或连续激光照射时的防护标准或 MPE 值。应注意所有这些 MPE 值是指角膜处的值。图 6-7 和 6-8 通过图示防护标准给表 6-2 以补充。

表 6-2 观察激光束的漫反射或扩展光源时的最大许可照射量

波长 λ (微米)	照射持续时间 t (秒)	最大许可照射量 (MPE)
紫外线		
0.200~0.302	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	3×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.303	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.304	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.305	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	10×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.306	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.6×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.307	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	2.5×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.308	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4.0×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.309	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6.3×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.310	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.0×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.311	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.6×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.312	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	2.5×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.313	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4.0×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.314	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6.3×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10^{-9} \sim 10$	$0.56t^{1/4}$ 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10 \sim 10^3$	1.0 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	1.0×10^{-3} 瓦·厘米 ⁻²

计算和测量的注意事项：限制孔径 1 毫米。

波长 λ (微米) 照射持续时间 t (秒) 最大许可照射量 (MPE)

可见光 (见图6-3和6-8)

0.400~0.700	$10^{-6} \sim 10$	$10t^{1/3}$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.400~0.550	$10 \sim 10^4$	21 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.550~0.700	$10 - T_1$	$3.83t^{3/4}$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.550~0.700	$T_1 - 10^4$	$21C_B$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.400~0.700	$10^4 \sim 3 \times 10^4$	$2.1C_B t^{10^{-3}}$ 瓦·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹

计算和测量的注意事项: 限制孔径 1 毫米或 α_{min} (取大值), 看图 6-8 并由表 6-5 查校正因子。

近红外线 (见图6-3和6-8)

0.700~1.400	$10^{-8} \sim 10$	$10C_A t^{1/3}$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.700~1.400	$10 \sim 10^3$	$3.83C_A t^{3/4}$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
0.700~1.400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	$0.64C_A$ 瓦·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹

计算和测量的注意事项: 限制孔径 1 毫米或 α_{min} (取大值), 见图 6-8 并由表 6-5 查校正因子。

远红外线

$1.4 \sim 10^3$	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
$1.4 \sim 10^3$	$10^{-7} \sim 10$	$0.56t^{1/4}$ 焦耳·厘米 ⁻²
$1.4 \sim 10^3$	> 10	0.1 瓦·厘米 ⁻²

计算和测量的注意事项: 从表 5-2 查孔径, 从第 8 节查校正因子并见图 6-8。

注:

C_A = 图 6-9 中的 $C_{F_{3.6.2}}$

$C_B = 1$, 当 $\lambda = 0.400 \sim 0.550$ 微米时, (见图 6-10)

$C_B = 10^{1.15(\lambda - 0.550)^2}$, 当 $\lambda = 0.550 \sim 0.700$ 微米时

$T_1 = 10$ 秒, 当 $\lambda = 0.400 \sim 0.550$ 微米时, (见图 6-10)

$T_1 = 10 \times 10^{0.20(\lambda - 0.550)^2}$ 秒, 当 $\lambda = 0.550 \sim 0.700$ 微米时

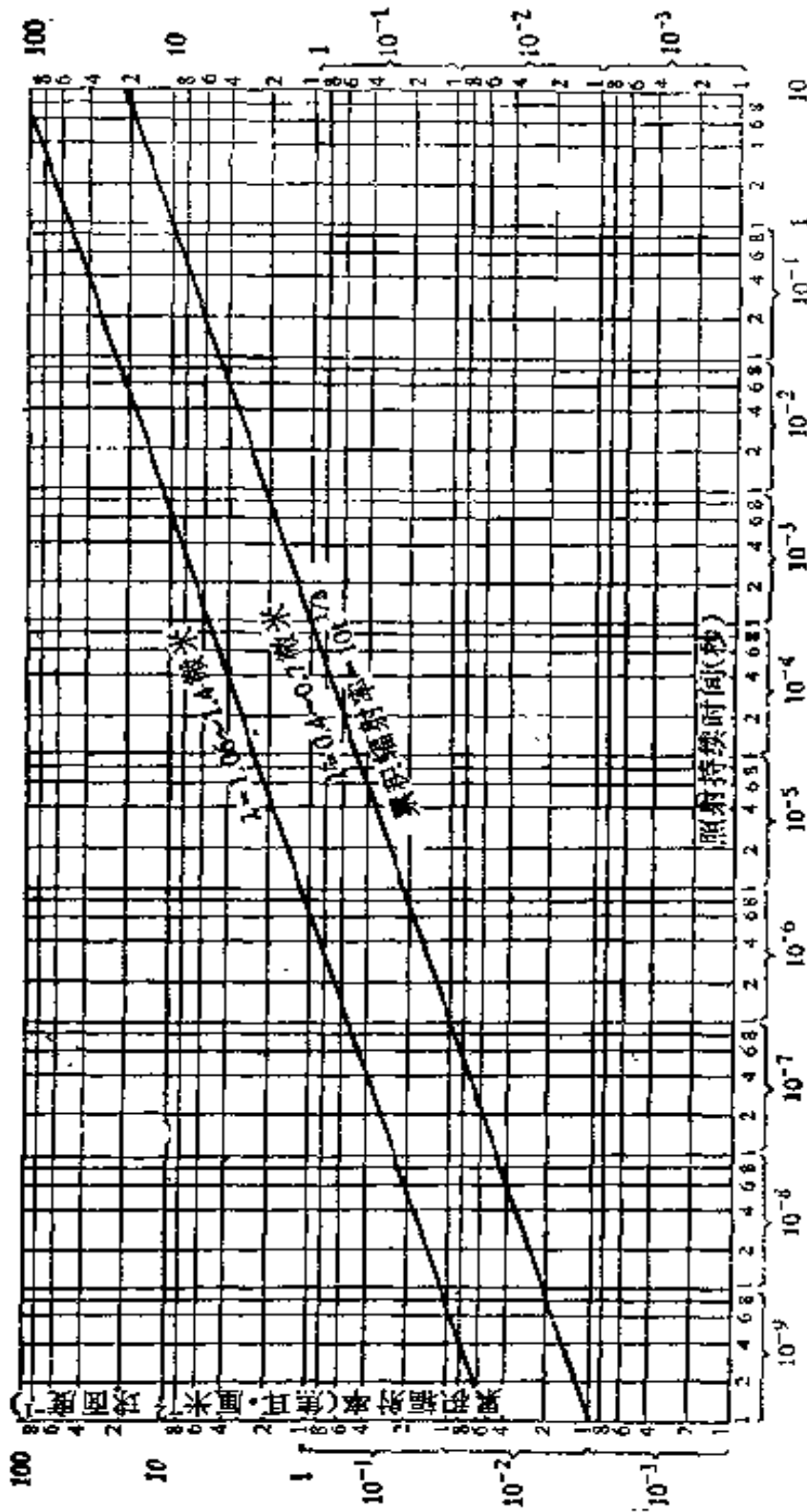


图 6-8 扩展源发射的波长为 1.06~1.4 和 0.4~0.7 微米、诸脉冲连续激光直射人

眼时的 MPE 值

注意：关于 $\lambda=1.06\sim 0.7$ 微米时的校正因子，查表 6-5 和图 6-12

照射持续时间(秒)	累积辐射率 ($\lambda=0.4\sim 0.7$ 微米)	照射持续时间(秒)	累积辐射率 ($\lambda=0.4\sim 0.7$ 微米)
10^{-8}	$10^{-2} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	10^{-3}	$1.0 \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$
10^{-5}	$2.2 \times 10^{-2} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	10^{-2}	$2.2 \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$
10^{-7}	$4.7 \times 10^{-2} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	10^{-1}	$4.7 \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$
10^{-6}	$1.0 \times 10^{-1} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	1	$10 \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$
10^{-5}	$2.2 \times 10^{-1} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	$10 \sim 10^4$	$22 \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$
10^{-4}	$4.7 \times 10^{-1} \text{J}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$	$> 10^4$	$2 \times 10^{-3} \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{Sr}^{-1}$

本章下文将给这些 MPE 值提出不同的校正因子。下述诸例用以说明怎样确定眼受到扩展光源一个激光脉冲照射时的 MPE 值。

例6-2 试求可用扩展光源 MPE 时的最大距离： 设一发射可见光的激光器，其出射光束的直径 a 为 1 厘米，光束发散度 ϕ 为 10^{-4} 弧度，激光脉冲宽度为 20 微秒。现有一漫射目标离激光器出射孔的距离（即目标距离 r ）为 1 米，试求目标可作为扩展光源时的最大距离 r_1 （即目标到观察眼的最大距离）。

- 1) 已知 $a = 1$ 厘米
 $\phi = 10^{-4}$ 弧度
 $t = 20$ 微秒 $= 2 \times 10^{-5}$ 秒
 $r = 1$ 米 $= 100$ 厘米

- 2) 由图 6-3 可得出目标直径 D_L 和出射光束直径 a 及其发散度 ϕ 有下述关系

$$D_L = a + r\phi \quad (6-3)$$

- 3) 目标距离小时， D_L 几乎等于 a 。例如，在 $r = 100$ 厘米， $\phi = 10^{-4}$ 弧度， $a = 1$ 厘米时，由上式得

$$D_L = 1 + 100 \times 10^{-4} = 1.01 \text{ 厘米} \\ \approx 1 \text{ 厘米}$$

- 4) 由图 6-4，可找出 $t = 2 \times 10^{-5}$ 秒的 α_{\min} ，得

$$\alpha_{\min} = 1.6 \text{ 毫弧度} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ 弧度}$$

- 5) 由式 6-2，并假设直视，即 $\theta_v = 0^\circ$ ，则

$$r_{1\max} = \frac{D_L \cdot \cos\theta_v}{\alpha_{\min}} = \frac{1 \times 1}{1.6 \times 10^{-3}} \\ = 625 \text{ 厘米}$$

6) 当目标和眼的距离小于 625 厘米时, 则光源可看作是扩展源。由图 6-8, 可见激光的 $\lambda = 400 \sim 700$ 毫微米, 照射时间为 2×10^{-5} 秒, 此时的 MPE 约为

$$\text{MPE} \approx 2.8 \times 10^{-1} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{球面度}^{-1}$$

7) 当距离大于 625 厘米时, 则用束内观察的 MPE 值。可见激光的波长为 $400 \sim 700$ 毫微米, 而照射时间为 2×10^{-5} 秒, 由图 6-5 可找出

$$\text{MPE} \approx 5 \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

例 6-3 漫反射体作为扩展光源的 MPE, 其值用入射束的辐照度 E 或辐射照射量 H 表示: 设例 6-2 的激光射到反射比为 100% 的白色漫反射目标上, 试求用 H 表示的 MPE。

1) 已知光谱反射比 $\rho_{\lambda} = 100\% = 1.0$

$$\text{累积辐射率 } L_p = 2.8 \times 10^{-1} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{球面度}^{-1}$$

(取自例 6-2 第 6 步)

$$2) \text{ 由文献 1, 2 查得 } L_p = H \cdot \rho_{\lambda} / \pi \quad (6-4)$$

$$\text{或者} \quad H = \pi L_p / \rho_{\lambda} \quad (6-5)$$

$$= 3.14 \times 2.8 \times 10^{-1} / 1.0$$

$$= 0.88 \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

3) 另一解法

- 从例 6-2 得照射时间 $t = 2 \times 10^{-5}$ 秒

- 从表 6-3, 在 10^{-6} 和 10^{-4} 秒之间用内插法求第四项的值, 得

$$\frac{6.8 \times 10^{-1} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}}{H}$$

$$= \frac{2.2 \times 10^{-1} (\text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{球面度}^{-1})}{2.8 \times 10^{-1} (\text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{球面度}^{-1})}$$

$$H = 0.87 \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

表 6-3 可见光 ($\lambda = 0.4 \sim 0.7$ 微米) 的典型漫反射情况*

照射时间 t (秒)	角膜 ⁺ 的 MPE (焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹)	最小角 [*] α_{min}	许可入射到漫反射面的激光辐射 照射量 $MPE \times \pi / \rho$ (焦耳·厘米 ⁻²)		
			反射比 $\rho = 100\%$ $\rho = 50\%$ $\rho = 10\%$		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
10^{-9}	1.0×10^{-2}	8.0	3.1×10^{-2}	6.3×10^{-2}	3.1×10^{-1}
10^{-8}	2.2×10^{-2}	5.4	6.8×10^{-2}	1.4×10^{-1}	6.8×10^{-1}
10^{-7}	4.6×10^{-2}	3.7	1.5×10^{-1}	2.9×10^{-1}	1.5
10^{-6}	1.0×10^{-1}	2.5	3.1×10^{-1}	6.3×10^{-1}	3.1
10^{-5}	2.2×10^{-1}	1.7	6.8×10^{-1}	1.4	6.8
10^{-4}	4.6×10^{-1}	2.2	1.5	2.9	15
10^{-3}	1.0	3.6	3.1	6.3	31
10^{-2}	2.2	5.7	6.8	14	68
10^{-1}	4.6	9.2	15	29	150
1	10	15	31	63	310
$10 \sim 10^4$	22	24	68	140	680

* 对于 $\lambda = 0.7 \sim 1.4$ 微米, 应选用表 6-5 所给出的适当校正因子。

+ 从图 6-8 可看出这些值的图示。

± 对于扩展光源, 其观察角 $\geq \alpha_{min}$ 。

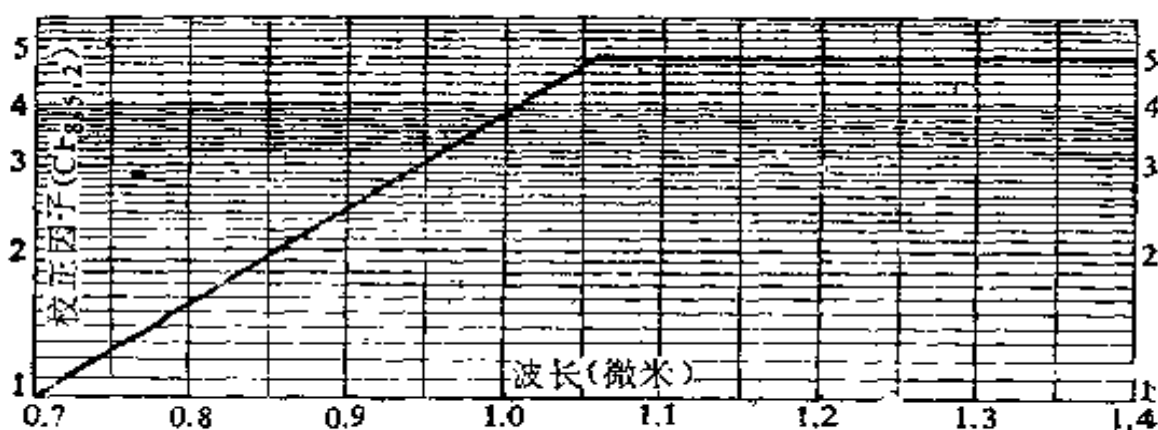


图 6-9 对波长 0.7~1.4 微米的校正因子 (CF_{s,s,2})

注意: $CF_{s,s,2} = C_A$ (见表 6-1 和 6-2)

五、激光束照射皮肤时的最大许可照射量

表 6-4 给出皮肤受到激光束照射时的防护标准和 MPE 值。本章下文将提出这些 MPE 值的校正因子。

表 6-4 皮肤受到激光照射时的最大许可照射量

波长 λ (微米)	照射持续时间 t (秒)	最大许可照射量 (焦耳·厘米 ⁻²)
紫外线		
0.200~0.302	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	3×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.303	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.304	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6×10^{-3} 焦耳·厘米 ⁻²
0.305	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.0×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.306	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.6×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.307	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	2.5×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.308	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4.0×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.309	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6.3×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
0.310	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.0×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.311	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	1.6×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.312	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	2.5×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.313	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	4.0×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.314	$10^{-2} \sim 3 \times 10^4$	6.3×10^{-1} 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10^{-2} \sim 10$	$0.561 t^{0.75}$ 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10 \sim 10^3$	1.6 焦耳·厘米 ⁻²
0.315~0.400	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	1.0×10^{-3} 瓦·厘米 ⁻²

计算和测量注意事项：限制孔径 1 毫米。对于上列整个紫外区，角膜的总辐照度在任何情况下都不得大于 1 瓦·厘米⁻²。

可见和近红外线

0.4~1.4	$10^{-2} \sim 10^{-7}$	2×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
---------	------------------------	--

波长 λ (微米)	照射持续时间 t (秒)	最大许可照射量 (焦耳·厘米 ⁻²)
0.4~1.4	$10^{-7} \sim 10$	$1.1t^{1/4}$ 焦耳·厘米 ⁻²
0.4~1.4	$10 \sim 3 \times 10^4$	0.2瓦·厘米 ⁻²
计算和测量注意事项: 限制孔径 1 毫米		
远红外线		
$1.4 \sim 10^3$	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	1×10^{-2} 焦耳·厘米 ⁻²
$1.4 \sim 10^3$	$10^{-7} \sim 10$	$0.56t^{1/4}$ 焦耳·厘米 ⁻²
$1.4 \sim 10^3$	> 10	0.1瓦·厘米 ⁻²
计算和测量注意事项: $\lambda = 1.4 \sim 100$ 微米时限制孔径 1 毫米 $\lambda = 0.1 \sim 1$ 毫米时限制孔径 11 毫米		

六、可见和近红外激光 MPE 校正因子和特殊处理技术

对于多波长的激光脉冲,有些波长和照射时间既要校正又要特殊处理,才能正确测定 MPE 值,表 6-5 给出上述诸因素一览表。

表 6-5 可见和近红外激光 MPE 校正因子和特殊处理技术

项	校正项目	波 段	校正和处理技术	应用图表	附 注
1	限制孔径(瞳孔)不大于 7 毫米	400~1400 毫微米	对于束内或扩展源的 MPE 不需要校正	表 6-1 和 6-2	是最保守的方案

项	校正项目	波 段	校正和处理技术	应用图表	附 注
2	波长校正	a) 全波长	a) 对人眼和皮肤的 MPE 不用校正, 下述例外	表 6-1, 6-2, 6-4	
		b) 0.55~0.7 微米	b) 用图 6-10 的适当校正因子 C_B 增大 MPE 值	图 6-10, 表 6-1, 6-2	
		c) 0.70~1.06 微米	c) 用图 6-9 的适当校正因子 $CF_{0.5,0.2} = C_A$ 增大 MPE 值	图 6-9, 表 6-1, 6-2	
		d) $1.4 > \lambda > 1.06$ 微米	d) $\lambda > 0.7$ 微米时, 用 5 乘 MPE, 见图 6-9	图 6-9, 表 6-1, 6-2	
3	照射时间的校正	a) 1.0~1.4 微米	a) 照射时间 = $10^{-9} \sim 10^{-4}$ 秒时, 用 2 乘 MPE	图 6-11, 6-12	
		b) 0.4~1.4 微米	b) $t = 1 \sim 3 \times 10^4$ 秒时, 束内或扩展源 MPE 分别由图 6-11, 6-12 给出, 校正因子已包括在内		
4	多脉冲列, 脉冲和扫描激光器多次照射和重复频率小于 1 赫 (用于列中的脉冲)	全波长	<p>多脉冲或多次照射列的 MPE (功率或能量) 的下列限制</p> <p>a) 一系列中的单个脉冲的 MPE, 能量或功率不大于可比脉冲的 MPE, 如本章前面已指出的 (如束内、扩展源和皮肤的 MPE)</p> <p>b) 整个脉冲列的 MPE, 能量或功率的平均值不大于一个脉冲的 MPE, 条</p>		束内、扩展源或皮肤的照射的 MPE 的单位是辐照度 E (瓦·厘米 ⁻²) 或辐射照射量 H (焦耳·厘米 ⁻²) 扩展源照射的 MPE 单位还要用辐射率 L (瓦·厘米 ⁻² ·球

项	校正项目	波 段	校正和处理技术	应用图表	附 注
			<p>件是该脉冲的持续时间等于脉冲列的持续时间</p> <p>c) 一系列中脉冲群的MPE, 不不大于一脉冲的MPE, 条件是该脉冲的持续时间等于脉冲群的(方法和b项一样)</p> <p>d) $t < 10$ 微秒的单个脉冲的MPE:</p> <p>本章前面提出: 束内、扩展源和皮肤的、受到单个脉冲照射的MPE应按图6-13减小</p> <p>e) $t > 10$ 微秒的单个脉冲的MPE</p> <p>一系列中单个脉冲的MPE由总“发射”脉冲TOTP的MPE如下算出, 总“发射”脉冲的持续时间等于列中所有单个脉冲的和。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 一系列中单个脉冲的H或L_p的MPE缩减为TOTP的MPE除以列中的脉冲数 • 另一限制是脉冲列的E不能大于b)项的平均E, 单个脉冲的MPE必须缩小到此限之内 	图6-13	<p>面度⁻¹)</p> <p>或累积辐照率L_p (焦耳·厘米⁻²·球面度⁻¹)</p>
5	重复频率 小于1赫	全波长	MPE应认为24小时的和		

七、重复脉冲激光器的 MPE 的测定

为了测定重复脉冲激光器一次照射适用的 MPE，需要知道下述诸参数的值：

- 波长
- 脉冲重复频率 (PRF)
- 单个脉冲的持续时间
- 一次全照射的持续时间

解决过程要求进行 (下述步骤 1 和 2 定义的) 两种分析，然后根据第三步作出结论。

第一步 单个脉冲的限制：第一步分析要求，以下述限制作为计算的基础，即单个脉冲的照射量不能大于脉冲宽度超过 10^{-6} 秒的单个脉冲的 MPE (见表 6-5 的 4a 和 4c 项)，而且也不能大于，就宽度等于或小于 10^{-6} 秒的脉冲 (见表 6-5 的 4d 项) 来说，这单个脉冲的 MPE 乘以图 6-13 的校正因子。

第二步 平均辐照度和平均辐射照射量的限制：平均功率限制要求计算全脉冲列的平均辐照度或总辐射照射量，用以和适用于全照射的持续时间 (见表 6-5 的第 4e 项) 的 MPE 进行比较。

第三步 结论：比较第一步和第二步的分析，然后选取总照射量最低的值作为限制，它提供了最保守的方案。

八、红外激光的 MPE 的校正因子

在 $1.4 \sim 10^3$ 微米的红外波段，能够用于进行 MPE 校正的数据不多。对于 1.54 微米的激光，由表 6-1 和表 6-2 分别给出的束内观察和扩展源观察时的 MPE，在观察时间短于

1 微秒时，应各乘以 100。然而，就现有的资料来说，把它外推到其他波长是证据不足的。

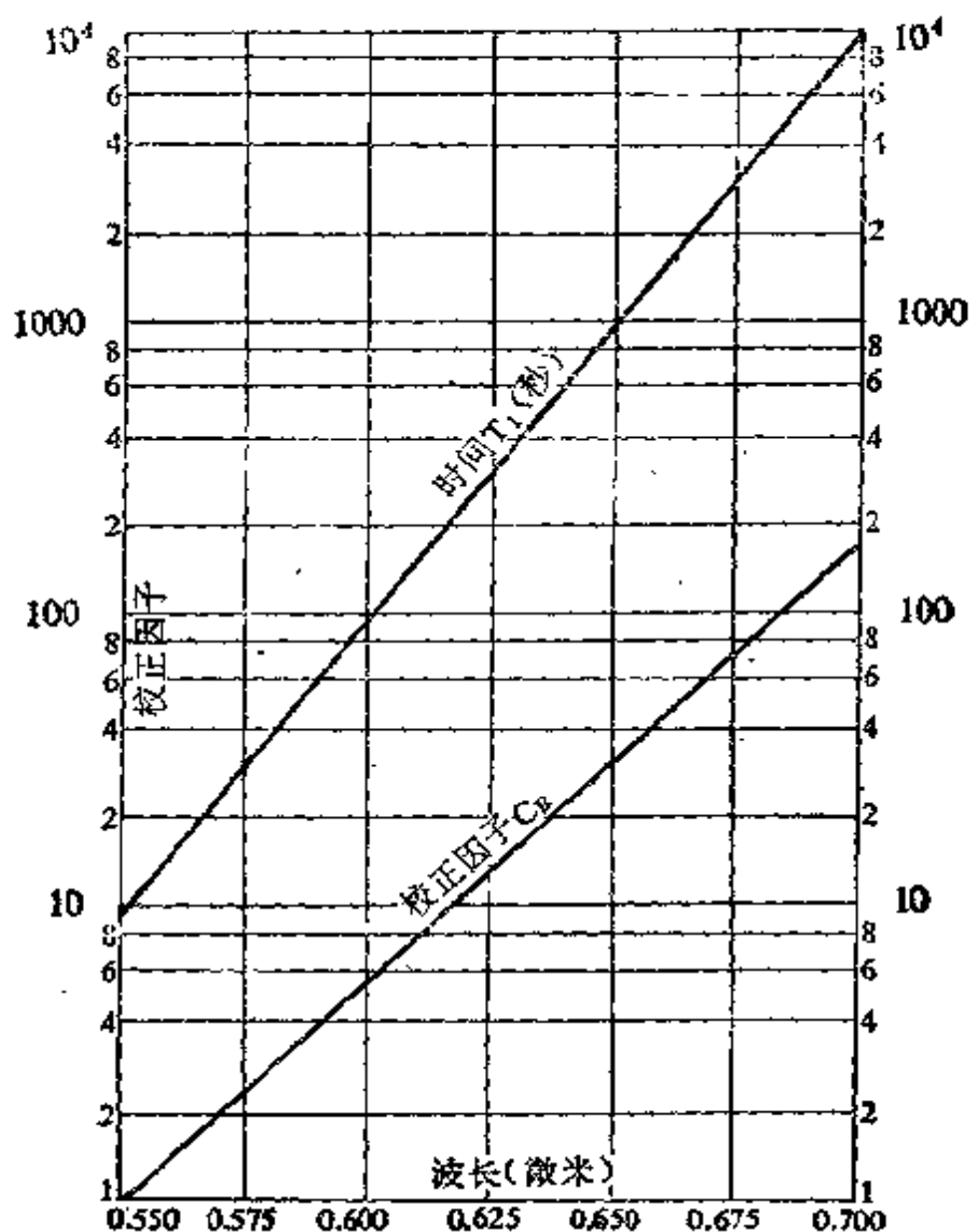


图 6-10 波长 = 0.55~0.70 微米时的校正因子

注意：看表 6-1 和 6-2

例 6-4 近红外激光单个脉冲：掺钕的钇铝石榴石激光器 (Nd-YAG) 的波长为 1.064 微米，设其脉冲持续时间为 8×10^{-4} 秒，试求人眼在束内直视时的 MPE。

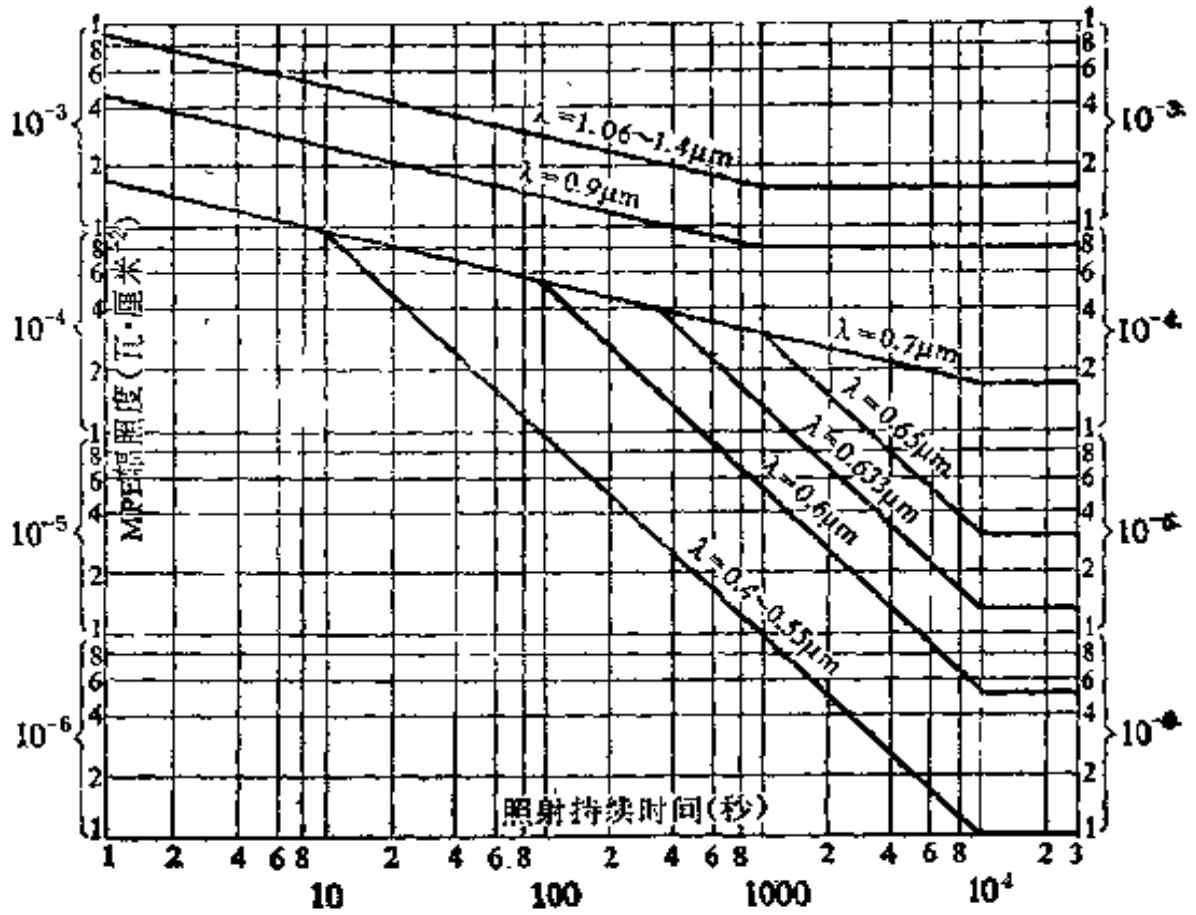


图 6-11 束内观察时眼的 MPE 和照射时间及波长的函数关系

1) 因为脉冲持续时间 (8×10^{-4} 秒) 和例 6-1 红宝石激光器的一样, 单个脉冲 MPE 的差别只在于波长校正因子。

2) 从图 6-9 查得束内观察时, 这激光器 1.064 微米波长的 MPE 是例 6-1 可见激光器的五倍。

3) 由例 6-1 得

$$\text{MPE}_H = 8.56 \times 10^{-8} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$E = 1.07 \times 10^{-2} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

4) 所以, 对于 Nd-YAG 激光器

$$\text{MPE}_H = 5 \times 8.56 \times 10^{-8}$$

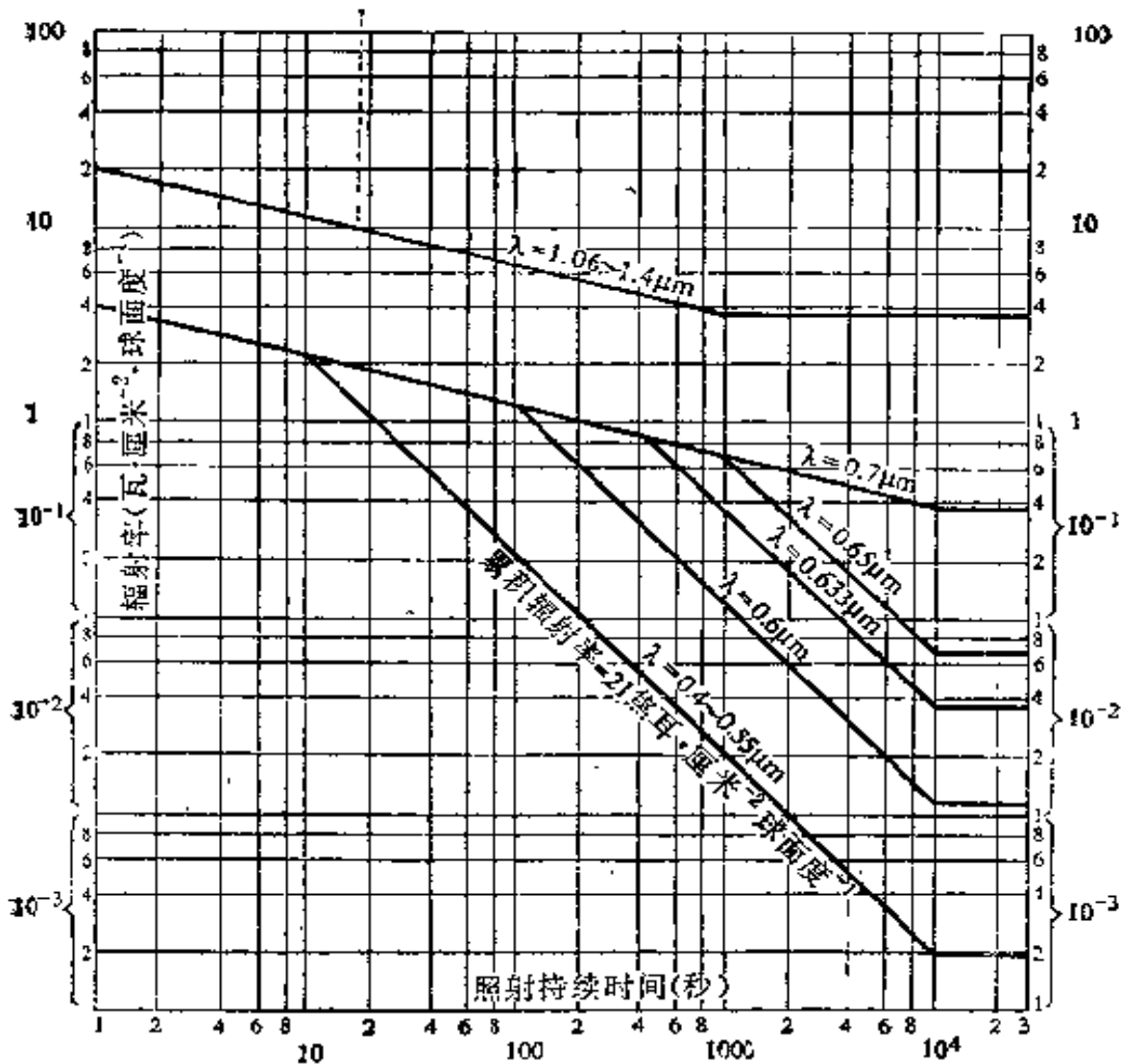


图 6-12 扩展光源时眼的 MPE 和波长及照射时间的函数关系

$$= 4.28 \times 10^{-5} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$E = 5 \times 1.07 \times 10^{-2}$$

$$= 5.35 \times 10^{-2} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

例6-5 近红外激光 MPE 的光谱校正：砷化镓激光器的脉冲持续时间为 200 毫微秒，工作于室温，峰值波长为 904 毫微米，求其单个脉冲的 MPE 值。

- 1) 已知 $\lambda = 904$ 毫微米
 $t = 200$ 毫微秒 $= 0.2 \times 10^{-6}$ 秒

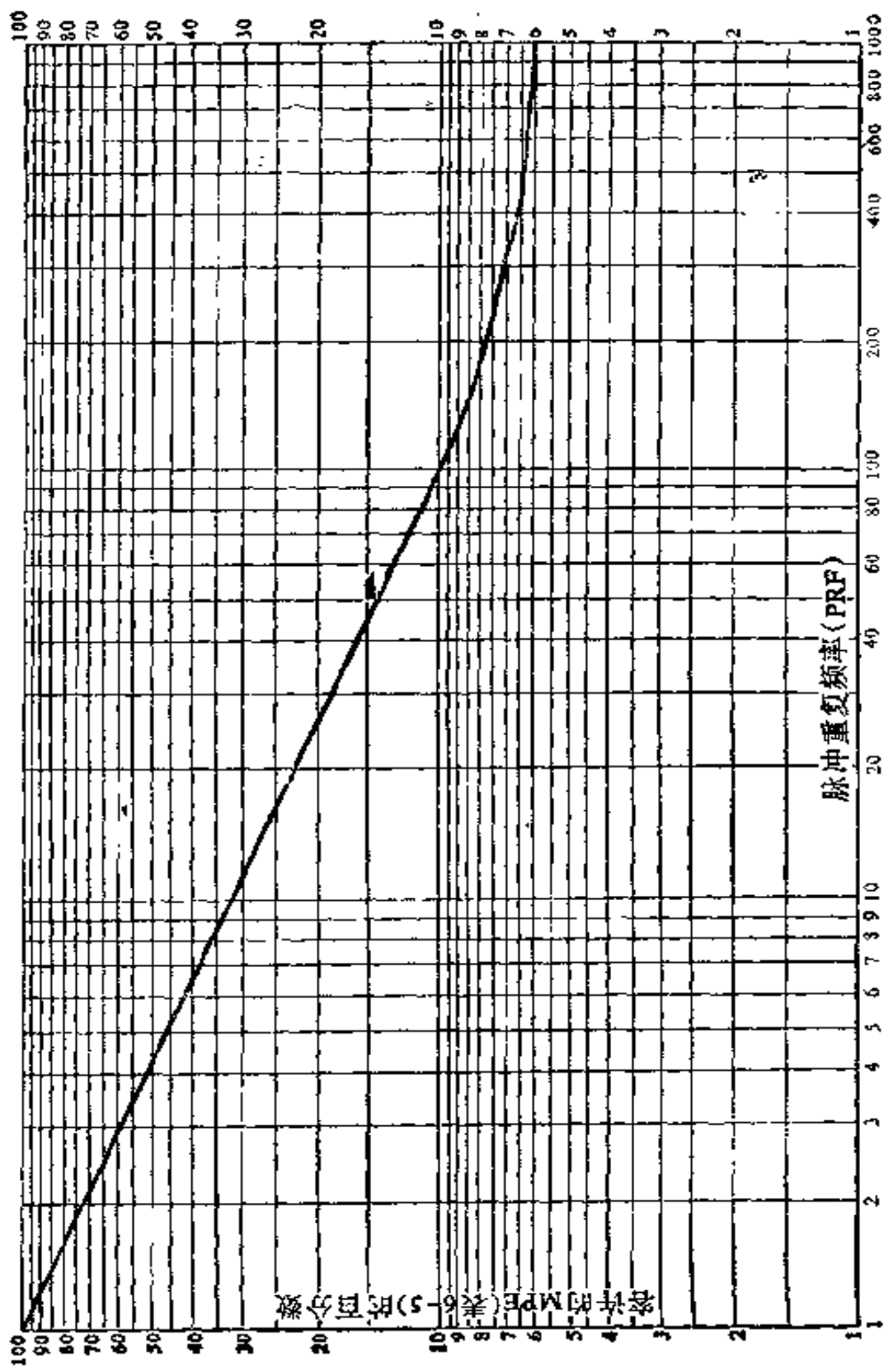


图 6-13 扫描激光器重复脉冲或多次照射的 MPE 的缩小率 (%), 条件是单个脉冲或照射时间小于 10 微秒

注意: 重复频率大于每秒 1000 个脉冲时, MPE 的百分数 = 6

- 2) 由表 6-1, λ 属 0.700~1.059 微米波段, t 属 10^{-9} ~ 1.8×10^{-6} 秒范围, 则

$$H = 5C_A \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 3) 由图 6-9 得, 因为 $\lambda = 904\text{nm}$, 所以光谱校正因子 C_A 是 2.5。

- 4) 所以束内观察时的 MPE 是

$$\begin{aligned} H &= 5 \times 2.5 \times 10^{-7} \\ &= 1.25 \times 10^{-6} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

- 5) 扩展源的 MPE

- 由图 6-4, 照射时间为 0.2×10^{-6} 秒时的最小观察角是 3.3 毫弧度。
- 当光源的观察角大于 3.3 毫弧度时, 可用扩展源 MPE。
- 由图 6-8, 对于扩展源 MPE, 照射持续时间为 2×10^{-7} 秒时, 其累积辐射率为 6×10^{-2} 焦耳·厘米⁻²·球面度⁻¹。
- 与束内观察类似 (本例第三步), 应用光谱校正因子 2.5。
- 所以扩展源观察时 MPE 是

$$\begin{aligned} L_p &= 2.5 \times 6 \times 10^{-2} \\ &= 1.5 \times 10^{-1} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \cdot \text{球面度}^{-1} \end{aligned}$$

例6-6 重复频率很高的重复脉冲可见激光器: 氩激光器, 波长 0.5145 微米, 脉冲持续时间 10 毫微秒, 重复频率 10×10^6 赫, 总照射时间 0.25 秒, 求束内直视时的 MPE。
已知

$$\lambda = 0.5145 \text{ 微米}$$

$T = 0.25$ 秒 (脉冲列的总照射时间)

$F = PRF = 10^7$ 赫

$t = 10$ 毫微秒 $= 10^{-8}$ 秒

第一步 单个脉冲的限制

- 从表 6-1 或图 6-5, 对于 $\lambda = 0.5145$ 微米 (在 $0.40 \sim 0.70$ 间) 和 $t = 10^{-8}$ 秒 (在 $10^{-8} \sim 1.8 \times 10^{-5}$ 间) 的单个脉冲, 每一脉冲的 MPE 是

$$H = 5 \times 10^{-7} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 因为单个脉冲的持续时间小于 10^{-8} 秒, 其 MPE 的值应根据图 6-13 缩小。由图 6-13 得, $PRF \geq 10^3$ 赫 (现在是 10^7 赫) 时, MPE 应缩到 6%, 即每一脉冲的 MPE 是

$$\begin{aligned} H_1 &= 0.06 \times 5 \times 10^{-7} \\ &= 3 \times 10^{-8} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

- 对于脉冲列的全部照射时间 0.25 秒的 MPE, 即每一列的 MPE,

$$\begin{aligned} H &= H_1 \cdot F \cdot T \\ &= (3 \times 10^{-8})(10^7)(0.25) \\ &= 7.5 \times 10^{-2} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

第二步 平均辐射照射量的限制

- 对于 0.25 秒的脉冲列, 其平均辐射照射量应该不大于脉冲持续时间也是 0.25 的单个脉冲的 MPE。
- 由表 6-1, 对于 $\lambda = 0.5145$ 微米 (在 $0.40 \sim 0.70$ 间) 和 $t = 0.25$ 秒 (在 $1.8 \times 10^{-5} \sim 10$ 间) 的脉冲列, 其平均 MPE 是

$$\begin{aligned}
 H &= 1.8t^{3/4} \times 10^{-3} \\
 &= 1.8 \times (0.25)^{3/4} \times 10^{-3} \\
 &= 6.3 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}
 \end{aligned}$$

用图 6-5 可得到同样结果。

第三步 结论

- 因为第二步得出的H值小，所以正确 MPE 值是

$$H = 6.3 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \text{ (在 0.25 秒内)}$$

$$E = 6.3 \times 10^{-4} / 0.25$$

$$= 2.52 \times 10^{-3} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

例6-7 重复频率中等的重复脉冲近红外激光器：砷化镓激光器，激光波长 0.905 微米，脉冲持续时间 100 毫微秒，脉冲重复频率 1 千赫，求束内直视时的 MPE。已知

$$\lambda = 0.905 \text{ 微米}$$

$$F = \text{PRF} = 1 \text{ 千赫} = 10^3 \text{ 赫}$$

$$t = 100 \text{ 毫微秒} = 0.1 \times 10^{-6} \text{ 秒}$$

第一步 单个脉冲的限制

- 由表 6-1，对于 $\lambda = 0.905$ 微米（在 0.700~1.059 间）和 $t = 0.1 \times 10^{-6}$ 秒（在 10^{-6} ~ 1.8×10^{-6} 间）的单个脉冲，每一脉冲的 MPE 是

$$H = 5C_A \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 由图 6-9， $\lambda = 0.905$ 微米的校正因子 $C_A = 2.5$ ，所以每一脉冲的 MPE 是

$$H = 5 \times 2.5 \times 10^{-7}$$

$$= 1.25 \times 10^{-6} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 因为 $t < 10$ 微秒, 其 MPE 值应根据图 6-13 缩小, 对于 $PRF = 1000$ 赫, MPE 应缩到 6%, 即每一脉冲的 MPE 是

$$\begin{aligned} H_1 &= 0.06 \times 1.25 \times 10^{-6} \\ &= 7.5 \times 10^{-8} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

- 由于 0.905 微米波长在可见之外, 此时对可见光的生理避开反应不起作用。假设对激光器的这种特殊应用的照射时间为 10 秒, 即 $T = 10$ 秒。
- 对于照射 10 秒的脉冲列, 每列的 MPE

$$\begin{aligned} H &= H_1 \cdot F \cdot T \\ &= (7.5 \times 10^{-8})(10^3)(10) \\ &= 7.5 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

第二步 平均功率限制

- 由表 6-1, 对于波长 $\lambda = 0.905$ 微米 (在 0.700~1.059 间) 和 $t = 10$ 秒 (在 $1.8 \times 10^{-5} \sim 10^3$ 间) 的激光, 其平均 MPE 是

$$\begin{aligned} H &= 1.8 C_A t^{1/4} \times 10^{-3} \\ &= 1.8 \times 2.5 \times 10^{1/4} \times 10^{-3} \\ &= 2.5 \times 10^{-2} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

或
$$\begin{aligned} E &= H/T = 2.5 \times 10^{-2}/10 \\ &= 2.5 \times 10^{-3} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

第三步 结论

- 显然第一步的限制确定了 MPE, 所以每列的 MPE 值是

$$H = 7.5 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$\begin{aligned} \text{或 } E &= H/T = 7.5 \times 10^{-4}/10 \\ &= 7.5 \times 10^{-5} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

例6-8 低重复频率、长脉冲、重复脉冲可见激光器:

氦氖激光器, 波长0.6328微米, 脉冲持续时间 10^{-3} 秒, 脉冲列的总照射持续时间0.25秒, 脉冲重复频率100赫, 求其MPE的值。已知

$$\lambda = 0.6328 \text{ 微米}$$

$$F = 100 \text{ 赫}$$

$$t = 10^{-3} \text{ 秒}$$

$$T = 0.25 \text{ 秒}$$

第一步 单个脉冲的限制

- 因为单个脉冲的持续时间大于 10^{-8} 秒, 所以要求出在0.25秒内“发射”脉冲的时间 T_1

$$\begin{aligned} T_1 &= t \cdot F \cdot T & (6-6) \\ &= 10^{-3} \times 100 \times 0.25 \\ &= 2.5 \times 10^{-2} \text{ 秒} \end{aligned}$$

- 对 $T_1 = 2.5 \times 10^{-2}$ 秒和 $\lambda = 0.6328$ 微米(在0.40~0.70间)的脉冲, 由图6-5得

$$\text{MPE}(T_1); H = 10^{-4} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$\text{MPE/列}; H = 10^{-4} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 因PRF = 100赫, 在0.25秒的照射时间内共发射25个脉冲, 所以单个脉冲的MPE是

$$\begin{aligned} H_1 &= 10^{-4}/25 \\ &= 4 \times 10^{-6} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

- 对于不在一系列中的、脉冲持续时间 10^{-3} 秒的单个脉

冲,由图 6-5, 其 MPE 是

$$H = 10^{-5} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

可见 MPE 缩到 40%。

第二步 平均功率的限制

• 对 0.25 秒的照射, 由图 6-5 得 MPE 是

$$H = 6.3 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

第三步 结论

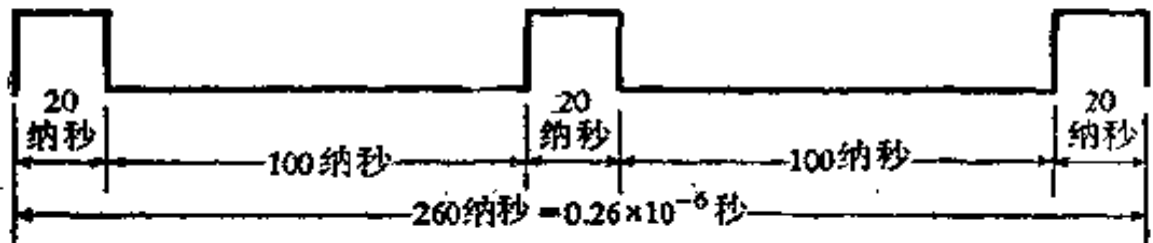
• 第一步定义了 MPE, 因其值小些。0.25 秒的 MPE 是

$$H = 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

• MPE (平均功率)

$$\begin{aligned} E_{av} &= H_1 \cdot F & (6-7) \\ &= 4 \times 10^{-9} \times 100 \\ &= 4 \times 10^{-4} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

例6-9 一脉冲组、短脉冲激光器: 一台 Q 开关红宝石激光器, 波长 0.6943 微米, 它发出三个脉冲宽度为 20 毫微秒的脉冲, 两相邻脉冲的距离为 100 毫微秒。这不是通常所



谓的重复脉冲激光器。后者是在 0.25 秒或更长的时间内发出一连串的脉冲, 而两相邻脉冲间又有适当的间距。而此时的

脉冲组应认为是一个脉冲，即 $t = 0.26 \times 10^{-6}$ 秒。其 MPE 应如下确定：

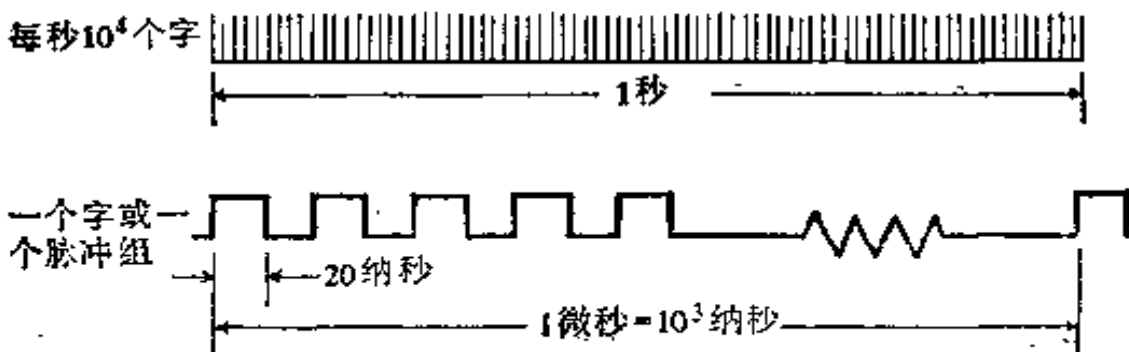
- 由表 6-1，对 $\lambda = 0.6943$ 微米（在 $0.40 \sim 0.70$ 间）和 $t = 0.26 \times 10^{-6}$ 秒（在 $10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$ 间）的可见激光，一次照射的 MPE 是

$$H = 5 \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^2$$

- 每一脉冲的 MPE 是

$$\begin{aligned} H &= 5 \times 10^{-7} / 3 \\ &= 1.7 \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

例 6-10 重复脉冲的脉冲组：试确定一氩激光器 ($\lambda = 0.4880$ 微米) 用于一脉冲编码调制 (pcm) 通信网时的 MPE。激光器每秒可送出 10^4 “字” (例如，每秒发出 10^4 个脉冲组)，设每个“字”包括 5 个 20 毫微秒的脉冲，按编码间距分开，所以每一脉冲组不长于 1 微秒。



第一步 单个脉冲 (组) 的限制

- 用上例的办法，把每一脉冲组或每个字看作一个脉冲 ($t = 1$ 微秒 $= 10^{-6}$ 秒)。所以 PRF $= 10^4$ 赫 (或每秒 10^4 个字)。已知 $t = 10^{-6}$ 秒 (在 $10^{-9} \sim 1.8 \times 10^{-5}$ 间) 和 $\lambda = 0.4880$ 微米 (在 $0.40 \sim 0.70$ 间)，

由表 6-1 查 MPE 是

$$H = 5 \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 因为单个脉冲组（或字）的 t 是 1 微秒，小于 10 微秒，所以单个脉冲的 MPE 应按图 6-13 缩小。由图得，PRF = 10^4 赫时，MPE 应缩小到 6%，即脉冲组 MPE 是

$$\begin{aligned} H_1 &= 0.06 \times 5 \times 10^{-7} \\ &= 3 \times 10^{-8} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

- 由式 6-7，用平均功率 E_{av} 表示的 MPE 是

$$\begin{aligned} E_{av} &= H_1 \times F \\ &= (3 \times 10^{-8})(10^4) \\ &= 3 \times 10^{-4} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

第二步 平均功率限制

- 对于 0.25 秒的照射，由图 6-5 查得 MPE 是

$$H = 6.3 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

$$\begin{aligned} E &= H/T = 6.3 \times 10^{-4}/0.25 \\ &= 2.52 \times 10^{-5} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

第三步 结论

- 第一步的限制严一些，可用该值，即用平均功率表示的 MPE 是

$$E_{av} = 3 \times 10^{-4} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

九、在评价激光器的各种应用时会用到的公式、例题及应考虑的因素⁽²⁾

对于下述几个方面，将讨论和发展一些有用的实际的因素和公式，以有助于理解激光安全评价的脉络。

- 大气对激光束的衰减
- 平均辐照度和辐射照射量跟光程的函数关系
- 漫射目标的反射辐照度和辐射照射量
- 通过光学系统看激光
- 扫描激光器的一次扫描照射

如果举例在某处最能解决问题，那里就提供有例题。

(一) 大气对激光束的衰减

一束不发散的光束，由于大气的衰减，在光程 r 处的辐射照射量 (H) 或光束辐照度 (E) 分别由下列二式给出

$$H = H_0 e^{-\mu r} \quad (6-8)$$

$$E = E_0 e^{-\mu r} \quad (6-9)$$

式中 H_0 = 脉冲型激光器在零光程时的出射光束的辐射照射量，单位是焦耳·厘米⁻²

E_0 = 连续型激光器在零光程时的出射光束的辐照度，单位是瓦·厘米⁻²

μ = 大气对某一特定波长的激光的衰减系数 (厘米⁻¹)

r = 激光器到观察者或漫射目标的光程 (厘米)

衰减系数 μ 的值可从浓雾时的 10^{-4} 变到空气能见度很好时的 10^{-7} 。

(二) 平均辐照度和辐射照射量跟光程的函数关系

一圆形截面激光束在光程 r 处的平均辐照度等于，在该

处光束总功率除以光束面积，即

$$E = \frac{\Phi e^{-\mu r}}{\pi \left[\frac{a + r\phi}{2} \right]^2} = \frac{1.27 \Phi e^{-\mu r}}{(a + r\phi)^2} \quad (6-10)$$

同样地，在非湍流介质中，在光程 r 处的平均辐射照射量等于，在该处光束总能量除以光束总面积，即

$$H = \frac{Q e^{-\mu r}}{\pi \left[\frac{a + r\phi}{2} \right]^2} = \frac{1.27 Q e^{-\mu r}}{(a + r\phi)^2} \quad (6-11)$$

在上两式中

E = 光程 r 处的辐照度，脉冲型激光器用焦耳·厘米⁻²为单位，连续型用瓦·厘米⁻²

Φ = 连续型激光器的总输出辐射功率(或辐射通量)或重复脉冲激光器的平均辐射功率单位为瓦

H = 光程 r 处的辐射照射量，脉冲型激光器用焦耳·厘米⁻²为单位，连续型用瓦·厘米⁻²

Q = 脉冲型激光器的总输出辐射能，单位为焦耳

e = 自然对数的底

r = 从激光器到观察者或漫射目标的光程(厘米)

a = 激光器出射束直径(厘米)

ϕ = 出射束的发散度(弧度)

μ = 大气对某一特定波长的激光的衰减系数(厘米⁻¹)

式 6-10 和 6-11 只在光束发散度小时才正确，例如，发散度小于 0.17 弧度(10°)时，则准确度优于 1%；而发散度小于 0.37 弧度(21°)时，准确度只优于 5%。

例6-11 试求一个 0.1 焦耳的红宝石激光器在 1 公里处的辐射照射量，若出射光束的直径为 0.7 厘米，发散度为 1

毫弧度。并假设大气的能见度很好，即假设 $\mu = 10^{-7}$ 厘米⁻¹。
已知

$$r = 1 \text{ 公里} = 10^5 \text{ 厘米}$$

$$Q = 0.1 \text{ 焦耳}$$

$$\phi = 1 \text{ 毫弧度} = 10^{-3} \text{ 弧度}$$

$$a = 0.7 \text{ 厘米}$$

$$\mu = 10^{-7} \text{ 厘米}^{-1}$$

利用式 6-11,

$$\begin{aligned} H &= \frac{1.27 Q e^{-a r}}{(a + r \phi)^2} \\ &= \frac{(1.27)(0.1) e^{-(0.7)(10^5)}}{(0.7 + 10^{-5} \times 10^{-3})^2} \\ &= 1.25 \times 10^{-5} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

(三) 一漫射目标的反射辐照度或辐射照射量

一漫反射物的反射辐照度或辐射照射量，在 $r_1 \gg D_L$ 时
(见图 6-3) 分别由下述两式给出

$$E = \frac{\Phi \rho_\lambda \cos \theta_v}{\pi r_1^2} \quad (6-12)$$

$$H = \frac{Q \rho_\lambda \cos \theta_v}{\pi r_1^2} \quad (6-13)$$

例6-12 一反射比为 0.6 的漫反射目标，离开工作者的
距离为 10 米，求其最大反射辐射照射量。设目标和反射线垂
直（即 $\theta_v = 0^\circ$ ），入射到目标的能量为 0.1 焦耳。由此已知

$$\rho_\lambda = 0.6$$

$$r_1 = 10 \text{ 米} = 10^3 \text{ 厘米}$$

$$Q = 0.1 \text{ 焦耳}$$

$$\cos\theta_1 = \cos(0^\circ) = 1$$

将这些代入式 6-13 得

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{Q\rho_1 \cos\theta_1}{\pi r_1^2} \\ &= 0.1 \times 0.6 \times 1 / \pi \times 10^6 \\ &= 1.91 \times 10^{-8} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

(四) 通过光学系统看激光

用光学仪器看激光时视网膜的辐照度（或辐射照射量）跟只用肉眼看时的辐照度（或辐射照射量）二者的比值 G 可定义如下：

对于束内观察和镜式反射，或对于不能为眼或光学系统所分辨的漫射斑点，比值 G 可由下式给出，

$$d_e \geq D_e \text{ 时, } \quad G = D_e^2 / d_e^2 \quad (6-14)$$

$$d_e \leq D_e \text{ 时, } \quad G = D_e^2 / D_e^2 = P^2 \quad (6-15)$$

式中 D_e = 光学系统物镜的直径（厘米）

d_e = 人眼瞳孔的直径（约可由 0.2 变大到 0.7 厘米）

D_e = 光学系统出射光瞳的直径（厘米）

P = 光学系统或仪器的放大率

对于间接观察漫反射扩展物体，即该物体放大后所张之角大于 0.6 毫弧度，只是在这种情况下，比值 G 才由下式给出

$$d_e \geq D_e \text{ 时, } \quad G = D_e^2 / P^2 d_e^2 \leq 1 \quad (6-16)$$

$$d_e \leq D_e \text{ 时, } \quad G = D_e^2 / P^2 D_e^2 = 1 \quad (6-17)$$

应注意，比值 G 还受光学仪器透射率的影响，但通常这一因素影响小。不然的话，应用透射率乘式 6-14 到 6-17 的分子。

例6-13 对于上例的激光器，通过 10×50 的双筒镜（即 $P = 10$ ， $D_o = 50$ 毫米），在夜间看该激光受到的漫反射，试求观察眼的相对危害。

1) 因为是夜间看，瞳孔最大，即 $d_e = 0.7$ 厘米

2) 由式 6-15，光学仪器的出射光瞳 D_e 是

$$D_e = D_o / P = 5.0 / 10 = 0.5 \text{ 厘米}$$

3) 因为 $d_e > D_e$ ，用式 6-16

$$G = D_o^2 / P^2 d_e^2 = (5.0)^2 / 10^2 \times 0.7^2 = 0.51$$

4) 由上例，离开目标 10 米处的辐射照射量

$$H = 1.91 \times 10^{-8} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

5) 所以，用双筒镜时的危害，相当于肉眼角膜受到下述辐射照射量时的危害

$$\begin{aligned} H &= 0.51 \times 1.91 \times 10^{-8} \\ &= 0.98 \times 10^{-8} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

例6-14 若一工作者通过 7×50 双筒镜看辐射照射量为 2×10^{-8} 焦耳·厘米⁻² 的镜式反射束，试比较肉眼观看时的相对危害。由题意

$$P = 7$$

$$D_o = 50 \text{ 毫米} = 5 \text{ 厘米}$$

$$H = 2 \times 10^{-8} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

1) 由式 6-15

$$D_e = D_o / P = 5 / 7 = 0.71 \text{ 厘米}$$

2) 白天看 ($d_e = 0.2$ 厘米)，晚上看 ($d_e \approx 0.7$ 厘米)，即 $d_e \leq D_e$ ，所以用式 6-15

$$G = P^2 = 7^2 = 49$$

3) 所以该工作者看到辐射照射量为肉眼看到的 49 倍, 即角膜的 H 是

$$\begin{aligned} H &= 49 \times (2 \times 10^{-9}) \\ &= 0.98 \times 10^{-7} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

(五) 扫描激光器的一次扫描照射

扫描激光束一次扫描照射时角膜的辐射照射量由下式给出

$d_s > (a + r\phi)$ 时

$$H = \frac{1.27\Phi e^{-\mu r}}{(a + r\phi)^2} \cdot \frac{d_s}{rs\theta_s} \quad (6-18)$$

或 $d_s < (a + r\phi)$ 时

$$H = \frac{1.27\Phi e^{-\mu r}}{(a + r\phi)(rs\theta_s)} \quad (6-19)$$

式中 S = 激光器扫描率, 即每秒扫过眼的次数

θ_s = 光束扫描最大角 (弧度)

其他符号在前面已给过定义。

可用的 MPE 值依赖于照射的重复性质以及单一脉冲的照射持续时间 T,

$$\text{当 } d_s \leq (a + r\phi) \text{ 时, } T = (a + r\phi) / rs\theta_s \quad (6-20)$$

$$\text{当 } d_s \geq (a + r\phi) \text{ 时, } T = d_s / rs\theta_s \quad (6-21)$$

若每一次都扫过眼, 则 PRF = S

例6-15 试求具有下述参数的氩氛扫描激光器的辐射照射量, 即已知

$$a = 0.1 \text{ 厘米}$$

$$\phi = 5 \times 10^{-3} \text{ 弧度}$$

$$\Phi = 5 \text{ 毫瓦} = 5 \times 10^{-3} \text{ 瓦}$$

$$\theta_s = 0.1 \text{ 弧度}$$

$$S = 30 \text{ 秒}^{-1} = 30 \text{ 赫}$$

$$r = 200 \text{ 厘米 (束内观察距离)}$$

1) 由式 6-3 光束直径是

$$\begin{aligned} D_L &= a + r\phi \\ &= 0.1 + 200(5 \times 10^{-3}) \\ &= 1.1 \text{ 厘米} \end{aligned}$$

2) 因为 $d_s = 0.2 \sim 0.7$ 厘米, $d_s \leq (a + r\phi)$, 因而必须用式 6-19 和 6-20

3) 人眼的 PRF 是每秒 30 个脉冲 (即 $S = 30$), 由式 6-20, 可得一个脉冲的照射时间 T

$$\begin{aligned} T &= (a + r\phi) / rS\theta_s \\ &= \frac{0.1 + 200(5 \times 10^{-3})}{200 \times 30 \times 0.1} = 1.1/600 \\ &= 1.83 \times 10^{-3} \text{ 秒} \end{aligned}$$

4) 由式 6-19 得 H

$$\begin{aligned} H &= \frac{1.27\Phi e^{-\mu r}}{(a + r\phi)(rS\theta_s)} \\ &= \frac{1.27 \times (5 \times 10^{-3}) \times 1}{(0.1 + 200 \times 5 \times 10^{-3})(200 \times 30 \times 0.1)} \\ &\quad (\text{t 小时, } e^{-\mu r} \approx 1) \\ &= 9.6 \times 10^{-6} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

5) 角膜处的平均辐照度 E_{av}

$$\begin{aligned}
 E_{\lambda v} &= H \cdot S \\
 &= (9.6 \times 10^{-6}) \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \times 30 \text{秒}^{-1} \\
 &= 2.88 \times 10^{-4} \text{瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}
 \end{aligned}$$

6) 在扫描率 30 赫时, 大约 8 个脉冲的累积照射量就给出可用于 0.25 秒照射的 MPE, 所以

$$\begin{aligned}
 H &= 8 \times (9.6 \times 10^{-6}) \\
 &= 7.7 \times 10^{-5} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}
 \end{aligned}$$

这一辐射照射量必须和持续时间 t 为

$$t = 8 \times (1.83 \times 10^{-3}) = 1.46 \times 10^{-2} \text{秒}$$

的单个脉冲的 MPE 进行比较。由图 6-5 得持续时间为 1.46×10^{-2} 秒时的 MPE 是

$$H \approx 7.7 \times 10^{-5} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

所以这照射量对于暂时而无意的观察激光是许可的。

参 考 文 献

1. "American National Standard for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976" ANSI, NY., 1976.
2. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation", U. S. Department of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, May 1975.
3. 《Laser Safety Guide》, 3rd Edition, IIA, Cincinnati, Ohio Jan 1976.

第七章 激光束危害的评价和分级

一、绪言

对激光束危害的全面评价决定于下述三个关键性的因素：

- 激光束伤害人的潜在可能性。这种可能性用激光束相对危害的标准化分级来加以说明。
- 激光器所在的环境。
- 激光器所在环境中的现场人员。

对于后两项，难于作标准化的处理，因为可用激光器的环境多，而人们接触激光束的方式也多。

于是，对上述三因素的恰当考虑，将大大影响为控制激光束危害而采取的诸措施。

要全面评价激光器的危害，就应考虑激光器危害的各个方面，而不仅仅是光束危害。所以，凡是与激光器危害有关的，诸如电击、气载污染物等等，都必须一一加以考虑。这些有关的危害已在第四章中讨论过，至于控制它们的措施将在第九章讨论。

二、激光器分级应考虑的因素

美放射卫生局⁽¹⁾要求，凡是在1976年8月2日之后制造的激光器产品，都应由厂家按规定程序进行分级，这就需要知道激光器的诸输出参数。所以，对于近期购置的激光器产品，用户一般不需要，为了给激光束危害分级，而进行测

量或（和）计算。然而，对于下述任一情况，测量或（和）计算仍然是必要的。

- 当激光器改装过，从而可能发生变级时。
- 当光束发散度易变时。
- 没有厂家说明书或说明书模棱两可时。
- 户外使用，大气传播可能影响远处的激光水平时。看第 15 章，该章讨论大气对激光束的影响。
- 当激光器的能量或功率输出接近分级线时。除非是已对激光器采取较高级危害的控制措施。
- 扫描激光器，辐射危害水平正常，把它装入机壳内作低泄漏水平的检验时。
- 当不知激光靶的反射率、反射光束的色散性以及其它因素，需要测量以评定辐射的危害水平时。

为了评定激光器的危害级别而进行测量时，测量应由具有适当经历和经验的人员来做，并应调整控制，使激光器能够正常输出其最大功率或能量水平。此外，危害评价还应把测量辐射水平时所估计的误差值包括进去，即为了评价危害级别，应该把所估计的误差值加到量得的辐射水平。

在给激光器产品定级而报告可接触的辐射水平时，美放射卫生局（BRH）要求详细说明的参数如下：

- 波长或波长范围，定级应基于最高或最危险的输出水平。
- 对于不是连续输出，如脉冲的、Q开关的、锁模的等等，
 - 脉冲宽度，和上升及下降的时间
 - 脉冲的最大重复频率
 - 每一脉冲的平均能量以及脉冲间相对平均值的变化

- 单个脉冲能量最大的脉冲重复频率
- 平均辐射功率最大的脉冲重复频率

- 发射持续时间
- 测得的可接触到的发射水平
- 用于辐射测量的孔径光阑直径

对于扩展激光源，定级时还需要下述附加参数：

- 激光源的辐射率或累积辐射率
- 激光源的最大观察角

三、各级激光器的定义

BRH 在其提出的《激光器产品性能标准》文件中给激光器规定了四级。本章提出的分级定义是根据并紧密遵循该文件的。每一级相应的数据表也摘自该文件。

(一) 第一级激光器

这一级激光器所发射的激光，不大于表 7-1A 对第一级激光器所给出的“可接触发射限”，不管对发射持续时间和波长范围的那一组合都是这样的。校正因子 K_1 和 K_2 可根据波长和取样时间从表 7-2A 查出。这表也适用于第二、三、四级激光器。表 7-2B 选择的数值解释了 K_1 和 K_2 。

第一级激光器，对于任何观察或正常工作状况，不会发射有害的激光。所以第一级是豁免级，什么控制措施也不需要。

应注意，表 7-1A 还列出了激光器产品发出的附随辐射（非激光）的“可接触的辐射限”。

(二) 第二级激光器

第二级激光器可分为下述两类：

- 可见激光器，它发出的激光，大于第一级的“可接触

表 7-1A 第一级可接触的激光发射限

波长 λ (毫微米)	发射持续时间 t (秒)	第一级可接触的发射限
$250 < \lambda \leq 400$	$t \leq 3.0 \times 10^4$	$2.4 \times 10^{-5} k_1 k_2$ 焦耳*
$250 < \lambda \leq 400$	$t > 3.0 \times 10^4$	$8.0 \times 10^{-10} k_1 k_2 t$ 焦耳*
$400 < \lambda \leq 1400$	$1.0 \times 10^{-9} < t \leq 2.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-7} k_1 k_2$ 焦耳*
	$2.0 \times 10^{-5} < t \leq 1.0 \times 10^1$	$7.0 \times 10^{-4} k_1 k_2 t^{3/4}$ 焦耳
	$1.0 \times 10^1 < t \leq 1.0 \times 10^4$	$3.9 \times 10^{-3} k_1 k_2$ 焦耳
	$1.0 \times 10^4 < t$	$3.9 \times 10^{-7} k_1 k_2 t$ 焦耳
	或者**	
$400 < \lambda \leq 1400$	$1.0 \times 10^{-9} < t \leq 1.0 \times 10^1$	$10 k_1 k_2 t^{1/3}$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
	$1.0 \times 10^1 < t \leq 1.0 \times 10^4$	$20 k_1 k_2$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
	$1.0 \times 10^4 < t$	$2.0 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$ 焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
$1400 < \lambda \leq 13000$	$1.0 \times 10^{-9} < t \leq 1.0 \times 10^{-7}$	$7.9 \times 10^{-5} k_1 k_2$ 焦耳
	$1.0 \times 10^{-7} < t \leq 1.0 \times 10^1$	$4.4 \times 10^{-3} k_1 k_2 t^{1/4}$ 焦耳
	$1.0 \times 10^1 < t$	$7.9 \times 10^{-4} k_1 k_2 t$ 焦耳

* $250 < \lambda \leq 400$ 毫微米激光的第一级可接触的发射限不可大于 $1.4 < \lambda \leq 13$ 微米, 以及在相近发射时间内 $k_1 = k_2 = 1$ 的第一级可接触的发射限。

** 就 $400 < \lambda \leq 1400$ 毫微米波长来说, 第一级有两种发射限: 点光源用辐射能量(焦耳), 扩展源的象用累积辐射率(焦耳·厘米⁻²·球面度⁻¹)。

表 7-1B 第二级可接触的激光发射限

波长 λ (毫微米)	发射持续时间 t (秒)	第二级可接触的发射限
$400 < \lambda \leq 700$	$t > 2.5 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$ 焦耳

表 7-1C 第三级可接触的激光发射限

波长 λ (毫微米)	发射持续时间 t (秒)	第三级可接触的发射限
$250 < \lambda \leq 400$	$t \leq 2.5 \times 10^{-1}$	$3.8 \times 10^{-4} k_1 k_2$ 焦耳
	$2.5 \times 10^{-1} < t$	$1.5 \times 10^{-3} k_1 k_2 t$ 焦耳
$400 < \lambda \leq 1400$	$1.0 \times 10^{-9} < t \leq 2.5 \times 10^{-1}$	$10 k_1 k_2 t^{1/3}$ 到最大值 10 焦耳·厘米 ⁻²
	$2.5 \times 10^{-1} < t$	$5.0 \times 10^{-1} t$ 焦耳
$1400 < \lambda \leq 13000$	$1.0 \times 10^{-9} < t \leq 1.0 \times 10^1$	10 焦耳·厘米 ⁻²
	$1.0 \times 10^1 < t$	$5.0 \times 10^{-1} t$ 焦耳

的辐射限”，但小于表 7-1B 就 $400 < \lambda \leq 700$ 毫微米和 $t > 0.25$ 秒提出的第二级“可接触到的辐射限”。

- 激光器发出的激光，不大于第一级的“可接触的辐射限”，对辐射持续时间和波长范围的任何其他组合（上述组合除外）都一样。

第二级可见激光器，在长时间的注视下，其输出功率可能大到给视网膜造成损伤，因而需要采取某些预防措施。但偶然看一下，不会有什么影响。

（三）第三级激光器

这一级激光器所发出激光，大于第一级的、如果适用的话也大于第二级的“可接触辐射限”，但小于表 7-1C 就辐射持续时间和波长范围的任何组合所提出的第三级“可接触的辐射限”。第三级激光器因标示的需要而分为三（甲）和三（乙）级，细分的判据如下：

- 三（甲）级：若激光器发射可接触的可见激光，其波长范围为 $400 \sim 700$ 毫微米，发射持续时间大于 $3.8 \times$

表 7-2A 决定于波长的校正因子 k_1 和 k_2 的值

波长 λ (毫微米)	k_1	k_2
250~302.4	1.0	1.0
302.4 < λ < 315	$10^{-(\lambda - 302.4)/53}$	1.0
315 < λ < 400	330.0	1.0
400 < λ < 700	1.0	1.0
700 < λ < 800	$10^{-(\lambda - 700)/515}$	若 $\frac{10:100}{\lambda} < t \leq 10^4$ 则 $k_2 = \frac{(\lambda - 699)t}{10:100}$
800 < λ < 1060	$10^{-(\lambda - 770)/515}$	若 $\frac{10:100}{\lambda - 699}$ 则 $k_2 = 1.0$
1060 < λ < 1400	5.0	若 $t \leq 100$ 则 $k_2 = 1.0$
1400 < λ < 1535	1.0	若 $10^4 < t$ 则 $k_2 = \frac{\lambda - 699}{1.01}$
1535 < λ < 1545	若 $t \leq 10^{-7}$ 则 $k_1 = 100$ 若 $t > 10^{-7}$ 则 $k_1 = 1.0$	1.0
1545 < λ < 13000	1.0	若 $10^4 < t$ 则 $k_2 = t/100$

注: t 的单位为秒

表 7-2 B k_1 和 k_2 的值的选解

波长 (毫微米)	k_1	k_2				
		$t \leq 100$ 秒	$t = 300$ 秒	$t = 1000$ 秒	$t = 3000$ 秒	$t > 10000$ 秒
250	1.0					
300	1.0					
302	1.0					
303	1.32					
304	2.09					
305	3.31					
306	5.25					
307	8.32					
308	13.2					
309	20.9			1.0		
310	33.1					
311	52.5					
312	83.2					
313	132.0					
314	209.0					
315	330.0					
400	330.0					
401	1.0					
500	1.0					
600	1.0					
700	1.0					
710	1.05	1	1	1.1	3.3	11
720	1.09	1	1	2.1	6.3	21
730	1.14	1	1	3.1	9.3	31
740	1.20	1	1.2	4.1	12.0	41
750	1.25	1	1.5	5.0	15.0	50

波长 (毫微米)	k_1	k_2				
		$t \leq 100$ 秒	$t = 300$ 秒	$t = 1000$ 秒	$t = 3000$ 秒	$t \geq 10000$ 秒
760	1.31	1	1.8	6.0	18.0	60
770	1.37	1	2.1	7.0	21.0	70
780	1.43	1	2.4	8.0	24.0	80
790	1.50	1	2.7	9.0	27.0	90
800	1.56	1	3.0	10.0	30.0	100
850	1.95	1	3.0	10.0	30.0	100
900	2.44	1	3.0	10.0	30.0	100
950	3.05	1	3.0	10.0	30.0	100
1000	3.82	1	3.0	10.0	30.0	100
1050	4.78	1	3.0	10.0	30.0	100
1060	5.00	1	3.0	10.0	30.0	100
1100	5.00	1	3.0	10.0	30.0	100
1400	5.00	1	3.0	10.0	30.0	100
1500	1.0					
1540	100.0*			1.0		
1600	1.0					
13000	1.0					

* 当 $t \leq 10^{-7}$ 秒时, $k_1 = 100.0$; $t > 10^{-7}$ 秒时, $k_1 = 1.0$ 。

10^{-4} 秒, 辐照度小于 (或等于) 2.5×10^{-8} 瓦·厘米⁻² 以及辐射功率小于 (或等于) 5.0×10^{-8} 瓦, 则该激光器为三 (甲) 级。

• 三 (乙) 级: 第三级中除三 (甲) 级外, 其他都是三 (乙) 级。

第三 (甲) 级可见激光不会伤害人眼, 因人对强光有自然避开反应, 除非是用了双筒镜之类的光学仪器或者是注视激光太久。然而, 第三 (乙) 级激光器的直射或镜式反射光

束，却能给眼造成意外的伤害。激光束的漫反射一般没有危险，除非是用光学仪器，把光聚焦于人眼。许多军用的激光器测距仪和指向器都属于第三（乙）级。

（四）第四级激光器

这一级激光器能发出的激光，大于第三级激光器的“可接触的辐射限”（见表7-1C）。

第四级激光器能发出有害的直射或镜式反射激光束。此外它还可能引起火灾和烧伤皮肤，其漫反射也可能是有害的。

（五）第五级激光器（封闭式激光器）

美国国家标准协会（ANSI）已删去了这一级⁽³⁾，以使其分级制和放射卫生局（BRH）的可互相比较。

四、光束的中央辐照度或辐射照射量

激光器说明书往往没有提供有关光束辐照度或辐射照射量的数据，而这两个参数又是给激光器定级或评价 MPE 时不可缺少的。对于具有高斯型光束轮廓的单模激光器，从两个 $1/e$ 点定义的束直径和束辐射功率或能量，就可求出光束中央的 E_0 和 H_0 ，其公式是

$$E_0 = \frac{4\Phi}{\pi a^2} = \frac{1.27\Phi}{a^2} \quad (7-1)$$

$$H_0 = \frac{4Q}{\pi a^2} = \frac{1.27Q}{a^2} \quad (7-2)$$

式中

E_0 = 零光程处的出射光束辐照度，对于连续激光器，其单位是瓦·厘米⁻²

H_0 = 零光程处的出射光束辐射照射量，对于脉冲激光

器，其单位是焦耳·厘米⁻²。

Φ = 连续激光器的总辐射功率输出，或重复脉冲激光器的平均辐射功率，单位是瓦

Q = 脉冲激光器的总辐射能量输出，单位是焦耳

a = 出射激光束的直径，单位是厘米。

在许多情况下，光束直径（或发散度）不是用两 $1/e$ 点，而是用两 $1/e^2$ 点来定义。照此，则式 7-1 和 7-2 给出的是光束平均值而不是中央值。要分别给这两式乘以 $\sqrt{2}$ ，才能得到两 $1/e$ 点的值。

五、关于激光器分级的例题

下述例 7-1 到 7-4 是激光器用户特别感兴趣的分级问题。附录 C 的例 C-1 则遵循 BRH 所建议的方式，如第十章（公法）表 10-1 所示，它是从制造商的观点或要求对激光器进行分级的。

例 7-1 一台 Q 开关红宝石激光器，发射波长 0.6943 微米的激光。制造商提出的技术指标是：峰值输出功率 10 兆瓦，脉冲宽度 25 毫微秒，激光棒的直径 7/8 英寸，试定该激光器的级别。

1) $\lambda = 0.6943$ 微米

$p = 10$ 兆瓦 = 10×10^6 瓦

$t = 25$ 毫微秒 = 25×10^{-9} 秒

激光棒直径 = 7/8 英寸 = 7/8 英寸 \times 2.54 厘米/英寸 = 2.22 厘米

2) $Q = p \cdot t = (10 \times 10^6)(25 \times 10^{-9})$

= 0.25 瓦·秒 = 0.25 焦耳

3) 题中未说明出射束直径 a ，所以只能估计 H_0 的值，

a 的值总是比激光棒直径小，即 $a < 2.22$ 厘米

- 4) 所以出射光束的辐射照射量 (H_0) 不会小于式 7-2 得出的值

$$H_0 = \frac{1.27Q}{a^2} = \frac{1.27 \times 0.25}{(2.22)^2} \\ = 0.0644 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

- 5) 从表 7-1C 查得，对于波长 0.6943 微米 (在 0.400 ~ 1.400 间) 和发射持续时间 25×10^{-9} 秒 (在 $1.0 \times 10^{-9} \sim 2.5 \times 10^{-1}$ 间) 的激光器，第三级可接触的发射限由下式给出

$$H = 10k_1 k_2 t^{1/3} \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

再从表 7-2A 或 7-2B 查得，波长为 0.6943 微米 (在 0.400 ~ 0.700 间) 时的

$$k_1 = 1, k_2 = 1$$

于是，第三级可接触的发射限是

$$H = 10 \times 1 \times 1 \times (25 \times 10^{-9})^{1/3} \\ = 29.2 \times 10^{-3} = 0.0292 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

由第四步得出射束的辐射照射量 H_0 是 0.0644 焦耳 \cdot 厘米 $^{-2}$ ，是第三级可接触的辐射限两倍多，所以本激光器属第四级。

例 7-2 一台可调谐激光器，能够发射波长 500 ~ 1500 毫微米、能量 25 毫焦耳的激光，光束直径为 5 毫米，发射持续时间为 1 微秒。设计了一个手控开关，使之能分开发射波长 500、1000 和 1300 毫微米的激光，试给这激光器定级。

1) $Q = 25 \text{ 毫焦耳} = 25 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}$

$$a = 5 \text{ 毫米} = 0.5 \text{ 厘米}$$

$$t = 1 \text{ 微秒} = 1 \times 10^{-6} \text{ 秒}$$

$$\lambda_1 = 500, \lambda_2 = 1000, \lambda_3 = 1300 \text{ 毫微米}$$

2) 由式 7-2, 出射束的辐射照射量是

$$\begin{aligned} H_0 &= 1.27Q/a^2 = 1.27 \times 25 \times 10^{-8} / (0.5)^2 \\ &= 0.127 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

3) 由表 7-2A,

$$\lambda_1 = 500 \text{ 毫微米时, } k_1 = 1, k_2 = 1$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 = 1000 \text{ 毫微米时, } k_1 &= 10^{((\lambda - 700)/515)} \\ &= 10^{((1000 - 700)/515)} \\ &= 10^{0.583} = 3.82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= 1.0, \text{ 因 } t = 1 \times 10^{-6} \text{ 秒} \\ &< 100 \text{ 秒} \end{aligned}$$

$$\lambda_3 = 1300 \text{ 毫微米时, } k_1 = 5.0$$

$$\begin{aligned} k_2 &= 1.0, \text{ 因 } t = 1 \times 10^{-6} \text{ 秒} \\ &< 100 \text{ 秒} \end{aligned}$$

4) 从表 7-1C, 对 $t = 1 \times 10^{-6}$ 秒 (在 $1.0 \times 10^{-9} - 2.5 \times 10^{-1}$ 间), 第三级可接触到的发射限是 $10k_1k_2t^{1/3}$ 到 10 焦耳 \cdot 厘米 $^{-2}$ (最大值)

$$\begin{aligned} \lambda_1 = 500 \text{ 毫微米时, } H_1 &= 10 \times 1 \times 1 \times (1 \times 10^{-6})^{1/3} = \\ &= 0.1 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 = 1000 \text{ 毫微米时, } H_2 &= 10 \times 3.8 \times 1 \times (1 \times 10^{-6})^{1/3} = \\ &= 0.382 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_3 = 1300 \text{ 毫微米时, } H_3 &= 10 \times 5.0 \times 1 \times (1 \times \\ &10^{-6})^{1/3} = 0.50 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2} \end{aligned}$$

5) 虽然波长 1000 和 1300 毫微米的辐射照射量没有超过第三级的可接触到的发射限, 但 500 毫微米的 0.127

焦耳·厘米⁻²却超过了第三级的可接触的发射限(0.1 焦耳·厘米⁻²), 所以这激光器属第四级。

例7-3 一瓦氩激光器, 工作于 514.5 毫微米, 打算用于通信网路。问在什么情况下, 出射光束可认为对皮肤没有危害? 并确定这激光器危害的级别^[4]。

1) $\Phi = 1$ 瓦

$\lambda = 514.5$ 毫微米

2) 因为辐射功率输出 $\Phi > 0.5$ 瓦, 所以存在着烧伤皮肤的危险。

3) 由第 6 章表 6-4, 对于波长 514.5 毫微米 (在 400~1400 间)、持续时间 $10 \sim 3 \times 10^4$ 秒的激光, 照射皮肤的 MPE 是 0.2 瓦·厘米⁻²。

4) 应足够加宽光束, 使其出射束辐照度 E_0 降到小于 0.2 瓦·厘米⁻², 由下式

$$E_0 = 4\Phi/\pi a^2$$

$$0.2 = 4 \times 1/\pi a^2$$

$$a = \sqrt{4 \times 1/3.14 \times 0.2} = 2.5 \text{ 厘米}$$

所以光束直径必须大于 2.5 厘米, 以避免出现烧伤皮肤的危险。

5) 这激光器可属于下述三级别之一:

- 第一级, 如果整个激光束的路径都封闭起来的话。
- 第四级, 如果激光束路径未封闭, 而激光系统输出功率大于 0.5 瓦的话。
- 第三级, 若在通过散束光学仪器后, 光束中总光功率小于 0.5 瓦。

例7-4 一台用作遥控开关的、波长为 0.6328 微米的可

见激光器^[4] (氩氦), 它依赖电子脉冲, 得到 1 毫瓦的峰值功率输出, 脉冲持续时间为 0.1 秒, 光束直径为 1 厘米。激光器的再循环时间为 5 秒。

1) $\lambda = 0.6328$ 微米

$p = 1$ 毫瓦 $= 1 \times 10^{-3}$ 瓦

$t = 0.1$ 秒

$a = 1$ 厘米

2) $Q = p \cdot t = 10^{-3} \times 0.1$

$= 10^{-4}$ 焦耳/脉冲

3) 因为激光器的再循环时间是 5 秒, 脉冲重复频率就是 0.2 赫。

4) 激光器的脉冲持续时间为 0.1 秒, 由第 6 章图 6-5 得束内观察时的 MPE 为 3.2×10^{-4} 焦耳·厘米⁻²。

5) 每脉冲的出射束辐射照射量是

$$H_0 = 1.27Q/a^2 = 1.27 \times 10^{-4}/(1)^2$$

$$= 1.27 \times 10^{-4} \text{焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$$

这值比 MPE 值的一半还小, 这说明本激光器属第一级, 豁免级, 如果重复照射被认为是不可能的。

6) 因为缺少有关 PRF 小于 1 赫时的 MPE 值和生物数据, 就应认为照射量是线性相加的。所以至少许可接连照两次, 因照射量 $2 \times 1.27 \times 10^{-4}$ 仍然小于 3.2×10^{-4} 焦耳·厘米⁻²。

六、激光器所在的环境

本章开始曾指出, 在评价激光束危害时的第二个关键性

因素是，激光器所在的环境。当然，只有激光分级的级别高到可能有害时，才须要考虑环境这一因素。假使所用的是有潜在危害的激光器，则照射几率关系到它是在室内还是在室外使用。例如，在不透光的实验室内发射激光，则可能受到危害的只有室内那些个人。另一方面，如果在飞机上用激光照射军用试验场上的目标，就使大得多的空间具有潜在危险。

在评价激光束危害时，不管是室内还是室外，有某些共同的因素是必须考虑的，为的是能采取适当的控制措施（看第八章“对激光危害的控制”），这些因素是：

- 必须想到，有外人闯入发射激光环境的可能性。如果是限制极严的实验室，则发生上述情况的可能性极小。若是工厂的一座大建筑物或是有许多门的飞机棚，则可能性增大。若是在空中向广阔的空间发射激光，则可能性极大。
- 必须检查激光束光路或仪器台的稳定性，也许有必要和可能限制仪器台的上下左右晃动。
- 必须验明有潜在危害的激光束的光路或区域。显然，对于有限范围内的固定激光器，这个问题比较简单。但是对于机载激光器或者可回转的激光器，问题就困难得多。
- 关于镜式反射的潜在危害，只要有可能，就应检查并验明。与此有关的往往是光亮而平滑的金属面，但在有限区域中，这些是较容易控制的。在室外较大区域发射激光，就构成较大的问题，因为可能有较多的镜式表面，诸如看不见的物体、平静池塘的水面、冰块等等。此外，有些镜式物体既难于搬走，又难于使之

漫射。

- 要查明发射激光时是否有或是否可能有漫反射。这只和第四级激光器有关，不是第三级激光器的问题，除非是用双筒镜之类的光学仪器把激光束聚焦于人眼。
- 为了对激光危害作出令人满意的评价，对在激光器所在环境中有意使用激光器一事进行审查也是必要的，例如，军事战术演习时，用来复线激光指示器给激光导向武器照明目标，就构成潜在危害，和从空中激射地上目标一样危险。室内使用时，若经常要改变组装和激射，也需要进行危害评价。

在室外相当远的范围内使用激光器时，就应对直射的或镜式反射的激光束，可能形成危害的全部光程和区域，计算或量度危害的大小。作为距离函数的辐射照射量或光束辐照度按照式 6-10 和 6-11 计算，如下所示：

$$E = \Phi e^{-kr} / \pi \left(\frac{a + r\phi}{2} \right)^2 = 1.27 \Phi e^{-kr} / (a + r\phi)^2$$

$$H = Q e^{-kr} / \pi \left(\frac{a + r\phi}{2} \right)^2 = 1.27 Q e^{-kr} / (a + r\phi)^2$$

七、激光器所在环境中的现场人员

评价激光束危害的第三个关键性因素，是考虑激光器所在环境中的现场人员，包括工作人员以及在发射激光附近的其他个人。对激光器所在环境中的人员，当然只是在激光器级别高到有害时，才需要给与关怀。为了评价激光束在这方面的危害，有关人员应给与考虑的某些重要因素是：

- 负责激光器无害地工作的个人（如激光安全员或其他个人）的能力。

- 在场的个人（如小孩）可能不会认识或不理解警告信号。
- 适当地控制现场人数和他们所在的场所，以尽可能减少受到激光直射束或反射束的无意照射。
- 激光器所在环境中的个人，对激光潜在危害的认识。
- 与激光器运转直接有关人员所受到的激光安全教育和训练的质量以及他们的经验。
- 激光器使用者的成熟和判断的准确性（如是否可以信任他们会照着既定的危害控制步骤去做？）。
- 保证从事任何关键性安全工作的人员（如执勤的安全警卫，他们的任务是限制人和车进入有害的激射区）没有生理上的缺陷，如听力差视力模糊。

参 考 文 献

1. "Laser Products Performance Standards", Federal Register, Vol. 40, No 148, pp 32252-32266, BRH, 31 July 1975.
2. "Guide for Submission of Information on Lasers and Products Containing Lasers Pursuant to CFR 1002.10 and 1002.12", BRH, July 1976.
3. "American National Standard for the Safe Use of Lasers Z 136.1-1975" ANCI, NY., 1976.
4. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation", U. S. Dept. of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, May 1975.
5. "NATC Instruction 5100.2, Laser Safety; responsibilities and minimum safety procedures for," Dept. of the Navy, Navy Air Test Center, 5 Mar. 1973.

第八章 对激光危害的控制

一、绪言

对于有潜在危害的激光，设计和执行控制措施的主要目标，是把人眼和皮肤受到激光照射的可能性，减少到最小程度。

危害控制措施受到所用激光器分级法的影响，下面提到的控制措施，有一部分就是依据激光器的级别进行描述的。然而，激光器分级方案只和激光器装置本身特别有关，而其潜在危害则是基于其工作特性的。所以，对这一问题更详尽的处理，要求考虑环境、人员、激光器使用方式等因素。

在已推荐的预防和控制措施中，有许多都直接和下述三项有关：

- 工程上的控制
- 管理程序
- 对激光器工作环境的控制

对于环境，室内是工程控制占据着突出的地位，而室外则往往只有管理控制，是把激光束的危害减少到最小程度的合理手段。

也许最佳的安全法则是，正确认识许多激光器都有潜在危害，并把这种认识和通情达理结合起来。同样明显的是，心中有数激光器用户一般是安全得多。所以，对激光安全训练，提出某种最低要求，是合情合理的。

激光器用户应选购那些既提供最低功率或能量水平、又

能满足他们的要求的系统。

一个被任命为“激光安全员”的责任是，发展和执行有效的安全法则和步骤，以控制激光危害（见第十一章，激光安全方案，全面提出激光安全员的职务和责任）。激光测距安全员受命于陆军部，其职责是执行激光测距时安全工作步骤。在格鲁曼航空和宇航公司和执行A-6E型 TRAM 飞机的地面和飞行试验相当的人员，被称为激光安全协调人。

美国国家标准协会（ANSI，民办的组织）的安全标准指出，对于激光用于诊断、治疗以及医学研究，加以合格专业人员从事治疗技术的倾向，在这方面的控制措施一般趋于放松。但防护控制措施也同样用于管理激光器的人员。

激光仪器的设计、标记和安全说明在控制激光危害方面全都起着一定作用。这些以及其他指导激光器产品制造的方面，如 BRH 的“激光器产品的性能标准”，都将在第十、公法这一章加以说明。

本章分为下述诸节：

- 对第一级——豁免级激光器的控制措施
- 对第二级——低功率激光器的控制措施
- 对第三级——中等功率激光器的控制措施
- 对第四级——高功率激光器的控制措施
- 对第五级——封闭激光器的控制措施（这一级已废除）
- 对红外激光器的特殊控制措施
- 对紫外激光器的特殊控制措施
- 野外和机载激光器的控制措施
- 激光防护眼罩
- 警告牌和标记

- 激光器输出功率或工作特性的改变。

二、对第一级——豁免级激光器的控制措施

因为第一级激光器不会发出有害的激光，什么控制措施都不需要，也不要张贴警告的标记。但实践和常识告诫人们，不必要的持久的注视激光束应予以避免。

三、对第二级——低功率激光器的控制措施

第二级可见激光器的偶而照射，不会伤害人眼；但束内连续观察是能使人眼受伤的。所以，一个最重要的控制措施是，不要长时间地注视激光束。

其次，应在激光器外壳或（和）控制板的显眼位置上张贴适当的警告标记。美国放射卫生局（BRH）要求制造商张贴象图 8-1 那样的“当心”标记。

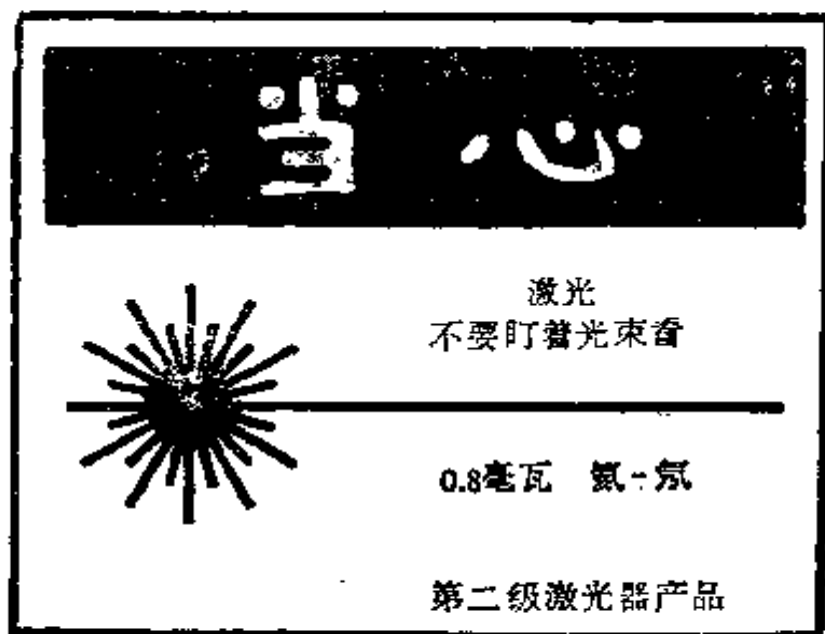


图 8-1 供第二级氩-氖激光器用 BRH 标记

四、对第三级——中等功率激光器的 控制措施

第三级激光器对人眼有潜在危害，需要采取措施把这器官受伤的可能性缩到最小。BRH 把第三级细分为两类，即三（甲）和三（乙）级。

第三（甲）级激光器发出可见激光，在眨眼时间或避开反应时间（0.25 秒）内，不会伤害人眼。然而人眼受伤仍是可能的，如用双筒镜之类的光学装置看光束或连续注视光束。BRH 指出第三（甲）的技术参数是：发射激光的持续时间大于 3.8×10^{-4} 秒，波长大于 400 毫微米、但小于或等于 700 毫微米，辐照度 $\leq 2.5 \times 10^{-3}$ 瓦·厘米⁻²，以及辐射功率 $\leq 5.0 \times 10^{-3}$ 瓦。

如果直视光束或看镜式反射光束，第三（乙）级激光器偶而伤害眼是可能的。

对于中等功率激光器，现将讨论十种控制措施。一般说来，对高功率的第四级激光器，除采取这十种措施外，还应多采取一些措施，因其功率大一些。十种措施如下：

- 对激光器用户进行教育和训练
- 工程上的控制
- 管理上的控制
- 激光受控区
- 激光器的操作人员
- 旁观者
- 校直步骤
- 观察用的光学设备
- 人眼的防护

• 仪器的标记

虽然第三级和第四级激光器的控制措施中，有许多都可用于室外，如野外或机场，但室外仍有其特殊的方面和方案需要另加处理，因而另节讨论。

(一) 对激光器用户进行教育和训练

关于用激光器工作时可能遇到的危害，必须对使用者进行恰当的教育。所以对使用人员进行激光安全的训练，是有效地执行激光危害控制措施的要点（见第十一章激光安全方案中的激光安全训练的途径）。

此外，只允许有经验的人员操作激光器。

(二) 工程上的控制

对适当设计的安全机构和技术的运用，应是激光器操作的组成部分。这类设计的一些控制例子如下：

- 光束的光阑和后障
- 激光束强度的减弱
- 光束套
- 光束光闸
- 激光器的牢固支座
- 受控的光束路径
- 激光器所在处的照明要好
- 详尽的操作和安全步骤
- 搬走或清除镜式反射体
- 目标的漫射特性
- 和人眼不在同一水平的光束路径。

只要可能，应使激光束在走过有用途径后停止前进。搞一个特大号的光阑包住目标就能做到这一点。对于室外操作，坚固的后障可以是茂盛的树林、土堆或小山丘。

有时可能出现这样的情况，即许可甚至有必要把激光束的强度降到危害较小的水平，而又不妨碍使用激光器的目的。要做到这一点，至少有两种可行的手段：第一是在光路中插入一片滤光器。其次是增大光束，即可能用一对透镜增大光束直径。第一个透镜使光束发散，而第二个透镜放在适当位置上又可使已发散的光束缩小一些。降低功率或能量密度的结果是，减少了光束观察时的危害。

尽可能经常地把激光束路径包围起来，这样就能大大地降低危害。一个简单而便宜的硬纸筒就可把激光束包围起来供教室表演和实验用（看第十二章教室使用激光器时的安全问题）。

许多激光器的结构是供持续工作用的，经常地时开时停会缩短其有效寿命。一种克服这一困难的简单办法是用光闸。光闸可能是一块简单机件，用以盖住激光器的出射孔。用光闸盖住出射孔，把激光束封闭起来，就能减弱它的危害。光闸应能全部地阻止光束，可用一块黑色无反射的材料做光闸。

把激光器安装在三角架之类的牢固支架上，有助于保证激光束沿着原定的方向前进。

对于许多激光器系统，要控制其光束路径是完全可能的。一个相当简单的方法是，用制动器控制其上下左右的移动。对于更精密的系统，支架的移动可用计算机控制。当规定的方位角或升降限被超过时，计算机就能使激光器自动停止发射，这样的软件是不难设计并使之具体化的。

对于激光器所在处的照明，应尽可能使之光亮。光亮能使观者的瞳孔缩小，从而限制射到视网膜上的光量，如果出现束内观察的话。

相当详尽的操作步骤，包括对安全因素的充分考虑，在操作激光器之前，就应事先准备好。这些对于第一次操作尤其重要，对于有一个以上的人（或组）操作激光器时，它们还可以起着必要的操作指南的作用。对于复杂一些激光器系统，这些几乎是强制性的要求，因为此时操作步骤也会跟着复杂化。虽然激光器操作和安全步骤的准备和应用，可认为是一种管理控制，但是把这类步骤的准备和初期试行正常地纳入工程范围，也肯定是合理的。为了这个原故，而把这一方面归之于工程控制，而不归之于管理控制。激光安全步骤在执行时可能成为一种可怕的梦魇，如果既不好好进行工程上的判断，又不顾及常识的话。

如可能应将所有镜式反射面从激光束路径附近移开。同样地，不要让激光束照射已知具有镜式反射的物体。如果情况使之难于或不能从激射区移走镜式表面，就应油漆这些表面，使之具有漫射或散束的特性，这一点十分重要。用便宜的深黑油漆非常有效。

激光器的出射激光束将一直前进，直到它被吸收或被反射。选定的目标应是漫射、吸收材料，以防止有潜在危险的镜式反射。黑色泡沫橡皮材料或吸了黑色墨水的吸墨纸都是很好的漫射目标。已发现喷沙铝片作为 A-6E TRAM 飞机对近红外发射的漫反射材料是相当有效的。

如可能，应使激光束路径不在人取正常站位或坐位时的眼水平，即使之大约低于三英尺或高于六英尺，在教室进行激光实验或演示时就应考虑这一因素。

（三）管理上的控制

管理上的控制措施，能把激光束的危害，降到最小程度。激光器在应用上几乎有无限的可能性，这就使人们不可能预

见或记载每一项有用的管理上的控制措施。然而，下述诸项对建立管理控制措施提供了一个很好的基准线。

- 不要把激光束对准人，特别对准他们的眼睛。
- 避免束内看原激光束。
- 避免看可见激光的反射束，因为它有可能烧伤视网膜。
- 避免看激光器的光泵源。
- 如果有受到有害激光照射的危险，就应戴能滤过该波长激光的安全眼罩。
- 不要让激光器无人照管，如果存在着未经许可的和不合格的人员用它的可能性的话。
- 工作室应布置得有条不紊，以保证不会有镜式物体被扔到激光束路径中。
- 去掉手表、戒指、项链和其他耀眼的宝石，因它们可能产生有害的反射。
- 如可能，所有人员都应离开预定的光束路径。
- 对于室内设备，在使用激光器时应关上门，以阻止外人闯入。
- 在可行的范围内，激光器应在受到严密控制的区域中运转，例如，在关着的室内，有窗帘或窗玻璃滤光，以及控制接近激光器的措施等。
- 在开动激光器之先，应告诫所有现场人员，特别是参观人员，关于激光器的潜在危害。每个人一生只有一双眼睛，提醒他们这一点并非是多事。
- 表示激光器在工作以及有危险的明显信号，应安置在工作区内外的突出位置上，以及进入工作区的房门上。

- 对于发射不可见光谱范围的激光器，在使用它们时应特别小心。
- 要严格禁止用激光束指向或追踪非目标的车辆或飞机。
- 任何后象都可能预示眼受了伤，应立即看医生，最好是对视网膜烧伤有经验的眼科医生。

（四）激光受控区

在用第三级激光器时，应充分考虑让激光设备在受控区工作。对于高功率第四级激光器，这一要求就是强制性的。对于激光受控区作为一种控制措施，将在本章第五节“对第四级-高功率激光器控制措施”中作充分讨论。

（五）激光器的操作人员

只有授权操作人员才可以开动激光器系统。可是决定是否给激光器操作人员发执照的法规和条例是不受联邦控制的，各州的条例不一，有的连条例都没有。纽约州工业法第50条法规要求，使用可移动激光器（一台激光器在激光室之外使用或操作）应有许可操作执照。然而这一法规对研制规划以及对持有纽约州执照的专业工程师和土地测绘人员不要求有执照。

（六）旁观者

一般说来，应严格限制或禁止闲杂人员进入激光控制区。参观人员应得到相应监督人员的许可才能进入，并应采取必要的防护措施。此外，必须给来说清楚，激光器是有潜在危害的。

（七）校直步骤

在校直激光器的光学部件时，诸如面镜、偏束器、扩束器、透镜等等，所用技术要保证，人眼不受到原激光束或其

有害的反射束的照射。

(八) 观察用的光学设备

对于供观察用的双筒镜、显微镜、望远镜之类的光学设备，若用它们看激光束，就会加深眼的危害。如果非用它们不可的话，就应该用滤光器和适当联锁之类的防护设备，以保证人眼受到辐照时，其照射量水平低于 MPE 的值。

(九) 人眼的防护

如果已查明，所采取的工程上和管理上的全部控制措施，还不能消除人眼受到超 MPE 水平照射的可能性时，就必须戴适当的防护眼罩。

(十) 仪器的标记

警告标记应安置在激光器外壳或（和）控制板显眼的地方。放射卫生局（BRH）对三（甲）和三（乙）这两级激

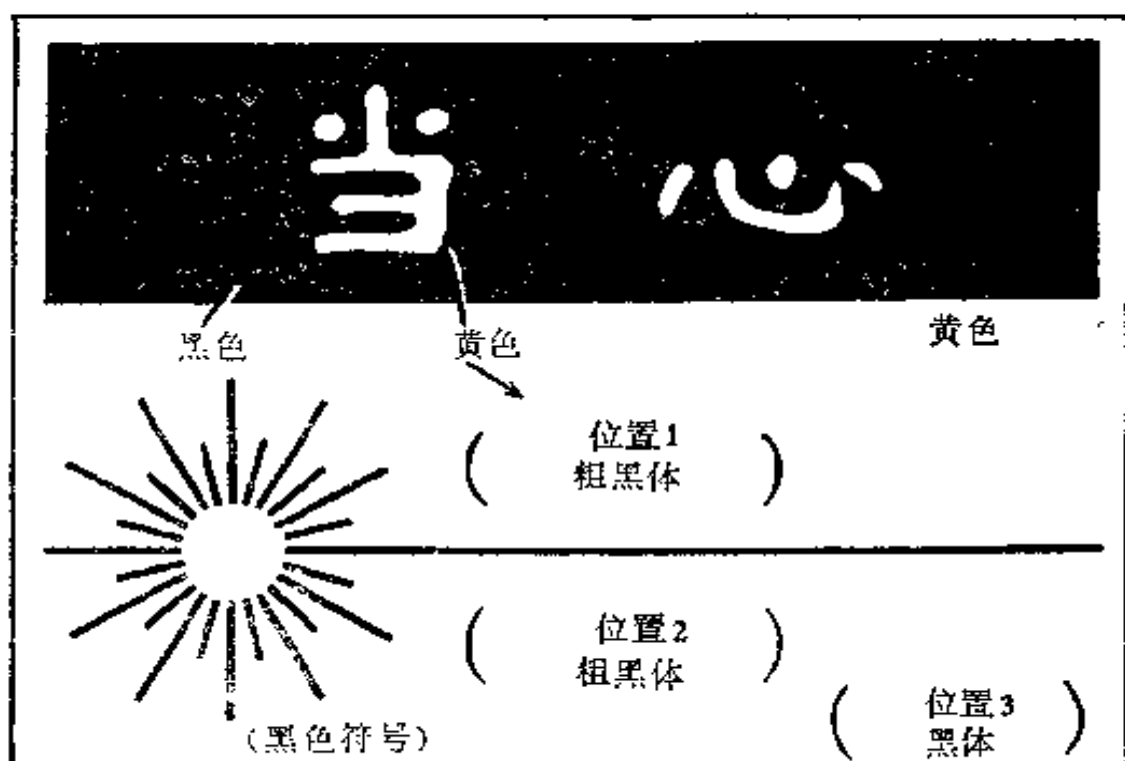


图 3-2 BRH的第三(甲)级警告标记

光器的标记要求作了详细说明。图 8-2 示 BRH 要求的第三（甲）级警告标记。位置 1 应写上“**激光-不要束内注视或用光学仪器直视**”字样。位置 3 则写上“**第三（甲）级激光器产品**”。位置 2 则留着标明输出参数（第二、三（乙）、四级激光器也一样），如用适当单位表示的激光最大输出、脉冲持续时间（在适宜时）、激光媒质、发射波长等。

BRH 要求的第三（乙）级标记如图 8-3 所示。位置 1 应写上“**激光-避免激光束的直接照射**”。位置 3 则应写上“**第三（乙）级激光器产品**”。

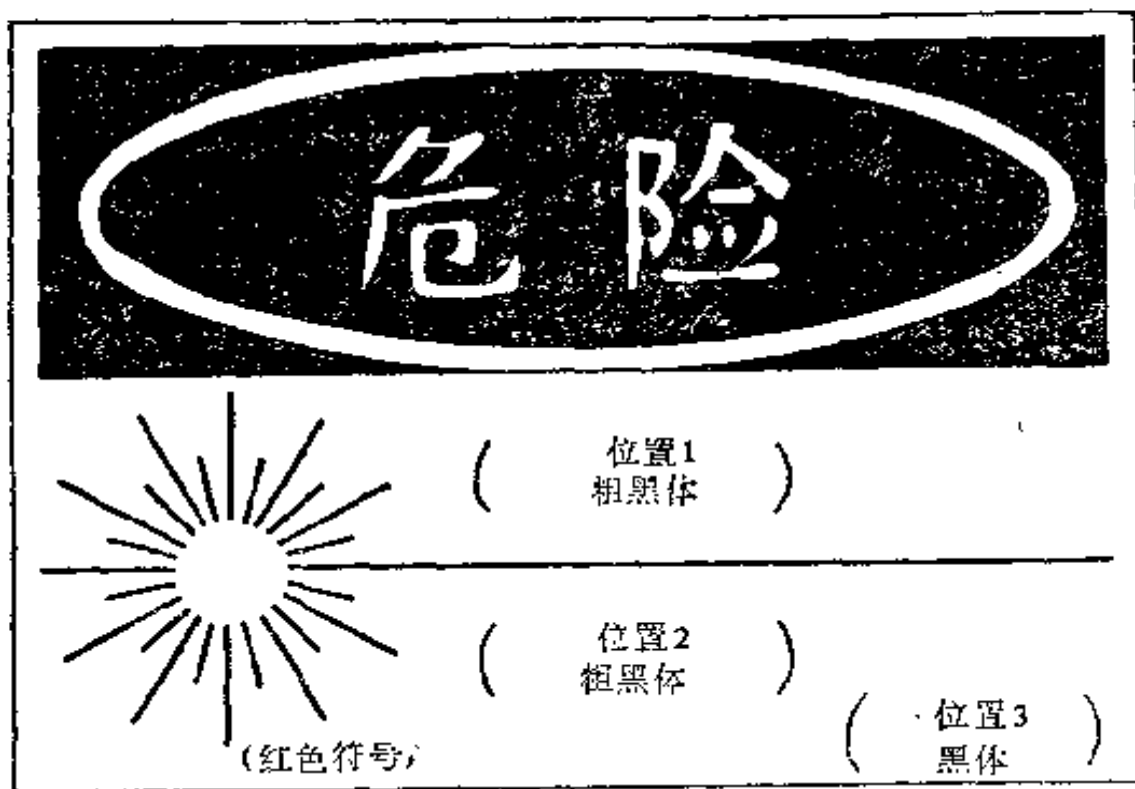


图 8-3 BRH 的第三（乙）级警告标记

五、对第四级——高功率激光器的控制措施

高功率激光器是最危险的激光器，因受伤的机会和严重程度，会随着输出功率或能量的增加，而相应地增加。产生

有害镜式反射的可能性也变大了，有害的漫反射也如此。除了人眼和皮肤的危害外，第四级激光器还是潜在的火灾源。由于上述诸因素，需要对第四级的危害，采取更严格的控制措施。

前一节对用于第三级的控制，列举和讨论了十项这样的措施，它们大体上也适用于第四级-高功率激光器。这里还将讨论激光受控区和工程上的控制，对后者除第三级列举的外，还要提出一些附加的要求。

看图 8-3 示 BRH 要求的警告标记。此时位置 1 应写上“**激光-避免直射或散射激光照射人眼和皮肤**”。位置 3 则应写上“**第四级激光器产品**”。

(一) 激光受控区

应把高功率激射限制于受控区，这区应仔细设计和适当管理，以防护个人不受到激光的照射。这样一个区域叫做激光受控区，它可以位于室内或室外，这决定激光器的使用目的。由于激光器常用于不同目的，受控区激光安全的职责，就取决一个个人（即激光安全员或由他正式指定的代表）以及（为书面安全步骤）所许可的全面操作，这些步骤的批准和监督决定于激光安全员。

对于激光器的室内工作，就应利用安全弹簧锁、联锁、或门卫，以保证外人和未受保护的人不得进入受控区，以及门一打开激射就马上停止。房间应该不透光，窗户或其他透光孔都应掩蔽或遮挡起来，以阻止有害的激光束泄漏出去。还必须有一套规则和设备使人们能够在紧急情况下迅速进入或离开受控区。应设置一“惊慌”开关，使得在紧急情况下能使激光器停止发射。

对于室外激光器设备，激光束不应指向非目标的车辆或

飞机，也不要让激光射出在已知有害距离之内的大气或地面空间。无线电通信、守卫和控制空中交通和陆上交通，是在室外激光区常用的一些管理上的控制。在路旁入口处设置栏栅也是常用的措施。

有些项目是既适用于室内又适用于室外激光受控区的。如只有得到适当的许可后才可进入这类区域。假若激光器能发射的话。所有人员都应戴相应防护眼罩，皮肤若有受伤的危险，也要防护皮肤。如果发生皮肤严重烧伤或发生火灾，就应该用适当的安全屏蔽把激光束和人员分开。适当的警告牌应安置在显眼的地方，如门上、路边等等。凡是激光功率或能量相当高的地方，就需要用漫射、吸收和耐火的后障或目标物。激光束路径中应清除掉所有能产生有害反射的镜式表面，如果搬不掉的话，就应该用漫射套将物体罩上或盖住。

为了正常的维护、检修或训练目的，有时要把套子揭开和把联锁防护断开，就得临时建立激光受控区。和正常的激光受控区一样，维护和检修时的操作，应受书面安全步骤的指导，而这些步骤应得到激光安全员的批准。如果某些机内防护设备被绕过，临时的激光受控区仍然该提供维护、检修和训练时所有的安全要求。

(二) 工程上的控制

前述第三级的诸工程上的控制也适用于高功率激光器，但除那些之外，还有下述一些措施，应认真地予以考虑：

- 封闭光束路径
- 远距激射和监督
- 警告系统或（和）步骤
- 键控主联锁
- 对脉冲激光器意外激射的防护

只要可能，就应把高功率激光器的光路包围起来，这指的是激光起作用的区域或原光束、反射光束能够辐照到物体的区域。只有外罩罩好了，联锁应和外罩一道使用，才能使得激光器工作。

如果行得通，就应该用远距激射和影象监视，这就使工作人员没有必要和激光器在同一室内，也不会使工作人员处于光束的直射或反射“视线”之中。实时影象监视光束“足迹”，对于发射不可见光的激光器，是一个特别必要的安全措施，这技术也有用作工程分析工具的潜力。

在激光器激活之前，要预先告诉有关人员，激射即将开始。对于室内工作，适合的警报或警告系统（如戴着防护眼罩能看见的旋转光）、声响或“倒数数”都是满意的方法。对于持续激射，连续发出一个醒目但不太刺激的警报，如可见的旋转光，往往是必需的，甚至是强迫性的。虽然同样的警报对室外工作也足够了，但在激光器的使用中，若涉及广阔的空间，如军事上的激光测距，那么无线电通讯就可能是唯一的警告措施。

对大多数第四级激光器，需要有一个键控主联锁或开关装置，以保证只有有资格的人员才能启动激光器。应该用一个可抽插的键，当键抽出后，激光器就不能工作。但对于某些军事上的应用，这一方法并不总是行得通的。

供脉冲激光器用的光泵系统一充电后，有可能自发地放电，使激光器激射。所以启动系统中应接入防护措施，以避免发生这类现象。

六、对第五级——封闭式激光器的控制措施

美国国家标准协会（ANSI）已废除第五级，为的是使

其分级制好与放射卫生局 (BRH) 的作比较。因而也就没有关于这一级的控制措施。

七、对红外激光器的特殊控制措施

工作于红外激光器时要特别小心，因为红外激光不可见（紫外线也一样）。上述基于激光器分类所列举的一些控制措施大部分仍旧适用，但是更应多加注意下述几点要求：

- 光束路径的终止
- 影象监视
- 极高功率激光器的滤光材料

(一) 光束路径的终止

对于第三级激光器，就应该考虑用吸收率大的后障，终止光束路径。对于室内工作，这一点往往是不难做到的，然而在室外工作时也往往可以利用天然地形特征来满足终止光束的要求。要注意，某些表面的暗淡色彩，对于反射红外线来说，常会把人引入歧途，即误认为反射少。

对于第四级激光器，光束路径的终止应该用耐火材料，如果这方法可行的话。应定期检查这种吸光材料，因其性能会随着使用而降级。

对于极高功率激光器，可能要先用水冷的金属反射器，其凸表面将发散光束，传达到某点的功率水平能被后障吸收掉⁽⁵⁾。

(二) 影象监视

为了给红外光束路径明确定位，影象监视有时是一项必要的控制措施。

(三) 极高功率激光器的滤光材料

常用作光束防护屏或防护眼镜的滤光材料，对极高功率

激光器是没有用的，如果其输出水平超过材料的损坏阈的话。此外，若其输出水平高到能严重烧伤皮肤或使衣服着火，那就应该用某种技术降低其辐射水平，使人体截住的水平低于皮肤伤烧的水平和低于衣服着火的水平。

八、对紫外激光器的特殊控制措施

和红外线一样，紫外线也是不可见的，于是也必须特别小心。基于激光器级别而采取的措施也同样适用。

要特别注意，紫外线可能产生的化学反应，例如，形成臭氧或使皮肤敏感⁽²⁾。

九、对野外和机载激光器的控制措施

许多激光器系统正在军事上用于战术性的地面和空中作战。激光测距、武器制导（如“灵敏”炸弹）、目标指向等只是日益增长的军事应用中的少数几项。激光器系统可以是车载的或机载的，支架支持的或手提式的。在这类设备中，很多有长达数英里的束内观察有害距离。

在野外用有潜在危害的激光器进行工作时，其安全准则一般是环绕下述几点建立起来的：

- 限制人员进入激光区
- 限制在有人区使用激光器
- 限制人员接受激光的照射

这些也同样适用于机载系统。

不同于室内操作的控制措施，野外和机载激光器的控制，显著地依赖于和激光器使用有关的、有害区的划定。有必要评价特定激光器对人员的危害，以提供适当的安全准则，借以建立控制措施，包括有害区的划定。评价激光对人员的危

害时应考虑的因素是直射和反射光束的照射以及镜式反射和漫反射。

激光器工作时本身就有安全因素，其主要的是激光指向准确和有害镜式反射区有限。

正如前面指出的，为第三级和第四级激光器制定的控制措施中，有许多都适用于野外和机载等室外应用。本节将描述和再强调某些特殊方面，待考虑和待执行的方式方法如下：

- “视线武器”的方法
- 激光器在空中的使用
- 标准操作步骤
- 激光测距安全员
- 激光器的操作者
- 无线电通讯
- 光束的终止
- 激光反射
- 光学仪器观察
- 表面危险区

(一) “视线武器”的方法

显然激光一般缺少射穿目标的能力，但它的使用可以很象机关枪、步枪之类的直射“视线武器”。所以，用于步枪的危害控制措施提供了，在保证使用激光器时有一个安全环境时，所必须考虑的绝大部分情况。

美国陆军的文件 AR385-63 中载有，对安全使用直射武器的一些要求。

(二) 激光器在空中的使用

除了其他职责外，美国运输部联邦航空局 (FAA) 还负责保证飞机和乘客的安全，以及空运畅通。

美国国家标准协会 (ANSI) 建议, 凡是想在空中进行激光器实验或规划的, 都应和华盛顿的 AAF 或其地区办公室联系, 而且这种联系应在设计阶段就进行, 以保证机载人员或仪器的任何潜在危害, 能得到正确的控制。

(三) 标准操作步骤

为了控制人员在激光束路径附近的移动, 必须强制执行某些适当的步骤, 以保证地面或 (和) 空中人员所受到的照射量不大于制定的许可水平。现役人员常把这些操作和安全步骤称之为, **标准操作步骤**或 SOP。作为标准操作的一部分, 一个激光安全训练方案应包括和飞行及地面行动有关的全体人员。

尽管安全无比重要, 但还是要依靠准确的判断和丰富的经验, 以避免不必要的、过严的控制不适当地阻碍激光器的操作。

(四) 激光测距安全员

为了保证执行安全操作步骤及适当的管理控制, 任命某一个人作为激光测距安全员 (LRSO) 是完全必要的。

对于空中行动, 这个安全员应和地区空中交通人员一道, 保证空中交通受到严格控制。给控制塔的操作者以及和这任务有关的地面控制站提供所需要的信息也是他的重要职责。安全员还要对靶区提供适当的监督, 办法是保证未经许可的人员不得入内, 以及得到许可入内的人员戴防护眼罩 (在这样要求时)。

(五) 激光器的操作者

激光器操作者有责任保证, 激光只对准指定的目标或受控区 (空间) 中的靶区。必须避免镜式反射, 若事先没有采取措施使之漫射的话。要求飞行人员特别注意, 要他弄清楚,

激射的确只是对准靶或靶区。此外，对于机载激射台，操作者更应多加小心，因为飞机运动所产生的光束偏移，要比地面同样装置的大得多。

虽然听起来老一套，但还是要说：若目标不易看清，就不要激射。此外，机载激光器操作者必须保证：当飞机不在激射范围的位置时，激光器就是牢固关着的，不能激射。

(六) 无线电通讯

在激光器工作时，用无线电通讯告诉有关测距人员，是必不可少的；为的是告诫他们要戴防护眼罩。当激光器停止工作时，要让他们知道，这也一样是必要的，因为激射时常常常要采取严格限制，使限制长于必需时间是不必的。

因为许多野外工作，以及特别是机载工作，都牵涉广阔的海陆空，工作的无线控制几乎是非此不可的。至于小些的区域，或者只是地上工作，用手势或旗语就够了。无论用什么样的通讯方法，通讯环中任一节的断开，都要能自动地终止激光器的工作。

(七) 光束的终止

激光器的工作应这样进行，使得光束不超越受控靶区。偏向角小时，可利用天然地形特征，如密林、小丘或大山来终止光束。

若光束无法终止，象轰击以水为背景的目标，此时应非常小心，以限制未防护人员进入光束辐照度可达到不安全值的区域。

(八) 激光反射

事实上，受到激光照射的所有物体，都或多或少地反射一些激光，在绝大多数情况下，是无害的漫反射。象玻璃、反射镜、有机玻璃、镀铬金属等能产生有害反射的镜式物

体，应移开、覆盖或涂漆。如果需要这些物体或不能充分肯定它们全能移开，就必须戴防护眼罩。

平静水面、冰块或雪花的镜式反射，对不位于光束路径方位角上的地面或空中人员，一般认为不构成危害。但要注意，现实世界的地形特征，在覆盖着雪花或冰块时，能在不同角度上产生镜式反射。在直射或反射光束路径中的人员必须戴防护眼罩。空勤人员可能需要护目镜，这决定于激光器输出，技术性的激射要求以及潜在的镜式危害。驾驶员的护目镜一定不要只限于原飞行需要。在机载激射之前，驾驶员或其他空勤人员要对镜式反射物进行视检，是非常必要的。空勤人员还应视检靶区，看有无人员、船只闯入。

若激光器的输出能够产生有害的漫反射，那么所有物体都应从光路中移开。此时最应关心的是，激光束射击点的邻近区，一般在100英尺以内（条件是没用光学放大装置看反射束）。对于基地激射，有必要把激光器附近的灌木和树砍掉。

应避免在雨、雪、雾或灰尘中开动激光器，除非是戴了防护眼罩，露水或雨后的水珠也可能有害。

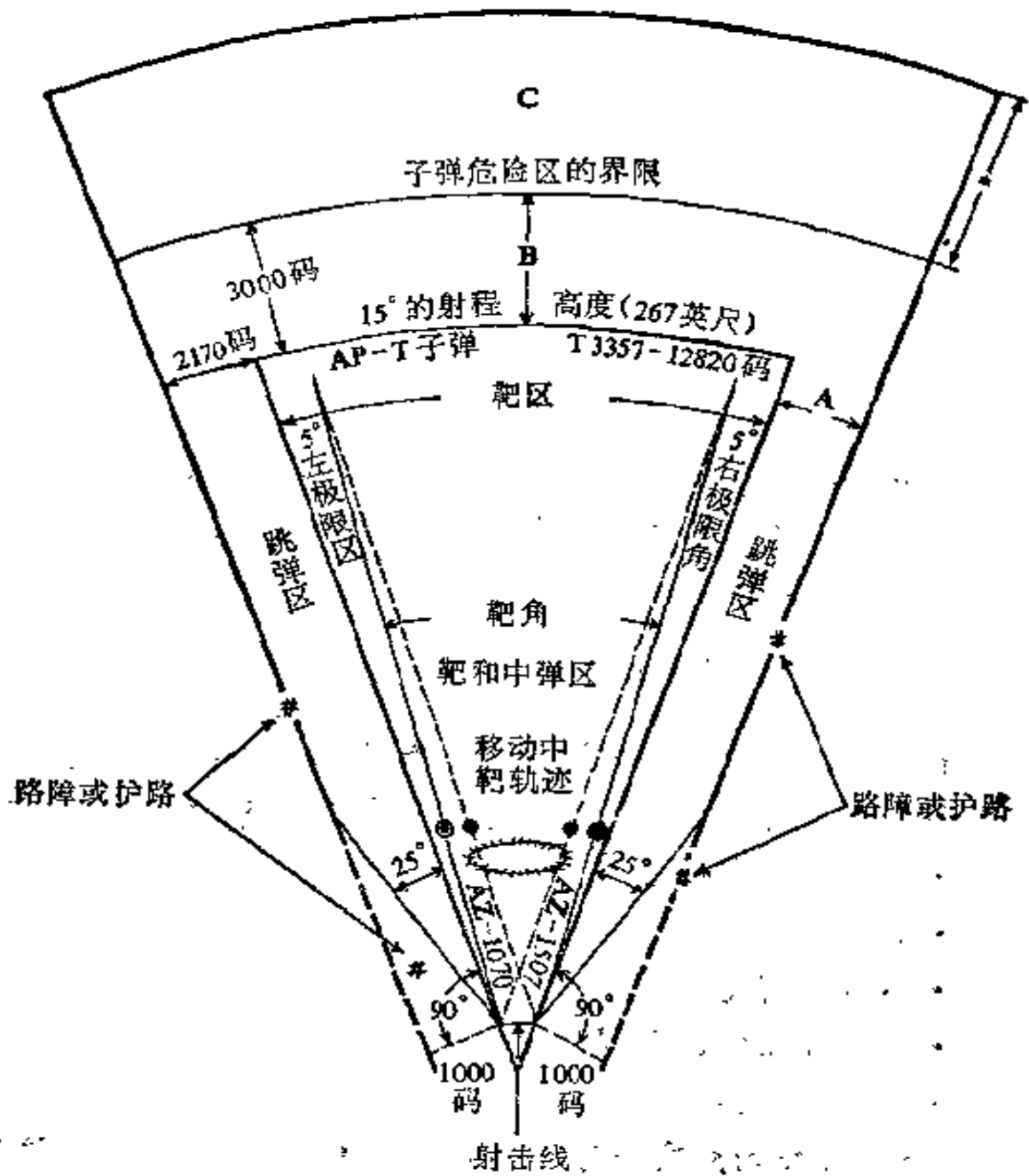
（九）光学仪器观察

在用双筒镜、望远镜、电影经纬仪等观察光学仪器，看激射目标时，要极其小心，因为这种仪器不仅能加大眼所看到的辐射水平，而且能大大地伸延有害距离。于是必须在光学仪器的光路中加适当滤激光片，从靶区附近移开镜式反射物，还应使靶体具有漫反射的特性。

激光的描准不要用人眼，以避免沿着光束轴线观看，不然反射危害会增大。

（十）表面危险区

图 8-4 是“表面危险区”，取自参考文献 1，它是正在射击武器的射程图。一般子弹的最大射程止于 B 区。对于激光器的激射，还要加个 C 区，如图 8-4 所示。选用适当的后障，就可缩短甚至删去 C 区。



*特定激光装置标定有害范围

激光器瞄准的准确度决定了所要求的缓冲区的大小。另一方面，激光装置的瞄准准确度又决定于激光装置是否安装在稳定平台上。对缓冲区所推荐的要求如下：

- 对于稳定台，如再加固台阶、重型三角架、静止坦克或其他不易移动或摇动的静止台架，缓冲区为 2 密位（军事用的角度单位）。
- 对于轻便三角架、手提夹、活动坦克或飞机等作为激光射台时，缓冲区为 5 密位。
- 对于没有回转稳定器的移动中的发射台，缓冲区为 10 密位。

十、激光防护眼罩

对激光危害在采取了所有措施之后，若仍有受到意外照射的危险，就必须戴防护眼罩。第十章将全面讨论与激光防护眼罩有关的许多方面。

十一、警告牌和标记

前面讨论过，对各级激光器的警告标记，各有什么特定的要求。本节将就已提过的因素作一普遍的考虑：

- 激光器危害符号
- 信号文字
- 恰当的信息
- 警告牌和标记的显示
- 警告牌的设计

（一）激光器危害符号 激光器危害符号用的阳光突现的图案，如图 8-1 所示。参考文献 6 指出了这符号中各记号的颜色、大小和位置。

(二) 信号文字 所有警告牌和标记都只用两个字，不是“当心”就是“危险”。第二级和第三（甲）级激光器用“当心”二字，第三（乙）级和第四级则用“危险”二字。

(三) 恰当的信息 所需要的信号文字应排在警告牌和标记的上方，要留下适当地位以写上所有必要信息。这些信息可以在印刷标记时刷上或手书，字体要清楚。

写在阳光突现长横线上方的是激光器的类型，例如，脉冲红宝石激光器、连续氦氛激光器等等。长横线下方则写上特别的预防指示或要求现场人员采取的防护措施以及激光器的输出。

(四) 警告牌和标记的显示 警告牌和标记应总是挂在和贴在显眼处，以警告人们激光的潜在危害。使用警告牌和标记作为一种控制措施，室内比室外更有效，因后者要控制的范围太大。

(五) 警告牌的设计 参考文献6提供了警告牌设计所需要的知识，如警告牌的大小、颜色、文字大小等等。若用激光警告信号，它应和警告牌提供一样的信息。

十二、激光器输出功率或工作特性的改变

若有意地改装一台激光器，或一台有潜在危害的激光器在维护、检修或工作时，其输出功率或工作特性发生了变化，那么就需要进行研究或（和）测量，以确定现有控制措施是否足够了。

参 考 文 献

1. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation",
U. S. Department of the Army Technical Bulletin TB-

- MED-279, Washington, May 1975.
2. "American National Standard for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976" ANSI, NY., 1976.
 3. "Laser Products Performance Standards", Federal Register, Vol. 40, NO. 148, pp. 32252-32266, BRH., Washington, 31 July 1975.
 4. New York State Industrial Code Rule 50, "Lasers", State of New York Dept. of Labor, NY., 1 Aug. 1972.
 5. Sliney, D. H. et al., "Environmental Health Hazards from High-Powered, Infrared Laser Devices," Archives of Environmental Health, Vol. 30, pp. 174-179, April 1975.
 6. "American National Standard Specifications for Accidental Prevention Signs Z35.1", ANSI., 1972.
 7. Van Pelt, W. F., et al., Laser Fundamentals and Experiments, BRH., Southwestern Radiological Health Laboratory, Las Vegas, May 1970.
 8. «Laser Safety Guide», 3rd Edition, LIA., Cincinnati, Jan. 1976.
 9. Chabot, L., et al., "Airborne Test of Advanced Multisensor Aircraft", 5th Annual Symposium Proceedings, Society of Flight Test Engineers, pp 2-29 to 2-128, Aug. 1974.

第九章 控制与激光器有关的危害

第四章提出的、和激光器有关的各种危害，将在本章一一加以讨论。通过评价潜在危害以及采取适当控制措施，就能够减少有关危害，为工作人员提供一个安全工作的环境。本手册的性质和目的，排除了对多种多样训练的深入讨论。然而，还是提出了相当多的参考文献，使读者充分熟识，正确控制和激光器有关的危害所需要的多种条例、步骤和多样的知识。本章还详尽地讨论了，对遭到严重电击的受害者，应采取的一些“急救”步骤。

一、对电危害的控制

和激光设备有关的潜在电击，可能十分严重甚至是致命的。本节将说明中断有害电击的可能性。由于没有一项控制制度是十全十美的，于是进而讨论严重电击受害者的急救步骤。

- 条例、步骤和标准
- 预防电击的综合安全考虑
- 对于高功率激光系统（所设计的和用户的）预防措施
- 对严重电击受害者的急救

（一）条例、步骤和标准

已有许多处理电危害的条例和步骤。化学橡胶公司的《实验室安全手册》中就有一些精彩章节讨论电安全^[1]和电设备接地^[2]。Franks 等认为^[3]原子能委员会的《研究、安全和防火的电安全指南》是一本很有用的书^[4]，在 ANSI

的“激光器安全使用 Z136.1-1976”中，也把此书列为参考文献。MIL 标准 454C 讨论了一般安全以及电机壳接地的必要性，但只简略谈及高压电源^[3]。

至于激光器装置中的电设备，ANSI 建议^[5]，按照“美国国家标准：国家电法典 C1-1971 (NFPA 70-1971)，第 300 和 400 条”去做。按此安装的电设备将为职业安全及卫生管理局认可，条件是只要水下实验室有限公司、制造厂共同公司 (Factory Mutual Corporation) 之类的、由国家组织的检验实验室认为是安全的。

(二) 预防电击的综合安全考虑

表 9-1 给出了用电器时，为了预防电击而应采取的、一些关键性综合安全指南一览表。

表 9-1 预防电击的综合安全考虑一览表

1. 应把所有电器都看作是带电的。
2. 工作于通电电器时，应采用“双人制”，许多机构都强制执行这一制度，特别是在日常工作之后，或是在僻静地方。理想的是两个人都懂得急救和心肺复苏术。
3. 在工作于电器时，不要戴戒指和金属表带，也不要带金属钢笔、铅笔和尺子。
4. 只应用一支手工作于通电电路，如果可能这样做的话。
5. 工作于电器时，只能用手有绝缘手柄的工具。
6. 如果接触电器有最轻微的通电感觉，就应该立即报请检修。
7. 工作于高电压时，应把地板看作是通电的和接地的，除非是站在电工常用的、绝缘而干燥的地席上。
8. 当人站在潮湿地面时，或人的手、脚、躯干潮湿或出汗时，就不应该工作于通电电器。
9. 在确属疲劳时，或在使理智或反射过程变迟钝变慢的药物影响

之下时，或由于感情及化学刺激使人趋向于冒险的精神状态时，人们就不应进行有危险的活动。

(三) 对于高功率激光系统 (所设计的和用户的) 预防措施

设计者和用户对高功率激光系统所采取的某些预防措施，能明显减小人员受到严重电击的几率。表 9-2 是这类一些措施的一览表。

表 9-2 对高功率激光系统(所设计的和用户的)
预防措施一览表

1. 开路峰电压超过 42.5 伏的电路或元件，就应认为是电击危害源，除非其可能通过的最大电流⁽⁶⁾小于 0.5 安。为了避免意外接触，必须有正面防护，如罩或外壳。
2. 一些应特别小心的高压危害如下：
 - 电容器组的端钮
 - 变压器的端钮
 - 阴极射线管的端钮
 - 电路或电表的调整螺旋
 - 保险丝板
3. 在打开机门或面板检修仪器时，应该用联锁除去可接触部件的电压。
4. 所有实验室的电装置都应该接地，并检验以保证实验室有一个适当的连续的接地系统。
5. 激光装置的所有机壳和暴露金属部分都应接地。在接地诸项之间应有可靠的接续线。电源布线系统也要有接地导体。
6. 应用泄漏电阻给电容器放电，除非放电完后，不然，就不应试图工作于电容器（见第 8 项）。
7. 大电容器的电压超过其额定值，可能造成爆炸危害，所以应放

在一个安全地方。应定期检查电容器，看看有无形变或漏油。

8. 在检修联锁封闭装置之先，高压电容器应放电完毕。一个有绝缘手柄的、能处理高压电能的、实心金属棒（弹簧夹可能不行）应牢固的接地，然后才可接触处于地面上方的电容器。如果电容器两端都未接地，就应该用安全短路棒连起来。
 9. 应这样设计和安装带爪尖的撬棒，接地开关和其他安全装置，使它们能驾驶在发生故障或撬棒电流时所出现的机械力。
 10. 限制故障电流的设备，如保险丝、电路断开器或电阻应能散失总能量，不要用超容量的保险丝以免掩盖有缺陷的电路。
 11. 应供应面罩、安全玻璃、绝缘地席、橡皮手套等等安全工具，使之必要时有东西用。
 12. 使工作于有电危害激光器的人员，能得到相应的预防知识。
 13. 使用者应先弄清楚，每一激光系统是否永久地标记着其主要的、电的额定值，如电压、频率、瓦或安培。
-

（四）对严重电击受害者的急救

严重电击可导致呼吸停止和心跳停止。急救或心肺复苏术要求进行下述几项主要步骤：

- 开通气道
- 恢复呼吸
- 恢复心跳或血液循环

在打开电路之后，或在用绝缘物件使受害者脱离电路之后，应尽快寻求专业人员之帮助。若急救在电击后两分钟之内进行，恢复呼吸的可能性大，拖到约四分钟，可能性就小，尽管有某些人在迟延半小时以上还能复苏^[6]。

表 9-3 给出了使严重电击受害者苏醒的一些重要急救步骤一览表。

表 9-3 严重电击受害者的急救步骤一览表

一、呼吸停止时的步骤

1. **立即开通气道：**让受害者仰面而卧。清除口中或喉内异物。一手将受害者的颈抬起，另一手则使其头向后仰，这样舌就会离开气道。若这样能恢复呼吸，就检查心跳（第5步）。
2. **开始呼吸抢救：**若受害者停止呼吸或呼吸微弱。捏住其鼻子，张大口封住他的口，并吹气，除非受害者是婴儿或小孩。移开口，让受害者呼气。另一办法是封闭受害的口，从鼻子吹气。
3. **检查有无阻塞：**头一次吹就知道有无阻塞，受害者胸不升起，就是有阻塞。此时应让受害者侧卧，在其背部肩胛骨间捶打。
4. **重复呼吸抢救：**每4~5秒钟重复一次。
5. **检查心是否在跳：**在呼吸抢救3~5次后，检查颈动脉脉搏，办法是把二个手指放在喉头隆起处的两侧。若无脉搏，就开始心脏外压缩（第6步）。如果心在跳，就继续呼吸抢救，直至受害者呼吸正常，或医生叫停。

二、心跳停止时的步骤

6. **开始心脏外压缩：**即第7~11步。
7. 受害者应仰卧在坚硬平面上，若心确实停跳就不应延迟压缩。
8. 一只手掌按在受害者左半胸骨下部，另一支按右半上部。
9. 将手臂伸直，从臂部向下压，力量要大到使受害者的胸部移动1.5~2英寸。
10. 约每秒重复一次。
11. 除心脏按摩、口对口呼吸，口对鼻呼吸外，其他办法是
 - 若只一人和受害者在一起，就进行2次快呼吸后，接着15次心脏压缩。
 - 若有帮手，比例是1次呼吸对5次压缩。

三、一般步骤

- 立即呼救，如可能的话。
- 在把受害者送往医院的途中，要继续口对口抢救和（或）心脏按摩，或直到他苏醒，或直到医生叫停。

二、对气载污染物的控制

激光器工作时可能产生有害的气载污染物，为此应保护工作人员，办法是使他接触到的浓度低于许可安全限，这就要求采取下述控制技术：

- 通风
- 污染物检测仪表
- 防护呼吸的设备

（一）通风控制

通风控制大体上可以从两方面来讨论，即室内和室外的要求。

当激光器在室外使用时，所产生的气载污染物因大气流动以及可供冲淡的空气体积大，其浓度一般会自然地低于安全水平的浓度限。所以，这种自然的冲淡通风形式是一种常用的并且行之有效的控制措施。

室内通风控制技术显然要困难得多，也花费大得多。点通风（即抽空产生处的气载污染物）是一种防止呼吸有害污染物的极好控制。局部排气罩或风扇是通风的其他形式。对激光器的工作（或过程）以及待控制污染物毒性的理解，是所有这些控制方法的共同基础。

关于通风和排气系统的其他有关资料，可查阅参考文献 7 和 8。

（二）污染物检测仪表

对于大型激光系统，特别是那些备有大型气体或液体储

存设备的，必须有污染物检测仪表。这些仪表能保证污染物水平在许可接触限之下，并能早期发觉系统的泄漏。

(三) 防护呼吸的设备

为了对付紧急状况，手边必须随时有防护呼吸的设备。紧急用具应包括满意的供气呼吸设备。呼吸设备的存放处应选在大气没有污染物的地方。

(四) 压缩气体

用压缩气体时，应遵守下述条例、标准和指南⁽⁵⁾：

- “供标记可移动压缩气体容器以识别所含物质的、美国国家标准方法Z48.1-1971(R-1954)”
- “美国国家标准压缩气体瓶的活门出口和入口连接B57.1-1965”
- 《压缩气体手册》，压缩气体协会，纽约，1966
- 美国运输部的有关条例

三、对低温液体危害的控制

ANSI建议⁽⁵⁾，低温液体的储存和处理，应根据压缩气体协会于1966年制订的《压缩气体手册》所提出的指导去做。

现对处理低温液体时应奉行的某些控制、预防和动作，概述如下：

- 工作人员不应穿戴那些能在靠近皮肉处接触低温液体的衣物（如口袋、裤脚翻边）。
- 工作于低温剂时不要戴珠宝饰物。
- 若可能接触低温剂，就应采取全面防护，如适当的外衣，绝热手套和高筒靴（或鞋）。
- 若有低温剂溅到皮肤上，就应该用大量温水冲洗该处，

然后冷敷。

- 若低温剂有毒，就应备有呼吸设备。
- 各种设备应非常清洁，避免污染，因污染物和低温剂（特别是液态或气态氧）混合时可能产生有害的情况。
- 应监视低温剂工作区，当出现危害情况时，能自动警告工作人员。
- 倾倒“惰性”液态氮低温剂时通风应足够，不然会从该区工作人员的肺中排挤掉氧，从而导致人员失去知觉或死亡。

四、对噪声危害的控制

当一个人每天8小时暴露于90分贝以上的稳定噪声水平时，就应执行保护听力的措施，如使用防护设备。然而暴露大于115分贝还是许可的，但时间不得超过15分钟。而最大许可暴露量为140分贝峰（声）压水平。

五、对电离辐射危害的控制

在所用高压电源管的电压超过15千伏时，就应采用适当屏蔽，因可能产生X射线。ANSI认为，由激光器电源或元件发出的X射线，应调查其来源、量和强度，并应该按照“非医用X射线源和封闭式 γ 射线源的美国国家标准：安全标准 Z54.1-1963”（NBS手册 H93）所提出的条款进行控制。还应符合联邦的、州的或地方的相应法典和条例。

六、对非激光的光辐射危害的控制

对激光器放电管或光泵管发出的紫外线（不是紫外激光），要适当屏蔽，以预防潜在危害。某些塑料和耐热玻璃

很容易衰减紫外线。参考文献 10 关于紫外线危害提供了更多的知识。

七、对爆炸危害的控制

激光设备中的高压电弧灯或电丝灯应用箱子包围起来，箱板要能顶得住灯爆炸时所产生的最大气压。在激光器工作时可能粉碎的激光靶和光具组元件也必须包封起来或同样防护以免伤害操作者和参观者。

因电解电容器在电压超过其额定值时可能爆炸，这样的电容器必须予以检查，以弄清楚它们是否受得住，在电路其他元件失效时可能加于其上的最大电压。若电容器已有适当外壳并且对人员没有潜在危害，这种检查就不必做了。

八、对火灾危害的控制

ANSI 推荐⁽⁵⁾，凡是由可燃物质制成的部件，如变压器，在不能通过短路而不着火的检验时，都应一个个的用不燃物质外壳围起来。欲知详情，可参阅“无线电和电视接收设备的美国国家标准：安全标准 C33.55-1969 (UL492-6月1969)”。电源布线应用不燃物质完全包封起来，可燃物质不应放在激光设备的附近。

某种小型的救火设备，如灭火筒，应放在激光装置的附近。其目的只是控制或扑灭小火灾。

参 考 文 献

1. Ehrenkranz, T. E. et al., "Electrical Equipment, Wiring and Safety Procedure", CRC Handbook of Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, pp. 528-538,

- 1971.
2. Electronic Industries Association, "Grounding Electronic Equipment", CRC Handbook of Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, pp. 516-519, 1971.
 3. Franks, J. F., et al., "Electrical Hazards of Lasers", Electro-optical Design, pp. 22-23, Dec. 1975.
 4. "Electrical Safety Guides for Research, Safety and Fire Protection", U. S. Atomic Energy Commission Technical Bulletin NO. 13(0-292-830) Government Printing Office, Washington, 1968.
 5. "American National Standard for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976", ANSI, NY., 1976.
 6. Price, L. D., "Codes and Standard Practices-Resuscitation", Standard Handbook for Electrical Engineers, D. G. Fink, Editor, 10th Edition, Section 29, 1971.
 7. Steere, N. V., "Ventilation of Laboratory Operations", CRC Handbook of Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, pp. 141-149, 1971.
 8. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., "Exhaust Systems", CRC Handbook of Laboratory Safety, pp. 150-153, 1971.
 9. "Federal Register, Safety and Health Regulations for Construction", Vol. 36, No. 75, Part II, Section 1518.52, Bureau of Labor Standards, 17 April 1971.
 10. Sliney, D. H., et al., "The Evaluation of Optical Radiation Hazards" Applied Optics, Vol. 12, No. 1, pp. 1-22, 1973.
 11. "Cardiopulmonary Resuscitation", «CRC Handbook of Laboratory Safety» N. V. Steere, Editor, 2nd Edition,

- pp. 25-35, 1971.
12. Cutler, A., "How to Use Resuscitative Techniques",
«Four Minutes to life», pp. 149-177, 1970.
 13. Emergency Family First Aid Guide, Simon & Schuster,
1970.
 14. Handley, W., Editor, Industrial Safety Handbook,
McGraw-Hill, 1969.
 15. Carrier, W. H., et al., Modern Air Conditioning,
Heating, and Ventilating, Pitman Publishing Corp.,
1959.
 16. Laser Safety Guide, 3rd Edition, LIA., Cincinnati, Jan.
1976.
 17. Spencer, E. W., "Cryogenic Safety", CRC Handbook of
Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition,
pp. 25-35, 1971.

第十章 公 法

一、绪言

政府的激光安全条例（标准）最具权威，因为不同于美国国家标准协会（ANSI）和美国政府工业卫生学家会议（ACGIH）等所制定和公布的自愿执行标准，政府的条例是能在法律上强制执行的。对于激光器的制造商和激光器使用者，联邦已分别颁布相应条例。至于为广大用户定的条例尚在制定中。加之外国和州属机构有的已经颁布或正在拟定标准。国际组织，如世界卫生组织（WHO）和国际电工技术委员会（IEC）在影响激光器的安全使用方面也起着一定的作用。

本章将重点介绍联邦的和州的条例或标准。关于联邦，本章讲到国会授权几个部属机构去制定激光安全标准，讨论了这些机构制定的标准本身、以及资料要求和指南。此外，还列出了一个相当详尽的一览表，这表把根据“激光器产品性能标准”提到的要求，和执行机构（BRID）对这些标准的解释，联系起来。

然后全面评述现有的和已提出的州立法。特别着重的是纽约州工业法典第50条法规。对这条管理该州激光器安全使用的法规，除作了全面解释外，还在附录乙中列出全文。

二、联邦的激光安全立法

国会法令授权两个行政部门制订激光器的联邦标准。图10-1概括了国会法令，负责的行政部门和部属机构，各机

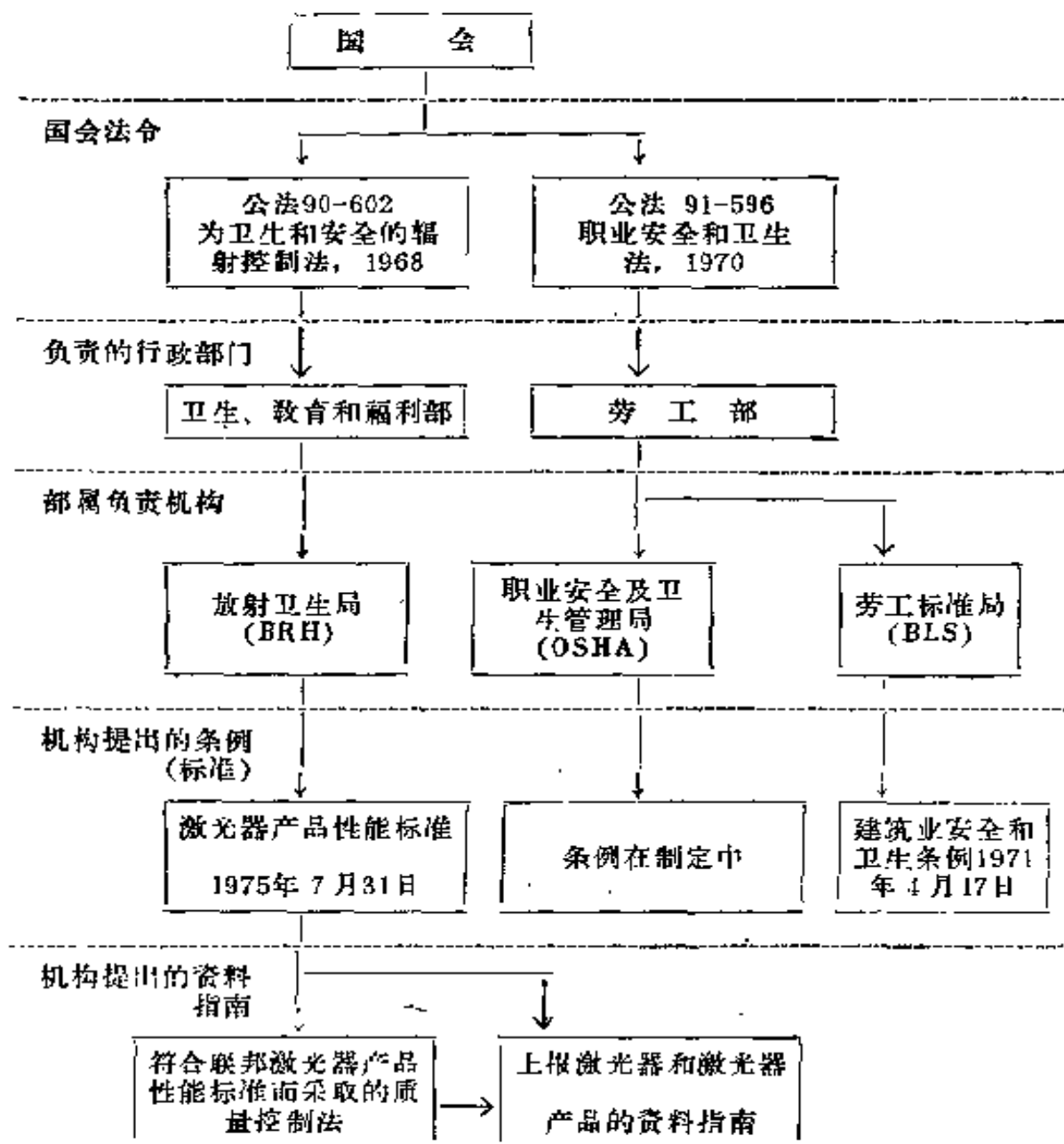


图 10-1 联邦激光安全条例(标准)制定过程图

构提出的专门条例以及为符合这些条例而提出资料指南。

1968年制定的“为卫生 and 安全的辐射控制法”授权美国卫生、教育和福利部，为激光器产品的商品，制定产品性能标准。该部特别负责这项工作的是放射卫生局 (BRH)。由图 10-1 可见，正是 BRH 这一机构^[3]制定了 1975 年 7

月 31 日颁布的“激光器产品性能标准”。制造商遵守这一标准的生效期是 1976 年 8 月 2 日。强制执行的机构是 BRH。为了帮助制造商，按照 1040.10 和 1040.11 两节所提出的性能标准和 1010.2 节所提出的许可证的颁发，填报原型和变型的报表，BRH 制定了“激光器和内有激光器的产品，按照 CFR1002.10 和 1002.12 的规定，提交有关资料的指南”。此外，还制定了“按照联邦激光器产品性能标准应采取的质量控制法”，借以帮助制造商研究和贯彻质量控制和检验方案，以保证产品符合标准。这文件按计划应和参考文献 5 的报告一道使用。

1970 年制定的“职业安全和卫生法（公法 91-596）”授权劳工部制定激光器用户的标准。由图 10-1 可见，该部把这责任交给了其下的两个机构，即职业安全及卫生管理局（OSHA）和劳工标准局（BLS）。前者正在制定供广大群众用的标准，后者已制定出在建筑业中使用激光器的安全标准^[7]，即“建筑业的安全和卫生条例”。

关于激光安全标准，上面着重说明了两大类，即

- 供激光器制造商用的产品性能标准
- 用户的安全标准

下面将讨论这两大类标准的某些方面。

（一）供激光器制造商用的产品性能标准

激光器制造商想使其产品符合**激光器产品性能标准**并取得相应证书，他们面对的要求是难于执行的。此外，对标准的解释，要求非常小心地使用 BRH 的报表指南^[5]和质量控制法指南^[5]。制造商对其产品每一新型或变型，在投放市场之前，被责成向 BRH 提交激光器产品报表^[5]。这书面文件要达到的主要目的有二：

- 向 BRH 保证产品符合标准的所有条款。
- 向 BRH 说明检验程序及其结果都是适当的。

激光器产品报表包括下述十个方面，内容相当详尽：

- 制造商和产品的识别（表 10-1.2）
- 激光器产品和型号的识别（表 10-1.2）
- 履行加标记的要求（表 10-1.3）
- 履行对资料的要求（表 10-1.4）
- 对激光器产品的说明（表 10-1.5）
- 呈报激光器产品的级别和可接触辐射的水平（表 10-1.6）
- 履行对性能的要求（表 10-1.7）
- 为确定符合要求而进行的质量控制试验和试验程序（表 10-1.8）
- 寿命和耐久性试验（表 10-1.9）
- 测试仪表和校准（表 10-1.10）

表 10-1 就上述 10 个方面，把激光器产品性能标准的各项要求跟大量说明项目联系起来（为了便于查对，译者将此表细分为十，并给每张表加了个表题）。

附录丙，可接触激光的等级水平是取自参考文献 5，并用了一个多波长连续激光的例子来说明怎样给这类激光器定级。

放射卫生局（BRH）于 1976 年 7 月 29 日发表了一封信，把国防部为战斗和训练而制造的激光器产品的标准略去了一部分。被豁免的激光系统包括：

- 激光测距仪和激光目标指示器
- 供枪手和驾驶员用的飞机显示和瞄准指示器
- 野战训练激光器（例如直接射击模拟器）（下接 185 页）

表 10-1.1 BRH对激光器产品性能标准的要求(1.绪言)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)		BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别
1010.10(e)	激光器产品可应用性; 本节和1040.11节(供特殊目的用的激光器产品)的诸条例适用于在1976年8月2日或以后制造或组装的所有激光器产品例外如下:	-	所有
(a)(1)	• 激光器产品, 售予电子产品制造商用作(或替换)部件的, 或		
(a)(2)	• 激光器产品, 由电子产品制造商或其代理人售出, 用作(或替换)部件的, 如果激光器产品:		
(a)(2)(i)	-附有如何在电子产品中适当安装的指导		
(a)(2)(ii)	-标有说明, 这产品只是设计用作这类电子产品的部件的, 所以不符合本节和1040.11节对激光器全面试验的相应要求, 以及		
(a)(2)(iii)	-是不可拆的激光系统, 如本节(C)(2)段所说的		
			<p>绪言: 对激光器产品报表的一般指导目的</p> <ul style="list-style-type: none"> • 本指南有意于帮助制造商, 按照联邦法规全考 21CFR1002.10和1002.14节对激光器产品的要求, 填报产品原型和变型的报表, 即产品是符合1040.10和1040.11节所提出的性能标准以及按1010.2节所提出的许可证颁发的 • 制造商用书面文件向 BRH提交产品有关制造和分配方面资料; <p>-以保证产品符合标准的所有条款</p> <p>-以说明有关的试验程序以及这类程序的结果都是适当的</p> <p>一般</p> <ul style="list-style-type: none"> • 这报表必须在持有许可证的产品投放市场之前送BRH • 适用于激光器产品的性能标准是为了确定产品性能; 而不是供产品设计用的, 它还提供和产品有关的安全约束 • 全面呈报激光器产品的每一型号 • 若对资料的特别(一般和特定问题)要求不适于激光器产品, 要正面揭示这一情况, 并说明为什么是这样 • 一般说来, 和激光安全有关的、产品的任何方面都应呈报, 包括指南没有涉及的诸方面以及1040.10和1040.11两节没有提出适用条款的那些方面 • 所有回答都应是清楚简洁和完整的

表 10-1.2 BRH 对激光器产品性能标准的要求
(2. 制造商和产品的识别)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)		BRH 对报表的要求		
1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说明
-	-	1	-	制造商和报表的识别
-	-	1.1	-	制造商提供 <ul style="list-style-type: none"> • 姓名 • 住址 • 通信员的姓名、职衔、电话号码和签名
-	-	1.2	-	进口商(如适用)提供 <ul style="list-style-type: none"> • 姓名 • 住址 • 通信员的姓名、职衔、电话号码和签名
-	-	1.3	-	说明报告类型(原型、变型报表或报表的补充)及上报日期
-	-	1.4	-	提供根表日期
-	-	2	-	激光器产品和模型识别
-	-	2.1	-	列举上报激光器产品的名称、型号以及模型系列的牌号
-	-	2.2	-	上报其他任何品种的名称、型号以及用其招牌出售已上报模型的每一公司的名称和地址
-	-	2.3	-	说明上报产品设计的所有人和(或)公司授权的职员,他能对产品的设计、制造和销售作出最后的决定
-	-	2.4	-	说明,若报表是按照 21CFR1002.6 (C)的条例上报的,这些条例是用以实施和强制执行 1968 年制定的“为卫生和安全的辐射控制法”
1040.10	激光器产品	2.5	-	说明,若上报模型证明书的标准就是激光器产品的性能标准(21CFR 1040.10 和 1040.11 节)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
1040.11	供特殊目的用的 激光器产品			
-	-	2.6	-	说明上报产品广告的、预期的和已知的功能(用途),若是通用产品,就指出
-	-	2.7	-	说明,若产品或产品的一部分在设计时打算用作另一制造商所制造产品的部件
-	-	2.7.1	-	若是: • 提供该制造商的姓名和住址, • 验明那些用上报产品作部件的产品(包括型号)
(i)	持有证书产品的 变型	2.8	-	说明,若上报激光器产品是一持有证书的产品变型[1040.10(i)节]若是,则呈报前一产品证书上的所有资料和识别标记
1010.2	证 明	2.9	-	说明,若上报激光器产品模型有一个牌号证明该产品按21 CFR 1010.2节所要求的、符合21 CFR 1040.10和1040.11节的条款
1010.3	识 别	2.10	-	说明,若上报激光器产品有一个牌号符合21CFR1010.3节的条款
1010.3	识 别	2.11	-	说明,若激光器产品合并了一种持有证书的激光器产品 若是,则呈报该持有证书的激光器产品按照1010.3节的要求记在识别牌上的信息
(C)(2)	可拆激光器系统 • 并入-激光器产 品的任何激光 器系统,在拆 出后,不需改 变,就能激射, 则它本身就 应认为是激光 器产品,应满 足本章对它 那一类激光器 产品提出的要 求	2.12	-	说明,若产品并入了1040.10(C) (2)节定义的可拆激光器系统 若是,则验明可拆激光器系统的制 造商和产品型号
-	-	2.13	-	说明,若投放市场的激光器产品附有一激光器或激光器系统

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报告的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
-	-	2.13.1	-	若否, 呈报建议并入产品的激光器或激光器系统的制造商和型号
-	-	2.13.2	-	若不介绍并入上提产品的特定激光器或激光器系统, 就说明它们的规格
(b)(22)	<p>医用激光器产品</p> <ul style="list-style-type: none"> 任何激光器产品制造、设计、意图、推销的目的是用激光于活体诊断、外科或治疗人体任何部位 	2.14	-	<p>说明, 若激光器是医用激光器产品, 如1040.10(b)(22)节所定义的</p> <p>若是, 则说明激光器级别(如一、二、三、四、级)</p> <p>注意: 若证实产品是医用激光器产品, 则一定要包括第3.4和7.14部的充分</p> <p>说明, 以向 BRH 保证产品符合1040.11(a)节(对医用激光器产品)的要求</p>
(b)(35)	<p>勘测、调平、校直激光器产品</p> <ul style="list-style-type: none"> 激光器产品, 制造、设计意图、或推销, 供下述一个以上的应用: (i) 作角运动 (ii) 调位或调整一部分相对另一部分 (iii) 定义平面、水平、标高或直线 	2.15	-	<p>说明, 若产品是勘测、调平、校直激光器产品, 如1040.10(b)(35)节所定义的</p> <p>注意: 若证实产品是勘测、调平、校直激光器产品, 则一定要在第6部中包括充分的</p> <p>说明, 以向 BRH 保证产品符合1040.11(b)(35)节(对勘测、调平、校直激光器产品)的要求</p>
(b)(10)	<p>演示激光器产品</p> <ul style="list-style-type: none"> 任何激光器产品, 制造、设计、意图、推销的目的是演示、娱乐, 展览品或艺术构图 	2.16	-	<p>说明, 若产品是演示激光器产品, 如1040.10(b)(10)节所定义的</p> <p>注意: 若证实产品是演示激光器产品, 则一定要在第6部中包括充分的说明以向 BRH 保证产品符合1040.11(c)节(对演示激光器产品)的要求</p>

表 10-1.3 BRH对激光器产品性能标准的要求
(3.履行加标记的要求)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级 别	说 明
-	加标记的要求	-	-	履行加标记的要求
1010.2	证明(标记)	3.1	所有	证明 标记
		3.1.1		• 上交证明标记的样品,或摹写本如果上报时还没有标记的话
		3.1.2		• 当上报模型已组装完毕并准备投入使用,标记的字迹清楚,清晰可见
(8)(9)	标记的定位	3.1.3		• 证明标记是这样定位,使人们在阅读时所接受的激光或附随辐射的照射量,没有必要超过第一级和表7-1A的可接触发射限
		3.1.4		• 说明,若标记是永久地固定在或刻在上报产品上 注意:在5.1部中必须适当验明证明标记并指出它的位置
1010.3	识别(标记)	3.2	所有	识别标记
		3.2.1		• 上交识别标记的样品,或摹写本如果上报时还没有标记的话
		3.2.2		• 若标记上所載的制造处所有邮政编码的话,呈报该编码
		3.2.3		• 说明,若提供的制造年月,清楚易读,无简略,年是4个数码,如1976年8月造
		3.2.4		• 当上报模型已组装完毕并准备投入使用,标记字迹清楚,清晰可见
(8)(9)	标记的定位	3.2.5		• 识别标记是这样定位,使人们在看时所接受的激光或附随辐射的照射量没有必要超过第一级和表7-1A的可接触发射限
		3.2.6		• 说明,若标记是永久地固定在或刻在上报产品上 注意:在5.1部中必须验明识别标记并指出它的位置
(8)(1)	第二级称号和警告	3.3	二、三、四	警告标签
(8)(2)	第三级称号和警告			

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(8)(3)	第四级称号和警告			
(8)(5)	关于辐射输出的资料			
(8)(8)	不可见辐射的警告			
(8)(9)	标记的定位			
(8)(10)	标记的说明	3.3.1		• 上交警告标记的样品,或摹写本如果在上报时还没有标记的话
		3.3.2		• 说明,若在上报模型已组装完并准备投入使用时,警告标记字迹清楚,清晰可见
		3.3.3		• 警告标记是这样定位,使人们在看它时所接受的激光或附随辐射的照射量没有必要超过第一级或表7-1A的可接触发射限
		3.3.4		• 说明,若警告标记是永久地固定在或刻在上报产品上 注意,(1)在第5.1部中必须适当验明警告标记并指出它的位置 (2)在第6.1部中必须包括适当资料以确定产品履行1040.10(8)(5)节的规定(关于辐射输出的资料) (3)在第6.1部中必须包括适当资料以确定产品履行了1040.10(8)(8)节的规定(不可见辐射的警告)
(8)(4)	孔径标记(非医用的)	3.4	二、三、四	孔径标记(医用的和非医用的激光器产品)
(8)(8)	• 不可见辐射的警告			
(8)(9)	• 标记的定位			
(8)(10)	• 标记的说明			
1040.11	医用激光器产品	3.4.1		
(a)(3)	(孔径标记)			• 对于第二、三、四级非医用和医用激光器产品,在第5部中验明的每个孔径标记,上交所要求孔径标记的样品,或摹写本如果在上报还没有标记的话

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
		3.4.2		• 说明,若在上报模型已组装完并准备投入使用时,孔径标记字迹清楚,清晰可见
		3.4.3		• 孔径标记是这样定位,使人们在看它时所接受的激光和附随辐射的照射量没有必要超过第一级和表7-1A的可接触发射限
		3.4.4		• 说明,若孔径标记是永久地固定在被刻在上报产品上 注意: (1)在5部中必须适当验明孔径标记并指出它的位置 (2)对非医学激光器产品,在第6.1部中必须包括适当的资料以确定产品符合1040.10(8)(8)节的规定(不可见辐射的警告)
(8)(6)	未联锁防护罩的标记	3.5	所有	未联锁防护罩的标记
(8)(8)	• 不可见辐射的警告			
(8)(9)	• 标记的定位			
(8)(10)	• 标记的说明	3.5.1		• 对于在第5部中验明的防护罩的那每一部分(它既没有安全联锁,并且在工作、维护、检修时在设计上就是准备转位或拿开的,从而使人们所接受的激光和附随辐射的照射量可能超过表7-1A和第一级的可接触发射限),上交所要求的标记样品,或摹写本如果在上报时还没有标记的话
		3.5.2		• 说明,若防护罩的这样一部分被转位或拿开之前,第3.5.1部的标记在防护罩上字迹清楚、清晰可见,并在极近(拿开或转开防护罩这一部分后出现的)开口处的,产品上清晰可见
		3.5.3		• 说明,若3.5.1部的标记是这样定位的,使人们在看它时所接受的照射量没有必要超过第一级和表7-1A的可接触发射限

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
		3.5.4		<ul style="list-style-type: none"> 说明,若第 3.5.1 部的标记是永久地固定在或刻在上报产品上 注意: (1)关于可接触辐射(第二,三(甲),三(乙),四级)的警告标记,有四种可能的选择;关于附随辐射(波长为 250~13,000 毫米的非激光辐射和 X 射线)的有两种选择 (2)在第 5 部中必须包括对于防护罩未连锁部分的适当识别和说明 (3)在第 5 部中必须适当验明标记并指出它的位置 (4)在第 5 部中适当验证和防护罩未连锁部分有关的、可接触的激光和附随辐射以及在第 6 部中适当说明由于防护罩未连锁部分而使人们可能接触的激光和附随辐射的性质
(8)(7)	可失效连锁防护罩的标记	3.6	所有	可失效连锁防护罩的标记
(8)(8)	• 不可见辐射的警告			
(8)(9)	• 标记的定位			
(8)(10)	• 标记的说明	3.6.1		<ul style="list-style-type: none"> 对于第 5 部中验明的防护罩连锁可能失效的每一部分(它在工作、维护、检修时在设计上就是准备转位或拿开的,在连锁失效时就使人们接受激光和附随辐射的照射量可能超过第一级和表 7-1A 的发射限),上交所要求的标记样品,或摹写本如果在上报时还没有标记的话
		3.6.2		<ul style="list-style-type: none"> 说明,若第 3.6.1 部的标记,在连锁失效时或之前,在产品上是字迹清楚并清晰可见的,并且离开(拿开防护罩这一部分后出现的)开口很近

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
		3.6.3		• 说明,若第3.6.1部的标记是这样定位的,使人们在看它时所接受的辐射量没有必要超过第一级和表7-1A的发射限
		3.6.4		• 说明,若第3.6.1部的标记是永久地固定在或刻在上报产品上 注意:第3.5部中的注意(1)到(4)也适用联锁失效的防护罩

表 10-1.4 BRH对激光器产品性能标准提出的要求
(4.履行对资料的要求)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对资料的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
(h)	资料要求	4		履行对资料的要求
(h)(1)	用户的资料	4.1	所有	用户的资料
(h)(1) (i)	• 组装和包用的指导以及避免过盛激光和伴随辐射的预防			和报表一道提出用户须知(或操作说明书)的抄样(或草稿),须知(或说明书)是正式和产品一道供应的,或是叫人根据1040.10(h)(1)节给每台上报激光器产品提供的
(h)(1) (ii)	• 说明其值超过表7-1A的可接触激光的脉冲持续时间和每脉冲的最大辐射能量			注意:在上交本报表之后,又制定新的这类用户须知或操作说明书,必须将它们的抄样,在分发之前,送呈BRH作为附件
(h)(1) (iii)	• 根据1040.10(b)和1040.11节而制定的所有标记和危害警告以及每一标记在产品上的位置,都要有字迹清楚的复制			

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对资料的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(h)(1)(iv)	列出所有控制、调节以及工作、维护步骤			
(h)(2)	购买和检修的资料	4.2	所有	购买和检修的资料
(h)(2)(i)	目录、规格表、说明小册子以及警告标记的制造	4.2.1		<ul style="list-style-type: none"> 和本报表一道提出,根据 1040.10 (h)(2)(i) 节的资料要求,即目录、规格表、说明小册子中每一项的抄样或草稿
(h)(2)(ii)	<ul style="list-style-type: none"> 检修、调整和工序须知,避免过量激光和伴随辐射的警告和预防增加辐射水平的方法和控制,防护罩可转开部位的说明,标记和危害警告的复制 	4.2.2		<ul style="list-style-type: none"> 由你或你叫人提供给修理商和批发商以及索求者的、包含有满足 1040.10 (h)(2)(ii) 节的要求的、上报激光器产品的修理须知或说明书,每一样要有抄样或草稿和报表一道上交 注意: 在上交本报表之后,又制定新的这类目录、规格表,说明小册子,修理须知或说明书,在分发之前,必须将它们的抄样或草稿呈送 BRH 作为附件

表 10-1.5 BRH 对激光器产品性能标准提出的要求
(5. 对激光器产品的说明)

按照激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
-	-	5	-	对激光器产品的说明
-	-	6	-	一般: 这部是以讨论和参考为目的,将描述产品的重要物理特征及这些特征的识别名称和符号 <ul style="list-style-type: none"> 在本报表的以后部分还可能要求提供某些性能特征 关于第 6 部中涉及的激光和伴随辐射的详尽描述

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
-	-	5.1	所有	对外部的说明
-	-	5.1.1		• 提供产品的外形说明,包括照片,全部视图,部件和元件的识别,和比例尺
(b)(12)	人体接触辐射(或人体接近) • 指人体任何一部分达到离开激光(和其附随辐射)的直线而无阻挡的距离为100厘米的某点时,或进到离开激光(或其附随辐射)入射点的无阻挡距离为10厘米时。	5.1.2		• 提供识别名称(或符号)以及列出每一激光和附随辐射的“场”或“光束”,它们按人员接近产品外壳的定义[1040.10(b)(12)节]是可以接近的
-	-	5.1.2.1		-画出上述激光光路并指出激光的每一孔径
-	-	5.1.2.2		-在上图中指出哪儿量过第6.1部所要求的激光参数
-	-	5.1.2.3		-为了工作、维护、检修或它们的任何组合,指出上述辐射中哪些必须是可接近的
-	-	5.1.3		• 提供识别名称(或符号)并列于每一固定于产品外壳的标记,以及说明每一标记的位置(可在第5.1.1部说明)
-	-	5.1.4		• 提供识别名称(或符号)并列于从产品外面可接近的每一控制、观察镜片、观察孔和显示屏
-	-	5.1.4.1		-指出每一件的位置(可在第5.1.1部指出)
-	-	5.1.4.2		-说明每一件何时使用,例如在工作、维护、检修或它们的任何组合时
-	-	5.1.4.3		-说明每一控制的功能

按照激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

B3H 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说明
-	-	5.2	所有	对接近内部的说明
-	-	5.2.1		• 说明产品工作、维护、检修时,使人们能接近产品内部的各种设备(例如,帘幕、门、孔,检修面板等),还可以包括它们打开、移开或拿开时所看到的内部的照片或简图(附比例尺)
-	-	5.2.2		• 对每一种使人们能接近产品内部的设备,说明哪一件是打算用于工作、维修、检修或多用
(b)(12)	人体接近(看上述定义)	5.2.3		• 提供识别名称(或符号)并列出所有激光和附随辐射,它们按“人体接近”的定义已变成可接触的,因为为接近产品的内部已给模型并入了设备。前已识别的辐射,只有在辐射的特性发生变化后(不包括方向),才应引入新的名称
-	-	5.2.3.1		-画上述辐射的诸光路(可在第5.2.1部中画出)
-	-	5.2.3.2		-在上图中指出哪儿超过第6.1部所要求的激光参数
-	-	5.2.3.3		-为了工作、维护、检修或其任何组合,指出上述辐射中哪些必须是可接近的
-	-	5.2.4		• 提供识别名称(或符号)并列出每一固定于产品内部的标记,使用(为了接近内部而并入的)设备时,就可看见标记
-	-	5.2.4.1		-指出每一标记的位置(可在第5.2.1部中指出)
-	-	5.2.5		• 提供识别名称(或符号)并列出每一控制、观察镜片、观察孔和显示屏,使用(为了接近内部而并入的)设备时,就可使它们变为可操作的、合用的、起作用的等等
-	-	5.2.5.1		-指出每一控制、观察镜片、观察孔、显示屏的位置(可在第5.2.1部指出)

按照激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

B3H 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
-	-	5.2.5.2		-说明每一件的使用时间,如在工作、维护、检修或其任何组合时 -说明每一控制的功能
-	-	5.3	所有	对内部的说明
-	-	5.3.1		• 提供产品内部工作的说明,使检查者能够理解产品是怎样工作的,是怎样完成产品预期的功能。还包括简述并入产品的尚未取得证书的任何激光器和激光系统,如类型、制造商、型号、输出功率等。还包括各部件、元件的配置图和照片,每一项都要有识别,还要有比例尺(若在第5.1和5.2部中已提供,这里就不要了)
(b)(12)	人体接近(看上述定义)	5.3.2		• 提供识别名称(或符号)并列出现有激光有附随辐射,它们按“人体接近”的定义,在产品内部工作、维护、检修时是可以接触的,若这种辐射不同于第5.2.3部所上报的话 可接触激光的识别应该是和第5.1及5.2部协调的,对前已识别的辐射不应引入新名称
-	-	5.3.2.1		-画出上述识别的所有激光的光路(可在第5.2.1部中画出)
-	-	5.3.2.2		-在上图中指出哪几量过第6.1部所要求的激光参数
-	-	5.3.2.3		-为了工作、维护、检修或其组合,指出上述辐射中哪些必须是可接近的
(g)	加标记的要求	5.3.3		• 提供识别名称(或符号)并列出现按照1040.10(g)节固定于产品内部的每一标记。若在第5.2.4部没有先验明,就说明每一标记的位置(可在第5.3.1部中说明)
-	-	5.3.4		• 若在第5.2.5部中没有验明,就提供识别名称(或符号)并列出现产品内部的每一控制、观察镜片、观察孔和显示屏

按照激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
-	-	5.3.4.1		-指出每一件的位置(可在第5.3.1部中指出)
		5.3.4.2		-说明每一件的使用时间,如在工作、维护、检修或其任何组合时
-	-	5.3.4.3		-说明每一控制的功能
-	-	5.4	-	不可拆激光器系统: 若激光器产品中有不可拆的激光器系统,要上报拆出该系统后必须作何改变才能使之激励。小改变(如不需要重新布线)不应认为是激光器系统的改变
(C)(2)	可拆激光器系统 (见前面第2.2部给出的定义)			• 所以,从产品中拆出的、只需要小变动就可激励的激光器系统,认为是可拆激光器系统,应申请证书,并按1040.10(G)(2)节分别上报
-	-	5.5	所有	对电路图的说明: 提供主要电子电路和电学电路的方框图,包括说明每一方框的功能。当电路图关系到辐射安全,包括安全联锁、扫描安全板、持续发射储能电路等操作性的和性能特征时,就有必要报告这种方框的详尽电路
-	-	5.6	所有	对辐射屏蔽的说明: 在第5.1,5.2和5.3部所要求的图上验证、描述和指出并入产品的所有X射线屏蔽
-	-	5.7	所有	对操作的说明: 说明产品的运用,它是怎样完成预期的和已知功能(用途)的,如第2.6部指出的。描述各不同部件、元件和电路的作用以及各作用的相互关系 对于简单通用激光器,其功能和操作是大家熟知并认识的,给出全称(如连续氦氖通用激光器)就够了

按照激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
-	-	5.8	所有	对操作环境的说明: 描述产品可在其中操作的各种不同环境,并可完成其预期的和已知的功能(用途),如第2.6部指出的。描述不仅应包括产品的物理环境(如温度、湿度、冲击或振动的极端情况),也应包括可能来到产品附近的人员

表 10-1.6 BRH 对激光器产品性能标准提出的要求
(6.呈报激光器产品的级别和可接触辐射的水平)

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
(d)	可接触辐射限	6	-	呈报激光器产品的级别和可接触辐射限的水平
-	-	6.1	所有	对可接触激光的描述 描述第5.1.2,5.2.3和5.3.2部确认过的、和产品有关的可接触激光要求提供充分细节使BRH能够: • 核实激光器产品的级别和 • 产品符合标准的适当要求 对于波长(或光束)多于1个的激光器,分别上报每一查明了的激光波长。接着报告所要求的最少信息
(d)(1)	单波长的光束	6.1.1		说明,若任何激光波长是可调整或可调谐的: • 若否,说明辐射中的所有波长
(d)(2)	多波长同波段的光束			• 若是,利用第5.1.2,5.2.3和5.3.2部同一识别,查明发射的每一分立波长(或波段),给出选频或调谐的方法
(d)(3)	多波长不同波段的光束			

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(b)(33)	扫描激光 • 相对稳定的参照系,激光有随时间而变的方向或传播图案	6.1.2		说明,若任何激光是扫描的 • 若是, - 确认扫描的(诸)激光 - 描述扫描图案 - 给出角扫描和重复扫描的速率和幅度
(f)(9)	扫描安全板			
(e)(1)	激光器产品(所有激光器产品)的级别	6.1.3		说明产品的级别
(b)(5)	第一级激光器产品 • 表7-1A, 7-2A, 7-2B			第一级
(b)(6)	第二级激光器产品 • 表7-1B, 7-2A, 7-2B			第二级
(b)(7)	第三级激光器产品 • 表7-1C, 7-2A, 7-2B			第三(甲)级或第三(乙)级
(b)(8)	第四级激光器产品 • 表7-1C, 7-2A, 7-2B			第四级
-	-	6.1.4		描述激光的特征,如 • 连续(CW) • 脉冲 • Q 开关 • 锁模 • 外斩调或调制 • 其他
-	-	6.1.4.1		若激光不是连续的,提供下述资料:

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
				(a) 脉冲宽度和测定的判据(如脉冲在两半功率点间的宽度为0.001秒)
				(b) 给出脉冲的上升时间和测定的判据(如脉冲可能在0.0001秒从5%的功率水平上升到95%)
				(c) 给出脉冲的衰减时间和测定这时间的判据
				(d) 给出脉冲的最大重复频率(PRF)
				(e) 给出每脉冲的平均能量以及脉冲间相对平均值的能量变化
				(f) 给出能量最大的单个脉冲的PRF
				(g) 给出平均辐射功率最大时的PRF
-	-	6.1.4.2		描述上述特征是怎样实现的
-	-	6.1.4.3		提供波形作为时间线性函数时的图或照片,至少要包括下述波形特征: <ul style="list-style-type: none"> • 两脉冲间的最小时间间隔 • 脉冲持续时间 • 脉冲上升和下降时间
(e)	测定是否履行要求的试验	6.1.5		说明,若激光束图形有这样的尺寸,使得测量激光时有相当一部分(若10%)的激光,不能为1040.10(e)节所规定的孔径阑所收集
(e)(3)	• 量度参数			若是:
(e)(3)(i)	80 毫米直径的圆孔阑,用于量辐射功率(瓦)和能量(焦耳),扫描激光不在此限			-指明是什么激光 -描述其图形

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(e)(3)(ii)	-7毫米直径的圆孔阑,用于量辐照度(瓦·厘米 ⁻²)或辐射照射量(焦耳·厘米 ⁻²)			
(e)(3)(iii)	-7毫米直径的圆孔阑,有适当立体角,用于量辐射率(瓦·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹)或累积辐射率(瓦·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹)			
(e)(4)	• 量度扫描激光的参数 -在7毫米直径的固定圆孔阑内可探测的辐射			
		6.1.5.1		说明主要的横模(TEM __)
		6.1.5.2		若是多模,给出预期的最高级模(TEM __)
(e)	测定是否履行要求的试验	6.1.6		<p>上报并证实按第5.1.2,5.2.3和5.3.2部鉴定了的、按1040.10(e)节描述的条件量度3的、各激光的级别</p> <p>• BRH建议(但不是命令)如下填报:</p> <p>将下述一些资料填入一张有13栏的表格:</p> <p>-第一栏 填写选定激光的识别</p> <p>-第二栏 填写每一(或复合)激光的级别</p> <p>-第三栏 填写激光的(诸)波长,单位用纳米</p>

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段序 号和段号	激光器 级别	说 明
				-第四栏 填写发射持续时间的范围(秒),取自可接触发射限表 7-1A, B 或 C, 相对于特定(诸)波长和级别的第二栏
				-第五栏 填写与上述每一发射持续时间的范围(取自可接触发射限表 7-1A, B 和 C 第三栏以及表 7-2A 或 B 的依赖于波长的校正因子 k_1 和 k_2)有关的可接触发射限
				-第六栏 对上述第四栏的每一发射持续时间,填写测得的最大可接触发射水平
				-第七栏 填写最大比值 $\frac{E(\lambda, t)}{E(N, \lambda, t)}$ 第六栏 / 第五栏
				-第八栏 填写第七栏比值最大时的特定发射持续时间(秒)
				-第九栏 填写用于量度第六栏所报告的量值的孔径阑直径,若该直径不是 7 毫米或 80 毫米,就要附上结果等效的证明
				-第十栏 填写用于量度第六栏列出的辐射水平的辐射测量仪器的识别(如第 10.1 部所用的)
				-第十栏 填写第六栏列入的辐射水平在测量时的估计误差的大小。注意,在确定激光器级别时应考虑可接触发射水平和估计误差之和
				-第十二栏 说明,若履行产品的性能需要辐射(是或否)

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
	(d) 可接触发射限			<p>-第十三栏 说明,若产品工作时人需要接近辐射,或若只是检修产品时人才需要接近辐射</p> <ul style="list-style-type: none"> • 呈报资料也可用图示之类的替代办法,条件是所要求的全部资料都包括在内 <p>注意:(1)每一可接触的激光可能包括一个以上的波长,可认为是复合辐射</p> <ul style="list-style-type: none"> • 复合辐射的评价用1040.10(d)节的要求,并据此规定等级水平 <p>(2)相对可接触发射限检验激光的某一特定波长成分,其目的是确定在发射持续时间范围内该成分的最高水平</p>
		6.2		<p>- 呈报附随辐射</p> <p>说明,若产品发出任何附随光辐射</p> <ul style="list-style-type: none"> • 若是,按第6.2.1部进行
	(d) 表7-1A 来自激光器产品的附随辐射的可接触限 • 和第一级激光一样,见表7-1A	6.21		<p>- 附随光辐射($\lambda = 250$到13000纳米)</p> <p>描述第5步证实了的、与产品有关的附随光辐射</p> <p>细节应详尽到BRH检查者能肯定:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 可接触辐射水平是高于或低于1040.10(d)节表7-1A的可接触发射限 • 操作、维护、检修指导是否能满足1040.10(h)节的要求
	(h) 对资料的要求			
	(h)(1)			• 用户的资料
	(h)(2)			• 购买和检修的资料
				对于每一查明了的附随辐射,至少要求下述资料,可用九栏一览表的形式呈报:

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
				<ul style="list-style-type: none"> • 第一栏 填写选定的附随辐射的识别 • 第二栏 填写场源(辐射源的位置), 用第5部的位置识别 • 第三栏 确证辐射源的物理性质(辐射类型), 如高温热条辐射器, 泵浦发射, 荧光, 等离子体激光等 • 第四栏 填写所发射的波段(纳米) • 第五栏 填写发射持续时间范围(秒), 取自 -相对于特定(诸)波长或(诸)时间范围, 表 7-1A 第二栏(和第一级可接触发射限表 7-1A 的一样) • 第六栏 对每一发射持续时间范围, 填写可接触的最高发射水平 -若光源是连续的或扩展的, 可附送光谱输出曲线 -若水平高于表 7-1A 可接触辐射限, 只要求指出哪些超过了 • 第七栏 填写第六栏报告的辐射水平测量值的估计误差 • 第八栏 填写用于确定第六栏辐射量的测量仪表 • 第九栏 填写测量时的地点, 使用第5部提出的位置标志(测量地点标志)
-	-	6.2.2	-	<p>附随的 X 光 说明: 若产品发射的 X 光的最是测量得到的(产品的工作电压低于 5 千伏一般不会发射 X 光)</p>

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
				若是,则提供下述项目:
		6.2.2.1		• 提供 X 光源或可能的来源
		6.2.2.2		• 提供
				- X 光源的最大工作电压 (不是指气体放电的起动电压)
				- 这些电压各自的用途 (如储能、触发、加速粒子、维持气体放电等)
		6.2.2.3		• 提供产品 (在产生最大 X 光辐射的诸条件下) 工作 1 小时的最大可接触 X 光辐射的毫伦数 (mR), 该值是 10 厘米 ² 平面上的平均值, 而平面又是平行于产品的外表面的
		6.2.2.4		• 描述怎样调查产品, 以确定最大 X 光辐射的地点, 及怎样标记地点的
		6.2.2.5		• 描述测量 X 光照射量 (包括可几误差) 的方法和仪器
(d)	表 7-1A 激光器产品附随辐射的可接触发射限和 X 光的可接触发射限	6.2.2.6		• 提供产品的特征 (如源离开外表面的距离、插入的屏蔽、功率调节), 是这些特征使附随 X 光的水平低于表 7-1A 1040.10(d) 节的可接触发射限
		6.3	-	说明, 若测定激光和附随辐射的可接触水平时, 其条件是既得到可接触辐射最大值, 又最多地检测到这类辐射

表 10-1.7 BRH 对激光器产品性能标准提出的要求
(7. 履行对性能的要求)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(f)	对性能的要求	7	-	履行对性能的要求

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(f)(1)(i)(ii)(iii)	(激光)防护罩	7.1	二、三、四	(激光)防护罩 对于(按照第5部)工作的每一种可接触的激光,解释为什么产品在执行其功能时,其水平属于最低级(即一级)
(f)(1)(iv)	(附随辐射)防护罩	7.2	所有	(附随辐射)防护罩 当激光器(按照第5部)工作而任一种可接触的附随辐射又大于表7-1A给出的发射限时,就要证明为了产品完成其预计功能,接近这种辐射是正当的
(f)(2)(i)	安全联锁	7.3	所有	安全联锁
		7.3.1		• 对(按照第5部)用于辐射安全的每一个安全联锁,提供详细的电路图和机械图
		7.3.2		• 对每一种安全联锁,若预定它们在工作、维护、检修及其组合时是需要驱动的,就要加以说明
		7.3.3		• 对于在设计上不能废除的任一安全联锁,说明禁止接近激光和附随辐射的最高水平
		7.3.4		• 在撤除或换置防护罩中的联锁部分(包括在设计上可废除的联锁)时,说明每一安全联锁是怎样阻止人们接近激光或附随辐射的,在它们的量超过(根据1040.10(f)(.)节的)可接触放射水平时
(f)(2)(ii)(iii)	安全联锁	7.4	所有	可废除的安全联锁
		7.4.1		• 说明哪些安全联锁在设计上是可废除的
		7.4.2		• 说明在工作、维护、检修及其组合时,是否打算废除联锁
		7.4.3		• 说明必要的安全联锁被废除时,为什么不能替换防护罩中已撤除或已移位的部分

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
		7.4.4		• 说明用于显示 联 锁已废除的光和声的方法所具有的力的、电的和操作的特征
		7.4.5		• 在激光器产品工作时,安全联锁的废除保证会由光和声的信号显示出来,而且显示的意义也是非常明确的
(f)(2)	安全联锁	7.5	所有	安全联锁的失效
(i)				
(b)		7.5.1		• 在安全联锁失效而又不能从防护罩撤除或移开相应联锁部分时,说明怎样使人们不能接近激光或附随辐射
		7.5.2		• 描述每个安全联锁失效的可能模式,以及失效对激光器产品辐射安全所产生的影响
		7.5.3		• 说明失效前的操作周期数
		7.5.4		• 对每个安全联锁,说明激光器产品每工作日预计可平均发生多少次激励
(f)(3)	遥控连接器	7.6	三、四	遥控连接器
		7.6.1		• 提供关于连接器的电结构和机械结构的详细说明书
		7.6.2		• 描述遥控连接器是怎样操作(工作的),以及它怎样阻止人们接近激光器产品发出的(超过 1040.10 (d)节表 7-1A和第一级可接触发射限的)激光和附随辐射(当连接器的两端在电学上没有接合时)
		7.6.3		• 说明遥控连接器开路时两端间的电压(要求 ≤ 150 伏有效值)
		7.6.4		• 说明产品在工作,维护和检修时,遥控连接器能不能随时执行其功能,而不管 1040.10 和 1040.11 节的其他要求
(f)(4)	键控	7.7	三、四	键控

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
		7.7.1		• 提供有关键开动主控制的电结构和机械结构的说明书
		7.7.2		• 描述键开动主控制是怎样操作(工作)的,以及抽出键后它是怎样使激光器停止工作的
		7.7.3		• 说明产品在工作、维护、检修时,键开动主控制能不能随时执行其功能,而不管 1040.10 和 1040.11 节的任何要求
(f)(S)	激光发射指示器	7.8	二、三、 四	激光发射指示器
		7.8.1		• 说明激光器和其能源是否分开放置的
		7.8.2		• 若是, -说明,若它们能在大于 2 米距离时工作以及若在该距离工作时需要什么特殊设备 -描述第 7.8.3 到 7.8.11 部中激光器及其能源的发射指示器
		7.8.3		• 详细描述已安装的所有发射指示器的机械特性和电特性
		7.8.4		• 描述指示器的操作(工作)
		7.8.5		• 说明可接触到的激光发射超过第一级可接触发射限时,发射指示器是否提供光或声的信号
		7.8.6		• 描述产品符合 1042.10(f)(S)(iv)节的要求(如戴防护眼镜时一定要能看见“光发射指示器”)
		7.8.7		• 说明发射指示器的信号,其意义是很容易为个人理解的,并说明为什么是这样的
		7.8.8		• 在这里证实并在第 5 部指出,发射指示器所处位置,使人们观看它们时所接触到的激光和伴随辐射不会超过表 7-1A 和第一级可接触发射限

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
		7.8.9		• 说明产品在工作、维护、检修时,光发射指示器能不能随时执行其功能,而不管 1040.10 和 1040.11 节的其他要求
		7.8.10		• 说明每个发射指示器在辐射超过第一级可接触激光发射限多久之前,就已开动了
		7.8.11		• 对于第三、四级激光器系统,证明上述预警时间对于采取行动以避免激光照射是够长了 注意,在第 5 部应给出发射指示器的标志和地点
(f)(5) (iv)		7.9	二、三、四 防护眼罩	说明在激光器系统工作时是否供应眼罩或建议用眼罩 若是:
		7.9.1		• 提供眼罩对激光(诸)波长和附随辐射(诸)波长的光谱透射率以及防护眼罩耐用年限
		7.9.2		• 证实防护眼罩能透射充分的光通量,其可见光波长是看清发射指示器所必需的
(f)(6)	光束衰减器	7.10	二、三、四 光束衰减器	
		7.10.1		• 详细描述每个持久附加设备(如光束衰减器的,除外的是激光能源开关,电源主接线盒,或键开动主控制)的机械特性和电特性,它们能阻止人们接近(超过表 7-1A 和第一级可接触发射限的)所有激光和附随辐射
		7.10.2		• 讨论每一光束衰减器附件的稳定性
		7.10.3		• 讨论和用数据证实每个光束衰减器在开动时是怎样阻止人们接近(超过表 7-1A 和第一级可接触发射限的)所有激光和附随辐射的

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
		7.10.4		<ul style="list-style-type: none"> 证实产品在工作、维护、检修时,光束衰减器能随时执行其功能,而不管1040.10和1040.11节任何其他要求
(f)(7)	控制器的位置	7.11	二、三、四	<p>控制器的位置</p> <p>讨论激光器产品的每个操作控制器和调整控制器的位置是怎样安排的,使得人们在使用这些控制器时,不会暴露于(超过表7-1A和第一级可接触发射限的)激光和附随辐射</p> <p>注意:在第5部应给出控制器相对于可接触激光和附随辐射的位置和标志</p>
(f)(8)	观察光学部件	7.12	所有	观察光学部件
		7.12.1		<ul style="list-style-type: none"> 说明由于激光器产品中的观察光学部件、观察窗、和显示屏而接触到的任何(所有)激光和附随辐射是否在任何时间都不大于表7-1A和第一级可接触发射限
		7.12.2		<ul style="list-style-type: none"> 用图或照片和辐射的透射谱或反射谱,详细描述合并于观察光学部件、观察窗或显示屏中每一光闸或可变衰减器
		7.12.3		<ul style="list-style-type: none"> 说明并入激光器产品中(诸)工具的机械、电学和功能特征,它们能阻止人们接近(超过表7-1A和第一级可接触发射限的)激光和附随辐射
		7.12.4		<ul style="list-style-type: none"> 在光闸或衰减器之类的工具不能满足1040.10(f)(8)(i)节(如上述第7.12.3部)的要求,从而使人们可能接近的透射激光或附随辐射超过表7-1A和第一级可接触发射限时,说明光闸是怎样不能关闭的和衰减器是怎样不能改变的 <p>注意:在第5部应给出由于观察光学部件、观察窗、显示屏而可接触到的激光和附随辐射的地点和标志。在第6部提出它们的最高水平</p>

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
(i)(9)	扫描防护设备	7.13	所有	扫描防护设备(激光器的扫描激光) 说明在扫描失效,或扫描速率改变或激光幅度改变而引起其他失效时,阻止人们接近(超过用于扫描辐射的可接触发射限的)激光的诸工具的机械、电学和功能特性
1040.11 (a)	医用激光器产品	7.14	三、四	医用激光器产品
		7.14.1		• 详细描述并入产品的、用于测量辐照人体的、激光水平的设备,包括测量系统的电路图和光学系统图
		7.14.2		• 说明测量系统的估计不准确度以及取得该值的方法(测量误差不得超过±20%)
		7.14.3		• 提供一份指导,说明给(要并入第三、四级医用激光器的)测量系统定标的程序和工艺过程

表 10-1.8 BRH 对激光器产品性能标准提出的要求
(8. 为确定符合要求而进行的质量控制试验和试验程序)

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
(e)	为确定符合要求而进行试验	8	所有	为确定符合要求而进行的质量控制试验和试验程序
(e)(1)	• 颁发证书的试验			提供质量控制试验和程序一览表:
(e)(2)	• 试验条件			• 用于原型、样机和改进型的
(e)(3)	• 测量参数			• 为各元件用的
(e)(4)	• 测量扫描激光的参数			• 用于产品制造中 • 用于不合格部件的再试验的

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段序 号和段序号	激光器 级别	说明
		8.1	-	<p>原型、样机、改进型的试验</p> <p>描述用于原型、样机、改进型的任何可行试验(第9部中的寿命和耐久试验除外)</p> <ul style="list-style-type: none"> 只包括那些用于保证后继产品合格以及和最终产品模型有关的试验 <p>每一试验说明书应包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> 说明要试验哪些特征 所测量的参数 试验程序 试验仪器和组装,包括图和照片,并清晰地标出每一项试验仪器 <p>只要可能就应进行下述一些试验:</p>
-	-	8.1.1	-	<ul style="list-style-type: none"> 试验激光辐射,即使预期它不能接近成品中的激光
-	-	8.1.2	-	<ul style="list-style-type: none"> 评价联锁、遙控连接器、键控制器、激光发射指示器、扫描安全设备以及任何其他辐射安全部件的性能的任何试验,只要在生产过程中进行试验时它们的性能是可以直接或间接测量的
-	-	8.1.3	-	<ul style="list-style-type: none"> 光束衰减器、观察光学部件、滤光片、反射器、透镜和其他光学元件或表面,关于这些能影响成品可接触发射水平的任何试验
-	-	8.1.4	-	<ul style="list-style-type: none"> 量度附随辐射的发射水平及其光谱属性的任何试验
-	-	8.1.5	-	<ul style="list-style-type: none"> 和工作条件或环境条件(例如有效电压的变化、对工作温度的敏感性、冷却速率的变化、使用和乱用的影响等)的影响有关的任何试验
-	-	8.1.6	-	<ul style="list-style-type: none"> 进行的和待进行的其他任何试验,据信它们能证实或用资料证明产品的辐射安全以及产品符合21CFR第一章第J分章适用于激光器产品的部分

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说明
-	-	8.2	-	<p>元件试验</p> <p>描述(影响辐射安全) 诸元件的质量控制和试验程序,这些实验应在元件接入激光器产品之前完成,因为它们被认为是试验方案的重要而必需环节以保证产品符合联邦性能标准</p> <p>程序至少应包括:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 元件的验收 • 和(或)局部组装时试验下述元件,如能源控制元件、监视控制元件、发射指示元件、联锁元件、扫描机构等 <p>只要可能,说明应包括:</p>
		8.2.1		<ul style="list-style-type: none"> • 卖主的产品合格证
		8.2.2		<ul style="list-style-type: none"> • 元件验收程序,收货和拒收的标准,以及批量和标本量,如果不100%试验的话。若100%试验,要说明
		8.2.3		<ul style="list-style-type: none"> • 组件试验程序、参数和范围,以及批量和标本量,如果不100%试验的话。若100%试验,要说明
		8.2.4		<ul style="list-style-type: none"> • 说明元件或批量拒收后的补偿程序
-	-	-	-	<p>甲类资料(在100%基础上进行试验程序),对第8.3和8.4部所列举的那些试验中的每一个都应给出下述资料:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 甲(1) 说明试验的是哪些特征,量度和监视的是哪些参数 • 甲(2) 描述后继步骤 • 甲(3) 用图和照片描述试验仪器和组装,并清楚地标出每项仪器 • 甲(4) 给出试验时的物理条件和电学条件(电压有效值,工作时的温度,冷却率等等)

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
				<ul style="list-style-type: none">• 甲(5) 给出试验时过行的调节(若有的话)以及调节的特殊程序• 甲(6) 若合适,描述可接触激光和附随辐射的测量程序,包括探测器扫描图样,为光发射而调查的表面和面积,探测器相对于某表面的位置以及保持这位置不变的方法• 甲(7) 验收和拒收的标准(例如,发射限、联锁的耐久性、发射指示器、光束衰减器和其他安全装置)• 甲(8) 通过文件标题、编号、页数和段落或试验站,提到内载质量控制的文件有关部分,试验程序和流程图。在本报告中应附送诸文件的抄本。若没有这样的文件,也要说明• 甲(9) 说明在生产过程中作过试验,这试验是否最终试验,是否在生产 and 试验的最后一阶段还要重复这一试验(不是指取样或检查)• 甲(10) 说明进行这些试验时作过的和保存的记录
				<p>乙类资料(取样程序)</p> <p>对于第 8.3 部列举的、不是在 100%基础上进行的那些试验中的每一个,应给出下述资料</p> <ul style="list-style-type: none">• 乙(1) 提到任何公开认可的取样方案• 乙(2) 描述所利用的取样方案,包括样品量,从其中取样的堆量,以及取样元件和取样堆的拒收/接收的标准• 乙(3) 接受检查总产品的比值• 乙(4) 确定样品量的原理• 乙(5) 保证无规则取样的方法

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说明
				<ul style="list-style-type: none"> • 乙(6) 在拒收元件之后将采取的补偿作用包括暂时改变取样方案(但不限于此),对拒收堆的检查以及对(在拒收堆之前和之后形成的)诸堆的再检查
		8.3	-	<p>生产试验</p> <p>描述制造过程中和完毕之后所进行的(诸)试验和试验程序(不包括第8.1和8.2部的那一些,也不管该试验在最终试验中是否要重复)</p> <p>这包括激光器产品的安装,以及检查其正常操作和运转</p> <p>所描述的试验,如果进行的活,应包括但不只限于下述一些:</p>
		8.3.1		<ul style="list-style-type: none"> • 试验最终产品工作、维护、检修时将接触到的激光发射
		8.3.2		<ul style="list-style-type: none"> • 试验和调整下列诸项:
		8.3.2.1		-安全联锁
		8.3.2.2		-联锁废除时的光和声指示器
		8.3.2.3		-遙控连接器
		8.3.2.4		-键控制器
		8.3.2.5		-激光发射指示器
		8.3.2.6		-光束衰减器
		8.3.2.7		-观察光学部件
		8.3.2.8		-扫描安全设备
1040.11 -(a)	医用激光器产品	8.3.2.9		-符合 1040.11(a)节的辐射测量仪器

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
1040.10	激光器产品	8.3.2.10		-为了符合 1040.10 和 1040.11 节应有的或必有的保险设备
1040.11	专用激光器产品	8.3.3		• 检验和调整防护罩的面板、门、门门等等
		8.3.4		• 检验和调整那些能影响可接触辐射水平的滤光器、反射器、透镜和其他光学元件
		8.3.5		• 试验附随辐射的发射水平及其光谱属性
		8.3.6		• 试验和调整有关工作或环境条件,如工作电压、工作温度、冷却率等等
1040.10	激光器产品	8.3.7		• 进行任何其他试验或调整,据信它们能证实或用资料证明
1040.11	专用激光器产品			产品的辐射安全以及产品符合 1040.10 和 1040.11 节的要求
		8.4	-	拒收单元的再试验 对第 8.3 部试验中拒收的所有单元,描述再试验的地点和程序
		8.4.1		• 凡是再试验后,重新进入生产线的拒收产品,应指出产品进入生产线时相当于试验站的地点 若进行的再试验少于 100%,详细说明省略了的(诸)试验
		8.4.2		• 凡是在生产线之外进行的试验,应提供“甲、乙类资料”所有适用资料
		8.5		试验的结果 概括第 8 部上报所有试验的结果。对所进行过的每一类试验程序至少应包括下述资料:
		8.5.1		• 验证上报结果的试验类型,包括适于提及的第 8.1 到 8.3 部相应部分
		8.5.2		• 上报结果所表示的时间

根据激光器产品性能标准而提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
		8.5.3		• 受试验单元的数目
		8.5.4		• 受试验的是总制造单元(或总接收单元)的百分数
		8.5.5		• 如果数据够多,给出每一类试验的平均值、范围和标准偏差若不能给出这些,可上报结果的其他有代表性的统计值或表示式
		8.5.6		• 若试验结果用数值记录,提供频率分布,其形式可用图、表或其他能传达同一信息的适合的形式
		8.5.7		• 若进行的是“是否试验”,给出通不过试验的单元数和百分比若进行的是堆取样,也给出通不过的单元数和百分比

表 10-1.9 BRH 对激光器产品性能标准的要求
(9. 寿命和耐久性试验)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)			BRH 对报表的要求	
1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说明
(•)	测定符合条件的试验	9	所有	寿命和耐久性试验
(•)(1)	颁发证书的试验	9.1	-	试验程序
	• 因为对一产品在有效寿命期间要求符合标准,这些试验也应考虑随着使用期限的增加,发射可能增大而辐射安全则可能降级	9.1.1		描述目前以及将来用于试验激光器产品的寿命和耐久性的试验程序以确定产品在其有效寿命期间符合标准的能力 在说明书中: • 指出所有部件、元件和附件 - 它们会随着时间或使用而变质,从而可能增加辐射水平或 - 使产品的辐射安全降低,从而使产品满足不了标准的要求

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说 明
				<ul style="list-style-type: none"> 对于发射或发射度的任何增加,给出其方式和估计其大小,对于它们可因部件、元件、附件的变质,而使产品的辐射安全得到补偿 若这些部件、元件、附件的工作寿命或耐久性已包括在售主说明书中,说明哪些是要购买的及相应规格
		9.1.2		<ul style="list-style-type: none"> 耐久性和可靠性试验至少应包括: <ul style="list-style-type: none"> 9.1.2.1 -激光器的辐射输出以及输出随年限或使用的变化 9.1.2.2 -安全联锁 9.1.2.3 -遥控连接器 9.1.2.4 -键控制器 9.1.2.5 -激光发射指示器 9.1.2.6 -光束衰减器 9.1.2.7 -观察光学部件 9.1.2.8 -扫描安全设备
1040.11 (a)	医用激光器产品	9.1.2.9		<ul style="list-style-type: none"> -符合 1040.11(a) 节的辐射测量仪器
		9.1.2.10		<ul style="list-style-type: none"> -可能影响上报产品辐射安全的任何其他部件、元件或附件
		9.1.2.11		<ul style="list-style-type: none"> -异物在光束衰减器、扫描安全设备、面镜、滤光器、观察光学部件和其他安全设备上的积累可能影响辐射安全
		9.1.3		<ul style="list-style-type: none"> 对于第 9.1.2 部上报的和进行的每一试验,如适用,要求给出下述资料:

1040.10节和段序号	一般说明	部和段序号	激光器级别	说 明
		9.1.3.1		-描述所遵循的程序
		9.1.3.2		-受试单元的数目, 这类试验的频率以及受试单元的选择标准
		9.1.3.3		-监视、测量或试验的诸参数
		9.1.3.4		-进行试验时的物理和电学条件(例如, 有效电压, 环境温度, 冷却率等等)
		9.1.3.5		-在试验中进行的诸调节(若有的话)以及如何调节
		9.1.3.6		-每一次试验所用的仪器和试验设备, 包括对任何专门器械或装置的描述
		9.1.3.7		-描述激光或附随辐射的发射测量程序, 包括探测器扫描图样, 为光发射而调查的表面和面积以及探测器离激光器产品表面的距离
		9.1.3.8		-两试验之间的工作循环的时间和次数, 定义什么构成一个工作循环
		9.1.3.9		-试验结果的标准以接收或拒收产品
		9.1.3.10		-通过文件标题、编号、页数和段落, 提到内载质量控制文件的有关部分和试验程序, 附送这类文件的抄本作为本报告的附件。若没有这类文件, 也要说明
		9.1.4		• 提供拒收一部件、元件、附件或单元后采取的或将要采取的补偿行动
-	-	9.2	-	寿命和耐久性试验的结果 概述或分别上报对激光器产品上报模型进行寿命和耐久性试验的结果 对每一类按程序做过试验的, 至少应 包括下述资料:

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节 和段序号	一般说明	部和段 序号	激光器 级别	说明
		9.2.1		• 证实上报结果的试验类型,包括查阅第9.1部的有关部分
		9.2.2		• 上报结果所表示的时间
		9.2.3		• 受试单元的数目和百分比或受试单元占总制造单元的比值
		9.2.4		• 对每一受试单元提供:
		9.2.4.1		-第一次和最后一次的试验日期
		9.2.4.2		-在试期之初、之末、之间的每一类试验结果
		9.2.5		-元件失效,失效时间,或工作循环失效数,校正方法以及校正对激光器产品的激光、附随辐射以及其他安全特征的影响
-	-	9.3	-	<p>激光器产品的误动作</p> <p>提供关于激光器产品误动作一般原因的资料,这种误动作会改变其激光安全性能的特征或履行联邦标准的能力</p> <p>上报发生过误动作的次数</p> <p>• 描述并入产品的任何安全装置,或介绍的安全程序以防止这类误动作造成损伤</p>
-	-	9.4	-	<p>修理或更换问题</p> <p>说明发生了什么修理或更换问题(若有的话),不然会影响激光器产品的辐射安全</p> <p>• 证实和解释这些问题</p>

表 10-1.10 BRII 对激光器产品性能标准的要求
(10. 测试仪器或校准)

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)		BRII 对报表的要求		
1040.10节和段序号	说明	部和段序号	激光器级别	说明
(e)	测定符合要求的试验	10	所有	测试仪表和校准
1040.10	激光器产品	10.1	-	测试仪表和试验装置
1040.11	专用激光器产品			描述(用于保证上报激光器产品符合1040.10和1040.11节的要求的)所有仪器和试验装置 包括用于下述各项的仪器和试验装置: • 工程原型 • 再生产单元 • 原生产单元 可参考第8和9部中描述的测试仪表和试验装置
		10.1.1		• 就下述各点查明每项仪器或实验设备的 -制造商、型号和收到日期 -它是否用于工程、生产或质量控制方案
		10.1.2		• 提供实验装置图和照片,包括每项仪器的部件标志和(或)光学元件,若它们有助于描述试验装置的话
		10.1.3		• 只要可行,逐一说明每项仪器或试验设备的:
		10.1.3.1		-对估计误差和范围幅度的测量
		10.1.3.2		-响应时间
		10.1.3.3		-有效面积或光阑孔径大小的测量
		10.1.3.4		-探测器的类型和特性

根据激光器产品性能标准提出的要求(1040部)

BRH 对报表的要求

1040.10节和段序号	说 明	部和段序号	激光器级别	说 明
		10.1.3.5		-波长依存特性曲线(特别是对探测器和整个仪器或试验设备)
		10.1.3.6		-线性响应(特别是,对于量光束功率的仪器:入射光在长持续时间)和宽强度范围内的线性,例如在短而强的脉冲和弱而连续标准光源之间)
		10.1.3.7		-探测器(或仪器或试验装置)对角度的依存关系
		10.1.3.8		-探测器(或仪器或试验装置)对温度的依存关系
		10.1.3.9		-具有圆形截面、用于接收的立体角
		10.1.3.10		-探测器(或仪器或试验装置)全敏或截面响应的均匀性
		10.1.4		<ul style="list-style-type: none"> • 在第 6.1, 6.2 和 6.3 部对于激光和附随辐射上报的每一测量上的误差,在此指出: <ul style="list-style-type: none"> -测量仪器系统以及 -提出确定误差的方法和详细数据说明; -每一误差是怎样在测量过程中传播的以及 -所用的方法把诸误差连合起来使之成为上报的总估计误差
		10.1.5		• 若上报产品投放市场时不用自己生产的激光器,详细说明试验时用的是什么激光器(商标名称和型号)
		10.1.6		• 若产品不用自己激光器能源,详细说明试验时用的是什么能源(商标名称和牌号)
		10.1.7		• 说明对于每一仪器或试验装置,测量了哪些参数,并把每一参数和标准的相应的专门要求联系起来

1040.10节和段序号	说 明	部和段序号	激光器级别	说 明
		10.1.8		• 提出用于每一参数的试验或书面说明(若在第8和9部中没有说明的话),以及写出参数是怎样从直接测量计算出来的
		10.1.9		• 对于上列任一种仪器,若有商品供应,可通过模型,用布局和系列号(如可行的话)来描述其任何改进,这类改进的描述要详细
		10.2		对测量仪表的检验 描述对测量仪表进行了哪些检验
		10.2.1		• 说明对测量仪表进行了哪些试验和校准,以及多久进行一次。描述(用于确定是否需要再校准的)任何标准
		10.2.2		• 若仪器的某些校准是他人做的(校准实验室、其他公司等等),说明谁对哪些仪器校准过,以及每一仪器多久校准一次
		10.2.3		• 说明用什么装置来检验或校准测量仪表 列举用于检验或校准的所有设备、包括制造厂、型号和有关说明
		10.2.4		• 提供用于检验或校准仪器的器械和试验装置的示意图或方框图

(上接 145 页)

• 保密的军用激光系统

至于国防部所有其他激光器,如用于工业、教室、建筑、校直、研究、测量仪表和医疗等等,则不在 BRH 法典豁免之列。

BRH 标准豁免的军用激光器应在其显眼处张贴下述标记:

当心

本电子系统根据1976年7月26日颁发的豁免证76号EL-01 DOD从(美)联邦法规全书21编1章J分章中所规定的(美)粮食和药物管理局放射安全性能标准得到豁免。本产品在没有适当防护设备或措施时不得使用。

对于豁免的军用激光器系统附有下列两个要求:

- 国防部对于在本豁免下所收到的或付出的激光器或激光器产品的类型和数量,必须向BRH提出年度报告。
- 这类豁免激光器的制造厂,要象对待未豁免激光器一样,向BRH报告激光事故。

(二) 用户安全标准

如前已指出,职业安全及卫生管理局(OSHA)对激光器广大用户的安全标准正在制定中,尽管劳工标准局对于激光器少数用户(建筑业)实际上已经有了一个标准。根据两标准的相对重要性,这里将首先提出目前已知的OSHA的要求。

表10-2是取自“激光集锦”杂志编纂的“买者指南”,它⁽⁸⁾就21种主要的激光安全使用控制措施,对它们是否包括在ANSI自愿标准和OSHA拟议标准中作了比较或两标准中都未提及。BRH的危害分级方案已为OSHA采用。

表10-3包括劳工标准局“建筑业安全与工业条例”中所要求的激光安全使用措施一览表。

三、州的激光安全立法

州这一级对激光安全也是极其关怀的,一共有31个州有某种形式的有关激光器的州条例,或已通过,或在审议中,或已授权,或有OSHA-州的协议⁽¹⁰⁾。本节将概括地

表 10-2 ANSI 和 OSHA 标准所要求的
激光时的控制措施

序号	对安全使用的要求	一 级		二 级		三(甲)级		三(乙)级		四 级	
		ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA
1.	眼可能受照射时, 用正确标定的护目装置	N/A	N/A	2	√	√	√	√	√	√	√
2.	若激光防护滤片似乎损坏时, 不要用激光系统	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
3.	只有核准人员才能操作激光器 ³	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
4.	观察光学部件时必须把辐射衰减到 MPE 或一级水平	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
5.	不得用激光追踪非目标物的飞机和车辆	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
6.	眼曝光限于眼的 MPE	N/A	N/A	√	√	√	√	√	√	√	√
7.	皮肤曝光限于皮肤 MPE	N/A	N/A	N/A	N/A	√	√	√	√	√	√
8.	对激光器用户的训练	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
9.	不用时将激光输出降到一级水平	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
10.	在“受控区”使用激光器	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
11.	限制参观人员	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

序号	对安全使用的要求	一级		二级		三(甲)级		三(乙)级		四级	
		ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA	ANSI	OSHA
12.	激光发射时光或声指示器							√	√	√	√
13.	从激光光路中移开不必要的镜式表面					√		√	√	√	√
14.	“当心”标签和标记		√	√	√						
15.	“危险”警告标签和标记					√		√	√	√	√
16.	限制接近光束和栏栅					√		√	√	√	√
17.	室内用封闭式设备									√	√
18.	安全功率断路器										√
19.	激光区树立“危险”牌								√		√
20.	远距开动的监督是可取的									√	
21.	键控主联锁							√			√

MPE = 最大许可照射量 N/A = 不适用

1. 取自参考文献 8
2. 只有在有意注视光束才要求用护目装置
3. 两标准都未作此要求

表 10-3 劳工标准局要求建筑业使用激光器时的控制措施⁽¹⁾

项	节序号	对安全使用的要求
1	1518.54(j)	照射量限, (1)直接注视: $\leq 1 \times 10^{-6}$ 瓦·厘米 ⁻² (2)偶然观看: $\leq 1 \times 10^{-5}$ 瓦·厘米 ⁻² (3)漫反射光: ≤ 2.5 瓦·厘米 ⁻²
2	1518.54(g)	不得把激光束对准个人
3	1518.54(k)	如可能,工作中的激光装置应放在高于人头的地方
4	1518.54(c)	若直射或反射激光的照射量可能大于 5×10^{-3} 瓦时,眼要用防护激光的设备(如安全眼罩)
5	1518.54(a)	只有合格的和受过训练的人员才能安装、调整和开动激光设备 ⁽²⁾
6	1518.54(b)	工作人员应随身携带操作激光设备的合格证
7	1518.54(h)	在下雨下雪和空气中有雾或灰尘时,如可能应停止激光器工作
8	1518.54(e)	在不需传递激光时,可使用光闸或光罩,或停止激光器运转 若激光器在相当长时间内无人照管时(例如,午餐、换班、过夜等),就应把它停掉
9	1518.54(f)	在给激光器内部准直定向时,只能用电子的或机械设备作指示器
10	1518.54(d)	在激光器使用区张贴标准的“激光警告”的布告
11	1518.54(i)	激光设备上要有标明其最大输出的牌子
12	1518.102	防护眼的细节
	1518.102(a)	(a)眼防护设备应满足 ANSI Z87.1-1968 ⁽³⁾ 的要求 (2)
	1518.102(a)	(b)防护眼镜需要有下述资料的标记, (2)(i) · 准备用于的激光波长 · 对这些波长的光密度 · 可见光的透射

(1)汇编自参考文献 7

(2)有的并不要求训练和合格证,例如纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”

(3)见参考文献 9

考察这 31 个州在情况上的不同以及（或）其条例。然后为激光器的安全使用，着重详细说明纽约州工业法典第 50 条法规。

（一）对各州现有或拟议的激光安全立法的鸟瞰

表 10-4 系取自“美国激光学会新闻”，对激光安全提出了某种形式的要求的 31 个州可分为 5 种类型。

表 10-4 中前 11 个州有某种形式的条例或自愿激光安全方案。

接着的六个州（表 10-4 的 12-17）已颁布授权立法，即授权州卫生局或相应机构制定激光安全标准。有的立法草案已完成，有的在制定中。

有 5 个州（表 10-4 的 18-22）已和 OSHA 达成协议，将在这些州全面执行这项激光用户标准。这些州目前也在执行建筑业使用激光器的安全条例（如建筑业的安全和卫生条例）。

最后 9 个州（表 10-4 的 23-31）已制定了激光器法典的初步草案，正等待条例的通过。

（二）各州现有激光安全标准的比较

表 10-4 中前 11 个州，都有某种现存的激光器条例，但在其中出现了混杂图象。表 10-5 就注册要求，曝光标准的基础（若有的话）、对控制和警告标记规定的要求等方面概括 11 个州的差别。

由表 10-5 可见，佐治亚州、伊利诺斯州和宾夕法尼亚州的条例只要求激光器的物主向指定的州机构注册。

阿拉斯加、麻萨诸塞、蒙大拿、纽约、得克萨斯和华盛顿诸州，在照射量水平方面存在着很大的差异。

蒙大拿和华盛顿州逐字逐句照抄美国政府工业卫生学家

表 10-4 一些州目前对激光安全提出了某
种形式的要求⁽¹⁾

类型说明	序号	州名	经办机构	名称	日期
有现行条例 (包括注册) 的州	1	阿拉斯加州	环境保护局	18篇 7 和 8 条	1971年10月
	2	佐治亚州	卫生局	270-5-27章	1971年 9 月 1 日
	3	伊利诺斯州	公共卫生局	注册法	1967年 8 月 11日
	4	麻萨诸塞州	公共卫生局	111 章 51节	1970年10月 7 日
	5	纽约州	劳工局	法典中第50条法 规	1972年 8 月 1 日
	6	宾夕法尼亚州	环境资源局	203 章 25篇 1 部	1971年11月 1 日
	7	得克萨斯州	卫生局	放射控制法令 50、60、70部	1974年 7 月 2 日
有现存条例 或志愿条例 (但不要求 注册)的州	8	密苏里州	卫生局	适用现存的电离 条例	-
	9	蒙大拿州 ⁽²⁾	卫生和环境科 学局	条例: 92-003 志愿方案	-
	10	弗吉尼亚州	卫生局	292-62-WAC章	-
	11	华盛顿州	劳工和工业局		-
已通过授权 立法的州 ⁽²⁾	12	亚利桑那州	-	HB-5	1970年 8 月 11日
	13	阿肯色州	公共卫生局	460 号法令	-
	14	佛罗里达州	卫生处	501-122 章	
	15	路易斯安那州	放射控制处	HB-1165	1968年 7 月 31日
	16	密西西比州	卫生局	HB-499	1964年 4 月 24日
	17	俄克拉何马	卫生局	HB-1405	1969年 4 月 14日
已和 OSHA 达成协议的 州 ⁽³⁾	18	加利福尼亚州	劳工局	州和OSHA的协 议	-
	19	科罗拉多州	劳工局	州和OSHA的协 议	-
	20	康涅狄格州	劳工局	州和OSHA的协 议	-
	21	明尼苏达州	劳工局	州和OSHA的协 议	-
	22	北卡罗来纳州	劳工局	州和OSHA的协 议	-

类型说明	序号	州名	经办机构	名称	日期
在起草或等待通过条例的州 ⁽¹⁾	23	阿拉巴马州	-	在制定中	-
	24	衣阿华州	-	在制定中	-
	25	缅因州	卫生工程	在制定中	-
	26	密执安州	-	在制定中	-
	27	内布拉斯加州	-	在制定中	-
	28	新罕布爱州	-	在制定中	-
	29	新墨西哥州	环境改善机构	在制定中	-
	30	俄勒冈州	卫生处	在制定中	-
	31	怀俄明州	卫生处	在制定中	-

(1)取自参考文献 10

(2)已草拟新条例, 等待通过

(3)不包括州一级的其他标准

(4)尚未通过授权立法

表 10-5 诸州现有的激光安全标准的比较⁽¹⁾

号	州名	法典	颁布日期	要注册	曝光标准的基础	规定控制	规定警告标记
1	阿拉斯加	激光器性能标准 18 篇 7 和 8 条	1971年10月	要	修订过的1969 ACGIH TLV	有	有
2	佐治亚州	270-5-27章	1971年9月1日	要	只有注册法		
3	伊利诺斯州	激光器注册法	1967年8月1日	要	只有注册法		
4	麻萨诸塞州	110 章 51 节	1970年10月7日	要	只推荐, 可见光用改进了的 1969 ACGIH TLV, 红外和紫外 ⁽⁴⁾ 用1940AMA		无
5	密苏里州	基于现有的电离条例	-	否	无特殊的激光器要求		
6	蒙大拿州	条例, 92-003	-	否	用 1969 ACGIH TLV	按ACGIH 规定	
7	纽约州	法典中第50条法规	1972年8月1日	要	修订过的1969 ACGIH TLV	有 ⁽³⁾	有

号	州名	法典	颁布日期	要注册	曝光标准的基础	规定控制	规定警告标记
8	宾夕法尼亚州	203章 25 篇 1 部	1971年11月1日		只有注册法		
9	得克萨斯州	放射控制法令 50、60、70部	1974年6月2日	要	基于 ⁽²⁾ ANSI/HEW	有	有
10	弗吉尼亚州				自愿激光器方案		
11	华盛顿州	292 62WAC章	-	否	用1969 ACGIH TLV	按ACGIH规定	规

(1)取自参考文献 10

(2)HEW: 美卫生、教育和福利部食品和药物管理局当时提出了激光器产品性能标准。联邦注册: 1973年12月10日, 38卷236号3部

(3)纽约州对所有可拆的激光器要求工作人员有开动激光器的许可证

(4)AMA: 美国医学协会, 1948年物理医学委员会 (JAMA, V137, 1600, 1948)

会议 (ACGIH) 于1969年提出的原始阈限值 (TLV), 到现在这标准已过时了, 它们只适用于Q开关和脉冲红宝石激光器。即使就这类激光器来说, ACGIH于1973年提出的TLV也要宽大得多。

纽约和阿拉斯加州分别独自确定了它们自己的照射量标准, 这两标准类似于ACGIH的1969年TLV, 但有些更改以说明增补的激光器类型和波长。它们在某些方面比ACGIH 1973年修订过的标准还要严格。

麻萨诸塞州没有提出自己的照射量水平, 但建议参考ACGIH和ANSI的标准。然而它确实提出一种曝光指南, 这指南是拼凑起来的, 即可见光用ACGIH 1969年的阈限值, 而紫外线用美国医学协会物理医学委员会1940年提出照射量水平。

弗吉尼亚州支持激光安全的自愿方案，但没有提出任何指南。

得克萨斯州公布了一个详尽的标准，它用ANSI Z-136.1(1973)和BRH为激光器产品规定的联邦性能标准为指导。得克萨斯标准可认为是向“模范州”标准作的初步尝试。

总之，不难看出在各州现有标准中存在着许多差别。此外，其中许多标准比BRH、ANSI、ACGIH之类的全国性的主要标准还要严格得多。

(三) 对纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”的说明

这条安全使用激光器的法规是一个相当完整的标准。表 10-6 取自美国激光协会教育与安全委员会准备的公报，它给纽约标准作了说明。作为一种补充，也是为了扩大表 10-6 说明的用途，图 10-2 到 10-5 包括了纽约州劳工局为了执行这条法规而使用的各种格式的样本。

最后，附录乙包括第 50 条法规的全文。

表 10-6 对纽约州工业法典第 50 条法规，“激光器”的说明

节 序 号	描 述
I. 适用范围	
50.2(a)	A. 一般：本法规适用于所有受纽约州劳工法管理的人，他 (1)转让 (2)接受 (3)占有 (4)使用 (5)安装 (6)试验 (7)检修 激光器时可能使他本人曝露于激光和其他与激光器有关的危害
50.2(a)	B. 豁免：本法规不适用于 (1)那些遵守 (a)纽约州卫生局的条例的人

节 序 号	描 述
	(b) 纽约市卫生局的条例的人
50.3(a)	(2) 不能发射激光的在储存、运输或出售中的诸激光器，但加标记的要求仍适用
50.3(b)	(3) 在离开激光器外表面 10 厘米处测得的激光辐射不大于 1×10^{-7} 焦耳·厘米 ⁻² 或 1×10^{-5} 瓦·厘米 ⁻² 的激光器，但这种豁免不适用于试验或检修中的激光器
	C. 合格证：本法规不限制激光器用于治疗
50.2(b)	(1) 病人，由取得纽约州合格证的医生进行或在其监督下进行
50.2(c)	(2) 动物，由取得纽约州合格证的兽医进行或在其监督下进行
劳工法 213 节	D. 违反/惩罚：任何人或公司职员明知故犯本法规或任何其他工业法典就犯了过失罪
50.2(d)	E. 联邦法令：本法规不影响适用于纽约州的联邦法令对激光器制造商、进口商或用户所提出的诸要求

I. 激光器级别

A. 豁免级激光器

- 50.3(b) (1) 在离开激光器外表面 10 厘米处测得的激光辐射不大于 1×10^{-7} 焦耳·厘米⁻² 或 1×10^{-5} 瓦·厘米⁻² 的激光器，但这种豁免不适用在生产或修理中正在试验或检修的这类激光器
- 50.3(a) (2) 不能发射激光的在储存、运输或出售中的诸激光器，但加标记的要求仍适用

B. 已批准的低强度激光器

(1) 低强度激光器所发出的能量密度或功率密度

- 50.23. 附录
乙表 1 (a) $\lambda = 400 \sim 1400$ 纳米时，Q 开关的 $> 1 \times 10^{-7}$ 焦耳·厘米⁻²；非 Q 开关的 $> 1 \times 10^{-8}$ 焦耳·厘米⁻²；连续(或脉宽大于 0.1 秒)的 $> 1 \times 10^{-5}$ 瓦·厘米⁻²
- $\lambda > 1400$ 纳米时，Q 开关的 $> 1 \times 10^{-8}$ 焦耳·厘米⁻²；非 Q 开关的 $> 1 \times 10^{-7}$ 焦耳·厘米⁻²；连续(或脉宽大于 0.1 秒)的 $> 10^{-2}$ 瓦·厘米⁻²
- 50.23. 附录
乙表 3 (b) Q 开关的 ≤ 0.1 焦耳·厘米⁻²；非 Q 开关的 ≤ 1.0 焦耳·厘米⁻²；连续(或脉宽大于 0.1 秒)的 ≤ 8.0 瓦·厘米⁻²

注意：表 3 的低强度限和波长无关

节 序 号	描 述
50.7(a)	(2)在本州使用的任何低强度激光器应事先得到批准
50.7(a)(b)和50.8	(3)例外：研究和研制的低强度激光器不需要批准，但必须注册并且必须符合本法规其他适用的规定
50.7(b)和50.8	(4)已批准的低强度激光器豁免注册
-	(5)取得批准书的通常是激光器用户、制造商和进口商
50.7和114.2	(6)批准程序，申请批准时，使用 BSA-3 格式(图 10-2) 注意：对于使用高强度激光器，本法规没有规定要得到批准

C. 激光器和激光室的注册

(1)要注册的类型

- | | |
|---------------|--|
| 50.7(b)和50.8 | (a)只用于研究和研制的低强度激光器 |
| 50.23, 附录乙表3 | (b)所有高强度激光器,例如(功率密度或)能量密度, Q 开关的大于 $0.1 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$; 非 Q 开关的大于 $1.0 \text{ 焦耳} \cdot \text{厘米}^{-2}$; 连续(或脉宽大于 0.1 秒的脉冲)的大于 $30 \text{ 瓦} \cdot \text{厘米}^{-2}$ |
| 50.8和50.4(t) | (c)激光室(如一栋楼、几间房、一间房或其一部分,即有一个以上激光器用过一个月以上的地方,但不是指施工地点) |
| 50.8 | (i)例外:若只用已批准的低强度激光器就不需要注册 |
| 50.8和50.4(aa) | (d)可移动激光器(如用于激光室之外的激光器) |
| 50.8 | (i)例外:若只用已批准的低强度激光器就不需要注册 |
| | (ii)对使用的要求:在工作地点使用激光器之前用户必须提出 IH-331 报表(图 10-3),“在临时工作地点使用可移动激光器的意图报告”。 |

50.8 (2)注册的时限

- (a)在 1972 年 8 月 1 日或以前使用的激光室和(或)可移动的激光器,应在此日之后 90 天内注册
- (b)在 1972 年 8 月 1 日之后,注册应先于激光器的接受或组装

(3)注册程序

- (a)申请注册时,填写 IH-333 表格(图 10-4)“激光室和(或)可移动的激光器的注册”

(b) 在收到纽约州工业卫生局寄来的一份完整并盖了印的 IH-313 之后, 注册才完毕

Ⅱ. 雇主的责任

- 50.5 A. 履行本法规关于激光及其他有关危害的规定
- (1) 不许任何人员所曝露的激光超过
- 50.23 (a) 附录乙表 1 对角膜的阈限
- 50.23 (b) 附录乙表 2 对皮肤的阈限
- 除非是有适当的防护
- (2) 不许任何人暴露于和激光器有关的危害, 除非是有适宜的防护
- B. 取得使用低强度激光器的许可证(见表 10-6 节 I. B)
- C. 注册所有激光室和(或)可移动的激光器〔见表 10-6 节 I. C(1)〕
- 50.12(a) D. 要指导和告诫每一雇员或有权经常来到激光区的人员关于
- 50.12(a)(1) (1) 这里有什么激光器
- 50.12(a)(2) (2) 和使用激光器有关的潜在危害
- 50.12(a)(2) (3) 采取必要的预防措施和程序以尽量减少人们曝露于激光
- 50.12(a)(3) (4) 执行本法规可资利用的条款以防御激光危害
- 50.11 E. 任命一位激光安全员
- 50.9(a) F. 只许持有合格证书的人员开动移动式激光器
- 例外: (1) 持有纽约州许可证的职业工程师和土地测绘人员
- (2) 只用移动式激光器于研究和研制的工作人员
- 50.12(b)(1) G. 提供防护设备给经常来到激光区的人员
- (2)
- 50.4(t) H. 激光室的范围应由物主予以标记
- 50.4(uu) I. 鉴定(例如, 在生产、使用、安排、修理、提供任何激光器时, 评价激光危害);
- 50.16(a) 要求对注册激光器作下述鉴定:
- 50.16(a)(1) (1) 对每一注册可移动激光器在使用之前, 测量其输出功率密度或能量密度

节 序 号	描 述
50.16(a)(2)	(2)在使用之前,检查所有激光防护设备,包括安全连锁
50.16(a)(3)	(3)每半年对所有安全眼罩至少目检其光学缺陷一次,还要检查滤光片的类型和光密度是否适合所用的激光器
50.17(a)	J. 采取未经许可使用激光器的预防措施
50.17(b)	K. 正确处理高强度激光器 (1)使激光器持久地不能开动,或 (2)把激光器转让给已(进行所要求)注册的其他团体
50.18(j)	L. 激光区至少应有 30 流明·英尺 ⁻² 的照明,除非是激光器的工作要求环境照明低一些
50.19	M. 保存必要记录:注册激光器的货主必须保存下述记录,以备授权的纽约州官员的检查
50.19(a)	(1)对每一激光器的输出和系统连锁所要求的核查结果
50.19(b)	(2)对任何注册激光器的转让、接受和处理
50.19(c)和 50.16(c)	(3)每年清点一次任何激光室中的所有激光器以及全部可移动激光器的清单
50.19(c)和 50.16(a)(3)	(4)安全眼罩的核查结果
50.19(c)和 50.16(b)	(5)为激光器符合本法规而进行测量时的校正数据和所用的仪器
50.20	N. 报告 (1)送纽约州工业专员
50.20(a)(1)	(a)整台激光器的被盜或遗失,应立即报告
50.20(a)(2)	(b)由激光器或相应设备引起的损伤,应在 7 日内书面报告
50.20(b)	(2)送给医生:在上报受到激光照射时,与这次曝露有关的全部相应资料应供给受照射人员所委托的任何医生
50.21	O. 检查和试验:雇主让纽约州委任官员:
50.21(a)(1)	(1)检查激光器,激光区和激光室或这激光器所在、占有、储存或使用的房间
50.21(a)(2)	(2)检查根据上述 M 和 N 项提出的全部记录和报告
50.21(b)	(3)进行官员认为必要的试验
50.21(c)	注意:若本州委任人员为任何检查和试验可能危及国家的安全,可代之以激光安全员就激光器的正确使用和安全程序提出声明和适当的报告

节 序 号	描 述
50.18	P. 对激光器开动时可能存在的有关危害(例如,气载污染物、电击等)要提供预防措施
IV. 雇员的职责	
50.6	A. 其个人的有关行为都要符合本法规的规定
50.6	B. 正确使用为保护雇员而提供的防护设备
50.9(a)	C. 不要开动任何可移动的激光器,除非他持有有效的合格证 例外: (1)持有本州许可证的职业工程师和土地测绘人员 (2)只用可移动激光器于研究和研制
50.10(a) (b)	D. 不要这样开动激光器,如果它会使人们暴露于激光的水平超过 (1)附录乙表 1 眼的照射量 (2)附录乙表 2 皮肤的照射量
50.10(c)	E. 不开动高强度激光器,除非: (1)它是放在屏蔽的和联锁的机壳内,或 (2)只在激光区开动(例如,有一个以上低或高强度激光器的区域,接近这区域是受到控制的,以保护人员暴露于激光) 例外: (i)如果用 IH331 表格(图10-3),于预计工作前 48 小时通知政府专员,在激光区工作的激光器就不需要包封或联锁。激光安全员或他指定的代表在激光器工作时将总是在现场 (ii)在检修或修理高强度激光器时,激光安全员或他指定的人员应该在场,但不必通知专员
50.10(c) 和 50.4(a)	
50.13(b)	F. 当激光强度超过附录乙表 1 的值时,不要束内直视原激光束或镜式反射束,除非使用(符合于本法规的许可的)护目设备
50.13(f)	G. 要从激光光路清除所有物体,以免激光散射到未控区
50.13(g)	H. 照射量超过最大许可限的全部未屏蔽激光器在工作时应罩起来或有效地终止光束
50.16(a)(2)	I. 在初次使用激光器之先,要弄清所有激光防护设备包括安全联锁都处于良好的工作状态,而且安装正确
50.17(a)	J. 采取未经许可使用激光器的预防措施
50.18	K. 保证对激光器工作时可能出现的有关危害(例如,低温冷却剂、电离辐射等)已采取适当的防护措施

V. 激光安全员 (LSO) 的责任

- 50.11 A. 制定和管理符合于本法规的激光安全方案
 注意：每个公司就其激光器的特殊使用，可对其激光安全方案制定特殊的要求。然而工业卫生处要求呈送安全方案概要
- 50.11, 50.9 (b)(2)和50.9 (a) B. 对于高强度可移动激光器，LSO并不要有甲级合格证或其等效证明，但若有这类证件，就可开动这类激光器
- 50.11 C. 在给定地点使用低强度激光器的 LSO 可能是(但不要求)一个合格的可移动激光器的乙级操纵者
- 50.11 D. 当 LSO 本人不能亲自监督激光器工作时的安全方面时，可指定、训练和指导代理人
 - 注意：没有规定要训练，但工业卫生司检查工厂设备时可能要看训练材料
 - E. 在激光室和可移动激光器注册时，要求 LSO 给 IH-313表格(图 10-4)签名
 - F. 对于申请操作可移动激光器的合格证，填写 DOSH-275表格(图 10-5)：“申请操作可移动激光器的合格证书”，LSO一般要签名并证明申请人合格
- 50.10(c)(1) G. 若高强度激光器工作时没有外壳，或没有联锁作用，或不在激光区工作，LSO或指定人就必须在现场
- 50.10(c)(2) H. 在修理或看管工作中的高强度激光器时，若既无屏蔽，又没有联锁，LSO或指定人员就必须到现场
- 50.21(b) I. 在纽约州官员认为有必要亲自做试验时，应协助他们并提出忠告
- 50.21(c) J. 报告工业卫生处的专员，激光器的正常运转和安全程序在执行中，若州官员的任何检查可能危及国家安全的话
- 50.14(b) K. 若激光器的工作时间为 8 小时或更少一些，则激光区通常所要求的信号和控制设备可免除，但 LSO或指定人必须总是在场，并采取一切预防措施以防止照射量超过最大许可辐射限，以及防止人们受到和激光器有关的危害
- 50.12(b)(2) L. LSO决定哪些人应用防护手套、衣服和挡板等防护设备

VI. 可移动激光器的操作人员

- 50.4(aa) A. 用于或工作于激光室之外的是可移动激光器
- 50.9(a) B. 可移动激光器的操作人员必须有开动激光器的合格证

节 序 号	描 述
	(1)乙级证书：低强度可移动激光器 (2)甲级证书：低和高强度可移动激光器 例外：(1)纽约州发了执照的职业工程师或测绘人员 (2)只用可移动激光器于研究或研制的操作人员
	C. 要求
50.9(e)(1)	(1)年龄至少必须满 18 岁
50.9(d)	(2)必须没有不可控制的生理缺陷或疾病,例如癫痫,心脏病或不能纠正的视觉或听觉缺陷
	(3)经验
50.9(e)(2)	(a)要求有操作激光器的一年实践经验,包括对激光安全预防措施的知识
50.9(e)(2)	(b)若上交激光器工作者训练课程的结业证明,对一年经验的要求就可免除
50.9(g)	(4)考试
	(a)新申请合格证的人都必须通过考试
	(b)申请换发证书的不用考试
	例外:若申请人在一所学院或大学合格地学完四年课程(包括激光理论和激光安全),就可得到合格证或换发新证
50.9(c)	(5)必须填写 DOSH-275 表格(图 10-5)“申请可移动激光器操作人员的合格证”,并交相片
50.9(i)	D. 合格证从发证之日起的有效期为三年,除非是专员中止、吊销或延长时间
50(j)	E. 可移动激光器操作人员在使用或开动这种激光器时,必须随身携带证书,并向委派检查者出示证书
50.9(K)	F. 可移动激光器操作人员必须在证书满期前 3 到 6 个月内换新证
	G. 中止或吊销合格证
50.9(l)(2)	(1)专员有正当理由中止或吊销合格证
	(a)在通知了有关方面之后
	(b)在听取了(激光器)考试委员会的意见之后
50.9(l)(4)	(c)在收到考试委员会的建议之后
50.9(l)(i)	(2)中止或吊销证书的正当理由可能是对可移动激光器的工作不胜任、缺乏判断能力或其他正当理由

节 序 号	描 述
50.9(1)(2)	H. 拒绝换发合格证：专员可拒绝换发合格证，但只是在 (a) 听取了(激光器)考试委员会的意见之后 (b) 在听证通知送到有关方面之后 (c) 在收到考试委员会的建议之后
50.9(1)(4)	
50.9(1)(3)	I. 拒发合格证：在专员拒发之后，在拒发 30 天内，当事人可写信给专员，要求(激光器)考试委员会举行意见听取会
50.9(1)(4)	J. 关于合格证的中止、吊销或拒发或拒绝换发而举行意见听取会之后三天内，考试委员会必须向专员提出意见。专员决定的书面通知连同理由应立即送交所有有关方面
50.9(f)	VI. (激光器)考试委员会
50.9(f)(1)	A. 专员指派考试委员会的成员 (1) 委员会至少应有二个成员 (2) 至少有一个成员持有开动可移动激光器的有效的甲级合格证
50.9(f)(2)	B. (激光器)考试委员会的任务 (1) 对合格证申请者考试他们的资格(经验和能力) (2) 举行必要的意见听取会： (a) 拒发证书引起的申诉 (b) 在专员决定中止、吊销证书或拒绝再发证书之前
50.9(f)(2)(i)	
50.9(f)(2)(ii)	
50.9(f)(2)(iii)	
50.9(f)(2)(iv)	(3) 把意见听取会调查的结果和建议送交给专员
50.9(f)(3)	C. 专员可指定一个小组替代考试委员会进行考试或听取意见
	VII. 激光区的危害控制方法和预防措施
50.4(a)	激光区的定义：任何有一台以上高、低强度激光器的区域，进入该区域是受控的，其目的在于防止个人受到激光的照射
50.13(b)	A. 若有必要，激光束应用无反射的阻燃物质使之终止
50.13(b)	B. 若激光束加热、熔化和凝射目标物质，应预防由飞溅粒子所引起的火灾

节 序 号	描 述
50.13(b)	C. 对于不可避免的反射,应采取预防措施,使散射到未控区的激光不超过最大许可照射量限
50.13(c)	D. 在激光光路两边,一定距离的区域内(即照射量偶而可超过最大许可限的区域)应撤退所有人员,除非是依照本法规定提供了适当的防护措施
50.13(d)	E. 对所用激光器的波长和功率,安全眼镜应具有所要求的衰减或光密度(O.D)
50.13(f)	F. 应从激光光路清除(能把激光散射到未控区的)所有物质
50.13(g)	G. 输出可能超过最大许可辐射限的所有未屏蔽的激光器,在工作时都应罩起来,或有效地予以终止
50.13(i)	H. 有一个入口的封闭的激光室,至少要有一个很容易从里面打开的太平门
50.13(j)	I. 一般照明应是 30 流明/英尺 ² ,除非激光工作要求较低的照明
	J. 激光区的标记
50.14(a)	(1)应用阳光突现符号来标明激光区(包括激光器)
50.14(b)	(2)在每一激光区的入口处或内面,应突出地张贴“当心”或“危险”和“激光区”的标记
	例外:(1)如果激光器的工作为 8 小时或更少些,而LSO或代理人又时刻在现场,就不需要什么标记。但必须采取所有预防措施以防止辐射量超过最大许可辐射限并防止受害于和激光器有关的危害
50.3(b)	(2)豁免级的激光器(见本表 IA 节)
50.18	K. 应对和激光器有关的危害采取预防措施
50.12(a)	E. 应让所有雇员和经常来到激光区的人员知道: (1)这里有激光器 (2)和使用激光器有关的潜在危害 (3)采取必要的预防措施和程序把危害减到最小程度
	L. 激光危害在技术上的控制措施
50.13(h)	A. 用于高强度激光器外壳的联锁,不可又用于开动激光器
50.13(k)	B. 脉冲激光器的电子点燃系统的设计,应预防储能电容器的意外放电
50.13(l)	C. 若有必要,脉冲激光器应有“自动防止故障”的安全电路

节 序 号	描 述
-------	-----

- 50.10(a) D. 应确定激光扫描光束所产生的照射量水平
- 50.16(b) E. 用于激光测量的仪器应是适当的类型并正确校准过

X. 人员的防护

- 50.12(a) A. 一般, 应让每个经常出入激光区的人员获悉:
- (1) 这里有激光器
 - (2) 和使用激光器有关的潜在危害
 - (3) 采取必要的防护措施和程序把危害减到最小程度
 - (4) 本法规为了防护个人曝露于激光而制定的相应条款
- 50.12(b)(1) B. 已批准的安全眼罩
- (1) 用于未屏蔽的激光器, 它工作时偶而会发射超过最大许可水平的照射量
 - (2) 眼罩的光密度应将眼角膜处的辐射降到附录乙表 4 所示的安全水平
 - (3) 安全眼罩的设计和试验应保证使用时具有保护特性
 - (4) 眼罩应清楚地标明光密度和波长
 - (5) 应该给戴眼镜的人提供批准的护目设备或能够刚好套在他原有眼镜上的安全眼罩
 - (6) 曾经受到高强度激光器照射的安全眼罩, 在评价它是否有裂痕以及其衰减的有效性之先, 不要再用它
 - (7) 眼罩至少每半年要检查一次, 以保证光密度对所用激光器是合适的, 还要肉眼检查它有无光学缺陷
 - (8) 变质的或有缺陷的眼罩应去掉、修理或扔掉
 - (9) 在申请批准眼罩时, 填写 BSA-3 表格(图10-2)
 - (10) 若有必要, 眼罩应由雇主提供给激光区的个人
- 50.12(b)(2) C. 其他个人防护用具
- (1) 物主应提供防护手套、衣服和挡板
 - (2) LSO 决定谁应该用防护用具

XI. 激光器标记

- 50.15(a)和 50.15(b) A. 所有激光器都要用高 1/8 吋或更大的字母标明下述资料:

节 序 号	描 述
50.15(a)(1)	(1)阳光突现符号用红色
50.15(a)(2)	(2)“当心”、“危险”和“激光器”等字用黑色
50.15(a)(3)	(3)激光器发射的波长或诸波长
50.15(a)(4)	(4)激光器输出的最大功率输出或能量密度
50.15(a)(5)	(5)激光在其最低级横模时的发散度
	B. 例外
50.3(b)	(1)本法规豁免的诸激光器,例如,在离开这种激光器外表面 10 厘米测量到的辐射不大于 1×10^{-7} 焦耳·厘米 ⁻² 或 1×10^{-5} 瓦·厘米 ⁻²
50.15(b)(1)	(2)如果对激光器的大小和地点,不适于用高 1/8 英寸或更大的字母,可用另一标用的方法
50.15(b)(2)	(3)只用于研究和研制的激光器,不需要逐一说明波长、最大输出功率或能量密度或光束发散度,因可能不知道或难于获得这些参数

Ⅷ. 激光器的有关危害

- 50.18 对与激光器有关的危害应提供防御,这类有关的危害包括下述一些但不限于这一些:
- 50.18(a) **A. 气载污染物**
- (1)可能包括汽化了的靶物质、有毒气体、蒸汽和烟雾
 - (2)应根据下述规定除去或控制这类危险的气载污染物:
 - (a)工业法典中关于“控制气载污染物”的第 12 部 (法规序号)以及
 - (b)工业法典中关于“抽空系统”的第 16 部 (法规序号)的规定
 - (3)每一激光室应有适当的通风
- 50.18(b) **B. 紫外线**
- (1)应避免水平大于 0.5×10^{-6} 瓦·厘米⁻² 的紫外线照射 7 小时
 - (2)应避免水平大于 0.1×10^{-6} 瓦·厘米⁻² 紫外线的连续照射
 - (3)激光系统使用石英管时(因石英管易透射紫外线),应采取特殊措施,以保护个人不受紫外线照射
- 50.18(c) **C. 电危害**,因为激光器和其相应的电系统可能产生电危害,应这样设计、制造、安装和维护它们以尽可能减少电危害

节 子 号	描 述
50.18(d)	D. 低温冷却剂：应这样储存、处理和使用与激光器有关的低温冷却剂，以尽量减少这类冷却剂可能产生的任何危害
50.18(e)	E. 火灾 (1)应这样设计、制造、安装、操作和维护激光器和激光室以尽量排除或减轻火灾 (2)激光区应清除不必要的物质以尽量降低任何火灾
50.18(f)	F. 爆炸危害：因激光器和有关设备可能产生爆炸，这些设备应有防爆屏蔽，以防止个人受爆炸伤害
50.18(g)	G. 电离辐射：若一激光系统产生电离辐射，它应符合于工业法典关于“辐射防护”(相对于防护电离辐射)的第38条法规

	纽约州 劳工局	委员会填
	标准和上诉委员会	申请人____、代理人____
申请序号	(纽约州奥尔班尼	指导议的领导人____
	市纽约州广场塔式	F & M_____ Const_____
填表日期	大楼, 12223)	C.I. up_____ C.I. down_____
		超地区_____(2)
		其他_____

特此申请下述产品或设备的一般批准：

申请人

姓名	地址
电话号码(包括分区号码)	是否同意收话人付款的安排 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

个体 合伙 代理人申请 (在附注中填写姓名、地址、电话号码) 一公司在_____情况下被合并

牌号(像你希望的那样将牌号列入表内)

目的

产品或设备能否在委员会办事处检查 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	以前是否在本委员会申请过批准 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 (若是在附注中详细说明)
工业专员是否颁发过任何影响本产品或设备的符合指令。 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是 (在附注中详细说明)	据你所知,对本产品或设备的使用,曾允许或要求作出任何变动 要求 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 允许 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 (在附注中详细说明)

最初呈报的日期

注意：可能要求补送资料

1. 填满申请表
2. 详尽的总图, 包括原理图, 指出所有元件的材料、大小和一般线度
3. 关于产品或设备的结构、应用、开动和安全特征, 用非专业的语言打印一式二份说明书(不收用于推销的小册子)
4. 呈送有助于理解产品或设备的印刷品, 照片、图画或其他资料
5. 任何试验, 技术检定报告的副本和任何机构用任何方法过去对产品或设备给予批准书的副本
6. 在委员会要求时, 提供样品设备

附注(必要时可加页)

日期	申请人或代理人签名
	用印刷体写或打印上述姓名

警告：若没有出席预定的听证会或没有提交委员会所要求的补充资料, 则申请可能得不到批准

图 10-2 BSA-3 表格：对使用器材和设备的批准

一般信息和指导

A. 批准的类型

1. 一般：批准不仅适用于上交的产品或设备, 也适用于同样生产的所有复制品
2. 专门：对于通常用于一个地点的某一产品或设备的批准, 因此批准对复制品不适用

注意：上述批准中的任一类型可能是：

“要求的”，明文要求得到劳工法或工业法典批准的产品或设备，或

“自愿的”，一产品或设备虽然没有明文要求得到批准, 但在用于或可能用于任何工业、商业、职业、过程或企业时仍遵守劳工法的安全条例

B. 委员会的作用

1. 为正确演示或试验产品(或设备)而装配设备所需要的全部费用由申请人负担
2. 如认为有必要,产品(或设备)的检验和演示应为纽约州来人亲眼看见。若这类检验和演示在纽约州之外进行,则全部旅差费由申请人支付
3. 如果要求,申请人应向委员会提供一式150~450份图表(或图画),其大小和内容应按委员会的规定

样品

供检验或试验用而提供的样品可由委员会保存,从而作为委员会记录的一部分,或者发还申请人,是否收费由委员会决定。若委员会要求,可对样品进行试验,但委员会对试验损坏不负责任

纽约州、劳工局、工业卫生处

(纽约州、纽约市、中央街、80号,10013)

在临时工作地点使用可移动激光器的意图报告

(向下述单位交一式三份)

致: 纽约州、劳工局、工业卫生处、放射卫生科

日期:

1. 激光器注册号

[纽约州、纽约市、中央街、80号, 10013]

2. 公司的名称

3. 公司的地址(包括邮区号码)

4. 工作处的(诸)地址

(1) (2)

(3) (4)

(5)

5. 工作进度表		6. 激光器		7. 现场负责人
A. 年、月、日	B. 时间	A. 制造厂	B. 型号	认可的可移动激光器操作者
(1)				
(2)				
(3)				
(4)				
(5)				
8. 公司职员的签名			9. 职衔	

只供政府官员填写

10. 现场视察 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	11. 年、月、日	12. 符合要求		13. 违章
地点序号		是	否	

IH-331(8-72)

图 10-3 IH-331表格：在临时工作地点使用可移动激光器的意图报告

纽约州 劳工局

安全和卫生处

注册号 LSA

(纽约市、世界贸易中心, 10047)

注册日期

請交：
一式三份表格
支票或匯票

激光室和可移动激光器的注册

1. 物主的姓名(公司或承租人)

2. 使用或儲存激光器的地址全称

县、郡

BA. 公司的地址(若与上述的不同)

3. 激光室的範圍

4. 工业

5. 暴露于激光的工人总数

6. a. 在第 7 项填报的诸激光器是否过去在工业卫生处注册过的激光室的一部分或可移动激光器 是 否

b. 若是, 该激光室在这里的注册号是多少? *

7. 激光设备(若需要可加页)

a 数目		b 制造厂	c 型号	d 波长(微米或纳米)	e 输出功率或能量密度	f 光束直径	g 光束发散度	h 目的和用途	i 暴露的工人数
固定	移动								

8. a. 激光安全员的姓名、职衔、办公地址(看后面定义)

b 资历

年、月、日

激光安全员签名

DOSH-280.1(5-77)

图 10-4 IH-313 表格: 激光室和可移动激光器的注册

对填报 DOSH-280.1 表的指导

(数目和表中项数一致)

1. 物主的姓名: 工业法典第 50 条法规“激光器”把物主定义为“在激光室内或用可移动激光器经商或从事业务的、并依法有权控制激光器的任何人, 不管他是物主、承租人、承包人或其他”。
2. 使用或储存激光器的地址全称: 使用或储存激光器的城或镇、村、街、号。若在郊区, 应给出道路交叉口, 公路序号等, 在所有情况下都应写明郡(县)。
3. 激光室的范围: 对于激光室, 工业法典第 50 条法规把激光室定义为“一个或一个以上激光器用过 30 天以上的地点。激光室的范围应由激光室所有人划定, 整个建筑物或其他房屋或其一部分, 整个厂也可划为一个激光室。对于这条法规, 建造地点不应看作是激光室”。
对于可移动激光器: 标明“可移动激光器”并指出储存激光器的房间或区域。若激光器暂时工作于某地点, 应填报 DOSH-280.2, “在临时工作点使用可移动激光器的意图报告”。
4. 工业: 在该处的主要产品和作业类型, 如军械制造厂、印刷业、化学机械制造厂、通信、筑堤等。若已知联邦政府的标准对你厂的工业分类, 请列出属于哪一大类。
5. 暴露于激光的工人总数: 受照射的总工人数。
6. 激光设备: 在用于研究和研制的激光器中, 若波长、输出功率或能量密度、光束直径或光束发散度, 是不知道的, 就应在 7d、7e、7f 和 7g 栏下填“不知”二字。
7. 激光安全员: 给一个特定激光室或特定可移动激光器任命的人员, 他由于在激光器的职业和公卫方面的训练和经验, 适于评价这类激光室或可移动激光器的辐射危害, 并适于为这类激光室或可移动激光器制定和执行一个激光防护方案。

激光器注册费

每注册一个激光室或可移动激光器,应将一张 300 美元的支票或汇票连同报表一道交给工业专员。这种注册的有效期为三年,过此应从新交费。

一份加盖印记的注册单应发还给本人,本单应妥为保存以证明注过册和交过费。

收到日期	费用	照片		证书号	期满	类别

(以上不要填写)

请交一式二份和
二张照片

纽约州、劳工局、安全和卫生处

(纽约市、世界贸易中心、10047)

申请操作移动式激光器的合格证

1. 申请人的最后一个名字 第一个名字 中间名字			2. 社会保险号			
3. 永久地址: 肯定能传到申请人						
3A. 街道和门牌号			3B. 郡县名			
3C. 城、镇、村名		3D. 州名		3E. 邮区编号		
4. 今后 6 个月的住处(若不同于上述地址的话)						
4A. 街道和门牌号			4B. 郡县名			
4C. 城、镇、村名		4D. 州名		4E. 邮区编号		
5. 出生的年、月、日	6. 体重	7. 身高	8. 眼的颜色	9. 皮肤的颜色		
10. 你是否有生理缺陷或疾病,例如癫痫、心脏病,或视觉听觉不能纠正的缺陷,这些可能削弱你适于处理或使用激光器的能力? <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是,若是,说明如下:						
11. 请在下述两方块之一作一记号,以表明申请的合格证的类别						
<input type="checkbox"/> 甲类合格证: 持证人可操作任何高强度或低强度可移动激光器						
<input type="checkbox"/> 乙类合格证: 持证人可操作任何低强度可移动激光器						

12. 重新申請：作一记号于方块

首次申請：作一记号于方块

13. 工作经验：填写你处理、使用、开动移动式激光器的工作经验(如需要，可加页)

注意：过去雇主对你具有经验的证明信件会加快你的申請的处理

13a. 受雇于处理、使用、开动移动式激光器的日期	13b 雇主的姓名，通信处和激光安全员	13c 所用激光器		13d 简述你的工作任务
		制造厂	型号	
从 到	LSO			
从 到	LSO			
从 到	LSO			
从 到	LSO			
从 到	LSO			

14. 激光训练课程

14a 日期	14b 训练课的主办人和课程讲师	14c 训练地点	14d 讲师姓名	14e 讲师发出的对学完课程的评语
从 到				
从 到				
从 到				

15. 就我所知和所见，兹证明上述填报是真实的。

DOSH-275(5-77)

签 名

日 期

关于收费的重要通知

在发证书时要收费 30 美元

填表时不收费

图 10-5 DOSH-275 表格：申请操作可移动激光器的合格证

参 考 文 献

1. "American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z136.1-1976", American National Standards Institute, New York, 1976.
2. "A Guide for Control of Laser Hazards" American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1973.
3. "Laser Products Performance Standards", Federal Register, Vol, 40, No. 148 pp. 32256-32266, U. S. Dept. of Health, Education and Welfare, Food and Drug Administration, Bureau of Radiological Health (BRH), Washington, D. C., 31 July 1975.
4. Industrial Code Rule 50, "Laser", state of New York, Department of Labor, Board of Standards and Appeals, Albany, N. Y., August 1, 1972.
5. "Guide for Submission of Information on Lasers and Products Containing Lasers Pursuant to 21 CFR 1002.10 and 1002.12", U. S. Department of Health, Education and Welfare, Food and Drug Administration, Bureau of Radiological Health, Division of Compliance, Rockville, Maryland, July 1976.
6. "Quality Control Practices for Compliance With the Federal Laser Product Performance Standard", Bureau of Radiological Health, Division of Compliance, Rockville, Maryland, March 1976.
7. "Safety and Health Regulations for Construction", Department of Labor, Bureau of Labor Standard, Washington, D. C., 17 April 1971.

8. Sliney, D. H., et al, "Safety Rules and Recommendations", Laser Focus Buyers Guide, Advanced Technology Publications Inc, Newton, Massachusetts, 1977.
9. "Practice for Occupational and Educational Eye and Face Protection, Z87.1" American National Standard Institute, New York, 1968.
10. Rockwell, R. J. Jr., "Current Status of State Laser Safety Legislation, Report from the LIA Laser Safety Committee", Laser Institute of America News, April 1975.
11. "Interpretation of New York State Industrial Code Rule 50 'Lasers' and Advisory Standards on Low Intensity Lasers and Safety Eyewear", Educational Committee of the Laser Institute of America, Cincinnati, Ohio, October 1974.

第十一章 激光安全方案的管理

一、绪言

任何激光安全方案的主要目标，是防止个人受到激光的有害照射和（或）受到有关潜在危险物（如电击、气载污染物等等）的伤害。

雇主（或管理处）有责任制定和执行一种合适方案，以控制激光器的所有危害。一个激光安全方案至少应包括下述几项：

- 明确哪些机构有评价激光危害的职权和责任。
- 明确哪些机构有控制激光危害的职权和责任。
- 对认可用户和监督人员进行有关激光危害的适当教育和训练。
- 认识、理解和正确使用合适的标准（如条例），以评价和控制激光危害。
- 若采取控制激光措施后仍然有潜在危害时，就应使用防护设备。
- 雇员操作激光器或在激光器附近工作时，对自己的责任要有清晰的认识。
- 对激光器使用人员的医务监护。
- 对可疑的或实际激光事故的处理。

不同机构因激光系统的应用和繁简、激光危害的轻重、处理激光危害的经验以及其他因素的不同而将有不同的激光安全方案。然而对激光安全方案的管理，制定一个一般指南是

可行的，然后各机构可作适当修改以反映各自在应用上的特点。下一节将提出这样一个指南。在讨论中将经常提到国际商业机械公司（IBM）的“激光安全主管人的参考手册”^{〔1〕}和纽约州工业法典^{〔2〕}第 50 条法规“激光器”这两个文件中的规定。

本章涉及的其他课题是：

- 激光安全训练的方案
- 训练方案的声、光资料

二、编制管理激光安全方案的一般指南

编制一个满意的管理激光安全方案，须要认真考虑下述诸项：

- 激光安全委员会
- 激光安全员
- 助理激光安全员
- 激光系统的主管人员
- 雇员
- 有关安全程序和责任资料

可对上列诸项进行修改增删以反映专门的需要和要求。

（一）激光安全委员会

关于激光安全委员会将谈及下述四个方面：

- 必要性
- 委员资格
- 职责
- 时限

组织激光安全委员会的必要性密切依赖于下述诸因素：

- 激光潜在危害的轻重宽窄。

- 激光系统的繁简。
- 机构对激光性质的了解和（或）使用的经验。
- 和激光系统有关的辅助训练的范围以及它们对变更激光危害的影响。
- 对符合管理激光器安全使用的公法（如纽约州工业法典第 50 条法规等）的关注程度和必要性的认识。

至于激光安全委员会的委员资格，一个核心的要求是，有的委员非常精通激光技术、危害的评价和控制以及官方条例。激光工程师和科学家符合这类要求，特别是在编制和执行激光安全方案的初期。技术管理人员和委任的激光安全员将配全坚强核心。也许还需要一个医官，他能象任何其他关键人物一样，无比关心或改变激光危害。

委员会的根本任务是研究和提供令人满意的防护设备、操作法和程序以控制激光危害，从而预防个人受到伤害。

在制定和执行有关激光安全的策略和方法之后，在对特定产品或项目取得经验之后，在这些需要考虑的事项统统变成例行手续之后，一般说来就不那么需要委员会了，委员会可以结束了。激光安全员和（或）激光器产品生产线的管理人员将肩负起日常例行的激光安全的管理职责。

（二）激光安全员（LSO）

LSO 在管理激光危害的控制方面应具有广泛的权限，因毕竟是他肩负着保证个人不受到激光的有害照射和（或）有关潜在危害的损伤的职责。他的责任至少应包括下述诸项：

- 对所有激光安全事宜，起着接触中心的作用
- 负责管理
- 审查已规划的安装或审查改进安装的计划

- 批准操作激光系统的工作
- 批准激光系统的操作
- 给激光器操作者的证书签名
- 批准防护设备的使用
- 保证警告系统和警告牌的设置
- 视察激光设备区
- 保存控制系统的清单和记录
- 保存已批准或可能批准的激光器用户的个人记录
- 管理可疑的或实际的激光事故

对于所有激光安全事宜，LSO 无论是对内或对外（政府机构、公司和个人）都应是接触中心。他应对激光危害的控制和评价，提供咨询性的协助。如果该机构有激光安全委员会，LSO 是当然的委员，并应该每会必到。需要一个激光安全员以及他对激光安全的主要职责，在纽约州工业法典第 50 条法规（激光器的安全使用）中以及 IBM 的“激光安全主管人的参考手册”中都写得明明白白。第 50 条法规指出，LSO 负责制定和执行激光安全方案，并授权 LSO 在纽约州官员进行（他们认为有必要做的）激光试验时给予协助和忠告。

如果认为没有必要成立激光安全委员会，则 LSO 应研究和执行令人满意的规定和程序以控制激光危害。按照 IBM 的手册^[1]，LSO 实际上有责任确定每一台激光器的真正级别以和适当标准（即条例）一致，诸如各州标准、BRH 的标准和 ANSI 或 ACGIH 的自愿标准。

LSO 应审查已规划的激光器安装或审查改进过的激光器安装计划，只有在他确信激光危害将得到满意控制后才给予批准。IBM 公司指令车间管理人在采购或制造激光设

备之先，要通知 LSO。此外，在激光器中断工作或转移地点时（厂内转移或转移到他厂），也要通知 LSO。

激光系统的工作场所在受到 LSO 的彻底检查之后才得到批准。关于在非激光区开动高强度激光器，第 50 条法规要求 LSO 在现场，而 IBM 要求激光器所在之处的批准应先于激光器的操作。

只有在 LSO 确信激光危害将受到满意控制之后，他才批准激光系统的操作。若他认为不是这样，他有权中断、限制或停止激射。IBM 要求车间管理人在首次开动激光设备之前，要通知 LSO。

在开动任何激光系统之前，应通知 LSO 激光器操作者持有合格证书。证书的颁发要严格遵循内部组织程序或政府的条例。在 IBM，LSO 收到检眼报告和得知雇员受过激光安全训练后将给合格证签名。在纽约州，LSO 对于申请操作可移动激光器合格证（表格 IH-385）的申请人，一般要对其能力作证。

在为了控制激光危害而要用防护设备的场所，这类设备应得到 LSO 的批准。第 50 条法规要求个人所用的手套、衣服和护目罩之类的防护设备由 LSO 确定。只是涉及人眼防护时，IBM 要求选择归 LSO 负责，保证归公司的配光专家负责，以保证恰当的配合。

LSO 必须保证在适当地点设置和（或）安装醒目的警告系统或警告牌。第八章（激光危害的控制）曾详细说明了所必要的警告系统和警告牌。

应让 LSO 有完全自由视察一切有激光设备的区域。

LSO 应保存所有激光器的控制系统的清单以及必要的记录。在政府条例要求控制系统的清单时，这一点就特别重

要。第 50 条法规要求注册激光器的物主保存下述记录：

- 对每一激光室的所有激光器和所有可移动激光器的年度清单。
- 任何已注册激光器的转让、接受和处理。

IBM 指定 LSO 负责保存现有一切激光设备的清单。

LSO 应保存有关人员的适当记录：

- 象激光系统主管人员所规定的，保存希望工作于非豁免级激光器或其附近工作的个人的记录。
- 为了安排医学检查。
- 为了保证所安排的医学检查完毕。
- 保存可疑的或实际的激光事故的记录。IBM 要求所有被派操作激光器的雇员，都要有检完眼的、由车间管理人或公司医生签发的认可证，这证明必须首先送交 LSO。

在一听到发生了可疑的或实际的激光事故时，LSO 必须马上进行调查并采取必要的随动措施。第 50 条法规要求，在激光器或有关设备造成伤害的七天之内，要向纽约州工业专员呈报书面报告。此外，关于这次曝露的一切有关资料，要让（认为受伤者所委托的任何）医生随时查阅。

（三）助理激光安全员

在必须支持激光器的多种用途时或 LSO 不能出席时，选派一个助理激光安全员往往是有必要的。第 50 条法规规定，LSO 指定、训练和指导（诸）助理人员熟悉激光安全技术，使 LSO 本人不能在场时，能监督激光器工作的安全方面。

（四）激光系统的主管人员

任何激光器工作时的主管人员，在任何有效的激光安全方案中，显然是一个关键性的人物。激光系统的主管人员至

少应负责下述诸项：

- 理解本人的职责
- 教育和训练
- 激光危害的控制
- 批准激光系统的首次和后继运转
- 批准已规划的**安装或改进了的安装计划**
- 提供激光器可能用户的资料
- 可疑的或实际的激光事故

为了执行其职责，激光系统的主管人员必须理解这些责任以及必要的组织间相互联系。IBM 在其“激光安全主管人的参考手册”中清楚地说明了这些责任，即通知要求、编目数据、雇员训练要求、医学检查、眼防护程序、环境的批准计划和证书要求。手册中还包括有所有有关表格、标记、标牌和证书的样本。这文件发给每一个学习“计算机助教激光安全”课程的主管人。这门课程是每一个亲自和激光器发生关系的主管人都要学习的。

激光器主管人的职责是对受他管理的雇员进行有关激光危害和控制的教育和训练。IBM 要求车间主管人保证（在其职权范围内的）雇员，在操作激光器之前，都参加所需要的训练。训练应包括的内容是，激光器的安全使用知识以及正确操作所用到的专机。

只有对激光危害作出满意控制之后，激光器主管人才准许在认可用户、其他雇员、参观人员和大众面前发射激光。

只有从 LSO 得到许可后，才能在主管人监视下首次开动有潜在危害的激光系统。这确实是 IBM 对激光器管理提出的一项特殊要求。对于有潜在危害激光器的后继运转是否需要 LSO 的批准，由各公司自行决定，一般说来，若激光

系统的改进会带来更多的危害,主管人应保证在未得到 LSO 的批准之前不发射激光。

只要可行,激光器主管人应向 LSO 提供激光器安装或改进计划,以取得激光安全方面的批准。IBM 要求车间主管人在采购和制造激光设备之前要通知 LSO。

激光器主管人应报告 LSO 所有被安排工作于有潜在危害激光器的人员名单,还要向 LSO 提供拟议的或要求的医学检查的资料。

对于在主管人监视下发生的、可疑的或实际的激光事故,主管人应尽快向 LSO 报告。此外他应根据要求为每一个牵连到激光事故的个人取得医护人员的照顾。

(五) 雇员

受雇于开动激光器的人员,显然肩负着使激光器无害操作的责任。雇员的主要工作是:

- 被允许使用激光器
- 被允许停留在运转激光器的附近
- 遵循安全规则和程序
- 报告激光事故

雇员只有在激光器主管人的许可下,才可操作激光器。

雇员也只有在激光器主管人的许可下,才可以出现在有潜在危害的、运转着的激光器的附近。

遵循政府和(或)公司主管人通过管理而提出的激光安全规则和程序是最重要的。

如果发生牵涉到激光器主管人所辖雇员的、可疑的或实际激光事故时,雇员应尽快报告主管人,若主管人一时找不到,就报告 LSO。

(六) 有关安全程序和责任的资料

编制激光安全方案的最后一个要求是，关于安全程序和责任，应有一定的少量的资料。有了书面的程序和责任的确切分担，就能使所有和激光器运转有关的人员，都对激光危害有个清楚的认识，并明了各自在控制这类危害时所负的责任。

三、激光安全训练方案

一个好的激光安全训练方案对于制定一个安排得好的激光安全方案，能够提供许多必要的要点。纽约州保格基普赛市国际商业机械公司（IBM）系统产品处所制定和使用的三套激光安全训练方案，对大多数需要和要求，提供了范围相当广泛的伸缩性。表 11-1 列出了 IBM 三套训练方案中每一套的教学内容、教具、优点和缺点。

四、训练方案的声、光资料

为激光安全训练方案寻找合适的视、听教具可能是一个问题，而且也耗费时间。下面说明几种寻找教具的方法和来源。

在这方面，职业组织可以帮大忙。例如，美国激光学会（LIA）就提供了一套 80 张幻灯片连同磁带说明的方案，叫做“LIA 的一套供激光安全教学用的幻灯片和录音带的幻灯片设备”。1977 年 8 月对会员的售价是 125 美元，对非会员的售价为 250 美元。

影片库是视听教具的另一供应处，有很多不错的、关于激光和激光安全的影片供购买、租用甚至借用。在表 11-1 中教具栏列举了几部影片片名。

另一个富有成效但耗时的收集幻灯片的方法是，和技术刊物的作者或代理人取得联系。

表 11-1 IBM 激光安全训练方案一览表

课程名称	课程内容	数 据 具	优 点	缺 点
1. 可全面展开的课堂教学方案	<p>第一课 绪言</p> <ul style="list-style-type: none"> • 红宝石激光器的工作原理 • 综述其他常用激光器的波长、功率(能量)、工作模式 • 激光射的类型: 连续型、脉冲型、Q 开关型等等 <p>第二课 安全(课程重点)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 激光对人体器官生物作用的基础 • 安全眼罩 • 对公司和工厂的激光安全要求的评叙 <p>第三课 激光对材料的加工</p> <ul style="list-style-type: none"> • 一般讨论激光在 IBM 和工业上的应用, 不同激光用于特定目的的优点 • 从安全的观点设计优质的弱激光系统 	<ul style="list-style-type: none"> • 所有四课的讲师 • 和两教材插图相应的幻灯片 • 没有数学, 没有复杂关系式 • 为 CO₂ 激光器操作者编照“热狗”(一种食品)和鸡腿 	<ul style="list-style-type: none"> • 讲师控制; • 许可讨论 • 课程内容和时间许可收缩 • 用实际设备缩短“在职”的训练期 	<ul style="list-style-type: none"> • 当讲师有其他任务时叫学生做题 • 给少数学生讲课, 不实际 • 各讲师的经历不同会导致激光安全课程的内容和重点不同

第四课 激光系统的操作

- 学生将操作的激光系统的详细说明书
- 用幻灯片展示控制、调书、面板等等
- 详细说明操作方法和工作程序
- 说明清洁和日常维护程序
- 描述一些必要的附件

• 幻灯片

2. 电影-录音带/
幻灯片的方案

激光器的基本原理

- 五分钟电影“激光器
的基本原理”，选自 Upp-
john
Vanguard 的“激光
的临床应用”系列片

- 一俟通知就可放映，
不管学生多少
- 不需要讲课的教师
- 提供学生的是标准化
教材

- 没有讲师，不能提
问题
- 没有检查学生的条
件
- 没有在学习时训练
的条件

激光安全

- 激光对眼和皮肤所引起
的生物作用的基础
- 激光和相关的危害，着
重 IBM 本身的激光应
用和环境

- “激光安全”影片，加
州大学附设媒介中心
供片（为研制和实验
室激光器用）
- 幻灯片

课程名称	课程内容	教具	优点	缺点
	<p>控制措施</p> <ul style="list-style-type: none"> • 工艺、人员防护、管理控制, 负责 IBM 本身的激光应用和环境 	<ul style="list-style-type: none"> • 某种和上述一样的“激光安全”影片 • 幻灯片 		
3. 计算机助教 (CAI)	<ul style="list-style-type: none"> • 象第二方案那样, 使用某些影片或幻灯片 • 特别片断说明主管人的专门责任 • 图 11-1 指出 CAI 助教的进度表, 它包括目的、教和问的程序、复习程序 and 结业测验。所有问题都回答得正确才算及格, 有答错时, 要接受“辅导教学”程序 	<ul style="list-style-type: none"> • IBM3270 显示端连于 CRT 显示管和电键板 • 视听单元和录音带及 35 毫米幻灯片的幻灯片 (靠近计算机终端) • 主管人参考手册 	<ul style="list-style-type: none"> • 不延迟地训练少数学生 • 不需要教课的讲师 • 伸缩性大, 学生可按自己的进度学习, 不会感到同伴的压力, 也可立即接受测验, 也可在复习程序和复才测验或通过教和复才测验 • 一样的指导材料 • 一样的检查方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 没有讲师 不能回答 • 没有在学习时具备的条件

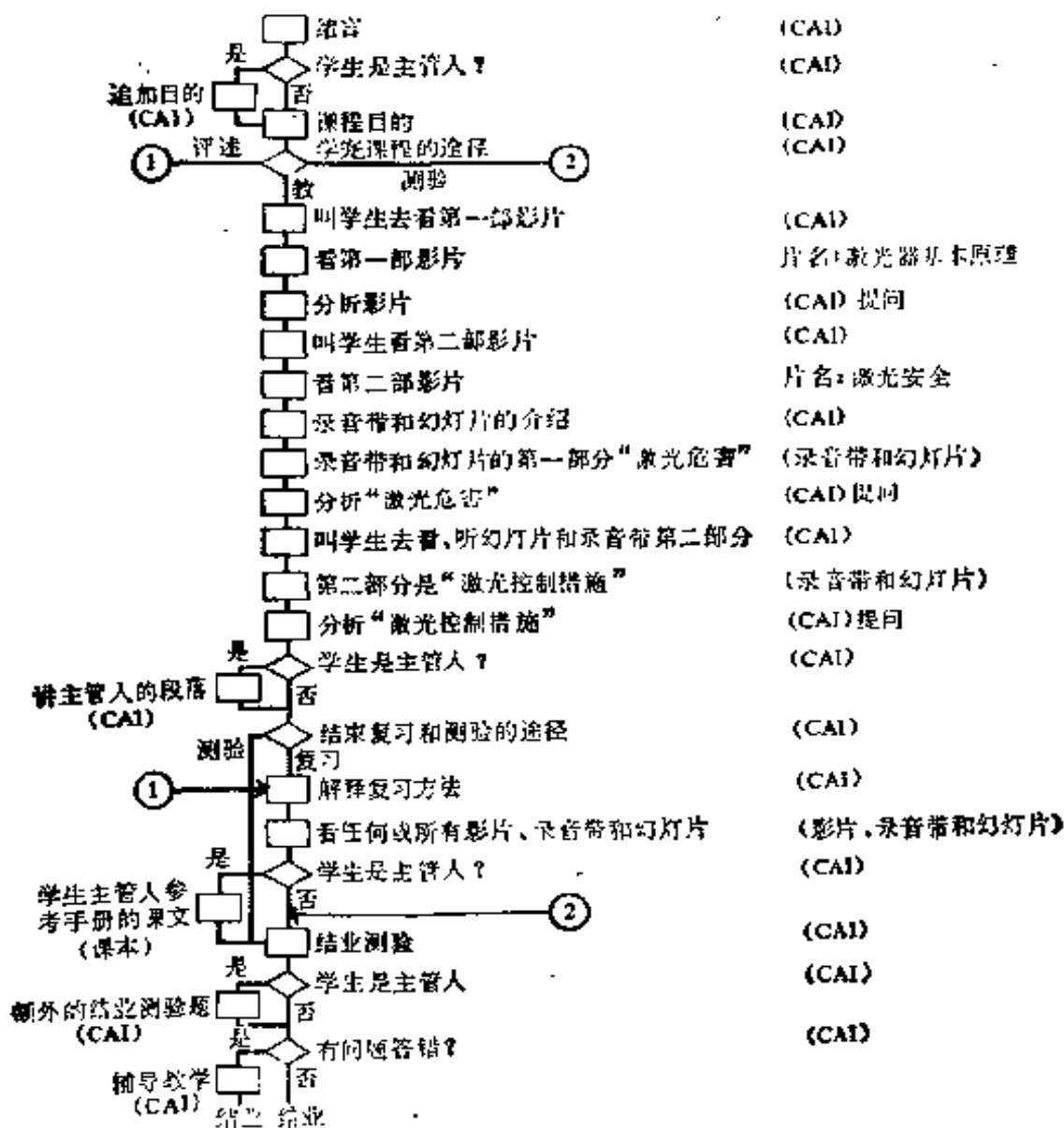


图 11-1 CAI 激光安全课程程序框图

参 考 文 献

1. Smith, J. F., et al, "Industrial Laser Safety Program Management", System Products Division, IBM Corp Poughkeepsie, N. Y..
2. Industrial Code Rule 50 "Lasers", State of New York, Department of Labor, Board of Standards and Appeals,

Albany, New York, August 1, 1972.

3. "American National Standards for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976", American National Standards Institute, N. Y., 1976.
4. "A Guide for Control of Laser Hazards" American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1973.

第十二章 激光器在教室里的 安全使用

一、绪言

在讲授光学和波动力学时，常用激光器作为一种演示设备。在高中或大学基础物理学和光学课程中，这类演示已证明是很有价值的。

西南放射卫生实验室 (SWRHL) 是美国公共卫生署放射卫生局的一间野外实验室，它被授与在技术上实施公法 90-602 “为卫生和安全控制激光器辐射的法令” 的任务⁽¹⁾，SWRHL 准备了一份叫做 “**激光器基本原理和实验**” 的说明书，它部分地适应了左高中和大学日益增多使用激光器于演示的情况，因此时有许多人都很可能曝露于激光。说明书主要是为那些在教室利用激光器的高中教员准备的。

本章的内容取材于该说明书，它讨论了一些专门的安全设备，以有助于保证激光器在教室里的安全使用。应注意，在 BRH 的 “激光器产品性能标准” 中提过演示激光器，并要求制造厂从 1976 年 8 月起使其产品符合相应条例。BRH 明确指出演示激光器产品是指那些用于演示、娱乐、广告或艺术构图的激光器产品。对于其他类型的激光器产品，即使买主用它们于上述诸用途，BRH 也不认为它们是演示激光器。此外，演示激光器是第一级和第二级产品，它们对眼是无害的，除非是束内直视第二级激光设备。所以近期制造的演示激光器在教室应用时的危害微乎其微。然而，目前还有

大量的、有潜在危害的激光器用于教室，而且一些非演示型的激光器也可能通过多种途径进入教室，所以本章所包括的材料还是相当有用的。

二、安全设备

激光能够给眼造成一定的危害，但也能安全地用于教室。常识和对实验的再设计就可以发现大量明显的危害。安全设备有助于防止伤害，即使出现意外情况也无妨。下述一些对激光器的教室应用是有用的安全设备：

- 光闸
- 光靶
- 演示箱
- 显示池
- 黑漆
- 光束强度的减弱
- 键锁紧
- 实验前的预演

(一) 光闸

用于连续发光的激光器，其寿命因间断使用实际会缩短，加之时开时关也不方便，克服这种不方便的办法之一是用光闸。

光闸可以是一种简单机械，安在激光出射孔外，借此操作者可阻断激光束，而实际上又不必停止激射。光闸应由黑色不反光的材料制成，而且应完全不让激光束透过。一个简单的光闸如图 12-1 所示。

每当操作者改变或更换激光器前的实验布置时，光闸的使用就能大大减少他可能受到的危害，光闸排除了在改装过

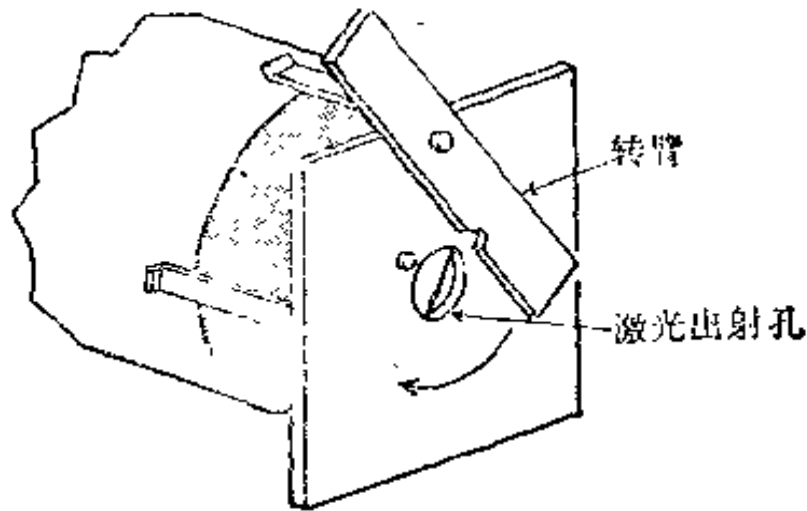


图 12-1 光闸

程中来自器具的意外反射。象用所有安全设备那样，人们应养成一个习惯，即在不要用激光时，把光束拦住。

(二) 光靶

从激光器射出的光束将一直前进，直到被吸收或被反射。为了预防镜式反射所引起的事故，有必要给激光束配备一个光靶。光靶的材料要合适，不反射，又要大到能在许多不同的实验条件下拦住光束。黑色泡沫橡皮或吸足黑色墨水的吸墨纸是较好光靶材料。

(三) 演示箱

在安置和校直激光器以供演示时可能发生意外，在演示的这一阶段应防护观众，办法是用屏蔽把观众和激光器隔开。

一个办法是在观众和演示器之间悬挂黑色毛糙帘幕。另一个简单便宜的办法是用一个大纸板箱，在板箱的两端各开一个孔以让激光束射入，如果需要，也可射出。在两侧面各剪下一大块纸板，一面供布置演示仪器，一面供观众看演示。不用时侧面窗口用门或活板盖住。所述演示箱如图 12-2 所

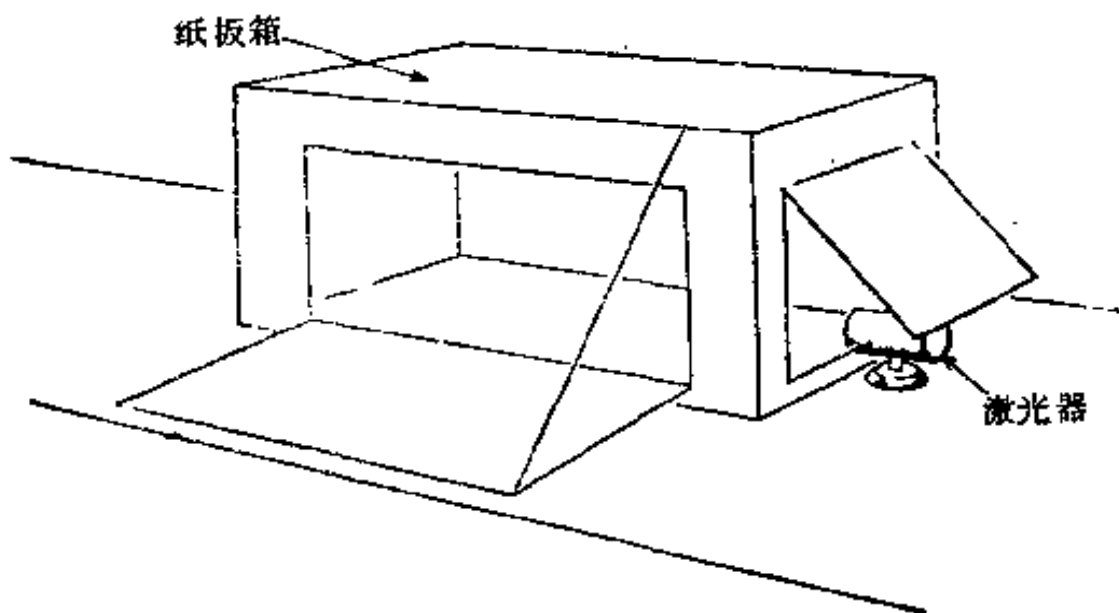


图 12-2 演示箱

示。

(四) 显示池

从侧面是看不见激光的，除非它为媒质所散射。一个方便而又相当安全的观看激光束的办法是一个透明的充满液体的显示池。这池用有机玻璃或任何较厚的透明塑料很容易制成。表面应平并且相互垂直，使光束能准确地通过液池。池中液体可以是某大分子物质的清亮的溶液；也可用传动油或渗有红色食品的肥皂水。安装显示池时要小心，因池侧面的反射可能是有害的。图 12-3 是显示池的示意图。

建议不用缸或瓶作显示池，因光束校直不准时，瓶的侧面可对激光束作镜式反射。

第二类也许更方便的显示设备可用（在业余爱好商店买得到的）铸模树脂制造。把这种树脂铸成方块或长方块，把一侧面涂黑，它就能很好地显示通过其中的光束。

(五) 黑漆

把演示装置的诸表面各涂上一层黑而粗的漆，是人们能

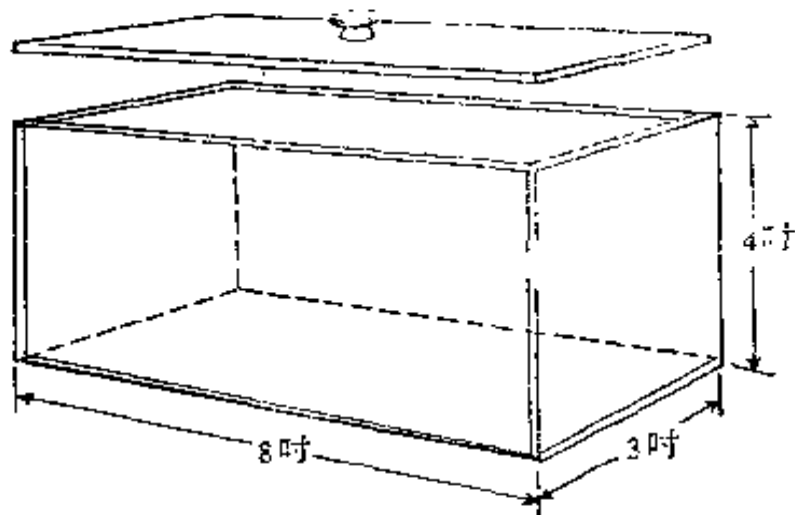


图 12-3 显示池

够采取的最重要的一种预防措施，因这样做能排除镜式反射。从激光安全的角度来看，许多光学设备都有光亮平面，这确实是不幸的。不锈钢和铬是十分惹人注目的，但这些表面的镜式反射可以致盲。

(六) 光束强度的减弱

许多可用于教学的激光器，它们发出的光远多于进行合适演示所要求的。应将光束的功率密度减弱到接近实际需要的激光水平。这一措施能降低人眼偶而受伤的可能性。行之有效的减弱光束的方法有两种。

其一只是在光路中插入一块吸光滤片。这种滤光片应属于密度稳定型。任何其他材料，若能有效地吸收光而又不同时散射光束，也能满意地工作。

其二是用一对透镜增大光束直径。第一块透镜的作用是扩大光束，第二块的作用是再准直光束，使其发散度和原光束接近。扩展光束就降低了它的功率密度，从而减轻了直视或间接观察激光束可能受到的危害。如可能，建议把透镜组固定地连接于激光器。应注意扩展光束并不会破坏激光的相

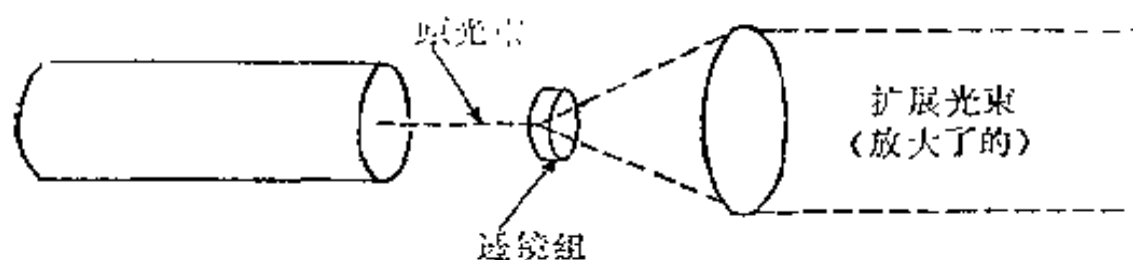


图 12-4 扩束器

干性。图 12-4 示扩束器的简图。

(七) 键锁紧

如可能，所购买的供教室用的激光器，其能源应是用钥匙开关的。如果买不到这样的，就要自己安装一个。有了这种钥匙开关的装置，教师就很容易阻止未经许可的人开动激光器。

(八) 实验前的预演

所有激光实验在教室公开演示之前，都要经过预演，这使操作者能够确定危害（可能）在何处，并在造成损害之前将它们排除掉。

参 考 文 献

1. VanPelt, W. F., et al., *Laser Fundamentals and Experiments*, U. S. Dept. of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Bureau of Radiological Health, Southwestern Radiological Health Laboratory, Las Vegas, Nevada, May 1970.
2. "Laser Products Performance Standards" *Federal Register*, Vol. 40, No. 148, pp. 32252-32266, U. S. Dept. of Health, Education and Welfare, Food and Drug Administration, Bureau of Radiological Health (BRH), Washington, D. C. July 1975.

第十三章 医 务 监 督

一、绪言

在第 11 章“激光安全方案的管理”中已指出,作为完整的激光安全方案的一部分,对激光器工作人员需要采取某种医务监督措施。本章将详尽地说明这样一种医务监督方案。

除了极高功率激光器能破坏或严重伤害人体内部器官外,通常最容易受到激光伤害的两个器官是眼和皮肤。所以医务监督应考虑眼科和皮肤科的问题。此外应有合格的医务人员进行必要的检查,以执行合适的医务监督方案。

对激光器工作人员的医务监督有两个主要任务:

- 扼要订出眼和皮肤在操作激光器之先必须具备的基准状态。
- 尽早地查明和记录,眼和皮肤因暴露于激光可能发生任何损害。

医务监督可能带来一些好处:总的说来,可以判断控制措施的有效性,如有必要,可修订措施。连续检查和保存好记录可能使曝露于激光的长期效应明显化,并可迅速采取治疗措施,如果有必要的话。最后,有可能把损害(特别是眼)归咎于激光,而其实在工作于激光器之先这种病态早已存在,一种合适的基准检查就可排除这种误解。

操作第一级、第二级和第三甲级的激光器不需要医务监督。

以下诸节将讨论下述各项:

- 冒险人员的分级
- 对眼的各种检查
- 对皮肤的监督内容
- 推荐的医学检查内容
- 医学检查的频数

二、冒险人员的分级

美国国家标准协会^[1]把眼和皮肤可能受伤，需要置于激光医务监督之下的人员所冒的危险分为三级：

- 冒险小的人员
- 冒险中等的人员
- 很冒险的人员

冒险小的人员是指他们的工作暴露于激光，但激光能量或功率损伤其眼和皮肤的可能性很小。

冒险中等的人员经常工作于激光环境中，但一般都受到（程序控制措施或设备内安装的控制的）充分的保护。

很冒险的人员冒的风险很大，他们暴露于很强的激光，强到足够伤害其眼和（或）皮肤。

在第 11 章“激光安全方案的管理”中已指出，LSO 有责任保证进行必要的医学检查并保存记录。ANSI 建议管理激光室的 LSO 决定冒险人员的级别^[1]。

三、对人眼的各种检查

检眼范围决定于激光器工作者冒险的大小。表 13-1 列出可能要做的一些检查。眼病史也列为“检眼”的一项。

表 13 1 检眼一览表

项	检查内容	对检查的说明
1	眼病史	<ul style="list-style-type: none"> • 回顾病人（包括家庭）的眼病史 • 注意病人目前对眼病有无主诉 • 询问病人的一般健康状况，特别着重那些会对眼带来麻烦的疾病 • 记录病人现有的镜片处方（若有的话）
2	视力	<ul style="list-style-type: none"> • 检查和记录视力，Snellen 表挂在 20 英尺远处，戴和不戴眼镜看一直到 20/15 • 将 Jaeger 视力表置于 35 厘米处检查并记录近处视力，戴和不戴眼镜
3	检查眼的外部	<p>检查包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 眉毛 • 眼睑 • 眼睫毛 • 结膜 • 巩膜 • 角膜 • 虹膜 • 瞳孔大小 • 同等反应性和均匀性
4	Amsler 栅	<ul style="list-style-type: none"> • 让每只眼看 Amsler 栅卡片 • 让病人把他看到栅的任何变形画下来
5	显性折光	<ul style="list-style-type: none"> • 这检查是测量病人的折光误差。若相对于病人眼镜的老处方来说，视力有所改善，就将病人的新视力记录下来。此外，病人在检查时若未戴眼镜，也要记下来 • 对于任一只眼的视力小于 20/20 的所有人员都要进行折光检查
6	眼内压的量度	<ul style="list-style-type: none"> • 给每只眼滴一滴放瞳药水以放大瞳孔 • 在这药物的作用下对眼进行余下的检查

项	检查内容	对检查的说明
7	裂隙灯检查	• 用这种生物显微镜(即裂隙灯)检查角膜、虹膜和晶状体,并记下检查结果
8	用检眼镜检查眼底	• 在进行这一部分检查时,应记录下述几点: 媒质有无混浊 -视神经轮廓分明 -生理的神经乳头陷凹的大小,如果有的话 -视网膜静脉的大小和其动脉的比值 -有无界限分明的黄斑,有无中央凹反射 -用直视检眼镜能看到的视网膜其他病变 • 即使是跟正常的只有很小的差别,也要说明并仔细定位
9	眼底后极的照片	• 包括黄斑面和视神经乳头,用彩色底片照片 • 一张彩色正片附于病历卡

四、对皮肤的监督内容

只对于很冒险的人员才要求对其皮肤进行医务监督。皮肤的监督包括下述三方面:

- 皮肤病史
- 皮肤检查
- 推荐检查内容

表 13-2 概括了监督皮肤时的皮肤病史和检查内容。

至少对于下述几方面应作专门推荐:

- 皮肤防护的必要性,为了人员控制和(或)区域控制。
- 手套的应用。
- 防护药膏

表 13-2 监督皮肤时的皮肤病史和检查内容一览表

项 一般要求	对要求的说明
1 皮肤病史	<ul style="list-style-type: none"> • 皮肤萎缩 • 暴露于 X 线、核辐射、紫外线、强可见光和红外线、砷、切削油和抗生素的经历 • 对药物和化合物有无反应 • 光致皮炎 • 暴露于日光的强度 • 皮肤瘤（包括类型、地位和治疗） • 皮肤病史 • 广延和严重热烧伤的经历
2 检查	<p data-bbox="279 974 438 1019">A. 皮色</p> <p data-bbox="494 974 901 1019">A) 应注意的皮色如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 白种人-浅、中、深 • 黑种人-浅、中、深 • 黄种人-浅、中、深 <p data-bbox="486 1198 1396 1288">若有专门的仪表能精确分析皮色，就应用该仪表并作记录</p> <p data-bbox="279 1299 438 1377">B. 皮肤有无变化</p> <p data-bbox="494 1299 1396 1377">B) 观察并记录在正常光或 Wood 光下，暴露和未暴露的皮肤是否发生如下变化（可用人体记录表）</p> <ul style="list-style-type: none"> • 皮肤的一般类型：正常（N）、皮脂溢（S）或鳞癣的（I） • 色素沉着：类型、多少、分布 • 脱色：类型、多少、分布 • 角化病：光化性的、皮脂溢的，类型、分布图样 • 皮肤肿瘤：类型、大小、分布图样 • 皮肤病：类型、分布图样 <p data-bbox="279 1780 438 1825">C. 照片</p> <p data-bbox="494 1780 1396 1859">C) 如要求就应拍照，包括黑白、彩色和在 Wood 光下拍照</p>

- 无激光照射，限制激光照射或有一般预防措施的激光照射
- 需要每年检查皮肤
- 当很冒险的激光工作人员离职时应作最终检查。

五、推荐的医学检查内容

医学检查的内容是基于 ANSI 的推荐，并和上述人员冒险的级别联系起来。

(一) 对冒险小的人员的检查内容

这类人员只需要检查其眼的视力，检查内容详见表 13-1 第 2 项。

(二) 对冒险中等人员的检查内容

这组人员只需要检查表 13-1 第 1、2 和 8 项，即

- 眼病史
- 视力
- 在放瞳情况下用检眼镜检查眼底。

若某人戴校正镜片时的某一只眼的视力仍小于 20/20，或看到病变，则建议这个未来的激光工作者接受（对很冒险人员所要求的）对眼的全部检查。

对这类人员不需要对皮肤进行监督。

(三) 对很冒险人员的检查内容

对这类人员的眼睛，要求作表 13-1 全部项目的检查。对他们的皮肤，要求作表 13-2 所概括的全部检查和记录皮肤病史。

六、医学检查的频数

ANSI 所推荐的医学检查频数^[1]是基于冒险人员的分

级。

冒险小的人员应在开始工作于激光器之前作视力检查。

冒险中等人员应在下述时间作所要求的医学检查：

- 在开始激光工作之前。
- 在激光工作结束之后。
- 在眼或皮肤因受到激光照射而发生可疑的或实际损伤时，应立即进行检查。

很冒险的人员应在下述诸时间作所要求的医学检查：

- 在开始激光工作之前。
- 在结束激光工作之后。
- 在眼或皮肤因受到激光照射而发生可疑的或实际损伤时，应立即进行检查。
- 在进行激光工作期间每三年检查一次。

参 考 文 献

1. "American National standard for the Safe Use of Lasers, Z136.1-1976" ANSI, N. Y., 1976.
2. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation", U. S. Department of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, Washington, D. C. May, 1975.
3. Goldman, L., et al., "Laser Laboratory Design and Personnel Protection from High Energy Lasers", CRC Handbook of Laboratory Safety, N. V. Steere, Editor, 2nd Edition, Chemical Rubber Company, Cleveland, Ohio, pp. 381-389, 1971.

第十四章 防御激光眼罩

一、绪言

对于有潜在危害的激光，在采取了一切合理控制措施之后，如果仍然很可能使人暴露于激光从而受到危害，那就应该戴防御激光的眼罩。实验室的激光系统多属这类情况，因做实验的人员有必要易于接近系统的各元件。

本章将描述关于防御激光眼罩的下述几个方面：

- 挑选防御眼罩的诸因素
- 眼罩的标识
- 眼罩的检查
- 防御眼罩的类型
- 制造厂的责任
- 宽带防御眼罩的研制

二、挑选防御激光眼罩的诸因素

挑选防御激光眼罩时应考虑下述诸因素：

- 输出激光波长
- 激光束强度
- 最大的许可照射量 (MPE)
- 眼罩的光密度 (D_s 或 O. D.)
- 可见光的透射比 (透光比)
- 滤激光片的损坏阈
- 舒适与配合

- 激光工作类型和护目要求的关系
- 其他物理特征
- 对校正眼镜的要求
- 对周边视觉的要求

(一) 输出的激光波长

挑选防御眼罩的关键是激光(诸)波长,其目的是用它阻止这类激光到达角膜。

有些激光器不只发射一种波长。每一种波长或光谱范围都要一一加以考虑,只考虑较强激光是危险的。防御眼罩必须把每一种有害的光谱输出或诸波长的总输出衰减到眼的安全水平之下。

(二) 激光束强度

挑选合适安全眼罩时所必须知道的第二个关键性的激光输出参数是激光束强度。对于脉冲激光器,必须知道的是最大的辐射照射量(焦耳·厘米⁻²);对于连续激光器是最大的辐照度(瓦·厘米⁻²)。

(三) 最大的许可照射量 (MPE)

若已知给定激光束的强度、波长和曝光时间,要挑选合适的防御眼罩还需要知道相应的 MPE (见第六章防护标准中关于眼的照射标准 MPE)。有了这个 MPE 才可能为眼罩的安全应用给出眼罩必须提供的衰减值。

(四) 眼罩的光密度 (D_v 或 O. D.)

光密度是一种衰减参数。对于某一给定照射量 (H),为了把它削弱到眼的安全水平 MPE,眼罩必须提供的光密度由下式给出,

$$O. D. = \log \frac{H}{MPE} \quad (14-1)$$

式中H的单位和 MPE 的一样（看第六章中眼的 MPE）。表 14-1 给出了对于某些 H/MPE 的值，防御眼罩必须提供的光密度的最小值。

表 14-1 防御眼罩应有的光密度的最小值

H/MPE	O. D.
1 = 10 ⁰	0
10 = 10 ¹	1
100 = 10 ²	2
1,000 = 10 ³	3
10,000 = 10 ⁴	4
100,000 = 10 ⁵	5
1,000,000 = 10 ⁶	6
10,000,000 = 10 ⁷	7
100,000,000 = 10 ⁸	8

激光束强度可能是安全照射量水平的成千成万倍，所以用光密度这一对数符号比用透射的百分符号要方便得多。例如说眼罩透射 0.0001% 和说眼罩光密度为 6 是等效的，前者说来要别扭得很。表 14-2 给出了透射百分率的相应光密度

表 14-2 透射百分率 (%) 和光密度 (O. D.) 的换算表

%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.
100.0	0.00	33.11	0.48	10.96	0.96	3.631	1.44	1.20	1.92
97.72	0.01	32.36	0.49	10.72	0.97	3.548	1.45	1.17	1.93
95.50	0.02	31.62	0.50	10.47	0.98	3.467	1.46	1.15	1.94
93.33	0.03	30.90	0.51	10.23	0.99	3.388	1.47	1.12	1.95
91.20	0.04	30.20	0.52	10.00	1.00	3.311	1.48	1.10	1.96
89.13	0.05	29.51	0.53	9.772	1.01	3.236	1.49	1.07	1.97
87.10	0.06	28.84	0.54	9.550	1.02	3.162	1.50	1.05	1.98
85.11	0.07	28.18	0.55	9.333	1.03	3.090	1.51	1.02	1.99
83.18	0.08	27.54	0.56	9.120	1.04	3.020	1.52	1.00	2.00
81.28	0.09	26.92	0.57	8.913	1.05	2.951	1.53	0.89	2.05

%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.	%	O. D.
79.43	0.10	26.30	0.53	8.710	1.06	2.884	1.54	0.79	2.10
77.62	0.11	25.70	0.59	8.511	1.07	2.818	1.55	0.71	2.15
75.85	0.12	25.12	0.60	8.318	1.08	2.754	1.56	0.63	2.20
74.13	0.13	24.55	0.61	8.128	1.09	2.692	1.57	0.56	2.25
72.44	0.14	23.99	0.62	7.943	1.10	2.630	1.58	0.50	2.30
70.79	0.15	23.44	0.63	7.762	1.11	2.570	1.59	0.45	2.35
69.18	0.16	22.91	0.64	7.586	1.12	2.512	1.60	0.40	2.40
67.61	0.17	22.39	0.65	7.413	1.13	2.455	1.61	0.36	2.45
66.07	0.18	21.88	0.66	7.244	1.14	2.399	1.62	0.32	2.50
64.57	0.19	21.38	0.67	7.079	1.15	2.344	1.63	0.28	2.55
63.10	0.20	20.89	0.68	6.9 8	1.16	2.291	1.64	0.25	2.60
61.66	0.21	20.42	0.69	6.761	1.17	2.239	1.65	0.22	2.65
60.26	0.22	19.95	0.70	6.607	1.18	2.188	1.66	0.20	2.70
58.88	0.23	19.50	0.71	6.457	1.19	2.138	1.67	0.18	2.75
57.51	0.24	19.05	0.72	6.310	1.20	2.09	1.68	0.16	2.80
56.23	0.25	18.62	0.73	6.166	1.21	2.04	1.69	0.14	2.85
54.95	0.26	18.20	0.74	6.026	1.22	2.00	1.70	0.13	2.90
53.70	0.27	17.78	0.75	5.888	1.23	1.95	1.71	0.11	2.95
52.48	0.28	17.38	0.76	5.754	1.24	1.91	1.72	0.10	3.00
51.29	0.29	16.98	0.77	5.623	1.25	1.86	1.73	0.09	3.04
50.12	0.30	16.60	0.78	5.495	1.26	1.82	1.74	0.08	3.10
48.98	0.31	16.22	0.79	5.370	1.27	1.78	1.75	0.07	3.15
47.86	0.32	15.85	0.80	5.248	1.28	1.74	1.76	0.06	3.20
46.77	0.33	15.49	0.81	5.129	1.29	1.70	1.77	0.04	3.40
45.71	0.34	15.14	0.82	5.012	1.30	1.66	1.73	0.023	3.60
44.67	0.35	14.79	0.83	4.893	1.31	1.62	1.73	0.016	3.80
43.65	0.36	14.45	0.84	4.786	1.32	1.53	1.80	0.010	4.00
42.66	0.37	14.13	0.85	4.677	1.33	1.55	1.81	0.006	4.25
41.69	0.38	13.80	0.86	4.571	1.34	1.51	1.82	0.003	4.50
40.74	0.39	13.49	0.87	4.467	1.35	1.43	1.83	0.0018	4.75
39.81	0.40	13.18	0.88	4.365	1.36	1.45	1.84	0.0010	5.00
38.90	0.41	12.88	0.89	4.266	1.37	1.42	1.85	0.0006	5.25
38.02	0.42	12.59	0.90	4.169	1.38	1.38	1.86	0.0003	5.50
37.15	0.43	12.30	0.91	4.074	1.39	1.35	1.87	0.00018	5.75
36.31	0.44	12.02	0.92	3.981	1.40	1.32	1.88	0.00010	6.00
35.48	0.45	11.75	0.93	3.890	1.41	1.29	1.89		
34.67	0.46	11.48	0.94	3.802	1.42	1.26	1.90		
33.88	0.47	11.22	0.95	3.715	1.43	1.23	1.91		

表 14-3 束内直视波长为 200~1400 毫微米激光时挑选护眼设备的简便方法

Q 开关激光器 (1 纳秒~0.1 毫秒)		非 Q 开关激光器 (0.4 毫秒~10 毫秒)		短时连续激光器 (0.25 秒~10 秒)		长时连续激光器 (开动长于 3 小时)		衰	减
最大的输出能量 (焦耳) (焦耳·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (焦耳) (焦耳·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (焦耳) (焦耳·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (焦耳) (焦耳·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (瓦) (瓦·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (瓦) (瓦·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (瓦) (瓦·厘米 ⁻²)	最大的输出能量 (瓦) (瓦·厘米 ⁻²)	衰减系数	O. D.
10	20	100	200	NR	NR	100	200	100,000,000	8
1.0	2	10	20	NR	NR	10	20	10,000,000	7
10 ⁻¹	2 × 10 ⁻¹	1.0	2	10 ³	2 × 10 ³	1.0	2	1,000,000	6
10 ⁻²	2 × 10 ⁻²	10 ⁻¹	2 × 10 ⁻¹	100	200	10 ⁻¹	2 × 10 ⁻¹	100,000	5
10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	10 ⁻²	2 × 10 ⁻²	10	20	10 ⁻²	2 × 10 ⁻²	10,000	4
10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	1.0	2	10 ⁻³	2 × 10 ⁻³	1,000	3
10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	10 ⁻¹	2 × 10 ⁻¹	10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁴	100	2
10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	10 ⁻²	2 × 10 ⁻²	10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	10	1

本表选自参考文献 1

NR—不推荐

值。表 14-3 对于从 200 到 1400 毫微米的波长和某些挑选的照射时间，给出了所要求的光密度，因而用来很方便。

图 14-1 到图 14-4 描绘了现有防御激光眼罩的性能。由图可见，对于目前用得最广的一些激光器可以买到相应眼罩。图 14-5 到图 14-9 示 Glendale 光学公司 LGS 和 LGU 滤光片系列的光密度对波长的曲线。

许多滤光材料在透射方面的典型表现是，从高衰减迅速

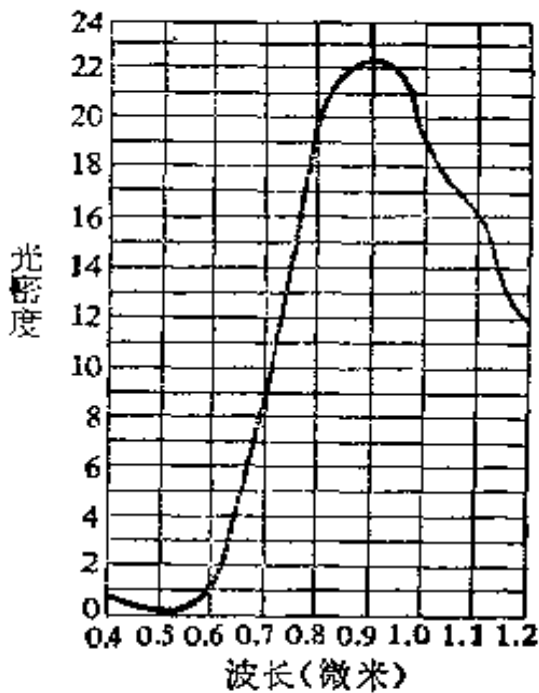


图 14-1 主要用于红宝石激光器和其他近红外激光器的滤光片的光密度曲线

注意：(1)本图选自参考文献 2

(2)透光比是35%

(3)激光器 波长(微米) O. D.

HeNe	0.633	2.7
红宝石	0.694	8.0
GaAs	0.84	20.0
Nd	1.06	17.1

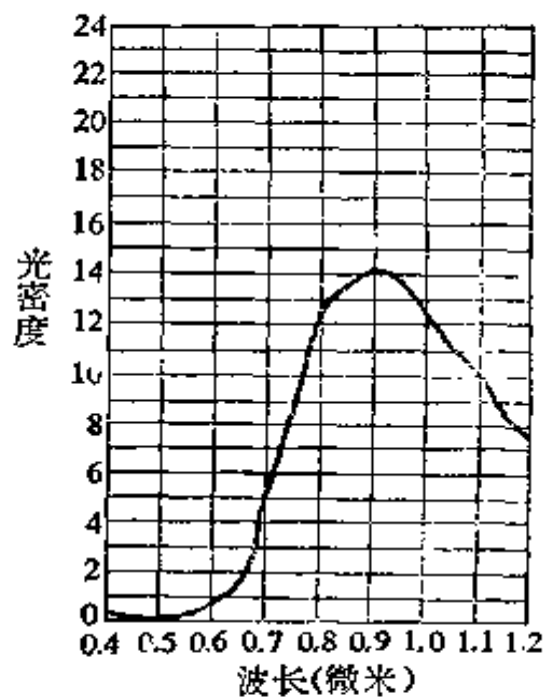


图 14-2 主要用于掺钕激光器和
其他近红外激光器的滤光片的
光密度曲线

注意：(1)本图选自参考文献 2

(2)透光比是46%

(3)激光器 波长(微米) O. D.

GaAs	0.84	14.6
Nd	1.06	11.9

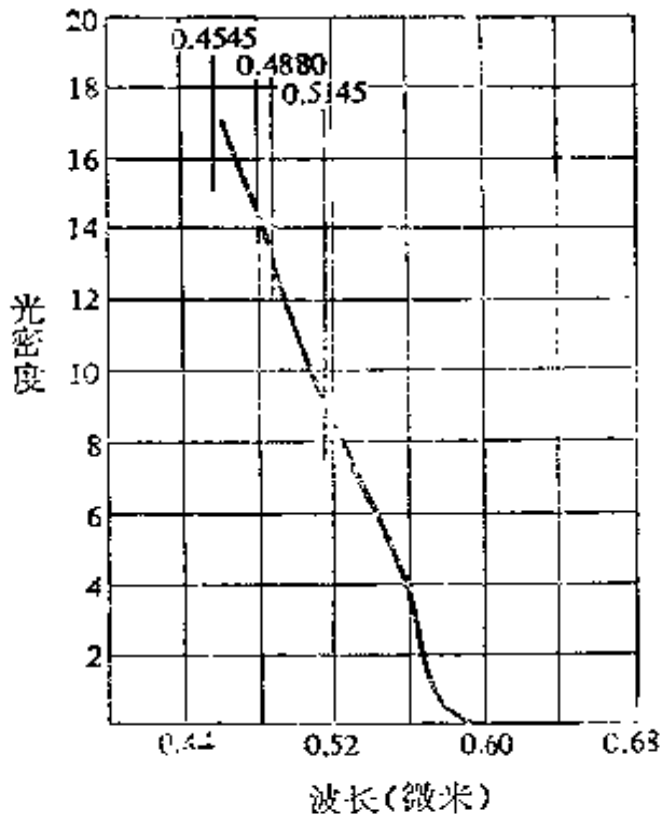


图 14-3 主要用于氢离子激光器和其他紫端激光器的滤光片的光密度曲线

注意: (1)本图选自参考文献 2
(2)透光比是 24%

(3)激光器	波长(微米)	O. D.
氢离子	0.4545	17.7
	0.488	13.5
	0.5145	9.0

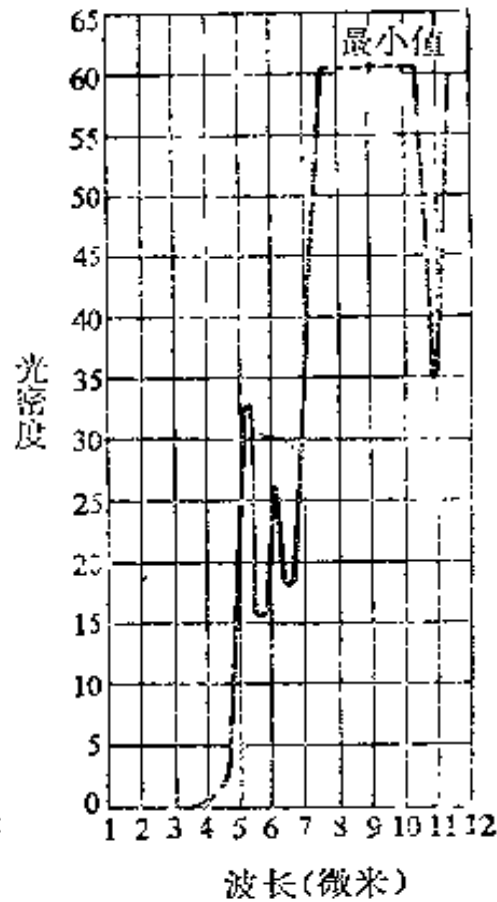


图 14-4 主要用于二氧化碳激光器和其他红外激光器的滤光片的光密度

注意: (1)本图选自参考文献 2
(2)透光比几乎是 100%
(3)对于 CO₂ 激光器的波长 (10.6 微米), 光密度是 50

降到完全透射。所以在设计和选购专门的防御眼罩时, 若没有得到实验的证实, 切不可随意外推光密度-波长曲线。

对于高强度激光器, 还必须保证不超过皮肤的 MPE, 即使防御眼罩光密度能把辐射水平降到眼的 MPE 之下。

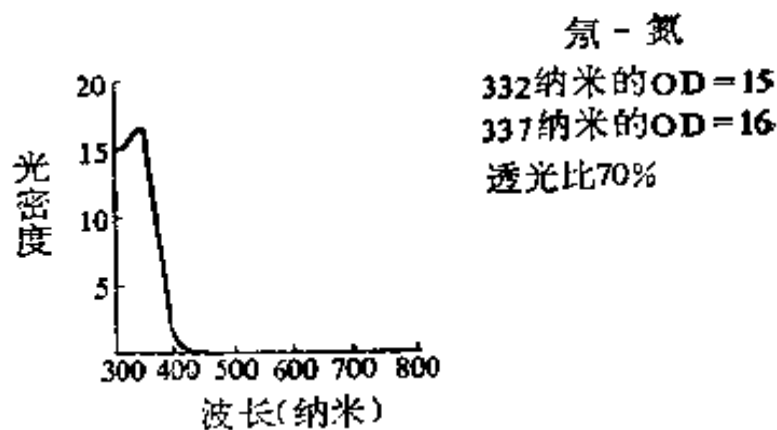


图 14-5 氦-氦曲线

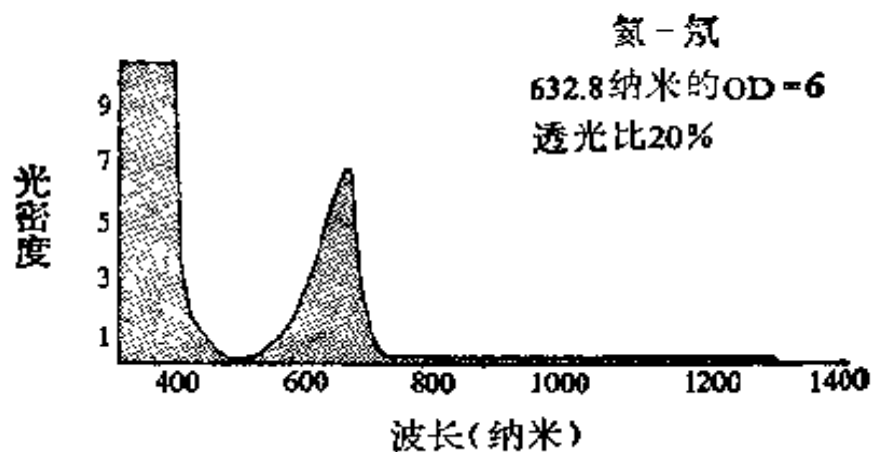


图 14-6 氦-氦曲线

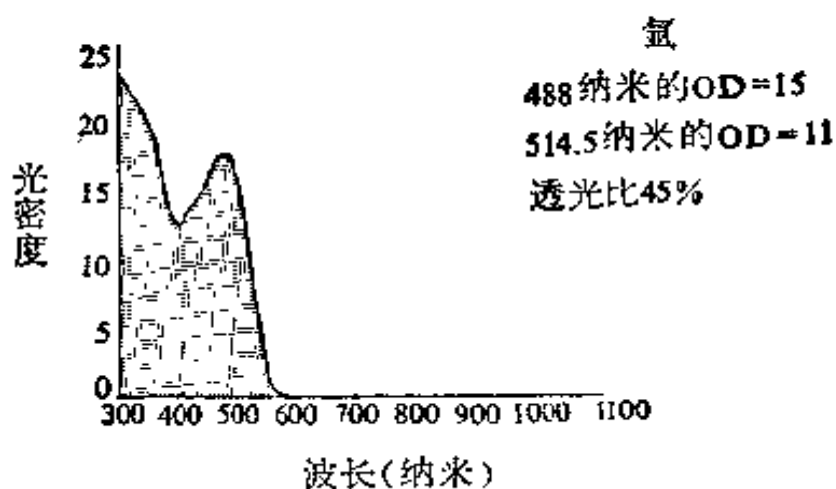


图 14-7 氩曲线

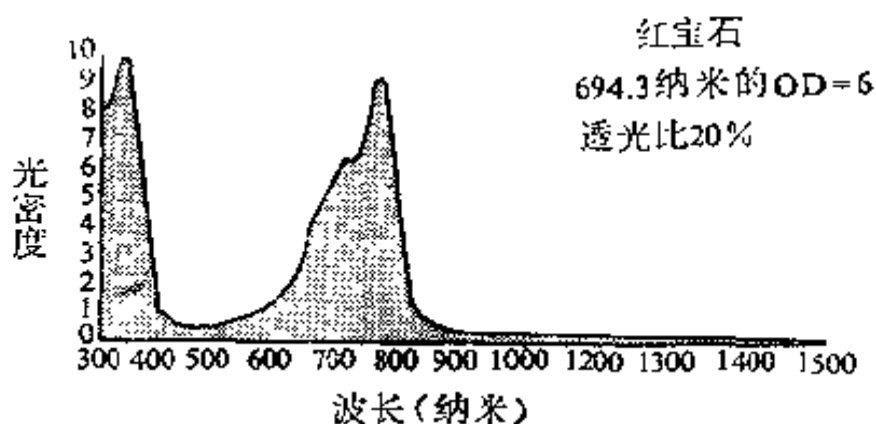


图 14-8 红宝石曲线

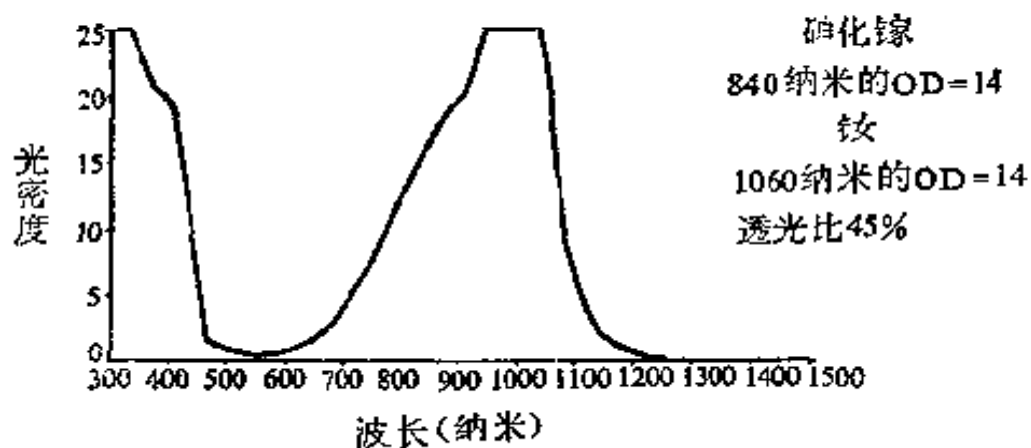


图 14-9 砷化镓和钷的曲线

此外，两滤光片并在一起时，其光密度近似二者光密度之和。

(五) 可见光的透射比(透光比)

一个人透过滤光片(如防御透镜)看见东西的能力可用透光比描述，透光比的单位常用百分数表示。

尽管在挑选防御激光眼罩时，光密度合适是压倒一切的要求，但必须考虑透光比是否合乎要求。透光比低会引起人眼疲劳的问题，在实验室环境中可能特别危险。

太阳镜透光比的典型值为 10~40%，绝大多数防御激光的滤光片也是这样的^[2]。但太阳镜对诸激光波长的衰减不

够，不能提供有效的防御。

(六) 滤激光片的损坏阈

当防御眼罩的滤激光片受到够强激光束照射时，可能破坏滤光片，破坏的形式是脱色、起泡、熔融和破裂。放射卫生局 (BRH) 的 R. L. Elder 指出⁽³⁾，试验证明某些护目材料在功率约 1 瓦或功率密度约 $6\sim 12$ 瓦·厘米⁻² 的激光照射几秒钟后就会失效。美国陆军环境卫生局指出⁽¹⁾，Q 开关脉冲激光对吸收型玻璃的典型损坏阈值是 $10\sim 100$ 焦耳·厘米⁻²，对塑料和介质膜的是 $1\sim 100$ 焦耳·厘米⁻²。他们还进一步说明，对于连续激光器，其损坏滤光片的辐照度水平大于产生严重火灾的水平。

在高功率激光器（如好多瓦的氙离子激光器）附近戴防御眼罩的人员应向制造厂打听眼罩的失效点⁽³⁾。如果得不到有关数据，就应对眼罩进行试验，即用可能遇到的最强光照射它，于是这一试验代表最坏的情况。试验后要对眼罩进行仔细检查才能交回使用。此外，如果眼罩失效，就应停止激光，直到建立了保护人员安全的替代方案。最后，在使用眼罩前一定要检查一下，看看有无脱色、起泡、熔融和破裂。若发现其中任一现象，就要立即停止使用。

(七) 舒适与配合

舒适与配合构成挑选激光安全眼罩时必须考虑的另一重要因素。防御眼罩必须提供与脸面的贴切配合，不然未衰减的激光就可能钻空子到达人眼。

防御眼镜一般戴起来舒适一些，罩式护目镜则能提供紧密配合看下文，防御眼罩的类型和图 14-10 到 14-13 选购应在二者间进行权衡。尽管罩式护目镜比眼镜一般说来重一些，视野也小一些，但它确有下列优点：

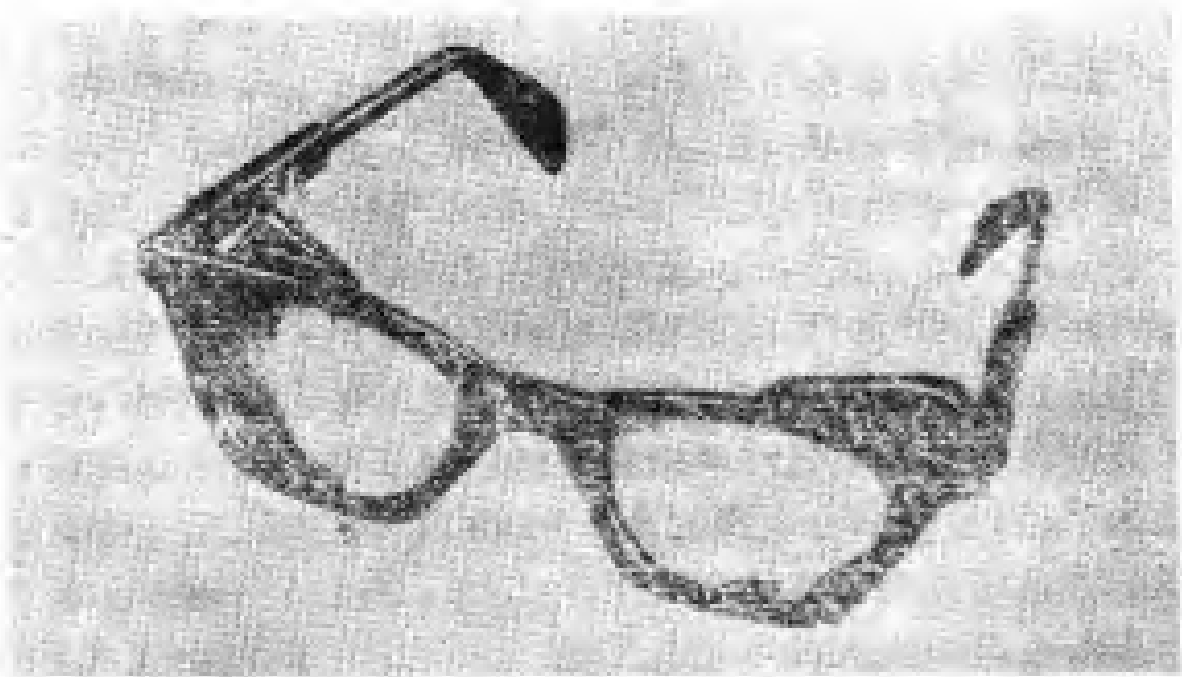


图 14-10 平面眼镜

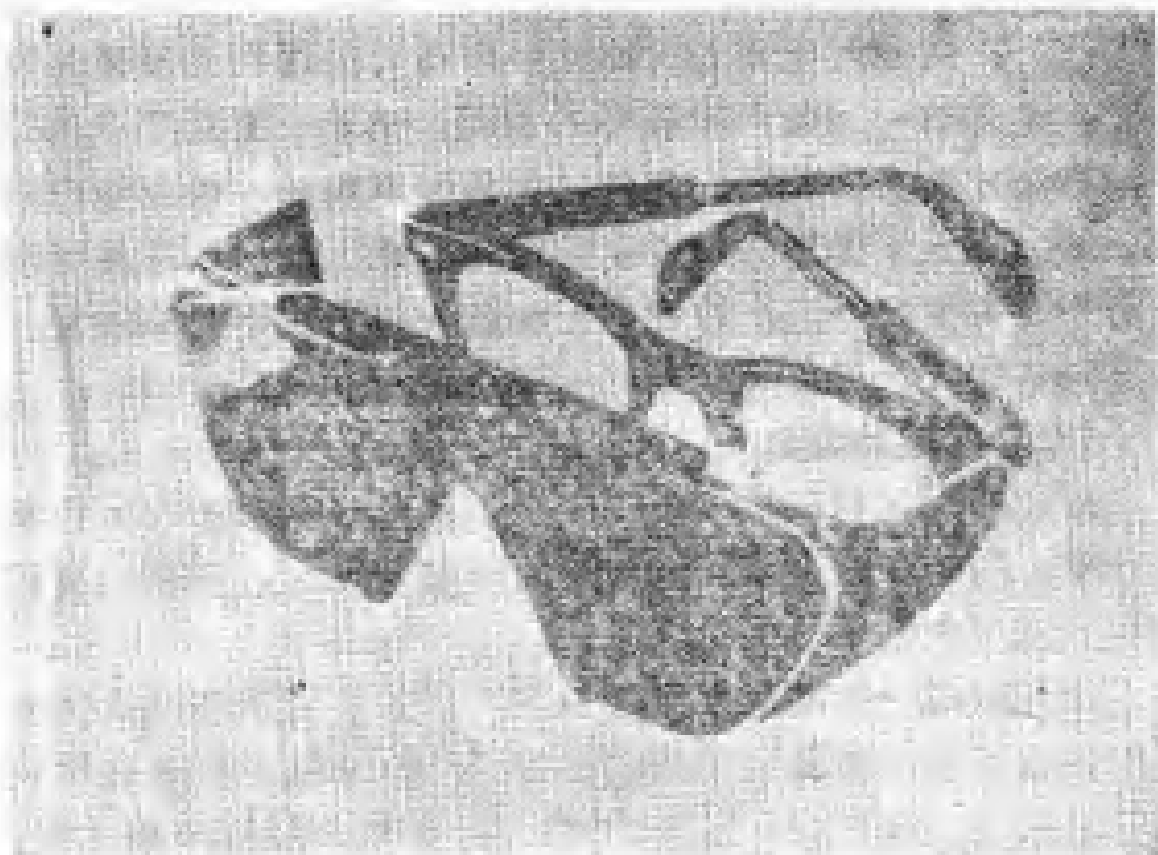


图 14-11 眼镜 (用夹子夹上去的)

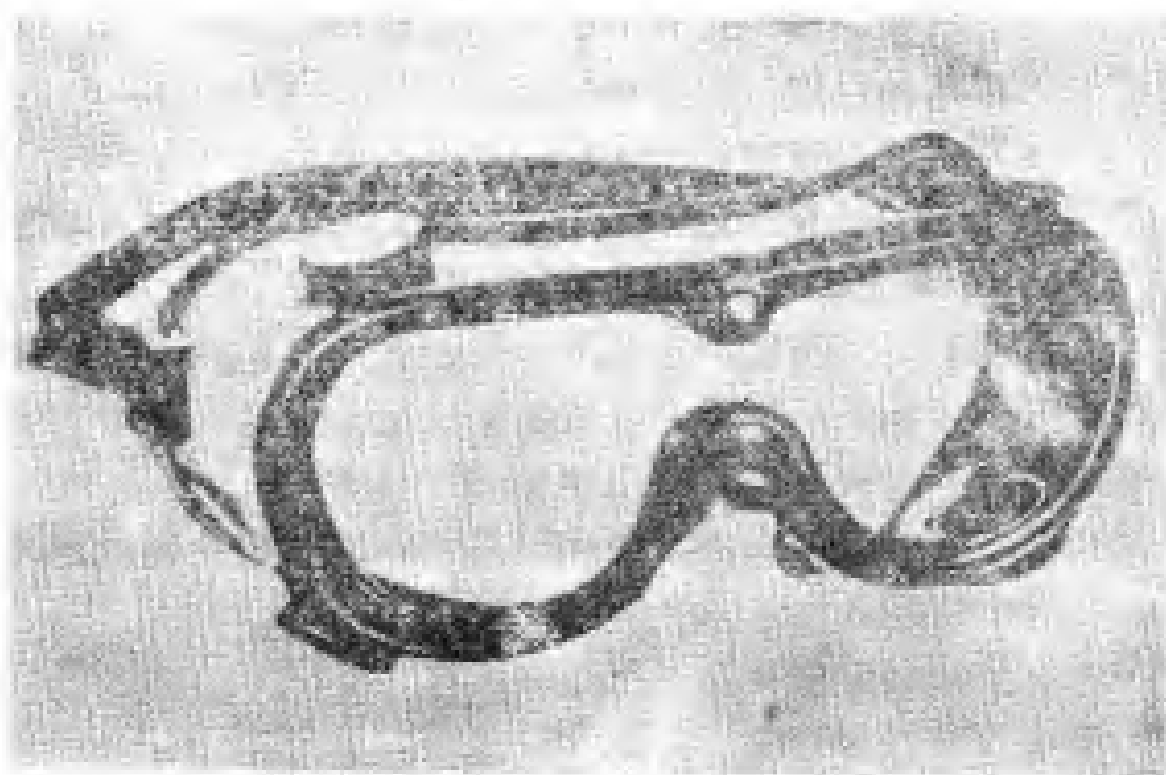


图 14-12 罩式护目镜

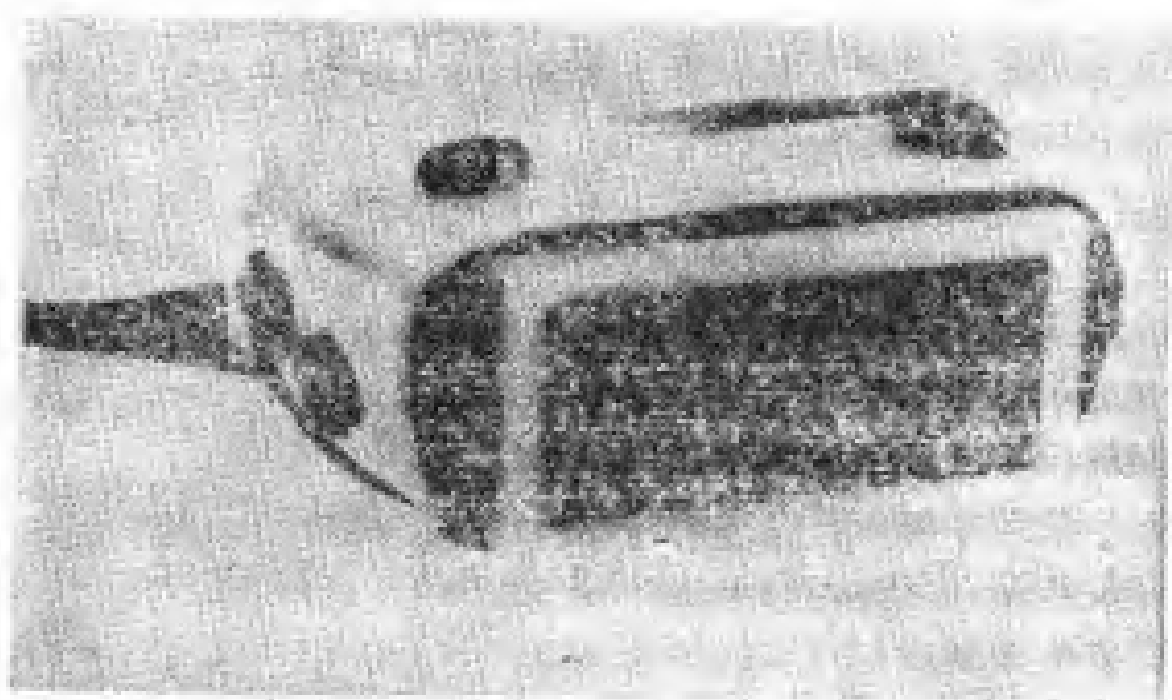


图 14-13 罩式护目镜

- 罩式护目镜与脸面的配合比眼镜更贴切。
- 罩式护目镜可戴在眼镜之外。
- 罩式护目镜容许滤光片较复杂的安排。

然而眼镜型的日益舒适实际上在影响人们戴不戴安全眼罩。

(八) 激光工作类型和护目要求的关系

对眼的激光防御，在要求上可能有很大差别，这就需要经验并能作出正确判断。美国陆军环境卫生局（看来是陆军有关激光安全问题交换情报的中心）对于在下述工作情况下使用有潜在危害激光器，提出了保护眼的一般要求和方法：

- 为空勤人员
- 为武装车辆人员
- 在检查与训练活动中
- 在工作室或实验室的环境中

对于装备有测距或瞄准激光器的飞机，一般不推荐其飞行人员采用护目设备。其根本的论据是，人眼曝露于反射激光束的机会微乎其微，加之下列缺点和危害远远超过戴防御眼罩而得到的好处：

- 失去了周边视觉
- 降低了透光比
- 绝大多数类型的罩式护目镜都使色衬比变差。

然而如果有害的镜式反射激光有可能指向飞机，那么飞行人员就需要戴能见度高的眼罩。

武装车辆人员在车内时不需要防御眼罩，除非是象瞄准器或观察孔之类的设备能让激光透射到一个人员。这样的装置就应该装滤光片以衰减激光束。当人员在车外时，若预料会有有害的镜式反射，那就需要保护眼。当武装车辆是激光演习中的目标，则司机、车长和其他人员就必须戴防御眼

罩。

在检查和训练活动中，在激光靶区的下靶区中的个人必须戴防御眼罩。如果不把镜式反射面从靶区移开，靶区的其他人员也要戴。上策是把镜式物体移走，以避免所有非下靶区人员都要护眼。

对于要在工作室或实验室使用高强度激光器，又没有封闭光束，就应该用防御眼罩。在全息观察和光校直过程中，如果已采取合适的预防措施，就不需要护眼了。

(九) 其他物理特征

防御激光的眼罩，除了要提供高光密度和大透光比，还必须考虑的其他物理特征，如下：

- 机械上的耐用性
- 抗刮性和抗擦性
- 一般的光学质量
- 在暴露于下述因素时性能的稳定性
 - 光
 - 热
 - 湿度

防御激光眼罩必须具备的一种特殊的性质是抗激光照射，制造厂通过下述一个或几个途径可使眼罩具有这一特色：

- 材料的选择
- 罩式护目镜中用二片或几片滤光片
- 在滤光片的最外表面沉积一反射层

(十) 对校正眼镜的要求

一个戴眼镜的人，如果他经常工作的激光环境（如激光实验室）要求护眼，他只要可能就应该取得既能防御激光

又有校正作用的眼罩。这类眼罩通常最舒适，从而使人不愿工作于没有防护的激光环境。

(十一) 对周边视觉的要求

飞行人员，特别是驾驶员，在失去周边视觉时可能对其训练或使命产生不正常的危害。因此应在危害和安全眼罩提供的保护及暴露于反射激光的几率小之间权衡孰轻孰重。

三、眼罩的标识

很有必要的是所有防御激光的眼罩都应清晰标记，以保证用它来防御(它预定要防御的)激光波长。反之，清晰标记有助于不会用它来防御它不能防御的激光波长。所以防御眼罩应清晰地标出它能提供防御的(诸)激光波长和其对这些波长的光密度。对眼罩加标记是纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”中的严格要求⁽⁴⁾。

四、眼罩的检查

在激射前应目检眼罩，以确证它基本完善。至少应进行下述一些检查：

- 检查衰减器的滤光片有无退色、起泡、熔融、下凹或破裂。
- 检查罩式护目镜框的机械完整性以及是否漏光。
- 检查滤光材料有无括痕或划痕。

纽约州工业法典第 50 条法规“激光器”对检查规定了下述要求：

- 眼罩至少必须每 6 个月检查一次，以确证光密度对所用激光器是合适的，以及目检眼罩有无光学缺陷。
- 曾暴露于高强度激光的安全眼罩，只有在重新检查无

裂痕并肯定其衰减仍然有效之后，才能再次使用。

五、防御眼罩的类型

防御眼罩基本上有三种类型：

- 校正(或平面)眼镜(看图 14-10)。
- 一块参观者用的镜片，可夹在校正眼镜上，该镜片的重量轻并有侧面防护(图 14-11)。
- 罩式护目镜有一块塑料护目板，通常是最不舒适的眼罩(图 14-12 和 14-13)。

表 14-4 概括了 Winburn 氏所推荐的防御眼罩，这一推荐为洛斯阿拉莫斯 (Los Alamos) 科学实验室激光研究和技术组所采纳。本表唯一没有提到的波长范围是 0.55~0.60 微米，它属于视网膜敏感范围。相应的滤片是有，但透光比太低⁽⁵⁾，只有 5%。用这种滤片时，实验室中与激光工作有关的其他危害(如电击)会增大。所以强烈劝告把 0.55~0.60 微米波长的激光器完全封闭起来。

六、制造厂的责任

ANSI⁽¹²⁾ 建议防御激光眼罩制造厂对每一付眼罩提供下述资料：

- 它防御的激光(诸)波长和相应的光密度。
- 与激光安全有关的其他数据。

美国陆军环境卫生局发现，罩式护目镜一般都能达到甚至超过厂家的技术规格。防御眼罩的光密度比规定小的情况很稀少。此外该局还发现商品眼罩的光密度不会随使用年限而下降。

表 14-4 推荐防御激光眼镜的性质 (1), (S)

波长范围 (微米)	激光器 类型	波 长 (微米)	制造厂	模型型号	眼镜类型	透光比 (%)	价 格
0.22~0.42	—	紫外	紫外产品有限公司	UVC-303	一块参观者用的镜片	4	• 6.00 ⁽²⁾
0.25~0.55	氩离子	0.51	Glendale 光学公 司	Laser-Gard LGS-A	罩式护目镜	15 45	• 50.00 ⁽³⁾
0.60~0.68	氮氛	0.63	Glendale 光学公 司	Laser-Guard LGS-HN	罩式护目镜 ⁽⁶⁾	5 20	50.00 ⁽³⁾
0.68~1.30	红宝石	0.69	Fred Reed 光学公 司	BG-18 (BG-18 Schott 滤光玻璃 安在特殊的 Glendale 镜框 内) ⁽⁴⁾	• 平面眼镜	5 65	• 77 ⁽²⁾
0.65~0.75	红宝石	0.69	Glendale 光学公 司	Laser-Gard LGS-R	• 单校正眼镜	6 20	• 86 ⁽²⁾
0.90~10.8	钹玻璃	1.06	Fred Reed 光学 公司	KC-3 (KC-3 Schott 滤光材料 安在特殊的 Glendale 镜框内)	• 双光眼镜 罩式护目镜	4.5 85	• 105 ⁽²⁾ 50 ⁽³⁾
0.75~1.08	氟化氢	2.7	Fred Reed 光学 公司	Laser-Gard- LGS-DNGA	• 单校正眼镜	3 85	• 71 ⁽²⁾
5.00~10.2	二氧化 碳	10.6	Glendale 光学公 司	眼镜号 112A ⁽⁷⁾	• 双光眼镜 罩式护目镜	14 45	• 90 ⁽²⁾ 50 ⁽³⁾
					一块参观者用镜片	>10 95	0.5 ⁽²⁾

(1) 本表选自参考文献 5。(2) 1975 年 7 月 1 日的单价。(3) 1977 年 1 月 3 日的单价。(4) 眼镜符合 3 毫米厚时的工业机械安全标准, 并在镜脚上刻有相应资料。(5) 基于光密度、舒适、透光比和价格而推荐的眼罩。(6) 滤掉红光。(7) 镜片是为机械安全而设计的, 用久了镜片上可能出现划痕, 当能见底下降时就不要再用了。

七、宽带防御眼罩的研制

可调谐激光器的工作波长范围宽，它构成安全方面的难题。Glendale 光学公司研制出两种“宽谱”安全眼罩，其光密度对波长的曲线见图 14-14 和 14-15。图上还列出了透光比。A 和 B 系列在 1977 年 1 月 3 日的单价都是 90 美元。

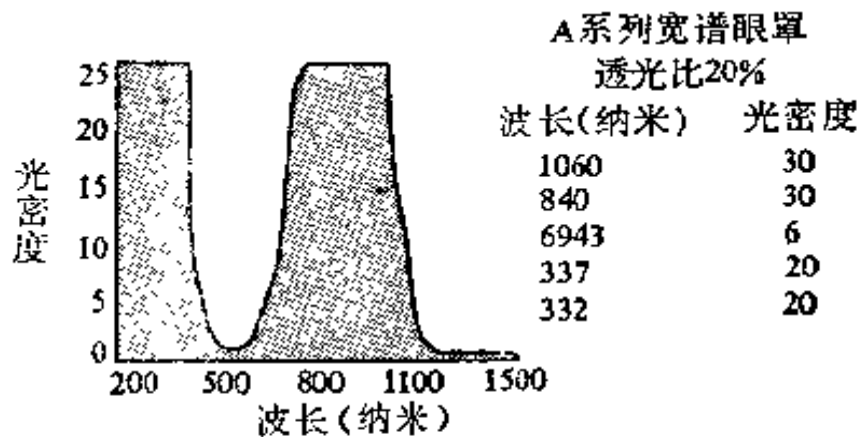


图 14-14 A 系列宽谱眼罩

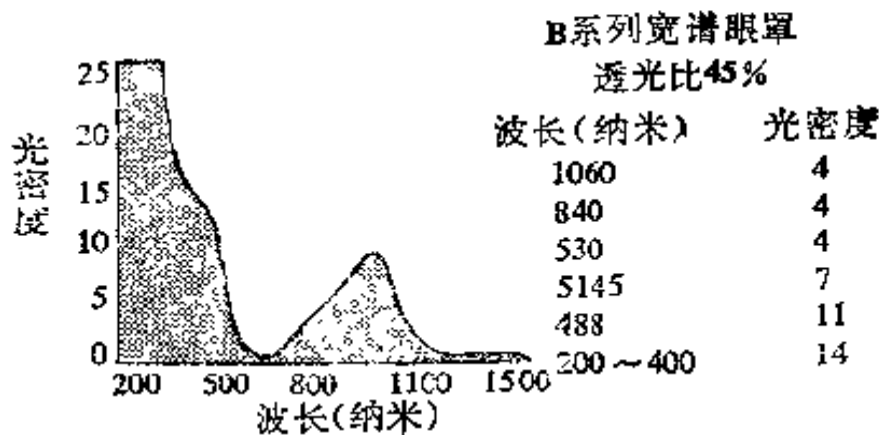


图 14-15 B 系列宽谱眼罩

参 考 文 献

1. "Laser Protective Eyewear", U. S. Army Environmental Hygiene Agency, Maryland, 1975.

2. Swope, C. H., "LASERS: Why Eye Protection?", The Optical Industry and Systems Directory, 1972~1973.
3. Elder, R. L., "Laser Protective Eyewear", Appl. Optics, Vol. 13, No. 4, p. 725, April 1974.
4. Industrial Code Rule 50, "Lasers", state of New York, Department of Labor, Board of standards and Appeals, Albany, N. Y. August 1, 1972.
5. Wiaburn, D. C., "Selecting Laser-Safety Eyewear", Electro-optical Systems Design, October, 1975.
6. "American National standard for the Safe Use of Lasers, Z136.1-1976", American National standards Institute, New York, 1976.

第十五章 大气效应

一、绪言

激光器用于室外时，如用于军事演习、激光通信系统或测绘之类的其他应用，有时必须事先计算以评价危害水平，从而有助于建立必要的安全程序。当然计算应辅以实际测量。已知第一级激光器是没有危险的。但是在确定镜式反射和漫反射的安全观察距离以及在确定安全眼罩所需要的衰减时，就应考虑大气衰减。

二、大气的一般效应

在确定几英里远处的辐照度或辐射照射量时，大气的衰减可能构成一个重要因素。大气衰减起因于散射和吸收。散射有两类：一是较大的气悬体的米氏(Mie)散射，二是空气分子的瑞利(Rayleigh)散射。大气中的吸光物质主要是水汽、二氧化碳和臭氧。在瑞利(或分子)散射中，激光波长远大于分子线度^{(1),(3)}，在给定波长时散射是相当恒定的，一般以紫外线的最大。对于大些的气悬体的米氏散射，粒子线度接近或大于激光波长，米氏散射一般是可见和近红外光谱散射的最大因素。气体分子的吸收相对其散射来说所产生的衰减常是很小的，因而往往不予考虑，除非激光光谱在红外段。

波长越短由散射引起的衰减越大。其情况正象日落时红光满天而蓝色早已消失了。红宝石激光器所发出的红光比可见光谱的短波段所受到的散射要小得多。天气晴朗时，大气对红宝石激光(0.6943微米)和钕玻璃激光(1.06微米)的

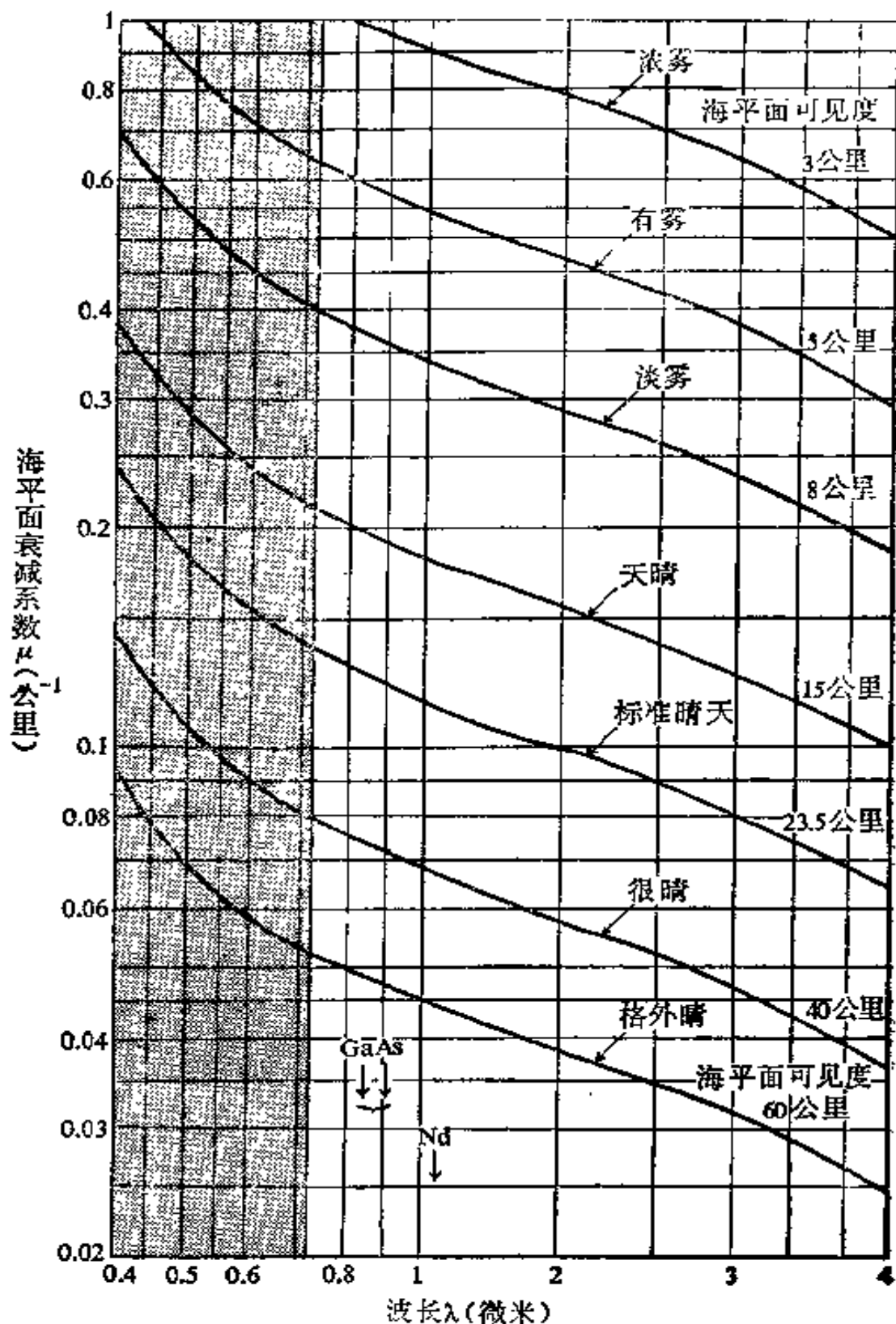


图 15-1 在不同天气时，大气衰减系数和波长的近似关系
(忽略水气和二氧化碳的吸收)

衰减是相当小的，在 10 公里远处散射只使红宝石激光衰减 10%，在 100 公里远处也只衰减 60%。由于气象学上的能见度的值是以整个可见光谱为依据的，引用（例如从航空塔得到的）能见度以求得对特定波长的衰减系数时要特别小心^[1]。图 15-1 示不同波长的衰减系数。

大气湍流产生激光束的闪烁，闪烁引起激光束中诸定域“热点”。如果空气温度随高度的变化比大气正常时快得多，则闪烁最大，从而引起光束辐照度的变化也最大。闪烁的起因是激光路中空气的折射率发生了变化。这将引起瞄准变化、扩展、再聚焦以及光束截面功率发生了普遍的起伏。在沙漠大气少云时这现象最强，而在浓雾弥漫的日子最弱。在光束前进一英里以上时，这种束内变化很容易拍摄下来（束内定域辐照度的变化可大到 10 倍以上）。因而热点的辐照度有可能比激光束即使不受大气衰减时还要大^[1]。在几百码的距离内，光束中小部分的聚焦和反聚焦可能使光束分布非常不规则。当光束靠近地面（小于 10 码时）的闪烁最大。所以从空中指向地面的光束，其闪烁相对来说就不那么明显。Sloney^[4]提出下述观点：大气对光束的扩展以及其他因素会削弱热点增大的危害。与之相反的观点是，热点能产生的有害距离远大于大气少有或没有湍流时的有害距离。不管怎样，在考虑闪烁效应的危害时，应计及最坏情况。

三、基本公式

评价束内直视危害*的主要公式^{[1], [5-7]}是：

$$I = \frac{1.27Ze^{-kz}}{(a + r\phi)^2} \quad (15-1)$$

* 单模激光器，光束高斯分布，当 $\phi < 0.17$ 弧度（10°）时，公式的准确度 $> 1\%$ ；当 $\phi < 0.37$ 弧度（21°）时，准确度 $> 5\%$ ，介质无湍流

式中

I = 在 r 远处的强度 (单位为焦耳·厘米⁻² 时是辐射照
射量 H , 为瓦·厘米⁻² 时是辐照度 E)

r = 观察距离(单位为厘米)

Z = 激光器出射的辐射水平 (单位为焦耳时是 Q , 为瓦
时是 Φ)

e = 自然对数的底

ϕ = 在 $1/e$ 辐照度峰值诸点处的出射光束的发散度 (弧
度)

a = 在 $1/e$ 辐照度峰值诸圆周点的出射光束的直径 (厘
米)

μ = 大气的衰减系数(厘米⁻¹)

若大气衰减系数以公里⁻¹ 为单位, 为了使单位一致, 其
他有关项的单位也应随着改动。一份有关安全的资料⁽⁵⁾ 建
议, 野外用的安全水平应是规定的一半。还应该考虑湍流和
闪烁效应。

图 15-1 就不同的能见度, 给出了大气衰减系数和波长
的关系曲线。图 15-2 示用于修改大气衰减系数的纬度校正
因子。

能见度或气象限程是指, 标准眼在水平天空背景上刚刚
能看出一个大而黑的物体时的水平距离⁽³⁾。为了少依靠个人
视力来量度能见度, 能见度限程被定为日光下这样一个距
离, 在该距离时黑目标对天空的远视衬比降为其近视衬比的
2%。基于 2% 衬比的能见度和可见光散射系数 μ 有如下关
系^{(2),(3)}:

$$V = 3.9/\mu \quad (15-2)$$

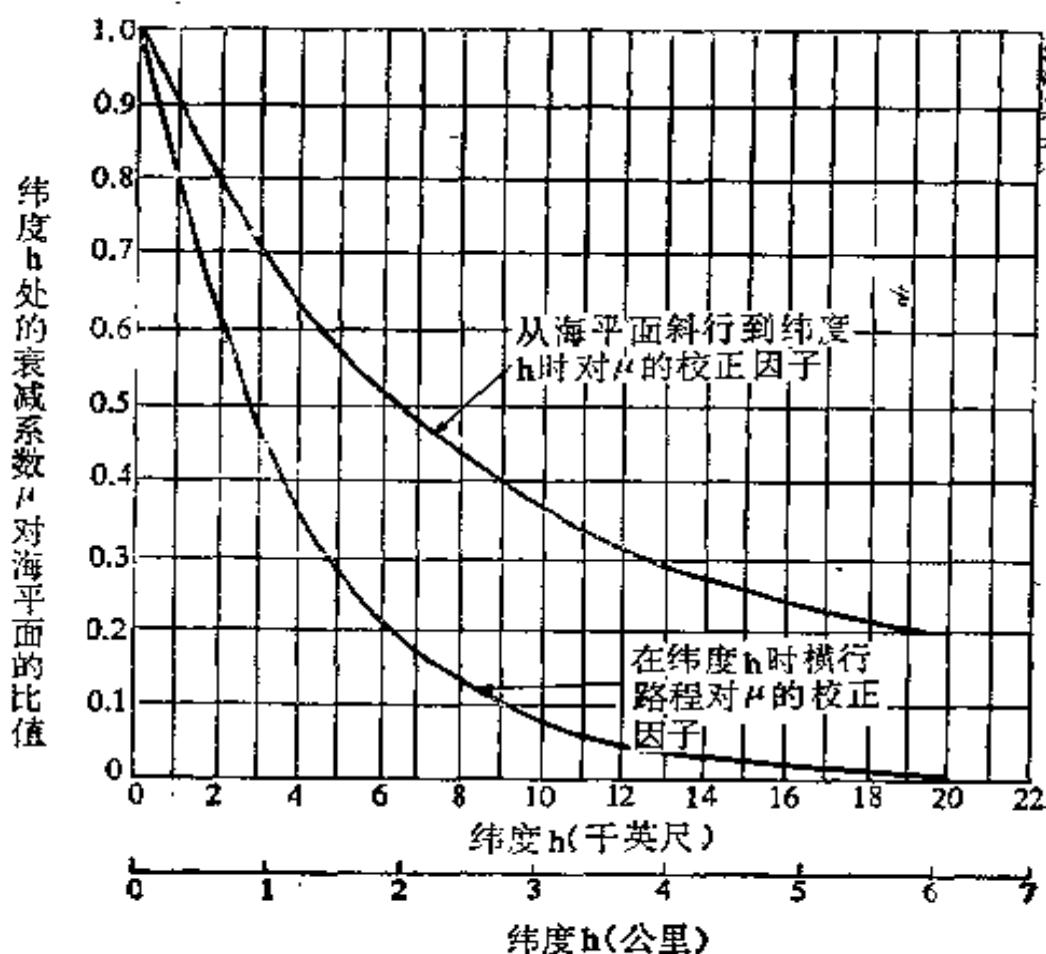


图 15-2 斜行路程和横行路程的 μ 对海平面的 μ 的比值
(忽略水气和二氧化碳的吸收)

式中

V = 能见度(公里)

μ = 可见光谱的散射系数(公里⁻¹)

对给定光程、透明度 (Transmission) 和散射系数的关系由下式给出^{[2], [3]};

$$T = e^{-\mu r} \quad (15-3)$$

式中

T = 光程为 r 时的透明度(无量纲)

r = 光程(公里)

μ = 散射系数(公里⁻¹)

图 15-3 指出能见度对散射系数的关系曲线⁽³⁾。设某一天的能见度为 10 公里,则由图得可见光散射系数大约是 0.4 公里^{-1} ,于是 5 公里远处的透明度 T

$$T = e^{-\mu r} = e^{-0.4 \times 5} = e^{-2} = 13\%$$

图 15-1 引入了对波长和对散射系数 (随波长而变) 的校正。

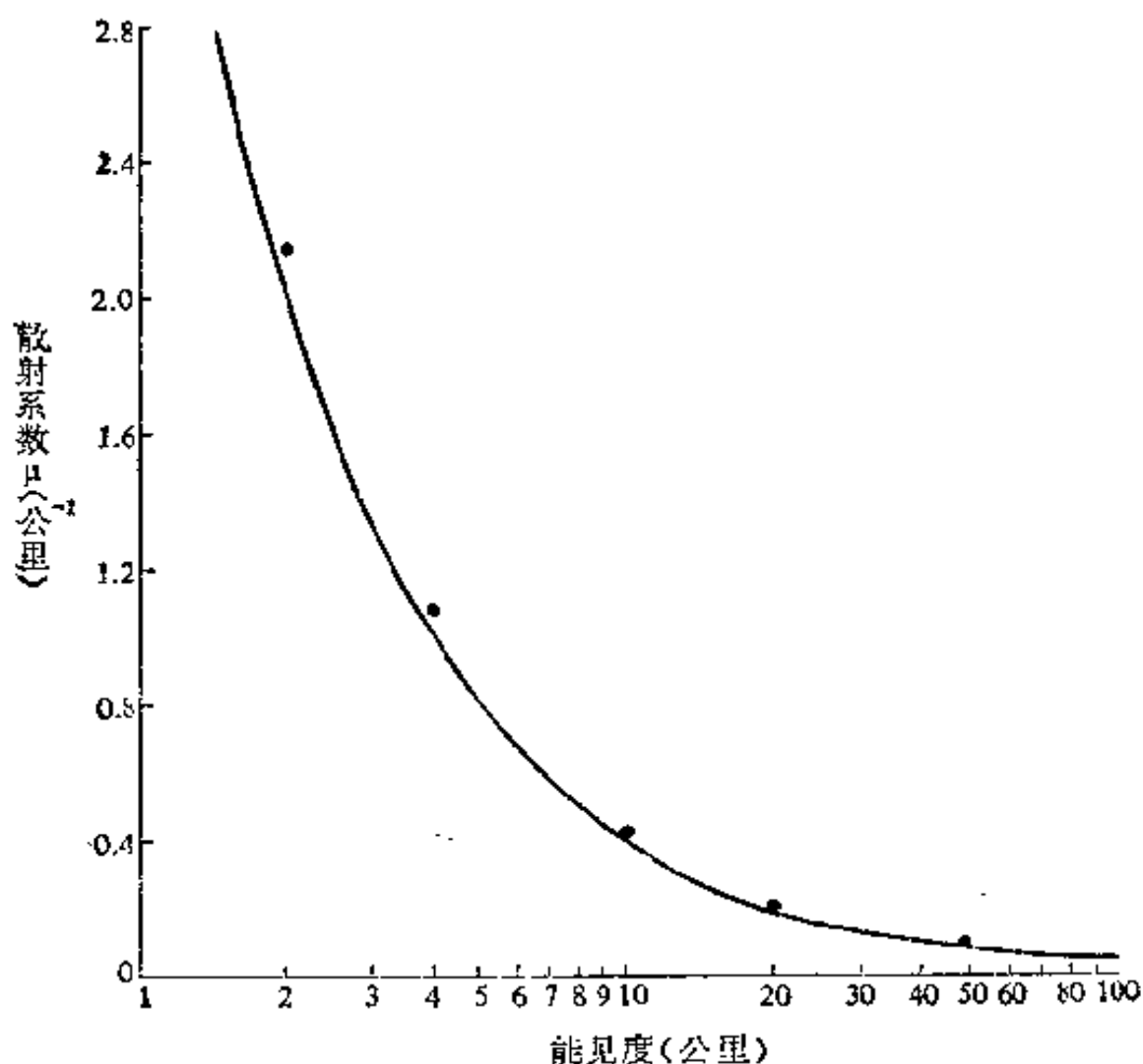


图 15-3 可见光散射系数和能见度的函数关系

四、镜式反射

镜式反射需要一个象镜子的表面。若表面是平的,则反

射光束的特性和入射光束的一样。光程将等于从激光源到反射器的距离加上从反射器到眼的距离。若表面不是平面而是例如柱面或球面，则反射的功率密度或能量密度要小一些并可算出，若表面弯曲均匀以及知道曲率半径的话。典型地，若出射激光束的直径远远小于光束在靶上的“印迹”，则式 15-1 变为

$$I = \frac{1.27Ze^{-(r+r_1)^k}}{[(r+r_1)\phi]^2} \quad (15-4)$$

式中 r_1 是靶到眼的距离 ($a \ll r+r_1$)。也可能根据最坏情况估计危害，如假设没有大气衰减。

作镜式反射的表面一般只反射光束的一部分。反射的多少依赖于镜式反射系数和入射角。对于法向(垂直)入射，标准玻璃板大约只反射入射束的 8%；但入射接近掠射角(即入射线几乎平行板面)时，几乎所有入射辐射能都将被反射⁽¹⁾。

五、漫反射

平面的漫反射服从反平方定律，它又一次和大气衰减有关⁽⁵⁾：

$$I = \frac{\rho Z_1}{\pi r_1^2} \quad (r_1 \gg D_L) \quad (15-5)$$

式中

Z_1 = 入射到靶的总能量或总功率 ($Z_1 = Ze^{-\mu r}$)

ρ = 靶的反射比

r_1 = 从靶到关心点(如眼)的距离

D_L = 在 r 远处光束的直径

图 15-4 给出式 15-4 和 15-5 某些符号所代表的内容。
当靶-眼距离超过几公里时，大气衰减就成为一个重要因素。

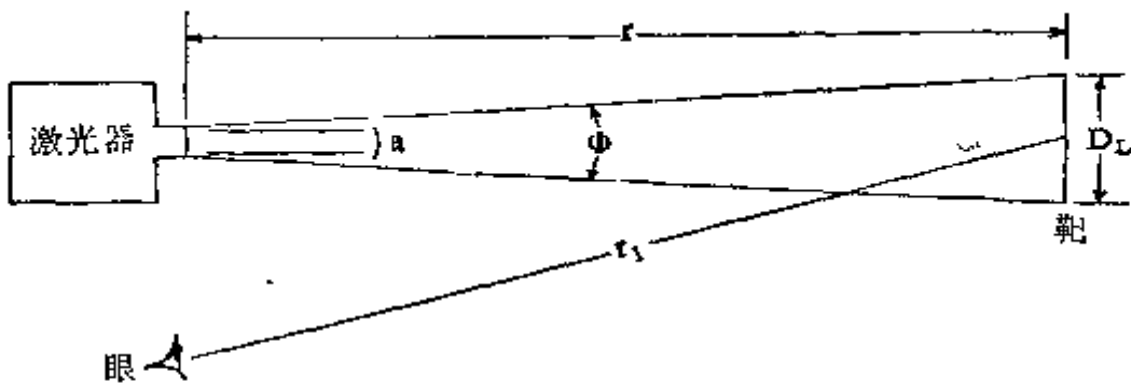


图 15-4 图式 15-4 和 15-5 中所用的一些符号

若假设激光器、靶和眼睛都处于同一平面，而且眼在瞄准光路中，则大气效应将得到充分发挥：因为

$$I = \frac{\rho Z_1}{\pi r_1^2}$$

有大气衰减，上式 Z_1 变为 $Z_1 e^{-\mu r_1}$ ，而 $Z_1 = Z e^{-\mu r}$ ，所以

$$I = \frac{\rho Z e^{-\mu r} \cdot e^{-\mu r_1}}{\pi r_1^2} = \frac{\rho Z e^{-\mu(r+r_1)}}{\pi r_1^2} \quad (15-5)$$

注意当 r 小时， $e^{-\mu r}$ 接近 1。本章内容分别着重指出大气的作用以及它对辐照率 (E) 和辐射照射量 (H) 的影响。

参 考 文 献

1. "Control of Hazards to Health from Laser Radiation", U. S. Department of the Army Technical Bulletin TB-MED-279, Washington, D. C. May 1975.
2. Electro-Optics Handbook, RCA, Camden, 1966
3. Wolfe, W. L., Handbook of Military Infrared Technology,

Office of Naval Research, Department of the Navy,
Washington, D. C. 1965.

4. Sliney, D., "The Safety Aspects of Atmospheric Transmission of Lasers", *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol 267, pp. 366~372, Jan. 30, 1976.
5. NATC Instruction 5100.2, Department of the Navy, Naval Air Test Center, Patuxent River, Maryland, 5 Mar. 1973.
6. "American National standard for the Safe Use of Lasers Z136.1-1976", American National standards Institute, New York, 1976.
7. Sliney, D. H., "Instrumentation and Measurement of Laser Radiation" in "Laser Hazards and Safety in the military Enviroment", AGARD Lecture Series No. 79, North Atlantic Treaty Organization, 1975.
8. Holter, M., et al., **Fundamentals of Infrared Technology**, Macmillan, New York, 1963.
9. Middleton, W. E. K., *Vision Through the Atmosphere*, University of Toronto Press, Toronto, 1958.

附录甲 激光词汇浅释

英文缩略语	
ACGIH	美国政府工业卫生学家会议
ADA	砷酸二氢胺, $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{AsO}_4$, 用于谐波振荡器的、具有非线性光学和电光学特性的晶体
ADP	磷酸二氢胺, $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, 用于谐波振荡器和调制器的一种非线性光学和电光学的晶体, 也用于参量振荡器, 其氘的分子式是 $(\text{NH}_4)\text{D}_2\text{PO}_4$, 缩写为 AD*P
ANSI	美国国家标准协会
BLS	劳工标准局 (美)
BRH	放射卫生局 (美)
BSN	铌酸钠钽 ($\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{16}$), 一种非线性光学材料, 用于产生谐波
CDA	砷酸二氢铯 (CsH_2AsO_4), 用于电光调制器的一种晶体, CD*A 是其变型 (CsD_2AsO_4), 由氘替代了其中的氢
D-CDA	砷酸二氢铯 (CDA), 由氘替代了其中的氢, 有时缩写为 CD*A
DNA	脱氧核糖核酸
HEW	卫生、教育和福利部 (美)
k_1 和 k_2	根据 BRH 颁布的“激光器产品性能标准”, 为第一、二、三和四级激光器可接触发射限诸表而提出的 (依赖于波长和照射的) 两个校正因子
KB5	五硼酸钾 ($\text{KB}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 是一种非线性晶体, 用于短波长谐波振荡的相位匹配, 有时叫 KP5
KDP	磷酸二氢钾 (KH_2PO_4), 一种具有非线性光学性质的晶体类物质, 可用于电光调制器, 包含氘的晶体 (KD_2PO_4) 也叫 D-KDP 或 KD*P
MPE	最大的许可照射量
Nd-YAG	掺钕钇铝石榴石, 是一种晶体, 常用于固态激光器, 钕原子是激活媒质

OSHA	职业安全和卫生管理局 (美)
PIN	一种半导体探测器, 在 P 区和 N 区之间有一本征半导体区 I
PRF	激光脉冲重复频率, 单位是脉冲数每秒
Q 开关	一种显示光闸效应的设备, 在它开启之前, 激光器不会发射。Q 是激光器共振腔的品质因数。能进行“主动”Q 开关有克尔盒或泡克耳斯盒、旋转镜、旋转棱镜、或声光设备。能进行“被动”Q 开关的有气体或染料一类可饱和物质。Q 开关能够在能量不变情况下, 借缩短脉宽的办法, 大大增加脉冲输出功率
RDA	砷酸二氢铷 (RbH_2AsO_4), 一种有非线性光学特性的、用于谐波振荡的晶体
RNA	核糖核酸
S1-S24	光电管的光敏表面的标准称号
TEM ₀₀	基横模激光器的辐射, 其能量具有高斯 (钟型) 分布, 其发射的全部能量都集中于一斑, 没有旁波瓣
TGS	硫酸三甘氨酸, 一种非线性物质
WHO	世界卫生组织
Yag	钇铝石榴石, 一种晶体, 其中掺有钇一类的激活媒质
Yalo	铝酸钇, 一种晶体, 其中掺有钇一类的激光激活媒质
YLF	氟化锂钇, 一种晶体, 其中掺有钇一类的离子性的物质以激活激光

2~4 画

人体接触辐射	指人体任何一部分进到离开激光 (和其附随辐射) 的直线而无阻挡的距离为 100 厘米的某点时, 或进到离开激光 (或其附随辐射) 入射点的无阻挡距离为 10 厘米时
心肺复苏术	在心脏停止搏动后或不规则搏动时, 用于使心脏恢复正常搏动的一种方法
心室纤颤	指心脏停止有节律的抽运, 或血液停止循环

孔径	激光器产品的保安罩上的或其他外壳上的开孔，激光或附随辐射就是通过该孔射出的，从而使人们有可能接触这类辐射
孔径阑	一个开孔，它限制了光束并规定了测量辐射的面积
孔内径	内径，如螺旋型闪光灯的螺旋内径，激光管（或棒）就是插在螺旋里面的
双碱	Na ₂ K Sb 这类双碱，用于制造光电管的光敏表面
双折射	一个晶体有两种折射率，常分别称为寻常折射率和非常折射率。单色光束通过这类晶体后，就分为偏振面正交的两束光，这两束光将沿着不同方向前进，除非是入射光束是沿着晶体的某一特定方向射入的
无照电流	没有辐射射入时，探测器因热电子而发射的输出电流。它限制了能够探测到的辐射的最低水平
瓦特(W)	是功率或辐射通量的单位，焦耳·秒 ⁻¹
瓦特·厘米⁻²	它是入射功率密度或辐照度的单位，用以表示每单位吸收面上的功率或连续激光束每单位面积的功率
白内障	眼睛的角膜和晶状体混浊，产生部分失明或全盲
水肿	细胞间的空间积液超过正常量，从而使人体组织肿胀
中心窝	视网膜黄斑中心小的下凹，该处的视觉最清晰
气悬体	气体中悬浮着的固体或液体微粒，微粒线度是10 ² ~10 ⁻² 微米，偶而还小一些
分束器	有反射性的光学部件，它能把一束光分为两束
反射	辐射碰到表面后被抛回、回头或偏向
反射比(ρ)	反射的总辐射功率或通量和入射的总辐射功率或通量的比值

5 画

闪烁	一个用来描述激光束截面辐照度迅速变化的术语，这变化是大气湍流引起的
立体角	它是球面上特定面积和球半径平方的比值，单位是球面度(sr)

可接触发射水平	指人体可能接触到的、由一激光器产品发出的、某波长和持续时间的激光（或附随辐射）量值，这量值是根据“激光器产品性能标准”相应诸节测得的
可接触发射限	根据“激光器产品性能标准”的规定，许可某一级激光器辐射的最大的可接触发射水平
可拆激光器系统	并入一激光器产品的任何激光器系统，若它从该产品拆出时不用改装就能发射激光，那么这系统本身就应看作是一种激光器产品，因而应满足“激光器产品性能标准”的诸条款
可见辐射(光)	电磁波谱中人眼能看见的那一段，一般指 400~700 纳米波段
可探测率(D*)	探测器的灵敏值，和带宽及探测器的面积无关，单位是 (厘米) ^{1/2} ·赫/瓦，是单位入射通量时，探测器的信噪比，并随入射辐射、工作温度和调制频率而变
布儒斯特窗	是用于激光共振腔两端的光学元件，作用是增强诸偏振模中的一种的透射。布氏窗（透明玻璃）和腔轴夹某一特定角度，这样就能增强平面偏振光的透射。布氏窗通常是由熔融硅土玻璃制成
功率豁免级	P _{exempt} 指一激光器的输出功率水平(Q _{exempt} 是每脉冲的输出能量)，该水平绝不会超过眼相应最大的许可照射量，不管用不用光学仪器。这功率属豁免级
功率	以某种方式发出、接受或使用能量的快慢，单位是瓦或焦耳每秒
功率(平均)	就脉冲激光器来说，平均功率等于脉冲能量(焦耳)乘以脉冲重复频率(赫)，试把它和一个脉冲的平均功率作一比较
功率密度	这一术语指一激光束中所包含的或入射到给定靶面的功率每单位面积(如瓦·厘米 ⁻²)，它就是辐射度的术语“辐照度”
出射光束直径	激光系统输出孔处的激光束直径
电磁辐射	振荡着的电场和磁场所形成的能量流，电场、磁场和能量流是相互正交的。例如 X 光、紫外线、可见光、红外线和无线电波都属电磁波谱，各占其中的一段。不同的是量子频率、波长和能量
电子束激发	激发固态(或高压气体)激光器用电子束，束内诸电子的能量都高于 10 ⁴ 电子伏

电光的 这一术语用于调制器、Q开关和其他控制光束的设备，它们的作用是基于电场能改变一物质的折射率。克尔(Kerr)盒中的受控物质多是液体，其折射率的改变正比于外加电场的平方。泡克耳斯(Pockels)盒中是晶体，其折射率随电场作线性变化

电子产品 这术语按公法 96~602 的定义如下：

- 任何制造的或组装的产品，它在工作时
 - 包含或起着电路一部分的作用和
 - 发射（在没有有效屏蔽或其他控制时将发射）电子产品的辐射；

或者

- 任何制造的或组装的成品，其目的是用作上述产品的部件、元件或附件，它在工作时会发射（在没有有效屏蔽或其他控制时将发射）电子产品的辐射

电子产品辐射 这术语按公法 96~602 的定义如下：

- 任何致电离的或不致电离的电磁辐射或颗粒辐射；

或者

- 任何次声波、声波或超声波，是由电子产品中电子电路工作而产生的

皮肤病学 医学中研究皮肤生理和病理的专科

发射持续时间 一个脉冲、一串脉冲或连续工作的发射时间，在这期间由于激光器产品的工作、维护或检修，使得人们有可能接近激光或附随辐射

6 画

许可执照 纽约州工业专员按照该州工业法典第50条法规的条款颁发给可移动激光器操作者的执照

许可使用可移动激光器的操作人员 一个持有有效合格证书的个人，该证书是纽约州工业专员按照该州工业法典第50条法规的条款颁发的。该操作者准许在激光室之外使用激光器

远场 离开衍射孔径的距离远于孔径面积/波长的 20~100 倍的地点叫远场。若一激光器的输出孔径是

	<p>10^{-2}厘米², 波长是5×10^{-6}厘米, 则$100 \times 10^{-2} / 5 \times 10^{-5}$ 或 2×10^4厘米 (200米) 之外可认为是远场。若在远场检查一激光束, 则使用夫琅和费 (Fraunhofer) 衍射原理所得到的全部检查结果都是有效的 (可参看“近场”)</p>
米(m)	<p>米是国际米制单位中的长度标准单位, 米再细分为下述较小单位</p> <p style="padding-left: 40px;">1厘米 = 10^{-2}米</p> <p style="padding-left: 40px;">1毫米 = 10^{-3}米</p> <p style="padding-left: 40px;">1微米 = 10^{-6}米</p> <p style="padding-left: 40px;">1纳米 = 10^{-9}米</p>
安全联锁	和激光器产品的保安罩有联系的一种装置, 用以阻止人们接触辐射超过“激光器产品性能标准”有关诸节规定的水平
扩展光源	和点光源比较, 扩展光源能为眼分辨并形成几何象, 但对点光源眼不能分辨成几何象
扫描激光	相对于固定的参照系, 激光束的发射有随时间而变的光路、光源或透射图样
共振腔	看“空腔”
巩膜	一种坚硬、白色的纤维组织, 它覆盖着除角膜外的眼球
光	可见辐射 (400~700纳米)
光子	电磁能的量子, 其值等于普朗克常数乘以辐射的频率
光化性	光化性是辐射的本征特性, 它能产生光化活性
光束	一束光线, 这些光线可以是平行的、发射的或会聚的
光束直径	光束中两相对点之间的距离, 这两点的功率或能量水平是光束峰值功率密度或能量密度的几分之一, 标准值是 e 分之一和 e^2 分之一
光束发散度 (ϕ)	从激光器出射孔射出的光束, 其直径将随前进距离而增大, 单位用特定点的毫弧度表示, 而特定点指能量密度或功率密度是最大值的 $1/e$ 或 $1/e^2$ 的点
光束扩展器	一光学部件组, 能把激光束直径变大
光闸	一种设备, 用于封闭激光束而又不必关停激光器

光束斑点大小	指激光束两 $1/e^2$ 功率点之间的直径，有时不严格地说，它是诸 $1/e^2$ 功率点之间的截面面积
光阑	用于在某预期之点终止激光束。光阑可以是一个很大的靶、密林、山丘等，也叫做靶垛 (backstop)
光束腰	指激光束直径或截面最小处。光束腰通常形成于共振腔内。此外如果在发散输出光束后用一透镜聚焦并匹配入另一共振腔，可能又在其中形成光束腰
光透射比	又叫透光比，它表示一个人通过滤光片（例如防御透镜）看见东西的能力，常用百分数表示
光微波激光器	Maser (optical) 是激光器过去用过、现在很少用的名称、用微波英文名词第一个字母 M 代替 Laser (激光器) 的第一个字母 L
微波激射器	因受激发射面形成微波放大的装置。与激光器发射光波不同，微波激射器（脉泽）发射微波
光学共振腔	看“空腔”
光密度(O.D.)	一个数值，它等于滤光片或其他衰减媒质所提供的衰减以10为底的对数 光密度： $O.D. = \log \Phi_0 / \Phi_t$ 式中 Φ_0 是输入功率， Φ_t 是透射后的功率。因为透光比 $\tau = \Phi_t / \Phi_0$ 所以 $O.D. = -\log \tau$
光度计	用于测量和评价光强度的仪表或器械。严格地说，光度计量得的是光强，其单位是光度学的，如流明，它相应于人眼看到的光强度。然而对于波长在可见段之外的辐射，测量其光强度（瓦）的系统也叫光度计
光子阻力探测器	一种探测器，当红外辐射通过一根掺锗的特种棒时，红外光子将与棒中的自由载流子起作用，在晶体两端产生电势差，其值随入射光束的功率而变。使用一种室温装置，借助于上述的迅速相互作用，就能探测红外辐射
光敏材料	一种材料，用于增加物质对电磁辐射辐照度的灵敏度
光伏变换器	一种装置，当入射辐射能，特别是光，射到它上面时就会产生电压

光电导性	这术语用于说明光能够使某些物质的电导性发生变化
光发射	指光电子的发射，特别是光能使金属表面发射电子
光源	这术语可以指激光器或受到激光照射的反射表面
光谱范围	这术语用于探测器和染料激光器时具有不同的意义。对于探测器，它指的是探测器能响应的辐射波长。用于染料激光器时，它指的是其输出能调谐的波长范围
自准直仪	一个有望远镜的准直管
后焦距	从一个薄透镜的后光学面到焦点的距离
后向反射	一个棱镜、面镜或其他设备这样反射入射线，使入射线和反射线在一条直线上，只是行进的方向相反
多碱	[Cs]Na ₂ K ₂ Sb 是一种多碱物质，用作光电管的光敏表面
多谱线	用于描述离子激光器，它说明激光器同时辐射的波长多于一个。就二氧化碳之类的分子激光器来说，多谱线意味二氧化碳分子同时发射多子一个的转动-振动跃迁或位移的跃迁
多模	同时发射或输出几个常常靠得很近的频率的辐射，每一频率代表激光共振腔中的不同模式
色素上皮 (视网膜)	贴近并后于视杆和视锥细胞的细胞层或膜，其中有棕色或黑色的颗粒
红斑	由于毛细血管充血，皮肤组织发红，是激光过照射所产生的一种皮肤烧伤效应
红外辐射	波长在0.7微米到1毫米光谱范围内的电磁辐射，这一波段往往再细分为三段：近红外(IR-A)，波长0.7~0.84到1.4微米；中红外(IR-B)，波长1.4~3微米；远红外(IR-C)，波长3微米到1毫米
负载循环	对于重复脉冲激光器，脉宽对重复周期的比值
吸收	光能和物质相互作用时，有一部分变为其他形式的能，所以光通过物质后的功率变小了
7 画	
声光的	涉及到声波和光之间的作用。象调制器或Q开关

	之类的声光设备，用于控制激光
束内观察	一般说来，是在光束内看光源，这光束可直接来自光源或是镜式反射的
克尔(Kerr)盒	一种利用 Kerr 效应的光束调制器，调制范围随外加电场的平方而变，参看“电光性”术语
极限观察角 (α_{min})	把束内观察和扩展源观察分开的视角
极限孔径	最大的圆孔，通过它可平均辐射率或辐射照射量的测得值
医用激光器产品	任何激光器产品，其制造、设计、预期或宣传的目的，是用激光对人体任何部分进行照射以诊断和治疗（包括外科）疾病
折射	光或声之类的波的偏折或歪曲，折射发生在具有不同折射率两媒质之间的界面处或波通过密度不均匀的物质时
灵敏度	一种探测器之类的装置可能量度的最小输入，或者一装置的输出信号对输入信号的比值
“灵敏”炸弹	相对常规弹道炸弹而言的一种激光制导的炸弹
附随辐射	一个激光器产品，由于其中激光器工作的必要或结果，而发射的任何电子产品辐射（激光除外），包括 X 光，参看“电子产品辐射”
快速扫描照相机	又叫纹影照相机，是一种速率极高的照相机设备，一事件的条纹的影在该设备中以恒定速率扫过一光敏板，从而记录下光强度随时间的变化
作用光谱曲线	这曲线显示各光化辐射在引起皮肤发红（红斑）上的相对能力
余留成象	是视觉刺激停止后仍留下的象，又叫“后象”，可能是眼受伤的一种症状
角膜	眼球前而的透明膜，在虹膜之外，是眼的主要折射部分
角膜上皮	结成角膜表面或表皮的细胞层
近场（看“远场”）	在衍射孔和远到孔径面积/波长处之间叫近场。所以对于输出孔面积为 10^{-2} 厘米 ² 、波为 5×10^{-5} 厘米的激光器，近场在离激光器 2 米之内。在 2 米到例如 40 米之间叫“灰”区。一般把灰区叫做近场，在某些情况，为了谨慎而准确度也不那么重要，也可把灰区当作远场。当在近场量度和分析光束

	时, 对光束的参量需要用菲涅耳(Fresnel) 衍射原理
低温学	研究极低温度的科学
延时发生器	一种设备能在原脉冲后预先选定时间发出电脉冲。这设备有时也叫做“数字延时发生器”
8 回	
空腔	这设备(共振腔)给激光振荡提供了反馈。最常见的形式是在两反射面之间有激光媒质
空间滤片	是一种技术, 它能滤掉衍射图样, 于是能再形成所期望的象。这种设备叫空间滤片, 而它的确是这样的。它是一块薄片, 按特定图样打出了一些洞和切开了一些槽, 把它放在一光学设备特定位置时, 灰尘对某些像的模糊(噪声)效应就能有效地滤掉
法拉第效应	当光束沿着外加磁场方向通过均匀物质时, 光束的偏振面将发生旋转, 这就是法拉第效应。旋转的大小随物质、通过路程和磁场强度而变
法拉第旋转器	一种利用法拉第效应来旋转激光束偏振面的光学设备
单色性	只包含或发射单一波长的光的状态, 如激光器发射的
单色器	是从一光束的波长范围选出窄带光波的设备
单模工作	激光器只输出一个 TEM 模。若单模是 TEM ₀₀ , 则激光器提供单一斑点的光束, 在透射时的发散极小, 并能聚焦成最小斑点
放瞳药	一种能放大瞳孔的药水
视神经	把每只眼视网膜连于脑的感觉神经
视网膜	感觉膜, 接受人眼角膜和晶状体所通过和形成的象, 它表衬眼底的大部分
视锐度	视敏锐、视清晰、或分辨小物体的能力
视杆细胞	视网膜上杆型细胞, 对暗淡光敏感
泡克耳斯盒	是利用泡克耳斯效应的一种调制器, 此时调制时外加电场线性变化, 也用于 Q 开关
闸流管	一种充气热阴极管, 用于开关大电流

波长	周期波相邻两同相位点之间的距离
波长选择器	是一种光学设备，它能从多谱线激光器的输出中选出所要的波长
斩波的	在某特定频率调制或改变一探测器的输入，以改善其性能
事故保险设备	指能够自动校正故障的设备和系统
取样时间	指测量（可接触激光和附随辐射水平）过程中所用的时间，取样时间的单位为秒，用符号 t 表示
弧度	量角度的单位，它等于顶点在圆心圆弧等半径时所张的角， 2π 弧度 = 360° ，1 弧度 $\approx 57.3^\circ$
点光源	辐射源的线度和观察距离比起来很小，或至少小到，和光源到探测器的距离比较，在计算中可忽略不计
敏玻璃	玻璃中掺有铒，用于某些固态激光器，诸铒原子组成激活媒质
参量振荡器	一种非线性设备，多是晶体，它使可调谐激光器的振荡频率等于混合电磁波的频率之和或差。有时叫做可调谐参量振荡器或光学参量振荡器；概指包括激光器和调谐晶体的整机
非球面的	光学表面，不是球面或平面的一部分，用于光学反射镜或透镜，以避免球面象差
非线性效应	产生电磁波的媒质特性随外加电场强度的平方、立方或更高次方而变，这些非线性光学效应包括谐波振荡
非控制区	没有（为了保护人员不受任何激光的照射而）控制人员进入的区域，其中包括住宅区
受激辐射	指在激光器的受激媒质中，粒子由高能态向低能态跃迁时电磁能的发射（或辐射）由于存在着辐射场（激励辐射），这种发射才有可能。受激辐射在各方面（如频率、波长、动量、相位、偏振）都和激励辐射很接近
受控区	为了防御光辐射的危害，区域内人员的位置和活动都受到控制和监督
受衍射限制的	一个光学设备在很大程度上没有象差，并只为（在开孔处不可避免的）衍射所限制，这种设备叫“受衍射限制的”，是人们能制造的“最好”设备。一个衍射限制的球面透镜和圆孔一道能把强度均匀的单色光聚焦于一个“斑点”（叫爱理斑），半径 $r =$

$1.22f\lambda/D$, 式中 λ 是波长, f = 透镜的焦距, D = 透镜的直径。一个强度为高斯分布的激光束将聚焦于一斑点, 半径 $r = 0.64f\lambda/D$, $r = 1/e^2$ 功率点的半径

9 画

音响式的发射指示器	用大音响警告人员激光引起的或即将引起的火灾
测辐射热器	一种测量红外线的探测器, 当金属箔暴露于红外线时将受热而温度上升, 温升将引起其电阻的变化
测绘、调平或校正	一种激光器产品, 其制造、设计、预期或宣传是供下述一种以上的应用:
激光器产品	<ul style="list-style-type: none">• 通过角度的测量, 以确定或描绘一点、一物体或一表面的形状、大小和位置• 调位或调整诸部件使它们之间有正确的关系• 规定平面、水平线、标高或直线
退偏振器	一种光学设备, 它能把输入的偏振光束变为无偏振的输出光束
轴向模	一激光器的频率的模式主要受控于两端面镜之间空腔长度, 亦即沿着空腔长度。这模式的波长应满足的条件是 $n\lambda/2 = L$, 式中 λ 是激光波长, L 是两镜间的距离, n 是个很大的整数
封闭激光系统	位于外壳内的任何激光器或激光系统, 从壳内不会淌出有害的光辐射
封闭式设置点	使用激光器的任何地点, 在激光工作时, 该地点对于未防护人员是封闭的
相干光	辐射电磁场中任何两点之间有恒定的相位关系
指定人员	激光安全员挑选或指挥的人员来监督激光器工作
标准具	一种光学元件, 可置于激光器的共振腔内以限制输出的带宽。标准具广泛用于染料激光器, 当要求窄“带宽”输出束时
泵	激光器的能源 (如闪光灯、电子束或电流源), 用于激光器中的激活媒质的放大作用
研究和研制	按纽约州工业法典第50条法规, 其定义是理论分析、探索或实验工作。此外, 把科学和技术的理论和研究结果, 扩展到实际应用于实验的、显示

	的和其他专门的目的, 包括实验性的或有限的生产, 以及检查和激光器应用有关的模型、设备、装置、材料和程序
屏蔽	为激光器、激光束和(或)靶专门制造的外壳, 以阻止有害的发射。激光屏蔽材料常用坚硬塑料、金属板和不透光陶瓷及不透光布料之类的其他材料。这术语常指屏蔽辐射或屏蔽爆炸或二者都屏蔽
玻璃体(眼的)	一种凝胶体, 它充满眼球晶状体和视网膜之间的空间
热点	激光束中定域的高强度诸点, 常由大气湍流效应引起
热电偶体	一种晶体的温度变化会显示出电效应。一般认为是电流源, 其输出随温度对时间的变化率而变。可用来检测红外辐射
热电现象	用于说明和热流一道发生的电现象
热电偶	一种热电传感器, 用于准确测量温度, 特别是由两种不同金属连接成的闭合电路, 两结点间的电位差显示二者间的温度差
热印相板	一块板的表面对热效应敏感, 从而对红外光束提供视觉显示
除色素	除去人体组织含有黑色素颗粒的色素
虹膜	环绕瞳孔的有色圆孔膜, 位于眼角膜之后
畏光	讨厌光, 常是由强光照射而引起的生理不舒适
衍射角	因辐射的波动性, 光束一部分在方向上发生了变化。这现象发生在辐射经过不透明体边缘时
保安罩	激光器产品的那些部分, 在设计上是用来阻止人们接触激光和附随辐射, 当它们的水平在“激光器产品性能标准”有关诸节指定的条件下, 超过规定的“可接触发射限”时
信号平均器	一电子设备, 其输出是脉冲源许多脉冲的平均值
透射	电磁能量通过一媒质
透射比或透射率(τ)	总透射辐射功率对总入射辐射功率的比值
脉络膜	在眼球视网膜和巩膜之间的黑棕色脉管层
脉冲持续时间	又叫脉宽, 是脉冲前、后沿半功率点之间的时间

脉冲选择器	是从脉冲信号中选某一光脉冲的设备，在电学上也有类似的设备，即从电子脉冲发生器中选择某一电脉冲
结膜	是眼睑内表面和眼球外露部之间的粘膜
结膜溢液	眼球表面粘液分泌比正常的多
亮度	每单位面积每单位立体角发射的功率，单位是瓦·厘米 ² ·球面度 ⁻¹
10 画	
调节	眼改变其会聚本领的能力，从而能聚焦不同距离的物体
衰减	光束通过吸收和（或）散射物质时，如大气，其功率有所减小
准直光束	一光中的诸光线相互平行，绝少发散或会聚
准直管	一种把发散或会聚光束变为准直光束或“平行”光束的设备
高斯分布	可变数据的集体或总体的频率分布曲线，是相对于平均数据的钟形曲线，常叫做正常分布
高莱(Golay)盒	辐射能宽带传感器，其作用是使高度透明含中气体因受照射而气压上升。气压上升随入射辐射引起的温度变化而变化
高温计	一种设备或仪表，用于测量高温，有时是遥测
朗伯(Lambert)表面	一种完善漫射面，它发射或反射的辐射率(亮度)和观察角无关
病理(学)	对疾病的研究，研究其性质、原因、过程、发展和后果，它也指疾病的解剖和机能的状况
埃(Å)	是在电磁波中用于表示长度的单位。一个埃 = 10^{-10} 米 = 10^{-8} 厘米 = 0.1纳米 = 10^{-4} 微米
起动电流	对于二极管激光器，它是达到激射工作点所需要的电流。其最小值是开始激射的“阈电流”，最大电流是防止损坏二极管不许超过的安培值
致电离辐射	能够产生电离的辐射，如 α 和 β 之类的能量大的带电粒子或X射线之类的波动辐射
致癌的	引起癌的原因
损耗媒质	一种媒质，它衰减（吸收或散射）通过它的辐射

振荡放大器	一种设备，用于产生极大的输出功率，常大于 10^6 瓦。激光振荡器的输出接着为一个或几个另外的激光放大器所放大
索累(Soleil-Babinet)补偿器	一种延迟板，它能继续改变，以产生所要求的相位延迟度
能量(Q)	作功的本领。能量常用于描述脉冲激光器的输出，常用单位为焦耳
能量密度	每单位面积的能量，单位是焦耳·厘米 $^{-2}$ ，同“辐射照射量”
倍频器	一种非线性元件，它产生入射频率的倍频（如二倍频），有时叫“谐波振荡器”

11 画

宽带眼镜	能够防御宽波带激光的眼罩
咨询标准	纽约州劳工局颁布的标准，其目的是供咨询，绝对没有强迫的意思
毫微米	新名是纳米，在电磁波波长量度中，纳米以代替埃作为主要单位。1 纳米 = 10^{-9} 米 = 10^{-7} 厘米 = 10^{-3} 微米 = 10 埃
粒子数反转	通过泵浦在激活媒质中建立的一种状态，即高能态的受激粒子（可以是原子、分子或离子）数至少比一个低能态的多。在正常情况下，高能态的粒子数量少于低能态的
谐波振荡器	一种非线性部件，输出的是入射激光束的倍频，常叫做 倍频器
淡红银矿	Ag_3AsS_3 是非线性晶体，用于谐波振荡，也显示电光效应（看“电光性”）
授立法权	州（美）授权其卫生局或相应机构采用某种形式的激光安全标准
菲涅耳(Fresnel)透镜	一透镜的表面分为许多同心环，其聚焦能力同于一个单透镜。其特征是比单透镜薄一些。常用于焦距短的透镜，以免透镜显得太厚
接收机	一种设备，其组成是探测器和信号处理电子仪器，后者能把光输入变成电子输出，常用于通信
球面度	量立体角的单位，球体内有 4π 球面度

累积辐射率	每单位辐射面每单位立体角发射的辐射能。单位是焦耳·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
黑色素	一种黑色的色素，存在于皮肤、视网膜和头发中
紫外线	一种电磁辐射，其波长由软X射线一直伸展到可见光的紫端，这一光谱常常细分为三段：近紫外(UV-A)，315~400纳米；中紫外(UV-B)，280~315纳米；远紫外(UV-C)，200~280纳米。紫外波长短于可见光波长
眼底	眼球的内底面，离开眼球透光部分最远，和瞳孔相对
眼科学	医学的一支分科，它包括眼的解剖学、病理学、机能和治疗
氩管	一种充气的冷阴极开关管，在工作于电弧放电时，高峰电流能短时通过
遥控连接器	一种电学连接器，是它把机外控制和远处的激光器产品（其余元件）连结起来，以阻止人们接触的激光和附随辐射超过“激光器产品性能标准”有关诸节所规定的辐射限
维护	执行激光器产品制造商提供的用户说明书所规定的调节和步骤，用户这样做的目的是保证产品有预期的性能。它不包括“激光器产品性能标准”所定义的“运转”和“检修”，这二者在本附录中可查到
检眼镜	检眼镜基本上是一个中央有孔的凹面镜，通过该孔检查眼底
检修	进行制造厂检修指导书中所说明的那些能影响产品性能的某些方面的步骤和调节，但不包括“激光器产品性能标准”所定义的“维护”和“运转”，这二者在本附录中可以查到

12 画

超辐射	自发辐射相干光的放大，它是在没有张弛过程时发生的。一般指一种激光器，其增益高到放大用不着两反射镜。氮分子和氢分子激光器是其两例。一个超辐射激光器的光束固有特性比有完整光学腔激光器的一般要差一些。有人认为“超荧光”是这类激光器较合理的名称
量热器	一种探测器，它量度从电磁辐射源所得到的热能的多少，用于量度源的能量

晶状体	人眼内的可调焦的透镜类的成份
敞开设置点	使用激光器的任何地点。它在激光器工作时对工作人员是敞开的，它可能要也可能不要专门阻止无意的闯入
焦距	一透镜第二节点和第一焦点之间的距离。对于薄透镜，焦距等于透镜和焦点之间的距离
焦点	诸光线会聚之点，或发射（或似乎发射）发散光之点
焦耳	能量单位，1焦耳 = 1瓦·秒 = 10^7 尔格 = 0.239卡
焦耳·厘米⁻² (J·cm⁻²)	当测量单位表面面积能量或单位激光束面积时的一种有用的辐射照射量单位
最大输出	一激光器产品工作时所发射可接触激光最大辐射功率，或每脉冲最大辐射能量，根据“激光器产品性能标准”有关诸节测定的
最大许可能量密度 (照射角膜的和皮肤的)	一脉冲激光器发射的激光能量密度，就目前的医学知识来说，对一个人在其生命的任何时间想必不会对其角膜或身体其他部位产生可察觉的伤害
最大许可功率密度 (照射角膜的和皮肤的)	一连续或脉冲激光器发射的激光功率密度，就目前的医学知识来说，对一个人在其生命的任何时间想必不会对其角膜或身体其他部位产生可察觉的伤害
锁模	激光器内调制时的频率等于激光共振腔模间的自然距离，这将引起具有调制频率的短脉冲的猝发，其脉宽大约和激光自然线宽的倒数相等

13 画

滤光片损坏阈	一激光器辐射能量或功率水平，它能给防御眼罩的滤光材料造成损坏（如退色、起泡、熔融或破裂）
输出功率或能量	输出功率常用于标定连续激光器，因其单位时间所释放的能量（瓦）是相当恒定的，脉冲激光器则常根据每脉冲的输出能量来分类
辐射能(Q)	以某种形式发出、接收或使用的辐射能，单位是焦耳(J)
辐射通量	见“辐射功率”
辐射功率(Φ)	以某种形式发出、接受或使用的辐射功率，传递

	辐射能的时间变率。单位为瓦，也叫辐射通量
辐射照射量 (H)	辐照表面一部分的辐射能除以该部分的面积，单位是焦耳·厘米 ⁻²
辐照度 (E)	射到表面的辐射功率除以受辐照面积，单位是瓦·厘米 ⁻²
辐射率 (L)	一辐射面每单位面积每单位立体角所发射的辐射功率，单位是瓦·厘米 ⁻² ·球面度 ⁻¹
辐射强度 (I)	辐射源沿着某一特定方向的辐射功率。在含有该方向的某一立体角内，辐射源发出辐射通量除以该立体角即是辐射强度，单位是瓦·球面度 ⁻¹
辐射计	一种设备或仪表，用于量度辐射(瓦)。辐射计能够量度任何波长的辐射，但某一种辐射计能量度的有效光谱范围却是有限的
辐射度单位	一组单位，用于量度电磁辐射的强度，其基本单位是瓦
瑞利散射	当辐射通过含有粒子的媒质时将发生散射。若粒子线度比辐射波长小，则发生的是瑞利散射
睫状肌	眼球的连接脉络膜和虹膜的较厚血管层
睫状肌麻痹	由于眼的睫状肌麻痹，使眼失去调节能力
睫状肌麻痹剂	使眼睫状肌麻痹的药剂，从而暂停眼的调节
照射量	等于辐照度和照射时间的乘积
鉴定	评价(由于任何激光器的制造、使用、处理、检修或存在而出现的)激光危害。若合适，可对激光室或可移动激光器作机械评价，并量度激光器输出和反射激光
锥体	一种锥形探测器，内表面涂黑，以吸收入射辐射的绝大部分。通过测量温升以定辐射水平。此外，人眼视网膜中有一种叫做视锥的感光细胞
微米	1微米 = 10 ⁻⁶ 米 = 10 ³ 纳米
键启动主控器	这是一种常为第三、四级激光器设计的安全部件，除用钥匙外，不能使激光器激射

14、15 画

漫射 光束空间分布的变化，当光束受到表面或媒质影响时，光束就朝着许多不同方向偏折

漫反射	入射光射到表面或媒质时，光能被反射到许多方向
演示性激光器产品	是任何激光器产品，其制造、设计、预期和宣传的目的，是演示、娱乐、广告或艺术结图。“演示性激光器产品”这一术语不适用那些不是为此目的而制造、设计、预期或宣传的，即使它们可以用于这些目的或预定演示其他应用
谱线宽度	激光能量大部分分布的频率范围，也可称为带宽。在染料激光器中常叫做 光谱带宽
赫芝	周期振荡的频率，单位为周·秒 ⁻¹
横模	指激光束波前截面中激光强度的差异。横模可能有许多不同模式（如TEM ₀₀ ，TEM ₀₁ ，TEM ₁₀ ，TEM ₁₁ 等），但在其可能模式中，激光器可优先工作于1个或1个以上的模式。通过改变共振腔的损耗/增益，以有利于某一模式的工作，就可强使激光器工作于该模式（如TEM ₀₀ ）

16 画

激活媒质	原子的或分子的物质，它能为激光振荡提供增益。常称为 激光或激射媒质或激活材料
激光	激光器产品发出的所有电磁辐射，波长范围大约是0.25~13微米，这些辐射是受控制的受激辐射的结果而产生的
激光泵	通过吸收能量激活激光媒质。“泵浦”激光媒质可用闪光灯、电子束等不同方式。“泵浦”使电子或分子跃迁到较高能级
激光器	原意是“受激辐射的光放大”。激光器产生或放大电磁振荡，波长从远红外（亚毫米）到紫外。激光振荡器需要两个基本元件：一个放大媒质和一个再生或反馈机构（共振腔），放大媒质可以是各种各样的，如气体、半导体、染料溶液等等。反馈一般是用两个面镜建立的。所产生的电磁振荡的突出特点是单色性、极高强度、非常小的带宽、光束发散度极小和相位相干性
气体激光器	激光器的激活媒质是气体，可以具有原子或分子形式。这类激光器按媒质可分为原子的（如氦-氖）、分子的（如二氧化碳）和离子的（如氩、氪、氙和其他如金属蒸气氩-镉）。“离子的”一般指氩和氪

激光器·金属蒸气	激光器的激活元素是金属蒸气，通常与另外一种气体相结合，如氮-硒和氮-镉
离子激光器	一种激光器，其激活媒质是电离气体，如氩离子和氦离子
混合气体激光器	有时用这一名称，它指的是由氩或氦混合的离子激光器
分子激光器	一种激光器，其激活媒质是一种分子气体（如二氧化碳，水蒸汽等）
TEA 激光器	TEA 激光器指横向受激大气压激光器，是一种气体激光器，激活物质的激活与供能方向垂直于媒质的流动方向。由于击穿路程短，TEA 激光器工作时的气压大于纵向激励气体激光器（但不一定要是一个大气压）。TEA 激光器每单位体积气体可能提供大一些的输出功率，因为每单位体积中激励分子的浓度大一些
液体激光器	一种激光器，其激活物质不是有机染料就是无机液体
无机液体激光器	一种激光器，其激活物质是无机液体
染料激光器	一种激光器，其激活物质常是溶液中的染料。溶液装在盒中或在流动。实验性的气体染料和固体激光器已制成。有时叫做有机染料或可调谐染料激光器
激光器·有机染料	见染料激光器
原子激光器	一种激光器，其激活媒质主要是原子气体（多于分子气体）
光泵激光器	光泵激光器的激活媒质靠另一光源泵浦以建立粒子数反转。对固体激光器和某些染料激光器，光泵一般呈非相干光（如闪光灯，电弧），对于气体或其他染料激光器，光泵常用相干光源
可调谐激光器	一种激光器，其激光波长在相当宽的范围内，是连续可调的。一个激光系统可以“调谐”以发射激光波波长或频率的连续光谱
固体激光器	固体激光器中的激活媒质是晶体或玻璃中原子物质。原子物质可以从外面定量掺入晶体或玻璃的（如钕加入玻璃），也可以是本来含有的杂质，大家知道的一种情况是红宝石中的铬。这术语一般不用于半导体激光器

玻璃激光器	玻璃激光器是一种固体激光器，其激活媒质是玻璃中含有的稀土金属原子
化学激光器	化学激光器中的粒子数反转直接来源于基础的化学反应
半导体激光器	半导体激光器中的激活物质是半导体，它可以是均匀型的或二极管型的。商品一般是二极管型，激射发生在半导体 p-n 结，典型的是砷化镓或磷化镓。均匀型的是没有掺杂的半导体材料，由电子束泵浦或供能
注入式激光器	看“半导体激光器”
二极管激光器	看“半导体激光器”
晶体激光器	晶体激光器的激活物质是晶体（如红宝石）中的原子物质（如铬）
连续激光器	连续激光器的输出有一相当长不间断的时间（与脉冲激光器比），即激射时间长一些间或指连续激射时间长于 0.25 秒的激光器
脉冲激光器	脉冲激光器以脉冲形式发射能量而不是连续发射，为了某些目的，脉宽 ≤ 0.25 秒
重复脉冲 Q 开关激光器	重复脉冲 Q 开关激光器，其能量在 Q 开关控制下以脉冲形式发出
锁模激光器	锁模激光器输出的相位或幅度都是锁住的，亦即共振腔的发送输出是受控制的输出包括诸极短脉冲的猝发，为了比较，共振腔非锁模和自由振荡时，会产生低频“噪声”输出，因为共振腔中有“无规相位”和随时间而变的幅度。这种激光器有时叫做“锁相”
猝发激光器	这术语常用于脉冲离子激光器，其平均输出和重复频率都可以暂时增加
紫外预电离激光器	紫外预电离激光器是一种脉冲气体激光器，其中的“种子”电子是用紫外线脉冲预先产生的，这有助于均匀放电和消除电弧。用于稀有气体卤化物的和大多数分子激光器
可移动激光器	在激光室之外使用或工作的激光器
第一级激光器产品	任何第一级激光器产品使人们可能接触到的激光不超过第一级的可接触发射限，不管照射时间和波长范围是怎样组合的
电子束持续抽运激光器	分子气体激光器的放电，用高能电子束维持。一般是电子束注入方向垂直共振腔的光轴。和未受

支持的放电比较，电子束使激光器能工作于较高气压和较大的截面-长度比，这方法常用二氧化碳激光器，有非常高的连续激光输出功率

第二级激光器产品

任何第二级激光器产品：

- 使人们可能接触到激光超过第一级的可接触发射限，但不超过第二级的可接触发射限，这是对400纳米<波长≤700纳米，辐射时间大于0.25秒来说的
- 使人们可能接触到的激光不超过第一级的可接触发射限，这是对于照射时间和波长范围与上述不同的其他组合来说的

第三级激光器产品

任何第三级激光器产品使人们可能接触到的激光超过第一级，如可行也超过第二级的可接触发射限，但不超过第三级的可接触发射限，对照射时间和波长范围的任何组合都是这样的。第三级又按照“激光器产品性能标准”的有关诸节再分别标记为第三(甲)和第三(乙)级激光器产品

第四级激光器产品

任何第四级激光器产品使人们可能接触到的激光超过第三级的可接触发射限

第五级激光器产品

原是封闭式激光器的级别。美国国家标准协会(ANSI)已取消这一级，为的是使其分级制和放射卫生局(BRH)的近似

激光放大器

它是一种设备，用以增大激光振荡器输出脉冲的能量。其激活物质的泵浦和基本的激光振荡器一样，然而放大器不需要初期用于产生脉冲的共振腔

激光束宽

$1/e^2$ 功率点。激光束功率不是从束中心到某精确半径点时降为零，而是慢慢下降，到无穷远处才为零。因此常把束宽定义为强度为中心值的 $1/e^2$ 诸点间的直径。有时也用 $1/e$ 功率点或半功率点来定义光束直径

激光器空腔

又叫光学腔或共振腔。封闭体积(共振器)使得激光振荡能产生反馈并辐射光束。共振腔常由相距为腔长 L 的两反射镜组成。激光媒质则位于两反射镜之间

激光器分级

光束危害按轻重分级，为减轻辐射危害而规定必要控制措施时，这一分级很重要。激光器共分为四级(看本附录)

激光控制区	有一台或一台以上激光器的区域，在区内人员的活动和激光器的使用都受到控制或监督。此外，也可限制人们进入该区
激光器能源	任何装置或设备预定用于激光器，给激光器工作提供能源。电能馈线和蓄电池等常用能源，按BRH的“激光器产品性能标准”，并不认为是激光器能源
激光“足迹”	激光束图样或分布，眼见的和(或)照相机、摄影机或其他技术(如摄影)所记录下的图样
激光器头	指激活媒质、共振腔和激光器其他部分的外罩(不包括能源)
激光室	按纽约州工业法典第50条法规，激光室指有一个或一个以上激光器用过或工作过多于30天的任何地点。激光室的范围由该室所有人规定，它可以是一整栋楼或其他房屋，一间房或其一部分。但制造地点不认为是激光室
激光媒质	看“激活媒质”
激光器产品	指任何制造的产品或元件的组装，它构成、并入或打算并入一激光器或激光系统。打算用作一电子产品部件的激光器或激光系统本身也应认为是激光器产品
激光安全员	为某一特定激光室或特定可移动激光器指派的个人，他由于在激光器职业和公卫方面的训练和经验，有资格评价这类激光室和可移动激光器的辐射危害。他还有资格为这类激光室或可移动激光器建立和执行激光防护方案。并有权对危害的控制进行监督
激光安全方案	组织和充分发展“激光危害控制方案”时所采取的步骤
避开反应	眨眼，这一因素在限制眼曝露于辐射上是一重要因素
噪声等效功率(NEP)	指探测器能够可靠记录的最小功率，常就特定波长、频率和噪声带宽给出此值，单位为瓦。严格地，NEP等于噪声信号的方均根(伏特或安培的方均根)对探测器的响应度或灵敏度(伏·瓦 ⁻¹ 或安·瓦 ⁻¹)的比值
操作	激光器产品执行其全部功能，它不包括“激光器产品性能标准”所定义的“维护”和“检修”(见本附录)

镜式反射	象镜子一样反射
17 画以上	
瞳孔	虹膜中直径可变的孔，是它让光通过并进入眼球后部
警告标记	“激光器产品性能标准”中所指出的各种标记

附 录 乙

纽约州工业法典第50条法规

“激 光 器”

纽约州法典法规和条例的官方汇

编第12篇50部

(略为12NYCRR50)

生效日期 1972年8月1日

纽约州

劳工局

标准和上诉委员会

纽约州

Hugh L. Carey

州长

劳工局

Louis L. Levine

工业专员

标准和上诉委员会

Harry R. Mason 主席

B. F. Spencer 委员

R. H. Bolton 委员

当工业专员认为散发本法规副本有助于促进安全教育和遵守本法规时，任何个人或团体都可免费索取。要邮寄的可去信纽约州劳工局新闻室（纽约州、奥尔班尼市、州办公大楼 12201）索取。也可亲自到奥市办公楼或纽约市劳工局（纽约市、世界贸易中心，10047）去要。

纽约州

劳工局

标准和上诉委员会

} 即：

根据行政法令第 102 节 1 分节的授权，本人，**Harry R. Mason**，纽约州标准和上诉委员会主席，特此尊重证明，在此颁发工业法典第 50 部（法规序号）有关激光器的文件，是该委员会于 1972 年 7 月 13 日正式采用该法规原文的正确无误的副本；并根据劳工法第 27-a、28、29 和 200 诸节的职权，规定该法规的生效期为 1972 年 8 月 1 日，还于 1972 年 7 月 9 日即时地送纽约州州务卿办公室归档。

本文件由本人于 1972 年 7 月 12 日签发，并盖纽约州劳工局（在奥尔班尼市）的公章。

Harry R. Mason

主席

纽约州标准和上诉委员会

劳工法摘录

27-a节·标准和上诉委员会的权力和义务：标准和上诉委员会根据本章第29节的条款，应该有权制订、修改和废除使本章诸条例生效的诸法令，使用这些条例于特殊情况以及为贯彻这些条例而规定手段、方法和策略。

• • • • •

213节·违反“劳工法”的条款、“工业法典”以及“工业专员”与“标准和上诉委员会”的法令、条例和命令：任何人违反或不履行劳工法的任何条款、工业法典的任何条款以及工业专员或标准和申诉委员会的任何法令、条例或命令；任何公司的高级职员让公司明知故犯这些条款；都犯了过失罪。

编号制的说明

按照州务卿为纽约州法典法规和条例的官方汇编而制定的统一编号制，工业法典第50部（法规序号）的正文的编号如下（12NYCRR50）：

编号制的划分	怎样编号	例
篇	阿拉伯数字	第12篇（劳工局）
章	罗马数字大写	第I章（标准和上诉委员会）
分章	大写英文字母	A分章（工业法典）
部	阿拉伯数字	第50部（工业法典第50部）
节	阿拉伯数字，用小数点和部的数字分开	50.1, 50.2...

编号制的分划	怎样编号	例
分节	括号内小写英文字母	(a), (b), ...
段	括号内阿拉伯数字	(1), (2), ...
分段	括号内小写罗马数字	(i), (ii), (iii), ...
条款	括号内英文小写斜体字母	(a), (b), ...

下述正文中或有关的参考提及的“部”、“节”、“分节”、“段”、“分段”或“条款”诸术语都应按上述编号制来理解。

工业法典第50（法规序号）部（12NYCRR50）

目 录

节 序 号	内 容	页
50.1	调查事实的结论	
50.2	适用性	
(a)	一般	
(b)	用于人体	
(c)	用于动物	
(d)	联邦法令	
50.3	专门的豁免	
(a)	第一类豁免	
(b)	第二类豁免	
50.4	词汇浅释	
50.5	雇主的责任	
50.6	雇员的责任	
50.7	低强度激光器需要批准	
50.8	激光室和可移动激光器的注册	
50.9	可移动激光器操作人员要求有合格证	
(a)	一般	

节 序 号	内 容	页
(b)	合格证的级别	
(1)	甲级证书	
(2)	乙级证书	
(c)	申请表格和照片	
(d)	身体状况	
(e)	年龄和要求的经验	
(f)	考试委员会	
(g)	对考试的一般要求	
(h)	合格证的内容	
(i)	合格证的有效期	
(j)	合格证的随身携带	
(k)	合格证的换发	
(l)	关于合格证的中止、吊销、拒发或拒绝换发，听证会	
50.10	最大的许可照射量限	
50.11	激光安全员	
50.12	人员的防护	
(a)	一般	
(b)	人员的防护用具	
(1)	已批准的安全眼罩	
(2)	其他个人防护用具	
50.13	一般的预防措施	
50.14	激光区的标记	
(a)	激光符号	
(b)	激光区	
50.15	激光器的标记	
50.16	鉴定、检测仪表和财产清单	
(a)	鉴定	

节 序 号	内 容	页
(b)	检测仪表	
(c)	财产清单	
50.17	激光器的预防措施和处理	
(a)	预防措施	
(b)	处理	
50.18	有关危害	
(a)	气载污染物	
(b)	紫外线	
(c)	电危害	
(d)	低温冷却剂	
(e)	火灾	
(f)	爆炸危害	
(g)	电离辐射	
50.19	记录	
50.20	报告	
(a)	报告专员	
(b)	报告医生	
50.21	检查和试验	
50.22	可分开性	
50.23	表	
	表 1 激光直接或反光照射角膜时最大的许可照射量	
	表 2 激光照射皮肤时最大的许可照射量	
	表 3 未封闭激光器在未控制区内的最大许可输出功率密度或能量密度 (低强度激光器的输出限)。	
	表 4 激光安全眼罩的衰减	

纽约州工业法典第 50 条法规激光器

(法令的根据：劳工法第 27-a, 28, 29 和 200 节)

纽约州法典法规和条例的官方

汇编第 12 篇 I 章 A 分章 50 (法规序号) 部

50.1 调查事实的结论：本委员会发现某些占有或使用激光器的工业、商业、职业或工艺技术，对在那儿工作人员的生命、健康和安全的因素。由此，本委员会得出结论，有必要对下述两方面制定专门条例以保护有关人员，一是激光器所发射的红外、可见和紫外相干光，具有在人体上和在人眼内产生有害作用的特性，二是可能存在着的和激光器有关的危害。

50.2 适用性：

(a) **一般** 除了在此另有规定外，本法规(部)适用于全纽约州受辖于劳工法的每个人，他们在从事任何工业、商业、职业或工艺技术时所转让、接收、占有或使用的任何激光器，是免于或不受纽约州卫生局或纽约市卫生局的管辖或条例约束的。本法规(部)也适用受辖于劳工法的每个人，他们在从事任何工业、商业、职业或工艺技术时所安装、试验或检修的任何激光器或激光设备可能导致他们本人暴露于激光或遭受与激光器有关的其他危害。

(b) **用于人体** 在持有本州行医执照的个人监督下(或由他本人)治疗时，本法规(部)无处可解释为限制用激光给人治病。

(c) **用于动物** 在持有本州兽医执照的个人监督下(或

由他本人)治疗时,本法规(部)无处可解释为限制用激光给动物治病。

(d) **联邦法令** 本法规(部)无处影响按联邦法令颁布并适用于本州的诸要求。

50.3 专门的豁免: 激光器的转让、接收、占有或使用在下列两类情况下可豁免本法规(部)的诸要求。

(a) **第一类豁免** 储存、船运或出售期间的激光器,因在这些情况下它们是不会发射激光的,但本法规对于加标记的要求此时仍有效。

(b) **第二类豁免** 激光器因设计和制造上的理由,使得在离开激光器外表面 10 厘米处测量时,其辐射不超过 1×10^{-7} 焦耳·厘米⁻² 或 1×10^{-5} 瓦·厘米⁻²。但这类激光器在生产测试和检修时不应豁免。

50.4 词汇浅释: 现对在此用到的或与本法规(部)有关的诸术语浅释如下:

(a) **埃(Å)** 主要用于表示电磁波波长的长度单位, $1 \text{ 埃} = 10^{-10} \text{ 米} = 10^{-8} \text{ 厘米} = 10^{-4} \text{ 微米}$ 。

(b) **已批准的** 对于一种设备或材料来说,它符合于委员会通过的、有关批准的现有决议;对于委员会的职能来说,它意味着已对研究对象作出了批准的决议。

(c) **光束发散度** 光束的全角扩展,通常量于半功率点,单位是弧度或毫弧。

(d) **委员会** 纽约州标准和上诉委员会。

(e) **合格证** 专员按照本法规(部)的条款发给操作人员的证书。

(f) **可移动激光器的合格操作人员** 持有专员按照本法规(部)的条款颁发的有效合格证的个人。

(g) **封闭式设置点** 使用诸激光器的任何地点,当任何激光器在该处运转时,进入该处是受控制的。

(h) **专员** 纽约州的工业专员或他正式受权的代表。

(i) **C. W. 激光器** 连续波型激光器。

(j) **指定的个人** 激光安全员挑选或指派的个人以监督激光器的操作。

(k) **雇员** 一个受雇的个人,他帮别人工作而得到工钱或薪金。

(l) **能量密度** 每单位面积的能量,单位是焦耳每平方厘米(焦耳·厘米⁻²)。

(m) **气体激光器** 一种激光器,其激射发生在气体媒质中,如氮和氦的混合气体。

(n) **高强度激光器** 一种激光器,其输出能量密度或功率密度超过本法规(部)表3列出的值。

(o) **个人** 指任何一个人。

(p) **辐照度** 这术语指入射功率密度。

(q) **焦耳(J)** 是能量单位,1焦耳=10⁷尔格=1瓦·秒。

(r) **焦耳每平方厘米(焦耳·厘米⁻²)** 能量每单位面积,是能量密度和辐射照射量的单位。

(s) **激光器** 是根据“受激辐射的光放大”而派生出的一个术语。有时也叫光微波激射器。

(t) **激光室** 激光室指有一个或一个以上激光器用过或工作过多于30天的任何地点。激光室的范围由该室主人划定。它可以是一整栋楼或其他房屋,一间房或其一部分。就本法规(部)的用意来说,制造地点不应认为是激光室。

(u) **激光区** 有一台或几台高或低强度激光器的任何

区域，人们进入该区域是受限制的，目的在于保护个人不受激光的照射。

(v) 激光安全员 为某一特定激光室或特定可移动激光器指派的个人，这个人由于在激光器职业和公卫方面的训练和经验，有资格评价这类激光室和可移动激光器的辐射危害。他还有资格为这类激光室或可移动激光器建立和执行激光防护方案。

(w) 低强度激光器 一台激光器的输出功率密度或能量密度在激光束光路中约任一点，人眼可能曝露的水平小于或等于本法规(部)表3列出的诸值。

(x) 微波激光器 原意是“受激发射的微波放大”，微波激光器发射的是微波而不是光波。

(y) 角膜和皮肤受照射时最大的许可能量密度 一脉冲激光器发射的激光能量密度，就目前的医学知识来说，对一个人在其生命的任何时刻，想必不会对其角膜或身体的其他部位产生可察觉的伤害。最大的许可水平列于本法规(部)表1和表2。

(z) 角膜和皮肤受照射时最大的许可功率密度 一连续或脉冲激光器发射的激光功率密度，就目前的医学知识来说，对一个人在其生命的任何时刻，想必不会对其角膜或身体的其他部位产生可察觉的伤害。最大的许可水平列于本法规(部)表1和表2。

(aa) 可移动激光器 一种可在激光室外使用或工作的激光器。

(bb) 纳米(nm) 长度单位，1纳米=10⁻⁹米=10⁻⁷厘米=10⁻³微米=10埃。纳米在逐渐替代埃作为量度电磁波波长的单位。

(cc) **光密度(O. D.)** 它是一个数，等于滤光片的衰减的、以10为底常用对数的负值。

(dd) **光泵浦激光器** 指其驱动能量来源于高强度光源(如氙闪光灯)一类的激光器。

(ee) **输出能量** 激光器发射的能量，这术语用于评价脉冲激光器。

(ff) **输出功率** 激光器每单位时间输出的能量，这术语用于评价连续激光器。

(gg) **物主** 指任何人用可移动激光器或在激光室内经商或进行其他活动，并依法对激光器有管理控制权，不管他是物主、租户、订约人或其他。

(hh) **人** 指下述一些：一个人，一个有限公司，一个合股人、一间商号或其他。

(ii) **功率密度** 单位面积的功率，常用单位是瓦每平方厘米(瓦·厘米⁻²)。

(jj) **脉冲激光器** 一种激光器以短脉冲的形式连发其能量。

(kk) **脉冲宽度** 脉冲激光器一次闪光的时间，单位用毫秒。1 毫秒 = 10^{-3} 秒，1 微秒 = 10^{-6} 秒，1 纳秒 = 10^{-9} 秒，1 皮秒 = 10^{-12} 秒。

(ll) **脉冲重复频率(P. R. F.)** 激光脉冲一再出现的频率，单位为每秒脉冲数，也叫脉冲再现频率。

(mm) **Q 开关或 Q 突变** 一种技术用于从脉冲激光器得到脉宽极短而峰值功率极高的脉冲。

(nn) **辐射照射量** 用于说明入射能量密度的术语。

(oo) **重复脉冲激光器** 一种连发脉冲输出的脉冲激光器。

(pp) 研究和研制 ①理论分析、探索或实验工作；或者②把科学和技术的理论和研究结果，扩展到实际应用于实验的、显示的和其他专门的目的，包括实验性的或有限的生产，以及检查和激光器应用有关的模型、设备、装置、材料和程序。

(qq) 半导体或结型激光器 一种激光器，其激射发生于半导体，如砷化镓。这类激光器往往要冷却到低温使之更有效地工作。

(rr) 必须 (shall) 它具有强制性的意义。

(ss) 屏蔽 为激光器、激光束和（或）靶专门制造的外壳。激光器屏蔽的典型材料是坚硬塑料、金属、不透光的陶瓷和不漏光布料。这术语常指辐射屏蔽、爆炸屏蔽或二者都屏蔽。

(tt) 镜式或有规则的反射 象镜子一样反射。

(uu) 鉴定 评价（由于任何激光器的制造、使用、检修或存在而出现的）激光危害。如果合适的话，可对激光室或可移动激光器作机械评价，并量度激光器输出和反射激光。

(vv) 学员 年满18岁的个人，正在接受正确和安全使用或操作激光器的训练。

(ww) 非镜制区 不控制人员进入的任何区域，其中包括住宅区（为了保护人员不受任何激光照射的目的）。

(xx) 瓦 功率的单位。

(yy) 瓦每平方厘米 每单位面积的功率，是功率密度和辐照度的单位。

50.5 雇主的责任：每一雇主或物主必须贯彻执行本法规（部）关于激光及其他有关危害的规定。雇主或物主不应容忍或许可任何个人，在没有配带本法规所要求的个人防护工

具时，曝露于（超过本法规表 2 和表 3 规定的最大许可水平的）激光或其他有关危害。

50.6 雇员的责任：每一雇员都必须正确使用为保护他而提供的防护设备，其个人行为也应符合本法规的条款。

50.7 低强度激光器需要批准：

（a）1973 年 1 月 1 日起，凡在本州使用或操作的低功率激光器，都应得到批准，只有用于研究和研制的例外。

（b）已批准的低强度激光器免除本法规 50.8 节所要求的注册，但它们的使用应符合本法规的其他条款。但只用于研究和研制的这类激光器要履行本法规 50.8 节所要求的注册，也应履行本法规其他有关条款。

50.8 激光室和可移动激光器的注册：所有激光室和可移动激光器，包括只用于研究和研制的低强度激光器，都必须向工业专员在他指定的时间内和规定的表格上注册。1972 年 8 月 1 日起，注册应先于激光器的接受或组装。在此日以前使用的激光室或可移动激光器应在此日之后 90 天内注册。

例外：激光室和可移动激光器只用已批准低强度激光器可免除本注册要求。

50.9 可移动激光器操作人员要求有合格证：

（a）一般 没有人可以操作，或者没有人或雇主可以指派他人操作可移动激光器，除非这个人持有工业专员按照本法规诸条款颁发的、有效合格证。

例外：(1) 持有本州营业执照的职业工程师或土地测绘人员。

(2) 只用可移动激光器于研究或研制的操作人员。

（b）合格证的级别 颁发给可移动激光器操作人员的合格证有下述两级：

(1) 甲级证书：甲级证书的持有人可操作任何高强度

或低强度可移动激光器。

(2) 乙级证书：乙级证书的持有人可操作任何低强度可移动激光器。

(c) **申请表格和照片** 凡申请合格证或换发新证的都要填写工业专员提供的表格。申请人在送表格时应附送个人照片，照片大小和张数由专员规定。这些照片应是上交前 30 天之内拍照的。

(d) **身体条件** 申请人必须没有不可控制的生理缺陷或疾病，如癫痫、心脏病或不能纠正的视觉或听觉缺陷，因这些可能降低他操作激光设备的能力。这一点将由工业专员检定。

(e) **年龄和要求的经验**

(1) 合格证申请人的年龄至少必须满 18 岁。

(2) 合格证的申请人至少应有一年的操作激光器的实践经验，这经验可通过学徒形式取得，即在本法规许可操作这类可移动激光器的人员的指点下或在其本人的直接监督下进行操作。这种经验应包括激光安全预防措施的知识，并得到专员的认可。专员可免除申请人应有一年实践经验这一要求，如果他能提出证明：他已成功地学完、专员满意的激光器操作人员的训练课程。

(f) **考试委员会**

(1) 专员应指派考试委员会，委员会至少应有三个成员。三成员中至少应有一个持有操作可移动激光器的有效甲级合格证。

(2) 考试委员会的成员是根据专员的意向进行工作的，他们的任务应包括：

(i) 考申请人，鉴定他们的资格，关于申请人的

经验和能力给专员提供建议。

(ii) 在拒发合格证引起上诉时举行听证会。

(iii) 在专员决定中止或吊销证书或拒绝再发证书之前举行听证会。

(iv) 把意见听取会调查的结论和建议送给专员。

(3) 专员可指定一个小组替代考试委员会进行考试和听取意见。每一个这样指定的小组中必须至少包括考试委员会的三个成员。

(4) 这种考试委员会或小组的行为和作法必须符合专员颁发的条例。

(g) 对考试的一般要求 专员要求必须对每一个合格证申请人进行一般合适的考试，也可能对换发新证申请人进行类似考试。

例外：专员可向申请人颁发合格证或换发新证而不必经过任何考试，如果

(1) 申请人在一所学院或大学合格地完成四年课程，其中包括学习激光器和激光安全预防措施，而专员对课程又是满意的；或者

(2) 申请人在 1973 年 2 月 1 日以前已提出申请合格证，并同申请书一道上交了证明书，证明他对激光器和激光安全预防措施有适当的经验，而专员又判断他满足了“为颁发可移动激光器操作人员的合格证所提出的”所有其他条件。

(h) 合格证的内容 专员颁发的每一张合格证都应包括可移动激光器合格操作人员的姓名和住址以及身体状况的简述，合格证应贴操作人员的照片以便检查。

(i) 合格证的有效期 合格证或换发新证从发证之日

起的有效期为三年，除非是专员中止、吊销或延长期限。

(j) **合格证的随身携带** 可移动激光器每一合格的操作人员，在使用或操作这种激光器时必须随身携带证书。在专员要看证书而拿不出的人，将据以证明是不合格的操作人员。

(k) **合格证的换发** 在合格证满期要求换新证时，不可在满期6个月之前向专员提出申请，也不可在满期前3个月之后，除非是专员改变了时限以防止可移动激光器合格操作人员吃过分的苦头。

(l) **关于合格证的中止、吊销、拒发或拒绝换发，听证会**

(1) 专员可能在通知有关团体之后或考试委员会听证之后，中止或吊销合格证，因发现可移动激光器合格操作人员，对于可移动激光器的操作并不合格，缺乏正确判断，也无力胜任；或由于其他更好的理由。

(2) 在专员决定不换发新证之前，专员应要求考试委员会举行关于换发新证申请的听证会，这种听证会的通告应发给每个有关当事人。

(3) 合格证的申请被专员拒发之后，当事人可书面请求专员由考试委员会举行听证会。此书面请求应在接到拒发通知30天内提出。

(4) 关于合格证的中止、吊销或拒发或拒绝换发而举行的意见听证会结束后三天内，考试委员会必须向专员提出它的建议。专员决定的书面通知包括理由应迅速送申请人或可移动激光器合格操作人员（视情况而定）以及出席过听证会的其他有关人员。

50.10 最大的许可照射量限：

(a) 无人管理激光器，其结果是使某人眼的角膜曝露于激光水平超过本法规表 1 列举的限度。

(b) 无人管理激光器，其结果是使某人皮肤曝露于激光水平超过本法规表 2 所列举的限度。

(c) 所有高强度激光器都应置于屏蔽的、联锁的机壳之内，或只许在激光区内操作，

例外：(1) 如果在预计工作前 48 小时，用专员所规定的表格，向他报告，则高强度激光器就不需要屏蔽的、联锁的机壳，也不限于在激光区操作。激光器安全员或他指定的代表，在激光器工作时，将总是在现场。

(2) 在修理或检修高强度激光器时，就不必通知专员。但没有屏蔽，又无联锁时操作激光器，激光安全员或他指定的人员就应在现场。这激光安全员或他指定的人员将保证采取适当预防措施以防止所有个人不受到有害激光的照射。

(d) 在扫描激光器工作于扫描模式时，应测量其光束的辐射照射量的值。条件是包含激光束的装置是那样设计和制造，使得激光器光束不能工作于非扫描模式。

50.11 激光安全员：任一激光室或可移动激光器的物主应指派一激光安全员，其任务是制定和执行与本法规符合的激光安全方案。高强度可移动激光器的 LSO 可以是这类激光器的合格操作人员。在指定地点有一个或几个低强度激光器，此时的 LSO 可以是可移动激光级合格操作人员（乙级）。当 LSO 不能亲自监督激光器安全工作时，他可以指派另一个人来监督，而那个人是 LSO 就合适的安全技术进行过精心指点和训练的。LSO 和他指定监督激光器安全工作的人员

满足本法规其他有关条款时也可操作激光设备。

50.12 人员的防护：

(a) **一般** 每个有激光器的人应指教或劝告每一个受雇于激光区或有权经常出入激光区的人有关下述几点：

(1) 该区内有激光器。

(2) 与使用激光器有关的潜在危害以及应采取的预防措施和程序，以把激光照射减到最小程度。

(3) 本法规为了防护个人曝露于激光而制定的相应条款。

(b) 人员的防护用具

(1) **已批准的安全眼罩** 根据本法规的要求，已批准的安全眼罩应由物主或雇主提供。戴眼罩的应是工作于或操作未屏蔽激光器的人员和有权经常出入激光区的人员，因为他们在激光器的使用条件下可能偶尔曝露于激光水平超过本法规所列举最大的许可照射量限。这种激光安全眼罩应满足下述技术规格：

(i) 这种已批准安全眼罩的光密度能够把透射到人眼角膜的激光水平降到本法规表 4 所列出的安全水平。

(ii) 安全眼罩的设计和试验应保证眼罩使用时仍具有保护特性。

(iii) 安全眼罩应清楚地标记镜片的光密度和测量光密度时的光波波长。

(iv) 对于在日常工作中需要戴眼镜的人，应给他提供防护眼的设备或者在设计上能够刚好套在其眼镜上的安全眼罩。

(2) **其他个人防护用具** 物主或雇主应提供防护手套、衣服和挡板。至于谁应该用防护用具则由 LSO 决定。

50.13 一般的预防措施:

(a) 当原激光束或其反射光束的强度超过本法规表 1 所列出的值时, 就不要在束内直视它们, 除非戴着符合本法规条款的已批准的护目设备。

(b) 只要有必要, 每一激光束就应该用无反射的阻燃材料使之终止。在有意用激光束射击目标时, 应预防由飞溅粒子可能引起的火灾。对于不可避免的反射, 应采取预防措施, 使散射到未控区的激光不超过本法规列出的限度。

(c) 在某些情况下, 激光器的工作条件会偶尔使激光辐射超过本法规规定的最大许可照射量限, 那就应在激光束预定光路两边、一定距离内撤退所有人员, 除非是依照本法规的条款给他们提供了适当的防护。

(d) 要特别小心用于某激光设备的已批准安全眼罩在波长上是否与该激光器发出的特定波长相匹配, 它是否提供了所要求的衰减。

(e) 曾经受到高强度激光器照射的已批准安全眼罩, 要检查有无裂痕以及衰减是否仍然有效, 只有得到肯定评价后, 才可再次使用。

(f) 凡是能把激光散射到未控区而水平又超过本法规所列出的限度的材料和物体统统都要从激光光路中搬走。

(g) 辐射能够超过本法规列出的最大许可照射量限的所有未屏蔽激光器, 在工作时, 都应罩起来或有效地终止其光束。

(h) 用于高强度激光器外壳的联锁装置, 不可同时用于开动激光器。

(i) 任何有一个或几个孔道大到能让人进入的封闭式激光室, 至少应该有一个很容易从里面用手打开的太平门。

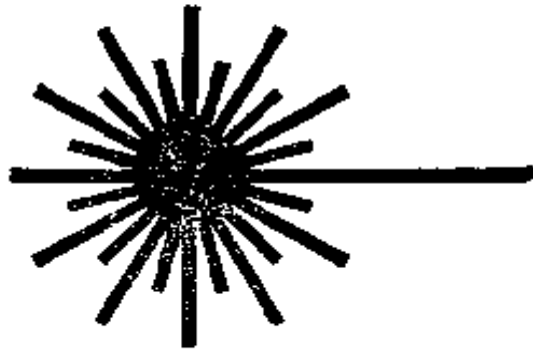
(j) 激光区的一般照明应是 $30 \text{ 流明} \cdot \text{英尺}^{-2}$ ，除非激光工作条件要求较低照明。

(k) 脉冲激光器的电子点燃系统的设计，应该预防储能电容器的意外放电。

(l) 如有必要，脉冲激光器应有“自动防止故障”的安全电路。

50.14 激光区的标记：

(a) **激光符号** 如下所示的激光符号应用于标记激光器或激光区。符号应用红色，背景用黄色或白色。



(b) **激光区** 除了下述例外，每一个有激光器的人，应该在每一激光区的入口和里面明显处悬挂用耐久材料制成的标牌，标牌应书刻“当心”或“危险”以及“激光区”字样，这些字应高一英寸，黑色。

例外：如果激光器在某处放置的时间不超过 8 小时，而 LSO 或其指派人员又时刻在现场，那么这区域就不必树立标牌，也不需要什么控制设备。但 LSO 或其指派人员必须采取一切必要的措施以阻止任何人接受的激光照射量水平超过本法规许可的相应限度以及阻止人们受到与激光器工作有关的其他因素的伤害。该区应受控于激光器的物主。

50.15 激光器的标记:

(a) 凡是本法规不予以豁免的激光器上都要有一个清晰可见的标记, 标记应包括下述资料:

- (1) 激光符号用红色。
- (2) “当心”或“危险”和“激光器”等字用黑色。
- (3) 激光器发射的波长或诸波长。
- (4) 激光器输出的最大功率密度或能量密度。
- (5) 激光在其最低级横模时的发散度。

(b) 上述诸资料应清晰地粘贴或蚀刻或永久标记在一块黄色或白色牌上。如可能, 数字和字母的高度不低于 3 毫米。

例外: (1) 如果由于激光器的大小和地位, 用上述规定标记一个个激光器是不实际的, 就可用另一标记方法。

- (2) 只用于研究和研制的激光器, 其标牌上不需要逐一写下波长、最大输出功率密度或能量密度或光束发散度, 因这些参数可能不知道或难于测得。但标牌上应有本节 a 分节 1 和 2 段所要求的激光符号和诸字样。

50.16 鉴定、检测仪表和财产清单:

(a) 鉴定 有注册激光器的每个人应进行或使之进行本节所要求的诸合适的鉴定, 以及他们为了履行本法规其他条款或根据专员的指示必须做一些补充的鉴定。这些鉴定应包括:

(1) 鉴定每一注册可移动激光器的输出功率密度或能量密度。鉴定应在初次使用之前通过测量或基于测量的计算作出。如果激光束通过光学系统, 这一鉴定应在激光束露出的光路中具有最大功率密度或能量密度之点进行。

(2) 在初次使用激光器之前，应检查激光器的所有防护设备，包括安全联锁，以肯定这些设备都处于良好的工作状态并且安装正确。

注意：对于 1972 年 8 月 1 日以前安装和操作的激光器，本节(a)分节(1)和(2)段所列举的鉴定，就不是在初次使用激光器之前完成，而是在该激光器注册之前进行。

(8) 至少每半年要检查一次在使用着的所有安全眼罩，以查明其光密度和滤片类型是否适合于在用的激光器，还要目检眼罩有无光缺陷。若发现有变质的或某方面有缺陷的眼罩，就应立即停止使用，如可能就修理，不然的话就扔掉。

(b) 检测仪表 为履行本法规的条款而进行的所有必要测量，此时用于监督下激光器的检测仪表应是专门设计和定标的。

(c) 财产清单 至少要每年清点一次任何激光室中的一切激光器和所有可移动激光器。这种清单应妥为保存，供专员随时检查。

50.17 激光器的预防措施和处理：

(a) 预防措施 对于未经许可使用激光器，每一激光器都必须有预防措施。

(b) 处理 谁也不许擅自处理高强度激光器，除非是使这种激光器处于长期不能开动的状态，或者把它转让给他人。接受转让这种激光器的人，若受辖于劳工法，就应按本法规第 50.8 节(a)分节的规定进行所要求的注册。接受人还应将注册证明给转让人看。

50.18 有关危害：除了防御激光之外，还应防御激光器工

作时可能出现的其他有关危害。这类有关危害包括下述一些，但不限于这一些。

(a) **气载污染物** 和任一激光器有关的汽化靶物质、有毒气体、蒸汽和烟雾可能出现于激光区。这类危险的气载污染物应根据工业法典中关于“控制气载污染物”的第12条法规和关于“抽空系统”的第18条法规的条款予以清除或控制。每一激光室都应维持适当的通风。

(b) **紫外线** 对于紫外线，应避免水平大于 0.5 微瓦·厘米²照射7小时或大于 0.1 微瓦·厘米⁻²的连续照射。因石英管易透射紫外线，在激光系统使用石英管时，就要采取特殊措施以防护个人不受紫外线的照射。

(c) **电危害** 任何激光器和其有关电系统都可能产生电危害，每一激光器(包括所有电设备)应这样设计、制造、安装和维护以尽可能减少电危害。

(d) **低温冷却剂** 应这样储存、处理和使用与激光器有关的低温冷却剂，以尽量减少这类冷却剂可能产生的任何危害。

(e) **火灾** 每一激光器和每一激光室应这样设计、制造、安装、操作和维护以尽量排除和减轻火灾。为此目的，还应清除激光区里所有不必要的物质。

(f) **爆炸危害** 激光器和有关设备可能产生爆炸，这种设备应有防爆屏蔽，以防护个人免受爆炸的伤害。

(g) **电离辐射** 一激光系统可能产生电离辐射，在这种情况下，这一系统在防御电离辐射方面就应符合于工业法典中关于“辐射防护”的第38条法规。

50.19 记录：每一个有注册激光器的人，都必须备有准确而完整的记录，以供专员随时检查。记录的内容包括下述三

项：

(a) 对激光器首次输出每一要求的核对结果以及对系统联锁的核对结果。

(b) 任何激光器的每一次转让、接受和处理记录。

(c) 年度财产清单、安全眼罩的检查结果以及按照本法规 50.16 节列出的关于“鉴定和检测仪器”的要求得到的设备测量的结果。

50.20 报告：

(a) **给专员报告** 凡有激光器的，当发生下述情况之一时，应立即向专员报告：

(1) 整台激光器被盗或遗失。

(2) 由于操作激光器或相应设备而使人员受伤。此外，在发生受伤的 7 天内，应给专员呈送书面报告。

(b) **给医生报告** 如果发生了曝露于激光的、要求报告的事故，与这次曝露有关的全部资料应提供给受照射人员所委托的任何医生。

50.21 检查和试验：

(a) 凡有激光器的应让专员在合适时间检查下述内容（除了下分节(c)中的例外），

(1) 激光器、激光区和激光室或这激光器所在、占据、储存或使用的房间。

(2) 根据本法规诸条款要求保管的那些记录。

(b) 凡有激光器的都应让专员在任何合适时间进行他认为必要的试验（除了下分节(c)中的例外）。这类试验，如果合适，应采纳激光安全员的忠告和协助。

(c) 若按照上述(a)和(b)分节进行的任何检查或试验可能危及国家安全，专员就不应进行检查或试验，而代之

以接受激光安全员就激光器的正确使用和有效的安全程序提出的声明和适当的报告。

50.22 可分开性：如果本法规的任何条款或其应用于任何个人或环境被认为是无效的，这种无效性不应该影响本法规其他条款或应用，即尽管有该失效条款或应用，其他照样有效。所以本法规的诸条款被认为是“可分开的”。

50.23 表：本附录所附的诸表被命名为：表 1：激光直射或镜式反射角膜时最大的许可照射量；表 2：激光照射皮肤时

表 1 激光直射或镜式反射角膜时最大的许可照射量 (a)

Q 开关, 脉宽 10^{-9} - 10^{-6} 秒, (焦耳·厘米 ⁻²)	非 Q 开关, 脉宽 10^{-6} - 10^{-1} 秒, (焦耳·厘米 ⁻²)	连续波或脉宽 >0.1 秒 (瓦·厘米 ⁻²)
1.0×10^{-7} (b)	1.0×10^{-6} (b)	1.0×10^{-5} (b)
1.0×10^{-8} (c)	1.0×10^{-2} (c)	1.0×10^{-2} (c)

(a) 本表所列的值是假定光束只受衍射限制并且是零级横模。在气体激光器中有高级横模而且发散度大于一毫弧度时，就应在实验基础上，增大本表所列的诸值。因为缺乏数据，对波长短于 400 纳米或脉宽为亚纳秒的激光照射角膜，没有明确提出最大的许可照射量(MPCE)，所以对于这些情况没有规定 MPCE 的值之前，不要让角膜暴露于这种激光。

(b) 适用工作于 400~1400 纳米波长的激光器。

(c) 适用工作于波长 >1400 纳米的激光器。

表 2 激光照射皮肤时最大的许可照射量*

脉冲型(Q 开关和非 Q 开关)能量密度 (焦耳·厘米 ⁻²)	连续型功率密度(瓦·厘米 ⁻²)
0.1	1.0

* 此表适用工作于可见、近红外、红外波长的激光器，对于波长短于 400 纳米激光照射皮肤，还没有提出许可照射量，所以在实验得到许可水平之先，应避免受到这类激光照射。

最大的许可照射量；表 3：未封闭激光器在未控区最大的许可输出密度（低强度激光器的发射限）；和表 4：激光安全眼罩的衰减。由此它们也是本法规的一部分。

表 3 未封闭激光器在未控区最大的许可输出密度（低强度激光器的发射限）

Q 开关, 脉宽 10^{-9} - 10^{-8} 秒, (焦耳·厘米 ⁻²)	非 Q 开关, 脉宽 10^{-6} - 10^{-1} 秒(焦耳·厘米 ⁻²)	连续波或脉宽 >0.1 秒 (瓦·厘米 ⁻²)
1.0×10^{-4}	1.0	3.0

表 4 激光安全眼罩的衰减*

光密度 (O.D.)	衰减** (db)	衰减 系数	推荐最大入射功率(或能量)密度		
			Q 开关 (焦耳·厘米 ⁻²)	非 Q 开关 (焦耳·厘米 ⁻²)	连续 (瓦·厘米 ⁻²)
1	10	10^1	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
2	20	10^2	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}
3	30	10^3	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
4	40	10^4	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
5	50	10^5	10^{-2}	10^{-1}	10^0
6	60	10^6	10^{-1}	10^0	10^1
7	70	10^7	10^0	10^1	—
8	80	10^8	10^1	10^2	—

* 由于安全眼罩材料的限制，眼罩不应曝露于能量大于400焦耳或功率大于10瓦的入射激光。

** db = 分贝，是用于表示强度比值的一种单位。分贝等于比值对数的10倍，如下式所示

$$n(\text{db}) = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

式中 P_1 和 P_2 分别代表输入功率(或能量)密度和输出功率(或能量)密度， n 代表分贝数。

附录丙

可接触激光的级别

在给激光定级时，最好是举例说明；继而援引 1040.10 (d) 节的要求（如可接触发射限）以及“激光器产品性能标准”中其他合适的要求。因此在本附录中包含如下的例 C-1。

在后续讨论中已作好准备考虑 1040.10(e)(1) 节所要求解决的不确定性（如确定产品是否符合要求的试验以及是否颁发证书的试验），以及考虑 1040.10(e)(3) 和 (4) 节所要求的孔径阑的试验条件（如确定是否合格的试验—参数的量度以及扫描激光参数的量度）。

例 C-1 多波长的连续辐射* 试考虑一台非扫描激光器连续发射多波长的激光束。所有辐射都均匀地分布在直径为 80 毫米的圆面内 (50.265 厘米^2)。各波长量得的辐射能量和水平是（不包括用 $3\sigma(95\%)$ 置信水平处表示的 $\pm 15\%$ 量度可几误差）：

波长(纳米)	辐射能量水平(焦耳)	辐射照射量水平 (焦耳·厘米 ⁻²)
10,600	$6.20 \times 10^{-4}t$	$1.23 \times 10^{-5}t$
1,100	$1.60 \times 10^{-4}t$	$3.18 \times 10^{-6}t$
750	$1.30 \times 10^{-5}t$	$2.59 \times 10^{-7}t$

第一步 一般情况。 激光器复合光束中的成分属于两个波段：

* 选自第 10 章参考文献 5。

- 波长大于 1,400 纳米，但小于或等于 13,000 纳米。
- 波长大于 700 纳米，但小于或等于 1,400 纳米。每一波长成分的级别必须分别考虑，同样地，每一包含两个或几个波长成分的波段也必须分别考虑。

第二步 考虑只包含 10600 纳米波长的波段。

A) 由第七章表 7-2A 得 $k_1 = 1.0$ 和 $k_2 = 1.0$ 。

B) 发射持续时间范围 (表 C-1 第 4 栏): 由第七章表 7-1A, 第一级激光器的可接触发射限, 就 $\lambda = 10600$ 纳米。查得要考虑的发射持续时间范围是:

$$1.0 \times 10^{-9} \text{秒} < t \leq 1.0 \times 10^{-7} \text{秒}$$

$$1.0 \times 10^{-7} \text{秒} < t \leq 10 \text{秒}$$

$$10 \text{秒} < t$$

C) 可接触发射限 (表 C-1 第 5 栏): 由第七章表 7-1A, 对于 $k_1 = k_2 = 1$ 和上述三段发射持续时间范围, 其相应的可接触发射限分别是:

$$7.9 \times 10^{-5} \text{ (焦耳)}$$

$$4.4 \times 10^{-3} t^{1/4} \text{ (焦耳)}$$

$$7.9 \times 10^{-4} t \text{ (焦耳)}$$

D) 可接触发射水平 (表 C-1 第 6 栏): 求可接触发射水平, 其值相对说来是最高的。

- 选择特定发射持续时间范围中最长的持续时间就可做到这一点: 即

$$1.0 \times 10^{-7} \text{秒}$$

$$10 \text{秒}$$

$$10 \text{秒} < t$$

将这些值填入表 C-1 第 8 栏 (发射持续时间)。

表 C-1 可 接 触 激

1	2	3	4	5	6
辐射 识别	级 别	波长 (纳米)	发射持续时间范围 (秒)	可接触发射限 (焦耳)	可接触发射 水 平 (焦耳)
例 1	—	750	$1.0 \times 10^{-9} < t$ $< 2.0 \times 10^{-5}$ $2.0 \times 10^{-5} < t \leq 10$ $10 < t < 198$ $198 < t < 1.0 \times 10^4$ $1.0 \times 10^4 < t$	2.5×10^{-7} $8.75 \times 10^{-4} t^{3/4}$ 4.88×10^{-8} $2.46 \times 10^{-5} t$ $2.46 \times 10^{-5} t$	2.60×10^{-10} 1.30×10^{-4} 2.57×10^{-8} $1.30 \times 10^{-5} t$ $1.30 \times 10^{-5} t$
	—	1,100	$1.0 \times 10^{-9} < t$ $< 2.0 \times 10^{-5}$ $2.0 \times 10^{-5} < t < 10$ $10 < t < 100$ $100 < t < 1.0 \times 10^4$ $1.0 \times 10^4 < t$	1.0×10^{-8} $3.5 \times 10^{-3} t^{3/4}$ 1.95×10^{-2} $1.95 \times 10^{-4} t$ $1.95 \times 10^{-4} t$	3.20×10^{-9} 1.60×10^{-3} 1.60×10^{-2} $1.60 \times 10^{-4} t$ $1.60 \times 10^{-4} t$
	—	10,600	$1.0 \times 10^{-9} < t$ $< 1.0 \times 10^{-7}$ $1.0 \times 10^{-7} < t < 10$ $10 < t$	7.9×10^{-5} $4.4 \times 10^{-3} t^{1/4}$ $7.9 \times 10^{-4} t$	$6.2 \times 10^{-11} t$ 6.2×10^{-9} $6.2 \times 10^{-4} t$
	三 乙	750 和 1,100 的组合			

由给定条件：辐射能量水平 = $6.20 \times 10^{-4} t$ (即可接触发射水平)

对于 $t = 1.0 \times 10^{-7}$ 秒，可接触发射水平 = 6.20×10^{-4}

$$(1.0 \times 10^{-7}) = 6.2 \times 10^{-11} \text{ 焦耳}$$

对于 $t = 10$ 秒 = $6.20 \times 10^{-4}(10) = 6.20 \times 10^{-3}$ 焦耳

光的参数

7	8	9	10	11	12	13
$E(\lambda, t)$ $E(N, \lambda, t)_{max}$	发射持续 时间(秒)	孔径 直径 (毫米)	测 量 仪 器	第 6 栏报道值的 估计误差和置信 水平(3 σ)(焦耳)	激光工 作“是、需 要” 否	激光“工 作”或“检 修”要 不要接 触
1.04×10^{-8}	2.0×10^{-5}	80	—	$\pm 0.39 \times 10^{-10}$	—	—
0.0264	10	80	—	$\pm 0.195 \times 10^{-4}$	—	—
0.527	198	80	—	$\pm 0.386 \times 10^{-8}$	—	—
0.528	$198 < t$ $< 1.0 \times 10^4$	80	—	$\pm 0.195 \times 10^{-5} t$	—	—
0.528	$1.0 \times 10^4 < t$	80	—	$\pm 0.195 \times 10^{-5} t$	—	—
0.0032	2.0×10^{-5}	80	—	$\pm 0.48 \times 10^{-9}$	—	—
3.081	10	80	—	$\pm 0.24 \times 10^{-8}$	—	—
0.820	100	80	—	$\pm 0.24 \times 10^{-2}$	—	—
0.820	$100 < t$ $< 1.0 \times 10^4$	80	—	$\pm 0.24 \times 10^{-4} t$	—	—
0.820	$1.0 \times 10^4 < t$	80	—	$\pm 0.24 \times 10^{-4} t$	—	—
7.8×10^{-7}	1.0×10^{-7}	80	—	$\pm 0.93 \times 10^{-11}$	—	—
0.79	10	80	—	$\pm 0.93 \times 10^{-8}$	—	—
0.79	$10 < t$	80	—	$\pm 0.93 \times 10^{-4} t$	—	—

对于 $t > 10$ 秒 $= 6.20 \times 10^{-4} t$ 焦耳

E) 相对的可接触发射水平 $[E(\lambda, t)/E(N, \lambda, t)_{max}]$
(表 C-1 第 7 栏); 由前述(C)和(D)项可求出比值。

$$\frac{6.2 \times 10^{-11} \text{ 焦耳}}{7.9 \times 10^{-5} \text{ 焦耳}} = 7.8 \times 10^{-7}$$

$$\frac{6.2 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}}{4.4 \times 10^{-3} \text{ t}^{1/4} \text{ 焦耳}} = \frac{1.41}{(10)^{1/4}} = \frac{1.41}{1.78} = 0.79$$

$$\frac{6.2 \times 10^{-4} \text{ 焦耳}}{7.9 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}} = 0.79$$

F) 第 6 栏报道值的估计误差 ($\pm 15\%$) 和置信水平(表 C-1 第 11 栏),

$$6.2 \times 10^{-11} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.93 \times 10^{-11} \text{ 焦耳} (3\sigma)$$

$$6.2 \times 10^{-3} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.93 \times 10^{-3} \text{ 焦耳} (3\sigma)$$

$$6.2 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.93 \times 10^{-3} \text{ t 焦耳} (3\sigma)$$

G) 相对的可接触发射水平 (考虑 15% 的估计误差):

$$\frac{(6.2 \times 10^{-11} \text{ 焦耳}) + (0.93 \times 10^{-11} \text{ 焦耳})}{7.9 \times 10^{-5} \text{ 焦耳}} = 9.0 \times 10^{-7}$$

$$\frac{(6.2 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}) + (0.93 \times 10^{-3} \text{ 焦耳})}{4.4 \times 10^{-3} \text{ t}^{1/4} \text{ 焦耳}} = 0.91$$

$$\frac{(6.2 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}) + (0.93 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳})}{7.9 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}} = 0.93$$

这说明 10,600 纳米的成分在考虑 15% 的可能误差时是相当接近第一级激光器的发射限的, 因可接触发射水平的相对值变成了 0.91。

H) 表 C-1 其他诸栏:

- 第 1 栏 (辐射标识): 例一
- 第 2 栏 (级别): 第一级激光器
- 第 3 栏 (波长): 10,600 纳米
- 第 9 栏 (孔径阑直径): 80 毫米
- 第 10 栏 (测量仪器): 划对开线 (-) 是做样子, 量度可接触激光实际并没有使用仪器。

- 第12栏(激光工作“是”“否”需要): 划对开线只是做样子, 因对激光器产品的预期工作是否要这样的激光水平很难说“是”或“否”。
- 第13栏(激光“工作”或“检修”时要不要接触): 划对开线也只是做样子, 因很难说产品“工作”时要不要接触激光或者只是“检修”产品时才需要接触。

第三步 考虑只包含 750 纳米波长的波段。

A) 由第七章表 7-2A 查得依赖于波长的 k_1 和 k_2

$$\begin{aligned} k_1 &= 10^{((\lambda - 700)/515)} \quad (\text{适用于所有 } t \text{ 值}) \\ &= 10^{((750 - 700)/515)} = 10^{0.097} \\ &= 1.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= 1.0, \text{ 当 } t \leq 10100/(\lambda - 699) \\ &\leq 10100/(750 - 699) \\ &\leq 198 \text{ 秒} \end{aligned}$$

此外

$$\begin{aligned} k_2 &= t(\lambda - 699)/10100, \quad \text{当 } 10100/(\lambda - 699) < t \leq 10^4 \\ &= t(750 - 699)/10100, \quad 10100/(750 - 699) < t \leq 10^4 \\ &= 0.00505t \quad 198 \text{ 秒} < t \leq 10^4 \text{ 秒} \end{aligned}$$

以及

$$\begin{aligned} k_2 &= (\lambda - 699)/1.01, \quad \text{当 } 10^4 < t \\ &= (750 - 699)/1.01 \\ &= 50.5 \quad \text{当 } 10^4 \text{ 秒} < t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{总之 } k_1 &= 1.25 \quad \text{适用于所有 } t \text{ 值} \\ k_2 &= 1.0 \quad \text{当 } t \leq 198 \text{ 秒} \\ k_2 &= 0.00505t \quad \text{当 } 198 \text{ 秒} < t \leq 10^4 \text{ 秒} \end{aligned}$$

$$k_2 = 50.5 \quad \text{当 } 10^4 \text{秒} < t$$

B) 发射持续时间范围 (表 C-1 第 4 栏): 由表 7-1A, 第一级激光器可接触发射限及上述 k_1 和 k_2 的值, 得出对于 $\lambda = 750$ 纳米, 应考虑的发发射持续时间范围是:

$$1.0 \times 10^{-9} \text{秒} < t \leq 2.0 \times 10^{-5} \text{秒}$$

$$2.0 \times 10^{-5} \text{秒} < t \leq 10 \text{秒}$$

$$10 \text{秒} < t \leq 198 \text{秒}$$

$$198 \text{秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{秒}$$

$$1.0 \times 10^4 \text{秒} < t$$

C) 可接触发射限 (表 C-1 第 5 栏): 由第七章表 7-1A, 对于下述发射持续时间范围, 代入相应的 k_1 和 k_2 的值, 得可接触发射限:

- 对于 $1.0 \times 10^{-9} \text{秒} < t \leq 2.0 \times 10^{-5} \text{秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 2.0 \times 10^{-7} k_1 k_2 \text{焦耳} \\ &= 2.0 \times 10^{-7} (1.25)(1) \text{焦耳} \\ &= 2.5 \times 10^{-7} \text{焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $2.0 \times 10^{-5} \text{秒} < t \leq 10 \text{秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 7.0 \times 10^{-4} k_1 k_2 t^{3/4} \text{焦耳} \\ &= 7.0 \times 10^{-4} (1.25)(1) t^{3/4} \text{焦耳} \\ &= 8.75 \times 10^{-4} t^{3/4} \text{焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $10 \text{秒} < t \leq 198 \text{秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-3} k_1 k_2 \text{焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-3} (1.25)(1) \text{焦耳} \end{aligned}$$

$$= 4.88 \times 10^{-8} \text{ 焦耳}$$

- 对于 $198 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$;

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-8} k_1 k_2 \text{ 焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-8} (1.25) (0.00505t) \text{ 焦耳} \\ &= 2.46 \times 10^{-5} t \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $1 \times 10^4 \text{ 秒} < t$;

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-7} k_1 k_2 t \text{ 焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-7} (1.25) (50.5) t \text{ 焦耳} \\ &= 2.46 \times 10^{-5} t \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

D) 可接触发射水平 (表 C-1 第 6 栏): 求可接触发射水平, 其值相对说来是最高值。

- 做到这一点的办法是, 选择特定持续时间范围中最长的时间, 即

$$2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒}$$

$$10 \text{ 秒}$$

$$198 \text{ 秒}$$

$$198 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$$

$$1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t$$

将这些值填入表 C-1 第 8 栏 (发射持续时间)。由给定条件: 辐射能量水平 = $1.3 \times 10^{-5} t$ 焦耳 (即可接触发射水平),

$$\begin{aligned} \text{对于 } t = 2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒, 可接触发射水平} &= (1.30 \times 10^{-5}) \cdot \\ &(2.0 \times 10^{-5}) = 2.6 \times 10^{-10} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

$$\text{对于 } t = 10 \text{ 秒, } \quad = 1.30 \times 10^{-5} (10) = 1.3 \times 10^{-4} \text{ 焦耳}$$

对于 $t = 198$ 秒, $= 1.30 \times 10^{-5}(198) = 2.57 \times 10^{-3}$ 焦耳

对于 $193 \text{ 秒} < t$ $= 1.30 \times 10^{-5}t$ 焦耳

$\leq 1.0 \times 10^4$ 秒,

对于 $1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t$, $= 1.30 \times 10^{-5}t$ 焦耳

E) 相对的可接触发射水平 $[E(\lambda, t)/E(N, \lambda, t)_{\max}]$
(表 C-1 第 7 栏), 由前述(C)和(D)项可求出比值。

$$\frac{2.6 \times 10^{-10} \text{ 焦耳}}{2.5 \times 10^{-7} \text{ 焦耳}} = 1.04 \times 10^{-3}$$

$$\frac{1.3 \times 10^{-4} \text{ 焦耳}}{8.75 \times 10^{-4} t^{3/4} \text{ 焦耳}} = \frac{1.3}{8.75(10)^{3/4}}$$
$$= \frac{1.49 \times 10^{-1}}{5.62} = 0.0264$$

$$\frac{2.57 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}}{4.88 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}} = 0.527$$

$$\frac{1.30 \times 10^{-5} t \text{ 焦耳}}{2.64 \times 10^{-5} t \text{ 焦耳}} = 0.528$$

$$\frac{1.30 \times 10^{-5} t \text{ 焦耳}}{2.64 \times 10^{-6} t \text{ 焦耳}} = 0.528$$

注意: 所有相对可接触水平又都小于 1, 所以波长为 750 纳米的激光成分, 其辐射水平都低于第一级激光器的可接触发射限。

F) 第 6 栏报道值的估计误差 ($\pm 15\%$) 和置信水平(表 C-1 第 11 栏):

$$2.60 \times 10^{-10} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.39 \times 10^{-10} \text{ 焦耳} (3\sigma)$$

$$1.30 \times 10^{-4} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.195 \times 10^{-4} \text{ 焦耳} (3\sigma)$$

$$2.57 \times 10^{-3} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.386 \times 10^{-3} \text{ 焦耳} (3\sigma)$$

$$1.30 \times 10^{-4} \text{t 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.195 \times 10^{-4} \text{t 焦耳} (3\sigma)$$

$$1.30 \times 10^{-5} \text{t 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.195 \times 10^{-5} \text{t 焦耳} (3\sigma)$$

G) 相对的可接触发射水平 (考虑 15% 估计误差):

$$\frac{(2.6 \times 10^{-10} \text{ 焦耳}) + (0.39 \times 10^{-10} \text{ 焦耳})}{2.5 \times 10^{-7} \text{ 焦耳}} = 1.195 \times 10^{-3}$$

$$\frac{(1.3 \times 10^{-4} \text{ 焦耳}) + (0.195 \times 10^{-4} \text{ 焦耳})}{8.75 \times 10^{-4} \text{t}^{3/4} \text{ 焦耳}}$$

$$= \frac{1.71 \times 10^{-4}}{(10)^{3/4}} = \frac{1.71 \times 10^{-4}}{5.62} = 0.0304$$

$$\frac{(2.57 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}) + (0.386 \times 10^{-3} \text{ 焦耳})}{4.88 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}} = 0.605$$

$$\frac{(1.30 \times 10^{-5} \text{t 焦耳}) + (0.195 \times 10^{-5} \text{t 焦耳})}{2.46 \times 10^{-5} \text{t 焦耳}} = 0.607$$

$$\frac{(1.30 \times 10^{-6} \text{t 焦耳}) + (0.195 \times 10^{-6} \text{t 焦耳})}{2.46 \times 10^{-6} \text{t 焦耳}} = 0.607$$

H) 表 C-1 其他诸栏: 第 1、2、9、10、12 和 13 栏和上述第二步(H)项中的一样。只是第 3 栏填 750 纳米。

第四步 考虑只包含 1,100 纳米波长的波段。

A) 由第七章表 7-2A 查得依赖于波长的 k_1 和 k_2

$$k_1 = 5.0 \quad \text{适用于所有的 } t \text{ 值}$$

$$k_2 = 1.0 \quad \text{当 } t \leq 100 \text{ 秒}$$

$$\text{此外 } k_2 = 0.01t \quad \text{当 } 100 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$$

$$\text{以及 } k_2 = 100 \quad \text{当 } t > 10^4 \text{ 秒}$$

B) 发射持续时间范围 (表 C-1 第 4 栏): 由第七章表 7-1A, 第一级激光器可接触发射限及上述 k_1 和 k_2 的值, 得出对于 1,100 纳米的波长, 应考虑的发

持续时间范围是：

$$1.0 \times 10^{-9} \text{ 秒} < t \leq 2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒}$$

$$2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒} < t \leq 10 \text{ 秒}$$

$$10 \text{ 秒} < t \leq 100 \text{ 秒}$$

$$100 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$$

$$1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t$$

C) 可接触发射限 (表 C-1 第 5 栏): 由第七章表 7-1A, 对于下述发射持续时间范围, 代入相应的 k_1 和 k_2 的值, 得可接触发射限:

- 对于 $1.0 \times 10^{-9} \text{ 秒} < t \leq 2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 2.0 \times 10^{-7} k_1 k_2 \text{ 焦耳} \\ &= 2.0 \times 10^{-7} (5.0)(1.0) \text{ 焦耳} \\ &= 1.0 \times 10^{-6} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒} < t \leq 10 \text{ 秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 7.0 \times 10^{-4} k_1 k_2 t^{3/4} \text{ 焦耳} \\ &= 7.0 \times 10^{-4} (5.0)(1.0) t^{3/4} \text{ 焦耳} \\ &= 3.5 \times 10^{-3} t^{3/4} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $10 \text{ 秒} < t \leq 100 \text{ 秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-3} k_1 k_2 \text{ 焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-3} (5.0)(1.0) \text{ 焦耳} \\ &= 1.95 \times 10^{-2} \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

- 对于 $100 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$:

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-3} k_1 k_2 \text{ 焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-3} (5.0)(0.01) \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

$$= 1.95 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}$$

- 对于 $1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t$;

$$\begin{aligned} \text{可接触发射限} &= 3.9 \times 10^{-7} k_1 k_2 t \text{ 焦耳} \\ &= 3.9 \times 10^{-7} (5.0)(100) t \text{ 焦耳} \\ &= 1.95 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

D) 可接触发射水平 (表 C-1 第 6 栏), 求可接触发射水平, 其值相对来说是最高的。

- 做到这一点的办法是, 选择特定持续时间范围中最长的时间, 即

$$\begin{aligned} &2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒} \\ &10 \text{ 秒} \\ &100 \text{ 秒} \\ &100 \text{ 秒} < t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒} \\ &1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t \end{aligned}$$

将这些值填入表 C-1 第 8 栏 (发射持续时间)。由给定条件: 辐射能量水平 = $1.60 \times 10^{-4} t$ 焦耳 (即可接触发射水平),

对于 $t = 2.0 \times 10^{-5} \text{ 秒}$, 可接触发射水平 = 1.60×10^{-4}
 $(2.0 \times 10^{-5}) = 3.2 \times 10^{-9} \text{ 焦耳}$

对于 $t = 10 \text{ 秒}$,
 $= 1.60 \times 10^{-4}(10)$
 $= 1.6 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}$

对于 $t = 100 \text{ 秒}$,
 $= 1.60 \times 10^{-4}(100)$
 $= 1.6 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}$

对于 100 秒
 $< t \leq 1.0 \times 10^4 \text{ 秒}$ $= 1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}$

对于 $1.0 \times 10^4 \text{ 秒} < t = 1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}$

E) 相对的可接触发射水平 $[E(\lambda, t)/E(N, \lambda, t)_{max}]$
(表 C-1 第 7 栏); 由前述(C)和(D)项可求出比值

$$\frac{3.2 \times 10^{-9} \text{ 焦耳}}{1.0 \times 10^{-6} \text{ 焦耳}} = 3.2 \times 10^{-3} = 0.0032$$

$$\frac{1.6 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}}{3.5 \times 10^{-3} t^{3/4} \text{ 焦耳}} = \frac{1.6}{3.5(10)^{3/4}}$$

$$= \frac{1.6}{3.5 \times 5.62} = 0.081$$

$$\frac{1.6 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}}{1.95 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}} = 0.820$$

$$\frac{1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}}{1.95 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}} = 0.820$$

$$\frac{1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}}{1.95 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}} = 0.820$$

F) 第 6 栏报道值的估计误差 ($\pm 15\%$) 和置信水平(表 C-1 第 11 栏);

$$3.2 \times 10^{-9} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.48 \times 10^{-9} \text{ 焦耳}(3\sigma)$$

$$1.6 \times 10^{-3} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.24 \times 10^{-3} \text{ 焦耳}(3\sigma)$$

$$1.6 \times 10^{-2} \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.24 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}(3\sigma)$$

$$1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.24 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}(3\sigma)$$

$$1.6 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳} \times (\pm 15\%) = \pm 0.24 \times 10^{-4} t \text{ 焦耳}(3\sigma)$$

G) 相对的可接触发射水平 (考虑 15% 估计误差)

$$\frac{(3.2 \times 10^{-9} \text{ 焦耳}) + (0.48 \times 10^{-9} \text{ 焦耳})}{1.0 \times 10^{-6} \text{ 焦耳}} = 0.00368$$

$$\frac{(1.6 \times 10^{-8} \text{ 焦耳}) + (0.24 \times 10^{-8} \text{ 焦耳})}{3.5 \times 10^3 \text{ L}^{3/4} \text{ 焦耳}}$$

$$= \frac{1.84}{3.5 \times 5.65} = 0.0935$$

$$\frac{(1.6 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}) + (0.24 \times 10^{-2} \text{ 焦耳})}{1.95 \times 10^{-2} \text{ 焦耳}} = 0.944$$

$$\frac{(1.6 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}) + (0.24 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳})}{1.95 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}} = 0.944$$

$$\frac{(1.6 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}) + (0.24 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳})}{1.95 \times 10^{-4} \text{ t 焦耳}} = 0.944$$

这说明 1100 纳米波长的相对可接触发射水平非常接近 1 (0.944)。但即或把可能误差计算进去，它仍是第一级的水平。

H) 表 C-1 其他诸栏：第 1、2、9、10、12 和 13 栏和前述第二步中 (H) 项中的一样，只是第 3 栏填入 1,100 纳米。

第五步 考虑同一波段 (400~1,400 纳米) 中的多波长 (750 纳米和 1,100 纳米)。

- 当持续照射时间长于 198 秒时，750 纳米波长的发射水平相对第一级激光器可接触发射限的最大比值为 0.528，1,100 纳米波长的是 0.820。把估计误差也加进去，则 750 纳米波长的是 0.607 和 1,100 纳米波长的是 0.944。
- 就每一波长成分单个来说，它们属每一级水平，但两比值之和是

$$\text{-不考虑测量误差: } 0.528 + 0.820 = 1.345$$

-考虑测量误差： $0.607 + 0.944 = 1.551$

所以复合辐射大于第一级水平。

- 因为比值的和大于 1，就有必要检查在 $400 \text{ 纳米} < \lambda \leq 1,400 \text{ 纳米}$ 波段的这两波长成分的辐射水平相对第三(乙)级激光器可接触发射限的比值，以保证辐射水平不是第四级。但由于这波段的最大可接触水平相对第一级限度的比值只是 1.551，而第三(乙)级的发射限比第一级的大好几个数量级，所以可不必计算。
- 总之，从例 1 提出的诸参数，由于 750 纳米和 1,100 纳米的联合性能，这辐射查明是第三(乙)级水平。