

文章编号: 1001-3806(2005)04-0392-03

激光劝阻器技术的研究与设计

张 鹏¹, 牛燕雄^{1,2*}, 王秀生¹, 武东生¹

(1. 军械工程学院 光学与电子工程系, 石家庄 050003; 2. 天津大学 精密仪器及光电子工程学院 激光与光电子研究所 教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

摘要: 根据激光辐照对人眼的威胁机理和损伤阈值, 提出了一种激光劝阻器的技术指标和总体设计方案, 研究了各部件的组成和安排, 并通过计算机对激光劝阻器的结构参数进行了分析和计算。所得结果对于最终设计具有实用价值的装备有一定的参考意义。

关键词: 激光; 激光劝阻器; 设计研究; 激光威胁

中图分类号: TJ95 **文献标识码:** A

Investigation and design of laser dissuader

ZHANG Peng¹, NIU Yan-xiong^{1,2}, WANG Xiu-sheng¹, WU Dong-sheng¹

(1. Department of Optics & Electron Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Optoelectronic Information Science and Technology Laboratory, Institute of Laser and Optoelectronics, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the threat mechanism and damage threshold of laser to human eyes, a design project and the qualification of a laser dissuader were put forward; its ingredients and arrangement were studied respectively; and the parameters of the dissuader were analyzed by computer and given at last. This investigation is useful for producing practical equipments in the future.

Key words: laser; laser dissuader; design; laser threat

引 言

激光劝阻器是一种非致命武器, 通过利用一定功率的激光辐照人眼, 在不造成对方眼睛永久性伤害的情况下, 致使对方不能观察, 从而达到阻止对方前进或使其失去攻击能力的目的。激光劝阻器的重量、尺寸类似于标准警用手电筒, 利用电池供电, 具有性能可靠、操作和携带方便等特点。

作者在分析激光对人眼威胁机理的基础上, 提出了激光劝阻器的战术技术指标, 并对激光劝阻器的总体结构和具体光路的设计进行了分析, 给出了相应的数值曲线, 研究确定了激光劝阻器的输出功率。

1 激光对人眼的威胁

1.1 激光对人眼的损伤机理

不同功率的激光辐照可造成眼睛不同程度的损伤, 不同波长的激光可造成眼睛不同部位的伤害。一定剂量内, 可见光和近红外波段的激光主要破坏视网

膜, 尤其是 532 nm 的绿光, 由于接近人眼有效吸收率的峰值位置, 因而极易造成人眼的损伤; 紫外光和红外光主要被角膜吸收而引起损伤。视网膜是眼睛最关键但也是最脆弱的部位, 可见光波段与近红外波段都可以通过屈光介质到达视网膜, 而且视网膜又处在角膜的焦点位置, 因而很容易吸收光能而被灼伤, 造成人眼视力的下降, 甚至出现暂时性或永久性失明^[1,2]。

激光对人眼的威胁机理主要包括热作用、光压作用、光化学反应和电磁场作用等^[3]。

(1) 热作用。有机组织吸收光能后热量增加, 局部瞬间温升可以超过损伤阈值, 组织蛋白被破坏, 有灼伤、炭化和汽化等现象发生。

(2) 光压作用。光作用于组织表面, 可以产生直接或间接的压力作用。包括光子动量产生的一次压力、组织气化导致的气流反冲压、内部汽化压力、热膨胀超声压、等离子体压力等。

(3) 光化学反应。光作用能使生物分子发生多种化学反应, 如光分解、光氧化、光敏反应等, 导致有机组织的光化学变性。

(4) 电磁场作用。强激光产生的电磁场能引起生物组织分子产生电致伸缩、电击穿、电离等破坏作用。

作者简介: 张 鹏 (1978-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电对抗和强激光防护技术的研究和应用。

* 通讯联系人。E-mail: td2002niu@sina.com

收稿日期: 2004-04-27

1.2 人眼的激光损伤阈值

激光损伤阈值的定义为:某种波长的激光照射眼睛 24h 后,用检眼镜观察视网膜(或裂隙灯显微镜观察角膜)出现最轻损伤,其 50% 发生率时的角膜照射量为视网膜损伤阈值(或角膜损伤阈值)^[4]。

本文中的计算采用国家标准 GB 7247-1995 的图 10b 以及国军标 GJB 470A-1997 的数据^[2,5]。对于连续激光的定义为持续时间 $\geq 0.25\text{s}$,并按照发散光束的眼照射限值情况,取可见波段激光在照射时间 2s 的损伤阈值近似为 $15\text{W}/\text{m}^2$ 。同时还要考虑到 532nm 激光的人眼有效透过率是 650nm 的约 1.1 倍^[1],因而最终确定 532nm 激光的眼照射限值为 $13.6\text{W}/\text{m}^2$ 。另外,由于人眼瞳孔直径白天一般为 2mm,到了晚上后可增大到 8mm,面积增大到原来 16 倍左右,激光损伤阈值应相应减少到原来的 1/16。

2 激光劝阻器的设计研究

2.1 激光劝阻器的战术技术指标

激光劝阻器的主要战、技术指标为:(1)重量 $\leq 2.5\text{kg}$,长度 $\leq 40\text{cm}$;(2)激光波长为 532nm(或 650nm);(3)激光器出射发散角为 2mrad;(4)工作方式为连续;(5)光斑直径在 50m 处 0.15m~1.8m 连续可调;(6)白天有效距离 50m,夜晚为 480m。

2.2 激光劝阻器的设计

2.2.1 整体设计 根据设计指标,劝阻器的整体结构设计方案见图 1。由发射装置 1 发射的激光经调节机构 2 和透镜组 3 的调整扩束后,照射对方的眼睛。

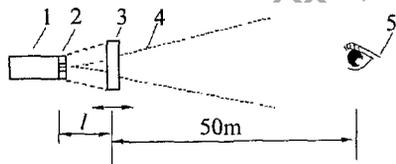


Fig 1 Schematic of the laser dissuader

1—laser emitting device 2—controller 3—set of lens 4—laser beam
5—human eyes

2.2.2 具体光路研究 由于设计要求为便携式劝阻器,器件体积不能太大。随着半导体固体激光器的发展和逐渐成熟,激光器的体积可以做得很小,而功率可以达到 1kW,而且固体激光器的安全性和耐用性好,不存在漏气或漏液的问题。所以,劝阻器的激光器可采用全固态半导体激光器。

要实现激光光斑直径的连续可调,必须增加额外的调节装置。考虑到激光束的发散性,要实现激光光斑的调节,只要调节激光的发散角即可。直观上考虑,只要在系统中引入一个发散装置,通过连续可调地增大激光的发散角,即可达到设计要求。由于在系统中加入任何的附加装置,都将降低激光的输出功率,同时

还会引入附加的光学偏差,同时使系统的结构变得复杂,可靠性、耐用性、可维修性都会降低,因此,这个发散装置应尽量简单。

由透镜的基本原理,实现光束发散最简单的装置就是一个凹透镜或凸透镜(见图 2a)。可以证明,在忽略像距对光程影响的情况下,单一凸透镜或凹透镜的效果是相同的。下面就讨论只有一个凹透镜的情形。

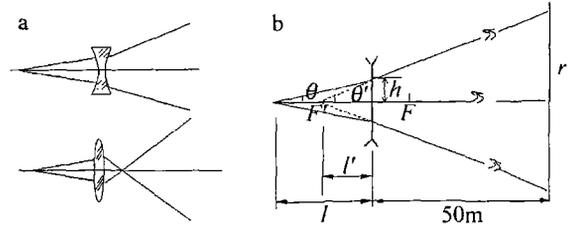


Fig 2 An adjusting project with single lens

由图 2b 中的几何关系:

$$h = l \cdot \tan\theta = l' \cdot \tan\theta' \quad (1)$$

以及高斯公式:

$$\frac{f'}{l'} + \frac{f}{l} = 1 \quad (2)$$

可得:

$$\frac{l}{f'} = \frac{r}{50 \tan\theta} - 1 \quad (3)$$

由上式可以看出, r 与物距成正比,与透镜焦距成反比。取激光半发散角 $\theta = 1\text{mrad}$, $r = 0.075\text{m} \sim 0.9\text{m}$,代入上式,可得激光器到透镜的距离与透镜焦距的关系,见图 3。

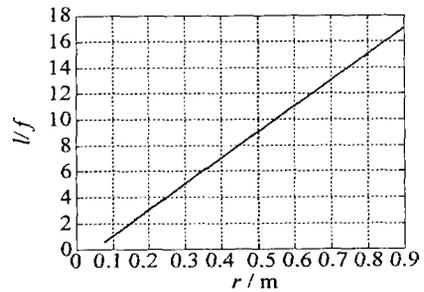


Fig 3 The curve of objective distance versus focus length as a function of beam-radius

由图 3 可以看出,要实现光斑直径的连续可调,必须设法增加物距和减小透镜焦距。由于体积上的限制,直接增加物距是不行的,而透镜的焦距太小将导致加工与组装的困难。对于增大物距,可利用直角棱镜的多次反射来实现(见图 4a);对于减小焦距,可以应用组合透镜(见图 4b)。

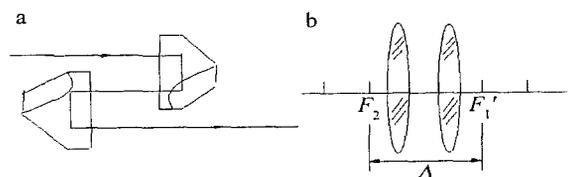


Fig 4 Schematic of the ameliorated design

根据组合系统焦距公式: $f' = -f_1 f_2' / \Delta \quad (4)$

Δ 为以 F_1 为起点计算到 F_2 的距离,由左向右为正。由图 4b可以看出,只要第 2个透镜放在第 1个透镜的焦距内,就可使 Δ 值大于任意透镜的焦距,从而使组合系统的焦距值缩小。

该方案中,激光发散角的选择是根据丰源激光产业公司的激光器技术参数确定的,显然,如果所取的激光器发散角较大,则更易实现上述光斑的调整。采用上述装置后,通过一种旋转传动机构,连续改变两个直角棱镜的位置和相对距离,即可调节光斑的直径;同时通过推导传动关系式,可以以标尺的形式较精确地控制光斑直径。

2.2.3 激光功率的确定 在激光器功率的选择上,应该保证不会造成被照射者眼睛的硬损伤,因而照射极限(MPE)的选择必须谨慎。激光在大气传输中是逐渐衰减的,设激光发散角为 ϕ 、出射功率为 P 、出射光束直径为 a 的高斯光束传输距离 z 后,其平均辐照度为^[5] (其中, μ 为特定波长在一定天气状况下的大气衰减系数):

$$E = \frac{1.27P \cdot e^{-\mu z}}{(a + z\phi)^2} \quad (5)$$

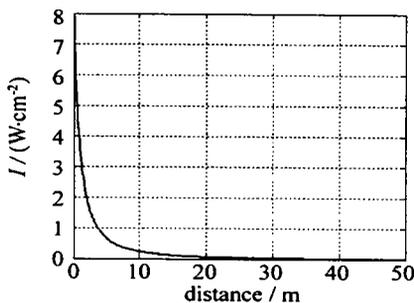


Fig 5 Laser irradiation as a function of distance (wavelength = 532nm, $P = 1W$)

图 5为发散角 2mrad,波长 532nm 的激光传输 50m 距离的平均辐照度曲线。大气衰减系数取介于晴天和标准天气之间的天气状况,532nm 与 650nm 的大气衰减系数分别近似为 $2.2 \times 10^{-6} / \text{cm}$ 和 $1.8 \times 10^{-6} / \text{cm}$ ^[5]。

由图中可见,如果 50m 距离上正好达到照射极限,则在较近距离上必然会超过照射极限数十倍。同时,由于要求光斑直径可调,因而直径在 0.15m 时的平均光照度比 1.8m 时大 144 倍。因此,考虑到实际应用的距离一般会小于 50m,而且照射一群目标可以通过扫射的方式,以及空气质量的影响因素等,本方案确定劝阻器在 50m,直径 0.15m 时平均辐照度应为眼照射极限的 20%。如对于警用装备,应该选择更小。

根据上述的条件,在(5)式中直接用光斑的直径来计算,并设劝阻器各调节机构的透过率为 90%,可得 532nm 与 650nm 的情况下,激光器的功率分别应取 54mW 和 60mW。

上述的计算值是指白天一般使用的情况,如果夜间使用或对方带有观察辅助设备,如望远镜、微光夜视镜等,应当附加一个衰减片。

3 结论

讨论了激光劝阻器功能的简单实现,实际研究中还需考虑隐蔽、携带、天气影响等诸多因素。激光劝阻器照射到对方的眼睛上,会使其视线模糊,或失去方向感,难以逃跑或反抗,为使用人员控制局面、制服对手提供了时间。而且其体积小,使用方便,从而增加了突然性和成功率。可以想见,研究具有实际应用价值的激光劝阻器对于军事战术的实施、司法部门的执法辅助以及反恐怖行动等都是十分有意义的。

参考文献

- [1] 阎吉祥. 激光武器 [M]. 北京:国防工业出版社,1996. 223~232.
- [2] GB 7247-1995,激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南 [S].
- [3] 孙承伟. 激光辐照效应 [M]. 北京:国防工业出版社,2002. 436~462.
- [4] GJB 1099-1991,激光安全防护术语 [S].
- [5] GJB 470A-1997,军用激光器危害的控制和防护 [S].

(上接第 363 页)

- [5] BIRD D M, ARMSTRONG J R, KASHYAP R M A *et al* Narrow line semiconductor laser using fiber rating [J]. Electron Lett, 1991, 27 (13): 1115~1116.
- [6] MORTON PA, MIZRAHIV, KOSNSKIS G *et al* Hybrid soliton pulse source with fiber external cavity and Bragg reflector [J]. Electron Lett, 1992, 28 (6): 561~562.

- [7] RIZVIN H, GOWER M C, GOODALL F C *et al* Excimer laserwriting of submicrometre period fibre Bragg gratings using phase-shifting mask projection [J]. Electron Lett, 1995, 31 (11): 901~902.
- [8] 彭江德. 光电子技术基础 [M]. 北京:清华大学出版社,1988. 306~313.
- [9] 夏光琼,吴正茂,陈建国. 光纤光栅的长度对其峰值反射率的影响 [J]. 激光技术,2002,26(2): 106~107.