

文章编号:1001-5078(2003)06-0425-03

小型 LD 脉冲激光测距仪的人眼安全控制

郭宁^{1,2}, 庄松林^{1,2}, 张在宣¹, 王剑峰¹

(1. 中国计量学院信息工程系光电子研究所, 浙江 杭州 310034; 2. 上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093)

摘要:小型脉冲半导体激光测距仪使用的激光波长处于非人眼安全的波段如 905nm, 要保证测距仪的辐射安全性必须控制激光发射参数。在设计高精度远距离半导体激光测距仪的过程中, 必须提高激光发射功率和频率。本文讨论了在设计过程中, 满足激光辐射安全国标的最佳激光发射参数。

关键词:半导体激光器; 测距仪; 辐射安全

中图分类号:P225.2 **文献标识码:**A

Best Control of Eye-safe LD Pulse Rangefinder at 905 nm

GUO Ning^{1,2}, ZHUANG Song-lin^{1,2}, ZHANG Zai-xuan¹, WANG Jian-feng¹

(1. Institute of Optoelectronics Technology, China Institute of Metrology, Hangzhou 310034, China; 2. College of Optics and Electronics Engineer, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The laser band (905nm) of the mini LD pulse Rangefinder is not eye safe. To design a new type of long distance and high accurate LD rangefinder, we calculated the limit frequency and power of LD based on GB7247-1995 (Radiation Safety Standard of Laser Products). By controlling laser energy properly, this type of mini LD pulse rangefinder is safe, also cheap and effective.

Key words: LD laser; rangefinder; eye-safe

1 引言^[1,2]

近几年小型脉冲半导体激光测距仪发展迅速, 在交通、测量、娱乐等方面使用越来越广泛。与其它类型激光器的测距仪相比, 半导体激光测距仪具有结构简单, 可靠性好, 脉冲重复率高等特点。

由于大多数小型激光测距仪用的波长是 905nm 的半导体激光器, 虽然输出能量相比于其它激光器而言较小, 但其激光束对人眼还是有一定危害的。

人眼对不同波长的光辐射具有不同的透过率与吸收特性, 图 1^[1] 是其光谱透射率、吸收率曲线。可见在 0.4 ~ 1.4 μm 波段, 晶体、玻璃体透过率较高, 其两侧的波段很少能透过。眼睛的光介质有很强的聚焦作用, 将入射光束汇聚成很小的光斑, 从而使视网膜单位面积内接受的光能, 比入射到角膜的光能

提高 10^5 倍。

一种对人眼安全的激光测距方法是将激光的波长移到人眼安全的波段, 主要是红外 1.5 μm 附近, 这个波段对人眼的安全性最高, 但不论是利用喇曼频移、钼激光器、1.5 μm 半导体激光器或半导体泵浦的激光器等, 都比较复杂昂贵, 不适于小型手持测距仪。

我们设计的激光测距仪, 是通过控制测距仪的激光输出参数, 使得在提高测距能力和测量精度的同时对人眼安全。

作者简介: 郭宁(1970-), 男, 工程师, 在读博士生, 研究方向为光电子技术, 光纤传感器技术, 光通信技术等

收稿日期: 2003-05-22

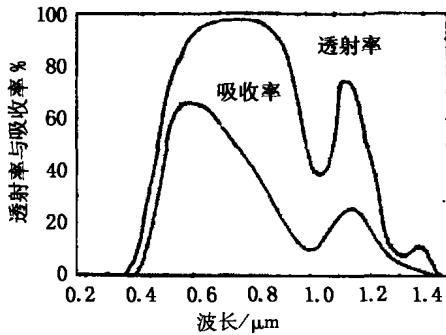


图 1 人眼透射率和视网膜吸收率与人射波长函数

2 测距仪的测距方程^[3]

激光测距是一种典型的光子雷达系统,根据光时域反射技术,考虑到大气衰减、光学系统透过率和目标的反射特性,其测距方程为:

$$N_R = N_E \tau_T \tau_R \cdot 10^{-2\mu L} \rho \cdot \cos\phi (D^2/L^2) \quad (1)$$

式中, N_E, N_R 分别为激光测距仪中 LD 每个激光脉冲发射的光子数与接收的光子数; τ_T, τ_R 分别为激光测距仪发射物镜和接收物镜的透过率; μ, ρ 为大气的衰减系数和目标反射率; D, L 分别为物镜通光孔径和目标距离。

从测距方程得出,在设计新型测距仪的过程中,为提高测量距离及测量精度,可以提高半导体激光器发射的光子数,但同时激光能量对人眼的危害也在增加。对于小型测距仪的大多数应用场合,其安全性受到关注。

3 脉冲半导体的激光安全标准^[4]

按国标 GB7247-1995《激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南》,对激光危害的分类为四类,等级越高,激光的辐射危害性越大,其最安全的安全标准为 I 类激光器 - 固有安全,即任何情况下不会超过最大允许照射量 (AEL) 或工程设计保证安全。在 700 ~ 1050nm 波长范围内有两组 AEL (辐射功率或辐射能量) 界限,至少符合其中的一组,就可划为固有安全,如下表:

表 1 I 类激光产品的可达发射极限

发射时间	< 10 ⁻⁹ ns	< 10 ⁻⁹ ~ < 10 ⁻⁷ ns
700 ~ 1050nm	200 C ₄ W 10 ¹¹ C ₄ W · m ⁻² · sr ⁻¹	2 × 10 ⁻⁷ C ₄ J 3.9 × 10 ⁴ t ^{0.75} C ₄ J · m ⁻² · sr ⁻¹

其中 $C_4 = 10^{(\lambda-700)/500}$ 是波长修正系数。

半导体激光器发射的激光通过测距仪的光学系统聚焦后射出,因此到达人眼的激光能量与测距仪的光学系统也有关系。我们以最大允许照射量 (MPE) 来衡量是否安全,其值以现有的实验研究为

基础,低于已知的危害水平,如表 2。

表 2 激光辐射直接照射眼睛的最大允许照射量 (MPE)

发射时间	< 10 ⁻⁹ ns	< 10 ⁻⁹ ~ < 10 ⁻⁷ ns	10 ~ 10 ³ ns
700 ~ 1050nm	5 × C ₄ W · m ⁻²	5 × 10 ⁻³ C ₄ J · m ⁻²	3.2 × C ₄ W · m ⁻²

对于我们设计的脉冲测距仪,光源是脉冲半导体激光器,确定重复照射的最大允许照射量 (MPE) 时,要利用限制性最强的要求,具体如下:

- a. 脉冲列中任一单脉冲的照射量不应超过单脉冲的 MPE;
- b. 持续时间为 t 的脉冲列的平均辐照度不能超过表 1 脉宽为 t 的单脉冲 MPE;
- c. 脉冲列中任一单个脉冲的照射量不得超过单脉冲的 MPE 值与照射时间内所预期的脉冲总数 N 之负 1/4 幂的积。

$$MPE_L = MPE_D \times N^{-1/4} \quad (3)$$

MPE_L ——脉冲列中任一单脉冲的照射量;

MPE_D ——单脉冲的 MPA

N——照射时间内所预期的脉冲总数。

对应的另一个实用参数为标称眼危害距离 (NOHD),即在理想条件下其辐照度或辐射量在相应的 MPE 之下的距离,表示为 r (忽略大气衰减、光学系统衰减等)。

$$E = \frac{4P_0}{\pi(\alpha + r\phi)^2} \quad (4)$$

P_0 ——是脉冲激光器的平均辐射功率 (W);

α ——是发射激光束的直径 (m);

r——从激光器到观察者的距离 (m);

ϕ ——发射光束发散度 (rad)

这是假定激光为高斯光束,对于多模激光束的激光系统 P_0 要增加 2.5 倍,因此:

$$NOHD = \frac{\sqrt{(4P_0 \times 2.5 / \pi MPE)} - \alpha}{\phi} \quad (5)$$

要使测距仪安全,则标称眼危害距离应等于零,则:

$$\sqrt{(4P_0 \times 2.5 / \pi MPE)} - \alpha = 0 \quad (6)$$

4 极限发射参数计算

小型手持半导体激光测距仪采用的是 905 nm 的红外激光,是不可见的。因此对目标进行瞄准测距时要加辅助观察瞄准系统,主要有两种方式:望远镜瞄准和可见激光指示瞄准。

4.1 望远镜瞄准系统

望远镜瞄准是通过望远镜里的分划板确定目标位置,其观察距离较远。此时最大允许照射量就是半导体激光器通过测距仪光学系统的最大允许照射量。图 2 是望远镜瞄准和激光指示瞄准两种类型测距仪的简图。

在设计的测距仪中,半导体激光通过发射物镜准直后射出,激光发射物镜直径为 25mm,同时设人的瞳孔最大直径约为 7mm。因测距仪的测量速度很快,设 10 s 作为测量的最长时间,忽略光束的发射、光学系统和空气的衰减等因素。



图 2 望远镜型和激光指示型测距仪简图

半导体激光器选用 EG&G 的 PGEW,其波长为 905 nm,脉冲功率为 20W,脉冲宽度为 10ns。因为小型测距仪利用了多脉冲重复测量等技术,发射的激光是重复脉冲,因此首先要估计进入眼睛的单脉冲辐射,其次为多脉冲照射的叠加和平均效应。

由表 2 激光器的规范为 $700\text{nm} < \lambda < 1050\text{nm}$,其脉宽为 10ns,这种辐射的单脉冲 MPE 为 $5 \times 10^{-3} C_4 J \cdot m^{-2}$,此时的 $C_4 = 10^{(905-700)/500} = 2.57$ 。这种辐射的单脉冲 MPE 为:

$$MPE_D = 5 \times 2.57 \times 10^{-3} = 1.3 \times 10^{-2} J \cdot m^{-2} \quad (7)$$

又由于是多脉冲激光束,相应的 MPE 要降低。假设最高的重复频率为 f ,总脉冲数为 $t \times f$,则修正系数为 $(10 \times f)^{-1/4}$,缩小的单脉冲 MPE 为:

$$MPE_L = MPE_D \times (10 \times f)^{-1/4} \quad (8)$$

当 NOHD 为零时,式(4)为:

$$\sqrt{\left(\frac{4 \times 20 \times 2.5 \times 10 \times 10^{-9}}{\pi \times 1.3 \times 10^{-2} \times (10 \times f)^{-1/4}}\right) - 0.025} = 0 \quad (9)$$

可得 $f = 2.7\text{kHz}$

这里得出以单脉冲阈值的为基础,2.7kHz 的激光束的任何范围内照射是安全的。

再进行平均照射量的估计,作用距离半径如果每个单脉冲在零点产生的最大辐照度为 E_0 ,那么脉冲列的平均辐照度为:

$$E_{AV} = N \times t \times E_0 \quad (10)$$

按上面计算的最大重复频率 2.7kHz 与持续时间 10s,在这种情况下:

$$E_0 = \frac{4P_P}{\pi\alpha^2} = \frac{4 \times 20}{\pi(0.025)^2} = 4.07 \times 10^4 W \cdot m^{-2} \quad (11)$$

则:

$$E_{AV} = 2700 \times 10 \times 10^{-9} \times 4.07 \times 10^4 = 1.1 W \cdot m^{-2} \quad (12)$$

根据表 2,在测距仪典型测量时间内,裸眼观察以该频率发射的激光辐射是安全的。

4.2 激光指示瞄准系统

可见激光指示一般采用 635nm 或 650nm 半导体激光器,这种方法主要应用于短距离或室内等环境较暗的情况。

此时计算最大允许工作频率时要考虑指示激光器的连续激光辐射。

5 结论

从上面的分析可见,在小型 LD 脉冲激光测距仪中,如果系统非发射物镜直径采用 25mm,半导体激光器为 EG&G 的 PGEW,功率 20W,脉宽 10ns,则最大的激光发射频率为 2.7kHz。在这种条件下,裸眼直接观察半导体激光测距仪出射的激光束是安全的,也就是说这个测距仪在整个测量范围内是安全的。

实际中设计时还要根据光学系统衰减等因素进行微调。如果再考虑用望远镜系统观察安全,可进一步修正。

有了这些数据使得在研制高精度或其它类型的半导体激光测距仪时,在人眼的安全性方面得到很好的保证,从而拓展其使用范围,为此类激光测距仪应用于日常生活创造条件。

参考文献:

- [1] 朱煜,陈进榜,等.人眼安全激光测距仪的一些进展[J].激光杂志,1998,19(6).
- [2] 丁育明,杜丽辉,等.人眼安全激光器技术及应用[J].应用激光,1997,17(1).
- [3] 张在宣,吴孝彪,郭宁,等.小型低值 LD 激光测距仪的测距能力.半导体光电.1999,2(2).
- [4] 国标 GB7247-1995.激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南[S].1995.