

激光测距仪单透镜发射准直模块的优化设计

张 聰,王雪详,严高师

(电子科技大学光电信息学院,四川 成都 610054)

摘要:采用单透镜准直系统进行发散角的压缩。针对635nm激光二极管的光源,使用ZEM-AX软件模拟了透镜准直系统成像像差,选取了最佳的设计方案。不仅满足了激光测距仪的要求,还节省了制造成本,方便地实现了小型化、模块化。

关键词:激光测距;测距方程;激光准直;ZEMAX;发散角

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A

Optimum Design to a Single Lens Transmitted Collimating Module of Laser Ranging Finders

ZHANG Cong, WANG Xue-xiang, YAN Gao-shi

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A single collimating lens has been designed to reduce the angle of divergence. The laser diode with 635nm has been used as lamp-house, simulating aberration of the lens with lens design software ZEMAX, and then the best solution has been selected. Single collimating lens system fulfills the requirement of the laser ranging finder, saving costs and achieving goals of miniaturization and modularization expediently.

Key words: laser range-finding; equation of range-finding; laser collimation; ZEMAX; angle of divergence

1 引言

激光测距仪的发射端光源常采用半导体激光器,但是半导体激光器的发散角普遍较大,为了满足需求要对发散角进行压缩。目前有多种准直发散角的方法,比如望远镜系统的准直^[1],二元光学消像散准直器件的准直^[2]等。但是这些方法大都结构复杂,不利于做成模块。由于激光测距要求尽可能小型、轻便,在满足测距性能的前提下,发射准直系统越简单越好。本文探讨单透镜准直系统对光束进行准直,获得小于0.1mrad的发射发散角。

2 激光光束的性质

2.1 光束的束宽

激光测距仪的性能与发射激光性质密切相关。激光发射器主要考虑呈高斯分布的TEM₀₀基横模,将光束近似看成高斯光束。高斯光束的分布函数:

$$K(\phi, \varphi) = 2 \exp\left(-\frac{2r^2\phi^2}{\omega^2}\right) \quad (1)$$

式中, $\omega^2 = \omega_0^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda r}{\pi\omega_0^2}\right)^2\right]$; ω_0 为高斯光束的束腰

半径; ϕ 为视线瞄准误差; $\varphi = 2.44\lambda/d$ 为激光光束束宽; λ 为发射激光波长; d 为通光孔径。

我们假设光束为均匀分布,认为光强在光束内为常数,其他地方为零。这样便于我们估算激光测距仪的整体性能。

均匀光束的分布函数表达式:

$$K(\psi, \varphi) = 1, \quad \psi \leq \varphi \quad (2)$$

$$K(\psi, \varphi) = 0, \quad \psi \geq \varphi \quad (3)$$

式中, ψ 为视线瞄准误差; φ 为束宽。

2.2 目标表面

激光测距是将激光发射到物体表面,然后接受漫反射光束进行测量计算出距离的。所以,估算目标的反射截面是十分重要的。这里我们采用微波雷达截面的概念来表征目标散射能力。定义目标截面 σ 为截取这样大小功率的面积,即当所有方向上的散射都相同时,该功率在接收口径产生的散射功率

作者简介:张 聰(1986-),男,本科在读,主要从事光电器件及全息显示等方面的研究。E-mail:bleakhand@gmail.com

收稿日期:2008-10-16

密度等于目标产生的散射功率密度:

$$I_s = I_i (4\pi z^2) \quad (4)$$

式中, I_i 为入射到目标的信号强度; I_s 为在距离 z 处的散射强度; $4\pi z^2$ 为离开 z 处的球面积。

工程上根据光学特性, 目标可以分为镜面目标、漫反射目标、朗伯面目标、点目标、扩展目标等几种。对于激光测距仪来说, 通常目标为漫反射目标。

我们采用激光测距仪测程为 500m, 光源为 635nm 红光激光二极管, 发散角为 42° 。如果未经压缩, 将产生约 450.2m 半径的巨大圆斑, 显然无法完全照射在目标表面。通常情况下, 500m 测距目标半径在 50mm 左右, 所以需要将发散角压缩到 0.1mrad 以下才能够保证激光完全照射在目标表面。

3 激光测距方程

测距方程通常用来测量在对某个目标的接受功率, 其标准形式为^[3]:

$$P_R = \frac{P_T}{\Omega_T R^2} \times \rho A_r \times \frac{A_c}{\Omega_R R^2} \times T_a T_\lambda T^2 \quad A_c < R^2 \Omega_R \quad (5)$$

式中, P_R 是接收光功率 (W); P_T 是发射光功率 (W); ρ 是目标反射率; A_r 是目标有效面积; A_c 是接收有效孔径面积; Ω_T 是发射波束立体角; Ω_R 是目标反射波立体角; T_a 是系统发射光学透过率; T_λ 是接收光学透过率; T 为空间传输透过率。其中, 发射立体角 $\Omega_T = \pi \left(\frac{\theta}{2} \right)^2$, 发射立体角 $\Omega_R = \frac{\lambda^2}{A_r}$ 。

从测距方程中我们可以看到, 当被测目标物体一定时, 为了保证一定的接收功率, 发射功率 P_T 与发散角 θ 成正比。我们采用的激光二极管发射功率为 300mw, 在复杂的测距环境中, 为了保证有足够的回波接收功率, 需要对激光进行准直。

4 单透镜准直的计算方法

由高斯光束束腰的变换关系式可以得出高斯光束的发散角^[4]:

$$\theta'_0 = \frac{2\lambda}{\pi\omega_0} \sqrt{\frac{1}{\omega_0^2} \left(1 - \frac{l}{F}\right)^2 + \frac{1}{F^2} \left(\frac{\pi\omega_0}{\lambda}\right)^2} \quad (6)$$

式中, l 为入射高斯光束束腰到透镜的距离; F 为透镜焦距; λ 为中心波长; ω_0 为入射高斯光束腰斑。可以看出, 无论 F, l 取什么数值都不可能使 $\theta'_0 \rightarrow 0$ 。这表面单透镜无法将高斯光束转换成平面波。但是我们可以尽可能的改善高斯光束的方向性。当 $l = F$ 时, 像方高斯光束腰斑 ω'_0 达到极大值 $\omega'_0 = \frac{\lambda}{\pi\omega_0} F$, 从而可得发散角极小值^[4]:

$$\theta'_0 = 2 \frac{\lambda}{\pi\omega'_0} = 2 \frac{\omega_0}{F} \quad (7)$$

这时, 通过透镜可以使发散角达到最小, 获得最好的准直效果。

5 准直透镜的焦距

实验采用长春新产业光电技术有限公司的红光激光二极管 (LD) DL-635-0.3。中心波长 635nm, 输出功率为 300mW, 发散角 42° , 其准直系统示意图如图 1 所示。

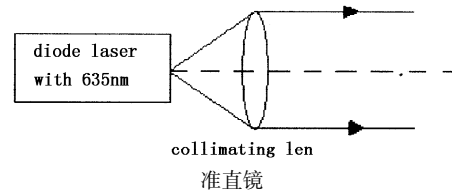


图1 准直系统示意图

出射高斯光束束腰半径为:

$$\omega_0 = \frac{2\lambda}{\pi\theta_0} \approx 0.5515 \mu\text{m} \quad (8)$$

式中, λ 为 635nm; θ_0 激光二极管出射的发散角 0.733rad。为了保证远场发散角可以达到 0.1mrad 的要求, 像方高斯光束腰斑必 ω'_0 须大于 4.04mm。根据像方高斯光束腰斑与单透镜焦距的关系式^[4]:

$$\omega'_0 = \frac{\lambda}{\pi\omega_0} F \quad (9)$$

可以得到单透镜焦距 $F \geq 11.02\text{mm}$ 。

6 透镜的仿真

6.1 焦距的选取

我们采用透镜设计程序 ZEMAX 来进行准直透镜的仿真模拟, 版本为 February 3, 2005。由于该版本无法使用 Afocal 功能, 故我们将光路倒置, 平行光入射经透镜后会聚。我们录取了 10mm 到 30mm 焦距的 RMS 数值, 并绘制出了焦距与 RMS 点列图的关系曲线, 如图 2 所示。RMS 点尺寸是径向尺寸的均方根, 数值越小说明聚焦效果越好。

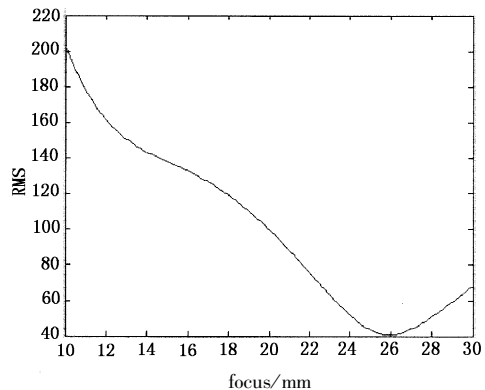


图2 焦距与 RMS 点列图曲线

由图 2 可以看到,焦距在 25.8577mm 时,RMS 达到最小值,也就是聚焦效果最好。从而可知此处准直效果达到最好。

6.2 准直透镜结构

由 ZEMAX 计算可以得出,在焦距为 25.8577mm 时,准直透镜的前后表面半径分别为 18.472mm 和 -84.835mm。厚度为 7mm,孔径为 10mm。透镜介质采用光学玻璃 BK7,其结构如图 3 所示,应用于激光测距仪准直时,应将光路倒置。

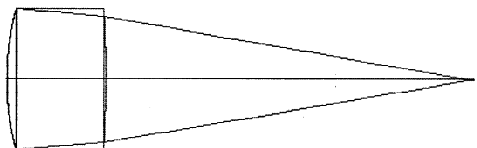


图 3 准直透镜的结构图

准直透镜的点列图如图 4 所示。

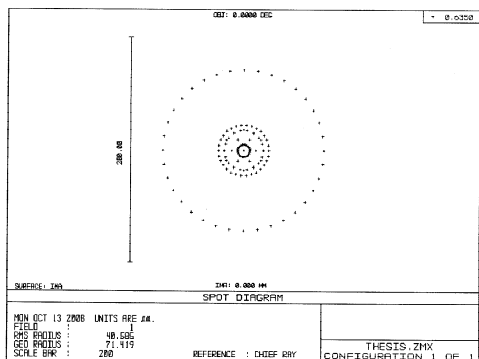


图 4 点列图

横向像差特性曲线如图 5 所示,曲线描述了光线和像平面交点的 x 或 y 坐标和主波长的主光线 x 或 y 坐标的差。可以从图 5 中看到,像差控制也比较理想。

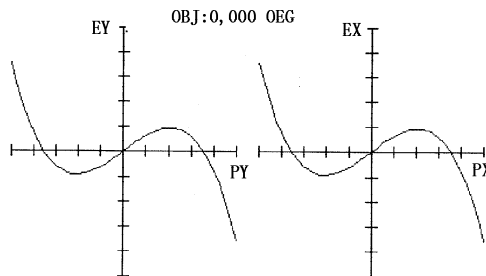


图 5 横向像差特性曲线

7 结论

准直透镜使得发散角压缩到了 0.04267mrad,即便是 500m 的距离也只有半径 21.34mm 大小的圆斑,完全小于通常情况下半径 50mm 的目标表面。可见,单透镜准直在保证像差控制的同时完全满足了激光测距仪的使用要求,还解决了激光测距仪小型化、模块化、质量轻等要求,保证了足够的接收功率。实验中我们采用了 ZEMAX 默认的 RMS - Wavefront-Centroid 波前均方根误差为像差优化参数,事实证明完全满足了实验所需。

参考文献:

- [1] Yasutoshi Y, Tetsuo K, Makoto S. New collimating lens system for laser diode package [C]//IEEE of proceedings-Electronic Componets and Technology Conference, 1993. 1135 - 1138.
- [2] 严瑛白,王超,金国潘,等. 半导体激光器的二元光学消像散准直器件[J]. 红外与激光工程,1996,25(5): 36 - 42.
- [3] 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京:国防工业出版社,2002,1 - 19,236 - 240.
- [4] 周炳琨,高以智,陈倜嵘,等. 激光原理[M]. 第 5 版. 北京:国防工业出版社,2007.

纳秒深紫外固态激光源实用化样机研制成功

2009 年 4 月,中国科学院理化技术研究所的科研人员经过一年半的努力,终于成功研制出全球首台纳秒脉冲 177.3 nm 深紫外固态激光源实用化样机。通过优化倍频系统及 KBBF 先进热管理技术,激光输出功率获重大突破,比 2006 年提高 20 倍,稳定输出功率达 4 mW,最大输出功率为 34.7 mW。该样机的成功研制,标志着我国在 DUV(深紫外)前沿领域取得了重大科研突破,使我国在该领域的科学与技术位居国际领先地位,推动物理、化学、材料、信息、生命、资环等领域创建新的科技前沿。2007 年 12 月,“国家重大科研装备研制项目——深紫外固态激光源前沿装备研制”立项。该项目利用中科院在深紫外非线性光学晶体及激光技术研究领域保持国际领先地位的优势,计划研制 7 台(套)(第一批)具有自主知识产权的国际首创/领先的深紫外固态激光源重大科研装备,建立深紫外科学仪器研制基地,取得从材料到器件到应用的全面优势。

(转载自中国光学光电子行业网)