文章编号:1001-5078(2019)05-0549-04　　·激光应用技术·

用于远程激光测距机的板条激光器

张向阳,郎　野
(中国电子科技集团公司第三研究所,北京 100015)

摘　要:研制了用于远程激光脉冲测距机的板条激光器。使用半导体泵浦的 MOPA 激光结构实现了大于 250 mJ 的脉冲激光输出,输出脉冲宽度为 12.83 ns,最终输出激光光束束散角为 0.18 mrad。该激光测照器可应用于远程激光测距。对激光测距机的测距与照射能力进行了理论计算与分析。理论分析表明,应用于机载平台时,该激光测照器能够实现 50 km 距离的激光测距。该型激光测距机具有测距距离远,重量轻,结构紧凑等特点,具有广泛的应用前景。

关键词:板条激光器;半导体泵浦固体激光器;激光测距机
中图分类号:TN248　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.05.006

A diode pumped slab laser used in long-range pulse laser rangefinder

ZHANG Xiang-yang, LANG Ye
(The 3rd Research Institute of CETC, Beijing 100015, China)

Abstract: A compact diode pumped slab laser used in long-range pulse laser rangefinder was demonstrated. Using MOPA laser scheme, the maximum output energy of the laser was 250 mJ, the corresponding output pulse width and laser divergence were 12.83 ns and 0.18 mrad, respectively. The laser was used in a long range rangefinder. The ranging distance was investigated theoretically, and the maximum ranging distance could be as long as 50 km. Due to the advantages of long ranging distance, low weight and compact package, the laser range finder could be used in many applications.

Key words: slab laser; diode-pumped solid-state-laser; laser rangefinder

1　引　言

激光测距机是一种以激光为测距媒介的测距设备,具有测距精度高、抗干扰能力强、结构紧凑等优点,因而广泛应用于工程测量、航空航天、军事侦察等领域。基于激光飞行时间(TOF, Time of flight)的激光测距机的测距方法包括脉冲激光测距法[1],相位激光测距法等方法[2]。在远距离激光测距应用中,一般使用脉冲激光测距法。在这种激光测距机中,激光器通常使用固体激光器,采用调 Q 技术,能够输出纳秒量级的激光脉冲。

随着对目标探测需求的不断增长,现代光电系统的作用距离在不断增加。为了满足对远距离目标及小型目标的探测和测距,光电系统中各个传感器的性能均需不断提升。在光电系统中,由于探测原理及激光器性能的限制,光电系统中激光测距机的测距能力通常无法完全与各个传感器的作用距离相

作者简介:张向阳(1979 -),男,高级工程师,主要从事光电系统设计论证及应用检测等方面工作。E-mail: cetc3_zhangxy@163.com
收稿日期:2019-01-21;**修订日期:**2019-03-26

匹配。因此,光电系统性能的提升就对激光测距机测距能力的提升有着迫切的需求。因此,为了实现远距离测距,使用大能量、小束散角的高性能激光器成为了远程激光测距机的发展方向之一。而根据光电系统的要求,发展体积小、重量轻的激光器又具有重要的意义,因此,研制用于激光测距机的高性能激光器是其关键所在。

在激光测距机使用的各种类型激光器中,使用半导体泵浦的板条激光器受到了广泛的关注。由于板条增益介质热性能优良、适于高功率泵浦的特性,配合激光二极管亮度高、寿命长等优良特点,使得这种激光器逐渐得到了广泛的应用,为高能、高效、紧凑、的激光脉冲测距机提供了可行的技术途径。

本文展示了一种用于高性能激光测距机的大能量、小束散角板条激光器。该固体激光器,使用 Zig-Zag 板条结构的 Nd:YAG 晶体作为增益介质,使用两级主振放大(Master Oscillator Power-Amplifier, MOPA)激光器结构(一级振荡器,一级放大器),最终实现了能量大于 250 mJ 的激光脉冲输出,典型输出激光脉冲宽度为 12.83 ns。经过激光扩束镜输出的激光光束束散角不大于 0.18 mrad。通过模拟计算分析,使用该激光器的激光测距机,其测距能力能够达到 50 km。该激光测距机具有结构紧凑,重量轻等特点,因而具有广泛的应用前景。

2 激光器设计

小型脉冲激光测距机中所使用的激光器一般为固体激光器,通常输出波长为 1064 nm,在一些需要保证人眼安全的应用环境中,还常使用波长 1570 nm的激光。目前,在脉冲激光测距机中,较为成熟的固体激光器通常使用闪光灯或激光二极管作为泵浦源。随着半导体技术的发展前进,目前使用激光二极管作为泵浦源的全固态激光器正逐步取代闪光灯泵浦的激光器。

相比于闪光灯,激光二极管具有结构紧凑、线宽窄、效率高、寿命长、结构性能优良等诸多优点,尤其是使用激光二极管作为泵浦源的固体激光器,具有模式匹配好的明显优势,因而促进了诸如侧面和端面泵浦板条结构、薄片结构等各型新构型激光器的发展进步。近些年,侧面泵浦的“之”字型光路板条结构激光器受到了广泛的关注。一方面,使用激光二极管进行侧面泵浦能够得到较高的能量或功率注入,使得增益介质具有较高的储能和增益,另一方面,“之”字型光路能够补偿增益介质中反射方向的一阶热效应,具有一定的热效应补偿作用,使输出激光光束具有较好的光束质量。

图 1 给出了本激光器使用单侧泵浦结构的板条激光增益介质的结构示意图。LD 泵浦光源通过增益介质侧面注入板条激光器,使得增益介质形成粒子数反转;与泵浦面相对的另一个侧面布置有冷却热沉,能够带走增益介质中产生的热量。相比于其他类型冷却及泵浦的板条结构,这种单侧面泵浦的结构具有布置简单、散热效率高等优势,同时在晶体中形成的热梯度场与泵浦方向平行,热效应引起的激光波前畸变较小,因而能够保证较好的光束输出模式。

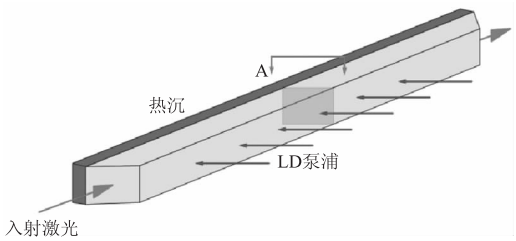

图 1 板条激光器泵浦及冷却结构示意图

Fig. 1 Pump and heat sink configuration scheme of slab laser

截取图 1 中的晶体在 A 位置截面,考察该截面内晶体的热流方向,示意图如图 2(a)所示。热流方向与增益介质内激光“之”字形传播方向的平面平行,因而增益介质热效应对光束的波前影响较小。如将热沉布置于泵浦面上下的的侧面,如图 2(b)所示,则热流方向将穿过激光传播平面,使得其对激光光束波前影响较大,最终影响输出光束质量。

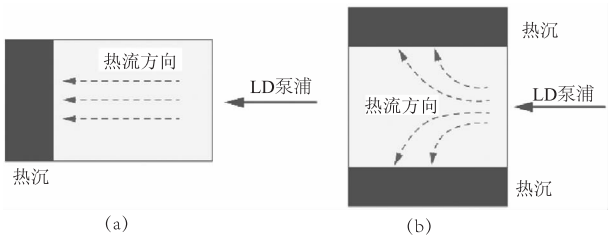

图 2 激光增益介质截面热流方向示意

Fig. 2 The heat flow directions in the cross section of the slab gain medium

使用板条增益介质的激光器结构示意如图 3 所示。激光器采用 MOPA 激光器结构,使用一级振荡级,配合一级放大级最终实现大能量的的脉冲激光输出。

激光振荡级与放大级均采用如前所示的板条结构,使用单侧面泵浦、单侧面冷却结构。振荡级采用主动调 Q 的方式实现纳秒量级的脉冲激光输出。当振荡级中 Q 开关处于常开状态时,激光振荡器处于自由运转状态,此时振荡器输出脉冲为微秒脉冲,最大能量可达 119 mJ;当振荡器处于调 Q 运转状态时,输出脉冲为纳秒脉冲,最大能量可达 121 mJ。

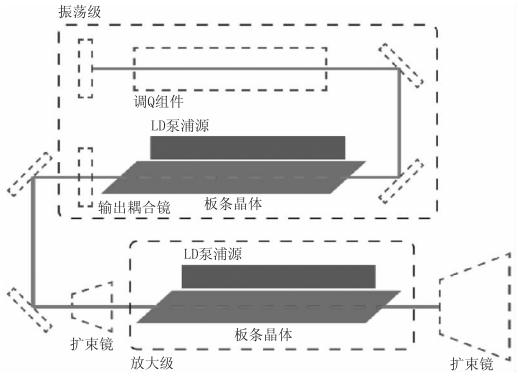

图 3　激光器结构示意图

Fig. 3 Experiment setup of the MOPA slab laser

使用侧面泵浦结构的板条激增益介质通常具有较大的增益体积,其有效增益截面面积也通常较大。在振荡级,如希望得到基模的激光输出,就要求谐振腔具有较小的菲涅尔数,对于光束半径较大的光束而言,所要求的谐振腔长度较长。另外,由于基模光束的分布为相对集中于光斑中心,不利于能量的提取,因此,在本激光器中,激光振荡级工作在多模工作条件下。根据增益分布设计及谐振腔设计,振荡级输出光斑为方形,两轴方向均为超高斯平顶分布。

为了在较大能量下保证光路内各光学元件的正常工作,不发生损坏,对激光光路中各个器件的能量密度进行了分配匹配设计。由振荡级输出的光斑为方向光斑,其尺寸较小,边长尺寸约为 5 mm。为了使得放大级输出端的脉冲功率密度保持较低水平,在振荡级与放大级之间设计了扩束镜,使注入放大级的光斑尺寸变大。同时,相比于振荡级晶体中的泵浦体积,放大级中增益介质的泵浦体积更大,因此更大的光斑尺寸可以保证良好的输出激光模式分布。将振荡级输出的激光脉冲经过适当的整形,注入放大级进行能量放大,最终输出的激光能量可达 257 mJ。对放大级输出的激光光束束散角进行测量,最终得到裸光束束散角约 2.2 mrad。

由最终的扩束镜(发射天线)输出的激光光束,经过透镜聚焦后,使用能量计测量激光脉冲能量,最终能量大于 250 mJ。使用小孔法对输出光束束散角进行了测量。为了避免在较高能量下聚焦位置的空气击穿,首先使用中性衰减片对输出激光能量进行 10 倍衰减。使用 12.8 倍扩束天线对最终测得输出光束束散角小于 0.18 mrad。使用快速光电探头对激光脉冲时间宽度进行了测量,输出脉冲的典型宽度为 12.83 ns,脉冲波形如图 4 所示。

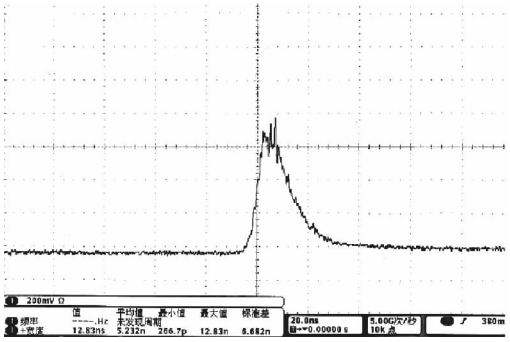

图 4　典型激光脉冲波形图

Fig. 4 The oscilloscope trace of typical slab laser pulse

3　激光测距机测距能力分析

考虑机载平台的空地测距场景。目前高空机载平台的飞行高度均处于 10000 m 以上。

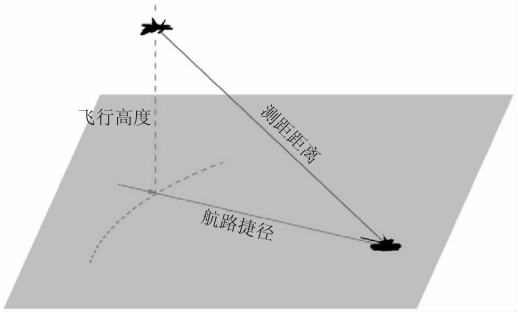

图 5　机载激光测距机的测距距离示意图

Fig. 5 The schematic diagram of laser ranging from airborne platform

激光测距方程如式(1)所示[3-4],其中 P_r 为激光测距机能够接收到的反射激光峰值功率。

$$P_r = 2\frac{\tau_t \tau_r A_t A_s \rho \cos\theta_t}{\pi^2 R^4 \theta_t^2} T^2 P_t \tag{1}$$

其中,T 为单程大气透过率;R 为测距距离;τ_t、τ_r 分别为发射和接收光学系统透过率;A_τ、A_s 分别为目标及接收光学系统的面积;ρ 为目标的漫反射率;P_t 为发射激光脉冲的峰值功率;θ_t 为激光束散角。

与大气气溶胶散射衰减相比,纯净大气中气体分子吸收和散射导致的衰减可忽略不计[5]。使用

Lowtran 计算得到,在 50 km 单程大气透过率约为 0.44。最终经过分析计算,该激光测距机能够满足 50 km 距离的激光测距。

4 总 结

本文展示了一种用于远程激光测距机的大能量、小束散角板条固体激光器。该激光器使用 Zig-Zag 板条结构的 Nd:YAG 增益介质,应用 MOPA 激光器结构,最终实现了能量大于 250 mJ 的激光脉冲输出,典型脉冲宽度为 12.83 ns。经过激光扩束镜输出的激光光束束散角不大于 0.18 mrad。使用该激光器的激光测距机具有作用距离远、结构紧凑、重量轻等优点,具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] TAN Xianyu. The development of laser rangefinder and the application in military[J]. Optoelectronic Technology & Informotion,1996(3):5-11. (in Chinese)
谭显裕. 脉冲激光测距仪的发展及军用前景[J]. 光电子技术与信息,1996(3):5-11.

[2] XU Zexian, et al. Phase laser ranger based on quadrature modem and frequency reduction[J]. Optics and Precision Engineering,2017,25(8):1979-1986. (in Chinese)
许贤泽,等. 正交调制降频相位式激光测距[J]. 光学精密工程,2017,25(8):1979-1986.

[3] ZHANG Chu,et al. Study on evaluating maximum range of laser range finder[J]. Laser & Infrared,2008,38(12):1196-1198. (in Chinese)
张雏,等. 激光测距机最大测程评估方法研究[J]. 激光与红外,2008,38(12):1196-1198.

[4] CHI Hui,et al. Study on the obversion of laser rangefinder's ranging capability[J]. Laser & Infrared,2011,41(7):763-765. (in Chinese)
迟慧,等. 激光测距机测距能力检测折算方法研究[J]. 激光与红外,2011,41(7):763-765.

[5] CHEN Qianrong,et al. Creation and application of the astmospheric transmittance database for 1064 nm laser[J]. Laser & Infrared,2007,37(7):610-613. (in Chinese)
陈前荣,等. 1064 nm 激光大气透过率数据库的建立与应用[J]. 激光与红外,2007,37(7):610-613.