

文章编号:1001-5078(2007)10-1039-02

大气激光传输光束偏转研究

胥 杰,赵尚弘,方姚生,侯 睿,马 涛,郭钦鹏
(空军工程大学电讯工程学院,陕西 西安 710077)

摘 要:大气对战术激光造成的光束偏转将使战术激光脱离目标,通过对光束偏转的理论分析和仿真研究,结果表明折射率结构常数和离地面高度是影响光束偏转的重要因素。对光束偏转提出了简单的预补偿方法,从而可以确保战术激光精确到达靶面。

关键词:光束偏转;折射率结构常数;自适应方法

中图分类号:TN929.12;TN958.98 **文献标识码:**A

Research of Beam Bending Through Atmospheric Propagation

XU Jie, ZHAO Shang-hong, FANG Yao-sheng, HOU Rui, MA Tao, GUO Qin-peng
(The Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077)

Abstract: The beam bending through atmospheric propagation would make its deviation from the target. Through theoretical analysis and numerical simulations, it has been proved that the refractive index structure constant and altitude are the most important factors to affect beam bending. A simple pre-compensation method is introduced, which could ensure the tactical laser arrive target accurately.

Key words: beam bending; refractive index structure constant; adaptive method

1 前 言

近年来,双包层光纤激光器的输出功率水平不断提高,并且伴随着新兴的光纤激光组束技术的发展,人们越来越看好高能光纤激光器的军事应用前景^[1-2]。然而,战术激光武器到达目标靶端必须经过大气信道,大气会对光束质量和光束几何特性产生影响,因而研究大气对激光传输的作用效果并实施相应的补偿措施就显得尤为必要。

2 理论分析

一般来讲,强激光在大气中传输产生的效应可分为两大类:第一类是线性光学效应,包括大气折射、吸收、散射和湍流;第二类是非线性光学效应,包括热晕、受激拉曼散射和大气击穿等^[3]。由于组束激光的功率量级并不是很高,诸如受激拉曼散射和大气击穿等非线性效应都可以忽略,吸收、散射等仅仅造成激光部分能量衰减,充其量也就是削弱了打击效果,相比较而言,由湍流、热晕造成的激光束的偏移则成为战术激光武器丢失目标的重要原因,因

此这里主要研究大气激光传输的偏移现象。

大气对激光传输造成的光束偏移可由以下经验公式描述^[4]:

$$\varphi = \frac{5}{2} L \cdot A \cdot (C_n^2)^B \quad (1)$$

其中,参数 $A = \alpha \cdot V^{-\beta}$, $B = \delta - \gamma \ln V$ 。 φ 是光束偏转值(以 mrad 表示); L 是到目标靶面的距离; C_n^2 是大气折射率结构常数; V 是风速,随机风的存在将导致传输介质折射率的变化,光束向风向内侧偏转。

α, β, γ 和 δ 是离地面高度 h 的函数,基于近地面实验数据(5~15m)有以下近似表达式:

$$\alpha = 7.7 \frac{P}{T} h^{-5/6} e^{-h} \quad (2)$$

$$\beta = 0.1h + 0.01 \quad (3)$$

基金项目:国家自然科学基金(60678018)资助。

作者简介:胥 杰(1980-),男,博士研究生,研究方向为光电对抗与激光组束技术。E-mail:xujie1225@163.com

收稿日期:2007-04-20

$$\gamma = 0.073h^{-1/4} \quad (4)$$

$$\delta = 0.73h^{-0.6} \quad (5)$$

式中, h 是离地面高度(m); T 是平均大气温度(K); P 是平均大气压强(mPa)。从式(1)~(5)可以看出, 决定光束偏移大小的主要参数有: 激光传输距离 L 、大气折射率结构常数 C_n^2 、风速 V 以及离地面高度 h , 下面逐一进行分析。

3 数值模拟及分析

首先研究光束在不同湍流条件下随传输距离的变化情况, C_n^2 依次取为 10^{-13} , 10^{-14} , 10^{-15} , 代表了强、中、弱湍流等级。高度 $h = 10\text{m}$, 风速 $V = 2\text{m/s}$, 压强 $P = 960\text{mPa}$, 温度 $T = 300\text{K}$ 。数值计算结果如图1所示。

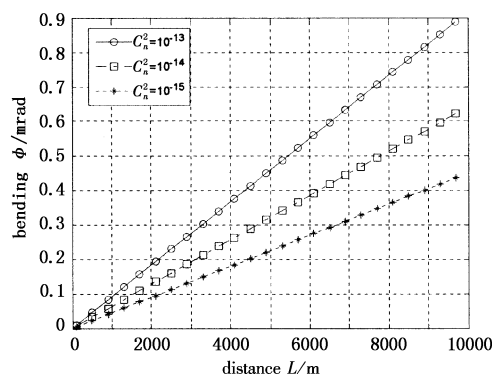


图1 光束偏转随传输距离的变化关系

由图可见光束偏转随传输距离的变化在弱湍流条件下并不十分明显, 从1km到10km范围内仅有0.3mrad左右的变化, 而在强湍流条件下变化值增大到0.8mrad左右。值得注意的是虽然角度偏转只有0.3mrad, 但是考虑到传输距离有千米量级, 那么到达目标处光束的几何偏转将会达到米量级, 这就很容易导致打击目标丢失。同时, 也可以初步看出湍流强度(折射率结构常数)将是决定光束偏转大小的重要因素。

由式(1)可以看出, 折射率结构常数 C_n^2 处于指数位置, 它的变化情况很容易造成光束偏转的急剧恶化, 假定传输距离为5km, 考虑风速对光束偏转的影响, 简单的仿真结果如图2所示。很明显光束偏转随折射率结构常数 C_n^2 的增大呈增长趋势, 在弱湍流区域附近增加较为迅速, 而在强湍流区域增长速度较慢, 甚至有趋于饱和的趋势。同时风速大小也是影响光束偏转大小的重要参数, 很明显在无风状态下光束偏转几乎为零, 可以忽略不计, 而在风速10m/s时几乎可以达到1mrad的偏转。可见, 战术激光的适用范围仅是弱湍流条件下, 在中、强湍流条件下由于光束偏转较大而变得不再适用。

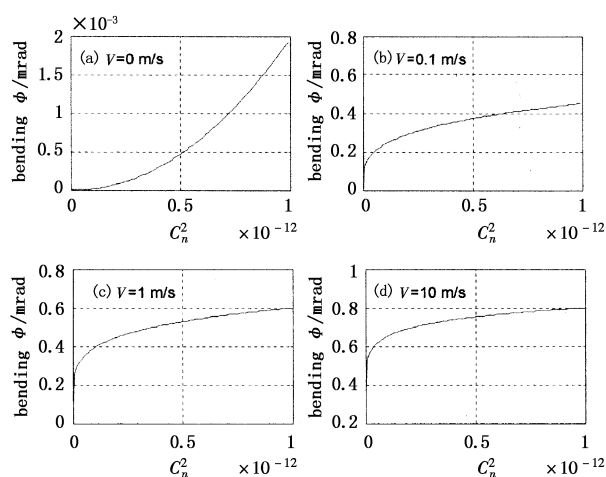


图2 光束偏转随 C_n^2 的变化关系

在弱湍流条件下研究风速对光束偏转造成的影响, 将 C_n^2 取为 10^{-15} , 仿真结果如图3所示。光束偏转随风速 V 呈缓慢增长关系, 影响并不是很大。

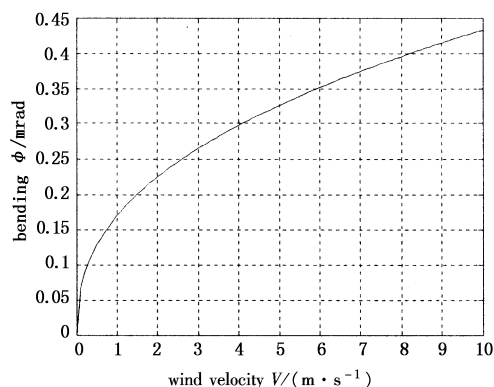


图3 光束偏转随风速 V 的变化关系

最后分析高度对光束偏转造成的影响, 仿真参数的选取如上, 风速 V 取为1m/s, 计算结果如图4所示。光束偏转随高度 h 呈先增大后减小的趋势, 在6~7m处出现峰值, 此时最不利于光束传输; 光束偏转较小的0~3m和13~15m将是较理想的高度。同时, 必须注意式(1)只适用于低空5~15m范围, 但是从式(2)~(5)的演变趋势可以估计在更高高度区域内, 光束偏转将会更小以至于可以忽略不计。

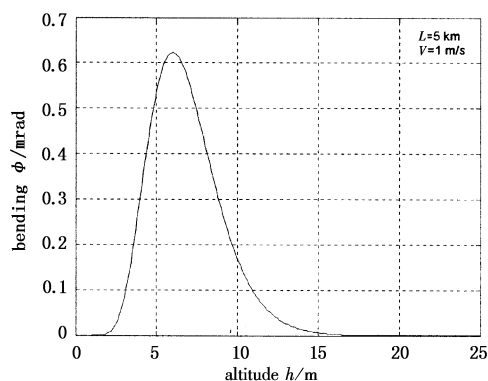


图4 光束偏转随高度 h 的变化关系

(下转第1046页)

230mJ,则光-线偏振光效率为13.5%。比典型的产生线偏振激光装置多输出20mJ,增加了10%,和理论分析的10%一致,达到了新型谐振腔的设计要求。

输出激光用GT-210型PIN快速硅光二极管接收,5GHz TDS型数字荧光式示波器进行显示和测量,获得输出线偏振激光的脉冲如图6所示,脉冲宽度为6.720ns,比典型的产生线偏振激光装置的脉冲宽度增加了1ns,主要是因为该新型谐振腔的腔长增加了50mm。

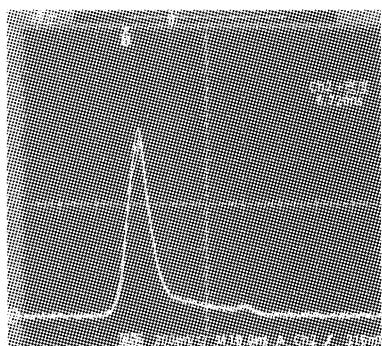


图6 输出线偏振激光的脉冲波形

在线偏振激光230mJ时,远场光斑图形如图7所示。

4 结论

增加线偏振激光输出的新型谐振腔理论分析和实验结果一致,在34J的电注入下,重复率20Hz时,

得到灯泵浦线偏振激光输出230mJ,比原来提高了10%,光-线偏振光效率为13.5%,输出线偏振激光脉冲宽度为6.720ns。在谐振腔内再增加一块偏振片,形成“片堆”^[4],可以输出更多的线偏振激光的理论分析和实验研究也正在进行。

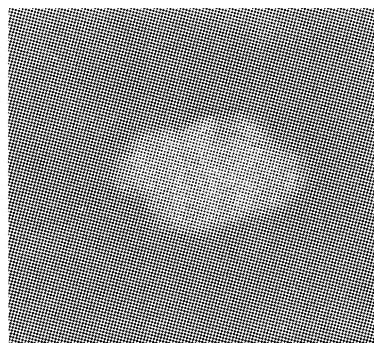


图7 远场光斑图

参考文献:

- [1] W 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 孙文,等译. 北京:科学出版社,2002.
- [2] 赵凯华,钟锡华. 光学(下册)[M]. 北京:北京大学出版社,1983.
- [3] J J Degnan. Optimization of passively Q-switched lasers [J]. IEEE J Quantum Electron, 1995, 31 (11): 1890 - 1901.
- [4] 廖延彪. 光学原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006.

(上接第1040页)

4 自适应补偿方法

通过以上分析,战术激光受到诸如折射率结构常数 C_n^2 、激光传输距离 L 、风速 V 以及离地面高度 h 等参数的影响,或多或少存在一定程度的光束偏转,再经过千米量级的传输距离,几何偏移量将会达到米量级,很容易造成战术激光脱靶。为此必须预先对发射光束进行预补偿,简单的自适应方法如下。

利用漫反射回的信标光作为预补偿系统的输入,在系统均方误差稳定的情况下,将此时的大气信道信息输入到战术激光输出端,预先对战术激光施加一个与光束偏转互为逆的偏移补偿,从而保证战术激光精确到达靶面。带预补偿的战术激光武器系统的框图如图5所示。

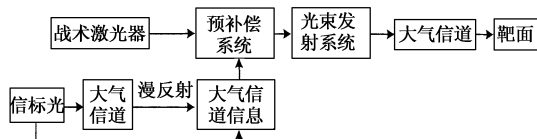


图5 带预补偿的战术激光武器系统

5 结论

通过对激光大气传输光束偏移的分析,结果表明折射率结构常数 C_n^2 和离地面高度 h 是影响光束偏转的重要因素。在弱湍流和低空条件下,光束偏转很小,几乎不会造成战术激光脱靶;其他情况下需要对战术激光实施预补偿,从而保证战术激光准确到达目标靶面。对较高高度光束偏转的实验研究和预补偿算法的设计将是后续研究的重点。

参考文献:

- [1] 胥杰,赵尚弘,等. 利用光纤组束获得机载软杀伤高功率光源[J]. 激光与红外,2006,36(10):1001-1003.
- [2] 胥杰,赵尚弘,等. 机载软杀伤光源光纤激光组束方法的选择[J]. 激光与红外,2007,37(3):208-210.
- [3] 荣健,陈彦,等. 激光在湍流大气中的传输特性和仿真研究[J]. 光通信技术,2003,27(11):42-45.
- [4] S Bendersky, N Kopeika, et al. Prediction and modeling of line-of-sight bending near ground level for long atmospheric paths[C]//Proceedings of SPIE, 2004, 5552(4): 29-32.