

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0287-03

# 远距离受激布里渊散射相位共轭补偿激光 大气传输实验研究

戚 盛, 鞠有伦, 陈德应, 樊荣伟, 夏元钦

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要** 报道远距离(10.5 km)受激布里渊散射(SBS)相位共轭补偿激光大气传输外场实验研究。在城市上空常见大气条件下,受激布里渊散射相位共轭光经过 10.5 km 大气的传输效率约为 4.4%,相比于相同条件下普通激光的大气传输效率提高了 2.4 倍。同时,相位共轭光完全沿原光路返回原始发射点,重新会聚。

**关键词** 非线性光学; 相位共轭; 受激布里渊散射; 大气传输

**中图分类号** TN012 **文献标识码** A

## Experiment on Laser Beam Propagation in the Atmosphere with Stimulated Brillouin Scattering Phase-Conjugated Compensation at Long Distance

QI Sheng, JU You-lun, CHEN De-ying, FAN Rong-wei, XIA Yuan-qin

(State Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology,  
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract** An experiment of laser beam propagation in the atmosphere with stimulated Brillouin scattering (SBS) phase-conjugated compensation at long distance (10.5 km) is reported. On the normal atmosphere condition of a city, the conversion efficiency of the SBS phase-conjugated laser is about 4.4% through a 10.5 km distance, which is 2.4 times than the normal laser transmission efficiency on the same condition. Meanwhile, the phase-conjugated laser returns to the emission position through the original path, and assembles again.

**Key words** nonlinear optics; phase conjugation; stimulated Brillouin scattering; propagation in the atmosphere

## 1 引 言

大气的湍流、热晕和散射等效应使激光波前发生严重畸变、光束发散和漂移<sup>[1]</sup>,利用受激布里渊散射(SBS)相位共轭技术可以实现强激光远程大气传输,补偿大气扰动、激光介质以及光学系统给激光波前带来的畸变<sup>[2,3]</sup>。本文报道了远距离(10.5km)受激布里渊散射补偿激光大气传输过程的实验研究。

## 2 实验与分析

图 1 是实验原理框图。实验地点分别位于相隔 10.5 km 的楼房高层,激光传输通道位于城市上空近地表面(50 m)。实验系统采用 YAG 作为激光介质,工作波长为 1064 nm,光学系统直径为 400 mm。

由图 1 可见,由激光器产生系统的探测光 e1,经过 T1 扩束,向系统 B 发射信标光。系统 B 采用 T2 接收信标光,由放大系统对光束放大,进入受激布里渊散射系统。受激布里渊散射系统产生信标光的后向相位共轭光 e2,沿信标光的发射原光路返回系统 A,由 P 反射输出。

图 2 是到达系统 B 的信标光光斑。图 3 是系统 A 接收的受激布里渊散射相位共轭光。由图 2 可以看出,当信标光经过 10.5 km 的远距离室外大气传输到达系统 B 的时候,由于大气湍流以及大气中尘埃颗粒的散射,远距离传输激光光斑变散。通过连续采集光斑,还可以看出,由于大气状态在不断地改变,观察到的信标光光斑形状在不断地改变,中心点位置、重心点位置以及整体的光场分布也在不断地

**基金项目:** 国家自然科学基金(60378044)资助课题。

**作者简介:** 戚 盛(1980—),女,湖北人,哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室硕士研究生,主要从事非线性光学技术及其应用的研究。E-mail: qisheng521@126.com

漂移。在图 3 中,系统 A 接收的相位共轭光斑同样存在散斑和光场分布不均匀,但是光斑相比于信标光斑明显变小。通过对相位共轭光斑的多次采集分析发现,系统 A 接收到的相位共轭光的光场分布也存在随机性,但都在一定的范围内变化,不存在光斑的整体漂移,光斑形状改变较小,中心点位置和重心

点位置基本不变,而且,相位共轭光确保了激光精确地沿原光路返回。由于激光散斑主要是由大气中的尘埃散射造成的,散射造成的光斑畸变无法通过相位共轭技术得到补偿。系统中采用的相位共轭技术可以补偿由于大气湍流而造成的激光大气传输畸变,相位共轭光可以很准确地返回系统 A。

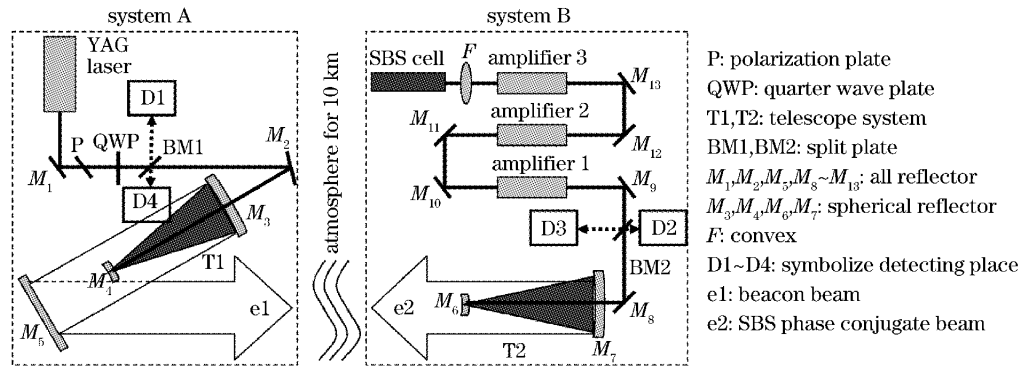


图 1 远距离受激布里渊散射相位共轭补偿激光大气传输外场实验装置图。System A:发射-接收系统; System B:接收-反射系统

Fig. 1 Experimental setup of laser beam propagation in the atmosphere with SBS phase-conjugated compensation at long distance. System A: launch-receiver system; System B: receiver-reflector system

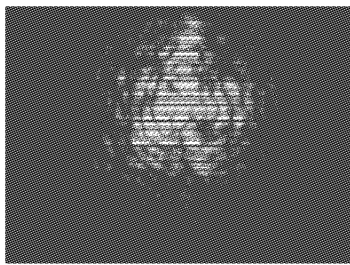


图 2 系统 B 接收的信标光光斑图样

Fig. 2 Beacon light spot received by system B

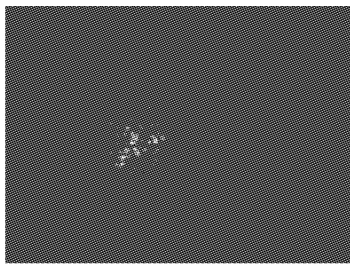


图 3 系统 A 接收的受激布里渊散射相位共轭光光斑图样

Fig. 3 SBS phase-conjugated light spot received by system A

实验采用系统所接收的信标光与相位共轭光能量的平均值来分析信标光和共轭光的大气传输效率的相关关系曲线,如图 4,图 5 所示。由图可以看出,城市上空常见天气条件下(晚上 20 时至 21 时左右,天气晴朗),信标光的大气传输效率约为 1.88%,

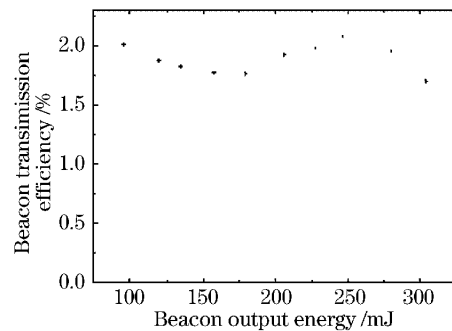


图 4 信标光的大气传输效率

Fig. 4 Beacon transmission efficiency

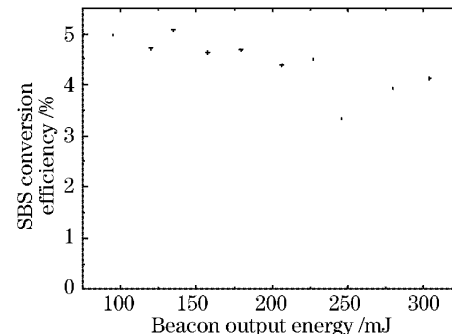


图 5 相位共轭光的传输效率

Fig. 5 SBS phase-conjugated light transmission efficiency

相位共轭光的大气传输效率约为 4.41%。相同大气条件下,相位共轭光的传输效率约为信标光的传

输效率的 2.4 倍。

实验中,大气湍流及大气散射的随机性,使得信标光很不稳定。且由于实验场地位于城市上空,大气中的尘埃颗粒太多,使得粒子的散射损耗严重,信标光能量损耗较大,同时系统 B 的光学接收孔径小,不能完全接收照射的信标光,导致了到达系统 B 的信标光的传输效率低。受激布里渊散射相位共轭系统基本补偿了激光在系统 A 和系统 B 间传输过程中由于大气湍流的影响而产生的激光波前畸变,而粒子的散射损耗和大气的吸收损耗是相位共轭系统不能补偿的,同时,系统 B 不能完全接收信标光的全部,使得相位共轭系统输出非完全的相位共轭光,导致了相位共轭光的传输效率不高。

### 3 结 论

实验结果表明,相位共轭技术有效补偿了由大气湍流引起的光斑畸变,改善了光斑的漂移现象,提

高了激光大气传输的能量密度,并保证了相位共轭光沿原光路返回。实验证实了利用受激布里渊散射相位共轭技术补偿远距离激光大气传输的可行性和有效性。

### 参 考 文 献

- 1 Gong Zhiben. Some research progress on high-energy laser propagation in atmosphere [J]. *Chinese J. Quant. Electron.*, 1998, **12**(2): 114~133  
龚知本. 激光大气传输研究若干问题进展 [J]. *量子电子学报*, 1998, **12**(2): 114~133
- 2 Wang Yuezhu, Ju Youlun, Yao Baoquan. Laser propagation in atmosphere with stimulated Brillouin scattering [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(12): 1493~1497  
王月珠,鞠有伦,姚宝权. 利用受激布里渊散射效应补偿激光大气传输过程中的畸变 [J]. *光学学报*, 2001, **21**(12): 1493~1497
- 3 Hans Bruesselbach, D. Cris Jones, David A. Rockwell *et al.*. Real-time atmospheric compensation by stimulated Brillouin-scattering phase conjugation [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1995, **12**(8): 1434~1447