

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0371-02

# 高性能氧碘化学激光器光束质量测试

公发全, 赵彤, 刘万发, 金玉奇

(中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023)

**摘要** 介绍了高性能指标的氧碘化学激光器光束质量和漂移的测量方法, 分析了光束质量测量和光束漂移的关系, 提供了评价光束质量的有效数据。

**关键词** 激光技术; 氧碘化学激光器; 光束质量; 光束漂移

中图分类号 TN248.5

文献标识码 A

## Measurement on Beam Quality of High-Performance COIL

GONG Fa-quan, ZHAO Tong, LIU Wan-fa, JIN Yu-qi

(Dalian Institute of Chemical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Dalian, Liaoning 116023, China)

**Abstract** The methods used for measuring beam quality and beam drift of high-performance chemical oxygen iodine laser (COIL) were introduced. The relation between measurement of beam quality and beam drift was analyzed and the valid data used for evaluating beam quality were given.

**Key words** laser technique; COIL; beam quality; beam drift

### 1 引言

2001年至2002年期间,研制了一套高性能指标的氧碘化学激光器。其输出功率6.5 kW,化学效率大于20%,远场光斑发散角小于150  $\mu\text{rad}$ ,  $\beta$ 因子平均值小于2,光束漂移小于60  $\mu\text{rad}$ 。这套系统是国际上第一套采用方管射流发生器技术<sup>[1]</sup>的化学氧碘激光器,最高化学效率达到27%。为了达到性能要求,采用了自制的BHP液体循环泵,并为泵安装了减震装置,达到减小光束的漂移,提高光束质量的目的。在光腔方面,采用折叠虚共焦非稳腔技术,这种腔型输出激光光束模式好,实现激光光斑沿气体方向的光斑不均匀性的有效补偿,以改善光束质量。

对于高性能激光器来讲,如何评价其光束质量及漂移等重要参数,是一项重要研究课题。对光束质量评价的方法通常采用焦斑大小法,远场发散角法, $M^2$ 因子法,衍射极限 $\beta$ 因子法等<sup>[2,3]</sup>。在本实验测试过程中,根据实际情况,实际采用衍射极限 $\beta$ 因子法来评价这台激光器的光束质量。

### 2 测试方法

这台激光器采用折叠虚共焦非稳腔结构,其放大率为1.73,输出平行光束,光斑孔径为空心圆环,其外径为40 mm,内径为23 mm(图1)。其远场强度

分布为光斑的夫朗和费衍射分布(图2)。其第一衍射环的全角为63  $\mu\text{rad}$ ,其内能量占全部能量的40%。而实际上由于光束存在着波相差、光斑的不均匀性等因素影响其远场光束质量,因此第一衍射环中的这部分能量所占的空间发散角不等于理论发散角,文中定义的 $\beta$ 因子为这个角度与理论极限衍射角之比。测试装置原理图如图1所示,在实验中,从激光器窗口输出的激光光束,经分束镜BS(其分束比3/1000),再经焦距为4.9 m的聚焦镜,平行光束将聚焦在焦平面上,在焦平面放置Micron Viewer7290A红外光电摄像机,在其前放置37 dB的中性衰减片。摄像机接收在焦平面上光斑的能量分布,根据这种能量的分布来计算光束的远场发散角和漂移。其测试结果如图3和图4所示。

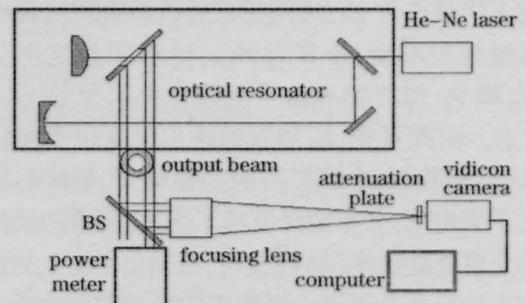


图1 实验装置原理图

Fig.1 Scheme of experimental setup

作者简介: 公发全(1975-),男,大连化学物理研究所硕士。主要从事氧碘化学激光器的研究和光学测试工作。  
E-mail: gfquan@sina.com

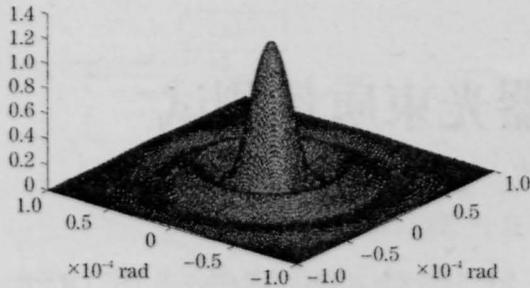


图2 激光远场光斑能量分布

Fig.2 Spot intensity distribution in far field

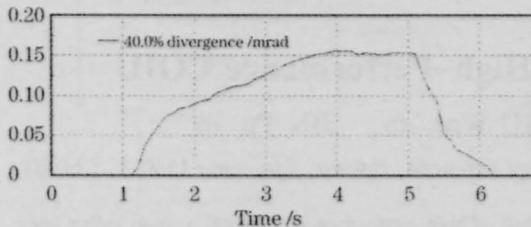


图3 光束发散角的时间曲线

Fig.3 Time curve of beam divergence angle

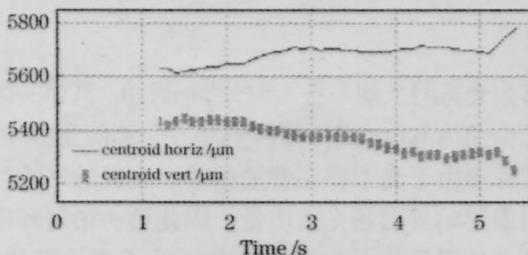


图4 光斑在焦平面位置漂移的时间曲线

Fig.4 Time curve of spot drift in focus plane

### 3 结果分析

在实验中,采用上述测量方法,对传感器的空间分辨率和时间响应有严格的要求。如果探测器的响应速度足够快,则光束质量和光束漂移的测量结果是相互独立的变量。反之,如果探测器的响应速度慢,即设冲击响应函数为  $h(t)$ ,则其输出为  $h(t)$  和输入信号函数  $B(t)$  的卷积。假设光束质量在整个测试过程中不变,令其为  $B(x, y)$ ,其漂移速度分别为  $V_x$  和  $V_y$ ,那么输入信号函数可表示为  $B(x-V_x t, y-V_y t)$ 。由此可见,探测器的输出强度包含漂移的要素,漂移越大,光强分布的拖影越大,强度的分布越趋于平均化,分布的峰值越不明显,测得的结果比实际光束质量要差。在测量时,根据焦平面上的能量分布来计算其  $\beta$  因子,列阵摄像机的像束中心距  $L$  直接影响测量精度, $L$  越小其测量精度越高,可以采用像束细分技术来提高测量精度,但一般方法的相

对误差为  $L/2D$ ,  $D$  为第一衍射环的能量所占的尺寸,在本实验中,理想光斑第一衍射直径尺寸为  $300 \mu\text{m}$ ,像束间距为  $20 \mu\text{m}$ ,所以其相对误差为  $3.3\%$ 。

从测量结果可以看出,光束的发散角由低到高,再由高到低,其上升沿和下降沿都近似为  $e$  指数函数,而中间比较平缓,这是由于摄像机具有固定的响应时间,从曲线可分析出响应时间约为  $0.5 \text{ s}$ ,其原因在于这种摄像机是采用光敏传感器阵列技术,因此这种摄像机不适合测量光束漂移比较大的激光光束。对于这台激光器由于其  $4$  秒钟的漂移小于  $60 \mu\text{rad}$ ,而理想光束发散角为  $63 \mu\text{rad}$ ,测量结果偏大误差小于  $11.9\%$ ,因此可以作为光束质量的测试元件。

这台激光器的光束质量测量结果表明, $\beta$  平均值小于  $2$ ,但曲线中有部分超过  $2$ ,其原因之一是由漂移引起的,这与探测器的响应时间有关。所以在条件允许的情况下,为了更有效地进行测量,需要采用响应速度快的传感器。同时,摄像机本身成像时有其器件本身的渐晕问题<sup>[4]</sup>,也将影响其测量结果,这需要更深入的研究。如果忽略激光光束特性的细节,只是衡量靶面上连续激光的作用的能量分布特性,可以采用长时间累计的方法来评价光束质量。这样,就完全忽略了光束漂移,测得的  $\beta$  本身已包含了漂移的影响要素,但这样的测量对探测器的要求相对较宽松,较容易实现。

### 参 考 文 献

- 1 Liu Wanfa, Han Xinmin, Zhao Tong *et al.*. Experimental investigation on COIL with a square pipe-array jet-type  $\text{O}_2(\Delta)$  generator [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, **13**(3): 257-260  
刘万发,韩新民,赵彤等.方列管型射流  $\text{O}_2(\Delta)$  发生器的 COIL 出光研究[J]. *强激光与粒子束*, 2001, **13**(3): 257-260
- 2 Du Xiangwan. Factors for evaluating beam quality of a real high power laser on the target surface in far field[J]. *Chinese J. Lasers*, 1997, **A24**(4): 327-332  
杜祥婉.实际强激光远场靶面上光束质量的评价因素[J]. *中国激光*, 1997, **A24**(4): 327-332
- 3 Liu Zejin, Lu Qisheng, Zhao Yinjun. Study of evaluating beam quality of high energy lasers [J]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**(3): 193-196  
刘泽金,陆启生,赵尹君.高能非稳腔激光器光束质量评价的探讨[J]. *中国激光*, 1998, **A25**(3): 193-196
- 4 Gong Faquan, Zhang Xiaohui, Zhang Wei *et al.*. Comprehensive estimating and measuring method of TDICCD modulation transfer function [J]. *Optical Technique*, 2002, **28**(3): 228-233  
公安全,张晓辉,张伟等. TDICCD 调制传递函数检测及评价方法研究[J]. *光学技术*, 2002, **28**(3): 228-233