

文章编号: 1001-3806(2003)05-0484-02

## 连续和脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器频率稳定度的测量

成向阳 王 骐 田兆硕 陆 威

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨, 150001)

**摘要:** 采用拍频法测量 CO<sub>2</sub> 激光器频率稳定度。计算机通过 IEEE488 接口直接从计数器上接收数据, 并通过程序计算出激光器的频率稳定度。采用脉冲外差法测量脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器频率稳定度。

**关键词:** CO<sub>2</sub> 激光器; 频率稳定度; 测量; 脉冲

**中图分类号:** TN248.2<sup>+</sup>2; TM935.12 **文献标识码:** A

## CW and pulse CO<sub>2</sub> laser frequency stability measurement experiment

Cheng Xiangyang, Wang Qi, Tian Zhaoshuo, Lu Wei

(National key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

**Abstract:** The frequency stability of CW CO<sub>2</sub> laser was measured with beat frequency method. A computer received data directly from a counter through IEEE488 interface, then calculated the laser's frequency stability. A pulsed CO<sub>2</sub> laser's frequency stability was measured with pulse heterodyne method.

**Key words:** CO<sub>2</sub> laser; frequency stability; measurement; pulse

### 引 言

在许多应用中, 激光器的频率稳定度是一个很重要的指标, 如激光雷达、激光制导和激光光谱研究等均对激光频率变化范围有或严或松的要求<sup>[1-3]</sup>。对如何获得频率稳定度高的激光器已有了很多报道<sup>[4-6]</sup>。如何有效地对连续和脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器进行频率稳定度的测量成为人们关注的课题。笔者利用实验室的多台 CO<sub>2</sub> 激光器, 对连续和脉冲频率稳定度的测量做了研究。

### 1 频率稳定度标注及测量方法

频率稳定度通常指激光器在连续运转时, 在一定的观测时间  $T$  内, 频率的平均值  $\bar{\nu}$  与该时间间隔内频率的起伏量  $\Delta\nu$  之比。即:

$$S(\nu) = \bar{\nu} / \Delta\nu \quad (1)$$

一般把  $S$  的倒数作为稳定度的量度, 即:

$$S^{-1}(\nu) = \Delta\nu / \bar{\nu} \quad (2)$$

对频率的观测时间不同, 其测量结果也不同。比较恰当表示方法是, 在稳定度数值后面标明观测时

间值, 例如  $S(\nu) = 10^{-10}$  ( $T = 10\text{s}$ )。

由于频率起伏是随机的, 所以, 频率稳定度常采用统计的阿仑方差进行处理。激光频率偏差的双取样阿仑方差为:

$$\sigma^2(2, T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\nu_{2i} - \nu_{2i-1}}{2} \right)^2 \quad (3)$$

式中,  $\nu_{2i}, \nu_{2i-1}$  是在观测时间  $T$  内连续测量的两个相邻的频率值。激光频率稳定度的双取样阿仑方差为:

$$S = \frac{\sqrt{\sigma^2(2, T)}}{\bar{\nu}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(\nu_{2i} - \nu_{2i-1})^2}{2N}} \quad (4)$$

式中,  $\bar{\nu}$  是观测时间  $T$  内激光平均频率。

由于 CO<sub>2</sub> 激光频率甚高 (2.83e13Hz), 目前, 直接测量其频率稳定度是不可能的, 所以, 通常利用拍频的方法进行相对测量。如果有一台稳定度优于待测激光器一个量级以上的稳频激光器, 则可以把测得的拍频稳定度认为是待测激光器的稳定度。否则可以用两台相同级别的激光器拍频, 拍频稳定度除以  $\sqrt{2}$  就是单个激光器的稳定度。

### 2 实验装置

首先, 采用两台连续 CO<sub>2</sub> 激光器进行拍频测量, 两束激光合束后用 HgCdTe 探测器接收, 输出电

作者简介: 成向阳, 女, 1971 年 11 月出生。硕士, 助研。现主要从事 CO<sub>2</sub> 激光技术研究工作。

收稿日期: 2002-12-31; 收到修改稿日期: 2003-02-26

信号同时被送至计数器和示波器,计数器输出的数字信号通过 IEEE488 接口送至计算机,通过程序控制从计数器读数并计算得出频率稳定度。实验装置如图 1 所示。

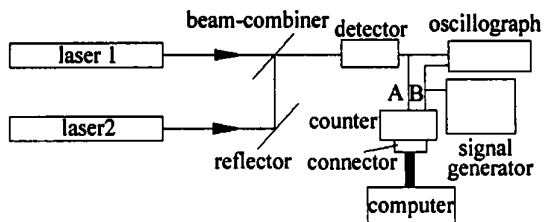


Fig. 1 Experiment set sketch for measure frequency stability using frequency beating

ss1992 纳秒通用计数/计时器可通过 GPIB 工作于“寻址方式”或“只讲方式”。若用“寻址方式”仪器全部功能除电源开/关和备用开关外,都可通过总线发送器件命令来控制;而“只讲方式”则需用仪器的前面板来控制。选择计数器的频率 A 功能键,和适当的闸门时间后,从示波器上监视拍频效果,当两束激光的外差信号稳定时,即可运行控制程序,由程序控制计数器测量若干次拍频频率,最后可计算出拍频稳定度和对应的激光器频率稳定度。

还开展了脉冲 CO<sub>2</sub> 激光器和连续 CO<sub>2</sub> 激光器的拍频率稳定度测量。选择计数器的计数 A by B 功能键,信号发生器生成的与脉冲激光同频率的方波同时送至示波器和计数器 B 通道,调节信号发生器的延迟和脉宽,使方波高电平位于脉冲外差信号最强处。计数器工作时,从方波脉冲上升沿开始计数,下降沿停止计数。从而得出在一定时间内包含的正弦周期数,经计算可得脉冲频率,从而进一步计算脉冲频率稳定度。

### 3 实验结果及讨论

从示波器上观察到的拍频信号如图 2 所示。测量结果分别列于表 1。

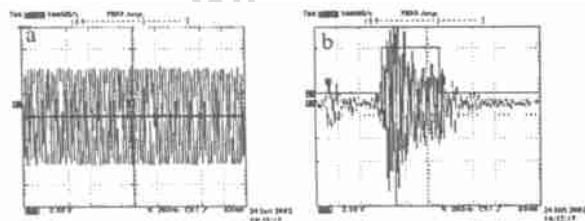


Fig. 2 Heterodyne signal of CO<sub>2</sub> laser

a—CW heterodyne signal b—pulse heterodyne signal

根据实验结果,射频激励双通道波导 CO<sub>2</sub> 激光器连续运转时的频率稳定度最优为  $7.3608e-9$  ( $\tau = 10s$ )。当其中一个通道为电光调 Q 脉冲输出时,其

脉冲频率稳定度最优为  $7.781e-8$  ( $\tau = 10s$ )。从测量结果来看,连续运转频率稳定度比脉冲运转频率稳定度好约一个数量级。

Table 1 Frequency stability of CW and pulsed CO<sub>2</sub> lasers

CW frequency stability	pulse frequency stability
$7.36080e-9$	$7.781e-8$
$2.17414e-8$	$1.503e-7$
$4.69453e-8$	$1.392e-7$
$1.96458e-8$	$2.917e-7$
$7.36080e-9$	$8.367e-8$

实验过程中发现电光调 Q 脉冲激光器的脉冲建立时间漂移较严重,有时会导致计数器 B 通道的方波脉冲与激光脉冲不重合,计数时间内有时有空白,如图 3a 所示。另外,脉冲外差强度不稳定(如图 3b 所示),也导致计数时间偏长,使脉冲频率稳定度的测量出现误差。

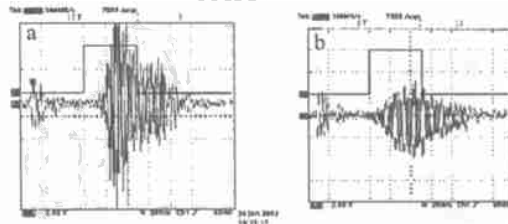


Fig. 3 Two factors leading to error while measuring pulse frequency stability

a—fluctuation of pulse emission time b—fluctuation of pulse heterodyne intensity

为了更合理地估计脉冲激光器的频率稳定度,可以把计数器纪录的数据中的奇异点去除,再计算其频率稳定度。如脉冲频率稳定度的第 1 组数据中,如去除一个计数为 0 的数据后,计算出频率稳定度为  $4.952e-8$ 。

测量时可适当手动调节方波的延迟时间,使其始终处在合适位置,可减小激光脉冲建立时间漂移导致的误差。另外,选取适当的方波宽度和位置,为脉冲建立时间的漂移留出一定余度,也可减少误差概率。

### 4 结论

采用外差方法测量了双通道波导 CO<sub>2</sub> 激光器的连续运转时的频率稳定度,采用脉冲外差法测量了双通道中一个通道为脉冲运转时的脉冲频率稳定度。讨论了出现脉冲频率稳定度测量误差的两种情况,并给出了消除误差的几种方法。由实验结果可

(下转第 489 页)

也为 2.9kW,得到的最大熔深超过 5mm。观察发现,在形成较大深熔小孔后,停止高峰值功率的脉冲光束的照射,在连续激光束继续作用的过程中,激光火焰熄灭;最大熔深和激光火焰熄灭时间之间存在着严格的关系。这种现象说明,较高峰值功率的脉冲激光和连续激光复合焊接时,在形成较大深熔小孔后,较高峰值功率的脉冲激光停止照射,功率密度减小,等离子体云可以消失。因此,较高峰值功率的脉冲激光的辅助作用能够加大焊接熔深,提高焊接能力和激光能量利用率,同时改善焊接的稳定性。

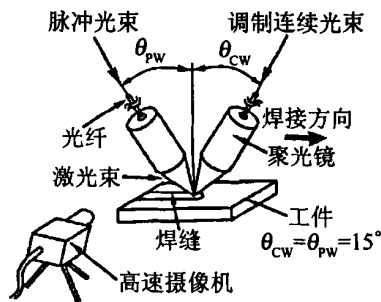


图 4 双激光束焊接

## 5 结 论

(1) 单独用激光做能源焊接时,热作用和影响区窄,无电极污染,但能量利用率较低,适宜于薄板精密焊接,对导热系数高、对激光反射率高的金属材料焊接困难,而且焊接接口处易发生错位,易生成气孔和疏松,产生变形和裂纹,因而不少场合采用激光与其它热源复合焊接的方法来克服这些缺点。

(2) 激光-电弧复合焊接的热作用和影响区较宽,不易形成气孔、疏松、变形和裂纹,因电弧与激光的相互作用,能量利用率较高,焊接能力提高,可以焊接较厚的金属材料,也适宜于导热系数高、对激光反射率高的金属材料,对接口精度的要求也不高,并可添加合金元素,调整焊缝成分、消除焊缝凹陷,但存在电极污染。

(3) 激光-等离子弧复合焊接与激光-电弧复合焊接一样,其热作用和影响区较宽,不易形成气孔、疏松、变形和裂纹,而等离子弧与激光的相互作用使

能量利用率提高,焊接能力相对更高,可以焊接较厚的金属材料,同样也适宜于导热系数高、对激光反射率高的金属材料,对接口精度的要求也不高,不存在电极污染,焊接过程也比较稳定。

(4) 激光-高频感应热源复合焊接因高频感应预热,热影响区温度梯度较低,激光被工件吸收利用的比率增高,可改善焊接后的微观组织,提高焊缝强度,消除裂纹、气孔、变形,提高焊接速度,但需要专用装置,适于管类工件,且工件必须能被电磁感应。

(5) 双激光束焊接因为激光功率密度周期地改变,吸收和散射激光能量的等离子体云不能维持,激光能量利用率提高,焊接熔深加大,可以焊接较厚的材料,但要求两束激光的频率和峰值功率适当匹配。

(6) 各种复合焊接方法各自综合发挥激光和其它热源的长处,改变热源功率密度在时间和空间上的分布,能在不同方面、不同程度上减少或消除单独激光焊接的缺陷,提高激光能量利用率和焊接能力,是激光焊接的一个发展趋势。

## 参 考 文 献

- [1] 阿部信行,林雅一. 溶接学会志,2001,70(4):7~11.
- [2] 牧野吉延,椎原克典,浅井知. 溶接学会志,2001,70(4):18~22.
- [3] Khersonsky A, Lee H. *Advanced Materials & Process*, 2000(4): 39~41.
- [4] 王家淳. 激光技术,2001,25(1):48~53.
- [5] 陈 健. 焊接,1994(4):2~6.
- [6] 冯曰梅,周方明,蒋成禹. 焊接,2002(1):5~9.
- [7] 胡绳荪,张绍彬,赵家瑞. 焊接学报,1993,14(3):159~163.
- [8] 樊 丁,中田一博,牛尾诚夫. 应用激光,2002,22(2):169~171.
- [9] 石出孝,名山理介,渡边真生 *et al.* 溶接学会志,2001,70(4): 12~17.
- [10] Walduck R P, Biffin J. *Welding & Metal Fabrication*, 1994, 62(4):172~176.
- [11] Al-Shamma 'a A I, Wylie S R, Lucas J *et al.* *J Materials Processing Technology*, 2002, 121(1):143~147.
- [12] Luijendijk T. *Lastechniek*, 1998, 64(11):9~12.
- [13] Ono M, Shiozaki T, Shinbo Y *et al.* *Quarterly Journal of Japan Welding Society*, 2001, 19(2):233~240.
- [14] Narikiyo T, Miura H, Fujinaga Sh *et al.* *J Phys D*, 1998, 31(8): 2331~2337.

(上接第 485 页)

知,双通道波导 CO<sub>2</sub> 激光器脉冲工作时频率稳定度比连续工作时的频率稳定度差约一个数量级。

## 参 考 文 献

- [1] Piltingsrud H V. *Appl Opt*, 1991, 30(27):3952~3963.

- [2] Acef O. *IEEE Trans*, 1997(46):162~165.
- [3] Freed C. *SPIE*, 1982, 335:59~68.
- [4] Ouhayoun M, Boorde C J. *Methologia*, 1997, 13:149~150.
- [5] George T, Nicolaisen H W, Bernard V *et al.* *SPIE*, 1995, 2378: 156~175.
- [6] Gryaznov N A, Kiselev V M, Sosnov E N *et al.* *SPIE*, 1993, 2095:161~166.