

文章编号: 1001-4322(2002)03-0337-04

# 以氮气为载气的千瓦级 CO L 的初步实验研究\*

房本杰, 陈 方, 张岳龙, 金玉奇, 桑凤亭

(中国科学院 大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023)

摘 要: 首次在氯气流量为 110mmol/s, 采用方列管型射流式 O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ) 发生器(SPIJSG)以及列阵式超音速氧碘混合喷管的 CO L 装置上, 以氮气替代氦气作为载气进行出光实验研究。初步实验获得 1.8kW 的激光输出功率以及 18% 的化学效率。

关键词: CO L; SPIJSG; 以氮气为载气; 激光输出功率; 化学效率

中图分类号: TN 248.5 文献标识码: A

近几年来, 在国际氧碘化学激光(简称 CO L)领域, 以氮气为载气的 CO L (以下简称为 N<sub>2</sub>-CO L) 研究已经成为最值得关注的热点课题之一。尽管以氦气为载气的 CO L (以下简称为 He-CO L) 技术已比较成熟, 但氦气的资源缺乏, 价格昂贵, 使 CO L 实验与应用增大了成本, 尤其随着 CO L 规模的加大, 这个问题会越来越突出, 在很大程度上限制了 CO L 的实用化以及工业应用。相比之下, 氮气资源丰富, 价格便宜, 而且可以液态储存, 有利于 CO L 向装置尺寸小型化的方向发展。

近几年来各国的研制结果表明<sup>[1~4]</sup>, 在 N<sub>2</sub>-CO L 装置上可以获得与 He-CO L 相比拟的化学效率。因此, 氮气取代氦气作为 CO L 的载气已成为 CO L 发展的必然趋势。

在我国, N<sub>2</sub>-CO L 的研究尚未见报导。而在采用方列管型射流式单重态氧发生器<sup>[5]</sup>(SPIJSG)的 CO L 装置上进行以氮气为载气的研究, 在国际上亦未见报导。初步的实验结果表明, 此装置的潜力很大, 若做进一步的优化, 完全有希望达到 He-CO L 的水平。

## 1 实验装置

氯气流量为 110mmol/s 的小型 CO L 实验装置示意图如图 1 所示。O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ) 发生器为我们自行研制的方列管型射流式(详见文献[5]), 具有加工容易, 组装精度高, 产生的 BHP 射流质量高, 发生器工作稳定性好等诸多优点。在此小 CO L 装置上, 用了 4 根方管, 其中每根长度 100mm, 外截面 16mm × 16mm, 壁厚 1mm, 底面射流孔  $\phi$  7mm, 比表面积 3 1cm<sup>-1</sup>。发生器反应区横截面 10cm × 6cm, 长度 25cm。氯气与氮气的混合气体由发生器反应区下部双面引入, 单面进气面积 6cm × 6cm。发生器的出气方式为上出气。发生器与氧碘混合喷管之间

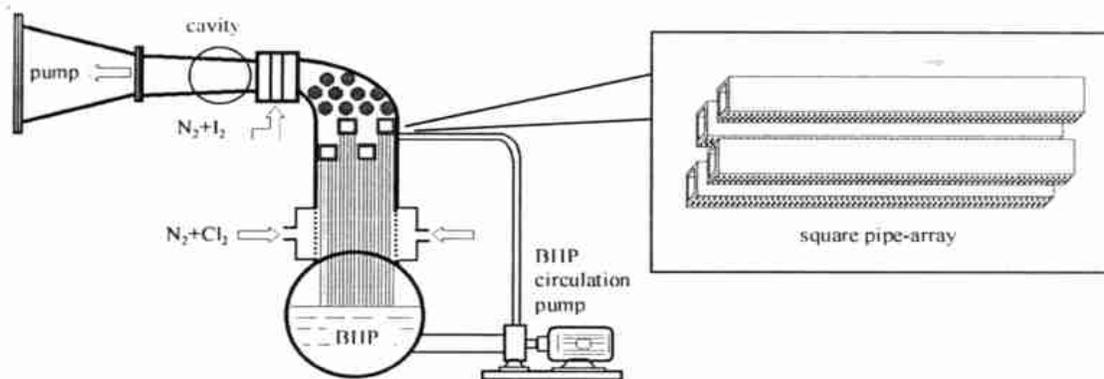


Fig 1 Experimental setup of CO L with SPIJSG

图 1 采用方列管型射流式 O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ) 发生器的 CO L 装置

\* 第六届全国激光科学技术青年学术交流会优秀论文。

收稿日期: 2001-10-29; 修订日期: 2001-12-07

基金项目: 国家 863 激光技术领域资助课题(863-410-4-1)

作者简介: 房本杰(1971-), 男, 物理化学在读博士, 主要研究方向为化学激光; e-mail: bjfang@dicp.ac.cn; 大连 110 信箱。

的过渡段中,置入一定数量的聚四氟乙烯棒,一方面用来减小过渡段气体空间以缩短气体停留时间,另一方面在一定程度上也起到了气液分离器的作用。

氧碘混合喷管及光腔结构示意图如图 2 所示。其中,喷管阵列由 14 个分体式喷管构成,碘注入孔距喷管喉道 12mm,喷管喉道宽度 6.5mm,喷管高度 20mm,喷管出口马赫数  $Ma=2$ ,增益长度为 17cm。光腔为平凹腔,腔长 70cm,中心光轴距喷管出口 3cm,全反镜为  $\phi 0$ mm 的曲率半径为 5m 的凹面硅镜,输出耦合镜为  $\phi 0$ mm 平面石英镜,输出耦合率为 2.7% (以氦气为载气时耦合率为 4.9%)。光腔的上下壁为透明的有机玻璃,以便实验观察氧碘在混合时产生的荧光情况。

激光输出能量与功率可同时测量,光路安排如图 3 所示。激光能量由  $\phi 300$  积分球测量,瞬时功率由 Newport Power Meter (Model 1825C) 测量,当激光功率达到 kW 量级且功率随时间变化波形比较平坦时,二者的读数经换算基本一致。30mW 的 He-Ne 激光器用于调控与光路准直。

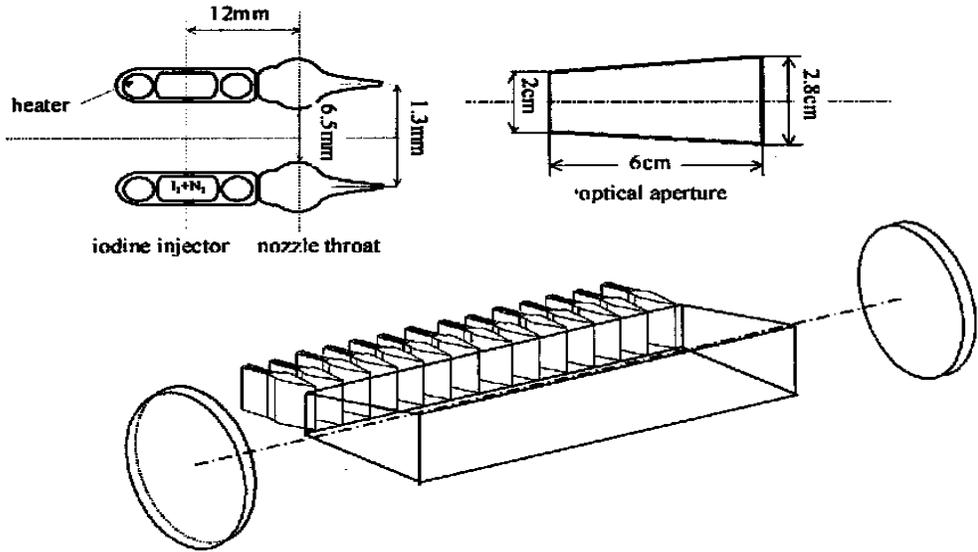


Fig 2 CO L nozzle/cavity configuration

图 2 CO L 喷管与光腔结构

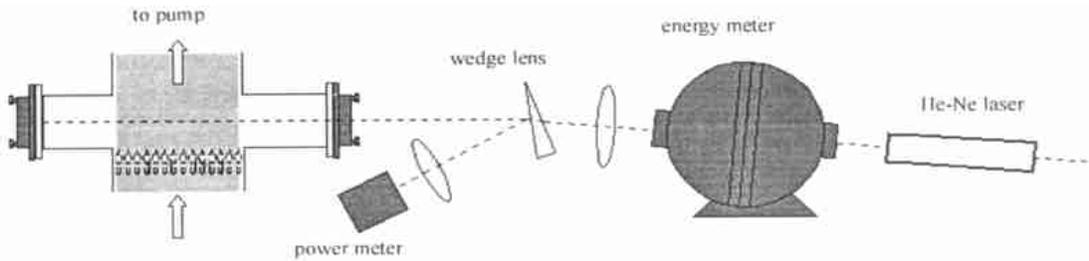


Fig 3 Schematic of energy and power measurement of CO L output

图 3 CO L 输出能量与功率测量示意图

## 2 实验条件及结果

为了对比研究氮气替代氦气作为 CO L 载气所引起的新的特点和规律,我们在上述 CO L 装置上分别进行了两种载气的 CO L 实验,具体数据如表 1 所示。

其中,发生器  $p\tau$  值为初始氯气分压与气体在发生器中的停留时间的乘积。稀释比(dilution ratio)为载气流量与氯气流量的比值。

## 3 分析与讨论

根据对比实验以及粗略估算,分析  $N_2$ -CO L 化学效率低于 He-CO L 的可能原因如下:

(1)  $N_2$ -CO L 的气流速度低于 He-CO L,使得气体在发生器及过渡段停留时间较长且氯气初始分压(或总氧分压)较大,引起较大的  $O_2(^1\Delta)$  的气相猝灭<sup>[6,7]</sup>。但对比其他典型 CO L 的  $p\tau$  值,如  $(0.1 \sim 0.2) \times 133Pa \cdot$

$s^{[8]}$ , 本实验N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L的 $p\tau$ 值( $0.08 \times 133\text{Pa} \cdot \text{s}$ )还是很小的, 因此可认为O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ)的气相猝灭不是主要的。

(2) 在亚音速的氧碘混合解离段, N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L气体停留时间较长(1.6倍于He-CO<sub>2</sub> L)可引起较大的水对激发态粒子(I<sup>\*</sup>, I<sup>+</sup>)的猝灭, 最终造成较大的O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ)损失<sup>[9]</sup>。而且, 激活介质的增益峰值移到光腔上游的喷管内, 将进一步影响光腔的功率输出。参考文献[1]的模拟计算, 因为这个原因, 可使N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L的光腔小信号增益系数以及化学效率相对于He-CO<sub>2</sub> L低20%以上。因此在以后的实验中, 应该将碘蒸气注入孔向喷管喉道拉近。

表1 实验条件及结果

Table 1 Experimental conditions and results

diluting gas	He	N <sub>2</sub>
Cl <sub>2</sub> flow rate/(mmol · s <sup>-1</sup> )	110	110
dilution ratio	5 : 1	2.7 : 1
pressure of SPJ SO G/133Pa	37	37
$p\tau$ of SPJ SO G/(133Pa · s)	0.03	0.08
BHP jet velocity/(m · s <sup>-1</sup> )	5	5
gas velocity/(m · s <sup>-1</sup> )	56	34
I flow rate/(mmol · s <sup>-1</sup> )	3	3
secondary N <sub>2</sub> /(mmol · s <sup>-1</sup> )	90	90
pressure of cavity/133Pa	3	3
lasing time/s	4	4
laser power/kW	2.4	1.8
chemical efficient/%	24	18

(3) 由于氮气分子的绝热系数( $\gamma=1.4$ )低于氦气( $\gamma=1.67$ ), 气体经超音速喷管绝热等熵膨胀后将导致较高的光腔增益介质温度, 从而引起O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ)阈值产率的提高以及小信号增益系数的减小<sup>[10]</sup>。粗略估算, 假设上游滞止温度 $T_0=300\text{K}$ , 则N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L腔温 $T_c=167\text{K}$ , O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ)阈值产率 $Y_{th}=0.06$ ; 而He-CO<sub>2</sub> L腔温 $T_c=130\text{K}$ , O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ)阈值产率 $Y_{th}=0.03$ ; N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L的小信号增益系数相对于He-CO<sub>2</sub> L下降了约20%。日本的实验也表明(参见文献[3]), 若通过液氮冷却氮气以降低光腔增益介质温度, 可将化学效率相对提高15%。

在实际对比实验中, N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L的输出功率相对于He-CO<sub>2</sub> L低25%。考虑到粗略估算有误差, 以上的分析大体上能够解释实验结果的。

## 4 结 语

尽管在初步实验中, 我们的N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L化学效率低于He-CO<sub>2</sub> L, 但N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L仍表现出很大的发展潜力: 在很高的气流速度下, SPJ SO G仍能稳定工作而不需要冷阱, 表现了该发生器突出的优越性。发生器低的 $p\tau$ 值为增加氯气流量和提高工作压力留下了较大的空间, 若进一步采用大比表面积、短反应区长度的发生器以及最大限度减小过渡段, 则CO<sub>2</sub> L的体积效率和化学效率将同时得以提高。适当缩短氧碘混合解离段的长度, 可以获得与He-CO<sub>2</sub> L相当的氧碘混合解离时间。若氮气经液氮冷却, 可显著降低光腔增益介质温度, 从而提高小信号增益系数及激光输出功率。

在装置条件还未优化情况下, 我们的N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L已经获得18%的化学效率。因此, 该N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> L装置值得进一步的深入研究。

致谢 感谢大连化学物理研究所701组、702组以及703组全体同志为本实验提供了大量的支持和帮助, 感谢704组同志在激光腔镜上提供的帮助。

## 参考文献

- [1] Carroll D L, King D M, Fockler L, et al. CO<sub>2</sub> L for industrial applications[A]. Proc of 29<sup>th</sup> Plasma dynamics and Lasers Conference[C]. Albuquerque, NM, USA, 1998.
- [2] Nikolaev V D, Zagidullin M V. Completely scaleable 1kW class CO<sub>2</sub> L with Verti-JSO G and nitrogen buffer gases[A]. Proc of 30<sup>th</sup> Plasma dynamics and Lasers Conference[C]. Norfolk, VA, USA, 1999.
- [3] Endo M, Nagatomo S, Takeda S, et al. High-Efficiency Operation of Chemical Oxygen-Iodine Laser Using Nitrogen as Buffer Gas[J].

- IEEE*, 1997, **34**(3): 393—398
- [4] Sung-Ok K, Taek-Soo K, Seong-Hoon K, et al BHP jet stabilization of CO L [A]. 13<sup>th</sup> International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High-power Laser Conference[C]. Italy Florence: 2000
- [5] 刘万发, 韩新民, 赵彤, 等. 方列管型射流式 O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ) 发生器的 CO L 出光研究[J]. 强激光与粒子束, 2001, **13**(3): 257—260 (Liu W F, Han X M, Zhao T, et al. Experimental investigation on CO L with a square pipe- array jet-type O<sub>2</sub>(<sup>1</sup>Δ) generator. *High power laser and particle beams* 2001, **13**(3): 257—260)
- [6] Yang T T, Copeland D A, Bauer A H, et al. Chemical Oxygen-Iodine Laser Performance Modeling[A]. Proc of 28<sup>th</sup> Plasmadynamics and Lasers Conference[C]. Atlanta, GA, USA, 1997.
- [7] 房本杰, 魏凌云, 陈方, 等.  $p\tau$ 值对 CO L 影响的实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2002, **14**(1): 26—28 (Fang B J, Wei L Y, Chen F, et al. Experimental investigation of the influence of  $p\tau$  on CO L. *High power laser and particle beams*, 2002, **14**(1): 26—28)
- [8] McDermott W E. performance characteristics of a high pressure jet generator[A]. Proc of SPIE[C]. 1998, **3268**: 88—98
- [9] Wani F, Endo M, Fujōka T. High-pressure high-efficiency operation of a chemical oxygen-iodine laser[J]. *Applied Physics Letters*, 1999, **75**(20): 3081—3083
- [10] 庄琦, 桑凤亭, 周大正. 短波长化学激光[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997. (Zhuang Q, Sang F T, Zhou D H. shortwavelength chemical lasers[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1997)

## Experimental investigation on kilowatts CO L with SPJSOG and nitrogen buffer gases

FANG Ben-jie, CHEN Fang, ZHANG Yue-long, JIN Yu-qi, SANG Feng-ting

(Dalian Institute of Chemical Physics, the Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 110, Dalian 116023, China)

**Abstract** A chemical oxygen-iodine laser (CO L) with a square pipe- array jet- type singlet oxygen generator (SPJSOG), an array of supersonic E-O<sub>2</sub> mixing nozzles and nitrogen buffer gases was developed in our laboratory. In our primary experimental stage, an output power of 1.8kW was obtained for a chlorine flow rate of 110mmol/s, corresponding to a chemical efficiency of 18%. The SPJSOG has shown great stabilities during operation in the case of no gas-liquid separator and cold trap. Although not optimized for the nitrogen buffer gas in our primary experimental stage, the CO L device has shown great potential to approach the performance of the CO L with helium buffer gases

**Key words:** CO L; SPJSOG; nitrogen buffer gas; output power; chemical efficiency