

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0279-03

氮气为稀释气的氧碘化学激光器射流式 氧发生器诊断

赵伟力^{1,2}, 房本杰¹, 王增强¹, 陈方¹, 张岳龙¹, 多丽萍¹, 金玉奇¹, 桑凤亭¹

(¹中国科学院大连化学物理研究所, 辽宁 大连 116023; ²海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

摘要 考察了氮气作为稀释气体的氯气流量为 0.1 mol/s 的射流式方管氧发生器的性能。氯气利用率、单重态氧产率以及水汽含量的测试结果表明, 只要把氮气流量控制在不超过氯气的 3 倍, 则发生器的性能完全可以达到氮气作为稀释气体时的水平。

关键词 激光技术; 氧碘化学激光器; 单态氧发生器; 氮气; 性能

中图分类号 TN248.5

文献标识码 A

Diagnostics of Singlet Oxygen Generator for Chemical Oxygen-Iodine Laser with Nitrogen Dilution

ZHAO Wei-li^{1,2}, FANG Ben-jie¹, WANG Zeng-qiang¹, CHEN Fang¹, ZHANG Yue-long¹,

DUO Li-ping¹, JIN Yu-qi¹, SANG Feng-ting¹

(¹ Dalian Institute of Chemical and Physics, P.O.Box 110, Dalian, Liaoning 116023, China)
(² Dalian Naval Academy, Dalian, Liaoning 116018, China)

Abstract A jet-type singlet oxygen generator in which chlorine flow rate is 0.1 mol/s was researched. The measurement results of chlorine utilization, $O_2(a^1\Delta)$ yield and water vapor indicated that this kind of generator has the same ability as that with helium dilution when the nitrogen flow rate is not more than third times of chlorine.

Key words laser technique; COIL; singlet oxygen generator; nitrogen; performance

1 引言

氧碘化学激光器(COIL)是近二十几年发展起来的高能高效化学激光器。氧碘化学激光器的化学能源是 $O_2(a^1\Delta)$, 氧发生器气流中 $O_2(a^1\Delta)$ 和水汽含量的多少将直接影响到激光器的输出功率^[1,2], 故高效的单重态氧发生器是其高效操作的前提。

目前对于用氮气作为稀释气体的 COIL 技术已较为成熟, 而用氦气作稀释气体将更为经济, 同时也使新型压力恢复系统——低温分子筛吸附泵的应用成为可能, 有利于 COIL 装置的小型化, 因此近年来各国相继进行了很多相关研究工作^[3-6]。在我国, 用氮气作为稀释气体的研究才刚刚开始, 由于 COIL 的功率与单重态氧发生器的结构和性能有直接关系, 所以需要进一步研究氮气作为稀释气体对

氧发生器性能的影响。

氧发生器的性能主要通过氯气利用率, $O_2(a^1\Delta)$ 产率和发生器出口处的水汽含量三个参数来衡量, 在氯气流量一定的前提下, 氯气利用率和 $O_2(a^1\Delta)$ 产率越高、水汽含量越低, 则表明氧发生器的性能越好。对射流式方管氧发生器上述几个主要参数的测试结果表明, 合适控制氮气流量, 该发生器完全可以达到氦气作稀释气体的水平。

2 实验装置

实验是在一台氯气流量为 0.1 mol/s 的方管式射流氧发生器上进行的。图 1 为该发生器的结构示意图。一共有 4 根为 10 cm 长的方管, 每个方管下部有一些直径为 0.7 mm 的射流孔, 该发生器的比表面

基金项目: 国家 863 计划项目资助课题(863-802-2)。

作者简介: 赵伟力(1967-), 女, 中科院大连化学物理研究所副教授, 博士。主要从事氧碘化学激光诊断测试及相关基础研究。E-mail: zhaoweili@yahoo.com.cn

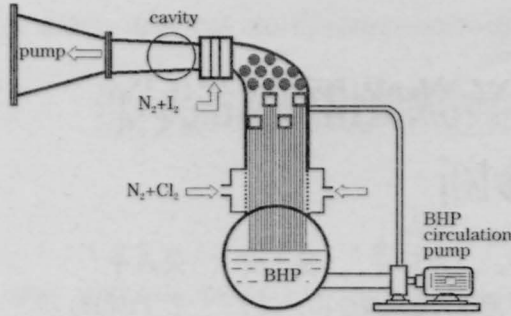


图1 射流式单态氧发生器结构示意图
Fig.1 Schematic illustration of JSOG

积约为 3.1 cm^{-1} 。具体的发生器结构参数见文献^[7]。

氧发生器的氯气利用率和 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率是利用喇曼散射光谱法^[8]测得的,水汽含量是利用吸收光谱法^[9]测量的。

3 结果与讨论

3.1 氯气利用率

氯气利用率是利用喇曼散射光谱法进行测试的,通过对测得的喇曼散射光谱 $\text{O}_2(a^1\Delta)$, $\text{O}_2(X^3\Sigma)$ 和氮气的峰下面积积分,计算可得氯气的利用率,表1为一系列实验数据和结果。显然,在一定的发生器比表面积和反应区长度及不变的氮、氯流量等实验条件下,该射流式氧发生器的氯气利用率均在90%左右,这与用氦气作为稀释气的结果^[9,10]基本一致。

表1 氮气为稀释气射流式氧发生器氯气利用率的实验结果
Table 1 Experimental results of chlorine utilization with nitrogen dilution

No.	$\text{N}_2:\text{Cl}_2$	$P(\times 133 \text{ pa})$	Yield /%	η /%	Error /%
1	1.1	45	29	92	3.3
2	1.1	30	41	88	5.8
3	1.1	25	46	89	3.1
4	1.1	20	54	94	4.7
5	1.1	12	62	86	6.0

3.2 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率

分别将氦气和氮气用作稀释气体,图2为相应的 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率与发生器出口压力间的关系。显然,采用不同的稀释气体对于 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率的影响是不同的。

用氦气作为稀释气体时,发生器出口处压力在很大范围内都可得到较高的 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率,而用氮气作为稀释气体就只能在小范围内得到较高的 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率;在相同的稀释比例下,用氦气作为稀释气体时发生器的稳定性要好一些。这都是因为氦比氮的分子量

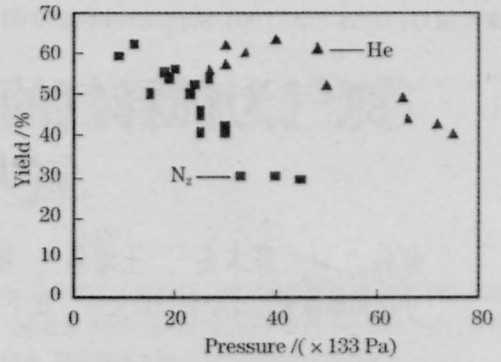


图2 氮气和氦气对产率的影响

Fig.2 Effect of nitrogen and helium on the yield

小,在相同速度情况下氦分子的动量较小,不易吹散射流,从发生器中带出的液滴量相对氮要少一些,发生器的稳定性也相对较好。从我们的实验结果看,只要将氮气流量控制在氯气流量的3倍以内,得到的 $\text{O}_2(a^1\Delta)$ 产率最高值与用氦气做稀释气体的情况基本一致,而且发生器工作状态稳定。

3.3 水汽含量

图3为水分压与载气流量变化的关系图,实验中保持氯气流量在 0.1 mol/s 基本不变,发生器压力也通过调整出口阀门而维持不变。显然,随着载气流量的不断增大,水分压呈现逐渐上升的趋势,在稀释比例4:1以下水分压上升不明显,当稀释比例在4:1以上该现象尤为显著。这与气体流速增加后,气流将一部分液滴带入测试池有直接关系,另外,也说明了发生器的气水含量已经接近或达到了饱和蒸汽压。当稀释比例达到5:1以上时,由于冲液的缘故,发生器已经不太稳定,水含量急剧增加。为此,在该氯气流量下,应将氮气的稀释比例选择在4:1以下的范围之内,这样才能获得较低的水汽含量。

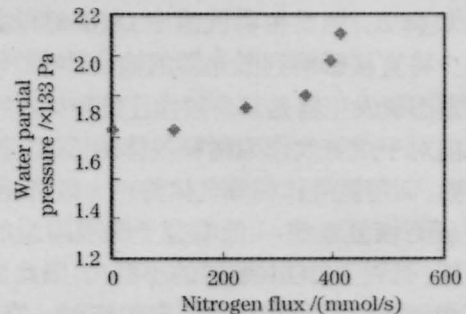


图3 水分压随稀释气体流量的变化关系

Fig.3 Partial water pressure versus nitrogen flow rate

4 结论

测试结果表明,在氯气流量、发生器比表面积和反应区长度等条件一定的情况下,用氮气作为稀释

气体时, 该射流式氧发生器的氮气利用率均在 90% 左右, $O_2(\alpha^1\Delta)$ 产率最高仍可达 65% 左右, 这与用氮气作为稀释气体的情况基本一致, 只是获得高产率的稀释比例范围比氮气作稀释气要小一些; 为获得较低的水汽含量, 氮气的稀释比例也要限制在一个较小的范围内。总之, 只要把氮气流量控制在不超过氧气的 3 倍, 该种发生器的性能完全可以达到氮气作为稀释气体时的水平。

由于氮气分子量大, 导致气体流速较低, 所以在减小氧发生器的死体积和过渡段长度的基础上, 氧碘混合区域也要作相应的改变, 喷管喉道面积、喷管出口马赫数应相应增加, 以减少 $O_2(\alpha^1\Delta)$ 的损失, 延长气流方向的增益介质长度, 这方面的工作还有待于进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 K. A. Truesdell, S. E. Lamberson. Philips Laboratory COIL technology overview[C]. *SPIE*, 1992, **1810**: 476-483
- 2 B. D. Barmashenko, A. E. Elor, E. Lebiush *et al.* Modeling of mixing in chemical oxygen-iodine lasers: Analytic and numerical solutions and comparison with experiments [J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, **75**(12):7653-7665
- 3 M. Endo, S. Nagatomo, S. Takeda *et al.* High-efficiency operation of chemical oxygen-iodine laser using nitrogen as buffer gas[J]. *IEEE*, 1997, **34**(3):393-398
- 4 D. L. Carroll, D. M. King, L. Fockler *et al.* COIL for industrial applications [C]. Proc. of 29th Plasmadynamics and Lasers Conference, Albuquerque, NM, USA, 1998
- 5 V. D. Nikolaev, M. V. Zagidullin. Completely scalable 1kW class COIL with Verti-JSOG and nitrogen buffer gases[C]. Proc. of 30th Plasmadynamics and Lasers Conference, Norfolk, VA, USA, 1999
- 6 K. Sung-Ok, K. Taek-Soo, K. Seong-Hoon *et al.* BHP jet stabilization of COIL[C]. 13th International Symposium on Gas Flow and Chemical Lasers and High-power Laser Conference, Italy Florence, 2000
- 7 B. J. Fang, F. Chen, Y. L. Zhang *et al.* Experimental investigation on kilowatts COIL with SPJSOG and nitrogen buffer gases[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, **14**(3): 337-340
房本杰, 陈方, 张岳龙等. 以氮气为载气的千瓦级 COIL 的初步实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2002, **14**(3): 337-340
- 8 William E. McDermott. Measurement of the $O_2(\alpha^1\Delta) - O_2(X^1\Sigma)$ ratio using Raman spectroscopy[C]. *SPIE*, 2000, **3931**:131-137
- 9 D. Furman, B. D. Barmashenko *et al.* Diode-laser-based absorption spectroscopy diagnostics of a jet-type $O_2(\alpha^1\Delta)$ generator for chemical oxygen-iodine lasers[J]. *IEEE*, 1999, **35**(4): 540-547
- 10 F. L. Li, B. L. Yang, Q. Zhuang. Theoretical study of optimum construction parameters of JSOG [J]. *Chinese J. Quantum Electronics*, 1999, **16**(2): 142-146
李富岭, 杨伯龄, 庄琦. 射流式单重态氧发生器结构参数最优化的理论分析[J]. *量子电子学报*, 1999, **16**(2): 142-146