

氧碘化学激光器功率稳定性研究

张 政 任伟艳 关小伟

(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要 根据简单饱和增益模型建立的氧碘化学激光器功率模型, 理论分析了氧碘化学激光器功率稳定性影响因素。结合氧碘化学激光器实际监测参数, 研究了氯气压力和碘文氏管压力对氧碘化学激光器功率稳定性的影响。实验结果表明, 在 1~6 s 时间段内, 随着出光时间的变长, 氯气压力和碘文氏管压力的均方根(RMS)值变小, 同时, 较小的氯气压力和碘文氏管 RMS 值, 相应的出光功率的 RMS 值也会较小, 这说明提高氯气压力和碘文氏管压力的稳定性可以提高氧碘激光器出光功率的稳定性。

关键词 激光器; 功率稳定性; 氯气压力; 碘文氏管压力

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.s114004

Experimental Investigation on Power Stabilization of Chemical Oxygen Iodine Laser

Zhang Zheng Ren Weiyan Guan Xiaowei

(Northwest Institute of Nuclear Technology Institute, Xi'an, Shaanxi 710024, China)

Abstract The modeling of chemical oxygen iodine laser power using a simplified saturation model is established. The main factors influencing the power of chemical oxygen iodine laser have been studied theoretically. According to the testing parameter of chemical oxygen iodine laser, the power stability caused by chlorine and iodine pressure has been analyzed. It is found that the root mean square (RMS) of chlorine and iodine venturitube pressure becomes small as the laser time increasing between 1 and 6 seconds, at the same time, the more RMS of chlorine, iodine venturitube pressure, the more RMS of chemical oxygen iodine laser power. Chemical oxygen iodine laser power stabilization increases by improving the pressure stabilization of chlorine and iodine venturitube.

Key words lasers; power stabilization; chlorine pressure; iodine venturitube pressure

OCIS codes 140.1550; 140.3460; 140.5560

1 引 言

氧碘化学激光器具有波长短、化学效率高和光纤传输效率高等优点, 在工业和医疗等许多领域都有潜在的应用^[1-8]。氧碘化学激光器在工业或者医疗上的应用, 对氧碘化学激光器的功率稳定性都提出了较高的要求, 所以需要保持氧碘化学激光器的功率的稳定。当某一部件出现故障、某一工作环节出现差错均有可能造成激光器出光功率下降甚至不出光、功率稳定性不达标等问题。如果氧碘化学激光器正在用于某一工业用途, 当功率不稳定时, 必然会出现经济损失, 甚至会出事故。因此如何保持氧

碘化学激光器功率稳定是一个重要的问题。根据 Truesdell 等^[9]建立的简单氧碘化学激光器功率模型, 本文研究了氯气压力和碘文氏管压力对氧碘化学激光器功率稳定性的影响。

2 氧碘化学激光器功率理论模型

从简单饱和增益模型出发, 建立氧碘化学激光器功率模型如下^[9]:

$$P = 91 X_{\text{Cl}_2} U_{\text{Cl}} (Y_{\text{plen}} - Y_{\text{diss}} - Y_{\text{TH}}) \eta_{\text{med}} \eta_{\text{opt}} \eta_{\text{mix}}, \quad (1)$$

式中 P 代表氧碘化学激光器功率, X_{Cl_2} 表示氯气流

收稿日期: 2014-01-22; 收到修改稿日期: 2014-03-05

基金项目: 国家重点实验室基金(SKLLIM1204)

作者简介: 张 政(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事氧碘化学激光器方面的研究。E-mail: zhangzqzheng@163.com

量, U_{Cl} 表示氯气的利用率, Y_{plen} 表示单态氧的初始产率, Y_{diss} 表示分解碘损伤的单态氧, Y_{TH} 表示单态氧的阈值产率, η_{med} 表示介质提取效率, η_{opt} 表示光学提取效率, η_{mix} 表示混合效率。

2.1 氯气流量

根据气体动力学理论,当上游气体压力高于下游气体压力 2 倍以上时,气体流量将不受下游压力影响,而仅与上游压力有关。

$$F = \{(\gamma/R)[2/(\gamma+1)](\gamma+1)/(\gamma-1)\}^{1/2} \times AP_0 \sqrt{\omega/T}, \quad (2)$$

式中 F 为气体流量, γ 为气体比热比, R 为摩尔气体常量, A 为文氏管孔径面积, P_0 为上游气体绝对压力, T 为气流温度, ω 为气体摩尔品质。

由于氯气文氏管不出光时下游压力为真空状态,文氏管上游压力远远大于下游压力,所以氯气流量和氯气文氏管监测压力成正比。而输出功率和氯气流量成正比,可以得到输出功率和氯气文氏管监测压力成正比。

2.2 氯气利用率

$$U = 1 - \exp\left(-\sigma K \frac{L}{v_g}\right), \quad (3)$$

式中 U 为氯气的利用率, σ 为氧发生器比表面积, K 为传质系数, L 为氧发生器射流柱长度, v_g 为氯气流速。对于一个确定的氧碘化学激光器,氧发生器比表面积,传质系数是恒定的。而气体流速和氯气文氏管的压力有关。

2.3 单态氧产率

单态氧的产率和系数为 K 为,氯气流量,氧发生器体积,过渡段体积,以及超音速喇叭面积有关。如果氯气流量增加,单重态氧的产量会增加,但是其

损失也会加大,综合考虑,氯气应该存在一个最佳流量。

2.4 分解碘损失的单重态氧

$$Y_{diss} = N \frac{I_{2flowrate}}{O_{2flowrate}}, \quad (4)$$

从(4)式可以看出影响因素有: N 碘流量(碘文氏管压力)和氧流量。 N 一般取 $3 \sim 5$ ^[10],氧流量具体和氯气与碱性过氧化氢反应有关。

2.5 单重态氧阈值产率

阈值产率表达式如下:

$$Y_{TH} \equiv \frac{1}{1 + 2k_{eq}}, \quad (5)$$

$$k_{eq} = 0.74 \exp(401.4/T). \quad (6)$$

从(5)和(6)式可以看出阈值产率只和温度有关。

2.6 提取效率

通过建立氧碘化学激光器简单功率模型,可以发现氧碘化学激光器功率稳定性的主要影响因素有氯气压力和碘文氏管压力。以下实验研究氯气压力和碘文氏管压力这两个参数对氧碘化学激光器的功率稳定性的影响,功率稳定性的指标选取 $P-t$ 曲线。

3 氧碘化学激光器功率稳定性研究

3.1 氯气压力对功率稳定性的影响

为了研究氯气压力对功率稳定性的影响,利用中国科学院大连化学物理研究所研制的氧碘化学激光器进行了出光 $1 \sim 6$ s 的实验。图 1(a)和(b)为 6 发实验中归一化氯气压力和功率随时间变化的曲线。从图中可以看出出光过程中氯气压力比较平稳, $P-t$ 曲线抖动比较厉害。

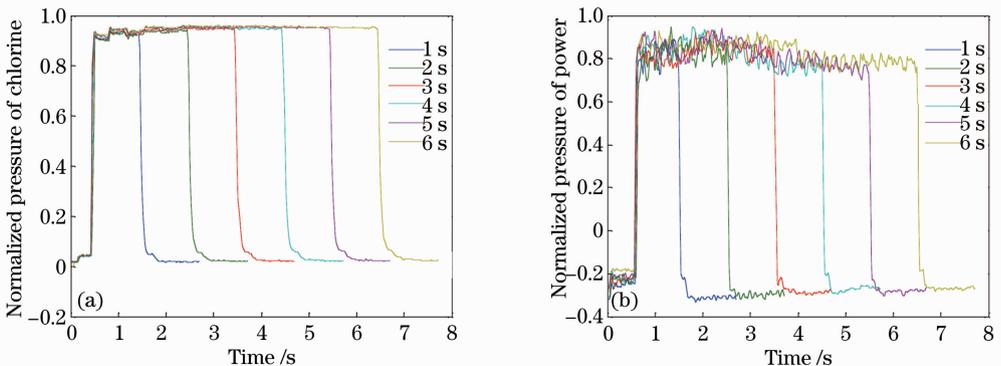


图 1 归一化氯气压力曲线; (b)归一化 $P-t$ 曲线

Fig. 1 Normalized pressure of chlorine curve; (b) normalized $P-t$ curve

图 2 为出光 1~6 s 这 6 发实验中,氯气压力平均值和出光功率平均值的关系。可以看出:随着出光时间的变长,氯气压力平均值略微上升,与此同时功率平均值也在变大,说明在一定范围内,氯气压力的上升会导致功率变大。而且出光时间的变长,会导致氯气压力的平均值上升,这是因为出光时间太短,氯气压力还没有达到稳态,出光过程已经结束。

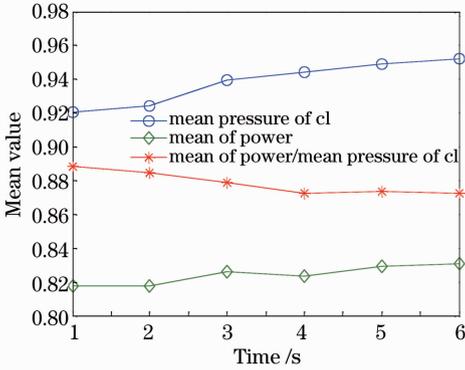


图 2 氯气压力平均值和功率平均值的关系

Fig. 2 Mean value of chlorine pressure and power

图 3 为氯气压力均方根(RMS)值和出光功率 RMS 值的关系。随着出光时间的变长,氯气压力的 RMS 值整体是趋于变小的,这是由于出光时间变长,氯气压力趋于稳态。而且随着氯气压力 RMS 值的变小,功率的 RMS 值整体也是变小的。这充分地说明了提高氯气压力的稳定性可以提高功率的稳定性,当然,这是建立在其他参数正常的情况下。

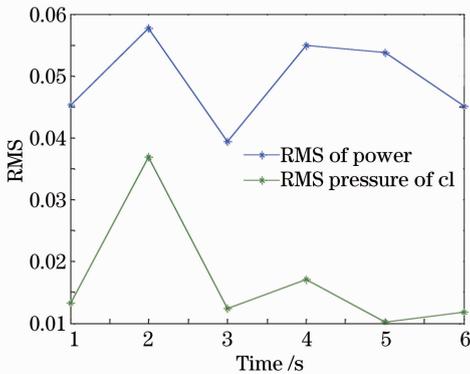


图 3 氯气压力 RMS 值和功率 RMS 值

Fig. 3 RMS of chlorine pressure and power

3.2 碘文氏管压力对功率稳定性的影响

氧碘激光器出光 1~6 s 时碘文氏管压力监测曲线如图 4 所示。这 6 发实验中碘文氏管压力虽然略有不同,但是每一发出光过程中碘文氏管压力还是比较稳定的。

图 5 为出光不同时间时碘文氏管压力平均值和功率平均值。出光时间不同时碘文氏管压力在振荡

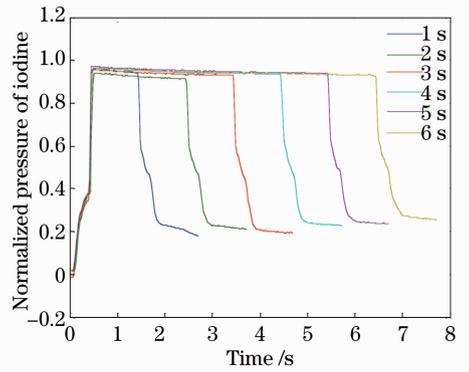


图 4 归一化碘文氏管压力曲线

Fig. 4 Normalized pressure of iodine venturi

变化,但是功率并没有随之振荡变化。说明功率大小和碘文氏管压力并不是单调关系。文献[11]指出碘流量对功率的影响存在最佳值,本文的结果与此相符。第 5 发出光 5 s 时的碘腔压力为本激光器的最佳压力,相应的出光功率也最高。

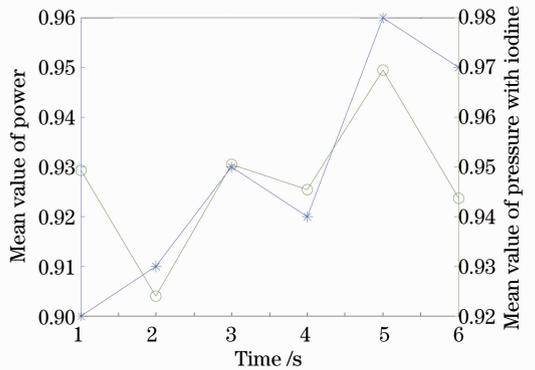


图 5 碘文氏管压力平均值和功率平均值

Fig. 5 Mean value of iodine venturi pressure and power

图 6 为碘文氏管压力 RMS 值和出光功率 RMS 值的关系。随着出光时间的变长,碘文氏管压力的 RMS 值整体是趋于变小的,这是由于出光时间变

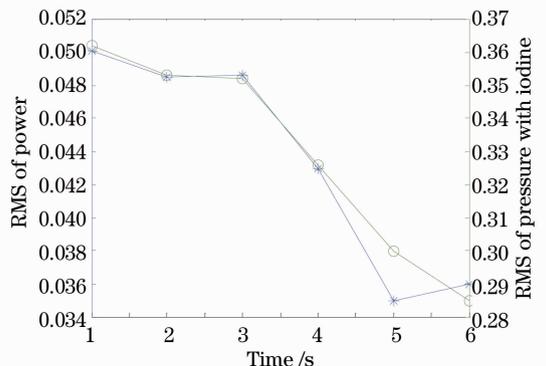


图 6 碘文氏管压力 RMS 值和功率 RMS 值

Fig. 6 RMS of iodine venturi pressure and power

长,碘文氏管压力趋于稳态。而且随着碘文氏管压力 RMS 值的变小,功率的 RMS 值整体也是变小的。这充分地说明了提高碘文氏管压力的稳定性可以提高功率的稳定性。

4 结 论

提高氯气压力和碘文氏管压力的稳定性可以提高氧碘化学激光器的功率稳定性,对氧碘化学激光器的实际应用有重要意义。但是本文仅对氯气压力和碘文氏管压力这两个参数进行了分析,对提取效率的三个参数需要进一步的详细研究,而且所使用的氧碘化学激光器采用的是金属喷管,碘容易附着在上面,需要改进碘喷管来进一步地提高实验的准确性。

参 考 文 献

- 1 Zhuang Qi, Sang Fengting, Zhou Dazheng. Short Wavelength Chemical Laser [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1997. 17-22.
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,1997.17-22.
- 2 Ren Guoguang, Huang Yunian. Developing strategic of American high power laser weapons: part1 [J]. Laser Technology, 2001, 25(4): 241-245.
任国光,黄裕年.美国高能激光武器的发展战略(上篇)[J].激光技术,2001,25(4):241-245.
- 3 Zhang Zheng, Cao Yiping, Shen Zhikang. Fault analysis of chemical oxygen iodine laser based on fault tree [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2011, 23(12): 3321-3324.

- 张政,曹益平,沈志康.基于故障树的氧碘化学激光器故障分析[J].强激光与粒子束,2011,23(12):3321-3324.
- 4 She Hui, Tan Sheng. Development and application prospects of high-nergy laser weapon [J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 31(3): 267-271.
余辉,谭胜.高能激光武器的发展和应用前景[J].红外与激光工程,2002,31(3):267-271.
- 5 Sang Fengting, Jin Yuqi, Duo Liping. Chemical Laser and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006. 242-245.
桑凤亭,金玉奇,多丽萍.化学激光及其应用[M].北京:化学工业出版社,2006.242-245.
- 6 Jia Suqin, Huai Yin, Wu Kexiong. Numerical study of effects of power extraction on flow fields in supersonic chemical oxygen iodine lasers [J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(4): 0402001.
贾淑芹,怀英,吴克雄.超音速化学氧碘激光器能量提取对流场影响的数值研究[J].中国激光,2012,39(4):0402001.
- 7 Huai Yin, Wu Kexiong, Jia Suqin. Influence of flow structures on supersonic chemical oxygen-iodine laser output with numerical analysis [J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(11): 1102005.
怀英,吴克雄,贾淑芹.化学氧碘激光器内流场结构对出光性能影响的数值分析[J].中国激光,2013,40(11):1102005.
- 8 W C Solomon, D L Carroll. Commercial applications for COIL [C]. SPIE, 2000, 3387: 137-151.
- 9 K A Truesdell, C A Helms, S Frerking, *et al.*. COIL performance modeling and recent advances in diagnostic measurements [C]. SPIE, 1997, 3092: 676-681.
- 10 D A Copeland, T T Yang. Two-dimensional source flow gain model for the chemical oxygen-iodine laser [C]. SPIE, 1997, 2989: 90-108.
- 11 Liu Wanfa, Zhao Tong, Xu Wengang. Influence of iodine flow penetration depth and flow rate on COIL output power [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2004, 16(12): 1506-1508.
刘万发,赵彤,徐文刚.碘气流穿透深度和碘流量对 COIL 激光输出功率的影响[J].强激光与粒子束,2004,16(12):1506-1508.

栏目编辑:何卓铭