

文章编号:1001-2486(2011)02-0020-03

## 不同背压条件下 HF 激光器出光实验\*

闫宝珠,袁圣付,陆启生,李 兰,靳冬欢  
(国防科技大学 光电科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

**摘要:**为了研究 HF 化学激光器的背压对激光器输出性能的影响,同时也为即将开展的基区引射式 HF 化学激光器实验提供参考数据,针对某一特定结构的 HF 激光器,通过改变激光器背压进行出光实验,得到了不同背压条件下的输出功率和激光光斑。结果显示,该激光器形成有效激射的背压上限为 4kPa,同时,扩散混合对腔压的依赖非常严重,相比之下,射流混合在较高的背压条件下仍然能够形成激射。

**关键词:**化学激光器;背压;激射;射流混合;扩散混合

**中图分类号:**TN248.5 **文献标识码:**A

## Lasing Experiments of HF Laser in Different Background Pressure

YAN Bao-zhu, YUAN Sheng-fu, LU Qi-sheng, LI Lan, JIN Dong-huan

(College of Opto-electric Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** In order to study the effect of background pressure on the output performance of HF laser, and to provide referenced data for the "Base-ejecting" HF chemical laser, a series of experiments were conducted with different background pressure for a certain HF laser. From them, the output power and faculae were obtained. The results reveal that, the upper limit of background pressure for lasing is 4 kPa. In addition, the dependence of lasing with diffusional mixing on the cavity pressure is deep, on the other hand, lasing will be generated in high background pressure with injection mixing.

**Key words:** chemical laser; background pressure; lasing; injection mixing; diffusional mixing

光腔压力越高,激发态 HF 分子的碰撞去激活效应越显著,这对激射出光是十分不利的。因此,为了满足光腔内低去激活率等要求以实现一定的有效激射,燃烧驱动连续波 DF/HF 激光器必须工作在较低的腔压下,一般只有 0.67 ~ 3.33 kPa<sup>[1-2]</sup>。激光器背压对光腔内气流的流动状态有着重要的影响,较高的背压使光腔内的边界层增厚,甚至引起边界层分离,导致光腔气流速度减小,压力升高,最终破坏光腔内的激射环境。因此,研究背压对激光器运行状态的影响是很有必要的。本文针对某一特定结构的 HF 激光器,通过实验确定该激光器形成有效激射的背压上限。

### 1 实验装置

实验采用的 HF 激光器内部结构如图 1 所示,其中的喷管组件是根据“基区引射”的概念<sup>[3-5]</sup>设计的,将应用于基区引射式 HF 化学激光器。整个激光器的工作原理是:燃料 D<sub>2</sub> 和氧化剂 NF<sub>3</sub> 以三束互击的方式通过喷注器注入燃烧室,

并在燃烧室中发生燃烧,反应放热裂解过量的 NF<sub>3</sub>,得到高温、高压、含自由态 F 原子的混合气体,它作为燃烧室中的滞止气体,经主喷管(2 维狭缝)膨胀后,在喷管出口形成低温、低压的主气流。副气流由副喷管注入,它由光腔燃料 H<sub>2</sub> 和副稀释剂 He 组成。在光腔中,主气流作为氧化剂,与副气流发生抽运反应,生成激发态的 HF 分子,在光腔内低温、低压的环境下,形成粒子数(部分)反转的激活介质,光子在光腔中形成振荡,从而产生激射。光腔出口与真空系统连接,用于收集激光器废气。

喷管组件中设计了三种类型的轴对称副喷管,如图 2 所示,其中 A 类副喷管的轴线平行于主气流,形成的副气流与主气流方向相同,主要以扩散方式与主气流进行混合,B 类和 C 类副喷管的轴线平行于纸面,与主气流之间有 20°的夹角,产生的副气流斜向注入光腔,主要以射流方式与主气流进行混合。在图 1 中,这三类副喷管沿垂直纸面方向交替、均匀分布。

\* 收稿日期:2010-11-05

作者简介:闫宝珠(1980—),男,讲师,博士。

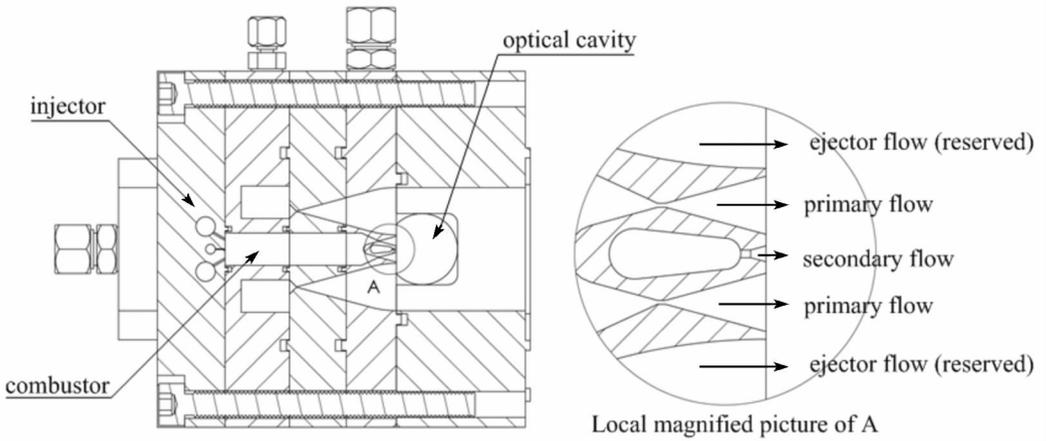


图 1 HF 激光器的内部结构  
Fig.1 Interior structure of HF laser

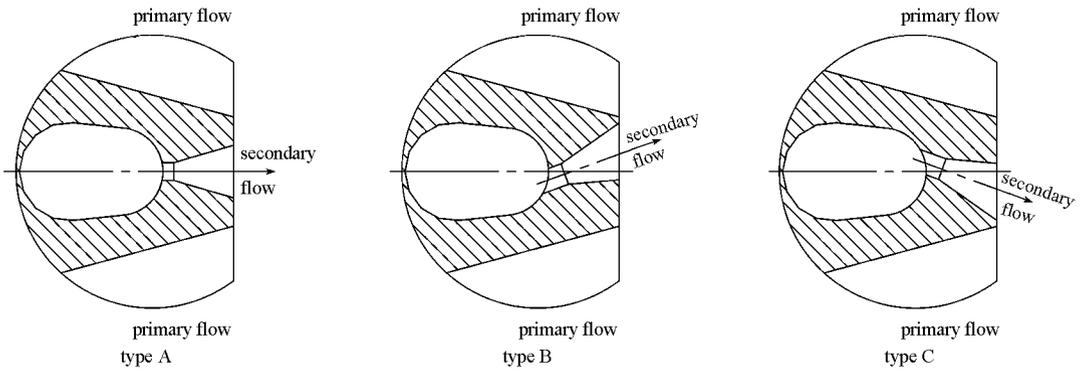


图 2 三种类型副喷管  
Fig.2 Three types of secondary nozzles

由图 1 可见,在主喷管和副喷管的两侧,预留了两个引射喷管,在基区引射式 HF 激光器中,它们将产生引射气流,用于提高激光器废气的恢复压力。在本文实验中,并没有引入引射气流。

另外,实验采用的谐振腔是由曲率半径为 2m 的凹面全反镜和透射率为 5%、曲率半径为 2m 的凹面输出镜组成的稳定腔,腔长约 450mm。两片镜子外形尺寸都是  $\Phi 35\text{mm}$ ,除去被安装架遮挡的部分,有效通光孔径约为  $\Phi 30\text{mm}$ 。光轴方向垂直于纸面,位置定在喷管出口平面下游 4mm 处。在激光器输出镜外侧 0.5m 的位置放置热敏纸或功率计,分别用于获取输出激光的形状和功率。

## 2 实验方法和结果

为了得到该激光器形成有效激射的背压上限,通过调节真空罐内的气压改变激光器背压,进行了 8 种不同背压条件下的出光实验,分别记为实验 1~8,如表 1 所示,其中,  $\alpha$ 、 $R_L$  和  $\Psi_s$  分别表示燃料配比的特性参数:过量系数、反应比和稀释比,  $p_b$  和  $P$  分别为激光器背压和输出功率。这 8

次实验中,各输入气流的流量参数、时序参数和谐振腔参数不变,区别仅在于,按照实验 1 到实验 8 的顺序,激光器背压依次增大。另外,实验 1 进行了两次,分别用热敏纸和功率计对光束进行探测,实验 2~8 对输出光进行了分束处理,实验 2 中,87% 左右的光束能量用热敏纸采集,其余 13% 输入到功率计中,实验 3~8 正好相反,热敏纸和功率计探测到的光束能量分别约为 13% 和 87%。这里,表 1 中的功率是采用分束比换算后的结果。

表 1 实验结果

Tab.1 Experimental Result

Num	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha$	1.532	1.532	1.532	1.534	1.534	1.532	1.534	1.534
$R_L$	10.64	10.70	10.65	10.59	10.56	10.60	10.56	10.56
$\Psi_s$	3.924	3.908	3.904	3.886	3.886	3.889	3.921	3.921
$p_b/\text{kPa}$	0.12	1.20	2.01	2.50	3.02	3.49	4.00	4.98
$P/\text{W}$	9.00	8.15	8.05	7.89	6.05	5.18	2.14	0.02

将上述实验结果作图,得到输出功率随背压的变化关系如图 3 所示,由图可见,随着背压的增

大,输出功率逐渐减小,当背压为 4kPa 时,仍有 2.14W 的功率输出,当背压为 5kPa 左右及以上时,无功率输出,因此认为该激光器形成有效激射的背压上限为 4kPa。

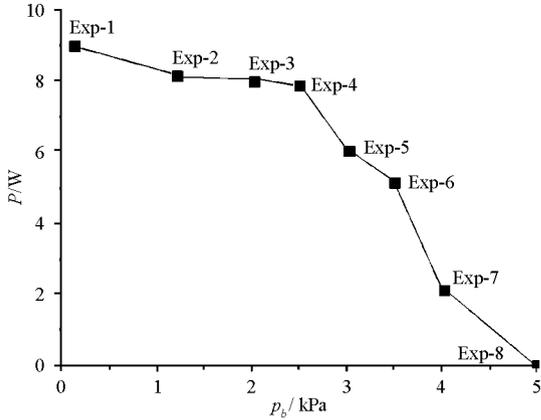


图3 背压对输出功率的影响

Fig.3 The effect of background pressure on output power

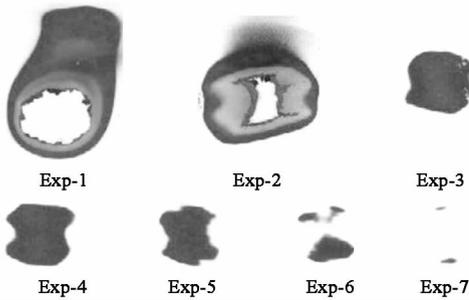


图4 实验 1-7 的输出光斑

Fig.4 Faculae obtained in experiments 1-7

实验 8 无光输出,其他 7 次实验得到的输出光斑如图 4 所示。图中显示,实验 1~2 中的热敏纸已经燃烧,光斑中心被烧破,光斑上端无光部分也被火焰烧黑。从实验 4 开始,光斑中间光强逐渐减弱,实验 6~7 的光斑已经完全分离为上、下两部分,这是由喷管的结构引起的:类型 A 的副喷管产生的副气流以平行于主气流的方向注入光腔,主要以扩散方式进行混合,这种方式的混合速

度较慢,不适合高压运转<sup>[6-7]</sup>,因此,随着背压逐渐升高,反应区中间部分的增益迅速减小;类型 B、C 两种副喷管产生的副气流与主气流之间主要发生射流混合,混合速度快,因此,即使腔压较高,反应区的上、下两个部分也有相当的增益以产生激射。

### 3 结论

化学激光器的背压对光腔内气流的流动状态有着重要的影响,从而也决定了激光器的输出性能。本文针对某一特定结构的 HF 激光器,进行了不同背压条件下的出光实验。实验表明,该激光器能够产生激射的背压上限为 4kPa,同时,随着背压的提高,射流混合的优势明显地体现出来,在较高的背压条件下仍然能够形成激射,相比之下,扩散混合不适合高压运转。这些结果为即将开展的基区引射式 HF 化学激光器实验提供了参考数据。

### 参考文献:

- [1] Driscoll R J, Moon L F. Pressure Recovery in Chemical Lasers[J]. AIAA Journal, 1977, 15(5): 665 - 673.
- [2] 华卫红. 高功率连续波 DF/HF 化学激光器数值模拟研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 1997.
- [3] Yan B Z, Yuan S F, Lu Q S. Experimental Investigation on Optimal Length of Diffuser Throat in Directly Drained CW DF/HF Chemical Laser[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2009, 21(3): 331 - 334.
- [4] 闫宝珠,袁圣付,陆启生. 直排型 DF/HF 化学激光器双喷管模型启动特性[J]. 强激光与粒子束, 2008, 20(10): 1585 - 1588.
- [5] 闫宝珠,袁圣付,陆启生,等. 直排型连续波 DF/HF 化学激光器气流通道模型中氮作引射气的相变问题[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(1): 19 - 23.
- [6] Driscoll R J. Effect of Reactant-surface Stretching on Chemical Laser Performance[J]. AIAA Journal, 1984, 22(1): 65 - 74.
- [7] Driscoll R J. Mixing Enhancement in Chemical Lasers, Part I: Experiments[J]. AIAA Journal, 1986, 24(7): 1120 - 1126.