

闭环横流CO₂激光器中突变吸收损耗机理的研究

归振兴 沈俊泉 陈钰明 莫全新 沈华勤 张顺怡

(中国科学院上海光学精密机械研究所雷鸥激光设备厂, 上海)

摘要: 研究了闭环横流CO₂激光器中突变吸收损耗的机理, 指出器件运转时释放的杂气是引起突变吸收的原因。

Investigation of sudden change absorption loss in a sealed transverse-flow CO₂ laser

Gui Zhenxing, Sheng Junquan, Chen Yuming
Xi Quanxing, Sheng Huaqin, Zhang Shunyi

(Lei'ou Laser Equipment Factory, Shanghai Institute of
Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The mechanism of sudden change absorption loss in a sealed transverse-flow CO₂ laser has been investigated. It indicates that the sudden change absorption of intracavity is caused by impurity gases released in operating laser.

该测量方法的误差主要决定于距离 z 的测量误差 Δz 和等相位面曲率半径 R 的确定误差。根据误差理论, 发散角 θ 的相对标准偏差由(8)式求得为(通常 $R \gg z$, 取 $R - z \approx R$);

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{1}{4} \sqrt{\left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (10)$$

通常 $\Delta z/z$ 约为2%, 而 $\Delta R/R$ 由(9)式知主要决定于 β 的测量误差(n 、 α 等产生的误差很小, 可忽略), 在 $\beta = 20^\circ$, 测量精度为 0.5° 时, $\Delta R/R$ 一般不超过3%, 所以发散角测量相对标准偏差 $\Delta\theta/\theta \approx 1\%$ 。

由上述测量结果和分析可看出, 采用楔形板干涉方法测量微小激光发散角, 装置简单, 测量方便, 还有较高的精度。除用于测量连续激光束的发散角外, 如用照相记录, 也可用于脉冲激光束的发散角测量。

参 考 文 献

- [1] 赵欣欣, 付荣堂, 马秀芳 *et al.* 应用激光, 1987; 7 (3): 121
- [2] Folk J. Appl Opt, 1982; 22 (8): 113
- [3] 李国华, 赵明山. 光电子·激光, 1991; 2 (1): 13
- [4] 周炳琨, 高以智, 陈家骅 *et al.* 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1980

收稿日期: 1991年5月20日。

收到修改稿日期1991年7月20日。

一、引言

在闭环横流 CO_2 激光器的研制和调试过程中,我们发现在激光器连续运转过程中,常常会发生突变吸收损耗的现象,其特征为:在恒定放电电流时(注入功率恒定),激光器输出功率会突然下跌原功率的10%左右,或者,恒定激光输出功率,则放电电流发生跃变,降低了光电转换效率。这种现象在千瓦级到万瓦级闭环 CO_2 激光器中均有发生。早期Haruhiko Nagai等人在研制闭环高功率 CO_2 激光器时就观察到吸收损耗,他们归因于腔内未激励区中的 CO_2 分子吸收所造成的,并采用液氮冻结流入腔头部的 CO_2 气体来抑制气体发热^[1]。通过大量实践,我们发现造成突变吸收损耗的机理,主要是由器件在放电中挥发出来的杂质有关,特别是水汽、油汽等积累到一定浓度后对 $\text{CO}_2(00^01)$ 能级的消激发所致,随着放电清洗次数增加,器件中杂质浓度减少,这种突变吸收现象是可以消除的。

二、实验结果

闭环横流 CO_2 激光器的基本结构参见文献[2],其放电区和谐振腔装置见示意图1。气体放电区长0.9m,谐振腔长1.4m,采用平-凹稳腔结构,两端腔片分别通过波纹管连接到光桥上,腔的稳定性是可靠的。

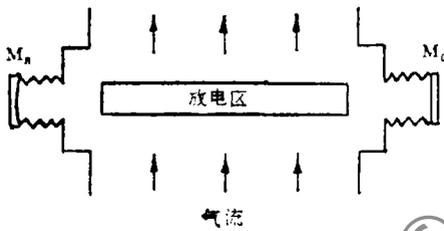


图1 实验装置腔区图

过程中都发生突变吸收损耗的现象,归结起来,这种现象有如下几个特点:

激光器经过清洗、组装、抽真空后,充入高纯度的 He 、 N_2 、 CO_2 工作气体,进行放电调试。激光器输出功率用JGK-1型激光功率显示控制仪测量,并用功率反馈,以恒定激光输出功率。图2给出的是我厂生产的两台激光器在调试过程中其放电电流随时间变化的典型结果。由图2可见,尽管充气比例,工作压力,冷却水温以及腔参数不尽相同,但在连续运转

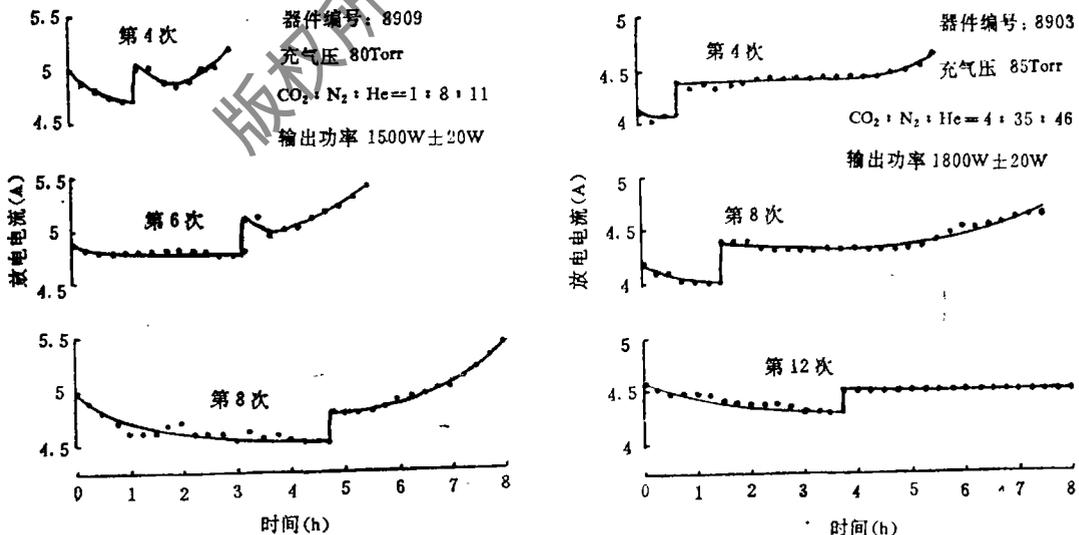


图2 发生突变吸收损耗的时间与放电次数的关系

1. 突变吸收损耗的过程是突发性的, 在几分钟内完成, 不是渐变的;
2. 在我厂生产的装置上, 功率损失约占总输出功率的10%, 本实验是提高注入功率来稳定输出功率的;
3. 发生突变吸收损耗后, 腔两端的波纹管迅速发烫, 而这之前是常温;
4. 从开始放电到发生突变吸收现象的时间不是恒定的, 基本上随着放电次数的增加而延长, 经过反复放电清洗, 在连续运转8h内无突变吸收现象发生;
5. 一旦发生突变吸收现象后, 停止放电, 待气体充分冷却后再工作, 约10min后, 仍回复到有突变吸收损耗的工作状态, 两端波纹管发烫;
6. 自发生突变吸收损耗后, 该损耗就一直持续下去, 直至气体放电不稳定也不再发生新的吸收突变现象。

通过数十台闭环高功率CO₂激光器的调试, 我们发现这种突变吸收损耗的现象带有普遍性, 其基本特征也是一致的, 所不同的是每台器件发生的时间、程度和周期。

这种吸收损耗不仅降低了器件运转的电光转换效率, 加速了气体放电的变坏, 同时波纹管长时间高温加热将造成损坏, 因此必须加以克服。

三、结果讨论

为了弄清激光腔内发生突变吸收损耗形成的机理, 我们曾通过实验排除了因腔的突然失调和腔镜的热形变引起突变吸收损耗的可能性。实验也证明波纹管发烫并非腔内光的辐照所致, 而是气体加热效应。

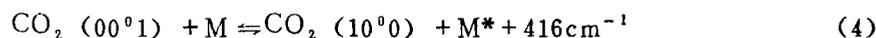
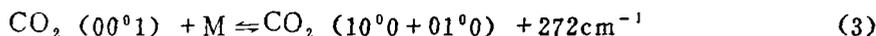
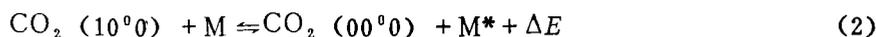
在高气压CO₂混合气体中, 应该说CO₂分子对10.6μm的光子吸收系数还是较大的, 特别是本器件的非激活区较长, 且谐振腔镜通过波纹管突出在放电室外部(见图1), 气流很难流入, 因此有可能“静止”在波纹管内的CO₂气体吸收光子而使气体温度上升。事实上, 这种温升是很弱的, 在腔内发生突变吸收损耗之前, 波纹管一直处于常温状态。我们曾在放电室内两侧加四块导流片, 将部分气体引入波纹管, 以更新气体, 然而突变吸收现象照常发生。

唯一可解释这种现象的应该是和器件放电时工作气体的成分变化有关。

对于新组装的激光器, 器件内吸附了大量的水汽、油汽、醚类等多种杂质, 特别是阳极板, 随着放电加热, 这些杂质逐渐释放出来, 其淬灭CO₂上能级粒子数, 导致放电不稳定, 缩短了激光器正常工作寿命, 其中水汽起到了重要作用。

早期在研究纵向放电CO₂激光器时, 人们已经发现, 少量水汽对提高激光输出功率是有利的, 但随着水汽浓度的增大, 输出功率反而降低, 这是因为H₂O对CO₂(10⁰0)能级的弛豫速率变化不大, 而对CO₂(00⁰1)能级的弛豫速率加快了^[3]。

撇开放电区内的气体动力学过程, 单考虑腔内非激活区所存在的气体动力学过程, 有:



这里M为 H_2O , H_2 , N_2O , NO 等杂气,其中还存在激发态的杂气与油气之间的能量转移过程。

在激光器运转的初始阶段,随着放电的均匀和微量水汽的产生,恒定输出功率下,放电电流减小(见图2),这时,气体动力学以(1), (2)过程为主。随着时间的推移,器件释放出的杂气浓度逐渐增加,特别是水汽、油气达到一定浓度,对 CO_2 (00^01)能级的消激发作用显著了,这时,(3),(4)过程突出了。这部分能量转为平动能,使得气体温度上升,反过来又加速了 CO_2 (00^01)能级的弛豫,最后达到新的平衡,结果是 CO_2 吸收系数增大,气体温度升高,造成波纹管发烫。要维持原激光输出功率,势必提高器件的单程增益,因此,放电电流上升。

杂质浓度继续增加,腔内损耗逐渐加大,放电电流随之增加,最终破坏放电稳定性而中断器件正常运转。

随着器件多次放电清洗,反复抽气,器件释放杂气的速率减慢和量的减少,使得发生突变吸收损耗的时间后移,直到长期连续运转可没有突变吸收现象的发生。

实验验证了少量水汽对激光的吸收损耗作用,结果见图3,可见器件中含有0.1Torr的水汽输出功率就降低了10%。

四、结 论

综上所述,在闭环高功率 CO_2 激光器中发生的突变吸收损耗现象主要是由于器件在放电中产生和挥发出来的杂质所造成的,特别是水汽、油气对 CO_2 (00^01)能级的消激发。只要器件经过充分的放电清洗,这种现象是可以避免的,为了缩短这个过程,对于闭环型 CO_2 激光器提出以下要求是必须的:

1. 器件的真空密封性要好,其漏气速率须低于 $0.2L/min$;
2. 器件真空室内必须经过严格的工艺清洗,电极应经过干燥和真空放电过程;
3. 真空抽气机组应采用低挥发性泵油。在调试初期,应长时间抽真空,通常需要整天连续地抽气,以尽可能排除器件内杂气;
4. 须使用高纯工作气体。

参加本工作的还有郭世海、付宝祥、潘华等同志,谨表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Haruhiko Nagai, Masao Hishii, Kouzaburo Shibayama *et al.* IEEE J Q E, 1982; QE-18 (3): 418~419
- [2] 陈可心,王哲思,美全新 *et al.* 中国激光, 1987; 14 (8): 470
- [3] 赫光生,雷仕湛编著. 激光器设计基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1979: 125~126

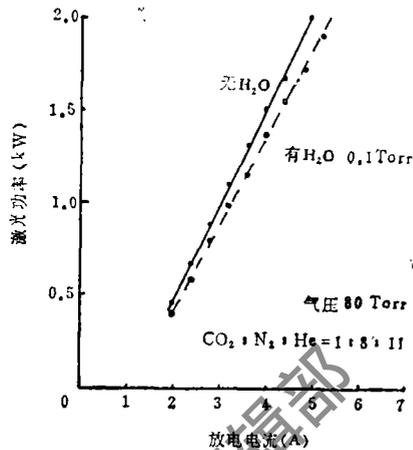


图3 水对输出功率的影响