

# CO<sub>2</sub> 激光器工作气体催化再生的研究

罗小兵 袁 好 丘军林

(华中工学院激光研究所)

本文讨论了负离子对脉冲CO<sub>2</sub>激光器寿命的影响,辅助气体H<sub>2</sub>, CO以及催化剂对放电稳定性的影响作了研究。实验表明,它们能延长激光器寿命。

The study of catalytic regeneration of working mixture in CO<sub>2</sub> laser

Luo Xiaobing, Yuan Yu, Qiu Junlin  
(Huazhong University of Science and Technology)

## Abstract

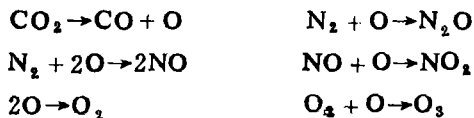
The effect of negative ions on the lifetime of a pulsed TEA CO<sub>2</sub> laser is discussed. The effects of the additional H<sub>2</sub> or CO or catalysts on the stabilities of electric discharges are investigated. Experiments show the additional H<sub>2</sub> or CO and the catalysts to enhance the lifetime of CO<sub>2</sub> laser.

## 一、引 言

电激励CO<sub>2</sub>激光器在工作过程中,由于电子碰撞使CO<sub>2</sub>分解为CO和O<sub>2</sub>,同时还伴随氮的氧化物等有害气体的产生,CO<sub>2</sub>的分解导致激活介质减少,输出功率或能量下降。氧和氮的氧化物的存在则使放电不稳定,寿命短。为使CO<sub>2</sub>激光器一次充气的寿命延长,减少昂贵高纯气体He的消耗,引进催化是必要的。常用的催化法有添加辅助气体的气相催化和催化剂催化。

## 二、放电过程中的中性粒子和负离子的变化过程

激光器内除光化学引起有害气体产生外,重要的还是电子碰撞导致CO、O和大量含有碳、氧、氮的分子的产生,反应如下:



以及随后进行的复杂的电子附着和分离、中性粒子分解和复合以及负离子-分子反应。

根据Nighan<sup>[1]</sup>等人对分子气体放电过程中等离子体的不稳定因素的分析，电子的损失是造成不稳定性的主要原因。而电子的分解附着产生负离子通常是非常重要的电子损耗过程。因此，控制放电过程中负离子的产生可以提高放电稳定性。

为解释辉光放电中负离子的作用，我们考虑了电子的附着、分离和离子-分子反应，以及正离子-负离子复合、中性粒子由于电子-分子碰撞引起的分解和一些分子-分子反应。建立了放电过程中的中性粒子和负离子随时间而变化的速率方程<sup>[2]</sup>，其形式为：

$$\frac{d[n]}{dt} = \Sigma\{\text{粒子}n\text{的增加反应速率}\} - \Sigma\{\text{粒子}n\text{的减少反应速率}\}$$

式中， $[n]$ 表示粒子 $n$ 的密度。

我们采用龙格-库塔方法在微机上对速率方程进行了数值解。图1和图2是一次放电过程中的变化情况。

图1表明主要的分解产物 $\text{CO}$ 、 $\text{O}$ 以很快的速度增加。一次放电结束， $\text{CO}$ 、 $\text{O}$ 含量约为0.06%。图2，负离子源是 $\text{CO}_2$ 分解附着产生的 $\text{O}^-$ 引起。而 $\text{O}^-$ 通过三体碰撞与 $\text{CO}_2$ 快速群聚使 $\text{O}^-$ 转化成 $\text{CO}_3^-$ ，放电中主要的起支配作用的负离子是 $\text{CO}_3^-$ 。

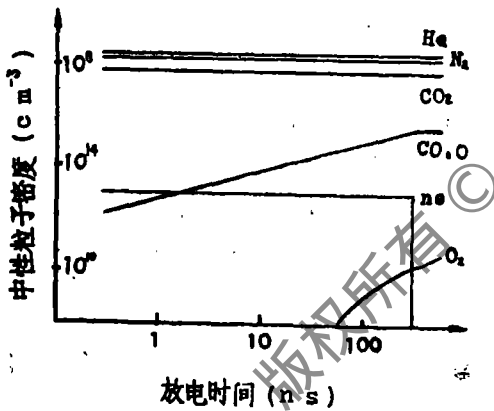


图1  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  
 $P = 350\text{mbar}$ 时，中性粒子  
随时间的变化

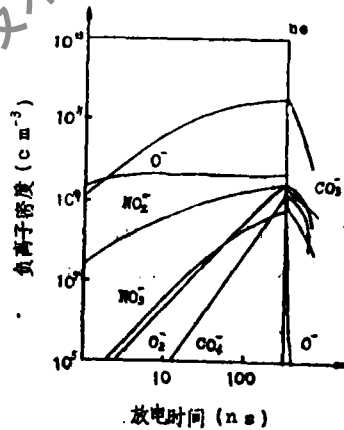


图2  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  
 $P = 350\text{mbar}$ 时，负离子随  
时间的变化

在混合气体中添加 $\text{CO}$ 或 $\text{H}_2$ 对负离子的产生有着明显的抑制作用。图3是不同 $\text{CO}$ 或 $\text{H}_2$ 含量时主要负离子 $\text{CO}_3^-$ 和负离子源 $\text{O}^-$ 的密度。在 $\text{CO}$ 含量为9%时 $\text{CO}_3^-$ 下降到无 $\text{CO}$ 时的60.9%， $\text{O}^-$ 下降到63.4%。而在 $\text{H}_2$ 含量为9%时，多出了 $\text{H}^-$ 和 $\text{OH}^-$ 负离子，其主要负离子 $\text{CO}_3^-$ 下降到无 $\text{H}_2$ 时的46.2%， $\text{O}^-$ 下降到56.7%。可见，添加 $\text{CO}$ 或 $\text{H}_2$ 有利于减少电子损失，提高放电稳定性。而且加 $\text{H}_2$ 比起加 $\text{CO}$ 更为优越。

固相催化剂对速率方程的解影响不大，这是因为其速率常数比起放电过程中的反应的速率常数来说小得多（约 $10^{10}$ 量级），而且放电时间极短（300ns）。放电过程主要受气体成分控制。气相催化直接改变气体的初始组成从而提高了放电稳定性，但随着有害气体的积累，

它的作用逐渐减小。固相催化剂则阻止有害气体的积累，从而维持长时期的稳定运行。

### 三、实 验

所用激光器放电体积为0.684l，与储气体积之比约为1:22。每个触发能向激光器注入41.47J的能量，工作气体在一闭合循环的通道中流动。气体成分用气相色谱法分析。

用两种催化剂进行了催化模拟实验。结果表明，温度愈高，催化效果愈好。在 $T=350^{\circ}\text{C}$ ，120s后，激光器内CO在催化剂8515作用下，约75%转化成 $\text{CO}_2$ ，在催化剂86201作用下约84%转化成 $\text{CO}_2$ 。

激光器在 $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:4:5$ ， $P=350\text{mbar}$ ，重复率1pps下经过约5000个脉冲后，输出能量，气体成分变化趋于平衡。能量下降到72%， $\text{CO}_2$ 分解量约为36%（如图5），弧光率在16%左右。

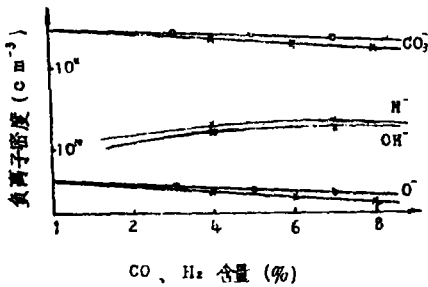


图3 CO或 $\text{H}_2$ 含量不同， $t=300\text{ns}$ 时负离子的变化。○——加 $\text{CO}_2$ ；×——加 $\text{H}_2$

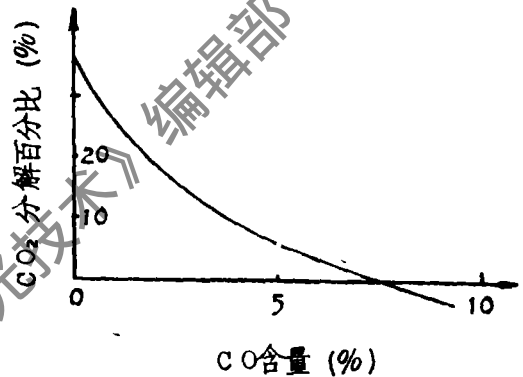


图4  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:4:5$ ， $P=350\text{mbar}$ 下 $\text{CO}_2$ 分解与CO含量的关系

通过向工作气体中添加CO可控制 $\text{CO}_2$ 的分解，如图4。随CO含量增多， $\text{CO}_2$ 分解程度下降。还可注意到，CO含量为9%时， $\text{CO}_2$ 分解百分数已为负值，说明此时 $\text{CO}_2$ 不但没有分解，相反还增加了，这与反应 $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ 在通常情况下是不进行的有所矛盾。作者认为，导致这种现象的原因可能是在高CO含量时，电子诱导等离子体化学反应。当然这要在激光管初始时就有 $\text{O}_2$ 存在。

与第二部分中分析一致，加CO对放电稳定性有改善，在CO为2.4%，分解平衡时弧光率约为3%。而加 $\text{H}_2$ 则更为明显，在 $\text{H}_2$ 为9%时，运行 $1.5 \times 10^3$ 个脉冲后，弧光率约为0.9%。但是 $\text{H}_2$ 使 $\text{CO}_2$ 大量分解，造成输出不稳。图5是三种情况的对比图。

CO和 $\text{H}_2$ 的同时存在克服了各自单独存在时的缺点，继承了各自的优点，如图6。

催化剂极大地减少有害气体的积累。因此，无论是在放电稳定性，还是在输出能量稳定方面有着突出优点。图7是两种催化剂在不同温度时的输出情况。催化剂86201比催化剂8515更为有效。在 $350^{\circ}\text{C}$ 使用催化剂86201时，经过 $2.4 \times 10^4$ 脉冲后，能量仅下降到93%，故激光器寿命（能量下降到50%）可望达 $10^6$ 脉冲。催化剂存在时， $\text{CO}_2$ 的分解如图8。

造成 $\text{CO}_2$ 分解的原因除催化剂不能100%地使CO氧化成 $\text{CO}_2$ 外，主要是实验中催化剂用

量不够，加之器件及循环通道设计有不合理之处。

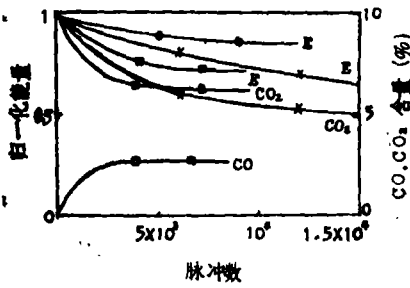


图5  $\text{CO}_2 : \text{H}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  $P = 350\text{mbar}$ 时不同添加物对应的输出能量 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 的变化。□——没有添加物；○——加4.8% $\text{CO}$ ；×——加4.8% $\text{H}_2$

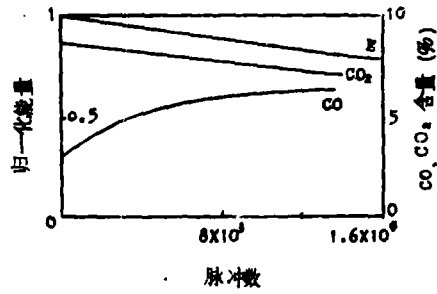


图6  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  $P = 350\text{mbar}$ 下, $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 各为4.5%时输出能量 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 的变化

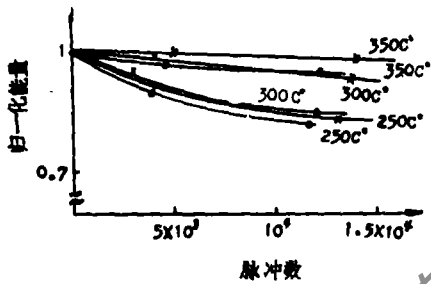


图7  $\text{CO}_2 : \text{H}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  $P = 350\text{mbar}$ 下不同催化温度时的输出。○——催化剂8515；×——催化剂86201

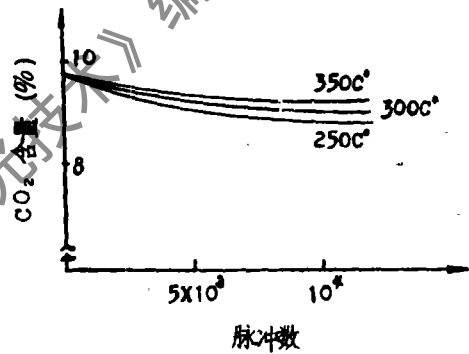


图8  $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 4 : 5$ ,  $P = 350\text{mbar}$ 下使用催化剂86201不同温度时 $\text{CO}_2$ 的变化

最后感谢陈义红、李万荣、龚志伟等在工作中给予的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] Phys.Rev., 1974, A10, P.922.
- [2] J.Phys.D: Appl.Phys., 1976, Vol.9, P.1587.

作者简介：罗小兵，男，1962年12月出生。博士研究生。从事光传输理论与技术方面的工作。

收稿日期：1987年11月6日。