

横流放电 CO₂ 激光器的增益饱和和参量及其变化

吴中祥

(中国科学院力学研究所, 北京)

Gain saturation parameters and their variation in transverse flow discharged CO₂ lasers

Wu Zhongxiang

(Institute of Mechanics, Academia Sinica, Beijing)

提要: 采用数值模拟计算与物理分析相结合的方法, 给出了流动气体激光器的饱和增益代数表达式和增益饱和参量, 并定性分析了影响器件性能的一些因素和机制。

关键词: 数值模拟, 横流, CO₂

一、引言

本文利用 [1] 中模拟计算得到的数值结果, 分析、整理给出了适用于流动气体激光器的饱和增益系数的近似代数表达式, 其中也含有增益饱和参量 I_s 。还计算研讨了影响饱和参量的一些因素, 得到饱和增益参量随这些因素变化的一些规律, 并定性分析了影响这类流动气体激光器性能的一些因素和机制。这种将模拟计算与物理分析结合起来求得代数表达式和重要参量的方法是计算物理的一种新应用。

二、流动气体激光器饱和增益系数的近似代数表达式

将文献 [1] 中在给定运转条件下, 横流放电 CW CO₂ 激光器光腔中给定位置处的小信号增益 G_0 、饱和增益 G 随相应光强 I 变化的模拟计算数据, 选取相应的常量 I_s , 以 $\lg G/G_0$ 和 $\lg(1+I/I_s)$ 分别作为纵、横坐标, 绘于图 1。

计算中介质组分比取 CO₂:N₂:He=5:17:78; 光腔的高度(h)、长度(L)分别取 1.8 cm 和 160 cm; 光腔沿气流方向的宽度(W)取 0.5 cm; 其上游边缘离有效均匀放电区上游边缘的距离(x_0)为 0.1 cm; 每个粒子的电场强度(E/N)取 2.15×10^{-16} Volts/cm²; 放电电流(J)取 2A 到 5 A; 介质流速(u)取 30 m/s 到 150 m/s; 在有效均匀放电区上游边缘

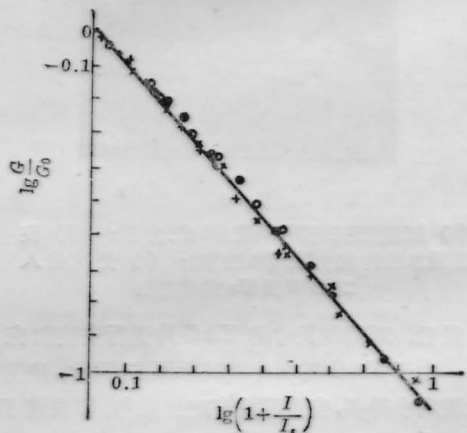


图 1

●—200 Torr, ○—550 Torr, ×—780 Torr,
+—1000 Torr, $x=0.1 \sim 0.6$ cm

的气压(P)取 180 Torr 到 1200 Torr。均匀放电区的有效宽度 d 随气压 P 线性地缩短, 可近似地表达为: $d(\text{cm}) \approx 1.172 - 0.000862 P(\text{Torr})$, 计算点取自光腔输出镜面上距光腔上游边缘的位置 ($x=0.1 \text{ cm} \sim 0.6 \text{ cm}$, 即光腔宽度为 0.5 cm)

当 I_s 选取适当时, 所有各给定条件下的各 $\lg G/G_0$, $\lg(1+I/I_s)$ 点(在图 1, 上)都近似地位于同一条直线之上, 表明: 在这些有较高气压的流动激光器中, 饱和增益系数可近似地表示为

$$G(P, u, I, x) \approx G_0(P, u, x) \times (1 + I/I_s(P, u, x))^{-\tau} \quad (1)$$

式中 $r \approx 1.11$ 。这反映出流动激光器饱和增益随增大光强而下降的程度比不流动的激光器要快,因为在静态情况下 $r=1$ (对洛仑兹线型)。并且在同样的 I/I_s 下,可有较多的上振动能转变为激光能,且增益饱和参量 I_s 是 P 、 u 和 x 的函数。

三、影响增益饱和参量变化的一些因素及其变化规律

图2给出在给定流速、几种气压下, $\lg I_s \sim x$ 变化的曲线,其中实线和虚线分别表明是在相应均匀放电区以内和以外。由图可见: $\lg I_s$ 随 x 的增大而下降,其下降的速率开始较快,而随着 x 的继续增大而逐渐减缓。实线与虚线交界处有明显的转折,说明在超出有效均匀放电区以外, $\lg I_s$ 随 x 的变化有更加显著的下降。

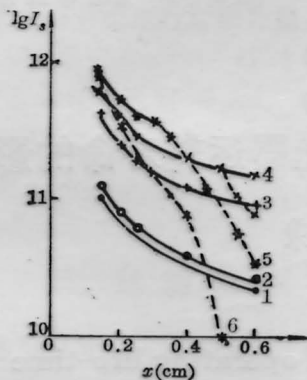


图 2

1—180 Torr; 2—200 Torr; 3—550 Torr;
4—780 Torr; 5—1000 Torr; 6—1200 Torr。
光腔入口 $x_0=0.1$ cm, 介质流速 $u=30$ m/s
实线: $x < d$, 虚线: $x > d$

图3给出在给定流速下,几种不同位置处, $\lg I_s \sim P$ 变化的曲线,其中实线和虚线也分别表明是在相应均匀放电区以内和以外。由图可见: $\lg I_s$ 随 P 的增大而增大,其增长速率开始较快,而随着 P 的继续增大而逐渐减缓。实线与虚线交界处也有明显的转折,说明超出有效均匀放电区以外, $\lg I_s$ 随 P 的变化也有更加显著的下降。

图4给出两种给定的气压下,几种不同位置处, $\lg I_s \sim u$ 变化的曲线。由图可见, $\lg I_s$ 随 u 的增大而增加,其增长速率开始较快,而随着 u 的继续增大而逐渐减缓。比较气压为 780 Torr 的各线(虚线),也可看出当考察点超出均匀放电区后 ($P \sim 780$ Torr 时,有效均匀放电区宽度为 0.5 cm), $\lg I_s$ 随 u 的变化也有附加的显著下降。当 $u \rightarrow 0$ 时,不同位置处的 I_s

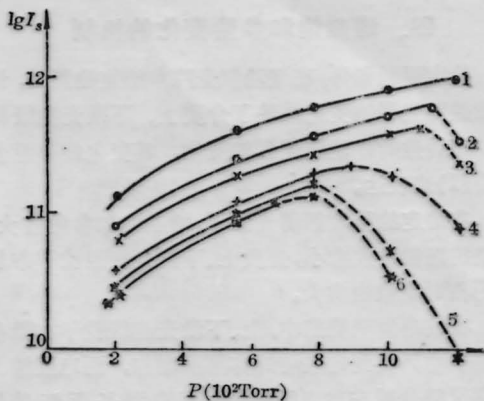


图 3

1— $x=0.15$ cm; 2— $x=0.20$ cm; 3— $x=0.25$ cm;
4— $x=0.40$ cm; 5— $x=0.50$ cm; 6— $x=0.60$ cm。
 $u=30$ m/s, 实线: $x < d$, 虚线: $x > d$

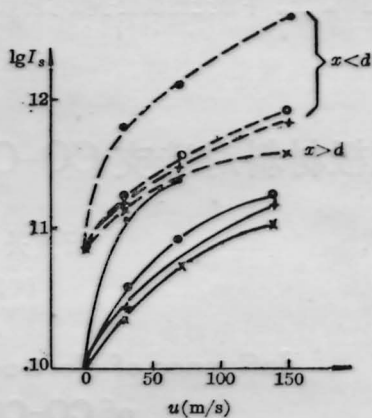


图 4

●—0.15 cm; ○—0.40 cm; +—0.50 cm;
×—0.60 cm。—200 Torr,780 Torr

都趋于同一数值,但对于不同的气压,所趋于的数值不同。说明对于不流动的气体激光器, I_s 与 x 无关,但仍是 P 的函数。

图5给出给定的气压、流速条件下,几种不同位置处, $\lg I_s \sim J$ 变化的曲线,由图可见,随着放电电流 J 的改变, $\lg I_s$ 基本保持不变。

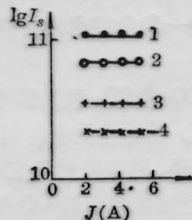


图 5

●— $x=0.15$ cm; ○— $x=0.20$ cm; +— $x=0.40$ cm;
×— $x=0.60$ cm。 $P=180$ Torr, $u=30$ m/s

四、增益饱和和参量变化的机制

给定运转条件,在流动激光腔中给定位置处,饱和增益随光强的变化反映了介质上、下激光能级间粒子布居数的差值随光强的变化,其变化规律近似地由(1)式表达。

在给定的稳定振荡光强下,增益饱和和参量愈大,增益的饱和程度愈小,介质上、下激光能级粒子布居数的相对差值也愈大。

在放电激光器腔中,上、下激光能级粒子布居数的差值会因受到电泵浦的作用而增加,而电泵浦的作用又随介质在放电区停留时间的增长而渐趋饱和。介质以给定的流速在放电区内流过的距离愈大,或在放电区内给定的位置处,介质的给定流速愈小,则介质在放电区内停留的时间愈长,而电泵浦的作用也愈趋饱和。上、下激光能级粒子数布居数的差

值还因受到自发跃迁、辐射诱发跃迁和碰撞弛豫等过程的作用而减小,其中辐射诱发跃迁的作用又显著地大于自发跃迁。电泵浦与碰撞弛豫对上、下激光能级布居数间相对差值的作用又都随气压的增大而加强,其中电泵浦的作用也会因气压继续增大而趋于饱和。介质流入光腔引起辐射诱发跃迁作用的加入、介质流出放电区使得电泵浦作用的消失都将引起上、下激光能级布居数间相对差值的显著减小。加大放电电流能增强对各激光能态的泵浦作用,但对上、下激光能态都以相同的比值增加,而且基本上不随腔中稳定振荡光强的大小而改变。

参 考 文 献

- 1 吴中洋,横流放电 CO₂ 激光器能量转换特性和机制,全国第二届计算物理会议,1987,9,大庸,湖南。

(收稿日期:1987年11月22日)

电极材料对选支 CO-CO₂ 复合激光器运转寿命的影响

归振兴 张顺怡 沈桂荣

(中国科学院上海光机所)

Influence of electrode material on operating life-time of CO-CO₂ compound lasers

Gui Zhensheng, Zhang Shunyi, Shen Guirong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

提要:实验研究了电极材料对选支 CO-CO₂ 复合激光器寿命的影响,结果表明,金是一种较合适的电极材料。

关键词:金,复合激光器,选支

我们已报道了选支 CO-CO₂ 复合激光器的工作特性^[1]。本文将进一步介绍电极材料对激光器运转寿命的影响。

关于封离型 CO 或 CO₂ 激光器的阴极材料研究已有大量报道^[2~4]。但这些阴极材料不一定适用于 CO-CO₂ 复合激光器,因该激光器充有 CO-CO₂-N₂-Xe-He5 种气体,且要使输出的 CO 和 CO₂ 激光功率都长期稳定。综合前人的经验,我们选择了银铜、铂、不锈钢和金四种材料进行了寿命试验,结果表明,金是较合适的一种电极材料。

实验用的激光器(见[1]),放电管的阳极是一根 $\phi 4$ mm 的金柱,阴极采用杯状结构,圆筒的内表面积约 60~80 cm²,溅射较小。更换阴极后,放电管都经过严格的真空烘烤处理,以排除所吸附的杂气。所用的工作气体纯度均大于 99.9%。输出功率用 SD 2490 型功率计测量。用高压静电计监测管压的变化,为了消除光电流效应的影响,本实验测量的电压值均是激光器不振荡时的管压降,它一定程度上反映了管内气体成分的变化。

实验表明,随着器件的连续运转,输出的功率渐