

高稳定 CO₂ 激光振荡器参量的选择

王玉芝 刘亚淑 许如明

(中国科学院上海光机所)

Parameter selection for highly stable CO₂ laser oscillators

Wang Yuzhi Liu Yashu Xu Ruming

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

Some problems on parameter selection for stable monomode CO₂ oscillators are discussed.

增益系数是激光器的重要参数之一。众所周知，一个激光器只有当它的增益系数大于损耗系数时，才能产生振荡，进而获得激光输出。几年来，我们从事气动激光器增益测量工作的实践证明，要想比较精确地测量，必须首先研制一根稳定的单模输出的振荡器，然后再配备合适的接收器、记录器，这样才能减少测量误差，提高测量精度。下面我们就 CO₂ 振荡器的一些参量选择进行讨论。

激光器结构如图 1 所示。

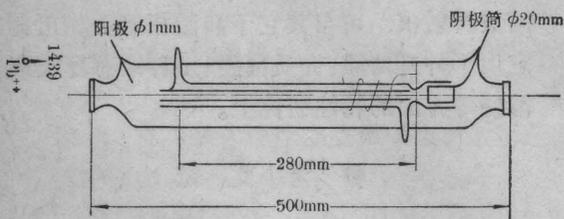


图 1 激光器结构示意图

从图中可知，管子是由三层石英玻璃组成，最外层是贮气套，中层是水套，最内层是放电管。为了克服电泳现象，在阴极与阳极之间加的回气管要有足够的长度，而且直径不宜过大。根据我们的经验，回气管全长要大于 2 倍的放电管总长，直径要小于放电管的直径，否则回气管将有可能变成放电“捷径”。

下面就激光管一些参数的选择谈谈看法。

1. 激光管内孔径的选择

对于高斯光束来说，通过一个半径为 a 的小孔的能量与总能量之比为

$$\frac{I_a}{I_0} = 1 - e^{-2a^2/W^2}$$

当激光器的孔径 $2a$ 等于出口光斑直径 $2W$ (W 为光斑的出口半径) 时，则可以通过 80% 的能量，当激光器的孔径等于出口光斑直径的 1.5 倍时，则可以通过 99% 的能量。根据产生单横模的条件，一般选孔直径等于 2 倍的光斑直径，即 $2a = 4W$ 。如果我们已知光斑出口半径 W ，则管径就可以选择了。

对于平凹腔来讲：

$$W^2 = \frac{\lambda R}{\pi} / \sqrt{\frac{2R}{d} - 1}$$

式中 R 为激光器全反金膜的曲率半径， d 为腔长 l 的 2 倍。我们的激光器长 $l = 500$ 毫米， $R = 1500$ 毫米，代入上式可知， $W = 1.9$ 毫米。

根据产生单横模的条件：孔径 $2a = (2 \sim 4)W$ ，所以孔径 ϕ 可以在 $(3.8 \sim 7.6)$

收稿日期：1978 年 7 月 20 日。

毫米中选择。在我们的实验条件下，选择 $2a = 3.5$ 毫米是可以的。

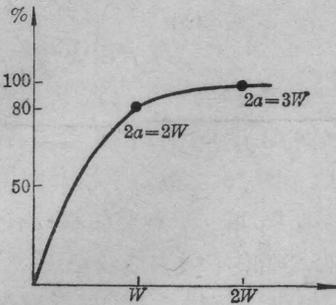


图 2

2. 腔内损耗 δ

根据我们选定的条件，管径 $2a = 3.5$ 毫米， $a = 1.75$ 毫米， $l = 500$ 毫米， $\lambda = 10.6 \times 10^{-3}$ 毫米。费涅耳数 $N = a^2 / l\lambda = 0.6$ 。由福克斯—李曲线可查得腔内损耗 $\delta_{00} = 0.3\%$ ， $\delta_{01} = 0.6\%$ 。

3. 增益 g

我们用另外一根 CO_2 激光器做为振荡管，而把要测的激光器做为放大管。测量装置如图 3。

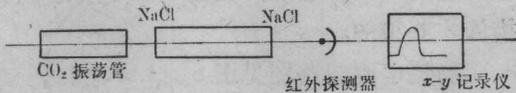


图 3 测量装置示意图

a. 保持总压不变为 17 托；保持 He 与 CO_2 的比不变，而只改变 CO_2 与 N_2 的比例。

b. 由 a 选取一组 CO_2 与 N_2 的最佳比，保持总压不变，而只改变 CO_2 与 He 的比例。

c. 由 a、b 选取最好的 CO_2 与 He， CO_2 与 N_2 的比例，然后改变总压。

d. 加入一定量的 Xe 气。

由上述四个过程所选取的最佳条件：总压 $P = 25$ 托； $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Xe} = 2 : 1 : 4 : 1$ 。最高增益可达 1.2% 厘米⁻¹。

4. 最佳透射率 T

由前面的计算可知， $\delta = 0.3\%$ ， $g = 1.2\%$ 厘米⁻¹， $l = 28$ 厘米。透射率

$$T = \sqrt{2g_0 l \alpha} - \alpha = 0.038。$$

反射率 $R = 1 - T = 1 - 0.038 = 96.2\%$ 。因此，我们选择激光管的锗输出窗口应镀以 96% 的增反膜，这样可以达到最佳输出。

5. 临界振荡条件

根据锗腔片的反射率 $R_1 = 96\%$ ，全反金膜 $R_2 = 98\%$ ， $l = 28$ 厘米， $\delta = 0.003$ 。

由临界振荡条件 $R_1 R_2 e^{l(g-\alpha)} = 1$ 得

$$g = \frac{1}{l} \ln \frac{1}{R_1 R_2} + \alpha = 0.34\% \text{ 厘米}^{-1}$$

这说明至少要有 0.34% 厘米⁻¹ 的增益，激光管才能产生振荡，而我们测量的增益为 1.2% 厘米⁻¹，所以能保证产生振荡。

6. 输出功率的测量

我们所用的调制器为 2 转/分的马达，开一个 1 秒的缺口，管中充气按上述最佳条件 $P = 25$ 托， $\text{Xe} : \text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 2 : 1 : 4$ 。测量功率为 1.5 瓦。

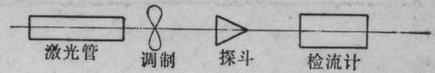


图 4 测量装置示意图

7. 稳定度 s 的测量

根据稳定度的定义，在时间 t 中 $s = \frac{\Delta I}{\bar{I}}$ ， ΔI 表示在时间 t 中光强的变化； \bar{I} 表示光强的平均值。由系统误差：

$$\Delta I = 0.677 \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^n \Delta I_n^2}{n-1}} \text{ 得出}$$

当 $t = 0.5$ 小时， $s = 0.7\%$ ； $t = 1$ 小时， $s = 1\%$ 。

对于燃烧型 CO_2 气动激光器，出光时间为 2~3 秒。为此，我们在 1 分钟内反复测量了振荡管的稳定度， $s = 0.1\%$ 。

结果见图 5、6、7。

二点说明

(1) 在我们的研究过程中发现，激光管内气压的变化，也将引起激光输出的波动。这种气压变化，在管子激发后的 1.5 小时中是比较明显的。这主要是因为气体对激光管壁

