

一种自稳频大功率单频 He-Ne 激光器的功率估算

李尚义 张盛伏

(北京科学仪器厂激光分厂, 北京, 100011)

摘要: 介绍了一种大功率单频、自稳频、高输出功率 He-Ne 激光器功率估算方法的改进。用这种方法的估算值与实际输出功率值符合得较好。

关键词: 功率估算 单频 自稳频 He-Ne 激光器

Output power estimation for self-stabilized frequency He-Ne laser

Li Shangyi, Zhang Shengfu

(Beijing Scientific Instrument Factory, Beijing, 100011)

Abstract: Estimation of output power for high output power single frequency He-Ne laser of self-stabilized frequency is introduced. The theory estimation results of output power much approximate to measurement data. Two series of single and self-stabilization frequency high output power external cavity He-Ne laser are obtained with inhomogeneous longitudinal magnetic fields and high gas pressure. With the discharge tube of one meter (cavity length 1140mm) and 1.8 meters length (cavity length 1800mm) the output power are 18~24mW and 40~52mW respectively^[1-11]. The coherence length of these lasers exceeds 14 meters. Without any external frequency stabilization method the instability of the single frequency are 6.175×10^{-9} ($\tau \leq 10s$), 3.38×10^{-9} ($\tau \leq 1s$) for one meter laser, and 2×10^{-8} ($\tau \leq 10s$), 1.1×10^{-8} ($\tau \leq 1s$) for 1.8 meters by multi-measurements of the beat frequency between the single He-Ne laser and an iodine stabilized He-Ne laser.

Key words: output power estimation single frequency self-stabilization frequency He-Ne laser

引 言

用高气压加纵向非均匀磁场生产出大功率单频、自稳频 He-Ne 激光器。这种激光器的相干长度大于 14m; 1m 器件的单频输出功率为 20~24mW, 频率稳定性为 6.175×10^{-9} ($\tau \leq 10s$) 和 3.38×10^{-9} ($\tau \leq 1s$)^[10], 1.8m 器件的单频输出功率为 40~50mW, 其频率稳定性为 2×10^{-8} ($\tau \leq 10s$) 和 1×10^{-8} ($\tau \leq 1s$)。关于这种单频、自稳频激光器的性能和工作机理已有分析^[1-11], 我们将论述这种激光器的输出功率估算。

一、问题的提出和解决办法

单频 He-Ne 激光器在正常气压下的功率估算已有完善的方法, 将文献[12]的有关曲线向高压段作小范围外延, 用于解决高压下的功率估算, 结果与实际输出功率相差甚远, 为此, 只好另找方法。

为计算准确和查找方便, 引用文献[13]中有关误差函数的数据(表 1)。

在 1.8m 单频激光器里, 只需 667Pa 的气压^[1-11]即可得到自动稳定的单频输出, 在估算

Table 1 $R_w(z)$ values at $x=0$ $w(z)$
 $= e^{-z^2} \operatorname{erfc}(-iz), z = x + iy$

y	$R_w(z)$	y	$R_w(z)$
0.00	1.0000	1.50	0.321585
0.10	0.896457	1.60	0.305953
0.20	0.809020	1.70	0.291663
0.30	0.734599	1.80	0.278560
0.40	0.670788	1.90	0.266509
0.50	0.615690	2.00	0.255396
0.60	0.567850	2.10	0.245119
0.70	0.525930	2.20	0.235593
0.80	0.489101	2.30	0.226742
0.90	0.456532	2.40	0.218499
1.00	0.427584	2.50	0.210806
1.10	0.401730	2.60	0.203613
1.20	0.378537	2.70	0.196874
1.30	0.357643	2.80	0.190549
		2.90	0.184608
1.40	0.338744	3.00	0.179001

时, 直接用 $\Delta V_L = \alpha \cdot p = \frac{100\text{MHz}}{133.32\text{Pa}} \times p, \alpha = \frac{100\text{MHz}}{133.32\text{Pa}}, p = 667\text{Pa}$ 。所以, $\Delta V_L = \alpha \cdot p = 500\text{MHz}$, 再用公式:

$$\beta = \sqrt{1 + \frac{2I_+}{I_s}} \frac{R_w(0 + i \frac{\Delta V_L}{\Delta V_D} \cdot \sqrt{\ln 2})}{R_w(0 + i \frac{\Delta V_L}{\Delta V_D} \cdot \sqrt{\ln 2} \cdot \sqrt{1 + \frac{2I_+}{I_s}})} \quad (1)$$

在上式中, 我们取 $\Delta V_D = \Delta V_{osc} = 600\text{MHz}$, 因高压时, 损耗增加, 使实验观察到的振荡线宽已只有 600MHz 了^[1], 所以, 取 $\Delta V_D = 600\text{MHz}$ 。并令 I_+ / I_s 分别等于 0, 1, 2, 3, 4, 5, 通过查表 1, 可以分别算得不同激发参量 β 值, 见表 2 (在 $\Delta V_L = 500\text{MHz}$ 时)。

将表 2 数据描曲线 (见图 1)。再计算一般气压时的增益系数 G_m , 从而推导出相应高压

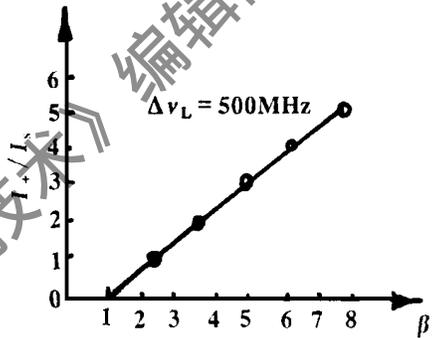


Fig. 1 The excitation parameter β of different I_+ / I_s values for $\Delta V_{osc} = 600\text{MHz}, \Delta V_L = 500\text{MHz}$

时的增益系数 G_{mh} , 在一般气压时: $p \cdot d = 3.9 \times 133.32 (\text{mm} \cdot \text{Pa})^{[12]}, d = 2.80\text{mm}$ (1.8m 腔长时), 所以, $p = 3.9 \times 133.32 / d = 186 (\text{Pa})$, 从文献 [12] 的图 3-6-5 中查得 $p = 186\text{Pa}$ 时, $\Delta V_L / 2 = 120\text{MHz}, \Delta V_L = 240\text{MHz}$ 。因一般气压时, $\Delta V_D = 1600\text{MHz}^{[12]}$, 将以上 $\Delta V_L = 240\text{MHz}, \Delta V_D = 1600\text{MHz}$ 的数值代入 (2) 式^[12], 通过计算并查表 1 的 R_w 值得:

$$G_m = G_i^0(V_0) R_w(0 + i \frac{\Delta V_L}{\Delta V_D} \sqrt{\ln 2}) = G_i^0(V_0) \times 0.87 \quad (2)$$

算得普通气压下的 G_m 值后, 再算高压时的 G_{mh} 值, 此时, 将 $\Delta V_L = 500\text{MHz}, \Delta V_{osc} = \Delta V_D = 600\text{MHz}$, 代入 (2) 式, 再查表 1 的 R_w 值, 得: $G_{mh} = G_i^0(V_0) \times 0.525$, 所以,

$$\frac{G_{mh}}{G_m} = \frac{G_i^0(V_0) \times 0.525}{G_i^0(V_0) \times 0.87} = 0.60$$

Table 2 The excitation parameter β values for different normalized laser intensity I_+ / I_s (at $\Delta V_D = 600\text{MHz}, \Delta V_L = 500\text{MHz}$)

I_+ / I_s	0	1	2	3	4	5
β	1	2.4	3.8	5.19	6.36	7.94

$$\because G_m = 3 \times 10^{-4} / d, \therefore G_{mh} = 3 \times 10^{-4} \cdot (1/d) \times 0.60$$

由此算得高压时的 β 值为:

$$\beta = 2 G_{mh} l / (\alpha + T) = 2 \times 3 \times 10^{-4} \times (1800 / 2.8) \times 0.60 / (0.018 + 0.03) = 4.82$$

从图 1 的曲线上, 查得 $\beta = 4.82$ 时, $I_+ / I_s = 2.8$ 。

将文献 [12] 中的图 3-6-6 曲线外延至 667Pa 处 (图 2)。

由图 2, 在其外延的虚线上查得 667Pa 时, $I_s = 50\text{W} / \text{cm}^2 = 500\text{mW} / \text{mm}^2$, 而 $A = (\pi/5) (d/2)^2 = (\pi/5) (2.8/4)^2 = 1.23, T = 0.03$; 前面已查得 $\beta = 4.82$ 时, $I_+ / I_s = 2.8$, 所以 $I_+ = 2.8 \times I_s$; 而 $p =$

$ATI_+^{[12]} = ATI_s \times 2.8 = 1.23 \times 0.03 \times 2.8 \times 500 = 51.66\text{mW}$, 而实际最大输出为 52mW , 理论计算与实际输出相差很小。

二、方法验算

对上述方法的可靠性, 可用 1m 单频 He-Ne 激光器的输出功率估算进行验算。在普通 1m He-Ne 激光器里, 取 $p \cdot d = 3.9 \times 133.32$ ($\text{Pa} \cdot \text{mm}$), 而 $d = 2.24\text{mm}$, 所以 $p = 3.9 \times 133.32 / d = 232\text{Pa}$, 由此可从文献[12]的图 3-6-5 查得 $\Delta\nu_D / 2 = 128\text{MHz}$, $\Delta\nu_L = 256\text{MHz}$, 因

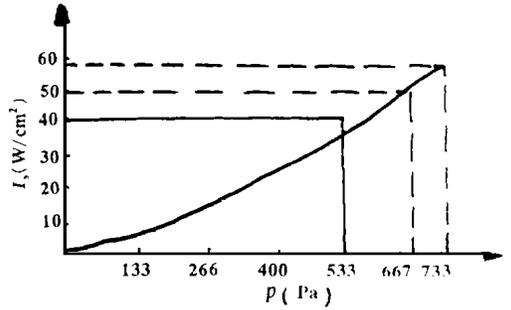


Fig. 2 I_s as a function of gas pressure p in He-Ne laser (the solid curve is experimental measurements^[12], the dashed curve is extension of the solid curve)

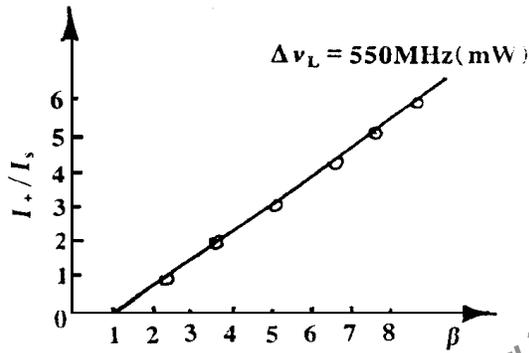


Fig. 3 The excitation parameter β values of different I_+ / I_s values for $\Delta\nu_D = 600\text{MHz}$, $\Delta\nu_L = 550\text{MHz}$

正常气压时 $\Delta\nu_D = 1600\text{MHz}^{[12]}$, 所以:

$$\begin{aligned} G_m &= G_i^0(\nu_0) R_w [0 + i(\Delta\nu_L / \Delta\nu_D) \sqrt{\ln 2}] \\ &= G_i^0(\nu_0) R_w [0 + (256 / 1600) \sqrt{\ln 2}] \\ &= G_i^0(\nu_0) \times 0.88 \end{aligned}$$

在 1m 单频激光器里所采用的气压为 733Pa , $\Delta\nu_D = 600\text{MHz}$ (因气压与 1.8m 单频激光器相差不多, 所以在扫描干涉仪上看到的振荡线宽仍为 600MHz)。此时, 亦不采用查图表的方法求 $\Delta\nu_L$ 值, 而是直接算 $\Delta\nu_L$ 值, 因在 1m 单频激光器里采用的气压为

733Pa , $\Delta\nu_L = \alpha \cdot p = (100\text{MHz} / 133.32\text{Pa}) \times 733\text{Pa} = 550\text{MHz}$, 取 $\Delta\nu_D = 600\text{MHz}$ (实验所得)。分别取 I_+ / I_s

Table 3 The excitation parameter β values for different normalized laser intensity I_+ / I_s (at $\Delta\nu_D = 600\text{MHz}$, $\Delta\nu_L = 550\text{MHz}$)

I_+ / I_s	0	1	2	3	4	5	6
β	1	2.28	3.76	5.09	6.68	7.72	8.82

为 $0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 代入(1)式并查表 1 后得表 3。

将表 3 的数据画成曲线(图 3)。

再用 $\Delta\nu_D = 600\text{MHz}$, $\Delta\nu_L = 550\text{MHz}$ 代入(2)式, 并查表 1, 得

$$G_{mh} = G_i^0(\nu_0) R_w [0 + i(\Delta\nu_L / \Delta\nu_D) \sqrt{\ln 2}] = G_i^0(\nu_0) \times 0.49$$

前面已算得 $G_m = G_i^0(\nu_0) \times 0.88$, 所以,

$$\frac{G_{mh}}{G_m} = \frac{G_i^0(\nu_0) \times 0.49}{G_i^0(\nu_0) \times 0.88} = 0.56, \quad G_{mh} = G_m \times 0.56$$

再算 β ,
$$\beta = \frac{2G_{mh}l}{\alpha + T} = \frac{2 \times 3 \times 10^{-4} \times (110 / 2.32) \times 0.56}{0.018 + 0.025} = 3.7$$

由图 3 的曲线查得: $\beta = 3.7$ 时, $I_+ / I_s = 1.9$, $I_+ = I_s \times 1.9$, 再由图 2 查得压力为 733Pa 时, $I_s = 580\text{mW} / \text{mm}^2$, $T = 0.025$, $A = (\pi/5)(d/2)^2 = (1/5) \times 3.1415 \times (2.32^2 / 4) = 0.84\text{mm}^2$, $P = ATI_+ = 0.84 \times 0.025 \times 1.9 \times 580 = 23.14\text{mW}$, 与实际最大输出的 24mW 相差不多。通过以上验算, 所述功率估算方法是可行的。

为清楚起见,将 1m, 1.8m 单频激光器腔长与输出功率的相对关系用图 4 的曲线表述。

三、结 论

1. 用高压加纵向非均匀磁场获得大功率单频、自稳频 He-Ne 激光输出, 作功率估计时, 文献[12]所引用的饱和参量 I_s 相对气压的曲线按现有趋势(图 2)向高压段外延至 733Pa 处, 从而能查到高压段的饱和参量 I_s 。

2. 要计算 Δv_L 值, 一般是根据文献[12]图 3-6-5 的曲线, 由所充气压查 $\Delta v_L/2$ 值, 计算表明, 这种曲线查得的 Δv_L 值, 不适合高压时的情况。因此, 可直接用公式 $\Delta v_L = \alpha \cdot p$ 计算, $\alpha = 100\text{MHz}/133.32\text{Pa}$, 与实际功率输出值相近。

3. Δv_D 用实际观察到的振荡线宽, 对 1m 和 1.8m 单频激光器观察到的振荡线宽都是 $600\text{MHz}^{[1-11]}$, 因高压时, 损耗增加, 振荡线宽变窄。

4. 由普通气压的 G_m 值导出高压的 G_{mh} 值已不是常数, 在计算中是可行的。

5. 经过以上几种处理后, 再用传统的方法进行估算, 即可得到这种新型激光器的功率估算值, 其理论数值与实际数值相差很小。

6. 概括地讲我们提出的估算步骤为:

a. 从实验读取 Δv_D , 并从所相应的气压 p 值估算 Δv_L 值;

b. 在(1)式中代入 Δv_D 值和 Δv_L 值, 再利用表 1, 分别令 I_+/I_s 为 0, 1, 2, 3, 4, 5, …… , 计算出相应的 β 值;

c. 画出 I_+/I_s 和 β 的关系曲线;

d. 用(2)式和表 1 计算相应腔长的普通激光器的 G_m 值和高压时的 G_{mh} 值;

e. 取(2)式所算得的 G_m 值等于 $3 \times 10^{-4}/d^{[12]}$, 由 G_{mh}/G_m , 可算得 G_{mh} 的实际值, 它与气压 p 有关;

f. 由 $\beta = 2G_{mh}l/(\alpha + T)$ 可计算高压时的 β 值, α 取 0.018, T 为反射镜透过率, l 为放电管长;

g. 在 I_+/I_s 和 β 关系曲线上, 根据 β 值, 找出相应的 I_+/I_s 值;

h. 由图 2 找出相应的高气压对应的 I_s 值;

i. 根据已查得的 I_+/I_s 和 I_s 值, 即可算得 I_+ 值;

j. 由 $p = ATI_+$ 计算输出功率值, A 为光束有效面积, 一般取 $A = (\pi/5)(d/2)^{2[12]}$, T 为透过率。

参 考 文 献

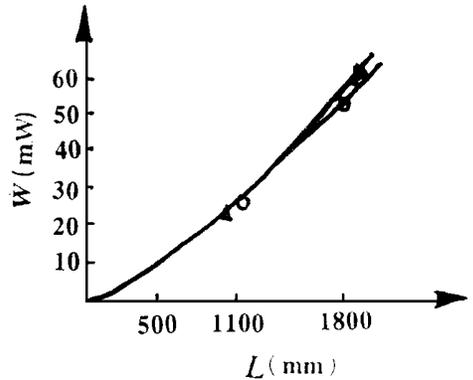


Fig.4 The output power as a function of the cavity length for high gas pressure single frequency He-Ne laser, the mark (o) denotes theoretical output power curve that is plotted from author's method, the mark (Δ) denotes reality output power curve

1 李尚义, 肖建宁, 程大光. 中国激光, 1986, 13(7): 392~396

2 李尚义. 激光杂志, 1991; 2(4): 188~196

3 李尚义. 激光杂志, 1985; 6(4): 185~189

4 李尚义, 肖建宁, 程大光. 中国专利, 85101014. B

光折变相位共轭技术的研究进展

侯春风 孙秀冬 周忠祥 李焱 姜永远 刘炳胜
(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨, 150001)

摘要: 简要地介绍了光折变相位共轭技术的研究概况, 着重介绍了自泵浦相位共轭镜及互泵浦相位共轭镜的研究进展, 对它们的结构及机理做出了说明。

关键词: 光折变晶体 相位共轭 自泵浦相位共轭镜 互泵浦相位共轭镜

Development of photo-refractive phase conjugation techniques

Hou Chunfeng, Sun Xiudong, Zhou Zhongxiang, Li Yan, Jiang Yongyuan, Liu Bingsheng
(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: This paper gives a brief introduction of the situation of researches on photorefractive phase conjugation techniques, pays particular attention to introduce the progress of the researches on self-pumped phase conjugator and mutually pumped phase conjugator, and explains their structures and mechanisms.

Key words: photorefractive crystals phase conjugation self-pumped phase conjugator mutually pumped phase conjugator

引言

相位共轭波是指在振幅、相位及偏振态三个方面互为时间反演的波, 在数学上相当于对光波复振幅做复共轭操作。由于相位共轭波能理想地消除波前的畸变, 因而被广泛地应用于自适应光学、光计算、光通讯、图像处理、实时信息处理等许多方面。

能够产生相位共轭波的装置称为相位共轭镜。目前产生相位共轭波的方法可归结为两大类: 一类是参量过程, 或称为弹性散射过程, 例如三波混频、四波混频、光子回波等; 另一类是非参量过程, 例如受激布里渊散射、受激喇曼散射等。通过对大量介质中各种不同物理机制的探

- 5 李尚义. 激光杂志, 1989; 10(5): 201~ 204
- 6 李尚义. 中国激光, 1990; 17(9): 566~ 568
- 7 Li Sh Y, Xiao J N, Chen D G. Chines Physics Lasers, 1986; 13(7): 452~ 456
- 8 李尚义. 光子学报, 1994; 23(Z1): 141~ 145
- 9 李尚义. 一种单频 HeNe 激光器的自稳频原理分析. 第五届全国基本常数、激光参数、激光器件学术会议论文集. 黄山: 河海大学, 1992: 70
- 10 李尚义. 激光技术, 1994; 18(4): 230~ 235
- 11 李尚义. 激光技术, 1995; 19(1): 1~ 5
- 12 周炳昆, 高以智, 陈家骅. 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1980: 93~ 95
- 13 Abramowitz M. Handbook of Mathematical Functions. Washington D C: National Bureau of standards, 1994: 325

作者简介: 李尚义, 男, 1941 年出生。高级工程师。长期从事激光器件及其应用的研制工作。