

小 Fresnel 数轴对称光腔场分布计算

冯大任 邹海兴

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文给出了计算一般球面反射镜轴对称激光谐振腔场分布的方法。利用此方法, 计算了小 Fresnel 数的光腔腔内的场分布及输出光束的强度分布。计算所得结果与实验观察到的现象相同。

Calculation of laser field distribution of an axially symmetrical resonator with small Fresnel number

Feng Darun Zou Haixin

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

Abstract: In this paper, a method is given for calculating field distribution of an axially symmetrical laser resonator. Field distribution of resonator with small Fresnel number and the intensity distribution of output beam have been calculated using this method. The calculated results coincide with the experimental ones.

关于激光腔场分布的研究, 多年来国内外已做了大量的分析及计算工作。例如文献 [1, 2] 对平面的方形腔和平面带小孔的圆形腔的场分布作了较系统的数字计算。中红外、远红外激光器常采用轴对称小 Fresnel 数的稳定腔工作。如 $N \approx 1$ 时, 常可获得单横模。因此, 对其场分布进一步探讨是十分必要的。

我们考虑的计算方程和所设计的计算程序对计算任意几何参数的轴对称球面(或平面)光腔的场分布都是适用的。但这里我们仅对一种小 Fresnel 数的光腔进行具体的计算。

一、计算模型

场分布从一个球面传输到另一球面的积

分方程

$$R_{pl}(r_2) = \int_0^a \frac{2\pi}{\lambda L} (i)^{l+1} e^{-ik(L + \frac{r_1^2 + r_2^2}{2L} - \frac{r_1^2}{2r_1} - \frac{r_2^2}{2r_2})} \times J_e\left(\frac{kr_1 r_2}{L}\right) R_{pl}(r_1) r_1 dr_1 \quad (1)$$

其中 r_1 、 r_2 为球面曲率半径, L 为镜间距, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, P 、 l 为正整数, λ 为波长。

对方程(1)的计算模型见图 1, 计算用迭

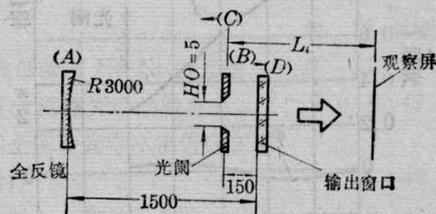


图 1 计算用光腔实例

收稿日期: 1980年1月23日。

代法。首先设腔内某一截面有一任意的场分布 $u(r)$ 。例如 $U(r) = u_0(r)e^{-j\varphi(r)}$ (我们采用等强度、等位相分布), 然后让 $u(r)$ 在腔内传输、反射 (按图 2 中 $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow A$ 顺序进行), 直至获得稳定的场分布为止 (我们取 $u(r)$ 在腔内往返一次后, 其相对强度为原值之差 $< 10^{-4}$ 作为我们获得稳定场的判据)。光腔为 1500 毫米长, 半共焦腔, 腔内放置一光阑, 孔径为 5 毫米。在计算中, 我们取 $\lambda = 10.6$ 微米, 初步只考虑零级 Bessel 函数, 用 TQ-16 电子计算机计算。一般 $u(r)$ 在腔内往返 10~15 次, 相对强度分布 I ($I = u \times u^*$) 就可以稳定, 位相的分布亦相对稳定。

二、计算结果

我们首先计算了腔内不同位置与不同传输方向 (图 1 中 (A) (B) (C) (D) 面上) 的场分布及相位分布, 见图 2 至图 5。

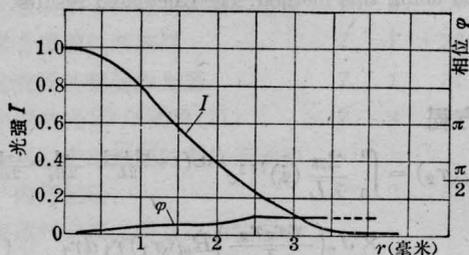


图 2 腔内位置(A)的光分布

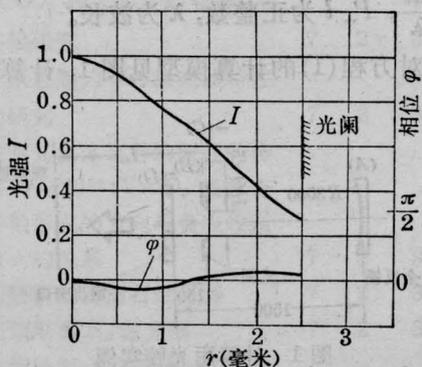


图 3 腔内位置(B)→的光分布

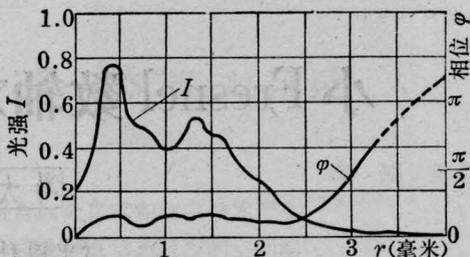


图 4 腔内位置(D)的光分布

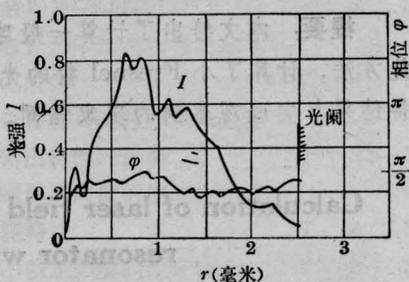


图 5 腔内位置←(C)的光分布

腔外离光阑不同距离 (观察屏) 的输出光强度分布见图 6。

输出激光束的角分布与 $\phi 5$ 毫米等强度等相位圆孔衍射角分布的比较示于图 7。

上述计算结果表明:

(1) 腔内各个面上光强度分布均不相同, 同一面上 (如光阑面 (B) (C)), 因传输方向不同, 其光强度分布亦不相同 (见图 3 和图 5)。当光波向输出端传输时, 在光阑孔面上的位相变化不大 (差值最大不超过 $\pi/30$, 见图 3)。因此, 腔内存在光阑或限制光束传播的介质, 则振荡光束的束腰, 并不在谐振腔理论所预言的地方, 如 (D) 面, 而是在光阑面上, 其波面是平面。而其余各面的强度分布与

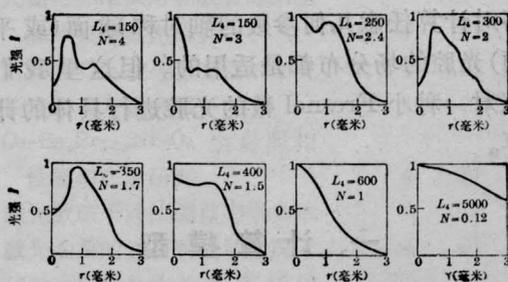


图 6 腔外不同位置处的光强分布

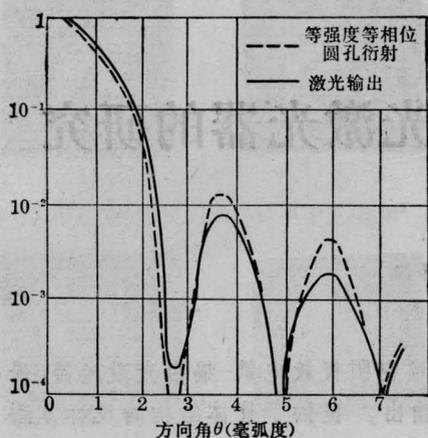


图7 激光输出的角分布

TEM₀₀ 模高斯形分布有较大差异。

(2) 离输出端腔片不同位置场分布类似于孔状光阑的 Fresnel 衍射分布。按观察屏至腔内光阑(不是平面输出腔片处)距离算,当 N 数是奇数时,近场花样中心为亮斑,外面有 $(N-1)/2$ 个亮环。当 N 是偶数时,中心亮斑是暗的,有 $N/2$ 个亮环围绕(见图6)。在中红外、远红外小 Fresnel 数圆柱形轴对称

激光器的近场花样中很容易观察到这种现象。如文献[4]实验所证实。观察屏固定时,屏面光场分布中心明暗及环数随腔内光阑位

移而变的实验结果,亦与我们的计算相同。
(3) 激光输出角分布与 $\phi 5$ 毫米等强度等相位的圆孔衍射角分布相似,见图7。其极大值与极小值位置完全相同,可见,虽然光束在输出镜面上强度分布很不均匀,在光腰处强度分布亦不均匀,但只要光波在光腰处位相分布变化不大,则远场分布仍然是很理想的。

参 考 文 献

- [1] A. G. Fox, T. Li; *Bell. Sys. Tech. J.*, 1961, **40**, 453.
- [2] T. Li, H. Zuckev; *J. Opt. Soc. Am.*, 1967, **57**, 984.
- [3] “激光物理学”编写组,《激光物理学》第三章,上海人民出版社,1975年。
- [4] 邹海兴等;《纵向放电 CO₂ 激光振荡器和放大器中的若干问题》,上海光机所《研究报告集》第四集,1977年。

科学札记

10 兆瓦脉冲大功率 CO₂ 激光系统及运转特性

我们曾研究了紫外光预电离的 TEA 激光器^[1], 主动锁模 TEACO₂ 激光器^[2], 大口径 TEACO₂ 激光器^[3]和冷阴极电子束控制放电的 CO₂ 激光器^[4], 在此基础上利用它们作为组件建立了一台 10 兆瓦级的脉冲大功率 CO₂ 激光系统。

主动锁模 TEACO₂ 振荡器, 它产生毫微秒脉冲系列, 输出总能量 0.1 焦耳, 脉宽 1.5 毫微秒。由电光开关选出 122 毫焦耳能量。

首先用 1.5 米长的 TEA CO₂ 放大器进行前置放大主能量约 0.3 焦耳。为了提高放大倍数采用双光程技术。该放大器口径为 4×5 厘米², 工作气压为 660 托, 气分比为 CO₂:N₂:He=3:2:8。

前置放大器输出的激光脉冲再经大口径光预电离 TEACO₂ 放大器放大至约 3 焦耳。该放大器的结构和工作参数为: 放电体积 $7 \times 8 \times 100$ 厘米³, 储

能电容为 2×0.047 微法, 工作电压为 120~150 千伏, 工作气压为 560 托, 气体比分为:

$$\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=3:2:5.$$

最后一级放大器是电子束控制放电的 CO₂ 激光放大器。其放电体积为 8 立升, 电子枪工作电压为 180~200 千伏, 电子束流为 1 安/厘米², 气体比分为 CO₂:N₂:He=1:2:3, 工作气压为 1~1.5 大气压, 经这级放大后的能量大于 20 焦耳。

参 考 文 献

- [1] 蔡英时等;《激光》, 1979, **6**, No. 2, 23.
- [2] 蔡英时等;《激光》, 1980, **7**, No. 2, 28.
- [3] 楼祺洪等;《激光》, 1979, **6**, No. 4, 27.
- [4] 庄斗南等;《激光》, 1980, **7**, No. 2, 33.

(中国科学院上海光机所 丁爱臻 于澍生等)