

双望远镜腔大体积 TEM₀₀模 Nd YAG 激光器

陈德章 景开友 卿光弼 高剑波 李名强
(西南技术物理研究所, 成都, 610041)

摘要: 主要研究在普通望远镜腔的目镜方再倒置一扩束望远镜构成双望远镜腔结构, 既充分发挥了望远镜腔的良好选模能力, 又较好地解决了谐振腔损伤问题, 得到了较好的结果。

关键词: 双望远镜共振腔 大体积 TEM₀₀模

Double telescopic resonator large volume TEM₀₀ mode Nd YAG laser

Chen Dezhang, Jing Kaiyou, Qing Guangbi, Gao Jianbo, Li Mingqiang
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: The double telescopic resonator constructed by a inverse telescope set in the side of the objective lens of an ordinary telescope resonator has been studied. The experimental results show that the cavity has not only better mode-selection characteristics, but also higher ability of anti-beam-damage.

Key words: double-telescopic resonator large volume TEM₀₀ mode

引言

在固体激光器谐振腔中插入望远镜, 利用其良好的选模能力, 以获得优良光束质量的大体积 TEM₀₀模激光输出。但由于全反射镜处的激光功率密度极高, 损伤问题难以解决。有人尝试提高全反射膜的抗损伤能力, 效果不十分显著。我们提出在谐振腔的目镜方再倒插入一个望远镜, 形成双望远镜腔。一方面可获得大 TEM₀₀模, 另一方面通过增大反射镜上光斑直径, 从根本上解决望远镜谐振腔的损伤问题。

一、基本理论分析

双望远镜腔的设计思想就是在普通望远镜腔的目镜前方再加入一扩束望远镜, 细光

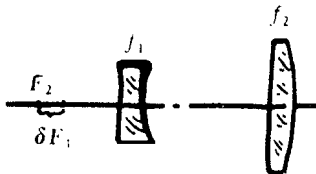


Fig. 2 Optical-path diagram of telescope with defocusing δ

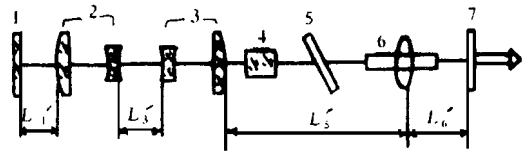


Fig. 1 Optical-path diagram of double-telescope resonators

束经扩束后到达全反射镜。这样既充分发挥了望远镜腔的良好选模能力, 又较好地解决了谐振腔损伤问题, 使得具有优良光束质量的望远镜大体积 TEM₀₀模谐振腔实用化。双望远镜大体积 TEM₀₀模 Q 开关 Nd: YAG 激光器的光路简图如图 1 所示。图中, 1 为全反射镜, 2 为扩束望远镜, 3 为失调望远镜, 4 为铌酸锂 Q 开关晶体, 5 为介质偏振片, 6 为 Nd: YAG 激光棒, 7 为输出镜。L'₁ 为全反射镜与扩束望远镜物镜间的距离, L'₃ 为扩束望远镜目镜与失调望远镜目镜间的距离, L'₅ 为失调望远镜物镜与热透镜间的距离, L'₆ 为热透镜与输出镜间的距离。设望远镜物镜焦距为 f₁, 目镜焦距为 f₂, 放大倍率为 M (M = -f₁/f₂); Nd: YAG 激光棒热焦距为 f_T; 铌酸锂晶体厚度为 d, 折射率为 n; 介质偏振片的折射率为 n', 厚度为 t。

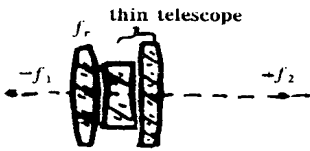


Fig. 3 Equivalent optical-path diagram of telescope with defocusing δ

下面用光线传输矩阵理论分析谐振腔参数: 1. 望远镜等效由光线传输矩阵推导知, 图 2 所示失焦量为 δ 的望远镜可作如下透镜序列等效, 即一间隔为 $-f_2$ 、薄的望远镜、一焦距为 $f_r = f_1^2 / \delta$ 的薄透镜和一间隔为 $-f_1$ 的透镜序列(图 3)。

其中, 薄望远镜的光线传输矩阵为:
$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & 1/M \end{bmatrix}$$

同理, 图 4 所示的扩束望远镜可等效为一间隔为 $-f_1$ 薄望远镜和一间隔为 $-f_2$ 的透镜序列(如图 5)。

其中, 薄望远镜的光线传输矩阵为:
$$\begin{bmatrix} 1/M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix}$$

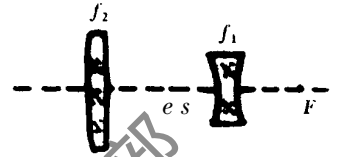


Fig. 4 Optical path diagram of telescope

2 腔参数等效 令 $L_1 = L'_1 - f_2, L_3 = L'_3 - 2f_1, L_5 = L'_5 - f_2, L_6 = L'_6, D_T = 1/f_T, D_r = 1/f_r$ 。则图 1 所示的腔可等效为

如图 6 所示的腔。以 1 为参考平面, 等效腔的单程作用矩阵为

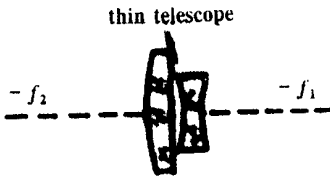


Fig. 5 Equivalent optical-path diagram of telescope



Fig. 6 Equivalent optical-path diagram of double telescope resonators

$$\begin{aligned}
 \text{双} \quad \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & L_6 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -D_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -P_{D_r} & 1 \end{bmatrix} \quad \text{反射} \\
 \text{di} \quad \text{g} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1/M \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & L_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{\$}
 \end{aligned}$$

由矩阵计算可得:

$$a = 1 - D_T L_6 - D_r L_5 - D_r L_6 + D_T D_r L_5 L_6 \tag{1}$$

$$b = (1 - D_T L_6 - D_r L_5 - D_r L_6 + D_T D_r L_5 L_6)(L_1 + M^2 L_3) + L_5 + L_6 - D_T L_5 L_6 \tag{2}$$

$$c = D_T D_r L_5 - D_r - D_T \tag{3}$$

$$d = (L_1 + M^2 L_3)(D_T D_r L_5 - D_r - D_T) + 1 - D_T L_5 \tag{4}$$

所以, 腔的等效 G 参数为:

$$g_1 = a = 1 - L_6 D_T - (L_6 + L_5) D_r + D_r D_T L_5 L_6 \tag{5}$$

$$g_2 = d = 1 - (L_5 + L_1 + M^2 L_3) D_T - (L_1 + M^2 L_3) D_r + (L_1 + M^2 L_3) L_5 D_T D_r \tag{6}$$

则全反射镜和输出镜上的光斑半径 W_1, W_2 分别为:

$$W_1 = \sqrt{(N\pi) [bg_2 / \sqrt{(1-g_1g_2)g_1g_2}]} \tag{7}$$

$$W_2 = \sqrt{(N\pi) [bg_1 / \sqrt{(1-g_1g_2)g_1g_2}]} \tag{8}$$

根据腔的动态热稳定条件 $g_1 g_2 = 1/2$ 可得: $AD_r^2 + BD_r + C = 0$
$$\tag{9}$$

$$A = (L_1 + M^2 L_3) [L_5^2 L_6 D_T^2 - (2L_6 L_5 + L_5^2) D_T + L_5 + L_6] \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 B = & -L_5 L_6 (2L_1 + 2M^2 L_3 + L_5) D_T^2 + [(L_5 + L_6) (2L_1 + 2M^2 L_3 + L_5) \\
 & + L_5 L_6] D_T - (L_1 + L_5 + L_6 + M^2 L_3)
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$C = (1/2) - (L_5 + L_1 + M^2 L_3)(1 - L_6 D_T) D_T - D_T L_6 \tag{12}$$

由(9), (10), (11), (12) 四式可求得失焦量 δ , 则

$$\delta = f_2^2 / f_r = f_2^2 \cdot D_r = f_2^2 [(-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}) / 2A] \tag{13}$$

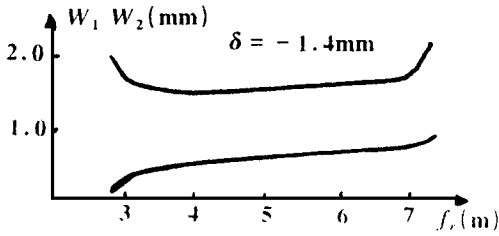


Fig. 7 Curve diagram of spot radius for thermal focus f_T

通过计算机模拟可知: 对于直径为 $f_5\text{mm}$ 的棒, 取 $L_1 = 100\text{mm}$, $L_5 = 150\text{mm}$, $L_6 = 100\text{mm}$, $f_1 = 127.15\text{mm}$, $f_2 = -32.12\text{mm}$, $f_T = 5\text{m}$, 则 $L_3 = 250\text{mm}$, $\delta = -1.4\text{mm}$ 。

W_1, W_2 对 f_T 曲线如图 7 所示。从曲线可知, 当 δ 为 -1.4mm 时, $W_{\pm} f_T$ 曲线最平缓。所以, -1.4mm 就是望远镜的最佳失焦量 δ_0 。 W_1, W_2 对 δ 曲线如图 8 所示。可见, $W_{\pm} \delta$ 曲线在 -1.4mm 附近有一段平稳区, 有利于实验调试。

从以上模拟结果可知, 光斑半径存在一段平稳区, 腔具有一定的热稳定性。

3. 计算机模拟 因为激光棒紧靠输出镜有利于输出, 且由理论分析和模拟可知 L_3 的值对光斑半径 W_1, W_2 的影响陡度大, 为了使腔结构紧凑, 在作腔参数模拟时, L_1, L_5, L_6 腔结构允许的最小值, 通过改变 L_3 的值求出满足热稳定条件 $g_1 g_2 = 1/2$ 和自孔径选模条件 $r / W_2 \approx 1.5$ 的望远镜的最佳失焦量 δ_0 , r 为激光棒半径。

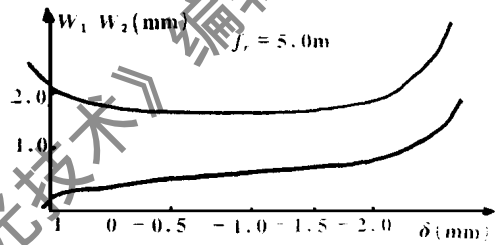


Fig. 8 Curve diagram of spot radius for defocusing δ

二、实验结果及讨论

选用 $f_5\text{mm} \times 80\text{mm}$ 的 Nd:YAG 棒, 铍酸锂 Q 开关晶体尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 25\text{mm}$, 介质偏振片尺寸为 $f_25\text{mm} \times 3\text{mm}$, 望远物镜焦距为 127.15mm , 望远目镜焦距为 -32.12m 。根据模拟参数按图 1 所示安装, 构成实际腔长约为 1.1m 的双望远镜腔大体积 TEM₀₀ 模 Nd:YAG 固体激光器, 在单脉冲输入能量 20J , 重复频率 10pps 下, 获得了发散角接近衍射极限的光束质量, 峰值功率为 5.4MW , 激光脉冲半宽度为 16ns , 光束发散角约为 0.56mrad , 曝光相纸记录的烧灼光斑如图 9 所示。从曝光相纸烧灼光斑显示: 激光输出能量有微小波动, 但模式结构基本没有变化。而且远场光斑能量基本集中在零级衍射环, 一级以上的衍射环能量分散极小, 显示具有良好的光束质量和模式结构。整个实验中未出现损伤问题, 取得了较好的实验结果。

Fig. 9 Light-spot for far-field and near-field with black-paper

参 考 文 献

1 Hanna D C, Sawyers C G, Yuratich M A. Opt Quant Electron, 1981, 13: 493~ 507

作者简介: 陈德章, 男, 1964 年 11 月出生。高工。现从事激光技术研究。