

掺钕磷酸盐玻璃激光器灯、棒与聚光腔体的最佳耦合

张梅珍 张军昌 吴福顺* 周宏正*

(中国科学院上海光机所)

Optimum coupling among flashlamp-rod-cavity in phosphate Nd.glass lasers

Zhang Meizhen, Zhang Junchang, Wu Fushun, Zhou Hongzheng

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

摘要: 分析了中小型掺钕磷酸盐玻璃激光器的灯极间距离、灯管内径粗细与聚光腔体结构对激光输出特性的影响。对一般质量的 $\phi 6 \times 90 \text{ mm}$ 的钕玻璃棒使用 $\phi 6 \times 75 \text{ mm}$ 的直管氙灯和匹配的聚光腔体,使激光效率达到2%,对优质棒激光效率高达2.4%。理论与实验相符。

关键词: 掺钕磷酸盐玻璃激光器,灯棒最佳耦合

一、引言

随着激光技术的发展,掺钕磷酸盐玻璃高重复率激光器在各个领域中的应用越来越广泛。在设计中小型掺钕磷酸盐玻璃激光器时,最重要的是使之能在最佳状态下运转,实现结构紧凑、激光输出能量大和效率高。为此,本文对灯、棒、聚光腔的匹配问题,作了细致的理论分析与实验研究。

二、灯的极间距离与棒长的匹配

2.1 理论分析

脉冲氙灯的转换效率 η_E 可表示为:

$$\eta_E = \frac{K' l_L}{K' l_L + d_L R_L i^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

其中 R_L 为放电回路的线路电阻; i 为灯内的电流密度; l_L 为灯极间距长度; d_L 为灯的内径; K' 为灯的电阻系数,对充以 $300 \sim 400 \text{ mmHg}$ 的脉冲氙灯, $K' = 1.3 \Omega \cdot \text{A}^{\frac{1}{2}}$ 。(1)式表示 l_L 越长, d_L 越细,灯的电光转换效率就越高。但在实际应用中,对特定的棒和聚光腔的长度,灯的极间距离有一个最佳长度。

通常,管状脉冲氙灯被看成是以灯轴为中心的旋转发光体(图1(a)),在一个辐射脉冲时间里,灯向

整个空间辐射的能量可表示为:

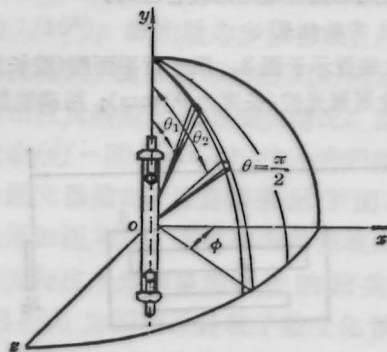
$$E = 2\pi \int_0^{\infty} \int_0^{\pi} I(\theta, t) \sin \theta d\theta dt \quad (2)$$

同时,还把氙灯近似看作一个线光源(如图1(b)所示),则在线光源上任一点 P 沿 θ 角发出的光强为 $I_0 \sin \theta$,氙灯发出的总的光能为,

$$E_{\text{总}} = \int_0^{\tau} \int_0^{l_L} \int_0^{\pi} I_0 \sin \theta d\theta dx dt \quad (3)$$

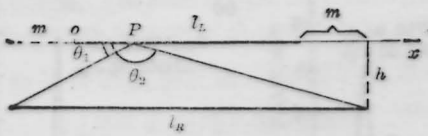
被棒所利用的光能为:

$$E = 2I_0 [\sqrt{h^2 + (m+l)^2} - \sqrt{h^2 + m^2}] \tau \quad (4)$$



(a) 在极坐标系中管状脉冲氙灯的灯轴与 y 轴重合, $E(\theta, \phi)$ 与 ϕ 无关

* 天津大学实习生。



(b) 作为线光源的灯上的一点 P 对棒发光的光强的示意图, l_L —灯极距; h —灯棒

间距; $m = \frac{1}{2}(l_R - l_L)$ 棒长

图 1

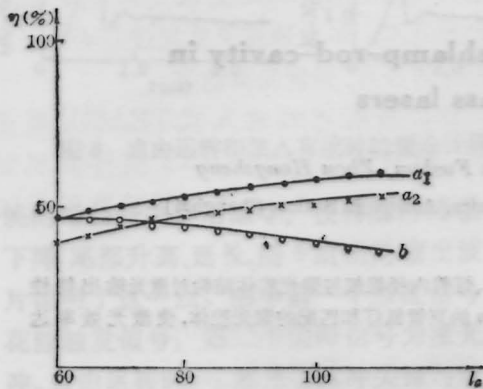


图 2 脉冲氙灯的转换效率和棒吸收光能比率随灯极间距的变化的计算机结果

a —转换效率; a_1 — $d_L=6$ mm; a_2 — $d_L=8$ mm; b —棒吸收光能比率

则棒吸收光能的效率为

$$\eta = E/E_B = [\sqrt{h^2 + (m + l_L)^2} - \sqrt{h^2 + m^2}] / 2l_L \quad (5)$$

计算机求解(1)式和(5)式,结果示于图2。从中可看出,在灯极距为60~80 mm的范围内,灯的发光效率和棒吸收光能的效率有一重叠区域,故灯极间距选择在此重叠区域是比较合理的。

2.2 实验结果

实验装置示于图3。用平行平面腔(腔长为312 mm)和金属聚光腔(长度为90 mm);用磷酸盐钨玻

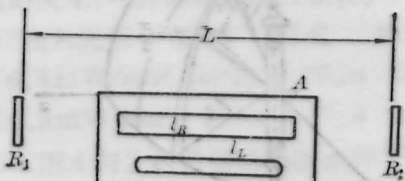


图 3 激光性能测试装置示意图

L —腔长312 mm; A —聚光腔长 $l=90$; l_R —棒尺寸 $\phi 60 \times 90$ mm; l_L —灯长; R_1 —全反镜100%; R_2 —输出镜45%

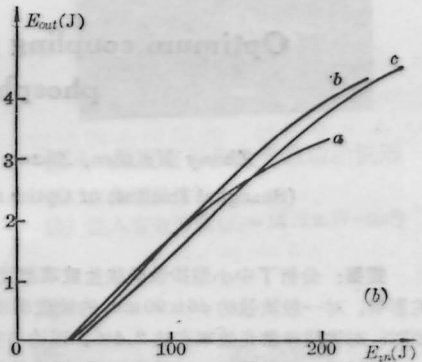
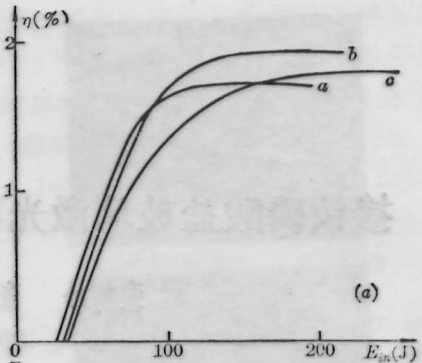


图 4 极间距不同的灯的激光输出能量和效率
 $a. \phi 8 \times 65$; $b. \phi 8 \times 75$; $c. \phi 8 \times 90$; $d. \phi 8 \times 103$

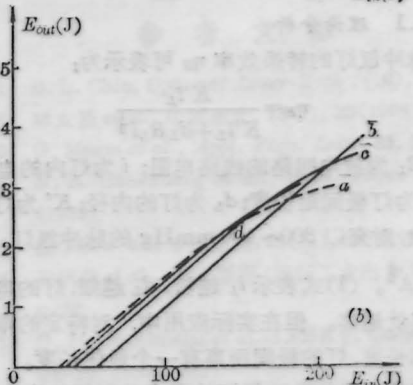
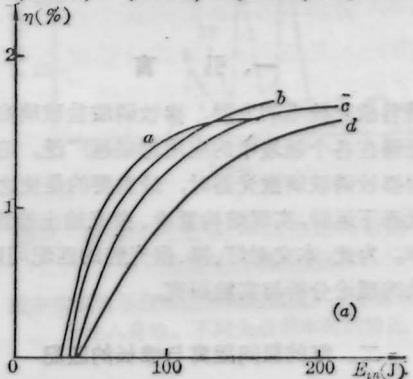


图 5 极间距不等的灯的激光输出能量和效率
 $a. \phi 6 \times 65$; $b. \phi 6 \times 75$; $c. \phi 6 \times 90$

璃棒作工作物质($\phi 6 \times 90 \text{ mm}$); 输出镜的透过率为 $T=55\%$ 。激光输出能量用 PT-1 型能量计测试。先采用一组内径为 $\phi 8 \text{ mm}$ 、灯的极间距离分别为 65、75、90、103 mm 的脉冲氙灯, 分别测量了激光的输出能量与效率曲线, 结果示于图 4, 可以看出, 灯弧为 75 mm 的灯的输出特性最好。然后, 又采用了一组内径为 $\phi 6 \text{ mm}$ 、极间距分别为 65、75、90 mm 的氙灯, 作了同样的测量, 结果示于图 5。同样灯弧为 75 mm 的灯最佳。与理论分析一致。

三、灯的管径粗细与棒和聚光腔的匹配

3.1 理论分析

考虑单椭圆聚光腔的系统。设灯管内径为 d_L ; 棒的直径为 d_R ; 椭圆长轴为 $2a$, 短轴为 $2b$, 焦点间隔 $2c$, $c = \sqrt{a^2 - b^2}$, 椭圆的偏心率为 $e = c/a$ 。根据几何成像原理, 在椭圆截面上任一点 P_0 处的一小部分区域, 将闪光灯成像在棒处, 它的放大率为 p_R/p_L 。 p_R 是像距, p_L 是物距。因为椭圆是不完全成像系统, 会造成灯像的畸变和弥散, 由此可决定椭圆聚光腔的几何传输效率 η_{ge} 。靠近激光棒那边的椭圆区域, 始终取 $\frac{d_R}{d_L} \cdot \frac{p_L}{p_R} = 1$ 。而靠近灯的一边, 形成的灯像直径比棒直径大的椭圆区域内, $\frac{d_R}{d_L} \cdot \frac{p_L}{p_R} \leq 1$, 两部分的

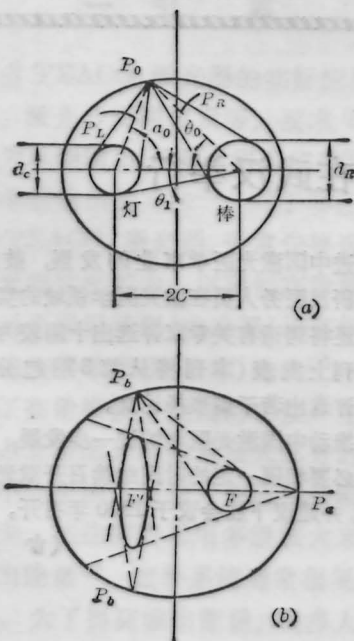


图 6

- a. 椭圆反射面 P_0 点处的反射情况;
- b. 灯像的椭圆分布情况

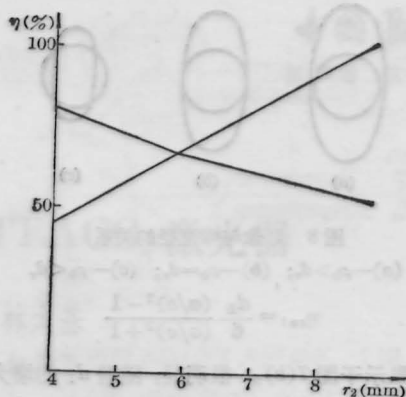


图 7 灯的转换效率 η'_{ge} 和棒对光能利用率 η_{rod} 随灯管内径变化的计算机计算结果
a—灯的转换效率 η'_{ge} ; b—棒对光能的利用率

分界点为 P_0 (对应的角为 α_0, θ_0 , 见图 6), 它形成的灯像直径正好等于激光棒的直径。在 P_0 点反射光锥正好与棒相切。这样

$$\eta_{ge} = \frac{100}{\pi} \left[\alpha_0 + \frac{d_R}{d_L} \theta_0 \right] \quad (6)$$

考虑到灯背后的一小部分椭圆反射面被灯本身所遮挡, 因此:

$$\eta'_{ge} = \frac{100}{\pi} \left[\alpha_0 + \frac{d_R}{d_L} (\theta_0 - \theta_1) \right] \quad (7)$$

对本实验的情况, $e = 0.44$, $2c = 17.4$, $d_R = 6 \text{ mm}$ 。对 (7) 式求解, 结果示于图 7(a)。结果表明灯越细转换效率就越高。置于单椭圆焦点上的灯在棒的位置上所形成的像是椭圆的, 比椭圆像中心与棒中心重合, 且长轴垂直于聚光腔的长轴, 大小为:

$$\rho_a = d_L \frac{a+c}{a-c} \quad (8)$$

短轴为:

$$\rho_b = d_L \frac{(a/c)^2 - 1}{(a/c)^2 + 1} \quad (9)$$

从 (8)、(9) 式看出灯像与棒的直径有三种情况 (见图 8): ① 灯像的短轴大于棒的直径, 这时光能没有被棒充分利用; ② 两者恰好相等, 即 $\rho_b = 6 \text{ mm}$, 这时对应的 $d_L = 8.8 \text{ mm}$, 此时聚光腔的转换效率只有 $\eta'_{ge} = 52\%$; ③ 灯像的直径小于棒的直径, 可以近似把灯像在棒内的部分看成是以棒的直径为长轴, 灯像短轴 ρ_b 为短轴的椭圆, 其面积为 $s = \frac{\pi}{4} \rho_b d_{R0}$ 。这样棒的利用率为

$$\eta_{rod} = \frac{s}{\pi \left(\frac{d_R}{2} \right)^2} = \frac{\rho_b}{d_R} \quad (10)$$

当棒的直径 $d_R = 6 \text{ mm}$, 将 (9) 代入 (10) 则有:

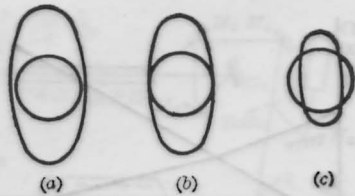


图8 灯像与棒直径的关系
(a) $\rho_b > d_r$; (b) $\rho_b = d_r$; (c) $\rho_b < d_r$

$$\eta_{roi} = \frac{d_L}{6} \frac{(a/c)^2 - 1}{(a/c)^2 + 1} \quad (11)$$

计算结果示于图7(b)。很明显,随着 d_L 的增大,棒的利用率 η_{roi} 越大,而聚光腔的传输效率 $\eta'_{\rho e}$ 随 d_L

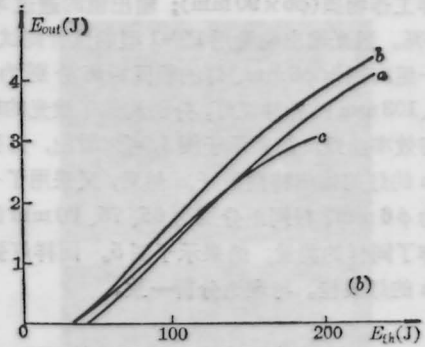
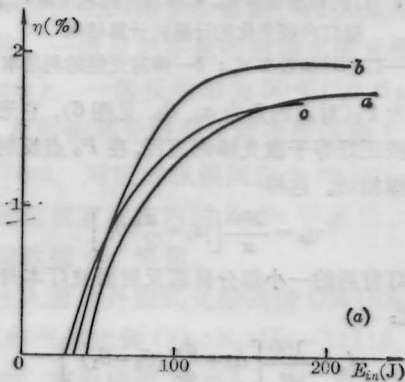


图9 管径不同的灯的输出能量和输出效率
a— $\phi 4.7 \times 80$; b— $\phi 6 \times 75$; c— $\phi 8 \times 75$

增大将下降。要两者兼顾, d_L 就应取这两条曲线的交点附近的值,即5.8 mm左右。

3.2 实验与结果

实验B采用图1的装置。棒为 $\phi 6 \times 90$ mm的掺钕磷玻璃棒。

实验中采用了灯极间距长为75 mm、内径分别为4.7、6、8 mm。实验结果示于图9。从图中我们可以看出,内径为 $\phi 6$ mm的灯其输出能量及输出效率曲线均比 $\phi 4.7$ mm及 $\phi 8$ mm的两组灯要好些。

(收稿日期:1987年9月2日)

中国激光医学发展研讨会在武汉举行

由中国光学学会和全华激光器械公司筹备并组织的第一届中国激光医学发展研讨会于1988年11月9日至12日在武汉市举行,来自17个省市的近90名代表参加了会议。会议期间,代表们以大会发言、小组研讨的形式交流了He-Ne激光、CO₂激光、YAG激光、Ar⁺激光等器械在皮肤科、眼科、口腔科、耳鼻咽喉科、妇科、儿科、外科、肛肠科、针灸理疗等的临床应用经验,并对一些激光医学基础理论进行了较为深入的探讨。

为促进中国激光医学事业的发展,鼓励和促进广大科研及医务人员在激光医学领域的实践和开拓,会后还将聘请有关专家评选出十篇较为优秀的论文在本刊上发表(本刊将从第3期起分5期刊出),还将评选出若干篇表扬论文。

为了推动中国激光医学的进一步发展,与会代表认为有必要相隔一定的时间继续召开激光医学发展研讨会,并建议下届会议于1990年召开。

(吉禾)