

串接高功率连续 Nd:YAG 激光器 方向性的改善

叶碧青 马忠林

(中国科学院上海光机所)

提要: 在多个激活元件激光器中,为了补偿棒的热聚焦效应,对激光棒进行了端面修磨。在两根棒串接的连续激光器中,实验上获得了发散角小于 10 毫弧度的 100~150 瓦的多模激光输出。

Improvement on directivity of high power segmented CW Nd:YAG laser

Ye Biqing Ma Zhonglin

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

Abstract: In the high power segmented CW Nd:YAG laser concave surfaces ground directly on laser rods have been employed to compensate the thermal focusing effect. We have obtained experimentally 100~150 watts output power in less than 10 mrad from a laser of two Nd:YAG rods in series.

高功率连续 Nd:YAG 激光器的严重热效应,极大地影响激光光束的质量,其输出光束的方向性很差,制作一个高功率单模激光器将是十分困难的。W. C. Scott 等人^[1]利用 α 石英旋转补偿和自孔径化技术曾获得 27 瓦基模输出。F. A. Levine^[2] 利用激光棒的凹面修磨补偿获得了 25 瓦的基模输出。

本文报导通过部分地补偿棒的热透镜效应,抑制某些高阶模式,改善输出光束方向性的实验工作。由两棒串接的激光器获得了功率 100 至 150 瓦、发散角小于 10 毫弧度的激光输出。

为了改善高功率 Nd:YAG 激光器的输出光束的方向性,对棒的端面进行对称凹面修磨,部分地补偿棒的热聚焦效应。对于 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米、 $\phi 5.3 \times 143$ 毫米、 $\phi 5.0 \times 135$ 毫米、 $\phi 5.0 \times 110$ 毫米和 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米的棒,它们的两个端面第一次凹面修磨的曲率半径分别为 862 毫米、862 毫米、900 毫米、1000 毫米和 932 毫米。对于 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米和 $\phi 5.3 \times 143$ 毫米的棒,两个端面第二

收稿日期: 1979 年 4 月 24 日。

次修磨的曲率半径均为 600 毫米。测量了这些修磨过的棒的热焦距与氦灯输入功率的依赖关系(图 1)。

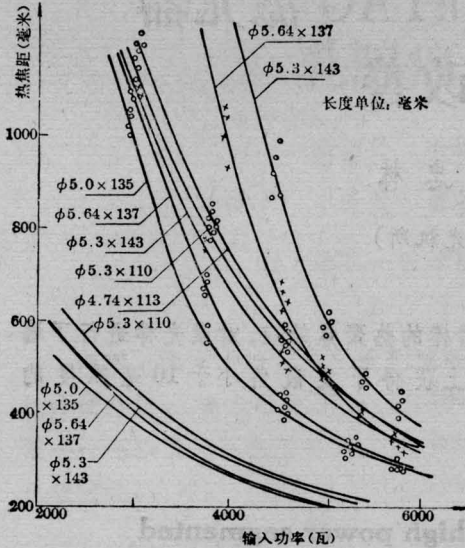


图 1 Nd:YAG 激光棒的热焦距随氦灯输入功率变化的实验曲线

下面、中间和上面的三组曲线分别对应于未修磨, 第一次修磨和第二次修磨的结果

在薄透镜近似下, 如果知道未修磨的棒的热焦距 F 和棒的凹面修磨量 R , 利用下面公式就能确定修磨后的激光棒的热焦距 F_0 ^[3]:

$$F_0 = \frac{RF}{R - 2(n_0 - 1)F}$$

其中 n_0 为激光工作物质的折射率, 对于 Nd:YAG, $n_0 = 1.836$ ($\lambda = 1.06$ 微米)。图 2 是计算得到的 F_0 值随输入功率 P 变化的函数关系。由图 1 和图 2 可知, 热焦距的理论值与实验值很接近。当输入功率较小时, 修磨所引起热焦距的增长是很显著的, 当输入功率较大时, 修磨所引起热焦距的增长并不显著。

两根 Nd:YAG 棒串接的高功率连续激光器的实验装置如图 3 所示。 $d_1 = 72$ 毫米, $d_2 = 160$ 毫米, $d_3 = 100$ 毫米, I 棒和 II 棒分别为修磨后的 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米棒和 $\phi 5.3 \times 110$ 毫米棒。实验表明, 保持一根灯的输入功率不变, 而增大另一根灯的输入功率, 激光

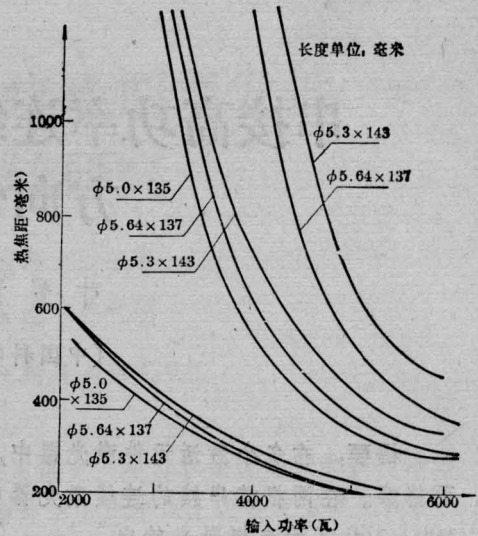


图 2 修磨后的 Nd:YAG 激光棒的热焦距随氦灯输入功率变化的计算结果

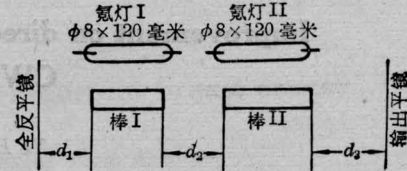


图 3 两根 Nd:YAG 棒串接的高功率连续激光器的实验装置

器的输出功率并不一定单调地上升。

在对第一次修磨后的 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒所作的串接实验也观察到类似的现象。

随着泵浦功率的增大, 工作物质内粒子数反转增强, 但振荡模体积的匹配情况和腔的耗损却并不单调地变化, 因而, 使激光输出功率—灯的输入功率曲线具有图 4 所示的形式。故在较细的 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米棒端面, 应该修磨较大的凹面曲率。这样, 在两棒串接的激光器中, 当输入功率较高时, 可以获得较高的功率输出。

图 5(a) 和 (b) 分别示出了由 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米、 $\phi 5.3 \times 110$ 毫米棒串接的以及由 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒串接的激光器中, 描写振荡模体积最佳匹配的参量 Q_{max} 随一根激光棒的热焦距变化的函数

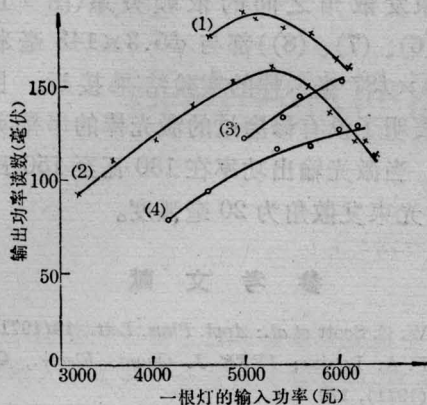


图4 在串接激光器中,激光输出功率随一根灯的输入功率变化的函数关系
 (1) II 灯的输入功率 6300 瓦 (2) II 灯的输入功率 5960 瓦 (3) I 灯的输入功率 4860 瓦 (4) I 灯的输入功率 4500 瓦

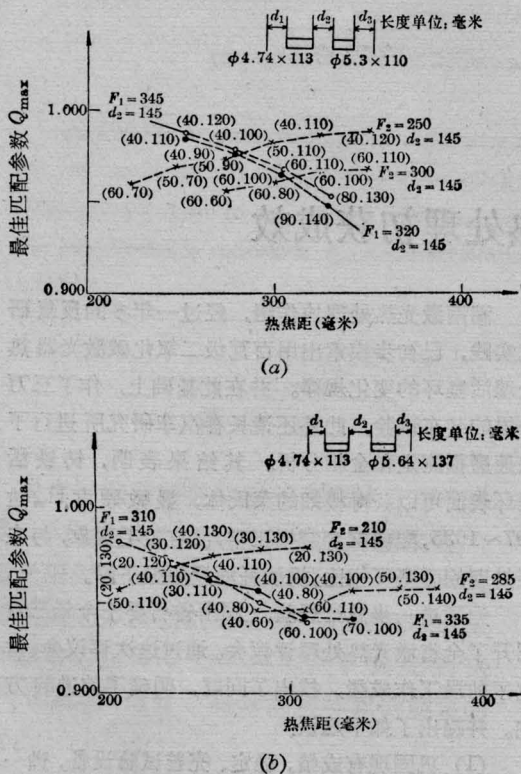


图5 在串接激光器中,描写振荡模体积最佳匹配参数 Q_{max} 随一根激光棒的热焦距变化的函数关系
 (a) $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.3 \times 110$ 毫米棒串接的情况; (b) $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒串接的情况 (不同热焦距时的 Q_{max} 所对应的 d_1 和 d_2 值,在图中用括号表示)

关系^[4]。在两根粗细不同的激光棒串接的激光振荡器中,如果保持较粗棒的热焦距不变而减小较细棒的热焦距,则最佳匹配参数 Q_{max} 减小。如果保持较细棒的热焦距不变而减小较粗棒的热焦距,则最佳匹配参数 Q_{max} 增大。因此,为了充分利用振荡模体积,对于较细棒的端面应当修磨较大的凹面曲率。这与上述实验结果是一致的。

二

对于 $\phi 5.3 \times 143$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米 Nd:YAG 棒的端面,作了两次不同曲率的凹面修磨。这两根棒的第一次端面修磨完全补偿了输入功率为 2500 瓦时的棒的热焦距。第二次端面修磨完全补偿了输入功率为 3500 瓦时的棒的热焦距,对于这两次不同的

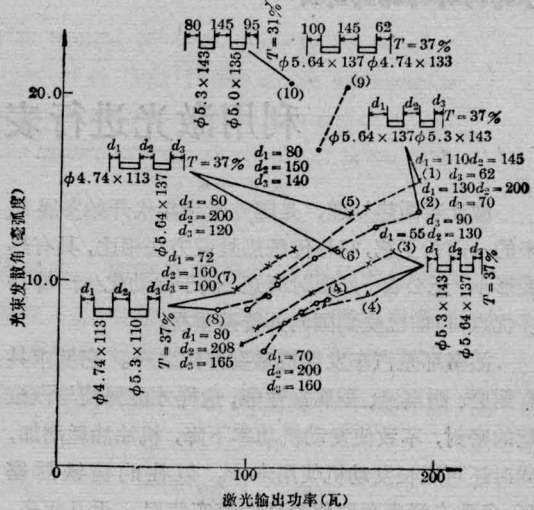


图6 在串接激光器中,激光输出功率和光束发散角的实验结果 (图中长度单位:毫米)

- (1) (2) 对应于二根棒端面修磨凹面半径为 862 毫米;
- (3) (4) 对应于二根棒端面修磨凹面半径为 600 毫米;
- (4') 是用转镜法测得的结果,条件与 (4) 同;
- (5) (6) 对应于 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒端面修磨凹面半径为 862 毫米; $\phi 4.74 \times 113$ 毫米棒端面修磨凹面半径为 932 毫米;
- (7) (8) 对应于 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米棒端面修磨凹面半径为 932 毫米; $\phi 5.3 \times 110$ 毫米棒端面修磨凹面半径为 1000 毫米;
- (9) (10) 所用的激光棒端面未经修磨

端面修磨量的串接激光器输出特性的实验结果示于图 6 的 (1)、(2)、(3)、(4)。

如果每根棒的输入功率更高,则在棒的两个端面应当修磨更大的曲率半径。从图上亦可看到,拉开两棒之间的距离,可以适当地改善输出光束的发散角。第二次修磨后,当 $d_1=70$ 毫米, $d_2=200$ 毫米, $d_3=160$ 毫米,激光输出功率为 160 瓦时,测得的光束发散角为 9 毫弧度。

对于第一次修磨后的其它棒的串接实验表明,无论是 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒的串接,还是 $\phi 4.74 \times 113$ 毫米和 $\phi 5.3 \times 110$ 毫米棒的串接,激光输出功率

和光束发散角之间的依赖关系(图 6 上的 (5)、(6)、(7)、(8))都与 $\phi 5.3 \times 143$ 毫米和 $\phi 5.64 \times 137$ 毫米棒的实验结果接近。图 6 上也表明了没有修磨过的激光棒的串接实验结果。当激光输出功率在 130 瓦至 150 瓦之间时,光束发散角为 20 毫弧度。

参 考 文 献

- [1] W. C. Scott et al.; *Appl. Phys. Lett.*, **18**(1971), 3.
- [2] F. A. Levine; *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-7** (1971), 170.
- [3] 叶碧青;《激光》, **6**(1979), No. 1 29.
- [4] 叶碧青,马忠林,凌君达;《物理学报》, **28** (1979), 15.

简 明 通 讯

利用激光进行表面热处理初获成效

激光表面热处理,是国外七十年代开始发展起来的一门新工艺,它与传统热处理方法相比,具有热变形小、无公害、处理时间短、便于自动化生产等诸多优点,目前已受到国内外普遍重视。

活塞环是汽车发动机重要部件之一。它要求具有耐磨、耐高温、耐腐蚀性能,这样才能保持与汽缸壁的密封,不致使发动机功率下降,机油油耗增加,同时还可延长发动机使用寿命。以往的铸铁活塞环,多数未经表面硬化处理即装车使用。近几年来,在强调提高产品质量的呼声中,有不少单位开始采用辉光离子氮化、喷钼、镀铬等表面硬化处理。但这些方法,成本高,耗电大,时间长,易拉伤气缸,污染环境,特别是对油环的硬化处理,由于温度分布不均,各部分硬度不一,更无法保证工件质量。然而采用激光处理方法,可以克服上述这些矛盾,即用高功率密度的激光束,对活塞环进行短时间照射,使其表面迅速加热到相变温度以上,直至熔化状态,随后依靠内部热扩散自行冷却,从而产生相变,并得到硬的马氏体组织,形成复合材料。

湖南激光热处理协作组,经过一年多的反复研究实践,已初步摸索出用百瓦级二氧化碳激光器热处理活塞环的变化规律。并在此基础上,作了三万公里的装车试验,此外还请长春汽车研究所进行了快速磨损测定和金相分析。其结果表明,铸铁活塞环表面可以获得极细的莱氏体,显微硬度 H_m 达 797~1035,配偶缸套磨损正常,没有拉毛现象,与未经处理的活塞环相比,机油耗油量明显下降。

为了进一步总结经验,湖南省科委于今年三月召开了全省激光热处理评议会。通过这次评议会,肯定了前段工作成绩,找出了问题,明确了前进的方向。并提出了如下建议:

(1) 巩固现有成绩,稳定、完善试验设备,进一步作好经济、质量的综合分析,让激光技术用于活塞环的表面硬化处理工艺早日投产。

(2) 除活塞环外,要进一步扩大试验研究范围,如对不同材质,不同的机械零部件的硬化处理。

(3) 对激光热处理机理进行理论探讨。

(湖南科技情报所 周汉兴)