

文章编号: 0258-7025(2002)06-0495-03

# 光轴零漂移的热传导冷却重复频率 激光器研究

程 勇<sup>1</sup>, 孙 斌<sup>1</sup>, 王晓兵<sup>1</sup>, 王古常<sup>1</sup>, 赵 刚<sup>2</sup>, 陈肖燕<sup>2</sup>, 吴允刚<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 武汉军械士官学校, 湖北武汉 430064; <sup>2</sup> 西南技术物理研究所, 四川成都 610041; )  
<sup>3</sup> 南京百花光电有限公司, 江苏南京 210008

**提要** 研究了 Ce-Nd:YAG 双掺晶体热传导冷却重复频率激光器的光轴漂移特性, 采用 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 及定向棱镜谐振腔, 在 5 Hz 工作频率、抽运能量为 7.35 J, 连续工作时间为 1 min 的条件下, 在机载激光器上获得了光轴漂移量近乎为零、激光输出稳定的理想效果。

**关键词** 光轴零漂移, 热传导冷却激光器, 定向棱镜谐振腔

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

## Study on Conductive Cooling Repetitively Laser with Nil Drift Optics Axes

CHENG Yong<sup>1</sup>, SUN Bin<sup>1</sup>, WANG Xiao-bing<sup>1</sup>, WANG Gu-chang<sup>1</sup>

ZHAO Gang<sup>2</sup>, CHEN Xiao-yan<sup>2</sup>, WU Yun-gang<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Wuhan Ordnance Noncommissioned Officers School, Opto-electronics Facility, Wuhan 430064 )  
<sup>2</sup> Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041  
<sup>3</sup> Nanjing Baihua Opto-electronics Ltd, Nanjing 210008

**Abstract** In this paper, study on optics axes drift character of conductive cooling Ce-Nd:YAG lasers has been carried out. Using Cr<sup>4+</sup>:YAG passive Q-switched and directional prism cavity, it is demonstrated that the optics axes drift was nearly nil, lasers output was stability in airborne laser under the condition of 5 Hz working pulse, 7.35 J pump energy and continue working for 1 min.

**Key words** optics axes nil drift, conductive cooling laser, directional prism cavity

## 1 引 言

为了满足机载激光测距或目标指示等系统对激光器的长寿命、小型化、高重复频率的要求, 目前, 机载重复频率小型灯抽运固体激光器最佳的设计方案当属自然热传导冷却技术<sup>[1]</sup>。但随着激光器工作频率的提高, 热导体不能及时将腔内热量传递出去, 致使激光棒和聚光腔整体温度迅速升高, 晶体热效应、热畸变随之增大, 激光束散角变大, 输出不稳定, 光束质量严重变坏, 尤其热畸变使激光光轴出现严重的漂移<sup>[2]</sup>。而机载激光器的光轴是光电稳瞄

平台中热像仪、CCD 电视观瞄仪以及激光测距/目标指示仪等多种传感器的定位基准, 其光轴稳定性是实现目标搜索、跟踪、测距和制导的基本保证<sup>[3]</sup>。为满足机载激光器在飞机强烈振动、高速飞行环境下激光光轴稳定准直的要求, 一般要求激光器经 10 倍发射天线压缩补偿后, 光轴漂移量不大于 0.05 mrad。普通热传导冷却激光器光轴漂移严重, 无法满足这一指标要求。

我们分别对平-平腔、直角棱镜腔和定向棱镜腔等腔型热传导冷却激光器的光轴漂移特性进行了研究。经研究发现定向棱镜谐振腔激光器不但具有免

收稿日期 2001-04-05; 收到修改稿日期 2001-05-25

作者简介 程勇(1961—), 男, 武汉军械士官学校光电技术研究所高级讲师, 博士, 主要从事激光与光电子学研究。E-mail: gdyjs@public.wh.hb.cn

调试功能和非常强的抗失调稳定性<sup>[4]</sup>,而且在重复频率运行条件下束散角小、光束质量好和输出稳定等特性,还获得了光轴漂移量近乎为零的理想效果。

## 2 实验

### 2.1 实验装置与实验方法

采用尺寸为  $\phi 4 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$  的 Ce-Nd:YAG 晶体<sup>[5]</sup>作为激光工作物质,尺寸为  $\phi 8 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  的定向棱镜作为全反镜和平面输出镜构成定向棱镜谐振腔,初始透过率为 18% 的  $\text{Cr}^{4+}$ :YAG 晶体作为调 Q 元件,腔长为 100 mm,相交圆镀金聚光腔,自然热传导冷却方式,激光棒装在热沉尺寸为  $8 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$  的铜散热凹槽上,其装置如图 1 所示。用 OPHIR-DGX 型激光功率/能量计监测激光输出,脉宽用 TEK-P6701A 型光电探头和 TEK-TDS544A 型 500MHz 数字存储示波器进行测量,用 TXY-04 读数显微镜测量光轴漂移量。

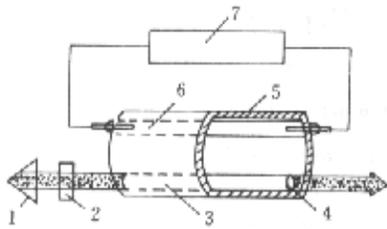


图 1 实验装置

- 1: 定向棱镜 2: 调 Q 晶体 3: 工作物质;
- 4: 平面输出镜 5: 聚光腔 6: 抽运灯 7: 电源

Fig.1 Experimental set-up

- 1: directional prism; 2: Q-switch; 3: laser rod; 4: plan output mirror; 5: focus light cavity; 6: pump lamp; 7: power supply

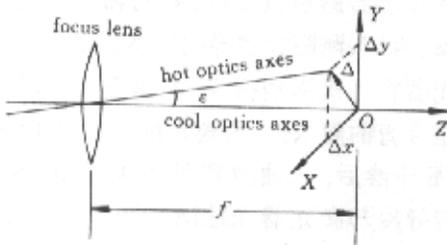


图 2 激光光轴的漂移

Fig.2 Drift of optical axes

激光光轴漂移量是指激光器在连续工作过程中,工作物质在常温状态下激光指向(称为冷光轴)与工作物质在高温热效应状态下激光指向(称为热光轴)的不一致性,如图 2 所示。测量激光光轴漂移

量的具体方法:在 5 Hz 运行条件下,连续工作 1 min 后,休息 1 min,再连续工作 1 min,……,依次循环 3 次以上。让激光束经焦距  $f = 1 \text{ m}$  的透镜聚焦,记录在感光纸上,每一循环只记录前 5 s 时间和后 5 s 时间激光斑点,最后观测激光聚焦斑点的最大偏移量  $\Delta$ ,即为激光光轴漂移量  $\epsilon = \Delta/f$ 。其中  $\epsilon$  在水平方向上的分量为  $\epsilon_x$ ,在垂直方向上的分量为  $\epsilon_y$ 。

在同一激光器上,分别用平面镜、直角棱镜、定向棱镜作为全反射镜,获得三种腔型激光器,对光轴漂移量和输出特性进行比较试验。

### 2.2 实验结果

当注入能量均为 7.35 J 时,测得三个循环输出能量与工作时间的关系如图 3 所示。定向棱镜腔和直角棱镜腔激光器输出能量稳定,动态输出能量平均值分别为 50.2 mJ 和 52.4 mJ;平-平腔激光器前 5 s 时间动态输出能量平均值为 53.3 mJ,连续工作 30 s 后,激光能量急剧下降,用相纸已无法感出。

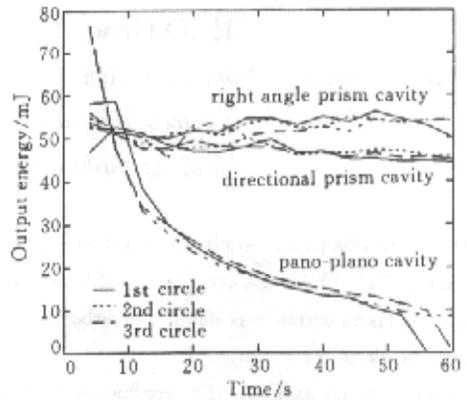


图 3 输出能量与工作时间的关系

Fig.3 Laser output energy vs time

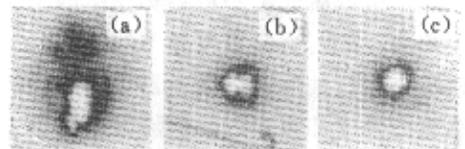


图 4 激光输出光斑的偏移

- (a) 平-平腔工作 30 s 前 5 s 和后 5 s 的光斑;
- (b) 直角棱镜腔工作 1 min 前 5 s 和后 5 s 的光斑;
- (c) 定向棱镜腔工作 1 min 前 5 s 和后 5 s 的光斑

Fig.4 Laser spot shifting

- (a) spot of plano-plano cavity laser at the first 5 s and the last 5 s of 30 s; (b) spot of right-angle prism cavity laser at the first 5 s and the last 5 s of 1 min; (c) spot of direction prism cavity laser at the first 5 s and the last 5 s of 1 min

实验测得 1 min 内的前 5 s 和后 5 s 时间光斑偏移量如图 4 所示。其中,由于平-平腔激光输出 30 s 后能量下降至 17 mJ,经  $f' = 1$  m 的透镜聚焦后,不能在感光纸上感光,所以提供实验的平-平腔激光器只能测量 30 s 内的光斑偏移量,实验测得光斑上下偏移  $\Delta y = 4.9$  mm,左右偏移  $\Delta x = 3$  mm。对应的光轴漂移量  $\epsilon = 5.7$  mrad;直角棱镜腔激光输出光斑上下偏移  $\Delta y = 0.5$  mm,左右偏移  $\Delta x = 3$  mm。对应的光轴漂移量  $\epsilon = 3.04$  mrad;而定向棱镜腔激

光输出光斑 1 min 内前、后 5 s 均为 1.95 mm 的圆斑,经 TXY-04 读数显微镜观察,几乎看不到偏移现象,测量误差为 0.02 mm。

三种腔型激光器的输出特性见表 1。

实验结果表明,定向棱镜谐振腔激光器在高温热传导冷却条件下激光输出稳定,脉宽变窄,单脉冲坪区加宽,发散角变小,光轴漂移量极小,但阈值能量有所提高(10%)。

表 1  $E_{in} = 7.35$  J 5 Hz 连续工作 1 min 的激光输出特性

Table 1 Laser output character under the condition of  $E_{in} = 7.35$  J, 5 Hz repetition rate and continue working for 1 min

Cavity type	Dynamic laser output/mJ		$U_{th}/V$		Divergence angle/mrad	Pulse width /ns
	Beginning 5 s	Last 5 s	Single pulse	Double pulses		
Plano-plano cavity	53.3	17	580	700	3.65	18~22
Right angle prism cavity	53.2	51.6	610	770	2.15	14~16
Directional prism cavity	50.6	49.8	620	800	1.95	14~16

### 3 讨 论

因激光棒直接吸收光抽运辐射使激光棒内的温度随时间升高,同时,热传导冷却器及时带走部分热量,使棒内热流沿棒的径向呈不对称分布。温度分布的不均匀性导致激光棒端面相应变形。热应力形变一方面造成热透镜效应;另一方面,晶体热变形等效于在光路中放置一楔镜,使振荡光线向厚边偏折,形成光轴漂移,输出性能变坏,直至停振。实验测得激光器以 5 Hz 连续工作 1 min 后,聚光腔的腔表面温度由 25℃ 升高至 75℃,棒端面变形  $5'' \sim 30''$ 。

由于平-平腔是一种镜像反射,无法补偿因激光棒热变形造成的光轴在垂直方向上的漂移( $\epsilon_y$ )和增益不均匀造成的光轴水平漂移( $\epsilon_x$ ),光轴漂移严重,致使激光输出能量迅速下降,连续工作约 30 s 后便无法感光。

在直角棱镜腔中,振荡光束上下对称交换穿行(直角棱镜的棱水平放置),能抵消垂直于棱方向上由于热效应和增益不均匀造成的影响,以改善激光性能和光轴漂移;但在平行于棱的方向上和平-平腔一样无法补偿,因此光轴在水平方向上漂移较大,这与所测结果相一致。

在定向棱镜谐振腔中,由于定向棱镜具有空间定向反射特性,以任意方向偏折入射的空间光线经过棱镜的三个反射面相继反射后,仍以与入射光线严格平行的方向返回,使光线在振荡过程中上下左

右对称交换穿行,仍然能稳定振荡(见图 5),从而抵消任何方向上的光轴漂移,此时漂移量取决于定向棱镜的加工精度。



图 5 定向棱镜腔在激光棒热变形后的振荡光路  
Fig. 5 Oscillating trace in directional prism cavity after crystal top deformed

### 参 考 文 献

- 1 Cai Borong, Wei guanghui, Wang Ruifeng *et al.*. Laser Apparatus [M]. Hunan: Hunan Science Technology Press, 1981. 224 (in Chinese)
- 2 Zhang Chengshuan. Hand Book of Foreign Military Laser Instruments [M]. Ordnance Industry Press, 1989. 221 (in Chinese)
- 3 Zhang Chengshuan. Hand Book of Foreign Military Laser Instruments [M]. Ordnance Industry Press, 1989. 228, 218 (in Chinese)
- 4 Cheng Yong, Wang Xiaobing, Sun Bin *et al.*. Study of directional prism cavity character [J]. Chinese J. Lasers (中国激光), 2000, A27(6): 537~541 (in Chinese)
- 5 Zhao G., Zhu B., Chen X. Y. *et al.*. Mechanism of compact solid state laser with increasing efficiency at higher surrounding temperature [C]. SPIE, 1998, 3549: 128~133