

单灯双棒激光器

李家伟 王英

(华中理工大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

陈义红

(南洋理工大学精迪制造技术研究院, 新加坡, 2263)

摘要: 指出了采用单灯双棒激光器比采用单灯单棒激光器提高能量转换效率 20~50%。分析了单灯双棒激光器的三种运行方式。

关键词: 聚光腔 聚光效率 单灯双棒激光器

Lasers with one flashlamp and two rods

Li Jiawei, Wang Ying

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST)

Chen Yihong

(Gintic Institute of Manufacturing Technology, Nanyang Technological University)

Abstract: The three operation ways of the laser with one flashlamp and two rods are studied in this paper. It is shown that the laser increases energy transfer efficiency by 20~50% compared to the laser with one flashlamp and one rod.

Key words: pump cavity coupling efficiency lasers with one flashlamp and two rods

一、问题的提出

在中、小功率固体激光器中,单灯单棒激光器最常用。若采用椭圆柱聚光腔,灯、棒一般分别放置在椭圆的两个焦点上,如图 1a。若采用相交圆柱腔,则灯、棒一般放置在腔内对称位置上,如图 1b。怎样才能提高单灯单棒腔的聚光效率呢?

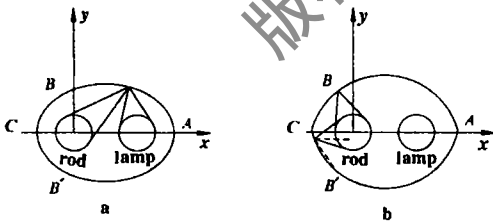


Fig. 1 The schematic of cavity with one flashlamp and one rod
a - ellipse b - intersection circular

以灯的轴心为坐标原点,作 x, y 轴,如图 1 所示, y 轴将腔分为左、右两个部分。容易看到,灯向右面聚光腔弧面 \widehat{AB} 和 $\widehat{AB'}$ 射出的光,能较多的反射到棒上;而灯向左面聚光腔弧面 \widehat{BC} 和 $\widehat{B'C}$ 射出的光,由于灯的自身挡光作用及 \widehat{BC} 和 $\widehat{B'C}$ 的成象放大效应,使 \widehat{BC} 和 $\widehat{B'C}$ 反射的光,有相当一部分不能汇聚到棒上去。

为了从数量上了解聚光腔各反光弧段对聚光的贡献大小,我们编制了一个相交圆聚光腔的计算程序,可以算出由灯发出的光经某一段反光弧面反射后有多少汇聚到了棒上。同时,我们也设计了一个实验装置,用以检测计算的结果,详细的结果将另文介绍。这里只介绍主要的

结果:在单灯单棒相交圆聚光腔中, \widehat{AB} 和 \widehat{AB}' 反光弧面对汇聚光的贡献,占全腔聚光贡献的65%~75%,而 \widehat{BC} 和 $\widehat{B'C}$ 的贡献只占全腔贡献中的25%~35%。灯的自身挡光作用及 \widehat{BC} 和 $\widehat{B'C}$ 的聚光效率低,是单灯单棒聚光腔聚光效率不高的主要原因。实验结果与计算结果符合得很好。

众所周知,泵浦灯向四周发射光是各向同性的。灯向左边发出的光能完全等于向右边发出的光能。正是由于单灯单棒激光器中灯、棒平行放置的结构形式,使得灯向没有棒的那一面(即灯的左面)发出的光能未能得到很好的利用。

如果我们将灯左边的聚光腔结构改成和右边一样,即是把 \widehat{BC} 改成和 \widehat{AB} 一样,在对称的位置上也装上一支棒,如图2所示。这时,灯向左边发射的光,就不用汇聚到右边的棒上而是汇聚到左边的棒上。这种一支泵浦灯两边各装一支棒的激光器,就叫做单灯双棒激光器。

简单的计算表明,在其他条件不变的情况下,单灯双棒腔的几何聚光效率要比单灯单棒腔高出30%~50%,具体的数据和腔的结构形式、灯、棒尺寸及相关位置有关。

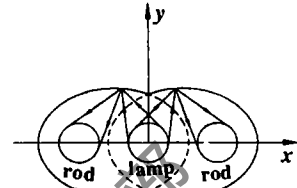


Fig. 2 The schematic of cavity with one flashlamp and two rods

二、实验与分析

为了验证上面的分析,我们选用了一支 $\varnothing 10\text{mm} \times 80\text{mm}$ 的脉冲氙灯,选用了两支 $\varnothing 6\text{mm} \times 82\text{mm}$ 的YAG激光棒,设计制造了两个激光器聚光腔,一个是单灯单棒腔,采用相交圆弧面, $R = 23\text{mm}$,偏心距 $h = 4\text{mm}$ 。同时按此尺寸做了一个双相交圆柱聚光腔,两个聚光腔面都镀金,尽量使两个聚光腔的反射率一致。

用上述同样的灯、棒做实验,在注入电能为600J的情况下,单灯单棒激光器输出激光 $E_1 = 7.2\text{J}$ 。

将同样的谐振腔放在单灯双棒激光器上,两支YAG棒分别输出为5.2J和5.3J。

$$E_2 = 5.2 + 5.3 = 10.5\text{J}$$

于是

$$E_2/E_1 = 10.5/7.2 = 1.45$$

即单灯双棒激光器的能量转换效率比单灯单棒激光器提高了45%。

单灯双棒激光器能量转换效率提高的程度,除了和灯、棒特性、相关尺寸、聚光腔尺寸有关外,还和激光器的运行参数(即功率水平)有很大的关系。

当单灯单棒激光器运行在阈值附近时(图3a),在同样条件下运行的单灯双棒激光器的能量转换效率只有很少的提高(见图3a)。当单灯单棒激光器工作在效率曲线的直线段中部时(图3b),同样参数运行的单灯双棒激光器,其能量转换效率可以比单灯单棒激光器提高20%~40%。而当单灯单棒激光器运

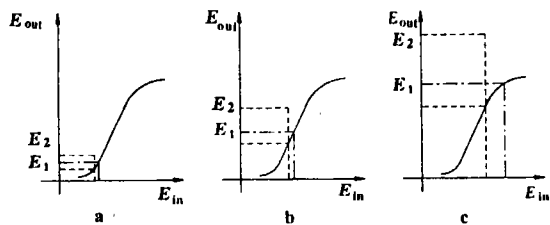


Fig. 3 The working curve of the laser
a - the output power is nearby the threshold b - the output power is in the middle of working curve c - the output power is saturated

行在接近饱和的工作状态(图 3c)时,单灯双棒激光器可以将能量转换效率提高 50% 以上。实验证明了上述分析正确。

三、单灯双棒激光器的三种运行方式

单灯双棒激光器可以按如下三种方式运行:

1. 分别振荡式(图 4)

这种方式调整容易,有两束能量基本相等的激光同时输出,这对许多应用来说可以提高效率。已有人用这种结构,装上两支不同的激光棒,同时得到了两种不同频率的激光输出。

2. 串联振荡式(图 5)

这种方式调整稍有困难,但具有结构体积小,输出能量大的优点。

3. 振荡放大式(图 6)

这种运行方式调整较容易,是一种比较实用的方式。实用时,可在放大级采用较粗一些的激光晶体。

我们用这种结构组装了一台小信号增益系数测试仪,使用效果很好。

文献[2]报导了采用管状 YAG 晶体,内面用灯泵浦的激光器,其总体能量转换效率高达 7.5%。这也说明增加灯外受照射的 YAG 晶体面积,可以提高激光器的总体效率。



Fig. 4 Laser oscillation separately



Fig. 5 Laser oscillation parallelly



Fig. 6 Laser oscillation with amplifier

四、结 语

1. 与单灯单棒激光器相比,单灯双棒激光器可以明显地提高能量转换效率。
2. 单灯双棒激光器须在高于阈值较多的状态下运行才有意义。
3. 单灯双棒激光器多用了一支激光棒,又采用双聚光腔,增加了一次性成本,但它的能量转换效率高,降低了运行成本。在许多情况下,这是一种有实用价值的激光器。

参 考 文 献

- 1 Koehn W. Solid-State Laser Engineering. Berlin: Springer-Verlag, 1992
- 2 Weber H. SPIE, 1991;1839:30



* 作者简介:李家伟(附照片),男,1937年12月出生。副教授。长期从事激光物理教学和固体激光器及应用研究。

王 英,女,1962年1月出生。工程师。从事固体激光电源教学及固体激光器应用研究。

陈义红,男,1962年4月出生。硕士。副教授。现在南洋理工大学攻读在职博士。从事激光器及激光应用研究工作。

收稿日期:1995-08-28