

激光放大器冷却实验研究

管富义 林康春 孟绍贤 林尊琪

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海, 201800)

摘要: 为了不断提高激光放大器输出的激光能量, 已由单灯激光光泵, 发展到多灯激光光泵。为改善对激光放大器冷却机理和方法上存在问题, 本文对激光放大器的冷却方面进行了初步探讨。为获得尽可能高的增益和尽可能小的由热引起的光泵畸变。本文从氙灯温度对激光放大器的性能影响和对激光棒的冷却实验, 以及改善机械设计等方面进行论述, 并在装置上进行应用, 获得较好的效果。

关键词: 螺旋型水流 热象差 冷却

Research on cooling means of laser amplifier

Guan Fuyi, Lin Kangchun, Meng Shaoxian, Lin Zunqi

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

Abstract: Laser amplifiers are a main means to obtain high power and high energy laser. Laser amplifiers are generally pumped by several flashlights in order to increase the output energy. It is critical to design a reasonable cooling means to amplifiers for operating at high gain, excellent gain homogeneity, high rate, long lifetime, static and dynamic distortion as possible as small. In the paper, tentative research results on cooling of laser amplifier are presents.

Key words: rotational water current thermal aberration cooling

一、引言

在高功率固体激光器技术发展中, 为了不断地提高激光器输出的激光能量和进一步提高

参 考 文 献

- 1 于美文. 光学全息及信息处理, 北京: 国防工业出版社, 1984
- 2 Yao S K, Lee S H, J O S A, 1971; 61(4): 474~ 477
- 3 沈树群, 徐大雄. 北京邮电学院学报, 1981; (2): 74~ 78
- 4 冯郁芬. 中国激光, 1984; 11(3): 131~ 134
- 5 羊国光, 左 健, 吴 若. 光学学报, 1985; 5(1): 38~ 42
- 6 Kang H, Yang T X, Mu G G. Optik, 1990; 84(4): 131
- 7 康 辉, 苏 衡, 杨方正 *et al.* 中国激光, 1994, A21(8): 657~ 660
- 8 Smith H M. Holographic recording materials. Berlin, Heidelberg, New York: springer-verlag, 1977: 34~ 35, 7~ 8
- 9 Caulfield H J, 郑庸等译. 光全息手册, 北京: 科学出版社, 1988: 333

* * *

作者简介: 秦卫平(附照片), 男, 1959年9月出生。讲师。现从事大学物理课程教学及光学信息处理、光折变晶体机理和应用等方面的课题研究。

杨茂田, 男, 1964年6月出生。讲师。学士。现从事大学物理教学工作。

收稿日期: 1995-06-08 收到修改稿日期: 1996-03-18



激光器的运转速率,对激光放大器的冷却提出了更高的要求。其一,激光放大器的光泵结构已由单灯光泵发展到多灯光泵结构。在这一发展过程中遇到较为突出的问题之一是灯、棒不能尽快冷却,并产生静态和动态光泵畸变,而影响了光束质量。其二,在激光放大器的光泵由单灯结构向多灯光泵结构发展的同时,激光放大器的工作物质硅酸盐玻璃棒或磷酸盐玻璃棒的直径也逐渐加粗。棒吸收氙灯光谱而产生的热量不能很快地均匀消散,冷却时间也不断地延长。灯和棒的冷却时间的逐步延长,使我们科学研究和科学实验的次数不断减少,乃至一天只能使整个激光系统运行一、二次。尤其在大型激光装置上进行的科学实验受到极大的限制。在激光加工工业方面,对激光器的运行速率要求更高,甚至几秒钟就要工作一次,所以,对激光器的冷却要求就更为迫切。

二、氙灯温度对激光放大器的性能影响

以氙灯作为激光放大器的光泵,在高压引燃触发瞬间,由于等离子体的初始形成,离子对灯管的加热,使灯迅速升温,光辐照还使聚光腔体的温度迅速上升。在没有冷却的条件下,激光器在腔壳的包罗中自然冷却恢复的时间相当长,影响了激光放大器的性能和工作效率^[3]。

根据热传导方程: $\partial T/\partial t = (\lambda/cp)[(\partial^2 T/\partial x^2) + (\partial^2 T/\partial y^2) + (\partial^2 T/\partial z^2)]$

式中, T 为点 (x, y, z) 处的温度, t 为时间, λ 为热导率, c 为比热, p 为密度。

我们在实验中,用 95 型点温计(充电电压为 3kV,可以测量任意一点在氙灯引燃触发后的温度。如图 1 所示,灯的温度随时间变化曲线(1)。为提高光泵的效率,在放大器的设计中聚光腔体使激光放大器的散热条件极差。为了使氙灯尽快散发热量,消除由热引起的应力变化^[2],我们采用轴向风冷的方式对激光放大器灯和腔体进行散热冷却。鼓风机 60W,分四束鼓风,每束通风 f 9mm,对四支氙灯及腔体吹风。测得灯被风冷后随时间变化的温度曲线(2)。

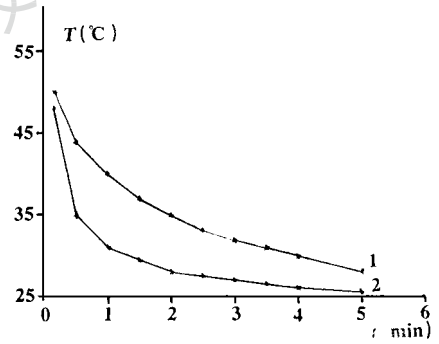


Fig. 1 Lamp temperature as a function of time with different cooling designs

由图 1 可以看出,对灯进行轴向风冷却,比自然冷却的时间短得多。同时,对灯的应力消除也大有好处,对灯由于热产生的爆裂起到一定的抑制作用,从而延长了灯的使用寿命^[4]。提高了整个激光系统的运行速率,增加了激光实验次数。

三、棒的冷却对激光放大器光束质量的影响

在硅酸盐玻璃棒或磷酸盐玻璃棒被高压氙灯辐照后,激光介质热象差产生畸变,而且热象差的恢复时间约需数小时。这样在科学研究和工业运用上带来了很大的麻烦,既浪费了人力,又浪费了时间。目前用水套管通水来冷却棒的激光介质,减少热象差的恢复时间,见图 2。

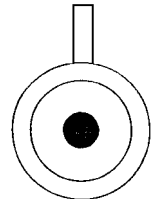


Fig. 2 Cross section of primary water envelope

在水中加了适当的悬浮物作水流动实验可以清楚地看到这种径向进水的冷却过程中,只能使水套内的三分之二的水产生流动,而三分之一体积的水是不流动的,从而使棒不能均匀的冷却。这三分之一盲区的激光工作物质冷却受到影响,激光介质的热象

差不能在短时间内均匀消除。激光棒是否能均匀的冷却,将直接影响到棒的应力均匀消退,使它能和光学玻璃的精密退火沿用线性退火理论相近^[1],才能使光学均匀性得到保证。另外,棒冷却不均匀产生应力分布不均将影响棒径向增益不均匀,影响激光输出的光束质量。我们知道增益系数 $\beta = \delta \times \Delta N$, 式中 δ 是受激光发射截面,反应了材料、波长等因素作用, ΔN 是反转粒子数。在一定的泵浦条件和几何结构的情况下, ΔN 的大小综合地反映了材料诸因数。所以,增益均匀性是激光放大器一个重要的指标性能,它对总体光束质量有很大的影响。因为激光放大器增益系数的不均匀,将使工作物质产生非球面透镜效应和应力分布不均,造成激光束波面的严重畸变和偏振态的显著破坏,特别是它使光束的空间强度和相位产生微扰,经非线性介质中的传输,微扰迅速增大,导致光束小尺寸自聚焦,甚至造成光路中的光学元件严重破坏。

将进水管改装成沿棒体的切线方向注入水流,切向水流在水管壁的作用下能使水流在水套管内形成螺旋型水流旋转前进。出口也改装成切线方向排出,并使进出水口的夹角形成 30° 的夹角。可以清楚地观察到有浮悬物作填料的水在水套内旋转三四圈后排出出水口,见图 3。这样棒套内的所有水都旋转流动着,使原来水套中三分之一体积中的未流动盲区消逝,从而,棒能够得到充分均匀而迅速的降温冷却,激光介质热象差恢复时间也大为缩短,保证了激光增益的均匀性。

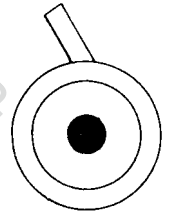


Fig. 3 Improved tube of water envelope

四、激光放大器的其他冷却方法

对氙灯冷却和激光棒的冷却方式能够达到理想的工作条件,或能改善原有的工作条件是我们的出发点,但冷却的方法方式是多样的,除对氙灯的轴向风冷却外,还可以考虑氙灯的径向冷却方法。对棒的单个切向冷却外,还可以用多通道的冷却方法。如图 4 中的分流水冷环。在环打若干个斜孔,适当增加环的厚度作水流的导向,使水流均匀旋转的流动,以改善冷却问题。用新的实验和机械设计使对激光放大器的冷却形式有所更新,使激光放大器的性能更为完善。

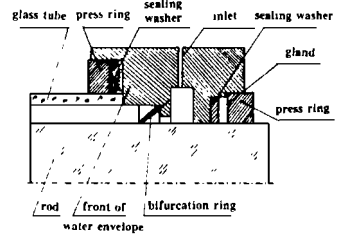


Fig. 4 Water envelope of laser amplifier

参 考 文 献

- 1 干福熹,姜中宏,蒋亚丝 *et al.* 光学玻璃(下册)(第三版). 北京:科学出版社,1985
- 2 板田修一,大野和郎,神前照 *et al.* 热学及热力学. 北京:科学出版社,1979
- 3 Kleen W, M lles R. Laser. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1969
- 4 茅建华. 光学学报, 1991; 11(7): 656~ 659

* * *
作者简介:管富义,男,1947年8月出生。工程师。现从事激光核聚变的器件和靶场工作。

收稿日期:1995-04-03 收到修改稿日期:1996-01-10

