

过渡玻璃封接的大口径脉冲氙灯研究*

陈小春 蒋宝财 袁才来

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

提要 报道一种过渡玻璃封接的大口径脉冲氙灯,其密封性能好,极限负载大,基本输出特性与过渡玻璃封接的小口径脉冲氙灯基本相同。主要在ICF研究中用作大功率激光器的泵浦光源。

关键词 ICF,大功率脉冲氙灯,过渡玻璃封接,大口径

脉冲氙灯用于固体激光器的光泵浦源已经成熟。随着大功率固体激光器的发展,脉冲氙灯的研制技术在不断的改进^[1,2]。特别是在惯性约束聚变(ICF)研究中,需要大型钨玻璃片状激光放大器,这就要求作为泵浦源的每支氙灯输入能量能够达到几万焦耳。输入能量的增大也就提出了对大尺寸的氙灯的使用需求,氙灯的口径要求能够增大到 $\phi 35\sim 40$ mm,放电弧长达1400~2000 mm。对于如此大尺寸的氙灯,制作上有很大的难度。通常使用的封接方法如铝箔封接法只能承受小的电流密度;金属封接技术虽可以承受大的电流密度,且有很好的机械强度,但封接处易慢漏气,闲置寿命(即存放寿命)往往不长,且制作的成品率不高^[3]。已有的过渡玻璃封接只适用于中小口径氙灯,封接区域小,能够进行封接的电极较小,无法承受大的电流密度,但其密封性能好,无排气口,可以作无应力处理,结构上有优点。为了把过渡玻璃封接特有的优点运用到大口径氙灯的制作上,我们研究了一种大口径灯的封接结构,可以使用过渡玻璃封接技术,适合于口径可达 $\phi 40$ mm左右的大功率脉冲氙灯使用,并且所制作的大口径氙灯的综合性能达到小口径氙灯水平,完全可以满足大型片状放大器的使用要求。

研制了两种大口径过渡玻璃封接的脉冲氙灯:一种是 $\phi_{out} 29$ mm,放电弧长为1280 mm;另一种是 $\phi_{out} 37$ mm,放电弧长为1400 mm。实验证明,这两种氙灯的基本性能都达到了神光装置的要求,并可实际使用。

1 结 构

过渡玻璃封接的大口径脉冲氙灯的结构示意如图1。氙灯两端结构完全对称,其中1是耐高压引出线,7是钨电极,它们之间通过接头3连接在一起,用掺铈石英玻璃管制成的灯管9经①②③三个区域由大管径过渡至小管径,最后在④处进行与电极7的过渡玻璃封接,从而实现了钨电极与石英管的熔封,石英管与金属套筒4之间有绝缘密封层5,再加上端面密封胶层2,构成了完整的密封和绝缘体系。通常把8这个整体称为灯头,包含了1到7的全部内容。

* 863-416-2 专题资助项目。

收稿日期: 1999-04-12; 收到修改稿日期: 1999-05-18

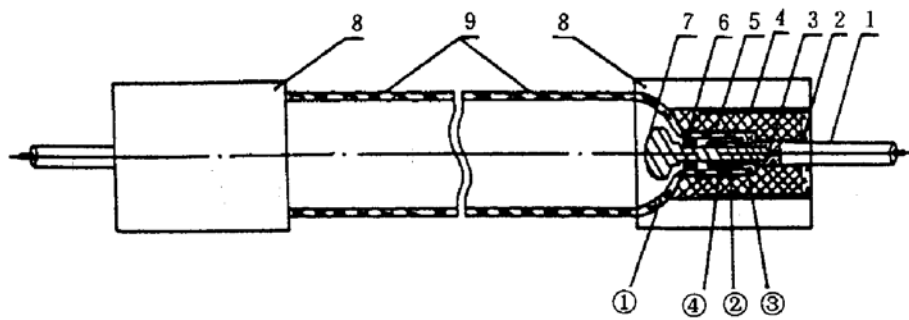


图 1 过渡玻璃封接的大口径脉冲氙灯结构示意图

1: 耐高压引出线; 2: 端面密封胶层; 3: 电极与引出线的连接头; 4: 金属套筒;
5: 绝缘密封层; 6: 电极支撑柱; 7: 电极; 8: 灯头; 9: 石英灯管

Fig. 1 Structure of the large bore xenon flashlamp by quartz glass-to-tungsten inner seal

1: high voltage cable; 2: end sealing layer; 3: hard-solder joint; 4: metal shield;

5: dielectric material; 6: support of the electrode; 7: electrode; 8: end termination; 9: quartz tube

这种结构的关键特点是, (1) 将大口径的管子过渡到一个较小的口径来密封, 且使整个过渡区无应力; (2) 使用了大头针形状的电极 7, 不但保证了大的发射截面, 又减轻了重量, 并减小了电极封接端的直径, 便于过渡封接; (3) 把过渡封接区放在电极的重心点附近, 提高了密封区的机械强度; (4) 采取了特殊的密封烧接技术, 增强了抗冲击波能力, 封接区的抗压强度达到 6556 kg/cm^2 , 能有效承受氙灯大能量负载时的强冲击波。保留了过渡玻璃封接特有的优点, 密封性能好, 且对灯管可作专门的排气处理, 可保证高的真空度, 又能消除管壁局部应力, 防止制灯过程和点灯过程中的冷、热爆现象, 保证氙灯的长寿命运转, 且闲置寿命长。

此外, 这种大口径氙灯的灯头使用特有的高压绝缘技术, 耐压可达 65 kV 。过去因灯头耐压不够造成 30% 的灯损坏, 新结构灯头的合格率已达到 100%, 从而保证了氙灯的正常运转。

上述结构突破了原来过渡玻璃封接技术中对石英灯管的限制, 提供了一种大口径高功率脉冲氙灯, 既有良好的密封性能, 又能承受大的电流密度, 将完全能满足高功率、大能量固体激光系统所需泵浦源的要求, 用于高功率激光装置上, 将提高整体激光装置的稳定性和可靠性。

2 输出特性

脉冲氙灯输出特性参数主要有极限负载能量、辐射效率和输出光谱等。使用的测试仪器有西安 605 所生产的瞬态氙灯特性测试仪、自制的氙灯常规参数测试仪以及高压绝缘测试仪。

2.1 极限负载能量

一般把脉冲氙灯单次闪光供电电容器上的储能称为灯的负载能量, 把灯无损坏的单次闪光最大负载能量称为灯的极限负载能量, 通常叫作爆炸能量。由于理论上很难计算, 国际上通用一个经验公式, 即 Goncz 公式^[4]

$$E_x = KLD \sqrt{\tau} \quad (1)$$

其中, L 为放电弧长, D 为灯管内径, τ 为放电脉宽。若 L, D, τ 和 E_x 的单位分别取为 $\text{cm}, \text{cm}, \mu\text{s}$ 和 J , 则系数 $K = 12$ 。根据公式(1) 可以估算氙灯的爆炸能量:

对 $\phi 29 \text{ mm}$, 放电弧长 1280 mm 的灯, 脉宽 $500 \mu\text{s}$, 有 $E_x = 82 \text{ kJ}$

对 $\phi 37$ mm, 放电弧长 1400 mm 的灯, 脉宽 500 μ s, 有 $E_x = 120$ kJ

实验测得:

对 $\phi 29$ mm, 放电弧长 1280 mm 的灯, $E_x = 80$ kJ

对 $\phi 37$ mm, 放电弧长 1400 mm 的灯, $E_x = 119$ kJ

可以看到, 实验结果与理论数据符合得很好, 即可以保证过渡玻璃封接的大口径氙灯爆炸能量达到设计值。

2.2 辐射效率

氙灯辐射效率为

$$\eta = \frac{\iint P_\lambda(t) d\lambda dt}{CV_0^2/2} \quad (2)$$

其中, $CV_0^2/2$ 为放电电容器储能, $P_\lambda(t)$ 为 t 时刻氙灯发出的光在波长 λ 处的光谱辐射通量。

实验发现, 对于管状脉冲氙灯, 总辐射能量与垂直于灯轴方向的辐射强度的时间积分之比为一个常数, 平均值为 11.3^[5]

$$\eta = \frac{u \times 11.3}{CV_0^2/2} \quad (3)$$

其中, u 为在垂直于灯轴方向上测得的辐射强度对时间的积分。当接收能量计为黑体, 且能量计与灯管的垂直距离大于 10 倍灯管线度时, 上述公式是可靠的。

使用上述公式, 我们测得 $\phi 29$ mm 灯的效率为 53%, $\phi 37$ mm 灯的效率为 51%。考虑到线路的传输损耗约为 70%, 所以氙灯的实际辐射效率达到 75% 左右, 与我们研制的小口径氙灯的辐射效率基本相同, 与国外文献报道的小口径氙灯的效率也相符合^[6]。这样, 在保持相同效率的情况下, 大口径氙灯的输入能量要比小口径氙灯提高了一个量级。

2.3 输出光谱

图 2 给出了灯的归一化辐射光谱图。与小口径氙灯相比没有大的差别, 同样可以作为钕玻璃激光器的泵浦光源。脉冲氙灯的光谱由很强的连续谱和强烈加宽的原子谱线组成。连续光谱分布轮廓与一定温度黑体的相对光谱分布一致。所以, 脉冲氙灯可以看作准黑体辐射。

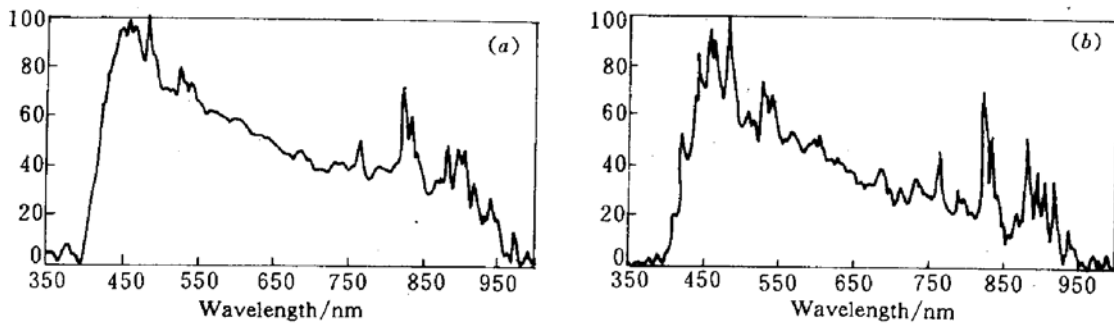


图 2 $\phi 29 \times 1280$ mm (a) 和 $\phi 37 \times 1400$ mm (b) 氙灯的光谱图

(a) 放电电路参数: 140 μ F, 200 μ H, 14 kV; (b) 放电电路参数: 140 μ F, 150 μ H, 20.2 kV

Fig. 2 Spectral distribution produced by $\phi 29 \times 1280$ mm (a) and $\phi 37 \times 1400$ mm (b) xenon flashlamps

(a) circuit parameters: 140 μ F, 200 μ H, and 14 kV; (b) circuit parameters: 140 μ F, 150 μ H, and 20.2 kV

由于灯管使用了掺铈石英管材, 对于波长小于 0.37 μ m 的紫外光只有极小的透过率。所以, 从输出光谱图来看, 与钕玻璃的吸收带是相匹配的, 减少了短波有害辐射, 适用于钕玻璃激光器的泵浦光源。

3 讨 论

脉冲氙灯的爆炸能量是极其重要的参数。由于大口径氙灯灯头的结构特点,可以对灯管作无应力退火处理;这样,可以保证灯的爆炸能量达到设计值,使氙灯不至于因为封接问题而过早损坏。我们知道,小口径过渡玻璃封接脉冲氙灯已成功地应用于神光 II 装置;而神光 III 装置需要增加每支氙灯的输入能量达到 100 kJ 左右,进灯能量的增加,也就要求增加灯的口径,如达到 $\phi 40$ mm 左右。所以,在保证氙灯整体特性不变的情况下,扩大灯的口径是一个重要的现实问题。新研制的大口径过渡玻璃封接脉冲氙灯达到了这一要求。

从灯的效率看,达到 53% 左右,比一般小口径氙灯的 60% 要小一些(数据为仪器实测值,未考虑线路损耗的影响),这是正常的。随着氙灯口径的增大,光效要下降,这是由于等离子体自吸收所造成的^[7]。

致谢 中国科学院上海光机所玻璃细工组进行了氙灯的制作,氙灯测试组进行了氙灯特性测试,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 H. T. Powell, A. C. Erlandson, K. S. Jancaitis. Characterization of high power flashlamps and application to Nd:glass laser pumping. *Proc. SPIE*, 1986, 609:78~94
- 2 V. G. Nikolaevskii, V. A. Gerasimov. Flash lamp exploitation in high-powered Nd:glass lasers for ICF. *Proc. SPIE*, 1995, 2633:583~586
- 3 The Compile Group of the Xenon Flashlamp. Xenon Flashlamp. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1975. 131~139 (in Chinese)
- 4 J. H. Goncz. New Developments in Electronic Flashtubes. *ISA. Trans.*, 1966, 5(1):28~36
- 5 The Compile Group of the Xenon Flashlamp. Xenon Flashlamp. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1975. 92 (in Chinese)
- 6 H. T. Powell, A. C. Erlandson, K. S. Jancaitis *et al.*. Flashlamp pumping of Nd:glass disk amplifiers. *Proc. SPIE*, 1990, 1277:103~120
- 7 J. L. Emmett, A. L. Schawlow, E. H. Weinberg. Direct measurement of xenon flashtube opacity. *J. Appl. Phys.*, 1964, 35(9):2601~2604

Reserch of a Large-bore Xenon Flashlamp with a Quartz Glass-to-tungsten Inner Seal

Chen Xiaochun Jiang Baocai Yuan Cailai

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract It is reported that a large-bore xenon flashlamp with a quartz glass-to-tungsten inner seal has operated successfully. The airtightness and explosion energy of the lamp are satisfactory. And the basic characteristics of the lamp are similar with those of the small diameter xenon flashlamp sealed in the same way. The flashlamp is mainly used in thermonuclear fusion research as the optical pump source for solid-state lasers.

Key words ICF, high power xenon flashlamp, quartz glass-to-tungsten inner seal, large-bore