

大功率短弧氙灯寿命的探讨

王洪岳 李桂才 尤振明

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文主要叙述了影响 25kW 短弧氙灯寿命的几个因素, 其中包括电极材料的选择, 真空密封及洁净处理等。并提出了提高氙灯使用寿命的工艺改进措施。

关键词: 短弧氙灯; 真空焊接; 使用寿命

1 引言

由于短弧 Xe 灯具有良好的光学性能, 它已代替碳弧放电灯被广泛地用于电影放映、探索照明、电弧反射炉以及太阳模拟器中。

这种大功率短弧高压 Xe 灯就结构而言, 通常分为可拆卸式的、热封接式或介质(铅)封接等。其外形为椭圆形或圆柱形。灯的阴极和阳极头部通常是钍钨和钨板材料制成, 也有阳极直接用无氧铜制成的。它们的共同特点是电极体都是导热良好的铜制作的, 以便于灯在工作时进行水冷却, 将电极头部大量的热量带走一部分。

短弧 Xe 灯放电的物理过程, 是在高压 Xe 气中, 由热电子发射性能良好的物质制成的阴极, 在高频高压下激发放电, 使阴极获得高的温度, 阴极发射出大量的电子, 在外加电场作用下, 电子向阳极运动并得到加速, 积聚了足够能量的电子与 Xe 原子碰撞, 使 Xe 原子电离和激发, 产生强烈地弧光放电, 形成一个等离子体。正离子轰击阴极, 使阴极的工作表面达到白炽化, 不断提供电子; 电子和负离子向阳极运动, 被阳极接收, 使阳极温度不断地增高。弧光放电等离子体的辐射主要是电子和正离子的复合发光, 快速电子与原子相互作用后产生的辐射(连续光谱)以及 Xe 原子被激发后的自发辐射(特征辐射光谱)。短弧 Xe 灯的特点是电弧辐射功率大、光斑小、稳定性好、亮度高, 有利于光学系统处理, 在某些场合有着特殊的用途。

25kW 短弧 Xe 灯的阳极功耗近 10kW, 这样巨大的阳极功耗在灯的电极材料、结构形状、密封程度及真空处理, 都具有相当的困难和较高的要求。在研制过程中, 为了增加密封强度和气密性能, 先在石英封接处实现金化后, 再与无氧铜进行铅封。选择了具有良好电子发射的钍钨材料作阴极, 密度较高的单晶钨材料作阳极。同时在真空处理过程中, 用气体还原和

高压放电等措施，提高了灯内的清洁度，延长了灯的使用寿命。

2 电极材料的选择与结构

25kW 短弧 Xe 灯中阴极的功率耗散不算太大，主要是为发射电子所需要付出的那一部分。以铯钨阴极为例，它的功函数 $\phi=2.4\text{eV}$ ，当支出 560A 电流时，其功率约为 1.3kW。而阳极的功率损耗却是很可观的，电子和 Xe 原子碰撞后到达阳极之前，还会在电场作用下获得速度 v_e ，一旦打上阳极之后，不仅将 $1/2 m_0 v_e^2$ (m_0 —电子质量) 的能量交给阳极使之变热，它还要将 Φ_2 (阳极逸出功) 的势能转化为热能使阳极发热，另外 Xe 气的热流也加热阳极，使阳极受到高密度的电子轰击，其功耗很大。

为了提高大功率短弧 Xe 灯的工作寿命，除水冷却外，电极材料、结构形状和加工都为极其重要。

2.1 阳极的结构与制作

选择高密度 (比重 1.93g/cm^3) 高纯度单晶钨做阳极头部材料，此材料在高温下溅射小，使用寿命长。

阳极结构如图 1 所示，电极主体部分是圆筒式，由无氧铜制成的。头部是用无氧铜加工成碗底形，将已加工成形的钨板，镀上一层焊接介质，装入碗底内，放入石墨坩埚里，如图 2 所示，进行高频加热真空焊接。当温度升至 1100°C ，则铜溶化，由于钨铜中间的介质作用，即把钨板焊牢。再加工成碗形，用银—铜焊接法，将碗形的电极头部焊接在圆筒形无氧铜电极主体上。

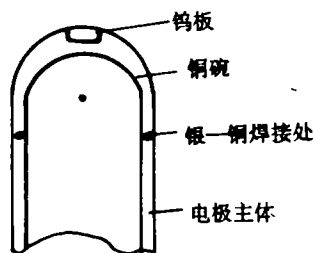


图 1 阳极结构

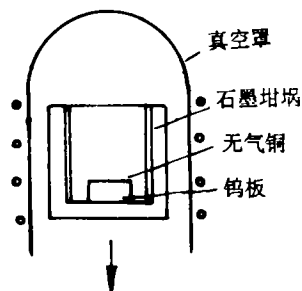


图 2 钨铜焊接装置

利用单晶钨熔点高，无氧铜的导热性能好的优点，通过水冷，电极方能维持长期工作。

2.2 阴极材料的选择

从实验中发现大功率 Xe 灯随着能量负载的增加, 首先被破坏的是阳极, 而不是阴极。但是 Xe 灯阴极必须具有良好的电子发射性能。

曾试制过同样规格的两支 Xe 灯, 其中一支是铈钨阴极, 另一支是钍钨阴极。经过测试表明, 负载能量、输出功率和光效等技术指标进行比较, 铈钨阴极高于钍钨阴极。就光效而言, 由图 3 可以看出, 铈钨阴极比钍钨阴极高 5%。

此外, 考虑到铈钨材料的放射性比钍钨材料的放射性小得很多, 对人体健康危害也小, 为此选择铈钨阴极材料。

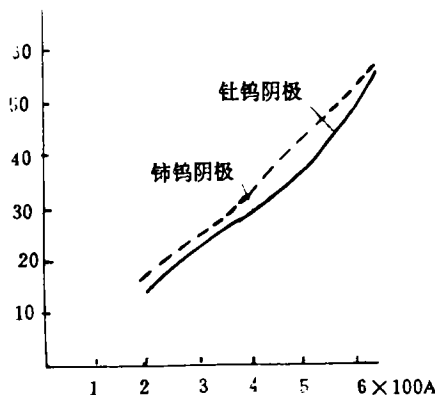


图 3 Th、钍钨阴极相对光效

3 铅灌封工艺

大功率 Xe 灯的封接工艺有两种; 一是金属和石英管壳直接封接, 另一种是通过一个由无氧铜制成的金属电极, 套在石英管壳上, 用具有反膨胀特性的铅灌封。出于工艺上的考虑, 本试制过程采用了第二种方案。

铅灌封工艺通常选用电解铅灌入无氧铜电极套和石英管壳之间的缝隙中。为了使石英管壳与铅浸润良好, 在灌封之前, 应在石英管壳封口处涂一层金水, 经过加热使石英表面金化。这种方法的优点是封接牢固, 密封性能好(真空度高于 $133 \times 10^{-7} \text{Pa}$), 是维持该灯长寿命的重要因素。

4 真空洁净处理

25kW 短弧 Xe 灯的电极是钨和铈钨材料制成的, 灯在工作时阳极温度很高, 微量的 O_2 会使钨电极氧化, 生成易挥发的 WO_3 , 当 WO_3 到达温度较低的玻壳表面, 又发生分解, 使钨沉积在玻壳表面, 分解出的 O_2 再次与钨电极同样反应。于是如此循环下去, 使玻壳逐渐发黑, 透过率越来越差, 使灯的光效下降, 寿命显著缩短。

为了使 Xe 灯长寿命, 真空排气, 洁净处理, 是制灯工艺的关键环节。Xe 灯排气目的是清除灯内各金属电极及石英玻壳上所吸附的气体。若排气不彻底, Xe 灯由于工作在高温下, 金属电极和玻壳都会因受热而放气, 破坏了灯内气体的纯度, 特别是 O_2 的放出, 会加速电极的氧化作用。因此采取了以下措施:

1 金属电极预先除气

这一步骤是利用高频加热完成的。将加工成形阴极和阳极

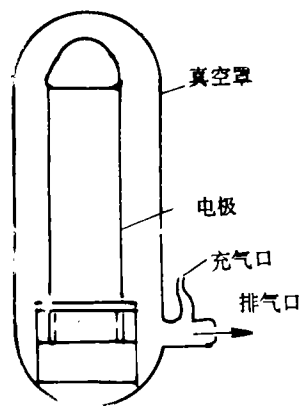


图 4 真空除气装置

分别装在玻璃罩内，如图 4 所示，进行真空排气。当真空度达到 $133 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以上，高频加热至 800°C ，则金属电极方能比较彻底地除气。同时清除了金属电极表面的杂质。加热时应注意温度不能过高，否则银—铜焊接处会蒸发或者开焊。

除气完毕，将玻璃罩封离排气台以真空保存，准备在装配时充入惰性气体，打开取出电极进行装配。

2 惰性气体保护进行装配

为了使预先处理过的金属电极不暴露大气，在装配、焊接全部过程中，是在惰性气体保护下进行。如图 5 所示，首先将罩内充满惰性气体，把灯的管壳放入，再将电极装进，调好尺寸进行密封焊接。不仅保证了灯内各部件不再被大气污染，同时也有利于整个灯的真空排气。

3 气体还原和高压放电

Xe 灯接在排气台上虽然经过了加热烘烤除气，但是金属电极所吸附的杂质，特别是残余的 O_2 ，仍然不易清除干净，而 O_2 对灯在工作时又是最有害的。为此采用了充入含有一定比例高纯度 H 和高纯度 Ar 的混合气体，并在电极之间加高压，产生气体放电，使灯内金属电极微微发红，则残余气体释放出来，释放的 O_2 和 H 结合成微量水蒸气混杂在充入的 Ar 气之中，在继续排气的情况下被抽走。经过多次反复，灯内的 O_2 显著减少。

由于高频高压放电处理后，不仅清除了灯内有害气体，也减少了灯在工作时电极表面杂质的挥发量。从而提高了灯的使用寿命。

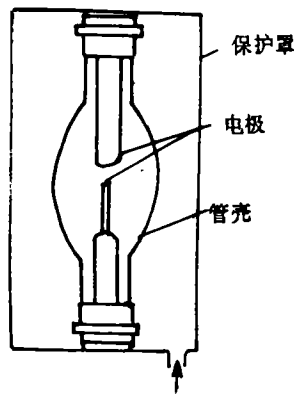


图 5 气体保护装置

5 结 束 语

在 25kW 短弧高压 Xe 灯试制中，对真空洁净处理，做了一定的工作。除此之外，Xe 气的纯度和充气的压力也是影响灯质量的主要因素。在气体提纯方面，采用了基本不吸附惰性气体的锆—铝吸气剂，使 Xe 气的纯度由 99.94% 提高到 99.99%。充气压力在常温下，实测是 3.5—4 个标准大气压力。

通过试验，25kW 短弧高压 Xe 灯在满负荷工作 500 小时，光效没有明显下降，这说明，由于采取了上述措施，使灯的使用寿命在 300 小时的基础上又提高了 200 多小时。

参 考 文 献

- [1] 李大林，提高氙灯阳极性能的方法。电光源，1984，(6)：51
- [2] 张刘忠等，7000W 超高压氙灯研制。电光源，1988，(1)：1
- [3] 过本浩司，大岛耕一，日本航空宇宙学会志，1968，16：342
- [4] Thekackara, M. P. NASA Spec Publish SP, 1971, 251
- [5] Yoshihiko Nakamura, An improved high-power xenon short-arc lamp. Engineering Notes, 1970: 485

Investigation of Lifetime for High-Power Xenon Short-Arc Lamps

Wang Hongyue, Li Guicai and You Zhenming

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130022)*

Abstract

Some factors affecting lifetime of 25kW short-arc xenon lamps are described. It is included that choosing of electrode material, processing of vacuum welding and cleaning of parts. Finally, improving steps for increasing lifetime of the shrot-arc xenon lamp are presented.

Key Words: Xenon short-arc lamp, Vacuum welding, Working lifetime