

高强度低压紫外线灯钨电极质量改进研究

严剑刚¹, 罗俊²

(1. 上海第二工业大学工程训练中心, 上海 201209; 2. 上海亚尔光源有限公司, 上海 201801)

摘要: 高强度低压紫外线杀菌灯钨电极(灯丝)主要为热电子发射提供能量, 是紫外线杀菌灯的“心脏”, 会影响灯的质量和使用寿命。虽然目前国内高强度低压紫外线杀菌灯产量大, 但是品质难以达到欧美发达国家的水平。而高强度低压紫外线杀菌灯电极的结构设计、生产工艺是保证产品最终质量的关键。因此, 从高强度低压紫外线杀菌灯电极的结构设计、生产工艺全过程进行探讨分析, 寻求最佳的设计与生产工艺, 是提高灯质量的有效方法。研究结果表明: ① 改变结构设计有效解决了高强度低压紫外线杀菌灯电极并圈、变形等缺陷; ② 改变退火工艺有效改善了灯丝的断丝现象。

关键词: 高强度低压紫外线杀菌灯; 电极; 质量; 结构设计; 生产工艺

中图分类号: TG 15

文献标志码: A

0 引言

高强度低压紫外线杀菌灯在当今工农业和生活中被应用得越来越广泛^[1], 因此受到了人们的极大重视。我国紫外线杀菌灯产量大, 但质量及附加价值远低于世界平均水平, 质量竞争很弱^[2]。而高强度低压紫外线杀菌灯电极(灯丝)主要为热电子发射提供能量, 是紫外线杀菌灯的“心脏”, 影响着灯的质量和使用寿命^[3]。为此对于高强度低压紫外线杀菌灯电极的深入研究必不可少, 这是制造高光效、长寿命灯的关键。

现有的高强度低压紫外线杀菌灯电极结构主要是三螺旋架构^[4], 外形多为条形与门字形。由于高强度低压紫外线杀菌灯越来越向细管形和大功率发展, 故条形灯丝也正逐步被门字形灯丝所取代(条形灯丝采用夹丝接触, 影响灯管向细管发展且夹紧后电阻差异大)。但门字形小功率灯丝在点灯受热后易扭曲变形, 大功率灯丝在成形时断丝严重(加大了点灯风险)。

因此, 本文从高强度低压紫外线杀菌灯电极结构的设计、生产工艺全过程进行探讨分析, 寻求最佳的处理工艺, 提高产品的质量。

1 实验条件

灯丝多为螺旋丝, 几何参数为钨丝直径 d 、直丝

长度 l 、螺旋系数 k_s 和芯丝系数 k_c 。对灯的光电参数及灯管尺寸分析, 原有参数设计符合要求; 对缺陷产品分析, 变形灯丝都成“开花”状, 两灯脚对灯丝丝身在通电受热后没有支撑作用, 因此, 对灯丝三道的绕丝旋向以及丝脚的出丝方法有待深入研究。对灯丝的断丝产品分析得到断裂均为大功率灯丝的丝身处, 在丝脚处没有发现, 传统的二道退火工艺对于大功率灯丝三次大变形量绕制成形后的应力消除显然不够, 因此在退火工艺上有待改善。

1.1 实验设备及材料

本实验所使用的高速绕丝机由南京科思电光源设备研究所设计, 绕丝转速达 30 000 r/min; 上海轻工所 RS-V 成形绕丝机, 可根据成形需求更换成形夹具; 自制烧氢退火炉, 炉温温差可控制在 $\pm 10^\circ\text{C}$ 范围内。为排除其他外因的影响, 实验保证同一规格灯丝采用同一批次钨丝材料, 并严格控制设备的生产参数。

钨丝作为热电子发射提供能量的关键材料^[5], 必须选用绕制性能好、抗下垂、耐高温性能好的材料^[6]。实验选用厦门虹鹭钨钼工业有限公司提供的钨丝, 其材料一致性相对较好, 长期使用质量稳定。

1.2 辅助检测设备

电阻测试仪、数码显微镜是检验灯丝合格与否的有效设备^[7]。本实验所使用的是日本 KEYENCE

公司数码显微镜, 放大倍数可达 1 000 倍, 能清晰观察细钨丝的断丝情况。

2 工艺实验

灯丝参数的设计和阴极材料的选配十分重要, 灯丝所用钨丝的直径、长度以及灯丝的螺距、圈数等结构参数直接影响着阴极预热温度^[8]。

2.1 结构设计

为了减少灯丝附近的热能损耗, 确保灯丝具有足够的机械稳定性和良好的抗冲击性, 提高高强度低压紫外线杀菌灯灯丝的电子发射材料含量, 在生产时都把灯丝绕成螺旋形^[9]。针对门字形三螺旋灯丝三道绕丝方式顺序一般采用左旋/左旋/左旋, 丝脚出丝的方式为切线形式(见图 1)。但这种结构设计在点灯的过程中, 灯丝并圈、变形的情况严重(见图 2), 影响了成灯的质量。

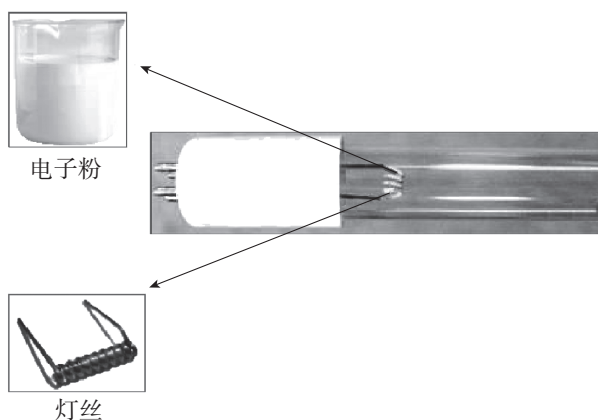


图 1 高强度低压紫外线杀菌灯
Fig. 1 High intensity low pressure UV disinfection lamp

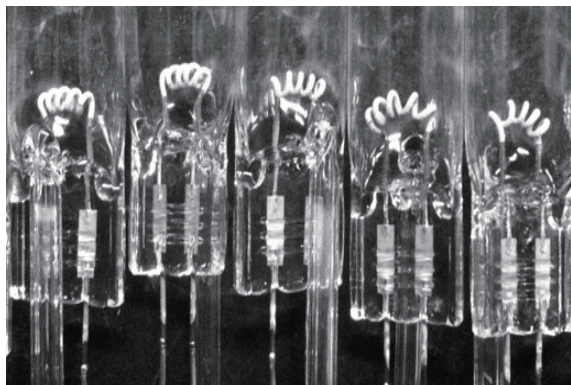


图 2 灯丝变形
Fig. 2 Deformation of the filament

对缺陷产品分析得出, 灯丝在点灯受热的过程中由于三道绕丝的旋向相同及三道绕丝丝脚的切线

出丝方式, 很难对灯丝螺旋有一定的支撑作用。因此, 灯丝受热后扭曲力没有相互抵消导致螺旋间变形严重。为寻求最佳设计, 针对三道绕丝的旋向(左旋/右旋)及三道丝脚出丝方向建立正交实验, 根据各因素的变化范围和取值大小把每种因素化为二种水平^[10], 具体见表 1。

表 1 水平取值表

Tab. 1 Horizontal table

因素名称	水平取值	
	低	高
一道绕丝旋向	右旋	左旋
二道绕丝旋向	右旋	左旋
三道绕丝旋向	右旋	左旋
丝脚出丝方向	切线方向	中心方向

根据表 1 的取值绘制成因素水平表, 并以 *A* 表示一道绕丝旋向, *B* 表示二道绕丝旋向, *C* 表示三道绕丝旋向, *D* 表示丝脚出丝方向, 进行各组实验。

2.2 退火工艺

灯丝绕成螺旋形, 钨丝的变形量很大, 造成了一定的塑性变形。这使钨丝强度增加, 脆性加大。因此灯丝成形后, 必须要先“定形”, 再撤去外力。一般灯丝为二次退火, 但对于大功率灯丝二次退火后钨丝脆性仍较大, 成型后钨丝断裂情况严重(见图 3)。大功率灯丝钨丝相对较粗, 二次退火不彻底, 加大了断丝的风险。因此对大功率灯丝退火工艺还需进一步改善研究, 根据经验法在一次绕制成形后增加退火工艺, 并通过温度、收丝速度、放丝阻尼进行正交实验, 具体见表 2。

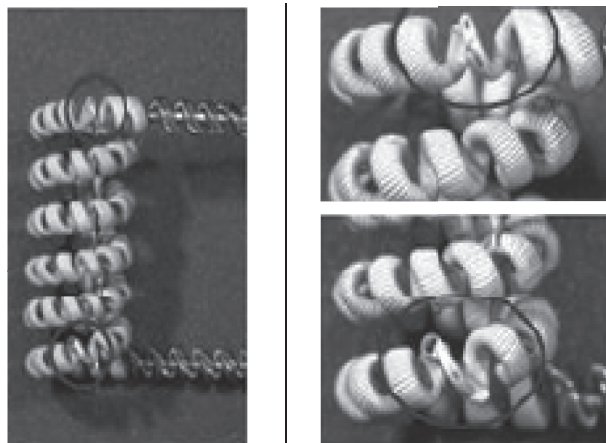


图 3 灯丝断丝
Fig. 3 The broken wires of the filament

表 2 水平取值表
Tab. 2 Horizontal table

因素名称	水平取值		
	低	中	高
温度 (900~1 250 °C)	900	1 000	1 100
收丝速度 (3~8 m·s ⁻¹)	3	5	7
收丝阻尼 (0~2 档)	0	1	2

根据表 2 的取值绘制成因素水平表,并以 A 表示温度, B 表示收丝速度, C 表示收丝阻尼,进行各组实验。

3 实验结果与分析

3.1 结构设计

将因素水平按照正交表的设计准则依次填入,制成一个 $L_8(2^4)$ 型的正交实验表 (见表 3)。

表 3 正交实验表
Tab. 3 Orthogonal test analysis table

序号	A (一道绕丝旋向)	B (二道绕丝旋向)	C (三道绕丝旋向)	D (丝脚出丝方向)	废品率/%
1	右旋	右旋	右旋	切线方向	13.5
2	右旋	右旋	右旋	中心方向	7.5
3	右旋	左旋	左旋	切线方向	10.5
4	右旋	左旋	左旋	中心方向	9.5
5	左旋	右旋	左旋	切线方向	15.5
6	左旋	右旋	左旋	中心方向	8.5
7	左旋	左旋	右旋	切线方向	9
8	左旋	左旋	右旋	中心方向	0

根据设计好的正交实验表进行实验,实验结果如图 4 所示。

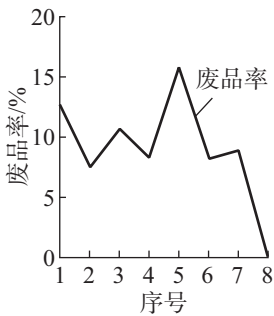


图 4 实验结果
Fig. 4 Testing result

通过对比正交实验,每组抽取 200 根灯丝制成灯,点灯后实验结果可以发现,第 8 组 $A_2B_2C_1D_2$ 实验的并圈、变形废品率为 0,表明第 8 组是实验中最优的。直观地判断灯丝结构设计的最优组合为:左旋/左旋/右旋 + 中心出脚,其设计如图 5 所示。

3.2 退火工艺

将因素水平按照正交表的设计准则依次填入,制成一个 $L_9(3^3)$ 型的正交实验表 (见表 4)。依据设计好的正交实验表进行实验,实验结果如图 6 所示。

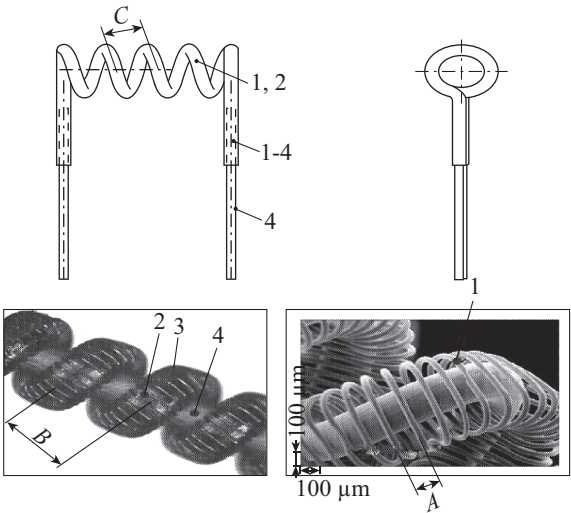


图 5 灯丝新设计
Fig. 5 The new design of the filament

通过对比正交实验,每组同样抽取 200 根灯丝制成灯,点灯后实验结果可以发现,第 8 组 $A_3B_2C_1$ 实验的断丝废品率大大降低。因此,对大功率灯丝一道绕丝后增加一道湿氢退火工艺,减小了绕制应力,防止了后续绕制过程中增加的材料脆性,灯丝断丝废品率从原先的 30%下降到了 5% 以内。

表4 正交实验表

Tab. 4 Orthogonal test analysis table

序号	A(温度)/ °C	B(收丝速度)/ (m·s ⁻¹)	C(收丝阻尼)/ 档	废品率/%
1	900	3	0	11.5
2	900	5	1	12.5
3	900	7	2	18.5
4	1 000	3	1	10.5
5	1 000	5	2	10
6	1 000	7	0	7.5
7	1 100	3	2	8.5
8	1 100	5	0	5
9	1 100	7	1	12

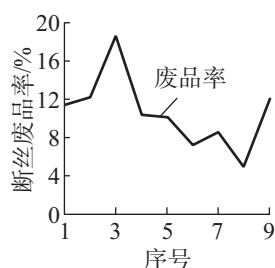


图6 实验结果

Fig. 6 Testing result

4 结论

本文对高强度低压紫外线杀菌灯电极的结构设计、生产工艺全过程进行了探讨分析。通过实验、结果检测及使用反馈,得到以下结论:

(1) 对高强度低压紫外线杀菌灯电极的结构设计进行更改,得到三道绕丝顺序为左旋/左旋/右旋 +

三道中心出脚的方式,能有效改善灯丝并圈、变形等缺陷。

(2) 对高强度低压紫外线杀菌灯大功率电极一道绕制后增加湿氢退火工艺,能有效降低断丝现象。

因此,通过摸索高强度低压紫外线杀菌灯钨电极的结构设计、生产工艺全过程,可提高产品质量,为制造高光效、长寿命的高强度低压紫外线杀菌灯提供保障。

参考文献:

- [1] 丁有生. 高强度低压汞齐紫外线灯特性探讨 [J]. 灯与照明, 2014, 38(4): 53-56.
- [2] 丁有生. 紫外杀菌灯技术与应用的发展 [J]. 灯与照明, 2015, 39(2): 1-4.
- [3] 周太明, 周详, 蔡伟新. 光源原理与设计 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2006.
- [4] 盛莉. 浅谈荧光灯热阴极长寿命灯丝设计 [J]. 科技资讯, 2012 (14): 102.
- [5] 缪兵, 隋明侠, 邹晓, 等. 退火点对复印机灯丝绕制性能的影响 [J]. 四川冶金, 2015, 37(4): 62-66.
- [6] 方道腴, 蔡祖泉. 电光源工艺 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 1988.
- [7] 马云柱, 张佳佳, 刘文胜, 等. 真空热处理对微波烧结 93W-Ni-Fe 合金显微组织及力学性能的影响 [J]. 稀有金属材料与工程, 2012, 41(9): 1680-1683.
- [8] 陈海波, 杨君峰. 荧光灯电极寿命讨论及其检测和使用要点 [J]. 灯与照明, 2006, 30(1): 48-51.
- [9] 王尔镇, 王春锋, 梁伟熠. 照明光源的寿命特性和改进 [J]. 中国照明电器, 2004, 26(9): 20-25.
- [10] 肖来斌, 刘宁, 于虎. 基于正交试验的半轴套管热处理工艺研究 [J]. 热处理, 2014, 29(3): 24-26.

Quality Improvement for the Tungsten Electrode in High Intensity Low Pressure Ultraviolet Lamp

YAN Jiangang¹, LUO Jun²

(1. Engineering Training Center, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China;

2. Shanghai Y&L lighting Co., Ltd., Shanghai 201801, China)

Abstract: Tungsten Electrode (filament) in high intensity low pressure UV disinfection lamp is mainly in function of providing energy to activate radiation. It is the "heart" of lamp which impacts the quality and age of lamp. The quality of high intensity low pressure UV disinfection lamp is difficult to achieve the world class level though the domestic demand is quite high. The quality of high intensity low pressure UV disinfection lamp is guaranteed by manufacture process and design of electrode (filament). The best design and process by analyzing the manufacture process and design of the lamp was figured out. It is the most efficient method to promote quality of lamp.

The result indicated that ① the defect of electrode(filament) of high intensity low pressure UV disinfection lamp (connected wind, deformed coil) was solved by changing the structure design, ② the phenomenon of broken coil was improved by changing annealing process.

Keywords: high intensity low pressure ultraviolet disinfection lamp; electrode; quality; construction design; production process

简 讯

上海第二工业大学获 2017 年上海市哲学社会科学规划一般课题立项

经专家评审、社会公示并经上海市哲学社会科学规划领导小组批准,上海第二工业大学马克思主义学院王永章副教授获得 2017 年上海市哲学社会科学规划一般课题立项。课题名称为唯物史观视域下智能革命与财富分配研究,资助经费 50 000 元。

课题将运用马克思主义劳动价值论与唯物史观思想研究智能革命的“财富分配悖论”的本质根源、内在机理、演化形态及其破解路径。探索智能革命条件下中国特色社会主义经济建设新规律,并提出通过制度选择、理念引领、互补型产业建构、劳动者转型等路径,来破解“财富分配悖论”,使劳动者在“共创”中实现“共享”。