

卤钨灯灯丝设计与加工

邓德标 刘湄

(佛山市南海区华日照明电器有限公司 佛山 528225)

摘要

卤钨灯体积小、寿命长、光效高,它的工作原理、材料选取、气体压力等方面都不同于普通的白炽灯。卤钨灯的灯丝设计对钨丝的要求,与卤素、惰性气体种类及其百分比含量、充气压力密切相关。

关键词 卤钨循环 灯丝设计公式 钨丝性状 灯丝加工 灯丝下垂

卤钨灯具有体积小、寿命长、光效高的特点,广泛应用于舞台影视照明;商场、居家装饰照明;航空、汽车、摩托、船舶照明;印刷制版照明;光学仪器等领域。

1 卤钨灯工作原理

在普通白炽灯燃点时,钨原子从灯丝的表面蒸发出来,向管壁方向扩散,附着在灯管内壁上而使管壁发黑。在卤钨灯中,从钨丝蒸发出来的大部分钨和填充的卤素原子或分子,在管壁附近反应,生成挥发性卤化钨,其蒸气浓度较高,因为管壁具有相当高的温度使卤化钨不能附在灯管内壁上,故能防止管壁发黑。卤化钨通过扩散或对流,从管壁附近向灯丝方向扩散,部分卤化钨在灯丝的高温区被分解成卤素和钨。分解出来的钨吸附在灯丝表面,卤素则与蒸发出来的钨反应。在一定条件下,卤素与钨的反应达到平衡状态,管内壁就不会发黑

为了使生成的卤化钨既不附着在管壁上,又不会在管壁附近被热解,管壁温度设计至关重要。对于碘钨灯而言,管壁温度应设计在 250℃ 以上,否则会导致碘化钨(呈黄颜色)沉积在管壁上而破坏碘钨循环。但管壁温度也不能太高,超过 700℃ 时碘化钨就要部分分解造成管壁发黑。对于溴钨灯,在很宽的温度范围内(300 ~ 1100℃)溴钨循环都能正常进行。由于管壁温度必须使卤化钨不会附着在管壁上,所以卤钨灯的玻壳比原来的白炽灯的玻壳小,管壁负荷高,通常使用耐高温的石英玻璃或高铝玻璃做玻壳。石英玻璃管壁负荷可以取得较高,高色温卤钨灯管壁负荷为 25 ~ 30W/cm²,红外灯管壁负荷为 20 ~ 25W/cm²,而高硅玻璃管壁负荷为 15 ~ 20W/cm²。与石英玻璃

压封的金属导线,使用厚度为 20 ~ 30μm 带刃的铝箔,夹板的工作温度不应超过 450℃。根据一般经验,对于高色温灯,每毫米宽箔片允许的工作电流为 3A;对寿命较长的低色温灯则取为 2A。在石英玻璃内封入金属,采用不妨碍钨和卤素反应的高纯钨或钼。钼引出线的电流密度为 5 ~ 10A/mm²,工作温度不应超过 300℃。在灯内充入微量 HI、HBr、CH₃Br、CH₂BrCl 等卤素物质和 H₃P、H₄Si、P₃N₃ 等消气剂,以及惰性气体 Ar、Kr、Xe 和 N₂ 的混合气。大功率卤钨灯通常充入溴化氢与 Xe、N₂ 的混合气。低功率卤钨灯,通常充入溴甲烷与 Ar、Kr、N₂ 混合气,在温度较高的灯中,工作压力均为充气压的 1.5 ~ 2.0 倍。根据灯丝的不同光效和寿命要求,同时也考虑灯泡的不同工作环境,调整卤素气体种类和气压,一般在常温下(25℃)充入灯内的气压为 93 ~ 500kPa。

2 卤钨灯灯丝设计

卤钨灯灯丝设计可以参考普通充气灯泡灯丝设计的统一公式、经验公式或外推法的实用计算方法。以 H424V70W/75W 为例,根据产品的光电参数和寿命要求,我们用统一公式计算。经查阅和计算:

气体损耗功率与灯总功率之比: $K = 0.0509$

遮挡系数: $\delta = 0.765$

钨的电阻率: $\rho_T = 920 \times 10^{-6} \Omega/\text{cm}$

辐射出度: $Me(T) = 145\text{W}/\text{cm}^2$

灯丝直径的计算公式:

$$d = \left[\frac{4 \cdot \rho_T \cdot (1 - K)}{\pi^2 \cdot \delta \cdot Me(T)} \right]^{1/3} \cdot I^{2/3}$$

则 70W: $Q_{200} = 59.89\text{mg}/200\text{mm}$

75W: $Q_{200} = 65.79\text{mg}/200\text{mm}$

灯丝长度的计算公式:

$$L = \left[\frac{(1-K)^2}{4 \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot \delta^2 \cdot Me(T)} \right]^{1/3} \cdot I^{1/3} \cdot V$$

则 70W: $L = 136.58\text{mm}$

75W: $L = 139.88\text{mm}$

按统一公式设计灯丝,计算、取值较为繁琐,我们用经验公式计算 GU10 220V 50W 灯丝的参数:

由 $Q_{200} = 17.5I^{1.32}$ 可得 $Q_{200} = 2.47\text{mg}/200\text{mm}$

由 $L_V = 5.73I^{1/3.5}$, $L_V = 3.75$ 可得 $L = 825\text{mm}$

用上述经验公式计算出的钨丝份量和直丝的有效长度,还必须进行试样调整,以符合灯泡规定的光电参数和寿命要求。但是对于高光效,短寿命的卤钨灯泡,经验公式的系数必须进行修正。

如: H7 12V 70W 27lm/W 灯丝直径和长度的计算公式应修正为: $Q_{200} = 12 I^{1.1}$; $L_V = 2.73 I^{1/3.55}$ 。由此可得 $Q_{200} = 120.9\text{mg}/200\text{mm}$; $L_V = 4.99$, $L = 54\text{mm}$

卤钨灯灯丝大都为螺旋丝(单螺旋或双螺旋),它由直钨丝绕制而成。螺旋钨丝的几何尺寸除了直线钨丝的直径 d 和长度 l 外,还有螺距系数 $K_{螺}$ 和芯丝系数 $K_{芯}$ 。它们的定义为 $K_{螺} = S/d$; $K_{芯} = d_{芯}/d$ 。式中 S 为螺距, $d_{芯}$ 为芯丝直径。 $K_{螺}$ 和 $K_{芯}$ 的选取范围如表 1 所示。

表 1 螺距系数和芯丝系数选取范围

单螺旋		双螺旋		单螺旋		双螺旋	
$K_{螺}$	$K_{螺1}$	$K_{螺2}$	$K_{芯}$	$K_{芯1}$	$K_{芯2}$	$K_{芯}$	$K_{芯}$
1.4~1.5	1.4~1.8	1.6~2.0	3~6	1.7~2.0	1.8~2.6		

3 钨丝的一般性状

大家知道,钨丝是以粉末冶金方法生产出来的,不可避免地存在着非均相杂质,杂质的富集往往形成钨丝的断裂源,造成钨丝脆断、劈裂或分层。掺杂硅、铝、钾的钨丝一次再结晶的开始温度一般为 900℃,结束温度为 1 400℃;二次再结晶的开始和结束温度一般分别为 1 700℃ 和 2 300℃。再结晶温度愈低和再结晶强度愈低,则钨丝的高温性能愈差;再结晶温度愈高,再结晶后的强度愈高,钨丝的高温性能、抗振性愈好。二次再结晶的开始温度和结束温度差值越大,其高温性和抗振性愈好。这种性能与钨泡浓度及其

弥散状况直接有关。钨丝的强度和再结晶温度与加工历史及丝径大小有依赖关系,钨丝愈细,加工度愈大,纤维组织愈发达,强度愈大,再结晶的温度也愈高,高温性能愈好。

根据钨丝缺陷部位电阻增大、温度升高的现象提出了灯丝的基本失效机理,并一直指导着灯丝设计和断丝原因的分析。通常采用钨丝电阻测定仪来鉴别钨丝直径在长度方向的均一性。灯丝(或直钨丝)电阻和截面积、内部缺陷、杂质(包括气泡)含量及其分布状态以至加工历史都有密切关系,这些因素的波动会导致电阻的波动。相同直径灯丝(或直钨丝)的电阻数值虽然比较分散,但仍有一定的规律,电阻过大或过小的钨丝可能是内部缺陷或杂质分布差异过大。电阻过大的灯丝其光通量和功率均低,电阻过小的灯丝严重下垂。同批灯丝电阻波动过大可能反映了材质不稳定或灯丝加工工艺的不稳定。

极限抗拉强度和残余应力不仅是材料本身固有的特性,也反映了灯丝加工历史和过程的差异。

钨丝的应力有两种:一是外应力。这类应力引起钨丝弯曲或打圈,导致丝圈大小和弯曲半径不均。这类应力在较低温度下即可消除。残余应力很小的直钨丝所做的灯泡光电参数比较稳定;二是加工变形引起错位和晶格畸变形成的内应力。消除这类应力需要较高的温度。应力回复过程主要表现为位错和亚晶界的运动、晶界的运动,并受到钨泡的控制,从而对再结晶过程抗拉强度和抗下垂性能起到了制约作用。而绕制螺旋时产生的复杂应力和变形将影响钨丝蠕变和再结晶过程,使晶粒长宽比小于同种直钨丝。

钨丝不圆对灯丝质量的影响是众所周知的。钨丝直径减小 1%,则功率约降低 1.8%,光通量降低约 2.8%,光效降低 1%。钨丝以头尾称重(mg/200mm)来反映直径的一致性,其可靠性不能反映工艺失控引起的钨丝中间部位直径的变化。如将合格的钨丝倒成小轴再分别测重,平均超半差比率最高达 5% 左右。钨丝直径波动引起的光电参数超差的几率是很大的。

钨丝的表面质量、表面缺陷种类繁多,影响各异,尤其对机械性能影响极大。表面纵向划痕往往是钨丝的劈裂源,表面横向刻痕或凹坑是应力集中点,也是断裂源。凹处积存的脏物不易清洗干净,造成对钨的污染,导致早期脆化。钨丝表面光洁度不好或有毛

刺,同样使钨丝机械性能恶化,对光电性能也有影响。

4 灯丝加工处理

(1)绕丝本身的问题。绕丝机的设备精度、调整和操作标准化程度是保证绕丝质量的关键。设备调整不良还会出现周期性并圈,这些都会造成部分灯泡光电参数的超差。按时观察丝圈,测定绕丝后的丝圈直径,以控制丝圈和芯丝直径有较好的效果。

(2)烧氢气氛。烧湿氢要创造充分的条件使碳与水蒸气反应,生成一氧化碳而达到除碳的目的,反应式如下(800℃):



这个反应在氢气氛中进行,必须保证氢气有足够的湿度。氢气通过加温到60℃的水,氢气湿度就能保证钨丝表面的碳能完全与水汽反应,二次烧氢后就不会出现因碳除不尽而引起的脆丝。碳与钨的作用在1100℃开始,1300℃反应速度较快。烧干氢是去除吸附于钨丝表面的氢气等同溶物,其反应式如下:



水蒸气的存在妨碍反应进行,因此,氢气一定要严格干燥,并将一、二道烧氢炉分开使用。

(3)烧氢温度和时间。烧氢温度在工艺水平许可的情况下应尽量取工艺上限。绕单螺旋用钢芯丝的烧氢温度不得高于1250℃,用铝丝芯线的双螺旋灯丝烧氢温度不得高于钨丝二次再结晶开始温度的90%。因为二次再结晶的开始温度是钨丝进入脆性区的温度,低于出现脆性温度的10%可以保证工艺质量。低于这个温度如出现灯丝脆断,可能是因为钨丝有污染或钨丝材质有问题。各钨丝厂钨丝的再结晶温度有差别,对不同厂钨丝采取不同的烧氢制度、烧氢的升温速度和保温时间对定型和老炼时良好的金相结构的形成都是有益的。一般采用阶段升温较好。钨丝应力的消除和定型受温度和保温时间两个因素制约,因此,烧氢制度除要一定温度外,还要一定保温时间。一次烧氢温度和速度一定的情况下,烧氢炉的长度应有一定的要求,一般要保证丝从高温区通过的时间保持在4s左右;二次烧氢的高温区长度一般是烧钨舟长度的3倍为宜,并能满足均匀受热或升温的要求。

(4)灯丝加工的全过程都要防止杂质污染。烧氢过程中的污染主要是碳的污染,一是一次烧氢未除尽

的碳;二是氢气通过水时带出的CO₂。这些会使二次烧氢时钨丝表面碳化而使塑性降低。一次烧氢时,操作不严,丝圈与炉口或炉支架相刮,可能引起铁的污染。化丝污染主要来源于酸、碱液和硬水,所以最后一道清洗用纯水进行。超声波清洗是非常必要的,特别有利于清洗凹坑处的污染。化丝时的失重主要是工业酸中强氧化剂游离氯和硝酸根存在引起的。工业酸生产过程中因工艺失控,常常会使酸吸收过量的氯气而使游离氯超过标准,这样的盐酸会使钨丝微量溶解而失重。因此,应控制游离氯的含量。在用混合酸溶丝时,在倾倒酸液时,要一边用水冲,一边倾倒,防止沾有混合酸的丝暴露在空气中,这样会引来丝的迅速氧化而失重不均。在整个灯丝加工和灯泡生产过程中,要防止灯丝被脏化,因为灰尘和杂物会夹在丝罔之间使丝短路,影响光电性能。灯泡在老炼或点灯过程中90%断丝发生在丝角和支架处。这种断丝原因有三种:①灯丝上沾有消气剂磷,如P₃N₅颗粒;②压脚钼丝劈裂或打扁不够,压伤灯丝脚;③丝脚和导丝接点处有足够的温度形成低熔点(880℃)并向钨晶界扩散,在丝脚和支架处存在温度递变,这正好成了弥散在钨丝内钾泡(或气泡)迁移的驱动力,从而使钾泡(或气泡)向低温区迁移,长时间的作用小气泡就会聚成大气泡甚至空洞,在空洞处电阻增加形成热点而断丝。因此,在钨丝生产和灯丝加工过程中要防止污染,尽量使钨丝生产的工艺条件保证钾泡均匀弥散,灯泡的寿命才能有充分的保证。

5 灯丝下垂的讨论

灯泡生产中常出现的灯丝下垂有两种情况:一是高温抗蠕变性极差,在高温下灯丝因自重作用开始使螺旋拉伸,最后会使钨丝拉细伸长,直至断丝或直至泡壳;另一种是在灯泡燃点后灯丝螺旋伸长一定值,灯丝呈一定弧形后即基本稳定不再变形,习惯上把这种下垂称作“堕丝”。这种情况与钨丝的本身高温性能虽有关系,但主要还是钨丝热处理性能不好,烧氢温度不够,应力没有完全消除,在点灯过程中温度的长时间作用,应力继续消除,表现在老炼时堕丝明显,以后就逐步稳定。双螺旋的绕制方向有明显影响。若一次绕丝和二次绕丝方向相反,回弹应力方向相同,互相叠加,加剧了变形,则下垂严重(或堕丝);若两次绕制方向相同,回弹应力相反,互相抵消,点灯后

应力消除,回复过程引起的变形也互相抵消,而使最终变形量减少。绷丝时使螺旋撑长4%左右,就是为了消除回弹应力的影响。

当然,灯内气体中氧气或水气的含量超过允许极限同样会引起灯丝下垂,最终发黑烧毁。

无论卤钨灯的灯丝因何种原因产生下垂,都主要影响灯泡的额定光电参数以及灯丝一道、二道螺圈并圈,引发短路和跳电,同时使灯泡的耐振强度大大降低。

为了使灯丝在初次点灯时变形量尽量减少,必须重视老炼制度。目前老炼工艺是用加压分段升温的方法使灯丝形成大晶结构,有的采用改变灯泡方位或卧式旋转的方法来克服老炼时的变形,使其在形成大

晶前残余变形极小,这对大功率灯泡特别重要。

综上所述,要获得满意的光电参数,不仅要合理的设计灯丝及采用优质材料,还必须有实现设计的可靠工艺及严格的操作规程。

参考文献

- 1 周太明编著.光源原理与设计.上海:复旦大学出版社,1983年
- 2 蔡祖泉等编著.电光源原理引论.上海:复旦大学出版社,1988年
- 3 徐光华等编著.电光源制造工艺.上海:上海科学技术文献出版社,1992年
- 4 周卫忠编著.光源化学.北京:轻工业出版社,1987年
- 5 莫纯昌等编著.电真空工艺.北京:国防工业出版社,1980

(本文编辑 王立洪)

标准资料征订(1)

资料名称	单价
GB/T 10681 - 2004〈家庭和类似场合普通照明用钨丝灯 性能要求〉	27元,册
GB19510.1 - 2004〈灯的控制装置 第1部分:一般要求和安全要求〉	25元,册
GB19510.3 - 2004〈灯的控制装置 第3部分:钨丝灯用直流/交流电子降压转换器的特殊要求〉	18元,册
GB19510.9 - 2004〈灯的控制装置 第9部分:荧光灯用镇流器的特殊要求〉	16元,册
GB19510.10 - 2004〈灯的控制装置 第10部分:放电灯(荧光灯除外)用镇流器的特殊要求〉	16元,册
GB19510.11 - 2004〈灯的控制装置 第11部分:高频冷启动管形放电灯(霓虹灯)用电子换流器和变频器的特殊要求〉	16元,册
GB 19258 - 2003〈紫外线杀菌灯〉	17元,册
GB 18774 - 2002〈双端荧光灯 安全要求〉	35元,2册
GB/T10682 - 2002〈双端荧光灯 性能要求〉	
GB/T 17262 - 2002〈单端荧光灯 性能要求〉	20元,册
GB/T 17263 - 2002〈普通照明用自镇流荧光灯 性能要求〉	13元,册
〈荧光灯系列国家标准统一宣贯教材〉	20元,册
GB 7000.1 - 2002〈灯具一般安全要求与试验〉	45元,册
GB 19261 - 2003〈霓虹灯管的一般要求和安全要求〉	15元,册
GB19149 - 2003〈空载输出电压超过1000V的管形放电灯用变压器(霓虹灯变压器)一般要求和安全要求〉	18元,册
GB 18489 - 2001〈管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器 一般要求和安全要求〉	30元,2册
GB/T18504 - 2001〈管形荧光灯和其他放电灯线路用电容器 性能要求〉	
QB/T 2511 - 2001〈单端金属卤化物灯用LC顶峰超前式镇流器性能要求〉	19元,册
QB/T 2512 - 2001〈灯头温升的测量方法〉	18元,册
QB/T 2515 - 2001〈金属卤化物灯光电参数测试方法〉	15元,册
QB/T 2516 - 2001〈镝灯〉	15元,册
GB 14196.1 - 2002〈家庭和类似场合普通照明钨丝灯 安全要求〉	20元,册
GB 14196.2 - 2002〈家庭和类似场合普通照明用卤钨灯 安全要求〉	12元,册
GB/T 7249 - 2002〈白炽灯的最大外形尺寸〉	25元,册
GB18661 - 2002〈单端金属卤化物灯(175~1500W 钨钠系列)〉	16元,册
GB/T 18595 - 2002〈一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求〉	13元,册
GB 1312 - 2002〈管形荧光灯座和启动器座〉	28元,册
IEC 61347 - 1,61347 - 2 - 1 - 61347 - 2 - 11 镇流器、启动装置、降压转换器等安全要求	120元/册(合订中译本)

订阅办法:邮局汇款:北京朝阳区大北窑厂坡村甲3号 全国照明电器标准化技术委员会 邮编:100022

银行信汇:工行北京市朝阳支行营业部 892359 - 63 北京电光源研究所 电话:010 - 67709363 传真:67752433