

文章编号:1004-5309(2009)-0039-06

利用 SEM - EDS 分析火场中白炽灯灯丝通电状态

支 援,王 平,刘义祥,胡建国

(中国人民武装警察部队学院,河北廊坊 065000)

摘要:该文模拟火灾现场中白炽灯破坏的不同情况,制备普通白炽灯在不同状态下破坏的灯丝残骸试样,利用扫描电子显微镜-X射线能谱仪分析灯丝残骸表面的微观形貌及其元素组成含量。研究发现,通电状态下被破坏的白炽灯灯丝表面与未通电破坏状态下灯丝表面的元素成分差异较大。经过高温或烟熏的作用,灯丝表面成分也有变化。鉴于不同破坏条件下灯丝表面成分及含量存在明显的差异,可以利用能谱分析的方法判断火场中白炽灯的通电状态。

关键词:灯丝;通电状态;X射线能谱分析;火灾

中图分类号:TU998.12 **文献标识码:**A

0 引言

白炽灯是利用电流通过一条金属丝(通常是钨丝)使其达到白热化温度而发光的一种热光源,由于其工作温度高,具有一定的火灾危险性^[1]。普通白炽灯在正常点燃照明时,玻壳突然受机械力的作用而破碎,如果炽热的灯丝落到燃点较低的可燃物表面,就有可能使可燃物燃烧,导致火灾^[2]。

在白炽灯引起的火灾的调查中,判断白炽灯在破坏时的通电状态,是认定火灾原因的关键证据。因此,在一些火灾的调查中,需要判断白炽灯的通电状态。本文通过利用扫描电子显微镜和X射线能谱仪的联用技术,分析白炽灯灯丝不同条件下的微观形貌和微区成分,从而探讨一种判断火灾中白炽灯破坏时的通电状态的方法,这对火灾原因的准确认定以及火灾责任者的认定都具有十分重要的意义。

1 实验部分

1.1 实验设备与材料

实验设备:KYKY2800B型扫描电子显微镜,EDS2100型X射线能谱仪。

实验材料:实验所用白炽灯为东北牌40W普通白炽灯泡、沈阳照明25W普通白炽灯泡,若干个使用过或灯丝自然老化断裂的25W普通白炽灯泡,提取其灯丝作为分析样品。

1.2 实验样品的制备

分两组将灯泡在通电和不通电状态下打破,提取灯丝残骸。并将灯丝残骸再经过高温或火烧作用处理后,作为样品进行分析。

采用酒精喷灯模拟火场火焰灼烧作用,采用箱式电阻炉模拟火灾现场的热辐射作用。取灯丝样品中的一部分分别置入陶瓷坩埚中在箱式电炉内加热至800℃,然后利用汽油燃烧模拟火灾现场烟熏作用,待灯丝冷却后分组保存。

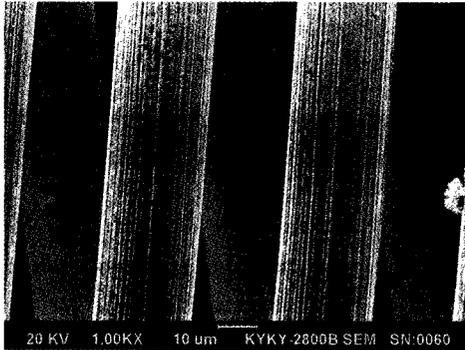
2 实验结果

收稿日期:2008-09-06;修改日期:2008-10-30

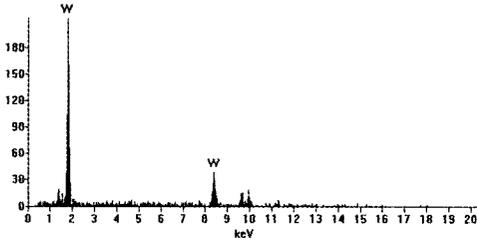
作者简介:支援(1986-)女,辽宁盘锦人,在读硕士,中国人民武装警察部队学院2007级材料学研究生,主要研究方向为材料火灾痕迹研究。

2.1 不通电状态下破坏灯丝的微观形貌及能谱图

新白炽灯在常温状态下不通电的情况下被破坏,其灯丝可认为是原始状态。在扫描电子显微镜下观察可以发现原始灯丝呈规则的螺旋形,表面相对平整光滑,灯丝在加工过程中的金刚石模具拉伸产生的纵向规则划痕明显可见^[3],如图 1(a)所示。



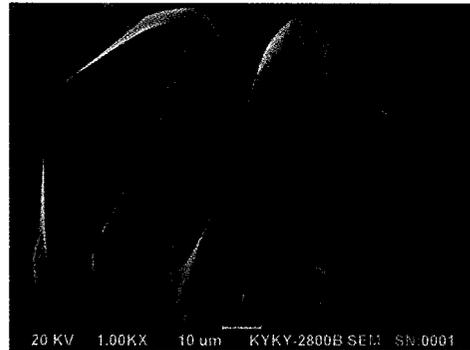
(a) 原始灯丝的微观形貌 (1000×)



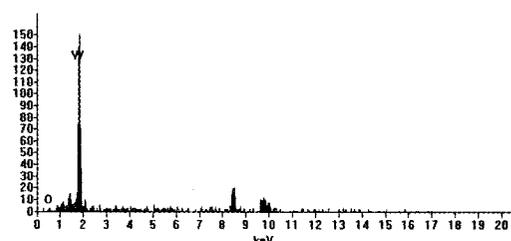
(c) 原始灯丝的能谱图

图 1(c)和表 1 显示出原始灯丝表面元素为钨元素。

长时间通电后,白炽灯的灯丝仍然保持螺旋状态,但是灯丝截面已经不是圆形,表面产生多个光滑的小平面,形成多面体形状,表面的加工痕迹几乎全部消失,如图 1(b)所示。图 1(d)和表 2 显示出所观察的区域内灯丝表面存在钨元素和氧元素。



(b) 老化灯丝的微观形貌 (1000×)



(d) 老化灯丝的能谱图

图 1 不通电状态下破坏灯丝的微观形貌和能谱图

Fig.1 Micro-morphology and X-ray EDS analysis of the no-electrified incandescent lamp filament

表 1 原始灯丝的主要元素含量

Table 1 Primary element content of original filament

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
W - (La1)	1.00000	1.0000	100.0000	100.0000

表 2 老化灯丝的主要元素含量

Table 2 Primary element content of aging filament

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
O - (Ka)	0.01796	0.1397	10.7041	57.9384
W - (Ma)	0.98204	0.9157	89.2959	42.0616

2.2 通电状态下打破后灯丝的微观形貌和能谱图

通电状态下破坏的灯丝表面加工痕迹几乎不可见,灯丝表面均匀覆盖有针状或纤维状的细小晶体,可以明显地区别于原始灯丝,如图 2(a)所示。灯丝的个别部位,由于生成的晶体较多较长,针状晶

体突出于灯丝表面,形成了羽状、网状、放射状的晶体花纹。当放大倍数较小时,发现灯丝局部有较大颗粒状的喷溅产物,如图 2(b)所示。能谱图 2(c)和表 3 显示出在所观察的区域内灯丝表面存在钨元素、氧元素和少量的铁元素。

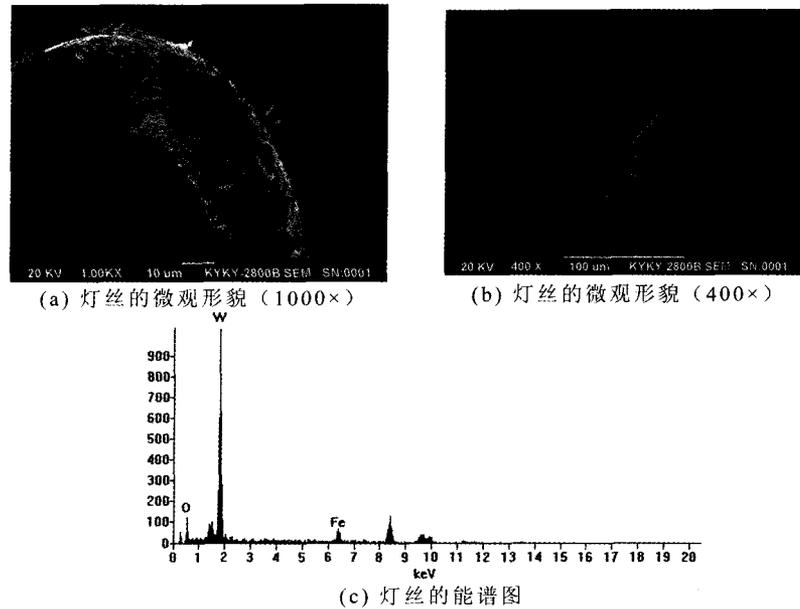


图 2 通电破坏灯丝的微观形貌和能谱图

Fig. 2 Micro-morphology and X-ray EDS analysis of the electrified incandescent lamp filament

表 3 通电破坏灯丝的主要元素含量

Table 3 Primary element content of electrified filament

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
O - (Ka)	0.06359	0.4232	12.4883	54.1040
Fe - (Ka)	0.14532	0.8091	14.9304	18.5312
W - (Ma)	0.79109	0.9059	72.5813	27.3648

2.3 高温烟熏作用下灯丝的微观形貌和能谱图

2.3.1 受高温烟熏作用的原始灯丝的微观形貌和能谱图

暴露在空气中受到 800℃ 高温烟熏的原始灯丝,表面存在氧化痕迹,但氧化作用不强烈,灯丝表

面光滑均匀,灯丝加工痕迹由于氧化作用变浅,但仍很容易分辨,如图 3(a) ~ (b)所示。能谱图 3(c)和表 4 显示出在所观察的区域内灯丝表面存在钨元素和少量的氧元素、碳元素。

表 4 受高温烟熏作用的原始灯丝的主要元素含量

Table 4 Primary element content of original filament under the effect of smoke

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
C - (Ka)	0.45267	14.3835	4.1769	24.4775
O - (Ka)	0.01368	0.2031	9.6688	42.5375
W - (La1)	0.53364	0.8220	86.1543	32.9850

2.3.2 受高温烟熏作用的通电破坏后灯丝的微观形貌和能谱图

通电破坏的灯丝在 800℃ 高温烟熏作用后,表面的加工痕迹完全消失,由光滑变成粗糙不平,呈现鳞片状态。表面附着有网状的凸起颗粒,个别部位

被严重氧化,发生龟裂膨胀,两灯丝间产生粘连现象,如图 4(a)所示。灯丝表面均出现一道较深的凹陷区,凹陷区内壁粗糙,呈断层状态,如图 4(b)所示。能谱图 4(c)和表 5 显示出在所观察的区域内灯丝表面存在钨元素、氧元素、碳元素和铁元素。

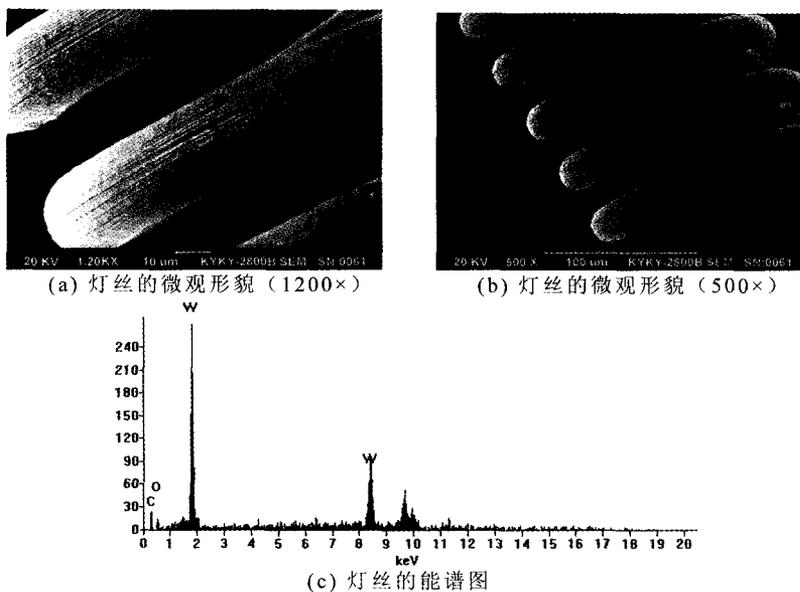


图 3 受高温烟熏作用的原始灯丝的微观形貌和能谱图

Fig. 3 Micro-morphology and X-ray EDS analysis of the incandescent lamp filament under the effect of smoke and high temperature

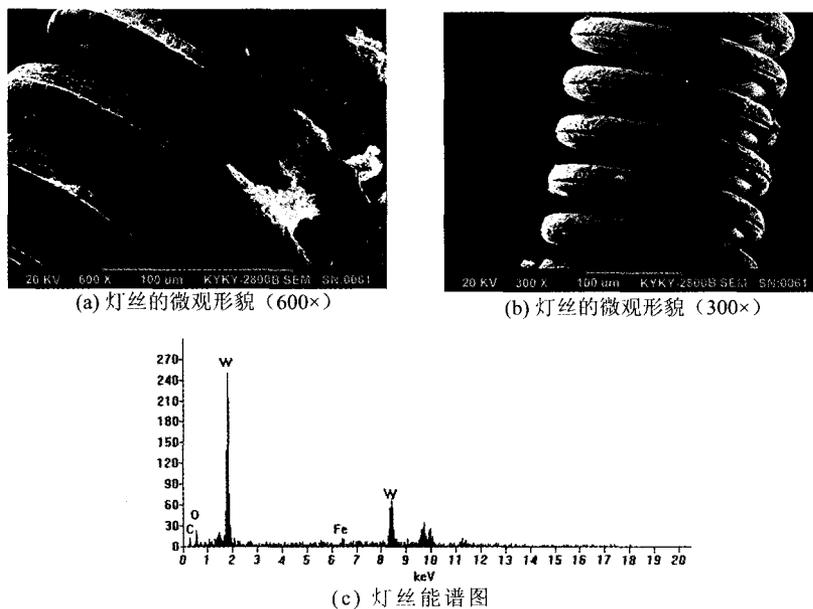


图 4 受高温烟熏作用的通电破坏后的灯丝的微观形貌和能谱图

Fig. 4 Micro-morphology and X-ray EDS analysis of the electrified incandescent lamp filament under the effect of smoke and high temperature

表 5 受高温烟熏作用的通电破坏后的灯丝主要元素含量

Table 5 Primary element content of electrified filament under the effect of smoke and high temperature

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
C - (Ka)	0.40778	14.8843	3.0556	13.7854
O - (Ka)	0.03085	0.1945	18.1628	61.5153
Fe - (Ka)	0.01792	0.8855	2.1895	2.1245
W - (La1)	0.54346	0.7687	76.5921	22.5748

3 分析与讨论

3.1 不通电破坏灯丝的能谱分析

灯泡处于不通电状态时,灯丝的温度与室温相同,未经使用的灯丝为加工原始状态,其微观形貌代表了灯丝的加工过程。灯丝是由金属钨棒经多次拉拔形成的,拉拔后的钨丝绕在钢芯线或钼芯线上,使钨丝形成螺旋形或双螺旋形结构^[3]。由于灯泡内部常常被抽成真空或者充满惰性气体,所以在室温下钨丝发生氧化的机率很小,能谱图显示原始灯丝的表面成分主要为单质钨。

在长时间的正常使用条件下,灯丝会缓慢变细,其原因主要有两个方面,一个是"水循环"破坏作用造成,另外一个由钨本身的物理扩散蒸发性质所致。其中"水循环"是由于灯泡抽气时,不免有残留氧气和水蒸气,其中吸附在灯丝上的水蒸气,由于灯丝高温的作用分解成为氢气和氧气,氧气与钨反应能形成易蒸发的氧化物,蒸发脱离钨丝表面,游离到温度较低的灯壳内壁。从灯丝上扩散出来的氢气与灯壳内壁上的氧化钨发生还原反应,将氧化钨还原为单质钨在灯泡内壁沉积。此时生成的水会再次游离附着在钨丝表面与钨发生氧化作用,而形成类似升华的循环过程^[4]。这种水循环作用使氧化物附着在灯丝表面,通过能谱分析可以检测出氧元素。老化作用仅仅对灯丝形状有影响,而对其元素组成及含量影响不大,老化灯丝主要元素成分为钨元素和少量的氧元素。

3.2 通电破坏灯丝的能谱分析

灯丝通电过程时,由于灯丝处于 2500℃ 左右高温状态,当灯泡漏气或发生玻璃裂缝时,灯丝不能立即烧断,有个短时继续通电路程^[5],这时灯丝会发生剧烈氧化燃烧,产生深色复杂致密的氧化物或氮化物,包括 WO_2 、 WN_2 、 W_2O_5 、 WO_3 。这些氧化物飞溅到灯泡内各处,形成极薄的白色或者淡黄色的片状沉积物,随着温度的降低,灯丝表面开始冷却,氧化现象随温度降低而逐渐减弱,附在灯丝表面的氧化钨蒸汽开始在灯丝表面结晶,形成针状和纤维状的氧化物晶体^[6]。所以在灯丝上可以检测出氧元素。另外由于灯丝为钨金属,熔点在 3410℃ 左右,而导丝又是镀镍铁丝,其熔点也在 1500℃ 以上。在正常使用状态下它不会烧熔,即使受到外界火烧也不会熔化。只有当灯泡在点亮状态下受到破坏时,灯丝氧化燃烧,烧掉全部或其一部分,特别是灯丝与

导丝连接处最易发生喷溅熔化,喷溅物粘连在残余的灯丝上^[7]。所以灯丝上可以检测出微量的铁元素。

3.3 高温火焰及烟熏作用对灯丝微区成分的影响

3.3.1 高温火焰及烟熏作用对原始灯丝微区成分的影响

在火灾现场中,高温对灯丝的影响主要是氧化作用。在玻璃灯壳破坏之前,由于玻壳内仍处于真空或惰性气体的保护之中,环境温度对灯丝没有影响。但是由于火灾高温等作用,未通电的白炽灯也会破坏,使灯丝暴露在空气中。钨丝在温度大于 400℃ 时开始氧化,在空气中加热,表面开始变成灰黑色,在 350 ~ 500℃,氧化服从抛物线关系,氧化蒸发和升华作用逐渐消失,灯丝表面向平整光滑的趋势发展,灯丝表面的加工划痕也逐渐消失。在 500 ~ 1000℃ 范围内,氧化速度随温度升高而迅速增长,生成的氧化膜包括两层:与金属紧密相连的致密薄层和 WO_3 黄色疏松层^[2],所以在灯丝表面可以检测出氧元素。由于火焰温度不均匀,火焰中的燃烧产物及不完全燃烧产生碳颗粒等复杂条件的影 响,灯丝表面的氧化物呈颗粒状^[6],在模拟汽油火灾过程中,由于汽油燃烧发烟量大,烟尘造成灯丝表面污染,碳颗粒附着在疏松的氧化钨表面,因此在能谱分析中可以检测出少量的碳元素。

3.3.2 高温火焰及烟熏作用对通电状态下灯丝微区成分的影响

通电状态下火烧破坏的灯丝,表面部分出现的一道较深的凹陷区,这是由于原始灯丝在加工过程中金刚石膜具拉伸工艺存在缺陷,当灯丝处于通电状态时受到外界高温氧化作用,导致划痕加剧深陷。通电状态下的灯丝表面已经形成有相对致密的复杂氧化物外壳,在继续加热或受火焰灼烧的作用后,氧气从致密氧化物外壳的薄弱部分渗透进灯丝的内部,由于氧化缓慢的原因,内部的单质钨受到高温氧化作用形成疏松的 WO_3 ,随着 WO_3 的不断生成,使灯丝个别部位膨胀变大,使外部的致密氧化物外壳破裂,氧气由裂口进入,加剧了氧化过程,使灯丝中的氧元素的含量急剧增加。在微观形貌上形成了灯丝表面个别部位产生膨胀龟裂的特殊现象。灯丝主要成分为钨和氧,且含氧量比不通电火烧灯丝要高。导丝在灯泡打破瞬间发生熔化喷溅,粘连到残余的灯丝上,在灯丝表面可以检测到铁元素的存在。另外,由于不完全燃烧及烟尘污染等作用,碳粒子附着

在疏松的氧化物表面上,在灯丝上检测出碳元素。

4 结论

(1)原始状态下的白炽灯,灯丝表面的微观形貌保持其原有状态,没有氧元素的存在;长时间使用的老化灯丝,其表面的微观形貌变为光滑的多面体形状,且表面成分中含有氧元素。

(2)通电状态下破坏的白炽灯灯丝的表面成分中含有铁元素和氧元素,灯丝表面都覆盖有针形或

纤维状晶体。

(3)受到高温火烧烟熏破坏的灯丝,在灯丝上均检测出碳元素和氧元素。但通电状态下的灯丝可以检测出铁元素,并且检测出的氧元素的含量比未通电状态下要高。另外,微观形态也有明显的区别。

(4)根据灯丝表面的成分及微观形貌等特征,可以判断白炽灯在破坏时是否处于通电状态,对火灾原因的准确认定具有重要的意义。

参考文献

- [1] 金河龙. 火灾痕迹物证与原因认定[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2005,383~388.
- [2] 钱均,等. 利用扫描电镜研究白炽灯钨丝的冷、热断痕迹[J]. 广东公安科技,1999,(4).
- [3] 刘义祥,等. 白炽灯灯丝残骸微观形貌分析[J]. 火灾科学,2006,15(4).
- [4] 王子夫. 关于白炽灯丝断裂问题的浅析[EB/OL]. <http://www.5izm.net/comment.php/4449?action=view>, 2005-03-28.
- [5] PHILIP AISTIN. Fires caused by lighting [J]. Fire Investigation Essay,2000,(5).
- [6] 贾常明,等. 灯丝的 X 射线检验[J]. 中国刑警学院学报,2004,(3):35~38.
- [7] 王希庆,等. 电气火灾现场勘查与鉴定技术指南[M]. 辽宁:辽宁大学出版社,1997,181~187.

Analysis of SEM – EDS of incandescent lamp filament debris

ZHI Yuan, WANG Ping, LIU Yi-xiang, HU Jian-guo

(Chinese People's Armed Police Force Academy, Heber, Langfang 065000, China)

Abstract: In this paper, the incandescent lamp filament debris is prepared by different means to simulate the filament debris in fire. The surface composition of filament debris is analyzed by Scanning Electron Microscope and X-ray EDS. It is found that the surface composition of electrified incandescent lamp filament debris is different from the original ones. Under the effect of smoke and high temperature from the imitate fire, the surface composition of electrified filament differs greatly from that of filament not in electrified. Because of the obvious differences in the surface composition of filament, EDS can be used to determine the electric situation of incandescent lamp in fire.

Key words: Incandescent lamp filament; EDS; Electrify station; Fire