

浅谈利用 X 射线能谱仪分析导线绝缘层火灾痕迹特征

杨秉轩

(萍乡市公安消防支队 江西萍乡 337000)

摘要: 本文以铜芯聚氯乙烯绝缘软导线作为实验材料,使用火灾痕迹物证综合实验台和箱式电阻炉等模拟火场条件,分别制备出导线绝缘层在过负荷、火烧和短路三种状态下的炭化痕迹样品,利用 EDS2100X 射线能谱仪对导线绝缘层炭化样品表面进行成分分析,分别获得了导线绝缘层碳化物 X 射线能谱图。经分析发现导线绝缘层过负荷、火烧和短路三种痕迹样品在成分上短路形成的绝缘层碳化物样品铜含量高于过负荷、火烧形成的绝缘层碳化物样品。

关键词: 消防 火灾痕迹 聚氯乙烯绝缘层 X 射线能谱仪

1 前言

目前导线火灾痕迹尤其是导线金属部分的熔珠金相分析研究已趋于成熟。纳入中华人民共和国国家标准 (GB16840-1997) 电气火灾原因技术鉴定方法中的主要有宏观法、金相法、成分分析法、剩磁法等^[1]。

上述几种技术鉴定方法主要是针对导线金属部分进行研究的,以绝缘层为对象的研究相对很少。日本学者 Eui-Pyeong Lee 等人在 2001 年 10 月 16 日至 19 日在法国里昂召开的第 13 届国际刑警法医科学研讨会上^[2]和美国《APPLIED FIRE SCIENCE》2000 年 9 月期刊中都有对导线绝缘层火灾痕迹研究的成果的发表^[3]。笔者在此研究基础上利用 X 射线能谱仪,对不同实验条件下制得的铜导线聚氯乙烯绝缘层碳化物进行成分分析,得出成分差异,这些成果对鉴别导线过负荷、火烧及短路痕迹将产生一定的积极作用。

2 实验原理

2.1 导线绝缘层的相关性能

2.1.1 导线绝缘层常用材料

目前,大部分导线绝缘层材料是由各种聚合物组成,如聚氯乙烯 (PVC)、聚乙烯 (PE)、聚丙烯

(PP)、乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA) 等^[4]。2001 年,聚氯乙烯线缆占我国导线总量 70% 以上,90% 千伏级电线电缆都采用聚氯乙烯材料作为绝缘^[5]。

2.1.2 聚氯乙烯绝缘层的性能

聚氯乙烯 (PVC) 属高分子聚合物,具有阻燃、耐化学药品性高 (耐浓盐酸、浓度为 90% 的硫酸、浓度为 60% 的硝酸和浓度为 20% 的氢氧化钠)、软化点为 80℃,200℃ 左右开始分解,当温度达到 300~400℃ 时,聚氯乙烯的碳分子结构被“炭化”而燃烧^[6]。

2.2 聚氯乙烯导线绝缘层热破坏机理

2.2.1 绝缘层过负荷痕迹形成机理

当导线有电流通过时,由于导线本身具有电阻而发热。发热量的多少与通过的电流大小有关,当通过的电流超过了导线的安全电流,导线就会过负荷^[7]。导线过负荷时,由于大电流通过整条回路将使全线过热,从而使导线绝缘层炭化破坏形成绝缘层过负荷痕迹。

2.2.2 绝缘层的火烧痕迹形成机理

导线绝缘层在火灾现场中的外部热源的作用下,聚氯乙烯等高分子聚合物发生热分解,从而形成了导线绝缘层火烧痕迹。

2.2.3 绝缘层的短路痕迹形成机理

电气线路中的不同相或不同电位的两根以上的

作者简介: 杨秉轩,男,学士,萍乡市莲花县公安消防大队技术十三级助理工程师,主要从事建筑工程消防设计审核及火灾调查工作。

导线不经负载直接接触称为短路^[8]。因绝缘受高温、潮湿或腐蚀等作用的影响而失去绝缘能力或使绝缘能力下降,均可能导致线路短路。发生短路时瞬间局部温度可达 2000℃ 以上,短路处导线绝缘层在这个温度作用下迅速被炭化而形成短路痕迹。

3 实验部分

3.1 主要仪器设备及实验材料

实验采用的恒温加热设备为 SRJX-4-9 型箱式电阻炉,模拟火灾环境温度。额定功率 4kW,额定电压 220V,最高温度 1100℃,采用 DRZ-4 电阻炉温度控制器对其控温。EDS2100X 射线能谱仪对样品表面进行成分分析。火灾痕迹物证综合实验台模拟制作短路、过负荷条件下的导线绝缘层炭化样品。实验材料采用符合 GB5023-97 的天津市津北电线电缆总厂生产的北达牌 4mm² 铜芯聚氯乙烯绝缘软导线 (BVR)。

3.2 实验样品制备

3.2.1 绝缘层过负荷实验样品制备

将 1m 长的实验导线 (额定电流 42A) 接入火灾痕迹物证综合实验台电焊机输出端,用 DM6266 钳型电流表对通过导线的电流进行测量,调节实验台调压器使电流值分别为实验导线额定电流的 2 倍、2.5 倍、3 倍、3.5 倍,通电 5min,制得 4 个不同过负荷状态下形成的导线绝缘层样品,自然冷却后备用。

3.2.2 绝缘层火烧实验样品制备

取 50cm 长的实验导线数根,弯折后放入 SRJX-4-9 型箱式电阻炉分别加热 250℃、300℃、350℃、400℃、450℃、500℃、550℃、600℃、650℃、700℃,加热时间均为 10min,取出后自然冷却,制得导线绝缘层模拟火烧状态下碳化物样品,备用。

3.2.3 绝缘层短路实验样品制备

将两根长 10cm 的实验导线两头分别去掉 1cm

绝缘层,然后将一根固定在火灾痕迹物证综合实验台电焊机输出端的打铁一端,另一根夹在电焊机焊把上。接通模拟短路大电流 ($I = 140A$) 将两导线两头反复碰接产生电弧致使附近绝缘层炭化,获得足量的导线绝缘层短路碳化物样品,备用。

3.3 实验方法

由于导线发生短路时瞬间高温使铜导线产生铜蒸气及高温细小熔珠附着在聚氯乙烯绝缘层表面上使得其成分与过负荷、火烧样品在成分上有一定的差异,基于此特征可以 X 射线能谱仪来分析碳化物表面的成分,从而判别是否发生过短路。

4 三种碳化物痕迹的成分分析

具体分析请参见图 1~图 3,表 1~表 3。

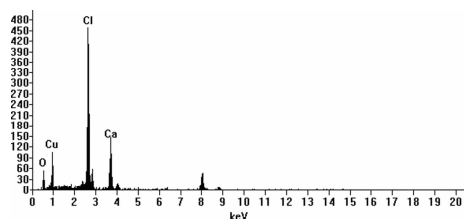


图 1 过负荷绝缘层碳化物内表面谱图

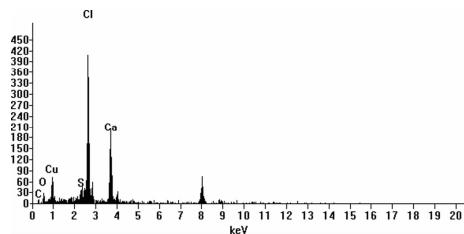


图 2 火烧绝缘层碳化物内表面谱图

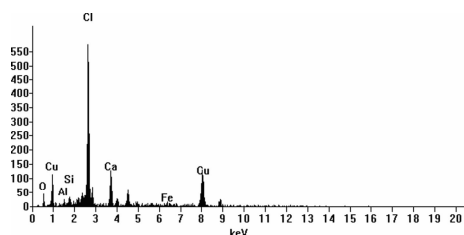


图 3 短路绝缘层碳化物内表面谱图

表 1 过负荷绝缘层碳化物内表面分析结果

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
O—— (Ka)	0.09454	0.1925	27.4232	50.3899
Cl—— (Ka)	0.47406	0.8071	32.6743	27.0946
Ca—— (Ka)	0.21161	0.7861	14.9710	10.9812
Cu—— (La1)	0.21979	0.4899	24.9315	11.5342

表 2 火烧绝缘层碳化物内表面分析结果

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
C—— (Ka)	0.26651	2.7614	7.3579	17.7464
O—— (Ka)	0.03600	0.1582	17.3666	31.4453
S—— (Ka)	0.01827	0.7991	1.7348	1.5673
Cl—— (Ka)	0.30717	0.8016	29.0823	23.7640
Ca—— (Ka)	0.20459	0.7956	19.5157	14.1059
Cu—— (La1)	0.16747	0.5105	24.9428	11.3711

表 3 短路绝缘层碳化物内表面分析结果

元素	k 比	ZAF 修正值	重量百分比%	原子百分比%
O—— (Ka)	0.03333	0.2492	10.3297	24.8720
Al—— (Ka)	0.00686	0.4958	1.0691	1.5264
Si—— (Ka)	0.01415	0.6401	1.7080	2.3427
Cl—— (Ka)	0.36072	0.8793	31.6854	34.4297
Ca—— (Ka)	0.10721	0.9029	9.1725	8.8163
Fe—— (Ka)	0.01401	0.8615	1.2559	0.8663
Cu—— (Ka)	0.46371	0.7999	44.7794	27.1467

由以上三碳化物内层谱图及分析结果可以看出三者碳化物所含元素种类大致相同,但在铜元素含量上有一定的差别,短路碳化物铜原子百分比为 27.1467%,明显高于过负荷、火烧碳化物 11.5342%、11.3711%的铜原子百分比。

5 结果影响因素分析

在实验中,采取了温度达到所需的温度后,再将样品放入箱式电阻炉的做法。这样做有两个影响:一是在样品放入箱式电阻炉的同时,外面的冷空气也进入里面,由于样品和冷空气的作用,势必使炉内的温度产生波动,这也是实验中存在温度偏差的一个原因;另一方面样品在这种情况下是恒定热流作用加热,而在实际的火场上,既有恒定热流,也有非恒定热流。

6 结论

通过本实验研究,获得了以下结论:

火烧、过负荷碳化物内表面成分上有一定的差异。短路碳化物铜元素含量比过负荷、火烧碳化物铜元素含量明显高。

以上实验结论对于实验室鉴别导线绝缘层过负

荷、短路、火烧炭化痕迹有很好的应用价值。但在具体运用时,应注意考虑痕迹试样获取的具体情况对分析结果的影响。

参考文献:

- [1] 中国标准出版社第三编辑室编. 消防标准汇编 [M]. 北京:中国标准出版社, 2002: 166 ~ 179
- [2] Dr Chris Lennard. Fire Cause & Fire Debris Analysis A Review: 1998 to 2001 [C]. 13th INTERPOL Forensic Science Symposium, Lyon, France, 2001 (10)
- [3] Eui - Pyeong Lee, Hideo Ohtani, Yoshiyuki Matsubara, et al. Study on discrimination between primary and secondary molten marks using carbonized residue [J]. Fire Safety Journal, 2002 (37): 353 ~ 368
- [4] 李风, 覃文清, 丁敏, 程道彬. 阻燃电线电缆及其性能实验方法探讨 [J]. 消防科学与技术, 2003 (5)
- [5] 桂祖桐. 聚氯乙烯材料在电线电缆中的地位 [J]. 电线电缆, 2006 (3)
- [6] 杨在塘. 电气防火工程 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1997.
- [7] 金河龙. 火灾痕迹物证与原因认定 [M]. 吉林科学技术出版社, 2005: 299 ~ 300
- [8] 任松发, 火灾调查 [M]. 警官教育出版社, 1998: 165 ~ 168