

岛津电子探针 EPMA 用于电气火灾残留物的分析

EPMA-037

摘要：电气设备发生火灾时，在短路电流、电弧高温等作用下，接触处熔化冷却后形成不同特征的熔化痕迹。通过岛津电子探针 EPMA 对熔化冷却后形成的熔珠进行微观形貌的观察及成分的解析，可确定起火的原因是由于短路、过负荷还是其他原因引起的，为火灾调查提供科学的依据。本文结合实际案例说明类似微量物证分析的思路，展示了岛津电子探针 EPMA 在涉及到轻元素和超轻元素，以及含量较低的微量元素的测试能力，说明了对那些不能用一般的形态观察检验的微小、微量物证中，运用电子探针进行无损的定性和定量分析的实用性。

关键词：微量物证 电气火灾 短路熔痕 电子探针

随着电器设备的广泛使用，随之而来由于电气设备、电气线路故障以及安装、维护和使用不当所引发的火灾事故也越来越多。在火灾调查中，采用微量物证作为火灾原因的认定依据，火灾微量物证的发现、提取与鉴定，可直接关系到火灾调查工作的顺利进行。使用岛津电子探针 EPMA 可以在不破坏检材的情况下，对这些微小的熔痕进行微观形貌的观察及成分的解析，判断其熔化的性质和电气火灾事故形成的原因。岛津

合作实验室“云南云通司法鉴定中心”应用岛津电子探针 EPMA-1720 解决了大量的火灾事故鉴定案例，并联合了相关技术单位共同完成云南省地方标准 DB53/T 443-2012《火灾技术鉴定方法 电子探针分析法》的方法开发和技术标准体系的创建，以兼具灵敏度和分辨率为特点的岛津电子探针 EPMA 为手段，可为快速有效地进行火灾分析提供科学支撑。

■ 实验部分

1.1 仪器

岛津 EPMA-1720 电子探针显微分析仪

1.2 分析条件

加速电压：15 kV

束流：定性分析 50 nA、定量测试 20 nA

测试时间：定性分析 6 min、定量测试 10 s

1.3 样品处理

谨慎地提取现场有代表性的微量物证，在提取、包装和运输过程中应保持原有形态，避免破损、污染和受腐蚀。对于现场污染严重的采样，可视污染介质选择恰当的除污方法，但不得损伤检材试样。放置于双面导电胶带上测试，视需要，进行表面喷碳处理。



■ 电气火灾残留物的特点及电子探针分析的应用

铜、铝等导线的原始组织为拉伸变形、具有方向性的纤维状组织。导线本身故障形成的熔痕称为一次短路熔痕（或熔珠），由于是导线短路高温熔化，周围环境温度较低，冷却速度快，凝固时间短，所以组织特点是细小柱状或胞状，所含气孔小而少。导线带电状态下，由于火烧导致短路时，周围环境温度高，凝固时间长，内部可观察到大晶界，含有的气孔大面多，这种称为二次短路熔痕。导线不带电的情况下，火场温度高于导线熔点，形成的熔痕中组织为粗大等轴晶，几乎不含气孔，这种称为火烧熔痕。这些熔痕在成分上也会有差异。

用一束细聚焦并加速到指定能量的电子束，照射到火灾残留物的表面，电子束与检材交互作用，激发一系列信号，使用不同的检测器检测这些信号，可以对火灾残留物检材进行显微形貌的观察及其成分的定性和定量分析，参考对比相应的标准，从而判别铜、铝及其合金导线的短路类型。

岛津电子探针 EPMA 搭配兼具灵敏度和分辨率的、统一尺寸的 4 英寸罗兰圆半径的全聚焦分光晶体、以及 52.5° 的高位特征 X 射线检出角，对于凹凸不平的火灾残留物、涉及重基体中轻元素和超轻元素的测试都具有明显的意义。

■ 结果与讨论

案情介绍：2019 年 X 月 20 日下午 14 时 50 分，云南省 XX 市 XX 山场发生火情，经初步侦查，怀疑系某内部 10 千伏电线短路引发森林火灾，过火面积约 100 亩。

根据火场特点，现场完成检材试样采集。使用岛津电子探针 EPMA 进行观察和测试，检材中颗粒微观形貌见图 2~6；成分测试结果见表 1 和表 2。



图 1 火场火灾残留物检材取样 JC01 号~JC05 号

根据岛津电子探针测试结果，鉴定结论如下：在电杆下方地面上杆顶套灼烧痕迹部位提取的物质（JC01号检材试样）、电杆脚地表面向西南方向约2平方米范围内提取的物质（JC02号试样）及电杆脚地表面向南约2平方米范围内提取的物质（JC05号试样）中均检测到主要成分为铁（Fe）的颗粒物质。上述颗粒物质的电子显微形态均具有电热作用形成的熔痕（痕迹）特征。

在电杆下方地面上瓷瓶灼烧痕迹部位提取的物质及绑扎铝线（JC03号试样）和电缆线绝缘层疑似击穿部位提取的物质（JC04号试样）中检测到的金属颗粒物均为铝导线一次短路时残留的熔化痕迹（熔珠）。

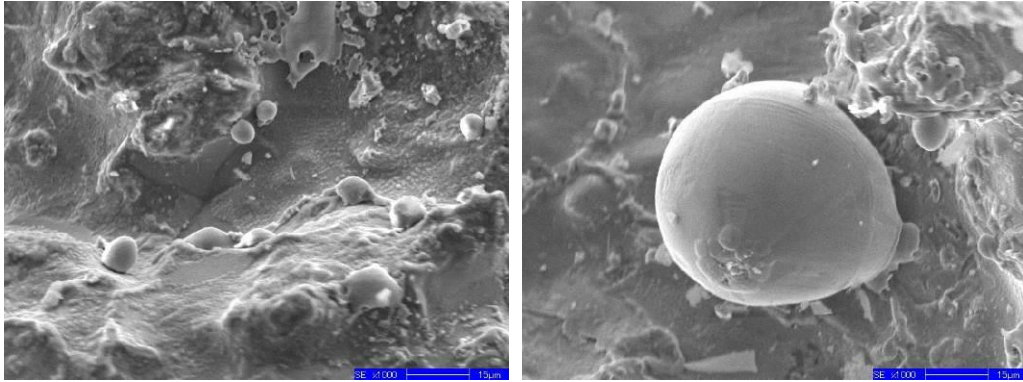


图2 检材 JC01 颗粒物形貌特征

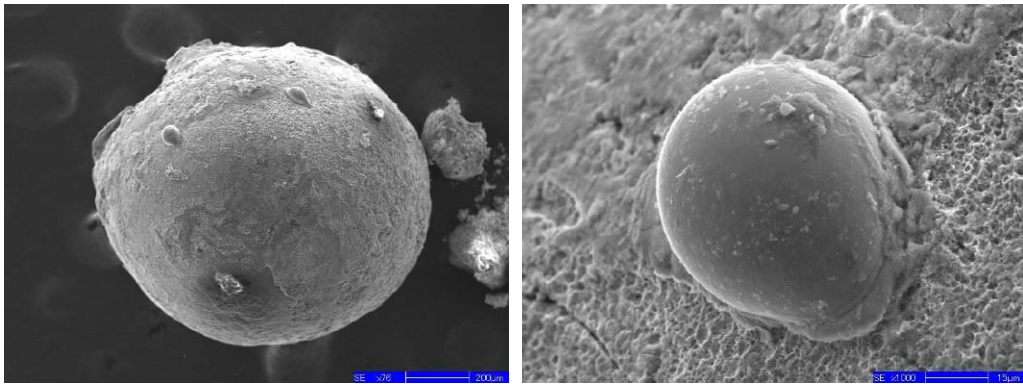


图3 检材 JC02 颗粒物形貌特征

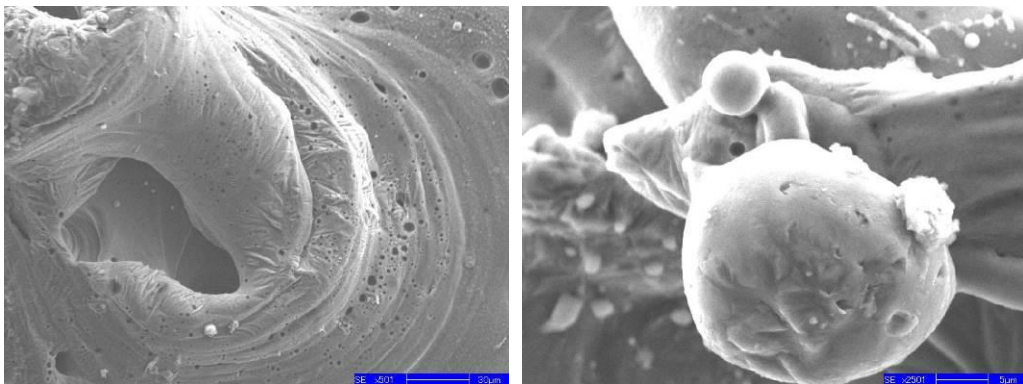


图4 检材 JC03 颗粒物形貌特征

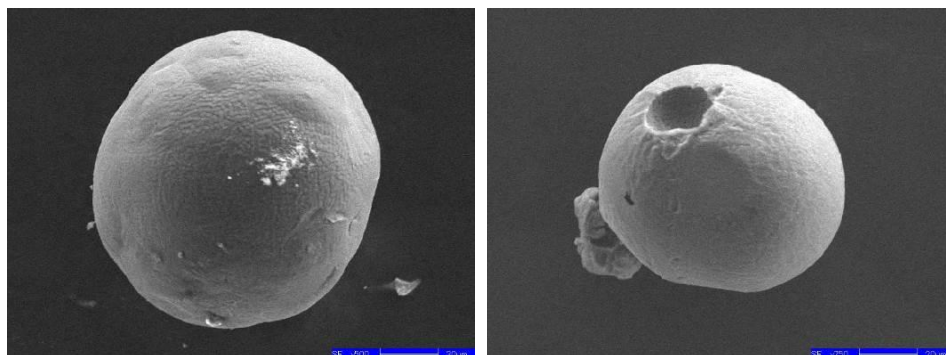


图5 检材 JC04 颗粒物形貌特征

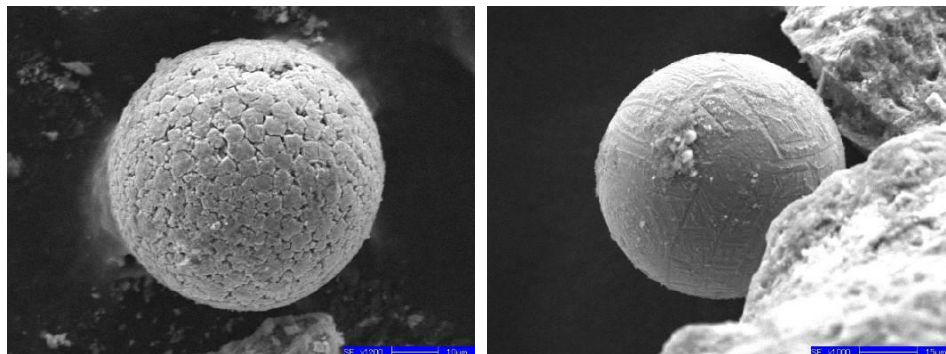


图6 检材 JC05 颗粒物形貌特征

表1 检材试样 JC01~JC05 中颗粒物化学成分测试结果

样号	C	O	Mg	Al	Si	Mn	Fe
JC01	1.11	20.06			0.39	0.79	77.66
JC02	1.19	20.59			0.4	0.75	77.06
JC03	0.85	1.62	0.04	97.35	0.4		
JC04	0.78	1.6	0.01	97.47	0.3		
JC05	1.49	20.06			0.42	0.84	77.2

表2 检材试样 JC03 和 JC04 中熔痕孔洞内表层化学成分测试结果

样号	C	N	O	P	S	Cl
JC03	8.1	3.82	5.73	0.53	1.14	0.93
JC04	8.26	3.83	5.75	0.65	1.44	0.95

■ 结论

使用岛津电子探针 EPMA 对火灾残留物熔痕的表面微观形貌和内部组织结构进行观察和成分分析，再根据分析结果参照相关技术标准，可为火灾事故认定提供可靠的科学技术依据。同时选择 52.5°高角度 X 射线检出角有利于提高仪器空间分辨率和凹凸样品元素分析观察的可靠性，有利于在重元素基质中分析轻元素或超轻元素，有利于高灵敏度、高精度的定性和定量分析。

< 致谢 >

感谢云南云通司法鉴定中心段萍老师提供案例素材。

岛津应用云

