

# 电气火灾原因技术鉴定方法

## 第4部分:金相法

Technical determination method for electrical fire cause  
Part 4: Metallographic method

GB 16840.4—1997

## 前 言

《电气火灾原因技术鉴定方法》系列标准分为4部分：第1部分宏观法；第2部分剩磁法；第3部分成分分析法；第4部分金相法。本标准是《电气火灾原因技术鉴定方法》系列标准的第4部分：金相法。

本标准金相法是在火灾现场中，依据铜、铝导线在不同的环境气氛中其金相显微组织的不同变化，来鉴别火灾原因的一种方法。

本标准查阅并参照了美国《建筑物火灾中铜导体的金相检验分析》和《建筑物火灾中导线的熔毁特征》等论文。

本标准由全国消防标准化技术委员会提出。

本标准由全国消防标准化技术委员会第六分委员会归口。

本标准起草单位：公安部沈阳消防科学研究所。

本标准主要起草人：王希庆、韩宝玉、邸曼、高伟。

# 中华人民共和国国家标准

## 电气火灾原因技术鉴定方法 第4部分：金相法

GB 16840.4—1997

### Technical determination method for electrical fire cause Part 4: Metallographic method

#### 1 范围

本标准规定了定义、原理、设备器材、方法步骤、判定和送检及鉴定时应履行的书面程序。本标准适用于在调查电气火灾原因时，从铜、铝导线上的火烧熔珠和短路熔珠的不同金相组织的变化特征，鉴别其熔化原因与火灾起因的关系。即：是火烧熔珠还是短路熔珠？是一次短路熔珠还是二次短路熔珠。

#### 2 定义

本标准采用下列定义：

##### 2.1 熔痕 melted mark

铜铝导线在外界火焰或短路电弧高温作用下形成的圆状、凹坑状、瘤状、尖状及其他不规则的微熔及全熔痕迹。

##### 2.2 熔珠 melted bead

铜铝导线在外界火焰或短路电弧高温作用下，在导线的端部、中部或落地后形成的圆珠状熔化痕迹。

##### 2.3 一次短路熔痕 primary short circuited melted mark

铜铝导线因自身故障于火灾发生之前形成的短路熔化痕迹。

##### 2.4 二次短路熔痕 secondary short circuited melted mark

铜铝导线带电，在外界火焰或高温作用下，导致绝缘层失效发生短路后残留的痕迹。

##### 2.5 晶粒 crystal particle

构成多晶体的各个单晶体叫做晶粒。是由很多晶胞所组成的，往往呈颗粒状，无规则的外形。

##### 2.6 晶界 crystal boundary

两个位向不同的晶粒相接触的区域，即晶粒与晶粒之间的界面。

##### 2.7 共晶体 cocrystallization

由共晶成分的液体合金凝固时生成两种不同成分的固熔体，这种共晶反应所得到的两相

国家技术监督局 1997-06-03 批准

1998-05-01 实施

混合组织叫共晶体。

## 2.8 再结晶 recrystal

冷变形金属加热时产生的以新的等轴晶粒代替原来变形晶粒的过程叫再结晶。

## 2.9 等轴晶 isometric crystal

在通常的凝固条件下，金属或合金的固溶体结晶成颗粒状，内部有各向等长相近的枝晶组织形成。枝晶的各个分枝，在各个方向均匀生长的大小不同的晶粒叫等轴晶。

## 2.10 树枝晶 branch crystal

先后长成的晶轴，彼此交错似树枝状，称为树枝状晶体。

## 2.11 铸态组织 casting-state structure

将液态金属注入铸模中，使之凝固，凝固后所得到的组织称铸态组织。

## 2.12 胞状晶 afterbirth-like crystal

固溶体在结晶时，晶体在界面上的以凸起条状自由生长在过冷区时，所形成的不规则形状、条状、规则的六角形。

## 2.13 柱状晶 cylindrical crystal

在通常的凝固条件下，金属或合金的固溶体在结晶时，由晶内生长成的枝晶，沿着分枝（主干）在某一特殊界面延伸生长，最后形成的晶粒呈长条形状。

## 2.14 偏光 polarized light

显微镜中的光源，采用正交偏振光照明。

## 2.15 熔化过渡区 fusion transition

由熔痕向导线延伸的一定距离内存在的融化现象，是火烧熔痕与二次短路熔痕所具有的特征。

# 3 原理

铜铝导线无论是火灾作用熔化还是短路电弧高温熔化，除全部烧失外，一般均能查找到残留熔痕（尤其是铜导线），其熔痕外观仍具有能代表当时环境气氛的特征。

一次短路熔痕和二次短路熔痕同属于瞬间电弧高温熔化，具有冷却速度快，熔化范围小的特点，但不同的是前者短路发生在正常环境气氛中，后者短路发生在烟火与温度的气氛中，而被通常火灾热作用熔化的痕迹，其时间、温度又均与短路不同，它具有温度持续时间长，火烧范围大，熔化温度低于短路电弧温度。虽然都属于熔化，但由于不同的环境气氛参与了熔痕形成的全过程，所以保留了熔痕形成时的各自特征，其呈现的金相组织亦有各不相同的特点。

# 4 设备与器材

## 4.1 金相显微镜

放大倍数 50~2000 倍，带摄像装置（手动、自动、彩照、偏光等）。具体部件、设备及操作等应按仪器说明书上的规定进行；观察试样时，根据所需的放大倍数去选择。

## 4.2 体视显微镜

放大倍数 10~160 倍，工作距离 97~30mm，视场范围最大  $\phi 20\text{mm}$ ，带有型照像机，曝光表。

### 4.3 附属设备

金相试样预磨机、抛光机、金相镶嵌机、暗室放大机、曝光定时器、曝光箱、显影定影灯具、玻璃皿、镊子、模具、电吹风等。

## 5 方法步骤

金相试样的制备包括选取—镶嵌—磨制—抛光—浸蚀等几个步骤，忽视任何一道工序都会影响组织分析和检验结果的正确程度，甚至造成误判。

### 5.1 试样制备

制备好的试样应具备：组织有代表性，无假象，组织真实，无磨痕，麻点或水迹等。

### 5.2 试样选取

提取试样时，必须选择有代表性的部位，应根据火灾现场的实际，确保提取有熔痕、蚀坑等可供鉴定的部位和痕迹。

### 5.3 取样部位

可在导线有熔化痕迹和有蚀坑痕迹处取样及在其附近的正常部位取样进行横、纵截面检验比较；横向截面是观察熔痕的显微组织晶粒度情况，纵向截面是观察熔痕与导线间过渡区的显微组织变化情况。

### 5.4 试样尺寸

试样尺寸：直径为 12mm，高为 10mm 的圆柱体或为 12×12×10mm 的方柱体的不同金属材质。对火灾现场中提取的遗留物其形状特殊或尺寸细小不易握持的试样，可进行镶嵌。

### 5.5 试样提取

对于细小的试样可用钳子切取；较大试样可用手锯或切割机等切取，必要时也可用气割法截取。但烧割边缘必须与试样保持相当距离，不论用哪种方法取样，均应注意试样的温度条件，必要时用水冷却，以避免试样因过热而改变其组织。

### 5.6 清除污垢

若提取的试样表面沾有油渍，可用苯等有机溶剂溶去，生锈的试样可用过硫酸铵  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$  或磷酸洗净。至于其他简便取油除锈的方法亦可应用。

### 5.7 镶嵌

若试样过小或形状特殊时，可采用下列方法之一镶嵌试样。

#### 5.7.1 塑料或电木粉镶嵌法

可用电木粉、透明电木粉或透明塑料粉在镶嵌机上镶嵌。用电木粉时，加压  $(170\sim 250)\times 9.8\times 10^4\text{Pa}$ ，同时加热至  $130\sim 150^\circ\text{C}$  保持约  $5\sim 7\text{min}$ ，冷却后即成镶嵌好的试样。用透明电木粉时，加压  $(170\sim 250)\times 9.8\times 10^4\text{Pa}$ ，同时加热至  $149\sim 170^\circ\text{C}$ ，保温  $5\sim 7\text{min}$ ，随后慢冷至  $75^\circ\text{C}$  左右，然后水冷却即成透明镶嵌物。用塑料镶嵌时，其温度、压力及保温时间，视采用塑粉的性质而定，保温以不改变试样的原始组织为宜。

#### 5.7.2 快速镶嵌法

用快速自凝牙托水（甲基丙烯酸甲脂）和自凝牙托粉镶嵌法：首先将直径为 12mm 的圆柱体紫铜管（或其他材质管材亦可），置于玻璃板上，然后将试样放在模具底部，再将快速自凝牙托水和自凝牙托粉按一定的比例混合调匀，成糊状时，注入模具内；在冬季室温较低时，可用电吹风加热促使快速凝固，夏季室温较高时，可以自然凝固；待凝固后，将模具除掉，即

成镶嵌好的试样。

### 5.7.3 其他方法

除以上两种方法外，亦可将试样镶铸于低熔点的物质中。如硫磺、火漆、焊接合金（50%锡，50%铅）或武氏合金（50%铋，25%铅，12.5%锡，12.5%铬）等，有机塑料以及其他有效而不影响组织改变的镶嵌方法也可以应用。

### 5.8 试样的研磨

试样在砂纸上磨制时，用力不宜过大，每次磨制的时间也不可太长，以免变形，用预磨机细磨时，必须边磨边用水冷却，以免磨面过热引起变形。

#### 5.8.1 研磨程序

准备好的试样，先在预磨机上依次由粗到细的各号砂纸上磨制。从粗砂纸到细砂纸，每换一次砂纸时，试样均须转90°角与旧磨痕成垂直方向，向一个方向磨至旧磨痕完全消失，新磨痕均匀一致时为止。同时每次用水将试样洗净吹干，手亦同时洗净，以免将粗砂粒带到细砂纸上。

#### 5.8.2 粗抛光

经粗磨后的试样，可移到装有平呢、台呢或细帆布的抛光机上进行粗抛光。磨盘的直径可为200~250mm，转速可为400~500r/min，抛光粉可用细氧化铝粉或碳化硅粉等，抛光时间约为2~5min，抛光后用水洗净并吹干。

#### 5.8.3 细抛光

经粗抛光后的试样，可移至装有天鹅绒或其他纤维细匀的丝绒抛光盘上进行精抛光。抛光盘直径可为200~250mm，转速约为400~1450r/min，抛光粉用经水选的极细氧化铝粉、氧化镁粉或人造金刚石研磨膏等。一般抛光到试样上的磨痕完全除去而表面象镜面时为止。抛光后除用水冲净外，建议浸以酒精，再用电吹风吹干，使试样的表面不致有水迹或污物残留。

#### 5.8.4 抛光注意

——试样在抛光盘上精抛时，用力要轻，须从盘的边缘至中心抛光，并不时滴加少许磨粉悬浮液（用氧化镁粉时应用蒸馏水悬浮液）或不时滴加少量煤油。绒布的湿度以将试样从盘上取下观察时，表面水膜能在两三秒钟内完全蒸发消失为宜。在抛光的完成阶段可将试样与抛光盘的转动方向成相反方向抛光。

——试样在抛光时，若发现有较粗的磨痕不易去掉或经抛光后的试样在显微镜下观察发现有凹坑等情形而影响检验结果时，试样应重新磨制。

### 5.9 试样的浸蚀

精抛后经显微镜检查合适的试样，便可浸入盛于玻璃皿之浸蚀剂中进行浸蚀或揩擦一定时间。浸蚀时，试样可不时地轻微移动，但抛光面不得与皿的底面接触。

#### 5.9.1 浸蚀时间

浸蚀时间视金属的性质、浸蚀液的浓度、检验的目的及显微检验的放大倍数而定。通常高倍观察时，应比低倍观察浸蚀略浅一些。一般由数秒至30min不等，以能在显微镜下清晰显出金属组织为宜。

#### 5.9.2 浸蚀

——浸蚀完毕后即刻取出，并迅速用水洗净，表面再用酒精洗净，然后吹干。

——若浸蚀程度不足时，视具体情形可继续进行浸蚀，或在抛光盘上重抛后再行浸蚀。若

浸蚀过度时，则须在磨盘或砂纸上重新磨好后再行浸蚀。

——经过浸蚀后试样表面有金属扰乱现象，原组织不能显出时，可在抛光盘上轻抛后再行浸蚀。一般如此重复数次，扰乱现象即可除去。扰乱现象过于严重，用此法不能全部消除时，则试样须重新磨制。

### 5.10 浸蚀剂

铜导线和铝导线及钢铁金属常用的化学浸蚀剂建议采用下列几种：

金相浸蚀的配比见表 1。

### 5.11 显微组织检验

金相检验可用各种类型金相显微镜。显微镜应安装于干燥无尘室中，并安置于稳定的桌面或基座上，最好附有减振装置。

#### 5.11.1 试样试验

试样检验包括浸蚀前的检验及浸蚀后的检验。浸蚀前主要检验试样的光洁度和磨痕，浸蚀后主要检验试样的显微组织。

#### 5.11.2 试样观察

在显微镜下观察试样时，一般先用 50~100 倍，当观察细微组织情形时，再换用高倍率。

#### 5.11.3 观察试样注意

——取用镜头时，应避免手指接触透镜的表面。

——取用镜头时应特别小心，用毕即放入盒内原处。

——物镜与试样表面接近时，应以细调节器调节。调节时应注意物镜头部不与试样接触。

——镜头表面有污垢时，应先用细软毛笔或无脂的羽毛拂试，然后用擦镜纸或软鹿皮擦净，必要时可用二甲苯洗擦。

——镜头应贮存于干燥洁净的处所，显微镜不使用时需用防尘罩盖起。

### 5.12 显微照相

准备作显微照相的试样，应精细磨制，保持清洁。试样的浸蚀程度视照相放大倍数而定。

#### 5.12.1 放大倍数

照相放大倍数一般为 50~1500 倍。镜头的选择，视所需要放大倍数而定（依照显微镜说明书适当选配）。在低倍放大率（100 倍）情况下，显微镜上使用三棱反射光线以增加亮度及衬度；高倍率时，用平玻璃反射镜以增加分辨率。

#### 5.12.2 光源

照相使用的光源需调整适宜。所发出的光线需稳定和有足够的强度。照相时应调节光源与聚光的位置，使光束恰好能射入垂直照射器进口的中心，使所得到的影像亮度强弱均匀一致。

#### 5.12.3 滤光镜

滤光镜应依照物镜的种类而定。若为消色差镜头时，用黄绿色滤光片；若为全消色差镜头时，则用黄、绿、蓝色滤光片均可。

#### 5.12.4 试样放置

试样应平稳地放在显微镜载物台上，使其平面与显微镜光轴垂直。试样放置后，移动载

表 1

品名	浸蚀剂配比	浸蚀时间
铜导线	FeCl <sub>3</sub> 5g HCl 50mL H <sub>2</sub> O 或（酒精） 100mL	6~8s
铝导线	NaOH 1~2g H <sub>2</sub> O 100mL	数秒
钢铁类	HNO <sub>3</sub> 2~4mL 酒精 98~96mL	数秒

物台，选择样品上合适的组织部位。并调整显微镜焦距，使影像清晰。

### 5.12.5 光圈调节

显微镜的孔径光阑（即光圈）须调节至适当大小，使显微镜所见到的像最清晰；显微镜的视场光阑（即光圈）须调节至适当大小，使影像的光亮范围能在底片大小范围内，而得到最佳的影像反衬。

### 5.12.6 曝光时间

底片的曝光时间依试样情况（金属种类及浸蚀与否）、底片性质和光亮强弱等因素而定。必要时可用分段曝光法先行试验，自动曝光则可不考虑。

## 5.13 显影和定影

### 5.13.1 显影

依照底片的种类选择适当的显影液。显影的温度及时间，应按照底片说明书的规定进行，一般的显影温度为 20℃ 左右。

### 5.13.2 定影

定影的温度应在 23℃ 以下。底片在定影液内停留的时间一般为 20~30min。定影后的底片用流动清水冲洗不少于 30min，然后在无尘的室内晾干。若室温超过 23℃，为免除底片软化起见，可于显影后定影前经过加硬手续。普通在 2% 铬明矾： $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  与 2% 酸性亚硫酸钠： $\text{NaHSO}_3$  之水溶液中停留 3~5min。底片在显影及定影时，有乳胶的面必须向上。底片须完全浸入溶液内，并时常晃动。

## 5.14 晒相

晒相时应依照底片的情况，灯光的强弱选择适当号数的相纸及曝光时间。曝光时间应注意不要太短和太长，应使底片上较暗部分的细致影像线条清晰地显出为度。

### 5.14.1 晒相后显影和定影

按照相纸的种类而选择的显影液。显影时间一般为 1~3min 左右。显影后相纸可在含有 1.5% 醋酸水溶液中微浸之，以中和碱性显影液制止显影的作用，然后将相纸浸入定影液中进行定影；相纸在显影液及定影液内时，乳胶面均须向上，并使其完全浸入溶液内。相纸在新鲜定影液中停留的时间为 15min 左右，若为旧定影液则可酌量延长时间。定影后的相片应在流动清水中漂洗 12 次，每次约 5min，然后烘干。

## 6 判定

### 6.1 导线熔痕鉴别

#### 6.1.1 火烧熔痕

火烧熔痕的金相组织呈现粗大的等轴晶，无空洞，个别熔珠磨面有极少缩孔（多股导线熔痕除外）。

#### 6.1.2 一次短路熔痕与二次短路熔痕区别

——一次短路熔痕的金相组织呈细小的胞状晶或柱状晶；二次短路熔痕的金相组织被很多气孔分割，出现较多粗大的柱状晶或粗大晶界。

——一次短路熔珠金相磨面内部气孔小而较少，并较整齐；二次短路熔珠金相磨面内部气孔多而大，且不规整。

——一次短路熔珠与导线衔接处的过渡区界限明显；二次短路熔珠与导线衔接处的过渡

区界限不太明显。

——一次短路熔珠晶界较细，空洞周围的铜和氧化亚铜共晶体较少、不太明显；二次短路熔珠晶界较粗大，空洞周围的铜和氧化亚铜共晶体较多，而且较明显。

——在偏光下观察时，一次短路熔珠空洞周围及洞壁的颜色不明显；二次短路熔珠空洞周围及洞壁呈鲜红色、桔红色。

——在较复杂的情况下判定一次短路熔痕和二次短路熔痕时，须结合宏观法、成分分析法和火灾现场实际情况等综合分析判定。

## **7 送检及鉴定时应履行的书面程序**

**7.1** 送检单位在送检时，应先填写电气火灾原因技术鉴定申请单，其内容包括申请鉴定单位名称、地址、联系人；失火单位名称、样品名称、数量，取样地点、取样人、鉴定目的。

**7.2** 鉴定单位在接受鉴定任务后应填写收样单、任务单、接待记录、原始记录。

**7.3** 鉴定结束后，将鉴定结论填写在鉴定报告审批表中，经试验室负责人签字，质量审查无误后报领导审批。

**7.4** 将审批后的鉴定报告原件交送检单位，复印件留档存查。