

中华人民共和国推荐性国家标准

《火灾技术鉴定方法 第7部分：X射线影像分析法》

（报批稿）

编 制 说 明

标准编制组

2025年9月

一、工作简况

（一）任务来源

根据《国家标准化管理委员会关于下达2024年第一批推荐性国家标准制计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2024〕16号）的要求，推荐性国家标准《火灾技术鉴定方法 第7部分：X射线影像分析法》制定项目由国家消防救援局归口，计划编号为20240332-T-450。国家消防救援局委托全国消防标准化技术委员会火灾调查分技术委员会（TC113/SC11）承担起草和技术审查任务。

（二）制定背景

准确查明火灾原因对处理火灾相关纠纷有着决定性作用，对于加强和改进火灾防控工作也有着非常重要的促进作用。在实际调查过程中，一些关键物证常被完全包覆在燃烧残留物中，这类物证的分析与鉴定决定着火灾原因调查的方向和结论的准确性。通过大量科研与实际火灾验证，表明采用X射线影像分析方法可在无损前提下精准观察、分析包裹在燃烧残留物内部的痕迹，通过内部结构特征能够对开关状态、熔痕类别等关键物证进行鉴定。近年来，国家消防救援局广泛开展了火灾调查比武与培训工作，受此推动，全国各地、各级消防部门以及火灾调查技术中心均逐渐采用这种方法检查火灾现场的残留物。目前，该方法在操作检验、特征分析、结论表述等方面都存在不规范的情况，影响了鉴定结果的准确性及有效性。

本标准的制定将全面规范该方法的术语、定义、方法、步骤和结论表述等内容，填补火灾调查标准体系中X射线影像分析法的空白，有助于进一步提升火灾原因认定工作的规范性和权威性，进而提高消防安全工作的治理水平，维护社会公平正义。

二、国家标准编制原则、主要技术要求的依据及理由

（一）编制原则

本标准的编制目的是规范消防部门、公安机关鉴定机构、司法鉴定机构规范开展火灾物证的X射线影像分析工作。因此，本标准的编制原则为：在保证辐射安全、科学规范的前提下，兼顾消防部门等一线现场调查取证工作和鉴定机构实验室物证鉴定工作需要，为科学、有序、规范开展火灾物证的内部结构特征分析，高效准确查明火灾原因提供技术支持和指导。

在条文编排和编写细则上按GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》和GB/T 20001.4《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规定执行。

（二）主要技术要求的确定依据

本文件规定了火灾技术鉴定方法中X射线影像分析法的术语和定义、原理、设备、检材要求、方法步骤、结果判定与表述。等内容，涉及的技术要求主要包括以下内容：

1、X射线设备的主要技术指标

（1）空间分辨率和低密度分辨率

在实际的火灾物证分析过程中，关键痕迹特征的尺寸较小，区分不同痕迹的细微区别尺寸可达到微米级别，因此，在5.2.1条中对X射线设备的空间分辨率和低密度分辨率都提出了要求。按照YY/T 0741-2018《数字化摄影X射线机专用技术条件》的测试方法，天津消防研究所、沈阳消防研究所等国内主要实验室使用的X射线成像仪的空间分辨率 $>10\text{lp/mm}$ ，低密度分辨率 $<1.4\%$ 。结合全国消防部门的实际情况，标准起草工作组收集了天津、河北、湖南、广西等总队X射线设备的使用情况，确定成像系统的空间分辨率宜不小于 4lp/mm ，低对比分辨率宜不大于 2.3% 。

（2）辐射防护水平

根据GB/Z 117-2022《工业探伤放射防护标准》6.1.3条要求，固定式X射线探伤屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。该标准对移动式放射设备的防护要求较为复杂，7.2.1条规定应对工作场所实行分区管理，将工作场所划分为控制区和监督区。并在相应的边界设置警示标识。现场射线探伤工作应在指定控制区的区域内进行。7.2.2条规定将作业场所中周围剂量当量率大于 $15\mu\text{Sv/h}$ 的区域划为控制区，7.2.8条规定将控制区边界外、作业时周围剂量当量率大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 的范围划为监督区。

目前火灾残留物X射线成像设备的实际使用情况是，固定式和移动式设备均有使用，且基层以便携式设备为主。考虑到基层使用的现实情况，为保证设备使用人员安全，制定5.2.4条，对设备防护

水平提出较高水平，要求X射线成像系统防护装置外剂量当量率参考控制水平应不大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

2、检材的选取和准备过程

（1）检材的选取

为保证设备安全并能够正常检测，需要保证被测样品在X射线照射过程中性质、形状、内部结构、位置关系均能保持稳定不变，因此本标准中对待测样品提出了要求。

（2）检材的清理与记录

根据大量X射线影像分析的实践经验，准确分析火灾物证内部结构特征时需要掌握物证外部结构、方位、形状与内部结构的对应关系。因此，提出检材准备的要求，在进行X射线影像分析前需清理检材，记录检材外观形状、摆放方位等信息。

3、特征判定与结论表述

本标准提出了对火灾物证X射线影像的分析过程及典型特征，其中：

8.1条对X射线影像法的原始记录及结论记录提出要求。由于X射线影像法是无损检测方法，本条原始记录提出了更为严格的要求。采用本标准中的方法分析火灾残留物物证时，采用不同的设备参数、被测样品的不同方位，获取的X射线影像都会有所区别，为准确公正地使用该方法，有必要记录图像采集时样品的方位及外观，包括X射线管电压、管电流，射线管、接收器、样品之间的位置关系等

设备参数。

8.2条为X射线影像分析的基本方法、注意事项提出要求。

8.3.1条规定了线路熔痕的典型特征。根据对上千个火灾中线路熔痕X射线影像的分析，仅采用X射线影像无法判断熔痕形成时线路是否处于带电状态，无法判断其是否为短路熔痕。而在实际的工作中，采用宏观法可以较为准确地判断线路熔痕是否为短路熔痕，真正的难点是该短路熔痕是一次短路熔痕还是二次短路熔痕。根据GB/T 16840.4-2021《电气火灾痕迹物证技术鉴定方法 第4部分：金相分析法》，二次短路的孔洞特征呈现为：金相试样磨面内的孔洞尺寸较大，孔洞数量较多，孔洞形状不规整。然而，金相分析法所观察到的孔洞特征仅为某一断面的孔洞特征，而X射线影像分析法能够更为全面立体地反映熔痕内部孔洞特征。因此，我们通过公安部技术研究计划项目《火灾现场铜导体短路熔痕特征稳定性的研究》（编号2015JSYJC32）对短路熔痕的孔洞特征进行了研究，发现导线熔痕孔洞稳定不变，且一次短路熔痕与二次短路熔痕的三维孔洞特征存在明显区别，并总结出了二次短路熔痕X射线影像的主要特征，并在附录A.1中给出了典型二次短路熔痕示意图。

为验证该方法，编制组对一系列火灾现场提取的熔痕采用X射线影像法和金相分析法分别进行了对比测试，结果表明，采用本方法判断二次短路熔痕效率明显提高，而结果与传统的金相分析法结论完全吻合。例如，图1展示是一个火灾现场提取的包裹在残留物

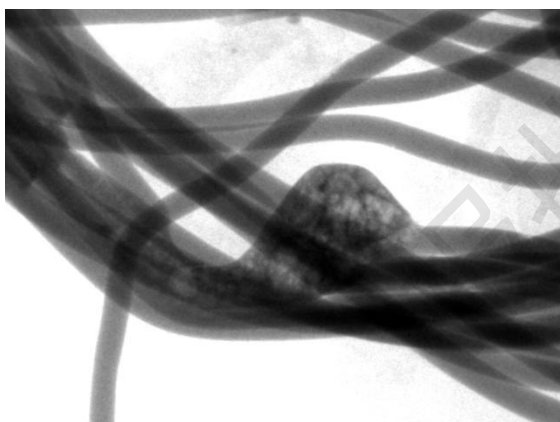
中的导线熔痕的X射线影像，编制组对其采用X射线影像法和金相分析法分别进行了特征分析，均符合二次短路熔痕特征。



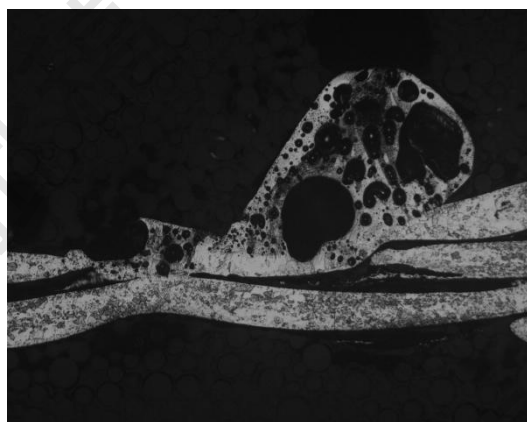
(a) 熔痕的X射线影像



(b) 熔痕外观



(c) 二次短路熔痕的X射线影像



(d) 二次短路熔痕的金相组织

图1 火灾现场熔痕分析比对实验举例

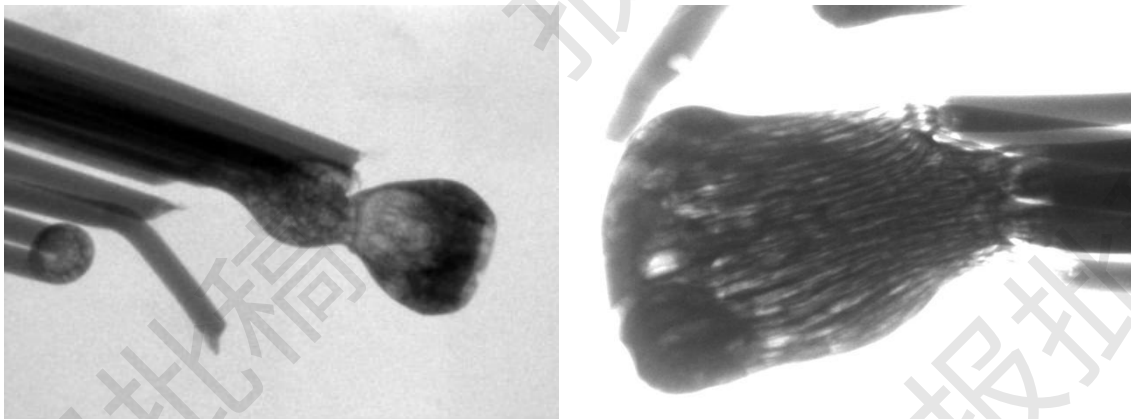
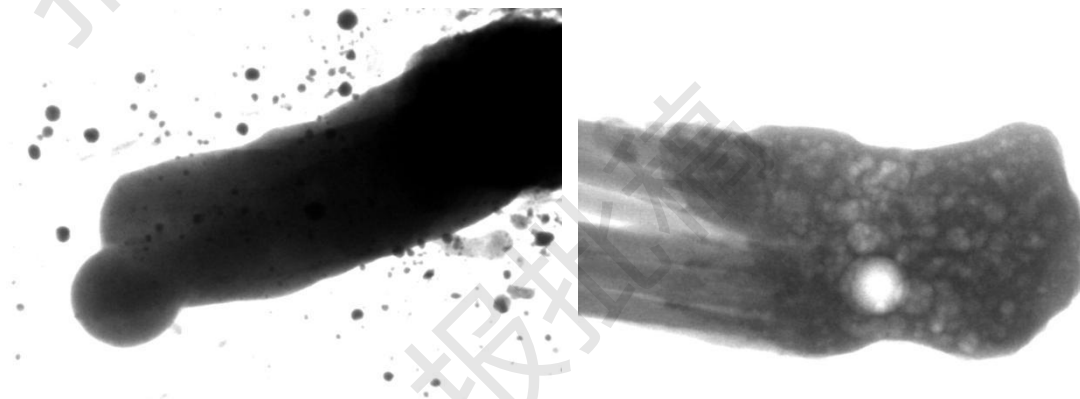


图2 二次短路熔痕X射线影像特征



(a) 无明显孔洞特征

(b) 规则的圆形孔洞，无方向性特征

图3 一次短路熔痕X射线影像

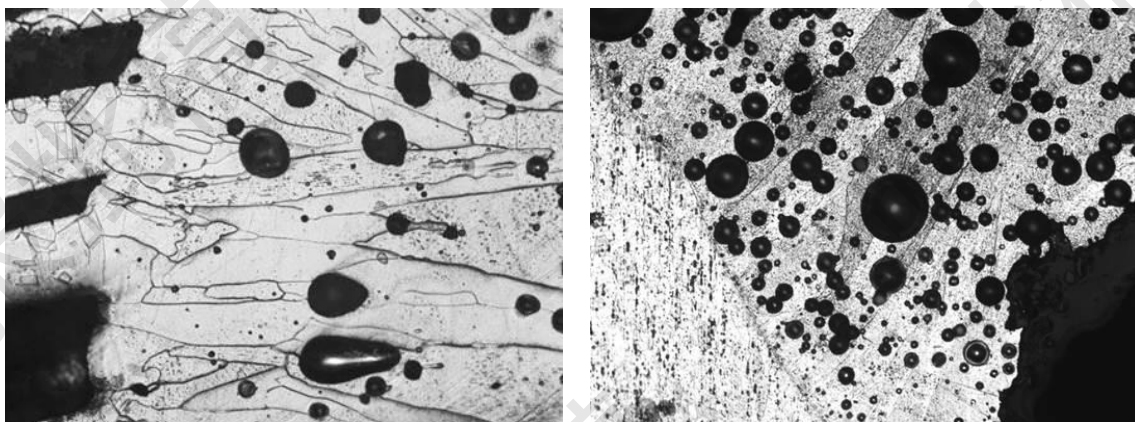


图4 二次短路熔痕的金相组织

总之，通过观察短路熔痕的X射线影像，当其内部孔洞特征符合二次短路熔痕特征（图2）时，就可以判定其为二次短路熔痕。而对于一次短路熔痕，呈现出的X射线影像特征为：内部没有明显孔洞或者存在规则的、较小的圆形孔洞，且没有明显的方向性（图3）。然而，在研究及实践中都发现，某些二次短路熔痕，其X射线影像特征与典型一次短路熔痕一致，而其金相组织则呈现明显的粗大柱状晶特征，符合二次短路熔痕的特征（图4）。

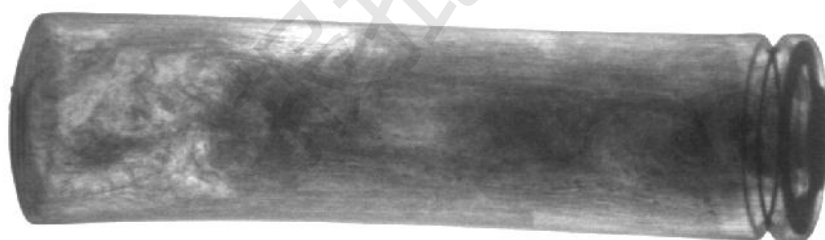
综上所述，目前可以依据短路熔痕的X射线影像孔洞特征判定二次短路熔痕，据其判定一次短路熔痕则是不充分的。因此，本标准中仅规定了二次短路熔痕的X射线影像分析法的判据，未对一次短路熔痕做出规定。

8.3.2条提出了锂离子电池热失控的典型特征。锂离子电池热失控是目前多发的一种火灾原因。项目组依托公安部技术研究计划项目《锂离子电池火灾现场勘查及物证鉴定技术的研究》（编号2016JSYJC46）对锂离子电池物证鉴定技术进行了研究，系统研究了锂离子电池热失控后的X射线影像特征，热失控锂离子电池拆解后的结构特征，故障点特征等，得出了一系列判据方法，在大量储能、电动车火灾中应用并获得认可，并获得了第十一届中国消防协会科技创新一等奖。在国家消防救援局组织编写的用于指导火灾调查的《火灾调查与处理-高级篇》中，锂离子电池热失控的X射线影像分析方法也作为成熟方法在其中进行了介绍。

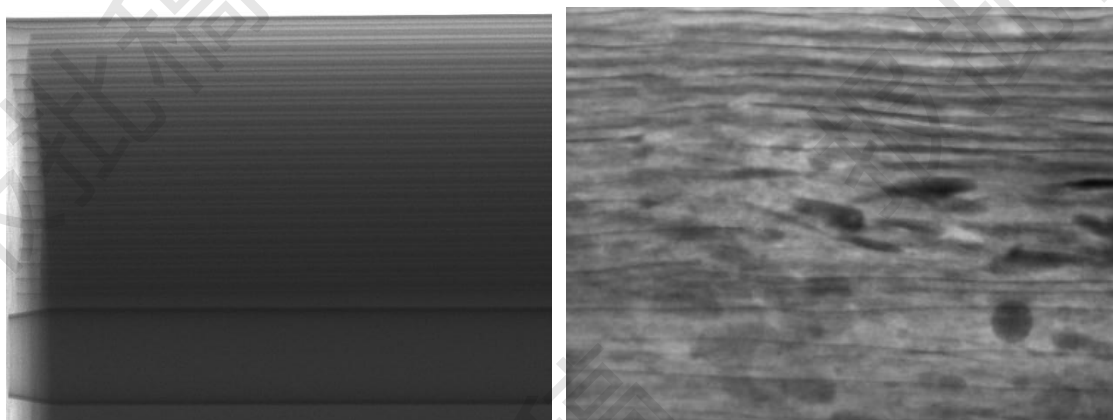
根据研究，在锂离子电池发生热失控的过程中，电池内部正负极及其集流体会发生短路，电池内会产生热量、高温高压气体，短路会形成集流体高温熔化缺失特征，高温高压气体喷出会导致电池内集流体扭曲变形，高温高压气体从电池壳体内喷出过程会带走其他物质，并导致电池外壳形成从内向外机械变形的痕迹特征，这些特征都是我们判定锂离子电池发生热失控的依据。



(a) 正常电池X射线影像



(b) 内部集流体紊乱电池X射线影像



(c) 正常电池集流体X射线影像

(d) 集流体局部缺失特征

图 5 锂离子电池集流体完整性特征示意图

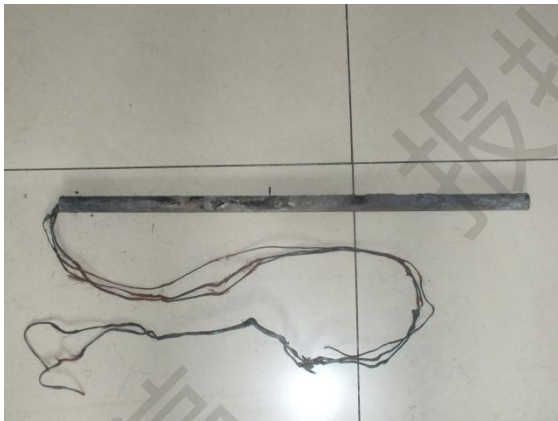
基于科研与实践，编制组在本条中对能够判断锂离子电池发生热失控的主要特征进行了规定。针对外壳变形，内部物证缺失的特征，规定电池整体呈现膨胀破裂或外壳存在自内向外的爆裂特征，或者电池外壳完整，内部存在物质缺失形成的空洞，可判定其经历了热失控过程；针对电池内集流体特征，规定电池内部集流体存在明显的紊乱、缺失特征，可判定其经历了热失控过程，见图5。在确定电池为热失控电池后，对热失控电池的进一步分析提出了建议。

由于目前还没有对锂离子电池热失控特征进行判定的标准方法，标准编制过程中我们制备了锂电池火烧样品和锂电池热失控样品，再采用本标准中的方法进行判定，与实验情况进行比对，以验证该标准方法。结果表明，通过X射线影像法判定的锂离子电池是否发生热失控的情况均与实验情况符合。

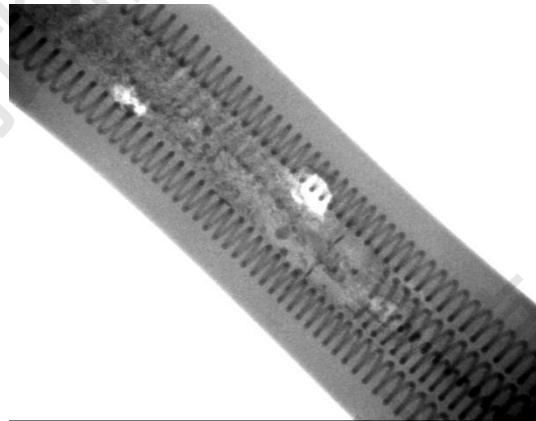
8.3.3条提出了加热器具典型故障特征的判据。电加热器具的加热部件电加热丝在干烧等故障条件下常会发生熔断、与壳体短路等现象。项目组成员依托中央基础科研经费项目《电加热管干烧痕迹特征及鉴定技术研究》（编号2017SJ-A-25）对电加热器具干烧过程进行了研究，采集了大量正常状态和干烧状态的电加热器具的外观形貌、X射线影像，总结了电加热器具干烧时其内部加热丝的形状变化特征。考虑到电热丝等高温合金的特性，当电热丝存在金属堆积这种典型的熔化特征时，可判定为电热丝高温熔断。而当这种

高温熔断现象发生在外壳被烧损较轻的情况时，考虑到铁质外壳与熔断电热丝的金属材料特征，可以判断电热丝高温熔断的热源只能来自电热，因此可以确定其为电热熔断。

为验证该方法，编制组对一系列火灾现场提取的电加热器具采用X射线影像法和宏观法、金相分析法分别进行了对比测试，结果表明，采用本方法判定结果与宏观法结合金相分析法的结论完全吻合。例如，图6展示是一个火灾现场提取的电加热管残骸，经过对其X射线影像进行分析，判断其中的电加热丝发生了电热熔断。同时采用传统的拆解、宏观分析、金相分析的方法，同样得到了加热丝电热熔痕的宏观形貌和金相组织。



(a) 火灾现场电加热管残骸



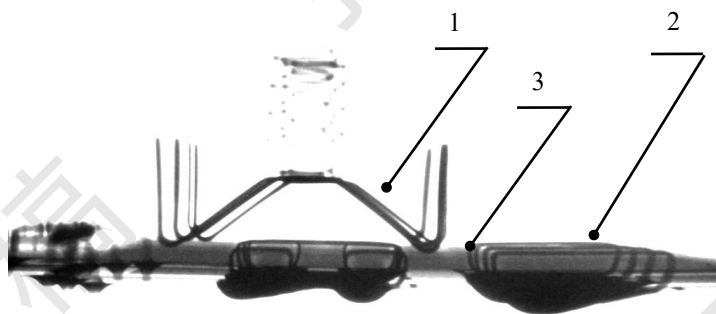
(b) 电加热丝电热熔断的X射线影像



(c) 电加热丝电热熔痕的宏观形貌 (d) 电加热丝电热熔痕的金相组织

图6 火灾现场电加热丝痕迹分析比对实验举例

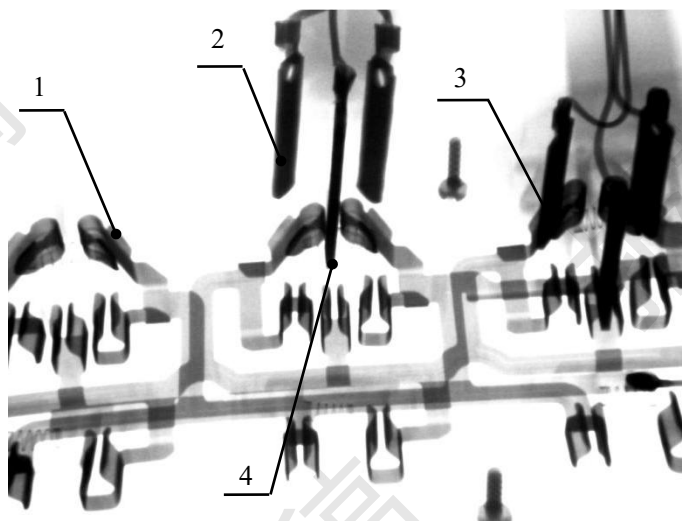
8.3.4条提出了开关通断特征的判据,为实际火灾调查工作中常见的闸刀开关、漏电保护器、空气开关、拨片开关等开关是否处于连通状态提供判据,为电气火灾认定过程中电器设备是否处于通电状态提供支撑。在实际工作中,判断火灾残留物中开关通断有时会成为调查工作中的关键点,通过X射线影像分析,可以避免拆解过程中对物证的破坏,更明确地对开关的通断情况做出判定。例如,图7展示是一个火灾现场提取的电热毯开关的X射线影像,可以清晰地观察并分辨开关的动触片和静触片,从而判定开关的通断情况。



1—动触片；2—静触片；3—动、静触片未接触。

图7 开关残留物 X 射线影像

8.3.5条提出了插头插座通断特征的判据，为火灾调查工作中常见移动插座、墙壁插座、设备插座等插座插头是否处于连通状态提供判据。如图8所示，一个火灾现场提取的移动插座残留物残骸的X射线影像中，可以明确地观察到其中的插座插套、插头插片及其接触情况，从而判定插头插座的连通情况。



1—插座插套；2—插头插片；3—插头插片在插座插套内且接触良好；4—插头插片不在插座插套内。

图8 移动插座残留物X射线影像

三、与法律法规及其他强制性标准的关系，配套推荐性标准的制定情况

（一）与法律法规及其他强制性标准的关系

标准的制定与相关法律法规不存在抵触情况，同时为《中华人民共和国消防法》《火灾事故调查规定》和《司法鉴定程序通则》等法律法规在火灾调查领域的实施提供新的标准支撑。

在火灾事故调查领域，根据《中华人民共和国消防法》和《火灾事故调查规定》等法律法规规定：消防救援机构负责调查火灾原因，根据火灾现场勘验、调查情况和有关的检验、鉴定意见，及时制作火灾事故认定书，作为处理火灾事故的证据。现场调查及物证鉴定过程中均需要对火灾痕迹物证进行分析，X射线影像分析法作为广泛使用的新技术方法，其分析过程及结论表述方式必须经过有效的规范，才能作为证据使用。

在司法鉴定领域，《司法鉴定通则》规定：没有相应的标准方法，司法鉴定机构不能出具司法鉴定报告，司法部门也无法使用此类证据。因此，该标准的制定明确了X射线影像分析法在司法鉴定中的标准地位，并明确了其分析结论作为证据的有效性，具有重大的现实意义。

火灾调查相关标准均为推荐性标准，因此本标准不涉及与相关强制性标准的配套问题。

（二）配套推荐性标准的制定情况

本标准与GB/T 16840.1、GB/T 16840.4、GB/T 19267.6等推荐性标准配套使用。

采用本标准中的方法判定二次短路熔痕，需要首先采用GB/T 16840.1《电气火灾痕迹物证技术鉴定方法 第1部分：宏观法》进行分析。

采用本标准中的方法判定电池经历热失控过程后，可以进一步采用GB/T 16840.1《电气火灾痕迹物证技术鉴定方法 第1部分：宏观法》、GB/T 16840.4《电气火灾痕迹物证技术鉴定方法 第4部分：金相分析法》、GB/T 19267.6《刑事技术微量物证的理化检验 第6部分：扫描电子显微镜X射线能谱法》，对痕迹物证进行鉴定。

四、与国际标准化组织、其他国家或地区有关法律法规和标准的对比分析（或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况）

（一）与国际、国外同类标准技术内容的对比情况

现阶段，国内外还没有采用X射线影像分析方法在火灾事故调查、物证鉴定等方面的标准方法。

（二）以国际标准为基础的起草情况

本标准未采用国际标准。目前没有火灾原因认定的国际标准。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见和依据

无。

六、标准实施过渡期建议

本标准的实施过渡期建议为6个月，过渡期间对标准进行宣贯，面向全国消防部门、火灾物证鉴定机构的火灾调查、火灾物证鉴定人员开展标准技术的培训指导，使其全面掌握标准内容，尽快依据本标准规范开展火灾调查工作。

本标准为新制定的方法类推荐标准，对现有火灾调查及其他主体均不存在负面影响，不存在老旧产品退出问题。

七、实施国家标准的有关政策措施

本标准发布实施后，在国家消防救援局的组织下，在全国范围内，向负责火调工作的部门领导和人员进行宣贯，便于火调人员理解和正确运用。

八、对外通报的建议及理由

无。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、涉及专利的有关说明

无

十一、国家标准所涉及产品、过程或服务的目录

本标准涉及的产品为X射线成像设备，包括固定式X射线成像设备和便携式X射线成像设备。

本标准涉及的服务包括火灾原因调查和火灾物证鉴定。

十二、其他应予说明的事项

无。