

视频监控技术在火灾事故调查中的应用研究

先晶晶

白银市消防救援支队 甘肃 白银 730900

【摘要】：火灾事故现场在扑救、排烟和清理中持续变化，单纯依靠灾后静态痕迹容易遗漏起火前后的动态条件。本文分析视频监控技术的证据属性、系统的构成与工作原理、取证程序和调查应用，识别录像调取、完整性保护、时间校准、过程复原、多源比对和智能分析中的关键控制点，并把视频画面与现场勘验、报警记录、物证检验和询问内容置于同一证据链中解释。规范应用视频监控技术，可以使烟火出现、人员活动、处置介入和火势蔓延等节点获得连续表达，减少录像覆盖、时间偏移、画面遮挡和算法误判造成的调查偏差，使火灾原因分析和调查文书形成更具可复核性。

【关键词】：视频监控技术；火灾事故调查；视频证据；时间校准；证据链

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.070

引言

火灾事故现场往往在扑救、排烟、破拆和清理中快速改变，燃烧痕迹、可燃物残留、门窗状态和电气设备外观只能呈现事故后的静态结果。分布在建筑出入口、走廊、生产区、仓储区、道路和周界的监控设备，能够记录火灾发生前后的人员活动、烟火出现、处置动作和车辆流向，为调查人员补足时间连续性证据。视频监控并不能替代现场勘验和物证检验，但可以把静态痕迹放回动态场景中解释，减少单一证据导致的推断偏差。围绕视频监控技术在火灾事故调查中的适用条件、取证程序、分析方法和质量控制展开分析，能够使动态影像证据更稳定地服务于火灾原因认定。

1 视频监控技术概述

视频监控技术以摄像机、编码设备、网络传输、存储介质和管理平台为基础，将现场光学影像转化为可回放、可截取、可比对的数字视频^[1]。火灾事故调查关注的不是一般安全防范意义上的实时看护，而是事故发生前后连续画面所携带的时间、空间、对象和行为信息。摄像机视场角、安装高度、补光条件、编码码率、帧率、存储周期和设备时间设置，都会影响画面能否准确呈现烟气初现、明火位置、人员撤离、门窗开启和处置介入等关键事实。数字闭路电视取证指南强调，调取录像时应同时关注视频文件和相关元数据，避免只导出转码片段而丢失设备时间、通道号和原始格式信息。火灾调查中的视频监控技术，应被理解为“采集设备—数据载体—取证程序—影像分析—证据表达”的组合，而不是单一摄像头或单一算法。

2 视频监控技术在火灾事故调查中应用的重要性

2.1 提升火灾过程记录与现场监测能力

火灾发展具有明显的阶段性，阴燃、初起、轰燃前局部扩展、全面燃烧和扑救控制之间常存在短暂而连续的画面变化^[2]。监控录像可以记录烟色、烟量、火焰方向、人员反应和设备启停，使调查人员在事后重新观察现场状态的时间顺序。当摄像机覆盖起火房间外侧、通道、疏散出口或相邻工位时，画面中

的光照突变、烟气外溢和人员回头动作，往往能提示火源位置与火势蔓延方向。现场监测价值还体现在对扑救前后状态的区分：同一位置在消防射水、排烟开窗和清障转运后会出现二次变化，录像能够把事故本身造成的痕迹与救援处置造成的扰动分开，帮助调查人员判断哪些痕迹仍可用于原因分析。

2.2 实现对关键视频证据的规范化管理与维护

火灾发生后，部分监控主机可能断电、进水、受热或被覆盖，硬盘循环覆盖机制也会使早期画面在短时间内消失^[3]。规范化管理要求调查人员优先确认录像载体位置、设备运行状态、存储周期、通道编号和导出方式，并对原始载体、复制件、转码件和截帧件分别登记。电子证据处理可按识别、收集、获取和保存等环节组织，这一思路适用于火灾视频证据：先识别可能含有事故画面的设备和云端账户，再在不改变原始数据为原则复制，随后用校验值、封存记录和交接记录维护完整性。维护并不只等于保管硬盘，还包括保存播放器、编码格式、导出日志和系统时间信息；缺少这些附属信息，画面虽然能够播放，却可能难以解释该真实时间和来源。

2.3 提升现场调查响应效率

火灾调查早期应当同时完成现场保护、人员询问、物证提取、监控调取和事故信息核对，任务顺序安排会直接影响证据质量。视频监控技术能够把调查线索从大范围排查收束到少数关键时间段、关键通道和关键人员活动上，提高初查阶段的响应效率。例如，先通过外部通道画面确认最早烟气出现方向，再看相邻摄像机，就能减少无目标翻看全部录像的时间；先固定消防控制室报警时间和监控主机时间差，再定位对应画面，也能避免调查人员在错误时间段反复检索。效率提升的前提是程序清楚，若只追求快速截取而忽略原始载体保护，后续复核反而会增加争议。

2.4 提高事故调查协同处置效率

火灾事故调查通常涉及消防救援机构、公安机关、行业主管部门、物业管理单位、生产经营单位和检验鉴定机构。监控

录像能够为不同主体提供共同观察对象,使询问、勘验和技术鉴定围绕同一时间节点展开。调查人员可以把关键帧、视频片段、现场照片和物证编号统一到同一事件清单中,明确某一画面对应的摄像机位置、拍摄方向、出现对象和相邻证据。协同处置效率并不来自简单共享文件,而来自证据解释口径一致:同一处火光反射、烟气倒灌或人员逆向移动,应当结合摄像机角度、玻璃反射、通风状态和现场空间关系共同判断,才能避免不同部门依据片段画面作出互相矛盾的说明。

2.5 降低证据灭失与责任认定偏差

火灾事故中的证据灭失既包括物理损毁,也包括数字覆盖、账号失效、导出格式错误和关键元数据缺失。视频监控技术应用得当,可以在事故后较早阶段固定动态证据,降低录像被覆盖或误删的风险。责任认定偏差多发生在证据链条断裂处:只有现场燃烧痕迹而没有起火前活动画面,容易把后果痕迹误当成起因;只有人员陈述而没有时间序列,容易把记忆偏差带入判断。视频证据可以对操作行为、设备状态和疏散反应进行交叉验证,但该证明力仍受清晰度、视角、遮挡、时间误差和压缩失真限制。降低偏差的正确方式,是把录像作为可复核证据之一,而不是把单一画面截帧绝对化。

3 火灾事故调查视频监控系统的构成与工作原理

3.1 视频监控系统主要构成

火灾事故调查可利用的视频监控系统,通常由前端摄像机、传输网络、编码设备、存储设备、平台软件、显示终端和权限管理模块构成^[4]。前端摄像机决定画面覆盖范围和细节呈现,普通可见光摄像机适合记录人员、通道和明火形态,热成像或低照度设备则适合补充烟雾、弱光和远距离场景。传输网络影响录像是否连续,断网、丢包和供电中断会造成时间段缺失。存储设备保存原始码流、索引文件和导出记录,平台软件则管理通道名称、设备时间、用户权限和回放检索。公共安全视频联网系统不仅要满足传输、交换和控制要求,还要处理视频信息与控制信令的信息安全;调查人员在调取跨平台视频时,应同时核对设备身份、传输链路、访问权限和数据安全。

3.2 视频监控取证工作原理

视频监控取证的工作原理,是把分散录像转化为可解释的事故时间轴。调查人员先根据报警时间、接警时间、消防到场时间和现场初查情况确定检索窗口,再从可能覆盖起火点、蔓延路径、疏散出口和外部道路的摄像机中导出原始录像。由于不同设备可能存在时间偏移,应当选择共同事件作为校准锚点,例如消防车辆到达、警灯闪烁、断电瞬间、门禁记录或报警控制器动作。校准后,调查人员对烟气初现、明火出现、人员进入或离开、设备异常动作和扑救介入等节点进行标注,并与现场痕迹、物证照片和询问笔录比对。图像增强、关键帧截取和目标跟踪只是辅助步骤,不能改变原始画面内容,也不能

把算法推断直接写成事实结论。

4 视频监控技术在火灾事故调查中的具体应用

4.1 现场视频证据提取与完整性保护

现场视频证据提取应从设备清点开始^[5]。调查人员到达后,应记录摄像机位置、编号、朝向、主机型号、硬盘数量、网络连接和供电状态,判断是否存在云存储、手机客户端、备份服务器或第三方平台。导出录像时优先保留原始格式和配套播放器,避免只录屏或只截屏。对于应当复制的硬盘、存储卡和网络录像文件,应形成复制时间、操作者、文件名称、容量、校验值和封存状态记录;NIST 闭路电视数字视频导出建议所列导出对象数量为4,分别为标准文件容器、标准编码视频流、嵌入日期时间元数据和系统时钟偏移元数据编码,使后续鉴定能够核对文件结构、画面内容与时间基准。完整性保护还要求保留失败信息,若某通道无画面、某时间段缺失或导出文件不能播放,应记录设备状态和排查过程,避免把技术性缺失直接解释为不存在相关事实。火灾事故调查视频证据处理流程见图1。



图1 火灾事故调查视频证据处理流程示意图

图1显示,视频证据处理从摄像机与存储设备清点开始,经调取与固定形成可校验复制件,再通过时间校准和轨迹复原定位关键帧、烟火出现和人员轨迹,最后与物证照片、报警记录等证据信息比对,支撑起火部位、蔓延顺序和行为节点判断。

4.2 火灾时空过程重建与关键节点识别

火灾时空过程重建的核心,是把多个摄像机的局部画面拼接为同一事故叙事^[6]。调查人员可先绘制摄像机位置与视场关系,明确画面空间边界,再依据校准后的时间轴标注烟气、火光、人员、车辆、门窗和设备动作。关键节点包括最早异常征象、烟气外泄位置、明火首次出现、人员最后离开、消防设施动作和扑救介入等。节点识别不能只看单帧画面,还要观察前后连续变化。若某一画面显示局部闪光,应结合电气设备位置、可燃物分布和其他通道画面判断是反光、爆燃还是起火点暴露。对多通道录像,应先完成时间校准,再按空间关系排列,避免把不同摄像机的延迟误判为火势蔓延顺序。对于画面间存在遮挡或视角断点的区域,还应把门窗启闭、照明变化、烟层高度和人员停留时间写入同一时间轴,使无法直接看到的火源活动通过相邻证据得到约束。对燃烧猛烈、画面突然中断或摄

像机被烟尘遮蔽的情形,应把中断前的烟火方向、光照变化和人员最后动作作为重点片段保存,并在时间轴上标出可见证据终点,避免把画面缺失误写为火势停止。

4.3 多源数据联动与证据链比对

视频监控证据的证明力来自多源数据之间的相互限制^[7]。报警主机记录可以提供探测器动作时间,门禁和电梯记录可以说明人员流向,消防控制室值班记录可以说明处置反应,现场照片和物证检验可以说明燃烧强度、短路痕迹和可燃物分布。视频画面与这些证据联动后,调查人员能够判断某一异常动作是起火原因、火灾后果还是救援过程产生的变化。证据链比对应当处理时间口径差异,监控主机时间、报警控制器时间和手机拍摄时间可能并不一致;若不先校准,就可能把后发生的处置行为误排到起火前。比对还应保留不一致信息,当画面显示人员未进入某区域而陈述相反时,应继续核对盲区、遮挡和摄像机故障,而不是立即作出单向取舍。

4.4 智能分析与调查文书支撑技术

智能分析技术可以在大容量录像中自动检索烟火颜色变化、人员轨迹、车辆停留、遗留物识别,适合用于线索筛选。火灾事故画面常受浓烟、强反光、遮挡、低照度、压缩噪声和

镜头污损影响,算法结果只能作为辅助线索,不能直接替代调查判断。实际应用中,可先用目标检测、行为识别和镜头检索缩小审看范围,再由调查人员对关键片段逐帧复核,并把误检、漏检和无法识别区域单独标注。调查文书引用视频内容时,应写明通道、时间、画面对象、动作变化和对应物证,避免使用“疑似”“大概”等含混表达。智能标注、自动转写和片段索引还可用于整理附件目录、制作时间轴和生成询问提纲,但最终结论仍需回到原始录像、现场勘验和鉴定意见之间的相互印证。对责任划分片段,应同时保留自动识别结果和人工复核意见,让文书中的画面描述、证据目录和附件编号一致。

5 结语

视频监控技术在火灾事故调查中的价值,集中体现为对动态过程的固定、对静态痕迹的解释和对多源证据的校验。调查人员应把原始录像、设备时间、关键帧、现场物证、报警记录和询问内容置于同一时间轴上处理,先保证载体完整与来源清楚,再开展图像增强、目标识别和行为分析。智能算法可以提高检索效率,却不能代替人工对画面条件、遮挡、压缩失真和证据关联性的判断。只有把视频调取、时间校准、证据比对和报告表达纳入规范流程,视频监控技术才能在火灾事故调查中形成稳定、可解释、可复核的证据效用。

参考文献:

- [1] 胡文亮.视频监控技术在火灾事故调查中的应用[J].今日消防,2023,8(1):109-111.
- [2] 杨晓勇.视频监控技术在火灾事故调查中的应用[J].中国高新科技,2022,(21):157-158.
- [3] 郭磊.视频监控技术在火灾事故调查中的应用分析[J].今日消防,2024,9(9):123-125.
- [4] 董震,张安,刘宏基.视频监控系统在火灾防控工作中的应用研究——以两起火灾事故调查为例[J].消防界(电子版),2024,10(15):67-69.
- [5] 杨晨彪.视频监控技术在火灾事故调查中的应用分析[J].消防界(电子版),2024,10(2):60-62.
- [6] 蔡永斌,郑文飞.火灾事故调查领域视频监控技术的应用优势及实践方法[J].今日消防,2024,9(1):107-109.
- [7] 谷云仟.视频监控技术在火灾事故调查中的实践应用研究[J].中国高新科技,2023,(13):60-62.