

基于案例分析的高层建筑火灾应急处置能力提升

张磊 李戩

先正达集团中国，北京丰台区，100069；

摘要：高层建筑火灾呈现蔓延速度快、烟气扩散迅速、垂直救援困难等特征，应急处置面临多重挑战。以香港宏福苑火灾为典型案例，深入剖析易燃材料管控缺失、消防设施失效、救援装备受限等关键问题，系统梳理火灾早期探测与智能预警、自动灭火技术、垂直救援与空地协同、应急指挥信息化等核心技术，构建包含响应时效、装备适配、疏散效能等要素的能力评估体系。实践表明，智能预警技术可将火情发现时间大幅前置，多元化灭火系统能够快速遏制初期火势，无人机协同救援有效突破传统高度限制，数字化指挥平台显著提升部门联动效率。通过科学评估与持续改进机制，推动应急处置能力系统性提升，为城市消防安全治理提供技术路径与实践参考。

关键词：高层建筑；火灾应急处置；案例分析；关键技术；能力评估

DOI： 10. 69979/3029-2727. 25. 02. 071

引言

城市化进程持续深化，高层建筑成为城市空间的重要组成部分。此类建筑结构复杂、功能多样、人员高度集中，火灾风险具有显著的立体性与复杂性。近年来重大火灾事故频发，暴露出应急处置在高空救援、供水保障、人员疏散等方面的突出短板。香港宏福苑火灾造成严重人员伤亡，凸显高层建筑消防安全形势的严峻性。提升火灾应急处置能力，需从典型案例中总结致灾规律与处置经验，系统梳理关键技术手段的应用路径，建立科学评估机制推动能力持续优化，构建预防为主、技术赋能、动态提升的治理体系。

1 典型案例分析

香港宏福苑火灾中，外立面施工使用的竹制脚手架与发泡胶板等易燃材料，成为火势得以快速蔓延的关键因素，火焰凭借建筑竖向通道所产生的烟囱效应，迅速朝着上层扩散开来，在短时间内就波及到了多个楼层，相邻建筑由于同样存在可燃防护设施而接连起火。在消防救援的过程中，登高作业受到建筑结构和周边环境方面的限制，供水系统面临着因楼层高度而出现的压力衰减问题，浓烟于封闭空间里面快速聚集，严重影响了人员疏散和搜救行动。这起火灾充分暴露了高层建筑在材料选用、设施配置、应急响应等方面所存在的薄弱环节，警示着应急处置能力的提升需要从多个维度进行系统推进：具体包括通过智能探测技术来实现火情的及时发现，依托自动灭火装置在火灾初期阶段遏制住火势的发

展，运用先进救援装备去破解垂直空间作业面临的难题，建立信息化指挥平台以统筹协调各方救援力量，最终形成覆盖预警、灭火、救援、指挥全过程的技术保障链条。

2 高层建筑火灾应急处置关键技术

2.1 火灾早期探测与智能预警

针对案例中火势快速蔓延导致应急响应滞后的问题，探测预警系统在建筑竖向管井、楼梯间等关键部位去布设传感器阵列，一旦竖井内温度梯度出现异常升高或者烟雾浓度超出标准时，传感网络能在数秒内完成数据采集并且触发报警程序，同时联动防排烟风机启动以及应急广播播放疏散指令^[1]。监控摄像头会配合图像识别算法捕捉火焰光谱特征，热成像设备可穿透初期烟雾锁定温度异常区域，系统会将火点楼层、房间编号等相关信息推送到消防控制室显示屏与救援人员移动终端。

危险度评估模型整合多源传感数据计算火情发展态势：

$$R = \alpha + \beta \cdot S + \gamma \cdot G + \delta \cdot V \quad (1)$$

其中： R 为火灾危险度指数(无量纲)； T 为温度上升速率($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)； S 为烟雾浓度(mg/m^3)； G 为可燃气体含量(%LEL)； V 为气流速度(m/s)； α 、 β 、 γ 、 δ 为权重系数(无量纲)，依据建筑功能分区标定取值。当 R 值突破预警阈值，系统自动切断非消防电源、迫降电梯至首层、启动加压送风装置向疏散楼梯间输送新鲜空气。

预警信息同步发送至周边消防站，包含建筑基本参

数、火点位置、蔓延趋势等要素，救援力量依据推送的数据来规划行驶路线与装备配置方案，把火情发现时间从传统人工巡查的分钟级压缩到秒级响应，为后续自动灭火系统启动和人工干预创造条件。

2.2 高层建筑自动灭火技术应用

在预警系统完成火情识别后，自动灭火装置立即启动作业程序控制初期火势。闭式喷头里感温玻璃球受热发生膨胀破裂，管网高压水流经喷头孔板破碎成雾状喷洒到燃烧区域，水雾吸收燃烧所释放的热量并且稀释空气中氧气浓度^[2]。湿式系统管道在常态下是充满压力水的喷头开启后能直接出水，预作用系统要求火灾探测器报警和喷头熔断同时满足先向空管充水然后再开启喷头兼顾快速响应与误喷防控。

数据机房、配电室等水敏感场所配置气体灭火装置，火灾探测器联动打开储瓶容器阀，七氟丙烷会通过管网喷入防护区，在数十秒内能够达到设计的浓度，通过化学抑制作用来中断燃烧链式反应。地下车库采用泡沫-水喷淋联用系统，混合液经过发泡装置生成稳定的泡沫，覆盖在燃烧的车辆或者油品表面，隔绝氧气供给并且封闭可燃液体蒸发通道，各类装置会依据保护对象火灾特性来进行配置，在火势蔓延之前完成扑救相关作业，为消防救援力量赶赴现场争取到宝贵时间。

2.3 垂直救援与空地协同技术

当自动灭火系统无法完全控制火势时，垂直救援技术打通立体作战通道，突破传统地面装备作业高度限制。如图1所示，空地协同作战的流程是从火情侦测开始的，空中平台和地面装备会形成立体配合，通过数据融合来支撑指挥决策。

举高消防车到场后展开液压支腿稳固车体，伸缩臂架升高到目标楼层的外侧准备作业，作业平台承载着消防员与灭火装备待命，遥控水炮射程能够覆盖50米的半径区域，消防员操作破拆工具击碎玻璃幕墙进入，将水带铺设到室内开始实施内攻灭火行动^[3]。系留式无人机通过地面电缆进行持续供电，机载破窗弹击穿高层钢化玻璃开辟排烟口，高温烟气从破口排出从而降低楼内的温度，红外热像仪扫描楼内温度分布获取数据，识别火点位置以及被困人员的体温特征。

地面泵浦消防车通过中继泵站接力加压，克服高度引起的水压衰减，水带沿着外立面或者疏散楼梯铺设到

着火楼层，无人机采集到的火场态势数据会传输到指挥系统，指挥人员依据火势发展情况动态调配空地力量，地面供水线路配合空中灭火平台形成合围态势，压缩火势蔓延的空间范围，这些实时数据给指挥决策提供基础支撑。

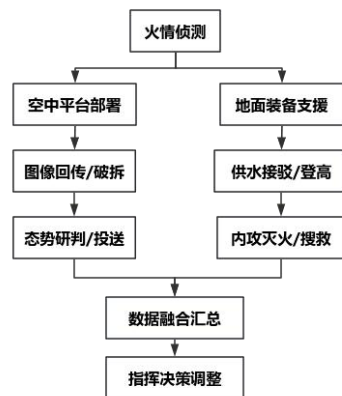


图1 垂直救援与空地协同作业流程

2.4 应急指挥信息化支撑技术

空地协同作战产生的海量数据需要信息化平台进行整合分析，支撑火场快速决策与精准调度。如图2所示，信息化平台采用分层架构设计，从底层感知采集到顶层指挥决策形成完整数据流转体系。建筑信息模型数据库存储结构图纸、设施分布、管线走向等基础档案，接警后系统会调取对应建筑数据，在三维模型标注火点位置与蔓延路径，叠加消火栓喷淋泵房疏散楼梯等设施图层，救援人员可根据模型来规划进攻路线与供水方案^[4]。地理信息系统整合消防站点分布、道路网络、市政水源位置等空间数据，会计算各中队至火场的行驶时间，生成调度指令通过专网下达，调派车辆能根据导航路径快速抵达火灾现场。

物联网终端采集消防员呼吸器剩余气压、单兵定位坐标等关键参数，指挥人员借助可视化界面来监控消防员作业状态，当气压低于安全值时系统会触发撤离警报。协同机制把报警信息推送给公安、医疗、电力、燃气等部门，各单位通过平台共享火灾现场态势信息，协同完成警戒疏散、伤员救治、能源管控等辅助任务^[5]。建筑内部署数字中继台用于扩展无线覆盖范围，现场图像视频经网络回传至指挥中心，指挥人员根据火势情况调整力量部署安排，各技术系统形成数据闭环支撑应急处置全过程运转。

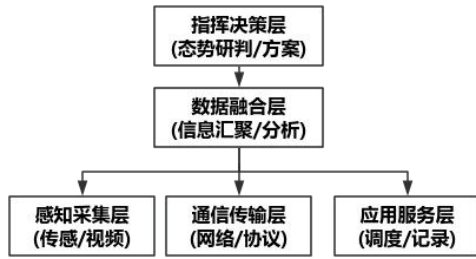


图2 应急指挥信息化平台架构

3 高层建筑火灾应急处置能力评估体系

3.1 应急处置能力评估指标设计

关键技术的有效应用需要科学的评估体系来衡量实际效果，评估指标体系从响应时效、技术适配、疏散效能三个维度构建量化标准。如表1所示，响应时效类指标占总权重50%，该维度重点考察从火情发生到各环节响应的时间间隔，涵盖探测器触发时间、报警确认时间、救援力量出动时间以及到场展开时间等关键节点，香港宏福苑火灾期间居民多次投诉工人违规抽烟却未获及时处置，火势快速蔓延之后救援力量面临登高困难问题。技术适配类指标在总权重中占比为30%，此案例当中8座楼宇的消防警钟全部出现失效情况，消防旋转台钢梯因坠落物无法停靠到最佳位置。疏散效能类指标在总权重里占比是20%，浓烟借助竖向管井快速扩散严重影响人员疏散工作，通过指标量化分析能够识别应急处置的薄弱环节。

表1 高层建筑火灾应急处置能力评估指标体系

评估维度	评估指标	权重
响应时效	火灾探测报警响应时间	0.20
	救援力量到场时间	0.20
	自动灭火系统启动时间	0.10
技术适配	消防设施完好率	0.15
	专业装备配置率	0.15
疏散效能	疏散通道畅通率	0.10
	人员疏散完成时间	0.10

3.2 能力评估结果应用与持续改进

评估指标体系建立后需将评估结果转化为能力提升的具体措施，形成“评估 - 整改 - 复评”的动态循环机制。如表2所示，针对香港宏福苑火灾暴露的材料管控问题，应强制淘汰竹制脚手架、易燃发泡胶板等高危建材，推广符合阻燃标准的防护材料；针对消防设施失效问题，应明确物业管理责任，建立日常巡查与维护

制度；针对救援装备短板，应配置101米级举高消防车、系留式灭火无人机等专业装备；针对疏散困难问题，应优化防排烟系统设计，定期组织应急演练。演练频次不应低于每年两次，参与演练的人员要覆盖全体住户和物业工作人员，演练的过程应当包含火情报警、人员疏散、设施启动等完整流程。评估机制推动相关单位落实整改措施，建立问题台账与复查机制，通过持续评估验证改进效果，形成能力提升的长效机制。

表2 应急处置能力评估问题与改进方向

薄弱环节	改进方向
易燃材料使用管控缺失	强制采用阻燃材料，建立材料追溯机制
消防设施维护不到位	压实物业责任，定期开展设施检测
垂直救援装备受限	配置举高车与无人机等专业装备
疏散通道烟气扩散快	完善防排烟系统，加强日常演练

4 结语

高层建筑火灾应急处置能力提升是城市安全治理的核心任务。案例分析揭示了火势垂直蔓延迅速、烟气扩散路径复杂、救援作业空间受限等本质特征。火灾早期探测与智能预警技术将风险识别关口前移，多元化自动灭火系统实现初期火势的快速控制，垂直救援与空地协同技术有效破解高空作业难题，应急指挥信息化支撑平台显著提升多主体协同效能。科学评估体系的建立与评估结果的转化应用，形成了能力提升的良性循环。当前消防安全已融入城市治理现代化进程，未来应持续深化人工智能、大数据、物联网等前沿技术的融合创新，健全跨区域、跨部门应急协同机制，强化社会公众消防安全素养培育，推动技术防控、人员防范、制度保障深度融合，全面构建高层建筑消防安全立体防护网络。

参考文献

- [1] 赵培培. 高层建筑消防安全现状与火灾防控研究[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(14): 86-88.
- [2] 李庆轩. 高层建筑消防设施运行维护管理探讨[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(11): 49-51.
- [3] 王寿佳. 高层建筑火灾消防指挥策略探讨[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(11): 129-131.
- [4] 张香萍. 高层民用建筑火灾风险管控研究[J]. 山西建筑, 2025, 51(08): 194-198.
- [5] 林志博. 现代高层建筑火灾灭火救援战术研究[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(05): 37-39.