

# 智慧消防系统在高层建筑火灾防控中的应用研究

孙晓燕<sup>1</sup>, 于真<sup>2</sup>

(1. 中安智慧(青岛)集团有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 山东泰景楼宇安全技术有限公司, 山东 济南 250100)

**摘要** 高层建筑火灾呈现垂直蔓延快、疏散距离长、烟囱效应显著等特殊风险特征, 传统消防手段在超高层复杂环境中应对能力不足。智慧消防系统构建多层次探测网络识别火灾垂直传播路径, 运用实时定位技术优化人员疏散引导策略, 采用分层控制方式解决竖向烟气扩散问题, 电梯智能调度为高空救援提供技术支持。典型工程应用显示, 系统能够将火灾发现时间缩短至分钟级别, 疏散效率提升超过30%, 烟气蔓延控制效果明显改善。

**关键词** 高层建筑; 智慧消防; 垂直蔓延预警; 分层排烟; 消防电梯调度

中图分类号: TP27; TU976

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.008

## 0 引言

城市超高层建筑规模不断扩大, 其独特空间结构给火灾防控带来严峻挑战, 建筑内部竖井效应加速烟热气流上升, 人员疏散面临楼层高度障碍, 外部救援受装备作业高度制约<sup>[1]</sup>。现有消防技术在处理高层建筑特殊燃烧传播机理时显现局限性, 智慧消防技术整合物联网感知与数据挖掘以及智能决策等手段, 为攻克超高层火灾防控难题开辟创新途径。研究智慧消防系统在高层建筑中的应用, 对提升城市超高层安全防护水平意义重大。

## 1 高层建筑火灾风险特征与智慧消防系统需求匹配分析

高层建筑火灾风险呈现独特复杂特征, 其竖向空间结构形成的烟囱效应使火灾烟气以每秒3~5米速度快速向上蔓延, 垂直传播速度远超水平扩散, 造成上层区域面临严重烟气威胁<sup>[2]</sup>。超高层建筑长距离疏散路径显著增加人员撤离难度, 常规疏散指示系统缺乏火灾态势感知能力, 外墙幕墙材料受高温影响易破裂脱落, 产生多点燃烧, 超出常规探测范围, 超高层救援作业受设备举升高度制约, 外部扑救效能随建筑高度递减。针对上述风险特征, 智慧消防系统需具备三维空间火灾演进建模能力, 识别高层建筑独特燃烧传播规律, 解决传统消防设备在超高层环境中的性能局限性, 与数据感知、智能分析、动态响应等核心功能形成高度契合。

## 2 智慧消防系统在高层建筑火灾防控中的关键技术应用

### 2.1 高层建筑多层次火灾早期探测与垂直蔓延预警

高层建筑多层次火灾早期探测构建垂直分层的智能传感器网络架构, 每个楼层部署温度、烟雾、气体浓度、图像识别传感器组成的复合探测单元, 形成楼层间数据关联的三维感知网络。深度学习算法建立高层建筑火灾垂直蔓延预测模型, 分析楼层间温度梯度变化、烟气浓度分布规律、气流速度差异, 识别火灾沿竖井、电梯井、楼梯间等垂直通道的传播轨迹, 垂直蔓延速度预测引擎融合建筑结构参数、通风运行状态、气象条件等多维数据, 通过建立数学模型计算火灾向上层扩散的速率<sup>[3]</sup>。火灾垂直蔓延速度预测公式为:

$$V_{vertical} = k \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot Q \cdot \Delta T}{T_0 \cdot A \cdot \rho \cdot c_p}} \cdot f(W, S) \quad (1)$$

式(1)中:  $V_{vertical}$  为火灾垂直蔓延速度 (m/s);  $k$  为竖向通道修正系数;  $g$  为重力加速度 ( $9.8 \text{ m/s}^2$ );  $Q$  为火源热释放速率 (kW);  $\Delta T$  为火源楼层与上层温差 (K);  $T_0$  为环境温度 (K);  $A$  为竖向通道截面积 ( $\text{m}^2$ );  $\rho$  为空气密度 ( $\text{kg/m}^3$ );  $c_p$  为空气比热容 ( $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$ );  $f(W, S)$  为风速和建筑结构影响函数。三级垂直蔓延风险评估机制设定楼层间温差超过  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  启动一级预警, 烟气浓度垂直梯度达到  $50 \text{ ppm/层}$  触发二级预警, 气流速度超过  $2.5 \text{ m/s}$  发布三级预警, 楼层间火灾传播时间窗口模型结合火源强度、建筑材料燃烧特性、竖

作者简介: 孙晓燕 (1983-), 女, 本科, 研究方向: 消防工程。

向通道阻力系数等参数，通过预测公式计算火灾到达上层楼面的时间节点。

### 2.2 垂直疏散路径智能引导与人员定位系统

垂直疏散路径智能引导构造室内高精度定位基础设施，在楼梯间与走廊以及电梯厅部署蓝牙信标网络，定位误差控制在 1 ~ 3 米范围内，三维疏散路径规划引擎基于火灾发生楼层、烟气蔓延方向、楼梯间通畅状况生成最优垂直疏散路线（如图 1 所示）。人员分布监测装置通过手机 APP、智能手环、RFID 标签等载体追踪建筑内人员位置，数据刷新频率达到每 3 秒一次，生成各楼层人员密度热力图<sup>[4]</sup>。分流疏散调度机制结合人员位置分布、疏散路径拥堵程度、楼梯承载能力等要素，将人群分配至不同垂直疏散通道，楼层疏散优先级排序采用火源楼层上方人员向上疏散至避难层，火源楼层下方人员向下疏散至地面出口的超高层双向疏散策略，机器学习算法分析疏散人流模式并优化路径分配，疏散指令下发时间限制为 10 秒。引导显示终端基于路径计算结果展示方向指示、剩余疏散时间、目标楼层编号等

具体信息，语音播报装置发布楼层定向疏散指令内容。

### 2.3 高层建筑竖向烟囱效应控制与分层排烟技术

竖向烟囱效应控制构造分层压差调节机制，在建筑竖向通道部署智能风阀，调节各楼层间压差分布破坏烟囱效应形成条件，楼层间压差调节模型将火源楼层设定为负压状态，相邻楼层设定为正压状态，各楼层压差数值设定在 20 ~ 30 Pa 范围内，通过神经网络算法实时调节风阀开度。分层排烟装置构筑楼层独立排烟单元，每个楼层配置专属排烟风机、排烟风道、排烟口，建立楼层间烟气隔离机制，排烟设备启停调度程序结合火源位置、风向条件、建筑高度等关键要素，确定各楼层排烟设备运行序列，火源楼层风机全功率运行，相邻楼层风机 50% 功率运行，远离楼层保持待机状态<sup>[5]</sup>。CFD 流体仿真平台构建烟气流动三维模型，仿真计算精度达到 0.1 m<sup>3</sup>/s，计算烟气在竖向空间中的扩散轨迹，AI 算法预测烟气流动趋势并指导排烟设备参数调节。竖向烟气阻隔装置部署可升降式挡烟垂壁，在电梯井口与楼梯间入口等关键部位设置自动伸

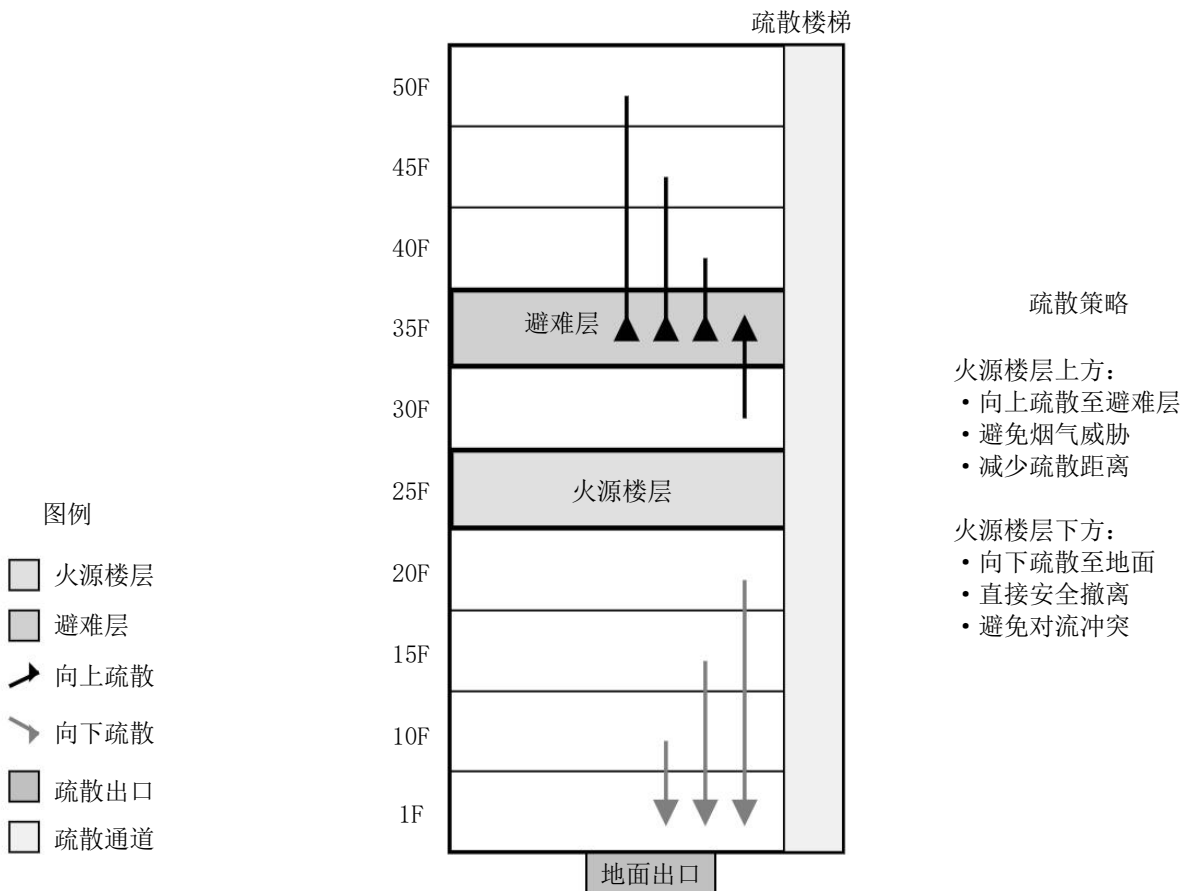


图 1 高层建筑双向疏散路径示意图

缩机构,火灾时展开建立高层建筑垂直阻隔系统。

#### 2.4 消防电梯与救援设备智能调度系统

消防电梯智能调度构筑多电梯协同运行程序,结合火灾楼层分布、救援人员数量、疏散人员密度等要素分配运行任务,优先服务火源楼层与避难层及人员集中楼层,电梯响应时间限定为30秒。电梯轿厢内部署安全监测装置,当温度超过60℃或烟雾浓度达到阈值时,电梯运行至最近安全楼层,救援设备调度平台整合消防栓、灭火器、防烟面罩等物资信息,生成电子地图标注设备位置与规格以及存储数量等信息。物资配送调度程序规划配送路线,AGV机器人与无人机将救援物资运送至火灾现场、避难层、被困人员楼层,配送时间限定为5分钟,设备状态监控程序检测消防栓水压、灭火器压力等参数,设备异常时自动切换备用设备并发送维护信息。

### 3 智慧消防系统在高层建筑火灾防控中的应用与效果分析

#### 3.1 典型高层建筑智慧消防应用案例分析

某超高层综合体智慧消防系统建设项目建筑高度超过200米,楼层数量达到50层以上,建筑面积约25万平方米,集办公与商业以及酒店功能于一体,项目实施背景源于建筑竖向空间复杂、人员密度高、传统

消防系统难以满足超高层火灾防控需求。建设方案采用整体规划、分区实施的部署策略,优先建设核心功能区域,逐步扩展至全楼覆盖,系统覆盖范围包括地下3层至地上50层全部区域,日常人员流量峰值超过6000人次,实施过程中重点解决系统集成兼容性、设备安装空间限制、施工期间安全保障等关键问题。创新特色体现在建立智慧消防与楼宇智能化系统深度融合架构,实现消防、通风、电梯、照明等多系统协同联动,项目建设周期历时10个月,分三个阶段完成系统部署与调试验收以及试运行优化,为超高层建筑智慧消防系统建设提供典型应用范例。

#### 3.2 应用效果评估与系统性能优化策略

基于项目运行数据分析,智慧消防系统在高层建筑火灾防控关键环节表现出显著改善效果,通过建立量化评估体系,对比系统实施前后性能指标变化。

表1数据显示智慧消防系统显著提升防控效果,火灾确认时间缩短70%,疏散时间缩短30%,系统响应速度大幅提升,误报率降低85%。

### 4 结束语

智慧消防系统基于高层建筑火灾特殊传播规律,构建涵盖早期识别、智能疏散、气流调控、设备调度的防控体系。分布式传感网络提升火源定位精度,智

表1 智慧消防系统应用效果对比分析

评估指标	改造前数据	改造后数据	改善幅度
火灾信号确认时间	6~10分钟	2~3分钟	缩短70%
全楼疏散完成时间	25~30分钟	17~20分钟	缩短30%
排烟系统启动时间	8~12分钟	1~2分钟	缩短85%
消防电梯响应时间	5~8分钟	1分钟以内	缩短87%
供水系统压力稳定性	波动±0.12MPa	波动±0.03MPa	提升75%
误报警率	15~20次/月	2~3次/月	降低85%

能疏散装置缩短撤离时间,分层排烟机制抑制烟气扩散,设备联动调度保障救援实施。实践验证表明,智慧消防系统能有效改善高层建筑火灾防控水平,但在系统稳定性与设备兼容性等方面仍需优化,需要进一步完善技术方案以构建更加可靠的超高层消防安全屏障。

#### 参考文献:

[1] 魏文超.高层建筑消防安全问题及对策研究[J].散装水泥,2025(06):189-191.

[2] 王相源.智能化消防系统在高层建筑火灾防控中的应用[J].新城建科技,2025,34(11):31-33.

[3] 辛欣.新质生产力在智慧消防领域提升火灾防控效能的应用[J].中国战略新兴产业,2025(33):35-37.

[4] 齐从月,谭清华,廖继.基于物联网的在建超高层建筑火灾防控技术[J].施工技术(中英文),2025,54(20):60-64,78.

[5] 刘利民.高层建筑智慧消防系统的设计与应用[J].建筑机械化,2025,46(10):21-24,80.