

城市老旧小区消防改造中智慧消防技术应用与风险评估

倪显勇¹ 陈显东^(通讯作者)²

1. 西藏山鹰消防工程有限公司 西藏自治区 拉萨市 850000

2. 四川威特龙消防技术服务有限公司 四川省成都市 611731

【摘要】：针对城市老旧小区消防设施老化、隐患排查滞后、应急响应效率偏低等问题，以A市东湖新村为研究对象，构建由感知终端、LoRa与5G混合通信、云平台研判及多端联动组成的智慧消防改造体系。研究通过烟感、温感及水压传感器布设，实现火灾风险连续监测，并运用层次分析法评估改造效果。结果表明，改造后综合风险值由0.72降至0.35，火灾隐患排查周期由30d缩短至1d，平均应急响应时间由15min缩短至4.5min，消防设施完好率由65%提升至98%。研究表明，智慧消防技术能够有效提升老旧小区风险识别、设施保障与应急联动能力。

【关键词】：老旧小区；智慧消防；风险评估；物联网；应急响应

0 引言

城市老旧小区普遍存在建筑空间紧凑、消防设施老化、管理力量不足等问题，传统依靠人工巡查和居民上报的消防管理方式难以及时发现隐患。随着消防治理数字化转型持续推进，将物联网感知、无线通信和云平台研判引入老旧小区改造，已成为提升基层消防安全治理能力的重要路径。本研究以东湖新村为对象，探讨智慧消防技术在老旧小区改造中的应用体系与实际成效。

1 城市老旧小区消防改造现状与智慧消防技术需求分析

A市东湖新村建成于1998年前后，楼栋密集、架空线路老化以及消防车道被固定停车位挤占的矛盾较为突出，既有消防栓经现场台账核对后完好率仅为65%，末端水压波动还削弱了初期处置能力。社区日常消防管理主要依靠物业巡查以及街道抽查，隐患排查周期延长至30天，电动自行车入楼充电、楼道堆物等风险难以及时闭环。报警信息仍以居民电话上报为主，平均应急响应时间约15min，现场研判依赖人工描述，容易造成处置指令滞后。鉴于国家十四五消防工作规划强调消防治理数字化转型，老旧小区改造需把感知终端、物联网传输以及云端研判当作基础支撑来使用，形成实时监测、智能预警以及快速联动的智慧消防技术需求。

2 城市老旧小区智慧消防技术应用体系设计

2.1 智慧消防感知层设备部署方案

东湖新村既有建筑由6栋多层住宅以及1个地下车库构成，楼栋间距偏小、竖向疏散空间狭窄以及地下车库排烟条件受限，使感知层设备需把早期烟气识别、温升捕捉以及消防水源状态监测当作基础配置来开展部署。感知层是指直接采集火灾风险信号的终端网络，本研究按照楼栋单元、公共走道、设备间以

及消防栓节点进行分区布点，每层楼道安装独立式烟感报警器，共120个，用于识别电动自行车入楼充电、楼道堆物阴燃等低速发展火情；温感探测器布设80个，重点覆盖地下车库、配电箱邻近区域以及封闭楼梯间顶部，以补足烟气受气流扰动时的识别盲区；消防栓水压监测传感器安装30个，覆盖室外环状管网、楼栋首层以及末端栓口，便于持续记录静压、动压以及异常跌落状态。设备选型以低功耗、无线传输、地址编码、离线缓存以及IP65防护等级为主要约束，烟感以及温感终端选用电池供电型，水压终端选用外接供电与备用电池结合模式。安装位置结合楼道宽度、梁下遮挡以及住户门洞分布进行校核，避开厨房排风口、强电井以及金属屏蔽面，形成从风险点识别到设备挂接再到平台入网的闭环流程，见图1。

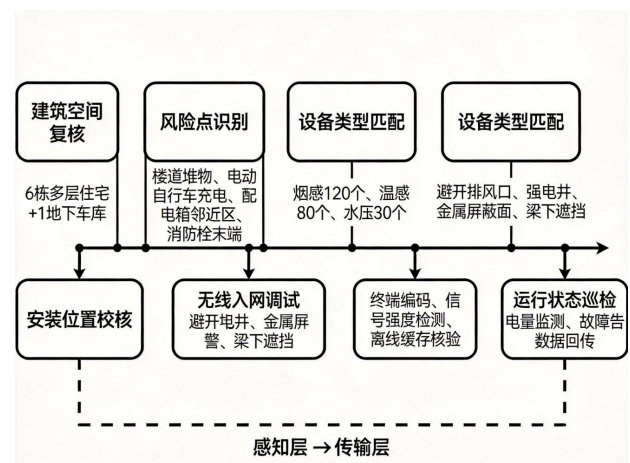


图1 智慧消防感知层设备部署流程图

2.2 数据传输与云平台处理系统构建

鉴于东湖新村楼栋密集以及地下车库信号衰减明显，单一无线链路难以兼顾低功耗终端接入以及应急状态下的数据吞吐需求，数据传输体系选用LoRa与5G混合组网来开展建设。

LoRa 是适宜低速率、远距离以及低功耗场景的广域通信技术，主要承担烟感、温感以及水压传感器的周期性数据回传；5G 链路则承担网关汇聚后的高速上行、视频联动以及突发告警报文传输，使火情信息能够在社区网关、街道监管平台以及消防接警系统之间进行稳定流转。小区内每 2 栋住宅设置 1 台 LoRa 集中网关，地下车库单独设置增强型网关，网关端配置双 SIM 卡 5G 通信模块以及本地缓存单元，网络波动期间把告警报文置于最高传输优先级。云平台数据处理模块由数据接入、数据清洗、特征提取以及分层存储构成，接入层对终端编码、时间戳以及设备状态进行一致性校验；清洗层剔除重复报文、短时期群噪声以及异常空包；特征提取层运用滑动窗口异常值识别算法，对烟雾浓度突增、温度连续上升以及水压骤降进行联合判读。结合东湖新村感知终端数量以及日均报文规模，系统把端到端传输成功率控制目标设定为不低于 98%，并且运用消息队列、断点续传以及冷热数据分级存储降低平台拥塞风险。

2.3 智能应急响应机制设计

面向老旧小区火情发现滞后以及人工转述信息失真的现实约束，东湖新村智慧消防系统把设备预警、平台分析以及人员响应整合为连续处置链条。设备预警环节以阈值触发以及趋势触发共同构成判别逻辑，当烟感终端监测值超过 500ppm，或温感终端在短时间内呈现持续升高态势，终端马上生成带有设备编码、楼栋单元、楼层位置以及采集时间的告警报文；平台分析环节对同一区域多源数据进行关联研判，把烟雾、温度以及水压状态纳入同一事件单元，减少单点误报对物业值守人员的干扰。人员响应环节依靠云平台自动推送功能，把预警信息同步发送至物业值班端、街道消防管理端以及属地消防救援联络端，消息内容囊括告警等级、疑似起火点、最近消防栓状态以及建议处置动作。针对消防车道的固定停车位挤占的矛盾，平台结合小区道路矢量图、门禁位置以及地下车库出入口生成最优救援路径，同时提示可临时移车区域以及楼栋外部集结点。在东湖新村场景化模拟推演参数设定下，系统把从终端报警到物业确认、消防部门接收以及路径生成的联动时间压缩至 5min 内，为初期火灾处置预留更充分的现场行动窗口。

3 城市老旧小区智慧消防改造风险评估与效果验证

3.1 基于层次分析法的风险评估模型构建

东湖新村智慧消防改造的风险评估需把设施运行状态、数据链路稳定性以及社区处置能力纳入同一分析框架，避免仅凭单项设备参数判断改造效果。层次分析法是把复杂决策对象分解为目标层、准则层以及指标层后开展权重测算的评价方法，适宜处理老旧小区消防风险中定性因素以及定量因素交织的问

题。本研究把综合风险值设为目标层，把设备可靠性、网络安全、管理效率设为 3 个一级指标，并且进一步设置 8 个二级指标，具体囊括探测终端在线率、消防水压稳定性、供电与备用电池可靠性、通信链路可用性、数据传输安全性、平台告警准确性、隐患闭环及时性以及应急联动效率。为降低主观赋权带来的偏差，专家按照 1 至 9 标度对指标相对重要程度进行比较，形成判断矩阵，并对矩阵开展一致性检验。其计算公式如下：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

其中， CR 表示一致性比例， CI 表示判断矩阵一致性指标， RI 表示平均随机一致性指标。当 CR 小于 0.10 时，判断矩阵可进入权重计算环节，否则需重新校正指标两两比较结果。

在矩阵通过一致性检验后，本研究运用归一化求和方式计算各指标权重，把不同量纲的风险评分转化为可叠加的综合评价价值。其计算公式如下：

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

其中， W_i 表示第 i 个指标的权重， a_{ij} 表示判断矩阵中第 i 行第 j 列的比较值， n 表示指标数量。结合东湖新村改造前台账数据以及平台运行数据测算，改造前综合风险值为 0.72，处于高风险区间，主要受消防设施完好率偏低、巡查周期较长以及应急响应滞后影响；改造后综合风险值降至 0.35，进入低风险区间，说明感知终端布设、混合通信组网以及平台联动机制对风险削减具有较强支撑作用。

3.2 改造效果量化分析与验证

东湖新村智慧消防改造效果的量化分析，应当围绕火灾风险发现、设施保障以及应急处置 3 类核心能力展开，而不是停留在设备数量增加的表层判断。改造前，社区隐患排查主要依靠物业人工巡查以及街道抽查，排查周期约为 30 天，楼道堆物、电动自行车违规充电以及消防栓水压异常难以形成日常化闭环。感知终端接入云平台后，烟感、温感以及水压传感器把异常数据持续回传，平台按楼栋、单元以及楼层生成告警记录，隐患排查周期缩短至 1 天，日常管理由阶段性检查转向连续性监测。应急处置方面，居民电话上报模式下平均响应时间约 15min，信息传递容易受到描述不清以及位置判断偏差影响；改造后，终端告警报文直接携带设备编码、空间位置以及水压状态，物业端、街道端以及消防救援联络端同步接收，响应时间缩短至 4.5min。消防设施完好率也由 65% 提升至 98%，表明水压监测、设备状态自检以及故障派单机制提高了设施维护的及时性。关键指标对比见表 1。

表1 东湖新村智慧消防改造前后效果对比表



指标类别	评价指标	改造前数值	改造后数值	变化幅度	效果指向
隐患治理	火灾隐患排查周期	30d	1d	缩短29d	隐患发现由月度巡查转向日常监测
应急处置	平均应急响应时间	15min	4.5min	缩短10.5min	告警推送以及路径生成提高联动效率
设施保障	消防设施完好率	65%	98%	提升33个百分点	设施状态自检以及维护派单更加及时
数据支撑	告警信息主要来源	居民电话上报	终端自动上报	上报方式转变	火情位置以及设备状态信息更完整
管理闭环	隐患处置记录方式	纸质台账	云平台工单	流程线上化	整改责任、时限以及复核记录可追溯

从表1可以看出，东湖新村改造后的关键指标变化与前文提出的技术路径保持一致，感知层设备解决了风险发现滞后的问题，LoRa以及5G混合组网提高了告警信息传输的稳定性，云平台研判与多端推送则压缩了人工转述造成的时间损耗。火灾隐患排查周期由30d降至1d，说明社区具备了更高频率的风险识别能力；应急响应时间缩短至4.5min，契合初期火灾处置对快速到场以及准确定位的要求；消防设施完好率提升至98%，反映出消防栓、水压传感器以及平台工单之间形成了较为清晰的维护闭环。由此可见，智慧消防技术在东湖新村老旧小区改造中不仅改变了消防管理方式，也对风险降低以及处置

效率改善形成了可量化支撑。

4 结语

东湖新村智慧消防改造表明，感知终端布设、混合通信组网和云平台联动能够形成较完整的风险监测与处置闭环。改造后，隐患发现由周期巡查转向实时监测，应急信息由人工转述转向自动推送，设施维护由纸质台账转向平台工单，消防管理精细化水平明显提升。后续仍需加强设备长期运维、数据安全防护和居民协同参与，使智慧消防系统在老旧小区治理中保持持续稳定效能。

参考文献

- [1]戴琪. 老旧小区消防防火设施改造策略——以兴安盟××小区为例[J]. 今日消防, 2024, 9(12):112-114.
- [2]邓国建, 徐飞. 物联网技术在智慧建筑消防工程中的应用探讨[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(10):72-74.
- [3]汪振双, 柏昊然, 赵宁. 国内外老旧小区改造热点与前沿——基于CNKI和WoS数据库CiteSpace的可视化分析[J]. 项目管理技术, 2025, 23(07):37-48.
- [4]尹思南, 李博文, 林志男, 王思萌. 老旧小区信息化物业管理系统研究[J]. 建设科技, 2025, (09):60-63.
- [5]陈树林. 智慧化出入口管理系统的技术方案与实践——以海口市某小区改造工程为例[J]. 中国物业管理, 2025, (09):79-81.
- [6]李景虎, 杨骥, 刘悦. 上海轨道交通智慧消防物联网系统搭建[J]. 城市轨道交通研究, 2025, 28(05):255-258.
- [7]朱聪. 物联网技术在智慧建筑消防工程中的应用探讨[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(10):64-66.
- [8]杨森. 智慧城市背景下的老旧社区防灾策略优化研究——以抚琴街道为例[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (11):142-144.
- [9]李康, 吴基武. 城市雨污排水系统改造工程中的岩土工程特性分析与应用——以龙塘镇老旧小区改造工程为例[J]. 中国住宅设施, 2024, (S1):64-66.

作者简介：倪显勇（1986—），男，汉族，大专，研究方向为消防工程。