

# 智能建筑中的消防安全系统优化研究

岳磐龙

6224251972\*\*\*\*0639

**摘要:** 智能建筑的复杂耦合形态使消防安全系统从单一设备组合转向跨系统、跨场景的协同网络。为适应人流密度上升与空间功能复合带来的风险,系统优化应围绕早期识别、快速联动、可靠执行、可解释评估四个目标展开。本文基于系统工程思维,界定智能建筑消防安全系统的边界与要素,构建多源感知与数据融合的认识架构,提出面向情境的联动控制与动态疏散方法,并以生命周期视角设计维护、评估与复盘机制。方法论强调模型与规程的同构性、数据与场景的可追溯性、控制与人因的协同性,旨在在不增加复杂度的前提下提升预防、响应与恢复能力,为新建与既有建筑的安全升级提供可操作路径。

**关键词:** 智能建筑; 消防安全; 物联网; 智能控制; 全生命周期

**DOI:** 10. 69979/3029-2727. 25. 01. 069

## 引言

智能建筑集成了环境控制、安防、能源管理与信息通信等多系统,控制策略与数据流相互牵引,任何环节的迟滞都可能放大为安全缺口。传统消防设计依赖固定阈值与静态联动,面对人群流动、送排风切换、可变隔断与复杂热工边界时弹性不足。要实现高可靠的火灾防护,需要在探测、判断、联动、疏散与维护各环节建立从数据到决策的闭环,以物联网感知、边缘计算、机器学习与建筑信息模型为工具,以规范条文与运行经验为约束,在保证可用性与可解释性的前提下推进自动化与精细化。本文围绕系统角色与性能目标、感知融合与联动优化、全生命周期与韧性管理三个层面展开论述,提出方法与管理一体化的优化框架与实施路径。

## 1 系统角色与性能目标

### 1.1 智能建筑消防安全系统的边界与要素

智能建筑的消防安全系统由感知、通信、计算、控制与人机界面五个要素构成,感知承担烟雾、温度、可燃气体、辐射与图像等信号采集,通信保证低时延与容错传输,计算负责特征提取、置信评估与告警判定,控制实现排烟、送风、分区隔断、广播播照明与应急供电等动作,人机界面用于信息呈现、指令下达与协同调度<sup>[1]</sup>。系统边界应与防火分区、疏散单元、关键设备间一致,关键链路以分区为最小控制单元,避免跨分区联动造成风险外溢。性能目标需要在灵敏度与鲁棒性之间取得平衡,既要在潜伏阶段识别可疑征兆,又要抑制由烹

饪烟、粉尘、装修气体引起的误动与脱敏。约束条件来源于法规指标、运行工况、设备寿命与维护资源,其中以时间约束最为关键,包含探测至告警、告警至联动、联动至可达安全状态的连续时序,并以数据记录与演练验证其可达。为保证可用性,应建立最小可行链路,任何复杂策略不得绕开该链路,并通过健康监测持续验证链路可达;为提高可解释性,应在模型与规程之间建立映射,使每一次判断都能追溯到规则、数据与责任。系统还需定义与外部平台的接口边界,涵盖城市应急、物业管理与能源管理,明确事件上报、指令下达与反馈确认的规范,并以安全域、白名单与网关隔离实现纵深防护。角色方面,值守人员承担监督与裁决职责,维护团队承担校准与复盘职责,管理层承担资源配置与审计职责。以清晰角色分工与约束模型为基础,方可支撑稳定、可靠、可维护与可演进的消防安全运行格局。为避免信息孤岛,应在总体架构中引入统一数据模型与时序总线,不同厂商设备按照统一词典发布事件与状态,减少接口适配的隐性复杂度。在资源层面,需对电源、网络与备件建立容量边界与优先级表,使突发状态下的资源调度具备依据与先后。

### 1.2 系统运行机理与约束条件

火灾从潜伏到发展具有多阶段、多模态特征,系统运行机理宜以状态机刻画不同阶段的受力、气流与人群行为,并将设备能力与资源约束嵌入状态转移。潜伏阶段以变化率与关联度作为主要判据,通过多源弱信号一致性来抑制环境扰动与偶发峰值;扩展阶段以区域扩张、

温升梯度与烟羽流向作为判据,及时触发分区隔断、排烟与加压送风;强盛阶段则以人员疏散与救援通道维持为核心,所有非必要能源负载应让位于应急需求,关键动力应切换至应急电源<sup>[2]</sup>。约束条件包含供电、通信、机械风道能力、门禁权限与值守能力,任一单点故障均应在状态机中设置降级路径,保证基本功能持续。人因是关键变量,界面信息必须直观、可操作、抗压,按问题、位置、时间顺序组织,关键按钮与反馈并置,减少误触。知识沉淀依赖剧本与演练记录,剧本以场景为单元定义触发条件、动作清单、依赖关系与回滚要点,演练记录则用于校准阈值、补充例外与优化时序。评价体系覆盖提前量、响应度、稳定性与恢复性四个维度,以高频小样本演练持续校正模型,使系统在真实运行中保持敏捷。为兼顾效率与安全,还应规定人工裁决介入的边界,当证据冲突或代价过高时,系统进入确认态,向指挥席推送因果链路、证据来源与备选方案,由值守人员完成确认或修正,并将决策过程写入记录,形成机器与人的可靠配合与责任闭环。在跨系统联动中,需给出风机、阀门与门禁之间的冲突解算规则,以结果一致为准绳处理相互制约的动作,并对失败重试与人工兜底提出明确流程。为降低人为负担,值守策略应将常见疑难情境封装为快捷操作,并通过颜色、声音与态势图强化信息分层,让关键风险始终处于可见状态。

## 2 火灾探测、判断与联动的优化方法

### 2.1 多源感知与数据融合的原理与路径

多源感知旨在用彼此独立而相关的证据构造稳健的告警信号。传感层采用冗余与异构布点,同一位置配置不同机理的探测器,降低单点漂移影响;空间上结合分区边界、竖井与走道建立采样网格,使数据具备可比性与覆盖均衡。数据层采用时空窗口、自适应基线与漂移校正,分离季节性与突发性,并记录设备老化趋势以修正阈值与响应时间<sup>[3]</sup>。特征层引入变化率、互信息、空间相关、能量比值与形态描述等指标,避免仅以绝对阈值决策,减少噪声与遮挡带来的误差。融合策略遵循先边缘后中心的分级架构,边缘节点完成快速筛选、去噪与初判,中心平台执行多模型复核与置信度整合;当视觉与非视觉证据相互印证时提升告警等级,出现冲突则维持监视并请求人工确认。为使数据解释与空间物理一致,可将建筑信息模型转化为可计算的空间图,以分区、门窗、风道与竖井为边,以房间与设备为点,建立

传播路径先验,对温升、烟雾与有害气体的扩散进行约束,从而提高早期识别的可信度与定位精度。实施层面需明确数据质量标准、时间同步、标定流程与容错规则,并建立带标签的近失事件库用于持续学习与对抗检验,使模型在长期运行中保持稳健。为提升可维护性,需为传感器与边缘节点建立健康评分,结合漂移、离线率与误触率计算权重,在融合时对低健康设备降权处理,并触发维护工单与备件计划,使数据质量与运维形成闭环。

### 2.2 联动控制、疏散与灭火的协同策略

联动控制、疏散与灭火需在统一目标函数下协同,目标是在可接受代价内获得安全状态并保持秩序。当告警达到启动条件,系统按分区执行风机启停、阀门切换、门禁解锁与广播启动,依据烟气方向与压差目标动态调整排风量与补风量,防止负压回吸与烟气倒灌。疏散引导结合人群分布、通道容量与可见度,实时评估拥堵风险,通过指示灯带、地面标识与语音提示形成多通道提示,降低单一媒介失效的风险,同时在局部不可达时自动重规划路线<sup>[4]</sup>。自动灭火的动作与疏散策略需相互适配,避免喷淋范围与疏散路线冲突,关键机房与管廊设置独立隔离逻辑与递进式启动条件,不因局部误动影响主体区域秩序。指挥席面板提供情境化场景与一键剧本,显示因果链路、证据来源、设备状态与依赖关系,值守人员可在限定时间内确认或修正。为保证时序可控,应对每个动作设定依赖、超时处理与回滚路径,形成可验证的执行图;为保证安全,动作前后记录状态哈希与操作签名,实现过程与责任的双重可追溯。在演练与真实事件后,依据处置表现自动调整参数与剧本优先级,形成自适应的联动体系。在信息发布层,面向不同受众提供分层视图,管理层获得态势与风险指数,值守人员获得操作清单与倒计时提示,公众端获得简洁的方向指引与危险区域提醒,避免信息冗余造成犹豫。处置完成后,系统自动生成报告草案,列出事件线、动作链与时间轴,便于复盘与追责。在多建筑或园区级场景,可引入跨建筑协调,通过共享态势与支援清单完成设备与人员的互助调度,并将外部救援的接入点、供水与电源接口在面板上标准化呈现,缩短协同时间。

## 3 全生命周期与韧性导向的管理体系

### 3.1 高层建筑给排水施工中常见的质量问题

主要包括接口渗漏、管道变形与支架松动、材料腐蚀老化以及安装误差引起的排水不畅。接口渗漏是最普遍的问题之一,多由连接工艺不规范、密封材料老化或安装过程中受力不均造成。管道变形和支架松动多发生在振动频繁或支架间距不符合规范的部位,长期运行会导致接口受力集中并加剧磨损。

材料腐蚀老化问题在地下室、屋顶等环境恶劣的部位尤为突出,高湿度、酸碱性和温差变化都会加速管材性能衰退。安装误差引起的排水不畅多与坡度偏差、管径选择不合理或局部高点积水有关,严重时会造成倒流和卫生隐患。

这些质量问题的产生既有施工环节的直接原因,也与前期设计、材料选择、施工管理水平相关。因此,防治措施应覆盖从设计到施工的全过程,并加强后期维护管理。

在长期运行中,还可能出现由热胀冷缩引起的接口微位移,尤其是在冷热水交替使用的系统中更为明显,这种微小位移若长期累积,会导致密封圈老化、松动,从而产生渗漏隐患。对于雨污分流系统,如果施工过程中通气管道未按规范设置或通气效果不佳,容易造成排水时水封被破坏,产生臭气外溢,对室内空气质量造成影响。在部分改造工程中,由于原有结构和空间限制,管道改线不合理也会增加水力损失,影响系统运行效率。这些问题表明,管道安装质量问题往往是多因素叠加的结果,既与材料和工艺有关,也与施工环境、后期维护管理密切相关,因此需要在全周期内进行系统化管控。进一步地,部分工程中缺乏完善的施工记录与质量追溯体系,使得隐蔽工程一旦发生故障,定位与修复难度增加,延长了停用时间并造成使用功能受限,这在复杂的高层建筑中影响尤为明显。

### 3.2 面向韧性的持续改进与智能运维

韧性强调承受冲击与恢复能力的平衡,其实现路径包括结构解耦、冗余、容错与自我修复。在架构层通过分区与控制域解耦限制故障传播,关键链路采取双路供电与冗余通信,重要设备配置旁路与冷备,确保极端情况下仍保持基本功能。控制层设置降级模式与人工接管通道,明确何时切换与如何恢复,避免复杂策略阻碍应急处置。智能运维以风险地图为载体,将设备健康度、环境风险与人流热力叠加呈现,按风险等级分配维护资源与备件库存,优先保障高风险点。通过小步快跑的变

更管理,将参数调整、剧本优化与软件升级纳入全流程记录、审批与回滚,避免维护引入新的不确定性。复盘机制要求每一次告警与联动都留下数据、决策与行动三类证据,经由跨专业会议完成定性、复现与改进闭环,再将结果同步至培训与演练计划,使组织能力与技术能力同步进化。为应对不可预见情境,建立快速试验平台,以仿真与硬件在环验证新策略,在不影响生产的前提下获得可用结论,并将有效做法固化为模板与参数集,实现从事件到能力的持续跃升。在人员层面,建立多角色轮训制度与技能认证,以高频短训巩固关键动作与异常识别,降低对个别骨干的过度依赖,让组织在人员更替时仍能保持稳定表现。在技术路线选择上,优先采用可解释、可验证的算法与控制逻辑,避免黑箱决策侵入关键链路。对外通报机制应在事件发生后的短时间内完成,既共享关键信息又保护隐私,维护公众信任。韧性的终极衡量不止于反弹回原状,更在于吸取经验后获得更高水平的稳定性与自适应能力。

## 4 结语

智能建筑的消防安全优化应以系统工程为主线,先保证最小可行链路可靠,再以多源感知与数据融合提升识别能力,以情境化联动与可解释界面提升处置效率,以生命周期管理与韧性思维保障持续运行与可演进。方法、规程与组织协同一致,系统方能在复杂工况与不确定扰动下保持敏捷与稳定,为使用者提供更高水平的安全与信任,并在长期运营中以数据驱动的方式实现持续改进、成本优化与经验沉淀。面向未来,随着数字化基础设施普及,系统还将以更高的透明度与自学习能力支撑安全治理升级。

## 参考文献

- [1] 陈虎. AI 技术在智能建筑消防安全管理中的应用探究[J]. 绿色建造与智能建筑, 2025, (05): 77-79.
- [2] 王坤. 智能建筑消防电气技术为住宅安全保驾护航[J]. 中华民居, 2024, 17(08): 127-128.
- [3] 辛天兵. 高层智能建筑消防自动化系统实现技术研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (05): 149-151. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2024.05.046.
- [4] 杜黄立. 智能建筑中消防安全监测与预警技术研究[J]. 消防界(电子版), 2024, 10(05): 39-41. DOI: 10.16859/j.cnki.cn12-9204/tu.2024.05.006.