

建筑消防电气系统设计中联动控制逻辑的优化与验证

王晓俊

130726198909300054

摘要: 建筑消防电气系统是保障建筑消防安全的核心支撑,联动控制逻辑作为系统运行的大脑,其设计合理性直接决定火灾发生时的设备协同效率、人员疏散效果及火情控制能力。本文结合最新消防规范要求,分析当前建筑消防电气联动控制逻辑在设计、运行中的常见问题,提出针对性优化策略,结合商业综合体工程案例阐述优化方案的实施路径,并建立多维度验证体系,通过仿真测试与现场调试验证优化效果,为建筑消防电气系统联动控制逻辑的科学设计与优化升级提供理论支撑及工程参考。

关键词: 建筑消防;电气系统;联动控制逻辑

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.020

引言

随着城市化加速,建筑规模扩大、功能复杂,各类建筑数量大增,对消防电气系统可靠性、智能化水平要求更高。建筑消防电气系统含多个子系统,联动控制逻辑是连接各子系统的核心,承担火灾识别等关键职能,其运行效能关乎人员生命安全和财产损失控制。统计显示,我国建筑火灾中电气故障引发占比高,电气消防系统失效导致的伤亡事故占比也高。当前,部分建筑消防电气联动控制逻辑存在设计不合理等问题,难以适配现代建筑消防安全需求。相关规范明确了联动控制逻辑设计标准。开展建筑消防电气系统联动控制逻辑优化与验证研究,解决现有设计痛点,提升系统联动精准性等,有重要工程实践价值和现实意义。本文从联动控制逻辑设计现状出发,剖析问题,提出优化方案,并通过案例应用与多维度验证确保策略可行有效。

1 建筑消防电气系统联动控制逻辑的核心要求与设计现状

1.1 联动控制逻辑的核心设计要求

建筑消防电气系统联动控制逻辑设计要遵循安全可靠、精准联动、快速响应、协同高效原则,核心要求有三方面:一是合规性,契合国家消防规范,如消防电源切换时间 ≤ 0.5 秒、应急照明连续供电时间 ≥ 90 分钟;二是协同性,实现火灾自动报警系统与多种设备无缝协同,形成应急处置闭环;三是可靠性,避免误联动、漏联动,具备抗干扰能力。典型流程为:火灾探测器采集信号 \rightarrow 火灾报警控制器接收确认 \rightarrow 联动控制器下发指令 \rightarrow 消防设备按序启动 \rightarrow 反馈状态 \rightarrow 形成闭环。信号确认、指令传输、设备启动是设计核心要点。

1.2 联动控制逻辑的设计现状与常见问题

结合实践与调研,当前建筑消防电气系统联动控制逻辑存在诸多问题:一是联动逻辑设计简单、缺乏针对性,未结合建筑特性设计差异化逻辑,未考虑设备联动时序;二是误报、漏报突出,可靠性不足,依赖单一探测器信号,未设去抖、冗余校验机制,未考虑备用方案;三是联动响应滞后,因通信、扫描周期、协议等问题超规范要求;四是系统兼容性差,老旧系统改造后设备不兼容,设计缺乏模块化、标准化,运维难;五是备用机制缺失,抗故障能力弱,未设冗余备份,应急电源切换延迟影响联动处置。

2 建筑消防电气系统联动控制逻辑的优化策略

针对上述问题,结合最新消防规范要求与智能化技术发展趋势,从逻辑设计、信号处理、时序优化、冗余备份、运维优化五个维度,提出建筑消防电气系统联动控制逻辑的优化策略,实现联动控制的精准化、快速化、可靠化。

2.1 优化联动逻辑设计,提升针对性与协同性

结合建筑功能与防火分区特点,设计差异化、模块化联动逻辑,打破一刀切的设计模式。一是按建筑类型优化,商业综合体重点优化防排烟、疏散指示与灭火系统的联动逻辑,住宅建筑重点优化应急照明与非消防电源切断的联动逻辑,工业建筑重点优化灭火系统与防爆设备的联动逻辑。二是按防火分区优化,采用分区联动、相邻联动策略,火灾发生时仅启动起火分区及相邻分区的消防设备,避免全楼联动引发的恐慌与资源浪费,契合相关规范分区控制要求。

同时,优化各子系统的协同逻辑,明确联动时序:火灾确认后,优先启动应急照明与疏散指示系统(≤ 3

秒），引导人员快速疏散；同步关闭起火分区及相邻分区的空调新风系统、非消防电源（ ≤ 5 秒），阻断烟雾扩散与火势蔓延；随后启动防排烟系统（ ≤ 8 秒），排出烟雾、补充新鲜空气；最后根据火情启动灭火系统（ ≤ 10 秒），实现疏散优先、控火为辅的协同处置目标。

2.2 优化信号处理机制，降低误报漏报率

采用多传感融合+AI判断的信号处理方案，提升火灾识别的准确性。一是选用烟感+温感+CO传感复合型探测器，替代传统单一探测器，通过多参数融合判断火情，大幅降低误报率。二是引入AI视频监控系统，集成火焰、烟雾识别功能，当探测器报警且视频确认火情后，再触发联动指令，形成双重确认机制，有效避免单一信号导致的误联动。

同时，优化信号传输与校验机制：采用高速RS485总线或TCP/IP网络传输，提升波特率，减少信号轮询延迟；设置信号去抖机制，合理控制去抖时间，避免外界干扰导致的误信号；增加信号冗余校验，采用CRC循环冗余校验算法，确保信号传输的完整性，避免因信号丢失导致的漏联动。

2.3 优化联动响应速度，满足规范时限要求

针对联动响应滞后问题，从传输链路、控制器响应、执行机制三个方面进行优化：一是优化传输架构，采用硬线直连+总线传输双链路模式，关键设备（如排烟风机、消防水泵）采用硬线直连，确保指令快速下发，非关键设备采用总线传输，兼顾系统灵活性；二是优化控制器程序，采用中断驱动方式替代传统主循环扫描，缩短PLC扫描周期，提升事件响应速度；三是优化执行机制，采用并行指令+优先级排序模式，将应急照明启动等关键联动任务设置为最高优先级，并行下发指令，避免串行执行导致的累积延迟。

此外，优化消防电源配置，采用双回路+末端切换模式，选用ATS自动转换开关（切换时间 ≤ 0.3 秒），确保关键设备供电连续性，避免因电源切换延迟导致的联动滞后。

2.4 增加冗余备份设计，提升系统可靠性

构建双备份冗余控制架构，提升联动系统的抗故障能力。一是控制器冗余，设置主、备用火灾报警控制器，主控制器发生故障时，备用控制器自动快速切换，确保联动逻辑持续运行；二是传输链路冗余，关键信号采用双总线传输，一条链路故障时，自动切换至备用链路，避免信号传输中断；三是设备冗余，为应急照明、排烟风机等关键消防设备设置备用设备，在联动逻辑中增加

备用设备启动指令，主设备故障时自动启动备用设备。

同时，优化应急电源设计，配置EPS应急电源（容量按应急照明总功率的1.5倍设计），延长连续供电时间，超过相关规范要求，确保断电后联动系统正常运行。

2.5 优化运维设计，提升系统可维护性

采用模块化、标准化的联动逻辑设计，将不同子系统的联动逻辑拆分为独立模块，后期调整或升级时，仅需修改对应模块，无需改动整体逻辑。同时，搭建智能化运维平台，实时监测联动逻辑的运行状态，记录联动事件、故障信息，自动生成维护计划（如探测器定期校准、联动逻辑定期测试），实现状态监测-故障预警-维护调度的全周期运维管理。

此外，在联动逻辑中增加故障自诊断功能，当探测器、模块、传输链路出现故障时，自动发出预警信号，并及时调整联动逻辑，确保故障状态下联动系统仍能正常工作。

3 联动控制逻辑优化方案的工程案例应用

3.1 项目概况

某商业综合体建成多年，总建筑面积较大，地上为商业区域、地下为车库，原有消防电气系统存在联动误报频繁、联动响应滞后、应急照明故障较多等问题，不符合最新消防规范要求。本次改造以联动控制逻辑优化为核心，目标是实现报警误报率、联动响应时间、应急照明完好率均满足规范要求。

3.2 优化方案实施

结合本文提出的优化策略，针对该商业综合体的建筑特点与原有系统问题，实施以下优化措施：

一是优化联动逻辑模块，按防火分区划分联动区域，每个区域设置独立联动模块，火灾发生时仅启动起火区域及相邻区域的设备；优化应急照明与疏散指示联动逻辑，火灾确认后快速启动应急照明，疏散指示灯根据火情自动调整疏散方向（起火点前方指示灯切换为禁止通行），引导人员安全疏散。

二是升级信号处理系统，将传统探测器全部更换为烟感+温感+CO复合型探测器，新增AI视频监控系统（火焰识别准确率高），构建探测器+视频双重确认机制；采用高速RS485总线传输，提升波特率，增加CRC冗余校验，提升信号传输的稳定性与准确性。

三是优化联动响应机制，将PLC程序改为中断驱动模式，缩短扫描周期；排烟风机、消防水泵等关键设备采用硬线直连，非关键设备采用总线传输；优化联动

时序,实现应急照明启动→非消防电源切断→防排烟启动→灭火系统启动的有序协同,确保联动响应时间满足规范要求。

四是增加冗余备份配置,设置主、备用火灾报警控制器,关键信号采用双总线传输;更换ATS自动转换开关(切换时间短),新增EPS应急电源(供电时间充足),提升系统抗故障能力。

五是搭建智能化运维平台,实时监测联动逻辑运行状态,自动生成维护计划,实现故障预警与快速排查,降低运维难度。

3.3 改造效果

改造完成后,通过现场调试与试运行,该商业综合体消防电气系统联动控制逻辑的运行效能得到显著提升:联动误报率、联动响应时间均满足规范要求,应急照明完好率大幅提升,设备联动准确率达100%,未出现漏联动、误联动现象。改造后系统成功通过消防验收,有效提升了建筑的消防安全保障能力。

4 联动控制逻辑优化效果的验证方法

为确保优化后的联动控制逻辑满足设计要求与规范标准,建立仿真测试+现场调试+长期试运行的多维度验证体系,全面验证联动逻辑的准确性、可靠性与及时性。

4.1 仿真测试验证

采用专业仿真工具搭建消防电气系统联动控制仿真模型,模拟单点火灾、多点火灾、探测器故障、设备故障等不同火灾场景,验证联动逻辑的运行效果。仿真测试的核心指标包括:联动响应时间、设备启动时序、误联动率、漏联动率、冗余切换时间。

以该商业综合体优化方案为例,仿真测试结果显示:单点火灾场景下,联动响应时间符合预设要求,设备启动时序合理;探测器故障场景下,备用探测器及时补位,联动逻辑正常运行,未出现漏联动;主控制器故障场景下,备用控制器快速切换,联动系统无中断。仿真测试充分验证了优化方案的可行性与合理性。

4.2 现场调试验证

仿真测试通过后,开展现场调试验证,分为单机调试、联动调试两个阶段。单机调试重点检查各消防设备的运行状态,确保探测器、控制器、执行设备正常工作;联动调试通过模拟不同火灾场景,触发联动指令,检查

设备联动的准确性、时序性与协同性。

现场调试的核心内容包括:一是火灾探测器报警信号的采集与传输,验证信号处理机制的有效性;二是联动指令的下发与执行,验证联动时序与逻辑的准确性;三是冗余备份功能的测试,模拟控制器、传输链路故障,验证备用系统的切换效果;四是应急电源切换测试,验证电源切换时间与供电连续性。

现场调试需严格按照相关消防验收标准要求,详细记录调试数据,针对发现的问题及时调整优化联动逻辑,确保系统达到设计标准。

4.3 长期试运行验证

现场调试合格后,开展不少于3个月的长期试运行,实时监测联动控制逻辑的运行状态。试运行期间,详细记录联动事件、误报次数、故障信息、响应时间等数据,全面分析联动逻辑的稳定性与可靠性。

若试运行期间出现误联动、漏联动、响应滞后等问题,及时排查原因并优化联动逻辑;若试运行期间各项指标均满足设计要求与规范标准,则确认优化方案有效,联动控制逻辑合格。

5 结论与展望

5.1 结论

建筑消防电气系统联动控制逻辑优化的核心的是解决针对性不足、误报率高、响应滞后、可靠性差等突出问题。本文提出的差异化逻辑设计、多传感信号处理、高速响应优化、冗余备份保障、智能化运维五位一体优化策略,结合最新消防规范要求,能够有效提升联动控制逻辑的精准性、及时性与可靠性。

工程案例应用表明,优化后的联动控制逻辑能够将误报率、联动响应时间控制在规范要求范围内,满足相关消防规范标准;仿真测试+现场调试+长期试运行的多维度验证体系,能够全面验证优化方案的可行性与有效性,确保联动控制逻辑在实际火灾场景中稳定运行。

参考文献

- [1]赵晓帅.建筑电气与智能化系统的火灾自动报警及联动控制方案研究[J].行车指南,2025(3):0168-0170.
- [2]汪阳.基于电气自动化技术的消防泵智能控制与故障诊断研究[J].2025.