

建筑电气防灾系统效能评估与优化策略研究

陈朕

(杭州园林设计院股份有限公司)

【摘要】文章分析了现有建筑电气防灾系统的组成、工作原理及其存在的主要问题,结合相关标准与技术规范,提出了一套基于效能评估的优化策略。构建了针对电气防灾系统的效能评估指标体系,并利用适当的评估模型和方法对其进行了详细分析,案例研究表明,该评估方法能够有效识别系统中的薄弱环节,为建筑电气防灾系统的性能提升和故障预防提供了理论依据和技术支持。

【关键词】建筑电气;防灾系统;效能评估;优化策略

中图分类号:TU85;TU892

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.04.039

Research on the Efficiency Evaluation and Optimization Strategy of Building Electrical Disaster Prevention System

CHEN Zhen

(Hangzhou Landscape Architecture Design Institute Co., Ltd.)

【Abstract】This paper analyzes the composition, working principle and main problems of the existing building electrical disaster prevention system, and proposes a set of optimization strategies based on performance evaluation combined with relevant standards and technical specifications. It has established an effectiveness evaluation index system for the electrical disaster prevention system, and conducted a detailed analysis using appropriate evaluation models and methods. The case study shows that the evaluation method can effectively identify the weak links in the system, which provides a theoretical basis and technical support for the performance improvement and fault prevention of the building electrical disaster prevention system.

【Keywords】building electrical; disaster prevention systems; performance evaluation; optimization strategy

1 引言

在建筑领域,电气系统是保障建筑正常运行的关键,同时也潜藏着火灾、漏电等各类安全隐患^[1]。若建筑电气防灾系统处置不当,不仅会严重影响建筑电气系统的稳定运行,更会导致其在关键场景下无法有效发挥防灾减灾效能。因此,开展建筑电气防灾系统效能评估工作,能够有效提升建筑安全防护水平、降低安全事故发生风险,营造安全的环境。

2 建筑电气防灾系统现状与问题分析

建筑电气防灾系统主要由火灾自动报警系统、电气火灾监控系统、应急照明与疏散指示系统等构成,其中火灾自动报警系统是整个防灾系统的核心,涵盖感烟探测器、感温探测器等关键设备。感烟探测器作为火灾初期探测烟雾的重要装置,常见类型为光电感烟探测器,其探头内部构造精密。当烟雾进入探测器时,烟雾中的微小颗粒会吸收、散射光线,探测器内部光学结构将光线导向光电元件,正常工作下,光电元件接收的光线强度稳定,电阻值维持

在特定范围;一旦烟雾进入改变光线强度,光电元件接收的光量随之变化,电阻值也会相应改变。

当前,建筑电气防灾系统存在诸多亟待解决的问题,其中探测器误报率高和系统联动性不足的问题较为突出^[2]。建筑电气防灾系统涵盖火灾自动报警、防排烟、消防应急照明等多个子系统,各子系统依赖信号传输实现协同运作。当火灾发生时,报警系统发出警报,若防排烟系统启动滞后,则会导致烟雾无法及时排出,并妨碍人员疏散,影响防灾减灾效果。此外,在电气火灾监控系统设置方面,相关规范也进一步细化了场所要求。除明确要求的场所外,民用机场航站楼、一级和二级汽车客运站、一级和二级港口客运站等交通枢纽,因人员密集、流动性大,电气火灾后果严重,均须设置电气火灾监控系统^[3]。

3 建筑电气防灾系统效能评估方法

3.1 效能评估指标体系构建

在建筑电气防灾系统中,设备选择至关重要。以探测器为例,需根据场所火灾风险、环境特点差异

合理选型:在人员密集且烟雾易扩散的场所,宜选用高灵敏度离子感烟探测器;在厨房等油烟较多的环境,则应选择对烟雾、温度变化综合感应的复合型探测器。

不同品牌探测器的性能参数差异显著,以响应时间为例,响应时间 T 可表示为:

$$T = t_{\text{报警}} - t_{\text{起火}} \quad (1)$$

式(1)中: $t_{\text{报警}}$ 表示探测器发出报警信号的时间, $t_{\text{起火}}$ 为火灾实际发生的时间。设备选择指标中,还需考虑设备可靠性,可通过平均故障间隔时间(MTBF)衡量,公式如下:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (2)$$

式(2)中: t_i 表示第*i*次故障间隔时间, n 是故障次数。MTBF值较高意味着设备可靠性更高。定期对探测器进行维护、清洁,是维持其最佳工作状态的必要前提,维护频率与设备故障概率密切相关,可通过故障概率 P 表征维护效果:

$$P = \frac{N_{\text{故障}}}{N_{\text{总}}} \quad (3)$$

式(3)中: $N_{\text{故障}}$ 表示探测器故障次数, $N_{\text{总}}$ 为探测器运行总次数。通过提高维护频率降低 P 值,可确保探测器稳定运行。在此基础上,建筑设计中需结合空间布局和火灾发展模型,合理确定探测器位置,缩短烟雾传播距离 d 。例如在长30m、宽20m的大空间场所,将探测器布置在中心与均匀分布在四周相比,烟雾传播到探测器的平均距离可从15m左右缩短至10m左右,按一般烟雾扩散速度0.5m/s计算,传播时间可从30s减少至20s。探测器均匀密集布置可在一定程度上提升系统性能,但单纯增加密度并非最优解,需综合多方面因素优化。

从系统成本考量,过度密集布置探测器会显著增加采购、安装及后续维护成本。因此,可基于风险评估结果,按火灾风险等级划分不同区域:高风险区域(如电气设备集中的配电室、易燃物堆积的仓库等)适当提高探测器布置密度;低风险区域(如人员流动少且无明显火灾隐患的普通储物间)可保持相对较低的布置密度。

3.2 评估模型与方法

研究拟采用层次分析法(AHP)与模糊综合评价法(FCE)相结合的模型,开展建筑电气防灾系统效

能评估。

首先利用AHP确定指标权重:邀请消防、电气等领域专家,依据各指标重要性评分,确定一级指标 W_1, W_2, W_3, W_4 (设备选择、维护情况、布置合理性、通信畅通性)的权重。每个一级指标包含多个二级指标,具体如下:设备选择包含设备可靠性、设备兼容性等;维护情况包含维护频率、人员专业水平等;布置合理性包含探测器布置密度、布局均匀性等;通信畅通性包含设备稳定性、信号传输质量等;进而确定各二级指标在其所属一级指标下的权重^[4]。

接着采用模糊综合评价法,结合实际数据与相关标准,将每个二级指标的评估划分为“优”“良”“中”“差”四个等级。例如:探测器响应时间小于15s时,对“优”的隶属度为0.8、对“良”的隶属度为0.2;响应时间在15s~25s之间时,对“良”的隶属度为0.7、对“中”的隶属度为0.3。据此确定所有二级指标的隶属度,构建模糊评价矩阵,每个一级指标对应的模糊评价矩阵均包含其下属二级指标对四个等级的隶属度。

最后进行综合评价计算:结合二级指标权重,采用模糊矩阵运算(常用加权平均法或最大-最小合成法),得出各一级指标的评价结果(如 B_1, B_2, B_3, B_4);再结合四个一级指标的权重,计算建筑电气防灾系统的综合评价结果:

$$B = W_1 \times B_1 + W_2 \times B_2 + W_3 \times B_3 + W_4 \times B_4 \quad (4)$$

式(4)中: W_1, W_2, W_3, W_4 是一级指标的权重, B_1, B_2, B_3, B_4 是各一级指标的评价结果。

3.3 效能评估实例分析

以某建筑面积30000m²的商业写字楼为例,该建筑配备火灾自动报警系统、消防联动控制系统等,下面对其电气防灾系统效能进行评估。

设备选用国际知名品牌探测器,实际测试平均响应时间18s;过去一年探测器故障5次,计算得平均故障间隔时间(MTBF)为1440h。维护方面,该写字楼每月开展一次全面维护清洁,过去一年探测器总运行1000次、故障5次,故障概率 P 为0.5%。探测器布置经专业设计,结合空间划分与火灾风险评估,烟雾传播到探测器的最大距离不超过12m,按0.6m/s的烟雾扩散速度计算,最长传播时间为20s。通信方面采用双线路冗余通信,过去一年总通信10000次、中断2次,通信中断率 R 为0.02%。利用AHP确定各一级指标权重:设备选择权重 $W_1=0.3$,维护情况

权重 $W_2=0.2$, 布置合理性权重 $W_3=0.3$, 通信畅通性权重 $W_4=0.2$ 。

按照模糊综合评价法分析各指标隶属度: 响应时间 18s, 隶属“良”; MTBF=1440h, 隶属“中”; 故障概率 0.5%, 隶属“良”; 烟雾传播时间 20s, 隶属“良”; 通信中断率 0.02%, 隶属“良”。结合实际测量条件, 得出相关模糊评价矩阵如下:

表1 设备选择模糊评价矩阵

评价等级	响应时间	MTBF	故障概率
优	0	0	0
良	1	0	1
中	0	1	0
差	0	0	0

因此, 设备选择的评价向量 $B_1=[0,1,1,0]$

表2 维护情况模糊评价矩阵

评价等级	故障概率
优	0
良	1
中	0
差	0

维护情况的评价向量 $B_2=[0,1,0,0]$

同理可得布置合理性的评价向量 $B_3=[0,1,0,0]$

通信畅通性的评价向量 $B_4=[0,1,0,0]$

进行加权计算总的综合评价向量 B :

$$B=W_1 \times B_1+W_2 \times B_2+W_3 \times B_3+W_4 \times B_4=[0,1,0.3,0]$$

依据最大隶属度原则, 该写字楼建筑电气防灾系统综合评价结果为“良”。从各指标隶属度来看, 设备选择中的设备可靠性仍有提升空间, 可考虑更新设备; 通信系统虽表现较好但存在中断情况, 后续可进一步优化通信系统, 提升系统整体效能。

4 建筑电气防灾系统优化策略

4.1 智能化技术在系统优化中的应用

智能化技术为建筑电气防灾系统优化提供了有力支撑。引入人工智能算法可有效提升火灾探测器的识别精度, 依托机器学习算法, 可对海量火灾及非火灾数据进行模型训练, 对烟雾浓度、温度变化率、一氧化碳浓度等多类参数进行融合研判。此外, 引入物联网技术可实现设备间的互联互通, 在电气设备上加装智能传感器, 实时采集电流、电压、功率等运行状态数据并上传至云端平台, 一旦数据出现异常波动, 系统即刻自动预警, 及时排查潜在隐患, 保障系统稳定运行。

4.2 系统联动与信息集成优化

优化系统联动与信息集成是提升建筑电气防灾系统效能的关键举措。通过建立统一的通信协议与数据接口, 可保障各子系统间信息高效传输。以火灾场景为例, 火灾自动报警系统检测到火情信号后, 可通过标准化接口快速将指令传递至防排烟、应急照明与疏散指示等子系统。同时结合分布式数据库技术实现系统信息的整合管理, 提升信息处理效率与可靠性。基于历史数据与实时监测数据, 运用模糊综合评价模型判定火灾风险等级, 自动优化各子系统联动策略, 针对高风险区域提升防排烟系统响应速度, 保障人员安全疏散^[5]。

4.3 运维管理与故障检测策略

为保障建筑电气防灾系统长期稳定运行, 需制定规范化定期巡检方案, 对电气设备开展全面检修维护, 如每季度对火灾探测器进行清洁与校准, 保证其探测灵敏度满足规范要求。引入故障预测与健康管理(PHM)技术, 结合设备运行数据及历史故障信息构建故障预测模型, 以漏电保护系统为例, 通过分析漏电流变化趋势, 提前预判潜在故障, 在故障发生前完成设备检修或更换。

5 结语

综上所述, 通过对建筑电气防灾系统开展效能评估, 可有效识别系统的薄弱环节, 并据此提出针对性优化方案。研究表明, 构建科学的评估指标体系、选用适宜的评估模型, 能够系统排查电气防灾系统的潜在问题, 为后续系统优化提供理论依据。通过应用智能化技术、完善系统联动与信息集成机制等措施, 可进一步提升建筑防灾体系的整体运行效能。

参考文献

- [1] 王君, 黄兆睿. 基于BIM技术的建筑电气节能设计与优化[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(4): 47-49.
- [2] 黄玉良. 智能建筑电气设计存在的问题及优化策略[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024(4): 131-133.
- [3] 桑铠. 智能化建筑电气设计的优化策略分析[J]. 建材发展导向, 2024, 22(7): 59-61.
- [4] 金延珉. 智能建筑电气设计存在的问题及优化策略[J]. 新型工业化, 2022, 12(9): 132-135.
- [5] 龚嫣然. 某社区智能建筑电气节能设计及实现策略[J]. 电子技术与软件工程, 2019(23): 209-210.