

电气火灾监控系统的可靠性设计研究

关玉辉

安徽中科光电色选机械有限公司 安徽合肥 230000

摘要: 随着建筑电气复杂度提升与工业用电负荷增大, 电气火灾频发已成为威胁人员生命财产安全的重要隐患, 而当前主流的电气火灾监控系统基于有线组网的方式, 存在部署难度大、成本高等问题。以下围绕电气火灾监控系统可靠性设计展开研究, 梳理可靠性设计核心理论与常用分析工具, 重点探讨硬件、软件、系统集成及运维管理层面的关键设计策略, 结合可靠性测试验证方法与工程应用案例进行分析。研究旨在为提升电气火灾监控系统的稳定运行能力、降低漏报误报风险提供理论支撑与实践参考, 对强化消防安全防控体系具有重要意义。

关键词: 电气火灾; 监控系统; 可靠性设计

城市化进程加快以及工业生产规模不断扩大, 推动了电气设施普及应用, 电气线路老化、短路、过载等问题所引发的火灾事故数量居高不下, 造成了惨重的人员伤亡和经济损失, 电气火灾防控已成为消防安全工作的重中之重。电气火灾监控系统可实时监测电气线路的关键参数, 及时发现火灾隐患并进行预警, 是应对电气火灾的核心技术设备。然而, 目前市场上的电气火灾监控系统在实际应用时, 常因环境干扰、硬件故障、软件缺陷等问题, 出现可靠性不足的情况, 引起预警失效或误报多发, 严重影响了防控效果。在此背景下, 开展电气火灾监控系统可靠性设计研究, 优化系统运行全流程设计方案, 增强其在复杂工况下稳定运行的能力, 成为攻克当前电气火灾防控难题的关键途径。

一、电气火灾监控系统可靠性设计基础理论与方法

电气火灾监控系统可靠性设计以保证系统在规定条件与时间内达成火灾监测、预警核心功能为目的, 其基础理论体系由故障机理分析、可靠性分配于预计三大核心模块构成。故障机理分析围绕系统各环节潜在的失效诱因展开, 含有电气元件老化、环境应力侵蚀、电磁干扰效应等, 为设计优化提供针对性依据; 可靠性分配凭借层级解析, 把系统整体可靠度指标合理分配到模块、元件级, 实现资源精准配置; 可靠性预计借助元件手册数据、类比试验等手段, 预判系统生命周期内的可靠性能。常用的可靠性分析工具中, 故障树分析 (FTA) 把系统故障设作顶事件, 制定因果逻辑模型, 精准查找关键失效路径; 失效模式与影响分析 (FMEA) 进行系统性识别, 明确各模块失效模式及对整体功能的影响程度,

对风险的优先级加以量化; 可靠性框图 (RBD) 通过串联、并联等拓扑结构刻画部件可靠性的关联, 直观支撑系统可靠性建模与评估。这些理论与工具一起形成可靠性设计的技术基础, 为系统优化给予科学支持, 为后续硬件选型、软件迭代及系统集成的可靠性设计实践提供明确指引, 保障防灾预警功能稳定落地^[1]。

二、电气火灾监控系统可靠性设计关键策略

(一) 硬件可靠性设计

硬件作为系统运行的基础载体, 其可靠性直接决定系统整体稳定性能, 核心设计要贯穿从元器件选型到电路设计再到防护设计的全流程。元器件选型阶段, 应首先选用工业级或车规级产品, 重点衡量传感器的精度稳定性、芯片的抗干扰能力与电源模块的输出纯度, 同时采用高温、低温、老化等筛选试验剔除早期失效元器件, 从源头降低故障风险。电路设计方面, 需优化布线布局, 减少信号干扰与串扰, 增加配备滤波电路、浪涌保护器 (SPD) 以强化电磁兼容性, 提高接地及等电位连接设计的完善度, 避免静电积累和雷击损坏; 针对大功率元件, 配置高效散热体系, 防止过热让性能变差, 机械防护设计应按照应用场景确定外壳防护等级 (IP等级), 使用密封设计阻挡粉尘、水气的侵入, 采用抗振结构提升安装的稳固程度, 让硬件在复杂工业环境或恶劣气候条件下长期实现可靠运行。

(二) 软件可靠性设计

软件是实现系统各项功能的核心, 其可靠性设计需要聚焦容错能力、逻辑严密性及运行实时性。容错设计层面, 要搭建程序异常捕获与自我复原机制, 对数据传

输、故障判断等关键环节开展冗余校验，借助CRC校验、奇偶校验等方式纠正数据传输错误，通过多源传感器数据交叉验证避免单一信号误判。模块化设计需要把系统功能拆解为独立模块，降低模块间耦合度，便于故障排查与升级维护，同时规范代码编写的规范要求，依靠静态分析、动态测试排查逻辑的漏洞^[2]。优化数据处理算法是提升可靠性的关键，需借助自适应滤波算法剔除环境的干扰噪声，优化故障识别模型相关参数，提高火灾隐患判定的精准率与响应速度。此外，应设计安稳的远程升级机制，支持断点继续传输与版本回滚，避免升级过程中断引发系统瘫痪，同时对软件程序进行加密，防止软件遭到恶意篡改与非法访问。

（三）系统集成可靠性设计

系统集成可靠性设计需要打破硬件、软件及外部设备的协同壁垒，保证各环节衔接顺畅。传输链路设计可采用多链路冗余方案，把有线（RS485、CAN总线）和无线（LoRa、NB-IoT）的传输模式结合，若主链路发生故障，便自动切换至备用链路，同时对通信协议做进一步优化，添加重传机制以及超时处理逻辑，增强数据传输的完整性与及时性。接口兼容性设计需遵循GB 14287、IEC 62607等相关标准，借助标准化接口达成与消防联动系统、监控平台的无缝对接，减少因接口不兼容引起的运行故障。供电系统可靠性设计需配置双电源切换装置，做到市电与备用电源的快速切换，配置大容量备用电池，保障系统在断电后持续工作，同时优化电源管理模块，采用低能耗设计降低能源的消耗，延长设备续航时间。此外，需凭借系统联调测试验证各模块的协同性能，排查集成阶段的兼容性问题点，提高系统整体的可靠性，并建立远程运维通道，实现故障预警与快速恢复。

（四）运维与管理可靠性保障设计

运维及管理的规范化是保障系统长期可靠运行的重要支撑，应构建覆盖全生命周期的保障体系。状态监测与预警设计应实时采集系统运行参数（如电压、电流、温度、通信状态），设置参数阈值预警机制，若参数处于异常状态，及时发出告警并推送故障信息，便于运维人员迅速做出响应。远程运维诊断系统需要支持远程数据的采集、故障的定位和程序的升级，减少现场运维经费，提升故障处理效率，同时建立运维数据台账，记录设备运行状态、故障处理经过等信息，为后续的优化提供数据支撑。设计标准化运维流程，需要制定详细的安装调试手册、定期检修规范，清晰界定检修周期、内容及标

准，关键查看传感器精度、线路连接、电源性能等核心部分，及时更换老化部件。强化对运维人员的专业培训，增进其操作的规范水平与故障排查能力，杜绝因人为误操作让系统出现故障，构建起“监测—预警—处理—优化”的闭环式管理机制^[3]。

三、电气火灾监控系统可靠性测试与验证方法

（一）可靠性测试指标与标准

可靠性测试指标是量化系统可靠性表现的核心依据，需围绕系统运行全生命周期关键需求设定。核心指标包括平均无故障工作时间（MTBF），用于衡量系统长期稳定工作能力，是考量可靠性的核心参数；故障率（ λ ），反映单位时间内系统发生故障的概率，为故障预防给出数据支撑；可靠度（ $R(t)$ ），反映系统在规定时间内完成规定功能的概率；平均修复时间（MTTR），评定故障修复效率，影响系统可用性。此外，还需关注电磁兼容性、环境适应性等衍生指标。标准体系维度，国内以GB 14287《电气火灾监控系统》系列标准为核心，界定了测试方法、技术需求及合格判定标准；国际层面遵循IEC 62607系列标准，规范了系统在多样应用场景下的可靠性指标。这些标准为测试工作给出了统一的依据，保证测试结果呈现出科学性与可比性，是开展可靠性设计验证的关键前提^[4]。

（二）常用可靠性测试方法

常用可靠性测试方法需针对系统不同的失效模式与影响因素设计，以充分检验可靠性水平。加速寿命测试是核心方法之一，通过提高温度、湿度、电压等环境应力的量级，降低测试周期长度，快速估算系统在正常使用状态下的寿命及故障率，适合在产品研发阶段开展可靠性评估。环境应力筛选测试凭借温度循环、振动、冲击等程序，筛选出存在潜在缺陷的早期失效产品，从源头提升系统整体的可靠性。电磁兼容性（EMC）测试包含辐射发射、辐射抗扰度、传导发射、传导抗扰度四大核心项目，验证系统在复杂电磁环境下的运行稳定性，避免电磁干扰引起的故障。现场可靠性测试是在实际应用场景开展长期的系统运行监测，采集系统实际运转的真实数据，直观反映系统在实际工况环境下的可靠性能，为工程应用优化给出依据，综合多维度验证，确保全生命周期可靠性达标。

（三）可靠性验证与评估流程

可靠性的验证及评估要依照标准化流程，保障结果精准、可追查。首先是测试方案的制定阶段，需把系

统应用场景、相关标准要求与设计目标结合起来，明确测试指标、测试方法、样本个数及测试周期，同时规划数据采集方案及故障判定标准，防止测试过程中的随意性。选取样本需依照随机抽样原则，确保样本具有代表性，样本数量应结合统计分析的要求确定，实现测试成本与结果可靠性的平衡。测试实施阶段需严格按照方案执行，实时记录系统运行时的参数、故障发作时间、故障类型以及处理操作等数据，确保数据完整且精准可靠；针对测试环节中出现的故障，及时开展故障分析，明确故障出现的原因及影响范围。数据处理阶段借助可靠性统计分析工具，对所采集的数据展开整理分析，计算出MTBF、 λ 等核心参数。最后是评估与优化阶段，对比设计目标与测试结果，判断系统可靠性是否达标，针对存在的问题提出设计优化建议，建立“测试—评估—优化”的闭环流程，逐步增强系统可靠性，推动可靠性管理向体系化、智能化发展^[5]。

四、工程应用案例分析

选取某食品生产企业电气火灾监控系统建设项目作为案例，此企业配电回路复杂用电负荷波动大，电气线路出现老化、过载等情况的隐患风险高，对监控系统实现长期稳定运行和具备可靠性要求苛刻。项目采用Acrel-6000/B型电气火灾监控系统开展项目内容，结合上述可靠性设计策略，构建“硬件防护—软件优化—集成联动—运维保障”的全流程可靠运行体系。硬件端采用工业级ARCM200L型探测器，通过老化筛选剔除早期的失效元件，配套采用浪涌防护与密封散热设计；软件端植入多源头数据交叉验证算法，优化故障识别逻辑；系

系统集成采用RS485总线的环形拓扑形式与双电源切换设计，保证传输及供电稳定可靠；运维环节构建远程状态监测与故障预警的平台，构建标准化检修流程。项目实施后，系统可靠性显著提升，具体效果如表一所示，各项核心指标均满足设计要求，有效降低了电气火灾隐患风险，为企业安全生产提供了可靠保障^[6]。

结语

综上所述，电气火灾监控系统开展可靠性设计是提升其防灾效能的核心支撑，涉及理论方法、设计策略、测试验证与工程应用等多个维度。本文梳理的可靠性设计理论与关键策略，为系统优化提供了全面的思路，而测试验证模式与案例分析则进一步提高了设计方案的实践可行性。未来，需结合智能化、物联网等技术的发展趋势，持续改进可靠性设计方案，强化系统在复杂环境下的适应能力，为电气火灾监控系统的研发升级与工程应用提供有益指导，在加强消防安全保障的同时，降低电气火灾损失，推动标准升级与产业协同，共筑智慧安全新防线。

参考文献

- [1] 卢加新. 古建类博物馆电气火灾安全监控系统全流程管理研究[J]. 中国安防, 2025, (12): 76-78.
- [2] 苏丙康, 王雯煜, 申洋, 等. 基于多重防护的电气火灾安全监控系统研究[J]. 自动化应用, 2025, 66(16): 294-296.
- [3] 冯成. 电气火灾监控系统在化工企业中的关键应用与设计要点探讨[J]. 消防界(电子版), 2025, 11(10): 55-57.
- [4] 张和棋. 基于智慧消防的大型地下互通长隧道电气火灾监控系统研究[J]. 今日消防, 2024, 9(12): 49-51.
- [5] 毛杰. 智慧式电气火灾监控系统在仓储行业中的应用探讨[J]. 今日消防, 2024, 9(09): 37-39.
- [6] 刘金木. 电气火灾监控系统的应用实践分析[J]. 工程技术研究, 2024, 9(16): 229-231.

表一 具体效果统计表

可靠性指标	实施前 (行业平均)	实施后 (项目实测)	提升效果
报警响应时间	>15s	≤ 8s	响应效率提升46.7%
误报率	>1.2%	≤ 0.15%	误报率降低87.5%
平均无故障 工作时间	<8000h	≥ 12000h	稳定运行时长 提升50%
故障修复时间	>2h	≤ 0.5h	修复效率提升75%