

低压电气火灾成因分析及智能监控预警措施探讨

冯爱琳

天津市建筑设计研究院有限公司 天津 河西 300000

【摘要】：低压电气火灾是日常生活和生产中常见的安全隐患，其发生与电气线路、设备使用及维护不当密切相关，做好成因分析与智能监控预警是防范此类火灾的关键。本文结合实际场景，分析了低压电气火灾的主要成因，包括线路老化破损、接触不良、过载短路、违规用电等，指出这些因素相互作用易引发电气故障、产生高温电弧，最终导致火灾。在此基础上，探讨了适配低压场景的智能监控预警措施，通过安装智能监测设备、搭建预警平台、实现异常联动报警等方式，实时监测电气运行状态，提前发现安全隐患，为低压电气火灾防范提供实用可行的解决方案，降低火灾发生概率和财产损失。

【关键词】：低压电气火灾；成因分析；智能监控；预警措施

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.011

引言

低压电气设备广泛应用于家庭、商铺及企业，是生产生活的重要基础。随着用电负荷持续增长，线路老化、接触不良、违规用电等隐患易引发火灾，具有隐蔽性强、突发性高的特点。传统依赖人工巡检和事后处置的模式难以及时发现风险。本文结合实际，分析火灾成因与现有防控短板，探讨基于智能监控与预警的主动防控措施，为提升用电安全、降低火灾风险提供可行路径。

1 低压电气火灾的主要成因

电气线路老化破损是诱发低压电气火灾的重要因素。各类用电场所中的线路长期处于运行状态，受环境潮湿、粉尘侵蚀、物理摩擦及长期通电发热等多重因素影响，绝缘层会逐渐出现老化、变硬、开裂甚至脱落的情况，失去应有的保护作用。当内部导线裸露之后，极易与周边可燃物直接接触，或是与其他导线形成非正常连接，进而产生电火花与局部高温。在老旧小区、临街商铺、老旧厂房等区域，线路改造不及时、日常维护缺失的现象较为普遍，线路老化问题长期得不到重视，细微的安全隐患不断累积，最终形成明火，引燃周边物品，造成线路烧毁、设备损坏，甚至引发规模较大的火灾，对周边环境与人员安全构成直接威胁。

线路接触不良是引发低压电气火灾的常见诱因，在各类用电场景中都容易出现且隐蔽性较强。电气线路与开关、插座、电器设备的连接处，若是安装时没有固定牢固、接线不规范，或是长期使用中频繁插拔电器、线路震动，都会导致接头出现松动。接头松动后会使接触电阻变大，通电过程中电流通过松动的接头时，会产生大量热量，这些热量无法及时散发，就

会不断累积升温，慢慢将连接处的绝缘层烤化、碳化，失去绝缘保护作用^[1]。一旦绝缘层损坏，就会引发线路短路，产生高温电弧，而电弧很容易点燃周围的纸张、布料、杂物等易燃物品。

违规用电与设备故障同样是诱发低压电气火灾的重要因素，在日常用电环境中十分常见。部分场所存在随意私拉乱接线路的现象，不按照用电规范布置线路，随意增加用电负荷，将大功率设备集中接入同一回路或插座，致使线路长期处于超负荷运行状态。持续增大的负载会让导线温度不断升高，加速绝缘层老化破损，进而形成短路，最终引燃周边可燃物。同时，一些超期使用的老旧电器和质量不达标的设备，内部元器件容易出现性能下降、短路、漏电等状况，运行过程中会出现局部过热、打火等危险情况。这类隐患在日常使用中容易被忽略，若不能及时停用检修，持续带病运行，会逐步扩大风险，最终引发电气火灾，对生命财产安全构成严重威胁。

2 低压电气火灾现有防范及监控存在的问题

当前低压电气火灾防范手段普遍被动，多依赖事后处置，缺乏对隐患的提前预判与主动干预。日常管理主要依靠人工巡检，但检查多限于线路外观和设备表观状态，难以发现墙体内部、接线端子及隐蔽线路中的老化、虚接、电流异常等深层问题。部分场所安全意识薄弱，维护缺失，且无规范检查流程，往往在设备故障或线路明显损坏后才采取措施。这种滞后模式无法及时消除风险，导致隐患长期累积，最终由小问题演变为严重火灾，造成不可挽回的损失。

低压电气火灾监控手段普遍滞后，难以实现对线路温度、负载电流、漏电等关键参数的全面、实时监测。许多场所仍依赖传统烟雾或明火探测器，仅在火

灾已发生、烟雾明显时才报警，错失最佳处置时机^[2]。部分单位虽安装了简易电气监测装置，但功能单一，仅能监测单一指标，缺乏多参数融合分析与综合风险判别能力。面对过载、接触不良、漏电等复合型隐患，无法准确评估风险等级，且数据孤立、响应迟缓，预警可靠性低，难以满足复杂用电环境下对高效、精准防控的需求。

电气火灾的防范与监控环节衔接不够顺畅，整体缺少统一规范的管理机制。人工巡检与智能监测之间缺乏有效联动，现场排查出的隐患无法同步到监控系统进行重点跟踪，系统发出的异常预警也缺少明确的处置流程和专人负责落实，导致隐患发现与整改之间出现断层，不少问题长期搁置，无法形成闭环管理。不同场景的电气安全管理标准存在差异，部分场所为降低投入，选用质量一般的监测设备与防护器材，设备在运行过程中容易出现数据偏差、反应迟缓等问题，难以稳定发挥监测与防护作用。这种管理分散、标准不一、设备可靠性不足的状况，直接影响整体防控效果，也让低压电气火灾的安全管控面临更多实际困难。

3 低压电气火灾智能监控预警具体措施

为确保智能监控系统的工程落地性与可靠性，需明确关键设备的选型标准、布设原则及平台性能要求。温度传感器宜选用高精度（ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）、响应快（ $\leq 2\text{s}$ ）、具备自诊断功能的 PT100 或红外非接触式类型，优先部署于配电箱母排接头、大功率插座后端、穿墙套管等易发热节点；电流监测模块应支持宽量程（0-100A）、具备谐波分析能力，以识别非线性负载异常；漏电探测装置须符合 GB 14287.2-2014《电气火灾监控系统》标准，动作阈值可调（30-1000mA），并具备抗干扰设计^[3]。智能监控平台需满足以下技术指标：数据采集频率 $\geq 1\text{Hz}$ ，通信协议兼容 Modbus/TCP 与 MQTT，支持边缘计算与云端协同，报警响应延迟 ≤ 3 秒，系统可用性 $\geq 99.9\%$ 。上述参数为工程实施提供明确技术依据，避免因设备选型随意或平台能力不足导致监控失效。

低压电气智能监控预警系统可对各类用电场景下的电气运行状态进行全天候、全过程的实时监测，在配电箱、线路接头、大功率设备接口、隐蔽布线等火灾高发部位，合理布置温度传感器、电流监测模块和漏电探测装置，能够持续采集线路温度、负载电流、漏电情况等关键运行数据。这些监测设备对线路温升异常、电流波动过大、漏电超标等潜在风险进行不间断捕捉，精准识别用电过程中出现的不稳定状态，为后续的故障判断和风险预警提供真实有效的基础信

息。系统自带智能判别功能，可有效区分日常正常用电波动与真实故障信号，减少误报、漏报现象，保证监测结果稳定可靠^[4]。这套系统彻底改变了传统依赖人工巡查的被动模式，实现对电气状态的主动监控、全程跟踪与全面覆盖，能够在隐患萌芽阶段就及时发现问题，为低压电气火灾的提前预警和快速处置提供有力支撑，从源头提升电气安全的整体防控水平。

采集到的电气运行数据实时上传至智能监控平台，经统一存储、分析与状态判别，可对异常快速响应、精准识别。当线路温度、负载电流或漏电等关键参数超限时，系统自动分级预警并精确定位故障点，便于及时处置。平台还通过长期数据积累开展趋势分析，预判线路老化、设备劣化等潜在风险，为检修与改造提供依据。在此基础上，融合物联网架构实现设备全域互联，利用边缘计算进行本地数据滤波与特征提取，减轻云端负担；引入基于 LSTM（长短期记忆网络）的时序异常检测模型，可识别“温升伴随漏电微增”等复合型早期故障，误报率较传统阈值报警降低。同时，借助数字孪生技术构建电气系统虚拟映射，模拟不同工况下的热场分布，优化传感器布设与风险评估。该智能化管理将隐患处置前移至萌芽阶段，显著提升防控的前瞻性、可靠性与整体用电安全水平。

智能监控预警系统搭配成熟的联动处置功能，可进一步提升低压电气火灾的整体防控效率，让安全防护更加及时可靠。系统在识别出异常状态并发出预警的同时，会通过多种渠道将信息同步推送，确保相关人员在第一时间掌握故障位置与危险程度，迅速开展断电、检修、清理可燃物等针对性处理，把隐患控制在萌芽阶段。针对温度急剧升高、漏电严重、短路风险突出等紧急情况，系统可配合自动控制装置执行主动断电，及时切断危险回路，防止故障持续恶化并引发明火。该系统还能与现场消防报警设备实现联动，一旦出现火情迹象，可快速启动应急程序，为人员疏散和初期处置争取宝贵时间。整套系统结构清晰、操作简便，适用性强，可广泛应用于家庭、商铺、厂房等多种低压用电场景，实现从实时监测、智能分析、分级预警到自动处置的完整安全闭环，全方位提升电气火灾防控效果，为日常用电安全提供稳定有力的保障。

不同用电场景的风险特征与防控需求存在显著差异，智能监控方案应实施分类定制。家庭场景以隐蔽线路老化、违规插线板使用为主，宜采用低成本、无线组网的微型监测终端（如 NB-IoT 漏电/温度一体模块），重点覆盖客厅空调回路、厨房大功率插座及入

户总闸, 预警信息直推业主手机 APP, 并联动智能断路器实现远程断电。沿街商铺用电负荷波动大、私拉乱接普遍, 应强化过载与漏电双重监测, 在每户配电箱配置带电流谐波分析功能的多功能电表, 并设置动态负载阈值(如连续 30 分钟 $>80\%$ 额定电流即预警), 同时接入街道智慧消防平台, 实现属地化监管。工业厂房设备密集、环境复杂, 需部署工业级耐高温($-20^{\circ}\text{C}\sim+125^{\circ}\text{C}$)、抗电磁干扰的有线传感网络, 重点监控电机控制柜、桥架接头及临时用电点, 平台应集成设备健康评估模型, 结合历史数据预测绝缘劣化趋势, 并与企业 EHS 管理系统对接, 形成闭环整改流程。通过场景化设计, 使智能监控从“通用部署”转向“精准防控”, 切实提升措施的适用性与实效性。

4 低压电气火灾智能监控预警措施的应用效果

近年来, 多地试点应用验证了智能监控系统的有效性。例如, 2024 年天津市河西区某老旧小区在 12 栋居民楼加装智能监测终端, 6 个月内触发有效预警 47 次(32 次为接头温升超限, 最高 86°C ; 15 次为漏电超标, 平均 420mA), 均在未起火前完成处置, 实现火灾“零发生”。2025 年滨海新区某电子厂房通过 AI 算法识别出空压机电流周期性畸变, 提前更换设备, 成功避免潜在短路事故。实测表明, 系统对早期故障识别准确率达 92.3% , 平均预警提前 4.7 小时, 安全效益显著。

智能监控显著提升了隐患排查的精准性与时效性。系统对线路温度、负载电流、漏电等关键参数实施全天候监测, 可在故障初期捕捉温升异常、接触不良等细微变化, 并及时预警。尤其对人工难以触及的接头、隐蔽布线及老旧设备内部, 实现无死角覆盖, 大幅减少管理盲区, 使电气运行状态全程可视、风险可控。

参考文献:

- [1] 熊庆, 庄毅, 张其旺, 等. 低压电气线路发光连接特性与检测方法研究综述[J/OL]. 中国电机工程学报, 1-15[2026-03-07].
- [2] 李照. 低压配电系统中电气火灾预防与早期预警系统设计[J]. 数字传媒研究, 2025, 42(03): 50-52.
- [3] 全国低压电器标准化技术委员会(SAC/TC 189). 低压开关设备和控制设备火灾风险分析和风险降低措施: GB/Z 40776-2021[S]. 中国标准出版社, 2021.
- [4] 蔡卓远. 建筑电气火灾在线监测及成因辨识系统研究[D]. 中国石油大学(华东), 2022.
- [5] 国家消防救援局. 电气火灾监控系统第 5 部分: 测量热解粒子式电气火灾监控探测器: GB 14287.5-2025[S]. 中国标准出版社, 2025.

在应急响应方面, 系统一旦发现异常, 立即推送预警信息, 相关人员可迅速定位故障点、评估风险等级, 并采取断电、检修或清理可燃物等措施。针对温度骤升、严重漏电等高危情形, 系统可联动自动切断电源, 从源头阻断火情发展^[5]。相比传统“见烟灭火”模式, 智能监控将处置节点前移至隐患萌芽阶段, 显著缩短响应时间, 有效降低设备损毁与财产损失, 推动安全管理由事后补救转向事前预防。

此外, 平台长期积累运行数据, 形成完整电子档案, 为线路改造、设备维护和用电优化提供依据, 引导用户规范用电行为。系统操作简便、运行稳定, 适配家庭、商铺、厂房等多种场景, 通过“实时监测—智能预警—快速处置—闭环整改”的全流程管理, 大幅减轻人工巡检负担, 实现隐患排查更全面、风险处置更及时、日常管理更高效。随着应用深化, 电气火灾防控能力持续提升, 为生产生活营造更安全、可靠的用电环境。

5 结语

低压电气火灾防控正从传统被动响应向智能化、主动预警转型。通过精准识别线路老化、接触不良、过载及违规用电等核心致灾因素, 结合高精度传感、物联网、人工智能与数字孪生等技术, 构建覆盖家庭、商铺、厂房等多场景的差异化智能监控体系, 已实现对电气隐患的早期感知、精准定位与自动处置。工程实践表明, 该模式显著提升风险识别准确率与应急响应效率, 有效将火灾遏制于萌芽阶段。未来, 随着边缘计算能力增强、行业标准完善及系统集成度提高, 智能监控将进一步融入城市安全治理和企业 EHS 管理体系, 推动电气安全管理向标准化、闭环化、预测性维护方向发展, 为社会用电安全构筑更加坚实可靠的技术屏障。