

建筑电气火灾成因分析及智能监测防控技术应用

陈 辉

天津市电子信息技师学院 天津 300000

摘 要：随着建筑功能复杂化与用电需求增长，电气火灾事故频发，给社会带来严重损失，研究其成因与防控技术刻不容缓。本文聚焦建筑电气火灾成因与智能监测防控技术应用展开研究。剖析了建筑电气火灾特点及危害；接着从电气线路故障、电气设备故障、人为因素三方面分析火灾成因；阐述了电气参数与环境数据采集、数据驱动风险预警、多系统联动防控三大核心技术；探讨了智能监测防控技术在不同建筑类型的应用侧重、实施环节与适配调整。研究表明，智能监测防控技术可有效识别电气火灾隐患、提升防控效率，为建筑电气安全管理提供技术支撑，对减少建筑电气火灾事故具有重要实践意义。

关键词：建筑电气；火灾成因分析；智能监测防控核心技术；应用

引言：当前传统防控手段难以应对建筑电气火灾隐蔽性、突发性等问题，智能监测防控技术凭借数据化、自动化优势成为新方向。本文先分析建筑电气火灾特点与危害，明确研究必要性；再深入探究火灾成因，为防控提供依据；随后详解智能监测防控核心技术，揭示其工作机制；最后结合实际应用场景，阐述技术落地方式。

1 建筑电气火灾特点及危害

1.1 建筑电气火灾的特点

建筑电气火灾作为典型隐蔽性灾害，核心特征如下：

(1) 隐蔽性极强，火源多源于线路绝缘层老化、接头接触不良等内部问题，初期故障隐藏在墙体、吊顶或设备内部，肉眼难察觉，待出现冒烟、发热时火势已形成，早期处置难度大；(2) 蔓延速度快，电气线路遍布建筑，短路或设备起火后，高温火焰沿线路快速扩散，尤其在高层建筑、商业综合体中，密集电气管网与易燃装修材料叠加，火势短时间内可突破防火分区；(3) 扑救难度大，需先切断电源避免触电，且隐藏在建筑结构内的火源难彻底扑灭，易复燃，延长救援时间、增加损失。

1.2 建筑电气火灾的危害

其危害集中在以下三方面：(1) 人员安全层面，高温与一氧化碳、氯化氢等有毒烟气快速扩散，致人员中毒、窒息，火焰还会破坏建筑结构引发坍塌，威胁被困者与救援人员生命；(2) 经济财产层面，直接损失含建筑结构、设备、装修损毁，商业建筑、工业厂房的昂贵设备与物资受损损失尤巨，间接损失涉及生产停滞、商业停业及后续重建的资金与时间投入；(3) 社会秩序层面，较大规模火灾易引发公众恐慌，破坏区域生活生产秩序，若发生在人员密集场所，还会产生恶劣社会影响，损害城市公共安全形象^[1]。

2 建筑电气火灾成因分析

2.1 电气线路故障

电气线路故障是引发电气火灾的核心诱因之一，主要体现在以下三个方面。(1) 短路故障，多因线路绝缘层性能劣化导致，如长期使用后绝缘层老化、开裂，或受环境因素影响——潮湿环境造成绝缘层受潮破损、高温环境加速绝缘层碳化，以及外力撞击、rodents啃咬破坏绝缘结构，使线路导体直接接触形成短路，瞬间产生大量热量。(2) 过负荷运行，根源在于线路负载超出设计承载能力，常见情况包括建筑后期新增用电设备未重新核算线路容量、违规增加大功率用电负载，或线路选型时未结合实际用电需求，选用截面面积过小的导线，导致线路长期处于过流状态，导体发热持续累积。(3) 接触不良，集中发生在线路接头与连接点处，如接头压接不紧密、螺栓松动，或接头处未做防腐处理导致金属氧化，形成较大接触电阻，电流通过时电阻发热，使接头温度升高，进而引燃周边绝缘材料或可燃物。

2.2 电气设备故障

建筑中各类电气设备的故障，也是引发火灾的重要因素，主要涉及以下三类关键设备。(1) 配电设备故障，如变压器、配电柜等，变压器故障多因绝缘油老化变质、绕组绝缘层破损，或铁芯短路导致局部过热；配电柜则常因内部元器件选型不当、接线端子松动，或长期处于粉尘、潮湿环境导致元器件锈蚀、短路，产生高温火源。(2) 用电设备故障，如电动机、空调、水泵等，电动机故障源于绕组绝缘损坏造成匝间短路，或轴承磨损导致转子扫膛，使电机温度骤升；空调、水泵等设备则可能因内部电路老化、电容击穿，或散热系统故障，导致设备过热起火。(3) 照明与家电设备故障，照明设备中，镇流

器线圈绝缘层老化、电子镇流器元件损坏,易引发内部短路发热;家电设备如电热水器、电暖气等,若内部温控元件失效,会导致设备持续加热,超出安全温度范围引发火灾。

2.3 人为因素影响

人为操作与管理不当,是诱发建筑电气火灾的重要外部因素,主要表现为以下三类行为。(1) 违规用电行为,如私拉乱接电线,未按照电气规范铺设线路,使用非标准接线板或延长线;违规使用大功率电器,如在普通插座上连接多个大功率设备,超出插座与线路的承载能力;以及长时间不间断使用用电设备,未及时关闭电源,导致设备持续运行过热。(2) 安装施工不规范,电气安装过程中未遵循设计规范与施工标准,如线路敷设时未做好绝缘保护、接头连接不符合工艺要求,或配电设备安装位置不当,靠近可燃物;施工中遗留杂物,如金属碎屑、易燃材料残留在电气设备内部,易引发短路或受热起火。(3) 维护管理缺失,未建立定期电气维护制度,长期不检查电气线路与设备状态,导致绝缘老化、接头松动等隐患未及时发现;维护操作不专业,如未切断电源便进行设备检修,或使用不符合规格的配件更换损坏元件,人为制造安全隐患^[2]。

3 建筑电气火灾智能监测防控核心技术

3.1 电气参数与环境数据智能采集技术

数据采集心在于通过以下高精度、高可靠性的技术手段,实时获取建筑电气系统运行参数与周边环境数据。(1) 高精度电气参数传感技术。采用具备宽量程、高灵敏度的电流互感器、电压传感器、剩余电流传感器,可实时采集线路中的电流、电压、剩余电流等关键参数,其中剩余电流传感器能精准捕捉线路绝缘破损产生的泄漏电流,电流互感器则可监测线路是否存在过负荷情况,且传感器具备抗电磁干扰能力,确保在复杂电气环境下数据采集的准确性。(2) 多维度环境传感技术。部署温度传感器、湿度传感器、烟雾传感器,温度传感器可直接贴附于线路接头、配电设备表面,实时监测局部温升情况,湿度传感器用于感知电气设备周边环境湿度,避免潮湿导致绝缘性能下降,烟雾传感器则能在火灾初期捕捉微量烟雾颗粒,形成环境数据与电气参数的协同采集体系。(3) 无线数据传输技术,采用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术,实现传感器数据的远距离、低延迟传输,无需复杂布线,适用于既有建筑改造与新建筑,同时支持数据加密传输,保障电气系统运行数据的安全性,避免传输过程中数据泄露或被干扰。

3.2 数据驱动的火災风险分析与预警技术

依托采集的多维度数据,通过以下智能化分析技术实现火災风险识别与预警,是防控体系的核心中枢。(1) 大数据关联分析技术。构建电气参数与火災风险的关联模型,对历史运行数据、实时监测数据进行整合分析,识别电流波动、电压异常、剩余电流突变与温度升高之间的关联性,例如当线路电流持续超出额定值且接头温度同步上升时,系统可判定为高风险状态,避免单一参数分析导致的误判或漏判。(2) 机器学习预警算法技术。采用监督学习与无监督学习相结合的算法,通过历史火災案例数据训练模型,使系统具备自主识别异常模式的能力,对于未出现过的新型故障特征,无监督学习算法可快速捕捉异常数据簇,触发预警机制,同时算法具备自迭代更新能力,随着数据积累不断优化预警阈值与识别精度。(3) 分级预警技术。根据风险等级划分预警层级,结合电气故障的严重程度与发展趋势,设定一般预警、重要预警、紧急预警三个等级,不同等级对应不同的预警方式,如一般预警仅推送至管理人员终端,紧急预警则同步触发现场声光报警,为应急处置争取时间。

3.3 多系统联动的智能防控执行技术

在完成风险预警后,通过多系统协同联动实现主动防控,是遏制火災发生与蔓延的关键,具体技术如下:(1) 电气系统智能切断技术。部署具备远程控制功能的智能断路器、漏电保护器,当系统判定为紧急风险时,可自动发送指令切断故障线路电源,或根据风险扩散范围选择性切断区域供电,避免故障扩大,同时断路器具备故障记忆功能,便于后期追溯故障原因。(2) 消防系统联动控制技术。建立电气火災监测系统与自动灭火系统、排烟系统的联动机制,当监测到火災信号时,自动启动对应区域的喷淋系统、气体灭火装置,同时开启排烟风机与防火阀,降低火災现场温度与有毒气体浓度,为人员疏散与火災扑救创造条件,联动过程通过工业以太网实现毫秒级响应,确保动作协同一致。(3) 应急疏散引导联动技术。将预警信号同步传输至应急照明系统与疏散指示标志,触发应急照明灯常亮,疏散指示标志切换为闪烁模式并指向安全出口,同时通过建筑内的广播系统播放语音疏散指令,引导人员快速撤离,实现火災预警、电源切断、消防处置、人员疏散的全流程自动化防控^[3]。

4 建筑电气火災中智能监测防控技术的具体应用

4.1 不同建筑类型的技术应用侧重

针对以下不同功能与结构的建筑,智能监测防控技术的应用要结合其电气系统特点进行针对性部署。(1) 在商业综合体中,重点对餐饮区域的电气线路、大功率空调与照明系统进行监测,采用多参数传感器实时采集

线路电流、电压及温度数据，同时在配电室部署红外热成像监测设备，实时捕捉配电柜、变压器等设备的发热异常，且系统与商业综合体的消防控制室直接联动，确保异常信号快速传输；（2）在高层建筑中，侧重对竖向电气竖井、电梯机房及应急供电系统的监测，通过无线传感网络覆盖竖井内的线路，实时监测线路绝缘状态与剩余电流，在电梯机房安装振动与温度双参数传感器，同步监测电机运行状态，应急供电系统则接入智能监测模块，实时掌握备用电源的电压、频率等关键参数；（3）在老旧居民建筑中，优先对入户线路、老旧配电箱及公共区域照明线路进行改造，加装简易型剩余电流监测装置与温度传感器，通过低功耗传输模块将数据发送至社区管理平台，同时为居民家中的大功率电器插座配备过载保护监测模块，实现基础电气安全监测。

4.2 技术应用的关键实施环节

智能监测防控技术在实际应用中，要通过以下多个关键环节确保落地效果。（1）在前期部署环节，先对建筑电气系统进行全面排查，明确线路走向、设备位置及用电负荷分布，据此制定传感器布置方案，如在线路接头、转弯处及大功率设备进线端加密传感器部署，配电室内采用壁挂式或嵌入式安装数据采集终端，确保覆盖所有关键监测点；（2）在数据交互环节，采用“本地边缘计算+云端存储分析”的模式，本地终端对采集的实时数据进行初步筛选，剔除无效数据后将有效数据上传至云端平台，云端平台通过标准化接口与建筑的物业管理系统、消防控制系统实现数据互通，确保各系统可共享电气运行与风险预警信息；（3）在日常运维环节，系统具备自动生成运维报告的功能，定期输出电气设备运行状态评估、传感器工作状态检查结果，同时支持运维人员通过移动终端接收设备维护提醒，对到期需校准的传感器、运行异常的监测模块进行及时处理，保障系统持续稳定运行。

4.3 技术应用的适配性调整

为适应建筑实际运行中的动态变化，智能监测防控

技术要进行以下灵活的适配性调整。（1）在用电负荷变化适配方面。系统具备负荷动态监测与阈值自动调整功能，当建筑新增用电设备导致负荷上升时，系统可根据实时负荷数据重新核算线路与设备的安全阈值，避免因负荷波动导致误预警或漏预警，如商场促销期间临时增加照明与展柜用电，系统可自动放宽短期负荷波动范围，同时加强温度监测频率；（2）在环境变化适配方面。传感器具备环境自适应能力，在潮湿的地下车库、高温的设备机房等特殊区域，传感器可自动调整数据采集频率与灵敏度，如地下车库的湿度传感器监测到环境湿度超标时，同步提升线路绝缘状态监测的频次，及时发现绝缘受潮隐患；（3）在系统升级适配方面。采用模块化设计的监测设备与软件平台，支持后期按需增加监测功能或扩展监测范围，如建筑后期加装新能源充电桩时，可直接接入原有监测系统，新增充电桩专用的电流、电压及温度监测模块，无需对原有系统进行大规模改造^[4]。

结束语：本文系统完成建筑电气火灾成因与智能监测防控技术应用研究，明确了火灾三大特点、三类成因，梳理了数据采集、风险预警、联动防控核心技术及不同场景应用策略，证实智能技术在火灾防控中的有效性。未来可进一步优化技术成本结构，加强极端环境下技术适配性研发，同时推动相关标准规范完善，促进智能监测防控技术更广泛、更高效应用，持续提升建筑电气火灾防控能力，保障人民生命财产安全。

参考文献：

- [1]王宝力.建筑电气火灾成因及智能化防控技术[J].今日消防,2025,10(6):100-102.
- [2]刘雷.智能化技术在建筑消防电气工程中的应用[J].中国科技纵横,2025(10):48-50.
- [3]张胜军.高层建筑消防电气设备的系统融合与智能监测技术研究[J].中国设备工程,2024(9):215-217.
- [4]何银川.高层建筑火灾事故原因及调查方法研究[J].消防界(电子版),2025,11(2):10-12.