

# 建筑电气火灾预警与防范技术研究进展

赵智羊

中铁城建集团南昌建设有限公司 江西南昌 330000

**摘要：**建筑电气火灾作为威胁人民生命财产安全的主要灾害类型之一，其预警与防范技术的研究对于提升建筑消防安全水平具有重要意义。本文系统梳理了建筑电气火灾的成因与预警理论基础，重点从电气参数监测、温度与热成像监测、智能传感与物联网应用、预警系统集成等方面分析了预警技术的研究进展，并从电气线路与设备保护、智能断电与自动灭火、建筑电气防火设计与施工优化等维度探讨了防范技术的最新成果。研究旨在为构建高效、智能的建筑电气火灾防控体系提供理论参考与技术借鉴，同时指出当前研究中存在的不足及未来发展方向。

**关键词：**建筑电气火灾；预警技术；防范技术；智能监测

## 引言

随着我国城镇化进程的加速和建筑智能化水平的提升，建筑电气系统日益复杂，电气火灾风险也随之增加。据应急管理部消防救援局统计，近年来电气原因引发的火灾占全国火灾总数的30%以上，且呈逐年上升趋势，造成了巨大的人员伤亡和经济损失。建筑电气火灾具有隐蔽性强、蔓延速度快、扑救难度大等特点，传统的事后扑救模式已难以满足现代建筑消防安全的需求。因此，开展建筑电气火灾预警与防范技术研究，实现火灾风险的早期识别、精准预警和有效控制，成为当前消防安全领域的研究热点。

## 一、建筑电气火灾成因与预警理论基础

### （一）建筑电气火灾的主要成因与特征分析

建筑电气火灾的成因复杂多样，主要包括以下几类：一是电气线路故障，如线路短路、过负荷、接触不良等，其中短路和过负荷是最常见原因。短路时电流瞬间增大，产生的高温电弧可直接引燃周围可燃物；过负荷则导致导线长期过热，绝缘层老化失效，进而引发火灾。二是电气设备故障，如电动机、变压器、开关设备等因绝缘损坏、部件老化、散热不良等导致内部故障，产生高温或电火花。三是用电不当，包括私拉乱接电线、违规使用大功率电器、电气设备长期处于工作状态无人监管等。此外，环境因素如潮湿、高温、腐蚀性气体等也会加速电气设备和线路的老化，间接增加火灾风险。建筑电气火灾的特征主要表现为：初期阶段隐蔽性强，火源通常位于墙体内部、吊顶上方等不易察觉的位置；发展阶段蔓延速度快，电气线路的网络状分布易导致火灾沿线路

快速扩散；火灾过程中易产生有毒烟气，对人员疏散和救援造成严重威胁<sup>[1]</sup>。

### （二）电气火灾预警的基本原理与分类

电气火灾预警的基本原理是通过监测电气系统运行过程中的物理参数（如电流、电压、温度、电弧等）或化学参数（如绝缘分解气体等）的异常变化，结合火灾发生的机理模型，识别潜在的火灾隐患，并发出预警信号。根据监测参数的不同，电气火灾预警技术可分为电气参数监测型预警、温度监测型预警、气体监测型预警和图像识别型预警等。按预警系统的功能层次，可分为单点预警（针对某一电气设备或线路的局部预警）、区域预警（针对建筑内某一区域的电气系统预警）和全局预警（覆盖整个建筑电气系统的综合预警）。按预警方式的智能化程度，又可分为传统阈值预警（基于固定阈值判断异常）、智能算法预警（结合机器学习、深度学习等算法实现动态预警）和融合预警（融合多源数据实现协同预警）。

### （三）电气火灾防范技术体系框架

建筑电气火灾防范技术体系是一个涵盖“源头控制-过程监管-应急处置”全链条的综合防控系统，主要包括三个层面：一是源头防范，通过优化电气设计、选用高品质电气设备与材料、规范施工安装等措施，从根本上降低火灾风险；二是过程防范，借助在线监测、定期巡检、状态评估等手段，实时掌握电气系统运行状态，及时消除隐患；三是应急防范，通过设置可靠的保护装置（如断路器、熔断器等）、自动灭火系统和疏散引导设施，在火灾发生初期控制火势蔓延，减少灾害损失。该体系以“预防为主、防治结合”为原则，融合了电气安

全技术、信息技术、消防工程技术等多学科知识，旨在构建“监测-预警-决策-处置”的闭环防控机制<sup>[2]</sup>。

#### （四）预警与防范技术的研究进展与挑战

近年来，随着传感器技术、物联网、人工智能等新兴技术的融入，建筑电气火灾预警与防范技术取得了显著进展。在预警技术方面，从单一参数监测向多参数融合监测发展，从传统阈值判断向智能算法预警升级，预警的准确性和及时性大幅提升；在防范技术方面，智能断电、自动灭火等主动防控技术逐渐成熟，建筑电气防火设计也更加注重与建筑结构、使用功能的协同优化。然而，当前研究仍面临诸多挑战：一是复杂电磁环境下的干扰问题，导致监测数据准确性下降；二是多源异构数据的融合与处理难度大，影响预警决策的效率；三是预警与防范系统的兼容性和联动性不足，难以实现跨系统协同防控；四是部分新技术（如基于AI的预警算法）的鲁棒性和泛化能力有待验证，实际工程应用成本较高。

### 二、建筑电气火灾预警技术研究进展

#### （一）电气参数监测与异常识别技术

电气参数监测是电气火灾预警的基础，主要包括电流、电压、功率、功率因数、剩余电流等参数的监测。近年来，研究重点集中在电弧故障的识别与定位技术上。电弧故障作为引发电气火灾的重要诱因，具有电流小、隐蔽性强等特点，传统过流保护装置难以有效检测。目前，基于波形特征分析的电弧故障识别方法得到广泛关注，通过提取电弧电流的高频谐波、零休时间、波形畸变率等特征参数，结合支持向量机（SVM）、神经网络等算法实现故障分类。例如，有学者提出基于小波变换和深度学习的电弧故障识别模型，通过对电流信号的时频域特征进行提取和分类，识别准确率可达95%以上。此外，剩余电流监测技术（RCD）也在不断优化，新型智能剩余电流监测装置不仅能实时监测剩余电流值，还能通过分析电流波形特征判断故障类型（如漏电、接地故障等），并具备远程通信功能，实现数据的实时上传与集中管理<sup>[3]</sup>。

#### （二）温度与热成像监测技术

温度是反映电气系统过热故障的直接参数，温度监测技术主要包括接触式和非接触式两类。接触式监测以热电偶、热电阻等传感器为核心，可直接测量导线、设备接头等部位的温度，具有测量精度高的优点，但安装复杂，对电气系统的正常运行有一定影响。非接触式监测以红外热成像技术为代表，通过接收物体发出的红外辐射生成温度场图像，可实现对电气设备和线路的远距

离、非接触式测温，尤其适用于高压设备、封闭空间内的电气部件等难以接触的场景。近年来，红外热成像技术与图像处理算法相结合，实现了温度异常区域的自动识别与报警。例如，基于深度学习的红外热图像分割算法能够精准提取设备发热区域，并结合温度阈值和发热面积判断故障等级。同时，随着微机电系统（MEMS）技术的发展，微型化、低功耗的无线温度传感器节点得到广泛应用，可组成无线传感器网络（WSN）对大范围电气线路进行分布式温度监测，解决了传统有线监测布线复杂的问题。

#### （三）智能传感与物联网技术在预警中的应用

智能传感与物联网技术的引入，为建筑电气火灾预警系统的智能化、网络化提供了关键支撑。智能传感器具有自校准、自诊断、数据处理和无线通信能力，可实现对电气参数、温度、湿度、气体等多维度信息的采集。物联网技术则通过无线通信协议（如ZigBee、LoRa、NB-IoT等）将大量传感器节点连接起来，构建覆盖整个建筑的监测网络，实现数据的实时传输与汇聚。例如，基于NB-IoT的电气火灾监测系统可将传感器采集的数据通过运营商网络上传至云平台，用户可通过手机APP或电脑终端远程查看电气系统运行状态。此外，边缘计算技术的应用有效解决了物联网数据传输过程中的延迟问题，传感器节点可在本地对数据进行初步处理和分析，仅将异常数据上传至云端，提高了预警的实时性和系统的可靠性<sup>[4]</sup>。

#### （四）预警系统的集成与数据处理技术

预警系统的集成与数据处理是实现精准预警的核心环节。当前，预警系统正朝着多源数据融合的方向发展，通过融合电气参数、温度、图像、环境等多类型数据，构建全面的火灾风险评估模型。数据融合技术主要包括数据层融合（对原始数据进行预处理和特征提取）、特征层融合（对不同特征进行组合与降维）和决策层融合（基于多模型结果进行综合决策）。在数据处理方面，人工智能算法（如BP神经网络、随机森林、深度学习等）被广泛应用于火灾风险预测和预警决策。例如，基于长短期记忆网络（LSTM）的电气火灾风险预测模型，可通过分析历史监测数据预测未来一段时间内的火灾风险等级；基于卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）的融合模型，能够同时处理图像数据和时序监测数据，提高预警的准确性。此外，数字孪生技术的兴起为预警系统提供了新的发展方向，通过构建电气系统的数字孪生模型，可实现物理世界与虚拟世界的实时交互，模拟

不同故障场景下的火灾发展过程，为预警决策提供可视化支持。

### 三、建筑电气火灾防范技术研究进展

#### (一) 电气线路与设备保护技术

电气线路与设备保护技术是防范电气火灾的第一道防线，其核心是在故障发生时迅速切断故障电路或限制故障范围。传统的保护装置如断路器、熔断器等主要基于电流阈值进行动作，存在响应速度慢、保护范围有限等不足。近年来，智能型保护装置逐渐成为研究热点，如智能断路器集成了电流、电压、温度等监测功能，可通过微处理器对故障信号进行分析，实现选择性跳闸和自适应保护。例如，基于人工智能算法的智能断路器能够识别短路、过负荷、电弧故障等多种故障类型，并根据故障严重程度自动选择跳闸时间和动作方式，避免不必要的停电。在电气线路保护方面，阻燃电缆、耐火电缆的应用范围不断扩大，新型低烟无卤阻燃电缆不仅具有优异的阻燃性能，还能减少火灾时有毒气体的释放。此外，线路过电压保护技术也得到重视，浪涌保护器（SPD）的性能不断提升，可有效抑制雷击过电压和操作过电压对电气设备的损害<sup>[5]</sup>。

#### (二) 智能断电与自动灭火技术

智能断电技术是在火灾预警或初期阶段，通过自动切断故障区域电源，防止火势扩大的主动防控措施。该技术通常与预警系统联动，当预警系统检测到电气故障或火灾信号时，立即发送控制指令至智能断路器或继电器，实现精准断电。例如，基于物联网的智能断电系统可根据火灾位置信息，选择性切断起火区域及相邻区域的电源，避免大面积停电影响其他区域的疏散和救援。自动灭火技术方面，针对电气火灾的特点，研发了多种高效、环保的灭火系统，如超细干粉自动灭火装置、热气溶胶灭火装置、压缩空气泡沫灭火系统等。这些系统具有灭火速度快、灭火效率高、对电气设备二次损害小等优点，可与火灾探测器联动，实现自动启动。近年来，智能灭火机器人的研究也取得进展，机器人可通过红外传感和图像识别自主定位火源，携带灭火装置靠近火源进行精准灭火，适用于复杂建筑环境下的火灾处置。

#### (三) 建筑电气防火设计与施工优化

建筑电气防火设计是源头防范电气火灾的关键环节，近年来相关规范标准不断完善，设计理念也从“满足最低安全要求”向“性能化防火设计”转变。性能化

设计方法通过分析建筑的使用功能、火灾荷载、人员疏散等因素，确定电气系统的防火目标，进而优化设计参数，如导线截面选择、保护装置配置、线路敷设方式等。例如，在高层建筑电气设计中，采用分区配电、冗余供电等措施提高系统的可靠性；在人员密集场所，优先选用低烟无卤电缆，并加强线路的防火分隔。施工优化方面，重点关注电气线路的敷设质量和设备安装规范，推广BIM（建筑信息模型）技术在电气施工中的应用，通过三维建模实现管线碰撞检测、施工进度模拟和质量追溯，减少因施工不当导致的电气隐患。同时，加强施工人员的专业培训和资质管理，严格执行电气安装验收标准，确保施工质量符合设计要求。

#### 结语

建筑电气火灾预警与防范技术的研究和应用对于保障建筑安全具有重要意义。随着科技的不断进步，预警技术正朝着多参数融合、智能化方向发展，而防范技术则更加注重主动性与系统性。然而，尽管已有显著进展，实际应用中仍需克服复杂环境干扰、数据处理效率以及系统兼容性问题。未来的研究应进一步聚焦于提升预警系统的鲁棒性和经济性，同时加强跨领域协作，推动新技术在工程实践中的落地。通过持续优化“监测-预警-防控”一体化体系，可以更有效地降低建筑电气火灾的发生概率及其危害，为社会提供更为安全可靠的用电环境。

#### 参考文献

- [1] 郑毅, 魏立明, 刘江, 等. 基于PLC的建筑配电电气火灾预警的下位机系统设计[J]. 经济技术协作信息, 2019(8): 1.
- [2] 赵鑫. 基于物联网技术的高层建筑电气火灾探测系统设计[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(7): 2.
- [3] 贾智有. 商住建筑群电气火灾监测预警及消防安全对策研究[D]. 西安科技大学, 2020.
- [4] 赵鑫. 基于改进贝叶斯算法的商住建筑群电气火灾预警系统设计[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(7): 2.
- [5] 谢正荣, 单立辉, 时庆兵, 等. 电气火灾早期预警及监测前沿技术探讨[C]//2019: 6. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8493.2019.08.007.