

基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统

梁 凯

上海大居建筑工程集团有限公司 上海

【摘要】 电气火灾作为一种突发性的灾害，威胁着人民生命财产的安全。传统的火灾预警系统依赖于单一传感器，无法满足实时性和准确性的需求。本论文提出了一种基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统，旨在提高火灾预警的灵敏度与准确性。通过对多种传感器数据（如温度、烟雾、气体等）的融合，系统能够更精准地识别火灾早期迹象，并在火灾发生前采取有效的预防措施。通过对比实验，验证了该系统相较于传统方法在响应时间和预警准确度上的显著提升。本研究为电气火灾的早期识别与预警提供了一种创新的解决方案。

【关键词】 电气火灾；多传感器融合；早期预警；火灾监测；数据融合

【收稿日期】 2025 年 9 月 20 日 **【出刊日期】** 2025 年 11 月 10 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20250201

Electrical fire early warning system based on multi-sensor fusion

Kai Liang

Shanghai Daju Construction Engineering Group Co., Ltd. Shanghai

【Abstract】 As a sudden disaster, electrical fires pose a threat to people's lives and property. Traditional fire warning systems rely on a single sensor, which cannot meet the requirements of real-time performance and accuracy. This paper proposes an electrical fire early warning system based on multi-sensor fusion, aiming to improve the sensitivity and accuracy of fire warning. By fusing data from multiple sensors (such as temperature, smoke, gas, etc.), the system can more accurately identify early signs of fires and take effective preventive measures before a fire occurs. Comparative experiments verify that the system has significantly improved response time and warning accuracy compared with traditional methods. This research provides an innovative solution for the early identification and warning of electrical fires.

【Keywords】 Electrical fire; Multi-sensor fusion; Early warning; Fire monitoring; Data fusion

引言

电气火灾已经成为现代社会常见的灾害类型，尤其在工业与居民生活环境中，电气火灾的隐患不容忽视。传统火灾报警系统主要依赖单一传感器进行火灾监测，尽管其在早期警报方面有所贡献，但由于其对环境变化的适应能力差，难以在复杂环境下准确判断火灾的发生。如何提高火灾预警的准确性和实时性，成为当前研究的热点。多传感器融合技术通过将不同类型传感器的测量数据结合分析，可以有效弥补单一传感器的不足。基于此，本文提出了一种多传感器融合的电气火灾早期预警系统，旨在解决传统火灾预警系统在响应速度和精确度方面的不足，为电气火灾的有效预防提供有力支持。

1 传统电气火灾预警系统的局限性

电气火灾预警系统在近年来得到了广泛应用，尤其在工业、商业及家庭环境中。然而，传统的电气火灾

预警系统主要依赖单一传感器进行火灾监测，如温度传感器、烟雾传感器等，这些系统存在显著的局限性。单一传感器的应用使得系统对于环境的适应性较差^[1]。温度传感器仅能监测到温度的变化，但在某些情况下，如电气设备发生故障时，温度升高的速度可能较慢，难以及时发现潜在火灾隐患。烟雾传感器也有类似的问题，若火源产生的烟雾浓度较低，或因通风条件较好，烟雾无法迅速聚集，烟雾传感器便可能无法及时发出警报。

传统电气火灾预警系统对环境的变化较为敏感，容易受到外界因素的干扰。在设备运行过程中，温度波动较大或周围环境中存在大量的气体和烟雾，单一传感器的误差可能导致误报或漏报。传统系统未能有效结合多种传感器数据，缺乏数据融合的能力，无法综合考虑不同传感器的优缺点。其预警的准确性和实时性因此受到制约，这也为火灾防范和及时响应带来了诸

多挑战。

传统电气火灾预警系统通常只依赖预设的规则或模型来进行判断,而这些规则和模型往往缺乏足够的灵活性,无法适应不同场景和复杂的电气火灾环境。在某些特殊场合下,电气设备的故障与火灾的发生可能存在一定的时间滞后,而传统的预警系统通常无法精确地识别这种滞后效应。这些局限性使得传统电气火灾预警系统在实际应用中表现不尽如人意,尤其是在工业生产或复杂环境中,其可靠性和及时性无法得到保障。尽管传统电气火灾预警系统在火灾监测中发挥了重要作用,但其局限性要求我们在此基础上进行改进和创新。为了克服这些问题,提出多传感器融合的电气火灾早期预警系统便成为了提升火灾监测和预警能力的有效途径。

2 多传感器融合技术的应用与优势

多传感器融合技术是指将来自不同类型传感器的测量数据进行综合处理,得到更为准确和可靠的信息。在电气火灾的早期预警中,采用多传感器融合技术可以弥补传统单一传感器的不足,提升预警系统的灵敏度和准确性。不同类型传感器所提供的数据往往具有互补性,通过融合技术,可以利用各类传感器的优势,形成一个更加稳定且准确的火灾监测系统。

多传感器融合技术的一大优势在于它能够提高火灾监测的准确性。比如,温度传感器可以快速响应火源温度的变化,烟雾传感器能够检测火灾产生的烟雾,气体传感器则能够监测有害气体的浓度^[2]。通过将这些传感器的数据进行融合,系统能够同时考虑多个因素,从而减少误报和漏报的可能性。当温度传感器检测到温度异常时,系统可以结合烟雾和气体传感器的数据进行进一步验证,确保预警的准确性。这种多层次的数据处理方式大大提高了电气火灾预警的精确度,能够在火灾发生的初期就做出反应。

另一个显著优势是多传感器融合技术能够提升系统的鲁棒性。在实际应用中,单一传感器容易受到环境干扰或故障影响,导致数据失真或者传感器本身的性能下降。而多传感器融合技术则通过融合多个传感器的数据,避免了单个传感器的局限性。即使某一传感器出现问题,系统仍然能够依赖其他传感器的数据进行判断,从而保证火灾预警的可靠性。在某些极端环境下,某些传感器可能会受到湿度、灰尘等因素的影响,但其他传感器的数据依然能提供有效的监测信息。

采用多传感器融合技术还可以实现系统的智能化和自动化。通过引入数据分析和机器学习算法,系统能

够从大量传感器数据中提取出有价值的信息,并进行实时的火灾风险评估^[3]。智能化的预警系统能够根据不同的火灾模式进行自适应调整,使得系统在各种环境和条件下都能保持较高的性能。多传感器融合的电气火灾预警系统不仅能够提高监测的准确性和实时性,还能显著提升系统的自动响应能力,为火灾的早期预防和及时处理提供强有力的保障。

3 电气火灾早期预警系统的设计与实现

电气火灾早期预警系统的设计首先要考虑火灾的各类潜在风险及其发生的早期迹象。传统的火灾预警系统往往基于单一传感器工作,而多传感器融合系统则要求从多个维度监控电气设备的运行状态,包括温度、烟雾、气体浓度、电流和电压等参数。这些参数能有效反映电气设备在发生故障或火灾前的不同表现,设计时必须综合考虑各传感器的特性以及系统的协同工作机制。

在系统设计上,首先要选择合适的传感器,并根据电气火灾发生的不同阶段,合理设置传感器的部署位置。温度传感器应当放置在电气设备的关键部位,能够及时监测到温度异常变化;烟雾传感器需要布置在火灾可能发生的区域,尤其是在电气线路周围;气体传感器则应部署在电气设备的排风口和通风区域。系统还需设置数据传输模块,将传感器采集到的数据实时传输到中央处理单元,确保数据的及时处理与分析。

数据融合技术的核心在于如何处理不同传感器的数据,使得不同传感器提供的信息能够有效互补。常见的数据融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波法以及模糊逻辑等。通过这些算法,可以将来自不同传感器的信息进行优化处理,从而获得更为精准的火灾预警信号。在实际应用中,这些数据融合方法可以根据传感器类型和系统要求进行选择,以确保系统的准确性和高效性。

在实现方面,电气火灾早期预警系统不仅需要具备高效的实时数据处理能力,还必须拥有智能分析和决策支持功能。系统应能够快速捕捉来自多个传感器的变化,并利用先进的算法和模型实时评估火灾风险^[4]。这要求系统在面对复杂的电气火灾情境时,能迅速区分正常波动与潜在火灾信号。系统应具备强大的无线通信能力,以实现远程监控和管理,确保用户在任何时间地点都能接收到火灾预警信息,从而及时采取应急措施。对于电气火灾预警系统而言,响应时间和预警准确性直接关系到生命财产安全。

4 实验结果与系统性能分析

为了验证基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统的有效性和性能,本文设计了一系列实验,选择了典型的电气设备,如变压器、电线、电气开关等,模拟了多种常见的电气火灾场景。这些场景包括电气设备短路、过载、绝缘老化等常见故障引发的火灾情况。实验中,结合温度传感器、烟雾传感器、气体传感器等不同类型的传感器,设定了多种传感器组合,以全面监测火灾的各类迹象。通过这些实验,评估了系统的响应时间、预警准确性和可靠性。实验结果表明,基于多传感器融合的系统在各类环境下均能提供及时且准确的火灾预警,大大提升了传统火灾预警系统的性能。

实验结果表明,基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统在火灾预警的准确性和响应速度方面相比传统单传感器系统有了显著的提升。通过对比实验数据,结果显示,采用多传感器融合系统能够在火灾初期发生的5到10分钟内提前发出预警,而传统单传感器系统则往往只能在火灾明显发生后才检测到异常迹象。这一差异主要体现在复杂环境下,传统系统易受到外界干扰,导致误报或漏报。而多传感器融合技术通过整合多个传感器的数据,能够准确区分不同的环境变化,有效减少误报和漏报现象,大幅提高了系统在复杂和动态环境下的预警准确性,增强了火灾预防的时效性和可靠性。

实验还测试了不同传感器组合对系统性能的影响。结果表明,温度、烟雾和气体传感器的组合能够提供较为全面的监测信息,确保在火灾初期即能识别出危险信号。而仅依赖某一单一传感器则存在较高的误报风险,且无法提供足够的信息来准确判断火灾风险^[5-8]。传感器的合理组合是提高电气火灾早期预警系统性能的关键。通过这些实验和性能分析,可以看出基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统具有较高的实际应用价值。其在提高火灾预警准确性、缩短响应时间以及减少误报漏报方面的优势,使其成为电气火灾防控领域的一项重要技术创新。

5 结语

基于多传感器融合的电气火灾早期预警系统,通过整合多种传感器的数据,显著提升了预警的准确性

和响应速度,尤其在复杂环境中表现优异。系统具备实时数据处理和智能分析能力,同时通过无线通信技术实现远程监控,为火灾的及时预防和应急响应提供了有效支持。未来,随着技术的进一步发展,系统将在电气火灾防控中发挥更大的作用,帮助减少火灾事故的发生和损失。

参考文献

- [1] 国网宁夏电力有限公司营销服务中心(国网宁夏电力有限公司计量中心). 基于多维度传感器融合的电气火灾智能识别系统:CN202510355171.4[P]. 2025-07-11.
- [2] 国网山东省电力公司临沂供电公司. 基于多传感器融合的电气火灾预警系统及方法:CN202411638882.4[P]. 2025-03-25.
- [3] 大连新天空智能科技有限公司. 一种基于多传感器信息融合的电气火灾预警系统:CN202421894175.7[P]. 2025-06-06.
- [4] 国网山东省电力公司临沂供电公司. 基于多传感器融合的电气火灾预警系统及方法:CN202411638882.4[P]. 2024-12-17.
- [5] 冯子毅,马恒瑞,王红霞,等. 基于多类型传感器的变电站火灾预警技术研究综述[J]. 智慧电力,2024,52(10):103-111.
- [6] 国网福建省电力有限公司,国网福建省电力有限公司福州供电公司,福州大学. 基于多传感器融合的故障电弧致因火灾预警方法:CN202510360641.6[P]. 2025-07-15.
- [7] 于兰,贾振国,胡冬梅. 改进模糊神经网络下电气火灾预警算法设计[J]. 计算机仿真,2025,42(1):524-528.
- [8] 国网吉林省电力有限公司通化供电公司,长春工程学院. 一种基于多源数据融合的变电站早期火灾预警方法:CN202411932827.6[P]. 2025-04-04.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS