

[电气火灾]

基于电网末端感知数据的电气火灾隐患识别技术

文/舒一飞¹ 杨琦¹ 王成武² 康洁滢¹ 马智强¹

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）

2. 宁夏回族自治区消防救援总队

为解决电气火灾隐患识别难题，围绕电网末端数据感知技术展开分析，提出一种识别系统。为电气火灾隐患识别领域的工作人员提供一定的参考，在日常工作中减少火灾事故的发生率，确保生活生产安全。

电气火灾是城市建设和工业生产中常见且严重的灾害。随着电力需求增加和电气设备广泛使用，电气火灾事故的发生率不断上升。传统的电气火灾预防和检测手段难以实时、准确地识别潜在隐患，导致火灾频发。因此，迫切需要一种能够有效识别电气火灾隐患的技术，以提高火灾预防和应对能力。电网末端数据感知技术作为新兴技术，能够实时监测电网状态，获取电流、电压和温度等多种数据，为电气火灾隐患的识别提供重要的数据支持。通过在电网末端布置传感器，实时采集电气参数，并利用先进的传输和处理技术，将数据传输到中央处理系统进行分析，从而实现对电气火灾隐患的早期识别和预警。

电网末端数据感知技术原理分析

1. 电网末端数据感知技术的类型与采集方法

电网末端数据感知技术是通过布置在电网末端的传感器实时监测电网运行状态，采集电流、电压和温度等多种数据。这些数据能够反映电网的运行状况，并为电气火灾隐患的识别提供基础数据支持。需要重点采集的电网末端数据类型包括电流数据、电压数据、温度数据、电气设备的运行功率数

据和电网频率数据。这些数据可基于各类专用传感器自动、实时监测后得到，之后由具有数据分析处理能力的装置（如PLC可编程逻辑控制器，其芯片搭载“正常数据范围”和“数据比对算法”），将监测到的数据和正常数据范围进行比对。当实时数据超过某个“临界值”时（比如某电气设备正常运行过程中，安全运行温度为60℃，超过这一温度，意味着发生短路、过载的危险会大幅度增加），该装置立刻将相关信息上传控制端（或是直接按照预设程序处理），及时切断对该电气设备的供电，从而达到确保设备及整个电路电网安全的目的。

2. 电网末端数据感知采集技术的应用

某电网末端运行情况在一段时间内的监测数据见表1。

表1 针对某电网末端一段时间的监测数据

时间	电流/A	电压/V	温度/℃	有功功率/kW	频率/Hz
10:00	30.5	220.1	35.6	6.71	50.00
10:01	32.2	219.8	36.2	7.06	50.02
10:02	29.8	220.5	34.8	6.56	49.98
10:03	33.0	220.0	35.9	7.26	50.01
10:04	31.5	219.9	35.3	6.92	50.00

1) 电流趋势分析。电流值在30.5 ~ 33.0 A之

基金项目：宁夏自然科学基金项目（项目编号：2023AAC03826），项目名称：基于电网末端感知数据的电气火灾隐患识别技术研究

间波动。总体上，电流呈现轻微上升趋势，从10:00的30.5 A增加到10:04的31.5 A，中间虽然有小幅下降（如10:02时的29.8 A），但整体趋向上升，表明在这个时间段内，负载可能逐渐增加。

2) 电压趋势分析。电压值在219.8~220.5 V之间波动。电压总体保持稳定，但有轻微波动。10:00—10:01，电压略微下降，从220.1 V降至219.8 V，随后在10:02时回升至220.5 V，然后再次回落到220.0 V和219.9 V。这种轻微波动可能是电网运行中的正常现象，但需要监控以防止异常波动。

3) 温度趋势分析。温度值在34.8~36.2℃之间波动。温度在10:00时为35.6℃，在10:01时上升到36.2℃，然后在接下来的两分钟内下降至34.8℃，最终在10:04时回升至35.3℃。温度变化反映了电气设备在负载变化时的热量变化，需要关注温度的持续上升，以防设备过热。

4) 有功功率趋势分析。有功功率值在6.56~7.26 kW之间波动。有功功率随着电流和电压的变化呈现波动趋势。10:00时为6.71 kW，在10:01时上升至7.06 kW，随后在10:02时降至6.56 kW，并在10:03时达到最高点7.26 kW，最后在10:04时降至6.92 kW，表明电气设备的负载在这段时间内存在显著变化。

5) 频率趋势分析。频率值在49.98~50.02 Hz之间波动。频率基本保持在50 Hz附近，表明电网运行较为稳定。虽然在10:01和10:02时有轻微的频率变化，但总体上保持平稳，对于电网的稳定运行是一个好的迹象。

基于电网末端数据感知技术的电气火灾隐患识别系统构建分析

1. 电气火灾隐患识别的关键指标与检测方法

构建电气火灾隐患识别系统，关键在于选择和分析能够有效反映电气火灾风险的指标。这些关键指标包括电流、电压、温度、有功功率和频率等参数。通过实时监测和分析这些参数，可以识别潜在的电气火灾隐患。

(1) 电流

电流是电气设备运行状态的重要参数。异常电流（过高或过低）可能预示电气故障或火灾隐患。使用电流互感器（CT）采集电流数据，并通过以下

公式进行分析

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_0^T i(t)^2 dt} \quad (1)$$

式中， I_{rms} 为有效电流值； $i(t)^2$ 为瞬时电流值的平方； T 为周期。

式（1）的逻辑是：假设某电气设备的正常工作电流为30 A，监测到的电流持续高于35 A，且未有负载增加的情况，则可能存在短路或设备故障，需要进一步检查。

(2) 电压

电压的异常波动（过高或过低）可能导致设备损坏或火灾风险。电压互感器（VT）用于采集电压数据，分析公式为

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_0^T v(t)^2 dt} \quad (2)$$

式中， V_{rms} 为有效电压值； $v(t)^2$ 为瞬时电压值的二次方； T 为周期。

该公式的运行原理是：如果监测到的电压持续低于 V_{rms} ，可能导致设备无法正常运行或过热，需要检查电网供电质量。

除了电流、电压之外，温度、功率（有功功率）和频率等电网末端参数均是被监测对象，均可按照上文所述，根据这些参数在电网中的运转逻辑关系，一方面设置标准值（临界值）；另一方面，监测实时值，二者比对，可以及时发现异常情况，提前识别火灾隐患。

2. 智能算法在电气火灾隐患识别中的应用

智能算法在电气火灾隐患识别中发挥着关键作用，通过对实时采集的数据进行深度分析，可以有效识别潜在的风险并提供预警。几种智能算法在电气火灾隐患识别中的应用。

1) 决策树算法是一种监督学习方法，通过构建树形结构来进行分类和回归。每个节点表示一个特征，每个分支表示该特征的可能取值，而每个叶节点则表示一个决策结果或分类。决策树算法可以用于识别电气火灾隐患的关键特征，例如电流、电压和温度的异常变化。通过对大量历史数据进行训练，决策树可以建立一个规则集，当实时数据匹配这些规则时，系统会发出警报。这种算法的应用场景为：如果某电气设备的电流、电压和温度数据同时出现异常波动，决策树可以识别这种模式并发出

预警，提示可能存在的火灾隐患。

2) 支持向量机是一种监督学习算法，主要用于分类问题。通过在高维空间中寻找一个最佳超平面，将数据分为不同的类别。在电气火灾隐患识别中，SVM可以用于分类正常和异常运行状态。通过训练SVM模型，系统可以识别异常模式并进行分类，以便及时采取措施。这种算法的应用场景为：在电网末端设备监测中，SVM可以用于识别设备的正常运行状态和异常状态，当检测到异常状态时，系统会立即发出预警。

3) 神经网络。深度神经网络（DNN）在处理复杂数据模式方面具有显著优势。通过多层神经元的连接，神经网络可以模拟人脑的工作机制，对大量数据进行深度学习和分析。在电气火灾隐患识别中，神经网络可以处理高维和非线性数据，识别复杂的故障模式。这种算法的应用场景是：对于电网中多个设备的多维数据，神经网络可以同时处理电流、电压和温度等数据，识别复杂的异常模式，提高识别的准确性和及时性。

4) 聚类分析是一种无监督学习方法，通过将数据分为不同的组（簇），令同一组内的数据相似度最大，不同组间的数据相似度最小。在电气火灾隐患识别中，聚类分析可以用于发现设备运行的异常模式。例如，基于历史数据，系统可以将正常运行状态和异常状态聚类，当实时数据与异常簇相似时，系统可以发出警报。这种算法的应用场景为：电气设备在长期运行中，聚类分析可以帮助识别设备的异常工作模式，如过热、过载等，及时预警可能的火灾隐患。

3. 系统架构设计与实现

为实现基于电网末端数据感知技术的电气火灾隐患识别系统，需要设计一个高效、可靠的系统架构。具体层次为：①数据采集层是系统的基础，负责实时监测电流、电压、温度、有功功率和频率等关键指标。通过部署在电网末端的智能传感器，如电流互感器、电压互感器和温度传感器，采集高频率、高准确度的数据。这些传感器将监测到的信号转化为数字信号，并通过边缘计算设备进行初步处理。②数据传输层负责将采集到的数据从末端设备传输到中央处理系统。为保证数据的实时性和可靠性，可以采用无线传输（如LoRa、NB-IoT）或有线传输（如光纤、以太网）技术。传输过程中，

数据采用加密技术，确保数据安全性和完整性。

③数据处理层是系统的核心，负责对采集到的数据进行深度分析和处理。该层包括数据存储模块和智能分析模块。数据存储模块使用分布式数据库，如Hadoop或NoSQL，存储海量的历史和实时数据。智能分析模块集成了各种智能算法，如决策树、支持向量机、神经网络、聚类分析、贝叶斯网络和时间序列分析。通过这些算法，对数据进行异常检测和模式识别，及时发现潜在的电气火灾隐患。

4. 系统功能的测试与验证

在系统开发完成后，进行全面的功能测试和验证至关重要，以确保其在实际应用中的可靠性和有效性。测试与验证主要分为以下几个阶段：①单元测试。在该阶段，分别对系统的各个模块进行独立测试。通过模拟各种正常和异常情况下的数据输入，验证传感器的准确性、数据传输的稳定性以及智能算法的正确性。确保每个模块都能独立稳定地运行^[4]。②集成测试。需要将各个模块组合在一起，测试系统的整体功能。重点验证数据从采集、传输到处理的整个流程是否顺畅，确保数据在传输过程中没有丢失或错误。在此阶段，通过模拟不同场景下的电气火灾隐患，验证智能算法的准确性和实时性。③性能测试。主要是评估系统在高负载下的表现。通过增加数据采集频率和数量，测试系统的处理能力和响应速度。确保系统在大规模数据处理时仍能保持高效运行，满足实时预警的要求。

结束语

电气设备的研发与应用虽然极大地提高了人们的生活便利程度，但用电安全一直是老生常谈的问题。一旦出现短路、过载等故障，电气设备极有可能在短时间内急剧升温，进而出现燃烧、爆炸等情况，严重威胁人民群众的生命财产安全。对电力、消防等单位来说，若要从源头层面降低该类事故的发生率，便需要在火灾发生前，及时完成识别及处理。为实现上述目标，可通过感知电网末端数据的方式，构建电气火灾隐患识别系统。在发现异常数值变化之后，及时采取应对措施，达到“对设备、电路降温，避免起火”的目的。总体来看，这种系统极具科学性和实践应用价值，应推广应用。EA

（收稿日期：2024-06-07）