

24kV 高压开关设备温升异常识别方法研究

刘德胜 罗进响 张宗森 陈泳舟 陈渊楠
(珠海康晋电气股份有限公司)

摘要：高压开关设备通常处于复杂的工作状态，受电流、负载变化、环境温度等因素的影响较大，这增加了温升异常的识别难度。为此，研究一种新的 24kV 高压开关设备温升异常识别方法。利用 Zigbee 技术，设计温升识别架构。DS18B20 温升传感器装至高压开关设备上，将多级温升阈值、相对温差比值、相间温升差值以及温度增加幅度指标融合，将异常温度数值与指标阈值进行对比，完成 24kV 高压开关设备温升异常的识别。实验结果表明：研究方法的识别过程具有更低的时延，且对于温升的识别精度更高。

关键词：24kV 高压开关设备；温升异常；识别方法；Zigbee 技术

0 引言

随着现代工业的发展，电力系统中的高压开关设备在能源传输和配电系统中扮演着至关重要的角色。然而，由于长期运行、环境因素以及设备自身因素的影响，高压开关设备的温升异常问题一直是电力行业关注的焦点之一^[1]。这种温升异常可能会导致设备性能下降、损坏甚至故障，对电网安全稳定运行构成潜在威胁。24kV 高压开关设备与普通开关设备相比，在温度上通常有着更严格的要求和更高的关注度^[2]。这是因为高压开关设备通常承载更大的电流和电压，其运行环境更为恶劣，所以温度异常会更加危险和严重。此外，高压开关设备的故障可能会对电力系统和用电设备造成严重的影响，因此需要更加密切地监测和管理其温度情况。针对高压开关设备的温度监测与预警系统一般会设计得更敏感和精确，以确保及时发现温升异常并采取相应的措施，维护设备的安全稳定运行^[3]。因此，对 24kV 高压开关设备温升异常的

识别方法进行深入研究具有重要意义。有效的温升异常识别可以帮助运营人员及时发现潜在问题，采取预防性维护措施，最大程度地减少设备运行风险，提高电力系统的可靠性和安全性^[4]。此外，温升异常识别方法的研究也有助于制定更为精准的设备管理策略，提高设备运行效率，降低维护成本，并为电力系统的智能化健康发展提供重要支撑。因此，该研究具有广泛的应用前景和重要的社会经济意义。

顾朝敏等人^[5]提出一种电力开关柜温度监测方案，将温度感知层部署在关键部位的温度传感器节点，实时感知关键部位的温度变化情况，利用有线通信层接收温度感知层传来的数据，利用 LoRa 通信技术进行无线传输，传输至监控中心后，采用后处理层进行数据整合，实现温度监测。曹俊磊等人^[6]将光纤光栅温度传感器安装至开关柜中，采集开关柜温度数据，利用自回归系数，构建温度预测模型，将温度差值与上升幅度作为评价指标，组建温度异常警告模型。

基于以上已有研究，为进一步优化设备温升识别的效率和精准度，以 24kV 高压开关设备为研究对象，设计一种温升异常识别方法。

1 24kV 高压开关设备温升异常识别

1.1 温升识别架构设计

Zigbee 作为一种低功耗、短距离的无线通信协议，非常适合于高压开关设备这种需要长时间稳定运行、但又具有严格能源消耗要求的场景。Zigbee 支持 Mesh 网络结构和多对一的通信特性，可以实现设备之间的数据传输和集中控制中心的数据收集，适应了高压开关设备分布广泛且数量众多的特点。此外，Zigbee 协议本身具有良好的抗干扰特性，有助于提高系统的稳定性和可靠性。因此，采用 Zigbee 作为高压开关设备温升识别的通信手段，有利于降低能耗、提高传输效率，并确保数据的可靠传输和处理。

利用 Zigbee 设计高压开关设备温升识别架构的原理如下。

1) 传感器采集：首先，在高压开关设备上布置温度传感器，通过 Zigbee 模块将传感器实时采集到的温度数据发送至数据采集器或集中控制中心。

2) 数据传输：Zigbee 作为一种低功耗、短距离的无线通信协议，可以将传感器采集的数据通过 Mesh 网络结构传输到数据采集器，支持多对一的通信特性，适合于设备之间的数据传输。

3) 数据处理与分析：数据采集器或集中控制中心收集来自各个高压开关设备的温度数据，进行实时监测，并对数据进行处理与分析，例如判断是否出现异常情况。

4) 报警与预防措施：一旦监测到温度异常，系统可以立即发出警报，通知相关人员进行处理，或者根据预设的策略自动采取预防措施，如停机、切断电

源等，以确保设备和运行安全。

该架构包括以下几个结构和模块：温度传感器、Zigbee 模块、数据采集器或集中控制中心、报警系统、相关的预防措施执行单元、用户界面与远程监测平台，如图 1 所示。

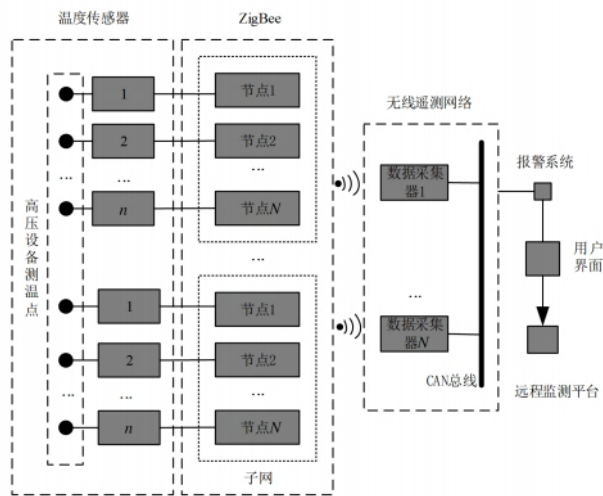


图 1 高压开关设备温升识别架构图

1.2 高压开关设备温升监测

按照安装示意图 2，首先在高压开关设备上选择合适的位置安装 DS18B20 温升传感器，将传感器连接到相应的电源和接口上，并严格按照传感器的安装说明进行操作。DS18B20 传感器通过单总线接口与控制器进行通信，因此需要将传感器的数据线连接至微处理器的数据采集接口上。设计并编写程序，使得控制器能够通过单总线接口与 DS18B20 传感器进行通信，并获得温度数据。这个程序需要负责初始化传感器、发起温度测量指令、接收并解析传感器返回的数据，最终得到准确的温度数值。控制器按照程序设计的方式对传感器进行数据采集，然后可以在控制器内部存储、处理这些数据，或者通过通信接口将温度数据发送给上位系统或监控中心，以做进一步的分析与处理。

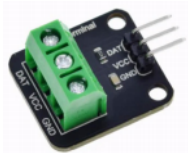


图 2 DS18B20 温升传感器

所选用的 DS18B20 温升传感器相关物理参数如表 1 所示，其具备高分辨率与耐热力，既能保证识别正确性，还能确保适用范围。

表 1 DS18B20 温升传感器物理参数

参数	数值
供电电压	3.0~5.5V
工作温度范围	-55~+125℃
分辨率	9~12 位可编程
测量精度	±0.5℃ (-10~+85℃)
通信协议	1-Wire®
尺寸	TO-92 封装，直径：4.83mm

1.3 高压开关设备温升异常识别

1.3.1 判定指标

单一的判定指标存在过于片面的弊端，为提升识别灵敏度，采用多指标相融合的策略，判断高压开关设备的温升异常状况。多指标相融合的优势在于其能够综合考虑多个方面的信息，减少单一指标带来的片面性和误判风险。通过将多种传感器采集的数据进行综合分析，可以提高系统对设备状态变化的感知能力，增强对异常情况的识别和预警能力，从而有效提升识别的准确性和灵敏度。此外，多指标相融合还有利于从全局的角度对设备状态进行评估，为系统维护和风险预防提供更加全面的参考依据。

1) 多级温升阈值 A。多级温升阈值是指根据设备运行状态的不同设定不同的温升阈值，例如低负载状态下可以允许较高的温升，而在高负载状态下则需要更严格的温升限制。这种策略能够更准确地反映设备的运行特点，提高对异常情况的识别灵敏度。计算式为：

$$A = (T(n) + \dots + T(2) + T(1)) / t_n - t_1 \quad (1)$$

式中，所选时间段的起始时间与终止时间分别为 t_1 、 t_n ，该时段的预测温升均值为 $\bar{T}(t)$ ，起始时与终止时的预测温升各为 $T(1)$ 、 $T(n)$ ，预测的 t_2 时刻温升为 $T(2)$ 。

2) 相对温差比值 B。相对温差比值是指通过比较同一设备不同位置的温度数据，计算出它们之间的相对温差比值，利用这种方法可以消除环境温度变化对温升判断的影响，更加准确地评估设备内部状态的变化情况。计算式为：

$$B = \frac{T' - T''}{T' - T'''} \times 100\% \quad (2)$$

式中， T' 为较高温测量点的预测温升； T'' 为较低温测量点的预测温升； T''' 为运行环境的温升。

3) 相间温升差值 C。相间温升差值是指对比同一电气设备不同相之间的温升情况，通过分析相间温升差值的变化，可以及时发现设备内部可能存在的故障或不均衡状态，从而提前预警并采取措施避免进一步恶化。假设相间的温度的最大值与最小值分别是 T_{\max} 、 T_{\min} ，计算式为：

$$C = T_{\max} - T_{\min} \quad (3)$$

4) 温度增加幅度 D。温度增加幅度是指在一段时间内温度的变化量，通常用来衡量设备温度快速上升的程度。通过监测和分析温度增加幅度，可以及时发现设备运行异常或故障状态，提前采取预防措施，以避免设备过热、损坏或造成安全隐患。温度增加幅度的监测对于预警系统和设备运维具有重要意义，有助于保障设备的稳定运行和安全性。计算式为：

$$D = [T(1) - T(2)] / (t_1 - t_2) \quad (4)$$

1.3.2 开关设备温升异常识别模型

基于以上指标值，利用 DS18B20 温升传感器采集开关设备温升数据，采用差分自回归移动平均模型 ARIMA(p,d,q)，预测温升。将异常温度数值与上述指标阈值进行对比，若超过阈值，则输出识别结果。温

升识别模型如图 3 所示。

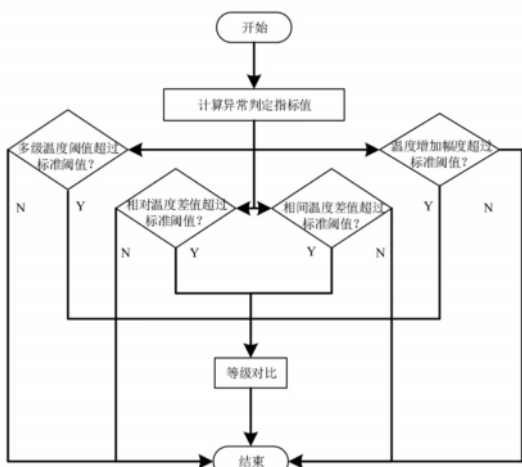


图 3 开关设备温升异常识别模型示意图

2 实验设计与分析

选取某 24kV 中压电网中的 SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备作为测试对象，将 DS18B20 温升传感器安装在该设备上，采集其温度变化数据。设置设备的温升异常程度等级，如表 2 所示。

表 2 高压开关设备温升异常识别等级结果

温升高幅度/℃	开关设备运行状态	异常等级
0	正常工作范围	零级
±10	轻微异常	一般
±20	中度异常	一般严重
±30	严重异常	较为严重
±40	危急异常	非常严重
±50	紧急停机	危急

1) 正常工作范围：设备在正常工作范围内，无温升异常，正常运行；

2) 轻微异常：温升略高于正常范围，可能受环境温度等外部影响，需要密切观察；

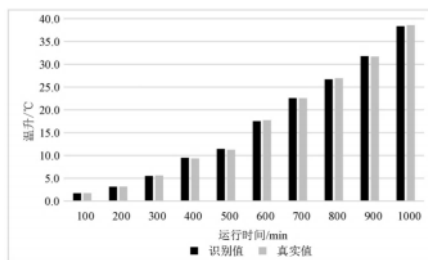
3) 中度异常：温升明显超出正常范围，可能存在潜在故障隐患，需要及时关注和处理；

4) 严重异常：温升严重超标，已经影响设备性能，需要紧急处理以避免设备损坏或事故发生；

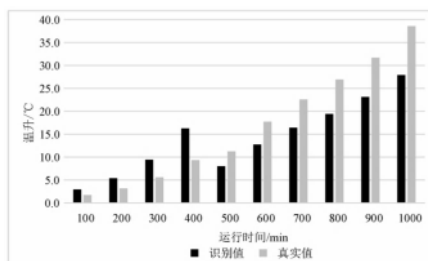
5) 危急异常：温升达到危险水平，可能对设备、人员和电网安全构成严重威胁，需要立即采取紧急措施；

6) 紧急停机：当温升达到这一等级时，应当立刻停机检修，以防止设备损坏和事故发生。

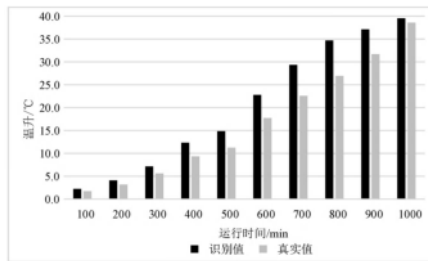
为验证研究方法的异常温升识别的准确性，设定实验时长为 1000min，对比研究方法识别出的温度升高程度与预先设定的已知温升的差异性。为突出研究方法性能，以文献 [5] 方法和文献 [6] 方法为对比组，实现对比实验的验证。具体结果如图 4 所示。



(a) 研究方法



(b) 文献 [5] 方法



(c) 文献 [6] 方法

图 4 温升幅度的识别结果

根据图 4 可知，研究方法识别结果与真实温升具有极高的一致性。这是因为研究方法结合了多种指标

综合分析高压开关设备的温升情况，将 Zigbee 技术应用于数据传输，利用 DS18B20 温升传感器采集实时温度数据并将其传输至监控中心。在识别方法中，多级温升阈值、相对温差比值、相间温升差值以及温度增加幅度指标的融合，能够全面考量设备的运行状态，并结合 Zigbee 技术的实时数据传输，实现对温升情况的快速监测和分析。通过将异常温度数值与指标阈值进行对比，可以更加准确地识别出设备的温升异常状况。

下面验证识别时延指标，以测试研究方法的应用效率。设定实验次数为 1000 次，每间隔 100 次记录不同方法的应用时延，对比结果如图 5 所示。

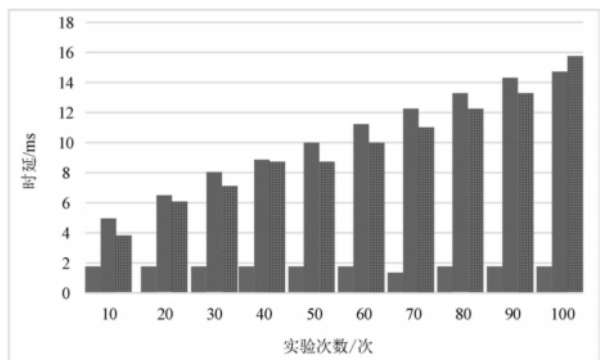


图 5 识别反应时间示意图

根据图 5 可知，与文献方法相比，研究方法的时延显著更低，可控制在 2ms 以下。这是因为研究方法利用 Zigbee 技术，结合快速响应的 DS18B20 传感器和多指标融合分析的方法，能够在短时间内快速完成对 24kV 高压开关设备温升异常的识别，从而有效降低了识别的时延。

3 结束语

本研究通过利用 Zigbee 技术设计了一种新的 24kV 高压开关设备温升异常识别方法，将 DS18B20 温升传感器与多项指标融合分析相结合，成功实现了对设备温升异常的快速而准确的识别。实验结果表

明，该方法能够显著降低识别过程的时延，并提高温升识别的精度，为提前发现设备异常状态提供了有力支持。

未来，这一方法有望在电力系统领域得到广泛地应用，可以应用于变电站、配电网等 24kV 高压开关设备的温升异常监测与预警。同时，结合物联网技术，将更多的设备纳入监测范围，进一步提高电力系统的安全稳定运行水平。这一研究成果有着广阔的应用前景，有望为电力设备运维管理提供更可靠的技术支持，促进电力系统的智能化发展。

参考文献

- [1] 钟建英, 陈刚, 谭盛武, 等. 高压开关设备关键技术及发展趋势 [J]. 高电压技术, 2021, 47 (8): 2769-2782.
- [2] 耿苏杰, 王秀丽. 基于模糊贝叶斯网络的电力设备故障诊断和状态评估 [J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27 (1): 63-71.
- [3] 张羽飞, 孟凡勇, 王永千, 等. 基于改进型 LSTM 的电力设备温度预测方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35 (12): 167-173.
- [4] 王凯旋, 任福继, 倪红军, 等. 面向电力设备红外图像的温度值识别算法 [J]. 智能系统学报, 2022, 17 (3): 617-624.
- [5] 顾朝敏, 李晓峰, 董驰, 等. 基于 Lora 的开关柜关键部位温度监测系统研究 [J]. 中国测试, 2021, 47 (3): 122-125, 162.
- [6] 曹俊磊, 胡晓虎, 李旭, 等. 变电站高压开关柜温度异常智能预警方法改进 [J]. 煤化工, 2023, 51 (2): 121-125.

(收稿日期: 2023-12-05)