

# 基于多尺度特征融合的变电运行设备过热故障检测研究

邢琳曼

(国网黄冈市供电公司变电运检分公司 湖北 黄冈 438000)

**摘要** 应用传统的变电运行设备过热故障检测方法时,环境干扰往往会导致过热预警的准确性下降。为解决该问题,文中提出了一种创新的方法,基于多尺度特征融合进行变电运行设备过热故障检测。该方法采用改进KPCA对变电运行设备特征进行降维处理;利用多尺度特征融合实现变电设备过热故障检测。实验结果表明,无论在何种条件下,该方法均能提供有效的预警,得到可靠的检测效果,具有较大的应用价值。

**关键词:** 多尺度特征融合;变电运行设备;过热故障;故障检测

**中图分类号** TM762

## Research on Overheating Fault Detection of Substation Operation Equipment Based on Multi Scale Feature Fusion

XING Linman

(State Grid Huanggang Power Supply Company Substation Operation and Inspection Branch, Huanggang, Hubei 438000, China)

**Abstract** When using traditional methods for detecting overheating faults in substation operation equipment, environmental interference often leads to a decrease in the accuracy of overheating warnings. To solve this problem, an innovative method based on multi-scale feature fusion is proposed in the paper for detecting overheating faults in substation operating equipment. This method uses improved KPCA to perform dimensionality reduction on the characteristics of substation operating equipment; Utilizing multi-scale feature fusion to detect overheating faults in substation equipment. The experimental results show that this method can provide effective warnings and achieve reliable detection results under any time conditions, and has great application value.

**Key words** Tmulti-scale feature fusion, Substation operation equipment, Overheating fault, Fault detection

## 0 引言

变电设备是一种能进行电力保护与传输分配控制的特殊设备,包括用于改变电压等级的变压器和互感器、控制电路通断的开关设备、调整功率因数的电容器、保护设备免受电压损伤的避雷器以及各种辅助设备<sup>[1]</sup>。其是电力系统运行的基础<sup>[2]</sup>,可以有效调整供配电参数,提高供配电质量,且能实现电能升压输送与降压匹配。由于供配电需求较高,许多电力设备在运行时负载超过额定值,导致内部电流激增,设备过热,从而引发安全隐患<sup>[3]</sup>。此外,该设备在长时间使用过程中也会出现老化损伤问题,流动阻力过高,从内部产生大量热量。针对上述问题,需要进行变电运行设备过热故障检测。变电运行设备故障检测对实时性要求较高,需要迅速处理设备异常,避免故障扩大。另外,还需要准确判断变电设备的运行温度阈值,提高温度测量精度,保证故障检测判断的可靠性<sup>[4]</sup>。相关研究人员针对上述特

点提出了几种常规的变电运行设备故障检测方法。文献[5]利用犹豫模糊矩阵与变异算子提取变电设备的过热特征,利用Hopfield神经网络进行训练,提高了故障诊断效率,但该方法的约束条件过多,执行难度较高。文献[6]基于线圈电流检测技术采集设备的过热状态信号,通过BP神经网络构建过热故障检测模型,提高了检测的实时性,但该方法的检测准确率较低。为解决上述方法存在的问题,本文基于多尺度特征融合设计了一种有效的变电运行设备过热故障检测方法。

## 1 多尺度特征融合的变电设备故障检测方法

### 1.1 基于改进KPCA的特征降维方法

KPCA是主成分分析的非线性推广,首先对故障样本 $y_k$ 进行非线性变换得到 $\psi(y_k)$ ,然后对其进行高维特征空间映射得到 $H$ ,具体步骤如下。假设变电运行设备故障样本矩

**作者简介:**邢琳曼(1997—),本科,助理工程师,研究方向为变电运行。

阵为  $Y_{N \times M}$ , 则其在特征空间  $H$  中的协方差矩阵  $C$  的数学模型如式(1)所示:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N \psi(y_r) \psi(y_r)^T \quad (1)$$

其中,  $r$  为样本矩阵的行数,  $r=1, 2, \dots, N$ ;  $y$  为矩阵  $Y$  的第  $r$  行数据。

此时协方差矩阵的特征值和特征向量分别为  $\lambda$  和  $e$ , 其需要满足的条件如式(2)所示:

$$\lambda e = Ce \quad (2)$$

然后, 引入非线性  $\lambda \psi(y_k) v = \psi(y_k) C v$  函数  $\psi(y_k)$ , 得到  $\lambda$  的最新约束。其中,  $v$  可以用  $\psi(y_i)$  进行线性表示, 如式(3)所示:

$$v = \sum_{i=1}^N \delta_i \psi(y_i) \quad (3)$$

在特征空间中, 需要对核矩阵进行中心化处理, 确保数据在高维空间中是以原点为中心的, 而对于任意变电运行设备故障样本, 可求取变电运行设备故障样本矩阵  $Y$  在特征空间中的第  $m$  个核主元  $R_m$ , 如式(4)所示:

$$R_m = v \psi(y) = \sum_{i=1}^N \delta_i L(y, y_i), m=1, 2, \dots, M \quad (4)$$

其中,  $y$  为自变量, 可以取矩阵  $Y$  的任意一行。

通过引入一个权重系数  $\beta$ , 结合最大的几个特征值所对应的特征向量作为主成分, 将原始数据映射到这些主成分上进行降维, 得到最终降维结果, 如式(5)所示:

$$R = (1-\beta) \sum_{i=1}^N \delta_i L(y, y_i) \quad (5)$$

采用改进 KPCA 对变电运行设备故障特征进行降维, 可对特征值进行重新排列, 得到重要特征参数。

### 1.2 变电运行设备过热故障检测

假设变压器故障特征数据集为  $R$ , 包含  $n$  个样本,  $m$  个特征, 数据集  $x_i$  对应的特征标签为  $y_i$ , 则  $K$  棵回归树集成的最终故障特征融合结果如式(6)所示:

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), f_k \in F \quad (6)$$

其中, 每一个函数  $f_k$  都是一棵独立的回归树,  $F$  为 CART 构成的集合,  $f_k(x_i)$  为在第  $K$  棵 CART 上数据样本集  $i$  的故障特征,  $\hat{y}_i$  为最终的多特征融合结果。

损失函数与惩罚函数相叠加的 XGboost 目标函数如式(7)、式(8)所示:

$$Ob_j = \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^k \Omega(f_k) \quad (7)$$

$$\Omega(f_k) = \gamma T + \frac{1}{2} \gamma \|w\|^2 \quad (8)$$

其中,  $l(y_i, \hat{y}_i)$  为损失函数;  $\Omega(f_k)$  为正则项, 用于预防模型过拟合导致特征融合失败;  $T$  表示节点数量;  $\gamma$  为惩罚项, 用于抑制特征增加, 避免特征融合更加复杂。

假设  $\hat{y}_i^{(t)}$  为第  $t$  次迭代中的预测值, 加入贪婪函数  $f_i$  来优化目标函数, 提高特征融合精度, 则第  $t$  次迭代后的目标函数如式(9)所示:

$$L^{(t)} = \sum_{i=1}^n (l(y_i, \hat{y}_i^{(t)}) + f_i(x_i)) + \Omega(f_i) \quad (9)$$

由于变电站中的过热故障检测点较多, 检测难度较高。为保证过热故障检测精度, 将目标函数引入变电运行设备过热故障智能检测中心, 根据检测要求, 确定变电运行设备过热故障检测结果, 如式(10)所示:

$$x_m(t) \sum_{p=1}^p s_p(t - \tau_m(\theta_p)) + n_m(t) \quad (10)$$

其中,  $s_p(t)$  为第  $p$  个特征样本量,  $\theta_p$  为第  $p$  个故障特征量,  $\tau_m(\theta_p)$  为第  $p$  个故障特征被检测出来的时间延迟,  $n_m(t)$  为故障噪声量。

## 2 实验

为了验证本文设计的基于多尺度特征融合的变电运行设备过热故障检测方法的检测效果, 将其与文献[5]提出的基于犹豫模糊矩阵与变异算子提取变电设备的过热特征的方法和文献[6]中基于线圈电流检测技术的超高压变电设备故障诊断方法进行了对比实验。

### 2.1 实验准备

根据变电运行设备过热故障检测实验的要求, 本文选取 MATLAB 平台作为实验平台, 利用 Windows Visual C++ 6.0 进行了编程<sup>[7-9]</sup>。实验采用的数据共包含 680 组样本, 并将其按照 3:1 比例划分为训练集和测试集, 得到 510 组训练样本、170 组测试样本。数据集样本分布情况如表 1 所列。

表 1 样本数据具体分布

运行状态	总样本数	训练样本数	测试样本数
正常	400	250	150
低温过热	85	73	12
中温过热	99	90	9
高温过热	96	93	3
总计	680	510	170

### 2.2 实验结果与讨论

根据上述实验准备, 进行变电运行设备过热故障检测实验。首先, 预设热像仪的有效 IP 地址和端口号<sup>[10]</sup>, 并调整实验局域网设置。然后, 随机选择检测时间, 进行实验, 得到 3 种方法在不同检测时间下的过热故障检测效果, 如表 2 所列。

表 2 实验结果

方法	检测时间	检测部位	检测温度/°C	额定温度/°C	是否预警
本文方法	10:00	接头	85.0	小于等于 70.0	是
	11:00	线圈	68.0	小于等于 70.0	否

(续表 2)

方法	检测时间	检测部位	检测温度/℃	额定温度/℃	是否预警
	12:00	散热器	55.0	小于等于 50.0	是
	13:00	变压器顶部	90.0	小于等于 80.0	是
	14:00	绝缘子	45.0	小于等于 50.0	否
	15:00	电缆连接处	72.0	小于等于 70.0	是
	10:00	接头	71.0	小于等于 70.0	否
文献[5] 方法	11:00	线圈	75.0	小于等于 70.0	否
	12:00	散热器	55.0	小于等于 50.0	否
	13:00	变压器顶部	88.0	小于等于 80.0	是
	14:00	绝缘子	55.0	小于等于 50.0	否
	15:00	电缆连接处	72.0	小于等于 70.0	否
文献[6] 方法	10:00	接头	69.0	小于等于 70.0	是
	11:00	线圈	72.0	小于等于 70.0	否
	12:00	散热器	55.0	小于等于 50.0	否
	13:00	变压器顶部	75.0	小于等于 80.0	是
	14:00	绝缘子	55.0	小于等于 50.0	否
	15:00	电缆连接处	65.0	小于等于 70.0	否

由表 2 可知,本文设计的基于多尺度特征融合的变电运行设备过热故障检测方法在不同检测时间及检测部位下始终能有效进行过热故障预警,而利用犹豫模糊矩阵与变异算子的变电运行设备过热故障检测方法,以及基于线圈电流检测技术的变电运行设备过热故障检测方法在部分状态或检测部位下存在告警异常的问题。实验结果证明,本

文设计的设备过热故障检测方法的检测效果较好,具有较高的可靠性和一定的应用价值。

### 3 结语

目前,变电设备的数量及连接复杂度日渐增长,极易受设备老化、运行负载、外界环境变化等的影响,出现过热故障,引发爆炸、火灾等严重的安全事故。为解决该问题,本文基于多尺度特征融合设计了一种有效的变电设备过热故障检测方法,并进行了实验验证。实验结果表明,该方法在不同时刻下均能有效完成故障检测预警,具有可靠性和一定的应用价值,为保障电力系统的安全可靠运行作出了一定的贡献。

#### 参考文献

- [1] 郑文杰,杨祎,乔木,等.基于改进YOLO和Resnet的变电设备热缺陷识别及诊断方法[J].重庆理工大学学报(自然科学),2023,37(9):261-269.
- [2] 蒋建华,田月炜,罗显跃,等.基于数字孪生模型的输变电设备多源异构数据边缘侧智能采筛方法[J].电工技术,2022(24):95-98.
- [3] 齐波,冀茂,郑玉平,等.电力物联网技术在输变电设备状态评估中的应用现状与发展展望[J].高电压技术,2022,48(8):3012-3031.
- [4] 刘威麟,王中伟,郝冠茗,等.基于轮廓线与特征融合的电网变电设备三维自动化运检方法[J].计算技术与自动化,2024,43(1):117-122.
- [5] 盛宏伟,张杰锋,汪卫东,等.基于犹豫模糊矩阵与变异算子的变电设备故障检修仿真[J].计算技术与自动化,2024,43(1):38-43.
- [6] 吴武超.基于线圈电流检测技术的超高压变电设备故障诊断方法[J].电气技术与经济,2023(10):392-394,398.
- [7] 薛江,郭建龙,冯伟夏,等.基于改进SSD神经网络和点云配准算法的变电站三维模型快速建立方法[J].武汉大学学报(工学版),2024,57(3):356-362.
- [8] 赵振兵,冯烁,赵文清,等.融合知识迁移和改进YOLOv6的变电设备热像检测方法[J].智能系统学报,2023,18(6):1213-1222.
- [9] 李艳丰,刘保辉,马庆丰,等.基于条件生成式对抗网络和AlexNet-BiLSTM模型的变电设备缺陷检测[J].东北电力技术,2023,44(7):7-14.
- [10] 罗文清,陈鸿辉,刘恩赐,等.基于图像识别的变电充气设备压力异常便携监测装置研究[J].电子元器件与信息技术,2023,7(7):67-70.