

基于 XGBoost 的换流阀冷却系统加药状态评估

邓 凯, 何茂慧, 王之赫, 张 喆, 花 侃, 金 梦

(国网江苏省电力有限公司超高压分公司, 江苏 南京 211102)

摘 要: 阀冷系统是保证换流站稳定运行的重要组成部分。喷淋系统将循环水以喷雾方式持续湿润盘管表面, 从而达到冷却换热的效果。循环水易出现滋生细菌藻类和结垢的现象, 从而严重影响阀冷系统的换热效率。对此, 提出一种基于 XGBoost 的特高压换流阀冷却系统的自动加药状态评估方法。首先针对阀冷系统主要部件, 提取进阀压力、进阀温度、喷淋水电导率和阀厅温度等 10 个特征指标; 然后将预处理后的数据导入 XGBoost 分类器进行训练, 并通过网格搜索法实现参数寻优; 最后使用江苏省某换流站的现场数据验证模型的有效性, 结果显示模型的评估准确率达到 92%。

关键词: 换流阀; 阀冷系统; 加药装置; 状态评估; XGBoost

中图分类号: TM721.1

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.22.047

XGBoost-based Evaluation of Dosing State of the Converter Valve Cooling System

DEND Kai, HE Maohui, WANG Zhihe, ZHANG Zhe, HUA Kan, JIN Meng

(State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Extra-High Voltage Branch Company, Nanjing 211102, China)

Abstract: Valve cooling system is an important part to ensure the stable operation of converter station. The spray system continuously circulated the water to spray the surface of the coil to achieve the cooling and heat transfer effect. Circulating water is easy to breed bacteria, algae and scale, which seriously affects the heat exchange efficiency of valve cooling system. Therefore, an automatic dosing state evaluation method of UHV converter valve cooling system based on XGBoost is proposed. Firstly, for the main components of the valve cooling system, 10 characteristic indexes such as inlet valve pressure, inlet valve temperature, spray water conductivity and valve hall temperature are extracted. Then the preprocessed data is imported into XGBoost classifier for training, and the parameter optimization is realized by grid search method. Finally, the field data of a converter station in Jiangsu Province are used to verify the effectiveness of the model. The results show that the evaluation accuracy of the model is 92%.

Key words: converter valve; valve cooling system; dosing device; condition assessment; XGBoost

0 引言

目前, 国内运行和在建的直流输电工程具有数量多、容量大、电压等级高的特点。换流阀是直流输电工程中进行换流的关键设备, 可以实现对直流输电启动和停运的快速控制^[1-2]。当换流阀出现故障, 导致多次连续的换相失败时, 直流电力系统将被迫停运, 从而严重影响电力系统的稳定性。

换流阀运行时, 可控硅阀片会产生大量的热量, 需要换流阀冷却系统进行降温处理^[3-4]。在换流阀冷却系统工作时, 冷却塔将水作为循环冷却剂, 持续喷淋湿润盘管表面, 并将循环水喷淋到有较大接触面积的填料上, 通过水和空气的接触实现热交换。但是, 循环水在运行一段时间后容易滋生细菌和藻类, 生成的微生物会附着在填料表面。同时, 随着设备的长时间运行, 循环水中 Ca、Mg 离子浓度逐渐增大, 喷淋到盘管表面易使其结垢, 降低了换

流阀冷却系统的热交换效率, 严重时会影响换流阀的稳定正常运行^[5]。

目前, 国内换流站配备了加药装置, 定时定量地向循环水中加入杀菌灭藻剂和缓蚀阻垢剂, 使其满足水质要求, 以保证换流阀冷却系统的正常运行。但是这种周期性加药的方式存在针对性差、效率低、智能化水平低等特点。同时在加药过程中, 存在药剂对人体和设备腐蚀的安全隐患问题。对此, 国内研究人员进行了积极的设计和研究工作。文献[6]设计的一种自动加药装置减轻了药剂对人体和设备的损害, 但也存在智能化水平较低的缺陷。文献[7]采用反渗透膜软化法处理冷却塔的喷淋补充水, 完全去除冷却水中的 Ca、Mg 离子, 解决冷却塔的结垢问题。文献[8]监测了水的硬度和盘管的壁厚, 运用公式计算结垢速率后, 通过增加排污量、采用纳滤膜或者反渗透膜等方法对喷淋水进行处理。上述方法通过优化工艺流程, 虽然可以降低喷淋水的硬度, 但也增加了换流站的设备和运维成本。

收稿日期: 2021-11-15

针对换流阀冷却系统的外冷水加药评估问题，可以引入机器学习的多分类领域。本文在前人研究的基础上，提出了基于极度梯度提升算法（Extreme Gradient Boosting）的特高压换流阀冷却系统加药评估模型。

1 阀冷系统特征指标选择和运行状态划分

1.1 特征指标选择

作为阀冷系统中换热设备，冷却塔将冷却水喷淋在填料表面进行冷却降温，容易出现滋生微生物和结垢的问题。同时，冷却系统各模块均安装了一定数量的检测设备，可以提供用于训练模型的数据资料。本文选取了进阀压力、出阀压力、进阀温度、出阀温度、冷却水流量、冷却水电导率、去离子水电导率、膨胀罐液位、喷淋水电导率和阀厅温度共 10 个特征指标。

1.2 状态划分

完成样本的特征指标的选择后，需要对样本的状态进行划分。本文将状态划分为正常、提醒、异常和加药共 4 个类型。将样本的特征标准输入训练好的阀冷系统加药评估模型，可以由模型快速识别并输出对应的运行状态值。当模型输出“加药”状态时，可通过计算机控制自动加药装置动作；当模型输出“提醒注意”或“异常运行”时，可发出警告，提醒现场人员注意。各运行状态的具体含义见表 1。

表 1 运行状态及含义

运行状态	含义
正常	冷却水指标在合理范围内，系统正常运行
提醒	冷却水指标偏离正常值，阀冷系统可正常工作，需运维人员监视系统运行
异常	冷却水指标部分超出阈值，需要运维人员人工操作，使系统恢复正常运行
加药	冷却水指标严重超出阈值，计算机控制自动加药装置启动

2 XGBoost 模型算法

极限梯度提升算法（Extreme Gradient Boosting）是集成算法（Ensemble Learning）中提升法（Boosting）的一种代表算法。极限梯度提升算法具有较高的拟合速度，比其他算法更加稳定，并且具有大量可调节的超参数，因此在有监督的分类问题中，具有一定的优越性。

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

式中， F 为包含所有树模型的函数空间。

可以建立目标函数：

$$Ob_j^{(t)} = \sum_{j=1}^T [G_j \omega_j + \frac{1}{2} (H_j + \lambda) \omega_j^2] + \gamma T \tag{2}$$

XGBoost 在建立每棵树时，都使该目标函数达到最小。XGBoost 通过拟合残差来进行建模，由于 XGBoost 每轮学习的是上轮的残差，因此每生成一棵树，都是在之前生成的树的基础上进行拟合，总预测值就是前几轮预测总

值和本轮预测值之和。

3 阀冷系统冷却水加药评估模型

3.1 数据预处理

江苏省某换流站现场实测数据由于受运行工况和测量误差的影响，可能存在缺失值和异常点，因此需要进行预处理，剔除不正常样本。在选择分类数量时，根据现场工作人员运维经验，将数据类型设置为正常、异常、提醒和加药共 4 个类型。

3.2 建立模型

本文提出的换流阀冷却系统加药状态评估整体模型如图 1 所示。该模型采用的算法流程为：对现场采集数据进行清洗和预处理，处理后的样本包含 10 个特征指标和 4 种运行状态；将处理后的数据划分为训练集和测试集，将训练集输入 XGBoost 模型，使用测试集进行测试验证，利用准确率和混淆矩阵对模型输出结果进行评估；采用网格寻优方法对模型参数进行寻优，将优化的参数输入模型进行优化，并输出各特征指标对分类结果的贡献度；基于训练优化的模型，发出警告信息或控制加药装置进行加药操作；最后使用新的数据对模型进行训练，不断提高模型的泛化能力。本文采用网格搜索法（GridSearch）实现参数寻优。

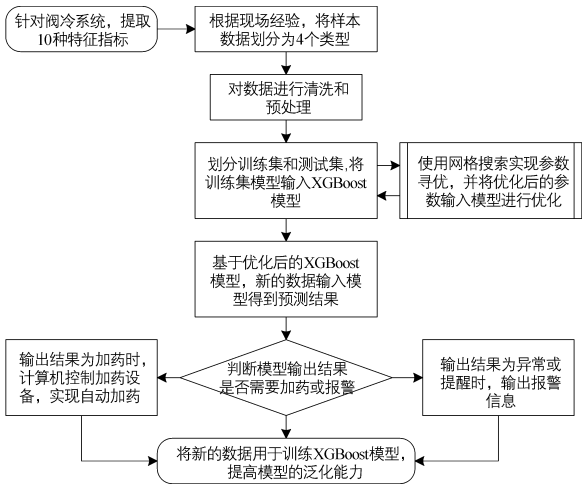


图 1 阀冷系统冷却水加药评估流程

4 模型评估结果分析

4.1 数据清洗结果

原始数据共有 552 组样本，经过数据清洗后，样本总数达到 456 组。清洗后的样本用于接下来模型的训练和测试。其中，各种运行状态所包含的样本数目见表 2。

4.2 模型参数优化前

使用 XGBoost 分类模型，其输出结果可以通过精确度和混淆矩阵进行评估。将测试集导入训练好的模型中，并

表 2 数据清洗和预处理结果

样本总数	样本类型	样本数量	样本占比
456	正常	172	37.22%
	提醒	114	25.00%
	异常	86	18.86%
	加药	84	18.42%

将模型预测结果与真实值进行对比,精确度可以达到 90.22%,即用于测试的 92 个样本中,完全分类正确的样本数达到 83 个。参数寻优前的混淆矩阵如图 2 所示。

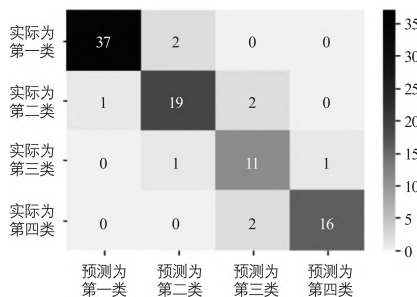


图 2 参数寻优前模型输出的混淆矩阵

4.3 模型参数优化后

将通过网格搜索寻优后的参数输入模型,使用测试集进行测试,模型预测精度从 90.22% 提高到 92.39%,即用于测试的 92 个样本中,完全分类正确的样本数达到 85 个。由此可以看出,经参数寻优后,模型对第三类和第四类状态的预测精度得到提升,网格搜索得到的参数进一步提升了模型的泛化能力。参数寻优后的混淆矩阵如图 3 所示。

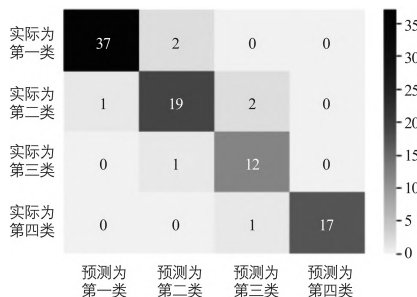


图 3 参数寻优后模型输出的混淆矩阵

4.4 特征贡献度分析

XGBoost 模型可以输出各特征对预测结果的贡献度。本文模型的特征贡献度如图 4 所示。由此可以看出,特征指标中外冷水电导率的贡献度达到了 0.350,在各特征中最大,因此该特征对模型输出结果影响最大;阀厅温度的贡献度达到了 0.186,因此阀厅温度对模型输出也有较大

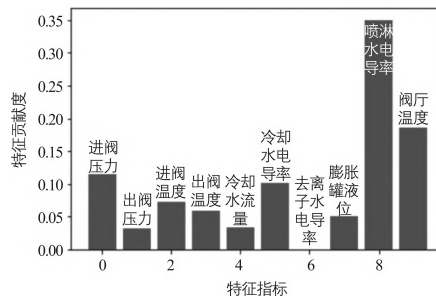


图 4 特征贡献度统计

影响;此外,进阀压力、冷却水电导率、阀厅温度的特征贡献度也较高。现场工作人员在对冷却水状态和加药进行评估时,应重点关注以上特征指标的影响。

5 结语

基于 XGBoost 的换流阀冷却系统加药状态评估模型采用机器学习算法对冷却水状态进行评估,通过计算机控制实现自动加药,弥补了现有的周期性加药方式存在的精准度差、智能化水平低的缺陷;采用换流站历史数据进行训练,可通过在线监测的方式获取新的数据,用于更新训练模型,从而保证了预测的稳定性和可靠性;通过特征贡献度分析,可以判断每个特征对于输出结果的重要性,一方面为加药装置提供了标准和数据支持,另一方面对于现场人员评估冷却水的状态,也有一定的借鉴参考价值。

参考文献

- [1]杨柳,张丽,周月宾,等.柔性直流换流阀与水冷变压器外冷却系统一体化设计方案[J].南方电网技术,2021,15(6):15-19,35.
- [2]姜彦涛,袁妮,刘琦.高压直流输电晶闸管换流阀损耗仿真计算方法研究[J].高压电器,2021,57(1):116-122,128.
- [3]卢世才,李道豫,王行飞,等.高压直流换流阀内水冷系统致垢离子带电特性[J].南方电网技术,2021,15(8):64-70.
- [4]雒雯霞,孙小平,张艳梅,等.基于 Flowmaster 的柔性直流换流阀水路仿真研究[J].电力电子技术,2021,55(5):8-10.
- [5]许雯榕,花侃,张喆,等.换流站外冷水系统控制逻辑缺陷分析及对策[J].电工电气,2021(6):43-46.
- [6]陆健.一种基于换流站外冷水便携式加药装置的设计[J].通信电源技术,2019,36(5):223-224.
- [7]余娇容.直流输电换流阀外冷系统结垢机理及除垢方法研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [8]曾小丽.天生桥换流阀冷却系统外冷水软化技术研究[D].广州:华南理工大学,2019.