

直流换流阀 TVM 板发热预测及预警方法

游俊良, 刘羽超, 古智鹏

(中国南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405)

摘要: 为了提前发现 TVM 故障隐患, 提出一种基于数据关联性分析的 TVM 板温度预测及预警方法。通过阀厅红外测温系统、阀厅环境监测系统和直流功率计划曲线系统获取换流阀 TVM 板温度、阀厅温湿度和直流输送功率, 建立 TVM 板温度预测模型, 实现对 TVM 板温度预测及发热预警, 可以提前发现 TVM 板的温度异常, 及时发现 TVM 板设备隐患, 保障直流输电系统安全稳定运行。

关键词: TVM 板; 温度预测; 预警

中图分类号: TM721.1

DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.24.064

Heating Prediction and Early Warning Method for TVM Board of DC Converter Valve

YOU Junliang, LIU Yuchao, GU Zhipeng

(Guangzhou Bureau, CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510405, China)

Abstract: In order to find the hidden trouble of TVM in advance, a temperature prediction and early warning method for TVM board based on data correlation analysis is proposed. The TVM plate temperature, valve chamber temperature and humidity and DC transmission power of converter valve are obtained through the valve hall infrared temperature measurement system, valve hall environmental monitoring system and DC power planning curve system, and the TVM plate temperature prediction model is established. This method realizes the temperature prediction and heating early warning of TVM board, which can detect the abnormal temperature of TVM board in advance, find the hidden danger of TVM board equipment in time, and ensure the safe and stable operation of DC transmission system.

Key words: TVM plate; temperature prediction; early warning

0 引言

换流阀是直流输电系统的关键设备, 在直流输电工程中具有整流和逆变功能, 而在整流站还具有开关功能, 可利用其快速可控特性对直流输电启停进行快速操作^[1]。换流阀的基本组成单位为可控硅元件, 每个可控硅元件对应一个阀电压检测板 (Thyristor Voltage Monitoring board, TVM 板)。TVM 板在晶闸管阀内既承担晶闸管直流均压功能, 又监测晶闸管两端电压, 产生相关的回检信号, 送往控制系统^[2]。

由于换流阀设备长期不间断带电运行, TVM 板持续工作, 因此某换流站多次出现 TVM 板发热现象, 最高发热温度达到 130℃。为防止 TVM 板发热造成直流输电设备元件损坏甚至烧毁, 有必要对换流阀 TVM 板进行发热预测及预警, 提前发现其故障隐患。

收稿日期: 2022-04-05

作者简介: 游俊良(1990—), 从事高压直流输电运行管理工作; 刘羽超(1988—), 从事高压直流输电运行工作; 古智鹏(1988—), 从事高压直流输电运行工作。

1 TVM 板发热原理

在换流阀系统运行时, TVM 板通流会发热, 同时与可控硅元件并联的直流分压电阻发热也会导致 TVM 板发热。而 TVM 板以及直流均压电阻的伏安特性差异, 导致 TVM 板发热不是简单的线性。影响 TVM 板温度^[3]的因素有阀厅温度、阀厅湿度、直流负荷。直流负荷决定了 TVM 板的产热, 阀厅温度、湿度影响 TVM 板的散热。

2 TVM 板发热检测手段

目前, TVM 板故障检测手段主要有阀厅红外测温系统、人工手持测温仪、监控后台工作站信号。当 TVM 板发热温度过高时, 监控后台工作站信号会发换流阀阀片无回检告警, 此时元件已严重故障, 影响直流系统运行。

阀厅红外测温系统^[4]可以对 TVM 温度进行测量, 但 TVM 板温度随直流负荷、温度、湿度变化, 不能以一个核定的量去判断 TVM 板是否发热。当前阀厅红外测温系统未对影响 TVM 板发热的 3 个因素进行关联性分析, 因此无法准确判断 TVM 板是否故障。人工手持测温仪通过人工对比分析同样工况的 TVM 板发热情况, 可发现温差

较大的 TVM 板发热, 但只能作为一种补充手段, 不能满足及时监测 TVM 板发热故障的要求。因此, 当前的 TVM 板发热检测手段不能满足在 TVM 板发热的初期及时检测出故障的要求。

3 TVM 发热预测及预警方法研究

鉴于 TVM 板发热不是简单的线性, 本文提出一种基于数据关联性分析的 TVM 板温度预测及预警方法, 实现对 TVM 板发热的预测及预警。

3.1 发热预测算法数据采集

影响 TVM 板温度的因素有阀厅温度、阀厅湿度、直流负荷, 因此预测算法采集内容包括阀厅温度、阀厅湿度、直流负荷以及通过阀厅红外测温得到的 TVM 板温度。

在直流输电系统中, 13 个可控硅元件与 2 台阀电抗器串联后, 再与 1 只均压电容器并联构成 1 个可控硅阀层; 2 个可控硅阀层串联后构成 1 个换流阀模块, 3 个换流阀模块串联构成 1 个换流阀; 4 个换流阀串联构成 1 个四重阀, 即 1 座阀塔; 单极由 3 座阀塔构成。选取同一阀厅同一层架同一位置的 TVM 板, 同一阀厅每座阀塔同一层架的 TVM 板外部的温湿度在一天中的相同时刻近似相同, 因此选取同一天相同时刻的点进行分析。另外, 由于发热是一个持续的过程, 因此选取每小时一个点。

TVM 板的温度可通过阀厅红外测温系统进行测量, 该系统可通过设置自动巡检方案, 以设定好的时间点去获取设备温度。阀厅温湿度数据可通过站内装设的环境监控系统得到, 该系统每 5 min 采集 1 次; 直流负荷等同于直流功率, 而每天的直流功率可通过每天调度下发的直流功率曲线获知, 调度计划功率系统可以获知每个时间节点的直流功率。

一个完整的 TVM 板温度数据模型点为 T (直流功率、温度、湿度), 也即为从红外系统得到的 TVM 板温度数据。在理想的模型下, T 在时间点、直流功率、温度、湿度一致的情况下, 数据是相同的。考虑发热是一个持续的过程, 直流功率在选取时增加筛选, 取该时间点前 1 h 平均功率作为一个判别点, 因此修改后的 TVM 板温度数据模型点为 T' (直流功率、前 1 h 平均功率、温度、湿度)。从红外测温系统测出的每个 TVM 板数据, 经处理后都可生成一个 T' 数据格式的数据。

3.2 预测算法研究

通过算法数据采集, 得到大量 T' 数据格式的数据, 采用基于数据关联性分析的 TVM 板温度预测模型。划分 2000 组样本集, 其中 1500 组作为训练数据集, 500 组作为验证数据集, 训练 TVM 板温度预测模型。

(1) 用于预测的 LSTM^[5] 由 1 个输入层、多个隐藏层和 1 个输出层构成。输入层和所有隐藏层共同构成 LSTM 模型, 实现对输入数据特征的提取; 最后 1 个隐藏层和输出层构成线性神经网络, 作为网络的回归层, 将 LSTM 提

取的特征向量 (state) 作为输入, 通过线性激活函数处理得到预测值。

(2) LSTM 神经网络基本的训练原理为隐藏单元之间循环连接, 但读取整个序列后产生单个输出的循环网络。对于 LSTM 模型预测误差的定义及权值调整, 采用预测值和实际值的误差平方和作为预测模型的误差损失函数。

(3) 训练流程如图 1 所示, 该模型中变量 x 有 4 个, 即直流功率、前 1 h 平均功率、温度、湿度。

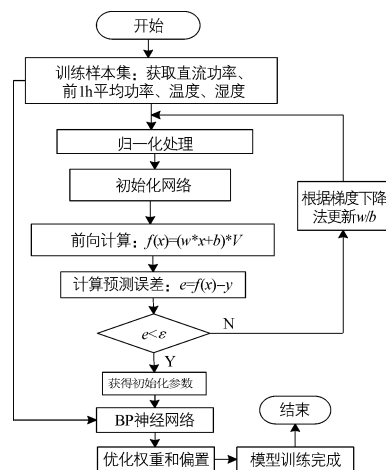


图 1 LSTM 深度学习模型训练流程

(4) 采用训练好的长短期记忆 (LSMT) 模型对 TVM 板温度进行预测, 输入为系统当前时刻 t 的实时数据 (直流功率、前 1 h 平均功率、温度、湿度), 输出为 t 时刻的 TVM 板温度预测值。经验证, 该模型均方误差在 3.3% 左右, 模型可以较好地实现 TVM 板温度预测。

3.3 发热预测算法整体构架

TVM 板发热预测构架如图 2 所示。

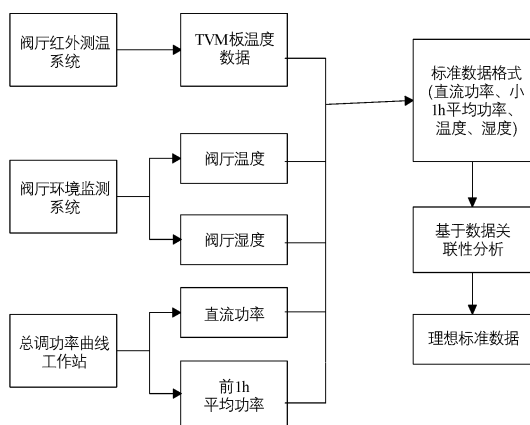


图 2 TVM 板发热预测构架

3.4 基于预测算法的 TVM 板发热预警

选取的同一阀厅同一层架同一位置的 6 个 TVM 板参考点, 由于温度、湿度接近, 直流负荷相同, 因此在设备正常的情况下, 其温度曲线斜率是接近的。

(1) 在 TVM 板击穿或损坏的情况下, 随着负荷的增

加, 呈现的结果反而是不发热或发热不明显, 因此首先筛选实际斜率与标准斜率相乘不大于零的情况, 连续 3 次, 累计负告警 1 次。由于负告警出现时设备已损坏, 考虑数据的差异性, 因此负告警 3 次, 出口总负告警。

(2)一般设备发热恶化的趋势是, 随着负荷的升高, 温升的幅度越来越大。若温度斜率在 6 个实际斜率、6 个标准斜率中连续 3 次处于最大值, 正告警 1 次, 考虑数据的差异性, 正告警 3 次, 出口总正告警。

预警逻辑如图 3 所示。

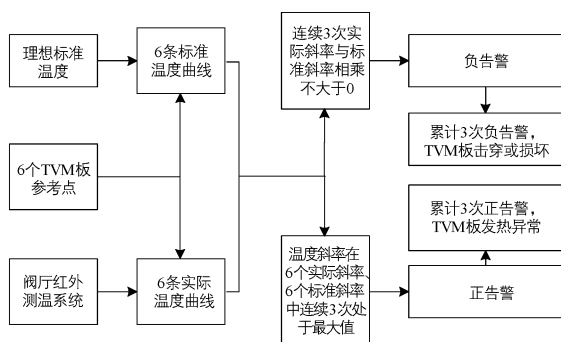


图 3 预警逻辑图

3.5 预测及预警方法实际运行效果

通过对 TVM 板发热进行预测及预警, 可以在 TVM 板温度不高时, 提早发现 TVM 板的异常发热和设备隐

患。另外, 通过对比 TVM 板发热曲线, 可以发现 TVM 板由于故障等原因导致不发热的情况, 填补了阀厅红外测温系统只能发现 TVM 板温度过高的缺陷。

4 结语

本文利用阀厅红外测温系统、阀厅环境监测系统和直流功率计划曲线系统获取换流阀 TVM 板温度、阀厅温湿度和直流输送功率作为训练数据, 基于数据关联性分析, 建立 TVM 板温度模型并训练, 实现了 TVM 板温度的预测分析及发热预警, 可以提前发现 TVM 板的温度异常, 及时发现 TVM 板设备隐患, 保障直流输电系统安全稳定运行。

参考文献

- [1]赵婉君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [2]陈兴旺, 梁帅奇, 胡宗亚. 高压直流输电换流阀晶闸管控制单元原理分析[J]. 中国新技术新产品, 2011(1): 105-106.
- [3]张建彪, 黄华, 张翔, 等. 高压直流换流阀晶闸管结温计算研究[J]. 电工电气, 2017(8): 24-26.
- [4]尹华, 梁家豪, 谢桂泉, 等. 直流输电系统换流阀红外测温技术探析[J]. 机电信息, 2016(33): 100-101.
- [5]庞传军, 张波, 余建明. 基于 LSTM 循环神经网络的短期电力负荷预测[J]. 电力工程技术, 2021, 40(1): 175-180, 194.

(上接第 209 页)

置^[9]在碘吸附器安装前对箱体内部压紧装置进行预调节, 保证碘吸附器安装的密封性。同时外部调研表明, 通风系统中采用环己烷方法对碘吸附器系统进行机械泄漏率检测, 故使用环己烷方法测量 DVC 系统机械泄漏率试验是可行的。

3 结语

该核电厂 DVC 系统采用定期更换碘吸附器并结合环己烷方法的试验方案来代替放射性甲基碘法开展碘吸附器的性能试验, 以出厂时间 12 个月以内且滤芯效率不小于 99.95%、现场系统泄漏率不大于 0.05%为验收指标。与放射性甲基碘法和氟利昂法相比, 该方法现场不再使用放射性物质, 进而可避免发生主控制室内污染问题, 也解决了碘吸附器效率降低或失效带来的放射性物质直接排入外部环境的潜在风险^[10-11], 同时该方法使用的环己烷试剂对环境友好, 对臭氧层等无破坏作用。目前, 该优化方法已得到相关主管部门的许可, 在福清核电正式使用。

参考文献

- [1]EJ/T 791—2014 核空气净化系统的现场检验[S].

- [2]EJ/T 1183—2005 核空气净化系统碘吸附器净化系数的测定——放射性甲基碘法[S].
- [3]张群, 李永国, 韩丽红, 等. XZ-1200 型折叠式碘吸附器换炭在用可行性初步研究[J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(6): 673-675.
- [4]俞杰, 张伟, 杜建兴. 环己烷法用于碘吸附器泄漏率检测技术研究[J]. 核科学与工程, 2019, 39(6): 980-985.
- [5]俞杰, 吴振龙, 凌学会. 碘吸附器有效性试验方法及评价[J]. 核安全, 2018, 17(2): 43-47.
- [6]陈建利, 陈荣添, 高琳锋. 核电厂通风系统运行风量对碘吸附器性能的影响[J]. 暖通空调, 2021, 51(10): 150-152.
- [7]侯建荣, 李永国, 张渊, 等. 风量对碘吸附器穿透率影响规律的研究及在现场试验中的应用[J]. 中国辐射卫生, 2014, 23(3): 252-255.
- [8]NB/T 20039.11—2011 核空气和气体处理规范通风、空调与空气净化第 11 部分: 碘吸附器(I 型)[S].
- [9]王洪凯, 陈荣添, 陈慧慧, 等. 一种折叠式碘吸附器安装预调节装置: CN213988327U[P]. 2021-8-17.
- [10]梅瑛. 碘吸附器的现场试验——放射性甲基碘法[J]. 核技术, 2008(4): 288-292.
- [11]姚岩岩, 高琳锋, 吴振龙, 等. 核电厂通风系统碘吸附器效率试验安全性分析[J]. 辐射防护, 2020, 40(1): 45-51.