

本文全文线上首发由
上海电机系统节能工程技术
研究中心有限公司
支持

李俊卿,王祖凡.
同步调相机的状态监测及故障预警
系统.
电机与控制应用,2021,48(12):61.



SEARI **NCMS**
上電科 上科電機

www.nems.com.cn

掌握电机行业制造核心技术,
辐射智能制造产业发展



· 业务范围 ·



异步电机装配线

上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司 www.nems.com.cn

地址: 上海市武宁路505号 手机: 18918357509 电话: 021-62574990-436

传真: 021-62163904

邮箱: wangcj@seari.com.cn

同步调相机的状态监测及故障预警系统

李俊卿， 王祖凡

(华北电力大学 电力工程系, 河北 保定 071003)

摘要: 同步调相机在直流输电系统中有着重要作用, 为更加及时、直观地了解同步调相机运行状态, 利用 Java Web 技术以及 Python 编程, 实现对同步调相机的实时状态监测与故障的准确预警。前端可视化页面将同步调相机运行数据以散点图、折线图及报表的方式展现。后端故障预警程序对故障的判断以弹出框的形式展现于前端界面中, 供工作人员及时了解同步调相机故障信息, 保证同步调相机运行的安全稳定性。

关键词: 同步调相机; 数据可视化; 状态监测; 故障预警

中图分类号: TM 342 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2021)12-0061-05

doi: 10.12177/emca.2021.140

Condition Monitoring and Fault Warning System of Synchronous Condenser

LI Junqing, WANG Zufan

(Department of Electric Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Synchronous condensers play an important role in direct current power transmission systems. In order to understand the running condition of synchronous condensers more timely and intuitively, Java Web technology and Python programming are used to realize real-time condition monitoring and accurate fault warning of synchronous condensers. The front-end visualization page displays the running data of the synchronous condensers in the form of scatter graphs, line graphs and reports. The fault judgment of the back-end fault warning program is displayed in the front-end interface in the form of a pop-up box, so that the staff can understand the fault information in time to ensure the safety and stability of synchronous condensers.

Key words: synchronous condenser; data visualization; condition monitoring; fault warning

0 引言

随着特高压直流输电工程的不断规划和投产, 其输送电过程中, 换流器需要消耗大量的无功功率, 整个交、直流系统运行的稳定性及安全性与无功功率有直接关系。为了增强特高压交直流系统的稳定性, 满足大规模输送功率的要求, 需要保证电网中无功功率的平衡。因此, 在电力系统中需要配置大容量的动态无功补偿装置^[1-2]。由于同步调相机无功容量大且易于调节, 既能发出无功功率又能吸收无功功率, 其本身存在阻尼现象

并且具有较好的动态电压支撑能力和较强的短时过载能力, 因此, 新型大容量同步调相机得到了电网企业的高度重视, 并应用于特高压交直流输电工程中^[1]。但同步调相机结构复杂^[3-5], 易出现故障, 所以有必要设计一个同步调相机状态监测及故障预警系统, 以监测能反映同步调相机故障状态的运行参数并自动识别调相机运行过程中出现的故障^[6], 对故障做出预警提示, 有效防止调相机故障进一步恶化, 影响系统的安全稳定运行。

为满足上述要求, 本文通过深度学习网络以及同步调相机正常运行状态数据得到故障预警模

收稿日期: 2021-10-11; 收到修改稿日期: 2021-11-19

作者简介: 李俊卿(1967—), 女, 教授, 研究方向为电气设备智能监测诊断与大数据分析、新能源发电运行与控制、新能源电力系统的大数据分析与应用。

王祖凡(1998—), 男, 硕士研究生, 研究方向为深度学习及故障预警在电力系统中的应用。

型,从而对同步调相机的故障予以判别并发出预警信号。本系统还结合了 Java Web 等技术,将监测数据等物理信息呈现于前端可视化界面,为同步调相机提供了一种便捷、直观的状态监测及故障预警系统。

1 系统总体架构分析

1.1 系统设计性能目标

同步调相机状态监测及故障预警系统是在研究调相机故障机理的基础上,利用调相机的历史数据和实时数据,基于深度学习挖掘运行数据中的潜在规律,实现调相机的故障预警。该系统可实现调相机状态监测、故障预警及功能扩展,且利用现有的监测条件,不需增加任何硬件设备。同时,本系统设计了人机交互页面,允许用户在使用过程中通过可视化系统传递指令并交换信息,能够更加直观、形象地呈现同步调相机的运行状态^[7],使现场工作人员容易获知同步调相机的运行状态,给工作人员提供了更多便利。

1.2 系统开发环境

同步调相机状态监测及故障预警系统采用“前后端分离”的模式开发并组织业务。同步调相机状态监测及故障预警系统总体架构如图 1 所示。

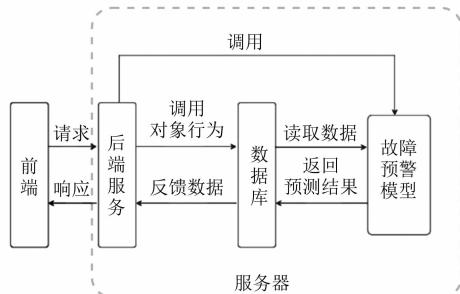


图 1 系统总体架构

前端即为可视化交互界面,后端包括服务器、数据库以及故障预警模块。前端可视化模块通过请求预设的语义化的接口从而触发后端服务。服务器再将数据库中的数据传递给前端展示界面予以响应^[8-9]。

2 系统故障预警模块设计

2.1 故障预警模型

随着大数据、人工智能快速发展,Python 这一跨平台、开源的高级编程语言,发展势头迅猛,呈

现出爆发式的增长。Python 语言是一种面向对象的动态类型编程语言,语法简单,便于学习,功能强大,快捷高效,应用领域非常广泛。同时,Python 提供了强大的模块支持,能极大提高程序的开发效率^[10]。目前,主要应用于电气设备故障预警的思想方法是:通过获得现场监测电气设备的电气量或非电气量数据,传输到数据处理平台,在建立好的数学模型下输入多个自变量数据得到因变量的结果,即想要预测的数据。根据预测数据,观察数据的发展趋势进而判定被监测的电气设备是否发生故障,实现对设备故障的预判^[11]。

目前的故障预警模型中,利用的深度学习网络主要有分类与拟合两类,例如深度置信网络^[12]及长短期记忆人工神经网络(LSTM)^[13]。分类模型主要是对设备运行所产生的数据进行深度挖掘,寻找采样信号与故障之间的映射关系,从而不依赖于设备的物理模型,最大限度减少了建模差异对故障诊断结果的不利影响^[12,14]。拟合模型免去了数据处理的过程,在建立同步调相机的数学模型时,不需要对机组的运行过程简化,更符合实际情况。利用历史数据训练网络来构建同步调相机各物理量之间的函数关系^[13,15-16]。

2.2 模型构建

本系统的模型构建过程中,利用 Python 编写深度学习网络。以励磁绕组匝间短路故障为例,考虑到各个原始数据时序性上的特点,选择 LSTM 结合卷积神经网络(CNN)^[13]构建出同步调相机的故障预警模型。将从数据库中获得的包括同步调相机励磁电流等数据进行归一化处理,输入到 LSTM-CNN 网络中,构建励磁电流信号与其他测量数据的函数关系。为保证模型的泛化能力同时减小历史数据的测量误差影响,采用拉依达准则去除通过模型拟合输出励磁电流的异常点。拉依达准则也是 3σ 原则, σ 为输出励磁电流的标准差,可以认为输出值的取值几乎全部集中在其 $\pm 3\sigma$ 区间内,若超出则判定为异常点。将滤除异常点的励磁电流输出值与其测量数据的最大差值作为故障预警模型的阈值。

2.3 故障预警

系统实时采集到的同步调相机组监测数据会按周期传送到对应的数据库中,故障预警模块将从

数据库获取到的机组实时运行数据输入到建立好的故障预警模型中,通过实时运算判断机组的运行状态。若预测结果超过故障预警阈值^[13],则判定为存在故障趋势,同时系统发出故障预警提示。

3 系统可视化界面设计

3.1 可视化界面主要架构

同步调相机状态监测及故障预警系统的可视化功能基于 Java Web 开发,主要分为三层架构,即 SSH 框架,分别为表示层(Struts)、业务层(Spring)和持久层(Hibernate)^[17-18]。

表示层主要功能是为工作人员提供交互操作页面,可提供直观、生动、可交互、可高度个性化定制的数据可视化图表,赋予了用户对数据进行挖掘、整合的能力。

业务层主要负责关键业务的处理以及数据的传递。用户在可视化界面输入的请求需要业务层进行处理,创建一种更好更快以及交互性更强的 Web 应用程序^[18-19]。前端可视化界面能够快速地将同步调相机数据的更新呈现在显示界面上,而不需要重新刷新整个页面,使得本系统能够更快地响应用户的操作。

持久层可看作数据访问层,该层根据业务层的指令来对数据库中表的内容进行处理,需要返回给表示层的数据经持久层取出后,交由业务层完成传递和处理^[8,20]。需要查询数据库的数据时,可直接在可视化界面输入相关指令完成查询。

3.2 系统登录界面

同步调相机状态监测及故障预警系统的登录界面如图 2 所示,可使不同用户在不同机器上凭网页地址打开相同状态页面。输入框的校验信息使用行间提示的方式,提交的状态信息采用延时浮窗展示。

3.3 状态监测

同步调相机状态监测及故障预警系统根据用户在可视化界面的请求,将数据库中的数据从后台传送到前端界面,以数据报表的形式展现给用户,可查看当前及过去任一时间段的监测数据。图 3 给出了某一时间段的数据总览,在数据总览中,用户可以按机组查看所有监测量的测量值。对于每一个监测量,设置各自对应的取值区间,超过或低于均会触发预警提示,并自动将此条故障

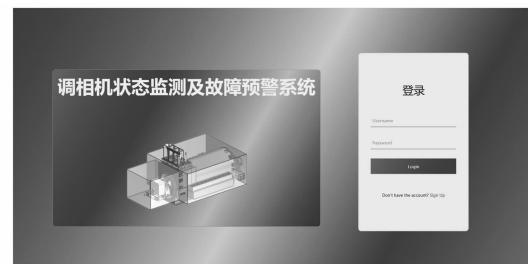


图 2 系统登录界面

预警数据存储于数据库对应的表中,界面刷新后,可在故障预警信息一栏查看。

调相机状态监测及故障预警系统																		
时间	励磁电流		电枢电流		功率因数		无功功率		有功功率		转速		温度		电压		频率	
	A相	B相	C相	A相	B相	C相	A相	B相										
2020/12/14 16:00	416.11	419.72	403.03	453.00	343.80	345.28	11.056	11.054	11.058	11.018	11.025	11.026	-13.737	-289.7	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 16:15	415.75	412.63	413.71	441.79	387	388.1	11.056	11.056	11.055	11.018	11.025	11.025	-13.738	-289.7	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 16:30	402.78	412.18	440.38	440.20	347.24	348.75	11.056	11.054	11.058	11.018	11.025	11.025	-12.772	300.2	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 16:45	501.02	504.17	472.38	501.02	485	485.05	11.056	11.055	11.055	11.018	11.025	11.025	-11.174	289.9	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 16:54	371.72	380.08	403.15	380.08	380.08	380.08	11.056	11.056	11.054	11.018	11.025	11.025	-0.473	288.9	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 16:59	360.5	387.73	400	386	397.7	393.5	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.719	-11.809	300.1	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 17:12	610.02	519.77	499.43	519.77	519.77	519.77	11.056	11.056	11.055	11.018	11.025	11.025	-0.511	-11.875	297.2	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:05	389.83	389.17	407.08	407.08	311.67	315.42	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.719	-12.789	289.2	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:10	620.5	492.05	495	493.73	501	501	11.056	11.056	11.055	11.018	11.025	11.025	-0.719	-209.3	11.018	11.018	11.018	
2020/12/14 18:15	410.77	415.48	420	420.71	393.9	394.9	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.719	-12.379	289.9	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:20	410.08	410.08	403.03	403.03	403	403	11.056	11.056	11.055	11.018	11.025	11.025	-0.648	-14.889	289.1	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:25	407.5	407.75	427.5	427.5	397.5	397.5	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.717	-12.005	289.7	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:30	387.77	386.36	410.75	410.75	387.77	387.77	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.719	-12.713	289.7	11.018	11.018	11.018
2020/12/14 18:34	387.77	386.36	410.75	410.75	387.77	387.77	11.056	11.056	11.056	11.018	11.025	11.025	-0.719	-12.713	289.7	11.018	11.018	11.018

图 3 系统数据总览界面

3.4 图表显示

基于 Echarts 数据可视化图表库,系统将同步调相机的电枢电流和励磁电流(V 形曲线)以及励磁电流与无功功率等关系以散点图的方式呈现出来,V 形曲线如图 4 所示。图中将正常运行状态下的散点图绘成固定轨迹置于图中(圆形数据点),实时运行的数据点在其上覆盖绘制(三角形数据点),作以对比,可供用户观察机组是否偏离正常运行状态。

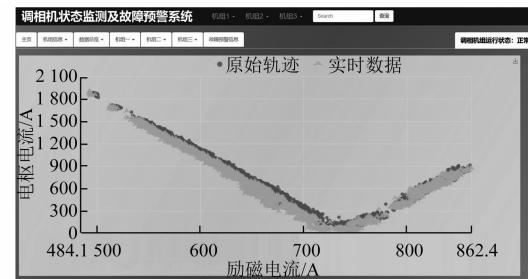


图 4 V 形曲线

对于同步调相机的电流、电压、转速、励磁电流、无功功率、温度等物理量,系统也可以用更直观的曲线图方式展现于界面中。例如,对于同步调相机的电压电流,系统将一个机组的 A、B、C 三相电气量绘制在同一图中,以运行时间为横坐标,可滑

动坐标轴的缩放条来从局部或整体获取电气量信息

，例如机组某一时间段的三相电流如图 5 所示。

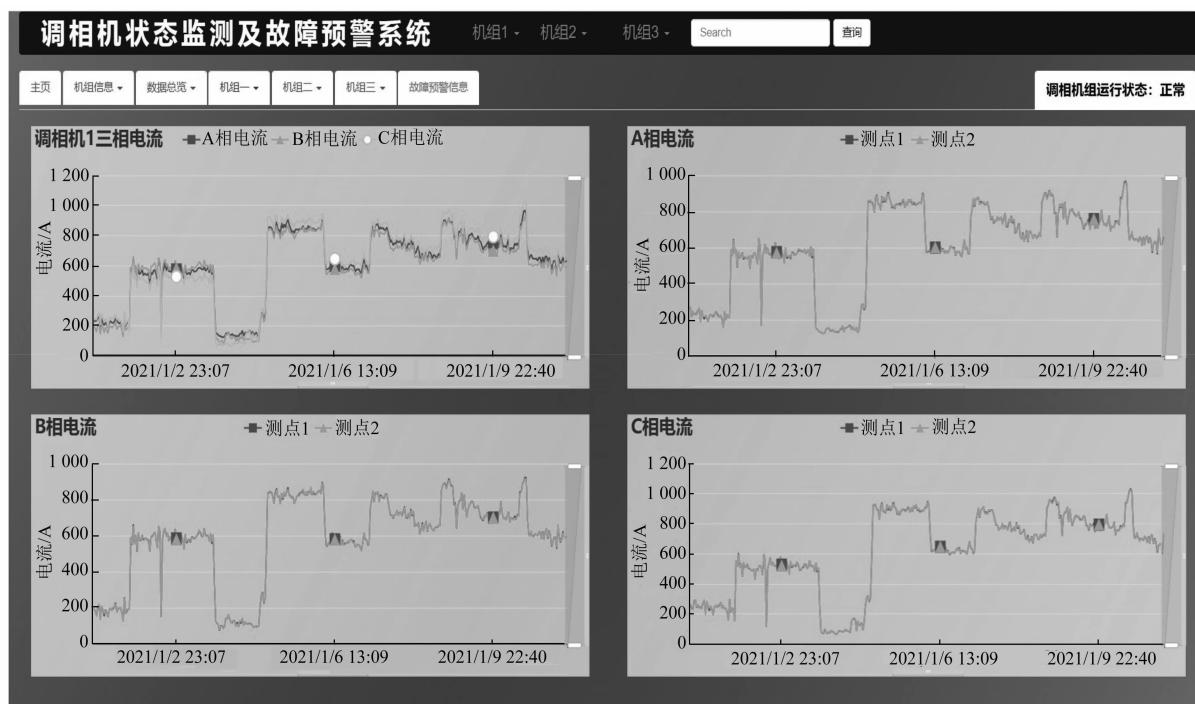


图 5 机组三相电流

同时，对于有两个测点的物理量，例如电流和无功功率，系统分别将各物理量的两个测量值绘制在一个图中，两个测点的数据可单独显示，也可同时显示，供工作人员对比查看，例如图 5 中 A 相电流的两个测点。

3.5 查询功能

系统提供了机组历史运行信息的查询功能，查询时，在页面顶部选择要查询的机组，并在后面的搜索框内输入要查询的物理量信息，例如查询机组 1 某一时间段的无功功率，只需要选定机组 1，输入无功功率，点击查询按钮即可，如图 6 所示。

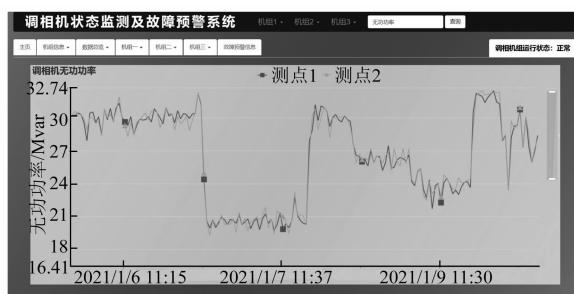


图 6 查询机组无功功率

3.6 报表下载

系统提供报表下载功能，当机组出现故障，其

故障信息会于测量数据中体现出来，然后经图表直观呈现出来，点击图表右上角的下载按钮，即可将呈现的图表下载到本地，供工作人员记录分析故障原因，例如图 7 中展示的一组历史信息，图中呈现了励磁电流与无功功率的关系，部分数据的点偏离了正常轨迹，但还未达到预警的阈值，系统将其判定为正常运行状态，但工作人员可提前将其下载分析原因。

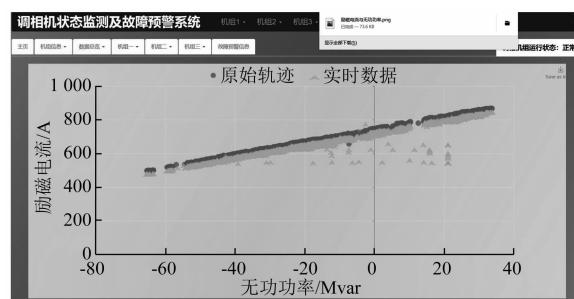


图 7 励磁电流与无功功率关系

3.7 智能故障预警

系统的故障预警功能基于后台运行的深度学习预测模型，对实时获取到的数据进行分析处理。以励磁绕组常见故障之一的匝间短路为例，系统选择同步调相机的励磁电流为预测目标值，通过

相关性分析,选择与其相关物理量的测量数据作为其影响因素,以多个维度输入到模型中,来预测励磁电流,从而判断机组是否存在故障。同步调相机组运行状态的正常与否在前端页面上实时显示,正常运行时,对应模块显示为“调相机组运行状态:正常”,无弹出框,如图 8 所示。



图 8 运行状态展示

点击查看后,界面将显示经过预测模型预测得到的数据与测量数据的对比图,如图 9 中呈现的一组同步调相机励磁电流测量值与预测值的历史数据,通过图例显示的数据以及折线图的趋势,用户可直观看出机组的运行状态以及预测模型的实际预测效果。

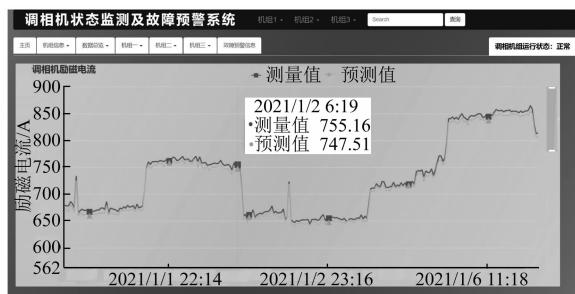


图 9 预测数据对比

若收到后台深度学习网络发出的机组存在故障的信号,则此模块显示为“调相机组出现故障趋势!”,扬声器发出报警提示音,并由弹出窗口提示报警信息,供工作人员及时发现机组异常状态,如图 10 所示。同时,故障信息自动存储到数据库对应的表中,可在前端界面的故障预警信息中查看,也可于后端的数据库中查阅,便于进一步分析同步调相机故障的产生原因。

4 结语

本系统通过 Java Web 技术在已有的监测数



图 10 故障预警弹出窗口

据基础上实现了同步调相机运行数据的可视化,同时基于深度学习模型完成故障预警工作。与传统的监测系统相比,本系统利用现有的监测条件,不需增加任何硬件设备,功能上同时兼顾实时数据的监测、查询以及故障的预警,提高了获取同步调相机运行状态的便捷性,对于保障系统的安全稳定运行有积极意义。

【参考文献】

- [1] 郭一兵,凌在汛,崔一铂,等.特高压交直流系统动态无功支撑用大型调相机运行需求分析[J].湖北电力,2016,40(5):1.
- [2] 崔挺,沈阳武,张斌,等.300 MVar 级同步调相机对湖南电网稳定的影响研究[J].湖南电力,2016,36(3):1.
- [3] 山东电力研究院.大型调相机运行维护培训教材[M].北京:中国电力出版社,2018.
- [4] 李志强,蒋维勇,王彦滨,等.大容量新型调相机关键技术参数及其优化设计[J].大电机技术,2017(4):15.
- [5] 陈非,张柏林,李明,等.两种大型调相机结构特点及振动问题分析[J].山东工业技术,2016(24):237.
- [6] 周封,吕金贵,李隆,等.智能电机故障诊断分析及预警系统设计[J].信息与控制,2017,46(6):738.
- [7] 王光夫.电力系统可视化运维技术设想分析[J].电气时代,2020(4):47.
- [8] 余斌.基于 Django 的用户信息管理系统[J].电脑知识与技术,2021,17(5):89.
- [9] MANIKANTA V K, LOKESH P, NEHA R K, et al. Visualization of real world enterprise data using python django framework[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1042(1):012019.

(下转第 77 页)

边频分量较为一致,而检测线圈的两边频分量中右边频分量要大得多。齿部检测线圈是开路的,并不会干扰电机的正常运行。通过与相电流频谱的对比分析可见,本文提出的齿部检测线圈法对于鼠笼型电机转子断条和坏条具有较好的分辨率,从信号源头上提高了检测转子断条故障的有效性,可为今后的电机故障诊断系统提供支撑。

【参考文献】

- [1] 杨海军,查学刚,赵玉桂,等.基于改进型HHT的转子断条故障诊断方法的研究[J].机械工程师,2021,(10): 85.
- [2] 李睿彧,刘飞,梁霖,等.基于参数优化变分模态分解的交流变频电机转子断条故障识别方法[J].电工技术学报,2021,36(18): 3922.
- [3] 林志芳.基于旋转滤波-矩阵束的异步电机转子断条故障诊断[J].电机与控制应用,2019,46(4): 110.
- [4] ELKASABGY N M, EASTHAM A R, DAWSON G E. Detection of broken bars in the cage rotor on an induction machine[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1992, 28(1): 165.
- [5] FILIPPETTI F, FRANCESCHINI G, TASSONI C, et al. AI techniques in induction machines diagnosis including the speed ripple effect[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1998, 34(1): 98.
- [6] CHO K R, LANG J H, UMANS S D. Detection of broken rotor bars in induction motors using state and parameter estimation [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1992, 28(3): 702.
- [7] MILIMONFARED J, KELK H M, NANDI S, et al. A novel approach for broken-rotor-bar detection in cage induction motors [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1999, 35(5): 1000.
- [8] ANTONINO-DAVIU J A, GYFTAKIS K N, GARCIA-HERNANDEZ R, et al. Comparative influence of adjacent and non-adjacent broken rotor bars on the induction motor diagnosis through MCSA and ZSC methods [C] // IECON 2015 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2015: 1680.
- [9] YU M, TAO X, XIN D, et al. Fault diagnosis and numerical simulation of broken rotor bars for small cage induction motors[C] // 2017 Chinese Automation Congress (CAC), 2017: 5355.
- [10] RAYYAM M, ZAZI M, HAJJI Y. Detection of broken bars in induction motor using the extended Kalman filter (EKF) [C] // 2015 Third World Conference on Complex Systems (WCCS), 2015.
- [11] 张正勇,苟旭丹,严居斌,等. Hilbert 模量与 MUSIC 相结合的感应电机转子断条故障检测方法[J].电气自动化,2018(1): 116.
- [12] 郭俊吉,宋东亚.三相笼型异步电动机转子断条故障诊断研究[J].煤矿机械,2018(11): 141.
- [13] 刘振兴,张哲,尹项根.异步电动机的状态监测与故障诊断综述[J].武汉科技大学学报,2001,24(3): 285.

(上接第 65 页)

- [10] 杜瀚霖,郭志达,李晓莉.基于 Python 的高负荷用电故障预警系统[J].科技创新与应用,2021(2): 36.
- [11] 李俊卿,陈雅婷,李斯璇.机器算法在电气设备故障预警及诊断中的应用[J].科学技术与工程,2020,20(9): 3370.
- [12] 李俊卿,李斯璇,陈雅婷.基于深度置信网络的同步发电机故障诊断方法[J].华北电力大学学报:自然科学版,2020,47(5): 48.
- [13] 李俊卿,陈雅婷.LSTM-CNN 网络在同步电机励磁绕组匝间短路故障预警中的应用[J].华北电力大学学报:自然科学版,2020,47(4): 61.
- [14] 李俊卿,李斯璇,陈雅婷,等.同步发电机定子故障预警模型[J].电力科学与工程,2020,36(5): 7.
- [15] 李俊卿,陈雅婷,李斯璇.基于深度置信网络的同步发电机励磁绕组匝间短路故障预警[J].电力自动化设备,2021,41(2): 153.
- [16] 李俊卿,李斯璇,陈雅婷,等.一种基于 CGAN-CNN 的同步电机转子绕组匝间短路故障诊断方法[J].电力自动化设备,2021,41(8): 169.
- [17] 蒲光杰.基于 Java Web 的信息采集及调试管理系统设计与实现[D].成都:电子科技大学,2020.
- [18] 袁仲雄,周钊,陆文宇.基于 Java EE 的电气设备状态检修管理系统[J].华东电力,2014,42(11): 2306.
- [19] 周庆.AJAX 技术在电力 GIS 项目中的应用[D].成都:电子科技大学,2008.
- [20] 敖丽敏,李林辉.基于 AJAX 的电力图形系统的实现[J].电力系统自动化,2007(9): 47.
- [21] 冯震,袁俊杰.基于 Django 的实验室故障申报系统的设计与实现[J].信息与电脑:理论版,2021,33(7): 151.