

引用格式: 张珏, 庄志翔, 简思亮, 等. 变电站智能运维业务设计与应用 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(增刊 1): 74-79. ZHANG Jue, ZHUANG Zhixiang, JIAN Siliang, et al. Design and application of intelligent o&m work in substations [J]. Southern energy construction, 2024, 11(Suppl. 1): 74-79. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.11.

变电站智能运维业务设计与应用

张珏[✉], 庄志翔, 简思亮, 王曦悦, 郭俊韬, 王彦
(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的]近年来变电站数量快速增长, 电网的运维压力日益增大, 为提高生产运维的效率和质量, 同时结合电网数字化转型的迫切需求, 提出一套智能运维业务应用方案。[方法]通过分析目前运维工作存在的痛点, 梳理运维工作内容与特点, 设计开发一套流程闭环的智能运维业务应用并部署在变电站, 根据运行应用数据分析其成效。[结果]统计数据表明: 通过智能运维业务应用, 可开展大量的自动巡视、自主识别和自主分析等运维工作, 且具备较高的准确率, 对节省人工时和提升工作效率有显著的效果。[结论]文章提出的智能运维业务应用方案可以有效提升运维工作的质量和效率, 可为后续智能运维业务应用研究提供参考。

关键词: 变电站; 流程闭环; 智能运维业务应用; 自动巡视; 自主识别

中图分类号: TM7; TM63

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)S1-0074-06

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.11

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

Design and Application of Intelligent O&M Work in Substations

ZHANG Jue[✉], ZHUANG Zhixiang, JIAN Siliang, WANG Xiyue, GUO Juntao, WANG Yan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In recent years, rapid growth in the number of substations has caused increasing pressure on the O&M work of power grids. In order to improve the efficiency and quality of O&M work, considering urgent demand for digital transformation of power grids, a set of intelligent O&M application plans has been proposed. [Method] By analyzing the pain points of current O&M work, and sorting out its content and characteristics, the intelligent O&M application plans with closed-loop process were designed and deployed in substations. Effectiveness of the application was evaluated based on the operation and application data. [Result] Statistical data show that a large number of O&M work such as automatic inspection, autonomous identification and autonomous analysis can be carried out by intelligent O&M applications with high accuracy, which shows a significant effect on saving labor hours and improving efficiency. [Conclusion] The intelligent O&M application plans proposed in the paper can effectively improve the quality and efficiency of O&M work, which provides reference for the research on subsequent intelligent O&M applications.

Key words: substation; closed-loop process; intelligent O&M application; automatic inspection; autonomous identification

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

近年来, 国家提出要以数字化转型驱动生产方式变革, 国家电网通过数字国网战略形成以数据驱动发展的数字生态, 变革企业模式^[1]。南方电网公司

提出实施“4321”工程等一系列建设方案, 全面启动公司数字化转型^[2-4]。电网数字化转型涉及电网建设的各个领域, 其中在变电站运维领域, 需结合数字化技术提出智能运维业务, 解决电网公司对运维工作提质增效的迫切需求, 助力电网向智能、安全、可靠、

绿色和高效发展^[5]。

目前国内的企业与专家学者已对变电站智能运维业务开展了一定程度的研究和应用。文献 [6] 提出一种远程智能巡检系统, 实现了远程数据采集、联动和智能巡检。文献 [7] 提出一种基于机器视觉和图像处理技术的自动检测方法, 对指示灯识别、开关状态识别具有更好的针对性。文献 [8] 提出以一种利用人工神经网络模型结合 UWB 定位技术的故障定位预警方法, 实现对设备或巡检人员的监管。文献 [9] 梳理总结了数字孪生技术在输变电设备状态评估中的应用情况, 分析了应用过程中存在数据与经验难融合、设备模型复杂等问题。文献 [10] 提出一种 UWB 高精度定位技术与变电站三维立体模型结合的安全管控功能, 实现电子围栏告警、工作人员定位和风险识别。

尽管国内已开展一系列相关研究和探索, 然而目前针对变电站的智能运维业务还处于试点阶段, 尚未得到规模性的应用。究其原因, 其一, 目前的研究应用未完全涵盖变电站主要日常业务, 缺乏业务闭环管控, 业务覆盖率和执行效率不高。其二, 对于生产运行管理产生的全量数据未进行统一采集处理, 海量数据未有效利用。其三, 对于数字孪生体^[11]的应用挖掘不够充分, 目前应用功能仅停留在数据展示层面^[12], 实现真正意义上的数字孪生。

文章研究变电站智能运维业务, 基于变电站的三维立体场景, 将模型与业务流程结合, 涵盖监视、巡视、操作、安全、分析等变电站主要日常业务, 设计一套全流程闭环管控的智能运维业务应用, 研究其部署在变电站后的应用成效。

1 业务需求

1.1 变电站生产运行痛点

随着电网的发展, 变电站传统生产运行模式已不能满足目前电网公司对电网高可靠性、高稳定性、对故障具备高快速响应速度的运维高要求。目前主要存在以下痛点:

- 1) 站内各区设立多套系统并呈孤岛运行状态, 众多设备状态难以同时掌握, 运行监测工作量大。
- 2) 大部分业务依赖人工作业, 未实现主子站和业务流程之间的闭环管控, 业务执行效率低。
- 3) 人员和现场作业的管控手段单一, 安全管控

能力不足。

4) 缺乏设备运行数据分析管理能力, 未具备设备状态预测能力, 故障难诊断难定位, 设备运行管理能力不强, 故障响应速度欠缺。

1.2 智能运维业务需求

通过上述痛点分析得出, 日常运维业务的核心需求是通过数字技术手段提升设备本体智能化、生产数据信息化、业务流程自动化和管理方式数字化的水平。智能运维业务应结合核心需求, 实现运维效率和质量的显著提升, 对生产优化调控、生产运行指挥和资产维护管理起到关键作用。

2 业务设计

智能运维业务的设计需在核心需求的基础上, 根据各类主要工作的内容和特点针对性地开展。

2.1 智能监视

站内日常运维工作中, 需要定期开展设备检查和数据抄录, 如 SF₆ 压力、断路器动作次数、开关分合闸指示、红外测温等。该项工作具有重复度高、执行效率低下和耗费人力资源大的特点, 设计智能监视以下功能:

- 1) 自动采集生产控制大区和生产管理大区所有实时及非实时数据, 全站信息统一监盘, 实现数据定期自动抄录上报。
- 2) 三维场景联动感知终端, 直观呈现各区设备的全站分布及现场实时状态。
- 3) 采集各类数据并进行纵横向对比自主分析, 实现设备状态自主检查。

通过智能监视, 实现跨时间、跨区域及不同形式数据的统一归集和实时分析, 融合多个独立系统, 极大地减少了运行监测的工作量。

2.2 智能巡视

站内日常运维工作中, 需要根据运行工况对设备开展日常巡视或动态巡视, 检查设备外观及状态, 记录相关运行数据, 判断异常并形成结论。针对该项工作涉及设备种类多、工作量大、作业频率高和劳动成本高的特点, 设计智能巡视以下功能:

- 1) 实时自动获取并执行主站下发的日常巡视任务, 根据特殊情况自主动态开展专项巡视任务, 利用三维模型自动规划匹配巡视路线。
- 2) 采用人工智能图像识别技术^[13-14] 自主识别设

备外观、表计、缺陷及内外部异常,自动生成巡检分析报告。

3)结合三维模型坐标自动分析巡视最优角度,支持运维人员远程对设备及环境开展全视角实时巡查。

通过智能巡视,实现极高的人工替代率,节省大量工时,同时大幅度提升对特殊情况下巡视工作的响应速度。

2.3 智能操作

站内日常运维工作中,需要根据调度指令开展电气操作。为保证操作安全性、合理性、标准化和规范化,电气操作全流程需要多人配合完成。该项工作需要确保高度的安全性和可靠性^[15],因此设计智能操作以下功能:

1)自动实时获取调度指令及操作票,与生产控制大区系统操作动作保持同步。

2)自主识别电气设备、二次设备及相关设备的状态,辅助运维人员检查确认设备情况;实时判别相关电气设备位置状态,实现位置双确认^[16];操作完成后形成操作质量分析报告。

通过以上功能,使运维人员实现远程操作,开展设备状态远程检查及确认,做到实时监盘和事后复盘,有效保障操作质量,确保人员和设备的安全性。

2.4 智能安全

站内日常运维工作中,当有施工或检修作业时,需要对作业人员和作业现场进行管控,保证作业全程人、物及环境的安全。该项工作的实施地点及场景多发多变、管控对象不固定、管控面较广易疏漏,因此设计智能安全以下功能:

1)开展作业前,实时获取工作票,自动比对作业人员的进站资质及技能资格等,自动判断作业资格并赋予进场权限,并辅助开展安全措施确认。

2)作业过程中,融合实时作业与三维场景,定位作业人员及机具,实现全过程三维监控;自主识别作业人员违章行为并发出告警;利用虚拟围栏实现人员及机具越限告警。

3)作业完成后,自动检查现场情况和设备状态,辅助工作票结票审查。

4)自动登记统计备品备件、工器具、图档资料、应急物资等物资出入库和损耗情况;统计分析全站实时安全风险。

通过以上功能,提供一个作业现场全流程全方位实时动态管控的窗口,可实时判别作业隐患,尽量减少作业风险,同时对全站物资统一管控,解决难管理易丢失问题。

2.5 智能分析

站内日常运维工作中,如出现跳闸、重要的设备故障等情况,需要立即上报关键信息,开展相关操作,快速排查故障点并记录故障信息。在设备运行管理过程中,需定期对设备运行状态开展评估和分析。针对该项工作对信息筛选、数据分析和响应速度的高要求,设计智能分析以下功能:

1)站内出现跳闸或设备故障情况后,立即自主采集相关实时运行数据,形成事故信息报告并自动上报;同时自主采集一次设备的全物理量实时运行数据以及二次设备的动作信息、告警信息和波形等,开展数据关联与综合分析,进行故障判断和溯源。

2)跳闸或故障情况发生后,根据跳闸或故障信息自动规划故障点巡视范围,自主启动故障巡视任务,排查故障点和其他隐患。

3)利用运行数据、缺陷及隐患数据、试验数据、感知终端采集数据等对变压器等一次设备开展设备状态趋势分析和阈值分析,挖掘数据的关系和规律,构建知识图谱^[17],对二次设备开展虚端子识别^[18]、链路建模与断链分析等,进行故障预测、状态告警和故障诊断,辅助设备运行管理。

通过以上功能,提升运行人员对事故处置的速率和准确度;充分利用海量运行数据和业务管理数据,实时掌握设备状态,优化设备检修策略,提升设备运行水平。

2.6 闭环管控

为进一步提升业务的执行效率和功能实用度,需开展各个业务内部及不同业务间的执行逻辑设计。单个业务功能形成单闭环,实现生产控制大区与生产管理大区之间的横向联动,主站与站端之间的纵向闭环,如表 1 所示。

在不同应用场景下触发联动机制,多个业务之间按照生产运行时序流转形成整体闭环,如图 1 所示。

通过单闭环与整体闭环实现业务的全流程自动化和管理过程数字化,完成所有业务的闭环管控,提升业务执行效率和业务管理效率。

表 1 单闭环逻辑
Tab. 1 Single closed loop

业务功能	逻辑步骤1	逻辑步骤2	逻辑步骤3
智能巡视	获取巡视任务	执行巡视任务	向主站上报巡视结果, 反馈任务执行完成
智能操作	获取操作票	执行操作任务	向生产控制大区上报设备状态识别结果, 反馈任务执行完成, 结票
智能安全	获取工作票	作业前及作业过程检查及管控	作业结束站端审查通过, 向主站反馈任务执行完成, 结票
智能分析	跳闸或故障时上报故障信息	记录故障信息、开展故障判断	上报故障分析报告
	获取主站业务管理数据	开展设备状态分析与评估	向主站上报分析结果, 更新业务管理数据

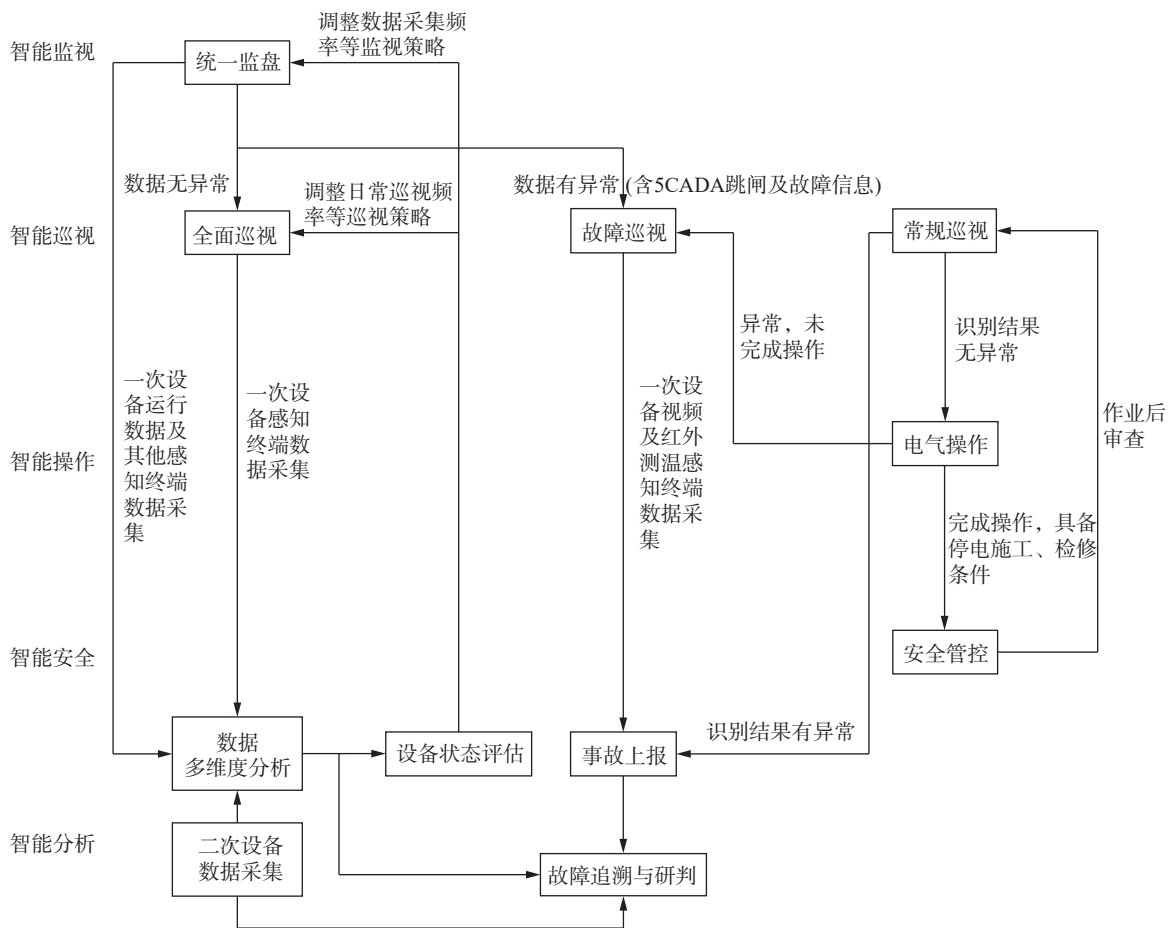


图 1 整体闭环逻辑

Fig. 1 Overall closed loop

3 业务应用

3.1 应用成效定量分析

按上述设计方案开发一套智能运维业务应用并部署在某 500 kV 变电站试点应用, 在年度检修期间统计得出各业务的应用次数和应用效率, 如表 2 所示。

根据表 2 数据可知, 智能运维业务应用可开展大量的自动执行、自主识别和自主分析等工作, 且人

工替代率和执行准确率达到较高的水平, 对节省人工时和提升运维效率有显著的效果。

3.2 应用成效定性分析

业务功能采用了数字孪生、数据融合、空间坐标计算、人工智能、数据分析等智能变电站关键技术^[19-20], 有效提升了运维工作的数字化水平和智能程度, 主要体现在以下几个方面:

- 1) 有效利用数字孪生

表 2 应用情况统计
Tab. 2 Application statistics

业务板块	业务功能/单位	数量	效率
智能监视	综合数据统一监盘	-	节省工时70%
智能巡视	全面巡视时长/min	15~60	效率提升5~20倍 人工替代率90%
	任务现场执行人数/人	0	人工替代率100%
智能操作	解析操作票数/张	27	准确率100%
	电气设备状态识别/次	1 515	人工替代率92%
智能安全	操作复盘数据转存/条	1 515	数据拟合度95%
	作业前安措确认/次	98	准确率100%
	自动赋予进站权限/次	951	人车识别准确率96%
	锁具自动授权/次	81	准确率97%
智能分析	自动设置电子围栏/次	2 047	准确率94%
	人员定位/次	125	成功率98%
	安全管控次数/次	1 350 822	人工替代率95%
智能分析	自动填写工作记录/份	4 116	人工替代率100%
	事故上报/s	≤10	人工替代率100%
	故障判断及追溯/min	≤10	人工替代率95%
	故障处置	-	准确率80%

打通现有运行管理系统之间、二维系统与三维场景间的数据壁垒,将业务功能、数字技术与三维模型充分融合,利用三维场景辅助、模拟、反向指导业务的开展,实现全站集中运维管控,实现生产数据信息化,提升运维效率。

2) 大幅节省人工工作

业务涵盖全站主要日常业务,具备完善的闭环管控逻辑,所有业务均可根据生产计划排程和特殊情况自动执行任务、自主识别判断,实现业务流程自动化,推动运维工作向少人化、无人化转变。

3) 显著提升运维质量

充分利用海量全域数据开展设备状态分析、故障预测和事故追溯,辅助运维人员开展事故上报、故障排查,任务自动闭环、系统间自主联动交互、物资线上管理,实现管理方式数字化,提升站内运行和设备管理水平。

4 结论

本文从传统生产运行模式的痛点出发,分析了业务核心需求,设计了一套变电站智能运维业务应用,创新性地提出整体业务闭环逻辑,并将三维模型、

数字技术和业务功能进行深度融合。经过实践应用证明,该方案实现了较高水平的人工替代率和执行准确率,显著提升运维效率和质量,对生产优化调控和资产维护管理起到了一定的辅助支撑作用,满足了生产数据信息化、业务流程自动化和管理方式数字化的核心需求。对比其他智能运维业务的相关研究,文章更加关注整体业务的联动逻辑、全域数据有效利用和虚实结合的关键点,对后续智能运维业务应用研究起到了一定的参考作用。

参考文献:

- [1] 刘海峰,池威威,贾志辉,等. 变电站数字孪生系统的设计与应用 [J]. 河北电力技术, 2021, 40(3): 8-14. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9898.2021.03.003.
LIU H F, CHI W W, JIA Z H, et al. Design and application of substation digital twin system [J]. Hebei electric power, 2021, 40(3): 8-14. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9898.2021.03.003.
- [2] 中国南方电网有限责任公司. 南方电网公司数字化转型和数字电网建设促进管理及业务变革行动方案 (2020 年版) [R]. 广州: 中国南方电网有限责任公司, 2020.
China Southern Power Grid Company Limited. China southern power grid corporation digital transformation and digital grid construction promotion management and business change action plan (2020 edition) [R]. Guangzhou: China Southern Power Grid Co., Ltd., 2020.
- [3] 中国南方电网有限责任公司. 南方电网公司数字生产“十四五”行动计划 [R]. 广州: 中国南方电网有限责任公司, 2022.
China Southern Power Grid Company Limited. China southern power grid company digital production "14th five-year plan" action plan [R]. Guangzhou: China Southern Power Grid Co., Ltd., 2022.
- [4] 郭俊韬,张珏,郑宁敏,等. 数字孪生技术在电网工程中的应用研究 [J]. 南方能源建设, 2023, 10(2): 136-142. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018.
GUO J T, ZHANG J, ZHENG N M, et al. Research on the application of digital twin technology in power grid engineering [J]. Southern energy construction, 2023, 10(2): 136-142. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018.
- [5] 杨汝泉,谭红鹏. 海南 220 kV 大英山数字孪生变电站设计与探讨 [J]. 青海电力, 2022, 41(4): 16-22. DOI: 10.15919/j.cnki.qhep.2022.04.003.
YANG R Q, TAN H P. On design of the 220 kV Dayingshan digital twin substation in the Hainan province [J]. Qinghai electric power, 2022, 41(4): 16-22. DOI: 10.15919/j.cnki.qhep.2022.04.003.
- [6] 许飞,唐曙光,刘文涛,等. 变电站远程智能巡检系统研究与应用 [J]. 自动化仪表, 2022, 43(4): 81-85. DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.2021030094.
XU F, TANG S G, LIU W T, et al. Research and application of remote intelligent inspection system for substation [J]. Process automation instrumentation, 2022, 43(4): 81-85. DOI: 10.16086/j.cnki.issn1000-0380.2021030094.

- [7] 李文涛. 智能巡检系统在变电站中的研究与应用 [J]. *中国新技术新产品*, 2023(13): 4-6. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2023.13.007.
LI W T. Intelligent inspection system of research and application in substation [J]. *New technology & new products of China*, 2023(13): 4-6. DOI: 10.13612/j.cnki.cntp.2023.13.007.
- [8] 李志强, 丁小蔚, 杜王特. 基于数字孪生的变电站潜在故障定位预警研究 [J]. *电工技术*, 2022(10): 35-38. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.10.011.
LI Z Q, DING X W, DU W T. Research on location and early warning of potential faults in substations based on digital twins technology [J]. *Electric engineering*, 2022(10): 35-38. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.10.011.
- [9] 齐波, 张鹏, 张书琦, 等. 数字孪生技术在输变电设备状态评估中的应用现状与发展展望 [J]. *高压技术*, 2021, 47(5): 1522-1538. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20210093.
QI B, ZHANG P, ZHANG S Q, et al. Application status and development prospects of digital twin technology in condition assessment of power transmission and transformation equipment [J]. *High voltage engineering*, 2021, 47(5): 1522-1538. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20210093.
- [10] 方涛, 钱少锋, 王祯, 等. UWB 定位技术在数字孪生变电站中的应用 [J]. *电工技术*, 2022(12): 49-52. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.12.016.
FANG T, QIAN S F, WANG Z, et al. Application of positioning technology based on UWB in digital twin substation [J]. *Electric engineering*, 2022(12): 49-52. DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2022.12.016.
- [11] 王伟杰, 雍明超, 黄金魁, 等. 高压设备数字孪生体构建及状态分析技术研究 [J]. *高压电器*, 2023, 59(11): 119-128. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2023.11.014.
WANG W J, YONG M C, HUANG J K, et al. Research on construction of condition analysis technology of digital twin for high voltage equipment [J]. *High voltage apparatus*, 2023, 59(11): 119-128. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2023.11.014.
- [12] 简思亮, 张浩, 张珏, 等. 换流站三维数字化及智能巡检系统设计与应用 [J]. *南方能源建设*, 2023, 10(5): 41-49. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.05.006.
JIAN S L, ZHANG H, ZHANG J, et al. Design and application of three-dimensional digitization and intelligent operation system for converter station [J]. *Southern energy construction*, 2023, 10(5): 41-49. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.05.006.
- [13] 金鹰. 室内变电站智能运维辅助装置中图像识别技术应用 [J]. *上海轻工业*, 2023(5): 156-158. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3772.2023.05.051.
JIN Y. Application of image recognition technology in intelligent operation and maintenance auxiliary device of indoor substation [J]. *Shanghai light industry*, 2023(5): 156-158. DOI: 10.3969/j.issn.1004-3772.2023.05.051.
- [14] 乐弘习, 陆昱, 黄维华, 等. 图像识别技术在室内变电站智能运维辅助装置的应用研究 [J]. *电力设备管理*, 2021(1): 35-37.
LE H X, LU Y, HUANG W H, et al. Application research of image recognition technology in intelligent operation and maintenance auxiliary devices of indoor substations [J]. *Electric power equipment management*, 2021(1): 35-37.
- [15] 仇昊. 变电站中的智能操作关键技术分析 [J]. *集成电路应用*, 2023, 40(10): 212-213. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.10.095.
QIU H. Analysis of key technologies for intelligent operation in substation [J]. *Application of IC*, 2023, 40(10): 212-213. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2023.10.095.
- [16] 肖成健. 变电站智能操作关键技术研究与应用 [J]. *云南电力技术*, 2023, 51(1): 78-83. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7345.2023.01.017.
XIAO C J. Research and application on key technologies of intelligent operation in substation [J]. *Yunnan electric power*, 2023, 51(1): 78-83. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7345.2023.01.017.
- [17] 郭素芹, 郑建宁, 陈坤, 等. 基于知识图谱的变电站安全隐患动态分析方法 [J]. *电力系统及其自动化学报*, 2021, 33(12): 125-133. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000791.
GUO S Q, ZHENG J N, CHEN K, et al. Dynamic analysis method for hidden dangers in substation based on knowledge graph [J]. *Proceedings of the CSU-EPSA*, 2021, 33(12): 125-133. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000791.
- [18] 吴昊. 智能变电站虚端子自动识别免配置文件技术探讨 [J]. *光源与照明*, 2023(7): 168-170.
WU H. Discussion on automatic identification of virtual terminal in intelligent substation without configuration file [J]. *Lamps & lighting*, 2023(7): 168-170.
- [19] 李凡, 董臣, 韩利群, 等. 智能变电站关键技术及功能研究 [J]. *电力勘测设计*, 2023(8): 63-66. DOI: 10.13500/j.dlksj.issn1671-9913.2023.08.011.
LI F, DONG C, HAN L Q, et al. Key technologies and application scenarios of intelligent substation [J]. *Electric power survey & design*, 2023(8): 63-66. DOI: 10.13500/j.dlksj.issn1671-9913.2023.08.011.
- [20] 杜奇伟, 张超, 韩洪夫. 基于间隔分图智能变电站运维关键技术研究 [J]. *电网与清洁能源*, 2023, 39(7): 67-72. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2023.07.009.
DU Q W, ZHANG C, HAN H F. A study on key technologies of intelligent substation operation and maintenance based on bay detail drawing [J]. *Power system and clean energy*, 2023, 39(7): 67-72. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2023.07.009.

作者简介:



张珏

张珏 (通信作者)

1992-, 女, 工程师, 电机工程硕士, 主要从事电网工程电气设计以及电网数字化研究工作(e-mail)zhangjue@gedi.com.cn。

(编辑 赵琪)