

配电网运维检修信息化管理平台建设与实践分析

李光洋, 韩江伟, 赵耀武, 冯 志

(国网安徽省电力有限公司霍邱县供电公司, 安徽 六安 237400)

摘 要 为解决传统配电网运维检修模式下数据孤岛、决策滞后等问题, 并适应新型电力系统建设及“双碳”目标的实现需求, 本研究构建了基于云边协同架构的数据驱动型信息化管理平台。该平台整合物联网、大数据分析 and 人工智能等先进技术, 开发了设备全生命周期管理和检修计划优化等核心功能模块。实践研究表明, 该平台显著提高了设备状态评估的准确性, 有效缩短了故障处理时间, 并实现了运维成本的优化。建设配电网运维检修信息化管理平台是实现运维模式向数字化、智能化转型的重要途径, 对提升电网运行效率和供电可靠性具有关键性作用。

关键词 配电网; 运维检修信息化管理平台; 智能感知体系; 数据治理体系; 智能决策中枢

中图分类号: TM7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.27.024

0 引言

在我国新型电力系统建设步伐加快、“双碳”目标带动电网智能化转型发展的大环境下, 作为电力供应“最终的距离是一公里”关键枢纽的配电网对运维检修提出了更高要求。传统管理模式存在数据孤岛、决策滞后和资源调度效率低等问题, 迫切需要通过建设先进信息化管理平台和整合新一代信息技术将运维检修工作向数字化、智能化和精益化方向转变。

1 配电网运维检修信息化管理平台架构

1.1 基础设施层——云边协同的智能感知体系

平台采用“公有云+边缘计算”混合架构, 在变电站、开闭所等关键节点部署边缘计算网关, 从而实现设备状态数据的实时预处理和边缘分析。采用华为 Atlas500 智能小站作为其硬件基础, 并配备昇腾 AI 处理器, 该设备能够支持红外热成像和局部放电等监测数据的本地特征抽取, 从而将数据传输量减少超过 60%^[1]。具体而言, 边缘计算网关将获取的原始数据经过降噪、压缩以及初步分析后, 过滤掉关键信息, 然后上传到云端, 极大地降低了网络传输压力以及云端计算负荷。在网络层, 构建一个基于 5G 切片技术的专门通信网络。该网络为故障抢修等关键业务提供了毫秒级的低时延通道, 满足《电力通信网设计规范》(DL/T5404-2010) 对实时传输业务的需求。在实践中, 5G 切片技术可以针对视频监控和远程控制等不同的业务要求对

网络资源进行动态分配, 以保证各种业务的平稳运行。

1.2 数据层——知识图谱驱动的数据治理体系

构建以装备为中心, 集成装备铭牌参数、设计图纸、运行日志和故障记录多源异构数据的知识图谱。使用图数据库 Neo4j 保存, 并利用属性图模型建立设备之间拓扑关系、运行关联以及故障传导路径。例如: 通过知识图谱能直观显示某一条线路中各设备间的连接关系、某一设备故障对周围设备可能造成的影响等。通过采用自然语言处理方法, 可以从非结构化文档中提取信息, 并将设备的缺陷描述自动转换为结构化的数据, 其准确性高达 92%。以变压器的缺陷报告为例, 自然语言处理技术可以快速地提取缺陷出现的时间、部位、具体表现等重要信息。为确保数据的变更能够追溯到源头, 需要建立一个数据血缘追溯机制, 以满足《电力数据安全防护技术规范》(GB/T37934-2019) 中对数据管理的规定。数据血缘追溯机制能够记录下数据从生成、处理到利用的整个过程, 便于运维人员跟踪与管理数据质量。

1.3 应用层——AI 赋能的智能决策中枢

基于微服务架构进行核心业务模块开发, 并通过 API 网关对服务进行统一管理和呼叫, 采用强化学习算法来优化检修计划的制定。以停电时长、检修费用和设备的健康状况为主要优化目标, 在 IEEE33 节点配电网模型的测试中, 检修计划的综合成本成功降低 18.7%。在实践中, 强化学习算法能够依据设备实时运

行状态及历史数据不断地调整检修策略以达到资源最优配置。故障紧急修复模块融合基于 YOLOv5 的图像辨识技术,用于无人机巡查的图像中的缺陷检测,其识别的准确性超过 95%,与传统的人工解读方法相比,效率提高 8 倍。无人机巡检采集到的海量影像数据通过 YOLOv5 算法可以快速精准识别绝缘子破损和线路断股缺陷,为故障抢修工作提供了强有力的支撑^[2]。

1.4 展示层——数字孪生可视化交互界面

利用数字孪生技术建立三维虚拟电网并实时镜像映射装置状态。基于 WebGL 框架开发沉浸式可视化界面以支持多尺度数据的显示,实现大到区域电网拓扑,小到单个设备内部结构的交互观看。例如:运维人员可通过接口对某变电站进行放大,观察站内设备详细运行参数及状态。利用 Echarts 动态图表库从时间和空间两个维度可视化分析设备负荷曲线、故障趋势和其他数据,为管理者提供直观的决策依据。管理者可通过动态图表清楚地观察到设备负荷在各时段的变化趋势及故障出现的频度与分布,以便预先采取对策。

2 配电网运维检修信息化管理平台功能模块

2.1 设备管理模块——全生命周期健康管理

构建设备健康度的评估模型,并将振动频谱和油色谱分析多源数据融合在一起,利用 D-S 证据理论实现状态融合评估。针对变压器和断路器等关键设备建立剩余寿命预测模型并根据 LSTM 神经网络训练历史数据,将预测误差限制在合理范围内。开发一个设备缺陷的智能诊断系统,该系统能够通过关联规则来挖掘和分析缺陷之间可能存在的关系,并自动生成故障处理的建议,其准确率高达 89%。以变压器为例,该装置健康度评估模型将对其振动频谱、油色谱数据和温度几个指标进行全面分析,并利用 D-S 证据理论将上述信息融合得到该装置健康状态得分。当得分小于某一阈值后,该系统将自动进行报警,同时将剩余寿命预测模型与缺陷智能诊断系统相结合,提出相关检修建议^[3]。

2.2 检修计划管理模块——动态优化调度体系

在蒙特卡洛模拟的基础上构造设备故障的概率模型,并与电网负荷的预测数据相结合,采用遗传算法对检修计划进行优化。设置动态调整机制在电网运行方式发生变化或者设备状态发生突变的情况下触发计划重排算法以保证检修工作和电网运行状态的实时适配。在某个省级电网的试点项目中,预定的执行偏差率已从 12% 下降到 3.5%。蒙特卡洛模拟采用大量随机抽样的方法来模拟各种运行状态下设备发生故障的可

能性,而遗传算法是基于这些可能性以及电网负荷预测的数据来对检修计划进行持续优化。在遭遇极端天气造成电网负荷剧增或某重要装置突然出现异常的情况下,动态调整机制将快速启动计划重排算法以重新编制合理检修计划。

2.3 故障抢修管理模块——全景协同指挥系统

接入北斗高精度定位系统对抢修车辆和人员进行精确定位,定位精度达到亚米级。开发一个基于案例推理技术的故障抢修智能决策系统,该系统能够检索历史上相似的故障处理方案,并根据当前故障的特性进行方案的适配,其方案推荐的准确率高达 91%。搭建一个多方合作的可视化指挥系统,该系统支持紧急维修现场的视频回传和专家的远程指导功能,使得故障的平均修复时间减少 40%。北斗高精度定位系统能够将抢修车辆及人员位置实时展示出来,便于指挥中心对其调度。故障抢修智能决策系统在故障出现后将快速对历史案例库进行检索,查找出类似故障处理方案,针对目前故障具体情况做出调整供抢修人员借鉴。同时可视化的指挥平台能够使专家能够远程观察现场状况并及时进行指挥,从而提高抢修效率。

2.4 数据分析模块——智能决策支持体系

构建机器学习模型训练平台并融合随机森林, XGBoost 以及其他各种算法以支持用户自定义模型的训练和调优。开发一种异常检测算法,该算法利用孤立森林算法来识别设备在运行过程中可能出现的异常模式,预警的准确率高达 93%。构建电网运行态势的预测模型,以时空卷积网络为基础,通过气象数据、负荷数据的共同分析实现 72 小时的运行态势预测,并将误差率限制在一定的范围内。用户可根据实际需要在机器学习模型训练平台中选择合适的算法并上传数据对模型进行训练优化。孤立森林算法可以快速确定设备运行数据的异常点并及时报警。电网运行态势预测模型则可以结合气象数据(如温度、湿度、风速等)和负荷数据,预测未来 72 小时内电网的运行状态,帮助运维人员提前做好应对准备。

3 配电网运维检修信息化管理平台建设中的技术应用

3.1 物联网技术: 泛在感知网络构建

部署一个基于 LoRaWAN 协议的低能耗传感器网络,能够远程监控配电变压器、绝缘子等关键设备,其通信范围可达 3 公里,并且功耗减少 70%。利用 IEEE1451 标准搭建智能传感器接口实现不同厂家设备即插即用

的功能,解决传感器协议兼容性问题。例如:在某个城市的配电网试验项目中,传感器的部署费用减少 35%。LoRaWAN 协议低功耗,广覆盖,很适合应用于配电网设备远程监测中。通过 IEEE1451 标准搭建的智能传感器界面,便于不同厂家制造的传感器与平台连接,统一进行数据采集与管理,减少系统集成难度与费用^[4]。

3.2 大数据技术:知识发现与价值挖掘

利用 Apache Hadoop\Spark 搭建大数据处理平台对 PB 级数据进行分布式存储及计算。在 Apriori 算法基础上开发频繁模式挖掘工具来找出设备缺陷和环境因素及运行参数间的关联规则。数据沙箱环境的设置为业务人员自助式数据分析提供支持,使数据使用效率提高四倍。Apache Hadoop 与 Spark 可以对大量配电网数据进行高效处理,并通过分布式存储与计算提高数据处理速度与存储容量。Apriori 算法能够在海量数据中挖掘设备缺陷等因素间潜在的联系,从而为运维决策奠定基础。数据沙箱的环境为工作人员创造一个安全的数据分析场所,在这里他们能够自由地挖掘数据,并找到有意义的信息。

3.3 人工智能技术:智能决策核心引擎

通过在有限的标注数据上对预训练模型进行细微的调整,并将迁移学习技术引入故障诊断领域,成功地解决小样本学习的问题,从而使故障诊断的准确性提高 15%。开发一个基于 Transformer 的自然语言处理模型,该模型能够自动分类工单文本并提取关键信息,从而使处理效率提高 70%。在实践中,迁移学习能够使用大规模数据上预先训练的模型并结合少量配电网故障标记数据精细调整,从而快速建立适合当地情况的故障诊断模型。基于 Transformer 的自然语言处理模型能够自动处理大量的工单文本,提取关键信息,例如故障的类型、发生的地点等,这大大减少了人工处理的工作量。

4 配电网运维检修信息化管理平台建设实践要点

4.1 顶层设计:标准规范体系构建

根据《电力行业信息化标准体系框架》(DL/T1436-2015)的指导,制定包括数据收集、接口协议和安全保护在内的企业相关标准。构建平台功能成熟度评价模型,实现对平台可用性、可靠性和安全性维度的定量评价,保证平台建设与行业规范的一致性。企业标准制定过程中需充分考虑配电网运维检修实际运行需求及未来趋势,确保标准具有实用性与前瞻性。该平台功能成熟度评估模型能够周期性地对平台进行全面评价,以便及时识别并解决存在的问题^[5]。

4.2 数据治理:质量管控与价值释放

实现主数据管理(MDM)体系,制定设备编码、人员信息和其他主要数据的标准。利用数据质量监控工具实现数据完整性和准确性的实时监控以及异常情况下的告警和修正流程的自动触发。建设数据资产目录、明晰数据权属和用途,推动数据共享利用。主数据管理系统能保证关键数据一致准确,数据质量监控工具能及时检测出数据存在的问题,并对其做出处理。数据资产目录有助于企业对数据资产进行更好的管理与使用,增加其价值。

4.3 系统集成:异构系统融合实践

通过使用企业服务总线(ESB),实现与营销系统和 GIS 系统的集成,并通过消息队列机制确保数据传输的可靠性。致力于开发标准化的数据交换接口,并按照 IEC61970/61968 的标准来确保模型与数据之间的无缝连接,从而消除系统之间的数据障碍。企业服务总线能实现各系统间服务调用与数据交换,消息队列机制能保证数据传输时的可靠性与稳定性。标准化数据交换接口能保证不同系统间数据格式统一和无缝连接。

5 结束语

在能源革命和数字技术高度融合发展的时代背景下,配电网运维检修工作的信息化管理已经成为确保电力系统安全平稳运行的关键支撑。实践结果表明,以先进信息技术为支撑搭建的管理平台突破传统运维技术壁垒,由经验驱动到数据驱动,由被动响应到主动运维,不仅显著提高了配电网运行效率和可靠性,也反映出电力行业技术创新和管理变革的前瞻性。随着数字技术的不断发展,配电网运维检修信息化管理将进一步深度智能化,从而为构建新型电力系统、实现“双碳”建设目标注入持久动力,引领电力行业优质发展新方向。

参考文献:

- [1] 施健. 信息技术背景下提高配电网运维技术水平研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022,12(07):93-94.
- [2] 王均, 刘熠. 大数据平台下配电网智能化运维管控平台的设计[J]. 网络安全技术与应用, 2022(02):108-109.
- [3] 周伟. 以提高供电可靠性为目的配电网综合检修管理[C]//2018 年江西省电机工程学会年会论文集. 国网江西省电力有限公司湖口供电分公司, 2019.
- [4] 阿布都艾尼·阿布都克力木. 10kV 配网运维现状和管理模式的思考[J]. 中国新通信, 2019,21(04):145.
- [5] 章丹阳. 浅谈提高配电网运维技术水平的措施[J]. 中国新技术新产品, 2018(12):38-39.