

基于智能电网的电力运维检修技术

叶 敏

国网四川省电力公司超高压分公司 四川 南充 637000

摘 要：随着能源结构调整与电力需求增长，传统电网运维模式已难以满足高效、可靠的供电需求，智能电网成为电力行业发展必然趋势。本文阐述了智能电网的定义特点。分析了数据采集与监测、数据分析与处理、故障诊断与预测、自动化运维四大关键技术，详解各技术的核心环节与实现方式。随后探讨了人工智能大模型在设备健康评估、状态预测、故障诊断等方面的应用优势，最后构建涵盖标准规范、安全防护、人才支撑的技术保障体系。研究旨在为智能电网下电力运维检修提供技术参考，提升运维效率与可靠性，为电网安全稳定运行提供支撑，对推动电力行业智能化转型具有重要意义。

关键词：智能电网；电力运维检修；关键技术

引言：智能电网融合多领域技术，实现全流程智能化管理，但其复杂架构对运维检修技术提出更高要求。当前传统运维存在数据孤岛、故障响应慢等问题，亟需创新技术突破。本文系统研究了智能电网下电力运维检修关键技术、人工智能大模型应用及技术保障体系，旨在解决运维难题，提升电网运维水平，保障电力系统安全稳定运行，助力能源行业高质量发展。

1 智能电网的定义与特点

智能电网是融合现代信息技术、通信技术、控制技术与电力技术，实现电力生产、传输、分配、消费全流程智能化管理的新型电网形态。其核心定义围绕“双向互动”与“智能决策”展开，区别于传统电网单向电力输送的模式，能够实现电力流、信息流与业务流的协同交互。

从技术特征来看，智能电网具有以下四大特点：

（1）自愈性，通过实时监测与动态调整，可自主识别电网故障并快速隔离故障区域，减少停电范围与时长，而传统电网故障处理依赖人工巡检，响应效率较低；（2）高效性，借助智能化调度算法优化资源配置，降低电力传输损耗，提升能源利用效率，传统电网调度多基于经验，难以实现动态精准调控；（3）兼容性，能够灵活接入分布式新能源发电系统（如光伏、风电）与多元化用电设备（如电动汽车充电桩），传统电网对新能源的接纳能力有限，易出现并网不稳定问题；（4）互动性，支持电网与用户之间的信息交互，用户可根据电价信号调整用电行为，实现需求侧响应，传统电网中用户处于被动用电状态，缺乏双向信息沟通机制^[1]。

2 智能电网下电力运维检修关键技术

2.1 数据采集与监测技术

数据采集与监测技术是智能电网运维检修的基础支撑，核心在于构建覆盖电网全环节的多维度、高精度感知体系，实现设备运行状态与环境参数的实时获取。其技术体系围绕以下采集维度设计、感知技术选型、数据传输优化三个核心环节展开。（1）在采集维度设计上，依据不同电力设备的运行特性确定关键监测参数。针对输电环节，重点采集导线温度、弧垂、微风振动、绝缘子污秽度，同步兼顾风速、湿度、覆冰厚度等环境参数；变电环节聚焦变压器绕组温度、油中溶解气体含量、局部放电量，以及断路器分合闸线圈电流、机械特性参数；配电环节则需采集配变负载率、线路电压暂降、功率因数及用户用电计量数据，形成全链条数据采集网络。（2）感知技术选型要平衡精度与场景适配性。高压设备内部监测多采用光纤传感技术，利用其抗电磁干扰、高测量精度（温度误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 内）的优势；户外分散设备监测优先选用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术，保障3-5年续航周期；用户侧计量采用智能电表，实现分钟级数据采集与远程传输，误差控制在 $\pm 0.2\%$ 以内。（3）数据传输环节要构建分层网络架构。变电站高优先级数据通过光纤以太网传输，速率不低于100Mbps，端到端时延 $\leq 10\text{ms}$ ；分散监测点采用“本地汇聚+远程传输”模式，经边缘终端汇聚数据后，通过电力线载波或公网通信上传；同时引入差值压缩、熵编码技术降低数据量，减少带宽占用，保障传输连续性。

2.2 数据分析与处理技术

数据分析与处理技术核心是从海量异构数据中提取有效信息，为运维决策提供支撑，主要涵盖以下数据预处理、特征提取、数据挖掘三个关键步骤。（1）数据预处理聚焦解决数据质量问题。针对噪声数据，采用卡尔

曼滤波、小波滤波算法平滑连续监测参数，剔除干扰波动；面对数据缺失，周期性数据采用线性或样条插值，突变数据基于历史运行模式预测补全；对于异常数据，通过动态阈值（结合设备额定参数与历史范围）与孤立森林、支持向量机算法识别标记，并建立回溯机制追溯异常成因，确保数据可靠性。（2）特征提取旨在实现数据降维与关键信息聚焦。围绕设备状态评估构建多维度特征体系，如变压器的油中溶解气体组分比值、绕组温度变化率，输电线路的导线温度偏差值、弧垂变化量；通过Min-Max归一化、Z-Score标准化消除量纲影响，将特征值映射至[0,1]或[-1,1]区间，为后续分析提供标准化输入。（3）数据挖掘环节需适配不同运维需求选择算法。设备状态评估采用K-Means、DBSCAN聚类算法，划分正常、关注、异常等级；故障关联分析运用Apriori算法挖掘参数与故障的隐藏关联规律；趋势预测则通过ARIMA、LSTM时间序列算法，对关键参数进行1小时至1个月周期的预测；同时建立模型动态优化机制，定期用新增数据迭代训练，提升精度与泛化能力。

2.3 故障诊断与预测技术

故障诊断与预测技术核心是实现从“事后维修”向“事前预测、事中诊断”转变，技术体系覆盖以下故障识别、定位、溯源与风险评估。（1）故障诊断以精准识别与定位为目标。模型构建采用“机理分析+数据驱动”融合模式：机理层面基于设备故障物理化学过程，明确故障类型对应的特征指标，建立机理知识库；数据层面结合历史故障与正常数据，用支持向量机（SVM）实现小样本故障分类，卷积神经网络（CNN）提取监测数据特征，模糊推理算法处理参数不确定性，提升诊断可靠性。（2）故障定位需结合电网拓扑与多源数据。输电线路通过分布参数法与行波定位技术计算故障距离，误差 ≤ 50 米；变电站设备基于监测数据与站内拓扑，定位至具体间隔与部件；配电网结合FTU数据与智能电表信息，采用阻抗法与故障录波分析确定故障区段，缩短查找时间。（3）故障预测聚焦风险预警与量化评估。基于寿命模型的预测，结合设备老化规律与环境参数，通过Arrhenius方程等计算剩余寿命；基于数据趋势的预测，用LSTM、GRU算法预测关键参数变化，设定阈值确定预警窗口；同时引入健康指数（HI）体系，将多因素量化为0-100的健康值，实现风险可视化。预警机制按概率与影响范围划分蓝、黄、橙、红四级，匹配不同应对策略。

2.4 自动化运维技术

自动化运维技术核心覆盖以下自动化巡检、自动化操作、自动化故障处置，实现流程标准化与高效化。

（1）自动化巡检按场景分为户外与室内两类。户外采用无人机与地面机器人：无人机搭载高清相机、红外热像仪、激光雷达，实现输电线路全覆盖巡检；地面机器人通过激光SLAM、GPS+惯导导航，自主规划路径，完成设备外观检查、仪表读数与温度测量，支持24小时不间断作业。室内以轨道式机器人与固定摄像头为主：轨道机器人沿预设轨道巡检开关柜，通过图像识别读取数据、检查状态；固定摄像头结合视频分析算法，自动识别设备异常。（2）自动化操作包括远程与程序化操作。远程操作通过控制中心发送加密指令至现场执行单元，实现断路器、隔离开关等设备的“监控-下发-反馈”闭环控制；程序化操作基于预设操作票与逻辑判断，自动执行倒闸等多步骤操作，实时监测状态，异常时暂停并报警，保障安全。（3）自动化故障处置构建“检测-隔离-转移-恢复”流程。故障隔离环节，按诊断结果指令开关设备，秒级隔离故障区段；负荷转移环节，自动计算最优路径，通过联络开关转移负荷至健康馈线；恢复供电环节，故障处理后检测设备状态，按顺序闭合开关恢复供电。系统具备自适应能力，可根据电网拓扑变化更新处置逻辑，确保不同运行方式下的高效处置^[2]。

3 人工智能大模型在电力运维中的应用

随着人工智能技术的飞速发展，人工智能大模型在电力运维领域展现出巨大的应用潜力具体如下：（1）在电力设备健康状态评估方面，传统基于数学分析与机器学习的方法存在多源异构数据融合困难、缺乏实时动态评估能力以及易受不平衡数据影响等问题。而人工智能大模型借助工业互联网平台，能够整合各类监测系统，对表格、文本、音频、图像、视频等多模态数据进行清洗、标准化及特征融合，构建统一数据池，为设备健康评估提供全面数据支撑。通过引入增量学习、在线学习机制，大模型可实时更新参数，动态适应设备运行工况变化，如自动调整评估策略以应对环境温度、负荷波动及设备老化等情况，更早发现设备退化趋势并及时预警。在关键设备异常样本稀缺时，大模型利用小样本微调、迁移学习等方式，结合差异化加权算法，显著提升对异常状态的识别能力，提高设备健康状态评估的准确性。（2）对于电力设备运行状态预测，传统方法侧重分析设备未来运行情况，但存在一定局限性。人工智能大模型通过对大量历史数据及实时监测数据的深度挖掘与学习，能够精准捕捉设备运行状态变化趋势。运用时间序列分析、深度学习等算法，对设备关键参数进行长时间跨度的预测，为运维人员提前规划维护计划提供有力依据。（3）在故障诊断与预测方面，人工智能大模型进

进一步强化了故障诊断与预测的准确性和及时性。在故障诊断中,大模型结合设备故障机理知识库与海量故障数据,能够快速准确地识别故障类型,定位故障位置。通过对监测数据的实时分析,利用卷积神经网络、循环神经网络等深度学习模型,自动提取故障特征,实现对设备故障的早期预警与精准诊断,相较于传统诊断方法,大大缩短了故障诊断时间,提高了诊断准确率。在故障预测方面,大模型基于设备历史运行数据、实时状态数据以及环境数据等多源信息,建立更为精准的故障预测模型,提前预测设备故障发生的可能性及时间节点,为设备的预防性维护提供科学依据,有效降低设备突发故障带来的损失^[3]。

4 智能电网电力运维检修的技术保障体系

智能电网电力运维检修技术的高效落地与长期运行,要依托完善的技术保障体系,从以下标准规范、安全防护、人才支撑三方面构建支撑框架。(1)在标准规范建设方面,要围绕智能运维全流程制定统一标准,打破技术应用壁垒。针对数据层面,明确多源监测数据的采集格式、编码规则与传输协议,实现不同厂家设备数据的互联互通,避免因数据标准不一导致的信息孤岛;针对技术应用层面,制定故障诊断模型的精度评估标准、自动化运维设备的性能指标与操作规范,确保技术应用效果可量化、可验证;针对管理层面,建立智能运维流程的标准化体系,规范数据存储、模型迭代、故障处置的操作流程,明确各环节责任边界,保障运维工作的有序开展。(2)在安全防护体系构建方面,聚焦数据安全与系统安全双维度防控。数据安全层面,采用数据分级分类管理机制,对设备核心参数、用户用电信息等敏感数据进行加密存储与传输,通过访问权限管控限制数据调用范围,建立数据操作审计日志,实现数据全生命周期的可追溯;系统安全层面,加强运维平台与自动化设备的网络安全防护,部署防火墙、入侵检测系统

与漏洞扫描工具,定期开展安全漏洞排查与渗透测试,防范恶意攻击导致的系统瘫痪或设备误操作;建立安全应急响应机制,制定数据泄露、系统故障的应急处置预案,明确响应流程与恢复措施,降低安全事件造成的影响。(3)在人才支撑体系建设方面,培养兼具电力专业与智能技术能力的复合型人才。一方面,优化人才培养体系,在专业课程中融入人工智能、大数据、自动化控制等内容,开展智能运维设备操作、故障诊断模型应用等实操培训,提升人员技术应用能力;另一方面,建立人才激励机制,鼓励技术人员参与智能运维技术研发与创新项目,通过技能竞赛、成果评定等方式激发人才创新活力;同时构建人才交流平台,加强与科研机构、设备厂家的技术交流,及时掌握行业前沿技术动态,保障人才技术能力与行业发展同步提升^[4]。

结束语:本文系统梳理了基于智能电网的电力运维检修技术体系,从智能电网特点入手,深入剖析关键技术、人工智能大模型应用及保障体系,形成完整的技术研究框架。研究表明,四大关键技术是运维检修的核心支撑,人工智能大模型可进一步提升运维智能化水平,完善的保障体系则为技术落地提供基础。未来可进一步探索跨领域技术融合,优化人工智能大模型算法,提升其适应性与精度

参考文献

- [1]杜德福.基于智能电网的电力运维检修技术[J].电力设备管理,2024(24):33-35.
- [2]慕宇星.基于智能电网的电力运维检修技术应用研究[J].奥秘,2024(16):55-57.
- [3]周国松.人工智能技术在电力设备运维检修中的应用探析[J].数字化用户,2023(38):115-116.
- [4]李泽琦,陈泽.人工智能技术在配电网电力设备运维检修中的应用[J].百科论坛电子杂志,2025(11):34-36.