

人工智能赋能电气工程智能运维研究

郝瑞鹏

邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司, 河北 邢台 054001

[摘要]随着新型电力系统建设深入推进, 电气工程运维面临设备规模扩张、数据模态多样化与运行场景复杂化等挑战。人工智能技术为智能运维提供了系统性解决方案。梳理人工智能赋能电气工程智能运维的技术体系与应用价值, 从智能感知与数据采集、故障诊断与预测性维护两个维度阐释核心技术, 剖析当前面临的数据质量与共享不足、模型适应性与可靠性不足、平台协同管理不足、网络安全保障不足等问题, 并提出构建数据治理体系、强化模型自主学习能力、推动平台一体化建设、完善安全防护机制等优化路径。

[关键词]人工智能; 电气工程; 智能运维

DOI: 10.33142/sca.v9i9.20357

中图分类号: TP181

文献标识码: A

Research on Artificial Intelligence Empowering Intelligent Operation and Maintenance of Electrical Engineering

HAO Ruipeng

Xingtai Naknor Technology Co., Ltd., Xingtai, Hebei, 054001, China

Abstract: With the deepening of the construction of new power systems, electrical engineering operation and maintenance are facing challenges such as equipment scale expansion, diversified data modes, and complex operating scenarios. Artificial intelligence technology provides systematic solutions for intelligent operation and maintenance. Sort out the technical system and application value of artificial intelligence empowering intelligent operation and maintenance of electrical engineering, explain the core technologies from two dimensions: intelligent perception and data collection, fault diagnosis and predictive maintenance, analyze the current problems of insufficient data quality and sharing, insufficient model adaptability and reliability, insufficient platform collaborative management, and insufficient network security protection, and propose optimization paths such as building a data governance system, strengthening model self-learning ability, promoting platform integration construction, and improving security protection mechanisms.

Keywords: artificial intelligence; electrical engineering; intelligent operation

引言

电力系统、电力设备的智能化同目前的人工智能技术发展有密切关系。在前所未有的人工智能技术发展的大潮之下, 怎样把对电力设备安全高效运行的要求同先进的人工智能技术结合起来, 利用人工智能技术提高电力设备的数字化、智能化水平, 这是新型电力系统输变电技术的一个重点研究方向。目前, 传统的电网单向供电模式正在被“源荷互动”的新形态所取代, 分布式能源大规模接入、负荷波动频繁化等新的特点给电网的安全稳定运行提出了更高的要求。人工智能技术由原来的运算智能、感知智能发展为现在的认知智能, 给电力设备运行态势感知带来了革命性的机遇。因此, 对人工智能赋能电气工程智能运维技术体系及实践路径进行系统的研究, 有重大的理论意

义和现实意义。

1 人工智能技术对于电气工程智能运维具有重要影响

本文主要研究人工智能赋能电气工程智能运维技术体系及应用价值, 为后续研究提供理论基础和参考依据, 该技术人工智能赋能电气工程智能运维技术体系, 是促使电力设备运维方式由原来的依靠人工向智能协同转变的关键支持。从技术架构上讲, 智能运维体系的创建要融合电气工程以及诸多研究领域内的先进科技, 展开多学科交叉的科学研究并加以实际运用^[1]。从硬件上讲, 主要包含感知的传感器技术、计算的并行计算芯片技术、通信的物联网技术、执行和控制的机器人技术等; 软件算法上要建立高级阶段的数字孪生、多物理场高保真与准实时计算技

术、数据-物理-知识融合的状态评价与故障诊断技术、智能运维决策技术等。就应用价值而言，将人工智能技术应用到电气工程运维当中可以明显提高电气工程运维的智能化程度。经过研究得知，AI 加大数据分析可以达到状态监测、健康评价以及故障预估的目的，从而有效降低设备的故障率和维护费用。就目前而言，依靠“智能化运维工具-标准化协同机制-精益化管理”所形成的智能化运维体系，其运维效率得到了提升 40%，人员管理费用也有所削减 25%。人工智能技术凭借变电站的大量信息开展问题剖析，作出预测，进而提升变电站的运维效率^[2]。人工智能赋能电气工程智能运维的技术价值有三个方面，在感知层，提高数据采集的广度和精度，在分析层，提高故障识别和趋势预测的可靠性，在决策层，提高运维资源配置和策略选择的科学性，最终达到设备全生命周期智能化管理的目的。

2 人工智能赋能电气工程智能运维的核心技术

2.1 智能感知与运行数据采集技术

智能感知属于电气工程智能运维的前提。电力设备数据来源较多，分为传感器数据、监控系统数据和历史运维记录三大部分。安装在电力设备上的各种传感器可以对设备运行参数进行实时监测，智能监控平台、远程监控系统、电力自动化系统等所收集到的设备运行状态以及电网运行信息，是提供设备状态评价的数据基础，而包含维修工单、巡检报告、预防性试验数据在内的历史运维记录，也给故障模式识别提供知识积累。

目前，电力设备数智化实现要依靠电气工程同其他诸多研究领域先进技术相结合的科研活动，并且还要开展相关技术的应用研究工作。硬件技术主要包括负责感知的传感器技术、负责计算的并行计算芯片技术、负责通信的物联网技术、负责执行与控制的机器人技术等，需要结合材料学、微电子学、物理学、化学、光学、机械工程、微机电系统、集成电路设计、信息工程、自动控制、计算机科学、多个学科领域的知识。软件算法上，电力设备数智化要达到高级阶段的数字孪生，除了现有的高精度三维建模

和可视化技术之外，还要发展多物理场高保真、准实时计算技术、数据、物理、知识融合的状态评价与故障诊断技术、智能运维决策技术等。由于电力设备数量越来越多，监测精度越来越高，数据量呈指数级增长；不同类型的传感器、监控系统、记录方式造成数据格式、精度各不相同，给数据整合、融合带来困难。所以建立统一的数据标准和接口、有效进行数据清洗和预处理，是智能感知技术应用的关键。

2.2 人工智能故障诊断与预测维护技术

人工智能故障诊断、预测性维护属于智能运维的主要功能模块。传统的故障诊断方法大多依靠专家的经验以及人工设计出的规则，在遇到复杂的多故障状态或者新的故障类型的时候，效率会变得很低。AI 技术可以依靠数据驱动的方式，自动从大量的运行数据里找出故障模式，不但可以提高故障检测的准确性，还可以识别出新的或者复杂的故障模式。基于人工智能的智能诊断和故障预测系统采用 4 层结构，将多源数据采集、深度学习诊断模型、长短期记忆网络预测算法三者结合起来，可以对设备的状态进行实时监测，可以对故障进行智能识别，还可以对设备的剩余寿命进行预测。通过对工业变频器平台的试验得知，系统故障诊断准确率可以达到 96.8%，剩余使用寿命预估误差保持在 8.3%之内，响应时间小于 150ms，同传统的方法相比，在准确度以及实时性上均有显著改善^[3]。

人工智能技术正在电力电子、电力传动系统运行和维护中起到越来越重要的作用，在系统参数辨识、故障诊断方面尤其如此。这些技术可以使得运维人员在复杂的、动态的电力环境里及时地对系统的状况加以分析，并且做出智能的监控和预测，从而达到对控制系统进行优化的目的，在各种工况变化时也能保证系统稳定运行。引入卷积神经网络、自编码器、迁移学习等 AI 技术后，运维人员可以借助大数据及算法迅速发现设备故障，给出更加准确的诊断和预防性维护方案，进而有效地减少非计划停机并延长设备的使用寿命。

表 1 为人工智能技术在电气工程智能运维中典型的应用场景

技术方法	典型算法	主要应用场景
深度学习	卷积神经网络 (CNN)、循环神经网络 (RNN)、长短期记忆网络 (LSTM)	设备状态识别、时序数据预测、故障模式分类
机器学习	支持向量机 (SVM)、随机森林 (RF)、极限学习机 (ELM)	故障诊断分类、健康状态评估、异常检测
强化学习	Q-learning、深度 Q 网络 (DQN)、策略梯度	运维策略优化、控制参数自适应调整
大语言模型	智能体 (Agent)、知识嵌入、推理分解	自然语言交互运维、跨域知识融合与决策辅助

3 人工智能赋能电气工程智能运维存在的主要问题

3.1 多源异构数据质量与共享水平不足

数据是人工智能模型训练和运行的基础资源,但是目前电气工程运维领域的的数据治理还存在着许多问题。电力设备数据来源多种多样,格式、标准不同,必须要对它们进行整合和融合,才能形成统一的数据标准和接口。由于传感器精度、环境干扰、设备突然故障、操作失误等原因造成电力设备数据中存在噪声、缺失值或者异常值,进而影响数据分析结果的准确性。另外各部门的数据系统之间没有建立有效的共享机制,存在数据孤岛现象,造成多源数据融合分析能力的形成受到限制。目前电力系统智能运维的数据供给不能满足 AI 模型对于高质量、全标注样本的要求,数据从采集到使用的全链条标准化程度低,数据价值的释放还面临较大的瓶颈。

3.2 智能诊断模型适应性与可靠性有待提升

目前 AI 技术在电力电子和电力传动方面使用时存在着数据依赖严重、缺乏解释性、计算量大等问题,限制了其在工程中的应用。一方面由于电力设备故障数据的获取成本高、样本量小,因此造成深度学习模型对于罕见故障模式的诊断能力较差;另一方面,黑箱模型决策过程不可解释,运维人员不能了解模型输出结果的依据,从而降低了运维人员对智能诊断系统的信任度。除此之外,模型对于运行工况的变化、设备类型的迁移等都存在泛化能力差的问题,适应性差的问题比较明显。

3.3 智能运维平台协同管理能力不足

智能运维效能的充分发挥要依靠平台层面的协同管理能力,但是目前各种运维系统的整合程度不高。如何将大语言模型从人机对话等文本生成应用出发,打造成具有“使用工具”、“环境交互”能力的强大智能体,是大语言模型及其在各个领域垂直应用研究中的一个热点,也是新型电力系统中电力设备运维智能化提升的一种方式。传统的运维模式一般都采取分散式的管理模式,各个系统的数据接口不统一,信息传递不顺畅,不能达到运维资源的统一调配和优化配置的目的。平台层面的协同存在标准化程度低、跨部门合作机制不健全等状况。

3.4 运维网络安全与数据安全保障存在挑战

随着智能运维对于网络化、信息化的依赖度越来越高,网络安全风险也同步增大。运维系统中包含很多重要的设备运行数据和控制命令,一旦受到网络攻击,会造成设备误动作或者系统崩溃。目前一些运维系统对于数据传输加密、访问权限控制、异常行为监测等安全方面还存在着一定的缺陷。

怎样的在运维效率提升和安全保障加强之间取得平衡,创建起主动防御、智能预警、快速隔离的安全防护体系,就成为智能运维推行过程中的关键问题。

4 人工智能赋能电气工程智能运维的优化路径

4.1 构建智能化运维数据治理体系

就数据质量以及共享问题而言,要创建起包含数据全部生命周期的数据治理体系。首先确定统一的数据采集标准和接口规范,使不同的来源数据具有相同的格式以及语义的一致性。其次,实行数据分级存储和全生命周期管理,采用“三权分立”的权限控制方式,配合使用动态验证码、生物识别等技术来加强安全防护,从而达到数据资源高效、安全使用的目的。另外还要创建数据质量控制体系,用数据清洗以及预处理的办法消除噪声、异常值,经由数据标准化、归一化等操作把数据转变成统一格式、统一范围。最后打通各个部门已有的信息系统数据接口,实现 I 区运维数据到 III 区管理大区的实时同步和共享,消除数据孤岛,给智能模型的训练和推理提供高质量的数据基础。还要创建数据质量闭环反馈体系,把数据在使用中出现的标注错误、特征缺少等状况及时传递给数据治理前端,促使采集标准和清洗办法不断革新升级,达成数据品质螺旋式上升的良好循环。

4.2 强化人工智能模型优化与自主学习能力

为了提高诊断模型的适应性、可靠性,要从算法优化和机制创新两方面一起进行。从算法角度来讲,研究物理知识和纯数据驱动相结合的智能方法,将系统模型作为先验信息,可大幅降低数据需求,从而有效地解决了样本不足的问题。从机制上讲,创建起人机协作的智能运维模式,由人工智能系统给出初步的诊断意见,运维专家予以审核并加以修正,然后把修正后的结果传达给模型做增量学习,从而构成一个不断改进的闭环。同时根据参数实时估计的要求,用多新息算法进行参数实时辨识,只用设备的电流和端电压就可以实现等效电路模型参数的实时、准确辨识,提高模型对工况变化的适应性。另外要建立模型性能退化预警机制,当模型对于某一工况或者某类设备的诊断置信度一直低于某个阈值的时候,就会自动启动再训练程序,采用在线增量学习和离线重训这两种方式,不断改善模型在运行环境改变情况下诊断的准确性以及可信度。

4.3 推动智能运维平台一体化协同建设

平台一体化就是运维资源高效协同的组织保证。应创建起涵盖监测、诊断、预估、决策等各个环节的统一运维平台,把实时监测、故障预警、资源调度、数据分析这些关键功能融合起来,达成系统全天候可见、全面监控的目的。

的。严格按照事件触发、工单派发、现场处理、结果反馈、验证评价全流程标准化闭环管理规范执行,保证运维服务高效可追溯、闭环落实。另外研究大语言模型智能体在电力设备运维管控数智化中的应用架构,发挥大语言模型智能体强意图识别、强知识抽取、强思考推理、强跨域联动的能力,为多源异构数据融合分析、智能决策和控制问题提供思路。

4.4 完善智能运维安全防护与保障机制

安全防护属于智能运维体系稳定运行的基本保证。从技术上来说,创建起主动防御、智能预警、快速隔离这三道防线,定时做系统拓扑扫描并加以数据加密验证,执行7×24h的异常监测以及分级报警。从管理上制定数据安全全生命周期管理办法等制度文件,创建起“安全性评价+专项监督+日常监督”三级体系,用分层培训、实战演练的方式系统提高员工的安全运维能力。另外根据不同的运维场景制定不同的安全策略,从而达到对网络安全、数据安全24小时的智能防护,构筑起运维系统的安全防线。

5 结语

人工智能技术给电气工程智能运维赋予从数据感知、状态判定到决策改良全部的技术支撑。尽管技术体系日趋

完善,但是仍然要正视数据治理、模型可靠、平台协同、安全保障等各方面的现实问题,依靠构建智能化数据治理体系、加强模型自主学习能力、推进平台一体化建设、健全安全防护体系等途径,不断改善智能运维的工程化水平。随着大语言模型智能体、数字孪生等新技术的深度融合,电气工程智能运维在自然语言交互、跨域知识融合、全域多智能体协同等方面都有可能取得更大的突破。

[参考文献]

- [1]吴谦.基于人工智能技术的智能变电运维软件设计研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(2):77-79.
 - [2]周远翔,陈健宁,赵亮,等.电力设备数智化发展历程与大语言模型智能体应用展望[J].高电压技术,2025,51(8):4089-4109.
 - [3]贾彩霞.基于AI优化的电力电子设备智能诊断与故障预测系统设计[J].电子元器件与信息技术,2025,9(12):1-3.
- 作者简介:郝瑞鹏(1995—),男,河北省邢台市经开区人,电气工程师,2024年7月毕业于大连理工大学电气自动化专业,本科学历,现任职于邢台纳科诺尔精轧科技股份有限公司,主要从事电气控制与精轧设备自动化方向的研究与应用工作。