

人工智能与变电运行监控的融合创新——关键技术与应用场

李莹 邬青

内蒙古电力(集团)有限责任公司乌海供电公司 内蒙古 乌海 016000

摘要: 本文聚焦人工智能与变电运行监控的融合创新, 阐述其理论基础, 分析人工智能技术、变电运行监控原理与需求及两者融合可行性。介绍设备状态智能感知、数据智能分析处理等关键技术, 设计融合创新系统架构, 包括总体架构、功能模块及安全可靠性设计。拓展智能变电站建设、电网故障应急处理、新能源接入消纳等应用场景。研究旨在推动变电运行智能化升级, 提升电网安全稳定运行水平。

关键词: 人工智能; 变电运行监控; 融合创新; 关键技术; 应用场景

引言: 在电力行业快速发展背景下, 变电运行监控面临实时性、精准性与高效性等挑战。人工智能作为前沿技术, 具备强大的数据处理与智能决策能力。将人工智能与变电运行监控深度融合, 可有效解决传统监控模式的局限。本文深入探讨两者融合的理论基础、关键技术、系统架构及应用场景, 为提升变电运行监控智能化水平, 保障电网安全稳定运行提供理论支持与实践参考。

1 人工智能与变电运行监控融合的理论基础

1.1 人工智能技术概述

人工智能技术是一门融合计算机科学、数学、神经科学等多学科的交叉技术, 核心旨在模拟人类智能的感知、学习、推理与决策能力, 其核心技术体系涵盖机器学习、深度学习、神经网络、自然语言处理及专家系统等关键分支。机器学习通过算法让系统从海量数据中自主挖掘规律并优化模型, 是人工智能应用的核心支撑; 深度学习依托多层神经网络结构, 实现对复杂特征的精准提取, 在图像识别、数据预测等场景优势显著^[1]。近年来, 随着算力提升与算法优化, 人工智能技术已具备高效处理非线性、高维度数据的能力, 为其与变电运行监控的深度融合提供了技术前提, 广泛应用于设备状态感知、故障诊断等电力运维关键环节。

1.2 变电运行监控的基本原理与需求

变电运行监控的核心原理是通过部署各类传感设备与监测系统, 实时采集变电站内变压器、断路器、隔离开关等核心设备的运行参数(如电压、电流、温度、绝缘状态)及环境数据(如温湿度、空气质量), 经数据传输与处理后, 实现对设备运行状态的实时监视、异常预警及故障定位。其核心需求主要体现在三个层面: 一是实时性需求, 需快速捕捉设备运行参数的突变, 避免

故障扩大; 二是精准性需求, 需准确区分正常波动与异常隐患, 降低误报、漏报率; 三是高效性需求, 传统人工监控模式难以应对海量数据处理压力, 需实现从被动运维向主动预判的转型。随着电网规模扩大与新能源接入, 变电运行监控还需具备处理多源异构数据、适配复杂电网运行场景的拓展能力。

1.3 人工智能与变电运行监控融合的可行性分析

人工智能与变电运行监控的融合具备坚实的技术、数据与场景可行性。技术层面, 人工智能的机器学习、深度学习等技术可精准匹配变电监控中非线性数据处理、复杂故障诊断等核心痛点, 弥补传统监控依赖规则判断的局限性; 数据层面, 随着智能变电站建设推进, 监控系统已积累海量设备运行数据、故障案例数据及环境数据, 为人工智能模型的训练与优化提供了充足的数据支撑, 保障模型具备良好的泛化能力。场景层面, 变电运行监控涵盖设备状态监测、故障诊断、决策控制等多个环节, 与人工智能技术的应用场景高度契合, 可通过模型部署实现各环节的智能化升级。电力行业算力基础设施的完善的政策对智能电网建设的扶持, 进一步降低融合应用的技术门槛与实施成本, 为两者深度融合提供良好的落地环境。

2 人工智能在变电运行监控中的关键技术

2.1 设备状态智能感知技术

设备状态智能感知技术是人工智能在变电监控中的基础应用技术, 核心是通过融合多源传感数据与人工智能算法, 实现对设备运行状态的精准感知与隐患预判。该技术通过部署声学、光学、电学等多类型传感器, 全面采集设备的振动信号、局部放电信号、温度变化等多维度数据, 再利用深度学习算法(如卷积神经网络、循

神经网络)对多源异构数据进行特征融合与冗余剔除,提取反映设备状态的核心特征。相较于传统感知技术,其具备更强的抗干扰能力与特征识别精度,可实现对设备早期隐性缺陷(如绝缘老化、接触不良)的精准捕捉。通过构建实时感知模型,该技术可动态更新设备状态评估结果,为后续故障预测与诊断提供精准的数据输入,有效提升设备运维的前瞻性与针对性。

2.2 数据智能分析与处理技术

数据智能分析与处理技术是衔接数据采集与智能应用的核心桥梁,主要解决变电监控中海量多源数据的清洗、融合、挖掘与价值转化问题。该技术首先通过数据清洗算法剔除采集数据中的噪声、缺失值与异常点,保障数据质量;再利用数据融合技术整合不同传感器、不同设备、不同时期的异构数据,形成统一的数据视图。在此基础上,通过机器学习算法(如聚类分析、关联规则挖掘)挖掘数据间的潜在关联,提炼设备运行规律与故障演化特征;借助深度学习模型实现对时序运行数据的趋势预测^[2]。该技术可有效突破传统数据处理模式效率低、针对性差的瓶颈,实现对数据价值的深度挖掘,为设备状态评估、故障预警等后续环节提供可靠的决策依据,提升变电监控系统的智能化水平。

2.3 故障智能预测与诊断技术

故障智能预测与诊断技术是人工智能提升变电运维效率的核心关键技术,旨在通过人工智能算法实现对设备故障的提前预测与精准定位。该技术以设备历史运行数据、故障案例数据、环境数据为基础,构建故障预测模型(如长短期记忆网络、支持向量机),通过分析设备运行参数的变化趋势,提前预判故障发生的时间、类型与严重程度,为运维人员预留充足的处置时间。在故障诊断环节,通过融合故障特征数据与专家经验,构建智能诊断模型,可快速定位故障部位、分析故障原因,相较于传统人工诊断模式,大幅提升诊断效率与准确性。此外,该技术还具备自我学习能力,可通过持续纳入新的故障案例数据优化模型参数,不断提升预测与诊断的精准度,适应复杂多变的变电运行场景。

2.4 智能决策与控制技术

智能决策与控制技术作为实现变电运行监控闭环管理的核心技术,在电力系统的稳定运行中发挥着至关重要的作用。它以设备状态感知与故障诊断结果为基石,借助先进的人工智能算法,深度剖析海量数据,进而生成最为科学合理的最优运维决策方案,并达成对设备的精准控制。该技术全面整合电力系统运行规则、严谨的运维规范以及丰富的专家经验,精心构建智能决策模

型。针对设备处于正常、预警、故障等不同状态,能够量身定制差异化的处置策略。例如,依据设备的重要程度和故障风险,合理进行设备检修优先级排序;综合多方面因素制定全面细致的检修方案;规划高效有序的应急处置流程等。在控制层面,它可将抽象的决策方案精准转化为具体的控制指令,驱动各类执行机构对设备进行精确调控,像灵活调整设备运行参数、及时启动备用设备等。通过这一系列操作,实现了从故障预警、精准诊断到妥善处置的全流程自动化。这一技术有效规避了人工决策可能存在的主观性与滞后性,大幅提升了变电运行管理的精细化程度,为电网运行的安全性与稳定性筑牢了坚实防线。

3 人工智能与变电运行监控融合创新系统架构设计

3.1 系统总体架构设计

人工智能与变电运行监控融合创新系统总体架构采用分层设计模式,自上而下分为感知层、传输层、数据层、智能算法层与应用层,各层协同联动实现全流程智能化监控。感知层作为数据采集终端,部署多类型传感器与智能监测设备,负责采集设备运行参数、环境数据等多源信息;传输层采用5G、物联网、光纤通信等多通道传输技术,实现数据的高速、稳定传输,保障数据实时性;数据层构建分布式数据存储与管理平台,实现对海量数据的分类存储、清洗融合与安全管理,为上层应用提供数据支撑;智能算法层集成机器学习、深度学习等核心算法,构建状态评估、故障预测、智能决策等模型库;应用层面向运维人员提供可视化监控界面、故障预警通知、运维决策建议等具体应用服务。该架构具备良好的扩展性与兼容性,可适配不同规模变电站的应用需求^[3]。

3.2 系统功能模块设计

基于总体架构,系统功能模块围绕变电运行监控核心需求设计,主要包括设备状态监测模块、数据处理模块、故障预测诊断模块、智能决策模块与可视化展示模块。设备状态监测模块实现对核心设备多维度参数的实时采集与动态监测,生成设备状态报告;数据处理模块负责数据的清洗、融合、挖掘,提炼核心特征并存储;故障预测诊断模块调用智能算法模型,实现故障提前预测与精准诊断,输出故障分析报告;智能决策模块基于诊断结果与运维规范,生成最优运维方案与控制指令;可视化展示模块采用图表、地图等可视化方式,直观呈现设备运行状态、故障信息、决策建议等内容,支持运维人员快速掌握系统运行情况。各模块通过数据接口实现互联互通,形成闭环管理,确保系统功能的完整性与

协同性。

3.3 系统安全与可靠性设计

系统安全与可靠性设计是保障融合系统稳定运行的关键，主要从数据安全、设备安全、运行可靠三个维度展开。数据安全层面，采用数据加密、访问控制、脱敏处理等技术，保障数据在采集、传输、存储全流程的安全性，防止数据泄露与篡改；同时构建数据备份与恢复机制，应对突发数据丢失风险。设备安全层面，对感知层监测设备、传输设备进行安全认证与状态监控，及时发现设备异常接入与故障，保障终端设备稳定运行；采用冗余设计提升设备容错能力。运行可靠层面，通过算法优化提升模型运行稳定性，降低误报、漏报率；构建系统容错机制，当某一模块故障时，自动切换至备用模块，保障系统核心功能正常运行；建立常态化维护机制，定期对系统硬件、软件进行检修与升级，提升系统长期运行可靠性。

4 人工智能在变电运行监控中的应用场景拓展

4.1 智能变电站建设中的应用

在智能变电站建设中，人工智能技术实现了从设备部署到运行管理的全流程赋能。在设备部署阶段，通过人工智能算法优化传感器、监测设备的安装位置与数量，实现监测覆盖的全面性与经济性；在运行管理阶段，融合系统实现对变电站内各类设备运行状态的实时监控与智能评估，通过三维可视化技术构建变电站虚拟孪生模型，直观呈现设备布局与运行状态。针对智能变电站的综合自动化需求，人工智能技术实现了设备间的协同控制与自主调度，当出现负荷波动时，自动调整设备运行参数，保障供电质量；通过故障预测模型提前排查设备隐患，降低停电风险。另外，人工智能技术还提升了变电站的无人值守运维能力，通过远程智能监控与自动处置，大幅减少人工干预，提升运维效率与安全性。

4.2 电网故障应急处理中的应用

在电网故障应急处理中，人工智能技术显著提升了故障处置的效率与精准度，为电网快速恢复供电提供了有力支撑。当电网发生故障时，融合系统通过实时采集的故障电流、电压等数据，利用智能诊断算法快速定位故障部位、判断故障类型（如短路、接地故障），并自动生成应急处置方案，相较于传统人工排查模式，大幅缩短故障处置时间。针对复杂故障场景，通过融合多源数据与专家经验，构建应急决策模型，可动态优化处置

策略，协调各运维环节高效联动；利用人工智能技术预测故障影响范围与发展趋势，提前做好负荷转移、备用设备启动等准备工作。通过应急处理案例的深度学习，系统可不断优化应急决策模型，提升对各类复杂故障的应对能力，保障电网安全稳定运行。

4.3 新能源接入与消纳中的应用

随着新能源（风电、光伏）大规模接入电网，其波动性、间歇性特点对变电运行监控提出了更高要求，人工智能技术为解决新能源消纳难题提供了有效路径。在新能源接入监测中，融合系统通过人工智能算法实时分析新能源发电功率、电压波动等数据，精准预判发电趋势，为电网调度提供依据；针对新能源出力波动问题，通过构建负荷预测模型，结合历史发电数据、气象数据，提前预测新能源发电功率变化，优化电网调度策略，提升新能源消纳能力^[4]。在变电运行调整中，人工智能技术实现了新能源与传统电源的协同控制，当新能源出力突变时，自动调整储能设备充放电状态与传统机组运行参数，保障电网电压、频率稳定。另外，通过分析新能源接入对变电设备的影响，提前优化设备运维方案，提升设备对新能源接入的适配能力，助力新型电力系统建设。

结束语

人工智能与变电运行监控的融合创新是电力行业发展的必然趋势。通过关键技术的研发与应用，融合创新系统架构的设计以及多场景的拓展应用，变电运行监控实现了智能化升级，提升了故障处理效率与新能源消纳能力。未来，随着技术不断进步，两者融合将更加深入，为构建更加安全、高效、智能的新型电力系统发挥更大作用，推动电力行业高质量发展。

参考文献

- [1]刘小娟,路宽.人工智能在变电运维监控中的应用分析[J].通信电源技术,2025,42(10):228-230.
- [2]倪剑礼.智能技术在变电运行监控系统中的应用[J].电子技术,2024,53(12):278-279.
- [3]吴斌,张桂芹,乔东伟,等.基于人工智能理论的变电站一体化监控系统集成联调验收研究[J].微型电脑应用,2020,36(2):10-12.
- [4]杜志伟.数字化转型背景下智能变电站监控系统效能提升研究[J].张江科技评论,2025(9):53-55.