

新能源电气工程智能并网技术创新

刘浩 苏德 周松洋 任志磊

内蒙古华电锡林浩特新能源有限公司 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要: 本文围绕新能源电气工程智能并网技术创新展开研究, 阐述技术基础理论与运行需求, 剖析传统并网模式的缺陷。重点探究功率精准预测、智能逆变控制、故障快速诊断、源网荷储协同调度等核心技术创新, 攻克新能源出力波动、并网稳定性不足等难题。分析技术落地面临的挑战, 给出可行优化方案, 展望技术智能化、数字化发展前景, 为新能源安全高效并网、提升消纳能力提供理论支撑与实践参考。

关键词: 新能源; 电气工程; 智能并网技术; 创新

引言: 双碳战略深入推进, 风电、光伏等新能源装机容量持续攀升, 成为电力系统发展的主流方向。但新能源发电具有间歇性、波动性特征, 传统并网技术适配性差、调控滞后, 极易影响电网平稳运行。智能并网技术融合智能算法、先进控制与通信技术, 是破解并网瓶颈的关键。本文立足行业发展现状, 研究技术创新路径, 解决实际运行难题, 推动电网转型升级, 助力清洁能源规模化推广与高效利用。

1 新能源电气工程智能并网技术基础理论与核心框架

1.1 新能源并网核心原理

(1) 风电、光伏、电化学储能等新能源发电具备间歇性、波动性、随机性的核心特征, 其出力受光照、风速、环境温度等自然因素影响显著, 并网过程需满足电压幅值、频率、相位、谐波含量等核心指标要求, 同时需适配储能系统的充放电调度特性, 保障电网运行稳定性。(2) 传统并网技术以固定参数控制为核心, 通过并网逆变器、断路器等核心组件实现电能接入, 工作逻辑依赖人工预设策略, 存在响应速度慢、自适应能力弱、抗干扰能力差的局限性, 难以匹配新能源大规模并网的需求。(3) 智能并网与传统并网的核心差异在于智能化与动态适配性, 智能并网依托物联网、大数据、人工智能技术, 实现从被动并网向主动调控、双向互动的技术演进, 核心逻辑为实时感知、智能决策、动态优化, 打破传统技术的性能瓶颈。

1.2 智能并网技术核心支撑体系

(1) 硬件支撑层面, 智能逆变器是核心载体, 通过拓扑结构优化与功率调节算法, 实现电能质量精准控制; 并网开关具备快速分断与智能合闸能力, 适配故障场景下的安全隔离; 状态监测传感器通过高精度数据采集, 实时反馈设备运行状态, 为智能调控提供硬件基础。(2) 软件支撑层面, 并网控制算法以模型预测控制、自适应

控制为核心, 实现功率输出动态优化; 数据采集与处理系统通过边缘计算技术, 完成海量并网数据的实时清洗与分析; 智能调度平台采用分层分布式架构, 实现电网与新能源场站的协同调度。(3) 技术标准体系层面, 需严格遵循新能源并网相关国标、行标及行业规范, 涵盖设备技术性能、并网运行准则、故障检测标准等维度, 明确智能并网技术的安全边界与性能要求, 保障行业规范化发展。

1.3 智能并网技术的核心功能需求

(1) 电网侧需求聚焦稳定与安全, 通过电压/频率精准调节、故障快速自愈技术, 提升电网抗扰动能力; 基于容量适配算法, 实现新能源并网容量与电网承载能力的动态匹配, 保障电网安全稳定运行。(2) 新能源侧需求围绕高效与可控, 依托人工智能算法实现发电功率精准预测, 通过并网参数智能优化系统降低发电损耗; 设备状态实时感知技术通过在线监测与预警, 提升新能源设备运行可靠性^[1]。(3) 运营管理侧需求注重可视化与精益化, 全流程可视化监控平台实现并网运行状态的实时呈现; 并网效率量化评估体系通过多维度数据建模, 精准衡量并网效益; 运维成本优化方案结合设备全生命周期管理, 降低运营总成本。

2 新能源电气工程智能并网关键技术创新研究

2.1 高精度功率预测与并网参数智能优化技术

(1) 基于机器学习的风电/光伏功率预测模型构建与训练。风电、光伏出力具有极强的随机性、波动性, 传统预测模型难以捕捉长时序数据关联, 选用长短期记忆网络(LSTM)、Transformer等先进机器学习算法搭建模型, 能深度挖掘时序数据特征。训练阶段录入海量历史发电数据, 迭代优化权重参数, 过滤异常噪声, 兼顾超短期实时预测与中长期出力预判, 大幅提升功率预测精度, 为后续并网智能调控提供可靠的数据支撑。(2) 多

源数据融合的预测精度提升方案。单一数据源预测误差较大,无法适配复杂工况,通过整合气象监测、设备运行、电网负荷等多维度异构数据,经归一化处理、特征提取、降噪滤波后剔除冗余信息,能有效补齐数据短板。搭建多源数据融合平台,打通数据传输通道,让模型贴合天气突变、负荷波动、设备工况变化等实际场景,进一步缩小预测偏差,提升模型的泛化能力与场景适配性^[2]。(3)并网电压、电流、频率等参数的智能优化算法与动态调整策略。依托自适应寻优等智能优化算法,实时监测并网端口电压、电流、频率等关键参数,结合电网承载能力与新能源实时出力,制定动态调控方案。摒弃传统固定阈值的僵化调控模式,全程动态修正并网参数,平衡发电出力与电网需求,抑制电压偏移、频率波动、谐波超标等问题,实现并网参数精细化、智能化调控,保障电能平稳安全并入电网。

2.2 智能逆变器与并网控制创新技术

(1)宽频段、高适应性智能逆变器的拓扑结构优化与控制策略设计。针对复杂电网工况与多变新能源出力特性,优化智能逆变器拓扑结构,采用模块化、紧凑型设计,拓宽工作频段,提升低压穿越、高压耐受能力。搭配柔性控制策略,适配弱电网、偏远场站等特殊场景,兼顾发电效率与电能质量,解决传统逆变器工况适配性差、运行稳定性不足的问题,满足大规模新能源分散式并网需求。(2)基于模型预测控制(MPC)的并网逆变器稳定控制技术。引入模型预测控制(MPC)技术,建立逆变器精准运行模型,提前预判下一时段运行状态与电网工况,实现超前调控。相比传统PID控制,MPC控制响应速度更快、抗干扰能力更强,能快速抑制功率波动、电压畸变,牢牢守住逆变器运行稳定边界,在电网突发扰动、新能源出力骤变时,快速稳住运行状态,杜绝脱网、设备损坏等风险^[3]。(3)多逆变器协同并网控制技术,解决多节点并网干扰问题。针对多场站、多逆变器集中并网带来的谐波干扰、功率互扰、环流损耗等难题,搭建协同控制平台,建立统一调度指令体系。实现各逆变器之间的信息互通、功率均衡、相位同步,合理分配并网功率,抑制谐波叠加与电磁干扰,提升多节点并网的整体性与稳定性,保障大规模新能源集中并网时,电网与设备安全平稳运行。

2.3 智能监测与故障诊断技术

(1)并网设备全生命周期状态监测技术体系。构建全覆盖、全周期状态监测体系,在逆变器、并网开关、线路、储能设备等关键部位,合理部署高精度传感器,实现温度、电压、电流、振动、绝缘性能等参数的全天候

采集。搭建实时数据分析平台,对采集数据进行云端传输、边缘计算,全程追踪设备从投运到退役的运行状态,掌握设备健康走势,杜绝隐性故障扩大。(2)基于深度学习的并网故障智能识别与定位算法。引入卷积神经网络(CNN)、YOLO等深度学习算法,训练故障识别模型,录入各类典型故障数据,让模型自主学习故障特征。突破传统人工排查效率低、误判率高的短板,实现短路、断路、绝缘损坏、谐波超标等故障的智能识别、精准定位,定位误差控制在极小范围,大幅提升故障排查效率^[4]。(3)故障预警与自愈控制技术,实现故障快速响应与电网最小扰动恢复。结合故障监测数据与预判模型,建立分级预警机制,对潜在故障提前发出警报,提醒运维人员处置。配套电网自愈控制技术,故障发生后,快速切断故障区段,自动切换运行线路,调整并网功率与运行方式,在短时间内恢复电网正常供电,最大限度减小故障对电网的扰动,降低停电损失与设备损坏风险。

2.4 新能源-电网协同调度与智能运维技术

(1)源网荷储一体化协同调度模型设计,实现新能源出力与电网负荷动态匹配。立足源网荷储协同互动理念,搭建一体化协同调度模型,整合新能源发电侧、电网输送侧、负荷侧、储能侧资源,打通四方数据交互通道。根据电网负荷峰谷变化、新能源出力波动,灵活调配储能充放电、发电功率、负荷用电,削峰填谷,实现供需动态平衡,提升新能源消纳率,减少弃风弃光现象。(2)智能巡检机器人在并网场站的应用技术。在新能源并网场站引入智能巡检机器人,搭载高清摄像头、红外检测仪、气体传感器等设备,实现场站自主导航、全覆盖巡检。机器人能自动识别设备外观缺陷、温度异常、漏油漏气等隐患,实时采集巡检数据并回传后台,替代人工完成高危、繁重巡检任务,提升巡检效率与精准度,降低人工巡检风险。(3)黑灯场站智能运维体系构建,基于数据驱动的运维策略优化。打造无人化、智能化黑灯场站,依托大数据、物联网技术,整合设备监测、故障诊断、调度控制、运维管理全流程业务。摒弃人工值守模式,通过数据驱动制定运维策略,实现设备主动运维、按需检修,替代传统被动抢修模式。优化运维资源配置,减少人力物力投入,降低运维成本,提升场站运行效率与管理精益化水平。

3 新能源电气工程智能并网技术应用挑战与优化路径

3.1 技术应用现存核心挑战

(1)技术层面,多源智能并网技术融合难度大,软硬件接口不统一,系统兼容性差;极端天气、电网扰动等复杂工况下,核心并网设备易出现运行故障,可靠性

不足；海量并网数据传输、存储环节存在漏洞，数据安全与隐私保护难题突出。(2) 行业层面，现行新能源并网标准更新滞后，针对智能并网的技术细则、验收规范不完善，缺乏统一执行准则；场站、电网、运维方跨部门协同不畅，信息壁垒明显；兼具电气技术与智能算法知识的复合型专业人才储备紧缺，制约技术推广。(3) 经济层面，智能并网核心算法研发、高端设备制造投入大，前期研发成本高昂；中小型新能源企业资金有限，无力承担智能设备升级、技术改造费用，技术落地门槛偏高，规模化应用受阻。

3.2 技术层面优化路径

(1) 优化多技术融合架构，搭建统一的并网调控平台，统一软硬件通信协议与接口标准，破除技术壁垒，提升系统兼容性与抗电磁干扰能力，实现多设备、多场站协同稳定运行。推进模块化技术改造，简化系统部署流程，提高工况适配能力。(2) 加快核心设备国产化与轻量化研发，攻克智能逆变器、高精度传感器等关键设备技术瓶颈，摆脱对外技术依赖；优化设备生产工艺，缩减制造成本，推出适配中小型场站的经济型设备，兼顾性能与性价比。(3) 深耕数据安全技术创新，采用加密传输、权限管控、防火墙防护等技术，构建数据采集、传输、存储、应用全流程安全防护体系，严防数据泄露、篡改与网络攻击，保障并网系统信息安全^[5]。

3.3 行业与政策层面优化建议

(1) 完善配套标准规范，补齐行业制度短板。结合最新技术发展与电网需求，加快修订新能源智能并网国标、行标，明确设备性能、并网调试、安全运行等细则，统一行业准入与验收标准，让技术应用有规可循、有章可依。(2) 加大政策扶持力度，助力技术落地推广。出台财政补贴、税收减免、专项科研资金等扶持政策，减轻企业研发与技改压力；建立示范工程，鼓励先进技术试点应用，降低中小型企业技术落地成本，推动智能并网技术规模化普及。(3) 构建产学研用协同体系，补齐人才缺口。联合高校、科研院所、企业搭建科研平台，

定向培养复合型技术人才；开展在岗技能培训，提升现有运维人员专业素养；推动科研成果快速转化，实现技术研发与实际应用无缝对接。

3.4 未来发展趋势展望

(1) 技术深度融合，朝着数字化、智慧化升级。智能并网将深度融合数字孪生、5G、边缘计算等新技术，实现场站全场景可视化仿真、数据毫秒级传输、就地化智能决策，提升调控精度与响应速度。(2) 并网模式转型，分布式并网成为主流。打破集中式并网局限，朝着分布式+智能化方向发展，适配分散式新能源场站，提升电网柔性供电能力，提高新能源消纳率。(3) 迈向国际化发展，助力全球能源互联。随着全球能源一体化推进，国产智能并网技术将走出国门，适配各国电网工况，推动跨国能源调配，助力全球清洁能源高效利用与互联互通。

结束语

新能源智能并网技术是构建新型电力系统的核心环节，本文梳理了技术体系与创新要点，验证了智能技术对并网运行的优化作用。目前技术仍存在设备兼容不足、标准体系不完善、运维成本较高等问题，亟需加强产学研合作，攻克技术壁垒，完善行业规范。未来随着技术持续升级，智能并网将更成熟可靠，全力保障电网稳定运行，提升新能源消纳水平，助推能源行业绿色低碳、可持续发展。

参考文献

- [1]高异.探讨新能源开发中电气工程自动化节能措施应用[J].中国战略新兴产业,2024,9(5):83-85.
- [2]阿力亚·依力.智能充电站项目在中职电气工程与新能源汽车教学中的应用[J].汽车画刊,2024,17(2):157-159.
- [3]徐阳.新能源开发进程中电气工程自动化控制策略探析[J].科技与创新,2025,31(9):219-225.
- [4]谢嗣龙.新能源并网对配电继电保护的影响研究[J].科技资讯,2025,23(4):93-95.
- [5]孙爱民.新能源并网中主要储能技术类型[J].储能科学与技术,2025,14(2):879-881.