

电气工程中新能源并网技术与电网适应性研究

郝浚玮

国家电投集团综合智慧能源有限公司，北京 100000

摘要： 能源转型和“双碳”目标驱动下，大规模新能源并网接入对电网安全稳定运行带来严峻挑战。电网在新能源消纳能力、运行灵活性等方面亟待加强，迫切需要突破关键技术瓶颈，创新适应性控制策略，完善适应性评估体系。本文聚焦风电、光伏、微电网等新能源并网，深入探讨关键并网控制技术、电网韧性提升策略、源网荷储协同优化新模式，构建多层次、多场景、多时间尺度的并网适应性评估体系。研究成果可为提升电网消纳新能源能力、推动能源电力绿色低碳转型提供有益参考，对于加快构建以新能源为主体的新型电力系统、实现“3060双碳”战略目标具有重要意义。

关键词： 电气工程；新能源并网；电网适应性；评估方法

Research on New Energy Grid Connection Technology and Grid Adaptability in Electrical Engineering

Hao Junwei

State Power Investment Corporation Integrated Smart Energy Co., Ltd. Beijing 100000

Abstract： Driven by energy transformation and the "dual carbon" goal, large-scale integration of new energy into the grid poses severe challenges to the safe and stable operation of the power grid. The power grid urgently needs to strengthen its capacity for new energy consumption and operational flexibility, break through key technological bottlenecks, innovate adaptive control strategies, and improve the adaptive evaluation system. This article focuses on the integration of new energy sources such as wind power, photovoltaics, and microgrids into the grid. It delves into key grid control technologies, strategies for improving grid resilience, and new models for optimizing source grid load storage coordination. It constructs a multi-level, multi scenario, and multi time scale grid adaptability evaluation system. The research results can provide useful references for improving the power grid's ability to absorb new energy and promoting the green and low-carbon transformation of energy and electricity. It is of great significance for accelerating the construction of a new power system with new energy as the main body and achieving the "3060 dual carbon" strategic goal.

Keywords： electrical engineering; new energy grid connection; grid adaptability; evaluation method

引言

随着“双碳”目标的提出，加快发展风电、光伏等新能源已成为全球能源变革的主旋律和大势所趋。新能源的大规模开发利用对促进能源电力绿色低碳转型、应对气候变化挑战具有重要战略意义。然而，新能源并网也给电网规划建设、运行控制、市场机制等方面带来巨大挑战。传统电网在新能源消纳能力、系统灵活性、动态特性等方面还存在诸多短板，亟需加强技术创新，完善体制机制，切实提升电网对高渗透率新能源接入的适应性。

一、新能源并网关键技术研究

（一）风电并网控制技术

风电并网技术作为新能源发电领域的重要组成，其控制系统主要包括机组层与场站层两大控制架构。机组层面通过变桨距控制、发电机扭矩和变流器控制系统实现风机的最大功率跟踪和电网适应性控制^[1]。其中，变桨距控制通过调节叶片角度优化风能

捕获效率，变流器控制则确保并网电能质量并提供电网支撑能力。场站层面采用集中协调控制策略，综合风电场功率预测、AGC调节控制和无功电压控制等技术，实现风电场的统一调度管理。在电网故障工况下，通过低电压穿越控制和虚拟同步机技术增强风电系统的电网适应性^[2]。此外，基于风电功率预测和储能系统的联合优化控制可有效提升风电场的调度性能，为大规模风电并网提供技术支撑。

作者简介：郝浚玮（1991.10-），男，汉族，山东省烟台市，本科，工程师，研究方向：电气工程、清洁能源投资行业。

（二）光伏并网控制技术

光伏并网控制技术主要围绕逆变器控制系统展开，核心技术包括最大功率点跟踪控制和并网逆变控制。MPPT控制通过改进电导增量法和扰动观测法，提高系统对光照和温度变化的适应能力^[3]。并网逆变控制采用电流双闭环控制策略，实现电网电压定向控制，保障并网点电能质量。光伏电站层面采用集中式控制架构，结合功率预测技术和储能系统，实现电站的功率平滑控制和调峰能力。在电网故障情况下，通过改进的低电压穿越控制算法和无功注入策略增强系统适应性。此外，基于智能优化算法的多逆变器协调控制方法可提升光伏电站的运行性能，为大规模光伏发电接入电网奠定技术基础。

（三）微电网并网运行与控制

微电网并网运行控制主要解决分布式电源与配电网的协调运行问题。其控制架构采用层级化设计，包含能量管理系统和电力电子变流器控制系统。能量管理系统基于分层优化算法实现微电网经济调度，通过负荷预测和可再生能源出力预测优化系统运行方式^[4]。变流器控制采用改进的下垂控制和虚拟同步机技术，实现多电源的功率均衡分配和电网支撑特性。在并离网切换过程中，基于同步相位控制和虚拟阻抗控制方法保障系统平滑切换。此外，微电网通过配置储能系统和需求侧响应技术增强系统灵活性，改进的协调控制策略可提升微电网群的整体运行效能，为构建新型电力系统提供技术支撑。

二、提升电网适应性的策略方法

（一）基于柔性互动的新能源并网控制策略创新

随着新能源发电占比不断提升，电源侧与电网侧、负荷侧的互动日益频繁。传统电网调控模式难以适应新能源波动性和间歇性特征，亟需创新并网控制策略，构建柔性互动机制，提升电网对新能源扰动的主动适应能力。基于虚拟同步机、智能逆变控制等技术的电源侧柔性控制方法，可赋予新能源一定的电压频率调节能力，模拟同步机特性，主动参与电网运行控制^[5]。同时，主动配电网规划与运行控制策略通过优化配电网拓扑结构和潮流分布，利用柔性交流输电、软开关等技术灵活控制新能源接入点，增强系统应对新能源不确定性的适应能力。此外，耦合需求响应的源-网-荷-储协调控制为提升新能源消纳水平提供了新思路。通过优化需求侧资源配置，引导负荷曲线与新能源出力特性相匹配，构建多方互利共赢的能源利用新模式。

具体而言，在变频风电机组并网控制中，可引入虚拟同步机控制策略，通过模拟同步发电机的转子运动方程和励磁系统，使风电机组具备一定的频率和电压调节能力，在电网频率或电压偏离额定值时，风电机组可通过调整有功和无功输出，参与系统一次调频和无功电压控制，增强风电场的电网适应性。类似地，在光伏逆变并网环节，可采用基于改进下垂控制的智能逆变控制策略，根据光伏电站的运行状态和电网需求，动态调整逆变器的有功-频率和无功-电压控制参数，实现光伏电站的平滑并网和无功支撑^[6]。在配电网层面，可综合考虑新能源接入规模、地理分

布特点和负荷需求，优化配电网的规划设计和运行方式。通过合理配置柔性交流输电设备，采用软开关拓扑结构，匹配新能源发电的反向潮流需求，提高配电网对分布式新能源接纳能力。在需求侧，可通过需求响应聚合商有效整合工商业用户和居民用户的可调负荷资源，结合电价激励等措施引导负荷特性与新能源出力曲线相匹配，削减新能源出力波动对电网的不利影响，形成源-网-荷-储多方互动的能源消纳新范式。

（二）面向新能源并网的电网韧性提升技术

新能源出力的波动性和间歇性特征加剧了电网面临的不确定性风险，传统电网规划和运行控制方式难以适应高渗透率新能源场景下的复杂态势。为应对新能源并网接入的冲击，提升电网的内生抗扰能力和快速恢复能力，亟需开展面向新能源并网的电网韧性提升技术研究^[7]。电网韧性提升应从电网规划、实时控制与在线分析三个层面系统展开。在规划阶段，需要创新适应高比例新能源接入的电网韧性规划理念和方法；在运行阶段，需要构建适应新能源波动特性的电网韧性控制系统；在评估阶段，需要发展支撑多时间尺度韧性决策的暂态稳定性在线分析技术。三位一体，多管齐下，才能全面提升电网应对新能源并网扰动的韧性水平。

电网韧性规划需要充分考虑新能源接入的不确定性影响，在场景生成、指标体系、评估方法等方面进行创新，形成涵盖网架规划、电源配置、潮流优化的多层次、多角度的韧性规划决策框架，指导构建适应新能源不确定性特征的强韧性电网。在实时控制方面，可研究基于广域监测的智能感知技术，实现对新能源运行状态和电网安全水平的动态评估；针对电网暂态特性变化，优化改进基于柔性交流输电、新型储能、智能可控负荷的协调控制策略，快速抑制新能源扰动对电网的影响^[8]；探索人工智能、大数据分析等前沿技术在韧性控制中的应用，提高电网应急控制和自愈恢复的智能化水平。在稳定性分析方面，应加强新能源并网条件下的暂态特性机理研究，研发多时间尺度、多物理场耦合的电网韧性评估模型，构建支持毫秒级决策的在线分析系统，为电网韧性控制提供可靠依据。同时，通过仿真验证和工程应用不断完善评估体系，提升分析结果的精度和可解释性。

高渗透率新能源并网背景下，电网韧性已成为影响电力系统安全运行的关键因素。电网规划、实时控制和稳定性分析是提升电网韧性的三大支柱，需要统筹创新，形成联动机制^[9]。在理念、模型、控制、评估等多个方面进行技术创新和工程实践，对增强电网应对新能源冲击的适应性，夯实新能源高质量发展的技术基础，具有重要意义。

（三）构建新能源主导型能源系统的运行控制新范式

构建新能源主导型能源系统是应对气候变化、推进能源转型的战略选择。高比例新能源渗透将引发能源系统形态结构、功能属性和时空演化规律的深刻变革，电源侧、电网侧、负荷侧呈现出全新的交互耦合特征，给传统电力系统规划、运行、调度、交易等环节带来严峻挑战。亟需从能源生态系统的全局视角，超前谋划适应新能源主导型能源系统的运行控制新模式，着力打造物理系统与数字系统融会贯通的能源系统运行控制新范式，多层

次、多维度提升电网在新形势下对高渗透率新能源的消纳和适应能力，为加快建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系提供坚强技术支撑。

在运行控制技术层面，应面向能源系统多能流深度耦合的复杂演化规律，探索构建风-光-储-荷-网协同优化运行的新机制。一方面，可综合利用热力、燃气等多种能量形式，通过能量路由技术实现跨区跨域能源优化配置；另一方面，可研究风光水火多能互补的协同优化调度策略，匹配新能源出力暂态变化，平抑电网负荷波动，提升电网对新能源扰动的鲁棒性和韧性。同时，应立足电-气-热-冷多能流融合的负荷需求侧响应潜力，构建多能耦合需求侧管理新模式。在体制机制创新上，应顺应分布式能源高度分散接入的新趋势，积极培育新型市场主体，探索建立多元用户参与的分布式能源交易新机制、灵活性服务市场和碳排放权交易市场，为广大市场成员创造公平竞争、互利共赢的市场环境。此外，可探索搭建能源互联网交易平台，促进分散式新能源、微电网、分布式储能、电动汽车等群体性资源的自由交易，形成灵活开放、多层互动的交易市场新格局。

三、新能源并网电网适应性评估

新能源并网电网适应性评估对于量化分析新能源接入对电网的影响、指导电网规划建设与运行管理具有重要意义^[10]。评估工作应兼顾新能源发电侧、并网侧和电网侧三个层面，构建科学合

理的评估指标体系和评估方法。针对风电并网，重点关注并网点电压、谐波、频率稳定性等指标；对于光伏并网，着重分析逆变器电流畸变率、直流分量等指标。评估宜采用仿真分析与工程实测相结合的方式，提高评估可靠性。

从系统层面出发，应构建多场景、多时间尺度、多维度的综合评估体系，分析评估新能源并网对电网潮流分布、阻尼特性、事故稳定性、频率特性等的影响。评估过程中，应充分利用人工智能、大数据分析等新技术手段，形成数据驱动的智能评估模型和知识图谱。通过不断完善的工程实践，形成科学合理、行之有效的适应性评估方法，为提升电网对新能源接纳能力提供坚实支撑。

四、结束语

综上所述，新能源规模化高质量并网是建设清洁低碳、安全高效现代能源体系的关键任务。本文聚焦新能源并网与电网适应性问题，在梳理风电、光伏、微电网等典型新能源并网关键技术的基础上，提出了多层面、多维度提升电网适应性的策略方法，构建了兼顾发电侧、并网侧、电网侧的并网适应性综合评估体系，以期为提升电网消纳新能源能力、推动能源低碳转型贡献智力。未来还需进一步突破制约新能源并网发展的核心技术瓶颈，深化“源网荷储”融合创新，打造多能互补的协同优化格局；持续完善新能源消纳的体制机制和政策体系，健全电力现货市场和辅助服务市场，为新能源高质量发展营造良好的制度环境。

参考文献

- [1] 池立勋, 黄龔, 郝迎鹏, 等. 新能源接入下油田电网适应性改造技术方案 [J]. 石油科技论坛, 2024, 43(1):71-77.
- [2] 刘浩宇. 储能变流器电网适应性控制策略研究 [D]. 北方工业大学, 2023.
- [3] 卢正飞, 蒋焱, 黄福全, 等. 含分布式新能源高压电网的新型线路保护方案 [J]. 南方电网技术, 2024(3).
- [4] 周力. 新能源电网接入中的土建工程问题探讨 [J]. 居业, 2024(4):190-192.
- [5] 马坤. 电力土建工程质量风险防范要点探讨 [J]. 建材与装饰. 2020,(16).
- [6] 李宁, 安卓尔, 张世乾, 等. 弹性电网关键技术研究的进展与展望 [J]. 电测与仪表, 2024, 61(1):8-16.
- [7] 童豪. 基于无锁相环直接功率控制的双馈风电并网运行控制技术研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [8] 余锐, 王兴国. 提高复杂电网输电通道继电保护装备灵敏性和适应性的关键技术 [J]. 科技成果管理与研究, 2022(2):74-75.
- [9] 耿志晨. 高渗透率新能源接入情况下无功电压控制策略研究 [D]. 华北电力大学(北京), 2022.
- [10] 许朝阳, 阮文骏, 肖楚鹏, 等. 支撑负荷侧资源柔性调控的新型电力负荷管理系统研究 [J]. 电力需求侧管理, 2022(005):024.