

面向电力系统新能源接入的智能调度自动化系统优化与风险管控

黄腾杰

广州四方邦德实业有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/EPTSM.2025030006

摘 要： 新能源接入电力系统影响结构，带来调度挑战。阐述鲁棒优化算法等策略意义，介绍三级协同调度体系等创新。还涉及风险因素图谱构建、风险预测模型等内容。通过实证分析验证系统有效性，指出研究不足及新技术应用前景。

关 键 词： 新能源接入；智能调度；风险管控

Optimization and Risk Control of Intelligent Dispatching Automation System for New Energy Access in Power System

Huang Tengjie

Guangzhou Sifang Bond Industrial Co., LTD, Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： The integration of new energy into the power system affects the structure and brings dispatching challenges. Elaborate on the significance of strategies such as robust optimization algorithms, and introduce innovations such as the three-level collaborative scheduling system. It also involves the construction of risk factor maps, risk prediction models and other contents. The effectiveness of the system is verified through empirical analysis, and the research deficiencies and the application prospects of new technologies are pointed out.

Keywords： new energy access; intelligent scheduling; risk management and control

引言

随着全球对清洁能源的需求日益增长，新能源在电力系统中的渗透率不断提高（《可再生能源发展“十四五”规划》2021年）。新能源的接入给电力系统带来了多方面的影响，从电源侧和电网侧结构的改变，到电力系统调度面临新特征与挑战，再到需要构建适应新能源的协同调度体系、风险因素图谱、风险预测模型以及预防控制方案等。同时，还需考虑硬件平台架构、开发包含多种功能模块的调度自动化系统，并进行实证分析和极端天气条件下的评估。在工程应用与风险管理实践中，持续改进风险管理和创新管理制度也至关重要。尽管已有诸多研究，但仍存在不足，未来新技术的应用有望推动该领域进一步发展。

一、新能源接入对电力系统调度的影响机理

（一）新能源并网对系统结构的影响

新能源接入电力系统后，对系统结构产生多方面影响。从电源侧来看，新能源发电具有间歇性和波动性，其大规模并网改变了传统电源的结构比例，使得电力系统的电源构成更加复杂多样^[1]。传统火电等可控电源的主导地位逐渐受到冲击，新能源电源的占比不断提高。从电网侧而言，为了适应新能源的接入，电网的拓扑结构需要进行相应调整和扩展。例如，需要建设更多的输电线路和变电站，以满足新能源电力的传输和分配需求。同时，新能源的分布式特性，使得配电网的结构也发生了变化，从传统的单向辐射状结构逐渐向更加复杂的多源网络结构转变，增加了

系统调度的难度和复杂性。

（二）新型电力系统调度特征与挑战

随着新能源渗透率提升，电力系统调度呈现出新特征与挑战。在时空特性方面，新能源的间歇性和波动性导致电力系统在时间和空间上的耦合更为复杂。例如，风力发电受风速影响，光伏发电受光照强度和角度制约，其出力在不同时间和地点差异显著，增加了调度的难度^[2]。在多时间尺度协调上，新能源的快速变化要求调度在不同时间尺度（如实时、短期、中期等）进行更精细的协调。从秒级的功率平衡到小时级、日级的发电计划调整，都需要考虑新能源的不确定性。安全稳定运行边界也发生变化，新能源的接入可能改变系统的潮流分布、电压稳定性等，对系统的安全稳定运行提出更高要求。

二、智能调度自动化系统优化技术

（一）多目标优化算法改进

考虑新能源出力预测误差的鲁棒优化算法及基于深度强化学习的日前 - 日内滚动优化调度策略具有重要意义。对于鲁棒优化算法，需深入研究新能源出力的不确定性特征，构建合理的不确定集合来描述预测误差^[3]。在此基础上，通过优化目标函数和约束条件，使调度方案在面对预测误差时仍能保持较好的性能。基于深度强化学习的策略则利用其强大的学习和决策能力，通过不断与环境交互学习，优化日前和日内的调度决策。这种方法能够更好地适应新能源的随机性和波动性，提高智能调度自动化系统的优化效果和适应性，从而提升电力系统的运行效率和可靠性。

（二）协同控制技术架构创新

构建包含分布式能源集群控制层、区域协调优化层和全局决策层的三级协同调度体系是协同控制技术架构创新的关键。分布式能源集群控制层针对局部区域的分布式能源进行精细化管理与控制，实现能源的高效利用与稳定输出^[4]。区域协调优化层则负责协调多个分布式能源集群之间的能量交互和优化配置，确保区域内能源供需平衡。全局决策层从宏观角度出发，综合考虑整个电力系统的运行状况、新能源接入情况以及负荷需求等因素，做出科学合理的调度决策，以实现电力系统的安全、稳定和高效运行。同时，设计信息物理系统融合架构，加强信息与物理系统之间的交互与协同，提高系统的感知、分析和决策能力。

三、新能源调度风险管控体系构建

（一）风险识别与评估模型

1. 全景风险因素图谱构建

为构建全景风险因素图谱，需建立涵盖设备故障、气象关联、市场波动等多维度的风险指标体系及量化方法。对于设备故障维度，应考虑新能源发电设备的各类故障模式及其发生概率，如风机叶片损坏、光伏板老化等，同时结合设备运行数据和维护记录进行量化分析^[5]。气象关联维度要纳入风速、光照强度、温度等气象因素对新能源发电的影响，通过历史气象数据和发电数据的相关性分析确定风险指标。市场波动方面，关注电价波动、新能源补贴政策变化等因素，分析其对新能源调度的经济风险影响，从而全面构建风险因素图谱。

2. 动态风险评估方法

基于贝叶斯网络与 LSTM 的时序风险预测模型结合了两者的优势。贝叶斯网络能够有效处理不确定性，通过节点和边的结构表示变量之间的概率关系，可对风险因素进行定性和定量分析^[6]。LSTM 作为一种特殊的循环神经网络，在处理时序数据方面具有独特优势，能够捕捉数据中的长期依赖关系。将两者结合，模型可以更好地适应新能源调度中风险因素随时间变化的特点。通过不断输入新的实时数据，模型能够实时更新风险概率，从而实现潜在风险的及时预警，为风险管控提供有力支持，保障新能源调度的安全稳定进行。

（二）风险防控策略设计

1. 预防性控制策略

制定考虑 N - 1 安全准则的预防控制方案是预防性控制策略的重要内容。在电力系统中，任何单一元件的故障都可能引发连锁反应，影响系统的稳定性和可靠性。因此，依据 N - 1 安全准则，对可能出现的元件故障进行全面分析和模拟，提前制定相应的控制措施，确保在故障发生时系统能够快速恢复稳定运行^[7]。同时，提出基于风险价值的备用容量优化配置方法。通过对新能源接入后电力系统的风险进行量化评估，确定合理的备用容量需求。这种方法能够在满足系统可靠性要求的前提下，有效提高备用容量的利用效率，降低系统运行成本。

2. 应急响应机制

构建基于数字孪生的应急演练平台，可有效提升应急响应能力。通过数字孪生技术，精准模拟新能源系统在各种工况下的运行状态，为应急演练提供高度逼真的环境^[8]。针对极端天气下新能源孤岛运行与快速恢复策略设计，需考虑新能源的间歇性和波动性特点。在孤岛运行时，确保重要负荷的稳定供电，优化储能系统的控制策略。同时，制定快速恢复策略，包括合理安排新能源机组的启动顺序，协调与传统能源的配合，以最短时间恢复系统正常运行，提高电力系统的可靠性和稳定性。

四、工程应用与风险管理实践

（一）系统集成方案设计

1. 硬件平台架构

面向电力系统新能源接入的智能调度自动化系统，其硬件平台架构需考虑适应新能源场站分布的边缘计算节点部署。合理的节点部署能有效提高系统对新能源数据的处理效率^[9]。在设计硬件平台架构时，要结合新能源场站的地理位置、规模等因素，确保边缘计算节点能够覆盖到各个场站，实现对新能源数据的实时采集与初步处理。同时，为保障系统中异构数据的有效融合与通信，需设计专门的通信协议。该协议要能兼容不同类型的数据格式，确保数据在硬件平台中的准确传输与交互，从而为智能调度自动化系统的稳定运行提供坚实的硬件基础。

2. 软件功能模块

电力系统新能源接入面临诸多挑战，需要开发包含全景感知、智能决策、风险推演等功能模块的调度自动化系统。全景感知模块可实时收集电力系统各环节数据，包括新能源发电侧、电网侧及用户侧信息，为后续决策提供全面数据支持^[10]。智能决策模块基于收集的数据，运用先进算法进行分析处理，制定合理的调度策略，以优化新能源接入和电力系统运行。风险推演模块则对可能出现的风险进行模拟和评估，提前制定应对措施，降低风险对电力系统的影响，确保系统的安全稳定运行。

（二）典型场景应用验证

1. 区域电网实证分析

选取某高比例新能源示范区进行实证分析。通过应用智能调度自动化系统优化策略，对该区域电网的调度进行调整。在经济

性方面，对比传统调度方式，系统能够更合理地安排新能源发电，减少弃风弃光现象，提高能源利用率，从而降低发电成本。在安全性方面，系统实时监测电网运行状态，准确预测新能源出力波动，及时调整调度计划，有效应对电网故障和不稳定情况，提升了电网的安全稳定运行水平。通过实际数据对比分析，验证了智能调度自动化系统在区域电网中的有效性，为其进一步推广应用提供了有力支撑。

2. 极端工况应对测试

模拟台风、冰灾等极端天气条件下系统的响应能力是评估风险防控体系有效性的关键。通过构建精确的极端工况模型，输入相关气象数据和电力系统参数，观察智能调度自动化系统的运行表现。例如，在台风工况下，分析系统对风电、光伏等新能源发电波动的调节能力，以及对电网负荷变化的适应能力。在冰灾工况中，着重考察系统对输电线路故障的快速诊断和应急处理能力。同时，对比实际运行数据与预设的风险防控指标，评估风险防控体系是否能够有效降低极端天气对电力系统的影响，确保新能源的稳定接入和电力系统的安全可靠运行。

（三）风险管理持续改进

1. 运行监测指标优化

在工程应用与风险管理实践中，风险管理持续改进至关重要，其中运行监测指标优化是关键环节。基于大数据分析构建设备健康度评价体系，通过对大量设备运行数据的收集与分析，精准评估设备健康状况。同时完善风险预警阈值动态调整机制，依据设备实时运行数据以及外部环境变化，动态调整预警阈值。这样能够更及时、准确地发现潜在风险，提高系统对风险的敏感度

和应对能力，确保电力系统新能源接入的智能调度自动化系统稳定运行，有效降低因设备故障或风险预警不及时导致的电力供应中断等问题的发生概率。

2. 管理制度创新

在工程应用与风险管理实践中，风险管理持续改进与管理制度创新至关重要。对于电力系统新能源接入的智能调度自动化系统，需提出适应新型电力系统的调度规程修订建议。这包括考虑新能源的波动性和不确定性，调整调度策略和规则，以确保系统的稳定运行。同时，构建多方协同的风险共担机制。明确各方在风险管理中的责任和义务，如发电企业、电网企业和用户等。通过合作与协调，共同应对新能源接入带来的风险，如功率波动、电网稳定性下降等。这种机制可以促进信息共享，提高风险应对的效率和效果，推动智能调度自动化系统的优化和可持续发展。

五、总结

新能源电力系统智能调度优化与风险管控涵盖关键技术路线。然而，当前研究存在不足，如多时间尺度协调精度不够，这影响了对不同时间跨度下电力系统运行的精准把控；极端场景应对策略有限，难以有效处理突发的复杂情况。未来，数字孪生技术可通过构建虚拟模型与物理系统实时映射，为调度系统提供更精确的决策依据；联邦学习技术则有助于整合多方数据资源，提升系统对不同工况的自适应能力。这些新技术的应用有望弥补现有研究的缺陷，推动电力系统新能源接入的智能调度自动化系统向更高效、更可靠的方向发展。

参考文献

- [1] 辛杨. 新能源接入电力系统无功补偿设计研究 [D]. 西安理工大学, 2016.
- [2] 高洪洋. 考虑新能源接入的电力系统优化调度 [D]. 中原工学院, 2019.
- [3] 张雪婷. 面向重要产品追溯系统的数据挖掘与风险管控 [D]. 国防科学技术大学, 2016.
- [4] 陆珍妮. W 新能源汽车企业的财务风险分析与管控 [D]. 南京邮电大学, 2021.
- [5] 乔百豪. 电力系统智能调度与风电预测方法研究 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
- [6] 朱明海. 新能源接入新型电力系统优化控制方法及关键技术分析 [J]. 电力设备管理, 2023(17):206-208.
- [7] 丁琰. 设备协同管控及安全生产智能调度系统的研究 [J]. 能源与节能, 2022(003):000.
- [8] 刘会兰, 袁实, 刘志博, 等. 新能源接入的多机电力系统实验平台研究 [J]. 实验技术与管理, 2018, 35(7):4.
- [9] 卢静. 电网安全风险管控中智能电网调度技术支持系统的应用 [J]. 大科技, 2016(13).
- [10] 宋俊晟. 矿用设备协同管控与安全生产智能调度系统的分析应用 [J]. 机械管理开发, 2022(003):037.