

# 基于智能调度的新能源电力系统优化路径探索

尉亚军

陕西能源电力运营有限公司 陕西 西安 710016

**摘要:** 在新能源大规模接入背景下, 电力系统面临间歇性、波动性等挑战。智能调度通过融合人工智能、大数据等技术, 实现新能源出力超短期精准预测、多源异构数据融合及分布式资源聚合调控。构建源网荷储协同、多能互补及市场化机制协同优化路径, 可提升新能源消纳能力、增强电网灵活性与稳定性。本探索为构建高效、低碳、可持续的新能源电力系统提供理论支撑与实践指导。

**关键词:** 智能调度; 新能源电力系统; 优化路径

引言: 随着新能源在能源结构中占比的持续攀升, 其出力的不确定性给电力系统稳定运行带来严峻挑战。传统调度模式因刚性计划、跨区域协同缺失等问题, 难以适应新能源发展需求。智能调度凭借先进的算法与强大的数据处理能力, 成为破解难题的关键。探索基于智能调度的新能源电力系统优化路径, 对提高新能源消纳水平、保障电力供应安全以及推动能源绿色转型, 具有极其重要的现实意义。

## 1 新能源电力系统调度挑战与关键问题

### 1.1 新能源出力的不确定性特征

(1) 风光出力的时空分布特性显著。风能受季风、地形影响, 沿海与内陆、平原与山地的风速差异大, 导致风电出力在地域上分布不均; 一天中不同时段风速变化明显, 夜间与白天出力波动较大。太阳能则受日照时长、云层覆盖影响, 夏季与冬季、晴天与阴天的光伏出力差距悬殊, 且正午时段出力达到峰值, 早晚时段出力骤降, 这种时空分布的不均衡性给电力系统调度带来基础难题。(2) 极端天气下的功率预测误差分析至关重要。台风、暴雪、强沙尘暴等极端天气, 会使风光出力预测值与实际值偏差大幅增加。例如, 台风来临前风速骤增, 风电预测系统难以及时精准捕捉风速突变, 导致风电出力预测过高或过低; 暴雪覆盖光伏板会大幅削减光伏出力, 而现有预测模型对极端天气下的出力衰减程度预估不足, 进一步加剧了功率预测误差, 影响电力系统稳定运行。

### 1.2 传统调度模式的适应性瓶颈

(1) 刚性计划与实时波动的矛盾突出。传统调度模式多依据历史数据制定固定发电计划, 难以应对新能源出力的实时变化。当风光出力突然增加时, 若不能及时调整传统火电出力, 会造成电力过剩; 当风光出力骤降时, 传统火电又难以快速补能, 易引发电力短缺, 导致

电力系统供需失衡。(2) 跨区域协同调度机制缺失。新能源资源丰富的地区往往远离用电负荷中心, 如西部风电、光伏基地与东部负荷大省距离较远。传统调度模式下, 各区域电网相对独立, 缺乏高效的跨区域功率调节与协同机制, 无法实现新能源电力的跨省区优化配置, 造成新能源电力就地消纳困难, 大量清洁能源被弃用。

### 1.3 智能调度的核心需求

(1) 超短期预测精度提升需求迫切。新能源出力的超短期变化(如15分钟-2小时内的波动)直接影响电力系统的实时平衡, 现有预测技术在面对云层快速移动、阵风等突发情况时, 预测精度难以满足调度需求。因此, 亟需通过引入人工智能算法、融合多源监测数据等方式, 提升新能源出力超短期预测精度, 为调度决策提供可靠依据。(2) 多源异构数据融合处理能力亟待增强。新能源电力系统涉及风光发电监测数据、电网运行数据、气象数据、用户用电数据等多种来源、不同格式的数据, 这些多源异构数据分散存储、难以互通。智能调度需要具备强大的数据融合处理能力, 打破数据壁垒, 对各类数据进行整合、清洗与分析, 挖掘数据价值, 支撑调度决策的科学性与时效性。(3) 分布式资源聚合调控需求日益增长。随着分布式光伏、储能、微电网等分布式资源的大量接入, 传统集中式调度模式难以对分散的小容量资源进行有效管控。智能调度需构建分布式资源聚合调控体系, 通过虚拟电厂等形式将分散的分布式资源聚合起来, 实现对其出力的统一协调与优化调度, 提升分布式资源的利用效率, 增强电力系统对新能源的接纳能力<sup>[1]</sup>。

## 2 新能源电力系统智能调度技术体系构建

### 2.1 智能调度基础理论框架

(1) 模型预测控制(MPC)理论为调度决策提供动态优化支撑。该理论通过实时采集电力系统运行数据,

构建包含新能源出力、负荷需求等变量的预测模型，在滚动优化窗口内求解最优控制策略，同时考虑系统约束条件，如机组出力上限、电网传输容量，能有效应对新能源出力的短期波动，实现电力系统的动态平衡调度。

(2) 强化学习在决策优化中的应用提升调度自主性。通过构建“环境-智能体-奖励”交互机制，让调度系统在不断试错中学习最优决策策略，例如在应对风光出力突变时，能自主调整储能充放电与火电出力，无需人工干预即可快速响应系统变化，尤其适用于复杂多变的新能源电力系统调度场景。(3) 多智能体系统(MAS)协同机制打破区域调度壁垒。将不同区域电网、新能源场站、储能系统等设为独立智能体，各智能体通过信息交互与协同决策，实现跨区域资源优化配置，例如西部风电基地智能体可与东部负荷中心智能体联动，动态调整跨省输电功率，提升新能源消纳效率。

## 2.2 关键技术模块设计

### 2.2.1 高精度功率预测子系统

(1) 数值天气预报(NWP)数据融合增强预测基础。整合不同气象站、卫星遥感的NWP数据，通过数据同化技术修正预报偏差，获取更精准的风速、光照强度等气象参数，为风光出力预测提供可靠输入，减少因气象数据误差导致的预测偏差。(2) 深度学习预测模型(LSTM-Transformer混合架构)提升预测精度。LSTM模块捕捉风光出力的时序依赖特征，如日内出力变化规律，Transformer模块挖掘长周期气象因素，如季节更替对出力的影响，两者结合可有效提升超短期、短期出力预测精度，预测误差较传统模型降低15%-20%。

### 2.2.2 动态优化调度子系统

(1) 基于场景树的随机优化模型应对不确定性。通过生成多组新能源出力与负荷场景，构建场景树量化不确定性风险，在调度优化中兼顾不同场景下的系统经济性与稳定性，避免单一预测场景导致的调度决策风险。

(2) 分布式优化算法(ADMM)实现高效计算。将大规模调度优化问题分解为多个子问题，由各区域调度中心并行求解，通过迭代交互实现全局最优解，大幅缩短计算时间，满足电力系统实时调度的时间要求，如5-10分钟内完成一次优化计算<sup>[2]</sup>。

### 2.2.3 实时控制与反馈子系统

(1) 边缘计算架构设计降低数据传输延迟。在新能源场站、配电网侧部署边缘计算节点，实时处理本地监测数据，如光伏逆变器运行状态，快速生成控制指令，避免数据上传云端导致的传输延迟，保障调度控制的实时性。(2) 柔性控制策略，如储能SOC动态调整

增强系统灵活性。根据新能源出力变化动态调整储能StateofCharge(SOC)，当风光出力过剩时，增加储能充电功率；当出力不足时，释放储能电量，通过柔性调节平抑出力波动，维持电网频率与电压稳定。

## 2.3 数字孪生赋能的调度平台

(1) 物理系统与虚拟模型的实时映射构建全景监控体系。通过部署传感器采集电网设备状态、新能源出力、环境参数等数据，在虚拟空间构建与物理系统高度一致的数字孪生模型，实现对电力系统运行状态的实时可视化监控，精准定位异常节点，如风机故障、线路过载。(2) 虚实交互的滚动优化机制提升调度前瞻性。在数字孪生模型中模拟不同调度策略的实施效果，如调整储能充放电计划，根据模拟结果优化决策方案，再将优化策略下发至物理系统执行，形成“虚拟仿真-决策优化-物理执行-数据反馈”的闭环，提升调度决策的科学性与前瞻性。

## 3 基于智能调度的新能源电力系统优化路径

### 3.1 源网荷储协同优化路径

(1) 发电侧：风光水火储联合调度策略聚焦多电源协调互补。通过智能调度系统整合风光的波动性出力、火电的调节能力、水电的季节性出力及储能的快速响应特性，构建多电源联合出力曲线。例如，在风光出力高峰时，减少火电发电功率并启动储能充电；当风光出力骤降时，优先调用储能放电，再联动火电快速提效，实现发电侧出力的平稳输出，提升新能源消纳率。(2) 电网侧：柔性输电设备配置优化增强电网调节能力。结合智能调度对电网潮流的实时分析，针对性配置柔性直流输电(VSC-HVDC)、静止同步补偿器(STATCOM)等设备。在新能源集中并网区域，利用柔性输电设备快速调节线路功率，缓解电网阻塞问题；在负荷波动较大区域，通过柔性设备稳定电压与频率，为智能调度提供可靠电网支撑。(3) 负荷侧：需求响应资源聚合方法激活用户侧调节潜力。借助智能调度平台，通过虚拟电厂模式聚合工业大用户、商业楼宇、居民用户等分散需求响应资源，制定差异化激励策略。当系统新能源出力过剩时，引导用户增加用电负荷，如工业设备错峰运行、居民充电桩低谷充电；当电力供应紧张时，触发用户削减非核心负荷，实现负荷侧与发电侧的动态匹配<sup>[3]</sup>。(4) 储能侧：全生命周期效益评估模型提升储能配置合理性。智能调度系统引入储能全生命周期模型，综合考虑储能的成本、运行维护费用、充放电效率及退役回收价值，结合新能源出力特性与负荷需求，优化储能的安装位置、容量大小及充放电策略。例如，在新能源场

站配置短时储能平抑出力波动,在负荷中心配置长时储能应对峰谷差,最大化储能的经济与环境效益。

### 3.2 多能互补系统优化路径

(1) 电热气耦合系统建模打破能源品类壁垒。基于智能调度的多能流分析能力,构建电热气耦合系统模型,量化电、热、气三种能源的转化关系,如电转热、气发电与约束条件,如热力管网传输延迟、燃气管网压力限制。通过模型实现多能源系统运行状态的协同计算,为跨能源调度提供数据支撑。(2) 综合能源站调度优先级设计保障系统高效运行。智能调度根据用户对电、热、气的需求紧急程度,结合能源供应成本与新能源出力情况,设定综合能源站内部设备的调度优先级。例如,冬季供暖期优先保障热力机组运行,同时协调燃气机组与光伏出力,在满足供热需求的前提下,最大化清洁能源利用;非供暖期则优先调度光伏、风电,减少燃气消耗。(3) 跨品种能源价格联动机制引导多能源优化配置。建立电、热、气价格联动模型,将新能源出力波动、能源供应成本变化等因素纳入价格调整机制。当新能源出力充足时,降低电价并适度下调热价,引导用户增加电、热消费;当燃气供应紧张时,提高气价并联动调整电价,激励用户减少燃气发电依赖,通过价格信号辅助智能调度实现多能源供需平衡<sup>[4]</sup>。

### 3.3 市场化机制协同路径

(1) 辅助服务市场与调度策略的耦合设计提升系统调节能力。智能调度将调频、备用、调压等辅助服务需求纳入调度决策,与辅助服务市场机制深度耦合。通过市场竞价方式,筛选出成本最优的辅助服务提供者,如储能、火电、需求响应资源,并将其调节能力纳入实时调度计划。例如,调用储能参与快速调频,同时根据市场价格核算调度成本,实现调度效率与市场效益的双赢。(2) 绿证交易对调度决策的影响分析强化新能源优先调度。智能调度系统对接绿证交易平台,实时获取绿

证价格与新能源发电企业的绿证持有情况。在调度过程中,优先调度绿证认证的新能源电力,激励发电企业增加清洁能源出力;同时,通过绿证交易收益反哺新能源项目,进一步提升新能源在调度中的优先级,推动能源结构转型<sup>[5]</sup>。(3) 碳-电市场协同优化模型助力“双碳”目标实现。构建碳市场与电力市场协同模型,将发电企业的碳排放成本纳入智能调度的经济成本核算体系。在调度优化中,优先选择碳排放系数低的新能源与清洁火电,限制高耗能、高排放机组出力;同时,通过碳配额交易收益调节发电企业成本,引导其主动参与新能源消纳与节能改造,实现电力系统低碳化运行。

### 结束语

智能调度为新能源电力系统优化带来了新契机与强大动力。通过构建智能调度技术体系,从源网荷储协同、多能互补到市场化机制协同等多路径探索,可有效应对新能源出力不确定性,提升系统灵活性与经济性。未来,随着技术不断进步,智能调度将更深度融入电力系统,持续推动新能源大规模、高比例接入,助力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系,实现能源可持续发展。

### 参考文献

- [1]冯晓俊.新能源电力系统智能优化调度策略研究[J].建筑技术科学,2024,(08):67-69.
- [2]彭嘉宁.基于人工智能算法的电力系统无功优化调度研究[J].机械与电子,2020,38(12):58-59.
- [3]阎欣.新能源电力系统分级多目标优化调度方法[J].中国新技术新产品,2023,(18):18-20.
- [4]潘光勇.新能源电力系统多目标优化调度模式研究[J].智能城市,2024,4(18):167-168.
- [5]张峰,张建华.新能源电力系统多目标优化调度模式研究[J].河南科技,2024,(10):127-129.