

# 考虑新能源消纳的电力多源协同调度运行策略研究

张 娜 杜 震

内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古阿拉善 750300

**摘 要：**本文聚焦新能源大规模并网背景下的电力系统调度难题，提出以多源协同为核心的运行策略框架。通过剖析能源子系统间的时空耦合特性，构建涵盖时间尺度分层、空间层级分区及虚拟电厂聚合的三维协调机制。研究采用滚动优化算法与混合整数规划模型，量化处理新能源出力不确定性对系统安全的影响，建立兼顾消纳效率、经济成本与供电可靠性的多目标决策体系。结果表明，该策略可有效平抑新能源波动，提升跨区资源调配能力，并为市场机制下的多主体利益协调提供技术路径。成果为新型电力系统下多能互补运行提供理论支撑与实践参考。

**关键词：**新能源消纳；多源协同；电力调度；运行策略；系统优化

## 前言

随着清洁能源占比提升，传统单一电源主导的调度模式难以适应新能源间歇性特征带来的挑战。当前电力系统面临新能源消纳受限、多能流时空错配及市场主体利益博弈三重矛盾，亟需构建动态协同的调度范式。本研究立足能源互联网发展需求，以系统论视角解析多源协同的本质内涵，通过技术创新与机制设计破解新能源并网瓶颈。研究突破传统调度的时空割裂局限，探索跨尺度、跨主体、跨领域的协同优化路径，旨在为高比例可再生能源接入场景下的电网安全经济运行提供解决方案。

## 一、电力多源协同调度的理论基础

### 1. 多源协同调度的内涵解析

多源协同调度的本质是通过协调不同能源子系统之间的相互作用，实现系统整体效能的最大化。这里的“协同”包含两层含义：一是时间维度上的动态匹配，即根据负荷预测与新能源预测结果，合理安排各电源的出力计划，确保实时功率平衡；二是空间维度上的资源优化配置，即利用跨区域输电通道与分布式能源设施，实现能源资源的时空转移与互补。协同调度的目标函数通常涵盖多个维度，包括但不限于新能源消纳量最大化、系统运行成本最小化、污染物排放最少化以及供电可靠性最高化。这些目标之间往往存在冲突，例如追求最大新能源消纳可能导致系统备用容量不足，而过度依赖常规电源则会降低新能源利用率。因此，需要在多目标之间寻求最优折衷方案，这要求调度策略具备高度的灵活性与适应性<sup>[1]</sup>。

## 2. 协同调度的技术支撑体系

实现有效的多源协同调度离不开先进的技术支持。现代通信技术、物联网技术与大数据技术的发展，为多源系统的信息采集与共享提供了技术保障。通过部署智能传感器网络，可以实时获取各电源的运行状态、新能源出力预测值以及负荷需求等信息。云计算平台则为海量数据的存储、处理与分析提供了强大的计算能力，能够快速生成优化调度方案。此外，人工智能技术的应用进一步提升了调度决策的智能化水平。机器学习算法可以通过历史数据分析挖掘新能源出力规律，提高预测精度；深度学习模型能够捕捉多变量之间的复杂非线性关系，为调度决策提供更准确的输入参数。需要注意的是，技术手段只是工具，最终的调度决策仍需基于对系统运行规律的深刻理解。

## 二、电力多源协同调度的关键问题分析

### 1. 新能源出力不确定性的处理机制

新能源出力的不确定性是制约其大规模消纳的主要瓶颈之一。这种不确定性来源于自然环境的随机变化，表现为短期波动与长期趋势的双重叠加。在调度层面，需要建立分层分类的不确定性管理机制。对于超短期（分钟级）的微小波动，可通过储能装置的快速充放电进行平抑；对于短期（小时级）的较大波动，则需要调整常规电源的出力计划予以补偿；对于中长期（日及以上）的趋势性变化，则需提前制定备用方案，必要时启动需求响应措施。不确定集合的描述方法是处理该问题的关键。常用的方法包括区间法、概率密度函数法以及模糊集理论。其中，区间法通过设定新能源出力的上下边界，将不确定性转化为确定性的约束条件；概率密

度函数法则基于历史统计数据建立概率模型，量化不同出力水平发生的概率；模糊集理论适用于描述边界模糊的不确定性，能够更好地反映实际情况。选择合适的描述方法取决于具体的应用场景与数据可用性<sup>[2]</sup>。

## 2. 多源系统的时空耦合矛盾

多源系统中存在着复杂的时空耦合关系。时间尺度上，不同电源的响应速度差异明显：新能源出力瞬间变化，储能装置可在毫秒至分钟级响应，常规电源的调节滞后时间较长。空间尺度上，新能源富集地区往往远离负荷中心，需要通过远距离输电线路输送电能，这使得潮流分布与电压稳定性问题更为突出。时空耦合矛盾的具体表现包括：局部地区新能源过剩导致的弃风弃光现象，与其他地区电力短缺并存；高峰时段新能源出力不足，需要常规电源满发甚至超发，造成设备损耗加剧；低谷时段新能源大发，若缺乏足够的储能或外送通道，会导致系统频率下降风险增加。解决这些问题需要建立跨时间和空间的综合协调机制，打破传统按行政区划进行的调度模式。

## 三、电力多源协同调度运行策略设计

### 1. 多时间尺度滚动优化策略

针对新能源出力的多时间尺度特性，设计分层递进的滚动优化策略。超短期（15分钟以内）采用模型预测控制，根据最新测量数据修正新能源出力预测，动态调整储能装置的充放电功率与常规电源的微调幅度；短期（1-4小时）开展日前预调度，结合次日负荷预测与新能源出力场景分析，制定各电源的基础出力计划；中期（24-72小时）进行周前展望，评估未来几天的天气形势与用电趋势，提前安排检修计划与备用容量；长期（月度及以上）则侧重于年度发电计划的分解与调整，统筹考虑季节性因素与政策导向。各时间尺度之间通过反馈校正机制实现无缝衔接。上层调度结果作为下层的初始条件，下层实际执行情况反哺上层模型参数更新。这种滚动优化方式既能应对短期不确定性，又能把握中长期趋势，提高了调度方案的鲁棒性。

### 2. 多空间层级分区协调策略

按照地理区域与电网层级划分调度辖区，构建“全局-区域-本地”三级协调体系。全局层负责跨省区电力交换与战略储备，重点关注特高压直流输电通道的利用率与受端电网的安全裕度；区域层聚焦省级电网内的功率平衡与断面控制，协调区域内的大型新能源基地与骨干火电厂的联合运行；本地层则着眼于地市级电网的精细化调度，优化分布式电源、储能装置与柔性负荷的配

置。不同层级之间建立双向信息流与控制流。上级调度机构向下级发布边界条件与约束指标，下级上报本地电源状况与运行建议。特别地，对于新能源富集区域，应优先安排本地消纳，剩余电量通过跨区通道外送；对于受入端电网，需预留充足的旋转备用容量，防范连锁故障风险<sup>[3]</sup>。

## 3. 多能互补的虚拟电厂聚合策略

虚拟电厂技术为多源协同提供了新的实施路径。通过信息技术将分散的小型新能源电站、储能设备、可控负荷等资源聚合起来，形成一个虚拟的发电单元参与电网调度。这种模式突破了地理位置限制，实现了小规模资源的规模化应用。虚拟电厂的运行策略强调多能互补与需求响应相结合。白天光照充足时，光伏发电为主，多余电量存入储能系统；傍晚用电高峰来临，储能释放电能补充供电缺口，同时启动电动汽车有序充电；夜间负荷较低时，安排电热水器等可中断负荷运行，消化富余电量。通过这种方式，虚拟电厂能够在不影响用户体验的前提下，有效提升新能源就地消纳能力。

## 四、电力多源协同调度模型构建

### 1. 目标函数设计

构建以新能源消纳量为首要目标，兼顾系统运行经济性与安全性的多目标优化模型。新能源消纳量通过弃风弃光电量最小化来衡量，可采用惩罚项的形式计入目标函数。系统运行经济性体现为燃料成本、运维成本与购电成本的总和最低。安全性约束包括支路潮流限额、节点电压偏差、系统备用容量等。为便于求解，可将多目标转化为单目标处理。常用的转化方法有权重系数法、 $\epsilon$ -约束法与帕累托前沿法。权重系数法操作简单，但主观性强； $\epsilon$ -约束法将次要目标转化为约束条件，适用范围较广；帕累托前沿法则能获得一组非劣解，供决策者根据实际情况选择。本研究采用改进的 $\epsilon$ -约束法，在保证新能源消纳优先级的前提下，合理分配其他目标的权重<sup>[4]</sup>。

### 2. 约束条件设置

约束条件分为物理约束与运行约束两类。物理约束主要包括发电机组的技术参数限制，如最大最小出力、爬坡速率、启停时间等；输电线路的热稳定极限与电压降落约束；储能装置的充放电效率与循环寿命限制。运行约束涉及系统层面的安全准则，如静态安全分析中的N-1校验，动态安全分析中的暂态稳定判据，以及可靠性指标如失负荷概率的限制。特别地，针对新能源的特殊属性，增设相关约束。例如，规定风电场在某段时间

内的平均出力不得低于装机容量的一定比例，以防止长期闲置；光伏电站的逆变器应具备低电压穿越能力，确保在电网故障时不脱网运行。这些约束条件的合理设置，保证了模型的实际可行性。

### 3. 求解算法选择

鉴于模型的非线性与离散性特点，选用混合整数规划算法进行求解。具体而言，采用分支定界法处理机组组合等离散变量，内嵌连续变量的梯度投影法加快收敛速度。为提高计算效率，引入Benders分解技术，将原问题拆解为主问题与子问题交替迭代求解。主问题负责确定机组启停状态，子问题求解连续变量的最优解，并通过割平面不断收紧可行域。考虑到实际系统的大规模特性，进一步采用并行计算技术加速求解过程。将待优化的区域划分为若干子区域，分配到不同的计算节点独立求解，最后汇总结果进行全局协调。这种分布式计算架构能够显著缩短计算时间，满足在线调度的时效性要求。

## 五、电力多源协同调度策略的实施保障

### 1. 政策法规体系建设

完善的政策法规是推进多源协同调度的政策基础。应加快修订《电力法》《可再生能源法》等相关法律法规，明确各类电源的市场地位与权责利关系。制定专门的新能源消纳保障政策，设定逐年递增的消纳比例目标，并将完成情况纳入政府考核体系。出台支持储能产业发展的专项政策，给予税收优惠与补贴激励，鼓励社会资本投资建设储能设施。建立健全跨区电力交易规则，打破省间壁垒，促进新能源在全国范围内优化配置。完善辅助服务市场机制，细化调频、调峰、备用等服务的补偿标准，激发市场主体参与积极性。推动绿色证书交易制度建设，建立全国统一的绿证交易平台，拓宽新能源的环境价值实现渠道<sup>[5]</sup>。

### 2. 技术创新驱动机制

持续的技术进步是提升多源协同调度水平的根本动力。加大对新能源预测技术的研发投入，开发融合数值天气预报与机器学习的高精度高分辨率预测模型。攻关大容量长寿命储能技术，降低储能系统的成本与体积，提高其响应速度与循环次数。研发新一代智能调度控制系统，集成态势感知、风险预警与自动决策功能，提升调度中心的智能化水平。鼓励产学研用协同创新，建立国家级新能源消纳研发中心，集聚高校、科研院所与企业的研发力量。设立重大科技专项，重点突破多源协同调度中的关键技术瓶颈。加强国际技术交流与合作，引进

吸收国外先进经验，提升我国在该领域的自主创新能力。

### 3. 市场监管与评价体系

健全的市场监管体系是确保多源协同调度公平公正的重要保障。组建独立的监管机构，负责监督调度机构的运行行为，查处市场操纵与违规操作。建立透明的信息披露制度，定期公布各电源的运行数据、新能源消纳情况与辅助服务补偿结果，接受社会监督。构建科学的调度效果评价体系，从新能源消纳率、系统运行成本、供电可靠性、碳排放强度等多个维度进行全面评估。引入第三方评估机构，采用定量分析与定性判断相结合的方法，客观公正地评价调度策略的实施效果。根据评估结果及时调整优化调度方案，形成持续改进的良性循环<sup>[6]</sup>。

### 结语

本研究形成的多源协同调度策略体系，通过时空维度分解与虚拟电厂聚合的创新架构，实现了新能源消纳能力与系统运行效率的双重提升。所提滚动优化模型与分级约束机制，有效解决了新能源预测误差引发的调度偏差问题，其核心在于建立弹性可调的多级反馈回路。研究证实，市场机制与技术手段的协同作用是推动多源协同的关键，而政策法规的完善则为策略落地提供制度保障。未来需进一步深化人工智能与物理系统的融合，拓展需求响应的应用边界，持续优化多目标权衡机制，助力新型电力系统向更高水平演进。

### 参考文献

- [1] 孙恒一, 赵伟华, 陈然, 等. 基于区块链和市场机制的新能源消纳优化调度策略[J]. 陕西电力, 2022(007): 050.
- [2] 陈雨阳. 考虑需求响应的微电网多源协同优化调度研究[D]. 重庆邮电大学, 2021.
- [3] 李帅虎, 欧阳中, 孙杰懿, 马瑞, 王炜宇. 面向沙戈荒区域新能源消纳的电力系统日前低碳调度策略[J]. 太阳能学报, 2024(7).
- [4] 巩旭. 电动汽车与多源微电网综合优化调度研究[D]. 兰州理工大学, 2018.
- [5] 彭田. 多源协同的主动配电网低碳经济调度研究[D]. 安徽理工大学, 2023.
- [6] 尚文强, 李广磊, 丁月明, 等. 考虑源荷不确定性和新能源消纳的综合能源系统协同调度方法[J]. 电网技术, 2024(002): 048.