

# 分布式电源电网调度策略研究

姜 平

宁夏龙源电力有限公司 宁夏 固原 756000

**摘要:** 在分布式电源大规模接入电网的背景下,其调度难题逐渐凸显,关乎电网安全经济运行。本文分析了分布式电源分散性、出力波动性等特性及电网接入的安全与技术要求,阐述了电力系统优化调度理论与关键方法,明确多电源与负荷协同、安全与经济平衡、信息时效性三大核心问题。在此基础上,提出多主体协同、计及不确定性的鲁棒、基于数字孪生的动态三类调度策略,构建信息共享、责任划分、利益均衡及动态决策机制。研究表明,所提策略能有效提升分布式电源与电网协调运行能力,为电网安全经济调度提供科学支撑,具有实际应用价值。

**关键词:** 分布式电源; 电网调度; 问题; 策略

**引言:** 随着分布式电源广泛接入,其出力波动与分散性给电网调度带来挑战,传统调度模式难以适配新需求,电网安全稳定与经济运行面临压力。当前研究虽涉及调度理论与方法,但在多主体协同、不确定性应对及动态调控方面仍需完善。本文立足实际调度需求,先剖析分布式电源特性与接入要求,再梳理调度理论方法,识别核心问题,进而设计多维度调度策略,旨在解决分布式电源调度难题,提升电网调度的科学性与有效性,推动分布式电源高效利用与电网可持续发展。

## 1 分布式电源的特性与电网接入要求

### 1.1 分布式电源的核心特性

分布式电源具有显著的分散性特征,其安装位置通常靠近负荷中心,可实现就近供电,减少电力远距离传输过程中的损耗,提升能源利用效率。从出力特性来看,分布式电源整体呈现出较强的波动性与间歇性,受外部环境因素影响明显,出力难以保持稳定且可预测性较低,这使得其接入后对电网的功率平衡控制提出更高要求。分布式电源具备灵活的运行模式,可根据电网运行状态与负荷需求,灵活切换独立运行或并网运行模式,在满足局部负荷供电需求的同时,也能为电网提供一定的功率支撑,不过这种运行模式的切换需与电网调度系统保持协同,避免对电网稳定性产生冲击。

### 1.2 电网对分布式电源的接入要求

在技术层面,电网对分布式电源的接入提出明确的安全性要求,需确保分布式电源接入后不影响电网的电压稳定、频率稳定及供电可靠性,要求分布式电源具备相应的调节能力与保护功能,能在电网出现异常及时响应,避免故障扩大。电网对分布式电源的接入还制定了规范的技术标准,涵盖接入容量限制、接口技术参数、通信与监控要求等内容,明确分布式电源在接入前

需完成相应的技术评估与检测,确保其符合电网运行的技术规范,保障分布式电源与电网的协调运行,实现能源的高效、安全利用<sup>[1]</sup>。

## 2 分布式电源电网调度的理论与方法

### 2.1 电力系统优化调度理论

该理论以电网安全经济运行为核心目标,构建包含目标函数与约束条件的完整体系。目标函数要综合考量能源利用效率、运行成本控制等关键指标,通过量化指标权重实现多目标协同优化;约束条件则涵盖电网物理限制(如线路传输容量、节点电压范围)、分布式电源运行边界(如最大最小出力限制)及负荷供需平衡要求,确保调度方案在满足技术规范的前提下,实现资源最优配置。理论体系强调动态优化特性,需结合电网实时运行状态调整目标优先级,适配分布式电源与负荷的动态变化,为调度决策提供科学的理论依据。

### 2.2 分布式电源调度关键方法

在不确定性处理方面,依托概率预测与场景分析方法,将分布式电源出力、负荷需求的不确定因素转化为可量化的概率模型,通过生成多组典型运行场景覆盖可能的波动范围,为调度方案制定提供全面的数据支撑。在算法应用层面,以启发式算法与模型预测控制为核心,启发式算法可快速搜索多约束条件下的近似最优解,适配复杂电网的调度需求;模型预测控制则通过滚动优化策略,基于实时采集的电网运行数据动态调整调度方案,实现短期调度目标与长期运行稳定性的平衡,保障分布式电源与电网的协调运行<sup>[2]</sup>。

## 3 分布式电源电网调度的核心问题

### 3.1 多电源出力随机性与负荷波动性协同问题

分布式电源出力受外部因素影响呈现显著随机性,无法保持稳定输出状态,而用户负荷需求也会随时间、

场景变化产生波动性，两者的动态变化特性形成了调度中的核心协同难题。一方面，电源出力的不可控性会导致电网实时功率供需失衡，若出力骤增可能造成局部功率过剩，出力骤减则可能引发供电缺口；另一方面，负荷波动的不可预测性进一步加剧了功率平衡难度，传统调度模式难以快速匹配两者的动态变化，易出现功率调节滞后，导致电网运行状态偏离最优区间，影响供电的连续性与稳定性。

### 3.2 电网运行安全性与经济性平衡问题

电网运行要同时满足安全性与经济性双重目标，但在分布式电源接入场景下，两者往往存在矛盾，形成难以兼顾的核心平衡问题。从安全性角度，要通过预留备用容量、限制电源出力等措施，应对分布式电源出力波动带来的电网扰动，保障电压、频率稳定及线路传输安全，这会增加电网的运行成本；从经济性角度，要尽可能提高分布式电源利用率、减少备用容量投入，以降低发电成本与运维费用，但过度追求经济性可能导致电网安全冗余不足，在突发状况下难以抵御风险，引发安全事故。

### 3.3 调度信息交互与数据时效性问题

分布式电源具有分散性特点，其运行数据需通过多环节、多主体进行采集与传输，而调度决策依赖于实时、准确的信息支撑，由此形成了信息交互与数据时效性的核心问题。一方面，分布式电源与电网调度中心、负荷侧之间的信息交互涉及多套系统，若通信链路不稳定或数据传输协议不统一，易出现信息丢失、延迟等问题，导致调度中心无法全面掌握电网运行状态；另一方面，分布式电源出力与负荷需求的动态变化速度快，对数据时效性要求极高，若数据采集、传输、处理环节存在滞后，调度决策将基于过时信息制定，无法精准匹配电网实时运行需求，可能引发调度指令失效，甚至加剧电网运行风险<sup>[1]</sup>。

## 4 分布式电源电网多维度调度策略

### 4.1 考虑多主体协同的分布式电源调度策略

多主体协同调度策略以打破分布式电源、电网调度中心、负荷侧及储能系统间的信息壁垒与利益壁垒为核心，构建“信息共享-责任划分-利益均衡”的协同框架，具体如下：（1）在信息交互层面，建立统一的分布式电源调度信息平台，整合各主体的运行数据，包括分布式电源的实时出力、负荷侧的用电需求、储能系统的充放电状态等，实现数据实时传输与共享，为协同决策提供数据支撑。平台要具备多主体权限管理功能，确保各主体可根据职责获取所需信息，避免信息泄露或滥用。

（2）在责任与任务分配方面，明确各主体在调度过程中的角色与职责。电网调度中心作为核心协调者，负责制定整体调度目标与规则，平衡电网安全与整体效益；分布式电源所有者需按调度要求调整出力，确保出力符合电网运行约束；负荷侧主体需参与需求响应，在电网负荷高峰或电源出力不足时，根据调度指令调整用电行为；储能系统则需承担功率平滑与备用支撑任务，缓解分布式电源出力波动对电网的影响。通过清晰的责任划分，避免调度过程中出现职责推诿或重复作业的问题。

（3）在利益均衡机制设计上，结合各主体的成本与收益制定合理的激励策略。对于主动配合调度的分布式电源所有者，可通过电价补贴或优先并网等方式给予奖励；对于参与需求响应的负荷侧主体，可根据其调峰减载贡献度核算经济补偿；储能系统的收益则可与调峰、备用等服务的贡献挂钩，确保其参与调度的积极性。通过利益均衡机制，协调各主体的利益诉求，避免因利益冲突导致协同调度失效，保障多主体协同调度策略的长期有效运行。（4）协同调度策略还要建立动态决策机制。根据电网实时运行状态，如电压偏差、频率波动、功率供需缺口等，动态调整各主体的任务分配与运行参数。动态决策机制需依托实时数据与快速计算能力，确保调度指令的及时性与准确性，提升多主体协同应对电网突发状况的能力。

### 4.2 计及不确定性的分布式电源鲁棒调度策略

计及不确定性的鲁棒调度策略以“抵御波动-降低风险-保障稳定”为目标，通过以下不确定性量化、鲁棒目标构建与算法优化，提升分布式电源调度对不确定性因素的适应能力。（1）在不确定性量化环节，针对分布式电源出力与负荷需求的不确定性，建立科学的量化模型。通过分析历史运行数据，识别影响分布式电源出力的关键因素，如气象条件、设备运行状态等，采用概率统计或机器学习方法，量化出力波动的范围与概率分布；对于负荷需求，需结合用户用电规律、季节变化等因素，预测负荷波动的区间，为鲁棒调度提供不确定性边界参数。（2）在鲁棒调度目标函数构建上，兼顾电网运行的安全性与经济性，同时融入风险规避约束。目标函数需包含最小化电网运行成本、最大化分布式电源利用率等经济性指标，以及最小化电压偏差、频率波动幅度等安全性指标。引入风险规避约束，如设置功率备用容量下限，确保在分布式电源出力骤降或负荷骤增等极端场景下，电网仍有足够的调节能力应对；设置线路传输功率上限的安全裕度，避免因不确定性导致线路过载。通过多目标与风险约束的结合，确保调度方案在不

确定性场景下仍能保持较高的鲁棒性。(3)在鲁棒调度算法选择与优化方面,优先选用具备全局搜索能力与抗干扰能力的算法。传统的线性规划或非线性规划算法在处理多约束、高维度的鲁棒调度问题时,易陷入局部最优解,因此可采用启发式算法或鲁棒优化专用算法。在算法优化过程中,需针对不确定性参数的波动范围设置不同的场景,通过多场景模拟训练算法,提升算法对不确定性的适应能力。优化算法的计算效率,通过简化目标函数、减少约束条件数量等方式,缩短算法求解时间,确保鲁棒调度策略能够实时应用于电网调度。(4)建立动态调整机制。随着分布式电源出力与负荷需求的实时变化,要定期更新不确定性量化模型的参数,调整鲁棒目标函数的权重与风险约束的阈值。

#### 4.3 基于数字孪生的分布式电源动态调度策略

基于数字孪生的动态调度策略以“虚实映射-实时交互-精准调控”为核心,通过构建以下分布式电源电网数字孪生模型,实现对电网运行状态的实时模拟与动态调度。(1)在数字孪生模型构建环节,涵盖电网物理实体的全要素映射,包括分布式电源的设备参数、电网拓扑结构、负荷侧的用电特性等。模型需采用多物理场耦合建模方法,融合电气、机械、热工等多领域模型,确保能够精准模拟电网的运行状态,如电压、频率、功率流分布等。同时建立模型与物理实体的实时数据交互通道,通过传感器采集电网物理实体的实时运行数据,如分布式电源实时出力、节点电压、线路电流等,实现数字孪生模型与物理电网的同步更新,确保模型能够真实反映电网的实际运行状况。(2)在实时监测与状态评估方面,数字孪生模型要具备实时数据处理与多维度状态评估能力。通过对采集的实时数据进行清洗、分析与挖掘,识别电网运行中的异常状态,如分布式电源出力异常波动、线路电压越限、频率偏差超标等。(3)在动态调度决策与执行方面,数字孪生模型要依托实时监测数据与状态评估结果,构建动态调度决策模型。决策模型需结合电网运行目标与约束条件,采用优化算法生成最

优调度方案,包括分布式电源出力调整指令、储能系统充放电计划、负荷需求响应策略等。调度方案生成后,需通过数字孪生模型进行预仿真验证,模拟调度方案执行后电网的运行状态,评估方案的可行性与有效性。若预仿真结果显示方案符合电网运行要求,则通过实时通信通道将调度指令下发至各执行主体;若预仿真发现方案存在问题,如可能导致电压越限或频率波动,则需返回决策模型重新优化,直至生成可行的调度方案。(4)基于数字孪生的动态调度策略还要建立模型迭代优化机制。随着电网运行环境的变化与运行数据的积累,要定期对数字孪生模型进行迭代优化,更新模型参数与结构,提升模型的模拟精度与决策能力。例如,当新增分布式电源接入电网时,需在数字孪生模型中添加该电源的设备参数与连接关系,重新校准模型的仿真精度;通过分析历史运行数据与调度方案的执行效果,优化动态调度决策模型的算法与参数,提升调度方案的合理性与有效性<sup>[4]</sup>。

结束语:本文系统完成分布式电源电网调度策略研究,明确了电源特性、接入要求、调度理论方法及核心问题,提出的三类调度策略构建了完整的调度解决方案,可有效应对多主体协同、不确定性及动态调控需求。未来可深化极端条件下的鲁棒调度研究,探索跨区域协同调度机制,进一步优化数字孪生模型精度,为分布式电源大规模接入后的电网调度提供更全面的技术支持。

#### 参考文献

- [1]王碧,王一超,陈轩.10kV配电网分布式电源接入的调度策略研究[J].自动化应用,2025,66(6):195-197,200.
- [2]穆娇,王泳.电网电源优化配置与分布式能源接入的协调调度策略研究[J].通信电源技术,2024,41(11):122-124.
- [3]杨宏.配电网中分布式电源调度的集成与协同优化[J].通信电源技术,2024,41(4):95-97.
- [4]张瑞昌.分布式电源接入对配电网的影响及优化策略研究[J].光源与照明,2025(3):238-241.