

配电网分布式电源接入的实时调度优化策略

杨慧春

内蒙古电力（集团）有限责任公司包头供电分公司，内蒙古 包头 014000

DOI:10.61369/WCEST.2025120008

摘 要： 随着光伏、风电这类分布式电源于配电网当中的渗透程度渐渐提高，其具备的随机性、波动性特点，给配电网的安全稳定运转以及电能质量的把控带来很多挑战。作为平衡分布式电源出力波动和配电网运行需求的关键方式，实时调度优化直接对配电网运行的经济性、可靠性与灵活性产生作用。本文把配电网实际运行场景进行结合，对分布式电源接入给配电网调度造成的影响展开分析，从调度目标、约束条件、核心策略三个层面，对接天线、能落实的实时调度优化途径进行深入探究，着重对基于源荷之间互动、分层协同以及柔性调控的优化办法加以阐述，给配电网分布式电源的高效接入和安全运行提供实践方面的参考。

关 键 词： 配电网；分布式电源；实时调度；优化策略；源荷互动

Real-time Scheduling Optimization Strategy for Distributed Generation Integration in Distribution Networks

Yang Huichun

Inner Mongolia Electric Power (Group) Co., Ltd. Baotou Power Supply Branch, Baotou, Inner Mongolia 014000

Abstract： With the increasing penetration of distributed power sources such as photovoltaics and wind power in distribution networks, their inherent randomness and volatility pose numerous challenges to the safe and stable operation of distribution networks and the control of power quality. As a key method to balance the output fluctuations of distributed power sources and the operational needs of distribution networks, real-time scheduling optimization directly affects the economy, reliability, and flexibility of distribution network operations. This paper combines the actual operation scenarios of distribution networks, analyzes the impact of distributed power integration on distribution network scheduling, and conducts in-depth research on feasible real-time scheduling optimization approaches from three aspects: scheduling objectives, constraint conditions, and core strategies. It focuses on elaborating the optimization methods based on source-load interaction, hierarchical collaboration, and flexible regulation, providing practical references for the efficient integration and safe operation of distributed power sources in distribution networks.

Keywords： distribution network; distributed power generation; real-time dispatch; optimization strategy; source-load interaction

引言

在“双碳”目标的引导之下，分布式光伏、分散式风电、储能装置等渐渐变成配电网的重要构成要素，配电网正从传统的单向供电模式朝着“源网荷储”多元之间互动的主动配电网转变。分布式电源的接入虽然能够缓解能源供需之间的矛盾、降低碳排放，然而因为其出力受自然条件的影响十分明显，具备很强的随机性和不可预测性，容易造成配电网电压偏移超过标准、频率产生波动、潮流出现反向等状况，让调度运行的复杂程度有所增加^[1]。实时调度优化借助动态感知配电网的运行状态和分布式电源出力的变化，对各类可控资源进行精准调控，能够有效抑制分布式电源出力的波动，保障配电网安全经济地运行。目前配电网分布式电源实时调度依然面临着资源协同能力不够、调控精度存在限制、适应场景比较单一等实际难题，迫切需要结合配电网的运行特点，构建针对性强、可实施的实时调度优化策略，推动分布式电源在配电网中的高效消纳和合理运用。

一、分布式电源接入对配电网实时调度的影响

（一）调度对象呈现多元化，协同难度有所提升

传统配电网调度把供电线路、变压器等无源设备作为核心，调度对象单一，并且运行状态稳定。分布式电源接入之后，调度对象扩展成为光伏电站、风电场、储能系统、可控负荷（像工业可调负载、居民智能家电）等多元主体，各类资源的运行特性差异十分显著。比如，光伏出力随着光照强度实时发生变化，在一日之内波动幅度比较大；储能系统受到充放电倍率、容量的限制，调控存在时间方面的约束；可控负荷的响应速度与调节潜力受到用户用能需求的影响，具有不确定性。多元调度对象的耦合互动，使得调度需要兼顾各类资源的运行约束，协同难度大幅提高^[2]。

（二）运行状态出现动态波动情况，在调度精度方面产生更高要求

分布式电源出力所具备的随机性特征，直接使得配电网潮流分布状况以及电压水平处于动态变化进程当中。以农村配电网作为参照对象，分布式光伏大多集中于农户屋顶位置，出力高峰一般在中午时段呈现，容易造成局部区域出现电压抬升现象；而到了傍晚时段，光伏出力会急剧下降，与此同时负荷需求逐步上升，又存在引发电压偏低问题的可能性。若调度策略无法对这种波动情况进行实时跟踪，仅仅采用固定不变的调度方案模式，便极有可能造成电能质量超出标准范围，甚至会对配电网设备的使用寿命产生不良影响。这一状况要求实时调度工作必须具备更高层次的响应速度以及调控精度水平，有能力对运行状态的变化情况进行精准捕捉，并及时对调控指令实施调整操作^[3]。

（三）调度目标呈现更为复杂的态势，多目标平衡工作面临较大难度

传统配电网调度活动主要将保障供电可靠性以及运行经济性作为核心目标内容，目标体系相对单一。在分布式电源接入之后，调度目标范围扩展至“可靠性、经济性、电能质量、分布式电源消纳”的多目标协同优化层面。比如，为了提升分布式电源消纳比率，需要尽可能加大分布式电源出力并网的比例，但这一举措可能会造成电压波动超出标准范围；为了保障电能质量水平，需要投入储能设备对波动情况进行平抑处理，但这会导致运行成本有所增加。多目标之间存在着相互制约的关系，在实际运行过程中如何探寻到最优的平衡点，防止出现顾此失彼的状况，成为实时调度工作所面临的核心难题内容^[4]。

二、配电网分布式电源接入实时调度优化工作的核心目标与约束条件

（一）核心优化目标

实时调度优化工作的核心目标，是在保障配电网安全运行的基础前提之下，实现多元目标的协同最优状态，同时对实用性以及可操作性给予兼顾考量。其一为安全目标，要确保配电网电压、频率、潮流等运行参数处于允许范围之内，避免出现设备过载、电压越限等故障问题，对供电连续性进行有效保障；其二为

经济目标，力求实现配电网运行成本的最小化，成本构成涵盖分布式电源弃电成本、储能充放电成本、电网损耗成本等方面内容，进而提升运行效益水平；其三为消纳目标，要最大限度地对分布式电源出力进行消纳处理，减少弃光、弃风等现象的发生概率，提升清洁能源的利用效率程度。这三个目标相互之间存在关联关系，安全目标是基础前提，经济目标是核心内容，消纳目标是导向方向，需要在调度过程当中进行动态平衡操作。

（二）关键约束条件

实时调度优化工作必须严格遵循配电网设备运行约束以及资源特性约束内容，确保调度策略具备可落地性并且不存在风险隐患。从设备约束角度分析，变压器需要满足额定容量方面的约束条件，避免因长期过载运行导致设备受到损坏；配电线路需要符合潮流约束要求，防止线路发热情况超出标准范围；电压约束需要控制在 $\pm 7\%$ 的允许范围之内（以10kV配电网作为具体对象），从而保障电能质量水平。从资源约束角度来看，储能系统需要满足充放电功率以及容量方面的约束条件，避免因过度充放电操作对使用寿命产生不利影响；分布式电源的出力约束需要结合实时气象条件状况，同时对出力上限以及波动速率加以兼顾考量；可控负荷需要满足用户用能需求实际情况，调控幅度以及响应时间必须控制在合理范围之内，防止对用户正常用能活动造成影响。

三、配电网分布式电源接入的实时调度优化策略

（一）基于源荷储互动的协同调度策略

源荷储互动为应对DG出力波动的核心方式，通过整合分布式电源、储能系统与可控负荷的调控潜能，搭建“源随荷动、荷随源调、储充互补”的实时调度形态。于调度逻辑当中，运用“预测—跟踪—修正”的闭环控制流程：首先依据短期气象数据与负荷预测结果，初步设定DG出力计划及储能充放电策略；在实时运行之际，借助配电网监测终端（像FTU、TTU）收集DG实际出力、节点电压、潮流等数据信息，与预测数值开展比对，若偏差超出阈值范围，即刻启动调控举措。具体调控形式需结合不同场景实施优化：当DG出力呈现过剩状态时，优先命令储能系统进行充电操作，将多余电能实施储存；若储能容量达到饱和程度，可引导可控负荷（例如工业用电设备、电动汽车充电桩）实施错峰用电行为，增强负荷吸收能力，降低弃电现象。当DG出力处于不足状况时，优先调度储能系统开展放电作业，弥补出力存在的缺口；若储能放电能力有所不足，可适度削减非重要可控负荷（如景观照明、冗余工业负载），同时与上级电网实施联动以补充供电，保障重要负荷供电维持稳定。此种策略无需对配电网设备开展大规模改造工作，仅通过现有资源的协同调控方式，即可有效平抑出力波动情形，适用于城乡各类配电网场景，具备较强落地特性。

（二）分层协同调度策略，适配配电网层级特性

配电网具备显著的层级构造（例如区域配网、台区配网），不同层级的设备容量、DG渗透率、负荷特性存在较大差异，单

一调度策略难以适配全场景需求状况。基于此点，构建“区域—台区”两级分层协同调度体系，达成全局优化与局部调控的有机融合。区域配网层级以“全局安全经济”为目标，负责统筹区域内 DG 总出力、储能系统总容量与上级电网的功率交互情况，制定区域内各台区的调度指令及功率分配方案，避免局部调控对全局运行产生负面作用。比如，当某一台区 DG 出力过剩致使电压出现抬升情况时，区域调度中心可协调相邻台区的储能系统或可控负荷开展跨台区调控作业，平衡区域内电压水平状态。台区配网层级以“局部精准调控”为目标，针对台区内 DG 出力波动较为频繁、负荷分布分散的特征，采用分布式调度模式，提升响应速度水平。台区调度终端实时采集光伏逆变器、储能控制器、智能电表的数据信息，精准调控台区内储能充放电、可控负荷的开关状态情况，快速平抑局部电压波动与潮流扰动现象。例如，农村光伏台区中午时段出力较为集中，台区调度终端可命令储能系统满功率进行充电操作，同时调节光伏逆变器的无功输出情况，抑制电压抬升现象；傍晚时段出力出现下降情况，即刻启动储能放电作业，保障台区内居民用电维持稳定。两级调度凭借信息的互通开展协同配合，既对配电网整体的运行安全实施保障，又对局部的调控精度进行提升，与不同层级配电网的运行需求达成适配。

（三）柔性的调控策略，对刚性约束以及灵活适配予以兼顾

鉴于分布式电源（DG）出力所具有的不确定性和配电网运行状态呈现的动态变化情况，实时调度需要运用柔性的调控模式，防止因刚性调控而引发运行风险。一方面，将“调控优先级”机制进行引入，依照资源的特性和负荷的重要程度对调控优先级展开划分：像医疗设备、居民基本用电这类重要负荷，不参与调控过程，对供电的刚性实施保障；储能系统作为核心的调控资源，其优先级高于可控负荷；在可控负荷当中，工业可调负载的优先级高于居民智能家电，把调控给用户带来的影响控制到最低程度。另一方面，施行“滚动优化”策略，将调度周期予以缩短，增强对波动的跟踪能力。把实时调度周期确定为 15 分钟，每隔 5

分钟就进行一次滚动修正，结合最新采集到的运行数据，对下一轮调度指令做出调整。和传统的 1 小时调度周期相比，短周期的滚动优化能够更为精准地捕捉分布式电源（DG）出力的波动以及负荷的变化情况，降低调控偏差。同时，针对强降雨、大风等极端气象条件造成分布式电源（DG）出力突然变化的状况，预先设定应急调控预案，迅速启动备用储能容量或者与上级电网进行联动以获得支援，防止配电网运行状态失去稳定。这种柔性调控策略既符合配电网刚性运行约束条件，又能够对分布式电源（DG）出力波动进行灵活适配，提升调度工作的可靠性和适应性。

四、结语

配电网在分布式电源接入这种背景情况之下，实时调度优化工作所具有的核心要点，是把随机性情况、波动性状况同安全经济性进行平衡处理，需要立足于配电网实际存在的运行场景情况，去对可实现落地操作、具备精准化特点的调度策略体系开展构建工作。借助源荷储之间产生的互动关系来实施协同调度举措、开展分层协同调度工作以及执行柔性调控策略，能够对分布式电源接入之后配电网呈现出的运行特性进行有效适配，通过多元资源之间开展协同作业、实施层级化管控手段以及做出轻量化决策行为，从而达成安全层面、经济方面以及高效维度的调度目标内容。在以后的时间进程当中，伴随着配电网自动化程度的提升态势以及与数字技术之间的融合进程，实时调度优化工作将会朝着“智能化样式、精准化形态、全景化模式”的方向不断前进发展。在后续的工作安排中，可以对物联网技术、大数据技术在调度工作领域的应用情况进一步加以强化，使运行状态的感知精准程度得到提升，提升预测方面的能力水平，对多资源协同调控的逻辑架构进行优化处理，推动配电网从“被动开展的调度模式”向“主动进行的调控模式”实现转型发展，为分布式能源实施大规模的接入操作以及开展高效化的利用活动提供更为坚实的支撑力量。

参考文献

[1] 樊凯锐, 任丽佳, 叶克. 计及高比例分布式电源接入的配电网集群划分与优化调度策略 [J]. 现代电力, 2025.

[2] 龙国良. 考虑分布式电源接入的配电网项目管理韧性评估方法 [J]. 电器工业, 2025, (12): 125–129.

[3] 贺兴安, 赵振北, 何丽娟, 李远舸, 侯四维. 多能互补分布式电源接入配电网容量配置的粒子群优化方法 [J]. 微型电脑应用, 2025, 41 (11): 180–183.

[4] 刘健, 秋泽楷, 张志华, 朱超, 张小庆. 农村配电网分布式光伏接入策略研究 [J]. 农村电气化, 2025, (11): 40–43+87.