

[配电网]

智慧配电网中分布式能源的高效接入与优化调度

文/马文彬 王瑞雪 李尧业
国网青海省电力公司海北供电公司

由于传统配电网存在供电稳定性差和资源利用率低的问题，智慧配电网的理念应运而生。在这个转型阶段，分布式能源在智慧配电网中的角色至关重要，关乎着整体运营的优化。因此，深入剖析分布式能源如何无缝融入智慧配电网，并探索其接入和调度策略的高效方法，为智慧电网的建设与运营提供坚实的理论支持和技术参考。

随着全球对可持续发展目标和减排压力的不断升温，智慧电网作为未来电力体系的先锋，正以前所未有的速度发展壮大。凭借尖端的传感、测量、通信与控制技术融合，实现了电力网络中能量的双向流动和即时信息交换，从而显著提升电力系统的效能、可靠性和适应环境的能力。在这个变革潮流中，分布式能源资源（DERs），如太阳能光伏、风能、微涡轮和储能设备的崛起，为电力系统注入了新的动力。这些可再生能源不仅提供了更清洁且分散的能源供应，还增强了电力系统的灵活性和抵御风险的能力，特别是在应对极端天气和电力系统故障时尤为关键。然而，大规模接入DERs给传统电网带来了前所未有的挑战。由于其输出的波动性和不确定性，智慧电网必须具备更高的智能化水平，以便有效接纳和管理这些新兴能源。

分布式能源及其在智慧配电网中的作用

1. 分布式能源的革新类型

分布式能源资源（DERs），作为电力行业的革新标志，代表着一系列小型、灵活的发电和存储解决方案，通过与配电网紧密相连，能在用户附近直接供应能源，提升系统的灵活性。常见的DERs类别、特点和应用场景见表1。

表1 分布式能源的革新类型

类别	描述	特点	应用场景
太阳能光伏发电	通过太阳能电池板将阳光转化为电能	减少化石燃料依赖，零排放，维护成本低，可安装于建筑屋顶或开阔地带	城市住宅、商业建筑、农业设施等
风力发电	小型风力涡轮机捕捉风能并转换为电能	适合风能丰富的地区，受天气影响较大，是可再生能源组合的重要组成部分	远程地区、岛屿、沿海地区、风能资源富集区
储能系统	包括电池储能、旋转飞轮储能、压缩空气储能等技术	在电力过剩时储存能量，在需求高峰时释放，提升电网稳定性与运行效率，多样化的储能方案可以选择	平衡供需、调峰填谷、应急供电、增强电网灵活性
微型燃气轮机	利用天然气或其他燃料同时产出电能和热能	小巧且高效设计，可用于联产供热，适合商业和工业环境	工业园区、商业中心、需要同时供应电能和热能的场所

2. DERs接入对配电网的影响

分布式能源资源（DERs）的融入深刻重塑了配电网的运营模式，其中蕴含着双重挑战与机遇。特别是可再生能源如太阳能和风能，因其天然的间歇性和波动特性，对电网的电压稳定性和质量提出了全新的技术考量。当DERs大规模接入时，随机输出可能引发电压波动，影响电能品质，这就需要配电网采用动态电压管理策略，优化逆变器的智能化控制，以确保电网的持续、平稳运行。同时，原本单

向的能源流动格局因为DERs的双向能量交换，使得故障检测和隔离任务变得更为复杂。

3. DERs集成的挑战与机遇

DERs的整合面临着一系列复杂挑战，包括技术融合、电网稳定、数据保护及经济效益考量。为了实现技术上的无缝对接，电网需要兼容一致的标准化合议。确保电网平稳运行则需处理DERs引发的电压波动和频率调节问题。

然而，这些挑战背后隐藏着巨大的机遇。首先，DERs促进了能源的本地生产与消费，降低了长途输电的成本和损耗。其次，DERs提升了电网的灵活性和自适应能力，特别是在灾难中能作为应急备用，减轻了停电的风险。此外，广泛部署的DERs推动了能源市场的多元化，激发竞争，使消费者能享受到更多选择和更低的电价。最后，普及DERs的步伐加快了向低碳经济转型的进程，对全球环保目标的实现起到了积极的推动作用。

高效接入机制

1. 接入标准与规范

为了确保分布式能源资源（DERs）顺利、安全地融入智能配电网，一套全面的接入指导原则必不可少，见表2。这些原则覆盖了诸如技术兼容性、安全性、通信协定等多个关键领域。在全球范围内，诸如国际电工委员会（IEC）的IEC 61850系列标准，定义了电力系统自动化设备间的信息交互；电气和电子工程师协会（IEEE）的IEEE 1547标准，则聚焦于分布式电源的并网操作；还有ISO/IEC合作制定的无线局域网接入控制技术规范，这些都是标准化的重要参考。地方层面，各个国家和地区的政策额外设定了适应本地需求的标准，比如中国的《公平竞争审查条例》，尽管其主要关注市场公平竞争，但间接地影响着技术标准的设立和实施。

表2 接入标准参考

标准名称	发布机构	主要内容
IEC 61850系列标准	国际电工委员会（IEC）	定义电力系统自动化设备间的信息交互，支持不同厂商设备的互操作性和通信
IEEE 1547标准	电气和电子工程师协会（IEEE）	规定了分布式电源如何安全有效地连接到公共电力网络，涵盖了并网操作、保护和控制等方面的要求
ISO/IEC 8802-11	国际标准化组织（ISO）/IEC	规定了无线局域网（WLAN）的媒体访问控制（MAC）和物理层（PHY）规范，适用于DERs与电网之间的无线通信
IEC 62351系列标准	国际电工委员会（IEC）	关注电力系统中的信息安全，提供了保护电力系统免受网络攻击和其他安全威胁的指导
IEEE C37.118标准	电气和电子工程师协会（IEEE）	描述了同步相量测量协议，用于实时监测电力系统的状态，支持快速故障检测和恢复
IEC 60870-5-104	国际电工委员会（IEC）	规定了远动设备及系统的通信协议，支持远程监控和控制功能
IEEE 1547.1	电气和电子工程师协会（IEEE）	提供了分布式电源互连的测试程序，确保DERs在接入电网前符合安全和性能要求
IEC 61400-21	国际电工委员会（IEC）	规定了风力发电厂的性能评估方法，包括功率特性的测定
IEC 61727	国际电工委员会（IEC）	规定了光伏组件的环境测试方法，以评估其在不同环境条件下的可靠性和耐久性
ISO 50001	国际标准化组织（ISO）	提供了一个框架，帮助组织建立、实施、维护和改进能源管理体系，以提高能源使用效率

2. 接入流程与技术

为了高效地接入DERs，需要注重几个关键环节的优化：①自动并网流程设计：追求无间断的自动化并网，尽量减少人工介入，使其能自动识别电网状况，并自动调整输出参数以适应电网规定，提升并网效率。②数据通信技术应用：确保DERs与电

网中心之间的连通稳定，利用标准化的通信协议如DNP3、Modbus或IEC 61850，以保证数据交换的可靠性和安全性。③实时监控与数据集成功能：通过智能化的传感器和计量设备，能够实时监控DERs的运行性能和功率输出，为优化调度和故障诊断提供了宝贵支持。

3. 成功接入实例

某地执行了一项融合了大规模光伏和风能的分布式能源资源（DERs）接入工程。借助前沿的通信网络和管控软件，项目实现了远程监控与智能化调度，确保高效运营。从其中的关键技术策略来看，首先应用了国际电工委员会IEC 61850标准的通信协议，强化了DERs与电力系统的数据无缝连接。其次，项目配合了人工智能的预测性调度算法，有效管理可再生能源的间歇性挑战。项目的实际效果显著提升电网接纳能力和稳定性，减少因DERs波动引发的电压波动，并通过实时数据采集与深度分析，优化运行策略，减少能源浪费。

优化调度策略

1. 调度目标与原则

在智能配电网的管理中，优化目标聚焦于提升系统的效率与环保性，兼顾多维度考量。首要任务是最大程度地挖掘可再生能源的潜力，通过智能化调度，确保分布式能源资源（DERs），特别是可再生能源的高效利用，减少对传统化石燃料的依赖。同时，调度策略的核心在于维护电网的稳固与稳定性，防止过载、电压波动等对电力安全构成威胁。为了实现这些关键目标，调度策略设计需遵循以下准则：首先，必须具备极高的灵活性，能适应DERs的不确定性和电力需求的动态变化。其次，实时响应至关重要，能够迅速适应电网状态变化，即时调整DERs的输出功率。此外，既要确保电网运行平稳，也要寻求最低的成本效益。最后，在决策时优先考虑环保因素，倡导低碳和可再生能源的优先使用，以契合可持续发展的绿色理念。

2. 调度算法与模型

为了达成高效的目标，应当充分利用前沿的调度策略和模型技术。

（1）数学精进

借助线性、非线性和混合整数规划这些优化工具，解决复杂调度难题，寻求最优或接近最优的解决方案。

（2）AI智能融合

集成神经网络、遗传算法和模糊逻辑等人工智能手段，通过对海量数据的深度分析，精准预估分

布式能源系统（DERs）的产出和电力需求，实现智能化的调度管理。

（3）多维度与灵活调度

认识到调度目标的多元性和动态性，采用多目标优化策略，在众多目标中寻求平衡，同时根据电网的实际运行情况实时地调整策略。

3. 实时与预测调度

优化调度手段时，关键在于区分实时与预测两种模式。

（1）实时调度

针对当前电网状态及DERs的实时表现，灵活调整计划，迅速响应突发情况，保持电力供需平衡，确保电网稳定运行。

（2）预测调度

借助精准的气象预报、历史数据深入分析以及负荷预估，预先设计DERs的调度方案，降低不确定性对电力系统的影响，为DERs运行提供前瞻指导。

（3）短期与长期视角

短期调度关注几小时到一天内的动态调整，适应短期供需波动；长期调度则着眼几天到几周的规划，为DERs运营制定长远战略，不断优化系统整体效能。

综合运用上述策略，智慧配电网得以高效整合和管控DERs，显著提升电力系统的效率与可持续性。

结束语

综上所述，分布式能源在智慧配电网中的无缝融入与优化管理，象征着技术革新与可持续发展愿景的双重驱动。本文揭示了DERs接入与调度所面临的复杂挑战，然而其中潜藏的革新力量不容忽视。从阳光转化为电能的光伏、风力发电的接力，到储存能量的储能系统，各类DERs正在重塑电力系统的新面貌，其高效的接入与智能化调度正在逐步孕育一个环保、智能且更具适应性的电网蓝图。展望未来，技术的不断迭代与政策的日益完善，将进一步提升DERs在智慧配电网的核心地位。广泛采用分布式能源，不仅有利于本地化的能源生产和消费，增强电网自我修复能力，还推动市场多元化，为消费者解锁更多选择，降低能耗成本。EA

（收稿日期：2025-03-10）