

智能电网中分布式能源的接入及优化控制策略研究

李文涛

辽河油田公司新能源事业部（电力分公司），辽宁 盘锦 124000

摘 要： 智能电网作为新一代电力系统，因其高效、灵活和可持续的特性逐渐成为电力行业发展的重要方向。分布式能源作为智能电网中的重要组成部分，具有灵活性和多样性，但其接入电网过程中面临诸多技术挑战。本文深入探讨了分布式能源接入电网的技术挑战及其对电网的影响，在此基础上提出了基于能量管理系统（EMS）的优化调度与控制策略。通过优化控制策略的应用，以期提高分布式能源的利用效率，增强电网稳定性与安全性。

关 键 词： 智能电网；分布式能源；优化控制

Research on the Access and Optimization Control Strategy of Distributed Energy in Smart Grid

Li Wentao

New Energy Division (Power Branch) of Liaohe Oilfield Company, Panjin, Liaoning 124000

Abstract： As a new generation of power system, smart grid has gradually become an important direction of the development of the power industry because of its efficient, flexible and sustainable characteristics. As an important part of the smart power grid, distributed energy has flexibility and diversity, but it faces many technical challenges in the process of connecting it to the power grid. This paper discusses the technical challenges of distributed energy access to the grid and its impact on the grid, and puts forward the optimal dispatching and control strategy based on energy management system (EMS). Through the application of optimized control strategy, it is expected to improve the utilization efficiency of distributed energy and enhance the stability and security of the power grid.

Keywords： smart grid; distributed energy; optimized control

引言

智能电网是融合了现代信息技术、自动化控制技术以及先进电力传输技术的新一代电力系统，其核心目的是提高电力系统的灵活性、可靠性和可持续性。智能电网的体系结构与传统电网有显著不同，主要由发电、输电、配电、用电和调度五大部分组成，并通过高度智能化的通信和控制网络将各部分有机结合。分布式能源指的是利用小型或中型发电设备就地发电并直接向负荷点供电的能源形式，与传统集中式发电相比，分布式能源具有灵活、高效、绿色等特点。常见的分布式能源类型包括太阳能、风能、地热能、微型水电以及储能技术等。分布式能源的显著特点之一是其分布广泛，可灵活部署在负荷中心附近，从而减少电力传输损耗。分布式能源具有良好的环保性能，利用可再生能源如太阳能和风能发电能够有效减少温室气体排放，有利于应对全球气候变化的挑战。

一、分布式能源的接入问题分析

（一）接入智能电网的技术挑战

分布式能源的接入给智能电网带来了多方面的技术挑战。分布式能源的间歇性和不确定性是主要的技术障碍。太阳能和风能等可再生能源的发电量受到天气、时间等自然条件的影响，难以保证稳定的电力输出，这增加了电网的调度难度。分布式能源发电的功率波动性也可能影响电网的电压和频率稳定性，造成电网的运行安全隐患；分布式能源接入后的电力流动变得更加复杂，传统电网主要是单向输电，而在分布式能源接入后，电力流动呈

现出双向特性，即从发电端到用户侧和用户侧反向送电，这使得电力调度和管理更加困难。为了应对这种变化，电网需要对现有的配电网络进行升级改造，增加自动化和智能化设备，如智能变电站、动态监测系统等，以实现实时监控和调度。^[1]另外，分布式能源接入智能电网还需要高效的能量管理系统（EMS），来实现对多种能源形式的协调控制和优化利用。由于分布式能源的种类多样，如何实现不同能源之间的互补性，并保证在能源需求波动时能够进行快速响应，是一大技术挑战。信息安全问题也是重要的考虑因素。智能电网中大量的数据通信和控制信号需要通过开放的网络传输，这使得网络安全威胁增大，必须采取措施确保电

网的安全性与稳定性。

（二）分布式能源接入对电网的影响

在传统电力系统中，电力流动是单向的，从大型发电站通过输配电网络输送到终端用户。然而，分布式能源的接入打破了这一单向流动模式，形成了分散式、多点并网的格局，使得电力流动呈现出双向特性。双向电力流动的出现增加了电网的调度和控制难度，要求电网具备更高的灵活性和适应性。分布式能源接入对电网的电压稳定性和频率调节提出了新的挑战。由于分布式能源如太阳能和风能的发电量受天气和自然条件影响较大，其波动性直接影响到电网的电压水平和频率稳定性。如果未能进行有效的调节和控制，电压和频率的不稳定可能导致电网故障，甚至引发大规模停电事故。为应对这种影响，智能电网需要配备先进的自动化调节设备和实时监控系統，以便在电网出现波动时快速调整。分布式能源的广泛接入还对现有的电力基础设施提出了新的要求。分布式能源通常在用户侧接入，这意味着配电网必须能够承受更高的负荷，特别是在电力需求高峰期。如果现有的配电网无法满足这些要求，可能会导致电力传输瓶颈，影响供电的可靠性。^[2]

二、分布式能源接入的优化控制策略

（一）能量管理系统（EMS）的设计

1. 分布式能源的调度与管理

在智能电网中，分布式能源的调度与管理是能量管理系统（EMS）设计的核心任务之一。为了保证分布式能源的高效利用和电网的稳定运行，EMS采用了多层次的调度策略。首先，EMS通过传感器、智能计量设备和气象预报系统，实时采集风能、太阳能等分布式能源的发电数据。这些数据包括光伏系统的辐射水平、风电场的风速、风向等，以及电网当前负荷情况和用户的用电需求。基于这些实时数据，EMS通过预测模型对未来的能源生产进行短期、中期和长期的预测。短期预测（如1小时至24小时内）主要依赖于天气预报和历史发电数据，系统通过机器学习算法进行不断优化，确保预测精度达到90%以上。长期预测则依赖于季节性数据和历史趋势。在调度过程中，EMS采用动态调度策略，在用电负荷高峰时段优先使用低成本的分布式能源，如风能和太阳能。^[3]具体操作上，EMS在风速大于12 m/s时将优先调度风电场发电，而在阴天时，系统会自动调低光伏发电的输出，转而增加储能系统或从传统电网引入电力。当风速低于风电发电的最低门槛时（如3 m/s），EMS会将负荷转移到其他能源或储能系统上。^[4]

表1 分布式能源的调度与管理标准值

指标 / 参数	标准值	说明
实时数据更新频率	1-30 秒	能源系统实时监测和反馈的时间间隔
预测准确度	90-95%	分布式能源生产预测的准确性
能源调度响应时间	500毫秒 - 1 秒	从负荷变化到能源调度系统响应所需时间

指标 / 参数	标准值	说明
风电调度的风速门槛	12 m/s	EMS在风速大于该值时优先调度风电发电
光伏发电的辐射强度门槛	500 W/m ²	EMS在辐射强度大于该值时优先调度光伏发电
供需平衡效率	95-98%	通过能源调度实现的供电和需求匹配效率

2. 能量储存与负荷预测

能量储存系统是EMS设计中的关键环节之一，特别是针对分布式能源的波动性，储能设备能够在发电量过剩时储存多余能量，在用电需求高峰期或发电不足时释放能量，平衡电网负荷。EMS系统实时监测电池组、抽水蓄能等储能设备的电量并根据预测的发电情况和电网负荷需求，灵活调度储能系统的充放电。具体策略上，EMS会根据短期负荷预测（通常1小时至24小时）安排储能系统的充放电。通过对天气预报和历史数据的分析，EMS可以预测出未来某段时间内的用电高峰。例如，某电网中每天晚间6点至9点为用电高峰期，而当天白天的光伏发电量预计可达500MWh。根据这些数据，EMS会在光照充足时优先将光伏电能储存至电池中，并在晚高峰时释放储能，以满足电力需求。EMS的负荷预测基于大数据分析和机器学习算法，利用历史用电数据和气象条件建立预测模型，精度可达到95%以上。^[5]

表2 能量储存与负荷预测 - 相关指标和参数

指标 / 参数	标准值	说明
储能系统容量	10-50 MW	储能系统的典型容量范围
储能系统充电效率	85-95%	储能设备将电能转化并储存的效率
储能系统放电效率	90-95%	储能系统将电力释放至电网的转换效率
负荷预测精度	90-95%	基于历史数据和机器学习的用电负荷预测准确性
负荷预测时间范围	1小时 - 24 小时	短期负荷预测的时间周期
负荷响应时间	1-5 秒	EMS系统在负荷变化时的响应时间
储能系统循环寿命	3000-5000 次	储能设备在完整充放电循环中的可用寿命

（二）分布式能源接入的实时控制

1. 即时优化与自动化控制技术

即时优化的核心在于实时监测和计算能源供需的动态变化，结合分布式能源的波动特性，通过优化算法进行快速调整。智能电网中的EMS（能量管理系统）通过传感器网络和云计算平台，能够在毫秒级别采集光伏、风能等分布式能源的实时发电数据，同时结合电网负荷需求进行即时优化。自动化控制技术通过先进的控制算法和自适应技术，使得系统能够在接收到数据的瞬间做出响应。^[6]例如，EMS通过传感器采集的数据可即时反馈给自动化控制系统，当风速变化时，系统会立刻调整风电机组的工作状态。当风速超过15 m/s时，系统会启动保护机制，减少风电输出，以保护设备。而当太阳辐射强度下降时，系统会减少光伏发电，自动调度储能系统补充电力缺口。^[7]

2. 动态负荷调整与响应

由于分布式能源的波动性较大，特别是太阳能和风能的间歇性发电特性，电网的负荷需求和分布式能源供电能力并不总是匹配。动态负荷调整通过负荷预测、用户需求响应机制，以及智能设备的自动化调节，能够在短时间内实现电力供需的快速匹配。具体策略包括负荷的灵活调度与快速响应。EMS系统能够实时监控各个用户的负荷情况，并根据预测模型对未来用电情况进行提前规划。例如，当预测到电网负荷在晚间达到高峰时，EMS会通过预先降低某些可中断负荷（如电动汽车充电、工业用电等），来避免电网的过载现象。根据实际数据，某些电动汽车的充电负荷在电网负荷高峰时可降低15-20%，有效减轻了电网的压力。需求响应机制通过与用户的互动，提供动态电价策略，鼓励用户在电力需求高峰时减少用电，并在电力供应充足时增加用电。动态负荷调整的响应时间通常在几秒至几十秒之间，这种快速的响应使得电网能够有效应对分布式能源供电不足或过剩的问题，确保电网的稳定性和分布式能源的高效利用。^[8]

（三）分布式能源的协调控制策略

1. 多能源协调优化

多能源协调优化是分布式能源接入智能电网过程中最重要的控制策略之一，它的核心目标是通过协调各种分布式能源（如太阳能、风能、储能系统等）的输出，使其能够互相补充，从而最大化能源利用率，确保电网的稳定运行。由于各类分布式能源的特性不同，如太阳能依赖光照，风能依赖风速，而储能系统可以平衡发电和用电波动，因此在调度上需要进行多能源协调优化。EMS通过实时采集光伏电站、风电场、储能系统等设备的发电数据，并结合气象预测，建立各类能源的发电模型和需求模型。利用优化算法，系统可以根据当天的气象条件和负荷需求对各能源进行合理调度。例如，当光照强度降低时，EMS会自动减少光伏发电量，同时增加风电场或储能系统的发电或放电。针对能源价

格波动较大的市场环境，EMS还可以根据电价预测对多能源系统进行经济调度。^[9]例如，当电价低时，系统会优先从电网购电，并减少分布式能源发电的输出，而当电价升高时，分布式能源则作为优先电源供应给电网。

2. 智能电网中微网的作用

微网作为智能电网的重要组成部分，是一种将分布式能源、储能系统和负荷紧密结合的局部电网系统，具有独立运行和与主网并网运行的双重能力。微网的核心作用在于通过整合本地的分布式能源系统，提升电力供应的可靠性和灵活性，尤其在应对电网故障、自然灾害或主电网失效时，微网能够提供持续、稳定的电力供应。智能电网中的微网通常配备了多种分布式能源，如光伏、风电和储能系统，并通过EMS系统进行统一协调和管理。^[10]当主电网正常运行时，微网与主电网并网运行，优化能源供应；在主电网出现故障或外部电网供电不足时，微网可以切换至独立运行模式，通过本地的分布式能源和储能系统为用户供电。微网在优化能源使用、提高能源安全性方面具有显著优势。这样的配置不仅增强了该区域对主网的依赖性，还大幅提升了供电的稳定性和灵活性。微网还能够通过需求响应机制灵活调整负荷，最大化利用本地分布式能源。

三、结论

智能电网与分布式能源的结合为未来能源系统的高效、可持续发展提供了新的方向。本文通过分析分布式能源接入智能电网所面临的技术挑战，提出了优化控制策略，特别是在能量管理系统（EMS）、实时控制和多能源协调方面的深入研究。通过有效的调度与管理、负荷预测及储能系统的优化，分布式能源接入智能电网将显著提升能源利用效率与系统稳定性。

参考文献

- [1] 黄政宇. 智能电网中的配电自动化技术应用 [J]. 电子技术, 2023, 52(08): 170-171.
- [2] 吴问足, 赵玉柱, 刘国伟, 等. 考虑电网辅助服务的分布式能源聚合体优化方法 [J]. 电力科学与技术学报, 2023, 38(04): 205-213.
- [3] 赵鹏飞. 智能电网中分布式能量交易优化的研究 [D]. 北京邮电大学, 2024.
- [4] 郭永坤, 郭波, 赵太强. 关于智能电网配电技术及其设备的研究 [J]. 通信电源技术, 2021, 38(01): 232-234.
- [5] 汪磊, 李敬兆, 秦晓伟. 基于区块链的智能电网分布式资源管理研究 [J]. 电测与仪表, 2023, 60(10): 73-78.
- [6] 赖金龙. 分布式能源在配电系统中的接入与运行策略 [J]. 农村电工, 2023, 31(07): 30-31.
- [7] 李华珍. 考虑分布式能源消纳的居民智能用电调度优化研究 [D]. 长安大学, 2022.
- [8] 岳桥思. 110 kV 高州协鑫燃气分布式能源项目接入系统工程施工安全管理研究 [J]. 自动化应用, 2023, 64(08): 237-238+241.
- [9] 卫泽喆, 武家辉, 张华, 等. 基于图形相似度的分布式能源接入配电网差动保护方案 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(06): 2461-2468.
- [10] 王义, 杨志伟, 吴坡, 等. 计及高比例分布式光伏能源接入的配电网状态估计 [J]. 综合智慧能源, 2022, 44(10): 12-18.