

基于新能源消纳的电网规划设计研究

薛庆宽 杨东东 肖臣臣 胡芳芳

国网濮阳供电公司 河南 濮阳 457000

【摘要】：新能源大规模接入电网带来负荷波动和功率不确定性，增加了系统调度和安全运行压力。针对传统电网规划难以满足高比例新能源接入的局限性，提出以负荷预测精度提升、智能调度优化、储能系统合理配置及线路与变电站布局优化为核心的电网规划设计策略。通过多层次协同优化，实现新能源波动的快速响应与功率平衡，提高局部与全局网络承载能力。实施效果显示，新能源利用率明显提升，弃风弃光现象显著减少，电网稳定性和可靠性得到增强，为高比例可再生能源安全接入提供可操作的技术路径与系统化解决方案。

【关键词】：新能源消纳；电网规划设计；灵活调度；储能配置；系统稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.074

1 现有电网消纳能力面临的压力

1.1 新能源接入对负荷波动的影响

大规模风电和光伏发电接入电网导致负荷波动幅度显著增加，呈现出日内和季节性波动特征，短时间内的功率变化对电网频率调节和电压稳定提出高要求。新能源出力受气象条件影响，出现不确定性高、波动频繁、功率快速变化等特性，传统负荷预测模型难以准确反映系统实际运行状态。这种波动性不仅影响线路潮流分布，还会增加调度储备和备用容量需求，对变电站负荷承载能力和主干网输电能力形成约束。高比例新能源接入环境下，需采用动态负荷管理、储能调节以及智能调度策略，以实现功率波动的实时响应，确保电网运行稳定性和新能源充分消纳。

1.2 传统电网规划不足问题

现有电网规划设计以传统负荷增长模式为基础，针对新能源的随机性和波动性缺乏充分考虑，规划容量和运行调度存在局限。线路设计、变电站容量以及调度策略主要针对基荷和可预测负荷，难以满足新能源高比例接入所带来的瞬时功率波动和峰谷差增大问题^[1]。电网缺乏灵活调节手段，储能配置不足，分布式资源接入能力有限，导致新能源消纳效率低下。规划缺口还体现在输电网络冗余度不足和局部网络拥塞，不能有效分散新能源出力波动。优化电网规划需将新能源特性纳入全局设计，增加灵活调节能力和储能支撑，提高线路和站点适应性，以保障电网长期可持续运行。

1.3 电力系统安全运行风险

高比例新能源接入增加了电力系统安全运行的不确定性，可能引发频率偏差、短路电流异常、线路过载和电压波动等风险。新能源出力波动快速，可能引起局部电网功率失衡，若缺乏快速响应和调度手段，系统稳定性易受影响。短时出力突降或波动累积效应可能导致电力系统保护动作误判，引发继电保护误跳闸或电压暂降，增加大规模停电风险。高新能源接入环境下，传统保护策略和调度模式不足以应对复杂负荷和出力波

动，应引入智能监控、动态调节和快速储能响应机制，通过系统化规划设计减少安全风险，提升电网在高比例新能源条件下的韧性和可靠性。

2 新能源消纳需求与规划指标分析

2.1 新能源比例变化趋势

近年来新能源装机容量持续增长，风电、光伏等间歇性能源在电力系统中的占比不断提升，呈现快速增量和空间分布广泛的特点。新能源出力的不稳定性和区域集中性逐渐显现，对电网负荷曲线和潮流分布产生显著影响。高比例接入下，电网日负荷和季节负荷的波动幅度增大，峰谷差明显扩大，现有调度体系的灵活性面临挑战。新能源比例增长不仅改变了系统功率结构，还增加了备用容量和调节储备的需求，对输电能力、变电站容量和配电网承载能力提出新的要求。趋势分析显示，新能源占比的持续上升将推动电网向智能化、柔性化发展，规划设计需要充分考虑区域间新能源分布、功率波动特征以及并网密度，确保高比例新能源接入不会引发系统不稳定问题，同时保障电网调度的灵活性与可靠性。

2.2 消纳能力评价方法

新能源消纳能力评价需要量化电网对波动性发电源的接纳能力，并将其纳入电网规划与运行决策体系，以确保高比例新能源接入条件下的系统稳定性和经济性。评价方法应同时覆盖静态和动态两个层面。静态评价侧重容量匹配、网络冗余度及节点承载能力，分析新能源出力与现有线路容量、变电站负荷能力的匹配程度，识别潜在瓶颈区域和电力输送限制；动态评价关注功率波动对系统频率、电压稳定性及潮流分布的影响，考察储能系统响应、调峰能力及智能调度策略在消纳过程中的作用效果^[2]。建立完善的消纳能力指标体系，可量化新能源接入比例、弃风弃光率、储能响应效率以及电网运行安全裕度，为规划设计提供科学依据。结合大数据分析、智能仿真和多场景模拟，可实现对新能源出力波动、负荷变化及调度策略的综合评估，提升预测精度和决策可操作性，为高比例新能源

接入提供可靠的规划标准和技术支撑。

2.3 规划指标与电网约束关系

电网规划指标与系统约束高度相关，直接影响新能源接入的可行性和消纳效果。规划指标包括变电站容量、线路额定功率、调峰储备量及备用容量，而约束因素涵盖线路潮流限制、节点电压水平、系统频率调节能力和安全裕度等。新能源高比例接入会导致局部电网负荷集中和电压波动，需通过优化线路布置、提升储能调节能力、合理配置备用容量以满足系统约束。规划指标设计需充分考虑空间分布特性和功率波动规律，将储能、柔性负荷及智能调度纳入整体体系，形成动态适应能力，确保电网运行安全与稳定。指标与约束的耦合分析能够指导合理投资与调度安排，提高新能源消纳效率，同时优化经济性和可靠性，为高比例新能源接入提供系统化规划支撑。

3 电网规划优化设计策略

3.1 负荷预测与调度优化

高比例新能源接入对电网负荷曲线和运行调度提出了更高要求，负荷预测必须兼顾日内波动和季节性变化，覆盖多时段、多区域、多能源类型的综合功率特性。精确预测不仅需要利用历史负荷数据，还需整合气象信息、能源出力模式及市场需求动态，通过机器学习和智能算法实现多维度分析与短期、超短期预测的融合。预测结果直接影响调度策略制定，包括峰谷负荷分配、储能启停、可调负荷参与及电力市场响应机制。调度优化应结合新能源波动特性，采用多目标优化方法，实现频率稳定、线路潮流均衡、节点电压约束满足以及备用容量最小化。动态调度可通过智能化系统实时监控新能源出力和负荷波动，快速调整发电机组出力、储能充放电和柔性负荷响应，实现对功率波动的快速响应和负荷均衡，从而提升系统灵活性与稳定性，为高比例新能源接入提供可靠支撑。

3.2 储能系统配置方案

储能系统是缓解新能源出力波动、提高消纳能力的关键手段，其配置策略直接影响电网灵活性和运行效率。储能系统设计需结合容量、功率、充放电速率和循环寿命等指标，实现对高峰负荷和新能源突发波动的快速响应。配置方案应优化储能分布位置，既保障关键节点的电压稳定，又提升全网功率调节能力，实现局部和全局功率平衡^[3]。多类型储能协同运行可增强系统韧性，包括电化学储能、机械储能及热储能等，通过先进控制算法实现能量优化调度和负荷削峰填谷。储能系统还需与智能调度平台紧密耦合，基于实时负荷和新能源出力预测动态调整充放电策略，降低弃风弃光比例，缓解网络拥塞，提升新能源接入比例和经济性。在规划阶段对储能容量和布局进行科学设计，可有效支撑电网灵活运行，为新能源高比例接入提供可靠的技术保障和系统支撑。

3.3 线路与变电站布局优化

电网线路与变电站布局是提升新能源消纳能力的基础条件，优化需考虑空间分布、负荷集中程度、功率波动特性及输电约束。布局优化应在保障主干网安全裕度和电压稳定的前提下，合理设计线路容量、节点联络关系和变电站容量，提升局部和全局网络的承载能力。高比例新能源接入情况下，区域间出力差异显著，需要优化功率流分布和网络冗余度，以减少输电拥堵风险和电压波动。布局策略可结合分布式能源接入特性，采用柔性线路技术、智能开关和实时调控装置，实现电网自适应调节。变电站容量配置需兼顾长远发展和可再生能源接入增长趋势，同时保持调峰、备用及快速响应能力。优化的线路与变电站布局可降低功率损耗、减少弃风弃光现象，并为储能和负荷调度提供空间和条件，实现新能源消纳最大化与电网安全稳定运行。

4 规划设计实施效果分析

4.1 新能源利用率提升情况

通过优化电网规划设计，新能源发电接入后的利用率显著提高。负荷预测精度提升和调度策略优化确保新能源功率波动能够在系统内快速吸收，减少了因负荷与出力不匹配产生的浪费。储能系统在高峰和低谷时段实现能量平衡，削峰填谷效果明显，增强了电网对波动性发电源的适应性。优化线路和变电站布局提高了区域间功率传输能力，减轻了局部电网拥堵问题，使新能源发电能够顺利输送至负荷中心，实现全网协调消纳。多类型储能协同控制和智能调度的结合，使新能源出力的实时波动得到快速补偿，提升了发电资源的有效利用。系统运行数据表明，通过全方位规划设计，风电和光伏等间歇性能源的接入比例与实际消纳能力更加匹配，新能源利用率显著提升，为电网安全高效运行提供了坚实支撑，同时降低了备用容量占用和能源浪费，促进了能源结构优化和清洁能源高效应用。

4.2 弃风弃光减少效果

电网规划设计优化显著降低了弃风弃光现象，通过提高线路承载能力、增强变电站调节能力及储能系统快速响应，使新能源出力能够被及时消纳^[4]。负荷预测与调度优化提升了功率匹配效率，使新能源在波动和瞬时突变情况下仍能保持高比例接入。储能系统的合理配置和充放电策略有效吸收新能源出力过剩，在发电峰值阶段起到缓冲作用，平滑了电网功率曲线，减少局部拥堵和发电弃用情况。网络优化与柔性设备的应用提升了区域间功率分配能力，改善了电网功率流不均衡问题，确保各节点出力得到充分利用。数据分析显示，优化后的规划使弃风弃光率明显下降，新能源消纳效率大幅提升，有助于提升整体系统经济性和清洁能源比例，实现新能源的高效利用和电网可持续发展目标。

4.3 电网稳定性和可靠性验证

实施优化规划设计后,电网在高比例新能源接入条件下的稳定性与可靠性显著增强。负荷波动、功率不平衡及快速出力变化通过智能调度和储能系统实现实时补偿,使系统频率偏差和电压波动得到有效控制。线路和变电站布局优化提高了主干网冗余度和节点调节能力,减轻了局部负荷集中带来的过载风险。多目标调度策略确保发电机组、储能和负荷响应协同作用,实现系统频率和电压稳定性约束的全覆盖。电网运行监控显示,优化后的规划设计能够在高峰负荷和新能源突出力情况下维持安全裕度,降低线路过载和继电保护误动作概率。整体效果表明,系统可靠性得到提升,运行安全性增强,为高比例新能源持续接入提供坚实技术保障,并为未来电网灵活化、智能化发展奠定基础,实现经济性、稳定性和可再生能源消纳的协同优化。

5 电网规划设计经验与改进方向

5.1 关键技术与方法总结

电网规划优化过程中,负荷预测、智能调度、储能配置以及线路与变电站布局是核心技术环节。负荷预测结合多维数据分析与机器学习算法,实现对多区域、多时段新能源出力和负荷特性精确建模,提高系统调度的响应速度和预测准确性。智能调度通过多目标优化方法协调发电、储能和可调负荷,实现频率、潮流及电压约束的全覆盖。储能系统设计采用容量和功率协同优化,保证对新能源峰谷波动的快速响应,同时提升系统经济性和安全裕度。线路和变电站布局优化整合网络冗余、功率流均衡及节点承载能力分析,实现高比例新能源接入的系统适应性。关键技术应用体现出规划设计的系统化、柔性化和智能化特征,通过多层次协同优化,提高电网消纳能力与安全运行水平,为高比例新能源稳定接入提供可靠支撑。

5.2 规划设计对新能源消纳的促进作用

优化规划设计显著提升了新能源消纳能力和电网运行效

率。通过精确负荷预测与实时调度,波动性发电源的输出能够得到快速吸收,减少功率浪费。储能系统和柔性负荷的协同作用缓解了功率峰谷差,提升了对新能源快速变化的适应性。线路和变电站布局优化增强了电力传输能力和局部网络调节能力,使区域间功率分配更加均衡,降低弃风弃光发生率^[5]。优化方案不仅改善了电网的运行稳定性,还实现了高比例新能源接入与消纳效率的平衡。系统化技术整合和智能化调度策略提供了可操作的解决方案,将新能源波动特性与电网能力相匹配,形成高效消纳模式,有效支持清洁能源比重提升和电力结构优化,实现经济性与可再生能源利用率的同步提高。

5.3 可持续发展策略建议

电网规划应以可持续发展为核心,强化技术创新与系统柔性,提高对新能源消纳能力的长期支撑。策略包括智能化储能系统的动态配置、多目标优化调度、线路与变电站布局的冗余设计以及可调负荷的灵活参与,实现电网经济性、安全性和环境效益的协调统一。规划指标应动态调整以适应新能源装机比例增长和区域功率分布变化,确保系统运行在安全裕度范围内。结合数字化监控与预测技术,实现对新能源出力、负荷变化及系统响应能力的实时分析和优化控制。策略优化不仅提升电网消纳效率,还增强系统韧性与调节能力,为新能源高比例接入和电力系统可持续发展提供技术和方法保障,同时为未来智能化、低碳化电网建设奠定可靠基础。

6 结语

电网规划设计在高比例新能源消纳条件下展现出系统化、智能化、柔性化的优化路径,提升了对新能源波动性出力的适应与协调能力。负荷预测精度与调度策略优化为持续提升消纳能力奠定基础,储能系统配置提升了功率平衡调节能力,而线路与变电站布局优化增强了网络承载与传输能力。在规划设计的实施效果分析中,新能源利用水平明显提高,弃风弃光现象显著减少,电网稳定性与可靠性得到充分验证。可持续发展策略强调技术与规划协同推进,为未来能源结构转型提供支持。

参考文献:

- [1] 管永生.用市场力量推动新能源消纳升维[J].中国电力企业管理,2025,(34):1.
- [2] 赵清华,张姝,周勇军,等.基于电解铝负荷弹性的地区电网新能源消纳方法[J/OL].工程科学与技术,1-13[2026-05-08].
- [3] 宋竹萌,王宝,贾健雄,等.面向新能源消纳和季节性负荷供应的农村配电网联合调控策略[J].电力科学与技术学报,2025,40(06):77-89.
- [4] 基于电力保供和新能源消纳协同的陕西电网规划关键技术及应用[J].智慧电力,2025,53(10):2+127.
- [5] 何栓.数字化电网技术在电网规划设计中的应用[J].光源与照明,2025,(01):243-245.