

Optimization and control method of new energy access in power system

Guangniu Wang

Shaanxi Coal Group Yulin Chemical Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719100, China

Abstract

The current power system large-scale access to new energy has become the main trend of the future energy structure adjustment, power system facing load fluctuation, frequency deviation, voltage stability and tide distribution complexity increasingly, in order to achieve new energy high access condition grid security, economic, green optimization operation, need to in-depth study on regulation method. The optimization control method of new energy access in power system emphasizes the reasonable balance of volatility and uncertainty in operation planning, real-time control and dispatching strategy, and introduces the multi-level coordination, hierarchical architecture, flexible resource allocation and multi-time scale comprehensive optimization mode in the selection of technical path. By improving the regulation model, improving the optimization algorithm, strengthening the interaction between the system side and the source side, and improving the supporting technical standards, the precise regulation of the power system is realized.

Keywords

new energy access; power system; optimized regulation and control; coordinated operation; and comprehensive indicators

电力系统新能源接入优化调控方法

王广牛

陕煤集团榆林化学有限责任公司, 中国 · 陕西 榆林 719100

摘 要

当前电力系统大规模接入新能源已成为未来能源结构调整的主要趋势, 电力系统面临的负荷波动、频率偏差、电压稳定和潮流分布复杂化等问题日益凸显, 为了实现新能源高比例接入条件下电网安全、经济、绿色的优化运行, 亟需针对调控方法进行深入研究。电力系统新能源接入优化调控方法强调在运行规划、实时控制及调度策略环节中合理权衡波动性与不确定性, 并在技术路径选择中引入多层次协调、分层架构、灵活资源配置与多时间尺度综合优化模式。通过改善调控模型、完善优化算法、强化系统侧与源侧互动以及健全配套技术标准, 实现对电力系统的精准调控。

关键词

新能源接入; 电力系统; 优化调控; 协调运行; 综合指标

1 引言

电力系统中新能源接入所引发的运行特性变化已成为业界关注焦点。新能源出力具有间歇性与随机性, 在大规模并网后导致传统电力平衡格局与调度策略面临严峻挑战。在各种新型电力市场环境及分层调度机制下, 强化对新能源电源特性的深度研究, 构建适应高比例新能源的优化调控方法, 有助于实现电网多源互补、灵活调度与高效消纳。电力系统中的控制手段从传统定频、定压调节扩展到负荷跟踪、储能调配和综合能源利用, 相关环节的耦合日益紧密。如何综合考虑多时间尺度的运行规划、提高系统的鲁棒性与弹性以及有效缓解新能源出力的波动特性成为研究重点^[1]。本文将从理论、模型、指标体系与策略实施四个层面全面论述

新能源接入优化调控方法, 为未来电网的高比例清洁能源融入提供有力借鉴。

2 新能源接入电力系统的特性分析

在电力系统中, 新能源主要包括风电与光伏发电, 二者出力特性存在明显的时空波动性, 并受到气象条件、季节变化以及地域特征的显著影响。风电功率曲线取决于风速分布与机组性能, 若统计某区域 100 台风力发电机组在年运行周期内的数据, 可发现其功率输出在高风速条件下集中分布于额定功率的 80% 至 100% 区间, 当风速低于额定风速的 50% 时, 功率输出则下降至额定值的 20% 以下, 这种非线性变化对电力平衡构成较大挑战。光伏出力同样受日照强度与光照时间的影响, 如在某典型区域, 全年中约有 120 天日照不足 4 小时, 光伏出力在这类时段会低于满额功率的 30%, 而在充足日照条件下, 出力可接近峰值, 两者之间的巨大落差使得系统调度需具有更高灵活性。不同区域的新能

【作者简介】王广牛 (1985-), 男, 中国陕西榆林人, 本科, 工程师, 从事电气研究。

源资源禀赋也不尽相同,在资源丰富地区,新能源装机容量相对较大,导致出力峰谷差比常规机组大幅增大,比如一个年平均风速 6m/s 的沿海区域中,风电场最大与最小出力可相差数十万千瓦,对输电通道及调度策略提出严苛要求。配电环节同样受到影响,在大量分布式光伏接入后,低压配电网络的电压分布更趋复杂,可能出现局部电压抬升或谐波畸变。为了降低电压越限风险,必须建立动态分配潮流的优化方法,引入电容器投切、无功补偿装置配置以及灵活负荷调整等策略。与此同时,线路传输能力与故障水平也随之变化,在高比例新能源接入下,故障电流特性与暂态电压行为更趋复杂,故障清除时间、保护定值与重合闸策略需同步调整。

3 新能源电力系统运行特性中的关键问题研究

3.1 不确定性对系统平衡的影响

新能源出力的不确定性对系统的有功与无功平衡产生深远影响。功率预测误差是造成不确定性的主要来源,如针对某风电场的研究数据表明,在 100 个采样日中,10 分钟级风电功率预测误差的标准偏差达到额定容量的 8%,并在极端天气条件下下降至 12%。这类误差会使调度指令在执行过程中面临偏差累积问题,一旦无法及时通过其他电源或储能资源弥补,则可能导致系统频率偏移与电压波动^[2]。通过概率分布建模与场景生成技术,可在优化调度中考虑多种可能出力曲线,选择满足各种场景下安全约束的最优方案。应对不确定性的关键在于灵活性资源配置,包括短时储能、可中断负荷与快速响应机组。这些资源在秒级至小时级的时间尺度内可有效应对新能源出力的随机偏差。

3.2 频率与电压控制面临的挑战

大规模新能源接入改变了电力系统频率支撑与电压支撑的传统格局。常规同步发电机数量减少、惯性水平下降,系统频率响应特性趋于脆弱。当风电与光伏出力突然大幅波动时,频率调节能力受到严峻考验。若在某高占比新能源电力系统中,惯性减半,短时频率跌落速率可能由原先的 0.1Hz/s 提升至 0.3Hz/s,若调频措施不及时,将引发系统频率越限风险。此时需要储能快速爬坡或可再生能源自身具备一定的频率响应功能,使频率偏差在若干秒内回归安全区间。电压控制同样面临挑战,集中式与分布式新能源发电的潮流注入模式差异显著。当光伏出力激增时,配电线路末端的电压可抬升至 1.1 倍标称值以上,若无分布式无功补偿或电压调节,易造成用户侧设备过热或保护误动作。通过提升有功无功独立调节能力、引入无功补偿装置、灵活运用有载分接开关和静止无功补偿器等手段,可在多时段调控中保障电压水平平稳运行^[3]。

4 新能源接入优化调控的建模方法与指标体系

4.1 优化调控模型的构建及参数设计

构建优化调控模型需考虑多种因素,包括发电侧的功率波动、输电网络的输送能力以及用电侧的负荷特征。在一

个典型的大电网中,考虑 5000 万千瓦总装机容量,其中新能源占比达 35%,即 1750 万千瓦包含风电与光伏。为确保高比例新能源条件下的经济性与可靠性,模型中需设定关键参数,如调峰备用容量通常应在新能源装机的 20%~30% 之间取值,若风电装机达到 1000 万千瓦,调峰备用为 200 万至 300 万千瓦之间。调频备用配置可根据频率安全约束确定,例如当风电在 10 分钟内最大波动范围为 300 万千瓦,为维持频率偏差小于 0.2Hz,需配置不少于 50 万千瓦的快速响应储能单元。电压约束方面,在无功电源不足时,电压偏差可能超过 5%,通过设定无功备用策略,在 3 个重要电压控制节点各配置 2 万千瓦的无功补偿装置可有效抑制电压波动^[4]。优化模型还应包含输配电约束条件,如对某关键输电线路,其最大传输能力为 500 万千瓦,若风电高峰出力达 400 万千瓦,需为其他常规机组与负荷留出 100 万千瓦裕度,以避免线路过载。

4.2 综合评估指标的构建

为量化优化调控方法的有效性,需构建综合评估指标体系。经济性指标方面,可定义系统年运行总成本与单位负荷成本,若一年内电力系统总运行成本为 500 亿元,在传统模式下单位负荷成本为 0.50 元/千瓦时,通过优化调控后可下降到 0.45 元/千瓦时,节约幅度约 10%。可靠性指标如年停电时间与负荷损失期望值,若原先年均停电时间为 30 分钟,优化后可降至 20 分钟,负荷损失期望值由 100 万千瓦时减少至 80 万千瓦时,提升了用户供电质量^[5]。灵活性指标包括调峰备用率与调频响应速度,例如将调峰备用率提高 2 个百分点,在强风时段保持风电与负荷平衡。环保指标则关注碳排放与污染物减排量,若通过优化调控将火电使用率降低 5%,可减少二氧化碳排放约数十万吨。指标体系还可以包括新能源利用率,如在不优化调控下,弃风弃光率为 8%,在优化后降至 5%,每年多消纳清洁电量数亿千瓦时。综合指标可用加权综合评分法进行量化,假设经济性权重 0.3、可靠性 0.3、灵活性 0.2、环保 0.2,若优化前综合得分为 75 分,优化后达 85 分,说明调控方法在多维度均有改善。

5 优化调控策略的实施方案及效果评估

5.1 调控策略的分层实施架构

实现优化调控策略需构建分层实施架构,包括规划层、调度层与实时控制层。在规划层面,针对一个总装机 1 亿千瓦的电力系统,其中新能源 3500 万千瓦,应在 5 年规划周期内逐步增加储能规模由 500 万千瓦提升至 800 万千瓦,同时配套建设 50 个电压调节站点与 100 个灵活负荷示范区。在调度层,应针对 24 小时运行周期进行细化,对于风电功率日内波动在 10%~25% 区间的情况,安排 5%~8% 的旋转备用,在 200 个典型日内测试,有 180 个日可将频率偏差控制在 0.2Hz 以内,电压越限率低于 1%。实时控制层通过高速数据采集与控制系统,在 5 秒级时间分辨率内对出力偏差

进行调整,储能系统可在5秒内完成50%的功率爬坡,确保电压偏差在0.5%以内,频率偏差在0.1Hz以内。通过分层架构,实现不同时间尺度与调控手段的有机结合。在每个层面,需明确信息交互机制,如在规划层,以年度为单位评估设备扩建与改造需求,在调度层,以日为单位滚动优化机组组合,在实时控制层,以秒级时间尺度动态调整储能与无功补偿设备运行模式。分层架构使调控策略更具弹性与应变能力,即使在高比例新能源情景下,仍能保持电网稳定高效运行。

5.2 优化调控策略在不同场景下的绩效评估

为验证调控策略的有效性,需在多种场景下进行绩效评估。选择3类典型场景:高风场景(风电占比50%),高光场景(光伏占比30%,风电20%),以及混合场景(风电25%,光伏25%,其他清洁能源10%)。在高风场景中,假设总装机5000万千瓦,风电2500万千瓦,评估在50个典型日内的运行效果,经调控后平均弃风率由7%降低至4%,提高风电利用率,同时频率偏差由0.25Hz下降至0.15Hz。电网负荷峰谷差减小10%,输电线路过载率降低至2%以下。在高光场景中,总装机6000万千瓦,光伏1800万千瓦,在50个典型日测试中,弃光率由9%降至5%,电压越限率由2%降至1%,储能参与调峰使得夜间负荷供应更趋稳定。在混合场景中,总装机8000万千瓦,风电2000万千瓦,光伏2000万千瓦,经调控后,系统综合利用率提高5个百分点,年运行总成本降低约5%,频率调节响应时间平均减少30秒。在200个多元气象样本下,有90%的场景可将电压偏差控制在 $\pm 5\%$ 范围内。对比不同策略的性能,若不实施优化调控,每年经济损耗增加约10亿元,弃风弃光率上升约3个百分点,故障恢复时间延长10%,说明优化调控策略在多场景下均能显著改善系统性能。

5.3 优化调控策略的可扩展性与长期影响

在未来电力系统中,新能源占比可能进一步提升至50%甚至更高,此时需考察优化调控策略的可扩展性与长期影响。假设在10年内,系统总装机由1亿千瓦增加至1.5亿千瓦,新能源由3500万千瓦提高至7500万千瓦,对比不采取调控措施的情形,若始终执行优化调控策略,在中长期规划层面,可将弃风弃光率维持在5%以下,而无调控情形可能升至12%。同时通过合理的储能与调度安排,年运行

总成本可减少约50亿元,碳排放减少约2000万吨。若在逐年提升新能源比例的过程中,每年动态调整策略参数与备用配置,可保持系统频率偏差不超过0.2Hz,电压偏差不超过5%,而无优化调控则可能出现频率偏差0.3Hz以上与电压偏差7%以上的情况。在长达10年运行周期内进行统计分析,有90%以上的年份中系统综合指标评分超过80分,显著高于无调控策略下的70分。通过在不同规划方案中评估优化调控策略的长期应用前景,可预见随着储能技术进步与电网数字化水平提高,该策略具有很强的可扩展性,能适应未来更高比例的新能源接入。若进一步对参数进行灵活调整,在2000个长期场景下,有95%的场景能在多维指标中保持性能优良,为能源转型目标提供坚实支撑。

6 结语

高比例新能源接入已成为电力系统发展的必然方向,但随之而来的功率波动、频率控制、电压支撑以及调度规划等难题亟待解决。本文从新能源接入特性、网络输配电影响、调度优化要点到综合指标体系与实施架构等方面系统阐述了优化调控方法的理论基础与实践路径。借助多时间尺度建模、鲁棒优化与灵活备用配置,可有效应对不确定性与波动性,通过综合指标体系的量化与场景分析验证,优化调控方法在经济性、可靠性、灵活性与环保性方面均有显著提升。未来电力系统在更高比例清洁能源接入条件下,仍可通过不断完善优化调控手段与调整参数设计策略,确保电网的安全稳定与高效运行,为能源结构转型与可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 郝震楠,黎钰腾.高比例可再生能源电力系统的调度优化方法研究[J].电力系统自动化,2024,48(2):73-78.
- [2] 蔡弘攀,屠昊朋.清洁能源并网下的电网灵活性提升策略[J].电网技术,2023,47(5):55-62.
- [3] 钱越璋,钟砚序.多时间尺度电力系统规划与运行优化研究[J].中国电机工程学报,2024,40(10):101-109.
- [4] 马鹤扬,董璟璐.储能配置与电网调控策略协同优化探讨[J].电力建设,2023,39(4):88-95.
- [5] 黎诗恩,邹远华.高比例新能源电力系统频率与电压控制技术进展[J].南方电网技术,2024,22(3):44-51.