

风电场无功补偿装置配置对电网电压稳定的作用探讨

余学林

中国水利水电第九工程局有限公司 贵州 贵阳 550081

【摘要】：随着风电装机规模持续扩大，风电场并网对电网电压稳定性的影响日益突出。风电机组出力具有随机性和波动性，易引发并网点电压波动和无功功率失衡。围绕风电场无功补偿装置的配置问题，分析不同无功补偿方式在电压调节中的作用机理及其对电网电压稳定性的影响特征。结合风电场运行特点，探讨无功补偿容量配置与控制策略对改善电压水平、增强系统动态响应能力的效果。研究表明，科学合理的无功补偿装置配置能够有效提升风电并网电压稳定性，为高比例风电安全、稳定接入电网提供技术支撑。

【关键词】：风电场；无功补偿；电压稳定；SVG；并网运行

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.011

引言

在能源结构转型背景下，风电作为重要的可再生能源得到大规模开发应用。然而，风电出力受风速变化影响显著，其并网运行对电网电压稳定带来新的挑战。无功功率调节能力不足会导致电压波动放大，甚至引发电压失稳问题。无功补偿装置作为改善电网电压质量的重要技术手段，其配置方式与控制性能直接关系到风电场并网运行的安全性与可靠性。针对风电场运行特性，研究无功补偿装置配置对电网电压稳定的影响具有重要的工程意义和应用价值。

1 风电并网条件下无功功率调节特性的演变

在大规模风电接入电网之前，电力系统无功功率调节主要依赖同步发电机的励磁系统以及变电站内的常规无功补偿设备，调节对象相对集中，电压变化具有较强的可预测性。随着风电装机容量不断提升，风电场逐步由电网的被动负荷转变为重要的电源节点，其无功功率特性和调节行为对系统电压的影响显著增强。风电机组多采用双馈感应发电机或全功率变流型发电机，通过电力电子装置与电网相连，使无功功率调节方式由传统机电特性主导转向以电力电子控制为核心的快速调节模式。

在风电并网运行条件下，无功功率输出呈现出明显的动态性和区域性特征。一方面，风速波动导致有功出力频繁变化，使并网点电压随之产生波动，从而引发无功功率需求的快速变化；另一方面，风电场通常远离负荷中心，接入电网的短路容量相对较小，系统对无功功率变化更为敏感。这种背景下，风电机组本体所具备的无功调节能力在容量和响应深度上受到限制，难以单独满足电网电压稳定运行的需求。随着电网对风电并网技术要求的不断提高，无功功率调节特性逐渐从单一设备调节向多层次、协同调节演变。风电机组、场站级无功补偿装置以及升压站设备之间形成了相互配合的调节体系，通过电

压一无功控制策略实现对并网点电压的综合支撑^[1]。在这一过程中，无功调节的重点由稳态电压控制拓展至暂态和动态电压支撑，对调节速度、控制精度及稳定裕度提出了更高要求。在高比例风电接入条件下，无功功率调节特性还体现出更强的系统耦合性。风电场无功输出不仅影响自身并网点电压，还会通过电网结构传递至相邻节点，改变区域电压分布特性。

2 无功补偿配置对电压稳定支撑能力的影响机理

无功补偿装置在风电场并网运行中承担着维持电压稳定和改善电能质量的重要功能，其配置方式直接决定电网对电压扰动的承受能力。从电力系统运行机理来看，电压稳定性本质上取决于系统在扰动发生后持续提供无功功率的能力。当风电出力波动或电网工况发生变化时，并网点电压偏移往往伴随着无功功率需求的快速增加，若无功支撑不足，电压将进一步下降并形成恶性循环。通过合理配置无功补偿装置，可以在关键节点及时提供或吸收无功功率，从而抑制电压偏移的扩展。

无功补偿装置的容量配置对电压稳定支撑能力具有决定性影响。补偿容量偏小会导致在重载或故障扰动条件下无功支撑不足，电压恢复过程缓慢甚至失效；容量配置过大则可能引发电压过冲和控制振荡，削弱系统运行稳定性。因此，无功补偿容量需要与风电场装机规模、接入电网的短路容量以及运行方式相匹配，使其在不同工况下均处于有效调节区间^[2]。通过在并网点及关键电压敏感节点布置适当容量的补偿装置，可以显著提高系统的电压稳定裕度。不同类型无功补偿装置在电压稳定支撑中的作用机理存在差异。以电力电子技术为基础的动态无功补偿装置具备响应速度快、调节连续性强的特点，能够在电压突变初期迅速介入，为系统提供瞬时无功支撑，有效抑制电压跌落幅度。传统并联电容器和电抗器则更适用于稳态电压调节，其投切行为对系统无功平衡具有长期支撑作用。将动态补偿与静态补偿相结合，可在不同时间尺度上形成互补，提

高电压调节的整体效果。

无功补偿配置对电压稳定性的影响还体现在控制策略与系统结构的耦合关系上。补偿装置若仅依据本地电压进行独立控制,可能在复杂运行条件下引发多点调节冲突,削弱整体支撑效果。通过引入协调控制机制,使无功补偿装置与风电机组无功控制策略协同运行,可增强系统对电压扰动的自适应能力。在这一机制下,无功补偿配置不再是单纯的设备选型问题,而是电压稳定支撑体系中的关键组成部分,对保障风电并网电网安全稳定运行具有基础性意义。

3 优化无功补偿配置的实践效果与发展趋势

在风电场并网工程实践中,通过对无功补偿装置进行针对性优化配置,可以显著改善电网电压运行水平,并提升系统在复杂工况下的稳定支撑能力。合理的配置方案通常以并网点电压稳定需求为核心,将无功补偿装置的容量分布、布置位置及控制模式进行整体协调。在实际运行中,当风电出力发生波动或系统负荷水平变化时,优化后的无功补偿体系能够快速响应电压偏差,维持并网点电压在允许范围内,从而减少电压越限和频繁调节现象。

从运行效果来看,优化无功补偿配置对电压动态过程具有明显改善作用。在电网扰动或短时电压跌落情况下,动态无功补偿装置能够迅速输出无功功率,为系统提供瞬时电压支撑,缩短电压恢复时间。同时,配合静态补偿设备的平滑调节,可有效降低电压波动幅值,提升电压曲线的稳定性^[3]。这种多层次无功支撑模式不仅改善了风电场自身的并网性能,也减轻了

相邻电网节点的电压调节压力,提高了区域电网的整体稳定水平。在长期运行过程中,优化配置的无功补偿装置还表现出良好的适应性。通过参数整定和控制策略优化,无功补偿系统能够根据运行方式变化自动调整调节特性,在不同季节负荷水平和风资源条件下保持稳定运行状态。这种灵活性有助于减少人工干预,提高风电场运行的可靠性和经济性。同时,电压合格率和设备利用效率的提升,也为电网安全运行提供了有力保障。

从发展趋势来看,无功补偿配置正由经验型设计向精细化、智能化方向演进。随着电网监测与控制技术的进步,基于实时运行数据的无功优化配置逐步成为可能。无功补偿装置与调度系统、风电场能量管理系统之间的信息交互不断加强,使电压调节从局部响应转向全局协同控制。在高比例可再生能源接入背景下,这种以电压稳定为目标的无功补偿配置优化模式,将在保障电网安全、提升新能源消纳能力方面发挥更加重要的作用。

4 结语

风电装机规模持续扩大使电网电压稳定面临更高要求,无功功率调节能力已成为保障风电并网安全运行的关键因素。通过分析无功补偿配置对电压稳定支撑机理及其运行效果可以看出,科学合理的无功补偿方案能够有效缓解电压波动、提升系统稳定裕度,并增强电网对风电出力不确定性的适应能力。随着控制技术与系统协同水平不断提升,无功补偿配置将在支撑高比例风电接入和电网安全运行中发挥更加重要的基础作用。

参考文献:

- [1] 赵映泽.风电场无功电压控制辅助决策实时数据处理模型[J].电气技术与经济,2025,(11):341-343.
- [2] 郝成亮,陈延硕,王长江,等.计及电压支撑能力差异化的双馈风电场无功控制策略[J/OL].电网技术,1-15[2026-01-20].
- [3] 林俐,虞睿雯,刘喆林,等.含构网型储能的风电场多时间尺度无功优化控制策略[J/OL].华北电力大学学报(自然科学版),1-14[2026-01-20].