

商业用户 35kV 光伏并网变电站无功补偿装置配置优化研究

黄 彬

江苏海宏电力工程顾问股份有限公司 江苏 无锡 214028

【摘 要】：针对商业用户 35kV 光伏并网变电站中电压波动与功率因数不稳定等问题，研究无功补偿装置的优化配置方法。通过分析光伏出力特性与负荷变化规律，构建无功需求模型，并结合经济性与可靠性提出优化策略。采用仿真与实际数据验证，结果表明该方案可有效提升电网电压质量、降低无功损耗并增强光伏消纳能力，为同类型电站提供优化参考。

【关键词】：35kV 光伏并网；无功补偿；优化配置；电压稳定

DOI:10.12417/2811-0528.26.01.043

引言

随着新能源的大规模接入，商业用户 35kV 光伏并网变电站在运行过程中常面临电压波动与无功平衡失调等挑战。光伏出力的间歇性和不确定性加剧了电网运行压力，若无功补偿配置不合理，不仅影响电能质量，还会增加线路损耗。合理优化无功补偿装置的配置，对保障电网稳定、提升光伏消纳率具有重要意义。通过科学分析电站运行特性，提出切实可行的优化方案，可为后续类似项目提供技术支持与理论依据。

1 商业光伏并网变电站无功问题分析

商业用户 35kV 光伏并网变电站在实际运行过程中，受光伏电源输出特性与商业负荷变化规律的共同影响，电网的电压稳定性与无功平衡面临复杂挑战。光伏电站输出受日照强度、气象条件等因素影响，呈现出间歇性与波动性，尤其在清晨、傍晚或云层快速变化的情况下，光伏出力会产生较大幅度的波动。这种波动直接作用于并网点电压，使系统电压频繁升高或降低，从而导致电能质量下降。商业用户的负荷特性呈现明显的峰谷分布，不同时间段负荷差异显著，当高峰时段与光伏出力高峰重叠时，可能造成无功需求激增，进一步加剧电网的无功不平衡状态。

在商业用电场景中，负荷多以感性设备为主，如大型空调系统、电动机及冷冻设备，这类设备在运行过程中会持续消耗无功功率，导致功率因数下降。当光伏电站并网后，若无功补偿装置配置不合理，难以在瞬时满足无功需求，电压调节能力减弱，出现电压失稳甚至波动超标的现象。此类问题一旦累积，不仅会引起设备运行效率下降，还可能触发保护装置误动，影响光伏电站的安全并网和电网的正常运行。

光伏电源输出的不确定性，使得无功功率的调节需求具有动态特征。晴天与阴雨天之间光伏出力差距明显，在短时间内可能出现大幅波动，这对 35kV 配电系统提出了更高的动态调节要求。若无功补偿滞后或配置不足，容易引发并网点电压偏

高，影响光伏电能的消纳能力。当并网点电压升高至一定程度，还会导致逆变器保护动作，出现光伏机组脱网现象，从而降低系统运行的稳定性与经济性。

商业负荷在白天集中度高，夜间显著下降，与光伏出力时间分布并不完全匹配。当光伏出力大于本地负荷时，多余功率需要通过上级电网消纳，此时若无功补偿不足，上级电网会承担更多电压调节压力，进一步增加系统运行风险。不同季节和气候条件下，光伏与负荷的匹配程度也会发生变化，使无功功率需求呈现出周期性波动。

2 无功补偿装置优化配置策略

无功补偿装置的配置优化应以电站运行工况为基础，通过建立精确的无功需求模型，对光伏出力与商业负荷特性进行综合分析。该模型需要考虑实时电压水平、负荷曲线、光伏输出曲线及系统功率因数等多重因素，并引入时间分段法对不同运行时段无功需求进行计算，使模型更贴合实际运行情况。通过对历史运行数据和预测数据的分析，能够识别电压易波动时段和无功缺口变化趋势，为装置配置提供可靠依据。

在优化配置过程中，需要结合电能质量标准与经济性要求，确定无功补偿目标值。传统的固定式补偿装置虽然能够提供基础无功支撑，但调节灵活性不足，难以应对光伏出力大幅波动时的实时调整需求。将动态无功补偿装置与静态装置相结合，可以在满足基础无功需求的同时，实现快速响应与精细控制。通过配置并联电容器组与静止无功发生器（SVG）组合运行，使系统既具备稳定的长期补偿能力，又具备在瞬时波动时快速响应的特性，从而有效抑制电压波动并维持功率因数在合理范围内。

在装置选择上，应根据负荷结构和运行特点进行分层配置。对于持续运行的大型感性负荷，可采用集中式固定补偿方式，以降低线路无功损耗；对于波动频繁的光伏出力，可在并网点配置可调节型装置，以实现对接网电压的动态控制。通过

合理划分控制层级，不仅提高了补偿装置的利用率，也避免了补偿容量的重复投资，降低整体建设成本。在经济性评估中，需要将设备投资、运行维护费用以及因电能质量提升带来的潜在收益纳入综合考量，确保优化方案具备长期可行性。

优化策略还应考虑不同工况下的自动控制逻辑，通过实时监测电压、无功功率和功率因数等参数，结合控制算法实现装置的智能切换与容量分配。通过设定合理的控制阈值和优先级，实现各类补偿装置的协同工作，保证系统在高峰负荷与低谷负荷下均能保持稳定运行。

3 优化方案验证与效果评估

为验证优化方案的有效性，通过仿真分析与实际案例对提出的无功补偿配置策略进行测试。采用如图 1 所示的仿真模型，该模型基于国内某实际商业园区 35kV 光伏并网系统构建，其核心参数包括：光伏装机容量 30MW_p，主变压器容量 40MVA，通过一条 35kV 线路并至公共电网。仿真过程中，利用电力系统分析软件 PASAP 进行潮流计算，模拟不同光照强度及负荷变化下的系统运行状态。

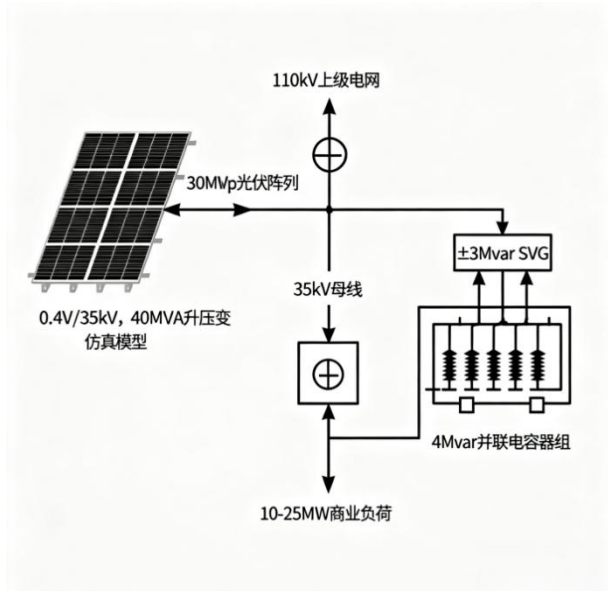


图 1 35kV 光伏并网变电站无功补偿优化仿真模型结构图

在未配置动态无功补偿的初始状态下，监测到当光伏电站满发且负荷较低时，并网点电压最高升至 37.2kV，超过 35kV 系统电压允许上限（通常为+5%），同时功率因数波动于 0.82

参考文献：

[1] 林浩博,王红斌,方健,等.分布式光伏并网功率因数降低分析及解决方案[J].广西电力.2023,46(3).
[2] 温鑫,姚文堂,何圣川,等.分布式光伏接入对系统电能质量的影响分析与应对措施[J].机电信息.2022,(23).
[3] 王少军.10kV 输配电线路常见故障及处理措施分析[J].建筑工程技术与设计.2017,(25).

至 0.95 之间。投入优化配置的±3Mvar SVG 装置后，并网点电压被稳定控制在 35.1kV 至 36.5kV 之间，电压波动幅度由原来的 4.3%降低至 1.9%，符合国标 GB/T19964-2012 对光伏电站并网电压运行范围的要求。功率因数在全天运行时段均维持在 0.98 以上，满足电网公司考核要求。

通过对比优化前后系统的电能质量与损耗数据，验证了 SVG 与固定电容器的协调控制效果。表 1 详细列出了关键运行指标的对比情况。

表 1 无功补偿优化方案关键运行指标对比

指标名称	补偿前数值	补偿后数值	单位
并网点电压波动范围	34.1-37.2	35.1-36.5	kV
平均功率因数	0.88	0.99	-
35kV 集电线路损耗	2.85	1.75	MW
月度无功罚款金额	80,000	0	元
SVG 无功响应时间	-	5	ms
变压器释放容量	-	6.5	MVA

仿真结果进一步表明，在云层快速遮挡导致光伏出力骤降 50%的极端工况下，SVG 装置能在 5ms 内从额定容性无功输出切换至感性无功输出，提供最高 2.6Mvar 的感性无功，成功将并网点电压波动抑制在 1.2kV 以内，避免了因电压越限导致的保护动作。针对系统网损，优化后 35kV 集电线路的损耗从补偿前的 2.85MW 降低至 1.75MW，降幅达 38.6%，显著提升了电站的运行经济性。该优化方案有效增强了电网对光伏波动的适应能力，将试验区光伏消纳能力提升了约 8%。

4 结语

合理配置无功补偿装置可有效解决商业用户 35kV 光伏并网变电站的电压波动与无功失衡问题。通过构建无功需求模型，结合动态与静态补偿技术，显著提升电压稳定性、降低网损、提高功率因数与光伏消纳能力。该优化方案为同类电站提供了可行的技术路径，未来将在新能源并网领域发挥更广泛的应用价值。