

新能源接入背景下 35 kV 及以下新型智能电网的技术规范和设计策略

王慧超¹, 李明^{2*}

(1. 桐乡市电力工程有限责任公司, 浙江 嘉兴 314050;
2. 浙江浙能嘉兴海上风力发电有限公司, 浙江 嘉兴 314050)

摘要 分布式新能源在 35 kV 及以下配电网中的集中接入, 使中低压电网运行形态发生明显变化, 电压波动、双向潮流及保护适应性问题逐步显现。依托实际工程场景, 围绕新能源并网条件、电压无功调控、保护配置及智能化支撑要求, 对新型智能电网在中低压层级的技术规范与设计要点进行系统梳理。相关内容聚焦参数约束与工程实施, 以为新能源背景下配电网安全、稳定运行提供有益参考。

关键词 35 kV 及以下配电网; 分布式新能源; 智能电网设计; 电压无功控制; 自适应保护

中图分类号: TM76

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.005

0 引言

新能源装机规模持续扩大, 35 kV 及以下配电网逐步承担源荷双向调配职责, 运行边界被重塑, 电压控制、保护协调及电能质量压力集中显现。目前中低压网架相对薄弱、控制层级复杂、终端设备差异明显, 伴随新能源出力波动与负荷不确定性叠加, 既有设计方式难以稳定支撑并网运行。依托智能调控与规范化技术约束, 明确新能源接入条件、控制配置及运行边界, 已成为保障新能源有序接入和配电网安全可靠运行的现实需求。

1 分布式新能源接入条件下 35 kV 及以下电网的运行特征演变

1.1 中低压配电网由单向潮流向多源潮流的转变

在分布式新能源接入前, 35 kV 及以下配电网运行以单向供电为主, 电能自上级电网经变电站、馈线逐级向负荷侧输送, 潮流方向稳定且运行边界清晰, 线路、电气设备及保护配置主要围绕负荷峰值进行校核, 运行方式调整频率较低^[1]。分布式光伏、分散式风电在台区和馈线层级集中接入后, 局部区域在新能源高出力时段逐步形成反向潮流, 10 kV 馈线和 0.4 kV 台区由单纯受电单元演变为具备电源属性的运行节点, 上级电网开始承担反送功率, 部分设备运行工况超出原有设计假设。

1.2 新能源出力特性对电网稳定性的工程影响

分布式新能源出力受气象条件影响显著, 功率变化速率快且波动频繁, 与负荷变化规律不完全匹配, 在中低压电网中易引发电压偏移和快速波动, 尤其在新能源集中接入区域, 出力变化直接作用于馈线末端, 使局部电压稳定性明显减弱。新能源并网后, 系统短路电流水平及分布随运行方式发生变化, 故障电流由多点注入, 原有基于单向潮流配置的过流与零序保护在部分工况下灵敏性和选择性受到影响, 保护整定与运行方式之间的匹配关系更加复杂。

2 基于智能调控的中低压电网设计关键技术

2.1 电压与无功协同控制的工程实现方式

在新能源接入条件下, 35 kV 及以下电网电压控制宜依托“主变有载调压—10 kV 馈线调压/无功装置—台区末端调节—新能源逆变器无功支撑”形成分层协同, 主变分接头应结合新能源集中接入馈线的日内出力曲线确定调节档位范围、动作死区与最小动作间隔, 并将动作次数约束写入运行策略, 避免在中午高出力阶段出现频繁调档^[2]。10 kV 馈线在高渗透接入区应优先配置线路调压器或 SVG 等动态无功装置, 容量按“最大出力+最小负荷+末端电压约束”工况校核, 投运位置以电压敏感节点和反向潮流易发区为主, 同时明确调节优先级: 馈线级快速调节用于抑制短时波动, 主变

作者简介: 王慧超 (1988-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 输变电工程、新能源发输电、智能电网。

*通信作者: 李明 (1970-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 风力发电、海上风电、海上风电运维。E-mail: 13867378314@163.com

级慢调节用于维持电压基准。新能源逆变器无功控制参数应统一纳入调控侧管理，按并网点分组设置 Volt-*VAR* 或功率因数曲线并配置斜率、死区与限幅，避免多台逆变器无功“互相拉扯”，必要时叠加储能或可调负荷参与电压支撑，使电压越限治理具备闭环执行能力。

2.2 适应新能源特性的保护配置与整定策略

新能源并网后保护配置需以“双向潮流+多点电源注入”为前提重新整定，35 kV 及 10 kV 系统短路电流水平应在新能源全出力、限流模式及不同联络开关状态下分别复核，复核结果应形成分运行方式的定值依据，定值整定表需覆盖典型运行方式切换，避免仅按单一方式给定固定参数。10 kV 馈线宜采用具备方向判据的综合保护或方向过流保护，分段开关与环网柜保护应与主保护形成稳定级差，级差校核应同时考虑反向潮流条件下的灵敏系数、零序电流分布与故障阻抗变化，并将“联络合环/解环、分段投退、新能源大幅上下线”等作为保护配合的必检验证工况。新能源并网点保护应配置电压、频率异常解列及必要的反孤岛功能，其动作时限需与电网侧重合闸和馈线保护保持协调，且定值、逻辑及版本号应纳入统一台账管理；对需要自适应整定的区域，可依托开关状态与电源在线信息进行定值区间切换，并设定切换锁定条件、通信异常降级策略及现场复核流程，使误动风险处于可控范围且运行方式调整具备完整追溯路径。

2.3 电能质量控制技术的工程配置要点

电能质量控制应在设计阶段同步落到设备配置与验收判据，新能源集中接入的 35 kV 及以下电网需在并网点、馈线首末端及典型台区设置监测点位，明确采样周期、统计周期与事件录波触发阈值，监测内容应覆盖电压偏差、谐波、电压闪变及不平衡度等指标，形成可用于运行评价和对比分析的基线数据。谐波治理应以“源侧约束+网侧补偿”组合实施，逆变器与充电设施接入时需明确谐波排放指标、无功调节与谐波抑制功能启用条件，当预测或实测指标接近限值时，应配置有源滤波或滤波电容分组优化等措施，并同步开展电容投切引发的谐振风险校核，明确谐振频点和抑制手段，避免治理装置反向放大特定次数谐波^[3]。电压闪变与快速波动可依托馈线级 SVG 快速支撑、逆变器 Volt-Watt 限功率曲线及储能平滑控制协同抑制，相关控制参数需给出响应时间、斜率限制与限幅边界；低压台区三相不平衡治理应优先采用相序调整、分相接入约束与负荷重分配，必要时配置专用治理装置并在验收中给出不平衡度判据，使电能质量问题在投运初期即可形成闭环固化机制。

3 新能源接入下 35 kV 及以下电网的技术规范体系构建

3.1 新能源接入容量与并网条件的技术约束

新能源接入容量应以并网点为最小控制单元进行规范化管理，设计阶段需形成覆盖 35 kV 变电站、10 kV 馈线及 0.4 kV 台区的分级容量控制清单，并将容量核定结果作为并网审批和工程设计的直接依据。10 kV 馈线应在规划阶段明确基础接入容量与扩展接入容量两个层级，基础容量以内可直接接入，超过基础容量的接入申请必须同步落实调压、无功补偿或限功率等技术措施，并在设计文件中明确对应的工程配置方案，严禁仅依托运行限发或人工干预方式解决。0.4 kV 台区分布式新能源接入应控制单台区装机比例，并对末端电压、相间负载分布及低压线路压降进行专项校核，校核不满足要求时需优先实施台区治理、负荷重分配或调整接入位置，确保容量控制具备工程可行性。

并网条件应在技术文件中明确设备能力、接口要求和运行约束，新能源并网点必须配置双向计量装置，具备有功、无功、电压及功率质量监测功能，并满足远程数据上传和控制指令接收要求。逆变器应支持功率限额、无功调节和运行状态反馈，其关键参数需在并网协议中统一约定并纳入技术档案管理，任何参数调整必须履行审批和记录流程，避免运行阶段出现配置失控。并网验收阶段应重点核查容量控制落实情况、接口功能完整性和参数一致性，并形成验收记录，确保接入条件在投运后具备可执行性和可监管性。

3.2 电压控制与无功配置的统一技术要求

电压控制与无功配置应在新能源接入工程设计阶段统一纳入技术规范进行约束，明确 35 kV 变电站、10 kV 馈线、0.4 kV 台区及新能源侧各层级的调节职责和动作边界，并将相关参数一次性固化，避免运行阶段反复修订。35 kV 及以下变电站主变有载调压装置应结合新能源接入规模、馈线电压敏感性及日内出力变化特征，统一设定分接头调节范围、动作死区和最小动作间隔，相关参数应在设计文件中明确标注并纳入调控策略管理，不得仅依托运行经验确定^[4]。10 kV 馈线在新能源集中接入区域，应按电压偏移幅度和反向潮流分布情况配置线路调压装置或动态无功补偿装置，其容量配置需覆盖最大出力与最小负荷叠加工况，安装位置优先选择电压波动敏感节点及末端区段，避免调节效果被线路阻抗削弱。

新能源逆变器无功控制应作为电压治理体系的重要组成部分统一管理，按并网点或馈线分组设置无功控制模式、斜率及限幅参数，禁止单台设备独立调整

控制策略或脱离统一调控运行。台区低压侧应结合新能源接入比例、相别分布及负荷结构配置无功补偿及三相不平衡治理装置,防止低压电压问题向中压侧传导并引发联动调节。各级无功与电压控制参数应形成标准参数表并纳入运行管理系统,参数变更需履行审批、记录和回溯流程,使电压调节行为在不同运行方式下保持一致性、可追溯性和长期稳定性。

3.3 保护配置与运行方式管理的规范要求

保护配置应以新能源接入后的多运行方式为基本前提进行规范化设计,设计阶段需针对典型运行方式分别给出保护整定区间,并明确定值切换条件、执行逻辑及锁定规则,使保护参数能够随运行方式变化稳定切换。35 kV 及 10 kV 系统短路电流水平应在新能源全出力、限流运行及不同联络方式下分别校核,校核结果应形成整定依据文件,保护定值不得采用单一工况结果直接套用。10 kV 馈线保护应在主保护、分段保护和联络保护之间形成清晰分工,级差设置需同时满足正向与反向潮流条件,并结合新能源集中上下线场景进行验证,避免在运行方式调整后出现保护盲区或越级动作。

新能源并网保护应与电网侧保护构成统一体系,其动作逻辑、电压频率阈值及动作时限应在设计文件中明确,并作为并网验收的重要核查内容统一校验。运行方式管理应建立保护参数复核与变更机制,当新能源容量、接线方式或控制策略发生调整时,必须同步开展保护校核,相关调整应经审批后实施,未经校核不得直接投运。所有保护参数调整过程应形成完整记录并纳入技术档案管理,使保护体系在不同运行状态下始终保持受控,避免依赖现场经验进行临时处置,确保保护配置具备长期稳定性和可追溯性。

3.4 智能化支撑条件的配置与管理要求

智能化支撑条件应作为新能源接入工程的基础配置同步建设,并在技术规范中明确配置范围、功能边界及接口要求,新能源集中接入的 35 kV 及以下电网应全部纳入配电自动化系统统一管理^[5]。监测点位设置应覆盖新能源并网点、10 kV 馈线关键节点及典型 0.4 kV 台区,测量内容应包括电压、电流、有功、无功及必要的电能质量指标,采样周期、数据精度和上传频率需满足电压调控、保护校核和运行分析的综合需求。监测数据应具备连续存储、事件标记和历史追溯能力,并与运行方式切换、设备投退状态形成关联,为运行调整和技术复核提供可靠依据。

控制功能应按业务重要性进行分级配置,电压无功调节、限功率控制及运行方式切换等关键功能需具备通信异常条件下的本地自治能力,自治策略应在设计阶段明确并经调试验证,避免因通信中断导致调控

失效^[6]。新能源运行数据、控制参数和保护定值应统一纳入信息管理平台,设计、建设和运行阶段使用同一数据源,参数版本变更需具备清晰标识、审批流程和回溯路径。通过规范数据和控制的集中管理,使智能化支撑由分散配置转向体系化运行基础,保障新能源接入后电网调控行为长期稳定可控。

4 结束语

在新能源高比例接入背景下,35 kV 及以下电网的功能定位与技术内涵正在发生实质性转变,其运行安全与调控能力不再依赖单一设备性能,而取决于容量边界、电压无功、保护策略、电能质量与智能支撑条件之间的系统协同。依托规范化的接入约束、参数固化的调控配置以及可追溯的运行管理机制,中低压电网能够在多源并存、潮流双向和运行方式频繁切换的条件下保持稳定运行,使新能源接入由阶段性适配转为常态化承载。此类技术体系的形成,不仅限于解决当前并网压力,又在于为配电网持续演进预留清晰的技术接口与扩展空间,从而增强新型智能电网在实际工程中的长期适用性与运行韧性。

参考文献:

- [1] 武帅.高比例新能源接入下小水电群-储能联合优化运行研究[D].西安:西安理工大学,2025.
- [2] 郭芮,翟飞元.新型电网架构技术在智能电网建设中的应用研究[J].电力设备管理,2025(09):116-118.
- [3] 牟伟擎,范杰清,刘国梁.新型电力电子器件在智能电网中的应用与优化设计[J].科技创新与应用,2025,15(13):20-23.
- [4] 樊蒙,施新春,徐鹏.南京市新型电力(智能电网)装备集群形成机制与发展模式[J].绿色能源,2023(01):1-4.
- [5] 于洪宇,汪青,温雷,等.面向智能电网终端应用的低成本 Si 基 GaN 功率器件及其上新型工业电源模块研究和产业化[DB/OL].深圳:南方科技大学,2023-06-02.https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=MXvIvFkaDQyQ_CP1TBZXhiOFJPPSGsDnjkw8hJ7vM5l2RnQJbMaQ4MbS8t9OdbMf7Dg1kZxRoqT9tcurNBv5GtRbbFSDq4zU3A-7Qw1AWYZhybu7heN42VfNkZZCx7gA3gwpNIqejncWHmixTZrLzqq94ZQi1EcFPLWIG5xee4WVEoix0n6w==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [6] 王智伟,朱清,刘鑫,等.高比例新能源送端电网多源梯级协同调频控制关键技术研究与应用[DB/OL].新疆维吾尔自治区,国网新疆电力有限公司,2022-08-26.https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=MXvIvFkaDQz55CbJzeYhUBuAMySe2rVZVGGJK_CVAF73xIRN7OYgxuRP2DfqQP7agwDyj4RAwgdhH_k_n2LbvlcLmxH9NMO91ksyIYZPnx7chlVNBpOFs9Hr8DP5lNrCnlYeZaQIu2iZrIjd5N6UGaT8du5kTumXgejAoGpVznYkEklYBBg==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.