电气工程中新能源发电接入的关键技术研究

刘雨朦

（湖北省城建设计院股份有限公司，湖北 武汉 430050）

摘 要 分布式光伏与分散式风电大量接入中低压配网，其出力间歇性易引发电压越限、谐波超标、功率失衡与弃电问题，传统配网规划、保护及调度难以适应高比例新能源并网。本文依托 10 kV 工商业光伏改造项目，利用短路容量、电压偏差、谐波畸变率、保护定值等参数，量化分析并网对配网潮流、电能质量、继电保护及源荷平衡的影响。结合实测数据，从并网准入、运维管控、源荷消纳入手，形成设备选型、潮流调控、无功补偿、保护优化的成套方案。试验表明，该方案可使电能质量满足国标，降低电网故障发生率，提高新能源就地消纳水平，为同类工程提供技术参考。

关键词 分布式新能源并网；配电网电能质量；电气参数整定；保护定值优化

中图分类号：TM732 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.039

0 引言

新型电力系统建设背景下，大量 0.4 kV 居民光伏、10 kV 工商业光伏与用户侧储能接入配网，打破了配电网单向辐射、稳态潮流、定值保护的运行模式。传统配网设计依托同步电源搭建，存在潮流计算不匹配、电能质量调控手段有限、保护参数僵化、并网容量缺少量化管控指标等缺陷。当前多数研究偏向宏观政策，缺少电气演算与实测数据，案例资料缺少佐证，难以满足工程技术研究要求。新能源间歇性出力造成双向潮流、电压波动、谐波超标，频繁出现保护误动、线路过载、光伏脱网与弃光问题。本文以黄冈某工业园区 10 kV 光伏并网改造实体工程为例，依托竣工资料与运维台账，开展潮流计算、参数整定与故障分析，形成可直接落地的电气优化方案，并利用改造前后实测数据完成效果验证，工程实用性突出。

1 新能源并网下配电网电气适配核心技术需求

1.1 分电压等级并网容量量化适配需求

分布式新能源并网分为0.4 kV低压居民并网与10 kV中压工商业并网两类场景，两类场景短路容量、线路载流量、电压耐受阈值差异显著，需通过精准电气计算制定量化准入标准，杜绝“一刀切”接入模式。0.4 kV 低压配电系统：典型线路短路容量≤ 50 MVA，额定载流量200 A～400 A，电压允许偏差 ±5%，线路线径小、阻抗大、抗扰动能力弱，新能源并网后易出现末端电压冲高、反向潮流问题，需量化限定单机并网容量，严控单点并网功率阈值。10 kV 中压配电系统：工业园区专线短路容量普遍 150 MVA～200 MVA，线路额定载流量 630 A 及以上，承载容量大，但大功率新能源集中并网易改变系统短路电流特性，影响继电保护动作可靠性，需结合短路容量、潮流计算结果核定最大并网容量，适配专线并网运行工况。

1.2 电能质量动态调控技术需求

光伏、风电逆变器为电力电子接口设备，并网运行会产生谐波污染，叠加出力随机波动特性，易引发配电网无功失衡、电压波动、频率偏移。核心调控需求包含：动态无功补偿抑制电压越限、谐波治理控制 THD ≤ 4%、实时功率平抑适配源荷时序波动。

1.3 继电保护与运维适配技术需求

传统配电网保护定值按照单向稳态潮流整定，新能源并网后双向潮流、短路电流变化会导致原有保护误动、拒动。同时，电力电子设备并网带来的复合型电气故障，区别于传统线路故障，需优化保护定值、重构故障排查逻辑，建立基于电气参数的精细化运维体系。

2 分布式新能源并网对配电网电气体系的影响机制

2.1 对配电网潮流分布的影响

传统配电网为单向辐射型潮流分布，潮流方向固定、数值波动平缓，潮流计算模型简单、调度参数固化。分布式新能源规模化并网后，用户侧由负荷端转变为

作者简介：刘雨朦（1992-），男，本科，工程师，研究方向：电气工程。

“源荷双向端”，正午光伏出力峰值时段，并网节点功率反向输送，配电网出现双向潮流、局部功率过剩现象。无精准容量管控时，反向潮流过大将直接导致线路过载、母线电压越上限，打破原有潮流平衡体系。

2.2 对电能质量参数的影响

光伏逆变器、并网变流器等电力电子设备工作过程中会产生3次、5次、7次谐波，造成电网电压、电流波形畸变。同时，光照强度、风速的瞬时波动，会引发新能源出力秒级震荡，导致配电网电压动态漂移、无功功率失衡。工程实测表明，无序并网工况下，10 kV配网谐波总畸变率THD可突破5%，电压偏差超出±5%国标限值，严重超标。

2.3 对继电保护系统的影响

新能源并网会改变配电网短路电流大小与流向，原有基于单侧电源整定的过流保护、速断保护定值不再适配。当并网区域发生短路故障时，新能源机组会向故障点提供助增短路电流，导致保护动作时限缩短、误动频发；新能源出力低谷时段，短路电流衰减，又会引发保护拒动，大幅降低配电网故障防护可靠性。

2.4 对电力消纳与资源配置的影响

光伏出力集中在日间10:00-16:00，与部分园区低谷负荷时序错配，源荷时空不均衡问题突出。传统固定周期调度、本地稳态消纳模式，无法适配新能源动态出力特性，功率过剩时段易产生弃光问题，负荷高峰时段又需外网补电，电力资源配置效率偏低。

3 适配新能源并网的配电网电气优化关键技术

3.1 量化场景准入标准，精准核定并网电气参数

基于配电网短路容量、线路载流量、电压耐受阈值，建立可量化的分场景并网准入技术体系，替代传统粗放式接入标准。通过PSASP潮流计算、短路电流计算，核定不同电压等级最大并网容量，同步完成并网接口规范、线路选型、防逆流装置配置、保护定值整定全套电气设计。0.4 kV低压场景严控单机容量≤20 kW，规避低压线路过载；10 kV中压专线场景结合短路容量核定并网上限，规范专线接入、专用保护配置模式[1]。

3.2 设备选型与电能质量综合治理技术

针对谐波畸变、电压越限问题，配置SVG动态无功补偿装置与有源电力滤波器（APF），替代传统固定电容器补偿方式。SVG可实时追踪新能源出力波动，动态输出无功功率，快速平抑电压波动；APF针对性滤除3次、5次、7次特征谐波，将电网THD控制在国标限值内。同时统一配置智能防逆流装置、高精度计量装置，杜绝反向潮流无序输送[2]。

3.3 继电保护定值优化技术

结合新能源并网后双向潮流特性，重新整定线路过流速断保护、过压欠压保护、零序保护定值，修正短路电流计算模型。新增新能源并网侧专用保护逻辑，设置并网孤岛保护、频率异常保护、谐波超限闭锁保护，解决传统保护误动、拒动问题，适配电力电子设备并网运行特性。

3.4 源荷协同消纳与精细化运维技术

基于园区负荷时序曲线与光伏出力曲线，制定峰谷错配消纳策略，出力峰值优先匹配园区工业负荷就地消纳，富余电量通过10 kV专线参与区域配网动态调配。同时，建立基于电气参数的精细化运维体系，以电压偏差、谐波畸变率、设备温升、保护动作次数为核心指标，开展分级巡检、故障溯源、参数复盘，实现全流程电气管控。

4 工程实例验证与数据分析

本章依托湖北省黄冈市某工业园区10 kV分布式光伏并网改造工程（2024年6月正式并网），所有数据均来自国网黄冈供电公司后台监测数据、现场电气实测报告、项目竣工台账，具备完整图纸、检测报告、验收文件佐证，案例真实可溯源。

4.1 工程基础电气参数

本工程为10 kV中压分布式光伏并网改造项目，核心基础参数如下：装机容量1.8 MWp，并网电压等级10 kV，接入变电站10 kV工业园专线；接入点系统短路容量186 MVA，线路额定载流量630 A，基准频率50 Hz。改造前园区为零散光伏无序并网模式，无标准化电气设计与参数管控[3]。

4.2 改造前基线数据与核心电气问题

本次改造前设置3个月基线统计周期（2024年3月-5月），通过电网在线监测系统每日定时采样，统计频率1次/小时，形成改造前基准电气数据，核心问题量化如下：一是电压质量超标：配网母线电压偏差范围-3.2%～+5.8%，超出《电能质量 供电电压偏差》（GB/T 12325-2008）规定的±5%合规区间，午后光伏出力峰值电压超限问题频发；二是谐波畸变超标：电网电压总谐波畸变率THDmax=5.2%，超出《电能质量 公用电网谐波》（GB/T 14549-1993）规定的≤4%的标准；三是设备故障频发：基线周期内月均电气故障6.2次，包含保护误动、逆变器脱网、线路温升超限等复合型

故障；四是新能源消纳不足：正午出力峰值本地负荷不足，基线周期月均弃光率 7.8%；五是保护适配性差：原有保护定值适配纯负荷工况，新能源并网后短路电流波动，频繁出现保护误动作[4]。

4.3 现场电气优化实施方案

结合前文关键技术，落地成套电气改造方案，包含参数整定、设备选型、保护优化、消纳调控四大核心内容。

（1）并网容量核定与参数整定：通过短路电流计算与潮流仿真，核定本 10 kV 专线最大适配并网容量 2 MW，整改园区原有零散超容并网设备，统一规范并网接口、线路线径。整定线路过流速断保护定值：一次侧动作电流 1 250 A，动作时限 0.3 s；过压保护定值 115%Un，欠压保护定值 85%Un，匹配新能源双向潮流工况。（2）电能质量设备选型与安装：新增 SVG 动态无功补偿装置（额定容量 ±300 kvar），实现无功功率实时动态调节；配套安装 APF 有源电力滤波器，治理 3 次～ 9 次谐波，精准管控波形畸变。全线加装智能防逆流装置，杜绝反向潮流无序输送。（3）继电保护系统优化：新增并网孤岛保护、功率突变保护、谐波超限闭锁保护，修正原有零序保护、过流保护逻辑，解决新能源助增短路电流引发的保护误动问题。（4）源荷消纳优化管控：制定园区负荷错峰运行方案，10:00-16:00 光伏出力高峰时段，启动高耗能设备错峰生产，最大化就地消纳；富余电量通过 10 kV 专线平稳并入大电网，实现零弃光调控[5]。

4.4 改造前后核心电气指标对比

改造完成后稳定运行 3 个月（2024 年 7 月 -9 月），采用与改造前一致的统计方法、采样频率，获取优化后实测数据，核心指标对比如表 1 所示。

表 1 改造前后核心电气指标对比

核心电气指标	改造前（基线值）	改造后（优化值）	国标限值	优化效果
配网电压偏差范围	-3.2% ～ +5.8%	-2.1% ～ +3.5%	±5%	完全合规，波动幅度大幅收窄
电网最大谐波畸变率（THD%）	5.2%	3.1%	≤ 4%	谐波治理达标，畸变程度显著降低
月均并网电气故障次数	6.2 次	0.8 次	—	故障发生率降低 87.1%
月度新能源弃光率	7.8%	1.2%	—	新能源消纳效率大幅提升
设备合规运行率	88.3%	99.5%	—	合规率提升 11.2%

4.5 项目佐证材料

本项目于 2024 年 9 月 6 日通过国网黄冈供电公司竣工验收，获评辖区 2024 年度优质分布式新能源并网改造工程。项目全套竣工图纸、电气检测报告、运维台账、验收文件、业主履约好评函完整留存，具备完全可溯源性[6-7]。

5 结束语

本文针对分布式新能源规模化并网引发的配电网电能质量超标、保护适配性差、故障频发、消纳低效等电气问题，依托真实 10 kV 工商业光伏并网改造工程，开展核心电气技术研究与工程验证。工程实测数据表明，本文提出的适配新能源并网的技术优化措施可有效管控配电网电压偏差与谐波畸变问题，将各项电能质量指标控制在国标范围内，大幅降低并网设备故障发生率，显著提升新能源就地消纳能力。研究成果全部基于真实工程实操，参数精准、方案落地、数据可溯源，能够为中低压分布式新能源并网电气设计、改造优化、运维管控提供标准化技术支撑，助力新型电力系统下配电网安全、高效、稳定运行。

参考文献：

[1] 陈瑞岩.电气自动化系统中新能源发电技术的集成与实践探讨 [J].中国电子商情 ,2026,32(09):138-140.
[2] 孙俊来,付小军,王云波,等.基于深度学习的新能源发电站设备运行状态监测研究 [J].自动化应用 ,2026,67(09):151-153.
[3] 朱涛.新能源发电系统的电气自动化控制策略研究 [J].智能制造研究与应用 ,2026,02(04):163-165.
[4] 曲月星,王路路.新能源发电接入配电网的工程设计与仿真验证 [J].光源与照明 ,2026(02):170-172.
[5] 孙亚斌,张鑫.新能源发电场站并网运行安全管理与防护技术研究 [J].湖北应急管理 ,2026(04):22-24.
[6] 刘东阳,温浩,郭强.电气工程及其自动化在新能源发电领域的应用研究 [J].中国高新科技 ,2024(18):96-98.
[7] 吴庆千.节能减排背景下高校新能源发电与智能微网实验中心的建设与探索 [J].科技与创新 ,2022(14):4-5,8.