

新能源高占比下主配协同调度的挑战与提升策略

刘克权¹, 汤文¹, 陈钊¹, 李全茂², 王新炜¹, 杨春祥^{1*}

¹国网甘肃省电力公司, 甘肃 兰州

²甘肃省电力公司电力科学研究院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2026年1月3日; 录用日期: 2026年1月25日; 发布日期: 2026年2月9日

摘要

随着海量单一技术类新型经营主体和资源聚合类新型经营主体广泛接入, 配电网有源化特征不断加强, 主配网联系日趋紧密。本文聚焦配电网高质量发展, 分析网架结构、设备承载、运行控制、协同机制对主配网同质化调度的影响, 剖析管理机制、技术体系、运行模式和标准规范等深层机制障碍。从构建新型调度体系出发, 探索了主网与配电网协同调控、跨层级灵活资源协同调用与市场机制构建和协同调度组织架构设计。针对强化运行方式协同管理与联合调控, 研究多时空尺度协同计划与动态调控、功率与负荷预测协同校核和主配协同运行效能综合评估。聚焦配电网调度运行与实时控制关键技术, 分析了增强配电网系统稳定性、促进数据感知与信息融合, 以及突破智能自愈控制与快速隔离的重要方向, 系统性地总结了主配协同调度提升的有效策略。对未来标准化完善、技术体系构建和管理机制进行展望。

关键词

电力系统, 电力调度, 主配协同, 新能源

Challenges and Enhancement Strategies: Coordinated Dispatch of Transmission and Distribution Networks with High Renewable Energy Penetration

Kequan Liu¹, Wen Tang¹, Zhao Chen¹, Quanmao Li², Xinwei Wang¹, Chunxiang Yang^{1*}

¹State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou Gansu

²Electric Power Science Research Institute, State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou Gansu

*通讯作者。

Abstract

With the increasing accommodation of single technology grid-connected entity and load aggregator, the active distribution networks are closely linked with the transmission networks. In this work, focusing on the high-quality development of distribution networks, the effect of grid structure, operation and control, coordination mechanisms on homogenization of transmission and distribution networks are analyzed. The main obstacles such as management mechanisms, technical systems, operation models, and standard norms are proposed. As for the novel dispatching system, the collaborative regulation and control of networks, the flexible resource collaborative invocation, the market mechanism construction and coordinated organization design and explored in detail. In terms of the joint operation and dynamic control, the multi-temporal-scale planning, the power and load forecasting and verification and the comprehensive assessment of the operation efficiency are investigated. Aimed to enhance the technologies, some main directions such as the stability of distribution networks, the data perception and information integration, and the grid self-healing and rapid isolation are discussed. The strategies for promoting the coordinated dispatch of transmission and distribution networks are systematically summarized. The important tasks of improving technical standards, constructing the technical system, and establishing management mechanisms were outlined.

Keywords

Electricity System, Electric Dispatch, Coordinated Dispatch of Transmission and Distribution Networks, Renewable Energy

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

配电网作为电网“最后一公里”，是传统电网的最末端，是直面用户的最前沿。随着海量单一技术类新型经营主体和资源聚合类新型经营主体广泛接入，配电网有源化特征不断加强，主配网联系日趋紧密。强化省调主配协同管理和源网荷储平衡能力，进一步优化电网五级调度职责，优化调度范围划分，加强调度管理支撑能力，对于建设新型调度体系，保障电网安全运行，具有重要意义。

新型调度体系强调主配一体协同控制，打破主网、配网、营销信息壁垒，对分布式电源可观可测、可调可控，提升配电网对主网的主动支撑能力。文献[1]聚焦新形势下的电力系统安全稳定，明确各级调度职责优化、调度运行体系完善的方向。文献[2]基于典型地区电网新能源调控管理体系，提出智能化调度系统建设的顶层设计、总体架构和实施路径。文献[3]梳理出调度运行评价的1级和2级核心指标，采用熵权理论，分析权重构建新型电力系统调度运行指标算法。文献[4][5]结合工作实际，采用主网配网两级协同，分析管理规范和标准提升等对于电压治理的重要经验。针对有源配电网调度支撑技术，众多学者从系统仿真、新能源预测、通讯和故障识别等领域开展大量研究。文献[6]基于现场可编程门阵列，实现有源配电网实时仿真，仿真步长为 $4\ \mu\text{s}$ ，实现硬件设计的正确性与有效性。文献[7]定量分析了新能源机组不同响应状态和机组并网状态对电压暂降特征评估准确性的影响。文献[8]考虑新能源装机容量增长

率等, 构建配电网电源结构演化模型和配电网网架结构演化模型。文献[9]提出基于 t 分布 Copula 的海量分布式光伏出力数据增强模型, 提升了 DSAC 算法泛化能力与鲁棒性。文献[10]采用网络切片技术分级管理业务, 引入边缘计算, 实现配电网故障智能化检测, 有效解决传统配电网通信终端的延迟、带宽和智能处理能力等问题。

“十四五”以来, 甘肃新增新能源装机 2467 万千瓦, 年均增速超过 20%, 已建成 5 个百万千瓦级风电基地和 6 个百万千瓦级光伏发电基地, 2024 年全省新能源装机容量累计达 6436.59 万千瓦, 占总装机容量的 64.4%, 装机规模跃居全国第二位。截至 2025 年 4 月底, 甘肃新能源装机规模 6720 万千瓦, 占全省总装机容量的 64.7%, 成功构建起以新能源为主导的新型电力系统。本文聚焦新型配电网调度体系建设, 以甘肃电力发展实际为例, 深入分析主配网协同调度运行面临的挑战, 主配网协同调度优化与稳定运行机制, 展望主配网协同发展方向。

2. 主配网协同调度运行的挑战

2.1. 有源配电网安全运行面临多重挑战

配电网承载压力增加。海量分布式电源接入改变传统配电网潮流模式, 电网潮流呈现频繁双向流动特点, 输电线路与设备功率状态日趋复杂。2024 年, 部分区域 35 千伏线路和配变潮流反转分别超过 5000 次和 9000 次, 10 千伏配变潮流反转超 90,000 次, 潮流反转已成为配电网运行的普遍现象。新形势下, 配电网设备长期在高负荷状态下运行, 部分区域 10 千伏线路重载次数超 180 次, 配变重载超 50 次, 部分配变负载率超 110%, 少数配变负载率长期维持在 95% 以上。日间光伏出力时潮流远超过额定功率, 晚间负荷增长时又远低于额定功率, 加剧了设备疲劳损耗与故障风险。

系统电压越限问题凸显。受分布式电源出力特性影响, 日间发电高峰易出现过电压, 晚间出力减少或停止则易出现低电压, 这种“双峰”电压问题对电压质量造成严重影响。日间分布式电源大发时, 部分区域电压超标。传统电压调节手段难以有效应对分布式电源接入带来的复杂电压变化, 电压调整的协同难度大幅增加。主网侧依赖 330 千伏变电站主变分接头调整, 配网侧依赖分布式光伏逆变器无功出力, 但两者缺乏协同控制。

配电自动化自愈功能受限。分布式光伏引发潮流双向流动后, 35 千伏变电站主变过流保护定值适配性下降, 短路电流水平发生改变, 传统保护逻辑受干扰, 断路器保护定值不再适用。光伏大发时主变反向过流超过额定值, 后备复压闭锁功能无法投入, 若遇线路故障可能导致保护误动, 扩大停电范围。分布式光伏和分散式风电在故障时可能形成“孤岛”, 持续向故障点馈电, 故障定位与隔离的自愈控制难度增加, 威胁检修人员安全, 妨碍故障电弧熄灭[11]。

分布式电源群控能力不足。与集中式新能源场站相比, 分布式电源功率预测结果置信度较低, 虽然分布式光伏分钟级单点功率预测准确率超过 96%, 但海量光伏聚合预测误差仍较高, 对并网母线负荷预测、电网阻塞、多层级功率平衡及系统正负备用留取等造成困扰。分布式光伏运行数据分散在营销用采系统与调度自动化系统, 数据格式不一致, 缺乏在线实时监测预警, 影响线损计算与网源协同控制, 难以保证高渗透率分布式光伏的安全性, 限制分布式电源的就近利用和就近消纳水平。

2.2. 主配网调度同质化管理亟待加强

网架互联互供覆盖率低。甘肃区域电网规划建设、运行管理上相对独立, 区域间电力资源互联通道较少, 调配能力不足。甘肃配电网所辖县区电网调管的 35 千伏变电站, 双电源供电占比不到 48%, 35 千伏线路和 10 千伏线路联络率不到 50% 和 60%。县域配网线路联络率远低于城市配网, 分区运行导致跨区域资源调配效率较低, 很难实现负荷灵活转移。部分地区的环网供电系统长期维持闭合环网运行, 尽管

环网提高了供电冗余，但若保护、通信和调度体系未能高效协同，可能在容错极限下引发调控困难；在大故障情境下，环网的潮流冲击和同步稳定性若未得到充分缓解，运行风险相对增大。

关键设备承载能力低。多个地区变容量不满足 N-1 问题，配置无法应对单台主变停运后的负荷转移需求。部分区域由于电网结构等原因，短路电流水平超过了设备的耐受能力，短路电流存在超标风险，设备长期处于短路电流超标的环境。以定西某变电站 10 千伏母线为例，分列运行时短路电流达 28.535 kA，需通过加装区域备投、解环运行降低风险，若在极端故障情境下仍存在过载、保护协调失效或恢复时间过长的风险，且现有断路器额定值不足以承受预期的短路水平，则应考虑选用 40 kA 及以上额定值的断路器，并同步完善保护、通信与自动化控制策略。受负荷增长等影响，农配网设备重载现象严重，长期高负荷运行将加速设备老化，增加故障概率。

运行调控能力不足。受分布式电源接入、负荷波动等影响，主配网无功电压管理的难度不断加大。35 千伏变电站电容器可用率不足 90%，部分地区可用率低至 40%以下。35 千伏 AVC 闭环运行变电站闭环率不足 70%，部分地区 AVC 闭环率 30%以下。部分变电站需依赖主网远距离输送无功，电压调控响应滞后。配电网部分双电源供电的开关站无备投配置，故障时需人工倒负荷，平均恢复供电时间超 30 分钟。三道防线配置不完善，限制了配电网抵御大停电事故能力，难以有效应对严重故障或事故连锁反应。

2.3. 机制性矛盾有待破解

调度层级协同缺失。主网与配网调度在负荷预测、方式调整上缺乏联动。比如，分布式光伏出力波动时，主网需通过低频减载切荷，保障电网频率稳定，但是配网侧调度机构经常无法及时提供用户负荷特性数据，因此，在切荷序列中，可能导致保安负荷误切[12]。在配网故障处置中，县调不能及时向地调上传故障录波数据，地调定位故障发生延误，增加平均故障隔离时间，影响紧急负荷控制效率。大量配网设备缺乏在线监测装置，图模异动管理流程繁琐，县级缺乏本地化拓扑校验工具，主网对配电网数据感知能力较弱，无法及时、全面、准确掌握电网运行状态。

配电网技术体系滞后。对 10 kV 及以下分布式光伏的感知颗粒度停留在馈线级，无法实时获取用户逆变器四象限运行参数，电源快速波动只能被动由主网旋转备用吸收[13]。配网侧数字化多分布于智能电表、配电终端的局部设备，全网仅 40%的县调具备开关遥控预置晨操功能，人工操作占比高，缺乏全域、全环节的数字化贯通。配网对分布式电源、柔性负荷的调控能力薄弱，既缺乏对分布式电源的聚合调控能力，又难以在电网高峰时段引导电动汽车充电、商业楼宇空调等柔性负荷转移[14]。

运行模式转型不充分。主网中长期交易占比高，要求电源企业按计划电量执行，现货市场中用户“报量报价”的柔性需求实时传导受限，价格信号在主配网间可能断裂，分布式电源通过主网调度难以实现收益。并网主体对自身负荷特性、新能源消纳责任认知不足[15]。作为直接面向用户的环节，配电网的用户互动能力较弱，尚缺乏互动服务平台，无法为并网主体提供市场化的用电方案，比如，错峰用电奖励，难以激发新型并网主体参与电网调节的积极性。另外，配电网在综合能源服务、电力市场交易等新业态进展较慢，运行模式转型乏力[16]。

3. 主配网协同调度优化与稳定运行机制

3.1. 构建主配网协同调度机制与组织架构

强化主网与配电网协同调控。构建高效的主配协同调度体系需从模型、架构与方法三个层面系统推进。在模型层面，需突破传统单向分析，建立能够精确刻画主配网间双向功率交互、动态电压相互支撑关系的耦合模型，为精准感知和控制奠定基础。在架构层面，应采纳“主网统筹、配网协同、资源聚合”的分层控制框架[17]。通过明确输电网调度、配电网调度和分布式资源在不同时空尺度上的职责，实现复

杂问题的有效分解，兼顾全局优化与局部自治，全面提升系统运行的灵活性与韧性。在方法层面，推动多时间尺度滚动优化与分布式算法相结合，在保障信息隐私的前提下实现全过程协同，有效平抑新能源波动，促进资源优化配置。通过模型精准化、架构层次化、方法协同化的有机整合，形成适应甘肃新能源发展特点的主配协同调控路径，为提升新能源消纳能力与保障电网安全稳定提供核心支撑[18]。

跨层级灵活资源协同调用与市场机制。构建灵活资源协同机制是提升消纳能力与系统稳定性的关键。机制设计方面，应建立主配网协同出清机制，明确配网安全校核权责，统一灵活性服务产品标准，保障跨层级交易安全[19]。市场建设方面，需重点发展虚拟电厂，完善其参与调峰、调频辅助服务的规则。通过降低准入门槛、建立基于调节性能的补偿机制，并推动参与省间现货市场，充分激发市场活力。技术支撑方面，构建“云边协同”架构，实现省级平台全局优化与地市边缘节点实时控制的协同[20]。同时建立多维度资源评价体系，实现调频调峰指令的精准分解与动态优化。通过机制、市场与技术的协同推进，可有效激活源网荷储资源潜力，显著提升甘肃电网新能源消纳水平与运行稳定性。

适应新型电力系统的协同调度组织架构。主配协同调度控制系统建设方面已形成三种主要模式：集中式、应用分离式和分布式一体化模式。在机制层面，核心在于破解传统垂直分割调度弊端，适配高比例新能源并网需求，关键在于遵循新版《国家电网调度控制管理规程》，厘清省调、地调、县调三级调度的权责边界，明确各级管辖范围与责任清单，解决调度权与执行能力不匹配、指令优先级模糊等矛盾，构建“主体明确、责权明晰、协同高效、管理精益”的管理体系。技术实践层面，需依托虚拟电厂“1+2+N”模式、北斗实景三维融合、源荷互动云平台等创新手段，强化资源聚合与智能调度能力[21]。结合甘肃电力实际，通过统筹主网安全管控与配网就地消纳需求，有效衔接两级市场运作，为电网安全保供、清洁能源高效消纳与市场化改革落地提供坚实的组织保障。

3.2. 强化运行方式协同管理与联合调控

多时空尺度协同计划与动态调控。主配网协同运行研究已形成贯穿“中长期规划-日前-日内-实时”的多时空尺度技术体系，通过时间维度上的滚动优化与空间维度上的跨层级资源协调，应对高比例新能源接入带来的不确定性[22]。针对甘肃电网以新能源为主体的特征，可构建“中长期源荷储协同规划-日前经济调度-日内功率修正-实时风险调控”的运行模式：在规划层面借鉴输配协同框架，统筹风电、光伏与储能配置，提升河西走廊能源基地送出能力[23]。在运行层面采用多时间尺度一体化优化模型，利用改进智能算法实现“午间光伏顶峰、夜间风电接力”的绿电供应模式，并通过V2G、需求响应等分布式资源聚合，平抑风光波动性。在管理机制上，可融合“中长期交易+现货市场+应急调度”模式，依托云边协同体系实现跨省交易与实时控制的衔接，从而在保障电压安全的前提下，全面提升系统经济性与新能源消纳水平。

功率与负荷预测协同校核。功率与负荷预测协同校核机制构建重点围绕“数据贯通、层级协同、时空衔接、多要素耦合”四大维度推进。要强化省级调度云平台与地县配电网纵向协同，依托虚拟电厂、聚合控制等试点基础，推动“源-网-荷-储”全环节数据实时汇聚与交互校核[24]-[26]。感知层应扩大新能源场站直采直控覆盖，统一终端通信规约与数据格式，提升数据采集实时性与准确性；通信层可借鉴张北柔直工程OTN低时延高可靠通信方案，保障跨区数据同步与指令快速响应；控制层需完善“集中决策+分布执行”双模控制架构，在河西走廊等新能源富集区强化风光功率与负荷预测闭环反馈，引入AI混合预测模型提升超短期与短期预测精度；应用层应结合跨区外送特性，强化与西北、华中电网边界协同校核，依托特高压通道功率交换数据实现省内预测结果动态修正与安全校验[27]。同时，需重视气象因素与政策导向的链式影响，引入高分辨率气象数据与LSTM等动态融合算法提升风光功率预测精度，结合虚拟电厂等聚合调控手段将多元主体纳入协同校核体系，增强电网对高比例新能源接入的适应性与

韧性，构建多层次、多因素时空协同校核体系[28] [29]。

主配协同运行效能综合评估。主配协同运行综合评价体系研究正从传统独立评估向涵盖可靠性、韧性、风险与经济性的多维协同框架演进[30]。在可靠性与韧性层面，突破主网与配电网独立评估的局限，量化分布式电源接入与主配交互对供电可靠性的影响；在风险评估方面，聚焦于新能源不确定性与极端天气场景，探索配电网调节能力对主网风险水平的缓解作用；经济性评价初步形成“协同效益-成本优化-市场价值”综合体系，注重全域运行成本优化、阻塞缓解效益及分布式资源市场价值的量化[31]。立足甘肃电网高比例新能源结构与主网强耦合特性，可借鉴该体系框架，在可靠性评估中考虑风电、光伏出力波动性与沙尘等极端天气影响，在风险评估中量化河西走廊能源基地送端风险及配网无功支撑能力，在经济性评价中聚焦“午光夜风”协同模式的全域经济价值与储能配置效益，从而形成适应西北电网实际的主配协同效能评价体系。

3.3. 开发配电网调度运行与实时控制关键技术

配电网系统稳定性。在频率稳定与惯量支撑方面，开发混合储能系统与智能化算法，持续完善分层分区稳定控制架构，平衡控制效率与可靠性要求[32] [33]。加快宽频振荡抑制装置等新型稳定控制设备的技术标准制定，确保设备兼容性与协同性，推进人工智能技术与配电网预测、实时调控耦合，促进频率-电压协同稳定[34]。在电压稳定与无功调节方面，在分布式光伏高渗透区域部署静止同步补偿器(STATCOM)、软开点(SOP)等电力电子装置，与逆变器无功协同，灵活精准控制馈线间潮流[35] [36]。在系统保护与韧性增强方面，持续开发配电网路载波纵联保护装置，破解传统保护适应性不足难题，通过分布式储能、移动应急电源与智能保护，增强极端天气下的生存能力。建立适应新型稳定技术的市场机制，通过辅助服务市场等方式激励投资，促进稳定技术的规模化应用。

数据感知与信息融合。在高级量测体系建设方面，结合配电网图模及运行数据上云，推进微型同步相量测量装置研发与应用，提高数据采集的实时性与稳定性，进一步深化调度、设备、营销、气象等多领域数据的标准化整合，采用多模通信技术，优化配电网复杂场景的通信链路[37]。在低压配电网通信方面，开发多源信息融合技术，破解配电网中 SCADA、D-PMU、AMI 等多种异构设备数据标准不一问题，开发“云-边-端”协同数据传输网络，加强 HPLC 双模电力载波通信技术应用，通过混合组网设计，提升通信可靠性和户变关系识别率[38]。在信息融合方面，构建全域系统，利用“云大物移智链”技术，构建一体化的配电网数字孪生平台，利用物联网技术实现对配电网设备全方位感知，实时采集设备运行状态、环境参数等数据[39]。

智能自愈控制与快速隔离。在分布式自愈技术方面，开发智能终端(如 FTU、DTU)和高速通信网络(如 5G、光纤)耦合的快速隔离和自愈技术，开发集成无线集中式为主，光纤集中式、光纤差动分布式、5G 差动分布式和分布式智能决策的自愈模式[40]。在自适应智能型馈线方面，优化配网保护定值方案，结合配网保护定值与分布式馈线自动化故障判别，研究下沉计算及逻辑判别节点至配电终端，实现故障隔离和配电网重构[41]。在快速定位隔离技术方面，完善有源配电网的同步故障差动保护方法，开发智能配电网测量保护一体化技术，形成自主可控配电终端，融合暂态接地处置算法，将分布式电源动态特性纳入协同控制策略，可视化动态显示自愈系统网络拓扑，提升配电终端自愈能力[42] [43]。

4. 甘肃新型电力系统主配协同调度运行提升策略

4.1. 加大投入，保障有源配电网安全运行

对于甘肃新能源高占比地区，强化物理网架是应对 N-1 与线路重载最直接的措施。应基于地理信息与负荷预测全面普查网架，识别薄弱环节与最优联络方案，新建改造联络线路、增容主变，投资高过载

与自动调容配变，推广自动化开关；在酒泉、陇中等线路建设困难区域，可推广柔性直流互联、智能软开关与分布式储能。智慧监测预警是应对双向潮流、电压越限与群控不足的根本方案。针对双向潮流，高风险线路应加装监测与无功补偿设备，改造保护；中风险区要求新增光伏配变智能逆变器并逐步改造存量设备；低风险线路以监测为主。针对群调能力不足，应构建“气象 + 电力”多尺度预测体系，推行动态检修策略。针对保护失准问题，需制定配网保护整定标准，在高渗透区域进行仿真校核与实测验证，在关键线路推广光纤纵联差动保护。对于故障定位与隔离失效，应发展智能分布式馈线自动化、分级快速隔离及差动自愈技术，通过高速通信与智能终端实现故障快速处置与供电恢复。

4.2. 强化管理，促进主配网调度同质化

针对网架薄弱与资源调配受限问题，需实施“分区分层”强化战略。河西新能源送出区重点解决强电源弱网架矛盾，强化电源汇集站与主网连接。河东负荷中心及外送通道沿线重点消除“卡脖子”问题，在兰州、定西等地协同规划网架强化与分布式调相机部署。农村地区则针对季节性负荷推广简易可靠网架，在机井台区集中区域建设 10 kV 线路联络。同时，需优化主配网衔接，加强 110 kV/35 kV 变电站联络线建设，并升级重要枢纽变电站的母线分段与主变并列运行能力。针对数据感知薄弱与系统孤岛问题，必须提升配网终端在线率与数据质量，并构建统一数据集成平台。建议建设主配网一体化数据中台，实现核心运行数据标准汇聚与共享，并专项改造计量设备，为精益管理提供数据基础。此外，需解决技术标准与系统整合不足问题。建议发布统一技术规范，推行标准电网模型与数据交互格式。在省级调度系统中集成配网应用功能，实现主配网运行状态的一体化全景监视与联合分析，提升整体运行管控能力。

4.3. 深化改革，破解深层次机制障碍

在管理机制方面，建议成立省级“分布式资源与需求响应管理中心”，统一归口管理全省分布式资源的规划、运行与交易。同时，加强地县配网调度力量与技术支撑。在技术体系方面，适时启动“甘肃配网全息感知”工程，构建“云 - 边 - 端”协同的数字化支撑体系。加快部署智能融合终端，打通各业务系统数据接口，建立基于统一信息模型的实时拓扑机制。在数字孪生平台上深化全景感知与高级应用，开发基于 AI 的自愈控制策略，实现从故障定位到故障自愈的跨越。在运行模式方面，推广“平衡集群”调度模式，丰富辅助服务市场品种，通过市场化手段提升系统灵活性。在规范文件方面，立足甘肃电网实际，统筹主配协同，对新型主体并网、运行、市场等全流程制定技术规范与管理要求。建议成立常设工作组，定期评估规范实施效果并动态完善。

5. 结语

分布式能源的海量接入使配电网从被动电能分配网络转变为需主动管理的有源网络，给配电网侧功率预测与负荷预测带来深刻挑战。本文聚焦配电网高质量发展，对新形势下主配网协同调度运行面临的挑战进行分析，阐明了配电网与主网的耦合与协同调控的必要性。从构建新型调度体系出发，分析了主网与配电网协同调控、跨层级灵活资源协同调用与市场机制构建和协同调度组织架构设计。在此基础上，针对强化运行方式协同管理与联合调控，研究多时空尺度协同计划与动态调控、功率与负荷预测协同校核和主配协同运行效能综合评估。聚焦配电网调度运行与实时控制关键技术，分析了增强配电网系统稳定性、促进数据感知与信息融合，以及突破智能自愈控制与快速隔离的重要方向，系统性地总结了主配协同调度提升的有效策略。

参考文献

- [1] 加快构建新型调度体系提高驾驭系统保障运行能力[N]. 国家电网报, 2024-10-25(001).

- [2] 张勇, 杨再敏. 面向新型电力系统的智能化调度体系发展导论[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2022.
- [3] 王子强, 莫琦, 辛阔. 新型电力系统的调度运行指标体系分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(9): 172-173.
- [4] 李鹏. 基于主配协同的电压管理体系的探索与实践[C]//中国电力技术市场协会. 2021 年电力行业技术监督优秀论文集. 乌海: 乌海电业局海勃湾供电分局, 2021: 86-89.
- [5] 胡智慧, 蒋春锋. 主配协同提升配电网高电压管理水平[J]. 农村电工, 2024, 32(7): 42-43.
- [6] 孙充勃, 原凯, 宋毅, 聂铭, 万志伟, 丁羽鹏. 基于 FPGA 的有源配电网高效实时仿真方法[J/OL]. 电力系统及其自动化学报, 1-9. <https://doi.org/10.19635/j.cnki.csu-epsa.001724>, 2026-01-26.
- [7] 宋桂山, 肖先勇, 胡文曦, 等. 考虑光伏随机出力与动态响应的配电网电压暂降随机预估方法[J/OL]. 电力系统及其自动化学报, 1-15. <https://link.cnki.net/urlid/32.1180.TP.20250915.1630.010>, 2026-01-26.
- [8] 王绪利, 徐冉, 程啸, 等. 基于系统动力学的高比例新能源配电网形态演化模型研究[J]. 太阳能学报, 2025, 46(8): 709-716.
- [9] 吴明贺, 洪芦诚, 高远, 等. 数据知识融合驱动下光伏高渗透配电网电压/无功优化策略[J/OL]. 电力系统自动化, 1-17. <https://link.cnki.net/urlid/32.1180.TP.20251117.1657.002>, 2026-01-26.
- [10] 钟岸锋. 5G 技术在智能配电网通信终端设计中的应用[J]. 电气技术与经济, 2025(11): 83-85.
- [11] 仉靖. 基于配电自动化的配网单相接地故障定位与自愈[J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(3): 142-143.
- [12] 李明, 刘翠洁, 刘伟鹏. 基于智能配网的新能源消纳能力提升方法探讨[C]//中国电力设备管理协会. 全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(六). 北京: 中国电力设备管理协会, 2024: 92-94.
- [13] 李芊芊. 分布式新能源接入对电网调度影响分析及应对策略[J]. 张江科技评论, 2024(6): 38-40.
- [14] 张全. 分布式新能源大规模接入配网调度运行实践分析[J]. 中国科技投资, 2024(13): 149-151.
- [15] 柯西虎. 面向新能源高渗透的国网主网调度灵活性提升策略研究[C]//《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(一). 北京: 《中国招标》期刊有限公司, 2025: 21-22.
- [16] 唐坤杰. 输配一体化系统分析和协同优化调度关键技术[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- [17] 余佳音, 唐坤杰, 章杜锡, 等. 输配网一体化建模与分析方法研究综述[J]. 浙江电力, 2019, 38(11): 1-9.
- [18] 杨振铨, 项基, 李艳君. 配合主网调度的配电网分布式电源主动控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(11): 3176-3185.
- [19] 田新成, 文艺林, 卢泽汉, 等. 多类型灵活资源的建模与分层式协调控制架构[J]. 分布式能源, 2024, 9(1): 10-18.
- [20] Najibi, F., Apostolopoulou, D. and Alonso, E. (2021) TSO-DSO Coordination Schemes to Facilitate Distributed Resources Integration. *Sustainability*, **13**, Article 7832. <https://doi.org/10.3390/su13147832>
- [21] 余佳音, 陈千懿, 周恒旺, 电力系统输配电可靠性的快速协同评估方法[J]. 电力系统及其自动化学, 2018, 30(11): 101-106.
- [22] 章杜锡, 阙凌燕, 娄冰, 等. 基于改进遗传算法的电网输配电多时间尺度协调控制[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(9): 29-33.
- [23] 张胜飞, 刘毅. 考虑风光相关性的输配电协同网络多时间尺度场景优化调度[J]. 四川电力技术, 2025, 48(3): 26-34.
- [24] 曹玉媛, 黄达文, 李丰, 等. 基于 NRBO-CNN-BiGRU-MHA 的分布式智能配电网源荷功率超短期预测[J]. 电机与控制应用, 2025, 52(8): 823-834.
- [25] 李加文, 孙永辉, 王森, 等. 计及异常场景数据缺失的负荷超短期预测[J]. 电力系统自动化, 2025, 49(15): 133-143.
- [26] Liu, K.J., Shu, Z.R. and Chan, P.W. (2025) A Novel Hybrid Deep Learning Model for Ultra-Short-Term Prediction of Wind Speed. *Physics of Fluids*, **37**, Article 015247. <https://doi.org/10.1063/5.0245664>
- [27] Zhuo, Y., Long, H., Wu, Z. and Gu, W. (2025) LFTL: Lightweight Feature Transfer Learning with Channel-Independent LSTM for Distributed PV Forecasting. *Energy and AI*, **22**, Article ID: 100616. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2025.100616>
- [28] Wei, X., Wu, X., Yoshimura, K., Cheng, C., Huang, H., Ding, Z., et al. (2025) Climate-informed Long-Term Forecasting of Wind and Photovoltaic Power Using a Hybrid DWT-BES-CNN-LSTM Model. *Energy*, **338**, Article ID: 138677. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138677>
- [29] Dai, Y., Wang, Y., Chen, Y., Wu, J. and Chao, J. (2025) Combining Meteorological and Power Information of Station-Measurement and Model-Prediction with the Hybrid CNN-Transformer and CNN-BiLSTM for Ultra-Short-Term

Photovoltaic Power Forecasting. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, **171**, Article ID: 111009.
<https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.111009>

- [30] 梁志峰, 康重庆, 隋凌峰, 等. 含高比例分布式光伏的主配网运行风险评估与防控策略研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2024, 64(11): 1964-1978.
- [31] 陈碧云, 陈千懿, 周恒旺. 电力系统输配电可靠性的快速协同评估方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2018, 30(11): 101-106.
- [32] 贾焦心, 沈钟毓, 秦本双, 等. 构网型和跟网型电力电子装备混联系统惯量响应的匹配问题综述[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(6): 77-89.
- [33] 罗魁, 郭剑波, 王伟胜, 等. 跟网型新能源附加频率控制对频率稳定及小扰动同步稳定影响分析综述[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(4): 1261-1280.
- [34] 李雪萍, 王自力, 陈燕东, 罗德荣, 罗聰, 符有泽, 傅家骏. 基于虚拟惯量模糊自适应的新能源逆变器频率主动支撑策略[J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(20): 25-37.
- [35] 牛健, 栗磊, 赫嘉楠, 等. 考虑大规模新能源接入的电网安全稳定控制多维系统模型[J]. 能源与环保, 2025, 47(6): 151-156, 164.
- [36] 张璐. 基于电网电压稳定和频率控制的自动化控制方法分析[J]. 中华纸业, 2024, 45(10): 84-86.
- [37] 刘灏, 毕天姝, 徐全, 等. 配电网高精度同步相量测量技术方案与展望[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(18): 23-29.
- [38] 王贤辉, 郝伟琦, 李铮, 等. 基于高速电力线载波的客户侧智慧能源高效数据采集方法[J]. 电力信息与通信技术, 2022, 20(9): 84-92.
- [39] 苏贵兵. 基于人工智能技术的电力配网工程施工安全管理[J]. 张江科技评论, 2025(5): 156-158.
- [40] 刘旺施, 吴梦玥. 基于 5G 通信的配网差动保护技术研究[J]. 张江科技评论, 2024(6): 74-76.
- [41] 梁子龙, 李晓悦, 邹荣庆, 等. 基于 5G 通信智能分布式馈线自动化应用[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(7): 24-30.
- [42] 朱海明. 基于 5G 通信的配电网馈线自动化切换系统设计[J]. 通信电源技术, 2024, 41(18): 4-6.
- [43] 国网山东省电力公司. 山东烟台公司: 实现县级配电网接地五级保护全覆盖[J]. 农村电气化, 2024(8): 60.