

新型电力系统规划方法框架及关键支撑技术

韩 超

国家能源集团华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

摘要: 随着“双碳”目标加速推进,我国电力系统正经历深刻变革。本文聚焦新型电力系统规划方法框架及关键支撑技术。首先剖析新型电力系统在电源结构、负荷特性、电网形态方面的显著特征。接着详细阐述其规划方法框架,涵盖六要素协同、数据融合智能驱动、动态评估滚动优化、源网荷储协同规划及多维度风险评估体系。最后探讨关键支撑技术,包括主动配电网控制、智能装备传感、多能互补融合、信息化智慧化以及新型储能与虚拟电厂技术,为新型电力系统的高效规划与稳定运行提供理论参考与技术指引。

关键词: 新型电力系统; 规划方法框架; 关键支撑技术

引言: 在全球能源转型与“双碳”目标推动下,传统电力系统向新型电力系统变革成为必然趋势。新型电力系统以清洁低碳、安全高效为核心特征,旨在实现能源的可持续发展。其规划不仅关乎能源的合理配置与高效利用,更对保障能源安全、促进经济社会绿色发展意义重大。然而,新型电力系统在电源结构、负荷特性、电网形态等方面发生深刻变化,传统规划方法已难以适应。因此,构建科学合理的新电力系统规划方法框架,并研发关键支撑技术,成为当前能源领域亟待解决的重要课题。

1 新型电力系统特征

1.1 电源结构转型

传统电力系统以化石能源发电为主,新型电力系统则加速向清洁能源主导转变。风能、太阳能等可再生能源发电占比大幅提升,其具有间歇性、波动性特点,发电出力受自然条件影响大。核能作为稳定基荷电源,在保障电力供应安全方面发挥重要作用。同时,生物质能、地热能等多元能源形式也逐步融入电源结构。这种转型促使电源布局从集中式向集中式与分布式并重发展,分布式电源如屋顶光伏、分散式风电等靠近负荷中心,减少输电损耗。电源结构转型不仅推动能源清洁化,还要求电力系统具备更强的灵活调节能力,以应对清洁能源发电的不确定性,保障电力供应的稳定性和可靠性。

1.2 负荷特性演变

随着经济社会发展与能源消费模式转变,新型电力系统负荷特性发生显著变化。一方面,负荷总量持续增长,工业生产规模扩大、居民生活水平提高以及新兴产业崛起,都带动电力需求不断上升。另一方面,负荷构成日益复杂,电动汽车、分布式储能等新型负荷大量接入,其具有双向互动特性,既消耗电能也可向电网反馈

电能。此外,负荷的时空分布不均衡性加剧,不同时段、不同区域的负荷差异明显,峰谷差进一步拉大。这就要求新型电力系统具备更精准的负荷预测能力和更灵活的负荷调节手段,以实现电力供需的实时平衡,提高能源利用效率。

1.3 电网形态升级

为适应电源结构转型和负荷特性演变,新型电力系统电网形态不断升级。在电压等级上,特高压输电技术广泛应用,实现大容量、远距离的电力输送,加强区域电网之间的互联互通,提高能源资源配置效率。在电网结构方面,从传统的单辐射、链式结构向多环网、网格化结构发展,增强电网的冗余度和可靠性。同时,微电网、局部直流电网等新型电网形式不断涌现,与大电网相互补充,提高供电的灵活性和适应性^[1]。

2 新型电力系统规划方法框架

2.1 六要素协同规划体系

新型电力系统规划方法框架的核心在于构建“源网荷储碳数”六要素协同规划体系。该体系突破传统“源网荷储”四要素框架,将碳中和目标与数字化转型深度融入电力系统规划。其中,“源”要素聚焦新能源占比提升与火电灵活性改造,通过风光水火储一体化布局实现清洁能源高效消纳;“网”要素构建大电网-配电网-微电网兼容互补的柔性架构,强化区域间电力互联与新能源输送能力;“荷”要素推动负荷侧资源参与系统调节,依托虚拟电厂技术整合电动汽车、分布式储能等需求响应资源;“储”要素部署多元储能体系,在电源侧平抑新能源波动,在电网侧提供调峰调频服务,在用户侧降低用能成本;“碳”要素通过碳预算分解与碳流追踪技术,量化评估系统碳排放强度,引导源网荷储低碳协同;“数”要素依托大数据与人工智能,实现多源异构数据融

合与智能决策,支撑负荷预测、新能源出力建模及全景运行模拟。

2.2 数据融合与智能驱动支撑体系

新型电力系统数据融合与智能驱动支撑体系,是推动其高效规划与运行的关键所在。该体系致力于打破数据壁垒,实现电力系统中各类异构数据的深度融合,涵盖气象数据、设备运行数据、市场交易数据以及用户行为数据等。通过构建统一的数据平台,运用先进的数据清洗、转换与集成技术,确保数据的准确性、一致性与完整性,为系统分析提供坚实的数据基础。在智能驱动方面,借助人工智能、机器学习等前沿技术,挖掘数据背后的潜在规律与价值。例如,利用深度学习算法精准预测新能源发电出力,提升预测的准确性与可靠性;通过强化学习优化电网运行策略,实现资源的动态调配与高效利用。同时,智能驱动体系还具备自学习与自适应能力,能够根据系统运行状态的实时变化,自动调整控制参数与决策策略,保障新型电力系统在复杂多变的运行环境下,始终保持安全稳定、经济高效的运行状态,为电力系统的可持续发展提供强大的技术支撑。

2.3 动态评估与滚动优化机制

新型电力系统具有高度不确定性与动态性,动态评估与滚动优化机制是其规划运行的重要保障。动态评估体系借助实时监测与先进分析技术,对系统运行状态进行全方位、多维度评估。不仅考量电力供需平衡、电压频率稳定等常规指标,还深入分析新能源出力波动、负荷特性变化等新型因素对系统的影响,精准识别潜在风险与薄弱环节。基于动态评估结果,滚动优化机制随即启动。它打破传统规划的静态模式,以一定时间周期为滚动步长,持续更新系统规划方案。在每个滚动周期内,根据最新的系统运行数据与外部环境变化,对电源布局、电网结构、储能配置等进行灵活调整,确保规划方案始终与实际需求紧密契合。通过这种动态调整与持续优化的循环过程,新型电力系统能够及时适应各种不确定性因素,有效提升系统的灵活性、可靠性与经济性,为电力系统的长期稳定运行与可持续发展奠定坚实基础。

2.4 源网荷储协同规划流程

源网荷储协同规划流程是构建新型电力系统的关键环节。首先,开展数据收集与预处理工作,全面收集电源出力特性、电网拓扑结构、负荷需求模式以及储能技术参数等数据,并进行清洗与标准化处理,为后续规划提供准确的数据基础。接着进行源网荷储初步匹配,依据新能源资源分布与负荷需求空间分布,初步规划电源布局与电网架构,同时考虑储能的配置地点与容量,使

电源供应、电网传输、负荷消耗与储能调节初步协同。随后开展详细模拟分析,运用先进的仿真软件,对不同场景下的源网荷储运行情况进行模拟,评估系统的可靠性、经济性与环保性。根据模拟结果,对规划方案进行优化调整,如优化电源接入点、调整电网线路参数、改进储能充放电策略等。最后进行方案评估与决策,综合考量技术可行性、经济合理性、环境友好性等因素,确定最终的源网荷储协同规划方案。

2.5 多维度风险评估体系

新型电力系统面临的风险复杂多样,构建多维度风险评估体系至关重要。该体系从技术、市场、环境、政策等多个维度展开全面评估。技术维度上,着重考量新能源发电的间歇性与波动性带来的供电不稳定风险,以及电网设备老化、新技术应用不成熟等引发的故障风险。市场维度方面,关注电力市场价格波动、供需失衡对系统经济运行的影响。环境维度则评估极端天气、自然灾害等对电力设施的破坏风险。政策维度分析能源政策调整、环保标准变化给系统带来的合规风险。通过建立量化评估模型,对各维度风险进行定性与定量分析,确定风险等级与影响程度。依据评估结果,制定针对性的风险应对策略,如加强技术研发投入、完善市场交易机制、提升设施防灾能力、密切跟踪政策动态等,保障新型电力系统在复杂环境下安全稳定运行^[2]。

3 新型电力系统关键支撑技术

3.1 主动配电网控制技术

主动配电网控制技术是新型电力系统实现灵活、高效运行的核心支撑。它突破了传统配电网被动接受上级指令的模式,具备主动感知、主动决策与主动调控的能力。该技术依托先进的传感器和通信网络,实时精准获取配电网的运行状态信息,如电压、电流、功率等,实现对系统运行情况的全方位感知。在此基础上,运用智能算法进行数据分析与决策,根据不同的运行场景和需求,自动调整配电网的运行方式。通过主动控制分布式电源的出力、调节储能设备的充放电以及优化无功补偿装置的配置,主动配电网控制技术能够有效应对新能源发电的波动性和不确定性,提高配电网的供电可靠性和电能质量,同时促进分布式能源的大规模接入和高效消纳,推动配电网向智能化、自适应化方向发展。

3.2 智能装备与传感技术

智能装备与传感技术是新型电力系统稳定运行与高效管理的关键依托。智能装备融合了先进的电力电子、自动控制及信息技术,像智能变压器,可依据电网实时负荷自动调整运行参数,实现高效节能与稳定供电;智能断

路器能快速精准切断故障电流,极大缩短故障隔离时间,提升供电可靠性。传感技术则如同电力系统的“神经末梢”,通过部署各类高精度传感器,如电流传感器、电压传感器、温度传感器等,全方位、实时地采集电网设备的运行数据,包括电流大小、电压波动、设备温度等。这些数据经传输和处理后,能为运行人员提供精准的设备状态信息,助力实现设备的状态监测与故障预警。智能装备与传感技术紧密协同,使新型电力系统具备更强的感知能力和自主调节能力,可及时应对各种复杂工况,保障电力系统的安全、稳定、经济运行。

3.3 多能互补融合技术

多能互补融合技术是新型电力系统实现能源高效利用与稳定供应的重要手段。该技术打破不同能源形式间的壁垒,将风能、太阳能、水能、生物质能等可再生能源,与煤炭、天然气等传统化石能源进行有机结合。通过能源转换与存储装置,如燃气轮机、储能电池等,实现多种能源之间的灵活转换与互补。当可再生能源发电充足时,将多余电能储存起来或转化为其他形式能源;当可再生能源发电不足时,利用传统能源或储存的能源进行补充,保障电力供应的连续性。同时,多能互补融合技术还涵盖了热、电、冷等多种能源形式的联合供应,实现能源的梯级利用,提高能源综合利用效率。这种技术有助于降低对单一能源的依赖,增强电力系统的抗风险能力,推动能源结构向清洁、低碳、多元化方向转型,促进新型电力系统的可持续发展。

3.4 信息化与智慧化技术

信息化与智慧化技术是新型电力系统高效运行与智能管理的核心驱动力。信息化技术借助先进的通信网络,如5G、物联网等,实现电力系统各环节数据的实时、高速传输,确保数据采集的全面性与及时性,为系统运行提供精准的信息支撑。智慧化技术则依托大数据、人工智能、云计算等前沿科技,对海量电力数据进行深度挖掘与分析。通过机器学习算法,可精准预测新能源发电出力、负荷需求等,为电力调度提供科学依据;利用智能决策系统,能自动优化电网运行方式,实现资源的合理配置。同时,信息化与智慧化技术还推动了电力系统

的自动化与智能化升级,如智能变电站、智能巡检机器人等的应用,提高了电力设备的运行可靠性和维护效率。二者深度融合,使新型电力系统具备更强的感知、分析和决策能力,有效应对复杂多变的运行环境。

3.5 新型储能与虚拟电厂技术

新型储能与虚拟电厂技术是新型电力系统稳定运行与灵活调节的关键支撑。新型储能技术涵盖锂离子电池、液流电池、压缩空气储能等多种形式,具备响应速度快、充放电灵活等优势。在电力供应过剩时,储能系统可储存多余电能;在用电高峰或新能源出力不足时,释放储存电能,有效平抑电力供需波动,提升电网的稳定性与可靠性。虚拟电厂技术则通过先进的通信与控制手段,将分布式电源、储能设备、可调节负荷等资源进行聚合与优化调控。它如同一个“看不见的电厂”,能够根据电网需求,灵活调整聚合资源的出力与用电行为,参与电力市场交易与辅助服务。二者协同作用,新型储能为虚拟电厂提供了可调节的“能量池”,虚拟电厂则拓展了新型储能的应用场景与价值实现途径,共同助力新型电力系统向清洁低碳、安全高效的方向发展^[1]。

结束语

新型电力系统规划方法框架以碳目标为引领,构建“源网荷储碳数”六要素协同体系,通过数据融合与智能驱动实现动态优化。其关键支撑技术涵盖主动配电网控制、智能装备与传感、多能互补融合及信息化智慧化技术。这些技术通过提升系统灵活调节能力、保障安全稳定运行、促进新能源高效消纳,共同支撑新型电力系统向清洁低碳、安全高效方向演进。未来,随着技术创新与体制机制完善,新型电力系统将实现多维演化与稳健发展,为“双碳”目标提供坚实保障。

参考文献

- [1]舒印彪,陈国平,贺静波,张放.构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究[J].中国工程科学,2021,23(6):61-69.
- [2]卓振宇,张宁,谢小荣,等.高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J].电力系统自动化,2021,(9).DOI:10.7500
- [3]康重庆,杜尔顺,郭鸿业,等.新型电力系统的六要素分析[J].电网技术,2023,47(5)1000-3673