

Research on Key Technologies and Engineering Practices for New Power System Construction

Xiang Wu

Zhanjiang Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524000, China

Abstract

Against the backdrop of the “dual carbon” goals and profound energy structure adjustments, a new power system dominated by renewable energy has emerged as a critical direction for energy transition. Compared to traditional power systems, the new system exhibits distinct characteristics including diversified power generation structures, complex operational modes, and refined regulation requirements, posing new challenges to safe and stable operation. To address the construction needs of this system, it is essential to conduct systematic analysis of technical pathways and engineering practices, particularly focusing on large-scale renewable energy integration, grid digital transformation, and multi-stakeholder collaborative operations. Starting from system architecture, this study examines the mechanisms of renewable energy grid integration, grid flexible regulation, and energy storage technologies in system construction, while exploring multi-source coordinated operation models and intelligent dispatch strategies through engineering applications. The research demonstrates that establishing multi-level coordinated control systems and digital support platforms can effectively enhance power system flexibility and reliability, providing technical safeguards for the safe operation of new power systems.

Keywords

New-type power system; New energy grid integration; Energy storage technology; Smart grid

新型电力系统构建关键技术与工程实践研究

吴翔

广东电网有限责任公司湛江供电局, 中国·广东 湛江 524000

摘要

在“双碳”目标与能源结构深度调整的背景下,以新能源为主体的新型电力系统逐步成为能源转型的重要方向。与传统电力系统相比,新型电力系统呈现出电源结构多元化、运行方式复杂化以及调控需求精细化等显著特征,其安全稳定运行面临新的挑战。围绕新型电力系统的构建需求,结合新能源大规模接入、电网数字化转型以及多元主体协同运行等关键问题,对相关技术路径与工程实践进行系统分析具有重要意义。文章从系统架构出发,分析新能源并网、电网柔性调控及储能技术在系统构建中的作用机制,并结合工程应用探讨多源协同运行模式与智能调度策略。研究表明,通过构建多层次协控制体系与数字化支撑平台,能够有效提升电力系统的灵活性与可靠性,为新型电力系统的安全运行提供技术保障。

关键词

新型电力系统; 新能源并网; 储能技术; 智能电网

1 引言

能源结构低碳化与电力系统清洁化发展趋势不断增强,风电、光伏等可再生能源的快速发展使电力系统运行特性发生深刻变化。传统电力系统以集中式电源和刚性调度为主,能够较好地维持频率与电压稳定,而在高比例新能源接入条件下,系统惯量下降、波动性增强以及不确定性显著增加,给电力系统安全运行带来新的挑战。在此背景下,新型电力系统逐渐形成以新能源为主体、多类型能源协同运行的新格局。其核心在于通过技术创新与系统重构,实现电源、电网、

负荷与储能的协调发展。围绕这一目标,研究关键技术与工程实践路径,对于推动电力系统向高效、低碳与智能方向转型具有重要意义。

2 新型电力系统的结构特征与发展需求

2.1 新能源主导下的系统结构演变

随着风电与光伏装机规模不断提升,电力系统的电源结构正由以火电为主的集中式格局,转向多类型能源协同支撑的复合结构。新能源出力受气象条件影响显著,其间歇性与波动性使系统运行呈现出更强的不确定性特征,对调节能力提出更高要求。在这一演变过程中,分布式能源的大规模接入改变了传统电网的潮流分布路径,电能流动由单向输送转变为多向交互,局部区域甚至形成“源—网—荷”一体化

【作者简介】吴翔(1977-),女,中国广东雷州人,本科,工程师,从事电力系统电气工程及其自动化研究。

运行形态。系统结构的重构,使电网在规划与运行层面需要更加注重灵活性与适应性,通过增强调节资源配置与优化网络结构,使不同能源类型在同一体系中实现高效协同,从而支撑新能源占比持续提升的发展趋势。

2.2 多元主体协同运行需求

新型电力系统中,发电侧、负荷侧与储能设施之间的关系由相对独立转向深度耦合,系统运行逐步呈现多主体协同特征^[1]。用户角色发生转变,在具备用能功能的同时,通过分布式发电与储能参与电力供给与调节,使其成为系统运行的重要组成部分。多元主体的参与,使传统以集中调度为核心的运行模式面临调整,需要通过机制设计实现不同主体之间的协调与互动。在此过程中,市场机制发挥引导作用,通过价格信号影响发电与用电行为,使资源在动态环境中实现优化配置;信息技术则提供运行支撑,通过对系统状态的实时感知与分析,实现对多主体行为的协调控制。协同机制的建立,使系统在复杂运行条件下仍能保持整体效率与稳定性。

2.3 电力系统安全与稳定新要求

新能源高比例接入改变了电力系统的物理特性,传统依赖同步发电机提供惯量与无功支撑的运行基础受到削弱,系统频率与电压稳定性面临新的挑战。惯量水平的下降使系统对扰动的响应更加敏感,频率波动幅度加大,电压调节难度随之提升。在这一背景下,需引入多元调节手段以增强系统稳定能力,通过构建多层次控制体系实现对不同时间尺度的动态平衡^[2]。运行过程中还需综合考虑安全性与经济性之间的关系,使系统在复杂条件下保持高效运行。极端气候与负荷波动的叠加,使系统运行环境更加不确定,对抗扰动能力提出更高要求。通过提升系统的自适应调节能力与整体协调水平,可以增强其在多变环境中的稳定性,为新型电力系统的持续发展提供可靠支撑。

3 新型电力系统关键技术分析

3.1 新能源并网与消纳技术

新能源并网技术构成新型电力系统运行的基础支撑,其关键在于实现大规模可再生能源的稳定接入与高效利用。在技术路径上,通过优化并网控制策略与提升电网结构适应性,可有效降低新能源出力波动对系统安全运行的冲击。柔性直流输电技术在远距离输送新能源电能方面展现出良好性能,其具备调节灵活与损耗较低的特点,有助于提升输电效率并增强跨区域资源配置能力^[3]。区域电网互联的推进,使新能源能够在更大空间范围内实现优化配置,缓解局部消纳压力。在运行层面,借助预测技术对风电与光伏出力进行提前评估,可为调度决策提供依据,使电源安排与负荷需求保持动态平衡,从而减少弃风弃光现象,提升新能源利用水平。

3.2 储能技术及其系统作用

储能技术在新型电力系统中承担着调节与支撑的双重

功能,是实现供需平衡的重要手段。不同类型储能技术在性能与应用场景上各具特点,电化学储能具备响应速度快与布置灵活的优势,抽水蓄能在大规模能量调节方面具有稳定性强的特点,压缩空气储能则在特定条件下展现出良好的经济性。通过合理配置储能设施,可在新能源出力高峰时进行能量吸纳,在负荷上升阶段释放电能,使系统运行更加平稳。储能系统还能够参与频率调节与电压控制,增强电力系统对扰动的应对能力。在工程实践中,储能通常与新能源电站协同建设,使局部区域形成自平衡能力,并在整体系统中发挥调节补充作用,从而提升运行的可靠性与经济性。

3.3 智能调度与数字化支撑技术

随着信息技术的深入应用,电力系统调度逐步向智能化与数据驱动模式转型。智能调度技术通过对运行数据的实时采集与分析,实现对电源出力与负荷需求的动态调控,使调度决策更加精准与高效。基于大数据与人工智能方法,可对负荷变化趋势及新能源出力特性进行预测,从而提前制定优化策略,减少系统运行的不确定性。数字化平台在数据整合与处理方面发挥关键作用,通过构建统一的信息体系,实现多源数据的集中管理与可视化呈现,使系统运行状态更加透明。在多层级调度体系中,数字化支撑技术使不同层级之间的信息传递更加顺畅,协同效率显著提升。实践表明,智能调度与数字化技术的融合应用,能够有效增强电力系统的可控性与可靠性,为新型电力系统的稳定运行提供坚实保障。

4 新型电力系统的运行控制与优化策略

4.1 多层级协调控制机制

新型电力系统呈现出结构复杂与运行多变的特征,其稳定运行依赖于多层级控制体系的有效构建。通过在区域调度、局部控制及终端设备层面形成分层协同结构,可以使不同层级在职责划分清晰的基础上实现有机联动^[4]。上层调度侧重于全局资源优化与运行策略制定,通过对电源结构与负荷分布的综合分析,实现系统整体的经济性与安全性平衡;下层控制则面向实时运行状态,承担快速响应与局部调节任务,以应对新能源波动与负荷变化带来的不确定性。在信息交互机制的支撑下,各层级之间形成连续的数据传递与反馈路径,使控制策略能够在动态环境中持续修正。该分层控制模式在保证系统稳定性的同时,提升了运行效率与调节灵活性,使电力系统能够在复杂运行条件下保持协调与有序。

4.2 源网荷储协同优化策略

源网荷储协同优化是新型电力系统运行的重要基础,其核心在于通过多要素联动实现能源资源的整体最优配置。发电侧根据系统需求对出力进行动态调整,使新能源与常规电源形成互补关系;电网侧通过优化潮流分布与网络结构,提高电能输送效率并降低损耗;负荷侧借助需求响应机制参与系统调节,使用电行为与电力供给形成互动关系;储能系

统则在供需之间发挥缓冲作用,通过能量的存储与释放平衡功率波动。在统一优化模型的支撑下,各要素之间形成协同运行机制,使系统能够在不同运行状态下实现平衡与优化^[5]。实践表明,该策略在降低运行成本的同时,也显著提升了能源利用效率,使系统具备更强的适应性与调节能力。

4.3 电力市场机制与调度融合

在新型电力系统运行框架中,电力市场机制通过价格信号引导资源配置,逐步成为影响系统运行的重要因素。市场机制与调度策略的融合,使电力系统在保证安全运行的前提下,能够实现更高水平的资源配置效率。通过建立合理的市场规则与交易机制,各类主体可根据价格变化调整发电与用电行为,从而增强系统运行的灵活性与响应能力。新能源与储能市场环境获得发展空间,有助于提升清洁能源占比并优化能源结构。用户侧通过参与需求响应,能够在价格激励下调整用电方式,使负荷特性更加可控。市场与调度的协同运行,需要依托完善的信息系统与监管机制,以确保数据传递的准确性与交易过程的公平性,从而实现效率提升与安全保障之间的平衡。

5 工程实践与典型应用分析

5.1 区域电网新能源消纳实践

在新能源资源集聚区域,电网结构与输电能力的优化成为提升消纳水平的关键路径。通过建设大容量输电通道,可将风电与光伏等间歇性电源输送至负荷中心,从而缓解本地消纳压力。与此同时,柔性输电技术的应用,使电力传输过程具备更高的调节能力,在应对新能源出力波动方面表现出良好的适应性。储能系统的合理配置,为电力系统提供了削峰填谷与功率平衡手段,使新能源出力的不稳定性得到有效缓冲。在区域层面,通过电网互联实现跨区域资源调配,使能源在更大范围内实现优化配置,提升整体运行效率。运行实践表明,随着调度策略的持续优化与技术手段的协同应用,新能源利用率能够稳步提高,区域电网运行也更加安全与高效。

5.2 综合能源系统建设实践

综合能源系统以多能源协同利用为核心,通过对电、热、气等多种能源形态的整合,实现能源利用方式的优化与重构。在该模式下,不同能源之间通过技术手段实现转换与互补,使能源供应更加灵活稳定。统一的能源管理平台在系统运行中发挥关键作用,通过对多源数据的集成与分析,实

现对能源生产、传输与消费全过程的协调控制。工程实践表明,综合能源系统在工业园区与城市区域的应用逐步成熟,其在提升能源利用效率的同时,也显著降低了碳排放水平。通过优化能源结构与运行模式,使能源系统由单一供给向多元协同转变,为实现绿色低碳发展目标提供了现实路径,也体现出较高的推广价值与应用前景。

5.3 数字化电网建设与应用实践

数字化电网建设以信息技术为支撑,通过对电力系统运行状态的全面感知与精细化管理,实现对复杂电网的精准调控。在系统构建过程中,传感器与通信设备的广泛部署,使电网运行数据能够实时采集并传输至管理平台,为后续分析提供基础支撑。在数据处理层面,通过对海量运行信息的分析与挖掘,可以识别潜在风险并优化运行策略,使系统调度更加科学合理。数字化手段的引入,使电网由经验驱动逐步转向数据驱动,提高了运行决策的准确性与前瞻性。实践结果表明,数字化电网在提升系统可靠性与管理水平方面具有显著效果,为新型电力系统的构建提供了重要技术基础,也为电力行业的智能化发展奠定了坚实支撑。

6 结语

新型电力系统的构建是能源转型的重要内容,其发展涉及多领域技术的协同创新。通过分析系统结构特征与关键技术路径,可以看出新能源并网、储能应用及智能调度在系统构建中具有重要作用。结合工程实践,源网荷储协同与数字化支撑成为提升系统运行效率的关键手段。未来,随着技术不断进步与应用不断深化,新型电力系统将在保障能源安全、推动低碳发展方面发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 别朝红,李更丰,肖云鹏,等.新型电力系统形态构建的关键机制与技术路径[J].中国科学:技术科学,2026,56(01):97-112.
- [2] 李庆江.突破特高压关键技术助力新型电力系统构建[J].国资报告,2025,(09):107-110.
- [3] 马为民,李明,薛英林,等.大容量电压源型逆变器在新型电力系统构建中的关键技术和创新展望[J].电力建设,2025,46(10):1-11.
- [4] 拓磊.新型电力系统网络安全保护体系构建与关键技术研究[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2025人工智能与工程管理学术交流会议论文集.内蒙古电力(集团)有限责任公司呼和浩特市清水河供电公司,2025:452-453.
- [5] 范越,李永莱,舒印彪,等.新型电力系统平衡构建与安全稳定关键技术初探[J].中国电机工程学报,2025,45(01):14-25.