

主动配电网规划关键问题与研究展望

马昌民

国网山西省电力公司大同供电公司

摘要：随着分布式电源、电动汽车的广泛接入，智能家居的普及，以及需求侧响应的全面实施，配电系统的规划与运行变得日益复杂。主动配电网（Active Distribution Network, ADN）作为未来配电网的一种发展模式，提供了解决这些挑战的可能方案。本文首先介绍了ADN的概念和内涵，分析了其在规划和运行方面的优化技术的国内外研究现状和重点。随后，从“源-网-荷”互动的综合优化、多周期优化及其协调配合、分层分布式优化策略等角度，探讨了ADN的未来发展趋势。本文旨在为ADN的研究和应用提供理论指导和实践参考。

关键词：主动配电网；分布式电源；电动汽车；智能家居；需求侧响应

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.12.053

一、引言

随着能源结构的转型和电力系统的现代化，新型电力技术的融合给配电网的规划和运行带来了前所未有的挑战和机遇。分布式电源（Distributed Generation, DG）的广泛接入、电动汽车的快速增长、智能家居技术的普及，以及需求侧响应（Demand Side Response, DSR）的实施，共同推动了配电网朝着更加智能化和灵活化的方向发展。在这样的背景下，主动配电网（Active Distribution Network, ADN）应运而生，其不仅应对了日益复杂的配电网运行环境，还为电力系统的高效、可靠和经济运行提供了新的思路。主动配电网的概念提出了更高层次的电网互动和优化需求，这不仅仅是技术层面的革新，更是对现有电力系统管理模式的一次深刻变革。本文旨在深入探讨ADN在规划和运行中所面临的关键问题，以及未来发展的潜在趋势，为实现这一新型电网模式的优化和高效运行提供理论基础和实践指导。

二、主动配电网的概念和内涵

（一）ADN的定义

主动配电网（Active Distribution Network, ADN）是一种具有先进技术和高度自动化特点的新型电力系统。与传统的配电网相比，它强调利用现代信息技术和自动控制技术，实现电网的智能管理和高效运行。ADN能够主动响应电网状态的变化，实时优化运行策略，确保电力供应的稳定性和可靠性。在ADN中，分布式电源、储能设备、智能电表和其他智能装置的广泛应用，使得电网不再是单纯的电能传输和分配系统，而是转变为一个具有高度智能化、互动性和自适应能力的综合能源管理平台。

（二）ADN与传统配电网的区别

主动配电网与传统配电网在多个方面存在显著差异。首先，在结构上，传统配电网通常是单向的能源流

动路径，而ADN支持双向能流和信息流，使得能源的分配更加灵活高效。其次，在运行机制上，传统配电网依赖于中心化的控制系统，而ADN采用分布式控制和自动化技术，提高了对复杂环境和突发事件的响应能力。ADN在调度策略上更为先进，能够综合考虑分布式电源、电动汽车、储能设备等多种因素，实现更优的电网运行状态。这种模式不仅提升了电网的经济性，还大大增强了对可再生能源的接纳能力。

（三）ADN的关键特性和优势

ADN的关键特性和优势主要体现在以下几个方面。首先是其高度的灵活性和适应性。ADN能够根据电网运行的实时状态调整控制策略，有效应对需求波动和分布式电源的不稳定输出。其次，ADN具有优秀的可靠性和稳定性。通过实时监测和智能控制，ADN可以迅速定位和处理电网故障，确保电力供应的连续性。再次，ADN在环境效益方面表现突出。它支持更高比例的可再生能源接入，有助于降低碳排放，推动能源结构的绿色转型。最后，ADN通过优化资源配置，提高了电网的经济效益。它能够降低运营成本，提高能源利用率，为用户带来更多的经济收益。

三、ADN优化技术的研究现状

（一）国内外研究进展概述

主动配电网（ADN）作为电力系统未来发展的重要方向，已经引起了全球范围内学者和研究机构的广泛关注。在国际上，尤其是在欧美等发达国家，ADN的研究和发展受到了政府政策的大力支持和科研项目的积极推动。这些国家的研究机构和大学在ADN领域取得了显著的进展，他们的研究主要集中在ADN的理论基础、关键技术的开发以及先进技术的应用上。通过这些研究，欧美等国家在ADN技术的应用和推广方面走在了世界前列。

在ADN的理论研究方面，国际上的学者们主要集中

于探讨和完善ADN的基本理论框架，如电网的智能化控制机制、能源流动的优化模型以及电网稳定性的保障机制等。这些理论研究为ADN技术的实际应用奠定了坚实的基础。关键技术的开发也是国际研究的重点之一。这包括但不限于分布式能源的有效接入和管理、电网的自动化监控技术、数据分析和处理技术等。通过这些技术的发展和完善，ADN在提升电网的运行效率、保障供电安全以及促进可再生能源利用方面展现出巨大的潜力。

与此同时，国际上的一些国家还重视ADN技术的实际应用和示范工程的实施。通过在特定区域或城市建立ADN示范工程，这些国家不仅展示了ADN技术的实际效果，还积累了宝贵的运行和管理经验，为ADN技术的进一步发展和推广提供了重要的参考。

在国内，随着电力系统改革的深入和新能源的快速发展，ADN技术也得到了迅速发展。中国的ADN研究更侧重于适应本国电网特点的技术创新和应用探索。随着电力市场的逐步开放和电力系统结构的持续优化，中国在ADN领域的研究和实践已经取得了显著的成果。特别是在分布式电源管理、电网稳定性控制以及智能化电网建设方面，中国的研究和应用成果为ADN技术的国内外发展提供了宝贵的经验。

在分布式电源管理方面，中国的研究主要集中于如何有效地将分布式能源，如风能、太阳能等可再生能源，与传统的电力系统相结合。通过开发先进的控制策略和管理技术，中国的研究人员和工程师们努力实现分布式电源的高效接入和运行，从而提高电网的整体效率和可靠性。

在电网稳定性控制方面，中国的研究着重于开发有效的电网监控和故障预防机制。随着电网规模的不断扩大和复杂性的增加，确保电网的稳定运行变得越来越重要。通过引入先进的监测设备和智能化控制系统，中国的研究人员在提高电网稳定性方面取得了显著成果。

智能化电网建设也是中国ADN研究的一个重要方面。通过将信息技术和自动化技术融入电网建设和运营中，中国的研究人员和工程师们正在不断推进电网的智能化进程。这不仅包括电网的自动监测和控制，还包括用户端的智能电表和能源管理系统的应用。通过这些技术的应用，中国的电网正变得更加高效、可靠和环境友好。

（二）ADN规划和运行的关注重点

在当前的电力系统研究中，主动配电网（ADN）的规划和运行成了一个重点领域，其核心关注点包括电网的稳定性、可靠性、经济性和环境友好性。这些方面不

仅是ADN技术发展的关键，也是实现现代电网高效运行的基本要求。在稳定性方面，研究主要集中于如何确保电网在各种操作条件下的稳定运行。这一点在面对大量分布式电源接入时尤为重要，因为分布式电源的接入会对电网的运行稳定性带来新的挑战。例如，太阳能和风能等可再生能源的波动性和不确定性可能导致电网负荷的大幅波动，从而影响电网的稳定性。因此，开发有效的电网稳定性控制策略和技术，如电网动态平衡控制、负荷预测和调节技术，成了稳定性研究的重点。

在可靠性方面，ADN的研究致力于减少电网故障的发生，并提高电网的供电可靠性。这包括提高电网的自愈能力，即在发生故障时能够迅速定位故障点并自动进行故障隔离和供电恢复。通过引入先进的监测和诊断技术，如智能传感器和故障诊断系统，ADN能够实时监控电网状态，快速响应各种异常情况，从而提高电网的整体可靠性。

经济性方面的研究主要集中于降低电网的运行成本和提高能源利用效率。随着电力市场的竞争日益激烈，提高电网运行的经济性变得尤为重要。ADN通过优化电网运行策略，合理调配电力资源，可以有效降低电网运行的成本。此外，通过提高分布式电源的接入效率和优化电网的能源流动，ADN能够提高整个电力系统的能源利用效率。

环境友好性是ADN研究的另一个重要方面。随着全球对气候变化和环境保护日益重视，电力系统的环境影响受到了广泛关注。ADN通过支持和优化可再生能源的接入和利用，有助于减少化石能源的使用和碳排放。例如，通过集成太阳能、风能等清洁能源，以及利用高效的储能技术，ADN可以提高电网对可再生能源的接纳能力，从而促进电力系统的绿色转型。

（三）优化模型和方法

在主动配电网（ADN）的发展过程中，优化模型和方法的研究起着至关重要的作用，它们是保证ADN高效运行的基础。当前的研究工作在多个方面不断深入，力求通过各种技术手段提升电网的整体性能和效率。其中，开发高效的算法和模型以优化电网的运行和控制是研究的首要任务。在面对日益复杂和动态的电网环境时，这一任务显得尤为重要。例如，随着可再生能源和分布式发电的广泛接入，电网的负荷和供电模式变得更加多元化和不稳定，传统的电网运行和控制模型已经难以满足新的运行需求。因此，研究人员正在努力开发新的算法和模型，如基于优化理论的调度模型、考虑电网安全和稳定性的控制策略等，以提高电网的运行效率和

响应能力。

除此之外，先进的预测技术也是ADN优化研究的一个重要方面。特别是在负荷预测和可再生能源输出预测方面，准确性的提高对于电网的稳定运行至关重要。机器学习和人工智能技术在这一领域展现出了巨大的潜力。通过分析历史数据和实时数据，这些技术可以对电网负荷和可再生能源输出进行更为准确的预测，帮助电网运营者制定更为合理和高效的运行策略。例如，通过机器学习模型可以预测特定时间段内的电网负荷变化，从而提前调整电网运行模式，以应对可能的负荷波动。

同时，整合分布式电源、电动汽车、储能设备等新兴技术，实现电网资源的最优配置和使用，是ADN优化模型和方法研究的另一个重要方向。随着这些新兴技术的快速发展和广泛应用，电网的运行环境变得更加复杂多变。如何高效整合这些资源，最大化它们的使用效率，成了ADN优化研究的关键问题。在这方面，研究人员正致力于开发更加灵活和高效的资源管理和调度模型。这些模型能够考虑各种类型资源的特性和运行模式，通过智能化的算法实现资源之间的最优匹配和协调，从而提高电网的整体运行效率。

（四）关键技术和应用案例

ADN的关键技术主要包括分布式电源管理、电能质量控制、智能监测和故障处理技术等。这些技术的发展对于提高ADN的运行效率和可靠性至关重要。在应用案例方面，全球范围内已经有多个成功的示例。例如，欧洲的一些国家已经实施了基于ADN的智能电网项目，这些项目通过集成可再生能源、电动汽车充电站和智能电表，展示了ADN在提高电网灵活性和效率方面的巨大潜力。中国也在多个地区开展了ADN试点项目，这些项目不仅展示了ADN技术的实际应用效果，还为中国特色的ADN技术发展和应用提供了宝贵经验。

四、ADN的未来发展趋势

（一）“源-网-荷”互动的综合优化

在主动配电网（ADN）的发展中，“源-网-荷”互动的综合优化是核心要素之一。这一策略致力于实现能源的产生、传输和消费三者之间的有效协调。为此，开发互动机制和优化策略成为重要任务。在这一过程中，重点是如何平衡和优化各方面的需求和供应，以提高整个系统的效率和可靠性。例如，通过智能化技术，可以在电网供需之间实现动态平衡，同时优化分布式电源的输出和电网的负载需求。技术挑战主要集中在如何精确预测和调节这三者之间的动态关系。潜在的解决方案包括发展更先进的预测算法、实时数据分析技术和自动调节

系统。

（二）多周期优化及其协调配合

ADN的另一发展趋势是多周期优化及其协调配合。这一策略的目的是将短期运行计划与长期发展规划有效结合起来。短期规划侧重于日常运营的优化，例如负荷调配和故障处理，而长期规划则关注于电网的扩展、升级和可持续发展。协调这两者可以实现更高效的资源配置和更可靠的电网运行。灵活性资源的管理也是关键。这包括如何有效利用储能设备、电动汽车等新兴技术，以提高电网的灵活性和适应性，满足不断变化的电力需求。

（三）分层分布式优化策略

分层分布式优化策略是ADN发展的又一重要方向。这种策略主张将电网的优化管理从不同层级进行，即结合局部优化和全局优化。局部优化侧重于特定区域或设备的性能提升，例如单个变电站或配电网络的优化。而全局优化则从整个电网系统的角度出发，考虑资源的整体分配和电网的总体稳定性。这种分层方法有助于提高ADN的运行效率和可靠性，同时降低管理复杂性。在此基础上，智能算法的应用是实现高效优化的关键。利用人工智能、机器学习等先进技术，可以实现更精准的预测、更快速的决策和更有效的资源管理。

五、结论

本文通过对主动配电网（ADN）的深入探讨，揭示了其在现代电力系统中的重要性和必要性。我们分析了ADN在面对分布式电源、电动汽车、智能家居和需求侧响应等新兴技术融合时的关键优化问题和挑战。从“源-网-荷”互动的综合优化、多周期规划的协调配合，到分层分布式优化策略的实施，ADN展现了其在应对电力系统复杂性和提高运行效率方面的巨大潜力。随着技术的不断进步和政策的支持，ADN有望成为未来电力系统的核心，实现更高效、可靠和经济的电网运行。然而，要实现这一目标，还需进一步的研究和实践探索，特别是在高级优化算法、数据管理以及系统集成方面。未来的研究应继续聚焦于ADN的优化策略和实际应用，以实现电力系统的可持续发展和智能化升级。

参考文献

- [1] 张春宝. 电力工程中智能电网技术的应用分析[J]. 住宅与房地产, 2019, 0(36): 179-180.
- [2] 张从越, 窦晓波, 盛万兴, 吴鸣, 潘静, 徐斌. 分布式光伏集群鲁棒虚拟同步化控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(2): 510-522.