

智能配电网中分布式电源协同调度与优化运行

安进城

爱拓环保能源(浙江)有限公司 浙江嘉兴 314300

摘要: 随着能源格局的转变和可再生能源的广泛接入,智能配电网作为应对电力系统的复杂性和不确定性的关键技术,逐步成为未来电网发展的重要方向。传统的配电网在调度和运行上遭遇了前所未有的挑战,特别是在电源不稳定和负荷失衡的情境中,如何对电网进行高效调度、稳定运行,就成了一个关键性问题。研究课题对智能配电网分布式电源协同调度及优化运行方法进行了深入探索,并对其中核心技术和发展趋势进行了分析。也给出了基于实时数据分析和优化算法的调度框架,论证了此框架对于提升电网运行效率和稳定性的潜力。智能配电网可以优化能源配置、降低运行成本,为电网高效能和可持续发展提供有力支撑,提高系统运行可靠性。

关键词: 智能配电网; 分布式电源; 协同调度

引言

分布式电源的普及,特别是风能和太阳能等可再生能源的不稳定性和间歇性,对传统电网的稳定性和经济性造成了前所未有的挑战。基于这一背景,解决这一难题的技术手段——智能配电网,逐渐显示出它的重要意义。探讨智能配电网中分布式电源的协同调度与优化运行机制,分析技术框架,讨论其在实际电网的应用效果及优化路径。

一、智能配电网的概念

(一) 智能配电网基本概念和架构

智能配电网在现代电力系统中占有重要地位,它具有传统配电网不可比拟的自动化、信息化和自适应能力。在电力传输过程中,配电网承担着高压系统向最终用户传递电能的任务。智能配电网既能促进电能可靠性和品质的提高,又能起到动态调节电力负荷和提高系统稳定性的作用。系统结构上,智能配电网通常由多个子系统组成,其中包括智能传感器、自动化控制设备、数据采集与分析平台以及通信网络等核心要素。这些组成部分相互配合、协同作用,保障了电网的高效运行与精确调度。在智能配电网当中,传感器与智能仪表发挥着对电力系统运行状况进行实时监控的关键性作用,对电压、电流以及频率等多维度的数据进行采集,通过通信网络传输到数据分析平台当中^[1]。数据分析平台以大数据为基础,以人工智能算法为手段,对海量实时数据进行处理分析,做出决策并引导电力设备调整运行。在电网系

统中,各种控制设备,如自动化开关和断路器等,能够根据分析平台发布的命令,自动地调节电力的流动方向、开启或关闭电路,以确保系统能够自我修复和保持稳定。从而使智能配电网比传统配电网具有显著优势。

(二) 智能配电网产生的背景和动因

“十四五”规划对于智能电网建设提出了明确的要求,有关技术研发和应用也逐步步入深水区。随着科学技术的持续发展,尤其是在信息通信技术(ICT)、传感器技术、云计算和大数据分析等多个领域,智能配电网的应用范围也在不断地扩大,由传统电力公司调度和管理,逐渐延伸到分布式电源的协调优化、用户端电力需求响应多个方面。在电力市场开放的大环境下,智能配电网所发挥的作用不仅仅局限于对电力进行调度和管理,并且扩展至对市场交易和价格机制的优化等方面,为能源供应和需求之间取得均衡,提供更精细化服务。政策推动、技术进步和市场机制改革等因素的合力为智能配电网迅速发展打下坚实基础。

(三) 智能配电网中的关键技术

先进的传感器和智能电表可以对电网的电流、电压和频率等关键参数进行实时监控,并通过高速通信网络将采集数据传输到中心处理平台上,以便于后续电力调度和优化决策的进行。随着物联网(IoT)技术的广泛应用,电网中的各种设备和系统可以实现互联互通,极大地提高了数据的准确性和及时性。云计算与大数据分析技术的应用为智能配电网的优化调度提供了强大的数据处理能力。融合大数据技术的智能配电网能够多维度深

度分析电网运行情况，挖掘潜在运行规律和优化空间，为决策者制定更科学、合理的调度决策提供了可靠数据支持。AI技术在电力需求响应和分布式能源调度方面也能起到举足轻重的作用，增强配电网智能化和自适应能力。在这些关键技术不断进化和突破的过程中，智能配电网功能和应用场景也会不断拓展，并逐步形成高度集成、灵活有效的电力系统。

二、分布式电源协同调度的基本原理和方法

（一）分布式电源所具有的特性和所面临的挑战

分布式电源一般包括若干个较小且在地理上离散的发电单元，例如太阳能、风能和其他可再生能源设备。这类电源的特性体现为它们输出功率具有波动性与间歇性，受到天气、环境变化的影响较大，很难对它们的发电量进行稳定而准确的预测。相较于传统的大型发电站，分布式电源在其运行和调度过程中具有更程度的不确定性，并且很难通过传统方法进行直接的控制和调节。

当分布式电源并入配电网，由于这类电源多分布在终端负荷点周围，出现电压波动和功率不平衡现象，对电网稳定可靠运行提出挑战^[2]。在一些极端场合，如果不能及时进行调整，就会产生电力供应不稳、设备损坏等问题。分布式电源不是单独操作的，它通常需要与当前的电力系统和其他分布式电源合作，以确保整个系统的稳定性和平衡性。如何协调这几种分布式电源协同工作就成为智能配电网调度和优化的一个关键问题。

（二）分布式电源协同调度优化目标及策略研究

分布式电源的协同调度旨在达到电力供应和需求之间的最佳均衡，确保电网的安全和稳定运行，尽可能地提升系统的效率和经济效益。优化目标的核心通常是包括最小化调度成本、提高能源利用效率、确保电力系统的可靠性以及降低环境影响等。在实际操作中，分布式电源的调度策略应充分考虑其各自的发电特点以及与其它电源设备的协同效应。储能设备起到了重要的调节工具作用，当分布式电源出力过大时可以将多余的电能存储起来，而当出力不足时则可以将其放出，以达到电力系统稳定运行的目的^[3]。智能配电网实时监控及数据采集系统能够为调度决策实时提供依据，调度算法可动态调节电源出力来处理不同电力需求波动和设备故障等问题，保证系统鲁棒性和灵活性。调度策略还要应对电网运行过程中常见的电压波动、功率调节等问题，以维持系统的稳定性及电能质量。协同调度优化保证分布式电源能与既有电网协调一致地运行，并取得最佳运行效果。

（三）分布式电源协同调度算法

为了满足分布式电源系统动态性和复杂性，出现了新型调度模型和算法。基于粒子群优化（PSO）的调度策略是一种标准的调度方法。该方法对粒子群体协同进化进行仿真，并通过对目标函数进行持续迭代优化来搜索最优解。在分布式电源的调度过程中，PSO可以有效地解决由电源输出波动引发的问题，确保系统能在最短的时间里做出最优的响应。模拟退火算法、遗传算法等优化方法由于具有全局搜索能力来解决复杂问题而在解决这类调度问题方面得到了广泛的应用。采用多次迭代和全局搜索的方法，避免了陷入局部最优解的问题，为电网的调度决策提供了更加准确的依据^[4]。对多目标优化而言，混合优化算法又成了一种行之有效的方案。此类算法一般是综合不同算法的长处，例如把遗传算法和模拟退火算法有机地结合在一起，构成一个求解能力更强的混合模型。该模型能多维度优化分布式电源调度问题，兼顾多重目标，以兼顾电网经济性、稳定性与安全性。具体实现时，以该算法为核心的调度系统可以针对不同的运行状态对调度策略进行实时调整，以保证电网时刻保持最佳运行。

三、智能配电网分布式电源最优运行技术框架

（一）分布式电源优化运行目标和约束条件

分布式电源优化运行的目标是为了在系统内对各类电源进行高效配置，从而达到电力供应和需求的均衡，提升电能的使用效率，并确保电网运行的可靠性和经济效益。它以优化电网负荷调度、均衡电源出力和维持系统稳定性为核心目标。为实现上述目的，优化运行方案需考虑各类型分布式电源运行特点，负载需求动态变化以及电力系统安全约束等。运行成本最小化往往是具体优化过程中不容忽视的重要优化目标。分布式电源因其高度的灵活性和分散性，能够在多种能源相互补充的情况下，有效地减少整体系统的运行成本。采用光伏和风电等可再生能源时，该系统可降低对传统化石燃料电站依赖程度，使其既能满足负荷需求又能减少环境污染和燃料成本。保证系统稳定安全运行是优化运行必不可少的环节，特别是面对海量分布式电源的接入。电压波动和功率失衡常困扰配电网运行。优化方案要求对上述运行约束进行严格的控制，以避免电力短缺和频率异常的不良后果。

（二）设计并实现了智能化调度系统

在设计智能调度系统时，考虑电网的多级信息需求、

调度算法的运算效率, 以及与其他电力系统设备之间的交互和协同作用。成熟的智能调度系统一般由数据采集、信息处理、决策支持和执行控制四个主要模块组成。数据采集模块承担着实时采集各种传感器和测量设备回馈的电网运行数据的任务, 涉及到电流、电压、频率和负荷等众多领域。这些数据通过信息处理模块进行分析和预处理, 并结合大数据分析技术确定电网运行过程中可能存在的问题和优化空间。决策支持模块根据数据处理结果采用优化算法及调度策略形成特定调度方案并把决策结果传输给执行控制模块。执行控制模块根据调度指令对电网运行状态进行调节, 以保证系统能按预定的目标有序地进行工作。

在智能调度系统的实现过程中, 如何选择调度策略就显得格外关键。根据实时数据反馈自适应调度策略能够在电力需求与电源输出变化时自动调整与校正, 降低人为干预。具体来讲, 调度系统需综合考虑电源不确定、负载波动大、及设备运行状况等诸多因素以确保系统局部稳定和电能质量, 以此实现全局优化。该智能调度系统还应该具有高容错性以及应急响应能力。当系统遇到突发故障或者异常情况时能及时做出调整和补救措施, 避免电网发生大范围停运等隐患。为了达到这些设定的目标, 需要确保系统的技术架构具有足够的适应性, 能够适应不断演变的外部环境和各种需求, 并确保分布式电源与传统电网能够有效地合作。

(三) 分布式电源实际工作时协同效应

分布式电源产生协同效应, 体现为灵活调节电力供需。鉴于分布式电源的广泛分布, 该系统可以根据特定区域的电力需求实时调整各种电源的输出功率, 从而减轻电网全局调度的负担。分布式电源避免传统集中式发电方式造成高传输损耗以及电力分配不均衡的问题, 又能适应不同负荷需求。分布式电源协同作用可显著提升电网可靠性和自愈能力^[5]。传统电网电源故障或者失效常常导致大面积供电中断。在智能配电网环境下, 分布式电源因其多样性和灵活性, 能在系统出现故障的情况下, 通过重新配置和调度机制, 迅速地恢复电力供应, 进而达到快速修复和负荷重新分配的目的。尤其在大范围可再生能源并网场景中, 该系统可借助储能设备来均衡风能与太阳能不确定性, 进一步提高电网适应性。

分布式电源的协同效应也表现为各种电源形式间的互补。代表性的分布式电源如风电、光伏和储能, 在经过智能调度系统的精细调整后, 能够最大化地利用它们各自的优点, 从而实现资源的最优使用。光照充足时期、光伏出力丰富, 而风电随着风速的变化给予稳定补充, 当风力弱或者阳光不充足的时候, 储能设备可以快速地补充电能, 确保电网稳定运行。这一多源协同在分布式电源并网运行时显得尤为重要, 它可以有效地提高电力供应灵活性、可靠性与经济性。通过对这些协同效应的进一步优化, 当智能配电网面临复杂电力需求时会具有更强的适应能力, 继而促进整个电力系统运行效率与可靠性的提高。

结论

随着智能配电网的出现, 电力系统在优化调度和稳定运行方面获得了新的机会, 特别是在分布式电源广泛使用的大背景下, 智能调度系统展示了其出色的调度性能和灵活性。通过考虑分布式电源调度目标和约束, 可以使电网运行成本最低, 提高能源利用效率和电网安全性。协同调度优化算法使不同种类分布式电源在不确定度高的工作环境下达到协调互补和电力资源配置最优。智能调度系统在提高电网经济性的时候, 也加强了电网应对突发故障应急能力。智能配电网分布式电源协同调度优化运行应用前景显著, 可有效地支撑电网朝着更智能、更可靠、更高效的方向迈进。

参考文献

- [1] 周绍昕. 智能配电网的电压稳定性分析与控制技术[J]. 灯与照明, 2025, 49(03): 13-14.
- [2] 杨佳, 余斌, 寇东山, 等. 适用于智能配电网WSNs能耗的分簇路由算法[J]. 传感器与微系统, 2025, 44(07): 139-143.25, 49(03): 138-140.
- [3] 王定美, 梁利, 江兴亮, 等. 基于强化学习的测控一体化分布式配电网电压协同优化控制方法[J]. 电气自动化, 2025, 47(03): 97-101.
- [4] 朱颖, 王晨. 智能配电网技术在配电网规划中的应用研究[J]. 中国战略新兴产业, 2025, (20): 62-64.
- [5] 李朋朋, 王琨. 配电自动化技术在智能配电网建设中的运用研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(13): 105-107.