

# 含分布式电源的配电自动化系统协调控制方法

韩志宏

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

**摘要:**本文探讨了含分布式电源的配电自动化系统协调控制方法,介绍了分布式电源的定义及配电自动化系统的组成,分析了分布式电源接入对配电自动化系统的影响,包括电能质量、系统稳定性和故障定位与隔离等方面。提出了基于模型预测控制、一致性算法和多智能体系统的协调控制策略,并详细阐述了协调控制系统的架构、关键设备与技术的实现以及协调控制器的设计。通过实际案例分析,展示了协调控制策略在提升系统运行效率、稳定性和经济效益方面的显著效果,同时强调了其在促进可再生能源利用和提高电网抗灾能力方面的社会效益。

**关键词:**含分布式电源; 配电自动化; 协调控制方法

## 1 分布式电源与配电自动化系统基础

### 1.1 分布式电源的定义

分布式电源是一种相对传统集中式大电源而言的发电方式,它通常指功率规模较小、分布在用户附近、可独立或并网运行的发电设施。常见的分布式电源类型丰富多样,太阳能光伏发电利用半导体界面的光生伏特效应将光能直接转变为电能,具有清洁、可再生、分布广泛等优点,在阳光充足地区应用广泛;风力发电通过风力带动风车叶片旋转,再经增速机将旋转速度提升来促使发电机发电,适合在风力资源丰富的沿海、高原等地建设;生物质能发电是利用生物质所具有的生物质能进行发电,包括农林废弃物直接燃烧发电、沼气发电等多种形式,实现了资源的循环利用;微型燃气轮机则是一种小型分布式能源系统和发电装置,具有能源利用率高、排放污染小等特点。分布式电源的接入改变了传统配电网单向潮流的分布模式,使得电力供应更加灵活多样,但同时也因其出力的不确定性给配电系统的运行管理带来新的问题。

### 1.2 配电自动化系统的组成

配电自动化系统是一个综合性的系统,旨在实现对配电网的智能化监测、控制和管理。它主要由数据采集与监控系统(SCADA)、馈线自动化系统(FA)、配电网管理系统(DMS)以及通信网络等部分构成。数据采集与监控系统是配电自动化的基础,它通过安装在配电网各处的传感器和终端设备,实时采集电压、电流、功率等运行数据,并将这些数据传输到控制中心,实现对配电网运行状态的全面监控。馈线自动化系统主要负责配电网馈线的故障检测、定位、隔离和恢复供电等功能,能够快速响应故障,减少停电范围和停电时间,提高供电可靠性。配电网管理系统则侧重于对配电网的规划、调

度、运行和维护等进行全面管理,通过优化资源配置和运行方式,提高配电网的经济性和运行效率<sup>[1]</sup>。通信网络是连接各个子系统的桥梁,它确保了数据能够在不同部分之间准确、快速地传输,为配电自动化的正常运行提供了保障。

## 2 分布式电源接入对配电自动化系统的影响

### 2.1 对电能质量的影响

分布式电源的接入对电能质量产生多方面的影响。以太阳能光伏发电为例,其输出功率受光照强度、温度等环境因素影响较大,具有明显的间歇性和波动性。当光照强度突然变化时,光伏发电的输出功率会迅速改变,导致配电网的电压波动。这种电压波动如果超出一定范围,会影响用电设备的正常运行,缩短其使用寿命。风力发电同样存在类似问题,风速的不稳定使得风力发电的输出功率时大时小,进一步加剧了电压的波动。此外,分布式电源中的电力电子设备在运行过程中会产生谐波,这些谐波注入配电网后,会降低电能质量,引起电压畸变,影响其他设备的正常工作,甚至可能导致设备损坏。

### 2.2 对系统稳定性的影响

分布式电源的大规模接入改变了配电网的原有结构和运行特性,对系统稳定性带来了挑战。传统配电网的潮流方向相对固定,从上级电网流向下游用户。而分布式电源的接入使得潮流方向变得复杂多变,可能出现双向潮流甚至多向潮流的情况。这种潮流的变化增加了系统运行的复杂性,使得系统的静态稳定性和动态稳定性受到影响。特别是在高渗透率分布式电源接入的情况下,系统的惯量减小,对功率变化的响应能力变弱。当系统发生故障或受到扰动时,频率和电压的波动可能更加剧烈,难以快速恢复到稳定状态,甚至可能引发系统

失稳，导致大面积停电事故。

### 2.3 对故障定位与隔离的影响

传统的故障定位与隔离方法主要基于配电网的单向潮流特性，通过检测故障电流的方向和大小来确定故障位置，并利用断路器、负荷开关等设备将故障区域隔离。然而，分布式电源的接入改变了这一局面。由于分布式电源在故障期间可能继续向故障点供电，形成“孤岛”效应，使得故障电流的特征发生变化，传统的故障定位算法难以准确判断故障位置。此外，双向潮流的存在也增加了故障定位的难度，故障电流可能从多个方向流向故障点，导致定位结果不准确。在故障隔离方面，“孤岛”效应可能导致隔离设备无法正常动作，无法及时将故障区域与正常区域分开，延长了故障恢复时间，降低了供电可靠性<sup>[2]</sup>。

## 3 含分布式电源的配电自动化系统协调控制策略

### 3.1 基于模型预测控制的协调方法

模型预测控制是一种先进的控制策略，它基于对系统未来动态行为的预测来实现优化控制。在含分布式电源的配电自动化系统中，模型预测控制首先需要建立一个能够准确描述系统动态特性的模型，该模型综合考虑分布式电源的出力特性、负荷的变化规律以及网络拓扑结构等因素。通过这个模型，可以预测系统在未来一段时间内的运行状态，包括电压、电流、功率等参数的变化情况。然后，根据预测结果和系统的优化目标，如最小化运行成本、提高电能质量等，在每个控制周期内求解一个有限时域的优化问题，得到一组最优的控制输入序列。最后，将该序列的第一个控制输入作用于系统，并在下一个控制周期重复上述过程，实现滚动优化控制。这种方法能够充分考虑系统的未来动态信息，提前做出调整，有效应对分布式电源的不确定性，提高系统的协调控制效果。

### 3.2 基于一致性算法的协调方法

一致性算法是一种分布式计算方法，它通过节点之间的信息交换和迭代计算，使得所有节点的状态或变量逐渐趋于一致。在含分布式电源的配电自动化系统中，可以将每个分布式电源、负荷节点等看作一个智能体，这些智能体之间通过通信网络进行信息交互。一致性算法的目标是让各个智能体的某些关键变量，如电压、频率等，在迭代计算过程中达到一致。每个智能体根据自身当前状态和从邻居智能体接收到的信息，按照一定的一致性协议更新自己的状态。通过多次迭代，所有智能体的状态将逐渐收敛到同一个值，从而实现整个系统的协调运行。这种方法具有分布式、自适应的特点，不需

要中央控制器进行集中控制，能够适应分布式电源广泛分布的特点，提高系统的可靠性和鲁棒性。

### 3.3 基于多智能体系统的协调方法

多智能体系统是由多个具有自主决策能力和交互能力的智能体组成的复杂系统。在含分布式电源的配电自动化系统中，多智能体系统可以将不同的功能模块，如分布式电源控制、负荷管理、故障处理等，封装成不同的智能体。每个智能体具有自己的目标、知识和能力，能够根据系统的局部信息和自身目标做出决策。同时，智能体之间通过通信协议进行信息交流和协作，共同完成系统的整体任务。例如，当系统发生故障时，故障检测智能体能够迅速发现故障位置，并将信息传递给其他相关智能体。分布式电源控制智能体根据故障信息调整分布式电源的出力，负荷管理智能体对负荷进行合理调配，以实现故障的快速隔离和系统的快速恢复<sup>[3]</sup>。多智能体系统能够充分发挥各个智能体的优势，实现系统的分布式协调控制，提高系统的灵活性和适应性。

## 4 含分布式电源的配电自动化系统协调控制实现

### 4.1 协调控制系统的架构与功能设计

协调控制系统应采用分层分布式架构，以提高系统的可扩展性和可靠性。该架构通常包括中央控制层、区域控制层和设备控制层。中央控制层是整个系统的核心，负责全局的优化决策和协调指挥。它接收来自区域控制层和设备控制层的信息，对系统的运行状态进行全面评估，制定全局的优化控制策略，并将控制指令下达给区域控制层。区域控制层负责管理一定区域内的设备和资源，实现区域内的协调控制。它收集区域内设备的运行数据，根据中央控制层的指令和区域内的实际情况，对区域内的分布式电源、负荷等进行局部优化控制，并将执行结果反馈给中央控制层。设备控制层直接与各种设备相连，负责执行具体的控制指令，如控制分布式电源的输出功率、调节负荷的用电量等。同时，设备控制层也实时采集设备的运行数据，并上传给区域控制层。

### 4.2 关键设备与技术的实现

实现含分布式电源的配电自动化系统协调控制需要一系列关键设备和技术支持。智能电表是数据采集的重要设备，它能够实时、准确地测量用户的用电数据，包括电压、电流、功率因数等，并具备双向通信功能，将采集到的数据上传到上级系统，同时接收上级系统的控制指令，实现对用户用电的远程监测和控制。分布式电源控制器是控制分布式电源运行的核心设备，它能够根据系统的需求和分布式电源的特性，精确控制分布式

电源的输出功率、电压和频率等参数，确保分布式电源与配电网的协调运行。储能装置在协调控制中起着重要作用，它可以在分布式电源出力过剩时储存电能，在出力不足时释放电能，平抑分布式电源的输出波动，提高系统的稳定性。通信技术是实现各层之间信息交互的关键，目前常用的通信方式包括光纤通信、无线通信等。光纤通信具有传输速度快、带宽大、抗干扰能力强等优点，适用于对数据传输要求较高的场合；无线通信则具有部署灵活、成本低等特点，可用于一些难以铺设光缆的区域。

#### 4.3 协调控制器的设计与实现

协调控制器是协调控制系统的关键部件，其设计需要综合考虑系统的实时性、可靠性和兼容性等因素。在硬件设计方面，应选择高性能的处理器和可靠的通信模块，以确保能够快速处理大量的数据和实现稳定的信息传输。同时，要配备足够的存储容量，用于存储系统运行数据和程序。在软件设计方面，采用模块化设计思想，将协调控制器的功能划分为数据采集与处理模块、控制策略实现模块、通信模块等。数据采集与处理模块负责接收来自各个设备的数据，并进行预处理和分析，提取有用的信息。控制策略实现模块根据预设的控制策略和采集到的数据，生成具体的控制指令，通信模块负责与上级系统和下级设备进行通信，实现数据的传输和指令的下达<sup>[4]</sup>。为了提高协调控制器的可靠性，应采用冗余设计技术，如双处理器冗余、双通信通道冗余等，确保在部分部件出现故障时系统仍能正常运行。

#### 5 协调控制策略的实际应用与效益分析

在含分布式电源的配电自动化系统中，协调控制策略的实际应用显得尤为重要。通过在实际电网中部署和测试上述提到的基于模型预测控制、一致性算法和多智能体系统的协调方法，可以显著提升系统的运行效率和稳定性。

以某地区实际配电系统为例，在引入协调控制策略

后，系统的电压波动和频率偏差得到了有效控制。特别是在分布式电源出力变化较大的时段，协调控制器能够迅速调整各分布式电源的输出功率，确保系统的供需平衡。这不仅避免了因电压波动和频率偏差导致的设备损坏，还显著提高用户的用电体验。另外，协调控制策略的实施还带来显著的经济效益。通过优化分布式电源的出力，减少对传统电网的依赖，降低购电成本。同时，储能装置的合理利用也减少电能的浪费，提高了能源的利用效率。对于电网运营商而言，协调控制策略的实施降低运维成本，提高供电可靠性和用户满意度，从而增强其市场竞争力。

除了经济效益，协调控制策略的实施还具有重要的社会效益。它促进了可再生能源的充分利用，减少了化石能源的消耗，有利于环境保护和可持续发展。此外，协调控制策略的应用还提高电网的抗灾能力和恢复能力，为应对极端天气和自然灾害提供有力保障。

#### 结束语

综上所述，含分布式电源的配电自动化系统协调控制方法对于提升电网运行效率和稳定性具有重要意义。通过引入先进的协调控制策略，不仅能够有效应对分布式电源的不确定性，还能优化资源配置，提高能源利用效率。随着技术的不断进步和应用范围的不断扩大，协调控制策略将在未来电网建设中发挥更加重要的作用。同时，也应持续关注新技术的发展，不断完善和优化协调控制方法，以更好地适应电网发展的新需求。

#### 参考文献

- [1] 王曦.新型电力系统源-荷-储分布式协调控制及应用研究[J].电气时代,2024,(07):46-49.
- [2] 李妍,查翔,仇佳鑫.含多种分布式电源和储能的微电网控制技术研究[J].光源与照明,2024,(12):231-233.
- [3] 程维杰,王娟,钱志浩,等.基于功率增量成本一致的源荷智能互动分布式协调控制[J].南京理工大学学报,2024,48(04):503-511.