

主动配电网的适用可行技术探讨

访中国电力科学研究院教授级高工张祖平

■ 杨帆/本刊记者



尽管分布式能源渗透率还将进一步提高，但随着相关适用可行技术的进步，主动配电网将成为局部区域各种能源的交换中心。

主动配电网是具备组合控制各种分布式能源能力的配电网，其目的是加大配电网对于可再生能源的接纳能力，提升配电网资产的利用率，以及提高用户的用电质量和供电可靠性。主动配电系统的规划设计相对于传统配电系统来说复杂得多。“主动配电网”一词源于2008年巴黎国际大电网会议，什么是主动配电网？主动配电系统的适用可行技术都有哪些？被动配电网将如何向主动配电网转变？带着这些问题，本刊记者有幸采访到了中国电科院教授级高工张祖平，请他对这些问题予以深入解答。

主动配电网简述

电气应用：张总，您好！非常感谢您百忙之中接受本刊的专访！那么首先请问传统配电网存在的主要问题是什么？

张祖平：传统的配电网通常依靠灵活的网络结构和较大的容量裕度来应对负荷的不确定性，以保证电力系统的安全可靠性，其运行控制方法相对简单。随着分布式能源（Distributed Energy Resource, DER）的渗透率在电力系统各层级上的不断提高，电力系统尤其是配电系统的规划和运行方式也变得相对复杂，同时对配电系统的经济性和监管方式也产生了较大的影响。面对负荷增长缓慢、且配电网发展空间资源有限、网络规模较难扩展的现状，发达国家为应对高渗透率分布式能源的接入，正在探讨智能电网框架下的主动配电网技术模式。为了可持续发展的需要，我国的配电网也将面临分布式能源渗透率越来越高的局面，因此也有必要开展相关研究。

电气应用：下面请您简单介绍一下主动配电网和分布式能源。

张祖平：2008年国际大电网会议（CIGRE）配电与分布式发电专委会（C6）的C6.11项目组在所发表的“主

动配电网的运行与发展”研究报告中明确提出了主动配电网（Active Distribution Network, ADN）以及分布式能源（DER, Distributed Energy Resources）的概念。CIGRE C6关于ADN和DER的基本定义和构成的设想目前已经得到国际学术组织CIGRE和IEEE的广泛认可。ADN的中文翻译名称“主动配电网”由原CIGRE C6中方委员中国电力科学研究院教授级高工范明天首次提出。

ADN的基本定义是通过使用灵活的网络拓扑结构来管理潮流，以便对局部的DER进行主动控制和主动管理的配电系统。DER的基本构成的设想是分布式发电（Distributed Generation, DG）、分布式储能（Electrical Energy Storage, EES）和可控负荷（Controllable Load, CL）等。

电气应用：微网与ADN的主要区别是什么？

张祖平：微网是一个能够实现自我控制、保护和管理的自治系统，是一个可以常态孤岛运行的电网。具备条件也可以并网运行。

ADN是由电力企业管理的公共配电网，其可常态并网运行，但在紧急情况下（由于分布式电源的存在）通过合理配置解列点，可以使得ADN的局部或全部亦可作为微网而孤岛运行。

分布式能源接入对传统配电网的影响

电气应用：请问DER接入对传统配电网的影响都有哪些？应如何解决？

张祖平：小规模DER的接入只会影响配电网的局部运行，而大规模（高渗透率）DER的接入却会影响电力系统的全局运行，并对配电网的规划、运行、短路水平和设备选型、故障处理过程和保护以及非计划孤岛运行等方面带来不容忽视的影响。

1. 对配电网规划方法的影响

传统的配电网规划方法一般是针对某个负荷预测值采用最大容量裕度（给定网络结构）来应对最严重工况的运行条件，因此传统规划方法相对简单。主动配电系统的负荷预测结果会受需求侧响应和分布式发电的双重影响，同时在进行系统设计时会受DER主动管理模式的影响。因此主动配电系统的规划方法相对传统配电网的规划方法要复杂得多。

解决方案：主动配电系统的规划方法需在规划阶段就考虑其运行时可能遇到的各种不确定性工况。例如，在面对双向潮流时甚至有可能考虑将配电网从开环辐射状向闭环网状拓扑结构过渡，并以合理的费用集成信息通信与电力电子换流技术，而不只是简单地考虑接入新的能源形式和储能设备。随着DER渗透率的提高，ADS规

划还需考虑所有电源的协调优化问题，如与主网电源的协调问题等。

2. 对配电网运行的影响

现有电力设备必须在其额定电压附近的给定电压范围内运行，配电网的电压质量与无功电压控制密切相关。传统配电网运行时是无源的，无功电压控制模式相对简单。当DER接入配电网后，由于DER设备的间歇性、随机性及非线性特征，不但使得配电网运行时的无功电压控制模式相对复杂，而且还有可能导致配电网出现有功潮流反向和无功潮流的不确定性。DER接入或退出时还有可能导致暂态电压变化，风电机组的接入和退出还有可能引起闪变、电压畸变和保护误动等问题，使得配电网的电能质量及供电可靠性受到一定的影响。

解决方案：依赖信息及通信技术（ICT）和先进的计量设施（AMI）技术，采用适用于配电网的监控和保护模式，提高系统的可观测性，变被动控制方式为主动控制方式，更多地依靠主动式的电网管理，网架运行也逐步从开环辐射运行向闭环运行过渡，并采用各种新型电力电子设备，如主动无功补偿装置、主动有功移相调节器、有载调压变压器等对配电网的有功和无功潮流进行协调控制。

3. 对短路电流及设备选型的影响

任何一个电源接入系统，都会给系统提供短路电流。为了使DG接入后开关设备的遮断容量依然不超标，就有可能需要更换原有的开关设备，从而增加接入的费用。对于同一变电站有接入多个DG的情况，最后接入的DG有可能会造成接入点及其附近同一电压层级节点的短路电流超标，因而需要更换设备；大量的持续的DG接入请求在有些供电区域增加了网络饱和的可能性，这使得后来的DG接入者的申请受到限制。

4. 对保护装置运行和故障处理的影响

DG接入后，会对故障条件下的短路电流产生影响，从而有可能使保护误动。现有中压配电网的故障清除过程一般是在没有DG接入的情况下设计的，主要涉及3个基本操作：自动重合闸、负荷转移以及故障段自动隔离等。DG接入后会对这些操作产生较大的影响。在馈线故障且具有DG的情况下，非同步的自动重合可能会对DG产生损害。在瞬时故障后DG未断开的情况下，重合闸操作有可能导致大电流以及逆变器跳闸。在负荷转移时，DG的接入有可能使转供馈线的短路电流水平超过限值。

解决方案：协调配置和重新整定保护装置、必要时采用专用馈线接入DG、采用不同的保护原理配置保护及进行保护整定。

5. 对非常态孤岛运行的影响

在当前的技术条件下，配电网一般不具备非常态孤

岛运行的条件。一般情况下，非常态孤岛运行会对孤岛后的配电网电压和频率产生影响。公共配电网一般只有在非常态的应急情况下才有孤岛运行的必要，且需要有良好的定义的规则，以及DSO和TSO的协调配合，才能保证孤岛运行后DER的正常运行。此外，配电网的孤岛运行必须有明确的利益协调机制，以便对配电企业的网络投资和DER提供的配套服务进行回报。

解决方案：研究分布式电源的反孤岛措施，制定对DER的监管条例、完善DER的自动退出机制、提高DSO对DER的主动管理和主动控制能力。

主动配电网的适用可行技术

电气应用：主动配电网需要采用哪些适用技术才能达到主动的目的？

张祖平：主动配电网的适用可行技术包括以下几方面。

1. 通信技术

对配电网进行主动管理和主动控制，需要采用通信技术作支撑传递海量信息，通信技术对于提高系统的稳定性、可靠性和运行效率，以及保持系统频率稳定、控制潮流和调节电压，都是必不可少的可行技术。目前在我国城市中配电网光纤通信技术是主流。

智能电子设备（Intelligent Electronic Device, IED）可用于对DG和RL进行控制，同时也可监测系统的运行参数并能够提供独立的保护行为；控制中心（DMS/EMS）可通过各种通信系统与终端设备IEDs通信，以光纤为主；智能电表可采用光纤、无线或载波进行信息传递。互联网协议（IP）可与这些不同的通信技术配合，从而形成互联网通信，这也将是ADS主动管理的重要组成部分。

2. 相关适用可行技术

1) 电力电子设备技术。智能设备和通信媒介设备，先进的计量设施（AMI），储能系统（ESS）和电池能量管理、分布式电源的接入和控制接口；采用电力电子设备进行网络重构、无功补偿、电压调节及谐波补偿，进行接入DER的转换；采用可控的DER和负荷进行优化运行以使回报最大化，采用可控储能以使负荷和发电平衡。

2) ICT技术。采用ICT技术可以进行计算、存储、处理和分配信息，在可控设备和控制单元之间传送信息（发电和负荷控制，网络重构，主动补偿，监测，负荷、发电和电价的预测）。

3) 监测和预测技术。测量网络参数、估计实际运行条件及保证系统安全所需的负荷、发电和电价的预测。

4) 运行与控制技术。配电管理系统（Distribution Management System, DMS）、DER的分布式控制、需

求侧管理（Demand Side Management, DSM）及微电网/馈线（孤岛运行）；进行潮流管理、自动电压控制（Automatic Voltage Control, AVC）及动态的线路载荷水平（Dynamic Line Rating, DLR）。

5) 规划与设计技术。在规划阶段就考虑其运行时可能遇到的各种不确定性工况的方法，综合考虑规划与运行面对的不确定性问题，以应对高渗透率DER的接入。

电气应用：适用可行技术的应用范围、预期收益及未来的研发需求都有哪些？

张祖平：适用可行技术的应用范围包括主动配电网的有功和无功控制、需求侧管理（采用可变电价结构）、主动配电网管理、孤岛运行、削峰和间歇性发电以及网络的最优管理等。

预期收益。提高配电网的稳定性和转供能力、提高配电网的主动管理水平、提高配电网新旧元件的协调和控制能力以及对网络信息的采集能力、提高集成可再生能源的能力、延缓配电网改造时间、提高削峰和孤岛运行的能力、提高DG的接入能力、提高SCADA的能力以及对潮流进行优化等。

研究需求。进一步降低费用、提高可靠性、制定接入标准、提高集成能力、制定新的监管条例、降低储能费用、与主网的再同步及新的保护配置方案等。

主动配电网的未来发展

电气应用：被动配电网将如何向主动配电网转变？

张祖平：随着主动配电网适用可行技术的进步，为使PDN向着ADN的方向逐步发展，配电网的各个方面均会有很大的变化，如技术标准逐步柔性化、管理模式逐步分散化、网路结构日趋灵活、模拟计算更加精确以及控制与保护模式更加主动等。

电气应用：对于主动配电网未来的发展您怎么看？

张祖平：由于高渗透率DER的接入，未来输配电网之间产生了双向功率流、负荷与电源具有了双重不确定性，客户具有了消费者和生产者的双重身份。为确保电力系统的安全性和稳定性，必须投入必要的资金对现有配电网进行加强或对现有技术进行改进，ADN是未来电力系统解决这些问题的发展模式之一。

尽管DER渗透率还将进一步提高，但随着相关适用可行技术的进步，ADN不仅可起着配电各层级间的功率平衡作用，还起着与上级电网之间的双向功率交换通道的作用，因此ADN将成为局部区域各种能源的交换中心。

我国在进行ADN的相关研究工作中还应该考虑我国配电网的具体需求，例如在网络快速扩展的同时要处理高渗透率DER接入和提高设备智能化水平等问题。EA