

主动配电网中的电能质量解决方案

访江苏省电力公司电力科学研究院电网技术中心主任袁晓冬

■ 杨帆/本刊记者



袁晓冬 高级工程师

江苏省电力公司电力科学研究院电网技术中心主任

从监测到局部控制，再到整体控制，就是未来在主动配电网当中整个电能质量的整体解决方案。

随着主动配电网技术的发展和电力市场化的推进，电能作为走进市场的商品无疑更应该讲求质量，随着电力用户拥有选择权的不断扩大，卖方市场竞争的引入，主动配电网的电能质量控制技术成为提高电能商品竞争力的核心。为了对主动配电网中的电能质量问题及解决方案有进一步的了解，本刊记者采访了江苏省电力科学研究院电网技术中心袁晓冬副主任，请他对相关问题予以解答。

主动配电网概述

电气应用：袁主任，您好！非常感谢您在百忙之中接受本刊的专访，首先请您简单介绍一下主动配电网的发展背景。

袁晓冬：由于分布式电源渗透率的不断增加，配电网的形态发生着不断的转变，如图1所示。首先，最初的传统配电网，没有分布式电源，也没有自动化控制。然后，当前的配电网，配网自动化正在快速发展，以江苏省为例，所辖13个地市公司都已经部署配网自动化系统，到2015年年底为止每个公司都会完成一期配网自动化的验收。配网自动化是当前配电网里提高其可靠性的主要方式之一，但目前配网自动化的整体覆盖率和设备的利用率还比较低。对于分布式电源，虽然目前处于快速发展期，但对于局部地区，分布式电源渗透率很难说达到一个非常高的程度。相比德国这样高渗透率的国家，我国分布式电源装机最大的省份江苏省跟德国相比还存在一段距离。最后，现代配电网的形态，即主动配电网，第一个主要特征是分布式电源渗透率会非常高。目前的标准可能原则上提到25%~30%，未来还不止，局部地区可能会更加超出想象，如50%~60%以上。目前江苏省最极端的一片地区，分布式的电源渗透率可以达

到110%，即分布式电源的容量在局部配网已经超过了负荷。当然这片地区目前还没有实现主动配电网，处于逐渐演化发展的过程中，未来对主动配电网这一形态，肯定会有非常明确的需求。另外一个特征是对电源和负荷进行主动控制。接纳分布式电源，不靠传统常规的即插即忘的方式，而是要对电源负荷，即源网各组进行协调控制。最终来实现电网能消纳这些分布式电源的能力。



图1 配电网形态的转变过程

传统配电网目前的格局如图2所示，存在一定的局限性。

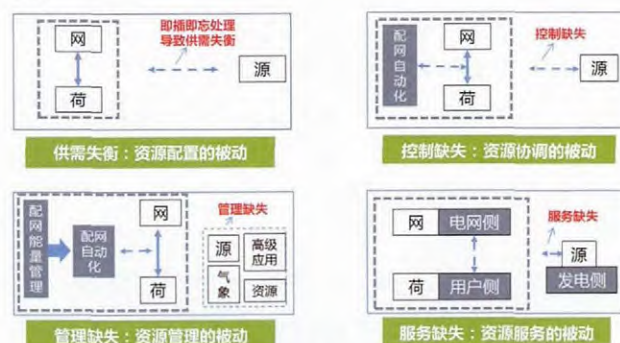


图2 传统配电网的局限

电气应用：CIGRE这样定义主动配电网，主动配电网是内部具有分布式或分散式能源且具有控制和运行能力的配电网。那么主动配电网都有哪些特点？其实现基础又是什么？

袁晓冬：区别于传统配电网，主动配电网具有以下四个主要特征：具备一定比例的分布式可控资源；网络结构的灵活性；控制与保护模式的主动性；管理模式的分散性（直接与非直接，集中与分散相结合的管理模式）。

在主动配电网状态下，对于传统配电网出现的四个问题，有以下解决方案。如图3所示，从配网角度形成四个“主动”。

主动配电网的实现基础是更广泛的量测范围和更智能的控制分析手段。

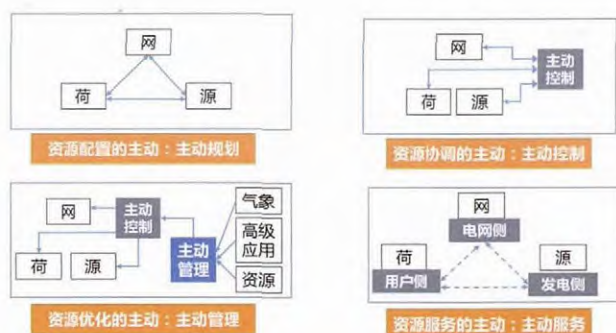


图3 从配网角度形成的四个“主动”

1. 更广泛的量测范围

更广泛的量测范围主要包含配电网多源信息和融合用的信息。配电网多源信息包括馈线终端装置FTU、远程终端单元RTU和电网气象信息。融合用户信息包括原来不经常使用的智能电表信息、分布式发电信息和用户的配电设备信息。把这些信息结合在一起就形成了主动配电网系统决策的基础。

2. 更智能的控制分析手段

更智能的控制分析手段包括态势感知、系统分析和优化控制。态势感知为控制分析的第一步，与量测一般都衔接在一起，包括数据的采集、理解和预测的功能；第二步是系统分析，包括大数据分析、云计算和能量管理等系统性的优化决策；最后一步是优化控制，包括从时间、空间和控制目标方面进行的优化控制。

主动配电网的电能质量问题

电气应用：分布式电源接入后主动配电网将产生哪些电能质量问题？

袁晓冬：分布式电源接入后主动配电网将产生以下电能质量问题。

1. 电压问题

首先是电压偏差。稳态情况下，分布式电源接入电网末端使负荷对系统用电需求降低，若出现潮流反送情况，末端节点电压可能高于电网侧电压。所以分布式电源接入后，电压偏差将会成为一个非常重要的电能质量问题。配电网整体短路比较小，配电网的线路阻抗 R 和 X 不能忽略，即使把无功控制的很好，仅有有功倒退的话也可能导致配电网里整个电压发生比较大的偏差。

图4为时测分布式光伏接入后，一天（24 h）电压偏差的情况。红线、蓝线和绿线为三相电压偏差，棕线为光

伏出力。随着光伏出力的上升,电压偏差会明显上升,最高点已经超过了10%,也就是说在光伏出力上升以后,电压偏差会出现越限的情况。当到达最上方光伏出力很大的时候,配电网里其他控制方式发生变化,所以电压偏差又下降了,需要特别关注的是上升阶段,对电压偏差造成的影响,实际运行中经常会有这样的问题发生。

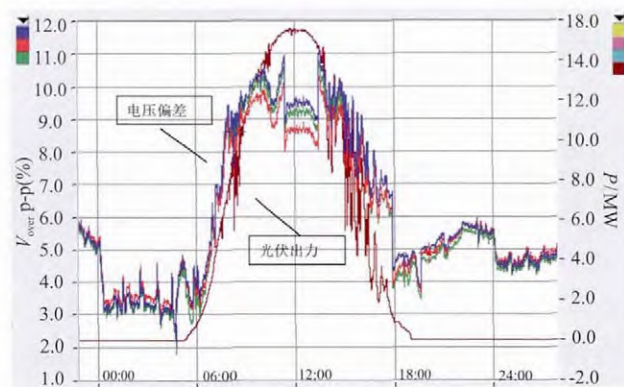


图4 时测分布式光伏接入后一天(24 h)电压偏差的情况

2. 电压波动问题

电压波动和闪变是光伏运行当中不可避免的问题。由于分布式能源资源(DER)具有间歇性、随机性和非线性特征,这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,进而影响电压质量。

目前所接触的部分光伏电站采用光伏逆变器自身的无功功率发生裕量进行全站无功调节,这是一个比较先进的理念,即电站主控系统下发指令让各个逆变器根据并网需求发出无功功率,由于不同逆变器的响应速度不可能一致,就会出现“时间差”的问题,即下达到各个逆变器与每一台逆变器动作之间的“时间差”。某一逆变器认为电压偏高,让其下调,但下调深度稍微过大,另一台逆变器则认为电压偏低,让其上调,互相之间就会存在换流,呈现相对比较严重的电压振荡。

3. 谐波问题

区别于使用旋转电动机的传统电源,利用电力电子装置的DER具有很强的非线性特性,其输出电量波形包含较宽频谱,且受电网系统阻抗、LCL滤波器参数和内部控制参数影响。在西北地区薄弱网架下,出现的光伏电站谐振现象较多,造成电网的谐波污染。但是随着各个逆变器厂家产品质量的提升,谐波问题也会慢慢的成为非主流问题。

4. 三相不平衡问题

三相不平衡问题在现场的实验和振荡中,并没有看到有特别明显的此类问题,但是从理论推导上这个现象还是存在的。产生的原因主要有:①小容量分布式电源以单相形式由用户自由接入,多用户间缺乏统一协调信息互动,可能因某一相分布式电源容量过大,引起系统电压不平衡;②不适当的逆变器控制策略产生不平衡电压输出。

三相不平衡问题目前还处于理论推导的仿真阶段,实际并没有接触到这个问题。但是这个问题应该会在未来配电网中出现,尤其在380 V侧会出现的较多。

5. 监测治理设备的协调问题

目前主动配电网里,针对各类型的电能质量问题会有相应的解决方案,主要是以装一些DFACTS设备为主,目前DFACTS设备多基于本地信息量进行控制,而且都是针对不同目标单独设计和安装的,设备之间缺乏协调配合,而且各DFACTS设备可能与DER之间相互作用。

主动配电网中的电能质量解决方案

电气应用: 上面您谈到了在主动配电网中可能存在的一些主要的电能质量问题,那么这些问题在主动配电网中都有哪些解决方案呢?

袁晓冬: 结合主动配电网本身,其电能质量的解决方案可分成三部分,形成循环的电能质量技术框架。

1) 监测预警。基于多源数据融合的电能质量数据监测与扰动源识别预警技术,包括故障定位等偏状态感知方面的基本需求。多源监测的监测点,除大众比较熟悉的常规电能质量检测装置外,还包括智能电表以及专门的电能质量小型设备,如暂降记录仪等。但这些设备,目前在智能电表的功能上,还要做一些改进。但国外很多智能电网里用到的设备都是基于智能电表来做电能质量功能的扩展和改进。

2) 主动控制。主动控制是小范围的电能质量治理,主要是分布式新能源参与配电网电能质量主动调节控制技术。分布式电源的逆变器本身 also 具有很强的无功调节的能力。另外对其稍作开发,也可以进行较好的谐波治理和动态无功支撑。如果每一块都对自己的电能质量负责或者自己小范围的电能质量负责,那么就达到了主动配电网的主动控制。

3) 定制电力。定制电力园区中DFACTS设备的协调

控制技术。定制电力提出的比较早,但其实主动配电网里仍然存在这个概念。即区域的协同控制,使整个区域的电能质量满足区域内不同用户的不同需求,来实现主动配电网中电能质量的完整解决方案。

下面将围绕此循环框架进行重点描述。

1) 电能质量监测与预警。电能质量监测与预警是基于多源数据融合的电能质量数据监测与扰动源识别预警技术。数据源不仅包含电能质量数据,还包括配电网数据、电压暂降数据、供电电压采集数据以及用电信息采集数据,是对主动配电网中电能质量数据源的扩展。在功能上,首先是分布式电源建模、配电网建模和干扰源建模;然后,基于量测数据和源网负荷模型实现谐波潮流分析、暂降域计算和干扰源定位等高级功能;最后是系统预警更高层次的功能。这就形成了整个电能质量监测和预警体系的架构。主动配电网电能质量监测网的布局与传统主网当中电能质量监测网的布局比较类似,是典型的多层架构。从各类型的终端进行数据采集后,放到主站服务器,如数据不大,也可能会直接进入主站服务器,然后进行上层的高级运用。电能质量监测在主动配电网中数据有两个层次的要求:①传统电能质量要求数据要长期保存记录,根据保存的数据可以做一些统计查询。主要的通信协议方式为PQDIF传送数据,当然有了这些数据,配电网里的高级应用功能和大数据分析功能就有了数据平台,进而很多事情就能在平台上得到实现。②基于IEC 61850的实时数据监视功能,在主动配电网有一定要求。基于主动配电网的量测信息更加全面基础,如可以拿着手机通过APP直接看到配电网里面任何设备、分布式光伏的组件、此时此刻的谐波发生量、电压电流值以及其工艺属性等,此功能就是电能质量监测里的实时传输功能。

2) 电能质量主动控制。主动配电网的新能源接纳能力大,相对SVC、APF和SVG等补偿装置,分布式新能源电站既作为有功电源,也可作为可调无功电源,还可以作为有源滤波器使用,可充分挖掘其实现主动参与电网需求调节的潜能。具有电能质量主动控制功能的新能源变流器的功能包括电能质量优化决策、主动电能质量控制和装置研制。江苏省电力公司电力科学研究院2015年年内已研制出具备该功能的监控样机,未来以其为形态,这种主动控制装置或者功能应该是主动配电网当中

比较重要的部分。

3) 定制电力技术。定制电力技术就是定制电力园区中DFACTS设备的协调控制技术,分三个步骤:①设备建模,包括SVG仿真模型、DVR仿真模型和SSTS仿真模型;②协调控制,包括优化配置体系、多目标优化方法以及网侧和用户侧的协调机制;③装备研制,包括仿真论证、实验验证和控制系统开发等。这是开始设备控制的整体过程,包含两个研究点:①单次设备对配电网电能质量的影响研究,即几台设备之间有多大的影响,包括其自己的综合性能指标的研究、谐波治理能力研究以及其协同作用之后的影响;②研究设备之间的优化配置策略和协调控制策略。

电气应用: 请问定制电力技术在应用过程中存在哪些难点?

袁晓冬: 在主动配电网当中,定制电力技术仍不成熟,复杂的供电区域综合应用还存在诸多难点:建模手段不足,实现优化配置难度大;补偿类型多样化,协调效果不理想;通信接口不统一,调度控制困难。根据这些难点做了以下工作。

1) 规划分析。量化分析多种电能质量补偿设备耦合特性与稳定性,实现短路容量、负荷等电气参数变化条件下的补偿装置最佳安装地点的选择。

2) 设备协调控制技术。①基于电压跌落等级划分与时序配合的协调控制方法,可以有效解决敏感负荷的电压暂降问题,主要涉及低电压和负载开关的协调控制;②主要是APF和非线性负荷之间的协调控制,采用抑制动态补偿与容性支路并联谐振的控制策略,可以解决谐波和电压波动的问题;③基于电压跌落等级划分与时序配合的DVR与SSTS协调控制方法,可实现DVR和SSTS的协调动作。

3) 调度统一接口开发。2014年青奥会定制电力技术在研发应用的过程中实现了调度统一接口开发的应用。开发了组合的协调控制系统,把前面提到的几类设备装到现场,实现设备之间的协调控制,在两个设备之间,首先互相不产生冲突,其次在遇到电能质量问题时,一个设备主要解决问题,另外一个设备进行配合。此信息系统的开发,主要工作是完成设备之间的交互,把通信规约和控制策略全部打通。

总之,从监测到局部控制,再到整体控制,就是未来在主动配电网当中整个电能质量的完整解决方案。**EA**