5G技术在增量配电网配电自动化中的应用研究

文/孙　杰[1]　徐银龙[1]　杨立璠[2]　庄伟鑫[3]
1. 江苏东港能源投资有限公司；2. 施耐德电气（中国）有限公司；3. 厦门四信智慧电力科技有限公司

配电公司为实现供电区域电力供电连续性和供电可靠性，在实践中创新引入5G+智能分布式配电自动化技术方案设计，极大地提高了配电自动化通信可靠性，使配电网故障处理时间从分钟级提高到毫秒级，提高了供电可靠率。

目前，随着配电网配电自动化建设政策的不断落实，配电自动化技术得到了创新深化应用。但在配电网领域实现智能分布式自动化，主要是利用光纤通信组网方式，光纤通信网由于受到配电网网架分布广、散、杂、多等特征的影响，使配电网光纤大规模应用面临很多实际困难，如网络结构不稳定、外部环境复杂及建设成本高等，使其不能广泛覆盖整个配电网，导致配电网部分终端设备通信及故障处理存在“死区”。

在徐圩新区增量配电网高质量建设发展的同时，供电区域中石化产业园也处于基建大力开发实施阶段，常年有大型机械施工，如顶管、托管、挖机施工、打桩机、钻孔机及吊装作业等。由于增量配电网配电自动化采用传统光纤通信方式，加上该区域内的通信光缆路由走向、敷设高度有限，极易发生因外力破坏造成光纤断线导致大面积终端掉线事件，仅依靠人工无法及时有效地进行管控。

基于上述问题，需要探索一种低延时、高可靠及灵活组网的通信网络支撑配电网自动化应用。作为无线通信技术的重要发展方向，5G技术将给电力配电网发展带来深刻变革。在配电物联网和大规模分布式电源接入的场景下，5G通信技术应用促进配电网“可观、可测、可调、可控”，是构建支持高韧性、智慧型配电网的重要支撑技术。

聚焦配电自动化应用与5G通信技术相结合，探索实践新一代5G无线通信技术与传统光纤通信相结合，实现智能分布式配电自动化通信的“主保护、近后备及远后备通信保护”方式，快速实现故障的精准定位、隔离及自知自愈，满足配电网信息传递的时效性及可靠性的要求。

5G技术的优势

5G主要具备超高可靠低时延通信（URLLC）、增强移动带宽（eMBB）及大规模机器类通信（mMTC）三大优势特性。

1. **超高可靠低时延通信**（URLLC）

5G技术可以有效降低延迟和提高数据传输速率，响应时间从4G的平均50 ms降低到1~2 ms，丢包率理论指标为0.001%，可与光纤通信相媲美，完全满足配电网自动化和继电保护通信的要求。

2. **增强移动带宽**（eMBB）

5G网速大幅提升，最高可达10 Gbit/s，理论传输速率比先前的4G LTE蜂窝网络快百倍。应用于配电领域的主要场景包括配电站室智能巡检、线路无人机在线监测、移动式现场施工作业管控及应急现场自组网综合应用等。

3. **大规模机器类通信**（mMTC）

在5G时代，每平方公里的物联网连接数将突

破百万，连接需求将覆盖社会、工作和生活的方方面面。对于电力系统中的海量、多元化数据采集业务，5G的海量连接能力可以为其提供有力支撑。

我国已建成全球规模最大、技术领先的5G网络基础设施，截至2021年底，我国已建成142.5万个5G基站，总量占全球的60%以上。5G是数字经济承载的“底座”之一，也是我国大力推进数字新基建的重要内容，通过5G可提升配电网自动化水平，提高配用电运行管理服务水平，成为当前技术研究实践的热点之一。

5G技术应用难点

5G数据传输技术具有上述性能优势，能够逐步取代现有的部分无线和有线传输方案，在应用实践中，也可预见性地存在一些难点，具体如下。

1. 5G信号覆盖问题

5G目前正处于建设阶段，5G基站的信号覆盖范围大概是250 m，而4G基站信号覆盖范围可以达到1 000 m。因此，配电自动化设备的5G信号覆盖问题是首要解决的问题。

2. 5G信号稳定性问题

不同于光纤通信，无线通信容易受环境影响，解决5G信号稳定性问题，对配电自动化可靠性提升具有重要作用。

3. 部署成本

5G方案部署成本包括初始投资和运行维护成本。配电智能装置接入5G网络，需要配置接口装置或网络设备投入；各个地区流量资费标准不尽相同，需要运营商与电力企业双方对计费模式和取费标准达成协议。通常5G电力虚拟专网的网络租赁费约为4G资费的5倍，远超预期。

4. 网络安全

配电终端间的水平对等通信及保护控制类业务属于生产控制大区。应采用专用通道承载相应业务，并且与管理信息大区业务物理隔离。虽然5G技术在安全隔离方面相对4G有很大加强，但端到端的安全隔离能力能否达到电力安全防护要求，目前尚未进行第三方权威机构测评认证。

工程实践

东港能源作为徐圩新区增量配电网供电运营体，前期采用双路由有线光纤通信方式实现配电自动化功能，切实保障了石化园区的用电可靠性。但随着连云港徐圩新区增量配电网建设的高质量快速发展，供电区域石化产业园内用户陆续步入投运生产轨道，传统意义上的采用光纤有线通信已逐渐无法满足徐圩新区增量配电网配电自动化高可靠性的建设需求。截至目前，石化产业园区域已实现5G通信全覆盖，东港能源随即在徐圩新区增量配电网采用配电自动化双路由建设应用的前提下，率先引进融入5G无线通信方式，创新创先实现了深化智能分布式配电自动化通信的“主用-近后备-远后备”冗余方式，更加深层次地保障了配电网智能判断、分析、故障定位、故障隔离及非故障区域供电恢复等功能的实现。

1. 当前运行状况

东港能源的配电网配电自动化网络架构采用光纤双路由有线通信方式，即由220 kV孔桥变电站与220 kV深港变电站内的OLT设备上各出一条光纤，在途经终端设备时，采用“手拉手”的方式实现配电自动化通信的主备模式。一旦终端设备主通信上光纤出现故障或断裂，备用光纤随即上线工作，保证了配电自动化终端的有线光纤年通信方式可靠性运行，为调度主站监控配电网终端设备运行状况提供了强有力手段，也为配电网故障隔离和非故障区段恢复供电提供了技术保障，大大提高了供电抢修率。光纤环网示意图如图1所示。

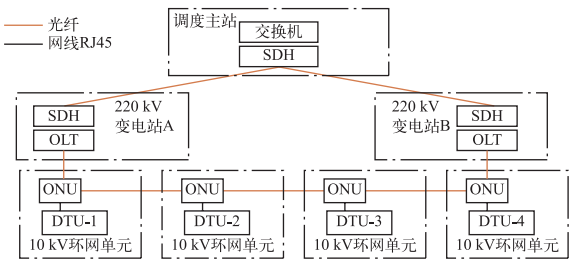

图1　光纤环网示意图

配电网自动化方案采用智能分布式环网自愈方案（SHG），通过配电终端（DTU）之间的信息交互，实现快速的故障隔离和非故障区段恢复供电。DTU基于光纤网络通道，建立对等通信机制（P2P），完成故障区段的判定和隔离操作。整个故障处理流程不需要主站参与，只是将故障处理结果上报调度主站。

由于徐圩新区供电区域基建点密集，光缆易遭

受外力破坏而中断，而且修复时间长。因此，即使是光纤通信主备模式，也难以保证通信万无一失。

2. 5G方案设计

在配电自动化光纤双通道主备通信的基础上，融入5G无线通信技术作为“远备用”通信方式，当两条光纤同时出现故障或者终端设备上行的“主用及近后备”通信无法建立连接时，调度主站通过远程切换方式实现备用5G无线通信稳定上线运行，最终通过“远后备”通信方式监控现场终端设备运行状况。5G通信架构如图2所示。

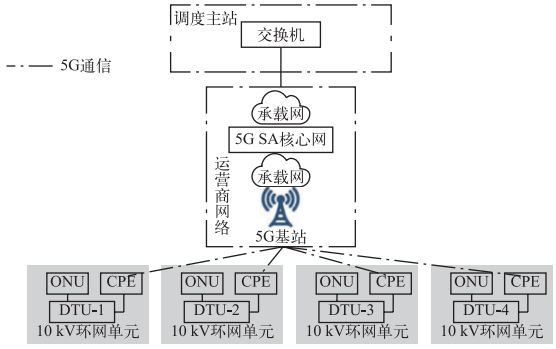

图2　5G通信架构图

图2中，10 kV环网单元（或10 kV柱上开关）内均配有5G CPE，5G CPE对下通过有线网络与站所配电自动化终端（DTU）或柱上馈线自动化终端FTU）进行连接。借助5G CPE构建的5G通信网络，各DTU可以完成垂直通信和水平通信两种数据交互模式。

（1）5G垂直通信

5G垂直通信路径为：5G CPE—5G基站中—承载网—5G SA核心网—承载网—调度主站内网。通过5G CPE的垂直通信网络，建立各DTU、FTU与调度主站间的数据通道，当光纤通道异常时，可以快速实现DTU、FTU的三遥/四遥调度任务。

（2）5G水平通信

5G水平通信的目的是建立各个智能终端（DTU和FTU）之间的对等通信机制（P2P），而这一机制是实现智能分布式自动化的基础。

基于运营商SIM卡或电力专网卡的固定IP信息，每台5G CPE均可获取到固定IP，从而在5G CPE之间建立EoIP VPN。EoIP主要是通过IP网将多个LAN进行逻辑上的桥接，使多个网络内的设备像在同一个局域网内一样互相访问。EoIP VNP隧道原理图如图3所示。

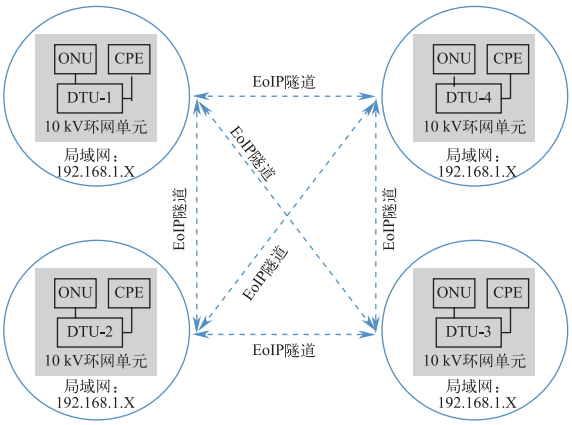

图3　EoIP VNP隧道原理图

所有5G CPE通过EoIP隧道组成局域网，DTU和FTU等智能终端可以快速便捷地在5G环境下交互信息，完成基于IEC 61850 GOOSE over UDP或是其他快速P2P通信规约的智能分布式自动化。

3. 建设成效

为了验证基于5G通信智能分布式环网自愈方案，东港能源在连云港徐圩新区增量配电网区域实施了5G智能分布式自动化试点项目。建成5G SA组网模式的电力通信专用网，并选择3个环网单元就地部署CPE设备。5G通信网络与现有的光纤网络协同运行，当光纤通道中断时，配电网自动化业务可以瞬时切换到5G通信。

后续还将测试验证基于5G通信的配电自动化性能，包括主站到终端下行通信时延、上行通信延时和终端间对等通信时延时等，以及在配电网故障时，DTU检测故障、隔离及恢复供电的整组时间。

结束语

随着新型电力系统建设的不断发展，对通信网络的覆盖范围和安全可靠性也提出了更高的要求。5G通信技术的应用，不仅增强了传统通信方式覆盖范围，也提升了在人为、外力破坏或灾变情况下通信网络的韧性，保证了配电网安全稳定运行。

随着城市配电网高质量发展，分布式电源渗透率提升，5G通信将成为一种与光纤网络互补互利的通信技术选择，5G+智能分布式配电自动化技术方案设计应用将成为未来配电网自动化发展的趋势。

在工程实践中也要充分考虑5G技术应用的复杂性，因地制宜，与运营商、设备厂家充分沟通协作，在设计、建设和运行中不断积累经验。EA