

# 无线网络技术在配电网中的应用研究

范寅秋<sup>1</sup>, 宋文峰<sup>2</sup>, 阴晓光<sup>2</sup>, 弭 娟<sup>1</sup>

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 大连供电公司, 辽宁 大连 116001)

**摘 要:** 山林、又有岛屿以及老城改造比较困难的城市, 采用光纤通信方式在技术可行性方面是不现实的, 实施的工程成本也是非常昂贵的。使用无线专网通信技术来弥补光纤通信方式的不足, 并且采用光纤通信与无线专网通信技术融合的方式实现配电自动化的无线通信接入网功能。

**关键词:** 配电网自动化; 无线专网; OFDM; IEEE802.16a

## 1 概述

无线专网技术在配电网中的应用借鉴了公网无线 3G 的先进技术, 采用基于 IEEE802.16a 标准的国际领先 OFDM 技术构建了无线通信接入网, 同时也综合了 OFDMA、多天线、链路自适应、空间分集与空间复用等无线关键技术, 具有带宽大、覆盖好、产业链成熟、对电力业务支持能力强等特点, 不仅完全可以满足当前配网自动化“二遥信号”的传输要求, 还充分考虑了国网公司十二五通信规划中对于通信接入网的信息安全、支撑能力和一体化网管管理能力的要求, 为电网公司在配用电侧建立全面覆盖、接入方式便捷的终端通信接入网提供了一个全新的通信方式。这是国内首次将无线专网技术应用于配网自动化建设中, 将对今后进一步的推广有着重要的指导意义。

无线通信接入网主要有四个特点:

- 1) 抗干扰性高, 无线信号覆盖范围大, 无遮挡情况下覆盖范围可达到 5km, 在城市繁华地段, 在保证带宽需求的情况下可以达到 2km;
- 2) 采用无源光网络与无线宽带通信融合的接入网技术, 组网方式灵活, 特别适合在城市繁华地段建设, 可以实现多点的无线接入;
- 3) 可以根据传输数据量需求动态申请带宽, 频谱利用率高;
- 4) 采用了信息安全与无线通信融合技术, 有效保障专网数据传输的安全性。

## 2 配电自动化中的通信方式

配电终端通信接入网是整个配网自动化系统

的通信网的基础。随着通信技术的不断进步, 目前可供配电网自动化通信使用和选择的通信方式有多种多样。按照传统的分类方法, 可简单地分为有线方式和无线方式, 其中有有线方式主要包括: 光纤、电力线载波以及 RS232/RS485; 无线方式主要包括: 广域网无线技术如 802.16 技术, LTE (3G/4G), 局域网无线技术如 WiFi, 以及 mesh 组网技术, 如 ZigBee。

电力载波是电力系统传统的通讯方法, 在对于无断点的线路, 例如变电站与变电站之间, 已经有很成熟的经验, 使用效果好。但对于配电网线路, 由于线路上有多台配电变压器以及柱上开关的断点, 使载波通讯在配电线路中使用受到了较大的影响。

随着光通信技术的发展, 无源光网络 xPON 作为先进的光纤接入技术逐渐在配网自动化领域得到普遍应用。尤其在国内, 处于大规模城市建设时期, 光缆的铺设和施工相对便利, 为 xPON 在配网中的应用创造了条件。目前国家电网公司已经将无源光网络作为配电自动化通信接入网的主要通信技术, 并在天津、银川等城市进行试点。

无线广域网技术, 无线局域网以及 mesh 组网技术作为无线的接入技术受到国外电网公司的青睐, 802.16、LTE, RF mesh, WiFi 等在加拿大、美国、澳洲应用广泛。无线通信接入网具有部署速度快、接入灵活、安全性高、业务支撑能力强、节省投资成本等特点, 在配网自动化或用电信息采集 (AMI) 中作为通信通道已经成为国际电力界公认的技术趋势。

## 3 无线专网技术在配电网建设的理论和实践

## 依据

通信系统建设是配电自动化系统的关键之一。配电自动化设备分布点广，配电自动化系统需要有效地通信手段，将控制中心的命令准确实时地传送给各个配电终端装置。配网自动化中对于通信的主要关注点如下：

### (1) 通信的高可靠性

配电自动化的通信系统是在户外安装的。通信系统要长期经受如强电磁干扰、大雪，低温等不利的环境气候条件的考验。因此，配电自动化的通信系统必须设计成为能够通过常规维护，就可以在上述恶劣状况下工作的系统。

### (2) 良好的经济性

由于配电自动化的通信系统的造价很可观，因此通过恰当地选取合适的通信方式，可以节省大笔的建设费用。如果通信方式设计得不合适，有可能会产生过高的建设投资，使得所建成的配电自动化系统的效益难以发挥出来。在对配电自动化的通信系统进行预算时，不仅要考虑设备的造价，还要估算通信系统长期使用和维护的费用。

### (3) 对通信性能的要求

在配电自动化系统中，进线监视、10kV 开关站、配电变电站监控和馈线自动化（FA）对于通信速率的要求最高，其次是公用配变的巡检和负荷监控系统，远方抄表和计费自动化对于通信速率的要求较低。从配电自动化系统结构的角度分析，集结了大量数据的主干线对通信速率的要求，要远高于分支线对通信速率的要求。同时配电自动化的大多数功能要求双向通信。

在选择通信方式之前，应当先估算配电自动化系统所需要的通信速率，应考虑到最坏的情形，并根据需要恰当选取合适的通信方式和通信网络组织形式。此外，在设计上应留有足够的频带，以满足今后发展的需要。

### (4) 停电和故障时的通信能力

配电网的调度自动化功能和故障区段隔离，及恢复正常区域供电

的功能要求，即使在停电的地区通信仍能正常进行。采用电力线作为通信信息传输媒介的通信方式在这个问题上会面临许多困难。必须考虑故障或断线对这几种通信方式的影响。另一个必须考虑的

问题是在停电地区的远方通信终端设备的供电问题，应当为它们提供后备电源或其他供电手段。

### (5) 通信系统的使用与维护方便性

配电自动化的通信系统构成规模往往较大，而且通常采用多种通

信方式相结合，因此在设计上，应考虑尽可能地简化这一复杂的通信系统的使用与维护。选择标准的通信设备和通信协议不仅能够提高系统的兼容性，而且为今后的扩展带来方便，也有助于降低使用与维护费用。

目前因为城市规划和既有管道等因素，有线介质铺设困难，成本高。而建立无线通信网络可以避免此类工程施工难题，而且建设成本相对较低。而且无线网络的故障定位简单，而且可以很快根据维护后台的数据记录分析解决问题。随着无线技术的发展，无线通信网络在安全可靠性与性能方面已经了长足的进步，可以满足承载高可靠，高实时性业务的需求。

所以无线网络能否支撑电网的配网自动化业务可以以上几个方面的关键性能指标进行衡量与评估：

#### ✧ 配电网中无线覆盖

城市配电网中，考虑到已形成的强大的光纤网络，无线基站站址优先选择在变电站。802.16系统的实际覆盖能力在城区为2~5km，可以满足要求。同时无需开挖光纤线路，投资规模相对经济合理。

#### ✧ 配电网中上行吞吐量

配电自动化主要有三遥数据需要进行传输，对于实现“遥信”的信息点，单个终端带宽容量约313bit/s；对于实现“遥测”的信息点约496bit/s；对于实现“遥控”的信息点，单个终端带宽容量约528bit/s。802.16系统中，单终端的最小吞吐量在3km边缘处的吞吐量可达20 kbps。

每个配电变电站下大概200~300个配电终端。配电网中上行数据吞吐量总体高于下行，上行中来自所有FTU/DTU/TTU终端的上行并发数据量不超过500 kbps。802.16单扇区10 M 1/3 PUSC上行平均吞吐量为1.8 Mbps，可满足配网业务上行吞吐量的需求。

#### ✧ 配电网安全性和可靠性

在配网自动化系统与广域网的纵向交接处，应当设置经过国家指定部门检测认证的电力专用纵向

加密认证装置或者加密认证网关及相应设施。无线宽带通过证书、用户名密码、终端MAC地址鉴权，有效的防止非法用户的接入。同时结合AES-128数据加密技术，保证数据传输的安全性。

### ✧ 配电网中传输时延

智能配电网通信需要主要满足配电网设备（FTU、DTU、TTU）监测信息、自愈控制信息、故障定位信息的传送。智能配电网自愈动作速度要求为<3s，除去元件采集和调度系统处理时间，双向通信通道时间应小于500ms，则单向通信时延要求<250ms。802.16系统的端到端时延小于100ms，满足配网业务需求。

综上, 802.16技术从终端数量、上行吞吐量、带宽、安全、覆盖、QoS、时延等方面完全满足配电自动化的要求, 可以适用于配电网接入通信。

#### 4 大连无线专网技术应用特点

无线通信接入网技术在大连配网自动化的应用是一种新尝试，涉及很多关键技术和创新点，下面具体介绍如下：

#### 4.1 基于微波频点的无线宽带接入网技术

在研究配网无线通信接入网技术时，在无线接入技术的选择上，必须考虑到使用频率、无线站址选择、国家政策等诸多因素。另外作为配电自动化通信辅助方式之一，无线接入技术是无源光网的一种有效技术补充手段。其应用的与对应技术架构见图 1。

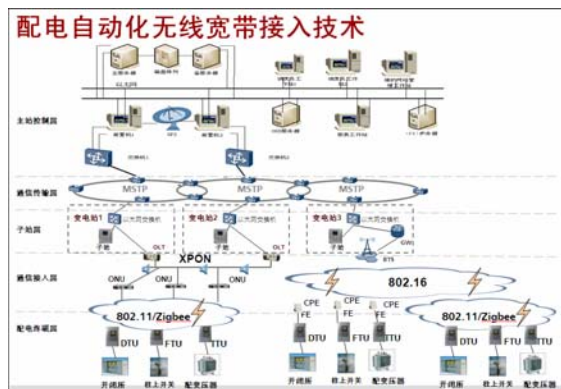


图1 无线通信接入网技术在配电自动化的应用架构

目前 3.5G 频谱上是电力企业合法使用的微波频段,使用该微波频段作为无线宽带接入网应用也是一种新尝试。而且 802.16 为代表的技术已经开发出支持 1.8G/2.3G/2.5G/3.5G 等多种频段。最重要的是该频段具备的频谱资源达到 100MHz,完全满

足配网自动化传输高带宽的需要，为今后新业务的拓展奠定了坚实的基础。

#### 4.2 无线宽带通信与信息安全的融合技术

为增强无线宽带通信系统的信息安全性,按照国调 2011 年 2 月 168 号文“关于加强配电网自动化系统安全防护工作的通知”,在无线宽带系统中采用了一系列鉴权认证与加密的机制。在终端上内嵌设备数字证书保证其合法性,未经授权的终端将因不具备数字证书而被识别为非法终端拒绝入网。针对“开放”的空口数据链路,并采用了先进的 AES128 数据加密技术以及严谨的密钥保存与更新机制来提供数据的传输安全。基站以上的有线传输网络采用传统的安全保障机制,如添加防火墙,采用 IPSec, GRE 等隧道方式。虽然传输网络一般使用电网的专用网络,但隧道技术可以根据需要将不同的业务层面进行逻辑或物理隔离,起到保护作用。如图 2 所示。

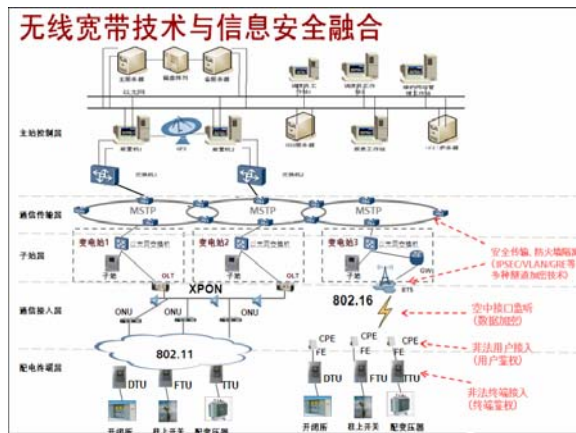


图 2 信息安全与无线通信接入网的融合技术示意图

### 4.3 无线宽带通信的拓展应用技术

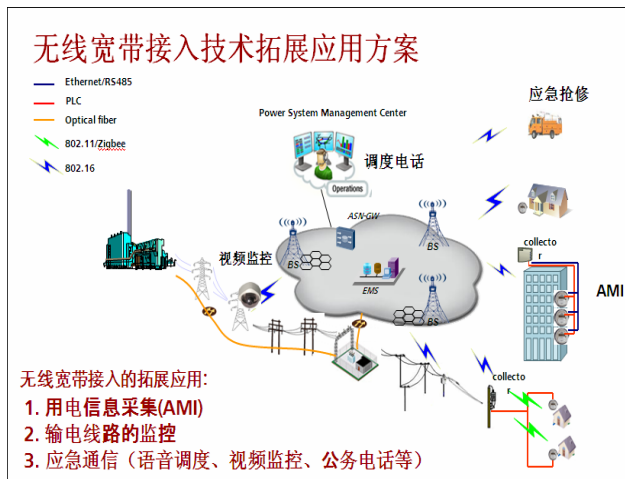


图3 无线通信接入网的拓展应用技术



在无线通信接入网环境下,开展了视频、语音和数据同时传送等拓展应用技术研究,除满足配网自动化应用需求外,也充分考虑了 AMI、传输线路视频监控、配网线路巡检和现场抢修、调度、行政电话等应用领域需求,为这些业务提供高速的、可靠的、安全、智能化的一种可选的通信方式。研究与测试结果显示,该项目的研究成果完成可以推广到这些应用领域。如图 3 所示。

#### 4.4 无线通信终端在配网中的应用技术

对于配电自动化应用的无线终端,其与传统的民用无线终端相比,必须具备工业级标准要求。尤其在电磁干扰、设备抗恶劣环境运行要求、供电、散热、以及特殊安规上都做了针对性的改良。

#### 4.5 无源光网络与无线通信融合技术方案解决覆盖问题

要实现配网自动化,仅仅靠 802.16 等大无线技术是无法完全覆盖到每个配电自动化设备的,当前的配电自动化环节中,由于无线基站部署的位置一般为供电局或者变电站,基站与配网设备之间的距离一般都是 2~5km 不等,且这些配网设备很多都是分布在密集居住地、繁华楼宇、地下室等无线覆盖盲区的地区。因此无线宽带接入技术主要解决三类覆盖问题:如图 4 所示。

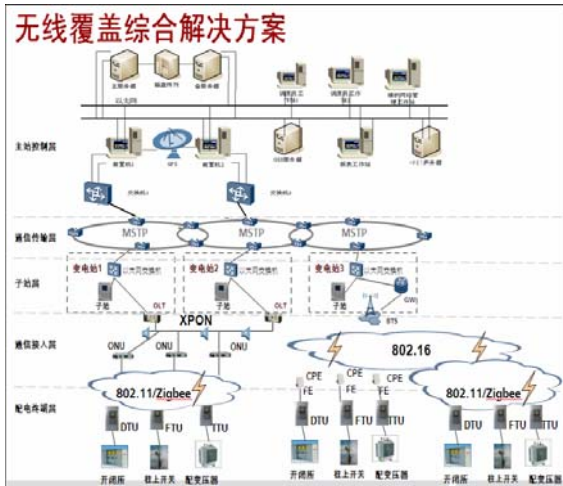


图4 无源光网络与无线通信融合技术方案解决覆盖问题

1)当光纤进小区后无法进一步部署:当无线光网络 ONU 无法进一步延伸时,采用 802.11/Ad hoc(Zigbee)技术作为进一步的接入技术,使用 802.11 和 Zigbee (Ad hoc) 等小无线技术组建一个

小的自主网络,组建的自主网络最终可以覆盖到小区下的配电房、环网柜、箱变等设备。

2)变电站周边视距范围内的配电设备:802.16 大无线信号能够直接覆盖到配电设备,保证设备信息通信要求。

3)基站信号盲区范围内的配电设备:盲区范围使用 802.11 和 Zigbee (Ad hoc) 等小无线技术组建一个小的自主网络,组建的自主网络再与 802.16 大无线网络实现无线传输信号的无线覆盖。

#### 5 大连无线专网技术具体应用案例

大连配电网无线通信接入网采用华为基于 IEEE802.16a 标准的国际领先 OFDM 技术的宽带无线通信系统,包括一套中心站,4 个基站和 23 个 CPE 终端,覆盖 33 个 DTU/FTU 配电节点。如图 5 所示。

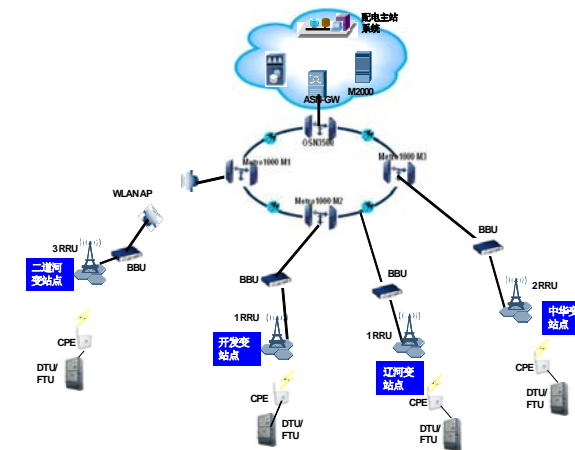


图5 无线专网组网图

无线频点使用 1795-1805MHz,共 10M 带宽,上下行采用 TDD 时分复用方式。建设开发变、中华变、辽河变以及二道河变共 4 个站点。

以开发变为例,开发变站点设置一个 S1 的基站,覆盖五三线分支箱、华齐、造纸、丝绸、铸造箱式开关站。基站安放于变电站附近一 5 层宿舍楼内。BBU 置于室内,RRU 和天线安装在屋顶 10m 增高架上。基站通过光网络接入设备接入电网的光纤环网。覆盖情况参见图 6。

无线通信终端电源为 24V DC 供电,通过 DTU/FTU 提供,同时能够保证在停电时借助于 DTU/FTU 的蓄电池供电。无线通信终端通过网线与 DTU/FTU 相连。

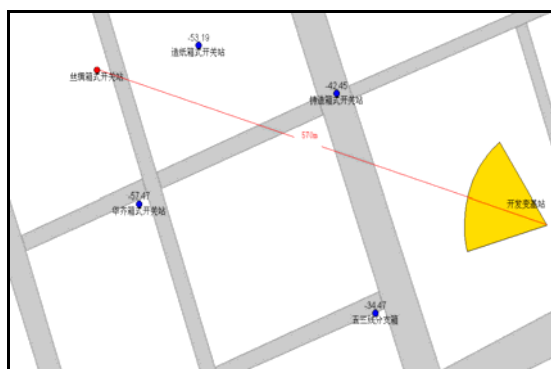


图 6 开发变覆盖范围示意

在建筑物侧墙上或者环网柜附近加装抱杆，无线通信终端固定于抱杆上。对于柱上开关，无线通信终端直接固定在电线杆上，对于两个或两个以上环网柜集中放置的情况，先通过工业级以太网交换机汇聚多个 DTU 的数据，再通过一个无线通信终端接入无线网络。

在相关现场进行了通信测试和功能测试。利用基于 IEEE802.16a 标准的国际领先 OFDM 技术无线宽带系统，配网自动化系统实现了遥测、遥信的二遥功能，完全满足设计要求。

同时针对不同的覆盖情况，进行了场强覆盖测试，单无线通信终端实测速率能够达到下行 6.2M，上行 3.78M。各项业务能够正常接入的最远距离超过 4km，显示了该系统良好的覆盖特性。

(1) 覆盖拉远情况如下：

a) 密集城区：大部分区域覆盖半径为 1.4km~3.5km，最远覆盖 4.3km。

b) 一般城区：大部分区域覆盖半径 2.7km~3.0km，最远覆盖 4.1km。

c) 郊区：大部分覆盖半径为 2.8km~3.2km 之间，最远覆盖 4.2km。

d) 农村：被阻挡方向覆盖半径 2.7km，其余方向覆盖半径 4.8km。

## 6 结论

电力系统通信系统的重要工作之一就是为电网提供安全、稳定的通信通道。目前进行的智能用电及配网自动化建设更是需要一个安全、可靠的通信网络，无线通信接入网完全可以满足这些需求。有了可靠的通信网络，将会保证并推进配网自动化工程建设的顺利进行，停电时间大大减少，减少因停

电带来的损失，促进社会和谐。同时能够提高工作效率，减少人力维护成本，造福于民，其社会效益十分巨大。

另外，是无线宽带技术在配电自动化中的首次应用，而且运行效果良好。在整个项目过程中大连供电公司积累了大量的理论、技术、工程经验，使用了多项创新技术，解决了一系列实施难题，为下一步在全省甚至全国电力系统内推广应用无线宽带系统做好了铺垫，科技创新也会产生显著的社会和经济效益。

## 参考文献：

- [1] 姚虹春.WiMAX 技术发展及其在配电网通信中的应用 [A]. 2006 中国电机工程学会年会论文集[C].1507-1511.
- [2] 梁明.无线专网技术及其在配电自动化中的应用[J].电工技术,2004(7):25-29.
- [3] IEEE 802. 16a - 2003, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz [S].
- [4] IEEE802. 16d, Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System [S].
- [5] IEEE 802. 16 - 2001, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband WirelessAccess Systems[S].

## 作者简介

范寅秋 (1974-), 男, 国电南瑞科技股份有限公司, 工程师 长期从事配网系统及电力系统调度自动化的研究工作;  
宋文峰 (1971-), 男, 大连供电公司总工程师, 电力系统自动化专业, 从事电力生产管理工作;  
阴晓光 (1973-), 男, 大连供电公司生产技术部, 计算机及应用专业, 从事电力系统科技、智能电网管理工作;  
弭 娟 (1978-), 女, 国电南瑞科技股份有限公司, 助理工程师, 长期从事电力系统调度自动化工作。