

中压宽带载波组网技术在配电自动化系统中的应用研究

李秋生, 陈向东

(江苏省电力公司南京供电公司, 江苏 南京 210019)

摘 要: 宽带电力载波作为配电自动化系统重要的通信手段之一, 是一种经济、便捷、有效的通信方式。本文对宽带载波技术进行了简要介绍, 针对不同类型区域模式提出了宽带载波组网方案, 结合实际应用案例证实了宽带载波的良好通信性能, 分析了宽带载波组网的经济性。

关键词: 中压宽带载波, 配电自动化, 载波组网, 电感耦合器, 电容耦合器

0 引言

配电自动化系统是提升配电网生产管理水平和提高供电可靠性的重要手段, 也是智能电网建设的主要内容之一。国家电网公司正在全面建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础, 以信息化、自动化、互动化为特征的自主创新、国际领先的坚强智能电网。智能电网是在开放和互联的信息模式基础上, 通过加载系统数字设备和升级电网网络管理系统, 实现发电、输电、供电、用电、客户售电、电网分级调度、综合服务电力产业全流程的智能化、信息化、分级化互动管理, 是集合了产业革命、技术革命和管理革命的综合性的效率变革。

光纤通信是配电自动化系统改造中主要通信方式。但从实际情况看, 对于未预留通信管道区域, 投资成本较大, 施工困难; 对于已预留通信管道区域, 由于地面沉降、其他管道施工等原因, 20%-30% 的管道已经不通, 光纤无法穿过。而电力载波不需要重新架设网络, 只要有电力线, 就能进行数据传递, 并且宽带电力载波良好的通信性能及带宽容量, 完全满足配电自动化系统对“三遥”的要求。

1 多种通信方式及比较

1.1 光纤通信

EPON 是一种成熟的无源光纤接入网技术, 采用点到多点结构进行组网。EPON 系统在物理层采用了 PON 技术, 在链路层使用以太网协议, 利用 PON 的拓扑结构实现了以太网的接入。因此, EPON 系统融合了 PON 技术和以太网技术的优点: 设备成本低、带宽高、扩展性强、灵活快速的服务重组、

与现有以太网的兼容性等。目前, EPON 技术已非常成熟, 能够满足绝大多数的应用需求, 主要应用于用电信息采集系统和配电自动化业务系统, EPON 系统传输速率、可靠性均能很好地满足配用电业务要求, 在已开展的配用电试点工程中取得较好的应用效果。但光纤通信也存在一些缺点, 如一次性建设投资大, 市政批准破路施工难, 敷设比较困难, 施工周期长; 一旦发生故障, 修复工艺要求高, 维护费用高。

1.2 无线通信

1.2.1 无线公网通信

目前无线公网通信主要包括 GPRS、CDMA、3G 等。对电力通信网而言, 无线公网技术具有无需申请专用无线频段、网络建设成本低、技术成熟、维护方便等特点, 适合在无线公共网络覆盖区域进行配电业务传输, 但存在可靠性无法保障、传输时延不固定以及租用费用高昂等问题, 同时电力公司不能对无线公共网络进行实际有效管控, 难以保证电力业务数据传输的实时性和安全性, 在《配电网规划设计技术导则》明确提出配电自动化“三遥”业务不允许使用无线通信。

1.2.2 无线专网通信

主要包括窄带 230M, 宽带 LTE 230MHz 或 1.8GHz 频段的无线通信。无线专网通信的优点是系统资源独享, 网络带宽高 (对于 20M 带宽的 1.8G LTE 系统峰值速率可达 100M), 系统安全性优于无线公网。而缺点是由于 1.8G 无线专网频段需要申请; 需要投资建设主站及基站系统; 投入人力物力进行系统运维; 无线系统的抗干扰能力差并存在覆盖盲点区域。

1.3 载波通信

电力线载波通信是电力系统特有的通信方式，属于专网通信。载波通信分为窄带载波通信和宽带载波通信。

1.3.1 窄带载波通信

窄带载波通信多采用 PSK、FSK、扩频调制等技术，载波工作频率一般从 40kHz 到 500kHz，数据传输速率一般在 1.2 kbps；但在用电设备类型日益丰富，电路中开关电源和无功补偿装置等电容性负载日益增多的环境下，信号吸收和突发干扰大大降低了通信系统的适应性和可靠性，窄带载波抗干扰能力弱，组网能力差，并且窄带载波所提供的数据通信带宽也无法满足《配电网规划设计技术导则》对信息传输带宽要求。

1.3.2 宽带载波通信

宽带载波通信工作频率从 2MHz 到 34MHz，物理层带宽 200Mbps，应用层带宽 90Mbps，调制方式采用 OFDM 调制技术，不仅使频带利用率进一步提高，还能有效的抵抗多径干扰，使受干扰的信号仍能可靠接收，即使是在配电网受到严重干扰的情况下，也可提供高带宽并且保证传输效率，从而实现数据的高速可靠通信。

多种通信方式比较如表 1 所示。

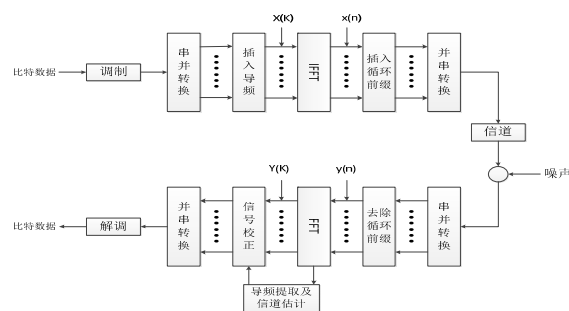
表 1：多种通信方式比较

技术指标	EPON	窄带载波	宽带载波	无线公网	无线专网(宽带)
可靠性	高	中	中	低	低
实时性	高	中	高	低	中
IP 网络支撑	支持	部分支持	支持	支持	支持
并发	支持	不支持	支持	支持	支持
带宽	1.25G	10k	90M	50-100k	100M
QoS	高	较低	高	低	较低
传输距离	小于 20km	20km	小于 5km	无线覆盖区域内	1~10km
环境影响	不受影响	电网负载和结构	电网负载和结构	天气、地形	天气、地形
电磁兼容	不受影响	受影响	不受影响	受影响	受影响
安全性	高	中	高	低	中
组网灵活性	受配电网架变动影响	不灵活	灵活	灵活	灵活
标准	IEEE 802.3ah	DL/T 790	DL/T 860	完备	无
技术成熟度	成熟	成熟	成熟	成熟	发展中
产品产业链	大规模商用	规模商用	规模商用	大规模商用	部分区域试点
产品成本	中	较低	较低	低	中
施工成本	高	较低	较低	低	中
施工周期	长	短	短	短	中

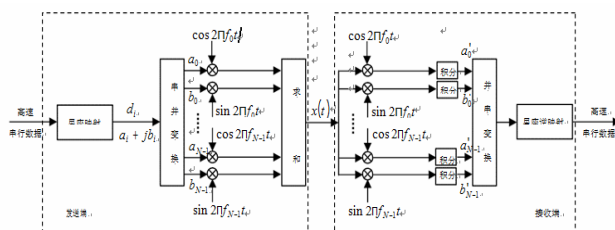
2 中压宽带载波通信技术

2.1 OFDM 简介

OFDM 调制方式是一种多载波调制方式，这种方式将一个载波分为许多个带宽较窄的次载波，这些次载波相互正交，采用快速傅立叶变换将这些次载波信号进行编码。次载波频分器将信号反转，使之正交，对于 n 个次载波，每一个次载波的符号速率被载波调制器分为整个符号速率的 $1/n$ ，这使得调制后符号速率长于多径延迟从而减少符号间干扰 (ISI)。OFDM 技术主要有以下优点：1) 有效克服码间干扰，抗干扰能力强；2) 频带利用率高；3) 系统的均衡简单等。工作原理如图 1 (a)、(b) 所示。



(a) OFDM 信号的调制与解调



(b) OFDM 系统发送端和接收端的原理图

图 1 OFDM 工作原理图

2.2 中压宽带载波调制解调器

中压宽带载波使用 OFDM 正交频分复用调制解调技术，使用频率带宽 2MHz-34MHz，是用作中压宽带载波网络的基础设备，可根据功能定义为载波头端 (Head End)，载波中继 (Repeater)，载波终端 (Customer Premise Equipment)。载波头端负责与配电自动化平台或上端光纤网络对接实现数据汇聚及管理、控制载波中继/终端设备；载波中继用于宽带载波信号的放大和转发，延长宽带载波通信距离；载波终端指宽带载波网络的根节点，一端连接配电终端设备，另一端通过耦合器连接中压电力线。

图 2 (a) 为宽带载波调制解调器设备图, 图 2 (b) 为宽带载波调制解调器设备安装示例图。



(a) 宽带载波调制解调器设备图



(b) 宽带载波调制解调器设备安装示例图

图 2 宽带载波调制解调器

2.3 中压宽带载波耦合方式

2.3.1 电感耦合方式

电感耦合器一般在电缆线路上使用, 电感耦合器直接卡接在中压电缆某一相上。电感耦合器确保信号在工作频带内不产生畸变, 并在最大频率范围内减小不匹配衰耗, 使耦合器的信号损耗最小; 电感耦合器可以长时间稳定工作于高电流强度下。电感耦合器具有安装方便, 绝缘性好, 不与电缆直接接触, 安全性高, 价格经济等优点。图 3 (a) 为电感耦合器设备图, 图 3 (b) 为电感耦合器安装示例图。



(a) 电感耦合器设备图



(b) 电感耦合器安装示例图

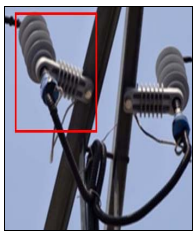
图 3 电感耦合器

2.3.2 电容耦合方式

电容耦合器一般在架空线路上使用, 电容耦合器采用注入方式与架空线路某一相连接, 并固定在架空线路缆杆上。电容耦合器安全优势明显, 电容耦合器防水、防尘, 并且电容耦合器上面部分装有 10kV 氧化锌避雷器, 当沿架空线路传入的雷电冲击波超过避雷器保护水平时, 避雷器首先放电, 并将电流经过接地良导体安全的引入大地, 利用接地装置使雷电电压幅值限制在被保护的范围内, 避免设备受到破坏, 保证通信的正常运行。电容耦合器安装过程简单、方便、快捷, 主要是包含连接至中压架空线、电容耦合器固定和自带接地固定。图 4 (a) 为电容耦合器设备图, 图 4 (b) 为电容耦合器安装示例图。



(a) 电容耦合器设备图



(b) 电容耦合器安装示例图

图 4 电容耦合器

3 中压宽带载波典型组网方案

3.1 架空线路的配电自动化系统改造宽带载波组网通信典型设计

架空线路的环境特点是线路长, 分支多, 配电终端一般都在分支上, 拆迁改造多, 用户数量、位置会有变化, 如若配电终端全部采用光纤通信方式, 光纤极易断裂, 维护工程量巨大; 要增加或减少配电终端, 光纤方式不易实现。这种情况下可以采用光纤+宽带载波方式组网, 在主馈线上架设光缆, 除完成配电通信骨干传输功能外, 还可以用来做馈线保护等功能。在主馈线上, 按照一定的距离, 安装宽带载波头端设备, 在此头端设备的覆盖范围内, 配电终端侧只需要增加一套宽带载波终端设备, 即可完成通信的建立, 而且在任一个头端的覆盖范围

内,可以任意增、减配电终端数量,也可以任意改变配电终端位置。图5为架空线路中压宽带载波组网典型示例图。

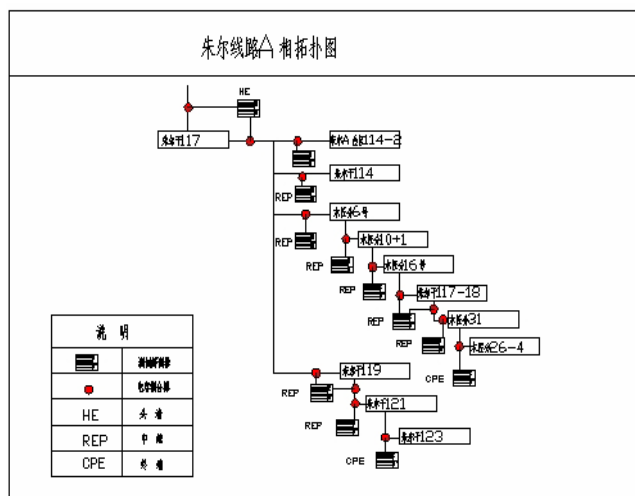


图5 架空线路中压宽带载波组网典型示例图

3.2 配电自动化改造中光纤无法到达区域的宽带载波组网通信典型设计

配电自动化改造过程中未预留通信管道区域,投资成本较大,施工困难;对于已预留通信管道区域,由于地面沉降、其他管道施工等原因,20%-30%的管道已经不通,光纤无法穿过。此环境特点为重要道路、重要建筑物、文物保护单位、政府机关、居民小区地下配电设备等,此区域多为电缆线路,施工不能被市政部门批准破路,或者敷埋光纤施工难度极大。这种情况下可以局部采用载波通信方式,可以是P2P(点对点方式),也可以是P2MP(点对多点方式)。在光纤到达末端架设宽带载波头端设备,在局部光纤不通点位置架设宽带载波终端/中继设备,即可完成光纤不通点至主站平台的通信网络建立。图6为配电自动化改造中光纤无法到达区域的中压宽带载波组网典型示例图。

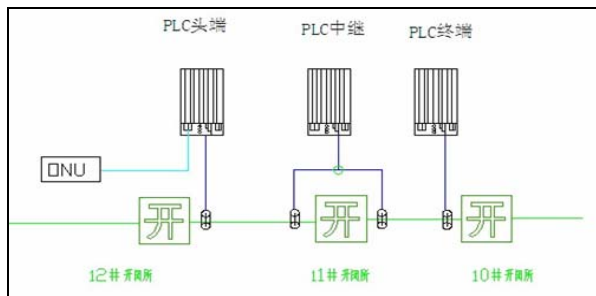


图6 配电自动化改造中光纤无法到达区域的中压宽带载波组网典型示例图

3.3 A+、A、B类区域的宽带载波组网通信典型设计

计

为区分不同区域的供电需求,《配电网规划设计技术导则》综合考虑行政级别、经济发达程度、负荷密度、用户重要程度、用电水平、GDP等因素,供电区域划分为A+类、A类、B类、C类、D类、E类。其中A+类、A类、B类区域的环境特点为中心城区,商业聚集区,建筑物多、商业设施多、道路密度高。此区域敷埋光缆成本高,施工难度大,城建部门批准难度大,施工期长,无论电力公司还是施工方补偿费用高。这种情况下可以采用载波组网方式,不需要任何施工,安装调试后就可完成配电通信网的建设。图7为A+、A、B类区域的中压宽带载波组网典型示例图。

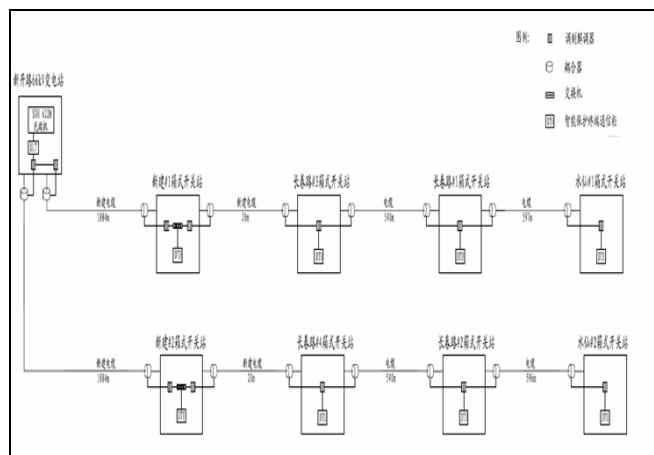


图7 A+、A、B类区域的中压宽带载波组网典型示例图

4 宽带载波技术在南京供电公司10kV宁夏线的试点应用

4.1 试点应用背景

南京配电自动化二期项目中,由于10kV宁夏线附近“虎踞路”无法破路,距10kV宁夏线#1环网柜970m的10kV宁夏线#2环网柜光纤无法到达,考虑中压宽带载波通信良好的性能,此次试点项目选择宽带载波作为通信手段。

4.2 宽带载波通信方案设计

10kV宁夏线#1环网柜上层通信采用EPON系统,所以将与其相连接的调制解调器设计为头端,使用RJ45网线连接EPON系统的ONU设备,环网柜出线处B相安装电感耦合器装置。10kV宁夏线#2环网柜作为数据传输的末端,其调制解调器设计为终端,使用RJ45网线连接DTU设备,环网柜入线处安装电感耦合器。其组网拓扑图如图8。

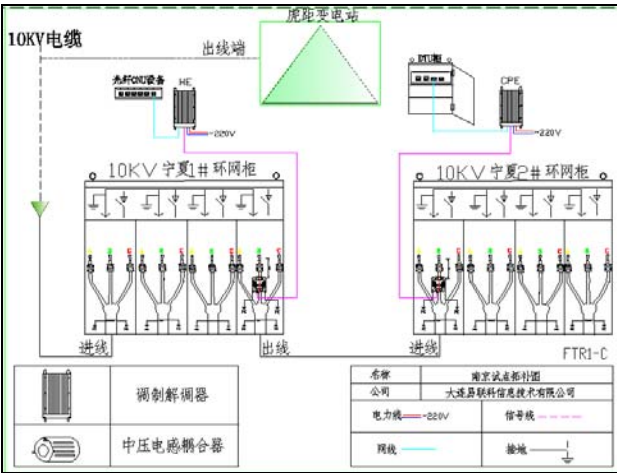


图 8 10kV 宁夏线组网拓扑图

4.3 项目测试情况

4.3.1 通信带宽测试

10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的带宽测试结果为：上行带宽 23Mbps，下行带宽 24Mbps。如图 9 所示。

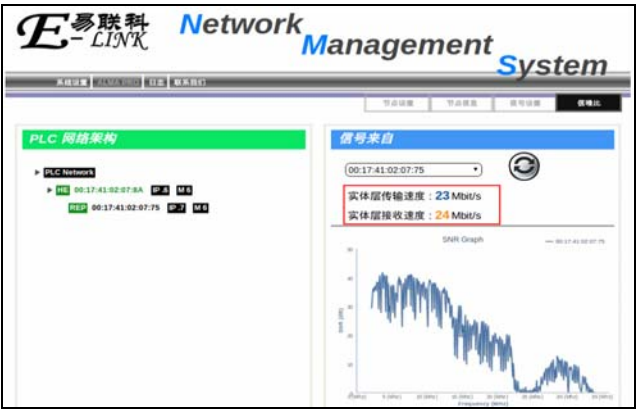


图 9 10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的带宽图

4.3.2 时延测试

10kV 宁夏线#2 环网柜到配电自动化管理系统平台的时延均值为 7ms，10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的时延均值为 6.4ms。分别如图 10、11 所示。

4.3.3 丢包率测试

10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的丢包率为 0%。如图 12 所示。

通过对中压宽带载波设备测试数据的整理分析，可以得出基本的结论：载波平均带宽在 23Mbps 左右，平均延迟为 7ms 左右，传输丢包率为 0%。通过以上测试，中压宽带载波设备的通信能力是完全可以满足配电自动化业务的业务需求。

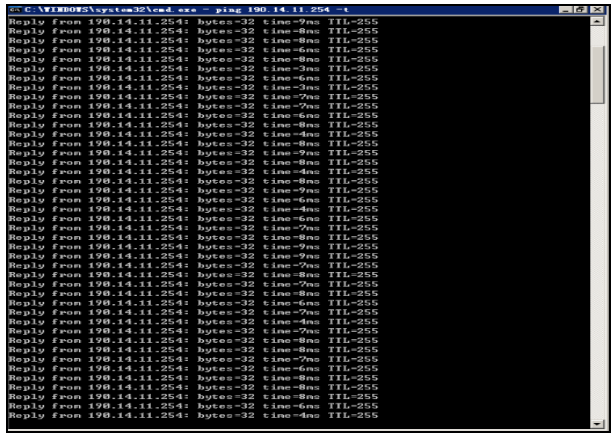


图 10 10kV 宁夏线#2 环网柜到配电自动化管理系统平台的时延图

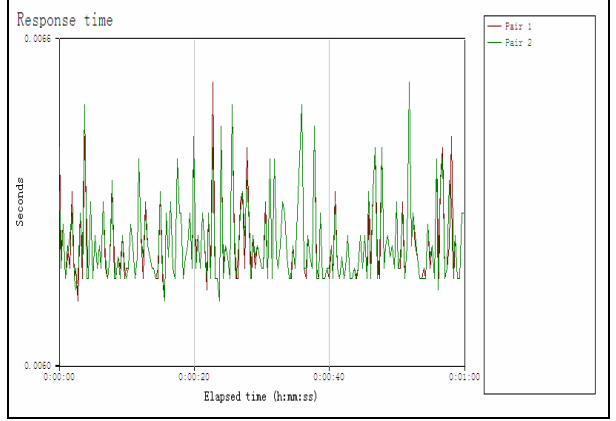


图 11 10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的时延图

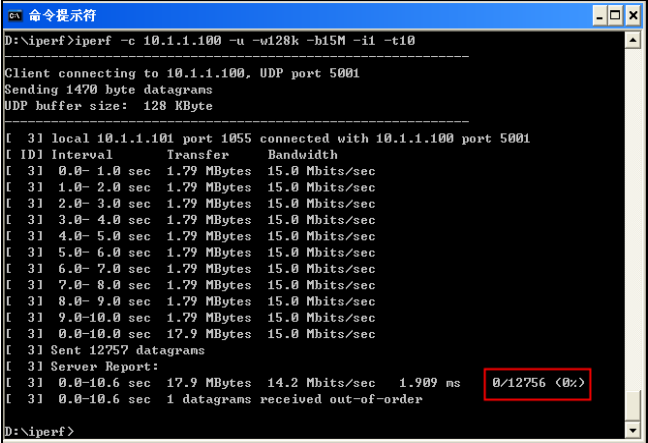
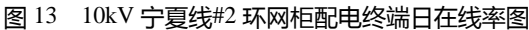


图 12 10kV 宁夏线#1 环网柜到 10kV 宁夏线#2 环网柜的丢包率图

4.4 运行情况

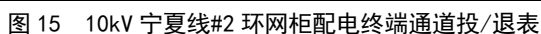
配电自动化管理系统平台监测数据：

10kV 宁夏线#2 环网柜配电终端自 2014 年 4 月 1 日 20:10 投入运行以后，4 月 2 日全天日在线率为 100%。如图 13 所示。



当前编组记录: 30km/h 广线 0224 网络终端	
当前误码总次数	0
小时误码总次数	0
日误码总次数	0
月误码总次数	0
当前不应答总次数	0
小时不应答总次数	0
日不应答总次数	0
月不应答总次数	0
财正常运行时间	2750
日正常运行时间	3155.4
月正常运行时间	57486
时律运行时间	0
日律运行时间	0
月律运行时间	26
时组行率(%)	100.00
日组行率(%)	100.00
月组行率(%)	99.95

10kV 宁夏线#2 环网柜配电终端自 2014 年 4 月 20:10 投入运行以后, 无退出现象(查询区间 4.1 日-4.2 日, 4 月 1 日 20:10 以前退出为工程调退出)。如图 15 所示。



中压宽带载波完全满足国家电网公司《配电网规划设计技术导则》中包括配电自动化、电能质量检测、配电监控运行、用电扩展性业务等所有配电网相关业务的通信需求，是除光纤通信外，可用于“三遥”的专网通信方式之一。在实际应用中，除了配合光纤使用，在一些光纤难以到达的地区采用载波补充外，在一些城市建设部门难以批准破路施工、地面建筑密集复杂、繁华商业区等难以敷埋光缆的区域（尤其是 A+、A 区域），可以采用宽带载波组网模式；以中压宽带载波在南京供电公司 10kV 宁夏线的试点应用案例对其组网经济性分析进行分析。

设备费用:

光纤组网模式建设费用为：36.804 万
而此次工程宽带载波模式组网成本估算如下：

调制解调器 2(台) \times 2.82(万/台)=5.64 万
耦合器 2(台) \times 1.18(万/台)=2.36 万
安装调试费为设备费的 10%，为 0.8 万
宽带载波模式建设费用为 8.8 万

51

相当大的成本优势。

6 结论

宽带载波作为光纤通信的主要补充手段，无论在经济性还是适用性上均具备较大优势。在配电自动化改造中，宜采用多种通信方式混合组网，尤其在无规划通信管道或无法破路敷设光纤的城市区域，宽带载波有效的解决了光网络无法覆盖区域，为实现配电自动化提供一种经济、有效、可靠的通信手段。

参考文献：

- [1] 王晓东. 载波技术在配电自动化系统中的应用实例[J]. 供用电,2003,12 (20): 42-44.

- [2] 汪晓岩,金琳,李晓斌. 配电线载波通信在配电自动化中的应用研究[A]. 2004 全国电力系统自动化学术研讨大会论文集[C]. 广西桂林:中国电机工程学会自动化专委会, 2004. 540-549.
- [3] 徐丙根. 配电自动化若干问题的探讨[J]. 电力系统自动化,2010,34(9):81-85.
- [4] 孙中伟. 基于 EPON 的配电网自动化通信系统及其安全机制[J]. 电力系统自动化,2010,34(8):72-75.

作者简介：

李秋生（1981—），男，江苏南京人，工程师，从事电力系统通信运维管理工作，E-mail: liqiusheng@263.net;

陈向东（1967—），男，河北石家庄人，高级工程师，从事电力系统通信专业管理工作。