

智能配电网通信技术发展综述

刘家泰¹, 孙振权², 陈颖¹

(1.清华大学 电机系, 北京 100084; 2.陕西地方电力集团, 陕西 西安 710065)

摘要: 智能电网的建设有利于解决能源危机和气候变暖等问题。在智能电网的研究中, 智能配电网是研究的重点。要实现智能配电网, 必须建立双向、高速、集成、可靠的通信系统。本文就智能配电网通信系统的发展进行了一个总结, 介绍了配电网的通信现状与智能配电网对通信系统的要求, 以及现有的通信系统的通信技术、标准和协议, 通信系统在智能配电网中的应用, 并在上述基础上, 提出了未来智能配电网通信系统的发展方向。

关键词: 智能电网; 智能配电网; 通信系统; 发展方向

中图分类号: TP915

文献标识码: A

文章编号: 2095-1302(2013)01-0049-05

Overview of development of communications technology for smart power distribution network

LIU JIA-tai¹, SUN Zhen-quan², CHEN Ying¹

(1. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Shaanxi Local Power Group, Xi'an 710065, China)

Abstract: The construction of smart power grid can help solve the energy crisis, global warming and other issues. Smart power distribution network is the focus of research in smart power grid. To achieve intelligent power distribution network, a two-way, high-speed, integrated, reliable communication system must be established. The paper summarizes the development of smart power distribution network communication system, and introduces the communication status of power distribution network, the requirements of communication system raised by intelligent power distribution network, the existing communication technology, standards and protocols of communication system, and application of communication systems in smart power distribution network. The development direction of an intelligent power distribution network communication system is proposed.

Keywords: smart power grid; smart power distribution network; communication system; development direction

0 引言

保障能源安全、应对全球气候变化是全人类所面临的重大挑战。为应对这一严峻挑战, 欧洲、北美等主要发达国家于本世纪初相继提出了智能电网 (Smart Grid) 的建设愿景, 希望用智能电网技术解决可再生能源规模化利用、资源大规模优化配置、电动汽车大规模接入等系列问题, 从而达到调整能源消费结构、保证国家能源安全、降低碳排放标准等系列目的。这一设想, 立即在全世界范围得到认可与响应, 各国都把电力建设的重点放在了智能电网的研究与建设上。所谓智能电网, 就是建立在集成的、高速双向通信网络基础上, 通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用, 实现与用户的互动及电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标^[1, 2]。

在智能电网的建设过程中, 智能配电网是其研究重点, 而通信技术则是实现智能配电网的基础。没有先进的通信网络, 任何智能配电网的优点都没法体现, 所以, 要实现智能电网的关键一步, 就是建立双向、高速、集成的通信网络。

本文首先介绍配电网通信现状, 然后介绍常用的几种通信方式、智能配电网通信应用的场景以及通信的标准, 最后对智能配电网通信系统未来的发展方向进行了简单探讨。

1 配电网通信现状

目前, 配电网的通信系统接入方式多种多样 (包括 PLC 技术、微波、GSM/CDMA 等), 然而, 配电网通信缺乏统一的网络规划, 通信信道稳定性差, 数据信息传输速率比较低且安全性低, 技术设计和标准等存在差异, 电力系统现有资源无法得到有效利用, 通信的单向性导致对互动性的支撑不足, 缺乏对未来新业务的扩展能力^[3, 4]。随着大量的分布式电

收稿日期: 2012-10-25

源接入电网, 以及用户对电能质量的要求提高, 系统对电网可靠性要求增加^[4], 现有的配电网通信系统无法应对新的供用电形式和需求。这主要表现在以下几个方面:

- (1) 智能配电网强调与用户的互动, 需要双向的通信网络;
- (2) 混合充电汽车的不断普及、用户需求侧响应决策等, 需要配电网进行实时的监测;
- (3) 随着配电网规模的不断增大, 会产生越来越多的数据;
- (4) 大量的分布式电源接入配电网, 需要对其进行实时稳定的管理与控制。

可见, 为满足智能配电网通信系统的可靠、安全、稳定的要求, 需要对现有的配电网通信系统进行重新规划设计。

2 智能配电网对通信系统的要求

为了保证智能配电网的特征能够实现, 其通信系统需要满足高可靠性、安全性、实时性和灵活性等条件^[5]。

2.1 高可靠性

高可靠性就是指数据信息能够在任何环境下传输到控制中心或者传输给子站及智能电力设备。电网的可靠性都是依靠通信网络发送和接收重要信息来维持的。可靠性在有线网络中并不是个严重的问题, 但是在无线网络和 PLC (电力载波通信) 网络中就是个挑战了, 因为它们的通信信道可能会受到外界干扰而发生变化。通信系统自己并不能够直接获得电网拓扑结构的变化, 于是通信网本身就需要具有较强的鲁棒性。

2.2 安全性

随着电力网和信息网的融合, 以及配电网距离的增加, 有关能源分布的数据信息总是特别重要, 尤其是当它们与交易信息及控制、保护有关的时候, 安全问题变得非常重要。例如, 如果通信方式采用无线公用网络, 公用网的分享性与容易接入, 使得电力数据容易获得, 易被不法分子截取数据, 从而进行破坏。

2.3 实时性

电网中的一些设备需要实时的数据, 而电力设备的实时性需求主要依赖于应用的紧急程度。例如 PMU 就有严格的实时性, 它提供电压和电流的实时测量, 并把数据传输给控制中心进行分析控制。对于保护装置, 当某处发生故障时, 控制中心必须实时把控制指令发送到智能电力设备, 以使其动作, 切断故障, 如果没有实时性的通信保障, 就可能会发生电网的连锁故障。

2.4 灵活性

不同于输电网, 配电网的结构总是在不断增加和改变的。对于通信系统, 不仅仅是第一次安装, 对于今后配电网的结构改变需要能够继续扩展而不必改变原有的通信模式, 也要在运行期间易于管理和维护。除此之外, 智能配电网通信系统还要支持

组播技术, 使得同级智能电力设备之间可以分享相关的信息。

3 常用通信方式

先进的技术和应用融合到智能配电网中, 就会产生大量数据, 并需要进一步分析、控制和实时管理, 于是需要选取可靠、经济、双向的通信方式进行数据传输。目前, 常用的通信技术分为无线通信和有线通信两种。有线通信技术包括光纤通信、电力线载波通信 (PLC)、以太网无源光网络 (EPON) 等。无线通信技术包括 ZigBee、全球微波接入系统 (WiMAX)、GPRS 等。有线和无线各有优缺点: 无线成本较低, 适用于很难达到的地区; 有线相对比较稳定, 可靠性较高。不同的通信方式适合于不同的环境和地区, 要建立高效、可靠的智能配电网通信系统, 就必须根据实际情况, 几种通信方式搭配使用。下面简单地介绍几种常用通信方式。

3.1 以太网无源光网络

以太网无源光网络是无源光网络 (PON) 的一种, 是一种点到多点结构的单纤双向光接入网络。EPON 由网络侧的光线路终端 (Optical Line Terminal, OLT)、光分配网络 (Optical Distribution Network, ODN) 和用户侧的光网络单元 (Optical Network Unit, ONU) 组成。OLT 置于中心机房, 是一个多业务平台, 可提供面向 EPON 的光纤接口。ONU 放在用户设备端附近或与其合为一体, 主要提供面向用户的多种业务接入。ODN 完成光信号功率的分配, 为 OLT 与 ONU 之间提供光传输通道。EPON 系统下行传输数据采用广播方式, 上行数据则采用时分多址技术 (Time Division Multiplexing, TDM)。

EPON 的应用通常是作为骨干网络结构, 即 35 kV 以上的电网通信。EPON 的优点: 一是能够提供透明宽带的传送能力, 数据传输速率快; 二是组网灵活, 能够组建复杂的混合型网络, 并且根据网络节点的实际地理位置灵活联网或改变网络拓扑结构; 三是维护简单, 长期运营和管理成本低; 四是网络可靠性以及安全性高。EPON 的缺点则是建设光纤的铺设工程量较大, 初期投资高; 同时, 由于配电信息点分布日新月异, 拓扑结构不稳定, EPON 的组网难度大, 后期运维和故障排查工作量较大。

3.2 电力线载波

电力线载波通信 (PLC) 是一种电力系统特有的通信方式, 利用现有的电力电缆作为传输媒质, 通过载波方式传输语音和数据信号。在中低压配电网中, PLC 可以为配电网自动化、AMI 等提供数据传输通道。目前, PLC 的传输速率可以达到数十千位每秒, 而随着科技的发展, 其传输速率会更大。现在又出现了一种新的 PLC 通信技术, 就是基于 OFDM (正交频分复用) 的 PLC 技术^[6, 7]。它对传统 PLC 技术进行了改进, 提高了可靠性和传输速率。

PLC 技术主要应用在室内环境下, 比如 AMI 的通信, 而不需要安装专用的通信线路。PLC 的优点是利用电力线缆作为传播媒介, 建设成本较低; 另外, 它的通道可靠性高, 抗破坏能力强。同时, PLC 也有缺点: 一是由于电力线信道的恶劣性, 传输距离较短; 二是易受电网负载和结构的影响, 抗干扰能力差。

3.3 全球微波接入系统

全球微波接入系统 (WiMAX) 是基于 IEEE 802.16x 系列标准的宽带无线接入城域网技术, 能够实现固定及移动用户的高速无线接入, 其基本目标是为企业和家庭用户提供“最后一公里”的宽带无线接入方案。WiMAX 网络体系由核心网和接入网组成。核心网包含路由器、AAA 代理服务器、用户数据库以及网关设备, 实现用户认证、漫游、网络管理等功能, 并提供与其他网络之间的接口; 接入网包含基站和用户站, 负责为 WiMAX 用户提供无线接入^[8]。

WiMAX 技术可以应用在 AMI、用户最后一公里接入等领域。其优点: 一是可以通过无线方式实现宽带连接, 不需要铺设线缆, 组网速度快, 建设成本低; 二是网络覆盖面积广, 只要少数基站就可以实现全城覆盖, 无线信号应用范围广。WiMAX 的缺点是容易受天气、地形等影响, 使传输质量降低; 另外, 虽然技术比较成熟, 但是在某些国家 (比如中国) 没有分配电力专用频率段。

3.4 ZigBee

ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议。根据这个协议规定的技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术。ZigBee 可以把设备发出的信息传输给用户, 而用户也可以获得他们实时的电力消费信息。

在家庭自动化、能源监测和 AMI 的应用中, ZigBee 是个比较理想的通信技术。ZigBee 的优点: 一是功耗和成本低; 二是容量比较大, 安全性高。ZigBee 的缺点是传输速率比较低, 传输距离比较近; 同时其抗干扰能力较差。

3.5 GPRS

GPRS 是 GSM 移动电话用户可以使用的一种移动数据业务。GPRS 可以说是 GSM 的延续。GPRS 和以往连续在频道传输的方式不同, 是以封包 (Packet) 方式来传输的, 因此使用者所负担的费用是与其传输资料单位计算, 并非使用其整个频道, 理论上较为便宜。GPRS 的传输速率可提升至 56~114 kb/s^[9]。

GPRS 可以应用在需求响应、家庭网络自动化的应用中, 以及有线通信无法达到或者需要建设成本较低的地区。GPRS 的优点是传输距离较远; 成本比较低。GPRS 的缺点: 一是由

于是公网, 容易接入, 安全性比较差; 二是稳定性较差, 信号容易受干扰。

表 1 总结了上述各种通信方式的特性及应用方式, 使用时, 可以通过比较并根据具体的环境选择合理的通信方式。

表 1 各种通信方式的特点

通信技术	频率范围	传输速率	传输距离	限制	应用范围
EPON	-	1.25 Gb/s	20 km	成本较高, 不容易扩展	骨干通信网
PLC	1~30 MHz	2~3 Mb/s	1~3 km	抗干扰能力差	AMI, 需求响应
WiMAX	2.5 GHz 3.5 GHz, 5.8 GHz	超过 75 Mb/s	1~5 km	没有广泛应用	AMI, 需求响应
ZigBee	868 MHz~2.4 GHz	250 kb/s	30~50 m	传输速率低, 距离短	AMI, HAN (家庭局域网络)
GPRS	900~1 800 MHz	170 kb/s	1~10 km	传输速率低, 安全性差	AMI, 需求响应, HAN

4 通信标准

智能配电网通信中的许多应用、技术等已经比较成熟或者正在研究当中。现在智能配电网通信面临的主要挑战是缺乏统一的标准, 这种情况影响了智能电力设备、智能电表和可再生能源的融合以及它们的相互操作。建立智能配电网通信的统一的标准是现在急需的, 这有利于智能配电网的早日实现。表 2 总结了各种智能配电网通信的标准, 并列出它们的应用范围。

表 2 智能配电网的通信标准

通信标准	简介	应用领域
IEEE C37.1	描述 SCADA 与电力变电站自动化系统的定义和规范等	SCADA 及变电站自动化控制
IEEE 1379	变电站中 IED 与 RTU 之间的通信指导	变电站自动化控制
IEEE 1547	描述了与电网相互连接的分布式能源的通信等	需求响应
IEEE 1646	变电站内外的通信传输时间的需求	变电站自动化控制
IEC 60870	电力系统通信和控制的数据交换	控制中心间的通信
IEC 61850	配电和变电站中的设备的通信标准	变电站自动化控制
IEC 61968	配电领域的通信模型	能量管理系统
IEC 62351	定义了通信协议的网络安全	信息安全系统
ANSI C12.19	通用数据结构的测量模型, 电表数据通信的工业标准	AMI
ANSI C12.18	智能电表与用户之间的双向通信	AMI

4.1 IEEE 标准

IEEE 建立了很多电力系统的标准, 其在电力通信方面的标准主要有以下几种:

(1) IEEE C37.1 标准提供了 SCADA 系统与变电站自动化系统的基础定义、规范、技术性能分析和应用。它定义了变电站中的系统结构和功能——协议选择、人机界面和执行问

题。另外，它还规定了可靠性、可维护性、安全性和可扩展性等网络性能需求。

(2) IEEE 1379 标准介绍了变电站中的 IED (智能电力设备) 和 RTU(远程终端单元) 之间的通信与相互操作的操作指导及实际应用。特别是该标准还描述了变电站网络通信协议栈对 IEC60870 和 DNP3 的映射。它还讨论了如何扩展在变电站中应用的数据元素和目标, 以提高网络功能。

(3) IEEE 1547 标准定义和描述了与电网相互连接的分布式能源, 包含电力系统、信息交换和验证检验三部分。

(4) IEEE 1646 标准规定了变电站内部和外部的通信传输时间的需求。这个标准把变电站通信分为几个类别, 并定义了每个类别的通信延迟需求。

4.2 IEC 标准

IEC 在电力系统的通信和控制方面提出了许多标准。常用的如下:

(1) IEC60870 提出了电力系统通信和控制方面的许多标准。标准定义了用于电力系统控制的通信系统, 通过这个标准, 电力设备间可以相互操作, 以实现自动管理。

(2) IEC61850 标准侧重于变电站的自动控制; 它定义了全面的系统管理功能和通信需求, 以促进变电站的管理。

(3) IEC61968 标准提供了配电领域与输电领域的设备和电网之间数据交换的信息模型。

(4) IEC62351 描述了网络安全, 它规定了达到不同安全目标的需求, 包括数据认证、数据保密、接入控制和入侵检测。

4.3 ANSI 标准

ANSI 设定的电力通信标准主要有:

(1) ANSI C12.19 标准描述了电力行业终端的数据表。它定义了终端设备和计算机之间数据传输的表结构, 终端设备和计算机之间利用二进制代码与 XML 传输。

(2) ANSI C12.18 标准是专为智能电表通信设立的, 它负责智能电表 (C12.18 设备) 和用户 (C12.18 客户) 之间的双向通信。

5 通信系统在智能配电网中的应用

通信系统在配电网中的应用有很多, 比如变电站自动控制、自动抄表技术、用户需求响应等, 这些都是智能配电网中的重要应用。它们利用先进的通信技术, 与电力设备和控制中心等进行数据传输, 达到自动控制或保护的目的。

5.1 变电站自动化控制

变电站是电力系统中很重要的部分, 它可以调节输电线路的电压和潮流。通常变电站由变压器、电容器、电压控制器和断路器等组成。变电站自动化控制将会在智能配电网中广泛的应用, 利用地区局域网进行实时监测与控制。变电站通信

中的技术一般包括以太网和无线局域网。为了连接变电站中的各个设备以及收集到变电站外的电力设备的一些数据信息, 需要安装专用的传感器。传感器把收集到的数据通过局域网传输到控制中心, 然后控制中心根据数据情况进行分析再把指令发送到各个电力设备。图 1 表示的是一个典型的变电站自动化通信系统的结构图。

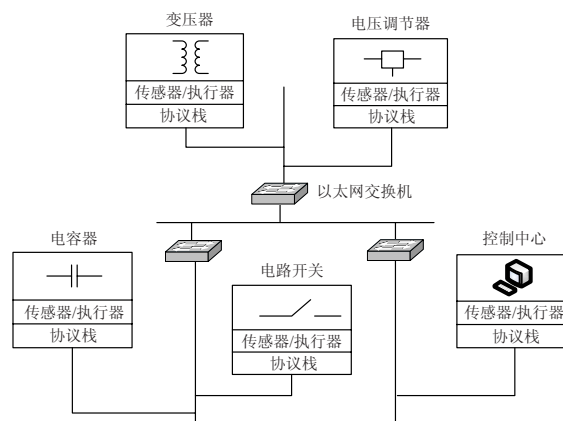


图 1 变电站自动化通信系统结构

因为以太网的传输速率和可靠性都比较高, 所以在变电站自动控制中, 骨干网一般都采用以太网通信技术。在变电站与下面的子站及电力设备的通信选用无线网组成的局域网, 因为它的成本较低且易于扩展维护。安装在电力设备上的传感器产生的数据经过网络协议栈的处理后, 将通过网络实时传输给控制中心。当控制中心收到这些数据时, 经过处理会作出反应, 并给电力设备发回控制信息。由于变电站同时监测和控制许多设备, 这些设备共享变电站的通信网络带宽。对于变电站的数据信息, 如果是用作维护, 通信延时允许在 1 s 内。如果数据提供的是实时监测与控制信息, 延时时间就必须在 10 ms 内。对于紧急的信息, 比如故障信息, 就必须立刻传输给控制中心, 延时时间应在 3 ms 内。

5.2 自动抄表技术

自动抄表技术是配电发展的重大进步, 可用于减少工人的工作量, 提高效率, 增加数据分析的速度。自动抄表技术可以看作是智能配电网中 AMI 的部分或者是其前身。它主要由智能电表、数据传输通道和主站系统组成。智能电表中的采集器将电能表中的用电信息传输给集中器, 集中器一方面向采集器下达电量数据冻结指令, 一方面将用户用电数据等主站需要的信息传输到主站数据库, 主站系统通过接收到的用电数据进行处理并反馈给集中器。图 2 所示是自动抄表技术的通信结构。

自动抄表技术在每个用户端都安装有智能电表, 电表通过无线网络将数据传输给主站。在数据传输过程中, 自动抄表系统可对用户实现分级授权管理, 并加装防火墙及进行数据

备份。智能电表采集到的用电信息可以同时传输给主站控制中心或者传输给用户,在传输给用户的过程中,一般允许有几秒的延时。

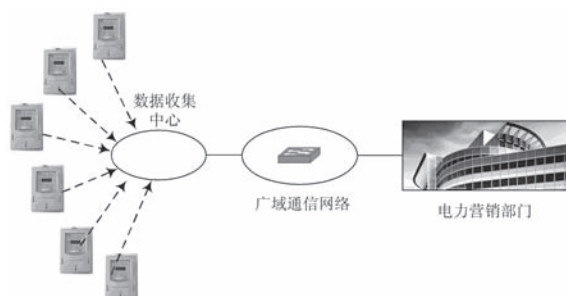


图2 自动抄表通信结构

5.3 用户需求响应决策

在智能配电网中,越来越多的分布式电源接入电网,许多家庭也安装了自己的分布式电源,比如太阳能板、小型风机等。由于大量的分布式电源接入,电力市场也变得多样化,实行阶梯式电价将更加有利。小型或者中型的分布式电源通过通信网络和电力交易平台连接在一起。根据电力产生和消耗的变化,电力市场中的电价将不断变化。用户通过之前建立的通信网络实时地获得电价信息,从而决定何时用电或者给电网供电,从而实现电网和用户的供需平衡,也保证了用户的需求。图3所示是用户需求响应决策的通信结构。

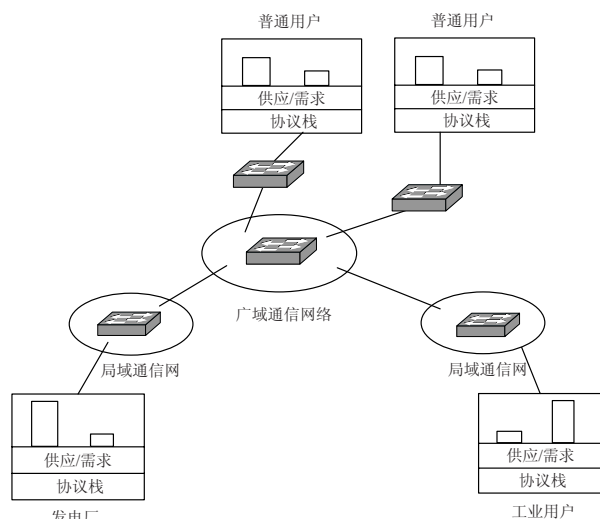


图3 用户需求决策通信结构

电力供应者和消费者通过广域通信网络公布他们的电力供应水平或者需求。用户通过不同的网络接入技术连接到电力市场中,比如普通用户可以用PLC或者电话线接入,一个大型的发电企业可能有它们专门的局域网连接到电力市场。需求响应的通信是实时、双向的,而且是高可靠性的。用户对于自己的用电信息和实时电价会比较关心,从而决定自己用电设备的启停。对于用户来说,他们希望需求响应的延时间在几秒之内,以便可以随时掌握动态的电价信息。需要指出的是,图

3中的普通用户、发电厂、工商业用户之间也是可以相互通信的。

6 智能配电网通信系统的未来发展方向

目前,对于智能配电网通信系统的研究范围已经比较广泛,涉及很多方面,比如可靠的通信技术、利于统一的通信协议等。然而,新兴的通信技术虽然对之前的技术有了很大的改进,但是,如果大规模替换会导致话费巨大。现在各个机构都建立了很多通信系统协议,但是并没有一个统一的标准,导致很多通信设备无法通用。总结本文论述的智能配电网的技术发展,未来智能配电网的通信网络的研究将侧重以下内容:

(1) 对智能配电网通信的建设要在现有的基础上进行改进升级,而不应当完全抛弃现有的通信网;

(2) 在研究新的通信技术的同时,对通信系统的规划应该根据实际情况来决定,合理搭配使用通信技术,使其可靠稳定而又经济;

(3) 由于智能配电网缺乏统一的标准,因此需要制定新的适合智能配电网的标准和协议;

(4) 研究评估一个通信系统的性能的仿真方法。

7 结语

智能配电网的实现需要建立双向、高速、实时可靠的通信系统的支持。本文综述了智能配电网中通信系统的相关内容,重点介绍了通信技术、通信系统的协议标准以及通信系统应用。在后续的智能配电网通信系统的研究中,确定统一的通信标准以及研究评估通信系统好坏的仿真方法是其关键。

参考文献

- [1] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网的基本理念 [J]. 天津大学学报, 2011, 44(5): 377-384.
- [2] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述 [J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.
- [3] 辛培哲, 李隽, 王玉东, 等. 智能配、用电网通信技术及组网方案 [J]. 电力建设, 2011(1): 22-26.
- [4] 张岚. 配电网自动化通信方式综述 [J]. 电力系统通信, 2008(4): 42-46.
- [5] SAUTE T, LOBASHOV M. End-to-end communication architecture for smart grids [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(4): 1218-1228.
- [6] MANEERUNG A, SITTICHIVAPAK S, HONGESOMBUT K. Application of power line communication with OFDM to smart grid system [C]// Eighth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). Shanghai: Circuits and Systems Society, 2011: 2239-2244.
- [7] 崔玉峰, 杨喆, 张林山. OFDM 通信技术在 AMI 及智能用电中的应用 [J]. 云南电力技术, 2010(3): 1-3.
- [8] 刘兴茂. WiMAX 技术在高级量测体系中的应用 [J]. 中国仪器仪表, 2011(10): 57-60.
- [9] 夏晓玲, 崔永红, 沈昱明. GPRS 技术在配电网通信中的应用 [J]. 自动化仪表, 2007(2): 44-46.