

配电网通信技术研究

彭 娟

(中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:配电网通信网是电力通信网的重要组成部分,一直以来由于缺乏适用的组网解决方案,成为电力通信网薄弱环节和制约智能电网在配用电侧应用的瓶颈。文章介绍了配电网的概念和特点,以及配电网自动化在电网中的重要性,通信技术作为配电网自动化系统的关键技术在电网中的重要性。通过对当前配电网常用几种主流通信技术进行了深入研究、分析其优缺点和进行经济技术比较,选择出经济、合理的配电网组网技术和建设方案。论证了在工程建设应用中,配网自动化通信系统大多采用以光纤通信方式为主、无线通信或配电线载波等方式为辅的组网模式。因此,对配电网自动化通信系统进行设计时,应先权衡各种方案的利弊进行通信方式的选择,然后根据配电网结构和配电网自动化的特点进行针对性的方案设计。只有这样才能建设一个稳定、可靠的配电网自动化通信系统,为配电网自动化打下良好基础。

关键词:配网通信网;光纤以太网;EPON;配电线载波;无线通信

文章编号:2096-4633(2018)08-0087-06 **中图分类号:**TM73 **文献标志码:**B

电力工业是国民经济的重要基础支柱之一,是经济发展的基石。随着社会的快速发展,人们的日常生活、工作学习中越来越离不开电能。

1 配电网及其特点

电力网分为输电网和配电网^[1],通常把电力系统中变电站低压侧直接或再降压后向用户供电的网络称为配电网,它由架空配电线路,电缆配电线路、变电站、开闭所及降压变压器等构成,配电网也称配电系统。由于我国是农业大国,配电网在我国通常又分为城市配电网和农村配电网。城市配电网容量较大,负荷密度也相对较高,供电环境比较好且负荷相对集中,供电可靠性较高;而农村配电网容量较小,对应的供电区域大,负荷密度较低,供电线路基础条件较差且范围分散,影响供电可靠性和安全性的不利因素较多。

配电电压等级一般可分为三类,即高压配电电压(35 kV~110 kV)、中压配电电压(10 kV)、低压配电电压(380 V/220 V),与上述电压等级相对应,配电网电压等级又可分为高压配电网、中压配电网和低压配电网,配电网是电力系统直接与电力用户相连接的部分,与输电网相比,配电网具有深入城市中心和居民密集点、传输功率和距离与输电网相比小很多、供电容量、电力用户性质、电能质量和供电可靠性不相同等特点。

2 配电网自动化的作用性

电力系统发展至今,配电网自动化是其必然趋势,其主要目的及意义在于:在配电网正常运行情况下,可以监测配电网运行工况,使配电网运行在最优状态;在配电网发生故障或异常运行时,通过通信系统返回的实时数据能够及时迅速的判断出故障范围,在允许的时间范围内通过合理的一次电力设备的开断,使电网能够隔离故障区域,恢复配电网正常区域的供电;根据配电网的实时数据,合理的调整无功补偿装置,使用户电压维持在正常波动范围内,减少电网损耗,提高供电质量;可以合理地、最优化地开断一次设备,控制用电负荷,提高供电设备的利用率;另外,由于劳动力资源的成本投入越来越超过自动化设备的投入,自动化系统的投入使用,不仅降低了劳动力成本,还可避免时间的浪费,提高供电企业的利润和工作效率。

所以在保证电力系统发电、输电的安全、稳定、坚强运行基础上,配电网自动化的实施可以最大限度的提高电力系统的供电质量和供电可靠性^[2],给用户提供优质的电能,满足人们的日常生活,工作学习的需要。因此,配电网自动化的实施对人们需求是十分必要的。主要表现在:

(1)显著提高供电质量和供电可靠性。通过实

施配电网自动化,由故障引起的停电次数可明显减少,故障范围也调节在可控范围之内,另外,实时数据的显示及历史数据的查询可帮助供电企业迅速分析出故障点,迅速组织修复,缩短停电时间。

(2)增加企业效益。通过配电网自动化,可减少电网损耗,增加供电。另外还可减少劳动力需求,使工作人员的劳动强度降低,减少劳动人员的配备,节约人力资本,调节设备运行在最优状态下,可以延长设备使用期,降低供电企业的成本。

(3)配电网管理水平提高^[3]。及时、迅速、丰富、准确、自动的配电网运行工况数据,为电网的管理提供了最为有力的数据基础。通过对数据的监测,供电企业可对自己的设备开断,线路运行及计划停电等做最优选择。

3 配电网通信技术的重要性

随着科学技术的飞速发展,使得电力通信从原来的电力载波通信发展到现在的电力光通信技术^[4]。电力系统的发电厂,变电站,输配电和继电保护等系统都先后采用了以光纤通信为主导的光通信技术与电子通信技术相融合的现代通信方式,并建成了相当规模的现代先进电力通信网络。

电力通信网络是电力系统内部的专用通信网络,有着跟公用电信网不同的特点,是公用电信网不可能替代的。它是电力系统监测电力设备的专用通道,有很强的专业性和必要性。它是随着电力系统发展而逐渐形成的。

电网运行数据采集的可靠性和实时性是电力系统通信网络最重要的特点,即在电力系统出现故障时,要尽快地把故障信息返回到监视界面,给调度人员提供判断依据,使电网迅速恢复。这就要求即使在电网中断的时候通信系统也能够正常工作,另外,电力业务对延时性的要求较高,不能耽误数据的及时上传,要求电网信息及时下发,命令迅速、及时、可靠。

所以配电自动化通信系统是连接配电自动化系统主站与开闭所现场配电测控终端的系统,是建设配电自动化系统的关键技术,通信系统的好坏在很大程度上决定了自动化系统的优劣。

4 技术分析

4.1 概述

在配电网的管理当中,通信技术是一项非常

关键的技术,它主要以信息技术为基础^[5]。通信网连接着配网自动化的主站系统和远方终端,是配网自动化系统的重要组成部分,通信系统的好坏对于配网自动化系统的功能实现和可靠运行有着直接的影响。配电网通信系统的主要任务是将后台控制中心的命令传递到智能终端,同时将智能终端的实时数据回送到后台控制中心,使得配网自动化系统可以完成设备管理、调度控制、故障处理等任务。

目前,配电网通信技术主要采用有线和无线两种方式,有线方式的主流技术包括光纤工业以太网、以太网无源光网络(EPON)^[6]、配电线载波(电缆屏蔽层)等,无线方式分为无线公网和无线专网两大类,主流技术包括 GPRS/CDMA、WiMAX、McWiLL、TD-LTE 等。有线、无线两种方式各有优劣,适用场景侧重不同。由于光纤通信具有传输速率高、抗干扰性强、可靠性高的优点,在工程建设应用中,配网自动化通信系统大多采用以光纤通信方式为主、无线通信或配电线载波等方式为辅的模式。

按照建设方投资方式又可分为租用、自建及租建结合的通信方式。自建方式主要是光缆通信、配电线载波通信、各种无线专网通信等;租用方式应用最为广泛的是 GPRS,在一些重要的场合租用运营商的光缆等;租建结合则是充分利用以上两种方式的优点,达到最优性价比。

4.2 有线通信方式

光纤通信技术指的是采用光纤介质的通信技术,具有传输速率高、抗干扰性强、可靠性高的优点,在条件允许的情况下,应是分支通信网的首选。以前制约光纤通信在配网自动化系统中应用的主要原因是投资大、敷设工程量大,而近年来随着技术的发展,光缆价格有了大幅度的下降,为光纤通信的大量应用创造了条件。

4.2.1 光纤工业以太网

光纤以太网是以光纤为通信介质的以太网。配网自动化系统采用以太网通信,可以充分地利用光纤带宽,提高数据传输速率与容量,更重要的是能够更好地适应配网自动化应用特点,主动上报数据,支持“例外报告”机制。此外,接到以太网上的 DRTU(即动态 RTU)之间能够对等交换数据,支持快速故

障自愈控制等分布式智能控制应用。

采用工业以太网的配网自动化系统结构如图 1 所示。

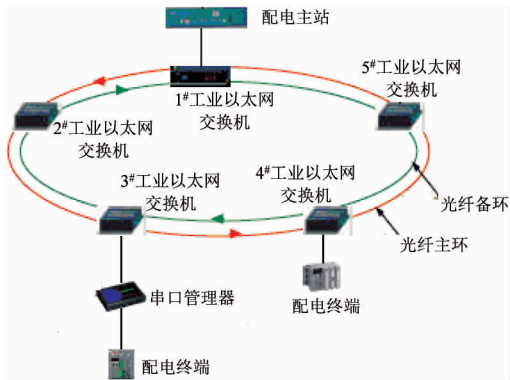


图 1 基于工业以太网的配网自动化系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of distribution automation system based on Industrial Ethernet

光纤工业以太网的不足之处是对一次网架结构变化的适应能力较差。当网架结构变化,改变 DRTU 布局时,需要对多个节点进行统一调整,配置维护工作量比较大。

4.2.2 以太网无源光网络(EPON)

以太网无源光网络(Ethernet Passive Optical Network, EPON)是无源光网络(PON)技术中的一种,EPON 采用点到多点网络结构、无源光纤传输方式,是一种能够提供多种综合业务的新型宽带接入技术,目前已经广泛应用于宽带接入市场^[7]。作为一种拓扑灵活、支持多种业务接口的纯光介质的接入技术,EPON 已在配网自动化系统中获得应用并呈现了广阔的前景。

EPON 这种无源网络技术,比光纤工业以太网更加适合配网自动化通信系统。因为在一个站点失去电源时,站点上的工业以太网交换机不能正常工作,可能导致整个光纤环路的通信中断;而对 EPON 来说,仅是该站点无法正常通信,并不影响整个光纤环路的正常工作。众所周知,电源是目前 DRTU 应用的薄弱点,故障率较高,EPON 的这一优点,对于提高配网自动化系统的可用性十分重要。

EPON 系统由网络侧的光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)、用户侧的光网络单元(Optical Network Unit, ONU)和光分配网络(Optical Distribution Network, ODN)组成,为单纤双向系统。所谓“无源”是指 ODN 中不含有任何有源电子器件,ODN 仅由光纤和无源光分路器(Passive Optical

Splitter, POS)等无源光器件组成,无需机房、电源及设备维护人员,有效节省了建设和运行维护成本。EPON 系统参考结构如图 2 所示。

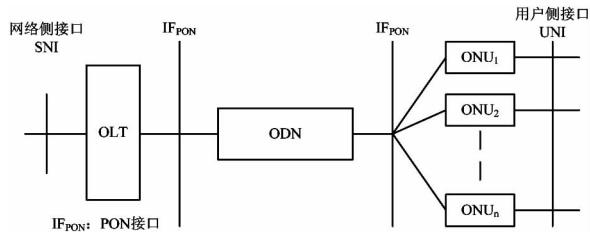


图 2 EPON 系统参考结构图

Fig. 2 The reference structure chart of EPON system

EPON 采用单纤波分复用技术,下行波长 1 490 nm,上行波长 1 310 nm。在下行方向采用加密广播方式,OLT 发送的信号通过 ODN 到达各个 ONU。在上行方向采用 TDMA(时分多址)方式并对各 ONU 的数据发送进行仲裁,ONU 发送的信号只会到达 OLT,而不会到达其他 ONU,避免了数据冲突并提高了网络利用率。

配电网中 EPON 系统常见的组网结构有链型组网、“手拉手”组网、“双 T”组网三种形式,如图 3 所示。

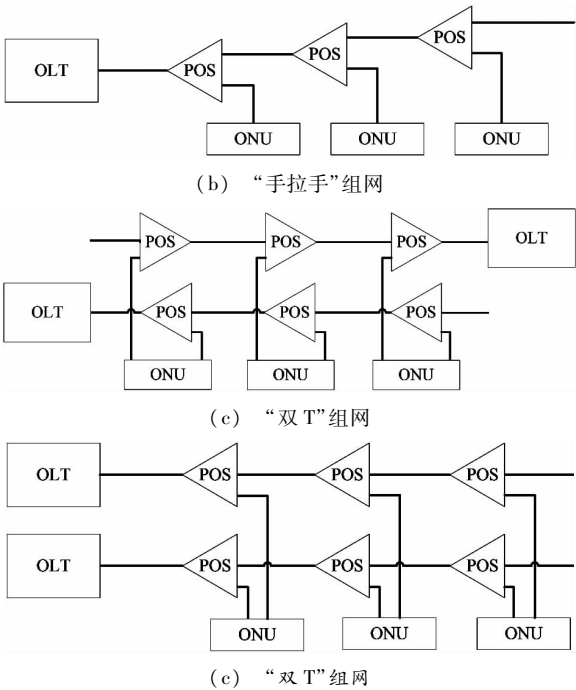


图 3 EPON 系统常见组网结构图

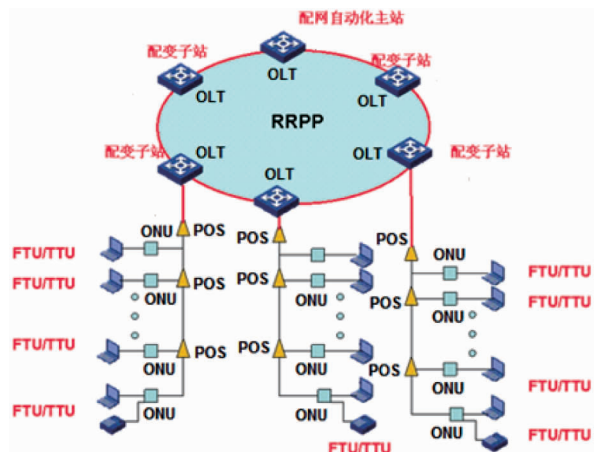
Fig. 3 Common network structure diagram of EPON system

采用 EPON 的配网自动化系统结构如图 4 所示。配网自动化系统中应用的 EPON 网络主要由以下三个部分组成：

OLT:光线路终端,是 EPON 网络的头端设备,负责 ONU 的接入汇聚功能。

ONU:光网络单元,是 EPON 网络的终端设备,负责监控数据的采集和主站命令的下发。

POS:无源光分路器,打通 OLT 与 ONU 的通信光路。



(c) “双 T”组网

图 4 基于 EPON 的配网自动化系统结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the structure of distribution network automation system based on EPON

4.2.3 配电线载波(电缆屏蔽层)

电力线载波(Power Line Carrier, PLC)是电力系统通信的一种主要方式,其原理是将信号按一定方式调制后,利用相应的耦合设备注入输电线,利用现有的输电线传输信息。尽管 PLC 在高压线路中有着广泛的应用,但将其用于配电线路却有着许多实际的困难:

(1)出于成本等考虑,配电线载波(Distribution Line Carrier, DLC)不像在输电线路中那样使用阻波器将信号的传播限制在线路两端之间,载波信号受电源、分支线与负荷的影响,衰减较大。

(2)配电网结构多变,对信号耦合与传播有影响。分段开关打开后造成信号通路断开,需在开关两侧安装信号耦合中继设备。

(3)信号经过变压器时的衰减大。

(4)信号在线路端点或阻抗不匹配点产生反射,反射信号与入射信号相互叠加可能造成“陷波”现象,使得一些点处于信号的波谷位置,信号幅值很小,影响检测灵敏度。

(5)线路故障影响通信可靠性。

鉴于以上原因, DLC 难以满足配电网监控对可

靠性与实时性的要求,因此在配网自动化系统中应用较少,目前只是主要用于自动抄表系统。

考虑到城市配电网中大量使用电力电缆,而利用电缆的绝缘屏蔽层(外屏蔽层)在电缆两端进行载波通信,载波信号在屏蔽层与大地(金属护套)所构成的信号回路中传播,减少了电源、负荷等因素的影响,提高了通信可靠性。利用电缆屏蔽层的 DLC 有注入式耦合和卡接式耦合两种信号耦合方式。注入式耦合方式在安装时需把屏蔽层的接地解开,将耦合变压器接在屏蔽层与大地之间,该方式下信号耦合效果好,但安全起见,安装时需要停电。卡接式耦合方式在安装时直接卡接到电缆上,该方式下信号耦合效果相对较差,好处是安装时不需要停电,施工方便。

电缆屏蔽层载波具有投资小、易于实施、与电网建设同步的优势,对于光缆施工困难的场合,是一种很好的替代方案,因此,在我国的配网自动化工程中有着一定的应用。其不足之处是易受一次网架和外界电磁干扰、传输速率低、网络的扩展性不高,同时受停电影响大,所以载波方式一般只作为配网自动化通信系统的辅助或补充方式。

4.3 无线通信方式

配网自动化系统应用光纤通信遇到的最大问题,是在一些建筑密集的城区施工困难,此外,还存在易受外力破坏、站点布局调整难的缺点;而无线通信具有安装方便、成本低、抗自然灾害能力强等优点,是对光纤通信的很好补充。配电网^[8]中各种终端设备的数量巨大,布局分散,且传输的数据量不大,对于一些偏远或者零散的终端来说,铺设光纤造价昂贵,而且资源较为浪费,所以无线通信是一种很好的替代解决方案。

无线通信^[9]按照网络性质分为无线公网和无线专网。目前应用的无线公网^[10]主要是 GPRS/CDMA 技术^[11],无线公网对用户的数量没有限制,用户使用公网的时候不需要建网维护,具有建设周期短、网络成本低等优点,但是电力系统和公众用户共用网络,缺乏有效的安全保障。而无线专网主要有 WiMAX、McWiLL、TD-LTE 等几种主流技术,具有容量大、安全、建设方式简单、实施周期短、见效快等优点,由于专网专用,其业务质量、带宽保证、安全隔离和覆盖范围能够完全满足电力系统的业务需求。

4.4 通信方式的比较

5 结论

配电网作为直接面向客户需求的环节,通过对用户用电情况的实时监控,采取削峰填谷,通过有效转移负荷,在现有网架基础上 配送更多电量,实现对电网保护和控制优化,提供电网的工作效率,它在电网安全、可靠、稳定运行中起着重要作用。

表 通信方式性能比较表

Tab. Performance comparison table for various communication modes

	光纤通信	电力载波	无线公网	无线专网
建设成本	高	中	低	中
实施难度	高	中	低	中
建设周期	长	中	短	短
传输带宽	高	低	低	中
QoS 保障	高	低	低	高
安全性	高	高	低	高
可维护性	低	中	低	高
可长期发展	高	中	低	高

相对于骨干电网,配电网特别是 10 kV 及以下电压等级网络具 有结构复杂、电压等级多、配电设备数量多、支线多、分布广的特点。由此也决定了配电网数据业务具有接线复杂、分布分散、通信 点多、通信设备工作环境较差、单个通信点信息量仅几百波特但基础数据库的信息量非常庞大的特征。从目前的技术条件看,没有一种单一的通信方式能够全面满足各种规模的配电自动化系统的需要。

应结合地区特点的具体情况采用不同的通信方式,组成现阶段较为流行的混合通信系统。如在光纤资源丰富可靠时,可以采用光纤通信方式等;配电线载波通信方式可以在变电站可作为通信集结点和与馈线 RTU 之间采用的通信方式^[12];而远方抄表系统可采用控制中心直接与无线公网 GPRS 联系^[13]。这样,不同的通信方式的优点得以充分发挥^[14],而且注意避免了其缺点,优缺点的相互抵消是整个系统的投资可以达到一个相对较低的水平。在选择通信方式时,应充分利用各地区原有的通信基础设施,巧妙组合,合理利用,达到减少投资。光纤通信网络还在不断升级发展^[15],特别是随着智能电网的不断发展,配电网自动化通信系统将更加高

效和智能。

参考文献:

[1] 梅生伟,王莹莹. 输电网-配电网-微电网三级电网规划的若干基础问题[J]. 电力科学与技术学报,2009,24(04):3-11.
MEI Shengwei WANG Yingying. Several basic problems of three-level power network planning of transmission network-distribution network-microgrid[J]. Journal of Electric power Science and Technology,2009,24(04):3-11.

[2] 孙中伟,马亚宁,王一蓉,等. 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(08):72-75.
SUN Zhongwei, MA Yaning, WANG Yirong, et al. A communication system for distribution automation using EPON and its security mechanism[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010,34(08):72-75.

[3] 顾瑞婷,陈虹,朱菲菲,等. 智能配电网通信技术几个问题的探讨[J]. 电力系统通信,2011,(11):80-83.
GU RuiTing, CHEN Hong, ZHU FeiFei, et al. Discussion on communication technology for smart distribution network [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2011, (11): 80-83.

[4] 马韬韬,李珂,朱少华,等. 智能电网信息和通信技术关键问题探讨[J]. 电力自动化设备,2010,(05):87-91
MA Taotao, LI Ke, ZHU Shaohua, et al. Discussion about information and communication technology of smart grid [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,(05):87-91

[5] 李乃湖,倪以信,孙舒捷,等. 智能电网及其关键技术综述[J]. 南方电网技术,2010,04(03):1-7.
LI Naihu, NI Yixin, SUN Shujie, et al. Survey on smart grid and relevant key technologies[J]. Southern Power System Technology, 2010,04(03):1-7.

[6] 戴为,陈虹,徐伟. 基于 EPON 通信技术的智能配电网方案研究[J]. 电力系统通信,2012,33(09):61-65.
DAI Wei, CHEN Hong, XU Wei. Research of smart distribution network based on EPON communication technology [J]. Telecommunications for Electric Power System,2012,33(09):61-65.

[7] 李学易,韩一石,韩国军,等. 基于 EPON 的综合接入组网设计[J]. 光通信技术,2007,31(09):14-17.
LI Xueyi, HAN Yishi, HAN Guojun, et al. Integrated access network design based on EPON [J]. Optical Communication Technology,2007,31(09):14-17

[8] 孙建平,林长锥. 基于 TD-LTE 的智能配电网终端通信技术研究[J]. 电力系统通信,2012,33(07):80-83.
SUN Jianping, LIN Changzhui. Research of smart distribution terminal communication technology based on TE-LTE [J]. Telecommunications for Electric Power System,2012,33(07):80

- 83.

- [9] 王爽. 基于 TD-LTE 技术的配电网无线通信技术研究[J]. 无线互联科技, 2015, (06): 20-21.
WANG Shuang. Study on distribution network of wireless communication technology based on TD-LTE technology [J]. wuxian hulan keji, 2015, (06): 20-21.
- [10] 赵晨光, 雷振山. 基于无线公网的工业通信技术开发与应用[J]. 通信技术, 2008, 41(10): 204-206.
ZHAO Chenguang, LEI Zhenshan. Development and application of industrial communication technics based on wireless public network [J]. Communications Technology, 2008, 41(10): 204-206.
- [11] 卢新波, 杜瑞红. 基于 GPRS 的配网自动化系统组网方案的探讨[J]. 继电器, 2006, 34(01): 76-78.
LU Xinbo, DU Ruihong. Constituent project of distribution automation system based on GPRS [J]. Relay, 2006, 34(01): 76-78.
- [12] 张维, 王焕文, 郭上华, 等. 电力线载波通信在 10 kV 配电网自动化中的关键技术研究[J]. 广东电力, 2013, 26(01): 14-18.
ZHANG Wei, WANG Huanwen, GUO Shanghua, et al. Study on key technology of power line carrier communication in automation of 10 kV distributed network [J]. Guangdong Electric Power, 2013, 26(01): 14-18.

- [13] 赵羨龙, 王金芝. 基于 GPRS 的用电管理系统及其智能终端介绍[J]. 华中电力, 2005, 18(04): 28-30.
ZHAO Xianlong, WANG Jinzhi. The presentation of power consuming administrative system and it's smart collect unit based on GPRS [J]. Central China Electric Power, 2005, 18(04): 28-30.
- [14] 张磊, 邱绍峰. 4G 移动通信技术[J]. 通信技术, 2007, 40(11): 193-195.
ZHANG Lei, QIU Shaofeng. 4th generation mobile communications technique [J]. Communications Technology, 2007, 40(11): 193-195.
- [15] 梁丹丹. 配网通信技术混合组网实现及应用[J]. 贵州电力技术, 2015, 18(02): 52-54.
LIANG Dandan. Realization and application for communication technique in hybrid network of distribution grid [J]. Guizhou Electric Power Technology, 2015, 18(02): 52-54.

收稿日期: 2018-06-25

作者简介:



彭娟(1980), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从电力系统通信技术的应用研究工作。

(本文责任编辑: 龙海丽)

Research on communication technology of distribution network

PENG Juan

(Power China Guizhou Electric Power Design & Research Institute Co., Ltd., Guiyang 550002 Guizhou, China)

Abstract: Distribution network is an important component of the electric power communication network, has been due to a lack of suitable network solutions, become electric power communication network vulnerabilities and the bottleneck of restricting the smart grid application in distribution side. Article first introduces the concept and features of distribution network, this paper introduces the importance of distribution network automation in power grid, communication technology for distribution network automation system of the importance of key technologies in power grid. Through several mainstream communication technologies, which are used in the current distribution network were studied, analysis the advantages and disadvantages and economic and technical comparison, choose the economic and reasonable distribution network networking technology and construction scheme. It is proved that in the application of engineering construction, most of the automatic communication systems of distribution network adopt the networking mode of optical fiber communication, wireless communication or transmission line carrier. Therefore, the communication system design, power distribution automation system should weigh the pros and cons of various solutions to the choice of the ways of communication, then according to the characteristics of the power distribution automation system in power distribution network structure and specific design. Only in this way can we build a stable and reliable automatic communication system of distribution network and lay a good foundation for automation of distribution network.

Key words: communication of distribution network; fiber optic ethernet; EPON; distribution line carrier; wireless communication