



国家电网公司智能电网 IPv6 应用探讨^{*}

黄毕尧, 郭经红, 权楠, 汪洋, 丁慧霞, 刘国军, 仝杰, 张庚, 王楠

(中国电力科学研究院 北京 100192)

摘要:智能网络是开放式、分布式的架构,由多个互联网的、可寻址的、独立管理的实体所构成,需要构建一个良好的数据通信网络来支撑智能电网所有组件之间自由、安全地交换数据。在描述国家电网公司智能电网发展现状和数据通信网络现状的基础上,分析了智能电网数据通信网络应用互联网协议的内在需求,并指出 IPv6 技术在智能电网中应用的重要意义,基于标准先行的重要性,分析了标准体系规划、需要关注的现有国际标准,最后阐述了国家电网公司目前数据通信网络过渡到 IPv6 的实践工作,可为下一代互联网技术在智能电网中的应用提供参考。

关键词:智能电网;下一代互联网;IPv6;信息通信技术

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.09.005

Application of IPv6 for State Grid Corporation Company Smart Grid

Huang Biyao, Guo Jinghong, Quan Nan, Wang Yang, Ding Huixia, Liu Guojun, Tong Jie, Zhang Geng, Wang Nan

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Smart grid must be open, distributed architecture, there are multiple internet, addressable, independently managed entity. Smart grid need to build a data communication network to support the exchange data freely and safely among all the components. The state grid corporation smart grid status and data communication network were described. IPv6 application is internal demand for smart grid construction, and the IPv6 technology applications in the smart grid is important, after that the standard development planning and existing international standards development status were analyzed, and finally the data communication network transition to IPv6 practical work was described. This analysis work for the next generation of internet technology in the smart grid application can be a reference for the smart grid development.

Key words: smart grid, next generation internet, IPv6, information and communication technology

1 引言

受全球气候变化、生态环境恶化、传统能源短缺等诸多问题的影响,当今世界能源格局正在发生重大而深刻的变革。近年来,很多国家提出了智能电网发展理念,赋予其

承载保障能源安全、促进能源清洁高效利用和提振经济发展等重要使命。智能电网已经成为当今世界电网发展的新趋势、新方向^[1]。智能电网在传统电网的基础上,充分利用信息技术和通信技术,全景实时采集和分析关于发电、输配电和用电各环节信息,通过这些信息,电力公司可以把

^{*} 国家发展和改革委员会专项基金资助项目“下一代互联网技术在智能电网应用的关键技术研究与应用示范工程”(No.CNGI-12-03-037),中国电力科学研究院科研创新基金资助项目“智能电网集成通信模型研究”(No.XX83-13-002)

整个电力系统作为一个高度集成化的框架加以管理。要实现智能电网发展目标,必须克服一个根本性的挑战:如何在电力网的所有组件之间,自由、安全地交换数据。为了做到这一点,智能网络必须是开放式、分布式的架构,由多个互联网的、可寻址的、独立管理的实体所构成^[9]。本文分析了国家电网公司智能电网建设现状和数据通信网络现状,提出 IPv6 在智能电网的应用需求,设计了 IPv6 应用与智能电网的标准体系,描述了公司应用实践,可为下一代互联网技术在智能电网中的应用提供参考。

2 现状分析

2.1 智能电网建设现状

国家电网公司智能电网的总体发展目标是:“建设以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展,具有信息化、自动化、互动化特征的自主创新、国际领先的坚强智能电网。”坚强智能电网将主要围绕发电、输电、变电、配电、用电、调度六大环节及通信信息平台进行建设,全面覆盖传统电力系统的所有领域。坚强智能电网在战略理论、试点规模、覆盖领域、推进速度、建设进度等方面均处于世界领先水平。

- 全面完成了电网智能化规划编制,为智能电网全面建设提供了依据,组织开展了电网智能化中长期规划和“十二五”规划的编制工作,完成了《国家电网智能化规划总报告(2009-2020年)》和《国家电网公司“十二五”电网智能化规划》报告。
- 试点工程建设全面稳步推进,从2009年开始,国家电网公司在26个区域和省级电网共安排了3批智能电网试点项目,开展了300多项智能电网试点项目的建设。
- 支撑试点项目的关键技术标准编制完成,为智能电网规范化建设提供了依据,公司组织开展了智能电网技术标准体系研究,编制完成并向社会正式发布了《国家电网公司智能电网技术标准体系规划》,积极参与国际智能电网标准化竞争。
- 研究检测中心建设硕果累累,为智能电网试点工程提供了有力支撑,国家能源太阳能发电研发(实验)中心、国家电网智能用电技术研究检测中心、国家能源大型风电并网系统研发(实验)中心相继建成投运。

从技术角度来解读,智能电网是将现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术与物理电网高度集成而形成的新型电网,它需要各类信息与通

信技术(ICT)、物理电网有机地集合在一起。国家电网公司在坚强智能电网的建设过程当中,大量加强智能电网信息通信平台建设。包括改造升级电力通信骨干传输网和数据网、加强配电侧和用电侧通信网等,建设企业级信息系统,加强信息通信网络的监控管理和集中运维,为公司电网智能化发展奠定了重要的基础。

2.2 数据通信网络现状

一般而言,世界各地的电力公司对于重要的数据通信节点,如电厂、变电站、大用户均大多建设通信专网,国家电网公司建有目前世界上最大的电力系统通信专用网络。因为 IPv6 重点解决数据通信网络通信层的问题,对相关问题的认识首先必须基于数据通信网络的现状,并全面考虑到信息通信融合的趋势,从而找出 IPv6 应用部署需要重点关注的问题。以国家电网公司数据通信网为例。目前,国家电网公司数据通信骨干网有56个节点,包括核心节点7个、骨干节点35个,直调厂站15个。核心节点包括公司总部、北京灾备中心、上海灾备中心和西安灾备中心以及公司各分部等节点;骨干节点包括各个省、直辖市电力公司、公司直属单位等节点;直调厂站包括三峡电站、特高压变电站、换流站和开关站等节点。

数据通信骨干网现有 VPN 业务12个,分别为信息业务、调度业务、通信业务、运行信息业务、运行视频监控业务、应急指挥视频监控业务、应急视频监控业务、国调会商视频会议系统业务、工程设计评审平台视频会议系统业务、应急指挥中心视频会议系统业务、行政高清视频会议系统业务、物资评标视频会议及监控系统业务。按照业务流量类别,主要包含信息业务流量、视频类业务流量和其他业务流量。信息 VPN 覆盖国网总部、各省公司及直属单位,为数据通信骨干网流量最大的 VPN 业务,业务实时应用,主要应用流量为信息访问流量(包括办公自动化、邮件、门户等)和灾备复制流量。

除了公司数据通信骨干网以外,公司各分、各省公司、地市、县等均有专门的数据通信网络,用于自己管辖区域的电网运行控制和电网管理。

最近几年,国家电网公司建设了用电信息采集系统、输变电状态监测系统、电网统一视频监控系统等,这些系统均涉及大量的终端,并且信息会从现场终端通过数据通信网络传输到省公司、总部数据中心等。

这种应用如果能基于全 IPv6,将会带来应用性能的极大提升。但是这些应用在现场智能设备通信端,不但还没



有实现 IPv6,甚至还没有实现 IPv4。

3 需求分析

电力系统包括很多子系统,一般来说,每个子系统都为其内部的数据交换设定了专门的规则,这些数据交换规则被称为通信协议,因为这些不同的设备使用不同的通信协议进行数据交换,而这些协议本身并不适合互相沟通,所以实质上构成信息“孤岛”,很难实现跨越多个系统的集成通信,或者关联来自多个系统的设备和数据。

智能电网的发展,将会有海量的各种智能终端需要管理,包括变压器、智能电表等,如果考虑到各种用户侧智能设备,则其数量和数据量将对数据实时采集、传输和处理带来极大挑战,建立高速、双向、实时、集成的通信系统是实现智能电网的基础。智能电网在通信技术领域主要关注两个方面。其一是开放的通信架构,形成“即插即用”的环境,使电网元件之间能够进行网络化通信;其二是统一的技术标准,能使所有的传感器、智能电子设备以及应用系统之间实现无缝通信。众所周知,在实际运营 IPv4 网络过程中,发现 IPv4 存在先天不足。这些问题包括,IP 地址容量受限、无源地址认证导致 IP 地址伪装,三角路由导致移动性能差、安全性不好、配置复杂、路由表膨胀、端到端的业务模式缺少等问题。IPv6 地址量大,能够实现电网中每个设备都能有一个 IP 地址;传输效率高、速度快、网络安全性高;严格规范的管理确保网络的通畅;无状态地址自动分配的特点,可以支持新增设备迅速连接到网络上,真正实现即插即用的功能。IPv6 的以上特性很好地满足了智能电网在通信方面的要求,在该领域有广阔的应用前景。

总体而言,智能电网必须有针对性地解决的问题包括:

- 在多种介质上传输数据,比如智能电网的数据必须能够在不同的网络介质上可靠传输,包括铜线、光纤和无线;迅速地采集和分析大量数据,智能电网必须能够获取大量数据,并加以分析,根据这些数据提供电力管理建议,所有这些都必须以近实时的方式实现;
- 跟随行业的变革和发展进步,随着技术的发展进步,新的硬件设备 and 应用不断涌现,智能电网也必须能够随之进步,同时,必须能够以尽可能低的成本和难度,将这些技术成果吸收到网络当中,连接大量的设备,智能电网架构必须传输和关联来自数百万甚至数亿的新型智能设备数目,而且连接到智

能电网的数目每年还会迅速增加;

- 保持可靠性,确保极高的网络可用性至关重要,提高数据网络可靠性,减小其对电网可靠性的影响;
- 连接多种类型的系统,智能电网必须能够与不同的硬件连接和交换数据,包括家用电器中的智能传感器、家用能源计量表和变压器等;
- 确保安全性,由于智能电网所提供的技术和服务的關鍵性,它将会成为恐怖袭击和网络攻击的重要对象,要从传统的能源网络发展为智能电网,需要采用一种根本性的安全策略和安全机制,保障这个关键性基础设施的安全^[5,6]。

4 标准体系规划

为了促进下一代互联网技术在智能电网中的应用,并不影响电网安全可靠的前提下有效提升电网智能化水平,通过分析研究,国家电网公司 IPv6 标准体系总体可分为技术类标准、测试类标准和管理类规范。

- 技术类标准包括基础标准、公网应用标准和专网应用标准。基础标准主要由国际标准(IETF、3GPP2)和国内通信行业(中国通信标准化协会)颁布的标准组成;公网应用标准主要由国际标准(IETF、3GPP2、ITU-T)和国内通信行业标准(中国通信标准化协会)组成;电力系统应用标准主要是国家电网公司预计会在近两年颁布的公司标准或者电力行业标准。
- 测试类标准主要包括通信行业通用测试标准和电力系统专用应用测试标准。主要包括协议测试、设备测试、安全测试和应用测试,前3类测试标准主要由中国通信标准化协会结合有关国际标准颁布;对于电力系统的应用测试,主要需要针对各种业务系统(如视频监控、输变电状态监测、智能用电服务等)对网络功能和性能在公网基础上的提升要求,制定相应的测试规范。
- 管理类规范包括建设规范和运行管理规范。此类标准主要是国家电网公司标准和电力行业标准。

图1为IPv6应用于智能电网的标准体系示意。

应用规范包括公司 IPv4 网络向 IPv6 网络过渡总体规范、公司信息网络 IPv6 地址编码规范、IPv4 网络向 IPv6 网络过渡信息安全规范、IPv4 网络向 IPv6 网络过渡网络设备升级规范、IPv4 网络向 IPv6 网络过渡数据中心升级规

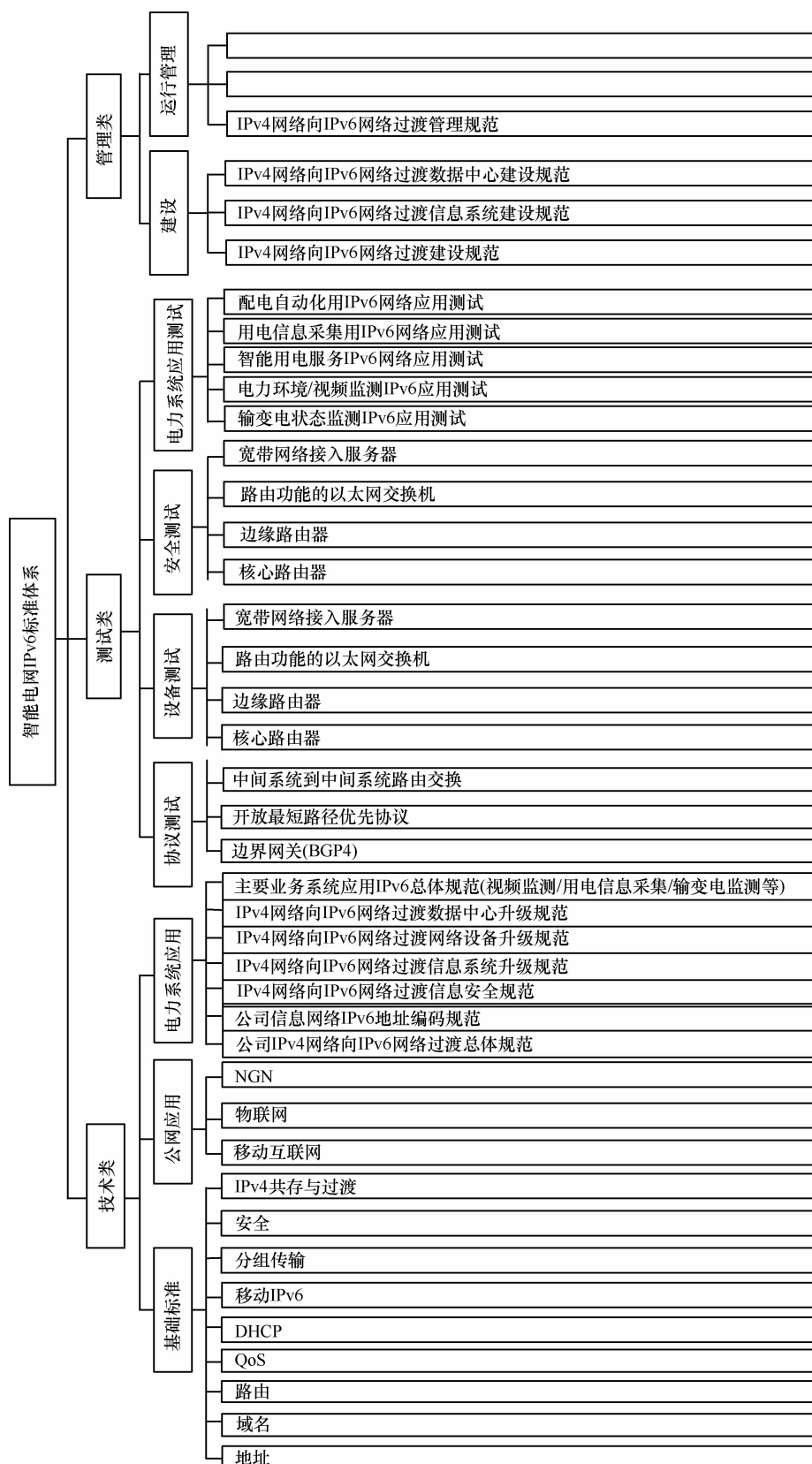


图 1 IPv6 应用于智能电网的标准体系



范、主要业务系统应用 IPv6 总体规范(视频监控/用电信息采集/输变电监测等)等;应用测试(功能和性能)可包括输变电状态监测应用支持 IPv6 能力测试、电力环境/视频监控应用支持 IPv6 能力测试、智能用电服务应用支持 IPv6 能力测试、用电信息采集应用支持 IPv6 能力测试、配电自动化应用支持 IPv6 能力测试等;建设/运行/管理包括 IPv4 网络向 IPv6 网络过渡建设规范、IPv4 网络向 IPv6 网络过渡信息系统升级建设规范、IPv4 网络向 IPv6 网络过渡数据中心升级建设规范等。

5 IPv6 应用于智能电网相关的国际标准

除了标准体系规划,还需要快速开展试点应用和标准制定,并关注该领域的国际标准开发及应用,这些都是参与智能电网市场国际竞争的关键。以下标准的开发和应用多少涉及对 IPv6 技术的描述。其推广应用将极大地促进 IPv6 技术在智能电网中的应用。

IEC PC118 智能电网用户接口技术委员会是国家电网公司 2011 年申请成立的,基于智能电网的跨领域特点,该技术委员会是 IEC 历史上第一个标准范围跨越 ISO、IEC、JTC1、ITU-T 的标准化组织,专门开展智能电网用户交互应用方面的标准制定,秘书处设在中国电力科学研究院。目前,在中国、美国、法国、日本、韩国、印度等各国专家的参与下,基本完成前期的标准框架、标准范围等的研究工作,其中重要的标准开发对象是制定各种用户侧智能终端接入电网的信息通信接口标准,需要协调现有用户侧大量的智能家居、智能楼宇通信协议,这些协议包括基于 IP 的通信协议和非 IP 的通信协议。

天地互联、中国电信公司等参与制定的标准 IEEE 1888 泛在绿色节能网络协议(standard for ubiquitous green community control network protocol),用 IPv6 下一代互联网技术服务节能减排的创新型标准,IEEE 1888 兼容 BACnet 等工业控制总线系统,支持对太阳能、风能的远程分布式管理,支持 6LoWPAN、Wi-Fi 等无线技术,采用广域 IPv4/IPv6 网络进行传输,基于统一绿色节能平台对各种用能设备进行控制。IEEE 1888 在实际应用中,可以实现广域范围的系统部署,将商用楼宇、民用住宅、工厂、数据中心、监控中心、政府信息化平台等有机地结合在一起,构成一体化的绿色节能系统。目前,该标准正在 ISO/IEC JTC1 开展国际标准工作。

2011 年,思科公司开发了标准 RFC6272 智能电网互

联网协议(internet protocol for the smart grid),初步对互联网技术在智能电网中的应用做了规范,并以智能电网中的高级量测基础为例,介绍了网络的设计^[3]。ISO/IEC JTC1 WG7 传感网标准工作组目前正在制订标准 ISO/IEC 30101 智能电网传感器网络接口(sensor network and its interface for smart grid system),对智能电网中涉及的数据交换节点之间的网络接口做了系统化的描述。目前,IEC57 WG21 正在制定的标准 IEC62746 系统连接到智能电网的接口和通信协议(systems interfaces and communication profile for systems connected to the smart grid),主要满足用户侧能源管理系统连接到智能电网开展需求响应等应用的需求,基于 XMPP 描述信息交换的流程和内容,并定义系统架构。对于 IPv6 部署,重点应用的标准包括 RFC4944 Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks、RFC5121 Transmission of IPv6 via the IPv6 Convergence Sub Layer over IEEE 802.16 Networks、RFC6180 Guidelines for Using IPv6 Transition Mechanisms during IPv6 Deployment 等。

6 IPv4 到 IPv6 的过渡实践

为了推动我国 IPv6 网络在电力行业的落地应用,研究和验证 IPv6 技术在智能电网中的应用研究,国家电网公司开展了下一代互联网技术的应用研究与示范应用建设。

针对目前国家电网数据通信骨干网现状,建设 6vPE 过渡技术试点,6vPE 是阿尔卡特和思科等公司在 2006 年制定的标准 RFC4659(BGP-MPLS IP virtual private network (VPN) extension for IPv6 VPN)中规范的一种 IPv4 到 IPv6 的过渡技术。

具体实施如下:若干个省电力公司骨干节点 PE 路由器不变,新增部署 CE 路由器,配置 CE 路由器 6vPE,省 PE 路由器上部署 IPv6 VPN,用于多点对多点连接孤立 IPv6 网络。信息流走向上,IPv6 业务信息流汇聚到数据网骨干各省公司节点的 PE 路由器上,然后再上联到各个公司分部节点,最后到达总部节点,在总部完成交互。在接入层网络设计上,应充分考虑到不影响现有各项业务的稳定运行。因此采取新增两台 IPv6 业务 CE 路由器的接入方式,将原有 IPv4 业务流量和 IPv6 业务流量分开。两台新增 CE 路由器以主备模式部署,实现设备和链路的冗余。采用此种网络结构设计,对现有网络结构和稳定运行影响最小。同时,考虑到建设成本,由于目前骨干层 PE 路由器均可支持 IPv6,因此,无需进行 PE 设备升级,只需新购支持 IPv6 的

CE 路由器,便可完成对 6vPE 的部署,节约了设备投资。为了同时支持变电站 IPv4 视频监控终端和 IPv4 视频监控终端,在省电力公司端、省电力公司和变电站之间、变电站段的路由器和交换机进行双栈改造。试点和应用系统包括电网统一视频监控、输变电状态检测、95598 用电服务中心。新建支持 IPv6 的变电站视频监控系统,新建网络摄像机直接接入 IPv6 交换机,采取支持 IPv6 的网络技术,完成 IPv6 设备的视频数据从站端经省(市)到总部的传输。新建支持双栈协议的输变电状态检测数据采集器和数据集中器。改造 95598 供电服务中心系统为双栈支持。

7 结束语

下一代互联网作为我国战略性新兴产业,得到国家的高度重视,并出台相关规划,2013 年年底,开展 IPv6 小规模商用试点,形成成熟的商业模式和技术演进路线,2014-2015 年,开展大规模部署和商用,实现国际互联网协议 IPv4 与 IPv6 主流业务互通。智能电网的发展对于 IPv6 具备内在需求,国家电网公司在智能电网建设过程当中,积极开展了 IPv4 到 IPv6 的过渡技术升级工作,在建设智能电网应用系统过程中,采用 IPv6 终端和支持双栈的应用系统,开展下一代互联网技术的应用研究与示范应用建设,推动我国 IPv6 网络在电力行业的落地应用,将对电力行业乃至其他行业有重要的示范作用。随着智能电网的发展,大量的智能设备、数据采集终端将部署在电网中,从发电、输电、变电、配电到用电各个环节,并且存在主站控制中心或者数据监测中心往大量现场终端广播数据或者控制命令的应用场景,IPv6 将会在智能电网建设过程中获得逐步应用。电网公司需要通盘考虑 IPv6 地址段申请、地址分配,IPv6 应用过程中的网络规划设计,网络过渡进程的总体规划、过渡过程中的安全隐患等重要问题,这些问题仅需要开展广泛的试点和建立完善的标准以保障技术过渡期对电网运行安全不产生安全问题。智能电网与下一代互联网技术的结合,将会使电力技术、信息技术和通信技术更好地集成一个架构合理、互操作性良好的体系框架,有效提高系统集成性能,带动相关应用发展,对于智能电网的长期健康发展具有重要意义。

参考文献

- 1 国家电网公司.国家电网公司智能电网标准体系, 2010
- 2 NIST. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid

Interoperability Standards, Release 2.0, 2012

- 3 RFC6272. Internet Protocols for the Smart Grid, 2011
- 4 周孝信. 新能源变革中电网和电网技术的发展前景. 华电技术, 2011, 33(12)
- 5 杰里米·里夫金. 第三次工业革命. 张体伟, 孙豫宁译. 北京: 中信出版社, 2012
- 6 国际电工委员会(IEC). IEC 2010-2030 应对能源挑战白皮书(智能电气化—提高能效之路). 国家电网公司, 中国电力科学研究院译. 北京: 中国电力出版社, 2012

[作者简介]



黄毕尧,男,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

郭经红,男,博士,中国电力科学研究院教授级高级工程师、信息通信研究所副所长,主要研究方向为智能电网信息通信关键技术以及电力通信系统规划、设计和管理等工作。

权楠,男,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

汪洋,男,博士,中国电力科学研究院高级工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

丁慧霞,女,中国电力科学研究院高级工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

刘国军,男,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

仝杰,男,博士,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

张庚,男,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

王楠,女,中国电力科学研究院工程师,主要研究方向为智能电网信息通信技术。

(收稿日期:2013-06-05)