

# 泛在电力物联网智联单元设计与实现

王洪勉, 孙慧, 郑利斌, 李新军

(国网信息通信产业集团北京智芯微电子科技有限公司, 北京 102299)

**摘要:** 目前, 低压配电台区设备种类繁多、通信接口各异, 不能有效地接入电力物联网中, 进而形成各个孤立单元, 使电网企业无法感知低压配电台区的工作状态及运行情况。智联单元作为独立的单元应用在低压配电设备中, 为低压配电台区设备接入泛在电力物联网提供统一接口。文章充分考虑低压配电设备通信协议的现状, 结合电网企业对电力设备地址IP化的要求、各种电力通信技术的特点、先进的系统部署与软件升级方案、“国网芯”战略, 深入研究IPv6通信协议、高速载波通信技术、微功率无线技术, 研发了可应用于无功补偿设备、三相不平衡设备、智能断路器等电力设备的泛在电力物联网智联单元, 旨在解决当前低压电力设备通信协议不一致、许多设备未实现有效互联, 电力设备分散未有统一的IP地址等问题。该智联单元的研制与应用, 可以实现低压设备的入网, 达到有效互联、全面感知。

**关键词:** 区域能源互联网; 泛在电力物联网; 双模智联单元; CoAP协议; IPv6

**中图分类号:** TM73   **文献标志码:** A   **DOI:** 10.19421/j.cnki.1006-6357.2019.06.002

## 0 引言

目前, 世界主要国家已将物联网作为抢占新一轮经济科技发展制高点的重大战略, 中国也将物联网作为战略性新兴产业上升至国家发展重点的高度, 并在《“十二五”规划纲要》中明确提出要推动物联网关键技术和重点领域的应用示范, 成为近年发展“物联+”国家行动计划中的重要内容。国家电网有限公司2019年明确指出要建设运行“泛在电力物联网”。泛在电力物联网是覆盖能源电力“云、网、端”, 与智能电网“共生共存”的“第二张网”, 是新时代国家电网信息化发展的新战略。泛在电力物联网是实时联接能源生产、传输、消费各环节设备、客户、数据, 全面承载电网运营、企业运营和客户服务等全业务的新一代信息通信系统<sup>[1-2]</sup>, 具有终端泛在接入、平台共享开放、计算云网协同、数据驱动业务、应用按需定制等特征, 与智能电网<sup>[3-5]</sup>深度融合, 共同构成能源互联网<sup>[6]</sup>。

**基金项目:** 国网信息通信产业集团两级协同项目(SGIT0000YFJS1800516)。

Supported by State Grid Information & Telecommunication Group Co., Ltd. (SGIT0000YFJS1800516).

低压配电台区设备电力物联网接入是泛在电力物联网建设的重要组成部分。当前低压配电台区设备种类繁多、通信接口类型多样且以现场总线为主, 几乎不能通过现有通信接口接入电力物联网<sup>[7]</sup>。所以低压配电台区必须在硬件和软件2个方面统一通信接口及通信策略, 以适应当前泛在电力物联网<sup>[8-10]</sup>建设的需求。

电力物联网智联单元研发分为硬件和软件2个部分, 主要从3个层面进行研究, 在物理层通过电力线载波和微功率无线双模网络构建统一硬件通信接口; 在网络层通过通信协议IP化实现统一的网络编程接口; 从数据层通过CoAP协议向配变终端提供统一数据, 通过软件中间件技术智能适配台区的各类设备, 对上向配变终端提供统一的数据模型。本文基于以上关键技术从3个层面实现统一, 研发出可应用于电力设备的泛在电力物联网智联单元, 实现低压设备的入网, 达到有效互联、全面感知。

## 1 基于高速载波、微功率无线的双模组网方案

首先高速载波与微功率无线分别独立组成通信网络, 各自独立管理。每个节点都有载波和微功率无线通信能力。由主控CPU制定策略仲裁采用何种通信方式传输数据。方案示意图1。

[引文信息] 王洪勉, 孙慧, 郑利斌, 等. 泛在电力物联网智联单元设计与实现 [J]. 供用电, 2019, 36 (6): 5-9, 28.

WANG Hongmian, SUN Hui, ZHENG Libin, et al. Design and Implementation of Wisdom Unit in the Ubiquitous Internet of Things in Electricity [J]. Distribution & Utilization, 2019, 36 (6): 5-9, 28.

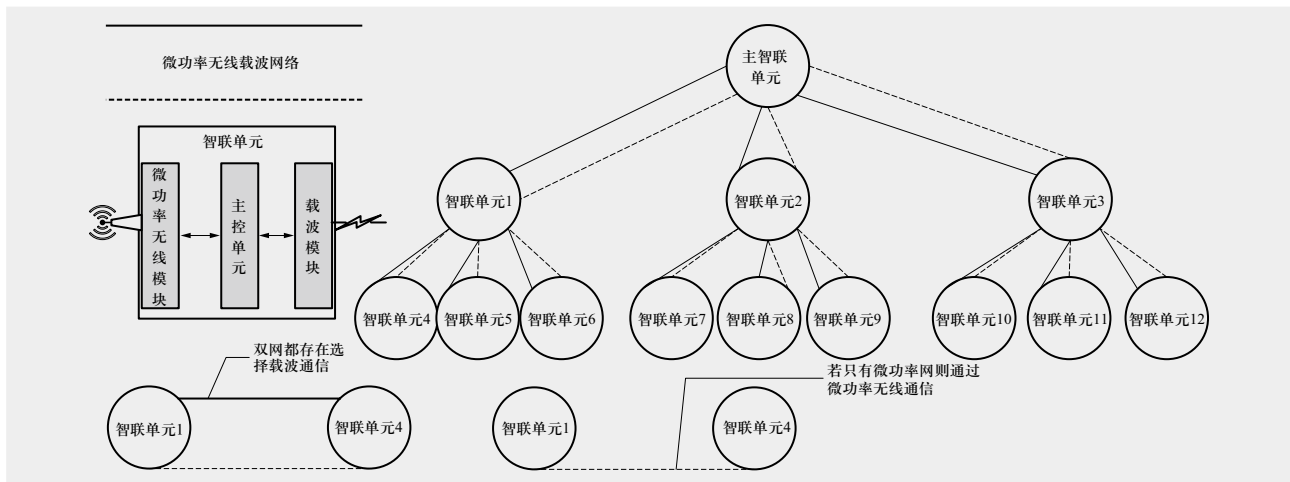


图1 双模组网方案示意图

Fig.1 Dual module network solution

宽带电力线载波与微功率无线异构融合网络是一种全新的异构网络，实现了宽带电力线载波和微功率无线的深度融合。双模组网方案具备双模通信能力的网面向下兼容原HPLC或RF技术，既可以采用单一技术组网，也可以双模混合组网，根据实际场景选择，进而统一低压配电台区设备通信接口。

## 2 基于载波/无线双模技术的电力设备地址IP化模型的研究

### 2.1 基于载波与微功率的互联网通信模型

OSI互联网模型与高速载波、微功率无线传输模型对比见图2。

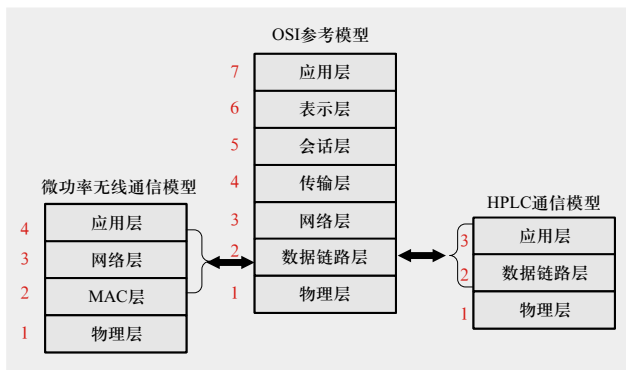


图2 通信模型对比示意图

Fig.2 Communication model comparison diagram

根据对互联网OSI模型各层的作用分析，以及对高速载波、微功率无线网络模型的研究，只需要将高速载波模型中的数据链路层或微功率无线的网络层和MAC层抽象成虚拟数据链路层。

### 2.2 IP化网络系统架构

整个IP化组网系统的数据流流向见图3。

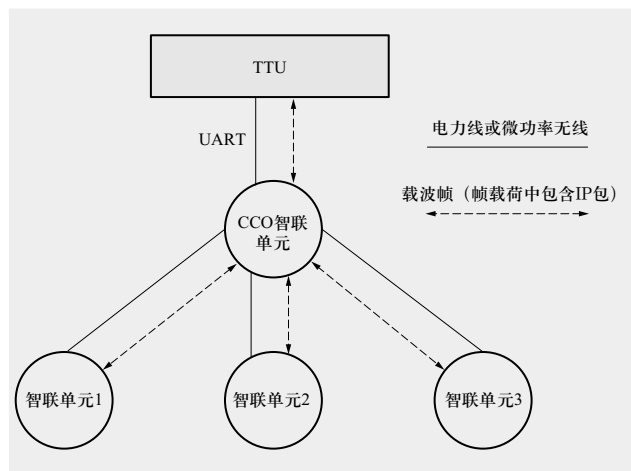


图3 数据流示意图

Fig.3 Data flow diagram

整个网络系统由TTU、CCO智联单元、智联单元、低压设备组成。TTU与CCO智联单元之间采用UART连接，接口层包括数据链路层和物理层，适配层支持6LoWPAN，网络层采用IPv6标准协议，传输层采用标准UDP协议，应用层用CoAP的应用数据段承载数据实现数据的统一。CCO与智联单元分别采用电力线<sup>[11-12]</sup>和微功率无线<sup>[13-14]</sup>连接。首先通过载波技术和微功率无线技术，实现CCO与智联单元组成互连网络，然后TTU采用TCP/IP协议发起网络通信。在网络通信的过程中，传到CCO智联单元的数据为IP包，经过智联单元虚拟数据链路层的处理后，转化为实际的载波/微功率数据链路层帧，并采用载波/微功率通信网络传输到目的地。同理，反向数据传输过程相反。

### 2.3 智联单元网络通信软件组成架构

智联单元软件架构大体分为2个部分：主控单元和载波/微功率通信单元。主控单元负责了业务层数据的处理，

包括以太网通信网络的建立, 数据收发; 载波/微功率通信单元负责处理主控单元通过以太网协议后的IP包, 并将处理收的帧, 发送到目的地, 反向亦如此, 见图4。

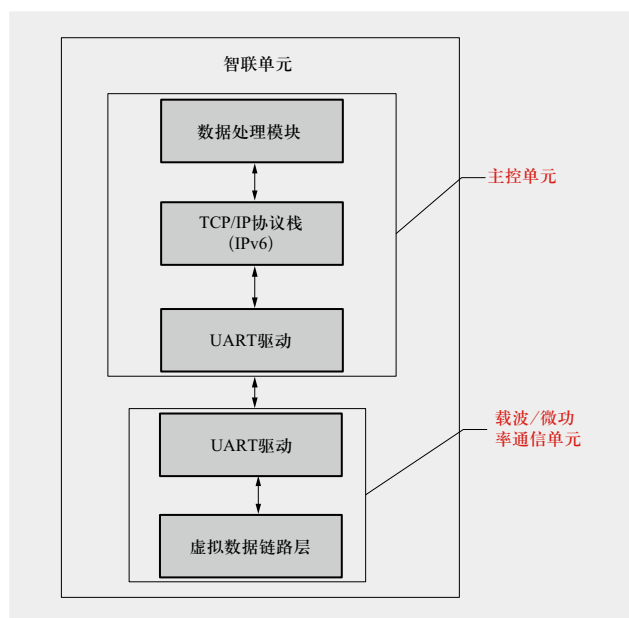


图4 智联单元网络通信软件架构示意图

Fig.4 Schematic diagram of wisdom unit network communication software architecture

### 3 低压台区设备协议统一的方案

根据低压配电台区现有设备类型, 在智联单元应用软件层面构建软件中间件, 低压台区设备协议接入中间件分别解析适配各种设备类型, 抽象统一的数据信息模型, 通过CoAP协议<sup>[15-17]</sup>向配变终端提供统一数据, 进而屏蔽低压台区多种设备的协议细节, 形成低压台区设备协议统一的方案, 具体模块框图见图5。

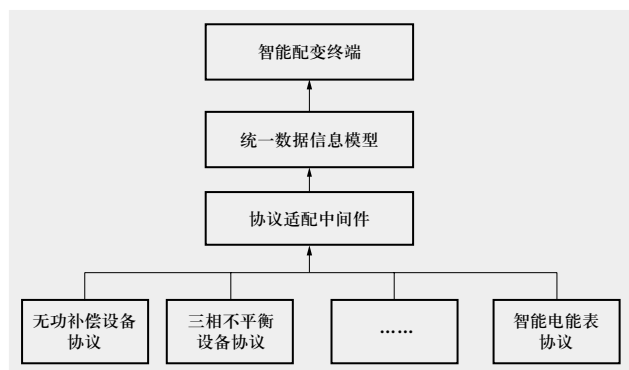


图5 低压台区设备协议统一模块框图

Fig.5 Low-voltage station area equipment protocol unified module block diagram

## 4 硬件方案

根据前期调研分析结果, 梳理了智联单元在型式结

构、对外接口、电源管理、上下行通信方式等方面的现场需求, 按照模块化设计理念, 在硬件设计上主要内容包括电源模块、双模模块、主控及通信模块3个部分<sup>[10, 18-20]</sup>, 其整体硬件架构见图6。图6中明确了各个模块之间的信号连接关系, 以及这几个大模块所包含的小模块等内容。

整机功能接口配置主要有: 对外接口包括2路UART和宽带载波接口。2路UART与外部进行串口通信, 宽带载波接口通过隔离耦合电路耦合到电力线上; 电源模块采用工频隔离变压器降压, 经整流滤波后, 加三端稳压器及LDO, 得到需求电压。本终端采用SCM602作为主控芯片, 使用JTAG接口作为调试接口。下面对各功能模块进行详细的描述。

### 4.1 主控及通信模块设计

互联单元终端以工业级芯片SCM602为电力终端主控芯片, 通用32位微控制器, 内核为ARM926EJ-S, 最高运行速度300 MHz, 支持USB、NAND及SPI Flash启动。SCM602功能非常强大, 集成了2个10/100 Mb以太网MAC控制器, USB2.0HS主机/设备控制器与HS嵌入式收发器、TFT型LCD控制器、CMOS传感器、I/F控制器、2D图形引擎、DES/3DES、AES加密引擎, I2S I/F控制器、SD/MMC/NAND闪存控制器, CDMA和8通道12位ADC控制器电阻触摸屏功能。同时还集成了UART、SPI和MICROWIRE、I2C、CAN、LIN、PWM、定时器、看门狗定时器/窗口看门狗定时器、GPIO、键盘、智能卡I/F、32.768 kHz的XTL和RTC (实时时钟)。集成了运行高达150 MHz DRAM的I/F, 支持DDR和DDR2类型SDRAM和外部总线接口 (EBI), 支持SRAM和DMA设备请求和应答。

### 4.2 双模模块设计

双模模块基于双模通信芯片设计, 包括载波信号调制/解调模块、载波信号收发耦合模块、存储模块、电源及接口电路等部分, 整体架构见图7。

载波信号调制/解调, 以双模通信芯片为核心, 实现信号的调制解调:

- 1) 载波信号收发耦合, 双模信号通过收发滤波、耦合电路实现信号的收发。
- 2) 存储模块, 实现程序存储。
- 3) 电源电路, 载波芯片、存储芯片等外围电路供电。
- 4) 接口电路, 接口电路主要包括载波模块与电能表通信接口、JTAG调试接口、电力线耦合接口。

### 4.3 电源模块电路设计

由于宽带载波是利用电力线进行数据通信的, 所以电力线上噪声直接影响宽带载波的通信质量, 高频

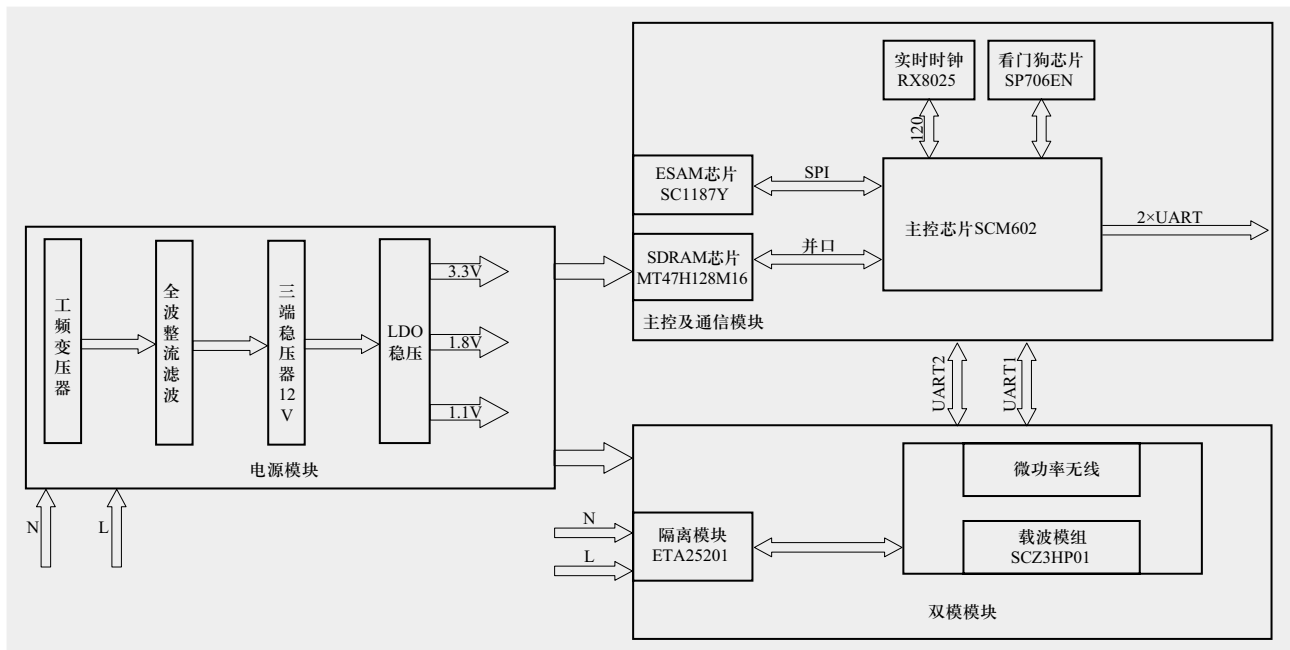


图6 整体硬件构架

Fig.6 Overall hardware architecture

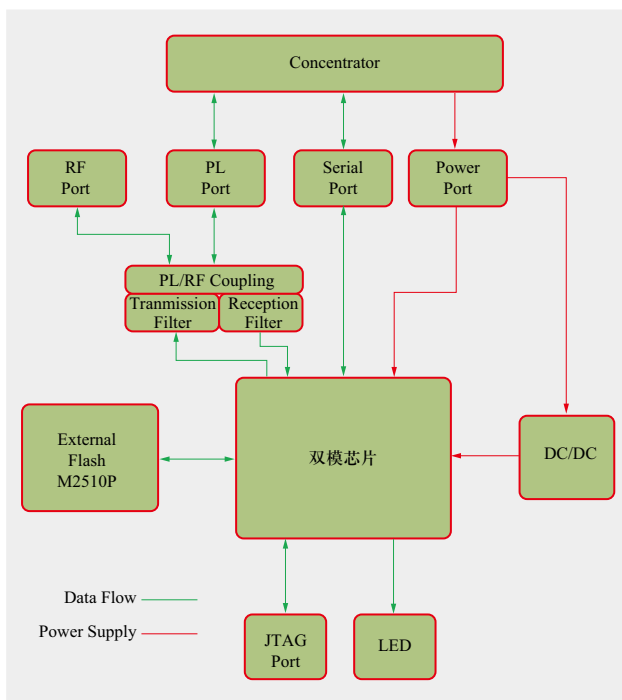


图7 双模模块整体架构图

Fig.7 Dual-mode module overall architecture diagram

开关电源在工作过程中会产生不同频段的噪声，它会对宽带载波通信产生干扰，如果在互联单元终端中使用开关电源为终端供电，那么会在宽带载波模组的出入口直接对载波通信造成影响。而使用工频变压器可以大幅度减少噪声，对宽带载波通信的影响降到最低，大量实验数据证明，使用工频变压器可以提高宽带载波通信增益5~10 dB。电路中使用直流电压供电，220 V交流经工频变压器降到13.5 V交流，然后经过全波整流和三端稳压器得到12 V直流电压，12 V直流电压除给宽带载波通信外，再经过LDO降压到3.3 V、1.8 V、1.1 V。

## 5 结语

双模通信组网是一个全新的异构网络，智能单元以双模通信组网为基础，对网络协议层统一，数据应用层数据模型统一，实现低压设备接入电力物联网，达到有效互联、全面感知。但是，目前接入配变终端的电力设备仍然存在分支开关被非法控制、异常停电等很大的安全隐患，对配电网安全造成威胁，故坚强的泛在电力物联网必将成为未来技术发展方向。 DU

## 参考文献

- [1] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38 (2): 131-135.  
HU Jiangyi, ZHU Enguo, DU Xingang, et al. Application status and development trend of power consumption

information collection system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38 (2): 131-135.

- [2] 陈盛, 吕敏. 电力用户用电信息采集系统及其应用 [J]. 供用电, 2011, 28 (4): 45-49.



- CHEN Sheng, LÜ Min. Power usage information acquisition system and its application [J]. Distribution & Utilization, 2011, 28 (4): 45-49.
- [3] 刘振亚. 智能电网技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 6-8.
- [4] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (9): 1-4.  
XIAO Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (9): 1-4.
- [5] 王航. 智能电网用电信息采集系统通信技术应用分析 [J]. 电力信息与通信技术, 2014, 12 (9): 72-76.  
WANG Hang. Analysis of communication technology application in power consumption information collection system in smart grid [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2014, 12 (9): 72-76.
- [6] 蒋菱, 袁月, 王峥, 等. 智能电网创新示范区能源互联网评估指标及评价方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28 (1): 39-45.  
JIANG Ling, YUAN Yue, WANG Zheng, et al. Evaluation index system and comprehensive evaluation method of energy internet in innovative demonstration area of smart grid [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28 (1): 39-45.
- [7] 王金峰. 电力物联网的数据采集系统与网络传输 [J]. 物联网技术, 2013, 3 (11): 40-42, 45.  
WANG Jinfeng. Data acquisition system and network transmission in power IOT [J]. Internet of Things Technologies, 2013, 3 (11): 40-42, 45.
- [8] 朱晓荣. 物联网与泛在通信技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 31-51.
- [9] 黄孝彬, 毛培霖, 唐浩源, 等. 物联网关键技术及其发展 [J]. 电子科技, 2011, 24 (12): 129-132.  
HUANG Xiaobin, MAO Peilin, TANG Haoyuan, et al. Review of key technologies and development of the Internet of things [J]. Electronic Science and Technology, 2011, 24 (12): 129-132.
- [10] 银奕淇. 全IP物联网异构融合与移动管理性研究 [D]. 衡阳: 南华大学, 2014.
- [11] 王艳, 刘素英, 李玉忠. 低压电力载波抄表系统 [J]. 继电器, 2002, 30 (7): 47-50.  
WANG Yan, LIU Suying, LI Yuzhong. Automatic meter reading system via low-voltage power line carrier [J]. Relay, 2002, 30 (7): 47-50.
- [12] 吴俊, 朱明程. 电力载波电表及其载波通信 [J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (6): 78-80.  
WU Jun, ZHU Mingcheng. Electric carrier meter and carrier communication [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (6): 78-80.
- [13] 姚继明, 梁云, 李炳林, 等. 认知无线电在智能电网中的研究进展及发展趋势 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (S2): 50-52, 76.  
YAO Jiming, LIANG Yun, LI Binglin, et al. Research progress and development trend of cognitive radio for smart grid [J]. Computer Science, 2013, 40 (S2): 50-52, 76.
- [14] 张海龙, 唐悦, 窦健, 等. 微功率无线通信测试技术研究 [J]. 电测与仪表, 2016, 53 (14): 96-100, 117.  
ZHANG Hailong, TANG Yue, DOU Jian, et al. Research on the micro-power wireless communication testing technique [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53 (14): 96-100, 117.
- [15] 汤春明, 张荧, 吴宇平. 无线物联网中CoAP协议的研究与实现 [J]. 现代电子技术, 2013, 36 (1): 40-44.  
TANG Chunming, ZHANG Ying, WU Yuping. Study and implementation of CoAP protocol in wireless internet of things [J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36 (1): 40-44.
- [16] 李琦, 张康, 王月明. 基于CoAP协议的数据采集网关设计 [J]. 电子技术应用, 2015, 41 (6): 154-156, 160.  
LI Qi, ZHANG Kang, WANG Yueming. A design of data acquisition gateway based on CoAP [J]. Application of Electronic Technique, 2015, 41 (6): 154-156, 160.
- [17] 贾美艺, 马骏. 异构网络下多模接入与切换机制研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
- [18] 张美平, 丁文才, 许友泽. IPv6物联网接入网关的设计实践 [J]. 计算机系统应用, 2018, 27 (2): 112-116.  
ZHANG Meiping, DING Wencai, XU Youze. Design and practice of IPv6 access gateway for Internet of things [J]. Computer Systems & Applications, 2018, 27 (2): 112-116.
- [19] 雷煜卿, 李建岐, 侯宝素. 智能配用电通信网网架结构 [J]. 电力系统通信, 2011, 32 (6): 73-78.  
LEI Yuqing, LI Jianqi, HOU Baosu. Configuration of power communication network for smart grid power distribution and consumption [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2011, 32 (6): 73-78.
- [20] 武文广, 王朝亮, 叶方彬, 等. 用电信息采集系统多业务高效协同处理关键技术 [J]. 智慧电力, 2017, 45 (11): 78-84.  
WU Wenguang, WANG Chaoliang, YE Fangbin, et al. Key technologies in high efficiency coprocessing of multi-service for power consumption information acquisition system [J]. Smart Power, 2017, 45 (11): 78-84.

收稿日期: 2019-04-19; 修回日期: 2019-04-29

#### 作者简介:

王洪勉 (1988—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为配电自动化及配电网物联网。

孙慧 (1983—), 女, 本科, 工程师, 主要研究方向为配电自动化及配电网物联网。

郑利斌 (1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为配电自动化及配电网物联网。

李新军 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为配电自动化及配电网物联网。

(下转第 28 页 continued on page 28)