

水、热、气、电四表合一数据采集系统的 研究与应用

徐 晴^{1,2}, 刘 建^{1,2}, 田正其^{1,2}, 祝宇楠^{1,2}, 王 蕾³, 吴丽云³

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 南京 210019; 2. 国家电网公司电能计量重点实验室, 南京 210019;
3. 杭州炬华科技股份有限公司, 杭州 311121)

摘要: 目前居民在用的水表、热表、气表、和电表四种表计虽然在抄表付费流程上相似, 但由于分属不同部门管理, 无法形成资源共享, 既浪费工作量又给居民带来不便; 文章论述了四表合一的技术构架, 提出了从主站, 通信信道, 现场设备 3 个方面对现有系统进行升级的方法; 首先, 介绍了协议转换器的主要设计原理和用电信息采集设备—集中器的上下行通讯协议的改进方法, 并且扩展协议转换器多种下行通讯方式以匹配市场上水表、热表、气表通讯方式多样化的现状, 在用电信息采集系统平台上增加协议转换器及升级现有集中器程序, 通过现场简单布线快速经济的实现四表合一数据采集; 按此方案布局的四表合一采集试点, 项目建设简洁、迅速, 抄表运行稳定, 一次性采集成功率在 95% 以上。

关键词: 四表合一; 协议转换器; LoRa 微功率无线; M-BUS

Research and Application on Data Acquisition System about Water, Heat, Gas, and Electricity Meters in One

Xu Qing^{1,2}, Liu Jian^{1,2}, Tian Zhengqi^{1,2}, Zhu Yunan^{1,2}, Wang Lei³, Wu Liyun³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 210019, China; 2. State Grid Key Laboratory of Electric Energy Metering, Nanjing 210019, China; 3. Hangzhou Sunrise Technology Co. Ltd., Hangzhou 311121, China)

Abstract: At present, water, heat, gas, and electricity four meters belong to different departments for management. Although similar in meter reading and payment processing, they cannot share the same resources, which is a waste of workloads and inconvenient for users. This paper discusses the technique framework of “four meters in one”, proposed a method of modifying the current system from three aspects, i. e., the master station, the communication channel, and the devices. This paper introduced the main design principle of protocol converter and the improvements of the communication protocols of centralized meter reading terminal, and extending downward communication ways on protocol converter to match the present situation of diversification of communication about water meter, heat meter, gas meter in the market. With the popularity of the smart grid, increase protocol converters and upgrading existing centralized concentrator program on this good platform for the data acquisition, through the simple wiring after the implementation of rapid economic four meters data collection. Using this proposed method, the demonstration projects shows that, it is easy and fast to build, meter reading runs well, and the one-time acquisition success rate is above 95%.

Keywords: four meters in one; protocol converters; LoRa micropower wireless; M-BUS

0 引言

目前国内各地居民水、热、气、电的使用推行一户一表的政策, 但这四表分属不同行业管理, 各自运营, 在能源贸易结算时产生各种处理方式。尤其气表、热表, 一般安装在室内, 不确定因数较多使抄表员工作难度增大, 效率降低。

近几年, 国家电网大力推进智能用电信息采集系统的建设^[1-2], 全国大部分地区智能电网覆盖率基本达到 90% 以上。本文描述的水、热、气、电四表数据采集系统就是基于用电信息采集系统平台, 通过协议转换器这个“翻译官”, 打破水、热、气、电间“语言不通, 各自处理”的壁垒, 采集四表相应数据, 统一上传至集中器, 将原有的人工抄表升级为远程自动抄表。利用“互联网+”和大数据技术实现四表合一后, 使人

们享受到了一站式服务带来的便捷, 减少了公共事业基础设施的重复投资, 降低了公共事业的综合运营成本, 构建节约型社会。

1 四表合一数据采集系统组成

本系统从物理上根据部署位置分为主站, 通信信道, 现场设备三部分^[3-4]。

主站: 主站一般由数据库服务器, 接口服务器, 防火墙等网络设备组成;

通信信道: 通信信道分上行通信和下行通信两部分, 对于集中器来说上行通信指系统主站与集中器之间的远程通信信道, 主要包括光纤、GPRS/CDMA 的 2G、4G 等无线通讯; 下行通信是指集中器与协议转换器或智能电表之间的通信, 主要包括电力线载波, RS485, 微功率无线等通讯方式; 对于协议转换器来说上行通讯与集中器的下行通信一致, 而下行通信因采集内容增加了水、热、气表, 所以除了 RS485、微功率无线 (LoRa)、电力线载波外还包含了 M-BUS 通信。

收稿日期: 2016-11-02; 修回日期: 2016-11-24。

作者简介: 徐 晴 (1973-), 女, 研究员级高工, 主要从事电力计量检测技术方向研究。

现场设备：现场设备是指安装在现场的计量装置及采集装置，主要由采集装置集中器、协议转换器，计量装置水表、热表、燃气表、电表等组成。

四表合一的采集系统是建立在用电信息采集系统的基础之上，因此需要保留现有用电信息采集系统的整个框架，在这个基础之上，花尽可能小的代价建立四表合一采集系统。因此本文考虑在电力采集器这一层增加协议转换器，解决对、气、热表的采集，增加协议转换器后，整个采集系统的网络拓扑如图 1 所示。

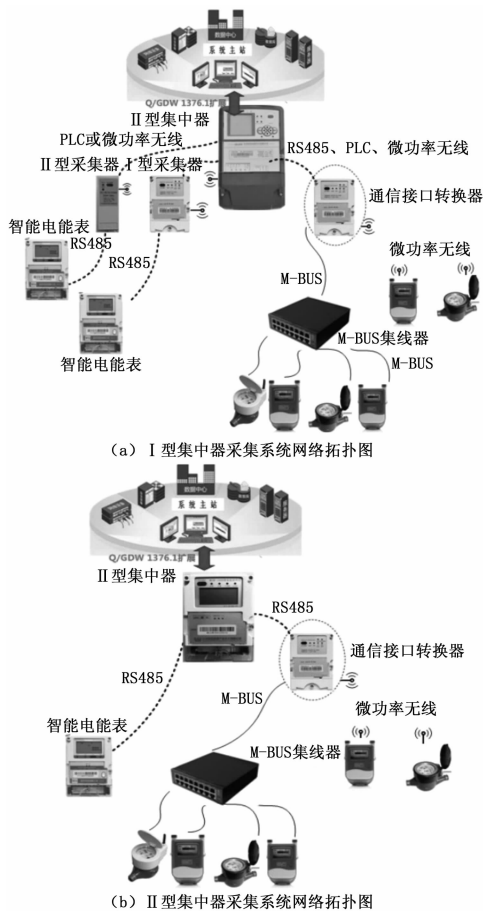


图 1 四表合一采集系统网络拓扑图

2 四表合一数据采集系统关键技术分析

2.1 通讯协议扩展技术

目前电力采集系统已经相当规范，主站与集中器、专变终端之间采用“Q/GDW1376.1-2013 电力用户用电信息采集系统通信协议第 1 部分：主站与采集终端通信协议”^[5]进行协议通信；集中器与本地通信模块（PLC、微功能无线）之间采用“Q/GDW1376.2-2013 电力用户用电信息采集系统通信协议第 2 部分：集中器本地通信模块接口协议”^[6]进行通信；集中器、采集器、专变终端与电能表采用“DL \ T 645 多功能电能表通信协议及其备案文件”进行通信。而目前的水、气、热表的通信协议极不规范，主要有以下几种协议：

- ① CJT 188-2004 户用计量仪表数据传输技术条件；
- ② 在电能表 DL \ T 645-1997 协议上自定义；
- ③ 各燃气公司、水务公司、表厂等自定义的通信协议。

针对这个问题，本文给出的解决方案是，在通信协议转换器上行及以上的部分，采用统一的通信协议：DL/T 645 多功能电能表通信协议^[7]，这样可以保证整个采集系统的稳定性，在通信协议转换器这一层实现协议的转化，即翻译。本方案分别对上行各个协议做了扩充，使集中器能识别水、热、气、电四表返回数据，对数据分别判断和存储，实现四表合一采集系统协议的完整性。扩充内容主要为帧格式的定义和数据项的扩充，帧格式的定义在原来 645 规约的格式中增加仪表类型及仪表地址，可以根据返回的仪表类型解析对应的数据内容，具体如表 1~2 所示。

表 1 645 规约帧格式定义

说明	代码
帧起始符	68H
通信协议转换器地址域	C0-C5
帧起始符	68H
控制码	C
长度数据域(数据域+表地址域)	L
数据域	DATA
仪表类型+7 字节表地址	T(仪表类型)+ A0~A6
校验码	CS
结束符	16H

表 2 仪表类型 T 格式定义

仪表类型	代码(T)	仪表
10H~19H 水表	0H	冷水水表
	11H	生活热水水表
	12H	直饮水水表
	13H	中水水表
20H~29H 热量表	20H	热量表(计热量)
	21H	热量表(计冷量)
30H~39H 燃气表	30H	燃气表
40H~49H 其他仪表	40H	如:电度表

当扩充了协议转换器中的 645 通讯协议后，为了识别增加的内容，集中器在原来上行通讯“Q/GDW1376.1-2013 电力用户用电信息采集系统通信协议第 1 部分：主站与采集终端通信协议”的基础上同样需扩展部分条款，满足对水、热表增加数据的识别。重要参数如档案参数配置 F10，扩展内容如表 3~4 所示。

表 3 扩展参数 F10

电能表/交流采样装置序号	BIN	2	次配置第 1 块电能表/交流采样装置
所属测量点号	BIN	2	
通信速率及端口号	BIN	1	
通信协议类型	BIN	1	
通信地址	见表 4	6	
通信密码	BIN	6	
电能费率个数	BS8	1	
有功电能示值整数位及小数位个数	BS8	1	
所属采集器通信地址	见表 4	6	
用户大类别及用户小类号	BS8	1	

通信协议类型：当表计为水、气、热表时，填写 32。

通信地址：填写水气热表地址的 A0~A5。

有功电能示值整数位及小数位个数：填写水气热表地址的 A6。

表 4 通信地址格式定义

字节名称	字节格式							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BYTE1	BCD 码十位				BCD 码个位			
BYTE2	BCD 码千位				BCD 码百位			
BYTE3	BCD 码十万位				BCD 码万位			
BYTE4	BCD 码千万位				BCD 码百万位			
BYTE5	BCD 码十亿位				BCD 码亿位			
BYTE6	BCD 码千亿位				BCD 码百亿位			

用户大类号及用户小类号: 填写水气热表的仪表类型。

一类数据 F188 格式定义: F188 数据具有复用功能, 根据仪表类型区分, 抄读水气表 (10H~19H, 30H~49H) 与抄读热表 (20H~29H) 的上行报文数据单元格式相同但是内容不同, 热表数据格式一致, 数据内容解析时能根据仪表类型解析。实时数据与日、月冻结数据类似, 冻结数据会增加时标。实时数据具体格式如表 5~8 所示。

表 5 水、气表实时数据格式定义

数据内容	单位	字节数
终端抄表时间	分时日月年	5
仪表类型	/	1
当前累积流量	单位代号	5
结算日累积流量	单位代号	5
保留(填充 EE)	单位代号	5
保留(填充 EE)	单位代号	5
保留(填充 EE)	单位代号	5
保留(填充 EE)	℃	3
保留(填充 EE)	℃	3
累积工作时间	h	3
实时时间	/	7
状态 ST	/	2

表 6 热表实时数据格式定义

数据内容	单位	字节数
终端抄表时间	分时日月年	5
仪表类型	/	1
结算日热量	单位代号	5
当前热量	单位代号	5
热功率	单位代号	5
流量	单位代号	5
累积流量	单位代号	5
供水温度	℃	3
回水温度	℃	3
累积工作时间	h	3
实时时间	/	7
状态 ST	/	2

2.2 低功耗、远距离无线组网方案设计技术

水、热、气、电四表中只有电表是在运行过程中有交流电源供电, 其余三表计量过程中靠电池供电, 为了保证表计工作时间, 表计设计时均采用低功耗设计, 故水、热、气表常见有线通讯方式为 M-BUS 通信, 而考虑到部分表计需要入户安装有线, 通讯方式安装复杂, 通讯线路受干扰因素更多, 故很多

表 7 状态字 ST 定义

字节名称	字节格式							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
BYTE1	保留					电池电压 0: 正常 1: 欠压	阀门状态 00: 开; 01: 关; 11: 异常	
BYTE2	保留							

表 8 单位代号单位代号

单位	代号	单位	代号
Wh	02H	GJ×100	13H
kWh	05H	W	14H
MWh	08H	kW	17H
MWh×100	0AH	MW	1AH
J	01H	L	29H
kJ	0BH	m3	2CH
MJ	0EH	L/h	32H
GJ	11H	m3/h	35H

厂家倾向于采用无线方式通讯。

2.2.1 M-BUS 优化电路设计技术

M-BUS 通讯方式在水、热、气表中普遍存在, 它是一种半双工通信总线, 通信时采用主从方式^[8-10]。M-BUS 总线上传输的数据位定义如下: ①由主站向从站传输的信号采用电压值的变化来表示, 即主站向从站发送的数据码流是一种电压脉冲序列, 用+36 V 表示逻辑 1, 用+24 V 表示逻辑 0。在稳态时, 线路将保持逻辑 1 状态。②从站向主站传输的信号采用电流值的变化来表示, 即由从站向主站发送的数据码流是一种电流脉冲序列, 通常用 1.5 mA 的电流值表示逻辑 1, 当传输 0 时, 由从站控制使电流值增加 11~20 mA。

表 9 每路 M-Bus 主节点发送信号规格要求

逻辑值	标识	取值范围
1	Vmark	22V≤Vmark≤42V
0	Vspace	12V≤Vspace≤Vmark-10V

表 10 每路 M-Bus 主节点接收信号规格要求

逻辑值	标识	取值范围
1	Imark	0mA≤Imark≤1.5mA
0	Ispace	Imark+11mA≤Ispace≤Imark+20mA

M-BUS 电路要求如下。

(1) 电源方案。

电源方案, 采用开关电源设计, 输出两路电源。由于 M-BUS 回路负载不确定, 功耗可能较大, 采用开关电源反馈回路作为 M-BUS 电源输出, 保证输出电压的稳定。M-BUS 主电路中要输出 24 V 和 36 V 两个电源。有两种方案, 一种是开关电源输出 24 V, 再由升压电路升压到 36 V; 另外一种方案是开关电源输出 36 V, 再由降压电路降到 24 V。考虑输出电压的稳定性, 一般选择降压方案。如图 2 所示。

(2) 带载能力。

本系统的 36 V 电源设计的带载能力是 300 mA, 按照每路 M-Bus 主节点信号接收规格要求, 当未通讯的时候每个从电

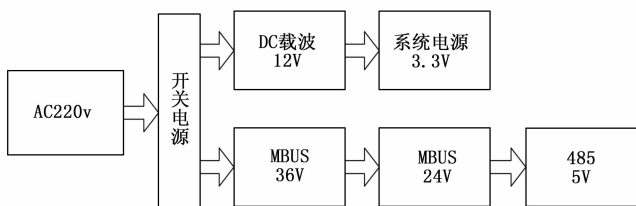


图 2 电源系统框图

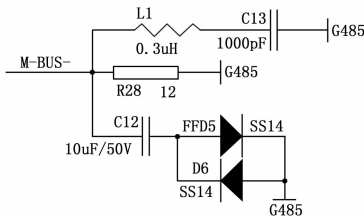


图 4 接收回路原理图

路的电流输出最大为 1.5 mA，所以按照电源的最大负载能力 300 mA 计算，一路 M-BUS 主电路最多可以带 200 块负载，考虑通讯时刻，只有一个从电路在通讯，因此回路中电流最多会增加 20 mA，所以一路 M-BUS 的理论最大带载能力为 186 块负载。如已知某公司生产的水表静态电流只有 0.6 mA，理论上一个转换器一路 M-BUS 电路能带该公司水表的数量为 400 块以上。

(3) 发送回路。

M-BUS 的发送回路有个特点是半双工通讯，为了提高利用率，采用如图 13 所示的电路设计。在这个设计中，有两路 M-BUS 输出，但是只有一路串口用于通讯，这一路串口可以完成两路 M-BUS 的通讯，M-BUS1 和 M-BUS2 之间的切换则是通过不同的 MOS 管来切换的 MOS U13 完成的是信号 36V 和 24V 的调制，U14 和 U15 则是决定把调制好的信号切换到哪一路 M-BUS 输出端。因为在任意时刻都只有一块表用于通讯，所以每一路放置一个 MOS 管的方式可以实现所有的表都可以完成通讯。这样仅仅增加很少的器件就能够使利用率成倍数的提高，而对电源的带载能力要求就低了很多。

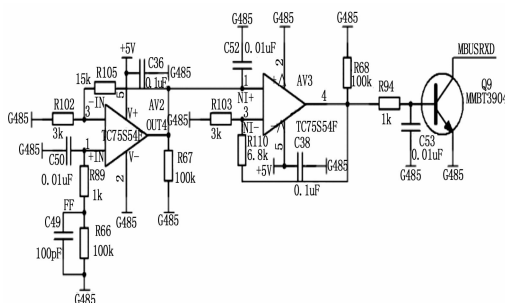


图 5 信号放大电路原理图

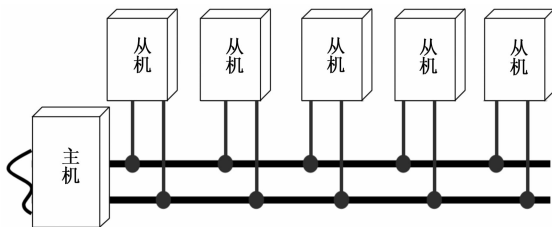


图 6 M-BUS 总线结构示意图

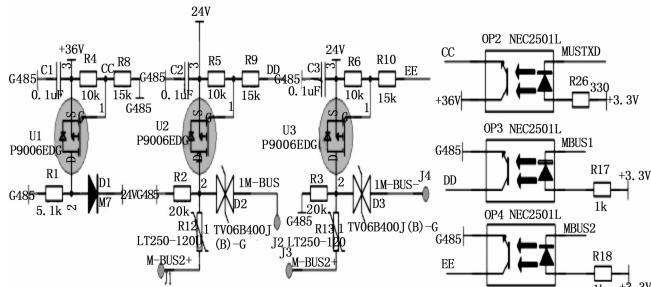


图 3 发送回路原理图

(4) 接收回路。

M-BUS 接收回路是一种电流脉冲序列，一般是通过电阻把电流信号转换为电压信号采样，采样电阻取 12 欧姆。实际上负载越多，静态电流就越大，采样的电压就越高。如果不采取措施，对于后面的转换电路是非常不利的，这样也会增加后端信号采集的成本。根据接收回路电流变化的特点，设计了如图 4 所示电路。

虽然 C47 只是一个简单的贴片瓷片电容，但是可以把接收回路里面没用的直流分量滤除，只通过有用的交流分量。不管接多少负载，有信号返回的时候的交流分量是固定不变的，通常介于 11~20 mA 之间。滤除了直流分量后的交流分量电压信号经过运放两级放大，可以得到非常好的方波信号，这样再通过光耦耦合，可以把 M-BUS 总线上的信息传达给处理器。放大电路如图 5 所示。

M-BUS 通信接线示意图如图 6 所示。

2.2.2 LoRa 无线通讯方式技术分析

本文描述的下行无线通讯方式采用 LoRa 无线通讯方式^[11]。LoRa 是基于线性调制扩频技术通信，这种技术实现了低功耗和远距离通信的最完美的结合，而线性调制扩频具有极强的抗干扰点，非常适合在电池供电设备的现场通讯。

(1) LoRa 与常用表计无线通讯方式比较。

随着表计智能化、自动化的发展，使用无线进行集中抄表产品大量出现，无线技术主要有 OOK、FSK、GFSK、LoRa。见表 11。

表 11 3 种无线技术参数对比

无线技术	发射功耗/dBm	接收功耗/mA	接收灵敏度/度/dbm	典型通信距离/m	主要应用
OOK	10	4	-105	200	遥控开关、接收模块、摩托车、汽车防盗产品、家庭防盗产品、电动门、卷帘门
GFSK	100	19	-120	1000	智能表计，家居，工业控制
LoRa	100	10	-140	5000	智能表计，家居，工业控制

(a) GFSK 与 LoRa 接收灵敏度对比 (接收灵敏度越高传输距离越远)^[11]

在发射功率固定的情况下，要增加传输距离，必须要有高

的接收灵敏度。GFSK 接收灵敏度可到 -120 dBm, LoRa 接收灵敏度可到 -140 dBm (每小 6 dBm 通信距离可增加一倍), 见图 7。

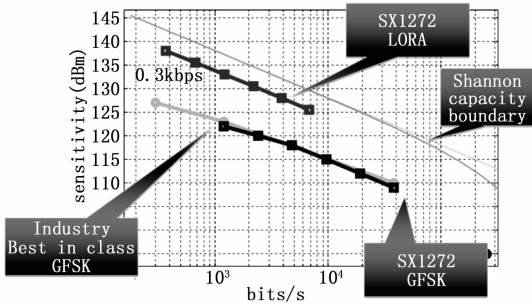


图 7 GFSK 与 LoRa 接收灵敏度对比图

(b) GFSK 与 LoRa 带宽对比 (图 8, 带宽越宽抗干扰能力越强)

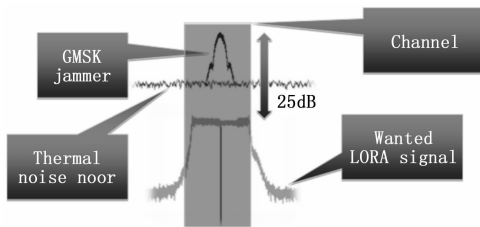


图 8 GFSK 与 LoRa 带宽对比图

(2) 本系统中 LoRa 使用参数。

工作频率: 470 MHz;

发射功率: 50 mW (17 dBm);

连续发射时间: 小于 1 秒;

该技术参数完全满足国家标准《微功率(短距离)无线电设备的技术要求》, 发射功率和我们使用的手机 WIFI 差不多, 但一天发射的总时间加起来都不会超过 10 秒。

3 四表合一数据采集系统的应用

本系统的实施与现场环境密不可分, 因水、热、气表规约不统一, 通讯方式及结构多样化, 四表组合随机, 需在全国各地展开全面的试点运行。对于已安装用电信息采集系统的试点, 勘察现场条件后给出合理的采集方案, 对于未安装用电信息采集系统的试点如新建小区, 可以通过现场可布线及容量决定采集方案。本文描述一个未安装用电信息采集系统的试点运行方案。

项目规模: 100 个 II 型集中器, 100 个协议转换器, 400 只智能水表, 400 只燃气表, 400 只电能表;

系统方案: 采用远传智能水表, 通过有线 M-BUS 与协议转换器进行连接, 采用远传燃气表通过微功率无线与协议转换器进行连接; 协议转换器与集中器采用 RS485 连接;

系统物理架构图如图 9 所示。

系统通讯方式: 集中器通过 GPRS 和系统主站连接; 电表、协议转换器通过 RS485 总线和集中器连接; 水表通过 M-BUS 总线和协议转换器连接; 气表通过微功率无线 (LoRa) 和协议转换器连接。

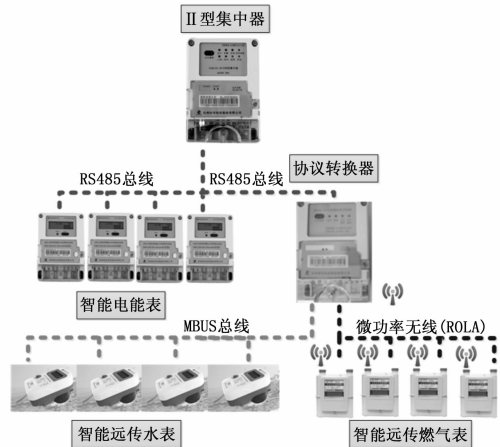


图 9 试点采集系统物理架构图

该系统目前已在现场实际运用, 项目建设简洁、迅速, 抄表运行稳定, 一次性采集成功率在 95% 以上。

4 结论

本文主要描述四表合一数据采集系统的组成, 技术分析及应用现场情况。基于原来广泛的用电信息采集系统平台, 增加协议转换器及下行通讯方式的选择搭建四表合一采集系统是一个快速, 有效的建立方式, 本系统的推广需要由水, 热, 气, 电各个职能部门联合推动, 目前已在全国范围内开展多地试点项目, 从小范围采集, 两表, 三表采集开始, 相信在不久的将来会在全国推广四表合一采集项目。

参考文献:

- [1] 国家电网公司. 电力用户用电信息采集系统功能规范: Q/GDW 1373-2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [2] 国家电网公司. 智能电能表功能规范: Q/GDW1354-2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [3] Mastoid A S, Wallengerg B F. Toward a smart grid; power delivery For the 21 st century [J]. Power and Energy Magazine, IEEE, 2005, 3 (5): 34-41.
- [4] 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): 38-41.
- [5] 国家电网公司. 电力用户用电信息采集系统通信协议: 第 1 部分主站与采集终端通信协议: Q/GDW1376. 1-2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [6] 国家电网公司. 电力用户用电信息采集系统通信协议: 第 2 部分集中器本地通信模块接口协议: Q/GDW1376. 2-2013 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [7] 国家发展和改革委员会. 多功能电能表通信协议: DLV \ T 645-2007 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [8] 罗永刚, 邹志远. 基于 MBUS 的智能集中器设计 [J]. 电子技术应用, 2013, 39 (10): 89-93.
- [9] 林 品. 基于 MBUS 总线的远程抄表系统研究与开发 [D]. 南京: 南京理工大学, 2011.
- [10] 王 瑞, 李跃忠. 基于 SX1278 的水表端无线抄表控制器 [J]. 电子质量, 2015, (12): 47-50.
- [11] LoRa Technology for customers [EB/OL]. [2015-12-30]. http://www.semtech.com.