

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181576

## 基于 SCADA 技术的低压配网控制系统研究

潘旭辉, 陈成, 王泽睿, 杨成, 杨长锐

(贵州电网有限责任公司凯里雷山供电局, 贵州 雷山 557100)

**摘要:** 为了解决低压配网用户安全用电及负荷调节控制难的问题, 针对低压用户安全保障及负荷调节控制系统的体系架构、拓扑结构、技术需求展开研究, 提出并建设了一套低压配网含所有低压开关数据采集与监视控制(SCADA)的系统。该系统可实现低压用户用电信息共享, 保障客户用电安全, 防止低压配网异常影响高一级别电网的稳定运行。该研究成果在西江某地区得到了成功应用, 不仅提升了当地低压配网的智能化、自动化水平, 还为其他地区未来配网建设规划提供了一定的理论依据。

**关键词:** 低压配网; SCADA; 在线监视; 保护控制; 通信技术

### Research of low-voltage distribution network control system based on SCADA technology

PAN Xuhui, CHEN Cheng, WANG Zerui, YANG Cheng, YANG Changrui

(Kaili Leishan Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Leishan 557100, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of low-voltage distribution network for low-voltage users safe electricity utilization and load regulation control, aiming at the system architecture, topology and technical requirements of low-voltage user safety assurance and load regulation control system, a set of low-voltage distribution network data acquisition and monitoring control (SCADA) system with all low-voltage switches is proposed and constructed. The system can realize the sharing of low-voltage users' electricity information, ensure the safety of customers' electricity consumption, and prevent the abnormal influence of low-voltage distribution network on the stable operation of high-level power grids. The research results have been successfully applied in the area in Xijiang River, which not only improves the intelligence and automation level of local low-voltage distribution network, but also provides a theoretical basis for future distribution network construction planning in other areas.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid (No. GZKJXM20160111).

**Key words:** low voltage distribution network; SCADA; online monitoring; protection and control; communication technology

## 0 引言

随着我国新能源战略的推进与智能电网建设的不断深入, 电网自动化、智能化建设向低压终端渗透是未来电网发展的必然趋势<sup>[1-7]</sup>。当前, 中低压配网自动化、智能化水平与高压配网自动化、智能化水平的逐渐趋向两极化发展。全面提升低压配网终端的智能水平, 减小与主网智能水平的落差, 清除电网智能化、自动化死角是亟待解决的难题与方向<sup>[8-12]</sup>。

当前, 低压配网缺少对低压用户安全保障和负荷分配遥控调节的有效手段, 无法从源头上遏制用

户用电不当发生的灾害。随着生态旅游业的蓬勃发展, 旅游景区内大功率电器使用率暴增, 严重超出报装容量。前期配网建设预估不足, 每当旅游高峰期都会造成公变严重超负荷运行, 导致变压器和低压电缆故障。该地区原生态民族文化旅游景区多以木质结构为主, 用户用电线路承载能力弱, 如客户用电超报装功率易引起家用线路过热短路, 引发火灾。因此, 建设一套遥控监视系统<sup>[13]</sup>是智能电网安全保证建设的必要环节。

数据采集与监视控制(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)技术可以对现场的运行设备进行监视和控制, 以实现数据采集、设备控制、测量、参数调节以及各类信号报警等各项功能, 在现今的变电站综合自动化建设中起了相当

重要的作用<sup>[14-16]</sup>。文献[14]针对配电网大量调度监控准实时数据查询效率不高的问题,利用富网络组件容器和大数据二级索引机制将配电大数据嵌入到大规模并行处理查询引擎中,提出一种跨平台的配电网数据RWI快速查询新方法,可实现大量准实时数据在调度监控应用的快速查询。文献[15]提出一种强跟踪滤波动态状态估计算法,该算法在扩展卡尔曼滤波器中引入时变次优渐消因子,在线调整状态预报误差协方差矩阵和相应的增益矩阵,使状态估计残差方差最小;同时引入WAMS/SCADA系统的混合量测数据,增加了系统的冗余量测,进一步提高了动态状态估计的性能。文献[16]主要从防御角度研究了SCADA的安全防范,在断路器常规可靠性模型基础上,建立断路器修正后的强迫停运率模型,考虑几种常见的攻击SCADA使断路器跳闸的方式,利用攻击树模型评估不同攻击场景的成功率,并利用非序贯蒙特卡洛方法计算电力系统可靠性指标。

本文选择最具用户用电波动大、用户用电容量随意性增长、木房居多等典型代表性的原生态民族文化旅游胜地西江千户苗寨为工程研究背景,围绕面向低压用户安全保障及负荷调节控制系统体系架构、拓扑结构、技术需求展开针对性研究,提出并建设了一套低压配网含所有低压开关的SCADA,可实现低压用户用电信息的共享,不仅能保障客户用电的安全,还能作为配网建设规划理论依据。

## 1 基于SCADA的低压用户安全保障控制系统

本节主要针对西江千户苗寨为工程研究背景,构建基于SCADA技术的低压用户安全保障控制系统。整个系统可以分为三个层级:软件系统层、通信技术层、终端硬件层<sup>[17-19]</sup>。

软件系统层的作用,主要设计低压配电网回路拓扑结构,营配监测指挥系统的扩展与数据的兼容,遥测数据的交互及遥控系统的兼容和配置等。当配变重过载报警后,低压用户安全保障及负荷调节控制系统能够自动分析展现用电异常用户,并实现自动控制或人工进行负荷分配调节,动作信息及提示及用户开关位置显示。

通信技术层的作用,主要实现终端数据多通道传输,多点采集,集中汇总后信号传输通道与现有集抄通道的兼容,数据交互系统的兼容。采用当前最先进的通信技术,主要应用433 MHz无线通信技术<sup>[20]</sup>收集终端硬件层的无线温度传感器的信息,集中汇总后通过4G有线通信技术<sup>[21]</sup>传输至系

统层的监控中心,实现有线技术与无线技术的友好配合联动。

终端硬件层的作用,主要采用低压配电用户电气量采集器及安装策略,保证低压用户安全保障控制器的正常运行,具有能够实现一台装置多路电气量数据收集,遥控指令多路输出的突出优势。

基于SCADA的低压用户安全保障控制系统的总体构架图如图1所示。

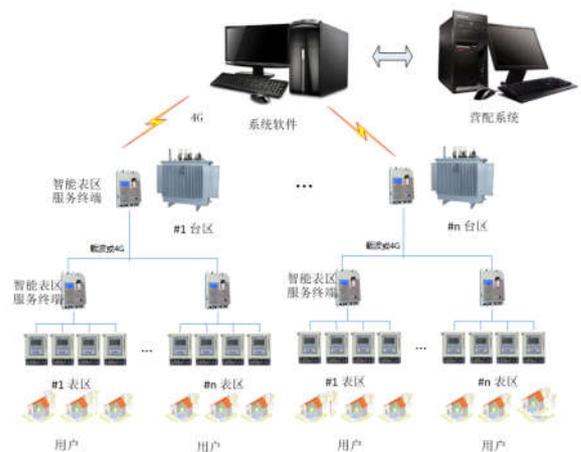


图1 总体架构图

Fig. 1 Overall architecture

由图1可知,低压用户安全保障系统通过对终端层表区进线负荷、温度监测,采集各类运行数据,通过通信层传输至系统层进行综合分析评估,预防火灾等各类事故的发生,保障用户用电安全。具体主要有如下四过程:

- (1) 通过复合型传感器将表区出线温度、带电状态、电流信息传入低压保护控制器;
- (2) 无源无线测温传感器通过无线将表区总开关温度、电流数据传入低压保护控制器;
- (3) 断路器通过RS-485通信接口将低压用户信息接入低压用户故障控制器;
- (4) 低压用户保障控制器集成4G/WIFI模块,通过载波将低压用户信息传输到台区并通过台区的低压保护控制器将数据发送至系统后台,进行统一的数据显示、统计和分析。

低压保护控制器通信架构如图2所示,控制器框图如图3所示。

由图2和图3可知,低压用户保障控制器具备4G通信功能。它能将采集到的表区(台区)数据及用户侧带电状态通过4G远传至控制中心,同时控制中心可通过4G下发控制指令,远程控制开关分合闸。

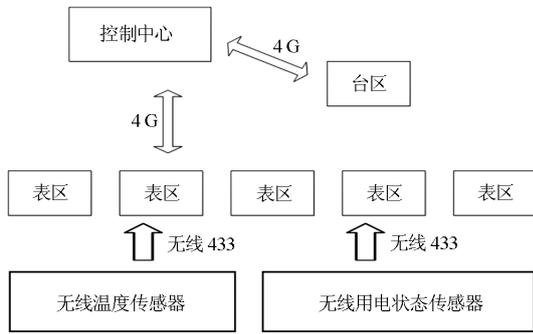


图 2 低压保护控制器通信架构

Fig. 2 Communication architecture of low voltage protection controller

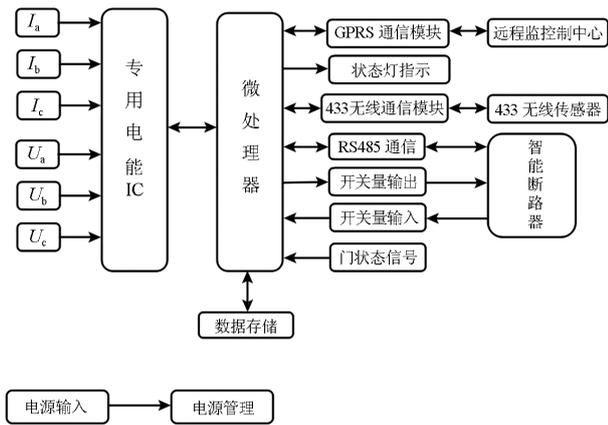


图 3 低压保护控制器框图

Fig. 3 Block diagram of low voltage protection controller

## 2 终端硬件集成

低压用户安全保障控制系统的终端硬件集成主要包含传感器(温度及电气量监测)和智能断路器、低压保护控制器等硬件设备,如图4所示。



图 4 终端硬件集成

Fig. 4 Terminal hardware integration

## 2.1 传感器

传感器<sup>[22]</sup>主要包含能量收集、测量及数据传输两部分。其中,能量收集指的是收集交流输电线路的电磁能量并转化成电能,为传感器提供工作电源。当被测物通过交流电流大于0.5 A时,传感器即可启动工作;测量及数据传输可实现监测:

- ① 监测电缆的温度;
- ② 流经电缆的电流;
- ③ 线路的带电状态;
- ④ 传感器本体温度;
- ⑤ 传感器工作电压;
- ⑥ 传感器无线上传次数;
- ⑦ 传感器供电状态;
- ⑧ 传感器软硬件版本信息;
- ⑨ 传感器无线通信链路质量。

## 2.2 智能断路器

智能断路器<sup>[23]</sup>可实现保护、操作和量测功能。① 保护功能:产品具有过载、短路、剩余电流、缺相、过压、欠压、断零保护功能,同时可以自动重合闸;② 操作功能:产品能进行手动、电动分合闸操作;③ 量测功能:可以检测工作电压、电流、线路剩余电流。

## 2.3 低压保护控制器

低压保护控制器<sup>[24]</sup>各模块主要功能为:① 微处理器负责逻辑控制,与外部设备信息交互,4 G和433 MHz无线通信,输入输出控制等各项功能;② 专用电能IC负责采集电流、电压、谐波等信息;③ 4 G通信模块负责与营配监测指挥平台之间的通信;④ 433 MHz无线通信模块:收集无线温度传感器的信息;⑤ 开关量和RS485通信负责监测和控制断路器;⑥ 状态灯指示:指示低压保护控制器的各种工作状态;⑦ 电源管理:电源管理模块负责为各部份电路提供合适的、可靠的电源(MCU电源3.3 V、继电器电源12 V、RS485电源5 V等)。

## 3 系统软件实例展示与说明

### 3.1 基于地理信息系统<sup>[25]</sup>的台区监视

基于地理背景基础上的台区监视,在地理背景信息上实时监视全部台区的运行状态,通过颜色区分正常与报警站点,并以画面、音响等多种报警手段,向管理人员提供站端设备的运行状态异常信息的实时告警,如图5所示。

### 3.2 运行状态监视

通过点击台区标志,可进入当前台区一次系统图,一次图显示当前台区运行状态。

显示系统拓扑图,并在图上显示出所有表区与台区进出线温度、电流、电压等参数,并实时显示出断路器的分合闸状态与表箱门的开合状态。运行状态监视界面如图6所示。

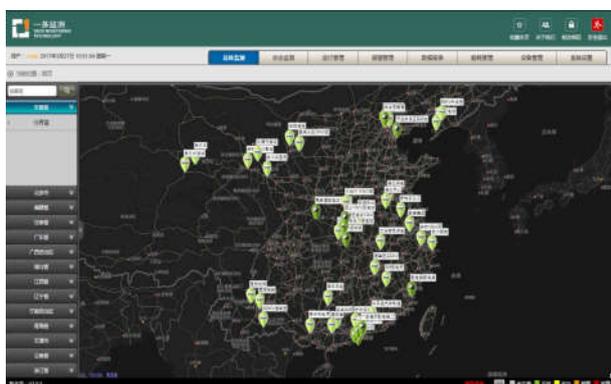


图 5 台区监视图

Fig. 5 Station monitoring map

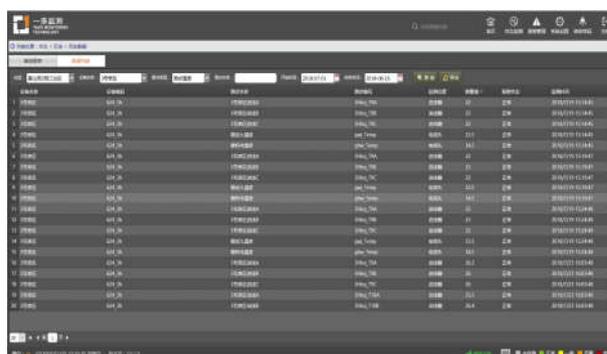


图 8 历史数据查询界面

Fig. 8 Historical data query interface



图 6 运行状态监视界面

Fig. 6 Operation status monitoring interface

### 3.3 历史数据展示

数据库存储所有测点各个时刻的温度值, 并可进行查询, 数据可能通过曲线或列表显示。历史曲线界面如图7所示, 历史数据查询界面如图8所示。

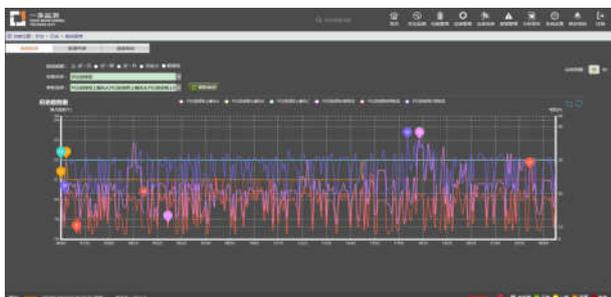


图 7 历史曲线界面

Fig. 7 Historical curve interface

### 3.4 报警管理

系统检测到过热、过压、过流、欠压等故障时, 根据缺陷级别进行报警, 可根据不同设备的工作环境来设置不同的告警使用标志。报警分为数据报警与通信报警。报警管理界面如图9所示。

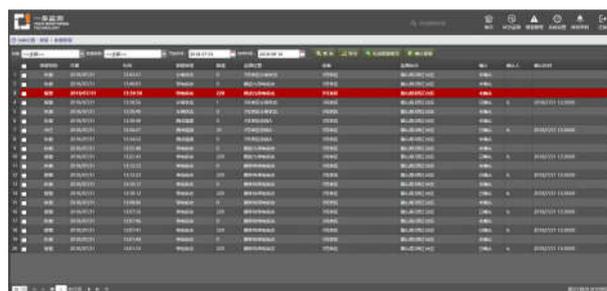


图 9 报警管理界面

Fig. 9 Alarm management interface

### 3.5 实时控制

在一次图界面可远程控制断路器的分合闸, 系统会根据不同的权限提供不同的提示信息。实时控制界面如图10所示。



图 10 实时控制界面

Fig. 10 Real-time control interface

## 4 结语

为了解决低压配网低压用户安全用电及负荷

调节控制难的问题，本文在已建立的营配监测指挥中心基础之上，同时应用先进的大数据技术实现两者之间数据共享、功能联动，使用实时监测的营配监测指挥中心实现对低压配网的运行运筹帷幄，杜绝低压配网的异常影响高一级别电网的稳定运行，为高配网的可靠运行提供保障。

本文研究成果的运用不仅可以杜绝西江千户苗寨因用户用电而引起的火灾事故的发生，提升低压配网的智能化、自动化水平，而且依托西江千户苗寨汇集全球各地数以万计游客资源优势，可以达到全球化展示的效果，带来的效益不仅是提升用户用电安全保障，还可以全面提升优质服务形象。本文所提出的低压配网含所有低压开关的SCADA系统，可对未来智能配电网的建设起到一定的工程借鉴意义。

系统通信方式改进与功能扩展是下一步研究工作的重点，主要规划如下：

(1) 通信方式改进。表区与台区之间通过电力载波通信，这样能够免除大部分的通信流量费；台区汇总所有表区的数据后，可通过 4 G 通信将数据传至后台控制中心。

(2) 功能扩展。考虑当时湿热气候，为更好地适应现场环境，配电箱中增加除湿功能模块。后期可以与现场的低压集抄系统或者其他系统集成。

参考文献

[1] SATYA J P, BHATT N, PASUMARTHY R, et al. Identifying topology of power distribution networks based on smart meter data[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2018, 9(5): 5113-5122.

[2] 王成山, 李鹏. 分布式发电、微网与智能配电网的发展与挑战[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 10-14.  
WANG Chengshan, LI Peng. Development and challenges of distributed generation, the micro-grid and smart distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2): 10-14.

[3] 徐丙垠, 李天友, 薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 38-41.  
XU Bingyin, LI Tianyou, XUE Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41.

[4] 张玮亚, 王紫钰. 智能配电系统分区电压控制技术的研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(1): 146-154.  
ZHANG Weiya, WANG Ziyu. Review of zonal-voltage control techniques of smart distribution system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(1): 146-154.

[5] ZERAATI M, GOLSHAN M E H, GUERRERO J M.

Voltage quality improvement in low voltage distribution networks using reactive power capability of single-phase PV inverters[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(5): 5057-5065.

[6] 刘健, 赵树仁, 张小庆. 中国配电自动化的进展及若干建议[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 6-10.  
LIU Jian, ZHAO Shuren, ZHANG Xiaoqing. Development of distribution automation in China and some suggestions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 6-10.

[7] HOCK R T, DE NOVAES Y R, BATSCHAUER A L. A voltage regulator for power quality improvement in low-voltage distribution grids[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2018, 33(3): 2050-2060.

[8] 茅逸斐, 韩蓓, 李国杰, 等. 基于网络等效的配电网快速供电恢复策略并行化实现[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(11): 99-108.  
MAO Yifei, HAN Bei, LI Guojie, et al. Parallel realization of fast restoration strategy for distribution system based on network equivalence[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(11): 99-108.

[9] 刘伟, 彭冬, 卜广全, 等. 光伏发电接入智能配电网后的系统问题综述[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 1-6.  
LIU Wei, PENG Dong, BU Guangquan, et al. A survey on system problems in smart distribution network with grid-connected photovoltaic generation[J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 1-6.

[10] 袁博, 邵华, 贺春光, 等. 智能配电系统规划关键问题与研究展望[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(1): 65-73.  
YUAN Bo, SHAO Hua, HE Chunguang, et al. Key issues and research prospects of smart distribution system planning[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(1): 65-73.

[11] 刘东, 丁振华, 滕乐天. 配电自动化实用化关键技术及其进展[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(7): 16-19.  
LIU Dong, DING Zhenhua, TENG Letian. Key technology and its development in the practicability of distribution automation systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 16-19.

[12] 叶世勋, 刘煌辉. 配电自动化规划要先行[J]. 电网技术, 2000, 24(4): 19-22.  
YE Shixun, LIU Huanghui. Make plan in advance to consider the implementation of distribution automation[J]. Power System Technology, 2000, 24(4): 19-22.

[13] 朱瑞昌, 林勇. 面向电力设备的一体化智能监控系统[J]. 仪表技术与传感器, 2018(3): 67-70,121.  
ZHU Ruichang, LIN Yong. Integrated intelligent monitoring system of electric power equipment[J]. Instrument

- Technique and Sensor, 2018(3): 67-70, 121.
- [14] 屈志坚, 赵亮, 陈鼎龙. 配电网 SCADA 时序数据集群的 RWI 快速查询技术[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(17): 5085-5096, 5305.  
QU Zhijian, ZHAO Liang, CHEN Dinglong. RWI fast query technology for time series data cluster of distribution network SCADA[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(17): 5085-5096, 5305.
- [15] 李虹, 赵书强. 基于 WAMS/SCADA 混合量测的电力系统强跟踪滤波动态状态估计[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 101-105.  
LI Hong, ZHAO Shuqiang. Power system dynamic state estimation of strong tracking filter based on hybrid WAMS/SCADA measurements[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(9): 101-105.
- [16] 丁明, 李晓静, 张晶晶. 面向 SCADA 的网络攻击对电力系统可靠性的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(11): 37-45.  
DING Ming, LI Xiaojing, ZHANG Jingjing. Effect of SCADA-oriented cyber attack on power system reliability[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(11): 37-45.
- [17] 林功平, 徐石明, 罗剑波. 配电自动化终端技术分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(12): 59-62.  
LIN Gongping, XU Shiming, LUO Jianbo. Technologies of distribution automation terminal[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(12): 59-62.
- [18] 李莉, 朱正甲, 任赞, 等. 基于绿色无线网络覆盖最优的配电通信网规划方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(7): 56-62.  
LI Li, ZHU Zhengjia, REN Yun, et al. Research on distribution communication network planning method based on green wireless network coverage optimizing[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(7): 56-62.
- [19] 丁晖. GPRS 技术在电力 SCADA 系统中的应用研究[J]. 电测与仪表, 2007, 44(8): 25-27.  
DING Hui. Application of GPRS communication technique in the SCADA system of power network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44(8): 25-27.
- [20] 李文杰. 基于 433MHz 无线通信网络的 LED 调光系统[J]. 通信技术, 2013(3): 23-25.  
LI Wenjie. LED dimming control system model based on 433 MHz wireless communication network[J]. Communications Technology, 2013(3): 23-25.
- [21] 唐娜娜, 郑喜凤, 武金忠, 等. 基于 4G-LTE 的脱机 LED 控制系统的设计[J]. 液晶与显示, 2018, 33(1): 55-60.  
TANG Nana, ZHENG Xifeng, WU Jinzhong, et al. Design of off-line led control system based on 4G-LTE[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2018, 33(1): 55-60.
- [22] 方如举, 王建平, 孙伟. 智能配电网无线传感器通信网络的跨层协作控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2018(2): 128-136.  
FANG Rujun, WANG Jianping, SUN Wei. Cross layer cooperation control of wireless sensor communication network applied in smart distribution grid[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018(2): 128-136.
- [23] 李永丽, 李瑞鹏, 卢扬, 等. 断路器操作回路的智能化监测系统设计[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(10): 211-217.  
LI Yongli, LI Ruipeng, LU Yang, et al. Intelligent monitoring system design for circuit breaker operating circuit[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10): 211-217.
- [24] 王建国. 谈低压控制保护电器[J]. 科技风, 2010(1): 192-199.  
WANG Jianguo. Simple discussion on electrical appliances of low voltage control and protection[J]. Technology Trend, 2010(1): 192-199.
- [25] 李岳峰, 赵志刚. 基于地理信息系统的配电网自动化技术研究[J]. 山东工业技术, 2017(21): 140-143.  
LI Yuefeng, ZHAO Zhigang. Research on distribution network automation technology based on geographic information system[J]. Shandong Industrial Technology, 2017(21): 140-143.

收稿日期: 2018-12-19; 修回日期: 2019-02-18

作者简介:

潘旭辉(1979—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为供电企业管理;

陈成(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为智能配电网; E-mail: wangyun8302@163.com

王泽睿(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为变电运行与检修。

(编辑 张爱琴)