

DOI: 10.7667/PSPC161056

# 基于移动互联网的配电网在线合环计算软件设计方案

王星华, 许炫壕, 甘德树, 彭显刚, 陈卓优, 周亚武

(1. 广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510000; 2. 广东电网有限责任公司珠海供电局, 广东 珠海 519000)

**摘要:** 针对目前 Web 平台配电网合环计算软件在实际应用中实时性和准确性方面的不足, 提出并设计了基于移动互联网的配电网在线合环计算软件。该软件建立在目前 Web 平台合环计算软件的基础上, 结合移动互联网, 能随时随地对任务列表中的线路进行合环校验, 并可对配电网线路参数进行修正。从硬件组成和软件结构两方面阐述该系统的设计思路, 重点说明该系统所具备的核心技术及相关功能的实现原理, 主要包括数据传输技术和数据安全性技术等。该系统满足实际工程需要, 极大地方便电力操作人员的工作, 具有很好的发展前景。

**关键词:** 移动互联网; 软件设计; 配电网合环; 合环计算; VPN 隧道

## Software design of online loop closing and calculation of distribution network based on the mobile internet

WANG Xinghua, XU Xuanhao, GAN Deshu, PENG Xiangang, CHEN Zhuoyou, ZHOU Yawu

(1. Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, China;

2. Zhuhai Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Corporation, Zhuhai 519000, China)

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of the web software about loop closing and calculation of distribution network in real-time and accurate, a novel software is proposed based on the mobile Internet. It bases on the web software and combines with the mobile internet, which not only can inspect loop closing on the task list's lines in anytime and anywhere, but also can modify the distribution network's data. It expounds the design ideas of system in hardware and software architecture, emphasizes some core technology of the system and explains the implementation of the principle of related technology which includes data transfer and data security. The system can meet the needs of the practical engineering, is greatly convenient to power operating personnel work and have well development prospect.

This work is supported by Scientific and Technological Project of China Southern Power Grid (No. K-GD2012-132) and Specialized Fund of Central Finance Supporting Local Universities' Development (No. Yue Finance-Education No. [2016]202).

**Key words:** mobile internet; software design; closed loop network; network loop closing and calculation; VPN tunnel

## 0 引言

我国配电网的供电方式主要是采用“闭环结构、开环运行”<sup>[1-4]</sup>, 当配电网进行网络重构、设备检修或者负荷转移时, 为了减少停电时间、提高供电可靠性, 开环的线路可能需短时转成闭环运行, 因此需要通过合环电流计算软件校验合环操作的安全性。

国内外当前已有相关文献对配电网合环计算软件进行研究, 文献[5]阐述了配电网合环操作环流分

析系统的开发, 辅助电力调度人员在合环操作前对线路参数进行计算评估。文献[6-7]分别讲述了配电网合环辅助决策系统的研究开发, 为电力调度人员提供了良好的决策支持。

但是, 目前相关软件的合环计算大都是以离线计算为主, 不能做到实时对配电网进行合环计算操作。即使是在线合环计算软件, 也大多是基于办公室环境的 PC 平台, 在提交操作计划时进行合环安全性校验<sup>[8]</sup>, 尚未见有文献讨论操作时刻的安全性校验功能。因而, 在实际的合环操作工程应用中, 由于操作人员在现场不便及时与调度中心进行交互, 原有安全校验结果未必能真实反映当前运行状

基金项目: 南方电网公司科技项目资助(K-GD2012-132); 中央财政支持地方高校发展专项资金项目(粤财教[2016]202号)

态, 合环操作的安全性其实是难以保证的<sup>[9]</sup>。

针对目前合环计算软件的缺点, 结合移动互联网的优势, 本文研究设计了基于移动互联网的配电网在线合环计算软件(以下简称软件)。软件采用 Android 系统开发, 数据传输均利用 4G 网络, 确保了电力调度人员可以随时随地对合环操作进行校验。软件计算所需实时数据均从主/配网调度自动化系统获取, 保证了参数以及计算结果的准确性和实时性, 大大提高了供电可靠性。

## 1 系统整体结构设计

### 1.1 需求分析

文献[4]对目前的在线合环计算软件进行了详细的设计和分析, 本文在此基础上, 结合移动互联网提供的移动数据交互能力, 根据现场实时校验的要求, 形成软件需求, 其核心功能要求如下所述。

1) 计算管理: 软件定位于辅助电力操作人员在工程现场对当天计划任务列表的线路进行合环校验, 因此相对于 Web 平台软件计算管理功能的全面性, 该软件只对已完成流程审核的当天计划任务进行校验。

2) 操作现场与调度中心的移动数据通信: 用户在现场可以获取计划操作任务列表。

3) 调度中心对计算请求的响应: 调度中心能够响应现场工作人员提交的合环计算请求。

4) 合环计算结果的返回: 在调度中心的核心计

算平台完成计算后, 能够快速返回计算结果。

### 1.2 系统架构设计

根据系统对应用程序处理方式的差别, 系统可分为胖客户端/瘦服务器和瘦客户端/胖服务器。胖客户端/瘦服务器中, 客户端一般有功能丰富的交互式用户界面, 用户通过此界面可在客户端中实现各种业务功能, 而服务器则集中处理数据的访问操作。瘦客户端/胖服务器中服务器负责业务逻辑分析和数据存储, 客户端基本上不处理业务逻辑, 只专注于用户界面显示, 显示服务器返回的处理结果。

在合环计算中将复杂、耗时的核心功能置于移动终端内运行, 数据传输量大, 且在很大程度上会限制移动终端的性能和软件的运行速度, 极大地影响了用户体验。为了保证软件运行时的稳定性和流畅度, 提高用户体验度, 系统采用瘦客户端/胖服务器模式, 将部分耗时、占用系统内存较多的功能迁移到服务器端运行<sup>[10]</sup>。

合环计算功能、与调度自动化系统的实时数据获取及管理功能等作为软件核心计算模块, 均将置于调度中心服务器端实现。当移动端软件需要实现某一功能时, 则通过 4G 网络向服务器端发送计算请求指令, 服务器端接受指令后进行相应的操作并将数据返回给移动端。

根据上述架构分析思路, 整个系统架构由计算数据管理层、核心计算及服务响应层、移动数据通信层以及移动客户端组成, 架构图如图 1 所示。

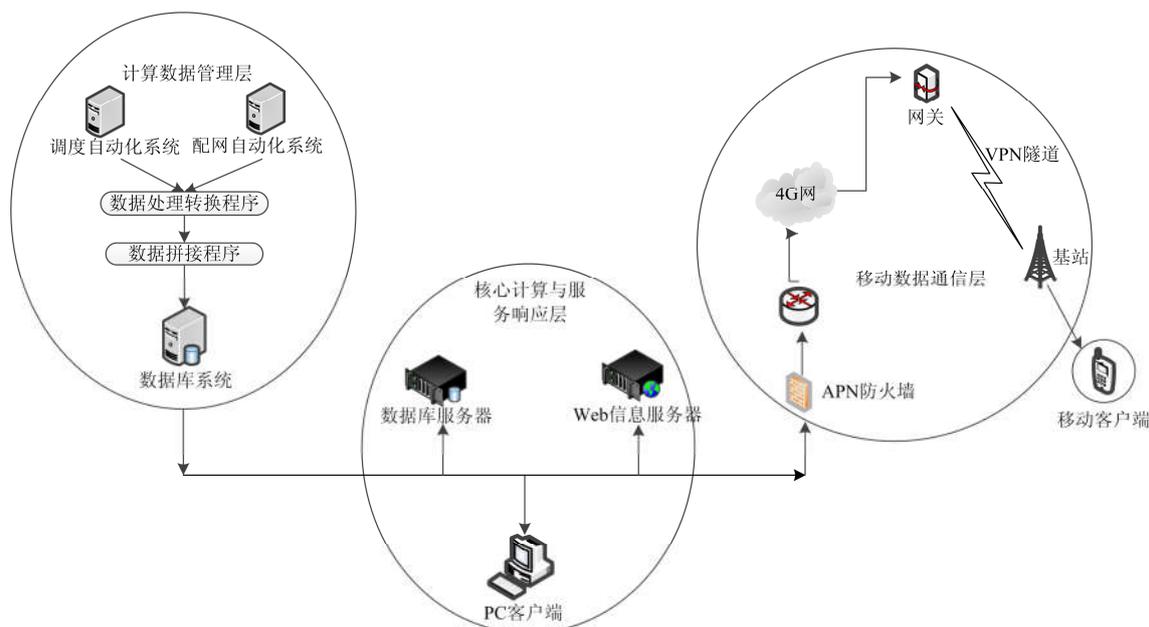


图 1 系统整体架构图

Fig. 1 Overall system architecture diagram

1) 计算数据管理层: 由调度自动化系统和配网自动化系统提供主/配网 CIM 模型文件、实时数据文件, 并经过数据处理转换程序和数据拼接程序将以上数据存入数据库系统<sup>[11]</sup>。

主/配网系统中获取的实时数据包括线路拓扑结构、母线电压、线路功率以及各设备参数(变压器参数、线路阻抗等)。

2) 核心计算及服务响应层: 从计算数据管理层的数据库系统提取实时数据, 分别和 PC 客户端以及移动客户端进行数据交互, 其中与移动客户端的数据交互通过移动数据通信层进行。

3) 移动数据通信层: 由 APN 防火墙、路由器和公用数据网络等组成<sup>[12]</sup>。目前, 数据可以以 4G 网络为物理介质, 通过 APN 防火墙和路由器, 由运营商提供的 APN 专线进行传输, 移动端则通过运营商提供的 VPN 隧道与调度中心进行数据交互。

### 1.3 系统数据交互原理

计算数据管理层中, 由主/配网系统提供的主/配网 CIM 模型文件、实时数据文件经数据库系统传输至服务器端并存储。

移动客户端与服务器端之间的数据传递格式有 3 种方式, 分别是基于 XML 的数据交换格式, 基于 HTML 的数据交换格式和基于 Json 的数据交换格式。由于 XML 和 HTML 难以解析, 体积较大、占内存并且操作不够灵活, 而 Json 属于轻量级解析技术, 并且可以使用 JavaScript 解析进行纯文本传输, 因此业务系统的软件通常使用基于 Json 的数据交换格式<sup>[13]</sup>。交互原理如图 2 所示。

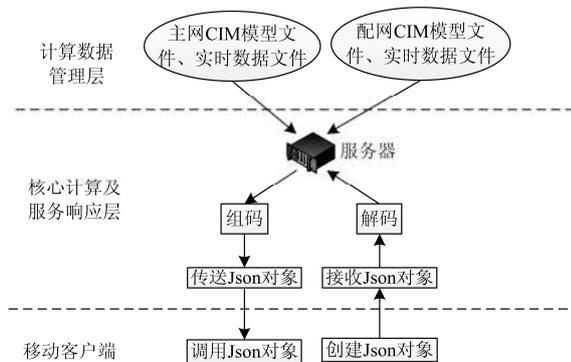


图 2 数据交互原理图

Fig. 2 Principle diagram of the data interaction

移动客户端发出请求命令时, 移动客户端根据命令创建对应的 Json 对象, 传输至服务器并由服务器接收后进行对应的数据处理。服务器经过一系列操作如解码、组码之后向移动客户端传送 Json 对象, 移动客户端生成调用命令调用 Json 对象得到处理结果。

### 1.4 数据传输安全技术

系统所用数据均是从调度自动化系统和配网自动化系统获取的电网实时数据, 因此数据传输过程应具备较高的安全性, 以保证电网数据的安全。数据传输媒介为 4G 网络, 4G 网络具有永远在线、响应速度快和传输速率高等优势, 但由于是公共网络, 如果只是纯粹地利用 4G 网络传输数据, 数据安全性得不到保障。

为了保证数据传输时的安全性, 服务器端与移动客户端之间通过 VPN 隧道连接<sup>[14]</sup>。隧道技术是 VPN 的基本技术, 它是在公共网络建立一条数据通道(隧道), 让数据包通过这条隧道传输。当封装好的数据包经过隧道传输时, 隧道协议将已封装好的数据包重新加密并封装在新的包头中, 经隧道进行传输, 到达网络终点时数据包将被解包并转发到最终目的地。传输过程如图 3 所示。



图 3 VPN 隧道传输过程

Fig. 3 Transfer process of VPN tunnel

服务器端与移动客户端在数据传输前建立加解密算法, 即使数据在 VPN 隧道的传输过程中被中途截获, 截获方也无法知悉数据的来源以及数据内容, 保证了数据的安全性<sup>[15]</sup>。

## 2 软件结构设计

### 2.1 软件开发技术

由于 iOS 系统的软件流程审核分发过于复杂, 客户端选择局限性较大, 且其封闭性难以满足电网对软件安全性的要求, 因此选择完全开放的 Android 平台进行开发, 编程语言采用 Java 语言。

基于 Android 系统的软件由以下核心组件组成。

1) 程序表示层 Activity 组件: 为应用程序的屏幕显示提供支持;

2) 后台运行组件 Service 组件: 为应用程序长期在后台运行提供支持;

3) 广播通知接收组件 Broadcast Receiver 组件: 系统设置更改、系统通知等通知信息都需要与对应的 Broadcast Receiver 组件进行配合;

4) 绑定机制组件 Intent 组件: 负责根据系统需求向不同的组件发出请求命令。

### 2.2 软件框架结构

软件采用分层的系统结构, 可以实现“高内聚, 低耦合”。分层结构可以把问题划分开来各个解决,

易于控制、延展和分配资源。移动端合环计算软件分层结构采用 MVP 架构模式, MVP 框架由 3 部分组成: View 负责显示, 即合环安全校验软件的界面交互; Presenter 根据 View 的操作向 Model 提交请求及获取响应; 而 Model 提供数据封装, 用于与后台计算服务器的数据交互。其结构如图 4 所示。

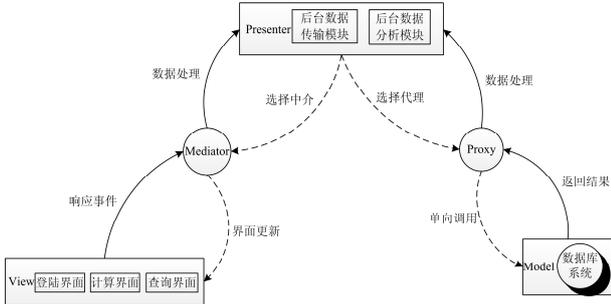


图 4 分层软件系统结构图  
Fig. 4 Structure of layered software system

在 MVP 框架中, View 与 Model 并不直接交互, 所有的交互放在 Presenter 中, 整个框架内部模块之间的逻辑操作均由 Presenter 控制, View 仅仅是整个操作的汇报者和结果接收者, Model 根据 Presenter 的单向调用返回数据。MVP 模式使得 View 与 Model 的耦合性更低, 降低了 Presenter 对 View 的依赖, 方便软件的开发。

### 2.3 数据传递逻辑

基于 Android 的软件通过 HttpClient 项目与服务器端进行数据交互。HttpClient 项目实现了所有 Http 的方法, 支持各种 Https 协议。如图 5 所示为软件通过 HttpClient 项目与服务器端的数据传递逻辑图。创建 HttpClient 对象并基于 HttpGet 或者 HttpPost 向服务器发送请求, 设置请求参数之后返回 HttpResponse 对象, 获取 HttpEntity 对象, 得到服务器的响应内容。

## 3 软件业务逻辑分析

由于软件定位与 Web 平台合环计算软件定位不同, 因此该软件并不需要 Web 平台软件全面性的功能和复杂的操作流程。该软件在实现核心业务的基础上, 力求达到简洁的操作流程, 在业务逻辑上与 PC 平台软件<sup>[4]</sup>也有一定区别。软件主体业务流程如图 6 所示。

### 3.1 注册业务

用户首次使用该软件时, 需进行注册操作<sup>[16]</sup>, 注册操作过程中, 移动端将用户注册信息提交至服务器端, 由服务器端进行信息审核, 审核通过后, 用户必须使用经过注册的移动端才可使用软件。

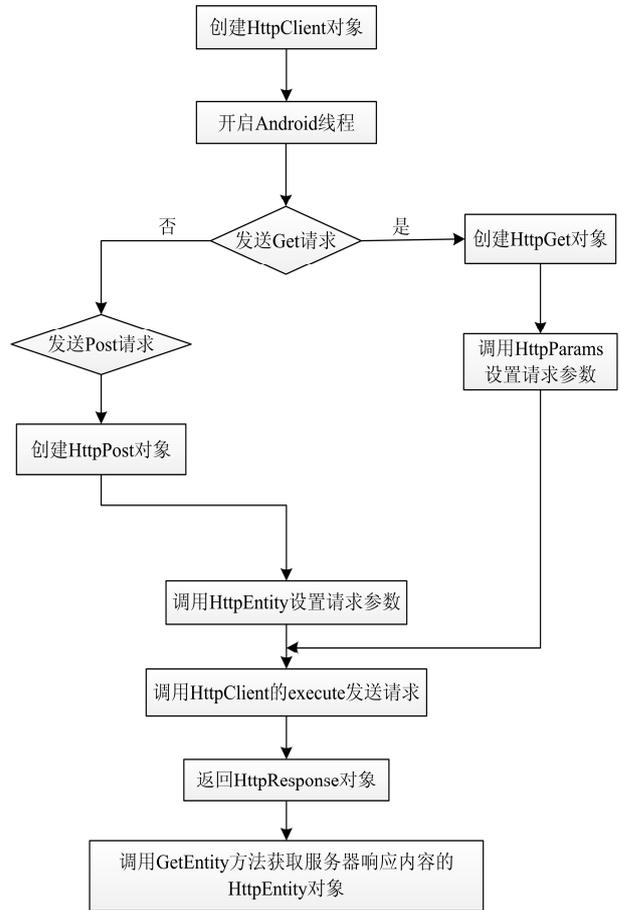


图 5 数据传递逻辑图  
Fig. 5 Logic diagram of data transfer

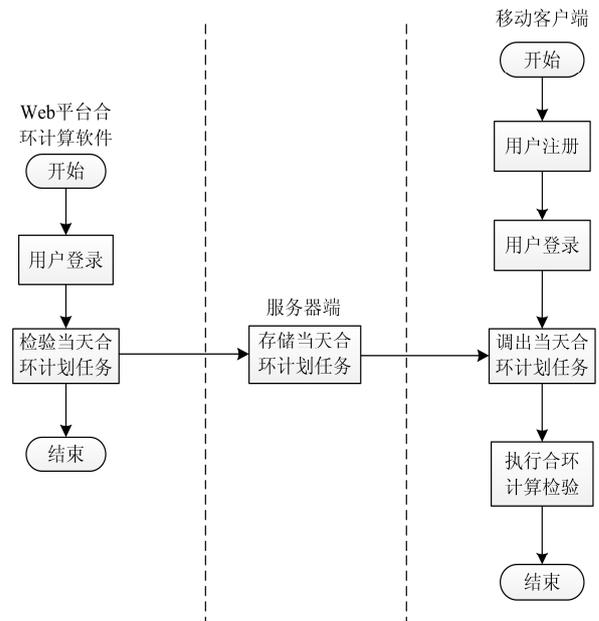


图 6 主体业务逻辑图  
Fig. 6 Logic diagram of main structure

### 3.2 核心业务分析

合环安全性校验计算任务作为软件核心业务，其业务分析流程图如图 7 所示。

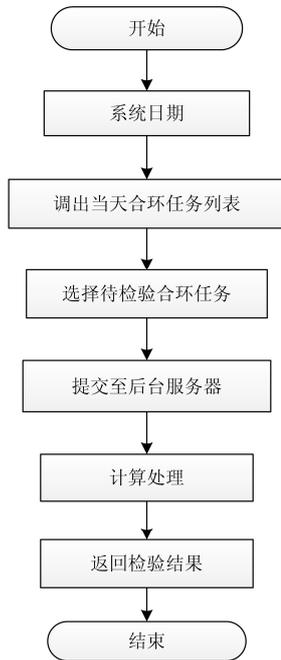


图 7 核心业务分析流程图

Fig. 7 Flow chart of main structure's analysis

区别于 Web 平台合环计算软件复杂的计算功能业务流程，移动端计算功能较为直观简洁。用户通过注册审核之后，登录进入系统主界面。在计算管理功能中根据系统日期和登陆的当前用户，自动调取当天合环任务列表，选择某一待校验任务，软件将数据提交至后台服务器端，服务器端接收数据之后进行数据计算处理，将校验结果返回给移动端并显示于移动端界面中。

该软件的计算管理功能亦能与其他系统进行互联。当上级给出当天对应的操作票时，电力操作人员可以根据操作票系统中当天计划任务的接口跳转至该软件的计算管理功能，直接对当天合环计划任务进行计算校验。

### 4 软件运行测试

软件以某市局电网的配电网数据为数据来源，在 PC 端 Android 模拟器进行试运行。

通过用户权限登录软件，在主界面中点击计算管理得到当天计划任务列表，对某一任务进行校验计算，得到如图 8 所示的操作结果，分别是登录界面、用户主界面、计划任务列表界面和软件校验计算界面。



图 8 软件运行截图

Fig. 8 Software's screenshot

### 5 结论

1) 基于移动互联网的配电网在线合环计算软件，在传统 Web 平台合环计算软件的基础上，结合移动互联网的优势，实现随时随地对合环线路进行在线校验，对数据进行在线管理等功能。填补了目前合环计算软件在实时性和准确性方面的不足。

2) 采用基于 Json 的数据交换格式，保证了数据交互的稳定性。利用 VPN 隧道进行数据传输，使电网数据安全性得到保障。

3) 通过该软件，电力操作人员可以随时随地使用移动客户端对电网线路进行计算评估，从而准确快速地对故障线路做出准确判断并进行合环操作，保证了电网运行的可靠性。

4) 在未来的开发过程中，软件仍有很好的开发前景，例如与其他电力系统软件进行系统互联。在未来的完善之后，该软件定会得到更好地发展与应用。

### 参考文献

[1] 肖白, 赵龙安, 张宇, 等. 城市中压配电网合环操作分析与决策[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(16): 133-138.  
XIAO Bai, ZHAO Longan, ZHANG Yu, et al. Analysis and decision of loop closing operation in urban mid-voltage distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(16): 133-138.

[2] 苗培青, 于耿曦, 纪双全, 等. 不同量测数据情形的配电网合环操作计算及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 137-144.  
MIAO Peiqing, YU Gengxi, JI Shuangquan, et al. Calculation and application of distribution network

- closing loop operation in different situation of measurement data[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 137-144.
- [3] 向真, 李向楠, 彭显刚, 等. 不同220 kV供区的10 kV配电路合环转电应用[J]. 广东电力, 2014(5): 99-104.  
XIANG Zhen, LI Xiangnan, PENG Xiangang, et al. Application of 10 kV distribution lines loop closing and transforming to power supply in different 220 kV power supply areas[J]. Guangdong Electric Power, 2014(5): 99-104.
- [4] 冯欣桦, 黎洪光, 郑欣, 等. 计及不确定性的配电网合环点安全性与经济性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 30-37.  
FENG Xinhua, LI Hongguang, ZHENG Xin, et al. Security and economy evaluation of closed loop point of distribution network considering uncertainty[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 30-37.
- [5] 叶清华, 唐国庆, 王磊, 等. 配电网合环操作环流分析系统的开发和应用[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(22): 66-69.  
YE Qinghua, TANG Guoqing, WANG Lei, et al. Research and application of the ring current analysis system for closing loop operation in distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(22): 66-69.
- [6] 宣科, 张富刚, 李传虎, 等. 配电网合环操作决策支持系统的开发与研究[J]. 供用电, 2010, 27(1): 30-32, 48.  
XUAN Ke, ZHANG Fugang, LI Chuanhu, et al. Development and research of the decision-making supporting system for closing loop operation in distribution network[J]. Distribution & Utilization, 2010, 27(1): 30-32, 48.
- [7] 钱兵, 程浩忠, 杨镜非, 等. 电网合环辅助决策软件研究[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(3): 8-11.  
QIAN Bing, CHENG Haozhong, YANG Jingfei, et al. Research on object-oriented and visual assistant decision-making software for power system linkage[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(3): 8-11.
- [8] 梁志鹏. 基于多源信息融合的配电网带电合环安全评估系统开发[D]. 广州: 广东工业大学, 2016.  
LIANG Zhipeng. Development of on-line security assessment system for distribution network loop-closing operation based on multisource information fusion[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2016.
- [9] 邹俊雄, 周冠波, 付轲, 等. 10 kV配网合环转电计算模型与试验分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8): 144-148.  
ZOU Junxiong, ZHOU Guanbo, FU Ke, et al. Electromagnetic loop closing calculation model and experimental analysis on 10 kV distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(8): 144-148.
- [10] 张海鹏, 林舜江, 刘明波, 等. 低压配电网无功补偿及效益评估系统的开发和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(4): 129-136.  
ZHANG Haipeng, LIN Shunjiang, LIU Mingbo, et al. Development of low voltage distribution networks reactive power compensation and benefit assessment system and its application[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(4): 129-136.
- [11] 汲亚飞, 赵江河. 辐射型中压配电网合环分析系统的设计与研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(11): 58-61, 69.  
JI Yafei, ZHAO Jianghe. Design and research on the loop closing operation analysis system medium voltage in radial distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(11): 58-61, 69.
- [12] 刘艺, 王星华, 彭显刚, 等. 基于GPRS的低压配电网远程监控的相关问题研究[J]. 电气应用, 2009(23): 52-56.  
LIU Yi, WANG Xinghua, PENG Xiangang, et al. Research on the application of GPRS in remote supervisory and control system of low voltage distribution system[J]. Electrotechnical Application, 2009(23): 52-56.
- [13] 常健. 与服务器通信的Android移动应用程序架构探究[J]. 电脑编程技巧与维护, 2014(10): 71-73.  
CHANG Jian. How to implement an APP on Android which communicates with the server asynchronously[J]. Computer Programming Skills & Maintenance, 2014(10): 71-73.
- [14] 张文艳, 姜春霞. 用虚拟专用网(VPN)搭建远程应用系统[J]. 东北电力技术, 2005(11): 50-52.  
ZHANG Wenyan, JIANG Chunxia. Remote application system set-up by VPN[J]. Northeastern Electric Power Technology, 2005(11): 50-52.
- [15] 皮建勇, 刘心松, 廖东颖, 等. 基于VPN的电力调度数据网络安全方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 94-97.  
PI Jianyong, LIU Xinsong, LIAO Dongying, et al. A security scheme for power dispatching data network based on VPN[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(14): 94-97.
- [16] 周玮. 电力缴费系统在移动Android终端中的设计与实现[J]. 网络安全技术与应用, 2014(7): 87, 89.  
ZHOU Wei. The project and the actual operation of the electric payment system in mobile android termination[J]. Network Security Technology & Application, 2014(7): 87, 89.

收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2016-09-13

作者简介:

王星华(1972—), 男, 副教授, 研究方向为电力系统自动化, 电力系统高级应用软件开发, 信息化电力系统等领域的研究和开发; E-mail: riskmouse@163.com

许炫壕(1993—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为智能电网分析与应用, 电力系统智能用电技术; E-mail: 568586138@qq.com

甘德树(1970—), 男, 工程师, 长期从事系统运行分析、电网安全风险管控、调度应急处置等领域工作。E-mail: gandesu@126.com

(编辑 葛艳娜)