

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200985

基于流计算的大客户用能智能分析方法

保富, 黄祖源

(云南电网有限责任公司信息中心, 云南 昆明 650217)

摘要: 针对大客户用电用能综合分析及无法及时发现用电异常的问题, 设计了一种基于流计算下大客户用能智能分析方法。首先给出了大客户用能智能分析系统的整体构架, 并从软硬件功能需求方面进行了描述。依托流计算技术实时处理能力和高性能数据吞吐能力实时处理采集到的数据, 运用机器学习按照用户综合用能分析数学模型和窃电识别模型学习处理异常数据。并对高风险用户一定周期内的线损计算曲线、用能曲线以及电压、电流等电气数据进行展示, 为大客户智能用能提供辅助支撑。

关键词: 智能分析系统; 大数据; 大客户; 窃电预警; 流计算

Intelligent analysis method for energy consumption of large customers based on stream computing

BAO Fu, HUANG Zuyuan

(Information Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650217, China)

Abstract: An intelligent analysis method of large customers energy consumption based on stream computing is designed to comprehensively analyze their power and energy consumption and deal with the inability of finding abnormal power consumption in time. First, the overall structure of the intelligent analysis system for the energy consumption of large customers is given, and the requirements for software and hardware functions are described. Relying on the real-time processing capabilities of stream computing technology and high-performance data throughput capabilities to process the collected data in real time, machine learning is used to learn to process abnormal data in accordance with the user's comprehensive energy consumption analysis mathematical model and electricity theft identification model. It also displays the line loss calculation curve, energy consumption curve, voltage, current and other electrical data within a certain period of high-risk users to provide auxiliary support for inspection work.

This work is supported by the Science and Technology Project of South China Power Grid (No. 059300HK42180085).

Key words: intelligent analysis system; big data; large customers; electricity theft warning; stream computing

0 引言

随着电网信息化水平的提升, 电网中采集到的用户数据量越来越庞大, 处理分析困难。但这些数据中包含着电网运营、故障处理、用户运行等信息。如何从这些数据中提炼出需要的信息内容是大数据^[1-3]技术核心研究方向。大客户是电网重点保证供电对象和生存来源, 分析研究大客户^[4]的用电行为和保证运行经济安全, 对于电网稳定和运营具有重要意义。同时, 基于现在的业务系统, 采用流计算技术实时分析, 发现目前的电网业务薄弱环节, 有针对性地进行管理能力提升, 更好地促进电网企业

服务大客户。

文献[5]提出利用种流计算与内存计算相结合的技术对用户运营数据进行监测; 文献[6]梳理了重要用户数据内容和来源并分析数据特征, 研究了存储分析和诊断分析技术; 文献[7]建立了重要用户停电损失模型, 提出了重要用户转供优先级指标和故障恢复策略, 建立了计及重要用户失负荷风险的 SOP 位置和容量双层规划模型并求解。文献[8]确定了反映大客户价值的指标, 构架评价模型。

大客户在一个地区经济、政治生活中占重要地位, 对用电有特殊需求。如何分析大客户用能是当今研究热点。因此, 本文构建大客户用能智能分析系统。采用流计算技术对数据进行实时处理。建立大客户用电量采集与计算、用电稳定性和电压波动

等判别模型和用户窃电分析模型。基于流计算技术所提供的实时处理能力以及分布式内存计算技术所提供的高性能数据吞吐能力,开展准实时线损计算,绘制日线损曲线。

1 大客户用能智能分析方法平台构架

1.1 技术构架

系统采用 J2EE^[9-10]技术架构,实现了前后台的技术相互分离,接入层实现对开发语言透明,包括前端、后端语言。开发语言与展现平台无关,前端展现能够支持各类客户端的接入,后端可以支持多种语言开发的服务,保证未来新的技术更替不会对系统结构造成影响。

通过接入层将前后台分离有助于使用不同的技术解决架构不同方面的问题,而不是使用一种统一的技术途径或者单一模式来实现架构。更具体的,前后台的编程实现语言将根据应用场景,可以灵活选择甚至对特殊要求,如专用设备、特别使用对象,采用混合的技术。

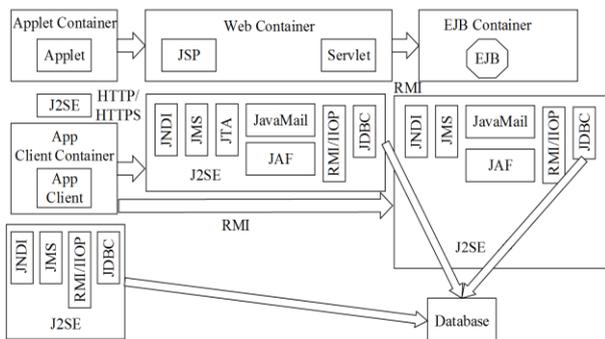


图 1 系统结构框图

Fig. 1 System structure diagram

1.2 技术构架

大客户用电用能综合分析及用电异常识别系统计划采用省级一套环境的部署方式。系统部署设计上,将遵循公司的安全访问策略要求,根据业务系统的不同等级部署在相应的区域,并借助现有网络访问控制策略,实现内外网的访问、数据流向控制,满足外网应用也能访问部署于内外中的系统。结合云南电网对业务系统的部署要求,大客户用电用能综合分析及用电异常识别系统部署在 IDC 区,实现支撑平台的业务应用;电网内部业务人员通过内部网络直接访问系统,外网采用移动云网访问;采用云电智云平台的授权数据访问方式获取云电智云平台数据仓库中的营销数据和计量数据。根据业务系统的不同等级部署在相应的区域,并借助现有网

络访问控制策略,实现内网直接访问、数据流向控制。

1.3 软硬件配置方案

本文设计的用电异常行为分析系统集成云电智云大数据平台、营销管理系统、售电业务支持系统,获取海量运行数据的基础上,对数据进行分析。本文依照 JAVA EE 规范^[11],采用兼容性高的系统软件,为今后平台接入做好准备,提供平台支撑。系统基于 HTML5、XML 等通用技术标准,设计用户、管理员双模式。程序的设计采用面向对象的设计方式,将各种功能逻辑进行抽象封装,放置在一个独立的逻辑单元内,外界对于此功能的调用通过相关接口,而不必关心封装体内部的实现。和模块化类似的是,模块化是粗粒度的封装,对象是细粒度的封装。通过这样层层封装的模式,尽最大可能提高系统的可维护性。当系统随着用户访问量变化和增长,现有应用不足以支撑众多用户在线的性能需求时,可以通过初始化更多集群节点的方式来提高系统的支撑能力,对于系统不需要另行开发修改。

系统在设计中将充分采用面向服务的设计思想,将不同的业务功能设计成独立的服务组件,通过不同服务组件之间的相互配合使用来完成业务流程的处理。系统设计还应以组件化为核心,采用自顶向下的面向服务(SOA)设计方法推进,以服务为中心,根据功能需求发现服务、描述服务,并设计服务的实现,在服务设计应遵循“可重用、松耦合与互操作”的原则,便于实现服务组件的重用和跨平台的集成应用。在业务逻辑层的设计中,应充分体现“面向服务”的设计思想,以当前先进的多层体系结构和集群处理为基准,各类业务逻辑均以服务组件的形式分列部署在组件服务器群上,这些服务必须支持灵活的拆分、重组部署策略,提高系统的可用性和扩展性。平台软件配置如表 1 所示。

表 1 平台软件配置

Table 1 Platform software configuration

设备	型号	备注
中间件	Tomcat 8	采用云电智云平台标准配置
数据库	≥Mysql 5.6	采用云电智云平台标准配置
操作系统	≥CentOS 7	采用云电智云平台标准配置

系统在进行外部集成设计时,考虑统一交互、数据透明的设计思路,系统作为统一的服务提供方,为所有的服务组件^[12-13]提供了统一的交互规约,外部服务消费者只需要满足交互规约,并了解服务调用的输入输出项,即可通过统一的服务调用,获取该服务能提供的全部数据,再根据需要进行数据的取舍。平台硬件配置需求如表 2 所示。

表 2 平台硬件配置

Table 2 Platform hardware configuration

服务器类型	规格	数量	备注
ECS 接口服务器	CPU: 1.8 GHz, 内存: 32 G, 硬盘: 300 G	2	采用云电智云平台标准配置
ECS WE 服务器	CPU ≥ 1.8 GHz, 内存: ≥ 64 G, 硬盘: ≥ 500 G	2	采用云电智云平台标准配置
ECS 应用服务器	CPU: ≥ 1.8 GHz, 内存: ≥ 64 G, 硬盘: ≥ 500 G	4	采用云电智云平台标准配置

2 大客户用能智能分析方法原理

2.1 大客户用能智能分析方法原理流程

数据通过采集器采集用户数据，并进行预处理以便流计算进行分析。对上传的数据进行实时检测。同时机器学习依照用能分析模型和窃电模型对异常数据判定进行学习，依照检测规则输出检测结果，并对结果进行可视化展示。大客户用能智能分析方法原理流程图如图 2 所示。

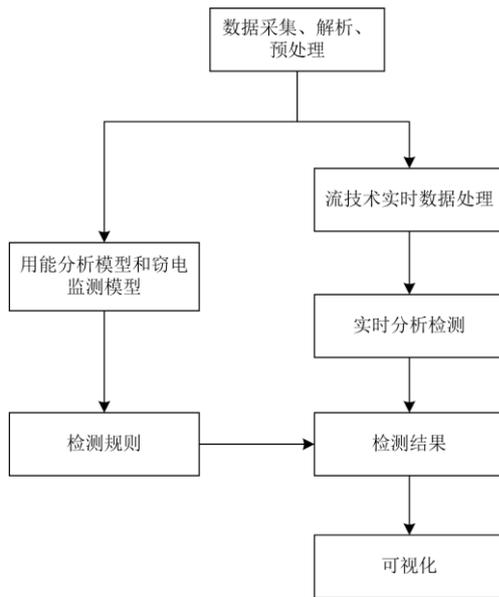


图 2 大客户用能智能分析方法原理流程图

Fig. 2 Principle flow chart of intelligent analysis method for energy consumption of large customers

2.2 流计算技术

流计算技术数据不存储在硬盘，直接在内存中进行实时处理。相较于批量计算，流计算实时性更好，但在准确性和复杂性场景处理上较弱。流计算框架主要包括 Hadoop、Storm 和 Spark 等。Hadoop 磁盘级计算比 Storm 和 Spark 内存级计算访问延迟 75 000 倍。Spark 在处理数据时先收集一段时间数据，在进行处理，为秒级计算。Storm 则实时对数据进行处理，毫秒级计算，但快速的计算能力使得

Storm 容错性相对较低，Spark 则具有更高的容错率以及吞吐量，并且还具有 Spark 软件栈。Spark 软件栈如图 3 所示。

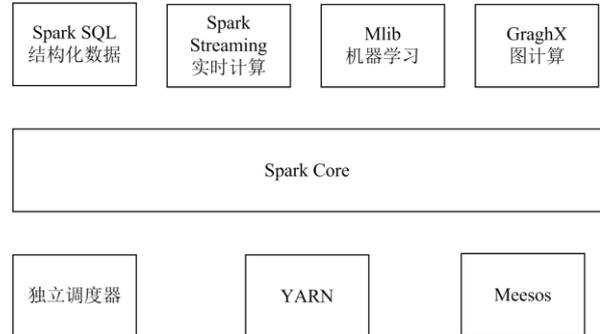


图 3 Spark 软件栈

Fig. 3 Spark software stack

流计算实时功能采用 Spark Streaming 技术。对接收到的实时数据划分为多段数据，每一段的数据仍是连续的，称为 DStream，DStream 是由相应的每个时间段的 RDD 组成。然后将多段 DStream 交由 Spark 计算。DStream 与 RDD 具有类似的接口，DStream 先转换成连续的 RDD，再对 RDD 进行转换行动操作。Spark Streaming 的执行流程如图 4 所示。

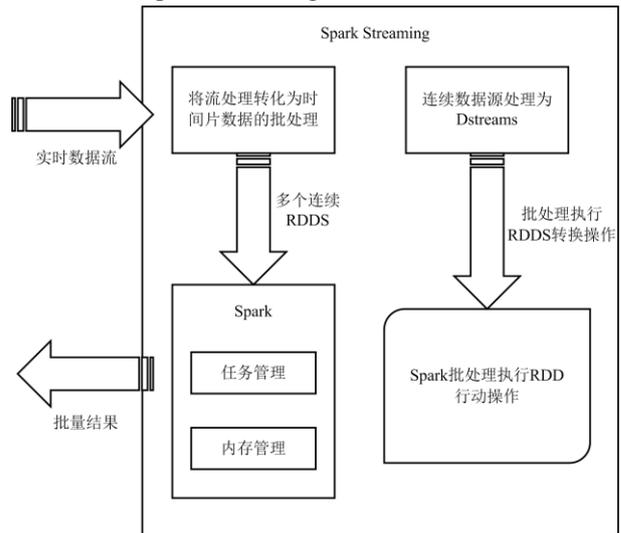


图 4 Spark Streaming 的技术流程

Fig. 4 Spark Streaming technical process

目前电网用户数据^[14]存在如下特点：1) 数据的持续性以及潜力的无限性；2) 数据颠倒，或者数据缺失等不完整；3) 数据量庞大，且有价值数据不多。因此，电网监测对于计算实时性的要求越来越高。基于流计算技术^[15-17]所提供的实时处理能力以及分布式内存计算技术所提供的高性能数据吞吐能力，开展准实时线损计算，绘制日线损曲线。对于流数据应采用实时计算，影响级别为秒级，系统构架如

图 5 所示。可以了解每个时刻的流量变化情况, 甚至可以分析用户的实时浏览轨迹, 从而进行实时个性化内容推荐。但是, 并不是每个应用场景都需要用到流计算的。流计算适合于需要处理持续到达的流数据、对数据处理有较高实时性要求的场景, 主要包括以下三个步骤: 数据实时采集、数据实时计算、实时查询服务。

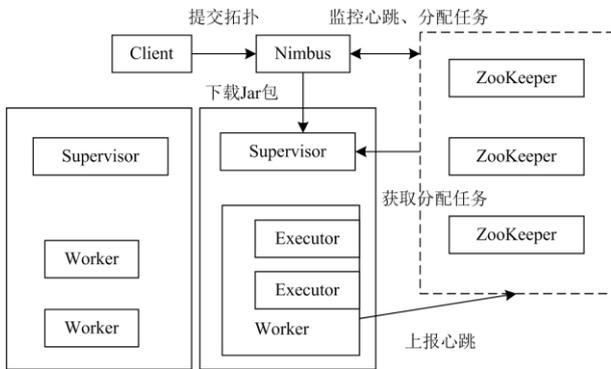


图 5 流计算系统架构图

Fig. 5 Architecture diagram of flow computing system

2.3 用户综合用能分析数学原理

1) 用户用电量采集与计算

从计量自动化系统电压电流曲线表获取大用户电压值。数据分为: 每日 96 个点数据, 和每日一条平均值的数据。根据计量日冻结电量, 结合营销用电客户的计费档案模型, 实现用户每天日电量的计算和跟踪。设计原则如下: ① 用户用电量包括日电量和月电量(含总峰平谷); ② 日电量基于计量自动化系统的日冻结表码计算; ③ 月电量从营销管理信息系统中直接获取, 数据表为 `hs_jldxx`。

2) 用户用电稳定性指标

用户用电稳定性是衡量在特定时间范围内, 用户用电量的波动大小。需要计算以下三种计算波动情况的指标(含总峰平谷)。

① 标准差: 使用 `mysql` 的 `STD` 函数, 每个计量点的一个时间范围一条^[18]。

② 最大/小值差值: 绝对值(V 电量最大值- V 电量最小值), 每个计量点的一个时间范围一条。

③ 百分数衡量: 绝对值(V 电量最大值- V 电量最小值)/ V 电量平均值, 每个计量点的一个时间范围一条。

④ 离散系数: V 标准差/ V 电量平均值。

以上指标, 因为跟数据范围关系很大, 所以暂定从数据库取出时进行计算即可, 不需要保存。

3) 用户用电量波动^[19-20]分析指标

主要用于筛选用户用电量突增突减的用户, 便

于客户经理重点关注用电量异常的用户(含总峰平谷)。

① 增长率: $(V \text{ 本期电量} - V \text{ 上期电量}) / V \text{ 上期电量}$, 每一期电量一条。

② 电量波动值: 绝对值($V \text{ 本期电量} - V \text{ 上期电量}$), 每一期电量一条。

4) 设置异常阈值(用于分析电压是否达标) 电压值可设置异常阈值。

① 对于电压等级在 35 kV 及以上, 电压上下波动的幅度不超过额定电压 $\pm 10\%$ 。

② 对于电压等级在 10 kV 及以下的, 电压上下波动的幅度不超过额定电压 $\pm 7\%$ 。

③ 对于电压等级 220 V 单相电, 电压波动范围为 -10% 到 7% 。

对每日 96 个点的电压进行异常判断, 阈值需要设定出现异常次数。

2.4 窃电识别模型

窃电识别的基础原理是, 当用电客户从正常用电切换到窃电^[21-23]模式时, 或由窃电模式切换到正常用电模式时, 线损率发生了较大波动, 窃电用户的用电量表征出来的情况也是出现用电量波动, 因为窃电部分的电量在电能表中不能被表征出来, 如图 6 所示。

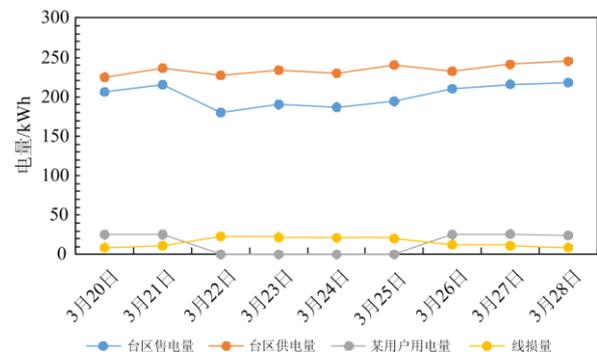


图 6 窃电特征分析

Fig. 6 Analysis of characteristics of electricity stealing

所以, 窃电^[24-25]的识别与户变关系异常识别比较相似, 都是线损率出现了较大波动, 主要区别在于用电客户的用电量是否也有较大的波动,

因此, 窃电异常的识别规则为: 台区线损率波动值超 5%, 且其中至少存在一个用户的用电量与线损率的相关性大于 0.5 时, 该用户的电量波动, 将该用户识别为异常用户, 将这个台区识别为户变关系异常台区。处理措施为先根据系统提示判断窃电的可能性, 如果觉得可能性较高, 则到现场进行核实。

3 大客户用能智能分析方法应用

3.1 用户综合用能分析应用展示

1) 用户用电稳定性分析

结合电网用户画像体系的结果信息，展示用户用电量的稳定性、分时电量偏好等用电偏好。根据计量日冻结电量，结合营销用电客户的计费档案模型，实现用户每天日用电量的计算和跟踪。根据计量用户计量点电压质量数据，分析用户电压的稳定性情况。结合计量用户计量点谐波数据，分析用户的谐波危害情况。

2) 用户用电策略模型

根据用户的整体用能情况，结合用电稳定性、负荷变化等不同维度的数据，采用聚类分析、拟合分析等分析方法，构建用户用电策略的数学模型，制定用电策略，包括：基本费收取方式、是否参与日交易、功率因素考核方式等。

3) 用户节能策略模型

根据用户的整体用能情况，结合用户负荷情况、线损情况、无功与功率因素情况，采用聚类分析、拟合分析、决策树等分析方法，构建用户节能策略模型，实现包括：节能设备改造、错峰用电、市场化交易品种等方式的节能手段。通过机器学习的算法，实现对用电客户用能数据，自动计算出用户的用能分群。结合用户画像、用电行为等数据，分析用户的用能特征。在加工处理数据以及共性挖掘结果的基础上，对不同群体间用户的特征进行差异化分析，获取用户用能之间的差异点信息。

4) 用户用能趋势分析

综合营销用户档案数据以及用户用能数据，使用时序分析等算法对用户的用能趋势进行分析，为可视化展示和景气指数等提供基础数据。根据用户用能趋势分析结果信息，对用户当前周期以及上个周期的用能数据进行比对，获取变化数值以及百分比，以及未来一个周期用能值与当前周期用能值的差值等。对用户用能趋势以及用能景气程度进行分析，从而获取用能风险识别，对于用能趋势以及用能景气程度持续下降的用户进行筛选，并对这些用户重点管理。

3.2 准实时线损及负荷分析应用展示

1) 重点客户管理

用户线损跟踪分析根据准实时线损计算结果，绘制用户线损跟踪曲线，针对线损率波动比较大的用户进行预警。操作员可通过本功能查询用户实时线路线损信息、用户线损跟踪曲线；可以通过查询条件表单输入过滤条件，通过用户实时线路线损信

息列表显示对应的用户实时线路线损信息。以专变用户的划分结果为基础，从用电水平、电压等级等方面定义重点用户范围。利用计量高频的数据采集能力，实现对用户准实时线损的计算。根据准实时线损计算结果，绘制用户线损跟踪曲线，针对线损率波动比较大的用户进行预警。

2) 用户实时负荷跟踪

结合计量自动化负荷采集情况，实现用户实时负荷跟踪，绘制用户实时负荷曲线。针对客户的电量突增、突减等异常变化情况，针对用户负荷变化比较大的用户进行负荷预警。针对重点用户，结合用户的负荷曲线进行负荷预测，并辅助用户进行电力现货交易市场交易电量的申报。

3.3 高风险用户用电异常分析应用展示

1) 高风险用户管理

依托营销管理系统、信用体系评价以及客户画像等系统的分析结果，形成高风险用户群，进行重点管理。针对识别出来的高风险用户，结合准实时线损、准实时负荷、日电量跟踪情况，实现对用户的用能跟踪。根据用户台区线损情况、电量波动性情况、用电负荷跟踪等综合数据，通过机器学习的梯度下降、随机森林等算法，构建用户窃电模型，实现对用户窃电的分析。

2) 窃电用户预测及评估

根据窃电用户预测及评估分析所得数据，采用机器学习等智能识别算法，实现对用户是否窃电进行预判。操作员可通过本功能查询计量点实时电量，实现对用户是否窃电进行预判，显示对应的计量点实时电量信息。根据窃电模型分析的数据，生成用户窃电行为的数据证据，辅助电网企业开展用电检查方案的制定和核查。

4 结论

大客户对电网运营稳定具有密切相关性。因此、用能智能分析系统是以“客户意愿”为基点，以“客户思维”为突破点，建立了大用户智能分析系统，研究成果如下：

(1) 设计了一种基于流计算的大客户用能智能分析方法，并给出平台构架和软硬件需求。

(2) 采用流计算技术对采集到的用户数据实时处理。针对重点用户，利用计量系统的高密度采集数据，基于流计算技术所提供的实时处理能力以及分布式内存计算技术所提供的高性能数据吞吐能力，开展准实时线损计算，绘制日线损曲线。

(3) 用户基于其历史数据以及实时负荷变化曲线，开展重点用户的用电负荷分析，识别专变客户

的电量突增、突减等异常变化情况, 辅助大用户开展电力现货市场交易。

参考文献

- [1] SINGH S, YASSINE A. Big data mining of energy time series for behavioral analytics and energy consumption forecasting[J]. *Energies*, 2018, 11(2).
- [2] 白浩, 袁智勇, 梁朔, 等. 基于大数据处理的配网运行效率关联性分析[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(6): 61-67.
BAI Hao, YUAN Zhiyong, LIANG Shuo, et al. Correlation analysis of distribution network operation efficiency based on big data processing[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(6): 61-67.
- [3] 方静, 彭小圣, 刘泰蔚, 等. 电力设备状态监测大数据发展综述[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(23): 176-186.
FANG Jing, PENG Xiaosheng, LIU Taiwei, et al. Overview of big data development of power equipment condition monitoring[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(23): 176-186.
- [4] 窦超, 袁满, 陈晓. 政府背景大客户与审计费用—基于供应链风险传递视角[J]. *会计研究*, 2020(3): 164-178.
DOU Chao, YUAN Man, CHEN Xiao. Government background large customers and audit fees — based on the perspective of supply chain risk transmission[J]. *Accounting Research*, 2020(3): 164-178.
- [5] 赵永彬, 陈硕, 刘明, 等. 流计算与内存计算架构下的运营状态监测分析[J]. *计算机应用*, 2017, 37(10): 3029-3033.
ZHAO Yongbin, CHEN Shuo, LIU Ming, et al. Monitoring and analysis of operational state under the architecture of stream computing and memory computing[J]. *Computer Applications*, 2017, 37(10): 3029-3033.
- [6] 丁坚勇, 周凯, 田世明, 等. 基于大数据技术的重要用户供电安全分析[J]. *电网技术*, 2016, 40(8): 2491-2495.
DING Jianyong, ZHOU Kai, TIAN Shiming, et al. Power supply safety analysis of important users based on big data technology[J]. *Power System Technology*, 2016, 40(8): 2491-2495.
- [7] 王志强, 方正, 徐艺铭, 等. 计及重要用户失负荷风险的多端智能软开关优化配置方法[J]. *高电压技术*, 2020, 46(4): 1142-1153.
WANG Zhiqiang, FANG Zheng, XU Yiming, et al. Multi-terminal intelligent soft switch optimization configuration method considering the risk of load loss of important users[J]. *High Voltage Engineering*, 2020, 46(4): 1142-1153.
- [8] 李江峡, 马艳, 古海生, 等. 基于数据驱动的用户用能行为分析方法[J]. *智慧电力*, 2020, 48(9): 63-68.
LI Jiangxia, MA Yan, GU Haisheng, et al. Data-driven user energy consumption behavior analysis method[J]. *Smart Power*, 2020, 48(9): 63-68.
- [9] 叶晓晨. 基于 J2EE 的网络教学平台的分析与设计[J]. *现代电子技术*, 2019, 42(18): 60-64.
YE Xiaochen. Analysis and design of network teaching platform based on J2EE[J]. *Modern Electronic Technology*, 2019, 42(18): 60-64.
- [10] 曾祥飞, 郭帆, 涂风涛. 基于对象跟踪的 J2EE 程序动态污点分析方法[J]. *计算机应用*, 2015, 35(8): 2386-2391.
ZENG Xiangfei, GUO Fan, TU Fengtao. J2EE program dynamic stain analysis method based on object tracking[J]. *Computer Applications*, 2015, 35(8): 2386-2391.
- [11] 欧阳宏基, 李红, 宋笑雪. 一种基于 ES2SH 框架的 Java EE 应用架构[J]. *实验室研究与探索*, 2018, 37(10): 151-156, 161.
OUYANG Hongji, LI Hong, SONG Xiaoxue. A Java EE application architecture based on ES2SH framework[J]. *Laboratory Research and Exploration*, 2018, 37(10): 151-156, 161.
- [12] 康文洋, 汤鹏志, 左黎明, 等. 基于 NB-IOT 的孤岛式微电网密钥协商协议研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(5): 119-126.
KANG Wenyang, TANG Pengzhi, ZUO Liming, et al. Research on key agreement protocol for island microgrid based on NB-IOT[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(5): 119-126.
- [13] 江疆, 黄剑文, 杨秋勇, 等. 基于 CIM 和 OPC 统一架构的配电网数据平台研究[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(3): 160-167.
JIANG Jiang, HUANG Jianwen, YANG Qiuyong, et al. Research on distribution grid data platform based on the unified architecture of CIM and OPC[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(3): 160-167.
- [14] 李莉, 朱永利, 宋亚奇. 电力设备监测数据的流式计算与动态可视化展示[J]. *电力建设*, 2017, 38(5): 91-97.
LI Li, ZHU Yongli, SONG Yaqi. Streaming calculation and dynamic visualization of power equipment monitoring data[J]. *Electric Power Construction*, 2017, 38(5): 91-97.
- [15] 曾博, 胡强, 张玉莹. 含高比例风电的电-气互联系统概率能流计算分析[J]. *太阳能学报*, 2020, 41(4): 205-214.
ZENG Bo, HU Qiang, ZHANG Yuying. Probabilistic energy flow calculation and analysis of electric-gas interconnected systems with high proportion of wind

- power[J]. Journal of Solar Energy, 2020, 41(4): 205-214.
- [16] 曹文斌, 尹项根, 张哲, 等. 基于不平衡量的变压器三角绕组环流计算方法[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(19): 164-174.
CAO Wenbin, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Calculating method of transformer triangular winding circulating current based on unbalance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(19): 164-174.
- [17] 王静怡. 电力厂区分水水位实时预警系统设计与应用[J]. 中国电力, 2019, 52(5): 127-133.
WANG Jingyi. Design and application of real-time warning system for flood prevention water level in power plant area[J]. Electric Power, 2019, 52(5): 127-133.
- [18] 喻小宝, 谭忠富, 屈高强. 基于电力客户评估的差异化电价套餐研究[J]. 中国电力, 2020, 53(2): 9-19.
YU Xiaobao, TAN Zhongfu, QU Gaoqiang. Research on differentiated electricity price packages based on power customer evaluation[J]. Electric Power, 2020, 53(2): 9-19.
- [19] 郭乐, 张丹丹. 几种基于可靠性指标的容量支持机制电力市场分析[J]. 华电技术, 2019, 41(11): 12-17, 45.
GUO Le, ZHANG Dandan. Analysis of several capacity support mechanisms based on reliability indicators in the electricity market[J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 12-17, 45.
- [20] 张航, 王振岳, 陈星. 基于智能电表的低压电网故障预判系统[J]. 华电技术, 2019, 41(2): 14-17.
ZHANG Hang, WANG Zhenyue, CHEN Xing. Low-voltage power grid fault prediction system based on smart meters[J]. Huadian Technology, 2019, 41(2): 14-17.
- [21] XIA X, XIAO Y, LIANG W. SAI: A suspicion assessment-based inspection algorithm to detect malicious users in smart grid[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2020, 15: 361-374.
- [22] 熊霞, 陶晓峰, 叶方彬, 等. 基于台区识别和关联监测加权算法的窃电检测方法[J]. 计算机应用, 2019, 39(增刊 2): 289-292.
XIONG Xia, TAO Xiaofeng, YE Fangbin, et al. Electricity theft detection method based on weighted algorithm of station identification and association monitoring[J]. Computer Applications, 2019, 39(S2): 289-292.
- [23] 李植鹏, 侯惠勇, 蒋嗣凡, 等. 基于人工神经网络的线损计算及窃电分析[J]. 南方电网技术, 2019, 13(2): 7-12, 50.
LI Zhipeng, HOU Huiyong, JIANG Sifan, et al. Line loss calculation and electricity theft analysis based on artificial neural network[J]. Southern Power Grid Technology, 2019, 13(2): 7-12, 50.
- [24] BYEON C W, HOSSAIN A, LEE Y C. Building entry loss measurements and analysis on non-line-of-sight and line-of-sight paths at 6 GHz[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2020, 19(2): 253-256.
- [25] 王昕, 田猛, 赵艳峰, 等. 一种基于状态估计的新型窃电方法及对策研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(23): 141-146.
WANG Xin, TIAN Meng, ZHAO Yanfeng, et al. A new kind of electricity theft based on state estimation and countermeasure[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(23): 141-146.

收稿日期: 2020-08-13; 修回日期: 2020-09-21

作者简介:

保富(1990—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事电网营销大数据应用研究, 电力大数据接入、数据分析等技术研究; E-mail: hugu6788@163.com

黄祖源(1989—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事电网云计算、大数据平台应用等技术研究。

(编辑 张爱琴)