

# 基于区块链的电力零售业务平台设计与实现

陈爱林<sup>1</sup>, 许杨子<sup>2</sup>, 王海超<sup>3</sup>, 肖春<sup>4</sup>, 耿建<sup>1</sup>, 于韶源<sup>1</sup>, 韦涛<sup>1\*</sup>

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 江苏省 南京市 210003;

2. 陕西电力交易中心有限公司, 陕西省 西安市 710000;

3. 安徽电力交易中心有限公司, 安徽省 合肥市 230000;

4. 国网山西省电力公司营销服务中心, 山西省 太原市 030000)

## Design and Implementation of Electricity Power Retail Business Platform Based on Blockchain

CHEN Ailin<sup>1</sup>, XU Yangzi<sup>2</sup>, WANG Haichao<sup>3</sup>, XIAO Chun<sup>4</sup>, GENG Jian<sup>1</sup>, YU Shaoyuan<sup>1</sup>, WEI Tao<sup>1\*</sup>

(1. China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210003, Jiangsu Province, China;

2. Shaanxi Power Exchange Center Co., Ltd., Xi'an 710000, Shaanxi Province, China;

3. Anhui Power Exchange Center Co., Ltd., Hefei 230000, Anhui Province, China;

4. State Grid Shanxi Electric Power Company Marketing Service Center, Taiyuan 030000, Shanxi Province, China)

**Abstract:** With the electricity market continuing to deepen reforms, the electricity retail market urgently needs a standardized and credible distributed transaction business system and a safe and efficient online information support platform to promote the healthy development of the electricity retail market. Therefore, a blockchain-based electricity retail platform system and on-chain business processes were proposed. First, this study analyzes the electricity retail transaction competition model and the retail bilateral transaction business process was designed to realize the trace on the whole business process chain and the storage on the order contract chain. Then, the electricity retail blockchain function and technical architecture were designed, combined with blockchain access control rules and smart contracts to ensure the privacy and traceability of users and transaction data. Finally, this study carries out the deployment operation and performance test of the electricity retail business blockchain platform have verified the rationality and effectiveness of the platform design.

**Keywords:** electricity retail market; blockchain; bilateral market; smart contract; trading platform

**摘要:** 随着电力市场化持续深化改革, 电力零售市场亟需规范可信的分布式交易业务体系和安全高效的线上信息支撑

基金项目: 国家电网公司科技项目(适应大规模高并发电力交易业务的区块链技术应用研究)。

Science and Technology Foundation of SGCC (Research on Application of Blockchain Technology Adapting to Large-scale and Highly Concurrent Power Trading Business).

平台, 以推动电力零售市场健康发展。为此, 提出基于区块链的电力零售平台系统及链上业务流程。首先研究了电力零售交易竞争模型, 在此模型下设计了链上零售双边交易业务流程, 实现业务全流程链上留痕、订单合同链上存储; 然后设计了电力零售区块链功能及技术架构, 结合区块链访问控制规则和智能合约, 保障用户及交易数据的隐私性和可追溯性; 最后对电力零售业务区块链平台进行部署运行和性能测试, 验证了平台设计的合理性和有效性。

**关键词:** 电力零售交易; 区块链; 双边交易; 智能合约; 交易平台

## 0 引言

全面放开经营性电力用户发用电计划, 支持中小用户参与市场化交易, 加强电力直接交易的履约监管, 积极推动线上交易支撑信息化系统建设, 是电力体制改革的重要发展趋势<sup>[1]</sup>。未来, 电力零售市场将包含多元、海量、分散的新兴主体, 中小用户参与市场化交易频繁, 售电公司的零售业务将更加活跃, 当前电力零售市场以线下交易为主的交易方式很难实现交易过程的有效管控和规范有序<sup>[2]</sup>。同时, 面向成型的大规模零售市场, 传统完全中心化的管控手段将难以高效且低成本地支撑市场化零售交易<sup>[3]</sup>。因此, 亟需通过建设线上系统, 构建安全、可信、规范、高效、灵活的分布式零售电力交易业务体系, 保证交易

数据安全、交易过程可追溯,确保市场行为的可控、能控、在控<sup>[4]</sup>。

区块链作为一种分布式安全计算范式,具有群体协作、安全互信、防篡改、可追溯等特性<sup>[5]</sup>,与电力零售市场分散式、高自主、无集中决策的业务特点具有天然的契合性,可为深度发展的零售市场提供技术支持手段<sup>[6]</sup>。目前区块链技术在能源交易中的研究及应用已较为深入<sup>[7]</sup>,应用场景包括电力批发市场、电力零售市场、分布式发电交易市场、消纳凭证交易等<sup>[8-10]</sup>。针对电力零售市场的研究大致可分为三类<sup>[11]</sup>:第一类为可行性分析,侧重于区块链技术应用用于电力交易的应用可能性及其能力,例如文献[1]分析了区块链的天然技术优势与零售市场业务痛点的契合度;第二类涉及交易流程设计和交易凭证智能合约设计的研究,例如文献[12]提出了基于联盟链的零售交易框架,设计了交易流程和交易结算的智能合约,但文中交易流程中仅涉及成员信息、套餐内容和零售合同上链,对于双方洽谈、交易审核等流程缺乏可控性,文献[13]利用区块链技术提出了一种电力零售交易的量化模型,建立了去中心化电力零售交易的均衡出清模式;第三类涉及区块链在分布式电力交易的广泛应用对电力市场的影响<sup>[14]</sup>,即分析区块链技术与各电力交易场景的结合给电力定价、交易模型、电力大数据等方面带来的相关影响。

在此研究背景下,运用区块链技术支持电力零售市场,还需包括以下两个研究要点:第一,区块链作为辅助技术手段提供可信执行环境和多方认同的交易凭证,解决线下零售交易业务不可观、不可控的业务痛点,因此双方订单洽谈、合同执行等流程需全程上链,实现有效市场监管和高粒度的交易凭证;第二,区块链所固有多方共识的技术优势,建立在交易信息共享披露基础上,这将导致过多地披露交易运营信息<sup>[15]</sup>,因此需要研究针对市场主体信息、交易运营信息、监控管控信息这三类信息的披露和隐私权衡策略。

基于以上分析,本文针对电力零售交易区块链平台设计展开研究,提出基于区块链的电力零售业务平台架构以及基于智能合约的零售业务链上留痕流转方法;针对市场主体身份信息和交易运营信息的敏感性,设计区块链数据访问控制策略。实现零售市场多元主体的高效管理和主体间互信协作,支撑高效、规范、灵活的分布式电力零售业务体系,保障零售交易核心数据的安全可靠和市场行为的高效监管。

## 1 电力零售市场交易模式及流程概述

电力市场化改革的深入,实质是为了建立具有竞争和可选择的电力交易环境。发电侧开放批发市场,供电公司的垄断批发购电被打破,售电侧降低市场主体准入标准,更多符合条件的售电公司和大用户可以直接参与售电交易,售电侧开放电力销售,电力零售竞争交易模式全面展开<sup>[16]</sup>。同时电力零售市场主体身份的双重性和零售业务服务的多元化,使传统线下电力零售业务流程不再适用<sup>[17]</sup>,需结合交易规则和新市场特性优化电力零售业务流程,实现线上自主零售交易的合法合规和透明有效的市场监管。

### 1.1 电力零售交易竞争模式

图1为电力零售交易竞争模式,参与售电侧电力零售的市场主体可以是零售公司、供电公司、购电代理、经营性用户、普通用户和大用户等。零售用户均可以自由选择售电公司,根据自身需要与对方在交易平台签订电力交易零售合同,两者之间交易方式主要为双边形式。交易中心和监管部门主要职责为交易审核、计划管理、信息发布和处理交易纠纷等。

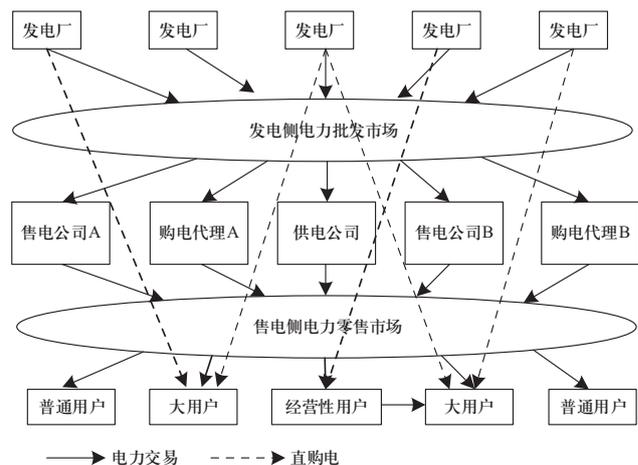


图1 电力零售交易竞争模式

Fig. 1 Competitive model of electricity retail trade

电力零售市场交易本质为多中心的分布式交易体系,这会使传统规模化电力行业进行拆分,加上没有完善的电力零售交易的商业模式以及可信安全的分布式计算执行环境作为保障,将会产生较高的交易费用和交易安全问题<sup>[18]</sup>。区块链在多利益体的分布式架构中有天然技术优势,可以有效解决零售

市场分布式自主交易模式下用户隐私、数据传输、协同效率等问题<sup>[19]</sup>。

### 1.2 电力零售业务流程设计

当前电力零售市场交易主要通过线下方式, 市场机制在零售业务实际操作过程中, 产生数据交互更新不同步、信息变更滞后和数据丢失等问题, 增加了市场监管难度<sup>[20]</sup>。基于区块链零售电力交易业务平台, 可提供分布式交易主体可信的计算环境, 结合智能合约将多方参与的交易业务流程操作状态通过区块链网络进行共识、判定和入账, 实现零售合同数据和合同操作环节信息上链存储, 提供可信的交易、结算依据, 以链上数字化职能取代面对面解决纠纷的方式, 将交易中心从繁杂的零售市场中解放出来。

电力零售业务流程设计通过市场调研并贴合互联网服务模式, 流程简洁易操。正常的零售交易流程包括零售用户发起交易、提交订单, 售电公司确认订单, 零售用户确认订单, 交易中心审核订单, 然后零售用户、售电公司签订合同, 最后交易中心监管双方执行合同。需要指出的是, 实际的流程比较复杂, 可以驳回、取消、删除订单, 业务流程可以定制, 例如交易中心审核订单步骤可以省略, 审核工作在提交订单时执行。电力零售业务整体流程如图2所示。

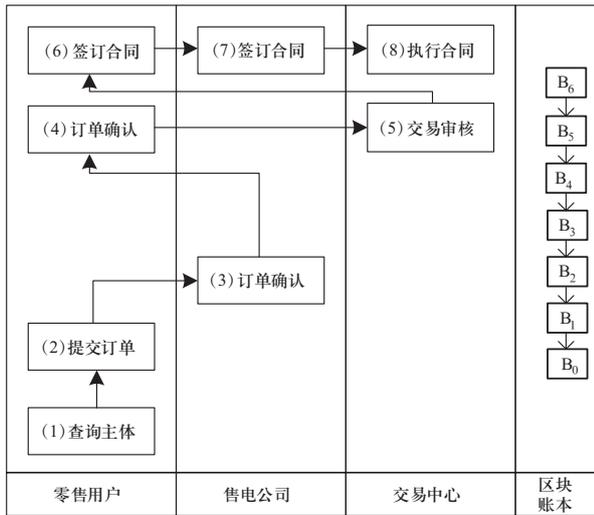


图2 电力零售业务流程图  
Fig. 2 Electricity retail business flow chart

## 2 基于区块链的零售业务平台设计

开展经营性用户间电力零售, 通过电价引导经营性用户进行电力需求响应的电量交易, 可降低用户随

机性发用电对大电网的安全性和经济性影响<sup>[21]</sup>。平台基于联盟区块链构建以市场主体为通信节点的分布式网络架构, 不同角色市场主体的权责均衡, 实时交互电力零售交易的数据信息、共享业务流程操作凭证。针对市场化主体竞争属性和零售业务数据隐私安全需求设计访问控制规则和智能合约, 平台整体功能视图如图3所示。

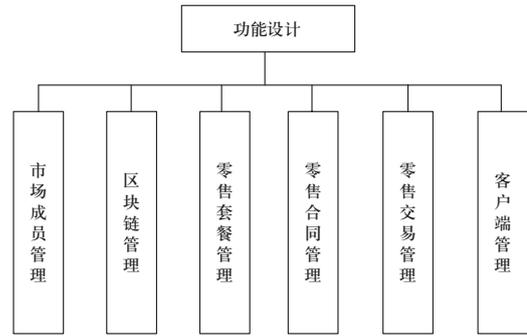


图3 电力零售平台功能视图  
Fig. 3 Functional view of electricity retail trading platform

### 2.1 区块链系统架构

基于区块链技术的经营性用户间电力零售交易需要校验配网系统的安全性和分布式交易数据的有效性, 校验过程主要是将电力零售交易匹配的数据与部署在共识节点的智能合约进行共识核验。电力零售交易业务流程链上执行每一步均会调用智能合约并记录至账本数据库。市场主体信息和Hash凭证保存至应用数据库, 考虑到高并发场景和数据库稳定的需要, SG-RDB(综合库)采用Master-Slave主从复制的模式进行部署, 同时进行读写分离。零售区块链平台留有国网链数据交互接口, 实现零售区块链与国网链数据互通。平台的客户端组件为了适应高并发应用场景的需求, 首先在用户接入层应用了Nginx中间件, 实现了对应用服务器的负载均衡; 其次, 采用了Redis技术, 作为缓存服务和消息队列服务。区块链系统架构如图4所示, 其中实线表示数据流。

### 2.2 区块链访问控制规则设计

随着电力直接交易准入门槛的进一步降低, 电网公司成为电力零售交易的参与主体之一。“区块链+电力零售”模式下的电力零售交易将包含普通电力用户、经营性用户、售电公司、金融机构、通信商、监管部门和其他辅助主体<sup>[22]</sup>。多利益体共同经营的分布式系统的数据访问控制的规则尤其重要, 以确保数

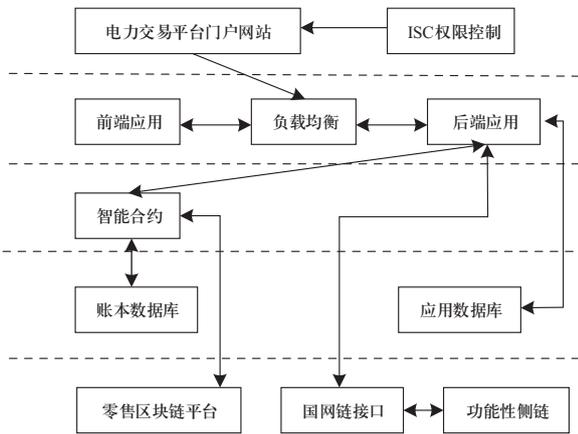


图4 区块链系统架构图

Fig. 4 Blockchain system architecture diagram

据访问安全<sup>[23]</sup>。本文的权限控制手段包括用户身份控制、私有数据集设定、智能合约层面等。

在用户身份控制方面，利用统一权限管理（ISC）和区块链实现兼容现有信息化系统的分布式身份认证，减少系统集成成本。ISC中定义了明确角色所能控制的菜单/资源业务角色和明确可以控制多个业务角色的组织角色，同时一个用户可以拥有多个组织角色。不同身份用户登入时，通过外网与内外隔离防护，调用ISC权限控制对用户身份（业务角色和组织角色）进行审核，同时将授权用户身份信息写入区块链，在后续ISC权限控制中用户身份信息修改也会同步更新至区块链账本。ISC权限控制配合身份角色验证合约，可在零售业务流程中的每个操作环节对操作人的身份进行核实，保证每个操作环节对应到人、业务操作全环节链上留痕。

在数据访问权控制方面，将零售合同、用户信息、市场主体信息等分为不同数据实体，并根据《国家电网公司信息安全等级保护定级表》定义不同参与主体视图下数据实体的安全隐私级别，根据业务数据特性细分隐私粒度，结合私有数据集来实现不同市场主体私有数据的隔离。在基于区块链的电力零售竞争交易模式下，交易双方在洽谈的过程中，既需要其他市场主体共识留痕，同时需要确保业务数据不可见。私有数据集机制通过控制数据可查看的市场主体集合，结合智能合约实现对私有数据集的访问控制。同时在私有数据进行交易确认和日后纠纷核验时，所有主体都可以参与私有数据的合法性和完整性核验，而不仅仅为私有数据策略定义的主体集合。例如在合同生成之前的订单确认阶段，交易中心允许交易双方以某价格（私有数据）进行购电交易，链码会

在交易双方的私有数据集中写入某价格的订单，但不能仅由交易双方共识，需要交易中心和其他市场主体共识确认，带有私有数据Hash的交易会被包括在区块中分发给所有节点，这样就可以在不泄露私有数据的情况下，用同样的方式来验证交易。该私有数据共享特性可以有效避免多业务主体细粒度隐私需求而产生的多组多边的私有数据集。

## 2.3 零售业务流程上链合约设计

线下进行电力零售交易时，双方在洽谈、沟通和签订合同过程中，交易中心和监管部门很难参与其中，当交易双方产生纠纷后，交易中心很难提供双方认可的依据，快速解决纠纷<sup>[24]</sup>。平台通过映射线下交易流程，设计智能合约实现零售合同链上流转、签订、存储，保证线上交易全流程的可观、可测、可控。将疲于解决纠纷的交易中心从零售市场解放出来，有效降低能源市场的管理运营成本，提高监督效率。零售业务相关智能合约设计包括了零售套餐管理、零售交易管理和零售合同管理。

### 2.3.1 零售套餐管理智能合约

零售套餐模板会根据地区、市场发展阶段和所针对用户的不同进行设计和更新。零售套餐管理智能合约主要提供套餐模板上链、更新功能。

1) 套餐模板上链是将结构化的套餐模板数据通过智能合约写入区块链账本中。售电公司和用户之间进行交易时，选择套餐，填入约定价格和电量以自动生成合同。

2) 套餐模板更新主要通过调用合约对售电套餐进行更新。

### 2.3.2 零售交易管理智能合约

在零售合同生成之前，购电方首先需要发起交易，零售交易管理智能合约提供了交易申报和查看交易结果功能。

1) 交易申报是用户在客户端进行申报交易，包括选择套餐，填写套餐内容、交易电量、交易价格、结算价格。

2) 查看交易结果功能是将交易结果导出，交易双方套餐各项内容达成一致后，转为变为合同状态。交易结果的导出，可以明确购方、售方、购电方类型（电力用户或售电公司）、成交电量、成交电价明细等信息。不同市场主体导出信息并不相同，如交易中心用于交易审核时并不能查看到成交电量和成交电价。

### 2.3.3 零售合同管理智能合约

在交易双方确认零售套餐交易信息, 初步达成共识并生成零售合同后, 还要经过交易审核、签订合同、执行合同等阶段。零售合同管理智能合约提供了合同存储管理、合同流程化操作和合同上链管理等功能。

1) 合同存储管理主要将零售交易合同存储在区块链账本上, 交易合同包含交易主体、零售套餐、交易时间等信息, 交易合同可以写入省公司外网存储账本。

2) 合同流程化操作主要将零售交易合同从生成至到期每个状态、该状态操作人、操作时间等信息提交至区块链上用于存证。表1为零售合同管理智能合约中零售合同状态字段。在每个操作环节会对操作人角色进行核验, 对操作状态、流程的逻辑合理性进行判断, 例如当零售合同操作状态为“执行中”时, 下个阶段不能为“驳回”等状态。

表1 零售合同状态字段  
Table 1 Retail contract status field

序号	维度	状态
1	操作状态	待处理、已提交、驳回、确认、取消、删除、签订、执行中、到期、被质疑
2	操作流程	拟订、审核、签订、执行、冻结
3	操作人	交易机构、购售实体、用户
4	下一个流程的操作人	交易机构、购售实体、用户
5	刷新时间	2020-01-02, 03:04:05

3) 合同上链管理主要为交易中心对零售合同进行上链存证, 交易合同由售电公司和零售用户共同提交, 零售区块链网络节点收到请求时, 智能合约先对合同电子文本进行Hash运算, 并判断节点角色, 随后交易中心则对电子文本进行加密并存入账本, 其他节点无权执行合同文本的上链操作。

## 3 电力零售区块链平台验证案例

### 3.1 案例部署概况

电力零售区块链平台定位作为新零售模块集成于省级统一电力交易平台, 服务全省零售市场主体。电力交易中心完成市场成员的注册导入、指导, 规范零售用户和售电公司间开展互动交易、签订交易合同, 同时提供结算依据; 监管部门目前不参加共识, 只部

署只读的公共账本来负责市场违规监管; 零售用户受到用户规模和算力资源等限制, 可根据自身情况选择是否参与区块链网络共识。本案例不设置共识节点在零售用户节点。

本案例电力零售交易平台组织设为energysale.com, 其中参与区块链网络主体组织分为交易中心(ExchangeOrg)、零售用户(ConsumerOrg)、售电公司(RetailerOrg)。平台利用4台虚拟机搭建了系统集群, 区块链网络节点按节点功能分为7个peer节点, 3个排序节点, 配置7个公有账本数据库, 4个平台服务支撑功能节点, 节点类别及用途如表2所示。

表2 零售交易区块链部署环境的节点配置示例  
Table 2 Example of node configuration for retail transaction blockchain deployment environment

类别	节点	用途
合约计算	peer0.exchangeorg.energysale.com	部署智能合约
	peer1.exchangeorg.energysale.com	
	peer2.exchangeorg.energysale.com	
	peer0.consumerorg.energysale.com	
	peer1.consumerorg.energysale.com	
	peer0.retailerorg.energysale.com	
	peer1.retailerorg.energysale.com	
分布记账	couchdb0.exchangeorg.energysale.com	部署账本数据库
	couchdb1.exchangeorg.energysale.com	
	couchdb2.exchangeorg.energysale.com	
	couchdb0.consumerorg.energysale.com	
	couchdb1.consumerorg.energysale.com	
	couchdb0.retailerorg.energysale.com	
	couchdb1.retailerorg.energysale.com	
排序	orderer0.energysale.com	共识排序
	orderer1.energysale.com	
	orderer2.energysale.com	
功能服务	acl.energysale.com	ISC权限控制
	lb.energysale.com	负载均衡
	web.energysale.com	应用服务器
	db.energysale.com	应用数据库

### 3.2 案例性能测试

本案例测试环境为4台虚拟机, 分别为Web服务器、数据库服务器、区块链服务器和应用服务器, 1台物理机的客户端, 性能效率测试工具为HP

Performance Center 11.0, 表3为测试环境详细配置参数。

表3 测试环境配置参数  
Table 3 Test environment configuration parameters

名称	硬件配置	软件配置
Web服务器	CPU: 4核	操作系统:
	内存: 8 GB	CentOS 7.5 X64
	硬盘: 100 GB	软件名称及版本:
	网卡带宽: 100 Mbps	NginxV1.18
应用服务器	CPU: 4核	操作系统:
	内存: 8 GB	CentOS 7.5 X64
	硬盘: 100 GB	软件名称及版本:
	网卡带宽: 100 Mbps	JDK1.8、Maven3.5.0
Fabric区块链服务器	CPU: 8核	操作系统:
	内存: 16 GB	CentOS 7.5 X64
	硬盘: 100 GB	软件名称及版本:
	网卡带宽: 100 Mbps	Docker 20.10.5
数据库服务器	CPU: 4核	操作系统:
	内存: 8 GB	CentOS 7.5 X64
	硬盘: 100 GB	软件名称及版本:
	网卡带宽: 100 Mbps	Mysql 5.7
客户端		操作系统: Window 7
	CPU: 4核	软件名称及版本:
	内存: 8 GB	Google Chrome 60.0.
	硬盘: 1 TB	3112.113、Firefox 54.0.1、
	网卡带宽: 100 Mbps	HP Performance Center 11.0

目前, 案例已经作为新零售模块集成至统一电力交易平台, 其代码安全测试、应用安全测试、应用功能完整性测试均符合国家电网公司信息化项目实施规范。本章主要对零售交易区块链模块进行性能测试说明。区块链系统性能测试主要分为两大类: 添加订单和订单查询。添加订单主要指业务流程环节涉及到添加、更新、删除区块链账本数据的操作, 测试通过30个并发测试用户进程持续10 min进行事务添加操作; 订单查询是指不涉及区块链共识操作事务, 测试方法同添加订单。表4为性能测试结果。

案例测试中区块链网络共识算法采用了Raft算法<sup>[25]</sup>, 添加订单类业务吞吐量216.12笔/min并不高, 主要受限于不同服务器之间网络交互环节所产生的时延, 可以通过优化交互流程、增强服务器性能、提高网络带宽来解决, 此类工程化应用问题将在后期逐步完善。

目前基于区块链电力零售交易研究案例相对较少, 本案例在性能方面满足当前省级零售市场主体要求。在功能性方面, 相较于文献[12], 本案例实现了业务全流程的可观、可控和高粒度的数据隐私保护策

略, 同时在系统架构方面更加兼容现有信息化系统, 大大减少了系统集成/迁移成本。

表4 性能测试结果  
Table 4 Performance test results

测试内容	测试项	测试结果
添加订单	事务响应时间	平均响应时间6.108 s
	事务成功率	100%
	业务吞吐量	216.12笔/min
	区块链服务器CPU平均利用率	11.92%
订单查询	区块链服务器内存平均利用率	16.31%
	事务响应时间	平均响应时间0.044 s
	事务成功率	100%
	业务吞吐量	40 047.72笔/min
区块链服务器CPU平均利用率	区块链服务器CPU平均利用率	3.01%
	区块链服务器内存平均利用率	16.04%

## 4 结语

本文通过研究电力零售市场交易模式的发展与趋势, 分析零售市场未来发展可能出现的业务痛点, 提出了基于区块链的电力零售业务平台的组织架构。针对多利益体的电力零售业务, 设计了区块链网络环境下的多层次数据访问控制机制和私有数据集合设定, 使业务数据互信互通、安全高效地多方流转。针对线下交易流程不可观, 设计了链上交易流程, 实现交易流程全环节上链存证, 高效解决交易纠纷。平台案例通过了安全和性能测试, 可与省级统一交易平台实现集成, 服务现阶段零售市场。

作为工程落地初探, 本文主要针对现有的省级市场规模, 随着市场准入标准降低和新能源比例不断增加, 未来零售市场主体呈现属性多元、规模不断扩大等趋势, 需要设计适合电力零售交易的专用共识算法, 以适应电力零售业务量的增长并满足高实时性的要求。

## 参考文献

- [1] 谢开, 张显, 张圣楠, 等. 区块链技术在电力交易中的应用与展望[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(19): 19-28.

- XIE Kai, ZHANG Xian, ZHANG Shengnan, et al. Application and prospect of blockchain technology in electricity trading[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(19): 19-28(in Chinese).
- [2] 吉斌. 基于区块链技术的产消用户电力零售交易机制与模式研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- JI Bin. Research on retail trading mechanism and model of prosumers based on blockchain technology[D]. Nanning: Guangxi University, 2019(in Chinese).
- [3] 王冰钰, 颜拥, 文福拴, 等. 基于区块链的分布式电力交易机制[J]. 电力建设, 2019, 40(12): 3-10.
- WANG Bingyu, YAN Yong, WEN Fushuan, et al. A blockchain based distributed power trading mechanism[J]. Electric Power Construction, 2019, 40(12): 3-10(in Chinese).
- [4] 寇岩, 刘宇明, 郭亮. 现货市场模式下电力零售市场建设思路[J]. 电网技术, 2021, 45(9): 3417-3423.
- KOU Yan, LIU Yuming, GUO Liang. Ideas on construction of electricity retail market under spot market mode[J]. Power System Technology, 2021, 45(9): 3417-3423(in Chinese).
- [5] WANG X H, LIU P, JI Z X. Trading platform for cooperation and sharing based on blockchain within multi-agent energy Internet[J]. Global Energy Interconnection, 2021, 4(4): 384-393.
- [6] 裴凤雀, 崔锦瑞, 董晨景, 等. 区块链在分布式电力交易中的研究现状及分析[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(5): 1752-1771.
- PEI Fengque, CUI Jinrui, DONG Chenjing, et al. The research field and current state-of-art of blockchain in distributed power trading[J]. Proceedings of the CSEE, 2021, 41(5): 1752-1771(in Chinese).
- [7] ZHANG S M, HOU C. Model of decentralized cross-chain energy trading for power systems[J]. Global Energy Interconnection, 2021, 4(3): 324-334.
- [8] 陈家庚, 林哲敏, 李永波, 等. 电力零售市场信息披露机制研究与探讨[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(17): 168-174.
- CHEN Jiageng, LIN Zhemin, LI Yongbo, et al. Information disclosure mechanism in electricity retail market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(17): 168-174(in Chinese).
- [9] 陈妍希, 赵奇, 龚育成, 等. 基于区块链技术的电动汽车充电交易探讨[J]. 电力工程技术, 2020, 39(6): 2-7.
- CHEN Yanxi, ZHAO Qi, GONG Yucheng, et al. EV charging transaction based on blockchain technology[J]. Electric Power Engineering Technology, 2020, 39(6): 2-7(in Chinese).
- [10] 杨玉博, 卢达, 白静芬, 等. 基于区块链技术的充电桩运维系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(22): 135-141.
- YANG Yubo, LU Da, BAI Jingfen, et al. Research on a blockchain-based charging pile maintenance system[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(22): 135-141(in Chinese).
- [11] ZHAO S N, WANG B B, LI Y C, et al. Integrated energy transaction mechanisms based on blockchain technology[J]. Energies, 2018, 11(9): 2412.
- [12] 袁晓鹏, 申少辉, 张光明, 等. 区块链技术在电力零售市场管理中的应用研究[J]. 电力信息与通信技术, 2020, 18(6): 54-61.
- YUAN Xiaopeng, SHEN Shaohui, ZHANG Guangming, et al. Research on application of blockchain technology in retail electricity market management[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2020, 18(6): 54-61(in Chinese).
- [13] 霍雪松, 王岗, 吉斌, 等. 基于区块链的产消用户间电力零售模型量化初探[J]. 电力需求侧管理, 2021, 23(4): 84-89.
- HUO Xuesong, WANG Gang, JI Bin, et al. Preliminary study on the quantification of electricity retail model between production and consumption users based on blockchain[J]. Power Demand Side Management, 2021, 23(4): 84-89(in Chinese).
- [14] FAN Tao, HE Qingsu, NIE Erbao, et al. A study of pricing and trading model of blockchain & big data-based energy-Internet electricity[C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Science and Material Application (ESMA 2017), Chongqing, China, 25-26 November 2017.
- [15] 黄虹, 文康珍, 刘璇, 等. 泛在电力物联网背景下基于联盟区块链的电力交易方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(3): 22-28.
- HUANG Hong, WEN Kangzhen, LIU Xuan, et al. Power trading method based on consortium blockchain under ubiquitous power Internet of Things[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(3): 22-28(in Chinese).
- [16] 刘敦楠, 庞博, 宋莉, 等. 能源互联网环境下零售主体价值发现与实现策略[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(6): 618-625.
- LIU Dunnan, PANG Bo, SONG Li, et al. Value discovery and realization strategy for electricity retailers in energy Internet environment[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(6): 618-625(in Chinese).
- [17] 田雨扬, 卢锦玲, 赵洪山, 等. 基于联盟区块链的直购电交易模型[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(8): 139-148.
- TIAN Yuyang, LU Jinling, ZHAO Hongshan, et al. Direct purchase electricity transaction model based on a consortium chain[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(8): 139-148(in Chinese).
- [18] 张利. 电力市场概论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 4-6.
- [19] 李大伟, 宋春晓, 李斌, 等. 电力区块链基础设施架构及其设计与实现[J]. 电力工程技术, 2021, 40(2): 93-100.
- LI Dawei, SONG Chunxiao, LI Bin, et al. Blockchain technology in power system: infrastructure architecture, design and implementation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(2): 93-100(in Chinese).
- [20] 曾鸣, 程俊, 王雨晴, 等. 区块链框架下能源互联网多

- 模块协同自治模式初探[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3672-3681.
- ZENG Ming, CHENG Jun, WANG Yuqing, et al. Primarily research for multi module cooperative autonomous mode of energy Internet under blockchain framework[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3672-3681(in Chinese).
- [21] 李鹏, 黄龙, 陈皓勇, 等. 日本电力市场建设对我国的启示[J]. 南方电网技术, 2019, 13(9): 67-74.
- LI Peng, HUANG Long, CHEN Haoyong, et al. Enlightenment of Japan's power market construction to China[J]. Southern Power System Technology, 2019, 13(9): 67-74(in Chinese).
- [22] 彭丽霖, 钟茜, 李晨, 等. 适应泛在互联的电力零售市场运营管控关键问题研究[C]//中国电机工程学会电力市场专业委员会2019年学术年会暨全国电力交易机构联盟论坛, 2019, 成都.
- [23] 王海, 曾飞, 杨雄. 基于区块链的配电物联网数据安全防护方法[J]. 电力工程技术, 2021, 40(5): 47-53.
- WANG Hai, ZENG Fei, YANG Xiong. Blockchain-based data security protection for distribution Internet of Things[J]. Electric Power Engineering Technology, 2021, 40(5): 47-53(in Chinese).
- [24] 杨甲甲, 赵俊华, 文福拴, 等. 电力零售核心业务架构与购售电决策[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(14): 10-18.
- YANG Jiajia, ZHAO Junhua, WEN Fushuan, et al. Key business framework and purchase/sale decision-making for electricity retailers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(14): 10-18(in Chinese).
- [25] GORENFLO C, LEE S, GOLAB L, et al. FastFabric: scaling hyperledger fabric to 20,000 transactions per second[C]//2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency. May 14-17, 2019, Seoul, South Korea. IEEE, 2019: 455-463.

收稿日期: 2021-10-12; 修回日期: 2022-01-13。



陈爱林

作者简介:

陈爱林(1973), 男, 博士, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化, E-mail: chenailin@epri.sgcc.com.cn。

许杨子(1987), 女, 中级工程师, 主要研究方向为电力市场智能监测及信息化支持等, E-mail: xyz1987ilu@sohu.com。

王海超(1978), 男, 工学博士, 正高级工程师, 主要从事电力市场交易、电力系统安全稳定控制研究, E-mail: wanghaichao@tsinghua.org.cn。

韦涛(1994), 男, 硕士, 主要研究方向为能源区块链。通信作者, E-mail: weitaol@epri.sgcc.com.cn。

(责任编辑 李锡)