

## 售电侧放开的电力交易中的智能合约应用

高春成<sup>1,2</sup>, 翟莹莹<sup>3</sup>, 王春艳<sup>1,2</sup>, 郑宗强<sup>1</sup>, 王海宁<sup>1,2</sup>

(1.南瑞集团(国网电力科学研究院) 南京 210003; 2.北京科东电力控制系统有限责任公司 北京 100194;

3. 东北大学 计算机科学与工程学院, 沈阳 110819)



**摘 要:** 电力市场市场化改革后, 售电侧逐渐放开, 形成了自由买卖的电力竞争市场。电力交易由集中管理方式转变为去中心化模式, 交易主体、方式及种类都会发生变化, 对电力交易进行管理难度将增大。为了便于电力交易管理, 基于区块链技术, 市场参与者对电力交易进行自发管理。区块链被记录在网络中的所有节点中, 由所有节点共同维护。电力交易过程采用智能合约机制, 将电力交易主体双方达成的协议以代码的形式存储在区块链上, 在合约账号中进行转账, 进而解决交易双方之间的信任问题。

**关键词:** 区块链; 智能合约; 去中心化; 电力交易.

**中图分类号:** TP29

**文献标识码:** A

## Power Trade After Power Sales Market Liberalization Based on Smart Contract

GAO Chun-cheng<sup>1,2</sup>, ZHAI Ying-ying<sup>3</sup>, WANG Chun-yan<sup>1,2</sup>, ZHENG Zong-qiang<sup>1</sup>, WANG Hai-ning<sup>1,2</sup>

(1. Nari Group Corporation/State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. Beijing Kedong Electric Power Control System Co., Ltd., Beijing 100194, China;

3. School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** With the reform of the electric power market, the sale of electric power has become a competitive market. The variety of market participants has changed, the quantity has also increased greatly, the transaction information will be quantified, and the management difficulty of the power transaction will increase. Based on the blockchain technology, market participants manage the transaction spontaneously. Blockchain is recorded in all nodes in network and is maintained by all nodes. Electricity trading process using intelligent contract mechanism, will be an agreement between electricity trading main body in the form of code stored in the block chain, in contract account transfer, and resolve the trust problem.

**Key words:** Blockchain; smart contract; decentralized; power trading.

## 1 引 言

为了促进电力市场的改革, 我国的电力市场进行了一系列的变革。发电侧改革完成后, 目前在推动售电侧的全面放开, 形成自由交易的电力竞争市场。随着售电侧放开, 消费者不以消费为主, 还能转化为生产者, 即成为产消者, 实现可再生能源的局部消纳, 降低能量的传输损耗, 降低了发电成本。随着产消者进入电力市场, 商业模式会发生很大的变化, 电力市场会出现自由双边交易。

市场的管理方式有两种, 以中心机构为管理主

体和成员自发管理的模式。售电侧放开后, 会逐渐摒弃以中心为管理主体的模式, 由于交易中心需要大量的人力成本进行数据库维护和与第三方进行频繁的信息校对。交易中心容易受到攻击, 信息存储安全性较差, 数据可能丢失或被篡改。而且, 交易中心掌握市场的所有交易信息, 导致信息极度不对称, 而用户掌握的信息量较少, 且隐私难以保障, 存在利用中心权力损害参与者利益的情况<sup>[1,2]</sup>。

区块链技术是一种分布式存储的数据库, 可以

收稿日期: 2017-05-27; 修回日期: 2017-07-27

基金项目: 国家电网公司总部科技项目“电力交易平台移动应用及大数据分析关键技术研究”(SGEPRI-KJB-KJ(2017)2941)

作者简介: 高春成(1982-), 男, 黑龙江牡丹江人, 高级工程师, 主要从事电气工程及其自动化研究等方面的工作; 翟莹莹(1984-), 黑龙江望奎县人, 博士, 讲师, 主要从事工业流程优化与仿真等方面的教学与科研工作。

看为一个账本,每个区块上存储了一段时间内的交易信息以及上一个区块的哈希值。区块按时间顺序相连,形成区块链。所有的信息被记录在网络中的各个节点中,由所有节点共同维护。在区块链网络中实现全网同步备份,保证数据的安全性且数据具有公开性,不易丢失。因此,在交易双方进行交易时,可以通过查阅之前的交易记录来验证交易是否能够达成。针对区块链技术的发展情况,系统性地梳理了区块链的基本原理、核心技术、典型应用和现存问题,为其它领域的研究提供有益的启发与借鉴<sup>[3]</sup>。对区块链技术相关应用研究主要集中于金融领域<sup>[4,5]</sup>。能源互联网多能源系统协同及碳排放权认证过程也采用了区块链技术。区块链技术是具有普适性的底层技术框架区块链技术将会经历以可编程数字加密货币体系为主要特征的区块链 1.0 模式、以可编程金融系统为主要特征的区块链 2.0 模式和以可编程社会为主要特征的区块链 3.0 模式<sup>[6]</sup>。区块链技术可以很好地解决电力交易市场中出现的问题,建立一套完整的可追溯交易体系<sup>[7-9]</sup>。

售电侧放开后,电力市场交易愈加灵活,应用区块链技术的智能合约技术让市场参与者对交易进行自我管理,扩展区块链的电力交易管理功能。电力交易的供需双方可以将协议内容转化成代码存储在区块链上,如果合约能够满足执行的条件,智能合约会根据已经达成的协议内容自动执行,在合约账号中进行转账,进而解决交易双方之间的信任问题。由于智能合约是依靠区块链网络自动化完成交易,而区块链记录的交易数据通过哈希函数的散列值来判断是否篡改,并可以通过其他区块链进行数据恢复,充分保证数据的安全性。

## 2 售电侧放开后的电力交易

售电侧放开后,更多的售电主体加入市场,适当的竞争激活了市场机制,电网公司放开用户的选择权,为售电市场带来更加弹性化的利润。随着售电侧的市场化发展,新的售电企业将参与其中。售电侧放开后,交易主体发生了变化,市场格局与之前的集中交易完全不同,盈利模式也会发生变化。

售电侧放开后,对电网的交易布局产生了重大影响,利益的分配形式也会发生调整。以电力交易中心为主体的交易模式正在改变,区域性自发性去中心化的电力交易正在兴起。取得资质的售电公司,如互联网公司,能耗大的企业等参与到电力交易中,使得电力交易的主体多样化。

电力市场放开后,新型配电企业将会跟发电企业直接进行电力交易,弱化的电力交易中心的智能,省去中间环节后,高效能的售电公司和发电企

业将会成为电力改革的重大盈利者,帮助用电量较高的公司进一步节能减排,提高效能。

售电侧放开后,社会资本进入售电业务,用户拥有更多的选择权,不再局限于原有的电力公司,能够提升售电服务质量和用户用能水平。电网企业对供电营业区内的居民用户提供电力保底服务,保障基本供电,承担保底供电服务;发电企业、拥有用户较多的互联网企业、拥有分布式电源的用户、供水、供气等公共服务行业,节能服务公司等均可成立售电公司,从事市场化售电业务<sup>[10]</sup>。

电力改革完成后,参与电力交易的售电主体主要有三类<sup>[11]</sup>:电网企业的售电公司;社会资本投资增量配电网,拥有配电网运营权的售电公司;以及类是独立的售电公司,不拥有配电网运营权,不承担保底供电服务。这三类公司均可参与市场竞争。在一个供电营业区内只允许有一家公司拥有该配电网经营权,承担供电保底服务,通常这家公司为电网企业。但是一个区域内可以存在多个售电公司,售电公司可在多个供电营业区内售电。售电侧放开直接面对电力用户,关系到每家每户的用电成本以及利益,可以让用户自由的选择售电主体,与传统的售电统购统销方式不同。

## 3 区块链技术中的智能合约

### 3.1 区块链工作量机制

在区块链中,为了提高系统被攻击的难度,利用正反向运算的不对称性,对其工作流程进行检测。如果有攻击者对区块链进行攻击,其攻击的工作量要与建立该区块链的工作量相近,否则,区块链上的信息是无法被更改的。实质上参与区块链运算的中央处理器的投票权问题,工作量证明的难度根据区块生成的平均速度来设定,通常攻击者的伪造行为满足 Poisson 分布<sup>[12]</sup>。交易过程的区块链长度是被攻破的主要条件,攻击者最终消除  $m$  个区块差距的概率为:

$$p_m = \begin{cases} 1, p \leq q \\ (\frac{q}{p})^m, p > q \end{cases} \quad (1)$$

式中,实际交易节点的概率为  $p$ ,  $q$  为伪造交易节点产生下一交易的概率。

$$p_r = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \cdot \begin{cases} (\frac{q}{p})^{m-k}, k \leq z \\ 1, k > z \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $p_r$  为伪造节点篡改交易的概率。  $\lambda = mq/p$  为伪造交易过程的期望值,表示其潜在的进展。当正常交易链接了  $m$  个区块后,伪造过程节点会开始伪造交易链条,链条增长服从泊松分布。

随着攻击者能力的提升，交易过程的安全风险会增加，当区块链为二区块时， $q=0.3$  时，失效风险达到 50 %左右。当区块链的个数增加到 20 个左右时， $q=0.3$  时，系统失效风险小于 0.3 %，因此，随着时间的积累，区块链不断增多，有效区块后的安全会得到保证。

3.2 智能合约

智能合约允许交易双方参与，可以执行某些承诺协议，是一套应用数字为表现形式的承诺。例如将一台自动售货机看成是一个销售商品的智能合约，那么它要执行的就是顾客与机器主人之间的关于如何购买商品的合约。严格地说，智能合约的工作原理与其它计算机程序语言中的 if-then 语句很相近。一个自动运用智能合约的典型例子，就是格里格设计的由条文、参数和代码组成的李嘉图合约。对于智能合约代码，最关键的要求是代码必须执行成功和按时准确地完成。虽然某些研究机构正在推行智能合约防篡改代码，但其实最好的办法是将智能合约放在由防篡改网络序列构成的执行体系当中，也就是需要建立一个智能合约模板。

区块链技术中的智能合约，可以理解为将一些必要的合约条款嵌入到区块链中，每次调用区块链节点必将按照其中的智能合约来处理交易。智能合约是一种拟定的交易方式，一个合约作为一段程序存储在区块链中，任何人支付一点费用就可以用特定的操作将他的程序上传，建立一个以太坊合约。一旦合约上传，将永远存在区块链中。智能合约有自己的资金账户，其他用户可以调用程序中开放的应用程序编程接口，由合约收发款项。智能合约与区块链结合概念图，如图 1 所示。

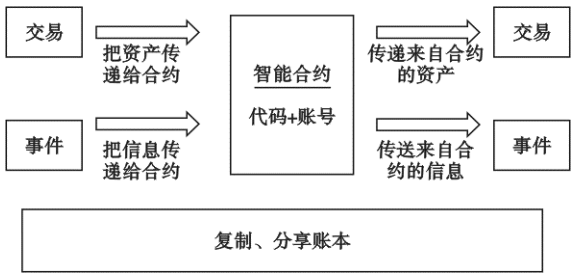


图 1 智能合约与区块链结合  
Fig.1 Smart Contract coupled with blockchain

与传统合约相比，智能合约在双方或多方无需信任彼此时，就可以共同协议完成某些交易。因为智能合约是代码定义的，由代码自动执行，人工无法干预，区块链使计算机系统成为受信任的系统。智能合约不依赖于某些中心化的服务器，它分布在区块链的各个节点，是去中心化的。

区块链为智能合约的实现提供了一个平台，而

智能合约使得区块链的应用更加广泛和灵活。智能合约将合约内容以代码的形式保存，使得合约具有强制性；把执行合约的基本环境与一致性算法融合在一起，使得合约的改变不由单点决定，保证了合约执行的可信性和可验证性，从而可以省去第三方监管费用。

4.智能合约在电力交易中的应用

采用区块链技术中的智能合约应用，有利于实现电力交易的去中心化，可以跳出第三方交易机构，在解决多方交易中的信任问题的同时，方便数据管理，提高交易效率及准确性，并且保证了交易过程中的信息安全，在能源方面，有利于提升能源利用率。智能合约模型，如图 2 所示。

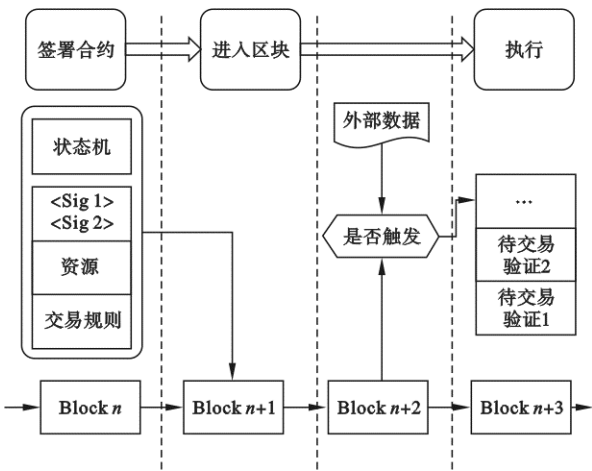


图 2 智能合约模型  
Fig.2 Model of Smart Contract

基于区块链技术智能合约机制，可以将每个售电企业与购电用户联合组成一个组合区块链。在这个区块链上，售电侧、发电侧、购电单位、及各电力用户将形成多方关联节点，共同记账，每个新的数据块加盖时间戳后按照时间顺序连接成区块链。组合区块链模型，如图 3 所示。

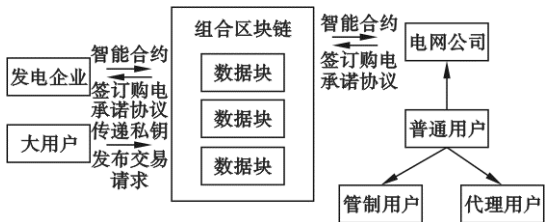


图 3 电力交易的区块链模型  
Fig. 3 blockchain model of power trading

售电侧、发电侧、购电单位、及各电力用户可以通过数字身份和公钥读取每个数据块的全部用电信息，而售电公司及购电用户可以凭据数字身份和私钥读取个体用电信息，电力用户读取个人数据后向售电主体发起购电请求，只有购电请求信息跟售

电主体所读取的数据验证一致时售电主体给予支付结算,并根据电量偏差判断是否收取惩罚金,否则拒绝购电请求。

双边交易是指电力交易供需双方本着自愿互利原则,在电力市场中通过协商,达成双边合同的交易方式。在电力市场中主要有两类电量,一类是中长期电力电量,这类电量的供需一般具有长期性、稳定性和可预测性。二类电量是实时电量,由于环境的变化、需求的不平衡等因素需要及时供应和交易,送出电量具有可变性和不可预测。在双边交易模式下,取消现有的电力库,电网退出电力统购统销,只负责电为传输,并收取过网费,不再参与电价定价机制。电力调度从目前的电网中独立出来,成为用户与电网的桥梁,独立、公平的分配、调度全部电为交易合同,并保证合同得全面执行<sup>[13,14]</sup>。

当售电侧、发电侧、购电单位、及各电力用户在平台上共同签订“购电承若协议”后,电力用户每次提交购电申请将会形成一次承诺,则记录为一次数据块,并将该数据块加密后广播并复制给所有节点,每个节点读取完信息并执行自己动作后生成新的数据块,随后立即加盖时间戳广播并复制给系统全部节点,系统节点放弃原数据块信息执行,开始执行最新时间戳的数据块,循环这个过程直至所有节点执行完毕自己所归属的动作。

通过该平台的技术服务,电力主体完成了整个电力交易过程,用电主体购买了所需电量,售电主体实现了销售过程。在这个过程发电商将交易电量、价格、电量偏差等交易信息写入合约并发布到交易池的区块链中,购电主体查看区块链中的合约内容,选择符合自己要求的合约并用自己的私钥进行数字签名,与发电商达成合约,并广播至区块链中。

虽然交易双方可以获取相关信息,但在技术上我们将进行数据加密,保证了交易主体的信息隐私。此外,区块链技术的应用弱化了交易中心,使交易主体可以自由选择交易,增加了市场的活跃性。智能合约机制下的电力交易,对售电主体而言可以把复杂的电力交易过程变成简单的合约函数,不仅大大提高了整个交易过程的效率,缩短交易周期,提高货币的流通,减少由于时间跨度过大而产生的不可控干扰因素,增加了能源的利用率,减少不必要的能源开销。

## 5 结 论

为了适应售电侧放开的电力市场交易的变化,本文采用区块链技术中智能合约技术组织电力市场交易,建立了基于智能合约的电力交易模型。售电侧放开后,市场利于形成多买多卖的市场竞争格局,增加用户用电选择权。由于市场参与主体的增加,

交易信息将会海量化,对电力交易进行管理难度将大大增加。区块链技术应用用于电力交易市场中,使得传统的监管者可在无中心化的网络中发挥适当的监管职能,通过智能合约交易双方可以在区块链中自由选择,触发合约条件自动达成交易,增加了电力市场交易的灵活性。

## 参考文献(References)

- [1] Yeung C, Poon A, Wu F. Game theoretical multi-agent modeling of coalition formation for multilateral trades [J]. IEEE Trans Power System, 1999, 14(3): 929-934.
- [2] Richter C, Sheble G. Genetic algorithm evolution of utility bidding strategies for the competitive market-place [J]. IEEE Trans Power System, 1998, 13(1): 256-261.
- [3] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望 [J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
- Yuan Yong, Wang Feiyue. Blockchain: the state of the art and future trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494.
- [4] Kishigami J, Fujimura S, Watanabe H, et al. The blockchain-based digital content distribution system [C]. 2015 IEEE Fifth International Conference on Big Data and Cloud Computing (BD Cloud). Dalian: IEEE, 2015: 187-190.
- [5] Watanabe H, Fujimura Shigeru, Nakadaira, et al. Blockchain contract: a complete consensus using blockchain [C]. 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics. Osaka, Japan: IEEE, 2015: 577-578.
- [6] 张宁, 王毅, 康重庆, 等. 能源互联网中的区块链技术: 研究框架与典型应用初探[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(15): 4011-4022.
- Zhang Ning, Wang Yi, Kang Chongqing, et al. Blockchain technique in the energy internet: preliminary research framework and typical applications [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(15): 4011-4022.
- [7] 平健, 陈思捷, 张宁, 等. 基于智能合约的配电网去中心化交易机制[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3682-3690.
- Ping Jian, Chen Sijie, Zhang Ning, et al. Decentralized Transactive Mechanism in Distribution Network Based on Smart Contract [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3682-3690.
- [8] 欧阳旭, 朱向前, 叶伦, 等. 区块链技术在大规模用户直购电中的应用初探 [J]. 中国电机工程学报, 2017(13): 3737-3745.
- Ouyang Xu, Zhu Xiangqian, Ye Lun, et al. Preliminary Applications of Blockchain Technique in Large Consumers Direct Power Trading [J]. Proceedings of the CSEE, 2017(13): 3737-3745.
- [9] 邵雪, 孙宏斌, 郭庆来. 能源互联网中基于区块链的电力交易和阻塞管理方法[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3630-3638.
- Tai Xue, Sun Hongbin, Guo Qinglai. Electricity Transactions and Congestion Management Based on Blockchain in Energy Internet [J]. Power System Technology, 2016, 40(12): 3630-3638.
- [10] 胡兆光. 电力经济智能模拟实验室研究[J]. 中国电力, 2005, 38(1): 7-11.
- Hu Zhaoguang. Studying on electronic laboratory of power economy by intelligent engineering [J]. Electric Power, 2005, 38(1): 7-11.
- [11] 马立新, 朱润, 周小波. 电力用户的智能能效分析及评级新方法[J]. 控制工程, 2016, 23(4): 474-477.
- Ma Lixin, Zhu Run, Zhou Xiaobo. New Intelligent Energy Efficiency Analysis and Rating Method of Power Users [J]. Control Engineering of China, 2016, 23(4): 474-477.
- [12] 李彬, 曹望, 祁兵, 等. 区块链技术在电力辅助服务领域的应用综述 [J]. 电网技术, 2017, 41(3): 736-743.
- Li Bin, Cao Wang, Qi Bin, et al. Overview of Application of Block Chain Technology in Ancillary Service Market [J]. Power System Technology, 2017, 41(3): 736-743.