

区块链技术在微电网中的应用初探

吴斌,杨超,唐华

(1. 贵州大学电气工程学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:由于微电网的交易模式还在探索之中,本文尝试用区块链技术来解决此问题,并对此展开研究。文章首先从特点、分类和基本框架这几个方面来对区块链展开简要的介绍,然后分析了微电网交易的特点,得到了两者都存在去中心化、智能化、安全可靠等共性,这样才有了区块链应用于微电网交易的基础。并在此基础上建立了微电网电能交易的基本框架,能量流方面通过区块链与物联网技术的相互配合来实现,信息流方面引入区块链后,信息流更加智能可靠。然后,对其中的技术实现进行了分析探讨,明确了微电网交易中的记账权,同时又提出了两种激励新能源参与消纳的机制。最后,说明了区块链技术在电能交易上所面对的难题,主要是能量流受到现实的制约和资源问题。

关键词:智能电网;微电网;区块链;电能交易

文章编号:2096-4633(2018)06-0017-06 **中图分类号:**TM7 **文献标志码:**B

从现在紧张的能源形势可以看出来,发展和利用可再生能源已然成为我国能源领域发展的主线。而微电网这种包含分布式电源的微小的电力系统局域网,凭借其自身的灵活性以及可兼容性,在环境问题日益严峻的今天开始受到广泛的关注。而在微电网内部的电力交易体制研究对于研究新形势下的能源交易可以提供很好的参考^[1]。然而,微电网的电能交易研究在我国还面临着多种障碍。比如复交易的模式还不够灵活、价格的不透明以及结算时的不及时不对等等问题。而区块链作为一种新兴的基于分布式和去中心化的价值传输协议,是解决这类问题的一个非常好的研究方向。

区块链技术起源于比特币^[2],其定义由美国学者梅兰妮·斯万在其著作《区块链:新经济蓝图及导读》中给出^[3]:区块链技术是一种公开透明的、去中心化的数据库。基于它的这些优势他在金融以及能源等领域也会带来颠覆性的变革与创新。关于区块链的技术原理、应用价值^[4]和风险分析^[5]等基本理论已经较为成熟。在应用方面,文献[6]介绍了区块链在金融行业的应用,文献[7]将区块链技术引入数据通信保护层面。然而,区块链应用于能源行业还是处于初步研究之中,文献[8]首次将提出了用区块链解决能源互联网的问题,文献[9]分析了区块链在能源互联网中的应用前景,文献[10]介绍了区块链在能源互联网中的具体应用形式,文献

[11]提出了在区块链技术下能源互联网多模块协同自治模式,文献[12]探讨了区块链技术在大用户直购电的应用,可以有利于解决市场交易的问题。文献[13]提出了区块链技术以智能合约的形式来实现电力市场交易,而中心化机构仅仅负责安全和阻塞管理。文献[14]基于区块链技术构建了分布式的碳排放交易模型。然而,区块链技术在微电网的应用研究目前还很少。

1 区块链技术

比特币技术的底层架构是由区块链完成的,区块链最初是比特币参与者所共同维护的账本,现在是一种运用密码学原理的分布式架构和计算范式,已知解决了双重支付问题和拜占庭将军问题^[15]:同一笔资金运用货币的数字特性完成多次支付;拜占庭将军问题主要是说在只有双方参与的情况下无法解决的相互信任问题。区块链技术通过分布式共识算法和数字加密机制构建可信的去中心化系统,同步完成信息传输和价值转移,达成共识并建立互信机制于分布式节点。

区块链的特征:一是去中心化,通过数学方法构建彼此间的信任,没有中心的管理机构是各个节点之间具有相同的权利和义务,这就会使得整个系统的抗风险性大大提高,这是区块链最为核心的特点;二是安全透明,采用非对称密码的方法使得整个系

统规则和内容都是透明公开的,区块信息会被同步到所有区块中,于是想单独更改一个节点的信息是不可能的;三是智能性,智能合约会写入合约执行的条件,区块链会自动判断程序是否符合合约,一旦符合,即使在没有第三方监管的情况下,也会立即执行,提高了系统的效率;四是可验证性和可靠性,时间戳组成的区块链不可伪造和篡改,因而可以对数据追本溯源,这样也有利于引进第三方机构进行监管,分布式的数据库让每个节点都参与到数据库中,如果控制不到 51% 的节点单个点的数据是无法进行更改的。

区块链主要可以分成三类^[16],第一类是公有区块链,这类区块链是最早的区块链,也是应用最为广泛的区块链。世界上任何机构或者个人都可以参与交易,并且获得区块链的确认,任何人都可以参与共识。这种区块链不受任何机构或者个人控制,完全去中心化。第二类是联盟区块链^[17],只针对特定某个群体的成员和有限的第三方,内部指定多个预选的节点为记账人,每个块的生成由所有的预选节点共同决定。联盟区块链的特点是部分去中心化,但交易速度和拓展性都比较高。第三类是私有区块链,这种区块链由于节点是被有限和可控的,所以这种区块链是非常安全的,相比于数据库,单节点篡改或者隐瞒数据是很容易被发现的,一般很多金融机构采取这种区块链。

区块链中的基础架构主要有这几个层面组成:第一是由数据区块、链式结构和时间戳等组成的基础意识“数据层”;第二层是包含 P2P 和传播机制的虚拟意识“网络层”;第三层是包含多种共识算法的核心意识“共识层”,这是区块链的核心技术,因为这些算法最终还是决定谁来记账,而记账最终决定了整个系统的是否安全可靠。以上三个层面是区块链的核心,少了任何一层面区块链都不能称之为完整。将经济因素考虑进来的“激励层”,使得区块链具有可编程特性的“合约层”,将区块链应用到实际的“应用层”,这三个方面并非是所有区块链所必须所拥有的。

2 区块链与微电网电能交易的相似性分析

含有新能源的分布式能源的微电网从优化运行方面可知,首先将电能在自己内部消耗是最优的运行方式故而在微网内部的用户可以通过直接向发电

的电源购买电能,而且电能用户在自己区域里安装的太阳能电池,在自家消耗不完的情况下也可以进行向外部的其他用户售卖。假设该地区停电如果有发电机的用户也可以在这个时候多发电不仅满足自己使用还可以出售电能以便获取收益。随着电动汽车的普及那么充电的问题也就日益凸现出来,如果有充电桩的用户将自家的充电桩实行对外开放,那么需要充电的用户就可以在该处充电并付给用户一定的报酬。而且该地区的用户还可以对电价进行比较以便获得更优惠的能源。为了使用户较多的使用新能源还可以设置一定的激励措施,鼓励新能源的消纳。由此可见微网的电能交易是由多个主体所共同完成的而非由某一中心管理机构管理。这种去中心化的特征非常符合区块链的特征区块链数据库的更新维护由分布式主体共同协作完成,并非由传统的某一中枢机构执行,体现区块链技术的“去中心化”特征。各个主体平等的进行信息和能量的交换。

区块链系统每个分布式节点通过链式结构形成共识机制,具有安全透明和去中心信任等特性。微电网各个主体之间复杂的交易特性,引入区块链后可以减少由于相互不信任而导致的机会成本。

区块链的智能合约特性,在事务和事件信息传入智能合约后,在更新合约信息后通过智能合约机制进行自主的判断和运行。在微网电能交易中就可以通过智能合约保证交易的自动执行,从而避免了其他外部因素造成的合约无法执行的违约情形,同时具有成本效率优势。区块链的分散决策技术能够解决能源互联网复杂系统在集中决策模式下拓展性低下问题。

3 微电网电能交易总体框架

区块链包含有在一定时间内无法被修改的信息^[18],因此可以将其应用到微电网的电能交易方面。在交易系统中各个节点单元通过网络实现能量流、信息流以及资金流的流动。能量方面,区块链技术和物联网信息技术的融合,通过哈希运算生成的数据包打包进入区块链,然后与用户处的硬件通讯系统结合控制电能的流动任。信息流方面,在现在的电能交易中通过供电局购电导致缺乏透明度和可溯源性,引入区块链后保证了信息的透明和电能来源的追溯。同时,加盖时间戳的区块链信息通过智

能合约自动执行解决纠纷,并且追溯能量流和数据流。设计一种新型的电能交易框架,使得用户可以自由的进行电能的买卖,这样既可以提高用户的使用清洁能源的积极性,而且还可以增加用户的购电途径。通过系统对过往用户行为的打分可以向微网中所有用户公开各个购买行为,约束不诚信的行为,进而使得购电者对交易系统的信心。

在该系统中,部分节点单元在购电和售电的角色中相互转化,首先用户节点发出购电信息以及售电节点发布售电量以及售电单价;然后用户节点通过比较选择买电单元并将该信息发布出去,在电能开始交易的同时资金也开始进行交付。在该交易系统中,区块链技术通过大量各个节点单元处的采集装置将资金,信息和电能连接起来构成一种新型的电能交易体系。区块链是由区块有序链接起来形成的一种数据结构,作为基本单位的区块是数据集合。在微电网的电能交易系统中,每隔一段时间,微网系统中分布式电源供应、电能传输网络、储能情况和用户单元等多个模块的数据汇总成能量交易区块^[19],主要包含用能数据、交易单价、资金流动、设备运行情况等基础数据,然后加盖时间戳,形成记录微电网在各个时间段内交易情况区块链。以电能交易区块链为支撑的微电网电能交易区块链如图1所示。

且还有相对应的资金流动故而采用实名交易会更加符合需求。

在交易的初期,记账人节点的选取由于整个微网的用户数量不会太大故可以将各个节点都设置成记账人以避免记账权的过度集中。各个记账人的选取主要依据分布式一致性算法按照约定依次选取记账人。由于系统中含有一定量的新能源,但是所采用的算法不含有鼓励机制,无法使得新能源得到很好地消纳。再次设计两种鼓励措施:一是依据 PoW 和 DPoS 共识机制直接对购买新能源的用户实行积分补贴,虽然该积分无法兑换成货币但是在该区能源不足时积分高的用户在购买电能时享有优先权;二是将鼓励金直接发到用户的账户中,可以直接进行消费。

智能合约是微电网电能交易中非常重要的一部分,由于电能不像那些实物资产可见可持续,电能的交易是在瞬间完成,而且较一般的实物更容易进行评估和测量。目前在智能合约领域最为著名的当属以太坊。

以太坊基于区块链技术,但相比比特币脚本所提供的智能合约,以太坊因为其图灵完备性、价值意识、区块链意识和记录多状态所增加的功能而强大得多。表1所列出的,是以 Solidity 语言为例,买方合约所需要的最基本的要素。

表1 买方合约基本要素

Tab.1 Basic elements of a buyer contract

项目	变量类型	说明
买方地址	address	买方的钱包地址
卖方地址	mapping	卖方的钱包地址(可能存在多个卖方,因此使用 mapping,类似数组)
交易电量	uint256	买方交易总电量
交易价格	uint256	买方报价
交割时间	string	合同期限

除了上述基本要素,合约中还应该有如下的必要的元素:

- (1) 构造交易合同的基本函数;
- (2) 售电方所能卖出的电量,以及售电量单价;
- (3) 合约执行查询,检查合约的执行情况,对违约方进行违约的追责,同时在其交易的账户的评分中扣除相应的分数,降低其信用等级。

传统的电能交易模式也就是供电公司作为中

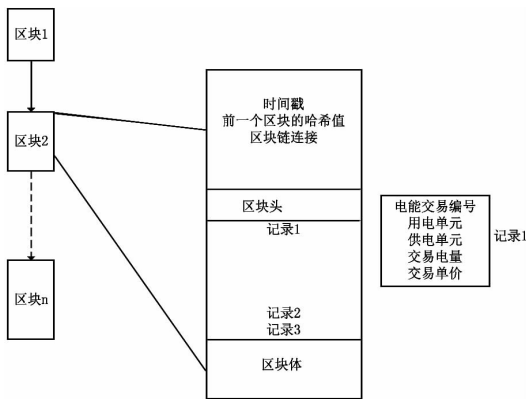


图1 微电网电能交易区块链

Fig.1 Block chain of microgrid electric energy trading

4 微电网电能交易技术实现

由于电能购买并不单纯是交易电能和资金,情况较为复杂,在此采用以太坊账户作为账户模型。由于在微电网中交易的模式和对象很多,故而私有链无法满足要求,考虑到微电网的规模不会太大而

间商的交易模式。各个发电单元将发出的电能传送到电网中,电力用户直接向供电公司购买电能。如图 2 所示。

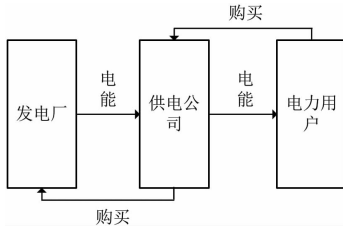


图 2 传统电能交易模式

Fig. 2 Trading mode of traditional power

由图 2 可见增加了电能到用户的中间环节,而且对于用户的小规模分布式电源无法上网进行交易。

微网中区块链形式的交易模式:每一个用户都可以将自己多余的电能售卖,而且对于多使用清洁能源还会有积分奖励,提高了网络对于分布式清洁能源的消纳能力。如图 3 所示。

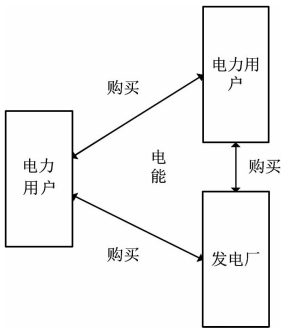


图 3 微电网电能交易模式

Fig. 3 Power trading mode of microgrid

5 区块链框架下微电网交易系统所面临的挑战

区块链技术现在在金融领域应用最多,特别是比特币技术,并且取得了极大的成功,微电网的电能交易虽然跟金融有一定的相似性,但是要彻底将区块链技术与微电网相结合,仍然有一系列挑战。

安全问题:作为一门新兴技术,除了比特币区块链已经运行了很长时间,其他的应用都是在初步阶段,都没有建立相应的规范和规定,没有长时间运行的经验,安全风险较大。主要有两大风险:一要避免节点被黑客入侵导致数据外泄和能流乱动;另要防止区块链的信息被伪造和篡改。

能量传输问题:区块链技术说到底还是一种价

值传输手段,而微电网是一种能量传输手段,价值传输是围绕能量传输所展开的,而能量传输受到了物理的制约,也就是现实的制约。所以如何通过区块链技术将价值传输和能量传输结合起来,才是最为重要的问题。

资源问题:由于区块链在备份数据上的冗余性,导致每一个节点都会有大量数据这将导致大量的资源被浪费,适用于更大规模的工业级解决方案仍有待开发^[20]。而微电网涉及到大量的数据,比如微电网的最优化运行,这涉及到大量的数据,并且对运行速度有十分高的要求,对于网络技术是个巨大难题^[21],这对于区块链技术也是个挑战。

6 结论与展望

我国电力市场改革中^[22],微电网是重要一环,有利于解决分布式能源的并网问题,有利于提高微电网的供电可靠性。但微电网电能交易的模式一直处于探索之中。随着未来电力市场的改革深化和更多分布式电源的接进,我们有必要对微电网电能交易的模式做出研究^[23-25]。区块链技术在金融、通信和审计等领域已经有了些成果,尤其在金融领域,区块链技术的各项特点也决定了它适合用在微电网领域,推动微电网电能交易的发展。

本文通过分析区块链和微电网交易的一些共有的特点,尝试建立起基于区块链技术的微电网交易框架。由于篇幅和作者的水平有限本文仅仅讨论了微电网交易宏观层面的框架和流程,在具体的细节上仍需要进行深入探究使得区块链技术真正的服务于电能交易和电力市场的改革。

参考文献:

- [1] 曹寅. 能源区块链与能源互联网[J]. 风能, 2016(05): 14-15. CAO Yin. Energy block chain and energy internet [J]. Wind Energy, 2016, (05): 14-15 (in Chinese).
- [2] 凌清. 比特币的技术原理与经济学分析[D]. 上海: 复旦大学, 2014.
- [3] SWAN M. Blockchain: Blueprint for a new economy[M]. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2015: 2-3.
- [4] ZYSKIND G, NATHAN O, PENTLAND A S. Decentralizing privacy: using blockchain to protect personal data[C]// Proceedings of the 2015 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW). San Jose, CA, USA: IEEE, 2015: 180-184.
- [5] FREY R M, VU KOVAC D, ILIC A. A secure shopping experience based on blockchain and beacon technology[C]// Proceedings of

- the 10th ACM Conference on Recommender Systems. Boston, USA: RECSYS, 2016.
- [6] 姚国章,吴春虎,余星. 区块链驱动的金融业发展变革研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2016, 36(05): 1-9.
YAO Guozhang, WU Chunhu, YU Xing. Financial industry reform driven by block chain[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2016, 36(05): 1-9 (in Chinese).
- [7] 赵赫,李晓风,占礼葵,吴仲城. 基于区块链技术的采样机器人数据保护方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(S1): 216-219.
ZHAO He, LI Xiaofeng, ZHAN Likui, et al. Data integrity protection method for microorganism sampling robots based on blockchain technology [J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2015, 43 (S1): 216-219 (in Chinese).
- [8] 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 (in chinese).
- [9] 杨德昌,赵肖余,徐梓潇,等. 区块链在能源互联网中应用现状分析和前景展望[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3664-3671.
YANG Dechang, ZHAO Xiaoyu, XU Zixiao, et al. Developing status and prospect analysis of blockchain in energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37 (13): 3664-3671 (in chinese).
- [10] 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 a. Blockchain technique in the energy internet: preliminary research framework and typical applications [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(15): 4011-4022 (in Chinese).
- [11] 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 [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3672-3681 (in chinese).
- [12] 欧阳旭,朱向前,叶伦,姚建刚. 区块链技术在大用户直购电中的应用初探[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(13): 3737-3745.
OUYANG Xu, ZHU Xiangqian, YE Lun, YAO Jiangan. Preliminary applications of blockchain technique in large consumers direct power trading [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3737-3745 (in chinese).
- [13] 李彬,张洁,祁兵,等. 区块链:需求侧资源参与电网互动的支撑技术[J]. 电力建设, 2017, 38(03): 1-8.
LI Bin, ZHANG Jie, QI Bing, et al. Block chain: Supporting technology of demand side resources participating in grid interaction [J]. Electric Power Construction, 2017, 38(03): 1-8 (in chinese).
- [14] AL KAWASMI E, ARNAUTOVIC E, SVETINOVIC D. Bitcoin-based decentralized Carbon emissions trading infrastructure model [J]. Systems Engineering, 2015, 18(02): 115-130.
- [15] 曹军威,王继业,明阳阳,等. 软件定义的能源互联网信息技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(14): 3649-3655.
CAO Junwei, WANG Jiye, MING Yangyang, et al. Software defined information and communication technology for energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35 (14): 3649-3655 (in Chinese).
- [16] 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(04): 481-494.
YUAN Yong, WANG Feiyue. Blockchain: the state of the art and future trends [J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(04): 481-494 (in chinese).
- [17] AITZHAN N Z, SVETINOVIC D. Security and privacy in decentralized energy trading through multi-signatures, blockchain and anonymous messaging streams [J]. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 2016, PP(99): 1-15.
- [18] 长铗,韩峰. 区块链:从数字货币到信用社会[M]. 北京,中信出版社, 2016.
- [19] 曾鸣,杨雍琦,李源非,等. 能源互联网背景下新能源电力系统运营模式及关键技术初探[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(03): 681-691.
ZENG Ming, YANG Yongqi, LI Yuanfei, et al. The preliminary research for key operation mode and technologies of electrical power system with renewable energy sources under energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36 (03): 681-691 (in Chinese).
- [20] EYAL I, EFE GENCER A, SIRER E G, et al. Bitcoin-NG: a scalable blockchain protocol [C]// Cryptography and Security, arXiv: 1510.02037 [cs. CR], 2015.
- [21] Kraft D. Difficulty control for blockchain-based consensus systems [J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2016, 9(02): 397-413.
- [22] 吴贞龙,马永碧,钟臻,等. 基于大数据的输配电价研究[J]. 电力大数据, 2017, 20(09): 77-80.
WU Zhenlong, MA Yongbi, ZHONG Zhen, et al. Research on transmission and distribution price considering big data [J]. Power Systems and Big Data, 2017, 20(09): 77-80.
- [23] 陈天马. 计及激励型需求响应的微电网可靠性分析[J], 电力大数据 2018, 20(02): 45-53.
CHEN Tianma. Analysis of micro grid reliability for considering incentive demand response [J]. Power systems and big data. 2018, 20

(02):45-53.

- [24] 杨英仪. 面向能源互联网的数据一致性框架[J]. 广东电力, 2017,30(12):22-28.

YANG Yingyi. A Data Consensus Framework for Energy Internet [J]. Guangdong Electric Power,2017,30(12):22-28.

- [25] 王志坚. 基于大数据平台的电力营销信息化建设分析[J]. 内蒙古电力技术,2016,34(04):17-22.

WANG Zhijian. Informatization construction of power marketing based on big data platform[J]. Inner Mongolia Electric Power,

2016,34(04):17-22.

收稿日期:2018-05-21

作者简介:



吴斌(1994),男,汉族,硕士在读。主要研究方向为微电网运行与控制,电动汽车有序充电。

(本文责任编辑:范斌)

Preliminary applications of blockchain technique in microgrid

WU Bin, YANG Chao, TANG Hua

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025 Guizhou, China)

Abstract: Because the transaction mode of microgrid is still being explored, this paper tries to solve this problem by using block chaining technology and does research on this problem. This paper first introduces the block chain briefly from the aspects of characteristics, classification and basic framework, then analyzes the characteristics of the micro grid transaction, and obtains the common characteristics of both centralization, intellectualization, security and reliability, so that the block chain is applied to the basis of the microgrid transaction. On this basis, the basic framework of the power transaction of micro grid is established. The energy flow is realized by the cooperation of block chain and Internet of things technology. After the information flow is introduced into the block chain, the information flow is more intelligent and reliable. Then, the technology realization is analyzed and discussed, the right of account in the micro grid transaction is clarified, and two kinds of mechanism are also put forward to encourage new energy to participate in the cancellation. Finally, the difficulties faced by the block chain technology in power trading are explained, which is mainly that energy flow is constrained by reality and resource problems.

Key words: smart grid; microgrid; block chain; power transaction