

综 述

能源互联网中的区块链应用：优势、场景与案例

吕诗宁¹, 颜 拥¹, 丁 麒¹, 文福拴^{2,3}, 赵俊华⁴

(1. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310014;

2. 浙江大学电气工程学院, 杭州 310027;

3. 文莱科技大学电机与电子工程系, 文莱斯里巴加湾 BE1410;

4. 香港中文大学(深圳)理工学院, 广东 深圳 518100)

摘 要: 区块链技术将解决能源互联网中的信任问题, 引导能源互联网的构建、发展与升级。从区块链的去中心化、信息完备公开透明、分布式记录存储、可编程脚本 4 大核心应用优势出发, 分别讨论了区块链在能源交易、电子数据保全、物联网、负荷侧响应中的应用场景, 并介绍了相应的应用案例, 展现了区块链技术在能源行业广阔的应用前景。

关键词: 能源互联网; 区块链; 应用优势; 应用场景; 案例

中图分类号: TM71; TP399

文献标志码: A

文章编号: 1007-1881(2017)03-0001-04

Application of Blockchain in Energy Internet: Advantage, Scenario and Case*LYU Shining¹, YAN Yong¹, DING Qi¹, WEN Fushuang^{2,3}, ZHAO Junhua⁴*

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Research Institute, Hangzhou 310014, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

3. Department of Electrical & Electronic Engineering, Universiti Teknologi Brunei,

Bandar Seri Begawan BE1410, Brunei;

4. School of Science and Technology, The Chinese University of Hong Kong (Shenzhen),
Shenzhen Guangdong 518100, China)

Abstract: Blockchain technology can solve the issue of trust in energy internet, helping its process of building, developing and upgrading. It has four core advantages in application, which are decentralization, the integrity and transparency of information, distributed recording and storage as well as programmable script. Based on these advantages, this paper introduces the potential application of blockchain technology in the areas of energy trade, electronic data storage, Internet of Things, demand response at load side as well as the corresponding application cases, revealing the promising future of blockchain in energy internet.

Key words: energy Internet; blockchain; application advantage; application scenario; case

0 引言

随着传统燃料的日益枯竭以及全球环境的逐渐恶化, 分布式能源、电动汽车、智能家居等设备渐渐进入人们的生活。构建一张能消纳新型电气设备、实现点对点能源共享的能源互联网(Energy Internet)

是传统电网转型方向之一。然而, 如何在系统中建立信用机制仍是构建能源互联网的一大挑战。

区块链技术是比特币(Bitcoin)的底层技术, 具有去中心化、透明化、数据安全性、系统自治性的特点, 在金融、教育就业、文化娱乐、公共服务、信息安全、医疗健康、供应链、物联网等领域已有了较为广泛的应用。然而, 区块链在能源行业的应用才刚起步, 具有很大的发展潜力。

以下从区块链的核心应用优势出发, 讨论区

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(973 计划)(2013CB228202); 国家自然科学基金资助项目(51477151); 国家电网公司科技项目(5211DS17002D)

区块链在能源互联网中的应用场景,并结合目前区块链在能源互联网中的应用案例,进一步阐述区块链技术在能源行业的发展前景。

1 能源互联网概述

能源互联网概念首次出现在《第三次工业革命》一书中^[1]。该书提出随着传统燃料的日益枯竭以及全球环境的逐渐恶化,人类将进入一种结合了新能源技术和新信息技术的能源互联网体系。在此基础上,能源互联网被初步定义为“以电力系统为核心,以互联网及其他前沿信息技术为基础,以分布式可再生能源为主要一次能源,与天然气网络、交通网络等其他系统紧密耦合而形成的复杂多网流系统”^[2]。文献[3]则进一步阐述了其利用互联网技术消纳可再生能源、电动汽车、分布式存储装备等设备,从而形成一张能源共享网络的愿景。

相比现有的电网,能源互联网涉及了更多样的能源形式和更广泛的参与主体^[4],并在信息的交互模式上进行了改革。首先在能源形式上,它不仅包含了电能,也包括了可再生能源、天然气等;参与主体方面,它不再局限于传统的“发电、输电、配电、用电”环节,一系列新的角色诸如售电商、代理商、运营商以及基于信息等增值服务的承包商也都加入其中;此外,为促进能源综合利用,能源互联网还旨在实现去中心化、点对点的泛在交互。

多样的能源形式、多元的参与主体、去中心化的交互模式,这些维度的升级不仅增加了能源互联网的复杂性,也对系统内信任的建立提出了很大的挑战。而另一方面,由于其内生的理念和概念缺陷,能源互联网所提倡的“精确计量、泛在交互、自律控制、优化决策、广域协调”五大特征在缺乏共识与信任的情况下也难以得到保障^[5]。由此可见,能源互联网亟需一种能构建去中心化、可信交互的技术支撑。

2 区块链简介

区块链,顾名思义就是一条指由数据区块有序连接而形成的链式数据库。数据区块之间的连接通过密码学方法保护,数据库由网络中的所有节点共同保存、共同维护,因而具有不可伪造、

难以篡改的特点,有效解决复杂系统中各主体之间的信任问题。此外,区块链技术在去中心化、协同自治、市场化、智能合约等方面的特点也与能源互联网的理念具有一定程度的相似性^[4]。因此,区块链技术将在能源互联网升级构建中发挥巨大潜能。

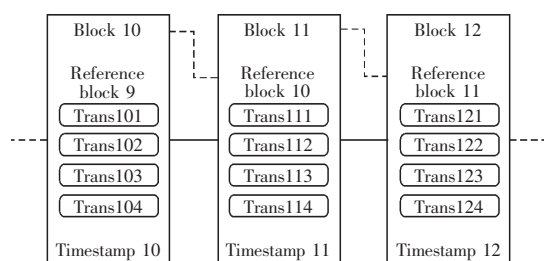
2.1 区块链的起源

2008 年 11 月,一篇署名为中本聪(Satoshi Nakamoto)的论文《比特币:一种点对点电子现金系统》提出了一种基于 P2P 网络、密码学的数字货币,并将其命名为比特币。该货币体系创新性地构建了一套无需第三方公证即可完成交易的信任机制。自 2009 年 1 月创世区块诞生以来,比特币的全球认可度与自身价值逐渐攀高,现在已成为一种全球范围内可交易的电子货币。然而,作为比特币的底层技术,区块链技术却在 2013 年以后才逐渐受到关注。

2.2 区块链的含义

区块链由一系列数据块(即区块)以密码学方法按时间顺序有序连接,构成一条链条(即数据库),其结构如图 1 所示^[6]。在比特币的应用场景中,每个区块数据中都记录着一定时间范围内由参与节点发布的系统交易数据信息(图 1 中的 Trans)。这些交易信息包括发送和接受方的身份证明、交易金额、交易时间以及其他附加信息等。每个数据区块中除了上述交易数据之外,还包含了区块 ID、时间戳(图 1 中 Timestamp)、与上一区块的连接关系(图 1 中 Reference)等其他信息,使其相互连接成一条记录了整个网络所有历史交易信息的链条。这些数据块被实时广播到整个共享网络中,一旦通过确认并加入到链条之后便具有不可抵赖、难以篡改的特点,从而保证了整个数据库的透明性和可靠性。

文献[7]分别从狭义、广义 2 个层面对区块链这一概念做出描述:狭义上将其界定为一种数据区块按时间顺序组合相连的链式数据结构,并由密码学保证该分布式账本的不可篡改性及不可伪造性;广义上则将这一技术拓宽到一种分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术在互联网时代的创新应用模式。文献[8]进一步给出如下定义:区块链技术是基于时间戳的“区块+链式”数据结构来验证与存储数据、利

图 1 区块链的构成^[6]

用分布式节点共识算法来添加和更新数据、利用密码学方法保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新分布式基础架构与计算范式。

2.3 区块链的特点

区块链技术具有 4 个主要特点^[4, 5, 8]: 去中心化、透明化、数据安全性、系统自治性。

(1) 去中心化: 区块链技术基于 P2P 的系统结构, 不存在中心节点, 网络中每个节点的地位均等, 互为备份, 增加数据库的鲁棒性。

(2) 透明化: 区块链系统对所有人开放, 所有数据除被加密的节点隐私信息之外对任何参与者公开, 整个系统运作规则高度透明。

(3) 数据安全性: 区块链通过链式结构、数字加密、共识算法等技术保证了区块链数据不可虚构, 不可伪造, 不可篡改, 不可删除, 保证数据稳定可靠、安全且可追溯。

(4) 系统自治性: 区块链通过共识算法、智能合约等技术保证了系统无需信任背书或第三方监督也能正确执行、自行运转。

3 区块链在能源互联网中的应用

区块链技术源自比特币, 毋庸置疑, 比特币是区块链的第一个应用。随着其去中心化、透明化、数据安全性、系统自治性的优势逐渐突显, 它迅速延伸到诸如数字货币、跨境支付、股票交易、贸易清结算、客户识别、共享经济等众多金融领域。同时, 数字资产的形式也从现金货币拓宽到包括学历证书、知识产权、土地资产、选举投票权、个人信息等方面, 从而在教育就业、文化娱乐、公共服务、信息安全、医疗健康、供应链、物联网等领域都发挥作用^[6-9]。

而在能源领域, 区块链技术的去中心化、公开透明、协同自治与能源互联网的理念相吻合^[4]。

利用区块链技术, 有望进一步推动将精确计量、泛在交互、自律控制、优化决策、广域协调的能源互联网升级为可信计量、可信交互、智能控制、民主决策、集群智能的能源区块链^[5]。

文献[9]提出了区块链 4 个核心应用优势: 去中心化、信息完备公开透明、分布式记录存储、可编程脚本。以下将结合目前区块链技术在能源互联网中的应用案例, 对上述 4 方面在能源行业的应用场景作进一步的介绍。所列案例既包括已投入运转或正在优化的应用项目, 也包括尚在研发或计划阶段的概念模型。

3.1 去中心化与能源交易

区块链解决了价值交换中的中间成本问题, 保证了系统高效率、低成本运营^[9]。这一优势可广泛应用于能源交易领域, 替代原本由中心机构处理的交易流程, 转向 P2P 交易的新模式。

分布式能源及存储设备凭借其灵活、清洁的特点, 在提高局部供电可靠性、降低输电损耗、增加能源利用以及减少环境污染方面具有很好的应用前景^[10]。基于区块链的 P2P 能源交易模式能为含有分布式能源、分布式存储设备的微网系统提供高效、低廉、公开、可信的交易平台。

美国能源公司 LO3 Energy 和基于以太坊区块链创业公司 ConsenSys 合作开展 Trans Active Grid 项目。该项目在美国布鲁克林的一个微网中建立了全球第一个基于区块链技术的能源市场, 通过智能电表实时获得发、用电量等相关数据, 并利用区块链使居民可以成功地将屋顶太阳能生产的余电以点对点形式卖给邻居。

Trans Active Grid 的成功引来了行业的巨大兴趣与投资热情。目前荷兰 Vattenfall 能源公司旗下的 Powerpeers 平台也基于区块链技术推出了一个网站, 以满足发电者和购电者绕过中间机构完成点对点线上互动交易的需求; 欧盟的 Scanergy 项目也有意基于 Trans Active Grid 的原型建立一个实时能源市场系统 NRG-X-Change, 基于 NRG 币(原理同比特币)以 15 min 为单位结算社区内各用户的能源交易; 奥地利最大的公用事业公司 Wien Energy 近日也宣布将于 2017 年 3 月开展与温哥华区块链公司 BTL 集团的合作试点项目, 在能源交易中引入 BLT 公司的汇款平台 (Interbit Remittance Platform), 希望探索能源资产追踪的

新途径,从而达到降低成本的目的。

此外,奥地利的 Grid Singularity 公司希望结合“能源市场+数据服务”的组合模式,在打造去中心化的能源交易平台的同时,进一步利用该平台的交易数据提供数据分析、智能电网管理、投资交易决策建议等一系列增值服务。

3.2 信息完备公开透明与电子数据保全

区块链的信息完备公开透明。一方面,它独特的加密方式和数据结构保证了其数据不可虚构,不可篡改,任何数据都可追本溯源,保证数据稳定可靠;另一方面,它的透明性又进一步增进了公众对它的信任。

随着电力市场改革的推进,市场主体也将日益增多,电力交易也将更加活跃。传统的电力交易都是由电网公司背书,而在电力市场环境下如何在做到信息公开的同时又能保护数据安全是电力市场推进中面临的重要难题。尤其是像电力交易中心、调度中心这种作为第三方参与者的公信力是保证电力市场有序健康发展的重要基础。

国网浙江省电力公司正在大力开展“互联网+电力营销”工作,单据电子化是其中重要的工作内容,今后将会出现大量的电子合同、电子发票、电子票据等。电子化单据存在容易篡改、丢失等问题,而如何防止这些数据被恶意攻击或篡改,增加其真实性与可信度则是未来能源互联网将要面临的挑战。

基于区块链的电子数据保全技术可提升能源互联网的数据信息安全性,避免由于外部黑客攻击或内部管理不当导致的电子数据丢失或篡改,可为电力市场参与者提供信用背书。

3.3 分布式记录储存与物联网

区块链不存在中心节点,由每个节点记录、存储信息,所有参与节点共同维护数据库,保证了数据的高可持续性,从而解决了物联网的核心缺陷^[9]。事实上,区块链与物联网技术的结合在构建能源互联网上具有很好的前景。

电动汽车以电代油,它的大力推行将有效缓解能源枯竭与环境问题,然而自问世以来,其充电难问题一直是制约该行业发展的瓶颈之一^[11]。德国基于以太坊区块链创业公司 Slock.it 开发了一款名为 Share&Charge 的产品,利用定制插头、手机 APP、以及基于区块链技术的智能合约和分

布式总账技术,以实现充电桩资产经济共享,并完成该应用场景下认证、充电、付款的自动化管理。在最新的测试版本中,该款产品除了其合作伙伴德国能源公司 RWE 的充电桩以外,还允许私人用户在手机 APP 上共享个人充电桩。

美国公司 Filament 利用“区块链+物联网”的组合,计划对澳洲的输电设备进行以下创新:在电线杆上装设传感设备,将其转化为物联网的数据节点,并将数据通过区块链以点对点方式向全网传播,从而保证电力及其设备的安全管理。此外, Filament 公司还和美国 IDEO Colab、纳斯达克建立合作关系,共同研发一款基于区块链技术的太阳能电池板设备,以追踪记录设备产能,并实时生成可再生能源证书,从而将太阳能发电、新能源补贴、去中心化电力支付三大应用结合起来。

另外,德国西门子的 Next-47 项目也将物联网方向列入其区块链白皮书。

3.4 可编程脚本与负荷侧响应

由于区块链中记录的每笔交易信息基于可编程原理内嵌了脚本的概念,基于区块链的交易活动都具有升级为可编程智能合约模式的潜能。智能合约自动判断预写入的条件,在所有条件都满足时自动执行合约内容,可有效提高合约执行效率,规范市场秩序,实现系统的自协作。

未来的能源互联网将会迎接大量智慧用电负荷的接入,如智能电家居、电动汽车等。芬兰的 Fortum 公司计划开展基于区块链的智能负荷需求侧响应项目,根据发电市场的实时信息,借助区块链技术解决计划确定、负荷考核、收益分配等问题,调动智能电器动态参与负荷侧响应。

4 结语

构建“精确计量、泛在交互、自律控制、优化决策、广域协调”的能源互联网,必须提供一种能构建去中心化、可信交互的技术支撑。区块链技术凭借其创新的技术架构以及去中心化、透明化、数据安全性、系统自治性的特点,能有效解决能源区块链系统中的信用问题。

从区块链的去中心化、信息完备公开透明、分布式记录存储、可编程脚本 4 大核心应用优势出发,分别讨论了区块链在能源交易、电子数据

(下转第 23 页)

障诊断和信息报送。对于高阻接地等故障暂态特征不明显的单相接地故障建议采用零序电流有功分量比较作为有效补充, 或结合基于不同原理、多判据的综合选线定位方法, 以提高单相接地故障的诊断率。

参考文献:

- [1] 徐靖东, 张保会, 尤敏, 等. 基于暂态零序电流特征的小电流接地选线装置[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 101-105.
- [2] 梁睿, 孙式想. 单端行波故障测距的组合方法研究[J]. 电网技术, 2013, 37(3): 699-706.
- [3] 苏浩益, 贺伟明, 吴小勇, 等. 10 kV 电缆故障指示器应用研究[J]. 南方电网技术, 2014, 8(1): 85-88.
- [4] 吴青军, 黄驾驾, 刘东红. 零序过流保护在单相接地故障选线中的应用[J]. 浙江电力, 2016, 35(5): 47-49.
- [5] 赵艳龙, 李勤超, 万东, 等. 变电站 10 kV 线路接地的拉线判断辅助决策平台的设计[J]. 浙江电力, 2016, 35(1): 38-41.
- [6] 田书, 王晓卫, 王娟娟. 基于相关分析的暂态零模电流

与功率故障定位方法比较[J]. 电网技术, 2011, 35(4): 206-211.

- [7] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理和技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [8] BORGHETTI A, BOSETTI M, SILVESTRO M D, et al. Continuous wavelet transform for fault location in distribution power networks definition of mother wavelets inferred from fault originated transients[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2008, 23(2): 380-388.
- [9] 姚李孝, 赵化时, 柯丽芳, 等. 基于小波相关性的配电网单相接地故障测距[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 71-75.
- [10] 束洪春, 徐亮, 彭仕欣, 等. 谐振接地电网故障选线相关分析法[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(9): 6-9.

收稿日期: 2016-10-26

作者简介: 谢 成(1988), 男, 工程师, 从事配电网故障诊断与配电自动化研究工作。

(本文编辑: 方明霞)

(上接第 4 页)

保全、物联网、负荷侧响应中的应用场景, 并介绍了相应的应用案例。所列案例既包括已投入运转或正在优化的应用项目, 也包括尚在研发或计划阶段的概念模型, 为区块链技术在能源互联网中的应用提供了宝贵的经验与启发, 展现了区块链技术在能源行业广阔的应用前景。

随着能源互联网中区块链技术应用的逐步深化, 能源互联网或将迎来 2.0 时代, 从“精确计量、泛在交互、自律控制、优化决策、广域协调”进一步升级为“可信计量、可信交互、智能控制、民主决策、集群智能”的能源区块链^[5]。

参考文献:

- [1] RIFKIN J. The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world[M]. New York: Palgrave MacMillan, 2011.
- [2] 董朝阳, 赵俊华, 文福拴, 等. 从智能电网到能源互联网: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 1-11.
- [3] WU F F, VARAIYA P P, HUI R S Y. Smart Grids with Intelligent Periphery: An Architecture for the Energy Internet[J]. Engineering, 2015, 1(4): 436-446.
- [4] 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.

- [5] 王安平, 范金刚, 郭艳来. 区块链在能源互联网中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2016(9): 1-6.
- [6] MOODY'S. Credit Strategy—Robust, Cost-effective Applications Key to Unlocking Blockchain's Potential Credit Benefits[R/OL]. (2006-07-21)[2017-01-17]. https://www.moody's.com/research/Moodys-Blockchain-can-bring-benefits-to-the-financial-industry-and-PR_352414.
- [7] 中国区块链技术和应用发展白皮书, 2016[EB/OL]. (2016-10-21)[2017-01-18]. <http://mt.sohu.com/20161021/n470943606.shtml>
- [8] 颜拥, 赵俊华, 文福拴, 等. 能源系统中的区块链: 概念、应用与展望[J]. 电力建设, 2017, 38(2): 12-20.
- [9] 从一到 N, 掘金区块——区块链行业研究报告[R/OL]. (2016-06-16)[2017-02-17]. <http://36kr.com/p/5048221.html>.
- [10] 赵波, 李鹏, 董杭伟, 等. 从分布式发电到微网的研究综述[J]. 浙江电力, 2010, 29(3): 1-5.
- [11] 侯健生, 蔡欣谕, 吴秀刚. 电动汽车产业发展模式的探索与研究[J]. 浙江电力, 2012, 31(9): 72-74.

收稿日期: 2017-02-24

作者简介: 吕诗宁(1991), 女, 主要从事“互联网+”电力营销、区块链研究。

(本文编辑: 方明霞)