

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.08.011

国际能源区块链典型项目应用及分析

Application and analysis of blockchain applied in typical global energy projects

张子立¹,张晋宾²,李云波³
ZHANG Zili¹,ZHANG Jinbin²,LI Yunbo³

(1.谢菲尔德大学 电子和电气工程系,谢菲尔德 S1 4DE;2.电力规划设计总院,北京 100120;
3.北京航空航天大学 杭州创新研究院,杭州 310051)
(1.Department of Electronic and Electrical Engineering, the University of Sheffield, Sheffield S1 4DE, UK; 2.China Electric Power Planning & Engineering Institute, Beijing 100120, China; 3.Hangzhou Innovation Research Institute, Beihang University, Hangzhou 310051, China)

摘要:区块链技术作为一项颠覆性的创新技术,其所具备的去中心化、加密、不可篡改、透明、公平和开放等特征为全球能源转型升级提供了基础解决方案。介绍了能源区块链的概念,描述并分析了能源区块链的主要特征、技术架构和发展潜力,以及国际上能源区块链在微网、油气田、可再生能源、电动汽车共享充电站(桩)、工业物联网、智能电网等方面的典型工程应用案例,并对中国能源区块链的可持续发展给出了建议。

关键词:能源区块链;技术架构;发展潜力;国际项目;应用案例;可再生能源;充电桩

中图分类号:TK 0

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2020)08-0075-08

Abstract: Blockchain, featuring a decentralization, encryption, non-tampering, transparency, fairness and openness breakthrough technology, provides an fundamental solution for global energy transformation and upgrading. Based on the definition of energy blockchain, description of its main characteristics, technical framework and potential, and typical engineering projects applied blockchain technology in microgrid, oil-gas field, renewable energy, and shared charging stations (piles) for electric vehicles, Industrial Internet of Things and smart grid are analyzed. These cases provide recommendations for the sustainable development of energy blockchain in China.

Keywords: energy blockchain; technical framework; development potential; global project; engineering projects; renewable energy; charging stations

0 引言

信息技术作为当今社会发展的助推器,正发挥着越来越重要的作用。区块链作为新一代信息技术的重要组成部分,是分布式、加密、不可篡改、通证、去中心化等多种计算机技术的复合体^[1],正在加速与实体经济融合,成为强大的新型商业范式,推动形成新的生产关系与模式。

当今世界面临能源危机和环境污染(包括气候变暖)的双重压力,全球能源行业正在向分布式、绿色低碳、数字化方面转型,多能流互补的新型能源结构即为其发展方向之一。区块链技术是能源互联网基础设施的重要实现手段,是能源转型升级的重要杠杆和催化剂,在未来能源领域具有广泛的应用前景,已成为当今能源领域的一个重要研究方向

向。美国、日本、澳大利亚及欧盟一些国家和地区已将区块链发展上升为国家战略,并从政策和资金等方面大力推动能源区块链技术的研发和应用。国内能源区块链的研究才刚刚起步,所掌握的区块链核心技术和实际运营经验都不足,深入分析和国际发达国家前期能源区块链项目的经验和教训,对于推动我国能源区块链技术的健康发展,具有重要的借鉴意义和参考价值。

本文介绍了能源区块链的概念,讨论了其技术架构、特征和发展潜力,分析了国际上一些发达国家能源区块链的典型项目,给出了我国能源区块链发展的合理化建议。

1 能源区块链的概念、特征及发展潜力

1.1 概念及技术架构

区块链是指通过对交易(数据)进行加密签名并分组为块所构成的分布式数字账簿。每个块在

收稿日期:2020-05-16;修回日期:2020-07-26

经过验证和达成共识后都会与前一个块进行加密链接。新建立的块都会在整个网络内的分布式账簿中复制副本。随着新块数量的不断增加,对原有块的篡改变得越来越困难。简言之,区块链是由不属于任何单一实体所拥有的、分布式计算机簇所管理的、基于时间戳系列的、不可篡改的数据记录,具有去中心化、透明、不可篡改3个主要特征。

能源是生命赖以生存和发展的一种物质基础,通常包括煤炭、石油、天然气、水能、核能、风能、太阳能、生物质能、地热能、海洋能等一次能源和电力、焦炭、煤气、石油制品等二次能源,以及其他新能源和可再生能源^[2]。能源系统是指将自然界的能源资源转变为人类社会生产和生活所需的特定能量服务形式(有效能)的系统,可细分为电力子系统、石油子系统、可燃气(如天然气、煤气等)子系统、采暖和制冷子系统等。

尽管当前全球并没有统一的能源区块链定义,但通常认为能源区块链是指在能源领域子系统或各个环节(如能源的开采、加工、储存、运输、利用、消费或能源的生产、交易、投融资、跟踪/溯源、节能减排等)中采用区块链技术,进而达到去中心化(或去中介化)或少中心化、安全、高效、经济、便捷等目标。能源区块链示意图如图1所示,其中能源子系统节点1可以是包括光伏、风电、储能等在内的分布式电站,其既可以是电力供应者,也可以是电力消费者;能源子系统节点n指的是电力、热能、冷能等消费者,可以是工商用户,也可以是普通居民用户。此外,有的节点(如能源子系统节点1、能源子系统节点2等)也可扩展为单独的区块链,从而与其他节点间通过跨链等技术实现区块链间的互联互通。

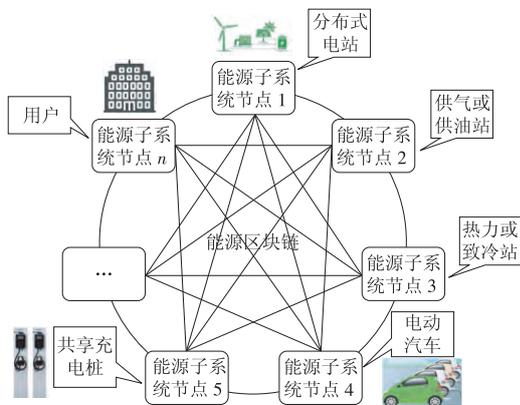


图1 能源区块链示意图

Fig. 1 Structure of energy blockchain

能源区块链技术架构如图2所示。采集层可以采用物联网(IoT)或独立的智能电表进行数据采集,其数据流可以是单向的也可以是双向的。共识层

中,PoW指工作量证明算法,PoS指权益证明算法,DPoS指委托权益证明算法,PBFT指实用拜占庭容错算法,PoET指消逝时间量证明算法。



图2 能源区块链技术架构

Fig. 2 Technical framework of energy blockchains

1.2 特征

能源区块链具有以下主要特征。

(1)去中心化或少中心化。能源区块链基于端到端的对等网络,采用公有链时,没有中心节点,但当采用联盟链或私有链时,会有少量的中心节点。

(2)透明可信。能源区块链所记录的数据及其更新后的数据通常对每一节点均是透明的,因而是可信的。多数区块链系统对参与人员开放,所记录的账簿可公开复核,可利用区块链技术来创建所期望的分布式应用。

(3)自治性。基于共识算法和智能合约机制等,能源区块链系统中的每一节点可安全传送或更新数据,无须人工介入,即可自动执行相关分布式应用。

(4)可追溯性。在不同的记账节点上有着相同的账簿副本(数据备份),且相关数据记录均经过签名确认并带有时间戳,因而可对交易(数据)进行溯源或追踪。

(5)匿名性。区块链解决了节点间的可信问题,故数据传输甚至交易均可匿名,仅需知晓用户的区块链地址即可^[3-4]。

(6)受监管性。鉴于能源属于重要的战略物资和生活要素,关系国计民生,故服务于能源系统的能源区块链(如建设、运营)会受到政府相关部门的监管,特别是当其规模或服务范围较大时。

(7)泛预言机(Oracle)化。预言机是实现链内和链外数据交互的机制。区块链自身是一个与现实世界隔离的封闭系统,能源区块链需通过分布广泛的预言机(如遍布千家万户的智能电表)随时读取能源实体信息或控制能源资产。

1.3 发展潜力

能源区块链具有极大的市场发展潜力。据英国 Technavio 研究机构于 2020 年 3 月发布的《Global Blockchain Technology in Energy Market 2020—2024》报告,利用区块链技术可防止电网故障,能源区块链具有巨大的市场增长机会,预计从 2020 年到 2024 年的 5 年内,能源区块链市场将增长 2.8 亿美元^[5];据美国 Market Study Report 公司发布的《Blockchain Technology in the Energy Sector Market》(能源行业市场区块链技术)报告,随着区块链即服务(Blockchain-as-a-Service, BaaS)的日益普及和数字加密货币(如比特币、以太币等)市场的不断扩大,区块链技术在能源领域的应用逐渐增多。由于高交易速度和不可篡改性,商家越来越多地接受数字加密货币。移动设备的日益普及、移动宽带速度的提高和成本的降低又进一步支持了全球区块链技术在能源行业市场的增长。到 2026 年,能源区块链市场的价值预计将超过 102 亿美元^[6]。

2 能源区块链典型工程项目

区块链技术仍处于成长发展期,但由于区块链在能源领域有着巨大的发展潜力,国外一些能源企业或初创公司已基于试验示范先行、规模由小到大、积累经验后依次推进的原则开展了能源区块链工程项目的探索和实践。

2.1 布鲁克林微网项目

布鲁克林微网(BMG)位于美国纽约市布鲁克林区,BMG 项目由 LO3 Energy 和 ConsenSys 成立的合资公司 TransActive Grid 负责,并与西门子数字电网和西门子启动融资商 next47 合作。该项目是国际上第 1 个能源区块链的工程应用实例^[7],其目的是先期测试在微网(由光伏发电、电动汽车、储能等组成)中如何利用区块链前沿技术,后续再进行热网测试,以期在社区成员间建立可自由进行对等能源交易的局部能源市场,用以提高用能的可靠性和便利性,减少电网等故障对社区用能的冲击。

BMG 项目的拓扑图如图 3 所示。该项目可视为典型的赛博物理系统(Cyber-Physical System, CPS),即由基于区块链的社区能源市场信息平台 and 物理微网 2 大部分组成。赛博层采用基于 Tendermint 共识规约的私有链,物理层在原有模拟电表旁加装

TransActive 电网智能电表,在项目初期用户可用模拟电表来验证智能电表读数的正确性^[8]。所有电力流均在电网物理设施中流动,而信息则在赛博层信息系统中传输。通过智能电表采集生产型、消费型、生产/消费型各自的用电量或发电量并传输至对应的区块链账户;市场和定价机制以 15 min 时间段内进行 2 次电价拍卖为 1 个周期,基于售电方和用电方要约,形成双方确定的电价;智能合约用于自动和安全地完成并记录电量交易,一旦交易完成,即将新创建的包括全部当前交易信息的区块加入到区块链中,所需的相关信息也通过区块链账户发送到相关代理,由此基于 BaaS 便实现了售电侧和用电侧的有效交易服务和管理。

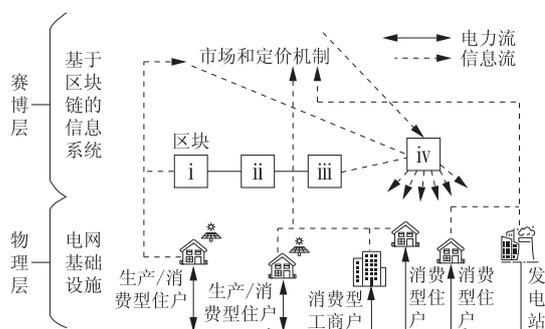


图 3 BMG 项目拓扑

Fig. 3 Topology of the BMG project

BMG 项目私有链所采用的 Tendermint 是一种基于异步、状态机机理的 BFT 共识规约,主要包括共识引擎和通用应用接口 2 个主要部分。共识引擎是 Tendermint 内核,其功用是确保每一节点上的交易记录的顺序和内容正确;通用应用接口为通用区块链接口(ABCI),用于使交易在任何编程语言下均可以处理^[9]。Tendermint 共识规约易于使用、理解、容错性能高,即使有 1/3 节点以任意方式出现任何故障,Tendermint 也能正常工作,特别适合于各种分布式应用程序。

BMG 项目初期于 2016 年先在 2 个住户间进行了为期 3 个月的 P2P(端到端)交易试运行,后又扩展到 10 个住户(其中 5 个住户装有光伏板,可将其剩余的电量售给另外 5 个邻居住户)。BMG 项目近期又获准于 2020 年启动为期 12 个月的新试点计划,项目规模扩大到 40 个生产/消费者和 200 个电力用户。按照纽约州原有管理规定,只允许电力企业和获批的零售服务商才可出售能源。为此,BMG 已提请州政府建立监管沙盒(Regulatory Sandbox)以测试 BMG 项目,从而证明基于区块链的分布式能源(DER)是一种可行且可操作、可扩展的解决方案,可帮助实现能源改革远景行动计划(Reforming Energy

Vision, REV)所设定的纽约州能源需求的 50% 来自可再生能源的目标^[10]。

2.2 OOC 联盟油气田区块链试验项目

离岸运营商委员会(OOC)于 2019 年成立了油气区块链联盟(以下简称 OCC 联盟),由雪佛龙、康菲石油、挪威石油、埃克森美孚、赫斯、马拉松、诺贝尔能源、先锋自然资源、雷普索尔和壳牌等 10 家国际知名石油和天然气成员公司组成,旨在研究和弄清区块链在其整个工业价值链中的用例,建立油气行业区块链技术应用框架和指南,以解决所面临的共同发展的难题。OOC 联盟首个油气田区块链试验项目的执行对象是位于美国北达科他州的贝肯(Bakken)油气田的 5 个挪威石油油井及液态成品的物流、运输和中间处理,采用的是美国 Data Gumbo 公司开发的基于 GumboNet 区块链网(该技术获得了 Frost & Sullivan 授予的“2019 北美技术创新奖”和 Hart 能源授予的“2020 能源创新奖”)的 BaaS 平台,实现了从现场读数、运输、中间处理,直至发票付款等油气田液态成品全过程物流的自动化,这是国际上首个工业级的区块链原生网络平台在油气田所生产的液态成品上的用例。GumboNet 区块链网应用场景如图 4 所示。场景 1 为“运输票务”,实现了从油气田井至处理场所全过程的数字化票务,具有降低管理费用、减少争议和审计的优点;场景 2 为“AFE 表决”(AFE 为用于联合经营协议所管理的资本项目获批和参与的常用工具),实现了表决共享和批准流程的数字化,具有缩短表决周期、提高状态跟踪透明度、降低管理费用、减少争议和审计的特点;场景 3 为“JIB(联合利息单据)交换”,实现了联合计息收付款流程的集成,具有更短的流程、更高的状态跟踪透明度、更低的管理费用、最大程度减少争议和审计的优点;场景 4 为“重要数据管理”,实现了重要数据数字版权的自动化,提高了访问重要数据数字图书馆及其版权的便捷性,支持业务交换和权限管理,并在商业并购后可自动更新相关数据。

该试点项目取得的初步成果如下。

(1) 将当前过程工作流时长从 90~120 d 降到 1~7 d, 步序从 16 个降到 7 个, 全过程零人工干预。

(2) 根据多方数据进行的全部容积测量值的验证工作有 85% 是自动完成, 将来可能实现接近 100%。

(3) 验证通过后自动触发相关发票交易的执行。智能合约保证了付款与现场活动的一致性, 降低了财务风险。

(4) 与当前的业务流程相比较, 可为运营商和

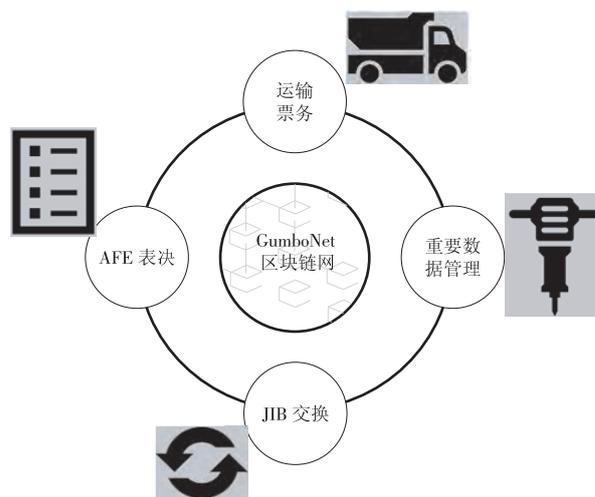


图 4 GumboNet 区块链网应用场景

Fig. 4 Application cases of the GumboNet blockchain

运输公司挖掘出 25%~35% 的潜在可利用资源。

通过该试点,验证了区块链在降低油气商运营成本,提高生产和物流效率,提高透明度和消除油气行业间商务纠纷方面的巨大优势。因此,OOC 计划继续扩大区块链的试点范围,并将应用范围扩充至其他商品和服务,以促进全行业进一步节约成本和提高效率^[11]。

2.3 基于区块链的可再生能源金融和交易项目

为加快能源转型,提升可再生能源在能源总量中的占比,国际上一些区块链的初创公司(如立陶宛 WePower UAB、澳大利亚 Power Ledger、德国 Conjoule GmbH 等),一是利用区块链的通证(或代币)功能,衍生出一种新的能源融资方式——数字货币首次公开募资(Initial Coin Offering, ICO),为可再生能源的建设或运营募集资金;二是利用区块链所具有的安全、公开透明和可追溯的交易功能,在可再生能源生产商和消费者之间搭建起可再生能源的公开拍卖、交易平台。

以 WePower UAB 所建立的 WePower 平台为例,该平台是一个基于区块链的绿色能源金融和交易平台(包括云平台、异步集成层、以太坊主网),通过利用基于以太坊的智能能源合约,将可再生能源通证化,并置入区块链中,从而实现能源商品的便利化,可使人人都参与绿色能源的买卖。WePower 研发及应用时间表如图 5 所示。

第 1 个试点项目启动于 2017 年 9 月,拟将爱沙尼亚整个国家的能源消耗和生产数据通证化,建立国家级的基于以太坊区块链的绿色能源金融和交易平台。其所完成的准备工作包括智能合约、详细的测试试验计划、数据准备和集成等。电子钱包结构测试是指对私钥管理安全和高效方案的测试和

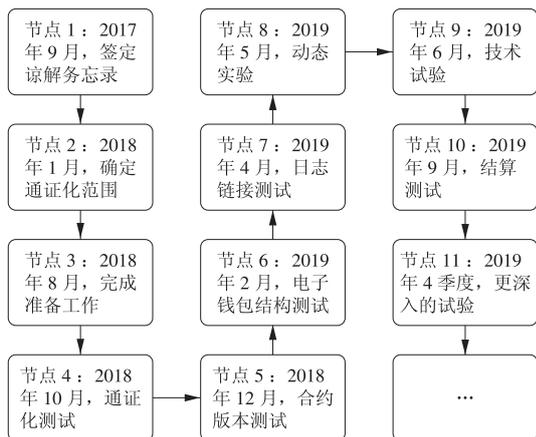


图 5 WePower 研发及应用时间表

Fig. 5 Development and application timeline for WePower

试验;动态试验是指能源智能合约二级市场的各个动态试验;技术试验指与以太坊基线进行各项比对试验,以期达成支持 WePower 业务模型的最优区块链。2019 年 4 季度 WePower 进行了虚拟电厂概念准备和其他新技术试验^[12]。至今,已将爱沙尼亚 26 000 h 和 24 TW·h 的能源消耗和生产数据置入区块链中,生成了约 390 亿个智能能源通证^[13]。据统计,57.4% 的交易可在不到 5 min 内得以确认(包括在区块中),超过 25.0% 的交易在 60 s 内被确认,10.6% 的交易处理时间小于 15 s,系统处理性能较优^[14]。各区段交易确认时间分布如图 6 所示。

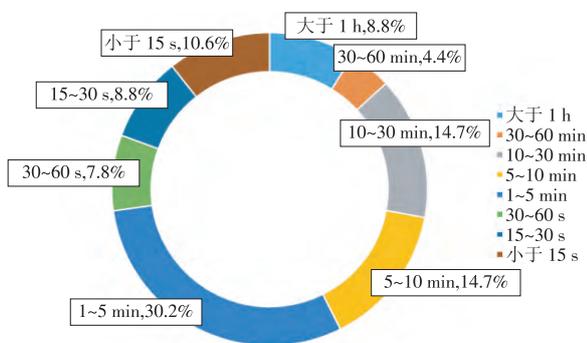


图 6 WePower 交易确认时间分布

Fig. 6 Transaction confirmation time distribution of WePower

此外,WePower 也已开始在澳大利亚、西班牙等国家推广应用。

通过 WePower 平台,建立了革命性的新型绿色能源交易市场,克服了传统购电协议(PPA)仅限于 1~3 家购电方,购电协议谈判过程长、耗费高,电力市场流动性差、透明度低等方面的不足,使得普通用户也可直接从风/光发电商处直接购买绿色能源,从而降低了可再生能源运营成本,促进了可再生能源的可持续发展。

2.4 可再生能源溯源与跟踪项目

可再生能源证书(REC)也称绿证,是指基于市

场的、用于表示可再生能源发电的环境、社会和其他非电力属性(如可再生燃料类型、可再生设施位置、项目铭牌容量、可再生能源排放率、追踪系统标志等)产权的正式法律文本。当可再生能源发电量达 1 MW·h 并输送到电网时,即发出 REC。可通过区块链技术进行 REC 中可再生能源属性的溯源与跟踪,以确保数据的真实性、可靠性和安全性。

总部位于西班牙的可再生能源巨头 Iberdrola,与 Kutxabank 银行合作,于 2019 年年初已完成了该方面的试验项目。该项目范围包括西班牙国内的 3 个可再生能源电站,分别是位于比斯开省的 Oiz 风电场、瓜达拉哈拉省的 Maranchón 风电场、加利西亚地区的 San Esteban 水电站。这些清洁能源随后被位于 Basque 的 Kutxabank 银行总部及其地点的用户所消纳。项目采用能源网基金会(Energy Web Foundation)的开源区块链平台,以满足能源部门的监管、运营和市场要求;项目方也开发了对用户友好的网络界面,允许用户查看过程数据,并识别所消耗的绿色能源来自哪些电站。

区块链技术是一种高效的可再生能源分配方式,可依用户意愿,按能源类别、等级等不同属性,将能源供应给对应的用户。应用智能合约技术,取消代理或中介,当约定条件满足时,合约可自动生效并执行,从而简化了流程,降低了成本并保护了隐私。试验结果表明,可再生能源认证进程可完全自动化,并具有更大程度的可追溯性和可审计性,使交易变得更加透明和安全。

通过该区块链平台,实现了从发电资产到电力用户整个可再生能源供应过程的实时跟踪及溯源,从而可保障用户真正采用的是 100% 可再生能源,为可再生能源溯源与跟踪提供了一个高效、灵活、透明、节约的解决方案。试验双方均认为该方案是加速经济脱碳过程的关键催化剂^[15]。试点项目的成功,增强了 Iberdrola 的信心,从此将区块链作为其数字转型的重要支柱,计划在 2022 年前投入近 50 亿欧元,将区块链应用范围从当前可再生能源的验证拓展到电子交易和智能表计的防网络攻击、能源批发市场的销售交易、集团内各个公司间的合同执行等方面。

2.5 电动汽车共享充电站(桩)项目

德国 Innogy Innovation Hub 公司推出了被认为是以太坊公有链上最早的电动汽车 P2P 充电项目——Share & Charge。该项目于 2017 年 4 月推出 1.0 版本,覆盖德国近 1 500 个公共充电站^[16],用户只需在其智能手机上安装名为 Share & Charge 的应用程序并完成验证,便可在所有已注册的充电桩中

选择合适的充电桩充电。

Share & Charge 2.0 版本于 2018 年年初推出,在原有的商业电动汽车(EV)充电站基础上增加了住宅 EV 充电桩,使私人电动汽车充电基础设施进入市场,实现了共享充电由公共网络到半私人网络的扩充^[16]。Share & Charge 2.0 基于分散的、透明的以太坊区块链和开放充电接口(OCPI)标准通信规约,使住宅和商业电动车充电站(桩)所有者可向他人出售其电动汽车充电站(桩)中的电量,从而实现安全便捷地共享电动汽车充电产品和服务。

Share & Charge 电动汽车充电 P2P 网络示意如图 7 所示。充电站(桩)的所有者在安装“Share & Charge”授权应用程序(APP)后,可注册其充电站(桩)成为卖家。电动车车主下载 Share & Charge APP 后可访问参与计划的所有者或充电站(桩)的位置信息,并导航到最近的充电站(桩)为其汽车充电。汽车充电电价由后台程序根据当时当地电网负荷情况自动实时确定,也可以由双方协商确定。充电结束后买卖双方通过以太坊完成交易。充电站(桩)所收取的费用由 Share & Charge 处理,所有交易信息和发票都存储在 Share & Charge 钱包中,且可随时随地进行监控和跟踪^[17]。

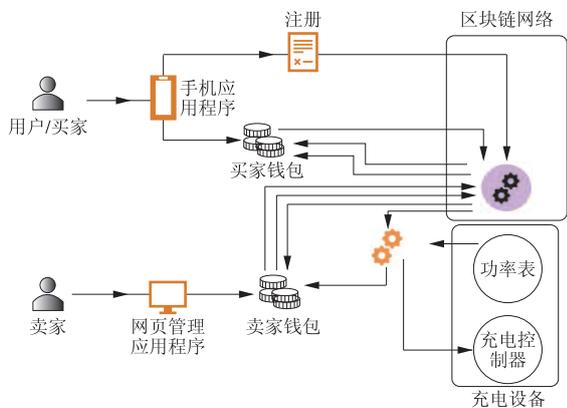


图 7 Share & Charge 电动汽车充电 P2P 网络示意
Fig. 7 P2P network of Share & Charge EV charging piles

基于区块链的共享充电站(桩)项目不仅让电动汽车司机可以方便快捷地使用共享充电站(桩),还可为电动汽车市场带来以下积极变化。

(1)增加可用的充电位置数量,促进电动汽车的普及。P2P 充电只需极少的投资或没有任何投资,且仅利用现有的闲置基础设施。P2P 充电可使充电站(桩)随处可见,减轻了车主的充电焦虑并可促进电动汽车的普及,从而有利于逐步淘汰油汽车,以进一步改善大气环境。

(2)促进车辆到电网(Vehicle-to-Grid, V2G)技术的发展。使用 V2G 技术可将暂不使用且具有双

向充电功能的电动汽车用作储能电池,在用电低谷时买电,在用电高峰时卖电,从而起到电网“削峰填谷”的作用,这不仅为消费者提供了盈利机会,而且还有助于缓解电网的供需失衡。

此外,区块链还可赋能于工业物联网(IIoT)、资产管理乃至电网管理等。美国 Filament 公司早在 2018 年就推出了 Blocklet 芯片硬件及软件解决方案,支持 Hyperledger Sawtooth 等开源区块链平台。若将 Blocklet 芯片嵌入机器、仪表或其他边缘设备中,便可实现嵌入设备与区块链的安全交互和交易、实时监控、资产跟踪和资产管理等功能^[18]。国外已有电网公司将该 Blocklet 芯片植入运动传感器,并安装在输电杆塔上,用于检测或报警杆塔的倒塌,实现输配网的高效管理。德国 PONTON 公司推出了基于区块链技术、用于电网实时管理的软件——Gridchain(电网链),旨在提升电网发电、输电、配电、调度等之间的协调性,并为电网拥塞管理提供解决方案。基于 E.ON, RWE 等超过 40 个欧洲能源公司的要求, PONTON 从 2017 年 5 月开始研发, 2 年后推出了 Enerchain 1.0,这是首个基于区块链的能源分布交易基础设施,采用 WRMHL 区块链架构,于 2019 年 5 月 20 日正式上线运行。取得了平均端到端事务延迟小于 1 s、建块时间不超过 1 s 的优良性能,特别适用于需在参与者之间实现快速数据同步的交易过程^[19]。

3 对我国能源区块链发展的建议

基于国际能源区块链的发展历程及典型项目,结合国内现状,建议我国能源区块链发展从以下几方面着手。

(1)政策支持。能源区块链是一个新生事物,是一种颠覆性的创新,其去中心化、去中介、分布式等特征,会对我国已有的能源结构、运营模式和商业模式等带来巨大的影响,并会打破并重新调整能源系统各方的利益链条。因而局部宽松的政策环境和能源主管部门的支持对能源区块链的良性发展至关重要。建议政府能源主管部门积极开展能源区块链的“沙盒”验证,支持能源行业各方与科研院所、区块链相关协会和联盟等共同构建完善的能源区块链产业生态圈。

(2)融资环境。较之区块链在金融等领域的应用,我国能源区块链应用尚处于起步阶段,还需克服能源监管、处理性能、隐私与安全、能效等多方面的技术挑战。国外能源区块链的初创企业在研发阶段大都获得过风险投资、大型能源企业等的资金支持。相对而言,国内能源区块链的技术基础更加

薄弱,技术创新风险更大,需要的资金投入会更多,因而更需一个有利的融资环境,以解决能源区块链创新融资难、融资贵等一系列难题。

(3)专业人才培养。区块链是数据库、密码学、对等网络、共识机制等多学科融合的技术体系,是一种仍处于发展中的新兴技术,侧链、跨链交互、共识算法等仍在不断创新,零知识证明、同态加密、安全多方计算、云计算、人工智能、IIoT、大数据、量子计算等新理论和新一代信息技术不断引入,导致国内区块链综合专业技术人才更加缺乏。因此,需加大加快跨专业的复合型区块链专业技术人员的培养,使之既通晓区块链及其他信息技术,还对能源行业的技术十分了解,如此才能促进我国能源区块链的快速成长。

(4)标准体系。当前市面上的区块链规约五花八门,急需建立能源区块链/分布式账簿的标准体系,以实现不同区块链之间的互操作性,规范与能源区块链相关的监管、安全、隐私、数据治理、应用等事务或行为。另外,通过标准体系的建设,还可搭建与已有能源标准间的互操作性和兼容性,满足能源区块链健康可持续发展的迫切需要。

(5)核心技术自主可控。区块链包括对等网络、分布式账簿、共识算法、智能合约、密码学、互操作、隐私保护、跨链交互、链扩展等核心关键技术。需密切跟踪国际区块链的发展动态,加快推进我国能源区块链核心关键技术的攻关及应用,如电网优化控制与管理、计量/能源交易代理、分布式能源交易、绿证及碳交易、资产管理、IIoT、功能安全和网络安全、能源监管等的自主研发,开展相关区块链解决方案和产品的研发、集成、测试、示范、推广应用,以期形成具有自主知识产权的能源区块链成果。

(6)加强应用场景研究,推动试点项目落地。需结合区块链的特点及能源转型发展的战略需求,找准能源行业转型升级的关键点和痛点,以能源生产、加工、运输、交易、利用等全过程和能源的全生命周期为视角,做好能源区块链的需求分析和核心应用场景研究^[20-27]。在确定能源区块链的基准、关键性能指标和平台后,继而进行风险分析、成本/效益分析,编制切实可行的工程实施方案,并进行相应的分阶段应用项目试点,从而推动我国能源区块链科学有序的产业化应用。

4 结束语

能源区块链是一项颠覆性的技术,国际上一些区块链初创企业和能源行业巨头已开始微电网、P2P交易、溯源与跟踪、油气田开采及运输过程管

理、电动汽车充电及支付、IIoT、智能电网等方面先行先试。我国也应出台促进能源区块链产业发展的专项政策,全方位加强能源区块链的协作攻关,强化能源区块链的基础研究,分析能源区块链的主要应用场景,鼓励能源区块链各方面应用的落地试点,搭建能源区块链的开源创新生态,使能源区块链尽早成为我国能源转型升级的催化剂和助推器。

参考文献:

- [1] PANETTA K. Understand the 4 phases of blockchain evolution and explore potential business opportunities [EB/OL]. (2019-10-14) [2020-06-19]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/the-4-phases-of-the-gartner-blockchain-spectrum>.
- [2] 《中国电力百科全书》编辑委员会. 中国电力百科全书·综合卷[M]. 北京:中国电力出版社,2014.
- [3] KRISHNAN S, E. BALAS V, E. GOLDEN J, et al. Handbook of research on blockchain technology [M]. London: Academic Press, 2020.
- [4] ZHAO Y H, KE P, XU B Y, et al. Applied engineering programs of energy blockchain in US [J]. Energy Procedia, 2019, 158: 2787-2793.
- [5] Blockchain technology in energy market 2020-2024 [EB/OL]. (2020-03-17) [2020-06-15]. <https://www.businesswire.com/news/home/20200317005362/en>.
- [6] Blockchain technology in the energy sector market analysis & technological innovation by Top Key Players Accenture, Oracle, Amazon Web Services(AWS), Deloitte, Microsoft, IBM, Power Ledger [EB/OL]. (2020-05-08) [2020-07-30]. <https://www.openpr.com/news/2039678/blockchain-technology-in-the-energy-sector-market-analysis>.
- [7] A microgrid grows in brooklyn [EB/OL]. (2018-02-16) [2020-06-15]. <https://new.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies/energytransition/a-microgrid-grows-in-brooklyn.html>.
- [8] MENGELKAMP E, GARTNER J, ROCK K, et al. Designing microgrid energy markets a case study: The Brooklyn microgrid [J]. Applied Energy, 2018, 210: 870-880.
- [9] What is Tendermint? [EB/OL]. [2020-06-18]. <https://docs.tendermint.com/master/introduction/what-is-tendermint.html>.
- [10] SHARMA R. Brooklyn microgrid gets approval for blockchain-based energy trading [EB/OL]. (2020-01-06) [2020-06-18]. https://energycentral.com/c/iu/brooklyn-microgrid-ets-approval-blockchain-based-energy-trading?utm_medium=PANTHEON_STRIPPED.
- [11] ROGERSON S. OOC consortium pilots blockchain on oil and gas field [EB/OL]. (2020-06-16) [2020-06-19].

- <https://www.iotm2mcouncil.org/oocbloiga>.
- [12] TILL E. Technical report of tokenization pilot [EB/OL]. (2018-10-26) [2020-06-21]. <https://github.com/WePowerNetwork/wepower-testbed/blob/master/EleringPilot.ipynb>.
- [13] OpenbusinessCouncil. Blockchain, the missing link to transform electric power industry [EB/OL]. (2019-01-07) [2020-06-21]. <https://www.openbusinesscouncil.org/blockchain-the-missing-link-to-transform-electric-power-industry>.
- [14] TILL E. Technical report of tokenization pilot [EB/OL]. (2018-10-26) [2020-06-21]. <https://www.wepower.com/tech/index.html>.
- [15] Iberdrola uses blockchain to guarantee that the energy it supplies to consumers is 100% renewable [EB/OL]. (2019-01-14) [2020-06-21]. <https://www.iberdrola.com/press-room/news/detail/iberdrola-uses-blockchain-guarantee-that-energy-supplies-consumers-100-renewable>.
- [16] GARCIA H. The next Share&Charge [EB/OL]. (2018-01-16) [2020-06-23]. <https://medium.com/share-charge/the-next-share-charge-bc5f6807ddd6>.
- [17] GORANOVIĆ A, MEISEL M, FOTIADIS L, et al. Blockchain applications in microgrids an overview of current projects and concepts [C]//IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Beijing, 2017.
- [18] WILTZ C. Filament's new development kit makes blockchain simple for embedded engineers [EB/OL]. (2019-04-10) [2020-06-22]. <https://www.designnews.com/electronics-test/filaments-new-development-kit-makes-blockchain-simple-embedded-engineers/19846617860591>.
- [19] MERZ M. Enerchain 1.0 is live! [EB/OL]. (2019-05-20) [2020-06-22]. <https://enerchain.ponton.de/index.php/articles/2-uncategorised/37-enerchain1olive>.
- [20] 杨晓巳, 陶新磊, 韩立. 虚拟电厂技术现状及展望[J]. 华电技术, 2020, 42(5): 73-78.
YANG Xiaosi, TAO Xinlei, HAN Li. Status and prospect of virtual power plant technology [J]. Huadian Technology, 2020, 42(5): 73-78.
- [21] 钟声远, 赵军, 李浩, 等. 基于城市功能区划分的分布式相变蓄热站热经济性分析[J]. 华电技术, 2020, 42(4): 23-30.
ZHONG Shengyuan, ZHAO Jun, LI Hao, et al. Thermal economy analysis of distributed phase change heat storage stations based on urban functional zoning [J]. Huadian Technology, 2020, 42(4): 23-30.
- [22] 孙思宇, 于成琪, 孙涛, 等. 冷热电三联供分布式能源系统研究进展[J]. 华电技术, 2019, 41(11): 26-31, 56.
SUN Siyu, YU Chengqi, SUN Tao, et al. Advance in study on CCHP distributed energy system [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 26-31, 56.
- [23] 纪云松, 葛文刚. 简析可再生能源配额制[J]. 华电技术, 2018, 40(9): 72-76.
JI Yunsong, GE Wengang. Analysis of renewable portfolio standard [J]. Huadian Technology, 2018, 40(9): 72-76.
- [24] 杨晓巳, 陶新磊. 综合能源技术路线研究[J]. 华电技术, 2019, 41(11): 22-25.
YANG Xiaosi, TAO Xinlei. Research on integrated energy technical route [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 22-25.
- [25] 赵国涛, 丁泉, 聂兵. 火电企业碳资产开发的思考与分析[J]. 华电技术, 2018, 40(3): 66-69.
ZHAO Guotao, DING Quan, NIE Bing. Consideration and analysis about carbon asset development in thermal power enterprise [J]. Huadian Technology, 2018, 40(3): 66-69.
- [26] 夏超鹏. 泛在电力物联网在电力市场应用中的展望[J]. 发电技术, 2020, 41(2): 142-149.
XIA Chaopeng. Prospect of ubiquitous power internet of things in electricity market [J]. Power Generation Technology, 2020, 41(2): 142-149.
- [27] 张筱慧, 李佳馨, 张璐, 等. 考虑联络线峰谷差和电网运行效益的综合能源系统规划[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(8): 195-202.
ZHANG Xiaohui, LI Jiaxin, ZHANG Lu, et al. Integrated energy system planning considering peak - to - valley difference of tie line and operation benefit of power grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(8): 195-202.

(本文责编:张帆)

作者简介:

张子立(1997—),女,四川成都人,在读硕士研究生,从事电力电子、信息安全和可再生能源储能控制相关研究(E-mail:zzhang191@sheffield.ac.uk)。