

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2020.08.003

区块链技术在能源电力领域的应用及展望

Application and exploration of blockchain technology in energy and electricity

喻小宝, 郑丹丹

YU Xiaobao, ZHENG Dandan

(上海电力大学 经济与管理学院, 上海 200090)

(School of Economics and Management, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

摘要:随着我国工业化的发展,能源电力作为国民生活的支撑,其发展、交易过程中的安全性、效率、信任度等问题受到越来越多的关注。将区块链技术与能源电力结合,能够优化传统的能源电力交易模式,提高交易效率,促进能源电力健康发展。基于区块链的结构及去中心化、公开透明等特点,结合世界能源电力的现状以及能源消纳、电网配套服务、电力市场所面临的问题,对区块链在能源电力领域的国内外应用案例进行了分析研究,指出了区块链技术在能源电力领域面临的安全隐私、政策适应性及效率等方面的挑战,最后对区块链技术在能源电力领域的应用进行了展望。

关键词:区块链;综合能源;分布式能源;新能源;电力市场;去中心化;公开透明;安全隐私;政策适应性

中图分类号:TM 73:TP 311.13:TP 393.08 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2020)08-0017-07

Abstract: With the industrialization in China, energy and electricity, as the cornerstone for national economy, is attracting increasing attention for its problems in development and transaction safety, efficiency and credibility. Applying blockchain technology in energy and electricity can optimize the traditional transaction mode, boost transaction efficiency and promote its stable development. Considering the current situation of energy and power worldwide and the problems existing in integrated energy, supporting services of power grid and power market, the application cases of the blockchain in energy and power was analyzed based on the structure of blockchain, and its decentralization, openness and transparency. The challenges of blockchain technology meet in secured privacy, political adaptation and efficiency are pointed out. Finally, prospect of blockchain technology in energy and power industry is proposed.

Keywords: blockchain; integrated energy; distributed energy; new energy; power market; decentralization; openness and transparency; secured privacy; political adaptability

0 引言

2008年,比特币创始人中本聪在论文《Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system》^[1]中首次提出区块链的概念,标志着比特币的支撑技术——区块链的诞生。随着区块链技术的不断发展,区块链技术纷纷应用于电力、金融、物联网等领域。电力作为一种清洁高效、使用便捷安全、应用范围广泛的二次能源,是现代社会应用最为广泛的能源。能源产业作为国民经济支柱型产业,其升级创新成为当前关注的热点^[2]。随着我国工业化水平的不断发展,国民对电力的需求也日益增加,区块链技术和能源电力的融合将会改善目前能源电力交易过程中存在的效率、信任等问题,为我国电力能源行业

发展提供新的可能。因此,研究区块链技术在能源电力领域的应用显得尤为重要。

近年来,国内外学者对区块链在能源电力领域的应用做了很多研究。在区块链的发展上,何蒲等^[3]从关键技术、原理等方面介绍了区块链技术,并对未来区块链的前景和应用进行了展望。李斌^[4]从美国的区块链监管策略入手,分析了我国区块链技术的风险、监管困境等。在能源电力应用方面,张妍等^[5]分析了构建能源和区块链系统需要面对的问题与挑战,对未来基于区块链的能源发展进行了展望。李彬等^[6]对分布式能源交易模式进行了研究,将区块链与分布式能源交易模式的特点结合起来,对现有的交易模式进行了改进并提出了建议方案。胡伟等^[7]提出了基于区块链的能源电力供需网优化调度模型,可将运营成本降低9.9%,提高了电力系统的稳定性。龚钢军等^[8]在综合能源服务的基础上

收稿日期:2020-06-23;修回日期:2020-08-05

建立了基于区块链的综合能源服务框架,证明了区块链在综合能源服务方面的适用性。Sana 等^[9]将区块链技术融入电力能源需求侧管理中,保证了所提出方案的有效性并安全实施。周洪益等^[10]基于区块链的特点和能源现状总结了各种场景的能源区块链模式,并对今后的发展进行了展望。Huang 等^[11]提出了基于区块链的电动汽车充电最优收费调度框架,保证了电力交易的安全性和隐私性。Andoni 等^[12]研究了 140 个区块链研究项目,构建了能源领域应用区块链的潜力和相关性地图。龚钢军等^[13]基于区块链的网络拓扑形态,设计了基于区块链的电力现货市场交易模式,实现了最优购电方案的制定。

目前,世界各国主要将区块链技术应用于电动汽车充电桩、绿证交易等。本文在借鉴以往区块链技术在能源电力领域的研究成果及应用案例的基础上,结合能源电力领域的特点及发展现状,分析区块链技术在能源电力领域面临的机遇与挑战,展望区块链技术在电力领域的应用前景。

1 区块链技术与能源电力

1.1 区块链技术

1.1.1 基本定义

区块链是一种分布式数据库,通过去中心化和去信任的方式集体维护一个可靠数据库^[14]。不同的角度对区块链有不同的定义:从数据层面看,可以把区块链看作是一种数据结构,由一个个区块按顺序连接形成一条链,每个区块就是一个单元数据;从记账层面看,可以把区块链看作是一个账本,对应区块链去中心化的特点,这个账本不只出现在一个节点,区块是账本的每一页,区块里的一个节点就是一位记账人^[15]。

1.1.2 基本结构与特点

区块链可以将数据块组合成链结构并对其加密,加强了区块链的安全性能。区块链系统结构的最底层是数据层^[16],存储了底层数据块、非对称加密算法以及一些函数;第 2 层是网络层,包括对等(Peer to Peer, P2P)网络机制、数据传播机制等;第 3 层是共识层,主要封装网络节点的各类共识算法;第 4 层是激励层,主要包括应用到各领域激励的发行机制和分配机制;第 5 层是合约层,是区块链可编程的体现,主要包括一些脚本代码、算法机制等;最顶层是应用层,是区块链应用到各领域的应用场景和案例。

区块链技术拥有以下几个特点。

(1)去中心化。去中心化是相对于中心化提出

的,两者的具体区别如图 1 所示。中心化的缺点是会带来信任危机,而区块链的出现则解决了这个问题,通过分布式核算和存储,各个节点实现了信息的自我验证、传递和管理。去中心化是区块链最突出最本质的特征^[17]。

(2)开放性。区块链的数据和技术源等是开放透明的,数据的公开性和不可篡改性能够增强交易双方甚至多方的信任感,减少由于信息不对称带来的损失,促进交易市场持续、健康地发展。

(3)安全性能高。区块链所应用的非对称加密技术大大增加了系统的安全性能,区块链结合密码学技术,可以保证交易的可追溯性、不可篡改性、不可否认性和不可伪造性,有效提升数据的安全性^[18],由于没有第三方的介入,降低了交易过程中的泄露风险。

1.2 能源电力面临的问题及对区块链技术的需求

1.2.1 能源消纳

近年来,我国新能源装机容量逐年增加,2015 年到 2019 年我国风电装机容量增加了 44.8%,光伏发电装机容量增加了 367.0%,新能源发展势头良好,但需要密切关注能源之间的消纳问题。2018 年 10 月国家发改委、国家能源局发布《清洁能源消纳行动计划(2018—2020 年)》,提出了最近几年的弃风、弃光比率要求。目前,能源消纳仍然存在一些问题:首先,由于风和光是特殊的发电资源,新能源出力存在一定的波动和随机性^[19-20],新能源大量并网使得电力系统的稳定性受到干扰,系统调峰压力大,若想实现系统平衡,弃风、弃光比例会增大,因此要实现能源之间良好的消纳需要有一个稳定的能源电力系统;其次,由于风、水等资源在我国分布不均匀,各地电力需求也不均匀,由此会产生能源匹配不均的问题,跨省区输电压力大。

区块链技术的信息公开透明、去中心化、采用加密技术等特性,能够将能源系统多方主体连接起来,实现多地信息共享,减轻系统调度的不稳定性,帮助工作人员识别信息,计算各省区能源承受能力,高效完成新能源并网调度分配,减少弃风、弃光率,有效解决新能源的消纳问题。

1.2.2 电网配套服务

电动汽车具有环保、性价比高、安全等优点,受到市场的青睐,近年来发展迅猛。随着电动汽车数量的增加,电动汽车充电桩数量不够的问题也随之暴露出来,截至 2019 年年底,我国纯电动汽车保有量为 310 万台,但截至 2020 年 1 月,我国已建成的基础充电桩只有 120 万个,公共充电桩数量远远低于电动汽车数量,并且已有的公共充电桩还有分配不

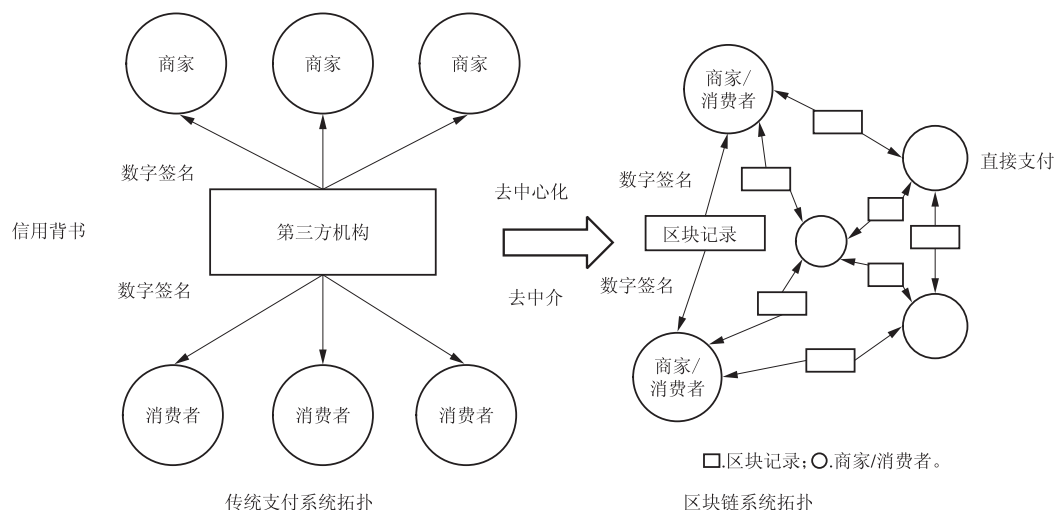


图1 区块链去中心化系统拓扑图

Fig. 1 Blockchain system structure

均、部分闲置的问题。若想解决充电桩数量不够的问题,一是建设大量的公共充电桩,二是将私人充电桩商业化^[21]。建设大量公共充电桩面临如何合理选址、如何统筹管理各充电点、如何有效利用已有充电桩、大量充电桩接入会给电力系统带来冲击等问题;私人充电桩商业化面临私人利益与公共利益冲突、主体之间信任等问题。

由于区块链技术的各项特点,运营商、电动汽车用户加入区块链,能够掌握同样有效的信息,通过区块链来选择合理区域建设电动汽车充电桩,为充电用户合理分配已有充电桩,缓解电力系统压力;同时,可以有效提升各主体交易时的信任度,帮助私人充电桩商业化,平衡各方利益等。电动汽车+区块链交易形式如图2所示。

1.2.3 电力市场

自电改以来,我国电力市场涌入大量售电公司,市场主体变得复杂多样(如图3所示),市场的活

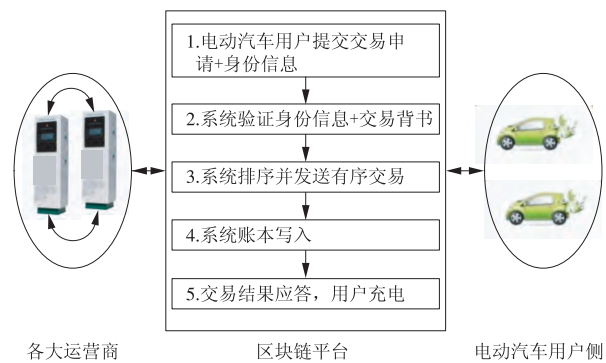


图2 电动汽车+区块链交易示意

Fig. 2 Process of electric vehicle + blockchain transaction

跃带来了一些问题:首先,各主体间会产生信任问题,如何在保持市场活跃的情况下,降低各主体间的信任危机值得关注;其次是电力市场交易的风险防范问题,不管是现货交易、短期交易还是中长期交易,供需双方都要承担一定的风险,如何降低交易风险成为电力市场需要解决的问题;最后,交易

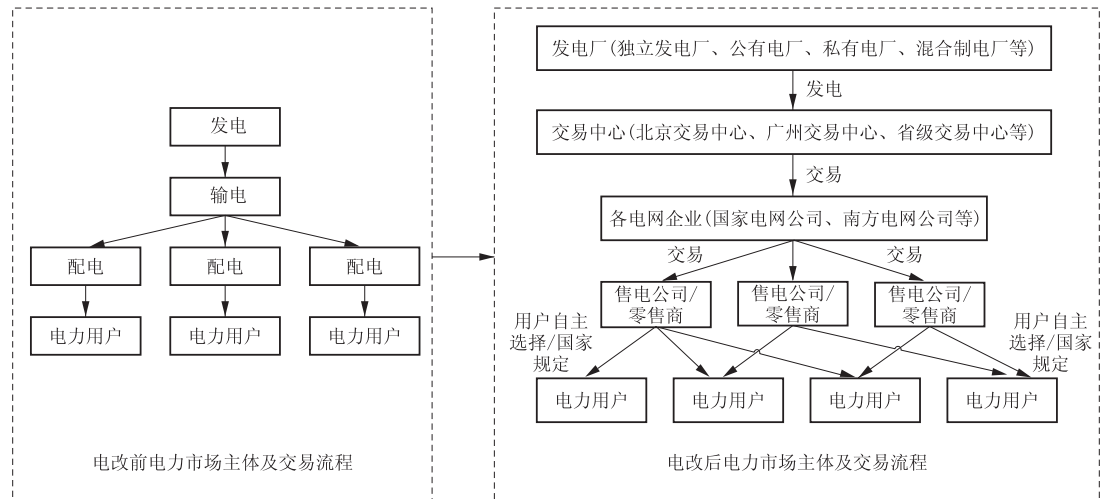


图3 我国电力市场主体变化

Fig. 3 Main players of power market in China

主体的多样化、交易量的增加都会产生大量的数据,对信息内容的丰富性、发布的及时性和安全性要求也进一步提高。

区块链技术可实现各方信息的透明共享,市场各主体可以清晰地知道对方的成交量、信用度等信息,区块链的可追溯性和信息不可篡改特性降低了

交易过程中的潜在风险,能够增强参与主体之间的信任;区块链实现了交易不需要第三方机构的参与,保护了交易过程中的信息,降低了交易风险;区块链非对称加密技术中的私钥识别大大增加了交易的安全性,就算交易过程中公钥泄露没有私钥也无法解密^[22]。非对称加密技术如图 4 所示。

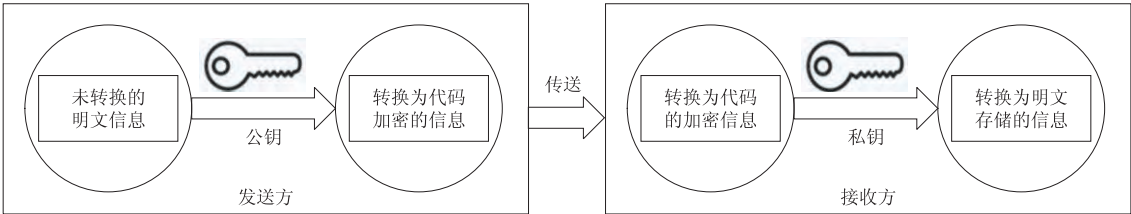


图 4 非对称加密技术

Fig. 4 Asymmetric cryptography

2 区块链在能源电力领域的应用案例分析

2.1 国外应用案例

国外部分能源电力区块链应用案例见表 1。

从美国布鲁克林微电网项目可以看出,虽然该项目很新颖,利用区块链技术提高了效益、效率,交易过程中的安全性能也有所增加,但该项目的用户只有 10 个家庭(如图 5 所示)^[23],要想将该技术应用到更大范围还需要一段时间。该项目给我国电力交易提供了一个参考形式,可以考虑开展多种交易方式,以节约交易成本、提高交易效率。Greeneum network 智慧能源投资平台具体的实现形式如图 6 所示,虽然该项目利用人工智能、区块链技术实现了绿电认证和碳证核发,但项目中用到了替代货币,替代货币在交易中是否安全,是否能够保证交易双方的利润都值得进一步研究。2020 年,我国广东珠海有将区块链技术应用到绿证交易中的案例,

可以借鉴 Greeneum network 智慧能源投资平台的一些经验来完善自身服务。德国的电动汽车充电桩项目大大缓解了充电桩数量不够的现状,为解决我国目前电动汽车充电桩供给问题提供了参考。澳大利亚的智能城市项目给我们提供了城市发展新思路,但可行性还有待查证。

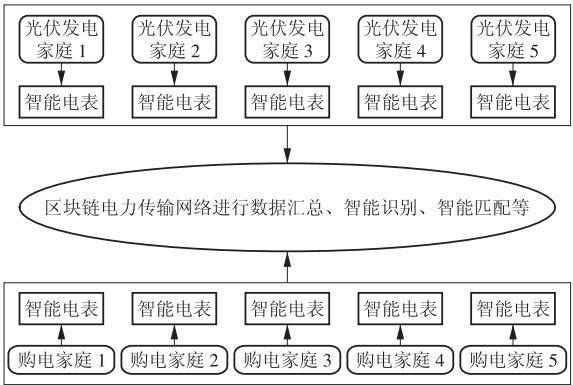


图 5 布鲁克林微电网交易

Fig. 5 Transaction on Brooklyn power grid

表 1 区块链在能源电力领域应用的国外案例

Tab. 1 Foreign cases of blockchain applied in energy and power industry

应用场景	典型应用	应用地区	特点及不足
能源电力市场交易	美国布鲁克林微电网项目	美国	(1)全球第 1 个基于区块链技术的能源项目。 (2)允许用户通过智能电表实时获得发、用电量等数据,居民通过屋顶太阳能设备在当地进行太阳能交易,采用 P2P 交易,不需要第三方电力运营商参与。 (3)纽约禁止个人售电,项目无法大规模推进
	Greeneum network 智慧能源投资平台	欧洲、塞浦路斯、以色列等地	(1)区块链与人工智能结合。 (2)集成了绿电认证功能和碳证核发功能,区块链的不可篡改性使得绿色电力能够更加方便地证明自己的来源。 (3)利用基于以太坊的区块链技术和智能合约技术实现高效的电力交易并减少碳排放
	澳大利亚 Power Ledger 智能城市项目	澳大利亚	(1)包括区块链住宅、水电供应微电网和共用现场电池。 (2)区块链技术透明、可审计和自动化的市场交易机制,允许用户以优惠的价格出售屋顶面板的太阳能。 (3)存在代币安全问题
电网配套服务	德国 Share&Charge 充电平台	德国	(1)利用区块链的智能合约和分布式账本技术,实现公共充电桩计费的透明化和信任化。 (2)实现用户和运营商信息的互通,提高了交易效率和安全性。 (3)首个私人充电桩项目。 (4)系统可靠性待测试

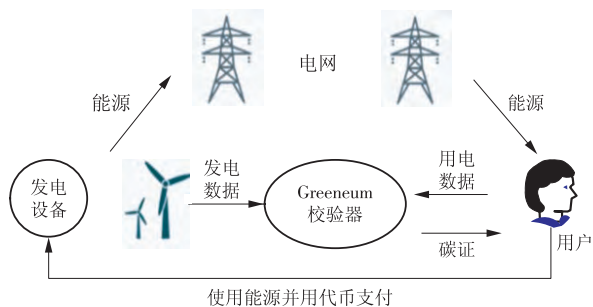


图 6 Greenum network 智慧能源平台
Fig. 6 Greenum network smart energy platform

2.2 国内应用案例

国内部分能源电力区块链应用案例见表 2。
传统的电力交易多采取双边交易或多边交易

形式,效率低、程序复杂、成本高,青海电网将区块链与传统电力交易结合,提高了交易效率,降低了交易成本;同时,通过区块链交易平台提高了绿色电力的交易量,有效解决了能源消纳问题。我国第 1 个基于区块链技术的电动汽车充电链示范项目为电动汽车与充电桩比例失调问题提供了解决方案,可最大限度利用已有的充电桩。广东深圳的第 1 张区块链电子发票提高了税务办事效率,完善了监管流程,降低了税务成本,实现了无纸化管理。山东的区块链分布式能源交易平台实现了发电、电网、储能等多主体之间的购售电交易,降低了交易成本,提高了交易的透明度。

表 2 区块链在能源电力领域应用的国内案例

Tab. 2 Domestic cases of blockchain applied in energy and power industry

应用场景	典型应用	应用地区	特点与不足
能源消纳与能源转型	青海电网利用区块链技术推动能源转型	青海	(1)利用“区块链+共享储能”实现供需关联互动和“发-储-配-用”精准调配、安全校核、自主交易,提升了储能企业的资源利用效率,实现了新能源电量最大化消纳。 (2)利用区块链技术实现多个交易主体间的智能合约、诚信交易、信息透明化等功能。 (3)精确记录能量流、信息流、资金流,为多品种电力交易提供技术支持。 (4)系统稳定性待提高
电网配套服务	上海基于区块链技术的电动汽车充电链示范项目	上海嘉定	(1)国内首个基于区块链技术的电动汽车共享充电链示范项目。 (2)利用区块链不可篡改以及多方记账的特性,对充电情况进行公开透明的实时记账,从而解决多方之间可能产生的信任摩擦。 (3)提升新能源汽车充电资源利用率。 (4)系统稳定性待提高,且还未大范围推广
	我国第 1 张电动汽车充电电费区块链电子发票	广东深圳	(1)与传统的电子发票相比,区块链电子发票完全依靠算法支撑,可以追溯整个办理流程,不可随意篡改信息。 (2)发票信息同步更新到税务机构,避免假发票的出现,有效降低了税务成本,简化了办理流程,提高了服务效率,保护了用户隐私。 (3)普通用户操作困难,申请复杂,待完善
能源电力市场交易	山东电网构建区块链分布式能源交易平台	山东	(1)利用区块链技术搭建新能源云平台,实现并网业务办理时限平均缩短 16 d,电费结算周期平均缩短 4 d。 (2)基于区块链智能合约和共识机制,可以实现综合能源各主体的交易撮合,提升综合能源交易的效率和透明度,大幅缩短项目周期。 (3)同样存在系统不稳定的问题

综上所述,目前区块链技术在国内外已经用于解决很多能源电力市场交易过程出现的问题中,国外发达地区在电网配套服务和电力市场交易方面的应用研究较国内成熟,比国内更早将区块链应用到绿色电力认证上并提出了智能城市的概念,但国内外在区块链与能源消纳的应用方面均处于初级阶段,还需要各国积极探索研究。

3 区块链在能源电力领域面临的挑战

随着未来能源电力的发展,区块链技术将面临综合能源服务需要包含更多的项目、电力市场的交易方式更加多样化等变化,如何更好地适应这些变化成为今后需要关注的重点。

3.1 安全隐私问题

首先,区块链技术允许区块中的节点加入自定

义信息,只要区块被确认,信息将不可再更改^[24],但如果在自定义信息中有黑客加入破解信息,整个区块将面临巨大风险,严重时可能会导致系统瘫痪;其次,随着我国电力需求的不断变化,能源系统中的各类主体越来越丰富,电力市场交易方式更加多样化,区块链中的节点数就会增加,而现有的区块链场景下整个系统的运行可能会出现不稳定等问题,现有的技术能否支持现实的需要也值得关注;第三是账户隐私问题,虽然区块链去中心化的特点解决了主体之间的信任问题,但分布式账本存在各个节点的隐私信息会被恶意传播的风险。

3.2 政策适应性问题

区块链的优势并不仅仅在于技术本身,而是通过利用该技术来体现组织优势,建立多方市场参与者共同维护的系统。为了更好地推进区块链技术

在能源行业的应用,必须通过制度和政策来进行约束。一种新技术的引入必然会给能源行业以往的制度和政策带来显而易见的影响:一方面,我国对能源电力行业的监管越来越严,区块链与能源电力的结合要在政策允许的基础上进行;另一方面,我国颁布了一些关于区块链技术的监管政策,对区块链的监管更加成熟,因而不得不考虑该技术相关政策和能源发展相关政策间的匹配和适应问题。

3.3 效率问题

效率问题也可以说是技术层面的问题。2012年区块链支撑的比特币交易中,每天最高交易量为62 000个^[25],对于庞大的电力市场来说效率很低;同时,同步信息的效率也有待提升,各主体的网络情况不同,信息的接收时间会有一定误差,导致交易效率下降。在能源区块链的应用过程中,市场主体丰富多样,日交易量庞大,因此对区块链能源系统的响应时间有很高的要求。此外,能源电力市场有许多不确定性因素,区块链技术能否迅速识别市场变化,帮助工作人员及时做出正确调整是关乎市场稳定的关键因素之一。

4 区块链在能源电力领域的应用展望

近年来,我国加强了区块链在各行业的融合发展。2019年国家电网有限公司在北京召开了第1届能源区块链生态大会,公布了新能源云、电力交易、数据共享等国家电网区块链技术应用10大场景,南方电网有限责任公司也在积极推进区块链与现有业务的融合。

(1)除了区块链本身的加密,还可以从2个方面来提高安全隐私:在进行交易审核时提高加入区块链能源交易平台的标准;选择标准高的硬件设施,同时进行软件上的优化,叠加加密技术,大力提升非对称加密技术里公钥私钥的安全性能。

(2)未来的区块链能源电力发展需要寻找既适合能源电力市场又能紧跟政策要求的发展方案,国家相关部门应该完善现有的政策及监管制度,最大限度支持区块链技术发展。

(3)未来技术人员应该关注减少区块生成和交易确认时间等问题,专注核心技术的发展,同时推进5G网络的发展,提高网络质量,避免外部因素影响区块链技术的应用。在改善区块链技术的同时大力推进能源电力领域的技术发展,为二者的结合提供更多可能。

5 结束语

能源电力的发展不断提出新要求、新理念,而

区块链能够对能源电力的发展提供技术支撑,推动能源电力的发展。虽然区块链技术已经开始逐步应用到能源电力领域,但在安全、效率上仍然有一定的风险,因此,需要对目前市场存在的问题以及解决方案进行分析,从而为未来能源电力区块链的发展提供支撑,希望本文的相关分析能够对能源电力区块链的应用起一定的推动作用。

参考文献:

- [1] NAKAMOTO S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system[J]. Consulted, 2009, 75(8): 1042-1048.
- [2] 蔡兴国, 王娟. 区块链技术在电力市场的应用探索[J]. 网络空间安全, 2019, 10(5): 82-87.
CAI Xingguo, WANG Juan. Application of blockchain technology in power market[J]. Cyberspace Security, 2019, 10(5): 82-87.
- [3] 何蒲, 于戈, 张岩峰, 等. 区块链技术与应用前瞻综述[J]. 计算机科学, 2017, 44(4): 1-7, 15.
HE Pu, YU Ge, ZHANG Yanfeng, et al. Survey on blockchain technology and its application prospect [J]. Computer Science, 2017, 44(4): 1-7, 15.
- [4] 李斌. 我国区块链技术的风险、监管困境与战略路径——来自美国监管策略的启示[J]. 技术经济与管理研究, 2020(1): 18-22.
LI Bin. Risk, regulatory dilemma and strategic path of blockchain technology in China: Inspiration from the US regulatory strategy [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2020(1): 18-22.
- [5] 张妍, 王龙泽, 吴靖, 等. 区块链与综合能源系统: 应用及展望[J]. 中国科学基金, 2020, 34(1): 31-37.
ZHANG Yan, WANG Longze, WU Jing, et al. Blockchain and integrated energy system: Application and prospect [J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2020, 34(1): 31-37.
- [6] 李彬, 覃秋悦, 祁兵, 等. 基于区块链的分布式能源交易方案设计综述[J]. 电网技术, 2019, 43(3): 961-972.
LI Bin, QIN Qiuyue, QI Bing, et al. Design of distributed energy trading scheme based on blockchain [J]. Power System Technology, 2019, 43(3): 961-972.
- [7] 胡伟, 姚文慧. 基于区块链的能源电力供需网调度优化模型[J]. 系统管理学报, 2019, 28(6): 1134-1142.
HU Wei, YAO Wenhui. Optimization model of energy power supply and demand network dispatching based on blockchain [J]. Journal of System & Management, 2019, 28(6): 1134-1142.
- [8] 龚钢军, 王慧娟, 杨晟, 等. 区块链技术下的综合能源服务[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(5): 1397-1409.
GONG Gangjun, WANG Huijuan, YANG Sheng, et al.

- Integrated energy service based on blockchain technology [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(5): 1397-1409.
- [9] SANA Noor, YANG Wentao, GUO Miao, et al. Energy demand side management within micro-grid networks enhanced by blockchain [J]. Applied Energy, 2018, 228: 1385-1398.
- [10] 周洪益, 钱苇航, 柏晶晶, 等. 能源区块链的典型应用场景分析及项目实践[J]. 电力建设, 2020, 41(2): 11-20.
- ZHOU Hongyi, QIAN Weihang, BAI Jingjing, et al. Typical application scenarios and project review of energy blockchain [J]. Electric Power Construction, 2020, 41(2): 11-20.
- [11] HUANG Xiaohong, ZHANG Yong, LI Dandan, et al. An optimal scheduling algorithm for hybrid EV charging scenario using consortium blockchains [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 91: 555-562.
- [12] ANDONI M, ROBU V, FLYNN D, et al. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 100: 143-174.
- [13] 龚钢军, 王慧娟, 张桐, 等. 基于区块链的电力现货交易市场研究[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(23): 6955-6966, 7129.
- GONG Gangjun, WANG Huijuan, ZHANG Tong, et al. Research on electricity market about spot trading based on blockchain [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(23): 6955-6966, 7129.
- [14] 李启雷. 区块链+大数据: 极具颠覆性的解决方案[J]. 金卡工程, 2016(7): 18-20.
- LI Qilei. Blockchain + big data: A subversive solution [J]. Cards World, 2016(7): 18-20.
- [15] 张锐. 基于区块链的传统金融变革与创新(下)[J]. 求知, 2016(12): 54-56.
- ZHANG Rui. Traditional financial reform and innovation based on blockchain (2) [J]. Seeking Knowledge, 2016(12): 54-56.
- [16] GE Chunpeng, LIU Zhe, FANG Liming. A blockchain based decentralized data security mechanism for the Internet of Things [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2020, 141: 1-9.
- [17] 姚忠将, 葛敬国. 关于区块链原理及应用的综述[J]. 科研信息化技术与应用, 2017, 8(2): 3-17.
- YAO Zhongjiang, GE Jingguo. A Summary of the theory and application of blockchain [J]. E-science Technology & Application, 2017, 8(2): 3-17.
- [18] 王元地, 李粒, 胡谍. 区块链研究综述[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2018, 20(3): 74-86.
- WANG Yuandi, LI Li, HU Die. A literature review of blockchain [J]. Journal of China University of Mining & Technology (Social Sciences), 2018, 20(3): 74-86.
- [19] 舒印彪, 张智刚, 郭剑波, 等. 新能源消纳关键因素分析及解决措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(1): 1-9.
- SHU Yinbiao, ZHANG Zhigang, GUO Jianbo, et al. Study on key factors and solution of renewable energy accommodation [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(1): 1-9.
- [20] 武志军. 综合能源服务下新能源集约化管控评价方法[J]. 华电技术, 2019, 41(12): 68-71.
- WU Zhijun. Evaluation method on new energy intensive management for integrated energy services [J]. Huadian Technology, 2019, 41(12): 68-71.
- [21] 金志刚, 吴若茜, 李根, 等. 基于联盟区块链的电动汽车充电交易模型[J]. 电网技术, 2019, 43(12): 4362-4370.
- JIN Zhigang, WU Ruoqian, LI Gen, et al. Transaction model for electric vehicle charging based on consortium blockchain [J]. Power System Technology, 2019, 43(12): 4362-4370.
- [22] 丁伟, 王国成, 许爱东, 等. 能源区块链的关键技术及信息安全问题研究[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(4): 1026-1034, 1279.
- DING Wei, WANG Guocheng, XU Aidong, et al. Research on key technologies and information security issues of energy blockchain [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(4): 1026-1034, 1279.
- [23] 赵曰浩, 彭克, 徐丙垠, 等. 能源区块链应用工程现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(7): 14-24.
- ZHAO Yuehao, PENG Ke, XU Binyin, et al. Status and prospect of pilot project of energy blockchain [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(7): 14-24.
- [24] 薛忠斌. 区块链技术在能源互联网中应用[J]. 煤炭工程, 2017, 49(S1): 46-49.
- XUE Zhongbin. Application of blockchain technology in energy internet [J]. Coal Engineering, 2017, 49(S1): 46-49.
- [25] TSCHORSCH F, SCHEUERMANN B. Bitcoin and beyond: A technical survey on decentralized digital currencies [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2016: 2084-2123.

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

喻小宝(1989—),男,安徽池州人,讲师,管理学博士,从事电力市场、综合能源服务等方面的研究(E-mail: yuxiaobao1222@163.com)。

郑丹丹(1995—),女,贵州黔南人,在读硕士研究生,从事电力市场研究(E-mail: zhengdandan08@126.com)。