

DOI:10.3969/j.issn.2097-0706.2022.03.004

区块链技术在碳交易中的应用研究

Applications of blockchain technology in carbon trading

何清素^{1,2}, 韩庆芝^{1*}, 刘志远³, 张兆师¹

HE Qingsu^{1,2}, HAN Qingzhi^{1*}, LIU Zhiyuan³, ZHANG Zhaoshi¹

(1.甘肃同兴智能科技发展有限公司,兰州 730050;2.北京邮电大学 信息与通信工程学院,北京 100876;

3.国网甘肃省电力公司,兰州 730099)

(1.Gansu Tongxing Intelligent Technology Development Company Limited, Lanzhou 730050, China; 2.College of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

3.State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou 730099, China)

摘要:目前我国碳排放交易主要依靠中心化系统来管理交易任务,缺乏公开透明的交易信息、行政干预多,致使碳交易市场不活跃。为加强我国碳市场的活力,助力推进碳达峰、碳中和目标的实现,提出了一种两层级的混合区块链碳排放交易框架。介绍了碳市场发展现状和相关政策,总结了目前我国碳排放市场存在的问题,对碳交易机制进行概述,针对我国碳排放市场存在的问题,提出了基于区块链技术的碳排放交易框架。该框架包含公共区块链和联盟区块链,其中公共区块链中进行政府碳配额的分配,且透明、可追踪;联盟区块链中仅共享碳排放数据,以保护某些企业的隐私数据。另外,该框架基于Polkadot协议实现公共区块链与联盟区块链之间的信息传输,提出的碳排放交易框架,可以减少系统运行成本,提高交易的效率和信息透明度,为加快碳交易市场化提供参考和借鉴。

关键词:碳达峰;碳中和;碳权交易;混合区块链网络;公共区块链;联盟区块链;Polkadot协议

中图分类号:TK 01*8;TM 732

文献标志码:A

文章编号:2097-0706(2022)03-0023-06

Abstract: At present, carbon emissions trading mainly relies on a centralized system to manage the transactions. Due to the lack of transparent trading information and excessive administrative intervention, the carbon emissions trading market is inactive. In order to boost the vitality of carbon market and advance the realization of carbon peaking and carbon neutrality in China, a carbon emissions trading framework based on a two-level hybrid blockchain network is built. Firstly, the development status and relevant policies of China's carbon market are introduced, and the existing problems in the market are summarized. Then, the carbon trading mechanism is expounded. Finally, a carbon emission trading framework based on blockchain technology is proposed to solve the problems. The framework consists of public blockchain and consortium blockchain. Carbon allowances are allocated in public blockchain, which is transparent and traceable. Only carbon emissions data can be shared in consortium blockchain to protect the private data of enterprises. In addition, the framework can transit information between public blockchain and consortium blockchain based on Polkadot protocol. The carbon emissions trading framework can reduce the system operation cost, and improve the trading efficiency and information transparency, which provides a reference for accelerating the marketization of carbon trading.

Keywords: carbon peaking; carbon neutrality; carbon trading; hybrid blockchain network; public blockchain; consortium blockchain; Polkadot protocol

0 引言

2021年7月16日上午,中国碳排放权交易市场在上海环境能源交易所开市,首笔碳交易顺利成交,成交量16万t,交易额790万元。其中首批参与

全国碳排放交易的企业有2 000余家,总的碳排放量约40亿t,这意味着随着我国碳排放权交易市场的启动,我国成为了全球温室气体排放量规模最大的碳市场。碳排放企业不得不用“成本思维”对节能减排重新审视。

但是,目前我国碳市场发展还不够成熟^[1],在现有的7个试点碳市场中,存在交易标准不统一、交易主体信息不对称、行政指令干预程度较高等问题^[2],各交易试点有独立的碳排放核算和认证标准,导致

各交易试点独立运行。虽然各交易试点也进行了碳资产金融创新,产生了如碳期权、碳债券、碳基金等碳金融衍生产品,但是由于我国碳市场发展还处于初期,各方面还不够完善,使碳金融发展受到了限制^[3]。此外,当前碳市场中碳排放交易以碳排放配额和中心化运作机制为基础,碳配额的发放与交易的公平性以及交易数据的安全性难以得到保证。我国碳市场中存在的上述问题会严重影响碳市场的快速发展,因此,建立完善的碳排放交易机制,针对性地解决上述提到的各种问题势在必行,以实现碳市场交易中碳配额分配、碳排放权交易、碳排放交易数据核查与溯源以及履约清算的全流程控制。

在考虑碳市场发展的自身因素之外,还应充分借助于其他新型技术的支持。区块链技术作为新型技术的代表,其固有的去中心化、透明公开、数据溯源和防篡改的特点^[4-8],能为碳排放交易提供精细化管理。学术界已经对区块链技术在许多领域的应用进行了研究,如金融^[9]、能源^[10-11]、医疗^[12]、电力^[13]等领域进行了积极探索。文献[14]利用区块链技术从隐私保护和系统安全性出发,构建了一个分散式碳排放交易基础设施的系统体系结构模型,以解决交易双方之间的匿名交易碳排放问题。文献[15]为解决充电桩用户充电缴费、充值繁琐等问题,提高充电桩利用率,提出了一种基于联盟链的充电桩共识与激励方案。文献[16]以澳大利亚碳市场交易为应用场景,利用区块链技术对碳市场政策的指定提供帮助,并改善碳市场的运作方式。文献[17]在分析了区块链技术应用与含微电网电力市场的可行性之后,为实现电力市场的去中心化管理,保证交易的安全性、高效性,提出了一种考虑低碳效益的新型交易出清模型。文献[18]基于区块链技术的特点并结合在能源互联网中的应用场景,提出了基于区块链技术的碳交易解决方案。

区块链技术适用于涉及所有权的资产交易以及产业链整合,实现现实资产向虚拟资产的真实映射,利用其安全透明、防篡改、可溯源、易监督的特点解决碳交易中应用层面的问题。因此,本文基于区块链技术在碳交易中的应用展开了研究,首先介绍了碳市场发展现状及相关政策;然后对碳交易机制进行了概述;最后提出了基于区块链技术的碳交易体系。

1 碳市场现状

目前,我国将碳交易市场分为2类:强制性配额碳交易市场和中国核证自愿减排量(CCER)市场。强制性配额碳交易市场是指被纳入碳市场的主体

需承担强制性的碳减排责任和履约义务,企业交易的是碳配额;CCER交易是指如果企业通过开展环保项目(比如林业碳汇、水电、光伏、沼气项目),对减少碳排放做出了一定的贡献,可向有关部门申请CCER,来抵消自己实际生产中的碳排放。目前我国的碳市场交易以强制性配额碳交易市场为主,由于CCER市场使用时限制较多,受政策的影响大,且其价格大幅低于配额价格,因此,CCER交易在碳市场交易中占比很小,只能作为配额交易的一种补充。

1.1 碳市场政策

2011年10月,国家发展改革委下发《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》,宣布在北京、上海、湖北、重庆、广东、天津、深圳等7省市成立碳交易试点^[19]。2012年6月,国家发展改革委出台了《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》,明确了自愿减排交易的交易产品、交易场所、新方法学申请程序以及审定和核证机构资质的认定程序。2014年,国家发展改革委颁布了《碳排放权交易管理暂行办法》,在国家层面明确了全国统一碳排放交易市场的政策框架。2017年12月,国家发展改革委印发《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》,标志着全国碳排放权交易市场正式启动。2020年12月25日,为落实党中央、国务院关于建设全国碳排放权交易市场的决策部署,在应对气候变化和促进绿色低碳发展中充分发挥市场机制作用,推动温室气体减排,规范全国碳排放权交易及相关活动,颁布了《碳排放权交易管理办法(试行)》。2021年5月17日,为进一步细化、明确碳排放权交易市场交易规则,完善政策制度体系,激发和增强市场活力,生态环境部制定出台了《碳排放权登记管理规则(试行)》《碳排放权交易管理规则(试行)》和《碳排放权结算管理规则(试行)》。

随着上述一系列政策的实施,有力地促进了国内碳减排市场的发展,为我国碳市场的稳妥有序高效发展打下了重要的基础,对助力实现“碳达峰、碳中和”目标、建立健全绿色低碳循环发展经济体系发挥重要作用。

1.2 碳市场运行

全国碳市场已涉及20余个行业,2600余家重点排放单位,年排放配额总量约为12亿t二氧化碳当量。其中,碳配额大部分为免费发放,小部分拍卖,拍卖比例逐步提高。碳市场中交易产品以配额和CCER现货为主,部分市场探索了多种创新产品。交易方式包括挂牌交易或定价点选以及协议转让,部分市场尝试了拍卖。市场参与主体包括纳入配

额管理的控排企业、项目开发业主、投资机构与个人。初期交易主体为发电行业重点排放单位,排放总量逾30亿t,占全国总排放量的近40%,条件成熟后扩大至其他高耗能、高污染和资源性行业。初期交易产品为配额现货,条件成熟后增加符合交易规则的国家核证自愿减排量及其他交易产品,并适时增加符合交易规则的其他机构和个人参与交易。

2021年7月16—28日,中国碳排放权交易市场在上海环境能源交易所开市,9个交易日全国碳市场碳排放配额(CEA)累计成交量582.79万t,累计成交额2.93亿元。7月28日,CEA收盘价为52.5元/t,较前一日下跌3.90%。该价格较7月16日上线时开盘价(48.0元/t)上涨了4.5元/t,涨幅为9.38%。从成交看,7月28日CEA总成交量为87.27万t,成交额为3660.31万元。目前我国碳排放配额发放工作尚未完成,部分企业还在适应交易规则,且碳交易市场中仅纳入了电力行业。因此,全国碳市场自启动以来,成交量呈现前高后低、逐步企稳的特征。

全新上线的全国碳市场,为发电企业节能减排提供了“全国一盘棋”的视角,可以在全国范围内对各地电厂的碳配额进行统一运营和调剂,有利于企业更好地推进节能减排工作;另一方面,可再生能源企业将受益于自愿核证机制的推广,通过碳交易实现企业价值重估。龙头企业一般具有技术和规模优势,通过开发碳减排项目和碳资产管理工作,能够显著降低碳减排成本。

1.3 碳交易市场存在的问题

虽然我国碳排放权交易市场已经开市,但各碳排放相关企业进行的交易却并不活跃。可以看出我国的碳交易市场体系建设还不完善,主要体现在以下几个方面。

(1)中心化系统架构及管理控制系统。中心化的管理系统容易导致欺诈行为的产生,在碳交易环境中,碳信用体系有可能被少数拥有大部分碳信用的强大实体所控制。

(2)控排企业缺乏碳减排积极性。在总量管制与交易系统中,碳配额是根据历史排放量和行业排放上限免费分配,这会降低控排企业碳减排的积极性。因为他们或许以未来获得更少的碳配额为代价降低碳减排量或不进行碳减排,同时由于碳配额发放的复杂性和不确定性,使得控排企业很少尝试创新完成碳减排指标。

(3)缺乏公开透明的交易信息以及行政干预多。缺乏公开透明的交易信息我国碳市场中普遍存在,主要表现为某一企业对于其他企业的碳配额

的计算、发放及分配等方面不明确,从而在碳市场交易过程中很难建立彼此的信任,致使交易意愿不强。同时,由于我国碳排放权市场的制度建设不健全,目前绝大部分碳交易都是使用行政方法撮合需求双方线下交易,导致交易信息不能公开透明,交易价格不能市场化,无法体现真实的市场价格。

(4)容易出现碳权的囤积和碳配额的不足问题。碳权囤积是指控排企业将购买的碳权储存,以便在碳市场需求旺盛、价格较高时出售。同时,由于交易信息公开透明度低、信息不对称,易出现需要购买碳权的企业买不到碳权的情况。

2 区块链技术在碳市场中的应用

2.1 碳交易机制概述

碳交易机制包括碳排放参与者和碳排放流程^[20-21]。碳市场是由政府主导的政策性市场,碳市场中各环节的参与者包括碳核查单位、交易机构、中介机构、信用评级机构、政府监管机构、控排企业、减排企业、第三方管理机构等。

碳排放流程包括碳排放数据报告、第三方核查、政府碳配额分配、企业碳配额交易以及履约清算等5个环节。

我国碳排放数据的报告对象是包含二氧化碳、甲烷、一氧化二氮在内的温室气体。第三方核查机构需要核查控排企业出具的碳排放数据报告的准确性,只有确保控排企业碳排数数据的准确性才能保证碳市场交易的公平合理。碳排放配额作为碳市场中碳排放权的凭证和载体,是国家在指定时间内分配给控排企业的碳排放额度,国家核证自愿减排量是经过第三方核证以后所产生的减排量,目前碳配额采取的是以强度控制为基本思路的行业基准法,实行免费分配。

2.2 区块链技术在碳市场中的作用

现阶段区块链技术在与碳权交易结合的过程中,能够重点解决以下问题。

(1)完善碳交易市场体系建设,加快推进低碳经济转型。利用区块链技术构建完善的计量、追踪、核查、监督、统筹体系,并统一碳交易相关标准,打通上下游数据流,加快我国碳交易市场主体的多元化发展。通过市场化方式促进节能减排,引导资源优化配置,实现低成本减排,并提高清洁能源竞争力,支持我国能源结构向绿色低碳发展。

(2)使交易过程透明化,增强碳市场活跃度。基于区块链技术的碳交易市场,使数据与交易过程的透明化、信交易信息对称以及历史交易数据可溯源,因此,弱化了监管机构的作用,从而简化了交易

流程,降低了监管成本居高不下,“智能合约”的应用将提高交易效率,最终增强碳交易市场活力。

(3)推进碳金融体系的建立,助力实现碳中和碳达峰目标。基于区块链技术的碳交易市场,使交易中的数据不可篡改、可追溯,帮助企业建立征信系统,为银行提供贷款依据,促进碳金融体系的建立;完善的碳金融体系能够使碳金融产品不断丰富,进而增强碳市场活跃度,使碳市场影响范围不断扩大,最终会吸引更多社会资本进行低碳投资,为“双碳”目标的实现提供资金支持。

2.3 基于区块链技术的碳交易框架

针对目前我国碳交易市场存在的问题,本文提出了一种两层级的混合区块链碳排放交易框架。该框架根据参与实体的不同类型和角色包含公共区块链和联盟区块链以及基于 Polkadot 协议的信息传输层。其中,公共区块链中包含政府核查机构、监督机构以及各利益相关者等,联盟区块链中包含控排企业。这样设计的目的是由于有些参与的控排企业不愿意分享自己的所有数据,仅仅分享与二氧化碳相关的排放数据,同时确保交易过程的保密性。交易过程中每一层的区块链网络可以实现自己的共识算法,而不需联合另一个区块链网络共同达成共识,另外,区块的产生仅发生在与之对应的区块链网络中,以节约交易时间和系统开销。系统框架如图 1 所示。

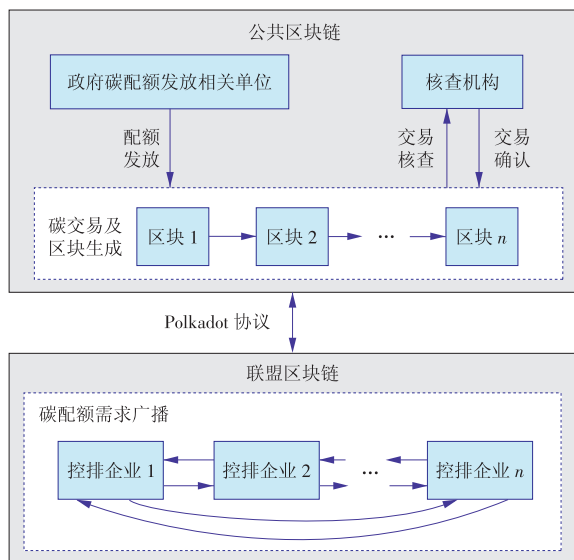


图 1 混合区块链碳排放交易框架

Fig.1 Carbon emissions trading framework based on a hybrid blockchain network

公共区块链主要用于政府碳配额的分配,且透明、可追溯。碳配额分配流程如下。

(1)政府相关机构按照配额上限,设计碳配额以免费发放方式和拍卖方式的比列,并根据预先设

计的百分比向控排企业分配碳配额。由于此分配方式是在公共区块链中进行,所以对控排企业以及各相关参与单位公开透明,使参与各方彼此信任,从而增强交易意愿。

(2)通过智能合约实现碳交易、碳抵消、碳资产管理等,由于智能合约是由各参与方预先共同商定而成,所以交易时自动分配给履行合约的交易节点(控排企业),从而节约交易时间和交易费用。

联盟区块链:在该区块链网络中,各控排企业将碳排放数据在本网络中广播,并将数据写入区块并附上各自的签名,然后将碳排放数据传输给公共区块链,在公共区块链中利用智能合约实现碳权交易,各参与主体将交易数据写入区块并进行全网广播并附上各自签名。

基于 Polkadot 协议的信息传输:公共区块链和联盟区块链之间通过 Polkadot 协议进行信息共享。Polkadot 协议可以实现不同区块链之间的通信,并且能够利用 Polkadot 的共识机制保持跨链通信的安全性。本文提出的两层级混合区块链框架中碳配额的分配与拍卖、碳权的核查与检测、碳权交易是一个连续的过程。

在本文提出的框架中,各控排企业向政府相关部门申报其企业的碳排放数据,此项数据不在区块链中广播;政府相关机构根据国家碳配额分配方案以及各控排企业申报的碳排放相关数据,通过智能合约对各控排企业分配相应的初始碳配额,并在公共区块链中向全网广播,达成共识后写入公共区块链;碳配额不足的控排企业与碳配额有剩余的控排企业在联盟区块链中分别广播购买需求和销售需求,达成共识后写入联盟区块链,然后通过 Polkadot 协议向公共区块链中传输相关信息;在公共区块链中核查单位核查通过联盟区块链传输的数据是否真实,若真实,则附上签名和时间戳并在公共区块链中广播;在公共区块链中,买卖双方通过智能合约完成碳交易,公共区块链中的各参与主体将企业的标识、名称、交易内容、交易数量、金额等交易信息通过私钥进行签名,并广播写入区块。

3 结束语

区块链技术以其区块中记录的数据为价值载体,将企业环境价值、信用价值、碳指标价值等资产数字化,并且基于碳交易体系以碳配额的有序流动,实现价值传递与“碳行为”追踪,进而激活碳交易。另外,企业的生产、经营、资产等至关重要的信用信息作为“碳行为”的直接反应,并借助区块链技术使碳金融加快发展,不断为企业增值,同时,碳金

融的发展将有助于加快我国向低碳经济转型,这对我国实现碳达峰、碳中和具有重要意义。

参考文献:

- [1] LIU Xianfeng, ZHOU Xinxing, ZHU Bangzhu, et al. Measuring the maturity of carbon market in China: An entropy-based TOPSIS approach [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 229: 94–103.
- [2] 袁莉莉, 李东格. 基于区块链技术的碳排放机制设计[J]. *网络空间安全*, 2020, 11(2): 111–117.
YUAN Lili, LI Dongge. Design of carbon emission mechanism based on blockchain technology [J]. *Cyberspace Security*, 2020, 11(2): 111–117.
- [3] 钱晓晨. 企业碳交易风险防范与建议[J]. *理论观察*, 2016(8): 64–67.
QIAN Xiaochen. Risk prevention and suggestions of enterprise carbon trading [J]. *Theoretic Observation*, 2016 (8): 64–67.
- [4] 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. Development status and prospect of blockchain technology [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2016, 42(4): 481–494.
- [5] 栾昊, 赵简. 区块链在能源互联网应用的前景展望[J]. *能源*, 2016(8): 70–72.
LUAN Hao, ZHAO Jian. Prospect of blockchain application in energy internet [J]. *Energy*, 2016(8): 70–72.
- [6] 王程, 崔维平, 高洪达, 等. 区块链技术在能源数字经济中的应用研究[J]. *华电技术*, 2021, 43(5): 23–29.
WANG Cheng, CUI Weiping, GAO Hongda, et al. Application of blockchain technology in energy digital economy [J]. *Huadian Technology*, 2021, 43(5): 23–29.
- [7] 陈启鑫, 王克道, 陈思捷, 等. 面向分布式主体的可交易能源系统: 体系架构、机制设计与关键技术[J]. *电力系统自动化*, 2018, 42(3): 1–7, 31.
CHEN Qixin, WANG Kedao, CHEN Sijie, et al. Tradable energy system for distributed agents: Architecture, mechanism design and key technologies [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2018, 42(3): 1–7, 31.
- [8] 王云泽, 王秋瑾, 马欣欣. 基于区块链技术的能源互联网交易方案设计[J]. *华电技术*, 2020, 42(8): 83–89.
WANG Yunze, WANG Qiujin, MA Xinxin. Design of energy internet trading system based on blockchain technology [J]. *Huadian Technology*, 2020, 42(8): 83–89.
- [9] 王明生, 曹鹤阳, 李佩瑶. 基于区块链的去中心化信贷系统及应用[J]. *通信学报*, 2019, 40(8): 169–177.
WANG Mingsheng, CAO Heyang, LI Peiyao. Decentralized credit system based on blockchain and its application [J]. *Journal on Communications*, 2019, 40(8): 169–177.
- [10] 祁兵, 夏琰, 李彬, 等. 基于区块链激励机制的光伏交易机制设计[J]. *电力系统自动化*, 2019, 43(9): 132–139, 153.
QI Bing, XIA Yan, LI Bin, et al. Design of photovoltaic trading mechanism based on blockchain incentive mechanism [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2019, 43(9): 132–139, 153.
- [11] 王蓓蓓, 李雅超, 赵盛楠, 等. 基于区块链的分布式能源交易关键技术[J]. *电力系统自动化*, 2019, 43(14): 53–64.
WANG Beibei, LI Yachao, ZHAO Shengnan, et al. Key technologies of distributed energy trading based on blockchain [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2019, 43(14): 53–64.
- [12] 张超, 李强, 陈子豪, 等. 联盟式医疗区块链系统[J]. *自动化学报*, 2019, 45(8): 1495–1510.
ZHANG Chao, LI Qiang, CHEN Zihao, et al. Allied medical blockchain system [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2019, 45 (8): 1495–1510.
- [13] 吉斌, 刘妍, 朱丽叶, 等. 基于联盟区块链的电力碳权交易机制设计[J]. *华电技术*, 2020, 42(8): 32–40.
JI Bin, LIU Yan, ZHU Liye, et al. Design of carbon emission permit trading mechanism in power industry based on consortium blockchain [J]. *Water Conservancy & Electric Power Machinery*, 2020, 42(8): 32–40.
- [14] KAWASMI E A, ARNAUTOVIC E, SVETINOVIC D. Bitcoin-based decentralized carbon emissions trading infrastructure model [J]. *Systems Engineering*, 2015, 18 (2): 115–130.
- [15] HE Q, XU Y, YAN Y, et al. A consensus and incentive program for charging piles based on consortium blockchain [J]. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2018, 4 (4): 452–458.
- [16] HARTMANN S, THOMAS S. Applying blockchain to the Australian carbon market [J]. *Economic Papers*, 2020, 39 (2): 133–151.
- [17] 王辉, 廖昆, 陈波波, 等. 低碳形势下基于区块链技术的含微电网电力市场交易出清模型[J]. *现代电力*, 2019, 36(1): 14–21.
WANG Hui, LIAO Kun, CHEN Bobo, et al. Transaction clearing model of power market with microgrid based on blockchain technology under low-carbon situation [J]. *Modern Electric Power*, 2019, 36(1): 14–21.
- [18] 韩庆芝, 徐彧, 颜拥, 等. 区块链技术在电力交易中的应

用及挑战[C]//数字中国能源互联——2018电力行业信息化年会论文集,2018:315-319.

- [19]陈云波.国内碳排放交易市场现状及碳金融模式初探[J].上海节能,2020(9):1029-1036.

CHEN Yunbo. Current situation of domestic carbon emission trading market and carbon finance model [J]. Shanghai Energy Conservation, 2020(9): 1029-1036.

- [20]吉斌,孙绘,梁肖,等.面向“双碳”目标的碳电市场融合交易探讨[J].华电技术,2021,43(6):33-40.

JI Bin, SUN Hui, LIANG Xiao, et al. Discussion on convergent trading of the carbon and electricity market on the path to carbon peak and carbon neutrality [J]. Huadian Technology, 2021, 43(6): 33-40.

- [21]薛禹胜,黄杰,王放,等.基于分类监管与当量协同的碳市场框架设计方案[J].电力系统自动化,2020,44(13):1-8.

XUE Yusheng, HUANG Jie, WANG Fang, et al. Design

scheme of carbon market framework based on classified supervision and equivalent synergy [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(13): 1-8.

(本文责编:齐琳)

作者简介:

何清素(1977),男,正高级工程师,博士,从事能源互联网多源信息融合与智能分析技术,电力系统知识构建与分析技术、区块链与数据资产管理技术研究,149752216@qq.com;

韩庆芝*(1989),男,工程师,硕士,从事电力系统知识构建与分析技术、区块链技术在电力行业中的应用研究,hqz1245086050@126.com;

刘志远(1981),男,高级经济师,硕士,从事信息化技术、区块链与数据资产管理技术研究,lzy-joe@163.com;

张兆师(1989),男,工程师,从事电网相关技术研发,593629455@qq.com。

*为通信作者。