

区块链技术在碳交易体系中的应用研究

唐金环, 吴宛亭, 陈曦*

(沈阳航空航天大学经济与管理学院, 辽宁沈阳 110136)

【摘要】完善碳交易市场, 优化碳交易机制是我国实现“双碳”目标的重要保障。为解决我国传统中心化碳交易市场存在的交易低效、监管困难、行政干预过度等机制性问题, 本文在剖析碳交易流程功能需求和区块链技术适用性的基础上, 提出了一套基于区块链技术的去中心化、自动化、可信任的创新碳交易体系构建方案。首先从整体层面出发, 依据实际业务场景设计了基于Fabric联盟链的碳交易区块链总体架构, 然后对交易体系进行细分, 从碳交易二级市场框架、碳交易方法、碳交易监管、碳交易激励与惩罚四个维度探讨了身份认证、智能合约、数据溯源、信用代币等区块链技术的具体应用方法。研究表明, 区块链技术的引入推动了碳资源向数字凭证转化, 实现了碳交易的自动化和智能化, 提升了交易效率; 链式数据结构和分布式共识机制扼杀了“舞弊”和“寻租”空间, 为实时动态监管和协同监管创造了条件; 碳交易信用代币的发行与应用提供了更为缓和的治理方式, 避免了行政强制手段对市场的过度干预, 优化了政府的治理能力, 也进一步提升了碳交易的效率性和公平性。

【关键词】区块链; 碳交易; 联盟链; 信用代币; 创新体系构建

【中图分类号】X321; TP311.1

【文章编号】1674-6252(2023)05-0078-09

【文献标识码】A

【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2023.05.078

引言

在绿色发展理念的指引下, 降碳已成为我国应对气候变化挑战、推进生态文明建设的重要战略方向^[1]。碳排放权交易(以下简称“碳交易”)作为一项缓和生态文明建设和经济社会发展矛盾的关键治理手段, 被证明是实现降碳目标的有效方式^[2,3]。2021年10月, 中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念 做好碳达峰碳中和工作的实施意见》中也提出要依托公共资源交易平台, 加快建设完善全国碳排放权交易市场。面向“双碳”目标, 建设有序高效的碳交易市场不仅为国民经济绿色发展转型增添动力, 更对我国履行“双碳”承诺具有重要意义。

碳交易是绿色经济发展的新现象, 也是市场经济面临的新问题。我国碳交易先后经历了试点探索、全国市场建立等实践阶段^[4], 碳交易随之呈现出一些机制方面的问题, 主要体现在市场和监管两个方面。首先, 市场方面的核心问题在于交易规则混乱和交易定价能力薄弱^[5,6]。现行法规《碳排放权交易管理办法

(试行)》回避了对碳排放权法律属性的定性及对碳市场交易主体权利义务的明确, 这种模糊的处理方法使得碳交易市场陷入了有价无市的尴尬境地。同时顶层设计和法律配套的缺失, 限制了碳交易和碳税这两种政策工具的市场定价能力^[7]。而碳排放权中心化的交易模式又会引发数据造假、虚假交易、安全性差等弊端。其次, 从监管方面来看, 政府部门与企业信息的不对称性导致碳交易的静态权利结构与配套监管机制配置不合理, 引发交易标的权利属性不明确^[8]、交易程序繁琐低效^[9]、交易主体行为不规范等机制性障碍^[10], 并演化为制约碳资源市场化配置的关键根源问题^[11], 而仅依靠目前的交易机制和治理手段明显难以应对此类挑战, 新的技术和治理思路亟须引入。

区块链技术为完善当下碳交易机制、构建创新碳交易体系提供了新的思路与解决方案。区块链的最初应用场景主要是以比特币为代表的加密货币行业, 之后随着以太坊的兴起逐步发展成利用智能合约构建业务逻辑的底层架构与分布式计算范式, 其应用场景也

资助项目:辽宁省社会科学规划基金项目(L19CGL008)。

作者简介:唐金环(1985—), 女, 副教授, 研究方向为低碳供应链等, E-mail: jin_huan_Tang@sau.edu.cn。

*** 责任作者:**陈曦(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为区块链与数据资产交易, E-mail: captain_kee@163.com。

拓展到了环境治理^[12,13]和社会治理层面^[14,15]。在碳排放权交易领域,已有部分学者针对区块链的契合性和可能的应用场景进行了初步探索。郑荣等^[16]和周莉等^[17]对区块链在碳交易领域的应用进行了设想,考虑利用区块链技术来实现碳交易的自动化、保障数据的真实性,这些设想为此后的研究提供了理论依据。严振亚等^[18]从数据链的完整性和真实性角度提出了一套基于区块链+大数据采集技术的数据监控机制,以解决交易数据真实性问题。张艺等^[19]利用量子区块链技术构建碳配额分配和交易模型,以实现初始碳配额的公平分配和高效交易。Patel等^[20]探索了区块链代币在碳排放许可证发放和追踪中的应用,以促进碳排放权交易的透明化和去中心化。叶强等^[21]利用侧链扩容技术,将个人级碳交易纳入现有的碳交易市场,完善了我国碳交易体系。

总体而言,目前针对碳交易的研究主要聚焦于解决上文提及的市场和监管两个机制层面的痛点问题,但是囿于我国传统的、中心化的碳交易模式下固有的信息不对称、安全性差、监管困难等弊端而进展有限^[22],区块链对于解决上述问题有着天然的技术优势,但目前的研究仍局限于适用性分析、应用场景阐述或是简单的技术应用探讨,未能利用区块链技术从整体的交易体系层面实现碳交易的创新突破。基于此,本文的边际贡献主要体现在以下几个方面:首先从宏观视角出发厘清碳交易的业务流程并借此分析区块链技术的契合性与适用性,然后根据实际业务场景提出一套基于Fabric超级账本的碳交易区块链架构的设计方案,最后从交易框架、交易方法、交易监管、激励与惩罚四个细分维度探讨区块链分布共识、智能合约、数据溯源、代币发行等技术的具体应用方法,从而构建出一套基于区块链技术的完整的创新碳交易体系。

1 区块链技术特征与碳交易需求耦合

针对碳交易中心化的交易模式引发的痛点问题,区块链技术通过其独有的去中心化、多方维护的方式重构集体信任,为我国碳交易提供了新的治理思路。从系统特征来看,区块链技术本身具有的开放性、可编程性、可追溯性、不可篡改性等特性使其适用于多方参与录入数据且需要建立分布式信任、信息真实性和安全性要求高的系统场景。因此,碳交易场景是适合区块链技术应用。

从碳交易业务需求和区块链技术特性的契合性来看,碳交易面临的难题主要来源于交易方法、交易监

管和交易激励等方面,这些问题可以利用区块链网络的数字智能、协同互信、信息透明、可追溯、难篡改等技术特性优化解决。在交易方法方面,传统的碳交易具有规则混乱、程序繁琐低效的弊端。利用区块链智能合约可以优化碳交易流程,降低政府管理成本,释放公共治理资源,同时嵌入的、自动执行的智能合约代码能够充分保证交易的效率和公平,跨链技术的发展也为碳排放权的跨区域流动和交易提供了有力的技术支撑,并且碳排放权链上交易可以进一步推动碳排放权向数字通证的转换,以提升碳排放权市场流动性调动企业减排技术创新和生产优化的积极性。在交易监管方面,传统的碳交易具有主体权利义务不明确、交易主体行为不规范等问题。而区块链技术有助健全碳交易的问责机制,区块链中以数字签名作为唯一身份标识,可以为问责管理提供精确的身份认证服务,加盖时间戳的链式的数据储存结构又提供了完整的溯源证据链,同时分布式共识机制使得伪造信息的难度和成本变得极高,保障了数据的真实性。在交易激励方面,信息的不对称导致政府部门难以对碳交易实施动态监管。利用区块链信用代币取代行政命令的方式来实现对碳交易的激励与惩罚可以有效缓解行政强制干预和市场自主调节之间的矛盾,为监管者提供了一种更为有效、更为缓和的治理技术和治理手段,也为“看不见的手”发挥作用创造了更大的空间。区块链技术与碳交易需求耦合过程见图1。

2 碳交易联盟链的架构体系设计

按照去中心化程度、节点权限和信息共享程度,可以将区块链分为公链、联盟链和私有链三种。其中,联盟链由经过注册认证的成员组织共同管理,数据读写只对链上成员开放,可以兼顾交易的效率和安全性。碳交易涉及多个主体,且具有一定的准入要求,对比不同的区块链种类,本文认为联盟链最适合作为构建碳交易体系的底层技术架构,具体来讲,主要基于以下四点考虑:①联盟链具有的非匿名性、多中心化特性相较于公有链的完全匿名性、完全去中心化特性更方便政府部门对碳交易行为进行监管和治理。②联盟链中的身份认证模块可以基于碳交易中各参与角色的不同职能赋予各节点不同的权限,可以适应不同的碳交易场景。③联盟链共识机制可以提升碳交易验证效率,缩短共识达成时间,并且交易数据只对链上节点开放,保障了交易的安全性,规避了中心化数据存储模式的弊端。④联盟链主要通过外部激励

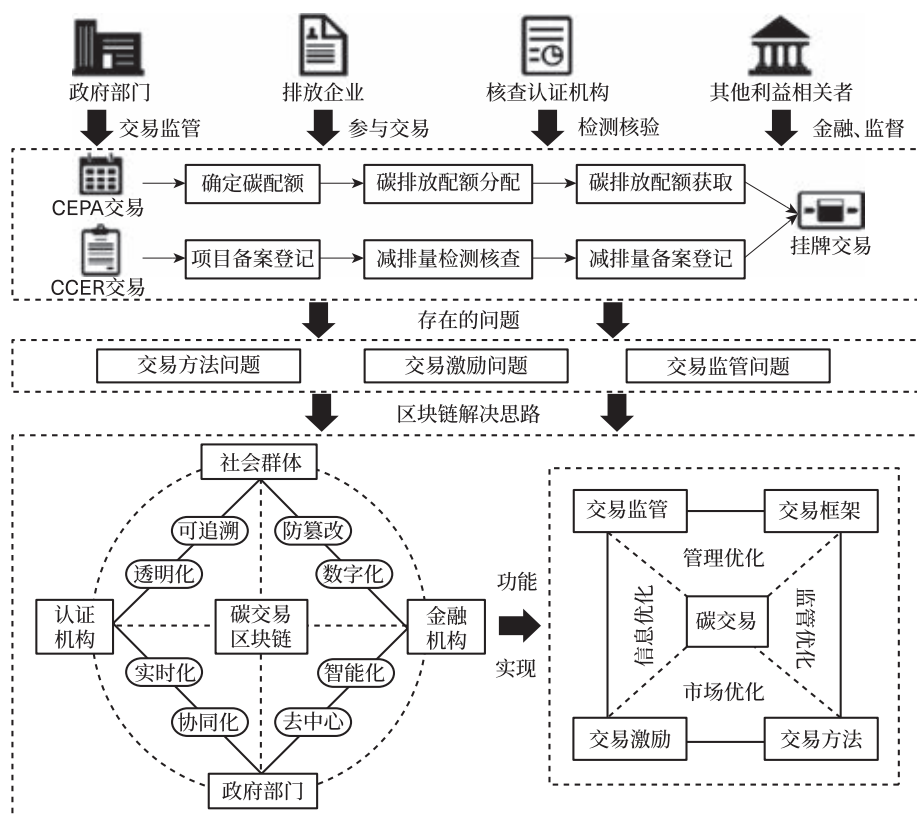


图1 区块链技术与碳交易需求耦合过程

的方式促进各个节点达成共识，这一方面有利于降低系统的开发难度和成本，另一方面也通过缓解各主体之间的信息不对称促进了合作的达成。基于此，本文将选取 Hyperledger（超级账本）中典型的、具有节点许可管理的联盟链系统——Fabric 来构建碳交易体系。Fabric 是一个企业级区块链开源开发平台，支持包括 Java、Go 和 Node.js 在内的多种智能合约开发语言。作为一种高度模块化的超级账本框架，Fabric 允许通过插播方式开启不同的功能。利用 Fabric 构建的碳交易联盟链架构体系共有 7 层，具体如图 2 所示。

数据层主要用于储存碳交易的相关数据信息，各链上节点基于不同的权限和职责对发生的交易进行记录，一段时间内产生的交易数据在经过特定的哈希运算并加盖时间戳后会被封存至一个区块之中，并连接到当前最长的主链上，各节点同步更新最长区块链，以此实现区块链世界状态的更新。

网络层是区块链系统的网络通信层，主要实现区块链数据的组网、传播与校验功能，这一层的主要内容包括 P2P 网络、数据验证机制、Gossip 协议以及 PKI 公钥基础架构，在碳交易中，由政府部门作为身份认证机构对参与交易的各个节点进行认证准入和身

份审核。

共识层主要涉及分布式一致性技术和数据验证机制，依靠封装在网络节点的各类共识算法实现，在 Fabric 联盟链中，不同的版本对应不同的共识算法，其中，Solo 算法只能实现对单节点的排序功能，稳定性以及安全性较差，可在测试阶段使用；Kafka 算法可以集群所有的排序节点来对交易进行排序，是一种高效的信息发布订阅系统；Raft 算法增设了主导节点，由各个组织中的排序节点投票产生，负责和其他节点配合完成排序任务。在碳交易的 Fabric 架构设计中，三种共识算法可以适应不同的研发阶段，Solo 算法适用于初期演示阶段，Kafka 和 Raft 算法适用

于后期系统成熟时期。

激励层依靠外部方式实现。

合约层用于智能合约（链码）的管理，涉及智能合约的设计、编译、布置和运行等操作。合约层封装了各种智能合约、算法和脚本，主要是为了实现更为复杂的信息交互，发挥区块链在特定应用场景下的功能。碳交易中涉及智能合约包括碳排放量科学计算智能合约、碳排放交易智能合约、其他温室气体转换智能合约等，智能合约中详细记录了交易规程和流程。

服务层用于为整个系统提供基础的后台管理服务。主要包括碳排放配额平台管理、碳排放交易平台管理、碳排放监管平台管理，以及各个平台下的账号管理、权限管理、会员管理、信息公开化等服务。基础服务层可以保障碳排放交易的顺利进行。

应用层用于碳交易实际应用场景的接入，为各种实际场景配置不同的接入端口，以实现与区块链系统的信息交互。在实际应用中，交易主体基于不同的业务诉求开发相应的应用程序界面。应用程序界面的操作指令会传达至基础服务层，由其进行响应，同时基础服务层也会依据各交易主体的参与资格限制其操作权限。

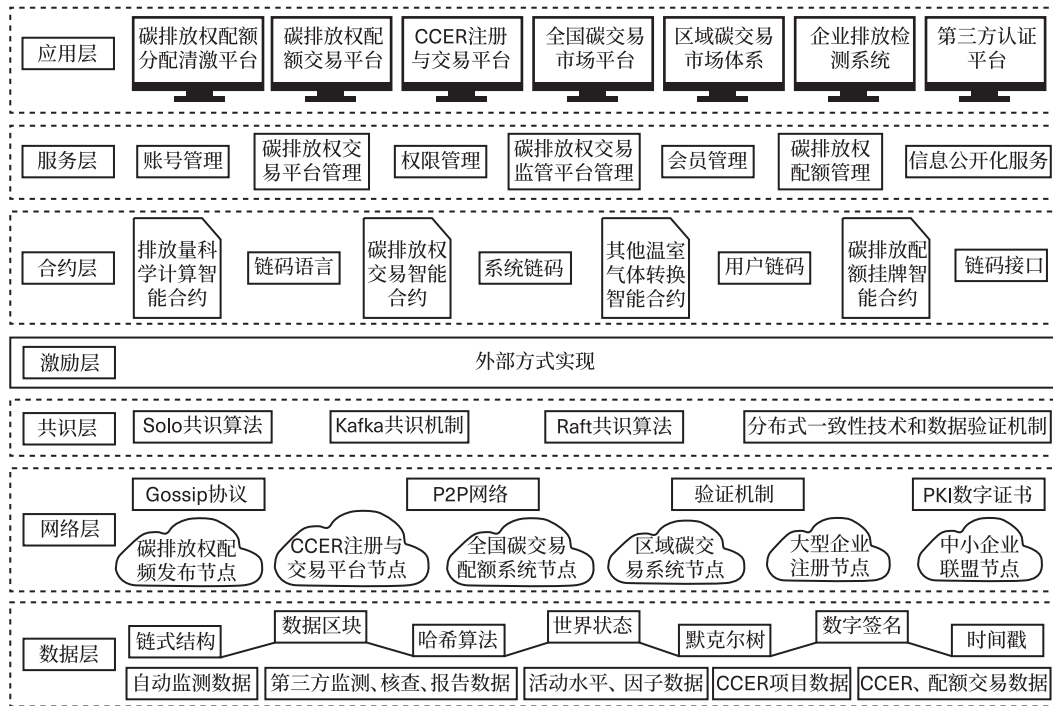


图2 碳交易联盟链整体架构体系

3 区块链技术赋能碳交易体系重构及应用研究

3.1 区块链技术下的碳交易二级市场框架

目前我国碳交易二级市场的建立和实行还处于初期阶段，市场活跃度较低，存在着交易机制滞后、交易流程复杂、交易安全性低及交易成本高等问题，并且政府干预较多，容易导致市场失灵，不利于发挥市场在碳资源配置中的主导作用。利用区块链身份验证、分布式共识、链式结构数据、不可逆加密算法、自执行智能合约等技术可以有效解决上述问题，身份验证、分布式共识和链式数据结构通过改变信息的传输和记录方式重新构建交易主体间的信任基础，不可逆加密算法可以保障交易数据的真实性和安全性，智能合约可以实现交易的有序进行和智能高效。基于此，本文提出了基于区块链的碳交易框架，如图3所示。

碳交易系统存在不同的组织服务提供者（ORG.MSG），ORG.MSG 会识别自己组织内的节点并根据实际情况为其分配特定角

色和配置不同的区块链资源读写权限，同时，ORG.MSG 会指定一个身份认证机构（CA），由其给组织内的成员分配数字身份，通常包括一对私钥、公钥和一个身份地址。不同组织内的节点可以经由通道（C）进行连接和信息交互，通道C的内在配置会决定各个节点的身份信息被关联到对应的ORG.MSG。具体来讲，政府部门发布碳配额分配信息和国家核证自愿减排量（CCER）项目审核结果后，重点排放企业把自主监测数据利用私钥加密后上传至区块链，第三方核查机构审核无误后对其进行信用背书并提交区块链备案登记。碳排放企业按照实际交易需求，以卖方或是买方的身

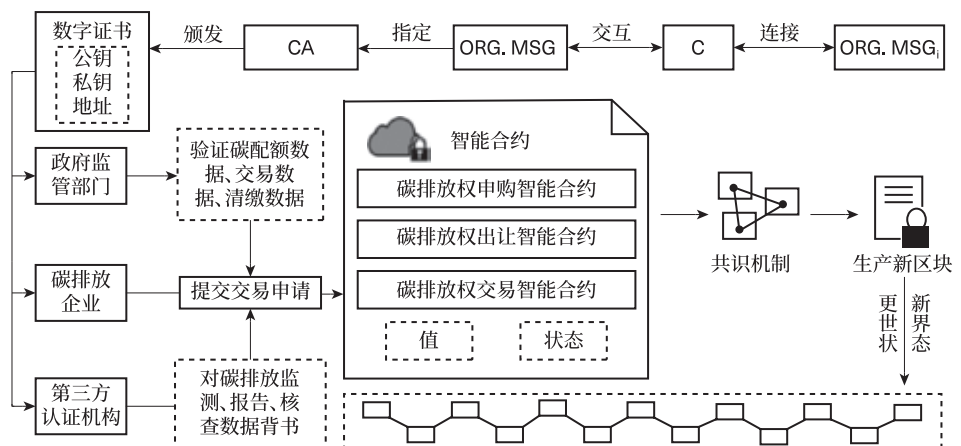


图3 基于区块链的碳交易二级市场架构

份提交交易申请。交易进行依靠预设触发条件和响应规则的智能合约自动执行，碳交易智能合约的触发条件包括交易主体身份认证、碳排放权出让和购入资格认证，保证金交纳认证等，响应规则主要依据嵌入合约中的交易协议和交易条款编辑，规定了交易流程以及违约责任。智能合约依据交易时段和交易行为主动判断、响应和执行，执行过程和执行结果在经过背书节点信任背书和主节点排序后会产生新的区块附加至原有链上，并经由广播机制更新区块链世界状态。在区块链环境下，交易主体主要是碳排放企业，智能合约会基于预设的交易条件和规则完成大部分的审核工作，政府部门在其中承担交易验证和交易监管的职责，相较传统模式，政府职责的转换会极大降低对交易市场的干预性，有助于推动数据要素的市场化配置。

3.2 区块链技术下的碳交易流程

正常情况下，碳交易会存在多个卖方和买方，为实现对碳资源的优化配置并兼顾碳交易的效率和公平，本文设计了双向拍卖配合个人对个人（P2P）交易的两阶段有序交易机制，如图 4 所示。交易率先进入双向拍卖阶段，碳排放的买方和卖方在双向拍卖时段结束前给出自己的报价和数量，系统会将卖方的报价按照从低到高排列，再将买方的报价按从高到低排列，对于买方报价高于卖方的部分，由智能合约按照双向拍卖的规则撮合成交，成交价格定为双方报价的均值；在经过双向拍卖市场撮合后仍未出清的碳排放权进入 P2P 交易阶段。P2P 市场启动时，由于所有的买方报价均低于卖方，因此并无成交量。碳排放权的卖方可以选择维持原有报价等待报价更高的购买方出现或是采用限价交易、市价交易的方式重新挂单，当然卖方也可以选择

清空挂单信息并退出交易。双向拍卖配合 P2P 的两阶段交易机制确保了碳排放权以公平、高效的方式分配给各交易主体，并利用区块链完成信息传递的价值交换。

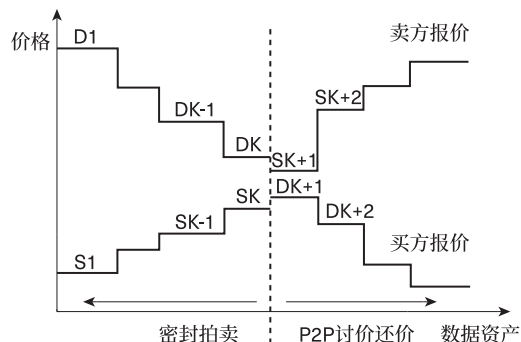


图4 碳排放权两阶段交易机制

具体的碳交易流程按照时间的先后顺序可以划分为提交交易请求、双向拍卖、P2P 交易和交易结算四个阶段，如图 5 所示。交易需求提交阶段主要内容是完成交易的初始化设置和交易主体的身份验证，由预设的智能合约确定平台代币和实际流通货币之间的汇率以及兑换规则，并调用交易主体的公钥对其身份进行核验，通过后收取保证金并初始化各主体的交易请求；双向拍卖阶段的主要功能包括报价和匹配：在双向拍卖截止前，买卖双方节点可以调用报价函数提交碳排放权购/售报价，智能合约会将其加入买/卖方的

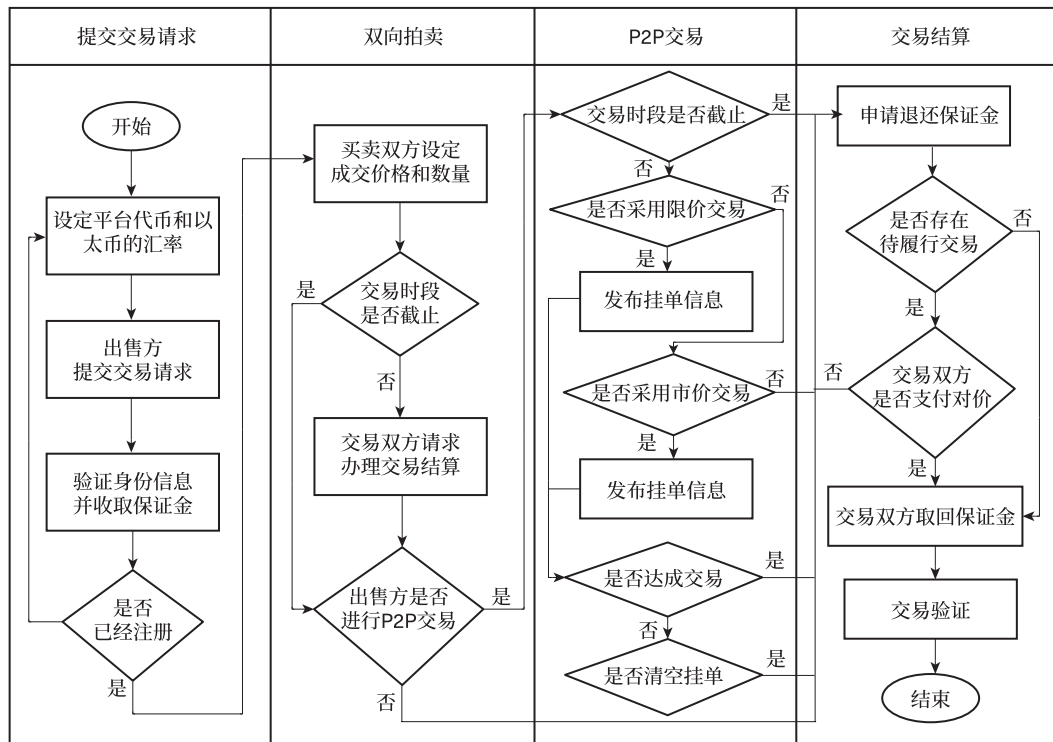


图5 碳排放权两阶段交易流程

报价列队并按照报价的高低顺序排列,对于买方报价高于卖方报价部分会自动进行双向匹配,直至卖方报价列队全部成交清空或是交易完成;P2P交易阶段主要用于碳排放权卖方更改挂单信息,卖方可以通过调用限价交易或是市价交易函数发布挂单信息,或是直接清除挂单信息,退出碳交易;交易结算阶段是交易的最后阶段,主要包括交易对价的支付和交易保证金的退回。碳交易的核心业务逻辑主要依靠智能合约语言实现,具体的算法流程如图6所示。

```

1: 生成公钥、私钥、地址:  $PK(user), SK(user), Uid \leftarrow Generator$ 
2: function matchTrading( contractID )
3: 智能合约解密验证交易者身份并发布交易。
4: while tradingClosed = false do
5: if  $H(Uid) = H(Uid)'$  then
6: 将出售方报价列队  $Sellers$  按照报价  $S_i$  从低到高排列,  $Sell_i$  为对应出售数量
   记  $N$  为拍卖方列队总量。
7:  $Sellers = \{(S_0, Sell_0), (A_0, Sell_0), \dots, (A_n, Sell_n)\}$ 
8: 将购买方报价列队  $Buyers$  按照报价  $B_i$  从低到高排列,  $Buy_i$  为对应出售数量
   记  $M$  为拍卖方列队总量。
9:  $Buyers = \{(B_0, Buy_0), (B_0, Buy_0), \dots, (B_n, Buy_n)\}$ 
10: while  $Sellers \neq \{\}$  &&  $Buyers \neq \{\}$  &&  $B_i \geq S_i$  do
11: 成交价格:  $P = (A_i + B_i) / 2$ 
12: 更新列队信息和碳排放权数量
13: 更新购买方列队信息:  $(S_i, Sell_i) \leftarrow (S_i, Sell_i - \min(Sell_i, Buy_i))$ 
14: 更新购买方列队信息:  $(B_i, Buy_i) \leftarrow (B_i, Buy_i - \min(Sell_i, Buy_i))$ 
15: if demand = 0 then
16: for  $(S_i, Sell_i) \in Sellers$  and  $(B_i, Buy_i) \in Buyers$  do
17:  $(S_i, Sell_i) \leftarrow (S_i, Sell_i - u)$ 
18:  $(B_i, Buy_i) \leftarrow (B_i, Buy_i - u)$ 
19: function FixedpriceTrading(contractID)
20: function MarketpriceTrading(contractID)
    
```

图6 碳排放权两阶段交易算法

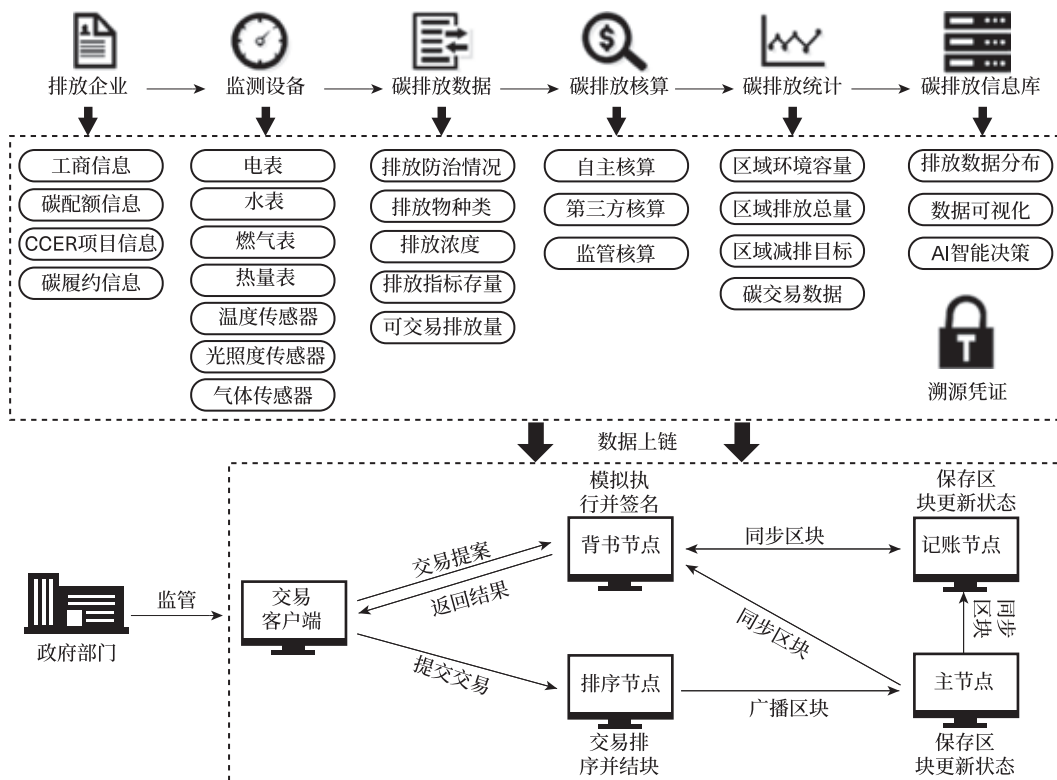


图7 碳交易监管联盟链

3.3 区块链技术下的碳交易监管

碳排放核算和监管过程中普遍面临“信息损耗”问题。传统模式采用层层递进的信息传递方式,企业的碳排放数据需要经由系统层层上报,滋生了“舞弊”和“寻租”空间。不同地域范围内的政府和碳排放企业基于缓解减排压力、扩大生产效益、拉动地方经济增长等诱因,均可能形成“共谋”,产生“误报”“虚报”“谎报”“偷排”“泄漏”等现象,致使监管失效。同时,“系统熵”随着信息的积累而不断增大,数据失真的责任主体难以明确,即使发现了碳排放数据与实际排放量有出入,现有的监管机制也无法明确责任主体,这使得碳交易的公平性和可信度进一步丧失。因此,确保信息的真实性是保障碳交易市场有效运转的条件和基础。围绕碳排放总量控制目标进行的初始碳排放配额分配和对排放单位履约监督,作为碳交易体系中的重要运转环节,均离不开真实可靠的碳排放信息作为支撑。区块链技术具有的可追溯、难篡改、公开透明等特性为保障信息真实性、重构陌生主体信任提供了一种新的解决思路,也为智能、实时、高效监管创造了技术条件。

基于联盟链构建的碳交易监管体系可以在源头、过程和末端中全方位、全流程地维护数据的可靠性并通过数据溯源明确主体责任,实现有效的追责和监管。具体来讲,如图7所示,政府可以在链上直接获

取碳排放企业的基本信息。碳排放信息依靠安装在排放源头的在线监测设备收集,各种监测设备可以连接成企业碳排放的动态物联网网络,并可以进一步利用HTML5 WebGL等技术构建可视化模型,方便政府监管部门查验。在排放企业自主核算数据后,第三方认证机构提交独立的碳排放监测、报告,并等待政府部门核验。区块链的数据库会对区域内的碳排放数据、交易数据、碳排放目标数据、碳排放总量数据、区域环境容量数据等进行汇总,并基于嵌入的智能算法统计数据分布特征,为政府的下一步政策制定和执行提供决策依据。

利用区块链技术构建碳交易监管体系的底层架构可以实现信息上链后无法修改,因此,在确保源头数据真实的情况下,避免了碳排放企业、第三方认证机构以及地方政府部门后期私自篡改排放数据。同时,各种传感设备采集的数据和各主体上传的数据都会成为溯源的追责凭证,一旦在监管过程中排查出碳排放不同统计口径之间存在出入,可通过比对默克尔树哈希运算结果,查询到存在问题的数据源,以确定源头数据的真实性和准确性。在此基础上,基于时间戳和数字签名界定责任期间和责任主体,为清晰高效的问责和碳交易仲裁提供完整的证据链。此外,考虑到碳交易活动具有跨区域、跨行业、专业性和公众性等特征,区块链技术为碳交易的监管向着专门监管和协同监管相结合的方向演化创造了条件。区块链会保存参与者在所有交易环节的数据信息和行为信息以备查阅。一方面国务院和各省省级政府设立的专门碳交易监管机构可以对联盟链运行的全过程进行实时连续的专门监管;另一方面通过授权给包括金融机构、碳交易所、第三方服务机构、社会公众团体在内的其他利益相关者还可以实现政府层和社会层面的协同监管。

3.4 区块链技术下的碳交易奖惩机制

围绕碳交易流程设计有效的激励与惩罚机制是保障交易效率性和公平性的重要手段。激励机制的主要内容包括对真

实上报碳排放数据企业的激励以及对积极进行减排技术创新消减排总量企业的激励,惩罚机制的主要内容是对虚假上报企业和虚假核验第三方机构的违规行为为进行记录和惩罚。在实践中,碳交易的激励及惩罚手段多以行政控制或是行政命令为主,如2020年末出台的《碳排放权交易管理办法(试行)》规定,碳排放优于行业基准线得到奖励,低于行业基准线受到惩罚。这种依靠行政强制手段来实现对碳交易的市场调节容易造成过度干预,消减企业参与碳交易的积极性,不利于激励碳资源的市场化配置。

基于以上分析,结合区块链数据透明度高、智能合约自动化执行的特点,本文构建了区块链技术下的碳交易激励和惩罚机制(奖惩机制),如图8所示。一方面,区块链下的奖惩机制保留了传统机制下政府行政监管权利的的实施空间,允许政府部门在一定期限内,如每个月末、每个季度末或是每个年末对碳排放企业和第三方认证机构进行数据查验,即通过跨链技术读取碳交易主链和碳交易监管侧链的世界状态查验碳排放企业的碳配额数据、实际排放数据、交易数据、清缴数据等,并与第三方认证机构监测、报告、核验数据比对,基于查验结果对碳排放企业和第三方认证机构进行减排测评和信用评判并向系统提交奖惩申请,智能合约会基于预设的奖励和惩罚规定以及不同的触发条件执行对应的操作。

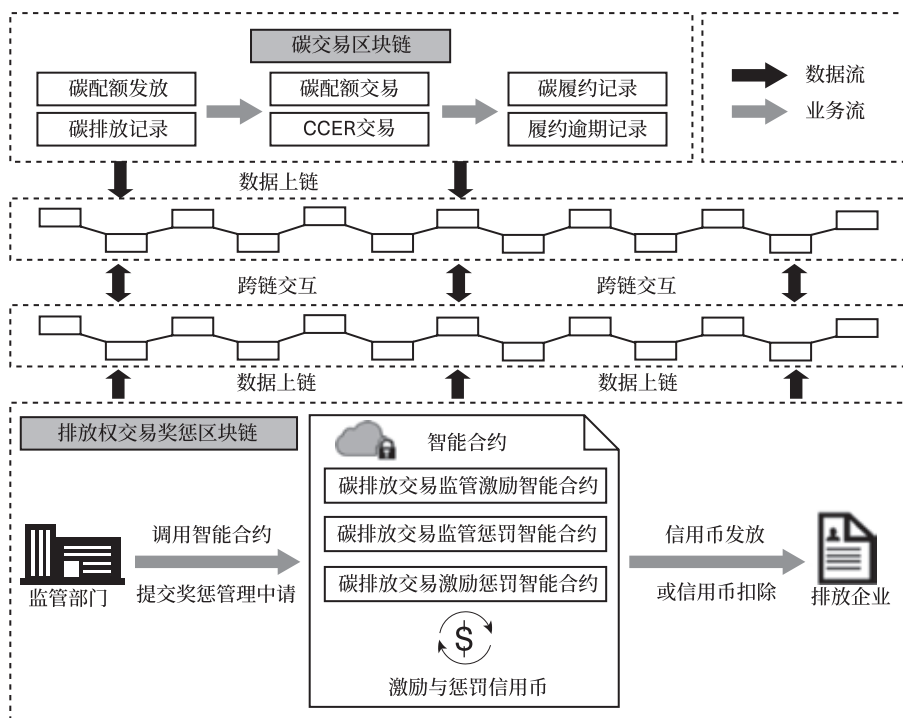


图8 基于区块链的碳交易激励与惩罚框架

另一方面,为了让政府可以采用更加缓和的手段来管理碳交易市场、优化治理能力,考虑到数字货币作为区块链技术最为成熟的应用领域,本文设计了“碳交易信用币”作为奖惩媒介来替代原有的行政强制干预。碳交易信用币作为一种通证货币在联盟链之中发行和流通,并按一定比例和法币进行兑换。所有链上的碳排放企业会和第三方认证机构由系统配置一个奖惩信用账户和一对与之匹配的公钥、私钥,公钥对应着账户的账号,私钥对应账户的密码。碳排放信用币的发行规则和分配规则会在创链时就封装在奖惩智能合约之中。对于机制下诚信上报碳排放数据或是积极进行减排技术创新的企业诚实地进行核验和报告的第三方机构,智能合约将依据既定的规则和政府部门的申请,向其账户内存入一定量的信用币,而对于受到行政处罚的碳排放企业或是第三方认证机构,将会扣除其账户内的信用币。碳排放信用币的发行和流通不需要金融机构信用背书,从而一定程度上减少了运行成本,也不会造成额外的财政压力。进一步地,根据科斯定理关于交易费用与产权界定之间关系的阐述,可以发现区块链技术环境下满足科斯定理的假设条件:①钱包地址的唯一性以及联盟链认证程序构建了地址和真实身份的双向锚定确保产权界定的明确性;②联盟链环境下共识机制促使交易低成本运行,证明通过发行和流通碳排放交易信用币的激励和惩罚机制是有效的,利用碳交易信用币来激励和惩罚的管理措施更有利于市场利用“看不见的手”进行调节,从经济层面促进企业技术创新消减碳排放量。

4 结论与建议

在区块链技术不断推动传统产业深刻变革的背景下,立足碳资源开放式交易和市场化配置发展受阻的现实情况,本文利用区块链技术从二级市场构建、碳交易方法、碳交易监管、碳交易激励与惩罚四个维度设计了一套创新碳交易体系,并探讨了具体应用方法。此交易体系充分利用了区块链的技术优势,有效解决了传统的、中心化的碳交易市场所存在的交易效率低、监管困难、行政过度干预等机制性弊端。首先,区块链推动了碳资源的数字化转化,碳资源经由认证上链后转变为易分割、易交易的数字资产凭证,为利用智能合约实现碳交易流程的自动化和智能化奠定了基础,将有效提升碳交易效率。其次,区块链的共识机制和链式数据结构保障了链上信息对称性和不可篡改性,各种外接传感器采集的数据经过运算上链后将被密封保存,为监管者在源头、过程和末端中全

方位、全流程地维护数据的可靠性并通过数据溯源明确主体责任,实现有效的追责和监管创造了条件。最后,区块链环境下发行的信用代币具有明确的产权界定并且交易成本极低,满足科斯定理的假设条件,证明了以信用代币取代行政命令和强制干预的方式实现对碳交易的激励与惩罚的治理方式是有效的,更能发挥“看不见的手”的调节作用。

参考文献

- [1] 杜娟,潘盟,汪云峰.基于成本优化的中国省际碳减排目标分配[J].中国管理科学,2022,30(7):252-263.
- [2] 张希良,张达,余润心.中国特色全国碳市场设计理论与实践[J].管理世界,2021,37(8):80-95.
- [3] 刘耕源.碳责任、碳市场与碳交易[J].中国环境管理,2023,15(1):5-6.
- [4] 宋德勇,朱文博,王班班.中国碳交易试点覆盖企业的微观实证:碳排放权交易、配额分配方法与企业绿色创新[J].中国人口·资源与环境,2021,31(1):37-47.
- [5] 刘明明.中国碳排放权交易实践的成就、不足及对策[J].安徽师范大学学报(人文社会科学版),2021,49(3):119-124.
- [6] 张阳.碳排放交易的监管赋能:问题与方案[J].中国流通经济,2022,36(3):115-126.
- [7] 蓝虹,陈雅函.碳交易市场发展及其制度体系的构建[J].改革,2022(1):57-67.
- [8] 孙秋枫,年综潜.“双碳”愿景下的绿色金融实践与体系建设[J].福建师范大学学报(哲学社会科学版),2022(1):71-79.
- [9] ZHAO X G, JIANG G W, NIE D, et al. How to improve the market efficiency of carbon trading: A perspective of China[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2016, 59: 1229-1245.
- [10] 刘元春,郝大鹏,霍晓霖.碳中和和经济学研究新进展[J].经济学家,2022(6):5-15.
- [11] 王勇,王丁玉,陈彦汝.不同配额分配方式对中国碳交易市场运行的影响——基于流动性、波动性与有效性视角的考察[J].资源科学,2021,43(12):2503-2513.
- [12] 杨煜.基于区块链赋能的生态环境治理网络研究[J].电子政务,2021(4):105-113.
- [13] 陈晓红,张威威,易国栋,等.新一代信息技术驱动下资源环境协同管理的理论逻辑及实现路径[J].中南大学学报(社会科学版),2021,27(5):1-10.
- [14] FENG Q, HE D B, ZEADALLY S, et al. A survey on privacy protection in blockchain system[J]. Journal of network and computer applications, 2019, 126: 45-58.
- [15] WANG S, OUYANG L W, YUAN Y, et al. Blockchain-enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends[J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics: systems, 2019, 49(11): 2266-2277.
- [16] 郑荣,张薇,高志豪.基于区块链技术的政府数据开放共享平台构建与运行机制研究[J].情报科学,2022,40(5):137-143.
- [17] 周莉,张生平,侯方淼,等.基于区块链技术的碳交易模式构

- 建[J]. 中国水土保持科学, 2020, 18(3): 139-145.
- [18] 严振亚, 李健. 基于区块链技术的碳排放交易及监控机制研究[J]. 企业经济, 2020, 39(6): 31-37.
- [19] 张艺, 吴卿婧, 胡伟. 基于量子区块链的碳配额交易模型[J]. 系统管理学报, 2023, 32(2): 300-307.
- [20] PATEL D, BRITTO B, SHARMA S, et al. Carbon credits on blockchain[C]//2020 International Conference on Innovative Trends in Information Technology (ICITIIT). Kottayam, India: IEEE, 2020: 1-5.
- [21] 叶强, 高超, 姜广鑫. 大数据环境下我国未来区块链碳市场体系设计[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 229-249.
- [22] MUNNINGS C, MORGENSTERN R D, WANG Z M, et al. Assessing the design of three carbon trading pilot programs in China[J]. Energy policy, 2016, 96: 688-699.

Study on the Application of Blockchain Technology in Carbon Trading System

TANG Jinhuan, WU Wanting, CHEN Xi*

(School of Economics and Management, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: A key assurance that China will achieve the objective of “double carbon” is the improvement of the carbon trading market and the optimization of the carbon trading mechanism. Based on an analysis of the functional requirements of the carbon trading process and the applicability of blockchain technology, we propose a decentralized, automated, reliable, and innovative carbon trading system to address the issues of inefficient trading, challenging supervision, and excessive administrative intervention in China's traditional centralized carbon trading market. First, the general framework of the carbon trading blockchain based on Fabric Alliance Chain is designed based on the actual business scenario from the overall level. Next, the trading system is divided, and the specific application methods of blockchain technology such as identity authentication, smart contracts, data traceability, and credit token are discussed in four dimensions: carbon trading secondary market framework, carbon trading method, carbon trading supervision, and carbon trading incentives and penalties. The adoption of blockchain technology has facilitated the conversion of carbon resources into digital certificates, realized the automation and intelligence of carbon trading, and increased trading efficiency; the chain data structure and distributed consensus mechanism have eliminated the space for “fraud” and “rent-seeking”, and created circumstances for real-time dynamic supervision and collaborative supervision; the issuance and application of carbon trading credit tokens have provided a more moderate governance method, avoided excessive intervention in the market by administrative coercion, optimized the government's governance capacity, and further enhanced the efficiency and fairness of carbon trading.

Keywords: blockchain; carbon trading; federated chain; credit tokens; innovation system construction

(上接10页)

Some Thoughts on Promoting the Digital Transformation of Ecological Environment Planning

JIANG Hongqiang¹, WANG Tingyu², LU Yaling^{1,3*}, WANG Mingxu⁴

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100041, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300354, China; 3. Enterprise Green Governance Research Center, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100041, China; 4. Laboratory of Carbon Neutrality and Climate Change, Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China)

Abstract: Ecological environment planning has played an increasingly important role in the national ecological environment governance system. Digital technology is the basis of ecological environment planning and plays an important role in the systematic and scientific compilation and implementation of ecological environment planning. This article reviews the development process of digital technology in ecological environmental planning and highlights the importance and inevitability of future digital transformation in this field. It also analyzes the challenges faced by traditional ecological environmental planning, such as outdated technology methods, the need for deeper integration with information technology, and weak information infrastructure. Some suggestions for the future digital transformation of ecological environmental planning are put forward, including strengthening the application of digital technologies such as numerical simulation, big data analysis, digital spatial analysis, virtual reality, etc.

Keywords: ecological environment planning; numerical model; big data; digitization; digital transformation