

# 区块链赋能碳排放权交易监管的逻辑与路径研究

刘胧灿

(山东理工大学法学院, 山东 淄博 255000)

**摘要:** 作为实现“双碳”目标的核心政策工具之一,碳市场兼具金融属性、环境属性与政策属性,这些属性特征促使切实有效的碳排放权交易监管体系的建立。现今中国在碳排放权交易及其后续监管中存在监管低效、交易信息不透明等问题,基于现代环境治理对新型数字技术的应用需求,将区块链分布式存储、共识机制、智能合约加密等技术应用于碳排放权交易监管,将有助于监管效率及碳交易信息流通安全性的提升,并纾解碳排放监测与核查过程中存在问题。然而,技术的两面性决定区块链以其技术为碳排放权交易监管赋能的同时,也在数据安全、交易主体权益保护等方面存有一定隐忧,对此需进一步健全智能合约审查机制并完善救济规则,构建风险预防与评价体系,厘清区块链系统开发及运维主体责任,以确保碳排放权交易得到有效监管。

**关键词:** 碳排放权交易监管; 碳市场; 区块链; 技术赋能; 数据安全

**中图分类号:** D922.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)12-0282-09

碳排放权交易是一种由政府主导,通过交易碳排放配额,要求被纳入碳市场管理的企业按周期履行清缴责任从而降低温室气体排放的减排机制,是增汇降碳与实现碳达峰、碳中和目标的重要工具之一。碳排放权交易机制通过“总量控制与交易”制度,利用价格信号引导资源优化配置,进而实现降碳减排目标。自2013年碳排放权交易试点开展实践,至2021年6月全国统一碳市场启动上线交易,中国碳排放权交易制度日臻完善。但碳交易实践中仍面临的数据造假、交易信息流通滞涩、交易不合规等问题,亟须通过健全碳排放权交易监管体系解决,以技术赋能监管手段促进形成有效碳市场。作为价值互联网的内核,区块链技术的广泛应用推动了各领域的技术变革,数字技术与现代经济社会日益呈现融合发展态势。区块链或可以“技术赋能”的方式参与碳排放权交易的监管,为碳市场平稳运行提供技术支持。然而,当前学界对此更多关注的是区块链对碳市场交易整体体系建设方面,而鲜有对区块链技术融合碳市场监管的内在作用机理及其相应规制开展的理论研究。基于此,本文将立足于“双碳”背景,探讨区块链技术与碳排放权交易监管的内在关联并厘清其理论脉络,进而阐释其赋能碳排放权交易监管的作用机理与规制路径,以期对碳排放权交易市场的建设与完善提供理论支撑。

## 1 碳排放权交易监管体系架构及其规范构成

碳排放权交易监管即对以碳排放权为客体的交易及其相关活动各环节开展的监督管理,由依法行使监管职能的主体,以防止扰乱碳市场规则、保障市场完整性为目的,对参与碳排放交易过程的主体及其交易内容进行的监督管理活动。作为碳市场规制工具,碳排放权交易监管机制不仅具有一般性的市场交易监管体制特征,同时也受政府干预与引导<sup>[1]</sup>。构建层级清晰、平稳运行的监管体系是保障碳排放权交易公正公开、促进中国碳市场健康发展及顺利实施“双碳”战略的关键。

### 1.1 碳排放权交易监管的体系架构

中国碳排放权交易体系2005—2021年经过自愿减排、试点碳交易、全国碳市场建设三个阶段,现已逐步形成了1个全国碳市场、8个地方配额市场与1个自愿减排市场的分布体系<sup>[2]</sup>。随着碳市场体系初步形成,与之相匹配的各类融资工具、交易工具与支持工具也依次纳入使用。为维护碳市场秩序、防止市场操纵与虚假交易,保障碳市场平稳运行的碳排放权交易监管体系应运而生。当前碳排放权交易监管体系主要呈政府引导与市场自主调节相结合,央地共管、多部门参与之态势。

**收稿日期:** 2024-12-18

**基金项目:** 山东省社会科学规划研究项目(22CFXJ08)

**作者简介:** 刘胧灿(2000—),女,山东淄博人,硕士研究生,研究方向为环境与资源保护法学。

### 1.1.1 监管主体

碳排放权交易监管主体即依法履行监管职责,对重点排放单位、核查机构等监管对象实施监督管理的行为主体。如图1所示,碳排放权交易中具有监管职能的主体主要可分为三类,即以生态环境主管部门为主,负有直接监管职责的行政部门、社会公众以及基于碳交易所的行业自律组织和自律协会。目前碳排放权交易的监管以行政部门监管为主,以社会公众与行业自律监管为补充。

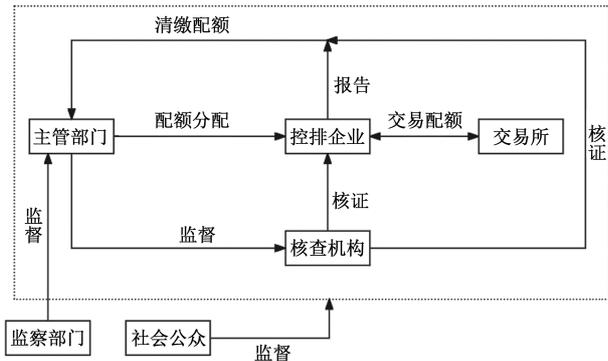


图1 碳排放交易及监管的流程

(1) 行政部门监管。由有关行政部门主导,国务院生态环境主管部门负责制定碳排放权交易及相关活动技术规范以及碳排放权总额的预算、核定,并与地方人民政府生态环境主管部门合作,分级实施监督管理和指导。此外,国家发展和改革委员会、工业和信息化部等有关部门按职责分工,参与配额分配与清缴、温室气体排放报告的核查等工作,并由国务院市场监督管理部门、中国人民银行和中国银行业监督管理机构对碳排放权交易及注册机构进行监督管理,披露并管控违规行为,进而保障交易活动的公平性与安全性。行政部门监管有助于碳市场的稳定,通过政府对碳排放权交易进行宏观调控引导市场走向,对碳市场运行具有规范作用,但其对碳市场的干预作用有限,需通过社会公众监督与行业自律辅助监管。

(2) 外部监管主体。中国的碳排放权交易市场很大程度上属于政策市场,碳交易监管也以行政监管为主导,外部公众监督为补充。碳交易所通过设定风险管理办法,对交易主体、内容、程序等进行监管,处理违规行为从而降低交易风险<sup>[3]</sup>。社会公众则通过监管机构披露的碳市场运行信息对碳市场行为主体即监管部门与监管对象进行监督,举报违法违规行为。但目前自律监管制度存在漏洞,公众获取信息渠道较为狭窄,市场制度及信息披露等制

度仍待完善,发挥作用方式较为被动且具有局限性。

### 1.1.2 监管事项

碳排放权交易监管主要针对碳排放权登记、交易、结算环节及温室气体排放的报告与核查,监管机构依据不同监管对象,分别采取相应措施实施监管行为,并依法对篡改与伪造碳数据、操纵扰乱碳市场、未依规进行信息公开与报送排放数据等违规行为进行处罚,具体内容如表1所示。作为降污者获益原则的体现,碳排放权交易市场通过引导参与主体比较减排成本与节约碳配额的利益激励碳市场参与主体减排,碳交易活动起始于国家主管部门对碳配额总量的分配方案制定与发放以及碳交易制度与规范的设计,在此过程中主管部门接受国家监察部门与社会公众监督,而重点排放单位的碳配额清缴也在各省级主管部门监管下进行<sup>[4]</sup>。在规定时间内,省级主管部门须检查重点排放单位是否按照规定履行配额清缴义务与足额清缴配额,进而对未按时清缴的控排企业进行处罚。

中国碳排放权交易监管注重二级市场,即碳排放权的登记、交易与结算,参与碳交易活动的各类市场主体均需通过由国家主管部门运行的碳排放权注册登记系统实现配额清缴与履约、法定确权登记及结算注销等业务。与此同时,国家主管部门需对各类市场主体的碳交易活动进行监督检查,清查和处罚操纵市场、内幕交易、扰乱交易价格等违法违规行为,并敦促交易机构建立风险管理制度和报送信息。在温室气体排放报告与核查方面,温室气体排放核查机构需按有关部门制定的标准接受考核培训并备案,重点排放单位也须自主履行提交排放报告的义务,并对其制定的年度温室气体排放报告的可信性、真实性负责,接受各级主管部门监督。

表1 碳排放权交易监管事项分类

监管主体	被监管主体	监管事项
国家发展和改革委员会、工业和信息化部、社会公众、行业自律组织	重点排放单位	配额清缴、碳排放报告提交、如期接受核查
	第三方核查机构	提供虚假报告
	交易机构	操纵交易价格、扰乱市场秩序

## 1.2 碳排放权交易监管政策法律规范

中国碳市场在减排降本增效方面取得初步成效,碳排放权交易制度框架也已初步形成。随着《碳排放权交易管理暂行条例》的通过与施行,以行政法规为引领,以部门法规和规章为支撑的央地共管、多部门协同构建的多层级碳市场规范体系日益

完善。以下将从中央与地方两个层面分别阐述碳排放权交易监管政策法律规范现状。

### 1.2.1 中央层面

自2024年《碳排放权交易管理暂行条例》(以下简称《暂行条例》)通过并施行后,中国碳排放权交易规则升级至行政法规层面。《暂行条例》与生态环境部出台的部门规章《碳排放权交易管理办法(试行)》(以下简称《办法》)及碳排放权登记、交易、结算等管理规则及其他规范性文件共同构成全国层面的碳市场交易规范体系。

《暂行条例》总体覆盖碳排放权交易各环节,一定程度上明确了监督管理体制,有利于对碳排放权交易的全过程监管。其中第四条对监管权的分配做出了更为明确的规定,要求国务院与地方生态环境主管部门共同监管碳排放权交易及相关活动,其他有关部门参与监管。此外《暂行条例》从碳排放配额分配和清缴,碳排放权登记、交易、结算以及温室气体排放报告、核查三个方面构建碳排放权交易管理制度框架,其被监管主体仍以温室气体重点排放单位为主,同时纳入技术服务机构,并对操纵碳市场及扰乱碳市场秩序行为做出单独规定。相较《办法》,《暂行条例》更加完善,其配套监管与惩罚机制明确,对违法行为认定的涵盖范围更广,与之相对应的处罚手段及力度有较大提升,罚款额度最高可达五百万元,二者同时运行,指导中国的碳排放权交易。但无论《暂行条例》还是《办法》,其规定的监管方式多为现场检查、查阅资料、对违规行为进行询问等,因而监管主体执法较为被动,难以达到预防目的,且部分制度设计中仍留有空白,尚有待完善。

### 1.2.2 地方层面

各地方碳市场现已出台一系列规范性文件,按立法效力等级可分为地方性法规、地方政府规章及地方规范性文件三个层级,其制度安排主要围绕温室气体排放报告与核查、配额清缴、碳交易行为合规性等方面展开,并设置行政处罚与激励机制,确定碳市场行为主体及监管主体的权利与义务。

地方碳市场的监管主要围绕重点排放单位未履行报送及公开碳排放数据报告、配额清缴义务,第三方核查机构出具虚假数据、泄露商业秘密,交易机构违规开展业务、未依规公开信息等方面展开,并对以上违反碳排放权交易监管管理规定的行为进行惩罚。全国八大试点碳市场,即北京、深圳、湖北、上海、重庆、天津、广东、福建碳市场管理制度

分别设计一定罚则,其中常见对违规行为的处罚方式包括罚款、倍数罚款及责令改正。此外,部分试点碳市场将核减碳排放配额约束方式加入碳排放权交易监管制度,如《深圳市碳排放权交易管理办法》中制定的对严重违反配额清缴义务的控排单位等量核减下一年度碳排放交易配额处罚制度,天津在《天津市碳排放权交易管理暂行办法》对纳入碳排放配额管理,未履行履约义务的企业做出下一年度扣除双倍分配配额的规定以及《湖北省碳排放权交易管理暂行办法》中对重点排放单位等量核减其虚报、瞒报的温室气体实际排放量及对未依规接受核查的排放单位配额减半核定的规定<sup>[5]</sup>。其他监管方式包括责令限期改正、碳配额清缴状况纳入信用记录、没收违法所得、限制碳市场交易资格等。各地方碳市场对违规行为设置的处罚方式差异较大,且大多以纠正型处罚方式为主,惩处力度较轻,不利于碳排放权交易秩序的维持及区域间协调,在全国性市场与地方性市场并存的背景下形成区域碳市场发展混乱问题。

## 2 碳排放权交易监管面临的现实困境

低碳发展是人类重要的时代课题,碳排放权交易作为经济社会通过控制碳排放与促进碳吸收实现可持续发展的工具之一,需以配套的监管体系作为保障<sup>[6]</sup>。中国碳排放权交易市场仍处于建设初期,虽已建构起其基本配套政策体系,但仍存在碳排放权交易规则混乱、信息不对称、监管机制配置不合理等问题。加之中心化的碳排放权交易模式,导致排放数据造假、交易不合规现象频发,不利于碳市场的建设与秩序维护,进而制约市场优化配置碳排放资源,对目前的碳排放权交易监管机制带来挑战。

### 2.1 碳市场监督与奖惩机制有待健全

当前碳排放权交易市场的监管采取政府监管模式,即由生态环境主管部门主导,由经济、环保、金融管理等多部门的共同参与监督指导,并以公众监督和行业自律监管为补充。然而政府对碳市场的约束与干预力度有限,且多部门共同参与的监管模式可能使监管权力行使主体不明确,进而导致决策碎片化、重复监管等问题出现,监管效率较低下。同时,行政权力对市场不当干预容易导致市场失灵或规制不足,不利于碳市场活跃度保持。在碳市场交易量日渐增长的当下,监管需求难以得到满足。在政府监管模式下,碳市场监管机制缺乏多元性,公众监督和行业自身的监管难以发挥其应有作用。

传统行政部门缺乏监管专业技术,为保障碳市场的健康有效运行,亟须以技术赋能,健全监督保障机制,配合强有力的政策支持实现全过程监督。

此外,全国各试点碳市场建设水平不一,且各区域基于自身产业发展情况与市场建设重点制定监管政策,因而各试点市场及全国市场间监管规则存在较大差异。但各试点市场间对一致性的缺乏可能导致监管套利与碳泄漏等现象,有关市场主体与第三方机构之间形成利益共谋,进而导致数据造假乃至信息泄露,且总体上对碳排放监测及配额拍卖过程、配额全过程追踪等方面的制度建设均存在不足<sup>[7]</sup>。现有奖惩体系下对交易违规行为惩处力度较弱,而对控排企业的激励措施常处于缺位状态,如《深圳市碳排放权交易管理办法》《广东省碳排放管理试行办法》等地方试点管理办法中规定的处罚办法中对责令改正、倍数罚款等的落实方案并不明确,实践中企业违法成本低于履责成本,威慑力度不足。同时仅有部分试点市场出台了积极控排、足额履约企业的激励制度规定,正向激励不足。

## 2.2 碳交易信息披露机制存在缺陷

碳市场参与主体的决策的准确做出与交易效率依赖于信息的透明度及公开程度,完善的碳交易信息披露机制是避免权力寻租及市场失灵的重要工具。碳排放权交易应当做到全过程信息公开,即碳排放配额分配和清缴,碳排放权登记、交易、结算及温室气体排放报告、核查各环节,以控制和防止数据造假。在实践中不同试点市场对信息披露的具体内容并未做出统一规定,作为信息公开主体的有关部门与碳排放权交易所多公布内容多限于对交易价格、总成交量与履约情况的简单公示。而且多数管理条例与有关规定对信息披露的具体时限、内容等方面未做出详尽规定,无论各试点市场的管理办法还是《暂行条例》与《办法》对信息披露方面的制度设计均存在不足。2024年《碳排放权交易管理暂行条例》中列举的信息披露事项仅包括碳排放权注册登记机构与交易机构的收费情况及管理办法、重点排放单位年度排放报告所涉信息,以及省级主管部门对重点排放单位排放报告的核查结果。信息公开范围相对保守,不利于市场主体判断市场行情的同时也对碳交易监管形成了阻碍。因而市场主体在履行信息披露责任方面享有较大的自由裁量权,信息公开义务主体公开碳排放权交易信息动力不足,可能使其怠于公开信息导致信息披露不及时,或使信息披露流于形式而缺乏实质内容。

## 2.3 碳数据质量监管体系不完善

碳排放权交易市场有效规范运行依赖于真实准确的碳排放与交易数据,有效的监测、报告与核查是企业碳排放的重要量化工具和碳数据质量的保障。2021年10月,生态环境部在《关于做好全国碳排放权交易市场数据质量监督管理相关工作的通知》中强调了企业排放数据质量的重要性,全国碳排放管理与实现碳市场健康发展均需要准确的碳数据。碳数据获取与分析记录应遵循透明性与安全性原则,确保各机构所提供信息具有正确性,以保障碳排放权交易稳定<sup>[8]</sup>。然而,碳排放数据质量监管体系仍有待完善,碳数据核查及其监督在实践中存在一定问题,碳排放数据获取及时性与可靠性不足。受技术及成本等因素限制,当前全国各碳市场主体多通过核算法计算排放量,即通过活动数据乘以排放因子或计算生产过程中的碳质量平衡来量化温室气体排放量,而采用连续监测法,即直接排放气体流速及其中所含二氧化碳含量的企业较少<sup>[9]</sup>。与连续监测法相比,通过核算法所获得的数据欠缺及时性、准确性与可靠性。同时,支撑碳排放监测、报告及核查的技术平台建设难以满足碳市场需求,在线核查、异常数据精准识别与数据在线交叉验证等功能通过现有平台难以实现<sup>[10]</sup>。

此外,碳排放核算过程所关涉的前端数据繁多,其中数据质量控制计划编制、排放量计算等步骤繁杂,造成碳排放数据管理主体追溯核验前端数据困难,提高了碳排放数据质量监管的难度与成本。而且市场主体受经济利益驱使在碳排放数据实测过程中通过虚报瞒报数据、编制不实报告、伪造原始检测记录等方式弄虚作假,使碳数据报告结论失实,如中碳能投科技(北京)有限公司、青岛希诺新能源有限公司、辽宁省东煤测试分析研究院等主体在碳排放监测、报告及核查过程中通过伪造原始检测记录及检测报告、数据造假篡改燃煤元素碳含量实测报告等手段使核查结论失实,在达到企业的非法目的同时对碳排放数据的可用性产生负面影响<sup>[11]</sup>。

## 3 区块链赋能碳排放权交易监管的作用机理

作为一种分布式数据库技术,区块链基于其去中心化或弱中心化架构及其链式数据结构、分布式节点共识算法和智能合约等功能优势,能够对数据进行存储、验证与更新,并对数据安全加以保障。以区块链技术赋能碳排放权交易监管能够回应现

代环境治理对数字技术的应用需求。具体体现为两方面:即通过传感器与区块链数据传输单元实现碳排放数据上链,以实现碳数据的实时监测与核查,保障碳数据质量;建立碳市场监管平台,依托区块链技术进行信息交互与交易过程监管,提升监管效率及质量。

### 3.1 区块链的概念界定及其技术特征

区块链是一种由多方共同维护,能够防止信息篡改的去中心化或弱中心化分布式数据库。作为多种现有技术的创新性融合,区块链能够跟踪交易并记录交易信息,其以区块为数据存储单位,并按写入时间结合密码学算法构成链式数据结构,即区块链式数据存储结构。区块链系统由智能合约构建其上层应用逻辑,其通过对等互联网技术进行节点间数据传输,并以密码学技术结合时间戳生成交易信息的计算证明以防止数据篡改,从而保障数据传输和访问的安全性。与传统数据库不同,区块链能够实现相同数据的多方维护<sup>[12]</sup>。区块链可分为公有链、联盟链、私有链三种类型,其中联盟链是指多个主体通过达成一定协议而共同组建的链,仅允许授权的节点加入,各节点可根据其权限查看信息,是应用于机构间的区块链,相较于公有链与私有链而言,联盟链在碳排放权交易监管过程中面临的监管低效、信息安全及数据质量等问题解决上更具有优势。区块链具有去中心化、公开透明与可信任等技术特性,以下将对其进行阐述。

一是区块链的去中心化特性。与去中心化相反,去中心是指不以单一组织为枢纽,构建信任关系体系。去中心化特性基于点对点网络与区块链共识机制而存在,在点对点网络中,各节点地位均等,并存储有完整网络副本,节点可依据预设的共识机制验证交易从而确保其有效性并记账,各节点在记账完成后同步区块链账本内容。区块链的去中心化特性有助于提高系统安全性,避免因中心节点遭受攻击而带来的系统故障,并可保护用户隐私,防止用户信息被追踪和泄露,提高系统透明度<sup>[13]</sup>。

二是区块链的公开透明特性。区块链的公开透明性主要体现在其分布式账本和公开的数据记录上,在点对点网络中的各节点均保存有整个网络的完整副本,即分布式账本,节点可查看和验证账本信息。交易信息被公开记录上链,各个数据块均包含前一个数据块的哈希值,从而确保交易记录的完整和连续性,以及交易数据的公开可见。这种设

计保障了交易数据的安全性,能够有效防止交易信息篡改,并降低数据管理成本。

三是区块链的可信任性。基于分布式账本技术,区块链系统各节点均可独立记录和验证交易信息而无须依赖其他节点,节点间无须公开身份,因而更有利于保护用户隐私<sup>[14]</sup>。此外,分布式存储、共识机制与非对称加密技术可通过确保节点间数据的一致性及对链上数据加密实现数据安全,数据一旦写入区块链即难以篡改或删除,从而使数据具有较高的安全性与可信任性。

### 3.2 区块链赋能碳排放权交易监管的机理分析

#### 3.2.1 构建区块链信息共享平台:提升碳数据质量

碳排放交易监管关涉多种主体,所需处理的数据信息庞杂。当前所采取的核算法存在碳排放数据采集不全、数据获取的及时性和准确性不足等问题,难以满足碳市场及其监管对数据质量的要求。区块链以其分布式存储、信息可追溯、安全共享和防篡改的技术优势,与现行监管体制结合,在碳交易主体与监管主体之间建立联盟链,对各节点附条件开放链上信息,在保障数据安全性的同时提高监管效率。同时结合物联网技术监管重点排放单位采集碳排放数据,以确保被监管企业排污量不超限定范围,及时检测并发现违规排放情况从而触发预警。具体需构建用于收集和存储数据的服务平台,并在重点排放单位的排放设施中安装传感器装置以实时监测排放情况。通过传感器收集碳排放数据后经模数转换器将模拟信号转换为数字信号后链接区块链数据传输单元,将远程采集的碳排放数据传送至服务平台交由数据校验模块验证,以确保信息准确性。区块链技术赋能使数据在采集过程中具有不可篡改性,从而保证信息真实完整,经汇总分析后的数据将存储至数据库,并向监管人员开放,使监管者及时获取指定企业的最新交易及排放情况并对其核查。服务平台能够随时抽取指定单位对比其交易记录与排放信息,实现碳数据管理自动化。

#### 3.2.2 分布式账本技术:实现碳交易全过程监管

准确真实的碳交易数据是碳市场正常运行的基石。近年来,为杜绝碳交易数据造假及虚报瞒报交易信息等违法行为,由中央环保督察定期对碳市场运行进行检测,同时在有关规范性文件中规定多种法律制裁手段,但仍难以根治碳交易弄虚作假现象。区块链式数据结构能够对碳交易数据进行实时跟踪监测,保证数据完整性,同时引入时间戳机

制验证交易数据。在交易双方企业达成交易共识后链上生成新节点,用以记录交易所涉及的双方主体及双方碳额度数据信息,并基于区块链智能合约技术依交易要求生成交易合同。交易完成后,节点将交易信息和数据上传至单位区块并存储,盖上时间戳生成哈希值。通过哈希算法加密生成具有唯一性、不可篡改的哈希值代码,用以检测和防止篡改数据伪造<sup>[15]</sup>。碳排放权交易一旦达成即不可任意修改,当一方出现违约或违规操作情况时,区块链智能合约能以其自治性自动执行合约内容,保证碳交易安全,较传统碳排放权交易履约方式而言,智能合约能够有效降低合约执行成本,更便于碳市场秩序维护。

### 3.2.3 非对称加密技术:保障碳交易信息安全

我国碳排放权交易存在着交易信息不对称与信息获取安全存在风险的问题。虽已出台了《网络安全法》《数据安全法》等法律法规,但对碳排放权交易过程中的交易信息披露与信息安全保护仍未有系统性的规范性文件或行业标准颁布,这导致诸多碳交易参与主体为保护自身利益而拒绝公开部分信息或缩减其碳交易业务。这于碳市场建设无益,同时也提升了碳排放权交易监管工作的难度。而以区块链技术赋能碳排放权交易及其监管工作,则有利于解决碳数据准确度低及信息公开不充分问题。首先,基于分布式共享账本技术创建联盟链链接各交易主体,将碳数据附条件接入并分散保存至多个节点中,其他主体则可在其权限许可范围内查询碳排放即交易数据,从而提高信息披露程度。其次,区块链非对称数字加密技术能够对碳排放及碳资产数据进行脱敏处理,保障交易碳市场参与主体共享和查阅数据时其信息不被非授权方获取。通过非对称加密算法,交易参与主体可获得用于解密数据和对数据签名的私钥与用于加密数据和验证签名的公钥。对于交易过程的隐私数据可由交易双方用公钥进行加密,加密内容其他主体无法查看或获取,仅可用双方所持私钥进行解密,以此实现数据安全共享<sup>[16]</sup>。此外,非对称数字加密算法可防范数据伪造行为,监管主体可通过碳交易主体发放的公钥对经私钥加密的原始数据解密,验证链上数据是否真实完整,从而确保数据安全准确<sup>[17]</sup>。

## 4 区块链赋能碳排放权交易监管的风险及法律规制

技术进步是自然发展进程的必然产物,而其引发的法律制度体系不稳定是其相伴而生的负向影

响。以区块链技术融入碳市场治理,赋能碳排放权交易监管有利于推动“双碳”目标达成并建构具有可信性的碳数据处理体系。但如果未对其进行及时有效的法律规制,新型技术也可能对现有制度实践带来负面影响。因此须明确区块链技术赋能碳排放权交易监管的潜在风险,并以此为基础构建具有前瞻性和明确性的风险防范机制与法律规则。

### 4.1 区块链技术应用于碳排放权交易监管的风险

区块链技术在碳交易监管领域的创新性融合模式,其核心目的在于以区块链所特有的不可篡改性、透明性、可追溯性等优势弥补当前碳交易监管架构中的不足与薄弱环节,进而为碳市场正常运转与碳交易效率提升提供保障。然而,区块链以其本身所具有的技术特性,在促进碳交易监管制度优化的同时,也必然伴随着对碳排放权交易监管机制运行稳定性与安全性提出新的挑战。

#### 4.1.1 技术风险

系统安全与稳定性是区块链技术应用的基础,据链上安全公司 CertiK 发布的《Hack3d:2024 年度安全报告》统计,2024 年度 Web3.0 行业共发生链上安全事件 760 起,总损失约为 23.63 亿美元,其中包括智能合约漏洞所致的 Hedgey Finance 被攻击及 Nexera DeFi 协议被攻击等事件,以及造成总损失约 8.55 亿美元的 65 起私钥泄露事件(表 2),区块链发展过程中曾出现过多起因智能合约漏洞、私钥管理不当而造成重大损失的安全事件。作为区块链技术的核心应用,智能合约自动化执行碳交易规则的能力虽具优势,但也伴随着潜在的风险。智能合约的偏差问题,即由于代码编写错误、碳交易规则理解不当或算法局限性导致的执行结果与预期偏离,可能引发交易主体利益受损,还因算法黑箱的存在而难以被及时发现和纠正<sup>[18]</sup>。以 2016 年 6 月区块链界最大的众筹项目 TheDAO 发生的安全事件为例,攻击者利用智能合约脚本中的递归调用漏洞,直接盗取了价值 6 000 万美元的数字货币。这种不确定性对监管系统的安全性和稳定性构成直接威胁,可能引发市场信任危机,进而影响碳排放权交易监管机制的整体稳定,且现有智能合约技术难以将合同中所有条款代码化,一定程度上为交易带来了不便。其次,数据修改困难是区块链技术在碳交易领域应用中必须正视的问题。区块链虽提供了不可篡改的数据记录,但删除和修改交易信息成本更高、难度更大。当交易完成时,有关信息及数据将经由点对点网络存储至单个区块内

并生成哈希值,下一笔交易达成也会生成新区块,同时先前区块所生成的哈希值将被其后区块包含,从而形成默克尔树数据结构,即区块之间相互关联印证。因而改动区块信息必然需改动当前及先前区块的哈希值以及其他交易信息,链条越长则需改动的内容就越多,修改难度相应也就更大。此外,碳交易主体有丢失或被破解用于控制区块链中信息私钥的风险,而系统不会管理或补发私钥,一旦丢失或被破解,交易主体将面临交易信息遗失、泄露及被篡改等可能<sup>[19]</sup>。用于链接交易机构及监管主体的联盟链相对封闭,参与节点有限,虽然其有利于提升交易及监管效率、降低共识难度,但同时作为联盟链也更容易遭受算力攻击。理论上而言,当链上节点达成合谋,掌握超过50%的算力,就有篡改账本的能力与可能,即51%算力攻击。

#### 4.1.2 法律风险

区块链技术应用用于碳排放权交易监管,尽管带来了前所未有的透明度、效率 and 安全性提升,但在法律合规性层面亦伴随着一系列风险(表3)。现有

法律框架的滞后性与区块链技术的发展现状之间存在差距,法律适应性不足。以区块链基于智能合约的自动执行特性为例,作为存储在区块链上的代码片段,智能合约能够为设定条件下的交易主体提供保护和执行结算,简化交易过程、降低合同成本并提升碳交易效率,但其自动执行的特性一定程度上排除了交易主体的干预,在防止不适当履约情形出现的同时也使个体丧失了合同的撤销权与执行权<sup>[20]</sup>。《民法典》第543条规定“当事人协商一致可以变更合同”,然而一旦录入的智能合约代码存在错漏,或合同与交易主体的意志存在偏差,其内容难以更改,执行进程也难以终止。同时,智能合约的合法性也并未得到广泛认可,其对合同法产生了挑战,对其是否适用合同法中的各项规定存在争议。此外,引入区块链技术可能对现有追责机制带来一定挑战。作为系统化的制度体系,碳排放权交易监管的多个环节牵涉包括主管部门、注册登记机构及交易机构等主体,传统碳排放权交易监管可依据个参与主体的工作职责确定责任承担者。以区块

表2 区块链技术应用部分风险事件概览

时间	风险事件	风险问题
2016年6月	TheDAO 遭黑客攻击被盗取约360万个以太币	智能合约代码漏洞
2019年1月	以太坊经典(ETC)遭51%算力攻击损失88500枚ETC	51%算力攻击
2019年8-9月	比特币钱包 Electrum 两次遭黑客钓鱼攻击损失1160万美元	私钥被窃取
2019年12月	唯链基金会回购地址遭黑客攻击被盗取11亿VET	私钥保管不当
2020年12月	Aeternity 遭到51%攻击损失超过3900万枚AE代币	51%算力攻击
2021年8月	PolyNetwork 跨链互操作协议遭黑客攻击损失超6.1亿美元	智能合约代码漏洞
2024年4月	Hedgey Finance 遭黑客攻击损失达4470万美元	智能合约代码漏洞

表3 区块链技术应用与部分冲突法律条款概览

冲突内容	冲突条款	条款内容	冲突情形
智能合约撤销权受限	《民法典》第147~151条	因重大误解、胁迫、一方或第三人实施欺诈、显失公平而实施的民事行为可请求人民法院或仲裁机构予以撤销	在智能合约中,因当事人信息隐匿,受欺诈方难以判断相对人是否知晓欺诈行为,导致撤销权难以实现
智能合约变更权受限	《民法典》第543条	当事人协商一致,可以变更合同	智能合约自动性和执行性使其发布后无法变更
智能合约解除权受限	《民法典》第562条	当事人协商一致或约定的解除事由发生后,可以解除合同	智能合约自动性和执行性使其发布后,即便当事人协商一致,也无法变更
智能合约的实际违约	《民法典》第577条	当事人一方不履行合同义务或者履行合同义务不符合约定的,应当承担继续履行、采取补救措施或者赔偿损失等违约责任	智能合约虽自动执行无拒绝和延迟履行问题,但存在部分履行或不适当履行,且因合约复杂关联性,新合约补救执行难度大,与该条简单直接的违约责任追究模式不同
链上信息更正权受限	《个人信息保护法》第46条	个人有权请求更正、补充其个人信息,个人信息处理者应当对其个人信息予以核实,并及时更正、补充	区块链只能确保链上所有节点之间的信息一致性,信息正常情况下难以修改
链上信息收集违反个人信息处理最小化原则	《民法典》第1035条	处理个人信息的,应当遵循合法、正当、必要原则,不得过度处理	区块链智能合约自动执行,可能导致用户在不知情或未充分理解的情况下被默认收集个人信息

链赋能碳排放权交易监管则需要引入碳交易系统开发与维护的专业机构,以其专业技术为碳排放权交易监管提供技术服务,但在此过程中倘若出现系统遭受恶意攻击而导致数据泄露问题,除追究攻击者责任外,负责维护系统维护的专业机构担责与否难以认定。

## 4.2 区块链赋能碳排放权交易监管的法律规制路径

为回应气候变化应对及现代环境治理对数字技术的应用需求,区块链技术以其可信任、去中心化的技术特征在碳排放权交易监管过程中展现了其应用价值,但在此同时新型技术的应用也对现有制度实践形成一定风险。对此,应根据区块链赋能碳排放权交易监管所产生的风险性质及形态,从法律层面制定风险规制机制,以缓和新型技术与现有制度间的矛盾。

### 4.2.1 构建代码评估及风险规制机制

在区块链技术赋能碳排放权交易监管的体系下,虽然区块链以其技术优势提升监管效率,维护碳数据安全,但同时也存在算法瑕疵、代码存在漏洞等隐患,进而可能导致信息泄露、数据篡改等危害。因此采用科学手段识别、评估风险,并结合法律法规,以技术手段和制度性工具防范区块链技术应用所带来的风险,做到技治与法治相结合。对此应设立专业评估机构。《数据安全法》第9条规定“推动有关部门、行业组织、科研机构、企业、个人等共同参与数据安全保护工作”,由区块链技术与信息安全等领域具备相应资质的专家以及代码编写者与监管主体组成风险评估委员会,深入理解区块链系统的架构、逻辑和潜在风险,识别代码漏洞或缺陷,利用数字分析技术,设定具体的区块链系统风险等级。风险评估委员会依据碳排放权交易监管的需求制定详细的代码审查标准,并在标准中规定代码的安全性、合规性与可维护性,并设立多级审查机制。区块链系统上线后,建立持续的代码审查机制,定期对系统进行代码审查和安全评估,及时发现并修复潜在的安全隐患和漏洞。此外,构建数据安全危机处置机制。根据《数据安全法》第29条规定“发生数据安全事件时,应当立即采取处置措施,按照规定及时告知用户并向有关主管部门报告”,当在风险评估结果到达一定标准即激活应急响应机制,采取数据隔离策略、病毒查杀、封锁访问权限等措施以降低风险。同时,配套建立信息通报机制,在发生数据安全事件时及时向有关主管部门

报告。

### 4.2.2 健全智能合约审查与法律救济机制

智能合约是一种旨在以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议,其执行依赖于计算机或计算机网络,一旦满足预设条件,即自动执行合约条款,并在区块链等分布式账本上记录交易信息。通过智能合约技术,可以实现实时监测碳排放权的交易情况,并记录和存储交易数据。从而使监管部门能够查看交易记录,确保交易的准确性和合规性。然而智能合约技术的使用也伴随一定风险,其自动执行条款一定程度上剥夺了合约方的撤销权、变更权、解除权等合法性权利,而程序代码中存在的瑕疵也将导致安全隐患。对此可对智能合约进行事前审查,由主管部门确定其是否存在权益侵害风险,降低代码漏洞、瑕疵及违规可能。同时完善事后救济机制,通过采取事后救济的方式补偿合约方损失。此外还可以将“合约变更权”以代码形式编入区块链,同时通过赋予监管部门修改智能合约条款内容的权限,在智能合约不合规或存在代码漏洞时修改智能合约,用以缓解智能合约的僵硬性,满足交易主体的变更需求,维护用户权益<sup>[21]</sup>。

### 4.2.3 厘清区块链技术主体追责机制

“区块链+碳排放权交易监管”技术应用需以专业人员的系统设计与技术研发为基础,而区块链技术在碳排放权交易监管应用中可能导致的损害后果应根据主体职责与权利救济等因素建立责任追究机制,以保证责任分配合理并防范风险,保障权利救济。首先可将责任主体分为技术开发主体与区块链系统运营维护主体,技术开发主体作为技术服务提供者,其责任应根据其与生态环境部门之间的“委托—代理”关系来确定。若因技术开发主体的故意或过失导致系统缺陷,进而损害市场参与主体或公共利益,生态环境部门应首先对外承担责任,然后向有过错的研发主体追偿。对于区块链系统运营维护主体,当系统受到外部恶意攻击时,应由所有节点运维主体根据其各自过错大小承担连带责任。为控制安全风险与维护用户权益,责任主体除承担由于管理义务而产生的责任外,还应当提前制定有效的救济措施<sup>[22]</sup>。

## 5 结论

新型数字技术在现代环境治理中扮演着举足轻重的角色,碳排放权交易的顺利推进亟须以配套的监管制度支持,通过区块链技术为碳排放权交易监管赋能,对于提升碳排放权交易监管效率、实现

交易数据的即时更新和保障碳数据准确性与碳交易安全合规具有重要意义。但区块链技术在碳排放权交易监管中的应用目前仍处于探索阶段,其技术赋能过程必然伴随一定风险。对此,需完善区块链实践应用的法律体系,使科学技术与法律相协调,在为技术赋能提供理论指导的同时形成有效的制度保障。通过健全智能合约审查与法律救济机制、建立代码审查评估机制及风险评估路径,从而实现碳排放权交易监管与区块链技术的有机融合,提升碳交易监管效能。

### 参考文献

- [1] 刘俊敏,张立锋. 金融化背景下我国碳排放权交易监管体制的完善[J]. 河北法学, 2024(1): 73-88.
- [2] 宾晖,张叶东. 关于中国碳市场建设和发展的若干思考[J]. 环境保护, 2022(22): 11-15.
- [3] 李克明,李陆明. 中国碳市场行业自律监管模式探讨[J]. 海南金融, 2023(9): 32-40.
- [4] 倪受彬. 碳排放权权利属性论——兼谈中国碳市场交易规则的完善[J]. 政治与法律, 2022(2): 2-14.
- [5] 王世进,杨琳. 碳排放权交易违约罚则与履约责任优化路径[J]. 山东财经大学学报, 2023(1): 112.
- [6] 朱伯玉. 低碳发展立法研究[M]. 北京: 人民出版社, 2020.
- [7] 吴鹏. 区块链赋能碳普惠的路径选择与法律规制[J]. 金融与经济, 2023(12): 44-52.
- [8] 刘欢,康京涛. “双碳”背景下我国碳市场信息披露制度的优化路径[J]. 科学发展, 2023(9): 80-86.
- [9] 李鹏,吴文昊,郭伟. 连续监测方法在全国碳市场应用的挑战与对策[J]. 环境经济研究, 2021(1): 77-92.
- [10] 郁苗,魏青. 我国碳市场MRV体系发展现状及完善路径研究[J]. 开发性金融研究, 2023(1): 11-18.
- [11] 中华人民共和国生态环境部官网,生态环境部公开中碳能投等机构碳排放报告数据弄虚作假等典型问题案例(2022年第一批突出环境问题)[EB/OL]. (2022-03-04)[2024-09-17]. [https://www.mee.gov.cn/ywggz/ydqh-bh/wsqtkz/202203/t20220314\\_971398.shtml](https://www.mee.gov.cn/ywggz/ydqh-bh/wsqtkz/202203/t20220314_971398.shtml).
- [12] 曾诗钦,霍如,黄韬,等. 区块链技术研究综述:原理、进展与应用[J]. 通信学报, 2020(1): 134-151.
- [13] 盖静. 区块链的技术特征、不足及改进方案[J]. 清华金融评论, 2022(5): 91-94.
- [14] 王启河. 区块链技术研究综述[J]. 现代信息技术, 2022(8): 66-71.
- [15] 张志朋. 区块链赋能碳数据安全治理的逻辑与规制[J]. 情报杂志, 2023(5): 86-93.
- [16] 周渝滨,周蕴涵,李怡阳,等. 双碳背景下绿色金融的数字治理路径——基于绿色保险的区块链技术赋能[J]. 科技和产业, 2024(22): 157-163.
- [17] 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(6): 31-37.
- [18] 周业军,邓若翰. 区块链应用于碳交易:应用优势、潜在挑战与制度应对[J]. 西南金融, 2023(3): 3-15.
- [19] 李猛. 智能合约的风险研判与法律规制——以智能合约运行机制为视角[J]. 学术交流, 2023(3): 42-59.
- [20] 李乐,张权. 区块链对个人信息保护的风险及其治理[J]. 国家现代化建设研究, 2023(5): 132-144.
- [21] 许中缘,郑煌杰. 智能合约的治理逻辑:法律性质、风险类型、化解路径[J]. 学术交流, 2024(2): 67-79.
- [22] 柯达. 区块链证券结算的法律规制——基于信息系统的视角[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2020(5): 77-87.

## Research on the Logic and Approaches of Blockchain Empowering the Supervision of Carbon Emission Rights Trading

LIU Longcan

(School of Law, Shandong University of Technology, Zibo 255000, Shandong, China)

**Abstract:** As one of the core policy tools for achieving the “dual-carbon” goals, the carbon market possesses financial, environmental and policy attributes. These characteristic attributes prompt the establishment of an effective regulatory system for carbon emission rights trading. Currently, in China’s carbon emission rights trading and its subsequent supervision, there are problems such as inefficient supervision and opaque trading information. Based on the application requirements of modern environmental governance for new digital technologies, applying technologies such as blockchain’s distributed storage, consensus mechanism, and smart contract encryption to the supervision of carbon emission rights trading will help improve the supervision efficiency and the security of the circulation of carbon trading information, and also alleviate the problems existing in the process of carbon emission monitoring and verification. However, due to the dual nature of technology, while blockchain empowers the supervision of carbon emission rights trading with its technology, there are also certain hidden concerns in aspects such as data security and the protection of the rights and interests of trading entities. In this regard, it is necessary to further improve the smart contract review mechanism and perfect the relief rules, construct a risk prevention and evaluation system, and clarify the main responsibilities of blockchain system development and maintenance to ensure the effective supervision of carbon emission rights trading.

**Keywords:** carbon emission trading regulation; carbon market; blockchain; technology empowerment; data security