

基于区块链技术的碳排放交易及监控机制研究

□严振亚 李 健

[摘要] 本文讨论了当前碳排放权交易领域中存在的缺陷,并提出将区块链技术与碳排放权交易相结合,利用区块链的技术优势来改善碳交易和后续监管过程中出现的诸多问题。本文构建了一种区块链+低碳经济新模式,通过建立基于区块链技术的碳排放权交易平台,以实现增强交易信息的透明度、安全性并提高交易效率的目的。同时,使用区块链+大数据采集技术,及时发现可能存在的违法超标排放行为。最后,提出以下对策建议:由环保主管部门牵头制定相应的碳排放交易标准并构建交易平台,同时要求各企业必须安装符合规定的污染物排放监测传感器,各企业通过区块链平台进行碳排放权交易,环保部门使用大数据采集技术对排污情况进行实时监控,最终实现从配额发放到权利交易再到最终监管的闭环流程。

[关键词] 区块链;碳排放权交易;减排;创新应用

[中图分类号] F49 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-5024(2020)06-0031-07

[DOI] 10.13529/j.cnki.enterprise.economy.2020.06.004

[项目基金] 天津市科技计划项目“京津冀协同发展视角下的高新技术企业发展战略研究”(项目编号:18ZLZDZF00190)

[作者简介] 严振亚,天津外服通科技有限公司高级工程师,研究方向为大数据技术应用;

李 健,天津理工大学管理学院教授,博士生导师,研究方向为管理科学与工程。(天津 300384)

Abstract: This paper discusses the defects in the field of carbon emission trading, proposes to combine the blockchain technology with carbon emission trading, and makes use of the technical advantages of blockchain to improve the carbon trading and follow-up supervision process. The author constructs a new model of blockchain plus low-carbon economy, and builds a carbon emission trading platform based on blockchain technology as to achieve the purpose of enhancing the transparency, security and efficiency of trading information. At the same time, the collection technology of blockchain plus big data is used to detect illegal and excessive emission behaviors in time. The author puts forward the countermeasures and suggestions that the environmental protection department should take the lead in formulating the corresponding carbon emission trading standards and building a trading platform and require all enterprises to install the pollutant emission monitoring sensors that meet the requirements, all enterprises should conduct carbon emission trading through the blockchain platform, and the environmental protection department should use big data collection technology to conduct real-time monitoring of the emission situation, thus realizing the closed-loop process from quota issuance to rights transaction to final supervision.

Keywords: blockchain; carbon emission trading; emission reduction; innovative application

一、引言

区块链技术经过多年的发展和市场验证,已经被众多国家所认可。中共中央总书记习近平在中央政治局第十八次集体学习时作出重要指示,区块链技术的集成应用在新的技术革新和产业变革中起着重要作用。目前,全球主要国家都在加快布局区块链技术的发展。我国在区块链领域拥有良好基础,要加快推动区块链技术和产业创新发展,积极推进区块链和经济社会融合发展。要强化基础研究,提升原始创新能力,努力让我国在区块链这个新兴领域走在理论最前沿、占据创新制高点、取得产业新优势。随着现代工业的迅猛发展,环境污染问题已经被越来越多的人所关注,世界各国纷纷出台相应的法律法规,以达到减少碳排放的目的。我国于2009年在哥本哈根全球气候会议上承诺,单位GDP碳排放到2020年将减至2005年的55%—60%,之后又在《“十二五”规划纲要》和《“十三五”规划纲要》两份重要的文件中也明确了阶段性二氧化碳减排目标要达到17%和18%^[1]。

目前我国已经批准设立了多个碳交易市场,但在市场运行过程中也存在一些亟待解决的新问题,如交易标准不统一、交易产品单一化、交易主体信息不对称、行政指令干预程度较高等。以上这些问题已严重阻碍碳排放权交易领域的发展,成为碳交易市场未来发展的绊脚石。因此,必须建立一套适用于碳排放权交易的长效机制,有针对性地解决以上提到的在交易环节中出现的各种问题。同时,这种机制还必须贯通从申请配额到市场交易、再到日常排放监管的全流程,以实现污染物排放的全流程控制。

二、文献综述

近年来区块链技术取得了突飞猛进的发展,它与碳排放权交易相结合,是区块链应用的又一次创新。目前许多研究者在这个领域做了大量开创性的研究,并取得了丰硕成果。在沈鼎堂等人^[2]的研究成果中,阐述了区块链技术在环保领域的应用前景,通过构建环保领域区块链系统,可以实现危险废物处理、推动环保监管升级、监测生态环境变化情况等多种应用。其中,分析了区块链技术在排污交易中具备

的优势,并提出了一种较为新颖的思路。借鉴这种交易思路能够实现以区块链为基础,以代币为激励手段的减排机制。

薛志斌^[3]认为当前碳交易存在两个问题,提出了通过引入区块链技术解决碳交易领域中遇到问题的可行性。在研究成果中还展示了通过区块链能够保证数据的真实性和不可篡改性,以及基于时间戳结构数据的可追溯性,并提到了使用智能合约机制自动实现企业碳排放的统计和处罚。作者通过区块链技术将排放权认证、额度计量、“超排”预警以及事后处罚等环节贯穿为一个有机的整体,实现了企业污染物排放的全流程监管,这些研究成果为区块链在碳交易领域的发展指明了可行的方向。吴银海、黄妍等人^[4]也在他们的研究成果中对区块链应用于碳交易领域进行了设想,提出区块链在碳交易市场中的应用设想,其中的核心内容阐述了使用区块链技术可以实现交易自动化并保证信息的真实性,同时还可以引入区块链数据货币以便节约交易成本。以上这些研究成果为后续将区块链技术和碳交易市场进行整合提供了理论依据。

三、区块链技术特征

(一)去中心化架构和集体维护机制

在传统的互联网应用中,通常都会表现为“星型”的拓扑结构,即存在一个中心的这种网格架构模式具有较多的优点,主要体现在数据集中化管理方便统一操作,可以较容易地对系统功能进行升级。但是,中心化网络架构也存在致命的“单点故障”缺陷,如果核心节点出现故障或被攻击,则会导致整个网络服务都会中断。

区块链技术中最重要的特性就是不再依赖于一个特定的服务器,数据存储和信息处理逻辑都分布在不同的网络节点,每个节点都具有对等的关系^[5],与当前常见的星型结构相比,网状拓扑结构是区块链的主要特征。网状结构可以从根本上解决“单点故障”问题,同时去掉中心节点后也可以降低网络的建设和维护成本^[6]。

(二)集体维护数据

由于在区块链技术中并不存在一个特定的中心化节点,因此,存储在区块链中的数据是以分散的形式保存在不同的节点之中,这些数据不被某个特定

的组织或个人单独占有,而是被区块链网络中所有参与者共同管理和维护。因此,这些数据具有非常明显的“集体共有”特性,它通过在区块链网络中公开特定的程序接口(API),允许任何人查询区块链网络中除了涉及个体隐私数据以外的任何信息,整个区块链系统的数据具有高度的透明性和开放性。通过这种数据共享机制,可以有效地降低交易和共享成本。同时,这种共享机制是由多个参与方共同维护与监督,就能够较好地保证数据的安全性^[7]。

(三)数据安全性高

依赖于高安全性的非对称加密算法,在区块链中可以保证数据不会被非法获取和滥用。每个参与者都可以使用非对称加密算法获得两个配合使用的密钥,这个密钥由公钥和私钥构成,并且在这两个密钥之间无法相互推导计算。私钥由使用者自行保管且不能对外公布,它用于对数据的签名和解密操作。公钥在可以随意分发,并由区块链中其他使用者负责保管和使用,使用公钥可以实现数据的加密与验证签名操作^[8]。

(四)智能合约机制

“智能合约”机制是区块链技术的重要技术特征之一,通过智能化合约可以较好地解决交易过程中的低效率问题。智能合约是由一个运行在区块节点上的可以编程和运行的智能合约程序构成,它是一段基于事件驱动的、自治的、可以被重复使用的程序代码^[9]。智能合约程序相当于信息匹配平台,它按照预先设置的规则对接收到的信息并进行判断,一旦发现符合规则的触发条件则视为匹配成功,且自动完成双方的交易。通过智能合约可以提供比传统合约更安全的方法。由于智能合约本质上是一段代码,一旦被触发就会自动执行,也就使得违约成本变得较高。

四、我国碳排放交易存在的主要问题

(一)交易标准不统一且产品单一化

碳排放交易市场通常是由监管机构、交易所、控排企业等市场主体共同构成的一个交易平台,这一市场以温室气体的排放和总量控制为目标,允许各参与交易的企业将碳排放权作为可以在市场上流通和交易的商品,充分发挥市场作用并以价格为调节手段。但是,不同的市场对于交易标准要求也有差

异,从而导致提高了企业跨地区交易的成本。同时,企业由于缺少相应的标准,也很难对碳交易的价格进行预估,长此以往不利于市场向规范化方向发展^[6]。

国际碳排放交易市场从类别上大体上可以划分为3种类别:现货市场、期货市场和期指市场。目前,在我国现阶段的碳排放权交易市场中买卖的商品虽然交易数量和交易金额都比较多,但交易产品却总是集中在较为单一的几种类型,主是表现为总量控制配额类产品和项目减排类产品的交易,与国外较为成熟的碳排放权交易市场相比,在当前我国较为单一的碳交易模式下不利于碳金融市场的发展。

(二)交易主体信息不对称且行政干预程序多

信息不对称的情况在我国碳排放交易市场中普遍存在,主要体现在环保主管部门和相关机构对于企业碳配额计算、分配机制等方面不明确,导致众多企业对自身碳排放配置不了解,从而在市场交易过程中很难确定具体的交易内容、数量和预估金额,使企业在碳排放市场上处于被动地位。同时,交易过程中的“市场错配”情况也是由各企业间掌握的数据不对称引起的,由于企业对交易物并不明确,就很容易引起交易过程中发生错配竞争对手的情况,或者双方企业错配成交量和成交价格^[10]。同时,由于我国碳排放权交易市场还处于起步阶段,当前出现了一些使用行政方法影响碳排放交易市场的情况,比如:有的部门制定关于碳交易产品的价格控制措施,导致交易品真实的市场价格难以体现等。

五、区块链+低碳经济新模式

(一)区块链与低碳经济的契合点

1.改善交易信息透明度

当前碳排放交易领域存在着数据透明度低和数据准确性差等问题,这些数据涉及范围较广,其中涉及到企业碳排放日常监控数据、企业从环保部门获得的碳排放配额数据以及企业碳资产交易历史数据等多种类型的信息,以上提到的数据目前都没有做到完全公开透明。

如果将区块链技术与碳交易平台相结合,就可以很好地解决以上提到的问题。由于区块链使用的分布式账本技术,所以交易数据都会以“数据链”的形式分散保存到多个节点中,数据由集体共同维护。

这些数据并不受某个中心化节点的限制,所有用户都可以在权限许可的范围内任意查询企业的碳排放数据和历史交易信息,有效地提高交易过程中数据的透明度,解决参与各方信息不对等的难题。

2. 使用“智能合约”提高交易效率

碳排放权交易流程包括排放数据报告、第三方核查、配额分配、买卖交易和履约清算五个环节^[11](图1)。“排放数据报告”是指在每年规定的时间内,参照相关规定报送年度排放报告,接下来需要由独立的核查机构对以上提交的报告进行审核,以确保信息无误。已获得排放配置的企业就可以自行决定是否进入碳交易市场进行交易^[12-13]。由于涉及到多个市场主体共同参与交易过程,企业间还要对交易数量、金额等反复协商,可见,这一阶段会花费较高的交易成本,是整个碳交易流程中效率较低的一个环节。最后,达成协议的企业需要进行履约清算,上缴与其经核查的上年度排放总量相等的排放配额,用于抵消上年度的碳排放量,到此完成碳排放权交易的完整流程。

从以上分析的流程中可以发现,如果能够降低企业间协商的交易成本,将会极大地提高碳交易链条的整体效率,将区块链技术与碳排放权交易平台相结合,使用“智能合约”技术特性来处理上述问题。“智能合约”是通过事件进行驱动一段可以自动执行的代码,它具有多种状态属性且在制定之前就由多方协商认可,它可以按照预先设置的触发条件自动完成某种特定的功能,如在碳交易过程中设置好达成交易的预期数量和金额后,当参与交易的企业报出相应数据并满足预期值时,交易会执行并完成后续的所有工作^[14]。因此,通过智能合约机制可以最大限度地减低碳交易过程中的交易成本,并能够提高交易效率。

3. 提升交易真实性和安全性

区块链技术使用了一种称为非对称加密算法对信息进行保护,能够加强数据的真实性和安全性。当双方企业确定进行交易时,平台会自动生成一个新的节点,这个节点中记录有本次交易所涉及的交易主体、交易时间、交易排放量、交易价格等一系列内容。为了保证交易数据的真实有效,需要参与双方必

须同时使用自身所持有的私钥对这些数据进行签名。同时,交易平台也会使用私钥对最终的成交信息签名,最终系统会将本次交易信息在区块链网络中发布并由其他区块链参与节点进行验证和记录。此后数据如果被恶意篡改,可以使用交易双方发布的公钥进行真实性验证,即可发现数据的伪造行为,使得交易信息造假行为无处藏身。

除了以上提到的通过非对称密钥算法保证交易数据的真实性外,还可以使用它对数据的隐私性进行保护^[15]。由于在交易过程中可能会涉及一些只能由交易双方了解和持有的信息,这些数据不能对外公布,因此,这些数据在交易中使用交易双方互相持有的公钥进行加密,被加密的数据只能由对方使用自己的私钥才能解密和读取,除了双方可见外,其他任何参与方——包括交易平台都无法知晓其中的内容。因此,使用非对称加密算法能够很好地解决碳交易过程中遇到的数据保护问题^[16]。

4. 构建碳排放监管机制

碳排放不仅涉及到交易过程,也包含后续企业排污的监管工作,否则交易过程做得再完善,也只能流于形式而无法真正实现低碳减排的最终目标。因此,环保主管部门如何利用区块链技术应用在后续的企业排放监管环节,也是区块链要解决的重要问题之一。由于在前期的碳排放权交易环节中,区块链已记录了关于交易的全部历史信息,在这些数据中既包括了初始过程中企业申请并获得的碳排放配额,也包括了后续历次交易碳排放权的流程过程。因此,环保主管部门就可以通过“数据链条”获取某个企业当前具有的排放额度,并对该企业的日常排污情况进行精准监控^[17-18]。

为了实现最佳的碳排放监管效果,并防止企业在监管过程中的作弊行为,可以考虑在企业排放设施中安装集成硬件传感器,这些传感器会以极短的频率收集企业的排放信息,并通过大数据技术将这些海量数据实时汇总到环保部门的监管数据库,用来及时了解企业的最新碳排放情况。大数据实时处理平台通过与企业排放设施连接的传感器,将捕获到的排污数据进行存储和分析,并及时与区块链系



图1 碳交易权流程

统中当前企业的排放额度进行对比,以便分析出可能存在的非法排放活动^[19]。

(二) 基于区块链的碳排放权交易平台

1. 确定碳排放许可配额

确定碳排放许可配额关键是需要解决两个问题:一是如何确定排放配额的具体数值;二是如何将配额数据永久记录并为后续的碳排放监控提供核对依据。前者需要由环保部门根据法律、规章等制度性条款并结合自身经验,确定某个企业的具体排放额度,而后者则需要通过区块链技术完成数据的记录并永远保存,同时依赖区块链的技术特性防止数据被篡改、删除等情况的发生。在确定碳排放许可配额的环节中,涉及到CA认证机构、环保部门和交易企业,它们之间互相配合完成配额确认工作(图2)。

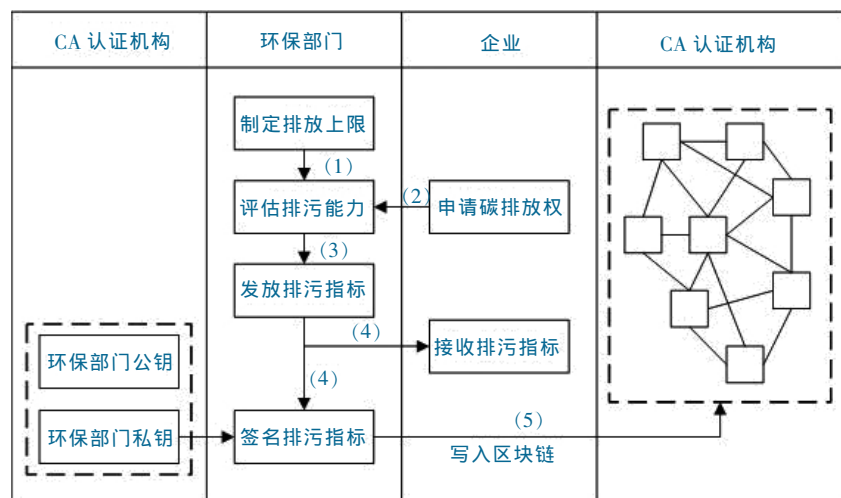


图2 碳排放权申请

首先,环保部门要根据本地区企业运行时相关碳排放削减量计算,得出各项指标的年排放量。其次,根据地区总量控制要求确定是否批准总量份额,确定后的标准将作为企业申请排放配额的总量指标。再次,各企业根据自身的实际碳排放情况向环保部门提出碳排放权申请,也可以使用有偿配额竞价购买的方式,获取更多的排放配额。最后,环保部门会根据企业提交的相关材料,对企业的实际生产情况、污染物类型、排放能力等指标进行评估,以便确定是否按照企业申请的实际数量发放配额,确定无误后即可向企业发布碳排放权配额指标。

为了能够确定数据真实有效,需要使用技术手段对数据进行保护,既要确保数据不能被伪造,又

要在后续使用过程中保护数据不被非法篡改。环保部门需要使用由第三方CA认证机构颁发的私钥对发放给企业的排放配额内容进行数字签名,通过添加数字签名可以保证数据产生于环保部门。由于私钥只有环保部门持有,任何第三方无法模拟数字签名内容,从而保证了数据的真实性。随后,交易平台会生成一个区块节点并记录配额数据,并将这个节点写入区块链系统,所有参与的节点会在接收到新区块后首先对区块数据进行验证,确保数据准确无误后再记录在分布式账本系统中。

2. 碳排放许可交易平台

在获得碳排放配额后,就可以自行决定是否参与到市场交易,可以选择在市场上买进排放权来解决企业碳排放配额不足的问题,或者将多余的排放指标转让给有需要的其他企业。在碳排放交易领域需要解决的核心问题是如何有效地降低参与者的交易成本,同时还要记录交易过程数据和结果数据。避免交易参与者的抵赖行为,并可以为后续的碳排放监控提供动态的监测数据。以上这些问题都可以依赖于区块链的技术特性进行解决(图3)。

所有参与交易的主体需要完成初始化工作后才能进行后续的交易行为。首先,要在碳排放权交易平台进行注册,获得使用平台的身份认证信息并登记企业的基本信息。其次,参与企业还需要在CA认证中心注册电子证书。再次,供方企业需要将包括企业标识、企业名称、交易内容、交易数量、金额等内容通过私钥进行签名。最后,将签名后数据发送到交易平台,同样需方企业也要将交易需求及企业基本信息通过数字签名处理后传送到交易平台。系统会按照预先设置的规则自动匹配供求关系,当匹配成功后则会触发区块链的智能合约机制,此时交易平台会要求企业双方使用各自持有的私钥对本次交易内容进行数字签名,以确保本次交易真实有效。同时,交易平台也会使用平台的私钥对最终结果进行数字签名,证明本次交易发生的真实性。智能合约代替了人为操作,通过固定算法完成最佳匹配并自动执行交易过程,

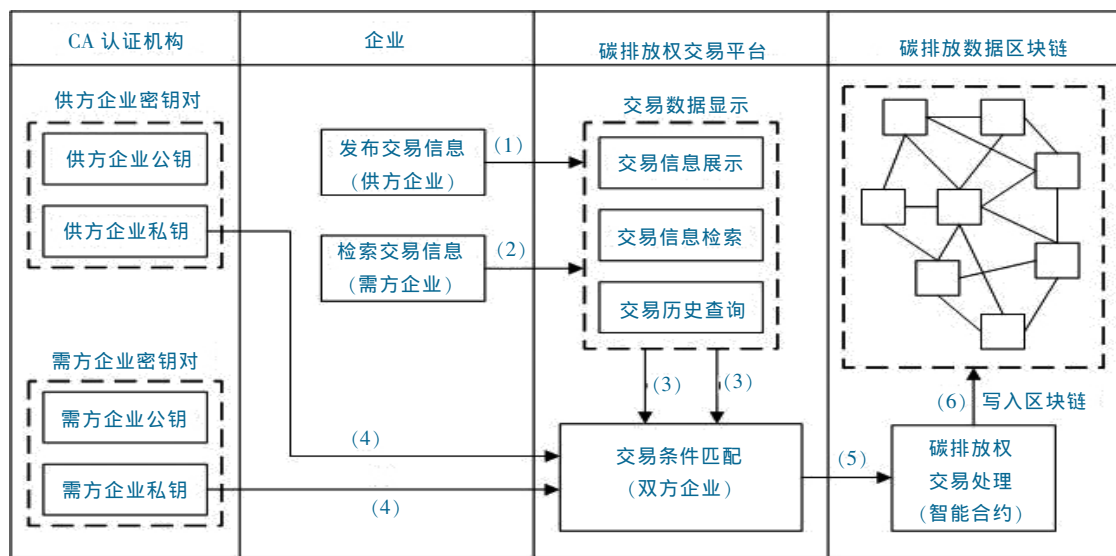


图3 碳排放权交易

通过智能合约机制在解决参与各方必须自行查找最适合交易对象的过程中需要付出较高的交易成本。总之,碳排放数据区块链会生成一个新的区块节点,将交易内容保存到分布式账本的存储空间。

3.交易历史数据追踪

当交易双方企业对某次交易产生纠纷或环保部门对企业执行监管时,能否追溯到真实有效的历史交易信息,将对解决纠纷或提供合规性证明至关重要。此时,区块链底层的“链式存储结构”技术特性将会体现出明显的优势。区块链是由若干个结构相同且彼此关联的节点构成,按照不同的业务需求,同一个链条的每个节点中存储了同类别的业务信息。除此之外,在区块链的头部还会有指向前一个区块ID的指针数据,用来确定与之关联的上级节点,多个区块节点就可以构成一条首尾相连的“数据链条”。通过依次查找数据链条上的指向信息,就能够准确地定位到某次交易节点,并通过读取节点数据获取交易的具体内容。可见,使用区块链技术能够很方便地定位到某次申请配额或交易数据,同时,还能够依赖数据链条,通过历次的交易详情定位到碳排放权的流转过程,实现对于企业排放额度的精准控制。

使用区块链回溯的历史信息还具有较高的安全性,不论是申请配额还是后续的交易行为,这些数据在写入区块链之前都使用数据签名技术对原始数据进行保护,如果后续一旦发生某个企业私自篡改信息的情况,区块链中的其他节点可以通过该企业公布的CA公钥对数据进行验证,并第一时间发现

数据异常情况。同时,区块链中的各节点也会相互验证,一个节点数据的非法修改行为会被其他节点及时发现,极大地增加企业违规作弊的成本和难度。因此,通过使用区块链的回溯机制获取到的数据,将具有更加真实有效的特性。

(三)基于区块链的碳排放监管系统

前文中讨论的使用区块链记录配额、交易等信息,最终的目的是用来监控企业日常污染物排放是否在限定的范围之内,在发生“超排”等情况时能够及时发现并采取后续行动,使用区块链加物联网技术,能够在第一时间发现企业违法排污行为并触发预警机制,及时通知相关责任人(图4)。

被监管企业需要在涉及到碳排放的设施中安装传感器装置,它是一种可以在极短的周期快速收集某种特定污染物的电子装置,能够感测到需要测量的信息,并能够将检测到的数据按照一定的规则进行变换,通过“模数转换器”变换为数字信号或其他形式并输出数据。

排污设施中的这些传感器能够实时地监测企业的碳排放情况,并通过高速网络将这些数据实时传输到大数据信息采集平台,随后平台会对这些数据进行汇总、统计、分析等步骤,最终结果将保存到业务系统数据库,使环保部门可以及时得到特定企业排污的第一手数据。通过这些实时信息就可以对企业的排放行为进行监控,及时发现企业是否存在违法排放的情况。监控系统会随时从碳排放数据区块链获取指定企业当前最新的交易情况,并利用企业交

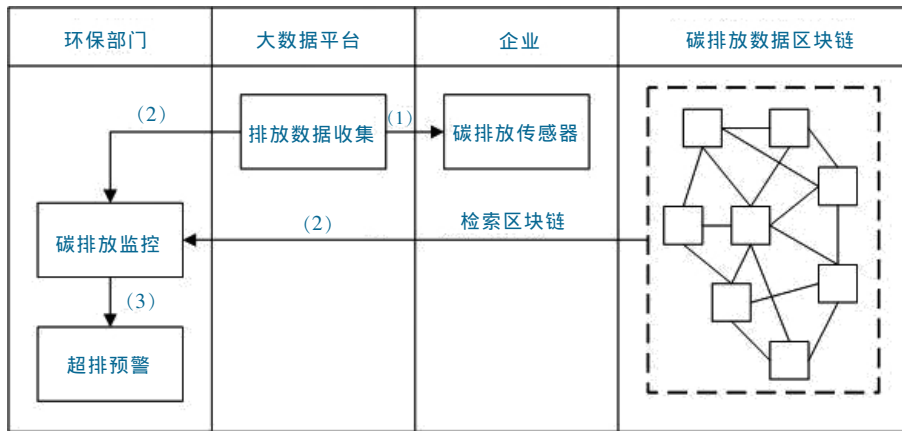


图4 碳排放监管

易后的排放额度与当前排放情况进行对比,以便及时发现可能存在的违法情况。如果发现风险会触发“超排预警”机制,通过排放日志存留、超排数据定量分析、短信通知相关监管责任人、自动通知排污企业等方式,第一时间发布风险信息并采取相关措施,达到实时监管及时处理的目标。

六、结语

区块链技术起源于比特币,并随着这种电子货币的流行而被公众所熟知。在碳排放权交易和监管领域,区块链可以发挥其独特的作用,通过在传统的碳交易市场中引入区块链技术,有针对性地解决碳交易过程中存在的信息透明度差、交易效率低、信息安全性差、缺乏有效监管机制等一系列问题。

为了加快当前区块链在碳交易领域的推广应用,解决交易过程中出现的诸多问题,建议环保主管部门牵头研发区块链碳交易平台,先选择一至两个交易较活跃的地区作为试点推广试用,以便在使用过程中发现其中可能存在的需要改进的方面,在实现了一定的经济效益和社会效益之后就可以考虑全国推广。同时,为了鼓励参与者尽量参与平台交易,可以考虑在推广期减免平台使用维护费用,或者为使用者给予一定的经济补贴以达到快速推广的目的。与此同时,还要尽量做好平台的服务功能,为使用者真正带来交易的便利性和高收益。在系统平稳运行一段时间后,可以逐渐转为商业化运行,通过适当地收取费用来维持平台的日常支出和后续维护工作,促进平台的健康发展。

参考文献:

- [1]郭文,黄可欣.碳排放权交易背景下配额碳资产的价值评估研究[J].商业会计,2019,(17).
- [2]沈鼎壹,阮明明,王新华.区块链技术在环境保护中的应用[J].科学技术创新,2019,(22).
- [3]薛忠斌.区块链技术在能源互联网中应用[J].煤炭工程,2017,(5).
- [4]吴银海,黄妍,秦浩,鲍士婷.区块链技术在碳交易市场中的应用设想[J].全国流通经济,2019,(6).
- [5]林晓轩.区块链技术在金融业的应用[J].中国金融,2016,(8).
- [6]冀宣齐.基于区块链技术的碳金融市场发展模式初探[J].价值工程,2019,(7).
- [7]乔海曙,田丰.区块链技术下共享金融发展研究[J].经济与管理,2018,(5).
- [8]崔志伟.区块链金融:创新、风险及其法律规制[J].东方法学,2019,(3).
- [9]曹阳,薄琨.区块链技术与互联网音乐作品版权保护[J].南海法学,2018,(3).
- [10]孙恒丽.基于区块链技术的碳交易价格发现机制研究[D].大连:东北财经大学,2018.
- [11]梁美健,连啸洋.中外碳排放权交易流程对比分析[J].经济师,2019,(5).
- [12]齐绍洲,张振源.欧盟碳排放权交易、配额分配与可再生能源技术创新[J].世界经济研究,2019,(9).
- [13]罗旖璇.碳排放权交易初始配额分配国内外研究综述[J].经济师,2019,(9).
- [14]罗旖璇.碳排放权交易初始配额分配国内外研究综述[J].经济师,2019,(9).
- [15]夏绍冬,陈惠嫫,张思雨,等.我国碳排放权交易相关问题探讨[J].中国市场,2019,(27).
- [16]沈鼎壹,阮明明,王新华.区块链技术在环境保护中的应用[J].科学技术创新,2019,(22).
- [17]李亚春.碳排放权交易市场对电力行业发展的影响[J].财经界(学术版),2019,(13).
- [18]阎钺天,李荣罡,王新军.区块链技术适用于排污权交易吗?[J].环境经济,2019,(13).
- [19]吴银海,黄妍,秦浩,等.区块链技术在碳交易市场中的应用设想[J].全国流通经济,2019,(6).

[责任编辑:何雄伟]