

基于区块链技术的碳排放 审计模型构建与研究

吴花平 刘自豪

摘要：自我国提出碳达峰碳中和目标以来，碳排放审计作为一种重要的环境监督手段日益受到重视。当前碳排放审计存在数据安全风险、数据透明度低和缺乏碳排放活动监督预警机制等问题，而区块链技术的可追溯、不可篡改、共识机制等特点为解决上述问题提供了契机。本文讨论了区块链技术与碳排放审计工作融合的可行性，构建了基于区块链技术的碳排放审计模型，以及基于智能合约技术的碳排放实时监督预警机制，并针对目前基于区块链技术的碳排放审计系统缺陷，从技术、法规、人才三个方面提出了针对性建议。

关键词：区块链；碳排放审计；框架构建；监督预警

中图分类号：F239.1 **文献标志码：**A **文章编号：**1003-286X(2022)15-0060-04

碳排放问题是我国实现碳达峰碳中和目标的焦点问题。充分发挥碳排放审计在碳足迹鉴证、碳排放权配额等方面的优势，有助于提高碳排放数据透明度、推动企业能源结构优化调

整、落实我国“双碳”目标、构建绿色低碳发展新格局。区块链技术有助于解决碳排放审计中存在的审计数据不真实、不完整问题，进一步降低审计工作中碳排放的核算成本，为合理配置碳排放权提供高质量的数据支持，推动塑造开放、透明的碳排放审计与监督预警机制。

基于上述背景，本文探讨了我国当前碳排放审计发展中面临的问题，并结合区块链的技术特性，构建了基于区块链技术的碳排放审计模型和碳排放监督预警机制。通过将基于区块链技术的碳排放审计模型与传统碳排放审计进行对比，阐述了基于区块链技术的碳排放审计模型的优势，以期为提高碳排放审计的工作效率和质量、探索“双碳”时代背景下“区块链+碳排放审计”的新路径提供切实可行的思路和参考。

一、传统碳排放审计面临的挑战

(一) 碳排放活动数据存在安全风险

首先，企业中心化的数据库中储

存了审计所需的全部碳排放活动基础数据，一旦发生故障或遭受病毒攻击，容易造成数据失真或损坏，使碳排放审计工作陷入停滞，甚至影响企业的正常运营。其次，由于电子数据可拷贝，相较于专人保管的纸质数据，其损坏风险和泄露风险会随着使用人员和使用次数的增多而加大。最后，数据在传输过程中面临的安全威胁与日俱增，特别是数据在传输过程中容易受到商业对手或者病毒的攻击，造成数据丢失和篡改。审计数据失真不仅会影响碳排放审计工作的正常开展，也将增加审计人员作出正确审计判断的难度。

(二) 信息不对称增加舞弊风险和审计风险

获取真实、可靠和准确的碳排放数据不仅是我国碳交易市场健康运行的基础和保障，也是全国碳交易统一市场建设工作的重中之重，直接关系到我国绿色低碳发展战略的成败。目前我国还未建立完善的碳排放披露制度，企业碳排放相关信息未实现完全公开透明，并且受到资金和人力的限制，生态环境部门难以对企业燃料和

基金项目：2022年重庆市教育委员会人文社会科学研究规划项目(22SKGH311)

作者简介：吴花平、刘自豪，重庆理工大学会计学院。

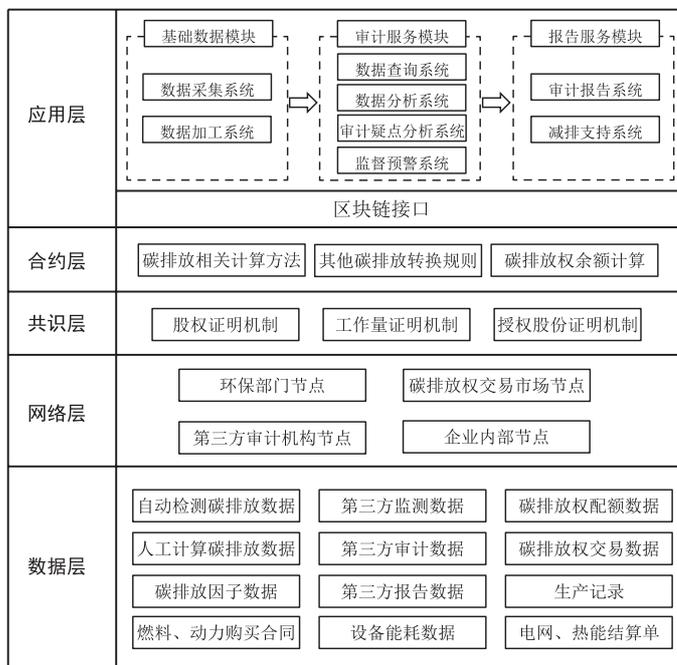


图1 基于区块链技术的碳排放审计模型基础架构

能源采购、原材料使用、生产工序各环节的碳排放活动进行有效的实时监督。排放单位和生态环境部门之间的信息不对称使得生态环境部门难以掌握企业碳排放的真实情况，为不法企业进行碳排放数据造假、与第三方审计机构合谋舞弊提供了空间。此外，碳排放审计数据涉及范围较广，几乎涵盖企业生产和运营的各方面，企业出于对商业信息机密泄露的担忧，对其碳排放数据存在“过度保护主义”倾向，导致审计人员无法取得充分的审计调查权限，无法及时获取充足的审计资料和审计证据，使得审计工作存在一定程度的重大判断失误等潜在风险。

(三) 缺乏碳排放活动监督预警机制

当前我国并未建立统一有效的碳排放监督预警机制。碳排放审计实际上是对过去一定时期内企业的碳足迹进行评价与鉴定，属于事后审计范

畴，时间上具有滞后性，虽然具有一定的监管作用，但也为企业篡改或非法修饰碳足迹提供了可能。缺乏有效的碳排放实时监督预警机制，一方面使得生态环境部门难以提前、及时发现企业的违法排放行为；另一方面企业难以实时准确了解自身真实碳排放情况以根据碳排放权余额灵活调整自身的生产计划，并存在因超额排放而遭受经济处罚的潜在风险。

二、基于区块链技术的碳排放审计模型与监督预警机制的构建

(一) 基于区块链技术的碳排放审计模型构建

区块链是由链式数据存储结构、非对称加密算法、时间戳技术、共识机制和智能合约等技术组成的一本分布式账本，具有去中心化、不可篡改、加密传输和安全存储等技术特性。将区块链技术与碳排放审计相结合，可以保障碳排放相关数据的安全性和完

整性，提高审计效率和审计质量，将对传统碳排放审计工作产生革命性影响。基于此，本文根据区块链技术的基本架构，提出包括数据层、网络层、共识层、合约层和应用层在内的基于区块链技术的碳排放审计模型基础架构(如图1所示)。

1. 数据层。数据层封装了数据区块、链式结构、哈希函数、非对称加密和时间戳等相关技术要素，是区块链的最底层技术，也是基于区块链技术的碳排放审计模型的数据中心。

数据层储存了大量企业直接碳排放数据、间接碳排放数据和其他相关数据。直接碳排放数据是指由部署在排放设备中的监测传感器收集到的碳排放数据，主要包括企业生产过程中燃料燃烧和生产工序中产生的排放数据。间接排放数据是指依据相关评估准则和具体指标、手动转换和计算的碳排放数据，包括企业外购的电力、热力和蒸汽数据、内部运输活动数据、员工差旅和外包活动数据。基于时间戳技术和链式存储结构，企业碳排放数据将被组合成一条按照发生时间先后顺序排列、可追溯的数据链条，并且采用非对称加密、哈希算法和分布式数据存储方式使数据分布存储在区块链网络中的每个节点内，由网络中所有节点共同维护和管理，实现链内数据去中心化的安全传输、共享和存储。数据层的基本数据类型主要包括与企业生产运营相关碳排放活动数据、企业碳排放权配额和交易数据、第三方审计机构数据和监测数据等相关数据，均被真实、安全、完整地储存在区块链网络中，为碳排放审计工作的顺利开展和增强利益相关者的有效监督提供充足、高质量的数据支撑。

2. 网络层。基于点对点(P2P)网

络、分布式组网方式、数据验证机制与数据传播机制等要素，网络层为碳排放审计的利益相关者搭建了一个数据网络框架，能够实现环保部门节点、碳排放权交易市场节点、第三方审计机构节点和企业自有节点等利益相关者节点之间数据的透明、安全共享。其中，利益相关者节点分为外部利益相关者节点和内部利益相关者节点。外部利益相关者节点主要连接与碳排放审计、碳排放监督预警相关的各个主体（如生态环境部门、碳排放权交易市场、第三方审计机构等）。通过网络层与外部利益主体进行连接，有助于实现企业内部和外部主体之间、外部利益相关主体之间的数据共享，使企业碳排放活动更加真实透明，并能够实现对企业碳排放活动的全方位监督，约束企业排放行为，降低企业违法的主观意愿。内部利益相关者节点主要包括区块链嵌入企业各部门系统中的节点、碳排放监测传感器节点等。通过内部利益相关节点，区块链系统能够自动获取企业生产及运营活动中的碳排放活动相关数据，实时收集监测传感器捕获的碳排放量信息，进一步提高了企业碳排放活动的透明度，并且将企业碳排放活动纳入所有外部利益相关主体的监督之下。

3. 共识层。共识层内置工作量证明机制、股权证明机制、授权股份证明机制等共识机制。区块链网络中高度分散的节点通过共识机制快速对新产生区块数据的真实性进行验证，保证区块链网络中的数据均真实可靠。在基于区块链技术的碳排放审计模型中，基于外部利益相关者节点监督和内部节点记账激励机制，企业内部节点新生成的碳排放数据只有通过半数以上节点的验证才能被正式写入区块

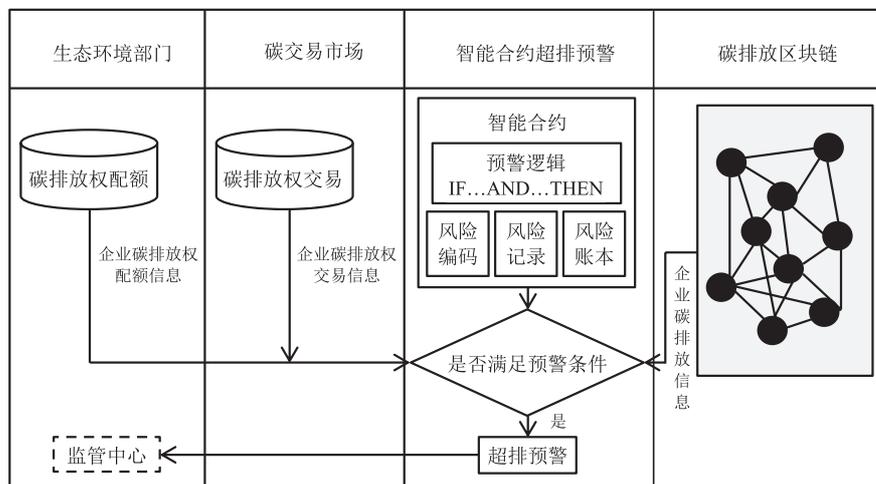


图2 基于区块链技术的碳排放监督预警机制

链中，有效保障了基于区块链技术的碳排放审计系统数据的安全性、可靠性和实时性。

4. 合约层。合约层主要封装了脚本代码、算法机制以及由事件驱动的智能合约，是基于区块链技术的碳排放审计系统灵活编程的关键和基础。基于区块链技术的碳排放审计模型将排放因子的选择规则、排放水平的转换规则等数据计算规则转换成代码形式，实现自动计算企业间接碳排放活动产生的排放量。此外，在基于区块链技术的碳排放审计模型中封装了排放预警规则（如排放活动触发相应的预设行为类型、排放总量达到预设的警戒值和其他特定情景下的条件等），构建了一个具有碳排放计算规则库和数据分析功能的碳排放实时监督预警系统。通过程序算法大幅减轻碳排放数据核算工作量，有助于企业根据碳排放情况实时调节生产活动。

5. 应用层。应用层主要对接基于区块链技术的碳排放审计应用系统，封装了碳排放审计工作中的各种应用场景，是区块链技术在碳排放审计工作中的全面实践。应用层场景主要表

现为搜集和分析碳排放数据、发现和记录碳排放审计疑点、生成碳排放审计报告、实时监测和预警碳排放状况、为控排减排工作提供支持等。在应用层中，通过将企业整体生产工序的碳排放活动进行上链，并且借助区块链平台，能够将企业碳排放信息及碳排放活动全流程安全透明地展示给利益相关者，不但保障了碳排放数据的可靠性和透明度，并且能够有效降低数据被篡改的风险，实现企业与生态环境监管机构、第三方审计机构的三方互利共赢。另外，以上应用场景实现了企业碳排放数据的实时自动采集、智能分析和监督预警，为提高审计人员的工作效率和审计业务质量、生态环境部门合理分配碳排放权、相关部门制定科学的控排和减排决策提供信息平台支持。

（二）基于区块链技术的碳排放监督预警机制

基于区块链技术的碳排放审计模型（如图2所示）通过监测传感器实时采集企业直接碳排放数据，按照区块链交易的字段规则，经共识机制对其真实性进行验证后正式上链。企业间

表1 传统碳排放审计与基于区块链技术的碳排放审计比较

	传统碳排放审计	基于区块链技术的碳排放审计
审计人员数量	建立审计项目组, 审计人员较多	根据利益相关者节点和第三方审计机构的节点确定, 审计人员较少
审计成本	现场核查占用大量人力物力, 审计成本高	前期系统建设投入大, 后期审计工作投入少
审计时间	传统现场人力翻阅资料, 搜集资料花费的时间较长	利用区块链和传感器自动搜集碳排放相关数据, 审计时间短
审计范围	抽样审计	全面审计
审计证据	碳排放相关数据类型繁多、业务复杂、且采用手工方式收集, 难以获取充分的审计证据	实时获取企业碳排放相关信息, 审计证据充分
审计及时性	事后鉴证碳足迹	事前排放规划、实时鉴证碳足迹
审计质量	需要审计人员具备较高的专业能力	通过各利益相关者节点和智能合约共同实时监督检查企业碳排放情况, 审计质量较高
审计风险	传统人力现场审计、审计效率低、审计风险高	基于共识机制、智能合约保障审计数据可靠性、实时监督企业排放情况、预报超排风险, 审计风险低

接碳排放数据则是在经过共识机制真实性验证的基础上, 由智能合约对其合规性进行验证后才能被正式写入区块链。基于区块链技术的碳排放审计模型将企业整体碳排放流程纳入区块链中, 使得企业在生产运营活动中产生的碳排放数据实时汇集到区块链之中, 帮助生态环境部门开展监督工作, 有助于降低企业偷排和瞒报风险。

智能合约是对企业碳排放活动实现实时监督与预警的核心技术基础。通过智能合约技术, 预先以程序代码的方式定义排放因子选取标准、排放水平转化规则、预警规则及触发预警合约执行的条件(如碳排放行为类型、单次碳排放数量标准和碳排放权余额警戒值等), 经过生态环境部门、第三方审计机构、被审计单位等利益主体签署并同意后, 预警智能合约将正式自动运行在区块链中, 实时从企业碳排放区块链中获取企业当前碳排放总量、从生态环境部门获取企业碳排放权配额信息、从碳交易市场获取企业碳排放权历史交易信息等最新信息, 定量分析新产生的碳排放数据、实时判断是否发生超排行为, 在确认满足超排智能预警合约的触发条件后自动向企业和生态环境部门发送超排预警

信息, 并第一时间通知相关责任人, 以便其及时采取控制措施, 达到实时监督和自动预警的目标。

(三) 传统碳排放审计与基于区块链技术的碳排放审计比较分析

由表1可以看出: 传统的碳排放审计主要以现场审计为主, 按照预定的审计计划对被审计单位的碳排放情况实施碳排放审计评估, 核查企业的碳排放盘查评估报告, 向企业提供碳减排建议和整改建议, 需要长时间占用大量人力与物力, 审计成本较高。此外, 传统碳排放审计的随机抽样法、实质性审计程序等技术与方法, 已经无法适应碳排放业务复杂、数据类型繁多的审计环境, 传统碳排放审计面临审计效率低和审计风险高的困境。

而基于区块链技术的碳排放审计可以将企业资源耗用、生产工序、直接碳排放等各个环节的相关数据实时上链, 提高了碳排放审计数据的公开透明程度, 避免碳排放审计数据被篡改, 为碳排放审计工作提供高质量的审计证据支持; 将区块链技术与碳排放审计相结合, 可以掌握企业碳排放全过程, 能够快速发现异常碳排放数据和审计线索, 提升碳排放审计效率和质量, 降低审计风险。

三、相关建议

现阶段区块链技术仍存在一定的局限性(如51%攻击带来的安全问题和节点博弈问题等), 其与审计的结合应用也尚处于探索阶段, 加之碳排放审计的专业性和复杂性, 使得目前在碳排放审计工作中实现区块链技术的落地应用仍面临着一定的挑战。为推动区块链技术在碳排放审计中的应用, 需解决以下问题: 首先, 应加强对区块链技术的研究, 通过政策支持、加大资金和人员投入等方式解决51%攻击、节点博弈问题, 增强区块链技术的安全性和可靠性; 其次, 要加快建立统一的区块链技术标准和制度规范, 构建和完善与碳排放审计准则和相关法律法规, 为碳排放审计的发展以及碳排放审计应用区块链技术提供明确的法律监管依据, 避免法律和监管风险; 最后, 基于区块链技术的碳排放审计对审计人员的技术素质提出的更高要求, 要提高审计人员的执业水平和技术素质, 培养一批既精通业务又具备一定信息技术的复合型人才, 以满足基于区块链技术的碳排放审计需求。☐

责任编辑 樊柯馨