Modern Management 现代管理, 2023, 13(11), 1441-1450
Published Online November 2023 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mm
https://doi.org/10.12677/mm.2023.1311181

基于区块链与物联网技术的碳汇与碳计量研究

胡　涛[1]，杜雅琦[1]，刘齐军[2]，罗建书[1*]

[1]湖南交通工程学院电气与信息工程学院，湖南　衡阳
[2]湖南天河区块链研究院，湖南　长沙

收稿日期：2023年9月4日；录用日期：2023年9月14日；发布日期：2023年11月15日

摘　要

随着可持续发展理念和双碳目标的深化，中国建立了碳汇交易市场，而碳汇交易市场是实现双碳目标的重要政策工具，是实现生态扶贫的重要措施，是将绿水青山变成金山银山的直接途径。目前，碳交易和低碳经济体系的发展面临着不透明、缺乏信任、缺乏数据跟踪手段等诸多挑战，需要通过物联网区块链等技术来解决。采用物联网区块链、链上验证分布式跟踪技术，建立分布式超级账本的碳足迹，形成碳足迹跟踪系统，提高碳汇交易市场的可操作性、透明度和开放性，为碳汇交易市场开辟新的发展机遇。本文通过采用物联网－区块链分布式溯源技术，“链下溯源，链上验证”，在分布式超级账本上建立碳足迹，形成碳足迹追踪系统，从而提高碳汇交易市场的可操作性、透明性、公开性。为了克服碳排放数据的不透明性和各个企业之间无法实现数据共享的问题，本文提出了企业与碳交易平台通过区块链上传、查询和验证碳排放数据，实现各个企业之间碳排放数据的公开透明的方案。

关键词

双碳，碳汇交易，物联网，区块链

Research on Carbon Sink and Carbon Measurement Based on Blockchain and Internet of Things Technology

Tao Hu[1], Yaqi Du[1], Qijun Liu[2], Jianshu Luo[1*]

[1]School of Electrical and Information Engineering, Hunan Institute of Traffic Engineering, Hengyang Hunan
[2]Hunan Tianhe District Block Chain Research Institute, Changsha Hunan

Received: Sep. 4th, 2023; accepted: Sep. 14th, 2023; published: Nov. 15th, 2023

Abstract

With the deepening of the concept of sustainable development and the dual-carbon goals China

*通讯作者。

文章引用: 胡涛, 杜雅琦, 刘齐军, 罗建书. 基于区块链与物联网技术的碳汇与碳计量研究[J]. 现代管理, 2023, 13(11): 1441-1450. DOI: 10.12677/mm.2023.1311181

has established a carbon trading market. The carbon-trading market is an important policy tool to achieve the dual-carbon goals, an important measure to achieve ecological poverty alleviation, and a direct way to turn clear water and green mountains into silver mountains. At present, the development of carbon trading and low-carbon economic system is facing many challenges such as opacity, lack of trust, and lack of data tracking means, which need to be solved through technologies such as Blockchains of Things. Adopt Blockchains of Things and out-of-chain verification distributed tracking technology to establish the carbon footprint of distributed super accounts, form a carbon footprint tracking system, improve the operability, transparency and openness of the carbon-trading market, and open up new development opportunities for the carbon-trading market. This paper establishes a carbon footprint on the distributed super account by adopting the Blockchains of Things distributed traceability technology, "chain traceability, on-chain verification", and forms a carbon footprint tracking system, so as to improve the operability, transparency and openness of the carbon-trading market. In order to overcome the problem of opacity of carbon emission data and the inability to achieve data sharing between enterprises, this paper proposes a plan for enterprises and carbon trading platforms to upload, query and verify carbon emission data through blockchain to realize the openness and transparency of carbon emission data between enterprises.

Keywords

Dual Carbon, Carbon Sink Trading, Internet of Things, Blockchain

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

由于全球气候的持续变暖对社会生态系统带来的威胁日益增加，因此，减缓和适应气候变化已经成为一个人类可持续发展面临的不可回避的问题。IPCC (政府间气候变化专门委员会)已经对全世界提出了多次警示，目前地球表面的温度仍然处于上升趋势，如果世界的平均气温继续增加 2 摄氏度，整个地球系统将不受控制，冰层缩小、海平面上升等气象灾害也将接踵而至，都会给人类带来难以想象的灾难。根据 IPCC 研究报告的内容，自二十世纪中叶至今，人们所观测到的全球气候变暖，90%的概率都与人类活动有关。由于人类通过燃烧矿物燃料和树木等，制造出大量的温室气体，造成气候变暖、碳循环不平衡。参与《联合国气候变化框架公约》的缔约方已达成一致，将各自进行国家自主贡献，控制全球温升跟工业化前水平相比不超过 2 摄氏度，并尽量达到不超过 1.5 摄氏度。要达到这一目标，2065 年至 2070 年这五年间世界必须达到碳中和[1]。

国际上，各国在积极探索和发展碳汇项目，特别是欧美日等发达国家更为着重在碳交易市场的搭建和管理、碳汇计量和监测以及碳贸易投资等方面的推进。同时，全球性国际机构如联合国、世界银行等联合发起多个国际碳汇项目，1992 年，《联合国气候变化框架公约》在欧洲签署，1997 年《京都议定书》在欧洲签订，2004 年《巴厘岛路线图》在亚洲签署，2005 年通过了《京都议定书》第二承诺期。在《京都议定书》第二承诺期中，发达国家要求发展中国家在 2000 年到 2010 年间采取具体的应对措施，以减缓和适应二氧化碳等温室气体的排放。同时，发达国家与世界各国就应对全球变暖的责任进行分担。在此背景下，强调森林碳汇在缓解全球变暖中具有重要作用。为了适应与缓解气候变化，在国际碳基金的促进下，在区域和国家之间进行减排或增汇项目，通过项目减排量或购买核证减排量的形式实现了碳信用指标跨越国家界限的买卖和交易，从而形成了国际碳市场。如图 1 所示。

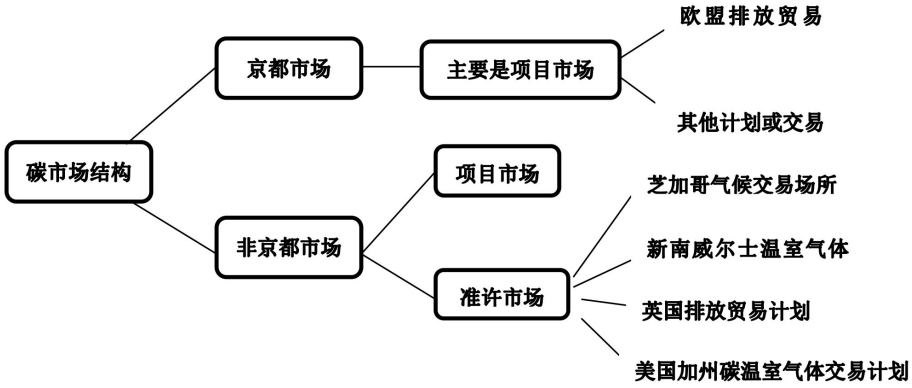

Figure 1. International carbon market operation mode
图 1. 国际碳市场运行模式

中国拥有丰富的森林资源和草原资源，在全球碳环境中发挥着重要的作用，成为全球碳汇贡献的重要来源之一。中国政府和社会各界也在开展碳汇相关的工作，如退耕还林工程、湿地保护、森林管理等。同时，中国还在大力发展碳交易市场，旨在激励企业利用碳交易机制实施减排和碳汇项目。2020 年 9 月 30 日，党的十九届五中全会通过《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，明确提出：“到 2035 年，经济实力、科技实力、综合国力将大幅跃升，国内生产总值迈上更高台阶，基本实现新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化”。2020 年 12 月召开的中共中央政治局召开第 9 次金融工作会议，对我国“双碳”目标提出了新的要求，并提出相应的对策建议。2021 年 3 月 30 日召开的中央财经委员会第十次会议决定：“加快制定 2030 年前碳排放达峰行动方案”。习近平总书记强调：“实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。要把推动绿色发展作为全面建设社会主义现代化国家的内在要求”。2021 年 7 月 1 日中国共产党第二十次全国代表大会报告中提出：“要积极稳妥推进碳达峰碳中和，立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动”。

CCER 是指中国核证自愿减排量(China Certified Emission Reduction)，是对我国境内特定的一些项目的温室气体的减排效果进行量化核证，并且在国家的温室气体自愿减排交易注册登记系统中登记的温室气体的减排量，它可以用于控排企业在清缴履约时的抵消或其他用途。“核证”指的是一个 CCER 项目在进入市场前，首先需要经过一系列严格的量化考察以及层层备案。CCER 作为一种碳减排量的转让单位，它代表企业已经实现了相应的碳减排目标，然后得到了相应的权益，也常被称为“碳凭证”。当企业拥有 CCER 证书后，可以将其出售给需要在未来进行减排的企业，从而提高减排的灵活性和经济效益，如图 2 所示。

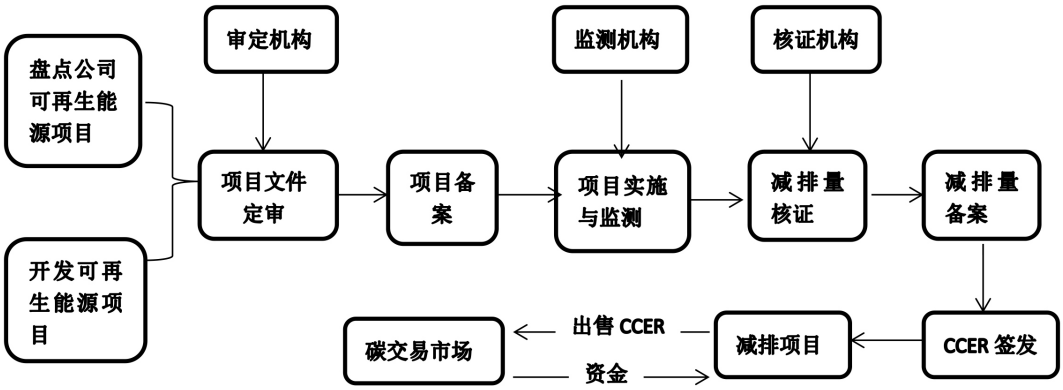

Figure 2. CCER project design-development-transaction process
图 2. CCER 项目设计－开发－交易流程

CCER 作为配额的一种补充机制，用于配额清缴，抵消企业部分超额排量，完成履约。购买每单位 CCER 可用于清缴 1 吨的碳排放配额，一般情况下，用于抵消额的 CCER 上限为该企业配额的 5%~10%。

国际核证碳标准(VCS)是 2006 年由气候组织、国际排放交易协会、世界可持续发展商业委员会和世界经济论坛等 4 家机构建立的国际自愿抵消碳信用机制，主要为全球自愿减排项目提供认证和信用签发服务。VCS 项目涉及 16 个领域，注册数量位居前三的领域分别是能源项目，农业、林业和其他土地利用项目，废物处理及处置项目。VCS 拥有一套严谨、规范的制度体系，共包括 9 大模块：项目与计划、规则与要求、方法学、审定/核证、核证碳单位、VCU (验证碳单位)贴标、注册系统、管理与发展、投诉与上诉。制度体系的每个模块在项目开发过程中均扮演重要角色，且相互影响、相互联系，为产生高质量的碳信用提供制度保障。VCS 项目开发是以 VCS 标准为核心，以独立审计、核算方法和注册系统为主体的工作架构。项目开发必须遵循严格的评估程序，履行 VCS 的规则和要求才能获得优质可靠的碳信用[2]。Verra 正在重新启动验证碳标准(VCS)计划咨询小组，以帮助 VCS 计划与到 2030 年将全球温室气体排放量减半并在本世纪中叶实现全球温室气体(GHG)净零排放的全球雄心保持一致。VCS 计划咨询小组将成为支持 VCS 计划在满足不断发展的碳市场的完整性需求并取得更大影响方面的近期和长期进展的战略资源[3]。

2. 碳交易的发展过程及其运作机制

2.1. 碳交易的概述及发展现状

广义的碳交易是指与二氧化碳等温室气体排放相关的交易，是人为创设的一种全新的环境经济政策工具，通过发挥市场在资源配置中的决定性作用，以“市场化”的方式解决环境问题，利用碳价的价格信号功能引导经济主体把碳排放成本作为投资决策的一个重要因素，促使环境外部成本内部化，最终实现保护生态环境的目的[4]。在政府设定的一个总量控制下，通过对重点排放企业在一定时期内的实际排放量与分配到其名下的配额进行比较，然后确定其在某一时期内可以获得的碳排放权的数量。在碳市场交易运行时，当企业实际的排放量超过配额时，就要向市场购买额外的配额。

当前，我国碳汇市场交易仍不活跃。一方面，碳汇成交规模总体偏小。以北京市场为例，2014~2017 年成交碳汇项目 24 个，累计成交量 7.8 万吨，占比不足北京碳市场成交总量的 0.5%。截至 2017 年，国家发展改革委审定通过的中国自愿减排核证项目(CCER 项目)中碳汇项目有 89 个，占比仅为 3%。另一方面，我国碳汇项目类型单一。超过 70%的 CCER 碳汇项目是造林、再造林项目，仅有少量碳汇项目是森林经营、竹林等类型，草地、湿地、海洋等碳汇类型尚未进入市场交易[5]。

2.2. 碳交易的运作机制及影响因素

碳市场运作机制：如图 3 所示。政府或环保机构制定碳排放配额，并分配给企业或国家等，以控制其碳排放量。企业或国家之间可以相互出售多余的碳配额，同时缺乏碳配额的企业或国家为了完成碳排放的目标则需要购买碳配额。环保机构或碳交易平台会把出售碳配额和需要购买碳配额的企业或国家进行撮合，达成交易。环保部门或第三方机构对碳排放量进行实时监测，并核算企业或国家的碳排放量。

首先就是国家或地区的政策法规。不同国家或地区对于环境保护和碳排放控制的政策法规不同，这将直接影响到碳交易的市场规模和价格。

从公司的种类与规模来说，大型上市公司规模大，碳排放大的上市公司在碳交易市场上可以通过卖出超额的碳配额赚取更多的利润。而对于中小型公司来说，如果不进行碳排放管理，不购买碳排放额度，就无法履行自身的环保义务。因此，这些公司也必须进行碳排放管理。

污染的种类和数量也会影响碳交易。不同的行业和企业在生产过程中所产生的污染种类和数量是存在一定的差异的，这将影响碳排放的计算和交易量。

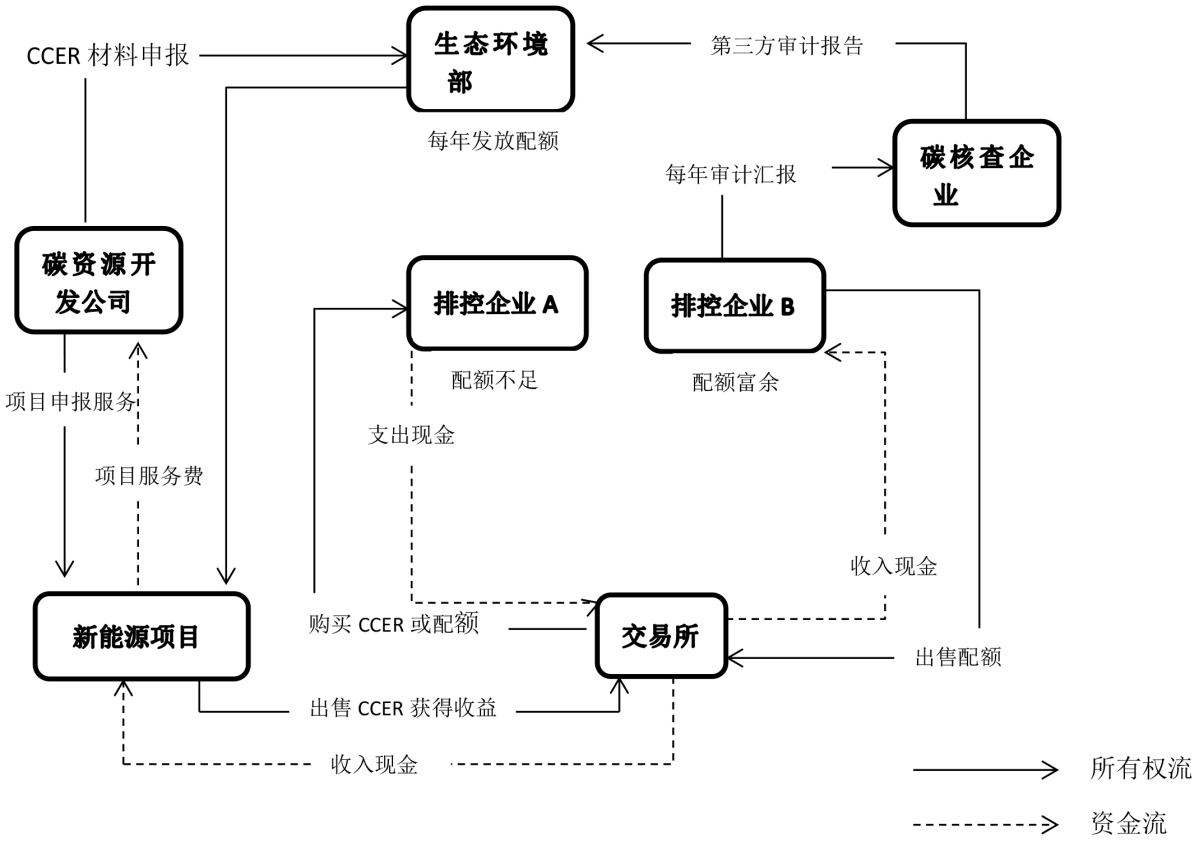

Figure 3. Carbon market operation mechanism
图 3. 碳市场运作机制

还有一些其他市场因素。碳交易市场的交易价格受到市场供需关系、各国经济情况、投者信心和市场预期等多个因素的影响。

再者就是碳交易制度的完善度。碳交易的制度完善程度和成熟度将影响到碳交易市场的流动性、透明度和稳定性。

碳排放监管机制也十分重要。碳排放的监管机制能够直接影响到碳交易市场的规范性和健康发展程度。

总之，各种因素将直接或间接地影响到碳交易，需建立可持续、规范的机制来推动碳减排和碳交易的发展。

3. 基于物联网与区块链技术的碳汇方案分析

3.1. 物联网技术在碳汇中的应用

“双碳”问题讨论的是人与自然平衡发展的问题，物联网是人与自然关系的网，通过监测、调整、控制等手段来调节人与自然的碳平衡[6]。当前，物联网技术普遍应用于多个行业，如建筑行业、智能家居等，而建筑行业的碳排放在我国耗能排名上也位于靠前位置，运用物联网技术，可以减少不必要的资源消耗，避免造成资源浪费，提高能源的利用效率，物联网技术为能源产业的发展带来了前所未有的蓝海机遇。随着数字传输技术的迅速发展，以智能检测、射频识别、大数据、物联网为代表的数字技术有望改变能源系统，可以有效促进能源供给侧和消费侧的协调。将数字技术深入融入碳足迹和碳固存等领域，可以促进对排放量的数字监测、精确测量和预测，使得规划和实能源部门的效率提高。这大大提高了能源效率，并直接或间接地减少了能源部门的碳排放。在能源供给环节，物联网、云计算、大数据等数字技术可以提高能

源采集效率与在线互联程度，实现能源供给环节的集约化、数据化、精细化，为能源生产运行提供安全可靠的技术支撑。在能源消费环节，人工智能等数字技术将颠覆传统的能源消费理念，催生新的能源消费方式，推动各行业的消费转变，降低能源消耗量及消耗强度[7]。此外，数字技术引领的新业态、新模式变革还可以助推能源消费理念转变，重构能源商业模式，助力我国碳达峰、碳中和目标的实现[8]。

物联网技术在碳汇中发挥着重要作用，通过对各种资源的使用情况进行监测和管理，实现碳排放的减少和碳汇的增加。以下列举了几个具体应用场景：

能源管理和智能控制：物联网对能源的监测和控制是通过传感器和智能设备实现的，不仅提高了能源利用效率，还能减少能源浪费。

智能交通和无人驾驶：物联网可以连接车流量、道路等交通信息，解决交通拥堵，推动低碳出行政策的实施。同时，物联网技术还可以支持汽车的智能驾驶，提高车辆能源利用率，减少碳排放。

绿色建筑和智能家居：物联网可以对建筑物和家用电器进行智能管理和控制，例如灯光的自动控制和调节、空调等设备的温度变化控制，从而降低能源消耗，减少碳排放。

智能农业和环境监测：物联网可以实现农业生产的精准化管理，使农作物的产量和品质得到提高，农药和化肥的使用量相对减少，从而减少碳排放。此外，物联网还可以对环境进行实时监测，例如空气质量、水质等，有利于环保工作的开展。

就拿农业这方面来说，在农业信息监测过程中，应用物联网技术，能够对信息的采集、整理、监控提供基础和技术支撑，帮助提高农业信息监测的效率和准确性，如农业环境智能监控系统，能够实时远程获取大田或者温室大棚内部的空气温湿度、土壤水分温度、二氧化碳浓度、光照强度及视频图像，通过模型分析，可以自动控制温室湿帘风机、喷淋滴灌、内外遮阳、顶窗与侧窗、加温补光等设备[9]。通过物联网技术可以降低化肥、农药的使用量，减少浪费，同时实现农机自动化、真正做到精准农业，避免过量浇水等造成的水资源浪费，有效降低农业生产中产生的二氧化碳等温室气体的排放。例如以下几个方面：

精准农业管理：在这一模式中，最重要的就是利用物联网技术，并运用传感器，控制系统，机器人，无人驾驶汽车，自动化硬件，变率技术等等。高速因特网、移动终端和卫星接入是实现精准农业的核心技术。物联网可以实现农田环境的智能监测和数据采集，识别植物的生长状态和病虫害情况，从而实现农业生产的精准管理，减少化肥和农药使用量、减少浪费，最终降低二氧化碳等温室气体的排放。如图 4 所示。

智能灌溉：物联网可以通过智能控制系统实现对灌溉水流量、灌溉面积、灌溉时间等参数的精准控制，

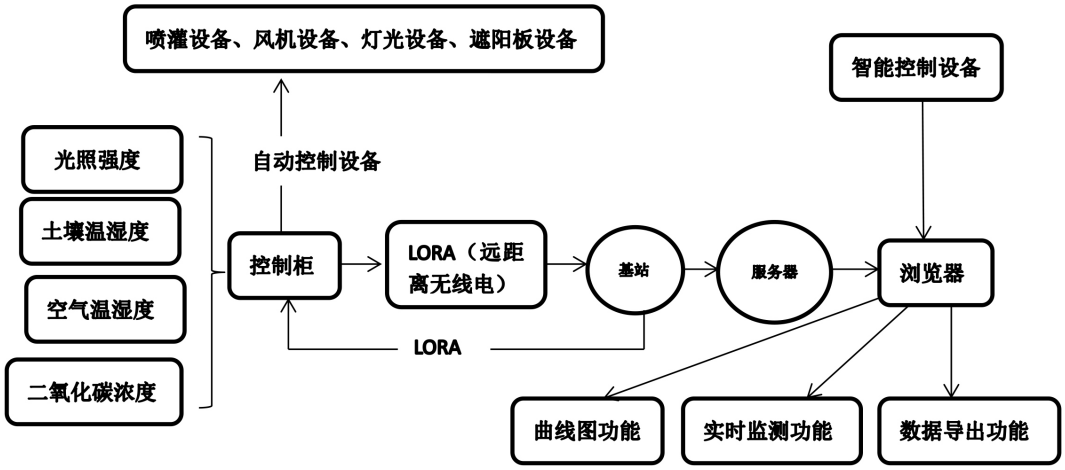

Figure 4. Agricultural application of the Internet of Things
图 4. 物联网农业应用

避免过量浇水造成水资源浪费和排放温室气体。农田灌溉是物联网技术在农业生产中的一个重要应用。就拿一个埋在土里的简易喷头来说，它汇集了许多高科技，由计算机控制，根据感应器传回的土壤资料，来决定什么时候浇水，什么时候多什么时候浇，什么时候浇多少，浇多少，这样既节省了水，又节省了人力。管道铺设完毕后，大部分土地的浇灌，都是由少数几个农夫，用一种智能化的装置来完成的。

农机智能化：物联网可以实现农机自动驾驶、智能调度和实时监测等功能，提高农机的能效，降低油耗和二氧化碳等温室气体排放。

物联网在碳汇的发展上具有巨大的潜力，随着物联网技术的不断发展和应用，它将在促进低碳经济发展、缓解全球气候变化等方面扮演者越来越重要的角色。

3.2. 区块链技术在碳汇中的应用

目前，碳交易面临许多挑战，例如碳预算的计算容易被操纵和滥用；碳市场不透明；缺乏对碳交易的监测等。利用区块链技术，可以在分布式超级账户中创建碳足迹，并形成碳足迹跟踪系统。这一跟踪系统对于打击腐败和确保文件安全以防止伪造来说至关重要。因此，为了满足上述要求，需要一种可用于碳管理和跟踪的技术架构。而区块链技术就是一个很好的解决方案，可以通过使碳排放和碳足迹数据“可靠”来确保整个供应链的透明度。通过透明可靠的数据，在此背景下，企业能够高效地公开自己的碳排放信息，并能够合理地进行碳补偿，从而构建出一个真正意义上的“碳中和”、“负碳”的供应链。在这一点上，必须保证资料的真实性和隐蔽性。在区块链技术应用于碳排放数据共享的情况下，通过区块链技术可以实现对企业内部碳排放数据的收集与传输，并利用隐私计算技术对原始数据进行加密，这样就能确保数据的真实性、完整性和保密性，并在此基础上进行使用。最后，通过对企业内部数据的安全性研究，使得这些企业内部数据能够在产业层次上进行有效的扩散与共享，从而提高其价值。

以前的系统仅支持“全链条、全信息”溯源，即每次溯源都会返回整个交易链条的所有数据，因此在提供碳排放权交易的支持文件时，会返回很多与碳排放无关的信息。我们要改进上述交互式可追溯结构，采用分布式溯源理念，即“链下溯源，链上验证”。为了满足不同层次用户(如碳交易市场的监管机构、生产者和消费者)对不同类型数据的监管、监测和可追溯性的需求，为了促进交易链中碳排放信息的

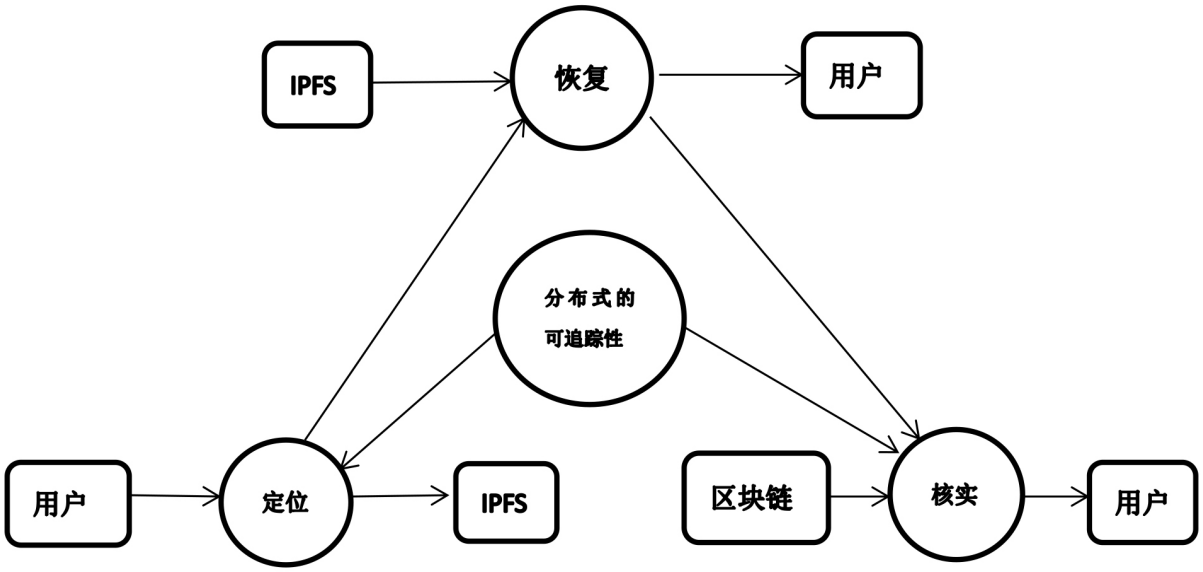

Figure 5. The use of the IPFS
图 5. IPFS 的运用

跟踪和可追溯，建立一个支持类型筛选的交互式可追溯性框架。分布式可追溯性过程分为三个阶段：定位、检索和验证，可追溯性和验证是分开的，应加强区块链共识和验证功能，并将剩余功能转移到更合适的分布式存储系统，如 IPFS (星际文件系统)，是一个点对点的超媒体传输协议，它允许我们将文件、网站和应用程序存储在一个分布式的、可验证的网络中。同时也允许我们创建一个完全分布式的应用程序，而不需要任何中央服务器。它可以使存储在 IPFS 上的文件数据，在世界上任何一个地方都可以被快速地获得，让我们访问数据更快，更安全，也更加开放。这有助于解决碳交易系统中的操纵、腐败、不透明和缺乏数据跟踪工具等问题。同时，它采用去中心化追溯流程的概念，优化追溯系统中的分布式存储结构，使整个系统不仅能满足大量的追溯请求，还能有效跟踪碳排放数据，允许您快速跟踪和跟踪公司和产品的碳足迹数据。如图 5 所示。

3.2.1. 企业与碳交易平台的绑定

由于碳排放数据的不透明性，各个企业之间无法实现数据共享，企业与碳交易平台通过区块链上传、查询和验证碳排放数据，实现各个企业之间碳排放数据的公开透明，便于进行碳交易。如图 6 所示，各企业通过 PC 端申请入区块链平台，平台返回每个企业唯一的 ID，企业在碳交易平台输入企业 ID，向区块链申请进行绑定，企业与碳交易平台通过智能合约进行绑定，并将绑定情况返回给平台。

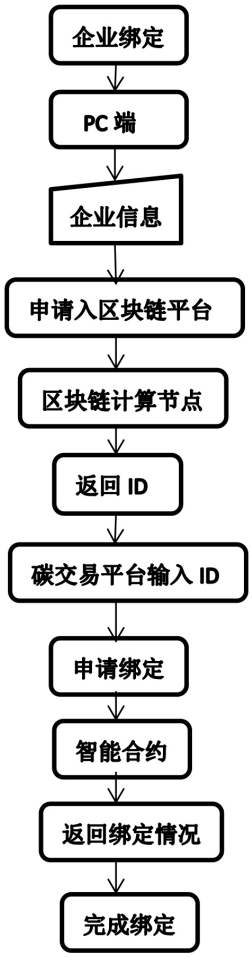

Figure 6. Enterprise binding to carbon trading platforms
图 6. 企业与碳交易平台的绑定

3.2.2. 企业上传碳排放数据和哈希值

如图 7 所示，企业与碳交易平台绑定后，定期由 PC 端上传碳排放数据，同时将计算出哈希值，计算出的哈希值与碳排放数据一并上传，在区块链中使用分布式存储确保碳排放数据的安全性。由于采用了基于区块链的分布式数据存储和分散的可追溯性过程，该存储结构在防篡改、透明性和可追溯性效率方面具有显著的优势。非常适用于缺乏信任的网络中对等交易的快速追溯和实时监控[10]。

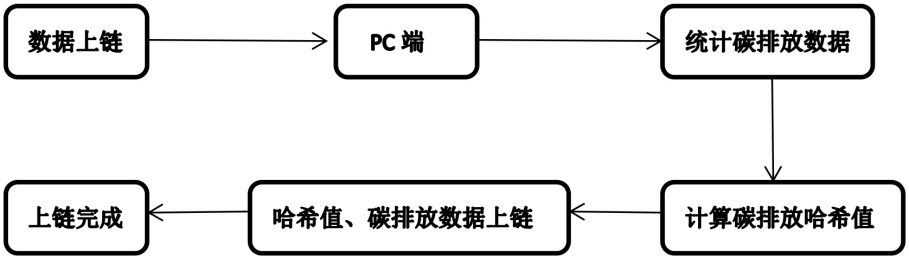

Figure 7. Upload data
图 7. 上传数据

3.2.3. 数据查询、验证

如图 8 所示，企业作为生产者、消费者，可以在碳交易平台上查询碳排放量，监管部门可以在平台上对其进行查询、验证。监管部门根据企业 ID 在碳交易平台查询验证企业储存在区块链上的碳排放量信息，区块链向平台返回碳排放量哈希值和碳排放量数据，同时计算碳排放量哈希值，并与区块链上存储的哈希值进行比较，比较一致则数据正确有效，反之则数据无效。

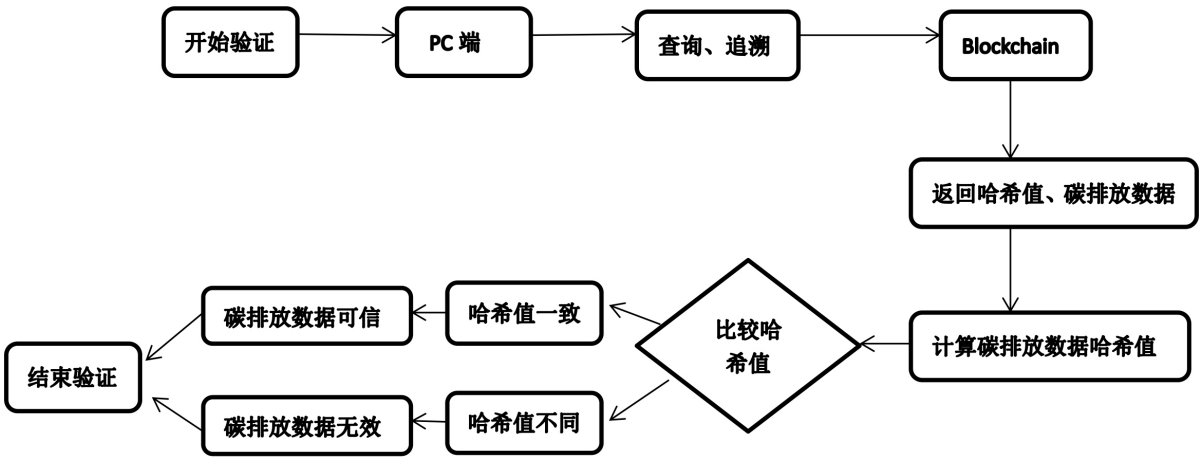

Figure 8. Data query and validation
图 8. 数据查询与验证

4. 结论

虽然物联网、大数据等先进技术正在被越来越多地运用到能源领域，但是它们在系统的稳定性、可靠性、安全性以及可管理性等方面还存在一些问题，需要政府、机构和企业进行进一步的监管、研究和解决，不要盲目地照搬照抄，要结合实际情况，具体分析实际情况和存在的问题。目前，在市场领域发展上还没有明确的行业权威标准和信用体系，因此，有必要尽快地制定出更严格、更有针对性的行业技术规范和标准，并在标准研究的基础上，构建一个能够更好地服务于社会和能源行业的认证体系，将风

险降到最低。本方案的提出，将有助于构建一个可靠、透明、高效的碳交易平台，提高碳计量的准确性，保证数据的隐私性与安全性，促进碳减排与碳交易的可持续发展。

综上所述，以“双碳”为目标的基于先进数字技术发展的产业革命显然正在中国和世界各地迅速展开，越来越多的行业正在采用 5G、大数据、云计算、物联网和人工智能等数字技术来增加对清洁可再生能源的投资和使用，促进绿色节能技术的发展，减少碳排放，让我们在应对气候变化问题时更加从容镇静，最终实现“双碳”目标，而这其中蕴含的中长期的历史发展机遇是不言而喻的。

基金项目

本研究由湖南省衡阳市科技创新平台计划(重点实验室)项目“大数据交通应急管理实验室”资助，批准号 202010041588。

参考文献

[1] 刘翔. 基于双碳目标的碳交易市场机制优化研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2022. https://doi.org/10.27175/d.cnki.gjxcu.2022.000987

[2] 盛春光, 朱琦琦, 齐雅萱, 闫琦, 王光玉. VCS 市场运营对中国国家温室气体自愿减排交易市场的启示[J]. 林业科学, 2022, 58(12): 141-154.

[3] Verra. (2023) Verified Carbon Standard. https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/

[4] 周凌. 碳汇交易基本概念与公证实务初探[J]. 中国公证, 2022(12): 38-45.

[5] 李佐军, 俞敏. 拓展碳汇市场交易, 助力生态文明建设[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2019, 33(4): 1-6.

[6] 张孟月. 李鹰: 把握碳中和的数字化“脉动” [J]. 科技与金融, 2022(5): 32-34+31.

[7] 周代运. “双碳”目标与数字经济相遇下的机遇与挑战[J]. 新经济, 2022(7): 44-49.

[8] 陈晓红, 胡东滨, 曹文治, 梁伟, 徐雪松, 唐湘博, 汪阳洁. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(9): 1019-1029. https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20210807004

[9] 逄锦超. 物联网技术在农业发展中的应用研究[J]. 农业开发与装备, 2022(7): 106-108.

[10] Ju, C.H., Shen, Z.H., Bao, F.G., Weng, P.T., Xu, Y.H. and Xu, C.H. (2022) A Novel Credible Carbon Footprint Traceability System for Low Carbon Economy Using Blockchain Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, 10316. https://doi.org/10.3390/ijerph191610316