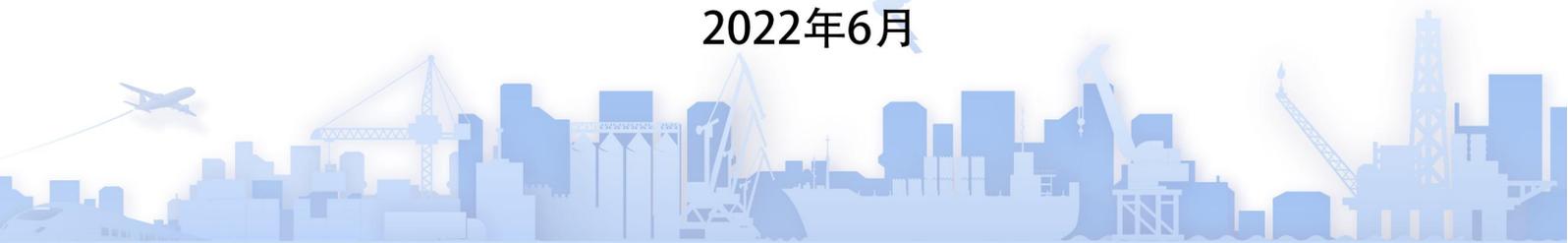


基于工业区块链的碳核查 系统研究

(征求意见稿)

牵头编写单位：中国信息通信研究院、树根格致科技（湖南）有限公司

工业互联网产业联盟
可信区块链推进计划
2022年6月



前言

为应对全球气候变化，中国于2016年11月加入《巴黎协定》，它是由全世界178个缔约方共同签署的气候变化协定，是对2020年后全球应对气候变化的行动做出的统一安排。2020年，我国明确提出了“碳达峰碳中和”战略目标，并为此采取了一系列的政策和措施，推动“碳达峰碳中和”（以下简称双碳）战略的实现。

根据我国对重点排放单位碳排放配额的政策，碳排放配额免费分配，强制清缴，自愿公平交易的政策。其中重点排放单位完成碳排放配额清缴、履约的过程中，最重要的基础数据就是其上一年度碳排放量，而该基础数据的确认，需遵循碳核查体系管理。碳核查体系下产生的碳排放报告和第三方核查报告不仅是报送国家碳排放注册登记系统的数据体系基础，也是国际社会对温室气体排放和减排监测的基本要求。

目前，国内大多数重点排放单位尚未建立精准化碳排放核算体系，排放数据基于仪表监测后手工录入，核算的真实性、准确性不足；碳核查过度依赖第三方机构进行，人力工作量大、流程繁琐；部分核查机构履职不到位，走过场，导致核查报告失实；此外，受限于核查技术和流程，各环节难以追溯，整体可信度不足；核查周期长也将导致交易期过短，履约前碳价将明显上涨，提高企业履约成本与难度。

牵头编写单位：

中国信息通信研究院

树根格致科技（湖南）有限公司

参与编写单位：

中国移动研究院

杭州产链数字科技有限公司

远光软件股份有限公司

上海万向区块链有限公司

新华三技术有限公司

西安纸贵互联网科技有限公司

杭州趣链科技有限公司

大有云钊科技（北京）有限公司



工业互联网产业联盟公众号

区块链作为新一代信息通信技术的重要演进，利用密码学技术和分布式共识协议保证网络传输与访问安全，实现数据多方维护、交叉验证、全网一致、防篡改，因此可以为碳核查中数据要素的配置管理提供新的解决方案。通过充分发挥区块链在促进数据共享、优化业务流程、提升协同效率、建设可信体系等方面的作用，能够打通企业碳核查体系中的机构间数据孤岛，提升各参与方之间的业务协同水平，助力构建企业和监管机构之间可信互联的新型碳管理生态，有效赋能碳核查体系便捷化、可信化，为推动我国绿色低碳发展贡献重要力量。

基于此，采用工业区块链技术实现碳核查信息管理是十分有意义的。本文将研究基于工业区块链技术的碳核查系统，旨在打通政府、核查机构、企业等多方参与主体，探讨其原理和基本功能需求，并从具体行业的角度入手，提出一个满足产业实际需求的技术路线以及应用思路。

编写组成员：

王锦霞、龙文选、邱夕凡、魏凯、张奕卉、刘宾、董宁、张雯、董文宇，李志平、陶祥忍、张瑛、蒋永亮、鲁静、齐荣、曾梦露、陈小泉、孙晨峰、杜澎、文晋阳、陈昌、杨文韬、杨珍、张耀龙，李立中

声明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟（AII）和可信区块链推进计划（TBI）所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：a i i @ c a i c t . a c . c n

目 录

1. 碳核查	1
1.1 碳核查定义及参与主体	1
1.2 碳核查的重要性	3
1.3 研究基于工业区块链的碳核查系统的必要性	4
1.3.1 当前碳核查体系存在的挑战	4
1.3.2 国内外碳核查新技术应用现状	5
1.3.3 基于工业区块链的解决方案	6
1.3.4 为碳交易市场建设打造坚实基础	7
2. 碳核查中的工业区块链原理	8
2.1 工业区块链需求分析	8
2.2 各参与主体的目标	9
2.3 基于工业区块链的碳核查系统原理和方法	10
2.3.1 基于工业区块链的碳核查系统概述	10
2.3.2 区块链技术	11
2.3.3 工业互联网技术	14
2.3.4 工业区块链碳核查原理	17
2.4 基于工业区块链的碳核查系统难点和问题	20
2.4.1 数据安全和保密性	20
2.4.2 数据可控共享	21
2.4.3 IoT 采集数据的真实性	22
2.4.4 数据查验	23
3. 基于工业区块链的碳核查系统	24
3.1 概述	24
3.2 系统整体框架	24
3.2.1 企业碳核查网络	27
3.2.2 其他主体的碳核查网络	29
3.3 工业互联网应用要求	30
3.3.1 规范性要求	30
3.3.2 安全性要求	30

3.3.3	一致性要求	30
3.3.4	可逆性要求	31
3.4	区块链应用要求	31
3.4.1	标准性要求	31
3.4.2	安全性要求	32
3.4.3	保密性要求	33
3.4.4	隔离性要求	33
3.4.5	共识要求	34
4.	行业应用设计举例	34
4.1	企业应用设计	34
4.1.1	行业应用需求分析	34
4.1.2	应用总体设计	35
4.1.3	生产层	36
4.1.4	IoT 数据采集层	36
4.1.5	排放源数据核算层	36
4.1.6	碳核查管理层	37
4.1.7	接口层	37
4.1.8	区块链系统层	37
4.2	碳核查机构应用设计	38
4.2.1	碳核查机构需求	38
4.2.2	碳核查机构应用总体设计	39
4.2.3	核查计划制定	41
4.2.4	原始数据核查	41
4.2.5	排放数据核查	41
4.2.6	不符合项整改监督	42
4.2.7	核查报告管理	42
4.3	生态环境部门应用设计	43
4.3.1	生态环境部应用设计	43
4.3.2	省级生态环境主管部门应用设计	45
4.4	地方政府应用设计	48
4.4.1	碳排放数据管理	48

4.4.2 深度分析	51
4.5 注册登记机构应用设计	52
4.5.1 账户管理功能	53
4.5.2 碳排放权登记	53
4.5.3 信息查询	54
4.5.4 履约管理	54
4.5.5 持仓划转	55
4.5.6 自愿注销	55
4.5.7 结算	55
5. 未来展望	56
6. 参考资料	57



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

1. 碳核查基础理论

1.1 碳核查定义及参与主体

2021年3月29日，生态环境部印发了《企业温室气体排放报告核查指南（试行）》（简称《指南》）的文件，定义了碳核查，即“根据行业温室气体排放核算方法与报告指南以及相关技术规范，对重点排放单位报告的温室气体排放量和相关信息进行全面核实、查证的过程。”^[1]

根据《碳排放权交易管理办法（试行）》^[2]（简称《交易管理办法》）和《指南》规定，以下五类组织和企业是碳核查系统的主要参与者：

（1）温室气体重点排放单位

列入温室气体重点排放单位（以下简称重点排放单位或（控排）企业）名录的企业须满足两个条件：

- A. 属于全国碳排放权交易市场覆盖行业；
- B. 年度温室气体排放量达到2.6万吨二氧化碳当量。

重点排放单位是被核查的主体。

（2）生态环境主管部门

生态环境主管部门包含隶属于中央的生态环境部、隶属各省/市政府的生态环境主管部门。

生态环境部负责制定全国碳排放权交易及相关活动的技术规范，加强对地方碳排放配额分配、温室气体排放报告与核查的监督管理，并会同国务院其他有关部门对全国碳排放权交易及相关活动进行监督管理和指导。

省级生态环境主管部门负责在本行政区域内组织开展碳排放配额分配和清缴、温室气体排放报告的核查等相关活动，并进行监督管理；设区的市级生态环境主管部门负责配合省级生态环境主管部门落实相关具体工作，并根据本办法有关规定实施监督管理。对发现的重点企业碳排放数据质量问题，如虚报、瞒报、数据造假等违规行为，可以对企业进行处罚，将问题进行上报。

两级生态环境主管部门职责分工，是碳核查工作的主要管理者。

（3）全国碳排放权注册登记机构/全国碳排放权交易机构

全国碳排放权注册登记机构通过全国碳排放权注册登记系统，记录碳排放配额的持有、变更、清缴、注销等信息，并提供结算服务。全国碳排放权注册登记系统记录的信息是判断碳排放配额归属的最终依据。

全国碳排放权交易机构负责组织开展全国碳排放权集中统一交易。

全国碳排放权注册登记机构和全国碳排放权交易机构应当定期向生态环境部报告全国碳排放权登记、交易、结算等活动和机构运行有关情况，以及应当报告的其他重大

事项，并保证全国碳排放权注册登记系统和全国碳排放权交易系统安全稳定可靠运行。

(4) 省市地方政府

省市地方政府对本地区的环境质量负责，在国家双碳战略中，地方政府承担着对本地企业碳排放的管理、监督、指导的责任。

省市地方政府主要由本省市生态环境主管部门完成该部分工作，其他部门如发改委、能源局可以指导、协调工作。

(5) 核查机构

碳核查的工作可由省级生态环境主管部门及其直属机构承担，也可通过购买服务的方式委托技术服务机构承担。技术服务机构应当对提交的核查结果的真实性、完整性和准确性负责。

技术服务机构应是经过资质审核批准的机构，使用拥有碳核查资格人员。

以上五类机构在碳核查工作中的关系如下图 1.1-1 所示。

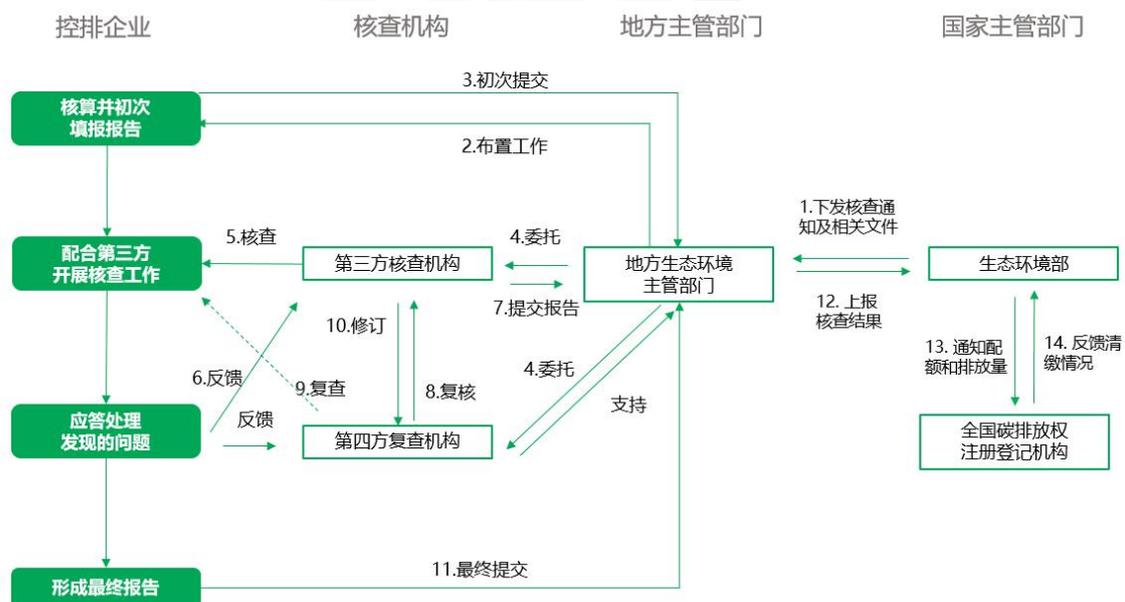


图 1.1-1 当前碳监控报告核查体系及机构间关系

《指南》规范的核查程序包括三个阶段八个步骤。碳核查工作流程图见图1.1-2。



图 1.1-2 碳核查工作流程

1.2 碳核查的重要性

为保证双碳战略的实施，国家制定了一系列措施，包括产业升级、绿色能源替代、推广节能技术、提升全民认知、建立市场调节机制等。在碳交易所建立市场调节机制中，重点排放单位所提供的企业碳排放数据的准确性是重要基础，对企业碳排放数据报告的核查是保证数据准确性的重要环节。

(1) 碳核查是企业碳排放报告合法的必经步骤

根据《交易管理办法》第二十六条，核查结果应当作为重点排放单位碳排放配额清缴依据。如核查技术工作组在《核查报告》中指出“不符合项”，企业需要在指定时间内完成整改并经过复查。

(2) 碳核查是规范企业碳排放报告的重要手段

部分重点排放单位出具的碳排放数据报告，存在以下问题：

- 排放源覆盖不全面或者不合理
- 参数和方法不准确或错误
- 报告内容不规范
- 漏报、瞒报、原始数据造假^{[3][4]}
- 报告不及时

核查机构在政府指导下的介入，能够敦促企业及时报告，检查和纠正错误，整改问题，并配合政府部门及时干预。

(3) 碳核查是政府为企业分配碳排放配额的重要依据

确定企业碳排放配额有多种基础方法，如基准线法、历史强度法、历史排放法等，

这些方法都与企业、相关行业的历史排放数据相关。此外，政府在考虑给企业发放配额时，还会综合考虑地区、相关行业的情况。

目前对企业初始配额发放相对宽松，随着碳达峰时间的日益临近，以及历史数据的累积，整体的配额发放会越来越严格，针对企业的配额发放也会更加准确。对重点排放单位的碳核查，既是确定企业是不是重点排放单位的基础，也是企业获得配额的基础。

（4）碳核查是碳排放权交易市场公平公正、有序健康发展的基础

碳排放权交易市场是利用市场机制推进企业节能减排的重要手段。

目前国内企业碳排放配额由政府免费发放，如果配额发放太宽松，不利于我国双碳战略的有效推进，如果配额发放太紧，部分企业仍然处于快速发展期，企业产能产值持续增加，企业获得的配额不足，需要购买碳排放配额，企业成本增加，短期内对国家和企业的发展竞争不利。

部分企业基于自身利益的追求，存在少报、虚报企业碳排放情况，以争取更多碳排放配额。其结果是，一方面政府不能掌握企业的真实碳排放情况，另一方面，影响碳排放交易市场调节机制的有效性。

通过碳核查，让重点排放单位的真实碳排放情况暴露出来，让重点排放单位获得的碳排放配额既满足企业发展的需要，符合国家的长远战略，是利国利企的措施，也是碳排放权交易市场公平公正、有序健康发展的基础。

（5）碳核查保证国家双碳战略有效执行的重要手段

从政府的角度看，碳核查作为碳减排的第一步，作用至关重要。碳核查可以帮助摸清碳家底。只有摸清碳家底，才能够制定出合理的碳减排策略，推动碳减排任务向前迈进。同时，通过碳核查工作，还可以帮助各行各业构建低碳思维，树立低碳发展理念，助力碳交易市场健康有序发展，为早日实现我国“碳达峰碳中和”目标奠定基础。

目前我国还处于碳达峰的过程中，参与企业不多，市场机制处在形成过程中，碳交易价格与欧美市场相比，价格较低，企业的重视程度不够。但是，随着碳达峰的时间越来越近，国家的政策也会越来越严厉，企业必将越来越重视。

1.3 研究基于工业区块链的碳核查系统的必要性

1.3.1 当前碳核查体系存在的挑战

建立精准可信的碳核查体系是实现国家“双碳”目标的有力抓手。目前，国内重点排放单位主要集中在能源、化工、矿业等工业领域，相关企业在面临国内外碳减排的压力和挑战时，必须采取实质性的措施予以应对，而碳核查作为碳排放量化的基础，已经成为控排企业碳中和路径和监管部门碳管理体系构建的关键要素。

碳核查环节涉及到排放单位、核查机构和监管部门等多方参与，业务环节繁多复杂，

如何建立起各方之间的信任机制和业务协同体系对于碳核查整体优化至关重要，日渐成为业界共识。

目前，国内大多数重点排放单位尚未建立精准化碳排放核算体系，排放数据基于仪表监测后手工录入，核算的真实性、准确性不足；碳核查过度依赖第三方机构进行，人力工作量大、流程繁琐；部分核查机构履职不到位，走过场，导致核查报告失实；此外，受限于核查技术和流程，各环节难以追溯，整体可信度不足；核查周期长也将导致交易期过短，履约前碳价将明显上涨，提高企业履约成本与难度。

当前碳核查体系中存在的另一个问题是企业报告和事后核查信息滞后。由于企业是在当年报告前一年的碳排放数据，即使企业完成了配额清缴，也难以对正在进行的工作及时提出指导意见；当地管理部门难以了解企业实际情况，难以对区域内的双碳工作进行及时的监督和指导，对区域内以及国家的双碳战略的执行产生不利影响。

1.3.2 国内外碳核查新技术应用现状

科技是“双碳”目标实现的重要支撑，“双碳”同样也成为全球科技创新的新赛道。近年来，围绕碳达峰、碳中和，多国政府在推进本国碳中和目标过程中不断强化对新技术的重视程度，科技界和产业界也面向碳核查、碳足迹积极布局了一系列新技术新应用，并取得了众多有价值的成果。

国际方面，美国能源局（DOE）贷款担保计划办公室将智能化分布式能源、微电网、工业废物回收等纳入支持范围，鼓励利用物联网、人工智能等创新技术减少温室气体排放。欧盟在“地平线欧洲”（Horizon Europe）计划中宣布未来两年将提供 7.24 亿欧元拨款支持制造业和建筑业的数字化并减少行业碳足迹^[5]。美国 Kuva 公司提出的工业物联网解决方案，通过边缘计算平台可实时可持续监控和量化甲烷和 VOC 排放的强度，然后将量化的可视化数据实时传输到云端，在云端对数据进行分析处理从而指导碳排放企业运营决策^[6]。欧洲 Everimpact 公司通过卫星图像和地面传感器的使用来持续测量城市温室气体排放量，并基于数据分析为城市确定减排举措提供支撑，目前已在伦敦、巴塞罗那、马德里、波尔图等八个不同规模的欧洲城市实现推广应用^[7]。

国内方面，我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系中明确提出要推动大数据、人工智能、5G 等新兴技术与绿色低碳产业深度融合；推进工业领域数字化智能化绿色化融合发展。数字化正成为我国实现碳中和的重要技术路径，为应对气候变化贡献重要力量。其中，国家电网建设的基于区块链的碳核查服务平台，能够充分挖掘电力大数据在碳核查中的应用价值，基于上网电量、用电量等电力数据，利用算法模型更高效、实时测算和展示碳排放量、绿电发电量预报、绿电消费量等碳核查信息，助力政府精准决策，引导企业减排减碳。唯链推出的区块链碳足迹追溯 SaaS 平台能快速实现碳足迹精准追溯，为企业积淀碳相关数据，优化自身碳足迹从追溯到终端呈现的全过程。蚂蚁集团提出的蚂蚁

链企业碳中和管理 SaaS 产品——碳矩阵，可以实现碳排放、碳减排、清结算、监管、审计等过程公开透明，相关记录可随时追溯查证，同时实现企业碳中和数据统一平台管理以及数据可视化^[8]。

1.3.3 基于工业区块链的解决方案

区块链作为新一代信息通信技术的重要演进，利用密码学技术和分布式共识协议保证网络传输与访问安全，实现数据多方维护、交叉验证、全网一致、防篡改，因此可以为碳核查中数据要素的配置管理提供新的解决方案。通过充分发挥区块链在促进数据共享、优化业务流程、提升协同效率、建设可信体系等方面的作用，能够打通企业碳核查体系中的机构间数据孤岛，提升各参与方之间的业务协同水平，助力构建企业和监管机构之间可信互联的新型碳管理生态，有效赋能碳核查体系便捷化、可信化，为推动我国绿色低碳发展贡献重要力量。

一方面，基于区块链多方共识、不可篡改、全程可追溯等技术特性能够推动现有碳核查体系变革，通过区块链技术与工业互联网等技术的融合使用，能够保障碳排放数据源头采集和报告的真实可信，简化企业核查流程，帮助控排企业摸清家底，便于监管部门便捷查看和验证相关数据，有效促进了要素在多方之间的高效流转，显著提升了业务整体效率和透明程度；另一方面，区块链技术还能够切实保障企业上链数据的隐私和安全，解决企业数据上链的后顾之忧。此外，通过摸清企业“碳家底”，开展碳排放数据监测、统计、核算、核查，能够帮助企业确定碳资产管理工作重点，引领工艺和服务创新，增强企业的价值获取能力。

基于工业区块链的碳核查系统相比当前的核查体系，具有以下优势：

能力改进	当前碳核查体系	基于工业区块链的碳核查系统
企业连通性	无	通过互联网连通企业信息化系统，让企业碳核查相关数据能够直接连接和报送
快速采集能力	企业通过环境信息平台自主报告，当年报送前一年的数据	通过互联网连通企业信息化系统，让企业碳核查相关数据直接连接平台和发送报告。建议采用碳核查系统的企业，每月自动发送一次报告。
数据真实性	通过碳核查体系保证	部分数据通过工业互联网自动采集，手工数据通过及时上链保证不可篡改性，增加报告频率，在此基础上结合 MRV 体系保证数据真实性
数据真实性可验证能力	人工检查	部分数据通过工业互联网自动采集，手工数据通过及时上链保证不可篡改性，采集/输入的时间、设备、人员、行为可验证可追溯，上链数据不可篡改

预警能力	无,或者年度颗粒级别事后预警	可以将报告能力细化到月度甚至更细,从而可以采用人工智能技术,对异常能耗进行预警和查证。
为政府决策提供帮助	年度颗粒报告	月度颗粒甚至更细粒度的报告,可以提供更精细化的决策帮助,以及事中的帮助和管理。
在线核查	无	支持在线核查

当前,“数字化”和“绿色化”正在成为后疫情时代全球经济复苏的主旋律,构建基于工业区块链的碳核查系统是对国家“双碳”战略的积极响应,能够有效支撑企业碳足迹全生命周期的可信记录、碳排放全要素的可信流转,为企业碳资产管理提供更安全、更高效、更经济的交易环境,为监管部门提供可视、可信、可靠的技术支撑,助力行业 and 全社会实现碳达峰、碳中和。

1.3.4 为碳交易市场建设打造坚实基础

2021年7月,我国全国碳排放权交易市场正式启动,备受瞩目的全国碳市场正式开始上线交易。全国碳市场将在全社会范围内形成碳价信号,为整个社会的低碳转型奠定坚实基础^[9]。碳交易将碳排放权视作以气候环境资源使用权为实质的发展权,在赋予碳排放权商品化属性前提下,以市场化机制的效率原则解决环境治理问题,实施碳交易具有明显成本与收益效应,能以较低成本解决环境治理。

精准可信的碳核查体系是碳交易市场健康运行的基础。只有保证碳排放的可确权、可追踪,才能实现碳排放权的后续流转及交易,从而更好地支持相关节能低碳工作。目前,碳交易市场存在交易主体间信息不对称、碳交易市场信息不透明等问题,低透明度使交易者对市场缺乏信心,也妨碍了碳排放企业对自身碳资产进行有效评估和管理。

随着区块链技术的不断发展,该技术已成为企业走低碳转型之路的重要工具之一,能够有效解决工业碳排放领域数据不可信、事后难溯源等问题,有效提升数据实时性、精确度和可信度。基于区块链融合工业互联网等新技术形成的多方共建、灵活互动的碳资产管理模式,能够实现从排放权获取、交易、流通,到交易核消、统计的全流程数据上链存储与可信共享应用,构建各环节、全流程可视的交易监管环境,推动碳排放权交易市场的透明化、有序化,构建多方背书、数据协同、不可篡改的信任生态。

构建基于工业区块链的碳核查系统是推动国家碳交易市场规范化、良性化发展的重要手段,通过保障碳排放源头数据和流转过程中的真实可信,解决信息不对称问题,提升交易过程的通透性,实现多个主体之间的协作信任与一致行动,助力碳市场合规体系建设。

2. 碳核查中的工业区块链原理

2.1 工业区块链需求分析

我们先从《指南》的角度探讨碳核查流程中哪些地方适合采用工业区块链。

生态环境部印发的《指南》是我国对重点排放单位进行碳核查工作的纲领性文件，《指南》规定了重点排放单位温室气体排放报告的核查原则和依据、核查程序和要点、核查复核以及信息公开等内容。核查的依据是《交易管理办法》、生态环境主管部门的工作通知、相关标准和技术规范。

《指南》规定的“八步骤”碳核查流程，便于各执行部门有章可循，也有利于用信息系统实现流程化。碳核查系统可以遵照以上流程，应用新技术，给出高效合理的方案。

核查程序包括核查安排、建立核查技术工作组、文件评审、建立现场核查组、实施现场核查、出具《核查结论》、告知核查结果、保存核查记录等八个步骤。

核查工作的第一步是核查安排。省级生态环境主管部门应综合考虑核查任务、进度安排及所需资源组织开展核查工作。通过购买技术服务进行核查工作的，技术服务机构需要建立有效的风险防范机制，完善管理，确保公正公开。碳核查系统中宜提供基于区块链的“服务机构认证管理”，只有通过资质审查或认证的机构可以承担碳核查工作^[10]；主管机构的工作计划、实施过程和结果应上链记录，支持审计功能，协助服务机构持续提升服务质量。

核查工作的第二步是建立核查技术工作组。省级生态环境主管部门应根据核查任务和进度安排，建立核查技术工作组，技术工作组至少2名成员组成，1名具有专业知识和工作经验，确定成员任务分工。因此，碳核查系统可以建立基于区块链的“专业人员认证管理”，核查组专业岗位应由具有核查资格的人员担任，核查机构和人员的相关资质上链，核查工作的计划、实施过程和结果上链记录，支持审计功能，协助专业人员持续提升服务质量。

核查工作的第三步是文件评审，技术工作组可根据核查工作需要，调阅重点排放单位提交的相关支撑材料。相关文件和数据的获取可能涉及到敏感的隐私数据，碳核查系统宜提供基于区块链和隐私计算的“数据远程调阅”功能，既可支持数据“可用不可见”，又可通过权限管理实现数据的申请、审批、调阅等流程，确保数据安全，支持过程审计，确保评审过程中对企业数据的使用合法合规。

接下来是现场核查。技术工作组根据《现场核查清单》，对被核查单位收集相关证据和支撑材料，填写《现场核查清单》的核查记录并报送技术工作组，按《现场核查清单》开展核查工作。除了采用查、问、看、验等传统方法之外，可以充分利用工业互联网技术，从多个维度检查数据一致性，并验证与区块链数据存证系统的存证一致，确保数据真实可信。碳核查系统在此可以提供的核心功能包括：1) 是基于区块链的“原始

数据实时哈希存证”，被检测企业定期将被核查相关数据打包计算哈希上链，作为后续核查工作的可信依据；2）“定期产生的自查报告”，核查机构平时不参与，但是可以根据异常告警进行问询和资料调阅。

技术工作组出具《核查结论》并提交省级生态环境主管部门。核查结论的提出、评审、修改和通过记录，在区块链系统存证。省级生态环境主管部门应将《核查结论》告知重点排放单位；如认为有必要进一步提高数据质量，可在告知核查结果之前，采用复查的方式对核查过程和核查结论进行书面或现场评审。复查评审的过程和结论，也在区块链存证系统保留存证。

根据《指南》第 2.1 节规定，重点排放单位是指全国碳排放权交易市场覆盖行业内年度温室气体排放量达到 2.6 万吨二氧化碳当量及以上的企业或者其他经济组织。但是一个企业的年度碳排放具体是多少，是否达到 2.6 万吨，必须经过企业申报、核查机构核查后才知道，所以，对于域内产值大、能耗高的企业，当地政府会要求企业进行申报，了解其碳排放的情况，再决定企业是否进入了“重点排放单位”列表。当前，各地向政府提供报告的企业，比《指南》规定的“重点排放单位”要多很多。可见，一旦基于工业区块链的碳核查系统能够推广起来，未来潜力巨大。

以上分析总结一下，第一，信息化是碳核查工作的基础，需要将各种资料保存到信息系统中，形成电子证据；第二，碳核查所需很多电子信息的采集和录入，已经在现有的信息化系统中，通过与企业现有信息化系统进行打通，可以减少数据采集工作的难度，是本系统的基础和重点；第三，碳核查工作中关于核查机构和核查人员的管理，可以利用信息系统加强；第四，基于信息化系统增加数据上传的频率，加强平时的数据管理，预期能够改善数据质量，对年度的核查工作有很大帮助。

2.2 各参与主体的目标

基于工业区块链的碳核查系统总目标是设计一个能够将重点排放单位的碳核查数据连通和收集起来，帮助快速、准确、高效完成碳核查工作，为国家提供碳排放基础数据的业务系统。

根据以上总目标，我们将总目标分解到五类主要参与主体，为各主体设计子目标。

(1) 重点排放单位

重点排放单位是数量最大的参与主体，他们参与碳核查工作是响应政府监管要求，承担社会责任。参与以工业区块链为底层支持的碳核查系统，一方面体现了企业对该项工作的支持，另一方面也体现出企业在该方向的前瞻性。

企业参与本系统，提供核查所需要的数据，系统首先必须保护好企业自身的数据安全，不能被非授权机构获得，不使企业数据被滥用；其次，企业采用工业互联网收集碳排放数据，能够帮助降低企业提高能源管理水平，优化能耗结构，了解其在行业中的能

耗水平，促进能源改革，节约碳排放数据收集的人力投入等。

(2) 生态环境主管部门

生态环境主管部门的目标可以从相关法律法规为其规定的工作职责中分解。生态环境部的任务和目标是通过监督执行碳配额管理，让全国的双碳工作有计划、有秩序、公平地执行，达成我国双碳工作总体目标。通过将全国的碳配额分配、执行到每个省、每个企业，通过核查机构保证企业的真实、可信，通过企业清缴机制和碳排放权交易市场，逐渐建立长效的市场调节机制，引导高耗能技术和产品加快退出企业和市场的步伐。

在碳核查工作中，生态环境部门一方面要抓好核查机构、核查人员的准入和管理；另一方面，通过核查机构和人员对企业碳排放数据的质量进行规范、有力的约束；部级机关抓机构和人员管理、抓配额、抓规范，省级机关抓落实，共同做好碳核查工作；充分利用核查系统的成果，掌握本省重点排放单位的情况；协助执行国家和本地对碳排放配额的分配；通过调节企业配额、强制清缴配额等方法，逐渐达到淘汰落后产能的目的。

(3) 全国碳排放权注册登记机构/碳排放权交易机构

碳排放权注册登记机构/碳排放权交易机构的目的是用市场机制引导企业节能减排的重要手段，他们是在基于准确的企业碳排放数据的基础上，为方便企业清缴履约、以经济方式奖励优秀、惩罚落后机制的一个环节。

(4) 地方政府

地方政府的目標包括：充分利用碳核查系统的成果，掌握本省重点排放单位的情况，合理制定地方的双碳战略，达成本地区双碳目标；制定和实施碳排放工作优秀企业的鼓励政策，稳健推进双碳工作和核查工作；通过同类型企业的横向比较，可以帮助企业分析和寻找节能减排的正确方法，提升本地区企业的水平。

(5) 核查机构

核查机构通过系统审核被核查单位的基础信息、原始数据、凭证等信息满足碳核查所要求；查证企业自查报告合理正确；为被核查企业出具有核查报告；核查过程中有效保护企业数据不被非授权机构获得，不让企业数据被滥用。

2.3 基于工业区块链的碳核查系统原理和方法

2.3.1 基于工业区块链的碳核查系统概述

基于工业区块链的碳核查系统，利用工业互联网和区块链两种技术的结合，为企业实现人、机、物、系统等的全面连接，形成满足碳核查需要的素材收集、汇总和核查报告，并合理展示，方便核查机构快速出具核查报告，帮助各级政府和主管机构尽快获得

所需区域或行业碳排放情况，提升政府双碳管理能力。

2.3.2 区块链技术

2.3.2.1 区块链的定义

区块链技术是一系列技术的融合性技术，包括分布式账本、共识机制、密码学、P2P网络、智能合约、隐私计算等相关技术，是将区块以时间顺序相连的方式且相邻区块通过首尾哈希值单向连接而组合形成的一种链式数据结构，由分布式节点共同参与记账且共同维护一份完整分布式账本的技术，基于这些技术，可以帮助实现数据的去中心化、安全共享、防篡改和可追溯等应用特性。

2.3.2.2 区块链的技术特点

区块链包含分布式账本、共识机制、密码学、P2P网络、智能合约、隐私保护等相关技术。

(1) 分布式账本

区块链本质上是一个分布式账本系统，所有参与区块链的节点通过共识，都拥有一份一模一样的账本，任何账本的修改都会体现在所有人的账本中，因此，区块链分布式账本体系设计至关重要。区块链通过分布式账本加共识机制，实现了区块链的不可篡改性。

(2) 共识机制

共识机制是区块链的核心技术之一，能够确保区块链上所存储的交易信息是合法有效的，并且能够保证链上数据始终分布一致性。目前常见的共识机制包括公有链常用的工作量证明机制（PoW）、权益证明机制（PoS）和委托权益证明机制（DPoS）以及联盟链常用的BFT类拜占庭容错算法（如PBFT）。

(3) 密码学

区块链中使用的密码学主要包括Hash算法、加解密算法、数字证书和数字签名等算法。

1) Hash算法。

Hash（哈希或散列）算法将任意长度的二进制值（明文）映射为较短的固定长度的二进制值（hash值），不同的明文很难映射为相同的hash值，并且不能通过hash值还原明文信息。

2) 加解密算法

加密指通过加密算法和公钥，对明文加密获得密文。解密指通过解密算法和私钥，对密文解密，获得明文。根据公钥和私钥是否相同，算法可以分为对称加

密和非对称加密。

对称加密指公钥和私钥是相同的加密，代表算法包括 DES、3DES、AES、IDEA 等。适用于大量数据的加解密，不能用于签名场景。

非对称加密指公钥和私钥是不同的加密。公钥一般是公开的，人人可获取的，私钥一般是个人自己持有，不能被他人获取。代表算法包括 RSA、ElGamal、椭圆曲线系列算法。一般适用于签名场景或密钥协商，不适用于大量数据的加解密。

3) 数字签名

数字签名类似于在纸质合同上签名确认合同内容，数字签名用于证实某数字内容的完整性和来源。

4) 数字证书

非对称加密系统中，很重要的一点就是公钥的分发。一旦公钥被人替换，则整个安全体系将被破坏掉。数字证书引入了证书认证机构(Certification Authority, CA)来签发，用来证明某个公钥的所有人。数字证书中最重要内容包括签发的公钥、CA的数字签名两个信息。通过CA的数字签名证明某个公钥是合法的。PKI(Public Key Infrastructure)体系是使用最广泛的一套完整的证书管理的框架。

(4) P2P 网络

P2P 网络又称对等网络，即对等计算机网络，是一种在对等者(Peer)之间分配任务和工作负载的分布式应用架构，是对等计算模型在应用层形成的一种组网或网络形式。

(5) 智能合约

智能合约是一种无需中介、自我验证、自动执行合约条款的计算机协议。区块链技术可以为智能合约提供一种高度信任的环境，智能合约允许在没有第三方的情况下进行可信交易，这些交易可追踪且不可逆转。其具有规则公开透明、自动执行、无人工干预、去中心化、共识产生等特点。

(6) 区块链中的隐私保护技术

区块链中的隐私保护方式主要包括分区共识、隐私交易、加密上链、合约访问控制等。

1) 分区共识：使用者可以按照业务交易进行分区的划分，同一个区块链网络中的节点按照其所参与的业务组成以分区为粒度的子网络，类似于群聊的概念，隐私数据通过建立一个私密的群组(分区)，在该群组(分区)进行共享和存储，通过群组(分区)之间独立和隔离的方式达到隐私保护的效果。

2) 隐私交易：隐私交易发送交易时指定该笔交易的相关方，该交易明细只在相关方存储，隐私交易的哈希在全网共识后存储在公共账本，既保证了隐私数据的有效隔离，又可验证该隐私交易的真实性。

3) 加密上链：对于某些高敏感信息，若与交易和账本无强相关性，则可将数据

明文在上链之前以对称加密的方式进行加密，将隐私数据保护起来。或者也可以将原始数据和文件在链下保存，通过哈希的方式仅将其数字摘要保存到链上，同时解决数据容量和数据敏感的问题。

4) 合约访问控制：合约编码者可以通过智能合约和访问控制策略来限制访问数据的角色和用户，即在合约中针对节点、角色、用户定制不同的合约函数访问权限。合约编码者可以在合约中为一些高权限的函数设置权限控制，使得该函数只能被固定地址的调用者调用，从而实现访问权限控制。

5) 隐私计算：隐私保护计算是指在保护数据本身不对外泄露的前提下实现数据分析计算的技术集合。主流的隐私保护计算方式有三种，分别是多方安全计算、联邦学习和可信执行环境 TEE。

2.3.2.3 区块链如何赋能碳核查

(1) 区块链提升原始数据真实性

通过物联网技术获得企业实时碳排放信息，然后通过区块链技术对每个企业的碳排放信息进行实时存证和随时验证，减少和避免碳排放的虚假信息披露，为政府向企业分配碳排放配额提供了重要依据。

(2) 区块链为远程数据核查和自动报告提供手段

通过区块链+物联网技术获取了企业真实的碳排放数据，能够帮助第三方核查机构从链上快速核查企业碳排放数据和记录，确认数据的真实性。采用智能合约在规定的时间节点出具自查报告。

(3) 区块链为碳交易提供可信基础

碳交易市场存在交易主体间信息不对称、碳交易市场信息不透明等问题，低透明度使交易者对市场缺乏信心，也妨碍了碳排放企业对自身碳资产进行有效评估和管理，基于区块链技术，能够实现从排放权配额获取、碳资产交易、流通、配额清缴、报告的全流程数据可信存证和共享，构建各环节、全流程可视的监管环境，推动碳排放权交易市场发展，降低了交易风险。

(4) 区块链保障用户和物联网身份安全

支持基于区块链的身份管理和密钥管理，负责向收集碳核查数据的物联网设备需要在区块链系统内注册，具备可信身份，才能实现链下物联网数据的可信上链；用户身份需要在 CA 机构进行注册，才能加入到联盟链中，才能获取到链上的碳核查和碳资产数据。

(5) 区块链保护碳资产数据的隐私安全

在将碳资产数据上链存储时，通过区块链技术和隐私保护技术，可以保证数据的隐私安全，比如，可以通过分区共识、隐私交易、加密上链、合约访问控制和隐私计算技术来保护碳资产数据的隐私性。

2.3.3 工业互联网技术

2.3.3.1 物联网

以工业互联网、智能家居、智慧城市、车联网等应用场景为代表的 IoT 技术已成为新型动态网络发展的核心技术之一。从智能设备的快速发展，到网络性能的日益提升，“万物互联”已成为当前不可阻挡的趋势，也展现了 IoT 在下一代互联网技术发展中举足轻重的地位。

物联网（Internet of Things，简称 IoT）是指通过各种信息传感器、射频识别技术、主动标识载体、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等各种装置与技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，通过各类可能的网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。物联网是一个基于互联网、传统电信网等的信息承载体，它让所有能够被独立寻址的普通物理对象形成互联互通的网络。物联网的特征是：

（1）物联网具有全面感知、可靠传递、智能处理等主要特征。其中，全面感知特征是指利用 RFID、传感器、二维码等随时随地获取物体的信息。通过约定统一的通信协议实现物物相连，通过软硬件协议转换，保证物品与平台之间的信息实时、准确传递；最后，通过云计算、人工智能等智能计算技术，对海量数据进行存储、分析和处理；针对不同的应用需求，实现对物品实时智能化的处理，实现对各种物品（包括人）进行智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等功能。

（2）物联网和工业的结合形成工业物联网，工业物联网是将具有感知、监控能力的各类采集、控制传感器或控制器，以及移动通信、智能分析等技术不断融入到工业生产各个环节，从而大幅提高制造效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗，最终实现将传统工业提升到智能化的新阶段。工业物联网应用领域包括制造业供应链管理、生产过程工艺优化、生产设备监控管理、环保监测及能源管理、工业安全生产管理、管理决策。

在碳核查系统中，首先，物联网极大提高碳核查准确性：依托物联网技术，企业每个生产环节的碳足迹都可以实时监控、记录及分析，大大提升了碳排放数据获取的精准性、便捷性，便于企业进行更加精准、高效的碳核查，企业依据数据有针对性地进行节能减排改进，助力企业实现碳中和目标；其次，物联网可以解决碳数据时效性：我国碳排放监测统计主要采取物料核算法，该方法被认为受外部因素干扰较多。用物联网技术可实现对碳排放、碳减排及碳汇数据的实时采集传输，构建实时碳核算体系，改变以往由于数据周期长而带来的无法及时量化碳中和路径、无法实时指导企业交易等问题；第三，采用具有身份标识的终端设备、仪表（如支持区块链 CA 身份认证、主动标识载体

等技术)采集数据,及时上链,可以更好地保证数据源头的真实性。

2.3.3.2 云计算

云计算概念:

云计算(Cloud Computing)是一种通过网络统一组织和灵活调用各种 ICT 信息资源,实现大规模计算的信息处理方式。云计算利用分布式计算和虚拟资源管理等技术,通过网络将分散的 ICT 资源(包括计算与存储、应用运行平台、软件等)集中起来形成共享的资源池,并以动态按需和可度量的方式向用户提供服务。

云计算的特征:

云计算具备四个方面的核心特征:一是宽带网络连接,“云”不在用户本地,用户要通过宽带网络接入“云”中并使用服务,“云”内节点之间也通过内部的高速网络相连;二是对 ICT 资源的共享,“云”内的 ICT 资源并不为某一用户所专有;三是快速、按需、弹性的服务,用户可以按照实际需求迅速获取或释放资源,并可以根据需求对资源进行动态扩展;四是服务可测量,服务提供者按照用户对资源的使用量进行计费。

云服务通常按照云计算服务提供的资源所在的层次,分为 IaaS(基础设施即服务)、PaaS(平台即服务)和 SaaS(软件即服务),通过网络以按需、易扩展的方式向用户提供所需服务。常见的云服务有公共云(Public Cloud)与私有云(Private Cloud)。

总之,云计算不是一种全新的网络技术,而是一种全新的网络应用概念,云计算的核心概念就是以互联网为中心,在网站上提供快速且安全的云计算服务与数据存储,让每一个使用互联网的人都可以使用网络上的庞大计算资源与数据中心。

云计算与碳核查:

云计算在碳核查系统中将大规模使用,一方面基于工业区块链的碳核查系统,需要连接众多机构和企业,所以,最方便的方法是将原来不连接的众多机构在云上进行连接;另一方面,企业本着低碳、节约的目的,也越来越多地将他们的数据服务器迁移到云上。

1、云计算解决核查系统碳排放问题:在碳核查系统中使用云计算技术,通过使用云计算数据中心,提高计算资源密度,达到更高的计算效率,可以大幅度减少二氧化碳排放。

2、云计算解决复杂的计算问题:云计算利用其强大的分布式计算能力,可以短时间内完成大量复杂的数据运算,从而很好的解决碳核查中出现的种种计算问题,并满足各种场景下的计算需要。

3、云计算减少碳核查各环节单位的负担成本:云计算可以同时将资源分配给多个单位或个体使用,在减少整体能源使用和相关的碳排放的同时,也降低了各单位需要承担的成本。事实上,不同公司的不同需求模式拉平了总体需求峰值,使得使用模式变得可预测。

2.3.3.3 大数据

大数据概念：

大数据(Big Data)，或称巨量资料是具有体量巨大，来源多样，生成极快，且多变等特征并且难以用传统数据体系结构有效处理的包含大量数据集的数据。

从技术上看，大数据与云计算的关系就像一枚硬币的正反面一样密不可分。大数据必然无法用单台的计算机进行处理，必须采用分布式架构。它的特色在于对海量数据进行分布式数据挖掘。但它必须依托云计算的分布式处理、分布式数据库和云存储、虚拟化技术。

大数据的特征：

大数据有四个主要特征，分别是体量，多样性，速度和多变性。其中体量是指构成大数据的数据集的规模；多样性是指数据可能来自多个数据仓库，数据领域或多种数据类型；速度是指单位时间的数据流量；多变性是指大数据其他特征，即体量，速度和多样性等特征都处于多变状态。

大数据的价值体现在大数据的应用上，利用分布式并行计算、人工智能等技术对海量异构数据进行计算、分析和挖掘，并将由此产生的信息和知识应用于实际的生产、管理、经营和研究中。

大数据与碳核查：

1、大数据比对减少数据瞒报、漏报：利用大数据技术及人工智能，对多个数据库的多项数据类目进行综合比对，从而减少数据错误，及时发现数据漏洞以及数据的瞒报、漏报。

2、海量的碳核查数据需要大数据进行支撑：省市级乃至国家级的碳核查系统将会拥有海量的数据，并最终形成巨大的数字系统。如此庞大复杂的数据则必须依靠大数据技术进行精确管理、严格掌控。

2.3.3.4 人工智能

人工智能概念：

人工智能(Artificial Intelligence)，英文缩写为AI，是利用人为制造来实现智能机器或者机器上的智能系统，模拟、延伸和扩展人类智能，感知环境，获取知识并使用知识获得最佳结果的理论、方法和技术。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟。人工智能不是人的智能，但能像人那样思考、也可能超过人的智能。

人工智能有两种实现的方式。一种是采用传统的编程技术，使系统呈现智能的效果，而不考虑所用方法是否与人或动物机体所用的方法相同。另一种是模拟法，它不仅要看

效果，还要求实现方法也和人类或生物机体所用的方法相同或相类似。人工智能也分为基于连接主义的深度学习和基于符号主义的知识图谱。

人工智能的特征：

人工智能高速发展，呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等特征。一是从人工知识表达到大数据驱动的知识学习技术。二是从分类型处理的多媒体数据转向跨媒体的认知、学习、推理，这里讲的“媒体”不是新闻媒体，而是界面或者环境。三是从追求智能机器到高水平的人机、脑机相互协同和融合。四是从聚焦个体智能到基于互联网和大数据的群体智能，它可以把很多人的智能集聚融合起来变成群体智能。五是从拟人化的机器人转向更加广阔的智能自主系统，比如智能工厂、智能无人机等。

人工智能与工业背景的结合下形成工业智能。工业智能是基于计算与算法，将以人为主的决策和反馈转变为基于机器或系统自主建模、决策、反馈的模式，为工业互联网实现精准决策和动态优化提供更大的可能性。工业智能实现了从数据到信息、知识、决策的转化，挖掘数据潜藏的意义，摆脱传统认知和知识边界的限制，为决策支持和协同优化提供可量化依据，最大化发挥利用工业数据隐含价值，成为工业互联网发挥使能作用的重要支撑。

人工智能与碳核查

1、人工智能不断优化碳核查机制：利用人工智能技术及计算机的深度学习、知识图谱、自动演化机制，可以根据碳核查的实际情况不断优化核查算法，以获得更加科学、准确的统计结果。

2、人工智能指导碳核查工作展开：在涉及全国性的碳核查工作时，其范围及数据往往是海量的，研究人员的工作是困难而繁杂的，人工智能不但能有机整合大数据、物联网、区块链等关键技术，同时能对数据及任务进行前置分析，从而给出推荐和建设指导意见。

2.3.4 工业区块链碳核查原理

2.3.4.1 真实性原理

数据的真实性也称数据的客观性，是指一切碳核查数据都必须是客观存在的真实。数据真实性包含两个方面：内容真实性、载体真实性。

数据内容真实性涵盖碳排放数据的完整的生命周期，包括数据产生，数据核算，数据流转和数据存储等过程，需保证数据真实可信，未被篡改。如果碳核查系统输出的数据流向碳排放行政监管、碳市场交易等系统，碳核查系统还需向下游系统提供数据真实性的证据。

基于工业区块链的碳核查系统主要利用工业互联网技术和区块链技术保证数据的真实性。一方面，基于工业互联网的云端协同能力，智能物联网采集设备企业、机构、个人的生产生活信息，可不经人为处理，直接上传到云端，保证数据源头的真实性；云端接收到数据后，将数据存储于区块链中，确保数据不被中心化的人或机构所掌握，且不能被篡改，保证了存储的数据真实性；利用智能合约将碳核算模型写入碳核查模块并调用智能合约，使碳核查系统自动获取可信数据并运算，保证数据核算结果的真实性。

载体的真实性是指存储碳核查数据的媒介、设备或系统在核查过程中保持原始性、同一性、完整性，不存在被伪造、变造、替换、破坏等问题，同时作为数据载体的设备、平台应具备合法性、中立性，在特定场景中还需要获得相关部门的质量认证等资质。

在载体真实性方面，利用区块链共识机制、链式结构和分布式存储可确保碳核查系统的安全、可靠性。首先，利用区块链共识机制可协调各参与节点记账，使企业、碳核查机构、政府部门等保持数据的一致性，避免了单点作恶的可能性，同时在安全范围内的部分节点崩溃不会影响整个碳核查系统的正常运行，大大降低了节点崩溃导致数据丢失的可能性，保证了碳核查系统的稳定性和安全性。其次，区块链系统采用哈希嵌套的链式存储结构，保证了上链数据难篡改的特性。最后，区块链节点控制权相对分散，这种架构优势具有足够的保障力度，使区块链所载数据真实、可信，能够随时取用、核查，保证了碳核查数据自上链时起，内容不被更改，满足碳核查过程对数据真实性的要求。

2.3.4.2 及时性原理

及时性是指通过能够按照业务需要快速及时取得碳核查相关原始数据、核查报告的能力。碳核查过程需要控排企业、核查认证机构、行政监管以及碳交易市场等多个主体密切协同，及时输出碳排放数据，发现隐匿、错误、遗漏并采取干预措施，以此消减信息不对称、改善协同效率、提升碳核查运营效益。

工业互联网技术通过构建人、机、物的互联构建机械设备制造行业全要素、全产业链链接，通过区块链、物联网、大数据、人工智能等新兴技术的融合应用，构建更加精准、实时、高效的数据采集和保真体系，在有条件的情况下，传感器、摄像头等物联网设备通过集成区块链模组，将所采集的数据实时归集上链，保证数据采集录入过程的及时性。基于区块链及智能合约，自动执行数据核算、聚合统计、审计查验，可改变传统方式下的人工核验模式，将数据从产生、核算、流转到结果输出的时间周期压缩到最短。同时，区块链智能合约对数据进行全自动的计算，在满足既定条件时自动执行核算、发布、共享等操作，保证了碳排放数据在企业、碳核验机构、政府部门之间实时共享。当发现数据不合理时自动通知上下游相关主体，提醒核查人员进行干预；确认核查数据无误后，可自动允许数据进入下游应用系统，保证完整生命周期过程的及时性。

2.3.4.3 可追溯性原理

可追溯性是指能够回溯数据形成、变化的过程，并从中发现问题、厘清责任的能力。通过回溯历史数据，企业内部可以达到生产流程优化、生产计划动态调整的目的；政府可实现企业的有效监管，并兑现相应碳核查政策；当碳核查过程出现数据有更改、逻辑不合理等情况时，能够及时通过追溯过程发现问题，追究责任人，对碳排放企业、核查机构形成有效的威慑作用，保障碳核查过程的安全、可信进行。

当前，碳核查数据存储主要以中心化的系统为主，碳排放数据、生产过程数据、碳核查报告等由企业或核查机构单独进行管理，票据、水表、电表等原始数据容易出现丢失、篡改和破坏的风险，当核查数据发生错报、漏报、不准确等问题时难以进行证据追溯，增加了碳核查难度。

由于区块链具有不可篡改、不可删除的特性，上链的所有数据都会保留痕迹，记录其变化过程，可确保碳核查数据的可追溯性，保证碳核查过程有据可依、有证可查，存证数据准确可靠。区块链技术能使碳排放数据在相关方的各节点之间数据一致且透明，从而在整个数据链条上形成完整、不可篡改的信息流，保证全过程可追溯。

2.3.4.4 多方共享原理

数据多方可信共享是区块链的分布式账本的基本功能。通过碳核查数据的及时、有效共享，企业、核查机构、政府部门能够进行密切协同，保障碳核查工作安全、有效进行。

当前，国内碳核查相关机构尚未建立完善的数据共享体系，企业的信息系统、核查机构的信息系统、政府的信息系统等相互独立，缺乏有效的数据共享手段和信任机制，导致数据共享难以落实，碳核查时效存在滞后性。同时，由于企业出于自身敏感信息泄露的担忧，缺乏数据共享的主观能动性。

根据碳核查各主体的利益诉求及业务需求，利用区块链的分布式账本、共识算法等技术手段，可构建一个安全可信的共享环境，在获得各主体对环境认可前提下，打造可信数据共享平台，实现信息的多方共享、共用。基于区块链的分布式存储技术，碳排放原始数据、核算数据、过程性数据、结果数据等可按需存放于区块链上，并通过共识算法和隐私计算进行敏感数据脱敏上链，有效的保护企业数据的隐私，打消企业担忧。同时，在一条链上，政府部门、核查机构、审计机构、碳排放企业等均可作为节点加入区块链系统，实现数据的多方共享、安全可信。

针对不同碳核查场景，可采用链内共享与链间共享两种共享方式。对于同一企业、或同一行业，通过建立碳核查联盟链，使链内每个成员拥有全量的账本数据，实现了链内数据的多方共享或见证。利用区块链数据加解密技术、哈希计算技术提供原始数据上链、哈希上链等多种上链方式，有效保证了企业内部数据隐私。针对不同行业、核查机构、碳交易所等，利用跨链技术可进行链间共享，将企业公示报告、排放因子等非敏感

数据、业务数据上链，实现碳核查多个主体间的信息互通和跨链共享。对于无法原文共享的数据，利用多方隐私计算技术，将计算结果进行共享，有效保证企业内部数据的隐私，提升碳核查数据的价值。

2.3.4.5 可监管性原理

可监管性指有关部门能够有效监管系统中企业的碳排放数据、报告的有效性、真实性、及时性，以及核查过程、结果的规范性等。

依托区块链防篡改和可追溯特性，构建基于工业区块链的碳核查系统，监管机构可以同步获取必要数据，进而实施精准、及时、多维度、全过程的监管，并且降低监管成本。针对企业碳排放数据的漏报、错报、不规范等问题，企业内部和第三方核查机构可利用区块链和智能合约自动化执行监管业务逻辑，无需人工干预，支持对于每一笔排放数据、每一步处理环节都能实时审核、完整留痕、全面审计，实时掌握分类分项的排放数据和总量排放数据。针对核查机构本身的问题，如核查人员违规操作、核查过程异常记录等，企业和政府部门可对链上存证的核查报告、年度能源表、水统计表，财务凭证等视频、图片、文件证据进行抽查、核对、复查、评价，确保碳核查过程有效、公平、公正。基于区块链分布式账本能力，当第三方核查机构被更替以后，仍然能保证数据账本延续、可用，支持监管核查的平稳过渡。

进一步地，利用区块链技术，将监管部门的监管模式由事后监管转变为事前监管，避免了事件发生后数据被篡改的问题，保证监管及时性。

2.4 基于工业区块链的碳核查系统难点和问题

碳核查是企业的碳排放报告合法有效的必经途径。碳核查对于核查机构来说，工作的重点落实在如何准确地检测企业的碳排放数据，这包括通过传感器等仪器采集的环境排放数据、有关公司和部门所出示的用电用水量发票等等。信息化系统是碳排放检测、报告、核查的重要执行载体。所以碳核查需要一套好的信息化系统，一方面做到保障数据源头真实准确地采集和汇报数据，另一方面要让碳排放数据能够高效地流动，方便企业自身及有关部门便捷地查看和验证数据。但是在这一过程中数据相关问题也随之愈显突出，主要体现为在对企业碳核查的过程中数据采集、存储、传输、应用、校验等环节存在数据泄露、被篡改或者核心数据泄露等问题。

2.4.1 数据安全和保密性

碳排放数据来源于各个工业现场或者企业内部报表，核查数据情况复杂且规模庞大、地域分散，同时大部分碳核查数据来源于物联网设备的智能采集，通过泛在网络传输到

云端，因此在数据安全与保密性上存在一定的难点，具体来说：

(1) 数据安全问题

工业现场设备种类多、数量大、接口复杂，各种协议互不相容，部分设备不开放接口、甚至缺少实时数据等原因造成不能利用一个统一的方式实现数据采集的目的，同时也加大了对数据安全保护的难度，增大了安全性风险。同时碳核查基于覆盖全面的工业互联网实现，在物联网设备全面接入的过渡时期中，物联网设备采集的数据首先上传到本地信息化系统，再通过系统间接口上传到云端，这一过程中数据存在被人为篡改的风险。

(2) 数据保密性问题

碳核查系统采集到的数据全部是企业生产过程中的真实数据，对数据进行不同维度的分析，可以全面的刻画出企业的真实运营状况，因此数据库存在被恶意攻击的风险。

区块链作为存储和共享数据的新技术为解决数据安全问题提供了一个全新的思路，例如来自于现场不同传感器、设备或者系统的碳排放相关数据（包括传感器编号、采集时间、具体采集数据、相关照片、电费账单、第三方审计报告等）在采集之后可以直接上链，然后就可以对数据进行加密处理并传输至大数据存储中心（私有云或者公有云），同时拥有权限的核查方可解密并查看原始数据，同时数据指纹上链存证，便于未来查看或者监管方校验。

由于区块链数据具有不可篡改的特点，同时区块链通过数据加密和授权技术，存储在区块链上的信息是公开的，但是账户身份信息是加密的，只有数据拥有者授权的情况下才能访问到，以此保证数据的安全和企业隐私。并且区块链链上数据具有可追溯性，可以保障遇到任何问题迅速追溯定位至源头，这一方面可以进一步防止原始数据记录被篡改，另一方面也便于在数据出现问题后及时发现、快速修正。

2.4.2 数据可控共享

碳核查系统中，碳排放相关数据及报告会在多个系统和参与方之间共享，但在数据共享过程中企业担心自身数据隐私泄露或者数据主权等问题。要让企业接受和使用该系统，必须要解决隐私保护和数据安全的问题，控制数据共享权限，保存数据共享记录，实现数据的可控共享，既要满足第三方进行报告核查的需求，又需要避免企业核心数据泄露的风险。

区块链技术可以很好地解决在碳核查过程中企业对自身数据的控制权与数据分享之间的问题。区块链技术整合了密码学、隐私保护技术、点对点网络、共识机制、智能合约等基础技术元素，形成了一种新的数据记录、传递、存储与呈现的方式，在技术层面上构建了无需信任、多方协作的去中心化基础设施。所以区块链的分布式特性从原理上确保了多方合作及数据分享的便捷性，在确保数据真实性的同时，做到隐私数据“可用不可见”，消除了数据共享潜在的风险，提高了数据流转的效率。

利用区块链搭建的数据主权标识体系，明确数据从采集、流转应用到全过程中的主权所属。例如在同一条链上，不仅可以有企业和企业端的数据采集设备，还可以引入上下游业务相关企业、相关能源企业、第三方审计/监管，多方数据可共享、多方数据可共用；不仅可以有核查机构来验证、完善数据，相关监管部门或相关监管系统也可以直接接入区块链有效、高效监管。并且当采集的数据直接关系到企业的生产经营情况，属于企业机密。区块链集合隐私计算技术可以保证链上各方在进行信息共享共用的时候，对某些信息只选择特定有权限的人公开。应用系统在接入边缘服务器后，可将数据加密上链，在保护企业数据隐私的前提下进行碳数据归拢、申报及核查，相关方之间也可以通过区块链和边缘服务器进行业务协作。多家企业信息接入同一链时，企业可以选择让自己的某些信息只有指定方（如合作方、核查方、监管者）可看，对其余链上成员保密。

2.4.3 IoT 采集数据的真实性

碳核查系统需要从多种 IoT 设备采集原始数据，如皮带秤、温度传感器、摄像头等，然后上传到边缘计算平台或云端系统。作为碳核查数据流程中的源头，IoT 采集数据的真实性直接影响到最后碳核算的准确性，主要体现在以下几方面：

(1) IoT 设备的身份：负责向碳核查系统采集传输数据的 IoT 设备，需要在系统内注册，具备可信身份，云端只接收来自可信设备的数据。

(2) IoT 设备的数据采集精度：工业生产流程复杂多样，IoT 设备需要能准确的采集到不同流程不同时间的数据，设备的精度对于数据采集也较为重要。

(3) IoT 设备的数据传输真实性：IoT 设备由于生产厂家、型号的不同，存在通过不同的接口接入网络的情况，接口的安全性、网络的稳定性对数据传输都会造成影响。

目前区块链技术的应用可以很好的解决上述问题，弥补当前 IoT 技术在安全领域方面的缺陷，不但可以为 IoT 设备提供底层安全防护，而且推动系统和生态往更加安全可靠的方向发展。详细来说：

(1) 区块链可赋予 IoT 设备唯一的身份标识。在区块链网络中，IoT 设备的数据的采集及传输会被打上独特的烙印。利用非对称密钥技术，IoT 设备在数据包传输的过程中采用数字签名的方式确保数据的所有权不被篡改；利用哈希算法将数据包进行指纹摘要信息的提取并存储在区块链网络中，可供数据的查验和比对，进而保证数据采集的真实性。

(2) 区块链分布式密钥分发机制更利于网络密钥分发，保证网络安全。。从 IoT 设备来说，高级别的安全防护都是以密码学为基础的，而当前安全密钥的分发机制也大多依赖密钥和授权中心，但是这类设备更容易成为黑客攻击的首选目标和重要因素。从这个角度来看，区块链可以通过便捷的分布式密钥分发来保证整个系统的密钥安全，为 IoT 设备提供容错性更高的安全保障和可靠空间。

(3) 引入区块链技术可以提升 IoT 采集的安全能力。区块链可以完成证书的安全分发，以便实现数据安全。在条件成熟时，IoT 设备可以嵌入支持区块链能力模组，使得 IoT 设备成为区块链的可信应用入口。区块链能力模组向应用层提供调用接口，支持对 IoT 输出数据进行签名，支持发起区块链交易，支持调用区块链智能合约，支持基于区块链的身份管理和密钥管理，实现链下数据的可信上链。

2.4.4 数据查验

在碳核查系统中，数据查验是消除信息不对称、确保碳排放数据可信可用的核心功能。所以数据查验应贯穿于碳核查的整个过程，贯穿碳排放数据的完整生命周期。并且在进行数据查验时，校验查验者的身份和权限，只有通过校验的用户才能进行数据查验，查验记录也记录在系统上，供审计使用。

数据核查需解决的主要问题有：

(1) 及时发现和消除数据不一致。碳核查涉及 IoT 采集设备、数据核算、分类分项聚合、发布共享等设备或平台。IoT 设备之间、边缘平台之间、云边之间容易出现数据不一致的情况，而且由于系统种类众多，分布广泛，数据对账复杂，定位问题很困难。

(2) 企业敏感信息保护。查验碳排放数据往往需要追溯到每一笔原始数据的采集、核算、流转，而这些原始数据往往直接反映了企业生产经营的细节信息。如果在查验过程中，将企业生产经营信息泄露给竞争对手或其他恶意主体，将会给企业生产经营带来重大损失。

(3) 核查机构更替。为保证数据查验的独立性，通常采用第三方核查机构制度。即由政府指派，或者由企业通过公开征选确定实施审查的第三方机构。碳核查系统应支持核查机构的变更切换，当审查服务期到期，或者审查服务出现问题需要更替核查机构时，应实现核查数据能持久保存，核查功能能平稳延续。

(4) 核查效率。应充分利用区块链智能合约实现多维度、全范围的自动化核查，及时输出核查结果，避免或减少人工干预。否则，如果核查周期过长，即使最终输出正确结果，也会因为时效性太差，导致企业和公众丧失信心、带来时间成本等严重负面影响，形成事实上的信息不对称，导致碳核查事实上的不可用。

基于工业区块链数据查验方案，可构建跨系统关键数据核对检查机制，实现异常情况的快速定位，将查验周期从“T+X”提升至“T+0”，甚至实现秒级验证的能力。另外区块链技术通过身份认证、用户账户体系及多级权限管理，以满足不同场景、不同角色、不同业务对数据的使用需求，保证敏感数据不被侵犯，同时满足数据监管需要。

3. 基于工业区块链的碳核查系统

3.1 概述

2013年起，我国相继发布了通用的工业企业《温室气体排放核算方法与报告指南》以及24个重点行业的温室气体排放核算方法与报告指南^[11]。本章将剖析《指南》的需求，根据我们对工业区块链的理解，提出基于工业区块链的碳核查系统整体框架，介绍通用的基于工业互联网和区块链的应用设计要求。

第1章和第2章分别介绍了该系统主要参与方的职责和目标。在该系统中，工业互联网技术应用于工业企业，通过工业物联网（OT）数据采集、与企业信息系统（IT）互联等手段，将与碳核查相关的信息汇集起来，在保证数据安全和隐私的前提下进行存证和共享；其他参与方，是碳核查数据的管理者和使用者，只需要IT系统。因此，我们将区块链系统整体框架和企业节点框架分开，以便后续根据不同的行业核查指南，扩展到不同行业。

区块链作为信息存证和共享的基础技术，连接所有参与方，形成基于工业区块链的碳核查系统的整体框架；企业通过区块链节点接入碳核查系统，一方面为碳核查相关数据做上链存证和分享，另一方面将企业内部网络与外部互联网络进行隔离，企业内部的工业互联网系统，作为一个独立的IT+OT系统，为数据上链提供基础信息。

3.2 系统整体框架

碳核查工作由生态环境部主导，领导碳排放权注册登记所和碳排放权交易所，由各地的生态环境厅/局负责本省/市的核查，但是企业的碳核查管理是属地管理。碳核查工作是一个双层的行政管理架构。

工业区块链技术目前没有统一的标准，碳核查工作采用工业区块链没有统一要求，各省、各企业使用区块链的水平参差不齐。在没有强制要求的前提下，采用工业区块链构造碳核查系统，预计各省有不同选择，在设计上我们需要保持足够的弹性和兼容性。

结合以上分析，在设计碳核查系统区块链整体框架的过程中，应考虑几个方面：

- (1) 区块链系统至少支持双层架构，包括骨干链、接入链。骨干链支持省部级机构和全国性服务机构的节点接入，接入层支持省级/市级机构节点、核查机构节点和本行政区域内重点排放单位的接入，省生态环境主管部门作为骨干链和接入链的连接点。

双层架构设计能够有效将每一个区块链网络的规模减小，一方面大大减少区块链共识所需的通信量和时间，另一方面减少非必要的区块链信息存储副本。

- (2) 支持异构区块链的接入。考虑到基于区块链的碳核查系统可能在不同地域由不同机构承建的实际情况，骨干层应该支持接入层采用不同的区块链技术，并且支持基于标准的接入技术进行接入。
- (3) 支持统一的数据托管，以及统一的数据和网络监管。从骨干层视角，应能够对全网碳核查数据进行统一托管和存证，能够对任一接入企业进行碳核查数据的监管；能够对任意网络节点进行管理和监视。

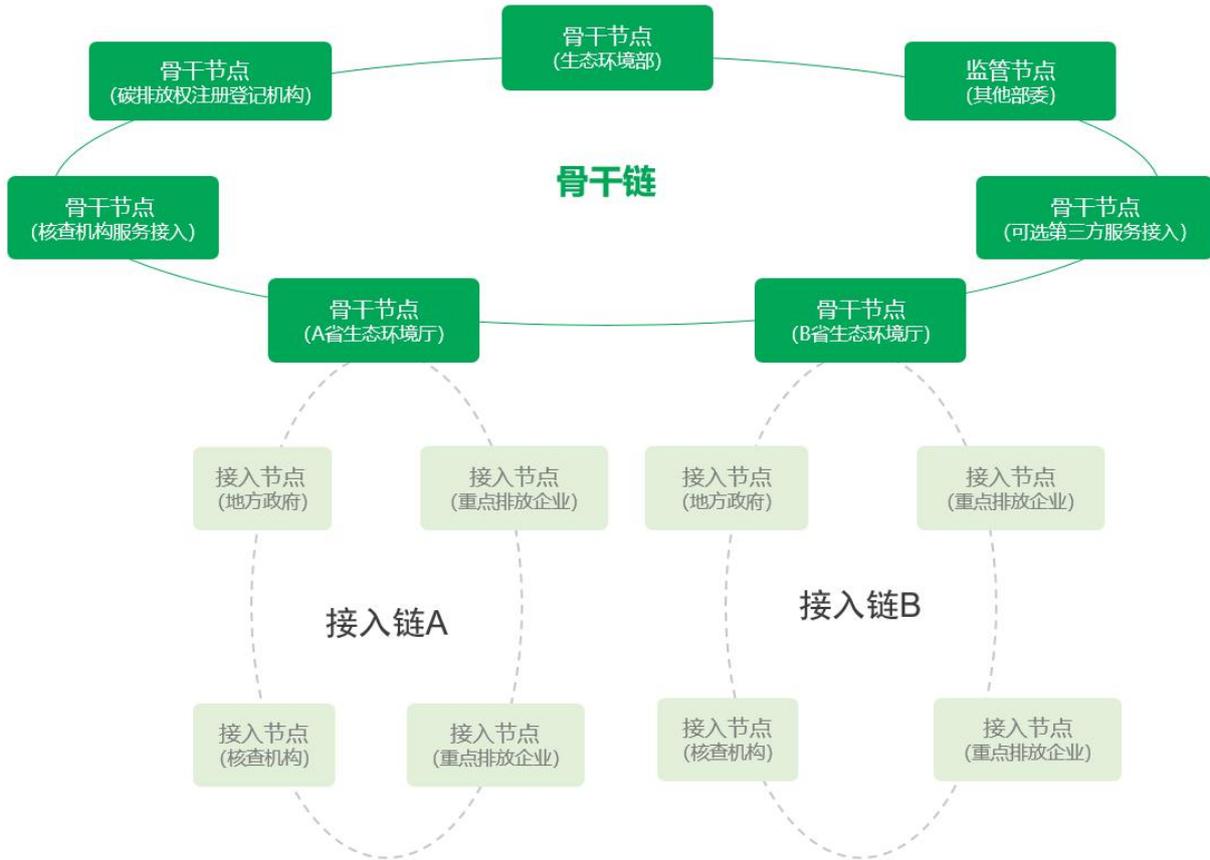


图 3.2-1 碳核查系统区块链架构需求

基于以上需求，我们以某种链网作为原型，提出一种参考设计架构，并分析其满足需求的情况。

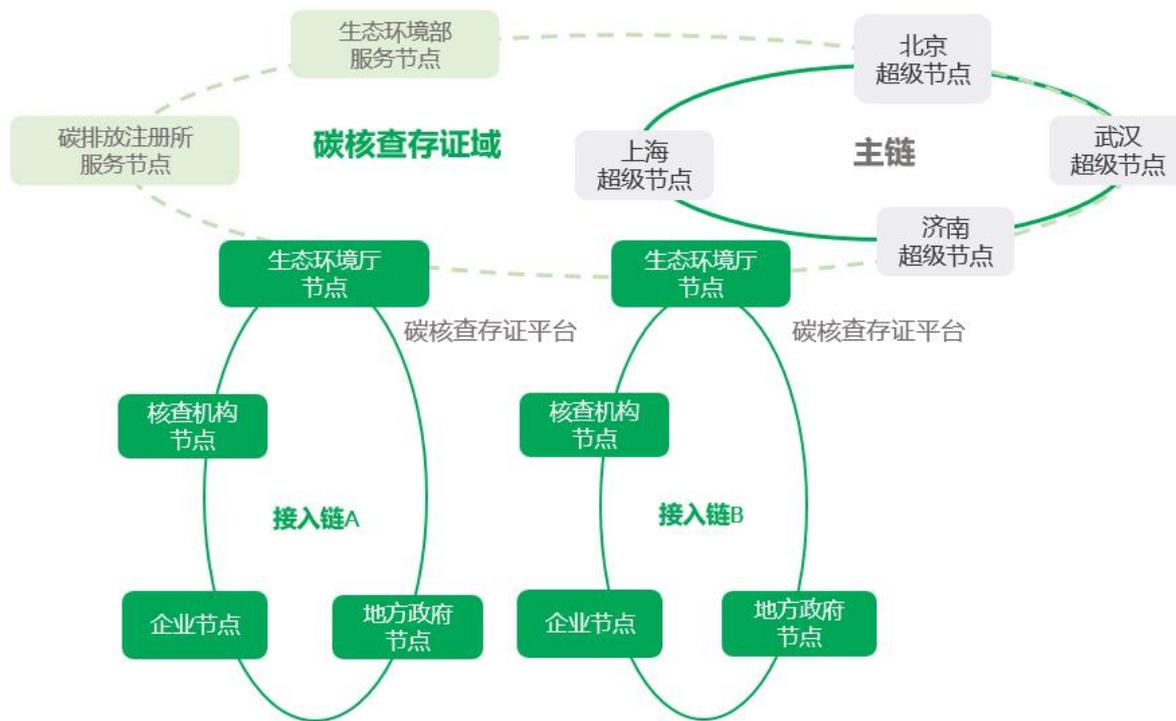


图 3.2-2 碳核查系统架构图

(1) 支持主链+子链的链群架构

本架构采用“主链+子链”的链群架构，主链包含超级节点和监管节点（其中部署在海外的超级节点称为国际超级节点），负责链群节点管理、监管规则执行、公共数据服务和数字资产锚定；子链包括骨干节点和子链节点且不同业务场景独立设计，可实现数据安全隔离、业务活动高性能运行。主链与面向特定行业或特定区域的子链，将主要通过骨干节点执行跨链互操作等交互功能，从而实现链网协同和链链互联。

(2) 支持同构/异构子链按业务需求接入

A. 通过接入同构/异构区块链，组成链网“1+N”主子链群，基于星火标识(BID)实现链群间的互联互通。接入的子链独立开展区块链应用业务，并可通过接入协议锚定主链，通过跨链协议与主链及其他子链进行交互。基于星火标识体系能满足不同业务场景需求；主子链的结构把业务分散到子链上可以实现并行交易，提高了整体性能。主子链的架构，使各个子链之间业务自治、数据相互隔离，满足隐私要求；

B. 许可公有机制：兼具公有链和联盟链优势，开放可控，安全灵活

BIF-Core 采用了完美适配主子链架构的许可公有机制，打造“扩大共识”的许可公有链，结合公有链“开放灵活”与联盟链“参与节点可管可控”的优势，解决当前公有链在业务适用性、监管、商业模式上不成熟等问题，进而形成生态式繁荣能力。

(3) 可信跨链：双重公证机制，赋能同构/异构链万链互联

骨干节点作为公证人，BIF-Core 作为中继链的双重见证机制保证跨链消息路由的可靠性；密码学证明保证跨链交易的可验证；三阶段提交保证跨链交易的原子性。

(4) 全网统一的基础服务、资源调度和网管

主链是链网底层共识与基础服务的提供者，超级节点和监管节点共同构成主链。主链通过统一的注入核心资产，包括公共数据、标识资源、标识解析和监管规则等，对外提供标准化的资源对接和基础服务。同时提供链与链之间、链与网之间、链与其他生态之间的互通能力，并通过“穿透式”监管手段为保障链群高效运行和生态稳定发展形成关键保障。主链由超级节点和监管节点共同构成。其中，超级节点负责主链的稳定运行，既能执行主链共识，又具备公共数据共享管理、跨链网关、资质审核、链群管理等功能；监管节点负责对整个链群用户和节点进行监督与管理，针对数据、行为进行合规监管，并对违法违规行为进行处置，如关停服务、限制权限、控制流量、不可信用户标记等。

子链是链网上层应用与业务逻辑的实现者，骨干节点和业务节点协作构成子链。子链针对不同业务场景独立设计，充分发挥产业优势和区块链现有基础资源，促进区块链在更多场景、更大规模实现持续应用发展。根据业务场景不同，子链业务采用自治理模式，独立执行共识，极大地减轻了主链的共识压力，保障整个链群的性能。子链可使用整个链群的公共服务或资源，也可根据需求部署个性化应用或智能合约，从而支持具体的个性化业务逻辑独立执行，实现数据安全隔离、应用高性能运行。子链由骨干节点和共识节点协作构成。其中，骨干节点负责子链与主链的联系，具有锚定主链、监管子链、审核智能合约等功能，子链通过骨干节点与主链执行跨链等交互；业务节点负责特定子链的运行，协同骨干节点执行共识和业务活动，其权限则由骨干节点管理。

3.2.1 企业碳核查网络

企业碳核查网络，集合了链上的企业区块链节点、企业内工业互联网构成的碳核查信息网络、连通企业区块链节点和企业内部网络的可信边缘网关，是碳核查系统中最重要的组成。企业是碳核查主要信息来源，但是企业对数据安全性极为敏感，因此企业节点需要设计一种安全、弹性、可靠的系统架构，既可以保证控排企业的核算口径一致、计算过程可信、结果报送及时，又能确保核算结果可分享但参与核算的过程数据不出域、不暴露。

针对不同行业的碳核查系统，建议政府牵头构建行业碳排放联盟链，根据相应行业规范研究行业统一的温室气体排放核算方法和排放报告格式，核算标准和核算结果上报可通过区块链节点流转，核算过程可通过企业端的边缘可信网关完成。对接入链采用的区块链技术体系和平台选型不做强制要求，但需要支持与骨干链融合。

行业碳排放联盟链的框架设计需满足以下几个方面：

- 1、行业温室气体排放核算标准体系通过联盟链节点及时同步下发至各参与核算企业；
- 2、企业侧的可信边缘计算网关通过区块链密钥进行身份认证；
- 3、企业侧的可信边缘计算网关应支持企业碳核查相关原始数据哈希上链存证和共享，可选支持企业碳核查相关原始数据上链存证和基于许可的远程访问，能根据政府要求定期对企业的碳排放核算结果第一时间上链存证；
- 4、接入链与骨干链能实现跨链融合，接入链上各企业节点所记录的碳排放核算结果第一时间同步至政府碳核查骨干网络。

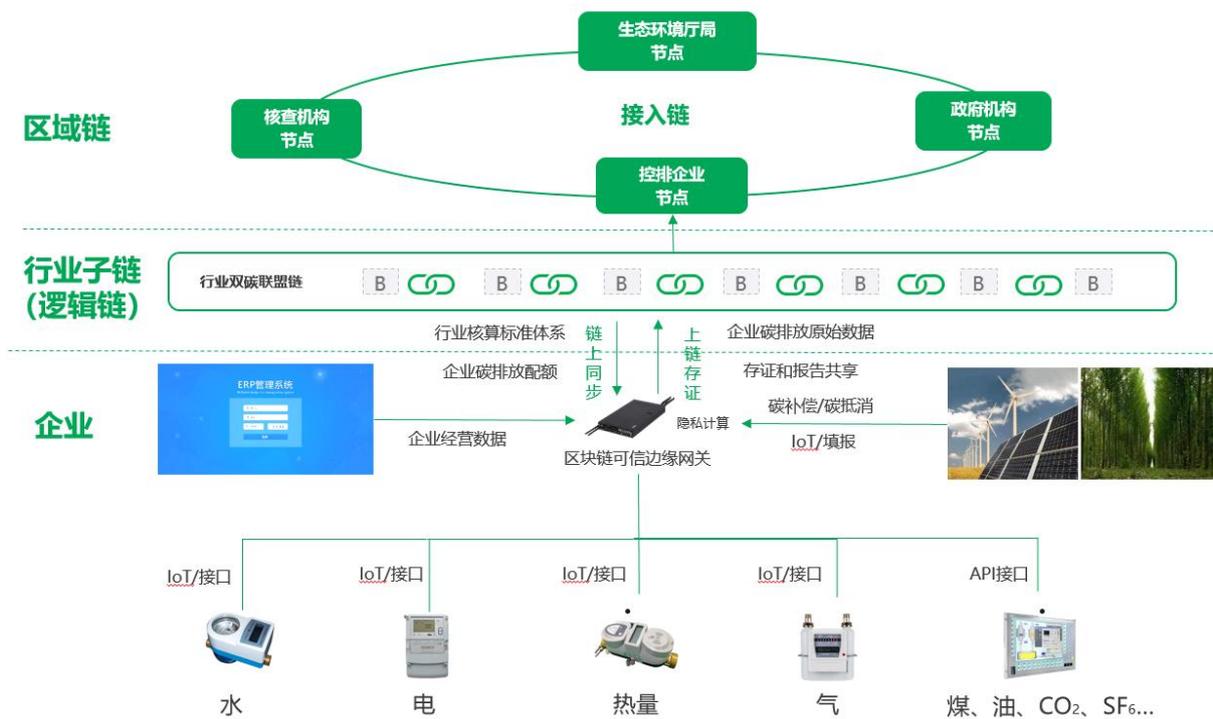


图 3.2.1 企业节点架构图

企业碳核查网络主要采用企业边缘侧、逻辑链双层架构模式进行设计，如下：

(1) 企业边缘侧

在企业网络内部署区块链可信边缘网关，南向与企业的IoT采集系统、能源管理系统、ERP等相关系统打通，北向以节点方式无缝接入逻辑链网络。可信边缘网关基于链上合约自动接收行业核算标准体系，以统一的标准、方法对企业的碳排放进行核算；可信边缘网关采用支持可信执行环境（TEE）技术的硬件，保证数据核算的应用与链上合约要求的一致性。

根据核算标准体系动态抽取企业碳排放活动水平数据和企业的经营数据，如水、

电、油、气、煤等能耗数据；CO₂、SF₆ 等过程逸散数据；能源结算报表、财务三表数据；同时，为实现企业碳排放的精准核算，还需将诸如企业的绿电使用、储能回收等碳补偿/碳抵消数据进行接入；然后，可信边缘网关后台基于隐私计算模型自动测算企业碳排放量，也可按设定频次定期生成企业碳排放核算报告；最后，碳排放核算结果及核算报告第一时间上链存证并分享给相关方。

(2) 逻辑链

逻辑链作为中间层，为企业和监管机构之间的数据交互起到承上启下的作用。通常逻辑链可由行业协会、行业联盟、行业促进会等非营利性服务机构发起，可邀请专业咨询机构帮行业制定碳排放核算标准体系，标准的建立、更新均可在逻辑链中通过智能合约与企业边缘网关节点自动同步；控排企业的核算结果及核算报告链上存证、链上分享。逻辑链可与区域链实现跨链融合，主要通过区域链上分配的被核查企业接入链节点实现网络互通，控排企业的核算结果及报告第一时间同步至区域链。

3.2.2 其他主体的碳核查网络

其他参与主体的碳核查网络，目前基本不涉及物联网，为通常的信息系统。其他参与主体包括生态环境部门、碳核查机构、碳排放权注册登记机构、相关政府部门四类机构，统一采用如下网络架构。

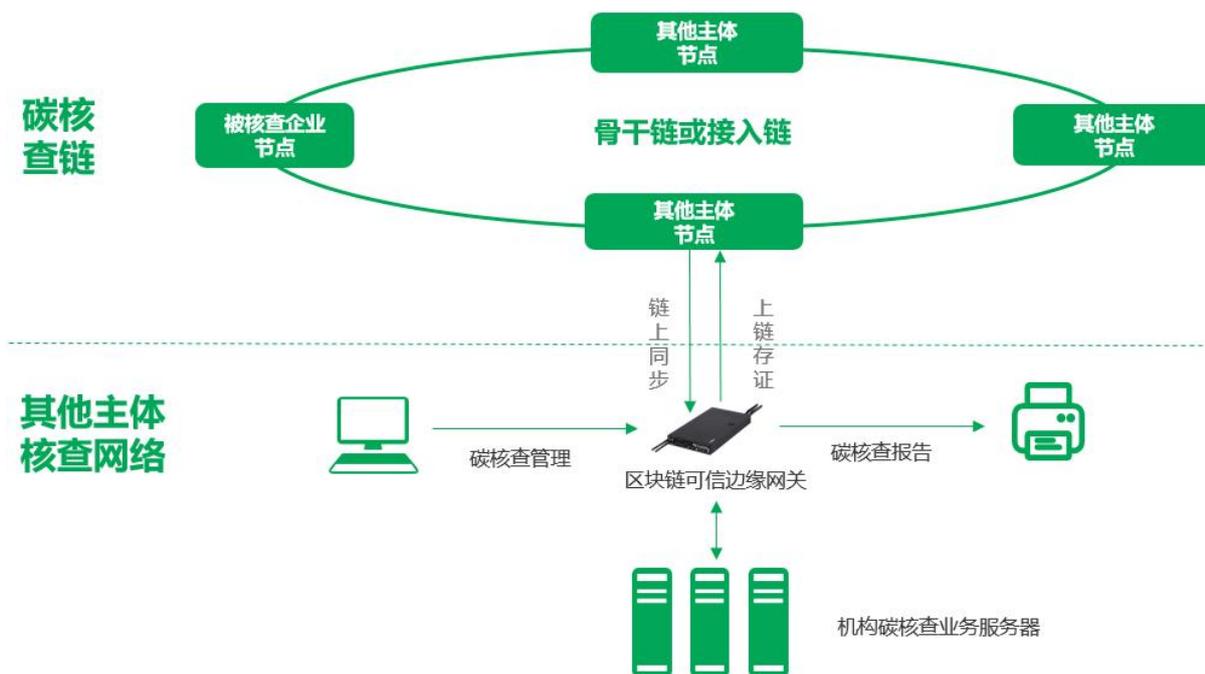


图 3.2.2 其他主体的碳核查网络架构

各主体拥有上链节点，为本机构上链数据提供共享和存证服务；可信边缘网关采用支持可信执行环境 TEE 的硬件，具备将区块链网络和本地网络进行隔离的能力，提高整体网络的安全性，也为必要的本地数据处理提供算力；并属于机构的碳核查业务服务器，为机构碳核查数据汇集、清洗、整理、AI 预警、生成报告等公共服务提供支持。应用采用常用的 B/S 架构，管理人员通过浏览器进行业务操作和处理，生成报告等。

3.3 工业互联网应用要求

工业互联网应用要求体现在企业层面，通过工业物联网（OT）数据采集、与企业信息系统（IT）互联等手段，将与碳核查相关的信息汇集起来。企业层的碳排放监管应包含统一的企业碳排放核算标准体系（核算维度、碳排放源指标、核算方法、核算周期等）、碳排放源数据采集方法是否符合（采集方式、采集媒介、采集频率等）、统一企业碳排放核算汇总报告格式及上报传输方式。

对企业设计工业互联网的总体要求包括：规范性要求、安全性要求、一致性要求和可逆性要求。

3.3.1 规范性要求

碳排放企业（以下简称企业）需从碳排放源采集、碳排放核算及碳排放量上报三个方面满足碳核查规范要求。碳排放源采集规范包含采集排放源是否全面、采集方式是否可信、采集频次是否达标等；碳排放核算规范包含核算维度是否全面、核算手段是否可信、核算周期是否满足等；碳排放量上报规范包含上报通道是否合规、通讯协议是否一致、上报频次是否符合等。

3.3.2 安全性要求

企业部署的边缘计算网关需支持身份可验证，网络机制可确保系统连续可靠正常运行，网络服务不中断，避免他人利用网络漏洞，非授权接入网络和使用网络资源，甚至发起网络攻击。

3.3.3 一致性要求

为保证系统中各控排企业碳排放量核算结果可用且准确，需对采集传感器的测量精度和对各排放因子系统中出具的核算结果与核查机构出具的核算结果两者之间偏差精

度两方面做一致性要求。

3.3.4 可逆性要求

为支撑对控排企业年度或不定期的核查工作，需满足主管机构或者第三方核查机构可进行在线核查，核查方可随时通过选取链上的核算结果向控排企业发起核查申请，被核查企业验证通过后，可主动抽取参与核算的活动水平过程数据，最终支持核算结果的回溯。

3.4 区块链应用要求

区块链是连接所有碳核查参与方的基础技术和网络，为保证网络整体的连通性、安全性、可靠性，对区块链应用应满足以下总体要求。具体包括区块链标准性要求、安全性要求、保密性要求、隔离性要求、开放共识要求。

3.4.1 标准性要求

标准性要求规范了区块链应用应满足法律、法规、规范性指导文件等要求，具体内容包

- 1) 要求区块链应用采用分布式系统架构，系统中部分或全部节点根据开放共识算法规则建立共识，保证少数系统节点无法侵占大多数节点的参与权与决策权，保证链上数据真实性与可追溯性。应用设计宜符合《区块链与分布式账本技术 参考架构》和 CBD-Forum-001-2017《区块链 参考架构》要求。
- 2) 区块链技术相关的数据对象结构包括区块、事务、实体、合约、账户、配置六个主要数据对象。区块链数据格式定义宜符合 CBD-Forum-002-2017《区块链 数据格式规范》要求。
- 3) 区块链隐私保护的关注点包括隐私相关数据收集、数据存储、数据迁移、数据备份与恢复、数据应用、数据披露、数据处置等，区块链隐私保护应符合 CBD-Forum-001-2018《区块链 隐私保护规范》要求，也可参考 CBD-Forum-001-2019《区块链 隐私计算服务指南》。
- 4) 对于机械设备行业的碳核查应用场景中涉及的存证、溯源、物资流转链管理等，需要通过智能合约来执行复杂的处理逻辑，故应要求区块链应用支持智能合约，并提供合约虚拟机执行智能合约。区块链智能合约设计应符合 CBD-Forum-002-2018《区块链 智能合约实施规范》要求与 CBD-Forum-003-2018《区块链 存证应用指南》要求。

- 5) 对于需要严格控制用户准入的企业内部或企业间联盟链、工业监管平台等工业应用场景，应要求区块链应用支持用户管理，包括身份识别与认证、访问鉴权和授权管理等。
- 6) 对于诸如工业监管平台等工业应用场景，应要求支持监管审计功能，包括管理日志审计、行为审计等。

3.4.2 安全性要求

安全性要求规范了区块链应用的网络、数据、账户与密钥安全能力，具体内容包括：

- 1) 网络安全：要求提供网络安全能力，包括客户端和节点，节点与节点间的双向认证和可靠的通信。
 - a) 应根据系统的业务特点、涉及的信息重要程度以及影响的范围等综合考虑，参照国家网络安全等级保护标准具体要求进行定级，并按照相应防护级别进行安全防护；
 - b) 应具备介质管理、设备管理、恶意代码防范管理、漏洞防范管理、配置管理、密码管理、备份与恢复管理、终端接入管理和风险评估管理等安全措施。
 - c) 应为区块链应用提供高效、安全、稳定的数据存储功能。
- 2) 数据安全：区块链系统需要考虑数据内容安全，避免造成隐私或敏感内容泄露，例如对数据保密性要求较高的隐私数据流转、隐私资产管理等工业应用场景。
 - a) 应采取措施保护机构和用户隐私，防止隐私信息泄露，可采用环签名、同态加密、安全多方计算等安全传输的方式，对个人可识别信息进行脱敏处理或差分隐私处理。
 - b) 可以利用区块链的签名机制和零知识证明等技术，在实现用户数据共享的同时保护用户隐私。
 - c) 可以利用底层链系统的安全计算模块，在数据无需共享的基础上实现数据分析、数据运算等业务需求。
- 3) 账户与密钥安全：对于需要严格控制权限的企业内部或企业间联盟链、工业监管平台等工业应用场景，应保证账户与密钥安全。
 - a) 应提供账户权限安全能力，包括身份验证、授权管理、机密性和完整性保证、可用性管理和访问控制。
 - b) 应支持不同的加密算法抽象为统一的外部接口，根据具体实际使用需求，可以自由指定对应类型的加密、签名算法。加密算法除了支持目前区块链常用的加密算法外，须遵循《中华人民共和国网络安全法》、《中华人民共和国密码法》以

及国家密码管理局商用密码的管理要求，在系统部署时，须采用支持国家密码管理局指定的 SM2、SM3 等国密算法。除了采用符合国家规定的密码算法以外，还需要保障密码生成、分发、使用和存储等各个环节的安全。如选择硬件存储、软件加密存储或分割存储等合适的方式存储密钥。

3.4.3 保密性要求

保密性要求规范了区块链应用的隐私保护与保密能力，具体要求包括：

- 1) 应允许数据提供者管控创建的信息及分享权限。
- 2) 应采用密码学算法（如同态加密等），支持链上密文的可信计算，保护数据和节点的隐私。
- 3) 应要求区块链应用执行交易遵循固定的算法，数据交互是无需信任的，交易对手无须通过公开身份的方式让对方对自己产生信任。可以采用零知识证明等密码学算法，让一方不需在链上提供敏感信息的情况下，证明某个链上信息的正确性。
- 4) 可选的，应保证链上数据隐私的情况下，仍可被监管。

3.4.4 隔离性要求

区块链系统应实现各参与主体之间的上链数据能够根据数据所有者要求实现有效隔离，当区块链应用的多个用户并发访问数据时，用户访问数据的事务不被其他事务的操作干扰。在没有明确分享给另一参与主体的情况下，链上数据不能被其他主体获得。同时，应可验证该隐私交易的真实性。隔离性要求规范了区块链应用的数据隔离能力，除以上总体要求外，还包括以下具体要求：

- 1) 对于需要通过智能合约来执行复杂的处理逻辑的，应要求区块链应用实现智能合约的数据隔离。同一个区块链网络上的多个智能合约的业务数据是彼此独立的。当一个合约被多次合约调用时，必须确保任意一次调用期间不能访问到其他调用所产生的过程数据。
- 2) 在碳核查系统的建设过程中，应建设一个可以面向碳排放管理和碳排放权交易的业务环节上的所有用户的管理体系，该体系可以根据企业、政府部门、相关检测机构的不同业务属性合理地分配功能权限，保证相关业务过程的安全性。利用区块链实现账户信息的多方共享，共同维护，实现账号管理体系的去中心化。账号体系下的每个用户会被分配到一个公钥和一个私钥。公钥的信息与账户的标识信息（如用户姓名，身份证的数据摘要等）所绑定，账户的私密信息保存在各参与方的业务系统中，且不对外暴露，从而在完全保护用户数据隐私的情况下，实现了账户体系的统一。账号的登录验证通过密码学不对称加密的机制进行，利用数学机制保证了登录

的有效性。用户私钥由用户个人保管，任何业务系统及认证中心在原则上不保留用户私钥痕迹，从而保证用户对账户的完全掌控权。基于非对称加密的数字身份和区块链天然相匹配，区块链中账户名就是个人公钥地址转换而来的，智能合约可以根据用户的公私钥做身份识别、权限控制等一系列功能。同时区块链的不可篡改、防勾连等功能为数字身份的可行度做了背书。

3.4.5 共识要求

目前，区块链的各类共识算法均存在优缺点，需根据不同行业、应用场景、区块链设计架构等进行灵活选择。共识要求具体包括：

- 1) 区块链平台应支持多种共识算法（例如 BFT 类共识算法、POS、DPOS、RAFT 等），并支持智能合约执行引擎（例如 EVM、HVM、BVM 等），智能合约支持多种编程语言（例如 Solidity、Java、Go 等），提供完善的合约生命周期管理。
- 2) 共识算法应支持节点验证相关数据，防止任何节点在没有其他节点确认的情况下记录或篡改信息。对于对区块链网络准入节点校验较弱或允许任何节点加入区块链网络的应用场景，应要求共识规则需要具有一定的容错能力，包括非恶意的失败，例如节点物理或恶意的失败和网络故障，可采用类 BFT 等共识算法。
- 3) 可选的，可结合不同共识算法的优点，组合使用多种的共识机制。例如区块链主网与子网可根据共识参与方以及实际业务要求，采用不同的共识算法，但应保证同一条区块链上的共识算法保持一致。
- 4) 可选的，区块链可设计为可插拔式共识机制，使得区块链被应用于不同场景时可以灵活选择开放共识算法。

4. 行业应用设计举例

4.1 企业应用设计

4.1.1 行业应用需求分析

目前，我国针对具体行业的温室气体排放核算方法和报告指南已经发布了 24 个，主要差别体现在不同行业的核算方法有一定的特殊性，不能够完全通用。我们挑选一个具体行业，分析其应用需要，为大家针对不同行业的设计提供一个参考。

根据《中国机械设备制造企业温室气体排放核算方法和报告指南（试行）》，机械设备制造业包含了金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、汽车制造业、铁路、船舶、航空航天及其他运输设备制造业、电气机械和器材制造业。核算的温室气体为二

氧化碳、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫四种温室气体，排放源包括化石燃料燃烧排放、工业生产过程排放以及净购入电力、热力所产生的排放。适用范围为从事机械设备制造的具有法人资格的生产企业和视同法人的独立核算单位。

机械设备制造企业作为碳核查数据的提供源，其应用设计应满足如下要求：

- 功能上，机械设备制造企业应用需满足碳核查所需材料的收集、汇总、汇算和合理展示、出具双碳核查报告等功能，帮助各级政府和主管机构尽快获得所需区域或行业碳排放情况，提升政府管理碳排放的能力。
- 数据上，企业所采集的碳核查数据应满足真实性、及时性、可追溯性、可监管性与隐私性要求。机械设备制造企业应利用区块链对数据进行不可篡改、不可删除的特性，结合工业互联网技术，通过各类物联网(IOT)设备，将现场数据准确及时地采集到平台进行处理，通过大数据和人工智能分析趋势保证数据的有效性。同时利用区块链密码学相关算法，保证数据的隐私性。通过设置政府监管节点，保证数据同步存证且可监管。

4.1.2 应用总体设计

机械设备制造企业应用设计一般由生产层、IoT 数据采集层、数据核算层、核查管理层，以及对接核查机构的 API 接口层等构成。各层详细功能如下：

- 生产层完成机械产品基本的生产过程，包括设计、制造、装配与产品测试等步骤，该过程将产生能源资源的消耗。
- IoT 数据采集层采集企业导致的温室气体排放量，相应数据将通过物联网设备进行自动采集。
- 排放源数据核算层对 IoT 设备采集的数据进行计算，得出化石燃料、电力、热力、过程排放等能源消耗量，并通过 AI 模块对未来数据进行预测。
- 碳核查管理层负责碳核查数据的合理展示、配额管理、数据采集管理、排放情况管理、核查任务管理等功能。
- 接口层的功能为将碳核查数据通过区块链可信边缘服务器等设备与行业双碳联盟链或碳核查机构进行对接，进行上链存证。
- 区块链系统层是机械设备制造企业接入区块链的节点系统，包括智能合约模块和区块链核心模块。

下图为建议的机械设备制造企业应用设计的功能模块建议系统架构图。

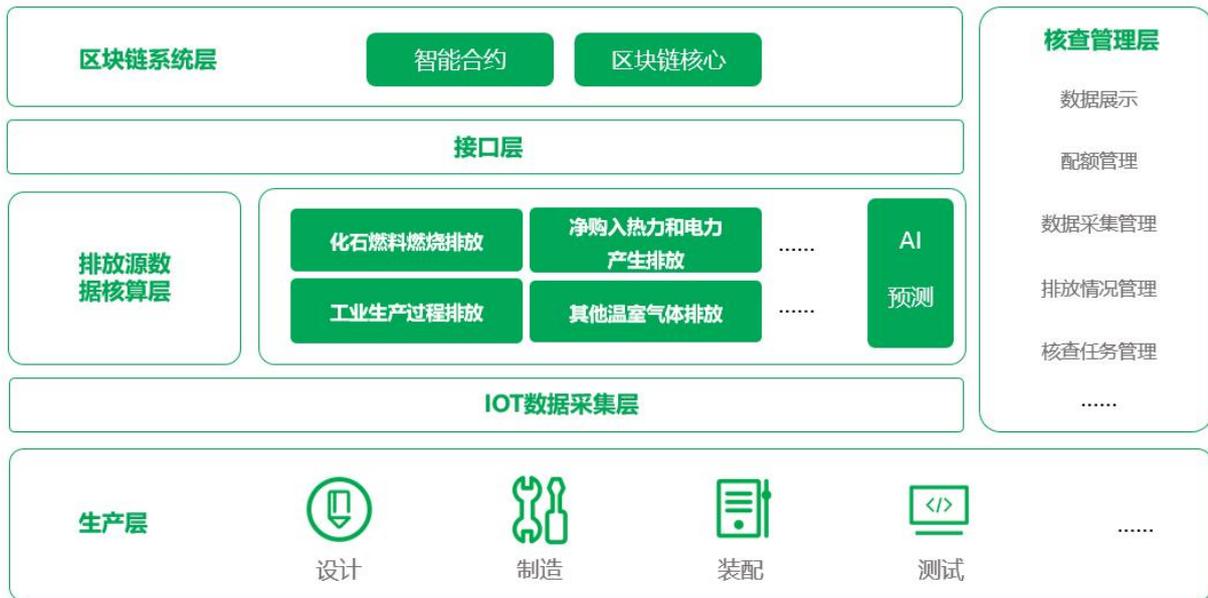


图 3.6.1 机械设备制造企业应用系统架构图

4.1.3 生产层

生产层完成机械设备生产，由各机械设备生产企业根据实际情况进行设计，满足企业日常生产需求即可。

4.1.4 IoT 数据采集层

IoT 数据采集层适配机械设备生产层，对企业导致的温室气体排放进行自动数据采集。IoT 设备在数据采集过程中应满足 3.4 节工业互联网应用要求，采集的数据应规范和一致，便于数据核算层进行统一计算。

4.1.5 排放源数据核算层

数据核算层对工业互联网采集的数据进行统一计算，核算层分为化石燃料燃烧排放计量模块、净购入电力消费排放计量模块、净购入热力消费排放计量模块、工业生产过程排放计量模块、其他温室气体排放计量模块与 AI 预测模块。

采集的数据可在区块链系统层中的智能合约进行自动核算，生成核查报告，保证数据和核算方法的不可篡改。数据计算过程应利用密码学相关能力满足数据的安全性与保密性要求，避免企业的生产数据泄漏，保护企业隐私。

AI 预测可以通过对历史与现有数据进行分析，对未来企业的碳排放使用情况与配额管理提供理论指导依据。

4.1.6 碳核查管理层

碳核查管理层用于工程机械企业应用的管理，负责相关碳核查数据配额、用量、采集的管理，具体包括如下子模块：

- 数据展示：对机械设备制造企业应用碳核查相关数据进行合理展示，包括总体情况大屏展示，下钻分析，同类设备、同类车间的历史对比等；
- 配额管理：包含配额录入、配额调整等，手工录入的配额可以被政府部门确认并通过区块链网络同步过来的配额覆盖；
- 数据采集管理：负责数据采集管理等功能，具体包含采集碳核查过程中企业的基础信息录入、购入资源手工凭证录入、IoT 数据采集层自动信息采集管理、实测的排放因子等；
- 排放情况管理：管理本年度配额、当前排放情况、月度汇算、年度排放情况预测、绿能使用情况等；
- 核查任务管理：包含核查任务接受、远程核查、核查报告申诉、核查智能合约录入、不符合项管理等。

4.1.7 接口层

接口层用于提供对外接口，负责通过区块链可信边缘服务器等设备，使得机械设备制造企业可以进行数据的上链存证和共享，对接行业双碳联盟链或碳核查机构，实现数据的交互与监管核查。在此过程中应满足标准性要求，数据安全性要求、保密性要求、隔离性要求等。

4.1.8 区块链系统层

区块链系统层是机械设备制造企业接入区块链的节点系统，包括智能合约模块和区块链核心模块。机械设备制造企业可通过调用智能合约对排放源数据进行计算，获得可信碳核查报告。区块链核心模块则负责相关碳核查数据的存证与共享。

机械设备制造企业对接核查机构、生态环境厅、省级生态环境主管部门、注册登记机构等有关部门时，需将化石燃料燃烧排放、工业生产过程排放、净购入热力与电力产生排放、其他温室气体排放等原始数据进行哈希上链存证，并通过零知识证明等密码学算法支持核查机构对企业进行数据真实性的远程查看与验证；企业需将生成的阶段性碳核查报告（例如月度、年度报告）上链，有关部门可通过代理重加密查看相应的碳核查报告。

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
------	------	------	------

重点排放单位	碳排放原始数据及哈希值	IoT 设备定期数据采集	无
重点排放单位	阶段性碳排放报告	核算层定期计算得出碳排放报告	指定的核查机构、两级生态环境主管部门
重点排放单位	年度碳排放报告	年度碳排放报告提交	指定的核查机构、两级生态环境主管部门
重点排放单位	排放报告的相关支撑材料（如组织机构图、厂区分布图、工艺流程图、设施台账、生产日志、监测设备和计量器具台账、支撑报送数据的原始凭证，以及数据内部质量控制和质量保证相关文件和记录等。）	支撑材料提交	指定的核查机构、两级生态环境主管部门
重点排放单位	不符合项整改情况及证据	被核查企业完成不符合项整改，提交整改结果及证据	指定的核查机构、两级生态环境主管部门

4.2 碳核查机构应用设计

4.2.1 碳核查机构需求

碳核查机构是指具有一定的资格和能力，根据规定的核查规则、技术标准和程序要求，对纳入配额管理的单位提交的碳排放报告开展核查，出具独立的核查报告并承担相应责任的专业机构。

碳核查机构是碳核查过程主要执行主体，所承担的职责及主要需求包括：

(1) 快速核对企业碳排放数据和记录

核查机构定期或按需为重点排放单位编制核查报告，需要对企业编制的排放报告、支持性文件进行核对与评审，并开展针对排放设施、监测设施等设施设备的现场评审，需要对相关的文件、数据等记录进行快速核对。

(2) 监督企业不符合项的整改

完成文件评审、现场核查后，核查机构应将过程中发现的不符合项提交给委托方和重点排放单位，相关单位应在商定的时间内采取纠正和纠正措施，核查机构对不符合项的整改情况进行书面验证，必要时可采取现场验证的方式。

(3) 快速准确给出核查报告

根据主管部门的部署和安排，核查机构对重点排放单位的排放报告进行核查，并在规定的时间节点前出具核查报告。

(4) 为改善核查方法提出建议

随着产业及技术的快速发展，以及国家“双碳”策略的不断优化调整，现行核查方法可能会出现不适用、不好用甚至有漏洞的情况，在一线实施核查工作的核查机构有责任、有义务对核查方法提出改善建议。

4.2.2 碳核查机构应用总体设计

基于以上碳核查机构的主要需求，面向核查机构的基于工业区块链的碳核查系统应用架构如下图所示。



图 4.2.2 碳核查机构应用架构图

面向核查机构的基于工业区块链的碳核查系统以工业互联网及区块链技术为底层应用基础，通过多源数据采集、数据共享及存证溯源等服务实现对碳核查业务应用的支撑。业务应用层以碳核查流程为本、以企业碳数据为核心，完成企业碳排放数据核查及相关业务流程的实现。

(1) 基础设施

基础设施层包括系统运行必须的计算、存储、网络等云计算基础设施资源，支持公有云、私有云及混合云部署模式。为基于工业区块链的链碳核查系统提供按需弹性扩展的节点资源、分布式存储账本等区块链资源。此外，还包括手工录入、系统对接、IoT 设备等数据来源，完成系统数据的采集及数据接入。

（2）区块链平台

通过统一接口为上层应用及用户提供区块链基础服务，提供标准化区块链平台开发、部署、运维模板，主要功能包括：

共识算法：实现区块链平台共识算法的管理，基于不同的业务应用场景可配置使用不同的共识机制。

链网管理：实现区块链平台底层引擎的配置与管理，实现基于不同区块链引擎的快速建链。

分布式账本：实现账本数据的持久化存储及管理，包括区块、交易、状态、历史读写集等，对外提供相关数据查询功能。

加密算法：实现区块链平台加密算法的管理与配置，通过密码学算法为链上成员及节点提供认证、授权及隐私保护。

身份认证：实现区块链节点的标识及角色的权限控制管理。

合约管理：实现区块链平台智能合约的管理，包括合约信息查看以及合约安装、初始化、调用、配置等。

区块链浏览器：实现区块链平台链关键运行信息、配置信息、实时性能资源运行情况等信息的实时浏览、按需查询以及综合统计等功能。

区块链统一接口：以网关接口的形式对外提供区块链平台服务调用，包括但不限于共识算法管理、区块链引擎管理及配置、分布式账本管理、加密算法管理、合约生命周期管理等上述区块链基础服务。

（3）公共服务

公共服务层主要提供上层业务应用共用的、贯穿碳核查全流程的通用服务，包括区块链服务和业务公共服务两类。区块链服务主要包括身份服务、存证服务、目录服务、溯源服务、数据共享服务、用户管理、运行监控等基于区块链平台的通用 SaaS 服务；业务公共服务主要包括行业核算模型管理、核查流程管理、核查报告模板管理、统计模型管理、AI 预警等与核查业务相关的共用服务及管理。

（4）业务应用

针对碳核查机构开展碳核查工作流程及主要工作内容，业务应用层主要实现制定核查计划制定、原始数据核查、排放数据核算、不符合项整改监督、核查报告管理、企业认证管理等功能。

4.2.3 核查计划制定

充分考虑重点排放单位所在的行业领域、工艺流程、设施数量、规模与场所、排放特点等因素，制定核查计划并确定任务分工。要求省级生态环境主管部门、被核查排放单位在计划规定的日期内提交温室气体排放报告及相关支持文件。

核查计划制定流程中上链信息、原因和共享主体如下表所示。

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
核查机构	核查计划	核查机构完成核查计划制定并提交	被核查单位 省级生态环境主管部门

4.2.4 原始数据核查

核查机构完成对被核查排放单位提交的温室气体排放报告和相关支持性材料（重点排放单位基本情况、排放设施清单、排放源清单、活动数据和排放因子的相关信息等）的核查，也包括对数据产生、记录、汇总、传递和报告的信息流过程的核对。

数据核查流程中上链信息、原因和共享主体如下表。

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
核查机构	数据核查结果	完成原始数据核查并提交结果	省级生态环境主管部门 及被核查排放单位

4.2.5 排放数据核查

核查机构完成对被核查排放单位排放数据及核算，包括核算边界核查、核算方法核查、核算数据（包括活动数据、排放因子、温室气体排放量以及配额分配相关补充数据等）核查、质量保证和文件存档的核查。

排放数据核查流程中上链信息、原因和共享主体如下表。

上链主体	上链信息类型	上链原因	共享主体
------	--------	------	------

核查机构	核查结果	核查机构完成排放数据核查	省级生态环境主管部门及被核查排放单位
------	------	--------------	--------------------

4.2.6 不符合项整改监督

核查机构将在实施核查工作过程中发现的不符合项提交给省级生态环境主管部门及被核查排放单位，出现不符合项的机构需在规定采取纠正和纠正措施并提供相应的证据，核查机构对不符合项整改情况进行监督验证，确认满足要求后可确认不符合项的关闭。

不符合项整改监督流程中上链信息、原因和共享主体如下表所示。

上链主体	上链信息类型	上链原因	共享主体
核查机构	不符合项清单	核查机构核查过程中发现的不符合项清单，并提出整改要求	两级生态环境主管部门及被核查单位
被核查企业	不符合项整改情况及证据	被核查企业完成不符合项整改，提交整改结果及证据	两级生态环境主管部门 碳核查机构

4.2.7 核查报告管理

核查机构完成核查报告的管理，包括核查报告的新增、编辑以及核查报告模板管理等功能。

核查报告管理中上链信息、原因和共享主体如下表所示。

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
核查机构	核查报告	核查机构完成核查报告编制、内部审核后进行检查报告交付	生态环境部 省级生态环境主管部门、 被核查单位

4.3 生态环境部门应用设计

根据生态环境部门在碳核查工作中的组织架构、工作目标和功能职责，我们将生态环境部门的应用分为两级，分别是生态环境部应用和生态环境厅应用。

4.3.1 生态环境部应用设计

生态环境部应用功能架构设计如下：



图 3.8.1 生态环境部应用设计架构图

其中基础设施层、区块链平台层和公共服务层的介绍见第 4.1.2 节。

4.3.1.1 省级碳排放配额管理

根据了解，省级行政区划内总的碳排放配额，由政府有关部门根据我国双碳战略目标经过分解后，通过生态环境部分配到各省，各省根据本省重点排放单位的情况，对每个企业的碳排放配额提出建议，报送生态环境部最终审核通过后，成为重点排放单位的年度配额。

该模块为各省分配全省企业总碳排放配额，并提供管理。应支持省级碳排放配额的录入/导入，修改，并能够按行政区划查询各省最新的配额分配、使用、清缴情况。应支持生态环境部最终审核重点排放单位的碳排放配额。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息类型	上链原因	上链信息共享主体
生态环境部	省级行政区划总配额	省级行政区划总配额的录入、修改	获得配额的省级生态环境主管部门

			获得配额的省份相关政府部门
生态环境部	重点排放单位配额	重点排放单位年度配额的最终审定并提交	获得配额的重点排放单位所在省级生态环境主管部门 全国碳排放注册登记机构

4.3.1.2 重点排放单位碳排放查询

生态环境部是重点排放单位碳排放配额的最终确认部门，应支持对任一单位的碳核查全部信息进行查询。

该模块应支持生态环境部相关管理人员查询任一重点排放单位的碳排放月度盘查报告、年度盘查报告、第三方核查报告，应能显示企业的核查进度，支持对报告历史数据查询和比较、行业横向比较、数据逻辑检查，应能够对异常数据进行预警。

上链信息、原因和共享主体：无。

查询人员的角色、权限由生态环境部设定。

4.3.1.3 碳核查机构管理

对碳核查机构实施资质管理，对技术服务机构参与到碳核查工作需要有一定的资格人员、服务经验要求，对申请碳核查资质的机构有一定的管理流程要求。碳核查资质机构初期列表可以由曾经服务过的机构申请并经过审核后产生。省级生态环境主管部门应可以使用最新列表进行技术服务机构的查询和选取。

该模块维护一个具有碳核查资质的技术服务机构列表。应支持碳核查机构进行注册、申请、材料提交以及记录管理资质评审过程，对不再符合资质要求的机构进行剔除等，应支持查询某核查机构的历史服务记录。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
生态环境部	碳核查资质机构	加入碳核查资质机构列表	全部省级生态环境主管部门
生态环境部	碳核查资质机构	从碳核查资质机构列表中剔除	全部省级生态环境主管部门

生态环境部	技术服务机构评审表	碳核查机构的评审完成并提交	/
-------	-----------	---------------	---

4.3.1.4 碳核查资格人员管理

对参与碳核查工作的专业人员进行资格认定。资格人员参与碳核查工作时，应该在某家碳核查机构中供职。

该模块维护一个具有碳核查资格的人员列表。应支持碳核查资格人员注册、材料提交，资格人员管理可以委托第三方进行，并记录管理资格评审过程，对不再符合资格要求的人员进行剔除等。应支持查询某资格人员的历史服务情况、当前服务机构等信息。上链信息、作用和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
生态环境部	碳核查资格人员资料评审表	资格人员资料评审完成并提交	/
生态环境部	增加的碳核查资格人员	资格人员的增加	全部省级生态环境主管部门
生态环境部	剔除的碳核查资格人员	资格人员的剔除	全部省级生态环境主管部门

4.3.1.5 统计报告管理

作为碳核查工作最高主管部门，需要根据不同工作要求完成大量的数据统计报告工作。

该模块应能够覆盖常用的碳核查统计报告，应支持全国碳配额清缴情况汇总表、省级行政区划碳配额清缴情况统计表、全国年度碳核查工作进展统计、省级碳核查工作进展统计表等，应支持多种常用格式的报告导出和打印。

上链信息、作用和共享主体：无。

4.3.2 省级生态环境主管部门应用设计

省级生态环境主管部门应用系统架构设计如下：



图 4.3.2 省级生态环境主管部门应用系统架构图

其中基础设施层、区块链平台层和公共服务层的介绍见第 3.7.2 节。

4.3.2.1 核查工作管理

省级生态环境主管部门对本行政区域内的重点排放单位的碳核查工作进行管理和监督，包括招标核查机构，对核查工作的过程和质量进行监督。

本模块应能够查看本省最新的重点排放单位列表，对待核查单位进行筛选，应支持按照名称、行业、区域进行筛选和排序；应支持为单位指派核查任务，支持对单一单位、行业、区域的排放单位核查任务指派给选定的核查机构；应支持查询任一企业的核查情况，包括企业碳盘查报告、核查报告、核查结论等。

上链信息、原因作用和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
省级生态环境主管部门	碳核查任务	为某一个或一批企业指定核查机构	获得任务的重点排放单位 获得任务的碳核查机构 生态环境部

4.3.2.2 复查工作管理

省级生态环境主管部门对本行政区域内的重点排放单位的碳核查工作进行管理和监督，包括招标核查机构对已经完成核查的企业进行再次抽查，评估核查质量和成果，评估核查机构的工作成果。

本模块应能够查看本省最新的重点排放单位列表，对已经完成了核查的企业进行筛选，应支持按照名称、行业、区域进行筛选和排序；应支持为企业指派复查任务，支持

对单一企业、行业、区域的企业再核查任务指派给选定的核查机构；应支持查询任意企业的核查情况，包括企业碳盘查报告、核查报告、核查结论、再核查结论等。

上链信息、作用和共享：

上链主体	上链信息类型	上链原因	链上信息共享主体
省级生态环境 主管部门	复查任务	为某一个或一批企业指 定再核查机构	获得任务的重点排放单位 获得任务的碳核查机构 生态环境部

4.3.2.3 核查工作报表

核查工作报表应能够帮助省级生态环境主管部门随时掌握本省当年的碳核查工作安排和进度，为其推进碳核查工作提供有力支持。

该模块应支持对全行政区划内的待核查企业进行列表和输出，应支持对全省待核查企业及核查任务指派情况和核查进展进行列表和输出，应支持按照名称、行业、区域进行排序。

上链信息、作用和共享主体：

上链主体	上链信息类型	上链原因	共享主体
省级生态环境 主管部门	操作日志	工作人员查询、输出核查工 作报表	/

4.3.2.4 重点排放单位配额管理

省级生态环境主管部门在收到生态环境部发布的本省总配额以后，将配额分配到本省重点排放单位，对企业配额提出推荐方案，报生态环境部做最终核准。重点排放单位配额确定后，再跟进重点排放单位配额清缴情况，对由需要清缴的重点排放单位进行督查。

本模块应能够支持对单一、批量重点排放单位进行配额录入，录入结果经审核后，上报生态环境部；应支持查询单一/行业全部/区域全部的重点排放单位的配额清缴情况；应能够对重点排放单位的配额清缴情况进行跟进和督查，向重点排放单位发出督查通知等功能。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息类型	上链原因	共享主体
省级生态环境 主管部门	企业配额	为重点排放单位年度配额进 行输入并提交	生态环境部

省级生态环境 主管部门	企业配额	为重点排放单位年度配额进行修改并提交	生态环境部
省级生态环境 主管部门	督查通知	向企业发出清缴通知	通知对应的重点排放单位

4.4 地方政府应用设计

地方政府是本地区企业的碳排放数据的使用者，根据地方政府的职责和基于工业区块链的碳核查系统的目标，我们提出如下应用设计。



图 4.4 地方政府碳核查系统应用架构图

其中基础设施层、区块链平台层和公共服务层的介绍见第 3.7.2 节。

4.4.1 碳排放数据管理

4.4.1.1 区域总体碳排放情况

(1) 区域历史排放情况

支持将碳排放数据进行清洗、处理和挖掘，突出重要指标数据，形成领导驾驶舱，使碳排放管理工作的进度和成果更为直观的全面展示，并可配合数据大屏，进行总体碳排放信息实时展示。运用区域碳排放总量、区域碳排强度、区域碳排指数等指标静态全景展示区域用能结构和单位 GDP 能耗水平，助力政府开展能源双控等实际化应用。通过用能数据和碳排放数据监测帮助政府掌握区域能源数据和能源结构，为区域实现节能减排发展战略提供量化决策依据及管理措施，鼓励企业发展绿色经济。

主要应用设计包括分析煤、油、水、天然气、电力等各类用能结构占比，采用分布扇形

图的方式动态直观展现，筛选条件包括年度、街道、行业等，根据不同的筛选条件组合，展示该筛选组合条件下的煤、油、水、天然气、电力等能源的用能结构占比和相应的碳排放量占比。分析单个企业、重点行业、某一区域内重点排放单位的月度、季度、年度用能总量、碳排放总量、排行和年度趋势变化，能效等级分高、中、低三色展示，展示本区域符合绿色制造企业名单（明星企业）、基本信息、所属街道、绿色制造类型等。

（2）区域排放预测预警

基于区域年度、季度、月度的供电量、供热量、供电排放强度、供热排放强度等排放量数据参数进行区域下一年度、季度、月度碳排放量的预测，协助地方政府提前预测区域配额分配以及配额盈缺情况。以及对碳排放量低于或超过规定的阈值、使用不同类型能源产生的温室气体排放比例超过国家规定、碳排放量或排放强度较历史同期出现异常情况等进行预警。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息类型	上链原因	链上信息共享主体
地方政府	区域年度、季度、月度的供电量、供热量、供电排放强度、供热排放强度等排放量数据参数	各重点排放单位碳排放报告的报送	对应省份的生态环境部门和相关部门

4.4.1.2 控排企业碳排放情况

（1）企业历史排放情况

地方政府同步采集与管理控排企业履约期的碳排放数据，根据控排企业上报的碳排放数据及核查/复查机构提交的核查/复查报告，形成统一的碳排放监督管理视图，实现碳排放数据的可视化监管。经过分析处理的碳排放数据可以在大屏上动态展示，通过图像、动画和文字等展示各控排企业基本情况及年度、季度、月度的温室气体排放总量、二氧化碳排放总量、碳排放权交易配额数据、主营产品产量、能源消耗情况、企业碳效值、企业碳中和率、企业碳效波动率等数据指标，以不同颜色区分不同状态，系统支持灵活的组合查询。

（2）企业排放预测预警

基于重点排放单位年度、季度、月度的供电量、供热量、供电排放强度、供热排放强度等排放量数据参数进行企业下一年度、季度、月度碳排放量的预测，协助地方政府提前

预测各个控排企业配额分配以及配额盈缺情况。以及对企业履约时间临近、碳排放量低于或超过规定的阈值、使用不同类型能源产生的温室气体排放比例超过国家规定、碳排放量或排放强度较历史同期出现异常情况等进行预警。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
地方政府	重点排放单位年度、季度、月度的供电量、供热量、供电排放强度、供热排放强度等排放量数据参数	碳排放报告的报送	本省的生态环境主管部门 本省的双碳工作相关部门

4.4.1.3 区域配额使用情况

(1) 配额使用情况

省级行政单位碳排放配额、重点排放单位年度配额由生态环境部最终确定后发放，并同步省级生态环境主管部门、相关政府部门、重点排放单位。

系统可动态展示区域碳排放权配额数据，具体包括区域配额持有量、区域配额使用量、区域配额缺口等详细数据，支持配额按机组装机、机组类型、行业、地区、企业、时间等多维度全属性检索及展示，并支持数据以图表、文档等形式导出。

(2) 配额预测预警

即时预测下一生产周期区域配额使用情况，将预测的配额量以及重点排放单位的实际碳排放量进行对比分析，并可手动设置适当的阈值，当系统内相应数据超过高阈值或低于低阈值时，系统发布配合相应事件类型的提示，以规避可能产生的交易风险，支持对异常情况进行持续跟踪，能够将出现的配额异常情况反馈至重点排放单位，对可能存在的履约风险给出预警提示。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	共享主体
地方政府	区域配额持有量、区域配额使用量、区域配额缺口	区域配额使用情况统计汇报	对应省份的生态环境部门和相关部门

4.4.1.4 碳市场行情与价格分析

(1) 实时行情分析

支持对接交易系统，实时抓取全国及各区域交易所的市场实时行情信息，展示碳价与交易量（或交易额）信息，碳价与交易量（或交易额）、市场价格等信息，并可进行长期保存，可随时调取查看任意时间段的变化曲线。

(2) 市场价格分析

支持通过“供求时序法”等分析方法，对配额及 CCER 市场价格行情及价格走势进行分析，同时对未来市场短、中、长期三种周期的预测，并生成分析结果，对碳市场价格异常变动或波动较大情况进行预警。碳市场价格预测（含配额与 CCER），可以对碳价进行短期、中期、长期预测。在价格预测显示页面可以同时显示历史预测价格与实际价格的对比。

4.4.2 深度分析

4.4.2.1 行业对比

支持各类数据指标进行排名，方便管理和考核，并支持对一个或多个对象同比、类比以及对标分析，提供给政府管理人员一个方便的数据统计和分析的工具。利用碳核查系统掌握区域内重点排放单位与重点排放行业的情况，通过同类型企业的横向比较，可以帮助企业进行碳足迹分析和更好地实施节能减排技术改造。优化执行对绿色制造企业的鼓励政策，以稳步推进碳核查工作。

(1) 指标分析

支持使用各类指标进行排名，变化趋势的查看，以方便管理和考核。应提供给政府管理人员一个方便的数据统计和分析的工具，指标包括：碳配额持有量、碳配额缺口、当前碳市场价格、当前碳市场缺口价格、盈缺比例、碳排放量、减排量、减排量价格、排放强度等。

(2) 对比分析

系统支持企业对一个或多个对象同比、类比以及对标分析，数据分析功能可通过行业、企业和生产信息进行分析对象的筛选，并存在多种数据类型可供选择。

4.4.2.2 漏洞发现

系统发布配合相应事件类型的提示，根据配额发放规则和地方政策进行相应预警，可对预警进行设置，包括预警对象、预警时间、预警内容、预警方式等，可以邮件和短

信的形式，将提示推送给相关责任人。

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
地方政府	预警报告	深度分析模块发出预警报告	省级生态环境主管部门

4.5 注册登记机构应用设计

根据《全国碳排放权登记交易结算管理办法（试行）》（征求意见稿），注册登记结算机构是实行自律管理的法人，不以营利为目的，受生态环境部委托，所承担的主要职责及需求包括：

（1）全国碳排放权登记结算相关业务规则和注册登记结算机构章程的制定与修改，并报生态环境部备案。

（2）登记账户、资金结算账户设立和监督管理。

（3）全国碳排放持有、转移、清缴履约和注销的登记。

（4）全国碳排放权的资金的结算与相关信息的披露管理。

（5）对登记参与主体、结算参与主体及登记、结算活动监督管理。

（6）应妥善保存登记账户中的有关信息，保存期限不得少于二十年。

（7）对因交易导致的全国碳排放权权属变更予以登记。

（8）对因下列情形导致的重点排放单位、机构和个人的全国碳排放权非交易权属变更予以登记：

a) 重点排放单位碳排放权的清缴履约；

b) 继承、捐赠、依法进行的财产分割；

c) 法人合并、分立，或因解散、破产、被依法责令关闭等原因丧失法人资格；

d) 司法扣划；

e) 实施碳中和；

f) 重点排放单位、机构和个人自愿注销碳排放权；

g) 法律、行政法规及生态环境部规定的其他情形。

（9）对碳排放权因冻结、解冻等原因导致其持有人权利受到限制的，应当对此部分加以标记。

（10）按照货银对付的原则，在当日交收时点，根据交易系统的成交结果，以交易主体为结算为单位，通过注册登记结算系统进行全国碳排放权与资金的逐笔全额清算交收。

基于以上碳核查机构的主要需求，面向注册登记机构的基于工业区块链碳核查系统

应用架构如下图所示：



图 4.5 注册登记机构碳核查系统应用架构图

注册登记结算机构为不同用户主体账户管理功能，为重点排放单位、机构和个人提供碳排放权的确权、登记以及结算服务，登记服务具体包括碳排放权持有、转移、清缴履约以及注销等。下面将详细介绍各个功能模块。

4.5.1 账户管理功能

支持重点排放单位、机构和个人的账户开户、账户信息的查询与变更、银行账户绑定、绑定信息查询与修改、操作日志的查询、账户注销；支持为生态环境部、省生态环境主管部门提供账户开户、账户权限管理、账户注销、账户信息修改。

账户开户上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
注册登记机构	企业账户信息	企业在登记注册系统提交企业注册表单	生态环境部、省/市级生态环境主管部门
注册登记机构	账户信息变更	用户在账户修改页面提交账户变更表单	生态环境部、省/市级生态环境主管部门

4.5.2 碳排放权登记

支持碳排放权登记、变更登记，为用户提供碳排放权的数字存证证书。

提供配额等碳资产的初始登记（配额分配）、变更登记（包括履约、交易划转、交易清结算等业务操作以及企业分立、合并等引起的碳资产变更）及注销登记（包括履约注销、收缴注销、自愿注销）功能，注册登记系统中的信息是判断配额等碳资产归属的最终依据

上链信息、原因和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
注册登记机构	变更登记表 单	企业在登记注册系统中提交变更登记表单	生态环境部、省/市级生态环境厅
注册登记机构	注销登记表 单	用户在账户修改页面提交注销登记表单	生态环境部、省/市级生态环境厅

4.5.3 信息查询

支持用户对其账户进行配额发放记录查询、持仓信息查询、资金出入查询、交易成交信息查询。

上链信息、作用和共享主体：无。

4.5.4 履约管理

支持履约通知书提醒与查询、履约申请、履约到期预警、自动履约，系统将重点企业的履约申请材料与企业账户相关联，存储到区块链上，同时，基于智能合约可以自行设置到期履约提醒、自动履约。

上链信息、作用和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
注册登记机构	变更登记表单	企业在登记注册系统中提交变更登记表单	生态环境部 省/市级生态环境主管部门
注册登记机构	注销登记表单	用户在账户修改页面提交注销登记表单	生态环境部 省/市级生态环境主管部门

系统支持各地政府对本行政区域重点排放单位年度配额核定及清缴配额量确认，数据一键报送生态环境部并抄送全国碳排放权注册登记机构。此外，数据可同步支撑各地政府在全国排污许可证管理信息平台碳排放数据报送功能模块完成配额核定、应清缴配额量有关信息填报，便于通过全国碳排放权注册登记系统向重点排放单位分配下一年度经核定配额。

4.5.5 持仓划转

支持登记持仓转交易持仓、查询划转历史记录、定期自动划转、智能提醒服务，支持重点企业设置资金、配额定期划转，支持查看划转记录。

上链信息、作用和共享主体：

宜对用户的持仓划转操作的日志上链，目的是对账户金额、碳排放权的有效存证

上链主体	上链信息类型	上链原因	共享主体
注册登记机构	操作日志	用户进行持仓划转的操作	无

4.5.6 自愿注销

支持重点排放单位碳中和申请、定期注销、履约注销服务，通过智能合约设置定期注销碳中和申请数据、注销服务数据将被存储到区块链上。

上链信息、作用和共享主体：

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
注册登记机构	自愿注销表单信息	企业在登记注册系统中提交自愿注销表单	生态环境部 省/市级生态环境主管部门

4.5.7 结算

支持交易资金与碳排放权的清结算。在每日交易结束后，注册登记系统通过智能合约实现自动清算结算以及审计，按照交易流水逐步进行交易碳资产及资金的清算，将清算结果与交易系统进行核对，确认交易信息，并根据交易结果及登记划转交易结果完成碳资产的确权变更和资金的交割，实现银货兑付，确保交易的安全性。系统将每次交易双方、交易时间、交易形式、交割量等交割信息记录到区块链上，并且将每次的结算结果也记录到区块链中。

上链主体	上链信息	上链原因	链上信息共享主体
注册登记机构	交割信息	交易日结束交易后，为发生交易的企业办理交割，企业的碳排放权配额发证了变化。	生态环境部 对应省级生态环境主管部门 对应的重点排放单

			位
--	--	--	---

5. 未来展望

本文研究的基于工业区块链的碳核查系统，尽管只体现了碳核查的基本且必要的能力，但是同样展示出了巨大的可能性。对该系统的推广和采用，我们期望有以下作用：

(1) 推动基于工业区块链在优质重点排放单位的落地应用

工业互联网是碳核查系统的重要基础，是经验证的、对生产企业管理有良好作用的技术，但是很多企业因为投入大，见效慢，一直难下决心采用。重点排放单位从能源管理角度切入，具有对现有生产系统影响小、见效快的特点，通过该系统的推广，能够推动企业对工业区块链的理解和接受，加快我国的工业区块链的发展进程，形成一个影响深远的基础设施。

(2) 推进工业区块链的碳核查方法规范化

采用工业区块链的碳核查系统，目前处于摸索期，由于未来的系统参与方的基数大，行业多，加上制造企业异常复杂，工业互联网设备的多样性，所有的困难是倍乘关系。通过工业区块链应用到一个个行业，一个个企业，随着大量的经验积累，相信未来能够提取出一整套规范化的方法，快速应用于各种企业。

(3) 推动企业碳排放管理优秀的企业进入国际碳排放交易市场

我国碳排放权交易市场的碳价，相对全球市场特别是欧美发达国家来说，是很低的。国内碳排放管理优秀的企业，很有竞争力。可以考虑走出中国，与全球其他同行业竞争。当前，优秀企业走出去的主要问题是数据可信度差、透明性差。通过采用工业区块链形成的碳排放数据，可以解决数据可信、透明的问题，从而让这一部分企业率先进入国际市场进行碳价竞争。

(4) 鼓励优秀企业的配额捐献给公益产品，促进全民节约，助推减排意识

优秀企业的结余的碳排放配额，通过碳排放交易市场可以转变为资金。具有较多配额结余的企业，一定是许多行业内非常重视节能的先进企业。我们鼓励这些优秀的企业，将清缴后剩余的配额，捐献给环保基金，通过基金去推动环保，例如投入到节碳产品或者鼓励公众环保的应用，如减塑技术、低碳出行、低碳方式生活等。

6. 参考资料

- [1] 企业温室气体排放报告核查指南（试行）
https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202103/t20210329_826480.html
- [2] 碳排放权交易管理办法（试行）
http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-01/06/content_5577360.htm
- [3] 关于做好全国碳排放权交易市场第一个履约周期碳排放配额清缴工作的通知
http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202110/t20211026_957871.htm
- [4] 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）
<https://mp.weixin.qq.com/s/1XAfPC9d3MT6ral6fAwWMg>
- [5] 《数字碳中和白皮书》，中国信息通信研究院，2021年12月
<https://www.everimpact.com/>
- [6] Kuva Systems Awarded CRIN Funding for Improving Methane Leak Monitoring
<https://www.kvasystems.com/press-release/kuva-systems-awarded-crin-funding-for-improving-methane-leak-monitoring>
- [7] Smart Solutions for Smart Cities: Carbon Reduction in Urban Areas
<https://www.pluginandplaytechcenter.com/resources/smart-solutions-smart-cities-carbon-reduction-urban-areas/>
- [8] 《区块链白皮书》，中国信息通信研究院，2021年12月
- [9] 《碳市场建设离不开顶层制度设计》，中国商报，2021年7月
- [10] ISO 14065:2020 General principles and requirements for bodies validating and verifying environmental information Principles
- [11] 【关于印发第三批10个行业企业温室气体核算方法与报告指南（试行）的通知（发改办气候〔2015〕1722号）】
https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201511/t20151111_963496.html
- [12] 关于发布《碳排放权登记管理规则（试行）》《碳排放权交易管理规则（试行）》和《碳排放权结算管理规则（试行）》的公告
http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202105/t20210519_833574.html
- [13] 区块链司法存证白皮书. 中国信息通信研究院、上海高级人民法院. 2019
- [14] 区块链证据真实性问题研究[J]. 崔世群. 经贸法律评论. 2021.6
- [15] 区块链赋能新型智慧城市. 中国信息通信研究院. 2019
- [16] 区块链发展研究报告. 清华大学人工智能研究院、北京智源人工智能研究院、中国工程院知识智能. 2020
- [17] 区块链白皮书2020. 中国信息通信研究院. 2020



工业互联网产业联盟

Alliance of Industrial Internet

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：18513956632

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

