

基于区块链的煤炭供应链溯源与结算平台设计

杨少国

华电集团北京燃料物流有限公司, 北京 100032

DOI:10.61369/ME.2026070021

摘 要： 煤炭供应链链路长、参与主体多、流转环节复杂，存在质量溯源难、数据易篡改、对账结算效率低、信任成本高等行业痛点。本文以企业实际业务场景为依托，结合区块链去中心化、不可篡改、时间戳存证、智能合约自动履约等核心特性，设计一套煤炭供应链溯源与结算一体化平台。阐述平台设计背景、总体架构、核心功能模块、关键技术方案与落地应用价值，解决企业煤炭采购、运输、质检、仓储、结算全流程溯源难、结算慢、信任弱的问题，为大型能源燃料物流企业数字化、可信化转型提供实践参考。

关 键 词： 区块链；煤炭供应链；溯源管理；燃料物流平台

Design of a Blockchain-Based Coal Supply Chain Traceability and Settlement Platform

Yang Shaoguo

Huadian Group Beijing Fuel Logistics Co., Ltd., Beijing 100032

Abstract： The coal supply chain has a long chain, numerous participants, and complex circulation links, presenting industry pain points such as difficulty in quality traceability, easy data tampering, low efficiency in account reconciliation and settlement, and high trust costs. Based on the actual business scenarios of enterprises and combined with the core characteristics of blockchain, such as decentralized nature, non-modifiability, timestamp evidence, and automatic contract performance, this paper designs an integrated platform for coal supply chain traceability and settlement. It elaborates on the design background, overall architecture, core functional modules, key technical solutions, and application value, aiming to solve the problems of difficult traceability, slow settlement, and weak trust throughout the entire process of coal procurement, transportation, quality inspection, storage, and settlement for large-scale energy and fuel logistics enterprises, providing practical references for the digitalization and trustworthiness transformation of such enterprises.

Keywords： blockchain; coal supply chain; traceability management; fuel logistics platform

引言

随着能源行业数字化转型持续深化，煤炭供应链从传统人工管控、线下流转模式，逐步向信息化、智能化、可信化方向升级。煤炭供应链涵盖煤矿供货、采购签约、干线运输、港口中转、入厂质检、库存管控、财务结算等多个环节，涉及煤矿、物流、港口、发电企业、财务机构等众多主体，链条数据分散、流转流程繁琐、权责界定模糊是行业普遍问题。传统系统数据可篡改、单据流转人工干预多、跨主体对账难度大，极易出现煤质争议、运单纠纷、结算滞后等问题，严重影响供应链整体运营效率。区块链技术凭借分布式账本、非对称加密、时间戳存证、智能合约自动执行的优势，能够构建供应链全流程可信数据体系，实现全程可溯源、数据不可篡改、结算自动履约，完美适配煤炭供应链多主体协同、高信任、高合规的管控需求。因此，设计适配燃料物流业务场景的区块链溯源与结算平台，具备极强的现实必要性。

一、技术基础

（一）区块链核心技术特性

区块链是一种分布式共享账本技术，具备四大核心特性，适配煤炭供应链管控需求。一是去中心化分布式记账，多主体共同

参与记账、同步存储数据，消除单一主体数据垄断与篡改空间；二是时间戳存证，每笔数据记录附带唯一时间标识，实现流程时序追溯；三是非对称加密，保障数据传输、存储安全，区分公开数据与隐私数据权限；四是智能合约，可预设业务规则，满足条件后自动执行对账、结算、单据确认等操作，减少人工干预。

作者简介：杨少国（1977-），男，山东沂水人，本科学历，高级会计师，研究财务管理，煤炭供应链相关理论。

（二）煤炭供应链溯源与结算内涵

煤炭供应链溯源是对煤炭从货源开采、采购签约、物流运输、港口中转、入厂验收、库存消耗全流程的煤质数据、运量数据、单据数据、流转轨迹进行全程记录与追溯，实现问题可定位、责任可界定。供应链结算是基于真实业务单据、运量、煤质指标，完成供需双方、物流主体的对账、核算、付款全流程工作。传统模式下溯源与结算相互独立，数据不互通，导致结算核验繁琐、溯源数据无法支撑纠纷处理。

（三）区块链适配煤炭供应链的优势

相较于传统信息化系统，区块链平台可实现多主体数据可信共享，解决煤矿、港口、物流、电厂、企业总部的数据孤岛问题；全程数据上链不可篡改，杜绝虚假单据、数据造假问题；智能合约替代人工对账，大幅压缩结算周期；全程时序存证，为业务纠纷、质量争议、合规核查提供可信凭证^[1]。

二、燃料物流供应链溯源与结算现存问题

（一）全流程溯源体系缺失，责任界定困难

企业现有业务系统仅记录核心交易数据，煤炭开采参数、洗选质检数据、运输轨迹、中转装卸记录等细节数据未全程留存。当出现热值不达标、煤质掺混、运量短缺等问题时，无法精准定位问题环节，难以区分煤矿供货、物流运输、仓储保管等各主体责任，极易产生供需纠纷。同时传统数据可后台修改，溯源数据可信度不足，无法作为合规核查与纠纷仲裁依据。

（二）多主体数据孤岛严重，协同效率低下

目前企业与上游煤矿、铁路港口、下游电厂的数据系统相互独立，数据依靠人工报送、线下对接，存在数据滞后、口径不一、重复录入等问题。采购订单、运单、质检单、入库单、结算单数据无法实时互通，跨主体核验需要大量人工对接，整体协同效率偏低。

（三）人工结算流程繁琐，周期长、差错率高

企业电煤结算依赖人工整理单据、线下对账、人工核算，流程环节多、工作量大。长协煤、市场煤结算规则复杂，不同货源、不同运输方式核算标准存在差异，人工核算易出现误差。整体结算周期长，资金对账、回款效率低，占用企业流动资金，影响供应链资金周转效率。

（四）数据合规与风控能力薄弱

传统系统数据留存不完整、可篡改，无法满足能源行业供应链合规监管、审计溯源的要求。同时缺乏自动化风控机制，无法实时监控异常运单、异常煤质、异常结算数据，业务风险多依靠人工排查，风控滞后性明显。

三、区块链溯源与结算平台总体设计

（一）设计目标

结合燃料物流业务痛点，平台以“可信溯源、智能结算、数据共享、风险可控、降本增效”为核心目标。搭建多主体联盟链

体系，实现煤炭供应链全流程数据上链存证；构建全链路溯源体系，实现货源、物流、质检、库存全程可追溯；依托智能合约实现自动化对账结算；打通上下游数据壁垒，提升多主体协同效率；搭建智能化风控体系，实现业务风险提前预警。

（二）设计原则

安全性原则：采用非对称加密、权限分级管理、数据脱敏技术，保障企业商业数据、交易数据安全，防止数据泄露与篡改。实用性原则：完全适配企业现有购销、物流、结算业务流程，兼容原有信息化系统，降低改造落地成本。可扩展原则：采用模块化架构，可根据业务迭代新增功能，适配后续业务拓展与政策调整。可信性原则：全程数据上链存证、时序追溯、不可篡改，保障数据真实有效^[2]。

（三）平台总体架构

平台采用分层架构设计，自上而下分为应用层、智能合约层、区块链核心层、数据层、基础设施层，同时对接企业原有供应链管理系统，实现新旧系统数据互通、业务衔接。

基础设施层：依托企业现有云服务器、网络设备、存储设备搭建运行环境，保障平台稳定运行，支持海量供应链数据存储与高速运算；数据层：整合采购数据、货源数据、物流轨迹、质检报告、库存数据、结算单据等全维度业务数据，通过数据脱敏、格式标准化处理后上链存储，基于默克尔树结构实现数据加密存证；区块链核心层：采用联盟链架构，纳入燃料物流、合作煤矿、港口物流、下属电厂等核心节点，实现多主体分布式记账，统一共识机制，保障各节点数据同步、一致、不可篡改；智能合约层：编写定制化业务合约，包含溯源存证合约、对账合约、结算合约、风控预警合约，预设长协煤、市场煤结算规则、质量核验标准、异常判定条件，实现业务自动履约；应用层：面向企业管理人员、业务人员、合作主体，搭建溯源管理、智能结算、数据可视化、风险管控、权限管理等功能模块，提供可视化操作界面。

四、平台核心功能模块设计

（一）全流程溯源管理模块

该模块是平台核心功能，实现煤炭供应链全环节溯源存证。一是货源溯源，记录煤矿开采批次、煤质参数、洗选检测报告、供货资质等数据，从源头锁定煤炭质量；二是采购溯源，将采购合同、长协协议、订单信息全部上链，留存交易凭证；三是物流溯源，对接铁路、水运物流数据，实时记录运输车次、船次、轨迹、装卸时间、中转节点等信息，全程跟踪货物流转；四是验收溯源，将入厂采样、化验结果、验收单据上链存证，留存煤质核验数据；五是库存溯源，记录煤炭入库、出库、库存变动数据，实现库存流转全程追溯。所有数据附带时间戳与主体签名，可随时溯源核验、界定责任^[3]。

（二）区块链智能结算模块

针对企业结算繁琐、效率低下问题，搭建自动化智能结算模块。首先完成数据自动对账，系统自动匹配订单、运单、质检

单、入库单，核对运量、煤质指标、价格标准，替代人工对账，自动校验数据一致性；其次实现智能合约结算，预设长协煤、市场煤结算规则，当货物验收合格、单据齐全后，智能合约自动触发核算，生成结算账单；最后支持线上审核与存证，结算单据线上流转审核，审核完成后自动上链留存，形成完整结算凭证，大幅缩短结算周期，降低核算差错率^[4]。

（三）多主体权限管理模块

平台采用分级权限管理，适配多主体协同场景。针对企业总部、区域分公司、煤矿供应商、港口、下属电厂设置不同操作权限，区分数据查询、录入、审核、结算权限。通过非对称加密技术实现隐私数据保护，各主体仅可查看、操作自身业务数据，公共溯源数据、合规数据可授权共享，兼顾数据安全与协同效率。

（四）数据可视化与统计分析模块

平台整合链上全量业务数据，生成可视化数据看板，展示货源质量、物流进度、库存状态、结算进度、业务纠纷等核心指标，为企业调度决策、资源统筹、成本管控提供数据支撑。同时支持数据溯源查询、报表自动生成，减少人工统计工作量。

（五）智能风控与预警模块

依托链上真实数据搭建风控体系，设置煤质异常、运量短缺、单据不符、结算超时等预警规则。当业务数据触发预警条件时，系统自动推送提醒，工作人员可及时介入核查处理，提前规避质量风险、交易风险与资金风险，提升供应链风险管控能力^[5]。

五、平台关键技术实现与落地保障

（一）联盟链技术选型

平台采用联盟链架构，相较于公链安全性更高、可控性更强、交易速度更快，适配企业商业化业务场景。准入节点经过严格审核，仅授权合作企业接入，实现多主体可信记账，既保留区块链分布式、不可篡改的优势，又规避公链隐私泄露、效率低下的问题。

（二）智能合约定制开发

基于企业电煤结算业务规则，定制专属智能合约，固化长协煤定价、煤质扣罚、运量核算、结算周期等业务规则，杜绝人工随意调整，保障结算公平公正。合约自动执行、全程留痕，实现结算流程透明化、标准化。

（三）新旧系统数据对接

平台预留标准化接口，无缝对接电燃料物流现有煤炭供应链管理系统，实现历史数据迁移、实时数据同步，无需彻底替换原有系统，降低平台落地成本与业务切换风险，保障业务平稳过渡。

（四）落地保障措施

企业可通过制度与技术双重保障推动平台落地。制度层面，完善区块链平台运维管理、数据录入、权限管控、业务操作规范，明确各岗位工作职责；技术层面，组建专项运维团队，定期维护系统、优化合约规则、升级安全防护体系，保障平台长期稳定运行；人员层面，开展业务培训，提升员工区块链平台操作能力，适配数字化业务流程。

六、平台应用价值与成效分析

（一）实现全流程可信溯源，化解业务纠纷

平台实现煤炭供应链全环节数据上链存证、全程可追溯，数据不可篡改、时序清晰、权责明确，彻底解决传统模式溯源难、举证难、责任模糊的问题，有效减少煤质、运量、单据相关的业务纠纷，降低企业法务与沟通成本。

（二）大幅提升结算效率，降低运营成本

智能合约自动对账、自动核算替代人工重复工作，大幅缩短结算周期，减少人工核算差错，提升资金周转效率。同时减少线下单据流转、人工对接成本，有效降低企业人力与管理运营成本。

（三）打通数据孤岛，提升协同管控能力

多主体联盟链实现上下游数据实时共享、同步更新，彻底打破数据孤岛，提升供应链整体协同效率。企业可依托链上全量数据，精准掌握货源、物流、库存、结算状态，提升供应链统筹调度与精细化管控水平。

（四）强化合规风控，助力数字化转型

链上数据全程留痕、真实可查，完全满足行业合规审计、监管核查要求。智能化风控预警体系实现风险前置管控，提升企业供应链抗风险能力。平台落地推动企业业务流程标准化、数据可信化，助力企业完成能源数字化、智慧化转型。

七、结论

本文以燃料物流业务场景为核心，针对企业煤炭供应链溯源难、结算慢、数据不可信、协同效率低等痛点，基于区块链核心技术设计溯源与结算一体化平台。通过分层架构设计、模块化功能搭建、定制化智能合约开发，实现供应链全流程可信溯源、智能自动结算、多主体协同共享、智能风险管控，有效解决企业传统业务模式的核心短板，大幅提升供应链运营效率、管控水平与经济效益。

参考文献

- [1] 胡亚辉；周昱江；庞义辉. 基于新一代信息技术的煤炭工业治理体系平台技术架构[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52 (S1): 228-237.
- [2] 黄奔晨. 基于区块链技术的煤炭运输供应链信息溯源方法[J]. 中国物流与采购. 2026 (02): 151-152.
- [3] 宣如军. 区块链技术赋能煤炭企业智慧物流平台建设的机理研究[J]. 中国煤炭. 2022, 48 (09): 80-86.
- [4] 佟妍. 基于区块链的煤炭供应链信息共享博弈研究[D]. 燕山大学. 2022.
- [5] 王剑锐. 区块链技术在煤炭港口应收账款融资中的应用研究[D]. 燕山大学. 2021.