

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2021.04.016

基于系统动力学的电力物资供应链区块化数据库研究

卢梦煜, 姜雪松, 刘爽, 林青

(东北林业大学 工程技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 针对电力物资供应链库存管理存在的信息中心化严重和各级之间信息传递慢等问题, 本文基于区块链的去中心化、信息可追溯、信息不可篡改性和智能合同特征, 提出建立以区块链技术为核心的区块化数据库。为验证其在供应链库存管理中的有效性, 运用系统动力学对电力物资供应链进行因果回路分析, 探讨区块化数据库对原有供应链库存管理产生的影响。建立了由制造商、供应商和物资平台组成的三级供应链系统动力学模型, 并将其影响下的改变量加入其中, 提出了供应链各节点企业不同合作程度下的库存管理模式。运用 Vensim 软件进行仿真模拟, 对各节点库存量进行对比分析, 验证区块化数据库对库存管理的适用性。研究发现, 优化后的供应链能够有效减少供应链库存整体牛鞭效应, 提高供应链整体响应速度和减少供应链整体库存成本。

关键词: 供应链库存管理; 区块链; 系统动力学

中图分类号: C931

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2021)04-0580-08

Research on block database of power material supply chain based on system dynamics

LU Mengyu, JIANG Xuesong, LIU Shuang, LIN Qing

(College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In view of the problems by serious information centralization and slow information transmission among different levels in the inventory management of power supplies supply chain, this paper proposes to establish a block database with the block chain technology as the core, based on the characteristics of block chain with decentralization, information traceability, information imtamperability and intelligent contract. In order to verify its effectiveness in supply chain inventory management, the cause-and-effect loop analysis of power supply chain is carried out by using system dynamics, with the influence of block database on the original supply chain inventory management discussed. Furthermore, a three-level supply chain system dynamics model composed of manufacturer, supplier and material platform is established, the change quantity under its influence is added into the model, and the inventory management model under different cooperation degree of each node enterprise of the supply chain is proposed. Vensim software was used for simulation, and the inventory of each node was compared and analyzed to verify the applicability of block database for inventory management. It is found that the optimized supply chain can effectively reduce the overall inventory bullwhip effect, improve the overall response speed of the supply chain and reduce the overall inventory cost of the supply chain.

Key words: supply chain inventory management; block chain; system dynamics

收稿日期: 2021-03-02; 网络出版日期: 2021-06-07

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20210607.1559.002.html>

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(LH2019E001); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2572018BL05)

第一作者: 卢梦煜, 男, 硕士生, 研究方向为工业工程与管理、供应链优化。E-mail: 260629692@qq.com

通信作者: 姜雪松, 男, 博士, 副教授, 研究方向为工业工程与管理、制造系统工程及信息化、现代机械设计理论与方法。
E-mail: xuesongjiang@nefu.edu.cn

国网物资公司在辅助类物资方面存在需求多样和偶发性大等不确定因素,而传统电力物资供应链的信息传递系统由于技术落后和对管理不够重视,供应链中信息中心化严重,各级之间信息传递能力较弱。研究表明,供应链各节点企业间信息共享程度低和交互速度慢会影响各节点信息传递的真实性和可靠性^[1]。信息透明度低会影响供应链整体的决策效率和效果,从而导致传统电力物资供应链跨界协同能力不足、供应链整体库存成本高、供应链整体响应速度慢等问题,传统电力物资供应链亟需通过新技术来解决上述问题。

区块链是一种分布式记账技术,具备去中心化、信息高度共享性、可追溯性和智能合同等特点,区块链技术能够很好地整合资源,并协调各参与成员共同制订共识协议^[2],鉴于区块链的优良特性,国内外许多学者都对区块链技术在供应链中的应用进行了积极探索。杨慧琴等^[3]建立了以区块链技术为核心的供应链信息平台,并将其应用在汽车供应链中,达到了很好的互利共赢;李保东等^[4]基于区块链技术,建立了汽车供应链产品追溯系统,很好地解决了汽车供应链各节点企业间的信任问题,提高了产品数据安全性和溯源效率;卢亚丽等^[5]将区块链技术应用于制造企业内部,构建了企业内部信息共享文明概念模型,有效提高了制造企业内部的服务水平;Lim等^[6]指出了区块链技术创造价值的三个方面,即可共享、安全和智能属性,其在供应链中体现为加密、共识机制和智能合同;Mangla等^[7]将区块链技术纳入牛奶供应链管理系统中,建立了分散的交易记录,可对供应链中关键信息进行准确追溯;Aslam等^[8]分析了区块链在复杂供应链中的应用情景,并将区块链技术应用于石油行业供应链中,有效提高了组织绩效。上述研究大多是将区块链技术应用于供应链的产品端,而在电力物资供应链的库存管理方面,区块链技术的应用研究目前还比较少。

研究表明,供应链各节点企业间信息共享程度越高,供应链整体库存成本越低,越有利于加强物流管理^[9]。本文将结合区块链技术与系统动力学分析方法,针对传统电力物资信息系统中存在的信息共享问题,提出基于区块链技术的区块链化数据库,并对电力物资供应链库存管理模式进行优化。该数据库吸收了区块链中联盟链的优势,能够很好地联合供应链各节点企业,由于系统动力学能够识别复杂系统的运行规律及特性^[10],利用系统动力学对传统电力物资供应链进行分析,对原有电力物资供应链库存管理模式进行优化,根据供应链各节点企业间

的不同合作程度,得出基于区块链化数据库模式下的新型库存管理模式。

1 系统动力学分析

1.1 电力物资供应链系统动力学分析

采用系统动力学方法对现实中电力物资供应链过于庞大的系统进行简化,将无关因素和对本研究影响很小的因素剔除,留下主要因素,并绘制它们之间的因果回路图,通过科学理性分析,构建适用于本研究的系统动力学模型。

1.2 传统模式下因果反馈图

传统模式下,电力物资供应链模型为三级供应链模型,分别为制造商、供应商、物资平台,三者均受需求单位需求量的影响,三者的关系如图1所示。

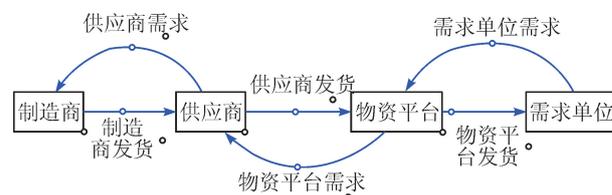


图1 三级供应链模型各节点关系图

Fig. 1 Relationship diagram of each node in three-level supply chain model

对供应链中各结构进行因果关系分析,发现传统电力物资供应链存在三个反馈回路,分别是:以制造商库存为节点的负反馈回路:制造商期望生产量—生产量—制造商在制品—制造商库存调整率—制造商库存—制造商发货量—供应商期望库存—制造商期望生产量;以供应商库存为节点的负反馈回路:供应商库存—物资平台订货决策—供应商发货量—供应商期望收货量—供应商库存调整率—供应商收货量;以物资平台库存为节点的负反馈回路:物资平台库存—销售量—物资平台期望收货量—物资平台库存调整率—物资平台订货决策—供应商发货量—物资平台在途品—物资平台收货量。明确三者之间的关系并补充各影响因素,得到传统模式因果流程图,如图2所示。

由图可知,传统模式下,电力物资供应链信息逐级传递,传递效率低下,传递途中失真严重,各供应链节点间信息传递时间延迟较大,系统对需求端的波动不敏感,无法做出快速回应。

1.3 应用区块链思想的数据库的因果反馈图

区块链化数据库模式和传统模式最主要的区别在于信息协同化程度不同。区块链化数据库具备去中心化的特点,能够很好地消除传统模式中信息在物资平台集中的现象;区块链化数据库中除用户隐私信息

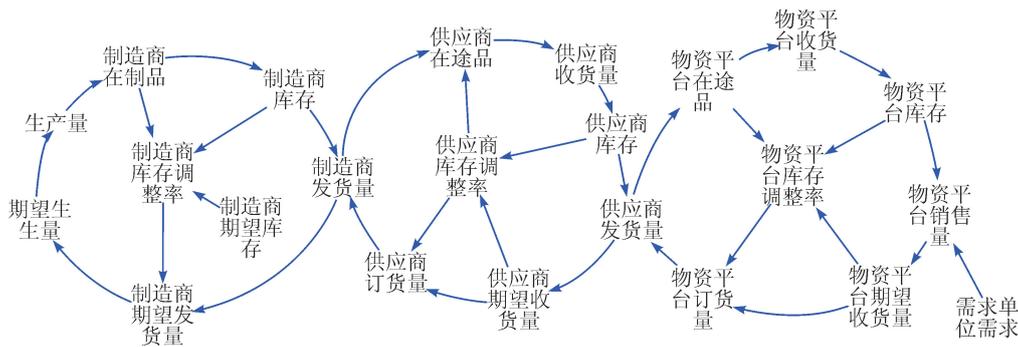


图 2 传统模式下的因果流图
Fig. 2 Causal flow diagram in traditional mode

外,其他数据都高度透明化,区块化数据库中的数据不能够被篡改,并且能够有效保证信息质量和信息可追溯性^[11],联盟链中各节点企业能够快速方便地获取可靠信息;区块链能够以代码形式将规则条款输入其中形成智能合约^[12],由于区块链存在共识机制,能够保证公平公正地执行智能合约,故能减少人工参与和提高工作效率。

根据区块化数据库的特点,构建区块化数据库模式下的电力物资供应链模型,该模型为三级供应链模型,分别为制造商、供应商、物资平台,三者均受需求单位需求量的影响,三者的关系如图 3 所示。

对供应链中各节点进行因果关系分析,发现区块化数据库对制造商生产量、供应商订货决策和物

资平台订货决策具有显著影响。在上文基础上补充各影响因素,得到区块化数据库模式下的因果流图,如图 4 所示。

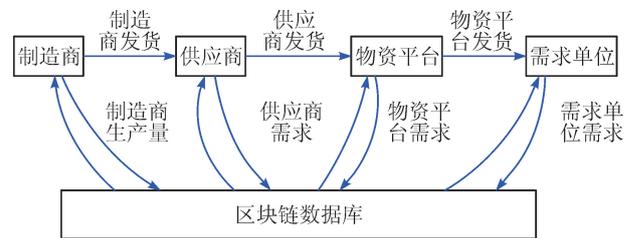


图 3 区块化数据库模式下电力物资供应链各节点关系
Fig. 3 Relationship among nodes of power material supply chain in block information base mode

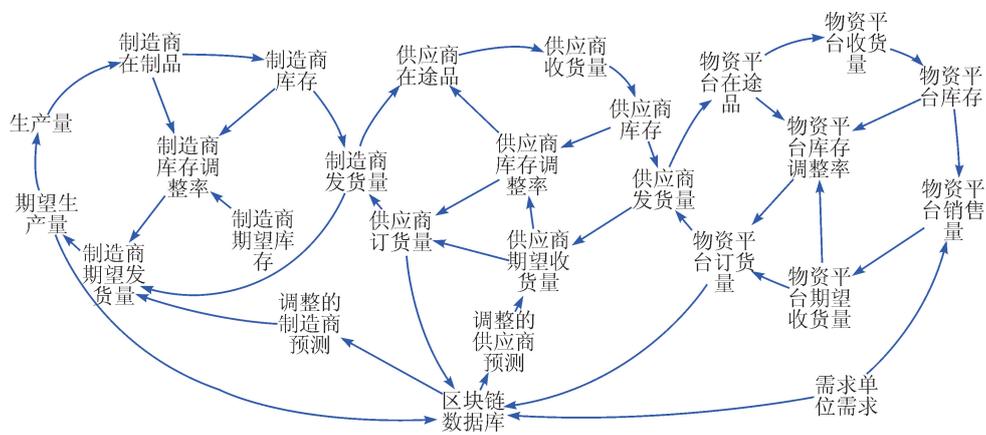


图 4 区块化数据库模式下的供应链因果流图
Fig. 4 Causal flow diagram of supply chain in block database mode

2 基于区块化数据库的供应链库存管理分析

2.1 传统模式下模型构建

参考文献^[13],构建本文的国网辅助类物资供应链模型,根据因果流图,建立系统动力学模型,如

图 5 所示。每个周期供应链模型的边界始于国网公司,终于制造商;将需求单位需求、提前期等作为外生变量,对模型进行简化;仅考虑单一产品的库存问题,且供应链每一级只有一个成员。

模型中的各类常量和状态变量如表 1 所示,模型中的变量及其数学关系式如表 2 所示。

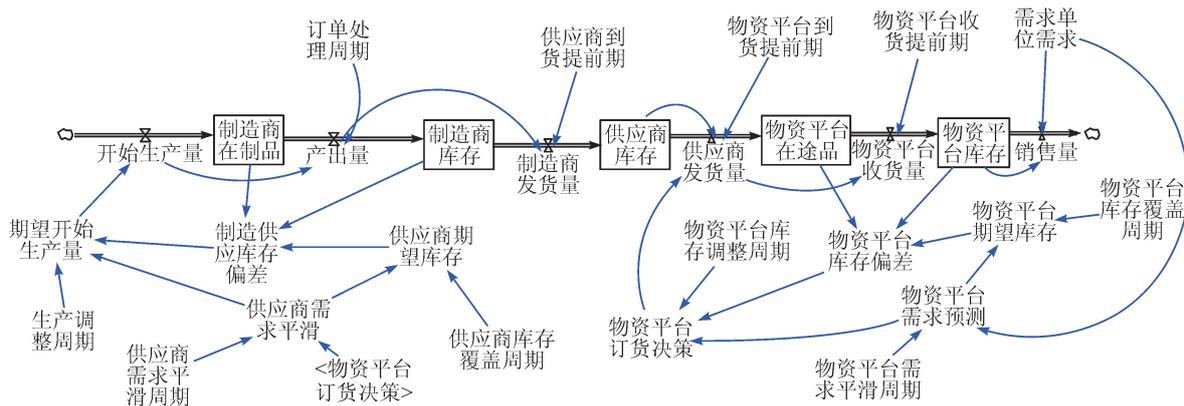


图5 传统模式下系统动力学模型

Fig. 5 System dynamics model in traditional mode

表1 常量和状态变量

Tab. 1 Constants and state variables

常量和状态变量	单位/周	常量和状态变量	单位/周
生产调整周期	2	物资平台到货提前期	1
供应商需求平滑周期	2	物资平台收货提前期	1
供应商库存覆盖周期	2	物资平台库存覆盖周期	2
订单处理周期	2	物资平台需求平滑周期	2
供应商到货提前期	2	物资平台库存调整周期	2

表2 变量和数学关系式

Tab. 2 Variables and mathematical relations

单位:件

变量	数学关系式
制造商在制品	INTEG(开始生产量-产销量, 0)
制造商库存	INTEG(产销量-制造商发货量, 0)
制造商发货量	DELAY FIXED(产销量, 供应商到货提前期, 0)
制造供应库存偏差	MAX(供应商期望库存-制造商在制品-制造商库存, 0)
期望开始生产量	IF THEN ELSE(制造供应库存偏差=0, 0, 供应商需求平滑+制造供应库存偏差/生产调整周期)
产销量	DELAY FIXED(开始生产量, 订单处理周期, 0)
供应商库存	INTEG(制造商发货量-供应商发货量, 0)
供应商发货量	DELAY FIXED(MIN(供应商库存, 物资平台订货决策), 物资平台到货提前期, 0)
供应商需求平滑	SMOOTH(物资平台订货决策, 供应商需求平滑周期)
物资平台在途品	INTEG(供应商发货量-物资平台收货量, 0)
物资平台库存	INTEG(物资平台收货量-销售量, 0)
物资平台库存偏差	MAX(物资平台期望库存-物资平台在途品-物资平台库存, 0)
物资平台需求预测	SMOOTH(需求单位需求, 物资平台需求平滑周期)
物资平台订货决策	IF THEN ELSE(物资平台库存偏差<=0, 0, 物资平台需求预测+物资平台库存偏差/物资平台库存调整周期)
物资平台收货量	DELAY FIXED(供应商发货量, 物资平台收货提前期, 0)
销售量	MAX(MIN(物资平台库存, 需求单位需求), 0)

2.2 区块化数据库应用分析

传统电力物资供应链模式下,由于信息传递存在延迟、各节点企业信息传递存在失真,使得传统电力物资供应链各节点企业的生产计划或需求预测误差较大,导致各节点库存易出现积货或者缺货现象。根据系统动力学,区块化数据库能够很好地解决信息延迟、信息准确率不高和信息共享等问题。区块化数据库由于智能合约的存在,能够保证各节点企业间合作得公平公正。但是,由于电力物资供应链各节点间存在合作博弈,所以在区块化数据库的前提下,本文将各节点库存联合状态分为两种:①区块化数据库模式下各自占优情况下电力物资供应链库存管理;②智能合约联合下电力物资供应链库存管理。

2.3 区块化数据库模式下各自占优情况下供应链库存管理

当供应链中各节点企业不结成完全合作关系,在区块化数据库模式下仅进行信息共享,各自承担自身库存成本时,它们将以自身库存最优为目的进行生产和订单预测。参考文献[14]关于三级供应链中各自为政时的最优决策研究,并与区块化数据库的信息共享相结合,进行供应链各节点企业的最优生产和订单预测。

令需求单位需求 $X(a \leq X \leq b)$ 为随机变量且服从均匀分布,可得分布函数 $F(X) = \frac{X-a}{b-a}$ 和概率密度 $f(x) = \frac{1}{b-a}$, 因此 $a = u - \sqrt{3}\sigma$ 、 $b = u + \sqrt{3}\sigma$, 由此,期望和标准差分别为 $u = \frac{a+b}{2}$ 和 $\sigma = \sqrt{\frac{(b-a)^2}{12}}$ 。

表 3 为相关变量及释义。

表 3 变量及释义

Tab. 3 Variables and its definition

变量	释义
C_m /元	制造商单位库存成本
C_n /元	供应商单位库存成本
C_r /元	物资平台单位库存成本
Q_m /件	制造商的产品生产量
Q_n /件	供应商的订货量
Q_r /件	物资平台的订货量
P_m /元	制造商单位生产成本
P_n /元	供应商单位订货成本
P_r /元	物资平台单位订货成本
P_w /元	物资平台单位销售价格
C_z /元	供应链单位库存成本
E /元	库存总成本

2.3.1 物资平台的最优订货决策

物资平台根据区块化数据库中需求单位共享出来的需求量进行订货决策(向供应商)。根据上述假设可得物资平台的库存成本关系式:

$$E_1(C_r) = P_w \int_{Q_r}^{\infty} (X - Q_r) f_1(X) dx + C_r \int_0^{Q_r} (Q_r - X) f_1(X) dx + P_r Q_r \tag{1}$$

对式(1)中的 Q_r 求导可得:

$$\frac{dE_1(C_r)}{dQ_r} = -P_w [1 - F_1(Q_r)] + C_r F_1(Q_r) + P_r \tag{2}$$

令式(2)等于 0,可求得物资平台的最优订货量

$$Q_r^* = \frac{a(C_r + P_r) + b(P_w - P_r)}{C_r + P_w}$$

2.3.2 供应商的最优订货决策

供应商根据区块化数据库提供的物资平台的订货决策进行采购决策(向制造商)。根据上述假设可得供应商的库存成本关系式:

$$E_2(C_n) = P_r \int_{Q_n}^{\infty} (Q_r - Q_n) f_2(Q_n) dQ_n + C_n \int_0^{Q_n} (Q_n - Q_r) f_2(Q_n) dQ_n + P_n Q_n \tag{3}$$

对式(3)中的 Q_n 求导可得:

$$\frac{dE_2(C_n)}{dQ_n} = -P_r [1 - F_2(Q_n)] + C_n F_2(Q_n) + P_n \tag{4}$$

令式(4)等于 0,可求得供应商的最优订货量

$$Q_n^* = \frac{a(C_n + P_n) + b(P_r - P_n)}{C_n + P_r}$$

2.3.3 制造商的最优生产决策

制造商根据区块化数据库提供的供应商的订货决策进行生产计划排布。根据上述假设可得制造商的库存成本关系式:

$$E_3(C_m) = P_n \int_{Q_m}^{\infty} (Q_n - Q_m) f_3(Q_m) dQ_m + C_m \int_0^{Q_m} (Q_m - Q_n) f_3(Q_m) dQ_m + P_m Q_m \tag{5}$$

对式(5)中的 Q_m 求导可得:

$$\frac{dE_3(C_m)}{dQ_m} = -P_n [1 - F_3(Q_m)] + C_m F_3(Q_m) + P_m \tag{6}$$

2.5 仿真对比分析

针对三类情况,通过 Vensim 软件进行为期 50 周的仿真实验,对三种不同情况下供应链各节点库存量进行对比分析,如图 8 所示。

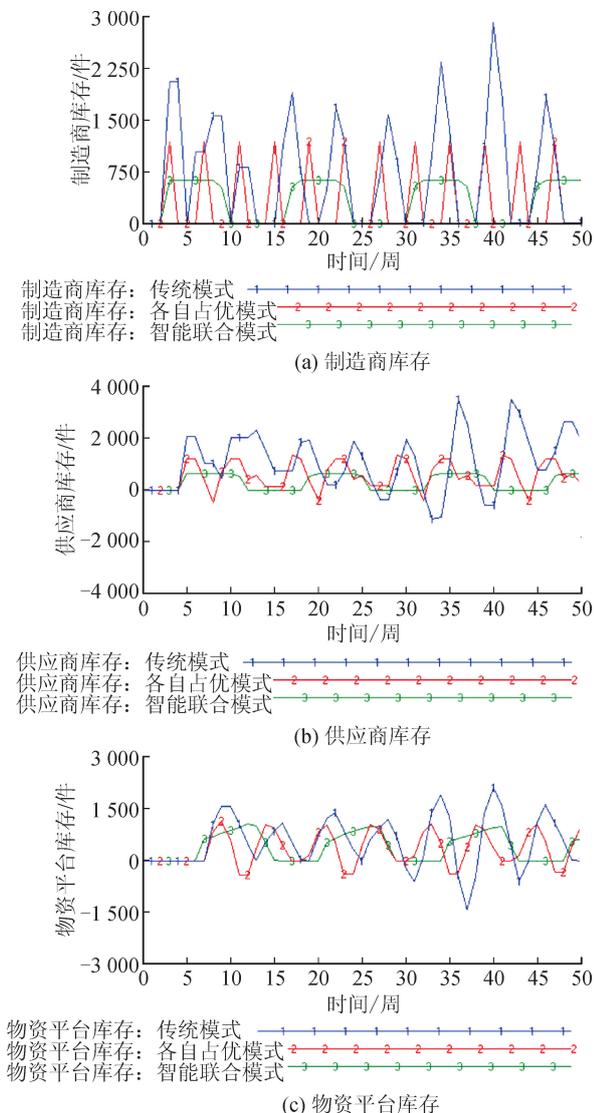


图 8 制造商、供应商和物资平台库存对比

Fig. 8 Inventory comparison among manufacturer, supplier and material platform

曲线 1、2 和 3 分别代表传统模式、各自占优模式和智能联合模式。由图可知,传统模式下各节点库存量随着时间的变化,波峰和波谷逐渐变大,说明电力物资供应链各节点企业的库存堆积和缺货现象逐渐加剧,这在第 30 周之后尤为明显;而各自占优和智能联合模式呈现出相对稳定的波动,波峰与波谷的极值明显降低;智能联合模式相较于另外两种模式更加稳定,波峰和波谷极值更低,波动周期更长。

将三种模式下各节点库存导出,并参考 Huang 等^[16]在牛鞭效应评估中的案例,将调整后的牛鞭效

应公式与本文情况相结合,得出牛鞭效应值为理论库存方差与实际库存方差的商。

经过为期 50 周的仿真,通过供应链各节点企业库存量的对比计算,得出制造商、供应商和物资平台在各自占优和智能联合模式下的牛鞭效应值,如表 4 所示。

表 4 两种模式下制造商、供应商和物资平台的牛鞭效应值

Tab. 4 Bullwhip effect of manufacturer, supplier and material platform

模式	牛鞭效应值		
	制造商	供应商	物资平台
各自占优	0.40	0.23	0.44
智能联合	0.15	0.08	0.30

由表可知,两种模式下的牛鞭效应值均小于 1。相较于传统模式,以区块化数据库为基础的各自占优和智能联合模式均能够有效减少供应链各节点库存的牛鞭效应;智能联合模式下的牛鞭效应值略低于各自占优模式,说明其库存波动更小,供应链各节点库存更加稳定。各自占优模式下的供应链整体库存成本比传统模式库存成本减少了 49%,而智能联合模式下的供应链整体库存成本比传统模式库存成本减少了 61%。两种库存管理模式均能有效减少库存成本,而智能联合模式比各自占优模式更加有效,但其实施难度比各自占优模式更大。

3 结论

在“互联网+”时代,区块链技术在电力行业将拥有诸多的应用可能,本文基于系统动力学,将区块链和电力物资供应链相结合,提出区块化数据库构想,并在此基础上进行了供应链库存管理研究。

1) 电力物资供应链各节点企业可利用区块化数据库具备的良好信息共享性,有效解决信息共享程度低、信息流转效率低以及信息不可靠等问题。

2) 以区块化数据库中信息共享、信息的不可篡改性 and 可追溯性为基础,针对电力物资供应链现状进行改进的各自占优模式,能够很好地削减牛鞭效应,减少电力物资供应链整体库存成本;而以区块化数据库中智能合同为基础的智能联合模式,相较于各自占优模式,其牛鞭效应更小,库存成本更低,但其实施难度大大增加,同时面临着诸多技术问题,且应用场景受限。

3) 本文只研究了电力物资供应链的外界需求在一定区间内的波动情况,存在明显的上下限,而对

需求波动变化较大、需求量无明显上下限情况下的库存管理缺乏研究。虽然区块链技术在电力物资供应链中具有很好的应用前景,但其应用仍面临着诸多挑战。随着技术的进步,区块链技术将能发挥更大的作用,电力物资供应链各节点企业应多关注区块链技术的发展,使其在本领域发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 和征. 基于 Web 服务的集群供应链信息集成[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(1): 107-112.
HE Zheng. Research on information integration for cluster supply chains based on web services [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2015, 34(1): 107-112.
- [2] 张超. 区块链的治理机制和方法研究[J]. 信息安全研究, 2020, 6(11): 972-981.
ZHANG Chao. Research on mechanism and method of blockchain governance[J]. Journal of Information Security Research, 2020, 6(11): 972-981.
- [3] 杨慧琴, 孙磊, 赵西超. 基于区块链技术的互信共赢型供应链信息平台构建[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(5): 21-31.
YANG Huiqin, SUN Lei, ZHAO Xichao. Build mutual trust supply chain information system based on blockchain [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2018, 35(5): 21-31.
- [4] 李保东, 叶春明. 基于区块链的汽车供应链产品追溯系统[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(24): 35-42.
LI Baodong, YE Chunming. Product traceability system of automobile supply chain based on block chain [J]. Computer Engineering and Applications, 2020, 56(24): 35-42.
- [5] 卢亚丽, 王丹丹. 基于区块链的制造企业信息共享文明模式研究[J]. 科技管理研究, 2020, 40(13): 43-47.
LU Yali, WANG Dandan. Research on civilization mode of information sharing in manufacturing enterprises based on block chain[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(13): 43-47.
- [6] LIM M K, LI Yan, WANG Chao, et al. A literature review of blockchain technology applications in supply chains: a comprehensive analysis of themes, methodologies and industries[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 154: 107133.
- [7] MANGLA S K, KAZANCOGLU Y, EKINCI E, et al. Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chains refer[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2021, 149: 102289.
- [8] ASLAM J, SALEEM A, KHAN N T, et al. Factors influencing blockchain adoption in supply chain management practices: a study based on the oil industry [J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2021, 6(2): 124-134.
- [9] TAVANA M, MAHDIRAJI H A, BEHESHTI M, et al. Optimal strategic alliance in multi-echelon supply chains with open innovation[J]. Managerial and Decision Economics, 2020, 41(7): 1365-1384.
- [10] 李旭, 陆天. 改善供应链库存管理绩效的系统思考——以啤酒游戏为例[J]. 系统管理学报, 2019, 28(2): 361-368.
LI Xu, LU Tian. Systematic thinking to improve the performance of supply chain inventory control: taking the model of beer game as an example[J]. Journal of Systems & Management, 2019, 28(2): 361-368.
- [11] 龚强, 班铭媛, 张一林. 区块链、企业数字化与供应链金融创新[J]. 管理世界, 2021, 37(2): 22-34, 3.
GONG Qiang, BAN Mingyuan, ZHANG Yilin. Blockchain, enterprise digitalization and supply chain finance innovation[J]. Management World, 2021, 37(2): 22-34, 3.
- [12] 冯翠香. 区块链技术在电力物资供应管理中的应用[J]. 经营与管理, 2020(5): 108-111.
- [13] 瞿冬瑞. 基于系统动力学的国网供应链协议库存模式改进研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2018.
QU Dongrui. Research on improvement of supply chain protocol inventory of state grid corp based on system dynamics[D]. Beijing: North China Electric Power University (Beijing), 2018.
- [14] 刘畅, 刘鹏. 基于联合库存管理的三级供应链合作博弈[J]. 中国市场, 2020(26): 161-162.
- [15] BARALLA G, PINNA A, TONELLI R, et al. Ensuring transparency and traceability of food local products: a blockchain application to a smart tourism region [J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2021, 33(1): e5857.
- [16] HUANG Yijun, LIAN Ximei. Case study on the evaluation method of bullwhip effect[J]. Management Science and Engineering, 2014, 3(1): 26-32.

(责任编辑 周 蓓)