

数字经济背景下的企业物流成本

Research on Optimization Strategy of Enterprise Logistics Costs in Digital Economy Context

优化策略研究

崔 蓉¹,陈礼波¹,徐 帅¹,刘锦屏²,周雪梅²,张 军²(1. 中讯邮电咨询设计院有限公司,北京 100048;2. 中国石油天然气股份有限公司西南油气田数字智能技术分公司,四川 成都 610000)

Cui Rong¹,Chen Libo¹,Xu Shuai¹,Liu Jinping²,Zhou Xuemei²,Zhang Jun²(1. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co.,Ltd.,Beijing 100048,China;2. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Digital Intelligent Technology Branch,Chengdu 610000, China)

摘 要:

以数字经济为研究背景,系统探讨企业物流成本控制的优化路径与实施策略。通过构建全链条物流分析框架,结合数字化转型的技术特征,提出基于 RFID 技术、智能路径规划及区块链逆向物流的集成化解决方案。研究采用时间驱动作业成本法(TD-ABC)与多目标优化模型,量化分析技术应用对物流成本、运营效率及服务质量的影响。实证结果表明,数字技术的协同应用可使全链条物流总成本降低 14.3%,库存周转率提升 42%,运输里程缩减 18.5%,客户满意度提高 19.4%。

Abstract:

It takes the digital economy as the research background and systematically explores the optimization path and implementation strategy of enterprise logistics cost control. By constructing a full chain logistics analysis framework and combining the technical characteristics of digital transformation, an integrated solution based on RFID technology, intelligent path planning, and blockchain reverse logistics is proposed. The study adopts Time Driven Activity Based Costing (TD-ABC) and multi-objective optimization model to quantitatively analyze the impact of technology application on logistics costs, operational efficiency, and service quality. The empirical results show that the collaborative application of digital technology can reduce the total logistics cost of the entire chain by 14.3%, increase inventory turnover by 42%, reduce transportation mileage by 18.5%, and increase customer satisfaction by 19.4%.

Keywords:

Digital economy; Logistics cost control; RFID technology; Intelligent path planning; Blockchain reverse logistics

关键词:

数字经济;物流成本控制;RFID 技术;智能路径规划;区块链逆向物流

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.06.002

文章编号:1007-3043(2025)06-0006-06

中图分类号:TP391

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式:崔蓉,陈礼波,徐帅,等. 数字经济背景下的企业物流成本优化策略研究[J]. 邮电设计技术,2025(6):6-11.

1 概述

在数字经济加速发展的驱动下,物流行业正从传统粗放式管理向智能化、精细化转型。根据国际物流与供应链协会(ILSCA)的统计,全球物流成本占 GDP 比重约为 12%,而中国的这一指标长期维持在 14% 以

上,显著高于发达国家水平。如何通过技术创新实现降本增效,已成为企业提升核心竞争力的关键命题。当前,物联网、大数据与区块链等技术的融合应用,为物流成本控制提供了新的方法论。从理论层面看,智能物流管理系统可通过实时数据采集与分析,优化资源配置效率;区块链技术则通过构建可信数据网络,降低逆向物流中的信息验证成本。然而,现有研究多聚焦单一技术应用,缺乏对全链条物流成本协同优化

收稿日期:2025-05-06

的系统性探讨。本文以制造企业为研究对象,从全生命周期视角构建物流成本控制框架。通过整合数字技术工具链,重点解决仓储配送效率低下、逆向物流成本高企、跨环节数据孤岛等共性问题。研究旨在揭示数字技术赋能物流成本控制的实现路径,为行业提供兼具理论深度与实践价值的优化范式。研究结论不仅可指导企业实现降本增效目标,还对完善数字经济时代物流管理理论体系具有积极意义。

2 全链条物流管理的理论框架与实践应用

在数字经济背景下,全链条物流管理作为企业成本控制的核心领域,逐渐从传统的分段式管理模式向集成化、智能化方向演进。全链条物流管理强调对供应链全生命周期的系统性优化,涵盖原材料采购、生产制造、仓储配送及售后服务等环节,通过数据协同与技术创新实现成本动因的精准识别与动态控制。本章将从理论框架构建和实践应用2个维度,探讨全链条物流管理的核心内涵及其在制造企业的落地路径。

全链条物流管理的核心理论源于供应链集成理论、作业成本法(ABC)以及数字化转型方法论。其理论框架可分解为以下3个维度:一是全生命周期成本动因分析。基于作业成本法(ABC)的延伸,全生命周期视角强调对物流各环节成本动因的系统性识别。通过时间驱动作业成本法(Time-Driven Activity-Based Costing, TD-ABC),企业可量化分析各作业单元的资源消耗与价值贡献。TD-ABC是传统作业成本法的改进模型,其核心是通过量化作业活动的时间消耗与资源成本率,精确核算各环节的实际成本。二是数字化转型驱动的协同机制。物联网(IoT)、区块链与人工智能(AI)等技术为全链条协同提供了技术支撑。物联网通过RFID、传感器等设备实现物流数据的实时采集与传输;区块链技术通过分布式账本构建可信数据网络,降低逆向物流中的信息验证成本;人工智能则通过路径规划算法与需求预测模型优化资源配置效率。三者结合形成“数据采集—分析—决策”的闭环优化体系。三是多目标优化模型构建。物流成本控制需兼顾成本最小化、时效性提升与服务质量保障等多重目标。多目标混合整数规划模型可整合运输成本、时间约束与风险系数等变量,结合实时交通数据与历史配送规律生成最优路径方案。此外,基于动态规划的库存优化模型(如经济订货批量EOQ、安全

库存模型)可平衡库存持有成本与缺货风险,提升供应链韧性。综上,全链条物流管理的理论框架与实践应用为系统性优化物流成本奠定了方法论基础。接下来将基于此框架,从目标设定、技术融合与策略设计等维度,深入探讨数字经济背景下的物流成本优化路径。

3 数字经济背景下的物流成本优化策略设计

3.1 优化目标与原则

优化目标旨在降低总成本,通过数字技术的精准应用,减少不必要的物流开支,如通过智能路径规划降低运输里程成本,利用大数据预测减少库存积压。同时提高时效性,确保产品能够快速、及时地送达客户手中,满足客户对交付时间的要求。此外,增强数据协同,打破各环节之间的信息壁垒,实现数据的实时共享和交互,提高供应链的可视性和可控性。优化原则需遵循技术可行性,确保所采用的数字技术在当前的技术水平和企业实际条件下能够有效实施,避免选择不成熟或难以落地的技术方案,造成资源浪费。经济性则要求在技术投入与成本节约之间取得平衡,确保优化方案能够带来显著的经济效益,实现成本的降低和效益的提升。可扩展性是指优化方案应具备一定的灵活性和可扩展性,能够随着企业业务的发展和市场环境的变化进行相应的调整和升级,适应未来的发展需求。基于上述目标与原则,接下来从生产环节、仓储配送环节及全链条协同3个维度提出系统性优化方案。

3.2 优化方案设计

3.2.1 面板生产环节:RFID技术优化方案

在面板生产环节,本研究设计基于RFID技术的原材料流转优化方案。RFID标签具有唯一识别码,可附着在原材料包装上,通过安装在仓库和生产线上的读取器,实现对原材料位置和状态信息的实时监控^[1]。

根据时间驱动作业成本法(TD-ABC),面板生产环节的成本动因主要分为原材料持有成本、仓储空间占用成本和作业处理成本三大类^[2]。可将面板生产环节的成本表示为:

$$C_{\text{panel}} = \sum_{i=1}^n (h_i \times Q_i + s_i \times A_i + p_i \times T_i) \quad (1)$$

式中:

h_i ——第*i*种原材料的单位持有成本(元/件·天)

Q_i ——第*i*种原材料的平均库存量(件)

s_i ——单位仓储空间成本(元/m²·天)
 A_i ——第*i*种原材料占用的仓储面积(m²)
 p_i ——第*i*种作业的单位时间成本(元/h)
 T_i ——第*i*种作业的总时间(h)

RFID系统部署位置的选择基于物料流动密度热图分析,在原材料入库点、存储区域和生产线领料点安装RFID读取设备,形成全覆盖的数据采集网络^[3]。系统架构包括物理层(RFID标签与读取器)、网络层(数据传输)和应用层(数据处理与决策支持)。

基于RFID实时数据,可实现精确的安全库存管理,安全库存量计算如下:

$$SS = Z \times \sigma_d \times \sqrt{LT} \quad (2)$$

式中:

SS——安全库存量
Z——安全系数(置信度95%时取1.65)
 σ_d ——日需求标准差
LT——提前期(天)

经模拟测算,RFID技术的应用可使原材料平均库存水平降低约30%,库存周转率提高42%。

3.2.2 仓储配送环节:智能路径规划优化方案

在仓储配送环节,构建基于多目标混合整数规划模型的智能路径规划系统,结合实时交通数据和历史配送情况,优化物流路线^[4-5]。本研究建立以下优化模型:

$$\text{Min} Z = \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + \gamma \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

约束条件:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \forall j \in V \quad (5)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, 2 \leq i \neq j \leq n \quad (6)$$

$$x_{ij} \in 0, 1, \forall i, j \in V \quad (7)$$

式中:

c_{ij} ——从节点*i*到节点*j*的运输成本
 t_{ij} ——从节点*i*到节点*j*的运输时间
 r_{ij} ——从节点*i*到节点*j*的运输风险
 x_{ij} ——决策变量,当路径(*i*,*j*)被选中时取1,否则取0

α, β, γ ——成本、时间和风险的权重系数

约束条件(4)和(5)确保每个节点只被访问一次,约束条件(6)用于消除子回路, u_i 为辅助变量,用于子

回路消除。

为解决大规模路径规划问题,本研究采用改进的蚁群算法(IACO),算法流程如下。

a) 初始化参数(包括信息素浓度 τ_0 、启发因子 η 、信息素重要度因子 α 、启发因子重要度 β),随机将蚂蚁放置在各节点。

b) 局部信息素更新: $\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$ 。

c) 全局信息素更新:选择最优路径进行信息素增强。

d) 判断是否满足终止条件,若未满足则返回步骤b)。

在安装售后环节,本研究设计基于区块链技术的逆向物流优化方案。构建具备不可篡改、透明可追溯特性的物流信息系统^[6-14]。具体如下。

a) 建立基于区块链的智能合约流程,包括如下几个步骤。

(a) 产品信息上链。每台生成唯一的区块链ID,记录产品基本信息、生产日期、物流路径、安装信息等。

(b) 售后服务触发。客户申请售后服务时,智能合约自动验证产品信息和保修状态。

(c) 逆向物流启动。根据智能合约判断结果,自动生成维修/退换货工单,分配最近的技术人员。

(d) 服务执行记录。技术人员通过移动终端记录服务过程,信息实时上链。

(e) 结果确认与评价。客户确认服务完成并评价,触发智能合约的最终结算。

b) 基于TD-ABC方法,逆向物流成本计算如下:

$$C_{\text{reverse}} = \sum_{i=1}^m (t_i \times r_i \times X_i) \quad (8)$$

式中:

t_i ——活动*i*的单位时间消耗
 r_i ——活动*i*的资源成本率(元/时间单位)
 X_i ——活动*i*的发生次数

通过案例分析,区块链技术在逆向物流中的应用可实现以下优化效果:一是减少信息验证时间,从平均14h降至2h,效率提升85%。二是提高资源分配效率,维修技术人员利用率从65%提升至82%。三是降低退换货处理成本,单台处理成本从115元降至103.5元,降幅为10%。四是提高产品可修复率,从58%提升至70%,减少产品报废损失。此外,建立10个区域维修中心,配备3D视觉检测设备,对检测出的常见故

障进行标准化维修,维修周期从平均7天缩短至3天,客户满意度提升15个百分点。

3.2.3 全链条集成优化方案设计

针对企业全链条物流,设计基于时间驱动作业成本法(TD-ABC)的集成优化方案。构建分层一分段一分环节的成本控制矩阵如下:

$$C_{\text{total}} = \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \sum_{a=1}^A (t_{l,s,a} \times r_{l,s,a} \times X_{l,s,a}) \quad (9)$$

式中:

l ——物流层级(原材料物流、生产物流、销售物流、逆向物流)

s ——物流段(国内段、国际段)

a ——具体活动

$t_{l,s,a}$ ——活动耗时

$r_{l,s,a}$ ——单位时间资源成本率

$X_{l,s,a}$ ——活动发生次数

全链条集成优化方案主要包括如下4个方面。

a) 数据共享平台构建。设计基于云架构的数据共享平台,连接面板生产、整机装配、仓储配送和安装售后四大环节的信息系统,实现全链条数据实时共享。平台架构包括数据采集层、数据存储层、数据处理层、业务应用层和决策支持层5个部分。通过统一的API接口标准,打通各环节信息孤岛,提高数据协同效率。

b) 物流过程可视化系统。将RFID和IoT传感器数据整合到可视化系统中,实现对物流全过程的实时监控。关键节点包括原材料入库与存储监控、面板生产线物料流转监控、整机装配过程监控、成品仓储与装运监控、国际物流运输状态监控、区域配送中心库存监控、最后一公里配送轨迹监控、安装与售后服务状态监控,系统通过Web界面和移动应用提供实时监控视图,支持多维度数据筛选和异常预警功能。

c) 多级库存优化策略。基于需求预测和库存成本模型,设计多级库存优化策略:

$$TC = \sum_{i=1}^n (h_i \times \frac{Q_i}{2} + s_i \times \frac{D_i}{Q_i} + k_i \times Z_i \times \sigma_i \times \sqrt{L_i}) \quad (10)$$

式中:

TC——总库存成本

h_i ——单位持有成本

Q_i ——经济订货批量

s_i ——订货成本

D_i ——年需求量

k_i ——安全系数

Z_i ——服务水平对应的标准正态分布值

σ_i ——需求标准差

L_i ——提前期

经济订货批量(EOQ)计算:

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2 \times D_i \times s_i}{h_i}} \quad (11)$$

d) 基于区块链的全链条信息协同机制。构建基于区块链技术的全链条信息协同机制,确保信息的真实性、完整性和可追溯性。主要节点包括供应商节点(提供原材料信息)、生产节点(记录生产过程信息)、物流节点(记录运输和存储信息)、销售节点(记录销售和交付信息)和售后节点(记录安装和维修信息)。信息协同机制设计如下:数据采集标准化,统一各环节数据格式和采集标准;区块链分层设计,公有链(共识机制)+联盟链(业务逻辑);智能合约设计,自动触发跨环节业务流程;隐私保护机制,利用差分隐私技术保护敏感商业信息。

4 方案实施效果

4.1 优化方案的成本效益定量分析

以某企业75寸电视机为例,其全链条物流涵盖原材料采购、面板生产、整机装配、仓储配送及安装售后五大核心环节。由于产品体积大(屏幕尺寸为75寸)、运输要求高(需防震防损包装)及售后服务复杂(涉及上门安装与退换货逆向物流),其物流成本控制面临多重挑战。例如,生产环节涉及高价值液晶面板的精细化流转,仓储配送需协调国际海运与最后一公里配送,安装售后则需快速响应客户服务需求。这些特点使该案例成为验证全链条优化方案适用性的典型场景。

优化前后的成本对比如表1所示,各环节优化效果对比如图1所示。从表1和图1可以看出,全链条物流总成本从1476元/台降至1265.5元/台,降幅达14.3%,年总节约成本5473万元。其中仓储配送环节优化效果最为显著,占总节约成本的15.1%;面板生产环节、整机装配环节和安装售后环节分别占总节约成本的12.6%、13.8%和12.1%。

针对优化效果进行进一步分析,应用TD-ABC方法对关键作业单元进行成本动因分析。

a) 面板生产环节。RFID技术的应用使原材料库

表1 优化前后成本对比

环节	优化项目	优化前成本/(元/台)	优化后成本/(元/台)	降幅/%	年节约成本/万元
面板生产	原材料库存	80	68.0	15.0	312
面板生产	厂内物流	18	16.0	11.0	52
面板生产	包装防护	45	41.0	9.0	104
整机装配	零部件集运	60	51.0	15.0	234
整机装配	生产线物流	28	25.0	11.0	78
整机装配	成品暂存	35	30.0	14.0	130
仓储配送	国内干线运输	115	92.0	20.0	598
仓储配送	国际海运	380	342.0	10.0	988
仓储配送	海外仓储	190	162.0	15.0	728
仓储配送	最后一公里	290	232.0	20.0	1 508
安装售后	安装服务	75	68.0	9.0	182
安装售后	退换货处理	115	103.5	10.0	299
安装售后	备件仓储	45	35.0	22.0	260
合计		1 476	1 265.5	14.3	5 473

存周转率提高42%,单位持有成本从0.43元/件·天降至0.36元/件·天,主要成本动因为库存持有天数和仓储利用率。

b) 仓储配送环节。智能路径规划算法优化后,美国地区配送路线长度平均缩短18.5%,海运集装箱空间利用率从68%提升至76%,主要成本动因为运输距离和装载效率。

c) 安装售后环节。区块链技术应用后,退换货处理时间从平均14 h缩短至2 h,产品修复率从58%提升至70%,主要成本动因为处理时效和资源利用率。

优化方案的实施效果不仅体现在成本降低上,还表现在服务质量和运营效率的提升。通过客户满意度调查和内部运营数据分析,得出以下结果:交付准时率从87%提升至96%,产品完好率从92%提升至97%,退换货率从5.8%降至4.2%,客户满意度从72分提升至86分(百分制),物流信息可视率从65%提升至

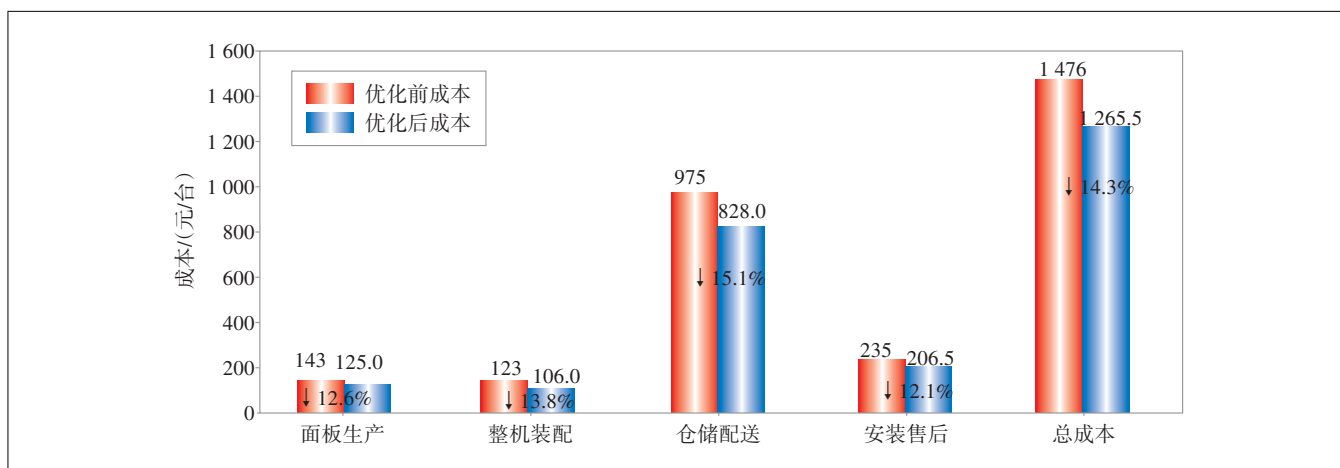


图1 各环节成本优化效果对比

92%(见图2)。

4.2 优化方案的成本效益定性分析

从定性角度分析,优化方案在以下几个方面带来显著改善:一是提升信息透明度,通过RFID技术和区块链技术的应用,实现了物流全过程的信息透明化,使企业管理层能够实时掌握物流状态,及时发现并解决潜在问题。二是增强供应链协同,数据共享平台的构建打破了各环节间的信息壁垒,促进了供应商、生产商、物流商和销售商之间的协同合作,提高了整体供应链的灵活性和应变能力。三是优化资源配置,通过智能路径规划和多级库存优化,实现了物流资源的

合理配置,避免了资源浪费和低效利用,提高了资源利用率。四是提升客户体验,售后服务环节的优化,缩短了退换货处理时间,提高了维修效率,改善了客户体验,有助于提升客户忠诚度和品牌价值。五是促进绿色发展,通过优化物流路径和提高车辆装载率,减少了能源消耗和碳排放,促进了物流的绿色可持续发展。

虽然优化方案在技术引入和系统建设方面需要一定的初始投入,但从长期来看,随着成本的持续降低以及客户满意度的提升,企业将获得更多的市场份额和客户资源,从而带来长期稳定的收益。同时,优

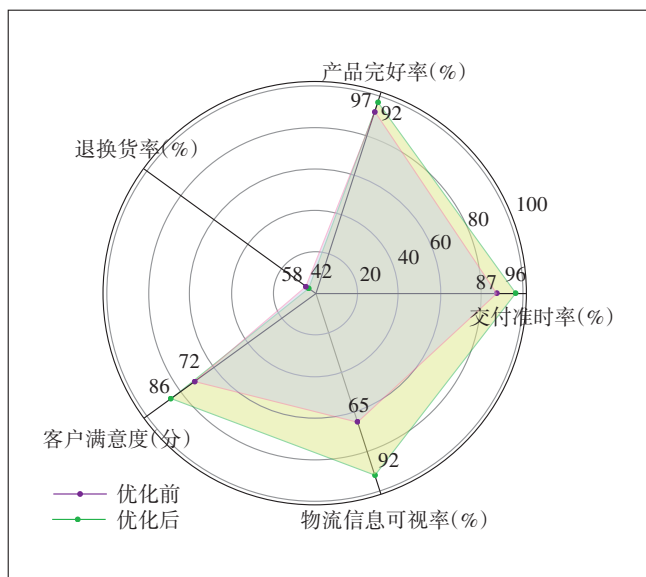


图2 服务质量指标优化效果对比

化后的物流体系更具灵活性和适应性,能够更好地应对市场变化和业务需求的增长,为企业的发展奠定坚实的基础。

5 结论和展望

本研究以数字经济为背景,系统整合RFID技术、智能路径规划及区块链逆向物流,构建了覆盖全链条的物流成本控制框架,并通过实证分析验证了其有效性。具体结论如下:一是RFID技术在面板生产环节的优化效果显著。通过实时监控原材料流转状态与精确计算安全库存量,原材料平均库存水平降低30%,库存周转率提升42%,有效减少了仓储空间占用与持有成本。二是智能路径规划算法在仓储配送环节实现多维优化。基于多目标混合整数规划模型与改进蚁群算法,使运输里程缩短18.5%,海运集装箱空间利用率从68%提升至76%,显著降低了运输成本与碳排放。三是区块链技术在逆向物流中发挥关键作用。通过智能合约自动触发售后服务流程,退换货处理时间从14 h降至2 h,单台处理成本降低10%,客户满意度提升15个百分点,同时增强了供应链的可追溯性与透明度。综合来看,数字化转型技术的协同应用不仅降低了全链条物流总成本(降幅14.3%),还同步提升了服务质量指标,包括交付准时率(87%→96%)、产品完好率(92%→97%)及物流信息可视率(65%→92%),验证了成本、效率与服务质量的协同优化效应。

未来研究可从以下方向继续深化:一是技术融合

创新,探索数字孪生、边缘计算等技术与现有框架的融合,增强物流系统的实时预测与动态调整能力。二是绿色物流拓展,进一步优化路径规划算法与资源利用率,量化碳排放减少效果,推动物流可持续发展。三是场景普适性验证,将优化方案延伸至跨境物流、多式联运等复杂场景,提升模型的适用性。

参考文献:

- [1] 吴春晨. 数字经济时代物流企业成本控制策略研究[J]. 财经界, 2025(9):72-74.
- [2] 林冲. 数字经济背景下化工建设企业成本控制[N]. 财会信报, 2024-12-30(6).
- [3] 李广宁,郑瑞玺. 数字经济背景下物流企业价值链成本管理探析[J]. 商场现代化,2024(20):54-56.
- [4] 李白. 数字经济时代物流企业成本控制策略研究[J]. 活力,2024(16):115-117.
- [5] 袁露嫣. 数字经济背景下医药企业供应链成本控制方法与效果研究——以九州通医药为例[D]. 北京:北京物资学院,2024.
- [6] 王悦涵. 数字经济背景下企业价值链成本控制的发展路径研究[J]. 市场周刊,2024,37(4):131-135.
- [7] 邓敏. 数字经济背景下企业成本控制问题研究[J]. 大众投资指南,2023(31):176-178.
- [8] 杨旭莹,王莉敏. 数字经济背景下制造企业成本控制问题研究[J]. 商业观察,2023,9(17):21-23,41.
- [9] 王萌. 供应链数字化对企业物流成本控制的影响路径及效果研究——以上海烟草有限公司为例[D]. 南京:南京审计大学,2023.
- [10] 李晓雅. 供应链视角下H企业物流成本控制研究[D]. 太原:中北大学,2023.
- [11] 于倩. 数字经济背景下企业成本控制问题研究[J]. 商场现代化, 2022(22):147-149.
- [12] MA Y. Control of material procurement cost of enterprises under the background of the low-carbon economy [J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2022:5643665.
- [13] GUO G, WU Y, GUO C. Research on logistics cost control of e-commerce enterprise from the perspective of value chain—a case study of Pinduoduo [J]. International Journal of Economics and Finance, 2021, 13(7):42-54.
- [14] 谢鹤鹤. 数字经济背景下智慧物流企业价值链成本管理研究——以S公司为例[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2021.

作者简介:

崔蓉,助理工程师,硕士,主要从事5G行业终端产品研发、解决方案及运营工作;陈礼波,正高级工程师,硕士,主要从事光通信网络、5G工业互联网、仓储物流等研究工作;徐帅,工程师,硕士,主要从事工业互联网政企ICT相关咨询设计工作;刘锦屏,审计师,主要从事数字化与经济管理工作;周雪梅,会计师,主要从事数字化与经济管理工作;张军,高级工程师,主要从事企业数字化与智能化转型工作。