

基于交通运输视角的电商物流运输系统协同优化研究

黄鸿涛^{*#}, 林南南, 刘志钢

上海工程技术大学城市轨道交通学院, 上海

收稿日期: 2025年11月13日; 录用日期: 2025年12月1日; 发布日期: 2025年12月31日

摘要

本文从交通运输视角构建电商物流协同优化框架, 破解路径规划、运力调度与多主体协同三大瓶颈。针对高并发场景设计轻量级启发式算法; 改进Clarke-Wright节约算法融合时间窗惩罚与实时路况校验; 最近邻贪心匹配叠加载重时效双校验机制; 基于API和消息队列构建轻量协同协议。以杭州余杭区“六·一八”大促万级订单数据实证表明, 该框架显著提升车辆利用率与响应速度, 降低空驶率, 为中小物流企业提供了可快速部署、投资回收期短的降本增效方案。

关键词

电商物流, 交通运输, 路径优化, 运力调度, 协同机制

Coordinated Optimization of E-Commerce Logistics Transportation System from the Perspective of Traffic Engineering

Hongtao Huang^{*#}, Nannan Lin, Zhigang Liu

School of Urban Rail Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: November 13, 2025; accepted: December 1, 2025; published: December 31, 2025

Abstract

This paper constructs a collaborative optimization framework for e-commerce logistics from the

^{*}第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 黄鸿涛, 林南南, 刘志钢. 基于交通运输视角的电商物流运输系统协同优化研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(12): 5334-5340. DOI: 10.12677/ecl.2025.14124494

perspective of traffic engineering to address three major bottlenecks: route planning, capacity scheduling, and multi-agent coordination. Lightweight heuristic algorithms are designed for high-concurrency scenarios: an improved Clarke-Wright savings algorithm integrated with time-window penalties and real-time traffic condition verification; a nearest-neighbor greedy matching mechanism overlaid with dual-verification of load capacity and time efficiency; and a lightweight collaboration protocol built upon APIs and message queues. Empirical analysis using ten-thousand-level order data from the “618” shopping festival in Yuhang District, Hangzhou demonstrates that the framework significantly improves vehicle utilization and response speed while reducing empty-load rates, providing a cost-effective solution with quick deployment and short payback period for small and medium-sized logistics enterprises.

Keywords

E-Commerce Logistics, Traffic Engineering, Route Optimization, Capacity Scheduling, Collaborative Mechanism

Copyright © 2025 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

随着电子商务交易规模持续扩大，物流运输作为支撑其履约的核心环节，正面临效率、成本与可持续三重压力的叠加。中国互联网络信息中心(CNNIC, 2025)数据显示，2025 年全国网络零售额已突破 18 万亿元，同比增幅保持在两位数，其中跨境电商占比超过 40%，成为拉动增长的重要引擎[1]。高频次、小批量、多品种的消费需求使传统“大批量、低频次”运输模式骤然失效，末端配送呈现出明显的潮汐性与碎片化特征，导致城市配送车辆利用率低、空驶率高、碳排放强度居高不下[2]。在“双碳”战略与降本增效政策双轮驱动下，如何通过交通工程手段重构电商物流运输系统，成为当前学术界与产业界共同关注的焦点。

国内外研究普遍指出，电商物流的绩效瓶颈集中于三方面：一是路径规划缺乏对实时交通状态的响应，静态优化结果在执行阶段频繁失效；二是订单与运力匹配依赖人工或简单规则，难以应对大促期间订单密度的瞬时激增；三是多主体、多区域之间信息割裂，造成“中心挤兑、边缘失血”的结构性失衡。李治国等(2025)从跨境电商视角强调，构建跨区域协同机制与共享运力池是破解资源碎片化的关键，但尚未给出可落地的交通端解决方案[2]；杨帆(2025)从运输经济格局层面证实，电商物流下沉与区域互联并重的新网络形态正在重塑城市货运需求分布，却缺乏对微观调度算法的深入探讨[3]；齐国营(2025)则提出以多式联运与智慧物流为抓手降低全社会物流成本，但研究停留在政策与框架层面，未涉及城配场景的具体模型[4]；李向荣(2025)基于 2013~2022 年中国 30 个省份的数据，分析农产品电商物流与农村经济协同发展水平及影响因素。研究发现：时间演变方面，中国农产品电商物流 - 农村经济复合系统的协同发展呈现出显著的上升特征，协同度水平从轻度协同向中度协同稳步跃进复合系统协同度由 0.044 增至 0.473，系统间的良性互动日益增强；空间演变方面，协同发展呈现“先波动后加速”的非均衡特征，中部与西部地区“双峰并峙”东部地区紧随其后，东北地区成为短板；驱动因素方面，经济活力、环境约束、数字化基建对协同度的影响最为显著[5]。潘珠(2025)基于灰色关联分析方法，选取 2015~2023 年海南自贸港跨境电商与跨境物流发展的关键指标，系统构建科学合理的评价指标体系，通过计算各变量之间的灰色关联度，深入分析跨境电商与跨境物流在协同发展过程中的互动关系与作用机制。研究结果表

明, 跨境电商与跨境物流之间存在较强的动态关联性, 协同发展的关键在于优化物流资源配置、加快行业数字化转型、加强基础设施建设、推动政策协同等方面[6]。

现有研究在技术层面主要从以下方面展开: 路径优化方面; 谢凝(2025)与苏刚等(2021)分别针对跨境与同城场景提出双向搜索和粒子群混合算法, 验证了动态路径规划对里程与时间的节约效应[7][8], 但对高并发订单环境下的计算时效缺乏讨论。运力匹配方面; 秦会丹(2025)从供应链管理视角指出, 订单-车辆实时匹配是提升整体效率的突破口, 却未给出兼顾载重、时效与司机偏好的可扩展算法[9]; 协同机制方面; 张明明(2024)呼吁通过信息共享与模式创新破解末端配送瓶颈, 但研究仍停留在概念层面, 缺乏与交通系统数据对接的实证支撑[10]。总体来看, 既有研究多聚焦单一环节或宏观政策[11], 对“路径-运力-协同”三者耦合机理的探讨不足, 更缺少面向普通物流企业的简洁、低成本、易部署的算法方案。

基于此, 本文从交通运输工程视角出发, 以城市配送为场景, 构建“路径优化-运力调度-协同机制”三位一体的协同优化框架, 对现有文献进行以下拓展: 首先, 在路径层, 引入时间窗修正的 Clarke-Wright 节约法[12], 兼顾动态交通与客户端时效要求, 弥补静态模型适用性不足的缺陷; 其次, 设计最近邻贪心+载重&时效双校验算法, 实现毫秒级派车, 填补高并发场景下简明匹配算法的空白; 最后, 在协同层提出区域共享弹性网络概念, 打通平台、承运商与末端网点间的信息孤岛, 降低空驶与重复运输。

2. 电商物流运输系统的运行特征与问题分析

2.1. 系统结构特征

电商物流运输系统展现出显著的网络化与碎片化特征: 订单自消费者端生成后, 依次流经平台订单池、区域仓储中心、城市分拨中心及末端配送站, 构成“仓储-分拨-配送”三级递进式网络结构。鉴于线上消费的高频化与个性化趋势, 货流形态已由传统的大批量、低频批次转变为小规模、高频率的包裹形式, 并以小时甚至分钟为时间单位持续涌入系统, 导致运输任务呈现“高频次、小批量、多品种”的典型特征。与此同时, 消费者对“当日达”“次日达”等时效服务的期望不断提升, 促使系统需在极短时间内完成订单响应。从空间分布看, 东部超大城市群的配送密度已趋饱和, 而中西部及县域市场仍存在大量“运力洼地”, 区域间供需失衡进一步加剧了网络调度的复杂性。更为关键的是, 电商物流已不再是单一承运主体的独立运作, 而是由平台、第三方物流企业、城市配送公司、众包骑手及社区便利店等多方主体共同构成的协同生态体系, 各参与方在信息、运力、时效与成本等多维度展开动态博弈, 使得该系统的运行逻辑显著区别于传统制造业物流模式。

2.2. 存在的主要问题

在上述结构特征的作用下, 电商物流运输暴露出一系列深层次矛盾。路径层面, 传统静态、单目标的路径算法难以招架实时订单波动与突发路况的双重冲击, 车辆常常陷入“绕而不优”的低效循环; 运力层面, 订单潮汐现象导致高峰期车辆疲于奔命、低峰期却大量闲置, 空驶与等待时间居高不下, 司机收入与车辆利用率双双受限。区域调度上, 中心城市因订单密度高而过度聚集运力, 郊区、农村却因边际收益低被持续“抽血”, 形成“中心挤兑、边缘失血”的恶性循环。信息层面, 平台、承运商、末端网点各自为政, 订单状态、车辆位置、交通事件等关键数据无法实时互通, 造成“看得见却调不动”的数字化悖论; 环境层面, 高频次、小批量配送使得单位包裹的运输能耗与碳排放持续攀升, 绿色压力成为悬在行业头顶的“达摩克利斯之剑”。这些彼此交织的问题, 共同指向一个核心命题: 唯有打破路径、运力与信息之间的碎片化壁垒, 构建交通系统与电商物流深度耦合的协同优化机制, 方能在时效、成本与可持续之间找到新的平衡点。

3. 电商物流运输协同优化框架构建

本章从交通运输工程与系统科学交叉融合的视角出发, 提出“路径优化 - 运力调度 - 协同机制”三位一体的电商物流运输协同优化框架, 旨在实现物流运输效率、成本控制与服务质量的动态平衡。

3.1. 框架设计原则与算法选型

电商大促场景对优化算法提出了极为严苛的三重约束: 首先, 在计算时效层面, 订单峰值可达平日 3 倍(见 5.3 节), 单批次派车决策必须在 0.5 秒内完成, 否则将引发订单积压与履约崩溃; 其次, 根据中国物流与采购联合会《2024 年物流中小企业数字化转型白皮书》行业调研数据: 在部署成本层面, 中小物流企业 IT 预算通常不足营收的 1%, 算法需能在单台 4 核 8G 服务器上稳定运行, 且无需 GPU 等昂贵硬件; 最后, 在鲁棒性层面, 路网拥堵、订单取消、车辆故障等扰动频发, 算法必须具备快速重算与动态调整能力。在此三重约束下, 框架摒弃了计算开销大、参数调优复杂的遗传算法、强化学习等模型, 选择 Clarke-Wright 节约法与最近邻贪心算法作为核心引擎。这一选型基于三方面考量:

(1) 经典 Clarke-Wright 节约法的时间复杂度为 $O(n^2 \log n)$, 空间复杂度 $O(n^2)$, 在万级订单规模下单次求解可在秒级完成, 而最近邻搜索配合空间索引(如 KD-Tree)可进一步降至 $O(n \log n)$, 完全满足高并发场景的实时性要求;

(2) 两种算法虽存在“过早合并”与“局部最优”的固有缺陷, 但可通过引入时间窗惩罚函数、载重 - 时效双校验门控、OD 预测预处理等手段进行针对性加固(详见 3.2~3.3 节), 在保留计算效率的同时显著提升解质量, 改进路径明确且可控;

(3) 算法实现仅需依赖基础矩阵运算与排序操作, 无需 GPU 加速或复杂依赖库, 代码简洁、调试容易, 符合中小企业“开箱即用”的部署需求。实证显示, 该框架投资回收期仅 3 个月(见 5.5 节), 远低于 AI 模型通常要求的 12 个月以上, 在计算速度、部署成本与解质量三者间实现了最优均衡。

3.2. 路径优化层: 时间窗修正的 Clarke-Wright 节约算法

传统 Clarke-Wright 节约法以静态距离为唯一合并依据, 在电商场景下会因忽视时间窗约束与路段时效性而频繁失效。为此, 本文提出 TD-CWS 算法, 通过两类改进实现动态适配。首先, 引入 OD 预测驱动的预处理机制: 利用历史订单热力图与 LSTM 时序模型, 提前 1 小时预测各网格区块的订单密度, 将预测高密度区的订单预先聚类为虚拟批次, 使算法在运行前即完成初步分流, 显著降低实时计算压力。此处的预测模型仅用于离线训练生成区域密度规则, 线上仍保持确定性算法特征, 符合轻量化部署原则。其次, 嵌入时间窗惩罚函数与载重 - 路况双校验门控: 定义惩罚系数自动放大导致超时的合并成本, 若合并订单导致到达时间超出客户要求时段, 则修正后的节约值将呈指数级下降, 算法可据此自动跳过违规合并; 同时设置门控条件, 仅当总载重未超限额且实时路况不拥堵时才执行合并, 其中路段通行时间通过 FCD 浮动车数据动态获取。两类改进协同作用, 既保留了节约法快速合线的计算优势, 又天然规避了不可行路径。在实现策略上, 算法采用批次滚动求解机制, 每 5 分钟触发一次局部优化, 仅重算新增订单与未发车路径, 节约值列表采用最小堆结构存储, 使合并操作效率提升至 $O(n \log n)$ 。

3.3. 运力调度层: 最近邻贪心 + 双校验机制

运力调度层采用最近邻贪心策略叠加双校验机制, 以空间换时间实现毫秒级响应。算法以订单收货点为中心, 利用空间索引快速检索 3 公里范围内的空闲车辆并按距离排序, 依次执行载重与时效双重可行性校验: 其一, 验证订单重量是否低于车辆剩余容量; 其二, 通过快速几何估算判断插入新订单后能否满足客户时间窗要求, 该估算过程仅耗时 0.01 秒, 在保障精度的同时避免完整路径重算带来的延迟。

若近处车辆校验失败，系统自动扩大搜索半径至 5 公里以确保匹配成功率。为应对高并发场景，实现层面采用无锁队列与内存预分配技术，订单写入环形缓冲区后由调度线程池并行消费，彻底消除锁竞争。这一极简设计在杭州午高峰万单实测中表现优异(见 5.3 节)，平均派车耗时仅 0.14 秒，空驶率下降 7.5 个百分点，算法代码仅 230 行且仅依赖基础数值计算库，部署成本趋近于零。

3.4. 协同机制层：轻量级弹性共享协议

协同机制层摒弃区块链等重型技术，转而采用 RESTful API 与消息队列构建轻量级共享协议。区域运营中心作为消息中枢，各承运商与末端网点按最小必要原则仅推送三类数据：运力快照(车辆位置、空闲容量等 30 秒级更新信息)、订单摘要(脱敏后的目的地、重量、时效要求)及事件通知(故障、取消、拥堵等实时预警)。通过统一资源池与订阅机制，网络内任一参与方均可动态获取其他主体运力信息，在保障商业隐私的前提下实现跨主体拼单配送。这种“数据最小化”设计在杭州测试中(见 5.5 节)促成 12% 的跨公司拼单率，成为空驶率下降的重要贡献因素，验证了轻量协同机制在区域弹性网络中的可行性与有效性。

4. 关键优化技术与方法

本文提出“路径优化 - 运力调度 - 协同机制”三位一体的协同优化框架，具体如下。

4.1. 多目标路径优化算法

针对同城配送里程高、车辆多的痛点，本文采用经典 Clarke-Wright 节约法并加以时间窗修正。算法以仓库为原点，将每条订单线路视为独立回路，通过计算并排序各对节点间的“节约值”逐步合并路线；合并时仅当总载重未超限额且新到点时间落在客户要求的时间窗内才予以确认，否则跳过该节点对并继续下一循环。小规模仿真测试表明，该方法可在 1 秒内将车辆数由 12 辆压缩至 8 辆，总里程减少 22%，平均送达时间提前约 35 分钟，代码简洁、易于在小型服务器上部署。

4.2. 运力匹配算法

为实现订单到达后的秒级派车，本文提出基于最近邻策略的贪心算法，并引入载重与时效双校验机制。系统首先以订单坐标为中心搜索 3 km 范围内的空闲车辆，按距离由近及远依次判断剩余载重是否满足订单重量且预计到达时间不超过客户要求时段；若通过校验则立即锁定并推送至司机端，否则扩大搜索半径至 5 km 继续轮询。杭州余杭区午高峰万单实测显示，平均派车耗时 0.14 秒(5.3 节实测数据)，司机空驶率由 19% 降至 11% (5.3 节实测数据)，日完成单量提升约 12 单，客户超时投诉率同步下降 50%，验证了算法在高并发场景下的稳定性与实用性。

5. 实证分析

5.1. 测试区域与数据说明

本研究选取杭州市余杭区作为案例区域，该区域聚集了多家头部电商平台的仓储与分拨中心，日常订单密度高、路网结构典型，具备较强的代表性。测试数据来源于某平台 TMS 系统 2025 年“六一八”大促期间(6 月 17 日 0:00~18 日 24:00)的脱敏订单库，共 2.1 万票，剔除异常与缺失后得到 1.96 万条有效样本，覆盖常温与冷链两种温层。同时获取对应时段 GIS 路网、车辆 GPS 轨迹和司机 APP 日志，以保证后续结果的可追溯与可复现。

5.2. 路径优化实验结果

将改进的 Clarke-Wright 节约法嵌入至平台排线模块，并与现有人工经验方案进行对比。在本次实验

中，约束条件设定为最大载重 1.8 吨、最长驾驶时长 8 小时、客户时间窗 1 小时。算法在 120 秒内生成 82 条线路，相较于人工方案，车辆数量减少 14 辆，降幅达 14.6%；总里程从 4826 公里降至 3761 公里，减少 22.1%；平均装载率从 73.4%提升至 85.7%，增长 12.3 个百分点；准时到达率提高 6.8 个百分点，客户投诉率下降 28%。实验结果充分表明，改进的 Clarke-Wright 节约法在优化里程、减少车辆使用以及提升服务质量等方面均取得了显著成效。

5.3. 模型应用与结果分析

在午高峰 11:00 至 13:00 时段，订单瞬时量达到平日的 2.7 倍。在此期间，将最近邻贪心算法与载重及时效双校验机制相结合，并与原有的规则引擎并行运行。结果显示，新算法的平均派车耗时为 0.14 秒，相较于原有方案缩短了 92%。空驶率从 18.9%降至 11.4%，降低了 7.5 个百分点。司机日均完成的订单票数增加了 11.7 单，订单溢出量从 476 票减少至 63 票，减少了 413 票。此外，82%的司机反馈认为新算法使接单速度更快且配送路线更顺路。平台方面，因超时罚款的减少，每日节约运营成本约 3.6 万元。这些结果表明，新算法在提高派车效率、降低空驶率、增加司机日均完成订单量以及减少订单溢出量等方面均取得了显著成效，同时降低了运营成本，提升了整体运营效率。

5.4. 不同密度场景鲁棒性分析

将 48 h 数据按小时划分为低、中、高三个密度段。低段(00:00~07:00)两种逻辑指标接近；中段(08:00~10:00、14:00~17:00)车辆降幅仍保持 12%以上，空驶率下降 5.3 pp；高段(11:00~13:00、20:00~22:00)车辆与里程节省最大，虽车速下降导致时效增幅略收窄，但改进趋势依旧稳定，表明算法在拥堵环境下具备良好鲁棒性。

5.5. 经济效益测算与敏感性分析

本节基于杭州余杭区“六一八”实测数据，结合行业典型运营特征，构建区分“大促日”与“平日”的双场景加权模型，对框架的经济价值进行稳健估算。需要明确的是，表 1 中标注“实测”的指标均直接来源于本研究 1.96 万票样本的追踪分析，未标注项为行业公开参数或企业运营基准值。

Table 1. Benchmark parameters for calculating the economic benefits of dual scenarios
表 1. 双场景经济效益测算基准参数

参数项	大促日(实测)	平日(行业基准)	说明
日均订单量	19,600 票(实测)	7260 票(=19,600/2.7)	大促峰值为平日 2.7 倍(5.3 节)
车辆数降幅	14.6% (实测)	8.3% (保守估计)	平日订单密度低，优化空间减小
里程降幅	22.1% (实测)	12.0% (保守估计)	道路拥堵轻，绕路优化收益下降
空驶率降幅	7.5 pp (实测)	3.2 pp (保守估计)	平日供需匹配更均衡
燃油单价	7.4 元/升	7.4 元/升	商务部 2025 年 5 月数据
日均超时罚款(原)	3.6 万元(实测)	0.8 万元(推算)	按投诉率与单量比例折算

在基准情景测算中，假设年运营 365 天，其中大促日 150 天(含“618”“双 11”等电商旺季及周末)，平日 215 天。燃油节省方面，大促日日均节省 935 升(6919 元)，平日按里程降幅折算计节省 427 升(3158 元)，加权年化燃油节约为 107.6 万元。超时罚款节省方面，大促日日均节省 3.6 万元，平日按投诉率比例推算为 0.8 万元，加权年化节约 65.4 万元。两项核心收益合计 173.0 万元/年。

进一步考虑算法效果衰减、市场波动等不确定性，通过敏感性分析给出三情景预测。乐观情景(概率

20%)假设大促日效果持续且平日优化提升至行业领先水平, 年化收益约 215 万元; 保守情景(概率 30%)考虑企业执行偏差导致算法效益衰减 30%且大促日仅 100 天, 年化收益约 125 万元; 基准情景(概率 50%)即为前述 173 万元。该预测基于四项关键假设: 企业 IT 系统具备分钟级数据同步能力; 司机遵从系统调度指令比例不低于 85%; 区域内路网结构未来三年无重大变化; 燃油价格与罚款标准保持稳定。

需要说明的是, 本测算存在三方面局限性。首先, 样本代表性受限, 杭州余杭区作为电商产业聚集区, 订单密度与路况复杂度均高于全国平均, 中小城市直接套用可能高估收益。其次, 长期动态效应未纳入考量, 算法推广后司机行为、客户期望及竞争格局的演化可能削弱增益。最后, 成本端测算未包含隐性投入, 如人员培训、系统维护、数据治理等费用, 实际投资回收期或在 4~6 个月之间。未来需扩大至中西部城市进行多区域验证, 以提升预测的外部效度。

6. 结语

本文从交通运输工程视角出发, 针对电子商务城市配送中“里程高、空驶多、响应慢”三大核心痛点, 构建了面向高并发场景的轻量级启发式算法框架, 实现了“路径优化-运力调度-区域协同”三者的有机耦合。该框架的理论贡献在于: 证明在百万级订单流压力下, 经时间窗惩罚与双校验机制改进的经典算法, 较复杂 AI 模型在计算速度、部署成本与解质量三方面更具均衡优势, 为资源约束型中小企业提供了可行路径。

杭州余杭区“六一八”万单级实测验证表明: 改进 Clarke-Wright 节约法可压减 14.6%车辆投入与 22.1%行驶里程, 准时率提升 6.8 个百分点; 最近邻贪心匹配将派车响应压缩至 0.14 秒, 空驶率下降 7.5 个百分点, 司机日均履约单量增加 11.7 单。经济测算显示, 该框架年度直接节约可达 173 万元(基准情景), 投资回收期不足三个月, 具备显著的投入产出效益。

本研究契合“算法简洁、数据公开、落地快速”的原则, 全部模型基于开源工具实现, 无需额外硬件投入, 尤其适合资金与技术基础薄弱的中小物流企业快速部署。未来工作将拓展至三四线城市验证算法普适性, 并引入新能源车辆时空约束、碳排放动态核算等绿色化要素, 持续优化参数体系, 为电子商务高质量发展提供更完善的交通运输解决方案。

参考文献

- [1] 中国互联网络信息中心. 2025 年中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]. 2025-02-28. <https://www.cnnic.net.cn/NMediaFile/2025/0721/MAIN1721638965001F6D10GFPDE.pdf>, 2025-11-26.
- [2] 李治国, 骆柳君, 邹丽琴. 跨境电商物流供应链的协同机制与优化策略[J]. 全国流通经济, 2025(18): 42-45.
- [3] 杨帆. 电商物流发展对运输经济格局的影响[J]. 中国航务周刊, 2025(37): 57-59.
- [4] 齐国营. 市场经济下交通物流运输经济管理路径探析[J]. 商展经济, 2025(9): 127-130.
- [5] 李向荣, 张雪. 农产品电商物流与农村经济协同水平测度及影响因素分析[J]. 云南财经大学学报, 2025, 41(11): 95-110.
- [6] 潘珠, 惠青, 陈焕南. “双循环”背景下海南自贸港跨境电商与跨境物流协同发展研究——基于灰色关联分析[J]. 中国商论, 2025, 34(21): 93-96.
- [7] 谢凝. 跨境电商时代的跨国物流运输管[J]. 中国储运, 2025(5): 50-51.
- [8] 苏刚, 迪丽拜尔·阿不拉, 尹三平. 基于双向搜索跨境电商物流运输路径优化研究[J]. 电子设计工程, 2021, 29(22): 114-118.
- [9] 秦会丹. 基于供应链管理视角的电商物流效率提升路径研究[J]. 中国航务周刊, 2025(16): 72-74.
- [10] 张明明. 电商供应链中物流运输模式的优化方法探究[J]. 中国储运, 2024(9): 106-107.
- [11] 董芳芳. 跨境电商视野下国际物流运输发展对进出口贸易的影响研究[J]. 中国物流与采购, 2023(23): 61-62.
- [12] Clarke, G. and Wright, J.W. (1963) Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, 568-581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>