

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)06-0130-05

基于空间聚类算法的冷链物流配送成本自动核算方法

董寅华

(上海交通大学,上海 200431)

摘要: 冷链配送由于其能最大程度保证运输产品的质量,但这也无形中增加了冷链配送成本。因此精确核算配送成本以及最大程度控制成本成为冷链物流业亟待突破的难题。基于此,研究提出了将凝聚层次聚类方法与回归分析方法进行结合,以避免决策者主观因素对核算结果带来的影响,并在此基础上搭建出冷链物流配送成本自动核算模型。结果显示,研究所设计的核算模型对 B22 成本指标核算的准确率与实际成本最为接近。其中,核算准确率最大值与实际成本最大值差距为 3.11%,最大差值出现在 64.25 万元时。上述结果证明,所提成本自动核算模型为冷链物流企业提供了一种客观、精准的成本核算与控制工具,有助于在保障运输质量的同时降低配送成本,推动低碳、低成本冷链物流的可持续发展。

关键词: 聚类算法;成本核算;AGNES;回归分析

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2026)06-0130-05

Automatic cost accounting method for cold chain logistics distribution based on spatial clustering algorithm

Dong Yinhua

(Shanghai Communications Polytechnic, Shanghai 200431, China)

Abstract: Cold chain distribution can maximize the quality of transported products, but this also invisibly increases the cost of cold chain distribution. Therefore, accurately calculating distribution costs and maximizing cost control become urgent challenges for the cold chain logistics industry to overcome. Based on this, the study proposes to combine the cohesive hierarchical clustering method with regression analysis method to avoid the influence of subjective factors of decision makers on the accounting results, and on this basis, a cold chain logistics distribution cost automatic accounting model is built. The results show that the accounting model designed by the research institute has the closest accuracy to the actual cost of B22 cost indicator accounting. Among them, the maximum difference between the accounting accuracy and the actual cost is 3.11%, with the maximum difference occurring at 642 500 yuan. The above results demonstrate that the proposed cost automatic accounting model provides an objective and accurate cost accounting and control tool for cold chain logistics enterprises, which helps to reduce distribution costs while ensuring transportation quality, and promotes the sustainable development of low-carbon and low-cost cold chain logistics.

Keywords: clustering algorithm; cost accounting; AGNES; regression analysis

近年来,随着居民收入水平的提高和消费升级,冷链物流市场需求不断增加。全球冷链物流市场规模预计从 2018 年的 1 600 亿美元增长至 2026 年的 5 851 亿美元,年均复合增长率接近 10%^[1-2]。虽然冷链运输拥有消费优势,但同时也产生了很多无形成本。众多物流运输行业对冷链运输成本把握较为模糊,这极大影响了企业自身发展进程。Fan^[3]等发现高效的冷藏物流与高效的货物流动同样重要,在此基础上搭建了社会技术与参与者决策管理模型。结果表明该模型优化了冷藏物流中的成本投入比问题。Pajic 等^[4]发现冷链物流的运输成本日益增长,针对该问题提出了利用物联网技术整合交通方案的成本框架。结

果显示该框架在保证产品质量的基础上降低了成本投入。相比之下,中国的冷链物流企业由于市场集中度较低,企业规模普遍较小,因此在成本控制方面面临更多挑战。王凤丽等^[5]发现温控供应链导致了冷链运输隐形成本增加,因此提出将部分物流运输企业将数学算法以及分类模型应用于成本核算。凝聚层次聚类方法(agglomerative, AGNES)是一种自底向上的层次聚类算法,能够将冷链运输过程中出现的最低成本指标也纳入计算。回归分析方法常被用于物流成本预测,其变化值则为冷链物流成本与客观运输影响条件的直接联系关系。因此,研究提出将 AGNES 与回归分析进行结合,搭建出冷链配送成本自动核算模型,以

收稿日期:2024-12-30;录用日期:2025-02-21

基金项目:上海市自然科学基金项目(20ZR1317903)

作者简介:董寅华(1986—),女,硕士,讲师,研究方向:财务管理、大数据财务分析,统计大数据分析,物流成本管理、管理会计。

引用本文:董寅华. 基于空间聚类算法的冷链物流配送成本自动核算方法[J]. 自动化技术与应用, 2026,45(6):130-134. (Dong Yinhua. Automatic cost accounting method for cold chain logistics distribution based on spatial clustering algorithm[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(6):130-134.)

期提高核算的准确程度。研究的创新性在于将两种常用核算方法进行结合,改进了原有聚类算法的不足。

1 基于 AGNES 的配送成本自动核算

1.1 结合回归分析的成本核算

冷链物流行业随着我国政策上的建设鼓励,处于高速发展中,但冷链物流成本也在无形之中大幅增加,如何有效控制增长成本以及准确对配送成本进行核算是物流运输企业亟待解决的技术难题^[6]。但绝大部分企业均已注重该问题,逐渐在如何保证企业的收益营收最大的同时,将企业投入明面、暗面成本控制在最低程度作为发展目标^[7]。配送成本信息管理能够帮助物流公司计算成本数据、控制成本、决策成本重点以及清晰明了地看出成本问题导向并及时作出调整决策^[8]。目前各大物流企业均将成本数据作为改善数据重点,将数据进行深度挖掘,发现其潜在成本数据以及价值数据,这一举动能让管理人员明晰成本损耗现状以及成本损耗条目。总的来说,合理分析成本数据能够有效控制运输成本提高冷链运输行业服务质量^[9]。研究首先引入 AGNES 对冷链物流数据进行数据分层处理,构建成本判断矩阵。AGNES 首先需要将每个对象作为一个簇,然后逐渐合并这些簇形成较大的簇,直到所有的对象都在同一个簇中,或者满足某个终止条件^[10]。紧接着需要寻找各个类之间最近的两个类,将其归为一类,在这新归的一类中计算相似度。AGNES 的计算逻辑如图 1 所示。

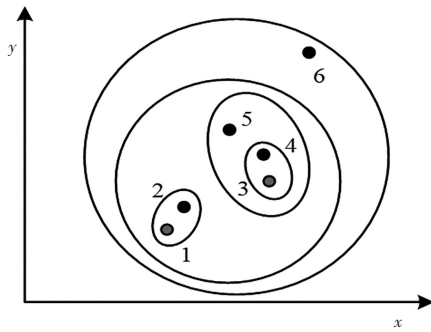


图 1 AGNES 方法的聚类逻辑示意图

Fig. 1 Cluster logic diagram of AGNES method

研究采用几何平均法进行权重向量值确定,计算如式(1)所示。

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, n 代表每层运输链数据乘积的 n 次方, W_i 代表归一化处理后的特征向量, a_{ij} 为矩阵中第 i 行,第 j 列的变量数据。 i 与 j 代表变量数据,最终迭代得出权重向量。研究为了进一步保证 AGNES 方法的评价数值与结果层数一致,统一一致性计算如式(2)所示。

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中, CR 代表一致性比率, CI 代表一致性检验指标, RI 代表随机检验指标。成本判断矩阵中最大特征值计算如式(3)所示。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i} \quad (3)$$

式中, λ_{\max} 代表成本判断矩阵中最大特征值, AW 代表两两判断矩阵。一致性检验指标计算如式(4)所示。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

但是 AGNES 方法的空间聚类效果受到决策者的决策影响,主观因素较大,因此权重系数并不固定,严重影响了最终核算结果。针对 AGNES 方法的显著问题,研究提出了结合回归分析方法。回归分析方法是一种确定两种或两种以上变量间相互依赖的定量关系的一种统计分析方法^[11]。该方法常被用于物流成本预测,其变化值则为冷链物流成本与客观运输影响条件的直接联系关系^[12]。研究针对两种成本变量用式(5)表示数学关系。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (5)$$

式中, ε 代表随机误差, y 代表自变量的线性函数, x_1, x_2, \dots, x_p 代表自变量, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 代表回归系数,基于式(5)研究搭建了物流成本数据样本集,计算如式(6)所示。

$$\{(y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}) \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

式中, $(y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$ 代表样本数据的观察值。结合上述计算式,研究对冷链物流成本的核算方法为在 AGNES 聚类的基础上融合回归分析方法,综合评估运输成本的自变量与因变量关系。

1.2 配送成本自动核算模型搭建

研究初步确立了冷链物流成本核算方法后,后续需要考虑冷链技术主要的成本环节,以此来搭建成本自动核算模型。冷链物流顾名思义就是要在低温状态下对农产品以及特殊需冷藏运输产品的物流技术^[13]。其技术价值则是保证运输产品的质量与新鲜程度,并最大的程度降低运输过程中的产品坏损情况^[14]。冷链物流运输涉及的成本环节如图 2 所示。

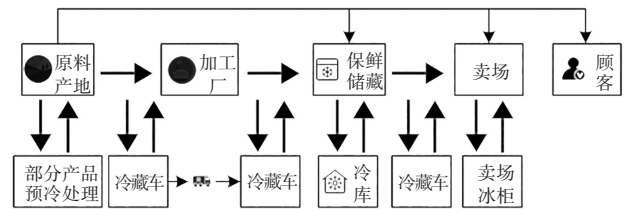


图 2 冷链物流运输涉及的成本环节示意图

Fig. 2 Schematic diagram of cost links involved in cold chain logistics transportation

冷链物流成本与时间、温度、耐藏性存在较大关联,温度越低耗能成本越高,运输时间越久耗能成本越高,耐藏性涉及运输产品的新鲜度要求^[15-17]。冷链物流对于温度的控制分为三级,低到高依次为冷冻储藏,温度需求为 $-20 \sim -18 \text{ }^\circ\text{C}$ 。冰温储藏,温度需求为 $-2 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。冷藏储存,温度需求为 $2 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据图 2 则可将冷链物流配送成本

分为运输成本、损耗成本、冷能成本3部分,基于此研究结合 AGNES 聚类的基础上融合回归分析方法搭建成本自动核算模型。建模之前,首先要区分影响冷链运输成本的自变量与因变量,由于影响因素较多,所以需要排除一些只适用于定性分析的数据。研究搭建的自动核算模型考虑了客户满意度(B12)、客户需求量(B22)、配送时间窗(B24)、冷藏车装载率(B25)、农产品自身特点价值(B31)五种关键成本因素。这5种因素最终综合聚类为影响因素集,研究利

用 SPSS 系统进行成本模型搭建,模型核算操作流程首先是将所有成本数据进行标准化。第2步则是通过散点图观察数据集集中的线性关系,第3步需要对标准化数据执行线性回归操作。第4步则是对成本方程的显著性影响因素进行分析,第5步需要对回归系数进行显著性分析。第6步将个别变量进行标准化处理,最后得到成本误差以及核算细分值。研究设计的成本自动核算模型需要注意的各成本影响因素权重重要性排序示意如表1所示。

表1 成本自动核算模型需要注意的各成本影响因素权重重要性排序

Tab. 1 The weight and importance ranking of various cost influencing factors that need to be paid attention to in the cost automatic accounting model

影响因素权重	指标(B)	指标权重	综合权重	重要性排序
优势因素 A1(0.235 4)	运输设施 B11	0.232 8	0.054 7	6
	客户满意度 B12	0.485 3	0.114 0	3
	冷链投入程度 B13	0.112 2	0.026 4	13
	冷链仓储程度 B14	0.127 9	0.030 1	11
	信息服务能力 B15	0.041 8	0.009 8	17
响应性因素 A2(0.527 7)	物流人员能力 B21	0.048 6	0.025 6	14
	客户需求量 B22	0.256 3	0.135 3	2
	配送距离 B23	0.387 8	0.204 7	1
	配送时间窗 B24	0.138 6	0.073 1	4
	冷藏车装载率 B25	0.091 6	0.048 3	7
	冷藏车选择 B26	0.077 1	0.040 7	9
运输产品特性 A3(0.128 9)	产品价值 B31	0.472 3	0.060 9	5
	运输损毁率 B32	0.169 7	0.021 9	15
	运输产品类别 B33	0.072 5	0.009 3	19
管理因素 A4(0.070 8)	配送成本核算方法选择 B41	0.104 7	0.007 4	20
外部因素 A5(0.037 8)	配送政策 B51	0.25	0.009 5	18
	天气、油价 B52	0.75	0.028 4	12

2 自动核算模型效果分析

为了验证研究搭建的结合 AGNES 聚类融合回归分析冷链配送成本自动核算模型有效性,展开了实验分析。实验首先分析 AGNES 聚类与回归分析方法对成本核算的影响状态,综合对比其核算效率以及准确性。实验引入某一物流公司的冷链运输业务财务数据,并对比 AGNES 聚类算法、回归分析方法以及研究搭建的成本核算模型三种成本核算方法,对比结果如图3所示。

图3(a)中,可以明显看出研究所设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析核算模型的冷链车运输成本核算效率高于另外两种方法。研究所设计的核算模型方法的效率均值为89.77%,最低核算效率也能达到86.79%,最大核算效率出现在下半年,数值为91.02%。AGNES 聚类算法的核算效率曲线呈现大幅变化,最大效率核算值出现在5月,数值为83.54%,最低效率值出现在1月,数值为

47.66%。回归分析方法的最高效率核算值也出现在5月,数值为75.67%,最低效率值出现在1月,数值为57.96%。图3(b)中,可以明显看出研究所设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析核算模型的综合配送成本核算效率高于另外两种方法。研究所设计的核算模型方法的效率均值为96.87%,最低核算效率也能达到94.85%,最大核算效率数值为98.01%。AGNES 聚类算法的核算效率曲线呈现大幅变化,最大效率核算值出现在5月,数值为76.21%,最低效率值出现在1月,数值为65.33%。回归分析方法的最高效率核算值也出现在5月,数值为68.23%,最低效率值出现在1月,数值为65.32%。这说明研究所设计的成本核算模型能够对整年成本数据进行高效核算,且整体核算效率呈现稳定延伸状态,相较于另外两种对比方法具有明显核算优势。紧接着实验对3种方法的成本核算准确程度进行对比,结果如图4所示。

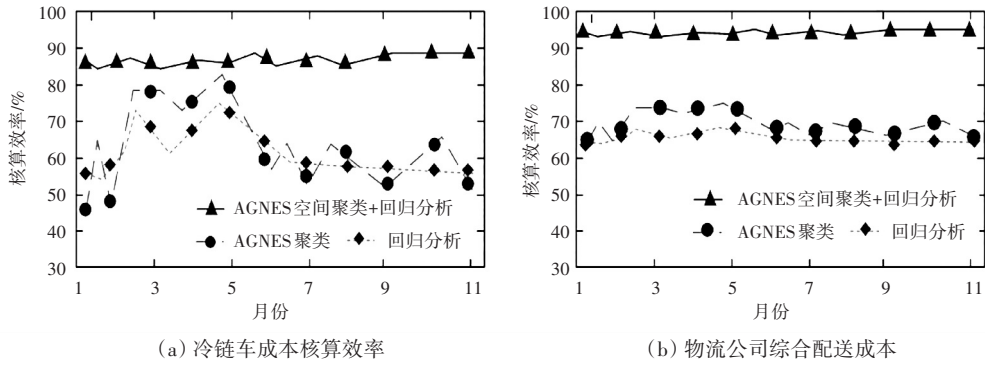


图3 三种方法的冷链车与综合配送成本核算效率对比

Fig. 3 Comparison of cost accounting efficiency between three methods for cold chain vehicles and comprehensive distribution

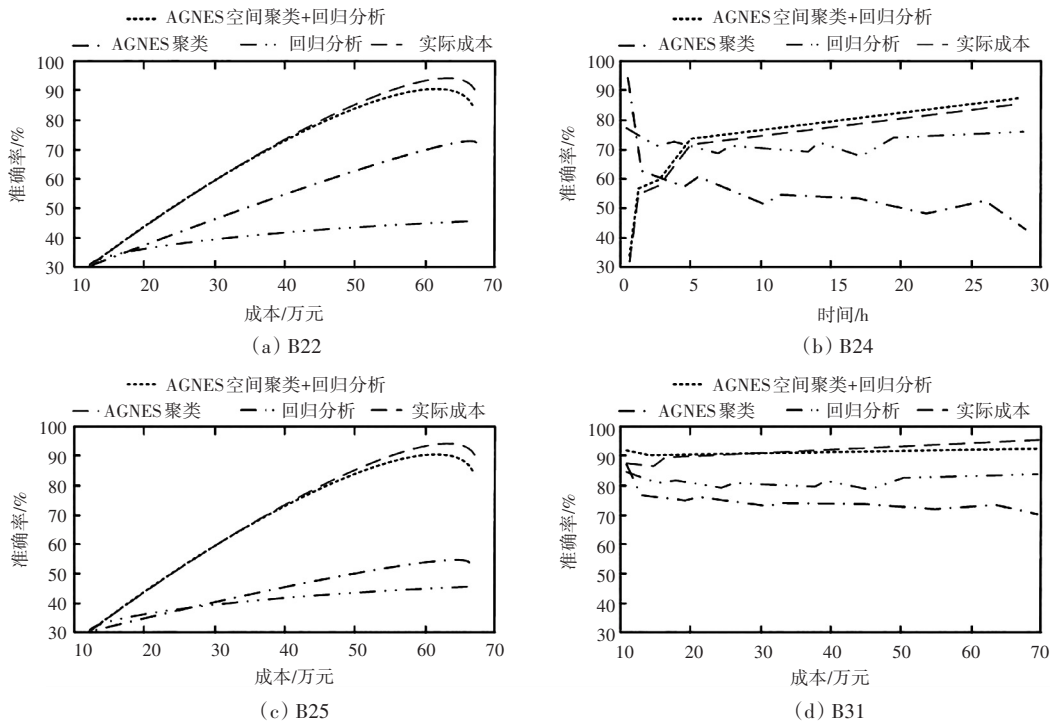


图4 三种方法的成本核算准确率结果

Fig. 4 Accuracy results of cost accounting using three methods

图4(a)中,可以看出研究所设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析核算模型对 B22 成本指标核算的准确率与实际成本最为接近。其中核算准确率最大值与实际成本最大值差距为 3.11%,最大差值出现在 64.25 万元时。AGNES 聚类方法与实际成本相差较大,准确程度最低的方法为回归分析方法。回归分析方法的最高准确率为 42.55%,与实际成本相差 51.11%。图4(b)中,可以看出研究所设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析核算模型对 B24 成本指标核算的准确率与实际成本最为接近。其中核算准确率曲线随着时间增长呈现稳步上升趋势,当时间来到 30 h 时,准确率达到 89.98%。研究所提方法最大值与实际成本最大值差距为 1.2%。AGNES 聚类方法与实际成本相差最大,最大准确率出现在 0 h,数值为 95.85%,与实际成本相差 62.34%。图4(c)中,可以看出整体准确率曲线走势与图4(a)较为接近,研究所设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析核算模型、实际成本与回归分析值均

未变化。图4(d)中,可以看出研究所设计模型对 B31 成本指标核算的准确率与实际成本最为接近。其中核算准确率最大值与实际成本最大值差距为 2.01%,最大差值出现在 70 万元时。AGNES 聚类方法与实际成本相差最大,其最大准确率为 88.51%,与实际成本相差 3.27%。这说明研究所设计模型能够对不同成本指标进行准确核算,与实际成本最为接近。实验最后应用研究设计模型对物流公司的冷链配送成本控制效果进行验证,对比结果如图5所示。

从图5中可以明显看出使用了研究设计的 AGNES 聚类算法结合回归分析成本自动核算模型的成本得到有效控制,数值均低于未使用成本自动核算模型。其中成本最大值出现在 400~450 天之间,数值为 1 864 万元,成本最低值出现在 150~200 天之间,数值为 1 533 万元。未使用成本自动核算模型的成本最大值出现在 350~400 天之间,数值为 2 382 万元,成本最低出现在 600+天,数值为 1

600万元。两种情况的成本最大值差值为518万元,最低值差值为67万元。综上数据说明,研究所设计的成本自动核算模型能够在大幅控制成本的同时,还能对成本进行精确计算,这提高了冷链运输成本的计算效率。

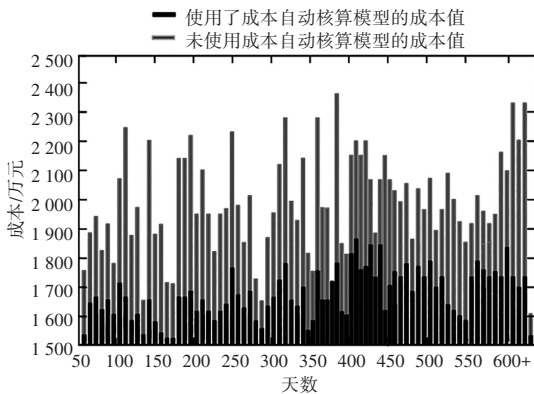


图5 物流公司的冷链配送成本控制效果对比

Fig.5 Cost control effect comparison of cold chain distribution in logistics companies

3 结论

随着互联网生鲜网购体系逐渐完善,冷链配送成为即时产品运输的新途径。但冷链运输流程中涉及较多需要核算的成本指标,计算量较大,若不能准确计算,则会导致物流公司成本入不敷出。基于此,研究提出了结合AGNES空间聚类算法与回归分析方法,搭建新的成本自动核算模型,以达到精准核算与有效控制成本的作用。结果显示,研究所设计的成本自动核算模型的冷链车运输成本效率均值为89.77%,最低核算效率也能达到86.79%,最大核算效率出现在下半年,数值为91.02%。综合配送成本核算效率均值为96.87%,最低核算效率也能达到94.85%,最大核算效率数值为98.01%。这说明研究所设计的成本核算模型能够对整年成本数据进行高效核算,且整体核算效率呈现稳定延伸状态。除此之外,使用了研究所设计模型的成本得到有效控制,数值均低于未使用成本自动核算模型。两种情况的成本最大值差值为518万元,最低值差值为67万元。综上说明,研究所设计的成本自动核算模型能够对成本进行精确计算,提高了冷链运输成本的计算效率,并且有效控制了冷链运输成本。但是研究设计的模型目前只考虑了五个成本影响指标,后续可结合更全面的指标进行实验。

参考文献

- [1]胡欣月,黄奇峰,张理寅,等.考虑隐私保护的综合能源负荷联合聚类方法[J].电工电能新技术,2024,43(7):60-69.
- [2]孟建军,石坤,刘亚彤,等.基于客户满意度的低碳冷链多式联运路径优化[J].包装工程,2024,45(13):268-275.
- [3]Fan Y, Behdani B, Bloemhof-Ruwaard J M. Refer logistics and cold chain transport: A systematic review and multi-actor system analysis of an un-explored domain [J]. European Journal of Transport and Infrastructure Research, 2020, 20(2): 1-35.
- [4]Pajic V, Andrejic M, Chatterjee P. Enhancing cold chain logistics: A framework for advanced temperature monitoring in transportation and storage[J]. Mechatronics and Intelligent Transportation System, 2024, 3(1): 16-30.
- [5]王凤丽,郭风军,隋青,等.生鲜农产品温控供应链发展策略研究[J].保鲜与加工,2024,24(7):97-101.
- [6]詹峻淦,白利霞,洪丽芬,等.合作博弈的梯形模糊数均分剩余值解及其在农产品冷链物流中的应用[J].科学技术与工程,2023,23(17):7194-7202.
- [7]李军,张双成,师勇,等.基于原始探测光子泊松分布特性的直方图去噪算法研究[J].地球信息科学学报,2024,26(8):1911-1925.
- [8]赵娜,任倩.基于地理空间分析的城镇绿地空间供需评价和布局优化[J].内蒙古科技大学学报,2024,43(2):189-193.
- [9]谢江陵,李铁鲲,李小军,等.基于耦合空间模糊C均值聚类和推土机距离的变化检测[J].遥感信息,2024,39(3):144-152.
- [10]王建军,谢超,徐佳.基于改进萤火虫算法的非满载物流运输车辆调度研究[J].环境技术,2019,37(5):182-187.
- [11]胡国玉,刘广,周星光,等.基于Swin-TDL算法的果园环境下葡萄病害检测方法[J].中国农机化学报,2024,45(8):234-239.
- [12]刘凯,王佳鑫,毛谦昂,等.区块链游戏生态的角色动态识别与演化分析——以Axie Infinity为例[J].应用科学学报,2024,42(4):642-658.
- [13]张孝顺,李锦诚,郭正勋.大模型辅助的大型海上风电场集电系统拓扑优化[J].高电压技术,2024,50(7):2894-2905.
- [14]常海雷.基于物联网的农产品冷链物流路径规划方法[J].自动化技术与应用,2024,43(9):81-84.
- [15]陈妮.时间窗约束下农产品物流配送路径优化研究[J].自动化技术与应用,2024,43(2):17-20,30.
- [16]李慧.基于WPA的农业运输车辆路径优化模型研究[J].农机化研究,2025,47(6):252-257.
- [17]朱凤磊,张立新,张雄业,等.基于GA-PSO算法的水肥监控与调度系统研究[J].农机化研究,2024,46(8):206-210.