

文章编号:1671-5896(2026)04-0933-07

基于改进 MOPSO 算法的消毒供应室 物资供应链供需调配算法

杨 静¹, 张正博²

(1. 唐山市中医医院 供应室, 河北 唐山 063099; 2. 华北理工大学 理学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 针对消毒供应室物资供需调配过程中, 通常依靠常规粒子群算法求解调配方案, 其容易陷入局部最优, 导致调度资源利用效果差的问题。因此, 提出基于改进 MOPSO (Multi Objective Particle Swarm Optimization) 算法的消毒供应室物资供应链供需调配算法。依托供应链算法, 构造消毒供应室物资快速调度体系。获取动态医疗监测数据, 将其输入时空注意力网络模型中进行学习, 得出消毒物资需求量。以满足物资需求为前提, 设置以成本最小化、资源利用率最大化为核心的供应链供需调配目标函数。利用结合线性微分递减策略的改进多目标粒子群优化算法, 对目标函数进行全面求解, 从而生成最佳物资调配方案。实验结果表明, 应用该算法后, 调配物资利用率超过 85%, 实现了消毒供应室物资的充分利用。

关键词: 消毒供应室; 物资调配; 供应链; 改进 MOPSO 算法; 需求量; 惯性权重

中图分类号: TP391

文献标志码: A

Supply and Demand Allocation Algorithm for Material Supply Chain in Disinfection Supply Room Based on Improved MOPSO Algorithm

YANG Jing¹, ZHANG Zhengbo²

(1. Supply Room, Tangshan Chinese Medicine Hospital, Tangshan 063099, China;

2. College of Science, North China University of Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: In the process of material supply and demand allocation in the sterilization supply room, conventional particle swarm optimization algorithms are commonly used to solve the allocation scheme, which is prone to falling into local optima, resulting in poor resource utilization efficiency. Therefore, a supply and demand allocation algorithm for material supply chain in the sterilization supply room based on an improved MOPSO (Multi Objective Particle Swarm Optimization) algorithm is proposed. Relying on supply chain algorithms, a rapid scheduling system for materials in the sterilization supply room is constructed. Dynamic medical monitoring data is obtained and is inputted into a spatiotemporal attention network model for learning, to derive the demand for sterilization materials. With meeting material demand as the premise, a supply and demand allocation objective function for the supply chain is set, focusing on minimizing cost and maximizing resource utilization. By utilizing an improved multi-objective particle swarm optimization algorithm combined with a linear differential decrement strategy, the objective function is comprehensively solved to generate the optimal material allocation scheme. Experimental results show that after applying this algorithm, the utilization rate of allocated materials stabilizes at over 85%, achieving full utilization of materials in the sterilization supply room.

Key words: disinfection supply room; material allocation; supply chain; improved multi objective particle

收稿日期: 2026-03-02

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目 (U20A20179)

作者简介: 杨静 (1985—), 女, 河北沧州人, 唐山市中医医院主管护师, 主要从事设备调配, 维护研发等研究, (Tel) 86-15081504833 (E-mail) 13091068956@163.com。

swarm optimization(MOPSO) algorithm; demand; inertia weight

0 引 言

随着医疗技术不断发展, 疾病治疗手段呈现出多样化特点, 各种类型的可复用医疗器械的研发, 成为高精尖手术辅助工具^[1]。在医疗体系高效运转过程中, 消毒供应室主要负责可复用医疗器械的回收、清洗、消毒与灭菌工作, 其物资供应状态直接影响后续医疗服务的连续性和安全性^[2]。为此, 研究一种高质量的消毒供应室物资供应链供需调配算法, 成为医疗管理领域亟待攻克的关键课题。

唐建勋等^[3]提出了基于速度暂停粒子群算法的物资调运算法, 其以未匹配物资数量最小化和调运成本最小化为目标, 构建了物资装载优化模型。应用速度暂停粒子群算法进行模型求解, 即可获取最终物资调运方案。虽然其实施成本较低, 但在物资装载过程中忽略了物资的动态需求变化, 致使调度物资的利用效果欠佳。孙鉴等^[4]提出了基于 Spark 并行混合萤火虫算法的物资调度算法, 其根据受灾点的灾情严重程度确定物资调运优先级, 并构建了以运输车辆行驶距离最小化和调度成本最小化为核心的物资调度模型。引入基于 Spark 的并行混合萤火虫算法进行迭代搜索, 得到满足优先级条件的最佳调度方案。虽然其计算效率较高, 但在自适应大领域搜索过程中存在局部优化倾向, 致使调度物资利用率较低。倪超等^[5]提出基于“分类-调度”优化的算法, 针对物资调度环境信息进行观察, 明确动态物资需求量变化。结合“分类-调度”原理和 K 均值聚类算法, 构建动态物资调度模型, 实现物资快速供需调度。虽然其能快速适应突发需求, 但受分类刚性约束, 调度方案实施过程中资源无法得到充分利用。彭频等^[6]提出基于匮乏理论的调度方法, 依托于匮乏理论, 建立心理痛苦成本函数, 并以最小化心理痛苦成本和物资运输成本为目标, 构建物资调度模型。利用快速非支配排序遗传算法求解模型, 即可生成最佳物资调配方案。虽然其经济效益较高, 但多目标权重分配不合理, 导致运输物资利用效果差。

考虑现有物资调配算法存在的不足, 为满足医疗服务质量与安全要求, 笔者提出改进 MOPSO(Multi Objective Particle Swarm Optimization)算法的消毒供应室物资供应链供需调配算法。通过构建供应链物资快速调度体系、精准预测物资需求量、设定供需调配目标函数, 并改进 MOPSO 算法求解调配方案, 实现消毒供应室物资的精准供应, 以保障医疗服务的稳定开展。

1 设计基于改进 MOPSO 算法的消毒供应室物资供应链供需调配算法

1.1 建立物资供应链快速调度方案

将具备自适应决策特性的供应链算法应用于消毒供应室物资供应链供需调配环节, 构建如图 1 所示的快速调度体系。

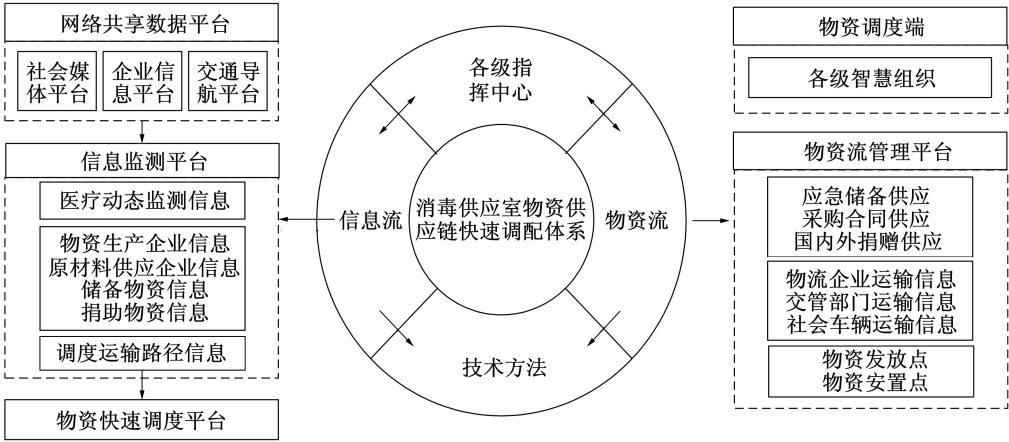


图 1 消毒供应室物资供应链快速调度体系

Fig. 1 Rapid scheduling system for material supply chain in disinfection supply room

借助网络共享数据、信息监测和调度平台间的信息交互^[7],生成合理的调度方案。在物资调度端与物流管理平台的协同配合下,实现物资供应链的快速调度。

在消毒供应室物资供应链快速调度过程中,借助多源监测平台,可快速获取物资需求、动态供给和运输交通信息。依靠4G/5G、Wifi等技术,建立有效的数据传输方案,将多源监测信息传递给快速调度平台,通过反馈学习评估当前消毒物资需求和供给状态,并以此为支撑生成供应链快速调度策略,作为消毒供应室物资调配的依据。

1.2 设计消毒供应室物资需求预测方法

在供应链快速调度体系执行过程中,为精准预测消毒物资需求量,构建时空注意力神经网络模型^[8],对动态医疗监测数据进行学习,捕获医疗环境变化特征,其与消毒物资需求特征基本一致^[9],并可直接推导出消毒供应室物资需求量预测值。

物资需求预测过程中,利用注意力网络学习医疗监测数据,可得到原始数据中蕴含的空间注意力特征向量:

$$A_i(Q_i, K, V) = s\left(\frac{Q_i K^T}{\sqrt{D_k}}\right) V, \quad (1)$$

$$\alpha_i = A_i(Q_i, K, V) W + b, \quad (2)$$

其中 i 表示消毒供应室物资类型, A 表示空间注意力向量, Q 表示对目标类型物资需求量产生影响的医疗数据, K, V 表示医院场景内产生的所有医疗数据, s 表示softmax函数, T 表示转置, D 表示数据特征向量长度, α 表示空间维度上某个物资与其他物资之间需求量关联特征, W, b 表示多头注意力学习过程中应用的权重矩阵和偏置项。

借助层归一化与全连接网络层,实现多尺度动态医疗监测数据的空间注意力特征融合,最终输出强化特征如下:

$$\bar{\alpha}_i = L(C(Q_i, A_i) W') + b', \quad (3)$$

$$\hat{\alpha}_i = R(W'' \bar{\alpha}_i + b'') W''' + b''', \quad (4)$$

其中 $\bar{\alpha}$ 表示归一化处理后医疗数据特征向量, $\hat{\alpha}$ 表示融合空间关联特征向量, L 表示层归一化函数, C 表示拼接函数, R 表示激活函数ReLU, W', b' 表示特征信息归一化处理过程中应用的权重矩阵和偏置项, W'', W''' 表示特征融合阶段应用的权重矩阵, b'', b''' 表示特征融合阶段应用的偏置项。

将增强处理后的数据特征视为消毒供应室的物资需求特征^[10],将其输入

$$Y = R(\hat{W} \hat{\alpha}_i + \hat{b}) \quad (5)$$

进行全连接神经网络的预测学习,即可输出消毒物资的最终需求量^[11]。其中 Y 表示消毒供应室物资需求预测值, $\hat{W}, \hat{b}$ 表示全连接神经网络预测过程中应用的权重矩阵和偏置项。

1.3 构造物资供应链供需调配目标函数

综合考虑调度成本与资源利用率两方面要求^[12],构建消毒供应室物资供应链供需调配目标函数,如下:

$$F = \beta_1 f_1 + \beta_2 f_2, \quad (6)$$

$$\begin{cases} f_1 = \min(\delta) = \min(G, H, P), \\ f_2 = \max(\varepsilon) = \max\left(\frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\max \bigcup_{i=1}^n N_i}\right), \end{cases} \quad (7)$$

其中 F 表示物资供应链供需调配综合目标函数, β_1, β_2 表示加权系数, f_1 表示以调配成本最小化为核心的目标函数, f_2 表示以调配资源利用率最大化为核心的目标函数,min表示最小化取值函数,max表示最大化取值函数, δ 表示消毒供应室物资供应链供需调配总成本, G 表示物资运输费用, H 表示物资仓储费用, P 表示时间惩罚费用, ε 表示物资利用率, n 表示物资分类数量, N 表示单位时间内物资使用量。

基于消毒供应室物资需求预测结果与实际物资供应要求^[13], 确定供需调配约束条件如下:

$$\begin{cases} \varphi_t = Y_t, \\ 0 \leq N_i \leq N', \end{cases} \quad (8)$$

其中 t 表示时间点, φ 表示消毒供应室物资供应量, N' 表示最大化物资数量。

1.4 基于改进 MOPSO 算法获取调配方案

通过引入改进 MOPSO 算法, 对消毒物资供应链供需调配目标函数进行求解^[14], 能获得满足多方面要求的最佳物资调配方案。在实际求解过程中, 首先组合不同的物资分配和运输形式, 生成多种具有可行性的供应链供需调配方案, 并将其作为初始粒子种群。然后, 模拟鸟群捕食行为, 实现粒子种群内个体的优化搜索^[15]。其中粒子个体更新过程为

$$v_o(m) = \omega v_{o-1}(m-1) + q_1 r_1 [\tau'(m-1) - \tau_o(m-1)] + q_2 r_2 [\tau''_o(m-1) - \tau_i(m-1)], \quad (9)$$

$$\tau_o(m) = \tau_o(m-1) + v_o(m), \quad (10)$$

其中 o 表示消毒供应室物资供应量供需调配方案对应的粒子个体, v, τ 表示粒子更新速度和更新位置, m 表示进化次数, ω 表示惯性权重, q_1, q_2 分别表示个体学习因子和社会学习因子, r_1, r_2 表示随机数, τ', τ'' 表示全局最优调配方案和历史最优调配方案对应粒子所处位置。

为避免粒子群算法求解供需调配方案陷入局部最优, 引入线性微分递减策略^[16], 对粒子群算法求解过程中惯性权重取值结果进行调整, 以便适应动态求解环境, 如下:

$$\frac{d\omega}{dm} = \frac{2(\omega' - \omega'')}{\hat{m}^2} m, \quad (11)$$

$$\int_{\omega(m)}^{\omega'} d\omega = \frac{2(\omega' - \omega'')}{\hat{m}^2} \int_0^m m dm, \quad (12)$$

$$\omega(n) = \omega' - \frac{\omega' - \omega''}{\hat{m}^2}, \quad (13)$$

其中 d 表示微分运算函数, ω', ω'' 分别表示惯性权重取值上限和下限, $\hat{m}$ 表示最大进化次数。

采用动态更新后的惯性权重, 替代原始粒子群优化求解过程中的初始惯性权重, 实现消毒物资供应链供需调配方案的改进 MOPSO 求解, 根据最佳个体可以反推出最佳调配方案。

2 实验分析

2.1 实验环境

为验证基于改进 MOPSO 算法的供需调配算法应用效果, 选取上海市嘉定区二级医院消毒供应室作为基础实验环境, 该消毒供应室总使用面积为 100 m², 实际环境如图 2 所示。

如图 2 所示, 二级医院消毒供应室内包含清洗、干燥、消毒等多种类型硬件设备, 医护人员日常消毒过程中, 需要消耗口罩、防护服、手套等多种类型物资。针对近一个月消毒供应室的物资消耗情况进行调查, 得到的统计结果如表 1 所示。从表 1 可看出, 二级医院消毒供应室物资日消耗平均量高于初始配置量, 为保障消毒工作顺利实施, 需进行物资供应链的供需调配。

为便于实验分析, 统计 2025 年 1 月 1 日-2026 年 1 月 1 日医院每天累计确诊病例数、每日新增确诊病例数、累计死亡人数等, 组成实验数据集。利用其可以判断消毒供应室繁忙程度, 进而预测消毒物资动态需求量, 为消毒供应室物资供应链供需调配提供数据基础。



图 2 消毒供应室实景图

Fig. 2 Realistic image of the disinfection supply room

表1 消毒供应室物资消耗统计表

Tab.1 Statistical table of material consumption in the disinfection supply room

消毒物资	实际消耗量/d	初始配置量	消毒物资	实际消耗量/d	初始配置量
医用外科口罩/个	3.34	3	白大衣/件	1.85	2
医用 N95 口罩/个	2.89	3	工作鞋/双	2.13	1
一次性防渗透隔离衣/件	2.85	3	提桶/个	1.58	1
医用防护服/件	2.05	2	袋装卫生消毒湿巾/包	3.14	4
乳胶手套/双	4.13	5	单片消毒湿巾/片	2.59	2
一次性鞋套/双	3.27	4	清洁纱布/包	2.17	2
长款乳胶手套/双	1.52	2	消毒剂/mL	137	100
医用护目镜/副	2.18	2	含氯泡腾片/kg	59	35
防护面屏/个	2.17	2			

2.2 物资需求预测结果

以消毒剂物资为例,利用时空注意力神经网络,对实验数据集中医疗数据进行学习,即可预测出未来一段时间内物资需求量变化,得到的统计结果如图3所示。

从图3可看出,消毒供应室每日消毒剂需求量存在差异,但整体保持在75~170 mL之间,日均消毒剂需求量为137 mL,与消毒供应室物资消耗统计结果相符,表明新设计供需调配算法在物资需求预测方面能发挥期望应用效果。

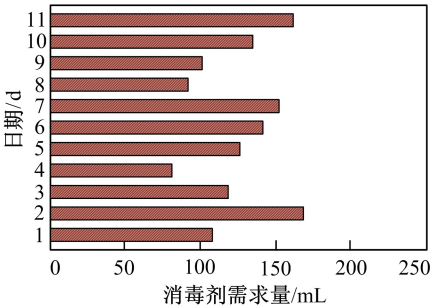


图3 消毒供应室消毒剂需求量预测结果
Fig.3 Predicted demand for disinfectants in the disinfection supply room

2.3 物资供应链供需调配结果

改进 MOPSO 算法的参数设置如表2所示。

表2 改进 MOPSO 算法参数设置

Tab.2 Improved MOPSO algorithm parameter settings

参数名称	数值	参数名称	数值	参数名称	数值
粒子种群数量	100	个体学习因子	1.5	惯性因子	0.9
最大迭代次数	100	社会学习因子	1.5	学习率	0.002

根据表2参数,利用常规 MOPSO 算法和改进 MOPSO 算法分别求解最佳物资供应链供需调配方案,得到 Pareto 前沿解对比结果如图4所示。消毒供应室物资调配结果如图5所示。

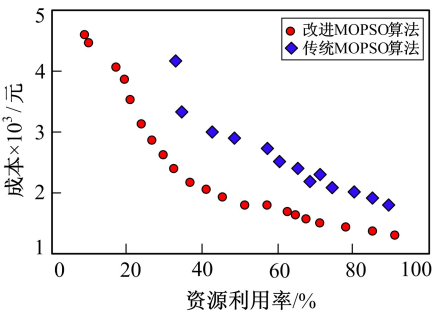


图4 MOPSO 算法改进前后 Pareto 前沿解对比
Fig.4 Comparison of Pareto front solutions before and after improvement of MOPSO algorithm

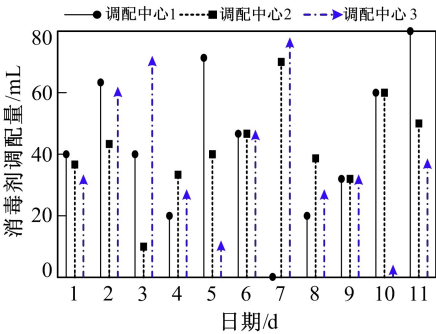


图5 消毒供应室物资调配结果
Fig.5 Material allocation results in the disinfection supply room

从图4可看出,结合线性微分递减策略的改进 MOPSO 算法应用后,能求出更加丰富的 Pareto 前沿解,且这些 Pareto 前沿解收敛性能优于常规 MOPSO 算法。综上,使用改进 MOPSO 算法能求出成本更

低、资源利用率更高的调配方案。

从图 5 可看出,通过改进 MOPSO 算法求出的消毒供应室物资调配方案实施后,3 个调配中心每日调配的消毒剂总量与需求量完全一致,表明新设计算法具有可行性。

2.4 算法性能对比分析

选取基于“分类-调度”优化的调度算法、基于匮乏理论的调度算法、基于 Spark 并行混合萤火虫算法的调度算法为实验对照组,在新设计方法实验结束后,应用对照组方法在相同实验环境下完成消毒供应室物资供应链供需调配。统计不同方法实施后调配资源利用率,得到的对比结果如图 6 所示。

从图 6 可看出,基于改进 MOPSO 算法的调配方法应用到实验环境中,调配资源利用率超过 85%,表明消毒物资调配结果满足日常工作需求的同时,最大程度避免了物资浪费。其余 3 种算法调配资源利用率最大值仅为 80%、84% 和 61%,从实验对比结果可看出,新设计算法在提升资源利用率上具有一定的优势。

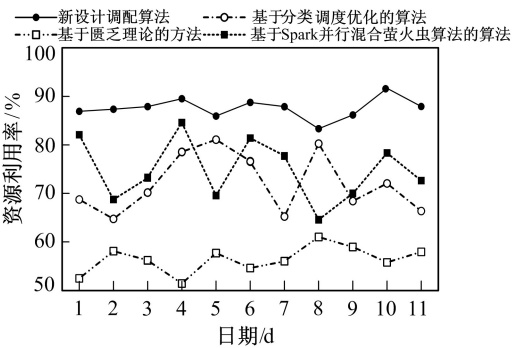


图 6 不同算法调配资源利用率对比

Fig. 6 Comparison of resource utilization rates among different algorithms

3 结 语

针对消毒供应室物资供应链供需调配问题,笔者基于改进 MOPSO 算法提出一种调配算法。该算法打破现有方法的应用局限,利用时空注意力神经网络强大的学习能力,实现消毒物资需求精准预测,结合多目标优化算法和改进 MOPSO 算法,求解满足供需要求的物资调配方案。通过验证可知,该算法调配物资利用率超过 85%,显著提升了物资调配质量,为消毒供应室物资供应链的优化升级提供了坚实支撑。

参考文献:

[1] 常征,甄鑫,齐壮,等. 考虑需求紧迫度的海上多事故点应急物资调度优化[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2025, 44(11): 61-67.
CHANG Z, ZHEN X, QI Z, et al. Emergency Material Scheduling Optimization of Maritime Multiple Accident Points Considering Demand Urgency [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2025, 44(11): 61-67.

[2] 张闯,李延通,闫倩,等. 考虑中断风险的应急物资调度组合优化方法[J]. 国防科技大学学报, 2025, 47(5): 254-262.
ZHANG C, LI Y T, YAN Q, et al. Combinatorial Optimization Methods for Emergency Material Scheduling Considering Disruption Risk [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2025, 47(5): 254-262.

[3] 唐建勋,岳帅,王岩韬. 基于速度暂停粒子群算法的应急物资空地联合调运[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(28): 12241-12252.
TANG J X, YUE S, WANG Y T. Air-Ground Scheduling of Emergency Supplies Based on VPPSO Algorithm [J]. Science Technology and Engineering, 2025, 25(28): 12241-12252.

[4] 孙鉴,杨晓焕,雷婷,等. 基于 Spark 并行混合萤火虫算法的震后应急物资调度[J]. 燕山大学学报, 2025, 49(5): 448-460.
SUN J, YANG X H, LEI T, et al. Post Earthquake Emergency Material Scheduling Based on Spark Parallel Hybrid Firefly Algorithm [J]. Journal of Yanshan University, 2025, 49(5): 448-460.

[5] 倪超,胡钟骏,霍忻,等. 基于“分类-调度”优化的应急物资动态调度-重调度算法[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(24): 10356-10361.
NI C, HU Z J, HUO X, et al. A Dynamic Scheduling-Rescheduling Algorithm for Emergency Logistics Based on Cluster-Distribution Strategy [J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(24): 10356-10361.

- [6]彭频,王欣悦. 基于匮乏理论的应急物资调度模型构建及算法研究[J]. 计算机工程与科学, 2024, 46(11): 2063-2070.
- PENG P, WANG X Y. Construction and Algorithm Research of Emergency Material Distribution Model Based on Deprivation [J]. Computer Engineering and Science, 2024, 46(11): 2063-2070.
- [7]张建洲,姚腾飞,杨凤坤,等. 基于时变约束的光储充电站多时间尺度调度[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2025, 43(4): 870-879.
- ZHANG J Z, YAO T F, YANG F K, et al. Multi-Timescale Scheduling for Charging Stations of Photovoltaic Energy Storage Based on Time-Varying Constraints [J]. Journal of Jilin University (Information Science Edition), 2025, 43(4): 870-879.
- [8]蒋惠园,候春霞. 基于改进 SEIAR 模型的传染病疫情下应急医疗物资需求研究[J]. 运筹与管理, 2025, 34(5): 76-82.
- JIANG H Y, HOU C X. Research on Emergency Medical Supply Demand According to Infectious Disease Epidemic Based on Modified SEIAR Model [J]. Operations Research and Management Science, 2025, 34(5): 76-82.
- [9]吴鹏,宋法融. 考虑时变灾情的震后应急医疗救援物资调配车辆路径规划[J]. 运筹与管理, 2025, 34(4): 92-98.
- WU P, SONG F R. Vehicle Route Problem of Post-Earthquake Emergency Medical Rescue Material Allocation Considering Time-Varying Disaster Situations [J]. Operations Research and Management Science, 2025, 34(4): 92-98.
- [10]宋晗,崔娜,张艳萍. 考虑时间窗与公平性的应急物资调配多目标动态规划模型[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(3): 242-252.
- SONG H, CUI N, ZHANG Y P. Multi-Objective Dynamic Program for Emergency Material Allocation Considering Time Window and Fairness [J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(3): 242-252.
- [11]刘建辉,王琼. 基于多目标蚁群算法的多配送中心应急物资配送车辆调度优化方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2025, 55(2): 631-638.
- LIU J H, WANG Q. Optimization Method for Emergency Material Delivery Vehicle Scheduling in Multiple Distribution Centers Based on Multi-Objective ant Colony Algorithm [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2025, 55(2): 631-638.
- [12]王慧丽,乔咏艺. 考虑优先级和时间窗约束的应急物资调配模型[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(12): 5069-5075.
- WANG H L, QIAO Y Y. Emergency Material Deployment Model Considering Priority and Time Window Constraints [J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(12): 5069-5075.
- [13]田沛雨,王熹徽,樊戔,等. 基于 Anylogic 的应急物资区域调度策略优化与仿真研究[J]. 系统科学与数学, 2025, 45(4): 994-1012.
- WANG P Y, WANG X H, FAN Y, et al. Optimization and Simulation Study of Regional Dispatching Strategy for Emergency Supplies Based on Anylogic [J]. Journal of Systems Science and Mathematical Sciences, 2025, 45(4): 994-1012.
- [14]王付宇,贺昕,王欣蕊,等. 考虑三级调度网络的应急物资多资源动态调度问题研究[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(8): 3180-3190.
- WANG F Y, HE X, WANG X R, et al. Research on Dynamic Scheduling of Emergency Materials with Multiple Resources Considering the Three-Level Dispatching Network [J]. Journal of Safety and Environment, 2024, 24(8): 3180-3190.
- [15]胡梓锡,耿笑冬,霍晓娣,等. 基于差分进化算法和交叉算子的电力企业应急物资多目标分层调度方法[J]. 人工智能科学与工程, 2024(1): 85-92.
- HU Z X, GENG X D, HUO X D, et al. Multi-Objective Hierarchical Scheduling Method for Emergency Power Supply in Power Enterprises Based on Differential Evolution Algorithm and Crossover Operator [J]. Artificial Intelligence Science and Engineering, 2024(1): 85-92.
- [16]王淑祺,徐铭达,杜占玮,等. 基于个体接触网络的最优应急医疗资源分配策略[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2025, 39(4): 548-557,568.
- WANG S Q, XU M D, DU Z W, et al. Optimal Emergency Medical Resources Allocation Strategy Based on Individual Contact Network [J]. Journal of University of Jinan (Science and Technology), 2025, 39(4): 548-557,568.

(责任编辑:刘东亮)