

# 公交站点和物流网点协同选址与物流路线协同优化研究

陈越千

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年3月29日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月30日

## 摘要

针对城市公交与物流系统独立运行导致的资源浪费问题, 本研究提出协同优化策略: 将公交站点改造为客货一体节点, 构建多中心物流网络, 利用公交空闲运力实现货物中转。通过双层路径优化模型, 结合遗传算法与模拟退火算法, 设计路径优化策略, 同步精简冗余物流网点。仿真实验表明: 优化后总成本降低14.93%, 运输成本降幅达22.32%。结果表明, 合理匹配车辆容量与节点布局可显著提升效率, 混合算法有效避免局部最优。该方案为城市客货协同运输提供低成本、高可行性的解决方案。

## 关键词

协同选址, 客货一体化, 遗传算法, 模拟退火算法, 车辆路径优化, 运输成本, 物流网络优化

# Research on Collaborative Site Selection and Logistics Route Optimization of Bus Stations and Logistics Outlets

Yueqian Chen

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 29<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2025; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

In response to the problem of resource waste caused by the independent operation of urban public transportation and logistics systems, this study proposes a collaborative optimization strategy: transforming public transportation stations into integrated passenger and freight nodes, constructing a multi center logistics network, and utilizing idle public transportation capacity to achieve

cargo transfer. By using a dual layer path optimization model, combined with genetic algorithm and simulated annealing algorithm, a path optimization strategy is designed to simultaneously streamline redundant logistics outlets. Simulation experiments show that after optimization, the total cost is reduced by 14.93%, and the transportation cost is reduced by 22.32%. The results indicate that reasonable matching of vehicle capacity and node layout can significantly improve efficiency, and the hybrid algorithm effectively avoids local optima. This solution provides a low-cost and highly feasible solution for urban passenger and freight collaborative transportation.

## Keywords

Collaborative Site Selection, Integrated Passenger and Freight Transportation, Genetic Algorithm, Simulated Annealing Algorithm, Vehicle Path Optimization, Transportation Costs, Logistics Network Optimization

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

随着城市化进程的加速，公交与物流系统的独立运行导致了资源浪费问题的日益突出。为了提高资源利用效率，实现可持续发展，本研究提出了公交站点和物流网点的协同选址与物流路线协同优化策略。这一策略不仅有助于降低物流成本，还能提升运输效率，为城市客货协同运输提供一种低成本、高可行性的解决方案。

公交站点改造选址和物流路线的优化实际上是 LRP (Location-Routing Problem) 问题，其内容涉及到客货一体化运输，站点选址以及车辆路径的优化等方面的问题。梁玥等[1]针对城乡物流网络中的配送中心选址问题，提出了一种结合岭回归、因子分析和 k-means 聚类的 FA-kmeans 算法。通过岭回归预测物流需求量，因子分析提取关键选址因素，k-means 聚类对村镇进行分类，最终确定配送中心选址。研究以三台县为例，通过实证分析验证了算法的有效性，为城乡物流网络的优化提供了科学依据。结果表明，FA-kmeans 算法能够显著提高物流节点的选址精度和效率，有助于降低物流成本，提高物流服务质量。何世坤[2]针对 JH 连锁超市的配送中心选址和配送路径优化问题，运用 GIS 技术和模糊层次分析法确定了配送中心位置，并构建了路径优化模型，提出了科学合理的选址方案。王力[3]针对 M 医疗器械企业的物流中心选址问题，通过分析企业现有物流中心存在的问题，提出了新址方案，并运用层次分析法(AHP)进行选址决策。研究邀请了专家组成员对选址指标进行打分，构建了判断矩阵，通过一致性检验确定了各指标的权重。最终，结合实际情况选取了最优的物流中心位置。结果表明，新选址方案能够显著降低物流成本，提高物流效率，满足企业快速发展的需求。靳国伟等[4]针对车辆运输能力随机的应急物流选址 - 分配 - 路径优化问题，构建了包含车辆运输能力机会约束的双层规划模型。上层模型解决选址 - 分配问题，下层模型解决车辆路径问题。研究采用蚁群算法求解下层模型，并通过数值实验验证了模型的有效性。结果表明，考虑车辆运输能力随机性的选址 - 分配 - 路径优化模型能够更好地应对突发事件，提高应急物流系统的响应速度和效率。孙颖杰[5]针对地铁 - 货车联运的两阶段物流节点选址问题，提出了一种新的选址方法。研究考虑了地铁和货车的运输特性，构建了相应的数学模型，并通过算法求解得到了最优的物流节点位置。虽然具体研究内容和结果未直接给出，但可以推断，该研究旨在通过优化物流节点选址，提高地铁 - 货车联运系统的整体运输效率和成本效益。张楠[6]针对低碳约束下的冷链物流

配送共享仓选址问题，提出了一种多目标优化方法。研究综合考虑了碳排放、物流成本、配送时间等多个因素，构建了选址和路径优化模型，并采用改进免疫粒子群算法进行求解。实验结果表明，该方法能够在满足低碳约束的前提下，有效降低物流成本，提高配送效率，为冷链物流配送共享仓的选址提供了科学依据。申芳宇[7]对物流末端配送网点选址和路径优化问题进行了综述研究。通过梳理国内外相关文献，总结了该领域的研究现状和发展趋势。研究指出，物流末端配送网点选址和路径优化问题涉及市场需求、客户分布、道路网络等多个因素，需要综合运用运筹学、地理信息系统等多种方法进行求解。综述结果为后续研究提供了理论参考和实践指导。

## 2. 问题描述

通过对公交站点进行客货一体化改造，并优化布置物流线路，成功得到了物流车辆的最优车辆路径图，实现了物流路线的初步优化。然而，随着物流需求的不断增长，现有的物流网点布局可能存在冗余，导致物流资源利用效率较低，运输成本增加。

为了进一步提高物流系统的效率，降低运输成本，我们考虑在初步优化的物流路线基础上，进一步精简物流网点的数量。具体来说，我们将对现有的物流网点进行评估，识别出那些冗余或效率低下的网点，并考虑取消或拆除这些网点。

在取消或拆除冗余物流网点的同时，我们需要确保被取消站点的固定物流需求得到妥善安排。为此，我们将把这些需求转移到最近的保留下来的物流网点。这一过程中，我们需要计算相对应的转移成本。其示意图如图 1 所示：

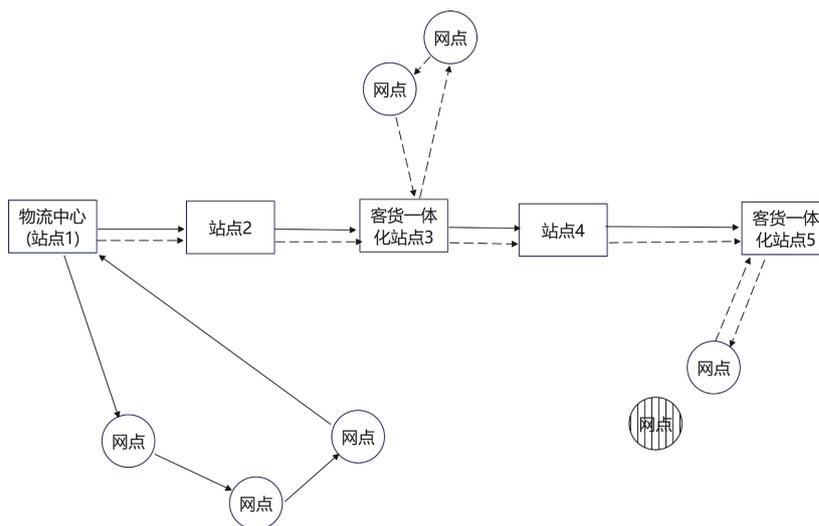


Figure 1. Schematic diagram after further optimization  
图 1. 进一步优化后示意图

## 3. 模型建立

### 3.1. 符号说明

双层网络结构：第一层为公交站点改造后的物流节点网络，第二层为物流网点间的配送网络。

决策变量逻辑：明确各变量间的约束关系及在双层网络中的交互作用。

$S$ ：起始配送中心；

$I$ ：候选公交站点集合；

- $J$  : 物流网点集合;
- $K$  : 车辆集合, 其中  $K_1$  为第一层车辆集合,  $K_2$  为第二层车辆集合, 且  $K = K_1 \cup K_2$ ;
- $Update_i$  : 在  $i$  站点处改造为物流中心的成本;
- $Del_j$  : 在  $j$  物流网点拆除的成本;
- $fix_{1k}$  : 第一层车辆  $k$  固定成本;
- $Q_{1k}$  : 第一层车辆  $k$  的运载能力;
- $c_{1k}$  : 第一层车辆  $k$  单位运输成本;
- $fix_{2k}$  : 第二层车辆  $k$  固定成本;
- $Q_{2k}$  : 第二层车辆  $k$  的运载能力;
- $c_{2k}$  : 第二层车辆  $k$  单位运输成本;
- $d_j$  : 物流网点  $j$  需要配送商品的数量;
- $D_i$  : 站点  $i$  需要配送商品的数量;
- $dist_{ii}^1$  : 第一层网络中两两节点之间的运输距离;
- $dist_{ij}^2$  : 第二层网络中两两节点之间的运输距离;
- distance : 两两节点之间的距离矩阵;
- $Z_i^k$  : 车辆  $k$  是否服务站点  $i$ ,  $i \in I$ ;
- $Z_j^k$  : 车辆  $k$  是否服务客户点  $j$ ,  $j \in J$ ;
- $U_{1k}$  : 第一层网络中第  $k$  辆车使用;
- $U_{2k}$  : 第二层网络中第  $k$  辆车使用;
- $y_i$  : 第  $i$  个站点是否重新改建;
- $R_j$  : 第  $j$  个物流网点是否拆除;
- $x_{ij}^k$  : 车辆  $K$  从节点  $i$  行驶至节点  $j$ 。

### 3.2. 基础假设

- 1) 一辆车只服务一条回路, 由某一公交站点出发, 最终回到该站点;
- 2) 每个物流网点能且仅能被一辆车服务一次;
- 3) 物流车辆在每个节点上的服务量之和不得超过车载量, 不考虑站点的容量限制;
- 4) 只考虑静态路网, 物流系统各点距离采用欧氏距离计算;
- 5) 各候选公交站点地理位置已知, 物流网点地址位置已知;
- 6) 候选公交站点改造成本、物流网点拆除成本已知;
- 7) 物流中心的货物, 必须经由站点转运之后运输给物流网点。

### 3.3. 目标函数

$$Z = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 \quad (1)$$

$f_1$  表示固定成本, 指的是整个运输过程中使用的车辆成本的总和, 即包括将货物运往改造站点的公交车固定费用, 也包括从改造站点将货物运往物流网点的物流车辆固定费用。

$$f_1 = \sum_{k=1}^{m_1} fix_{1k} \cdot U_{1k} + \sum_{k=1}^{m_2} fix_{2k} \cdot U_{2k} \quad (2)$$

$f_2$  表示运输成本, 指的是整个运输过程中运输成本的总和, 既包括公交车产生的运输费用, 也包括从改造站点将货物运往物流网点的物流车辆的运输费用。

$$f_2 = \sum_{i=0}^r \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{m_1} c_{1k} \cdot \text{dist}_{ij}^1 \cdot x_{ij}^k + \sum_{i=1}^{r+n} \sum_{j=1}^{r+n} \sum_{k=1}^{m_2} c_{2k} \cdot \text{dist}_{ij}^2 \cdot x_{ij}^k \quad (3)$$

$f_3$  表示改造成本，指的是将站点  $i$  改造成客货一体化站点所需要的费用

$$f_3 = \sum_{i=1}^r \text{Update}_i \cdot y_i \quad (4)$$

$f_4$  表示拆除成本，指的是将物流网点  $j$  拆除时所需要的费用。

$$f_4 = \sum_{j=1}^r \text{Del}_j \cdot R_j \quad (5)$$

$f_5$  表示拆除站点的转运成本，被拆除站点的货物会运输到距离该站点最近的物流站点，针对拆除的物流网点  $j$ ，根据两两距离矩阵，得到离网点  $j$  最近的网点索引编号  $\text{index}_j$ 。

$$\text{index}_i = \text{argmin}(\text{distance}\langle i, j \rangle) * R_j \quad (6)$$

$$d_{\text{index}_j} = d_{\text{index}_j} + d_j, j \in I, \text{index}_j \in J \quad (7)$$

而

$$f_5 = \begin{cases} \text{cost}_1, & [\text{distance}\langle i, j \rangle] < a \\ \text{cost}_2, & a < [\text{distance}\langle i, j \rangle] \leq b \\ \text{cost}_3, & b \leq [\text{distance}\langle i, j \rangle] \leq c \\ \text{cost}_4, & [\text{distance}\langle i, j \rangle] > c \end{cases} \quad (8)$$

### 3.4. 约束条件

每辆车装运的货物重量不能超过该车辆的最大载重量。

$$\sum_{i=1}^r D_i \cdot Z_i^k \leq Q_{1k}, k \in K_1 \quad (9)$$

$$\sum_{j=r+1}^{r+n} d_j \cdot Z_j^k \leq Q_{2k}, k \in K_2 \quad (10)$$

在整个配送过程中，每个站点及客户有且只能由一辆车为其提供配送服务。

$$\sum_{k=1}^{m_1} y_i^k = 1, \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{m_2} y_i^k = 1, \forall i \in J \quad (12)$$

到达客户节点  $j$  的上一节点  $i$  唯一以及离开节点  $j$  到达下一节点  $h$  唯一。

$$\sum_{i=0}^r x_{ij}^k = y_j^k, \forall j \in \frac{I}{0}, \forall k \in K_1 \quad (13)$$

$$\sum_{h=0}^r x_{jh}^k = y_j^k, \forall j \in \frac{I}{0}, \forall k \in K_1 \quad (14)$$

$$\sum_{i=r+1}^{r+n} x_{ij}^k = y_j^k, \forall j \in J, \forall k \in K_2 \quad (15)$$

$$\sum_{h=r+1}^{r+n} x_{jh}^k = y_j^k, \forall j \in J, \forall k \in K_2 \quad (16)$$

配送车辆在配送完成后必须离开该客户点。

$$\sum_{i=1}^r x_{ih}^k - \sum_{j=1}^r x_{hj}^k = 0, \forall h \in I, \forall k \in K_1 \quad (17)$$

$$\sum_{i=r+1}^{r+n} x_{ih}^k - \sum_{j=r+1}^{r+n} x_{hj}^k = 0, \forall h \in J, \forall k \in K_2 \quad (18)$$

车辆不能形成子回路

$$\sum_{i=r+1}^{r+n} \sum_{j=r+1}^{r+n} x_{ij}^k \leq |N|-1, |N| \text{ 为客户点数量} \tag{19}$$

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r x_{ij}^k \leq |R|-1, |R| \text{ 为站点数量} \tag{20}$$

决策约束变量

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{车辆}k \text{从节点}i \text{到节点}j \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{21}$$

$$Z_j^k = \begin{cases} 1, & \text{配送车辆}k \text{为客户}j \text{服务} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{22}$$

$$U_{2k} = \begin{cases} 1, & \text{配送车辆}k \text{是否从站点出发} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{23}$$

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{站点}i \text{改造为物流中心} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{24}$$

$$R_j = \begin{cases} 1, & \text{网点}j \text{拆除} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \tag{25}$$

### 3.5. 模型推导与合理性验证

#### 1) 模型对比分析

与经典 LRP (Location-Routing Problem)模型对比，突出改进点：

- ① 引入双层网络结构，区分公交站点与物流网点的功能层级；
- ② 新增拆除成本与转运成本项，体现动态调整特性。

#### 2) 适用范围

模型适用于中小规模城市网络，对高密度物流需求区域需结合动态需求预测扩展。

## 4. 算法设计

### 4.1. 编码设计

在编码部分，采用遗传算法，遗传算法运算流程如图 2 所示。

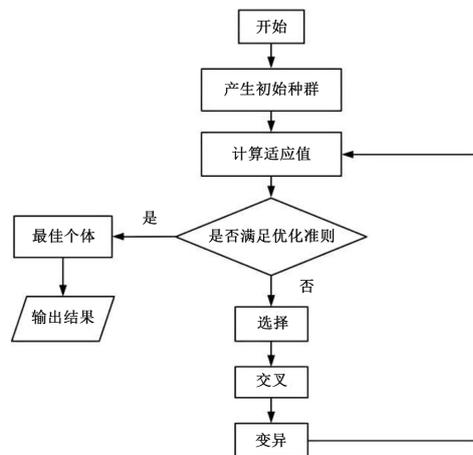


Figure 2. Basic flowchart of genetic algorithm

图 2. 遗传算法的基本流程图

根据图 2 所示流程, 算法的基本流程开始于随机生成一个初始种群, 这个种群由一定数量的个体组成, 每个个体代表了问题空间中的一个可能解, 并通过其“基因”编码。随后, 算法对这些个体的适应度进行评估, 适应度函数根据问题的性质而定, 用以衡量每个个体解决问题的能力。基于适应度, 通过选择策略(如轮盘赌、锦标赛等)选取优质个体, 进行交叉(即基因的重组)和变异(随机改变基因), 以产生新一代的种群。这些新个体形成下一代种群, 然后再次进行适应度评估和选择, 循环迭代直至达到预定的停止条件, 如解的收敛或达到最大迭代次数。

遗传算法的主要求解步骤如图 3 所示, 其中 GEN 表示当前的代数。

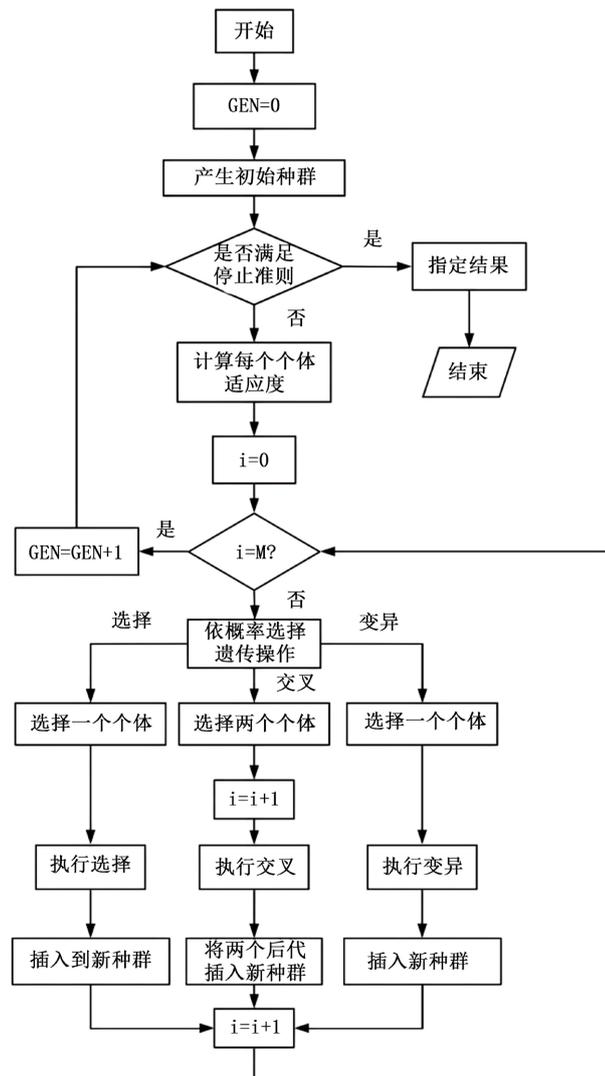


Figure 3. Schematic diagram of genetic algorithm solving steps encoding and decoding

图 3. 遗传算法求解步骤框图编码解码

在遗传算法中, 实际问题的变量需要通过编码机制转化为算法可以处理的形式。编码机制是遗传算法的核心部分, 它决定了如何将问题的可行解和初始解表示为算法可以识别和操作的形式。对任何问题首先要进行深入分析, 理解问题的特性和需求, 然后将问题与遗传算法进行匹配。这个过程需要明确研

究的目标和对象，以便确定最适合的编码方式。遗传算法中常用的编码机制主要有二进制编码，浮点数编码，整数编码和符号编码，针对本文问题的特点，采用二进制编码的方式，改造站点和物流拆除网点直接通过 0-1 编码选择，生成初始解。

#### 4.2. 融合模拟退火算法的更新策略

在更新过程中，采用了 3 种更新算子，分别为 insert 算子，swap 算子，2-opt 算子。假设当前解中部分路径如图所示，其中两条路径为  $r_1$  和  $r_2$ ， $r_1$  为 0-1-2-3-4-0， $r_2$  为 0-5-6-7-8-0，如图 4 所示：

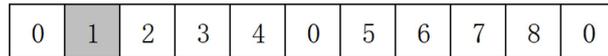


Figure 4. Path diagram

图 4. 路径图

##### 1) insert 算子

随机选取的两条路径为  $r_1$  和  $r_2$ ，并从  $r_1$  中随机选择一个客户点 1，将随机插入中以  $r_2$  生成两条新路径，得到新路径如图 5 所示：



Figure 5. Path diagram of insert operator

图 5. insert 算子路径图

##### 2) swap 算子

随机选取的两条路径为  $r_1$  和  $r_2$ ，分别在两条路径中选取一个客户点，交换 2 个客户点的位置，如选择  $r_1$  中的客户点 1 与  $r_2$  中的客户点 5 进行 swap 操作，得到新路径如图 6 所示：

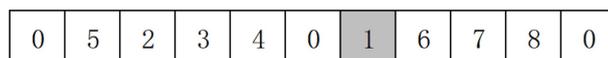


Figure 6. Swap operator path diagram

图 6. Swap 算子路径图

##### 3) 2-opt 算子

先随机选取一条车辆路径  $r$ ，在  $r$  中任意选取两个客户点，将两个客户间的顺序进行逆转。如选择  $r_1$  路径中的客户点 1 和客户点 4，进行 2-opt 操作，得到新路径如图 7 所示：

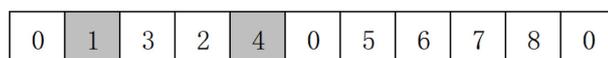


Figure 7. 2-opt operator path diagram

图 7. 2-opt 算子路径图

退火更新策略是借鉴模拟退火的思想进行，并将 3 种布局邻域搜索算子进行融合变异后，更新邻域解。

模拟退火(Simulated Annealing)是一种随机优化算法，受金属退火过程启发而来。其原理基于模拟材料在升温冷却过程中达到平衡状态的行为，通过接受不太优良的解以避免陷入局部最优解，并逐渐减小

接受劣解的概率来达到全局最优解。退火算法的实现框架原理如下：

1) 初始化

设定初始温度  $T_{\text{initial}}$  和结束温度  $T_{\text{final}}$  ；

初始化当前解  $x_{\text{current}}$  。

2) 温度下降

在每个温度下执行以下步骤：

生成新解  $x_{\text{new}}$  ；

计算能量差  $\Delta E = E(x_{\text{new}}) - E(x_{\text{current}})$  ；

根据 Metropolis 准则接受或拒绝新解：

若  $\Delta E < 0$  ，接受新解；

若  $\Delta E \geq 0$  ，以一定概率  $P(\Delta E, T)$  接受新解。

3) 温度更新

降低温度  $T$  ，一般通过指数或线性方式减小，直至  $T_{\text{final}}$  。

4) 终止条件

当温度  $T < T_{\text{final}}$  或达到最大迭代次数时停止算法。

5) Metropolis 准则

Metropolis 准则用于决定是否接受新解，其公式为：

$$P(\Delta E, T) = e^{-\frac{\Delta E}{T}} \quad (26)$$

其中， $\Delta E$  为能量差， $T$  为当前温度。当  $\Delta E < 0$  时， $P(\Delta E, T) = 1$ ，新解总被接受；当  $\Delta E \geq 0$  时，以一定概率接受劣解，随着温度的降低，接受劣解的概率减小。

### 4.3. 参数设置依据与敏感性分析

1) 遗传算法参数：

种群规模：基于问题复杂度(候选站点数 × 物流网点数)设为 100，平衡计算效率与解空间覆盖；

交叉概率(0.8)与变异概率(0.1)：通过预实验验证，高交叉概率增强全局搜索，低变异概率避免破坏优质基因；

最大迭代次数：设为 500 次，收敛曲线显示算法在 400 次后趋于稳定。

2) 模拟退火参数：

初始温度  $T_{\text{initial}} = 1000$ ，终止温度  $T_{\text{final}} = 1000$ ，冷却速率  $\alpha = 0.95$ ，参考经典退火策略，确保充分探索解空间；

Metropolis 准则：温度下降时逐渐降低接受劣解概率，避免早熟收敛。

3) 参数敏感性分析

种群规模过小(<50)易陷入局部最优，过大(>200)增加计算耗时；

交叉概率 > 0.9 导致种群多样性下降，<0.6 则收敛速度降低。

### 4.4. 混合算法优势分析

1) 全局与局部搜索平衡

遗传算法快速筛选优质解，模拟退火跳出局部最优。

2) 计算效率

双层模型分解为站点选择与路径优化子问题，降低复杂度。

## 5. 仿真案例分析

### 5.1. 实验参数设置

在第三章的案例中，我们已经对 9 个公交站点以及 20 个物流网点所构成的公交物流系统进行了第一次的初步优化，在初步优化中，通过遗传算法得到公交站点的改造方案，并通过改造站点将货物运往各个物流网点。

在进一步的优化中，根据模型，第一层为公交车辆将货物从 1 号公交站点运往经过改造的 2~9 号客货一体化站点。第二层运输为物流车辆将运送至客货一体化站点的货物再运输至未被拆除的物流网点。其中，相关参数设置如表 1 所示：

**Table 1.** Experimental parameters table  
**表 1.** 实验相关参数表

符号	数值	符号	数值
$fix_{1k}$	50	$fix_{2k}$	30
$c_{1k}$	2	$c_{2k}$	10
$Q_{1k}$	50	$Q_{2k}$	10
$Update_i$	55	$Del_j$	30
$cost_1$	100	$a$	0.3
$cost_2$	200	$b$	0.6
$cost_3$	300	$c$	1
$cost_4$	1000		

根据上述参数，得到进一步优化过后的各项成本，站点改造情况，网点拆除情况如下所示：

其中，公交站点改造情况如下：2、7。

物流网点拆除情况：(3) (4) (7) (10) (17)。

物流车辆配送情况：

配送路线 1：公交站点 7->1->5->2->6

配送路线 2：公交站点 7->8->16->15

配送路线 3：公交站点 2->14->9->12->13

配送路线 4：公交站点 2->20->18->19->11

其中总成本  $Z = 1537.8$ ，各项成本  $f_1 = 170, f_2 = 607.8, f_3 = 110, f_4 = 150, f_5 = 500$

同样地，改变第二层运输过程中的物流车辆最大容量，得到对应各容量下的物流相关运输最优成本和方案，如表 2 所示：

**Table 2.** Further optimization of corresponding costs for each vehicle capacity  
**表 2.** 进一步优化各车辆容量下对应成本

最大车辆容量/t	$f_1$	$f_2$	改造站点及 $f_3$	拆除网点及 $f_4$	$f_5$	总成本 Z
8	230	662.0	3, 8 (110)	1, 9, 16, 20 (120)	400	1522.0

续表

9	200	633.6	3, 6, 9 (165)	7, 10, 14 (90)	300	1388.6
10	170	607.8	2, 7 (110)	3, 4, 7, 10, 17 (150)	500	1537.8
11	170	685.4	3 (55)	1, 4, 8, 15 (120)	400	1430.4
12	170	542.7	3, 9 (110)	2, 8, 11, 14, 18 (150)	500	1472.7

而仅进行站点改造的最优情况如表 3 所示:

**Table 3.** Optimization after renovation

**表 3.** 改造后优化情况表

最大车辆容量	改造前运输成本	改造后运输成本	改造成本	优化量	优化幅度
8	1460.22	749.34	385.00	325.88	22.32%
9	1345.66	759.82	385.00	200.84	14.93%
10	1143.81	783.64	330.00	30.17	2.64%
11	1132.87	778.80	330.00	24.07	2.12%
12	1059.09	596.84	275.00	187.25	17.68%

由表 2, 可以得知:

1) 随着最大车辆容量的增加, 总成本呈现出先下降后上升的趋势。具体来说, 从 8 吨到 10 吨, 总成本逐渐下降, 达到最低点后, 随着车辆容量的进一步增加, 总成本又开始上升。在车辆容量较小时, 增加容量可以显著提高运输效率, 减少运输次数, 从而降低总成本。然而, 当车辆容量增加到一定程度后, 单次运输的货物量已经接近或达到最大值, 此时再增加容量对成本降低的效果不再明显, 反而可能因为车辆固定成本的增加而导致总成本上升。

2) 在不同车辆容量下, 改造站点和拆除网点的选择有所不同。例如, 在车辆最大容量为 8 吨时, 改造站点为 3 号和 8 号, 拆除网点为 1 号、9 号和 16 号; 而在车辆最大容量为 9 吨时, 改造站点变为 3 号和 6 号、9 号, 拆除网点变为 7 号、10 号和 14 号。这表明车辆容量的变化会影响站点和网点的优化选择, 需要根据具体情况进行调整。

3) 固定成本包括车辆固定成本和站点改造成本。随着车辆容量的增加, 固定成本的变化相对较小, 但总体上呈现出先下降后上升的趋势; 运输成本随着车辆容量的增加而逐渐下降。这是因为车辆容量的增加可以减少运输次数, 从而降低单位运输成本; 拆除成本随着车辆容量的增加而变化。例如, 从 8 吨到 12 吨, 拆除成本从 120 元增加到 150 元。各项成本的构成反映了在不同车辆容量下, 优化方案的经济性和效率。通过合理配置站点和网点, 可以有效降低各项成本, 从而实现总成本的最小化。

4) 通过进一步优化, 物流系统的总成本在不同车辆容量下均有所降低。例如, 在车辆最大容量为 8 吨时, 总成本为 1522.0 元; 而在车辆最大容量为 9 吨时, 总成本降至 1388.6 元, 显示出优化措施的有效性。然而, 随着车辆容量的继续增加, 优化效果并不稳定, 需要综合考虑车辆容量和成本之间的关系。

## 5.2. 原因分析

### ① 站点布局优化

表 2 通过进一步优化站点布局和拆除冗余网点, 减少了物流系统的复杂性, 提高了运输效率。例如, 当车辆最大容量为 8 吨时, 表 2 的  $f_2$  为 662.0 元, 而表 3 的改造后运输成本为 749.34 元。这表明通过优

化站点布局，可以更有效地降低运输成本。

### ② 拆除冗余网点

表 2 通过拆除冗余网点，减少了不必要的运输距离和次数，进一步降低了运输成本。例如，当车辆最大容量为 8 吨时，表 2 的  $f_2$  为 662.0 元，而表 3 的改造后运输成本为 749.34 元。这表明拆除冗余网点可以显著降低运输成本。

综合优化效果：

表 2 的优化措施更为全面，不仅考虑了站点改造和运输路径优化，还考虑了网点拆除和车辆调度。这使得优化效果更为显著。相比之下，表 3 的优化措施相对单一，主要集中在站点改造和运输路径优化上。

### ③ 结论

表 2 中的进一步优化方案在运输成本和优化幅度上具有明显优势，能够更有效地降低运输成本和提高物流系统的效率。然而，表 2 的总成本较高，优化措施更为复杂。因此，在实际应用中，需要根据具体情况权衡优化效果和成本，选择合适的优化方案。

## 5.3. 优化结果的实际意义

### 1) 实施可行性

站点改造：优先选择客流量低、空间充裕的站点，降低改造成本；

冗余网点拆除：通过需求转移至邻近网点，减少重复投资。

### 2) 运营建议

车辆调度：高峰时段优先保障客运，平峰时段利用空闲车辆运输货物；

动态调整机制：根据物流需求变化定期优化网点布局(如季度性调整)。

### 3) 社会效益

降低碳排放：减少冗余运输里程，案例中优化后运输距离缩短。

## 6. 结语

本文探讨了城乡公交客货一体化背景下公交站点与物流网点的协同选址优化问题，提出了综合考虑站点改造、网点拆除及车辆调度的优化模型。通过引入 0-1 决策变量，将物流网点的拆除纳入模型，以最小化总成本为目标，包括站点改造成本、物流车辆运输成本、拆除成本及时间惩罚成本。采用遗传算法与模拟退火算法相结合的策略，对模型进行求解，得到公交站点改造方案、物流网点拆除方案及车辆最优路径。仿真案例分析表明，进一步优化后的方案在运输成本和优化幅度上具有显著优势，能够更有效地降低物流系统的总成本。通过改变物流网点需求量和单位运输成本的敏感性分析，验证了优化方案的适应性和鲁棒性。研究结果为城乡客货一体化发展提供了更全面的理论支持和技术指导，对提升农村物流效率、降低运营成本及促进可持续发展具有重要的实践意义。

## 参考文献

- [1] 梁玥, 陈思, 汤银英. FA-kmeans 算法下面向城乡物流网络优化的网点选址研究[J]. 综合运输, 2021, 43(5): 115-122.
- [2] 何世坤. JH 连锁超市配送中心选址与配送路径优化研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2024.
- [3] 王力, 曾瑾涵. M 医疗器械企业物流中心选址研究[J]. 中国物流与采购, 2024(23): 87-88.
- [4] 靳国伟, 任维权, 王文杰, 等. 车辆运输能力随机的应急物流选址-分配-路径优化[J]. 铁路物流, 2025, 43(1): 25-33.
- [5] 孙颖杰, 吴芳, 马军平. 地铁-货车联运的两阶段物流节点选址研究[J]. 交通科技与经济, 2025, 27(2): 1-8.
- [6] 张楠. 低碳约束下冷链物流配送共享仓选址多目标优化方法[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(1): 57-63.
- [7] 申芳宇. 关于物流末端配送网点选址-路径研究综述[J]. 中国储运, 2025(2): 169-170.