

# 大件货物多联式国际运输路径优化研究

马蓉蓉

佛山科学技术学院 经济管理学院, 中国·广东 佛山 528225

**【摘要】**针对大件货物多联式国际运输时间长、风险大、成本高的问题, 构建了总运输时间最少、总运输距离最短、运输成本最小的多目标优化模型, 并采用NSGA-II算法求解。以衡阳至越南的货物运输为算例, 对运输路径进行决策, 得出基于客户需求的多式联运最优线路推荐方案。

**【关键词】**国际大件物流; 多式联运; 路径优化

## Research on the Optimization of Multi-Modal international Transportation Routes for Bulky goods

Rongrong Ma

School of Economics and Management, Foshan University of Science and Technology, Foshan 528225, Guangdong, China

[Abstract] In order to solve the problems of long time, high risk and high cost of multi-linked international transportation of large goods, a multi-objective optimization model with the least total transportation time, the shortest total transportation distance and the smallest transportation cost was constructed, and the NSGA-II algorithm was used to solve the problem. Taking the freight transportation from Hengyang to Vietnam as an example, the transportation route is decided, and the optimal multimodal transportation route recommendation scheme based on customer needs is obtained.

[Keywords] International large-scale logistics; Multimodal transport; Path optimization

近年来, 工程项目的建设极大地推动了大件物流的发展。相关工业设备多为大型、重型和超重型设备, 多式联运是国际大件货物最可靠的运输方式, 合理的多式联运路径决策可以降低运输成本, 提高运输效率。优化模型和求解方法可以有效地解决重大件货物运输的多目标优化问题。李珺等以运输成本、碳排放成本和时间惩罚成本为目标建立绿色多式联运路径优化模型。学者们在研究多式联运路径规划问题上, 缺乏国际物流运输方案优化的研究。因此, 本文参考以往的研究, 对国际大件货物多式联运建立多目标优化模

型, 运用改进的遗传算法求解出最佳运输路线。

### 1 问题描述与建模

#### 1.1 问题描述

假设大件货物运输的起点为Q, 终点为Z; 节点城市间可以选择一种运输方式且只能进行一次转换; 运输成本和运输距离, 运输时间, 运输可行性, 运输安全性之间呈线性关系。基于上述假设以总输送时间, 总输送距离, 总输送费用等指标构建多式联运路径规划模型。

#### 1.2 多目标优化模型

$$\min T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\alpha=1}^3 R_{ij}^{\alpha} t_{ij}^{\alpha} + \sum_{i=1}^n \sum_{\beta=1}^3 \sum_{\alpha=1}^3 K_i^{\alpha\beta} t_i^{\alpha\beta} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\alpha=1}^3 R_{ij}^{\alpha} t_{ij}^{\alpha} M_{ij}^{\alpha} + \sum_{\alpha=1}^3 \sum_{\beta=1}^3 \sum_{j=1}^n K_i^{\alpha\beta} t_i^{\alpha\beta} F_i^{\alpha\beta} \quad (1)$$

$$\min D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\alpha=1}^3 R_{ij}^{\alpha} d_{ij}^{\alpha} \quad (2)$$

$$\min C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{\alpha=1}^3 R_{ij}^{\alpha} C_{ij}^{\alpha} + \sum_{i=1}^n \sum_{\alpha=1}^3 \sum_{\beta=1}^3 \left( \sum_{i=1}^n T - O \right) * M \quad (3)$$

$$R_{ij}^\alpha \in \{0,1\}, K_i^{\alpha\beta} \in \{0,1\} \quad (4)$$

$$\sum_{\alpha=1} R_{ij}^\alpha + \sum_{\beta=1} R_{ij}^\beta \geq 2K_i^{\alpha\beta} \quad (5)$$

1.3 参数说明

上式中大件货物的多式联运网络构成为  $N = (V, R, J)$ ,  $V = \{V_1, V_2, V_3 \dots V_n\}$  为节点集合,  $V_i (i=1, 2, 3 \dots n)$  为对应的节点, 起点和目的地分别为  $V_Q$  和  $V_Z$ ;  $R = \{r_j\}$  为运输网络路径的集合,  $r_j$  表示起点和目的地之间的路径;  $I$  表示从起点到终点所有要经过的城市集合;  $J = \{J_\alpha \mid \alpha = 1, 2 \dots m\}$  为运输方式的集合, 一般情况下  $m = 3$ ; 大件货物的转换时间为  $t_i^\beta$ , 转换成本为  $E_i^\beta$ ; 大件货物在路径  $r_j$  运输采用的第  $\alpha$  方式运输的风险因子为  $M_j^\alpha$ , 大件货物转换运输方式时的风险因子为  $F_i^\beta$ ; 当  $R_j^\alpha$  为1时, 表示在相连的城市  $i$  与城市  $j$  之间选择第  $\alpha$  种运输方式, 当  $R_j^\alpha$  为0时, 表示选择其他运输方式; 当  $K_i^\beta$  为1时, 表示在城市  $i$  运输方式由  $\alpha$  转换为  $\beta$ , 当  $K_i^\beta$  为0时, 表示在城市  $i$  运输方式不发生转换。目标函数 (1) (2) (3) 分别表示总运输时间最小、总运输距离最小、总运输成本最小; 约束条件 (4) 表示城市与城市之间连接的每条路径只能选择一种运输方式, 每个节点只能进行1次转换; 约束条件 (5) 表示大件货物的运输在节点间连续完成。

2 实例分析

2.1 案例描述

假设一批大件设备由衡阳运往越南, 主要设备为3个电

压为500kv大型变压器外加其他精密仪器和加固装置重约1100吨。需使运输总费用和总时间最小, 不考虑货物滞留时间。

2.2 构建虚拟运输网络图

对于“衡阳-越南”项目存在非相邻城市节点存在路径的问题, 需要在两个城市之间建立虚拟城市, 虚拟城市与中转城市位于同一基因序列, 任意个虚拟城市之间的运输费用、运输时间都为零。(见图1)

将每个城市节点分解出代表不同运输方式的三个虚拟节点, 1、2、3为永州所分解虚拟的三个城市节点, 1代表公路运输方式, 2代表铁路运输, 3代表水路运输, 其它节点城市与此相似。进而得到图2。

2.3 基于遗传算法的路径优化

根据国际大件货物运输路径优化特点, 对其采用自然数编码, 形成一个五维基因组, 基因位上编码的限定范围依据城市节点表所对应范围, 具体如下:

$$G = (g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6)$$

染色体由6个基因组成, 其中  $g_1 \in [1, 9]$ ,  $g_2 \in [10, 18]$ ,  $g_3 \in [19, 27]$ ,  $g_4 \in [28, 36]$ ,  $g_5 \in [37, 48]$ ,  $g_6 \in [49, 51]$ 。如 (1, 10, 19, 30, 42, 51) 为一组解, 所选择的运输方式依次为公路运输、公路运输、公路运输、水路运输、水路运输, 同时可得出该运输方案的总费用和总时间。运算得出的最大整数的是转运城市节点序号, 余数为抵达该城市所选择的运输方式。

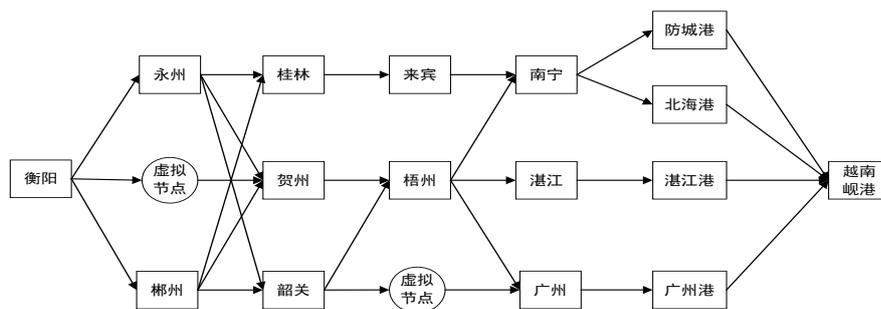


图1 运输网络图

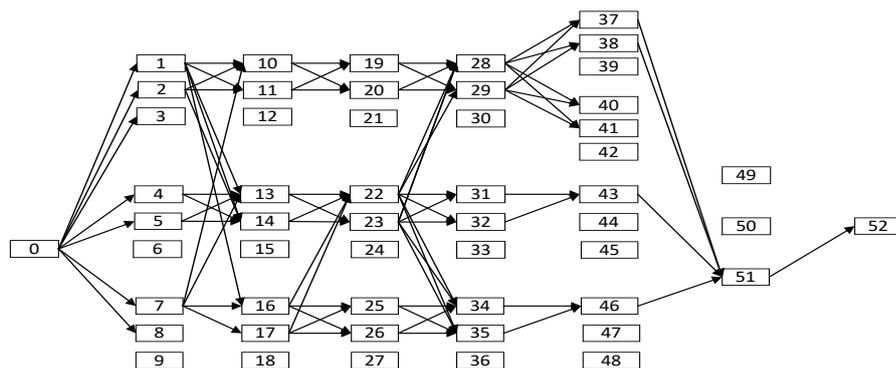


图2 更新处理后的虚拟运输网络图

在解决多目标问题模型中，一般通过将多目标函数加入权重因子的形式转换为单目标函数优化问题，目标函数模型为：

$$\min Z = \min \left( \sum_{i=1}^3 \mu_i f_i \right) \quad (6)$$

$$\mu_i = \rho_i / \sum_{i=1}^3 \rho_i \quad (7)$$

$\mu_i$  为优化目标函数  $f_i$  的权重因子， $\mu_i \in \{0,1\}$ ，依次对运输成本、运输时间、运输距离进行敏感度等级划分，对  $\mu_i$  做出以下赋值：敏感程度强赋值为7，敏感程度一般赋值为5，敏感程度弱赋值为3。

在用NSGA-II算法求解过程中，适应度函数分别为1/T和1/C。基本参数将初始种群设置为30，迭代次数设置为100，交叉概率设置为0.8，变异概率设置为0.2。经过100次迭代运算后得到三组互不支配的解即为三组Pareto最优解，解码后如下表。

帕累托最优解集

序号	非劣解	运输距离 (千米)	运输 总成本 (万元)	运输总 时间 (小时)
1	衡阳(水)永州(公)桂林(公)来宾(公)南宁(公)防城港(水)越南岷港	1662	573.3	105.17
2	衡阳(水+铁)贺州(公)梧州(公)湛江(公)湛江港(水)越南岷港	1797	515.2	107.87
3	衡阳(公)郴州(公)韶关(公)广州(公)广州港(水)越南岷港	1752	461.2	118.76

表中给出了3组Pareto最优解，解码后得到所示的运输路径选择和运输方式。在实例中设置权重因子和敏感程度  $\rho_1 = 0.467$ ， $\rho_2 = 0.333$ ， $\rho_3 = 0.2$ 。对非劣解方案进行敏感度评价选择得出：

方案一

$$\mu_1 = 0.467 * 573.3 + 0.333 * 105.17 + 0.2 * 166.2 = 335.99271$$

方案二

$$\mu_2 = 0.467 * 525.2 + 0.333 * 107.87 + 0.2 * 179.7 = 317.12911$$

方案三

$$\mu_3 = 0.467 * 461.2 + 0.333 * 118.76 + 0.2 * 175.2 = 289.967$$

综合评价过后得出方案三为国际运输案例的最优运输方案，即从衡阳出发，通过公路运输通过郴州、韶关到达广州港，最后走海运抵达越南岷港。

### 3 总结

本文针对大件货物国际运输路径选择的难题，综合考虑时间、成本和运输距离建立多目标优化模型，并基于改进的遗传算法求解模型，以“衡阳—越南”变压器运输项目为实例，构建出符合重大件国际运输实际需求的运输网络，借助改进后的遗传算法得出运输最佳路径。

### 参考文献：

- [1] 何为, 喻文振, 王浩, 罗立哲. 水电站重大件多式联运路径优化方法[J]. 人民长江, 2022, 53(12): 137-144.
- [2] 曹炳汝, 王霞. 基于动态需求的多车型车辆配送路径优化研究[J]. 制造业自动化, 2021, 43(06): 79-87.
- [3] 李魁梅, 郑波. 考虑综合运输成本的多式联运路径优化问题[J]. 工业工程, 2020, 23(05): 67-74.
- [4] 李珺, 杨斌, 朱小林. 混合不确定条件下绿色多式联运路径优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(04): 13-19.
- [5] 李晟东, 吕红霞, 吕苗苗等. 日常动态货物列车开行方案优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(05): 177-184.
- [6] 邓学平, 陈露, 田帅辉. 不确定需求下考虑混合时间窗的多式联运路径优化[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2021, 33(04): 689-698.
- [7] 彭勇, 肖云鹏, 罗义娟. 不确定环境下多式联运路径多目标优化[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(10): 154-160
- [8] 梅赞宾, 汝宜红, 郑凯. 基于耗散结构的工程物流服务模式演化研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2017, 16(3): 137-145.
- [9] 杨广娟. 基于因子分析法的工程物流方案设计风险评价指标体系构建[J]. 物流技术, 2022, 41(7): 55-59, 123.
- [10] ABDERRAHMAN A, AHMED E A, JAOUAD B. Robust optimization of the inter modal freight transport problem: Modeling and solving with an efficient hybrid approach[J]. Journal of Computational Science, 2019, 30(1): 127-142.

### 作者简介：

马蓉蓉(2000.11-), 女, 土家族, 湖南常德人, 硕士在读, 佛山科学技术学院, 经济管理学院, 研究方向: 国际物流与跨境电商。