

# 基于班轮影响的中欧集装箱班列开行方案研究

秦钰斐<sup>1</sup> 张旭<sup>2</sup>

1. 大连交通大学交通运输工程学院 辽宁大连 100191

2. 大连交通大学机车车辆学院 辽宁大连 100191

**摘要:** 为了研究班轮到港的不稳定性对班列开行方案的影响, 考虑到中欧集装箱的多目的地性的特征, 采用以旅行商思想的多目的地运输方式对中欧集装箱班列开行方案进行研究分析。文章构建了单位集装箱在港衔接时间与单位集装箱班列开行总成本的双目标模型, 采用遗传算法对模型进行求解; 最后以连云港作为算例对模型进行验证, 分别研究了班轮到港时间符合泊松分布标准差为 0, 5, 10, 15 不同波动情况下的班列开行方案, 证明了班轮到港时间的不稳定性影响了班列的开行方案。

**关键词:** 班轮影响; 旅行商问题; 中欧集装箱; 开行方案; 遗传算法

## Research on the train operation plan of China-EU container based on liner influence

Yufei Qin<sup>1</sup> Xu Zhang<sup>2</sup>

1. School of Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 100191, China

2. China School of Rolling Stock, Dalian Jiaotong University, Dalian 100191, China

**Abstract:** In order to study the influence of the instability of liner turn port on the train operation plan, considering the multi-destination characteristics of China-EU containers, this paper studies and analyzes the train operation plan of China-EU containers based on the multi-destination transportation mode based on the idea of traveling salesman problem. In the paper, a dual objective model of connecting time of unit container at port and total cost of unit container train running is constructed under this mode, and the genetic algorithm is used to solve the model. Finally, Lianyungang is taken as an example to verify the feasibility of the model, and the train operation plan is studied when the liner arrival time conforms to the Poisson distribution standard deviation of 0, 5, 10, and 15. It is proved that the unstable arrival time of Liner influence the train operation plan.

**Keywords:** Liner influence; Traveling salesman problem; China-EU container; Train operation plan; Genetic algorithm

### 引言

集装箱海铁联运对我国经济发展起着举足轻重的作用, 集装箱海铁联运的高质量发展是我国国民经济良好发展的重要保障<sup>[1]</sup>。在海铁联运过程中, 由于班轮到港情况波动, 经常导致“班列发”而“船未到”情况出现, 造成的运输资源浪费。或导致“船到”而“班列未到”情况出现, 以至于货物在港口积压, 造成港口资源浪费。相关学者在对班轮到港规律的研究中普遍认为班轮到港规律主要呈现三种分布: 泊松分布<sup>[2][3]</sup>、正态分布<sup>[2][4]</sup>、爱尔郎分布<sup>[2][5]</sup>。基于班轮到港情况讨论、设计班列开行方案的研究中, 大部分集中于“港口城市——某城市”直达模式下的单目的地班列开行方案<sup>[6][7][8]</sup>。在中欧集装箱相关研究中学者们基本集中于中欧班列的开行方案研究<sup>[9][10]</sup>, 而针对于中欧集装箱在国内集结的研究较少。考虑到我国各城市中欧班列开行时间、开行目的地具有固定性, 因此当直达模式应用到中欧集装箱运输方案中

时, 便会欠缺对货物目的地多样性及铁路综合网络的考虑。鉴于此, 本文在对集装箱运输方式时采用运筹学中旅行商问题思想(图1), 建立了以研究过程中的单位开行成本最少, 在港衔接时间最少为目标函数的班轮影响下多目的地班列开行方案, 以期港口与铁路部门应对班轮到港波动性制定开行班列方案(港口城市——中欧班列国内始点)提供一定的思路, 以便及时高效的开展集装箱运输工作, 抵消班轮到达波动性所带负面影响。

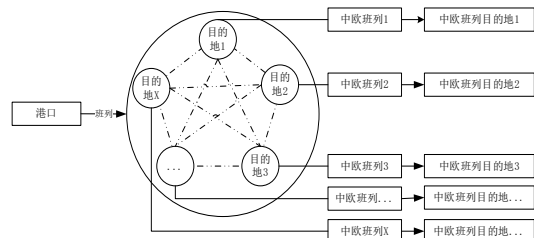


图1 TSP 思想多目的地运输模式

### 一、基于班轮影响下中欧集装箱班列开行方案模型的建立

本部分以单位集装箱在港衔接时间与单位集装箱班列开行总成本最小为目标函数构建了基于班轮影响下中欧集装箱多目的地班列开行方案模型。

#### 1 模型假设

计算货物的时间价值成本时只考虑时间价值损失。

(3) 集装箱班列装载方式为单层装载, 每辆装载 2TEU。

(4) 单个集装箱内仅装一种类别货物, 货物不存在拼箱情况

(5) 集装箱班列在途中只进行解编作业。

(6) 假设班列在整个网络中的每个站点都发生卸货作业。

(8) 假设班轮到港的卸船时间为定值。

(9) 不考虑堆场堆存能力。

#### 2 目标函数

(1) 平均在港衔接时间最少: 单位集装箱从班轮到港与班列开行时间的差值最小。

$$Min t = \left[ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} (T_{ik} - T_i) * x_k \right] / \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} m_{ik} \quad (1)$$

式中:  $T_i$  为第  $i$  艘班轮预计到港时间;  $I$  为到港班轮序号集合,  $i \in I$ ;  $K$  为开行次数集合,  $k \in K$ ;  $T_{ik}$  为装第  $i$  艘班轮的  $k$  趟班列开行时刻;  $x_k$  为 0-1 变量, 判定第  $k$  趟列车是否开行:  $x_k = 0$  说明第  $k$  趟班列不开行,  $x_k = 1$  即开行;

$m_{ik}$  为第  $k$  趟班列装载班轮  $i$  的集装箱量;

(2) 单位集装箱铁路运输总成本最少

单位集装箱从到港至班列开行中间所产生的班列开行成本、在港口发生的堆存成本、集装箱超过在港期限产生的滞留而产生的费用最少。

$$Min C = [C_1 + C_2 + C_3] / \sum_{k \in K} m_k \quad (2)$$

式中:

$$C_1 = x_k * \sum_{i \in I} \left[ k_1 d_{ki} + \sum_{j \in J} k_2 * m_{ij} * \left( \frac{d_{ji}^{kl}}{v} \right) \right] \quad (3)$$

其中:  $k_1$  为班列开行的固定成本;  $k_2$  为班列开行的单位可变成本;  $d_{ki}$  为第  $k$  趟列车选择径路  $l$  时所运行的里程数;  $m_{ij}$  为第  $k$  趟列车装载目的地  $j$  的货运量;  $d_{ji}^{kl}$  为第  $k$  趟车选取路径  $l$  目的地  $j$  与目的地  $i$  之间的距离;  $v$  为班列的平均运行速度;

$$C_2 = k_a [t - t_a] = k_a \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} [(T_{ik} - T_i) - t_a] \right\} \quad (4)$$

其中:

$k_a$  为单位集装箱每时刻的堆存成本;  $t_a$  为进行卸船、换装、装车作业总时间;

$$C_3 = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} m_{ik} \left[ \frac{\rho E}{365 * 24} * (T_{ik} - T_i - t^*) * m_{ik} + \min(k_1 d_{il} + k_2 * m_{ik}) \right] \quad (5)$$

其中:  $\rho$  为单位集装箱每时刻的堆存成本;  $E$  为单位集装箱所装载得货物的平均价值;  $t^*$  为在港最大时间限制;  $m(t_{港}) = m(T_{ik} - T_i - t^*)$  为 0-1 变量, 是否超过在港期限。

由于两个目标函数存在单位上不同, 对其进行统一量纲, 因此目标函数可以合并为:

$$Min Z = Min \left( C E * \frac{K^q t}{30 * 24} \right) \quad (6)$$

#### 3 约束条件

(1) 箱流守恒约束: 班列的发送集装箱量总和与班轮的卸箱总量、发往各地的总量相等:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} m_{ik} = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} m_{jk} = \sum_{i \in I} m_i \quad (7)$$

(2) 到发平衡约束: 所有到达船舶卸下的集装箱量之和等于发送该周期内开行班列装载发送的集装箱量之和。

$$\sum_{i \in I} x_i = \sum_{k \in K} m_k \quad (8)$$

班列开行时刻的约束: 第  $i$  艘集装箱船上的集装箱第一批被班列运走的时间晚于其到港时间, 时间差要大于等于装车、换装、卸船的时间和:

$$t_a \leq T_{ik} - T_i \quad (10)$$

开行条件的约束: 满足编组数的约束:

$$80 \leq m_k \leq 170 \quad (11)$$

$k$  趟列车选择的运输路径的唯一性

$$\sum_{l \in L} y_l^k = 1 \quad (12)$$

(6) 变量取值约束:

$$x_k, m(t_{港}) \in \{0, 1\} \quad (13)$$

$$m_{ik} \in N^+ \quad (14)$$

#### 4 遗传算法求解

在本模型求解的过程中使用遗传算法进行求解, 主要分为编码、适应度函数构建、选择、交叉、变异终止 6 步来进行。

#### 三、算例分析

考虑到港口集装箱吞吐量以及港口的地理位置等综合因素, 本文以连云港作为算例来验证模型的有效性。

#### 1 算例相关数据获取

##### 1.1 基础数据

本文的研究主体为中欧集装箱, 因此对于算例城市的选取以“中欧班列开行量以及班列到达欧洲城市的覆盖率”为选择依据选取郑州、西安、武汉、成都、

重庆为目的地, 序号分别为 1,2,3,4,5; 选取连云港 2022 年 3 月 1 日 0: 00-2022 年 3 月 2 日 24: 00 到港班轮的信息与该时期中欧集装箱的发送量。

表 1 各班轮到港班轮基础数据表

1	2	3	4	5
2	2	1	1	1
33	27	18	17	12
12	10	7	6	5
5	4	3	3	2
24	19	13	12	9
11	9	6	6	4
36	29	20	19	13
20	16	11	10	7
37	30	20	19	13
18	15	10	10	7
24	19	13	12	9
35	28	19	18	13
36	29	20	19	13
31	25	17	16	11
36	29	20	19	13
35	28	19	18	13
16	13	9	9	6
4	4	3	2	2
43	35	24	22	16

### 1.2 时间数据

本部分对船期表的预计到港时间进行转换, 以一小时为一个单位对时间进行转换。在本文研究中认为班轮到港规律符合泊松分布, 用不同标准差来表示班轮到港波动性的大小。本研究以到港班轮的船期表作为基础数据, 得出标准差  $\lambda$  为 5、10、15 的到港时间预测表。

表 2 班轮到港预计时间表

班轮序号	船期表到港时间	波动情况		
		$\lambda=5$	$\lambda=10$	$\lambda=15$
1	9.00	16.41	15.47	22.04
2	11.25	22.77	29.29	7.88
3	12.00	23.18	10.86	36.59
4	13.50	16.20	13.21	25.42
5	16.50	18.42	28.69	13.23
6	17.00	16.58	25.93	52.58
7	17.75	16.85	15.59	19.86
8	19.25	14.40	16.30	18.29
9	22.75	20.17	18.85	50.97
11	33.75	17.45	22.42	18.70
12	35.00	19.57	21.90	20.94
13	37.00	25.36	44.68	34.28
14	37.65	30.91	32.07	16.76
15	41.20	36.54	30.21	17.70
16	42.00	23.91	19.32	41.03
17	42.00	23.22	26.41	31.34
18	43.00	16.96	29.64	25.33
19	47.35	25.39	12.42	19.68

### 1.3 距离数据

两地之间的最短距离根据中国铁路发布的相关信息来

进行取值。

表 3 港口、目的地之间的最短距离表

里程数 (km)	1	2	3	4	5
0	539	1050	1081	2028	1726
1	0	505	516	1261	1181
2		0	1024	728	658
3			0	1069	1149
4				0	302
5					0

### 1.4 相关参数设置

模型中相关参数设置  $k_1=10$ ,  $k_2=0.2$ ,  $k_a=10$ ,  $t_a=12$ ,  $\rho=25\%$ ,  $E=300000$ ,  $k^a=1\%$ ,  $v=90$

### 2 结果分析

#### 2.1 不波动情况下运输路径结果分析

通过算法的运行得出班轮到港确定情况下的班列开行方案以及迭代收敛图, 如图 4。

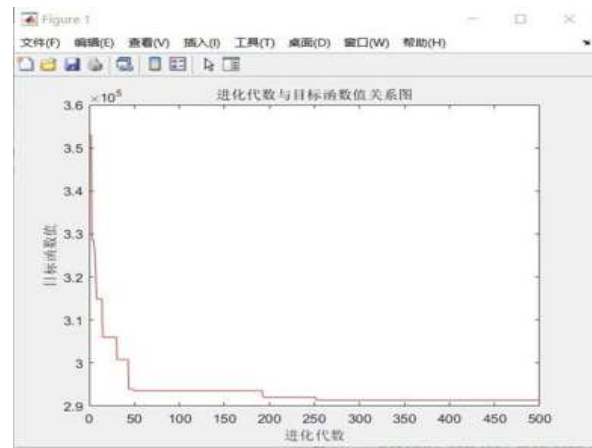


图 2 模型算法迭代收敛图

由图 2 可知, 模型的运行结果最终收敛, 得出最优结果。说明本文所建立的基于班轮影响下的班列运输路径选择模型在实践中的可行性。发送该周期内班列开行运输方案见表 5。

表 5 班轮到港确定情况下班列开行方案

开行时间	开行路线	载箱量 / (TEU)
3 月 2 日 1: 50	O-1-2-5-4-3	169
3 月 2 日 7: 45	O-1-2-3-5-4	170
3 月 2 日 10: 45	O-1-2-3-5-4	163
3 月 2 日 21: 45	O-1-2-3-5-4	166
3 月 2 日 23: 00	O-1-2-3-5-4	166
3 月 3 日 5: 12	O-1-2-3-5-4	165
3 月 3 日 6: 00	O-1-2-3-5-4	166
3 月 3 日 11: 21	O-1-2-3-5-4	155

#### 2.2 波动情况下运输路径结果分析

表 6 波动情况  $\lambda=5$  的班列开行方案求解结果

开行时间	开行路线	载箱量 / (TEU)
3 月 2 日 1: 50	O-1-3-2-4-5	124
3 月 2 日 16: 57	O-1-3-2-5-4	158
3 月 2 日 17: 27	O-1-3-2-5-4	146
3 月 3 日 20: 11	O-1-3-2-4-5	165

3月3日 23: 11	O-1-3-2-4-5	157
3月3日 23: 58	O-1-3-2-5-4	163
3月4日 6: 55	O-1-2-4-5-3	159
3月4日 12: 32	O-1-3-2-5-4	117

表 7 波动情况  $\lambda = 10$  的班列开行方案求解结果

开行时间	开行路线	载箱量/(TEU)
3月2日 1: 13	O-3-1-2-5-4	164
3月2日 4: 18	O-1-3-4-5-2	139
3月2日 7: 19	O-1-3-2-5-4	168
3月2日 9: 54	O-1-3-2-5-4	157
3月2日 14: 25	O-1-2-5-4-3	170
3月2日 20: 13	O-1-3-2-5-4	166
3月2日 22: 04	O-1-3-2-5-4	153
3月3日 8: 41	O-1-2-4-5-3	117

表 8 波动情况  $\lambda = 15$  的班列开行方案求解结果

开行时间	开行路线	载箱量/(TEU)
3月2日 1: 14	O-1-3-2-5-4	156
3月2日 3: 51	O-2-5-4-1-3	128
3月2日 5: 42	O-1-2-4-5-3	165
3月2日 7: 17	O-3-4-1-2	169
3月2日 7: 52	O-1-2-5-4-3	166
3月2日 13: 25	O-1-3-2-5-4	137
3月2日 19: 20	O-1-3-2-4-5	140
3月3日 0: 35	O-1-3-2-4-5	157
3月3日 5: 02	O-1-2-5-4-3	113
3月3日 16: 35	O-1-2-4-5-3	81

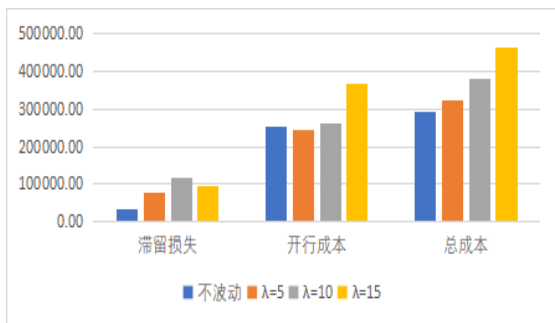


图 3 不同波动情况班列开行方案的成本统计图

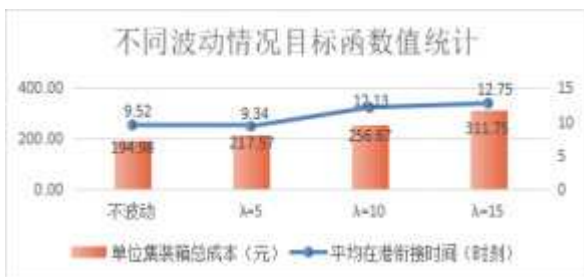


图 4 不同波动情况下各目标函数值统计图

通过以上各波动情况开行方案相关结果统计，我们可以看出：

(1) 随着班列到港波动性的加大，整批货物发送的总成本也在随之增加。

(2) 由于班列到港的不确定性增加，导致货物产生的滞留损失也会增加。但是根据图 5 可以发现在  $\lambda = 15$  的开行方案所造成的滞留损失比  $\lambda = 10$  少，这是因为  $\lambda = 15$  的到港波动性大，导致箱流分散，为了避免货物在港口的滞留损失，班列开行的列数相比其他波动情况有所增加。

(3) 班列到港的波动性导致港口的集装箱流更加集中亦或分散，从而导致单位集装箱平均在港衔接时间也随之增加，同时堆存成本也随之增加。

#### 四、结束语

本文研究基于班列影响下分析研究中欧集装箱班列的开行方案，考虑班列到港波动性来提前安排港口的集疏运工作，使港口、铁路部门与货主企业利益实现效益最大化。研究表明班列到港时间的不稳定性影响了班列的开行方案。但是在货物的实际运输中，各类货物对运输的时间敏感性不同，值得进一步研究。

#### 参考文献：

[1] 宋云婷. 集装箱班列的港口运行时间规律及其应用研究 [D]. 大连: 大连海事大学 (硕士学位论文), 2021.

[2] 王诺, 徐灵杰, 张源凌等. 集装箱班列到港规律的耦合性特征及其应用研究 [J]. 水运工程, 2014, 3: 98-102.

[3] 姜东瑞. 浅析班列公司船舶到港规律 [J]. 中国水运, 2020, 05: 46-47.

[4] 余劲, 张玮, 姜继红等. 丙江航道船舶流的概率分布特性 [J]. 交通运输工程学报, 2006, 6: 88-9.

[5] 张鲁宁, 王诺, 陈爽. 集装箱班列到港规律实证研究 [J]. 大连海事大学学报, 2012, 38 (01): 47-54.

[6] 闫建文. 集装箱流波动下海铁联运班列开行问题研究 [D]. 北京交通大学 (硕士学位论文), 2018.

[7] 李昂. 考虑衔接可靠性的海铁联运集装箱班列开行方案研究 [D]. 西南交通大学 (硕士学位论文), 2020.

[8] 呼国杰. 南沙港集装箱多式联运班列开行方案研究 [D]. 北京交通大学 (硕士学位论文), 2019.

[9] 万杰, 魏爽, 耿丽. 中欧集装箱多式联运路径选择优化研究 [J]. 河北工业大学学报, 2019, 48(05): 91-96.

[10] 李玉民, 郭晓燕, 杨露. 考虑多目标的中欧集装箱多式联运路径选择 [J]. 铁道科学与与工程学报, 2017, 14(10): 2239-2248.

基金项目: 空间经济视角下辽宁多式联运物流通道建设路径研究 (L20BJY019)

作者简介: 秦钰斐 (1995—), 女, 大连交通大学交通运输工程学院, 硕士, 研究方向: 铁路运输组织; 张旭 (1985—), 男, 大连交通大学机车学院, 副教授, 博士, 研究方向: 高速客运系统规划