

## 海陆联运下可折叠集装箱的空箱调运研究

张丽娜, 韩晓龙

(上海海事大学, 上海 201306)

**摘要:** **目的** 针对空箱调运问题, 找出影响可折叠集装箱使用的关键因素。**方法** 利用因素分析法、整数规划法对标准集装箱和可折叠集装箱的总成本及影响因素进行分析, 影响因素包括运输成本、折叠/展开成本、运输能力、存储成本及租箱成本等。**结果** 租箱成本是影响可折叠集装箱使用的关键因素, 当租箱成本降低 10% 以上时, 使用可折叠集装箱比标准集装箱具有明显的经济性。**结论** 可折叠集装箱的使用受多种因素的影响, 在一定条件下使用可折叠集装箱优于标准集装箱。

**关键词:** 可折叠集装箱; 整数规划; 空箱调运

**中图分类号:** U169.65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0112-06

### Optimization of Foldable Empty Containers Reposition Under Sea-rail Transportation

ZHANG Li-na, HAN Xiao-long

(Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** The work aims to work out the key factors influencing the foldable container with respect to the problems with empty container reposition. The total costs and factors of standard and foldable containers were analyzed by factor analysis and integer programming. The influencing factors included the transportation cost, the container leasing cost, the liner transportation capacity, the inventory storage cost and the folding/unfolding cost. The leasing cost was the key factor to influence the use of foldable container. When the leasing cost was decreased by over 10%, the use of foldable container was more economical than standard container. In conclusion, the use of foldable container is influenced by many factors. Under certain conditions, foldable container is much better than standard container.

**KEY WORDS:** foldable container; integer programming; empty container repositioning

全球贸易的不均衡使不同国家和地区的空箱需求和供给不匹配, 从而导致空箱的运输不可避免。在跨太平洋贸易中的不平衡性中, 2013 年, 东行路线亚洲至美国年运输量达 13 400 万集装箱, 西行路线美国到亚洲仅为 590 万集装箱<sup>[1]</sup>。亚洲以出口为导向, 欧美以进口为主, 集装箱货物流向不平衡直接导致空箱的调运。传统集装箱大多采用固定

结构, 在运输和堆存过程中, 空箱所占空间与重箱相同, 导致空箱调运的运输和堆存成本较高<sup>[2]</sup>。同尺寸的 4~5 个可折叠集装箱折叠后, 仅占用 1 个传统标准集装箱的空间, 极大降低了存储和调运成本, 但同时增加了折叠和打开成本<sup>[3]</sup>。

对空箱调运问题其调运过程分为陆上调运、海上调运以及海陆联运调运系统。针对陆上空箱调运

收稿日期: 2016-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(71171129); 上海市科委工程中心能力提升项目(14DZ2280200); 上海海事大学研究生学术新人培育计划(YXR2015041)

作者简介: 张丽娜(1990—), 女, 山东人, 上海海事大学硕士研究生, 主攻物流工程与管理。

通讯作者: 韩晓龙(1978—), 男, 山东人, 硕士生导师, 上海海事大学副教授, 主要研究方向为物流与供应链管理。

周红梅<sup>[4]</sup>等，建立了静态的铁路空箱调运优化模型。Chen, Chuen-Yih<sup>[5]</sup>构建了 2 阶段的动态随机海运空箱调运网络模型。Koichi Shintania<sup>[6]</sup>分析了在内陆运输环节使用线性规划方法可降低成本。海上集装箱空箱流转过过程与陆上调运系统相比有很大的不同，针对海上空箱调运 Chou C 等<sup>[7-8]</sup>将混合模糊决策方法应用到海运空箱调运中。Massimo Di Francesco 等人<sup>[9-10]</sup>研究了不确定港口下海运网络的空箱调运。针对海陆联运孙浩<sup>[11]</sup>研究了海陆多式联运调运优化问题，魏雪婷等人<sup>[12-13]</sup>研究了海陆联运下可折叠箱配置问题。海上、陆上调运系统约束条件不断增加，也越来越贴近实际，但其中针对海陆联运研究并不深入。

针对可折叠集装箱的研究，国内以定性分析为主，国外学者虽然对此研究颇深也有其不全面性。文中在 Rob Konings 研究的基础上，考虑了租箱成本。在海陆联运的运输模式下，对可折叠箱的可行性问题，分别构建了可折叠和标准的集装箱的数学模型，对使用 2 种箱型的总成本进行比较，然后对影响可折叠集装箱使用的各个成本因素进行分析，评估使用可折叠箱的可行性。

### 1 问题描述

文中从可折叠集装箱角度研究空箱调运优化问题，针对海陆联运下的空箱调运流程和特点进行建模。为简化模型只考虑港口和内陆场站 2 类运输节点，主要是场站间、港口间、场站与港口间的调运，通过空箱供给地区的某供给场站向空箱需求地区的某需求场站提供空箱，空箱调运的流转过过程见图 1。文中的目的是评估可折叠集装箱的可行性，同时最小化海陆联运下的空箱调运总成本，找出影响可折叠集装箱应用的关键因素。

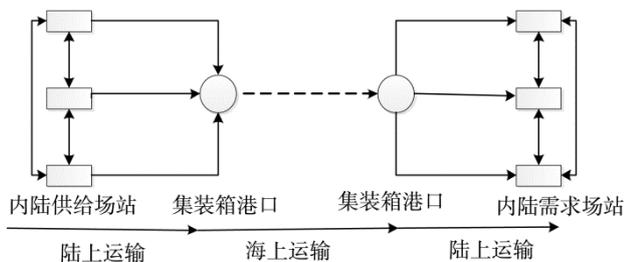


图 1 集装箱空箱的海陆联运调运示意

Fig.1 The map of empty container repositioning in intermodal transportation

## 2 数学模型

### 2.1 建立模型假设

考虑 2 类运输节点，港口及内陆场站，且场站只能与同港区的场站进行空箱调运；港口及场站的集装箱需求必须被满足；不考虑港口的集装箱堆存费用，可折叠箱的折叠/展开操作只发生在内陆场站；港口作为海上和陆上运输的连接点，不产生供给和需求；空载的可折叠箱在储存及运输过程中均处于折叠状态；不考虑航线限制，陆上运输过程不具体考虑哪种运输方式；租箱可就地即时获得，不考虑租箱调运到其他港；只考虑单箱种。模型中用到的符号、参数、决策变量如下所述。

1) 索引。 $H$  为港口集合， $\forall i, j \in H$ ； $W$  为场站集合。 $\forall m, n \in W$ ； $T$  为计划周期集合， $\forall t \in T$ 。

2) 节点参数。 $\alpha_{im}$  为 0—1 变量，1 代表场站  $m$  在港口  $i$  覆盖内，0 不在； $\beta_{mn}$  为 0—1 变量，1 代表场站  $m$  和场站  $n$  可达，0 不可达； $C_{ij}$  为  $i$  港口与  $j$  港口间标箱空箱的单位运输成本； $C_{ij}^F$  为  $i$  港口与  $j$  港口间可折叠空箱的单位运输成本； $C_{mn}$  为  $m$  场站与  $n$  场站间标箱空箱的单位运输成本； $C_{mn}^F$  为  $m$  场站与  $n$  场站间可折叠空箱的单位运输成本； $C_{im}$  为  $i$  港口与  $m$  场站间标箱空箱的单位运输成本； $C_{im}^F$  为  $i$  港口与  $m$  场站间可折叠空箱的单位运输成本； $P_m$  为在  $m$  场站租赁标准集装箱的单位成本； $P_m^F$  为在  $m$  场站租赁可折叠集装箱的单位成本； $C_m$  为  $m$  场站标准集装箱的单位存储成本； $C_m^F$  为  $m$  场站可折叠集装箱的单位存储成本； $L_m^F$  为  $m$  场站标准集装箱的单位折叠成本； $L_m^U$  为  $m$  场站可折叠集装箱的单位展开成本；

3) 决策变量。 $Q_{it}$  为  $t$  时期  $i$  港口整体空箱的需求量； $D_{mt}$  为  $t$  时期  $m$  场站集装箱空箱的需求量； $S_{mt}$  为  $t$  时期  $m$  场站集装箱空箱的供给量； $K_{ijt}$  为  $t$  时期从  $i$  港口到  $j$  港口的空箱调运能力； $N$  为单位标准集装箱体积可堆叠的可折叠集装箱的数量； $V_{ij}$  为 A 港到 B 港的运输时间； $I_{mt}$  为  $t$  时期  $m$  场站标准集装箱的库存量； $I_{mt}^F$  为  $t$  时期  $m$  场站可折叠集装箱的库存量； $R_{mt}$  为  $t$  时期  $m$  场站租赁的标准集装箱空箱数量； $R_{mt}^F$  为  $t$  时期  $m$  场站租赁的可折叠空箱数量； $X_{ijt}$  为  $t$  时期从  $i$  港口到  $j$  港口的标准空箱运输量； $X_{ijt}^F$  为  $t$  时期从  $i$  港口到  $j$  港口的可折叠

空箱运输量； $Y_{mnt}$ 为  $t$  时期  $m$  场站到  $n$  场站的标准空箱运输量； $Y_{mnt}^F$  为  $t$  时期  $m$  场站到  $n$  场站的可折叠空箱运输量； $V_{imt}$  当为正值时表示  $t$  时期  $i$  港口到  $m$  场站的标准空箱运输量，当为负值时表示  $m$  场站到  $i$  港口的标准空箱运输量； $V_{imt}^F$  当为正值时表示  $t$  时期  $i$  港口到  $m$  场站的可折叠空箱运输量，当为负值时表示  $m$  场站到  $i$  港口的可折叠空箱运输量； $Z_{mt}^F$  为  $t$  时期  $m$  场站折叠的可折叠集装箱数量； $Z_{mt}^U$  为  $t$  时期  $m$  场站展开的可折叠集装箱数量。

### 2.2 标准集装箱优化模型

$$\min \sum_{m \in W} \sum_{n(\neq m) \in W} \sum_{t \in T} C_{mn} Y_{mnt} \beta_{mn} + \sum_{i \in H} \sum_{j(\neq i) \in H} \sum_{t \in T} C_{ij} X_{ijt} + \sum_{i \in H} \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} C_{im} |V_{imt}| \alpha_{im} + \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} C_m I_{mt} + \sum_{t \in T} \sum_{m \in W} P_m R_{mt}$$

在目标函数中，依次为同港区场内场站间的调运成本、港口间的调运成本、港口到同港区场站的调运成本、储存成本及租箱成本。约束条件为：

$$I_{mt} = I_{m,t-1} + \sum_{\{m \neq n\}} \beta_{mn} Y_{mnt} + \sum_{j \in H} V_{jmt} \alpha_{mj} + S_{mt} + R_{mt} - D_{mt} - \sum_{\{n \neq m\}} Y_{mnt} \beta_{mn} \quad m \in W \quad (1)$$

$$\sum_{m \in W} \max(V_{imt}, 0) \alpha_{im} = \sum_{\{j \in H, t > V_{ji}\}} X_{jit-V_{ji}} - \sum_{\{i \in H, t \leq T - V_{ij}\}} X_{ijt} \quad \forall i \in H, t \quad (2)$$

$$\sum_{j \in H} X_{ijt} = \sum_{m \in W} \max(-V_{im}, 0) \alpha_{im} + \sum_{j \in H} X_{ji,t-1} - \sum_{m \in W} \max(V_{imt}, 0) \alpha_{im} \quad \forall i \in H \quad (3)$$

$$Q_{it} = \sum_{m \in W} D_{mt} \alpha_{im} \quad \forall i \in H \quad (4)$$

$$X_{ijt} \leq K_{ijt} \quad \forall i, j \neq i \in H \quad (5)$$

式(1)为  $t$  期末场站空箱存量等于上期期末空箱量，加从其他场站调入该场站的空箱量及从港口调入的箱量(或减去向港口调出的箱量)，加场站供给量，加租箱量，减本期调到同港区场站的空箱量及场站空箱需求量。式(2)为  $t$  期  $i$  港口向其同港区场站调运的空箱量等于上期海运调运并于本期到达该港的空箱量减本期该港向其它港口调出的空箱量。式(3)为  $t$  期  $i$  港口向其它港口调出的空箱量等于本期从同港区场站调入本港的空箱量加上期从其它港口调出并于本期到达该港的空箱量减去本期港口向其同港区场站调运的空箱量。式(4)为  $t$  时期  $i$  港口内整体空箱需求等于其同港区各场站空箱需求之和。式(5)为  $t$  时期从  $i$  港口运往港口  $j$  的

空箱量不超过班轮的运输能力。

### 2.3 可折叠集装箱优化模型

$$\min \sum_{m \in W} \sum_{n(\neq m) \in W} \sum_{t \in T} C_{mn}^F Y_{mnt}^F \beta_{mn} + \sum_{i \in H} \sum_{j \in H} \sum_{t \in T} C_{ij}^F X_{ijt}^F + \sum_{i \in H} \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} C_{im}^F |V_{imt}^F| \alpha_{im} + \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} C_m^F I_{mt}^F + \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} R_{mt}^F P_m^F + \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} L_m^U Z_{mt}^U + \sum_{m \in W} \sum_{t \in T} L_m^F Z_{mt}^F$$

在目标函数中，最后 2 项不同于标准箱，分别代表可折叠箱的展开和折叠成本。约束条件为：

$$I_{mt}^F = I_{m,t-1}^F + \sum_{n(\neq m)} \beta_{mn} Y_{mnt}^F + S_{mt} + \sum_{i \in H} V_{imt}^F \alpha_{im} + R_{mt}^F - D_{mt} + \sum_{n(\neq m) \in W} Y_{mnt} \beta_{mn} \quad \forall m \in W \quad (6)$$

$$\sum_{m \in W} \max(V_{imt}^F, 0) \alpha_{im} = \sum_{\{j \in H, t > V_{ji}\}} X_{jit-V_{ji}}^F - \sum_{\{i \in H, t \leq T - V_{ij}\}} X_{ijt}^F \quad \forall i \in H, t \quad (7)$$

$$\sum_{j \in H} X_{ijt}^F = \sum_{m \in W} \max(-V_{im}^F, 0) \alpha_{im} + \sum_{j \in H} X_{ji,t-1}^F - \sum_{m \in W} \max(V_{imt}^F, 0) \alpha_{im} \quad \forall i \in H \quad (8)$$

$$Q_{it} = \sum_{m \in W} D_{mt} \alpha_{im} \quad \forall i \in H \quad (9)$$

$$\frac{X_{ijt}^F}{N} \leq K_{ijt} \quad \forall i, j(\neq i) \in H \quad (10)$$

$$Z_{mt}^F = \max(S_{mt} - D_{mt}, 0) \quad \forall m \in W, t \in T \quad (11)$$

$$Z_{mt}^U = \max(D_{mt} - S_{mt}, 0) \quad \forall m \in W, t \in T \quad (12)$$

式(6)——(10)同理(1)——(5)。式(11)为  $t$  时期如果运输节点的可折叠箱供给量大于需求量，多余空箱在场站  $m$  折叠的数量。式(12)为  $t$  时期如果运输节点的可折叠箱供给量小于需求量，处于库存状态的可折叠空箱在场站  $m$  展开的数量。

## 3 模型算例与分析

### 3.1 算例描述与求解

假设某运输企业在 A、B 2 个港口之间经营定期直达航线，A 港是空箱供给港，A 港同港区的场站  $A_1, A_2, A_3$  可相互直接调运集装箱；B 港是需求港，B 港覆盖范围内的场站  $B_1, B_2$  的需求从供给港

的供给场站调运,港口 B 与 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 场站间可相互直接调运集装箱,同时 2 个港口间可相互调运空箱。由于调运受多种因素的影响,若调运不能满足需求时可就地租箱。

为简化模型,只考察 3 个时间周期,规划期内各节点的空箱供给和需求情况见表 1。假设各场站间可折叠箱的租箱成本是标准箱的 1.6 倍,可折叠箱的运输成本和储存成本是标准集装箱的百分比<sup>[14]</sup>,折叠/展开成本相同。各运输节点间单位调运、储存、租箱及展开/折叠成本如下:港口 A 至场站 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> 成本分别为 90, 80, 80 元/箱,港口 B 至同港区场站成本为 80/箱,场站 A<sub>1</sub> 至 A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> 的成本分别为 80, 90 元/箱, A<sub>2</sub> 至 A<sub>3</sub> 为 80 元/箱, B<sub>1</sub> 至 B<sub>2</sub> 为 90 元/箱。各场站的储存成本为 40 元/箱, A 港租箱成本为 225 元/箱, B 港为 250 元/箱,可折

叠箱展开/折叠成本为 35 元/箱。A 港到 B 港运输时间为 2 d, 海上空箱运输能力的限制为 50 箱, 初始运抵 B 港 20 个空箱。港口覆盖区域各场站间陆上运输在同一决策周期内完成, 港口之间的海上运输时间需要跨越一个决策周期。

表 1 各节点的空箱供给/需求情况  
Tab.1 Supply and demand at each port in each node 箱

周期		场站				
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
t=1	供给	200	120	70	50	50
	需求	100	70	130	100	80
t=2	供给	200	100	200	130	50
	需求	130	130	160	180	130
t=3	供给	200	70	110	80	90
	需求	160	110	130	150	150

表 2 可折叠箱和标准箱的成本比较  
Tab.2 The cost comparison of foldable and standard containers 元

分类	可折叠箱			标准箱		
	t=1	t=2	t=3	t=1	t=2	t=3
调运方案	50(A <sub>1</sub> —A)		10(A <sub>1</sub> —A <sub>2</sub> )	50(A <sub>1</sub> —A)	50(A <sub>1</sub> —A)	
	50(A—B)	100(A <sub>1</sub> —A)	20(A <sub>3</sub> —A <sub>2</sub> )	50(A—B)	50(A—B)	10(A <sub>3</sub> —A <sub>2</sub> )
	30(A <sub>1</sub> —A <sub>3</sub> )	100(A—B)	40(B—B <sub>1</sub> )	50(A <sub>1</sub> —A <sub>3</sub> )	50(A—B <sub>1</sub> )	50(B—B <sub>2</sub> )
	20(A <sub>2</sub> —A <sub>3</sub> )	50(B—B <sub>1</sub> )	60(B—B <sub>2</sub> )	20(B—B <sub>2</sub> )		
	20(B—B <sub>2</sub> )					
租箱	40(B <sub>1</sub> )	80(B <sub>2</sub> )	30(B <sub>1</sub> )	40(B <sub>1</sub> )	50(B <sub>1</sub> ) 40(B <sub>2</sub> )	70(B <sub>1</sub> ) 10(B <sub>2</sub> )
存箱	30(A <sub>1</sub> )	10(A <sub>2</sub> )	30(A <sub>1</sub> )	10(A <sub>1</sub> )	30(A <sub>1</sub> )	70(A <sub>1</sub> )
	40(A <sub>2</sub> )	40(A <sub>3</sub> )		60(A <sub>2</sub> )	30(A <sub>2</sub> ) 40(A <sub>3</sub> )	10(A <sub>3</sub> )
运输成本		11 360			23 900	
租箱成本		60 000			50 000	
存箱成本		1 500			10 000	
折叠展开成本		23 800			—	
总成本		96 660			91 900	

由表 2 可知,使用可折叠箱和标准箱对成本有一定的影响。使用标准箱的总成本小于可折叠箱,但与折叠箱相比,标准箱的运输成本和存储成本所占总成本的比重高于可折叠箱,这是由于可折叠箱的可折叠性,在空箱调运的过程中可折叠箱的调运量是标准箱的 4 倍,在运输能力限制下将会减少积压箱地的存储量并减少需求箱地的租箱量,加强空箱的流转率,降低存储成本和租箱成本,很大程度上降低空箱调运的总成本,尤其是在 t=3 时表现最明显。

算例结果表明使用可折叠箱和标准箱对总成本有一定的影响。为评估使用可折叠箱的可行性,

下面对影响可折叠箱使用的成本因素进行分析。

### 3.2 成本变动分析

1) 租箱成本变动分析。在不改变空箱调运的情况下变化可折叠箱的租箱成本对总成本的影响。当租箱成本降低 10%~50%时,可折叠箱的总成本分别为 90 660, 84 660, 78 660, 72 660, 66 660 元。与标准箱的最初成本 91 900 元相比,当可折叠箱的成本降低 10%时,略具优势,当租箱成本继续降低时,此时可折叠箱优势明显。

2) 储存成本变动分析。港口与场站的储存空间有限,当储存成本上涨 10%~50%时,可折叠

箱的总成本分别为 96 770, 96 880, 96 990, 97 100, 97 210 元, 标准箱的总成本分别为 92 740, 93 580, 94 420, 95260, 96 000 元。可折叠箱的总成本大于标准箱, 标准箱的变动比例大于折叠集装箱, 如继续增加储存成本, 可折叠箱可能略具优势, 但储存成本只占集装箱空箱的一小部分, 对影响使用可折叠箱的影响不大。

3) 空箱运输能力变动分析。遵循重箱优先原则, 运能的限制使就地租箱量增加, 直接造成了总成本的增加。随着船舶的大型化, 空箱的运能在增加, 当运能增加 10%~50%时, 可折叠集装箱的总成本分别为 91 510, 86 360, 86 310, 86 260, 86 210 元, 标准箱的总成本分别为 90 900, 89 900, 89 250, 88 600, 88 300 元。当运能增加 10%~30%时, 能够有效运用空间, 使用可折叠箱是合理的。当运能继续增加时, 此时空箱需求是一定的, 只会浪费剩余空间造成不必要的成本, 此时使用可折叠箱不具有经济性。

4) 运输成本变动分析。标箱空载时占用较大的运输空间, 造成大量的运力浪费, 可折叠箱空载时呈折叠状态, 可节约运输空间, 同样的运力可以调运更多的空箱<sup>[15]</sup>; 因石油价格的波动增长, 使得运输成本也不断上涨, 当运输价格上涨 10%~50%时, 标准箱的变动比例大于折叠箱, 说明运输成本影响折叠箱的使用。

5) 折叠/展开成本变动分析。折叠/展开成本是影响可折叠箱使用的因素之一, 随着技术的改善和配套设施的完备, 可折叠箱的折叠/展开成本将会下降。当折叠/展开成本下降 10%~50%时, 可折叠箱的总成本分别为 93 940, 91 900, 89 180, 87 140, 85 100 元。当降低 30%时, 使用可折叠箱略具经济性, 当折叠/展开成本继续降低时, 使用可折叠箱具有更大的优势。

6) 变动结果的标准差分析。对各个因素变动结果进行标准差分析, 租箱成本(0.0935)>折叠/展开成本(0.0369)>运输成本(0.0252)>运输能力(0.0243)>储存成本(0.0021), 可得租箱成本对折叠箱的使用影响较大。

## 4 结语

文中评估了折叠集装箱的可行性, 对使用可折叠集装箱和标准集装箱的总成本进行比较, 并对影

响可折叠集装箱使用的因素进行分析, 通过成本变动分析表明, 海陆联运运输系统中租箱成本对可折叠集装箱影响最大。当折叠集装箱的租箱成本降低 10%时, 投资折叠集装箱略具优势, 如果租箱成本继续降低, 使用可折叠集装箱经济性显著。文中的模型对航运企业租赁折叠集装箱的决策有重要借鉴意义。当前模型是在需求、供给已知下的确定性模型, 对于集装箱空箱需求产生、运输能力的不确定性均未考虑。

## 参考文献:

- [1] BANDARA Y M, GARANIYA V. Improving Logistics Management Using Foldable/Collapsible Containers: A Case Study[J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2015, 31(1): 165—185.
- [2] 周荣华. 4 FOLD 折叠式集装箱的优缺点[J]. 集装箱化, 2014, 25(8): 20—21.  
ZHOU Rong-hua. The Advantages and Disadvantages of 4 FOLD Foldable Containers[J]. Containerization, 2014, 25(8): 18—25.
- [3] 乐泓. 基于仿真优化的驳运空箱调运系统研究[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(5): 90—96.  
LE Hong. Optimal Planning on System of Empty Container Allocation Based on Simulation Optimization Method[J]. Industrial Engineering and management, 2011, 16(5): 90—96.
- [4] 周红梅, 方芳. 航运集装箱空箱调运优化模型的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 27(3): 384—387.  
ZHOU Hong-mei, FANG fang. Research on the Empty Container Allocation Problem for Ocean Transportation[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2003, 27(3): 384—387.
- [5] CHEN C Y. A Two-stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem[J]. Transportation Science, 1998, 32(2): 142—162.
- [6] SHINTANIA K, KONINGS R, IMAI A. The Impact of Foldable Containers on Container Fleet Management Costs in Hinterland Transport[J]. Transportation Research Part E, 2010, 46(5): 750—763.
- [7] CHOU C C, GOU R H, TSAI C L, et al. Application of A Mixed Fuzzy Decision Making and Optimization Programming Model to the Empty Container Allocation[J]. Applied Soft Computing, 2010, 10(4): 1071—1079.
- [8] KONINGS R. Foldable Containers to Reduce the Costs of Empty Transport? A Cost-Benefit Analysis from A

- Chain and Multi-Actor Perspective[J]. *Maritime Economics & Logistics*, 2005, 7(3): 223—249.
- [9] FRANCESCO M D, LAI M, ZUDDAS P. Maritime Repositioning of Empty Containers under Uncertain Port Disruptions[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 64(3): 827—837.
- [10] MOON I, NGOC A D D, KONINGS R. Foldable and Standard Containers in Empty Container Repositioning[J]. *Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review*, 2013, 49(1): 107—124.
- [11] 孙浩. 海陆多式联运空箱调运模型研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2010, 34(3): 533—541.  
SUN Hao. The Research on Allocation of Empty Container under the Framework of Sea-rail Intermodal Transportation[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2010, 34(3): 533—541.
- [12] 魏雪婷. 海陆联运下可折叠集装箱配置问题研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.  
WEI Xue-ting. The Allocation of Foldable Container under the Framework of Sea-rail Intermodal Transportation[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014.
- [13] SHINTANI K, KONINGS R, IMAI A. The Effect of Foldable Containers on the Costs of Container Fleet Management in Liner Shipping Networks[J]. *Maritime Economics & Logistics*, 2012, 14(4): 455—479.
- [14] 王斌. 海运集装箱调运随机优化模型[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2010, 10(3): 58—63.  
WANG Bin. Stochastic Optimization Model for Container Shipping of Sea Carriage[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2010, 10(3): 58—63.
- [15] 田昌彪. 基于最短距离优先的集装箱空箱调度优化算法[J]. *上海海事大学学报*, 2015, 34(4): 54—59.  
TIAN Chang-biao. Empty Container Allocation Optimization Algorithm Based on Shortest Distance Priority[J]. *Journal of Shanghai Maritime University*, 2015, 34(4): 54—59.