

物流工程

海上折叠集装箱空箱调运优化

张亚梅, 胡坚堃, 黄有方

(上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

摘要: **目的** 针对标准集装箱和可折集装箱一起参与的空箱调运问题, 找出影响可折叠空箱使用的关键因素。**方法** 通过混合整数非线性规划法对标准集装箱和折叠集装箱的调运总成本进行比较; 通过关键因素分析法对影响可折叠空箱使用的因素进行分析, 影响因素包括展开/折叠设备安装成本、运输成本、租箱成本和存储成本等。**结果** 运输成本是影响折叠箱使用的关键因素, 尤其当运输成本上升 30%~50%时, 使用可折叠空箱参与调运下的总运输成本提高了 16.92%, 22.37%, 27.37%, 而不使用可折叠空箱总调运成本提高了 22.48%, 28.67%, 34.60%。**结论** 折叠集装箱的使用受到多种因素影响, 在一定条件下使用折叠集装箱更具有经济性。

关键词: 标准集装箱; 折叠集装箱; 空箱调运; 混合整数非线性规划

中图分类号: U169.65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)05-0149-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.020

Optimization of Empty Container Transportation for Folding Containers at Sea

ZHANG Ya-mei, HU Jian-kun, HUANG You-fang

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to find out the key factors affecting the use of the foldable containers for the empty container transportation problem involving the standard containers and the foldable containers. The total transportation cost of standard and foldable containers was compared by mixed integer nonlinear programming and the factors affecting the use of folding boxes were analyzed by the key factor analysis method. Influencing factors included unfolding/folding equipment installation costs, transportation costs, rental costs and storage costs. Transportation cost was a key factor affecting the use of folding containers. When the transportation cost increased by 30%~50%, the total transportation cost of foldable containers in empty container transportation increased by 16.92%, 22.37% and 27.37%, while the total cost of transportation without foldable containers increased by 22.48%, 28.67% and 34.60%. The use of foldable containers is affected by many factors, and it is more economical to use foldable containers under certain conditions.

KEY WORDS: standard container; foldable container; empty container repositioning; mixed integer nonlinear programming

全球贸易网络扩大, 运输货物需求增加。集装箱需求急剧上升, 但高速发展且不平衡的跨太平洋贸易导致空箱问题产生。过剩空箱常需绕行全球, 海运空

箱调运成本占总成本的 30%, 陆上空箱调运成本占总成本 40%, 因此减少空箱调运成本具有研究价值^[1]。折叠空箱调运过程中通过折叠可节约 75%空间, 降低

收稿日期: 2018-11-16

基金项目: 国家自然科学基金 (415050010); 上海市科学技术委员会科研项目 (14DZ2280200)

作者简介: 张亚梅 (1994—), 女, 上海海事大学硕士生, 主攻港口物流。

通信作者: 胡坚堃 (1983—), 男, 工程师, 主要研究方向为航运物流。

运输成本和存储成本^[2]。可折叠箱制作材料成本较高,折叠与展开操作需要专门的设备与操作人员使其发展受到阻碍,普通集装箱占据集装箱大量市场。

集装箱空箱调运主要分为海上空箱调运和内陆空箱调运。在海上空箱调运研究中:Massimo Di Francesco^[3]等提出随机的多情况模型,提高港口中断情况下空箱调运网络正常运作的可能性;江玉杰^[4]考虑运力约束,建立基于航运公司合作的海运空箱调运优化模型;施欣等^[5]用数字仿真,何静静等^[6]用遗传算法,丁敏等^[7]用启发式算法,田昌彪等^[8]用最短路优先对海上空箱调运进行优化。在内陆空箱调运研究中:王斌^[9]用整数规划方法,以最低调运成本为目标,研究了内陆空箱多式联运优化问题;Crainic^[10]等提出内陆空箱调运的确定型网络模型和随机网络模型;Crainic^[11]等进一步研究了多重物资网络模型,使空箱在内陆转运过程中总成本最小。

关于可折叠集装箱研究文献相对较少,Ilkyeong Moon^[12]等在海上运输中用启发式算法探究可折叠集装箱的经济可行性;Koichi Shintani等^[13]用线性规划模型分析得出采用可折叠集装箱可以有效减少总调运成本;张丽娜^[14]研究了海陆联运下影响折叠空箱总调运成本的关键因素。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 Ilkyeong Moon^[15]研究的基础上,考虑了设备安装成本。在海运的运输模式下,为获得空箱总调运成本最小的目标建立调运优化模型,采用混合整数非线性规划对模型进行精确求解,评估使用可折叠箱的可行性以及探究影响可折叠空箱使用的关键因素。

1 问题描述

文中从标准集装箱空箱和折叠集装箱角度研究空箱调运优化问题,空箱调运系统见图1。该模型考虑需求港口个数为集合 $M\{1,2,...,m\}$,供给港口个数为集合 $N\{1,2,...,n\}$,调运周期为集合 $T\{1,2,...,t\}$ 的空箱调运情况。供给港口在每个周期内为需求港口提供标准空箱,展开的折叠空箱和折叠的折叠空箱,但是只有同时安装展开/折叠设备的2个港口才可以运输折叠的可折叠箱;同时供给港口之间不能相互调运空箱,需求港口之间也不能相互调运空箱。文中旨在通过最小化空箱调运总成本,找出影响总成本的关键因素,为实际应用提供理论基础。

2 基本模型

模型假设如下所述。

- 1) 每个港口的供给和需求相互独立。
- 2) 需求必须得到满足,如果需求不够,则首先

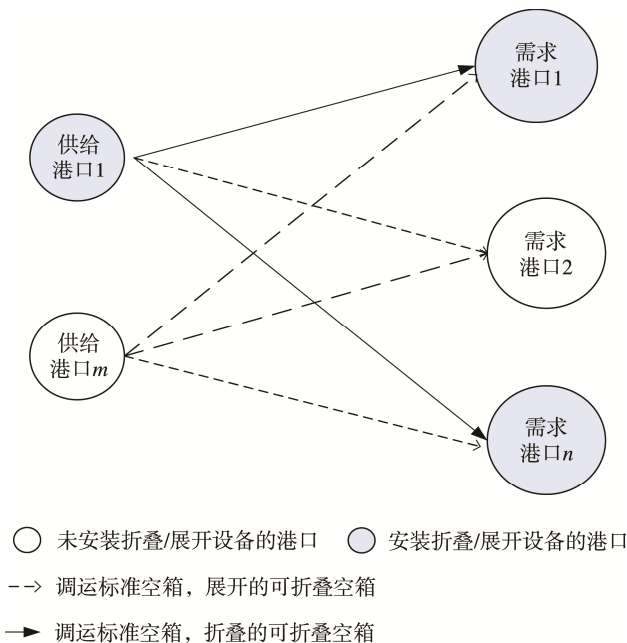


图1 空箱调运示意

Fig.1 Diagram of empty container repositioning

从库存寻找空箱。

3) 剩余的空箱在有设备的港口必须以折叠形式存储。

4) 租箱可以就地及时获取,不存在租箱上限。

5) 文中 TEU 皆是 20 英尺 (1 英尺=0.3048 m) 的标准集装箱和折叠集装箱。

6) 4 个折叠集装箱堆存体积为一个标准集装箱体积。

7) 4 个折叠式空箱折叠运输时占用一个标准箱体积,不足 4 个折叠运输时占用一个标准箱体积,折叠空箱在展开运输情况下和标准空箱一样。

8) 租箱时间至少在一个周期内,不考虑租箱期限内还箱、退箱。

索引: i, j 为供给港口 S 和需求港口 D 集合 ($i=1,2,...,S, j=1,2,...,D$); S, U, F 为标准空箱,展开的折叠空箱,折叠的折叠空箱; t 为周期 ($t=1,2,...,T$)。

参数: h_i^F 为折叠的空箱在港口的单位存储成本; c_{ij}^{TS} 为标准、展开空箱从港口 i 到港口 j 的单位运输成本; c_{ij}^{TF} 为折叠的空箱从港口 i 到港口 j 的单位运输成本; f_i 为在港口安装展开/折叠设备成本; c_i^{HS} 为标准空箱、展开的空箱在港口的单位装卸成本; c_i^{HF} 为折叠的空箱在港口的单位装卸成本; h_i^S 为标准空箱、展开的空箱在港口的单位存储成本; h_i^F 为折叠的空箱在港口的单位存储成本; b_j^S 为需求港口 j 的单位标准空箱租赁成本; b_j^F 为需求港口 j 的单位折叠空箱租赁成本; p_i^{fo} 为单位可折叠空箱折叠成本; p_i^{un} 为单位可折叠空箱展开成本; S_{it}^S 为港口 i 在周期 t 的标准空箱

供给量； S_{it}^U 为港口 i 在周期 t 的展开的折叠空箱供给量； S_{it}^F 为港口 i 在周期 t 的折叠空箱供给量； D_{jt} 为港口 j 在周期 t 的空箱需求量； V_{ijt} 为周期 t 从港口 i 运到港口 j 的最大空箱运输量； α_i 为 1 表示在港口安装展开/折叠装备，0 表示不在港口安装展开/折叠装备。

决策变量： S_{ijt} 为周期 t 从港口 i 运到港口 j 的标准空箱量； U_{ijt} 为周期 t 从港口 i 运到港口 j 的展开的空箱量； F_{ijt} 为周期 t 从港口 i 运到港口 j 的折叠的空箱量； L_{jt}^S 为港口 j 在周期 t 的标准空箱租赁量； L_{jt}^F 为港口 j 在周期 t 的可折叠空箱租赁量； I_{it}^S 为周期 t 的标准空箱平均存储量； I_{it}^U 为周期 t 的展开的可折叠空箱平均存储量； I_{it}^F 为周期 t 的折叠的空箱平均存储量； G_{it}^{fo} 为周期 t 需要折叠的空箱量； G_{it}^{un} 为周期 t 需要展开的可折叠空箱量。

数学模型：

$$\begin{aligned} \min & \sum_{i=1}^S f_i \alpha_i + \sum_{j=1}^D f_j \alpha_j + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^D \sum_{i=1}^S [c_{ij}^{TS} (S_{ijt} + U_{ijt}) + c_{ij}^{TF} F_{ijt}] + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^D \sum_{i=1}^S [(c_i^{HS} + c_j^{HS})(S_{ijt} + U_{ijt}) + (c_i^{HF} + c_j^{HF}) F_{ijt}] + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^S (h_i^S (I_{it}^S + I_{it}^U) + h_i^F I_{it}^F) + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^D (h_j^S (I_{jt}^S + I_{jt}^U) + h_j^F I_{jt}^F) + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^D (b_j^S L_{jt}^S + b_j^F L_{jt}^F) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^S (p_i^{fo} G_{it}^{fo} + p_i^{un} G_{it}^{un}) + \\ & \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^D (p_j^{fo} G_{jt}^{fo} + p_j^{un} G_{jt}^{un}) \end{aligned} \quad (1)$$

约束条件：

$$I_{it}^S = I_{it-1}^S + S_{it}^S - \sum_{j=1}^D S_{ijt} \quad \forall i, t \quad (2)$$

$$I_{it}^U + I_{it}^F = I_{it-1}^U + I_{it-1}^F + S_{it}^U + S_{it}^F - \sum_{j=1}^D U_{ijt} - \sum_{j=1}^D F_{ijt} \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$I_{jt}^S + I_{jt}^U + I_{jt}^F = I_{jt-1}^S + \sum_{i=1}^S S_{ijt} + L_{jt}^S + I_{jt-1}^U + I_{jt-1}^F + \sum_{i=1}^S U_{ijt} + \sum_{i=1}^S F_{ijt} + L_{jt}^F - D_{jt} \quad \forall j, t \quad (4)$$

$$(S_{it}^F - \sum_{j=1}^D F_{ijt} + S_{it}^U - \sum_{j=1}^D U_{ijt}) - G_{it}^{fo} \leq M(1 - \alpha_i) \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$(D_{jt} - S_{it}^S - S_{it}^U - S_{it}^F) - G_{it}^{un} \leq M(1 - \alpha_i) \quad \forall i, j, t \quad (6)$$

$$G_{it}^{un} \leq I_{it}^F \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$G_{jt}^{un} \leq I_{jt}^F \quad \forall j, t \quad (8)$$

$$(D_{jt} - \sum_{i=1}^S S_{ijt} - \sum_{i=1}^S U_{ijt} - \sum_{i=1}^S F_{ijt}) - G_{jt}^{un} \leq M(1 - \alpha_j) \quad \forall j, t \quad (9)$$

$$S_{ijt} + U_{ijt} + \lfloor 1/4 F_{ijt} \rfloor \leq V_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^S S_{ijt} + L_{jt}^S + I_{jt}^S + \sum_{i=1}^S U_{ijt} + \sum_{i=1}^S F_{ijt} + L_{jt}^F + I_{jt}^U + I_{jt}^F \geq D_{jt} \quad \forall j, t \quad (11)$$

$$F_{ijt} \leq M \alpha_i \alpha_j \quad \forall i, j, t \quad (12)$$

$$I_{it}^U \leq M(1 - \alpha_i) \quad \forall i, t \quad (13)$$

$$I_{it}^F \leq M \alpha_i \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$I_{jt}^U \leq M(1 - \alpha_j) \quad \forall j, t \quad (15)$$

$$I_{jt}^F \leq M \alpha_j \quad \forall j, t \quad (16)$$

$$X_i = \{1, 0\} \quad \forall i \quad (17)$$

$$I_{it}^S, I_{it}^U, I_{it}^F, L_{it}^S, L_{it}^F, S_{it}^S, S_{it}^U, S_{it}^F, S_{ijt}, U_{ijt}, F_{ijt}, G_{it}^{fo}, G_{it}^{un} \geq 0 \quad \forall i, t \quad (18)$$

目标方程 (1) 为空箱调运过程中总成本，包括安装设备成本、运输成本、装卸成本、存储成本、租箱成本和折叠展开成本。式 (2) 和式 (3) 为供给港口的空箱存储量应等于上一期存储量加上供给以后剩余的空箱。式 (4) 为需求港口的空箱存储量应等于上一期存储量加上此期从供给港口运来的空箱和该期租箱减去该期空箱需求量。式 (5) 表示该期供给港口需要折叠起来存储的空箱应小于等于该期剩余的可折叠空箱量。式 (6) 表示该期供给港口需要从库存展开的空箱应小于等于该期供应不足的量。式 (7—8) 表示折叠展开约束。式 (9) 表示该期需要从供给港口库存中展开的折叠空箱应小于等于该期供应不足的量。式 (10) 表示运力约束应大于等于标准空箱运输量，展开的折叠空箱运输量和 1/4 的折叠空箱运输量向上取整的求和。式 (11) 表示满足每期需求港口的需求。式 (12—16) 表示只有当港口有设备时才可以进行折叠的可折叠空箱的运输和存储，否则只能展开进行存储和运输。式 (17) 为 0—1 的变量，表示是否安装设备。

3 算例与分析

3.1 已知条件

1) 为简化模型，所假定的运输系统内有 2 个供给港口，每周期可以提供标准空箱、可折叠空箱；3 个需求港口，每周期有相应的空箱需求。

2) 该模型的计划周期适当取为 3T，简化模型且满足模型模拟环境需要，集装箱运输一般开辟周航线，故为 3 周；各个节点之间的各种运输方式都在一个计划时间段完成。

3) 各个港口初始标准空箱数和展开的折叠空箱数为 10 个，3 个周期内的供给和需求见表 1。

4) 设备安装成本初始值为 28 010 美元/年，该数据借鉴 Ilkyeong Moon^[15]等的研究内容。文中考虑周期为 3 周，因此按照时间分摊每台设备安装成本为

2000 美元/台。

5) 计划周期内各节点的空箱供给和需求见表 1, 每周单位空箱调运费用见表 2 (Konings and Thijs, 2001), 其中折叠状态的可折叠空箱调运费用是标准空箱的 1/4, 符合实际情况。

6) 折叠空箱的租箱成本是标准空箱租箱成本的 1.6 倍; 标准空箱存箱成本为 40 美元, 是折叠空箱的 4 倍; 装卸费用以及折叠/展开费用均价分别为 3, 6 美元, 允许有调整。表 2 所示数据是借鉴张丽娜^[14]等的研究内容。运力限制见表 4, 符合实际情况。

表 1 各节点的空箱供给和需求

Tab.1 Demand and supply of empty container for each node TEU

港口	周期		
	T_1	T_2	T_3
S_1 标准	25	30	35
S_1 展开	10	20	10
S_1 折叠	20	25	20
S_2 标准	25	20	40
S_2 展开	10	10	10
S_2 折叠	20	30	25
D_1	45	44	50
D_2	50	36	45
D_3	40	50	55

表 2 单位空箱调运成本

Tab.2 Unit empty container transportation cost \$/TEU

需求港口	供给港口		
	D_1	D_2	D_3
S_1 标准箱	120	200	160
S_2 标准箱	160	120	200
S_1 折叠箱	30	50	40
S_2 折叠箱	40	30	50

表 3 单位空箱成本

Tab.3 Unit empty container cost \$/TEU

港口	D_1	D_2	D_3	S_1	S_2
租箱 (标准)	200	200	210		
租箱 (折叠)	320	320	336		
存箱 (标准)	40	40	40	40	40
存箱 (折叠)	10	10	10	10	10
装卸	4	4	3	1	2
折叠/展开	5	5	7	6	6

3.2 算例运行结果

使用 LINGO12.0 建立模型, 对模型进行优化求解, 得到的空箱调运总成本见表 5。

表 4 运力限制

Tab.4 Capacity constraint TEU

港口	计划周期		
	T_1	T_2	T_3
(S_1, D_1)	30	35	40
(S_1, D_2)	30	20	20
(S_1, D_3)	45	30	30
(S_2, D_1)	30	40	30
(S_2, D_2)	22	30	15
(S_3, D_3)	35	30	20

由表 5 可知, 在安装设备的情况下, 运输总成本为 50 017 美元, 不安装设备的情况下运输总成本为 66 054 美元, 安装设备的情况比不安装设备的情况节约 32.06% 的成本。这是因为在不安装设备的情况下, 供给港口只能向需求港口运输标准空箱和展开的折叠空箱 (展开的折叠空箱和标准空箱体积容积、质量和作用相同), 但如果供给港口和需求港口之间安装展开/折叠设备则可以运输折叠的折叠空箱, 因此总成本差距主要由于是否在空箱调运过程中使用折叠空箱。

没有可折叠箱参与调运的租箱成本和运输费用都比有折叠箱的情况下高, 尤其是运输成本区别显著, 原因是折叠的集装箱在运输过程所占中体积只是标准箱的 25%, 这样在运力约束下以更小的运输成本运输更多的空箱, 更大程度满足需求港口空箱需求; 空箱租箱成本远大于运输成本, 供给港口在运力约束下最大限度满足需求港口每期需求, 从而减少需求港口的空箱租箱成本, 同时降低存储成本, 加快空箱流转速度, 最大限度降低空箱调运总成本, 尤其在 $T=1$ 时表现最明显。

模型运行结果表明在调运过程中是否运输折叠空箱对调运总成本有一定影响。为了进一步探究安装设备以及折叠集装箱的经济性, 下面对影响因素进行分析。

3.3 影响因素变动分析

1) 设备安装成本变动分析。在不改变空箱调运情况下, 设备安装成本会随着科技进步降低。当设备安装成本降低 10%~30% 时, 总成本分别为 49153, 48153, 47153 美元, 总成本降低比例分别为 1.70%, 3.70%, 5.70%, 为降低总成本做出贡献。

2) 租箱成本变动分析。当空箱调运不能满足需求港口需求时, 会选择租箱。租箱成本变动对总成本的影响见图 2, 在不改变空箱调运情况下当租箱成本上升 10%~50%, 标准箱的总成本分别为 66 673, 67 191, 67 680, 68 163, 68646 美元, 折叠箱的总成本分别为 50 491, 50 851, 51 211, 51 571, 51 931 美

表 5 是否安装设备的总成本比较
Tab.5 Comparison of the total cost of installing equipment \$

分类	不安装设备			安装设备		
	T=1	T=2	T=3	T=1	T=2	T=3
调运方案	40(S ₁ , D ₁)	35(S ₁ , D ₁)	34(S ₁ , D ₁)	12(S ₁ , D ₁)	45(S ₁ , D ₁)	40(S ₁ , D ₁)
	13(S ₁ , D ₂)	4(S ₂ , D ₂)	1(S ₁ , D ₂)	13(S ₁ , D ₂)	5(S ₁ , D ₂)	1(S ₁ , D ₂)
	27(S ₁ , D ₃)	30(S ₁ , D ₃)	30(S ₁ , D ₃)	30(S ₁ , D ₃)	21(S ₁ , D ₃)	24(S ₁ , D ₃)
	22(S ₂ , D ₂)	7(S ₂ , D ₁)	15(S ₂ , D ₁)	28(S ₂ , D ₁)	30(S ₂ , D ₂)	7(S ₂ , D ₁)
	8(S ₂ , D ₃)	30(S ₂ , D ₂)	15(S ₂ , D ₂)	22(S ₂ , D ₂)	30(S ₂ , D ₃)	15(S ₂ , D ₂)
租箱		18(S ₂ , D ₃)	20(S ₂ , D ₃)	5(S ₂ , D ₃)		28(S ₂ , D ₃)
	10(D ₂)		28(D ₂)	10(D ₂)		
			4(D ₃)			
存箱	5(S ₁)	32(S ₁)	5(S ₁)	5(S ₁)	54(S ₁)	9(S ₁)
	5(S ₂)	5(S ₂)	5(S ₂)	5(S ₂)	35(S ₂)	2(S ₂)
	5(D ₁)	3(D ₁)	2(D ₁)	5(D ₁)	6(D ₁)	3(D ₁)
	5(D ₂)	3(D ₂)	2(D ₂)	5(D ₂)	4(D ₂)	3(D ₂)
	5(D ₃)	3(D ₃)	2(D ₃)	5(D ₃)	6(D ₃)	3(D ₃)
租赁成本		8440			7400	
运输成本		52360			28690	
存储成本		3480			4010	
装卸成本		1774			1813	
展开/折叠成本					104	
总成本		66054			50017	

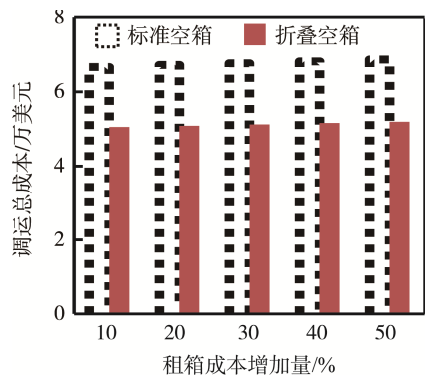


图 2 租箱成本变动对调运总成本的影响
Fig.2 Influence of empty container leasing cost change on total cost

元。折叠箱的总成本均小于标准箱的总成本，且增长速度小于标准箱，在 30%~50%更加明显，说明折叠箱在空箱调运过程具有优势。

运输成本变动分析。因石油价格的念书成本会随之增长，当运输成本上升 10%~50%时，标准箱和折叠箱的总成本上升情况见图 3，总成本整体呈上升趋势且标准箱总成本增长速度大于折叠箱，折叠箱的优势随着运输成本的上升越加明显，所以空箱调运中折叠箱使用具有经济性。

4) 存储成本变动分析。港口存储空间有限，港口单位存储成本也在逐渐增加，当存储成本上升

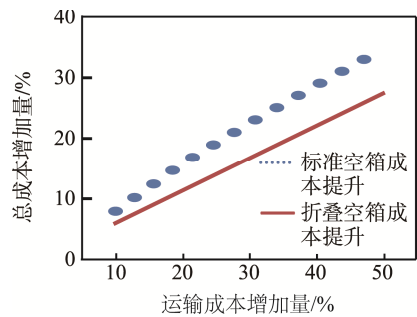


图 3 运输成本变动对总成本的影响
Fig.3 Influence of transportation cost change on total cost

10%~50%时，折叠箱总成本增长速度大于标准集装箱，且存储成本只在总成本中占很小一部分，因此对折叠箱的经济性影响不大。

5) 折叠/展开成本变动分析。随着技术的发展和配套设施的完善，折叠/展开成本降低会使折叠箱更具有经济性。当折叠/展开成本降低 10%~50%时，折叠箱总成本下降不明显，且折叠/展开成本在总成本中占很小的比例，所以它不是影响折叠箱的关键因素。

6) 变动结果的标准差分析。对以上因素变动情况进行标准差分析可得：运输成本（7.7037）>设备安装成本（2.2620）>租赁成本（1.0179）>存储成本（0.5727）>展开/折叠成本（0.1070）。由此可知运输成本对折叠箱使用影响最大。

4 结 语

文中评估了折叠集装箱在空箱调运中的可行性,对是否使用折叠集装箱的总成本进行比较,并对影响折叠集装箱的使用进行因素分析,发现运输成本和设备安装成本对折叠集装箱使用影响比较大。当运输成本上升 10%~20%时,折叠集装箱对于标准集装箱稍显优势,但随着运输成本逐渐上升至 30%~50%时,折叠集装箱相对标准集装箱优势愈加明显;同时设备安装成本对折叠集装箱的使用影响较大相对其他剩余因素,不可忽略其影响。文中的模型对航运公司空箱运输决策有借鉴意义,此外模型中标准箱和折叠箱均参与运输更好地模拟现实情况。文中是在长期租箱的情况下建立模型,未考虑模型期内的还箱问题,同时在约束条件下的运力运输中,由于 LINGO 求解模型时间过长,所以对该约束采取近似求解。未来将会研究短期租箱问题以及对该运力约束进行精确求解。

参考文献:

- [1] 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): 80—96.
LE Hong. Optimal Planning on System of Empty Container Allocation Based on Simulation Optimization Method[J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(5): 80—96.
- [2] 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.
- [3] MASSIMO D F, MICHELA L, PAOLA Z. Maritime Repositioning of Empty Containers under Uncertain Port Disruptions[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 64: 827—837.
- [4] 江玉杰, 韩晓龙. 航运公司合作下的海运空箱调运模糊优化模型[J]. 包装工程, 2018, 39(1): 151—156.
JIANG Yu-jie, HAN Xiao-long. Fuzzy Optimization Model of Maritime Empty Container Repositioning under the Cooperation of Shipping Companies[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 151—156.
- [5] 施欣. 集装箱海运空箱调运优化分析[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 4(4): 70—76.
SHI Xin. The Optimization of Sea-bound Empty Container Distribution[J]. System Engineering Theory and Practice, 2003, 4(4): 70—76.
- [6] 何静静, 王晓峰. 基于遗传算法的海运集装箱空箱调运成本优化[J]. 计算机系统应用, 2015, 24(1): 123—127.
- HE Jing-jing, WANG Xiao-feng. Empty Container Repositioning Cost Optimization of Shipping Container Based on Genetic Algorithm[J]. Computer System Application, 2015, 24(1): 123—127.
- [7] 丁敏, 孙文一, 顾伟红. 集装箱空箱调运的启发式算法优化研究[J]. 中国航海, 2008, 31(1): 75—82.
DING Min, SUN Wen-yi, GU Wei-hong. Research on the Optimization of Empty Containers Allocation Based on Heuristic Algorithm[J]. Navigation of China, 2008, 31(1): 75—82.
- [8] 田昌彪, 王晓峰. 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, 2013, 34(4): 54—58.
TIAN Chang-biao, WANG Xiao-feng. Empty Container Allocation Optimization Algorithm Based on Shortest Distance Priority[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2013, 34(4): 54—58.
- [9] 王斌, 王忠彬. 陆上空箱多式联运调运优化研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(3): 29—33.
WANG Bin, WANG Zhong-chen. Research about the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-carriage[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(3): 29—33.
- [10] CRAINIC T, GENDREAU M, DRJAX P. Dynamic Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers[J]. Operations Research, 1993, 41(1): 102—126.
- [11] CRAINIC T, GENDREAU M, SORIANO P, TOULOUSE M. A Tabu Search Procedure for Multi-commodity Location/Allocation with Balancing Requirements[J]. Annals of Research, 1993, 41(4): 359—384.
- [12] ILKYEONG M, ANH-DU D N, ROB K. Foldable and Standard Containers in Empty Container Repositioning[J]. Transportation Research, 2013, 49(1): 107—124.
- [13] KOICHI S, ROB K, AKIO I. The Impact of Foldable Containers on Container Fleet Management Costs in Hinterland Transport[J]. Transportation Research, 2010, 46(5): 750—763.
- [14] 张丽娜, 韩晓龙. 海陆联运下可折叠集装箱的空箱调运研究[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 112—117.
ZHANG Li-na, HAN Xiao-long. Optimization of Foldable Empty Containers Reposition under Sea-rail Transportation[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 112—117.
- [15] ILKYEONG M, HWAJIN H. Repositioning of Empty Containers Using both Standard and Foldable Containers[J]. Maritime Economics & Logistics, 2015, 18(1): 61—77.