

## 航运联盟空箱调运决策模型

江玉杰<sup>1</sup>, 高卓<sup>2</sup>

(1. 上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306; 2. 华南农业大学珠江学院 基础部, 广州 510900)

**摘要:** **目的** 研究航运公司之间合作调箱紧密程度对空箱调运总成本的影响。**方法** 考虑空箱调运时间窗, 以空箱调运总成本最小为目标, 建立航运联盟空箱调运决策模型, 然后通过具体算例, 研究“资源不共享、运力共享、空箱共享、运力和空箱同时共享”这 4 种调箱策略, 以及空箱调运时间窗和经济参数变化对空箱调运总成本的影响。**结果** 与资源不共享策略相比, 运力共享策略、空箱共享策略、运力和空箱同时共享策略下空箱调运总成本分别减少了 4.90%, 2.11%, 6.28%。**结论** 通过加大航运公司之间合作调箱的紧密程度, 不仅能降低其空箱调运总成本, 而且也能削弱空箱堆存费率和租赁费率的增加对空箱调运总成本的影响, 以及弱化空箱调运时间窗对空箱调运总成本的影响, 但空箱调运费率和运费加成因子的增加会缩小合作调箱紧密程度的优势。

**关键词:** 航运联盟; 空箱调运; 合作调箱; 紧密程度

**中图分类号:** U695.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)17-0111-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.17.018

## Decision Model of Shipping Alliance Empty Container Repositioning

JIANG Yu-jie<sup>1</sup>, GAO Zhuo<sup>2</sup>

(1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2. Department of Basic Courses, Zhujiang College Of South China Agricultural University, Guangzhou 510900, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the impact of tightness degree in cooperative empty container repositioning between shipping companies on the total cost of empty container repositioning. Considering empty container repositioning time window, with the minimization of the total cost of empty container repositioning as objective, the decision model of shipping alliance empty container repositioning was established. Then, through a specific example, the influence of four empty container repositioning strategies (including "resource not sharing strategy, shipping capacity sharing strategy, empty container sharing strategy, and simultaneous sharing of shipping capacity and empty container strategy"), empty container repositioning time window and the change of economic parameters on the total cost of empty container repositioning was studied. Compared with the resource not sharing strategy, the total cost of empty container repositioning under the shipping capacity sharing strategy, empty container sharing strategy, and simultaneous sharing of shipping capacity and empty container strategy were reduced by 4.90%, 2.11% and 6.28%, respectively. In conclusion, by strengthening the tightness degree in cooperative empty container repositioning between shipping companies, both the total cost of empty container repositioning and the influence of increasing cost rate in holding and leasing empty containers on the total cost of empty container repositioning can be weakened, and the influence of empty container repositioning time window on the total cost of empty container repositioning can also be lessened; nevertheless, the increase of cost rate in repositioning empty container and freight royalty factor may decrease the superiority in the tightness degree of cooperative empty container repositioning.

收稿日期: 2018-05-07

**基金项目:** 广东省特色创新类项目 (2016GXJK222); 广东省教育教学成果奖培育项目 (1322); 广东省普通高校青年创新人才项目 (2015KQNCX234); 2017 年广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目 (340); 上海海事大学研究生学术新人培育计划 (YXR2017014)

**作者简介:** 江玉杰 (1990—), 男, 上海海事大学硕士生, 主攻物流工程与管理。

**通信作者:** 高卓 (1981—), 男, 华南农业大学珠江学院讲师, 主要研究方向为随机运筹学。

**KEY WORDS:** shipping alliance; empty container repositioning; cooperative empty container repositioning; tightness degree

随着贸易全球化的深入发展,集装箱运输模式,由于其装卸效率高、货损率低和简化理货手续等优点,在国际运输体系,尤其是海运体系中的地位日益提高。然而,由于洲际贸易不平衡的持续加剧,集装箱作为一种可重复使用、价值量高的外包装,有时不得不以空箱状态从多空箱港口调运到缺空箱港口,从而产生海运空箱调运问题。虽然该问题不可避免,但合理的空箱调运策略,不仅能降低航运公司空箱调运总成本,而且也能提高企业空箱和运力资源利用率<sup>[1]</sup>。

目前,对海运空箱调运问题的研究主要从单独调箱策略和合作调箱策略 2 个方面展开。在单独调箱策略方面,Olivo 等<sup>[2]</sup>借助动态网络的思想,建立了基于最小费用流的空箱调运模型。郭子坚等<sup>[3]</sup>考虑租箱策略,建立了基于调租策略的海运空箱调运模型;王斌等<sup>[4]</sup>考虑空箱调运时间窗,研究海运空箱调运问题。Song 等<sup>[5]</sup>假设空箱需求为正态随机变量,建立了基于不确定目的港策略的海运空箱调运模型,而计明军等<sup>[6]</sup>在此文的基础上,深入研究 3 种模式、3 种分布对 2 种策略运营成本的影响。Song 等<sup>[7]</sup>提出“平衡重箱流”策略来缓解洲际贸易不平衡问题。韩晓龙等<sup>[8]</sup>研究了顾客服务水平与空箱调运总成本之间的关系。Meng 等<sup>[9]</sup>、田昌彪等<sup>[10]</sup>、芦立华等<sup>[11]</sup>分别提出航线优化、最短路优先、区域划分等策略来研究海运空箱调运问题。在合作调箱策略方面,Zheng 等<sup>[12]</sup>、杨洋<sup>[13]</sup>、邢玉伟等<sup>[14]</sup>在确定条件下分别研究航运公司采用空箱互换策略、空箱和运力共享策略、空箱互租策略对空箱调运总成本的影响,而徐文思等<sup>[15]</sup>考虑空箱需求的随机性和冷箱干用策略,研究顾客服务水平与空箱调运总利润之间的关系,但这些文献均未考虑空箱调运时间窗。

纵观现有文献,当前有关合作调箱方面的研究比较少,同时考虑空箱调运时间窗进行的研究更是少见。基于此,文中将从航运公司之间合作调箱角度出发,考虑空箱调运时间窗,建立航运联盟空箱调运决策模型,然后通过具体算例,研究“资源不共享、运力共享、空箱共享、运力和空箱同时共享”这 4 种调箱策略、考虑空箱调运时间窗和经济参数变化对空箱调运总成本的影响。

## 1 问题描述

海运空箱调运的效率将直接影响航运公司空箱调运总成本和资源利用率。受可调空箱数量、空箱运力限额和空箱调运时间窗等因素的影响,航运公司在单独空箱调运时,往往因某项资源的瓶颈而导致空箱

调运不及时和不合理,进而增加需箱港的租箱量,这样不仅会急剧地提高航运公司空箱调运总成本,而且也会浪费企业有限的资源。为了降低航运公司空箱调运总成本和提高市场竞争力,航运公司之间可以建立合作调箱机制,从而实现企业之间空箱和运力资源的优势互补。

依据调箱方式的差异,文中考虑以下 4 种调箱策略:资源不共享策略,记为 A 策略;运力共享策略,记为 B 策略;空箱共享策略,记为 C 策略;空箱和运力同时共享策略,记为 D 策略。其中,A 策略亦称为单独调箱策略,B、C、D 策略统称为合作调箱策略;这 4 种调箱策略中,航运公司之间合作调箱紧密程度从小到大依次为: $A < B = C < D$ 。在合作调箱机制下,航运公司之间只需支付加成的空箱调运成本,即可使用联盟企业空箱和运力资源。

为了便于研究,文中做出如下假设:同一航线上有几家互独立的航运公司,在不考虑空箱中转、往复运输的前提下,航运公司之间已达成免费用箱、加成运费的合作调箱协议;各决策周期内,供箱港的空箱供给量、需箱港的空箱需求量以及供需港口间空箱运力限额均为确定值;当调箱量无法满足货主用箱需求时,航运公司采用租箱策略来弥补其缺箱量,且租赁的空箱能够即可到付。

## 2 数学模型

### 2.1 符号说明

1) 下标集合。 $T(t \in T)$  为计划期内时间段集合; $I(i \in I)$  为供箱港集合; $J(j \in J)$  为需箱港集合; $P(p \in I \cup J = P)$  为港口集合; $K(k, g \in K; k \neq g)$  为航运公司集合。

2) 基本参数。 $S_{it}^k$  为航运公司  $k$  在  $t$  时期供箱港  $i$  的空箱供给量; $D_{jt}^k$  为航运公司  $k$  在  $t$  时期需箱港  $j$  的空箱需求量; $C_p^{\text{stb}}$  为航运公司  $k$  在港口  $p$  的空箱堆存费率; $C_j^{\text{rk}}$  为航运公司  $k$  在需箱港  $j$  的空箱租赁费率; $C_{ij}^{\text{ks}}$  为航运公司  $k$  从供箱港  $i$  调运空箱到需箱港  $j$  的调运费率,包括空箱的装箱费率、运输费率和卸箱费率等; $O_{ij}^k$  为航运公司  $k$  从供箱港  $i$  调运空箱到需箱港  $j$  所需的决策期数; $U_{ij}^k$  为航运公司  $k$  在  $t$  时期从供箱港  $i$  调运空箱到需箱港  $j$  的运力限额; $\omega^{kg}$  为航运公司  $k$  和航运公司  $g$  之间所达成的运费加成因子; $L_j^k$  为航运公司  $k$  在需箱港  $j$  的租箱限额。

3) 决策变量。 $x_{ij}^k$  为  $t$  时期航运公司  $k$  使用自有空箱和运力从供箱港  $i$  调运空箱到需箱港  $j$  的数量;

$y_{ij}^{kg}$  为  $t$  时期航运公司  $k$  使用航运公司  $g$  的运力从供箱港  $i$  调运自有空箱到需箱港  $j$  的数量;  $e_{ij}^{kg}$  为  $t$  时期航运公司  $k$  使用自有运力从供箱港  $i$  调运来自航运公司  $g$  的空箱到需箱港  $j$  的数量;  $f_{ij}^{kg}$  为  $t$  时期航运公司  $g$  使用自有空箱和运力为航运公司  $k$  从供箱港  $i$  调运空箱到需箱港  $j$  的数量;  $r_{ij}^k$  为  $t$  时期航运公司  $k$  在需箱港  $j$  的空箱租赁量;  $v_p^k$  为  $t$  时期航运公司  $k$  在港口  $p$  的空箱堆存量。

## 2.2 模型构建

在海运空箱调运系统中, 计划期  $T$  内涉及的成本包括:

1) 空箱堆存成本  $C_1$ , 由所有参与合作调箱的航运公司在各港口的空箱堆存量乘以空箱堆存费率的总和组成。

$$C_1 = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} C_{tp}^{KH} v_{tp}^k$$

2) 空箱租赁成本  $C_2$ , 由所有参与合作调箱的航运公司在各需箱港的空箱租赁量乘以空箱租赁费率的总和组成。

$$C_2 = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} C_{tj}^{KR} r_{tj}^k$$

3) 空箱调运成本  $C_3$ , 由所有参与合作调箱的航运公司的空箱调运量乘以空箱调运费率的总和组成。

$$C_3 = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{tj}^{KS} x_{tj}^{ki} + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{m \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{tj}^{KS} z_{tj}^{km} + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{m \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{tj}^{GS} (y_{tj}^{kg} + f_{tj}^{kg}) (1 + \omega^{kg})$$

根据上述描述, 以空箱调运总成本最小为目标, 可得航运联盟空箱调运模型的目标函数为:

$$\text{Min } C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1)$$

航运联盟空箱调运模型的约束条件如下所述。

1) 航运公司在供箱港的空箱堆存量约束, 即  $t$  时期航运公司  $k$  在供箱港  $i$  所堆存的空箱量 =  $t-1$  时期所堆存的空箱量 + 第  $t$  时期空箱供给量 -  $t$  时期使用自有或联盟企业的运力从供箱港  $i$  调出的自有空箱量, 则:

$$v_{ti}^k = v_{t-1,i}^k + S_{ti}^k - x_{tj}^{ki} - \sum_j (y_{tj}^{kg} + e_{tj}^{kg} + f_{tj}^{kg}) \quad (2)$$

2) 航运公司在需箱港的空箱堆存量约束, 即  $t$  时期航运公司  $k$  在需箱港  $j$  所堆存的空箱量 =  $t-1$  时期所堆存的空箱量 +  $t$  时期所租赁的空箱量 -  $t$  时期空箱需求量 +  $t$  时期空箱调入量, 则:

$$v_{tj}^k = v_{t-1,j}^k + r_{tj}^k - D_{tj}^k + \sum_i x_{t-O_{ij}^k, ij}^k + \sum_i (y_{t-O_{ij}^k, ij}^{kg} + e_{t-O_{ij}^k, ij}^{kg} + f_{t-O_{ij}^k, ij}^{kg}) \quad (3)$$

3) 供需港口间空箱运力约束, 即  $t$  时期航运公司  $k$  从供箱港  $i$  调运空箱 (包括自有和联盟企业的空

箱) 到需箱港  $j$  的数量 ≤ 其空箱运力限额, 则:

$$x_{tj}^{ki} + y_{tj}^{kg} + e_{tj}^{kg} + f_{tj}^{kg} \leq U_{tj}^k \quad (4)$$

4) 航运公司在需箱港的空箱租赁量约束, 即  $t$  时期航运公司  $k$  在需箱港  $j$  的空箱租赁量 ≤ 其租箱限额:

$$r_{tj}^k \leq L_j^k \quad (5)$$

5) 决策变量 (具体见 2.1 节) 为非负整数约束, 则:

$$x_{tj}^{ki}, y_{tj}^{kg}, e_{tj}^{kg}, f_{tj}^{kg}, r_{tj}^k, v_{ti}^k, v_{tj}^k \in \mathbb{N} \quad (6)$$

将数学模型中决策变量  $y_{tj}^{kg}$ ,  $e_{tj}^{kg}$ ,  $f_{tj}^{kg}$  全部令为 0, 可得 A 策略下各航运公司最佳空箱调运方案; 将数学模型中决策变量  $e_{tj}^{kg}$ ,  $f_{tj}^{kg}$  全部令为 0, 可得 B 策略下航运联盟最佳空箱调运方案; 将数学模型中决策变量  $y_{tj}^{kg}$ ,  $f_{tj}^{kg}$  全部令为 0, 可得 C 策略下航运联盟最佳空箱调运方案; 求解文中所建数学模型, 可得 D 策略下航运联盟最佳空箱调运方案。

## 3 算例分析

### 3.1 已知条件

1) 假定航运公司  $m$  和  $n$  在一条覆盖 5 个港口的美西南航线上准备达成免费用箱、加成运费的合作调箱协议。对于 2 家航运公司而言, 位于美国的塔科马、奥克兰和长滩为供箱港, 位于中国的香港和盐田为需箱港。

2) 未来 3 个决策期内, 供箱港的空箱供给量、需箱港的空箱需求量以及供需港口间空箱运力限额、空箱调运费率和所需决策期数分别见表 1—5。

表 1 供箱港的空箱供给量

Tab.1 Empty container supply at surplus ports

| 决策阶段 | 塔科马   | 奥克兰   | 长滩    |
|------|-------|-------|-------|
| 1    | 60/78 | 46/65 | 65/82 |
| 2    | 80/55 | 70/68 | 79/76 |
| 3    | 76/48 | 68/32 | 60/28 |

注: \*/\* 为航运公司  $m/n$  的供箱港空箱供给量, 单位为箱

表 2 需箱港的空箱需求量

Tab.2 Empty container demand at deficit ports

| 决策阶段 | 香港    | 盐田    |
|------|-------|-------|
| 1    | 78/58 | 88/89 |
| 2    | 82/87 | 66/84 |
| 3    | 92/79 | 76/98 |

注: \*/\* 为航运公司  $m/n$  的需箱港空箱需求量, 单位为箱

3) 航运公司  $m/n$  的供需港口每期空箱堆存费率

表 3 供需港口间空箱运力限额  
Tab.3 Empty container shipping capacity limit  
between surplus and deficit ports

| 决策阶段 | 供需港口 | 香港    | 盐田    |
|------|------|-------|-------|
| 1    | 塔科马  | 21/20 | 12/34 |
|      | 奥克兰  | 23/6  | 10/28 |
|      | 长滩   | 32/13 | 37/7  |
| 2    | 塔科马  | 24/29 | 14/32 |
|      | 奥克兰  | 25/55 | 45/46 |
|      | 长滩   | 32/30 | 8/26  |
| 3    | 塔科马  | 23/59 | 32/43 |
|      | 奥克兰  | 12/32 | 57/18 |
|      | 长滩   | 33/21 | 28/33 |

注: \*/\*为航运公司  $m/n$  的供需港口间最大可运空箱数量, 单位为箱

表 4 供需港口间空箱运输费率  
Tab.4 Empty container shipping cost between  
surplus and deficit ports

| 供需港口 | 香港      | 盐田      |
|------|---------|---------|
| 塔科马  | 170/150 | 125/170 |
| 奥克兰  | 140/175 | 200/146 |
| 长滩   | 130/185 | 134/140 |

注: \*/\*为航运公司  $m/n$  的供需港口间空箱运输成本, 单位为美元/箱

分别为 42/38, 45/34, 40/30, 24/26, 30/27 箱/美元; 航

表 6 不同调箱策略下的各种成本情况

Tab.6 Various cost conditions under different empty container repositioning strategies

| 策略 | 空箱堆存成本 | 空箱租赁成本 | 空箱调运成本 | 空箱调运总成本 |
|----|--------|--------|--------|---------|
| A  | 4.65   | 6.48   | 10.06  | 21.19   |
| B  | 4.24   | 5.24   | 10.67  | 20.16   |
| C  | 4.20   | 6.48   | 10.07  | 20.75   |
| D  | 4.00   | 5.13   | 10.74  | 19.86   |

由此可知, 加大航运公司之间合作调箱紧密程度, 能够在不大幅增加空箱调运成本前提下急剧降低空箱堆存成本和租赁成本, 从而使得联盟企业空箱调运总成本进一步的降低。其原因在于: 随着合作调箱紧密程度提高, 航运公司可以利用联盟企业空箱和运力资源就会越多, 越能削弱调运系统中某些资源瓶颈的影响, 这样既可以提高调运系统中空箱和运力资源的利用率, 又可以提高调运系统的运输弹性, 从而降低联盟企业空箱调运总成本。

### 3.3 空箱调运时间窗分析

由图 1 可知, 当 2 家航运公司考虑空箱调运时间窗时, 4 种调箱策略的空箱堆存成本、空箱租赁成本和空箱调运总成本均有明显地增加, 而空箱调运成本均有明显地降低; 在 4 种调箱策略中, A 策略的空箱

运公司  $m/n$  的需箱港每期空箱租赁费率分别为 370/390, 340/320 箱/美元; 航运公司  $m/n$  的需箱港每期租箱限额分别为 70/55, 60/70 箱; 决策期开始时, 航运公司  $m/n$  的供需港口的空箱堆存量分别为 16/15, 18/12, 20/12, 30/28, 22/32 箱; 运费加成因子设置为 0.1。

表 5 供需港口间空箱调运所需决策期数  
Tab.5 Empty container shipping decision-making cycles  
between surplus and deficit ports

| 供需港口 | 香港  | 盐田  |
|------|-----|-----|
| 塔科马  | 1/0 | 0/1 |
| 奥克兰  | 0/1 | 3/0 |
| 长滩   | 0/2 | 0/0 |

注: \*/\*为航运公司  $m/n$  的供需港口间空箱调运所需决策期数, 单位为周

### 3.2 计算结果分析

运用 LINGO12.0 软件编程求解上述算例, 可得 2 家航运公司采用 4 种调箱策略的各种成本情况, 具体数据见表 6。由表 6 中的数据统计可知, 与 A 策略相比, B, C, D 策略的空箱调运总成本分别减少 4.90%, 2.11%, 6.28%, 其中, 8.71%, 9.07%, 14.02%来自空箱堆存成本的降低, 19.18%, 0.00%, 20.88%来自空箱租赁成本的降低, 6.06%, 0.04%, 6.69%来自空箱调运成本的增加。

堆存成本、空箱租赁成本和空箱调运总成本/空箱调运成本的增加/减少幅度最大, 而 D 策略的空箱堆存

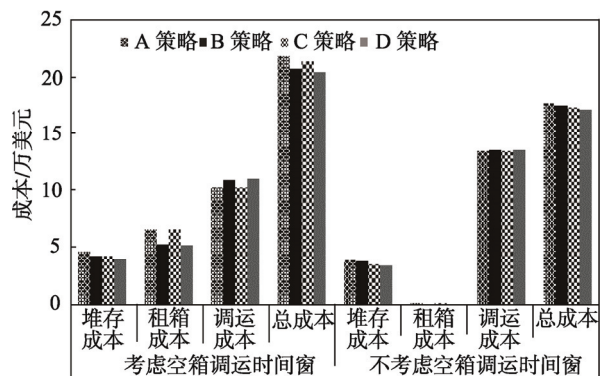


图 1 空箱调运时间窗对各种成本的影响  
Fig.1 Influence of empty container repositioning  
time window on various costs

成本、空箱租赁成本和空箱调运总成本/空箱调运成本的增加/减少幅度最小。

由此可见,加大航运公司之间合作调箱紧密程度能够降低空箱调运时间窗对空箱调运总成本的影响。其原因在于:航运公司采用单独调箱策略时,受空箱调运时间窗的影响非常大,进而使得调运系统中的各种成本均有大幅上涨,但是当航运公司加大合作调箱紧密程度时,联盟企业可以充分利用联盟企业的空箱和运力资源削弱空箱调运时间窗对调运系统的影响,进而降低调运系统中的空箱堆存量 and 空箱租赁量,以及提高调运系统的空箱运输效率,从而降低空箱调运时间窗对空箱调运总成本的影响。

### 3.4 经济参数变化分析

#### 3.4.1 空箱堆存费率

由图2可知,随着空箱堆存费率的增加,4种调箱策略的空箱调运总成本均呈现减速增长的趋势;不管空箱堆存费率如何变化,A策略的空箱调运总成本最大,而D策略的空箱调运总成本最小。经相关计算可知,当空箱堆存费率以0.8为步长从0增加到4.0倍时,A/B/C/D策略的空箱调运总成本变动的平均值为29.69/27.79/28.61/27.33万美元,而其标准差为6.11/5.45/5.65/5.36。由此可知,加大航运公司之间合作调箱紧密程度能够弱化空箱堆存费率增加对空箱调运总成本的影响。

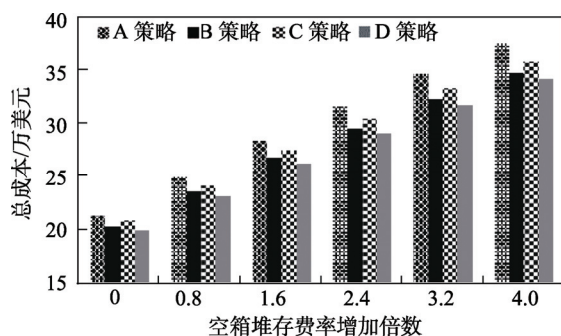


图2 空箱堆存费率变化对总成本的影响  
Fig.2 Impact of change in empty container storage rate on total cost

#### 3.4.2 空箱租赁费率

由图3可知,随着空箱租赁费率的增加,4种调箱策略的空箱调运总成本均呈现平稳上升的趋势,但B、C、D策略的空箱调运总成本增长速度明显慢于A策略;不管空箱租赁费率如何变化,A策略的空箱调运总成本最大,而D策略的空箱调运总成本最小。经相关计算可知,当空箱租赁费率以0.8为步长从0增加到4.0倍时,A/B/C/D策略的空箱调运总成本变动的平均值为34.15/30.46/33.71/30.12万美元,而其

标准差为8.85/7.02/8.85/7.00。由此可知,加大航运公司之间合作调箱紧密程度能够弱化空箱租赁费率增加对空箱调运总成本的影响。

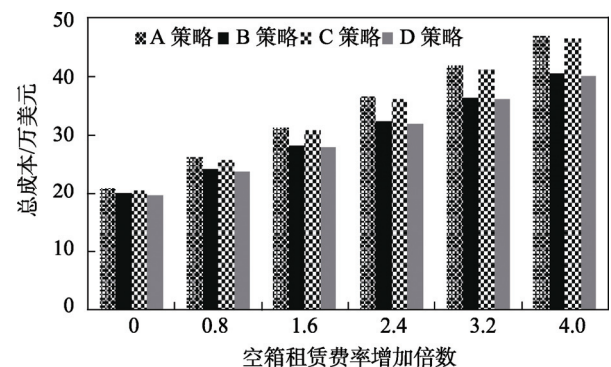


图3 空箱租赁费率变化对总成本的影响  
Fig.3 Impact of change in empty container rental rate on total cost

#### 3.4.3 空箱调运费率

由图4可知,随着空箱调运费率的增加,4种调箱策略的空箱调运总成本均呈现减速上升的趋势,且与A策略相比,B、C、D策略的优势越来越小。由此可见,空箱调运费率的增加会缩小合作调箱紧密程度的优势。其原因在于:随着空箱调运费率的增加,需箱港的空箱租赁费率相对而言就会下降,当空箱租赁费率远小于调运费率时,航运公司就会就地租箱无需进行空箱调运,此时无论是运力共享策略或空箱共享策略,还是空箱和运力同时共享策略,都会失效。在实际业务中,由于空箱租赁费率远大于调运费率,使得航运公司进行合作调运空箱就显得非常必要。

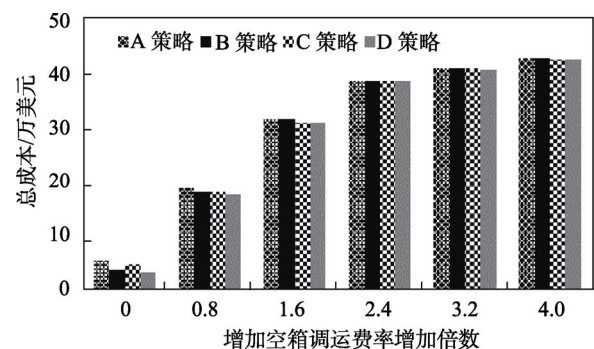


图4 空箱调运费率变化对总成本的影响  
Fig.4 Impact of change in empty container shipping rate on total cost

#### 3.4.4 运费加成因子

由图5可知,随着运费加成因子的增加,A和C策略的空箱调运总成本保持不变,而B和D策略的空箱调运总成本呈现减速上升的趋势,且当运费加成因子大于等于2.0时,A和B策略的空箱调运总成本均为21.20万美元,而C和D策略的空箱调运总成本

均为 20.75 万元。其原因在于：随着运费加成因子的增加，航运公司借助联盟企业的运力资源进行空箱调运的优势就会下降，且当运费加成因子大于等于 2.0 时，航运公司采取运力合作调运空箱（即 B 策略或 D 策略）所获收益低于其不采取相应措施（即 A 策略或 C 策略），此时无需进行运力合作进行空箱调运；C 策略的空箱调运总成本低于 A 策略的原因在于 C 策略除运力资源共享外，还进行了空箱资源共享，即因空箱资源共享而使得航运公司空箱调运总成本降低 0.45 万美元。由此可知，加大航运公司之间合作调箱紧密程度能够缩小运费加成因子增加对空箱调运总成本的影响。此外，2 家航运公司应结合实际情况合理地在 0~2.0 之间设置运费加成因子，以提高航运公司之间合作调箱的稳定性。

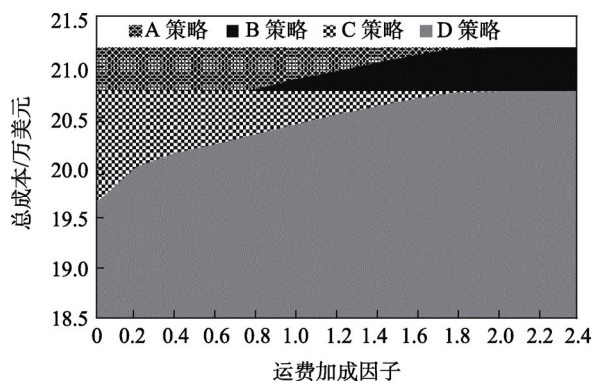


图 5 运费加成因子变化对总成本的影响

Fig.5 Impact of change in freight royalty factor on total cost

#### 4 结语

从航运公司之间合作调箱角度出发，考虑空箱调运时间窗，研究了不同调箱策略对空箱调运总成本的影响。文中依据合作调箱方式的差异，提出 4 种调箱策略，即资源不共享策略（A 策略）、运力共享策略（B 策略）、空箱共享策略（C 策略）、空箱和运力同时共享策略（D 策略），并建立相应数学模型，然后通过具体算例，验证模型的可行性和有效性。算例结果表明，加大航运公司之间合作调箱紧密程度，不仅能降低其空箱调运总成本，而且也能削弱空箱堆存费率和租赁费率的增加对空箱调运总成本的影响，以及弱化空箱调运时间窗对空箱调运总成本的影响，但空箱调运费率和运费加成因子的增加会缩小合作调箱紧密程度的优势。

#### 参考文献：

- [1] 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.

- [2] OLIVO A, ZUDDAS P, FRANCESCO M D, et al. An Operational Model for Empty Container Management[J]. Maritime Economics & Logistics, 2005, 7(3): 199—222.
- [3] 郭子坚, 李雪野, 唐国磊, 等. 基于空箱调运与租箱混合策略的集装箱海运网络优化[J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(3): 47—50.  
GUO Zi-jian, LI Xue-ye, TANG Guo-lei, et al. A Marine Container Transport Optimization Model Based on Mixed Strategy of Empty Container Distribution and Leasing[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2011, 37(3): 47—50.
- [4] 王斌, 卢毅勤, 朱木元. 集装箱空箱海上调运优化模型[J]. 船海工程, 2005, 32(6): 72—74.  
WANG Bing, LU Yi-qin, ZHU Mu-yuan. Optimization of the Reposition of Sea-bound Empty Container[J]. Ship and Ocean Engineering, 2005, 32(6): 72—74.
- [5] SONG D P, DONG J X. Effectiveness of an Empty Container Repositioning Policy with Flexible Destination Ports[J]. Transport Policy, 2011, 18(1): 92—101.
- [6] 计明军, 王清斌, 张新宇. 沿海港口集装箱空箱调运策略优化模型[J]. 运筹与管理, 2014, 23(1): 80—89.  
JI Ming-jun, WANG Qing-bin, ZHANG Xin-yu, et al. Optimal Model for Allocation and Transportation Strategies of Empty Containers between Coastal Ports[J]. Operations Research and Management Science, 2014, 23(1): 80—89.
- [7] SONG D P, DONG J X. Flow Balancing-based Empty Container Repositioning in Typical Shipping Service Routes[J]. Maritime Economics & Logistics, 2011, 13(1): 61—77.
- [8] 韩晓龙, 童辉. 随机需求下考虑多目标的空箱调运研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(2): 764—772.  
HAN Xiao-long, TONG Hui. Empty Containers Dispatching Optimization with Multi-objective Based on Random Demand[J]. Journal of Guangxi University, 2017, 42(2): 764—772.
- [9] MENG Q, WANG S. Liner Shipping Service Network Design with Empty Container Repositioning[J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2011, 47(5): 695—708.
- [10] 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, 2015, 34(4): 54—59.
- [11] 芦立华, 张恒振, 王晓峰. 跨区域远洋航线空集装箱动态调运优化模型[J]. 计算机工程与应用,

- 2015, 51(22): 199—205.
- LU Li-hua, ZHANG Heng-zhen, WANG Xiao-feng. Across-region Dynamic Empty Containers Repositioning Optimization Model[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(22): 199—205.
- [12] ZHENG J F, SUN Z, Gao Z Y. Empty Container Exchange among Liner Carriers[J]. Transportation Research Part E, 2015, 83: 158—169.
- [13] 杨洋. 基于班轮公司合作的海运空箱调运优化模型[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(1): 120—124.
- YANG Yang. Stochastic Integer Programming Allocation Model of Empty Container by Sea Transportation for Liner Operators' Cooperation[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2011, 45(1): 120—124.
- [14] 邢玉伟, 杨华龙, 储飞飞. 基于互租战略的班轮联盟空箱调运[J]. 大连海事大学学报, 2016, 42(1): 101—106.
- XING Yu-wei, YANG Hua-long, CHU Fei-fei. Empty Container Reposition in Liner Alliance Based on Mutually Renting Strategy[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2016, 42(1): 101—106.
- [15] 徐文思, 张荣. 航运公司合作下的海运冷藏箱空箱调租优化模型[J]. 大连海事大学学报, 2016, 42(4): 105—111.
- XU Wen-si, ZHANG Rong. Optimal Model of Maritime Empty Reefer Repositioning and Leasing under Shipping Companies' Cooperation[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2016, 42(4): 105—111.