

随机环境下班轮公司之间合作调箱研究

江玉杰¹, 姚志刚²

(1.上海海事大学, 上海 201306; 2.四川警察学院, 泸州 646000)

摘要: **目的** 研究随机因素对 2 种调箱方式的影响, 以体现合作调箱方式在随机环境下的优越性。**方法** 综合考虑港口空箱需求和空箱运力限额的随机性, 以决策周期内调箱总成本最小为目标, 构建随机环境下班轮公司之间合作调箱模型, 然后通过算例, 研究不同港口服务水平和运力限制水平对 2 种调箱方式的影响, 以及对调箱系统中随机因素进行灵敏度分析。**结果** 当班轮公司采用保守-成本型决策、保守-服务型决策、冒险-成本型决策、冒险-服务型决策时, 2 种调箱方式的总成本差值分别为 9638, 22 862, 10 710, 19 284 美元。**结论** 降低运力限制水平可以压缩调箱总成本, 但是提高港口服务水平会增加调箱总成本, 且当港口服务水平和运力限制水平均处于高值时, 合作调箱方式的优势更加显著; 与单独调箱方式相比, 合作调箱方式可以降低调箱系统中随机因素波动对调箱总成本的影响。

关键词: 班轮公司; 单独调箱方式; 合作调箱方式; 多重随机性

中图分类号: U695.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)05-0162-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.022

Collaborative Empty Container Allocation between Liner Companies in Random Environment

JIANG Yu-jie¹, YAO Zhi-gang²

(1.Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 2.Sichuan Police College, Luzhou 646000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the impact of random factors on two empty container allocation modes in order to show the superiority of collaborative empty container allocation mode in random environment. Considering the randomness of empty container demand in a port and empty container shipping capacity limit, the minimum cost of empty container allocation in the decision period was taken as objective to set up the collaborative empty container allocation model between liner companies in random environment. Then, through an example, the influence of different port service level and capacity restriction level on empty container allocation decision was discussed, and the sensitivity of stochastic factors in the empty container allocation system was analyzed. When liner companies adopted the conservative-cost decision, the conservative-service decision, the risk-cost decision, and the risk-service decision, the total cost difference of two empty container allocation modes was respectively 9638, 22 862, 10 710, and 19 284 dollars. In summary, reducing the capacity restriction level can compress the total cost of empty container allocation, but increasing the port service level will add the total cost of empty container allocation, and the advantage of collaborative empty container allocation mode is more obvious when the port service level and the capacity restriction level are at a high level. Compared with the individual empty container allocation mode, the collaborative empty container allocation mode can weaken the influence of

收稿日期: 2018-06-18

基金项目: 江苏省社科应用研究精品工程项目 (18SYC-169); 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, 主攻物流与供应链管理。

通信作者: 姚志刚 (1973—), 男, 博士, 四川警察学院讲师, 主要研究方向为公司财务与公司治理, 公司决策。

stochastic factor fluctuation in the empty container allocation system on the total cost of empty container allocation.

KEY WORDS: liner companies; individual empty container allocation mode; collaborative empty container allocation mode; multiple random factors

由于洲际之间经济发展水平、产业结构特点和季节性消费等因素,使得不同区域的贸易进出量不均衡,进而促使航运公司进行空箱调运活动^[1]。近几年,由于集装箱运价持续走低的影响,使得班轮公司经营战略从原先的市场扩张转向成本管理。根据行业内相关数据显示,与空箱调运活动相关的成本占班轮公司运营成本的20%以上^[2],因此,合理的空箱调运决策对班轮公司降低运营成本至关重要。

依据调箱系统的环境和班轮公司之间是否合作调箱,可将现有研究分为以下4个方向:确定环境下单独调箱研究,如郭子坚等^[3]、CHAO等^[4]和芦立华^[5]等分别提出空箱调租策略、时空网络模型和区域划分策略来优化空箱调运决策;随机环境下单独调箱研究,如王斌等^[6]、SONG等^[7]和韩晓龙等^[8]考虑需箱港用箱需求的随机性分别提出空重箱协同运输模型、不确定目的港策略和成本-服务联合策略来优化空箱调运决策;确定环境下合作调箱研究,如曹湘妃^[9]、邢玉伟等^[10]分别提出调箱资源共享策略、空箱互租策略来优化空箱调运决策;随机环境下合作调箱研究,如汪传旭等^[11]考虑港口空箱需求的随机性和港口空箱配对转运策略,研究合作调箱方式对空箱调运决策的影响。

纵观现有文献,当前国内外学者对随机环境下班轮公司之间合作调箱问题的研究比较少。在实际业务中,班轮公司根据载货集装箱到港时刻和收货人取货速度,基于“重箱返空”机制,可计算出港口的空箱供给数量,但由于航运市场中存在临时性空箱需求,使得港口的空箱需求和供需港口间空箱运力限额存在正态随机性^[6-8,11-13]。为此,文中综合考虑港口空箱需求和空箱运力限额的随机性,构建随机环境下班轮公司之间合作调箱模型,然后通过具体算例,研究不同港口服务水平和运力限制水平对2种调箱方式的影响,以及对调箱系统中随机因素进行灵敏度分析。

1 问题描述

在集装箱流转过程中,倘若某港口在一定时间内空箱现有量大于其需求量,则该港口将会出现空箱富余,此时会增加班轮公司的空箱存贮成本;倘若某港口在一定时间内空箱现有量小于其需求量,则该港口将会出现空箱短缺,此时为了满足托运人用箱需求,班轮公司会向租赁公司租用空箱,但采用租箱策略会急剧地增加班轮公司的调箱总成本。为了消除或削弱这种现象的影响,以及考虑空箱调运时间窗和空箱运

力限额等因素,班轮公司会估算未来几个决策期内每个港口空箱供需差情况,以便进行多周期空箱调运决策。

在实际业务中,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,班轮公司在进行单独空箱调运活动时,往往因某项资源的瓶颈而导致空箱调运不及时和不合理,进而增加需箱港的空箱租赁量,这样不仅会增加班轮公司的调箱总成本,而且也会浪费企业有限的空箱和运力资源。为了降低企业运营成本和提高市场竞争力,班轮公司可以采用合作调箱的方式来优化空箱调运活动,从而实现空箱和运力资源之间的优势互补。基于此,文中所提随机环境下班轮公司之间合作调箱问题可以描述为:班轮公司在运用统计分析等方法获取各决策期内每个港口空箱的需求量和重箱返空量、空箱运力限额等信息的条件下,采用合作调箱方式优化每个港口空箱的存贮、租赁和调运活动,进而减少多箱港的空箱存贮量和需箱港的空箱租赁量,从而使得包含空箱存贮成本、租赁成本和运输成本在内的调箱总成本最小。

2 数学模型

2.1 模型构建

2.1.1 基本假设

1) 有几家班轮公司在一条航线上已达成两两合作的空箱调运协议,即班轮公司之间可以免费使用对方的空箱资源,但使用运力资源时需支付加成的运输成本。

2) 在决策期内各港口所属性质不变的前提下,每个港口重箱返空的空箱量已知,而每个港口空箱需求和供需港口间空箱运力限额均服从正态分布。

3) 当港口空箱现有量无法满足托运人用箱需求时,班轮公司采用租箱策略来弥补其缺箱量,且租箱提前期为零。

2.1.2 符号说明

1) 索引。 T ($t \in T$) 为计划周期集合; I ($i \in I$) 为多箱港集合; J ($j \in J$) 为需箱港集合; K ($k, m \in K$ 且 $k \neq m$) 为班轮公司集合; P ($p \in I \cup J = P$) 为港口集合。

2) 基本参数。 S_{ip}^k 为 t 时期班轮公司 k 在港口 p 由收货人“重箱返空”的空箱量; D_{ip}^k 为 t 时期班轮公司 k 在港口 p 的空箱需求量,且服从均值为 μ_p^k 、标

准差为 σ_p^k 的正态分布； C_p^{KH} 为班轮公司 k 在港口 p 的空箱存贮费率； C_j^{KR} 为班轮公司 k 在需箱港 j 的空箱租赁费率； C_{ij}^{KS} 为班轮公司 k 从多箱港 i 调运空箱到需箱港 j 的运输费率； O_{ij}^k 为班轮公司 k 从多箱港 i 调运空箱到需箱港 j 所需的决策期数； ψ_{ij}^k 为 t 时期班轮公司 k 从多箱港 i 调运空箱到需箱港 j 的运力限额，且服从均值为 ε_{ij}^k 、标准差为 δ_{ij}^k 的正态分布； ω^{km} 为班轮公司 k 和班轮公司 m 之间所达成的运费加成系数。

3) 决策变量。 x_{ij}^k 为 t 时期班轮公司 k 使用自有运力从多箱港 i 调运自有空箱到需箱港 j 的数量； g_{ij}^{km} 为 t 时期班轮公司 k 使用自有运力从多箱港 i 调运来自班轮公司 m 的空箱到需箱港 j 的数量； y_{ij}^{km} 为 t 时期班轮公司 k 使用班轮公司 m 的运力从多箱港 i 调运自有空箱到需箱港 j 的数量； f_{ij}^{km} 为 t 时期班轮公司 k 使用班轮公司 m 的运力从多箱港 i 调运来自班轮公司 m 的空箱到需箱港 j 的数量； r_{ij}^k 为 t 时期班轮公司 k 在需箱港 j 的空箱租赁量； v_{ij}^k 为 t 时期班轮公司 k 在港口 p 的空箱存贮量。

2.1.3 建立模型

基于上述的描述，以决策周期内调箱总成本最小为目标，可得随机环境下班轮公司之间合作调箱模型（模型 A），由式（1—7）组成。

$$\begin{aligned} \min TC = & \sum_t \sum_k \sum_p C_p^{KH} v_{ij}^k + \sum_t \sum_k \sum_j C_j^{KR} r_{ij}^k + \\ & \sum_t \sum_k \sum_i \sum_j C_{ij}^{KS} x_{ij}^k + \sum_t \sum_k \sum_m \sum_i \sum_j C_{ij}^{KS} g_{ij}^{km} + \\ & \sum_t \sum_k \sum_m \sum_i \sum_j C_{ij}^{mS} (1 + \omega^{km}) (y_{ij}^{km} + f_{ij}^{km}) \end{aligned} \quad (1)$$

其中，目标函数式（1）中，第 1 项为决策周期内空箱存贮总成本，第 2 项为空箱租赁总成本，第 3 项—第 5 项为空箱运输总成本，而约束条件见式（2—7）。

1) 多箱港的空箱调出量约束。“ t 时期班轮公司 k 在多箱港 i 的空箱调出量” $\leq$ “ $t-1$ 时期的空箱存贮量”+“本期重箱返空的空箱量”-“本期空箱需求量”，则：

$$\sum_j x_{ij}^k + \sum_j \sum_m (y_{ij}^{km} + g_{ij}^{mk} + f_{ij}^{mk}) \leq v_{i-1,i}^k + S_{ii}^k - D_{ii}^k \quad (2)$$

2) 多箱港的空箱存贮量约束。“ t 时期班轮公司 k 在多箱港 i 的空箱存贮量”=“ $t-1$ 时期的空箱存贮量”+“本期重箱返空的空箱量”-“本期空箱需求量”-“本期空箱调出量”。实际业务中，决策者为了便于迭代和求解，通常用“本期空箱需求的均值”代替“本期空箱需求量”^[13]，则：

$$v_{ii}^k = v_{i-1,i}^k + S_{ii}^k - D_{ii}^k -$$

$$\sum_j x_{ij}^k - \sum_j \sum_m (y_{ij}^{km} + g_{ij}^{mk} + f_{ij}^{mk}) \quad (3)$$

3) 需箱港的空箱满足量约束。“ t 时期班轮公司 k 在需箱港 j 的空箱需求量” $\leq$ “ $t-1$ 时期的空箱存贮量”+“本期重箱返空的空箱量”+“本期空箱调入量”+“本期空箱租赁量”，则：

$$\begin{aligned} D_{ij}^k \leq & v_{t-1,j}^k + S_{ij}^k + \sum_i x_{t-O_{ij}^k,i,j}^k + \\ & \sum_i \sum_m (y_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + g_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + f_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km}) + r_{ij}^k \end{aligned} \quad (4)$$

4) 需箱港的空箱存贮量约束。“ t 时期班轮公司 k 在需箱港 i 的空箱存贮量”=“ $t-1$ 时期的空箱存贮量”+“本期重箱返空的空箱量”+“本期空箱调入量”+“本期空箱租赁量”-“本期空箱需求量”。实际业务中，决策者为了便于迭代和求解，通常用“本期空箱需求的均值”代替“本期空箱需求量”^[13]，则：

$$\begin{aligned} v_{ij}^k = & v_{t-1,j}^k + S_{ij}^k + \sum_i x_{t-O_{ij}^k,i,j}^k + \\ & \sum_i \sum_m (y_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + g_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + f_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km}) + r_{ij}^k - D_{ij}^k \end{aligned} \quad (5)$$

5) 空箱运力约束。“ t 时期班轮公司 k 从多箱港 i 调运空箱到需箱港 j 的数量”不超过“其空箱运力限额”，则：

$$x_{ij}^k + \sum_m (y_{ij}^{mk} + g_{ij}^{km} + f_{ij}^{mk}) \leq \psi_{ij}^k \quad (6)$$

6) 所有决策变量为非负整数约束，则：

$$x_{ij}^k, y_{ij}^{km}, g_{ij}^{km}, f_{ij}^{km}, r_{ij}^k, v_{ii}^k, v_{ij}^k \in \mathbb{N} \quad (7)$$

值得注意的是，若将上述模型中的决策变量 $y_{ij}^{km}, g_{ij}^{km}, f_{ij}^{km}$ 同时令为 0，则为随机环境下班轮公司单独调箱模型。

2.2 模型求解

2.2.1 模型转化

由于模型 A 中存在随机变量，使得约束式（2），（4），（6）没有明确的意义。为了求解该模型，这里运用刘宝碇^[14]所提出的随机机会约束规划理论将模型 A 转化为一个机会约束规划模型（模型 B）。其中，约束式（2），（4），（6）可分别转化为机会约束式（8—10），其他部分同模型 A。

$$Pr\{v_{i-1,i}^k + S_{ii}^k - \sum_j x_{ij}^k - \sum_j \sum_m (y_{ij}^{km} + g_{ij}^{mk} + f_{ij}^{mk}) \geq D_{ii}^k\} \geq \alpha \quad (8)$$

$$Pr\{v_{t-1,j}^k + S_{ij}^k + \sum_i x_{t-O_{ij}^k,i,j}^k + r_{ij}^k + \sum_i \sum_m (y_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + g_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km} + f_{t-O_{ij}^k,i,j}^{km}) \geq D_{ij}^k\} \geq \beta \quad (9)$$

$$Pr\{x_{ij}^k + \sum_m (y_{ij}^{mk} + g_{ij}^{km} + f_{ij}^{mk}) \leq \psi_{ij}^k\} \geq \gamma \quad (10)$$

在机会约束式中， $Pr\{X \geq y\}$ 表示事件 X 发生的概率至少应达到给定的置信水平 y 。在约束式（8—9）中，置信水平 α, β 越大，说明班轮公司满足多箱港、需箱港的空箱随机需求程度越高，此时置信水平 α ，

β 可分别看成是“多箱港服务水平 (SSL)”、“需箱港服务水平 (DSL)”。在约束式 (10) 中, 置信水平 γ 越大, 说明班轮公司在进行空箱调运决策时受到空箱运输能力的限制程度越大, 此时置信水平 γ 可看成是“运力限制水平 (CLL)”。

2.2.2 模型确定化

根据文献[15]中的确定等价理论, 可将模型 B 中的机会约束式 (8—10) 分别转化为确定等价式 (11—13), 进而可得置信水平为 α, β 和 γ 下的班轮公司之间合作调箱模型, 而该模型可通过 LINGO 软件编程求解。在约束式 (11—13) 中, z_x 表示置信水平为 x 的 z 统计量, 其值可通过查询正态分布表得到, 比如置信水平为 0.90 的 z 统计量为 1.64。

$$v_{t-1,i}^k + S_{ti}^k - \sum_j x_{tij}^k - \sum_j \sum_m (y_{tij}^{km} + g_{tij}^{mk} + f_{tij}^{mk}) \geq \mu_{ti}^k + z_{\alpha} \sigma_{ti}^k \tag{11}$$

$$v_{t-1,j}^k + S_{tj}^k + \sum_i x_{t-0_{ij}^k,i,j}^k + r_{tj}^k + \sum_i \sum_m (y_{t-0_{ij}^k,i,j}^{km} + g_{t-0_{ij}^k,i,j}^{km} + f_{t-0_{ij}^k,i,j}^{km}) \geq \mu_{tj}^k + z_{\beta} \sigma_{tj}^k \tag{12}$$

$$x_{tij}^k + \sum_m (y_{tij}^{mk} + g_{tij}^{km} + f_{tij}^{mk}) \leq \varepsilon_{tij}^k - z_{\gamma} \delta_{tij}^k \tag{13}$$

3 算例与分析

3.1 算例描述

- 1) 班轮公司甲和乙在一条覆盖 6 个港口的跨太平洋航线上已达成合作空箱调运协议, 其中长滩港、奥克兰港和西雅图港为多箱港, 而大连港、上海港和宁波港为需箱港。
- 2) 决策周期内, 各港口重箱返空的空箱量, 具体情况见表 1, 其中*/表示班轮公司甲/乙的各港口重箱返空的空箱量, 单位为箱; 各港口的空箱需求量和供需港口间空箱运力限额的具体情况见表 2—3。
- 3) 供需港口间空箱运输费率和空箱调运所需决策期数的具体情况见表 4 和表 5。其中*/表示班轮公司甲/乙的供需港口间空箱运输费率和空箱调运所需决策期数, 单位为美元/箱和周。2 家班轮公司在多箱港每期的空箱存贮费率分别为 26, 30, 28 美元/箱, 而在需箱港每期的空箱存贮费率分别为 16, 24, 18 美元/箱。2 家班轮公司在需箱港每期的空箱租赁费率分别为 500, 520, 510 美元/箱。决策期初始时, 班轮公司甲/乙在需箱港的空箱存贮量分别为 20/25,

表 1 各港口重箱返空的空箱量
Tab.1 Number of heavy containers that become empty in each port

期数	长滩港	奥克兰港	西雅图港	大连港	上海港	宁波港
1	208/168	155/175	178/182	82/100	157/105	143/81
2	253/168	219/194	188/203	76/115	105/90	105/96
3	193/175	200/255	156/197	95/82	59/95	151/87
4	240/150	168/128	126/168	88/78	107/115	107/90
5	201/168	199/198	171/180	79/104	147/99	121/95
6	168/120	175/138	140/120	69/97	122/114	110/79
7	198/168	134/160	145/200	58/105	110/56	139/88
8	194/170	160/150	155/180	96/104	67/69	120/102

表 2 各港口空箱需求量
Tab.2 Number of empty containers demanded in each port

期数	长滩港	奥克兰港	西雅图港	大连港	上海港	宁波港
1	88/114	122/122	96/101	154/164	183/123	162/188
2	106/120	83/102	139/111	146/158	121/120	181/130
3	127/128	106/114	128/119	170/134	161/116	184/195
4	94/125	117/113	79/137	151/184	134/124	148/178
5	143/132	118/105	93/120	125/154	215/127	159/131
6	124/118	114/119	90/106	145/175	175/138	224/189
7	114/123	121/119	119/129	148/163	145/109	174/143
8	136/163	113/111	131/218	135/149	152/158	176/176

注：班轮公司甲/乙的各港口空箱需求量服从均值为*/、标准差为 5/5 的正态分布, 单位为箱

30/35, 10/15, 而在多箱港的空箱存贮量分别为 50/50, 55/65, 55/40 箱。班轮公司甲和乙之间所达成的运费加成系数为 0.1。

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

供需港口	大连港	上海港	宁波港
长滩港	(50,5)/(55,5)	(40,5)/(40,5)	(30,5)/(60,5)
奥克兰港	(45,5)/(50,5)	(60,5)/(30,5)	(50,5)/(40,5)
西雅图港	(40,5)/(40,5)	(30,5)/(45,5)	(50,5)/(50,5)

注：(a,b)/(a,b)表示班轮公司甲/乙的供需港口间空箱运力限额服从均值为 a、标准差为 b 的正态分布，单位为箱/周

表 4 供需港口间空箱运输费率

Tab.4 Empty container shipping cost rate between surplus and deficit ports

供需港口	大连港	上海港	宁波港
长滩港	120/160	120/200	160/120
奥克兰港	240/120	160/160	120/240
西雅图港	200/200	160/120	200/160

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	大连港	上海港	宁波港
长滩港	1/2	1/3	2/1
奥克兰港	4/1	2/2	1/4
西雅图港	3/3	2/1	3/2

3.2 计算结果分析

该算例的计算结果与决策者主观偏好即置信水平相关。根据决策者的风险意识和决策目标的差异，可将其分为保守-成本型、保守-服务型、冒险-成本型和冒险-服务型这 4 类决策者。在实际业务中，保守型决策者在选择运力限制水平时尽可能高，而冒险型决策者则相反；成本型决策者在选择港口服务水平时尽可能低，而服务型决策者则相反。假定 2 家班轮公

司需要在 0.55~0.95 之间确定多箱港服务水平、需箱港服务水平和运力限制水平，则各类决策者的空箱调运结果的具体情况见表 6。

由表 6 可以看出，在 2 种调箱方式中，保守-服务型决策者制定的空箱调运方案所花费的成本最高，之后依次为冒险-服务型决策者和保守-成本型决策者，而冒险-成本型决策者制定的空箱调运方案所花费的成本最低，同时 2 种调箱方式的调箱总成本差值也有类似的结论。通过分析上述决策结果可知，降低运力限制水平可以压缩调箱总成本，但是提高港口服务水平会增加调箱总成本，且当运力限制水平和港口服务水平均处于高值时，合作调箱方式优势更加显著。

3.3 随机性分析

3.3.1 多箱港空箱需求波动

由图 1 可以看出，随着多箱港空箱需求标准差的逐渐增大，单独调箱方式的调箱总成本呈现缓慢上升的趋势，而合作调箱方式的调箱总成本维持在 50.60 美元左右，即随着多箱港空箱需求标准差的逐渐增大，2 种调箱方式的总成本差值越来越大，合作调箱方式的优势更加显著。由此可见，班轮公司采用合作调箱方式可以有效地降低多箱港空箱需求的波动对调箱总成本的影响。其原因为：在单独调箱方式下，随着多箱港空箱需求标准差的逐渐增大，班轮公司为了使得多箱港服务水平达到预先设定的水平，会增加多箱港的空箱存贮量，进而降低其可调空箱量，从而增加需箱港的空箱租赁量，与其相对应的空箱存贮成本和租赁成本将会上升，运输成本将会下降，不过空箱存贮成本和租赁成本的增加量大于运输成本的减少量，致使班轮公司的调箱总成本增加；在合作调箱方式下，班轮公司可以利用联盟企业的空箱资源，增加空箱调运量，这样既可以提高调箱系统中的资源利用率，又可以降低需箱港的空箱租赁量，从而降低企业的调箱总成本。

3.3.2 需箱港空箱需求波动

由图 2 可以看出，随着需箱港空箱需求标准差的逐渐增大，2 种调箱方式的调箱总成本均呈现平稳上

表 6 各类决策者的空箱调运结果

Tab.6 Empty container allocation results of various decision-makers

决策者类型	SSL	DSL	CLL	调箱总成本/美元	总成本差值/美元
保守-成本型	0.55	0.55	0.95	507 486/497 848	9638
保守-服务型	0.95	0.95	0.95	534 362/511 500	22 862
冒险-成本型	0.55	0.55	0.55	494 834/484 124	10 710
冒险-服务型	0.95	0.95	0.55	517 100/497 816	19 284

注：*/表示单独调箱方式/合作调箱方式的调箱总成本；总成本差值为单独调箱方式与合作调箱方式的调箱总成本差值

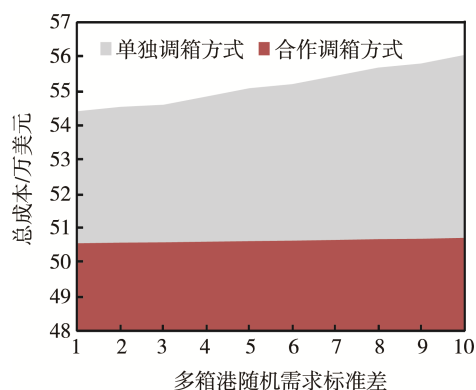


图1 多箱港空箱需求波动对总成本的影响

Tab.1 Impact of empty container demand fluctuation at supply ports on total cost

升的趋势，不过合作调箱方式的调箱总成本增长速度明显慢于单独调箱方式。随着需箱港空箱需求标准差的逐渐增大，2种调箱方式的总成本差值越来越大，合作调箱方式的优势更加显著。由此可见，班轮公司采用合作调箱方式可以有效降低需箱港空箱需求的波动对调箱总成本的影响。其原因为：在单独调箱方式下，随着需箱港空箱需求标准差的逐渐增大，班轮公司为了使得需箱港服务水平达到预先设定的水平，会增加空箱调运量和空箱存贮量，但受空箱运力限额和空箱调运时间窗的影响，使得空箱调运量的增加幅度很小，进而增加需箱港的空箱租赁量，与其相对应的空箱租赁成本大幅增加，运输成本和存贮成本变化幅度很小，致使班轮公司调箱总成本增加；在合作调箱方式下，班轮公司可以利用联盟企业的空箱和运力资源，增加空箱调运量，这样既可以降低需箱港的空箱租赁量，又可以提高调箱资源的利用率，从而降低企业的调箱总成本。

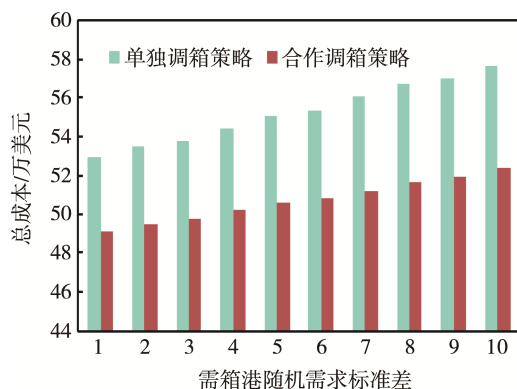


图2 需箱港空箱需求波动对总成本的影响

Tab.2 Impact of empty container demand fluctuation at deficit ports on total cost

3.3.3 空箱运力限额波动

由图3可以看出，随着空箱运力限额标准差的逐渐增大，2种调箱方式的调箱总成本均呈现加速上升的趋势，不过单独调箱方式的调箱总成本增长速度更

快。随着空箱运力限额标准差的逐渐增大，2种调箱方式的总成本差值越来越大，合作调箱方式的优势更加显著。由此可见，班轮公司采用合作调箱方式可以有效地降低空箱运力限额的波动对调箱总成本的影响。其原因为：在单独调箱方式下，随着空箱运力限额标准差的逐渐增大，会使得班轮公司更加保守地估计空箱运输能力，进而减少供需港口间空箱调运量，为了使需箱港服务水平达到预先设定的水平，班轮公司会增加需箱港的空箱租赁量，与其相对应的空箱存贮成本和租赁成本将会大幅上升、运输成本将会下降，不过空箱存贮成本和租赁成本的增加量明显大于运输成本的减少量，致使班轮公司调箱总成本增加；在合作调箱方式下，班轮公司可以利用联盟企业的运力资源，优化海运空箱调运活动，从而降低企业的调箱总成本。

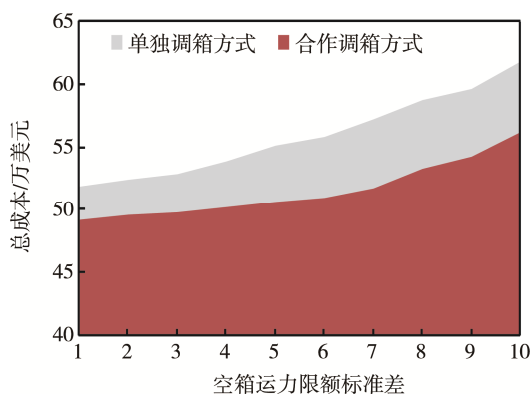


图3 空箱运力限额波动对总成本的影响

Tab.3 Impact of empty container shipping capacity limit fluctuation on total cost

4 结语

文中从班轮公司之间合作调箱角度出发，综合考虑港口空箱需求和空箱运力限额的随机性，研究随机因素对2种调箱方式的影响。研究结果表明，降低运力限制水平可以压缩调箱总成本，而提高港口服务水平会增加调箱总成本，且当港口服务水平和运力限制水平均处于高值时，合作调箱方式的优势更加显著；与单独调箱方式相比，合作调箱方式可以降低调箱系统中随机因素的波动对调箱总成本的影响。

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] UNCTAD. Review of Maritime Transport[Z]. United

- Nations Publication, 2017.
- [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] CHAO S L, CHEN C C. Applying A Time-space Network to Reposition Reefer Containers among Major Asian Ports[J]. Research in Transportation Business & Management, 2015, 17: 65—72.
- [5] 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.
- [6] 王斌, 唐国春. 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, TANG Guo-chun. Stochastic Optimization Model for Container Shipping of Sea Carriage[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(3): 58—63.
- [7] 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.
- [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] 曹湘妃. 基于资源共享的班轮公司海运空箱获取组合优化[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- CAO Xiang-fei. Optimization of Empty Container Allocation by Sea Transportation Based on Resources Sharing in Liner Operators[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.
- [10] 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.
- [11] 汪传旭, 陈飞燕. 船公司合作下基于多港口物流总成本最优的空箱调运[J]. 系统管理学报, 2016, 25(3): 539—545.
- WANG Chuan-xu, CHEN Fei-yan. Optimal Empty Container Allocation with Collaboration among Shipping Companies Based on Multiple Ports[J]. Journal of Systems & Management, 2016, 25(3): 539—545.
- [12] FRANCESCO M D, CRAINIC T G, ZUDDAS P. The Effect of Multi-scenario Policies on Empty Container Repositioning[J]. Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review, 2009, 45(5): 758—770.
- [13] 武振业, 李冰州, 卜祥智. 集装箱海运空箱分派随机规划模型研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(2): 75—78.
- WU Zhen-ye, LI Bing-zhou, BU Xiang-zhi. Study on Stochastic Programming Model of Empty Container Allocation[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(2): 75—78.
- [14] 刘宝碇, 赵瑞清, 王钢. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- LIU Bao-ding, ZHAO Rui-qing, WANG Gang. Uncertain Programming with Appliaction[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [15] CHARENS A, COOPER W W. Deterministic Equivalents for Optimizing and Satisficing under Chance Constraints[J]. Management Science, 1963, 11(1): 18—39.