文章编号:1005-0523(2016)01-0037-08

船公司合作下考虑碳排放的集装箱运输优化

汪传旭,刘佳琪

(上海海事大学经济管理学院,上海 201306)

摘要:为有效提高船公司的竞争能力,船公司合作下的空箱再利用是提高其经济和环境效益的重要手段。在允许租箱的前提下综合考虑船公司合作与集装箱运输碳排放,建立空箱再利用条件下集装箱重箱和空箱运输优化模型,用于比较船公司合作与非合作条件下对利润的影响。结合具体算例比较分析船公司合作与非合作情形下的利润,得出船公司之间的合作可以增加公司总利润。进一步分析空箱保有量对总利润的影响,可得出总利润最大时的最优空箱保有量。分析得出碳排放限额与总利润二者成正相关关系。

关键词:船公司合作;碳排放;空箱再利用;集装箱调运

中图分类号:U692 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.01.006

集装箱运输已经成为水运中现代化交通运输发展的典型代表。然而一方面由于地区之间的贸易不平衡、集装箱运输规划不合理导致世界各地的进、出口箱量和箱型的不平衡,给船公司造成巨大损失。另一方面,在全球航运业中,集装箱运输碳排放已引起世界范围内的广泛关注。为此,在集装箱运输业中,结合碳排放考虑空箱再利用,是顺应低碳经济发展的需要,也是提高集装箱运输经济效益和生态效益的要求。

与本文相关的一类问题是空箱调运问题。目前国内外已有大量文献对此开展了研究,如:Dang等[1]研究了基于海陆联合的空箱调运问题,并通过遗传算法对模型进行求解和灵敏度分析。Dong[2]研究了不确定与不均衡需求的"多船多港多航次"系统中的箱队规模与空箱调度的联合优化。Wang Bin[3]应用Lingo9.0求解了海运集装箱调运随机优化模型。计明军等[4]比较了确定目的港和不确定目的港2种不同空箱调运策略,并运用遗传算法对算例进行求解。张燕等[5]考虑运输费用和运输时间2个目标建立双目标的整数规划模型,并采用双目标的标签设置算法对问题进行求解。蔡佩林等[6]比较3种模型中各港口独立经营、统一调度下和单独调度下的调度策略的调度效果。

国内外也有学者结合碳排放对集装箱航运问题开展研究,Berechman等[7]以高雄港为例,指出该港口的碳排放主要来源于船舶与从事货物装卸搬运的机械,并探讨了集装箱海运中二氧化碳排放指数与二氧化碳排放量的计算方法。Li Ling等[8]提出了船公司空箱再利用的集装箱运输模型,但该文没有考虑多家船公司合作运输的实际情况。李静[9]通过分析影响海洋船舶燃油消耗的因素,运用航次定额方法,综合考虑船舶的使用条件及技术状况变化等因素,建立燃油消耗航次定额的计算模型。黄炜[10]认为燃油成本在航运企业的运营成本中占有较大比重,针对洋山港拖轮作业的节油方法,从管理和技术方面对船舶节能减排的措施进行了阐述。王海潮[11]通过一系列详实的数据指出海运低碳减排势在必行,并在理论上给出了减排的措施。赵雅倩[12]综合考虑经济效益和环境效益等目标,以及建设成本、时序和节能减排控制性指标等约束条件,构建绿色港口节能减排项目建设的多目标0-1规划模型。高超锋等[13]分析航行速度对船舶油耗产生的影响,建立以周计划内船队运营总成本最小为目标的混合整数规划模型。

收稿日期:2015-09-23

基金项目:上海市教委科研创新重点项目(14ZS122)

作者简介:汪传旭(1967—),男,教授,博士生导师,研究方向为物流与供应链管理、港口与航运管理。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综上所述，目前考虑空箱调运的研究很少考虑碳排放因素，考虑碳排放的集装箱运输研究没有考虑到船公司在港口内空箱资源共享合作的情况，因此本文在前人研究的基础上提出了船公司合作和低碳背景下考虑空箱再利用的集装箱调运优化问题。

1 模型描述

1.1 变量与参数定义

设 K，G，L 和 T 分别为船公司集合、港口集合、服务航线集合以及规划内的时期数；W 为船舶额定载重量；v 为船舶航行速度；$D_{k(i,j)}^{hl(t)}$ 和 $D_{k(i,j)}^{el(t)}$ 分别为 t 时期 k 船公司由 i 港口运输到 j 港口的重箱和空箱需求；$Q_{k(i,j)}^{l(t)}$ 为 t 时期 k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线航行的船舶运输总容量；$h_{k(i)}^{e(t)}$ 为 t 时期 k 船公司在 i 港口空箱存储量；$R_{k(i)}^{e(t)}$ 为 t 时期 k 船公司在 i 港口空箱租用量；$P_{k(i,j)}^{hl(t)}$ 和 $P_{k(i,j)}^{el(t)}$ 分别为 t 时期 k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线的重箱和空箱单位运输价格；$C_{k(i,j)}^{hl(t)}$ 和 $C_{k(i,j)}^{el(t)}$ 分别为 t 时期 k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线的重箱和空箱单位运输成本；$E_{k(i,j)}^{hl(t)}$ 和 $E_{k(i,j)}^{el(t)}$ 分别为 t 时期 k 船公司由 i 港口到 j 港口运输的重箱和空箱重量期望；$B_{(i,j)}^{l}$ 为 i 港口与 j 港口沿 l 航线的距离；C_r 和 C_h 分别为空箱的单位租箱成本和单位存储成本；R_t 为碳税税率；θ 为碳排放因子；HP 为集装箱船发动机功率；P_c 为碳交易市场的碳价格；e_k 为 k 公司在碳交易市场购买的碳补偿量。

决策变量 $x_{k(i,j)}^{hl(t)}$ 和 $y_{k(i,j)}^{el(t)}$ 分别为 t 时期 k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线运输的重箱和空箱数量。

1.2 模型假设

1）不同港口不同公司的单位租箱成本相同；

2）不同港口不同公司的单位存储成本相同；

3）所有集装箱都是同一类型；

4）租箱不受限，即所有需求都能满足；

5）不同的船公司之间空箱调运费用为 0；

6）每个规划时期都是相等的时间段；

7）当前时期的需求必须在本规划时期内满足；

8）航运服务的航线是提前设置的，沿这几条航线运输集装箱；

9）所有船舶的航行速度相同；

10）上一时期运输到港口的重箱作为当前时期的空箱供给。

1.3 模型

模型中考虑了两船公司的合作问题，即两船公司在同一港口的空箱资源共享，船公司在优先满足自己的运输需求后可以进行空箱再利用，无偿为与之合作的另一家船公司提供空箱，减少了因空闲闲置造成的存储成本和存储过程中的碳排放成本；同时另一家船公司也可以减少由于缺箱造成的租箱成本，从而减少了船公司的总成本，实现总利润最大。

本文还在集装箱运输优化过程中考虑碳排放因素，在政府制定碳排放限额、船公司在存储和运输过程中都存在碳排放以及存在碳交易市场的情况下，考虑船公司合作下的利润最大问题。其中，碳交易市场为完全竞争市场，碳交易市场的碳价格不受两船公司的需求变化影响；碳补偿量为船公司在运营过程中超过政府制定的碳排放额度的碳排放量。

1.3.1 两船公司合作下的集装箱运输优化模型

目标函数：

$$\max Z=\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{\text{且 }i\neq j;\,i,j\in P}x_{k(i,j)}^{hl(t)}P_{k(i,j)}^{hl(t)}+\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{\text{且 }i\neq j;\,i,j\in P}y_{k(i,j)}^{el(t)}P_{k(i,j)}^{el(t)}\right)-$$

$$\left\{C_r\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,\,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{\text{且 }i\neq j;\,i,j\in P}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}\right)-\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{e(t)}\right)\right]\right)+\right.$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$C_h\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{e(t)}\right)-\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}\right)\right]\right)+$$
$$R_t\,\theta\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}E_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}E_{k(i,j)}^{el(t)}\right)\ HP\ \frac{B_{(i,j)}^{\ l}}{v}+$$
$$\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{e(t)}\right)-\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}\right)\right]\right)+$$
$$R_t\,\theta+\sum_{k\in K}P_c\ e_k\Big\}\ 。\tag{1}$$

在 t 时期，两船公司总利润等于两船公司的运输重箱、空箱收入与两船公司的运输重箱、空箱成本、租箱成本、存储成本、运输过程产生的碳排放成本、存储过程中的碳排放成本以及碳补偿成本之差。

约束条件：

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}\right)\leqslant Q_{k(i,j)}^{\ l(t)}\ 。\tag{2}$$

在 t 时期，k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线运输的重箱、空箱数量之和不能超过 k 船公司由 i 港口到 j 港口船舶运输总容量。

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}\right)+h_{k(i)}^{e(t)}+R_{k(i)}^{e(t)}\right]\geqslant\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left(D_{k(i,j)}^{hl(t)}+D_{k(ij)}^{el(t)}\right)\ 。\tag{3}$$

在 t 时期，两船公司在 i 港口的空箱、重箱供给量与两船公司在 i 港口存储、租用的空箱总量之和大于等于两船公司由 i 港口到 j 港口调运的重箱、空箱需求总量。

$$\sum_{t\in T}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}E_{k(i,j)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}E_{k(i,j)}^{el(t)}\right)\leqslant W^{l(t)}\ 。\tag{4}$$

在 t 时期，k 船公司由 i 港口到 j 港沿 l 航线运输的重箱、空箱重量之和不超过沿 l 航线运输的船舶额定载重量。

$$\left[\theta\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left(x_{k(ij)}^{hl(t)}E_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)}E_{k(ij)}^{el(t)}\right)\ HP\ \frac{B_{(i,j)}^{\ l}}{v}\right]+$$
$$\left[\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{e(t)}\right)-\left(x_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)}\right)\right]\right)+\theta\ t\right]\leqslant E_k+e_k\ 。\tag{5}$$

在 t 时期，k 船公司存储和运输过程中的碳排放量不能超过 k 船公司的碳排放限额。

需求的非负约束：

$$x_{k(ij)}^{hl(t)}\geqslant 0,y_{k(ij)}^{el(t)}\geqslant 0\ 。\tag{6}$$

1.3.2　非合作下两船公司的集装箱运输优化模型

$$\max Z=\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}x_{k(ij)}^{hl(t)}P_{k(i,j)}^{hl(t)}+\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}y_{k(ij)}^{el(t)}P_{k(ij)}^{el(t)}\right)-$$
$$\Big\{C_r\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t)}+x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}\right)+\left(y_{k(i,j)}^{el(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}-h_{k(i)}^{e(t)}\right)\right]\right)+$$
$$C_h\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T,t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P且 i\neq j}\left[\left(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+x_{k(ij)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{e(t)}\right)+\left(y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+y_{k(ij)}^{el(t)}\right)+h_{k(i)}^{e(t)}\right]\right)+$$

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$R_t\,\theta\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}(x_{k(ij)}^{hl(t)}E_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)}E_{k(ij)}^{el(t)})\ HP\ \frac{B_{(ij)}^{\ l}}{v}+$$
$$\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{k\in K}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}[(x_{k(ij)}^{hl(t-1)}-x_{k(ij)}^{hl(t)})+(y_{k(ij)}^{el(t-1)}-y_{k(ij)}^{el(t)})+h_{k(i)}^{\ e(t)}]\right)+$$
$$R_t\,\theta+\sum_{k\in K}P_c\ e_k\}\ 。\tag{7}$$

在 t 时期，船公司总利润等于每个船公司的运输重箱、空箱收入减去每个船公司的运输重箱、空箱成本、租箱成本、存储成本、运输过程产生的碳排放成本、存储过程中的碳排放成本以及碳补偿成本。

约束条件：

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}(x_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)})\leqslant Q_{k(ij)}^{\ l(t)}\ 。\tag{8}$$

在 t 时期，k 船公司由 i 港口到 j 港口沿 l 航线运输的重箱、空箱数量之和不能超过 k 船公司由 i 港口到 j 港口船舶运输总容量。

$$\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}[(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)})+h_{k(i)}^{\ e(t)}+R_{k(i)}^{\ e(t)}]\geqslant\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}(D_{k(i,j)}^{hl(t)}+D_{k(ij)}^{el(t)})\ 。\tag{9}$$

在 t 时期，k 船公司在 i 港口的重箱、空箱供给量与 k 船公司在 i 港口存储、租用的空箱总量之和大于等于 k 船公司由 i 港口到 j 港口运输的重箱、空箱需求总量。

$$\sum_{t\in T}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}(x_{k(ij)}^{hl(t)}E_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(i,j)}^{el(t)}E_{k(i,j)}^{el(t)})\leqslant W^{l(t)}\ 。\tag{10}$$

在 t 时期，k 船公司由 i 港口到 j 港沿 l 航线运输的空箱和重箱重量之和不超过沿 l 航线运输的船舶额定载重量。

$$\left[\theta\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}(x_{k(ij)}^{hl(t)}E_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)}E_{k(ij)}^{el(t)})\ HP\ \frac{B_{(ij)}^{\ l}}{v}\right]+$$
$$\left[\left(\sum_{l\in L}\sum_{t\in T\atop t\geqslant 1}\sum_{i,j\in P\atop 且\ i\neq j}[(x_{k(i,j)}^{hl(t-1)}+y_{k(i,j)}^{el(t-1)}+h_{k(i)}^{\ e(t)})-(x_{k(ij)}^{hl(t)}+y_{k(ij)}^{el(t)})]\right)+\theta\ t\right]\leqslant E_k+e_k\ 。\tag{11}$$

k 船公司在存储和运输过程中的碳排放量不能超过 k 船公司的碳排放限额。

需求的非负约束：

$$x_{k(ij)}^{\ hl(t)}\geqslant 0,y_{k(ij)}^{\ el(t)}\geqslant 0\ 。\tag{12}$$

2 算例分析

2.1 算例分析

为进一步验证所建模型，选取如图 1 所示的 4 个港口，包含 2 条航线：航线 1 为港口 1—港口 2—港口 4；航线 2 为港口 1—港口 3—港口 4。t 时期各船公司沿各航线的重箱、空箱的需求量见表 1，t 时期初各船公司沿各航线的重箱和空箱运输供给量以及各船公司在各港口的空箱保有量见表 2。根据模型计算得到由港口 1 出发，最终到达港口 4 的运输过程中，t 时期各船公司沿各航线的运输收入与成本见表 3，存储成本、租箱成本以及碳排放成本见表 4，最终得到两船公司合作与非合作两种情况下的总利润见表 5，并将两计算结果进行比较。

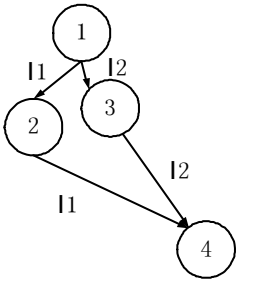

图 1 港口航线图

Fig.1 Networks of ports

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　t 时期各船公司沿各航线运输的重箱、空箱运量

Tab.1　Transportation quantity of the loaded containers, empty containers along individual routes at time period t

TEU

船公司	l1				l2			
	(1,2)		(2,4)		(1,3)		(3,4)	
	重	空	重	空	重	空	重	空
1	200	100	450	80	150	90	200	100
2	300	90	300	100	400	0	350	100

表 2　(t–1)时期各船公司运输到各港口的重箱、空箱数量及港口空箱保有量

Tab.2　Transportation quantity of loaded containers, empty containers and empty container inventory of individual port at time period (t–1)

TEU

船公司	港口 1			港口 2			港口 3		
	重	空	保有量	重	空	保有量	重	空	保有量
1	170	100	120	230	50	300	200	0	280
2	350	150	700	100	50	150	200	100	100

表 3　t 时期各船公司沿各航线运输重箱、空箱的收入和成本

Tab.3　Revenues and costs of individual shipping company along the various routes at time period t

$

航线	类别	收入		成本	
		船公司 1	船公司 2	船公司 1	船公司 2
l1(1,2)	重箱	12 000	24 000	8 000	15 000
	空箱	2 000	1 800	1 000	1 350
l1 (2.4)	重箱	49 500	30 000	40 500	24 000
	空箱	2 400	4 000	2 000	2 500
l2 (1,3)	重箱	12 000	28 000	8 250	16 000
	空箱	1 800	0	1 350	0
l2 (3,4)	重箱	20 000	38 500	16 000	29 750
	空箱	3 000	3 000	2 500	2 000

表 4　t 时期各船公司在各港口的存储成本、租箱成本及碳排放成本

Tab.4　Storage costs, leasing costs and carbon emissions cost of individual shipping company for individual port at time period t

$

船公司	存储成本			租箱成本			碳排放成本	
	港口 1	港口 2	港口 3	港口 1	港口 2	港口 3	碳排放	碳补偿
1	0	0	1 300	0	0	0	576	880
2	1 600	0	0	0	3 000	0	752	760

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表5 两船公司合作与非合作下的总利润

Tab.5 Profits of two shipping companies under the condition of cooperation and noncooperation

$

关系	收入		成本		利润		总利润
	船公司1	船公司2	船公司1	船公司2	船公司1	船公司2	
合作	102 700	129 300	75 956	97 212	26 744	32 088	58 832
非合作	102 700	129 300	80 136	100 982	22 564	28 318	50 882

由表5两种情况下总利润对比可知,两船公司合作下的总利润为58 832美元,高于非合作下的总利润50 882美元,并且每个公司的利润也相应增加了。因此,验证了本文所提出的合作下船公司的运输模型优于非合作下的船公司的运输模型。

2.2 灵敏度分析

在其他条件不变的情况下,研究空箱保有量增加或减少10%,20%和30%时分别对利润的影响(见表6)。由表6可知,当空箱保有量减少时,租箱成本和碳补偿成本都会相应增加,而存储成本以及存储引起的碳排放成本则会相应减少;当空箱保有量增加时,租箱成本和碳补偿成本都会相应减少,而存储成本以及存储引起的碳排放成本则会相应的增加,从而会使两船公司的总利润发生变化。当空箱保有量减少20%时,总利润最大,因此船公司应尽量使港口的空箱保有量保持在这一水平。

在其他条件不变的情况下,研究碳排放限额上升或下降20%,30%和40%时分别对公司利润的影响(见表7)。由表7可知,当碳排放限额减少时,会导致碳补偿成本增加,从而使总利润减少。碳补偿成本会随着碳排放限额的增大而减少,总利润会随着碳排放限额的增加而增加,由此可知,碳排放限额与船公司的总利润正相关,所以船公司应通过技术创新或合理规划等途径减少碳排放量以增加利润。

表6 空箱保有量变化对总利润的影响

Tab.6 Influence of variation of empty container inventory on total profit

空箱保有量变化/%	船公司	租箱成本/$	存储成本/$	存储引起的碳排放量成本/$	碳补偿成本/$	总利润/$
−30	1	2 520	160	4.8	709	57 645.2
	2	4 900	0	0	520	
−20	1	280	540	16.2	766	59 736.8
	2	4 600	0	0	520	
−10	1	0	920	27.6	823	59 348
	2	3 900	780	23.4	637	
+10	1	0	1 680	50.4	937	58 316
	2	2 100	2 420	72.6	883	
+20	1	0	2 060	61.8	994	57 800
	2	1 200	3 240	97.2	1 006	
+30	1	0	2 440	73.2	1 051	57 284
	2	300	4 060	121.8	1 129	

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 7　碳排放限额变化对总利润的影响

Tab.7　Influence of variation of carbon emissions on total profit

碳排放限额变化/%	船公司	碳补偿成本/$	总利润/$
−40	1	1 680	56 832
	2	1 960	
−30	1	1 480	57 332
	2	1 660	
−20	1	1 280	57 832
	2	1 360	
+20	1	480	59 832
	2	160	
+30	1	280	60 332
	2	−140	
+40	1	80	60 832
	2	−440	

3　结论

结合碳排放因素，研究了两船公司合作条件下的空箱再利用问题和集装箱运输优化问题。研究表明：

1）船公司之间的合作可以使空箱得到进一步充分利用，从而显著增加各船公司的利润；因此，合作下的船公司运输模型优于非合作下的船公司运输模型；

2）在其他条件一定的前提下，合理规划港口的空箱保有量可以使总利润最大化；

3）在其他条件一定的前提下，碳排放限额与船公司总利润呈正相关。

本文只考虑到两公司之间的合作问题，而在实际问题中，往往不止 2 家船公司的合作，在以后的研究中可以进一步研究 3 家以上的船公司之间的合作问题；同时，今后可进一步考虑租箱量受限的集装箱调运问题。

参考文献：

[1] DANG Q V，YUN W Y，KOPFER H. Positioning empty containers under dependent demand process[J]. Computers & Industrial Engineering，2012，62(3)：708−715.

[2] DONG J X，SONG D P. Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems[J].Transportation Research Part E，2009(45)：860−877.

[3] WANG BIN，TANG GUOCHUN. Stochastic optimization model for container shipping of sea carriage[J].Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2010，10(3)：58−63.

[4] 计明军，王清斌，张新宇，等. 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.

[5] 张燕，王艳鑫，杨华龙. 国际集装箱海铁联运网络中的最优路径选择[J]. 大连海事大学学报，2013，39(4)：111−114.

[6] 蔡佩林，涂建军. 基于随机需求的集装箱空箱调度研究[J]. 武汉理工大学学报：交通科学与工程版，2014(2)：58−63.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[7] BERECHMAN J,TSENG P H. Estimating the environmental costs of port related emissions: the case of Kaohsiung[J]. Transportation Research Part D,2012(17):35-38.
[8] LI LING,WANG BIN,COOK DAVID P. Enhancing green supply chain initiatives via empty container reuse[J]. Transportation Research Part E,2014,70(10):190-204.
[9] 李静,王妮妮. 海洋运输船舶燃油消耗航次定额计算方法研究[J]. 中国水运,2011,11(1):15-16.
[10] 黄炜. 船舶节能减排的建议及思考[J]. 中国水运,2009(11):64-65.
[11] 王海潮. 海运减排路在何方[J]. 中国海事,2010(2):17-19.
[12] 赵雅倩,王伟. 港口节能减排多目标优化研究[J]. 华东交通大学学报,2015,32(3):78-85.
[13] 高超锋,肖玲,胡志华. 考虑船舶油耗的集装箱班轮航线配船方案[J].华中师范大学学报:自然科学版,2014,48(6):840-846.

Container Transportation Optimization in View of Shipping Company Cooperation and Carbon Emissions

Wang Chuanxu,Liu Jiaqi

(School of Economics & Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract:In order to enhance the competitiveness of shipping companies, reuse of empty containers with shipping company cooperation becomes an important method to improve shipping companies' economic and environmental benefits. Supposing containers could be rented, considering shipping company cooperation and carbon emissions comprehensively, this paper developed loaded and empty containers transportation optimization models based on empty container reuse and then compared different effects on profit under shipping companies´ cooperation or non-cooperation condition. Based on the comparison with a numerical example, the study found out that the shipping company cooperation could increase the total profit. Further analysis of the effect of empty container inventory on total profit worked out the optimal amount of empty container inventory when total profit was maximal. The correlation between carbon emissions limit and total profit was positive.

Key words: shipping company cooperation; carbon emissions; empty container reuse; container transportation

(责任编辑　刘棉玲)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net