



集装箱空箱中转调运优化研究*

张少凯, 韩晓龙

(上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

摘要: 合理的空箱调运可降低班轮公司的营运成本、提高市场竞争力。针对班轮公司空箱调运问题, 在对中国港口群分析的基础上, 提出了基于融舱的中转调运策略。综合考虑运输成本、装卸成本、租赁成本和调运约束等条件, 以最小化调运成本为目标, 建立了在保证重箱运输前提下有中转的空箱调运整数线性规划模型。通过对模型求解, 得到了比传统调运方式更为满意的调运方案, 对结果进行分析制定出相应的调运策略。所建立的模型对空箱调运问题具有较强的指导意义。

关键词: 空箱调运; 融舱; 中转模型; 整数线性规划

中图分类号: U 169.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)02-0037-05

Optimization of empty container's transit transportation dispatch

ZHANG Shao-kai, HAN Xiao-long

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

Abstract: Reasonable allocation of empty containers can reduce the liner company's operating costs and improve its market competitiveness. This paper analyzes the Chinese port and proposes a transit dispatching strategy in merging of cabins to deal with the allocation of empty transportation containers considering the transportation costs, handling costs, leasing costs and transporting constraints. The objective is to minimize transporting costs. This integer linear programming model allows transit of an empty container with the transport of heavy container under the premise. By solving the model we get a result better than the one obtained from that a traditional scheduling mode. In addition, we analyze the results and developed appropriate dispatching strategies. The model has a strong guiding significance for the empty container's reposition.

Key words: empty container's reposition; merging of cabins; transit model; integer linear programming

空箱调运是由空箱比较多的供给地向由于出口较多导致集装箱不足的需求地运输空箱的过程。空箱调运可以发生在内陆运输阶段, 也可以发生在海上运输阶段。

随着国际贸易的迅速发展, 中国大陆地区主要以出口为主而欧美地区以进口为主, 贸易的不平衡导致集装箱的供求矛盾日益突出。数据显示, 当前全球空箱调运量约占集装箱总运输量的20%, 有些班轮公司的空箱运输甚至超过了这一比例^[1]。因此, 空箱调运问题逐渐得到学术界。

国内外学术界对空箱调运问题进行了广泛研究。施欣^[1]对海上空箱调运的过程进行分析, 并建立了系统优化模型。针对空箱调运问题的调运费用情况, 王斌等^[2]建立了考虑装卸费用情况下的空箱调运模型。在空箱调运问题的操作模式上, Jing等^[3]提出了(U, D)策略, 从而使港口在较低的成本下保持合适的箱量。丁敏等^[4]将(U, D)策略扩展应用到多个港口的空箱调运中。从运输模式上看, 杨洋^[5]提出了基于班轮公司合作的空箱调运问题。孙浩^[6]研究了海陆多式联运下的空箱调运

收稿日期: 2012-07-05

*基金项目: 国家自然科学基金项目(71071093); 国家自然科学基金项目(71101088); 上海市科委创新项目(11510501900)

作者简介: 张少凯(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为供应链与物流管理。

问题。Shen等^[7]则从商业视角来解决多地域大规模空箱调运问题出发，构建了海运空箱调运决策支持系统。Shao等^[8]在通过对两条航线两个港口的抽象化处理，建立了随机的动态规划模型来解决空箱调运问题。Jing等^[9]提出了多班轮、多航线、多港口的空箱调运问题，而且在调运成本问题上考虑的情况更为全面。Dong等^[10]则从建模优化的角度来考虑运输目的地随机情况的空箱调运问题。Massimo等^[11]建立了多策略下的空箱调运问题。针对空箱调运问题的求解方法，杨扬等^[12]和王斌^[13]等分别用遗传算法和模糊优化方法来解决空箱调运问题，得到了较优的结果。杨银奇^[14]建立了集装箱空箱调运混合整数规划模型，为集装箱调运实践提供了支持。

为降低空箱调运成本，多数船公司会采取与其他公司以融舱的办法以降低成本。融舱是指几家船公司共用一条船，实质就是一家船公司向另一家船公司购买仓位，从而节省运力及成本；融舱活动主要发生在内河港与枢纽港和支线港与枢纽港之间。中国沿海港口分布众多，已形成环渤海经济带、长江三角、东南沿海、珠江三角及西南沿海等五大港口群，同时也初步形成了以上海、青岛、广州等国际或地区枢纽港，以上为发展融舱中转活动提供了有利条件。基于这种调运策略，建立了多个周期的有中转的空箱调运。

1 问题描述

在班轮公司运营中，班轮公司为了降低营运成本，当需求港箱量不足时，需要从空箱量较多的港口进口或是就近租用空箱来弥补所需的空箱。因为空箱调运或租赁都不产生任何直接价值，因此班轮公司需要尽可能地降低调运和缺箱成本，根据实际情况来决定是从空箱量较多的港口调运或就近租赁。调运过程中如图1所示，空箱可以从供给港S直接运输到需求港D，当班轮公司与其他公司在枢纽港有融仓协议价格更低时，则可以先运到有融仓协议的中转港P集中装船，再运到需求港D；当通过调运不能满足需求或成本相对过高时，就直接从港口附近M地租赁，使需求港D在满足箱量需求的前提下整体调运费用最小。

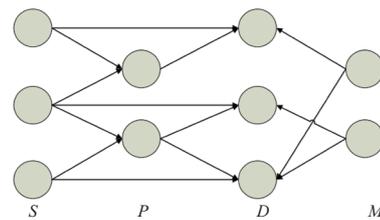


图1 运输网络

其中S作为供给港，港口生产经营中产生空箱；P作为中转港，班轮公司在这里与其他公司进行融舱将空箱集中装船运往需求港D；D作为需求港，需求港的空箱需求必须得到满足；M表示为租箱地，当调运不能满足需求时即从此地租赁。

2 数学模型

建立中转模式下的空箱调运模型，目标是在满足重箱运输的前提下，利用班轮剩余的箱位资源，通过合理的调度使空箱调运的总费用最小。总费用由以下几部分组成：运输费用、装船费用、卸船费用、储存费用和租箱费用。

2.1 模型假设

为了方便模型的求解，通过以下假设进一步界定本问题：1) 计划期内各港口的空箱供给量和需求量已知；2) 不考虑集装箱的维修、报废情况，即所有集装箱均是可用的；3) 不考虑在港口发生的除装卸以外的费用；4) 假设只有到时段末还未运送的集装箱发生堆存费用，而且优先调运前期已经在港的集装箱；5) 在中转港与其他公司融舱日期已知且不考虑存储费用；6) 假设租赁或购买的集装箱能立即得到满足。

2.2 符号说明

根据以上假设及其空箱调运实际情况，可以建立有中转的空箱调运模型，相关参数和变量规定定义及解释如下：

1) 集合。

T ：为模型的计划周期集合， $t \in T$ ； N ：表示集装箱种类的集合， $n \in N$ ； S ：所有供给港的集合， $i \in S$ ； P ：所有有融舱协议的中转港的集合， $k \in P$ ； D ：所有需求港的集合， $j \in D$ ； M ：所有租箱地的集合， $m \in M$ 。

2) 参数。

S'_{im} ：t时段供给港i的第n种箱型的可供应空箱

量, $i \in S, n \in N, t \in T$; D_{jn}^t : t 时段需求港 j 的第 n 种箱型的需求空箱量, $j \in D, n \in N, t \in T$; QS_m^t : t 时段末供给港 i 的第 n 种空箱类型的剩余量, $i \in S, t \in T$; QS_m^{t-1} : t 时段之前 ($t-1$ 时段) 供给港 i 的第 n 种空箱类型剩余量, $i \in S, t \in T$; QD_{jn}^t : t 时段末需求港 j 的第 n 种空箱类型剩余量, $j \in D, t \in T$;

QD_{jn}^{t-1} : t 时段之前 ($t-1$ 时段) 需求港 i 的第 n 种空箱类型剩余量, $j \in D, t \in T$; $TC_{\alpha\beta n}^t$: t 时段从港口 α 到港口 β 的第 n 种空箱类型单位运输费用, $\alpha \in SUP, \beta \in PUD, n \in N, t \in T$, 其中 $\alpha \cap \beta = \emptyset$; $LC_{\alpha n}^t$: t 时段港口 α 的第 n 种空箱类型单位装船费用, $\alpha \in SUP, n \in N, t \in T$; $UC_{\beta n}^t$: t 时段港口 β 的第 n 种空箱类型单位卸船费用, $\beta \in PUD, n \in N, t \in T$; HC_{mn} : 需求港从系统外租第 n 种空箱类型箱的单位费用, $m \in M, n \in N$; SC_{in} : 在供给港 i 的第 n 种空箱类型存储费率, $i \in S, n \in N$; DC_{jn} : 在需求港 j 的第 n 种空箱类型存储费用, $j \in D, n \in N$; $V_{\alpha\beta n}^t$: 各个阶段从港口 α 到港口 β 第 n 种空箱类型的班轮运力约束, $\alpha \in SUP, \beta \in PUD, n \in N$, 其中 $\alpha \cap \beta = \emptyset$ 。

3) 决策变量。

$x_{\alpha\beta n}^t$: t 时段从港口 α 到港口 β 的第 n 种空箱类型的运输量, $\alpha \in SUP, \beta \in PUD, n \in N, t \in T$, 其中 $\alpha \cap \beta = \emptyset$; y_{mjn}^t : 各个阶段需求港 j 的从 M 地的第 n 种空箱类型租箱数量 $m \in M, j \in D, n \in N$ 。

2.3 目标函数

目标函数考虑了从供给港到需求港的运输费用、装卸费用、存储费用及租赁费用之和最小。表达式如下:

$$F_{\min} = \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{\alpha \in SUP} \sum_{\beta \in PUD} x_{\alpha\beta n}^t (TC_{\alpha\beta n}^t + LC_{\alpha n}^t + UC_{\beta n}^t) + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{m \in M} y_{mjn}^t HC_{mn} + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in S} QS_{in}^{t-1} SC_{in} + \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{j \in D} QD_{jn}^{t-1} DC_{jn} \quad (1)$$

2.4 约束条件

根据已知条件和假设, 可得如下约束条件:

$$\sum_{\beta \in PUD} x_{\alpha\beta n}^t \leq S_{in}^t + QS_{in}^{t-1}, \forall t \in T, \forall i \in S, \forall n \in N \quad (2)$$

$$\sum_{\alpha \in SUP} x_{\alpha j n}^t + \sum_{m \in M} y_{mjn}^t + QD_{jn}^{t-1} \geq D_{jn}^t, \forall t \in T, \forall j \in D, \forall n \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S} x_{ikn}^t = \sum_{j \in D} x_{kjn}^t, \forall t \in T, \forall n \in N, \forall k \in P \quad (4)$$

$$x_{\alpha\beta n}^t \leq V_{\alpha\beta n}^t, \forall t \in T, \forall n \in N, \quad (5)$$

$$\forall \alpha \in SUP, \forall \beta \in PUD, \alpha \cap \beta = \emptyset$$

$$QS_{in}^t = S_{in}^t + QS_{in}^{t-1} - x_{i\beta n}^t, \forall t \in T, \quad (6)$$

$$\forall n \in N, \forall i \in S, \forall \beta \in PUD$$

$$QD_{jn}^t = QD_{jn}^{t-1} + x_{\alpha j n}^t + y_{mjn}^t - D_{jn}^t, \quad (7)$$

$$\forall t \in T, \forall n \in N, \forall \alpha \in SUP$$

$x_{\alpha\beta n}^t, x_{ikn}^t, x_{kjn}^t, y_{mjn}^t, QD_{jn}^t, QS_{in}^t$ 全取非负整数。

式 (2) 表示在每个阶段中, 供给港可提供的各种箱型数量不超过港口自身的供应能力; 式 (3) 表示在每个阶段中通过各种途径调运的各种集装箱类型必须满足需求港的需求; 式 (4) 表示为各个阶段中转港的各种进口空箱量等于出口空箱量; 式 (5) 表示每个阶段的空箱调运箱量必须满足班轮的运力约束。式 (6) 表示供给港在各个阶段的各种箱型空箱量转移公式; 式 (7) 表示需求港在各个阶段的各种箱型空箱量转移公式。

3 算例求解及分析

3.1 参数设置

本算例中有 3 个供给港、2 个中转港、3 个需求港和两个租箱地。计划周期长度为 $3T$, 即 3 个时段, 每个时段为 T 。

系统内各港口在规划期内的空箱供给和需求数据等信息已知, 如下所示: 其中表 1 表示各个阶段各供给港各种箱型可供量; 表 2 表示各个阶段各需求港的各种箱型需求量; 表 3 表示计划周期内各个港口及与其他公司融舱协议价的各种箱型运输费率; 表 4 表示各个港口的各种箱型空箱装卸费率; 表 5 表示各个港口的各种箱型存储费率; 表 6 表示租箱地的各种箱型租箱费率; 表 7 为供给港和需求港所持有的各种箱型的初始数据; 表 8 为各个港口之间的运力约束。

表 1 供给港的空箱供给量

港口	箱					
	1T		2T		3T	
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
S_1	13	16	21	4	0	5
S_2	0	19	3	12	17	1
S_3	1	11	30	19	28	13

表2 需求港的空箱需求量 箱

阶段	1T		2T		3T	
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
D_1	19	11	19	24	37	21
D_2	19	26	31	12	18	27
D_3	22	29	20	25	25	16

表3 港口间的空箱运输费率 元/箱

港口	D_1		D_2		D_3	
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
S_1	645	1 350	764	1 381	717	1 298
S_2	637	1 277	623	1 345	635	1 276
S_3	698	1 401	635	1 282	740	1 305

港口	P_1		P_2	
	n_1	n_2	n_1	n_2
S_1	319	656	325	595
S_2	339	673	305	617
S_3	292	696	313	611
D_1	227	491	227	399
D_2	202	422	282	434
D_3	262	440	229	393

表4 各个港口的空箱装卸费率 元/箱

箱量	装载				卸载					
	S_1	S_2	S_3	P_1	P_2	P_1	P_2	D_1	D_2	D_3
n_1	69	80	62	56	58	53	57	72	80	80
n_2	109	112	108	77	74	79	75	113	116	104

表5 存储费率 元/箱

箱量	S_1	S_2	S_3	D_1	D_2	D_3
n_1	37	39	38	30	37	32
n_2	42	41	46	44	49	40

表6 租箱费率 元/箱

箱量	租箱地	
	M_1	M_2
n_1	1 324	1 381
n_2	1 526	1 557

表7 初始数据 箱

箱量	S_1	S_2	S_3	D_1	D_2	D_3
n_1	4	2	15	6	4	1
n_2	10	4	8	7	2	10

表8 运力约束 箱

箱量	$S \rightarrow D$	$S \rightarrow P$	$P \rightarrow D$
n_1	30	30	30
n_2	25	20	25

3.2 结果及分析

在不考虑使用中转港的情况下，经计算得到各阶段的调运结果。其中第二阶段调运方案见图2。

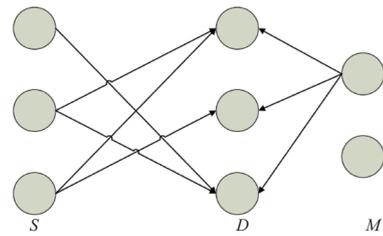


图2 无中转港的情况下第2阶段调运方案 (20 ft, 40 ft)

调运箱量： $S_1 \rightarrow D_3$: (0,5); $S_2 \rightarrow D_1$: (17,0); $S_2 \rightarrow D_3$: (0,1); $S_3 \rightarrow D_1$: (10,0); $S_3 \rightarrow D_2$: (18,13)。

租赁箱量： $M_1 \rightarrow D_1$: (4,21); $M_1 \rightarrow D_2$: (0,14); $M_1 \rightarrow D_3$: (25,10)。

通过以上调运可满足各个港口的需求，调运的总费用为452 815.0元。其中运输费用289 064.0元，租赁费用为162 360.0元，存储费分别为1 391.0元。

现考虑使用基于融舱协议的集装箱中转港，各个港口与中转港口之间的融舱调运费用如表3和表4所示，经计算得到各个阶段的调运结果，其中第2阶段的调运方案如图3所示。

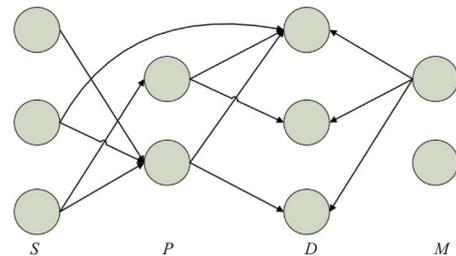


图3 有中转港的情况下第2阶段调运方案 (20 ft, 40 ft)

调运箱量： $S_2 \rightarrow D_1$: (17,0);

中转箱量： $S_1 \rightarrow P_2$: (0,5); $S_2 \rightarrow P_2$: (0,1); $S_3 \rightarrow P_1$: (28,0); $S_3 \rightarrow P_2$: (0,13); $P_1 \rightarrow D_1$: (10,0); $P_1 \rightarrow D_2$: (18,0); $P_2 \rightarrow D_1$: (0,3); $P_2 \rightarrow D_3$: (0,16)

租赁箱量： $M_1 \rightarrow D_1$: (8,18); $M_1 \rightarrow D_2$: (0,27); $M_1 \rightarrow D_3$: (25,0);

调运总费用为434 476.0元。其中运输费用271 157.0元；租赁费用162 360.0元；存储费用959.0元。通过以上调运方案和方法从而实现满足各个港口空箱需求情况下的最小调运费用。

两种调运方式的各种费用如图4所示，使用有融舱协议的中转港后的总的调运费用节省18 339.0元，比前者降低了4.05%。在所有调运成本中，运输费用占62.41%，降低了6.20%；租赁费用占

37.37%; 存储费用占0.22%, 降低了31.06%。在所有费用中, 运输费用所占比例最大, 租赁费用次之, 最后是存储费用。班轮公司应优先降低运输费用, 其次降低租赁费用。使用中转港后, 由于线路的优化, 运输费用有所下降; 同时调运路线的合理也使存储量大大降低, 相应的存储费用比例大大降低。在整个系统中租赁成本不变, 说明使用中转港不能降低系统内的缺箱数量, 降低系统内的缺箱成本需要通过其他途径解决。

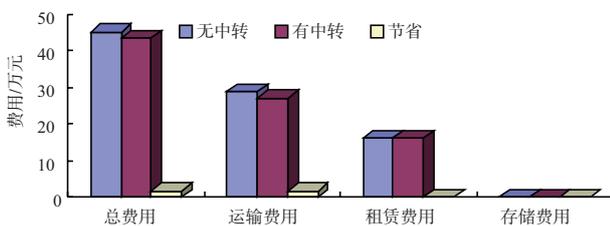


图4 空箱调运各种费用

从以上结果中可以得出以下策略: 通过中转港 P_1 的转运的40 ft集装箱调运费用比较低, 通过中转港 P_2 的转运的20 ft集装箱调运费用相对较低; 班轮公司可优先考虑在这两条线路上进行转运。对比发现 M_1 地集装箱租赁较为便宜; 班轮公司可选择与 M_1 地供应商建立战略联盟关系保证需求。为了减少费用, 系统主要通过从其它港口调运的方式来满足需求箱港的需求; 其次为租赁方式。在需求港对空箱有需求时, 如果有库存, 应优先把供给港中库存的空箱消耗掉。

4 结语

本文讨论了基于融舱的中转空箱调运问题, 充分考虑了空箱调运问题中多箱型的实际情况, 建立了多阶段多箱型的集装箱空箱中转调运优化模型。采用规划软件对模型求解, 得到更灵活的空箱调运方案, 并根据所得结果为班轮公司制定出了调运策略。结果表明使用基于融舱协议的中转港能够大大降低生产经营成本, 优于传统的直接调运方案, 能够提高航运企业的空箱调运管理水平和效率, 节省调运费用, 所建立的模型对空箱调运决策具有较强的指导意义。今后的研

究中, 可以对多箱型的相互替换问题做进一步分析, 提供更高效率的调运方案。

参考文献:

- [1] 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): 70-89.
- [2] 王斌, 卢毅勤, 朱木元. 集装箱空箱海上调运优化模型[J]. 航海工程, 2005(6): 72-74.
- [3] Li Jing An, Liu Ke, Leung S, et al. Empty container management in a port with long-run average criterion[J]. Mathematiccal and Computer Modelling, 2003(40): 85-100.
- [4] 丁敏. 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Shen W S, Khoong C M. A DSS for empty container distribution planning[J]. Decision Support Systems, 1995(15): 75-82.
- [8] Lam Shao-Wei, Lee Loo-hay, Tang Loon-Ching. An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem[J]. Transportation research: Part E, 2007(15): 265-277.
- [9] Dong Jing-xin, Song Dong-ping. Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems[J]. Transportation Research: Part E, 2009(15): 860-877.
- [10] Song Dong-ping, Dong Jing-xin. Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports[J]. Transport Policy, 2010(18): 92-101.
- [11] Massimo Di Francesco, Teodor Gabriel Crainic. The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning[J]. Transportation Research: Part E, 2009 (45): 758-770.
- [12] 杨扬, 王迪. 港口集装箱空箱调度的遗传优化算法[J]. 物流科技, 2010(2): 25-28.
- [13] 王斌. 海运空箱调运模糊优化研究[J]. 港工科技, 2007(4): 11-13.
- [14] 杨银奇. 集装箱空箱调运问题研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.

(本文编辑 武亚庆)