

文章编号: 1000-4653(2020)03-0105-07

共享堆场协议下海铁联运集装箱堆场分配优化

靳志宏¹, 王小寒¹, 任刚^{1,2}, 郭姝娟¹

(1. 大连海事大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026;

2. 大连金港联合汽车国际贸易有限公司, 辽宁 大连 116601)

摘要: 为经济、合理地利用港口和中心站堆场资源,从海铁联运协调部门角度出发,研究在共享堆场协议下的堆场分配问题。以集装箱在港口换装过程中支付的费用最小为目标,构建进口箱堆场分配的混合整数线性规划模型,并采用 Cplex 进行求解。对共享堆场协议和传统堆存形式进行数值对比试验,并选取免费堆存期、堆场容量限制和集卡费用等因素进行灵敏度分析。结果表明:共享堆场协议能有效节省海铁联运集装箱在港口换装产生的总费用,为货主进行堆场分配提供决策支持。

关键词: 共享堆场协议; 海铁联运; 堆场分配; 集装箱

中图分类号: U169.65

文献标志码: A

Container Yard Allocation Optimization of Sea-Rail Intermodal Transportation under Yard Sharing Agreement

JIN Zhihong¹, WANG Xiaohan¹, REN Gang^{1,2}, GUO Shujuan¹

(1. College of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. Dalian United King Port Auto Trade Co., Ltd., Dalian 116601, China)

Abstract: For integration purpose, a mixed integer liner programming model is established to minimize the cost in the transiting process at the port under the constraint of the yard sharing agreement signed by port, railway center and cargo owner. The model is solved by Cplex. The yard allocation according to the yard sharing agreement and in traditional storage form is simulated individually. The sensitivity analysis is conducted against the factors about free storage period and capacity of container terminal and the unit transportation cost of the trucks. The results show that the yard sharing agreement can effectively save the transiting cost of the sea-rail intermodal transportation containers at the port and can be a reference for cargo owner in conducting container transit.

Key words: yard sharing agreement; sea-rail intermodal transportation; yard allocation; container

“海—堆场—铁”是我国常用的集装箱海铁联运模式。近年来,随着海铁联运网络的完善和营运里程的延伸,海铁联运集装箱在港内的运输量和堆存量不断增加,为应对这种情况,港口联合铁路集装箱中心站(简称“中心站”)与货主达成共享堆场协议,即设置海铁联运协调部门,按照货主提供的海铁联运集装箱到港计划,共同制定堆场预留计划,为货主预留一定的堆存容量。由货主与协调部门交涉,

选择将集装箱堆存在码头堆场或中心站堆场,也可进行2个堆场之间的转移,而实际决策权由海铁联运协调部门掌握。在此背景下,如何经济合理地对进港海铁联运集装箱进行堆场分配得到越来越多学者的关注。

关于码头堆场集装箱堆存问题: CHEN 等^[1]以运输成本最小、作业量均衡和翻箱量最小为目标,研究出口箱箱区分配和箱位指派问题; TAN 等^[2]提出

收稿日期: 2020-04-20

基金项目: 国家自然科学基金(71702019); 辽宁省自然科学基金联合基金项目(2020HYLH49)

作者简介: 靳志宏(1963—),男,辽宁沈阳人,教授,博士,博士生导师,研究方向为物流系统优化与模拟仿真。

E-mail: jinzhihong@dlmu.edu.cn

通信作者: 郭姝娟(1983—),女,辽宁营口人,讲师,博士,研究方向为物流系统优化与模拟仿真。E-mail: guoshujuan@dlmu.edu.cn

柔性模块堆存策略,综合考虑出口和转运集装箱的堆场空间分配和场桥调度问题;LEE等^[3]研究多码头集装箱转运枢纽内的码头分配和堆场空间分配问题;ZHEN等^[4]探讨转船集装箱箱区的分配问题,以集装箱货流的总运输成本最少为目标构建模型。

关于中心站堆场集装箱的堆存问题:王力等^[5-6]和WANG等^[7-8]研究空间资源调度问题,并将箱区分配与箱位指派、箱位指派和装卸资源调度联合研究;ZENG等^[9]研究轨道吊调度和箱区分配问题,以卸载任务完工时间最短为目标构建模型。

关于海铁联运堆场资源的调度问题:武慧荣等^[10]建立以箱区作业量均衡为目标的混堆堆场箱区分配模型,但将集装箱堆放于港口后方堆场;SCHEPLER等^[11]对多码头间的船舶、集卡和火车的调度问题进行研究,以船舶和火车的加权周转时间最短为目标建立模型。必为建等^[12]考虑火车容量和配载约束解决海铁联运集装箱的配载问题,构建以集卡总运输距离最短为目标的整数线性规划模型;计明军等^[13]以压箱量最小为目标分析海铁联运中心站堆场箱位分配问题。

综上所述,目前集装箱的堆存问题大多是针对码头堆场或中心站堆场研究的,关于二者联合调度和优化的研究较少。另外,海铁联运方面的研究主要集中于箱区分配、箱位指派和装卸资源调度,尚未考虑港口和中心站2个不同经营主体的堆场分配问题。而在共享堆场协议下,协调部门可根据货主的需求对海铁联运集装箱(简称集装箱)进行堆场分配。本文基于共享堆场协议研究集装箱堆场分配问

题,以集装箱在港口换装产生的总费用最小为目标建立整数线性规划模型,并采用Cplex进行优化求解和灵敏度分析。

1 问题描述

共享堆场协议将集装箱的堆存扩展为中心站堆场和码头堆场2个主要区域。集装箱主要堆存在中心站装卸线堆场。因此,本文主要研究中心站装卸线堆场和港口码头堆场。

本文以海铁联运进口箱为例,在共享堆场协议下研究班轮到港时间与班列到站时间不一致时的堆场分配问题。在传统形式下,进口箱从船舶卸载至码头堆场,列车抵站后方被运输至铁路装卸线运出,具体换装环节见图1。在共享堆场协议下,进口箱抵港之后,协调部门可根据货主需求,综合考虑堆存容量限制、免费堆存期和换装费用等多种因素,合理进行堆场分配,共有3种堆存方案可供选择。

- 1) 方案一: 船舶—码头堆场—班列。
- 2) 方案二: 船舶—中心站堆场—班列。
- 3) 方案三: 船舶—码头堆场—中心站堆场—班列。

具体换装流程如图1所示。与传统形式相比,共享堆场协议可有效释放码头堆场的空间资源,充分利用中心站堆场的堆存空间,弥补因一方堆存容量不足而无法满足货主的堆存需求。同时,协调部门为考虑货主的经济利益对堆场进行合理分配,可有效吸引海铁联运货源。



图1 2种堆存形式下海铁联运进口箱换装流程

在共享堆场协议下,集装箱可能存在转场的情形,即从码头堆场转移至中心站堆场,产生转场的原因主要包括以下3点:

- (1) 海运集装箱的堆存优先级高于海铁联运集装箱,当码头堆场空间资源紧张需要疏港。
- (2) 集装箱在码头堆场的堆存期超过免费堆存

期后将产生堆存费用。为节省堆存费用,货主可能提出转场的要求。

(3) 当超过堆场规定的最大可容许堆存期时,港口可能强制要求集装箱离港。

此外,由于每个集装箱在码头堆场和中心站堆场的各个箱区和箱位产生的费用一致,不考虑将集装箱分配到堆场的具体箱区和箱位。

2 模型构建

2.1 前提假设

1) 船舶承载的集装箱的目的地和数量已知,列车的装载计划和到站时间已知,根据装载计划和目的地相同进行分组。

2) 所有到港的集装箱都须经历卸载—堆存—装载的过程,即考虑集装箱都必须落在箱区的情景。

3) 集装箱的转场至多发生1次,且只能从码头堆场转移至中心站堆场。

4) 集装箱的箱型均为20英尺箱。

2.2 符号说明

2.2.1 集合与参数

H 为列车集合, $h \in H$; T 为时间段集合, $t \in T$; G 为集装箱组集合, $g \in G$; Q_1 为码头堆场预留的堆存容量; Q_2 为中心站堆场预留的堆存容量; η_1 为码头堆场预留堆存密度系数; η_2 为中心站堆场预留堆存密度系数; M_{gt} 为 g 组集装箱是否在 t 时间段到达; $L_{gh,t}$ 为 g 组集装箱是否将被装载至第 t 时间段到达的班列 h 上; D_t 为 t 时间段码头堆场是否需要疏港; N_g 为 g 组集装箱个数; T_1 为码头堆场的免费堆存期; P_{T_1} 为码头堆场的容许堆存期; M_{T_1} 为码头堆场的最大容许堆存期; T_2 为中心站堆场的免费堆存期; P_{T_2} 为中心站堆场的容许堆存期; M_{T_2} 为中心站堆场的最大容许堆存期; c_1 为码头堆场堆存集装箱超免费堆存期但未超容许堆存期时的单位堆存费用; c_{m_1} 为码头堆场堆存集装箱超容许堆存期时的单位堆存费用; c_2 为中心站堆场堆存集装箱超免费堆存期但未超容许堆存期时的单位堆存费用; c_{m_2} 为中心站堆场堆存集装箱超容许堆存期时的单位堆存费用; c_{d_2} 为集装箱在中心站堆场超过最大允许堆存期限时的单位短捣费用; $c_{yc,1}$ 为码头堆场场桥单位装卸费用; $c_{yc,2}$ 为中心站堆场轨道吊单位装卸费用; $c_{tr,1}$ 为码头内集卡单位 TEU 的运输费用; $c_{tr,2}$ 为码头外集卡单位 TEU 的运输费用; d_1 为从泊位至码头堆场目标位置的距离; d_2 为从泊位运至中心站堆场目标位置的距离; d_3 为集装箱从码头堆场目标位置转移到中心

站堆场目标位置的距离; MM 为充分大的常数。

2.2.2 决策变量

x_{gt} 为 $0 \sim 1$ 变量。若 t 时间段 g 组集装箱堆存在码头堆场,则 $x_{gt} = 1$, 否则 $x_{gt} = 0$; 若 t 时间段 g 组集装箱堆存在中心站堆场,则 $y_{gt} = 1$, 否则 $y_{gt} = 0$; 若 t 时间段 g 组集装箱转场,即 t 时间段堆存在码头堆场, $t+1$ 时间段转移到中心站堆场,则 $z_{gt} = 1$, 否则 $z_{gt} = 0$ 。

2.2.3 衍生变量

$C_{g,1}$ 为 g 组集装箱在码头堆场的堆存费用; $C_{g,2}$ 为 g 组集装箱在中心站堆场的堆存费用; C_g 为 g 组集装箱在中心站的短捣费用; E_g 为 g 组集装箱的运输费用; F_g 为 g 组集装箱的装卸费用。

2.3 数学模型

目标函数为

$$\min \sum_{g=1}^G (E_g + F_g + C_{g,1} + C_{g,2} + C_g) \quad (1)$$

约束条件为

$$x_{gt} + y_{gt} = 1, g \in G; t \in [a_g, b_g] \quad (2)$$

$$a_g = \{t | M_{tg} = 1; g \in G\}, b_g =$$

$$\{t | \sum_{h \in H} L_{gh,t} = 1, g \in G\} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{t-1} x_{gk} + y_{gk} = 0, g \in G; t = \{t | M_{tg} = 1, g \in G\} \quad (4)$$

$$\sum_{k=t+1}^T x_{gk} + y_{gk} = 0, g \in G; t = \{t | \sum_{h \in H} L_{gh,t} = 1, g \in G\} \quad (5)$$

$$x_{gt+1} \leq 1 - y_{gt}, g \in G; t \in T \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} z_{gt} \leq 1, g \in G \quad (7)$$

$$\sum_{k=t+1}^T x_{gk} \leq MM(1 - z_{gt}), g \in G; t \in T \quad (8)$$

$$z_{gt} \leq 0.5(x_{gt} + y_{gt+1}) \leq z_{gt} + 0.5, g \in G; t \in T \quad (9)$$

$$x_{gt} D_{gt+1} \leq z_{gt} \leq x_{gt}, g \in G; t \in T \quad (10)$$

$$z_{gt} = 1, g \in G; t \in \{t | \sum_{i=1}^T x_{gi} > M_{T_1}, g \in G\} \quad (11)$$

$$\sum_{g \in E} x_{gt} \leq \eta_1 Q_1, t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{g \in E} y_{gt} \leq \eta_2 Q_2, t \in T \quad (13)$$

$$C_{g,1} = \begin{cases} 0, \sum_{t \in T} x_{gt} \leq T_1 \\ c_1(\sum_{t=1}^T x_{gt} - T_1) N_g, T_1 < \sum_{t \in T} x_{gt} \leq P_{T_1} \\ c_1(P_{T_1} - T_1) N_g + c_{m1}(\sum_{t \in T} x_{gt} - P_{T_1}) N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} > P_{T_1} \end{cases}, g \in G \quad (14)$$

$$C_{g,2} = \begin{cases} 0, \sum_{t \in T} y_{gt} > T_2 \\ c_2(\sum_{t \in T} y_{gt} - T_2) N_g, T_2 < \sum_{t \in T} y_{gt} \leq P_{T_2} \\ c_2(P_{T_2} - T_2) N_g + c_{m2}(\sum_{t \in T} y_{gt} - P_{T_2}) N_g, \sum_{t \in T} y_{gt} > P_{T_2} \end{cases}, g \in G \quad (15)$$

$$C_g = Cd_2 N_g, g \in \{g \mid (\sum_{t \in T} y_{gt} - M_T) > 0\} \quad (16)$$

$$E_g = \begin{cases} (c_{lr,1} d_1 + c_{lr,2} d_3) N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} > 0, \sum_{t \in T} z_{gt} = 1 \text{ 或 } 0, \sum_{t \in T} y_{gt} = 0 \\ c_{lr,1} d_2 N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} = 0, \sum_{t \in T} z_{gt} = 0, \sum_{t \in T} y_{gt} > 0 \end{cases}, g \in G \quad (17)$$

$$F_g = \begin{cases} (2c_{yc,1} + c_{yc,2}) N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} > 0, \sum_{t \in T} z_{gt} = 0, \sum_{t \in T} y_{gt} = 0 \\ (2c_{yc,1} + 2c_{yc,2}) N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} > 0, \sum_{t \in T} z_{gt} = 1, \sum_{t \in T} y_{gt} = 0, g \in G \\ 2c_{yc,2} N_g, \sum_{t \in T} x_{gt} = 0, \sum_{t \in T} z_{gt} = 0, \sum_{t \in T} y_{gt} > 0 \end{cases} \quad (18)$$

$$x_{gt}, y_{gt}, z_{gt} \in \{0, 1\}, g \in G; t \in T \quad (19)$$

$$C_{g,1}, C_{g,2}, CC_{g,2}, E_g, F_g \in R_+; g \in G \quad (20)$$

式(1)为规划期内集装箱在港口换装产生的总费用最小,包括运输、装卸、堆存和短捣费用等4部分;式(3)为任一集装箱组在到港与离站时间段之间,必须堆存在码头堆场或中心站堆场中的任一个堆场;式(4)和式(5)约束任一集装箱组在到港前和离站后的时间段,不会堆存在任一堆场;式(6)和式(7)为进口箱的转场只能从码头堆场转到中心站堆场,且转场只发生1次。式(8)和式(9)为决策变量 z_{gt} 、 x_{gt} 和 y_{gt} 之间的关系;式(10)为码头堆场有疏港要求时,集装箱必须转场;式(11)为码头堆场堆存超过最大可允许堆存期限时,集装箱必须转场;式(11)和式(13)限制码头堆场和中心站堆场的堆存容量;式(14)和式(15)中为集装箱在码头堆存和中心站的堆存费用;式(16)计算中心站堆场的短捣费用,当集装箱堆存在中心站堆场超过最大允许堆存期限时,需将其短捣至中心站辅助堆场;式(17)和式(18)分别计算集装箱在港换装期间发生的运输费用和装卸费用;式(19)~式(20)为变量取值范围。

在共享堆场协议下,集装箱堆场分配优化模型为混合整数线性规划问题,实质上为二次分配问题^[3]。目前,在规划期为1个月之内,某一货主的、

联运集装箱量较少且本文决策变量为3个二维变量。因此,研究问题属于小规模问题,在3 600 s内可利用Cplex求出问题的精确解。

3 数值试验与灵敏度分析

3.1 数值试验

本文以大连港为例,调查某货主某月的海铁联运集装箱的到港和离站信息,得到一组真实数据(见表1)。以表1中最后1组集装箱装载至班列的时间为研究时间段。码头堆场和中心站堆场预留给货主的箱位分别为240个和200个。考虑到集装箱的翻倒箱操作,堆存密度设为0.8。假设码头堆场和中心站堆场的免费堆存期分别为5 d和10 d,可容许堆存期限分别为10 d和20 d,最大可允许堆存期限为15 d和30 d。

3.2 试验结果和分析

由于数学模型为混合整数线性规划问题,可采用Cplex进行求解,从而能验证模型的正确性和试验结果的精确性。

在共享堆场协议下,计算表1数据得出试验结果见表2。各时间段集装箱组的堆存状态见图2。为更好地体现码头堆场和中心站堆场共享堆存的优势,对共享堆场协议和传统堆存形式下集装箱在港换装环节产生的总费用进行比较如表2所示。

表 1 海铁联运集装箱组信息

集装箱组/ 个	卸船 时间/d	装车 时间/d	集装箱数/ TEU	集装箱组/ 个	卸船 时间/d	装车 时间/d	集装箱数/ TEU
1	3	5	30	19	17	23	26
2	3	9	18	20	17	29	12
3	3	12	10	21	17	32	11
4	3	16	12	22	21	26	20
5	7	9	35	23	21	32	12
6	7	16	22	24	21	36	16
7	7	19	12	25	21	39	17
8	10	12	29	26	24	26	33
9	10	16	23	27	24	29	15
10	10	17	32	28	24	36	12
11	10	19	10	29	24	39	6
12	14	16	27	30	27	36	19
13	14	17	12	31	27	39	12
14	14	19	5	32	27	41	10
15	14	22	16	33	30	36	16
16	14	23	7	34	30	39	9
17	17	19	9	35	30	41	13
18	17	22	8	36	30	44	5

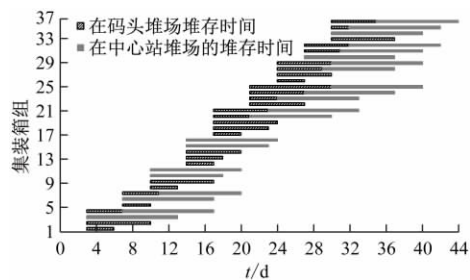


图 2 各时间段集装箱的堆场状态

表 2 2 种堆存形式下的费用对比

费用类型	共享堆场协议 目标函数(1)	传统堆存形式 目标函数(2)
堆存费用/元	1 260	16 724
短捣费用/元	0	3 500
运输费用/元	78 030	75 530
装卸费用/元	30 800	29 050
总费用/元	110 090	124 804
(2) 与 (1) 的差值 Δ /元	—	14714
Δ 与 (1) 的比值 η /%	—	13.37

由表 2 可知: 在共享堆场协议下, 总费用降低 13.37% 的原因在于传统堆存形式存在集装箱多次搬移、堆存费用高和堆存空间不足等弊端, 而共享堆场协议可充分、合理地利用码头和中心站的空间和装卸资源, 同时能减少降低货主的换装费用。

3.3 灵敏度分析

为验证模型的有效性和普适性, 以表 1 中的数据为例, 选取码头堆场和中心站堆场免费堆存期和堆存容量以及码头内、外集卡的单位运输费用等 6 个因素, 设定 3 个情境进行灵敏度分析, 每个情景只改变 1 个因素, 而其他参数保持不变。

3.3.1 情景 1

由于在不同的港口和同一个港口的不同的政策下, 集装箱在堆场的免费堆存期不一致, 因此选择免费堆存期进行灵敏度分析。本文假设堆场的堆存期之间的关系为 $T_1:P_{T_1}:M_{T_1}(T_2:P_{T_2}:M_{T_2})=1:2:3$ 。试验结果见表 3 和图 3。

由表 3 可知: 共享堆场协议的平均优化程度为 16.69%, 证明共享堆场协议在减少集装箱在港换装总费用方面具有普遍适用性。与传统形式相比, 随

表3 码头堆场的免费堆存期改变的结果对比

码头堆场 免费堆 存期/d	共享堆场 协议目标 函数(1)	传统堆存 形式目标 函数(2)	(2)与(1) 的差值 Δ /元	Δ 与(1) 的百分比 η /%
3	112 575	153 726	41 151	36.55
4	111 071	137 318	25 617	23.06
5	110 090	124 804	14 714	13.37
6	109 302	117 270	7 968	7.29
7	108 742	112 224	3 482	3.20

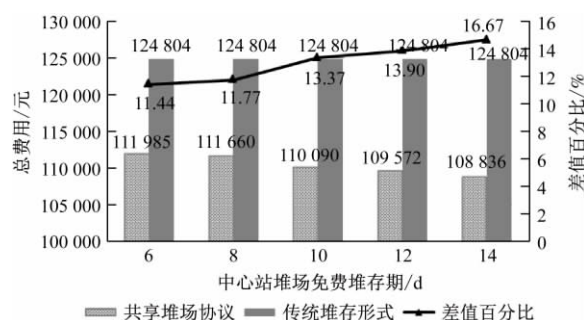


图3 改变中心站堆场的免费堆存期的结果对比

随着码头堆场免费堆存期增加,在共享堆场协议下的目标函数呈现较明显地减小。差值百分比最大为36.55%。其原因在于码头堆场免费堆存期越长,货主就越偏向于将集装箱堆存在码头堆场,2种堆存形式的目标值越接近。此外,纵向比较发现:码头堆场免费堆存期增加会导致共享堆场协议形式的目标函数减小,但减小程度较平缓,平均下降速率为0.862%,这是由于堆存费用在总费用中的占比比较小。

由图3可知:共享堆场协议的目标值均优于传统的堆存形式,平均优化程度为13.03%,且中心站免费堆存期变化对传统堆存形式无影响。此外,由纵向比较可知:在共享堆场协议下,免费堆存期增加使换装费用小幅度下降,证明中心站免费堆存期是影响共享堆场协议下的堆场分配因素之一,但不是关键因素。

3.3.2 情景2

空间资源有限是提出共享堆场协议的关键因素,因此情景2分别验证码头堆场和中心站堆场容量变化时模型依然有效,容量取值分别为180、200、220、240、260和280时,验证共享堆存协议和传统堆存形式下的试验结果。

当码头堆场容量取值分别为180、200和220时,传统堆存形式下均无可行解,这表明有限的码头堆场容量无法满足集装箱堆存要求,而共享堆场协

议可有效弥补码头堆场堆存空间不足的现状,且可使在港换装费用节省13.36%。由纵向比较可知:当码头堆场容量取值不同时,在共享堆场协议下目标函数不变均为110 090元,因此可知码头堆场容量不是影响共享堆场协议下堆场分配的因素。

在共享堆场协议下,当中心站堆场容量超过240时,总费用不再发生变化,说明当中心站提供充足容量后,中心站堆场容量便不再是影响堆场分配的因素,同时证明模型在充分利用中心站堆场空间资源方面是有效的,且共享堆场协议的目标函数值优于传统形式,优化程度高达52.04%。

3.3.3 情景3

在海铁联运过程中,集装箱从岸桥卸至码头堆场的水平运输由码头内集卡完成,外集卡无法进入岸桥下接卸集装箱。在共享堆场协议下,码头堆场到中心站堆场的水平运输由外集卡完成,且内、外集卡的单位运输费用不一致。因此,在情景3下验证码头内、外集卡单位距离运输费用对集装箱堆场分配的影响结果对比分别见图4和图5。

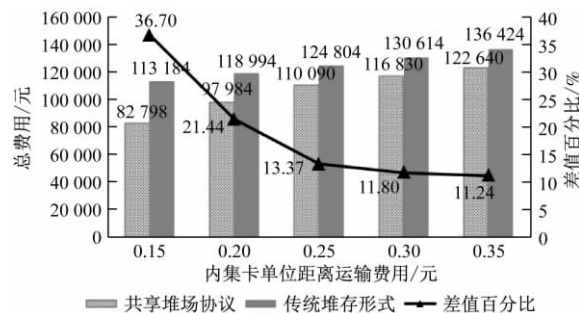


图4 改变码头内集卡的单位运输费用的结果对比

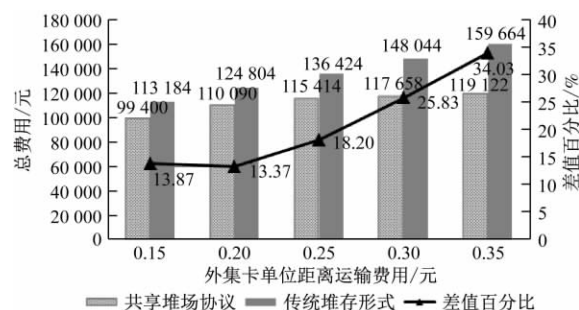


图5 改变码头外集卡的单位运输费用的结果对比

由图4可知:共享堆场协议的试验结果都优于传统堆存形式,平均优化程度为18.91%,最高为36.70%,且优化程度呈现先快后平缓的趋势,这是由于运输费用是总费用的主要部分,当码头内集卡运输费用较低时,使用内集卡将集装箱运输至中心站堆场堆存更具经济性。此外,内集卡单位运输费用增加导致共享堆场协议的总费用平均增加4.28%,因此试验证明内集卡的单位运输费用是影

响集装箱堆场分配的重要因素,同时说明共享堆场协议对降低集装箱换装成本具有良好的效果。

由图5可知:随着外集卡单位距离运输费用增加,共享堆场协议和传统堆存形式下的集装箱在港中转产生的总费用均增加,其原因在于2种堆存形式中均存在将集装箱从码头堆场运输至中心站堆场的环节,而这一环节需要外集卡完成。共享堆场协议的目标函数值均优于传统堆存形式,平均优化程度为21.06%。这说明共享堆场协议在降低海铁联运业务总费用方面具有优越性,验证了模型的普适性。因此,得出外集卡单位距离运输费用能影响集装箱的堆场分配的结论。

综上分析可知:有限的堆场容量是共享堆场协议提出的现实因素,其他4个因素通过影响集装箱在港中转的总费用来影响集装箱的堆场分配。试验结果表明:在共享堆场协议下的目标值比传统堆存形式更优,但不同试验的优化程度不同。在共享堆场协议下,货主合理地进行堆场分配能节省3.20%~52.04%的费用。码头堆场容量不是影响在共享堆场协议下堆场分配的因素,当中心站堆场容量充足后,该因素对堆场分配方案不再产生影响,而此时免费堆存期和集卡运输费用是影响在共享协议下堆场分配的因素。

4 结束语

本文从海铁联运协调部门的角度出发,研究班轮到港时间与班列到站时间不一致时,海铁联运进口箱在共享堆场协议下的堆场分配问题。以集装箱在港换装过程中产生的总费用最小为目标函数,建立堆场分配的优化模型,并采用Cplex进行求解。通过比较共享堆场协议与传统堆存形式的试验结果可知:与传统堆存形式相比,在共享堆场协议下的堆场分配可使换装费用节省13.37%。同时,通过改变堆场免费堆存期和容量以及码头内、外集卡的单位运输费用等6个参数,创设3种情景进行灵敏度分析,验证了模型的有效性和普适性,从而为海铁联运协调部门在港口换装选择卸载堆场、何时转场以及堆存时间等提供决策支持,同时为港口、中心站和货主评估共享堆场协议提供理论依据。未来的研究将考虑港口与铁路联合作业下的车船直取情形下的作业优化问题。

参 考 文 献

[1] CHEN L, LU Z. The Storage Location Assignment Problem for Outbound Containers in a Maritime Terminal

- [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 135(1): 73-80.
- [2] TAN C, HE J, WANG Y. Storage Yard Management Based on Flexible Yard Template in Container Terminal [J]. Advanced Engineering Informatics, 2017, 34: 101-113.
- [3] LEE D, JIN J, CHEN J. Terminal and Yard Allocation Problem for a Container Transshipment Hub with Multiple Terminals [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2012, 48(2): 516-528.
- [4] ZHEN L, XU Z, WANG K, et al. Multi-Period Yard Template Planning in Container Terminals [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2016, 93: 700-719.
- [5] 王力,朱晓宁,闫伟,等. 铁路集装箱中心站堆场混堆优化模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(4): 172-178.
- [6] 王力,朱晓宁,谢征宇. 铁路集装箱中心站堆场空间资源均衡调度模型[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2015, 35(S1): 86-90.
- [7] WANG L, ZHU X, XIE Z. Storage Space Allocation of Inbound Container in Railway Container Terminal [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 2014(3): 1-10.
- [8] WANG L, ZHU X, XIE Z. Container Assignment Optimization Considering Overlapping Amount and Operation Distance in Rail-Road Transshipment Terminal [J]. Advances in Production Engineering & Management, 2017, 12(4): 363-374.
- [9] ZENG M, CHENG W, GUO P. Modelling and Metaheuristic for Gantry Crane Scheduling and Storage Space Allocation Problem in Railway Container Terminals [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017(12): 1-13.
- [10] 武慧荣,朱晓宁,邓红星. 集装箱海铁联运港口混堆堆场箱区均衡分配模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(4): 109-115.
- [11] SCHEPLER X, BALEV S, MICHEL S, et al. Global Planning in a Multi-Terminal and Multi-Modal Maritime Container Port [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2017, 100: 38-62.
- [12] 宓为建,秦翌,张晓华,等. 海铁联运集装箱装火车作业配载问题研究[J]. 物流工程与管理, 2016, 38(3): 113-116.
- [13] 计明军,黄思佳,郭文文. 海铁联运中心站堆场箱位指派优化[J]. 系统工程理论与实践, 2016, 36(6): 1555-1567.