

基于混堆模式的集装箱堆场空间分配研究

范佳静

(浙江科技学院 经济与管理学院,杭州 310023)

摘要: 在分析国内外港口集装箱堆存策略研究现状的基础上,提出了必须将集装箱箱区贝位作业平衡率及集卡在泊位与箱区贝位运输距离这两个矛盾目标置于同一个目标函数,并构建了相应的非线性整数规划模型。然后通过 Lingo 语言,应用文献算例中的数据对模型进行求解分析,得出在港口集装箱堆存时同时考虑箱区贝位作业平衡率和集卡运输距离能够获得系统整体最优。

关键词: 集装箱堆场;混堆模式;空间分配;作业平衡率;运输距离

中图分类号: F253.9;U691.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)03-0168-08

Space allocation for container terminal based on mixed storage model

FAN Jiajing

(School of Economics and Management, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: After analyzing the current research of container terminal storage planning at home and abroad, the author suggests that these two contrary objectives of operation balance rate of bay and vehicles transportation distance must be put into one objective function and builds a non-linear integer program model for this container terminal storage planning. By using Lingo to solve and analyze this model according to the data from literature, the result shows that the optimum can be get when considering these two contrary objectives of operation balance rate of bay and vehicles transportation distance at the same time.

Key words: container terminal; mixed storage model; space allocation; operation balance rate; transportation distance

全球经济一体化进程的不断加快,带动了集装箱吞吐量的高速增长,对集装箱码头的运作也提出了更高的要求。集装箱码头堆场是集装箱港口的主要组成部分,是保证集装箱在港口码头顺畅通过的关键区域,集装箱码头资源的有效利用,可以大大提高码头的运营效率和收益。

集装箱码头堆存策略主要考虑的是进口箱(船舶到港准备存入堆场的集装箱)和出口箱(顾客运至港

收稿日期: 2012-12-24

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(LQ13G010008);浙江省科技计划项目(2012C31004)

作者简介: 范佳静(1977—),女,浙江省杭州人,讲师,博士,主要从事工业工程与物流管理研究。

准备存入堆场的集装箱)在堆场空间的具体存放位置,目前主要包括两种策略:一种是进口箱和出口箱分开存放,也就是分堆;另外一种则是进口箱和出口箱混合存放,即混堆模式^[1]。国外期刊报道了研究者对集装箱堆存进行的大量研究,如 Sculli 和 Hui^[2]通过仿真的方法研究了堆场堆高、堆场利用率和翻箱率之间的关系;Preston 和 Kozan^[1]提出了以减少所有集装箱船周转时间为目标的集装箱存储模型;两位 Kim^[3]对处理进口集装箱提出了获得最优的存储空间的方法,并优化了搬运吊车的数量;Kim 和 Park^[4]对出口集装箱存储空间的分配进行了研究,从而可以有效利用空间和加快装载操作;Linn 和 Zhang^[5]通过建立整数规划模型来解决堆场集装箱的空间配置问题。

近几年,随着中国集装箱作业量的不断增加,为了更好地提高集装箱堆场效率,加快集装箱的周转速度,国内研究者也进行了相关研究。如李建忠^[6]应用两阶段法考虑集装箱的混堆问题,其第一阶段考虑集装箱作业量在各贝内的平衡,第二阶段考虑集卡在堆场和泊位之间的运输距离,最终确定进口箱和出口箱在堆场的存放位置;陶经辉和汪敏^[7]同样应用两阶段法来解决混堆模式下集装箱堆场区段的分配,第一阶段主要考虑各箱区的工作量平衡,第二阶段则考虑箱区内箱组间的平衡;卫家俊^[8]从减少翻箱次数的角度提出了出口集装箱堆存的启发式优化算法;周鹏飞和方波^[9]应用两级调度策略来分配出口箱箱位,包括贝位分配及贝位内具体位置的分配,在模型中通过考虑集装箱的属性来尽量减少翻箱次数;赵鹏^[10]应用系统动力学原理分析了集装箱码头堆场资源的分配问题。王斌^[11]、徐亚等^[12]、谈超风^[13]、王展^[14]等都做了相类似的研究。

从目前对集装箱堆存的研究来看,出口集装箱堆存主要考虑堆场的空间和设备资源的利用率问题,以及尽量减少集装箱的翻箱次数;而混堆模式则主要考虑平衡集装箱堆场各箱区贝位作业量的均衡及集卡在泊位和堆场之间运输距离的最小化。目前,研究者主要采用两阶段法来分析该过程,第一阶段主要考虑箱区间的作业量的平衡获得各箱区贝位的进口箱和出口箱作业量,然后以第一阶段为基础,结合考虑集卡的运输距离,确定各类集装箱具体存放位置,如李建忠等。但是箱区贝位作业量平衡目标和集卡运输距离最小目标是相互矛盾的,在第一阶段考虑各箱区贝位作业量均衡时会有一些集装箱不得不置于离泊位较远的箱区贝位,从而增加了集卡在堆场和泊位之间的运输距离;同样,如果单独考虑集卡在堆场和泊位间的运输距离,则会将相应的集装箱放置于离泊位最近的箱区贝位,从而造成各箱区贝位集装箱作业量的极度不平衡。因此,必须将这两个相互矛盾的目标置于同一目标函数,才能获得系统最优。

结合以上分析,本研究将同时以集装箱堆场各箱区作业量的均衡及集卡在泊位和堆场之间运输距离为目标,考虑混堆模式下各类集装箱的堆存计划。

1 模型的建立

1.1 问题的描述

集装箱存放策略的研究主要涉及进口箱和出口箱的存放,但在堆场作业时,为了更好地平衡各箱区的作业量,提高堆场吊桥的利用率,除了考虑进口箱和出口箱的操作外,还必须结合考虑已经存放在堆场中将被顾客提走或将被装入船舶出口的集装箱,因此本研究同时考虑四类集装箱(即进口箱,出口箱,以及已经存放在堆场中将被顾客提走和装入船舶的集装箱)在堆场中的存放和操作问题。

同时,考虑集装箱堆场各箱区贝位作业量的均衡,以及集卡在泊位和堆场之间运输距离这两个相互矛盾目标。为了便于两个目标能够通过设置不同权重置于同一个目标函数,本研究将这两个目标均转换成无量纲目标值。同时为了方便问题的分析,本研究考虑了以下假设:

- 1) 船舶到港时间及进口集装箱数量是已知的;
- 2) 顾客提箱需提前预约,即顾客具体提箱时间为已知;
- 3) 船舶离港时间及出口集装箱数量是已知的。

1.2 计划期的选择

本研究主要采用滚动方式来确定不同计划期内堆场需要操作的各类集装箱的数量,考虑到计划期选

择过长会增加模型的计算和预测风险,因此本研究以 3 d 为一个计划期,每一天分为 6 个阶段(每阶段 4 h),这样,3 d 共有 18 个阶段,而每天的具体计划则根据前一天的实行情况在后续计划期里进行滚动调整,如第二天的计划则是根据第一天的执行情况在第二个计划期里进行调整和确定,第三天的计划则是根据第二天的执行情况在第三个计划期里进行调整,具体如图 1 所示。

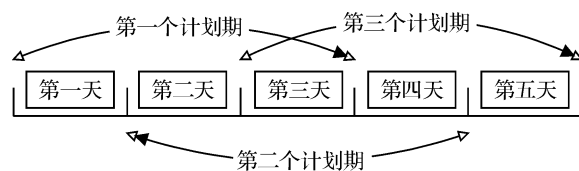


图 1 滚动计划调整过程

Fig. 1 Adjusting process for rolling planning

1.3 参数及变量设计

1.3.1 参 数

i :表示堆场的箱区,其中 $i = 1, 2, \dots, B$,其中 B 表示堆场的箱区的数量;

j :表示箱区内的贝位,其中 $j = 1, 2, \dots, H$,其中 H 表示箱区内的贝位数;

t, k :表示阶段, $t, k = 1, 2, \dots, T$,其中 T 表示总的阶段;

l :表示泊位, $l = 1, 2, \dots, L$,其中 L 表示泊位数;

C_{ij} :表示在第 i 个箱区第 j 个贝位的总的集装箱存储量;

V_{ij1} :表示计划期开始初第 i 个箱区第 j 个贝位中存放的集装箱量;

W_{ijlt}^0 :表示已经存放在堆场的,将在第 t 个阶段,从第 i 个箱区第 j 个贝位准备装入第 l 个泊位船只的出口集装箱数;

P_{ijt}^0 :表示已经存放在堆场的,在第 t 个阶段将从第 i 个箱区第 j 个贝位被顾客提走的进口箱数;

D_{hkl} :表示第 t 个阶段从泊位为 l 处船上卸下,在 $t+k$ 阶段将被顾客提走的进口箱;

G_{hkl} :表示第 t 个阶段顾客运至港,准备在 $t+k$ 阶段装入泊位 l 船的出口箱;

D_t :表示第 t 个阶段存入,计划期外被提走的进口箱;

G_t :表示在第 t 个阶段存入,计划期外被装入泊位 l 的出口箱量;

d_{ijl} :表示从第 i 个箱区第 j 个贝位到泊位 l 的距离;

$d = \min\{d_{ijl}, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H, 1 \leq l \leq L\}$:表示箱区贝位与泊位间的最短距离值;

α :目标权重值。

1.3.2 变 量

V_{ijt} :表示第 t 个阶段初第 i 个箱区第 j 个贝位中存放的集装箱量;

η_{ijlt} :表示在第 t 个阶段到港存放在第 i 个箱区第 j 个贝位的,在计划期外被装入泊位 l 的出口箱量;

γ_{ijlt} :表示在第 t 个阶段从泊位 l 处到港存放在第 i 个箱区第 j 个贝位的,在计划期外被顾客提走的进口箱量;

X_{ijltk} :表示在第 t 个阶段,从泊位 l 处卸下,装入第 i 个箱区第 j 个贝位的准备在第 $t+k$ 阶段将被顾客提走的进口箱;

X_{ijlt} :表示在第 t 个阶段,从泊位 l 处卸下,装入第 i 个箱区第 j 个贝位的进口箱;

Y_{ijltk} :表示在第 t 个阶段,存入第 i 个箱区第 j 个贝位的准备在第 $t+k$ 阶段装入第 l 个泊位处船只的出口箱量;

Y_{ijlt} :表示在第 t 个阶段,存入第 i 个箱区第 j 个贝位准备装入第 l 个泊位处船只的出口箱量;

P_{ijt} :表示在第 t 个阶段,从第 i 个箱区第 j 个贝位被顾客提走的进口箱数;

W_{ijlt} :表示在第 t 个阶段,从第 i 个箱区第 j 个贝位装入第 l 个泊位船只的出口集装箱数;

N_{ijt} :表示在第 t 个阶段,第 i 个箱区第 j 个贝位的集装箱作业量;

N_t :表示在第 t 个阶段,各箱区的平均作业量;

Q_t :表示在第 t 个阶段,按照最短距离集卡所需运输的距离。

1.4 数学模型

目标函数:

$$\min z = \alpha L_1 + (1 - \alpha)L_2 \quad (1)$$

其中

$$L_1 = \sum_{t=1}^T ((\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H \sum_{l=1}^L (d_{ijl} \times (X_{ijlt} + W_{ijlt})) - Q_t) / Q_t) \quad (2)$$

$$L_2 = \sum_{t=1}^T (|\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H N_{ijt} - N_t| / N_t) \quad (3)$$

$$Q_t = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H \sum_{l=1}^L (d \times (X_{ijlt} + W_{ijlt})) \quad (4)$$

$$N_{ijt} = \sum_{l=1}^L X_{ijlt} + \sum_{l=1}^L Y_{ijlt} + \sum_{l=1}^L W_{ijlt} + P_{ijt} \quad (5)$$

$$N_t = \frac{\sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H N_{ijt}}{B \times H} \quad (6)$$

约束条件:

$$D_{tkl} = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H X_{ijltk} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq k \leq T-t, 1 \leq l \leq L \quad (7)$$

$$G_{tkl} = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H Y_{ijltk} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq k \leq T-t, 1 \leq l \leq L \quad (8)$$

$$X_{ijlt} = \sum_{k=0}^{T-t} X_{ijltk} + \gamma_{ijlt} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H, 1 \leq l \leq L \quad (9)$$

$$Y_{ijlt} = \sum_{k=0}^{T-t} Y_{ijltk} + \eta_{ijlt} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H, 1 \leq l \leq L \quad (10)$$

$$D_t = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H \sum_{l=1}^L \gamma_{ijlt} \quad 1 \leq t \leq T \quad (11)$$

$$G_t = \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^H \eta_{ijlt} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq l \leq L \quad (12)$$

$$W_{ijlt} = W_{ijlt}^0 + \sum_{k=0}^{t-1} Y_{ijl(t-k)k} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H, 1 \leq l \leq L \quad (13)$$

$$P_{ijt} = P_{ijt}^0 + \sum_{k=0}^{t-1} \sum_{l=1}^L X_{ijl(t-k)k} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H \quad (14)$$

$$V_{ij(t+1)} = V_{ijt} + \sum_{l=1}^L (X_{ijlt} + Y_{ijlt} - W_{ijlt}) - P_{ijt} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H \quad (15)$$

$$V_{ijt} \leq C_{ij} \quad 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq B, 1 \leq j \leq H \quad (16)$$

$$V_{ijt}, \gamma_{ijlt}, \eta_{ijlt}, X_{ijlt}, Y_{ijlt}, X_{ijltk}, Y_{ijltk}, P_{ijt}, W_{ijlt}, N_{ijt}, N_t \geq 0 \text{ 且为整数} \quad (17)$$

目标函数中主要包括两部分,如式(1)所示;式(2)为第一目标,表示从箱区贝位到泊位的运输距离,式中通过将实际运输距离与最短运输距离进行比较,将目标转换成为无量纲目标;式(3)表示各箱区作业量的不均衡性,将每个箱区贝位作业量与贝位平均作业量进行比较,同样将该目标转换为了无量纲值;式(4)表示在第 t 阶段,如果采用泊位与箱区贝位间最短距离进行进口箱和出口箱操作所需的运输距离;式(5)表示第 t 个阶段,第 i 个箱区第 j 个贝位的集装箱作业量,包括从顾客处运至港口装入的集装箱、船舶到港装入堆场的集装箱、从堆场被顾客提走的集装箱以及从堆场运至泊位准备装船的集装箱;式(6)表示第 t 个阶段所有箱区贝位的平均作业量。

约束条件中,式(7)表示第 t 个阶段从泊位 l 处船上卸下,在 $t+k$ 阶段将被顾客提走的进口箱等于该期分配到各箱区各贝位的集装箱量之和;式(8)表示第 t 个阶段顾客运至港,准备在 $t+k$ 阶段装入泊位 l 船的出口箱等于存放在各箱区各贝位集装箱之和;式(9)表示在第 t 个阶段,从泊位 l 处卸下,装入第 i 个箱区第 j 个贝位的进口箱等于该阶段存入堆场,而在 $t+k$ 阶段被提走的集装箱及将在计划期外被提走的集装箱数之和;式(10)表示在第 t 个阶段,存入第 i 个箱区第 j 个贝位准备装入第 l 个泊位处船只的出口

箱量等于在该阶段存入堆场,在 $t+k$ 阶段装入泊位 l 处船只及将在计划期外装入泊位 l 船只的集装箱数量;式(11)表示第 t 个阶段存入,计划期外被提走的进口箱数量公式;式(12)表示第 t 个阶段存入,计划期外被装入泊位 l 处船只的出口集装箱数量公式;式(13)表示第 t 个阶段,从第 i 个箱区第 j 个贝位装入第 l 个泊位船只的出口集装箱数包括两部分:第一部分是在计划开始前已经存放在堆场准备在 t 阶段装船的集装箱,第二部分是从第 1 个到第 $t-1$ 个阶段存入堆场准备在 t 阶段装船的集装箱;式(14)表示在第 t 个计划期,从第 i 个箱区第 j 个贝位被顾客提走的进口箱数同样包括两部分:第一部分为计划开始前已经存放在堆场准备在 t 阶段被顾客提走的集装箱,第二部分为从第 1 个到第 $t-1$ 个阶段存入堆场准备在 t 阶段被顾客提走的集装箱;式(15)表示第 t 个阶段初第 i 个箱区第 j 个贝位中存放的集装箱量等于上一周期初的集装箱量加上上一阶段存入的集装箱量减去被装船或顾客提走的集装箱量;式(16)表示贝位的容量要求;式(17)表示变量的取值均为非负整数。

2 算例分析

文献[6]应用两阶段法来进行混堆集装箱堆场空间资源利用的策略分析,获得最终进口箱和出口箱存放的位置。本研究将采用文献[6]所提到的数据对 1.4 中模型进行分析,并将结果与文献[6]进行对比,说明箱区作业量均衡和集卡运输距离这两个矛盾目标之间的相互影响。

算例中假设箱区设置为 1,贝位为 5,每个贝位的存储能力为 40,泊位数为 2,各相关数据可见表 1~8。本研究采用 Lingo 语言应用表 1~8 数据对 1.4 中模型进行求解,假设 $\alpha = 0$, $\alpha = 1$ 以及 $\alpha = 0.5$,可以得到如表 9~13 的结果。

表 1 计划期初箱区 i 贝位 j 存放的集装箱量

Table 1 Container quantity deposited in block i bay j at beginning of planning period

V_{ij1}	V_{111}	V_{121}	V_{131}	V_{141}	V_{151}
箱量	4	4	6	5	5

表 2 在计划初存放在箱区 i 贝位 j 中并在 t 阶段将被顾客提走的集装箱

Table 2 Container quantity deposited in block i bay j at beginning of the period and to be taken away by customer at stage t

P_{ijt0}	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$
$i=1, j=1$	2	0	0	0	2	0
$i=1, j=2$	0	2	0	0	0	0
$i=1, j=3$	0	0	0	0	2	0
$i=1, j=4$	2	0	0	0	0	2
$i=1, j=5$	0	0	0	0	0	0

表 3 在计划初存放在箱区 i 贝位 j 中并在 t 阶段将被装入泊位 l 的集装箱

Table 3 Container quantity deposited in block i bay j at beginning of the period and to be loaded in berth l at stage t

W_{ijlt0}	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$
$l=1, i=1, j=1,$	0	0	0	0	0	0
$l=1, i=1, j=2,$	0	2	0	0	0	0
$l=1, i=1, j=3,$	0	0	0	0	2	0
$l=1, i=1, j=4,$	0	0	0	0	0	1
$l=1, i=1, j=5,$	0	0	0	0	0	0
$l=2, i=1, j=1,$	0	0	0	0	0	0
$l=2, i=1, j=2,$	0	0	0	0	0	0
$l=2, i=1, j=3,$	0	0	0	0	1	0
$l=2, i=1, j=4,$	0	0	0	0	0	0
$l=2, i=1, j=5,$	0	2	0	0	0	0

表4 第 t 个阶段从顾客处运到港在第 $t+k$ 阶段装上泊位为 l 船舶的出口箱Table 4 Container quantity transported to port at stage t from customer and to be loaded in berth l at stage $t+k$

G_{klt}	$k=0$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$
$t=1, l=1$	5	6	3	4	3	5
$t=1, l=2$	5	3	5	3	4	4
$t=2, l=1$	2	5	8	2	3	
$t=2, l=2$	7	1	0	5	5	
$t=3, l=1$	4	2	4	4		
$t=3, l=2$	5	5	3	5		
$t=4, l=1$	10	6	6			
$t=4, l=2$	0	3	2			
$t=5, l=1$	3	4				
$t=5, l=2$	6	4				
$t=6, l=1$	5					
$t=6, l=2$	4					

表5 第 t 个阶段从泊位 l 处卸下,在第 $t+k$

阶段被顾客提走的进口箱

Table 5 Container quantity unloaded from berth l at stage t and to be taken away by customer at stage $t+k$

D_{klt}	$k=0$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$
$t=1, l=1$	6	5	4	5	5	4
$t=1, l=2$	3	3	4	3	2	3
$t=2, l=1$	5	7	4	5	3	
$t=2, l=2$	3	0	2	3	5	
$t=3, l=1$	10	3	5	4		
$t=3, l=2$	7	3	3	1		
$t=4, l=1$	6	2	5			
$t=4, l=2$	0	7	2			
$t=5, l=1$	8	2				
$t=5, l=2$	1	6				
$t=6, l=1$	12					
$t=6, l=2$	7					

表6 箱区 i 贝位 j 到泊位 l 的距离Table 6 Distance between block i bay j and berth l

d_{ijl}	$i=1, j=1$	$i=1, j=2$	$i=1, j=3$	$i=1, j=4$	$i=1, j=5$
$l=1$	200	150	200	250	300
$l=2$	300	250	200	150	200

表7 第 t 个阶段到港存放在第 i 个箱区第 j 个贝位的在计划期外被装入泊位 l 的出口箱量Table 7 Container quantity deposited in block i bay j at stage t and to be loaded in berth l after planning period

η_{ijlt}	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$
$l=1$	0	2	5	8	6	4
$l=2$	4	1	4	0	2	1

表8 第 t 个阶段从泊位 l 处到港存放在第 i 个箱区第 j 个贝位的在计划期外被顾客提走的进口箱量Table 8 Container quantity deposited in block i bay j from berth l at stage t and to be taken away by customer after planning period

γ_{ijlt}	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$
$l=1$	1	0	0	5	4	2
$l=2$	0	0	2	3	2	3

表9 各箱区贝位在不同时段的作业量

Table 9 Operation quantity of each block and each bay at different stages

N_{ijt}	$\alpha=0$						$\alpha=1$						$\alpha=0.5$					
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$
$j=1$	25	24	27	24	27	29	17	22	9	42	8	24	25	23	26	25	27	29
$j=2$	25	24	26	25	27	29	41	32	58	35	49	36	24	24	27	25	27	30
$j=3$	25	23	27	24	27	29	19	16	22	14	25	28	26	25	28	25	27	29
$j=4$	25	24	27	25	27	29	41	41	39	32	29	34	26	24	26	24	27	29
$j=5$	25	23	27	25	27	30	7	7	6	0	24	24	24	22	27	24	27	29

与平均
作业量的
差值/箱

L_2 0.296 8

281
13.461 7

14.6
0.578 2

表 10 $\alpha=0$ 时 X_{ijlt} 、 W_{ijlt} 的值及集卡的运输距离Table 10 Values of X_{ijlt} , W_{ijlt} and transportation distance when $\alpha=0$

$\alpha=0$ $i=1$	X_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从泊位 l 处卸下, 装入第 i 个箱区第 j 个贝位的进口箱						W_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从第 i 个箱区第 j 个贝位装入泊位 l 的出口箱						泊位到贝位 的距离/m
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	
$j=1, l=1$	11	2	13	7	0	2	0	4	0	2	5	8	200
$j=1, l=2$	2	4	0	0	0	0	0	5	0	0	4	3	300
$j=2, l=1$	9	7	9	4	10	3	0	4	1	7	2	8	150
$j=2, l=2$	0	1	1	5	0	4	1	1	3	1	1	0	250
$j=3, l=1$	7	8	0	1	4	0	1	2	1	0	6	4	200
$j=3, l=2$	3	2	4	2	1	1	3	1	2	3	8	10	200
$j=4, l=1$	0	4	2	0	0	0	1	0	6	6	4	6	250
$j=4, l=2$	8	5	3	7	0	4	0	2	6	0	6	10	150
$j=5, l=1$	3	3	0	2	1	10	3	0	4	9	3	2	300
$j=5, l=2$	5	1	6	2	7	0	1	3	0	4	3	1	200
移动距离/m	39 900						38 700						
总移动距离/m							78 600						
L_1							2.246 2						

表 11 $\alpha=1$ 时 X_{ijlt} 、 W_{ijlt} 的值及集卡的运输距离Table 11 Values of X_{ijlt} , W_{ijlt} and transportation distance when $\alpha=1$

$\alpha=1$ $i=1$	X_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从泊位 l 处卸下, 装入第 i 个箱区第 j 个贝位的进口箱						W_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从第 i 个箱区第 j 个贝位装入泊位 l 的出口箱						泊位到贝位 的距离/m
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	
$j=1, l=1$	9	7	8	0	0	0	0	1	0	12	3	13	200
$j=1, l=2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300
$j=2, l=1$	15	17	15	17	11	17	5	2	12	6	13	0	150
$j=2, l=2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
$j=3, l=1$	5	0	0	0	0	0	0	7	0	6	4	14	200
$j=3, l=2$	0	0	2	0	0	0	0	0	5	0	7	7	200
$j=4, l=1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	250
$j=4, l=2$	16	13	11	13	12	7	5	10	6	8	4	4	150
$j=5, l=1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300
$j=5, l=2$	3	0	2	0	0	0	0	2	0	0	11	13	200
移动距离/m	31 800						32 500						
总移动距离/m							64 300						
L_1							0.726 5						

表 12 $\alpha=0.5$ 时 X_{ijlt} 、 W_{ijlt} 的值及集卡的运输距离Table 12 Values of X_{ijlt} , W_{ijlt} and transportation distance when $\alpha=0.5$

$\alpha=0.5$ $i=1$	X_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从泊位 l 处卸下, 装入第 i 个箱区第 j 个贝位的进口箱						W_{ijlt} 表示在第 t 个阶段, 从第 i 个箱区第 j 个贝位装入泊位 l 的出口箱						泊位到贝位 的距离/m
	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$	$t=6$	
$j=1, l=1$	12	11	4	3	8	7	0	1	5	10	2	2	200
$j=1, l=2$	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	300
$j=2, l=1$	7	5	10	7	3	8	5	3	3	4	10	12	150
$j=2, l=2$	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	250
$j=3, l=1$	9	8	5	3	0	0	0	6	0	0	7	13	200
$j=3, l=2$	2	2	3	5	0	0	0	0	2	1	5	5	200
$j=4, l=1$	0	0	3	0	1	0	0	0	0	7	1	1	250
$j=4, l=2$	10	0	6	10	6	5	3	7	2	5	6	8	150
$j=5, l=1$	1	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	0	300
$j=5, l=2$	5	10	7	2	5	4	2	5	2	2	11	11	200
移动距离/m	36 700						34 350						
总移动距离/m							71 050						
L_1							1.472 5						

结合表9和表10可以看出,当只考虑箱区贝位作业平衡时,其结果和文献[6]大致相同,各时段与箱区贝位平均作业量差值和为7.6,作业不平衡率为0.2968,集卡运输距离为78600m;

从表9和表11可以看到如果仅考虑集卡在泊位和箱区间的运输距离,则其总的运行距离仅为64300m,但是箱区贝位作业量极不平衡,有的贝位是完全空闲的,但是有的贝位作业量却达到41箱,从而造成场吊工作的忙闲不一;从表9和表12可以看出,当在整个作业中同时考虑箱区贝位作业的平衡性以及集卡的运输距离时,各时段与箱区贝位平均作业量差值和为14.6,箱区贝位作业不平衡率为0.5817,而移动距离也仅为71050m,虽然箱区贝位作业率不平衡率比 $\alpha=0$ 时要高出0.2796,但是在运输距离上却减少了7550m。

从表13中可以看出,单独的以箱区贝位作业量平衡或者集卡的运输距离这两个相互矛盾的目标为要求进行港口集装箱堆存策略分析时,在获得一方最优的同时势必将以另一方的损失作为代价:在考虑箱区贝位作业量平衡时可能就会将集装箱堆存到离泊位较远的距离进行存放;同样考虑集卡运输距离时,可能将大量的集装箱堆存在离泊位较近的箱区贝位,从而导致箱区贝位作业的极大不平衡。因此,在分析港口集装箱堆存策略时,必须同时考虑这两个相互矛盾的目标,从而获得整体最优的效果。

3 结 语

本研究在分析目前国内外港口集装箱堆场堆存策略研究现状的基础上,提出港口集装箱堆存策略分析时考虑的集卡运输距离及箱区贝位作业量平衡这两个目标是相互矛盾的,一个目标的最优,往往会以另一目标的损失为代价,因此在港口集装箱堆存策略分析时必须同时将这两个目标置于一个目标函数中,从而获得系统的整体最优。在此基础上,本研究提出了非线性整数规划模型分析4种类型集装箱的堆存策略以获得系统最优。最后应用文献[6]中提到的数据对研究模型进行算例分析,并将结果与文献[6]比较,得出同时考虑箱区作业量和集卡运输距离能够获得更好的效果。

参考文献:

- [1] Preston P, Kozan E. An approach to determine storage locations of containers at seaport terminals[J]. Computers and Operation Research, 2001, 28(10): 983-995.
- [2] Sculli D, Hui C F. Three dimensional stacking of containers[J]. Omega, 1988, 16(6): 585-594.
- [3] Kim K H, Kim H B. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers[J]. Transportation Research Part B, 2002, 36(9): 821-835.
- [4] Kim K H, Park K T. A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 148(1): 92-101.
- [5] Linn R J, Zhang C Q. A Heuristic for dynamic yard crane deployment in a container terminal[J]. IIE Transactions, 2003, 35(2): 161-174.
- [6] 李建忠. 集装箱港口堆场资源配置问题研究[D]. 上海海事大学, 2005.
- [7] 陶经辉, 汪敏. 基于混堆模式的集装箱堆场区段分配[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(8): 185-192.
- [8] 卫家骏. 出口集装箱堆场位置的优化[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(3): 470-473.
- [9] 周鹏飞, 方波. 动态环境下集装箱码头堆场出口箱箱位分配建模与算法研究[J]. 控制与决策, 2011, 26(10): 1571-1576.
- [10] 赵鹏. 基于系统动力学的集装箱码头资源配置问题研究[D]. 大连海事大学, 2012.
- [11] 王斌. 集装箱堆场基于混堆的滚动式计划堆存方法[J]. 系统工程学报, 2005, 20(5): 22-27.
- [12] 徐亚, 陈秋双, 龙磊, 等. 基于多目标规划的堆场空间分配问题研究[J]. 系统工程学报, 2009, 24(3): 365-369.
- [13] 谈超风. 集装箱码头堆场资源管理优化研究[D]. 大连海事大学, 2010.
- [14] 王展. 混堆操作下的堆场作业量与堆区堆位分配研究[D]. 上海交通大学, 2011.

表13 α 取不同值时目标函数的对应值

Table 13 Different objective values when α is different

α 值	移动总距离/m	L_1	箱区作业与平均 作业量的差值/箱	L_2
0	78 600	2.246 2	7.6	0.296 8
1	64 300	0.726 5	281	13.461 7
0.5	71 050	1.472 5	14.6	0.578 2