

考虑集卡预约信息的堆场箱区分配和场桥配置协同优化

靳志宏,王莉,邢磊,徐奇*
(大连海事大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要:在堆场作业规模较大背景下,考虑集卡预约信息的影响,以箱区间作业不均衡量最小为目标,建立箱区分配和场桥配置的协同优化模型,为进口任务分配合理的堆存箱区并安排装卸场桥。模型采用 CPLEX 求解,将考虑集卡预约信息的优化模式与不考虑集卡预约信息的传统模式的实验结果进行对比,并从集卡预约信息、场桥数量、集装箱数量以及任务拆分数等方面进行灵敏度分析。结果显示,考虑集卡预约信息可降低 20% ~ 30% 的作业不均衡量,验证了模型的有效性,对堆场的科学管理具有指导意义。

关键词:集卡预约信息;箱区分配;场桥配置;作业量不均衡

中图分类号:U691

文献标志码:A

Collaborative optimization of yard block allocation and yard crane allocation considering truck appointment information

JIN Zhi-hong, WANG Li, XING Lei, XU Qi*

(Transportation Engineering College,
Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Under the background of a large scale of yard operations, with the aim of minimizing unbalanced workload among blocks, a collaborative optimization model for allocation of yard blocks and yard cranes was proposed by considering the influence of truck appointment information, which could allocate reasonable storage area for import containers and arrange loading and unloading yard cranes. The model was solved by CPLEX, and the experimental results of the optimization model considering truck appointment information and

the traditional model without truck appointment information were compared, and the sensitivity analysis was also carried out in the aspects of truck appointment information, yards crane number, containers number and task split score. Results show that the unbalanced workload can be reduced by 20% ~ 30% considering truck appointment information, which verifies the validity of the model and has guiding significance for the scientific management of the storage yard.

Key words: truck appointment information; block allocation; yard crane allocation; unbalanced workload

0 引言

随着进出口贸易的日益频繁,我国集装箱吞吐量规模增大,加快进出口箱在集装箱码头的周转速度对提高码头作业效率显得尤为重要。作为集装箱多式联运的重要枢纽节点,集装箱码头由码头前沿、堆场和闸口等多个功能区域组成,堆场主要用于堆放集港后待装船的出口箱和卸船后待疏港的进口箱或中转箱,其作业效率很大程度上决定了集装箱码头的运行效率。因此,在堆场空间资源和设备资源难以扩大的前提下建立科学高效的堆场作业系统,能够缩短集卡的堆场排队等待时间,提高作业效率,降低堆场堵塞,从而提高客户服务质量,实现集装箱码头的现代化、高效化管理。

码头堆场资源包括空间资源和设备资源两种类型。空间资源优化配置是指为进出口集装箱分

收稿日期:2019-01-08; 修回日期:2019-02-28.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71572023;71602130;71431001);欧盟 H2020 项目(H2020-MSCA-RISE).

作者简介:靳志宏(1963-),男,博士,教授,博士生导师,E-mail:jinzhihong@dlmu.edu.cn;徐奇*(1984-),女,博士,讲师,E-mail:cogi@163.com.

配合理的堆存箱区,通常以作业量均衡为目标.毛钧等^[1]、Sharif 等^[2]以箱区间作业量均衡和泊位至堆场运输距离最小为目标,为进出口集装箱分配箱区;郑红星等^[3]以船舶装卸计划在各箱区的作业量均衡和整个堆场的箱区作业总量均衡为目标函数建立优化模型;Jin 等^[4]采用列生成算法求解集装箱转运码头船舶的泊位分配问题及在堆场的箱区分配问题;武慧荣等^[5]以箱区作业量均衡为目标建立优化模型,研究海铁联运码头的集装箱箱区分配问题.堆场设备资源优化配置方面,边展等^[6]考虑了场桥“避免碰撞”、“顺次移动”等现实约束,以场桥移动距离最小为目标,求解场桥访问的贝位顺序及每次停驻时的取箱量;Sha 等^[7]以场桥移动、场桥周转及作业规则等操作产生的能源消耗成本最小为目标建立堆场设备资源优化模型;He 等^[8]研究了集装箱码头岸桥、场桥及内集卡三种设备资源的协同优化问题,建立混合整数规划模型,使所有船舶离港的总延误时间和设备资源消耗的总能源最小.

在空间资源和设备资源的协同优化配置研究方面,陆克斌等^[9]以泊位至堆场的最小距离为目标建立空间资源分配模型,以最小化最大完工时间为目标建立场桥调度模型,实现堆场空间、设备资源的动态协同优化配置;Jiang 等^[10]将箱区划分为若干个子箱区,根据船舶离港时间为出口箱和中转箱选择合适的子箱区,并以场桥调度成本最小为目标建立优化模型;严南南等^[11]分别以贝位间作业量均衡和龙门吊使用数量最小为目标建立资源优化配置模型;鲁渤等^[12]以最小化最大完工时间为目标,建立了自动化码头堆场位置分配与场桥调度的集成优化模型;范厚明等^[13]考虑了场桥间安全距离和场桥作业量均衡,采用分区域平衡策划方法进行资源的协同优化配置.

综上所述,现有的堆场资源配置研究大多没有考虑货主提箱和送箱的相关信息,这是因为进口箱的提箱作业和出口箱的送箱作业是由货主决定的,具有随机性.为应对货主提送箱的不确定性,部分学者对箱区的堆存模式进行改进和创新,Zhen^[14]通过将箱区划分为固定区域和共享区域两部分进行堆场空间资源优化配置,降低堆场的资源配置成本;Tan 等^[15]在堆场规划管理时提出子箱区大小可调节的策略,在此基础上建立箱区

分配和场桥作业协同配置的优化模型,以提高堆场空间的利用率,降低场桥移动次数.

然而,随着集卡预约系统的广泛应用,堆场可以通过预约系统获得货主提送箱的确定性信息,在此背景下,堆场资源的优化配置不能只考虑船舶装卸计划的影响.因此,本文在综合考虑集卡预约信息和船舶装卸计划的基础上,为不同时段到港的进口箱分配堆存箱区并配置作业场桥,更好地利用集卡预约信息,提高资源配置的准确性,从而平衡箱区和场桥的忙闲程度,避免作业集中导致的堆场拥堵.

1 问题描述

码头在装卸作业时,通常会优先安排岸桥、内集卡及场桥等资源进行船舶装卸,这就导致外集卡的集疏港作业由于堆场资源配置不足而排队等待,尤其是集装箱吞吐规模增大的背景下,码头拥堵情况日益严重.因此,对堆场资源进行合理配置、优化堆场作业系统对提升整个码头的运行效率具有重要意义.而堆场作业系统的优化与泊位作业系统、闸口作业系统密切相关,泊位作业系统为堆场作业系统提供船舶装卸计划,闸口作业系统则通过集卡预约系统提供货主的提送箱信息,从而影响堆存计划的制定及堆场资源的配置,也就是说,船舶装卸计划和集卡预约信息是影响堆场资源配置的主要因素.

本文以进口任务为例研究考虑集卡预约信息的堆场资源优化配置.对进口任务而言,传统模式下货主只能在进口箱卸载至堆场后向码头预约提箱,使得货主提箱信息与堆场堆存信息传递不畅,无法实现堆场资源的精细化管理.为充分发挥货主提箱信息对堆场作业系统优化的积极作用,本文提出基于集卡预约信息的堆场作业系统优化模式.在该模式下,货主可以通过集卡预约系统在进口箱抵港前完成预约提箱申请.两种模式的主要区别在于进口箱卸船前是否已知进口箱的提箱信息.具体的作业流程如图 1 所示.

从作业流程来看,传统模式下堆场作业系统基于船舶装卸计划为进口箱分配箱区及作业场桥,卸载至堆场后,闸口作业系统接受集卡的提箱申请并通知堆场作业系统安排提箱作业;预约模式下堆场作业系统则是将船舶卸载计划和集卡预

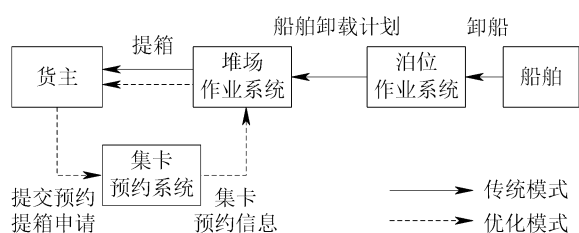


图1 两种模式下进口任务作业流程

Fig. 1 Flow chart of import task in two modes

约信息作为数据基础,进行堆场作业系统优化,从而大大提升堆场资源优化配置的准确性。

堆场作业系统优化通常包括两个层面:计划层面的箱区分配和场桥配置、调度层面的堆存位置和场桥作业顺序。本文只研究堆场作业规模较大情况下计划层面的资源配置,以箱区间作业量均衡为目标,为进口箱选择堆存箱区并配置合理数量的场桥,兼顾各个箱区作业量的均衡,避免提箱高峰时段堆场内集卡拥堵,提高作业效率;并在模型中考虑任务拆分数、最大同时场桥作业数量等现实约束,避免箱区分配过于分散造成场桥启动等作业成本的恶化。

实际上,堆场的资源配置会随着时间变化而不断动态更新,但为体现集卡预约信息的影响,本文只选取滚动计划中的一个静态时间段为规划期进行具体研究。

2 数学模型

集卡预约信息可以为堆场资源配置提供提箱时段、集装箱数量等确定性输入参数。因此,本文在考虑集卡预约信息的基础上,以规划期内箱区间作业不均衡量最小为目标,构建箱区分配和场桥配置的协同优化模型,从而解决堆场内集卡等待队列过长或场桥频繁转场而造成的道路占据与交通堵塞等问题。

2.1 假设条件

(1)集卡预约系统支持多车预约多箱,本文将卸船时段、提箱时段相同的同一货主的进口箱视为一个任务,每个任务只需在系统中提交一次预约申请;

(2)本文的研究对象为进口任务,但任务类型包含两种:一种是既包括卸船作业又包括提箱作业的进口任务类型,另一种是规划期前进口箱已经卸载至堆场,规划期内只有提箱作业的提箱

任务类型;

(3)同一任务的进口箱允许堆放在不同箱区,但需要在同一时段内完成作业;

(4)任意场桥任意时段只能在同一箱区内作业,但时段间隙可以转场;

(5)本文不考虑集装箱箱型的影响,假设进口箱箱型一致;

(6)本文认为各箱区的堆存容量相同,这是因为箱区(block)容量是由贝数、栈数以及层数相乘得到的,当箱型一致且不考虑其他特殊要求时,箱区的贝数、栈数以及层数均相同,因此,通常认为箱区的堆存容量相同。

2.2 符号说明

2.2.1 集合及常量

T :表示规划期,即作业时段 t 的集合;

K :场桥集合;

B :箱区集合;

I_1 :进口任务集合;

I_2 :提箱任务集合;

N :任务的拆分数;

NK :堆场内可用场桥的数量;

Cap :场桥的单位作业能力,视所有场桥的作业能力相同;

NB :堆场内箱区数量;

Q :箱区的堆存容量;

UP :各时段各箱区允许同时作业的最大场桥数;

n_i :任务 i 包含的集装箱数量, $i \in I_1$;

α_{ib} :箱区 b 是否是任务 i 的偏好箱区, $i \in I_1$;

β_{it} :任务 i 是否在 t 时段卸船, $i \in I_1$;

γ_{it} :任务 i 是否在 t 时段提箱, $i \in I_1$;

Z_{itb} :规划期前堆放在箱区 b ,计划 t 时段提走的任务 i 的集装箱数量, $i \in I_2$;

M :无限大的数值。

2.2.2 决策变量

R_{ib} :任务 i 是否卸载到箱区 b , $i \in I_1$;

U_{ib} :任务 i 卸载到箱区 b 的集装箱数量, $i \in I_1$;

X_{ktb} : t 时段场桥 k 是否在箱区 b 作业, $X_{ktb} \in \{0,1\}$;

D_{itb} : t 时段卸载到箱区 b 的集装箱数量;

P_{itb} : t 时段从箱区 b 提走的集装箱数量;

C_{ib} : t 时段期初箱区 b 的集装箱堆存量.

2.3 数学模型

$$\min \sum_t \sum_b \left| (D_{ib} + P_{ib}) - \frac{\sum_b (D_{ib} + P_{ib})}{NB} \right| \quad (1)$$

$$R_{ib} \leq \alpha_{ib} \quad \forall i \in I_1, b \in B \quad (2)$$

$$R_{ib} \leq U_{ib} \leq MR_{ib} \quad \forall i \in I_1, b \in B \quad (3)$$

$$\sum_b R_{ib} \leq N \quad \forall i \in I_1 \quad (4)$$

$$\sum_b U_{ib} = n_i \quad \forall i \in I_1 \quad (5)$$

$$D_{ib} = \sum_{i \in I_1} U_{ib} \beta_{it} \quad \forall t \in T, b \in B \quad (6)$$

$$P_{ib} = \sum_{i \in I_1} U_{ib} \gamma_{it} + \sum_{i \in I_2} Z_{iub} \quad \forall t \in T, b \in B \quad (7)$$

$$C_{(t+1)b} = C_{ib} + D_{ib} - P_{ib} \quad \forall t \in T, b \in B \quad (8)$$

$$C_{ib} \leq Q \quad \forall t \in T, b \in B \quad (9)$$

$$\sum_b X_{ktb} \leq 1 \quad \forall t \in T, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_k X_{ktb} = \lceil (D_{ib} + P_{ib}) / Cap \rceil \quad \forall t \in T, b \in B \quad (11)$$

$$\sum_b \sum_k X_{ktb} \leq NK \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$\sum_k X_{ktb} \leq UP \quad \forall t \in T, b \in B \quad (13)$$

$$R_{ib} \in \{0, 1\}, U_{ib} \in N, X_{ktb} \in \{0, 1\} \quad (14)$$

目标函数(1)表示规划期内各箱区间作业量不平衡量最小,用各箱区作业量与平均作业量的差值计算;式(2)表示决策变量约束,即每个任务必须堆放在其偏好箱区中;式(3)表示两个决策变量之间的关系;式(4)表示同一个任务最多可拆分的数量限制;式(5)表示任务的总量约束;式(6)表示各时段各箱区的集装箱卸载量的计算公式;式(7)表示各时段各箱区集装箱装载量的计算公式,由进口任务的装载量和提箱任务的装载量两部分组成;式(8)表示相邻时段各箱区集装箱堆存量的递推关系;式(9)表示各时段各箱区集装箱的堆存量不能超过箱区容量限制;式(10)表示各时段任意场桥最多只能在一个箱区内作业;式(11)表示各时段分配到各箱区的场桥数量

既要完成作业量,又不能过剩;式(12)表示各个时段堆场中作业的场桥数不能超过堆场可用场桥数量的上限;式(13)表示任意时段,同一个箱区的作业场桥数不能超过最大限制;式(14)表示决策变量的取值范围约束.

3 数值实验

3.1 初始条件

本文以某码头的 3 个泊位、15 个箱区、16 台作业场桥为算例,已知箱区的堆存容量为 300 箱,场桥的作业效率为 150 箱/时段.为避免场桥间作业的相互干扰,每个箱区最多允许 2 台场桥同时作业.根据码头布局,每艘船舶都有其偏好靠泊泊位,而靠近泊位且相对集中的箱区就用来堆放该泊位船舶的集装箱.本文 1—5 号箱区堆放 1 号泊位船舶的进口箱,6—10 号箱区对应 2 号泊位,11—15 号箱区对应 3 号泊位,卸船后的进口箱只能堆存至相应的箱区内.

本文以一天规划期(8 个时段,每个时段 3 h)的 20 个进口任务为例,研究集卡预约信息对堆场资源配置的影响.需要解释的是,虽然堆场作业时段(即码头的预约时段)取值的不同会影响进口任务的到港时段,进而影响每个时段内待分配的集装箱数量,但是作业时段 t 的取值范围也受多种因素影响,是一个较为复杂的研究课题,因此,本文参考部分文献资料选取作业时段为 3 h.不同任务的卸船时段和货主预约的提箱时段各不相同,任务中进口箱数量服从(50,200)的均匀分布.表 1 和表 2 分别表示进口任务和提箱任务的具体参数.

3.2 实验结果及分析

本文将优化模式与传统模式的实验结果进行对比,以验证集卡预约信息对堆场资源优化配置的影响.两种模式的优化模型均采用 CPLEX 12.6.2 求解,计算机环境为 Windows7 操作系统的 i7-3770 CPU 处理器.

(1) 预约模式

以上述初始条件为输入参数进行求解,预约模式下的求解结果如图 2 所示.图中,横坐标表示 15 个箱区,纵坐标表示 8 个时段,灰色方形及数字表示卸载到各箱区的进口箱数量,白色方形及数字表示从各箱区提走的进口箱数量,各方形

上方数字表示该时段该箱区作业的场桥数量. 例如,第 1 时段从 7 号箱区提走 148 个进口箱,箱区内作业场桥数量为 1 台.

表 1 进口任务的相关参数

Tab.1 Related parameters of import tasks

进口任务	卸船时段	提箱时段	偏好箱区	集装箱数量/TEU
1	1	3	1—5	99
2	1	4	1—5	83
3	1	4	1—5	136
4	1	5	1—5	83
5	2	4	6—10	138
6	2	5	6—10	129
7	2	5	6—10	142
8	2	6	6—10	100
9	3	5	11—15	61
10	3	6	11—15	111
11	3	7	11—15	145
12	3	7	11—15	187
13	4	6	1—5	166
14	4	7	1—5	117
15	4	7	1—5	104
16	4	8	6—10	166
17	5	7	6—10	59
18	5	7	6—10	89
19	5	8	11—15	189
20	5	8	11—15	106

表 2 提箱任务的相关参数

Tab.2 Related parameters of pickup tasks

任务序号	提箱时段	箱区号	集装箱数量/TEU
21	1	4	60
22	1	7	148
23	2	13	76
24	2	15	162

(2)传统模式

不同于优化模式,传统模式下进口箱卸到堆场后货主才能预约提箱,规划期初调度员只能根据卸船信息为进口箱分配箱区. 在数学模型上体现为传统模式是两阶段优化模型,第一阶段中提箱量的计算公式为:

$$P_{tb} = \sum_{i \in I_2} Z_{itb} \quad \forall t \in T, b \in B \quad (15)$$

式(15)中,只包含提箱任务的提箱量,这是因为规划期初进口任务的提箱信息是未知的.

根据第一阶段的运行结果 D_{tb} 和 P_{tb} ,再结合进口任务的提箱量 $\sum_{i \in I_1} U_{ib} \gamma_{it}$ 这一已知参数,第二阶段重新计算规划期内箱区间作业的不均衡量,计算公式为:

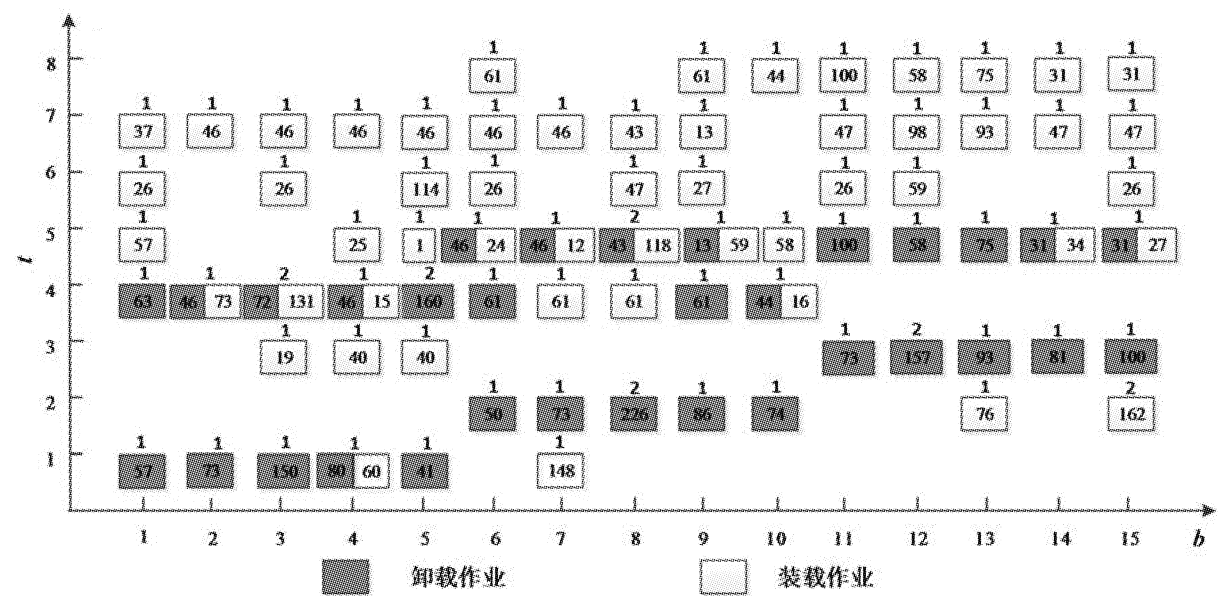


图 2 各时段各箱区的作业情况

Fig.2 Operation status of each block at each time period

$$\sum_i \sum_b \left| \left(D_{ib} + P_{ib} + \sum_{i \in I_1} U_{ib} \gamma_{it} \right) - \frac{\sum_b \left(D_{ib} + P_{ib} + \sum_{i \in I_1} U_{ib} \gamma_{it} \right)}{B} \right| \quad (16)$$

为增加实验的可对比性,假设规划结束后进口任务的提箱时段与优化模式一致. 经过计算,传统模式的目标函数值为 5356.4,优化模式的目标函数值为 4076.133,两者差值为 1280.267,箱区间作业量不均衡量优化了 23.9%. 结果表明,传统模式下客户提箱信息的不确定性会增加堆场作业复杂性,导致箱区间作业量不均衡,而优化模式能够有效避免这些弊端,降低堆场内集卡拥堵,平衡箱区和场桥的忙闲程度.

3.3 灵敏度分析

本文分别选取预约提箱信息、场桥数量和集装箱数量、任务可拆分数几个因素设定情景,每个情景只改变一个因素而其他参数保持不变,进而验证模型的有效性.

情景 1:验证集卡预约信息的影响

上述实验结果表明,基于集卡预约信息对降低箱区间作业不均衡量有积极影响. 情景 1 主要验证预约提箱信息变化时模型是否依然有效. 进口箱的一般到港规律为大批量集中到港、小规模分批次提走,统计数据显示货主的提箱时间间隔服从负指数分布,因此该情景研究了提箱时间间隔服从不同参数的负指数分布时,两种模式目标函数值的变化情况,具体如表 3 所示.

表 3 预约提箱时间间隔改变的结果对比

Tab.3 Comparisons of change in time interval of picking up containers

时间间隔	(1)	(2)	GAP	GAP %
0.5	3353.3	4548.5	1195.2	35.6
1	4095.7	5035.2	939.5	22.9
1.5	3204.7	4162	957.3	29.8
2	3739.2	4441.1	701.9	18.7

表 3 中,第 2 列(1)表示优化模式下的目标函数,第 3 列(2)表示传统模式下的目标函数,第 4 列的 GAP 表示目标函数差值 $GAP = (2) - (1)$,最后一列 GAP % 表示差值的百分比.

由表 3 的实验结果可以看出,预约提箱时间间隔服从参数为 1.5 的负指数分布时,箱区间集

装箱不均衡量最小,但目标函数的变化与时间间隔变化趋势不完全一致,一方面是因为提箱作业时段与卸船作业时段冲突时会增加作业的复杂性,导致不均衡量增加;另一方面,虽然提箱时间间隔较大时的目标函数有所降低,但会导致下一规划期初积攒大量的待提箱,只是减少了规划期内的总提箱量,没有从根本上降低箱区间的不均衡量.

上述四组实验优化模式的目标函数值均优于传统模式,优化程度为 20% ~ 30%,证明本文提出的优化模式在降低箱区间作业量的不均衡程度方面具有普遍适用性,得出集卡预约信息能够影响堆场资源配置的结论. 同时,资源配置的结果可以为集卡预约系统设置预约份额、接受预约申请等提供参考意见.

情景 2:验证场桥数量及集装箱数量的影响

本文基于堆场资源有限、作业规模较大的背景进行优化研究,除了集卡预约信息外,场桥数量和集装箱数量是影响堆场资源配置的重要因素. 图 3 和图 4 分别为场桥数量和集装箱数量(服从的分布函数参数)发生改变时,两种模式目标函数值的结果对比.

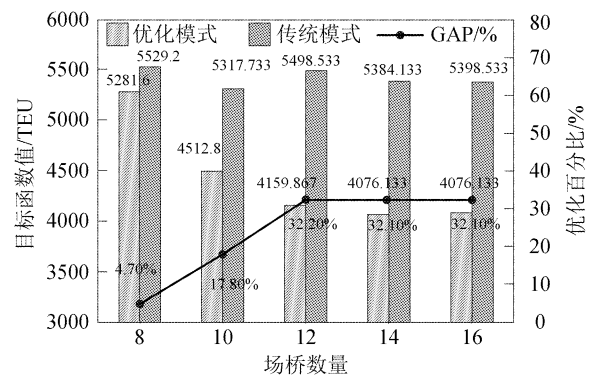


图 3 场桥数量改变时的结果对比

Fig.3 Comparisons of change in the number of yard crane

综合分析图 3 和图 4 可以发现,优化模式下堆场的场桥数量越多、任务中集装箱数量越少时,箱区的作业不均衡量越小,并且任何情境下优化模式的实验结果均优于传统模式. 具体而言,当图 3 中场桥数量小于 8 时,模型只能得到松弛解;场桥数量超过 14 时,目标函数值不再发生改变,证明模型在充分利用场桥资源方面的有效性;合

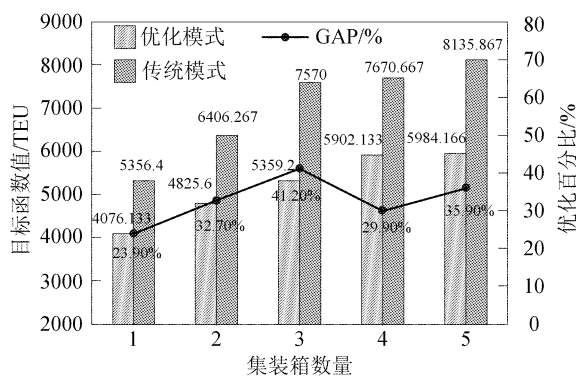


图 4 集装箱数量改变时的结果对比
Fig. 4 Comparisons of change in the number of container

理范围内场桥数量越多,优化模式结果较传统模式更优化,主要是因为场桥资源充足时,进口箱的箱区分配更灵活. 图 4 显示,集装箱数量服从 (150,200) 的均匀分布时,优化模式较传统模式优化程度最大,虽然由于受任务可拆分数、场桥数量限制等因素的影响,集装箱数量较大时箱区作业不均衡量也越大,但优化模式较传统模式的优化程度也越大,证明了作业规模较大的情况下,本文提出的优化模式具有良好的效果.

情景 3:验证任务可拆分数的影响

在堆场实际作业中,同一货主的集装箱通常集中堆放,但也存在某些情况需要分开堆放的情况. 因此,根据在模型中增加了任务可拆分数这一约束条件. 表 4 为预约模式下任务拆分数变化时的目标函数对比.

表 4 任务拆分数改变时的结果对比
Tab. 4 Comparisons of change in the number of split tasks

任务拆分数	(1)	(2)	GAP	GAP/%
2	out of memory	5634.8	/	/
3	4076.133	5356.4	1280.267	31.4
4	3864.9	5278.133	1413.233	36.5
5	3732.3	5108.133	1375.833	36.8

由表 4 结果可以看出,随着任务拆分数的增加,箱区间作业不均衡量降低,这是因为任务拆分数的增大,也增加了堆场各项资源分配的灵活性. 无论任务拆分数如何取值,优化模式的目标函数均优于传统模式,且优化程度在 30% 以上,证明了模型的有效性. 需要解释的是,任务拆分数 $N = 2$ 时,由于运行内存的原因,CPLEX 运行

6 h,优化模式仍无有效可行解. 因此,根据客户需求设置合理的任务拆分数,既可以保证箱区的利用率,又能兼顾各个箱区作业量的平衡,避免提箱高峰时段堆场内集卡和场桥等的拥堵,提高作业效率.

综上所述,不考虑预约提箱信息会导致货主提箱作业的随机性增大,造成箱区间作业量不均衡,证明集卡预约信息是影响堆场资源配置的重要因素. 上述情境下优化模式的结果均较传统模式更优,并且随着堆场作业规模的增大,优化模式的优化程度更大,证明了模型的有效性与稳定性. 除集卡预约信息外,灵敏度分析也验证了场桥数量、集装箱数量以及任务可拆分数也会影响堆场的资源配置,其中,集卡预约信息通过影响堆场的作业时段,其他三者则是通过影响作业规模进而影响箱区分配与场桥配置.

4 结 论

本文在考虑集卡预约信息的基础上,以箱区间作业不均衡量最小为目标函数,建立堆场资源协同配置的优化模型,并对比了优化模式与传统模式下的实验结果,证明了充分利用集卡预约信息能够降低箱区间作业量的不均衡,进而解决依据集卡模糊抵港规律进行堆场管理导致的堆场拥堵问题. 最后,从集卡预约信息、场桥数量、集装箱数量以及任务拆分数等方面进行了灵敏度分析,可以为闸口作业系统设置合理的预约份额、更好的管理和控制外集卡到港车流等方面提供有效的参考建议.

参考文献 (References):

[1] 毛钧,李娜,靳志宏. 基于混堆模式的集装箱码头堆场空间资源配置优化[J]. 大连海事大学学报, 2014, 40(1): 117-122.
MAO J, LI N, JIN Z H. Optimization of the allocation of space resources in a container terminal based on mixed stacking pattern[J]. Journal of Dalian Maritime University, 2014, 40(1): 117-122. (in Chinese)
[2] SHARIF O, HUYNH N. Storage space allocation at marine container terminals using ant-based control [J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(6): 2323-2330.
[3] 郑红星,王晓薇,董键,等. 混堆模式下集装箱堆场箱

- 区指派优化方法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(1): 1-5.
- ZHENG H X, WANG X W, DONG J, et al. Optimization method of container storage space allocation based on mixture storage [J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering), 2013, 37(1): 1-5. (in Chinese)
- [4] JIN J G, LEE D H, HU H. Tactical berth and yard template design at container transshipment terminals: a column generation based approach [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2015, 73: 168-184.
- [5] 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.
- WU H R, ZHU X M, DENG H X. Container space equilibrium assignment model of the mixed storage yard in container sea-rail port [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2018, 37(4): 109-115. (in Chinese)
- [6] 边展, 杨惠云, 靳志宏. 基于两阶段混合动态规划算法的龙门吊路径优化[J]. 运筹与管理, 2014, 23(3): 56-63.
- BIAN Z, YANG H Y, JIN Z H. Optimization on loading scheduling for multiple gantry cranes based on two-stage hybrid dynamic programming [J]. Operations Research and Management Science, 2014, 23(3): 56-63. (in Chinese)
- [7] SHA M, ZHANG T, LAN Y, et al. Scheduling optimization of yard cranes with minimal energy consumption at container terminals [J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 113: 704-713.
- [8] HE J, HUANG Y, YAN W, et al. Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(5): 2464-2487.
- [9] 陆克斌, 王丹丹, 王强. 集装箱港口堆场系统资源协调配置研究[J]. 统计与决策, 2014(22): 52-55.
- LU K B, WANG D D, WANG Q. Research on resource coordination allocation of container port yard system [J]. Statistics and Decision, 2014(22): 52-55. (in Chinese)
- [10] JIANG X J, JIN J G. A branch-and-price method for integrated yard crane deployment and container allocation in transshipment yards [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2017, 98: 62-75.
- [11] 严南南, 崔景云. 集装箱码头堆场出口箱区空间分配动态模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(2): 163-168.
- YAN N N, CUI J Y. Dynamic model of block space allocation on container terminal yard [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2016, 35(2): 163-168. (in Chinese)
- [12] 鲁渤, 吕家智, 曾庆成. 集装箱码头 ALV 调度与堆场位置分配集成优化模型[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(5): 1349-1359.
- LU B, LV J Z, ZENG Q C. Integrated optimization model for automated lifting vehicles scheduling and yard allocation at automated container terminals [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2017, 37(5): 1349-1359. (in Chinese)
- [13] 范厚明, 马梦知, 姚茜, 等. 集装箱堆场箱位分配及多场桥调度协同优化问题[J]. 上海交通大学学报, 2017, 51(11): 1367-1373.
- FAN H M, MA M Z, YAO Q, et al. Integrated optimization of storage space allocation and multiple yard cranes scheduling in a container terminal yard [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2017, 51(11): 1367-1373. (in Chinese)
- [14] ZHEN L. Container yard template planning under uncertain maritime market [J]. Transportation Research Part E: Logistics & Transportation Review, 2014, 69: 199-217.
- [15] TAN C M, HE J L, WANG Y. Storage yard management based on flexible yard template in container terminal [J]. Advanced Engineering Informatics, 2017, 34: 101-113.