



集装箱码头岸桥与集卡装卸协作优化*

张笑, 韩晓龙

(上海海事大学物流研究中心, 上海 200135)

摘要: 岸桥与集卡是集装箱港口装卸过程中的重要机械, 其配置情况关系到整个港口的作业效率。为了提高集装箱码头的作业效率, 针对集装箱在码头堆场分区堆放的情况和码头泊位装卸作业的状态要求, 考虑了岸桥作业时间和集卡运输时间, 提出了集装箱码头集卡与岸桥协作优化模型, 该模型以总时间最小为目标。算例结果表明, 该模型为码头集装箱装卸作业优化问题提供了决策支持。

关键词: 岸桥; 集卡; 装卸; 协作优化

中图分类号: U 656.1[†]35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)03-0124-05

Collaborative optimization of quay crane and yard truck in container terminal

ZAHNG Xiao, HAN Xiao-long

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

Abstract: The allocation of quay cranes and yard trucks is related to the efficiency of the container terminal which is important to the handing of container. According to the division pile up of the container yard and berths' loading and unloading requirements, the quay cranes operation time and container trucks transportation time are considered. To improve the efficiency of the container terminal, this paper puts forward the cooperation optimization model of quay cranes and container trucks, so as to minimize the total time. The results of the model prove that the optimized model is helpful for the decision-making of port management.

Key words: quay crane; container truck; handling; collaborative optimization

由于集装箱贸易的不断增长, 目前许多码头能力已接近饱和, 但由于大型集装箱船的发展, 码头操作必须提高效率。在集装箱码头, 船通常停泊在离集装箱存储位置较近的泊位, 以方便更快地转运集装箱, 一组集卡通常被分配给一个特定的岸桥直到工作完成。即集卡在完成一次作业, 如装船、卸船或者转堆后, 必须空驶回到堆场, 接着进行下一次作业, 如此造成的集卡空载率很高, 与之相应的岸桥, 每次作业也只装或卸集装箱, 使岸桥作业效率低。

国际上在该方面的研究始于20世纪70年代,

近些年逐渐活跃。Haghani^[1]以船舶在港作业时间最小化为目标建立混合整数规划模型, 并减少岸桥在作业期间的无效移动。Kim^[2]考虑到岸桥操作的种种约束条件, 建立了一个混合整数规划模型, 并设计了启发式搜索算法来解决相关问题。Zhang等^[3]假定每时段堆场装箱工作量为已知情况下, 利用拉格朗日松弛法求解岸桥用时最少的移动路线优化问题。Kozan等^[4]运用启发式算法研究集装箱码头集卡运输问题, 讨论了影响集装箱码头作业效率的因素。Kim等^[5]研究了装船操作情况下集卡路径模型, 并使用束搜索算法进行求解。

收稿日期: 2012-08-01

***基金项目:** 国家自然科学基金项目(71071093), 上海市科委项目(10190502500), 上海市自然科学基金项目(10ZR1413300), 上海市科委创新项目(11510501900)

作者简介: 张笑(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为供应链与物流管理。

Nishimura等^[6]提出了集卡动态路径调度方法, 并使用遗传算法求解。

杨静蕾^[7]基于单船进出口操作同时进行的作业面情况, 求解集卡最优行走路径。李磊等^[8]针对进口出口两个泊位上的船舶一装一卸的情况, 提出基于时间最短的集卡优化模型设计了免疫禁忌算法进行调度, 但是只考虑了集卡的行走时间; 曾庆成等^[9]建立装卸动态混合调度模型, 设计并说明两阶段禁忌搜索算法对结果的有效性。计明军等^[10]研究了集卡与岸桥的协调调度优化, 同时考虑了岸桥和集卡的作业效率, 并使用进化计算的方法求解集卡的最优路径。该研究比较科学地描绘了码头装卸作业的流程, 虽然考虑了岸桥的工作效率, 但是从作业路径上来说, 并没有考虑船舶停靠位置对集卡运输作业路径的影响。

码头物流路径优化问题是港口协调调度的重要问题, 本文在已有研究基础上, 考虑集装箱船同时装卸集装箱的情形下的岸桥与集卡协调调度问题, 提出基于岸桥作业时间和集卡运输时间之和最小的路径优化模型, 并进行应用算例分析。

1 路径优化模型

集装箱码头岸桥与集卡协作中要求每个集装箱必须完成配送, 这就要求与集装箱相关的起、终点至少被访问一次。多艘集装箱船同时在泊作业, 通过岸桥将集装箱卸到集卡上, 集卡运箱到其对应的进口箱区卸箱, 再运行到出口箱区运载集装箱, 将其运送至对应的集装箱船舶装箱, 若此船有需卸载的集装箱, 则岸桥同步进行装卸操作, 当然, 在同一贝位的同步装卸中, 岸桥先卸完1列, 从第2列开始, 启动同时装卸, 岸桥卸下一个进口集装箱的同时, 从集卡上将出口集装箱吊起进行装船作业; 若已没有, 则岸桥装完集装箱后, 集卡运行至需要卸载集装箱的船舶。此过程是一个集卡行走回路, 考虑到岸桥同时装卸集装箱所用时间, 使总时间最短。从而, 集卡的作业路径是基于整个码头的岸桥, 而不仅仅局限于特定的单一岸桥。其中, 码头作业流程如图1所示。

模型描述如下:

环境假设: 1) 假定在某一时间段内, 码头泊

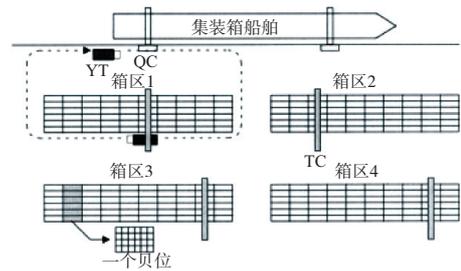


图1 码头作业流程

位计划已知, 集装箱码头对所有该时段内靠泊船舶进行作业, 其中包括船舶待卸作业、船舶待装作业和船舶待装卸作业。2) 假定堆场内的龙门吊能及时服务于集卡, 集卡能及时服务于岸桥。3) 模型计入不同泊位之间的距离, 但忽略不计同一船舶不同岸桥间的距离。

模型中参数和变量描述如下: Q 为集装箱船的数量, $l, k \in Q$; N 为码头堆场进口箱区的数量; $i \in N$; R 为码头堆场出口箱区的数量; $j \in R$; A 为保证能实现同步装卸, 在每一贝位必须先卸下一列集装箱的情况下, 整艘船必须先卸下的总数量; t_1 为岸桥卸箱的单位作业时间; t_2 为岸桥同时装箱与卸箱的单位作业时间; t_3 为岸桥装箱的单位作业时间; t_{li1} 为从船 l 到进口箱区 i 的集卡运输时间; t_{jk2} 为出口箱区 j 到船 k 的集卡运输时间; t_{ij3} 为进口箱区 i 到出口箱区 j 的集卡运输时间; t_{lk4} 为船 l 与船 k 之间集卡运输时间; x_{li1} 为将集装箱从船 l 送到进口箱区 i 并返回船的集卡运输次数; x_{jk2} 为将集装箱从出口箱区 j 送到船 k 并返回 j 箱区的集卡运输次数; x_{lijk} 为将集装箱从船 l 到进口箱区 i 到出口箱区 j 再返回船 k 的集卡的次数; H_l 为集装箱船 l 的卸箱量; h_l 为集装箱船 l 的装箱量; M_{li} 为从船 l 到进口箱区 i 的卸箱量; m_{jk} 为出口箱区 j 到船 k 的卸箱量。

目标函数:

$$\begin{aligned} \min F = & \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N x_{li1} t_1 + \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{jk2} t_2 + \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{lijk} t_3 + \\ & \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N x_{li1} (t_{li1} + t_{li1}) + \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{jk2} (t_{jk2} + t_{jk2}) + \\ & \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{lijk} (t_{li1} + t_{ij3} + t_{jk2}) + \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k \neq l}^Q x_{lijk} t_{lk4} \end{aligned} \quad (1)$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^N x_{li1} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{lijk} = H_l \quad i=1, 2, \dots, q \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{jk2} + \sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^R x_{lijk} = h_k \quad k=1, 2, \dots, q \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N x_{lijk} \leq m_{jk} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{lijk} \leq M_{li} \quad (5)$$

$$x_{li1} \leq M_{li} \quad (6)$$

$$x_{jk2} \leq m_{jk} \quad (7)$$

$$\sum_{l=1}^Q \sum_{i=1}^N x_{li1} = \max \{H_k - h_l, 0\} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^Q x_{jk2} = \max \{H_l - h_k, 0\} \quad (9)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{li00} \geq A \quad (10)$$

$$x_{li1}, x_{jk2}, x_{lijk} \geq 0 \quad (11)$$

目标函数(1)为岸桥只卸箱时间、岸桥同时装卸箱时间、岸桥只装箱时间和集卡运输时间之和,使总时间最小;约束(2)表示每艘集装箱船单独卸箱运输次数与同时装卸作业的集卡运输次数之和,为总卸箱数;约束(3)表示每艘集装箱船单独装箱运输次数与同时装卸作业的集卡运输次数之和,为总装箱数;式(4)和(5)表明装卸的次数是平衡的;式(6)表明单独卸箱量不能超过卸到该堆场的箱量;式(7)表示单独的装箱量不能超过从该堆场装船的箱量;式(8)表示独立卸箱作业的次数,如果一个泊位船舶的卸箱量大于另一泊位船舶的装箱量,那么多余的箱子需要独立卸箱作业;式(9)表示独立装箱作业的次数,如果一个泊位船舶的装箱量大于另一泊位船舶的卸箱量,那么多余的箱子需要独立装箱作业;式(10)表示为保证同步装卸的实施,每艘船至少单独卸下的集装箱的量;式(11)为非负约束。

2 算例分析

算例考虑同时有2个集装箱船到达港口,船舶1中需卸载的集装箱量为600 TEU,装载的集装

箱量为500 TEU。船舶2中需卸载的集装箱量为500 TEU,装载的集装箱量为450 TEU。同时考虑设堆场堆放集装箱分进口箱区和出口箱区,假设有6个出口箱区,6个进口箱区,各船需卸到各堆场的集装箱量如表1,各船需从各堆场装箱量如表2,岸桥装箱时间为2,岸桥同时装卸箱时间为3,岸桥卸箱时间为2,船1与船2间集卡运行时间为1,为保证实现同时装卸,每船至少单独卸载的集装箱的量为50。集卡从船到进口箱区所用时间如表3,集卡从进口箱区到船所用时间如表4,集卡从出口箱区到船所用时间如表5,集卡从出口箱区到船所用时间如表6,箱区间的运输时间如表7。

表1 各堆场所需的集装箱量 (M_l)

船	箱区1	箱区2	箱区3	箱区4	箱区5	箱区6
船1	0	200	100	100	0	200
船2	0	200	0	200	100	0

表2 各船需从各堆场装箱量 (m_j)

船	箱区1	箱区2	箱区3	箱区4	箱区5	箱区6
船1	100	150	150	0	100	0
船2	0	0	100	50	200	100

表3 集卡从船到进口箱区所用时间

船	箱区1	箱区2	箱区3	箱区4	箱区5	箱区6
船1	7	6	7	8	9	8
船2	7	7	8	6	8	9

表4 集卡从进口箱区到船所用时间

箱区	船1	船2
箱区1	6	7
箱区2	8	7
箱区3	8	6
箱区4	7	8
箱区5	8	9
箱区6	9	8

表5 集卡从出口箱区到船所用时间

箱区	船1	船2
箱区1	5	6
箱区2	3	4
箱区3	4	5
箱区4	6	6
箱区5	3	4
箱区6	5	3

表6 集卡从船到出口箱区所用时间

船	箱区1	箱区2	箱区3	箱区4	箱区5	箱区6
船1	3	5	6	4	5	3
船2	4	6	6	5	3	4

表7 箱区间的运输时间

进口箱区	出口箱区					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	9	10
2	1	2	7	8	9	10
3	1	6	7	8	9	10
4	5	6	7	8	9	6
5	1	2	3	4	11	12
6	1	8	9	10	11	12

根据上述7个表的数据, 用Gurobi实现了此路径优化的算法程序, 优化得到的总线路, 结果见表8。

表8 优化结果

路径	运输线路	卸箱量	装箱量	路径	运输线路	卸箱量	装箱量
	$l \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$				$l \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$		
1	0→0→1→1	0	50	9	2→2→0→0	50	0
2	1→2→0→0	50	0	10	2→2→1→1	50	50
3	1→2→3→2	50	50	11	2→2→2→1	100	100
4	1→2→5→2	150	150	12	2→4→2→1	50	50
5	1→3→4→2	50	50	13	2→4→3→1	50	50
6	1→3→5→2	50	50	14	2→4→5→1	100	100
7	1→4→6→2	100	100	15	2→5→3→1	100	100
8	1→6→3→2	50	50				

这里 l, k 代表船舶, i, j 代表箱区, 若集装箱只负责卸箱, 则 j, k 为0;若集装箱只负责装箱, 则 l, i 为0。 $l \rightarrow i \rightarrow j \rightarrow k$ 表示集卡从船舶到箱区 i 卸箱到箱区 j 装箱再回到船舶。 $F=19\ 000$ 。集卡初次运载集装箱从船1或船2开始是平等的, 视实际集卡数量而定。

下面以第2和第8两个路线为例, 解释岸桥同时装卸集装箱情况下的集装箱运输(图2)。

由图2可知, 在岸桥可以对集装箱进行同步装卸的情况下, 路径2“船1→进口箱区2→出口箱区3→船2”与路径8“船2→进口箱区2→出口箱区1→船1”可构成一个循环, 集卡按此循环运行50次, 即可在卸载船1的50个进口集装箱的同时, 装载50个出口集装箱, 装载船2的50个出口集装箱

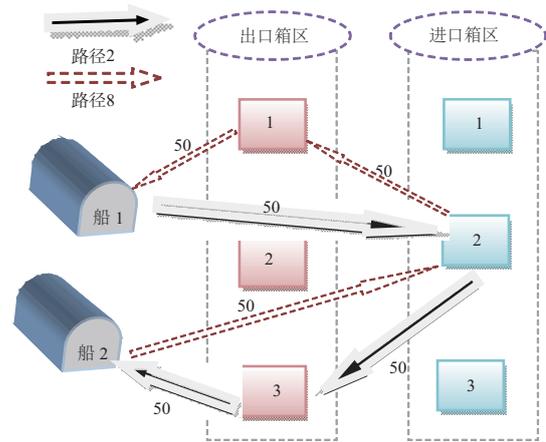


图2 路径2和路径8集装箱运输

的同时, 卸载50个进口集装箱, 这时, 岸桥就充分发挥了其同时装卸的功能, 从而提升了装卸效率, 集卡也实现了满载运输, 使得码头运作效率大大提高。其余的循环线路按路径3~8和9~15的顺序并根据其所需装卸集装箱数量往下排即可。

3 结语

本文考虑集卡的运输路径和岸桥同时装卸集装箱时所用的时间, 旨在提高集装箱码头运作效率。此种分配原则可用于码头集装箱运作的战术层和操作层的管理, 例如, 操作者可通过模拟集卡路径, 得到所需集卡的总数和岸桥的作业情况, 并对每台集卡和岸桥的任务进行部署, 进而所需龙门吊的安排也可以依此推算出, 从而可给出码头每日或每周的工作安排, 实现对码头物力资源和人力资源的协调调度。唯一的缺点是此种分配比较复杂, 会增加人为错误的可能性, 不过, 人为错误可以通过相互间的沟通和采用跟踪系统等使之降到最低。

参考文献:

- [1] Haghani A, Kaiser EI. A model for designing container loading plans for containership [C]. Annual Conference for Transportation Research Board, 2001.
- [2] Kim K H, Park Y M. A crane scheduling method for port container terminals[J]. European Journal of Operational Research: 2004, 156: 752—68.
- [3] Zhang C. Resource planning in container storage yard [D]. Hong Kong: Hong Kong University of Science

and Technology, 2000.

[4] Kozan E, Preston P. Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals [J]. International Transactions in Operational Research, 1999, 6(3): 311-329.

[5] Kim K H, Kim K Y. Routing straddle carriers for the loading operation of containers using a beam search algorithm[J]. Computers&Industrial Engineering, 1999, 36(1): 109-136.

[6] Nishimura E, Imai A, Papadimitriou S. Yard trailer routing at a maritime container terminal[J]. Transportation Research: Part E, 2005, 41: 53-76.

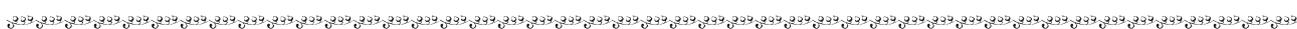
[7] 杨静蕾, 集装箱码头物流路径优化研究[J]. 水运工程, 2006(1): 32-35.

[8] 李磊, 孙俊清, 韩梅, 基于“作业面”的集装箱码头集卡路径优化的研究[G]//中国自动化学会.第27届中国控制会议论文集. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008, 541-545.

[9] 曾庆成, 孙丽敏, 杨忠振, 集装箱码头装卸混合调度模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009(10): 287-289.

[10] 计明军, 靳志宏, 集装箱码头集卡调度与岸桥协调调度优化[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2007, 46: 476-480.

(本文编辑 武亚庆)

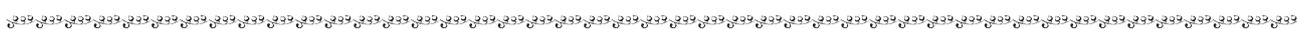


(上接第112页)

3 结语

理论上实船靠泊最先受撞位置为船舶靠泊最大撞击力, 该处的实测参数应该趋于最大, 根据现场实船靠泊试验表明测试参数最大值均发生在7#排架, 实测结果与理论情况相符^[4], 现场实船靠泊试验方案可行、测试结果符合高桩码头变形特性变化规律。

国内外对高桩码头靠泊能力测试还处在前期研究和探索阶段。本文通过实船靠泊试验对高桩码头结构的变形特性进行了探讨, 靠泊试验可为类似工程的现场实船靠泊测试提供了依据, 对今后靠泊能力评定理论的进一步研究具有实践指导



(上接第116页)

根据JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》, 海水港水位变动区裂缝宽度要求小于0.25 mm^[4], 从表3可以看出虽然无隔墙圆沉箱内力较大, 但是在配筋相同的条件下, 仍然能满足裂缝及受力要求, 所以可以采用无隔墙圆沉箱代替有隔墙的圆沉箱结构。本工程初步采用“米”字型圆沉箱, 经计算后用无隔墙圆沉箱替代, 这样可以节省工程造价, 也可以加快施工进度, 本次的优化可以取得很好的效果。

3 结论

目前国内应用圆沉箱结构的工程比较多, 很多设计者没经过计算直接选用了有隔墙圆沉箱, 这无形中就增加了工程的造价, 加大了施工的难度。本文通过对某个项目的3种圆沉箱结构内力对

意义。

参考文献:

[1] 交通部第一航务工程勘察设计院. 海港工程设计手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.

[2] 南京水利科学研究院勘测设计院. 岩土工程安全监测手册[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

[3] 王山山, 江泉, 马良筠. 码头船舶靠泊安全性现场测试研究[J]. 力学与实践, 2001(6): 24-25.

[4] 戴春妮. 船舶靠泊荷载作用下高桩码头结构工作性状研究[D]. 南京: 东南大学, 2011.

(本文编辑 郭雪珍)

比分析, 并经配筋计算发现可以用无隔墙圆沉箱结构替代原来的有隔墙圆沉箱结构。本文的计算分析结论表明, 无隔墙大直径的圆沉箱可以用在工程中, 且国外已有成功先例。本文可以为类似圆沉箱节结构设计提供参考, 在今后的设计中可以先考虑无隔墙圆沉箱结构, 以达到降低工程造价、简化施工方法、加快施工速度的目的。

参考文献:

[1] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工技术规范[S].

[2] 纪军, 王安华, 任增金. 圆沉箱内隔墙的设置方式 [J]. 水运工程, 2011(10): 45-47.

[3] 叶裕明, 刘春山, 沈火明, 等. ANSYS土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 64-67.

[4] JTS 151—2011水运工程混凝土结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)