

基于舱位协同作业的集装箱同步装卸方法

何赟燕¹, 胡燕海^{2*}

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 在集装箱同步装卸方法的研究基础上提出了舱位协同作业, 建立了基于岸桥与集卡加权作业时间最短的多目标优化模型. 求解同一个贝位中不同舱位的最优装卸顺序, 及优化后的集卡与岸桥作业时间. 通过数值模拟与传统装卸策略的数据对比, 验证了基于舱位协同策略的集装箱同步装卸方法的可行性与有效性, 为改进国内大多数港口传统装卸方法提供了参考.

关键词: 集装箱码头; 舱位协同; 同步装卸

中图分类号: U691

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 03-0105-04

现今, 国内港口仍采用传统“作业路”模式, 一定数量的集卡与单座岸桥绑定, 由调度人员根据经验安排为一条作业路服务. 这一条作业线就按既定目标工作, 而不去考虑其他作业线的作业情况. 对于集装箱装载与卸载而言, 岸桥与集卡均采用分段作业, 使设备作业累计时间长、工作效率低、额外费用高^[1-2].

为打破传统作业路模式, 致力于提高码头运营效率, 国内外学者作了相关方面的研究. 严政等人^[3]提出了集卡动态优化组合调度模式, 打破按照作业路静态安排集卡的模式. 尚晶等人^[4-5]在集装箱码头传统的集卡调度模式的基础上, 提出在数字化技术环境下的集装箱码头集卡实时调度规则, 并比较这两种调度模式对码头生产能力的影响, 验证了集卡实时调度模式的优越性. 韩笑乐等人^[6]为减少设备调整时间, 提出了岸桥作业的混合装卸模式及连续贝作业策略, 为实际岸吊作业调度提供了指导方案. 计明军等^[7]提出了在同步装卸集装箱作业的情况下, 集装箱码头集卡与岸桥协调调度方法. 王超等人^[8]以上海浦东国际集装箱码头有限公司实际情况为基础, 研究了 GPS 定位系统下集卡智能化实时调度方法, 调整作业模式. 曾庆成等人^[9]建立同贝同步装卸调度模型, 通过优化装

卸桥作业序列与出口集装箱积载计划降低装卸桥与龙门吊作业时间. Zhang 等人^[10]和 Goodchild 等人^[11]提出了同步装卸策略, 并具体细化了装卸的方法, 但该策略只针对岸桥的作业调度, 没有具体涉及到数量庞大的水平运输机械——集卡.

1 舱位协同作业问题描述

同步装卸过程中针对单个贝位采用舱位协同作业, 使得岸桥与集卡在对集装箱进行装卸时减少了单程装卸的次数, 从而减少了该贝位中集装箱的全部作业时间(图 1).

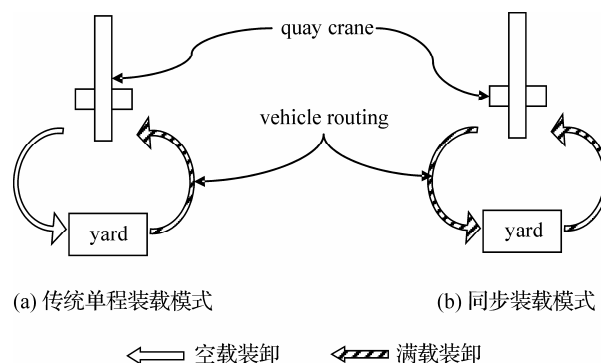


图 1 集装箱装卸作业模式比较

根据集装箱在船舶中的放置, 引入两个定义: 贝位(Bay): 船舶中一行内堆放的所有集装箱的位

收稿日期: 2012-02-25.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 教育部规划基金项目(10YJA790277); 浙江省科技厅重点软科学项目(2010C35022).

第一作者: 何赟燕(1988—), 女, 浙江衢州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 企业信息化、集装箱运输、智慧物流. E-mail: jessy.he@qq.com

*通讯作者: 胡燕海(1966—), 男, 浙江舟山人, 博士/教授, 主要研究方向: 企业信息化、集装箱运输、智慧物流. E-mail: huyanhai@nbu.edu.cn

置集合称为 1 个贝位. 舱位(Hatch): 1 块仓储盖划分出的堆放集装箱的位置为 1 个舱位.

舱位协同作业中, 岸桥与集卡对 1 个贝位进行同步装卸时, 以舱位为最小装卸单位, $h \in H = \{1, 2, \dots, \bar{H}\}$ 表示该贝位中舱位的集合; J_h^u 表示第 h 个舱位中待卸集装箱, J_h^l 表示第 h 个舱位中待装集装箱. 岸桥与集卡先完成 J_1^u 的卸载工作, 之后装载 J_1^l 和卸载 J_2^u 同步进行, 以此类推同步装卸进行, 最后完成岸桥与集卡对 J_H^l 的单程装载.

表 1 中为船舶某个贝位的 4 个舱位中待卸和待装的集装箱的装卸情况, $J_{h1}^u = 12, J_{h2}^u = 10, J_{h3}^u = 23, J_{h4}^u = 17, J_{h1}^l = 28, J_{h2}^l = 11, J_{h3}^l = 13, J_{h4}^l = 10$.

表 1 某个贝位中不同舱位的集装箱装卸情况

装卸量	舱位			
	1	2	3	4
卸箱量	12	10	23	17
装箱量	28	11	13	10

注: 装卸集装箱量单位为 FEU.

运用舱位协同的同步装卸策略时, 此问题为一个排列组合问题, 有 $A_4^4 = 24$ 种装卸方案, 不同的方案会导致岸桥来回操作次数以及相应的集卡来回运输次数的不同. 图 2 中列举了 2 种装卸方案, 其中, 不同色差分别代表不同的舱位; (a) 方案中岸桥/集卡装卸的操作次数为 74 次, (b) 方案为 90 次. 从图中显然可知, (a) 方案优于 (b) 方案.

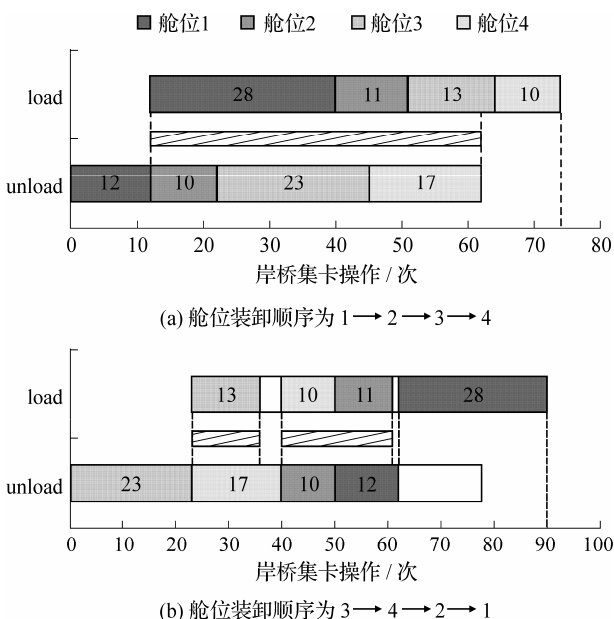


图 2 船舶上 1 个贝位中各舱位不同装卸顺序的对比

2 数学模型

以岸桥与集卡加权作业时间最短为目标, 建立数学模型, 对有关参数和变量作如下定义:

岸桥 $q \in Q = \{1, 2, \dots, \bar{Q}\}$; 集卡 $p \in P = \{1, 2, \dots, \bar{P}\}$; 集装箱 $j \in J = \{1, 2, \dots, \bar{J}\}$; $t_q^{(1)}$ 为岸桥 q 的所有单程装卸时间, $\tilde{t}_q^{(1)}$ 为岸桥 q 完成 1 个单程装卸的时间; $t_q^{(2)}$ 为岸桥 q 的所有同步装卸时间, $\tilde{t}_q^{(2)}$ 为岸桥 q 完成 1 个同步装卸的时间; $t_p^{(1)}$ 为集卡 p 的所有单程装卸时间, $\tilde{t}_p^{(1)}$ 为集卡 p 完成 1 个单程装卸的时间; $t_p^{(2)}$ 为集卡 p 的所有同步装卸时间, $\tilde{t}_p^{(2)}$ 为集卡 p 完成 1 个同步装卸的时间; $x_{j,p}$ 其值为 1 时, 表示作业 j 由集卡 p 完成; $x_{j,q}$ 其值为 1 时, 表示作业 j 由岸桥 q 完成; $y_{j,p}$ 其值为 1 时, 表示作业 j 是集卡 p 的第 1 个作业; $y_{j,q}$ 其值为 1 时, 表示作业 j 是岸桥 q 的第 1 个作业; $z_{j,j',q}$ 其值为 1 时, 表示对于岸桥 q 来说, 作业 j 在 j' 之前完成; $z_{j,j',p}$ 其值为 1 时, 表示对于集卡 p 来说, 作业 j 在 j' 之前完成; $u_{j,j'}^{(p)}$ 其值为 1 时, 表示集卡运输时, j' 在 j 过程中完成, $u_{j,j'}^{(q)}$ 其值为 1 时, 表示岸桥在吊运时, j' 在 j 过程中完成; $v_{j,j',p}$ 是当任务 j 与 j' 都由集卡 p 完成时, 其值为 1; $v_{j,j',q}$ 是任务 j 与 j' 都由岸桥 q 完成时, 其值为 1; $f_{j,j'}^{(p)}$ 其值为 1 时, 表示集卡对连续任务 j 与 j' 采用同步装卸; $f_{j,j'}^{(q)}$ 其值为 1 时, 表示岸桥对连续任务 j 与 j' 采用同步装卸.

基于岸桥与集卡加权作业时间最短的舱位协同调度模型为:

$$F = \min(\omega \sum_{q \in Q} C_q + \sum_{p \in P} T_p), \quad (1)$$

s.t.

$$C_q = t_q^{(1)} + t_q^{(2)}, \forall q \in Q, \quad (2)$$

$$T_p = t_p^{(1)} + t_p^{(2)}, \forall p \in P, \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P} x_{j,p} = 1, \forall j \in J, \quad (4)$$

$$\sum_{q \in Q} x_{j,q} = 1, \forall j \in J, \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,p} = 1, \forall p \in P, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,q} = 1, \forall q \in Q, \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} y_{j,p} \leq 1, \forall j \in J, \quad (8)$$

$$\sum_{q \in Q} y_{j,q} \leq 1, \forall j \in J, \quad (9)$$

$$\sum_{j' \in J} z_{j,j',q} \leq 1, \sum_{j' \in J} z_{j',j,q} \leq 1, \forall j \in J, \forall q \in Q, \quad (10)$$

$$\sum_{j' \in J} z_{j,j',p} \leq 1, \sum_{j' \in J} z_{j',j,p} \leq 1, \forall j \in J, \forall p \in P, \quad (11)$$

$$u_{j,j'}^{(p)} + v_{j,j',p} \leq 1, \forall j \in J, \forall p \in P, \quad (12)$$

$$u_{j,j'}^{(q)} + v_{j,j',q} \leq 1, \forall j \in J, \forall q \in Q, \quad (13)$$

$$C_q - \max \left[\sum_{j \in J} f_{j,j'}^{(q)} \cdot \tilde{t}_q^{(2)} + \sum_{j \in J} (1 - f_{j,j'}^{(q)}) \cdot \tilde{t}_q^{(1)} \right] \geq 0, \\ \forall j, j' \in J, \forall q \in Q, \quad (14)$$

$$T_p - \max \left[\sum_{j \in J} f_{j,j'}^{(p)} \cdot \tilde{t}_p^{(2)} + \sum_{j \in J} (1 - f_{j,j'}^{(p)}) \cdot \tilde{t}_p^{(1)} \right] \geq 0, \\ \forall j, j' \in J, \forall p \in P, \quad (15)$$

$$\tilde{t}_q^{(1)} \ll t_q^{(1)}, \tilde{t}_q^{(2)} \ll t_q^{(2)}, \tilde{t}_p^{(1)} \ll t_p^{(1)}, \tilde{t}_p^{(2)} \ll t_p^{(2)}, \quad (16)$$

$$x_{j,p}, x_{j,q}, y_{j,p}, y_{j,q}, z_{j,j',q}, z_{j,j',p}, u_{j,j'}^{(p)}, u_{j,j'}^{(q)}, v_{j,j',p}, \\ v_{j,j',q}, f_{j,j'}^{(p)}, f_{j,j'}^{(q)} = \{0, 1\}, \quad (17)$$

其中, (1)式为目标函数, 是最小化岸桥与集卡的作业时间的加权和. 因实际作业中, 针对 1 个集装箱集卡作业时间是岸桥作业时间的 5 倍以上, 故取权重系数 $\omega = 6$; (2)式说明每座岸桥的装卸时间为其完成单程装卸与同步装卸时间之和; (3)式说明每辆集卡的运输时间为其完成单程运输装卸与双程运输装卸时间之和; (4)式和(5)式表示任何 1 个集装箱只能由 1 座岸桥或 1 辆集卡进行装卸; (6)式和(7)式表示 1 辆集卡或 1 座岸桥有且仅有 1 个初始操作集装箱; (8)式和(9)式表示 1 个集装箱最多只能是 1 个集卡或 1 座岸桥的初始操作; (10)式和(11)式保证了每座岸桥、每辆集卡最多有 1 个前序与后序作业; (12)式和(13)式约束了 1 辆集卡或 1 座岸桥在运输进行时只操作 1 只集装箱; (14)式约束了 1 座岸桥全部作业完成的条件, 即岸桥的总装卸时间大于等于岸桥所有装卸形式的装卸总时间; (15)式约束了 1 辆集卡全部作业完成的条件, 即集卡的总装卸时间大于等于集卡所有装卸形式的装卸总时间; (16)式给出了每座岸桥或每辆集卡单程装卸以及同步装卸时间的约束; (17)式定义了模型参数中各个布尔变量.

3 数值模拟

试验船舶满足假设条件: (1)甲板上与舱内布局差异忽略; (2)不同贝位的结构差异忽略; (3)装卸的集装箱都是 FEU 标箱, 忽略特殊集装箱的特殊

处理工作; (4)在集装箱的装卸过程中, 岸桥 q 完成 1 个单程装卸的平均时间 $\tilde{t}_q^{(1)} = 2 \text{ min}$; 岸桥 q 完成 1 个同步装卸的时间 $\tilde{t}_q^{(2)} = 2.5 \text{ min}$; 集卡 p 完成 1 个单程装卸的平均时间 $\tilde{t}_p^{(1)} = 12 \text{ min}$; $\tilde{t}_p^{(2)} = 15 \text{ min}$ 是集卡 p 完成 1 个同步装卸的平均时间; (5)船舶布局为 22 个贝位, 每个贝位中 4 个舱位, 每个舱位最多可放置 28 个 40' 标箱; (6)鉴于船舶的实际布局情况, 每个贝位的舱位数少, 对 1 个贝位而言, 舱位协同顺序有 $4! = 24$ 种方案, 采用枚举法便可选举出最优方案; (7) $T = t_q + t_p$ 求解岸桥与集卡装卸集装箱的总用时.

随机选取船舶中的 5 个贝位, 每个贝位的配积载情况见表 2, 用 Matlab 计算样本结果见表 3.

表 2 各贝位中不同舱位的集装箱装卸量 FEU

舱位号	装卸量	贝位号				
		06	10	14	18	22
1	卸箱量	20	8	13	20	27
	装箱量	22	2	11	22	10
2	卸箱量	21	3	22	8	17
	装箱量	11	24	23	20	7
3	卸箱量	19	20	6	19	22
	装箱量	5	9	14	5	8
4	卸箱量	20	27	13	4	15
	装箱量	1	1	19	14	20

表 3 不同装卸方法比较

贝位号	传统装卸方法对应的 T^*/min	同步装卸方法对应的 T/min	舱位最优装卸序列	效率改进率 $[(T^* - T)/T^*]/\%$
06	1 666	1 267	3→2→1→4	23.95
10	1 316	948.5	3→2→1→4	27.93
14	1 694	1 190	3→4→2→1	29.75
18	1 568	1 074.5	4→2→1→3	31.47
22	1 764	1 365	4→3→1→2	22.62
总计	8 008	5 845	—	27.01

由表 3 的计算结果可得, 针对随机抽取的试验样本, 采用舱位协同的同步装卸策略在装卸效率上较传统装卸方法平均提高 27.01%. 以贝位 18 为例, 按传统方法, 各舱位装卸顺序为 1→2→3→4, 而按同步装卸方法优化后的装卸顺序为 4→2→1→3, 装卸效率提高了 31.47%.

4 结语

研究了同步装卸中 1 个贝位里不同舱位的装卸顺序问题, 提出了舱位协同以提高岸桥与集卡的作业效率. 以及在此基础上, 建立了基于岸桥与集卡加权作业时间最短的多目标优化模型, 通过数值计算, 效率提高为 22.62%~31.47%, 平均提高 27.01%. 在 1 个贝位已优化的基础上, 下一步可针对整条集装箱船进行进一步的同步装卸方法研究.

参考文献:

- [1] 刘海威, 黄有方, 史建民. 基于模糊逻辑的集卡智能全场调度系统[J]. 中国工程机械学报, 2004, 2(3):279-284.
- [2] 钱永兴. 集装箱码头集卡调度系统[J]. 水运工程, 2005 (5):62-66.
- [3] 严政, 陶德馨. 基于动态优化组合的集装箱码头集卡调度技术[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2006, 28(4):26-29.
- [4] 尚晶. 面向双 40 英尺岸桥的码头集卡调度模型与算法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(11):84-87.
- [5] 尚晶, 陶德馨. 集装箱码头集卡调度策略的仿真研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2006, 30 (5):827-830.
- [6] 韩笑乐, 梁亮, 陆志强, 等. 集装箱码头岸吊作业调度建模及调度策略研究[J]. 工业工程与管理, 2009, 14(5): 20-26.
- [7] 计明军, 靳志宏. 集装箱码头集卡与岸桥协调调度优化[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2007, 46(4):476-488.
- [8] 王超, 陈磊, 董琳, 等. 集装箱码头集卡智能化实时调度方案[J]. 港口科技, 2008, 10:51-52.
- [9] 曾庆成, 杨忠振, 陆靖. 集装箱码头同贝同步装卸调度模型与算法[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(1):88-93.
- [10] Zhang H, Kim K H. Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(3): 979-992.
- [11] Goodchild A V, Daganzo C F. Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation[J]. Transportation Research: Part B, 2007, 41(8):875-891.

Method of Synchronized Container Loading and Unloading Based on Simultaneous Hatch Operation

HE Yun-yan¹, HU Yan-hai^{2*}

(1.Faculty of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Based upon simultaneous hatch operation, the method of synchronized container loading and unloading is presented. To minimize the weighing and transporting vehicle time as well as quay-crane handling time, a multi-objective optimization model is established. The optimal operational sequence of hatches in a bay is obtained, as well as the shortest handling time of vehicle and quay-crane. Numerical tests, which are compared against the traditional operations, illustrate the feasibility and efficiency of synchronized container loading and unloading method based on simultaneous hatch operation.

Key words: container terminal; simultaneous hatch operation; synchronized loading and unloading

(责任编辑 章践立)