

矿石码头装卸工艺系统设备配置仿真优化

Simulating Optimization of Handling System and Equipment Configuration on Ore Port

苗 明, 姚夏莉

MIAO Ming, YAO Xia-li

(大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024)

(School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

[摘 要]运用仿真优化方法对矿石码头装卸工艺系统设备配置问题进行了研究。首先,根据系统作业中存在的确定性、随机性等活动因素,建立了装卸工艺系统的数学模型;其次,在满足系统作业要求的前提下最小化装卸工艺系统设备配置及运营费用,建立了装卸工艺系统的仿真优化模型,并运用仿真优化工具对建立的模型进行求解。

[关键词]装卸工艺系统 排队论 仿真模型 优化方法

[中图分类号]TP391.9

[文献标识码]A

[文章编号]1005-152X (2007) 06-0094-03

Abstract: A simulating optimization method is presented to realize the optimal planning of the handling system on ore port. The paper establishes the mathematical model and simulating optimization model for the handling system and uses simulating optimization tool to find the solution of the models.

Keywords: handling system; queue theory; simulation model; optimization method

1 引言

港口装卸工艺是指一种组织港口机械进行装卸的方法,它包括对装卸机械设备的选择,工艺流程的合理化设计,运输工具和堆场上的合理配置以及司机和工人的先进操作方法。装卸工艺系统是发挥装卸效率的关键。合理设计港口装卸工艺系统的目的是为了提高装卸效率、降低港内设备的运营成本。

目前国内外对于港口装卸工艺系统及其机械设备配备问题的研究很多,这对于提高港口设备的利用率、降低港口的运营成本起到了很好的作用。有运用单级排队模型探讨了港口的合理泊位数和港口吞吐能力^[1];有采用线性混合整数规划为每只船舶安排合理的机械设备台数;有的使用混合整数规划和Pertinnet技术计算堆场中堆取料机最优的动态装卸量和卡车的最优路径^[2]。从以上研究看出,研究多用整数规划来解决装卸设

备资源的配置和调度优化问题,本文主要研究运用系统仿真技术建立系统资源配置模型求解。

本文基于离散事件系统建模与仿真优化方法对港口一个作业路的机械设备进行最优配备。首先,建立了港口装卸工艺系统的数学模型和仿真模型,利用基于禁忌搜索的优化方法及仿真优化软件对所建立的模型进行优化,给出在选定装卸工艺方案下机械设备的最优配比。

2 装卸工艺系统的作业流程

矿石码头装卸工艺系统是典型的离散事件动态系统,船舶、火车到达及机械设备服务时间等参数都是随机的、动态变化的,因此这种系统难于用常规的解析模型来描述,本文运用基于离散事件系统的仿真优化方法对矿石码头装卸工艺系统进行仿真与优化。

码头矿石由船舶输入,经皮带输送机传送,然后进入堆场,最后装火车运出。系统主要有桥式抓斗卸船机系统,斗轮堆取料机系统,皮带机输送系统,定量装火车系统以及堆场洒水除尘与污水处理系统等。其具体流程如图1所示。

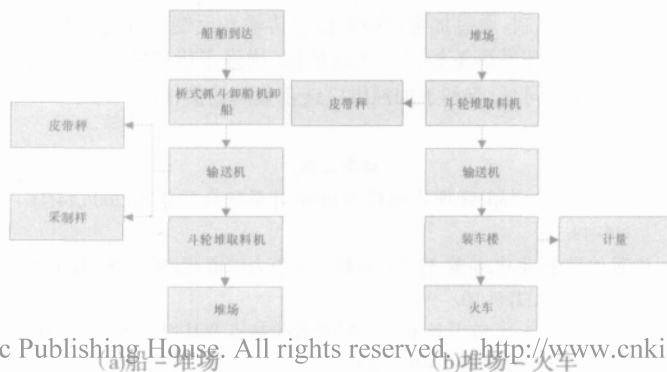


图1 矿石码头装卸系统操作流程

3 装卸工艺系统的优化模型

3.1 矿石装卸工艺选择

矿石装卸工艺一般包括以下内容:

(1) 矿石的装船工艺。这类大宗干散货主要是通过火车运输进入港区,自货物进入港区一直到装船的工艺流程如下:

火车→翻车机→皮带机→堆料机→堆场→取料机→皮带机→装船机→船舶

(2) 矿石的卸船工艺。这类大宗散货的卸船工艺主要由周期性和连续性两种来完成卸船作业。

周期性卸船方式主要是指采用抓斗卸船的方式,从采用的机械类型,可分为船吊-输送机系统和岸边起重机-输送机系统两大类。连续性卸船方式适宜于大宗散货卸船的连续式卸船机械,主要由链斗式卸船机、斗轮式卸船机、螺旋式卸船机等。

(3) 矿石的堆场作业工艺。堆场的主要作业是物料的进出场和堆存。在散货堆场上应用最广泛的是堆料机、取料机和堆取料机。有两种工艺方案可供选择:一是堆取分开方案,即分别由堆料机堆料,取料机取料。另一种是堆取合一的方案,即采用斗轮堆取料机,堆料和取料都由一台机械来完成。

本文中码头采用桥式抓斗卸船机卸船,移动式散货装船机,堆场采用斗轮堆取料机堆取料,后方采用装车楼装车,采用带式输送机进行水平运输,采用履带式推耙机喂料、清仓,采用单斗卸料机及自卸汽车对矿石品种切换时的装车余量进行回收。该方案不考虑船车直取及倒垛。系统主要决策参数为装卸船作业机械的台数、水平搬运机械的台数、堆场作业机械的类型及其台数。

3.2 目标函数的构造

装卸工艺系统优化目标是在港口装卸系统正常运营的前提下,优化各种机械设备的最优配比,最小化港口装卸工艺系统运营成本与设备购置成本的总费用,决策变量组成的向量 X 如式 (1) 所示:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i) \quad (1)$$

设备的运营成本 $F(x)$ 由购置成本、繁忙成本、空闲成本三部分组成,优化模型的目标函数 $F(x)$ 构造如式 (2) 所示:

$$F(x) = C_1 x_1 t_1 + C_2 x_1 (T - t_1) + C_3 x_1 + C_2 x_2 t_2 + C_6 x_2 (T - t_2) + C_{10} x_2 + C_3 x_3 t_3 + C_7 x_3 (T - t_3) + C_{11} x_3 + C_4 x_4 t_4 + C_8 x_4 (T - t_4) + C_{12} x_4 \quad (2)$$

本文的仿真目标是在满足设备利用率的情况下使设备运营成本最小化,因此目标函数为:

$$\min F(x) \quad (3)$$

其中,相关参数定义如下:变量 x_1 桥式抓斗卸船机的数量;变量 x_2 装船机的数量;变量 x_3 #2 堆场斗轮堆取料机的数量;变量 x_4 #3 堆场斗轮堆取料机的数量;变量 v 皮带输送机的运行速度;变量 B 皮带输送机的宽度。设备的运营成本包括购置成本、空闲成本和繁忙成本三部分,定义各种成本变量为 C_1, C_2, C_3, C_4 和 C_5, C_6, C_7, C_8 分别表示抓斗卸船机、装船机、斗轮

堆取料机、皮带输送机单个设备繁忙和空闲的小时费用,主要包括设备的维持和维修费用、操作人员的工资等。 $C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}$ 分别表示抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机的单个设备的购置成本。 X_5, X_6, X_7, X_8 分别表示矿石在抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机接受服务时间的分布函数 $f_1(t), f_2(t), f_3(t), f_4(t)$ 的数学期望值。这里运用变量 X_5, X_6, X_7, X_8 表示矿石接受抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机服务时的服务效率。

由于每个设备在服务过程中的繁忙与空闲时间不等,因此在计算设备运营成本时需要统计设备在仿真时间内的繁忙和空闲时间。设模型的仿真时间长度为 T ,抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机在仿真运行时间内的繁忙时间为: t_1, t_2, t_3, t_4 ,则相应地这些设备的空闲时间为: $(T - t_1), (T - t_2), (T - t_3), (T - t_4)$ 。

3.3 约束条件的构造

(1) 各种机械设备在使用过程中均会有损耗且一般都有其固有的寿命周期,而且设备在港口运营时间内不能 100% 被使用,因此各种机械设备抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机的利用率 $\rho_{\text{卸船机}}, \rho_{\text{装船机}}, \rho_{\text{堆取料机}}, \rho_{\text{输送机}}$, 应在给定的范围 $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ 内: $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{卸船机}} \leq \rho_{\max}; \rho_{\min} \leq \rho_{\text{装船机}} \leq \rho_{\max}; \rho_{\min} \leq \rho_{\text{堆取料机}} \leq \rho_{\max}; \rho_{\min} \leq \rho_{\text{输送机}} \leq \rho_{\max}$ 。

(2) 由于空间有限,排队等待服务的矿石不可能无限制的多,这样会影响整个码头的正常运营秩序的组织。因此矿石的积聚 Q_x 应该小于容许的最大积聚量 $s_{\max}, Q_x \leq s_{\max}$ 。

(3) 抓斗卸船机、装船机、斗轮堆取料机、皮带输送机的单个设备的购置成本 $C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}$ 与其服务时的服务效率之间的关系表示如下:

$$C_9 = g_1(x_5); C_{10} = g_2(x_6); C_{11} = g_3(x_7); C_{12} = g_4(x_8)$$

(4) 目标函数 $F(x)$ 中, y 是皮带输送机关于其参数运行速度和带宽的函数,表示 $y = g(v, B)$ 。

4 仿真模型建立

矿石码头装卸工艺系统作业过程是典型的动态多级排队系统,建立仿真模型要把系统中实体不断到达、等待、被服务和离开等过程用一系列的离散事件表示出来,并按照已知的某种概率分布,来展示整个系统的动态演变过程。仿真建模主要完成:①根据已知的到达时间间隔的概率分布,用随机数发生器生成符合该概率分布的一系列时间间隔值,按照这种间隔,不断地产生顾客输入到模型中;②用随机数发生器生成每个顾客被服务的随机时间,而使得这些时间符合已知的概率分布;③采用面向对象的建模方式完成系统中随机事件的向逻辑模型转换的过程。

本排队系统要素分别为:

(1) 顾客到达过程。到达的船舶与火车视为顾客,顾客源是无限的,且均为随机单个到达,到达规律采用随机分布表示。但

装卸过程中设备操作的对象是矿石,因此在模型中要涉及到顾客的转变,包括转换规则。

② 顾客排队规则 如服务台被占用,顾客就进入队列等待,队列为单队列,服务规则为先到先服务 (FIFO) ;

③ 顾客接受服务过程 岸桥小车、场桥小车、正面吊、堆场视为服务台,是三级串联的形式,各服务台每次服务一位顾客,服务时间是一个随机变量,本系统给与一个随机分布。

5 仿真优化

5.1 仿真优化方法

本文采用 A rena 的优化器 OptQuest 作为优化工具来优化得出机械设备的数量。OptQuest 内部的优化算法采用的是禁忌搜索法 (Tabu),其原理如图 2 所示,运用改进的 Tabu 算法,在状态空间上搜索,得到全局最优解。借助 OptQuest 优化器可以把我们建立的数学优化模型与 A rena 仿真环境下按生产流程建立的仿真模型通过一些参数的设置有机联系起来,达到对规划模型进一步优化的目的。

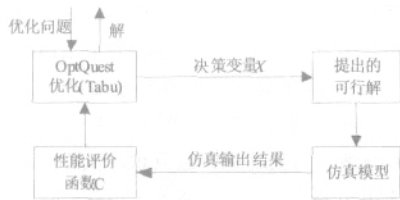


图 2 仿真优化方法原理图

5.2 实例分析

5.2.1 系统主要参数及分布。矿石专用码头主要参数如表 1 所示。

表 1 系统主要参数

参数	参数值	参数	参数值
Dock1	1	C_1 (元)	12 000
Dock2	1	C_2 (元)	6 000
N (crane1)	3	C_3 (元)	10 000
N (crane2)	1	C_4 (元)	4 000
N (machine)	4	C_5 (元)	2 000
B (mm)	1600	C_6 (元)	1 500
v (m/s)	3.15	C_7 (元)	3 000
Q_n (万 t)	715/200	C_8 (元)	800
S_{max} (t/h)	5 000	C_9 (元)	50 000 000
ρ_{min}	20	C_{10} (元)	32 000 000
ρ_{max}	80	C_{11} (元)	27 000 000
Units	Hour	C_{12} (元)	38 000 000

矿石码头装卸工艺系统内的随机事件主要有:卸/装船舶到达泊位,火车到达堆场,抓斗卸船机、斗轮堆取料机、装船

机、皮带输送机提供服务的时间。其分布函数分别为 指数分布 $EXPO f(x)$,指数分布 $EXPO f(x)$,指数分布 $EXPO f(x)$,三角分布 $TRIA f(x)$,三角分布 $TRIA f(x)$,正态分布 $NORM f(x)$,正态分布 $NORM f(x)$ 如表 2 所示。

表 2 装卸工艺系统随机事件的分布函数

分布函数	分布函数类型	单位	参数
$f_1(x)$	EXPO	Hour	120
$f_2(x)$	EXPO	Hour	96
$f_3(x)$	EXPO	Minute	144
$f_4(x)$	TRIA	Minute	(0.5, 0.7, 0.8)
$f_5(x)$	TRIA	Minute	(0.5, 1, 1.5)
$f_6(x)$	NORM	t/h	(1 800, 100)
$f_7(x)$	NORM	t/h	(4 500, 100)

5.2.2 仿真优化结果。如前所述,本文采用 A rena 的仿真优化器 OptQuest 作为优化工具对优化模型进行求解。仿真模型运行的时间长度为一年,每次仿真重复的次数为 4 次,评价解的性能的置信区间设为 95%。

仿真优化模型输出的最优解为 $X^*=(2,1,3,3,3,15,1 600)$

最优解下目标函数的取值为 $F(x)=50 243 542$ 元

可以看出,经过此模型系统优化的结果是抓斗卸船机数量等于 2,装船机数量等于 1,斗轮堆取料机的数量等于 3,皮带输送机的速度等于 3.15m/s,宽度等于 1 600mm。

5.2.3 结果分析。设备利用率是一种纵向延伸的指标,考核它不仅可以反映设备的投资效果、设备的运转率和作业效率,而且可以反映设备系统功能的投入及性能发挥的状况。考核的最终目的在于提高设备的利用效率,充分发挥设备的能力和潜力。港口规划考虑到设备的寿命,要求所有设备的利用率不超过 80%,据此模型优化结果如表 3 所示:

表 3 最优输出结果

设备配置	最优配置	模型设备利用率
抓斗卸船机	2	50.4%
装船机	1	8.1%
斗轮堆取料机	#2 堆场 3	43.3%
	#3 堆场 3	52.7%
皮带输送机	速度 v 3.15	37.5%
	宽度 B 1 600	

某港口现有的一条作业路装卸设备的配备数量为 (3,1,4,3,15,1 600)。其实际利用率分别为 27.8%、7.6%、23%、31.6%、26.5%。通过比较可以看出,本结果中有些设备利用率相差比较大,是由于提供数据港口的船舶的特殊性和港口的设备配备不切合实际造成的。本仿真模型的最优结果符合港口对于机械设备利用率的要求,而港口运营设备实际利用率则偏低,没有把机械设备的能力发挥出来,这样使得设备的折旧成本相对较大,无形中加大了港口的运营成本。因此本文优化得出的设备配置更为合理。

6 结论

3.3 基于 RFID 的便利店自动补货系统的实现和测试应用

首先,选择全球最大的 RFID 芯片制造商 EM Microelectronica 公司的 RFID 系统,其 RFID 芯片型号为:EM 4005 (参数可参阅 EM 主页)。其次,选择 A 便利连锁企业中最靠近配送中心的 b 门店。这是因为系统处于测试阶段,由于种种原因,牛奶补货方式还不能一时之间建立起来。最后,选择根据 b 门店管理员介绍的缺货现象最严重的某食品为试验对象。最终的系统运行截图如图 6 所示。

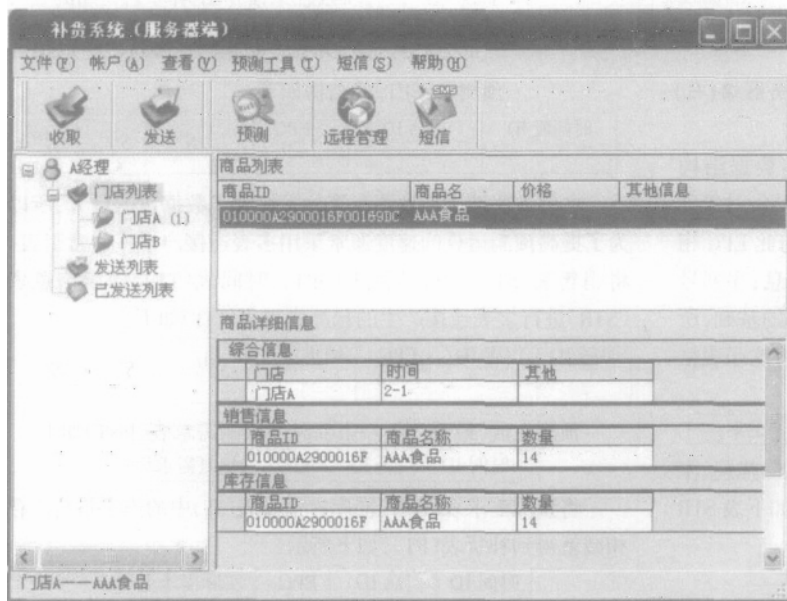


图 6 RFID 自动补货系统客户端运行图

4 结论

虽然在测试中采取了一些理想化的手段,比如选取的门店位置靠近配送中心和只对一种缺货现象严重的商品进行测试,但是经过三周的测试结果显示,该商品的缺货现象已经杜绝,同时该商品平均每个时间段的库存仅为 1.27 件 (该数值远远小于店内其他商品的平均库存)。可见,利用 RFID 系统不仅能杜绝便利店的缺货现象,而且对库存的控制也能起到积极的作用。显然,这对于本来就是惨淡经营的连锁便利企业的成本控制会有巨大的帮助。

[参考文献]

- [1] 韩迎科 RFID 和新业务模式 [M] 北京: 东方出版社, 2006.
- [2] 孙焰 现代物流管理技术 [M] 上海: 同济大学出版社, 2005.
- [3] 菊田一郎, 孙前进 RFID 挑战零售业供应链 [J]. 物流技术与应用, 2004, (12).
- [4] 秦虎, 王红卫, 谢勇 基于电子标签的数据采集系统 [J]. 物流技术, 2004, (10).
- [5] 孟小宁, 刘凯 基于 RFID 技术的准自动化仓库管理 [J]. 物流技术, 2005, (11).

[收稿日期] 2007-03-27

[作者简介] 杨志平 (1983-), 男, 浙江台州人, 同济大学工业工程硕士研究生。
郑永前, 副教授, 工学博士, 同济大学硕士生导师。

(上接第 96 页)

本文运用仿真优化方法求解矿石码头装卸工艺系统机械设备最优配比问题。建立了装卸工艺系统仿真优化模型, 提出了仿真优化方法对模型进行求解。然后利用某港口实际运行数据验证了模型的正确性及方法的有效性。最后将优化结果与港口实际数据进行了比较, 验证了结果的合理性。以往港口在配备工艺系统时, 往往根据经验来进行, 没有考虑实际港口的条件及其港口吞吐量的需求, 本文认为可以在配备之前利用某些专业仿真软件及本文介绍的优化方法, 对系统配置进行预测以节省初期建设成本。

[参考文献]

- [1] Pasquale Legato, Rina M. Mazza. Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 133 (3): 537-547.
- [2] 张维中 排队理论在确定集装箱码头吞吐能力中的应用 [J]. 海岸工程, 1998, 17 (1): 67-71.

- [3] Chuqian Zhang, Yat-wah Wan, Jiyin Liu. Dynamic Crane Deployment in Container Storage Yards [J]. Transportation Research Part B Methodological, 2002, 36 (6): 537-555.
- [4] 刘颖, 杨赞 港口装卸机械合理拥有量研究 [D]. 大连: 大连海事大学交通运输规划与管理, 2003.
- [5] 张新艳 港口集装箱物流系统规划仿真建模方法的研究与实现 (博士学位论文) [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2002.
- [6] 杨湘龙, 王飞, 冯允成 仿真优化原理与方法综述 [J]. 计算机仿真, 2000, 17 (5): 1-5.
- [7] 刘志雄 设备拥有量模型的研究 [J]. 港口装卸, 2001, (2): 37-39.
- [8] 2001 年大连港运营年志 [R].

[收稿日期] 2007-04-09

[作者简介] 苗明 (1956-), 男, 河北邯郸人, 副教授, 研究方向: 工程机械、物流工程。
姚夏莉 (1979-), 女, 山西永济人, 硕士研究生, 研究方向: 物流工程技术。