



基于邻域搜索的黄骅港煤炭堆场 自动化卸车方案

刘 强, 王 潇, 陈 浩, 高 波

(国能黄骅港务有限责任公司, 河北省散料港口技术创新中心, 河北 沧州 061113)

摘要: 现代煤炭码头对港口整体调度的服务水平与效率性要求不断提高。针对黄骅港煤炭堆场存在的卸车方案人工决策时间长、作业冲突和列车在港时间过长等问题, 对黄骅港煤炭堆场卸车自动决策方法进行研究。通过考虑列车可拆分特征和设备流程串唯一性特征, 以最小化列车等待时间和最大化匹配得分为目标, 提出一种带有邻域搜索策略的新型解决方案, 并通过邻域搜索策略提升算法的搜索效率。结果表明, 新型解决方案的决策时间短于 1 min, 且其结果优于人工决策方案。

关键词: 煤炭堆场; 卸车; 邻域搜索; 自动决策

中图分类号: U653. 7; U658. 3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)11-0059-06

Automatic unloading solution based on neighborhood searching for coal cargo yard in Huanghua Port

LIU Qiang, WANG Xiao, CHEN Hao, GAO Bo

(Hebei Bulk Port Technology Innovation Center, CHN Energy Huanghua Port Co., Ltd., Cangzhou 061113, China)

Abstract: The service level and efficiency requirements of modern coal cargo terminals for overall port scheduling are constantly improving. The unloading solution of the coal cargo yard in Huanghua Port has problems of long manual decision-making time, operation conflict, and long train time in port. Therefore, this paper studies the automatic decision-making method for unloading in the coal cargo yard in Huanghua Port. Considering the characteristics of equipment flow uniqueness and train splitting, the paper proposes an innovative solution with a neighborhood searching strategy to minimize the train waiting time, maximize the matching score, and improve the searching efficiency of the algorithm. The results show that the innovative solution can make decisions within one minute and performs better than manual decision-making.

Keywords: coal cargo yard; unloading; neighborhood searching; automatic decision-making

我国煤炭资源丰富, 煤炭产业对国民经济的发展有着重要的影响。我国煤炭主要集中在华北、西北、西南区域, 由于煤炭在地域分布上的差异, 我国存在大规模的“西煤东运”、“北煤南运”现象。港口中的煤炭堆场作为煤炭运输链的枢纽, 其装卸效率是影响煤炭在港时间的重要因素。

煤炭堆场中煤炭卸车作业是一项十分复杂的系统工程, 需要决策火车的卸载次序、每列火车

被分配的翻车机、皮带机、堆料机和其中煤炭堆存的垛位。煤炭码头卸车调度问题属于生产调度^[1]研究领域, 是典型的多约束多目标组合优化问题和 NP-Hard 问题 (NP 问题是在多项式时间内验证一个解的问题, NP-Hard 问题为所有 NP 问题都可以在多项式时间内约化到它的问题)。Manning 等^[2]研究煤炭卸车系统的工艺, 概述传统和现在的卸煤系统; 刘文远等^[3]通过对港口物流

疏密系统特点分析,建立以时间最小化为目标的综合平衡优化模型;张建等^[4]针对大秦港,考虑车流集中到达、列车的限制性对位等因素,建立以待车时间和翻车时间最短为目标的数学模型,通过模拟退火算法进行求解;刘文远等^[5]研究现代煤炭港口卸车联合调度优化模型,构建火车-翻车机-堆场联合调度优化模型,运用禁忌搜索算法进行仿真模型优化,计算出最优翻车调度计划;邵世文等^[6]构建以卸车效率最大和列车在港时间最短为目标的数学模型,并用遗传算法进行求解;陈红梅等^[7]运用排队论研究煤炭翻车机卸车系统的时间消耗,以减少各个环节的作业时间和列车在港等待时间,更科学地考核卸车系统在有效时间下的通过能力;ZENG 等^[8]研究具有装卸和任务组合的复杂车辆调度问题,基于实际负荷建立模型,并在蚁群算法中将编码方法由基于现场改为基于操作,使算法编程更加简单,其结果验证了该算法的有效性;袁芳^[9]提出分工合作的排序加权蚁群算法,并建立卸车调度优化模型;高天佑^[10]以煤炭港口卸车调度优化问题为研究对象,以火车总在港时间最少为目标,建立混合整数规划数学模型,提出递阶主副型复合启发算法和遗传算法;李长安等^[11]以火车在港时间总时间最短为目标,构建考虑多煤种、机械可用性以及作业流程可达性等因素的卸车作业模型,提出一种改进樽海鞘优化算法,引入自适应惯性权重,有效提高算法的收敛速度。

已有煤炭卸车调度研究约束考虑不充分,导致与实际情况有偏差,实用性低。本文结合黄骅港煤炭堆场实际情况,考虑列车可拆分和流程串唯一性特征,以火车等待时间最短和匹配得分最大为目标,设计了卸车方案自动决策方法,旨在有效提升港口码头工作效率。

1 问题描述

1.1 经典煤炭码头卸车调度过程

经典卸车作业以火车到港为始,由铁路方面发来入港手续后,港口相关人员依据火车车型、

火车装载的煤种、翻车机状态、皮带机状态以及堆料机状态等情况,保证港口有限资源的合理利用,安排合理的调度次序,煤炭经过翻车机翻卸、皮带机运输、堆料机堆存到堆场,完成卸车作业后空车离港,如图 1 所示,其中一个翻车机可以负责多种车型,一台堆料机可在多个垛位进行作业,每个垛位只能堆存一种类型的煤。

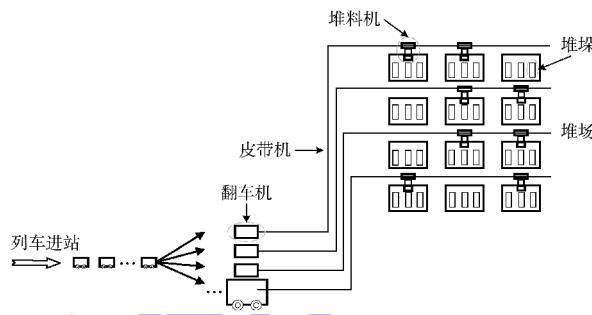


图 1 煤炭卸车调度的基本组成

1.2 黄骅港码头列车可拆分特征

在黄骅港码头,由 54~64 个车厢组成的 1 列火车被称为 1 个单列,2 个单列组合后由同一车牵引时称为 1 万吨级列,3 个单列组合则称为 1.5 万吨级列,4 个单列组合则称为 2 万吨级列。该码头翻车机有 13 台,编号分别为 CD1~13,翻车机前场区域划分为 I、II、III 场,每个场连通的翻车机位置具有差异,I、II 场可连通 CD1~9,其中每台翻车机只能处理单列的卸车任务,III 场可连通 CD10~13,只能处理 1 万吨级列的卸车任务。每列火车根据被分配的翻车机能力决策是否要进行拆分,具体拆分规则为:1) 单列火车不需要拆分;2) 1 万吨级列可不拆分,或分为前后 2 个单列;3) 1.5 万吨级列可分为 1 个 1 万吨级列和 1 个单列,也可分为 3 个单列;4) 2 万吨级列可分为 4 个单列,或 1 个 1 万吨级列和 2 个单列,或 2 个单列和 1 个 1 万吨级列,或 2 个 1 万吨级列。

1.3 黄骅港码头流程串唯一性特征

为车厢进行卸载操作,需要指派具体且唯一的设备流程串,是由翻车机、特定区段的皮带机、堆料机构成的有序设备机械组合,并分别进行翻卸、传输、堆料操作。

1.4 黄骅港码头卸车研究目标

本文研究的目标函数包括最小化列车等待时间和最大化匹配得分。其中列车等待时间等于所有被卸车的等待时间之和, 等待时间可通过其卸车开始时间减去其到港时间获得; 匹配得分可通过堆场各设备之间的匹配得分总和获得, 其中涉及的匹配得分包括翻车机与列车的匹配得分、堆料机与堆垛筒仓的匹配得分、煤种与堆垛筒仓的匹配得分。翻车机与列车的匹配得分等于 4 个匹配得分之和, 包括翻车机与此列车中煤种的匹配得分、翻车机与此列车车箱高度的匹配得分、翻车机与此列车车型的匹配得分、翻车机与此列车吨级的匹配得分。通过权重表示两个优化目标的优先次序, 目标乘以对应权重求和即获得目标函数值。

2 黄骅港码头卸车方案人工决策

当前黄骅港码头卸车过程中的决策由人工完成。首先, 铁路部门根据列车预报信息获得一段时间内列车到港信息, 将列车到港时间的先后次序作为列车的卸车次序, 如此减少列车等待时间。在计划层, 根据列车拆分规则, 决策是否要对列车进行拆分, 若需要拆分, 则对各种可行的拆分方式进行评分, 以某一种拆分方式为例, 统计拆

分获得的单列或 1 万吨级列与各可用翻车机的匹配得分, 为每个拆分部分选择匹配得分最高的翻车机, 这些最高的匹配得分之和就是对此拆分方式的评分, 选择评分最高的拆分方式, 并依次对各拆分部分指派匹配得分最高的翻车机。在调度层, 指派具体堆垛和流程串, 同样是选择匹配得分最高的堆垛和流程串, 通过指派的流程串将车中的煤炭传送到指定垛位中, 即一次卸车操作。不断重复执行以上决策流程, 产生卸车操作, 直到完成所有列车的卸载任务。

当前黄骅港码头卸车方案人工决策存在的问题: 1) 在计划层, 根据列车到港先后次序对列车进行卸车操作, 缺乏对卸车次序的优化; 2) 人工方案以匹配得分作为指派设备的标准, 但是匹配得分高的设备不一定是卸车效率最快的设备, 以此为标准会增加列车等待时间; 3) 计划层与调度层分别依次被不同的人决策, 缺乏整体综合优化; 4) 人的算力有限, 效率低下且易错。针对这些问题, 本文提出卸车方案自动决策方法。

3 黄骅港码头卸车方案自动决策方法

本文提出的黄骅港码头卸车方案自动决策方法流程如图 2 所示。

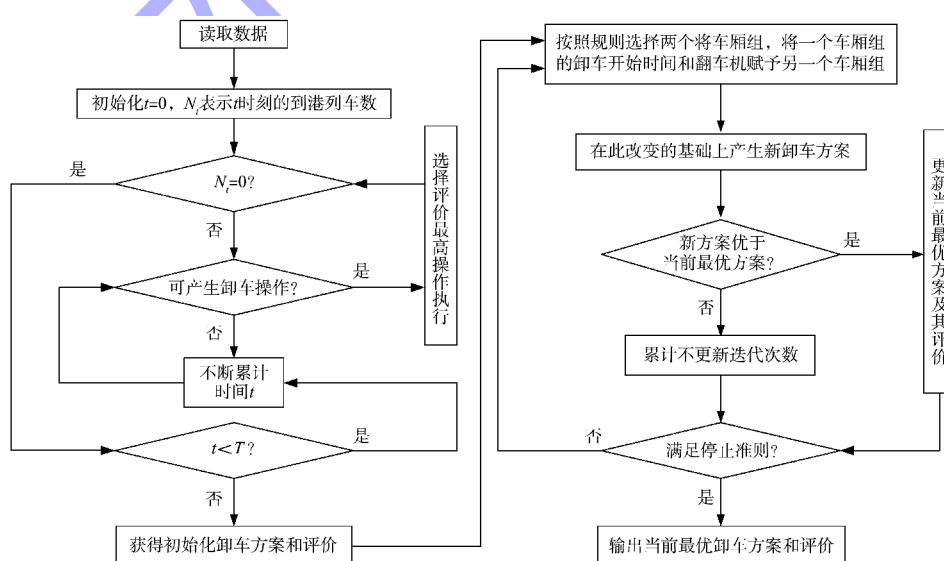


图 2 带有邻域搜索策略的卸车方案自动决策方法流程

具体步骤如下。

步骤 1, 读取当前堆场信息, 获得 T 时间内列车到港信息(T 为预计完成卸车的时间), 并通过当前时间初始化计时器 $t=0$, 以及 t 时刻到港的列车数 N_t 。

步骤 2, 若 $N_t=0$, 则不断累计时间(计时器最小单位为 s), 直到 $t=T$ 或者 $N_t>0$ 。

步骤 3, 若无空闲翻车机, 则不断累计时间, 直到有翻车机对到港列车进行卸载。

步骤 4, 根据翻车机可处理吨级的车厢个数限制, 从到港列车的拆分组合中筛选符合限制要求的列车, 为每个列车分配各种设备匹配且空闲的流程串和煤炭匹配且空间充足的垛位, 进而产生卸车操作。若无法产生卸车操作, 则不断累计时间, 直到有新增的空闲翻车机或者到港列车, 并执行步骤 4, 否则选择综合评价最高的卸车操作并执行, 并更新 $N_t=N_t-1$ 。

步骤 5, 不断执行步骤 2~4, 直到 $t=T$, 如此获得初始卸车方案并评价此方案。

步骤 6, 通过邻域搜索产生新的卸车方案, 具体步骤如下。

步骤 6.1, 若当前最优解对应的 $N_t>0$, 即仍有到港列车没有被卸载, 则从这些未被卸载的列车中选择 1 个列车和已卸载的列车中选择 1 个列车; 否则, 从已卸载的列车中选择 2 个列车; 2 个列车的选择有以下要求: 2 个列车的吨级相同, 其中装载的煤炭种类必须相同, 未被卸车或者卸车开始时间较晚的列车 c_1 的到港时间不能晚于另一列车 c_2 的到港时间, 列车 c_2 的卸车开始时间记为 t_{s2} , 被分配的翻车机记为 cd_2 。

步骤 6.2, 设置 $t=t_{s2}$, 为列车 c_1 分配翻车机 cd_2 进行卸车, 并执行步骤 4。

步骤 6.3, 不断执行步骤 2~4, 直到 $t=T$, 如此获得新卸车方案。

步骤 6.4, 对新卸车方案进行评价, 若其评价优于当前最优方案的评价, 则更新当前最优方案及其评价, 否则累计不更新迭代次数。

步骤 6.5, 不断执行步骤 6.1~6.4, 直到算法运行时间达到预设时间限制参数 P_t 或不更新迭代次数等于预设迭代限制参数 P_n , 则结束算法并输出当前最优卸车方案及其评价。

4 试验结果

以黄骅港实际数据为基础数据, 生成参数设置下的数据用于测试, 具体数值见表 1, 其中 T 为计划时间, C 为选取列车的车厢总数, D 为可用的翻车机数, S 为可用的堆料机数, F 为可用流程串数, M 为所选择列车中的物流种类数上限。

表 1 初始数据

T/h	C	D_1	D_2	S	F	M
8~24	40~240	4~7	1~3	5~10	50~100	30

根据表 1 的初始化数据, 产生 30 组数据, 每组包括 20 个不同的实例, 分别对等待时间和匹配得分进行优化, 权重分别是 $1/(1+5C)$ 和 $5C/(1+5C)$, 优先优化匹配得分, 之后是等待时间。采用人工决策和自动决策对其进行求解, 并将其均值作为输出结果, 其中 M_w 和 M_m 分别为人工决策结果中的平均等待时间和平均匹配得分, A_w 和 A_m 分别为自动决策结果中的平均等待时间和平均匹配得分。自动化解决方案中的两个参数 P_t 、 P_n 分别设置为 60 s、10, 解决方案由 C++ 编程实现, 在配置为 CPU Inter 2.30 GHz、内存 16 G 的计算机上运行测试, 具体结果见表 2。

表 2 不同规模下人工方案与自动化方案的优化结果

T/h	C	D_1	D_2	S	F	A_w/min	M_w	A_m/min	M_m
8	40	4	1	5	50	146.5	148.2	144.0	117.0
	50	5	1	6	60	215.8	218.6	176.0	142.0
	60	5	2	7	70	291.9	296.0	201.0	179.0
	70	6	2	8	80	375.0	380.8	231.0	210.0
	80	6	3	9	90	463.9	471.4	267.0	224.0
	90	7	3	10	100	559.5	570.0	299.0	255.0

续表2

T/h	C	D_1	D_2	S	F	A_w/min	M_w	A_m/min	M_m
12	60	4	1	5	50	395.2	397.0	204.0	169.0
	70	5	1	6	60	490.3	494.6	235.0	190.0
	80	5	2	7	70	582.0	587.7	264.0	224.0
	100	6	2	8	80	690.6	802.9	313.0	257.0
	110	6	3	9	90	771.2	838.9	359.0	305.0
16	120	7	3	10	100	760.6	835.7	390.0	357.0
	80	4	1	5	50	833.0	833.4	269.0	233.0
	100	5	1	6	60	914.7	1062.2	334.0	261.0
	120	5	2	7	70	953.1	1018.8	398.0	332.0
	130	6	2	8	80	897.8	969.9	437.0	351.0
20	150	6	3	9	90	1 051.6	1 143.9	489.0	401.0
	160	7	3	10	100	1 014.1	1 114.3	530.0	457.0
	100	4	1	5	50	1 097.8	1 208.4	336.0	267.0
	120	5	1	6	60	1 104.2	1 230.4	391.0	333.0
	140	5	2	7	70	1 149.7	1 304.9	478.0	390.0
24	160	6	2	8	80	1 213.3	1 331.6	561.0	452.0
	180	6	3	9	90	1 261.9	1 392.7	687.0	538.0
	200	7	3	10	100	1 267.6	1 400.9	780.0	625.0
	120	4	1	5	50	1 310.7	1 462.4	393.0	320.0
	150	5	1	6	60	1 342.1	1 501.8	494.0	387.0
24	170	5	2	7	70	1 350.2	1 523.4	592.0	461.0
	200	6	2	8	80	1 381.2	1 562.2	716.0	596.0
	220	6	3	9	90	1 432.4	1 617.8	828.0	671.0
	240	7	3	10	100	1 521.1	1 671.4	949.0	726.0

根据表 2, 通过分析在不同计划时间下人工和自动决策方案的平均等待时间和平均匹配得分变化, 得到的结果见图 3。

根据表 2、图 3, 可知: 1) 自动决策方法可在 1 min 内获得更优的结果, 而人工需要 10 min 才能完成决策; 2) 不同规模下, 自动决策方案的平均等待时间都低于人工, 平均匹配得分都高于人工, 且规模越大, 优化结果提升的百分比越大; 3) 在 24 h 的规模下, 平均等待时间降低了 10.7%, 平均匹配得分提升了 25.7%; 4) 优化次序的优先级依次是等待时间、平均匹配得分, 优化结果符合此设置的要求。

在实际生产中随着卸车作业的推进, 人工决策方案的卸车调度计划经常需要调整, 影响设备之间的匹配度, 并使得各设备节点间相互冲突, 增加等待时间, 进而降低了限定时间内的卸载量。与之相比, 本文提出一种基于邻域搜索的黄骅港煤炭堆场卸车自动决策方法, 可对列车进行科学、

快速、精确的卸载, 进而提高全港卸车作业效率。

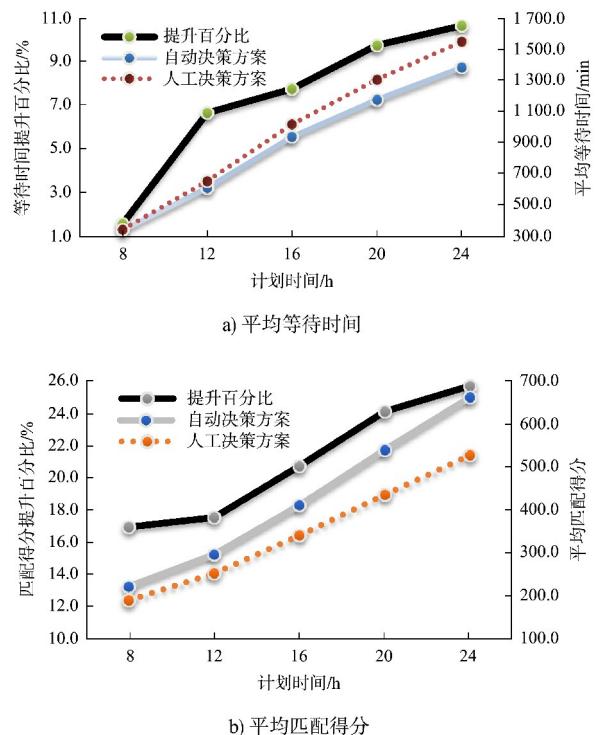


图 3 人工和自动决策方案平均等待时间和平均匹配得分变化

5 结论

1) 基于实际数据测试, 对自动决策结果和人工结果进行比较分析, 其结果显示自动决策方法可在 1 min 内获得更优的解, 且求解问题规模越大其提升越大, 尤其在实际规模下提升最为显著, 因此本文提出的自动决策方法更适用于黄骅港煤炭堆场的实际生产。

2) 未来, 对该方法进行改进, 提升其求解效果, 并将其扩展应用到其他煤炭堆场。

参考文献:

- [1] 王万良, 吴启迪. 生产调度智能算法及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] MANNING E T, TUIL K S. Systems for coal car unloading at rail water terminals [C]//Dravo Wellman Co. Proceedings of International Coal Utilization Conference and Exhibition. Houston: Dravo Wellman Co, 1981: 89-110.
- [3] 刘文远, 肖倩, 陈红梅. 港口煤炭物流集疏运网络优化模型 [J]. 水运管理, 2009, 31(10): 23-26.
- [4] 张建, 郭岳峰. 大秦线港口站对位卸车模型及算法 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22(6): 35-37.
- [5] 刘文远, 苏飞. 现代煤炭港口卸车联合调度优化问题研究 [J]. 水运工程, 2015(5): 101-106.
- [6] 邹世文, 商剑平. 煤炭码头卸车调度问题多目标优化模型及算法 [J]. 运筹与管理, 2018, 27(6): 91-99.
- [7] 陈红梅, 赵金艳. 基于排队论的煤炭翻车机卸车系统效率研究 [J]. 水运管理, 2010, 32(9): 23-26.
- [8] ZENG Y, LIU D, HOU X. Complex vehicle scheduling optimization problem based on improved ant colony algorithm [C]//LU W, CAI G Q, LIU W B. Proceedings of the 2012 International Conference on Information Technology and Software Engineering. Berlin: Springer, 2013: 805-812.
- [9] 袁芳. 蚁群算法的改进及其在港口煤炭卸车调度中的应用 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.
- [10] 高天佑. 输出型煤炭码头卸车生产调度优化模型和方法研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.
- [11] 李长安, 赵德隆, 王国勇, 等. 基于改进樽海鞘群算法的卸车调度优化 [J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(11): 32-39.

(本文编辑 王璁)

(上接第 58 页)

4) 对于掩护条件较好、水位变动较小的游艇码头工程, 较适合采用拉簧锚碇结构。

5) 对于掩护条件较差的游艇码头工程, 拉簧锚碇结构造价较高, 且水平变位较大, 对于码头使用和配套设施的设置应特别予以考虑。

参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘测设计院有限公司, 重庆市交通规划勘测设计院. 游艇码头设计规范: JTS 165-7—2014[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.

- [2] 盛松涛, 王湘珍, 颜佩. 新型游艇浮码头工程方案的综合评价 [J]. 珠江水运, 2014(1): 68-69.
- [3] 顾津玮, 赵一帆. 游艇码头定位桩设计荷载计算研究 [J]. 港工技术, 2020, 57(4): 42-45.
- [4] 卢笙. 无掩护状态下的游艇码头波浪力研究 [J]. 中国水运, 2018(7): 42-44.
- [5] 向松, 黎剑明, 常轩. 在港口工程设计中的风速使用方法研究 [J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(7): 131-133.
- [6] 中交第一航务工程勘测设计院有限公司. 海港工程设计手册 [M], 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

(本文编辑 王璁)