

面向双侧靠船全回转作业的 新型煤炭码头通过能力仿真研究

唐 颖，张志霞，商剑平
(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：针对黄骅港煤炭港区三、四期工程实例，系统分析了“双侧靠船、装船机全回转作业”的煤炭码头新型装船作业模式，建立了相应计算机仿真模型，基于港口服务水平评价指标对煤炭码头合理通过能力进行研究，为该项目的规划设计提供了科学的决策支持依据。

关键词：煤炭码头；通过能力；仿真；双侧靠泊；回转作业

中图分类号：U 656.1⁺33 文献标志码：A 文章编号：1002-4972(2015)12-0059-05

Simulation analysis of throughput capacity of new coal terminal oriented to bilateral sides berthing & ship-loader whole rotating operation mode

TANG Ying, ZHANG Zhi-xia, SHANG Jian-ping
(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: According to a practical application on the third and fourth stage projects of Huanghua terminal coal area, this paper analyzes the reasonable throughput capacity based on the port service level evaluation index and offers a scientific support for the planning and design of this project by analyzing systematically the new ship-loading operation pattern of coal terminal, i. e. bilateral sides berthing, ship-loader whole rotating operation, and building a computer simulation model.

Keywords: coal terminal; throughput capacity; simulation; bilateral sides berthing; rotating operation

在煤炭码头规划设计工作中，码头通过能力是重要的规划设计指标之一。码头通过能力是泊位通过能力、堆场通过能力和集疏运系统通过能力的一个综合性指标。通常，码头规划设计先根据运量预测研究确定码头的设计吞吐量，然后研究码头规划设计方案，并根据《海港总体设计规范》^[1]（简称《规范》）中相关经验公式分别计算泊位通过能力、堆场通过能力和集疏运系统通过能力等指标，从而确定码头规划设计方案是否能够满足码头设计吞吐量需求。《规范》经验公式是我国水运工程建设者几十年经验智慧的结晶，对传统工艺系统码头设计具有重要指导意义，能够

使规划设计人员方便快捷地确定码头通过能力，在我国水运建设过程中发挥了积极作用。

但是，《规范》经验公式也存在一定的局限性，比如一些关键参数的取值受设计人员的经验和客观条件影响较大，计算得到的结果也会有较大的差别。尤其对于近年来出现的新型工艺系统，由于没有实际运营经验参考，一些关键参数难以确定，导致用《规范》经验公式无法准确确定新型码头的通过能力。

在国际大型咨询公司中，计算机仿真技术已经成为码头通过能力研究的通用手段。在国内，近些年也有很多的研究成果和成功的应用案例^[2]。

收稿日期：2015-05-08
作者简介：唐颖（1983—），女，工程师，从事水运工程相关系统仿真研究工作。

本文以黄骅港煤炭港区三、四期工程（筒仓码头）（简称三、四期工程）为例，重点研究该码头“双侧靠船、装船机全回转作业”的煤炭码头新型装船作业模式的工艺特点，分析系统合理通过能力，研究成果直接为码头项目的规划设计提供了决策支持依据。

1 工程概况

1.1 工程概况与研究目的

黄骅港是我国北方第二大煤炭下水港。黄骅港煤炭港区四期工程拟与已建的三期工程整体运营。四期工程规划建成后，三、四期工程将有 4 线翻车机和 48 座封闭式筒仓、8 个泊位，配备 4 台装船机，采用“双侧靠船、装船机全回转作业”的新模式（图 1），年通过能力期望能够达到 1 亿 t。

本文的研究目的是分析三、四期工程的综合通过能力，重点研究三、四期工程装卸工艺系统能否完成港方 1 亿 t 吞吐量的需求。

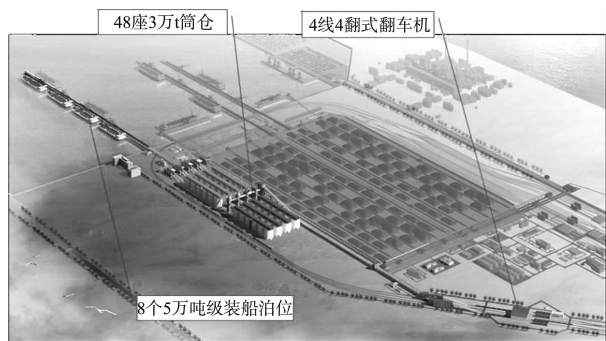


图 1 三、四期工程平面布置效果

1.2 工程特点和传统设计手段的局限性

三、四期码头工程泊位前沿呈突堤式，突堤中间布置 4 条装船线，突堤两侧均可以靠船，4 台装船机能够左右回转突堤两侧作业。一侧泊位船舶在装船时，另一侧泊位可以进行靠离泊、排压舱水等辅助作业。这种新的工艺模式提升了单条装船作业线的利用率，从而提高了码头通过能力。然而，《规范》上的经验公式无法较为准确地计算这种码头的通过能力，相关参数难以确定：

1) 一侧泊位的装船作业时间 t_z 与另一侧泊位

的辅助作业时间 t_f 有重叠部分，无法简单确认单个泊位的作业时间。

2) 泊位利用率 ρ 对于 8 个泊位、4 条作业线、双侧作业的情况，没有研究成果给出合理的服务水平对应的合理取值范围。

3) 由于采用新工艺，港口生产不平衡系数 K_b 没有可参考的港口统计资料。

因此，对于这种新型的工艺系统，其合理通过能力的分析确定，只能通过仿真试验，按照一定的调度运行规则，模拟系统中的诸多随机因素，统计系统中与通过能力有关的特征参数，得到系统的合理通过能力。

2 仿真模型

2.1 模型范围与模型边界

本文研究的仿真模型范围包括翻车机、进仓皮带机、移动卸料小车、筒仓、活化给料机、出仓皮带机、装船机等整个装卸工艺系统以及供船舶靠泊作业的泊位。

根据码头工作特点和模型范围，确定了两个模型边界，分别是陆域边界和水域边界。

1) 陆域边界。

陆域以火车到离翻车机房为边界，把编组站抽象为火车到港的缓冲地带。当翻车机空闲时，在编组站等待的火车可直接进入翻车机房进行作业。

2) 水域边界。

水域以船舶靠离泊位为边界，将锚地视为船舶到港的缓冲地带，用锚地到泊位的航行时间对船舶在航道中的航行过程进行简化。

2.2 “双侧靠泊，装船机回转”作业模式分析

在传统作业模式下，煤炭船舶在泊作业过程划分为 5 个部分（图 2），即开工准备时间、装船作业 1、等排水、装船作业 2、联检等辅助作业，装船机在 T_1 、 T_3 和 T_5 辅助时间段内状态为空闲。

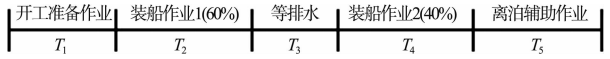


图 2 煤炭船舶在泊作业过程

在本工程的“双侧靠泊, 装船机全回转”新型作业模式中, 当一侧的船舶处于 T_1 、 T_3 和 T_5 辅助时间段时, 装船机可以回转至对侧泊位, 为对侧泊位的船舶装船, 从而提高装船机利用效率、提升整个装船工艺系统的通过能力。图 3 为双侧靠泊船舶装船机作业的过程。

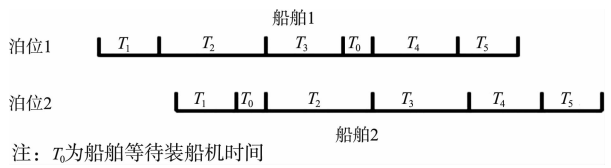


图 3 双侧靠泊船舶的作业过程

泊位 1 和泊位 2 为相对的 2 个泊位, 装船机通过回转作业可以为泊位 1 和泊位 2 进行装船作业。船舶 1、船舶 2 依次靠泊, 船舶 1 靠泊在泊位 1 上, 船舶 2 靠泊在泊位 2 上。作业过程如下:

- 1) 船舶 1 和船舶 2 依次靠泊, 假设船舶 1 首先完成开工准备作业, 装船机为船舶 1 进行第 1 轮作业; 船舶 2 完成开工准备作业后, 等待装船机。
- 2) 装船机完成船舶 1 的第 1 轮作业后, 回转至泊位 2, 为船舶 2 进行第 1 轮作业; 同时, 船舶 1 开始等待排水。
- 3) 装船机完成船舶 2 的第 1 轮作业后, 装船机回转至泊位 1, 为已经完成排水作业的船舶 1 进行第 2 轮作业; 同时, 船舶 2 开始等排水作业。
- 4) 装船机完成船舶 1 的第 2 轮作业后, 回转至泊位 2, 为已经完成排水作业的船舶 2 进行第 2 轮作业; 同时, 船舶 1 开始离泊辅助作业, 然后离港。
- 5) 船舶 2 完成第 2 轮作业后, 开始离泊辅助作业, 然后离港。

从以上作业过程分析, 与传统作业模式比较, 装船机利用率大大提高, 减少了因船舶靠离泊辅助作业和等排水作业导致的装船机作业时间的浪费, 有效提高单条装船作业线的通过能力。

2.3 系统作业基本原则

为提升整个装船工艺系统的作业效率, 仿真模型遵循了几个方面的作业原则^[3]:

- 1) 在卸车作业和装船作业中, 遵循少切换流

- 程原则。
- 2) 装船机与筒仓出仓线之间的相对固定原则。
- 3) 船舶指泊原则, 包括“没有装船流程冲突的船舶优先靠泊原则”、“相同作业流程的装船机对应的空闲泊位优先原则”、“空闲装船机对应的空闲泊位优先原则”。
- 4) 煤炭堆存原则, 采用“固定 + 随机原则”、靠近泊位的筒仓优先堆存原则等。

2.4 数据模型

2.4.1 火车数据模型

- 1) 到港列车类型及作业参数 (表 1)。

表 1 到港列车类型及作业参数			
火车车型	比例/%	载煤量/t	卸车效率/(t·h ⁻¹)
C80	90	8 000	7 000
K80	10	8 000	5 380

- 2) 火车到港分布模型。

火车到港比较有规律, 每天到港的列车数也基本固定, 考虑到特殊因素的影响, 可能有 15% 的扰动误差, 采用三角分布来模拟火车的到港规律。

- 3) 火车载煤类型分布。

每列到港火车仅运载 1 种类型的煤炭, 黄骅港三、四期工程堆设计煤种为 6 个。

2.4.2 翻车机数据模型

4 台翻车机的卸车效率均相同, 对应的各类型火车的卸车效率见表 1。

翻车机作业前需要火车从车场行驶进翻车机以及相关的对接等工作, 即卸车准备时间。数据模型假设服从三角分布, 考虑 15% 的波动, 即

$$TRIA(0.425, 0.5, 0.575) \tag{1}$$

2.4.3 船舶数据模型

- 1) 船舶到达模型。

国内外大量研究资料表明, 船舶到港时间间隔服从负指数分布。根据黄骅港近几年到港船舶的统计资料, 黄骅港船舶到港时间间隔规律基本服从负指数分布, 本研究仍然采用该模型。

- 2) 船型组合模型。

根据黄骅港实际到港作业船型数据, 分析了

2009—2011 年的到港船舶构成。从各吨级船舶比例及平均吨位看，船舶有一定大型化的发展趋势，近两年神华集团新造船舶的载质量大多在 4 万 ~ 5 万 t。所以，本次模拟中采用的船舶构成见表 2。

表 2 模型采用的船舶构成以及船舶载质量

船舶吨级/DWT	净载质量/t	比例/%
20 000	19 248	10
35 000	31 247	45
50 000	49 329	32
70 000	63 118	13

注：船舶平均净载质量为 39 977 t。

3) 船舶配煤需求模型。

根据调研分析与预测，有 25% 的船舶不配煤，75% 的船舶需要配煤。

2.4.4 船舶在泊位作业的数据模型

如图 2 所示，船舶在泊作业分为 5 个作业过程，各过程作业时间数据模型分析如下。

1) 开工准备时间分布模型 (T_1)。

根据现场调研，取 1 h。

2) 装船作业时间 (T_2 和 T_4)。

根据黄骅港煤炭港区一、二期工程的作业经验以及本工程新型装船工艺系统效率高的特点，假定装船系统实际装船效率约为 4 500 t/h。

3) 离泊辅助作业时间分布模型 (T_5)。

$$TRIA(2.55,3,3.45) \tag{2}$$

4) 等排水时间模型 (T_3)。

根据 2011 年黄骅港船舶实际作业数据，分吨级统计了等排水时间情况，用经验分布模拟(表 3)。

表 3 船舶等排水时间模型

船舶吨级/DWT	平均等排水时间/h
70 000	4.76
50 000	4.29
35 000	4.37
20 000	3.10

2.4.5 船舶航行模型

船舶进港及靠泊时间假设为 2 h。

2.5 港口服务水平评价指标

本文应用港口服务水平评价指标来判断合理的码头通过能力。国际上通常用指标 AWT/AST 来

评价一个港口的服务水平。其中 AWT 表示船舶的平均等待时间， AST 表示船舶平均在泊作业时间，所以指标 AWT/AST 反映的是船舶等待时间占泊位作业时间的比例^[4]。

2.6 仿真程序的实现

三、四期工程的仿真模型在 RockWell 公司的商业仿真软件 Arena 11.0（专业版）上编程实现，仿真运行见图 4。

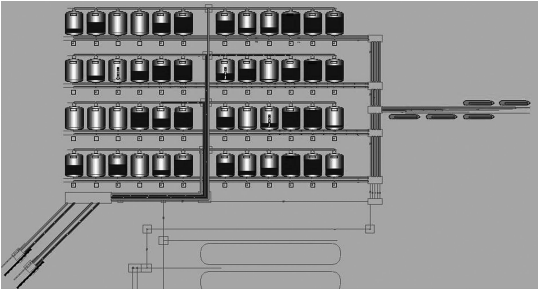


图 4 仿真运行截图

3 仿真试验与结果分析

3.1 仿真试验设计

本次研究拟逐步加大火车流和船舶流的到港密度，模拟分析本工程在不同货物吞吐量情况下的装卸作业系统的工作情况，基于港口服务水平指标对码头合理通过能力进行分析，回答本工程能否完成 1 亿 t 吞吐量的问题。

本次研究设计了 6 组仿真试验，吞吐量分别为 0.8 亿、0.9 亿、1 亿、1.1 亿、1.2 亿和 1.3 亿 t。模型运行时间取年作业天数 330 d。

3.2 通过能力分析

图 5 反映了码头完成吞吐量与港口服务水平的关系，利用该曲线可分析确定合理的码头通过能力。

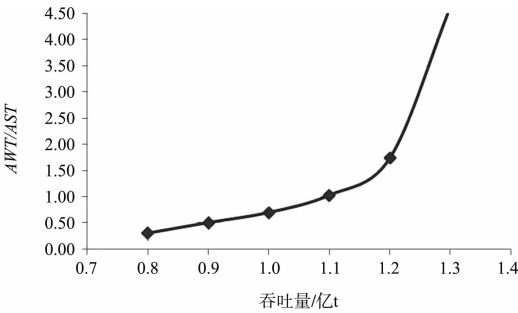


图 5 吞吐量与港口服务水平关系曲线

一般而言, AWT/AST 越高, 说明船舶相对等待时间就会越长, 是以牺牲船方利益为代价来提升港口的吞吐量; AWT/AST 越低, 对船舶的服务水平越高, 是以牺牲港口部分装卸能力和泊位资源为代价的。合理的 AWT/AST 指标值会随着港口所在国家、地区的经济发展水平不同而不同^[4]。

联合国贸易和发展会议 (UNCTAD) 在《发展中国家港口规划手册》中提出港口服务水平 (AWT/AST) 应在 0.1 ~ 0.5, 可以认为当 AWT/AST 在 0.1 ~ 0.5 时, 港方、船方的利益整体是合理的, 当 AWT/AST 大于 0.5 时, 虽然港口通过能力提升了, 但是相对牺牲了船方的一部分利益^[5]。

由图 7 可以看到, 港口服务水平指标 (AWT/AST) 为 0.5 时, 三、四期工程的合理通过能力为 0.9 亿 t 左右, 此时的服务水平相对合理; 当吞吐量为 1 亿 t 时, 港口服务水平指标 (AWT/AST) 为 0.7, 此时的服务水平相对较低。

综合考虑各种因素, 在确定合理通过能力时应适当留有余地。因此, 取服务水平为 0.5 时对应的通过能力 0.9 亿 t 为三、四期码头设计通过能力是合理的。

4 结语

1) 详细分析了“双侧靠船、装船机全回转作业”的新型煤炭码头作业模式特点, 并指出了《规范》

经验公式对该工程通过能力计算研究的局限性, 同时建立了计算机仿真模型研究该问题, 丰富了水运工程规划设计的技术手段。

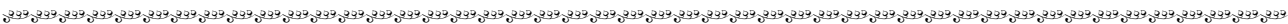
2) 采用了基于港口服务水平指标的方法对码头通过能力进行分析研究。当港口服务水平指标取 0.5 时, 该工程合理通过能力 0.9 亿 t。基于研究成果, 为满足 1 亿 t 吞吐量需求, 该工程新增了 1 个 5 万吨级泊位和 1 块容量为 85 万 t 的露天堆场。

3) 该项目在规划设计阶段, 引入计算机仿真技术, 研究结论直接影响了规划设计方案的优化与调整, 对于提升我国码头规划设计水平具有重大意义。

参考文献:

[1] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].
[2] 李云军, 周强, 王荣明. 出口型煤炭码头封闭式堆场通过能力研究[J]. 水运工程, 2008(2): 66-69.
[3] 唐颖. 基于专业配煤功能的环保型煤炭码头关键生产策略研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
[4] 商剑平, 李云军, 魏红彤, 等. 基于计算机仿真技术的大型原油接卸码头通过能力研究[J]. 水运工程, 2015(1): 54-57.
[5] UNCTAD. Port Development: A Handbook for Planners in Developing Countries[R]. New York: UNCYAD, 1985.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

振华重工设备再次刷新铁矿石接卸世界纪录

12 月 1 日, 随着中国第 9 艘 40 万 t 矿石船“印尼海”轮在青岛港董家口港区顺利完成作业, 振华重工提供的卸船机以 2 856 t/h 的优异成绩, 刷新世界最新单机接卸效率, 单机效率达到设备额定能力的 81.6%。

在全世界港机设备中, 单机卸船效率达到 75% 已经是设备能力的上限。青岛港接卸“印尼海”生产中使用的抓斗卸船机最大功率每小时 3 500 t, 此次将其效率提升到 81.6%, 达到甚至超过连续式卸船机的效率, 堪称奇迹。

(来源: 振华重工)