



基于计算机仿真技术的大 型原油接卸码头通过能力研究

商剑平, 李云军, 魏红彤, 唐颖
(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 依托广东省某大型原油接卸码头工程实例, 系统分析影响大型原油接卸码头通过能力的影响因素, 对原油船舶从到达锚地、进入航道、靠泊作业、卸油作业、离泊作业以及船舶离港避风避浪等船舶的全过程进行详细建模, 在考虑潮汐、风浪雾、航道管制规则等影响因素的基础上, 建立了大型原油接卸码头港航系统仿真模型, 并基于港口服务水平评价指标对码头合理通过能力进行科学论证, 为大型原油码头的建设提供科学参考。

关键词: 原油码头; 通过能力; 计算机仿真

中图分类号: U 651⁺.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0054-04

Throughput capacity of large-scale crude oil terminal's based on computer simulation

SHANG Jian-ping, LI Yun-jun, WEI Hong-tong, TANG Ying
(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: With a practical application on the large-scaled crude oil unloading terminal in Guangdong province, this paper systematically analyzes the influence of some factors on the throughput capacity of large-scaled crude oil unloading terminals. For a crude oil ship, the whole process involving reaching the anchorage, approaching the channel, berthing operations, unloading operations, leaving berth operations and ships departure to shelter from wind and wave is modeled in detail. Meanwhile, considering the influences of tides, wind-waves included fog, channel control rules and other factors on the above mentioned process, we establish the model to simulate the port & channel system of large-scaled crude oil unloading terminals. The rational throughput capacity of a terminal is demonstrated scientifically based on the port service level performance index. All the investigation may serve as reference for the construction of large-scaled crude oil terminals.

Keywords: crude oil terminal; throughput capacity; computer simulation

原油码头通过能力计算是原油接卸码头规划设计的重点工作内容, 直接关系着原油接卸码头建设规模的科学论证。码头通过能力的确定本身就是一个非常复杂的问题, 而大型原油码头的运营又有其特殊性, 导致其通过能力的确定更加困难。影响大型原油码头通过能力的因素归结为以下5个方面: 1) 港口设施因素: 泊位前沿水深、泊位长度、航道等级、航道长度、锚地位置、锚

地规模等; 2) 装卸工艺因素: 泊位装卸效率、原油储罐配备等; 3) 船舶因素: 船舶到港频率、到港船舶吨级及其分布等; 4) 天气因素: 雾、风、浪、雨、流等; 5) 其它因素: 码头管理水平、船舶交通管制, 比如船舶不能夜间通航等。

大型原油码头通过能力正是由上述众多因素相互作用的动态复杂问题, 传统的数学解析方式很难给出接近实际的答案。由于计算机模拟技术

收稿日期: 2014-05-29

作者简介: 商剑平 (1979—), 男, 高级工程师, 从事水运工程系统的仿真与优化研究。

能够综合考虑影响泊位营运的随机性因素和动态变化特性, 近年来, 越来越多的工程技术人员应用计算机仿真技术来研究码头通过能力。从国内已发表的文献来看, 对集装箱码头的仿真研究较多, 而针对大型原油码头的仿真研究成果非常少。

本文依托广东某大型原油接卸码头, 在分析该项目通过能力影响因素的基础上, 采用 Simio 仿真软件建立了港航系统仿真模型, 并引入港口服务水平指标来分析该码头工程的合理通过能力。

1 工程概况

研究项目为我国广东省境内某 30 万吨级原油接卸码头, 该码头为某年产 2 000 万 t 石油炼化项目配套工程, 用于接卸委内瑞拉进口原油, 设计接卸能力为 2 000 万 t/a。

该项目规划设计过程中的关注焦点是: 1) 1 个 30 万吨级的原油接卸油码头能否完成 2 000 万 t 的吞吐量? 2) 完成 2 000 万 t 吞吐量时港口的服务水平如何?

2 仿真模型

2.1 建模方法与港航系统作业流程分析

本研究采用了实体流的建模方法, 对原油船舶从到达锚地、进入航道、靠泊作业、卸油作业、离泊作业以及船舶离港避风避浪等船舶在港作业的全过程进行详细建模, 在考虑潮汐、风浪雾、航道管制规则等影响因素的基础上, 建立了原油接卸码头港航系统仿真模型, 作业流程见图 1。

2.2 系统边界与基本假设

基于原油接卸码头船舶作业流程(图 1)建立的仿真模型系统有水域和陆域两个边界。

1) 水域边界。

本文将锚地视为模型的水域边界。船舶以一定的概率分布随机到达锚地后进入模型系统。同时, 假设锚地规模足够大, 船舶到港后总有空闲的锚位供船舶抛锚待泊。

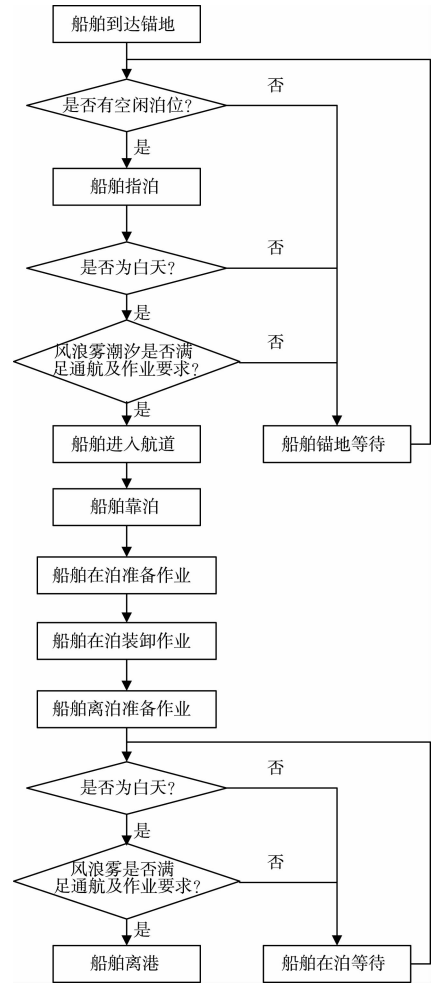


图 1 原油接卸码头船舶作业流程

2) 陆域边界。

本文将泊位岸线视为模型的陆域边界。假设陆域罐容足够大, 船舶靠泊后不会发生因罐容不够而导致船舶在泊等待的情况。

2.3 船舶模型

1) 到港船型组成与实载量模型(表 1)。

表 1 到港船型组成与实载量

船舶吨级/万 t	实载量/万 t	比例/%
30	27.8	90
15	13.9	10

注: 船舶平均实载量为 26.41 万 t。

2) 船舶到港规律模型。

根据以往研究经验, 对于船舶运输航线明确单一的大型专业化码头, 船舶到港规律近似于三角分布。所以, 本次研究采用三角分布来模拟船舶的随机到港过程。

三角分布有 3 个参数，分别是船舶到港最小时间间隔、船舶到港平均时间间隔和船舶到港最大时间间隔。船舶到港平均时间间隔 (d) 可通过下式计算：

$$\text{船舶到港平均时间间隔} = \frac{\text{年运营天数}}{\frac{\text{年吞吐量}}{\text{船舶平均实载量}}} \quad (1)$$

由于模型中模拟了码头因恶劣天气影响不能作业的情况，故年运营天数取年自然天数 365 d。

考虑到海上运输距离较长以及海上大风大浪等影响航行的因素，航行误差为 10%，从而可以计算出船舶到港最小时间间隔和船舶到港最大时间间隔。

2.4 潮汐模型

根据设计文件，本工程所在水域潮汐类型为正规半日潮；30 万吨级满载油船需要乘潮进港，乘潮水位为 1.09 m，船舶在航道航行和靠泊时间约为 1 h，可乘潮时间为 6 h。

1) 船舶进出港的乘潮规则。

30 万吨级重载船舶需要乘潮进港，30 万吨级空载船舶无需乘潮即可离港，15 万吨级船舶无需乘潮均可进港和离港。

2) 潮汐现象的模拟。

用一个具有半日潮周期的时间窗口对象模拟潮汐对船舶进出的影响。该时间窗口对象每隔一定周期 (约 12.4 h) 打开一次，允许乘潮船舶乘潮进港，可以乘潮的时间窗口长度根据船舶可乘潮时间、船舶在航道中的航行时间和靠泊时间进行确定。

2.5 风浪雾模型

根据风浪雾对船舶在泊作业影响程度的不同，可以将其分为两个级别：一是船舶无法在泊位安全停靠，需要离泊到锚地躲避；二是船舶无法在泊位正常作业，但是可以在泊位停靠等待。

根据工程所在区域的短期的自然统计资料，全年影响船舶作业的总时间约为 60 d，其中约 30 d 船舶需要离泊避风浪，另外 30 d 船舶可在泊位等待，每次恶劣天气持续时间约为 1~3 d。仿

真模型用三角分布对恶劣自然天气的出现进行模拟。

2.6 泊位作业模型

船舶在泊位作业分为装卸作业和辅助作业。根据估算，船舶的装卸作业时间和辅助作业时间见表 2。

表 2 船舶在泊位作业时间

船舶吨级/万 t	装卸作业时间/h	辅助作业时间/h
30	45	8
15	32	7

注：为了模拟装卸作业时间的随机性，考虑了 5% 的浮动。

2.7 航道通航模型

1) 船舶在航道内的航行模型：航道长度 3.17 km，船舶在航道内平均航行速度为 6 kn。

2) 单向航道管制规则：本工程航道为单向航道，船舶不允许在航道内会遇。

3) 夜间不能进行进出港作业的管制规则：为了模拟船舶不能夜航的特殊管制，设计了一个能够模拟白天黑夜交替轮换的对象，船舶进入航道前需要判断该对象当前是否为白天。

2.8 港口服务水平评价指标

引入港口服务水平评价指标来判断码头的合理通过能力。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，指标 AWT/AST 反映的是船舶等待时间占泊位作业时间的比例。

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，是以牺牲部分港区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。

文献[3]指出：“通常认为船舶等待时间不宜超过在泊作业时间的 30%~50%”。当 AWT/AST 到达 0.5 时，此时的港方和船方的总体利益为最大化，认为达到码头的合理通过能力。

3 仿真试验与结果分析

3.1 试验设计

在建立的港航系统仿真模型上, 通过不断增加到港船舶密度, 以测试港口的运营情况, 统计港口服务水平指标。

以每 100 万 t 为步长, 设计了港口吞吐量从 1 300 万 ~ 2 000 万 t 共 8 个试验工况, 每个工况进行 40 次试验, 每次试验模拟 365 d 的码头运营情况。

3.2 试验结果

仿真试验结果见表 3。

表 3 仿真试验结果数据

吞吐量/ 万 t	船舶平均在泊 作业时间/h	船舶平均 在港时间/h	船舶平均 等待时间/h	港口服务 水平 AWT/AST	锚地等待船舶队列长度概率/%				
					0	1	2	3	4
1 300	50.48	71.28	19.96	0.392	89.33	10.30	0.38	0.00	0.00
1 400	50.39	71.93	20.25	0.420	87.96	11.76	0.28	0.00	0.00
1 500	50.83	73.63	22.00	0.433	86.57	12.73	0.70	0.00	0.00
1 600	50.16	74.26	22.27	0.464	84.74	14.76	0.49	0.00	0.00
1 700	50.44	76.41	25.27	0.501	82.24	17.29	0.46	0.00	0.00
1 800	50.56	78.92	27.56	0.545	79.94	18.99	1.08	0.00	0.00
1 900	50.24	80.07	29.03	0.575	78.01	20.27	1.72	0.00	0.00
2 000	49.96	81.20	30.44	0.610	75.94	21.94	2.04	0.08	0.00

3.3 结果分析

1) 码头合理通过能力分析。

图 2 给出了港口服务水平指标 AWT/AST 随港口吞吐量的增加的变化曲线。随着港口吞吐量的增加, 港口服务水平指标 AWT/AST 也在逐步增加, 说明船舶的等待时间在增加, 港口服务水平在下降。

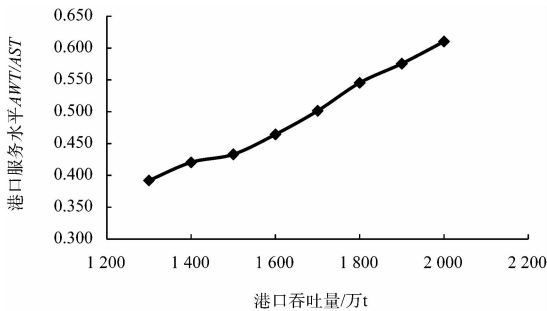


图 2 港口服务水平随港口吞吐量增加的变化曲线

分析图 2 可以得出, 当港口服务水平指标 AWT/AST 取 0.5 时, 港口合理的通过能力约为 1 700 万 t, 此时的港方和船方的总体利益为最大化; 当港口吞吐量达到 2 000 万 t 时, 港口服务水平指标 AWT/AST 达到了 0.61, 已经超过了联合国贸易和发展会议 (UNCTAD) 建议的合理值, 此

时以牺牲船方利益为代价来提升港口的吞吐量。

通过以上分析可以得出, 码头的合理通过能力为 1 700 万 t/a; 当码头完成吞吐量 2 000 万 t/a 时, 会造成船舶压港, 损害船方利益; 同时也降低码头后方 2 000 万 t 石油炼化项目正常生产的可靠性, 因此建议建设第 2 个泊位以保障该石油炼化项目的正常生产。

2) 锚地合理规模分析。

图 3 给出了锚地待泊船舶数量随港口吞吐量增加的变化情况。从图 3 中可以看出, 在完成 1 700 万 t/a 吞吐量的情况下, 99.5% 的时间里锚地中的船舶数量小于等于 1 艘, 所以本工程的锚地合理建设规模为 1 个锚位。

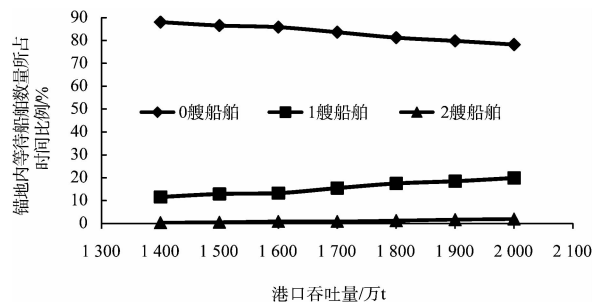


图 3 锚地待泊船舶数量随港口吞吐量增加的变化曲线