

· 航道及通航建筑物 ·



秦皇岛港航道通过能力仿真研究

李绍武, 曾冬, 祁泽鹏

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 采用工程仿真软件 SIMIO 分别对秦皇岛港 10 万吨级航道及规划的 20 万吨级航道的通过能力进行模拟。首先用 2014 年秦皇岛港泊位和航道设施及到港船舶数据对模型进行验证, 得到的年到港船舶数及航道货运量与实际统计结果基本相符; 结合仿真结果, 对两航道的货运量、船舶平均待泊时间 AWT 以及港口服务水平随船舶平均到港时间间隔的变化趋势进行分析; 讨论了航道及泊位利用率随港口服务水平的变化; 针对 10 万吨级航道, 对比了仿真与航道利用率法的年通过能力结果, 并指出确定航道通过能力时考虑港口服务水平及港内作业各环节相互关联性的必要性。

关键词: 秦皇岛港; 通过能力; 航道仿真模型; 利用率法; 作业相关性; 服务水平

中图分类号: U 612.32

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)11-0108-06

Simulation study on capability for waterways of Qinhuangdao port

LI Shao-wu, ZENG Dong, QI Ze-peng

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Simulation models are established for the 100 000 DWT branch and the planning 200 000 DWT branch of Qinhuangdao port by SIMIO simulation software. The model is firstly verified by the data of berth number, waterway facilities and statistics of calling ships of Qinhuangdao port in 2014. Good correspondance between the modeled results and the statistics is obtained in terms of numbers of annual calling ships and the cargo throughput. By changing the average arrival interval of vessels, the variation tendency of the cargo throughput, the average waiting time(AWT) and the service level are investigated based on the simulation results. The variation tendency of the utilization of channel and the berths with the service level is discussed. Comparison is conducted between the results of cargo throughput of the 100 000 DWT branch by simulation model and prediction formula. The necessity is pointed out in terms of taking into account the service level of port and the correlativity among various operations inside a port.

Keywords: Qinhuangdao port; channel capacity; channel simulation model; utilization method; correlativity of operations; service level

港口航道通过能力是反映航道规模的重要指标, 主要取决于进港船舶尺度、数量、调度水平等因素, 它直接影响整个港口的通过能力。所以对航道通过能力进行客观、合理的估算既是港口规划的主要内容, 也将为航道规划与设计提供重要依据。

港口作业系统是内部关联度很高的复杂离散

事件系统, 包括船舶到达港口、锚地排队待泊、航道航行作业、靠泊作业、驶离港口等作业环节^[1]。对于单向航道, 还包括定时清空航道、换向环节。港内作业的各环节相互关联, 并均对航道通过能力存在不同程度的影响, 在确定航道的通过能力时不能忽略这种相互关联性。

收稿日期: 2016-04-07

作者简介: 李绍武 (1962—), 男, 博士, 教授, 从事河流、海岸动力学及港口平面布置研究。

采用经验公式进行估算^[1] 需要根据经验合理确定其中的关键参数——航道利用率, 而由于不同港口的设施条件及管理水平存在差异, 同时船舶到港时间间隔、到港船型以及港内船舶作业时间等因素均具有动态变化和随机特征, 因此, 获得航道利用率的确切数值并不容易。计算机仿真理论是研究随机、动态、复杂问题的有效办法, 可在一定程度上弥补这方面的不足^[2]。

本文采用工程仿真软件 SIMIO 分别对秦皇岛港 10 万吨级航道及规划 20 万吨级航道的通过能力进行模拟。首先用 2014 年秦皇岛港的实际资料验证模型的可靠性; 在此基础上, 通过改变船舶平均到港时间间隔, 分析航道货运量、AWT (average waiting time) 以及服务水平指标随船舶到港时间间隔的变化趋势, 对秦皇岛港航道运营现状及其影响因素进行评判, 分析航道及泊位利用率随港口服务水平的变化; 最后将仿真结果与利用率法结果进行对比和讨论。

1 秦皇岛港航道概况

秦皇岛港是以能源及原材料运输为主的综合性国际贸易港口, 分为东、西两大港区, 目前有东航道、西航道、主航道、10 万吨级航道等多条航道 (图 1), 并正在进行 10 万吨级航道升级至 20 万吨级航道的论证工作。随着港口吞吐量的增长和船舶大型化的发展, 现有航道已在一定程度上制约煤炭、矿石吞吐量的增长, 亟需对航道通过能力进行拓展, 为此有必要对航道通过能力进行评价, 为确定合理航道扩建方案提供依据。



图 1 港区航道位置分布

2 秦皇岛港航道仿真模型的建立

2.1 东港区东部泊位现状

10 万吨级航道是进出秦皇岛港东港区的主要航道, 主要服务于秦皇岛港东港区东部的煤四期、煤五期和矿石码头, 共有生产性泊位 16 个 (表 1)。东港区东部泊位 2014 年实际到港船舶数 5 021 艘、航道货运量 19 872 万 t。根据《秦皇岛港总体规划》及秦皇岛城市发展布局规划, 秦皇岛港将实施西港搬迁计划, 届时东港区将作为秦皇岛港的核心港区, 10 万吨级航道将发挥至关重要的作用。考虑到东港区航道未来发展的实际需要, 准备将现有的 10 万吨级航道改造升级至 20 万吨级航道。为此有必要对 10 万吨级航道现状以及改造升级后的 20 万吨级航道通过能力进行研究。

表 1 东港区东部泊位信息

泊位	主要用途	靠泊吨级/ 万 t	艘数	吞吐量/ 万 t	单船装卸 时间/min
301	煤炭	10.0	331	1 753	720
302	煤炭	3.5	336	1 262	600
303	煤炭	3.5	382	1 190	540
304	矿石	10.0	55	505	3 540
704	煤炭	3.5	378	882	660
705	煤炭	3.5	332	1 055	780
706	煤炭	10.0	261	1 597	1 080
707	煤炭	5.0	280	1 263	900
708	煤炭	3.5	451	1 213	600
709	煤炭	5.0	361	1 593	780
901	煤炭	5.0	353	1 224	600
902	煤炭	15.0	333	1 677	840
903	煤炭	10.0	329	1 561	780
904	煤炭	5.0	299	1 371	780
905	煤炭	3.5	247	889	660
906	煤炭	3.5	296	838	540

2.2 模型的逻辑结构

建立整个东港区东部泊位作业系统仿真模型 (图 2), 以船舶到达锚地为起点, 以船舶离开港口航道为终点, 中间过程包括船舶到达港口、锚地排队待泊、航道航行作业、靠泊作业、驶离航道等作业环节。航道通过能力实际上也是整个东港区东部泊位作业系统的综合通过能力。

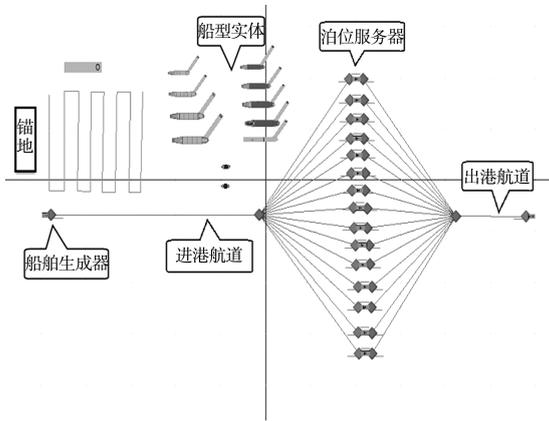


图2 西航道逻辑结构模型

2.3 仿真实验参数设置及验证

1) 船舶实体主要参数设置。

秦皇岛港东港区东部2014年到港船舶及航道资料见表2。根据船舶和泊位的种类，将设计船型与靠泊能力大于该设计船型吨级的泊位资源进行组合，得到每种设计船型的航行距离见表3。

表2 到港船舶船型统计

设计船型	实际载货量/t	船型比例/%	通航水深/m
3.5万吨级散货船	30 286	48.20	11.20
5万吨级散货船	42 189	25.73	12.80
10万吨级散货船	53 315	18.35	14.50
15万t散水泥船	50 357	6.63	17.90
10万t矿石船	92 594	1.09	12.80

表3 进港船舶航行距离

船舶吨级/万t	航行距离/km
10	16.8
3.5~5	14.3
3.5以下	11.8

2) 船舶生成器(source)主要参数设置。

通过船舶生成器生成到港船舶，假定船舶到港时间间隔服从负指数分布^[3]。平均到港时间间隔 λ 为105 min，船型比例按照表2所列到港船舶船型比例随机产生。

3) 泊位服务器(server)主要参数设置。

作业过程中泊位服务次序遵循先到先服务原则，船舶的辅助作业(回转水域调头、靠离泊及解缆作业)时间取90 min。泊位作业时间按照2014年单船平均作业时间进行处理，服从负指数分布。

4) 船舶航行参数设置。

船舶进港航速8 kn，船舶进港航行距离见表3，船舶航行安全时距20 min^[4]。

5) 作业天数。

根据工程资料，秦皇岛港因天气因素(风、浪、雾等)导致港口一年中不可作业天数取25 d，将其均匀分配到一年中。

6) 泊位分配原则。

船舶可随机停靠与其种类相符且靠泊能力大于该船型吨级的任一空闲泊位。

7) 仿真模型的验证。

运行仿真模型，模拟航道一年的营运过程，重复运行50次，平均后得出10万吨级航道年到港船舶数模拟结果为4 992艘，与2014年实际年到港船舶数5 021艘基本一致。航道货运量模拟结果为19 777万t，与2014年实际统计结果19 872万t基本相符。

3 仿真结果的讨论

3.1 航道通过能力概念

航道通过能力通常是指一年内能通过航道的船舶数量及货物数量^[5]。对于一定航道设施条件，实际通过的船舶和货物数量越多，航道的繁忙程度也越高，亦即航道通过能力必然伴随一定的拥堵程度。由于船舶在港内作业的各环节所占时间大多具有随机性，因此，按理想状态估算的航道通过能力来设计航道势必造成现实情况下整个港内过度拥堵。联合国贸易和发展会议在《发展中国家港口规划手册》中指出，船舶在港等待时间一般占工作时间10%~50%较为合理，即AWT/AST合理取值在0.1~0.5。实际上，按照航道利用率法估算航道通过能力时考虑大约50%的航道利用率也是基于这样的考虑^[6]。但航道利用率与AWT/AST在概念上又有区别。

3.2 仿真结果

3.2.1 10万吨级航道仿真结果

图3a)为10万吨级航道货运量随船舶平均到港时间间隔变化的模拟结果，可知，船舶到港时

间间隔从 400 min 减小到 80 min, 航道通过的货物量从 5 200 万 t 增加到 2.6 亿 t, 对应的航道利用率从 10.1% 增加到 49.7%。

图 3b) 和 3c) 分别为 10 万吨级航道船舶平均待泊时间和服务水平指标随船舶平均到港时间间隔变化的模拟结果, 可知, 当船舶平均到港时间间隔减小到 100 min 后, AWT 和 AWT/AST 迅速增加, 表明航道的服务水平迅速下降。10 万吨级航道目前船舶实际到港时间间隔是 105 min, 船舶平均待泊时间为 7.13 h, 处于正常服务水平区间。

图 3d) 给出了航道货运量随服务水平指标 AWT/AST 变化的模拟结果, 可知, 当 AWT/AST 低于 0.5 时, 航道货运量随港口服务水平指标值的增加迅速增加, 此时航道处在较高服务水平; 当 AWT/AST 超过 0.5 时, 航道货运量增长缓慢, 表明航道进入拥堵状态, 服务水平急剧下降。10 万吨级航道现状服务水平指标值 AWT/AST 为 0.47, 航道通过货运量为 19 777 万 t, 航道服务水平基本处在正常运营区间。但货运量继续增加, 则会导致待泊时间延长, 航道服务水平下降。

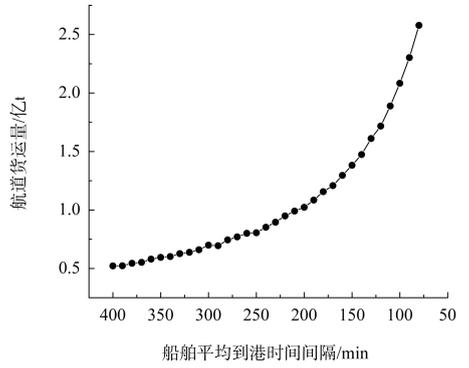
图 3e) 给出了航道及泊位利用率分别随港口服务水平变化的模拟结果, 可以看出, 就秦皇岛港东港区东部泊位来看, 其泊位利用率高于航道利用率; 当 AWT/AST 达到 0.5 时, 航道利用率和泊位利用率分别增加至 40% 和 50%, 此后虽然服务水平急剧下降, 但航道和泊位利用率提高较慢。

图 3f) 为 10 万吨级航道货运量与船舶平均待泊时间 AWT 以及服务水平指标之间的拟合关系曲线, 拟合优度 $R^2=0.9909$, 拟合公式为

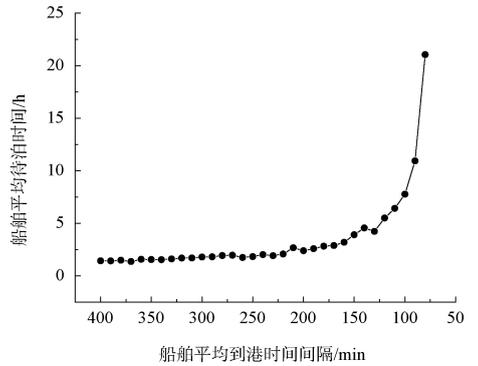
$$Q=27\ 010-19\ 310e^{-S/0.47}-13\ 950e^{-AWT/1.6} \quad (1)$$

式中: Q 为航道货运量(万 t); S 为服务水平指标。

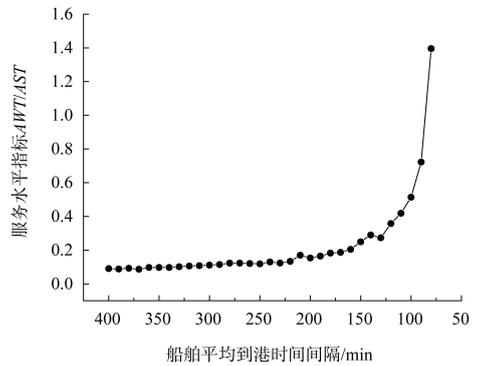
式(1)表明, 航道货运量 Q 与 S 及 AWT 成负指数关系, 这与郭子坚的结论基本一致。



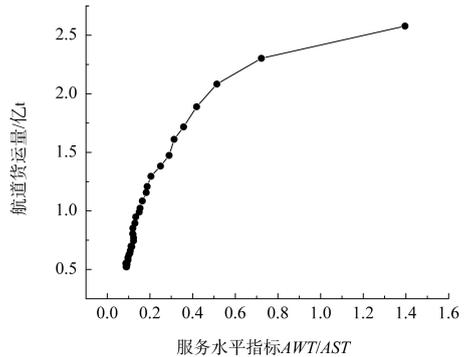
a) 航道货运量



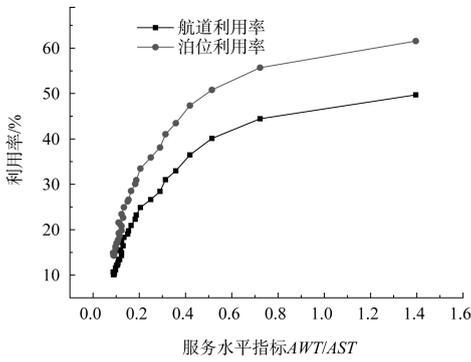
b) 船舶平均待泊时间



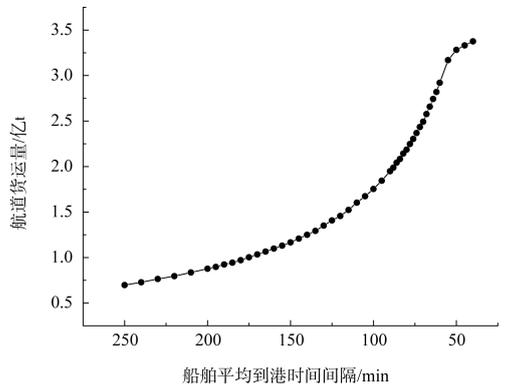
c) 服务水平指标 AWT/AST



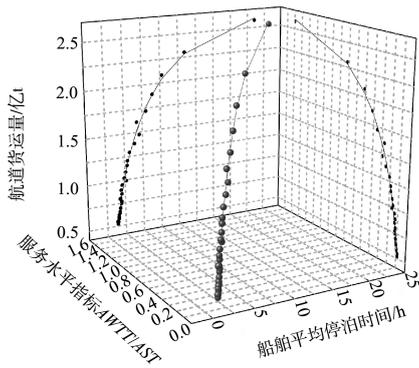
d) 航道货运量随服务水平的变化



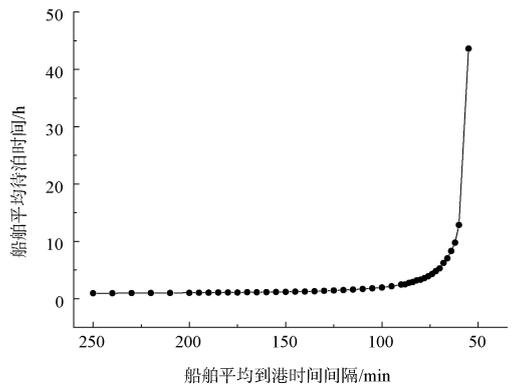
e) 航道及泊位利用率随服务水平的变化



a) 航道货运量



f) AWT和AWT/AST与航道货运量关系



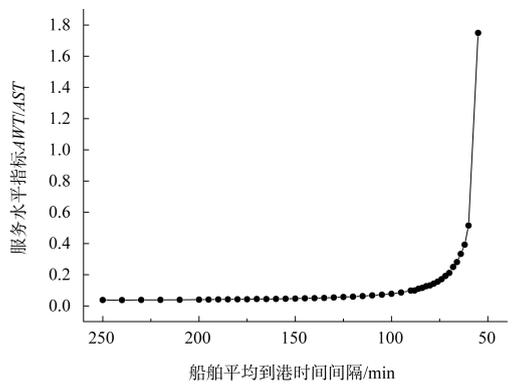
b) 船舶平均待泊时间

图3 10万吨级航道仿真模拟结果

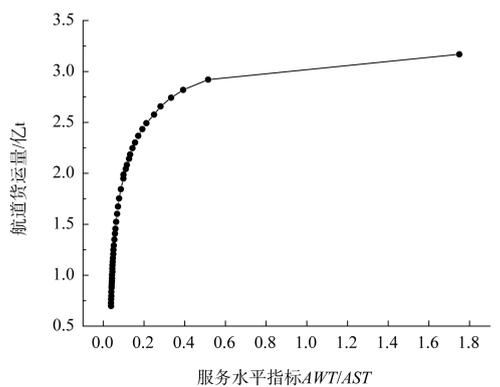
3.2.2 20万吨级航道仿真结果

规划20万吨级航道拟在现有10万吨级航道基础上扩建而成。按满足20万吨级散货船单向乘潮设计,航道通航宽度250 m,设计底高程-20.3 m,航道全长约31.4 km。预测20万吨级航道服务泊位增加至28个,货种包括煤炭、矿石、散货和集装箱,到港船舶艘数7 745 艘/a,泊位吞吐量为2.6 亿 t/a。

图4a)~4d)为20万吨级航道模拟结果。根据预测吞吐量2.6 亿 t,算得船舶到港时间间隔是68 min,输入仿真模型算得的AWT为5.98 h,AWT/AST为0.24,航道处于高水平服务状态。航道货运量随船舶到港时间间隔变化曲线的拐点出现在60 min时,显著小于10万吨级航道的105 min,此时航道通过能力约为3.2 亿 t。若服务水平指标取为0.5,预测20万吨级航道通过能力为2.9 亿 t,大于预测的航道吞吐量2.6 亿 t,但小于饱和吞吐量3.2 亿 t。



c) 服务水平指标AWT/AST



d) 航道货运量随服务水平的变化

图4 20万吨级航道模拟结果

3.3 仿真方法与利用率法结果对比

航道利用率法假设船舶进出港时排队鱼贯而行, 船舶间距按照藤井提出的 7 倍船长计算。航道通过能力计算公式为:

$$M = (24v - nL_{CH})\rho T_y / D \quad (2)$$

式中: M 为单向航道的年通过能力; v 为船舶航行速度; n 为单向航道每天清空次数; L_{CH} 为航道长度; ρ 为航道利用率; T_y 为航道年营运天数; D 为单船航行时占用航道长度。

10 万吨级航道设计标准为单向航道, 设计船型为 10 万 DWT 散货船, 平均船长 250 m。按照藤井公式, 每艘船舶占用航道长度 D 取 7 倍设计船长, $D = 1.75$ km, 船舶在航道中的平均航速 $v = 8$ kn (14.816 km/h), 每天清空航道占用的时间 $T_q = nL_{CH}/v$, 其中 n 为航道每天平均安排船队进、出港次数总和, 取 6 次; L_{CH} 为船舶在航道中航行的平均里程, 取 16.80 km, 则每天对应的清空时间为 6.81 h, 年不可作业天数取 25 d, 航道利用率 ρ 取 50%, 得出 10 万吨级航道通过能力为 24 750 艘次/a。

设定一种无船舶待泊、靠泊以及除航道航行作业外的其他任何作业的理想状态, 并假设到港船舶数量充足, 通过仿真模型得到 10 万吨级航道通过的船舶艘数 48 600 艘次/a, 这种理想状态与实际情况是不符的, 得到的航道年通过的船舶数量也是不切实际的。若对此结果考虑一个 50% 的航道利用率, 则航道的通过能力为 24 300 艘次/a, 与利用率法结果十分接近。

通过分析可见, 海港航道通过能力的预测既应考虑航道自身设施条件和自然条件, 也应考虑相关作业的相互影响, 还要结合其所提供的服务质量, 进行综合考虑, 不能简单理解为一个绝对指标。

4 结语

1) 用秦皇岛港 2014 年泊位、航道设施情况及到港船舶数据为基础资料, 采用工程仿真软件

SIMIO 建模, 模拟结果表明模型可以给出合理的航道通过能力结果。

2) 航道货运量、AWT、AWT/AST 随船舶到港时间间隔变化曲线均存在拐点, 拐点出现前, 航道货运量随着船舶到港时间间隔减小迅速增加, 航道处在较高服务水平; 拐点出现后, 航道货运量随着船舶到港时间间隔减小增长缓慢, 服务水平急剧下降; 航道货运量与 AWT 和 AWT/AST 成负指数关系。

3) 秦皇岛港东港区东部泊位的泊位利用率高于航道利用率; 当 AWT/AST 达到 0.5 时, 航道利用率和泊位利用率分别增加至 40% 和 50%, 此后服务水平急剧下降, 但航道和泊位利用率提高缓慢。

4) 20 万吨级航道通过能力随船舶到港时间间隔变化曲线的拐点出现时间显著小于 10 万吨级航道的拐点出现时间; 当前 10 万吨级航道处于正常运营区间。

5) 海港航道通过能力的预测应综合考虑航道自身设施条件、自然条件、相关作业的相互影响以及其所提供的服务质量, 不能简单理解为一个绝对指标。

参考文献:

- [1] 赵智帮, 李鑫. 航道通过能力计算方法[J]. 港工技术, 2011, 48(6): 15-18.
- [2] 李文. 天津港航道通过能力仿真研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [3] 黄泰坤, 王元战, 李绍武, 等. 海港复式航道通过能力动态系统仿真[J]. 大连海事大学学报, 2015, 41(1): 20-26.
- [4] 陈琦, 郭子坚, 宋向群, 等. 船舶进出港的安全时距对散货港口服务水平的影响[J]. 港工技术, 2011, 48(6): 19-22.
- [5] 郭子坚, 王文渊, 唐国磊, 等. 基于港口服务水平的沿海港口航道通过能力[J]. 中国港湾建设, 2010(S1): 46-48.
- [6] 李绍武, 李文, 黄泰坤. 基于 Simio 的航道通过能力仿真研究[J]. 中国港湾建设, 2014(3): 9-12.