



金塘港区 30 万吨级原油码头 建设通航关键问题

李勤荣, 刘胜利, 董 敏, 查雅平

(交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 宁波舟山港核心港区进港航道已出现阶段性饱和。在核心港区进行超大型船舶码头建设, 须细致分析航道通过能力承载力和泊位本质安全水平。以在金塘港区新建 3 个 30 万吨级原油码头为例, 运用潮汐窗口理论分析了宁波舟山港核心港区超大型船舶的航道通过能力, 运用船舶模拟操纵技术分析了超大型码头的船舶净间距要求。研究结果表明: 1) 宁波舟山港核心港区航道通过能力可以承载新增 3 个 30 万吨级原油码头带来的通航压力。2) 建议相邻大型码头船舶净间距不小于 1 倍船长。

关键词: 宁波舟山港; 核心港区; 超大型船舶; 航道通过能力; 相邻泊位船舶净间距

中图分类号: U 658.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)02-0049-05

Key problems for construction of navigable 300,000 DWT VLCC berths in Jintang port area

LI Qin-rong, LIU Sheng-li, DONG Min, ZHA Ya-ping

(Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: The approach channel in the core area of Ningbo-Zhoushan Port has been saturated in stages. For the construction of terminals for very large vessels in the core port area, it is necessary to carefully analyze the carrying capacity of the channel and the inherent safety level of the berths. Taking the construction of three new terminals for the 300,000 DWT very large crude carrier (VLCC) in the Jintang port area as an example, this paper analyzes the carrying capacity of the channel for VLCCs in the core area of Ningbo-Zhoushan Port using the theory of tidal windows. Moreover, it explores the requirements for the net spacing between VLCC berths using ship maneuvering simulation. The study draws the following conclusions: 1) The channel carrying capacity of Ningbo-Zhoushan Port could bear the traffic pressure brought by the addition of three 300,000 DWT VLCC terminals. 2) It is recommended that the net spacing between adjacent large berths should not be less than a ship's length.

Keywords: Ningbo-Zhoushan Port; core port areas; very large vessels; channel carrying capacity; net spacing between adjacent berths

舟山绿色石化基地是我国炼化装置中规模最大、国内一次性投资最大的石化产业单体项目, 是浙江自贸试验区打造油气全产业链的核心项目, 2021 年产值已破千亿元。原油进口是该项目正常运行的重要保障, 为此, 基地在项目所在地舟山市鱼

山岛周边积极寻求 30 万吨级原油泊位的建设落地。经运量需求测算, 所需原油吞吐量约 5 000 万 t/a, 需 3 个 30 万吨级原油码头。经过多方协调, 基地提出在金塘港区新建 3 个 30 万吨级原油码头的需。在前期工作中, 发现该工程建设在通航方面

存在两个关键问题，一是金塘港区所在的宁波舟山港核心港区超大型船舶的航道通过能力能否承载新增 3 个 30 万吨级原油码头；二是如何设置 30 万吨级原油码头相邻布置的合理间距。

针对类似问题，徐红娟^[1]从最大单船通航能力、交通容量两个方面构建了航道通航能力综合评估模型；张玮等^[2]运用船舶交通流和船舶领域理论分析了长江深水航道通过能力；王亥索等^[3]搜集国内外计算航道通过能力的经验公式，分析讨论各公式的特点及适用性条件；韩世冠等^[4]分析了大型船舶的操纵特性和引航风险及对策；庞玺斌^[5]分析了 40 万 t 超大型矿砂船靠泊操纵过程的注意事项。

1 宁波舟山港核心港区超大型船舶航道通过能力

宁波舟山港是我国第一大港，货物吞吐量已连续 13 年稳居世界第一。宁波舟山港核心港区一般包括镇海、金塘、岑港、北仑、大树、穿山、定海、梅山和六横等 9 个港区，水域内已实施定线制，辖区内的主要航道有虾峙门口外深水航道、条帚门航道、螺头水道、金塘水道等。超大型船舶一般指载质量 25 万 t 以上的船舶，超大型船舶在核心港区航行主要面临虾峙门口外深水航道乘潮和缓流靠泊两个限制。目前核心港区超大型船舶泊位 13 座，新增 3 个 30 万吨级原油码头后，核心港区超大型船舶的航道通过能力到底能否承载，是该工程能否建设的重要前提。

1.1 核心港区超大型船舶泊位分布

核心港区主要在册子、外钓山、镇海、岙山、大树岛、中宅和金塘港区有超大型油船、散货船和 LNG 船舶泊位的配置。各港区的超大型泊位数量和分布见表 1 和图 1。

表 1 宁波舟山港核心港区超大型船舶码头泊位		
港区	泊位	靠泊方式要求
外钓	2 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠
镇海	2 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠
册子	2 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠
岙山	2 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠、初涨调头靠泊
大树	3 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠、初涨调头靠泊
穿山	1 个 15 万吨级 LNG 泊位， 1 个 30 万吨级散货泊位	初落顶流直靠、初涨调头靠泊
金塘	拟建 3 个 30 万吨级原油泊位	初落顶流直靠



图 1 核心港区超大型码头分布

1.2 超大型船舶通航能力限制因素分析

目前宁波舟山港核心港区进出港航道主要依托虾峙门口外深水航槽、虾峙门航道、条帚门航道、螺头水道和金塘水道，见表 2、图 2。

表 2 宁波舟山港核心港区主要进出港航道

航道	现状通航标准	备注
虾峙门口外深槽	可满足 45 万吨级船舶单向乘潮通航,通航水深 27 m,宽度 440 m,航道长约 20 km	前后船间隔 30 min
虾峙门航道	30 万吨级船舶满载双向。下蓝山灯桩前后 500 m 航道禁止船舶追越,2 万总吨及以上船舶应避免与他船交会	下蓝山附近流速大且两侧有礁石,船舶操纵和避让困难
条帚门主航道	15 万吨级船舶双向,兼顾 25 万吨级船舶乘潮通航	-
螺头水道	30 万吨级船舶满载双向	-
金塘水道	30 万吨级船舶满载双向	-

宁波舟山港核心港区超大型船舶进港主要依托虾峙门航道；条帚门航道等级较低，且存在较多转向，目前作为应急通道使用。30 万吨级原油船舶满载吃水 22.5 m，所需通航水深为 27 m。虾

峙门口外深槽浚深后，30 万吨级船舶可全潮通过，不再受潮汐限制，但由于该深槽处通航宽度受限，相关海事管理规定要求前后船间隔约 30 min，按 10 kn 航速计算，则该深槽内一般仅能有 2 艘船舶

同时航行。

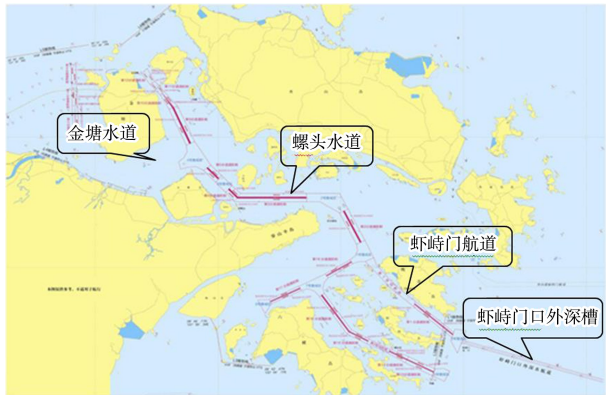


图 2 核心港区主要航道

宁波舟山港核心港区属狭长水域，港内锚地十分紧张，没有超大型船舶锚地。为此，核心港区内所有超大型泊位船舶进港均需在虾峙门口外锚地锚泊后，根据靠泊时机从深槽内依次排队进港。由于超大型码头位置相近，距离虾峙门深槽起始位置距离都在 30 nmile (55.56 km) 左右，虾峙门口外深槽仍是核心港区超大型船舶航道通过能力的最大制约。

1.3 核心港区超大型船舶航道通过能力分析

根据各超大型码头与虾峙门口外深槽的距离，推导出各港区超大型码头利用深槽的潮汐窗口，见表 3。

表 3 宁波舟山港核心港区超大型码头船舶利用深槽的时间窗口

港区	从深槽入口到泊位航行时间	利用深槽的潮汐窗口 (河泥槽潮汐观测站)
册子	约 4 h 50 min	高平潮前 4 h 至前 3 h
外钓	约 4 h 30 min	高平潮前 4 h 至前 3 h
镇海	约 4 h 30 min	高平潮前 4 h 至前 3 h
岙山	约 3 h	高平潮前 3 h 至前 2 h
大榭	约 4 h	高平潮前 3.5 h 至前 2.5 h
穿山	约 3 h	高平潮前 3 h 至前 2 h
金塘	约 4 h	高平潮前 4 h 至前 3 h

穿山、岙山港区与本工程所在的金塘港区距离较远，航线距离约 10 nmile (18.52 km)，在本工程前，使用虾峙门航道深槽的时间窗口约 1 h；大榭岛使用虾峙门航道深槽的时间窗口约 0.5 h，大榭岛部分泊位允许初涨掉头靠泊，且大榭岛前

沿布设有临时锚位，原油船舶可在进入核心港区后，在原油泊位候潮进行靠泊作业；金塘港区在使用航道深槽的时间窗口上，与外钓山、册子和镇海港区泊位冲突较为明显，且目前这几处泊位受条件限制仅允许顶流直接靠泊。

金塘、外钓山、册子和镇海使用深槽的时间窗口在河泥槽潮流观测站高平潮前 4 h 至高平潮前 3 h，按照使用深槽的船舶需间隔 30 min 考虑，每个潮汐窗口内以进入 2 艘船舶为宜。考虑每月两头潮情形约 10 d，每月按照 20 d 可航行和靠泊 30 万吨级原油船舶考虑，每月可经虾峙门水道深槽段进入核心港区的 30 万吨级原油船舶约 40 艘次。

外钓山和册子码头距离太近，目前同一潮水仅允许 1 艘 30 万吨级原油船舶靠泊。按照外钓山和册子 2 个码头 4 000 万 t/a、镇海码头 2 000 万 t/a、金塘码头 6 000 万 t/a 的运输量需求，共 12 000 万 t/a 原油运输量，每艘船舶按照运输 28 万 t 原油考虑，外钓山、册子、镇海和金塘原油码头每年需靠泊 430 艘次原油船舶，每月靠泊需求在 36 艘次左右。深槽使用情况能够满足该需求，但窗口期较为紧张。

2 相邻超大型码头船舶净间距研究

按照 JTS 165—2013《海港总体设计规范》，设计船长大于 235 m 的相邻危险品码头的船舶净间距要求为不小于 55 m。但实际工程中，受风流的不利影响，2 个超大型原油码头按照规范建设后，出现仅有一个泊位可用的情形。本工程在金塘港区相邻布置 3 个超大型原油码头，船舶净间距十分重要，使用船舶操纵技术从应急角度提出了超大型原油码头的船舶净间距要求。

2.1 开展区域三维水深数据库建模和 VLCC 船舶建模

运用挪威 Kongsberg 模拟器进行金塘港区及附近水域的三维水深数据库建模，以 Elizabeth I. Angelicoussi 为原型船进行 30 万 t 原油船数学建模，见图 3、4。

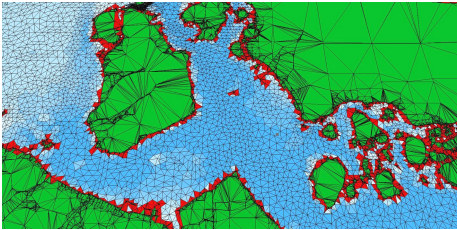


图 3 金塘港区三维水深数据库



图 4 30 万 t 原油船数学建模

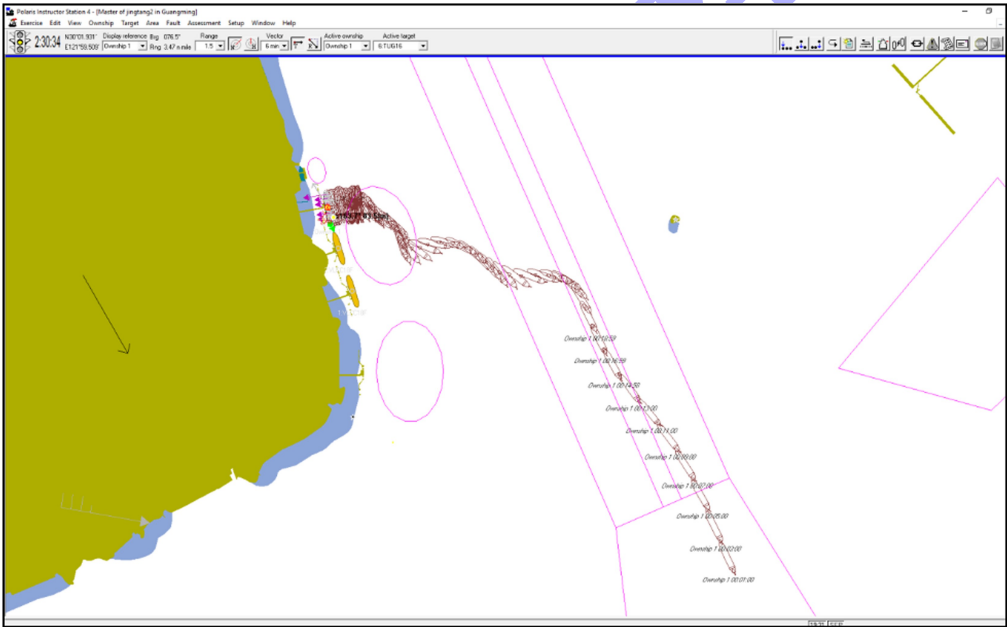


图 5 极限工况下 30 万 t 原油船靠泊试验总轨迹

船舶主机突发故障时，船舶在拖轮顶推靠泊过程中，船位向 2[#]泊位开始漂移，至拖轮完全控制住 30 万 t 原油船舶的行为，船舶漂移量已近 350 m(相当于 1 倍船长)。为此，从船舶应急安全角度，建议两相邻超大型码头船舶净间距应不小于 1 倍船长。

3 结论

1)核心港区的穿山、岙山港区与本工程所在的金塘港区距离较远，金塘港区的超大型船舶在

2.2 通过船舶操纵试验分析安全间距

设定开风 7 级、顶流 1.5 kn、左舷直靠、回旋水域前主机失控的极限工况，试验初始位置位于 4 号警戒区，进港速度 5 kn，船首向 351°。受开风影响，船首左偏，须压右舵进行保向。待航行至航道后，适时停车降速，降低舵角使船首向左转向，缓慢向左调整船位。4 艘 3 677.5 kW(5 000 马力)拖轮置于右舷，船首、船尾各两艘备顶。在船位抵达与旋回水域南侧平齐时，操左满舵、短时加车，船首拖轮全速顶推，协助船首迅速左转驶出航道。驶出航道后，适时倒车控速，进入旋回水域后速度降至 2 kn。之后，利用倒车效应逐步调整船首右转，期间适当使用船首拖轮顶推以控制右转幅度，以保持船尾与码头平齐，船舶轨迹见图 5。

使用航道深槽的时间窗口上与外钓山、册子和镇海港区泊位冲突较为明显。在金塘、外钓山、册子和镇海港区超大型船舶使用深槽的时间窗口内仅可进入 2 艘超大型船舶，每月使用该时间窗口经虾峙门水道深槽段进入核心港区的 30 万吨级原油船舶约 40 艘次；而外钓山、册子、镇海和金塘 4 个冲突较严重港区每月的靠泊需求在 36 艘次左右。核心港区超大型船舶的航道通过能力能够支撑在金塘港区新建 3 个 30 万吨级原油码头。

2)在开风 7 级、顶流 1.5 kn、左舷直靠、回旋

水域前主机失控的极限工况下, 船舶在拖轮顶推靠泊过程中船位向 2#泊位开始漂移, 至拖轮完全控制住 30 万 t 原油船舶的行为, 船舶漂移量已近 350 m (相当于 1 倍船长)。从船舶应急安全角度, 建议两相邻超大型码头船舶净间距应不小于1 倍船长。

参考文献:

[1] 徐红娟. 虾峙门口外人工航道通航能力研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.

[2] 张玮, 刘锦安, 孙宏杰, 等. 长江深水航道通过能力研究[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(2): 5-10.
[3] 王亥索, 张冠群. 进港航道通过能力经验公式的比较分析[J]. 港工技术, 2009, 46(5): 5-6.
[4] 韩世冠, 沙正荣. 大型船舶进出广州港引航风险分析及对策研究[J]. 珠江水运, 2021(24): 42-44.
[5] 庞玺斌. 超大型船舶靠泊安全因素分析[J]. 天津航海, 2019(4): 26-28.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 22 页)

[8] VAN GENT M R A, WOLTERS G, WERF I V D. Rock slopes with open filters under wave loading: effects of storms duration and water level variation [C]//ASCE. Proceedings of 35th international conference on coastal engineering(ICCE), Antalya: [s.n.], 2017(35): 1-9.
[9] VAN GENT M R A, HERRERA M P, MOLINES J, et al. Rock slopes on top of sand: modelling of open filters under wave loading[C]//Coastal structures 2015, Boston: [s.n.], 2015.
[10] VAN GENT M R A, WOLTERS G. Effects of storm duration and oblique wave attack on open filters underneath rock armoured slopes[J]. Coastal engineering, 2018, 135(1): 55-65.
[11] KERPEN N B, DAEMRICHa K F, LOJEK O, et al. Effect of variations in water level and wave steepness on the

robustness of wave overtopping estimation[J]. Journal of marine science and engineering, 2020, 8(2): 63.
[12] 陈茂雯, 潘军宁, 王登婷, 等. 波浪与潮汐耦合模拟技术研究[J]. 水运工程, 2019(1): 29-34.
[13] PAN J N, WANG S P, SUN T T, et al. Experimental study on inner slope failure mechanism of seawall by coupling effect of storm surge and wave[J]. Journal of oceanology and limnology, 2019, 37(6): 1912-1920.
[14] PAN J N, CHE M W, SUN T T, et al. Coupling simulation of waves and storm surges in a wave-current flume[C]// Proceedings of the 8th International Conference on the Application of Physical Modelling in Coastal and Port Engineering and Science. Zhoushan: [s.n.], 2020: 231-237.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 48 页)

4 结论

1)高桩码头的 PHC 管桩同一截面的轴向应力变化量具有很强的相关性, 归一化方法与动态时间规整方法可以较好地量化不同测点数据之间的相似度; 码头纵横梁应力变化幅值的大小在一定程度上受到温度变化的影响; 长期荷载状况下, 码头的深层土体会向码头中间产生相向的水平位移。

2)高桩码头健康监测技术采用远程无线自动化监测的手段, 解决了传统监测手段获取数据实时性差、准确性低的问题, 可实时监测码头结构健康关键指标, 反映码头现有状态, 为码头结构的后期可能存在的维修、养护、加固改造与管理

决策提供依据和指导。

参考文献:

[1] 黄长虹, 韦灼彬. 海港码头结构健康监测[J]. 水运工程, 2009(4): 106-109.
[2] 时闽生, 刘思国, 张雨雷, 等. 高桩码头结构健康监测系统研究[J]. 中国港湾建设, 2021, 41(3): 67-71.
[3] 陈磊. 港口工程混凝土结构全寿命设计指标体系研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
[4] 吴锋. 港口工程高桩码头结构性能退化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2015.
[5] 刘现鹏, 刘红彪, 韩阳, 等. 基于光纤 Bragg 光栅传感器的现役高桩码头结构健康监测系统设计及实施[J]. 水道港口, 2016, 37(2): 170-176. (本文编辑 王璁)