



虾峙门口外30万吨级人工航道扩建

曾建峰

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 针对我国第一条30万吨级人工航道的扩建,从现状航道通航饱和度、核心港区船舶流量上升趋势、船舶大型化及靠泊需求等方面对航道扩建必要性进行阐述,通过对延长航道乘潮历时与航道通航能力的适应性分析,合理确定航道扩建规模和方案,对航道扩建后的水流条件改善、回淤、尺度模拟、船舶进槽和靠泊时机的匹配性等扩建效果进行系统研究,提出在现有航道基础上增深至-23.5 m、拓宽至440 m的扩建方案,通航效果良好,可满足到港船舶安全过槽及一潮靠泊的通航需求。

关键词: 30万吨级人工航道; 扩建方案; 通航效果; 进槽时机; 一潮靠泊

中图分类号: U 653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)03-0112-06

Expansion of Xiazhimen 300,000 DWT artificial channel

ZENG Jian-feng

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: Aiming at the expansion of the first 300,000 DWT artificial channel in China, this paper expounds on the necessity of channel expansion from the aspects of navigation saturation, increasing trend of ship flow in core port area, upsizing of ships, and berthing demand, etc. Based on the analysis of the adaptability of extending the duration of tide and navigation capacity of the extended channel, the expansion scale and scheme of the channel are determined, and the effects of channel expansion, such as the improvement of flow conditions, sediment siltation, channel scale simulation, and the matching of the ships entering channel and berthing wharf time, are systematically studied. The proposed expansion scheme of deepening to -23.5 m and widening to 440 m is reasonable and has a good navigation effect, the expansion scheme can meet the navigation requirements of ships' safe passing through the channel and berthing at one tide.

Keywords: 300,000 DWT artificial channel; expansion scheme; navigation effect; timing of entering channel; berthing wharf at one tide

1 航道概况

虾峙门口外航道作为我国第一条建成的30万吨级人工航道,直接服务于宁波舟山港核心港区(舟山港域的六横、定海、沈家门、金塘、岑港,以及宁波港域的梅山、穿山、大榭、北仑、镇海等港区),是宁波、舟山对外开放的海上门户和主要通道,也是进出宁波舟山港核心港区唯一的一条30万吨级深水航道(图1)。航道按30万吨级船舶满载单

向乘潮通航设计(乘潮历时1 h、通航保证率90%),设计底高程-22.5 m(当地理论最低潮面,含备淤0.4 m)、航道有效宽度390 m,人工航道两侧为20万吨级及以下的自然水深辅航道。航道从2009年5月建成投入运营截至2020年5月,已安全运营11年,累计单向进港过槽船舶3 101艘,其中30万吨级船舶2 924艘,运输的主要货种为金属矿石(铁矿石)和石油及制品,累计完成货运

量8.3亿t，发挥了重要的水运保障作用。但近几年随着港口吞吐量的逐渐增长及到港船舶流量的

增加，作为核心港区的主航道通航瓶颈问题逐渐显现，急需对现有航道进行扩建^[1]。

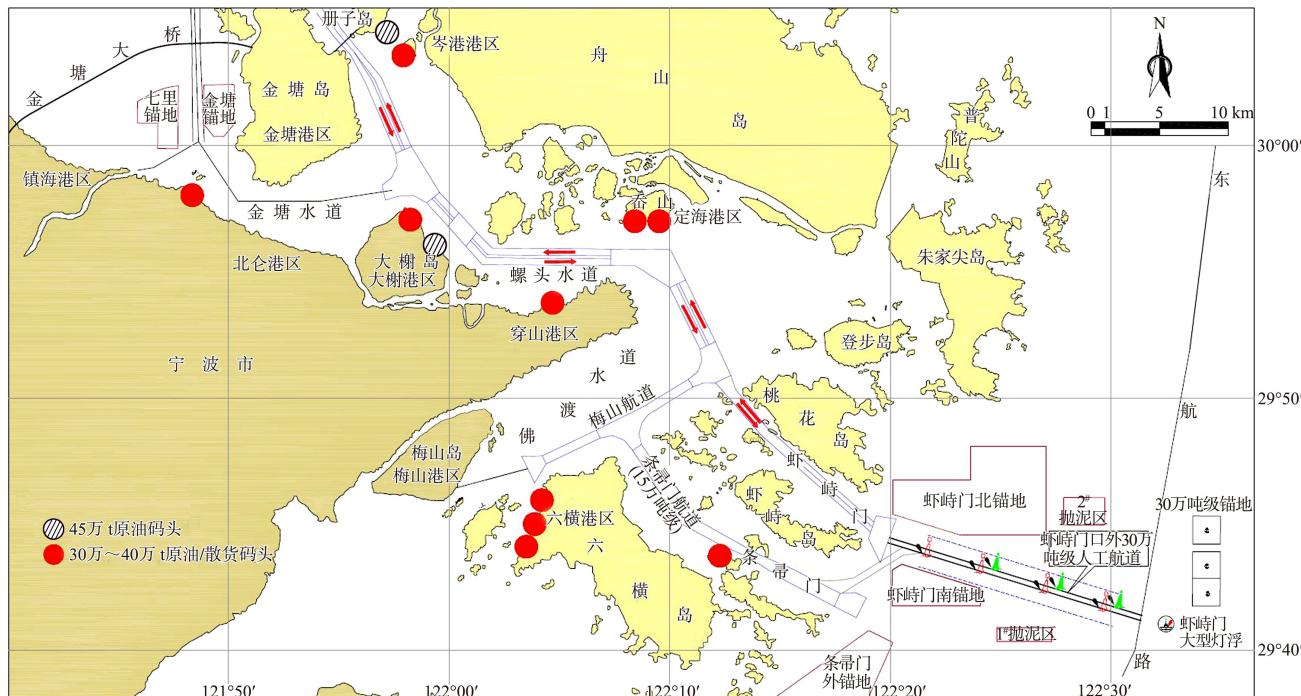


图1 工程位置及大型泊位分布

2 航道扩建的必要性

2.1 通航能力日趋饱和

根据《虾峙门口外深水航槽通航安全管理规定》：超大型船舶(载质量大于25万t且实际吃水大于19m)通过人工航槽的富余水深不小于船舶最大吃水的10%，且最小不少于2m，仅能在白天通航，排队通航船舶前后间距不少于4 n mile(7.4 km)，出港及20万吨级以下船舶可在人工航道两侧辅航道通航。

近几年，虾峙门口外30万吨级人工航道过槽船舶数量逐年增长(图2)，2019年过槽船舶达到366艘(其中30万吨级船舶316艘)(表1)，比2018年增加34.5%，平均单向进港船舶约1.1艘/d(年可通航天数300d、仅白天通航)，最多为3艘/d，已达到人工航道设计单向通过能力2艘/d(不考虑夜航，航道设计采用乘潮历时1h通航)。

宁波舟山港作为目前全球首个货物吞吐量突破10亿t的海港，其港口吞吐量的逐年上升使得航道通过能力趋于饱和，虾峙门口外航道大型船

舶通航压力逐步加大，大型船舶候潮时间延长造成滞港费用增加。

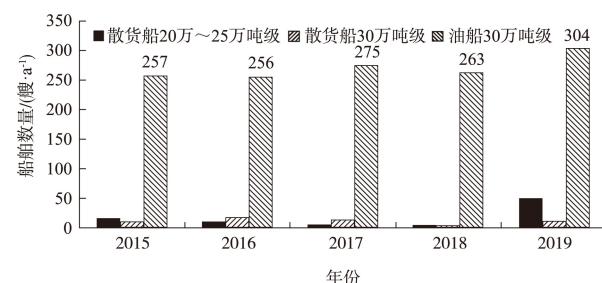


图2 虾峙门人工航道近5年过槽船舶分布

表1 人工航道近5年通航密度

年份	通航船舶数量/艘			通航密度/(艘·d ⁻¹)		
	散货船		30万 吨级	合计	平均	最大
	20万~ 25万吨级	30万 吨级				
2015	17	11	257	285	0.95	2.00
2016	11	18	256	285	0.95	2.00
2017	6	14	275	295	0.98	2.00
2018	5	4	263	272	0.91	2.00
2019	50	12	304	366	1.22	3.00

2.2 近、远期流量逐步增加

截至 2019 年底, 宁波舟山核心港区 25 万吨级及以上泊位共 8 个, 远期规划 30 万吨级及以上泊位 5 个, 25 万吨级及以上泊位总计达到 13 个, 其中包括 40 万吨散货船泊位 2 个、45 万吨原油泊位 2 个(图 1)。根据航道吞吐量及船舶流量预测, 2020、2030 年虾峙门口外人工航道过槽重载船舶单向进港密度分别约为 4、5 艘/d(取整)。其中, 30 万吨级及以上船舶单向进港密度约为 3、4 艘/d(表 2)。

表 2 虾峙门口外人工航道过槽船舶通航密度

船舶吨级/ 万 DWT	2020 年		2030 年	
	年到港 艘次	航道通航密度 (单向进港)/ (艘·d ⁻¹)	年到港 艘次	航道通航密度 (单向进港)/ (艘·d ⁻¹)
油船	45	10	0.05	12
	30	469	2.03	741
	25	23	0.10	27
散货船	40	9	0.04	9
	30	92	0.40	106
	25	133	0.58	116
合计	736	3.19	1 011	4.38

因此, 为保障港口吞吐量, 须进一步拓展现有航道的通航能力, 延长船舶过槽时间(原设计乘潮通航历时 1 h)。

2.3 港口运营效率亟待提升

由于宁波舟山港是典型的岛礁群港口, 港内水域无合适的大型待泊锚地, 大型船舶从虾峙门口外人工航道乘高潮起至码头前沿靠泊一般均为一潮进港、高平潮(涨末初落)缓流靠泊, 其中从门口外人工航道至港内泊位最远航程约 80 km、需航行 5.5 h, 若进港船舶集中利用高潮前后时段进港, 在远期船流密度不断增加的情况下, 则无法满足一潮进港完成多个大型泊位船舶同时靠泊作

业, 需选择锚地待泊等待下一靠泊时间窗口, 生产效率低。

因此, 亟需通过对虾峙门航道的扩建, 延长航道乘潮通航时间, 有效缓解船舶集中过槽时间, 保证船舶高平潮靠泊码头; 同时根据港区运营需求, 对部分非满载浅吃水、航程短的船舶(如岙山原油码头), 增加低潮过槽、初涨与落末时刻靠泊码头的窗口期, 以提升码头运营效率。

3 扩建工程

3.1 扩建目标

1) 通过延长人工航道通航历时、提高一潮通过能力保障船舶高平潮靠泊安全;

2) 改善非满载浅吃水, 短航程船舶低潮过槽船舶安全通过人工航道, 保障部分码头低平潮靠泊安全。

3.2 扩建规模

从提高航道通航能力并维持现有管理规定“25 万吨级及以上船舶白天通航, 前后两船间距不少于 7.4 km”, 航道通航标准由现有的“乘潮通航历时 1 h、保证率 90%、乘潮水位 3.2 m”提高至“乘潮通航历时 4.5 h、保证率 90%、乘潮水位 2.7 m”, 在不考虑夜航情况下, 重载单向进港通过能力约为 5 艘/d, 可满足近、远期船舶过槽通航艘次要求。

3.3 航道尺度

依据港口发展规划, 通航船型以 30 万吨级船舶为主、兼顾 40 万 t 散货船和 45 万 t 减载油轮的通航需求(截至 2020 年 45 万吨油轮已减载靠泊 2 次)。按照规范^[2]计算, 航道设计通航水深 25.7 m、设计水深 26.2 m(备淤 0.5 m)、航道通航宽度 436 m(表 3)。

表 3 航道设计船型及尺度

船型	船型主尺度			设计通航 水深 D_0	设计水深 D	通航宽度	备注
	总长	型宽	吃水				
30 万吨级油船	334	60.0	22.5(满载)	25.2	25.7	384	设计船型
30 万吨级散货船	339	58.0	23.0(满载)	25.7	26.2	319	
45 万 t 油船	380	68.0	23.0(减载)	25.7	26.2	436	兼顾船型
40 万 t 散货船	362	65.6	23.0(满载)	25.7	26.2	354	

采用乘潮历时4.5 h、保证率90%、潮位2.7 m时，航道设计底高程为-23.5 m。航道有效宽度取值440 m，可满足30万吨级船舶、40万t散货船、45万t减载油轮通航要求。

3.4 扩建方案

为保证航道公告轴线的统一，航道扩建采用双边拓宽方案，即维持现有航道轴线走向286.8°~106.8°不变，航道疏浚段长度15 km(图3)。

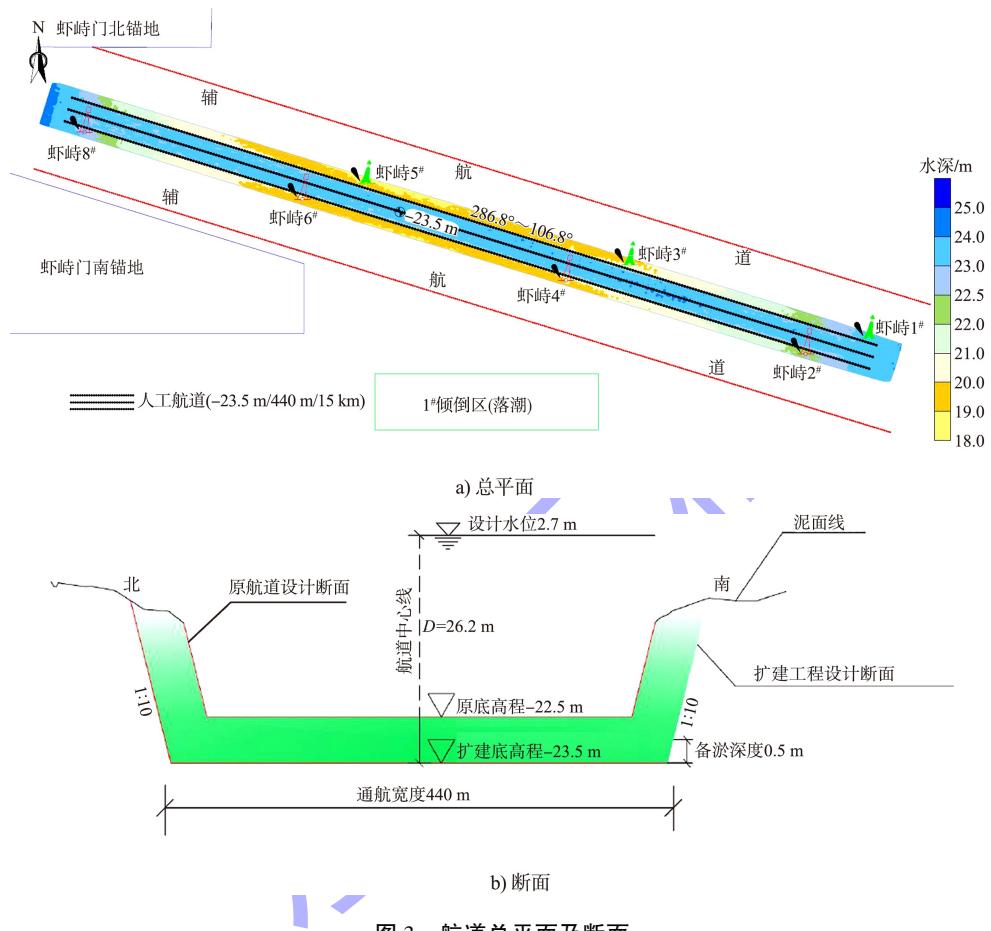


图3 航道总平面及断面

4 工程效果

4.1 水流及回游

1) 虾峙门口外航道沿线流态由西侧峡口水域的往复流逐渐向东侧外海转变为旋转流(图4)，扩建工程实施后航道表层流速变化基本不超过 $\pm 0.01 \text{ m/s}$ 、流向变化基本不超过 2° ，最大横向流速减幅约为 0.015 m/s (表4)；对于浅吃水船舶低潮位时段通航，航道增深段横向流速(作用在船舶吃水深度内)稍有减小、最大减幅不超过 0.015 m/s (图5)。从水流条件看，航道增深、拓宽对通航有一定的改善效果，但由于拓宽增设尺度不大，改善效果有限。

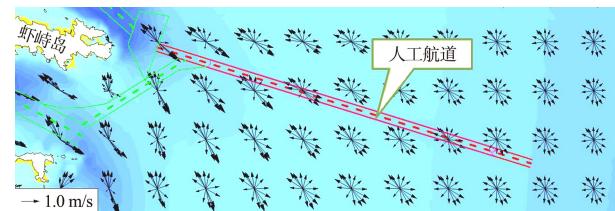


图4 人工航道大潮表层全潮流矢量图

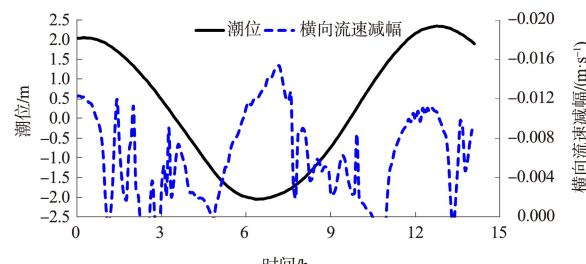


图5 浅吃水船舶($T=20.5 \text{ m}$)航道中段横向流速减幅变化过程

表 4 扩建后航道大潮表层涨急流速变化

采样点	工程前			工程后			流速变化/ ($m \cdot s^{-1}$)	与航道夹角变化/ ($^{\circ}$)	最大横流变化/ ($m \cdot s^{-1}$)
	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	流向/ ($^{\circ}$)	与航道夹角/ ($^{\circ}$)	流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	流向/ ($^{\circ}$)	与航道夹角/ ($^{\circ}$)			
西端	1.332	300.7	13.7	1.328	300.2	13.2	-0.004	-0.5	-0.011
中段	1.176	297.4	10.4	1.175	296.8	9.8	-0.001	-0.6	-0.009
东端	0.960	298.6	11.6	0.958	298.2	11.2	-0.002	-0.3	-0.011

2) 虾峙门口外航道从 2007 年开挖至今回淤强度总体不大, 可维护性好。历年资料分析表明, 现有 30 万吨级人工航道开挖稳定后的年平均回淤强度约为 0.4 m/a; 在台风影响下一般不会出现骤淤, 一次台风平均淤积厚度约为 0.2 m。经潮流泥沙数学模型计算^[3], 扩建工程实施后, 虾峙门口外航道常年回淤强度的沿程分布呈现“中间高、两头低”的分布特征(图 6), 航道最大回淤强度为 0.78 m/a, 平均回淤强度约为 0.5 m/a, 总回淤量约为 220 万 m^3/a 。

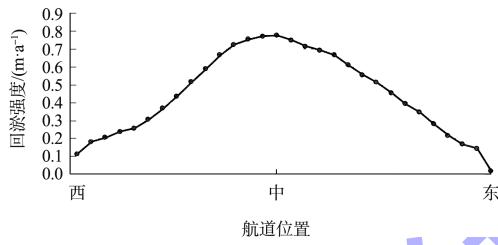


图 6 航道正常天气下年回淤强度沿程分布

4.2 尺度模拟

旋转流海区超大型船舶航道尺度须采用船舶模拟试验进一步验证其合理性。根据船舶模拟试验^[4], 30 万吨级船舶的航迹带宽度为 3.25~4.10 倍船宽、45 万 t 油轮的航迹带宽度为 3.46~3.65 倍船宽, 与现有 JTS 165—2013《海港总体设计规范》基本接近, 航道通航宽度按风流压差 14°、通航宽度 440 m 取值能够涵盖大多数情况下风流条件(图 7)。

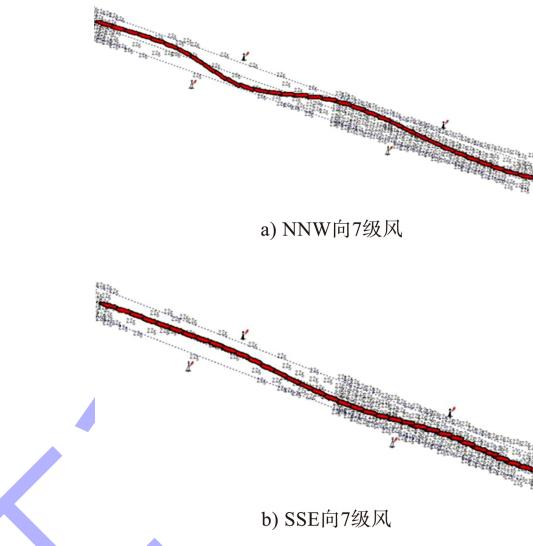


图 7 涨急潮流场船舶模拟试验船舶轨迹

4.3 进槽时机

工程海域大型泊位码头与虾峙门口外人工航道的距离 50~80 km 不等, 目前船舶进槽一般以码头靠泊时间窗口期为准, 倒排船舶进入虾峙门人工航道的时间, 一次性完成靠泊作业, 不在港内设置待泊锚地。

虾峙门航道扩建后乘潮历时达到 4.5 h, 基本能满足大部分船舶最佳进港时机要求^[5]。根据不同船舶的吃水和所需潮高要求, 进入人工航道船舶可选择在高潮前 3.0~4.0 h 至高潮时段(时间与船舶实际吃水和航程有关), 靠泊时机一般在镇海高潮前后 1.0~1.5 h 或定海高潮后 1.5~3.0 h(表 5)。

表 5 大型船舶通过虾峙门口外人工航道时机

港区	码头名称	航程/km	航行时间/h	通过虾峙门口外人工航道时间(以虾峙岛高潮为基准)		
				最佳时间	最早时间	最晚时间
镇海	镇海炼化	83	5.5	高潮前 2 h	高潮前 2.5 h	高潮前 1.5 h
岑港	册子实华	76	5.0	高潮前 1 h	高潮前 2 h	高潮前 0.5 h
	光汇油品	75	5.0			
大榭	中燃油品	65	4.0	高潮前 0.5 h	高潮前 1 h	高潮前 0.25 h
	大榭实华	63	4.0	高潮前 0.25 h	高潮前 0.75 h	高潮时
穿山	中宅煤炭	56	3.5	高潮前 2.5 h	高潮前 3 h	高潮前 2 h
定海	岙山原油	49	3.0	高潮前 1 h	高潮前 2 h	高潮前 0.5 h
	万向二期	49	3.0	扩建后部分浅吃水船舶可选择低潮时通过人工航道, 初涨与落末时刻靠泊码头	1 h	2 h
						0.5 h

此外，航道扩建增深后，也可以满足部分码头(如岙山码头)浅吃水船舶在虾峙门低潮时过深水航槽、初涨与落末时刻靠泊码头，大大提高了码头运营效率。

4.4 主要船型通航效果

根据过槽大型船舶统计分析，到港船舶吃水小于20.5 m的船舶占总量的75%左右，到港船舶吃水大于21 m的船舶仅占总量的10%左右，主要是受中东地区原油运输航路的限制(中东地区占进口原油总量的43%)，很少能达到满载吃水(图8)。经复核，扩建后的虾峙门航道底高程-23.5 m的情况下，可以满足约75%的到港船舶(吃水≤20.5 m，通航水深 $D_0 = 23.2$ m)全天候通航需求。

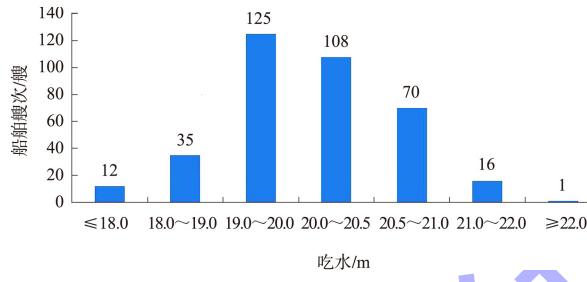


图8 2019年不同吃水过槽船舶艘次

5 结论

1)超大型人工航道的扩建应主要满足近、远期吞吐量下的到港船舶通航密度要求，对于单向通航的人工航道，仅考虑过槽的到港船舶艘次。

2)对乘潮通航的超大型航道扩建，应根据通航船型和密度，可采用拓宽、增深等方式进行扩建，为保持航道轴线的统一，一般采用双边拓宽的方案。

3)对以满足港口通航密度增长为主要目标的扩建工程，航道扩建以延长航道乘潮历时、增深航道底高程为主要方案，扩建后航道通过能力应与港口到港船舶流量相匹配。

4)对岛礁旋转流海区的深边滩开挖的超大型航道扩建工程，一般船舶所受流压角较大(大于规范上限)，应重点对扩建后船舶吃水深度范围内作用在船体上的横流进行研究，并采用船舶模拟试验验证航道尺度。

5)由于岛礁海区大型泊位位于港内水域，距离口外人工航道航程远，一般须在高平潮缓流时段一潮靠泊，人工航道规模确定应重点对各大型泊位靠泊时机与进槽时机的相关性进行研究，选择合理的乘潮水位，确保末端港区多个泊位同时靠泊安全。

6)超大型30万吨级人工航道尺度除应满足满载设计船型通航外，还可对现状通航船型吃水进行统计分析，可选择保证率75%的船舶吃水作为水深校核船型。对本工程而言，宁波舟山港核心区30万吨级船舶保证率75%船型吃水为20.5 m。

参考文献：

- [1] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司.虾峙门口外30万吨级人工航道扩建工程初步设计[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2019.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司.海港总体设计规范: JTS 165—2013[S].北京:人民交通出版社, 2014.
- [3] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司.虾峙门口外30万吨级人工航道扩建工程潮流泥沙数模研究报告[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2017.
- [4] 大连海事大学.虾峙门口外30万吨级人工航道扩建工程船舶模拟试验专题报告[R].大连:大连海事大学, 2018.
- [5] 大连海事大学.虾峙门口外30万吨级人工航道扩建工程通航需求专题研究报告[R].大连:大连海事大学, 2018.

(本文编辑 郭雪珍)