



## 虾峙门口外30万吨级人工航道 试通航观测研究

曾建峰, 徐元, 姚金元

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 以国内第一条建成、水深最大、通航条件非常复杂的30万吨级人工航道——虾峙门口外人工航道为研究对象, 在航道试通航期间, 国内首次采用30万吨级实船开展航道适航检验观测研究, 并同步进行航槽开挖初期的阶段性回淤观测研究, 以13艘30万吨级船舶实时通航参数及10个月监测水深数据为基础, 进行了超规范航道设计参数合理性的验证, 同时对航道建成后的适应性、稳定性、可维护性及安全性进行了多角度分析。经观测研究分析表明, 虾峙门人工航道设计参数合理, 满足设计船型安全通航要求, 航道稳定性及可维护性较好。该研究成果为该航道安全通行、后期维护及通航规则制定提供了重要技术依据。

**关键词:** 虾峙门口外30万吨级人工航道; 试通航; 观测研究; 实船适航检验; 回淤观测; 通航安全; 稳定性; 可维护性

中图分类号: U 612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0068-06

### Observation studies during trial navigation of Xiazhimen 300 000 DWT artificial channel

ZENG Jian-feng, XU Yuan, YAO Jin-yuan

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

**Abstract:** Xiazhimen 300 000 DWT artificial channel is the 300 000 DWT channel built for the first time with the maximum water depth and very complex navigation conditions in China. During the trial navigation of the waterway, 300 000 DWT large real ships are first used to carry out the observation studies of channel's adaptability in China, and stage siltation observation studies are carried out simultaneously in the early stages of channel excavation. By the basic data of 13 300 000 DWT ship's real-time navigation parameters and the depth monitoring data within 10 months, the rationality of the channel's design parameters which beyond the standard is verified, and the adaptability, stability, maintainability and security of the channel is analyzed comprehensively. The analysis shows that the design parameters of the channel are reasonable, the channel can meet the requirements of the design ship's safety navigation, and the stability and maintainability of the channel are better. These studies provide an important technical basis for the waterway traffic security, maintenance and navigation rule-making.

**Key words:** Xiazhimen 300 000 DWT artificial channel; trial navigation; observational study; adaptive navigation by real ship; siltation observation; navigation safety; stability; maintainability

虾峙门口外航道位于舟山桃花岛以东海域, 是进出宁波-舟山港的主要门户(图1)。在口外航道未整治前仅能满足15万~20万吨级船舶乘潮通航, 20万吨级以上船舶需减载后乘潮进港, 航道口外浅段成为宁波-舟山港大型船舶运输发展

的瓶颈。虾峙门口外30万吨级人工航道于2007年5月开工建设, 2008年1月交工验收, 2009年5月竣工验收投入运营。人工航道<sup>[1]</sup>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%), 航道开挖长度14.85 km, 设计底高

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 曾建峰(1982—), 男, 工程师, 主要从事港口航道工程设计研究。

程 -22.5 m (当地理论最低潮面, 含备淤 0.4 m), 有效宽度 390 m, 设计边坡 1:10 (图 2)。该航道为国内建成的第一条 30 万吨级人工航道, 也是国内水深最大的一条人工航槽。

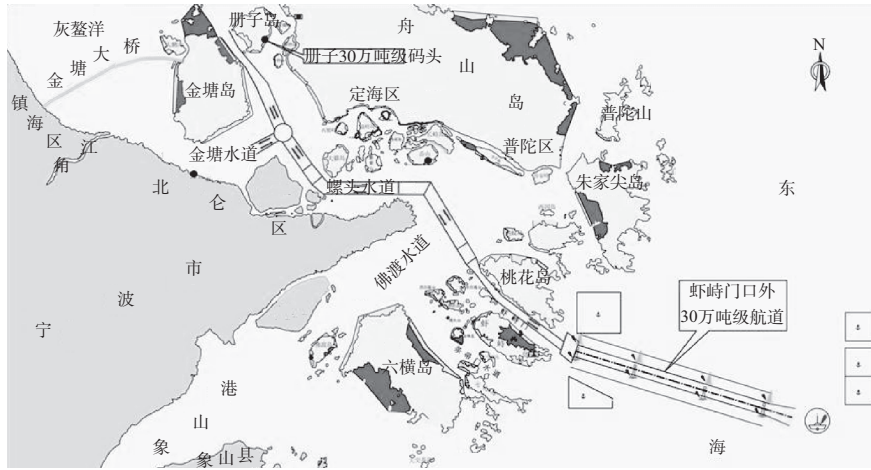


图 1 工程位置

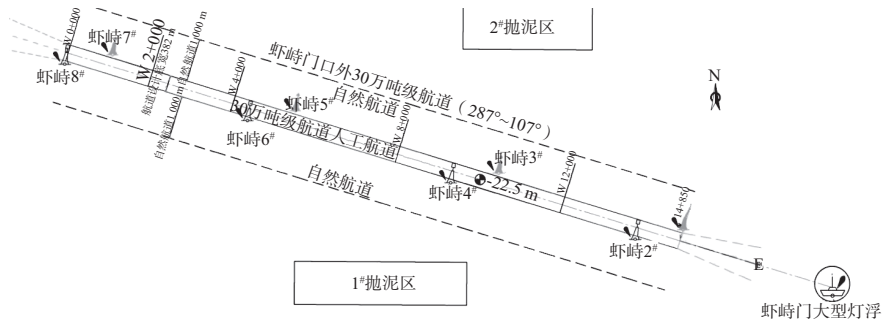


图 2 人工航道平面图

1 航道特点及试通航观测必要性分析

1.1 人工航道主要特点

1.1.1 海区工况复杂、设计条件超规范

本人工航道所在水域水流呈旋转流 (图 3), 局部时段流压角为 17°, 超出规范 [2] 中取值上限 14°, 船舶航迹带宽度计算难度大, 设计航道宽度

实际能否满足其船舶通航要求尚需验证; 同时, 本航道设计尺度国内最大, 自然条件和通航环境较差, 设计条件及工况国内少有。比对同量级人工航道, 如湛江港和天津港口外段人工航道 [3], 其尺度、海区流速流态、流压角等指标值均低于虾峙门航道 (表 1)。

表 1 虾峙门口外人工航道与湛江港、天津港外地航道尺度对比

航道	航道长度/km	航道有效宽度/m	设计通航水深/m	航道底高程/m	航槽外边滩水深/m	航道内流速/kn	潮流情况	航道与潮流夹角/(°)	助航设备 (灯浮)/组	每组灯浮间距/m	陆地叠标
虾峙门口外航道	15.0	390	25.30	-22.1	最浅 18.2	3	旋转流	一般 10~14	4	4 630	无
湛江港龙滕航道外段	32.0	310	24.37	-21.6	7~18	1~2	往复流	2~5	15	2 130	有
天津航道外段	18.7	310	限 16.80	-19.5	4~18	≤ 1.5	往复流	约 1	13	≤ 1 852	无

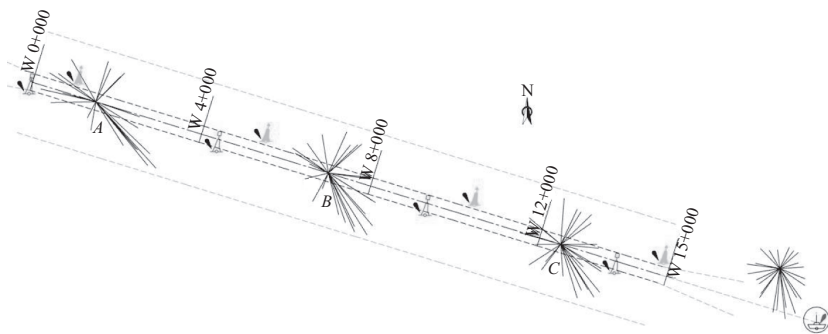


图 3 人工航道区域流场矢量图

### 1.1.2 船舶进槽时机为研究难点

虾峙门口外人工航道(图1)距30万吨级码头最远约65 km。本项目不仅需考虑30万吨级船舶安全乘潮通过人工航道,还需满足船舶到达码头靠泊作业的要求。按设计30万吨级船舶需乘3.2 m高潮通过人工航道,但在高潮期横流大的特点对大型船舶操控影响大,同时当船舶到达码头前沿时可能因流速较大而不能直接靠泊码头。因此,需综合分析船舶乘潮过槽、靠泊码头流速要求,并尽可能避开人工航道最大横流时段,合理确定船舶进槽时机和过槽航速,以确保船舶安全通过航槽和直接靠泊作业要求。

### 1.1.3 海区通航条件非常复杂

工程所处海区为我国通航条件最为复杂的水域之一,既是舟山传统的渔场水域,又是中国沿海南北向习惯航路—东航路的航行区。本航道为东西走向,与南北向东航路交叉穿越(图4),渔船捕捞作业及南北过往船舶与进槽大型船舶的交会、避让是最为突出的技术难点,通航安全成为该航道最为关键的问题之一。

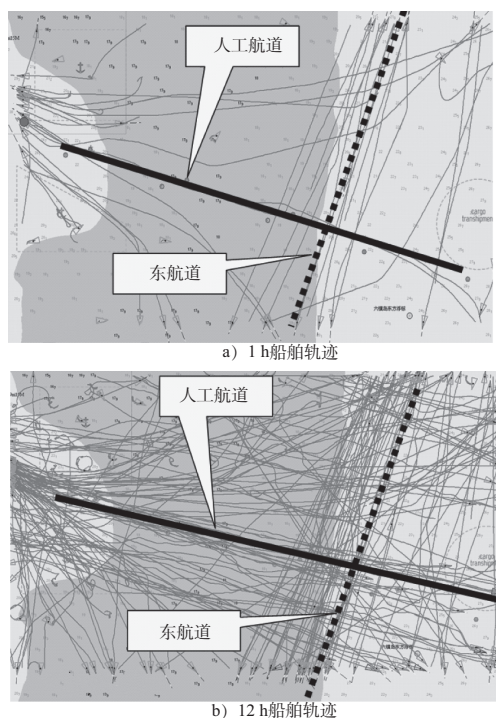


图4 工程海区船舶航迹线

### 1.1.4 回淤研究难度大、风险高

本工程在淤泥质海岸、深水区开挖而成,海

区水流以旋转流为主,具有挖深大、水深流急、风浪大、掩护条件差等特点,国内鲜有先例,且未进行试挖工程,大规模开挖后的回淤和骤淤问题可借鉴经验不足,直接影响航道的稳定性和可维护性。

### 1.2 试通航观测研究必要性和要点

鉴于本航道的复杂性和众多设计、研究难点,以及国内类似航道设计的可借鉴性经验不足的实际情况,在航道试运行期间(2007—12—2008—10)开展观测研究工作非常必要。在国内首次提出采用30万吨级实船开展实船适航检验工作,研究难度大。

本次试通航观测研究工作主要为两方面:一是实船适航检验观测研究,二是回淤观测研究。其中:实船适航检验观测研究的目的在于检验航道设计参数的合理性、确定船舶进槽时机和确保船舶的通航安全,为制定相关通航安全管理规定提供技术依据;回淤观测的目的在于研究航道开挖后的稳定性,以及航道运营中的可维护性及维护周期等。

## 2 实船适航检验观测研究的方法、过程及结论

### 2.1 方法及过程

项目课题组会同相关单位提出技术要求及实施方案,并组织开展了本次实船适航检验观测研究工作。通过选取具有代表性的13条30万吨级船舶,选择在不同潮流、风浪、能见度等条件下,由引航员实时记录船舶通航参数,并记录船舶过槽中的航行体会。通过综合分析各大型船舶航行记录(表2)和船舶过槽航迹线(图5),来验证航道各项参数,并制定符合虾峙门航道特点的通航安全规定。本研究提出采用30万吨级实船进行航道适航检验工作,为国内首创,具有一定的代表性和可借鉴性。

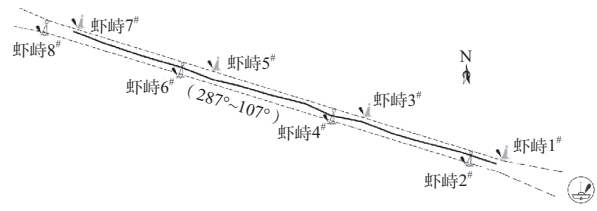
### 2.2 实船适航检验研究结论

通过对13条大型船舶的实船适航检验数据分析,得出如下结论:

#### 1) 航道设计宽度的合理性验证。

试验表明,实船适航时流压对船舶进入航槽

影响比较大, 进槽入口处流压角较大, 进入航槽后流压影响逐渐减小, 最大流压角在 $10^{\circ}\sim 13^{\circ}$ , 槽内一般在 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。航槽中航行舵效较好, 保向性和转向性能都较为理想。本航道设计有效宽度 390 m, 实船适航时所有30万吨级船舶在不同的流压角条件下均能安全通过, 航道设计宽度可以满足30万吨级超大型重载船舶安全通航的要求。



注: 8:50进槽, 9:55出槽, 平均航速6.9 kn, 风速7 m/s, 风向东南, 浪高4 m。

图5 代表船型航行轨迹记录线 (雷姆拉号)

表2 实船适航记录及分析

船名	进槽		出槽		历时/min	平均航速/kn	最小富裕水深/m	最大流压/(°)	位置	说明
	时刻	潮高/cm	时刻	潮高/cm						
现代阳光	10:41	170	11:31	215	50	9.0	5.2	10	1#~3#浮	高潮前4 h进槽
纳瓦林	11:40		12:45		65	7.1	6.4	6	1#浮	
新金洋	6:25	289	7:20	300	55	8.2	5.6	5	7#浮	高潮前1 h进槽
罗莎林	6:50	298	7:55	297	65	7.4	5.7	6	5#浮	
雷姆拉	8:50		9:55		65	6.9	6.0	16	1#浮	
埃迪	14:05		15:05		60	8.1	3.5	8	1#~3#浮	
远盛湖	8:50	404	9:50	415	60	7.5	3.0	10		高潮前50 min进槽
卢森堡	11:00		11:55		55	8.0	6.4			
安特帕罗斯	12:42	328	13:42	334	60	8.7	5.8	7	1#浮	
扬子之星	7:30	137	8:54	177	84	5.4	1.5			低潮后50 min进槽
梦想	12:00	290	13:16	320	76	5.9	6.0	13	3#浮	高潮前1.5 h进槽
sankounity	5:50	258	6:50	234	60	7.5	4.9	3	1#浮	高潮后2 h进槽
新金洋	10:00	365	10:55	400	55	8.2	4.5	7	1#~3#浮	高潮前1.5 h进槽

2) 航道设计富裕水深的合理性验证。

本航道设计富裕水深为船舶吃水的12.4%。本次观测试验中, 过槽船舶最小吃水19.35 m, 最大吃水21.2 m。过槽船舶中有12条船舶富裕水深为3~6 m, 仅“扬子之星”因在低潮后50 min进槽, 潮高较小, 且被压至航道边线, 最小富裕水深为1.5 m (富裕水深8%), 其它船舶富裕水深均符合设计要求。

3) 进槽时机及要求。

设计要求满载船舶通过人工航道时需乘潮

(乘潮3.2 m, 航行1 h) 通过。综合考虑潮高、富余水深和过槽流速要求, 经实测潮位、横流、流速过程线同步计算, 大潮期大型船舶可在高潮前2.5 h~高潮后1 h进槽 (表3), 此时人工航道内横流及垂线平均流速一般均不超过1 m/s。试验表明, 若需考虑一潮进港靠泊册子岛码头作业要求, 大潮期时进槽船舶还需提前进槽, 即在虾峙门口高潮前3 h进槽。此外, 为了能平稳进槽, 船舶应在进槽之前较远处就要调整好船位和航向, 避免在进槽时大幅度调整航向。

表3 满载船舶乘潮进槽时段初步计算

单船过槽时间/h	潮期	进槽时间	潮高/m	可持续通航时间/h	垂线平均流速/( $m\cdot s^{-1}$ )	最大横流/( $m\cdot s^{-1}$ )
约1	大潮	高潮前2.5 h~高潮后1.0 h可进槽	3.2~4.2	约5	0.2~1.0	0.5~0.7
	小潮	高潮前1.0 h~高潮前0.5 h可进槽	3.2	约2	0.35~0.65	0.4~0.5

注: 1.根据2008年4月和7月水文测验期间潮位资料统计; 2.潮位值相对于河泥槽潮位站。

4) 航速要求。

本次测验期间多数船舶过槽航速达到8 kn,

船舶操纵和航行状况良好, 但“扬子之星”因顶流进槽平均航速较慢, 仅5.4 kn, 以致右前方潮流

将船压到航槽南侧边线。综合分析,槽内航行船舶航速不宜低于8 kn,在船舶富余水深满足的情况下可以把船速控制在8 kn以上,既能改善船舶的操纵性能、减小流压,又能让船舶快速通过航槽、缩短在航槽内的时间。

#### 5) 避让及安全通航要求。

通过实船航行试验发现,渔船及东航路航行船舶在穿越航槽时,严重妨碍超大型船舶的安全航行和操纵,如“新金洋”轮在进槽口被渔船斜插、拦住,无法进入航槽,构成碰撞危险。为确保安全,渔船及过往船舶应服从VTS中心和现场海事艇监管,船舶进槽前应清理航道,确保人工航道内无干扰船舶;大型船舶进槽时应提前上报进港计划,必要时申请安排拖轮助航。

#### 6) 能见度要求。

航槽水域及其附近的能见度应在1.5 n mile以上较为适宜。

### 3 回淤观测研究

本航道于2007年12月疏浚完毕后至2008年10月,进行了为期10个月的回淤观测,通过分析观测数据,检验了本航道的稳定性和可维护性。

#### 3.1 航道稳定性

本研究从航道水深及冲淤变化、边坡稳定性角度初步分析了航道的稳定性。

观测数据表明,航槽内平均水深由设计水深22.5 m逐渐淤浅为21.6 m,全槽平均净淤积厚度0.82 m。其中最浅水深及变浅区域主要集中于桩号W2+000~W7+000之间,该区域为原滩面最浅,即开挖厚度最大区域;W8+000~W12+000区段由于原施工超挖大,截止2008年10月平均水深为23.1 m,大于设计水深值。航槽边坡塌方及槽边淤积不大,挖槽断面基本稳定,变化较小。

观测期间航道演变过程可分为4个阶段,各阶段回淤强度及主要原因、边坡变化见表4及图6~7。

表4 航道水深及冲淤变化

演变阶段	冲淤分布情况	主要冲淤分布原因	平均边坡
2007-12—2008-04	航槽基本淤积,全槽平均净淤积厚度0.38 m,淤积速率约2.5 mm/d	开挖初期,滩面破坏,且为冬季,含沙量较大,淤积明显	南边坡1:11.1 北边坡1:11.5
2008-04—2008-06	全槽冲淤基本平衡(局部出现冲刷),平均净淤积厚度0.06 m,淤积速率约2.1 mm/d	经航道4个月自身调整,航道冲淤基本平衡,同时夏季的含沙量小	南边坡1:11.8 北边坡1:12.4
2008-06—2008-08	淤积范围增加(局部出现冲刷),全槽平均净淤积厚度0.18 m,淤积速率约5.6 mm/d	首次台风(7.18“海鸥”)出现,航槽扰动大,航槽表现淤积增加	南边坡1:12.0 北边坡1:12.8
2008-08—2008-10	淤积范围增加,全槽平均净淤积厚度0.21 m,淤积速率约5.0 mm/d	台风(9.14森拉克、9.28蔷薇)继续影响航槽,航槽淤积范围增加,但淤积速率有所放缓	南边坡1:12.9 北边坡1:13.4

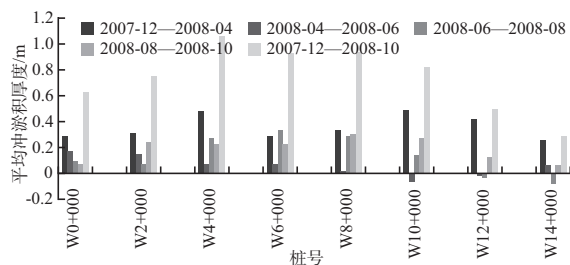


图6 航道平均冲淤厚度柱状图

综上所述,航道开挖后首年的10个月平均回淤强度比原设计值(0.5 m/a)偏大,可能与航道疏浚后超挖深度大、地形不平整有关;从图7看,正常天气情况下航道总体淤积速率平稳(2.1 mm/d)、稳定性较好,观测期间未发生骤淤现象(2008年台风影响期间典型区段回淤强度约为5.6 mm/d),

航道边坡基本稳定,保持性较好。由于本阶段观测时间短,常年回淤强度还需继续观测以便进一步验证。

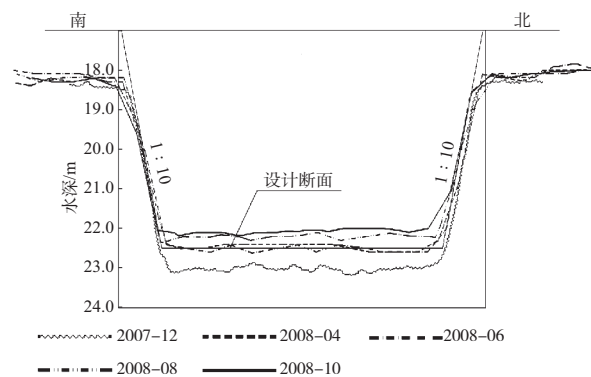


图7 桩号W6+000的典型断面水深变化

### 3.2 航道可维护性

本次航道可维护性主要从航道的回淤量角度进行初步统计分析。为研究航槽的自然回淤情况, 避免由于边坡不稳定(塌方)影响回淤统计, 本次回淤量统计将航槽300 m宽度范围内的回淤量和边坡区域回淤量分别统计。

观测数据表明, 2007-12—2008-10(包括台风影响)主航槽回淤量为352万 $\text{m}^3$ , 边坡区域回淤量约126万 $\text{m}^3$ , 总淤积量约为478万 $\text{m}^3$ 。其中回淤较严重的W2+000~W7+000区段回淤量占总回淤量的42.0%。

由于航道开挖初期超挖深度大、地形不平整, 航道竣工后10个月统计回淤量较设计值大(设计约300万 $\text{m}^3/\text{a}$ ), 回淤量在可接受范围内, 观测期3次台风均未发现骤淤现象。航道维护时, 可选择大型耙吸船于每年12月至次年3月进行1次维护, 对W2+000~W7+000区段近期进行重点维护, 同时加强对W8+000~W12+000的回淤观测。

## 4 虾峙门人工航道运行情况

2008年12月—2011年12月, 通过虾峙门口外人工航道的大型船舶(吃水大于19.0 m<sup>[4]</sup>)约580艘, 平均通航1艘/(2 d), 未发生过安全事故, 航道运行情况良好; 航道于2010年3—4月对主要碍航浅段进行了首次维护疏浚, 疏浚断面方量76.5万 $\text{m}^3$ , 维护周期及疏浚方量远低于设计值。实践证明, 虾峙门航道的通航适应性和稳定性均优于预估。

## 5 结语

1) 为掌握大型人工航道建成后航道适应性、稳定性和可维护性, 根据航道自身特点, 及时开展试通航观测研究工作非常必要。

2) 对于通航环境复杂、设计条件超规范的大型人工航道, 在航道开通前的试通航期间, 采用设计船型开展实船适航检验和回淤观测研究工作是必要和有效的, 其试验结果综合了气象、水文、航标性能、航行干扰, 以及驾驶员操船习惯

和驾驶水平等航行中的相关影响因素, 研究结论更为可信, 可为航道安全通行、后期维护及通航规则的制定提供重要技术依据。

3) 本航道作为复杂海区建成的第一条人工航道, 航道流压角取值超出规范上限, 航迹带宽度计算难度大。经实船适航检验观测, 研究认为: 旋转流海区30万吨级人工航道宽度取值390 m可满足设计船型安全通航宽度要求, 同时虾峙门所在海区航道富裕水深按设计船型满载吃水的12.4%取值是基本可行的。

4) 进槽船舶航速应不低于8 kn, 船舶进出应在高潮前为宜, 能见度应在1.5 n mile以上。大型船舶进槽应提前上报进港计划, 进槽前应确保人工航道内无干扰船舶, 并服从VTS中心和现场海事艇监管。

5) 航道总体淤积速率平稳, 观测期间3次台风均未发生骤淤现象, 航道边坡稳定性和可维护性较好。实践证明, 人工航道维护周期及疏浚方量均优于预估值。建议建立长期的跟踪观测研究机制, 及时掌握可靠的回淤规律, 为进一步建立科学的维护、疏浚模式提供参考。

虾峙门口外30万吨级航道建设的成功可为国内深水航道的建设提供极为宝贵的资料和经验。在此对舟山市港航管理局、舟山引航站、宁波引航站等相关单位在实船适航检验工作中所付出的辛勤劳动表示感谢。

### 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30万吨级航道整治工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2007.
- [2] JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S].
- [3] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 虾峙门口外30万吨级人工航道观测研究及实船适航检验报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2008.
- [4] 臧继明. 虾峙门航道航行探究[J]. 南通航运职业技术学院学报, 2011, 10(3): 29-32.

( 本文编辑 武亚庆 )