



长江口北槽 12.5 m 深水航道边坡 自然水深利用标准研究

居 尧

(交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要: 针对长江口深水航道大型船舶交会需求的增加所带来的通航需求与深水航道宽度资源之间日益突出的矛盾, 开展深水航道边坡自然水深利用标准研究, 基于尽可能减少对航道维护的影响和利用自然现状水深的原则, 采用实测资料统计分析与理论计算的方法, 提出边坡自然水深利用宽度、深度和区段, 为相关部门开展实船试验及保障措施研究提供依据, 并在边坡自然水深利用总体方案中得到充分应用。

关键词: 长江口; 深水航道; 边坡自然水深; 利用标准

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)07-0157-06

Natural water depth utilization standard of the Yangtze Estuary 12.5 m deep-water channel slope

JU Yao

(Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China)

Abstract: In view of the increasingly prominent contradiction between navigation demand and deep-water channel width resources brought by the increase of large-scale ships' rendezvous demand in the Yangtze Estuary deep-water channel, we study the utilization standard of the natural water depth of the deep-water channel slope. Based on the principle of minimizing the impact on channel maintenance and utilizing the natural water depth, we propose the width, depth and, section of the slope's natural water depth utilization by using the method of statistical analysis of the measured data and theoretical calculation. It provides a basis for relevant departments to carry out ship tests and research on support measures, and is fully applied to the overall scheme for the utilization of the slope's natural water depth.

Keywords: the Yangtze Estuary; deep-water channel; slope's natural water depth; utilization standard

长江口深水航道南港北槽段全长 92.2 km, 沿程分为 5 个区段, 按船舶进港方向分别为外航道、下航道、上航道、圆圆沙段航道和南港航道, 设计通航标准为满足第三、四代集装箱船和 5 万吨级船舶(实载吃水 ≤ 11.5 m)全潮双向通航, 兼顾第五、六代大型远洋集装箱船舶和 10 万吨级满载散货船及 20 万吨级减载散货船乘潮通航^[1]。长江

口航道治理开发和北槽 12.5 m 深水航道的开通, 刺激了长江口货运量迅速增长以及船舶大型化的快速发展, 产生了巨大的经济效益和社会效益。深水航道开通后, 2015 年通过长江口的货运量达到 11.9 亿 t, 2016 年度达到 12.6 亿 t, 与此同时, 船舶大型化趋势愈发明显, 大型船舶所占比例均明显增加^[2]。随之而来的是大型船舶交会需求的

收稿日期: 2020-10-28

作者简介: 居尧(1988—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口航道工程技术管理及研究。

增加与有限的北槽深水航道宽度资源之间日益突出的矛盾。

为提升长江口深水航道通过能力，特别是满足重载集装箱船与大型邮轮超宽交会(“深吃水”与“浅吃水”交会)的需求，提出利用北槽深水航道边坡水深通航的设想^[3-4]，并开展了相关研究工作，取得了初步成果。利用边坡自然水深提高深水航道通航效率有助于推进长江口航运发展，优化深水航道通航组织，提升水运服务品质，进一步发挥长江黄金水道基础性、先导性的作用，有助于推动邮轮运输和现代航运服务业发展，巩固上海港国际邮轮母港的地位，促进上海“十三五”期间实现建成世界著名旅游城市目标。

本文通过分析研究长江口北槽水域河势变化趋势、边坡水深特征条件等，提出边坡自然水深利用标准，为相关管理部门开展实船试验及保障措施研究提供理论依据，为边坡自然水深利用总体方案提供重要支撑。

1 河势变化特征

1.1 南港河势

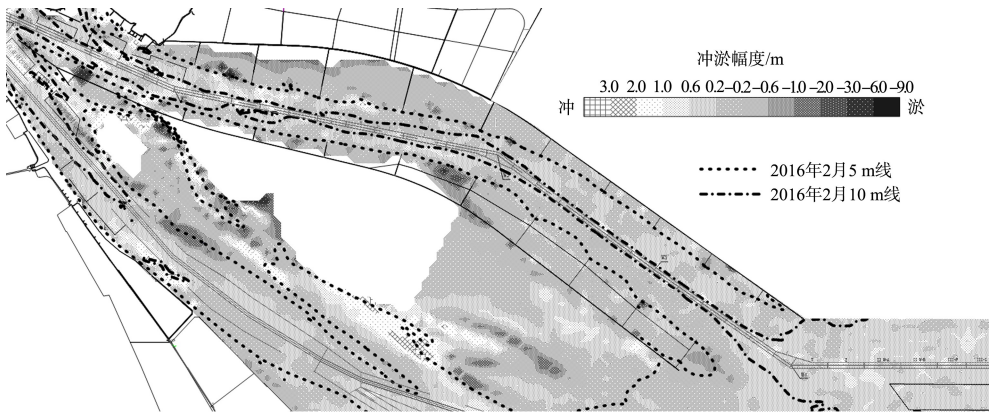
长江口南港河段主要是指南北港分汉口至南北槽分汉口之间的河段，主要发育有瑞丰沙沙体。沙体以北是长兴水道，水深 8~15 m；以南是南港主槽，水深 10~20 m。1998—2010 年，瑞丰沙中部窄沟发育，中下沙体持续变小，导致南侧主槽及南岸外高桥港区普遍淤浅，南港下段

河槽形态由 W 形复式向单一 U 形演变。之后，随着流域来沙量减少等边界条件的变化，南港中下段仍呈持续缓慢冲刷态势，瑞丰沙中下沙体的冲刷泥沙下泄，增加了圆圆沙段和北槽上段的来沙量。总体而言，瑞丰沙沙体日益萎缩，长兴水道持续冲刷，南港河段河槽容积总体呈逐步增加趋势。

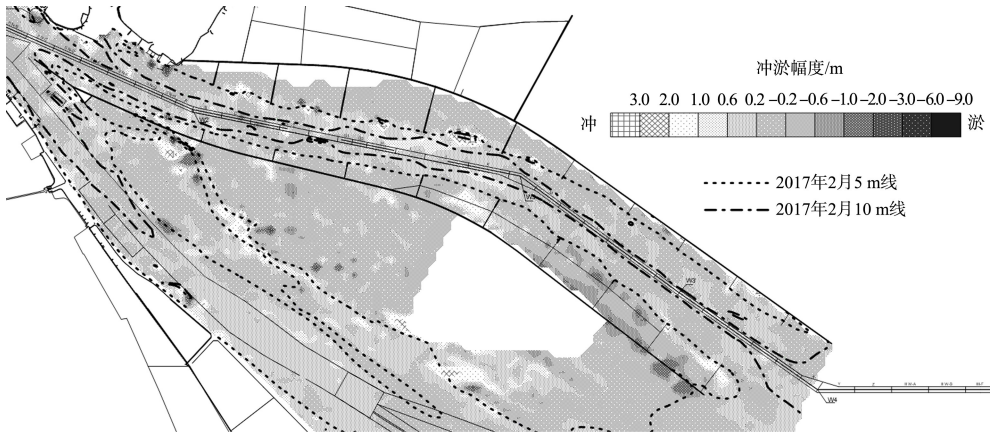
1.2 北槽河势

北槽位于南港以下，是长江口深水航道治理工程的主要整治段。2010 年 12.5 m 深水航道通航以来，北槽中上段以及口外段 8 m 和 10 m 等深线略有拓宽，下段等深线变化不大；南北两侧坝田水深一般浅于 5 m。2010 年至今北槽 5 m 等深线基本位于坝头连线，变化较小。

2010—2013 年北槽冲淤幅度较大：北槽中上段边滩以冲刷为主，冲刷幅度 1~2 m；两侧坝田以淤积为主，淤积幅度 1~2 m；下段航道南侧边滩淤积幅度较大，幅度 1~2 m。2013—2016 年北槽内冲淤幅度较小，河槽冲淤基本平衡，边滩以冲刷为主，见图 1a)。2016—2017 年长江口深水航道减淤工程南坝田挡沙堤加高工程实施后，其南侧坝田区域出现明显的淤积，发挥了工程的挡沙效果，北槽其他区段冲淤幅度较小，见图 1b)。总体而言，2010—2013 年北槽河势尚处于工程影响的调整期，2014—2016 年河势已基本稳定，河槽冲淤基本平衡。北槽在周边工程作用下的调整已趋缓，未来将总体保持稳定。



a) 2013年2月—2016年2月



b) 2016年2月—2017年2月

图 1 北槽河床冲淤变化

2 利用宽度研究

2.1 适用船舶种类

现阶段深水航道通航能力不足最为突出的问题是大型邮轮与大型重载集装箱船之间的超宽交会矛盾，此次研究主要针对此问题开展。将超宽船舶分为“深吃水”和“浅吃水”两大类，其中“深吃水”为大型重载集装箱船，“浅吃水”为满载(或实载)大型邮轮。目前上海港进出邮轮满载吃水都在 8.8m 以下，型宽集中在 35~42 m，全宽(最大宽度)在 43.3~50.5 m 之间，总吨在 10.3~16.8 万 t 之间。通过分析上海港集装箱船靠离泊资料，2014 年和 2015 年 7 万吨级集装箱船进出港量占外高桥港区全年超宽集装箱船的 41% 以上，在同类型超宽船舶中占比最高，因此以 7 万吨级集装箱船(船长 300 m, 型宽 40.3 m)和大型邮轮作为考虑超宽交会情况的适用船种，兼顾考虑大型邮轮和 7 万吨级以上重载集装箱船超宽交会的情形。

2.2 边坡利用宽度及两船交会宽度分析

深水航道上航道段风流压偏角基本在 7° 以内，北槽 W3 转弯角及下航道段风流压偏角基本在 10° 以内^[5]，为确保超宽交会安全，充分考虑不利条件，宽度设计按照北槽全程 10° 风流压偏角考虑，按规范计算不同交会船型组合条件下的超宽交会水域设计宽度，7 万吨级集装箱船与现有进出上海港大型邮轮交会水域最大宽度为 449 m，交会船宽之和为 83.6~90.8 m。

深水航道设计宽度 350 m(外航道 400 m)，因

此在考虑利用边坡自然水深交会时，考虑利用 350 m 深水航道加单侧边坡 100 m 水域进行交会，取 90 m 为两船交会宽度控制尺度，分析 450 m 超宽交会水域宽度(“深吃水”与“浅吃水”交会)的适应性。船宽之和在 80~90 m 之间的“深吃水”+“浅吃水”超宽交会所需交会水域宽度计算值为 405~449 m，因此利用深水航道两侧各 100 m 边坡水域范围较为合理且适应性较好。

考虑到邮轮全宽(最大宽度)与型宽有一定的差异，目前停靠上海吴淞国际邮轮码头的大型邮轮全宽较型宽在 7~14 m，且主要是上部结构较宽，超宽交会通航时，邮轮外侧无通航船舶，上部结构凸出部分对航道宽度计算没有影响。因此，可考虑适当放宽邮轮外侧上部结构宽度对通航的影响，交会船舶右舷超外型宽部分的宽度不计入两船宽度之和，但在进行边坡利用宽度(设计交会水域宽度)设计计算时，以邮轮全宽(最大宽度)作为计算参数。

3 利用深度研究

3.1 北槽边坡范围水深特征分析

深水航道维护期航道两侧边坡按规定未进行过维护疏浚，保持自然变化，水深监测资料表明，目前航道底底线外 100 m 边坡区域水深条件较好，平均水深在 10 m 以上，2016 年在航道底底线外 100 m 范围内最小水深为 8.9 m(理论最低潮面下)。

3.1.1 边坡水深年际变化

与北槽河势变化趋势相一致，2010—2013 年边坡 100 m 范围内水深基本为逐年增深趋势，2014—2016 年间，边坡水深趋于稳定(图 2)。圆圆沙段 2010—2013 年间边坡水深每年增深约 0.3 m，北侧增深幅度大于南侧；2013—2016 年该段水深相对稳定，年际间变幅较小。上航道段 2010—2013 年

水深逐年增加，水深条件变好，其中北侧边坡累计增深约 0.5 m，南侧航道累计增深 1~1.5 m，增幅较大；2014—2016 年两侧边坡水深基本稳定，仍呈小幅增加的趋势。下航道段与其他航段相比，边坡水深相对较浅，2010—2013 年边坡水深仅有 0.2~0.5 m 的增加，幅度较小；2014—2016 年两侧水深基本稳定，仍呈小幅增加的趋势。

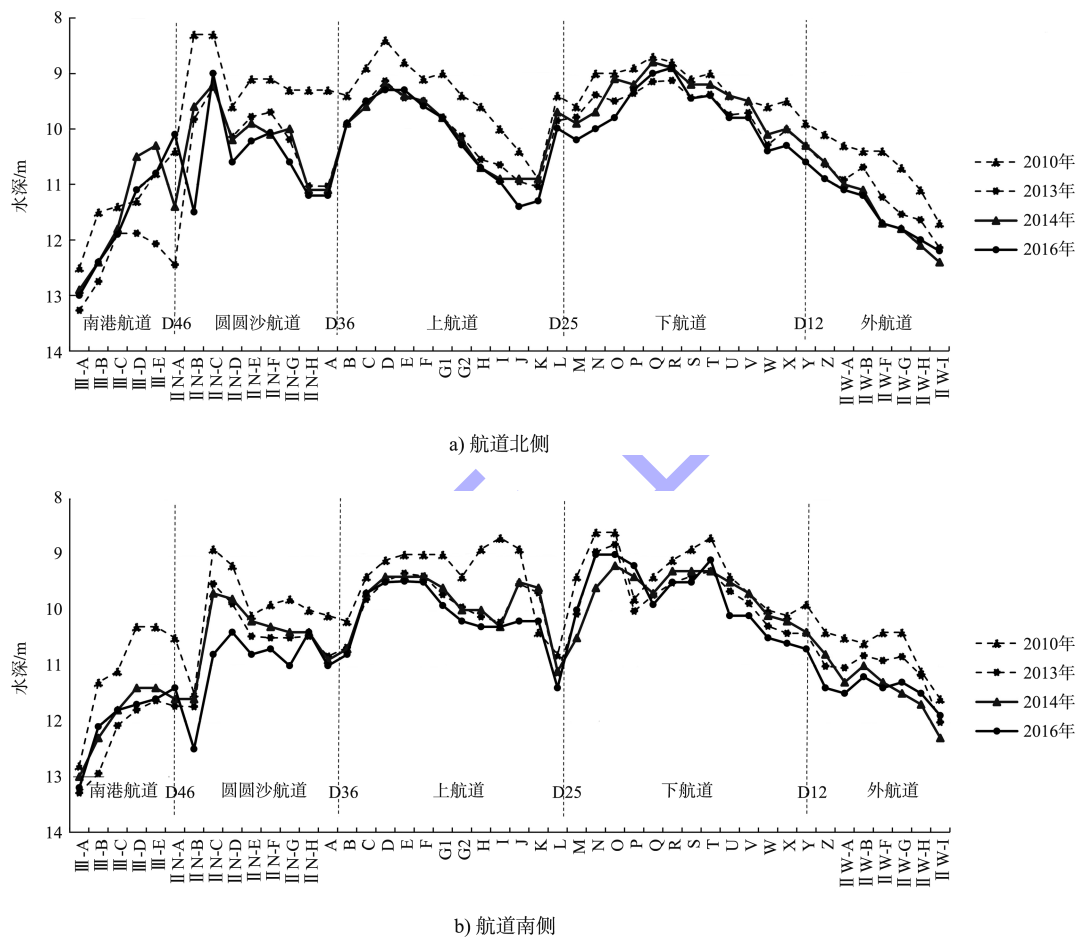


图 2 深水航道两侧边坡历年最小水深沿程变化 (100 m 范围内)

3.1.2 边坡水深年内逐月变化

2014—2016 年南北侧 100 m 范围内边坡水深年内逐月水深数据分析表明：上航道段边坡水深年内变幅较小，在 0.2~0.4 m 之间；南港航道段、圆圆沙航道段和下航道段边坡水深年内变幅相对较大，基本可达 0.6~0.8 m，特别是下航道段南侧边坡水深变幅年内可达 0.8~1.0 m；边坡水深变幅较大的时段多发生在每年 8—11 月，而每年 2—5 月变幅较小，与深水航道回淤量 6—11 月大、12—5 月小的季节性变化特征较为一致。

3.1.3 台风寒潮等极端天气对边坡水深影响

根据 12.5 m 深水航道开通以来的台风、寒潮风后现场实测资料初步分析得知，台风寒潮后的风后测量往往在航道内观测到大量的浮泥(主要指密度在 1 033~1 245 kg/m³可流动的高含沙浓度水体)，会给深水航道维护带来影响。但历次台风后未在航道边坡和边滩上观测到较厚的浮泥存在，一般只存在 10~20 cm 厚随涨落潮流移动的浮泥，边坡水深也未发生持续淤浅(图 3)，初步判断台风骤淤对边坡水深影响不大。

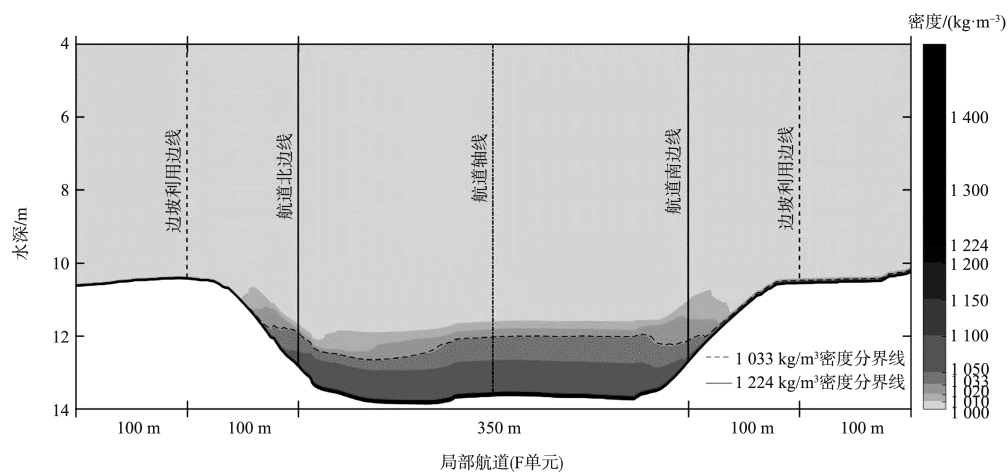


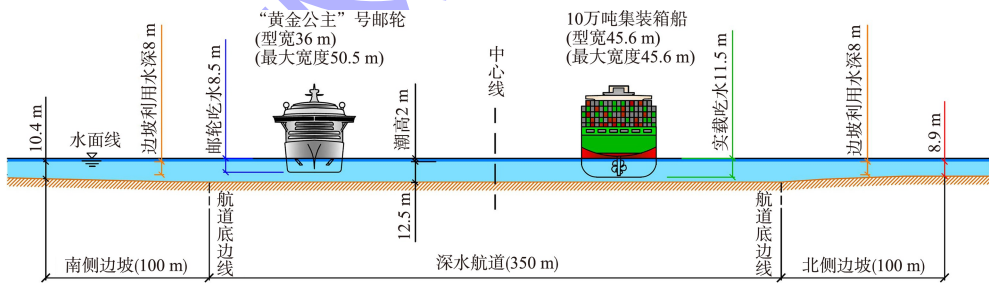
图 3 2017 年“泰利”台风后横向断面浮泥分布

3.2 深度利用标准分析

基于前述边坡水深变化特征，考虑约 0.9 m 的备淤水深，目前阶段边坡可利用自然水深按 8.0 m 设计。根据实测潮位资料计算，深水航道全线沿程各潮位站低潮累积频率 90% 的潮位值在 0.43~0.71 m，可利用边坡自然水深 8.0 m，按照 12% 的富余水深，可以全潮供吃水 7.5 m 的船舶交会使用。

吃水大于 7.5 m 邮轮的超宽交会须进一步考虑合理利用乘潮水位。考虑北槽段乘潮，以持续

时间为 1 h 的船队为例，在 90% 乘潮保证率的情况下，进港可利用边坡水深为 10.9 m，出港可利用边坡水深为 10.28 m，按照现行规定 12% 的富余水深，进港船舶的限制吃水为 9.7 m，出港船舶的限制吃水为 9.1 m。目前主要解决的大型邮轮和大型重载集装箱船超宽交会时段均在深水航道需要进行交通管制的高潮时段，交会时段的潮位一般超过 2 m，实际交会时可利用水深超过 10 m，可基本满足大型邮轮(目前最大满载吃水为 8.8 m)利用边坡进行超宽交会的需求(图 4)。



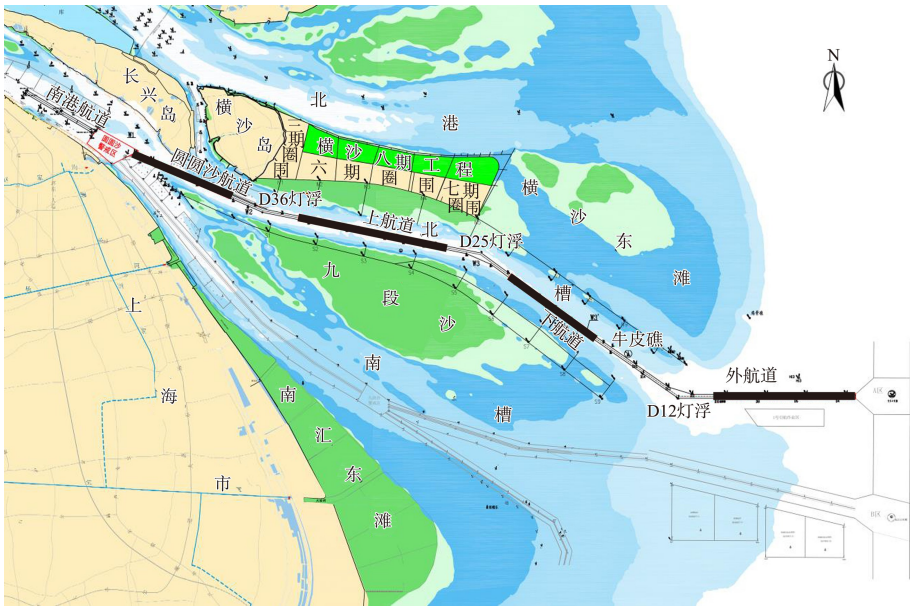
注：1. 断面地形为 2016 年 2 月 R 单元实测水深；2. 横纵向相对比例 1:1。

图 4 “深吃水+浅吃水”交会示意

4 利用区段研究

边坡水深利用区段主要考虑以下几方面限制条件：1) 利用边坡自然水深交会时，应确保交会船舶的安全，同时避免对邻近正常通航船舶的影响；2) 边坡交会时，不应影响邻近相关设施功能发挥和安全稳定运行产生影响；3) 根据实际情况，实际交会困难段主要在北槽，因此主要解决圆圆沙警戒区以下北槽区域安全交会问题；4) 考虑到北槽转弯段横流较大，对船舶操控影响较大，在

北槽内的 3 个转弯段不作为交会区段。根据上述限制条件，考虑到现牛皮礁潮位站距离深水航道北边线距离较近，圆圆沙警戒区船流复杂，北槽内各转弯段横流较大，这些区段超宽船舶交会安全风险大，且牛皮礁以上的北槽段是超宽船舶交会的重点区段，因此边坡水深设计利用范围为：圆圆沙警戒区东侧边线以下航段，除深水航道 D12、D25、D36 灯浮转弯段、牛皮礁上下游 2 海里航段的其他水域(图 5)。



注：加粗区段为建议交会区段。

图 5 边坡水深设计利用区段

5 结语

1)2010—2013 年北槽河势处于工程影响的调整期,2014—2016 年河势已基本稳定,长江口 12.5 m 深水航道自 2011 年 5 月进入正式维护以来,通过有效养护,实现了通航深度保证率始终保持在 95%以上,在此前提下,航道边坡水深近年来逐渐冲刷调整、总体趋于稳定,2016 年在航道底边线外 100 m 范围内最小水深达到 8.9 m,为边坡水深的科学合理利用提供了重要前提条件。

2)边坡自然水深利用标准从方便操作、能够取得实效的同时尽量节约投资的角度出发,并尽可能减少对深水航道维护的影响,基于利用自然现状水深的原则,达到科学、安全合理利用的目的,符合创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,同时为相关管理部门开展实船试验、开展保障措施研究提供了重要依据。

3)边坡自然水深利用能够缓解深水航道超宽船舶交会的矛盾,提升邮轮与集装箱班轮的准点率;大型集装箱船减少了船舶进港通航时间或减少出港船舶码头待泊时间,取得了显著的社会效益和直接经济效益。

4)随着北槽内大型通航船舶的日益增加,迫切需要加快推进长江口航道体系建设,完善“一

主两辅一支”航道格局,提高长江口航道的整体通过能力,适应社会经济的发展需求,同时解决目前长江黄金水道入海口深水航道只有北槽一条的战略风险。

致谢:本工作得到交通运输部水运局、长江航务管理局、上海市交通委员会、上海海事局、中交上海航道勘察设计研究院有限公司等相关单位的指导和协助,在此一并致以衷心的感谢!

参考文献:

[1] 交通运输部长江口航道管理局.长江口航道发展规划[R].上海:交通运输部长江口航道管理局,2010.

[2] 交通运输部规划研究院.长江口航道货运量及船舶流量预测研究报告[R].北京:交通运输部规划研究院,2017.

[3] 上海海事局.利用长江口深水航道边坡自然水深提升通航效率[J].中国海事,2018(2):12-13.

[4] 曹慧江,居尧,车军.长江口 12.5 m 深水航道利用边坡通航的方案[J].水运工程,2017(11):58-63,85.

[5] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司.长江口深水航道治理三期工程初步设计[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2006.