

## · 航道及通航建筑物 ·



# 长江口规划生态航道建设方向研究 \*

楼 飞, 季 岚, 李 蕙, 丁 洁

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 针对长江口北港、南槽生态航道的建设问题, 通过分析区域环境特点和航道发展需求, 梳理已建的长江口深水航道生态化建设情况, 提出长江口生态航道建设的核心和模式。结果显示: 1) 南槽和北港生态航道的建设需以确保河势格局稳定为基础; 2) 需与滩涂保护、生态功能区域保护形成联动布局; 3) 需积极研发和应用生态结构, 构筑“人工生态礁体”群, 优化河口综合环境; 4) 需结合滩涂泥沙资源需求和航道建设自身筑堤用沙需求, 实现航道疏浚土的资源化、生态化利用; 5) 需强化建设运营中科学的管控体系、生态补偿体系等。

**关键词:** 长江口; 南槽; 北港; 生态航道; 建设方向

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)01-0075-07

## Construction direction of planned ecological channel in the Yangtze River Estuary

LOU Fei, JI Lan, LI Hui, DING Jie

(CCCC Shanghai Waterway Survey and Design Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** Regarding the construction of the ecological channel of North Channel and South Passage planned in the Yangtze River Estuary, this paper analyzes the regional environmental characteristics and channel development needs, combs and summarizes the ecological construction of the deep-water channel in the Yangtze River Estuary, puts forward the core and construction mode of the ecological channel construction in the Yangtze River Estuary. The conclusions are as follows: 1) The construction of the ecological channel of South Passage and North Channel should be based on ensuring the stability of the river regime. 2) It needs to form a linkage layout with tidal flat protection and ecological function area protection. 3) It is necessary to actively develop and apply the ecological structure, build the “artificial ecological reefs” and optimize the comprehensive environment. 4) It is necessary to realize the resource and ecological utilization of channel dredged soil in combination with the demand of tidal flat sediment resources and the demand of channel construction for embankment sand. 5) It is necessary to strengthen the scientific management and ecological compensation system in the construction and operation, etc.

**Keywords:** the Yangtze River Estuary; South Passage; North Channel; ecological channel; construction focus

长江河口经过长期的治理和航道建设, 已积累了丰富的建设经验。但随着人们对生态环境保护意识的不断加强, 航道建设不仅仅满足于对环境的被动顺应, 而是致力于主动响应环境、融入

环境、提升环境, 即建设生态型航道。根据《长江干线生态航道建设规划(2021—2025年)》等相关要求, 在北港航道治理一期工程、南槽航道治理二期工程中需落实生态航道建设的相关要求。

收稿日期: 2022-05-12

\*基金项目: 上海市科学技术委员会基金项目(21DZ1201700)

作者简介: 楼飞(1979—), 女, 高级工程师, 从事港口航道和河口治理规划研究工作。

对于生态航道已有很多学者开展过相应的研究,从不同的关注角度提出观点和理念,主要以内河区域为主,河口区域涉及很少。如:刘均卫<sup>[1]</sup>认为在满足通航、防洪、排涝等需求的同时,兼顾生态系统健康需求,实现河道生态系统不断趋向更高水平的平衡;薛智博<sup>[2]</sup>提出生态航道是指在保证航道安全、畅通的前提下,以修复河道生态系统为目标,通过建设生态护岸等工程技术手段,维系和重塑一个相对自然稳定和健康开放的河流生态系统;刘怀汉等<sup>[3]</sup>提出生态航道建设要树立航道治理建、管、养全过程的生态航道路念等。

有别于单一的生态治理工程和航道整治工程,生态航道需承担的功能要求相对复杂、综合,生态航道的建设应与区域环境特性相匹配。长江河口自然环境复杂、生态环境独特,又承载着航运、港口、水源、生态等多种功能发展需求。通过研

究长江口自然环境状况和航道发展需求、梳理总结长江口航道生态化建设经验和生态效果,以探讨长江口未来北港和南槽生态航道的建设模式和重点研究方向。

## 1 长江口生态环境特征

长江河口径潮流交汇、咸淡水混合,生态资源丰富,是我国典型的温带草本盐沼湿地分布区。目前,长江口大型的自然滩涂主要有扁担沙、九段沙、横沙浅滩、北港北沙—崇明东滩等。其中,扁担沙和横沙浅滩为水下光滩,滩面高程基本在1.0 m以下,均鲜有植被发育,扁担沙区域设有长江刀鲚国家级水产种质资源保护区;九段沙是长江口潮滩湿地的典型分布区,被列入国家生态湿地保护区;崇明东滩是鸟类国家级自然保护区;北港北沙—崇明东滩区域是长江口中华鲟自然保护区(图1)。

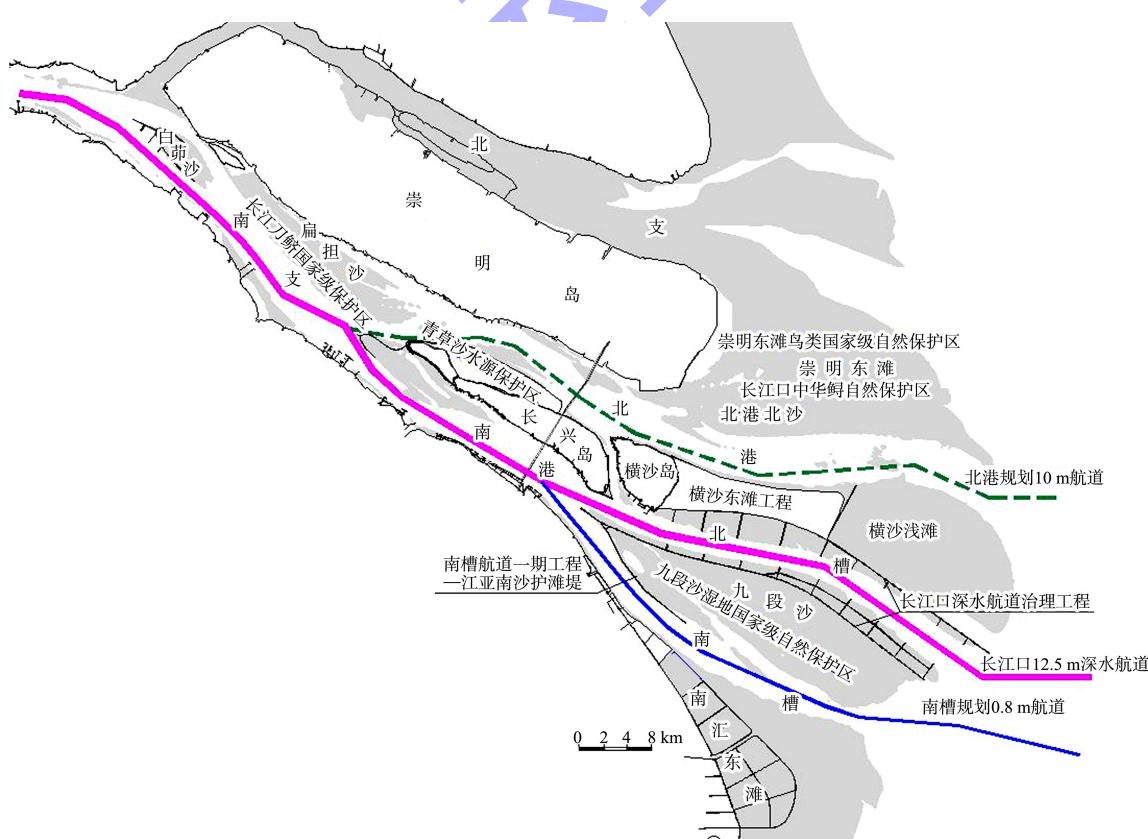


图1 长江口平面格局

长江口滩涂生态分布呈典型的梯度特征<sup>[4]</sup>,高程低于2.0 m的低潮滩、中低潮滩区为盐渍藻类带(光滩),以软体动物为主;高程位于2.0~2.9 m的中高潮滩区为海三棱藨草和藨草优势群落带,以蟹类和软体动物为主;高程在2.9 m以上的高潮滩区为芦苇优势群落带,以蟹类为主。丰富的水生生物使得长江口成为亚太候鸟迁徙途中的重要驿站,同时也是中华鲟、刀鲚、凤鲚、鳗鲡、松江鲈等珍惜鱼类和重要经济鱼类的洄游区和索饵区。

## 2 长江口航道建设与规划

长江河口三级分汊、四口入海,顺应水道格局,航道发展体系规划为“一主两辅一支”。即南支、南港、北槽河段的12.5 m深水航道为长江口主航道,南槽航道和北港航道为两大辅航道,北支航道为规划的支航道<sup>[5]</sup>。

1998—2010年,长江口主航道通过建设南北双导堤+丁坝群等工程和实施航道疏浚,打通了长江口北槽拦门沙河段,在南港—北槽区段建成底宽350.0~400.0 m、深12.5 m、长92.2 km的深水航道。之后逐步向上延伸,目前已贯通至长江南京河段。

长江口南槽航道上起南北槽分流口圆圆沙灯船,下至口外南槽灯船,全长约86 km,航道规划水深8.0 m。其南侧为南汇东滩,北侧为江亚南沙和九段沙。2018—2020年通过在南槽上段实施江亚南沙护滩潜堤和中下段实施航道疏浚,已完成南槽一期6.0 m航道建设。长江口北港航道上起南北港分流口,下至口外10.0 m深水区,全长约90 km,规划水深10.0 m。目前尚为自然水道。根据长江口航道发展规划和长江干线生态航道建设规划(2021—2025年),规划的北港10.0 m航道和南槽8.0 m航道是未来长江口航道建设的重点。

## 3 长江口深水航道生态化建设

长江口深水航道自20世纪80年代开始规划,1998年开工建设,分三期工程将北槽拦门沙段水深从5.0~6.0 m逐步增加到12.5 m。在规划布局、建设实施和维护运营的过程中,积极响应区域环境需求,将保护环境、促进区域生态多样性的理念和技术持续融入航道建设运营的过程中,取得良好的效果。

在规划设计阶段,针对当时北槽河段河槽稳定性欠佳,河槽宽浅不利于主流归顺,且易受两侧滩涂变动、滩面窜沟发育等影响,因势利导,布设实施分流口鱼嘴工程、南北两侧导堤及丁坝群工程、护滩潜堤工程等,既有效稳定了北槽区域多变河势,归顺涨落潮流速,也为两侧滩涂生态基底的稳定和培育奠定了基础。目前,北槽两侧滩体边界-5 m等深线已基本稳定于丁坝坝头连线,同时坝田区通过自然淤积塑造,形成高-中-低滩有序衔接的典型生态剖面。

工程建设阶段,为适应区域环境,开展大量结构研究和工程试验。根据沿线区段的环境特点,整治建筑物分别采用半圆体、空心方块等不同的结构方式。在确保工程安全和整治目标基础上,为藻类、螺类、牡蛎等底栖生物提供了生境。

在建设和维护阶段,针对长江口深水航道维护产生大量疏浚土的资源利用问题,2003—2019年,结合横沙东滩工程吹填上滩,累计利用约4.5亿m<sup>3</sup>,促使106 km<sup>2</sup>生态陆域的形成。

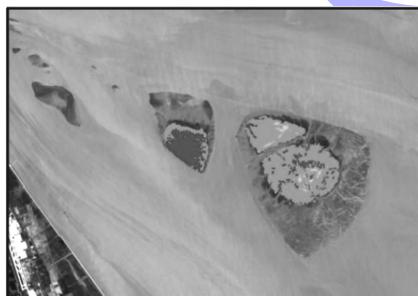
此外,积极制定合理的生态补偿规划,长期实施有序的生态补偿工作。2001—2019年,分13次共增殖放流149.6万尾鱼类、2.15 t虾类、11万只中华绒螯蟹、171 t贝类。

这些措施的落实,使得长江口深水航道及两侧滩槽格局稳定性增强,滩涂生态面积扩大,生态品质不断提升(表1)。

表 1 长江口深水航道生态化建设效果<sup>[6-8]</sup>

年份	南北导堤+丁坝	航道疏浚	疏浚土上滩利用	生态补偿	生态效果				
					九段沙植被分布面积/km <sup>2</sup>	横沙东滩植被分布面积/km <sup>2</sup>	导堤上底栖生物种类/种	导堤上底栖生物数量	鱼类
2000				-	23.9	0	-	0	
2004	1998—2010 年导堤、丁坝等各类整治建筑物共达 170 km	1998—2011 年逐步增深至 12.5 m			-	-	6	-	
2005					43.9	0	17	-	已发现 4 种长江口新鱼类物种
2008			2003—2019 年, 年 4.53 亿 m <sup>3</sup>	2001—2019 年, 累计 13 次共增殖放流 149.6 万尾鱼类、2.15 t 虾类、11 万只中华绒螯蟹、171 t 贝类	-	-	31		
2010					69.7	1.7	47	牡蛎数量达 590 亿多个	
2013					-	2.7	-		
2015	2015—2020 年南	2012 年后至今 12.5 m			-	21.2	-	-	
2018	坝田加高, 总长 24.8 km	生态陆域形成			102.4	-	-	汛期中华绒螯蟹捕捞量增加 20 多倍	中华鲟的回捕率达到 1%,
2019					-	88.7	-		

目前, 北槽南侧的九段沙区域, 在南导堤掩护下, 九段沙北沿中高滩地不断淤高淤涨, 2000—2018 年间, 九段沙植被总面积由 23.9 km<sup>2</sup> 增至 102.4 km<sup>2</sup>(图 2)。随着疏浚土上滩利用, 北侧的横沙东滩区域滩面抬高, 2010 年后滩涂植被逐渐生长蔓延(图 3), 至 2019 年植被覆盖面积已达 88.7 km<sup>2</sup>。区域内的陆地、湿地、河湾、水面生境多样, 芦苇、香蒲、碱蓬等植被大面积分布, 吸引成群水鸟觅食。



a) 2000年



b) 2018年

图 2 九段沙滩面变化遥感图



a) 2003年



b) 2019年

图 3 横沙东滩滩面航拍

以航道整治工程的导堤和丁坝混凝土模块作为硬底物, 通过生态补偿措施加速促进区域生态修复。目前成功构筑出一个长达 147 km、面积约 14.5 km<sup>2</sup> 的“人工牡蛎礁生态系统”。不仅为众多水生动物提供重要的栖息与摄食场所, 还对净化长江口河口水质起到了积极作用。据统计, 该牡蛎礁生态系统对水质的净化能力相当于一个日处理能力 2 万 t 的大型城市污水处理厂。

#### 4 生态航道建设核心和模式

借鉴长江口生态航道建设经验, 长江口生态航道工程建设需清晰不同航道区段生态特性和航运需求, 并寻求两者间的可结合点, 是生态航道建设的核心问题。以此为基础, 在规划布局、建设实施和维护运营的过程中, 积极响应区域环境需求, 将保护环境、促进区域生态多样性的理念和技术手段持续融入航道建设运营的过程中, 坚持科学的跟踪监测和评估研究, 以取得持续良好的生态效果(图4)。

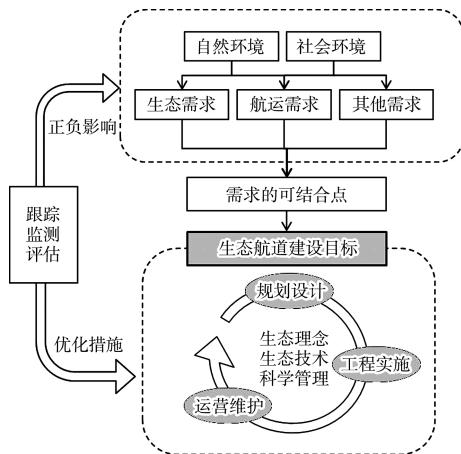


图4 生态航道建设模式

#### 5 长江口规划生态航道建设的核心问题

##### 5.1 南槽航道

南槽河段南侧为南汇东滩, 北侧为九段沙。近年来, 受流域来沙持续减少的影响, 南槽中下段两侧滩涂持续侵蚀(图5), 尤其是九段沙南沿、沙尾区域侵蚀明显, 窜沟发展, 侵蚀陡坎形成(图6), 湿地生境结构受到破坏<sup>[9]</sup>。南槽航道一期工程重点防护上段的江亚南沙头部窜沟发育和南沿的冲刷, 而南槽中下段滩涂区域, 包括南汇东滩北沿和九段沙南沿及沙尾冲刷, 侵蚀问题依然存在。同时, 滩面侵蚀泥沙下泄进入主槽, 造成对应区段航槽淤积, 影响航道水深。因此, 如何实现航道建设与湿地保护共赢, 是南槽生态航道建设面临的核心问题。

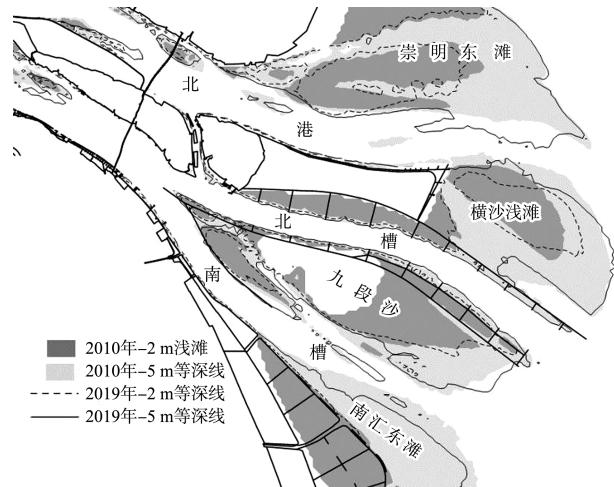


图5 2010—2019年长江口滩面等深线变化



图6 九段沙南缘的侵蚀陡坎

##### 5.2 北港航道

北港航道的规划建设目标为10 m航道。目前, 中上段-10 m深槽贯通, 口门段为拦门沙区域, -10 m深槽中断距离长达约30 km, 最浅水深仅为-5 m。该河段北侧为北港北沙和崇明东滩, 规划有中华鲟自然保护区和崇明东滩鸟类保护区; 南侧为横沙东滩及浅滩区域, 其中横沙东滩已实施滩涂整治工程。近年来, 受上游来沙减少影响, 北港河槽总体呈现冲刷拓宽状态, 但冲刷下泄泥沙以及两侧滩面侵蚀泥沙使得北港口门拦门沙段河槽淤积, 呈宽浅态势发展。尤其是受北侧崇明东滩滩地冲刷、-5 m等深线不断南压影响, 北港出口段-5 m深槽一度中断。而北港南侧, 横沙浅滩滩面侵蚀更为严峻, 不但滩面线不断南移后退, 而且滩面窜沟大幅发展, 已呈现滩体切割外移、发育次级分汊的趋势, 见图5。这对口门河势格局稳定以及北港航道建设均极为不利。因此, 从航道建设出发, 通过整治工程稳定航道边界, 打通

拦门沙段航槽水深是北港 10 m 航道建设的必要手段。与此同时,崇明东滩及北港北沙区域涉及鸟类自然保护区和中华鲟自然保护区,尤其中华鲟的幼鱼 4 月中下旬到达长江口水域,沿南支北港降海洄游,之后进入北港北沙—崇明东滩水域索饵育肥。因此,如何合理有效地处理与北港北侧的两大自然保护区间的关系,以及与南侧横沙浅滩滩涂稳定、滩涂生态保护间的关系,实现人与自然的和谐共赢,是北港生态航道建设的核心。

## 6 长江口规划航道生态化建设重点方向

### 6.1 确保河势格局稳定的工程布设是生态航道建设的基础

长江口区域内有多个生态保护区、水源地保护区和渔业资源保护区,更有沿岸诸多港区码头设施,“一主两辅一支撑”的综合航道体系涉及功能较多。确保长江口三级分汊四口入海的格局稳定,以及滩槽河势稳定是有效实现长江口诸多功能的基础。针对南槽河段九段沙沙体侵蚀,以及北港河段两侧滩体,尤其是横沙浅滩的冲刷、切割的问题,确保这些区域滩槽河势格局的稳定,是航道工程建设的目标。

### 6.2 航道整治需与滩涂保护、生态功能区保护联动布局

南槽二期 8 m 航道建设可通过适宜的导堤丁坝工程,对九段沙南沿的侵蚀滩面形成掩护。既归顺、增强航道落潮动力,又维持江亚北槽的生态功能,遏制九段沙南缘涨潮沟发育和沿线冲刷,为九段沙南沿梯度滩面塑造创造环境。

北港 10 m 航道建设,南侧针对横沙浅滩滩涂侵蚀特征设置护滩堤,或结合横沙浅滩护滩工程布设航道整治建筑物;北侧需考虑中华鲟保护区鱼类洄游的需要,通过导堤工程将北港河槽分隔为航行通道和鱼类洄游通道。

### 6.3 以工程稳定为前提,开展生态结构应用,构筑“人工生态礁体”群

在满足工程稳定的前提下,航道工程整治建筑物的实施可通过优化部分航道整治工程结构、

保留或营造生物生境,以提升生态效果。如目前长江口深水航道整治中所采用的半圆形构件、空心方块构件等。而南槽、北港航道沿线区域的自然环境和生境需求不同,需研究各自区域适宜的工程结构形式和生态构件,包括材料、形态、孔位、孔径,以及不同组合等,营造易消能、缓水流的半隐蔽空间,为底栖、浮游以及部分鱼类提供生息空间。

### 6.4 实现航道疏浚土资源化利用

航道疏浚土是宝贵的泥沙资源,在长江泥沙日益减少的情况下,积极有效地实现疏浚土上滩利用、减少倾倒废弃量,不仅节约资源、保护环境,而且在同一水沙盐循环体系内是一种有效的生态措施。

在长江口深水航道建设运营过程中,已累计将 4.5 亿  $m^3$  的航道疏浚土用于横沙东滩生态陆域的形成。实践证明,一年后均可生长成茂密的植被区,生态多样性明显优于工程前。南槽航道一期工程中已将航道疏浚土成功作为筑堤沙加以利用,开拓了长江口疏浚土利用的新方向。

因此,在南槽航道和北港航道建设过程中,亦可多元化利用航道疏浚土<sup>[10]</sup>。如:对九段沙南沿或沙尾区域作定时定量补充,以缓解九段沙滩涂侵蚀问题;对南汇东滩促淤区进行泥沙资源储备和生态滩涂塑造;对横沙浅滩侵蚀滩涂进行修复培育;在航道整治工程中进行筑堤应用等。

### 6.5 加强科学管控与跟踪补偿

区域生态环境是人与自然综合活动的结果,航道生态化的形成即在于规划设计和建设过程中,更在于长期的运营管理。因此,强化科学管控、建立健全工程管理体系、运营管控体系、跟踪监测体系、科学评价体系等尤为重要<sup>[11]</sup>。包括:在施工组织体系、施工方案、污染源控制、施工过程的各环节中制定详细的生态保护措施、风险事故防范措施,加强宣传教育和培训;强化科学管理施工时段,优化施工组织与工艺,减少工程施工对区域环境的影响,避开生态敏感期;加强通航船舶清洁化、智能化管理;加强生态资源定期

监管、评估,及时采取防控和生态补偿措施等。

## 7 结语

1)借鉴长江口生态航道建设经验,有效融合航道建设需求和区域生态环境需求,是生态航道建设所需解决的核心问题。在规划、建设及运营的全过程中,持续融入生态的理念、技术,及时有效采取管控和补偿措施,是长江口生态航道建设的有效模式。

2)长江口南槽生态航道建设的核心在于航道建设与九段沙湿地保护的共赢问题;北港生态航道建设的核心则在于航道建设与崇明东滩保护区间和谐共处以及推动侵蚀态势下横沙浅滩滩涂的稳定问题。

3)南槽和北港生态航道建设的重点均需以确保河势格局稳定为基础;需与滩涂保护、生态区保护联动布局;需在建设中积极研发和应用生态结构,构筑“人工生态礁体”群,以优化长江口综合环境;需结合周边滩涂泥沙需求和筑堤用沙需求,尽可能实现航道疏浚土的资源化利用;需强化科学的管控体系、生态补偿体系,确保航道生态效应的持续化。

## 参考文献:

[1] 刘均卫.长江生态航道发展探析[J].长江流域资源与环

(上接第 56 页)

2)对于小型沉箱,当某个方向只有一个仓位时,按四边固结板计算的内力将严重失真,跨中弯矩和支座弯矩偏差可达 50% 以上,目前的规范和计算手册均未提及,应引起特别注意。

3)当沉箱底板内力具有明显方向性时,各仓位底板内力差异显著,根据不同仓位的底板内力优化配筋可带来良好的经济效益。

4)沉箱底板在支座附近存在很大的剪力,应重视底板的抗剪计算,必要时应增加抗剪钢筋。

5)趾板为悬臂构件时,会导致底板内力分布进一步复杂。

境,2015,24(S1):9-14.

- [2] 薛智博.生态航道内涵与发展理念分析[J].珠江水运,2018(20):105-107.
- [3] 刘怀汉,刘奇,雷国平等.长江生态航道技术研究进展与展望[J].人民长江,2020,51(1):11-15.
- [4] 华东师范大学等.河口疏浚土资源利用和新横沙滩面生态培育研究及应用示范[R].上海:华东师范大学,2020.
- [5] 交通运输部长江口航道管理局.长江口航道发展规划[R].北京:交通运输部长江口航道管理局,2009.
- [6] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司等.长江口南槽生态航道建设技术研究[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2021.
- [7] 交通运输部长江口航道管理局.长江口深水航道治理工程实践与创新[M].北京:人民交通出版社,2015.
- [8] 陈亚瞿,全为民,施利燕.开创我国河口海岸工程建设与水生态恢复相结合的典范:长江口人工牡蛎礁生态系统构建关键技术研究及应用[J].科技成果管理与研究,2013(10):82-84.
- [9] 楼飞,季岚,周海.长江大保护战略下河口滩涂的保护对策研究[J].水运工程,2020(8):1-7.
- [10] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司.长江口深水航道疏浚土综合利用研究[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2019.
- [11] 刘怀汉,雷国平,尹书冉,等.长江干线航道治理生态措施及技术展望[J].水运工程,2016(1):114-118.

(本文编辑 赵娟)

## 参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.码头结构设计规范:JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [2] 李元音,邓轩,刘永绣.关于矩形沉箱底板强度计算方法的探讨[J].港工技术,2005(2):20-22.
- [3] 高倩.重力式码头沉箱底板的有限元分析[J].山西建筑,2018,44(25):41-43.
- [4] 徐军,魏志民.沉箱底板结构的有限元计算分析[J].珠江水运,2017(16):79-80.
- [5] 国振喜,张树义.实用建筑结构静力计算手册[M].北京:机械工业出版社,2009.

(本文编辑 赵娟)