



长江口航道规划整治参数及整治方案研究*

吴华林¹, 张俊勇^{1,2}

(1. 上海河口海岸科学研究中心, 河口海岸交通行业重点实验室, 上海 201201;
2. 交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要: 综合采用案例和理论分析、河势分析以及潮流数学模型研究等手段, 在确定航道整治水位、弯道形态和放宽率等参数的基础上, 服务于现有航道规划目标和功能定位, 研究确定了长江口阶段性航道整治方案和整治线, 以指导规划期内的航道建设。研究成果对《长江口航道发展规划》的编制起到一定的支撑作用。

关键词: 航道规划; 整治参数; 整治方案; 长江口; 数模

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0071-07

Regulation parameters and regulation schemes for the Yangtze River estuary waterway regulation project

WU Hua-lin¹, ZHANG Jun-yong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering, Ministry of Transport, Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China; 2. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China)

Abstract: Based on a comprehensive analysis including case analysis, theoretical analysis, river regime analysis and tidal current mathematical model research, regulation parameters such as water level, bending rate and river widening rate are determined. In the service of existing channel plan objectives and channel function positioning, we research the phased regulation scheme and regulation line of the Yangtze River estuary waterway regulation project, which may guide the waterway construction during the planning period. The research results play a supporting role on the compilation of *Waterway Development Plan for the Yangtze Estuary*.

Keywords: waterway planning; regulation parameter; regulation scheme; the Yangtze River estuary; mathematical model

航道整治水位、弯曲率等整治参数是规划航道整治工程方案、确保整治工程科学性和合理性的基础, 是航道规划的关键和重点^[1]。本研究通过综合采用案例和理论分析、河势分析以及水流数学模型研究等手段, 确定长江口航道方案及整治线的布置。长江口航道整治线的布置既要满足长期稳定、能在相对较长的时期内指导航道建设的

要求, 又要具有适应河势以及经济发展的需求而有可动态的、局部调整的余地。鉴于长江口河道的复杂性以及航道事业不断发展的趋势, 本次航道整治方案及其相应的整治线是在现有航道规划目标和功能定位的基础上, 通过研究确定的阶段性整治方案, 以指导规划期内的航道建设。研究成果对长江口航道发展规划的编制起到了一定的支撑作用。

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 国家863计划项目(2012AA112508); 国家自然科学基金重点项目(50939003); 交通运输部科技项目(2012329A06040); 国家自然科学基金(51209135)

作者简介: 吴华林(1970—), 男, 博士, 研究员, 从事港口航道工程研究。

1 河口整治工程案例

黄浦江河口的整治取得了良好的效果。以黄浦江的整治经验为例,探讨潮汐河口航道整治的原则及方法,为长江口航道整治线布置提供参考。

黄浦江整治线的布置科学性主要体现在2个方面:

1) 长江口南港涨潮流进入黄浦江时有一定的弯曲度,故黄浦江口采用了微弯的整治线,在口门处采用了弧形导堤,其曲率半径约为2 400 m,导堤的走向与涨落潮流方向基本一致,这样使得口门段形成微弯河势,在弯道环流的作用下,水沙基本平衡。

2) 确定了合理的整治线宽度。经研究,规划出的整治线上端宽365 m,河口处宽820 m。除口外建有导堤外,凡是河宽大于整治线宽度者均采用丁坝和顺坝缩窄。如为了堵塞高桥沙北支老航道,在高桥沙上下游分别建顺坝,上游坝长1 700 m,下游坝长1 620 m;此外还开挖了较整治线窄的河弯凸岸和南支新航道。黄浦江整治线合理布置及相关整治工程的实施,有力地保障了黄浦江航道的改善,是上海港发展的重要基础(图1)。

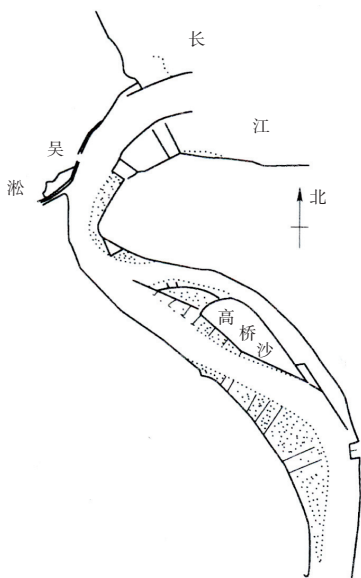


图1 黄浦江整治平面图(局部)

2 长江口航道整治水位

整治水位是指整治工程对滩险的航行条件有显著改善的水位。在平原河流一般指与整治建筑物头部齐平的水位,山区河流急流滩险整治水位一般取成滩水位。由于潮汐河口水流泥沙运动较内河更为复杂,潮汐河口航道整治水位的确定与内河航道有所不同。根据JTJ 312—2003《航道整治工程技术规范》:潮汐河口航道的整治水位,在河口潮流段,可采用洪、枯季大、中、小潮产生最大落潮流速时的平均水位;在口外海滨段,当整治建筑物兼有防浪或拦沙作用时,可高于该水位。

以长江口水文、泥沙、波浪监测系统采集的2005年8月—2007年7月的潮位、流速等数据为基础,参照长江口水文水资源勘测局近期的水文测验成果,按照JTJ 312—2003《航道整治工程技术规范》的方法,初步确定长江口各潮位站的特征水位(洪、枯季大、中、小潮产生最大落潮流速时的平均水位)(表1)。

表1 长江口各河段特征水位(理论最低潮面)

潮位站	徐六泾	石洞口	堡镇	南槽东	横沙	牛皮礁
特征水位/m	1.97	1.78	1.65	1.45	1.42	1.33

综合考虑长江口各河段的实际以及北槽深水航道治理工程等工程实践,考虑航道规划整体性及防浪挡沙的要求,建议将长江口区域分区分别采用不同的整治水位。其中南支石洞口以上取整治水位为2.0~2.5 m(理论最低潮面,下同);南支石洞口以下、北槽、南槽、南港、北港等区域取整治水位为1.5~2 m。该整治水位可作为长江口航道规划治理的参考。

3 长江口优良弯道形态参数

塑造合理的微弯型河道可以顺应自然水流特点和河床演变规律,减轻航道的淤积,提高航道的可维护性。目前涉及河道优良弯道形态的主要有钱宁^[2]、欧阳履泰^[3]、拉辛等人的研究成果,其

中拉辛公式在内河航道的弯道形态参数确定中发挥了较为重大的作用:

$$R = 100 \times \frac{\sqrt{Q}}{\theta} \quad (1)$$

式中: Q 为落潮平均流量 (m^3/s); θ 为航槽弯道中心角。

以上研究成果都是基于内河河流的基础上建立的, 尚不能直接应用于长江口潮汐河口。长江口各河段的优良弯曲率, 应在历史及现状优良河段的基础上, 适当参照河口及内河整治经验确定。

1) 历史优良河段: 南北港分汉口河段。

长江口在长期的演变过程, 在局部河段常常存在较为优良的河道形态, 在该形态下航道水深良好, 河势也较为稳定。这些历史优良河段的形态参数可以作为确定整治后各河段形态参数的参考。1973年的南北港分汉口优良河道形态对当前的南北港分汉口治理有较大的参考价值。1973年南支—北港主槽曲率半径约为11.2 km, 南支—南港曲率半径约为15.7 km, 南北港分流角约60°。该数据可作为该河段航道整治线布置的参考。

2) 现状优良河段: 南支主槽河段、南港主槽河段和北港主槽河段。

近期的南支主槽河段、南港主槽河段(瑞丰沙串沟发展前)和北港主槽河段河势较为稳定, 航道条件良好。南支主槽段和南港主槽段河道顺直段较长, 曲率半径稍偏大。近期扁担沙体和瑞丰沙沙体有冲刷和串沟发育的趋势, 除人工取砂、上游河势变化引起的水流变化等主要原因外, 水流自身具有的弯曲趋势也是造成这种现象的原因之一。

3) 人工整治优良河段: 北槽河段。

自1998年长江口深水航道治理工程实施以来, 北槽的航道整治建筑物已经完成。根据拉辛公式计算和动床物理模型试验的结果, 最终取定北槽的航槽轴线曲率半径为42.6 km。长江口深水航道治理实践及其整治效果表明, 北槽的弯道形态基本是合理的^[4-6]。

4) 入海河段。

北港拦门沙河段目前主槽(5 m等深线以内)曲率半径约为20.5 km, 南槽主槽约为39.2 km, 目前河势相对稳定, 该弯道形态值可作为整治线布置的参考。

3 整治线放宽率

潮汐河道由于其河床的潮蓄作用, 下游过水断面需要比上游过水断面具有更大的输水能力, 因此存在一个整治线放宽率的问题。现有整治线放宽率研究包括陈志昌公式、罗肇森^[7]公式以及JTJ 312—2003《航道整治工程技术规范》推荐潮汐河口整治线放宽率公式等。

长江口各河段的放宽率, 可以优良河段为基础, 参照有关研究成果确定。

1) 历史优良河段: 1973年南北港分汉口河段。

1973年的南北港分汉口河段放宽率(0.012), 可以作为当前南北港分汉口放宽率的参考。

2) 现状优良河段: 南支主槽、北港主槽和南港主槽河段。

现状优良河段的航道整治线放宽率应以现有稳定河道的形态参数为基础确定。

表2为南支主槽、北港主槽和南港主槽的主槽放宽率, 该放宽率可作为航道整治线放宽率的参考。其中南支主槽北边界基本沿扁担沙南侧3 m等深线, 南港主槽和北港主槽北边界分别沿瑞丰沙和堡镇沙沙脊线; 南边界均沿岸线。

表2 顺直优良河段主槽放宽率

河段	进口宽度/m	出口宽度/m	距离/km	放宽率
南支主槽	4 226	4 486	11.5	0.005 205
南港主槽	3 337	4 244	32.0	0.007 542
北港主槽	3 829	4 562	13.3	0.013 257

4 长江口航道整治方案及整治线研究

航道整治方案和整治线关系密切。一般来说, 航道整治方案受整治线指导, 同时整治线也不仅是一条虚拟的线, 而主要由整治工程所形成。长江口河道具有中等潮差、水沙潮量巨大、

地域宽广、水道众多、滩槽交错、河势多变等特点,航道整治方案以及其形成的整治线也缺乏成熟的理论和技术参照。为保证航道整治方案布置的合理有效,首先要以优良河段河道形态为基础进行初步布置;还需要以航道整治原则和目的为准绳,通过数学模型,对长江口航道整治线的布置作进一步的调整和论证。

4.1 研究思路

1) 各河段建设方案研究。

长江口整治工程由各河段的整治工程组成,按照功能的侧重点分别包括水土资源开发、河势控制和航道治理3大类。本次数学模型研究涵盖了这3大类的整治工程研究,具体包括:

①已建或已论证的整治工程数学模型研究成果。近年来,在《长江口综合整治开发规划要点报告(2004年修订)》等相关规划的指导下,长江口部分综合整治开发工程已经经过了严谨的数学模型和物理模型论证,工程布置方案已基本确定,如南支白茆沙整治工程;部分已建成,如中央沙圈围、青草沙水库工程和新浏河沙护滩、南沙头通道限流工程等。这些整治工程的布置方案,既是规划长江口航道整治线的边界条件,也是确定局部区域航道整治线的依托。本次数学模型研究吸收了这些论证工作的数学模型成果,作为规划航道整治线及整治方案的技术支撑。

②新规划整治工程的数学模型研究成果。根据航道建设的需要,以初步确定的航道整治线布置为指导,结合上文确定的整治参数,规划了新的航道整治工程。通过数学模型研究这些新工程方案的治理效果,一方面能选择较为合理的工程布置方案、保证工程的整治效果;同时也能实现调整航道整治线布置、保证航道整治线合理性的目的。

本阶段研究主要以潮流数学模型为主,部分整治方案还参照了“中心”已有的动床物理模型试验成果^[8]。

2) 长江口航道发展规划总体建设方案研究。

长江口航道总体建设方案不仅应保证各河段整治方案的合理性,还必须保证全河段航道整治方案整体布置的合理性。本研究在初步确定的航道整治线布置指导下,结合现有涉水工程建设和规划进展,规划了长江口区域规划期内的航道发展规划总体建设方案。通过数学模型研究总体建设方案的整治效果,不仅可以选择较为合理的总体建设方案、保证工程的整治效果;同时也能调整和确定航道整治线的总体平面布置、保证全河段航道整治线的合理性。

4.2 数学模型研究

采用了具有国际先进水平的Delft3D模型进行数值模拟,以定床水流模型研究不同航道规划整治方案下航道及周边水域水动力场的变化,在此基础上分析工程的整治效果、科学性和可行性,进而判断整治方案及整治线布置的合理性。

模型计算范围(图2)西起上游的天生港,东至外海-40 m等深线,北边界至连兴港的北侧,南边界包括杭州湾的整个区域,包括南北支、南北港和南北槽以及杭州湾在内的海域。其中东西向的长度大约240 km,南北向的宽度约为250 km。

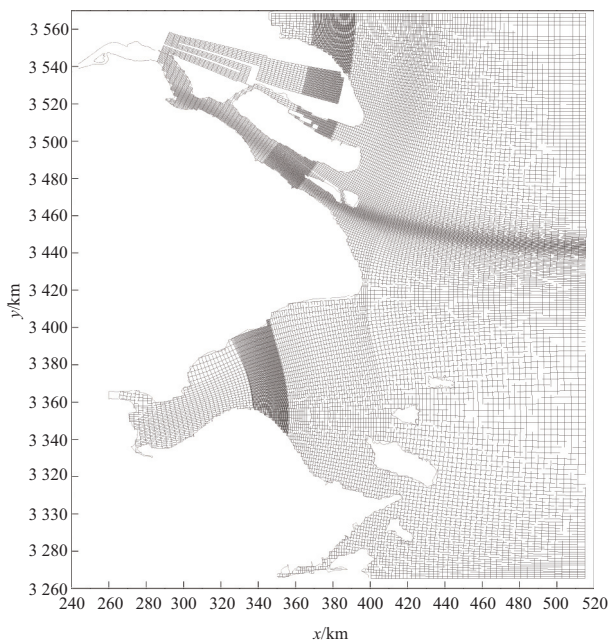


图2 计算范围及计算网格

计算区域长江南支—南港—南槽—北槽河段采用交通部长江口航道管理局2007年2月实测的1:10 000地形图；长江口北港中下段和北支部分河段采用2005年4月实测地形。

背景工程条件包括：长江口深水航道治理工程、横沙东滩圈围工程，中央沙圈围、青草沙水库工程、新浏河沙护滩和南沙头通道限流工程等。

计算水文边界条件包括上游流量条件和下游潮汐条件。上游主要包括了3类不同的水文条件:

1) 多年平均径流量和天文大潮的组合 (大通站流量 $29\,500\text{ m}^3/\text{s}$ +横沙站特征潮差 3.1 m) ;

2) 多年平均洪季流量和天文大潮的组合(大通站流量 $46\,000\text{ m}^3/\text{s}$ +横沙站特征潮差 3.8 m):

3) 极大洪水和天文大潮的组合(大通站流量 $92\ 600\text{ m}^3/\text{s}$ +横沙站特征潮差 3.3 m)。

4.3 研究结论

1) 根据航道整治线布置的各河段整治方案,对河势影响较小,不会引起大的河势变化。局部河势有所调整,调整的方向为有利于河势稳定的方向发展。航道水流条件普遍有所改善,航道整治效果良好。

其中北港航道治理方案为新增方案（图3），根据北港航道开发治理目标的不同，确定了分期实施方案。其中一期、二期分别通过整治加疏浚的工程措施，可分别达到8 m和10 m航道水深^[9]。

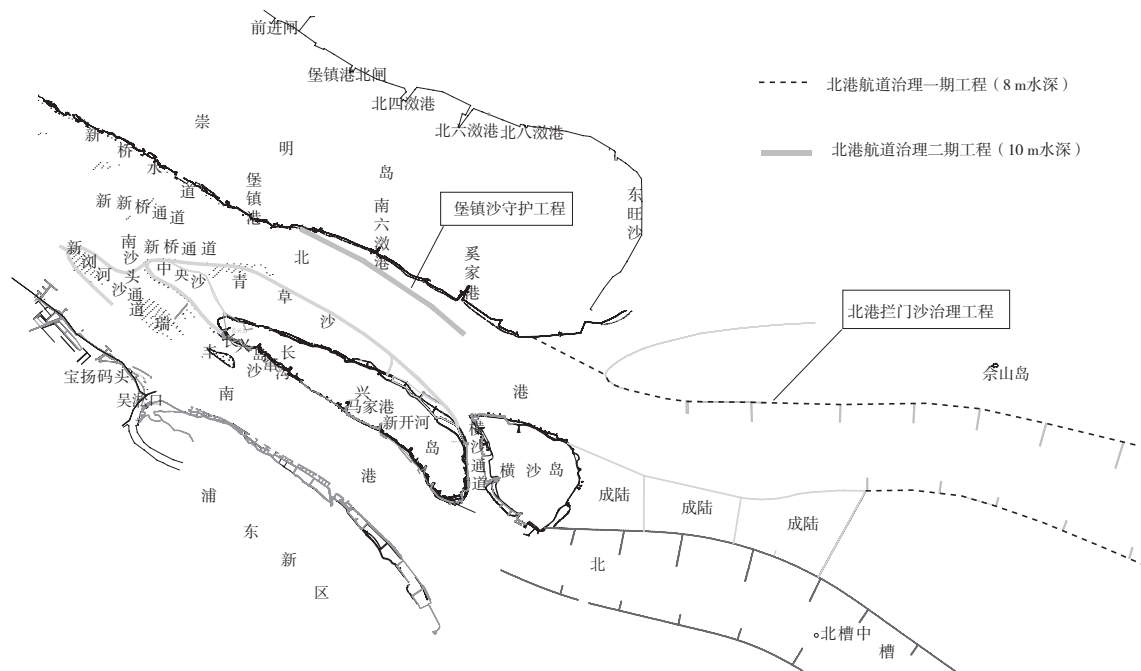


图3 北港航道分期治理方案

2) 长江口航道发展规划总体建设方案实施后效果如下:

①长江口河势格局不会有大的变化，除局部水域外，各主要水道流速变幅较小，南北港、南北槽分流比基本稳定，其中南港、北槽分流比略有增加，变化趋势有利于南港北槽深水航道。

②长江口各河段潮位变化较小,高潮位有所

降低,低潮位普遍略有抬高。在洪水期和极大洪水期,长江口各河段低潮位抬高值不大,均在0.04 m以内;除南槽外,高潮位降低值均在0.08 m以内,南槽高潮位减小稍多,达0.12~0.14 m。总体可以认为长江口航道发展规划总体建设方案对长江口的防洪排涝影响较小。

③各河段航道流场均有一定程度的改善,尤其是新桥通道、北港拦门沙河段、北槽上段、南

槽中上段、圆圆沙航道等；局部河段的不利演变趋势得到了一定程度的控制，如南门通道、新新桥通道、瑞丰沙串沟等，航道总体上整治效果良好。

以上研究成果表明：长江口航道整治线布局本身以及根据其布置的航道总体建设方案整治效果良好。

长江口航道总体建设方案见图4。

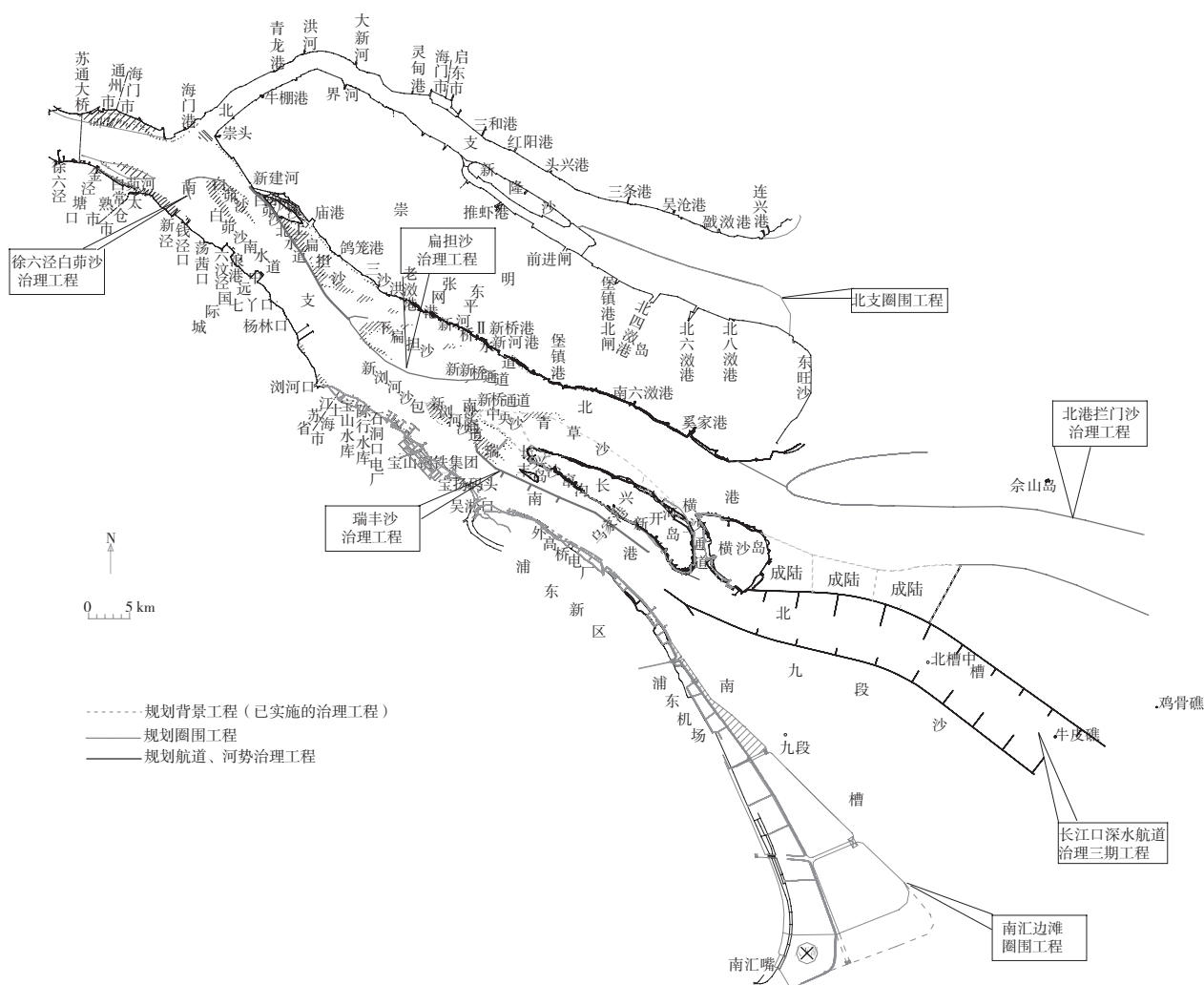


图4 2020年长江口航道总体建设方案

5 结语

1) 在河床演变分析尤其是优良河段形态参数分析的基础上，结合长江口水文泥沙等长系列实测资料，初步研究并提出了各河段整治水位、放宽率和弯曲率等参数，作为方案研究的基础。

2) 分局部和整体两个层次，通过潮流数学模

型计算，研究并确定了长江口各河段及整体航道整治方案，并同时确定了航道整治线。

3) 航道整治线等整治参数是航道规划的重要基础，理论上尚不成熟。本文直接以航道治理目标为方向，以数学模型研究为手段，确定的整治方案理论上虽未必完善，实践上有望达到整治目的。

参考文献:

- [1] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [3] 欧阳履泰. 试论下荆江河曲的发育与稳定[J]. 泥沙研究, 1983(4): 3-15.
- [4] 乐嘉钻, 陈志昌, 阮伟. 长江口深水航道的选择及其治理原则[J]. 水利水电工程学报, 2005(6): 1-7.
- [5] 陈志昌, 乐嘉钻. 长江口深水航道整治原理[J]. 水利水电工程学报, 2005(1): 1-7.
- [6] 金鏐. 长江口深水航道治理的可能性, 方针和前景[G]// 交通运输部水运司. 内河航道整治工程技术交流大会文集. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [7] 罗肇森. 河口治导线放宽率的计算[J]. 水利水电工程学报, 2004(2): 55-58.
- [8] 吴华林. 长江口航道规划要点报告-物理模型试验研究成果 [R]. 北京: 交通部科学院河口海岸科学研究中心, 2004.
- [9] 张俊勇, 吴华林. 长江口北港航道开发技术方案初步研究[J]. 水运工程, 2011(8): 102-105.

(本文编辑 郭雪珍)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

航道整治方案涉及整治水位、弯道形态、放宽率等关键技术参数, 这些关键参数确定得合理与否决定着整治工程的成败。本文以长江口航道规划整治参数及整治方案为研究对象, 选取历史优良、现状优良、人工整治优良河段的相关技术参数作参考, 研究制定长江口航道规划中整治水位、弯道形态、放宽率等关键技术参数, 并通过数值模拟手段分析评价整治方案对于周边环境的影响等。研究结论对于长江口航道规划有重要的支撑作用。

文章思路清晰、结构合理、论述充分, 对于航道整治工程的规划设计具有指导意义。



2014年12月

**评委简历:**

程泽坤, 博士, 教授级高工, 享受国务院特殊津贴, 中交第三航务工程勘察设计院有限总工程师, 主持大中型港口工程设计项目50余项, 获得省部级、国家级科技进步、设计、咨询奖30余项, 撰写技术论文40余篇。