



## 洋山深水港工程建设中堵汊问题的思考

庄 骅

(洋山同盛港口建设有限公司, 上海 201308)

**摘要:** 洋山深水港是我国首个海岛型大港, 辟建在以小洋山为主体的北岛链上, 与其隔水相遥的是以大洋山为主体的南岛链, 两岛链合围成一平面上呈漏斗状海域, 斗口西张, 直对悬沙浓度极高的杭州湾。为了获取足够的港区陆域和顺直岸线, 工程封堵了北岛链的3个汊道, 陆联诸岛, 极大地改变了自然环境。本文根据大量伴随工程进行的水文和地形观测资料, 以洋山海域所处特殊环境为基础, 从堵汊工程前后进出海域的潮流环流的作用以及港区主通道流场结构的变化等, 阐明不同工程期对海域水沙运动和 seabed 冲淤的影响, 并据此推断, 调整洋山深水港最初建港方案, 保存颗珠山汊道的畅通是科学合理的。

**关键词:** 洋山海域; 岛链; 堵汊工程; 潮流运动; 海床冲淤; 颗珠山汊道

中图分类号: TV 148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0080-06

### Thinking about blocking of branch channels in Yangshan deepwater port construction

ZHUANG Hua

(Yangshan Tongsheng Port Construction Co., Ltd., Shanghai 201308, China)

**Abstract:** Yangshan deepwater port is the first offshore island-port in China, built in the Northern Island chain made up mostly the small Yangshan island, the Southern Island chain made up mostly big Yangshan island is across the water. Two island chains form a funnel-shaped area facing west towards Hangzhou Bay which carries the very high suspended sediment concentration. In order to get enough docklands and straight shore line works, the project blocked the three branch channels of the North Island chain and connected the inlets, substantially changed the natural environment. Based on the special environment, according to mass of hydrological and bathymetric data accompanying with the works, and the changes in circulating current caused by tide and main channel flow field structure, this article stated the impact of water and suspended sediment movement during different works period, and suggested that adjusting the first Yangshan deepwater port construction plan, keeping Kezhushan branch is a scientific and rational choice.

**Key words:** Yangshan sea area; island chain; river branch closure works; tidal movement; seabed erosion and siltation; Kezhushan branch

舟山群岛北部的崎岖列岛是离上海最近的岛群, 紧靠长江口和杭州湾, 具有建设海岛型大港的地理条件。列岛分别由以大、小洋山为主体的南、北两个岛链组成, 其间峡道纵横, 上海国际航运中心洋山深水港辟建在北岛链上。为了获得足够长的泊位岸线和港区陆域, 规划将大乌龟至小岩礁之间的汊道封堵, 在其南侧形成长约 10 km

的顺直泊岸线, 与南岛链合成大口朝向杭州湾的漏斗状主通道海域。原型观测资料分析表明<sup>[1-6]</sup>, 汊道封堵短期内对海域的水沙运动及港区海床的冲淤影响极大。鉴于目前洋山港区水深条件维护较好的现状, 有必要通过回顾同步于工程开展的水文泥沙运动研究, 以工程前后所测得的观测资料为基础, 客观地分析和研究水沙运动和 seabed 冲

收稿日期: 2013-08-11

作者简介: 庄骅 (1969—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口及航道专业建设管理工作。

淤对工程的响应，评估封堵北岛链尚存的颧珠山—小洋山汊道的风险。

## 1 工程海域概况

### 1.1 海域地形

工程所在的崎岖列岛，南北岛链形成大口向着杭州湾的漏斗状海域（图1）。北岛链中在大乌龟、

颧珠山、小洋山、镬盖塘以及小岩礁之间原有4个主要汊道，南岛链中在双连山、大山塘、大洋山之间存在两个主要汊道，两岛链间的主通道西口大乌龟—双连山宽约8.0 km，东口小岩礁—大洋山东北端宽近1.0 km，约西口的1/8。主通道海区自西向东渐深，西口平均水深浅于12 m，东口附近有一深30~55 m 峡道段，最大水深近90 m。

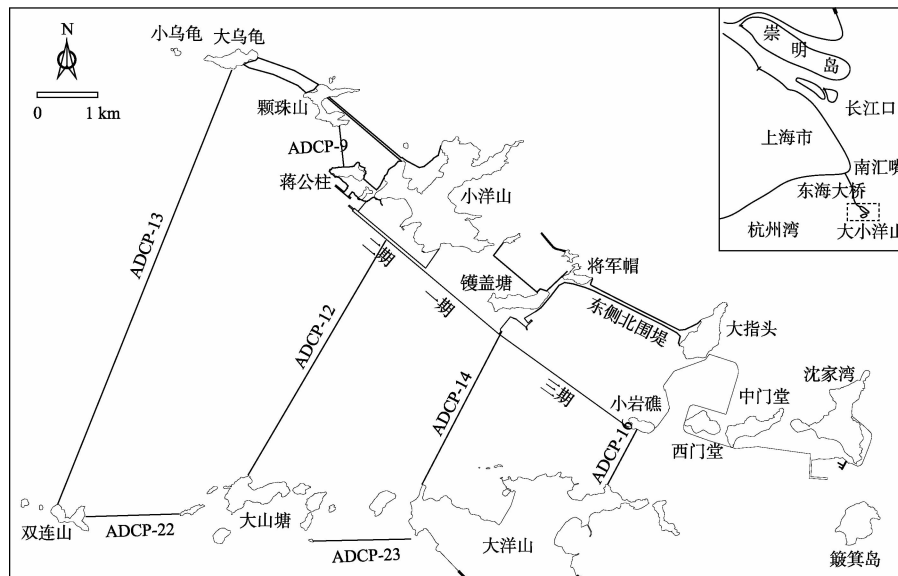


图1 洋山海域示意

### 1.2 水动力特征

潮流运动主控本海域的水动力，属非正规浅海潮类型，海域的西部比东部、北部比南部半日潮性质更强，越近岛边浅水分潮相对越大，潮差自东向西递增，多年平均潮差约2.73 m，最大潮差5.03 m，潮流主要呈东西向的往复运动，主要分潮流 $M_2$ 的椭圆长轴在1.0~1.3 m/s，椭率较小，一般在0.01~0.10。本海域以宽阔的西口张迎着杭州湾强劲的落潮流，落潮量自西向东汇聚，并通过南北两侧汊道和东口流泄外海；而进入杭州湾的潮波，穿过狭窄的东口和各汊道汇入后自东向西流散，从而形成本海域落潮流强于涨潮流的格局。

### 1.3 泥沙运动

长江口和杭州湾口外的泥沙，随水流挟运输移和扩散，是洋山海区泥沙的基本来源。工程海域含沙量较高，表层平均为 $0.892 \text{ kg/m}^3$ ，其中以西口门和西南部较高。按时序变化比较，含沙量冬高夏低，最高发生在2—3月；不同潮型比较，

大潮明显高于小潮，但这主要表现在上层水体；在潮周期中，上层含沙量涨潮时段略大于落潮时段，而下层含沙量落潮时段大于涨潮时段。

### 1.4 海床冲淤

据主通道海区各时期横向断面资料分析，从20世纪60年代至21世纪初海域西部10 m等深线不断缓慢西移，最多在西南部西移了2 450 m，反映洋山西部10 m以浅海床呈小幅冲刷状态，该时段累计冲刷了56 cm，年均1.5~1.9 cm；而以东深于20 m的海床相对稳定，冲淤基本平衡。

据以上概述<sup>[3,4,7-8]</sup>，工程前洋山海域平面上呈汇水聚沙的漏斗状地貌，在往复流主控的流场中，落潮时由杭州湾带入巨量的水沙，但在两岛链间，特别于北岛链间存有众多峡道，与深邃东口门一起共同承担水沙顺畅外泄，而涨潮时进入的水沙亦能经宽阔的西口通畅排出。水沙在海域呈大进大出之势，进出平衡，难于滞留，海床基本处于稳定状态，冲淤变化缓慢。

## 2 水沙运动对工程的响应

### 2.1 流场的变化

#### 2.1.1 潮流特征变化

1) 北港区沿岸水域：大乌龟—小岩礁之间的北岛链水域，工程前（2002年）平均落潮流速104 cm/s，涨潮流速65 cm/s，落潮流占明显优势，落、涨流速比为1.60。与工程前相比，东侧北围堤封堵（2005年）后，落、涨流速平均分别减小了34%和31%，特别在一期工程前流速剧减，落、涨流速分别减小了53%和46%。2006年底三期围堤工程完成后，工程前沿流速渐增，落、涨流速平均增大16%和37%，在一期工程前沿增幅最大，分别增大达56%和97%，涨潮流增大尤甚；在三期工程前沿，因涨潮流增速较大，几乎与落潮流速相当，落、涨流速比为1.15。

2) 主通道海域：工程前主通道海域平均落潮流速107 cm/s，涨潮流速79 cm/s，落涨速比1.35，落潮流占优。东侧北围堤封堵后，落、涨流速分

别减小12%和1%，落、涨流速比减小至1.21，落潮流优势减弱。三期围堤工程完成后，落潮流增加至101 cm/s，涨潮流减小7%为73 cm/s，落、涨流速比增加至1.38，落潮流优势又相对增强。1年后，流场进一步调整，落、涨潮流均增加，分别为112 cm/s和91 cm/s，涨潮流增幅大，落、涨流速比为1.12。

#### 2.1.2 潮致余环流的形成

以往复流为主的河口海湾，转流或憩流时段不长，但因流速减弱，是悬浮泥沙沉降和海床淤积的主要时段。在潮流运动中因边界或水深变化而导致的非线性效应，往往使港区海域在转流时段衍生潮致环流<sup>[9-10]</sup>，这种环流在洋山工程后出现，表现为：在一个半日潮周期中的涨落憩时段各出现1次（图2），时长各约0.5~1 h，一周期共3~4 h，其在潮流涨转落初期产生的环流，会使颗珠山汉道“吸纳”主通道内部分落潮流向外泄出，减少了东口门的落潮量。

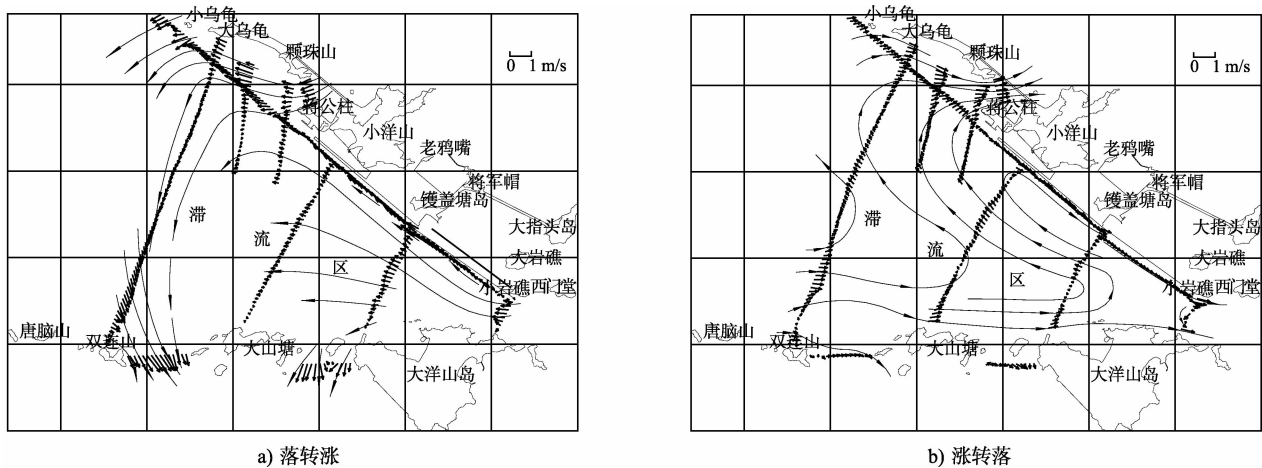


图2 洋山海域2007年10月涨、落憩潮汐弱环流

### 2.2 潮量变化

据各断面定点资料估算（表1），工程前西口蒋公柱—大山塘断面落潮量平均为14.71亿m<sup>3</sup>（半日潮，一涨一落，本段同），经小洋山、镬盖塘、小岩礁之间的两汉道流出的落潮量为1.24亿m<sup>3</sup>和2.36亿m<sup>3</sup>，分别占西口断面的8%和16%，由东口门外泄的落潮量为10.60亿m<sup>3</sup>，占西口断面的72%；经西口门向西流出的涨潮量为12.77亿m<sup>3</sup>，经北岛链前述两汉道流入海域的涨潮量为1.57亿m<sup>3</sup>

和1.26亿m<sup>3</sup>，分别占西口的12%和10%，由东口门进入的涨潮量为7.40亿m<sup>3</sup>，占西口门的58%。颗珠山—小洋山汉道落潮量和涨潮量分别为2.75亿m<sup>3</sup>和1.63亿m<sup>3</sup>，分别为该断面的19%和13%。可知，从蒋公柱断面进入海域的落潮量72%经主通道至东口排出，北岛链蒋公柱以下两汉道占24%，为前者的1/3。显然，若颗珠山汉道的落潮量也汇入蒋公柱—大山塘断面，将增加东部海域较大的落潮量。

表1 工程前各通道潮量的分潮比

断面	涨潮		落潮	
	潮量/亿 m <sup>3</sup>	占比例/%	潮量/亿 m <sup>3</sup>	占比例/%
蒋公柱—大山塘	12.77	100	14.71	100
大乌龟—一颗珠山	0.50	4	0.85	6
一颗珠山—小洋山	1.63	13	2.75	19
小洋山—镬盖塘	1.57	12	1.24	8
镬盖塘—小岩礁	1.26	10	2.36	16
小山塘—大贴饼	0.65	5	1.26	9
东口门	7.40	58	10.60	72

注: 百分比为各断面进出潮量占蒋公柱—大山塘断面潮量的比例。

2005年4月前完成了大乌龟—一颗珠山和小洋山—镬盖塘两汊道的封堵, 根据 ADCP 海流走航监测资料估算(断面布置见图1, 成果见表2), 大乌龟—双连山西口断面(ADCP-13断面)落、涨潮量(为全日潮, 两涨两落, 本段同)分别为37.69亿 m<sup>3</sup>和35.03亿 m<sup>3</sup>, 与工程前相比, 一颗珠山汊道(ADCP-9)的潮量增加, 东门口的落、涨

潮量占西口门的比例分别为57%和65%, 东口门的落潮量减少了15%, 而涨潮量比例则增加了7%。显然部分本应从东口门外泄的流量, 转从一颗珠山汊道外泄。2006年10月三期工程完成了镬盖塘—小岩礁大汊道的全封堵, 东口门断面的落涨潮量分别达25.21亿 m<sup>3</sup>和22.94亿 m<sup>3</sup>, 落潮量比例增大了4%, 涨潮比例未变。

表2 工程后各通道潮量的分潮比

断面	测次日期 (年-月)	涨潮		落潮	
		潮量/亿 m <sup>3</sup>	占比/%	潮量/亿 m <sup>3</sup>	占比/%
ADCP-13	2005-04	35.03	100	37.69	100
	2006-10	35.09	100	41.08	100
ADCP-16	2005-04	22.81	65	21.35	57
	2006-10	22.94	65	25.21	61
ADCP-9	2005-04	4.70	13	5.06	13
	2006-10	3.36	10	5.73	14

注: 百分比为各断面进出潮量占 ADCP-13 (小乌龟—双连山) 断面潮量的比例。

虽然因为断面位置的不同、测验方式和计算方法的差异等, 工程前后潮量变化的可比性较小, 但从中可以看出, 随着堵汊口的增加, 需要通过东口门外泄的流量也随之增大, 增加了“负担”, 而一颗珠山汊道在一潮周期中排出的落潮量约5亿~6亿 m<sup>3</sup>, 减小了东口门的“负担”, 也减轻了主通道东部的壅水现象。

### 2.3 海床冲淤变化

据各汊道封堵顺序, 按主通道海域41.5 km<sup>2</sup>面积统计范围估算<sup>[1-2, 7-8]</sup>, 计算值仅从地形变化中进行分析, 包含了施工影响, 有如下结论:

1) 2002年10月—2003年9月, 一期小洋山—镬盖塘汊道封堵后, 汊口前沿潮流速下降, 在围堤前出现大片舌状淤积体, 体积约581万 m<sup>3</sup>;

2) 2003年9月—2004年4月, 实施西部大乌龟山—一颗珠山较窄的堵汊工程, 坝前形成了约100万 m<sup>3</sup>的淤积体, 同时二期工程在小洋山南侧建成的3100 m顺直岸线前以及主通道西部海床产生面积约12.9 km<sup>2</sup>的淤积, 占统计面积的31%, 淤积量为1160万 m<sup>3</sup>。但该时期主通道东中部及大洋山一侧却出现大面积冲刷, 面积达25.3 km<sup>2</sup>, 占总面积的61%, 冲刷量为2699.9万 m<sup>3</sup>, 全海域以冲刷为主;

3) 2005年4月—2006年4月, 完成东侧北围堤和其东口大指头—大岩礁—小岩礁的封堵, 工程规模大, 其周边的潮动力降幅达35%, 造成新堤前沿和主通道西南部大面积淤积, 面积约27万 km<sup>2</sup>, 占统计区域的65%, 该时段为工程建

设以来最大的淤积期；

4) 2006年4月—2007年4月，镬盖塘—小岩礁汉道南口封堵后，海域淤积量减少，淤积面积为 $18.7\text{ km}^2$ ，占统计面积的45%；

5) 2007年4月—2010年4月，工程竣工后3年间，通道海床淤积略强，淤积面积 $24.9\text{ km}^2$ ，占总面积的60%，淤积量为 $3\,262\text{ 万 m}^3$ ，淤积主要在近大洋山一侧（淤积量达 $684\text{ 万 m}^3$ ）和二期港池一带（淤积量 $209\text{ 万 m}^3$ ），蒋公柱边滩和一期港池西南也有淤积；通道冲刷面积约 $16\text{ km}^2$ ，占总面积的40%，冲刷量为 $3\,647\text{ 万 m}^3$ ，冲刷区域集中在三期港池附近。

### 3 工程海域冲淤机理分析

#### 3.1 进出海域泥沙的平衡

由于本海域极少有底沙在海床上推移运动，自然环境下，由落潮流经西口进入海域与通过各汉道和东口泄出的水沙量基本保持平衡，而由涨潮流经东口和各汉道进入海域与通过西口流出的沙量也基本平衡，从而使本地海床基本保持冲淤平衡状态。据2008年10月水沙观测资料统计<sup>[11-12]</sup>，工程后每一周日，落潮经西口有 $44.36\text{ 亿 m}^3$ 的潮量和 $560\text{ 万 t}$ 悬沙进入海域，然后通过东口和三个汉道共外泄潮量 $44.29\text{ 亿 m}^3$ 和沙量 $375\text{ 万 t}$ ，则在一周日的落潮过程中，净外泄的潮量不足 $0.1\text{ 亿 m}^3$ ，但约有 $185\text{ 万 t}$ 的泥沙滞留在海域，这个过程造成海域淤积；而涨潮流经东口和各汉道进入海域的潮量和沙量为 $37.15\text{ 亿 m}^3$ 和 $272\text{ 万 t}$ ，经西口流出的分别为 $38.31\text{ 亿 m}^3$ 和 $350\text{ 万 t}$ ，则在一周日的涨潮过程中，从本海域净外泄了 $1.16\text{ 亿 m}^3$ 的潮量和 $78\text{ 万 t}$ 的泥沙，即涨潮过程中，会造成海床的冲刷。而一个完整的涨落潮周期约有 $107\text{ 万 t}$ 的悬沙净留在主通道中，这是造成海床淤积的基本沙源。据这一系列观测资料分析表明，进入本海域的泥沙主要在落潮过程中经落潮流携入，而部分悬沙滞留于海域，为海床淤积提供沙源，形成淤积环境，而涨潮过程，涨潮流却能从本海域外泄部分悬沙，形成冲刷环

境，而大潮期间海域的淤积多于冲刷。

#### 3.2 流场结构与冲淤变化

本海域水动力受半日潮波运动主控，基本呈现每周日东西方向两涨两落流动，由于受地形影响，潮波略变，造成落潮流强于涨潮流，工程后海域复杂的边界不断改变，使潮流这种涨落结构随之也不断变化，从而关联到海床的冲淤变化。以水深 $10\text{ m}$ 等深线迁移作为海床冲淤的标志，据落涨潮流强度的相对变化，当落潮流速与涨潮流速的比值增大，即落潮流相对增强，该等深线东移，表明海域浅水区扩大，海床向东淤涨；而该比值减小，涨潮流相对增强， $10\text{ m}$ 等深线则向西移，海域浅水区缩小，海床冲刷。

#### 3.3 潮致环流的作用

附近海域的杭州湾悬沙浓度甚高，同为以往复流主导的漏斗状海域，但海床却保持长年的稳定，其主要原因除泥沙随潮流往复大进大出海外，还有因潮流的非线性效应产生的绕湾过程中的潮致环流，将从长江口直接输入杭州湾北部的泥沙环转至南部向外输出，致使泥沙进出平衡。本海域与其类似，除由涨落潮流直接输移泥沙进出主通道外，同时在往复潮流转流期间形成的潮致环流（图2），在主通道中转向，经颗珠山汉道向外海输出水沙，从而减少滞留在海域内的泥沙。

### 4 讨论

据工程汉道测流和地形资料可知，洋山海域均明显存在潮流前进方向右侧的流速大于左侧现象，对南北走向的汉道而言均是东侧落潮流强，西侧涨潮流强，并分别在海床上形成落潮冲刷槽和涨潮冲刷槽，这类客观存在的现象犹如柯氏效应在北半球的反应。本工程竣工后，在小洋山岛链南形成长约 $5.6\text{ km}$ 的顺直岸界，更凸显上述效应的作用，使主通道海域沿小洋山侧涨潮流增强，涨潮流主轴北偏，而沿大洋山侧落潮流增强，落潮流主轴南移。据上述涨潮流相对增加会造成海床冲刷及落潮流相对增加会造成淤积的分析，工程后潮动力分布的这种变化与形成主通道海床西

南部淤积的现象有相当的关联性。

大、小洋山组成的南北岛链犹如“侧漏”的漏斗形海域。工程前因“侧漏”效应,水沙进出海域均较为通畅,但经工程堵汉后,便形成一单侧形态完整的“漏斗”,这种地形一般具有汇水聚沙的功能,“漏斗”的深宽比越大这种功能越强(“深”指主通道方向的长度,“宽”指南北岛链之间的平均宽度)。特别工程海域本身为一高含沙区,“漏斗”的大口正朝着有丰富沙源的杭州湾,落涨潮流携带巨量泥沙日以继夜地不断进出海域,地形冲淤环境较为脆弱。工程封堵了北岛链的3个汉道,每堵一个都或轻或重地增大了海域的淤积范围和淤积量。

在东口门不可能拓宽增深的地貌条件下,是否继续封堵北岛链中仅存的颗珠山汉道的问题便凸显。据跟踪一至三期工程建设的一系列观测资料分析后推论,如果颗珠山汉道封堵,首先从地形上主通道实质上增长超过4 km,“漏斗”的深宽比增大,会使落潮主流更强,水沙更多地汇入海域,辅以外泄水沙的潮致环流难以形成,在潮流结构上,落、涨比值将增大,这一系列变化均可能增加海域的淤积。据实测资料初步估算,如果颗珠山汉道被堵,大潮一周日内约新增5亿~6亿 $m^3$ 的潮量进入海域内,除直接增加47.1万t泥沙入域外,还因增加海域东部的壅水,从而间接地递增泥沙的滞留,在东口落潮外泄泥沙几近饱和的情况下,这些新增泥沙必然滞留于海域内,增加海床的淤积。

## 5 结论

洋山港三期堵汉工程竣工6 a后,海域的水沙环境和海床地形逐渐处于新的动态平衡中,尤其在小洋山港区一侧,特别是颗珠山汉道南部一直处于冲刷环境中,颗珠山汉道的分水分沙特性以及因此而成的“引流”作用,使其在洋山港区水

深维护中的地位逐渐显得重要,如果封堵颗珠山汉道,现有外泄水沙的潮致环流消失,可能会给洋山港区带来一定的风险。因此,在目前洋山港区整体运行较好的前提下,应以保持颗珠山汉道为佳。

## 参考文献:

- [1] 张志林,朱巧云,陈建民,等. 崎岖列岛堵汉工程对洋山深水港区冲淤影响分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(12): 5-16.
- [2] 虞志英,李身铎,张志林. 上海国际航运中心洋山深水港工程动力地貌响应[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [3] 俞航,陈沈良,谷国传. 崎岖列岛海区水沙特征及近期冲淤演变[J]. 海岸工程, 2008, 27(1): 10-20.
- [4] 左书华,张宁川,李蓓,等. 洋山深水港海域悬沙浓度时空变化及其动力原因[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2009(3): 72-82.
- [5] 杜景龙,杨世伦,贺松林,等. 洋山港堵汉工程对临近海底冲淤影响分析[J]. 海洋工程, 2008, 26(4): 53-59.
- [6] 左书华,李蓓,杨华. 洋山港建设时期海域通道冲淤变化特征分析[J]. 水道港口, 2009, 30(1): 15-19.
- [7] 华东师范大学,长江口水文水资源勘测局. 上海国际航运中心洋山深水港区水沙运动冲淤特征和堵汉工程影响分析[R]. 上海: 华东师范大学,长江口水文水资源勘测局, 2006.
- [8] 华东师范大学,长江口水文水资源勘测局. 上海国际航运中心洋山深水港区海域地形冲淤分析研究报告[R]. 上海: 华东师范大学,长江口水文水资源勘测局, 2008.
- [9] 陈宗镛,郑文振. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 北京: 海洋出版社, 1986.
- [10] 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [11] 张志林,邓乾焕,朱巧云,等. 洋山港悬沙输移对冲淤环境的影响研究[J]. 水运工程, 2011(4): 67-76.
- [12] 杨华,李蓓,吴明阳,等. 上海国际航运中心洋山深水港工程泥沙问题研究综述[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 310-316.

(本文编辑 郭雪珍)