

· 长江南京以下12.5 m深水航道建设(5) ·



长江南京以下12.5 m深水航道一期工程 通州沙河段齿坝方案研究*

沈 淇, 吴华林, 刘高峰, 万远扬, 顾峰峰

(上海河口海岸科学研究中心 交通部河口海岸重点实验室, 上海 201201)

摘要: 为了成功实现12.5 m深水航道由太仓上延至南通的预定目标, 拟对通州沙河段洲滩关键部位进行必要的工程整治, 整治措施主要包括修建潜堤及齿坝。为了明确通州沙河段整治工程各齿坝的功能定位, 采用SWEM2D模型建立了覆盖通州沙河段的平面二维潮流数学模型, 通过研究工程实施前后周边流场变化情况来确定整治工程各齿坝工程的功能, 为最终方案设计提供科学依据。研究结果表明, 通州沙河段整治工程上游5根齿坝主要以固滩稳槽为主, 下游3根齿坝则以导流增深为主, 结合潜堤工程的修建, 工程对于通州沙航道困难段整治主要以减小狼山沙甬沟分流、增加航道困难段落潮动力为主。

关键词: 12.5 m深水航道; 整治工程; 通州沙河段

中图分类号: TV 142.3; TV 148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)04-0001-06

Groin engineering of channel regulation project in Tongzhousha shoal reach

SHEN Qi, WU Hua-lin, LIU Gao-feng, WAN Yuan-yang, GU Feng-feng

(Shanghai Estuarine & Coastal Science Research Center, Key Laboratory of Ministry of Communications, Shanghai 201201, China)

Abstract: To achieve the projected goal of extending a 12.5 m deep water channel upward from Taicang to Nantong, a regulation project on the key parts of Tongzhousha shoal is designed to improve its ability of navigation. The regulation project includes the construction of submerged dike and groin. To investigate the function of the groin and provide the scientific basis for its final design, a 2D hydrodynamic numerical model of Tongzhousha shoal reach based on SWEM2D model is established to study the variation of tidal current after completion of the regulation project. The results show that the first five groins at upper stream are mainly to consolidate the shoal as well as stabilize the channel, and the other three groins are mainly to divert the water and deepen the water depth. The regulation project including the submerged dike and groins is mainly to reduce the water distribution at Langshan shoal channel and increase the flow dynamics at the shallow section.

Key words: 12.5 m deep water channel; regulation project; Tongzhousha shoal reach

为充分发挥长江口12.5 m深水航道治理工程的综合效益, 适应沿江生产力发展的需求, 促进江苏沿江产业结构调整和提高港口综合服务能力, 加快上海国际航运中心建设, 深化长江三角洲及长江中下游地区改革开放, 促进区域经济协调发展和产业升级, 尽快实现长江下游航道与长

江口12.5 m深水航道相衔接, 我国站在战略高处决策, 决定实施长江南京以下12.5 m深水航道建设工程^[1]。

长江南京以下12.5 m深水航道建设存在多个碍航浅段, 使得该区域12.5 m航槽不稳或间断, 其中通州沙是该区段的重点碍航浅段之一。根据前

收稿日期: 2012-10-13

***基金项目:** 交通运输部科技项目(2011-328-A06-70; 2012-329-A06-040); 国家自然科学基金(41206072)

作者简介: 沈淇(1985—), 男, 硕士, 主要从事河口海岸水动力学、泥沙数值模拟研究。

期研究成果^[1]，本次通州沙河段航道整治工程主要采用修建潜堤及8根齿坝。为了明确通州沙河段整治工程各齿坝的功能定位，本文采用SWEM2D^[2]模型建立了覆盖通州沙河段的平面二维潮流数学模型，通过研究工程实施前后周边流场变化情况来确定本次整治工程各齿坝工程的功能，为最终方案设计提供科学依据。

1 工程区域概况

1.1 自然条件

通州沙河段地处西界港及徐六泾之间，是连通长江口及长江内陆流域的主要交通枢纽（图1）。通州沙河段作为典型的暗沙型多分汊河段，河道宽阔，江中多暗沙心滩，其进口段被通州沙沙体分为通州沙东、西水道，出口段被自左而右的新开沙、狼山沙和铁黄沙分为新开沙夹槽、狼山沙东、西水道以及福山水道。根据2011年8月工程河段水深资料显示（图1），通州沙河段航道主走通州沙东水道及狼山沙东水道，航道轴线区域水深普遍大于12.5 m，仅在狼山沙左缘附近（图1圆圈范围），水深条件不满足12.5 m航道要求，是本次深水航道上延工程中主要的航道困难段^[3]。

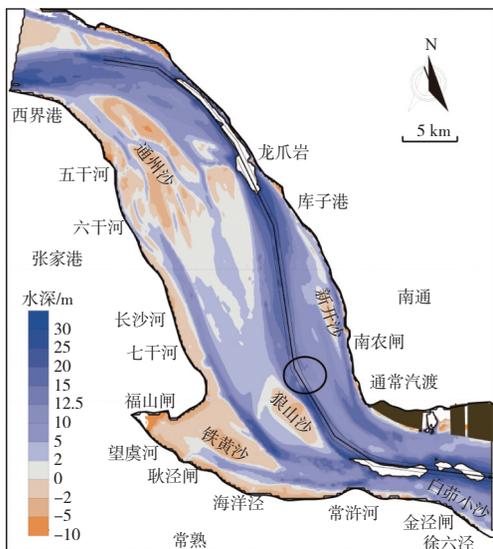


图1 工程河段深水分布

该河段平均潮差约为2.1 m，平均潮位约在0.9 m，受径流影响，洪季平均潮位较枯季一般高40~80 cm。长江落潮主流在通州沙河段主走通州沙东水道及狼山沙东水道，落潮流速大于涨潮流

速，落潮分流比在通州沙东水道区域约占90%，在狼山沙东水道处约占70%。涨潮主流在狼山沙区域分别沿狼山沙东西水道向上游流去，其中狼山沙东水道涨潮分流比约为54.6%，西水道涨潮分流比约为39.1%，涨潮流在通州沙附近主流仍走通州沙东水道，涨潮分流比约在82%。

1.2 工程方案

根据前期研究成果^[1]，长江南京以下12.5 m深水航道工程通州沙河段航道整治工程平面布置方案见图2。从图中可以看到，本次工程整治措施主要包括修建潜堤及8根齿坝，其中，潜堤工程经后期深化研究后^[3]，确定其堤身高程呈自上而下逐渐抬高趋势，在狼山沙附近，潜堤高程为0.0 m（表1）。通州沙整治工程前期方案其8根齿坝坝头高程均为-5.0 m，高程自坝头至坝根以线性过渡，坝根高程与潜堤堤身齐平。

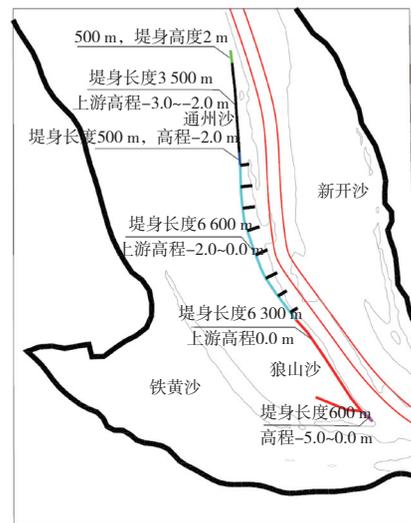


图2 通州沙河段整治工程平面示意图

2 二维潮流数学模型

2.1 基本方程

本次研究采用上海河口海岸科学研究中心自主研发的SWEM2D潮流数学模型，该模型采用无结构网格，可以很好地拟合研究区域的岸线走向及工程布置；其采用守恒性较好的有限体积法对控制方程进行数值求解，应用Casulli^[4]半隐格式来离散连续方程中流速梯度项和动量方程中水位梯度项以此提高模型计算稳定性。对流、扩散项和科氏力项采用显示格式，摩阻项采用隐格式。具

表1 通州沙整治工程潜堤工程布置情况

工程内容	布置位置	高程 (85高程)
通州沙潜堤段	通州沙下部左缘-2.0~-5.0 m等深线附近	上游段 (长500 m), 堤身高度2 m 过渡段 (长3 500 m), 高程-3.0~-2.0 m 下游段 (长500 m), 高程-2.0 m
过渡段	通州沙与狼山沙衔接处左缘	-2.0~0.0 m
狼山沙潜堤段	狼山沙左缘-2.0 m等深线附近	0.0 m
狼山沙尾部潜堤段	狼山沙头部沙脊线	0.0~-5.0 m

体离散后连续方程及动量方程形式如下:

$$\frac{\eta^{n+1} - \eta^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \nabla \cdot (\mathbf{q}^n + \mathbf{q}^{n+1}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\mathbf{q}^{n+1} - \mathbf{q}^n}{\Delta t} + \nabla \cdot (\mathbf{q}^n \times \mathbf{V}^n) = \frac{1}{2} g D (\nabla \eta^n + \nabla \eta^{n+1}) - \frac{g |\mathbf{q}^n| |\mathbf{q}^{n+1}|}{C^2 D^2} - 2 \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{q}^n + \nabla [A_H (\nabla \cdot \mathbf{q}^n + \nabla \cdot \mathbf{q}^{n+1})] \quad (2)$$

式中: η 为水位值, $D=H+\eta$ 为总水深; \mathbf{q} 为矢量流量, $\mathbf{v}=\mathbf{q}/D$ 为流速; $\boldsymbol{\Omega}$ 为地转速度; C 为谢才系数, 描述了床面摩阻效应; A_H 为涡黏摩阻系数, 这里采用了基于SMAGORINSKY子网格模型^[5]的二维平面大涡模型。图3和图4分别为模型计算的局部网格图以及模型验证站点分布情况。模型计算的时间步长取2 s, 干湿判别水深取为0.2 m。验证期间, 模型开边界采用16个天文分潮的调和函数进行预报, 上游边界采用实际大通流量。

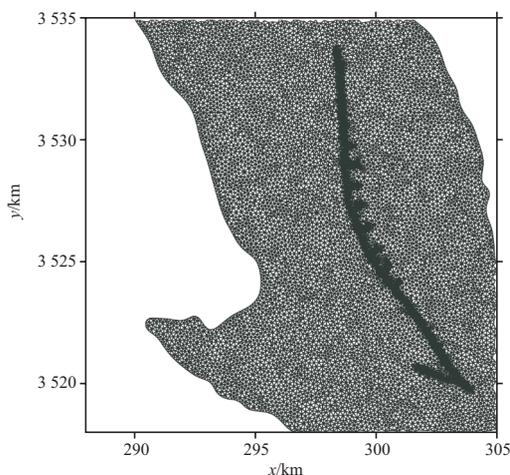


图3 模型局部网格

2.2 模型验证

本次研究模型的率定与验证工作分别对照了多个年份潮位、流速流向、分流比的实测值和计算值, 验证结果较好, 本模型能反映出该河段的

潮流特征, 且精度满足工程和规范要求^[3], 验证站点位置见图4。

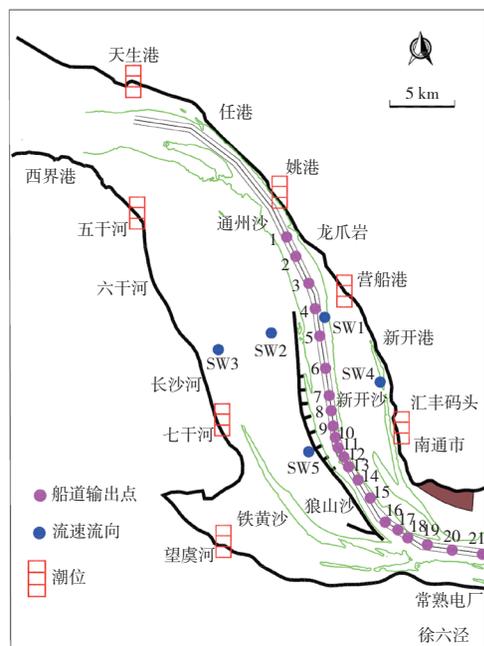


图4 模型验证点分布

3 工程影响分析

3.1 试验方案

本次试验方案布置主要从研究齿坝功能着手, 共设计了3个试验方案。试验期间, 计算水文条件包括洪季大潮、枯季大潮以及98洪水大潮, 其中洪季流量采用多年洪峰流量56 800 m³/s, 枯季流量取多年平均枯水流量16 500 m³/s, 98洪水流量取为82 300 m³/s。外海潮汐采用潮差累计频率为85%的潮型进行计算。本底方案为无通州沙航道整治方案, 试验方案设计如下: 1) 试验1: 仅考虑通州沙护滩潜堤工程, 去掉8条齿坝; 2) 试验2: 在通州沙护滩潜堤工程基础上, 去掉上游5根齿坝, 保留最后3根齿坝, 坝头高程为-5.0 m; 3) 试验3: 在通州沙护滩潜堤工程基础上, 保留

8根齿坝，坝头高程均为-5.0 m；4) 试验4：在通州沙护滩潜堤工程基础上，上游5根齿坝堤身高度2 m，第6根齿坝坝头高程-7.0 m，第7, 8根齿坝坝头高程为-5.0 m。枯季及98洪水结果与洪季类似。

3.2 结果分析

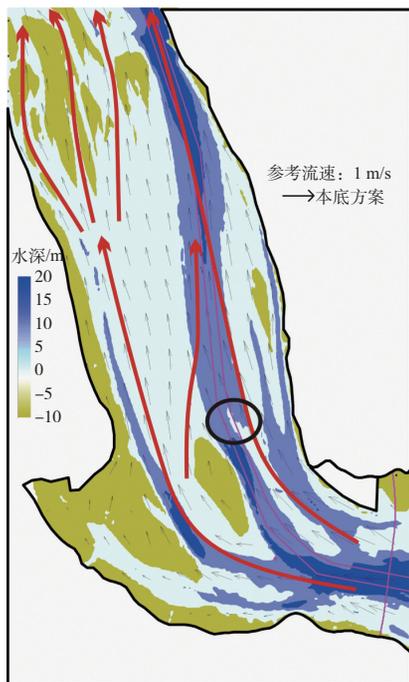
图5为模型计算的本底方案下工程河段涨落急流速矢量图。从图中可见：在通州沙西水道处，

水深较浅，周边岸滩较多，涨落潮流路较为分散；而在通州沙东水道区域，水深较深，涨落潮流主走通州沙东水道。结合工程河段水深可以看到（图1），在通州沙与狼山沙之间存在-2 m以深的窄沟，该处涨落潮期间均存在一支分流分别流入狼山沙东、西水道，窄沟分流势必对狼山沙东水道主流发展不利，应是本次整治工程重点研究区域。

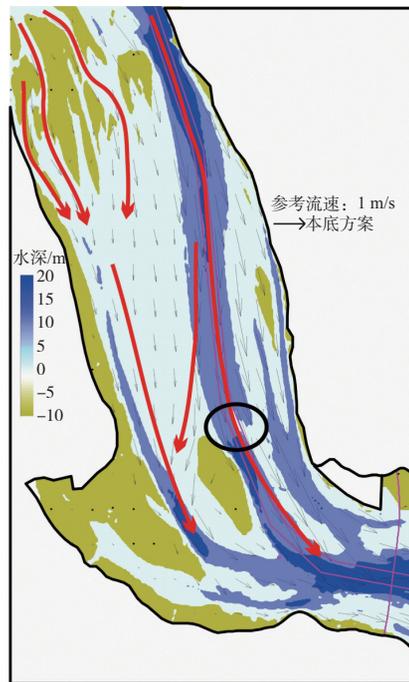
图6分别为模型计算的各试验方案下通州沙河段落急流速变化图。从图中可以看出：

1) 试验1条件下，与本底无工程相比，在通州沙窄沟段潜堤附近，受潜堤工程局部扰流的影响，落急流速有所增加，流速增幅最大约在0.3 m/s。在潜堤工程周边，落急流速略有减小，流速减幅仅在0.02~0.05 m/s，其护滩作用较小。而随着齿坝工程的实施（图6b), c), d)），齿坝工程起到了较好的护滩作用，在齿坝工程附近，落急流速减幅均在0.2 m/s以上。比较试验2及试验3, 4落急流速变化图可以看出，其上游5根齿坝的实施对通州沙东水道落急流速影响较小，落急流速主要在齿坝周边有明显减小，试验4条件下，上游5根齿坝较试验3下高程均有所降低，而从试验4落急流场影响效果看，上游5根齿坝影响效果与试验3类似，仅在齿坝周边流速略有减小，其对通州沙主航道无较大影响，因此可以认为，上游5根齿坝主要以固滩稳槽为主，齿坝堤身高度为2 m条件下，仍能起到较好的护滩效果。

而对于后3根齿坝，比较试验1及试验2的结果可以看出，通过修建下游3根齿坝，通州沙东水

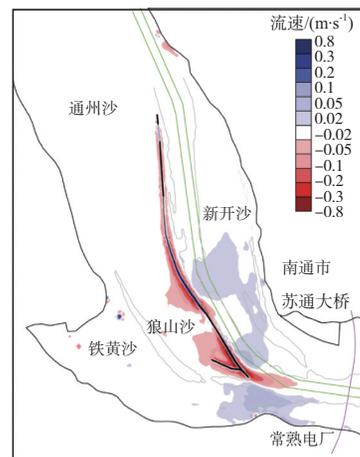


a) 涨急

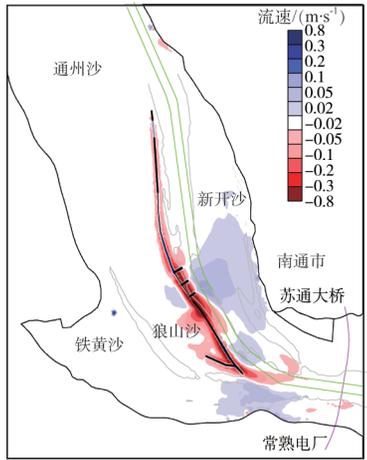


b) 落急

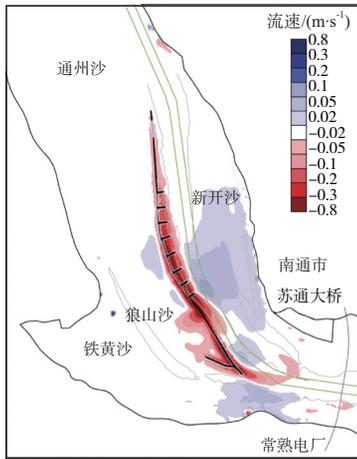
图5 通州沙河段落急流速矢量



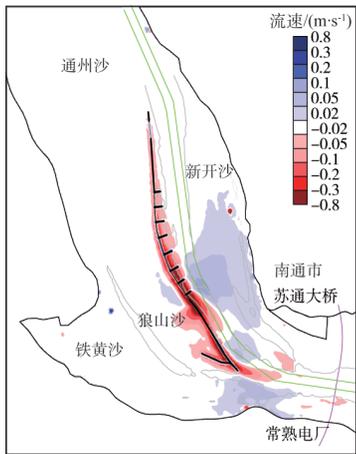
a) 试验1-本底方案



b) 试验2-本底方案



c) 试验3-本底方案



d) 试验4-本底方案

图6 通州沙河段涨落急流速矢量

道困难段区域落急流速较无齿坝的情况, 落急流速有明显增大, 最大流速增幅约在 0.15 m/s。比较试验 2, 3, 4 的计算结果, 可以看到, 各试验方案下, 各落急流速变化总体差异不大, 试验 4 条件下第 6 根齿坝高程要略低于试验 3 条件下的齿坝

高程, 其后 3 根齿坝影响范围要略小于试验 3 的影响。可见, 后 3 根齿坝高程的变动对主航道困难段区域流速变幅存在一定影响, 因此对于下游 3 根齿坝, 其齿坝功能主要以导流增深为主。

为了更好地说明通州沙齿坝功能及其对主航道影响, 图 7 分别为模型计算的试验 1, 2, 3 方案下航道测点落急流速变化图, 输出点位见图 4, 其中测点 10 ~ 测点 13 位于通州沙航道困难段区域。从图中可以看出:

1) 与本底无工程相比, 仅考虑潜堤工程的情况 (试验 1), 落急流速除困难段区域外, 流速普遍略有减小, 而在航道困难段区域, 落急流速略有增加, 最大流速增幅约在 0.03 m/s。根据本底方案下工程河段落急流速矢量图可以看出 (图 5), 本次潜堤工程过渡段位于狼山沙窄沟区域 (图 2), 该处在涨落潮期间始终存在一分流分别流进狼山沙东、西水道, 因此该处潜堤工程的修建主要起到导流增深的作用, 通过减小狼山沙窄沟分流, 以达到增加困难段落潮动力的目的。对于其上下游河段潜堤工程, 由于工程周边落急流速普遍有所减小, 潜堤工程主要以固滩稳槽为主。

2) 从各齿坝功能来看, 在保留 8 根齿坝的情况 (试验 3), 测点 6 ~ 9 区域 (即上游 5 根齿坝附近), 落急流速有一定减小, 最大流速减幅约在 0.05 m/s, 若去除上游 5 根齿坝, 仅保留下游 3 根齿坝下 (试验 2), 与试验 3 相比, 落急流速有所增加, 因此可见, 对于上游 5 根齿坝, 其作用主要以固滩稳槽为主。而对于下游 3 根齿坝, 其位于本次航道困难段区域, 比较试验 1 及试验 2, 3 结果可以看出, 通过修建 3 根齿坝能较大幅度增强本次航道困难段区域落潮动力, 有利于航道困难段的顺利打通。因此, 本工程下游 3 根齿坝主要以导流增深为主。

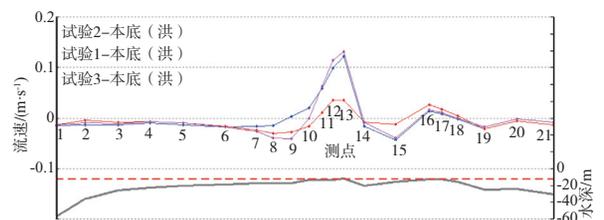


图7 通州沙河段航道沿程落急流速变化

图8为试验方案4实施两个平水平沙年后^[6], 工程方案引起的地形冲淤分布情况(试验方案4-本底方案), 从物理模型计算结果看, 在各齿坝之间, 总体以淤积为主, 平均淤积幅度在0.5~1.0 m, 起到了一定的护滩效果, 而在主航道处, 上游5根齿坝区域附近, 地形处于微冲状态, 冲刷幅度不大, 因此对于上游5根齿坝, 其主要以固滩稳槽为主。而对于下游3根齿坝, 在主航道处, 尤其在航道困难段区域, 其地形冲刷幅度较大, 平均约在1.5 m以上。因而, 对于下游3根齿坝, 其主要以导流增深为主, 仅在齿坝之间, 地形略有淤积, 起到一定的岸滩防护作用。

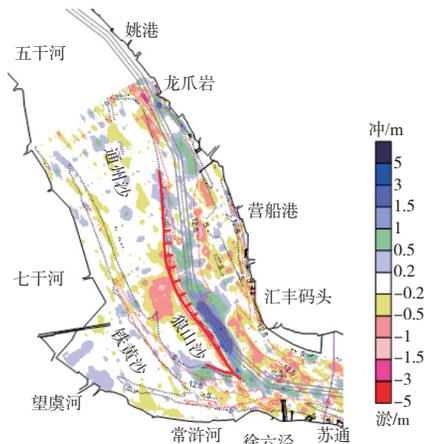


图8 通州沙河段航道沿程冲淤分布

综合以上研究成果, 对于南京以下深水航道一期工程通州沙河段航道整治工程各齿坝功能总体表现为, 上游5根齿坝以护滩稳槽为主, 下游3根齿坝则以导流增深为主, 结合潜堤工程, 本次通州沙河段航道整治工程主要针对通州沙河段航道困难段, 通过修建潜堤及齿坝来减小通州沙甬沟区域的水体分流, 使得部分水体进入通州沙东水道, 并以此来提高通州沙河段航道困难段区域落潮动力, 为12.5 m深水航道的顺利上延打好基础。

4 结论

1) 本文采用SWEM2D数学模型运用三角形网格建立了工程河段二维潮流数学模型。采用工程

区域2011年10月大潮实测潮位及流速流向资料对模型进行了验证, 验证结果表明, 潮位、垂线流速流向过程的计算值与实测值吻合良好, 能基本反映该区域水动力变化趋势及特征分布, 可用本次整治工程齿坝效果研究。

2) 通州沙河段作为典型的暗沙型多分汊河段, 河道宽阔, 江中多暗沙心滩。根据数模计算结果, 在通州沙与狼山沙之间存在一2 m以深的甬沟, 该处在涨落潮期间均存在一支分流分别流入狼山沙东、西水道, 甬沟分流势必对狼山沙东水道主流发展不利, 是本次整治研究的重点区域。

3) 本次通州沙航道整治工程主要包括修建潜堤及8根齿坝。通过数值试验比较后认为, 本次整治工程前5根齿坝主要起到固滩稳槽作用, 后3根齿坝则以导流增深为主。结合潜堤工程的修建, 工程对于通州沙航道困难段整治主要以减小狼山沙甬沟分流, 增加航道困难段落潮动力为主。

参考文献:

- [1] 付中敏, 徐元. 长江南京以下12.5 m深水航道建设一期工程(太仓—南通段)工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2011.
- [2] 戚定满. 长江口航道维护管理核心计算平台开发研究及成果应用[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2007.
- [3] 万远扬. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程初步设计潮流数学专题研究报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2012.
- [4] Casulli V. A semi-implicit finite difference method for non-hydrostatic, free-surface flows [J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1999,30:425-440.
- [5] Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equation: I. The basic experiments[J]. Monthly Weather Review, 1963, 91: 99-164.
- [6] 刘高峰, 贾晓. 长江南京以下12.5 m深水航道一期工程初步设计物理试验研究报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2012.

(本文编辑 武亚庆)