

· “长江南京以下 12.5 m 深水航道建设”专栏(17) ·



福姜沙水道双涧沙守护工程水动力特性*

杜德军^{1,2,3}, 夏云峰^{1,2,3}, 闻云呈^{1,2,3}, 徐 华^{1,2,3}, 陆森逊⁴

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210024; 4. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 通过河演分析和河工模型试验, 对福姜沙河段双涧沙守护工程进行水动力特性研究。河演分析表明, 双涧沙浅滩处于多级分汊段, 沙体冲淤和洲头频繁进退是各汊河床冲淤变化和航道条件稳定的关键所在。从潮位、流速和汉道分流比等方面, 对前期研究推荐的“人字形”双涧沙守护工程实施后的护滩效果及其对河势、防洪和周边的影响等进行了研究。研究结果表明, 工程实施封堵了窜沟、减小了双涧沙上的越滩流, 双涧沙及其滩槽格局趋于稳定, 可改善现有航道条件, 为后续 12.5 m 深水航道线路选择和治理奠定基础。

关键词: 长江; 12.5 m 深水航道; 福姜沙; 双涧沙; 多级分汊; 人字形守护; 越滩流

中图分类号: U 611 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)04-0001-07

Hydro-dynamic characteristics of Shuangjian shoal protection engineering in Fujiang shoal reach

DU De-jun^{1,2,3}, XIA Yun-feng^{1,2,3}, WEN Yun-cheng^{1,2,3}, XU Hua^{1,2,3}, LU Sen-xun⁴

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;
2. State Key Laboratory of Hydrology-water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China;
3. Key Lab of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transportation and Communication, Nanjing 210024, China;
4. College of Port Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the bed evolution analysis and river model test, we study the hydro-dynamic characteristics of Shuangjian shoal beach protection engineering in Fujiang shoal reach. Analyses of riverbed evolution indicate that Shuangjian shoal is located in the reach with multi-level branches, the body of Shuangjian shoal is often scoured and deposited, the head of Shuangjian shoal moves forward and backward frequently, which are both the key factors influencing the steadiness of the channel condition and the change of scour and silting in each branch. Through the analyses of tide level, velocity and diversion ratio, etc., the protecting effect of the “herringbone” shaped protection engineering recommended by the preliminary research, the influence on the river regime, flood control, and surrounding areas are all studied. The results show that, after implementing the beach protection engineering, the beach ditch is blocked off, and the beach flow is decreased, Shuangjian shoal and the pattern of the swale are stabilized gradually, which can improve the channel condition and lay a foundation for the 12.5 m deepwater channel selection and regulation.

Keywords: the Yangtze River; 12.5 m deepwater channel; Fujiang shoal; Shuangjian shoal; herringbone shaped protection engineering; beach flow

收稿日期: 2014-06-23

*基金项目: 交通运输部重大科技专项 (201132874660)

作者简介: 杜德军 (1970—), 男, 高级工程师, 从事河口海岸泥沙工程研究。

为充分发挥长江黄金水道的效益,在长江口 12.5 m 深水航道上延至太仓荡茜口后,交通运输部和江苏省人民政府联合共建长江南京以下深水航道。目前该段航道有多个碍航浅滩,航道尺度标准偏低,其中福姜沙水道为重点碍航航道,严重制约了长江下游黄金水道所发挥的效益,迫切需要对福姜沙水道海轮深水航道碍航浅段进行整治。分析表明,双涧沙冲淤变化是影响福姜沙水道航道稳定的关键。在前期研究的基础上^[1-3],通过河演分析和河工模型试验,对双涧沙守护工程进行水动力特性的研究,为工程设计提供技术支

撑。研究主要从工程河段河床演变趋势、工程实施后水动力变化、航道条件改善和河势稳定等方面进行。

1 基本情况

1.1 河段概况

工程位于福姜沙河段,为澄通河段上段,属长江河口河流段。澄通河段上起鹅鼻嘴,下迄徐六泾,全长约 88 km。河段内有福姜沙、双涧沙、民主沙、长青沙、泓北沙、横港沙、通州沙、狼山沙等沙洲。工程河段河势见图 1。

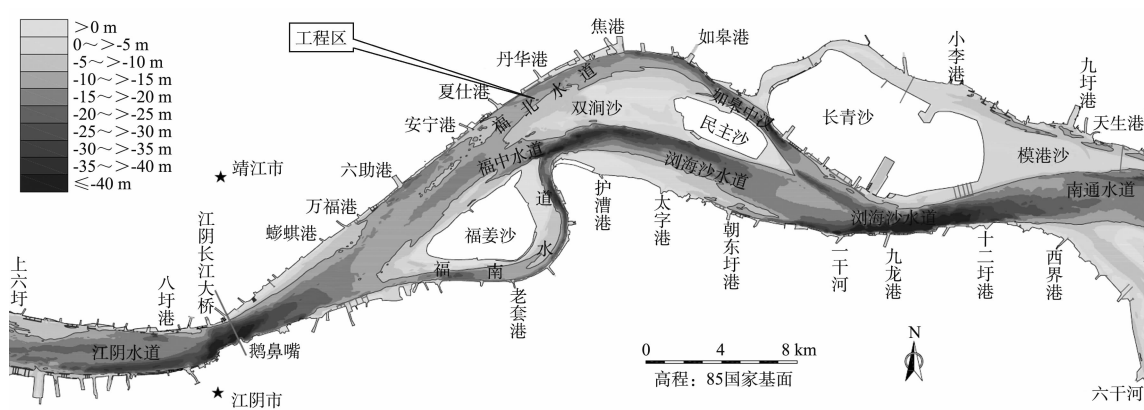


图 1 工程河段河势

进口鹅鼻嘴河宽约 1.4 km,窄而深,至福姜沙分为两汉——右汉福南水道为支汉,分流比约占 20%,长约 22.2 km,为鹅头型弯道;左汉为主汉,分流比约占 80%,长约 19 km,河宽 3 km,为顺直型河道。长江主流经鹅鼻嘴进入福姜沙左汉,在左汉下段又为双涧沙分为福中水道和福北水道。走福中水道的水流在浏海沙水道进口处与福南水道的水流汇合,而福北水道的部分水流畅经双涧沙越滩进入浏海沙水道,大部分经如皋中汉下泄。

如皋中汉长约 10 km,宽约 0.9 km,为左汉,分流比约占 30%;浏海沙水道宽约 2.5 km,为右汉,分流比约占 70%。两汉道的水流在九龙港一带汇合,此处江面宽约 1.6 km。其后长江主流贴近南岸,经十二圩港,脱离南岸过渡到南通姚港一带,贴左岸顺通州沙东水道下泄。

1.2 工程河段水文条件

1.2.1 上游径流

大通水文站距工程河段约 460 km,该站以下有安徽和江苏等多条水系汇入长江,入汇流量占长江总流量的 3%~5%,故大通站的径流资料可以代表本河段的上游径流。根据 1950—2009 年来流资料统计,多年平均年径流总量:8 928 亿 m^3 ;历年最大和最小流量:92 600 m^3/s (1954-08-01)、4 620 m^3/s (1979-01-31);多年平均流量:28 300 m^3/s ;枯水和洪峰平均流量为 16 680 m^3/s 和 56 800 m^3/s 。2003 年三峡水库蓄水前,多年平均流量为 28 600 m^3/s ,蓄水后略有减小,约 26 500 m^3/s 。每年洪季为 5—10 月,长江下泄径流量约占总量的 71%,10 月份以后明显回落,枯季为每年 11 月至次年 4 月,下泄流量占 29%。

1.2.2 下游潮汐与潮流

长江口为中等强度潮汐河口, 潮汐为非正规半日浅海潮, 在径流与河床边界条件阻滞下, 潮波变形明显, 涨潮历时短, 落潮历时长, 潮差沿程递减, 落潮历时沿程递增, 涨潮历时沿程递减。据工程附近江阴站资料, 最大、最小潮差分别为 3.39 m 和 0 m, 平均高、低潮位分别为 2.10 m 和 0.5 m (85 国家高程基准, 下同)。实测资料统计分析结果显示: 当大通径流在 10 000 m³/s 左右时, 潮流界在江阴以上; 当大通径流在 40 000 m³/s 左右时, 潮流界在如皋沙群一带; 大通径流在 60 000 m³/s 左右时, 潮流界将下移到芦泾港—西界港一线附近。潮流作用相对较强, 潮流运动总体呈现往复流特性, 落潮流为塑造河床的主要动力, 流速最大可达 2.5 m/s 以上。

2 双涧沙守护工程方案确定

2.1 工程河段近期演变

20 世纪 70 年代以后, 由于原双涧沙水道与左汊主槽间的弯曲幅度过大, 主流逐渐从如皋中汊下泄, 如皋中汊发展, 双涧沙水道衰亡, 以后双涧沙头不断向上游延伸发展, 沙尾逐渐下移并于

1989 年与民主沙合并, 滩面高程相对稳定。

近年来, 双涧沙变化较大, 主要表现为沙头向上游淤涨, 2004 年左右沙体规模达到最大, 主要原因在于北汊主泓线北移, 福北水道不断侧蚀而出现弯曲, 在弯道环流的作用下, 泥沙向右侧输送堆积, 落淤成滩, 同时, 福中水道消退后, 涨潮泥沙也在此堆积, 使沙滩快速发展。北汊福中、福北两水道的变化与双涧沙的演变是密不可分的, 当双涧沙下移时, 福中、福北相通; 当双涧沙上潜时, 则福中、福北分开, 双涧沙与福姜沙头相连, 不过当福北水道发展弯曲到一定程度时, 弯道内水流阻力增加, 过流能力减小, 水流将另找出路。福北水道和福中水道存在较大的横比降, 部分水历经双涧沙滩地进入福中水道以及浏海沙水道, 而且双涧沙滩地存在串沟, 当串沟渐渐发展, 福北下段主流动力轴线也将南移, 从而又开始下一轮的演变 (图 2)。

由于落潮时福北水道水位高于福中水道, 双涧沙沙体上存在越滩水流成为双涧沙体不稳定的一个关键因素。2009 年测图显示丹华港和安宁港对岸的双涧沙中部 -5 m 线已被冲开, 如果该串沟进一步发展, 将影响福北水道和如皋中汊的稳定。

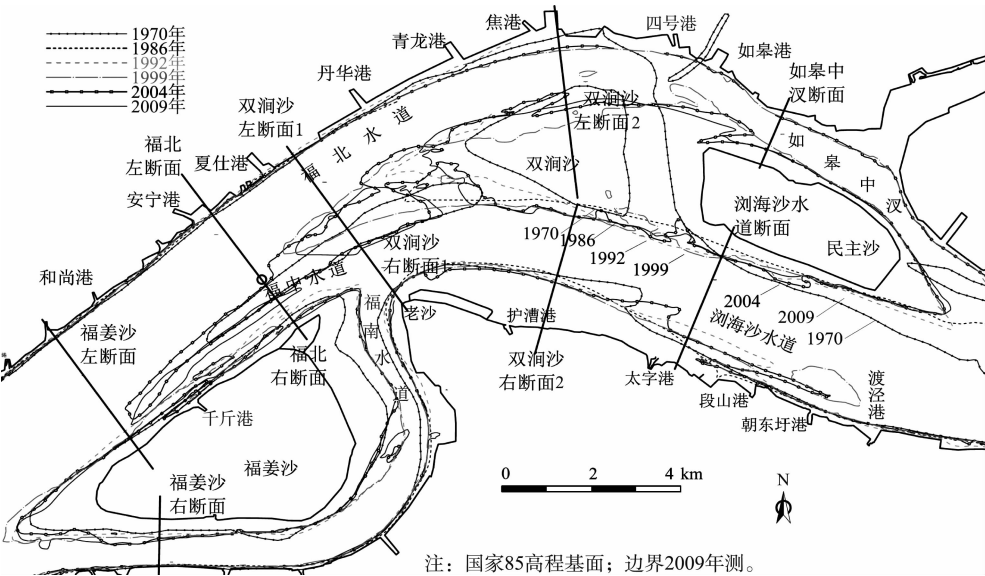


图 2 1970—2009 年双涧沙沙体 -5 m 线等高线变化及分析断面布置

1970—2009 年间,双涧沙、民主沙右缘边坡近年来总体处于冲刷后退态势中(图 2),在双涧沙、民主沙右缘后退过程中,其对岸护漕港边滩也相应发生变化,表现为边滩下部淤涨下移。原因在于:出福南水道与福中水道的落潮水流汇合后,主流顶冲双涧沙和民主沙右缘凹岸边滩,造成冲刷,而弯道环流的特性,使泥沙宜在护漕港凸岸边滩落淤。

总的来说,双涧沙浅滩处于多级分汉段,受双向水流及上下河势的影响,双涧沙洲滩头部而频繁进退,是各汉河床冲淤变化和航道条件稳定的关键所在。在长江南京以下 12.5 m 深水航道建设之前,先期实施两浅滩的航道治理工程,利用目前滩槽格局良好、航道条件尚好的有利时机,通过采用护底等工程措施守护双涧沙头部等关键部位,稳定滩槽格局及相应的河床形态,改善现有航道条件,为后续 12.5 m 深水航道线路选择和治理奠定基础。

2.2 双涧沙守护工程方案

上述河床演变规律及滩槽稳定性研究,揭示了双涧沙周期性演变规律,总体呈现“洲头淤涨、中水道萎缩、漫滩流嬗变、甬沟发育、新中水道发展、分裂沙体并岸”的演变过程,证实越滩流嬗变是双涧沙及周边水道不稳定的关键动力,双涧沙稳定是滩槽格局稳定的前提。为此,在福姜沙 12.5 m 深水航道整治工程实施前,有必要先期实施双涧沙守护工程。根据前期对守护工程护滩潜堤的形式、长度和高程的试验研究,双涧沙守护推荐方案为“人字形”双导堤方案^[45]。整治建筑物由 3 部分组成(图 3):头部潜堤、北顺堤和南顺堤。头部潜堤长 1.9 km,主要堤段堤身设计高度 1 m;北顺堤长 3.88 km,堤顶高程 0.5 ~ 1.2 m;南顺堤长 7.851 km,堤顶高程 0.5 ~ 2.0 m。

3 双涧沙守护工程水动力试验研究

3.1 模型概况及试验水文条件

模型试验在已有的长江河口段模型中进行,

模型上起江阴水道天生港,下至长江南支吴淞口,北支青龙港下约 8 km。模型水平比尺为 655,垂直比尺 100。模型长约 270 m,相当于原体 176 km。模型建于 2006 年,经过多次验证,本次试验前,根据最新实测的地形及水文资料对模型进行了更新和验证。验证结果满足有关规程、规范要求。

根据试验研究目的,通过实测水文资料及河床冲淤变化分析,确定 5 个定床试验水文条件:洪季大潮、枯季大潮、中水大潮、97 风暴潮和 98 洪水大潮^[4]。

3.2 潮位变化

高潮位时,由于潜堤工程高程较低,所以都淹没在水下,另外,高潮位时流速较小,因而工程实施后,工程区附近高潮位变化较小,各站的高潮位变化一般不超过 0.02 m。

工程实施后,低潮位主要表现为北岸和尚港—夏仕港附近壅水,最大壅高幅度在 0.05 m 内;往下游,低潮位壅高幅度逐渐减小,如皋港附近低潮位略有壅高且幅度一般在 0.02 m 左右。福南水道进口附近低潮位略有抬高,最大 0.02 m,福南水道中段低潮位有降低趋势,老套港低潮位一般降低在 0.02 m 内,福南水道出口和浏海沙水道一般表现为降低,其中护漕港附近降低幅度较大,低潮位降低 0.05 m;浏海沙水道护漕港以下,低潮位降低的幅度逐渐减小,太子圩港附近低潮位降低 0.03 m,九龙港附近潮位变化一般不大于 0.02 m。

3.3 流速变化

1) 各水道流速变化。

守护工程实施后,福南水道和如皋中汉涨、落潮流速有不同程度的增加。福南水道断面流速则相应地增加约 0.10 m/s。福北水道安宁港—夏仕港附近落潮平均流速减小 0.07 ~ 0.11 m/s,丹华港附近落潮平均流速减小 0.10 ~ 0.15 m/s。福中水道流速增加明显且增加幅度一般在 0.20 m/s 以上;顺堤工程的实施,减小了双涧沙越滩流量,增加了如皋中汉的分流比,使得青龙港以下断面流速增大且增幅一般在 0.10 m/s 左右,而浏海沙水道流速有所减小且一般在 0.15 m/s 左右。

2) 航道沿程流速变化。

工程实施后, 福姜沙左汊的阻力有所增加, 中水大潮福南水道航道内涨潮平均流速增加 0.05 m/s, 落潮平均流速增加 0.08 m/s, 洪季大潮落潮平均流速增加 0.10 m/s。

福中水道航道内, 守护工程头部潜堤上游段流速有所减小但其减小的幅度一般在 0.02 ~ 0.05 m/s, 以下段由于护滩导堤的实施使得流速有所增加, 且一般在 0.05 ~ 0.20 m/s。浏海沙水道下段航道内流速有所减小且减幅在 0.04 ~ 0.15 m/s。

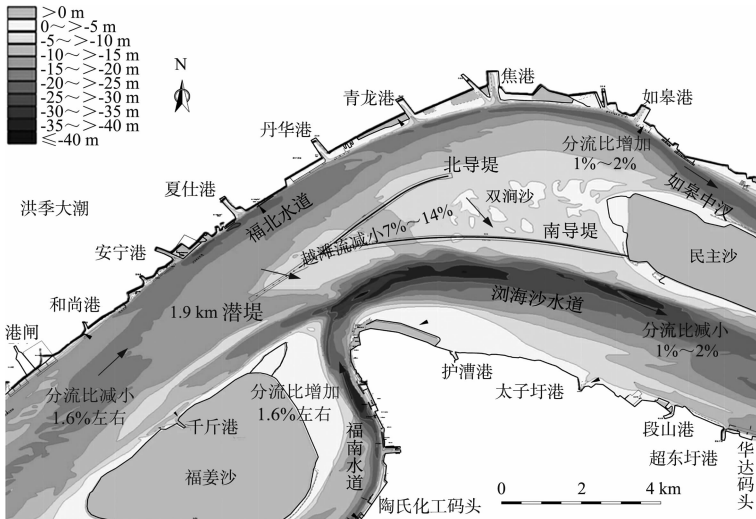
福北水道航道进口和尚港—夏仕港一线涨落

潮均有所减小, 其中中水大潮涨潮平均流速减小 0.04 ~ 0.07 m/s, 各水文条件落潮平均流速减小的幅度在 0.04 ~ 0.12 m/s, 丹华港附近涨落潮流速变化不大, 焦港及焦港以下流速则略有增加且一般在 0.05 ~ 0.10 m/s。

3.4 分流比变化分析

由于整治工程位于福姜沙左汊双涧沙上, 整治工程实施后, 将改变原有的汊道分流条件, 福姜沙汊道和如皋中汊分流比将发生调整。汊道分流比分析断面布置见图 2, 工程方案实施前后各汊道分流比比较见表 1、图 3。

表 1 守护工程实施后各汊道分流比变化 (按落潮量统计)						%
断面	洪季大潮分流比		中水大潮分流比		枯季大潮分流比	
	工程前	工程后变化	工程前	工程后变化	工程前	工程后变化
福姜沙左断面	78.2	-1.7	78.8	-1.8	78.50	-1.6
福姜沙右断面	21.8	1.7	21.8	1.8	21.50	1.6
福北水道左断面	49.1	-2.9	48.2	-4.9	43.55	-4.6
福北水道右断面	29.1	1.2	30.0	3.1	35.12	3.0
双涧沙 1 左断面	44.5	-5.2	43.0	-7.1	31.73	-11.4
双涧沙 1 右断面	55.5	5.2	57.0	7.1	68.27	11.4
双涧沙 2 左断面	31.1	1.7	29.5	2.1	31.03	2.4
双涧沙 2 右断面	68.9	-1.7	70.5	-2.1	68.95	-2.4
如皋中汊	30.1	2.1	29.3	2.2	31.18	2.5
浏海沙水道	69.9	-2.1	70.7	-2.2	68.82	-2.5



注：地形为国家85高程；2009年5月测。

图 3 双涧沙护滩工程布置及工程后分流比变化

工程实施后,福南水道、如皋中汊涨、落潮分流比都有所增加。中水大潮条件下,福南水道和如皋中汊涨潮分流比分别增加 1.0% ~ 1.4% 和 1.9% ~ 2.4%;落潮分流比分别增加 1.8% ~ 2.1% 和 2.2% ~ 2.6%。洪季大潮条件下,落潮分流比分别增加 1.7% ~ 2.1% 和 2.1% ~ 2.4%。相应地福姜沙左汊和浏海沙水道的分流比则有所减小。试验表明:洪季大潮水文条件下,工程实施对落潮分流比的影响稍小,枯季大潮和中水大潮下影响稍大。由表 1 可见,潜堤工程的高度降低后,各汊道的分流比变化呈减小的变化趋势,说明工程优化后起到了一定的作用。

如前所述,工程影响主要体现在潜堤工程对双涧沙上越滩流具有明显的拦阻作用,越滩流的大小因头部统计位置不同而有变化。统计双涧沙 1 号断面与如皋中汊断面的分流比差,可知越滩流的大小。中水大潮条件下,工程前,越滩流占总河道落潮流的 13.7%、涨潮流的 11.5%;工程后,越滩流明显减小,落潮与涨潮的分流比分别减小 9.3% 和 5.4% 左右。洪季大潮工程前,落潮时越滩流为 14.4%;工程后,越滩流减小为 7.1%,减小 7.3%,减幅较中水大潮时减幅略小,可见,小水条件下守护工程的整治效果较大水条件下的效果略明显。图 3 显示了双涧沙护滩工程布置及工程后分流比变化。

4 实测工程效果对比分析

双涧沙守护工程于 2010 年年底开工,2012 年 5 月完工,2014 年 3 月进行了工程交工验收。

由于工程前后几次水文测验径流、潮汐条件存在差异,很难用潮位、流速成果直接进行精确的对比分析,利用汊道之间的潮量分配相对较易体现工程前后的效果。从前文分析来看,由于径流差异较大,各汊道之间洪、枯季分流比也仍然存在不小的差异,以福南水道为例洪枯季落潮分流比相差 1% ~ 3%,因此以径流量相对较为接近的 2011 年 1 月(大通流量约 14 000 m³/s,天生港潮差 2.25 m)与 2012 年 12 月(大通流量约 22 600 m³/s,

天生港潮差 2.05 m)两次枯季水文测验为例进行工程前后对比较为合适。从分流比变化来看,枯季福南水道与工程前分流比增加 1.5%,基本稳定在 20% 左右;如皋中汊落潮分流比增加 3%^[6]。

物理模型预测与实测分流比变化对比见表 2。物理模型研究预测双涧沙守护工程实施后,双涧沙滩面水流阻力增加。福南水道和如皋中汊分流比分别增加 1.6% 和 2% 左右。实际情况中,河床地形在不断调整,预测与实际存在幅度上较小差异,但总体上来看实际的水流条件变化与物理模型试验中预测的工程实施前后各汊道分流比变化趋势基本吻合。

表 2 模型预测与实测分流比对比				%
断面	2011-01 实测	2012-11 实测	实测分流 比变化值	物模预测分 流比变化值
福姜沙左汊断面	80.2	78.7	-1.5	-1.6
福南巫山港断面	19.8	21.3	1.5	1.6
如皋中汊(RZ#)	27.8	31.0	3.0	2.5
浏海沙水道(RY#)	72.2	69.0	-3.0	-2.5

5 结论

1) 双涧沙浅滩处于多级分汊段,其头部因冲淤而频繁进退是各汊河床冲淤变化和航道条件稳定的关键所在。在长江南京以下 12.5 m 深水航道建设之前,通过工程措施守护双涧沙头部等关键部位,以稳定滩槽格局及相应的河床形态,改善现有航道条件,为后续 12.5 m 深水航道线路选择和治理奠定基础,是十分必要的。

2) 守护工程实施后,工程周边高潮位变化一般在 0.02 m 内;福姜沙北汊和尚港至青龙港一线低潮位壅高值在 0.05 m 内;福南水道下段及浏海沙水道低潮位降低,其中护漕港附近降幅最大,可达 0.05 m 左右。

3) 守护工程实施后,双涧沙上滩面阻力增加,越滩流减小,试验表明落潮分流比减小 7% ~ 10%,流速减缓有利于滩地稳定,表明守护工程起到护滩效果。福南水道和如皋中汊的涨、落潮流速及分流比都有所增加,两水道落潮分流比分别增加 1.6% 和 2% 左右,相应地福北水道和浏海沙水道

流速和分流比有所减小，福北水道和尚港至夏仕港附近流速减幅一般在 0.10 ~ 0.15 m/s。

4) 双涧沙守护工程实施后的实测结果表明，物理模型预测的分流比变化值与实测的分流比变化值基本一致。

参考文献：

[1] 夏云峰, 曹民雄, 陈雄波, 等. 长江下游三沙(福姜沙、通州沙、白茆沙)水道演变分析及深水航道整治设想[J]. 泥沙研究, 2001(6): 57-61.

[2] 张幸农. 长江南京以下河段深水航道整治基本原则与思路[J]. 水利水运工程学报, 2009(12): 128-133.

[3] 闻云呈, 夏云峰, 吴道文, 等. 长江南京以下 12.5 m 深水

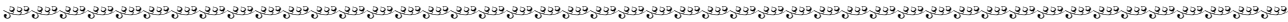
航道一期工程总平面方案优化[J]. 水运工程, 2013(3): 1-10.

[4] 夏云峰, 杜德军. 长江下游福姜沙河段深水航道双涧沙守护工程初步设计方案潮流泥沙河工模型试验研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2010.

[5] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 长江下游福姜沙河段深水航道双涧沙守护工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2009.

[6] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 长江下游福姜沙水道航道治理双涧沙守护工程效果分析[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2013.

(本文编辑 郭雪珍)



· 消 息 ·

振华重工研发国内首个深海下主动波浪补偿起重机

近日，振华重工自主研发了国内首个 30 t 深海下主动波浪补偿甲板起重机，并成功申请 3 项国家专利，填补了国内在该领域的研发空白，打破了国外的技术垄断。该系统可广泛应用于水下 600 m 以内的海上补给、海洋钻井、有缆海底机器人安装作业、深海探测等。

受波浪起伏影响，工程船在海上作业时会随着波浪晃动，船体晃动则直接导致水下起重机的吊钩不稳，增加海上作业困难，影响水下的安装作业。具备波浪补偿功能的起重装备可以很好地解决这类问题，提高海上作业的安全性、高效性和可靠性。

振华重工研发的 30 t 深海下主动波浪补偿甲板起重机，采用主动波浪补偿系统，可对 30 t 重的负载在水下 600 m 以内水深进行精准的位置控制，能够满足吊机对于恶劣海况下作业的高精度需求。

该系统是振华重工首次采用具有高响应速度的二次控制液压马达，可提供吊机的波浪补偿起重模式、普通吊机起重模式、恒张力模式。同时在波浪中操作时，采用双活塞高低压蓄能器将能量储存和释放，减小整机的装机功率达 50% 左右，节能效果良好。目前，该系统已经通过德国劳氏船级社的审图，正在调试的关键阶段。

(来源：振华重工)