



和畅洲汉道深水航道整治 右汉水动力改善措施分析*

王建中¹, 范红霞¹, 朱立俊¹, 应翰海²

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024; 2. 江苏省交通规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210005)

摘要: 在分析长江下游镇扬河段和畅洲水道水沙特性和目前航道条件的基础上, 利用最新的实测枯季地形资料, 建立和畅洲水道平面二维水流数学模型, 计算多种整治思路不同工程措施下, 作为通航汉道右汉的水动力因子分流比和流速的增加情况, 分析比较各类工程措施的整治效果和利弊, 明确应以左汉布置 2 道潜坝为治理措施研究的主要方向, 为 12.5 m 深水航道建设提供技术依据。

关键词: 和畅洲汉道; 深水航道; 右汉; 分流比; 水动力改善; 工程措施

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0011-07

Hydrodynamic improvement measures of channel regulation of the right branch of Hechangzhou waterway

WANG Jian-zhong¹, FAN Hong-xia¹, ZHU Li-jun¹, YING Han-hai²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;

2. Jiangsu Province Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210005, China)

Abstract: A 2D numerical flow model based on the latest dry season topography is established after analyzing the flow and sediment characteristics and the deepwater navigation channel condition of the Hechangzhou waterway. The increase of the diversion ratio and the velocity in the right branch which represents the effects of many engineering measures from different regulation schemes are calculated. According to the results, the regulation effects and advantages/disadvantages of different regulation measures are compared. Finally, this paper clarifies that constructing two submerged dikes located at the upper section of the right branch should be the leading idea to regulate the Hechangzhou waterway channel. The conclusion can be the reference for construction of 12.5 m deepwater channel.

Keywords: Hechangzhou waterway; deepwater channel; right branch; diversion ratio; hydrodynamic improvement; engineering measure

和畅洲水道位于长江下游镇扬河段, 上起世业洲汇流口、下至五峰山, 全长 48 km。自沙头河口—和畅洲尾为和畅洲汉道段, 目前和畅洲左汉枯季分流比达 75.0%, 占据绝对的主汉地位; 和畅洲右汉为支汉, 为现行的长江主航道。左汉自 1974 年开始逐渐发展^[1-5], 1998 年大水后, 发展迅猛, 到

2002 年左汉口门控制工程实施前, 左汉分流比达 76.1%。为抑制左汉的快速发展, 江苏省水利厅于 2002—2003 年实施了左汉口门控制工程 (口门潜坝), 但由于该工程力度有限, 工程后右汉分流比增加了 2.0% ~ 3.0%^[6-7], 航道内流速增加不大, 只是减缓了右汉淤积的态势, 目前航道水深仍显不

收稿日期: 2014-01-15

*基金项目: 水利部“948”项目 (201303); 国家重点基础研究计划“973”项目 (2012CB417001)

作者简介: 王建中 (1964—), 男, 高级工程师, 主要从事港口航道工程模型试验研究工作。

足,严重制约了右汊沿江企业的发展。近年来,随着沿江经济的持续发展和 12.5 m 深水航道上延南京的迫切需求,通过进一步有效改善右汊水动力条件,达到冲刷河床、增加水深的目的,是和畅洲汊道 12.5 m 深水航道整治措施选择的关键。

在资料收集和水文测验的基础上,建立了和畅洲水道平面二维水流数学模型,在典型流量条件下计算分析了多种整治思路不同工程措施下,右汊分流比和流速的增加情况,为和畅洲汊道深水航道建设提供科学依据。

1 工程河段自然条件和航道现状

1.1 河道概况

和畅洲水道位于长江下游镇江河段,上起世业洲汇流口下至五峰山,全长 48 km (包含和畅洲汊

道的左、右汊),自上而下分别为六圩弯道、和畅洲汊道、大港水道,河道形势见图 1。自沙头河口一和畅洲尾为和畅洲汊道段,和畅洲洲体呈长方形,整个汊道长约 21.1 km,其中左汊 10.9 km、右汊 10.2 km,目前左汊为主汊,分流比为 72% ~ 75%,0 m 河床平均宽 1 266 m,平均水深为 22.3 m,汛期断面平均流速 0.5 ~ 2.5 m/s;右汊为支汊,分流比为 25% ~ 28%,0 m 河床平均宽 825 m,平均水深为 10.8 m,汛期断面平均流速 0.5 ~ 1.5 m/s。河道基本特征见表 1。

表 1 河道基本特征

名称	平面形态	长度/km	河宽/m	面积/m ²	水深/m	宽深比
左汊	弯曲	10.9	1 266	26 501	22.3	1.58
右汊	弯曲	10.2	825	8 488	10.8	2.66

注:0 m 线统计,2012 年资料。

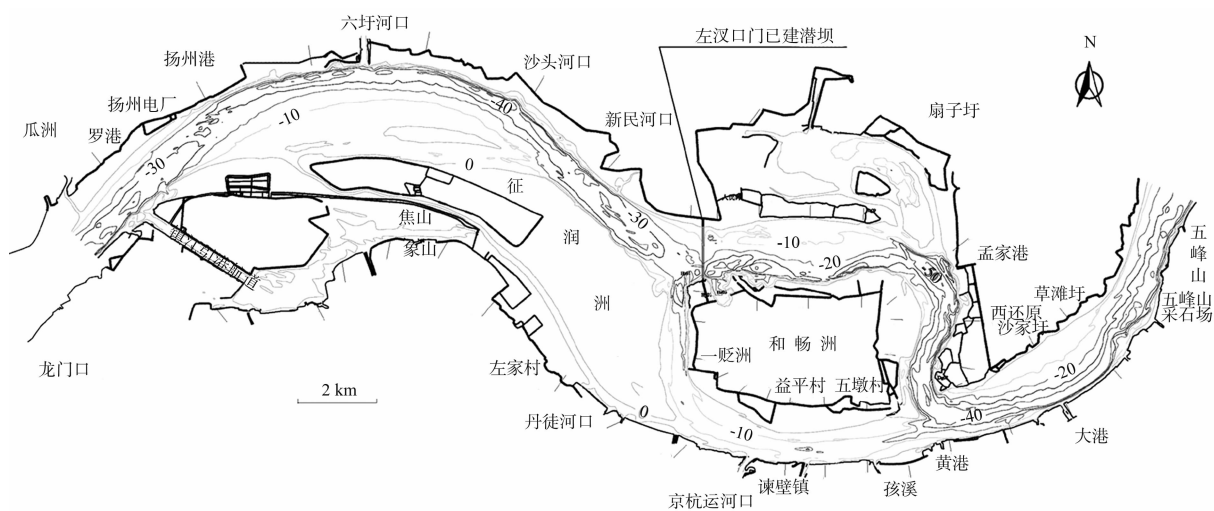


图 1 和畅洲水道河势

1.2 水文、泥沙条件

1.2.1 大通站水沙特性

镇江河段属感潮河段,其水文泥沙特性主要受长江径流控制,全年除枯季大潮有上溯潮流外,基本上为单向下泄流,长江径流是本河段造床的主要动力因素。

本河段无常年水文站。据统计,上游大通站以下干流区间入汇面积约占大通站的 3%,大通水文站的流量、泥沙特征基本可代表长江下游来水、来沙特征。大通站多年平均流量为 28 351 m³/s,历年最大流量为 92 600 m³/s (1954 年 8 月 1 日),

历年最小流量为 4 620 m³/s (1979 年 1 月 31 日)。径流在年内分配不均匀,5—10 月为汛期,汛期水量、沙量比较集中,沙量集中程度大于水量。

1951—2012 年平均含沙量、输沙量分别为 0.40 kg/m³、3.82 亿 t,其中三峡工程前平均值为 0.44 kg/m³、4.27 亿 t,三峡工程后为 0.17 kg/m³、1.46 亿 t,可见三峡工程运行后大通站年输沙量大幅减小。

1.2.2 潮位

本河段虽属感潮河段,由于距河口较远,潮波变形已十分显著;潮汐作用相对较弱。据镇江

北固山水位站近40余年资料统计,历年最高潮位6.7 m,最低潮位-0.65 m,最大潮差2.32 m,最小潮差0 m,多年平均潮差为0.96 m。潮位平均落潮历时与涨潮历时的比值为3:1,涨潮历时约为3 h 15 min,落潮历时为9 h 10 min。

1.2.3 泥沙

根据以往资料,和畅洲左、右汊实测河床表面泥沙中值粒径有所不同,六圩至和畅洲左汊床沙中值粒径为0.155~0.18 mm,右汊相对稍细。根据2010年2月和畅洲水道水文测验成果,从世业洲尾一大港河段悬移质平均中值粒径为0.006~0.009 mm,床沙平均中值粒径为0.064~0.204 mm。

1.2.4 汉道分流比

1952年至今,和畅洲汉道经历了左右汊兴衰交替的4个变化阶段,由1962—2012年汉道分流比历年变化图可见,1962年左汊分流比52%,至1974年最小为25%;1975年后左汊进入发展期,至2002年分流比达到76.1%,2002年实施口门控制工程后分流比下降约3.0%,近期枯季分流比实测值达75.0%,可见左汊分流比有缓慢回升的迹象^[1-2]。

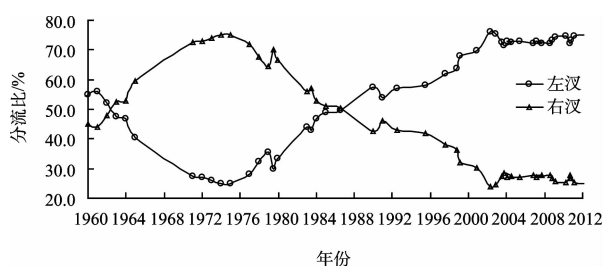


图2 和畅洲汉道分流比历年变化

1.3 航道条件

1.3.1 航道维护现状

长江镇扬河段和畅洲水道(焦山水道及丹徒直水道)由长江南京航道局管辖,目前2个水道的航道维护尺度与整个南浏段的通航维护尺度基本一致,其航道维护尺度为10.5 m×500 m×1 200 m

(水深×航宽×弯曲半径)。其中,因和畅洲右汊航道自然条件的限制,目前维护标准为10.8 m×200 m×1 050 m(其中11月—次年4月维护水深为10.5 m),保证率为98%。

1.3.2 碍航特征

目前镇扬河段焦山水道上、中段和丹徒直水道下段的航道条件较好,而和畅洲右汊航道的航行条件恶劣,是建设直通南京12.5 m深水航道的“拦路虎”。右汊主航道全长约10 km,航道平面形态呈“Z”字型,在和畅洲洲头和征润洲附近水域航道由连续的两个反向急弯组成,造成流态和通视条件极差;整个右汊航道常年航宽狭窄,水深严重不足,2012年12月最窄处12.5 m深水航宽仅为129 m左右;且右岸谏壁处有京杭运河苏南出入口,过江船舶多。

2 改善右汊水动力条件的工程措施

目前开通左汊航道和在左汊布置工程都存在非技术障碍(需要调整现有的豚类保护区),在此前提下,和畅洲汉道段12.5 m深水航道整治的总体思路是采取工程措施,有效遏制左汊发展,调整主支汊分流比,增强右汊水流动力,以利于冲刷右汊航道、增加水深、拓展航宽。

对多种整治思路下3大类32组工程方案实施后,右汊水动力因子分流比和流速增加情况进行了计算分析,方案布置概况见表2和图3。

方案主要包含:分流区左岸丁坝群方案3个、分流区全江斜向导流堤方案5个、左岸导流堤方案1个、洲头鱼嘴方案1个、洲头导流堤方案1个;左汊已建潜坝加高方案3个;左汊进口左岸水下护坡方案1个、左汊进口段一道潜坝方案3个、左汊上段两道变坡潜坝方案4个、上中段两道变坡潜坝方案6个、中下段两道潜坝方案1个、中尾段两道潜坝方案2个;征润洲边滩中下段大范围切滩方案1个(表2)。

表 2 工程方案

类别	区域	工程位置	编号	布置概况
I	分流区	左岸丁坝群(五道)	1-1	下挑丁坝,坝长 400~742 m,高程 +2.0~-2.0 m
			1-2	同方案 1-1,坝长缩短至 265~500 m
			1-3	同 1-2,坝长缩短至 170~326 m
		左岸至和畅洲洲头全江斜向导流堤一座	2-1	二电厂至洲头,全长 2 770 m,坝顶高程 +2.0~-7.0 m
			2-2	位置同 2-1,坝顶高程 +2.0~-11.0 m
			2-3	位置同 2-1,坝顶高程 +2.0~-15.0 m
			2-4	位置同 2-1,坝顶高程 +2.0~-18.0 m
			2-5	位置同 2-1,坝顶高程 +2.0~-20.0 m
		左岸导流堤	3-1	坝长 1 300 m,坝顶高程 +6.0~+4.0~-10.0~-25.0 m
		洲头鱼嘴	4-1	顺坝+洲头护岸加固,顺坝长 361 m,坝顶高程 -5.0 m
		洲头导流堤	5-1	坝长 1 000 m,高程 +6.0~+4.0~-25.0 m
		左汊口门已建潜坝加高	6-1	将已建潜坝深槽处坝顶高程加高至 -7.0 m
			6-2	将已建潜坝深槽处坝顶高程加高至 -11.0 m
			6-3	将已建潜坝深槽处坝顶高程加高至 -15.0 m
II	左汊	进口左岸水下护坡	7-1	整体呈扇形,-20~0 m 线坡度为 1:10
		进口上段一道潜坝 b	8-1	距已建潜坝 1 700 m,坝顶高程 +4.0~-1.0~-20.0 m
			8-2	位置同 7-1,坝顶高程 +4.0~-1.0~-18.0 m
			8-3	位置同 7-1,坝顶高程 +4.0~-1.0~-15.0 m
		上段 2 道变坡潜坝 a、b	9-1	分别距已建潜坝 840、1 705 m,坝顶高程分别为 +4.0~-6.0~-20.0~+4.0 m、+4.0~-6.0~-18.0~+4.0 m、+4.0~-6.0~-16.5~+4.0 m、+4.0~-6.0~-15.0~+4.0 m
			9-2	
			9-3	
			9-4	
		上中段 2 道变坡潜坝 b、c	10-1	分别距已建潜坝 1 700、3 400 m,方案 1~3 坝顶高程分别为 +4.0~-1.0~-18.0 m、+4.0~-1.0~-16.5 m、+4.0~-1.0~-15.0 m
			10-2	
			10-3	
		上中段 2 道变坡潜坝 g、d	11-1	分别距已建潜坝 1 300、2 600 m,方案 1 坝顶高程 +4~-6~-15~+4 m,方案 2 为 +4~-6~-15~+4 m,方案 3 潜坝 g +4~-6~-20~+4 m、潜坝 d +4~-6~-25~+4 m
			11-2	
			11-3	
		中下段 2 道潜坝 c、f	12-1	c 潜坝同方案 9,f 潜坝位于孟家港下游,-18.0 m
		中尾段 2 道潜坝 d、e	13-1	左汊中尾段分别布置两道变坡潜坝,方案 1~2 坝顶高程分别为 +4.0~-1.0~-18.0(15.0)m
			13-2	
III		征润洲边滩中下段切滩	14-1	征润洲边滩中下段大范围切滩,底高程 -13.0 m

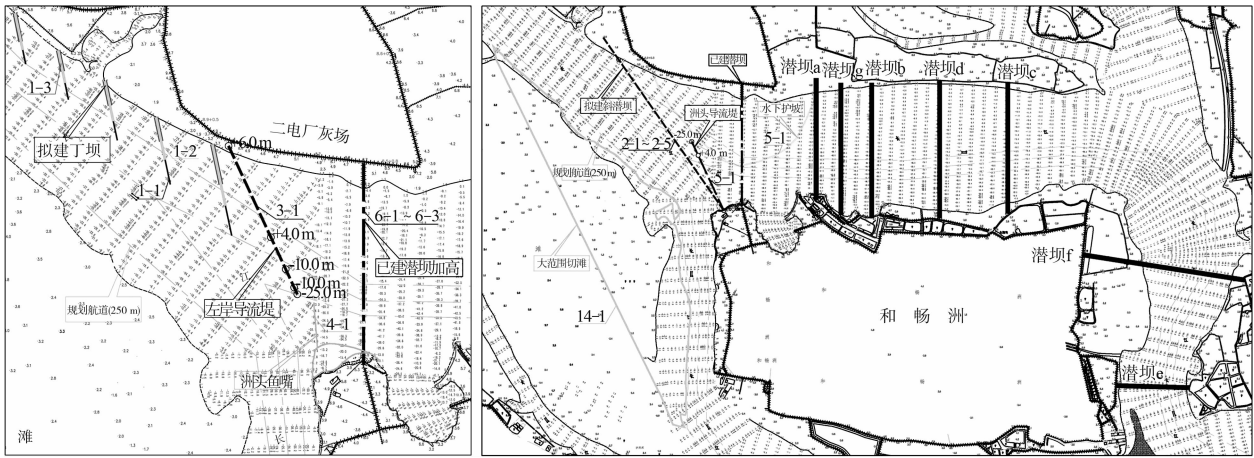


图 3 工程方案平面布置

3 数学模型

3.1 模型范围及计算网格

采用 Delft3D 水动力模块,在实测资料基础上,建立了和畅洲水道平面二维水流数学模型

(模型上起世业洲汇流口、下至五峰山),全长约 48 km。沿河道纵向布置 542 条网格线,横向布置 171 条网格线,网格间距纵向为 10 ~ 200 m,横向为 5 ~ 60 m。

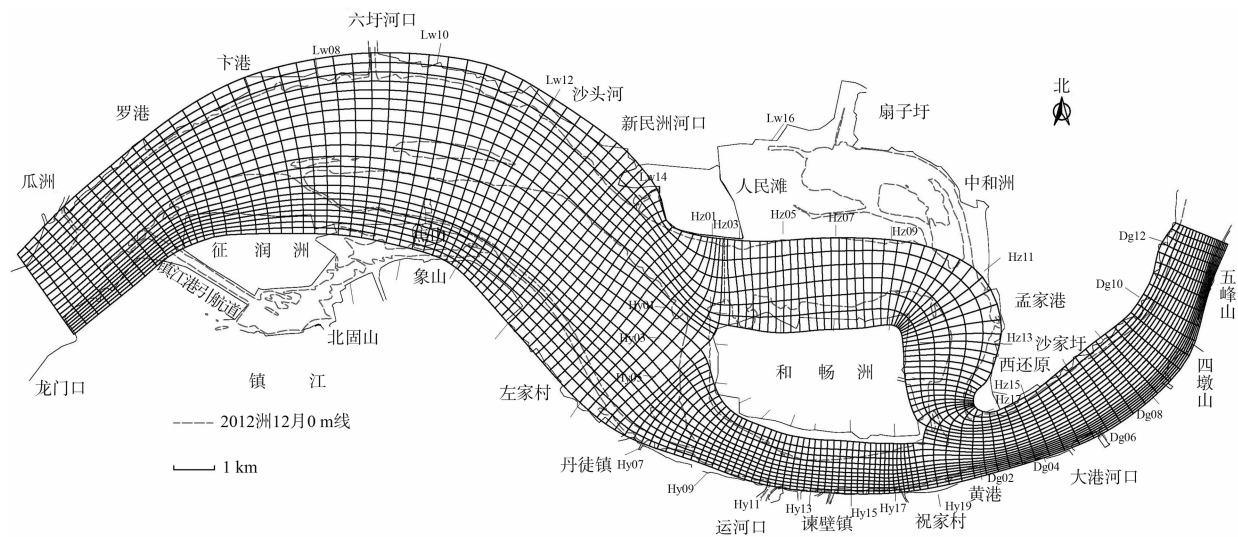


图4 计算网格示意图

3.2 模型的验证

采用分别与 2010 年 8 月、2011 年 1 月及 2012 年 12 月实测地形相匹配的 2010 年 7 月、2010 年 8 月、2011 年 1 月及 2012 年 12 月 4 个测次(包含一级洪水、一级中水及两级枯水)的水文测验资料对模型进行验证,大江流量分别为 60 851、43 200、18 510 及 21 340 m^3/s ,验证内容包括水位、断面垂线平均流速分布及汉道分流比。验证结果表明:模型取得了洪、中、枯四级流量条件下的水位、断面流速分布、汉道分流比与实测资料的较好相似,说明模型能较好地复演和畅洲水道河段天然状态下的水流运动规律。

4 工程后改善右汉水动力效果分析

4.1 计算条件

模型计算地形:2012 年 12 月实测和畅洲水道 1:10 000 及局部 1:2 000 地形,是该河段最新的枯季地形,其适应性和时效性较好。

计算水文条件:多年平均流量 31 500 m^3/s 和多年平均洪峰流量 59 400 m^3/s ,兼顾中、洪水水情。

4.2 工程后右汉分流比增加情况

各类工程措施实施后,和畅洲右汉分流比改善值见表 3。

由表 3 可见:

1) 分流区左岸丁坝群各方案实施后,多年平均流量条件下,右汉分流比仅增加 0.45% ~ 1.02%,改善效果不明显。

2) 分流区左岸至和畅洲洲头全江斜向导流堤实施后(坝顶高程由 -7.0 ~ -20.0 m),右汉分流比增加 0.80% ~ 3.64%,其整治效果相对较大的工程规模来看亦不明显。

3) 洲头鱼嘴方案实施后,右汉分流比增加 1.59% ~ 1.76%,分流效果不理想,不宜作为单方案采用。

4) 左汉进口左岸水下护坡工程实施后,右汉分流比增加 3.0% 左右,但工程量巨大,收效不佳。

5) 分流区左岸及和畅洲洲头长顺导流堤工程实施后,右汉分流比可增加 4.23% 和 5.75%,效果一般,但堤头附近流态紊乱,且可能影响今后航道的建设。

表 3 各方案右汉分流比 (η) 增加值

方案类别	编号	坝长/m	高程/m	η 增加值/%		流速增加值/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
				31 500 m^3/s	59 400 m^3/s	31 500 m^3/s
I 分流区左岸丁坝群	1-1	400 ~ 742		1.02		
	1-2	265 ~ 500	+2.0 ~ -2.0	0.63		0 ~ 0.03
	1-3	170 ~ 326		0.45		
I 分流区左岸至洲头全江斜向导流堤	2-1		+2.0 ~ -7.0	3.64		
	2-2	2 770	+2.0 ~ -15.0	1.83		0.02 ~ 0.07
	2-3		+2.0 ~ -18.0	1.30		
	2-4		+2.0 ~ -20.0	0.80		
I 左岸导流堤	3-1	1 300	+6.0 ~ +4.0 ~ -10.0 ~ -25.0	4.23		0.1 ~ 0.25
I 洲头鱼嘴	4-1	361	-5.0	1.76		0 ~ 0.05
I 洲头导流堤	5-1	1 000	+6.0 ~ +4.0 ~ -25.0	5.75		0.1 ~ 0.35
I 左汉口门已建潜坝加高	6-1		+4.0 ~ -1.0 ~ -7.0 ~ +4.0	9.64		
	6-2	1 600	+4.0 ~ -1.0 ~ -11.0 ~ +4.0	6.52		0.1 ~ 0.58
	6-3		+4.0 ~ -1.0 ~ -15.0 ~ +4.0	4.79		
II 水下护坡	7-1		-20.0 ~ 0	3.40	2.95	0.05 ~ 0.2
II 左汉上段单潜坝 b	8-1		+4.0 ~ -1.0 ~ -20.0	2.51	1.96	
	8-2	1 777	+4.0 ~ -1.0 ~ -18.0	3.19	2.32	0.05 ~ 0.25
	8-3		+4.0 ~ -1.0 ~ -15.0	4.32	3.21	
II 左汉上段双潜坝 a、b	9-1		+4.0 ~ -6.0 ~ -20.0	5.42	4.63	
	9-2	a;1 452	+4.0 ~ -6.0 ~ -18.0	6.94	6.12	0.1 ~ 0.5
	9-3	b;1 777	+4.0 ~ -6.0 ~ -16.5	8.36	7.25	
	9-4		+4.0 ~ -6.0 ~ -15.0	9.52	8.41	
II 左汉上中段双潜坝 b、c	10-1		+4.0 ~ -1.0 ~ -18.0	6.21	5.13	
	10-2	b;1 777	+4.0 ~ -1.0 ~ -16.5	7.23	5.71	0.15 ~ 0.53
	10-3	c;1 715	+4.0 ~ -1.0 ~ -15.0	8.88	6.98	
II 左汉上中段双潜坝 g、d	11-1		+4.0 ~ -6.0 ~ -15.0	10.71		
	11-2	g;1 777	+4.0 ~ -6.0 ~ -18.0	8.92		0.15 ~ 0.62
	11-3	d;1 715	+4.0 ~ -6.0 ~ -20.0 ~ -25.0	7.04		
II 左汉中下段双潜坝 c、f	12-1	c;1 727 f;2 153	+4.0 ~ -1.0 ~ -18.0	6.89	5.65	0.1 ~ 0.35
II 左汉中尾段双潜坝 d、e	13-1	d;1 715	+4.0 ~ -1.0 ~ -18.0	7.35	6.13	0.15 ~ 0.64
	13-2	e;973	+4.0 ~ -1.0 ~ -15.0	10.85	8.86	
III 征润洲边滩中下段切滩	14-1		-13.0	1.21		0 ~ 0.05

6) 左汉口门已建潜坝深槽高程 -20.0 m 分别加高至 -15.0、-11.0 及 -7.0 m, 右汉分流比分别增加 4.79%、6.52% 及 9.64%, 该方案增强右汉水动力效果明显, 但两岸防洪压力较大。

7) 左汉内布置变坡潜坝方案, 增加右汉分流比效果明显。如在深槽坝顶高程均为 -18.0 m 时: 上段布置单潜坝, 可增加右汉分流比 2.0% ~ 4.0%; 在左汉上段、上中段、中下段及中尾段布置双潜坝, 潜坝阻水限流效果更明显, 可增加右汉分流比 6% ~ 10%。潜坝方案负面影响相对较小。

8) 潜坝坝高对右汉分流比增加的效果比较敏感, 且两道坝比一道坝更敏感。如布置 a、b 两道潜坝的工况, 坝高在 -20 ~ -15 m 之间每增加 1 m, 右汉分流比平均增加 0.84% 左右; 对仅布置一道潜坝 b 的工况来看, 坝高每增加 1 m, 右汉分流比增幅为 0.36% 左右。

9) 征润洲边滩中下段大范围切滩后, 右汉分流比改善轻微, 增幅仅为 1.21%。

4.3 工程后右汉流速变化特征

各类工程方案实施后, 右汉航道内流速有不

同程度的增加,具体变化情况可见表3。由表3可见,多年平均流量条件下:

1) 左汊口门已建潜坝加高方案及左汊内布置两道变坡潜坝方案实施后,右汊水流动力显著增强,航道内流速增加显著,流速增幅达0.15~0.64 m/s,这将有利于右汊航道内河床的冲刷。

2) 长顺导流堤工程方案实施后,右汊水流动力亦有所增强,航道内流速增幅为0.1~0.35 m/s,将在一定程度上减轻右汊河床的淤积压力。

3) 左汊进口实施左岸水下护坡或上段布置单潜坝后,右汊水流动力小幅增强,流速增幅约0.05~0.25 m/s,预计对右汊的减淤作用较小。

4) 分流区左岸丁坝群、全江斜向导流堤、洲头鱼嘴、征润洲切滩等方案分别实施后,右汊水流动力略有增强,流速增幅仅为0~0.07 m/s,对右汊的减淤作用轻微。

5 结语

1) 和畅洲汉道12.5 m深水航道整治工程要达到有效限制左汊分流比、显著增强右汊水流动力的目的,应以左汊布置两道潜坝为治理措施研究的主要方向。

2) 在左汊上段、上中段、中下段及中尾段布置双潜坝,增强右汊水动力效果显著,可增加右汊分流比6%~10%,流速增加0.15~0.64 m/s,

有利于右汊河床的冲刷。

3) 若实施洲头鱼嘴、丁坝工程、分流区水下护坡、导流堤、征润洲切滩等单项工程措施,综合整治效果较差;若对左汊口门已建潜坝加高,工程对左汊的限流作用和对右汊水动力增强效果较明显,但存在坝高过高、工程后防洪压力陡增、且影响今后左汊深水航道的建设等不利因素。

参考文献:

- [1] 杨芳丽,付中敏,朱立俊.和畅洲汉道近期演变及航道整治方案设想[J].泥沙研究,2012(4):63-68.
- [2] 张增发,杭建国,窦臻.长江镇扬河段和畅洲汉道整治及启示[J].江苏水利,2011(3):38-43.
- [3] 林木松,卢金友,张岱峰,等.长江镇扬河段和畅洲汉道演变和治理工程[J].长江科学院院报,2006,23(5):10-13.
- [4] 杭建国,张增发,汪桂钦.长江下游和畅洲汉道整治工程研究[J].长江科学院院报,2010,27(9):6-13.
- [5] 刘小斌,林木松,李振青.长江下游镇扬河段河道演变及整治研究[J].长江科学院院报,2011,28(11):1-9.
- [6] 张细兵,卢金友,林木松.和畅洲汉道演变和左汊口门控制工程效果分析[J].人民长江,2009,40(20):1-4.
- [7] 窦臻,张增发.长江和畅洲左汊潜坝工程对汉道演变的影响[J].长江科学院院报,2012,29(10):21-27.

(本文编辑 郭雪珍)

征订通知

2015年《水运工程》杂志征订工作已经开始,请登录《水运工程》杂志社官方网站 www.sygcc.com.cn 首页下载中心,下载2015年《水运工程》征订通知单,有关要求和反馈信息一应俱全。