大马洲水道演变特点与丙寅洲守护方案研究

赵志舟1,彭 凯1,高辰龙1,曾 涛2,徐 锐1

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要:长江中游大马洲水道为微弯河道,上接窑监弯曲分汊河道。监利出口主流的频繁易位直接导致大马洲 主流不稳定,滩槽易变,存在进口弯曲、出口宽浅的碍航现象。近期航道整治设计方案的重点是守护丙寅洲与 大马洲崩岸,但不足以维护枯水河势及航槽的稳定,建议大马洲河道由"S"型弯道演变至单一弯道时,再进一步 采取措施稳定有利河势。通过局部动床模型试验,对丙寅洲不同守护方案的护底排宽度、河漫滩滩面的守护效 果进行了试验研究,分析表明初设方案的护底排头前伸接近主槽位置,护底效果优于工可方案;对于丙寅洲上 段外滩在主汛期流量下流速大于 0.8 m/s 时易发生明显冲刷的滩面区域,应采取适当的滩面守护工程措施。

关 键 词:河漫滩;航道整治;护岸;大马洲水道;丙寅洲水道;河床演变 中图分类号:TV147 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-640X(2014)02-0008-09

大马洲水道为长江中游著名的重点碍航浅水道,近年来受三峡水库运行及上游监利水道河势演变的影响,水道深泓摆动幅度较大,并导致较长岸线形成崩退的陡坎形态。为满足航道条件要求,并抑制大马洲水 道目前尚且较好的滩槽格局向不利方向变化的趋势,拟实施大马洲水道航道整治工程。护岸工程范围与护 底排长度是工程设计的重点^[1-2],有必要对丙寅洲水道的演变规律进行研究,并通过河工模型优化护底排长 度。通常,一般的护岸工程多守护至滩顶,但丙寅洲上段横向分布有外滩与高滩两个滩面平均高差约 2.5 m、高程不连续的滩面,滩面上水流条件、植被覆盖情况差异明显,低滩滩面是否需要守护以及采用何种 守护措施是设计亟待解决的重要问题,而以往的滩面守护方案研究多针对高程较低的边滩或心滩^[3-4],因此 必须对丙寅洲河漫滩护岸与滩面的衔接位置及滩面的守护措施进行研究。

1 河段概况

1.1 河势特征

窑监-砖桥河段位于长江中游的下荆江河段。上游 窑监河段属两头窄中间宽的弯曲分汊型河段,下游大马 洲水道、砖桥水道为单式弯曲河段(见图1)。大马洲河 段与监利河段并称为窑监大河段,监利水道江心乌龟洲 将河道分为左右两汊,目前右汊乌龟夹分流比稳定在 90%左右,但分汊口门及乌龟夹内滩槽形势很不稳定,并 引起下游大马洲水道深泓摆动、滩槽形态调整。

大马洲-砖桥河段中枯水平面形态由两个平顺衔接的反"S"型组成,分别为大马洲水道和砖桥水道。上游





收稿日期: 2013-09-07

基金项目:"十二五"国家科技支撑计划课题(2012BAB05B03)

作者简介:赵志舟(1971-),男,云南大理人,副教授,主要从事航道整治方面的教学与科研工作。

E-mail: zhzz2008@163.com

"S"河段弯曲度较小但顺直段相对较长,下游"S"河段弯曲度较大。右岸中上段为丙寅洲大边滩,上起监利 右汊出口右岸顺尖村,经天字一号至徐家档;进口左岸有太和岭矶头突入江心,太和岭至窑湾再至集成一带 为大马洲边滩。丙寅洲与大马洲两边滩演变剧烈,对航道条件影响明显。砖桥水道岸线相对顺直,左岸有加 固护岸,右岸为较稳定的土质陡坡,只在枯水期上下两弯道凸岸出露小面积边滩。

大马洲水道进口太和岭处中枯水期河宽约750 m,砖桥水道进口约800 m,河道横断面为"V"型;大马洲中间段河宽约1000 m,断面呈"W"型,有心滩存在。

1.2 丙寅洲河漫滩特征

横岭对岸丙寅洲上游河漫滩滩面坡顶高程范围为 27.8~31.2 m,该段护岸长约 1.6 km,典型横断面见 图 2(a),临近江心侧为滩面高程相对较低(27.8~29.5 m)、宽度约 80 m 的低滩,前缘坡高约 5 m;高滩滩面 高程为 30.5~31.2 m,低滩与高低滩面间浪坎高约 1 m。

横岭以下丙寅洲低滩滩面逐渐升高与高滩平,河漫滩滩面坡顶高程约30.2~32.0 m,前缘陡坎接近10 m,典型横断面见图2(b)。该段护岸长约1.9 km,崩退较严重,以条崩为主,后缘崩高1~2 m,条宽0.5~1.0 m,年崩退约5~10 m。



Fig. 2 Cross-sections of the Bingyinzhou floodplain

低滩平滩流量接近 20 000 m³/s,2007 年监利站大于此流量的天数为 56 d;高滩平滩流量约 28 900 m³/s, 2007 年监利站大于此流量的天数为 18 d。低滩上流速明显大于高滩,部分区域流速大于 2.0 m/s。低滩滩 面上也有植被覆盖,但汛期经过长期浸泡,植物枯萎。

1.3 水文、泥沙

三峡水库蓄水前,本水道水沙年内分配不均匀,来水来沙主要集中在汛期(5—10月),最大流量出现在 主汛期7—9月,占全年的45.36%,其中以7月份最大,占全年的16.72%,最小流量出现在12月至次年 3月,以2月水量最小,仅占全年的2.75%;沙量年内分配与水量分配规律相似,汛期沙量占全年的90.32%, 最大来沙量发生在7月份,占全年的27.09%,最小出现在2月份,占全年的0.66%。

三峡水库蓄水以来,除2006年特殊水文年以外,监利站的来水量变化不大;但来水过程有所改变,10月份水库蓄水时出库流量陡减;1—4月份下泄流量增大,而6—9月份水库基本处于敞泄状态,流量与建库前相比基本不变。来沙量大幅度减少,蓄水前监利站多年平均含沙量为1.063 kg/m³,2003—2010年平均含沙量为0.247 kg/m³,下泄水流挟沙将长期处于次饱和状态。

1.4 河床组成

该河段河床主要由粉质黏土、砂黏土和细砂组成,卵石层在床面以下埋藏较深,河床表层床沙中值粒径 0.10~0.22 mm。三峡水库运行期,监利站床沙组成随着河道冲淤变化呈粗化现象,河床质中值粒径由 2003 年的 0.154 mm 变化至 2008 年的 0.238 mm。丙寅洲滩面为厚度 10.1~15.0 m 的松散~稍密粉细砂, 容许承载力 f=110 kPa,下部为中密粉细砂,滩面表层仅覆盖薄层粉质黏土,其 d₅₀为 0.044 mm。

2 河床演变

2.1 历史演变

2.1.1 窑监水道 窑监水道 1945年已基本形成了近期弯曲分汊的河势,演变主要特征为主支汊的周期性 易位。演变过程主要分为以下几个阶段^[5]:①1945—1971年,左汊稳定发展,右汊淤积衰退,乌龟洲与右岸 相连形成完整的凸岸边滩,河道基本上呈现单一弯道型态;②1971—1975年,1971年汛后左岸上边滩下移, 与乌龟洲头低滩连成一体,将左汊口门堵塞,下游上车湾裁弯新河经疏浚拓宽后发展迅速,有利于右汊迅速 发展,乌龟夹发展成主汊;③1975—1989年:1975年汛后由于退水过程持续时间较长,乌龟洲头切割形成新 槽并发展北移,枯水期主流摆回左汊,右汊萎缩;④1989年以来,乌龟夹再度发展为主汊,左岸下段不断崩 退,乌龟洲下段淤积并向左发展,河道坐弯,阻力逐渐加大。至 1989年,再次形成两汊争流局面。1994年汛 后,左汊衰退,右汊分流比超过70%,已稳居主汊地位至今。

2.1.2 大马洲水道 大马洲水道河道形态及航道条件直接受到窑监河段变化的影响。监利出口主流的频 繁易位直接导致大马洲主流不稳定,滩槽格局变化大,加之大马洲水道中间顺直段较长,左右岸分别为大马 洲和丙寅洲沙质边滩,易于切割冲蚀,主流有较大的摆动空间,因此滩槽易变,航道条件不稳定,历史上多次 出现出浅碍航。

①1945—1971年:50年代初期,河床宽浅,3 m等深线散乱,无明显深槽。1958年枯水主槽呈反"S"微 弯形态,主槽由乌龟洲左汊过渡至右岸顺尖村位置,中间过渡至左岸横岭村,出口段由左岸过渡至右岸朱家 港。1959年中间段弯顶位置由横岭村下移至沙家边,出口弯顶由朱家港下移至天字一号。1960年后航槽稳 定少变。②1971—1975年:乌龟夹短暂发展成主汊,大马洲河段形态调整时间短,河道宽浅,中段 3 m 线不 贯通,航道条件较差。③1975—1989年:1981年11月大马洲水道河道形态与1959年底相似,深泓由乌龟洲 左汊出口折向丙寅洲上边滩,中段折向左岸横岭村,出口段折向右岸天字一号(图 3(a))。80年代中期,太 和岭岸线发生较大幅度的崩岸,大马洲水道进口渐弯曲,大马洲水道由原"S"型转变为单一微弯曲平面形 态,弯顶位于右岸李家嘴至天字一号位置(图 3(b))。④1989年乌龟夹再度发展为主汊,大马洲水道平面呈 反"S"微弯形态,入口段与乌龟夹平顺衔接,航道条件相对较好。



Fig. 3 Historical evolution of the Damazhou waterway in recent years

2.2 近期演变

三峡水库蓄水后,坝下河段发生了较为明显的河床冲刷和调整^[6]。窑监河段以冲刷为主,洲头心滩与 江心洲右缘崩退,2003年9月至2008年9月窑监河段河床总冲刷量640万m³。为巩固以乌龟夹为主汊的 分汊格局,2009年4月开始对乌龟洲洲头、右缘及洲尾进行守护处理(见图1),2009年2月至2012年2月 窑监河段河床演变仍以冲刷为主,共冲刷406万m³。

窑监至砖桥水道近期深泓线变化见图 4, 乌龟夹上段深泓 2012 年相比 2002 年左移约 500 m, 深泓逐渐 贴近左岸, 对太和岭的顶冲作用增强(图 4)。



图 4 窑监-砖桥水道近期深泓线位置变化 Fig. 4 Evolution of thalweg position of Raojian-Zhuanqiao waterway

太和岭矶头挑流作用增强,大马洲水道进口更加弯曲,主流挑向丙寅洲中部。2008年以来由丙寅洲中部折向左岸大马洲的顶冲点位置逐渐下移(图4),航道过渡段弯曲半径减小;同样出口弯道右岸顶冲点也下移至何家湖位置。

随着深泓线的摆动,处于太和岭挑流下游掩护区左 岸苗岭至横岭一带边滩、凸岸丙寅洲上边滩、天字一号出 口边滩淤积。处于凹岸的丙寅洲中部、大马洲冲刷(图 5),大马洲0m线退至护岸岸线位置。2010年与2003年 的测图对比,与太和岭正对的丙寅洲上边滩外展320m, 中部边滩后退300m;洲尾边滩淤宽淤长,并被切割成心 滩,到2010年成0m线宽约180m,长约1000m的狭长 型心滩(图5(b))。李家咀心滩2012年下移至黄家潭位 置(图5(c)),原*C-C*断面心滩滩面刷低约1m(图6 (c)),心滩左侧淤积,心滩右槽3m线有贯通的趋势。下 游何家湖深槽河床形态则相对稳定(图6(d))。

\$800

A-A 横断面

. 距离/m 1 000

1,00

600

600

_____ 距离/m

(c) C-C 横断面

400

(a)





顺尖村

1 200

测图时间 水位/m

2002-04, 4.43 2006-04, 3.90

2009 - 04, 2.442010 - 03, 2.24

1 200

测图时间 水位/m

2002 - 04, 4.432006 - 04, 3.90

-2010-03,2.34 -2012-02,2.00 1 400

10

5

0

-5

-10

-15

10

5

0

-5

-10

-15

m'

相对航行基面高程/

,陈家码头

200

Έ

相对航行基面高程,

3 模型设计与验证

3.1 模型设计

采取 λ_L=λ_H=80 正态局部推移质动床模型,丙寅洲中段近年处于冲刷的态势,丙寅洲上游段低滩滩面 流速明显大于下段,该区段守护工程最可能遭受水毁,因此局部物理模型上起草场湾、下距护滩工程下游终 点约900 m。横向左侧边界位于江心主泓、距离右岸0 m 线约380 m,右侧边界距离陡坎前缘约250 m。局部 模型模拟的原型河段范围长约2400 m,宽约700 m;局部模型水槽长30 m、宽 8.8 m,见图7。



Fig. 7 Regulation layout of Bingyinzhou floodplain and local model range

天然沙起动流速用武水公式,模型沙起动流速采用重庆模型公式^[7]:

$$U_{e_{\rm m}} = \left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \left(10.\ 604 \times \frac{\gamma_{\rm s} - \gamma}{\gamma} {\rm g}d + 4.\ 456 \times 10^{-8} \ \frac{10 + h}{d^{0.72}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

上式计算结果为与王延贵公式^[8]相近,选γ_s=1.33 t/m³的荣昌精煤作为模型沙。主槽模型沙粒径约

0.1~0.2 mm,滩面模型沙粒径0.1~0.3 mm,起动流速比值 与流速比尺值接近。粒径大于0.1 mm 的粉煤灰其起动流 速、干重度随时间变化很小^[9-10],为了保证起动相似,在铺制 地形前用5%六偏磷酸钠溶液充分浸泡模型沙,使之完全分 散,增加其亲水性,在沙体中无结块现象;地形铺制完毕后, 即尽快放水试验,避免板结对泥沙起动的影响。

2008 年水沙过程与三峡水库 175 m 正常蓄水后的水沙 过程较为接近,2007 年监利站洪峰流量较大,因此模型选择 2008+2008+2007 三年来水条件作为系列年进行冲刷试验, 对护底排前缘主槽河床及滩面的冲刷趋势进行对比分析。 2008 年水沙概化试验过程见图 8。



3.2 试验控制与验证

根据数学模型计算确定局部模型河槽内流量,通过调整左侧可动边界、进口导流屏,以满足5280, 28900,46300 m³/s各级流量下横断面流速大小、方向与本河段数模计算结果相近的要求。模型设计为清 水推移质局部动床模型,施放2008年流量过程后近岸主槽河床刷深约1.0m,图6(c)表明2010年至2012 年*C*断面(平面位置见图1)近岸主槽河床刷深约1.5m,模型冲刷幅度与原型接近。验证结果表明,模型相 似性满足相关要求。

4 天然情况下水流特征

枯水流量为5280 m³/s时,主泓流速1.2~1.3 m/s;整治流量7000 m³/s时,主泓流速1.3~1.4 m/s,

近岸流速约 0.5~0.6 m/s。平滩流量 Q=28 900 m³/s 时主泓流速为 2.4~2.6 m/s,原枯水岸线位置流速约 1.6 m/s。漫滩流量 Q=35 000 和 40 000 m³/s 时,主泓流速分别为 2.8 和 3.0 m/s。

表1 各级流量下 CS7 断面滩面上水力特征

中洪水流量下丙寅洲上游段外滩(低滩)、中下段高滩滩面上水流条件见表1。

Tab. 1 Hydraulic characteristics of floodplain surface of CS7 section under different discharge								
	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	低	氏 滩	高 滩				
		水深/ m	流速/ (m ·s ⁻¹)	水深/ m	流速/ (m •s ⁻¹)			
	28 900	3.7	1.5	0.7	缓流			
	35 000	5.0	1.7	1.9	0.4			
	40 000	5.7	2.2~2.6	2.8	0.5~1.0			

丙寅洲滩面上流速沿纵向逐渐减小,如 Q=40 000 m³/s 丙寅洲滩顶边缘 CS5 ~ CS7 断面流速为 2.2 ~ 2.6 m/s(图9),CS9 断面流速为 1.6 m/s,CS11 下游约 0.4 ~ 0.6 m/s。CS7 上游外滩滩面水流斜向江心,流向左偏约 3°,CS9 断面下游高滩滩顶边缘流速与岸线基本平行。



Fig. 9 Velocity distribution in the local model ($Q = 40\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$)

5 守护方案试验

5.1 守护方案布置

5.1.1 工可方案 枯水平台位于航行基面上4.4 m 等高线位置,枯水平台以下为水下软体排护底和水下抛 石镇脚;枯水平台以上为斜坡式护坡、或斜坡式护坡和挡土墙组成的混合护坡结构。水下护底从枯水平台开 始向河心沉放 D 型排,沉排宽度 100 m, D 型排上抛石厚 1 m,排体外侧 20 宽的防冲石厚度为 1.5 m。

5.1.2 初设方案 丙寅洲守护初步设计方案平面布置见图 7。在工可方案基础上,将护底排前缘延伸至枯水岸坡坡脚,其中上游起点至 K0+550 断面沉排宽 120 m,K0+650 ~ K1+800 断面宽 150 m,K1+800 ~ K3+100 断面宽 200 m,下游至 K3+230 断面宽度过渡至 120 m。

目前大马洲水道朱家港河段江心心滩发育,右汊有发展的趋势,因此在 K2+000~K3+000 位置的护底 排上再抛设纵向间距为 200 m、高度为 1 m 的 6 道石梗构成段丁坝群。

5.2 护底宽度试验

5.2.1 水流条件变化 工可方案护底排头等位置处的特征流速见表 2,随着流量的增加各测点流速逐渐增大,Q=40 000 m³/s 时排头最大流速为 CS9 断面 2.56 m/s,坎顶最大流速为 CS7 断面 1.97 m/s。

与工可方案相比,初设方案仅增加了 D 型排护底的宽度 20~50 m,两方案间的水位、流场分布的变化不明显。由于 D 型排的排头往江心方向伸出,排头位置表面流速比初步方案略有增大,漫滩流量 40 000 m³/s 时下段 CS13 ~ CS15 断面约增加 0.35 m/s,平滩流量 28 900 m³/s 时下段 CS13 与 CS15 断面分别增加 0.11 和 0.18 m/s,Q≤7 000 m³/s 时增大约 0.10 ~ 0.15 m/s。但与工可方案相比,Q=40 000 m³/s 时初设方案 CS7 ~ CS11 断面排头处的表面流速与起动流速的比值有所减小,最大值由 4.56 降低至 4.38,下段 CS13 ~

			表 2	工可方案特征	点表面流速			
	ne	$(\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1})$						
ж Б	40 000 m ³ /s		28 900 m ³ /s			7 000 m ³ /s	5 280 m ³ /s	
四	坎顶	枯水平台	排头	坎顶	枯水平台	排头		排头
CS7	1.97	1.94	2.37	1.33	1.48	2.15	0.99	0.64
CS9	1.52	1.76	2.56	0.71	1.14	2.19	0.97	0.75
CS11	0.98	1.35	2.44	0.35	0.80	2.07	0.96	0.72
CS13	0.99	1.23	2.04	0.50	0.71	1.93	0.96	0.78
CS15	1 01	1 24	1 96	0.46	0.75	1 73	0.94	0.03

CS15 断面位置的则有所增加,最大值由 3.50 增加至 4.02。

5.2.2 河床冲淤变化 连续施放 2008+2008+2007 三年来水过程后,工可方案冲刷结果表明,主槽冲刷幅 度大于排头区域,丙寅洲横岭对岸上游段排头冲刷的深度大于下段。上段主槽河床刷低约 3.5 m,CS12 断 面上游排头位置刷低约 1.5 m,CS12 下游刷低约 0.8 m。排头有悬挂现象,悬挂的排体长约 2 m(图 10)。

初设方案主槽冲刷总体趋势与工可方案相同。CS11 断面上游主槽河床刷低值较大,CS10 断面冲刷约 3.8 m;下游段主槽河床刷低值较小,CS13 断面冲刷约2.0 m。与工可修改方案相比,CS10 横断面主槽冲淤 变化不大,CS13 横断面刷低约0.2 m(图 10)。



Fig. 10 Cross-sectional variation of Damazhou waterway

仅从护岸工程的稳定性角度看,横岭以下丙寅洲高滩段余排长度可适当减短。但 2010 年 3 月至 2012 年 3 月,图 1 中 *B*、*C* 横断面中间的 K3+000 断面(见图 7)位置,近右岸 0 m 线宽约 300 m 范围床底由 2 m 刷 深至约 5 m,对近岸 200 m 宽度范围进行护底,增加丙寅洲下段余排长度,兼有抑制朱家港河段右汊发展的目的。

试验表明备填石厚度的增加对排体边缘的稳定有利,在增加排缘压载厚度的基础上,建议应进一步加大 对排体边缘和接缝处的守护力度,可抛四面六边透水框架群,减缓护滩带边缘流速,促进泥沙淤积以增强守 护效果。

5.2.3 丙寅洲下段6道石梗的整治效果分析 为了解6道石梗对水流条件的影响,在局部模型K1+200#, K1+400#,K1+600#位置布置了3道长度与D型排护底宽度相同、高度为1m的石梗,进行对比试验。石梗 对主槽流速的调整作用较弱,枯水流量时主槽流速增加值多接近或小于0.05m/s;在平滩流量时,距离石梗 坝头大于90m的主槽区域流速有所增大,最大增加值约0.05~0.10m/s,主流方向无明显变化。

5.3 滩面守护试验

5.3.1 初设方案无滩面守护时冲刷情况 将低滩部分视为没有植被覆盖,模型铺设粒径0.2~0.3 mm的 模型沙;高滩滩面植被茂密,将主槽与高滩滩面按定床处理。根据河势特征与试验目的,模型选择2007 年作 为特征水文年,最大洪峰流量为37 000 m³/s。为了充分考虑洪峰流量对滩面冲刷的影响,施放40 000 m³/s 大洪水流量2h,试验结果与2007 年平均洪峰过程冲刷范围相近,但冲刷幅度略有增加:初设方案 CS7~ CS10 断面外滩滩面上流速大于 0.8 m/s 的区域发生明显冲刷,平均冲刷深度约 1.5 m;CS10 ~ CS16 断面靠 近坎顶边缘宽约 5 ~ 20 m 范围的滩面略有刷低;CS16 ~ CS17 断面高滩护坡结构坎顶边缘形成宽约 5 m、深 约 0.8 m 的冲刷沟。

5.3.2 丙寅洲上段外滩滩面守护 对于外滩冲刷区域,局部模型进行了 60~80 m 不同间距下散抛片石或 护底排加散抛片石压重的不同结构护滩带的守护效果试验,试验表明护滩带间距 60 m 较为适宜,但护滩带 附近仍有明显的冲刷坑形成,冲刷坑最大深度约 2.5 m;护滩带采取宽度为 8 m、护底排加散抛片石压重结构 的稳定性相对较好。

低滩滩面冲刷区采取加筋三维网垫生态护滩的方案,对局部流场的干扰小,滩面守护效果较好;且可促 进泥沙淤积形成自然坡面,改善生态环境。

5.3.3 丙寅洲中下段护坡顶与滩面衔接处理 河漫滩护坡一般守护至滩顶,滩顶与滩面衔接位置容易产生 局部冲刷,为防止守护工程水毁,在衔接区滩面散抛横向宽度为4m的片石,试验表明其守护效果较好。

6 结 语

窑监水道整治工程稳定了分汊格局,但其出口太和岭节点形态对大马洲水流动力轴线的摆动影响明显, 洲滩形态、航槽位置也会发生相应变化。本次航道整治设计方案重点是守护丙寅洲与大马洲崩岸,仍不足以 维护枯水河势及航槽稳定,建议大马洲河道由"S"型演变至单一弯道时,再进一步采取措施稳定有利河势。

由于丙寅洲初设守护方案护底排头前伸接近主槽位置,护底效果优于工可方案。丙寅洲上段外滩滩面 部分若没有植被覆盖,或施工过程中滩面上的植被受到破坏,滩面粉沙易受冲刷,应采取适宜的滩面守护工 程措施。

参考文献:

- [1] 余文畴, 卢金友. 长江中下游河道整治和护岸工程实践与展望[J]. 人民长江, 2002(8): 15-17. (YU Wen-chou, LU Jinyou. Regulation and bank revetment engineering practice and prospect in the middle and lower reach of the Yangtze River[J]. Yangtze River, 2002(8): 15-17. (in Chinese))
- [2] 余文畴, 卢金友. 长江河道崩岸和护岸[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (YU Wen-chou, LU Jin-you. Bank collapse and bank revetment engineering of the Yangtze River[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))
- [3] 马爱兴,曹民雄,王秀红,等.长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J].人民长江,2011(2):33-38.
 (MA Ai-xing, CAO Min-xiong, WANG Xiu-hong, et al. Regulation and bank revetment engineering practice and prospect in the middle and lower reach of the Yangtze River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2011(2): 33-38. (in Chinese))
- [4] 李文全, 雷家利, 王伟峰, 等. 长江中下游航道整治软体排护滩带结构优化设计[J]. 水运工程, 2012(1): 24-28. (LI Wen-quan, LEI Jia-li, WANG Wei-feng, et al. Structural optimization of flexible mattress beach protection belts used in waterway regulation in the middle and lower reach of the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(1): 24-28. (in Chinese))
- [5] 付中敏, 闫军, 刘怀汉. 下荆江监利河段河床演变与航道整治思路浅析[J]. 泥沙研究, 2011(5): 30-38. (FU Zhongmin, YAN Jun, LIU Huai-han. River bed evolution and thought of waterway regulation in Jianli section of Lower Jingjiang River [J]. Journal of Sediment Research, 2011(5): 30-38. (in Chinese))
- [6] 江凌,李义天,孙昭华,等. 三峡工程蓄水后荆江沙质河段河床演变及对航道的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010(2):1-10. (JIANG Ling, LI Yi-tian, SUN Zhao-hua, et al. Channel evolution of Jingjiang reach and its influences on waterway after impoundment of the Three Gorges Project[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2010(2):1-10. (in Chinese))
- [7] 赵世强,张绪进,文岑. 三峡工程变动回水区重庆河段泥沙模型试验研究报告[R]. 重庆:重庆西南水运工程科学研究 所,2001. (ZHAO Shi-qiang, ZHANG Xu-jin, WEN Chen. The sediment model test research on Chongqing reach in the Three Gorges project backwater region of the Yangtze River[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transportation Engineering

Institute, 2001. (in Chinese))

- [8] 王延贵, 胡春宏, 朱毕生. 模型沙起动流速公式的研究[J]. 水利学报, 2007(5): 518-523. (WANG Yan-gui, HU Chunhong, ZHU Bi-sheng. Study on formula of incipient velocity of sediment in model test[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007(5): 518-523. (in Chinese))
- [9] 师哲,龙超平,严军. 粉煤灰模型沙的试验研究[J]. 长江科学院院报,2000(3):14-18. (SHI Zhe, LONG Chao-ping, YAN Jun. Investigation of fly ash model sands[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2000(3):14-18. (in Chinese))
- [10] 严军, 殷瑞兰. 粉煤灰固结起动特性[J]. 泥沙研究, 2001(6): 55-60. (YAN Jun, YIN Rui-lan. Properties on incipient velocity and consolidation of fly ash[J]. Journal of Sediment Research, 2001(6): 55-60. (in Chinese))

Analysis of Damazhou waterway evolution characteristics and bank protection schemes of Binyinzhou shoal of the Yangtze River

ZHAO Zhi-zhou¹, PENG Kai¹, GAO Chen-long¹, ZENG Tao², XU Rui¹

(1. River and Ocean Engineering Department of Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineening Investigation and Design Institute, Chongqing

401147, *China*)

Abstract: The Damazhou waterway is a slightly meandering channel in the middle reaches of the Yangtze River, abutting on Yaojian bifurcation stream. For frequent translocation of the primary flow outflowing from the Jianli waterway, it directly leads to the instability of the primary flow along the Damazhou waterway and the position of the shoal, and to the change of deep channel. And there is a navigation hindering phenomenon of the meandering inflow section and wide-shallow outflow section. The design scheme is focused on the bank revetment of the Binyinzhou and Damazhou floodplain, and it is not enough to maintain the river regime and waterway stability during the low flow season. Some measures should be taken to stabilize the favorable river regime again when the "shape of S" of the Damazhou waterway evolves into a single meandering channel. Through local movable-bed model tests, different scheme studies on the design width of the bottom-protection mattress and the floodplain protection effects for the Binyinzhou shoal have been carried out. The analysis results show that the bottom protection effects of the preliminary design scheme are better than those of the recommended design scheme of the feasibility studies thanks to the frontage of the bottom-protection mattress placed closer to the main channel. As for the considerable erosion along the surface of the upper section of the Damazhou floodplain where the velocity is higher than 0.8 m/s in the major flood period, it is necessary to take some appropriate measures for the shoal protection works.

Key words: floodplain; waterway regulation; bank revetment; Damazhou waterway; Binyinzhou waterway; evolution of river bed