

三峡水库蓄水后关洲水道 河床演变特征及航道条件变化

游强强¹, 徐果², 赵德玉¹, 谢卫¹, 关永熙¹

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011; 2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 三峡水库蓄水运用后, 下游河段发生河流再造床过程, 河床进行冲淤调整。基于关洲水道三峡蓄水后 2003—2013 年原型观测资料, 分析蓄水后该水道河床的冲淤变化情况。结果表明: 该水道在三峡蓄水后总体处于冲刷态势, 尤以左汊冲刷明显, 这对该水道两汊分流产生较大影响, 进而影响主航道条件, 同时进一步恶化下游芦家河水道进口航道条件。在此基础上, 对本水道航道条件变化趋势进行预测, 认为目前比较优良的航道条件在自然作用下存在恶化的可能, 为本水道航道治理思路的形成和工程设计提供参考。

关键词: 关洲水道; 河床演变; 右汊进口浅滩; 航道条件

中图分类号: U 69

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0147-06

Characteristics of riverbed evolution and change of waterway conditions about Guanzhou waterway after water impoundment of the Three Gorges

YOU Qiang-qiang¹, XU Guo², ZHAO De-yu¹, XIE Wei¹, GUAN Yong-xi¹

(1. Changjiang Waterway Institute of Planning, Design & Research, Wuhan 430011, China;

2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430011, China)

Abstract: Since the impoundment of the Three Gorges reservoir, water and sediment to the downstream reach has changed, resulting in the process of river transformation on the Changjiang-Guanzhou river and erosion of the bed. Based on the latest prototype observation data of the reach after construction of the Gorges project, we know that the waterway after the Three Gorges reservoir is generally in the scour situation, especially the left branch. This situation exerts a great influence on the waterway shunt of the two branches, and thus further affects the main waterway conditions, and meanwhile influences the entrance channel conditions of the waterway downstream Lujiahe. Based on the above analysis, we predict the waterway variation trend, and think that the currently favorable waterway condition may change worse under the action of natural deterioration. The research result may serve as reference for the determination of the regulation inidea and engineering design of this waterway.

Keywords: Guanzhou waterway; river-course evolution; right branch import shoals; waterway condition

关洲水道位于长江中游上荆江河段上段, 距宜昌约 64 km, 处于山区河流向平原河流过渡地带, 河床多为砂卵石组成。从已有研究成果^[1-3]和大量观测资料来看, 关洲—芦家河水道沿程深泓凹凸起伏, 断面宽窄相间, 形成了多个对水位具有控制作用的节点, 关洲水道是受三峡水库运行

影响最早的水道之一。熊治平等^[4]通过分析关洲水道原型观测资料, 认为关洲洲顶受冲, 洲上心滩与串沟有所活动与发展, 洲头冲刷粗化, 洲尾冲刷退缩, 关洲整体似略有北移; 三峡建库后, 河槽将明显冲刷, 断面扩大, 但两汊断面扩大的方式会有差异, 主河槽及主航道的位置仍稳定于

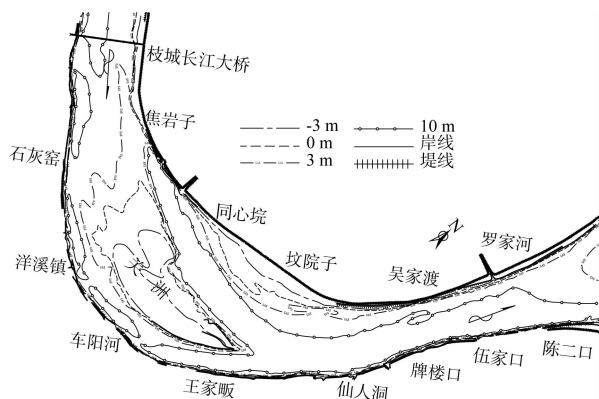
收稿日期: 2014-11-05

作者简介: 游强强 (1984—), 男, 工程师, 从事航道整治工程研究。

右汉,水道条件趋于稳定。从该水道近年来实测地形资料看,关洲水道左汉中下段快速冲刷发展,一方面不利于右汉进口主航道条件的维持,另一方面关洲两汉汇流条件的改变直接影响芦家河进口水流条件。笔者在大量实测资料及前人研究成果的基础上,重点分析2003年三峡水库蓄水以后关洲水道的演变特征及航道条件的变化,以便为本水道航道治理思路的形成提供参考。

1 河道及航道概况

关洲水道上起石灰窑,下止陈二口,中游航道里程555.1~566.0 km,长约10.9 km,属双股微弯分汉河型(图1)。关洲水道上接枝城水道,下接芦家河水道及荆江三口之一的松滋口,水道右岸为凹岸,临江侧是耸立的陡坡,多处礁石伸出,上有青蛙石、洋溪礁,下有仙人洞石坪,左岸汛期易形成边滩。水道内江心偏右有关洲将河道分为左右两汉,左汉又称关洲夹,以往洪水期通航,右汉在中、枯水期为主汉,目前无论洪、中、枯水,主航道均走右汉,该水道枯水期水深较大,航道条件良好。关洲左右两汉主支地位年内易位,其临界流量为 $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 左右,流量大于 $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,左汉为主汉,右汉为支汉;流量小于 $15\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,左汉为支汉,右汉为主汉。年内主汉由右到左,再由左到右,往返变更2次,水流动力轴线也随来流涨落而变化,为典型的年内交替型汉道^[5]。



注: 1. 根据长江航道测量中心2013年11月1:10 000测图绘制;
2. 采用1954年北京坐标系, 1956年黄海高程。

图1 关洲水道河势

2 上游来水来沙条件

2.1 径流

从2003年6月三峡水库开始正式蓄水到目前为止,三峡水库的运行调度方式分为3个阶段:

1) 135~139 m蓄水: 2003年6月—2006年9月,水库按135~139 m调度方式运行(汛后枯水期坝前水位139 m,汛期坝前水位135 m);

2) 144~156 m蓄水: 2006年9月—2008年9月,三峡水库按144~156 m方式蓄水运行(汛后枯水期坝前水位156 m,汛期坝前水位144 m);

3) 175~145~155 m试验性蓄水: 2008年9月至今,三峡水库按175 m方案蓄水试运行(汛后枯水期坝前水位175 m,汛期坝前水位145 m)。

三峡水库蓄水前,宜昌站多年平均流量为 $14\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$,多年平均径流量为4 368亿 m^3 ,实测最大流量为 $70\ 800\ \text{m}^3/\text{s}$,最小流量为 $2\ 770\ \text{m}^3/\text{s}$;三峡水库蓄水后,2003—2013年长江中下游各站水量偏枯5%~10%,宜昌、枝城两站点三峡蓄水后多年平均来流分别为3 957和4 069亿 m^3 ,较蓄水前多年平均分别减小9.3%和8.5%(表1),宜昌站年内中水期持续时间延长,枯水期流量增加,汛后退水加快。

表1 三峡水库蓄水后坝下主要水文站径流量

年份	径流量/亿 m^3		输沙量/亿t	
	宜昌	枝城	宜昌	枝城
多年平均(蓄水前)	4 368	4 450	4.92	5.000
2003年	4 097	4 232	0.976	1.310
2004年	4 141	4 218	0.640	0.804
2005年	4 592	4 545	1.100	1.170
2006年	2 848	2 928	0.091	0.120
2007年	4 004	4 180	0.527	0.680
2008年	4 186	4 281	0.320	0.390
2009年	3 822	4 043	0.351	0.409
2010年	4 048	4 195	0.328	0.379
2011年	3 393	3 583	0.062	0.098
2012年	4 649	4 727	0.427	0.484
2013年	3 752	3 827	0.300	0.317
多年平均(蓄水后)	3 957	4 069	0.465	0.560
蓄水后平均较蓄水前平均/%	-9.3	-8.5	-90.5	-88.7

2.2 泥沙

三峡水库蓄水前,宜昌站多年平均含沙

量为 1.15 kg/m^3 , 多年平均输沙量为 5.0 亿 t (1950—2000 年), 最大年输沙量为 7.45 亿 t (1954 年), 最小年输沙量为 3.22 亿 t (1992 年)。三峡水库蓄水后, 宜昌、枝城两站输沙量减幅 90%~80%, 减幅沿程递减。2003—2013 年宜昌站沙质推移质输沙量减小至 16.3 万 t, 较 1981—2002 年均值减小了 88%。宜昌、枝城两站点输沙量分别为 0.300 和 0.317 亿 t, 较蓄水前减小幅度为 90.5% 和 88.7% (表 1)。

从悬移质的中值粒径变化情况来看 (表 2), 在三峡蓄水初期受三峡水库拦蓄大量粗颗粒泥沙影响, 宜昌、枝城两站的中值粒径大幅度减小, 2008 年以来, 泥沙中值粒径又有小幅度增大, 目前已与蓄水前多年平均相当。

表 2 三峡水库坝下游主要水文站中值粒径对比 mm

年份	黄陵庙	宜昌	枝城
蓄水前平均*		0.009	0.009
2003	0.007	0.007	0.011
2004	0.006	0.005	0.009
2005	0.005	0.005	0.007
2006	0.003	0.003	0.006
2007	0.003	0.003	0.009
2008	0.003	0.003	0.006
2009	0.003	0.003	0.005
2010	0.006	0.006	0.007
2011	0.008	0.007	0.008
2012	0.007	0.007	0.009
2013	0.009	0.009	0.010

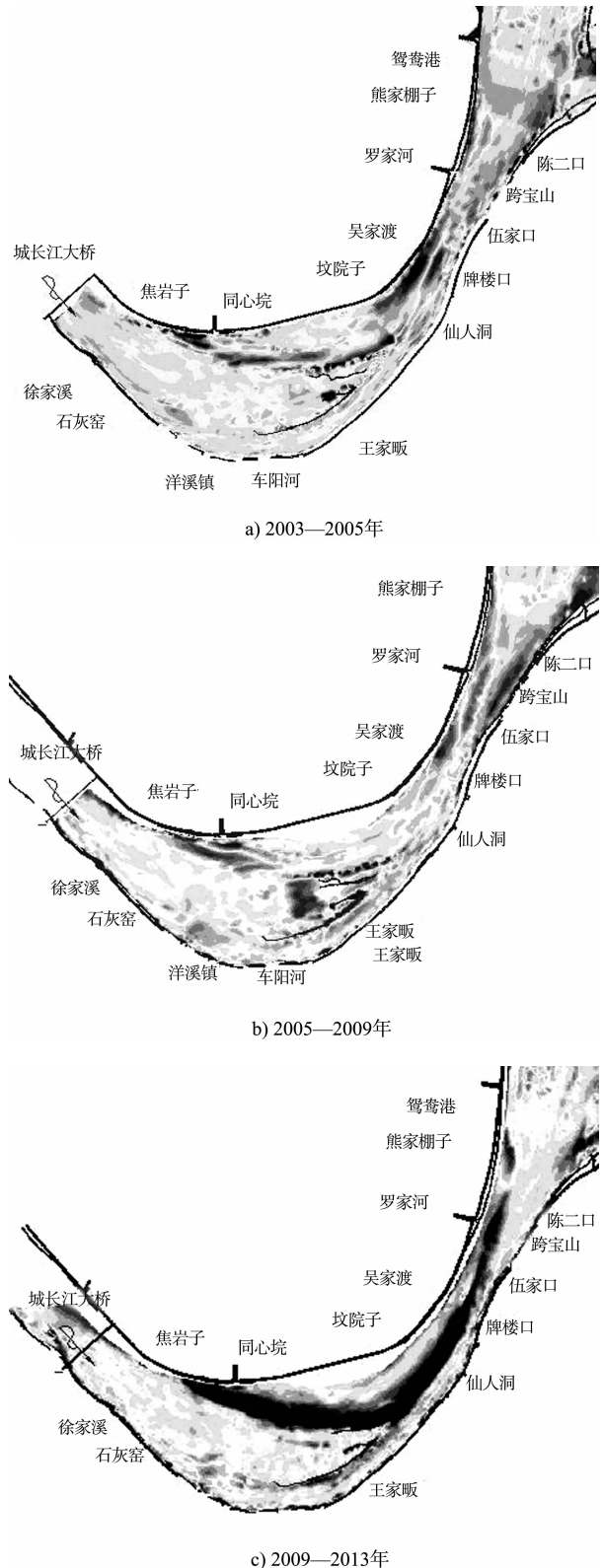
注: * 宜昌多年平均统计年份为 1986—2002 年; 枝城站多年平均统计年份为 1992—2002 年。

3 床演变特征

3.1 河床平面变化

从三峡水库蓄水后关洲水道冲淤调整情况来看, 2009 年以前, 关洲水道冲淤调整幅度较小, 关洲左汊小幅度冲刷, 右汊出口至芦家河石泓进口段有小幅度冲刷, 冲淤调整主要集中在关洲尾部, 表现为尾部岸线的持续后退; 2009 年以后, 三峡水库实施 175 m 试验性蓄水, 年内中水期持续时间进一步延长, 而关洲水道左汊在中洪水期时为主汊。中水期持续时间的延长加剧了关洲水道左汊的冲刷发展, 其平均冲深 5 m 以上, 左汊倒套不断上延发展, 右汊进口出现淤积, 左岸的

同心垸边滩萎缩及关洲尾部逐渐蚀退; 纵观整个三峡蓄水后的 2009—2013 年度, 关洲左汊冲刷发展明显, 右汊则出现小幅淤积 (图 2)。



注: 浅色区域代表淤积; 深色区域代表冲刷。

图 2 三峡蓄水后关洲水道冲淤变化

与关洲水道河床冲淤调整相呼应, 2009年以前各级等深线变化不大, 0 m 和 3 m 等深线宽度均表现出较为稳定的态势 (图 3); 2009年以后, 关洲水道的洲滩变化主要表现为关洲尾部左缘等深线的冲刷后退, 0 和 3 m 等深线均向洲体内侧后退约 300 m 左右, 后退范围为左缘中下段约 2 500 m, 呈陡坎式向后崩退, 目前已经崩退至关洲尾部高滩区域以内。

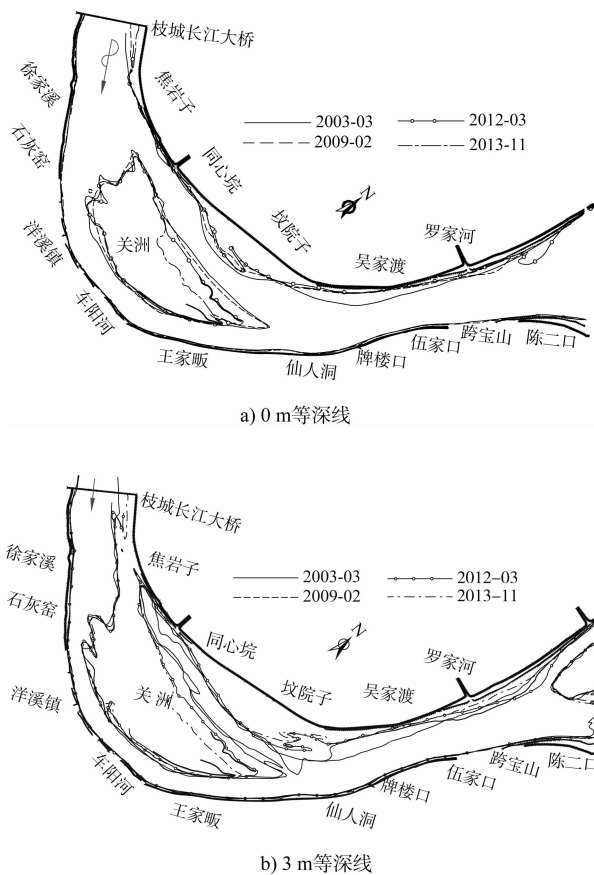


图3 三峡蓄水后关洲水道历年平面变化

3.2 河床剖面变化

3.2.1 深泓变化

2009年以前, 关洲水道河道形态基本稳定, 是典型的优良河段。2009年以来, 随着主冲刷带的逐渐下移, 关洲水道进入了大幅度冲刷时期, 且冲刷主要集中在关洲左汉区域。在关洲左汉发展的同时, 右汉也出现了小幅度淤积的态势, 右汉进口段深泓有所淤高 (图 4), 目前, 最浅点已经淤高至 5 m 左右, 随着左汉的进一步冲深发展, 右汉主航道内水深有可能进一步变浅。

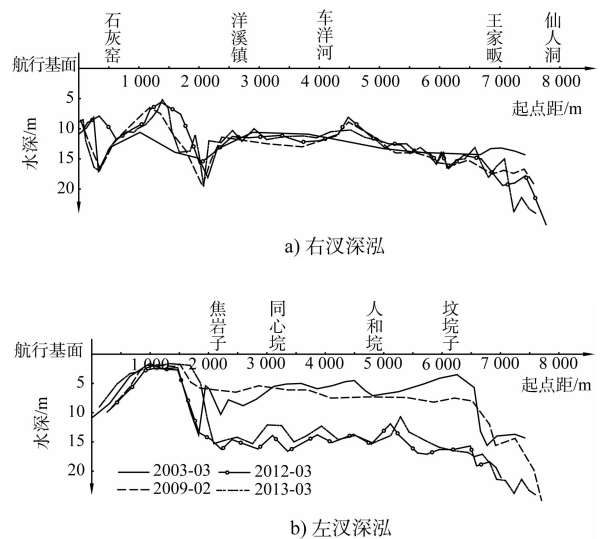


图4 三峡蓄水后关洲水道历年深泓线变化

3.2.2 断面变化

为进一步分析汉道内不同区域河床组成差异, 考察了关洲汉道进口与中部不同位置断面上河床组成变化情况 (图 5)。

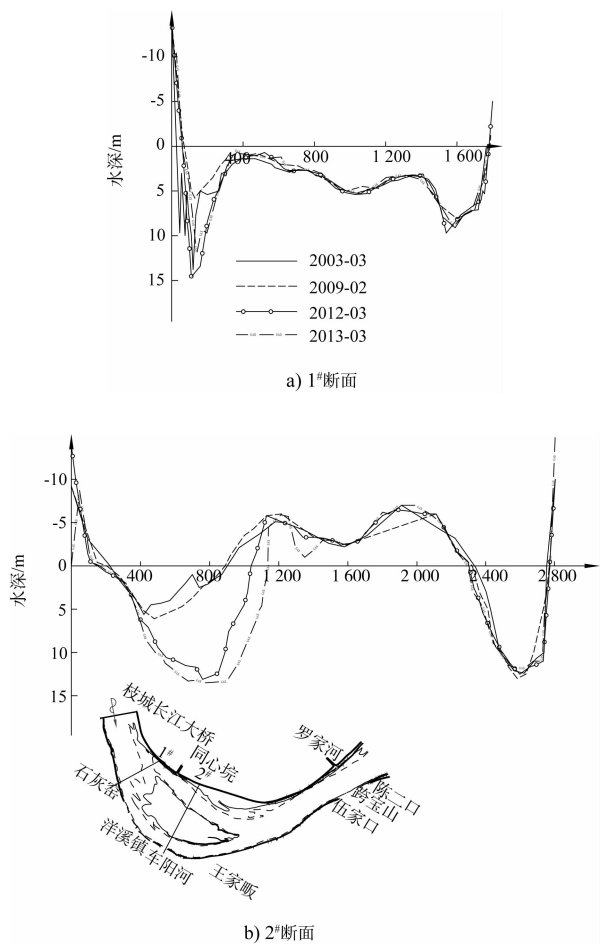


图5 三峡蓄水后关洲水道历年典型断面变化

1) 1[#]断面位于关洲头上游,断面形态为偏“W”型,主槽贴右岸,该断面岸坡较稳定,断面左侧冲淤变化较大。从2010年荆5断面床沙沿横向分布来看,断面左半部为纯沙质河床与卵石夹沙河床交错, D_{50} 一般为0.197~43.5 mm;断面右半部为卵石夹沙河床, D_{50} 一般为29.4~76.1 mm。与2003年同期比较,全断面明显粗化,断面左半部原为纯沙质河床,现在局部有卵石夹沙河床;2003年断面右半部 D_{50} 一般为12.7~21.6 mm,现在明显粗化。

2) 2[#]断面位于关洲汉道中部,该断面呈“W”型,多年来右汉基本稳定,冲淤变化不大,左汉冲淤变化较大。从2010年荆6断面床沙横向分布来看,左汉为纯沙质河床 D_{50} 一般为0.265~0.274 mm;右汉卵石夹沙与沙夹卵石河床交错, D_{50} 一般为0.443~35 mm, D_{max} 为36~47.2 mm。与2003年比较,左汉原为纯沙质河床, D_{50} 为0.205 mm,现在有所粗化。右汉原为纯沙质河床, D_{50} 为0.207 mm,现在明显粗化。

3.3 河床演变小结

以上演变现象和河床组成变化情况说明,关洲河段冲刷以支汉发展、边滩退缩等侧蚀方式为主,目前该水道右汉及关洲头部粗化明显,但左汉大部分及关洲洲体左侧仍以细沙为主,河床较不稳定,仍有进一步冲刷发展的可能。随着左汉继续发展以及分流能力的增加,关洲水道出口汇流段的水动力条件将继续向右岸集中,这对下游芦家河水道也有不利影响;同时左汉的冲刷发展,必然导致关洲分汉段的等水位过流面积增加,将引起枝城水位的下降,降低其对上游宜昌枯水位下降的控制作用。

4 航道条件变化

关洲水道自右汉成为全年主航道以来,航道条件一直保持良好的,目前航道维护水深为3.2 m,规划航道水深为3.5 m。表3为关洲水道三峡蓄水以来航道条件的统计。从表3可知,三峡蓄水后,关洲水道右汉进口最小航宽呈现逐年缩小的态势,

但减小幅度逐年变小,最小航宽由2006年的近300 m逐年减小至目前的210 m左右。随着关洲左汉的快速发展,势必会影响下游芦家河水道航道条件,从目前统计到的芦家河沙泓进口航宽变化(表3)可知,沙泓进口浅区航道条件恶化与关洲水道左汉快速冲刷发展有直接的关联。

表3 关洲—芦家河水道三峡蓄水以来
3.5 m水深最小航宽统计 m

时间(年-月)	关洲右汉进口	芦家河沙泓进口
2003-03	262	260
2005-03		317
2006-03	307	149
2007-08		3.5 m等深线未贯通
2009-03	211	255
2010-04	250	271
2010-11	194	98
2011-04	209	143
2012-03	258	159
2012-08	230	3.5 m等深线未贯通
2012-11	200	165
2013-03	236	178
2013-11	250	210

三峡水库蓄水以后,虽然以往以悬沙为主的冲淤调整将大大减弱,但受砂卵石推移运动以及人类活动等所引起的河床冲刷下切仍不可避免。关洲卵石河床近期已经出现了冲刷松动的迹象,尤其是河道内尚存少量沙质覆盖区域的部位,一旦主冲刷带下移,将在短期内出现较为剧烈的冲刷下切。与沙质河段不同,这一冲刷下切往往较为迅速,使得河道内滩槽形态及水流条件的调整具有一定的突发性,往往在短期内带来航道条件的恶化。

5 结语

1) 关洲水道左汉已经发生的冲刷将加剧洪水主流左摆的幅度,同时也会增强左汉洪水期的水动力条件。虽然左汉进口的高坎组成较粗,但缓慢冲开的可能性较大。同时非法采砂在该区域一直存在,非法采砂不仅会直接造成河床下切,还会破坏抗冲层,加剧河道自身的冲刷幅度。因此,

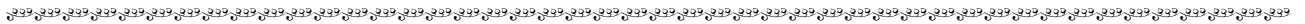
关洲水道左汊持续发展的态势是不容乐观的,同时由于左汊继续发展、分流比的增加,关洲水道出口汇流段的水动力条件将继续向右岸集中,这对下游芦家河水道也有不利影响。

2) 近年来,随着关洲水道左汊迅速冲深展宽,分流比增大,对下游河道进流条件产生了明显影响,同时自身右汊进口航宽、航深日趋减小。虽然关洲水道航深、航宽尚可满足规划要求,但目前,仅关洲左汊进口尚存 500 m 左右卵石高坎限制左汊分流,且下游水位仍处在逐渐下降过程中。一旦左汊进口冲开或者下游冲刷,势必引起关洲右汊进口水位进一步降低,而关洲右汊进口区域河床难以冲刷下切,关洲水道航道条件将迅速恶化。

参考文献:

[1] 陆永军,袁美琦,贾锐敏,等.三峡工程对下游河道的影响及治理措施的初步研究[J].水道港口,1997(2):11-29.
 [2] 熊治平.关洲、芦家河水道河床演变的几点认识[J].水运工程,1996(11):27-29.
 [3] 熊治平.修建三峡工程对关洲、芦家河河段河床演变影响的初步分析[G].长江三峡工程泥沙研究文集,北京,中国科学技术出版社,1990.
 [4] 熊治平,邓良爱.荆江关洲河段河道演变分析[J].人民长江,1999(5):28-29.
 [5] 茆长胜,游强强,李明.长江中游宜昌至昌门溪河段航道整治一期工程工可阶段动床模型试验研究报告[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2013.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第 146 页)

4 结论

本试验通过四面六边透水框架坝的木箱抛投、陆上抛投和水槽静水抛投,得到了如下结论:
 1) 在木箱边长 50 cm、震抖条件下的三架捆绑体的框架抛投得到的以框架杆件长度为单位长度的单位体积内可容纳的框架个数约为 1.84 架;
 2) 三架捆绑体在震抖抛投后得到的平均孔隙率为 89.25%,框架震抖抛投更密实;
 3) 四面六边透水框架坝抛投试验得三架捆绑体的陆上单层坝高 4.3 cm,两架捆绑体的陆上单层坝高 4.1 cm,框架单体的陆上单层坝高 3.5 cm;
 4) 陆上顺抛投设计比陆上逆抛投设计得到的四面六边透水框架坝坝高、坝宽和坝面坡度更好地符合框架坝设计;
 5) 水槽静水抛投采用陆上顺抛设计得到的四面六边透水框架坝误差控制为施工中的参考检验标准,其中坝顶高程范围为 0 ~ L,坝顶宽度范围为 0 ~ 1.4L,坝面坡度范围为 -3% ~ 15%。

参考文献:

[1] 雷国平,谭伦武,郑惊涛,等.长江下游东流水道航道整治二期工程初步设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2012.
 [2] 刘兆锋,李如杰,叶素策.混凝土四面六边透水框架群技术的研究与应用[J].中国水运,2010(1):114-115.
 [3] 徐国宾,张耀哲.混凝土四面六边透水框架群技术在河道整治、护岸及抢险中的应用[J].天津大学学报,2006,39(12):1465-1469.
 [4] 王明进.四面六边透水框架保护丁坝、码头模型试验研究[J].江西水利科技,1997,23(4):191-193.
 [5] 刘倩颖,王平义,喻涛,等.四面六边透水框架群的护滩效果研究[J].水运工程,2009(12):44-48.
 [6] 王南海,张文捷,王玢.新型护岸技术-四面六边透水框架群在长江护岸工程中的应用[J].长江科学院院报,1999,16(2):11-16.
 [7] 谭伦武,雷国平,尹书冉,等.不同形式透水构件群孔隙率及陆上稳定性研究[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2011.
 [8] JTS 257—2008 水运工程质量检验标准[S].

(本文编辑 武亚庆)