

· 航道及通航建筑物 ·



三峡工程运用后水沙变化对 世业洲汉道河床演变的影响*

许 慧¹, 张 健^{1,2}, 张伟露³

(1. 南京水利科学研究院, 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029;
2. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 南京瑞迪科技服务有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要: 长江南京以下河段以分汊河型为主, 受径流和潮汐的共同作用, 水沙运动及河床冲淤复杂。以南京以下 12.5 m 深水航道重点碍航浅滩之一的仪征水道为例, 在已有研究成果的基础上, 根据近期实测水文泥沙和地形资料, 分析三峡水库蓄水前后仪征水道演变特性, 探讨三峡枢纽运行后水沙变化对河床冲淤的影响。结果表明: 三峡水库蓄水后, 仪征水道河床冲淤与蓄水前有所不同。蓄水前世业洲左汊冲刷、右汊微淤, 蓄水后左右汊均表现为冲刷下切; 蓄水前大洪水对水道滩槽格局影响较大, 蓄水后受水库调蓄影响, 洪峰流量减小, 水沙对滩槽格局的影响有所减弱。

关键词: 三峡水库; 水沙条件; 河床演变; 分汊河段; 滩槽格局

中图分类号: TV 147; U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)07-0094-06

Influence of change of water and sediment on river evolution in Shiyezhou branch channel of the Yangtze River after application of Three Gorges project

XU Hui¹, ZHANG Jian^{1,2}, ZHANG Wei-lu³

(1.Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2.College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3.Nanjing R&D Tech Service Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: The reaches of the Yangtze River below Nanjing are mainly the branch river type. The movement of water and sediment, and riverbed erosion and deposition are complex by the combined action of runoff and tide. Taking the Yizheng waterway of key navigation obstructing shoal in 12.5 m deep water channel below Nanjing as an example, we analyze the evolution characteristics of this waterway before and after impoundment of the Three Gorges Reservoir according to the existing research results and the recently measured hydrological, sediment and topographic data, and discuss the influence of water and sediment changes on riverbed erosion and deposition after the impoundment of Three Gorges Project. The results show that after the impoundment of the Three Gorges Reservoir, the riverbed erosion and deposition are different from those before impoundment. Before the impoundment, the Shiyezhou left branch scours, and the right less deposition; after storage, both of them as scouring. Before the impoundment, the flood has a great influence on the pattern of the channel beach. After the water storage, the flood water is affected by the reservoir, and the flood decreases, the influence of the water and sand on the evolution of the beach is weakened.

Keywords: Three Gorges Reservoir; water and sediment condition; riverbed evolution; branching river; pattern of channel beach

收稿日期: 2020-10-15

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0405206)

作者简介: 许慧(1982—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为水力学及河流动力学。

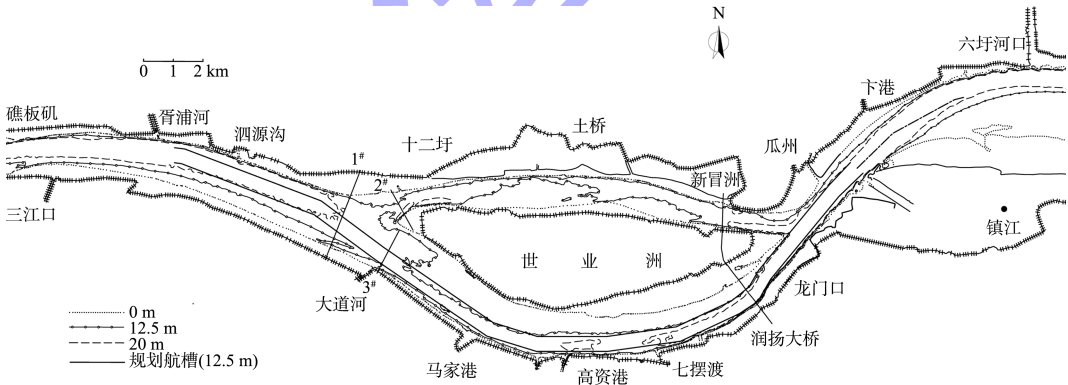
自 2003 年 6 月三峡水库开始蓄水以来, 长江中下游干流河道径流量变化不大, 输沙量大幅减少。出库泥沙的大幅度减小引起枢纽下游河道普遍冲刷, 特别是长江中游宜昌—湖口长约 955 km 的河道, 冲刷发展较快, 冲刷自上逐渐向下游发展^[1-2], 南京以下的河道冲刷也已开始显现。

世业洲汉道作为碍航卡口河段, 一直是水利、航运部门关注的重点河段之一。早期的研究主要是针对三峡蓄水前世业洲汉道的演变规律, 并提出河势控制工程方案^[3]。三峡蓄水后, 由于水沙条件的变化, 河床也随之演变, 韩卓雄^[4]以原型观测资料为基础, 分析世业洲汉道近期河床演变, 探讨演变的影响因素, 通过物理模型对演变趋势进行预估。朱庆元等^[5]从上游来水来沙、汉道分流比、深泓线及断面要素等方面, 分析世业洲汉道河床演变特性, 提出汉道整治思路。本文分析

三峡蓄水前后长江下游大通水文控制站水沙条件的变化, 主要对比世业洲汉道在三峡蓄水前后 10 年之间的分流比、洲滩及断面变化、河床冲淤量, 阐明水沙变化对世业洲汉道河床演变的影响, 预测 12.5 m 航道整治工程实施后河床演变趋势, 为强人类活动影响下的江河治理提供一定的参考。

1 工程概况

世业洲汉道上迄三江口, 下至瓜洲, 长约 35 km(图 1)。其中, 三江口—泗源沟为单一型河道, 河道上窄下宽, 平均河宽约 1.43 km; 泗源沟—瓜洲渡口被世业洲分为左右两汉, 右汉为主汉, 为曲率比较小的弯曲河道, 平均河宽约 1.45 km; 左汉为支汉, 呈顺直型, 平均河宽约 0.88 km。长江主流流入进口弯道段后, 由左向右过渡至世业洲右汉, 主流沿世业洲右汉的右岸下行至龙门口附近与左汉支流汇合后, 又向左过渡至出口六圩弯道段。



注: 绘图基面为当地航行基准面, 高程为大道河-0.15 m。

图 1 2014 年 7 月世业洲汉道河势

世业洲汉道位于镇扬河段上首, 水利部门对镇扬河段实施 5 个阶段的河势控制工程^[6-7], 其中涉及世业洲汉道的工程措施主要有: 十二圩、新冒洲、世业洲头、龙门口一带等岸线守护。

航道部门于 2015—2019 年实施了 12.5 m 深水航道整治工程, 建设内容主要包括^[8]: 1) 世业洲洲头守护工程, 洲头潜堤及南北侧丁坝; 2) 左汉护底工程; 3) 世业洲右缘丁坝。

2 三峡蓄水后下游水沙条件变化

2.1 控制站水沙条件

河道上游控制站有大通水文站, 其间无大的分汇流, 因此可采用大通站的水沙资料反映本河段的来水来沙情况。三峡蓄水后径流量略有减少, 而来沙量则锐减了 67%。径流年内分布见表 1。可以看出, 蓄水前后水量均集中在汛期 5—10 月, 但年内分布有所变化, 其中水库消落期径流增大,

蓄水期径流减少约 3%。蓄水后输沙总量大幅减少,但年内分配仍大体与径流过程相对应,且沙量较水量更为集中,蓄水前主汛期 7—9 月输沙量占全年的 60.2%,蓄水后主汛期输沙量占全年的 50.6%,有所减小。

月份	蓄水前 (1950—2002 年)		蓄水后 (2003—2015 年)	
	水量/亿 m ³	占年均量/%	水量/亿 m ³	占年均量/%
1	294	3.3	343	4.1
2	286	3.2	333	4.0
3	427	4.7	512	6.1
4	625	6.9	584	6.9
5	906	10.0	831	9.8
6	1 045	11.5	1 042	12.3
7	1 353	14.9	1 202	14.2
8	1 185	13.1	1 071	12.7
9	1 045	11.5	927	11.0
10	896	9.9	690	8.2
11	606	6.7	500	5.9
12	384	4.2	403	4.8

2.2 潮汐和潮流特性

世业洲汉道属感潮河段,由于距河口较远,潮波变形已十分显著,潮汐作用相对较弱。许慧等^[9]采用平面二维潮流数学模型,模拟不同径流和潮流过程组合作用下世业洲汉道水流条件,计算表明:洪季,世业洲汉道无上溯潮流;枯季,瓜洲断面位置处有上溯潮流(最大流速为 0.29 m/s),由于河段内潮流上溯流速历时较短,流速值也低于起

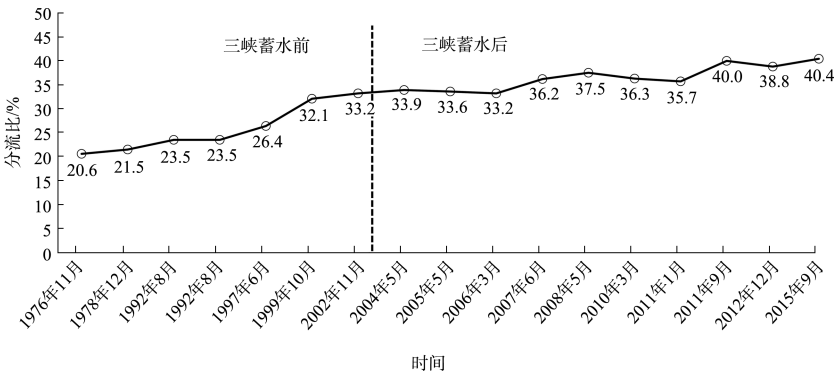
动流速,故潮汐对水道河床演变的影响较小。

3 水沙变化对河床演变的影响

从 20 世纪 90 年代—2015 年(航道整治工程实施前),虽然世业洲汉道内人类活动频繁,但主要是岸线守护以及沿岸码头建设,这些人类活动守护两岸的岸线,稳定河势,但对河道内滩槽的演变影响不大,可以认为近 20 年来世业洲汉道的河床演变是岸线受控条件的汉道调整及河床冲淤变化。谢鉴衡^[10]认为:河床演变是具有动边界的水沙两相流必然会发生的现象,影响河床演变的主要因素可以概括为进口条件、出口条件及河床周界条件。上述 3 个条件有主有从,不能同等对待,受来水来沙的影响最大。因此,通过对比三峡蓄水前后 10 年间分流比、滩槽、冲淤量、典型断面变化,可以反映三峡运行后水沙变化对世业洲汉道演变的影响。

3.1 分流比变化

三峡蓄水前,1975—1990 年左汉分流比缓慢增加,年均增幅 0.1%,进入 20 世纪 90 年代后,左汉分流比继续增加,特别是 1998、1999 年两场大洪水后,这两年内左汉年均增幅为 2.8%(图 2)。三峡蓄水后,由于水库调蓄作用,相比于 20 世纪 90 年代,上游来流量基本以中小水年为主,左汉分流比呈缓慢发展的态势,年均增幅 0.4%,2015 年 9 月达到最高值 40.4%。



注:统计流量为 1.4 万~2.7 万 m³/s。

图 2 世业洲左汉分流比变化

3.2 滩槽变化

1)0 m 线变化。三峡蓄水前,受泗源沟以下水流动力轴线左摆影响,泗源沟—十二圩一带岸线持续后退,伴随着左汉分流比增大,左汉进口左侧低滩冲刷显著,近年来,随着护岸加固工程的实施,岸线基本趋于稳定;三峡蓄水后局部岸线仍不稳定,同时世业洲洲头右缘边滩冲刷,形成倒套,右汉进口深槽略有淤积,右汉进口冲滩

淤槽,趋于宽浅。

2)12.5 m 线变化。三峡蓄水前,来水来沙量相对较大,河道往往表现为大冲大淤,世业洲右汉进口段 12.5 m 深槽部分不通或宽度不足 500 m,特别是大水大沙年后,12.5 m 深槽在右汉新河口—马家口断开严重,航道维护困难;三峡蓄水后,右汉进口段 12.5 m 深槽基本贯通,航道条件好转(图 3)。

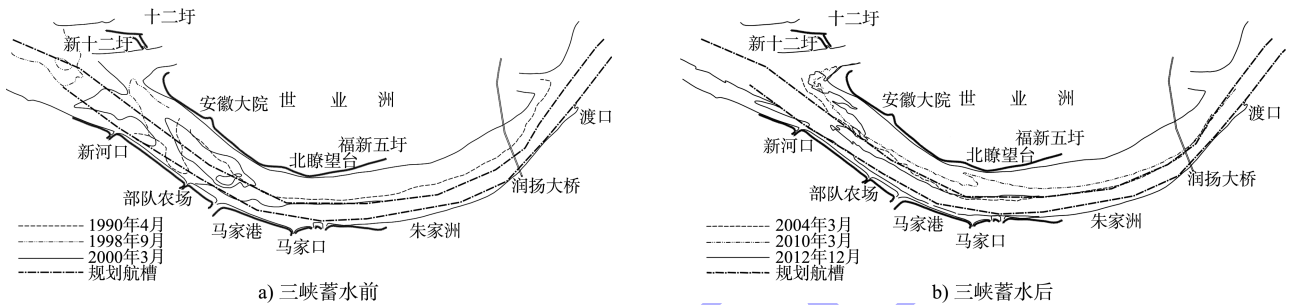


图 3 世业洲右汉进口段 12.5 m 深槽变化

3.3 冲淤量变化

世业洲水道河床冲淤量统计见表 2。可以看出,三峡蓄水前,世业洲左汉以冲刷为主,右汉以淤积为主。左汉冲刷主要集中在-10 m 高程以上岸滩区域,1993 年后,左汉整体呈冲刷下切的现象;右汉-5 m 以上岸滩及-10 m 以下深槽

均有所淤积。

三峡蓄水后,由于上游来沙量锐减,河段呈整体冲刷态势,左汉冲刷量最大,约为右汉总冲刷量的 2.2 倍;洲头分流区和汇流区冲刷量相对较小,主要集中在-15 m 高程以下深槽区域。

表 2 世业洲水道河床冲淤量

阶段	分区名称	冲淤量/万 m ³					
		0 m 线以下	-5~0 m 线	-10~-5 m 线	-15~-10 m 线	-20~-15 m 线	-20 m 线以下
1993—2003 年	洲头分流区	-680	-30	-80	-200	-240	-130
	世业洲左汉	-2 280	-880	-800	-420	-160	-30
	世业洲右汉	1 110	930	-560	220	380	140
	汇流区	170	280	210	100	140	-570
2004—2013 年	洲头分流区	-980	-30	-10	-130	-620	-200
	世业洲左汉	-5 100	-270	-1 690	-2 560	-450	-140
	世业洲右汉	-2 340	-220	-290	-570	-190	-1 090
	汇流区	-1 320	70	-10	-50	-90	-1 240

注:冲刷为负,淤积为正。

3.4 断面变化特征

三峡水库蓄水后,冲淤发生部位和断面变化在河道的不同区域呈现不同的特征,见图 4。

世业洲洲头分流区断面逐渐冲刷扩大,河宽逐年增大,至 2010 年河宽达到最大值,后

又有所减小,平均水深逐渐增加,宽深比由 3.3 减小至 2.6,世业洲洲头冲刷后退,使分流区面积、河宽和水深有所增加,河相系数的逐渐减小,反映出分流区河床稳定性趋好态势。

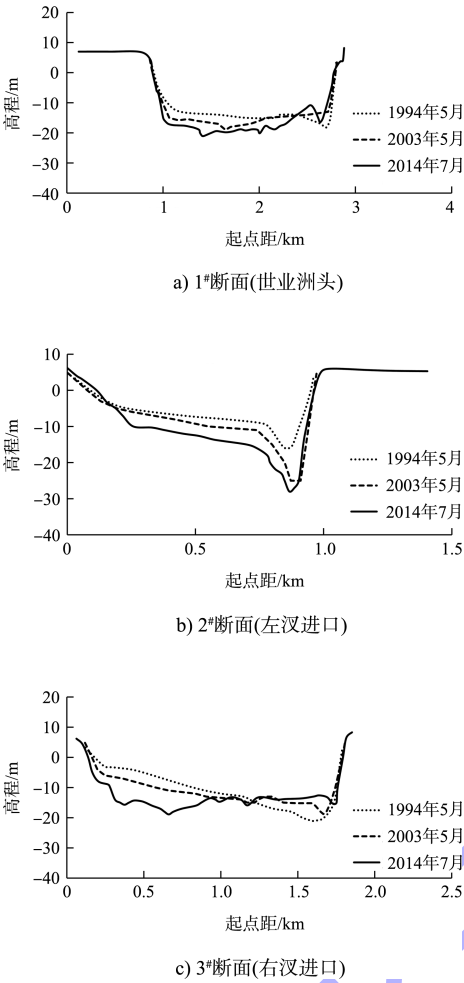


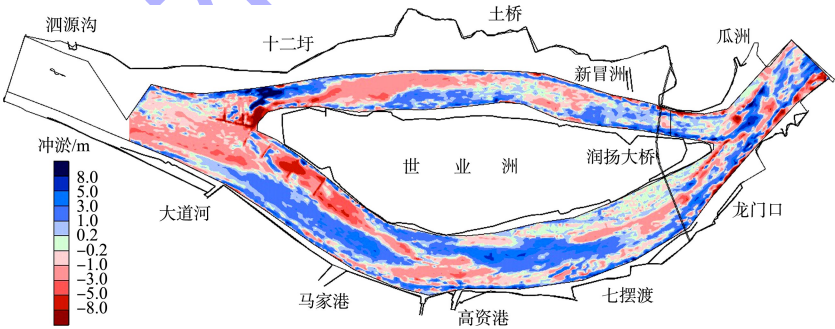
图 4 典型断面变化

左汉在蓄水前后断面均呈持续冲刷扩大的态势。三峡蓄水后，左汉进口 0 m 高程以下的过水断面面积继续增大，增幅为 41%~53%，河宽略有增大，而平均水深增幅明显，增加了 3.6~5.1 m，宽深比由 3 减小至 2。左汉中段河床变化情况与进口基本相近。

右汉在蓄水前后断面变化相对较缓和，宽深比变幅不大。右汉进口在 1974—2015 年的 41 年间宽深比基本不变，各年均保持在 3~4；世业洲右汉中段河床变化幅度很小，宽深比保持在 3.2~3.9。

4 深水航道整治工程实施后河床变化

南京以下深水航道工程于 2015 年 5 月开始实施，2017 年 5 月主体建筑物交工。2017—2019 年间，世业洲洲头守护工程稳定了洲头低滩，洲头有所淤积；左汉进口受到限制，分流比减小，减幅为 2.2%，但年际间受到水沙条件影响，分流比仍处于波动状态；右汉左岸边滩淤积、深水航槽内冲刷下切，航道条件得到改善。世业洲汉道深水航道整治工程交工至竣工（即 2017 年 5 月—2019 年 4 月）冲淤变化见图 5。



注：冲刷为负，淤积为正。

图 5 世业洲汉道深水航道整治工程交工至竣工冲淤变化

5 河床演变趋势

5.1 水沙变化趋势

文献[11]通过构建宜昌—大通—维水沙数学模型，基于 1991—2000 年与上游建库水沙系列，考虑上游梯级水库和三峡工程水沙调节，计算分析 20 年后宜昌—大通站水沙过程，对比 1991—2000 年系列实测和 2003 年以后实测资料，对大通

站水沙过程的合理性及变化趋势进行分析，认为枢纽运行对大通站径流总量影响不大，但年内分配有所变化，洪峰流量有所消减，枯水流量增加，汛后蓄水期平均流量变化显著。洪峰平均含沙量减少 49%，汛后蓄水期平均含沙量减少 69%，与 2003 年以后实测资料相比，同流量输沙率逐年下降。

5.2 演变趋势预测

航道整治工程守护的区域, 河床冲刷得到遏制, 而工程守护范围有限, 随着长江上游三峡等水库蓄水对长江下游乃至河口段的影响逐步显现, 世业洲右缘下段边滩冲刷, 河道展宽, 航槽有所淤积; 同时, 由于工程未对左汊发展进行根本控制, 大水年份的左汊局部区域冲刷仍较为明显, 分流比仍存在不稳定因素, 若遇到大洪水连续作用, 左汊分流比仍有恢复上涨的可能。

6 结语

1) 三峡工程采用汛后蓄水、汛前消落的调度方式, 汛末退水加快, 蓄水期长江下游流量减小, 枯水期和消落期流量增大, 蓄水后输沙总量大幅减少, 但年内分配仍大体与径流过程相对应, 蓄水前主汛期 7—9 月输沙量占全年的 60.2%, 蓄水后主汛期输沙量占全年的 50.6%, 有所减小。

2) 三峡水库蓄水后, 仪征水道河床冲淤与蓄水前有所不同。蓄水前, 世业洲左汊冲刷、右汊微淤; 蓄水后左右汊均表现为冲刷下切。蓄水前, 大洪水对水道滩槽格局影响较大, 大洪水作用后, 世业洲左汊进口滩槽冲刷显著, 分流比增幅明显, 右汊进口段 12.5 m 航槽往往呈现断开的状况; 蓄水后, 受水库调蓄影响, 洪峰流量减小, 水沙对滩槽格局的影响有所减弱。

3) 世业洲汉道深水航道工程完工以来, 关键部位如世业洲头、世业洲右缘、世业洲左汊进口等得以守护, 进一步稳定滩槽格局, 同时工程在一定程度上促进右侧航槽冲刷下切, 有利于航道

条件的改善。

参考文献:

[1] 许全喜. 三峡工程蓄水运用前后长江中下游干流河道冲淤规律研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 146-154.

[2] 卢金友, 黄悦, 王军. 三峡工程蓄水运用后水库泥沙淤积及坝下游河道冲刷分析[J]. 中国工程科学, 2011, 13(7): 129-136.

[3] 季成康, 左迎新. 长江下游仪征水道稳定性分析[J]. 人民长江, 2002, 33(3): 36-38.

[4] 韩卓雄. 长江镇扬河段世业洲汉道演变机理及航道治理措施研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2012.

[5] 朱庆元, 刘同宦, 丁虎, 等. 长江下游镇扬段世业洲汉道演变和整治措施研究[J]. 人民长江, 2015, 46(13): 1-4.

[6] 余文畴, 卢金友. 长江河道演变与治理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

[7] 潘庆桑, 胡向阳. 长江中下游河道整治研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.

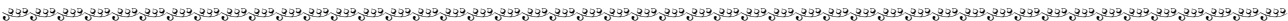
[8] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 长江航道规划设计研究院. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程初步设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2015.

[9] 许慧, 李国斌, 尚倩倩. 仪征水道河段工程总平面布置水流泥沙数模研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2013.

[10] 谢鉴衡. 河床演变及整治[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2013.

[11] 南京水利科学研究院. 三峡枢纽运行后水沙条件变化对深水航道治理工程的影响研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院. 2015.

(本文编辑 王璁)



征订通知

2022 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. sygc. com. cn](http://www.sygc.com.cn) 首页下载中心下载“2022 年《水运工程》征订通知单”, 有关要求和反馈信息一应俱全。