

三峡水库蓄水前后宜都弯道河道演变特性分析

熊刚, 林涛涛, 张鹏宇

长江水利委员会水文局长江三峡水文水资源勘测局, 湖北 宜昌

收稿日期: 2022年9月26日; 录用日期: 2022年12月1日; 发布日期: 2022年12月31日

摘要

为研究宜都弯道在三峡水库蓄水前后的河道演变特征, 采用1970~2021年实测的地形资料, 分析了宜都弯道岸线、深槽、深泓、横断面和冲淤变化特性, 结合弯道水流运动特性进一步分析了河道演变的机理。分析结果表明: 与一般弯道“凹冲凸淤”的规律不同, 宜都弯道主要冲刷部位为弯道上游马家溪边滩和下游曾家溪边滩, 马家溪边滩冲刷时期集中在三峡水库蓄水前的汛期, 曾家溪边滩在三峡水库蓄水前后持续受到冲刷, 汛期和枯水期均有发生。

关键词

宜都弯道, 弯曲分汊, 三峡水库, 河道演变, 水流特性

Analysis of River Channel Evolution Characteristics of the Yidu Bend before and after the Three Gorges Reservoir Impoundment

Gang Xiong, Taotao Lin, Pengyu Zhang

Three Gorges Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Hydrology Bureau of Changjiang Water Resources Commission, Yichang Hubei

Received: Sep. 26th, 2022; accepted: Dec. 1st, 2022; published: Dec. 31st, 2022

Abstract

In order to study the river channel evolution characteristics of the Yidu Bend before and after the impounded water in the Three Gorges Reservoir, the landform data measured from 1970 to 2021 were used to analyze the change characteristics of water front, deep groove, thalweg, cross section, erosion and siltation of the Yidu bend, and the mechanism of river channel evolution was further analyzed combined with the

作者简介: 熊刚, 湖北安陆人, 出生于1992年4月, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为水文与水资源研究, Email: 874960501@qq.com

flow movement characteristics of the bend, which is different from the rule of “erosion of concave banks and siltation of convex banks” in general bend. The analysis results show that the main scouring sites of the Yidu bend are Majia Stream side beach on the upstream of the bend and Zengjia Stream side beach on the downstream of the bend. The scouring period of Majia Stream side beach is concentrated in flood season before the impoundment of the Three Gorges Reservoir, and Zengjia Stream side beach continues to be scoured before and after the impoundment of the Three Gorges Reservoir, both in flood season and dry season.

Keywords

The Yidu Bend, Curved Branching, The Three Georges Reservoir, River Channel Evolution, Water Flow Characteristic

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

三峡水库运行后, 坝下游河段来水来沙条件发生了显著的变化, 下游河道汛期洪峰流量削减、枯水期流量增大、来沙量急剧减小, 改变了坝下游河段的边界条件, 河道演变规律有所调整。三峡水库运行后下游河床冲刷随时间自上而下发展[1], 三峡水库蓄水前, 下荆江存在“凸冲凹淤”“凸淤凹冲”两种形态, 三峡水库蓄水后均表现为“凸冲凹淤”的一致性规律[2], 三峡蓄水后下荆江调关-莱家铺弯道凸岸边滩逐渐萎缩, 凹岸淤积, 深槽逐渐向凸岸移动[3], 发生“凸冲凹淤”的主要原因是来水量年内分配规律的变化和来沙量大幅减小造成的[4], 三峡运行后长江中游弯曲段主流线发生变化, 进而导致弯道内及顺直过渡段的主流线弯曲半径的改变, 水流顶冲位置相应改变, 并可能产生撇弯切滩[5], 弯曲分汊河段作为分汊河型中的一种, 兼有弯道和分汊河道的演变特性, 虽然不同弯曲分汊河段演变特点各有不同, 但冲淤变化和水流运动特性规律都是相同的[6]。

目前国内外对于急弯河道研究多以水流特性为主, 研究手段多为定床试验, 此外, 对于天然弯道的边滩研究涉及的太少[7], 本文以宜都弯道为研究对象, 该弯道分布有心滩和边滩, 同时又有清江入汇, 分析三峡水库蓄水前后河道的河道演变特征, 结合弯道的水流运动特性, 进一步探究河道演变规律的形成机理。

2. 河道概况

2.1. 研究河段

宜都弯道位于宜枝河段尾部, 弯道起于云池, 止于白洋镇, 全长 11.75 km。宜都弯道上、下段较为顺直, 呈现出两端窄中间宽的形态, 上、下段河宽在 1100~1200 m, 中间段河宽在 1400~1500 m, 弯道凹岸有清江入汇, 与长江主流夹角约为 80°。

宜都弯道右侧江心为南阳碛洲体, 水流在此分为左右两泓, 左侧为沙泓, 右侧为石泓, 河段左岸从上至下依次有向家溪边滩、曾家溪边滩, 右岸清江口下游有三马溪边滩、大石坝边滩, 见图 1。

2.2. 资料来源

本文采用水沙资料、水道地形资料和固定断面资料基本情况见表 1。宜都弯道属坝下游河段, 弯道演变特性主要受上游水利枢纽的影响, 结合三峡水利枢纽和葛洲坝水利枢纽的蓄水期, 把分析时段分为天然时期、葛洲坝独立运行期、围堰发电期、初期蓄水期、试验性蓄水期, 见图 2。平面坐标、高程系统分别采用 1954 年北京坐标系和 1985 国家高程基准。

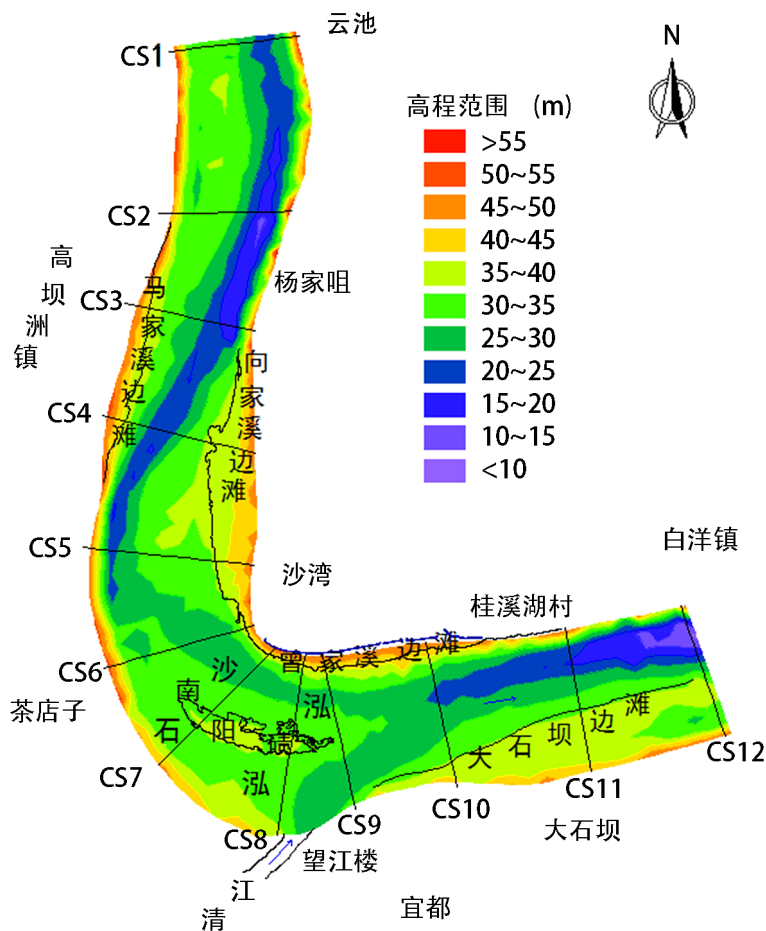


Figure 1. The Yidu bend river map
图 1. 宜都弯道河势图

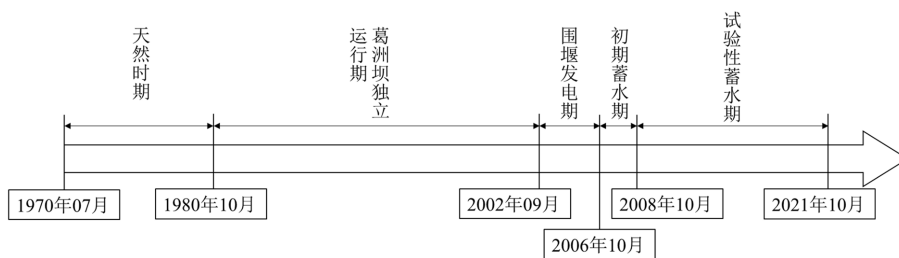


Figure 2. Analysis period division diagram
图 2. 分析时段划分图

Table 1. Data used information table
表 1. 采用资料基本情况表

数据类型	数据	时间	数据来源
水沙资料	宜昌站	1970~2021 年	长江水利委员会水文局
水道地形	宜都弯道	1970 年 07 月、1980 年 10 月、2002 年 09 月、	
固定断面	CS1~CS12	2006 年 10 月、2008 年 10 月、2021 年 10 月	

注：为保证水沙资料与地形、固断资料时间的一致性，宜昌站水沙采用 1970~2021 年资料进行分析。

3. 来水来沙特性

宜都弯道上游约 30 km 有宜昌水文站，宜昌水文站至宜都弯道之间没有大的支流入汇，因此，可采用宜昌水文站的资料来分析宜都弯道的来水来沙变化特性。

1970 年~2021 年宜都弯道年均径流量为 4176 亿 m³，各时段年径流量变化幅度在-6%~4%之间，年径流量变化幅度较小；天然时期、葛洲坝独立运行期宜都弯道年输沙量分别为 4.8 亿 t、4.6 亿 t，输沙量变化不大，三峡蓄水后在围堰发电期、初期蓄水期、试验性蓄水期年输沙量分别为 7017 万 t、4235 万 t、2112 万 t，可见各时段上游来沙量呈累积性减小的趋势，最大减小幅度达 96%，来沙量减小主要集中在三峡蓄水后的围堰发电期和初期蓄水期，见图 3。

考虑到葛洲坝水利枢纽属于径流式电站，宜都弯道来水来沙主要受三峡水利枢纽的影响，在分析径流量和输沙量年内变化时，将分析时段划分为三峡蓄水前和三峡蓄水后。

三峡蓄水后枯水期各月份径流量呈现不同程度的增大，枯水期径流量占比由蓄水前的 21%增加到蓄水后的 27%，2 月份、3 月份径流量最大增加幅度达 52%，主要受三峡水利枢纽枯水期向下游补水的影响；三峡蓄水后

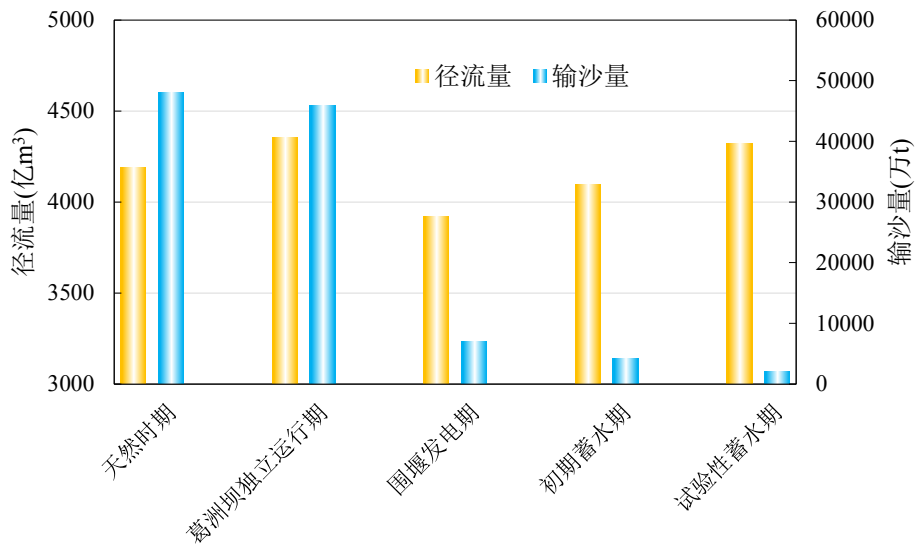
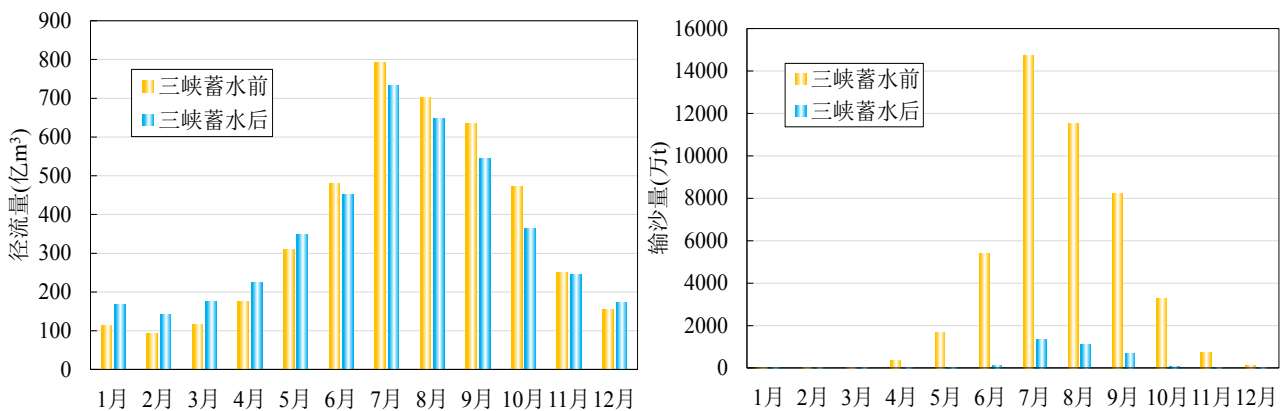


Figure 3. Variation diagram of runoff and sediment load in each period
图 3. 各时段径流量和输沙量变化图



注：汛期系指 5~10 月份，枯水期系指 11~4 月份。

Figure 4. Annual distribution of runoff and sediment transport evolution map before and after the Three Gorges Reservoir impoundment
图 4. 三峡水库蓄水前后径流量和输沙量年内分配变化图

年内输沙量均表现为减小，减小幅度在 79%~98%之间，汛期输沙量占比进一步增大，由蓄水前的 97%增加至蓄水后的 99%，见图 4。

4. 宜都弯道河道演变特性

4.1. 岸线变化

岸线变化主要集中在马家溪边滩、曾家溪边滩和大石坝边滩，具体表现为边滩的冲退，其中，马家溪边滩最大冲退长度约 3.6 km，最大冲退幅度达 490 m，冲退时期为天然时期和葛洲坝独立运行期，2002 年以后边滩基本保持稳定；大石坝边滩冲退时期为围堰发电期，最大冲退长度约 1.7 km，最大冲退幅度达 380 m；曾家溪边滩表现为持续性的冲退，冲退时期集中在葛洲坝独立运行期和围堰发电期，最大冲退长度约 4.2 km，最大冲退幅度达 400 m，见图 5。

4.2. 深槽变化

宜都弯道分布有两个深槽，分别为上游的杨家咀深槽和下游的桂溪湖村深槽，深槽主要表现为不断的冲刷下切和扩展，变化时期主要集中在围堰发电期，期间杨家咀深槽向下游扩展约 1.6 km，深槽面积由 2002 年 09 月的 0.9 km² 增大至 2006 年的 1.7 km²，桂溪湖深槽面积由 0.2 km² 增大至 1.2 km²，面积扩大 6 倍，见图 6。

4.3. 深泓变化

深泓变化集中在茶店子和桂溪湖村段，受河床冲刷的影响，茶店子段深泓向右岸摆动明显，最大摆动幅度约 500 m，桂溪湖村段深泓呈累积性向左岸摆动的趋势，累计摆动幅度约 320 m，见图 7。

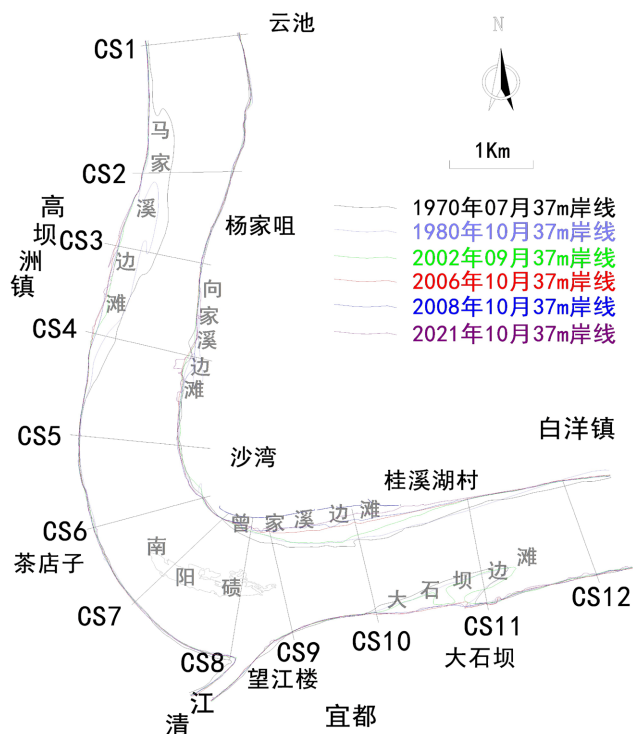


Figure 5. The Yidu bend water front evolution map
图 5. 宜都弯道岸线变化图

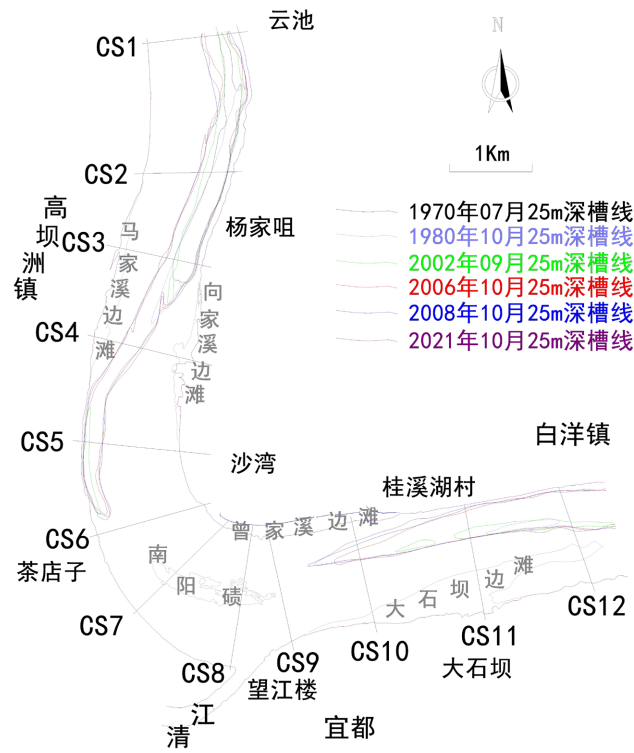


Figure 6. The Yidu bend deep groove evolution map
图 6. 宜都弯道深槽变化图

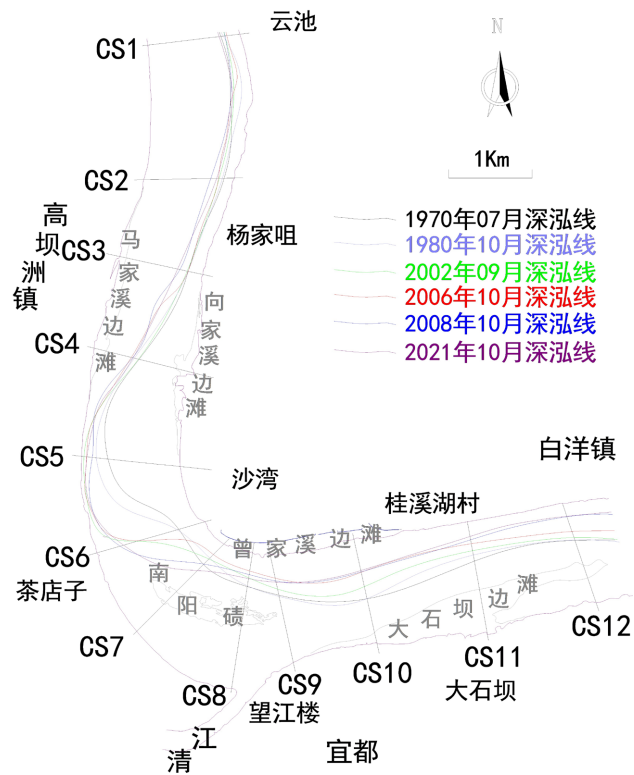


Figure 7. The Yidu bend thalweg evolution map
图 7. 宜都弯道深泓变化图

4.4. 横断面变化

三峡水库蓄水前马家溪边滩遭受持续性的冲刷，至 2002 年 9 月马家溪边滩冲刷消失，1970 年 7 月~2002 年 9 月，CS3 断面右岸最大冲退距离约 420 m，最大冲深约 8 m，2002 年 9 月以后横断面基本保持稳定；CS5 断面左侧主槽总体保持稳定，葛洲坝蓄水以后右侧主槽持续冲刷，累积冲刷深度达 15 m；三峡蓄水前后 CS10~CS12 段左岸呈显著的累积性冲刷，其中，CS10 断面 35 m 岸线累积崩退达 550 m，冲刷深度达 15 m，CS12 断面左岸不断冲刷下切，累积冲刷深度高达 30 m，在左岸形成一个明显的深槽，见图 8。

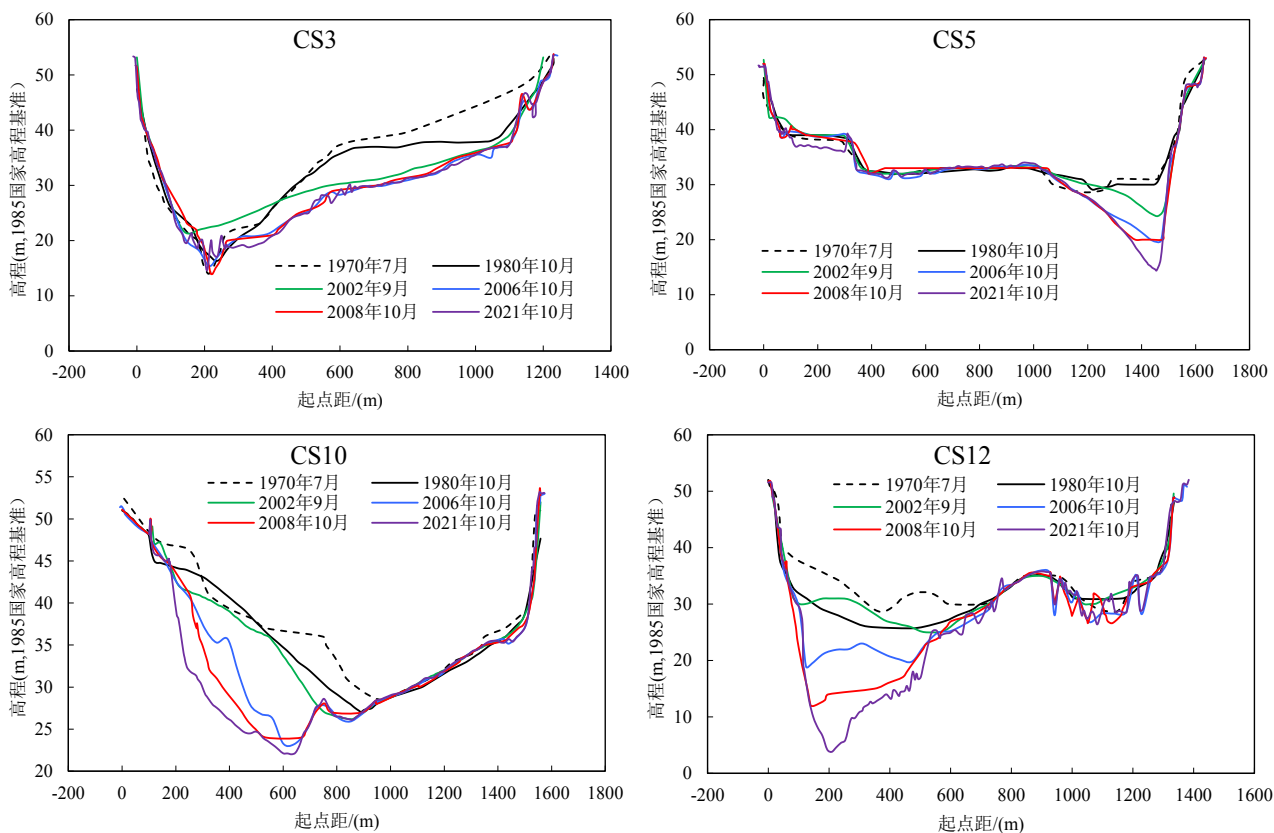


Figure 8. The Yidu bend cross section evolution map
图 8. 宜都弯道横断面变化图

4.5. 冲淤变化

为便于分析宜都弯道冲淤变化特性，结合弯道河势将弯道分为上段、中段和下段，对应依次为 CS1~CS5、CS5~CS9、CS9~CS12 段，分别计算弯道在全河槽和主河槽的冲淤量，计算成果见表 2。

宜都弯道不同时期冲刷规律有所不同，天然时期主要冲刷部位为上段右岸边滩和下段左岸主槽；葛洲坝独立运行期主要冲刷部位为上段右岸主槽和中段主槽；围堰发电期主要冲刷部位为上段右岸主槽和下段左岸主槽；初期蓄水期和试验性蓄水期主要冲刷部位为下段左岸主槽。弯道中段主要冲刷时期为葛洲坝独立运行期和围堰发电期，上述时段冲刷量占比达 85%，冲刷部位为南阳碛左、右汉，试验性蓄水期弯道中段基本保持稳定。

与一般弯道“凹冲凸淤”的规律有所不同，宜都弯道主要冲刷部位为弯道上段和弯道下段，二者冲刷量占比达 82%，弯道处表现为“凹冲凸冲”，冲刷部位主要位于南阳碛左、右汉主槽。

Table 2. Calculation results table of erosion and siltation in the Yidu bend (Unit: ten thousand m^3)
表 2. 宜都弯道冲淤计算成果表(单位: 万 m^3)

蓄水期	时间	冲淤部位	CS1~CS5 (5.1 km)	CS5~CS9 (3.0 km)	CS9~CS12 (3.6 km)	CS1~CS12 (11.7 km)
天然时期	1970.07~1980.10	全河槽	-656.6	-85.5	-681.0	-1423.1
		主河槽	-227.9	-93.0	-603.7	-924.6
葛洲坝独立运行期	1980.10~2002.09	全河槽	-859.5	-498.3	-332.2	-1690.0
		主河槽	-826.6	-469.2	-226.1	-1521.9
围堰发电期	2002.09~2006.10	全河槽	-840.7	-508.1	-976.7	-2325.5
		主河槽	-842.1	-524.4	-860.1	-2226.6
初期蓄水期	2006.10~2008.10	全河槽	-25.1	-93.1	-326.8	-445.0
		主河槽	-36.5	-85.7	-364.8	-487.0
试验性蓄水期	2008.10~2021.10	全河槽	-270.3	0.8	-490.0	-759.5
		主河槽	-265.9	-17.6	-364.9	-648.4
合计	1970.07~2021.10	全河槽	-2652.2	-1184.2	-2806.7	-6643.1
		主河槽	-2199.0	-1189.9	-2419.6	-5808.5

注: 全河槽为 50,000 m^3/s 流量对应的沿程水位, 主河槽为 5000 m^3/s 流量对应的水位。

5. 宜都弯道演变机理分析

为探究宜都弯道河道演变特性形成的机理, 根据历年地形资料对河段水流特性进行模拟, 采用二维水动力数学模型来进行模拟, 主要考虑定床条件下的流速变化, 上下边界分别用流量和水位进行控制, 分别选取三峡水库枯水期最小下泄流量(6000 m^3/s)、汛期常遇流量(30,000 m^3/s)和百年一遇最大下泄流量(55,000 m^3/s)三种计算工况; 模型出口水位由宜都水位站与宜昌水文站水位流量关系综合确定, 各计算工况边界条件见表 3。

Table 3. Boundary conditions of each calculation condition
表 3. 各计算工况边界条件

计算工况	长江干流流量(m^3/s)	清江入汇流量(m^3/s)	下边界水位(m)
枯期最小下泄流量	6000	240	36.89
汛期常遇流量	30,000	1200	43.10
百年一遇最大下泄流量	55,000	1700	48.12

注: 枯期最小下泄流量与汛期常遇流量条件下, 清江入汇流量按长江干流流量的 4%考虑。

5.1. 枯期最小下泄流量工况

CS2~CS5 右侧岸边流速在三峡水库蓄水前变化幅度较小, 三峡水库蓄水后流速明显减小, 流速减小主要是在围堰发电期, 围堰发电期以后流速基本保持稳定, 其中 CS2 断面在三峡蓄水前流速在 0.50~0.75 m/s 之间, 围堰发电期流速由 0.50 m/s 减小至 0.31 m/s, 初期蓄水期和试验性蓄水期流速基本保持在 0.30 m/s 左右。

CS10~CS12 左侧岸边流速在三峡蓄水前后均呈现不同程度的减小, 三峡蓄水后减小幅度明显大于三峡蓄水前, 在试验性蓄水期流速进一步减小, 其中 CS11 断面在三峡蓄水前流速由 1.05 m/s 减小至 0.82 m/s, 三峡蓄水后流速累积性减小至 0.41 m/s。各断面流速变化分布见图 9, 流速统计见表 4。

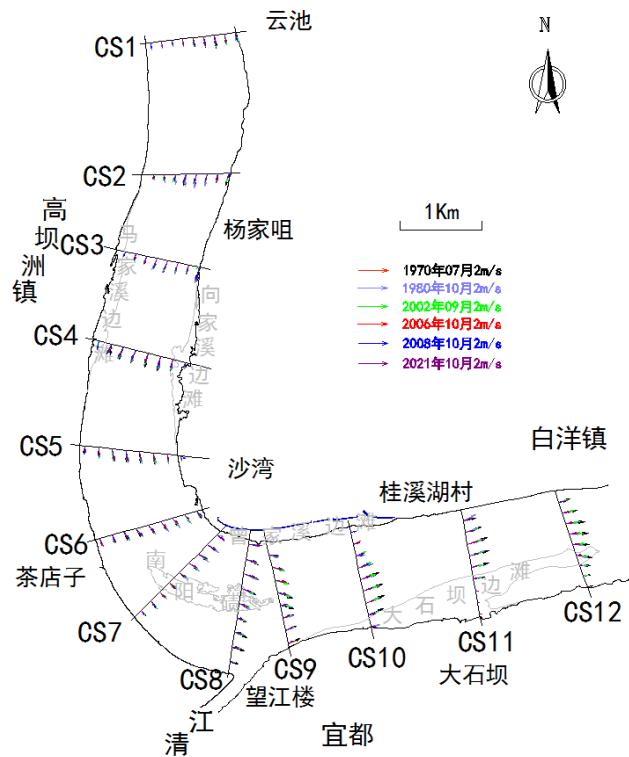


Figure 9. Diagram of velocity variation at discharge of 6000 m³/s
 图 9. 6000 m³/s 流量条件下流速变化分布图

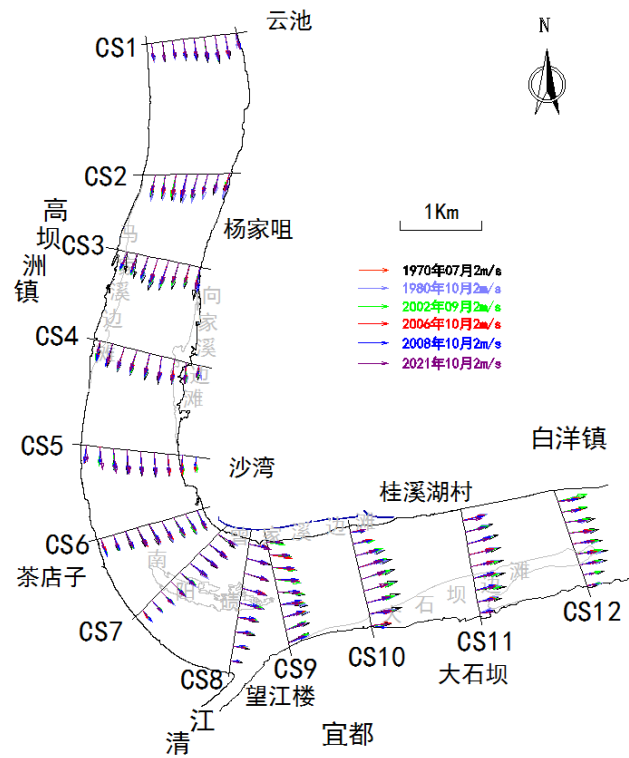


Figure 10. Diagram of velocity variation at discharge of 30,000 m³/s
 图 10. 30,000 m³/s 流量条件下流速变化分布图

Table 4. Statistical table of velocity at discharge of 6000 m³/s (Unit: m/s)
表 4. 6000 m³/s 流量条件下流速统计表(单位: m/s)

断面	1970年07月	1980年10月	2002年09月	2006年10月	2008年10月	2021年10月
CS2 右侧岸边	0.69	0.75	0.50	0.31	0.31	0.33
CS3 右侧岸边	0.64	0.63	0.60	0.48	0.46	0.31
CS4 右侧岸边	0.48	0.53	0.48	0.26	0.32	0.31
CS5 右侧岸边	0.66	0.74	0.44	0.57	0.33	0.36
CS10 左侧岸边	0.62	0.76	0.92	0.66	0.51	0.46
CS11 左侧岸边	1.05	1.04	0.82	0.76	0.69	0.41
CS12 左侧岸边	1.01	0.71	0.83	0.73	0.54	0.32

5.2. 汛期常遇流量工况

CS2~CS5 右侧岸边流速减小主要集中在三峡水库蓄水前,三峡水库蓄水后流速变化幅度明显减小,其中 CS2 断面在三峡蓄水前流速在 1.21~1.62 m/s 之间,三峡蓄水后流速约为 1.30 m/s; CS10~CS12 左侧岸边流速在三峡蓄水前后均呈现累积性的减小,其中 CS11 断面在三峡蓄水前流速由 1.96 m/s 减小至 1.91 m/s,三峡蓄水后流速逐渐减小至 1.55 m/s。各断面流速变化分布见图 10,流速统计见表 5。

Table 5. Statistical table of velocity at discharge of 30,000 m³/s (Unit: m/s)
表 5. 30,000 m³/s 流量条件下流速统计表(单位: m/s)

断面	1970年07月	1980年10月	2002年09月	2006年10月	2008年10月	2021年10月
CS2 右侧岸边	1.62	1.51	1.21	1.32	1.27	1.29
CS3 右侧岸边	1.80	1.71	1.27	1.35	1.34	1.32
CS4 右侧岸边	1.17	1.27	0.94	0.83	0.95	1.05
CS5 右侧岸边	1.24	1.23	1.27	1.18	0.85	0.93
CS10 左侧岸边	1.29	0.91	1.12	1.17	1.21	1.15
CS11 左侧岸边	1.96	2.05	1.91	1.80	1.77	1.55
CS12 左侧岸边	2.05	1.70	1.75	1.68	1.48	1.36

5.3. 百年一遇最大下泄流量工况

CS2~CS5 右侧岸边流速变化与汛期常遇流量条件下相同,流速减小均在三峡水库蓄水前,三峡水库蓄水后流速变化幅度明显减小,其中 CS2 断面在三峡蓄水前流速在 2.18~1.85 m/s 之间,三峡蓄水后流速约为 1.80 m/s; CS10~CS12 左侧岸边流速变化与汛期常遇流量条件下相同,三峡蓄水前后均呈现累积性的减小,其中 CS11 断面在三峡蓄水前流速由 2.48 m/s 减小至 2.26 m/s,三峡蓄水后流速进一步减小至 1.97 m/s。各断面流速变化分布见图 11,流速统计见表 6。

5.4. 演变机理分析

从水流运动特性的角度分析,各洪水条件下宜都弯道流速减小主要集中在 CS2~CS5 段和 CS10~CS12 段,表明河段冲刷主要位于该河段;各洪水条件下弯道主流均偏向 CS2~CS4 段右岸和 CS10~CS12 段左岸,结合床沙取样资料该段主要为粉土、粉细砂、砂卵石,抗冲性较差,表明 CS2~CS4 段右岸和 CS10~CS12 段左岸为主要冲刷区域,与河道演变规律一致。

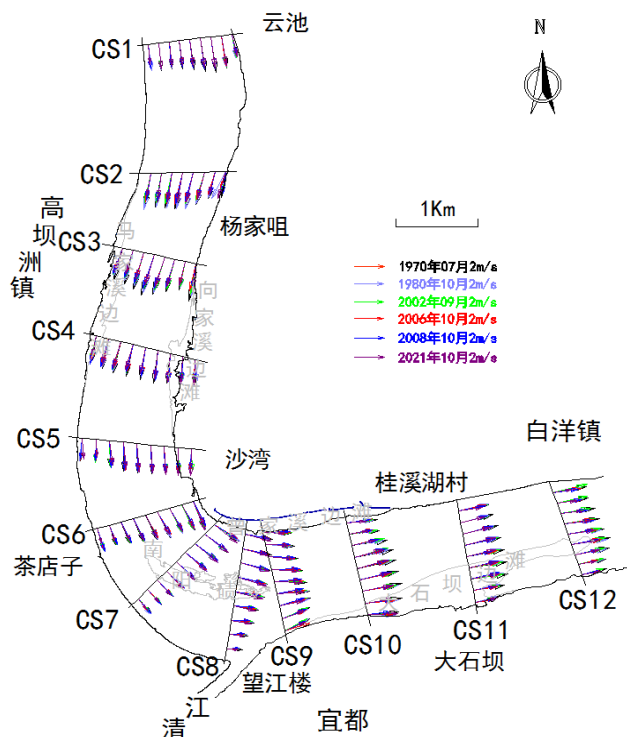


Figure 11. Diagram of velocity variation at discharge of 55,000 m³/s
 图 11. 55,000 m³/s 流量条件下流速变化分布图

Table 6. Statistical table of velocity at discharge of 55,000 m³/s (Unit: m/s)

表 6. 55,000 m³/s 流量条件下流速统计表(单位: m/s)

断面	1970年07月	1980年10月	2002年09月	2006年10月	2008年10月	2021年10月
CS2 右侧岸边	2.18	2.03	1.85	1.81	1.80	1.82
CS3 右侧岸边	2.27	2.07	2.01	1.84	1.87	1.86
CS4 右侧岸边	1.90	1.78	1.76	1.53	1.55	1.50
CS5 右侧岸边	1.89	1.92	1.81	1.80	1.64	1.83
CS10 左侧岸边	2.40	2.14	2.15	1.89	1.82	1.55
CS11 左侧岸边	2.48	2.35	2.26	2.12	2.05	1.97
CS12 左侧岸边	2.46	2.08	2.01	1.94	1.88	1.67

此外, CS2~CS5 右侧岸边流速减小主要集中三峡水库蓄水前汛期常遇流量条件下和百年一遇最大下泄流量条件下, 表明 CS2~CS5 右岸河道冲刷时段集中在三峡蓄水前的汛期; CS10~CS12 左侧岸边流速在各时期各工况条件下均呈现减小趋势, 表明在三峡蓄水前后 CS10~CS12 左岸河道持续冲刷, 汛期和枯水期冲刷均有发生。

6. 结论

弯曲分叉型河段的河道演变较为复杂, 通常情况下每个河段均有其独特的演变规律, 本文以宜都弯道为研究对象, 分析了三峡蓄水前后河道演变规律, 再结合河段水流运动特性, 揭示了河道演变的机理, 得到以下认识和结论:

- 1) 三峡蓄水前后宜都弯道年径流量变化较小, 变化幅度在-6%~4%之间; 枯水期径流量占比略微增大, 由

蓄水前的 21% 增加到的 27%；年输沙量显著减小，最大减小幅度达 96%。

2) 三峡蓄水前后宜都弯道岸线、深泓、深槽、横断面变化与冲淤变化规律相吻合，天然时期主要冲刷部位为弯道上段右岸边滩和下段左岸主槽；葛洲坝独立运行期主要冲刷部位为上段右岸主槽和中段主槽；围堰发电时期主要冲刷部位为上段右岸主槽和下段左岸主槽；初期蓄水期和试验性蓄水期主要冲刷部位为下段左岸主槽；与一般弯道“凹冲凸淤”的规律有所不同，宜都弯道主要冲刷部位为弯道上段和弯道下段，二者冲刷量占比达 82%，弯道处表现为“凹冲凸冲”，冲刷部位主要位于南阳碛左、右汉主槽。

3) 从水流运动特性的角度分析，各洪水条件下宜都弯道流速减小主要集中在 CS2~CS5 段和 CS10~CS12 段，主流均偏向 CS2~CS5 段右岸和 CS10~CS12 段左岸，表明河段冲刷主要集中在弯道上游马家溪边滩和下游曾家溪边滩，与河道演变规律一致。

4) 根据不同流量条件下水流运动特性的变化规律分析，马家溪边滩冲刷时段集中在三峡水库蓄水前的汛期，曾家溪边滩在三峡水库蓄水前后持续受到冲刷，汛期和枯水期均有发生。

5) 宜都弯道冲淤规律与一般弯道冲淤规律不同，主要原因是弯道处南阳碛心滩的存在使凹岸流速明显小于凸岸，弯道顶冲点调整至马家溪边滩和曾家溪边滩，加之两处边滩抗冲性较差，进一步导致边滩冲刷加剧。

参考文献

- [1] 李义天, 孙昭华, 邓金运. 论三峡水库下游的河床冲淤变化[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003(3): 283-295.
LI Yitian, SUN Shaohua and DENG Jinyun. A study on riverbed erosion downstream from the Three Gorges Reservoir. Journal of Basic Science and Engineering, 2003(3): 283-295. (in Chinese)
- [2] 樊咏阳, 张为, 韩剑桥, 等. 三峡水库下游弯曲河型演变规律调整及其驱动机制[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 420-431.
FAN Yongyang, ZHANG Wei, HAN Jianqiao, et al. The typical meandering river evolution adjustment and its driving mechanism in the downstream reach of TGR. Journal of Geographical Sciences, 2017, 72(3): 420-431. (in Chinese)
- [3] 李明. 长江中下游浅滩演变对水沙条件的响应机理及治理对策研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2013.
LI Ming. Research on shoal revolution response to flow & sediment regime variation and its countermeasures in middle and lower Yangtze River. Ph.D. Thesis, Wuhan: Wuhan University, 2013. (in Chinese)
- [4] 朱玲玲. 三峡水库蓄水后下荆江急弯河道凸冲凹淤成因[J]. 水科学进展, 2017, 28(2): 193-202.
ZHU Lingling. Fluvial processes of meandering channels in the Lower Jingjiang River reach after the impoundment of Three Gorges Reservoir. Advances in Water Science, 2017, 28(2): 193-202. (in Chinese)
- [5] 胡向阳. 三峡工程下游宜昌至湖口河段河道演变研究[J]. 人民长江, 2012, 43(24): 1-4.
HU Xiangyang. Study of river channel evolution from Yichang to Hukou at downstream of Three Gorges Project. Yangtze River, 2012, 43(24): 1-4. (in Chinese)
- [6] 张炯. 弯曲分汊河段演变规律和机理的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2007.
ZHANG Jiong. A preliminary study on the evolution law and mechanism of bend branch reach. Master's Thesis, Wuhan: Wuhan University, 2007. (in Chinese)
- [7] 赵根生, 卢金友, 汪鹏. 连续弯道演变机理研究综述[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(6): 132-136.
ZHAO Gensheng, LU Jinyou and WANG Peng. Review on research for evolution of continuously curved channels. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2009, 26(6): 132-136. (in Chinese)