

三峡水库蓄水运行后荆江河道特性变化研究

廖小永, 卢金友, 黎礼刚, 何广水

(长江科学院, 武汉 430010)

摘要: 由于三峡水库的蓄水运行, 加之上游建库和水土保持工程的逐步实施, 三峡水库入库泥沙量和出库泥沙量均出现大幅减少, 坝下游河道将在较长时期产生较大幅度的沿程冲刷, 荆江河段首当其冲。本文根据三峡水库蓄水运行后荆江河段实测资料, 分析了荆江河道特性变化情况, 并结合数学模型计算成果, 从河型、河势和河床形态等方面对荆江河道特性变化趋势进行了预估。研究结果表明, 三峡水库蓄水运行后, 荆江河段河道特性总体不会有重大改变, 但各河段河势将在长时期内有不同程度的调整, 河势调整过程中相应岸段崩岸在所难免。为保障荆江的防洪安全, 维护健康长江, 促进人水和谐, 作者针对本河段河道特性的变化情况, 提出了应对建议和措施。

关键词: 荆江; 河道特性; 防洪安全; 健康长江

1 前言

长江自枝城至城陵矶为荆江河段, 全长约 337km, 又以藕池口为界分为上、下荆江(见图 1)。上荆江为微弯分汊型河道, 长约 167 km, 下荆江为典型蜿蜒型河道, 长约 170 km。荆江河段北为江汉平原, 南与洞庭湖区接壤, 历来洪灾深重, 素有万里长江险在荆江之称。三峡水库于 2003 年 6 月蓄水运行, 2009 年将全面建成。由于三峡水库的蓄水运行, 加之上游建库和水土保持工程的逐步实施, 三峡水库入库泥沙量和出库泥沙量均出现大幅减少, 坝下游河道将在较长时期产生较大幅度的沿程冲刷, 并引起河道特性的相应调整, 荆江河段首当其冲。

本文根据荆江河段实测资料和以往河道研究成果, 从水沙特性、河道冲淤变化及重点河段演变特性等方面对荆江河道特性变化进行了分析, 并结合数学模型计算成果, 从河型、河势和河床形态等方面对荆江河道特性变化趋势进行了预估, 提出了应对建议和措施。

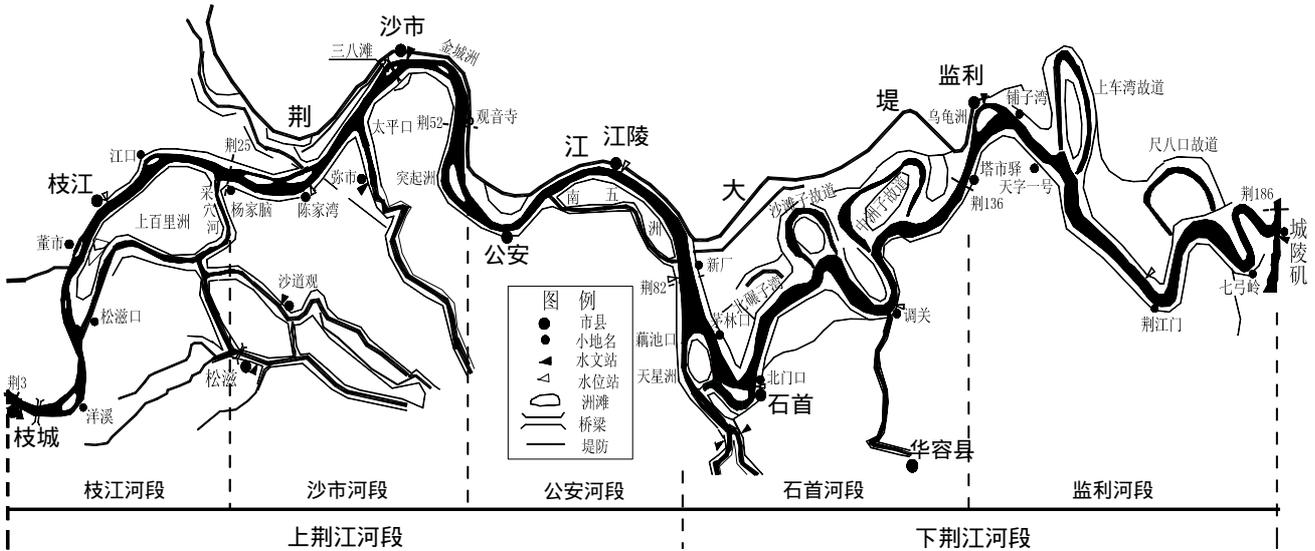


图 1 荆江河段河道示意图

2 水沙特性变化

2.1 水沙条件变化

三峡水库蓄水后, 上游来沙的 60% 被拦蓄在库内, 出库泥沙量大幅减小, 水流明显变清, 荆江河段水沙变化情况见表 1。由表可知, 与多年平均值相比, 荆江河段径流量 2003 年和 2004 年有所偏少, 在 6% 以内, 2005 年偏丰, 监利站偏丰 13%; 输沙量减少明显, 且减少幅度沿程递减, 说明

表 1 荆江河段水沙变化统计表

站名	径流量($10^8 m^3$)				输沙量($10^8 t$)				含沙量(kg/m^3)			
	多年平均	2003 年	2004 年	2005 年	多年平均	2003 年	2004 年	2005 年	多年平均	2003 年	2004 年	2005 年
枝城	4465	4232	4218	4545	5.11	1.31	0.804	1.17	1.14	0.31	0.191	0.258
沙市	3945	3924	3901	4211	4.45	1.38	0.956	1.32	1.13	0.352	0.245	0.330
监利	3575	3663	3735	4036	3.63	1.31	1.06	1.40	1.02	0.358	0.284	0.346

注: 多年平均统计年份为 1955~2002 年

含沙量沿程恢复较为明显，如 2004 年，输沙量枝城、沙市、监利站减幅分别为 84%、79%、71%。

2.2 荆江三口分流分沙变化

荆江三口不同时期分流分沙变化统计见表 2。在自然情况下，三口分流分沙比呈递减趋势，下荆江系统裁弯后的溯源冲刷和葛洲坝水利枢纽运用后的河床沿程冲刷，加速了分流分沙比递减进程，且下荆江裁弯后三口分流分沙比变化最大。三峡水库蓄水后 2003 年、2004 年和 2005 年，三口分流分沙比无明显变化。

表 2 荆江三口(多)年平均分流分沙变化统计表

时段	径流量(10^8m^3)					输沙量(10^8t)				
	枝城	松滋口	太平口	藕池口	三口分流比	枝城	松滋口	太平口	藕池口	三口分沙比
1956~1966	4515	485.1	209.7	636.8	29.5%	5.53	0.535	0.240	1.187	35.5%
1967~1972	4302	445.4	185.8	390.2	23.7%	5.04	0.484	0.213	0.722	28.2%
1973~1980	4441	427.5	159.9	246.9	18.8%	5.13	0.471	0.194	0.444	21.6%
1981~1998	4438	376.6	133.4	188.6	15.7%	4.91	0.442	0.164	0.324	18.9%
1999~2002	4454	344.9	125.6	154.8	14.0%	3.46	0.285	0.102	0.180	16.4%
2003	4232	326.2	105.7	136.8	13.4%	1.31	0.103	0.029	0.074	15.7%
2004	4218	310.9	103.7	109.7	12.4%	0.804	0.075	0.020	0.050	17.9%
2005	4545	377.0	122.8	143.6	14.2%	1.17	0.131	0.036	0.074	20.5%

3 荆江近期河道演变特性

荆江河段自然状态下的演变规律为^[1]，弯道凹岸冲刷崩退，凸岸淤长，弯顶下移，主流变化遵循小水傍岸，顶冲点上提，大水趋直，顶冲点下挫的规律，当弯道发展到一定程度，在一定的水流、河床边界及上下游河势条件下，可能发生切滩撇弯，甚至自然裁弯；汊道段河势的变化主要表现为江心洲的冲淤变化及主支汊的兴衰变化；过渡段随着来水来沙条件及上游河势的变化，主流发生左右摆动，顶冲点相应发生上提下移变化。

近几年来，特别是三峡水库蓄水运行后，荆江河段总体河势及演变规律没有大的改变，但由于上游来水来沙条件的变化，局部河段河势仍有一定的调整，河道演变形式主要表现在枯水河槽的冲刷下切和洲滩的冲淤变化。

3.1 三峡水库蓄水后河道冲淤变化

根据 1998 年、2002 年及 2005 年荆江实测地形图，计算荆江河段冲淤量，计算水位选取宜昌、沙市、城陵矶 2005 年 1 月和 8 月平均水位，相应沙市流量为 $5640\text{m}^3/\text{s}$ 和 $30000\text{m}^3/\text{s}$ ，结果见表 3。

表 3 荆江近期河道冲淤变化表

河段 (起止断面)	长度 (km)	时段	枯水河槽($Q=5640\text{m}^3/\text{s}$)		平滩河槽($Q=30000\text{m}^3/\text{s}$)		深泓线 变化(m)
			冲淤量 (10^8m^3)	冲淤厚 (m)	冲淤量 (10^8m^3)	冲淤厚(m)	
上荆江段 (荆 3~荆 82)	158.74	1998-2002	-0.66	-0.39	-1.02	-0.42	-0.36
		2002-2005	-0.99	-0.60	-0.98	-0.41	-1.37
枝江河段 (荆 3~荆 25)	55.90	1998-2002	-0.18	-0.30	-0.26	-0.32	0.02
		2002-2005	-0.17	-0.30	-0.02	-0.03	-1.16
沙市河段 (荆 25~荆 52)	49.71	1998-2002	-0.19	-0.34	-0.25	-0.31	-0.76
		2002-2005	-0.38	-0.69	-0.52	-0.64	-1.51
公安河段 (荆 52~荆 82)	53.13	1998-2002	-0.29	-0.54	-0.5	-0.62	-0.45
		2002-2005	-0.43	-0.79	-0.44	-0.54	-1.4
下荆江段 (荆 82~荆 186)	170.68	1998-2002	0.35	0.23	0.22	0.07	0.20
		2002-2005	-1.13	-0.72	-1.59	-0.54	-1.91
石首河段 (荆 82~荆 137)	81.16	1998-2002	0.09	0.12	0.15	0.10	-0.20
		2002-2005	-0.75	-1.02	-0.59	-0.42	-1.49
监利河段 (荆 137~荆 186)	89.52	1998-2002	0.27	0.32	0.06	0.05	0.66
		2002-2005	-0.38	-0.46	1.00	-0.64	-2.32

从总体来看，1998~2002 年上荆江表现为冲刷，枯水河槽冲深 0.39m，下荆江以淤积为主，枯水河槽淤厚 0.23m，但枯水位以上河槽则表现为冲刷；2002~2005 年上下荆江河槽均表现为冲深下切，幅度明显加大，且下荆江大于上荆江，上荆江冲刷发生在枯水河槽，枯水位以上河槽略有淤积，下

荆江平滩以下河槽则均发生冲刷。从沿程分布来看，三峡水库蓄水后，自枝江河段至石首河段，冲刷强度逐步加大，石首河段最为剧烈，至监利河段又有所减弱。

3.2 重点河段演变特性

3.2.1 沙市河段

沙市河段上起杨家脑，下至观音寺，长约 50km，为微弯分汊河段。沙市河段近年演变特性主要表现在主流线摆动频繁、洲滩消长和主支汊的兴衰变化。

(1) 主流线变化

太平口过渡段上世纪 90 年代初发育心滩，形成两槽，主泓线交替变化，1993 年走右槽，1998、2000 年走左槽，2001 年后复走右槽，主泓线最大摆幅达 600m。

三八滩汊道段 1998 年大水后变化剧烈，1998、2000 年主流走左汊，2001 年走右汊。此后，年内主支滩易位频繁，枯水期航道约 60% 时间走左汊，40% 时间走老、新右汊。2004 年后，主流线走右汊。

金城洲汊道段主流多数年份走左汊，少数年份走右汊，1996 年 9 月至今主流走左汊。

(2) 洲滩变化

太平口心滩自形成后总的趋势是扩大和下移，至 1996 年 30m 高程面积为 1.54km²，滩顶高程 34.8m。受 1998 年大水影响，1998 年 30m 高程面积减至 0.85km²，滩顶冲至 32.4m，滩头下移 560m。2002 年心滩演变为大小两个心滩，2002~2004 年上心滩淤积变大，下心滩冲刷缩小，2005 年合二为一，滩头冲刷后退，滩尾淤积下延。

三八滩因上游来水来沙条件变化，历年来呈淤长扩大与冲刷缩小的周期性变化，冲淤主要发生在洲头和上半部，洲尾较稳定。自 1998 年起，三八滩开始冲刷缩小，2000 年初被切割成串沟，滩体冲刷过半，开始解体，2001 年 9 月老滩冲刷消失。老滩消亡过程中，在荆 41 至荆 42 之间靠近左汊处，淤积发育一个低心滩，即新三八滩，枯水时露出水面。新滩逐年淤积抬高，2000 年 4 月至 2001 年 10 月，新滩面积由 0.5km² 增加到 1.79km²，2003 年 10 月达 2.21km²，此后滩体又开始冲刷缩小，滩面降低，2005 年 11 月右汊淤出一心滩，形成左右两心滩。三八滩近年冲淤变化详见表 4。

表 4 近年三八滩冲淤变化统计表 (30m 高程，黄海)

时间	滩长(m)	最大滩宽(m)	面积(km ²)	滩顶最大高程(m)
1996.7	3370	1400	2.98	39.5
1998.10	2920	870	1.49	40.7
2000.4	2370	970	1.20	39.1
2001.10	4010	730	1.79	35.9
2002.10	4560	740	1.83	35.2
2003.10	3320	1040	2.21	36.8
2004.8	3680	950	1.93	36.0
2005.11	3610(左)1580(右)	560(左)460(右)	1.43(左)0.43(右)	34.8(左)32.2(右)

金城洲年际变化较大，主要以凸岸边滩、不完整心滩、完整心滩几种形态交替出现，演变特性表现为洲头呈上伸下缩，洲尾呈上缩下延交替变化。1996 年洲体面积(30m 高程线，下同) 2.96 km²，洲顶高程 38.1m；2000 年 4 月，面积为 1.65 km²，洲顶高程 34.2m。2002 年 6 月，洲上部 30m 高程线与右岸边滩连为一体，并向下游发展，2003 年 10 月，洲下部出现串沟，至 2004 年和 2005 年，右岸 30 m 高程线与边滩断开，金城洲又发育成一完整心滩。

3.2.2 石首急弯段

石首急弯段范围为新厂~碾子湾，长约 30km。近期河床变化比较剧烈，主要表现为主流的切滩撇弯和河势调整。三峡水库蓄水后，演变特性主要表现在河床大幅冲深下切，主流顶冲点上提下移，崩岸时有发生。

(1) 主流线变化

1994 年 6 月向家洲狭颈崩穿过流后，主流贴新河左岸而下，撇开右岸东岳山节点，直冲城区北门口一带。1998~2004 年，主流线的变化体现在新厂至茅林口左移，至古长堤右摆，古长堤~焦家铺又逐年左移；下游右岸北门口以下主流则大幅度右移，最大右移 200~600m，左岸鱼尾洲顶冲点下移，1998~2004 年顶冲点下移 2700m。

(2) 岸线变化

由于主流线摆动频繁，河段平面变化比较剧烈，主要表现为岸线的崩塌后退和岸滩淤积外延。

2003 年以来，茅林口长 2025m 岸线共发生 5 次大的崩塌，形成 8 处大崩窝，崩宽 20.5~27m。

2004年7月向家洲发生300m的崩岸险情。向家洲至古长堤2km未护段近年崩塌也较严重，岸线崩退40余米。

2000~2004年北门口已护工程遭受4次不同程度水毁，崩长90~180m，崩宽5~25m，未守护段发生大范围的崩岸。

由于北门口岸线的崩退，左岸鱼尾洲段主流顶冲点大幅度下移，上段成为淤滩。2000~2003年汛期，鱼尾洲尾部及北碾子湾多处发生崩塌，说明鱼尾洲水流顶冲范围仍在向下游发展，目前位于鱼尾洲尾端。

3.2.3 监利汉道段

监利汉道段上起姚圪脑，下至铺子湾，江中有乌龟洲，平面形态为弯曲分叉河型，其演变特性主要体现在乌龟洲左右汉的兴衰交替变化。具体变化遵循弯道演变规律，即凹岸冲刷崩退，凸岸淤长，弯道曲率加大，在一定水力条件下，凸岸边滩出现撇弯切滩。切滩形成的串沟冲刷发展，成为主汉。由于弯道水流的运动特性，洲体右缘受水流冲刷后退，右汉边滩淤长，主流逐渐向左摆动。在一定水流条件下，主流摆向弯道凹岸，右汉开始淤积萎缩，结果左汉成为主汉，且左右汉的兴衰交替变化具有周期性。

(1) 主流线变化

近几十年来，大多年份左汉为主汉，仅在1931~1945年、1971~1975年、1995年右汉曾三次成为主汉，目前右汉仍为主汉。2002年后，洲体右缘冲刷崩退，右岸新沙洲淤积，主流逐渐向左摆动。

(2) 洲滩变化

乌龟洲平面位置变动较大，其变化与主流的摆动息息相关，主流走左汉时，洲体依附南岸，淤积变大；主流走右汉时，洲体右缘冲刷后退、洲体变小。洲体长度、宽度在1987年前相对较小，以后逐年增大，1998年以后洲长、洲宽又逐年变小。

4 三峡水库蓄水后荆江河段冲淤变化预测

三峡水库蓄水后，改变了坝下游河道的来水来沙条件，下游河道水流挟沙能力处于不饱和状态，河床将发生沿程冲刷^[2]，强冲刷发生的时间依次从上游往下游传递。此后冲刷速率逐渐降低，直至冲刷停止，并逐渐回淤，达到新的冲淤平衡状态。

4.1 冲淤沿程沿时变化

长江科学院坝下游河床冲淤数学模型计算结果^[3](表5)表明，上荆江前10年冲刷很快，下荆江10~20年冲刷速率最大；河床达到最大冲刷发生时间依次从上游往下游推迟，宜昌~松滋口、松滋口~太平口、太平口~藕池口、藕池口~城陵矶各河段河床冲刷达到最大分别发生在水库运行后10年、20年、30年和40年左右，河床平均冲深约1.0m、2.0m、3.5m和5.3m。

表5 宜昌至城陵矶分段累计冲淤量表(单位:亿t)

时段/年	宜昌~松滋口	松滋口~太平口	太平口~藕池口	藕池口~城陵矶
10	-0.98	-1.92	-4.61	-3.73
20	-0.98	-1.93	-5.16	-11.74
30	-0.98	-1.93	-5.18	-16.44
40	-0.98	-1.93	-5.18	-16.94
50	-0.98	-1.93	-5.16	-16.47

4.2 水位变化

三峡工程蓄水后，由于宜昌至城陵矶段河床发生大量冲刷，使得沿程各站水位流量关系发生变化，中、枯水位出现不同程度的下降。数学模型计算结果表明^[3]，与2002年比较，三峡水库蓄水运用至2009年末，宜昌、沙市、石首、监利站相应流量5500 m³/s的水位分别下降0.63m、1.16m、1.70m、1.51m；2022年末，各站水位分别下降0.91m、1.73m、2.64m、2.39m。

5 河道特性变化趋势预估

5.1 河型变化

冲积平原河道各种河型的形成和存在由其来水来沙条件和河床边界条件所制约，其中水沙条件是主导因素，在河道演变过程中起主导作用，但河床边界条件在各种河型的最终形成和得以长期存在起着关键性作用。

三峡水库蓄水后,改变了坝下游河道的来水来沙条件,荆江河道将经历较长时期的冲刷—平衡—回淤过程。三峡水库蓄水前后荆江两岸边界条件基本相同,且1998年大水后,荆江堤防工程和河势控制工程建设取得重大进展,预计至2009年,荆江河势控制工程已基本实施,河道边界条件将更稳定,即使演变较为剧烈的下荆江蜿蜒型河道,也将被改造为限制性蜿蜒型河道。因此,三峡水库蓄水后,荆江河段的河道形态和河床演变规律总体上不会有重大改变,即河势虽可能有一定调整,但仍保持原河型不变^[2]。

5.2 河势变化

三峡水库运用后,荆江各河段因河床冲刷发展程度不同,其河势调整过程和幅度也有区别。

枝城至杨家脑河段,三峡水库运用后,河床平均冲深达2.0m左右,松滋口分流减少,河段河势不会有较大变化,但局部河势将有所调整。洋溪弯道保持相对稳定,董市和江口汉道左汊将萎缩,江口弯道段河势将发生局部调整。

杨家脑至藕池口河段,三峡水库运用后,河床平均冲深达3.0m左右。预计经过河势控制工程的实施,本河段总体河势更为稳定。但水库下泄沙量减少,松滋口分流量减少,本河段河床冲刷,过流量增大,将导致局部河段如太平口、新厂长顺直段以及杨家场短顺直段河势可能发生调整,三沙滩、金城洲和突起洲汉道的主支汊的兴衰,以及沙市、公安和郝穴弯道凹岸水流顶冲点的上提下移。

藕池口至城陵矶河段,三峡水库运用后,河床将发生明显冲刷,平均冲深达5m左右,荆江三口分流分沙量减少。预计经过今后河势控制工程的进一步实施,总体河势仍将保持稳定^[2],局部河势将发生调整。如河势仍未稳定的石首急弯段和监利分汊段,河势调整将主要表现在主流顶冲点的上提下移和汉道的主支汊的易位,进而引起局部岸坡失稳。

5.3 河床形态变化

荆江河段河床形态决定于河床边界组成、来水来沙量和比降等因素,其宽深比则很大程度取决于河岸与床面泥沙组成及其抗冲性。三峡水库运用后,汛期洪峰削减,枯水期流量增加,流量过程线无大变化,冲刷强度较大的荆江河段,由于已实施和将要继续实施的河势控制工程,河宽发展受到限制,河岸保持相对稳定,河床将冲刷下切,略向窄深方向发展。

6 结论与建议

(1) 三峡水库蓄水运行后,坝下游河道将在较长时期产生沿程冲刷,荆江河段首当其冲。

(2) 2003~2005年荆江河段径流量变化不大,输沙量明显减少,且减少幅度沿程递减,三口分流分沙比无明显变化。

(3) 近几年来,特别是三峡水库蓄水运行后,荆江河段总体河势及演变规律没有大的改变,但由于上游来水来沙条件的变化,局部河段河势仍有一定的调整,河道演变形式主要表现在枯水河槽的冲刷下切和洲滩的冲淤变化。

(4) 三峡水库蓄水后,荆江河道将经历较长时期的冲刷—平衡—回淤过程。预计未来荆江河道特性总体不会有重大改变,但各河段河势将有所调整,河势调整过程中相应岸段崩岸在所难免。

(5) 为保障荆江的防洪安全,最大限度地降低荆江河势调整所带来的不利影响,维护健康长江,促进人水和谐,建议加强河道原型观测,采取实体模型试验、数学模型计算、原型监测成果分析和已建工程对比分析的综合研究手段,深入研究荆江河道特性变化的规律和趋势,以便及时调整河势控制工程布局和加固已建工程,为荆江的综合治理规划奠定基础。

参考文献

[1]潘庆燊,卢金友. 长江中游近期河道演变分析[J]. 人民长江, 1999(2):32-33.

[2]卢金友. 三峡工程下游河床冲刷对护岸工程的影响[J]. 人民长江, 2002(8):23-25.

[3]长江科学院. 三峡工程建成后长江中下游防洪形势和对策研究阶段报告[R]. 长江科学院, 2003.2.