



三峡工程清水下泄条件下分汊河段控制措施

李明^{1,2}, 黄成涛², 刘林², 吴翠薇²

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉 430072;

2. 长江航道规划设计研究院, 湖北武汉 430011)

摘要: 以马家咀水道航道整治一期工程为例, 根据支汊控制工程实施前后的实测资料, 分析支汊发展的动力条件, 从工程与水沙动力条件适应性的角度, 对控制工程的效果进行研究, 指出工程存在的不足, 给出实施后续完善措施的原因, 在此基础上, 总结汊道治理的经验与认识。

关键词: 三峡工程; 马家咀水道; 航道整治; 分汊河段

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)10-0030-05

Control measures of braided reach under release of clear water caused by Three Gorges project

LI Ming^{1,2}, HUANG Cheng-tao², LIU Lin², WU Cui-wei²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

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

Abstract: The development of branch channel will certainly destabilize the navigation condition in main channel. Hence the restrictive measures on developing branch channels are carried out in recent waterway regulation projects. This paper carries out a comparison study on flow and sediment transport characteristics based on the before and after project observed data in Majiazui channel. The flow dynamic conditions of branch channel development and the effect of the controlling projects are also analyzed from the standing point of the adaptation of river dynamic. Moreover, the deficiency of the Majiazui waterway regulation project and the improvement measures are also presented. The cognitions of branch channel waterway regulation are also summarized based on above analyses.

Key words: Three Gorges project; Majiazui channel; waterway regulation; braided reach

在冲积河流修建大型水利枢纽后, 带来的来水来沙条件变化会破坏枢纽下游河流的平衡, 引起下游河流的再造床过程^[1-2], 三峡工程蓄水以后, 大量泥沙被拦蓄于库区, 坝下游来沙大幅减少, 河床也随之发生明显的冲淤调整。在分汊型水道, 支汊发展的现象较为普遍, 比如长江中游的瓦口子、马家咀、燕窝等水道。支汊的发展直接弱化主汊的地位, 导致其水沙输移量减少, 由于长江中游主航道一般位于主汊, 因此这种调整往往对航道条件造成不利影响, 尤其是在汊道进口

段的分流区, 主流趋于分散, 恶化主汊进口浅滩的航道条件。因此, 在近些年的长江航道整治中, 对已经威胁到航道条件稳定的不稳定支汊, 基本上都采取了控制措施, 本文以马家咀水道航道整治一期工程为例, 总结归纳了工程实施的经验教训, 可为后续的治理以及类似水道的治理提供参考。

1 河道及航道概况

马家咀水道位于长江中游上荆江河段, 距离上游的荆州市约11 km。马家咀水道两头窄、中间

收稿日期: 2012-07-26

作者简介: 李明(1983—), 男, 工程师, 主要从事航道整治研究、河流数值模拟研究。

明显放宽, 进口左岸有白渭洲边滩, 江中有大型泥沙淤积体——南星洲将河道分为左右两汉, 右岸有雷家洲高滩, 一般情况下白渭洲边滩与南星洲头前沿低滩连成一体 (图1)。水道进、出口段 (白渭洲以上、西湖庙以下) 河道相对较窄, 主流流路稳定, 航道条件较好; 中间放宽段主流流路不稳定, 加之水流分散, 泥沙容易在此落淤, 当白渭洲边滩及南星洲头滩体低矮时, 放宽段内槽口众多, 枯水期水流难以集中冲槽, 航道容易出浅碍航, 严重时甚至出现阻航现象, 航道维护困难。

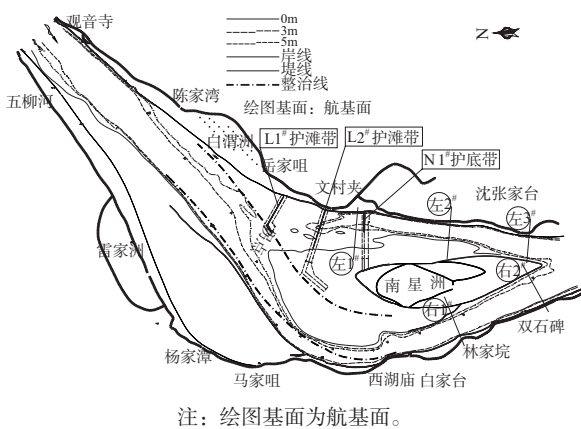


图1 马家咀水道2006年2月河势

2 一期工程前演变特点

2.1 三峡工程蓄水之前的变化

在蓄水以前, 河床的演变特征主要表现为河道内深泓线频繁摆动、汉道兴衰交替, 以及洲滩相互消长。

马家咀水道深泓在观音寺以上和西湖庙以下均贴岸运行, 摆动幅度不大, 但水道中段由于河道微弯放宽, 水流扩散, 主流很不稳定: 20世纪50年代, 深泓沿雷家洲岸边下行, 走荆南干堤沿岸槽, 主流顶冲马家咀一带; 60年代, 深泓左摆, 主流顶冲西湖庙附近; 70年代, 深泓再次右移; 至80年代坐弯, 此后顶冲点一直稳定在西湖庙附近, 80年代初深泓又一次左移; 90年代初深泓又回到沿岸槽。1990—1998年汛前, 深泓平面位置一度相对稳定。1998年汛后深泓再度左移, 2001年深泓走左汉, 2002年深泓又迅速回到右汉沿岸槽。1998年后的深泓变化见图2。

与1998和1999年特大洪水后深泓迅速左移相应, 左汉分流比也随之迅速增加, 至2000年11月,

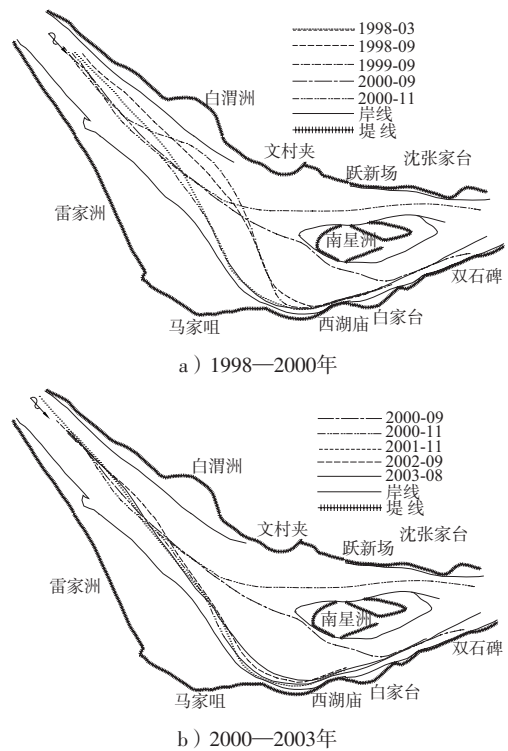


图2 1998年后至蓄水前马家咀水道深泓平面位置

左汉分流比为56.6%, 2001年11月, 分流比高达61.2%。目前左汉分流比退落至33% (表1)。这说明, 在蓄水以前, 大水年大洪水持续时间较长, 主流长期位于左汉是其快速发展的关键因素。当水情趋于平稳, 深泓仍趋向坐弯走右汉。

表1 马家咀水道左汉分流比统计

日期	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	左汉分流的/%
2000-07	22 000	37.6
2000-11	7 500	56.6
2001-02	4 400	42.3
2001-08	14 000	53.7
2001-11	12 500	61.2
2002-01	4 500	41.7
2002-08	28 000	48.2
2003-10	14 904	33.0
2004-02	4 510	15.1
2004-06	16 192	34.4
2004-11	10 157	38.0
2005-11	10 256	42.0
2007-08	30 682	46.0
2007-01	8 530	27.0
2009-02	6 522	11.0

在马家咀水道, 南星洲洲头低滩、白渭洲边滩与汉道演变的关系十分密切。20世纪40, 50年代以来, 南星洲洲头滩体则一直存在。年际间呈淤长—冲刷淤长的往复性变化。其冲淤变化过程与深

泓摆动基本一致。当深泓左摆，左汊发展，则南星洲洲头滩体左冲右淤，且易被水流切割导致滩体散乱；当深泓右摆，右汊占优，南星洲洲头滩体则向左侧淤长，滩面淤高，滩体完整性较好。如图3所示，1998年大水后，深泓迅速左摆至左汊，南星洲洲头低滩左侧冲刷，右侧淤长，并逐渐被水流切割，整个滩槽格局趋向散乱，2001年后，深泓又逐渐回到右汊，南星洲洲头低滩又重新淤长。

白渭洲边滩位于左汊口门处，其演变与南星洲洲头低滩的变化具有一致性，当深泓左摆，左汊发展，则边滩萎缩甚至消失，当深泓右摆，左汊萎缩，则白渭洲边滩逐渐淤长下延，有与南星洲洲头低滩连为一体的趋势，见图3。

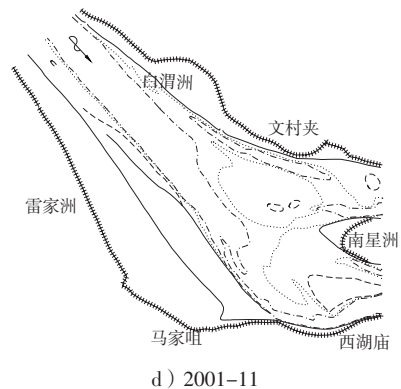
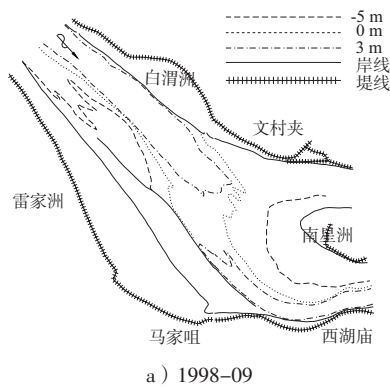


图3 1998—2001年马家咀水道河势

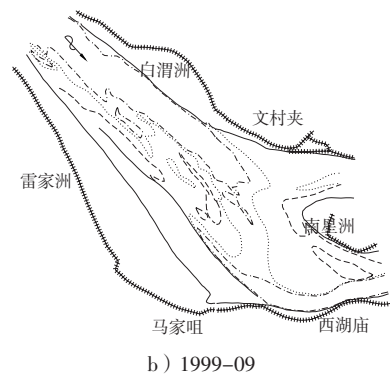
马家咀水道的航行条件也与南星洲洲头滩体、白渭洲边滩的关系十分密切。当南星洲洲头滩体高大完整，白渭洲边滩与其连为一体时，航道走沿岸槽，航槽相对稳定，航行条件较好。当南星洲洲头滩体、白渭洲边滩受冲刷低时，航道走河心槽，航道内容易出现浅埂或心滩，水流分散，航道条件较差。河心槽很不稳定，平面位置经常变化，往往经过一个水文年后，河心槽即告淤废。

2.2 三峡工程蓄水之后的变化

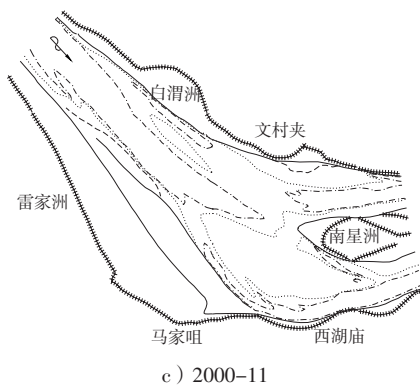
1998和1999年连续两届洪水后，左汊一度发展，但在蓄水前已趋向萎缩。但是，蓄水以后，左汊又有再度发展的迹象，三峡蓄水后一直到一期工程实施之前，从左右两汊过水面积的变化来看（表2，表3，断面位置见图1）：2003—2006年，左汊中上段过水面积增加明显、右汊过水面积略有减小。相应地，分流比也迅速增加，到2005年汛末，左汊分流比已达42%，见表1。



a) 1998-09



b) 1999-09



c) 2000-11

表2 左汊内断面特征值变化

计算水位	年份	进口断面 (左1#)		中间断面 (左2#)		出口断面 (左3#)	
		河宽/m	面积/m ²	河宽/m	面积/m ²	河宽/m	面积/m ²
航行基面上3 m	2003	897	2 420	292	1 695	472	3 647
	2006	1 046	10 760	875	4 449	517	4 740
	2008	319	2 930	759	4 409	462	4 495
	2009	436	3 756	919	4 754	499	5 439
航行基面上5 m	2003	1 180	4 526	369	2 342	488	4 624
	2006	1 167	12 979	823	6 009	526	5 783
	2008	1 132	5 032	816	5 983	491	5 447
	2009	1 138	5 822	863	6 419	509	6 447
航行基面上10 m	2003	1 331	10 782	930	6 007	574	7 195
	2006	1 285	13 601	724	10 255	550	8 474
	2008	1 300	11 127	980	10 414	520	7 989
	2009	1 287	11 884	763	10 874	535	9 058

表3 右汉内断面特征值变化

计算水位	年份	右汉1#断面		右汉2#断面	
		河宽/m	面积/m ²	河宽/m	面积/m ²
航行基面上3 m	2003	660	6 668	687	5941
	2006	528	5 918	722	6 024
	2008	545	6 877	737	6 502
	2009	501	6 572	724	6 356
航行基面上5 m	2003	698	8 026	706	7 324
	2006	550	6 991	738	7 484
	2008	561	7 983	744	7 983
	2009	545	7 631	726	7 795
航行基面上10 m	2003	827	11 788	877	11 232
	2006	727	10 086	895	11 343
	2008	980	11 179	952	11 920
	2009	840	11 201	890	11 547

与汉道变化相应,蓄水以后2003—2005年间,南星洲洲头滩体上段冲刷后退,南星洲左缘滩体(-3 m)冲退幅度也较大,而南星洲右缘滩体则有所淤高,与此同时,白渭洲边滩也受冲消失。

从蓄水以后的演变来看,受来沙减少的影响,河床表现为支汉冲刷发展及洲头低滩刷低、后退、切割,航道所依赖的良好滩槽格局逐渐被破坏。这一调整特点与蓄水前大水的影响有相似之处,原因有2个方面:1)马家咀水道汛期水流取直,左汉汛期分流比增加的规律没有发生变化;2)来沙减少后,加强了汛期水流的冲刷效果,因此,即使三峡工程蓄水以后水量偏少,但仍出现支汉发展的现象。需要强调的是蓄水后的调整特点与蓄水前大水的影响又有不同之处,即滩体受冲萎缩后,难以有效淤还,一旦被破坏,将在很长时间维持恶劣局面,因此,为遏制三峡蓄水后马家咀水道的不利演变趋势,长江航道局于2006年开始实施马家咀水道航道整治一期工程。

3 一期工程及其效果

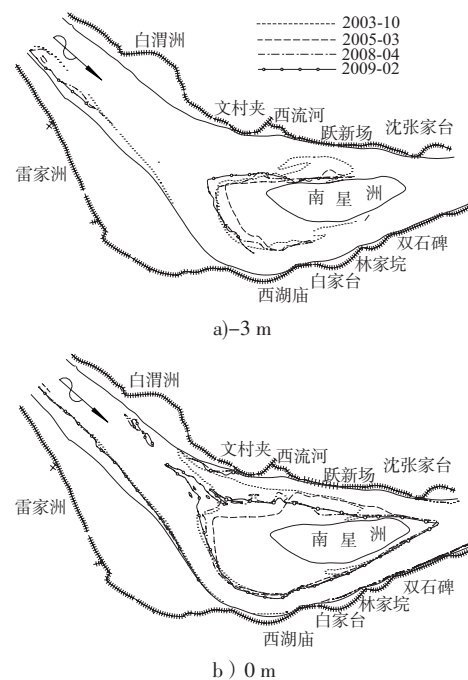
3.1 工程简况^[3-4]

马家咀水道航道整治一期工程的整治目标是:通过一定的守护措施守住目前较为有利的滩槽形态,防止左汉进一步冲刷,维持右汉通航条

件。其建设标准为航道尺度:2.9 m×80 m×750 m(水深×航宽×弯曲半径),保证率为95%。一期工程包括:左岸建2道护滩带,在左汉口门建1道护底带,并在护滩(底)带上抛石进行部分回填。工程平面布置见图1。各建筑物具体设计及作用如下:1) L1#护滩带,直段长724 m,勾头段长166 m,沿轴线抛石回填至黄海高程28.6 m;其作用是防止南星洲头低滩中上段的冲刷及主流左摆,并对L2#护滩起到掩护作用。2) L2#护滩带,直段长1 410 m,勾头段长570 m,沿轴线抛石回填至黄海高程28.1 m;其作用是防止主流在放宽段内摆动,保持南星洲头低滩中段目前较为有利的滩体形态,并对左右两汉格局起到控制作用。3) N1#护底带,长1 270 m,沿轴线抛石回填至黄海高程27.6 m;其作用主要是防止左汉继续冲刷发展。

3.2 工程效果分析

工程实施以后,不管是分流比还是汉道的特征值统计值(表1~3),均表明左汉已有所萎缩。与此相应的,受已实施一期工程影响,上段滩体向上、向左淤长,下段滩体冲低,特别是南星洲右缘冲深明显,同时,白渭洲边滩也再次形成,并逐渐与南星洲头滩体淤积相连(图4)。可见一期工程实施以后,汉道格局、洲滩格局均出现好转,马家咀水道的航道条件也得到了改善,较好地实现了整治目标。



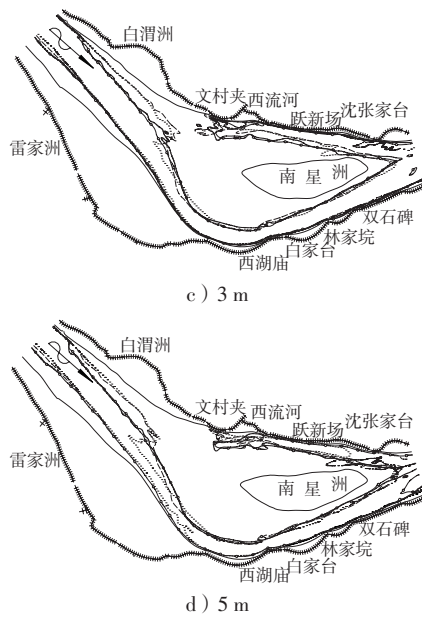


图4 蓄水以后马家咀水道等深线变化

由此可见，针对分汊河段来沙减少后支汊发展的不利趋势，通过守护支汊进口淤积体，同时限制汊道内冲深等工程措施，引导不饱和挟沙水流冲刷主汊，进而促使深泓偏离支汊，是可以达到限制支汊发展的整治目标的。

4 工程存在的不足及后续措施

马家咀水道一期航道整治工程虽然取得了较好的整治效果，但是也还是存在一些不利的变化，据后续的观测，左汊进口滩体虽然淤长，但中下段河床下切，河床比降增加，冲刷发展可能性加大，持续发展也将影响已实施护底带的稳定；同时南星洲头滩体右侧滩面存在倒套且不断冲刷，加之对岸雷家洲边滩的冲刷崩退，洲头滩体右侧的稳定性较差。可见，受来沙减少的影响不断深化，航道边界条件仍是不稳定的，因此，长江航道局又于2010年底实施了瓦口子—马家咀河段航道整治工程，针对马家咀水道仍存在的问题，实施了相应的完善措施，其治理目标为：在已实施航道整治工程的基础上，针对当前不利趋势，进一步守护河段内的重要洲滩和岸线，抑制支汊的冲刷发展，稳定主泓，巩固已实施工程的整治效果，防止航道条件的恶化，使得本河段目前较好的航道尺度得以长期保持。其中马家咀水道的工程内容：1) 雷家洲边滩守护工程，对雷家洲边滩中下段的崩岸段进行守护，防止其进一步崩退而引起的河道展宽；2) 西湖庙一带的护岸加

固工程，对马家咀水道右汊弯顶西湖庙一带的护岸进行加固，消除航道整治工程给护岸工程带来的不利影响；3) 南星洲右缘护滩工程，对右缘的低滩进行守护，防止其被水流切割；4) 马家咀左汊已有工程的加固工程（潜锁坝工程），在马家咀一期工程的基础上，对已有工程进行加固，同时在左汊中段建一道护底带，以保护已建工程的稳定，同时适当限制左汊的进一步的冲刷发展。

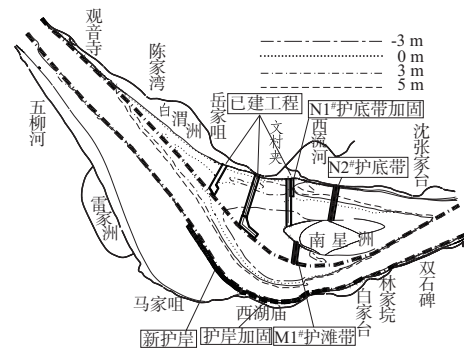


图5 瓦口子—马家咀河段航道整治工程马家咀水道部分

5 结语

1) 三峡蓄水以后，马家咀水道汛期水流取直，左汊汛期分流比增加的规律没有发生变化，同时，来沙减少后，加强了汛期水流的冲刷效果，因此，即使三峡工程蓄水以后水量偏少，但仍出现支汊发展的现象。

2) 通过守护支汊进口淤积体，同时限制汊道内冲深等工程措施，引导不饱和挟沙水流冲刷主汊，进而促使深泓偏离支汊，可以有效限制支汊发展。

3) 三峡工程蓄水后，来沙减少对坝下游沙质河段的影响是一个逐渐深化的过程，所实施的工程应充分保证自身的稳定，才能达到预期的整治目标。

参考文献：

[1] 谢鉴衡. 河床演变及整治[M]. 北京: 水利电力出版社, 1977.
 [2] 张瑞瑾. 河流泥沙动力学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
 [3] 长江航道规划设计研究院. 长江中游马家咀水道航道整治一期工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2004.
 [4] 长江航道规划设计研究院. 长江中游瓦口子—马家咀河段航道整治工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2009.

(本文编辑 郭雪珍)