



长江万州至长寿河段泥沙淤积特性研究

罗宏^{1,2}

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 长江重庆航道工程局, 重庆 400011)

摘要: 三峡水库蓄水后, 库区河段泥沙淤积较蓄水前发生了较大变化。对三峡库区实测资料及多年库区冲淤变化分析表明: 三峡库区的淤积形态与河型有关——弯曲河段和分汊河段淤积较为严重, 顺直河段淤积相对较少。对长江万州至长寿河段典型河型进行冲淤分析, 为进一步研究提供参考。

关键词: 长江; 万州至长寿河段; 泥沙淤积

中图分类号: TV 145.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)01-0109-05

On sedimentation in the Yangtze River from Wanzhou to Changshou reach

LUO Hong^{1,2}

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400011, China)

Abstract: After impoundment of the three Gorges reservoir, obvious changes took place on river bed evolution of the reach in the reservoir area. Based on an analysis of measured data and scour-and-fill variation for many years, we get to know that sediment deposition geometry relates to the river pattern: deposition at the bend or branch reach is serious while that at the straight reach is lower. The analysis presented on river bed evolution of typical river patterns in the upper Yangtze River from Wanzhou to Changjiang reach provides reference for further studies.

Key words: the Yangtze River; reach from Wanzhou to Changshou; sedimentation

三峡水库蓄水以来, 库区的泥沙淤积主要分布在常年库区, 且越靠下游, 淤积强度越大, 淤积部位以弯曲河道和分汊河道为主。变动回水区主要淤积在宽浅河段, 淤积量相对较少, 但由于这些河段水深较小, 消落期淤积对航道有一定影响。据有关分析资料^[1], 至2011年11月, 淤积总量大坝——涪陵491 km河段为123 307万m³, 涪陵—铜锣峡106 km河段为2 022万m³。

万州至长寿段长约251.9 km, 其河型可分为弯曲型、顺直型及分汊型, 也有两种河型结合的河段, 如黄花城河段既属于弯曲型又为分汊型。顺直型河段水流较为集中, 主流带位置随水位变化不大, 不易淤积。本文主要分析万州—长寿段的弯曲型和分汊型河段泥沙淤积特性。

弯曲型河道天然状态时水动力轴线一般紧靠凹岸, 由于凸岸在洪水期形成大面积的掩护区, 造成泥沙大量淤积。而三峡蓄水后, 水位的增加、流速和比降的减缓, 以及汛后泥沙冲刷力度减弱, 使得泥沙淤积更为严重。往往弯曲半径越小, 淤积强度越大。如武陵至兰竹坝段、土脑子、龙王沱、牛屎碛等河段。

分汊型河道水流进入分流区后, 断面扩大, 水流分散, 分流区内平均流速也沿程减小, 常出现泥沙落淤, 而三峡蓄水后水位大幅抬升, 水流趋直, 造成某一汊道形成缓流区, 使得缓流区汊道大幅淤积; 在汇流区, 由于两股水流汇合后相互冲击、挤压和摩擦作用, 在江心洲尾部一般会形成一系列小漩涡, 水流能量减小, 导致泥沙淤

收稿日期: 2012-05-23

作者简介: 罗宏(1969—), 男, 教授级高工, 在读博士研究生, 研究方向为航道整治理论及技术。

积。万县—长寿段分汊河段一般都淤积在江心洲尾部或缓流区汊道,如兰竹坝、凤尾坝、青岩子及黄花城等河段。

长江上游主要淤积河段河型见表1。

表1 长江上游主要淤积河段河型

河段名称	河型分类	淤积特性
白水溪、土脑子、兔子坝至兰竹坝	弯曲	累积性淤积
黄花城	急弯、分汊	累积性淤积
兰竹坝、凤尾坝	分汊	累积性淤积
龙王沱河段	弯曲有支流入汇	175 m蓄水淤积
牛屎碛河段	弯曲	2007年开始淤积
青岩子河段	分汊	2007年开始淤积

下面以本河段的兔子坝—楠竹乡弯曲型河段和青岩子分汊型河段为例,分析泥沙淤积特征,为今后科学合理的决策和进一步研究提供参考^[2-3]。

1 兔子坝—楠竹乡弯曲型河段淤积特性分析

1.1 河道概况

兔子坝—楠竹乡河段位于距宜昌411~454 km之间,全长43 km,地跨忠县、丰都二县,处于三峡常年库区上段。该河段河道弯曲,由多个弯道构成,并且河道开阔,最宽处可以达到2 000 m以上,最窄处也有600 m以上。深泓线高低起伏较大,如老林湾段,最低处深泓线高程小于50 m,最高处超过120 m,两者相差近70 m。全河段岸线曲折,并且有多条溪沟汇入,在宽阔地带形成冲击扇,如乌杨镇河段。

蓄水前该河段水深、水流条件较好。蓄水后,水位大幅抬升,水流平缓更加有利通航,但是因处在常年库区中上段,蓄水后泥沙大量落淤,经一定时期后,极有可能对航道产生影响。

1.2 冲淤特性分析

三峡蓄水后,由于水位大幅抬高,流速变缓,挟沙力减弱,并且河道弯曲开阔,导致泥沙大量淤积。淤积分布见图1,典型断面淤积变化见图2。

表2统计了三峡蓄水以来武陵—兰竹坝段逐年淤积表。可以看出,从三峡开始蓄水就产生了大量淤积,在三峡蓄水第一年7个月时间就淤积了

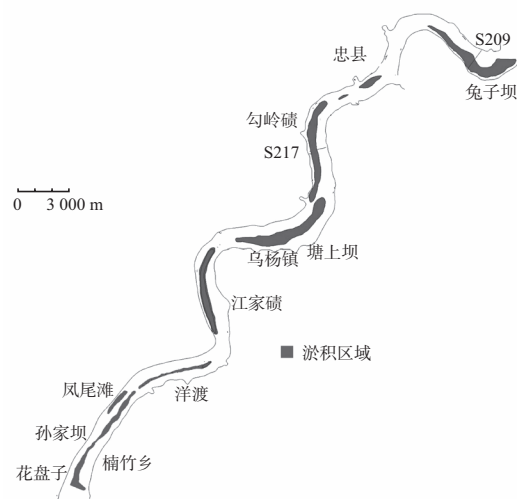


图1 兔子坝—楠竹乡河段淤积分布 (139 m蓄水)

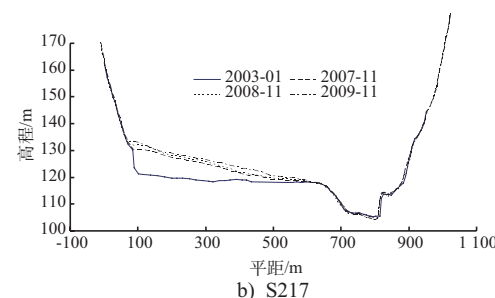
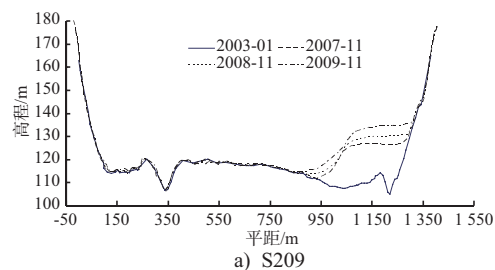


图2 兔子坝—楠竹乡河段典型断面淤积变化

表2 三峡蓄水以来武陵至兰竹坝段逐年淤积量

起止时间	淤积量/万m ³	占库区淤积量的百分比/%
2003-03—2003-10	1 288.6	7.02
2003-10—2004-10	2 020.3	16.43
2004-10—2005-10	1 028.9	11.43
2005-10—2006-10	1 638.5	13.82
2006-10—2007-10	1 760.9	18.36
2007-10—2008-11	1 240.5	9.14
2008-11—2009-11	3 079.7	14.22
2003-10—2009-11	12 057.2	12.51

1 288.6万m³,占三峡坝区总淤积量的7.02%;在下一年内,继续产生较大淤积,淤积了2 020.3万m³,占坝区总淤积量的16.43%。156 m蓄水后第一年该

河段产生淤积量为 $1\,760.9\text{万m}^3$ ，占三峡库区淤积量的18.36%，而河段长度仅为坝区的7.2%，约为库区平均淤积量的2.6倍。175 m试验性蓄水后淤积量大幅上升，高达 $3\,079.7\text{万m}^3$ ，占坝区总淤积量的14.22%。从2003年开始蓄水至今，该河段已经产生淤积量为 $12\,057.2\text{万m}^3$ ，占三峡库区总淤积量的12.51%。可见，每年的淤积强度大都为库区平均淤积强度的2倍以上，该河段的淤积强度是非常大的。

从淤积分布（图1）可以看出，在三峡蓄水后，全河段发生了大量淤积，主要淤积在弯道内，基本上每个弯道背后都形成了一个淤积体，全河段共形成了16个淤积体。目前为至，可能由于蓄水年限比较短，淤积体间还未完全相连，但随着蓄水的继续进行，已经有所发展。

洋渡河段与江家碛河段相比，由于江家碛河段的弯曲半径明显比洋渡河段的小，导致淤积强度要大于洋渡河段。如在139 m蓄水阶段，江家碛河段淤积量为 528.2万m^3 ，而洋渡河段的淤积量仅为 232.9万m^3 。可见，在水流条件，河床宽度基本相同的条件下，弯道半径越小，淤积强度越大。

在其他条件基本相同时，越宽阔的河段淤积强度越大。江家碛河段与乌杨镇河段相比，弯道弯曲半径大致相同，但是乌杨镇河段稍宽，导致在各蓄水阶段，乌杨镇河段的淤积强度明显大于江家碛河段。如在139 m蓄水阶段，江家碛河段淤积量为 528.2万m^3 ，而乌杨镇河段的淤积量为 $1\,952.5\text{万m}^3$ 。

2 青岩子分汊型河段淤积特性分析

2.1 河道概况

青岩子河段介于黄草峡口—剪刀峡之间，距宜昌565.0 km，距三峡坝址518.5 km，蓄水前是川江著名的枯水浅险滩（图3）。该河段上下段较直顺，中段弯曲。河段上段军田坝—桌子角，两岸石盘、暗礁突出，形成多个卡口段。河段中段，左岸有桌子石、磨盘滩等石梁凸入江中，右岸有花园石、板凳角等石梁突嘴，形成卡口控制节点。其下金川碛纵卧江心，将河道分为左右两

汊。左汊内有许多明礁暗石，枯水不能过流，中洪水期流态极坏，不能通航；右汊为主航槽，受桌子石、磨盘堆、腰卡子及青岩子等明暗礁石的相互作用，航槽弯窄，枯水水深不足。在腰卡子和青岩子石梁之间，受弯道环流的影响，形成大片浅区，多数年份都要进行维护性疏浚，才能保证通航。在青岩子石梁以下右侧为茶壶碛卵石边滩，左侧有麻雀堆等石梁。每年汛期，龙须碛—灯盘石，金川碛尾—麻雀堆一带有大量淤积，汛后走沙时有沙漩、边埂，流态较坏。河段下段，右岸为茶壶碛沙卵石滩，左岸为观音盘、盘子石礁石和冷饭碛等卵石滩，中间河道顺直。

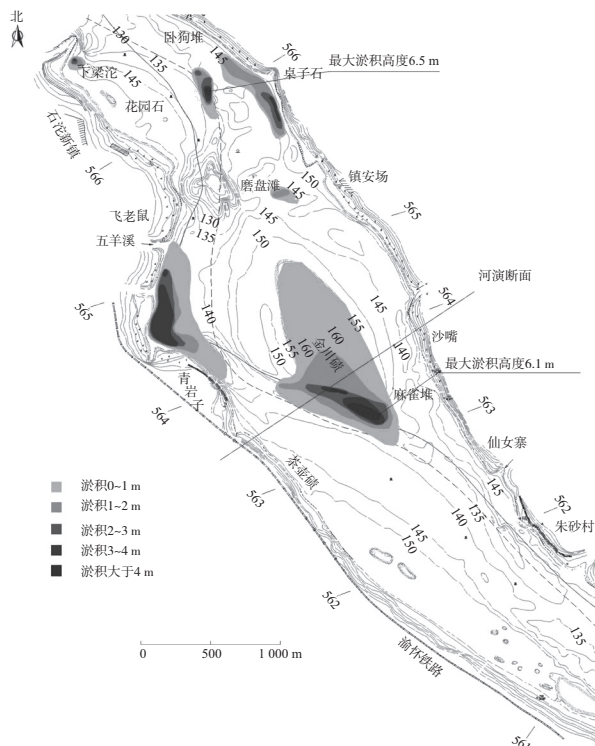


图3 青岩子河段冲淤变化（2007—2009年）

1957年、1958年、1960年曾3次对该河段的灯盘石暗礁进行了局部炸除，以改善流态，增大弯曲半径，工程竣工后取得一定的整治效果，但水深不足的问题没有得到根本解决，从20世纪50年代到三峡水库蓄水一直靠维护性疏浚来保证航道水深。为解决三峡工程施工期碍航问题，1998年10月—1999年4月炸除了腰卡子暗礁，拓宽航槽，增大弯曲半径和航道水深，同时采用在凹岸筑丁顺坝1座，归顺主流，以利于维持新航槽稳定。整

治后, 原在144.4 m水位以下形成的碍航浅包已不复存在, 水深4 m以上的航宽超过100 m, 弯曲半径由整治前的小于500 m, 增大至1 000 m。即使2003年2月重庆出现低于设计最低通航水位0.6 m的特枯水年, 航深仍保持在3.6 m以上。

河段上口鸡心石为江中孤礁, 右岸花园石石梁突嘴伸入江中, 对通航条件造成一定影响, 为保证通航, 156 m蓄水前又在2006年1月—2006年7月, 炸除了进口段内的鸡心石和花园石, 拓宽了航道, 鸡心石水深4.0 m, 花园石水深为3.7 m, 消除了不良流态, 航道条件得到改善, 满足156 m蓄水期的通航要求。

2.2 冲淤特性分析

139 m运用期回水末端在涪陵李渡附近, 青岩子河段受壅水影响较小, 年内虽有冲淤变化, 但年际间变化不大, 基本保持冲淤平衡。

156 m运用期间, 回水末端上延至铜锣峡附近, 青岩子河段进入变动回水区。从三峡原型观测2006—2007年度分析报告结果看出, 青岩子河段在2007年以前未造成较大范围的冲淤变化, 无累积性淤积的现象; 从三峡原型观测2007—2008年度分析报告结果看出, 青岩子河段出现较大范围的淤积, 年际间淤积总量约为76万m³; 2008—2009水文年青岩子河段延续了以前的淤积趋势, 约淤积了100.5万m³; 2009—2010年继续呈现累积性淤积趋势, 并且淤积范围、部位有所扩展, 见表3。

表3 青岩子河段淤积量

时段	淤积量/万m ³
2003—12—2007—03	冲淤基本平衡
2007—03—2008—04	76.0
2008—04—2009—05	100.5
2009—05—2010—04	-24.9
2007—03—2010—04	151.6

注: 2009—05—2010—04冲刷是河道采砂所致。

由于在2007年之前青岩子河段冲淤变化不明显, 因此用2010年4月的测图与2007年3月测图进行对比(图4), 用于分析三峡工程蓄水以来青岩子河段累积性淤积的总体趋势。

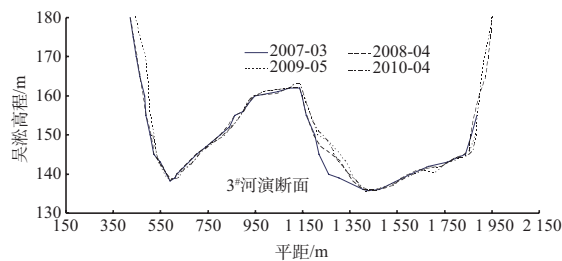


图4 青岩子河段典型断面淤积变化

从2010年4月与2007年3月对比图可以看出: 在下梁沱有一个长约110 m、宽为91 m、最大淤积厚度为4.0 m的淤积体; 在桌子石有一个长约700 m, 平均宽度约129 m的淤积体, 最大淤积高度为3.6 m、淤积量11.4万m³的淤积体; 五羊溪入口及下游侧有一个长约990 m、平均宽度约239 m、最大淤积厚度3.8 m, 淤积量为35.9万m³的淤积体; 金川碛顶基本全部存在淤积现象, 范围较大, 最大厚度为2.0 m; 沿碛右后侧及尾部也存在较大淤积范围, 长约980 m, 平均宽度202 m、最大淤积厚度6.1 m的淤积体。此外还有花园石左侧、磨盘滩、老鹰石上游等部位出现了淤积。2010年4月与2007年3月河床地形对比, 淤积参数见表4。

表4 青岩子河段主要淤积部位淤积参数

位置	长度/ m	宽度/ m	最大淤积 厚度/m	面积/ 万m ²	淤积量/ 万m ³	总淤积 量/万m ³
下梁沱	110	91	4.0	1.0	1.0	151.6
桌子石	700	129	3.6	9.0	11.4	
花园石左侧	380	97	6.5	3.7	5.7	
五羊溪	990	239	3.8	23.7	35.9	
磨盘滩	214	79	1.7	1.7	1.5	
金川碛顶	1 000	354	1.5	35.4	49.0	
金川碛尾	980	202	6.1	19.8	42.6	4.5
老鹰石上游	291	103	1.0	3.0	4.5	

3 结论

弯曲河道蓄水前水动力轴线一般紧靠凹岸, 弯后凸岸在洪水期形成大面积的掩护区, 造成泥沙大量淤积; 凹岸侧水深较大, 但受河床地质、河道形态等诸多因素影响, 不同弯道水深差异也比较大。通过对典型弯曲河型兔子坝—楠竹乡河段的淤积分析, 三峡蓄水后, 水位抬高, 主流带趋直, 流速和比降的减缓, 以及汛后泥沙冲刷力度减弱, 都使得泥沙淤积更为严重, 淤积主要发

生在弯道背后，并且弯曲半径越小，淤积强度越大，弯道越宽阔淤积越强。最大淤积厚度基本在弯道下首，距离弯道越远，淤积厚度递减。

通过典型分汊河型青岩子河段的分析，分汊河段水流进入分流区后，受水位大幅抬高的影响，水流趋直，某一汊道流速大幅减小形成缓流区，造成严重淤积；在汇流区，由于两股水流汇合后相互冲击、挤压和摩擦作用，在江心洲尾部一般会形成一系列小漩涡，水流能量减小，导致泥沙淤积。所以缓流区汊道及洲尾是其主要淤积区。特别是黄花城河段又受到急弯作用，在弯道背后形成较大隐蔽区，造成凸岸汊道分流比、断面流速分布急剧减小，在弯道凸岸汊道形成缓流区，导致泥沙大量淤积。

考虑到三峡水库175 m蓄水后水位将进一步大

幅抬升，泥沙淤积也将进一步加重，在泥沙淤积较为严重的连续弯曲段和分汊河段可能会引起航道的碍航，应对此问题引起充分的重视，进一步研究其航道治理措施^[4]。

参考文献：

- [1] 长江水利委员会水文局. 2011年度长江三峡工程库区泥沙冲淤分析[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2012.
- [2] 潘庆荣. 三峡工程泥沙问题研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [3] 韩其为, 何明民. 论三峡水库泥沙淤积的控制—处理三峡水库泥沙的策略与措施[J]. 泥沙研究, 1996(1): 1-19.
- [4] 许全喜, 石国钰, 陈泽方. 长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 420-426.

(本文编辑 郭雪珍)

(上接第84页)

4 结论

1) 该码头结构前6阶模态振型的振幅很小，表明虽然该码头结构的跨度虽大，但是每榀排架中的人字撑提供了一定的刚度，可保证该码头的稳定性，这对于大跨度的架空直立式码头的结构安全十分重要。

2) 前3阶频率从1.109~1.357 5 Hz,振型都发生在XZ平面内，且最大位移处都发生在码头顶部。由于码头结构振害主要发生在低阶振型，结构振动以前3阶振型为主，高阶振型对结构的动态性能影响较小，加之该结构前3阶固有频率较低，应尽量避免该结构产生共振。

3) 振动发生时桩是最危险的受力构件，所以该码头在设计时将桩径设置为3 m是能够满足结构在刚度上的需求，使得共振对结构的危害减到最小。

参考文献：

- [1] 王多垠, 杨洋, 黄然, 等. 墩柱梁板式码头结构在三峡库

区推广运用分析[J]. 水运工程, 2011(12): 91-94.

- [2] 王多垠, 周世良, 刘明维, 等. 三峡库区港口码头建设的基本原则探讨[J]. 重庆交通学院学报, 2003, 22(S1): 107-111.
- [3] 涂杨志. 模态分析在工程结构中的应用[J]. 铁道勘测与设计, 2004(6): 13-15.
- [4] 谢贻权, 何福保. 弹性和塑性力学中的有限单元法[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [5] 张相庭, 王志培, 黄本才. 结构振动力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1994.
- [6] 傅志方, 华宏星. 模态分析理论与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2000.
- [7] 杨康, 韩涛. ANSYS在模态分析中的应用[J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2005(1): 85-88.
- [8] 周世良, 吴飞桥, 王全, 等. 三峡库区架空墩式散货码头结构模态分析[J]. 港工技术, 2010(3): 25-26.
- [9] 黄建勇, 王多垠, 石兴勇. 内河架空直立式集装箱码头结构特性的模态分析[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2008(3): 132-135.

(本文编辑 武亚庆)