

# 三峡变动回水区重点河段演变分析

刘怀湘, 陆永军, 左利钦

(南京水利科学研究院 水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 在原型观测资料的基础上,通过地理信息系统等技术手段,对三峡水库蓄水初期变动回水区重点河段的演变规律进行了分析.结果表明,三峡蓄水后这些河段均出现累积性的淤积.就空间分布而言,累积性淤积部位主要出现在弯道凹岸缓流区等处,可见水动力影响为淤积的主要原因.上游来水来沙条件与水库运行是变动回水区演变的主要影响因素.而坝前水位调整使得各河段常表现为蓄水期淤积,消落期冲刷.同时随着非汛期坝前水位的逐年抬高,累积性淤积区也随之向上游拓展.

**关键词:** 三峡工程; 河床演变; 变动回水区

中图分类号: TV147

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0032-07

三峡工程初期自2003年至2009年以后,蓄水位自135 m逐渐上升至175 m<sup>[1]</sup>,这是三峡变动回水区河段由天然河道向水库转变的敏感时期,期间该河段的泥沙冲淤直接影响到三峡工程防洪、发电、通航等综合效益的发挥.因此,跟踪研究分析各级蓄水位条件下的河床演变将为三峡水库合理调度提供科学依据,其经济效益和社会效益十分巨大.本研究主要针对三峡水库2003年蓄水后不同时期变动回水区航道内的重点浅滩河段进行演变分析,如洛碛—长寿河段、青岩子河段、涪陵河段、土脑子河段(图1).这一区域主要集中在重庆—丰都之间,主要入汇支流为嘉陵江与乌江,主要控制水文站为寸滩、清溪场等,如图1所示.

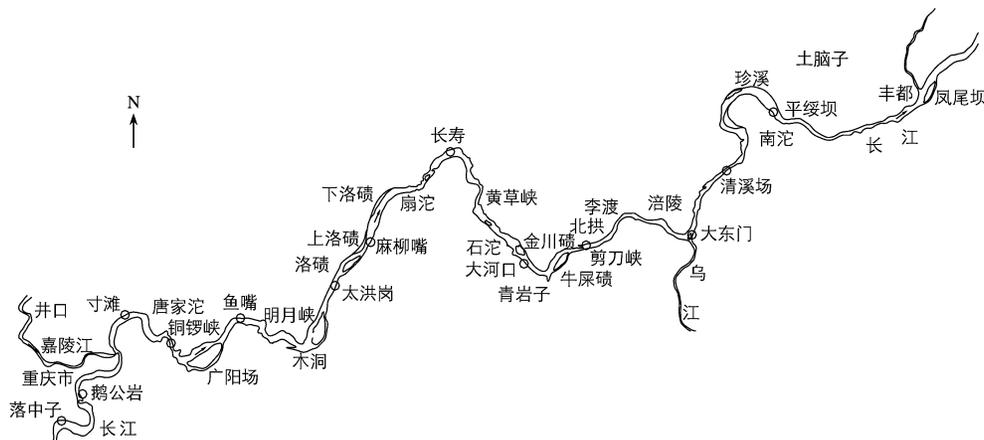


图1 变动回水区重点浅滩河段及主要水文站

Fig. 1 Key channels and hydrologic stations in the fluctuating back water area of Three Gorges Reservoir

变动回水区由于水库河段状态和天然河段状态交替出现,其演变规律较为特殊,与以上两种河道均有所区别.由于三峡水库变动回水区的重要性,一些学者如窦国仁等<sup>[2-5]</sup>已通过数值模拟与物理模型试验等方式,对其演变进行过预测性的研究.本文则主要在原型观测水文、地形等资料<sup>[6]</sup>的基础上,对三峡水库蓄水

收稿日期: 2011-09-11

基金项目: 国家自然科学基金(51009096);南京水利科学研究院院基金(Y210003)

作者简介: 刘怀湘(1982-),男,新疆乌鲁木齐人,工程师,主要从事河床演变与水生态研究. E-mail: liuhx@nhri.cn

初期变动回水区的演变进行研究. 分析方法上, 主要采用地理信息系统(GIS)技术中的空间分析、3D 分析等功能模块, 先将原始高程点地形图插值为完整无间隙的 DEM 地形图, 然后对不同时期的地形图进行叠加分析, 计算冲淤部位、冲淤总量等<sup>[7-10]</sup>. 最后根据得到的数据成果来总结变动回水区重点河段在时间、空间上的演变规律.

## 1 水文条件

将三峡水库蓄水后的 2004—2008 年内主要控制站点(长江干流寸滩与清溪场站, 位置见图 1)的年径流量、输沙量进行了统计, 结果见图 2.

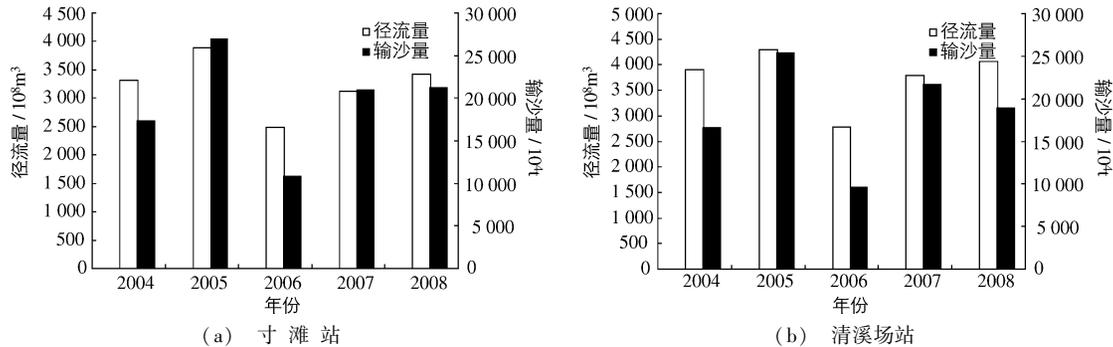


图2 年径流量与年输沙量变化

Fig. 2 Variation of annual runoff and annual sediment yield

可见, 在 2004—2008 年间, 年径流量与年输沙量变化基本一致, 即水大沙多, 水小沙少. 从年际变化上看, 除 2006 年为典型的少水少沙年外, 其余年份间变化不大. 如寸滩站, 2006 年径流量为 2 478.2 亿 m<sup>3</sup>, 比 2004—2008 年平均值低约 23.6%; 而 2006 年输沙量为 10 867.8 万 t, 更是比 2004—2008 年平均值低约 44.2%. 位于变动回水区下游的清溪场站与位于上游的寸滩站变化趋势基本相同, 因此以上结果可以代表整个变动回水区的水文条件变化规律.

## 2 三峡水库水位变动

2003—2009 年间, 三峡水库蓄水位变动较为频繁. 三峡水库自 2003 年 5 月开始蓄水, 初期坝前水位在 135 ~ 139 m 间变动. 其中 2003 年 6 月中旬至 2006 年 9 月间水库汛期维持在 135 m 运行, 非汛期运用水位 135 ~ 139 m. 一般 10 月底至 11 月坝前水位升至 139 m, 次年 5 月底至 6 月坝前水位降至 135 m. 2006 年汛后至 2008 年汛期按工程初期规模运行, 其中汛期按防汛限制水位 145 m 控制运行, 汛末开始蓄水, 10 月底前蓄水到水位 156 m. 次年年初开始直到次年 6 月水位逐步下降到 145 m. 2008 年汛后坝前水位进一步抬高至 172 m 以上.

随着坝前水位的逐年改变, 水库蓄水造成的壅水影响范围也不断变化. 对于本文所讨论的重点河段河床演变而言, 最关注的是其由天然河道转变为变动回水区河道后的演变特点与趋势. 图 3 为水库不同运行期所实测的变动回水区水面线, 易知由于坝前水位的人为抬升, 导致部分研究河段水面线也随之抬升, 接近于水平, 即成为库区河段. 可总结出不同运行期时受到这种严重人为壅水影响情况为: 2003—2006

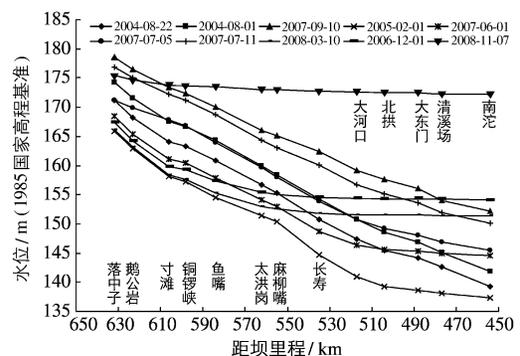


图3 不同时期变动回水区水面线

Fig. 3 Water surface profile of fluctuating back water area in different periods

年(汛期),坝前水位 135 m,无河段受影响;2003—2006 年汛前(枯水期),坝前水位 139 m,土脑子河段受影响;2007—2009 年(汛期),坝前水位 145 m,涪陵和土脑子河段受影响;2006 年汛末—2008 年汛前(枯水期),坝前水位 156 m,洛碛长寿麻柳嘴以下部分、青岩子、涪陵和土脑子河段受影响;2008 年汛末—2009 年汛前(枯水期),坝前水位 172 m,全部河段受影响.可见,对于洛碛长寿、青岩子等河段仅需要着重分析 2006 年汛末后水库运行对其造成的冲淤影响,而对于土脑子河段,还需要包含 2006 年以前的分析.

### 3 主要浅滩段冲淤空间分布

由于水库壅水的影响,研究河段可能出现一定的累积性淤积,从而抬高河床,造成阻碍行洪与船舶航行等问题.尤其在一些原本自然条件下就水深较浅的区域较为严重,即浅滩段.因此下面重点对一些浅滩段冲淤部位的空间分布进行分析.

2007 年 5 月—2008 年 12 月间,上洛碛浅滩(见图 1 洛碛长寿河段)主要演变趋势为刷槽淤滩,主要淤积部位为上洛碛浅滩边缘、右岸麻柳场凹岸及南坪坝下游凹岸处(图 4(a)),平均淤积厚度均为 1~2 m.主要冲刷部位则在 S303—S302 断面之间的主槽处,冲刷厚度约 1~2 m,其中靠近下游处冲刷程度较大,达到 2~5 m.主要淤积、冲刷部位基本上均为沿等高线分布的狭长带,并形成主槽冲刷两侧边滩边缘淤积之势.

下洛碛浅滩(见图 1 洛碛长寿河段)主要演变趋势为滩面上的普遍淤积,主要淤积部位为左、右岸的边滩表面处(图 4(b)),平均淤积厚度均为 0.5~2.0 m,其中右岸滩面局部淤积可达 2~5 m.主要冲刷部位则在右岸的小汊道处,冲刷厚度约 2~5 m.主要淤积带基本上处于主槽两侧 140 m 等高线以上.

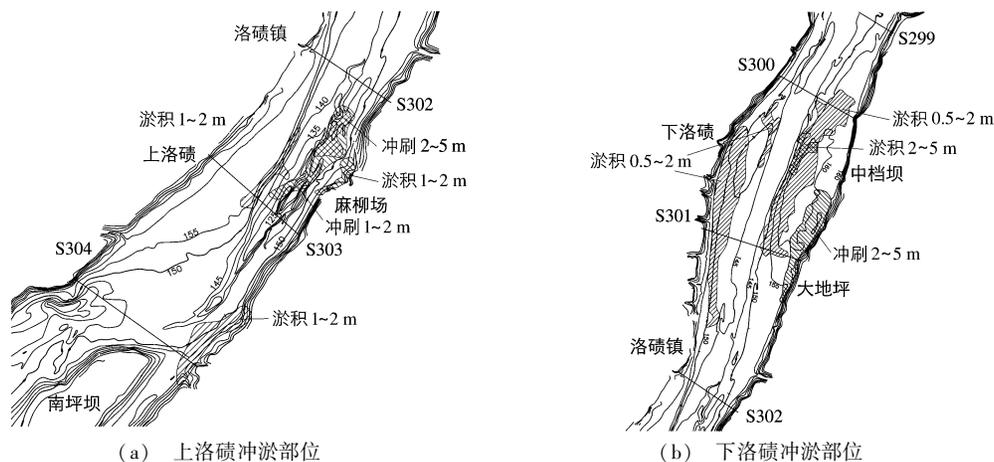
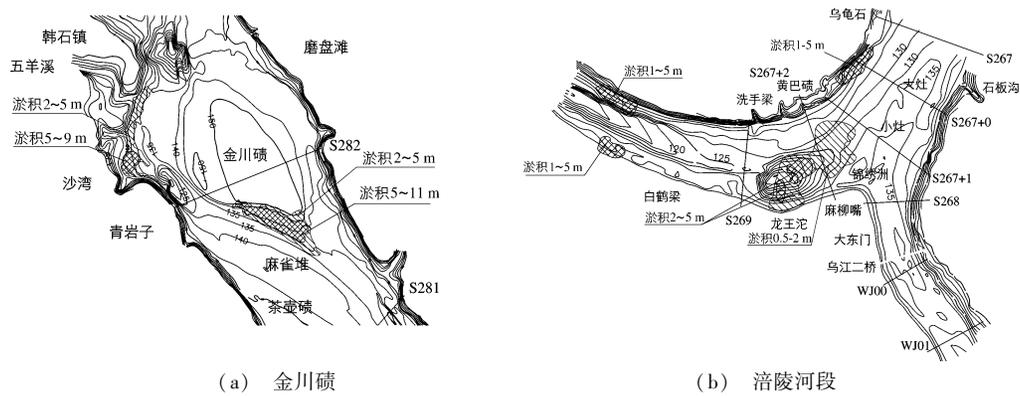


图 4 洛碛浅滩冲淤部位示意图(2007-05—2008-12)

Fig. 4 Locations of erosion and deposition in Luoqi reach (2007-05—2008-12)

同期,金川碛浅滩(见图 1 青岩子河段)主要淤积部位为右槽的沙湾区与毗邻金川碛洲尾的麻雀堆处(图 5(a)),平均淤积厚度均可达 2 m 以上.其中沙湾淤积强度稍小,大部分淤积 2~5 m,仅凹湾顶端处淤厚可达 5~9 m;麻雀堆淤积强度较大,大部分区域淤积厚度达到 5~11 m.沙湾淤积带主要处于 140~155 m 等高线之间,而麻雀堆淤积带主要处于 135~150 m 等高线之间.两者所处位置均较高,其边缘均濒临深槽.这反映出深槽内较高的流速仍对其有一定限制作用.

2006 年 8 月—2008 年 12 月间涪陵河段主要淤积部位为龙王沱附近及干流部分边滩(图 5(b)).其中,龙王沱附近平均淤积厚度大部分约 0.5~2.0 m,深潭内可达 2~5 m.边滩处平均淤积厚度多为 1~5 m.龙王沱处淤积部位基本上大部处于 130 m 等高线以下,而边滩处淤积部位多处于 140 m 等高线以上,就淤积厚度与原有水深分析,前者虽有一定淤积,但由于主要位于深潭之内,相对而言影响不大.



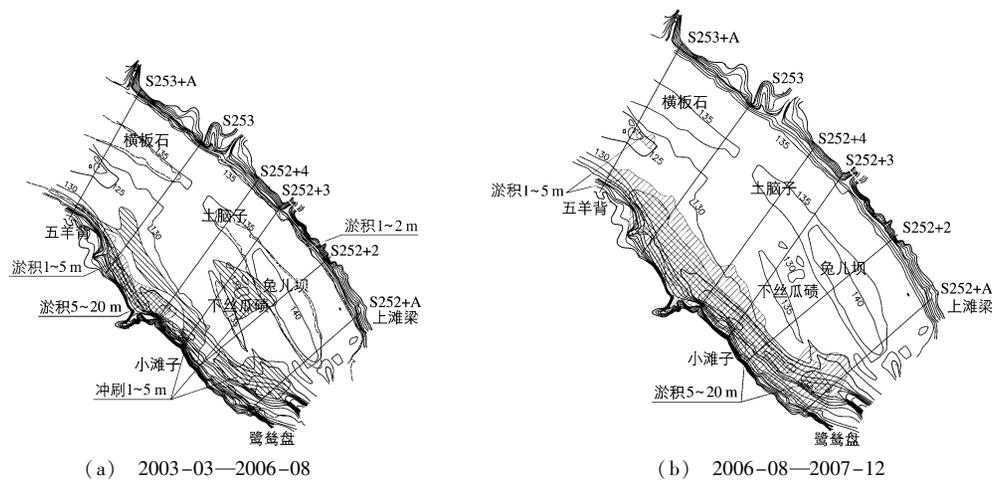
(a) 金川碛

(b) 涪陵河段

图5 金川碛和涪陵河段冲淤部位

Fig.5 Locations of erosion and deposition in Jinchuanqi reach and Fuling reach

土脑子河段无论2003年3月—2006年8月还是2006年8月—2007年12月,主要冲淤量均集中在五羊背—小滩子河段(S253+A—S252+3断面)的右岸。根据图6可知,该处最大淤积厚度可达20m左右。这表明在三峡水库蓄水后右岸深槽内出现了累积性的淤积。2003年3月—2006年8月,右岸深槽内淤积带只存在于凹岸缓流带(等高线130m以上区域),右槽其他区域和中槽则以冲刷为主,大部分区域冲刷深度1~5m,左槽内有1~2m的微弱淤积。而2006年8月—2007年12月由于水库蓄水位进一步抬高,右槽内靠岸处几乎全部严重淤积。



(a) 2003-03—2006-08

(b) 2006-08—2007-12

图6 土脑子冲淤部位

Fig.6 Locations of erosion and deposition in Tunaozi reach

### 4 研究河段演变规律

三峡水库变动回水区各研究河段冲淤总量随时间变化统计见表1。其中,洛碛长寿河段统计范围为太洪岗—长寿,青岩子河段统计范围为黄草峡—剪刀峡,涪陵河段、土脑子河段统计范围分别如图6和7所示。从统计时段上看,大多数年份都分为3个阶段:汛期(如2005-04—2005-08),汛后至年末水库坝前水位抬升的蓄水期(如2005-08—2005-12)、年末至次年汛前坝前水位降落的消落期(如2005-12—2006-04)。

根据统计结果,可知影响变动回水区演变的主要因素有:(1)上游来水来沙条件。如以寸滩站为上游来水来沙的控制站点,2004—2008年间多数年份的全年输沙量约为20000万t,而2006年的全年输沙量相比为异常低值,仅为10867.8万t。因此2006年各河段基本上均表现为冲刷(表1)。(2)水库运行的影响。坝前

水位抬高时,受壅水影响的河段流速逐渐降低,从而易于导致泥沙落淤;而坝前水位降低时,以上河段流速逐渐增大(有的恢复天然情况下流态),此时可能出现冲刷。

由于坝前水位的抬高与降低导致的流速变化,各河段的年内变化多表现为蓄水期淤积,消落期冲刷。而汛期有冲有淤,以淤积为主(特别是常年回水区河段)。2006年10月前,三峡水库运行水位135~139 m,受壅水影响的土脑子河段符合以上规律(表1)。2006年10月后,三峡水库运行水位145~156 m,受壅水影响的土脑子河段与青岩子河段也符合以上规律(表1)。而涪陵河段较为特殊,常表现为蓄水期冲刷,消落期淤积,这可能与青岩子—涪陵一带的地形有关。坝前水位蓄至156 m时,青岩子河段除了处于回水末端外,还是黄草峡与剪刀峡之间的宽谷段,具备良好的落淤条件,同时其出口为剪刀峡收缩段,有一定壅水促淤作用,因此青岩子河段成为主要的淤沙区,进入其下游即涪陵河段的泥沙比例较小。而当坝前水位消落至145 m期间,青岩子恢复为天然河段,在此冲刷的泥沙穿过剪刀峡,在其下游的另一个放宽段即涪陵河段大量落淤,使得该河段在消落期反而表现为淤积。洛碛长寿河段由于长度较长,且仅仅一部分受回水末端壅水影响(表1),故此期间总体冲淤量与坝前水位关系不大。2008年汛末试验性蓄水后,水位大幅提升使得最上游的洛碛长寿河段亦出现大量淤积。

表 1 变动回水区研究河段冲淤量

Tab. 1 Erosion and deposition amounts in the study reaches of fluctuating back water area

$10^4 \text{ m}^3$

日期	土脑子	涪陵	青岩子	洛碛长寿
2003-03—2003-08	-106.7	-	-	-
2003-08—2003-12	89.5	-	-	-
2003-12—2004-08	104.1	-	-	-
2004-08—2004-12	136.7	-	-	-
2004-12—2005-04	-107.6	-	-	-
2005-04—2005-08	129.5	-	-	-
2005-08—2005-12	15.3	-	-	-
2005-12—2006-04	-84.7	-	-	-
2006-04—2006-08	-308.1	-54.5	-	-
2006-08—2006-12	-119.6	-100.9	-	-
2006-12—2007-04	-219.1	192.3	-	-
2007-04—2007-08	740.6	53.6	29.9(2007-05—2007-08)	-410.8(2007-05—2007-08)
2007-08—2007-12	14.2	-98.1	129.3	-21.4
2007-12—2008-04	-	12.1(2007-12—2008-05)	-24.1	91
2008-04—2008-09	-	92.6(2008-05—2008-07)	15	67.2
2008-09—2008-12	-	-64.7(2008-07—2008-12)	244.2	210.3

注:表中数值正为淤积,负为冲刷。

年际变化则体现为累积性淤积区向上游的拓展,随着不同阶段坝前水位的抬升,回水上溯,越来越多的上游河段开始出现累积性淤积。如图7所示,2006年汛末开始枯水期水位从139 m提高到156 m后,2006年至2008年的11月、12月,以及2007至2008年的1月、2月,其对应的清溪场输沙量与寸滩输沙量的比值迅速降低到0.5以下,而相比之下其他月份变化不大,接近于1。也就是说,枯水期水位在139 m时,寸滩—清溪场间基本冲淤平衡,图中比值接近于1,泥沙的累积性淤积主要在清溪场以下;而水位提高到156 m后主要淤沙区上移越过了清溪场,青岩子等河段也出现大量累积性淤积,故进入清溪场以下河段的泥沙比例变小。

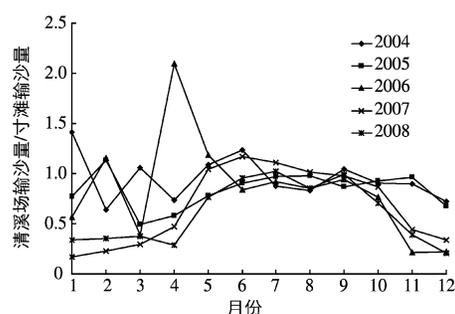


图 7 清溪场输沙量/寸滩输沙量随时间的变化  
Fig. 7 Sediment discharge ratio (Qingxichang/Cuntan) versus time

## 5 结 语

(1)2006年前的坝前水位135~139 m运行时期,仅土脑子河段受到较大的壅水影响;2006年汛末坝前水位变为145~156 m运行后,受影响河段包含了洛碛长寿河段麻柳嘴以下部分及青岩子、涪陵、土脑子河段;2008年汛末水位进一步抬升后,所有河段均受到影响。从水文条件上看,三峡水库运行初期2004—2008年间水沙过程基本平稳,2006年为显著少水少沙年。

(2)从洛碛长寿河段的上、下洛碛浅滩及青岩子河段的金川碛浅滩,土脑子河段等重点浅滩来看,就空间分布而言,三峡蓄水后累积性淤积部位主要出现在弯道凹岸缓流区等处,可见水动力影响为淤积的主要原因。

(3)影响变动回水区演变的主要因素有:①上游来水来沙条件。如2006年来沙极少,各河段基本上均表现为冲刷。②水库运行的影响。年内变化中,常表现为蓄水期淤积,消落期冲刷;年际变化中,表现为随着非汛期坝前水位逐年抬高后,累积性淤积区向上游拓展。

### 参 考 文 献:

- [1] LU Yong-jun, WANG Zhao-yin. 3D numerical simulation for water flows and sediment deposition in dam areas of the Three Gorges Project[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 135(9): 755-769.
- [2] 潘庆桑, 陈子湘, 郭继明. 三峡水库变动回水区河道演变研究[J]. *长江科学院院报*, 1992, 29: 27-34. (PAN Qing-shen, CHEN Zi-xiang, GUO Ji-ming. Evolution research of changing back water region of TGP reservoir[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 1992, 29: 27-34. (in Chinese))
- [3] 谢葆玲. 长江三峡水库对变动回水区河段的再造床问题[J]. *水利学报*, 1994(4): 50-54. (XIE Bao-ling. Fluvial processes in fluctuating backwater reach of the Three-Gorge Reservoir[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1994(4): 50-54. (in Chinese))
- [4] 窦国仁, 万声淦, 陆长石. 三峡工程变动回水区泥沙淤积的试验研究[J]. *水利水运科学研究*, 1995(4): 327-335. (DOU Guo-ren, WAN Sheng-gan, LU Chang-shi. Investigation on sedimentation in varying backwater zone of Three Gorges Project[J]. *Journal of Nanjing Hydraulic Research Institute*, 1995(4): 327-335. (in Chinese))
- [5] 陆永军, 余明富, 李国斌. 三峡变动回水区港口与航道的二维泥沙数学模型研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2006. (LU Yong-jun, SHE Ming-fu, LI Guo-bing. The 2D numerical modeling of harbors and navigation channels in the Three Gorges fluctuating backwater area[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [6] 许全喜, 李俊. 2008年三峡水库试验性蓄水至正常蓄水位(175 m)对水沙特性影响监测研究[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2009. (XU Quan-xi, LI Jun. Study on the influence of 175 m water stage impoundment(2008) of TGP on the water and sediment characteristics[R]. Wuhan: Hydrology Bureau of Yangtze River Water Resources Commission, 2009. (in Chinese))
- [7] GAMBOLATI G, TEATINI P, GONELLA M. GIS simulations of the inundation risk in the coastal lowlands of the Northern Adriatic Sea[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 2002, 35(9/10): 963-972.
- [8] PRAMANIK N, PANDA R, SEN D. One dimensional hydrodynamic modeling of river flow using DEM extracted river cross-sections[J]. *Water Resources Management*, 2010, 24(5): 835-852.
- [9] THIESSEN A. Precipitation averages for large areas[J]. *Monthly Weather Review*, 1911(39): 1082-1084.
- [10] LIU Huai-xiang, WANG Zhao-yin, CHENG Dong-sheng. Modeling of flooding risk in the east river basin in South China[C]// *Proceedings of the 10th International Symposium on River Sedimentation*. Moscow, 2007: 198-203.

## Fluvial morphology study on key channels of the Three Gorges fluctuating back water area

LIU Huai-xiang, LU Yong-jun, ZUO Li-qin

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Based on the observation data and GIS approach, this study analyzes the fluvial morphology of some key channels in the Three Gorges fluctuating back water area. Results indicate that there are accumulated depositions in all these channels after the impoundment of the Three Gorges Reservoir. The accumulated deposition mainly exists in places such as slow-velocity zone in the concave bank. Therefore the hydrodynamic factor is of the most importance in the deposition. The hydrologic conditions and the reservoir operation control the local fluvial morphology. In 2006, sediment from upstream was so scarce that all channels suffered scouring. In another aspect, these channels tended to be deposited when the reservoir stage rose, and to be scoured when the stage declined. The accumulated deposition zone kept expanding upstream along with the rising of reservoir stage in the dry season.

**Key words:** Three Gorges Project; fluvial morphology; fluctuating back water area

### 全球变化研究国家重大科学研究计划“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”项目中期总结会在南京召开

2011年9月24日,由南京水利科学研究院牵头,联合河海大学、中国水利水电科学研究院、北京师范大学、水利部水利信息中心和中科院大气所等共同承担的全球变化研究国家重大科学研究计划“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”项目中期总结会在我院召开。科技部基础研究司傅小锋处长、水利部国际合作与科技司朱寿峰调研员、科技部基础研究管理中心徐洪博士出席会议并讲话。咨询专家组听取了项目首席科学家所做的项目汇报和4个课题负责人所做的课题汇报,并就项目开展两年来取得的成果和存在的问题进行了咨询。各课题负责人与研究骨干、项目管理办公室成员共70余人参加了会议。会议由南京水利科学研究院副院长李云教授主持。科技部基础研究司傅小锋处长指出该项目作为科技部两个重大科技计划的重点支持项目,历来受到科技部领导的高度重视,解决好气候变化背景下的黄淮海地区水资源问题,对于提高应对气候变化能力、保障地区经济发展具有重要意义。同时,他希望通过专家组的有力咨询和项目组的通力配合,尽快总结凝练,拿出高质量、高标准成果,不断推进科技创新。水利部国际合作与科技司朱寿峰调研员强调黄淮海地区是我国水资源问题最严重的地区,该研究对于促进水资源安全具有重要的现实意义。水利部国科司将全力支持该项目的相关研究,并根据项目开展情况,提出了开展下一步工作的指导意见。

项目首席科学家、中国工程院院士、南京水利科学研究院院长张建云教授对项目执行和进展情况进行了汇报,随后,各课题负责人就该课题的计划任务与完成情况、研究进展及课题执行情况、与国内外相关研究成果相比的创新性、后三年工作重点等方面进行了详细汇报。项目专家组充分肯定了项目启动近两年来的已取得的研究成果,一致认为目前该项目进展顺利,前期工作扎实,研究基础较好,并针对各课题的具体问题进行了深入细致的讨论,对研究中的难点进行了具体指导。专家们还对下一步研究计划、研究内容侧重点等提出了指导性意见。张建云教授在总结中指出,各课题要严格按照项目任务书内容开展工作,要突出理论创新和实践创新,面向国家重大需求,加强课题间的交流与合作,集中力量解决共性问题,努力实现科学机理、模拟技术、实践应用方面的突破,为水利应对气候变化研究做出贡献。24日下午,项目首席科学家张建云教授组织各课题主要成员认真梳理了专家咨询意见,明确了下一阶段研究的重点,并对将于10月份科技部召开的中期评估会提出要求。

本次会议,为项目中期评估会做了较为完备的准备,并为下一步研究工作的顺利开展奠定了良好的基础。

摘自南京水利科学研究院网站