

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.01.024

渭河下游河道的冲淤平滩流量特征分析

贺莉, 闫云霞, 颜明, 王随继

(中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 渭河下游河道平滩流量大幅度减小, 给渭河下游的防洪排涝带来严重威胁。以渭河下游咸阳-临潼河段为研究对象, 采用一维恒定水沙动力学模型模拟计算河段在60年内的冲淤变化, 并通过基于断面几何标准的WOL方法, 辅以过水断面范围及有效河宽的限制来估算断面平滩水位, 结合一维恒定水沙动力学模型, 估算渭河下游咸阳-潼关河段的平滩流量和平滩水位的变化, 以及断面平滩水位、河段平滩水位与水沙系数及淤积量的关系。结果表明, 渭河下游河段淤积主要发生在临潼-华县河段, 该河段的滩地淤积尤为严重, 同时, 河段平滩流量逐渐减小。分析可知, 此外, 采用WOL方法估算的平滩水位与断面或河段的主槽淤积量的相关性较好。

关键词: 冲淤变化; 平滩流量; WOL方法; 渭河

中图分类号: TV122 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2015)01-0103-05

Analysis of bankfull discharge characteristics in the lower reach of Weihe River

HE Li, YAN Yunxia, YAN Ming, WANG Suiji

(Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Chinese Academy of Sciences 100101, China)

Abstract: The decreasing of bankfull discharge in the lower reach of the Weihe River can lead to serious threats to the flood control. The fluvial process in the Xianyang-Lintong section of the lower reach of the Weihe River in 60 years was simulated by the one dimensional steady water and sediment dynamics model. The method of WOL based on the cross section geometric standard was adopted to estimate the bankfull elevation in the lower reach of the Weihe River with the help of cross section range and limit of effective river width. The variations of bankfull discharge and bankfull elevation in the Xianyang-Lintong section of the lower reach of the Weihe River were analyzed, and the relationships between the bankfull elevations of the cross section and river section and the sediment coefficient and sedimentation amount were studied. The results showed that sedimentation occurs mainly in the Lintong-Huaxian section, especially in the floodplain, while the bankfull discharge decreases in this section. Moreover, both the bankfull elevations of the cross section and river section have good correlation with the sedimentation amount in the main channel of both sections.

Key words: fluvial process; bankfull discharge; WOL method; Weihe River

渭河原是一条冲淤平衡或微淤的地下河^[1], 自从1960年三门峡水库修建后, 渭河下游河道严重淤积, 河道排洪输沙能力不断降低, 潼关高程(1000 m³/s流量对应的水位)大幅抬升^[2]; 1974年三门峡水库改为“蓄清排浑”的运行方式, 渭河下游平滩流量呈现逐年增大的趋势, 至20世纪80年代最大曾达4600 m³/s^[3]; 90年代以后, 由于渭河下游来水较枯, 含沙量大幅度增加, 洪峰流量及出现场次大幅度减少, 下游河槽迅速萎缩, 1995年平滩流量最小仅800 m³/s^[4]。渭河下游河道主槽的严重萎缩和平滩流量大幅度减小, 给渭河下游的防洪排涝带来严重威胁。

本文采用一维恒定水沙数学模型模拟渭河下游咸阳-潼关河段的冲淤变化, 并根据模拟的断面形态计算分析断面平滩水位、河段平滩水位及平滩流量的变化, 其中平滩水位采用基于断面几何形态标准的WOL方法来估算。选取的典型断面为临潼和华县, 选取的河段为临潼-华县河段以及华县-潼关河段, 分别估算分析典型断面及典型河段的平滩水位变化。

1 研究区概况

渭河下游自咸阳水文站至渭河口全长约208 km(图1),

收稿日期: 2014-04-22 修回日期: 2014-11-15 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1348.020.html>

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAB02B02); 国家自然科学基金青年基金(51109198); 国家“973”计划课题(2011CB403305)

作者简介: 贺莉(1982-), 女, 江西人, 助理研究员, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: heli@igsr.cn

属冲积性河流,比降约 0.1‰~0.8‰^[4],由上游至下游可分为游荡型河段(咸阳至泾河口)、过渡型河段(泾河口至赤水)和弯曲型河段(赤水至渭河口),具有上陡下缓、上宽下窄的形态特征。由于渭河下游水沙关系不协调,加之三门峡水库拦沙运用的影响,长期以来河道呈淤积抬升趋势,已发展为地上“悬河”。

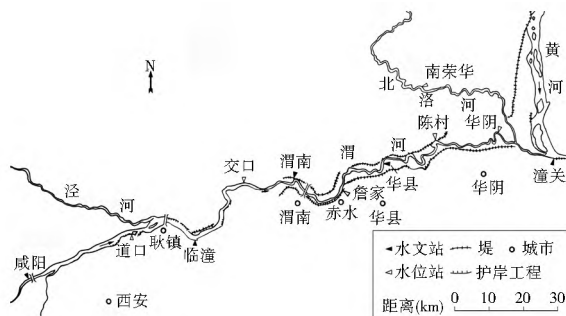


图 1 渭河下游河道平面示意图^[5]

Fig. 1 Schematic of the lower reach of the Weihe River

渭河下游两岸支流众多,北岸支流大而长,主要有泾河、北洛河等。其中泾河长 455 km,流域面积 4.5 万 km²,积水面积大,穿行于严重水土流失区,于咸阳水文站下游 39 km 处自左岸汇入渭河,是渭河泥沙的主要来源区;北洛河长 680 km,流域面积 2.69 万 km²,在华县水文站以下约 37 km 处、渭河口上游 19 km 处汇入渭河。南岸共有支流 16 条,源于秦岭,坡陡流急,河道短直,集水面积小,河长在 21~107 km 之间,基本为清水,多为间歇性河流。

位于渭河流域华县境内的华县站是渭河下游的控制站,是渭河下游水沙条件的代表站。渭河下游水沙条件的变化特点主要表现在以下几方面:一是受气候变化和人类活动及水土保持情况的影响,来水来沙量呈不断减少的趋势;二是受流域降雨和地貌条件影响,渭河下游水少沙多、含沙量高、水沙关系不协调;三是水沙量的年内分配不同步。

2 研究方法

本文采用一维恒定水沙数学模型模拟计算渭河下游咸阳-潼关河段在 60 年的河道冲淤变化,并根据不断冲淤变化的断面形态估算平滩水位及平滩流量的变化。模型的控制方程组包括水流连续方程、水流运动方程、悬移质不平衡输移方程及河床变形方程,补充方程包括糙率、悬移质水流挟沙力、分组悬移质挟沙力级配、床沙级配调整等,计算过程中考虑了复式断面、含沙量的横向分布、悬移质不平衡输沙参数、冲淤面积的横向分配模式等。该模型曾成功用于黄河小北干流、三门峡库区及渭河下游三河段河床冲淤联合计算,计算得水位、冲淤量及潼关高程的变化等均与实测资料吻合良好^[6]。

估算平滩流量时,首先估算各个断面的平滩水位,然后根据各断面的水位与流量关系获得平滩流量。本文采用改进的 Wolman^[7]方法(WOL)估算断面平滩水位,Wolman^[7]认为平滩高程即断面宽深比达到最小时的水位。针对复式河道及多流路河道,这里对断面过水面积进行了一定的限制:(1)根据防洪大堤和生产堤确定可能的过水断面,将该河

宽定义为最大河宽;(2)为了排除河宽极小或极大时断面数据波动的干扰,只考虑最大河宽的一定范围内的极小值,即有效河宽^[8]。在黄河下游花园口断面的验证表明,在控制过水断面范围的基础上增加有效河宽的限制,则改进的 WOL 方法和 B/H 方法估算的平滩水位基本一致,且估算的平滩水位在各家采用的平滩水位中略为偏小。考虑到 WOL 方法简单易行,能减少确定平滩水位过程中的主观性,这里采用改进的 WOL 方法确定平滩高程,有效河宽取最大河宽的 10%~90%,河段平滩流量取河段内各个断面的平均平滩流量。

渭河下游咸阳-潼关河段共 49 个断面,计算过程中考虑了北洛河及泾河的水沙汇入,以及渭河南山支流的清水汇入。大断面资料采用咸阳-临潼河段在 2010 年汛前的实测地形;计算的水沙过程采用水平沙的流量组合,共 60 年,即 1998 年至 2007 年+1968 年至 1979 年+1987 年至 1999 年+1962 年至 1986 年;出口采用潼关站相应的水位资料;干流入口站为渭河下游的咸阳站,支流的入口控制站包括状头站(北洛河)、张家山站(泾河)及南山支流,各站水沙量的累加即为河段的总水沙量(图 2);计算时段内的水沙总输入量为 194.89 亿 t,每年的平均来沙量为 3.25 亿 t,其中张家山站的水量为 551 亿 m³,沙量为 109 亿 t。

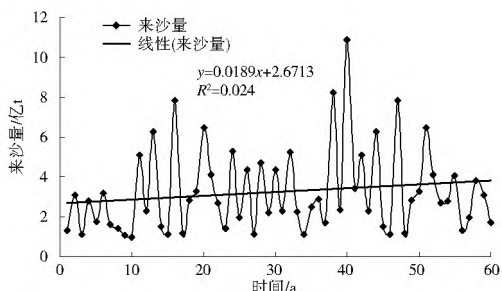


图 2 计算序列的各年来沙量

Fig. 2 Incoming sediment load of the calculation series

3 结果分析

3.1 河段淤积量

渭河下游各个河段的滩槽淤积量见图 3。在最初的 10 年里,渭河下游河段为微淤,此后,河段呈现累积淤积量的趋势,最终累积淤积量达 10.6 亿 t。其中,临潼-华县河段的淤积最多(约为 7.3 亿 t),占全河段淤积量的 69%;而咸阳-临潼河段的淤积量最少,基本保持略微淤积或冲淤平衡,仅占全河段淤积量的 8%(淤积量为 0.87 亿 t)。其中又以临潼-华县河段的滩地淤积量最大,约为 0.105 亿 t,占咸阳-潼关河段年泥沙淤积量的 59%。

3.2 河段平滩特征

Wolman 和 Leopold^[9]、Williams^[10]认为,平滩流量估算更应该是河段上的平滩流量而不是某个断面。实际河流也表明,主槽形态在短距离内可能会有很大的变化,然而河道的很多形态特征参数(如滩槽、弯曲等)在短距离内变化不大。Leopold 等^[11]建议取河长范围约为平滩河宽的 15~20 倍来调查平滩流量,把河段的河底纵剖面与主流两侧滩面的纵剖面测出来,然后再根据河底平均高程,加上从两条纵剖面中得到的滩槽高程,即为平滩高程。夏军强^[12]采用河段平

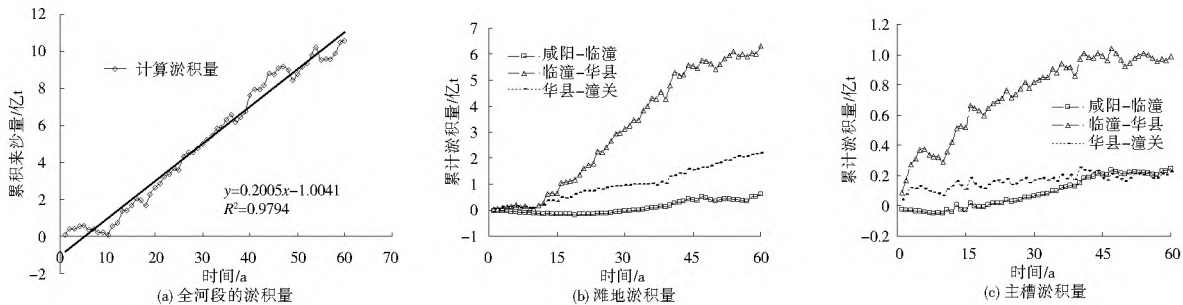


图 3 渭河下游各河段的滩槽淤积量

Fig. 3 Sedimentation in each section of the lower reach of the Weihe River

滩流量方法得出 1999 年汛后至 2005 年汛后, 黄河下游典型断面及相应河段在不同时刻的平滩流量, 并认为某一河段的平滩流量与相应断面平滩流量差别较大, 某一水文断面的平滩流量往往不能反映相应河段平滩流量的变化规律, 因此采用河段平滩流量更能反映这一河段的排洪能力。基于此, 本文主要分析渭河下游河道的河段平滩流量和河段平滩水位。

Wu 等^[14-17]发现, 平滩流量与不同年份的滑动平均汛期流量和滑动平均来沙系数的相关程度, 分别在 4 a 和 5 a 时达到最大值, 这表明在来水来沙条件发生变化时, 河道冲淤调整达到新的平衡状态的时间约为 4~5 a。因此, 本文进一步分析了临潼-华县及华县-潼关河段的平滩流量 Q_b 与 4 a 滑动平均的汛期水沙综合参数之间的关系(图 4), 其中, YREC 为黄河水利科学研究院提供的河段平滩流量^[6]。由图 4 可知, 临潼-华县河段的平滩流量逐年减小, 而华县-潼关河段的平滩流量则在约 40 a 后有增大趋势, 整体上平滩流量变化不大, 与各河段的淤积趋势一致。需要指出的是, 受恒定流模型的影响, 临潼-华县河段及华县-潼关河段的 4 a 滑动平均汛期水沙综合参数基本相同, 导致平滩流量与汛期水沙系数之间的相关性受到一定影响。

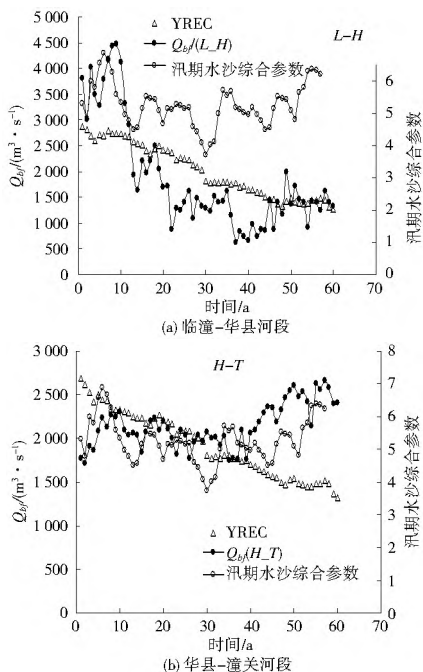


图 4 河段平滩流量与 4 年滑动平均的汛期水沙综合参数的关系

Fig. 4 Relationship between the bankfull discharge and four year moving average sediment coefficient in the Lingtong Huaxian section

河床的冲淤变化需要时间, 河床演变一般滞后于来水来沙条件的变化, 因此滞后响应是中尺度河床演变中的一种普遍现象, 而且反映河道平滩几何形态的平滩流量的变化同样滞后于水流条件的变化^[13-14]。断面形态是多年水沙综合作用的结果, 是由于水沙不平衡输移引起的横断面冲淤调整及纵剖面调整^[18-19]。根据平滩水位估算平滩流量时采用不同的水位-流量关系会对结果产生一定影响^[12-20]。因此, 这里将分析平滩水位与断面冲淤之间的关系。

将临潼-华县及华县-潼关河段的河段平滩水位与河段淤积量之间的关系绘制见图 5。可以看出, 河段平滩水位与河段冲淤量之间具有很好的相关性。由 WOL 方法估算的平滩水位主要与断面几何形态的变化有关, 因此, 河段平滩流量与河段冲淤之间具有良好相关性是合理的。

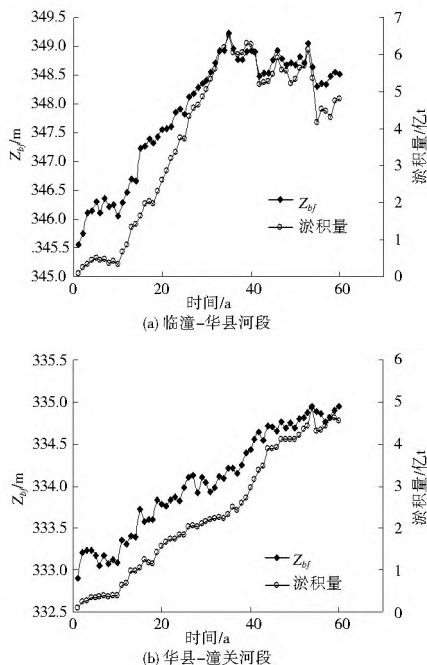


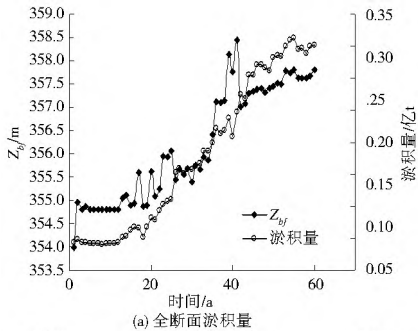
图 5 河段平滩水位与河段淤积量之间的关系

Fig. 5 Relationship between the bankfull discharge and sedimentation amount in the Lingtong Huaxian section

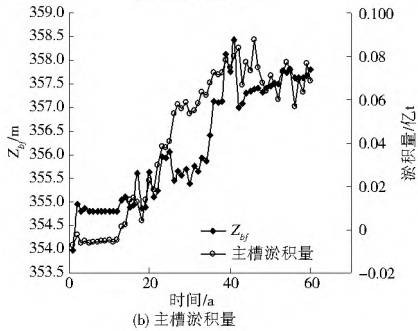
3.3 断面平滩水位

图 6 表示了临潼、华县的断面平滩水位与冲淤量的关系。临潼-华县河段处于蜿蜒游荡型向弯曲型转变, 而华县-潼关河段位于渭河下游的弯曲型河段, 临潼断面和华县断面的断面特征表现出很大的不相同(图 6(e)、图 6(f)): 临潼断面的平滩水位逐渐增高, 而华县断面的平滩水位经历了增

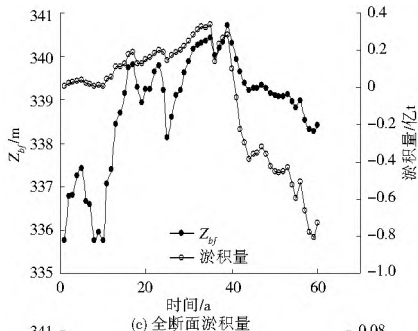
高再减小的变化; 临潼各断面的平滩水位与断面淤积量的相关性较好, 而复式华县断面中的平滩水位则是与主槽淤积量的相关性较好, 即 WOL 方法估算的平滩水位与主槽冲淤量密切相关。河道的冲淤演变主要是河道通过断面冲刷或淤积调整, 以适应进出河段的不平衡水沙过程, 因此平滩水位与河槽淤积量呈现良好的相关性是合理的。



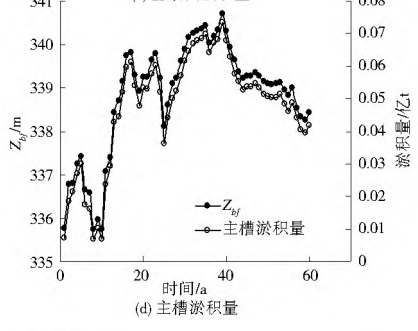
(a) 全断面淤积量



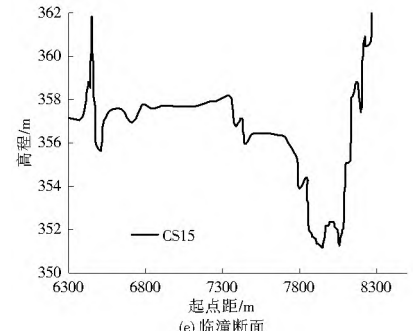
(b) 主槽淤积量



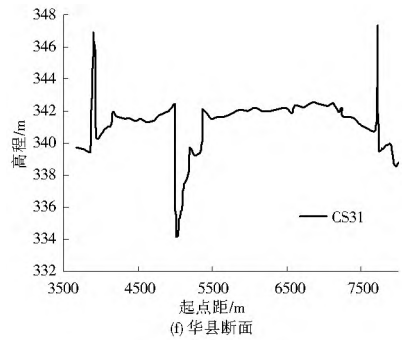
(c) 全断面淤积量



(d) 主槽淤积量



(e) 临潼断面



(f) 华县断面

图 6 断面平滩水位与全断面淤积量及主槽淤积量的关系

Fig. 6 Relationship between the bank full elevation and sedimentation amount in the full cross section of Lintong

4 结论

渭河下游河道主槽严重萎缩, 平滩流量大幅度减小, 给渭河下游的防洪排涝带来严重威胁。本文以渭河下游咸阳- 临潼河段的实测大断面资料为基础, 应用一维恒定的水沙动力学模型模拟河段在平水冲淤条件下的冲淤演变, 平滩水位的估算采用考虑了复式断面特征的 Wolman 方法, 分析了渭河下游河段平滩流量的变化, 分析得出如下结论。

(1) 在该水沙条件下, 咸阳- 潼关河段的冲淤主要发生在临潼- 华县河段, 其中又以临潼- 华县河段的滩地淤积明显。

(2) 临潼- 华县河段的平滩流量逐年减小, 而华县- 潼关河段的平滩流量整体上变化不大, 与各河段的淤积趋势一致。

(3) 采用改进的 WOL 方法估算的河段平滩水位及断面平滩水位与相应冲淤量的相关性较好, 与主槽冲淤量的相关性更好。

参考文献 (References):

[1] 张根广, 王新宏, 赵克玉, 等. 潼关高程抬升成因相关分析[J]. 泥沙研究, 2004, 1(2): 56-62. (ZHANG Gerr guang, WANG Xir hong, ZHAO Ke yu, et al. Cause of formation of riverbed aggradations at Tongguan[J]. Journal of Sediment Research, 2004, 1(2): 56-62. (in Chinese))

[2] 姚文广. 渭河流域综合治理迫在眉睫[J]. 水利水电技术, 1994(6): 45-47. (YAO Wer guang. The emergency of treatment in the watershed of Weihe River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1994(6): 45-47. (in Chinese))

[3] 马雪妍. 渭河下游平滩流量与水沙条件响应关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(3): 79-82. (MA Xue yan. Research on the relationship between bank-full discharge and runoff of sediment condition in the downstream of Weihe River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2006, 17(3): 79-82. (in Chinese))

[4] 林秀芝, 田勇, 伊晓燕, 等. 渭河下游平滩流量变化对来水来沙的响应[J]. 泥沙研究, 2005: 1-4. (LIN Xiur zhi, TIAN Yong, YIN Xiaor yan, et al. Response of the bank full discharge to runoff and sediment load in the Lower Weihe River[J]. Journal of Sediment Research, 2005: 1-4. (in Chinese))

[5] 李凌云, 吴保生. 渭河下游平滩流量的预测[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2010, 50(6): 852-856. (LI Ling yun, WU Bao sheng. Prediction of the bankfull discharge in the lower Wei

- River[J]. J Tsinghua Univ: Sci & Tech, 2010, 50(6): 852-856. (in Chinese)
- [6] 泾河东庄水库库区及渭河下游河道(含汇流区)泥沙冲淤报告[R]. 清华大学, 2013. (Sediment deposition in the Dongzhuang Reservoir and the Lower Weihe River as the building of Dongzhuang Reservoir on the Jinghe River[R]. Tsinghua University, 2013. (in Chinese))
- [7] Wolman MG. The natural channel of Brandywine Creek, Pennsylvania. US Geological Survey Professional Paper, 1955:271.
- [8] Wang Y J, Fu X D, Zhang Y F, et al. Temporal change in bankfull characteristics of the Yellow River, single thread versus multiple thread reach[A]. Proceedings of 2013 IAHR World Congress, 2013.
- [9] Wolman MG, Leopold LB. River floodplains: Some observations on their formation[R]. U. S. Geological Survey Professional Paper 282-C, Washington, DC, 1957.
- [10] Williams GP. Bankfull discharge of rivers[J]. Water Resources Research, 1978, 14(6): 1141-1154.
- [11] Leopold LB, Wolman GM, Miller JP. Fluvial Processes in Geomorphology[M]. W. H. Freeman and Co.: San Francisco, New York, 1964: 522.
- [12] 夏军强, 吴保生, 李文文. 黄河下游平滩流量不同确定方法的比较[J]. 泥沙研究, 2009(3): 20-29. (XIA Jun qiang, WU Bao sheng, LI Wen wen. Comparison of different approaches to determine bankfull discharge in the Lower Yellow River[J]. Journal of Sediment Research, 2009(3): 20-29. (in Chinese))
- [13] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ, et al. Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River[J]. Geomorphology, 2008, 100: 366-376.
- [14] Wu BS, Xia JQ, Fu XD, et al. Effect of altered flow regime on bankfull area of the Lower Yellow River, China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2008, 33: 1585-1601.
- [15] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ. Case study: delayed sedimentation response to inflow and operations at Sanmenxia dam[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 133(5): 482-494.
- [16] Wu BS, Wang GQ, Xia JQ, et al. Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River[J]. Geomorphology, 2008, 100: 366-376.
- [17] Wu BS, Xia JQ, Fu XD, et al. Effect of altered flow regime on bankfull area of the Lower Yellow River, China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2008, 33: 1585-1601.
- [18] Dury GH. Bankfull discharge: an example of its statistical relationships[J]. International Association of Scientific Hydrology, Bulletin, 1961, 6: 48-55.
- [19] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 343-345. (QIAN Ning, HANG Ren, ZHOU Zhi de. Fluvial Processes[M]. Beijing: Science Press, 1987: 343-345. (in Chinese))
- [20] 夏军强, 吴保生, 王艳平, 等. 黄河下游河段平滩流量计算及变化过程分析[J]. 泥沙研究, 2010(2): 7-14. (XIA Jun qiang, WU Bao sheng, WANG Yan ping, et al. Estimating the bankfull discharge in the Lower Yellow River and analysis of its variation processes[J]. Journal of Sediment Research, 2010(2): 7-14. (in Chinese))

(上接第66页)

- [10] 刘娜, 王克林, 段亚锋. 洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4641-4650. (LIU Na, WANG Ke lin, DU AN Ya feng. Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4641-4650. (in Chinese))
- [11] 龚胜生. 长江中游洪灾的历史地理考察[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2000, 34(4): 485-488. (GONG Sheng sheng. A historical geographical inspection on the flood disasters of the middle reach of the Yangtze River. Journal of Central China Normal University: Natural Sciences, 2000, 34(4): 485-488. (in Chinese))
- [12] Frazier P S, Page K J. Water body detection and delineation with Landsat TM data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(12): 1461-1467.
- [13] 杜云艳, 周成虎. 水体的遥感信息自动提取方法[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 264-269. (DU Yun yan, ZHOU Cheng hu. Automatically extracting remote sensing information for water bodies[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(4): 264-269. (in Chinese))
- [14] 夏双, 阮仁宗. 淡水湖泊湿地水体信息提取方法[J]. 地理空间信息, 2012, 10(5): 8-10. (XIA Shuang, RU AN Ren zong. Extraction of water body in freshwater lake wetlands[J]. Geospatial Information, 2012, 10(5): 8-10. (in Chinese))
- [15] 王刚, 李小曼, 田杰. 几种TM影像的水体自动提取方法比较[J]. 测绘科学, 2008, 33(3): 141-142. (WANG Gang, LI Xiaoman, TIAN Jie. Comparison of several water body information extraction methods in Landsat TM remote sensing image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(3): 141-142. (in Chinese))