

黄河上游沙漠宽谷河段塌岸引起河道横向变化特征

舒安平, 高 静, 李芳华

(北京师范大学环境学院水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 通过黄河上游沙漠宽谷河段现场考察及实测资料分析, 依据河岸物质来源及组成将黄河上游崩塌河岸划分为粘性河岸及非粘性风沙堆积河岸两大类, 前者可分为平面崩塌、弧形滑动崩塌和复合式崩塌 3 种类型, 后者表现出非粘性河岸的表层滑移及平面崩塌两种形式。进一步以磴口、乌海河段为例, 分析粘性河岸和风沙堆积河岸的塌岸特征, 并结合近 10 年的遥感影像解译分析河岸线崩退变化规律, 揭示塌岸引起河道横向变化特征。结果表明粘性河段的塌岸后退距离大于风沙堆积河段, 局部河段短期出现凹退凸淤的动态岸线变化特点, 但全河段长期仍然处于总体淤积的态势。

关键词: 黄河上游; 塌岸; 淤积; 河道; 横向变化

中图分类号: TV122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-6791(2014)01-0077-06

黄河上游沙漠宽谷河段(又称宁蒙河段)流经腾格里沙漠、河东沙地、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠四大沙漠、宁夏平原及河套平原两大平原及十大孔兑, 是沙漠、河流交互演化过程的典型宽浅河道, 河岸稳定性普遍较差, 河岸抗剪强度小, 塌岸侵蚀显著^[1], 导致农耕土地减少、水利基础设施破坏、岸边建筑物倒塌及临河居民搬迁等问题, 严重威胁生态环境和人类生命财产安全^[2]。同时, 塌岸引起的河道演变对防洪安全构成极大威胁, 因此该河段塌岸问题一直受到人们的普遍关注。

塌岸是河道水流与河岸土体相互作用的结果, 水流作用于河岸, 使河岸岸坡变陡失稳, 产生崩塌^[3]。目前, 宁蒙河段的塌岸相关研究较少。Yao 等^[4]基于现场考察和遥感图像计算, 运用 ArcGIS 软件分析了河道冲淤面积。Ta 等^[5]研究了该河段在流量减小的条件下由塌岸导致的河道淤积问题。对于由塌岸引起的河道横向变化研究而言, 则是以水槽模拟实验及数值模拟研究为主^[6-7]。由于水利条件及河岸物质的特性, 水槽试验及数值模拟未能反应时空上塌岸引起的河道横向变化。为此, 本文依据黄河上游典型塌岸河段的遥感影像资料及实测资料, 对本河段的塌岸分类特点及河道横向变化特征进行分析, 为今后黄河上游沙漠宽谷塌岸河段的河道治理提供依据。

1 研究区概况

黄河上游沙漠宽谷河段指自宁夏下河沿至内蒙古头道拐的一段河道(简称宁蒙河段), 属黄河上游的下段, 总长 1 080 km, 比降 0.25‰, 如图 1 所示。该河段主要特点为坡降小, 组成物质松散, 高含沙量, 河道易摆动^[8]。本文分别选乌海和磴口河段分别代表风沙堆积河岸和粘性河岸分析黄河上游典型塌岸河段河岸横向变化特性。乌海河段位于内蒙古乌海市, 为典型的沙漠河段, 河段长度为 9.8 km, 左岸毗邻乌兰布和沙漠, 塌岸成为该河段产沙的主要来源之一。磴口河段位于内蒙古三盛公水利枢纽下游 8 km 处, 河段长度为 10.8 km, 距离上游乌海河段 142 km, 河道宽浅。两河段分别选用 2004—2011 年和 2003—2012 年 WorldView1、2 影像数据。首先进行遥感图像的校正和配准, 然后根据不同的光谱特性进行河岸线位置数据的提

收稿日期: 2013-01-29; 网络出版时间: 2013-11-30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20131130.1544.022.html>

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2011CB403304); 国家自然科学基金资助项目(11372078)

作者简介: 舒安平(1965—), 男, 湖北鄂州人, 教授, 博士, 主要从事河流动力学、泥石流及水土保持研究。

E-mail: shuap@bnu.edu.cn

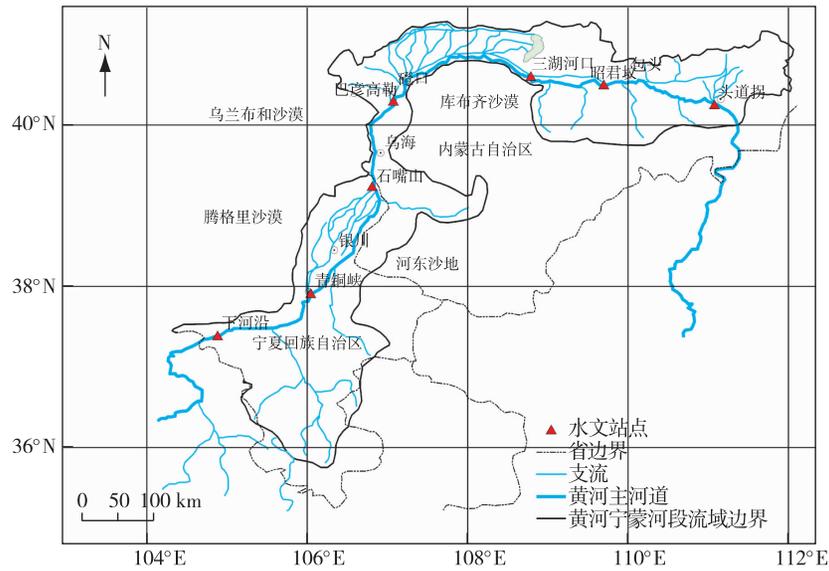


图1 黄河上游沙漠宽谷河段位置示意

Fig. 1 Sketch of the desert reach of the upper Yellow River

取,最后运用 ArcGIS9.3 进行数据的矢量化和计算得出结果。由于某些年的影像云辐射量过大难以识别,加之各时相遥感数据成像季节不同,水位变化会影响河岸线的位置,起伏较大时会造成影响解译结果,因此,本文依据代表性水平年水文条件近似、河道滩槽方法选取影像资料。

2 黄河上游塌岸分类及特征

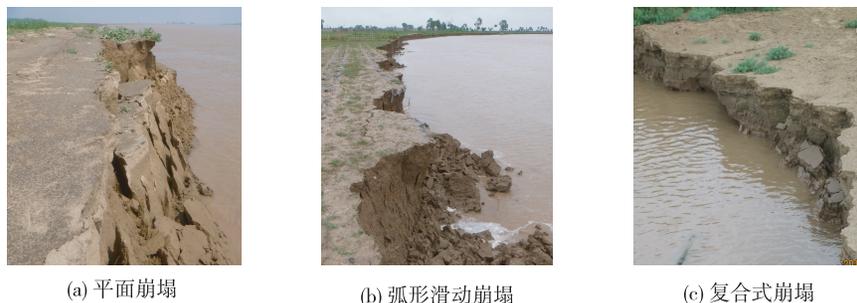
根据黄河上游沙漠宽谷河段河岸物质来源及组成特点,可将塌岸河岸划分为淤沙河岸和风沙堆积河岸两类。

2.1 淤沙河岸河段塌岸分类与基本特征

根据塌岸的力学机理及形态特征,可将粘性河岸河段的塌岸类型划分为平面崩塌、弧形滑动崩塌及复合式崩塌^[9]3种。

(1) 平面崩塌 在淤沙河岸河段中,平面崩塌表现为条块状土体渐进式滑动崩塌破坏。发生此类崩塌的河岸坡度较大($>80^\circ$),河岸线后出现较长且深的张拉裂缝,崩塌破坏面基本上与河岸边坡平行(图2(a))。

(2) 弧形滑动崩塌 弧形滑动崩塌表现为大块土体持续整体性的滑动破坏,崩塌强度较大,崩塌面沿弧面形成,坡面常见与岸线平行的拉裂缝(图2(b)),如果拉裂缝较深(大于岸坡总深度的30%),则可形成平面崩塌。



(a) 平面崩塌

(b) 弧形滑动崩塌

(c) 复合式崩塌

图2 淤沙河岸河段崩岸形式

Fig. 2 Bank collapse patterns of silt-bank reach

(3) 复合式崩塌 复合崩塌(又称悬臂崩塌)表现为分层土体悬挂式的垂直崩塌破坏(图 2(c)), 该类崩塌一般出现在土体组成为二元或多元结构的河岸。

2.2 风沙堆积河岸河段塌岸分类与基本特征

根据塌岸机理, 风沙堆积河岸的崩塌类型主要分为表层滑移崩塌及平面崩塌两种形式。

(1) 表层滑移崩塌 表层滑移崩塌是风沙在越过岸坡顶端直接进入河道的滑移崩塌形式(图 3(a))。主要特征有: 河岸物质组成非粘性, 下滑颗粒间无粘聚力作用; 滑动面浅, 与岸坡平行; 岸坡较平缓。

(2) 平面崩塌 平面崩塌是在水力侵蚀作用下, 坡脚侵蚀严重导致河岸上部的非粘性泥沙失稳并崩塌进入河道中(图 3(b))。主要特征有: 河岸坡脚水力侵蚀严重; 河岸上部坡度较大(>60°); 此类崩塌在风沙河岸一般不会出现张裂缝。



图 3 风沙堆积河岸河段崩岸形式

Fig. 3 Bank collapse patterns of sand-bank reach

3 黄河上游塌岸引起河道横向变化特征

3.1 粘性河岸河段

(1) 河道横向变化平面特征 由于塌岸类型的差异, 河道的横向变化展现出不同特征。顺直河段的塌岸类型以平面崩塌及复合式崩塌为主, 而弯曲河段以弧形崩塌为主^[9], 因此本文中河道的横向变化就以河道的几何形态来描述。相比顺直河道, 由于弯道环流的作用, 弯曲河道摆动幅度较大, 主流线摆动显著, 河岸线交替变化, 洲滩位移及面积变化显著(图 4), 而且弯道附近出现凹岸崩塌凸岸淤积的态势, 但在长时间尺度的前提下, 该河道出现塌岸—淤积交替的发展态势。

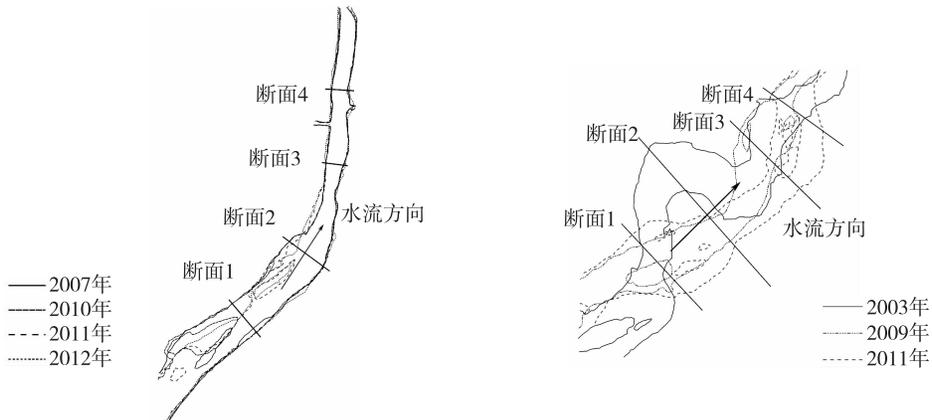


图 4 磴口塌岸河段河道横向变化平面

Fig. 4 Lateral variation of Dengkou reach due to bank collapse

(2) 河岸线变化 图5为磴口塌岸河段河岸线变化,可以看出,2007—2012年磴口顺直河段左岸表现为整体淤积状态,其中断面1的淤进距离最大,为317.17 m,而断面3、断面4则处于冲刷状态,总体崩退距离分别为8.81 m、16.80 m;相比之下,右岸整体表现为冲刷状态(断面1除外),与左岸相对应,断面1的崩退距离也最大,为110.66 m,左岸的年平均淤进距离为25.76 m/a,右岸的年平均冲刷后退距离为9.06 m/a,有向弯曲型河道发展的趋势。而在弯曲河段,由于弯道环流的作用,先前表现为左侧凹岸崩退、凸岸淤积,后期随着弯道进一步发展及河势的变化,出现了左侧凹岸淤积、右岸凸岸冲刷,河道趋直的状态。以上结果表明在目前特定观测条件下,具有弧形滑动崩塌的弯曲河道的年崩退后退距离和淤进距离均大于顺直河段,说明弯曲河道由于环流作用具有产生较强烈的河岸冲淤变化特性。

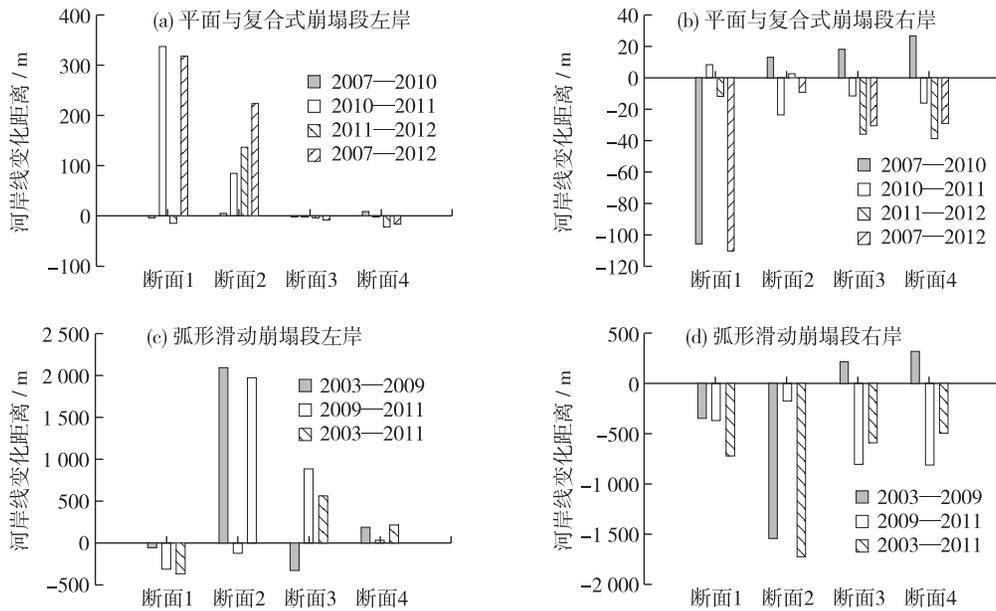


图5 磴口塌岸河段河岸线变化

Fig. 5 Variation of river boundary of both sides in Dengkou reach

3.2 风沙堆积河岸河段

(1) 河道横向变化平面特征 相比于粘性河段,风沙堆积河段的塌岸规模较小,因此河道横向变化平面特征不显著(图6)。由于风沙堆积河段浅层崩塌特征的独特性,塌岸不一定导致河岸线后退,而泥沙输移强度较大,故洲滩位置及面积变化较大。而平面崩塌为主的弯曲河段,河岸线及洲滩位移均不甚明显,由于水力侵蚀非粘性沙以分散的颗粒形式运动,而且大部分淤积在河岸附近或者是沿水流方向输移到下游。

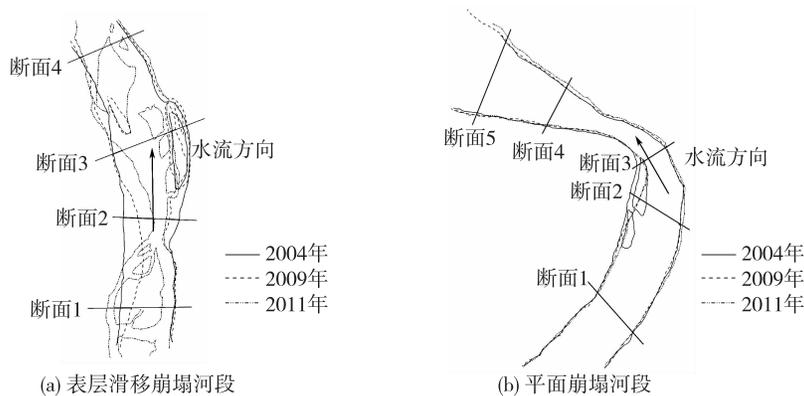


图6 乌海塌岸河段河道横向变化平面

Fig. 6 Lateral variation of Wuhai reach due to bank collapse

(2) 河岸线变化 相比于粘性河岸, 乌海风沙河段的河岸崩退及冲淤距离幅度较小(图 7), 是因为乌海河段紧邻乌兰布和沙漠, 为沙漠堆积河段, 风沙入黄为河流泥沙主要来源, 而河岸坍塌入黄泥沙所占比例较小, 因此河岸崩退距离不甚明显。乌海浅层崩塌段左岸表现为冲刷, 右岸表现为淤积, 与乌海平面崩塌河段及磴口河段的冲淤岸相反, 浅层崩塌河段由于近岸沙丘有来自乌兰布和沙漠的沙源补充导致河岸线不退反进。平面崩塌河段 2004—2009 年左岸中断面 4 的崩退距离最大为 39.09 m, 左岸年平均崩退距离为 2.64 m/a。右岸淤积幅度比左岸淤积幅度大, 断面 2、3 尤为显著, 年平均淤积速率为 6.78 m/a。对于平面崩塌特征的弯曲河道而言, 2004—2009 年冲淤都比较明显, 最大冲刷距离为右岸断面 2 的 151.54 m, 最大淤积距离为 345.16 m, 左岸年平均淤进距离为 14.78 m/a, 右岸年平均冲刷后退距离为 9.38 m/a, 因此, 就河岸冲淤变化而言乌海河段处在淤积状态。

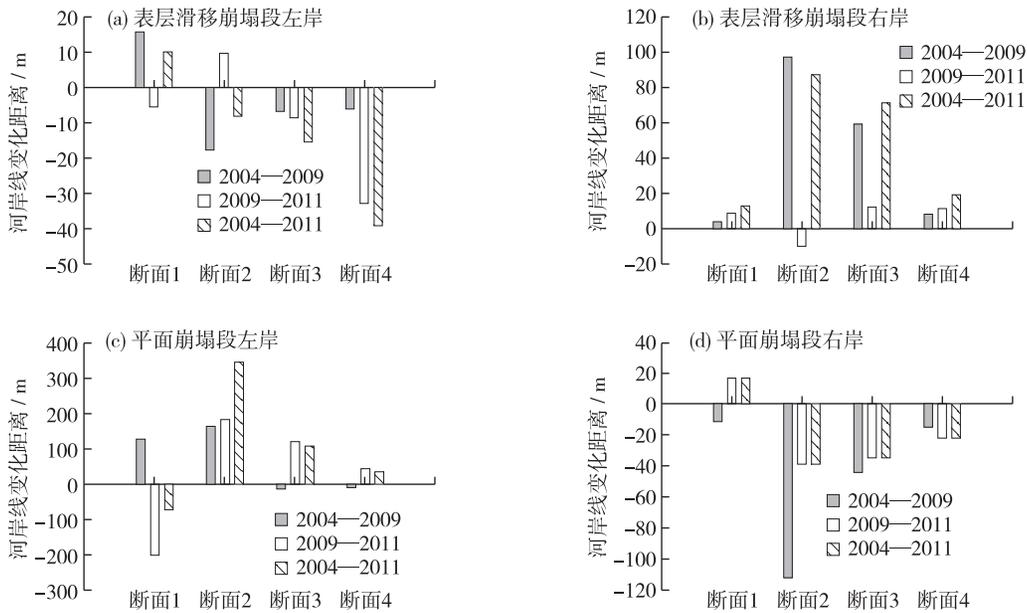


图 7 乌海塌岸河段河岸线变化

Fig. 7 Variation of river boundary of both sides in Wuhai reach

4 结 论

宁蒙河段由于河岸物质组成的差异及水沙组合的复杂性, 塌岸形式亦有区别, 粘性河岸河段的主要塌岸形式有平面崩塌、弧形滑动崩塌及复合式崩塌, 风沙堆积河岸河段的塌岸形式有表层滑移崩塌、平面崩塌两种。

塌岸引起河岸横向的显著变化, 主要体现在河岸线崩退及淤进、河道横向的摆动等方面, 但又因塌岸类型及规模而区别。结合遥感影像解译及 ArcGIS 对磴口和乌海不同塌岸类型下的河岸横向变化进行分析, 结果表明粘性河段的塌岸速率大于风沙堆积河段, 局部河段短期出现凹退凸淤的动态岸线变化特点, 全河段长期仍然处于塌岸—淤积交替发展、总体河道淤积的态势。但是以上结果均基于小尺度遥感影像解译, 由于遥感影像覆盖时间及精度有限, 加之解译及 ArcGIS 矢量化的人工误差, 本文成果具有一定局限性, 尚有待于今后进一步分析研究。

参考文献:

[1] OSMAN A M, THORNE C R. Riverbank stability analysis: I: Theory [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1988, 114: 134-150.
 [2] 王延贵. 冲击河流岸滩崩塌机理的理论分析及试验研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003. (WANG Yangui. Study

- on mechanism of bank failure in the alluvial river [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2003. (in Chinese))
- [3] 余明辉, 段文忠, 窦身堂. 河道塌岸机理研究[C]//湖北省水利学会. 纪念'98抗洪10周年学术研讨会优秀文集. 武汉: 湖北省水利学会, 2008. (YU Minghui, DUAN Wenzhong, DOU Shentang. Study on bank collapse mechanism in alluvial rivers[C]// Hubei Province Water Conservancy Society. Decade Anniversary of Flood Fighting in 1998 Proceeding. Wuhan: Hubei Province Water Conservancy Society, 2008. (in Chinese))
- [4] YAO Zhengyi, TA Wanquan, JIA Xiaopeng, et al. Bank erosion and accretion along the Ningxia—Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008 [J]. *Geomorphology*, 2011, 127:99-106.
- [5] TA Wanquan, JIA Xiaopeng, WANG Haibing. Channel deposition induced by bank erosion in response to decreased flows in the sand-banked reach of the upstream Yellow River [J]. *Catena*, 2013, 105: 62-68.
- [6] 余明辉, 申康, 吴松柏, 等. 水力冲刷过程中塌岸淤床交互影响试验[J]. *水科学进展*, 2013, 24(5):1-8. (YU Minghui, SHEN Kang, WU Songbai, et al. An experimental study of interaction between bank collapse and river bed evolution [J]. *Advances in Water Science*, 2013, 24(5):1-8. (in Chinese))
- [7] 假冬冬, 张幸农, 应强, 等. 流滑型崩岸河岸侧蚀模式初探[J]. *水科学进展*, 2011, 22(6):813-817. (JIA Dongdong, ZHANG Xingnong, YING Qiang, et al. Preliminary study on the analytical model for slide collapse of riverbanks [J]. *Advances in Water Science*, 2011, 22(6):813-817. (in Chinese))
- [8] 常温花, 王平, 侯素珍, 等. 黄河宁蒙河段冲淤演变特点及趋势分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2012, 23(4):145-147. (CHANG Wenhua, WANG Ping, HOU Suzhen, et al. Analysis of characteristic and trend of scouring and silting evolution in Ningxia and Inner-Mongolia reach of Yellow River [J]. *Journal of Water Resources&Water Engineering*, 2012,23(4):145-147. (in Chinese))
- [9] 张幸农, 蒋传丰, 陈长英, 等. 江河崩岸的类型与特征[J]. *水利水电科技进展*, 2008, 28(5):66-70. (ZHANG Xingnong, JIANG Chuanfeng, CHEN Changying, et al. Types and features of riverbank collapse [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2008, 28(5):66-77. (in Chinese))

Lateral variation properties in river channels due to bank failure along the desert valley reach of upper Yellow River *

SHU Anping, GAO Jing, LI Fanghua

(Key Laboratory for Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, School of Environment,
Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: By means of field survey and measurement data analysis, the types of river bank erosion along the desert wide valley reach of the upper Yellow River can be classified into two types: cohesive bank and non-cohesive sand accumulation bank, according to the river bank material composition and the sediment source. The former type can be further classified into three subtypes: plane collapse, arc collapse and cantilever collapse, whereas the latter has two subtypes of erosion: surface sliding and plane collapse. Taking the Dengkou reach and the Wuhai reach for examples, and combining with remote sensing image interpretations for nearly 10 years, the shoreline variations are analyzed to reveal the lateral variation in the reaches due to bank failure. Results show that the bank collapse rate of cohesive bank erosion is greater than that of non cohesive sand accumulation bank erosion. In the short term, there appears to be formations of concave bank and accretion of convex bank in local bending channels, but in the long term, the whole reach tends to be in the overall trend of siltation. Therefore, the study has great significance to revealing the channel lateral deformation and the fluvial processes due to bank failure in the upper Yellow River.

Key words: the upper Yellow River; bank failure; deposition; river channel; lateral variation

* The study is financially supported by the National Basic Research Program of China (No. 2011CB403304) and the National Natural Science Foundation of China (No. 11372078).