

基于3S技术的黄河内蒙古段河道演变特性分析

赵水霞,李畅游,李超,史小红,孙标,赵胜男

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:为揭示黄河内蒙古段河道形态大尺度、长序列的演变规律,选取典型河段蒲圪卜—岔河口为研究对象,以1995—2013年4期(1995年、1999年、2006年和2013年)多光谱遥感影像为数据源,采用3S技术,结合RTK实测数据,对不同年份129个测量断面的河道平面摆动及河槽宽度变化进行了分析。结果表明,基于3S技术解译的河道形态与实测河道形态吻合较好,1995—2013年研究区河槽宽度在波动中呈萎缩趋势,2013年与1995年相比主河槽宽度平均萎缩了32.24 m,变化率为-9%;弯道处多次出现裁弯取直,河床地质条件、河道来水来沙条件及河道形态是影响河道演变的重要因素;相比于基岩河床,砂质河床的河槽宽度变化率较大,变化幅度为-12%~-33%;昭君坟断面较明显的河槽萎缩是受南岸库布其沙漠及上游“十大孔兑”入黄沙量增加的影响。

关键词:黄河内蒙古段;河道演变;河槽萎缩;3S技术;遥感数据

中图分类号:TV147 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2016)04-0070-05

Analysis of characteristics of river channel evolution in Inner Mongolia reach of Yellow River based on 3S technology//ZHAO Shuixia, LI Changyou, LI Chao, SHI Xiaohong, SUN Biao, ZHAO Shengnan (College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract:In order to explore the large-scale long-term law of river channel evolution in the Inner Mongolia reach of the Yellow River, the Pugebu-Chahekou section was selected as a study area. The lateral migrations of the river channel and the changes in river width at 129 cross-sections monitored in different years were analyzed using 3S technology and RTK data on the basis of four groups of multi-spectral remote sensing image data during the period of 1995, 1999, 2006 and 2013. The results show that the interpreted river morphology results using the 3S technology agreed with the measured results. The average width of the river showed a tendency of shrinkage, although fluctuation existed. The river width of the main stream decreased by 32.24 m on average from 1995 to 2013, with a change rate of -9%. Curve cutoff phenomena occurred more than once. The geological conditions, inflowing water and sediment conditions, and channel morphology are important factors affecting river channel evolution. The change rates of river width in the sandy riverbed sections ranged from -12% to -33%, which were greater than those in the bedrock riverbed sections. The apparent shrinkage of the Zhaojunfen cross-section was affected by the increase of the content of sand into the Yellow River from the Kubuqi Desert in the south and ten tributaries upstream.

Key words: Inner Mongolia reach of Yellow River; river channel evolution; channel shrinkage; 3S technology; remote sensing data

近年来受上游水库流量控制及黄河内蒙古段支流来水、来沙量变化的影响,黄河内蒙古段河道水流的输沙能力及冲淤平衡发生了改变,河道摆幅频繁、变迁剧烈,部分河槽宽度严重萎缩,降低了主河槽的行洪能力。黄河内蒙古段河道冲淤演变已经引起诸多学者的关注,通过同流量水位变化^[1]、横断面冲淤指标跟踪计算^[2]和时间序列分析等方法^[3-6]对黄河内蒙古段下游河道的收缩特征进行了分析。因基于遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)的3S技术可以对河道形态进行大尺度、长序列系统的分析,使3S技术成为研究河道演变特性的新手段。王随继等^[7]通过不同年份的卫星影像数据对黄河银川平原段的河岸线进行了绘制,估算了河岸的平均摆动速率。Yao等^[8]运用遥感技术研究了1977—2008年黄河宁蒙河段的河岸冲淤面积变化,并对其河岸侵蚀的原因进行了分析。毛锋等^[9]

利用多源遥感数据,结合地形图资料,对清口地区两次大规模的河道变迁进行了识别,指出影响河道演变的主要因素主要为自然因素和人为因素。而结合RTK地形数据,采用3S技术对黄河内蒙古段下游河道横断面冲淤演变的研究报道较少。本文采用3S技术对黄河内蒙古段的历史多光谱遥感影像数据进行解译,通过对不同年份129个断面主河槽宽度变化情况进行分析来揭示黄河内蒙古段下游河道演变过程,以典型断面河槽宽度变化率为基础,探讨影响该河段冲淤演变的主要因素。

1 研究区概况

黄河内蒙古段位于黄河“几”字形大弯曲的最北端,介于北纬37°35′~41°50′、东经106°10′~112°50′之间,从宁夏的石嘴山入境,至鄂尔多斯市准格尔旗马栅乡出境,全长约840 km。按行政区域分为4段,自上游至下游依次为乌海分段、巴彦淖尔分段、包头分段及准格尔旗分段,本文选取的断面处于巴彦淖尔分段蒲圪卜至准格尔旗分段岔河口河段,如图1所示。

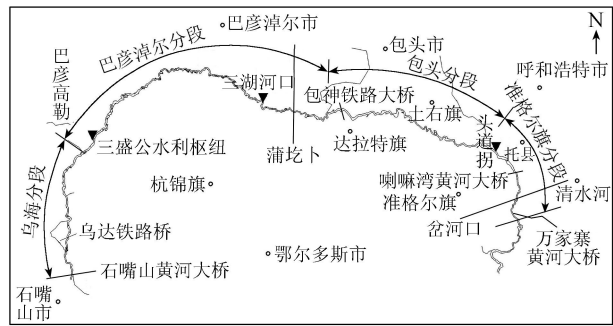


图1 黄河内蒙古段示意图

研究河段全长254 km,河道走向为自西北向东南,上游为平原型河道,下游为峡谷型河道,河道地形复杂,浅滩弯道较多,曲率较大。为更精准地反映河道演变特征,根据河道形态情况、基岸冲刷条件和水文站位置等因素,将研究河段分为7个子河段,并在各子河段间均匀插入了控制断面,包括典型断面(9个)共计129个,如图2所示。

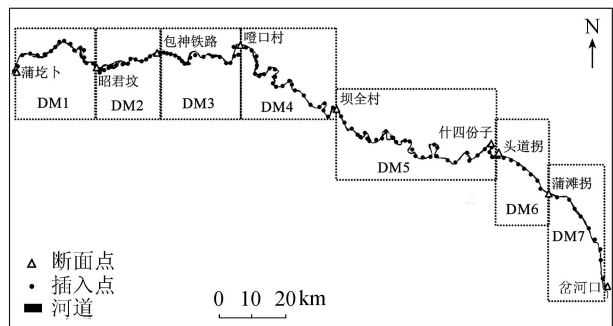


图2 河段分割及控制断面点

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

选取美国陆地资源卫星TM(1995年)、ETM(1999年)、TM(2006年)和OLI-TIRS(2013年)4期多光谱遥感影像为数据源,数据为Level3几何精校正产品,具有分辨率高、信息量相对完整等优点,校正后的均方根误差控制在1个像素以内,即小于30 m。在影像时间选取上优先选择了秋季平水期,可避免丰水期和枯水期的影响,影像云量均小于0.1%,信息量相对完整,能很好地反映地物信息。

遥感影像数据处理是通过计算机对影像中各类地物的光谱及空间信息进行分析,以ENVI 4.7和Arc GIS 9.3为数据处理平台,对研究区域的4幅遥感影像分别进行最佳波段组合、线性增强、图像整饰、特征提取、最大似然分类等预处理,根据水体的光谱特征及各波段的应用领域选取7、4、3波段组合为最佳组合波段。结合野外实地观测,在GIS软件支持下采用人机交互式解译方法提取河道信息,再对提取的信息进行颜色调整、分类统计分析、过滤处理和小斑点处理等图像后处理,最后辅以定位在河道矢量图中的大地坐标,对蒲圪卜—岔河口河段的129个断面点河槽宽度进行测量和统计,将不同年份的河道图层进行叠加、编辑和矢量对比分析,得出不同时期河道平面形态及其演变历史。

2.2 河道演变计算方法

河槽宽度变化率是刻画河槽宽度及河道形态的一个重要参数,也是反映河道冲淤演变程度的重要指标。以遥感影像解译为主导,在GIS软件的支持下对解译结果进行空间信息的测量和统计,根据不同年份129个断面的河槽宽度,计算主河槽宽度变化率,进而分析河道冲淤演变。河槽宽度变化率 φ 计算公式为

$$\varphi = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 B_1 、 B_2 分别为 T_1 、 T_2 时刻各断面的河槽宽度。 φ 值为正说明河道增宽,为负说明河道萎缩。

3 结果与分析

利用2014年10月黄河野外RTK地形实测数据对同年11月遥感影像数据解译结果进行精度验证。本文所选影像的空间分辨率均在30 m以内,所以图像校正后解译出的河槽宽度误差一般在30 m以下^[10],而黄河内蒙古段蒲圪卜—岔河口河段的平均河宽在350 m左右,平均相对误差约为8%,该误差在可接受范围之内,可以定量反映出区域河床的

变化及摆动情况。

选取头道拐上游 4.6 km 至蒲滩拐下游 2 km 河段 20 个断面的实测河槽宽度与 3S 解译结果进行相关性分析,如图 3 所示,解译的主河槽宽度与实测结果吻合较好, R^2 达到 0.8853,均方根误差为 27.7 m,占实测样本均值的 8.9%。

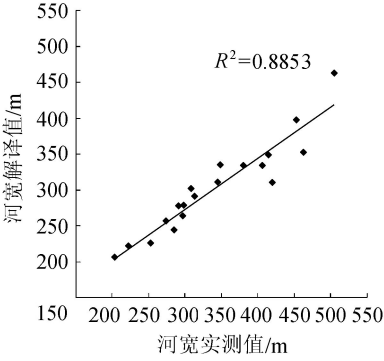


图 3 河宽实测值与解译值对比

3.1 河道冲淤演变过程分析

为了更好地研究黄河内蒙古段典型河段的历史冲淤演变情况,根据影像的解译结果及典型断面大地坐标的定位,辅以河道形态情况、基岸冲刷条件等,将研究河段 7 个子河段逐一进行分析,以直观反映蒲圪卜—岔河口河段 1995—2013 年的河道演变特性,结果如图 4 所示。

a. 1999 年与 1995 年相比, φ 值为-19%,主河槽宽度呈现萎缩状态。其中 DM1 长为 37.75 km,东西走向,属游荡性河段,受弯道水流特性影响,主河道向凹岸一侧偏移;DM2、DM3 的萎缩程度较为明显, φ 值分别达到-25%和-23%。河道受水流冲刷及右岸“十大孔兑”来水来沙影响,这两个河段最大偏移距离达到 300 m 左右;DM6、DM7 为南北走向,河道近似为直道,平面摆动小, φ 值变化不大,河槽宽度基本趋于稳定。

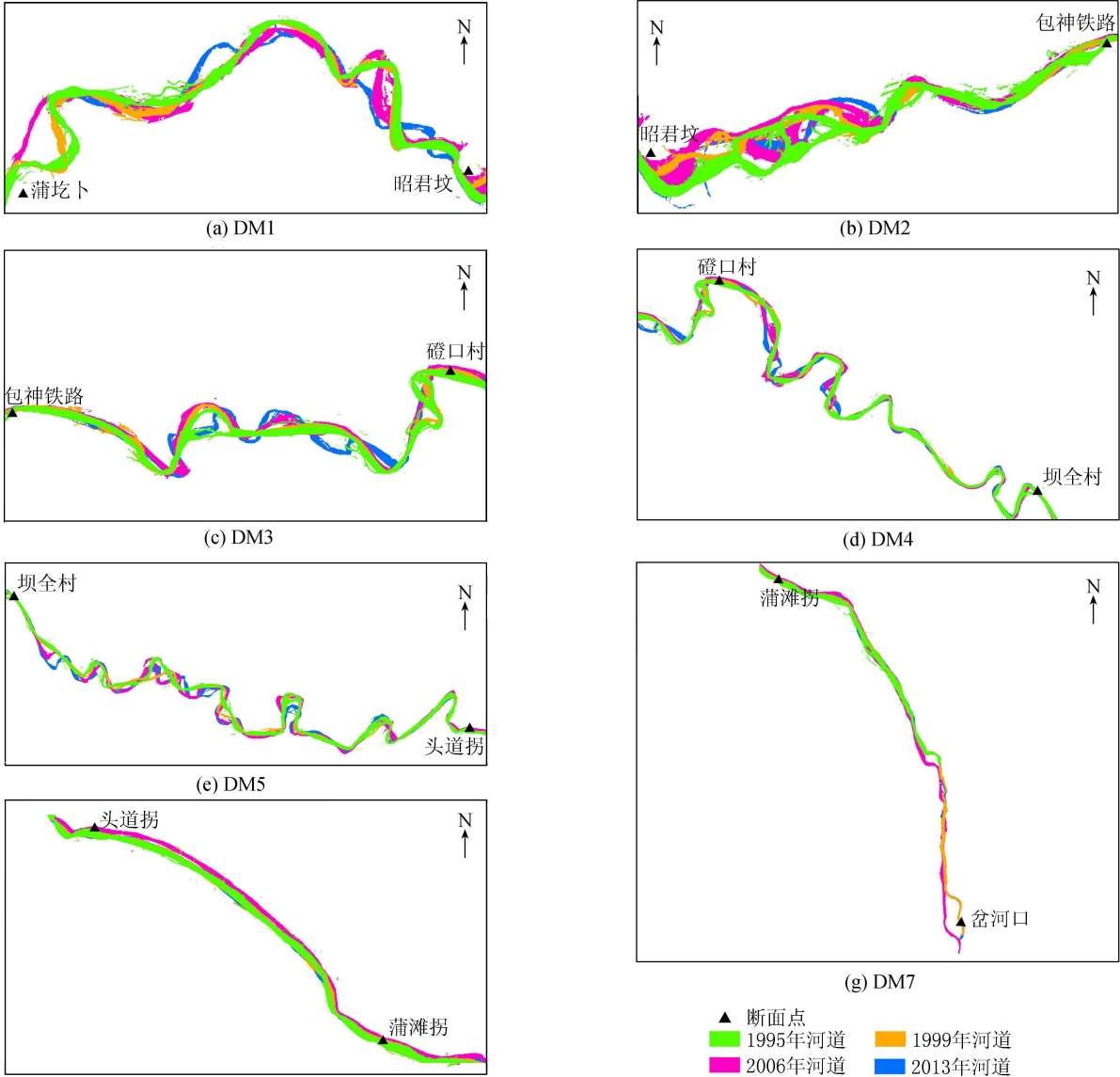


图 4 各子河段河道演变

b. 2006 年与 1999 年相比, φ 值达到 31%, 河道呈现增宽趋势, 河道平面摆动不稳定, 幅度相差较大, 受大流量影响, 河道裁弯取直现象明显(图 5); DM2 长为 20.6 km, 河道主河槽以向右岸迁移为主, 昭君坟至下游 5 km 弯道凹岸处出现两处拓宽, 宽度为 617 m 和 1300 m; 磴口村附近的弯道较多, 受水力条件的影响较大, 多处出现了裁弯取直现象, 如图 5(b) 所示。

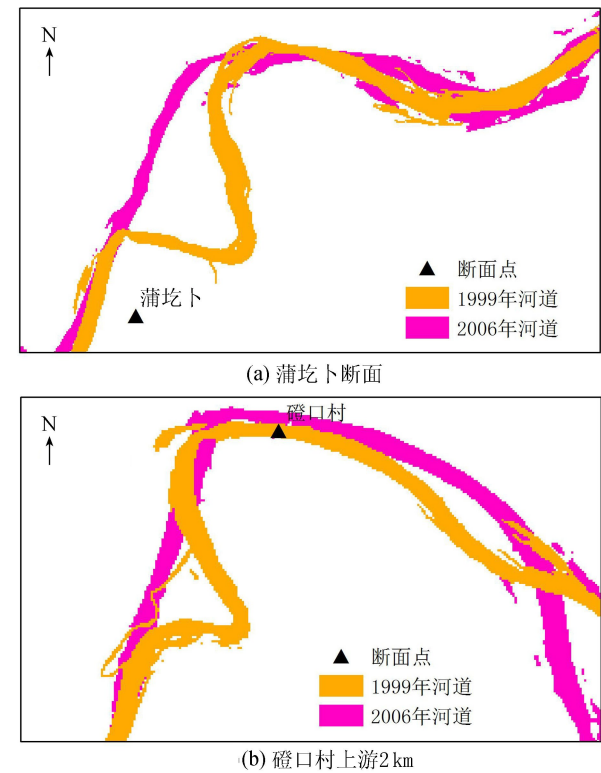


图 5 河道裁弯取直提取结果

c. 2013 年与 2006 年相比, φ 值为 -14%, 河道虽呈现萎缩状态, 但各子河段变化较为稳定, 上游河段因弯道多, 摆动幅度较下游大, 最为明显的为 DM2 河段, φ 值达到 -42%。

d. 总体来讲, 1995—2013 年, 主河槽宽度平均萎缩了 32.24 m, 河槽宽度变化率 $\varphi = -9\%$, 河道整体呈现萎缩状态。上游河段弯道较下游多, 平面摆动幅度也较明显。DM1 ~ DM5 的平面摆动幅度较为突出, 摆动距离最大的位置均发生在河道弯曲处, 多处出现裁弯取直现象; DM7、DM8 河道近于直道, 其地质条件相对稳定, 河槽宽度演变趋势不明显。

3.2 典型断面主河槽宽度定量分析

河槽宽度及其变化率可定量表征不同时期的河道演变特征, 在 GIS 软件统计功能的支持下, 结合野外实际观测, 对选取的 9 个典型断面的主河槽宽度进行量化分析。受河道形态影响, 同一时段内各典型断面的河槽宽度差异较大, 最大河槽宽度达到 487.95 m, 最小河槽宽度仅有 182.81 m, 但总体变化趋势一致, 如 1995—2013 年河道呈淤积趋势, 9 个

典型断面河槽宽度均呈萎缩趋势, 河槽宽度及其变化率如表 2 所示。由表 2 可知, 蒲圻卜、包神铁路、头道拐 3 个断面变化幅度较为稳定, 昭君坟和磴口村断面受弯道环流的影响, 河槽宽度变化率较大。

表 2 典型断面河槽宽度及其变化率

断面名称	河槽宽度/m				河槽宽度变化率/% (1995—2013 年)
	1995 年	1999 年	2006 年	2013 年	
蒲 圻 卜	335.39	296.39	312.18	301.63	-10
昭 君 坟	487.95	336.00	362.60	326.04	-33
包神铁路	303.38	267.02	289.52	268.49	-12
磴 口 村	395.23	182.81	280.36	273.43	-31
坝 全 村	363.36	224.88	273.55	265.63	-27
什四份子	480.20	356.76	396.34	344.09	-28
头 道 拐	380.20	355.88	362.53	333.77	-12
蒲 滩 拐	301.25	268.24	298.61	241.37	-20
岔 河 口	253.47	209.54	233.22	202.06	-20

3.3 河槽宽度变化影响因素分析

不同河床地质条件下河槽宽度变化率呈显著差异。蒲圻卜断面河床为基岩, 河槽宽度变化率最小, 河势稳定; 昭君坟断面位于由粉细砂组成的冲积平原区, 自然地势为南高北低, 受南岸库布其沙漠及上游“十大孔兑”的影响, 断面的水沙与风沙入河量较大, 且颗粒粒径多集中在 0.1 m 以上, 不易被水流挟带, 输移过程中容易在河道淤积^[11-12], φ 值最大达到 -33%, 在不同年份呈现不稳定的冲淤变化。图 6 为头道拐水文站 1995—2013 年年平均径流量, 可以看出, 不同时期的流量变化与河道冲淤状况相关。1995—1999 年, 头道拐年平均流量呈递减趋势, 使得输沙能力减弱, 河道淤积; 1999—2006 年, 随着流量的持续增加, 主河槽冲刷较严重, 同时期河槽宽度变化率为正值; 2012 年该水文站出现了流量极大值, 达到 900 m³/s^[13], 而 2013 年流量又呈现下降趋势, 河道再次淤积。因此, 不同河床地质条件及流量、含沙量条件是影响河道冲淤演变的重要因素。

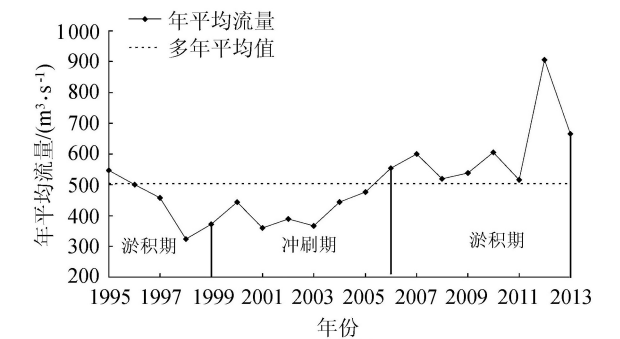


图 6 头道拐水文站 1995—2013 年年平均流量

研究区上游弯道较多, 受弯道横向环流的作用, 河槽变化幅度较下游明显。河道演变最严重的区域均出现在河流弯道处, 在弯道环流及水流冲刷力的影响下, 河床泥沙会沿主流由凹岸向凸岸移动, 使得

弯道凹岸不断被侵蚀,而凸岸不断淤积,从而改变河道形态,进一步演化为裁弯取直。因此,河道形态也是影响河道演变的重要因素之一。

4 结 论

a. 黄河内蒙古段蒲圪卜—岔河口河段 1995—2013 年河道呈萎缩状态,河槽宽度变化率为-9%;受流量过程持续增大的影响,2006 年较 1999 年河槽宽度变化率达到 31%。

b. 河道演变受多重因素的影响,其中河床地质条件、河道来水来沙条件及河道形态是影响河道演变的重要因素。

c. 受弯道环流作用,弯道处河道平面摆幅大,多处出现裁弯取直现象,因此在河道的长序列监测及进行河道整治的过程中,要将重点放在弯道处,有效保障弯道两岸建筑物的安全。

参考文献:

[1] 侯素珍,常温花,王平,等. 黄河内蒙古河段河床演变特征分析[J]. 泥沙研究,2010(3):44-50. (HOU Suzhen, CHANG Wenhua, WANG Ping, et al. Fluvial processes in Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Journal of Sediment Research, 2010(3):44-50. (in Chinese))

[2] 秦毅,张晓芳,王凤龙,等. 黄河内蒙古河段冲淤演变及其影响因素[J]. 地理学报,2011,66(3):324-330. (QIN Yi, ZHANG Xiaofang, WANG Fenglong, et al. Scour and silting evolution and its influencing factors[J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 66 (3): 324-330. (in Chinese))

[3] HU Chunhong, ZHANG Guogang. Characteristics of the Lower Yellow River channel shrinkage and its discriminant parameters [J]. Science China Technological Sciences, 2010, 53(5):1374-1386.

[4] 胡春宏,张治昊. 黄河下游河道萎缩过程中洪水水位变化研究 [J]. 水利学报,2012,43 (8): 883-890. (HU Chunhong, ZHANG Zhihao. Research on variation of floodwater stage during the atrophy process of the Lower Yellow River channel [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(8):883-890. (in Chinese))

[5] 师长兴,范小黎,邵文伟,等. 黄河内蒙河段河床冲淤演变特征及原因[J]. 地理研究,2013,32(5):787-796. (SHI Changxing, FAN Xiaoli, SHAO Wenwei, et al. Channel change of the Inner Mongolia reach of the Yellow River and its causes[J]. Geographical Research, 2013, 32(5):787-796. (in Chinese))

[6] 姚文艺,严忠民,李勇. 黄河下游河道萎缩过程中输沙能力的调整[J]. 水利水电科技进展,2006,26(3):10-14. (YAO Wenyi, YAN Zhongmin, LI Yong. Adjustment

of sediment transport capacity during channel shrinkage for Lower Yellow River [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(3):10-14. (in Chinese))

[7] 王随继,李玲. 黄河银川平原段河岸摆动速率变化及原因[J]. 地理学报,2014,69(3):399-408. (WANG Suiji, LI Ling. Lateral shift rate variation of the river banks in the Yinchuan Plain reach of the Yellow River and its causes[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 69 (3):399-408. (in Chinese))

[8] 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, 2010, 127(1):99-106.

[9] 毛锋,黄健熙,胡强,等. 基于多源遥感数据的清口地区河道演变及驱动力分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,49(3):313-316. (MAO Feng, HUANG Jianxi, HU Qiang, et al. Analysis of evolution of rivers and driving force in the Qingkou region based on multi-source remote sensing data [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2009, 49 (3): 313-316. (in Chinese))

[10] 除多,普穷,拉巴卓玛,等. 近 40 a 西藏羊卓雍错湖泊面积变化遥感分析[J]. 湖泊科学,2012,24(3):494-502. (CHU Duo, PU Qiong, LABA Zhuoma, et al. Remote sensing analysis on lake area variations of Yamzho Yumco in Tibetan Plateau over the past 40 a [J]. Journal of Lake Science, 2012, 24(3):494-502. (in Chinese))

[11] 李秋艳,蔡强国,方海燕,等. 黄河内蒙河段河道演变过程及影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(2):68-73. (LI Qiuyan, CAI Qiangguo, FANG Haiyan. Channel evolution and influence factors in Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26 (2): 68-73. (in Chinese))

[12] 吴保生,刘可晶,申红彬,等. 黄河内蒙古河段输沙量与淤积量计算方法[J]. 水科学进展,2015,26(3):311-321. (WU Baosheng, LIU Kejing, SHEN Hongbin, et al. Calculation methods for sediment load and deposition volume in the Inner Mongolia reach of the Yellow River [J]. Advances in Water Science, 2015, 26(3):311-321. (in Chinese))

[13] 王卫红,于守兵,郑艳爽,等. 黄河内蒙古河段 2012 年洪水前后河势演变[J]. 水利水电科技进展,2014,34(5):35-38. (WANG Weihong, YU Shoubing, ZHENG Yanshuang, et al. River regime change in Inner Mongolia reach of Yellow River by considering the 2012 flood [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(5):35-38. (in Chinese))

(收稿日期:2015-06-28 编辑:熊水斌)