

黄河内蒙古河段 2012 年洪水前后河势演变

王卫红¹, 于守兵¹, 郑艳爽¹, 王少强²

(1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院泥沙研究所, 河南 郑州 450003;

2. 黄河水利委员会黄河机械厂, 河南 郑州 450006)

摘要: 为了分析黄河内蒙古河段 2012 年大洪水前后河势的演变特征, 采用洪水前、洪水期、洪水后的卫星遥感影像资料统计了洪水前后的主流摆幅和裁弯比, 并结合巴彦高勒、三湖河口和头道拐的实测水流泥沙资料以及大断面资料分析了河道冲淤特征和典型断面变化特征。分析结果表明: 河道主流摆幅具有逐渐增大趋势, 至过渡段之后减小; 与近期平均摆幅相比, 游荡段和弯曲段明显减小, 过渡段有所增加; 游荡段最大摆幅为 1 240 m, 洪水过后仍有多处心滩发育, 游荡特性未改变; 过渡段和弯曲段河道发生 5 处裁弯, 平均裁弯比为 37%; 大洪水作用下内蒙古河道具有上冲下淤的特点, 接近冲淤平衡, 河道断面主槽普遍冲刷下降。

关键词: 黄河; 内蒙古河段; 河势演变; 大洪水

中图分类号: TV147⁺. 1

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2014)05-0035-04

River regime change in Inner Mongolia reach of Yellow River by considering the 2012 flood//WANG Weihong¹, YU Shoubing¹, ZHENG Yanshuang¹, WANG Shaoqiang² (1. *Sediment Division, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China*; 2. *Yellow River Machinery Works, Zhengzhou 450006, China*)

Abstract: In order to study the river regime change in the Inner Mongolia reach of the Yellow River during the large flood in 2012, satellite images before, in and after the flood are used to extract mainstream swing scope and channel cut-off ratios. Combined with field data of flow, sediment and great cross section at Bayangaole, Sanhuhekou and Toudaoguai, the scouring and silting characteristics of the river and typical crosses are analyzed. The results show that main channel swing has an increasing trend towards the river direction and decreasing in the transiting section. Main channel swing at wandering and meandering sections is obviously less than that in recent years, while it is the opposite at transiting section. The wandering section is characterized by a maximum of the main channel swing of 1 240 m and a few developing rive islands, which indicates that the section is still wandering. Channel cut-off occurs in five sites in the transiting section and meandering section, with average cut-off ratio of 37%. The Inner Mongolia section is featured by upper scoured and lower deposited and close to equilibrium during the great flood. Additionally, the main channels are all scoured and down.

Key words: Yellow River; Inner Mongolia reach; river regime change; large flood

黄河内蒙古河段穿越乌兰布和沙漠与库布齐沙漠, 属典型的沙漠宽谷河道, 长期以来河床基本上处于微淤状态^[1-2]。自 20 世纪 80 年代以来, 由于龙羊峡、刘家峡等水库联合调度运用和气候变化等因素的共同作用, 该河段水沙关系发生剧烈变化^[3-5]; 汛期径流量占全年的比例大幅度减小, 几乎没有发生过洪峰流量大于 2 000 m³/s 的洪水, 来沙系数明显增大。这些变化造成该河段严重淤积^[6-8], 形成了新的“地上悬河”, 经常出现畸形河势, 给防洪防凌造成很大的压力。

内蒙古河段河床演变出现的这些现象引起了多

方关注。侯素珍等^[7]分析表明, 1987 年以后长期小流量过程下, 河势向弯曲方向发展, 畸形河湾增多。王随继等^[9]认为, 该河段河床淤积量的时间变化主要受区间支流水沙变化和水库的双重影响, 而空间变化则主要受上游水库削减洪峰的影响。唐德善等^[10-12]重点分析了上游干流水库调节对河道冲淤的影响。Qin 等^[13]建立了内蒙古河道横断面冲淤演变时间序列模式, 分析了长期序列变化趋势及突变特点。吴守信等^[14]通过遥感影像统计了 1973—1994 年间 5 个典型年内蒙古河段弯曲系数, 认为 1986 年以后河道摆动明显增强。张立等^[4, 15]对内

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2011CB403305); 黄河水利科学研究院基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2014-20)

作者简介: 王卫红(1958—), 女, 河南郑州人, 教授级高级工程师, 主要从事河床演变研究。E-mail: wwhhky@126.com

通信作者: 于守兵(1980—), 男, 河南襄城人, 高级工程师, 博士, 主要从事河流动力学与河床演变研究。E-mail: yushoubing@163.com

蒙古河段的断面形态变化进行了分析,指出 1986 年后内蒙古河段由冲淤基本平衡转变为持续性淤积,主流平面摆动频繁,河床更加宽浅散乱;河岸组成物质决定了各个断面的演变特性和河型。

受近年来黄河内蒙古河段来水条件制约,已有研究大多是在流量较低的水文系列条件下开展的,而且主要关注河床冲淤调整方面,较少涉及洪水作用下平面河势的演变分析。2012 年黄河上游发生了 20 世纪 80 年代以来洪峰流量最高、持续历时最长的洪水过程,侯素珍等^[16]分析了宁蒙河段的水沙特点以及河床演变情况,本文着重分析该洪水过程作用下内蒙古河段河势的变化,对于进一步认识内蒙古河段河床演变规律具有一定的意义。

1 黄河内蒙古河段特性

黄河自宁夏石嘴山麻黄沟进入内蒙古,由南向北经三盛公水利枢纽折向临河,再转向东南至头道拐,于榆树湾出境(图 1)。该河段位于黄河最北端,穿越乌兰布和沙漠与库布齐沙漠,全长 840 km,平均河宽在 3 000 m 以上,为典型的沙漠宽谷河道。

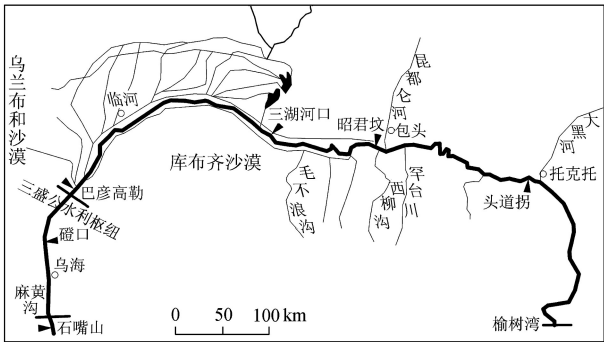


图 1 黄河上游干河道示意图

三盛公水利枢纽以上属于峡谷型河道,以下为冲积性河段。本文重点分析三盛公(巴彦高勒)—头道拐河段。该河段河型自上而下依次为游荡型(巴彦高勒—三湖河口)、过渡型(三湖河口—昭君坟)和微弯型(昭君坟—头道拐),各河段的长度、平均河宽、平均主槽宽度以及比降等特征值见表 1。巴彦高勒—三湖河口河段没有较大的支流,而三湖河口—头道拐河段左岸有十大孔兑汇入。

表 1 巴彦高勒—头道拐河段河道特征

河段	断面区间	河型	河道长度/km	平均河宽/m	平均主槽宽度/m	河道比降/%
巴彦高勒—三湖河口	1~38	游荡型	220.7	3 500	750	0.014 3
三湖河口—昭君坟	38~69	过渡型	126.4	4 000	710	0.011 1
昭君坟—头道拐	69~108	弯曲型	193.8	上段 3 000 下段 2 000	600	0.009 8

1986 年以来龙羊峡水库、刘家峡水库联合运用拦减了进入宁蒙河道的洪水,使该河段汛期流量基本上在 1 500 m³/s 以下,河道发生严重淤积。根据实测断面计算^[2,7],1986—2004 年内蒙古河段年平均淤积 0.60 亿 t,远远超出以往对宁蒙河道长时期微量淤积的认识;同时,大量泥沙淤积量集中在主槽内,造成平滩流量大幅度下降,如三湖河口站由 20 世纪 80 年代的 3 000~5 000 m³/s 降低至 2004 年的 1 000 m³/s 左右。

2 2012 年洪水特征

2012 年 7—8 月,黄河上游降雨偏多,干流河道兰州站出现 1989 年以来最大洪水过程,洪峰流量达到 3 860 m³/s。石嘴山、巴彦高勒、三湖河口和头道拐 4 站的洪峰流量均在 2 700 m³/s 之上;洪水径流量均在 130 亿 m³ 以上;平均含沙量较低,只有三湖河口站超过 5 kg/m³,其他 3 站约为 3 kg/m³(表 2)。

表 2 黄河内蒙古河段 2012 年洪水特征值统计

水文站	时间	历时/d	洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	径流量/亿 m ³	输沙量/亿 t	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)
石嘴山	7 月 20 日—10 月 6 日	78	3 390	156.0	0.416	2 315
巴彦高勒	7 月 22 日—10 月 8 日	78	2 710	130.7	0.405	1 939
三湖河口	7 月 23 日—10 月 9 日	78	2 840	136.3	0.756	2 022
头道拐	7 月 24 日—10 月 10 日	78	3 030	139.5	0.385	2 070

洪水大流量过程持续时间较长,而且流量和含沙量变幅都较小。以巴彦高勒水文站为例,连续出现 44 d 流量在 2 000 m³/s 以上的洪水过程,含沙量大多在 2~4 kg/m³ 之间,平均为 3.1 kg/m³(图 2)。因此,总体而言,2012 年洪水属于大流量、长历时、低含沙量,而且流量和含沙量变幅较小的大水带小沙的过程。

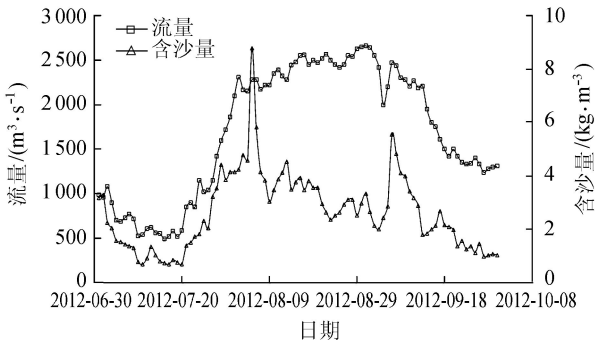


图 2 巴彦高勒水文站 2012 年洪水流量和含沙量过程

3 洪水前后河势演变特点

3.1 2012 年洪水前后河势统计特征

洪水是塑造河道的主要动力,洪水前后河势往往发生较大变化,尤其是对于像黄河这样的游荡性河道。河势的变化主要通过主流线摆幅和河段裁弯比

表示。主流线摆幅表示河道的游荡程度,主流摆幅越大说明河道的游荡性越强。河段裁弯比是裁弯引起的河道主流线河长的缩短值与裁弯前河道主流线长度的比值,反映了洪水作用后河道顺直程度的变化。

根据黄河内蒙古巴彦高勒—头道拐河段 2012 年 5 月、8 月、10 月(分别对应洪水前、洪水期、洪水后,下同)的卫星遥感影像统计了洪水前后主流摆幅和河段裁弯比。从主流摆幅的沿程变化来看(图 3),部分断面主流线基本保持稳定,主流摆幅为零。在黄河河道大断面(以下简称黄断)21、27、55~57、64~66、82~83、96~97、103~104 附近主流摆幅出现极大值,摆动幅度为 1 062~1 962 m。结合河势水边线分析,前两处河势出现坐弯,后五处河势出现裁弯取直。主流摆幅整体趋势自上而下逐渐增大,在黄断 48 处达到最大,然后逐渐减小。

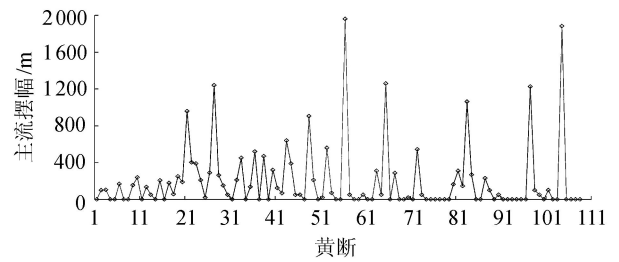


图3 黄河内蒙古河段 2012 年洪水前后主流摆幅

3 个河段的主流平均摆幅以三湖河口—昭君坟过渡段最大(表 3)。由于裁弯时主流摆幅很大,扣除裁弯的影响后 3 个河段自上而下主流平均摆幅和最大摆幅依次减小,这也反映了 3 个河段的稳定性依次增强。与近期(2007—2012 年)平均摆幅相比,游荡段和弯曲段的主流平均摆幅明显减小,过渡段的摆幅有所增加。

河道发生裁弯时河长大幅度缩短,大洪水过后 5 处出现裁弯的断面区间裁弯比为 25%~45%,总体平均裁弯比为 37%(表 4)。

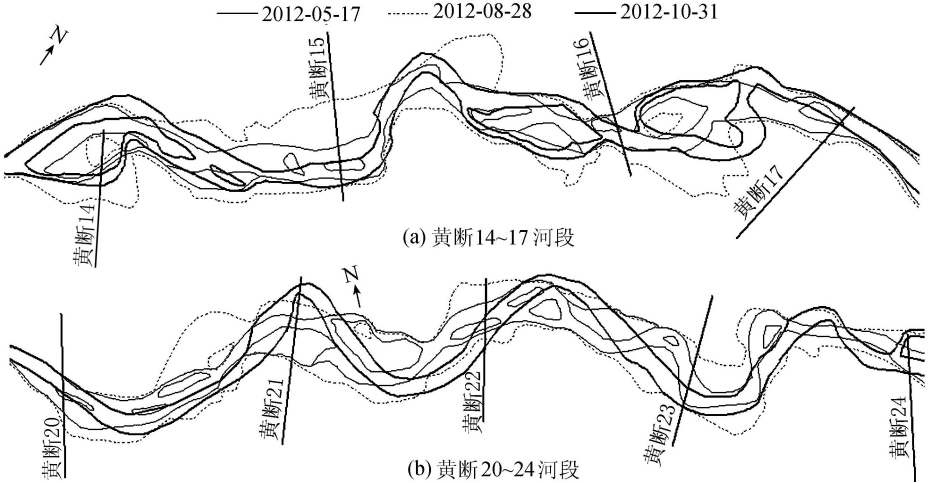


图4 黄河内蒙古河段洪水前后河势变化示意图

表 3 黄河内蒙古河段 2012 年洪水前后主流摆幅统计

河段	平均摆幅/m	扣除裁弯影响的平均摆幅/m	扣除裁弯影响的最大摆幅/m	裁弯个数	2007—2010 年平均摆幅/m
巴彦高勒—三湖河口	200	200	1 240		361
三湖河口—昭君坟	245	154	904	2	123
昭君坟—头道拐	158	55	544	3	165

表 4 2012 年洪水前后三湖河口—头道拐河段裁弯特征

河段	裁弯统计区间	裁弯前河长/km	裁弯后河长/km	裁弯比/%
三湖河口—昭君坟	黄断 55~57	11.15	6.87	38
	黄断 64~66	7.88	4.35	45
昭君坟—头道拐	黄断 82~83	3.90	2.44	37
	黄断 96~97	5.49	4.11	25
	黄断 103~104	12.81	8.01	37

3.2 各河段河势变化分析

3.2.1 游荡段特性未变

巴彦高勒—三湖河口河段洪水期出现漫滩现象,局部河段河势有所趋直。洪水过后,部分河段,如黄断 14~17 河段(图 4(a))心滩众多,河势仍然散乱;而有些河段,如黄断 20~24 河段(图 4(b))呈现规则的微弯型。

不考虑裁弯影响,洪水过后主流最大摆幅为 1 240 m,出现在黄断 27 附近(图 3),根据资料分析由河流坐湾所致。从洪水前后主流平均摆幅看,游荡段主流平均摆幅为 200 m,与 2007—2010 年主流平均摆幅 361 m 相比有明显减小。心滩数量较洪水前尽管有所减少,但仍有多处发育,同时大尺度心滩增多。总体来说,河势演变特征与洪水前的基本趋同,表明虽然经大水长历时作用,河道的游荡特性未改变。

3.2.2 过渡段裁弯明显

洪水过程中三湖河口以上仅有轻微漫滩,以下(从黄断 47 开始)出现大漫滩。漫滩范围遍及堤

根,河宽近 2000 m,平均漫滩宽度 1470 m,漫滩面积 185 km²。洪水过后在黄断 55~57 和黄断 64~66 处发生裁弯现象(图 5),裁弯比为 38% 和 45%(表 4)。根据洪水前后主流摆幅变化过程分析,过渡段的主流摆幅比游荡段的小,不考虑裁弯的平均摆幅为 154 m,但是最大摆幅仍达 904 m(表 3)。

3.2.3 弯曲段裁弯多,主流线趋直

昭君坟—头道拐河段漫滩严重,漫滩范围大都达到堤根,平均漫滩宽度达 1800 m,漫滩面积 314 km²,河宽 2100 m。河势变化的突出表现是洪水过后出现 3 处裁弯,分别是黄断 82~83、黄断 96~97 和黄断 103~104,裁弯比分别为 37%、25% 和 37%(表 4),其中后两处裁弯取直变化见图 6。主流摆幅总体不大,平均为 55 m,但局部摆幅较大,可达 544 m(表 3)。

3.3 河道和典型断面冲淤特征

3.3.1 河道冲淤特征

根据巴彦高勒—头道拐 7—10 月实测输沙量资料统计,巴彦高勒站输沙量为 0.44 亿 t,三湖河口站为 0.87 亿 t,头道拐站为 0.50 亿 t^[16]。因此,巴彦高勒—三湖河口河道发生冲刷,冲刷量为 0.43 亿 t,

三湖河口—头道拐河道发生淤积,淤积量为 0.37 亿 t。总体上,内蒙古河道冲刷 0.06 亿 t,接近冲淤平衡。在大洪水作用下,内蒙古河道具有上冲下淤的特点,接近冲淤平衡。

3.3.2 典型断面变化特征^[16]

在长历时洪水的作用下,各典型断面高程均发生冲刷下降。巴彦高勒断面主槽位置稳定,平均河底高程下降 0.90 m。三湖河口断面洪水过后主槽右移,深泓点下降近 2 m,平均河底高程下降 0.62 m。头道拐断面主槽稳定,深泓点下降超过 2 m,平均河底高程下降 0.38 m。

4 结 论

- a. 河道主流摆幅自巴彦高勒—三湖河口以下部分逐渐增大,然后逐渐减小。与近期平均摆幅相比,游荡段和弯曲段的明显减小,过渡段有所增大。
- b. 游荡段最大摆幅为 1240 m,洪水过后仍有多处心滩发育,游荡特性未改变。过渡段和弯曲段河道发生 5 处裁弯,平均裁弯比为 37%。
- c. 大洪水作用下内蒙古河道具有上冲下淤的特点,接近冲淤平衡。河道断面主槽普遍冲刷下降。

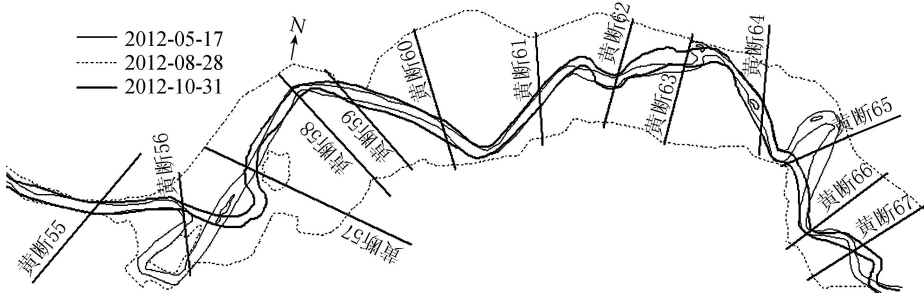


图 5 黄断 55~67 河段河势裁弯取直变化示意图

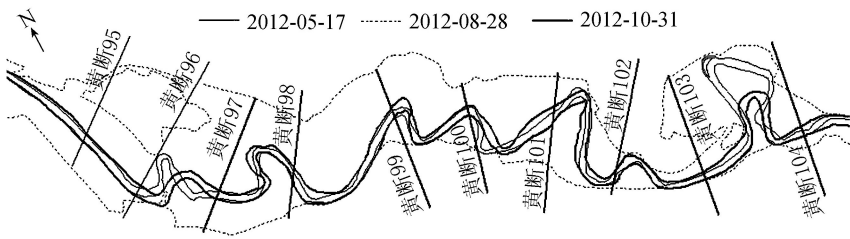


图 6 黄断 95~104 河段河势裁弯取直变化示意图

参考文献:

[1] 时明立,姚文艺,李勇. 2006 年黄河河情咨询报告[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009:169-171.
[2] 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(6):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(6):44-50. (in Chinese))
[3] 尚红霞,郑艳爽,张晓华. 水库运用对宁蒙河道水沙条件的影响[J]. 人民黄河,2008,30(12):28-30. (SHANG

Hongxia,ZHENG Yanshuang,ZHANG Xiaohua. Influence of reservoir operation to the silt discharge condition of Ning-Mong section of the Yellow River [J]. Yellow River, 2008,30(12):28-30. (in Chinese))
[4] 张立,孙东坡,杨真真,等. 黄河内蒙古河段河床横断面调整分析[J]. 人民黄河,2010,32(10):34-36. (ZHANG Li,SUN Dongpo,YANG Zhenzhen, et al. Analysis on regulation of transverse section at Inner Mongolia section of the Yellow River [J]. Yellow River,2010,32(10):34-36. (in Chinese))

(下转第 49 页)

水安全检查,未发现引水隧洞后段及厂址区各水工建筑物结构有任何异常状况,运行情况良好。

参考文献:

[1] 赵其华,王兰生,何文秀,等. 四川省美姑河坪头水电站厂区岸坡特殊地质现象及其对工程的影响[R]. 成都:成都理工大学,2008.

[2] 何文秀. 美姑河坪头水电站厂址区白云岩砂化成因及其对工程影响研究[R]. 成都:成都理工大学,2008.

[3] 田启文,陈东升,王雅雯. 细晶白云岩溶蚀“砂化”现象对坪头水电站工程的影响[J]. 水电站设计,2012,28(2): 40-46. (TIAN Qiwen, CHENG Dongsheng, WANG Yawen. The impacts of the fine-grained dolomite karstic sandification characteristic for the pingtou hydropower project [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2012,

28(2):40-46. (in Chinese))

[4] 万军伟,梁杏,潘欢迎. 四川省美姑河坪头水电站厂址区岩溶水文地质条件及对工程的影响研究报告[R]. 武汉:中国地质大学(武汉),2008.

[5] 张良喜,赵其华,胡相波,等. 某地区白云岩室内溶蚀试验及微观溶蚀机理研究[J]. 工程地质学报,2012,20(4): 576-584. (ZHANG Liangxi, ZHANG Qihua, HU Xiangbo, et al. Laboratory dissolution test on dolomite and its micro-dissolution mechanism[J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(4): 576-584. (in Chinese))

[6] 张倬元,王仕天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1980:359-379.

[7] GB 50287—2006 水力发电工程地质勘察规范[S].

[8] DL/T 5338—2006 水电水利工程喀斯特工程地质勘察技术规程[S].

(收稿日期:2014-03-07 编辑:熊水斌)

(上接第 38 页)

[5] 刘晓燕,侯素珍,常温花. 黄河内蒙古河段主槽萎缩原因和对策[J]. 水利学报,2009,40(9): 1048-1054. (LIU Xiaoyan, HOU Suzhen, CHANG Wenhua. Cause of main channel shrinkage occurred to the Inner Mongolia [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(9): 1048-1054. (in Chinese))

[6] 赵文林,程秀文,侯素珍. 黄河上游宁蒙河道冲淤变化分析[J]. 人民黄河,1996,21(6): 11-14. (ZHAO Wenlin, CHENG Xiuwen, HOU Suzhen. Analysis of scouring and sedimentation in the channel from Ningxia to Inner Mongolia in the upper Yellow River [J]. Yellow River, 1996, 21(6): 11-14. (in Chinese))

[7] 侯素珍,常温花,王平,等. 黄河内蒙古河段河道萎缩特征及成因[J]. 人民黄河,2007,29(1): 25-26. (HOU Suzhen, CHANG Wenhua, WANG Ping, et al. Characteristics and cause of formation of channel atrophy at Inner Mongolia section of the Yellow River [J]. Yellow River, 2007, 29(1): 25-26. (in Chinese))

[8] 王海兵,贾晓鹏. 大型水库运行下内蒙古河道泥沙侵蚀淤积过程[J]. 中国沙漠,2009,29(1): 189-192. (WANG Haibing, JIA Xiaopeng. Channel deposition and erosion processes of Inner Mongolian Reach of Yellow River following upstream reservoirs' operation [J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(1): 189-192. (in Chinese))

[9] 王随继,范小黎,赵晓坤. 黄河宁蒙河段悬沙冲淤量时空变化及其影响因素[J]. 地理研究,2010,29(10): 1879-1888. (WANG Suiji, FAN Xiaoli, ZHAO Xiaokun. Spatial and temporal variations of suspended sediment capacity by erosion or deposition in the Ningmeng reach of the Yellow River and its influencing factors [J]. Geographical Research, 2010, 29(10): 1879-1888. (in Chinese))

[10] 唐德善. 黄河上游干流水库建成后河道的冲淤变化[J]. 水利水电科技进展,1996,16(1): 38-41. (TANG Deshan. Change of the upper Yellow River after reservoir building in the main stream [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 1996, 16(1): 38-41. (in

Chinese))

[11] 王彦成,冯学武,王伦平,等. 黄河上游干流水库对内蒙古河段的影响[J]. 人民黄河,1996(1): 5-10. (WANG Yancheng, FENG Xuewu, WANG Luning, et al. Influence of reservoirs in main stream or the upper Yellow River on the reach within Inner Mongolia autonomous region [J]. Yellow River, 1996(1): 5-10. (in Chinese))

[12] 申冠卿,张源锋,侯素珍,等. 黄河上游干流水库调节水沙对宁蒙河道的影响[J]. 泥沙研究,2007(1): 67-75. (SHEN Guanqing, ZHANG Yuanfeng, HOU Suzhen, et al. Impact of water and sediment regulation by reservoirs in the upper Yellow River on Inner-Mongolia reaches [J]. Journal of Sediment Research, 2007(1): 67-75. (in Chinese))

[13] QIN Y, ZHANG X, WANG F, et al. Scour and silting evolution and its influencing factors in Inner Mongolian reach of the Yellow River [J]. J Geogr Sci, 2011, 21(6): 1037-1046.

[14] 吴守信,王彦成. 黄河内蒙古平原段近期河势演变遥感调查及对策[J]. 内蒙古水利,1996(1): 22-25. (WU Shouxin, WANG Yancheng. Investigation and countermeasure of river regime change of the Inner Mongolia reach of the Yellow River in recent years [J]. Inner Mongolia Water Resources, 1996(1): 22-25. (in Chinese))

[15] 冉立山,王随继. 黄河内蒙古河段河道演变及水力几何形态研究[J]. 泥沙研究,2010(4): 61-67. (RAN Lishan, WANG Suiji. Study on channel evolution and hydraulic geometry in the Inner Mongolia reach of the Yellow River [J]. Journal of Sediment Research, 2010(4): 61-67. (in Chinese))

[16] 侯素珍,王平,楚卫斌. 2012 年黄河上游洪水及河道冲淤演变分析[J]. 人民黄河,2013,35(12): 15-18. (HOU Suzhen, WANG Ping, CHU Weibin. Study on the flood and the river bed evolution of upper Yellow River in 2012 [J]. Yellow River, 2013, 35(12): 15-18. (in Chinese))

(收稿日期:2013-08-15 编辑:熊水斌)