

黄河乌兰布和沙漠段凌汛期河岸动态变化及影响因素

李锦荣¹, 郭建英¹, 董智², 武健伟³, 贾旭⁴, 赵纳祺⁴, 王文琴⁵

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020; 2. 山东农业大学 林学院, 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室, 山东 泰安 271018; 3. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714; 4. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 5. 磴口县草原工作站, 内蒙古 巴彦淖尔 015200)

摘要:黄河凌汛期河水的扩张与萎缩导致河岸带变化,影响沿岸植物的生态补水与沙漠沙入黄。研究以乌海水利枢纽至三盛公段冬凌夏汛期河岸为研究对象,分析了1989—2010年河岸带动态变化及其影响因素。结果表明:夏季4个时段,河岸呈现萎缩—扩张—扩张—萎缩动态变化;当左岸以向右摆动为主时,河岸呈右偏萎缩趋势;当左、右岸分别由两侧向外摆动时,河岸呈扩张趋势。冬季3个阶段黄河以左岸向左摆动为主,冰面呈萎缩—扩张—萎缩动态变化;且岸线萎缩时表现出向右偏移,扩张时表现出向左偏移。冬季冰封期河岸向同侧偏移变化较夏季更为明显,且左岸移动幅度显著大于右岸移动幅度。夏季汛期河岸变化与上游降水显著相关,冬季凌期河岸变化主要与下游温差和两岸地势相关。

关键词:河岸线;凌汛期;黄河;乌兰布和沙漠

中图分类号:TV875

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)02-0117-06

Dynamics Change of River Bank and Factor Analysis in Ulan Buh Desert Section of the Yellow River

LI Jinrong¹, GUO Jianying¹, DONG Zhi², WU Jianwei³, JIA Xu⁴, ZHAO Naqi⁴, WANG Wenqin⁵

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Hohhot 010020, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration, Taishan Forest Ecosystem Research Station, Tai'an, Shandong 271018, China; 3. Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China; 4. Colleges of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 5. Prairie Workstation of Dengkou County, Boyannaer, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: During the ice flood of the Yellow River, expansion and contraction of the river leads to riparian changes, affects the ecological water of plants in the coastal and desert sand flow into the river. We analyzed the dynamic change of the River ebb and flow dynamic process and its influencing factors during 1989—2010 between Wuhai hydro-junction to Sanshenggong. The results show that the water level change trend is shrinking-expansion-expansion-contraction during the summer of four periods. On the left bank, the banks show a trend of shrinking and shifting to the right when it mainly shifts to the right. On the contrary, when the river bank shifts to the left on the left side, and the right to the right, river bank shows a trend of expansion. In winters of three periods, the left river bank shifts the left, and ice shows contraction-expansion-contraction trend. The river bank shows the right deviation trend when the river is shrinking. On the contrary, the river bank shows the left deviation trend when the river is expanding. Compared with flood period in summer, winter icy period on the left bank is given priority to sifting to the left, right bank is given priority to sifting to the right, and on the left bank shift extent is significantly greater than that of the right. Through the correlation analysis, change of river bank and upstream rainfall are significantly correlated in summer, but in winter, the water level change is related to downstream temperature difference and the left bank terrain of Ulan Buh Desert in the Yellow River.

收稿日期:2015-09-04

修回日期:2015-10-05

资助项目:国家自然科学基金(41301303);水利部公益性行业科研专项经费项目(201401084);中国水科院科研专项(MK2014J04, MK2013J08);内蒙古自治区科技计划项目(20140713)

第一作者:李锦荣(1980—),男,呼和浩特人,工程师,主要从事荒漠化防治方面研究。E-mail:lijinrong918@126.com

通信作者:郭建英(1979—),男,呼和浩特人,高级工程师,主要从事草地水土保持研究。E-mail:guojianying1980@163.com

Keywords: bank line; ice flood season; Yellow River; Ulan Buh Desert

黄河乌兰布和沙漠段位于黄河上游河段,上起内蒙古乌海市水利枢纽,下至三盛公水利枢纽,全长约 89.6 km。该段左岸与乌兰布和沙漠相邻,受风成沙入黄影响,使得该段河床淤积,行洪、行凌能力降低,洪灾、凌灾频繁发生,严重威胁人民生命财产安全^[1]。在汛期和凌期,该河段的河岸与水面(冰面)的变化在不同年份变化各异,致使两岸的植物与土壤深受影响,进而在一定程度上影响了风沙入黄。有研究表明,夏季河水的冲淘会引起河岸扩张后退,引起沙子直接进入黄河^[2];而冬季的冰面可能是乌兰布和沙漠沙向乌海迁移的通道。然而,冬季水面入侵乌兰布和沙漠也会冻结土壤,降低风蚀,而且来年春季缓慢融化消退的冰面也会给春季植物生长带来巨大的生态补水,这对于阻止风沙入黄起到积极作用。因此,开展该段河岸摆动变化及其引起的河水水面、冰面的变化研究十分必要。

关于黄河宁蒙段的研究热点主要集中在风沙对黄河淤积危害^[1]、河岸演变及因素分析^[3-6]、凌汛特征^[7]、开封河预报模型^[8]、入黄泥沙来源分析^[9]、入黄风沙量的研究^[10]、河岸泥沙淤积量^[11-14]、沿岸风沙运移规律研究^[15]以及黄河冰凌形成及危害分析^[16]。以遥感数据为基础,Yao 等^[17]通过不同时期的卫星影像,计算出 1958—2008 年黄河宁蒙段河岸堆积与侵蚀的面积,对比分析了 50 a 河岸区冲淤面积变化以及河岸整体移动趋势。王随继等^[18]通过卫星影像研究黄河银川平原段河岸的摆动趋势,认为河岸不同时期不同河段上的差异主要决定于径流,而同一时期、不同河段上的差异主要由河床质决定。从凌汛研究方向来看,目前人们更多关注的是黄河凌汛造成的危害,都没有注意到凌汛造成的河水上涨一扩散,带来的生态补水以及不同阶段河岸的动态变化的影响因素。为此,本文以黄河凌汛期,乌海水利枢纽—三盛公段河岸变化为研究对象,研究凌汛期河岸动态变化过程及其影响因素分析,以期对黄河凌汛期对沿岸沙丘生态补水研究提供依据。

1 研究区概况

河源至内蒙古自治区托克托县的河口镇为黄河上游,其中乌兰布和沙漠段位于黄河上游中下河段,上起内蒙古乌海市水利枢纽,下至三盛公水利枢纽。该河段所处区域属于大陆性季风气候,冬季干燥寒冷,年平均气温 8.0℃左右,极端最低气温达 -39℃;年降雨量为 142.7 mm,降雨量年际变化大,年内分布也极不均匀,75%以上的降雨集中在 7—9 月。风

沙频繁,地表风蚀强烈,年平均风速 3.7 m/s,大风和风沙一年四季均有出现,以 3—5 月份最多,风向多为西风及西南风,多年平均大风日数 10~32 d,多年平均扬沙日数 75~79 d,沙尘暴日数 19~22 d^[15]。该河段沿岸风沙地貌发育,西岸分布着乌兰布和沙漠,黄河流经沙漠东侧,沿沙漠东侧绕行,沙漠沙丘呈流动状态,一般沙丘高 5~6 m,每年在西风、西南、西北风的作用下,沙丘和风沙流直贯黄河^[1]。

2 研究方法 & 数据处理

随着遥感技术发展,利用不同时期卫星影像数据研究河流平面形态变化的成为一种广泛采用的手段。为此,以 1989 年,2000 年,2005 年,2008 年,2010 年夏季(7—9 月份)和 2000 年,2005 年,2008 年,2010 年冬季(1—2 月份)Landsat TM(或 ETM+)遥感影像数据为基础,利用 ArcGIS 勾绘不同时期乌海水利枢纽至三盛公段的河岸边界。以乌海水利枢纽为起点,沿河顺流而下每隔 5 km 设置一个断面,断面线与河道中心线走势垂直,共计设置 20 个断面,记作 C₁—C₂₀(图 1)。通过分析不同时期 20 个断面水位变化,研究夏季、冬季黄河乌兰布和沙漠段的河水水位消长变化过程,分析影响水位消长的主要因素。

河岸变化通过最大摆幅、平均摆幅、断面数、断面所占频度、摆动速率等来表征,计算公式为:

$$\text{最大摆幅: } A_{\max} = \max(A_i)$$

$$\text{平均摆幅: } A_{\text{avg}} = \text{average}(A_i)$$

断面所占频度 F 是指在不同摆动方向上出现的断面数占所有断面数的比值

$$F = \frac{n}{20} \times 100\%$$

摆动速率 R 包括全河段摆动速率、加权平均摆动速率及总摆动速率 3 个指标。

$$R_{\text{全河段}} = A_{\text{avg}} / T$$

其中, i 表示 20 个监测断面, n 表示不同摆动方向上出现的断面数, T 表示不同时期的时间间隔,单位为年。

夏、冬季河岸变化以每个时期起始年的河岸边界为基础,其中正、负数表示河岸沿断面线向右侧、左侧摆动。同时以某年夏季的河岸边界为基础,比较同一年份冬、夏季河岸边界的变化幅度。在计算水位的摆动幅度时,考虑到正负数简单相加后计算的平均值会使计算值严重偏小的问题,本研究分别计算了向左及向右摆动的平均值,即将正负数分别进行考虑,从而得到两个方向的摆动幅度数据。

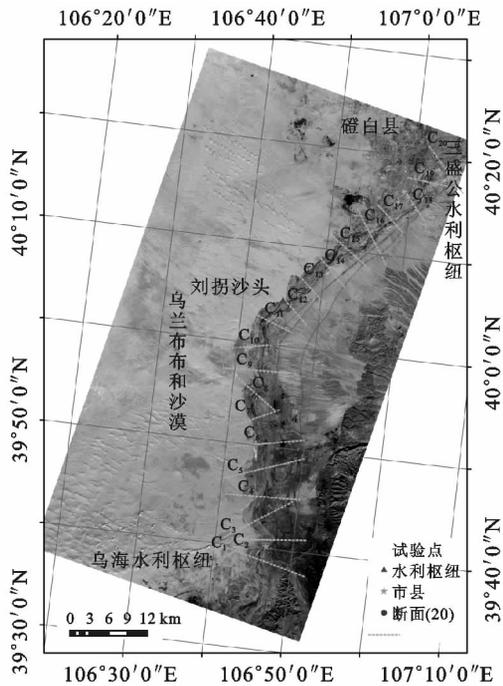


图1 研究区地理位置及河岸断面图

3 结果与分析

3.1 夏季左右河岸岸摆动幅度、速率及变化趋势

黄河夏季水位变动主要是由于多年间河岸变迁引

起的^[17]。夏季不同时期左右岸摆幅及其摆动速度见表1。黄河左岸向左和向右摆动的最大摆幅、平均摆幅分别出现在2005—2008年、1989—2000年,为1 008.6,1 911.0和316.5,645.6 m。右岸向左、向右摆动的最大摆幅、平均摆幅分别出现在1989—2000年、2000—2005年,为665.44,414.7和300.5,144.3 m。其中左岸向右和右岸向左摆动的最大摆幅、平均摆幅均出现在1989—2000年这一时期。就最大与平均摆幅而言,左岸活动比较剧烈,左岸向两侧摆动幅度远大于右岸向两侧的摆动幅度。

对夏季四个时期不同摆动方向的断面所占频度统计分析结果显示:四个时期黄河左岸断面出现向右摆动趋势占55.71%,向左摆动占44.29%。黄河右岸监测断面出现向左摆动趋势占55.71%,向右摆动占44.29%。说明该河段不同断面向左右摆动的趋势相当。

从摆动速率来看(图2和表1),1989—2000年的左岸以向右摆动为主,平均摆动速率为58.7 m/a;右岸以向左摆动为主,平均摆动速率为-27.3 m/a,河岸在1989—2000年由1989年的平均河宽1 459.3 m萎缩为2000年的平均河宽691.5 m,且伴有向右偏移趋势。

表1 4个时期夏季河岸最大摆幅、平均摆幅与摆动速度

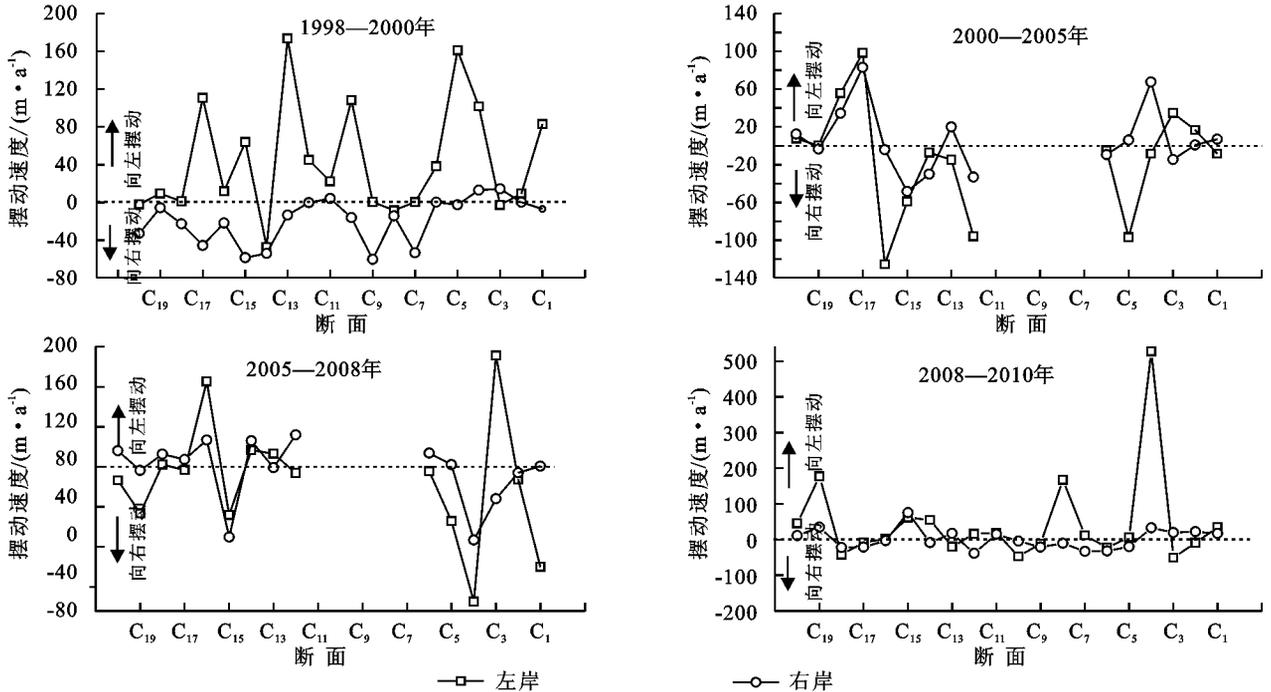
时间	指标	左岸		右岸	
		向左	向右	向左	向右
1989—2000年	最大摆幅/m	-521.4	1911	-665.4	155.6
	平均摆幅/m	-167.2	645.6	-300.5	69
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-15.2	58.7	-27.3	6.3
	断面数/个	4	16	15	5
2000—2005年	最大摆幅/m	-628.1	491.7	-242.7	414.7
	平均摆幅/m	-234.6	177.6	-102.5	144.3
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-46.9	35.5	-20.5	28.9
	断面数/个	9	6	7	8
2005—2008年	最大摆幅/m	-1008.6	835.6	-548.3	239.3
	平均摆幅/m	-316.5	343.4	-231.4	114.8
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-105.5	114.5	-77.1	38.3
	断面数/个	10	5	6	9
2008—2010年	最大摆幅/m	-100.7	1055	-77.1	151
	平均摆幅/m	-52.5	187.1	-39	54.4
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-26.3	93.6	-19.5	27.2
	断面数/个	8	12	11	9

2000—2005年,左右岸分别向同侧河岸摆动,左岸向左平均摆动速度与右岸向右平均摆动速度分别为-46.9 m/a和28.9 m/a,2005年夏季平均河宽777.1 m,河岸呈扩张趋势,且向左扩张趋势大于向右扩张趋势。2005—2008年,左右岸在同一段面摆动方向基本一致,左岸向左、向右摆动速率分别为-105.5 m/a和114.5 m/a,所占断面数分别为10,5

个,通过对摆动速率加权,可知左岸以向左摆动为主;同样地,右岸向左、向右摆动速率分别为-77.1 m/a和38.3 m/a,所占断面数分别为6,9个,通过对摆动速率加权,可知右岸以向左摆动为主,左岸向左摆动速率大于右岸向左摆动速率,河岸呈向左偏移趋势,2008年夏季平均河宽897.1 m,河岸呈扩张趋势。2008—2010年,左岸与右岸均以向右摆动为主,摆动

速率分别为 93.6 m/a 和 27.2 m/a,且左岸向右摆动速率大于右岸向右摆动速率,河岸呈向右偏移趋势,

2010 年夏季平均河宽 801.9 m,河岸与 2005—2008 年相比呈萎缩趋势。



注:2005 年夏季,卫星数据由于云遮挡 C₇—C₁₁ 五个断面,所以 2000—2005 年,2005—2008 年图中出现断开。

图 2 夏季不同时期河岸摆动速率沿程变化特征

综上所述,四个时期夏季时段,河岸呈现萎缩—扩张—扩张—萎缩趋势,河岸萎缩是呈现向右偏移趋势。河岸扩张时,左岸向左扩张趋势显著。

3.2 冬季左右岸河岸摆动幅度、速率及变化趋势

冬季河岸的边界界定以冬季冰面所能达到的地方为界,三个时期冬季河岸最大摆幅、平均摆幅及摆动速度见表 2,无论是从最大摆幅还是平均摆幅来看,左岸摆动幅度基本均大于右岸摆动幅度,除 2000—2005 年左岸向左最大和平摆动幅度较小外,左岸的摆动幅度都在 1 000 m 以上。从最大摆幅上来看,冬季左岸向左、向右最大摆幅 2 419.2 m 和 2 467.7 m,分别出现在 2000—2005 年和 2008—2010 年;右岸的向左、向右最大摆幅出现在 2000—2005 年,分别是 662.5 m 和 513.5 m。左岸最大摆幅变化规律不明显,右岸向右最大摆幅呈现递减趋势。从平均摆幅来看,左岸向左平均摆幅最大 423.8 m,出现在 2005—2008 年;左岸向右平均摆幅最大 512.9 m,出现在 2000—2005 年;右岸向左、向右平均摆幅最大分别是 128.9 m 和 85.1 m,出现在 2000—2005 年;左岸平均摆幅变化规律不明显,右岸向右平均摆幅呈现递减趋势。总体上,冬季河岸以左岸摆动为主,但右岸以向左摆动为主,且三个阶段,摆动幅度呈递减趋势。这就意味着冬季时,河水向左岸的沙漠内部上涨并进而结冰封冻,使得河岸向左扩张。

三个时期内,随着时间的推移,左岸摆动的最大摆幅和平均摆幅先增加后减小,右岸向右摆动的最大摆幅和平均摆幅逐渐减小,说明左岸的冰面三个时段呈现向右偏移趋势,右岸变化规律不明显。

从摆动速率来看(图 3 和表 2),2000—2005 年,左岸以向右摆动为主,平均摆动速率 102.6 m/a;右岸向左、向右摆动速率较小,通过对摆动速度进行加权可知,河岸以向右摆动为主;2000 年冬季平均河宽 2 610.1 m,2005 年平均河宽 2 278.1 m,河岸在 2000—2005 年期间整体呈现萎缩趋势并伴有向右偏移趋势。2005—2008 年,左岸以向左摆动为主,平均摆动速率 -141.3 m/a;右岸向左、向右摆动速率较小,仍以向左摆动为主,平均摆动速率 -20.1 m/a;通过各断面加权平均摆动速率来看,2005—2008 年,冬季河岸以向左摆动为主;2008 年冬季平均河宽 2 422.3 m,河岸在 2005—2008 年冬季整体呈现扩张趋势并伴有向左偏移趋势。2008—2010 年,左岸向左、向右摆动的平均速率分别为 205.0 m/a 和 108.7 m/a,通过加权后,左岸以向右摆动为主;右岸向左、向右摆动的平均速率 33.6 m/a 和 10.0 m/a,通过加权后,右岸以向左摆动为主;2010 年冬季平均河宽 2 177.1 m,河岸呈现萎缩趋势,且伴有向右偏移趋势。对比冬季三个阶段黄河冰面变化趋势呈现萎缩—扩张—萎缩趋势,在萎缩时冰面表现出向右偏

移,扩张时表现出向左偏移趋势。

3.3 同一年份左、右岸水位变动幅度

以夏季汛期河岸为基准,同一年夏季汛期和冬季凌汛期河岸变化见表 3。同一年份中无论最大摆幅还是平均摆幅,与汛期相比较,冬季凌期左、右岸分别向同侧方向

移动,且左岸向左移动幅度显著大于右岸向右移动距离。这证明了冬季冰封期,由于黄河独特的封河现象,水流减缓,河水向黄河左岸沙漠地区涌入并结冰,致使左岸向左摆动明显,且冬季结冰后的河岸比夏季汛期河岸宽约 3~4 倍,这与野外观测到现象一致。

表 2 三个时期冬季河岸最大摆幅、平均摆幅

时间	指标	左岸		右岸	
		向左	向右	向左	向右
2000—2005 年	最大摆幅/m	-199.2	2451.6	-662.5	513.5
	平均摆幅/m	-50.6	512.9	-128.9	85.1
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-10.1	102.6	-25.8	17
	断面数/个	7	13	7	13
2005—2008 年	最大摆幅/m	-2419.2	1605.7	-232.3	62.5
	平均摆幅/m	-423.8	254.3	-60.4	41.5
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-141.3	84.8	-20.1	13.8
	断面数/个	12	8	15	5
2008—2010 年	最大摆幅/m	-1595.8	2467.7	-554.9	48.1
	平均摆幅/m	-410	361.4	-67.1	20
	摆动速度/(m·a ⁻¹)	-205	180.7	-33.6	10
	断面数/个	5	15	16	4

表 3 同一年份河岸最大摆幅、平均摆幅

年份	最大摆幅				平均摆幅				m
	左岸向左	左岸向右	右岸向左	右岸向右	左岸向左	左岸向右	右岸向左	右岸向右	
	2000	-3964.8	—	-70.1	2105.9	-1320.9	—	-70.1	
2005	-1928.9	—	-39.2	2064.6	-904.9	—	-39.2	538.8	
2008	-3042.4	341.8	-42.4	2266	-1178.9	183.7	-29.3	581.1	
2010	-2914.2	—	-43.6	1852.6	-965.3	—	-25.6	518.7	

3.4 河岸摆动速率的影响因素分析

3.4.1 夏季河岸摆动速率与影响因素分析 夏、冬季平均河宽与当月流量、当年最大流量显著相关(冬季平均河宽与当月流量、年最大流量相关系数 0.97, 显著性水平均为 $p=0.01$; 夏季平均河宽与当月流量、当年最大流量相关系数均在 0.98 以上, 显著性水平均为 $p=0.05$)。黄河乌兰布和沙漠段, 年降雨量在 150 mm 左右, 对黄河月流量和年流量的补给影响甚微, 因而, 该段黄河夏季流量变化与上游各途径区域的降雨汇流有很大关系。为此, 对上游途经的主要站点气象站降雨量变化率(汛期 6—9 月、全年)与黄河两岸加权摆动速率做相关分析。结果显示: 右岸摆动速率与汛期降雨量变化率、全年降雨量变化率相关系数分别为 0.68, 0.51, 极显著相关($p=0.01$); 左岸右岸摆动速率存在显著相关, 相关系数 0.46, 左岸摆动速率与汛期降雨量变化率、全年降雨量变化率相关性不显著。结果分析与最初的分析一致, 水位摆动速率与径流量相关性极显著, 引起该段黄河径流量变化的主要是上游地段降雨补给。相关分析结果显示降雨变化率与同期水位摆动速率极显著相关。

3.4.2 冬季河岸摆动速率与影响因素分析 黄河流

域冬季受来自西伯利亚季风的影响, 气候干燥寒冷, 降雨稀少, 流量较小。冬季最低气温在 0℃ 以下。黄河内蒙古段由于水位比降小, 河岸弯曲, 河水由低纬度流向高纬度, 宁蒙段上下游两端纬度相差 5℃ 左右。冬季气温上游高下游低, 封河自下而上。11 月中下旬头道拐附近河段流凌, 12 月上、中旬封河, 而研究河段河面温度较高, 河水仍处于流动状态, 由于其独特的封河特征, 导致黄河在封河时该段水位迅速上升, 河水涌向该河段两岸, 引起河岸发生变化。而研究区河岸左侧为乌兰布和沙漠, 右侧为山前洪积扇, 属于硬质梁地。地势西低东高, 且西侧地形更有利于水分下渗。与夏季相比冬季左岸水面增幅大于右岸增幅, 导致冬季结冰后冰面比夏季洪水期平均水位宽约 3~4 倍, 特别是在左岸, 黄河水涌入沙漠地区, 为河水下渗提供了有利条件。同时这些河冰在春季开河时, 因研究河段率先开河, 下游河岸仍然处于结冰, 河水流动缓慢, 水位褪去缓慢, 每年约在 4 月末、5 月初才能完全褪去。冬、春季节黄河水向左岸的扩散—冰封—融化—褪去的缓慢消长过程, 使得左岸乌兰布和沙漠边缘土壤水分得到了很好的补给, 为春季沙漠植物生长给提供了有利条件, 对于阻止风沙入黄起到了积极作用。

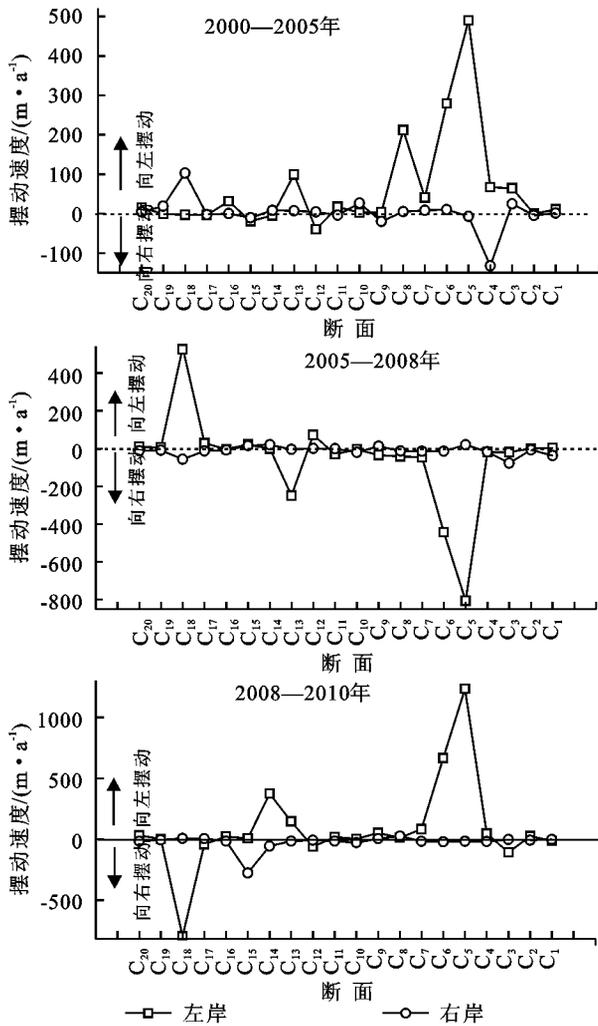


图3 冬季不同时期河岸摆动速率沿程变化特征

4 结论

(1) 夏季四个时期,河岸摆动速率表现各异。四个时期夏季时段,河岸呈现萎缩—扩张—扩张—萎缩趋势;河岸萎缩时呈现向右偏移趋势;河岸扩张时,左岸向左扩张趋势显著。河岸的动态变化受上游降雨量变化率影响。

(2) 冬季三个时期,河岸摆动速率表现各异。冬季三个阶段黄河河岸变化趋势呈现萎缩—扩张—萎缩趋势,在萎缩时河岸表现出向右偏移,河岸扩张时表现出向左偏移趋势。河岸的扩张与萎缩受下游气温及该段沿岸两侧地形影响。

(3) 同一年份与夏季汛期相比较,冬季凌期河岸左岸以向左移动为主,右岸以向右移动为主,且左岸移动幅度显著大于右岸移动幅度,冬季河岸发生了不同程度的扩张,致使冰面侵入沿岸沙漠,为春季植物的生长提供了良好的水分条件,可有效减缓风沙的直接入侵。

参考文献:

- [1] 杨根生,拓万全,戴丰年,等. 风沙对黄河内蒙古河段河道泥沙淤积的影响[J]. 中国沙漠,2003,23(2):152-159.
- [2] 舒安平,高静,李芳华. 黄河上游沙漠宽谷河段塌岸引起河道横向变化特征[J]. 水科学进展,2014,25(1):77-82.
- [3] 王随继. 黄河下游不同河型河道的水沙效应及演变趋势分析[J]. 沉积学报,2009,27(6):1163-1171.
- [4] 范小黎,王随继,冉立山. 黄河宁夏河段河岸演变及其影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(1):5-11.
- [5] 李秋艳,蔡强国,方海燕. 黄河宁蒙河段河岸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.
- [6] 颜明,王随继,闫云霞,等. 近三十年黄河上游冲积河段的河道平面形态变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(3):74-79.
- [7] 王文东,张芳华,康志明,等. 黄河宁蒙河段凌汛特征及成因分析[J]. 气象,2006,32(3):32-38.
- [8] 冀鸿兰,朝伦巴根,陈守煜. 基于模糊识别人工神经网络的冰凌预报模型[J]. 水力发电,2008,34(11):24-26.
- [9] 余明辉,申康,张俊宏,等. 黄河宁蒙河段河道岸滩特性及入黄泥沙来源初步分析[J]. 泥沙研究,2014(4):39-43.
- [10] 杨根生,刘阳宣,史培军. 黄河沿岸风成沙入黄沙量估算[J]. 科学通报,1988,33(13):1017-1021.
- [11] Fan X, Shi C, Zhou Y, et al. Sediment rating curves in the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River and their implications[J]. Quaternary International, 2012,282:152-162.
- [12] Fan X, Shi C, Shao W, et al. The suspended sediment dynamics in the Inner-Mongolia reaches of the upper Yellow River[J]. Catena,2013,109:72-82.
- [13] Jia X, Wang H, Xiao J. Geochemical elements characteristics and sources of the riverbed sediment in the yellow river's desert channel[J]. Environmental Earth Sciences,2011,64(8):2159-2173.
- [14] Shu A P, Li F H, Yang K. Bank-collapse disasters in the wide valley desert reach of the upper Yellow River[J]. Procedia Environmental Sciences,2012,13:2451-2457.
- [15] 何京丽,郭建英,邢恩德,等. 黄河乌兰布和沙漠段沿岸风沙流结构与沙丘移动规律[J]. 农业工程学报,2012,28(17):71-77.
- [16] 冯国华,朝伦巴根,闫新光. 黄河内蒙古段冰凌形成机理及凌汛成因分析研究[J]. 水文,2008,28(3):74-76.
- [17] Yao Z, Ta W, Jia X, et al. Bank erosion and accretion along the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the Yellow River from 1958 to 2008[J]. Geomorphology, 2011,127(1):99-106.
- [18] 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.