

黄河下游河道对水沙过程变异响应

李秀霞¹, 吴腾²

1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 南京 210098

摘要 近年来黄河下游河道来水来沙量持续减少, 河道演变特性发生变化, 同时引起黄河下游河道的“小水大灾”、“横河”、“斜河”等问题。针对日趋严重的水灾问题, 本文选取黄河下游典型站点分析黄河下游河道对水沙过程变异的响应, 得到初步认识: 一方面, 由于黄河来水量减小, 水流挟沙能力降低, 致使黄河下游河槽持续淤积抬高、河槽变窄、河道过水断面变小, 易引起“小水大灾”; 另一方面, 由于来水来沙量变异, 黄河漫滩概率减小, 使黄河下游河型发生缓慢的改变, 引起河势变化, 原有的部分工程措施因水流流路的改变被迫废弃, 甚至产生负作用, 形成水灾。

关键词 黄河下游; 小水大灾; 成因分析; 水沙变异

中图分类号 TV141

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)20-0025-04

Response of the Channel to the Variation of Water and Sediment Processes in the Lower Yellow River

LI Xiuxia¹, WU Teng²

1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China
2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China

Abstract With the continuous decrease of the incoming water and sediment, water disasters in the Lower Yellow River is becoming more and more serious, such as "serious disaster caused by small flood", "cross flow" and "gradient flow". To reveal the causes of these phenomena, an analysis on the responses of the channel to the variation of water and sediment processes in the Lower Yellow River is performed. The typical stations of Huanyuankou and Jiahetan in the Lower Yellow River are selected in the case study. The results show that as the amount of the water discharge and sediment in the Lower Yellow River decreases, the lower riverbed is deposited, the bed level rises, the channel becomes narrow, and the river pattern is changed. As a result, the risk of water disaster in the lower reaches increases. On the other hand, the changes of the river pattern lead to a failure of proper functions of some river engineering structures and even lead to negative functions of these structures, which could also be the cause of water disasters. The rules would be helpful for decision-making in the river, and the further study is necessary.

Keywords Lower Yellow River; small flood causing serious disaster; reason analysis; variation of water and sediment

0 概述

黄河下游以高含沙、地上河、水流宽、浅、散、乱闻名于世。该河段上宽下窄, 比降上陡下缓, 排洪能力的减小, 给防洪带来巨大困难。半个多世纪以来, 黄河上修建了多座控制型水库和大量的护滩、护岸工程, 有效缓解了下游防洪的压力, 基本保证了多年来“黄河不决口”。但黄河的淤积量并没有得到有效地控制, 黄河下游河床依旧逐年抬高, 黄河的防

洪隐患并没有彻底解除, 尤其是 20 世纪 90 年代以来, 黄河河道主槽淤积严重, 即使来水量不大也可能产生高水位, 构成汛情, 形成所谓的“小水大灾”。另一方面, 随着黄河来水来沙量的减少, 同时小浪底水库的控制运用, 黄河下游河道的来水来沙条件发生了较大的变异, 甚至引起下游河道河型的缓慢改变, 原有的部分控导工程被迫废弃, 有的甚至产生负作用, 原本作为护岸、导流的丁坝也可能因河势的改变直接挑

收稿日期: 2010-07-05; 修回日期: 2010-08-23

基金项目: 水利部黄河泥沙重点实验室开放课题基金项目(2010006); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(NIES2009)

作者简介: 李秀霞(中国科协所属全国学会个人会员登记号: S291000903M), 博士研究生, 研究方向为水沙科学, 电子信箱: lixiuxia.bj@gmail.com

流到对岸,顶冲大堤,使得黄河下游游荡型河段发生横河、斜河的次数增多^[1-2];甚至整治工程与来水来沙条件不匹配,引起河势上提,使河道向横河、斜河发展,危及堤防安全^[3-4]。

针对现状,许多学者从不同角度进行了研究:大中型水库对河道减淤的作用^[5],高含沙洪水的造床规律^[6-7],游荡性河道滩槽淤积特点^[8],河槽形态与水沙关系^[9],下游河道的稳定性问题及河型转化^[10]等问题,取得了较大进展。本文在已有工作基础上,以黄河下游花园口至夹河滩河段为例,针对出现的“小水大灾”等问题,分析近年黄河来水来沙过程变异条件下黄河下游河道的响应,为黄河的整治提供参考。

1 黄河下游河道来水来沙变化

文中选取黄河下游花园口站和夹河滩站进行分析,选取的水文资料为 1985—1997 年系列。图 1 和图 2 给出了流量和

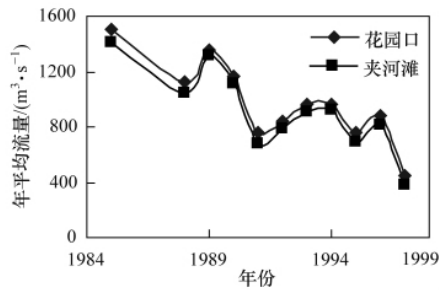


图 1 典型站点年平均流量变化

Fig. 1 Mean annual flow rate at typical sections

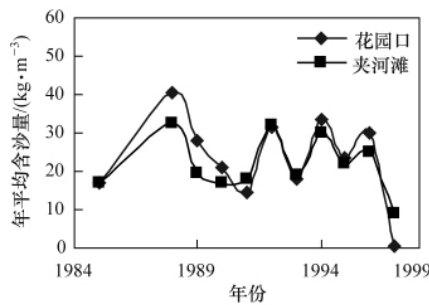


图 2 典型站点年平均含沙量变化

Fig. 2 Mean annual variation of sand content at typical sections

含沙量随时间变化点绘曲线。图 1 中,各典型测站的年平均流量变化趋势基本一致,以花园口站为例简要分析。花园口站 1985 年年均来流量最大,接近 1600m³/s,1997 年年均流量最小,不足 500m³/s,仅接近 1985 年的 1/3。其间,不同年份年均来流量逐年减少,虽偶有增大如 1989 年、1993 年,但并不多,并且很快又呈下降趋势。整体而言,1985—1997 年各测站的来流量呈递减趋势,且减少幅度较大。图 2 为 1985—1997 年各测站的年均含沙量变化图。其中,含沙量最大的是 1988 年,花园口站达 40kg/m³,含沙量最小的是 1997 年,花园口站为 10kg/m³,含沙量变化趋势与流量变化趋势相似,但减少程度不如流量剧烈,尤其是 1991—1996 年间,不同年份含沙量上下波动,稍有递减趋势,其中 1996 年与 1997 年各测站含沙量减少迅速。由此认为,从水沙时间序列看,径流与含沙量的变化趋势基本同步。

2 黄河下游河槽对水沙过程变异的响应

2.1 河槽缩窄,主流摆动

黄河下游河道断面为典型的复式断面,分为河滩和河槽,中枯水河槽断面一般也是复式断面,包括主槽和嫩滩。不同水沙条件下,黄河下游左右嫩滩唇位置发生变化,河槽宽度也随之改变。表 1 为平滩流量下典型站断面特征值,由表可知,1985—1997 年,河槽缩窄严重,花园口站河槽宽从 2141m 减少到 568m,夹河滩站从 3133m 减少到 2520m。深泓点是河道断面的最低点,各断面深泓点的连线构成河道的深泓线,反映了河道主流的流向。当河道来流量变小时,水流漫滩概率减小,水流在河槽中流动,但由于黄河下游泥沙粒径较小,颗粒松散,易冲易淤,河槽中容易形成洲滩,洲滩的消长也随着水流条件快速改变,从而使河槽中的主流摆动不定。表 1 中各站点花园口、夹河滩、高村深泓点位置随时间变化明显,说明该河段主流摆动剧烈,而艾山站深泓点变化较小,主流基本平稳。

2.2 河槽淤积抬高迅速

图 3、图 4 为花园口站、夹河滩站不同年份的横断面套图。由图可以看出,二级滩地及其以上河道冲淤随时间变化不明显,而河槽冲淤随时间变化剧烈,总体看来均有淤积趋势,不过具体的变化情况存在差异。1985—1991 年,花园口站

表 1 平滩流量下黄河下游典型站断面特征值

Table 1 Typical sections under bankfull discharge in the Lower Yellow River

站点	年份	左滩唇起点距/m	左嫩滩唇起点距/m	深泓点起点距/m	右嫩滩唇起点距/m	右滩唇起点距/m	河槽宽/m
花园口	1985	-4358	3044	4182	5185	6004	2141
	1991	-4358	3209	4714	5194	6004	1985
	1997	-4358	4635	5199	5203	6004	568
夹河滩	1985	1054	1054	1082	4187	4187	3133
	1991	1058	1058	1058	4364	4364	3306
	1997	1058	1843	2669	4363	4363	2520

河槽左边淤积右边冲刷,深泓点右移,滩唇位置变化不大;至1997年,左边河槽继续淤积,原来的流路基本淤平,河槽的右边发生冲刷下切,河道深泓点继续右移,主槽宽度变小较多。夹河滩站主槽和嫩滩随时间持续淤积,深泓点向右岸移动,主槽下切严重,嫩滩变宽、变高,主槽变窄,1997年尤为明显,主槽窄深,两边的嫩滩高高凸起。理论而言,流量大时河道漫滩次数增多,水流流路趋直,流量小时,水流易走弯,受上游河床形态的影响,花园口断面在流量逐年减小时深泓点发生偏移。夹河滩站1985年主槽中存在洲滩,与分叉河道相似,槽中洲滩将主流分为两股,随着时间推移洲滩逐渐削平;1991年洲滩完全消失,原来的两股水流汇成一股,同时主槽淤积抬升;1997年,主槽进一步淤积,过水面积继续减小,主槽的深泓点左移。

近年来,由于来流量和来沙量减少,主流归槽,主槽水流的挟沙能力大幅下降,而含沙量降低不多,大量的泥沙在河槽中淤积。除此之外,由于黄河下游特有的地质条件,主流摆动不定,滩坎受冲刷而坍塌后退,增加了主槽的淤积量,以致河槽逐年淤积抬升,左右嫩滩唇位置逐年变化,正如表1和图3、图4所示。

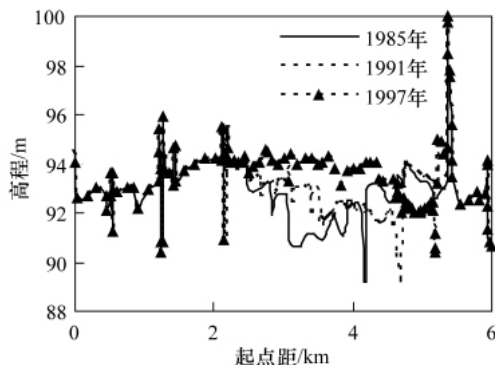


图3 花园口横断面套图

Fig. 3 Cross section at Huanyuankou

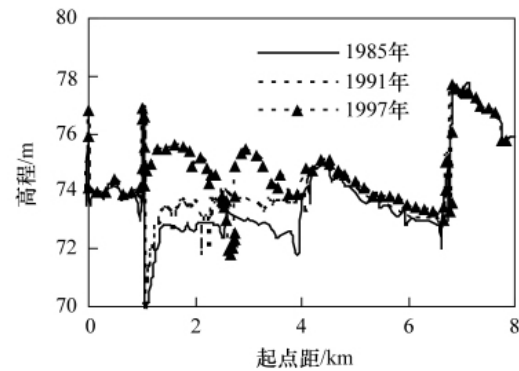


图4 夹河滩横断面套图

Fig. 4 Cross section at Jiahetan reach

2.3 来沙系数与下游河道冲淤的关系

定义来沙系数为河道含沙量 S 与来流量 Q 的比值,表征河道来水来沙的搭配情况。当来沙系数小时,反映河道中流量相对较大,挟沙能力较强,能携带河槽中的泥沙,有利于河槽的冲刷;当来沙系数大时,反映河道水流中的泥沙相对较多,挟沙能力相对不足,水流中的部分泥沙将在河槽中淤积,不利于河道的发展。

表2为1985—1997年黄河下游不同河段来沙系数与冲淤量统计值。在统计年份中,花园口到夹河滩段1992年淤积量最大,达到2.572亿 m^3 ,1993年冲刷量最大,冲刷值为0.71亿 m^3 ;夹河滩到高村段1996年淤积量最大,1989年冲刷最大,其值分别为1.292亿 m^3 和-0.153亿 m^3 。在统计的系列年中,黄河下游各河段基本处于淤积状态,仅有少数年份发生冲刷,花园口站—夹河滩站多年累计淤积量达6.044亿 m^3 。表中来沙系数变化趋势与河道淤积趋势基本相同,表明在一般情况下,来沙系数大的年份对应的淤积量较多,来沙系数小的年份淤积较少,在工程应用中可以通过拟合的冲淤量与来沙系数关系式预测河道的冲淤量。

表2 花园口—夹河滩河段来沙系数和冲淤量

Table 2 Sediment incoming coefficient and amount of deposition-erosion between Huanyuankou and Jiahetan reach

年份	1985	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
来沙系数	0.023	0.067	0.035	0.033	0.046	0.078	0.039	0.067	0.063	0.065	0.024
冲淤量/ 10^8m^3	-0.282	1.233	0.291	0.227	0.172	2.572	-0.71	1.359	0.109	1.036	0.036

3 黄河下游河道河型对水沙过程变异响应

稳定性指标反映水流和河床泥沙相互作用的大小,可以作为河型的判数。本文选用张红武等^[10]提出的稳定性指标公式进行分析计算,该公式同时考虑了河床的纵向稳定性和横向稳定性,能反映实际情况:

$$Z_w = \frac{1}{i} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \cdot \frac{D_{50}}{H} \right)^{1/3} \left(\frac{H}{B} \right)^{2/3}$$

式中, i 为河床比降; D_{50} 为床沙中径; γ_s, γ 为泥沙和水的容重; H, B 分别为造床流量下的平均水深和河宽。 Z_w 值随河型不同呈规律性变化, $Z_w < 5$ 为游荡型河流; $Z_w > 15$ 为弯曲型;分汉型介于二者之间。

表3为黄河下游花园口和夹河滩河段不同年份的稳定性指标。由于来水来沙量减少,黄河下游河道的稳定性发生了变化。1985年花园口的稳定性指标为1.56,1991年增长为

表3 不同年份花园口和夹河滩河段的稳定性指标

Table 3 Values of Z_w in Huanyankou and Jiahetan reach in different years

年份	花园口	夹河滩
1985	1.56	3.87
1986	1.72	4.52
1987	2.39	4.46
1988	2.11	4.85
1989	2.15	4.33
1990	2.01	5.37
1991	3.34	3.92
1992	2.93	5.25
1993	1.79	3.99
1994	3.30	6.16
1995	2.12	—
1996	2.63	5.17
1997	3.74	5.26

3.34, 1997年达到3.74, 按照河型与稳定性指标间的关系判别, 1985—1997年花园口河段均为游荡型, 河型没有发生改变, 不过稳定性指标有递增的趋势, 说明花园口河段的稳定性不断增强, 如果持续的少水少沙, 则稳定性指标有可能超过5, 该段的河型也有可能从游荡型转化为弯曲线; 夹河滩站1985年稳定性指标为3.87, 为游荡型河道, 1997年增长为5.26, 河型发生变化, 转化为弯曲线, 且该段时间河道的稳定性指标呈递增趋势。

现阶段水沙条件发生变化, 引起黄河下游河型的改变, 河型的转变也导致水沙运动规律的变化, 从而引起河床演变的变异, 而原有的工程均按照先前的水沙条件设计, 未能充分考虑现阶段的水沙情况, 致使部分工程不能适应新的河床演变规律, 被迫废弃, 有的甚至改变河势, 使水流直冲大堤, 严重威胁河道堤防的安全, 这也正是近年黄河水沙灾害日趋严重的重要原因。

4 结论

近年来, 随着黄河来水来沙量持续减少, 以及小浪底等水库的控制运用, 黄河下游河道的来水来沙条件发生了较大的变化。该变化引起下游河道演变规律的变化, 主要表现是: ①水沙变异引起黄河下游河槽持续淤积抬高、河槽变窄、河道过水断面变小; ②水沙过程变异使黄河下游河型发生缓慢的改变, 花园口河段和夹河滩河段均有向弯曲线河道转化的趋势; ③由于水沙过程变异引起河道演变规律的变化, 一定程度上增大了水灾的概率, 这是下游河道“小水大灾”和“横河”、“斜河”等险情频繁出现的重要原因。

参考文献 (References)

[1] 王勤香, 王俊, 朱鸿庆. 黄河下游游荡型河段稳定中水流路方法的探

讨[J]. 人民黄河, 2005, 27(10): 14-15.

Wang Qinxiang, Wang Jun, Zhu Hongqing. *Yellow River*, 2005, 27(10): 14-15.

[2] 赵业安. 对游荡性河段的整治应持积极慎重态度 [J]. 人民黄河, 1992 (2): 46-47.

Zhao Yean. *Yellow River*, 1992(2): 46-47.

[3] 张红武, 钟德钰, 张俊华, 等. 黄河游荡型河段河势变化数学模型[J]. 人民黄河, 2009, 31(1): 20-22.

Zhang Hongwu, Zhong Deyu, Zhang Junhua, et al. *Yellow River*, 2009, 31(1): 20-22.

[4] 程怡萱, 陈海峰. 山根挑溜引起的黄河河势演变及整治对策 [J]. 人民黄河, 1999, 21(10): 20-21.

Cheng Yixuan, Chen Haifeng. *Yellow River*, 1999, 21(10): 20-21.

[5] 郭庆超, 胡春宏, 曹文洪, 等. 黄河中下游大型水库对下游河道的减淤作用[J]. 水利学报, 2005, 36(5): 511-518.

Guo Qingchao, Hu Chunhong, Cao Wenhong, et al. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(5): 511-518.

[6] 江恩惠, 张红武, 赵连军, 等. 高含沙洪水造床规律及河相关系研究[J]. 人民黄河, 1999, 12(1): 12-16.

Jiang Enhui, Zhang Hongwu, Zhao Lianjun, et al. *Yellow River*, 1999, 12 (1): 12-16.

[7] 张红武, 江恩惠, 白咏梅, 等. 黄河高含沙洪水模型的相似率[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994.

Zhang Hongwu, Jiang Enhui, Bai Yongmei, et al. Similar rate of hyper-concentration flood model of the Yellow River [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1994.

[8] 王明甫, 陈立, 周宜林. 高含沙水流游荡型河道滩槽冲淤演变特点及机理分析[J]. 泥沙研究, 2002, 1: 1-6.

Wang Mingfu, Chen Li, Zhou Yilin. *Journal of Sediment Research*, 2002, 1: 1-6.

[9] 冯普林, 梁志勇, 黄金池, 等. 黄河下游河槽形态演变与水沙关系研究 [J]. 泥沙研究, 2005, 2: 66-74.

Feng Pulin, Liang Zhiyong, Huang Jinchi, et al. *Journal of Sediment Research*, 2005, 2: 66-74.

[10] 张红武, 赵连军, 曹丰生. 游荡河型成因及其河型转化问题的研究[J]. 人民黄河, 1996, 18(10): 11-15.

Zhang Hongwu, Zhao Lianjun, Cao Fengsheng. *Yellow River*, 1996, 18 (10): 11-15.

(责任编辑 朱宇)

本期完词填空答案

香	格	里	拉				
	林		萨	克	斯		
	童				文	天	祥
大	话	西	游		扫		
			子		地	铁	
独	善	其	身			观	
唱			上			音	
团		锦	衣	卫			