

黄河下游宽河段漫滩洪水作用初析

曲少军, 申冠卿, 李 勇, 孙赞盈

(黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要:通过实测资料分析, 阐明黄河下游宽河道在持续萎缩的情况下漫滩洪水仍具有较强的淤滩刷槽的行洪特点, 指出漫滩洪水造成的滩地淤积主要来自于滩槽水流泥沙的横向交换。通过 2002 年的调水调沙试验, 验证了漫滩洪水可有效增加平滩流量的认识, 建议在下游泥沙还没有得到有效控制的情况下允许洪水在一定范围内漫滩, 这样从长远来看对防洪是有利的。

关键词:河槽萎缩; 漫滩洪水; 平滩流量; 淤滩刷槽; 调水调沙; 黄河下游陶城铺以上河道

中图分类号:TV147 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7647(2006)03-0007-03

Analysis of overbank flood flowing through wide channels on lower Yellow River//QU Shao-jun, SHEN Guan-qing, LI Yong, SUN Zan-ying(*Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China*)

Abstract: Based on an analysis of field data, it is expounded that the overbank flood is of strong capacity in sediment deposition on the flood plain and scouring in the main channel under the condition of continuous shrinkage of channels on the lower Yellow River. It is also pointed out that overbank flood-induced deposition on flood plain is mainly caused by the transversal exchange of water and sand between the flood plain and the main channel. By water and sand diversion experiments performed in 2002, it is verified that the overbank flood can effectively increase the bank-flush discharge. Finally, it is suggested that, without effective control of the sediment of the lower reach, the overbank flood within a certain range is favorable for flood control from a long-term point of view.

Key words: channel shrinkage; overbank flood; bank-flush discharge; sediment deposition on flood plain and scouring in main channel; water and sediment diversion; river channel above Taochengpu on lower Yellow River

黄河下游陶城铺以上习惯上称为宽河道, 陶城铺以下一般称为窄河道。由于黄河洪水主要由中游地区大面积的暴雨形成, 具有峰高量小、陡涨陡落的特点, 加之花园口以下无大的支流加入, 因此, 遇较大洪水时宽河道削减洪峰、滞蓄洪量、淤滩刷槽的作用十分明显, 同时, 宽河道的滩区所具有的落淤沉沙功能会使本河段和窄河段的河床淤积抬升速度放缓, 有利于延长现行河道的寿命。因此, 保持宽河格局仍是当前治黄的重要方略, 而实现上述功能的载体是漫滩洪水, 进一步研究黄河下游宽河段漫滩洪水的作用意义重大。

黄河下游河道在东坝头以上有三级滩地, 分别为嫩滩、二滩和老滩, 其中老滩是 1855 年铜瓦厢决口后河道发生溯源冲刷所形成的滩地, 东坝头以下只有两级滩地, 即嫩滩和二滩。嫩滩以下的过水断面称为主槽, 嫩滩加上主槽的过水断面称为河槽。嫩滩是中小洪水及大洪水均可漫水的一级滩地。二

滩漫水机遇较少, 植被生长和人类活动较多, 但 1986 年以来, 随着下游河道来水来沙条件的明显改变, 河槽萎缩不断加剧, 平滩流量锐减, 二滩漫水机遇随之加大。由于主槽水深大、糙率小, 通常能通过 80% 左右的流量, 因此, 尽快恢复主槽的过洪能力是黄河防洪的重要任务, 而合理运用漫滩洪水具有的淤滩刷槽功能当是有效措施。本文着重对 1996 年以来发生的两场漫滩洪水进行分析。

1 以往漫滩洪水淤滩刷槽的作用分析

黄河下游主槽具有弯曲外形, 洪水漫滩以后流路趋于顺直。由于漫滩水流和主槽水流流向不一致, 在槽与滩之间必然存在着水流、泥沙的交换。对定床复式河槽在漫滩以后不同部位的流量分配进行的实验^[1]表明, 在两个弯道之间, 左岸滩地的一部分流量进入主槽, 而主槽的一部分流量则进入右岸滩地。到了下两个弯道之间, 则对流的方向正好倒过

来。分析黄河下游河道大量的漫滩洪水实测资料^[2]发现:黄河下游宽河段具有“大水淤滩刷槽”的演变特性,就是说,洪水漫滩期间滩槽水流泥沙交换十分强烈,大量泥沙不断从主槽进入滩地,使滩地大量淤积,而主槽则发生冲刷。这种淤滩刷槽情况使得涨水过程中主槽迅速扩大,排洪能力增加。由于黄河下游河道上宽下窄的平面形态,洪水漫滩后大量泥沙在宽河段滩地落淤,降低了进入窄河段水流的含沙量,有利于窄河段的冲刷。

1958 年花园口站出现洪峰流量 22300m³/s 的实测最大洪水,花园口至高村河段最大蓄洪量 13.5 亿 m³,削减洪峰 4 400 m³/s;高村至孙口河段最大蓄洪量 15.6 亿 m³,削减洪峰 2 000 m³/s。洪水期花园口至利津河段滩地淤积泥沙 10.7 亿 t,主槽冲刷泥沙 8.6 亿 t,形成高滩深槽。表 1 列出了数场漫滩洪水的滩、槽冲淤情况。可以看出,其他漫滩洪水也大都产生了淤滩刷槽的效果。例如,20 世纪 90 年代以来,由于水沙条件的进一步改变,河道萎缩严重,致使 1996 年汛期花园口站发生 7 860 m³/s 的中等洪水时下游河道已普遍漫滩,洪水期花园口以下主槽冲刷泥沙 1.61 亿 t,滩地淤积泥沙 4.45 亿 t,滩槽冲淤变化主要集中在花园口至艾山河段。由此可见,黄河下游广阔的滩地具有较大的滞沙作用,洪水期在滩地大量淤积的同时主槽发生明显冲刷,滩槽高差也相应增大。大漫滩洪水对河道冲淤影响是很大的,下游每发生一次大洪水,尽管会带来比较紧张的防洪局势,但大洪水造成的长河段淤滩刷槽却会塑造出一个有利于排洪的主槽和稳定的河势,这是通过其他途径难以达到的。因此,在下游泥沙还没有得到有效控制的情况下,允许洪水漫滩,从长远来看对防洪是有利的。

值得一提的是,在目前河槽严重萎缩的边界条件下,当发生中常洪水时便可能出现较大范围的漫滩,从“96.8”洪水的实际作用来看,这种量级洪水仍

有较强的淤滩刷槽作用。因此,从有利于河道行洪和逐渐消除“二级悬河”的角度出发,允许中常洪水漫滩仍是可取之举。换句话说,如果通过疏浚或者其他人工措施来达到“96.8”洪水所产生的槽冲滩淤效果,所花费的人力与物力是可想而知的,在实际操作中也很难实施。

2 影响淤滩刷槽的主要因素及漫滩淤积机理探讨

生产堤的存在限制了漫滩洪水淤滩刷槽效果的发挥。在相同来水来沙条件下,修建生产堤会减少洪水漫滩几率,使本该漫过生产堤至大堤之间滩地的洪水被束于两岸生产堤之间,加大了嫩滩淤积的比例,大洪水时一般也只是从生产堤上破除的口门进水,限制了下游河道大洪水淤滩刷槽功能的发挥,表 2 为三门峡水库控制运用后 1974~1988 年间下游河道生产堤至大堤之间滩地的淤积情况。可以看出,在这一来水来沙量相对较丰的时期,仅有 5 年汛期遇较大洪水时生产堤至大堤之间滩地产生了淤积,同期下游河道(利津以上)生产堤之间的河槽累积淤积泥沙 0.922 亿 t,可以说河槽基本处于微淤状态。可以推断,如果下游河道没有生产堤,那么随着大洪水以及本该漫滩的洪水共同发挥淤滩刷槽的作用,这一时期可能滩地会多淤而河槽会发生冲刷,断面形态和河势状况也会更有利于防洪。

表 2 1974~1988 年生产堤至大堤之间滩地泥沙淤积量 亿 t

时 段	花园口 —高村	高村 —艾山	艾山 —利津	花园口 —利津
1975 年汛期	1.13	1.86	1.24	4.23
1976 年汛期	0.18	1.25	1.27	2.70
1977 年汛期	1.97	0	0	1.97
1981 年汛期	0	0.91	0	0.91
1982 年汛期	0	0.91	0	0.91
1974-07~1988-06	3.28	4.93	2.51	10.72

“二级悬河”的发生与发展也对淤滩刷槽效果有

表 1 漫滩洪水下游河道滩槽冲淤量

时 间	花园口站		花园口—艾山冲淤量/亿 t			艾山—利津冲淤量/亿 t		
	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	来沙系数/ ((kg·s) ⁻¹ ·m ⁻⁶)	主 槽	滩 地	全断面	主 槽	滩 地	全断面
1953-07-06~1953-08-14	10 700	0.011	-1.79	2.20	0.41	-1.21	0.83	-0.38
1953-08-15~1953-09-01	11 700	0.038	1.06	1.03	2.09	0.43	0	0.43
1954-08-02~1954-08-25	15 000	0.010	-3.34					
1954-08-28~1954-09-09	12 300	0.017	-1.17	3.43	2.26	-0.91	1.47	0.56
1957-07-12~1957-08-04	13 000	0.012	-3.23	4.66	1.43	-1.10	0.61	-0.49
1958-07-13~1958-07-23	22 300	0.010	-7.10	9.20	2.10	-1.50	1.49	-0.01
1975-09-29~1975-10-05	7 580	0.005	-1.42	2.14	0.72	-1.26	1.25	-0.01
1976-08-25~1976-09-06	9 210	0.006	-0.11	1.57	1.46	-0.95	1.24	0.29
1982-07-30~1982-08-09	15 300	0.005	0.52	0.11	0.63	-0.21	-0.13	-0.34
1988-08-11~1988-08-26	7 000	0.017	-1.05	1.53	0.48	-0.25	0	-0.25
1996-08-03~1996-08-15	7 860	0.019	-1.50	4.40	2.90	-0.11	0.05	-0.06

负面影响。由于漫滩洪水首先要填充嫩滩滩唇至大堤之间的低洼地带,使得这部分上滩水体不能回归主槽,既减小了以下河段的洪量,也削弱了刷槽的效果。“96.8”洪水在夹河滩至孙口河段的演进过程便说明了这一点^[3]。

表3列出了1957年、1958年、1982年和1996年4场漫滩洪水滩地泥沙淤积量和滩地滞蓄水量的对比,可以看出,漫滩洪水造成的滩地淤积绝不仅仅来自滩地滞蓄水体的泥沙沉降。事实上,漫滩洪水滩地淤积量多数情况下比同期花园口站的来沙量还要大,引起滩地大量淤积的沙量主要来自于滩槽水流泥沙的横向交换。同时也说明了滩地具有很大的滞沙作用,应很好地加以利用。

3 2002年调水调沙试验引起下游河道滩槽冲淤的变化

本次调水调沙试验主要以小浪底水库调控为主。2002年7月4日9时,小浪底水库开始按调水调沙方案加大下泄流量,至7月15日9时按800m³/s流量控制泄流,历时11d,出库水量26.06亿m³,出库沙量0.319亿t,平均含沙量12.3kg/m³,伊洛河和沁河同期来水共0.55亿m³,来沙量很小,可忽略不计。黄河下游河道最下端水文站丁字路口7月7日16时流量开始上涨,7月22日0时洪水过程结束,至此,调水调沙试验流量全部入海。

试验期间的下游河道冲淤量计算采用以断面法为主、沙量平衡法为辅的综合算法。经计算,下游河道调水调沙期间累积冲刷泥沙0.362亿t(淤积物干密度取1.4t/m³),其中高村以上河段冲刷泥沙0.191亿t,艾山至利津河段冲刷泥沙0.197亿t,成为本次冲刷最明显的两个河段,详见表4。

由于近几年来水严重偏枯,长期小水行河,主槽淤积萎缩,导致下游河道过洪能力严重下降,本次调水调沙试验期间,陶城铺以上河段两岸整治工程之间的嫩滩大部分过水,高村上下河段在流量不足2000m³/s时便发生了漫滩,部分堤根水深4~5m,部分水位站水位已超过黄河“96.8”洪水位。这些情况超出了预料,由此更进一步说明黄河下游河床演

变的复杂性,同时也揭示了在小浪底水库建成初期有些河段主槽仍继续萎缩、排洪能力减小的趋势有进一步发展的情况。另一方面,漫滩河段试验期发生了较明显的淤滩刷槽现象,主槽冲刷厚度与上下河段相比为最大(表4)。初步分析认为,夹河滩至孙口河段发生的较大范围漫滩提高了艾山以下窄河段的冲刷强度。

表4 下游各河段滩槽冲淤量分布

河 段	冲淤量/亿 t				主槽冲淤 厚度/m
	全断面	二滩	嫩滩	主槽	
白鹤—花园口	-0.131	0.005	0.092	-0.227	-0.18
花园口—夹河滩	-0.071	0.000	0.069	-0.140	-0.16
夹河滩—高村	0.011	0.039	0.197	-0.225	-0.24
高村—孙口	0.071	0.154	0.092	-0.175	-0.26
孙口—艾山	-0.017	0.002	0.011	-0.029	-0.07
艾山—冻口	-0.090	0.000	0.006	-0.096	-0.16
冻口—利津	-0.107	0.000	0.003	-0.110	-0.12
利津—汉2	-0.028	0.000	0.033	-0.061	-0.12
白鹤—高村	-0.191	0.044	0.357	-0.592	
高村—河口	-0.171	0.156	0.143	-0.471	
白鹤—河口	-0.362	0.200	0.501	-1.063	

考虑到主槽为排洪输沙的主要通道,主槽平滩流量的大小直接影响到黄河下游防洪的形势,根据调水调沙期间各站水位-流量关系,结合测流断面滩唇高程,得到各水文站断面主槽平滩流量的变化,其中高村附近河段平滩流量增大较为明显(高村站增加值为1050m³/s),这主要与该河段洪水大范围漫滩,造成滩淤槽冲关系密切。洪水过后,本河段滩唇高程升高约0.4m。

为了更好地反映调水调沙试验期间各河段平滩流量的变化,根据河段的平均冲淤情况计算了各河段平滩流量的变化(简称断面法)。同时,将上下水文站断面平滩流量进行算术平均,作为河段平均平滩流量(简称水位法),计算成果列于表5,表中还列出了通过综合分析得出的平滩流量的变化。可以看出:夹河滩以上主槽平滩流量增大约240~300m³/s;夹河滩至孙口河段平滩流量增幅最大,达300~500m³/s;孙口以下河段平滩流量增幅较小,约为80~200m³/s。这些结果再次表明,由于夹河滩至孙口河段洪水期漫滩较为严重,通过滩槽水沙交换,淤滩刷槽,滩槽高差加大,从而使该河段平滩流量明显增大。

表3 漫滩洪水滩地淤积量与来水来沙量统计

时 间	花园口				花园口—艾山段滩地		滩地淤积量与 滞蓄水量之比/ (kg·m ⁻³)
	洪峰流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	来沙量/亿 t	来沙系数/ ((kg·s)·m ⁻⁶)	平均含沙量/ (kg·m ⁻³)	滞蓄水量/亿 m ³	淤积量/亿 t	
1957-07-12~1957-08-04	13000	4.66	0.012	51.8	11.5	4.66	405.2
1958-07-13~1958-07-23	22300	5.60	0.010	76.7	19.7	9.20	467.0
1982-07-30~1982-08-09	15300	1.99	0.005	32.4	25.9	0.11	4.2
1996-08-03~1996-08-15	7860	3.39	0.019	77.1	13.9	4.40	316.5

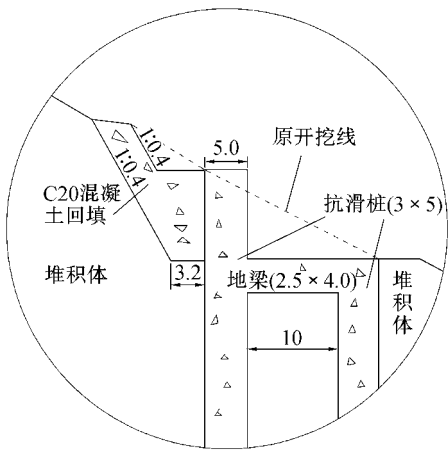


图 1 抗滑桩结构示意图(单位:m)

0.12 mm/d。综合加固措施实施后,监测结果显示:锚索预应力总损失为 12.64%,预应力荷载基本达到了设计要求,边坡总变形控制在 3.0~4.0 mm,已处于稳定状态。

7 结 语

小湾水电站左岸堆积体近邻的坝基对枢纽的安全运行至关重要。从堆积体的抢险加固处理可以得出以下结论和启示:①通过采取抢险加固措施,小湾

水电站左岸饮水沟堆积体的蠕动变形已得到有效控制,堆积体趋于稳定。②采用上部削坡减压、中下部 1356 根锚索锚固、下部挡墙及 15 根抗滑桩抗滑结构支挡、系统立体分层排水的综合措施,可有效地抑制大体积堆积体的变形,是加固大型堆积体的有效方法。③通过对堆积体的稳定性进行监测,不但能发现堆积体的蠕动变形,而且能为加固方案的制订提供参考依据。④抗滑桩开挖采用每次爆破 1 m 进尺,并在开挖后立即进行井壁衬砌;排水洞开挖中采用“小药量、弱爆破、短进尺、勤支护”的措施,减小了施工对堆积体的进一步扰动。⑤变径跟管成孔、减小隔离架直径、钢筋导向索、锚索张拉段索体包裹土工布灌浆等技术,是在堆积体内进行锚索施工的有效方法。

参考文献:

[1] 高明忠,谢和平,周宏伟.水库蓄水前后库岸稳定性研究方法概述[J].水利水电科技进展,2004,24(7):93-96.
[2] 夏维洪.基岩冲刷的模型相似问题[J].河海大学学报:自然科学版,1997,25(1):67-72.
(收稿日期:2005-04-12 编辑:高建群)

(上接第 9 页)

表 5 调水调沙期间下游各河段主槽平滩流量变化

河 段	主槽宽/ m	滩槽高差 增值/m	主槽平滩流量增值/(m ³ ·s ⁻¹)		
			断面法	水位法	采用值
小浪底—花园口	800	0.26	374	300	300
花园口—夹河滩	739	0.20	266	150	240
夹河滩—高村	806	0.37	537	525	500
高村—孙口	414	0.38	283	435	300
孙口—艾山	454	0.11	90	-140	90
艾山—冻口	421	0.18	136	30	80
冻口—利津	384	0.13	90	80	90
利津—丁字路口	404	0.20	145	275	200

注:水位法计算平滩流量增值采用河段进、出口水文站的平均值。

4 结 语

- a. 在目前河槽严重萎缩的边界条件下,当发生中常洪水时便有较强的淤滩刷槽作用,有利于改善河道行洪条件和减缓“二级悬河”态势。
- b. 漫滩洪水造成的滩地淤积绝不仅仅来自滩地滞蓄水体的泥沙沉降,而主要来自滩槽水流泥沙频繁的横向交换。
- c. “二级悬河”的发生与发展对淤滩刷槽效果有负面影响,应设法尽快消除。
- d. 2002 年调水调沙试验期高村附近河段平滩流量增大明显主要与该河段发生较大范围漫滩造成

滩淤槽冲关系密切。

参考文献:

[1] TOEBES G H,SOOKY A A.Hydraulics of meandering rivers with floodplains[J]. Waterways and Harbor,1967,93(2):213-236.
[2] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987:202-209.
[3] 马喜荣,夏自强,陈竹青,等.黄河下游泥沙淤积对洪水演进的影响[J].水利水电科技进展,2004,24(7):4-6.
(收稿日期:2005-08-02 编辑:高建群)

· 简讯 ·

第二届河口海岸国际研讨会将在广州举行

第二届河口海岸国际研讨会将于 2006 年 11 月 28~30 日在广州举行。研讨会的中心议题是:“河口海岸与生态环境”,包括河口海岸演变、河口生态及其环境的保护措施、河口治理及港口、航道整治、河口等模拟技术及其运用等。会议将为全球的河口海岸专家、学者、工程技术人员和决策者提供一个交流研究成果、传播技术和展望未来的研讨机会。联系地址:510610 中国广州天寿路 80 号第二届河口海岸国际研讨会秘书处,E-mail:icec2006@prwri.com.cn。

(本刊编辑部供稿)