

卡口河段桥梁建设对河道行洪的影响

——以渭河咸阳段为例

韩剑桥^{1,2}, 段文中³

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 水利部黄河水利委员会 黄河上中游管理局, 西安 710021)

摘要: 河流束窄处断面窄深, 形成河道水沙输移的卡口, 该区域行洪能力相对较弱, 桥梁建设更加威胁河道防洪安全。以陇海铁路咸阳渭河桥改扩建工程为例, 采用平面二维水流数学模型, 研究了不同工程方案在3种洪水频率下对河道行洪的影响特征, 结果表明: 在桥梁建设期, 四桥并存引起桥位处水位壅高值最大; 疏浚量大的工程方案建设后过水面积增大更多, 桥位水位降低幅度也相对较大, 如工况1建设后300年一遇、100年一遇、5年一遇洪水下分别降低0.9 m, 0.9 m, 0.6 m; 卡口河段的桥梁建设宜结合适当的疏浚工程, 以增加行洪河宽及过水面积, 平顺水流, 提升河道行洪能力。

关键词: 河道行洪; 卡口河段; 桥梁建设; 数值模拟

中图分类号: TV131.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0388-04

Influence of Bridge Building on River Flood Control in Narrow Reaches

—A Case Study of Xianyang Reaches in Weihe River

HAN Jianqiao^{1,2}, DUAN Wenzhong³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy Commission, Ministry of Water Resources, Xi'an 710021, China)

Abstract: The bottle-neck reaches is the narrow part of the river. In the bottle-neck reaches, the flood carrying capacity is relatively weak and the bridges built here threaten to the flood control safety. Taking Weihe Bridge of Longhai railway in Xianyang, the influence of bridge building on the flood control safety is studied. The results show that coexistence of 4 bridges leads to the maximum water level increase during the construction period. The project with maximum dredging volume leads to the increase of flow area and the maximum water level decrease. After Project 1, the water level decreases during the 300 year return period, 100 year return period and 5 year return period are 0.9 m, 0.9 m and 0.6 m, respectively. The bridges built in the bottle-neck reaches should combine the dredging projects to increase the flood carrying width and flow area and increase the flood carrying capacity.

Keywords: flood control; narrow reaches; bridge construction; numerical simulation

河流平面形态宽窄相间, 在局部区域由于地质条件或人为活动河宽急剧减小, 壅高上游水位, 成为河道行洪的卡口河段^[1-4]。而该区域由于河宽较窄, 也往往是桥梁修建的重要工程部位, 桥梁建设更加缩窄卡口河段的行洪断面, 威胁河道防洪安全, 需要重点关注其影响^[5-7]。开展涉水工程对河道行洪的影响研究, 一般

采用数学模型与河工模型两类方法, 随着数值模拟技术的不断成熟, 数学模型由于其便利性、经济性被更为广泛的应用^[8-10]。由于卡口河段的特性一般表现为平面上的河宽束窄、断面上的形态窄深, 因此, 能够对河道平面形态准确刻画, 对断面面积精确计算的平面二维数学模型成为卡口河段涉水工程防洪影响评

估的重要工具^[11-12]。本文以渭河咸阳段为例,采用平面二维数学模型,计算了陇海铁路桥改扩建工程不同工程方案在 3 种洪水频率下对河道行洪的影响,以期为卡口河段的桥梁建设提供技术支撑。

1 研究区概况

渭河咸阳段经过咸阳城区,河道防洪安全尤其重要^[13-15],其平面形态复杂,陇海铁路大桥上游咸阳市区现状河道宽 500~700 m,大桥以下河道由 338 m 急剧扩宽至 1 000 m 以上,大桥在渭河中游对河道行洪形成了卡口,100 m 长河段布置 3 座小孔跨大桥,造成桥位河段束流壅水严重,使该河段泄洪受阻,河道比降较缓,平均约 0.65‰(图 1);

既有陇海铁路咸阳渭河桥组位于陇海线黄家寨至咸阳区间、咸阳市区东南部的渭河干流上,从河流上游到下游依次为既有陇海下、上行线及咸黄三线 3 座钢板梁单线大桥,是西安铁路枢纽的重要组成部分。陇海铁路咸阳渭河桥修建年代较早,技术标准较低,建成后改建、加固、大修过多次;既有铁桥长 338.9 m,桥跨布置均为 12×27.1 m,下、上行线桥及咸黄三线桥最低梁底(咸阳侧)标高分别为 387.53 m, 388.02 m, 387.16 m,墩径顺河向尺寸分别为 2.4 m, 2.5 m, 2.0~2.6 m。



图 1 渭河咸阳段示意图

2 研究方法

2.1 平面二维模型的建立与验证

2.1.1 模型的建立 采用基于水深平均的平面二维数学模型来模拟水流运动,在贴体正交曲线网格系统中,水流计算所依据的基本方程如下^[8,20]:

水流连续方程

$$J \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial HU}{\partial \xi} + \frac{\partial HV}{\partial \eta} = 0 \quad (1)$$

ξ 方向动量方程:

$$J \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial MU}{\partial \xi} + \frac{\partial MV}{\partial \eta} = -gHJ \left(\xi_x \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \eta_x \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi} [DJ (q_{11} M_\xi + q_{12} M_\eta)] + \frac{\partial}{\partial \eta} [DJ (q_{12} M_\xi + q_{22} M_\eta)] - \frac{g n^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{4/3}} J \quad (2)$$

η 方向动量方程:

$$J \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial NU}{\partial \xi} + \frac{\partial NV}{\partial \eta} = -gHJ \left(\xi_y \frac{\partial Z}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial Z}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} [DJ (q_{11} N_\xi + q_{12} N_\eta)] + \frac{\partial}{\partial \eta} [DJ (q_{12} N_\xi + q_{22} N_\eta)] - \frac{g n^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{H^{4/3}} J \quad (3)$$

式中: H 为水深(m); u 和 v 为 x 和 y 方向的流速(m/s), $M=uh$, $N=vh$; Z 为水位(m); n 为曼宁糙率系数; D 为紊动粘性系数; U, V 为曲线坐标中流速在 ξ 和 η 方向的分量,即: $U=y_\eta u - x_\eta v = J(\xi_x u + \zeta_x v)$, $V=-y_\xi u + x_\xi v = J(\eta_x u + \eta_y v)$; J 为雅克比数, $J = x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi$; $\xi_x = y_\eta / J$; $\xi_y = -x_\eta / J$; $\eta_x = x_\xi / J$; $\eta_y = y_\xi / J$; $q_{11} = \xi_x^2 + \xi_y^2$; $q_{12} = \xi_x \eta_x + \xi_y \eta_y$; $q_{22} = \eta_x^2 + \eta_y^2$; $M_\xi, M_\eta, N_\xi, N_\eta$ 表示偏导数,如 $M_\xi = \frac{\partial M}{\partial \xi}$ 。

微分方程的数值离散采用有限体积法(控制容积法),同时为避免产生锯齿状流速场和压力场,流速分量 u, v 在交错网格系统的各自控制体中求解,而压强 p 在主控制体中求解。计算程式采用 Pantankar 压力校正法(水深校正,即 SIMPLEC 算法)原理。

2.1.2 模型的率定与验证 对二维数学模型进行率定与验证计算的目的在于检验数学模型与计算方法的可行性,同时率定数学模型中的相关参数,并检验其精度。在本次计算过程中,计算地形采用 2014 年汛后实测地形,根据 2011 年洪痕水位(图 2)对模型参数进行率定,率定的各河段河槽糙率在 0.016 2~0.026 6 之间,滩地糙率为 0.035。

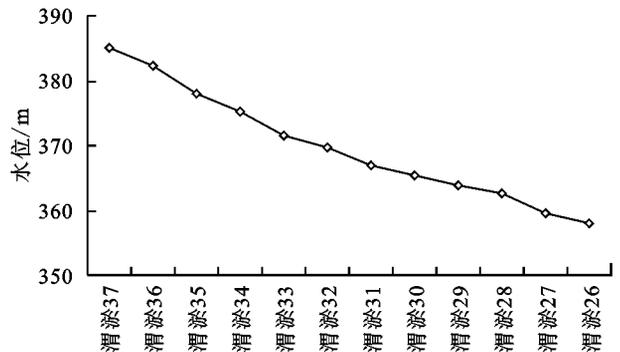


图 2 2011 年各断面洪痕水位

计算成果与已有成果的比较见表 1。由表可知,陇海铁路桥桥位处计算与既有成果的水位基本吻合,其误差不大于 0.10 m(2020 年水平)。而咸阳水文站水位降低 0.74 m,由于咸阳湖修建后该断面在泄洪槽侧拓宽河槽约 100 m,相应水位流量关系在高值

区发生了变化,2015年咸阳站报讯曲线水位流量关系较渭河防洪治理可研和郑西客专咸阳渭河桥洪评沿用渭河中游防洪可研水位流量关系同流量水位降低了0.64 m~0.68 m,因此本次计算成果是符合当前河道变化情况的。

表1 计算水位与既有成果水位的比较(百年一遇洪水)

m				
断面号	位置	已有成果水面线	计算水位	差值
B172	咸阳水文站	388.74	388.00	-0.74
B175	—	386.67	386.36	-0.31
B178	咸阳陇海铁路	385.58	385.49	-0.09

2.2 计算条件

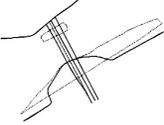
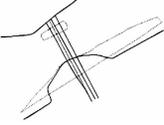
2.2.1 计算洪水频率 本文桥位设计洪水采用临潼站、咸阳站发生同频率洪水计算水面线。水文计算成果见表2。本文选用频率为0.33%(300年一遇),1%(100年一遇),20%(5a一遇)的典型洪水。

表2 桥位断面设计洪水成果 m^3/s

断面名称	流域面积/ km^2	$P/\%$		
		0.33	1	20
咸阳水文站	46827	10810	9170	3890
临潼水文站	97299	17000	14200	6600

2.2.2 计算工况 本文拟定了3种计算工况,其中工况1与工况2仅在疏浚断面形式上有所差别,工况1采用单一断面,而工况2采用复式断面,疏浚量相比工况1也略小。同时计算了在施工过程中的最不利工况,即四桥并存而疏浚工程也未完成时期。

表3 计算工况列表

编号	工程布置简图	工况简介
工况1		修建新桥同时,拆除原有桥梁,将桥位段按单一断面疏浚,疏浚参数:桥位断面375.6 m,按河道自然落降,河岸坡比1:3,左岸以大桥桥位为中心上下游各150 m、宽约37 m范围,右岸以大桥桥位为中心向上游750 m、往下游810 m、宽约40~200 m范围
工况2		在工况1基础上,将桥位断面定为滩槽分开,滩地高程为377.6 m,其他疏浚参数、比降、岸坡比均与设计工况1一致
最不利工况		为工况1,2实施过程中的最不利情况,即四桥并存工况

3 结果与分析

3.1 桥位处水力要素变化

图3为不同工况下桥位断面的过水面积、水面宽、断面平均流速等水力要素变化图,由图分析可知,在最不利工况下,新建桥梁产生一定的阻水作用,过水面积、水面宽度减小,断面平均流速增加,且流量越大,工程影

响越大,在各水流条件下,侵占断面最大过水面积百分比为11.62%;工况1条件下,修建桥梁及疏浚左右侧滩地后,过水面积、水面宽度增大,断面平均流速大幅减小,在100年一遇洪水下,桥位过水面积增大百分比最大,为69.58%,100年一遇洪水的河宽增大了143 m;工况2条件下,由于疏浚量比工况1小,过水面积、水面宽的增幅、平均流速的减幅相对较小。

综上,从桥位处的水力要素变化来看,卡口河段新建桥梁会威胁河道防洪安全,而配合卡口疏浚工程后各项水力要素都有利于减轻防洪压力。

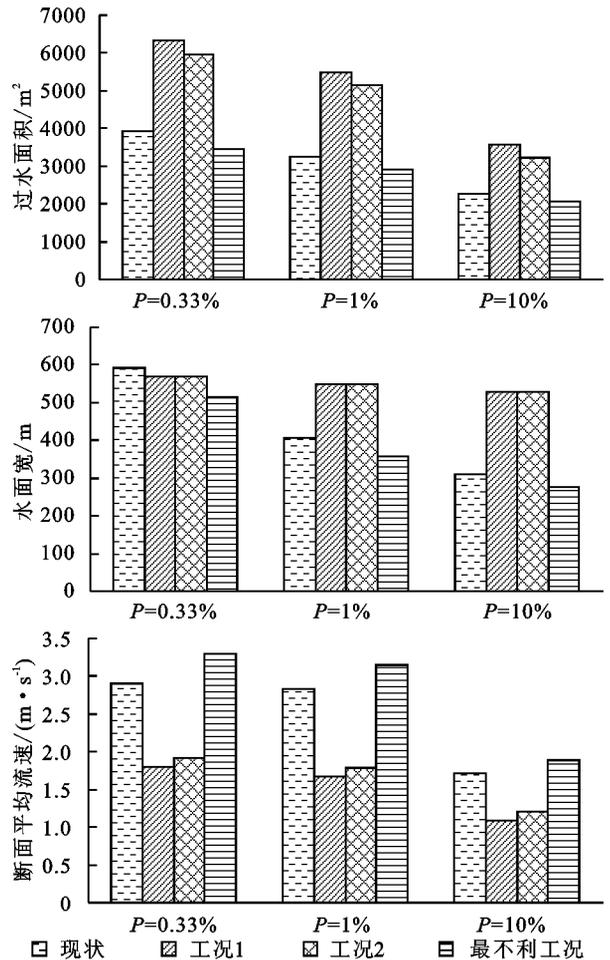


图3 不同工况下桥位水力要素变化图

3.2 水位变化

图4为不同工况下桥位水位变化图,表4为不同工况下水位变化范围统计表,综合分析可知,在最不利工况下,工程修建引起的桥位处水位最大壅高值在300年一遇流量下为0.3 m,水位为386.97 m,100年一遇洪水下为0.25 m,水位为385.71 m,最大壅高值在5a一遇流量下为0.2 m,水位为382.79 m,3个洪水频率下上游水位增大值大于0.1 m的范围分别在桥位上游540 m,450 m,35 m;工况1下,工程修建引起的工程附近水位降低值在100年一遇流量下为1.25 m,水位为384.21 m,

300 年一遇洪水下也为 1.25 m, 水位为 385.06 m, 最大降低值在 5 a 一遇流量下为 1.10 m, 水位为 381.49 m, 影响范围以 100 年一遇洪水位最大, 水位降低值大于 1.0 m 范围在桥位上游 200~2 200 m; 工况 2 下水位变化趋势与工况 1 相同, 但幅度均有所降低。

综上, 从不同工况下桥位水位变化及其范围来看, 卡口河段新建桥梁会继续增加该区域的壅水作用, 壅水范围可达 500 m 以上, 配合疏浚工程后, 河道水位下降, 且疏浚强度越大, 水位下降幅度越大, 有利于河道的防洪安全。

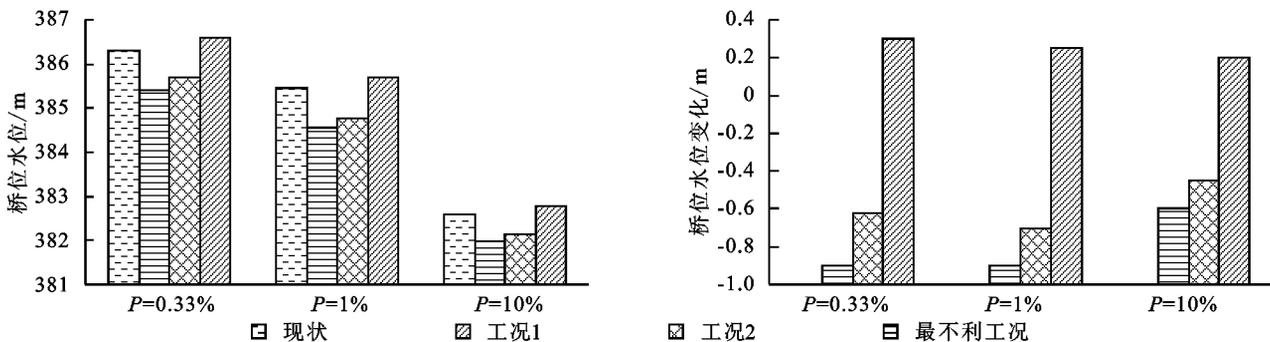


图 4 不同工况下桥位水位变化图

表 4 水位变化范围

水位变化范围	频率	$P=0.33\%$	$P=1\%$	$P=20\%$
桥位上游水位增大值大于 0.1 m 范围/m	最不利工况	540	450	35
桥位上游水位降低值大于 1.0 m 范围/m	工况 1	280~1600	200~2200	疏浚区域附近
	工况 2	500~1400	284~1600	疏浚区域附近

4 结论

(1) 卡口河段新建桥梁会壅高河道水位, 威胁防洪安全, 在最不利工况下, 四桥并存引起桥位处水位最大壅高值为 0.2~0.3 m。

(2) 工况 1 条件下的过水面积大于设计工况 2 约 370 m², 桥位水位降低幅度也相对较大, 300 年一遇、100 年一遇、5 a 一遇洪水的桥位水位分别降低 0.9 m, 0.9 m, 0.6 m, 其原因在于设计工况 1 的疏浚量大于设计工况 2。

(3) 卡口河段的桥梁建设宜结合适当的疏浚工程, 以增加行洪河宽及过水面积, 提升河道行洪能力。

参考文献:

[1] 邓明文, 董玉文, 胡江, 等. 卡口河道河床演变规律初探: 以澜沧江曼厅河段为例[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2004, 23(1): 100-102.

[2] 李义天, 葛华, 孙昭华. 葛洲坝下游局部卡口对宜昌枯水水位影响的初步分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2007, 15(4): 435-444.

[3] Habersack H, Haspel D, Schober B. Morphological characterization and fluvial processes of large rivers at different time scales[J]. Geomorphology, 2014, 215: 1-2.

[4] 赵文林, 茹玉英. 渭河下游河道输沙特性与形成窄深河槽的原因[J]. 人民黄河, 1994, 17(3): 1-4.

[5] 翟家瑞. 黄河上桥梁建设防洪方面的几个主要技术问题[J]. 人民黄河, 2006, 28(10): 1-2.

[6] 马进荣, 李宗骏. 铁路跨河桥梁工程防洪评价常见问题探讨[J]. 水利水运工程学报, 2015(6): 76-81.

[7] 谭英, 胡宇丰, 黄国如. 广州南沙凤凰一桥建设对河道防洪影响分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11): 47-50.

[8] 孙东坡, 彭文启. 河流交叉工程平面二维水沙数值模拟[J]. 水利学报, 1999(2): 62-66.

[9] Hashemi H, Bazargan J, Mousavi S M, et al. An extended compromise ratio model with an application to reservoir flood control operation under an interval-valued intuitionistic fuzzy environment[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(14): 3495-3511.

[10] 陆永军, 徐成伟, 左利钦, 等. 长江中游卵石夹沙河段二维水沙数学模型[J]. 水力发电学报, 2008, 27(4): 36-43.

[11] 刘薇, 彭新德, 张小兵. 一、二维耦合水流数值模拟在防洪评价中的应用[J]. 中国水运: 下半月, 2010, 10(6): 112-113.

[12] 张小峰, 陈珺, 谈广鸣, 等. 修建辛安渡大桥对河道防洪影响的数值模拟[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2007, 40(6): 11-15.

[13] 贺莉, 闫云霞, 颜明, 等. 渭河下游河道的冲淤平滩流量特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 103-107.

[14] 刘涛. 渭河下游高水位洪水机理分析[J]. 陕西水利, 2014(3): 113-115.

[15] 林秀芝, 侯素珍, 王平, 等. 渭河下游近期水沙变化及其对河道冲淤影响[J]. 泥沙研究, 2014(1): 33-38.

[16] 谢勇, 袁鹏, 王巧霞. 平面二维数学模型在桥梁工程防洪评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2011, 29(4): 60-62.