

城区涉河工程协同建设对河道行洪影响研究

郑太文,董美君,余欢,李福霜,王治钧

(中机中联工程有限公司,重庆市 400039)

摘要: 为研究城区开发中涉河工程修建对上游河道行洪功能的影响,采用HEC-RAS模型模拟某城区整治河道下游修建水库前后及市政桥梁建设前后河段水力要素,分析不同重现期下建桥断面的水力要素变化规律。结果表明:水库建设后,对库区建桥断面的水位流速影响较大,库区水位雍高流速降低,但对库区末端上游河道断面几乎无影响。相对于未建库的原河道,由于水库建设后库区水力要素稳定,由建设桥梁引起的水位、流速及阻水比变化更小。对城市开发区水库与及市政桥梁协同建设的洪水影响进行分析,提出城市大规模开发区涉河洪水影响评价建议,以研究规律及为类似项目防洪综合评价提供参考。

关键词: 城市开发区;涉河工程;协同建设;防洪评价

中图分类号: TV877

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0264-06

Research on Impact of Coordinated Construction of River-related Engineering on River Flood Discharge in Urban Areas

ZHENG Taiwen, DONG Meijun, YU Huan, LI Fushuang, WANG Zhijun

(CMCU Engineering Co., Ltd., Chongqing 400039, China)

Abstract: In order to study the impact of river-related engineering construction on the flood discharge capacity of upstream river channels during urban development, the HEC-RAS model is used to simulate the hydraulic elements of the river section in an urban area before and after the construction of a reservoir in the lower reaches of the river and before and after the construction of municipal bridges. The variations in hydraulic elements at the bridge cross-section under different return periods are analyzed. The results indicate that after the reservoir construction, the water level and flow velocity at the bridge cross-section within the reservoir area are significantly affected, and the water level in the reservoir area has risen sharply and the flow rate has decreased. However, there is almost no impact on the upstream section of the river at the end of the reservoir area. Compared with the original river channel without the reservoir, the hydraulic elements in the reservoir area become more stable after the reservoir construction, and the changes in water level, flow velocity and water-blocking ratio caused by bridge construction are smaller. The flood impact of coordinated construction of reservoirs and municipal bridges in urban development areas is analyzed. The suggestions for the impact assessment of floods related to rivers in large-scale urban development areas are proposed, which provide a reference for flood control comprehensive evaluations in similar projects.

Keywords: urban development area; river-related engineering; coordinated construction; flood control evaluation

0 引言

随着城市化进程的加速,城市开发区建设如火如荼,水库、桥梁等涉河项目作为重要的基础设施,其建设规模和数量与日俱增^[1]。然而,涉河项目建设往往会对河道行洪造成不同程度的影响。传统的单一项目建设模式缺乏对河道整体影响的考虑,容

易导致累积性、叠加性影响,加剧对河道行洪能力的破坏^[2]。

城区水库的建设对优化水资源配置、提升城市防洪能力以及改善城市生态环境方面具有重要意义^[3],市政桥梁作为城市交通网络的关键节点,对城市交通顺畅和区域经济发展同样至关重要^[4-5],统筹考虑水库、桥梁等涉河项目之间对河道行洪能力的相互影响,从而实现项目建设高效评价。

本研究探讨城市开发区水库、桥梁等涉河项目协同建设对河道的影响,分析对河道水力要素变化规律,评估工程对河道行洪能力影响作用^[6],旨在为

收稿日期: 2025-04-23

作者简介: 郑太文(1985—),男,学士,高级工程师,从事水利水电设计工作。

通信作者: 董美君(1999—),女,硕士,从事水力学及河流动力学研究工作。电子信箱: 2408130189@qq.com

城区开发区例如水库与市政桥梁工程等多个涉河项目的协同规划、设计与运行管理提供科学依据与技术支持。

1 工程实例

1.1 区域自然条件

研究区坐落于四川盆地东南部嘉陵江与长江之间,属四川盆地亚热带湿润季风气候区,具有四季分明,气候温和,降雨丰沛等特征。流域洪水特性与暴雨一致且全由暴雨产生,多出现于每年的5~9月,具有陡涨陡落的特点,形成洪峰时间短,峰型尖瘦。研究区系长江水系,属长江左岸3级支流,发源地海拔372 m,自西向东流汇入下级河流,全流域集水面积为17.9 km²,主河道长9.03 km,河道比降4.28‰。研究区水库坝址距离本河道与下级水系汇合口约0.88 km。水库坝址以上集雨面积17.3 km²,河道长度8.57 km,河道平均比降4.70‰。

1.2 工程概况

研究区位于重庆市科学城,根据片区相关规划,研究范围内开发区将实施区域交通畅通工程、环境品质提升工程、公共服务配套设施完善工程等多个子项,包括城市水库公园修建、河道治理、市政道路基础设施完善等,其中涉河建设内容包含堤防护岸、市政交通及景观桥梁等。根据开发建设时序,首先

开展区域环境品质提升工程,全面进行河道整治,河道防洪标准提升至50 a一遇,工程实施后河道分为库区段和上游段两段,整治后上游河道比降为4‰,断面形式由天然河道变为规则的混凝土镇脚挡墙+鱼槽石挡墙生态堤;下游库区河道为平底坡度为0‰,断面形式为C25混凝土贴坡式挡墙、镇脚、斜坡护岸等结构。研究区桥梁位于上游河道段及库区段的河道内,位置见图1。桥下断面均为经过整治的规则梯形复式断面,4座桥梁的堤防结构形式见表1,断面形态见图2。

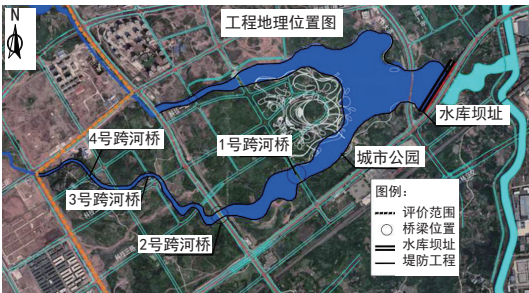


图1 工程地理位置图

表1 桥梁所在断面堤防形式

序号	桥梁	堤顶高程/m	堤防结构型式
1	1号跨河桥	277.6	斜坡+道路护岸
2	2号跨河桥	277.62	斜坡+道路护岸
3	3号跨河桥	279.34	C25埋石混凝土镇脚+鱼槽石生态挡墙护岸
4	4号跨河桥	281.08	C25埋石混凝土镇脚+鱼槽石生态挡墙护岸

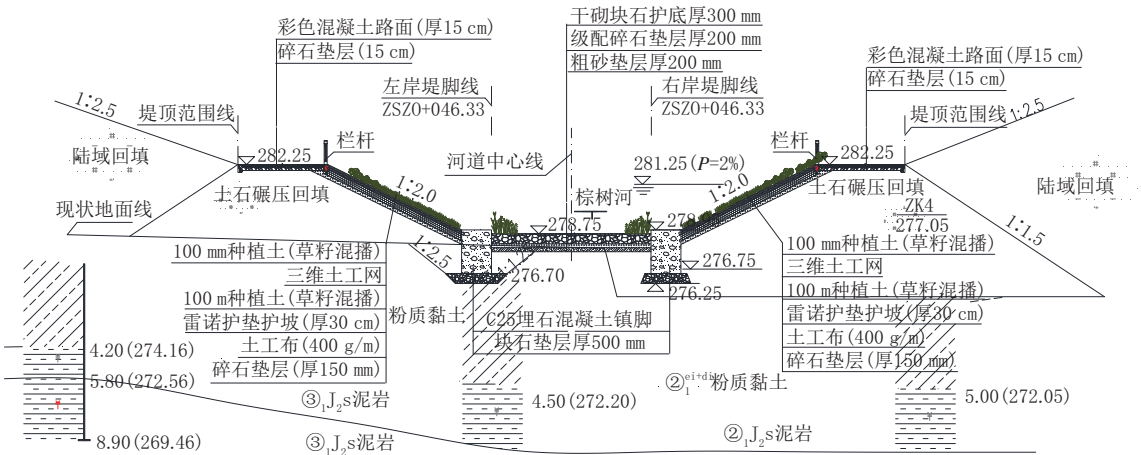


图2 河道断面结构示意图

2 基础数据及研究方法

2.1 基础数据

(1)桥梁结构

桥梁参数由设计单位提供,均采用预应力现浇混凝土连续箱梁,箱梁采用单箱双室截面,根据《公路工程技术标准》(JTG B—2014)6.0.5条以及《公路

桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)确定公路桥梁分类等级,具体参数及分类见表2。

(2)设计洪水

研究区域所在区县气象站于1959年设立,观测场25 m×25 m,海拔高度331.5 m,该站资料精度可靠,本次收集到气象站1980—2019年共40 a最大1/6 h、1 h、6 h及1959—2019年共61 a最大24 h实测暴

表2 桥梁结构参数

桥梁	桥长/m	跨径/m	涉水桥墩数/个
1号跨河桥	210	5×40	4
2号跨河桥	136	4×30	3
3号跨河桥	52	2×21	1
4号跨河桥	110	40+30+40	1

雨资料,用P-Ⅲ型曲线适线推求暴雨参数。结合本工程实际,本次设计还采用了1984年四川省水电厅出版的《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》(以下称《手册》)中最大1/6、1、6、24 h暴雨均值及变系数等值线图的查值成果。由《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》中查得研究区暴雨时面深关系属于Ⅳ₁(江北以上)区,采用《手册》中设计雨型逐时分配比值表中为Ⅳ₁(江北以上)区雨型分配模型。分别采用推理公式法和瞬时单位线法计算的设计洪水^[7],经比较分析后采用区域内气象站资料用瞬时单位线推求的设计洪水作为计算依据。特征断面位置见图3。洪水计算成果见表3。

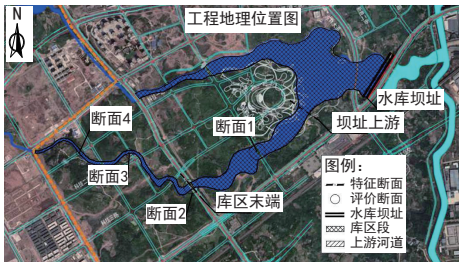


图3 特征断面位置图

表3 洪水计算成果

断面	各频率设计值/(m ³ ·s ⁻¹)				
	P=1%	P=2%	P=5%	P=10%	P=20%
坝址	211.0	183.0	144.0	117.0	87.6
坝址上游	132.0	114.0	89.8	72.8	54.5
库区末端	112.0	96.8	78.6	64.6	50.0

2.2 研究方法

(1)数值模型

工程河段洪水水面线分析采用HEC-RAS(hydrologic engineering center's river analysis system)一维河流数学模型计算^[8-9],分析涉河桥梁建设前后的水位、过水面积、河宽、平均流速等在各断面的变化情况。本工程主要计算明渠恒定非均匀流水面线,纵断面用能量方程计算,见式(1),横断面用曼宁公式求解,见式(2)、式(3)。

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \tag{1}$$

$$Q = KS_f^{1/2} \tag{2}$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \tag{3}$$

式中: Z_2 、 Z_1 分别为上、下游断面河底高程,m; Y_2 、 Y_1 为上、下游断面水深,m; V_2 、 V_1 为、下游断面平均流速,m/s; α_2 、 α_1 为动能校正系数; g 为重力加速度,m/s²; h_e 为能量水头损失,m。 K 为输水能力,m³/s; n 为曼宁系数,s/m^{1/3}; A 为过水面积,m²; R 为断面水力半径,m。

当水面从急流-缓流,以及缓流-急流的情况下,即在急变流的情况下,能量方程不再适用。为了研究这些复杂的水力问题,采用动量方程式来解决上述突变情况。应用牛顿第二运动定理(Newton's second law of motion)的动量方程式表示见式(4)、式(5)。

$$\sum F_x = ma \tag{4}$$

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \tag{5}$$

式中: P 为作用在该控制体积上的压力,N; W_x 为 x 方向的质量力,N; F_f 为流体流动所产生反方向的摩擦力,N; ρ 为流体的密度,kg/m³; ΔV_x 为 x 方向上的两断面流速差,m/s。

(2)边界条件

为研究有无挡水建筑物下河道上建桥阻水情况,将研究区分为两个部分进行研究,分别为库区与上游河道,在库区坝址处设置计算边界,边界条件为自由过流和有挡水建筑物,分别在模型中设置为水位流量关系和水深控制。

2.3 模型设置

本次研究首先对水库大坝建设对河道过流条件的影响进行模拟,而后计算不同下游边界下桥梁建设的阻水作用。设置5、10、20、50、100 a五种重现期,有无挡水建筑物两种下游边界条件,进行共10组正交实验,用HEC-RAS一维模型计算。具体工况设置见表4。

表4 模型设置

影响因素	洪水工况	涉河建设内容	
变量	5、10、20、50、100 a	水库	市政交通桥

3 结果分析

3.1 水库建设洪水影响分析

3.1.1 河道水面线分析

根据一维河道数值模型,考虑下游有无挡水建筑物时河道在不同洪水工况下壅水高度和壅水范围^[10]。图4为100 a一遇洪水发生时,有挡水建筑物和无挡水建筑物两种边界条件下河道水面线。

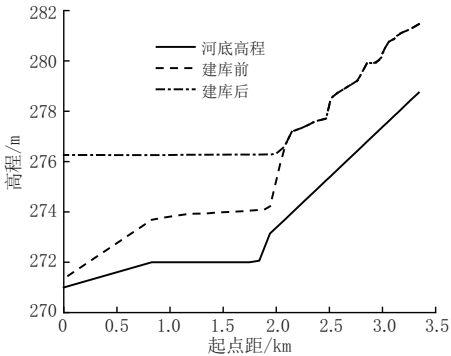


图4 建库前后河道 100 a 一遇洪水水面线

图4中,起点距为0的断面为水库大坝断面,库区末端距离水库断面 1.93 km,0~1.93 km 范围为库区,1.93~3.42 km 为库区上游河道。可见水库修建前水位在库区河道末端突然降低,原因为河道高程降低产生跌水,从而导致水位突降。挡水建筑物水库大坝修建后,库区水位主要受到水库调蓄影响,可以保持在一个相对稳定的状态,且主要影响范围在库区内,库区外河道受挡水建筑物影响较小。

3.1.2 过水断面面积变化

水库建设后将改变一定范围内的河道水位^[11],同时改变过水断面面积。图5是断面1~4在下游大坝挡水建筑物修建前后 5~100 a 不同重现期的过水断面面积。

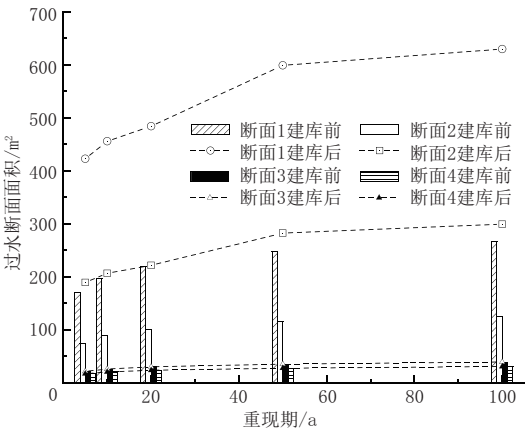


图5 建库前后过水断面面积

由图5可见,下游1、2号断面较宽,3、4号断面过水断面较小。无挡水建筑物时,随着洪水重现期增大,1号断面过水断面面积为 170.57~267.37 m²,2号断面过水面积从 75.09 m²增至 125.80 m²,3号断面过水面积从 21.95 m²变为 39.67 m²,4号断面过水面积为 17.37~31.16 m²。

在下游修建挡水建筑物后,对库区范围内的河道水流情况影响较大,1、2断面在大坝修建后库区内水位升高,过水断面面积相对于建坝前均有大幅度

增加,不同重现期下,1号断面过水面积增至 422.91~629.69 m²,增幅为 1.20~1.48 倍;2号断面过水面积增至 189.74~299.43 m²,增幅为 1.20~1.53 倍。下游修建挡水建筑物后,对库区上游河道影响较小,河道3、4断面的过水面积均无明显变化。

3.1.3 流速变化分析

水库修建将改变天然河道的水流状态,从而对一定范围内的水流流速产生影响。图6是 5~100 a 重现期下 1~4 断面在建库前后的断面平均流速。

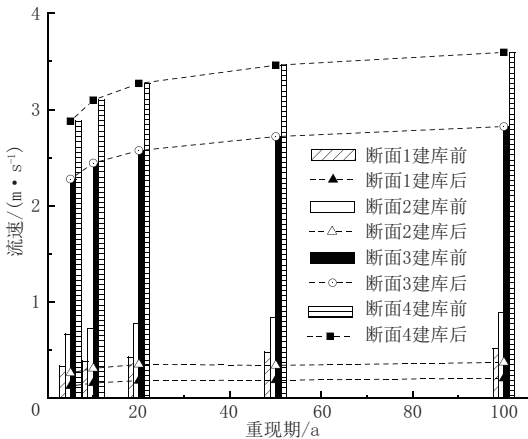


图6 建库前后断面平均流速

由图6可见,同一边界条件下,库区1、2号断面流速较小,3、4号断面流速较大。下游是否存在挡水建筑物对库区范围内的流速变化相对较大,而对库区上游河道内的流速影响较小。下游无挡水建筑物时,5~100 a 重现期下1、2号断面流速较小,流速区间分别为 0.32~0.49 m/s、0.67~0.89 m/s;3、4断面流速较大,流速区间为 2.28~2.82 m/s、2.88~3.59 m/s。下游有挡水建筑物时,相对于建坝前,1、2断面流速均降低,100 a 一遇洪水下流速分别降至 0.21 m/s 和 0.37 m/s,不同重现期下流速降幅度均大于 50%,3、4断面流速无明显变化。随着重现期的增加,库区1、2断面的流速先增加后趋于稳定,重现期较大时流速随重现期变化越不明显;3、4断面流速一直处于增加状态,但增幅降低。

3.2 桥梁建设洪水影响分析

3.2.1 河道雍水分析

桥梁工程建设后会导致工程断面上游产生水位雍高的现象^[12-13],上游产生壅水的最高水位与天然河道情况下正常水位的差值为壅水高度,图7为 100 a 一遇洪水时,市政交通桥梁在下游无挡水建筑物和有挡水建筑物条件修建后河道水位对比。

工程桥梁分别位于断面1~4,断面1、2位于下游库区内,断面3、4位于上游河道。由上图可见,1号

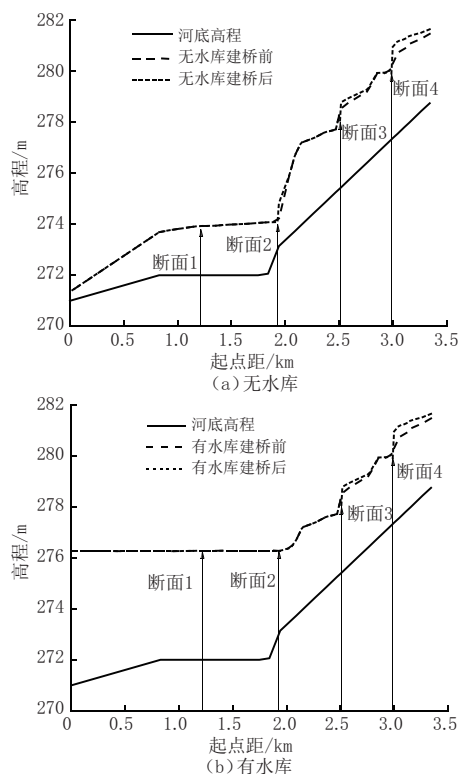


图7 建桥前后河道水面线

桥梁修建后,无论下游有无挡水建筑物,水位变化均较小,建库前5~100 a洪水条件下水位变化均小于0.01 m,建库后水位变幅几乎为0。2号桥梁修建后,在下游无挡水建筑物时,桥后水位有小幅雍高,5~100 a重现期下水位雍高值分别为0.024、0.032、0.035、0.041、0.046 m;在下游有挡水建筑物时,桥梁断面附近水位无明显变化,100 a一遇洪水下水位变幅仅0.005 m。3、4号桥梁修建后,无论是否下游有挡水建筑物,桥后水位都有一定程度雍高,且下游边界条件对水位雍高无明显影响,仅与洪水重现期有关,在5~100 a五个不同重现期下,3号断面建桥后水位雍高值为0.24~0.40 m,4号断面水位雍高0.19~0.21 m。

分析原因可能为1号断面较宽,过水面积大,建桥后桥墩阻水面积相对于过水断面自身较小,所以水位变化微小;2号断面位于水库上游末端,在无挡水建筑物时相对于1号断面过水断面面积减小,有桥墩阻水时水位变化较为明显,但大坝修建水库蓄水后,断面水位主要受水库调节影响,由桥梁修建而产生的水位变化较小,因此水面线几乎无变化。3、4号断面由于位于库区上游河道,断面较窄桥墩阻水作用影响大,但是距离下游挡水建筑物较远,且河底高程较高,因此雍水程度几乎不受到其影响。

3.2.2 桥下阻水作用

桥梁工程建设后,某一洪水位下工程占据的有

效过水面积与工程前相应水位的全断面有效过水面积之比称为阻水比,也称面积缩窄率。面积缩窄率是体现跨河及临河工程影响河道行洪能力的主要参数,在工程区段水流条件相同的情况下,过水面积缩窄率越大,一般对河道行洪的影响就越大^[14-15]。图8为5~100 a重现期下1~4号跨河桥修建在有水库和无水库的河道内时的建桥断面缩窄率。

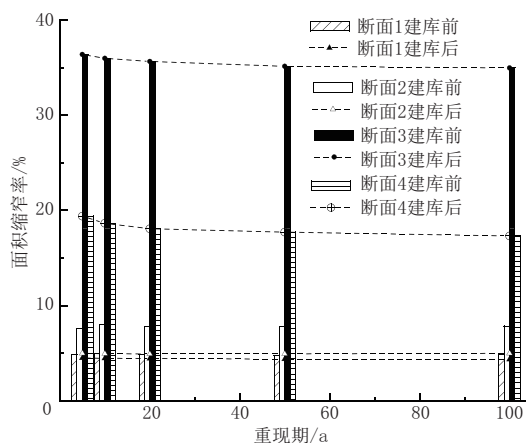


图8 建桥前后断面面积缩窄率

由图8可见,同一桥梁建设后,断面缩窄率与下游水力条件相关。位于库区的1、2号断面由于建桥引起的缩窄率相对较小,但与下游挡水建筑物关系较大,水库大坝建设前在河道内建桥引起的断面缩窄效果更明显,但建设大坝后,建桥对过水断面的影响相对更小。5~100 a不同洪水重现期下,下游无挡水建筑物时,建设桥梁导致断面1缩窄率在4.93%~4.78%范围内,2号断面缩窄率为7.99%~7.59%;有挡水建筑物时候,1号断面建桥后缩窄率分别为4.48%、4.46%、4.44%、4.37%、4.35%,2号桥梁断面缩窄率分别为4.98%、4.94%、4.91%、4.92%、4.98%。可见1号断面由于原过水断面面积较大,建桥导致的阻水作用相对较小,2号断面缩窄率在下游有挡水建筑物时有明显降低。分析原因为挡水建筑物建设前河道下游自由过流,没有水库蓄水作用时水位远低于建坝后的库区水位,因而无坝时断面水位低,未到加宽的复式断面处,建桥后桥墩阻水,水位变化比建库后明显,因此断面缩窄率也较大。

位于库区上游河道内的3、4号桥梁建设后过水断面缩窄率与库区下游是否有挡水建筑物无明显关系,与洪水重现期有关,重现期越大,建桥引起的断面缩窄率越小。5~100 a重现期下,3号断面建桥后桥墩阻水比为36.38%、35.97%、35.65%、35.13%、34.97%,4号断面建桥后桥墩阻水比为19.39%、18.64%、18.07%、17.71%、17.3%。因可能为设计洪水

重现期较大时,虽然建桥引起的过水断面变化更明显,但是为建桥的天然河道水位较高,过水断面面积较大,因此相对于断面缩窄率却越小。

3.2.3 流速变化分析

从各拟建桥梁工程河段各断面的工程前后流速值来看,除桥墩周围外,流速无明显变化,建桥对工程河段流速的影响仅限于局部区域^[16]。桥墩对流速的影响一般表现为:桥墩占据了河道过水面积,使桥墩及其下游区域水流流速增加;桥墩上游区域由于水位壅高,过水面积增大而水流流速减小。图 9 为 5~100 a 重现期下 1~4 号跨河桥在建库前后的桥下断面流速变化。

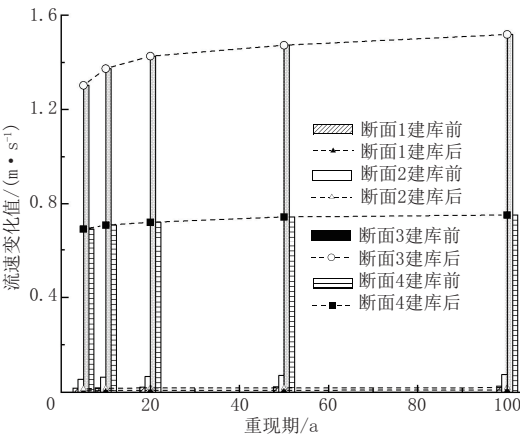


图 9 建桥前后河道流速变化

桥梁建设后,来流条件不变时由于桥墩阻水流速会相应增加。由图 9 可见同一桥梁建设后,流速变化与下游边界条件相关。挡水大坝修建前,位于库区的 1、2 号断面流速在建桥后均有增加,但是增加幅度较小,5~100 a 重现期下 1 号断面流速增幅在 0.01~0.02 m/s 之间,2 号断面流速变幅在 0.05~0.08 m/s 之间;位于库区上游河道内的 3、4 断面在建桥后流速变化较为明显,5~100 a 重现期下 3 号桥梁修建后断面流速增加 1.30~1.52 m/s,4 号桥梁修建后断面流速增加 0.69~0.75 m/s。下游挡水建筑物修建后再修建桥梁,此时库区断面流速变化更加微小,增幅均只在 0.02 m/s 以下,上游河道中的流速变幅近乎与下游挡水边界条件无关,变化情况与无挡水大坝时候相同。

分析原因为挡水建筑物建设前河道下游自由过流,没有水库蓄水作用,因此流速略大于建库后,挡水建筑物修建后,库区内几乎处于静止状态,库区建桥后水位比建库前高,过水断面面积大,因此水流速度变化更小。位于库区上游河道内的 3、4 号桥梁建设后断面流速变化与库区下游是否有挡水建筑物无

明显关系,仅与洪水重现期有关,重现期越大,建桥引起的流速变化越大,原因可能为设计洪水重现期较大时,洪水流量较大,但断面较窄过水断面面积变化相对较小因此流速变化明显。

4 结 语

本文用 HEC-RAS 模型模拟修建水库和修建市政桥梁对水流状态的影响,分析水库单独修建和与桥梁共同建设对河道行洪的影响,主要得出以下结论。

(1)修建水库后,对影响范围内的天然河道的水力要素有显著变化,主要体现为雍高库区水位,同一重现期设计洪水下过水断面面积增大,流速降低,水流更加平稳;库区末端的上游河道水力要素几乎不受水库修建的影响。

(2)挡水建筑物的存在对 1、2 号桥梁的水位、过水断面面积和流速影响较为明显,相对于无水库,建设水库后 2 号桥梁的水位变化显著,但 1 号桥断面水位变化不明显,且水库建设会减小断面缩窄率和流速变化。3 号和 4 号桥梁的水力变化主要受桥梁建设本身的影响,与下游挡水建筑物关系不大,断面缩窄率和流速也主要受洪水重现期的影响,重现期越大,断面缩窄率越小、流速变化越大。

(3)城市开发区内同时修建水库、堤防和市政交通桥梁,涉及到多个涉河建设内容,均需进行防洪评价分析工程建设前后的水力要素变化。建议类似项目开展工程建设协同防洪评价,既可综合考虑多个工程间的相互影响作用,也可增加防洪评价效率。

参考文献:

[1] 文晔.快速城镇化地区时空格局演变及生态风险研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2025.

[2] 穆恩良,隋奇华,刘莎.水库建设工程社会稳定风险评价[J].水利技术监督,2025(2):87-89.

[3] 刘嘉夫,齐昕.棕耙水库对永川城区洪水影响及对策[J].工程建设与设计,2013(8):125-126.

[4] 赵志才,何玉,马向东.旁多、直孔水库对拉萨中心城区防洪作用分析[J].水利水电工程设计,2022,41(1):11-14.

[5] 郑超.跨河桥梁对河道防洪的影响研究[D].合肥:安徽理工大学,2022.

[6] 张细兵,卢金友,蔺秋生.涉河项目防洪安全评价指标体系初步研究[J].人民长江,2011,42(7):63-66;76.

[7] 孔赞.三家河流域治理河段设计洪水不同计算方法探析[J/OL].水资源开发与管理,2025(4):1-6.

[8] 李鲤.HEC-RAS 模型在河流洪水推求中的应用[J].水与水技术,2023(7):34-37.

[9] Zahran S, Gooda EA, Abdelmeged N. Modeling Al-Qaraqoul canal