

铁路斜交桥对河道行洪的影响及对策

张 林¹, 程 琳², 孙东坡¹, 张先起¹

(1. 华北水利水电学院, 河南 郑州 450011; 2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 一些桥梁受地形和线路的制约, 桥位不得不采取与河渠斜交的穿越方式, 造成桥墩较大的阻水作用. 采用经验公式计算与数值模拟两种方法对某铁路斜交桥的行洪影响进行分析, 研究了不同洪水条件下的壅水高度与范围、桥梁一般冲刷与局部冲刷深度、桥梁对行洪断面的阻水比. 研究表明: 桥梁设计基本满足要求, 建桥后河势变化不大, 但行洪断面的阻水比偏大. 拟建桥采用与既有桥对孔布置, 可以减小双桥对行洪的阻滞影响. 提出了疏浚开挖边滩来补偿工程占用河槽行洪面积, 经计算分析该方案, 可以有效减小阻水比与壅水高度, 减轻工程局部冲刷, 有利于区域行洪安全.

关 键 词: 斜交桥梁; 阻水比; 壅水; 局部冲刷; 流态; 疏浚

中图分类号: TV131.4; U24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2012)01-0036-07

近年来, 我国铁路建设进入了快速发展阶段, 许多铁路桥受地形、水文和线路等条件的制约, 不得不采取与河渠斜交的穿越方式. 一般桥梁墩台阻水都会使桥墩之间有效过水面积减小, 桥下单宽流量增加, 桥位上游水面升高形成桥前壅水. 斜交桥桥墩的阻水作用更大, 涉及因素更加复杂, 桥墩墩形、布置形式、斜交角度以及水流、河床边界条件都对桥梁壅水有影响. 前人在桥梁壅水的研究中总结出一些经验公式, 但用于斜交桥壅水计算时精度不高, 计算值与实测值存在偏差. 曹瑞章等^[1]通过水工模型试验及收集野外观测资料, 分析了斜交桥桥前壅水和墩前冲高的特点. 王仁宽^[2]、刘有录^[3]针对山区斜交桥桥下过水面积、水位、壅高、墩前冲高和冲刷等问题, 提出了自己的研究成果与计算方法, 并提出了新的桥孔设计原则. 孙东坡等^[4]研究了斜交桥的壅水特征及墩台绕流水动力特性, 提出了与斜交角有关的阻水宽度折算系数. 华维娜等^[5]通过物理模型试验与数值模拟方法, 分析了斜交桥上游桥墩产生的干扰水流对下游桥墩墩前冲高的影响.

综上所述, 目前国内涉及斜交桥对河道水流内部结构影响的研究成果相对较少, 还没有很好的壅水计算公式, 因此, 在进行斜交桥设计时, 需要认真评估斜交桥对行洪的影响, 确定壅水还要依赖数值模拟计算或物理模型试验, 才能提出满足安全行洪要求的优化设计方案.

1 河道及拟建大桥工程概况

拟建大桥所在河流为广西郁江支流, 该河道弯曲, 宽约 50 ~ 80 m, 纵坡 1.0‰ ~ 1.2‰, 两岸滩地土质为沙质黏土, 河岸稳定, 为单一河床. 拟建桥位所在河段为过渡型河段, 河床陡峻, 水流湍急, 桥址上游 31.3 km 处有一水库, 下游 51.8 km 处郁江干流有一枢纽工程(见图 1). 桥位上游右岸约 0.9 km 处有一支流汇入, 左岸 1.8 和 2.1 km 处也各有一条支流汇入.

拟建大桥在既有大桥下游 14.2 m 处跨越河流, 设计桥长 211.91 m, 共布置 5 跨, 桥轴线法线方向与水流交角为 50°, 属典型的斜交桥. 拟建大桥工程位置见图 1. 拟建大桥桥梁结构与既有桥相同, 两桥轴线平行,

收稿日期: 2011-06-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51079055); 水利公益性行业科研专项(200901018)

作者简介: 张 林(1986-), 女, 陕西绥德人, 硕士研究生, 主要从事水力学及河流动力学研究.

E-mail: zlin86@126.com

拟建大桥桥墩与既有大桥桥墩顺河流走向对孔布置,既有大桥桥墩为圆柱桥墩,主跨两桥墩直径为 3.6 m,其他桥墩直径为 2.2 m. 两桥具体位置关系见图 2.

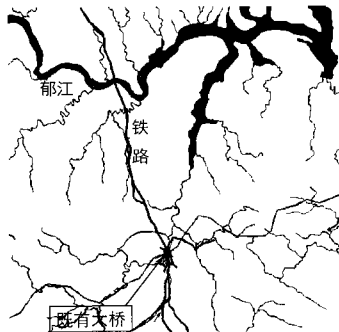


图 1 河道平面示意
Fig. 1 Plane layout of the river channel

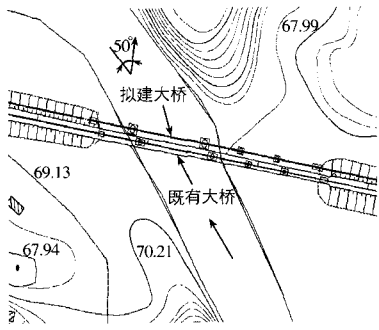


图 2 拟建大桥平面布置
Fig. 2 Layout of the proposed bridge

2 斜交桥对洪水的壅水影响

2.1 斜交桥对过水面积的影响

通常用桥梁的阻水比来衡量桥梁对河道过流能力的影响,而在选定过流断面条件下,阻水比又通过阻水宽度来反映. 当桥墩与水流斜交且桥墩为圆端形(见图 3),一般桥墩阻水宽度为:

$$B = b/\cos\theta + (a - b)\tan\theta \quad (1)$$

式中: B 为桥墩阻水宽度(m); a 为桥轴线法线方向的桥墩宽度(m); b 为桥轴线方向的桥墩宽度(m); θ 为桥梁轴线的法线与水流方向间夹角($^\circ$), $\theta > 25^\circ$ 时,还需要采用比尺模型试验进行修正,在桥墩形式确定情况下,随 θ 值的增大,阻水宽度 B 增大,阻水面积增大^[6].

拟建大桥工程占用河道主要是跨河大桥桥墩,共有 6 个桥墩,其中布置于河道上有 4 个,其余 2 个布置在河道两岸. 不同频率洪水时,应用式(1)近似计算阻水宽度 B ,通过孙东坡等^[4]根据比尺模型试验提出的桥墩阻水宽度折算系数 ζ (ζ 应用范围: $15^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, 本文所涉斜交桥斜交角度为 50° ,与 ζ 应用范围基本吻合)对阻水宽度进行折算修正,得到折算阻水宽度 B_m ,再采用折算阻水宽度 B_m 计算该桥的阻水面积比,结果见表 1.

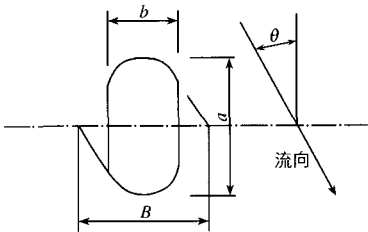


图 3 斜交桥墩阻水宽度计算简图
Fig. 3 Calculation diagram of water blocking width of skew bridge pier

表 1 不同频率洪水下大桥占用河道过流断面情况

Tab. 1 The situation of over-current section occupied by the bridge in different frequency floods

洪水频率/ %	相应洪水位/ m	工程前行洪面积/ m ²	工程占用面积/ m ²	阻水比/ %	平均阻水比/ %
1	68. 37	1 031	120	11. 69	
2	67. 24	822	96	11. 66	11. 67
5	66. 55	704	82	11. 65	

从表 1 可以看出,拟建大桥阻水比随洪水频率的降低而增加,但增加幅度较小,100 年一遇洪水桥梁阻水比比 20 年一遇洪水桥梁阻水比增加了 0. 04%,增幅为 3. 43%。

2.2 壅水高度及影响范围

2.2.1 计算方法 桥梁壅水计算主要采用数值模拟与经验公式 2 种方法计算. 壅水数值模拟采用一维非恒定流数学模型,控制方程为水流连续方程与运动方程,其中连续方程包括干流与汉点连接两部分,控制方程如下:

水流连续方程：
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q + \delta Q_c \tag{2}$$

水流运动方程：
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial X} = -gA \frac{\partial z}{\partial X} - gA \frac{Q^2}{K^2} \tag{3}$$

式中： A 为河道过水断面面积(m^2)； Q 为断面流量(m^3/s)； X 为流程(m)； q 为均匀旁侧单宽入流(m^2/s)； Q_c 为集中旁侧单宽入流(m^2/s)； z 为水位(m)； K 为流量模数，由谢才公式计算。

通常，桥梁壅水高度计算公式为：
$$\Delta Z = K_1 K_2 \left(1 + 0.009 \frac{B_t}{B_c} \right) \frac{U_0^2}{2g} \tag{4}$$

式中：系数 K_1 与 Q_D/Q 有关， Q_D 为路堤阻挡的流量(m^3/s)； K_2 与 Q_t/Q_c 有关， Q_c 和 Q_t 分别为河槽和河滩流量(m^3/s)，当 $Q_t/Q_c \geq 0.6$ 时， $K_2 = x(q_{0m}/q)^y$ ， q_{0m} 为天然情况下桥孔范围内单宽流量(m^2/s)，当 $Q_t/Q_c < 0.6$ 时， $K_2 = 1$ ； B_t 为设计流量下河滩水面宽度(m)，岸边有回流时应扣除回流宽度； B_c 为河槽宽度(m)； $U_0 = Q/A$ 为全河道断面平均流速(m/s)， A 为全河道过水面积(m^2)。壅水计算相关参数取值及高度见表 2，其中 $\Delta Z' = K'_a \Delta Z$ ， K'_a 为修正参数，当洪水频率为 1% 和 2% 时， K'_a 取 0.56；洪水频率为 5% 时， K'_a 取 0.45^[7]。

壅水长度计算公式^[8] 为：
$$L_y = 2\Delta Z_M/I_0 \tag{5}$$

式中： L_y 为壅水曲线全长(m)； I_0 为桥址河段天然水面坡度(比降)。

表 2 壅水计算参数及壅水高度

Tab. 2 Calculation parameters and height of backwater

洪水 频率/ %	河槽面积 A_c/m^2	河滩面积 A_t/m^2	全河道过流 面积 A/m^2	设计流量 $Q_1/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	河槽流量 $Q_c/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	河滩流量 $Q_t/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	宽度 B_c/m	宽度 B_t/m
1	493.813	211.424	705.237	2 583.900	1 809.269	774.631	61.844	85.280
2	452.258	179.442	631.700	2 181.960	1 562.149	619.811	57.843	85.645
5	396.382	111.219	507.601	1 665.180	1 300.328	364.852	57.843	48.812
	全河道水面 宽度/ m	全河段流速 $U_0/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	Q_D/Q	K_1	Q_t/Q_c	K_2	计算壅高 $\Delta Z/\text{m}$	修正后壅高 $\Delta Z'/\text{m}$
	147.124	3.664	0.145	0.145	0.428	1.0	0.113	0.063
	143.488	3.454	0.132	0.132	0.397	1.0	0.093	0.052
	106.655	3.280	0.160	0.160	0.281	1.0	0.095	0.043

2.2.2 数学模型边界条件与验证 模拟河段上游进口边界流量采用水文分析成果；下游出口边界水位采用郁江干流枢纽水库调度后的规划郁江水面线，推算至该河入郁江河口水位作为模拟河段下游出口断面计算水位。模拟河段为山区河道，缺乏实测洪水资料，文中参考《水力计算手册》中山区河道糙率采用范围及河道沿程变化特性，采用糙率为 0.025 ~ 0.035^[9]，糙率选取考虑了局部阻力影响。通过历史洪水反演与调查洪痕进行对比，基本满足水面线相似要求。

2.2.3 不同方法计算桥梁壅水影响的对比分析 对于拟建大桥桥址断面(主河道)壅水特征值，采用不同计算方法得出的结果见表 3。

表 3 桥址断面(主河道)壅水特征值计算结果

Tab. 3 Calculation results of backwater characteristic value on the section of the proposed bridge site (main river)

洪水频率/ %	相应水位/ m	设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	壅水高度/ m		$ \Delta _{(\text{数-经})}/\%$	壅水长度/ km		$ \Delta _{(\text{数-经})}/\%$
			一维数模	经验公式		一维数模	经验公式	
1	68.37	1 991	0.061	0.063	3.175	3.25	2.52	28.968
2	67.24	1 593	0.050	0.052	3.846	2.66	2.07	28.502
5	66.55	1 194	0.041	0.042	2.381	1.96	1.72	13.953

从表 3 可见：按经验公式计算的不同频率洪水桥梁壅水高度，比一维数学模拟结果普遍偏大，但最大相

对差值仅为 3.85%;而对于不同频率洪水桥梁壅水长度,一维数学模拟结果普遍比经验公式计算结果大,壅水长度计算差值随着洪水频率的降低而增加,最大相对差值为 28.96%,在 50 年一遇及以上频率洪水时,相对增幅有所减缓.100 年一遇最大壅水高度为 0.063 m,最大壅水长度为 2.52 km,说明拟建大桥对河道行洪影响不大;随着洪水频率的降低,壅水高度和长度均增加.经计算,既有大桥和拟建大桥桥址前壅高非常接近,最大差异不超过 0.01 m.

2.3 斜交桥局部冲刷计算分析

根据资料,桥址处两侧多为丘陵区 and 低洼区,从土质特性和塑性指数等判断工程跨越河流桥址处河道土质为黏性土,因此采用黏性土冲刷公式^[10],其冲刷计算分为一般冲刷计算和局部冲刷计算,计算公式如下:

(1) 一般冲刷计算

$$\text{河槽部分: } h_p = \left(\frac{A' \frac{Q_c \left(\frac{h_{mc}}{\bar{h}_c} \right)^{\frac{5}{3}}}{B_c}}{0.33 \left(\frac{1}{I_L} \right)} \right)^{\frac{5}{8}} \quad (6); \quad \text{河滩部分: } h_p = \left(\frac{\frac{Q_t \left(\frac{h_{mt}}{\bar{h}_t} \right)^{\frac{5}{3}}}{B_t}}{0.33 \left(\frac{1}{I_L} \right)} \right)^{\frac{6}{7}} \quad (7)$$

式中: h_p 为桥下河槽一般冲刷后的最大水深(m); A' 为单宽流量集中系数, $A'=1.0 \sim 1.2$; Q_c 为桥下河槽部分通过的设计流量 (m^3/s); B_c 为桥下河槽部分桥孔过水净宽(m); h_{mc} 为桥下河槽最大水深(m); $\bar{h}_c$ 为桥下河槽部分平均水深(m); Q_t 为桥下河滩部分通过的设计流量 (m^3/s); B_t 为桥下河滩部分桥孔过水净宽(m); h_{mt} 为桥下河滩最大水深(m); $\bar{h}_t$ 为桥下河滩部分平均水深(m); I_L 为冲刷范围内黏性土样的液性系数, $I_L=0.16 \sim 1.19$.

(2) 局部冲刷计算

$$h_b = 0.83 K_\xi B_1^{0.6} I_L^{1.25} v, \quad h_p/B_1 \geq 2.5 \quad (8)$$

$$h_b = 0.55 K_\xi B_1^{0.6} h_p^{0.1} I_L^{1.0} v, \quad h_p/B_1 < 2.5 \quad (9)$$

式中: h_b 为桥墩局部冲刷坑深度(m); K_ξ 为墩形系数; B_1 为桥墩计算宽度(m); v 为一般冲刷后墩前行近流速 (m/s); 冲刷范围内黏性土样的液性系数 $I_L=0.16 \sim 1.48$.

利用上述公式,考虑了既有大桥的影响,对拟建桥一般冲刷及局部冲刷进行了计算;拟建大桥桥址断面处冲刷深度计算结果见表 4.

表 4 桥址断面处冲刷深度计算结果

Tab. 4 Calculation results of the scour depth on the cross section of bridge site

m

冲刷类型	冲刷深度			冲刷类型	冲刷深度		
	20 年一遇洪水	50 年一遇洪水	100 年一遇洪水		20 年一遇洪水	50 年一遇洪水	100 年一遇洪水
河槽一般冲刷	0.60	0.72	0.85	桥墩局部冲刷	1.73	1.98	2.29
河滩一般冲刷	0.32	0.41	0.52	河槽总体冲刷	2.33	2.70	3.14

从计算结果看,工程后,大桥桥址处河槽一般冲刷最大深度为 0.60~0.85 m,河滩一般冲刷最大深度为 0.32~0.52 m,桥墩局部冲刷最大深度为 1.73~2.29 m;河槽最大总冲刷深度为 2.33~3.14 m,随洪水量级增大而冲刷深度加大.

综上分析可知,大桥建成后河流整体流态变化不大,桥梁墩台对河道总体冲淤特性影响较小;而桥墩局部由于流速增加,引起较大的局部冲刷,因此工程设计需考虑对桥墩安全防护,以保证工程安全.

2.4 桥位附近流场特性分析

采用平面二维水流数学模型计算分析拟建大桥对河道水流流态的影响,模拟范围为桥址上游 2.5 km 至桥址下游 1.6 km;模拟河段地形采用 2010 年 8 月河道大断面实测资料及 2007 年 1:10 000 地形图进行插值处理;模型采用曲线网格,网格长度 1.0~5.0 m;模型进口边界条件与一维模型相同,出口边界条件采用一维模型模拟计算成果;河道主槽糙率采用 0.022~0.025,滩地糙率采用 0.030~0.035. 该河段没有历史洪

水文观测资料,通过洪水验证,模拟洪水与一维数学模型基本相同,满足水面线相似要求,表明模型基本满足河流阻力相似要求。

拟建大桥位于一个 S 形弯道的过渡段,桥址处河势的稳定性取决于上下弯道的稳定性,根据河床演变分析,上下弯道都比较稳定,平面河弯曲率及河势几乎没有变化。首先对只有既有大桥的现状条件进行模拟,然后考虑拟建大桥情况,进行设计洪水时的数值模拟计算。根据拟建大桥河段二维水流数学模型分析,得出 20 年一遇洪水流场图以及工程前后流速变化等值线(见图 4 和 5)。拟建大桥建成后,在 20 年一遇以下洪水条件下,桥上游 1.5 km 以上河道和桥下游 0.3 km 以下河道,建桥后流速和流向基本无变化,不会引起河势改变。20 年一遇以下流量级条件下,大桥工程河段上游 0.1 km 至下游 0.15 km 河段贴岸流速有所增加,增加幅度一般都在 0.1 m/s 以内,且工程后绝对流速左岸一般都小于 0.8 m/s,右岸贴岸绝对流速一般都小于 0.5 m/s,根据现场查勘,河道右岸贴岸流速增加位置为山体,且为抗冲刷能力较强的基岩,建桥后贴岸流速变化对河岸稳定影响较小。根据桥墩附近冲刷计算结果,河槽一般冲刷深度为 0.60~0.85 m,随洪水量级增大而冲刷加大;桥墩局部冲刷深度为 1.73~2.29 m。但是河床冲刷只是垂向深切;由于岸壁大多为抗冲基岩,侧向侵蚀很小,因此拟建大桥对工程附近平面河势影响较小。

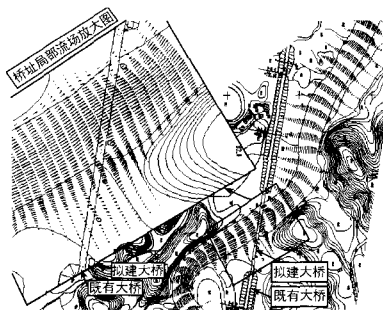


图 4 模拟河段流速场(20 年一遇洪水)
Fig. 4 Velocity field of simulated river (5% frequency flood)

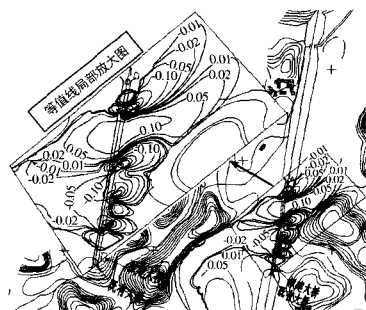


图 5 工程前后流速变化等值线(20 年一遇洪水)
Fig. 5 Contour line of velocity variation before and after the project construction

3 减小斜交桥壅水影响的对策

一般规定不同频率洪水时桥梁的阻水比不超过 8%,而现有工程的阻水比为 11.65%~11.69%,为了尽可能减小河道壅水,保证区域行洪安全,根据平面二维数值模拟的流场状况,结合工程位置河道地形条件,提出以下两点措施。

(1)降低阻水比 主要是对河道进行疏浚,采用此方法可以适当增大桥址过流面积,补偿工程占用的过流面积,减小阻水比,进而减小不同频率设计洪水的壅水高度和范围,保证行洪安全。

根据河道主流走向及断面形态,对大桥断面实施疏浚工程。疏浚开挖遵循的基本原则是:在保证拟建大桥稳定前提下,尽可能扩大拟建大桥处的河槽行洪断面,减小阻水比;使 50 年一遇洪水水位以下桥墩占用河道行洪面积比例控制在 5% 以内,为防止开挖区回流淤积,开挖线要与河势一致,疏浚区要便于施工、满足岸坡稳定要求。疏浚开挖主要根据桥址位置河道地形,采取疏浚开挖边滩、扩大主槽,用以补偿桥墩占用河道行洪面积、减小工程对行洪的阻水影响。具体疏浚方案是:左岸疏浚范围从拟建大桥中心线上游 85 m 至下游 105 m,长度为 190 m,最大宽度约为 14 m,最大深度约 3 m;右岸疏浚范围从拟建大桥中心线上游 70 m 至下游 60 m,疏浚长度约为 130 m,最大宽度 16 m,最大深度 2.2 m,估算开挖疏浚土石方总工程量为 8 500 m³,其中考虑部分回淤量;疏浚范围平面位置见图 6,桥址位置疏浚剖面见图 7。

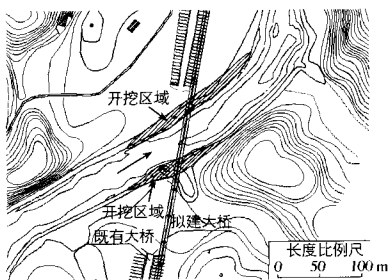


图 6 拟建大桥开挖平面布置

Fig. 6 Excavation layout of the proposed bridge

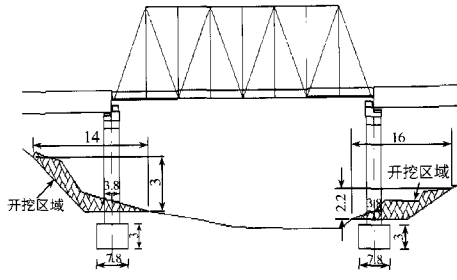


图 7 拟建大桥开挖剖面(单位: m)

Fig. 7 Excavation profiles of the proposed bridge (unit: m)

(2)干砌石防护 桥墩施工和运行期可能对岸坡产生扰动,影响桥墩附近河岸稳定,根据模拟计算成果,应对拟建大桥上下游局部规划堤防临水侧实施干砌石防护,防护范围为桥中心线上下游各 50 m 内,防护深度 4.5 m 为宜.

计算表明,在拟建大桥处,河流断面经开挖疏浚后,不同频率洪水的阻水比均有所减小(见表 5). 可见,经疏浚后,斜交桥的阻水比总体降到比较合理的水平. 应用二维水流数学模型模拟疏浚开挖后的流场,二维模型参数选择与前述相同. 模拟结果表明疏浚后工程附近河道水位壅高值均较疏浚前有所下降. 开挖疏浚河段堤岸临水侧采用干砌石护岸后,桥梁壅水模拟计算结果见表 5,其中的壅水高度和长度均为河道主槽部分.

表 5 不同频率洪水下拟建大桥的阻水比及壅水情况比较

Tab. 5 Water-blocking ratio of the bridge and backwater status before and after dredging in different frequency floods

洪水频率/ %	设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	相应水位/ m	阻水比		平均阻水比		壅水高度/ m		壅水长度/ km	
			挖前/ %	挖后/ %	挖前/ %	挖后/ %	原方案	补救方案	原方案	补救方案
1	1 991	68.37	11.69	5.78			0.063	0.044	2.52	1.76
2	1 593	67.24	11.66	4.18	11.67	4.42	0.052	0.039	2.07	1.55
5	1 194	66.55	11.65	3.30			0.042	0.031	1.72	1.22

综上所述,采用河道疏浚开挖后,拟建大桥壅水程度和范围均比原设计方案有所减小,减轻了拟建大桥对河道行洪的不利影响.

4 结 语

(1)拟建大桥与河道成 50°斜交时,在设计频率为 20 年、50 年、100 年一遇的洪水情况下,桥墩平均阻水比为 11.67%,阻水影响较大,需要修改设计方案. 提出了采取疏浚开挖边滩方式补偿桥墩占用河道行洪面积的方法,河道疏浚开挖方案后的桥墩平均阻水比降至 4.42%,满足有关规范要求.

(2)采用一维水沙数学模型计算,并与经验公式计算结果对比验证,发现洪水期拟建桥上游在一定范围内产生局部壅水,下游短距离内有局部降水. 在 20 年一遇以下设计洪水条件下,拟建桥与现状相比,上游最大壅水高度为 0.063 m,累积最大壅水范围 2.52 km,壅水影响范围内河道无堤防和排涝工程,因此拟建桥对区域行洪和排涝影响较小. 通过二维水沙数学模型计算桥址附近流速流态,发现既有大桥与拟建大桥对孔布置对拟建大桥过流及流态影响不大,可以减小双桥对行洪的阻滞影响.

(3)经桥墩冲刷计算,拟建大桥位置主槽一般冲刷深度为 0.24 ~ 0.52 m,滩地一般冲刷深度为 0.11 ~ 0.38 m;桥墩局部冲刷深度为 0.93 ~ 2.09 m. 河床冲刷只是垂向深切;由于岸壁大多为抗冲基岩,侧向侵蚀很小. 因此,拟建大桥工程不会对整体河势产生大的影响.

(4)对拟建大桥采用疏浚开挖方案进行了壅水与冲刷计算,结果表明该方案可以有效减小阻水比与壅水高度,减轻拟建大桥局部冲刷,有利于河道行洪安全.

参 考 文 献:

- [1] 曹瑞章, 高志成. 山区斜交桥的壅水计算[J]. 中国铁道科学, 1979(1): 29-36. (CAO Rui-zhang, GAO Zhi-cheng. Computation of backwater height of skew bridges in mountain regions[J]. China Railway Science, 1979(1): 29-36. (in Chinese))
- [2] 王仁宽. 山区斜交桥渡壅水和孔径计算[J]. 铁道工程学报, 1984(2): 61-68. (WANG Ren-kuan. Calculation of backwater and span lengths of skew crossing bridges in mountainous areas[J]. Journal of the China Railway Society, 1984(2): 61-68. (in Chinese))
- [3] 刘有录. 桥渡[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1995: 112-130. (LIU You-lu. Bridge crossing[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 1995: 112-130. (in Chinese))
- [4] 孙东坡, 杨苏宁, 宋永军, 等. 公路斜交桥壅水特性[J]. 水利水运工程学报, 2007(1): 41-46. (SUN Dong-po, YANG Su-ting, SONG Yong-jun, et al. Backwater characteristics of speedway skew bridges[J]. Hydro-Science and Engineering, 2007(1): 41-46. (in Chinese))
- [5] 华维娜, 张根广, 李礼. 圆柱桥墩波环对斜交桥墩前冲击高度影响的研究[J]. 中国农村水利水电, 2010(12): 115-118. (HUA Wei-na, ZHANG Gen-guang, LI Li. Research on the effect of the oblique shock wave of cylinder piers on the creep height of the skew bridge[J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(12): 115-118. (in Chinese))
- [6] 铁道部第三勘测设计院. 桥渡水文[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1993: 132-134. (The Third Railway Survey and Design Institute. Hydrology of bridge crossing[M]. Beijing: China Railway Press, 1993: 132-134. (in Chinese))
- [7] 曹瑞章, 齐梅兰. 斜交桥的壅水[J]. 铁道建筑, 1992: 8-11. (CAO Rui-zhang, QI Mei-lan. Backwater of the skew bridge[J]. Railway Engineering, 1992: 8-11. (in Chinese))
- [8] 中国水利学会泥沙专业委员会. 泥沙手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. (Professional Committee of Chinese Hydraulic Engineering Society of Sediment. Sediment manual[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1992. (in Chinese))
- [9] 李炜. 水力计算手册[M]. 2 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 44-45. (LI Wei. Hydraulic calculations[M]. 2nd ed. Beijing: China WaterPower Press, 2006: 44-45. (in Chinese))
- [10] TB 10017-99, 铁路工程水文勘测设计规范[S]. (TB 10017-99, Code for survey and design on hydrology of railway engineering [S]. (in Chinese))

Impact of the skew bridge on the river flood and countermeasures

ZHANG Lin¹, CHENG Lin², SUN Dong-po¹, ZHANG Xian-qi¹

(1. North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450011, China; 2. HydroChina Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610072, China)

Abstract: Restricted by topographic and route conditions, some bridges have to be constructed across the river channels by the way of skew, which results in greater resistance effects on the pier. The original text adopts two ways of empirical formula and numerical simulation to analyze the impact of the skew bridge on the floods. The backwater height and range in different flood conditions and the scour depth of the general scour and local scour are confirmed, and the water-blocking ratio of the bridge to the over-current section is also analyzed. The analysis of the backwater height, range and bridge scour shows bridge design meets the requirements basically, and the river regime doesn't change much after bridge construction; but the water-blocking ratio of the over-current section is too large. The proposed bridge uses on-the-hole layout with the existing bridge, which has little effect on the over-current and regime of the proposed bridge, and can reduce the flood retarding effect of the two bridges. The author proposes excavation of the beach to compensate the flood area occupied by the project. By calculation and analysis of the program, it can reduce the water-blocking ratio and the backwater height effectively, and mitigate local scour, which is conducive to regional flood control.

Key words: skew bridge; water-blocking ratio; backwater; local scour; flow pattern; dredging