

HEC-RAS模型在桥墩壅水计算与影响分析中的应用

燕琴¹,牛娇²

(1. 华北水利水电大学水利学院,河南 郑州 450011;2. 江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

摘要:HEC-RAS是一种一维水动力模型,采用HEC-RAS中的恒定流模型对上犹江特大桥施工期和建桥后进行壅水分析和计算.计算得上犹江特大桥施工期5年一遇洪水最大壅高值为0.02 m;建成后10年一遇、20年一遇以及50年一遇洪水最大壅高值分别为0.01 m、0.02 m和0.03 m;大桥的兴建引起的壅水较小,因此对河道行洪安全影响较小,对河段上游河段排涝影响较小. HEC-RAS中的恒定流模型基于能量方程,利用该模型对桥墩进行壅水计算及防洪影响进行分析,参数设置简单,断面布设方便,值得推广.

关键词:HEC-RAS模型;上犹江特大桥壅水计算;恒定流模型;能量方程

中图分类号:TV133 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2017)01-0038-04

0 引言

河道内兴建桥梁,由于施工期在河道内修筑围堰,以及大桥建成后,桥墩、桥台的存在,将使河道桥位横断面缩窄,行洪断面减小,使得桥梁上游河段产生壅水.因此应对新建大桥施工期以及大桥建成后进行壅水计算及影响分析.目前,计算涉水工程的壅水高度方法主要有经验公式法、一维水力学计算模型以及二维水力学计算模型三种^[1].经验公式法是传统的计算方法,公式的种类很多,不同的公式参数也不同,这些都需要根据实际情况凭个人经验选取,因此经验公式法计算出的结果往往偏安全且与实际结果差距很大.二维水力学模型是比较新的研究方法,但是其较为复杂,需要设定许多边界条件,而且网格的设定对计算的结果和稳定性也有较大影响,这种方法尚不够成熟,不能够很好地应用到实际生产中.一维水力学计算模型目前应用广泛,理论上较为成熟,所要求设定的边界条件比较简单,设置参数较少,且对参数的取值与边界条件设定有细致的标准,其计算结果精度可以满足生产实际需要.

HEC-RAS模型是比较典型实用的一维水力学计算模型,本文利用HEC-RAS模型对江西赣州至深圳铁路客运专线的上犹江特大桥进行了壅水计算和影响分析.

1 概况

1.1 大桥基本情况

上犹江特大桥位于江西省赣州市境内,下游约1.4 km处为上犹江入章水河口,全长1 830 m^[2].于DK000+009.00—DK000+300.00处垂直跨越上犹江,桥位以上流域面积4 629 km²,桥位处属丘间冲积平原地貌,地势较为平坦.河道宽浅,河宽200 m左右,大桥设计洪水标准为100年一遇.

全桥孔跨布置为20×32.6+2×24.6+34×32.6简支梁,过河孔跨采用32.6 m简支梁,圆端形桥墩,桩基础^[2].简支梁采用预制架设;水中桥墩采用钢板桩围堰施工;陆上桥墩采用常规方法施工,桩基础采用常规方法施工.大桥河槽内桥墩在枯水期完成施工.

1.2 河道流域概况

上犹江特大桥位于上犹江下游,垂直跨越上犹江.上犹江属于章水一级支流,流域面积4 647 km²,主河道长度204.0 km^[2],流域内设田头、安和2个水文站,文英等14个雨量站.上犹江中游建有上犹江、龙潭两座大(2)型水库以及长河坝、牛鼻垅2座中型水库.下游建有南河、仙人陂、罗边等3座中型水库.

桥位所在处河段顺直,上游2.5 km处有缓弯,下游1.4 km处为两河交汇处.桥位河段河道宽度约200 m,

成宽浅“U”型,河床主要由细沙组成,右岸建有堤防,为三江堤,现状防洪能力不到 10 年一遇,左岸为自然岸坡。大桥跨越处河段的河道边界条件较为稳定、中小洪水一般均被约束在河槽中,但两岸抗御洪水能力低,大洪水一旦出槽,将造成两岸洪涝灾害。

2 HEC-RAS 模型对涉水工程进行壅水计算的原理

2.1 HEC-RAS 恒定流模型

在 HEC-RAS 软件中桥梁的水力计算有能量平衡法、动量平衡法、Yarnell 公式法、美国联邦公路局的 WSPRO 等四种方法^[3],在不同的边界条件下可选用不同的方法。上犹江特大桥桥址位置河段稳定,河槽宽浅,地势平稳,没有大的孤石,洪水水流主要受大桥桥墩的阻水影响。最大壅高时是大洪水,因此可把洪峰值当作恒定流来计算桥梁阻水。故采用恒定流进行计算确定最大壅水高度和壅水范围。HEC-RAS 在求解恒定流速时采用的是能量守恒方程计算,见公式(1)^[4]。HEC-RAS 将跨河桥梁引起的能量损失分为:河道内建筑物(桥墩)占用过流断面引起的上游水流收缩造成的能量损失,收缩后的水流经过涉水建筑物再扩散所造成的能量损失,河道内建筑物本身造成的能量损失三部分。

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + he \quad (1)$$

式中: $Z_1、Z_2$ - 上下断面河底高程,m;

$Y_1、Y_2$ - 上下断面水深,m;

$V_1、V_2$ - 上下断面平均流速,m/s;

$\alpha_1、\alpha_2$ - 动能校正系数;

g - 重力加速度,m/s²;

he - 桥梁造成的能量损失,m(与收缩系数 C 和糙率 n 有关)。

2.2 HEC-RAS 的断面布设以及参数设置

2.2.1 HEC-RAS 模型断面布设原则

HEC-RAS 在建立桥梁模型至少需要 4 个断面^[1]。首先要在跨河桥位处的上游和下游足够远的地方各布设一个断面(断面 1 和断面 4),要求这两个断面的水流不受桥梁的影响,断面处水流基本平稳,不受收缩影响,整个面积均为有效水流区。其次要在跨河桥位处的上下游很近的地方各布设一个断面(断面 2 和断面 3),用来反映邻近桥上下游的断面情况(天然地面

线),断面 2 和断面 3 一般可布设在桥位处上下游路堤的堤趾处。断面 1 和断面 2 之间距离要小于断面 3 和断面 4 之间距离。计算断面根据防洪评价要求及河道变化情况布设,各河段间尽量控制落差变化不大,在工程重要防洪控制点处和有阻水建筑物处加设断面,详细见图 1。

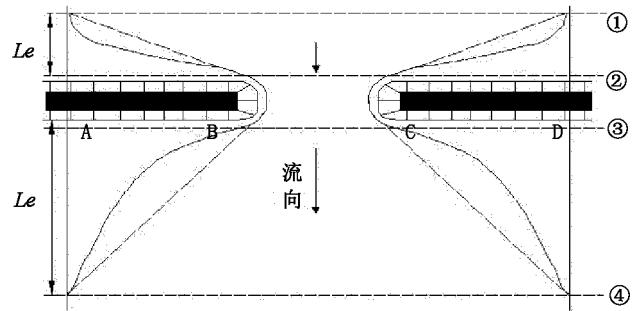


图 1 桥位处主要断面示意图

上犹江特大桥的计算断面是采取实际测量断面,共有(断面 20、21、桥位处、22、23、24 和 25)7 个断面。

大桥起推水位:本次计算起推水位采用《赣州市中心城区防洪规划报告(2013 年修编)》中各频率下三江口水位成果。其中上犹江河口处即为断面 CS20。上犹江河口流量水位关系见表 1。

表 1 起推断面各频率下水位流量关系

断面	频率	$P=2\%$	$P=5\%$	$P=10\%$	$P=20\%$
上犹江河口	流量/(m ³ /s)	3 910	3 230	2 700	2 160
	水位/m	111.33	110.30	109.69	108.25

2.2.2 HEC-RAS 模型的参数设置

HEC-RAS 模型中的参数主要有糙率 n 和断面扩张或收缩系数 C ,糙率 n 根据断面测量成果、洪水水面线(比降)及相应洪峰流量反求。断面扩张或收缩系数 C 取值见表 2。

表 2 断面扩张或收缩系数 C 值

项目	无收缩、扩张	渐变过渡	建筑物断面	急剧过渡
收缩	0	0.1	0.3	0.6
扩张	0	0.3	0.5	0.8

根据断面测量结果,上犹江特大桥的糙率 n 取值范围为 0.03 ~ 0.05 之间。收缩系数取 0.1,扩张系数取

0.3。

3 计算结果

3.1 上犹江大桥设计洪水

上犹江特大桥各频率下的设计洪水是依据坝上水

文站设计洪水成果,采用水文比拟法推求,其中面积比指数 n 值取 $2/3$ 。考虑上游水库的调蓄作用,还原坝上站的洪峰流量系列求得,计算结果见表3。坝上水文站位于江西省赣州市章贡区,在桥位处的下游^[2],集水面积 $7\ 657\text{ km}^2$ 。该站水位流量关系低水时受到翻板坝回水顶托影响,高水时受万安水库顶托影响^[5]。

表3 上犹江特大桥设计洪水

站名(断面)	集水面积/ km^2	均值/ (m^3/s)	C_v	C_s/C_v	各频率设计值/ (m^3/s)				
					1%	2%	5%	10%	20%
坝上	7 657	2 290	0.49	3.5	6 160	5 460	4 500	3 770	3 020
上犹江河口	4 647				4 420	3 910	3 230	2 700	2 160
桥位断面	4 629				4 420	3 910	3 230	2 700	2 160

3.2 上犹江大桥壅水计算

输入上犹江特大桥各参数及地形、流量等边界条件后,应用 HEC-RAS 软件的恒定流计算方式分别计算建桥前后以及新建大桥施工期的水面线。其中对建桥前计算了5年、10年、20年和50年一遇4种频率下的水面线;对建桥后计算了10年、20年和50年一遇3种频率下的水面线;对大桥施工期仅计算了5年一遇的水面线。计算结果见表4及表5,在 HEC-RAS 得到的多个横断面3D图(View 3D multiple cross section plot)见图2。

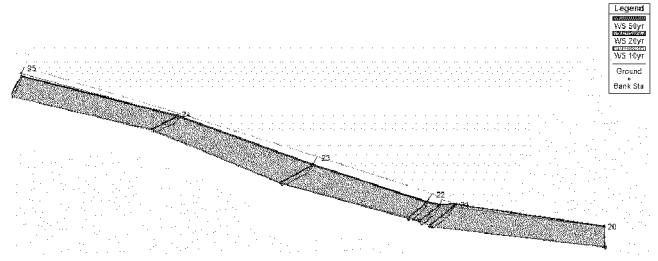


图2 上犹江特大桥多个横断面3D图

表4 建桥前后河段水面线

断面编号	间距/ km	$P=2\%$			$P=5\%$			$P=10\%$		
		建桥前	建桥后	壅高	建桥前	建桥后	壅高	建桥前	建桥后	壅高
CS20	0	111.33	111.33	0	110.30	110.30	0	109.69	109.69	0
CS21	1.00	111.49	111.49	0	110.45	110.45	0	109.82	109.82	0
桥位	0.08	111.49	111.50	0.01	110.46	110.46	0	109.83	109.83	0
CS22	0.08	111.49	111.52	0.03	110.46	110.48	0.02	109.83	109.84	0.01
CS23	0.84	111.68	111.71	0.03	110.63	110.65	0.02	109.98	109.99	0.01
CS24	1.00	111.82	111.84	0.02	110.76	110.78	0.02	110.09	110.10	0.01
CS25	1.00	112.03	112.05	0.02	110.96	110.98	0.02	110.26	110.27	0.01

从表4中可以看出,上犹江特大桥建成后10年一遇洪水最大壅高值为0.01 m,20年一遇洪水最大壅高值为0.02 m,50年一遇洪水最大壅高值为0.03 m;从表5中可以看出,上犹江特大桥施工期5年一遇洪水最大壅高值为0.02 m。

4 结果分析

利用 HEC-RAS 模型的恒定流方程对上犹江特大

桥的施工期以及建成后的壅水进行计算,计算的结果为上犹江特大桥在施工期遭遇5年一遇洪水时,壅水高度为0.02 m,壅高后的设计水位为108.42 m;大桥建成后在遭遇10年一遇、20年一遇和50年一遇洪水时的壅水高度分别为0.01 m、0.02 m和0.03 m,壅高后的设计水位分别为109.84 m、110.48 m和111.52 m。

大桥左岸下游约600 m处规划建凤岗堤防洪标准50年一遇,堤顶高程111.09 m~113.81 m,右岸建有三江堤,规划将现有三江堤防加高加固^[5],防洪标准提高

至20年一遇,堤顶高程提高至112.40~111.50 m。因此,上犹江特大桥的建设将不会对现状防洪工程产生影响,考虑到壅水较小,总体上对行洪安全影响不大,对桥位上游河段排涝产生的不利影响也较小。

表5 施工期河段水面线

断面编号	间距/km	$P=20\%$		
		建桥前	建桥后	壅高
CS20	0	108.25	108.25	0
CS21	1.00	108.38	108.38	0
桥位	0.08	108.40	108.40	0
CS22	0.08	108.40	108.42	0.02
CS23	0.84	108.55	108.57	0.02
CS24	1.00	108.68	108.70	0.02
CS25	1.00	108.87	108.88	0.01

随着社会经济的发展,河道中涉水建筑物的建设越来越多,桥梁的建设占用了行洪断面,造成河道洪水壅

高,因此涉水建筑物的壅水计算与分析是十分必要的。利用HEC-RAS模型对桥梁进行壅水分析,其断面和参数设置简便,计算结果符合实际应用情况,便于推广,不失为一种分析桥梁壅水的好方法。

参考文献:

- [1] 戴文红,张云. 桥墩壅水计算及影响分析[J]. 河海大学学报,2010,38(2):268~270.
- [2] 牛娇,燕琴,鄢笑宇,等. 赣州至深圳客运专线(江西省境内)河流跨越工程防洪评价报告[R]. 南昌:江西省水利科学研究院,2016,33~65.
- [3] 李磊,李月玉,孙艳,等. Hec-Ras 软件在桥梁防洪评价中的应用[J]. 水力发电,2008(3):103~105.
- [4] 蔡新民,蓝志勇,张永华. HEC系列水利软件的应用[J]. 浙江水利科技,2005(11):20~27.
- [5] 邓沐平,胡苑成,等. 赣州市都市区中心城市防洪规划报告(2013年修编)[R]. 南昌:江西省水利规划设计院,2014,68~105.

编辑:张绍付

Application of HEC-RAS model in the analysis of pier backwater calculation and influence

YAN Qin¹, NIU Jiao²

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, School of Water Conservancy, Zhengzhou 450011, China; 2. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: HEC-RAS is a one-dimensional hydrodynamic model. Constant flow model in HEC-RAS model can be used for analysis and calculation of Shangyoujiang bridge backwater during construction period or after completion. The results showed that the maximum backwater height value is 0.02m in the event of a 5 year flood during construction period of Shangyoujiang bridge. The maximum backwater height value is 0.01m, 0.02m, 0.03m in the event of 5 year, 10 year, 50 year flood after completion of Shangyoujiang bridge. Due to the construction backwater of the Shangyoujiang bridge is very small. Its impact on river flood safety is smaller, and less impact on the upper reaches of river drainage. By incorporating the energy balance equation, constant flow model in HEC-RAS model can be used in analysis of pier backwater calculation and influence. The parameter setting is simple, the section layout is convenient, and it is worth popularizing.

Key words: HEC-RAS model; The calculation of Shangyoujiang bridge backwater; Constant flow model; Energy equation

翻译:燕 琴