

HEC-RAS 分析多种结构类型桥梁壅水相互影响的应用

杨 扬¹, 郝 敏¹, 史 源², 韩凤霞¹

(1.北京市水利规划设计研究院, 北京 100048; 2.中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

[摘要]一维河道水力学模型 HEC-RAS3.1.2 可以较准确、直观地模拟多种结构类型桥梁壅水影响和相关河段水面线变化,详细解析了 RAS 桥墩阻水和管涵漫水桥阻水的水力计算原理,并采用该模型对永定河京石高速辅路桥改建工程进行防洪影响评价,为今后类似分析研究工作开辟新途径。

[关键词]桥梁壅水;水面线;数值模拟;水力学模型

[中图分类号]U442.3'3

[文献标识码]B

[文章编号]1004-7042(2010)08-0037-02

1 概况

桥梁壅水计算是河道桥梁防洪影响评价的重要基础工作。以往桥梁壅水计算独立于河道水面线计算,若遇多座桥梁壅水相互影响则计算繁琐,精度较低。HEC-RAS3.1.2 (River Analyse System 以下简称 RAS) 河流分析系统拥有强大的河工建筑物模拟计算能力,能方便、快捷、准确地建模计算。以永定河京石高速公路辅路导行路洪水影响分析工程为例,临时导行路为管涵漫水桥结构,RAS 较好地模拟了其壅水对上游卢沟桥橡胶坝、卢沟石桥、京广铁路桥和卢沟桥分洪枢纽的影响。

2 计算模型

RAS 是美国陆军工程兵团水文工程中心开发的一维河道水力学计算软件包,适用于一维河道恒定流或非恒定流水力计算,对各种涉水建筑物(桥梁、涵洞、堤防、水库等)的计算模拟方法多样、功能强大,目前已成为使用最广泛的一维水力计算软件之一。

2.1 一维河道水力学计算

RAS 计算一维河道恒定流水面线基于一维能量方程,逐断面采用直接步进法演进。其计算公式如下:

$$Z_2 = Z_1 + h_f + h_j + \frac{a_1 v_1^2}{2g} - \frac{a_2 v_2^2}{2g} \quad (1)$$

式中: Z_1, Z_2 ——下断面和上断面的水位高程, m;

a_1, a_2 ——下断面和上断面的流速系数;

v_1, v_2 ——下断面和上断面的流速, m/s;

g ——重力加速度, m/s²;

h_f, h_j ——上下游断面之间的沿程水头损失和局部水头损失, m。

2.2 桥梁水力学计算

对于桥涵等水工建筑物的模拟,RAS 考虑其能量损失由三部分构成:一是建筑物上游水流收缩造成的能量损失;二是由建筑物自身结构特征,如桥墩形状、涵洞口构造、溢流面型式等造成的能量损失;三是建筑物下游水流扩散造成的能量损失。

对于北方干旱地区常见的管涵漫水桥的计算,RAS 先分别计算其浸水部分的压力流出流和路面漫流,然后循环迭代计算使二者的上游水头相匹配,可较合理地对此复杂流态情况进行准确模拟。

浸水部分压力流计算公式为:

$$Q = CA \sqrt{2gh} \quad (2)$$

式中: Q ——流量, m³/s;

C ——淹没出流系数,一般取 0.8;

A ——净过流断面面积, m²;

h ——建筑物上游断面总水头与下游断面测管水头之差。

路面漫流部分采用堰流公式计算:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (3)$$

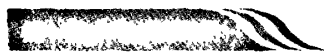
式中: Q ——流量, m³/s;

C ——堰流系数;

L ——堰顶宽, m;

H ——包括行进流速的堰上水头, m。

对于支墩阻水计算,RAS 常用方法有能量方程法



(又称标准步长法)、动量守恒法和 Yanell 经验公式法。能量方程法认为桥墩阻水位置为一段缩窄了断面的天然河道,根据桥址处河床断面参数和桥梁结构参数,RAS 自动生成桥区断面,此断面的湿周包括浸水河床湿周长度及桥墩、边墩等建筑物浸水湿周长度。在一维河道水力学计算中,能量方程法简便高效、精确可靠,适用性较广。

动量平衡法的演算基于阻水建筑物上下游断面的水流动量守恒。其演进过程依次为:建筑物下游断面至桥墩收缩断面动量守恒计算;下游收缩断面至上游收缩断面动量守恒计算;上游收缩断面至建筑物上游断面动量守恒计算。

Yanell 经验公式法基于近 2 600 次水力学实验,这些实验包含了多种水力学条件和阻水情况下的建筑物壅水情况。此法适用于桥墩造成的能量损失占总能量损失比例较大的情况。

3. 实例应用

3.1 基本情况

本文以永定河京石高速辅路桥(卢沟新桥)改建工程洪评计算为例,推求分析 100 年一遇洪水情况下,工程建设对其上游水位的壅水影响。

由于原辅路桥年代久远,结构强度现已不满足要求,将予以拆除重建。施工期间新建一座应急临时导行路以承担原辅路桥的交通任务,新辅路桥竣工通车后予以拆除。根据设计方案,应急临时导行路横跨永定河河床,其路面贴近河床段长 104 m,高程 58.52~58.16 m,高出现状河床约 1.64 m;路面纵坡较为平缓,基本形成堰高为 1.64 m 的梯形堰,路面下平行于水流方向铺设 250 根过水管涵,直径 0.72 m。

应急临时导行路上游重要工程设施分布密集,距卢沟桥橡胶坝裹头 37 m,距卢沟石桥 523 m,距京广铁路桥 867 m,距卢沟桥分洪枢纽 1 549 m。这些工程较易受应急临时便道壅水影响。

此次建模河段范围起自京石高速桥下游断面,终至上游卢沟桥分洪闸下,全长约 1.6 km。按照卢沟桥分洪枢纽调度方案,模型计算上边界条件取 100 年一遇洪峰流量 2 500 m³/s,下游边界条件依据《海河流域永定河系防洪规划报告》取起调水位 59.568 m。

3.2 模拟分析

选取其中两种工况:工况一为工程建设前,原辅路桥未拆除时水面线情况;工况二为工程建设后,新辅路桥建成而临时导行路未拆除时水面线情况。对比这两种工况,可以有效分析临时导行路的建设对上游水面线壅高影响。两种工况壅水情况见表 1。

表 1 工程建设前后壅水情况对比表

断面名称	位置	工况一建设前			工况二建设后		
		水位 /m	流速 /(m·s ⁻¹)	阻水断面占 全断面比例	水位 /m	流速 /(m·s ⁻¹)	阻水断面占 全断面比例
卢沟桥分洪枢纽	下游	63.79	2.17		63.81	2.16	
京广铁路桥	上游	62.4	3.41	10.60%	62.47	3.34	12.47%
	下游	62.13	3.71		62.21	3.62	
卢沟石桥	上游	61.45	2.71	34.89%	61.65	2.63	34.24%
	下游	60.75	3.21		61.15	2.9	
临时导行路	上游	60.36	1.55		60.92	1.3	51.85%
	下游	60.34	1.56		60.22	1.62	
辅路桥	上游	60.23	1.89	22.10%	60.1	1.99	4.41%
	下游	60.01	2.08		60.01	2.08	
京石高速桥	上游	59.73	2.14	6.10%	59.73	2.14	6.10%
	下游	59.6	2.31		59.6	2.31	

计算结果表明,新建辅路桥采用连续梁圆柱形支墩结构,大大降低了阻水断面面积,与原辅路桥相比,辅路桥上断面 100 年一遇洪水水位降低 0.13 m;临时导行路占据了 1/2 以上的河道行洪断面,导致其上游断面 100 年一遇洪水水位比工程建设前壅高 0.56 m,壅水上溯影响卢沟石桥,使其上下游断面水位分别比建设前抬高 0.2 m 和 0.4 m,京广铁路桥上下游水位分别壅高 0.07 m 和 0.08 m,卢沟桥分洪枢纽闸下水位壅高 0.02 m。

由此可见,临时导行路的建设对卢沟桥分洪枢纽至临时导行路段河道的行洪能力造成了较为严重的影响,壅高洪水位将使原本 100 年一遇防护标准的堤防承受更大的防汛压力。根据现状堤防高程分析,京广铁路桥至临时导行路段左堤超高不满足设计要求。

4 结语

实践证明,RAS 具备在较复杂水力条件下分析多种结构类型涉水建筑物壅水影响的能力,方法合理、成果可靠,为今后类似分析研究工作开辟了新途径。

【作者简介】杨扬(1986-),男,2007 年毕业于河海大学,助理工程师。

【收稿日期】2010-07-02;【修回日期】2010-08-02

