

五指山市毛阳桥工程对毛阳河河道行洪影响的数值模拟

黄维^a, 黄国如^{a,b}

(华南理工大学 a. 土木与交通学院; b. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘 要: 为对比分析不同方案下毛阳桥工程建设对河道行洪影响, 构建工程所在河段局部二维水动力模型, 采用基于三角形网格的有限体积法求解该模型, 模拟毛阳桥工程所在河段的水位和流速流向变化情形。结果表明: 原设计方案对水位雍高和流速流态均有较大影响, 水位最大雍高值 0.593 m, 流速最大增加值 1.909 m/s; 改进方案明显减少了对水位和流速流态的不利影响, 水位最大雍高值 0.088 m, 流速最大增加值 0.635 m/s, 两者的变化幅度均较小, 影响范围局限于工程附近, 基本不会对河道行洪安全构成威胁。

关键词: 行洪影响; 阻水比; 壅水; 流速流态; 二维水动力模型; 毛阳河

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0146-05

Numerical simulation of influence of Maoyang bridge in Wuzhishan on flood control of Maoyang river

HUANG Wei^a, HUANG Guoru^{a,b}

(a. School of Civil Engineering and Transportation; b. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to analyze and compare the effect of construction of Maoyang bridge on river flood in different schemes, the paper built a 2D hydrodynamic model which took FVM of triangle mesh to resolve the model, and simulate the variations of water level and velocity and direction of this project. Result indicated that the original project plan has severe effect on the banked-up of water level, flow velocity and state. The biggest high of banked-up is 59.3 cm, and the largest increase value of flow velocity is 1.909 m/s. The improved scheme obviously reduced the adverse effects of water level, flow velocity and direction. The highest banked-up of water level is 8.8 cm. The maximum increase value of flow velocity is 0.635 m/s. The change ranges of both are small and can't basically threat the operating safety of the river.

Key words: effect of flood control; water resistance ratio; backwater; flow velocity and pattern; 2D hydrodynamics model; Maoyang river

为解决海南省五指山市毛阳镇区域路网问题, 连接毛阳河南北两岸的交通路网干道, 便利周边区域居民出行, 促进土地开发和经济发展, 五指山市拟在毛阳河建设毛阳桥工程。因项目地处昌化江上游, 洪水陡涨陡落, 河道水流形态较为复杂, 桥梁建设工程可能会改变该河道的水流形态, 为确保河道行洪安全, 需分析论证工程建设对所在河道行洪态势所造成的影响。近年来, 针对涉河工程项目防洪影响评估大多采用一、二维水动力模型进行分

析^[1-9], 由于该工程地处河道上游, 受影响范围相对较小, 本研究建立工程所在河段二维水动力模型, 分析不同方案对毛阳桥工程所在河段的行洪影响。

1 研究区域概况

毛阳桥位于海南省五指山市毛阳镇, 横跨昌化江上游毛阳河, 属于镇内路网的二纵路上, 河道左岸为 224 国道, 河谷呈 U 型, 岸上为山包, 地形稍有起伏, 为花岗岩剥蚀丘陵, 地表生长有灌木丛; 河道右

收稿日期: 2014-08-20; 修回日期: 2014-09-30

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301093、201401048); 华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室自主研究课题项目(2014ZC09)

作者简介: 黄维(1990-), 男, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 主要从事流体力学研究。

通讯作者: 黄国如(1969-), 男, 江苏南京人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源研究。

岸为水稻田以及槟榔林,地形平缓。毛阳河属于漫滩河,自东向西蜿蜒流动,历年最高洪水位 210.00 m。毛阳桥上游约 0.5 km 处有德胜水电站,下游约 0.6 km 处有毛阳水位站。

毛阳桥所在河道断面宽度约 170 m,毛阳桥设计全长 125.72 m,上部结构设计为单跨 20 m 预应力简支空心板,共 6 垮,桥面连续,桥梁总跨径 120 m,拟在桥梁左岸河道内堆填土石方使之成为引道工程。由于该设计方案大大减小了河道行洪断面,会对河道行洪安全造成不利影响,因此拟考虑在桥梁左岸增加 1 跨(称之为改进方案一)或 2 跨(称之为改进方案二),使原有 6 垮桥梁变为 7 垮或 8 垮桥梁,改进设计后两岸引道工程部分仍采用土石方堆填与岸边相连接,工程平面布置见图 1。尽管采用改进方案后桥梁所在河道过水断面面积明显增加,对河道行洪安全有着积极的作用,但不管采用何种改进方案,桥梁建成后都会对河道行洪产生一定影响,因此,有必要对不同工程方案的防洪影响进行对比分析研究。

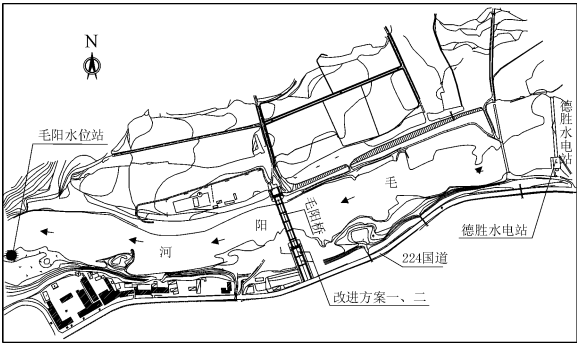


图 1 毛阳桥工程位置图

2 二维水动力模型构建

采用水深平均平面二维浅水方程作为水流计算的控制方程,构建二维水动力模型进行工程防洪影

响计算,模拟工程附近区域河道的流速及流态变化情况。二维水动力模型采用非结构三角形网格的有限体积法离散方程组,三角形网格对复杂区域边界有良好的适应性,且易于实现局部加密;有限体积法在物理平面内的非均匀网格上就可直接进行计算,无须任何坐标转换,同时具有良好的守恒性质,可以准确处理急流、间断解,能较好地反映研究区域的水流形态^[5,10]。

根据工程可能影响的河道范围选择二维模型计算范围(图 1),以德胜水电站下泄流量作为模型上边界条件,以毛阳水位站水位作为模型下边界条件,各种频率下的设计值见表 1。

表 1 研究范围上下边界设计值

设计频率 $P / \%$	2	5
德胜下泄流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	3892	3130
毛阳站洪水位/m	205.83	204.69

从德胜水电站下游至毛阳水位站进行 1: 1000 带状地形和 11 个河道断面测量,根据带状地形和断面数据插值生成河道地形资料。

模型采用不规则三角形网格划分计算区域,对于河道范围内的引道、桥墩按不透水边界处理,排除在三角形划分区域之外。网格大小及疏密程度沿河道河势宽窄变化不等,对工程附近河道及桥墩位置网格进行局部加密,最小网格单元边长约为 0.5 m,最大边长约为 20 m,网格总数约为 2 200,二维模型计算网格划分结果见图 2。

模型涉及的主要参数为糙率,毛阳桥工程所在河道断面变化不大,两岸均有堤防,属山区河流,该天然河道糙率 n 取 0.04^[11]。工程建成后,河道糙率有所变化,但变化幅度不大,故工程建设后糙率值不变。

3 结果分析

分别选取频率 $P = 2\%$ 、 5% 两种设计频率下的

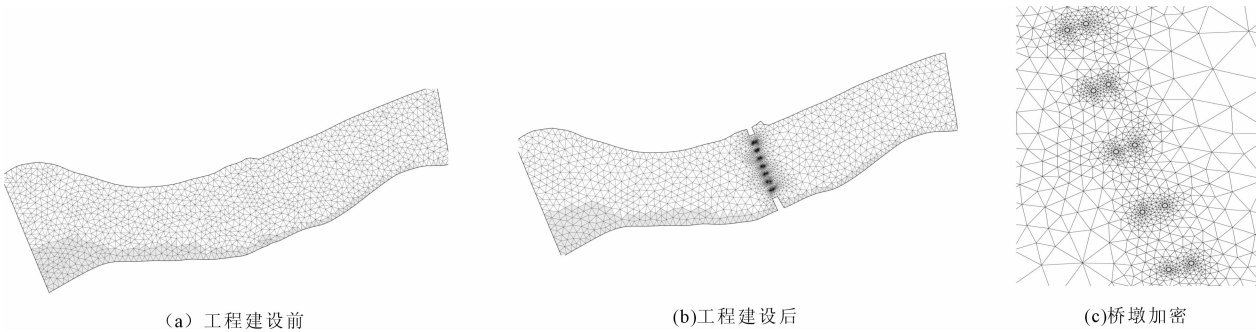


图 2 工程建前后二维模型网格图

流量、水位作为模型的上、下边界条件,针对天然状态、原设计方案、改进方案一、改进方案二等 4 种状态模拟工程附近河道水流流态。

3.1 工程阻水比分析

毛阳桥建设将占用部分河道,这将减小毛阳河过洪断面,从而增加河道行洪阻力,使工程上游产生一定程度壅水。计算面积阻水比能从宏观角度评估工程对河道行洪断面占用程度。桥台、桥墩及其基础阻挡水流所占面积和墩台侧面产生涡流阻滞水流所占面积称为墩台阻水面积,此时桥轴线断面的实际泄流面积应等于某一水位下桥梁所在河道断面的总面积减去墩台阻水面积,称为有效过水面积。将墩台阻水面积除以河道断面总面积,即可估算出该桥梁墩台的面积阻水比,用于反映该桥梁占用河道的情况和阻水程度。

毛阳桥在建设过程中,将其左岸部分河道填埋作为公路桥梁组成部分,这样会减少河道行洪断面面积,增大河道阻水比。为了使河道行洪更加顺畅,分别考虑增加 1 跨、2 跨和 3 跨桥梁后再分析计算相应的阻水比,即分析计算 4 种状态(原设计方案、改进方案一、改进方案二、增加 3 跨方案)的阻水比,结果见表 2。

由表 2 可知,工程阻水比在各方案条件下差距较大,原设计方案最大阻水比为 27.54% ($P=2\%$),改进方案一最大阻水比为 17.18% ($P=2\%$),改进方案二最大阻水比为 10.56% ($P=2\%$),增加 3 跨后最大阻水比为 10.27% ($P=2\%$)。若按原方案设计,阻水比非常大,这将严重

影响河道行洪安全;改进方案一阻水比有所减小,但仍然较大;改进方案二阻水比较原方案减小了 61.6%,对河道行洪安全改善较大。由于工程所在河道断面宽度限制,最多只能增加 3 跨,增加 3 跨后阻水比较改进方案二减小有限,仅为 2.8%,因此增加 3 跨桥梁意义不大。

表 2 不同设计频率下不同方案的面积阻水比 %

设计频率	原方案	改进方案一	改进方案二	增加 3 跨后
2	27.54	17.18	10.56	10.27
5	26.17	15.81	9.70	9.62

综合以上分析可以看出,50 年一遇设计洪水情况下原工程设计方案的阻水比高达 27.54%,极不利于行洪安全。为了改善河道行洪条件,应增加桥梁跨数,将填埋的河道部分恢复。增加桥梁跨数后阻水比明显降低,且增加跨数越多,阻水比降低越多,当增加 2 跨后阻水比约为 10%,较原设计方案而言,大幅度地增加了河道过流断面面积,对于行洪安全较为有利。

3.2 壅水分析

利用二维水动力模型得到不同方案下工程建设前后计算结果,因高位洪水条件下工程附近河道水位变化最明显,选取 $P=2\%$ 时不同方案下水位沿程变化情况,结果见图 3。

由图 3 可知,原设计方案条件下桥梁上游附近左岸水位明显高于右岸,这样会迫使水流从左岸偏向右岸,且将势能转化为动能,使右岸流速增加,势

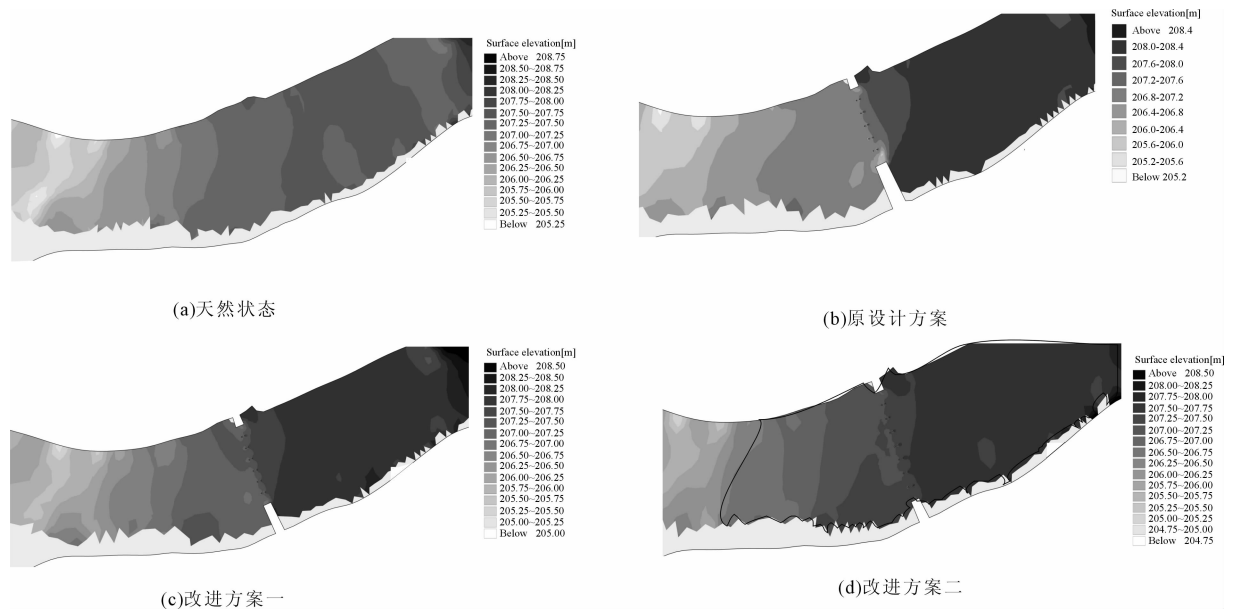


图 3 2% 时四种状态下水面高程变化情况图

必会造成水流冲刷右岸,该数值模拟结果与水力学理论较为吻合^[11],从而验证了本模型的有效性。不难发现加1跨后水流向右岸冲刷现象得到一定缓解,但仍然会对右岸造成一定影响,加2跨后水流冲

刷右岸现象得到明显改善,且其水面高程变化规律与天然状态时水流变化规律较为接近。
根据不同方案下工程建设前后的模型计算结果进行壅水分析,结果见表3。

表3 不同方案工程建设前后毛阳河沿程水位变化情况										m
方案类型	下游500 m		下游250 m		桥梁位置		上游250 m		上游500 m	
	$P=2\%$	$P=5\%$	$P=2\%$	$P=5\%$	$P=2\%$	$P=5\%$	$P=2\%$	$P=5\%$	$P=2\%$	$P=5\%$
原方案	0.044	0.071	-0.051	-0.093	-0.145	-0.123	0.593	0.462	0.368	0.348
改进方案一	0.041	0.064	-0.089	-0.151	-0.041	-0.036	0.336	0.245	0.212	0.208
改进方案二	0.029	0.054	-0.088	-0.159	-0.090	-0.076	0.088	0.051	0.122	0.144

注:表中正值表示壅水,负值表示跌水。

由表3可知,由于工程占用河道部分行洪过流面积,阻滞水流,工程上游在各种水位条件下均出现水位壅高现象。原设计方案造成的上游水位壅高较大,最大壅高值为0.593 m;改进方案一上游水位壅高有所减小,最大壅高值为0.336 m,较原设计方案水位最大壅高值减小约43%;改进方案二上游水位壅高明显减小,最大壅高值为0.088 m,较原设计方案水位最大壅高值减小约85%。因工程阻滞上游来水,工程位置下游出现较明显的跌水,但跌水范围仅局限于距工程250 m以内水域,较远处水位变化不大。

3.3 流速流态分析

选取二维模型部分点的计算结果,分析不同方案下工程导致的河道流速和流态变化,采样点位置见图4。因高位洪水条件下工程附近河道流速变化最明显,本文选取 $P=2\%$ 的计算结果进行分析,结果见表

4,不同工程建设前后所在河道局部流场见图5。

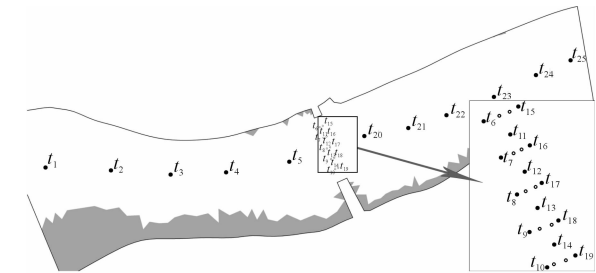


图4 采样点分布图

由表4可以看出,原设计方案工程建设后, $t_1 \sim t_5$ 点(工程下游)流速距离桥越远增加越小,超过一定距离后(t_1 、 t_2 点)流速出现减小的趋势,最大变化值为0.769 m/s(t_5 点); $t_{11} \sim t_{15}$ 点(工程附近水域)流速呈增大趋势,最大增加值为1.909 m/s(t_{11} 点); $t_{21} \sim t_{25}$ 点(工程上游)流速均减小。改进方案工程

表4 50年一遇条件下的工程局部流速、流向变化									
采样点号	流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)				采样点号	流向/($^\circ$)			
	天然状态	原方案变化	改进一变化	改进二变化		天然状态	原方案变化	改进一变化	改进二变化
t_1	3.624	-0.180	-0.178	-0.205	t_1	260.183	0.530	0.364	2.843
t_2	3.925	-0.418	-0.397	-0.427	t_2	276.085	0.130	-0.993	-1.468
t_3	4.724	0.151	0.154	0.203	t_3	275.423	-0.653	-0.049	-0.661
t_4	3.822	0.126	-0.037	-0.124	t_4	263.697	-2.490	-0.357	0.478
t_5	3.195	0.769	0.263	0.002	t_5	256.214	-5.502	-3.016	1.513
t_{11}	2.799	1.909	1.133	0.635	t_{10}	251.729	11.728	15.518	5.551
t_{12}	3.150	1.556	0.769	0.398	t_{12}	252.418	2.078	2.107	0.330
t_{13}	3.274	1.613	0.749	0.409	t_{13}	253.064	2.144	2.797	0.235
t_{14}	3.179	1.509	0.740	0.464	t_{14}	253.885	3.034	4.387	0.645
t_{15}	2.702	1.299	0.580	0.241	t_{19}	249.051	12.624	10.019	2.306
t_{20}	2.889	0.159	-0.084	-0.014	t_{20}	250.500	6.135	1.365	-0.483
t_{21}	3.172	-0.256	-0.165	0.148	t_{21}	249.352	1.663	-0.493	-0.696
t_{22}	3.304	-0.262	-0.206	0.072	t_{22}	249.559	-1.283	-1.476	-1.371
t_{23}	4.079	-0.553	-0.235	-0.023	t_{23}	247.061	-0.238	0.883	0.890
t_{24}	3.585	-0.379	-0.350	-0.259	t_{24}	243.488	2.535	0.504	-0.147
t_{25}	2.679	-0.111	-0.059	-0.057	t_{25}	254.276	0.375	0.116	-2.413

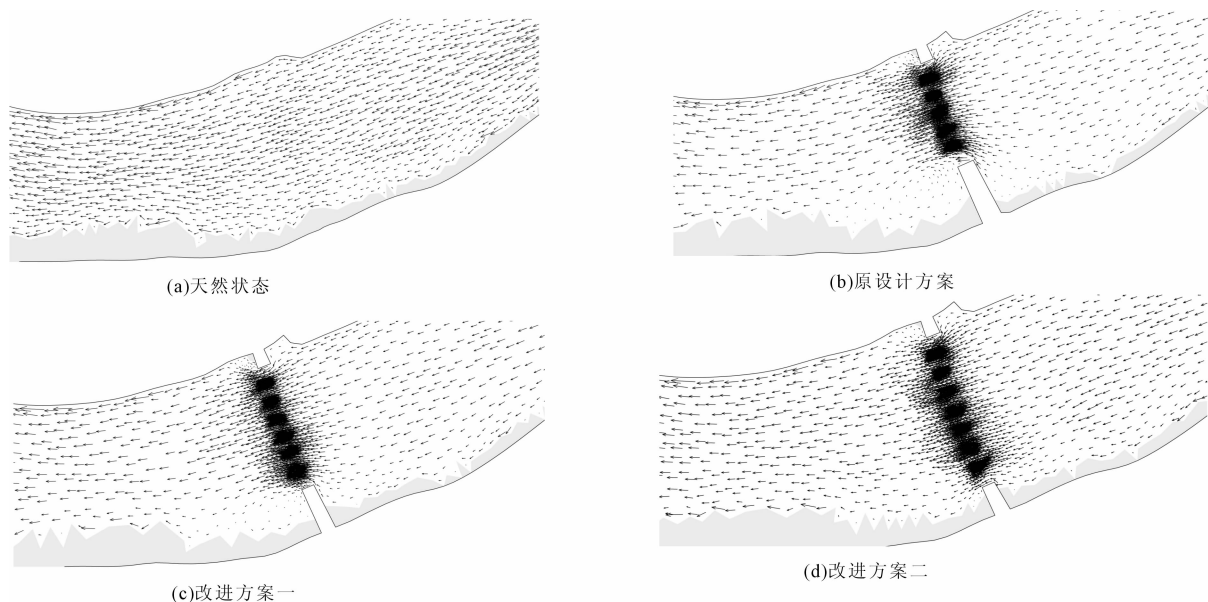


图5 工程建设前河道局部流场图

建设后流速增加明显减小,尤其是改进方案二流速增加最大值为 0.635 m/s (t_{11} 点),较原设计方案流速增加最大值减小了约 66.7%。可见桥梁建成使过水断面面积减小,桥梁附近过水断面收缩,流速增大,上游流速减小对来水具有一定的阻滞作用。相对于原设计方案,改进方案的流速增大情况虽依然存在,但较原设计方案有明显的减小,对河道行洪安全具有积极有利的影响。工程建成后桥梁上下游左右岸附近流向的变化较明显,最大变化值达到 12.624° ,其余区域流向变化不大,均未超过 10° 。流向的改变是由于桥台改变河道岸线所致。

由图5可知,原设计方案工程建设后,桥梁附近区域的绕流、回流等不良流态区域非常明显,桥梁附近区域流态比较恶劣。改进方案后桥梁附近区域的绕流、回流等不良流态区域明显减少,桥梁附近区域流态比较顺畅。尤其是改进方案二桥梁附近区域流态更加平顺,远离工程的上游流速、流态均无明显变化。

4 结 语

本文通过建立工程所在河段局部二维水动力模型,模拟不同方案下工程建设前后水位、流场分布等情况。毛阳桥工程对工程附近河段行洪安全有一定影响,工程建设对河道有一定阻水作用,原设计方案造成的上游水位壅高较大,改进方案有效地减小了上游水位壅高,大大提高了工程附近河段行洪安全。工程附近流速有所变化,原设计方案对流速增大影响较大,改进方案明显地减少了流速增大值,有利于

减小河道冲刷影响,保证桥梁结构的稳定性。相对于原设计方案,加2垮以后的改进方案二对桥梁附近流态有较大改善,使附近水流更加顺畅,基本不会对河道整体行洪产生不利影响。

参考文献:

- [1] 谭英,胡宇丰,黄国如. 广州南沙凤凰-桥建设对河道防洪影响分析[J]. 水电能源科学,2011,29(11):47-50.
- [2] 王俊,肖俊. 浅谈拟建桥梁对河道行洪和河势稳定的影响-以孔雀河复线大桥工程为例[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(2):126-131.
- [3] 杨文海,路志强,刘涛. 跨河桥梁防洪影响评价研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(2):163-165+169.
- [4] 郭维东,陈海山,刘健. 浑河洪水特性数值模拟分析[J]. 水电能源科学,2010,28(4):46-48+126.
- [5] 陈思宇,匡翠萍,刘曙光,等. 太浦河一维、二维水流数值模拟比较研究[J]. 人民长江,2008,39(15):51-53+56.
- [6] 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.
- [7] 李艳红,周华君,时钟. 山区河流平面二维流场的数值模拟[J]. 水科学进展,2003,14(4):424-429.
- [8] 黄纪萍,喻海军,黄国如. 清远市滨江河口段堤线外移对北江河道行洪的影响[J]. 水电能源科学,2014,32(6):65-68.
- [9] 林伟波,包中进. 二维数学模型在防洪影响评价中的应用[J]. 中国农村水利水电,2009(12):59-63.
- [10] 谭维炎. 计算浅水动力学-有限体积法的应用[M]. 北京:清华大学出版,1998.
- [11] 赵振兴,何建京,王付,等. 水力学[M]. (第2版)北京:清华大学出版,2010.