

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2019.05-09

湘江干流长株潭段桥梁建设对河道行洪能力影响研究

刘文博, 宋文杰, 石林, 赵丽子

(湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙 410007)

摘要:湘江长株潭段桥梁众多,以往开展桥梁兴建对河道行洪能力影响分析时,大多考虑单座桥梁的影响,而河道众多跨河桥梁会对河道行洪能力产生累积效应.本研究依托实测河道地形和水文资料,建立湘江干流长株潭河道平面二维水动力模型,在对模型进行验证的基础上,对比分析了4组不同来流条件下桥梁兴建前、后对水位的影响.研究表明,流量越大,产生的水位雍高愈大;单座桥梁对河道水位雍高有一定的影响范围,在已有桥梁河道上,兴建新的桥梁,需合理规划桥梁位置.

关键词:湘江;江心洲;水沙变化;冲刷;临界流量

中图分类号:TV147

文献标识码:A

文章编号:1004-4701(2019)05-0357-06

0 引言

近年来随着经济社会快速发展和城市化进程加快,跨河桥梁建设等项目逐渐增加,河道范围内桥梁建设项目的管理工作越来越重.桥梁建设项目完成后,受河道内桥墩的影响,束窄了河道过水断面,导致桥梁上游河段水位雍高,洪涝灾害更易发生,进而危及两岸防洪安全,极大增加了防汛抢险的难度.为此,学者们针对过河桥梁兴建对河道行洪能力影响开展了大量研究,主要采用经验公式法^[1-3]、物理模型^[4]以及数值模型^[5-9],尤其是数值模型,因其能有效模拟实际河道情况,且精度较高,计算时间短,已得到广泛使用.如张震^[7]基于 MIKE 21 建立了淮河干流二维水动力数学模型,研究了商合杭铁路淮河大桥对淮河干流等行洪影响,为大桥设计提供了理论依据;韩剑桥等^[8]建立渭河咸阳段平面二维水流数学模型,研究了陇海铁路咸阳渭河桥改扩建工程对渭河行洪能力影响,研究表明可结合疏浚工程,增加过水面积,提升河道行洪能力.但是,现有研究大多是针对一座桥梁开展计算

分析,因此,有必要探讨多座桥梁兴建以后,对河道行洪能力的影响.湘江长株潭段位于湘江下游,河道两岸为长株潭城市群,是湖南省经济发展与城市化的核心地区,近年来,在该河道兴建了大量的过河桥梁,因此,本文以湘江长株潭段为例,通过建立湘江长株潭段平面二维水动力学模型,探讨河段内桥梁兴建后对河道行洪能力影响,进而为促进河道管理的规范化,为水行政主管部门在涉水项目审批和监督执法方面提供技术支撑.

1 河段概况

湘江是长江水系重要支流,也是湖南省境内最大的一条河流.湘江干流全长 856km(如含濠河口~城陵矶 113km 湖区湘江洪道则为 969km),湖南省境内长 680km,在广西全州斗牛岭流入湖南,经苹岛、冷水滩、衡阳、株洲、湘潭、长沙至湘阴的濠河口注入洞庭湖,与资、沅、澧水相汇,沿东洞庭湖湘江洪道经岳阳至城陵矶入长江.平均坡降 0.134‰.湘江流域面积 94 660km²,其中湖南占 90.2%,湖南省境内湘江流域面积占全省面

收稿日期:2019-08-13

项目来源:湖南省重大水利科技项目(湘水科计[2016]194-23).

作者简介:刘文博(1984-),男,大学本科,工程师.

积的40%。株洲至长沙段,属湘江下游下段。沿河多为冲积平原,河宽600~1000m,平均坡降0.045‰,具有平原河流特点。

研究河段位于湘江长株潭段,起于株洲水文站,止于长沙枢纽坝下靖港水文站,全长122km。研究河段左岸有靳江从长沙市区汇入,右岸有浏阳河、捞刀河从长沙市区汇入。按河床质分类属沙卵石和岩石浅滩,按平面形态分类有过渡、汊道和弯道浅滩。

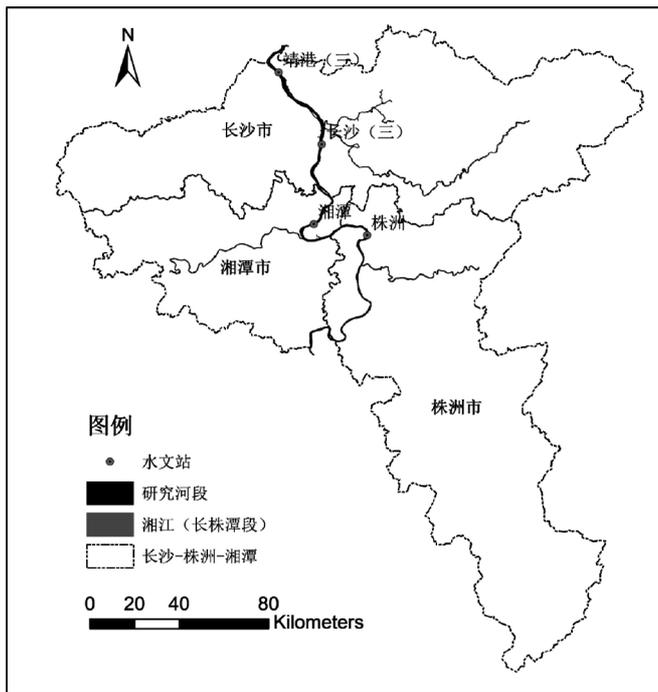


图1 研究河段地理位置

2 资料和方法

2.1 资料

本文选取湘江控制站湘潭站长序列流量资料进行频率分析,水位数据采用靖港水位站数据,其他验证站点水位资料为长沙水位站、长沙枢纽坝上、坝下水位资料。采用2015年湘江河道实测水下地形资料建立水动力学数学模型。河段地形如图2所示。

根据调查,湘潭水文站至靖港水位站主要桥梁从下游至上游主要16座桥(1#~16#),分别为:S61(岳临高速)湘江大桥、长沙绕城高速G0401及附近铁路桥跨月亮岛、长沙市三汉矶大桥、长沙市福元路大桥、银盆岭大桥、橘子洲大桥、猴子石大桥、湘府路大桥、黑石铺大桥、长昆客运专线湘江大桥位于兴马洲上、沪昆高速湘

江大桥、莲城大桥、湘黔线湘江大桥、湘潭三大桥、湘潭一大桥。桥梁位置如图2所示。

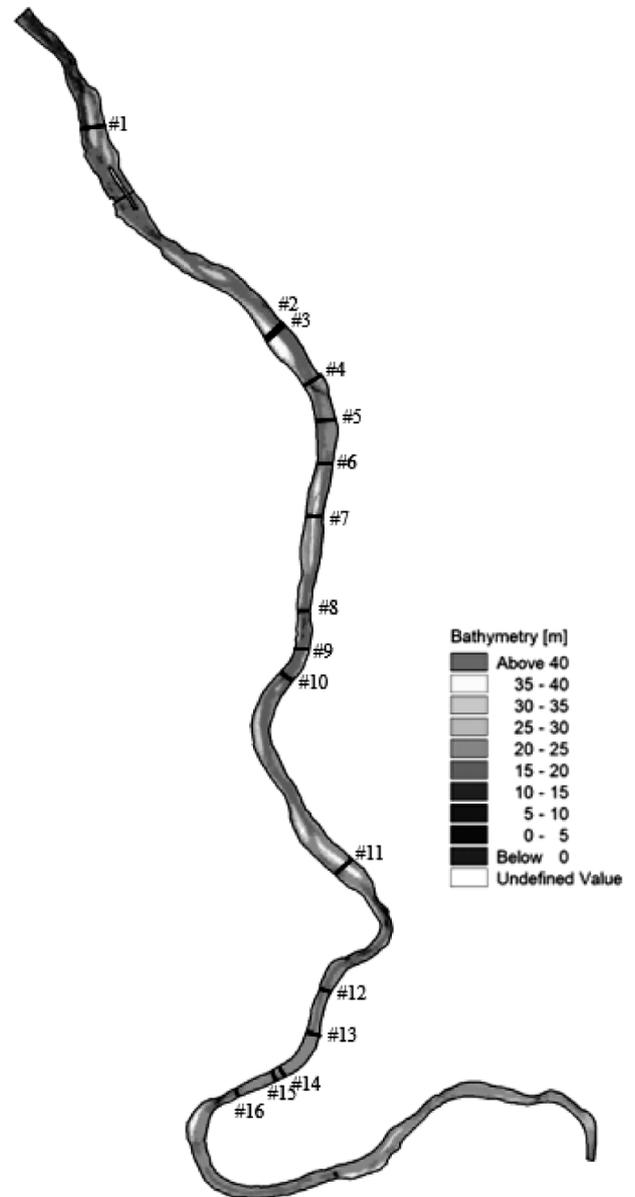


图2 河段地形和桥梁位置图

2.2 方法

本文采用MIKE 21建立湘江株洲水文站至靖港水位站二维水动力学数学模型,模型入口边界条件设置为流量边界,模型出口边界为靖港水位站水位。模型控制方程为:

水流连续方程为:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

水流运动方程为:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + g \frac{\bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{C^2 h} = v_t \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + g \frac{\bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{C^2 h} = v_t \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中: t 为时间; x, y 为右手 Cartesian 坐标系; d 为静止水深; η 为水位; u, v 分别为流速在 x, y 方向上的分量; C 为谢才系数, n 为曼宁系数; v_t 为紊动粘性系数; g 为重力加速度; 横线表示深度的平均值, \bar{u} 和 \bar{v} 是平均深度的速度。

控制方程离散方法采用单元中心的有限体积法求解, 计算网格划分采用三角形非结构网格, 最大网格长度约为 50.0m, 对桥墩附近的网格进行局部加密处理, 最小网格长度约为 1.0m, 计算域内共布置 143 934 个网格。图 3 为桥墩周围局部加密网格。

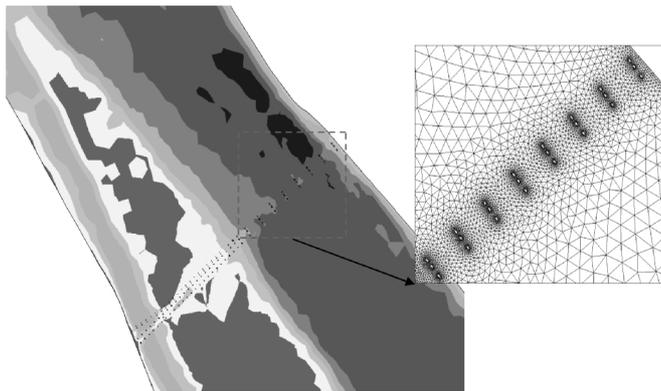


图 3 桥墩周围局部网格

3 结果

3.1 模型验证

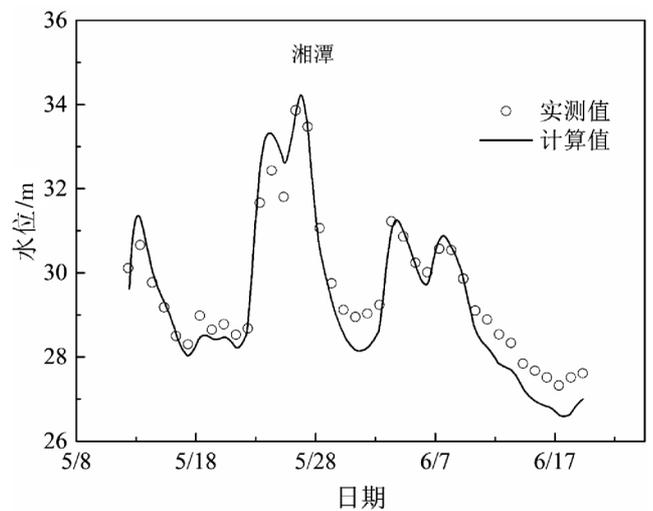
水面线的率定采用 2014 年 5 月 12 日~6 月 24 日湘潭水文站实测流量数据以及靖港同期水位数据, 并采用湘潭水文站和靖港水位站 2016 年 6 月 8 日~6 月 24 日实测资料进行验证。

表 1 给出率定和验证时期最高水位验证情况。通过比较模拟水位和实测水位数据, 可以看出模型与原型实测水位吻合良好, 误差均小于 $\pm 0.10\text{m}$ 。图 4 和图 5

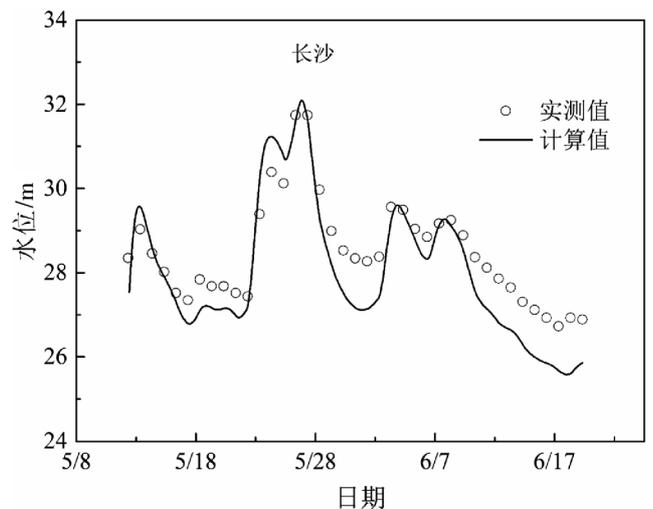
为率定和验证期模拟和实测水位过程线对比。由图可知, 率定和验证期模拟水面线与原型水面线吻合较好, 特别是在高水期, 表明本研究建立的二维数学模型可以较好的模拟研究河段的水流情况, 具有较高的精度。

表 1 水位验证表(最高水位) m

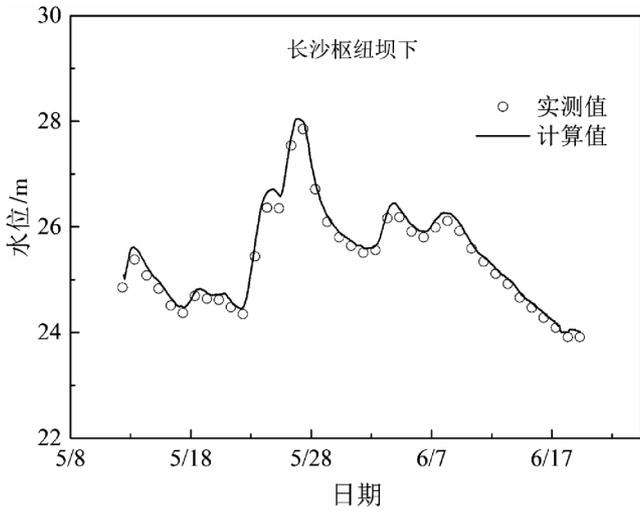
流量	水位测点	实测值	模拟值	差值
2014 (率定)	湘潭水文站	34.14	34.22	+0.08
	长沙水文站	32.06	32.09	+0.03
	长沙枢纽坝下	27.92	28.04	+0.12
2016 (验证)	湘潭水文站	34.98	35.11	+0.13
	长沙水文站	32.57	32.50	-0.07
	长沙枢纽坝下	28.34	28.74	+0.30



(a) 湘潭

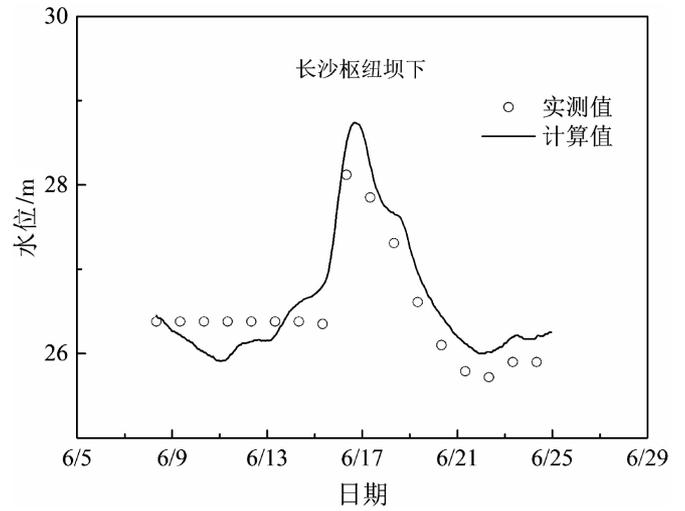


(b) 长沙



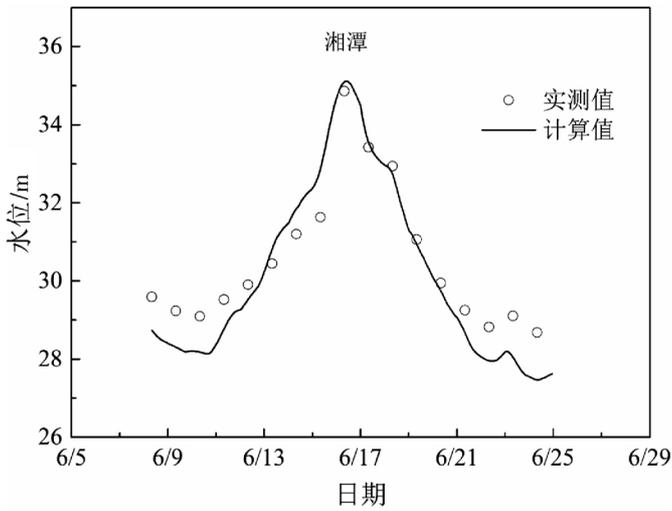
(c) 长沙枢纽坝下

图4 2014年率定水位过程(5月12日~6月24日)

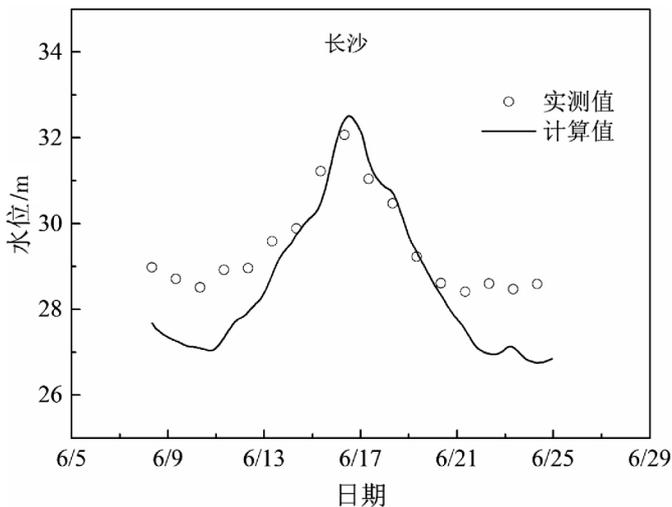


(c) 长沙枢纽坝下

图5 2016年验证水位过程(6月8日~6月24日)



(a) 湘潭



(b) 长沙

3.2 计算工况确定

结合实测水位流量资料,分析不同频率下湘潭水文站流量及相应的靖港站水位如表2所示。以往进行防洪影响评价分析时,仅探讨单座桥梁对河道行洪能力影响研究,未考虑其他已建成桥梁和待建桥梁对河道行洪能力的综合影响,因此,本项目探讨多座桥梁对河道行洪能力的综合影响,共设置4组对比情况。

表2 工况设计表

组次	频率/%	湘潭水文站流量/(m ³ /s)	靖港水位/m
1	0.5	天然河道	35.82
		24座桥梁	
2	1	天然河道	35.75
		24座桥梁	
3	10	天然河道	35.10
		24座桥梁	
4	10	天然河道	33.70
		24座桥梁	

3.3 计算结果分析

为分析桥梁及长沙综合枢纽对河道行洪的影响,根据其位置分别在各桥梁(长沙枢纽)上游附近选取特征点进行水位分析,如图6所示。

图6给出了不同来流条件下桥梁建成前后水位变化。由图可知,整个河段在修建桥梁后,河段水位出现

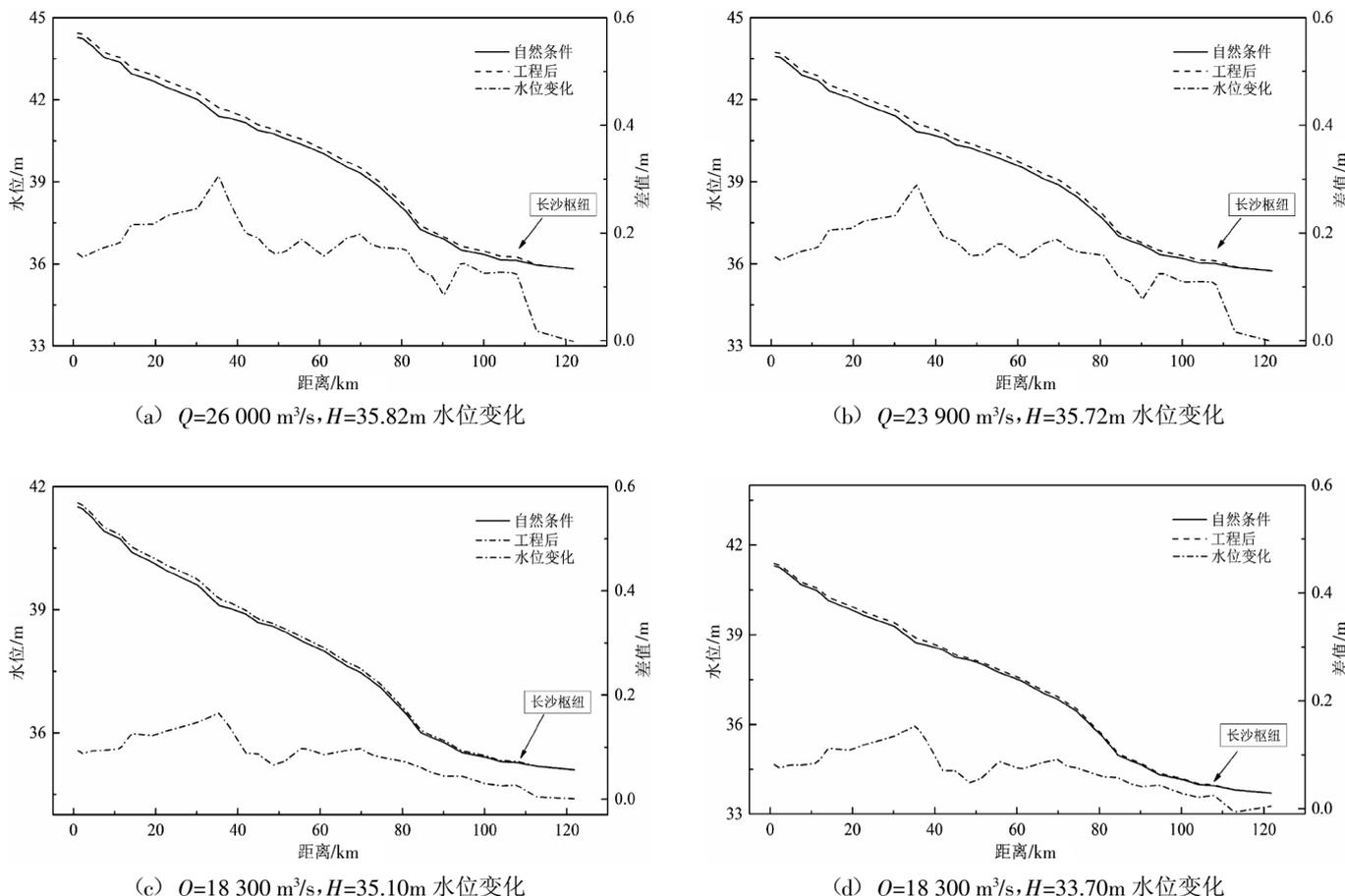


图 6 不同来流条件下桥梁建成前后水位变化

不同程度的雍高。从整体上来看,在河段上游出现水位雍高大于下游水位雍高,且在长沙枢纽以下,河道水位变化较小。同时根据 4 组对比结果,桥梁建成后,不同流量下,水位变化趋势基本一致,水位雍高最大处均位于距株洲水文站 35km 处,在不同来流条件下,对应的雍高分别为 0.238、0.206、0.165、0.154m,之后,越往上游,水位雍高越小,至株洲水文站处,水位雍高分别为 0.158、0.156、0.155m 和 0.152m。由此可知,桥梁兴建后,来流越大,造成的水位雍高越大。同时,在相同的来流条件下,下游出口水位越高,引起的河段水位雍高也越大。

河道上桥梁兴建后,影响的范围是有限的,在距株洲水文站 55km 处,200 年一遇洪水雍高 0.124m,而在其上游 7km 处,只雍高 0.080m,其雍高减小明显,但由于在上游处又新建了桥梁,使雍高又加大至 0.126m。因此,在已有桥梁河道上,兴建新的桥梁,需要合理规划桥梁位置。

4 结 论

本文通过建立湘江长株潭河段二维平面数学模型,根据实测资料对模型进行验证的基础上,开展桥梁兴建对湘江干流河段行洪能力影响研究。研究表明,湘江长株潭段兴建过河桥梁后,河道水位提升较为明显,在 200 年一遇来流条件下,水位最大雍高 0.238m,影响湘江下游河道防洪安全。同时,研究表明,流量越大,水位雍高越大;而在相同来流条件下,下游出口水位越高,雍高也越大。此外,由于桥梁的累积效应,会使得水位雍高逐步加大,雍水范围逐步加大。因此,如何在已有桥梁上,合理规划桥梁位置,尽量使累积效应减少到最小,需要进一步开展相关研究。

参考文献:

[1] 杨忠颖. 涿州市东码公路跨北拒马河北支桥梁工程防洪影

- 响评价[D]. 河北农业大学, 2015.
- [2] 美国陆军工程兵团. 王话昭, 张元禧等译. 水力设计准则[S]. 北京: 水利出版社, 1982.
- [3] 吴泽宇, 蒋为群. 南水北调中线工程输水渠道桥梁水头损失影响分析[J]. 水利水电快报, 1997, 18(5): 1~4.
- [4] 邱颂曦, 谭超. 北街水道特大桥工程防洪影响物理模型试验研究[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2014, 12(01): 7~10+52.
- [5] 王俊鸿, 覃光华, 童旭. 柱状桥墩顺河桥对山区河道雍水和冲刷的影响研究[J]. 人民珠江, 2019, 40(04): 122~128.
- [6] 陈晓更, 于得万. 基于 MIKE 21 半拉山大桥防洪影响分析[J]. 吉林水利, 2018(09): 43~46+50.
- [7] 张震. 二维水动力学模型在商合杭铁路淮河大桥洪水影响评价中的应用[J]. 人民珠江, 2018, 39(10): 118~123.
- [8] 韩剑桥, 段文中. 卡口河段桥梁建设对河道行洪的影响—以渭河咸阳段为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(06): 388~391.

编辑: 张绍付

Study on the influence of bridge construction on flood discharge capacity of Changsha–Zhuzhou–Xiangtan section of the Xiangjiang river

LIU Wenbo, SONG Wenjie, SHI Lin, ZHAO Lizi

(Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Changsha 410007, China)

Abstract: There are many bridges over the Changsha–Zhuzhou–Xiangtan section of the Xiangjiang river. In the past, when analyzing the influence of bridge construction on flood discharge capacity of the river, the influence of single bridge is mostly considered, while many river–crossing bridges will have a cumulative effect on flood discharge capacity of the river. Based on the measured river topography and hydrological data, a two–dimensional hydrodynamic model of Changsha–Zhuzhou–Xiangtan section of the Xiangjiang river is established. Based on the validation of the model, the influence of four groups of different inflow conditions on water level before and after bridge construction is compared and analyzed. The results show that the larger the flood discharge, the higher the water level is; single bridge has a certain influence range on the increasement of water level. In order to build new bridges over the river which already has many bridges, it is necessary to plan the location of bridges reasonably.

Key words: Xiangjiang River; Eyot; Flow–sediment variation; Scouring; Critical discharge

翻译: 刘文博