

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.04.002

斜交桥梁对山区河流行洪影响分析

秦国帅¹, 许士国¹, 李文生², 刘 瑀¹

(1.大连理工大学, 辽宁 大连 116024; 2.大连市水利建筑设计院, 辽宁 大连 116021)

摘要:为准确评估山区复杂工况条件下斜交桥梁对河流行洪的影响,建立 MIKE21 FM 水动力模型,以拟建浮渡河大桥为例,分析不同频率设计洪水条件下斜交桥梁对河流水位及流速的影响。结果表明,急流条件下桥梁对河道水位壅高的影响较缓流条件下要大,并且随着斜交角度的增加而增加,在桥梁设计过程中应尽量保持桥梁轴线与水流方向正交,以减小桥墩对河道行洪的影响;拟建浮渡河大桥能够使河道水位壅高,桥下流速越大,并且随着洪峰流量的增大,水位壅高和流速增加越明显;受水流流态及斜交角度的影响,杨家沟铁路桥处水位壅高及流速增加均大于下游陈屯铁路桥;斜交桥梁对山区河流行洪影响需要引起重视。

关键词:斜交桥梁; 山区河流; MIKE21 FM; 洪水; 影响

中图分类号: TV122

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)04-0006-05

Influence of Skew Bridge on Flood Control in Mountain River

QIN Guoshuai¹, XU Shiguo¹, LI Wensheng², LIU Yu¹

(1. Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China;

(2. Dalian Water Conservancy Building Design Institute, Dalian, Liaoning 116021, China)

Abstract: To better evaluate the influence of skew bridge on flood-control under complex conditions, the MIKE21 FM hydrodynamic model was established to analyze the influence of proposed Fudu River bridges on water level and flow velocity under the flood of different frequency. The results show that the backwater height in rapid flow condition is higher than that in slow flow condition and backwater height increases with the bigger skew angle. In the bridge design, it is recommended that the bridge axis should better be orthogonal to the direction of water flow, which could reduce the influence of piers on the river flood-control. The proposed skew bridge can make water level rise in front of the pier and the flow velocity increases under the bridge. The backwater height and the flow velocity increase as the flood increases. Due to the flow state and the skew angle, increase of backwater height and flow velocity at Yangjiagou Bridge both are greater than those at Chentun Bridge. Influence of skew bridge on flood-control should be fully considered in mountain bridge design.

Keywords: skew bridge; mountain river; MIKE 21 FM; flood; influence

随着社会经济的发展,跨河桥梁建设的数量和规模越来越大,桥梁形式也越来越多样化。在跨河桥梁设计中,受地形、河流形态及施工条件的限制,往往造成路线与河道斜交,此时将桥梁结构布置成斜交桥的形式经济效益更为显著,如海口荣山河并联斜交桥,合共高速公路大桥,宁安铁路桥等^[1-3]。跨河桥梁由于桥墩和桥台的束窄阻水效应,使水流流态发生变化,改变了河道的过流能力,特别是在桥位斜交的情况下,由于上下游桥墩之间相互干扰,阻水效应更加明显,对河道行洪的影响较正交情况下

更为复杂^[4]。山区河流由于河道窄、坡降陡,洪水呈现陡涨陡落的特性,跨河桥梁对河道行洪的影响往往比平原地区要大。目前在研究斜交桥梁对河道行洪能力影响时,通常是将桥下净过水面积等于斜交桥天然过水面积在正交断面上的投影与斜交桥桥墩在正交断面上的投影之差来考虑。按照这种方法,随着斜交角度的增加,投影在正交断面上的桥墩面积也越来越大,桥下净过水面积可能接近于零,由此求得的桥前壅水高度很大,往往与实际情况不符^[5-6]。目前关于斜交桥梁对山区河流行洪影响的

收稿日期:2018-03-02

修稿日期:2018-04-04

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0400903);中央高校基本科研业务费资助项目(DUT17JC17)

作者简介:秦国帅(1991—),男,河南安阳人,博士研究生,研究方向为水文学及水资源。E-mail:qgs1991@mail.dlut.edu.cn

通讯作者:许士国(1958—),男,山东临沂人,教授,主要从事水资源与水环境方面的研究。E-mail:sgxu@dlut.edu.cn

研究主要分为模型试验和数值模拟,采用模型试验的方法往往费时费力,而数值模拟是一种方便可靠的途径^[7]。MIKE21 FM 是丹麦 DHI 公司开发的平面二维表面流模型,在大型工程影响评估中得到了广泛应用^[8-12]。本文通过建立 MIKE21 FM 模型,分析不同频率洪水条件下桥梁附近水位及流场的变化,以准确评估复杂工况条件下斜交桥梁对山区河流行洪的影响。

1 研究区域概况

拟建桥梁所在河流浮渡河(N39°57'45"~40°06'37",E122°18'44"~122°56'46")是大连、营口市两市的界河,流域面积 466 km²,主河道长 43.6 km,下游为平原地区,中上游为山区、丘陵地带。拟建桥梁位于浮渡河上游李刘沟至许屯镇段,中间有腰屯河汇入,河道蜿蜒曲折,平均比降 6.01‰。两岸堤防标准为 10 a 一遇,当遇到超标准洪水时,很容易发生漫堤,对两岸人民生活造成严重影响。该研究中拟建跨河桥梁是大连市许家屯至太平湾疏港铁路新建工程的一部分,主要包括杨家沟铁路桥和陈屯铁路桥,其中陈屯铁路桥由疏散线大桥、沈大线大桥和浮渡河

4 号大桥组合而成。杨家沟铁路桥和沈大线大桥为双线柱式桥墩,疏散线大桥和浮渡河 4 号大桥为单线柱式桥墩,桥墩间距除浮渡河 4 号大桥为 24 m 外,其余间距均为 32 m。本研究所河段属于典型的山区河流,受地形及线路布局的影响,拟建桥梁均以斜交形式跨越河流。其中杨家沟铁路桥斜交角度为 62°,疏散线大桥、沈大线大桥和浮渡河 4 号大桥斜交角度分别为 33°、24°和 10°。

2 模型构建

2.1 网格剖分

MIKE21 FM 模型在平面上采用非结构化网格模型,通过有限体积法(FVM)进行求解^[11]。利用模型中自带的非结构网格生成器对研究区地形进行剖分,生成模型计算所需的网格文件。模型计算区域共计 5.74 km²,最大网格面积不超过 0.001 km²,拟建桥梁处进行加密处理。本研究共计生成 32 159 个非结构化网格。剖分完成后,采用实测 1:2 000 地形图进行插值,并用 1:10 000 地形图进行校正。研究区网格剖分、地形以及桥梁位置如图 1 所示。

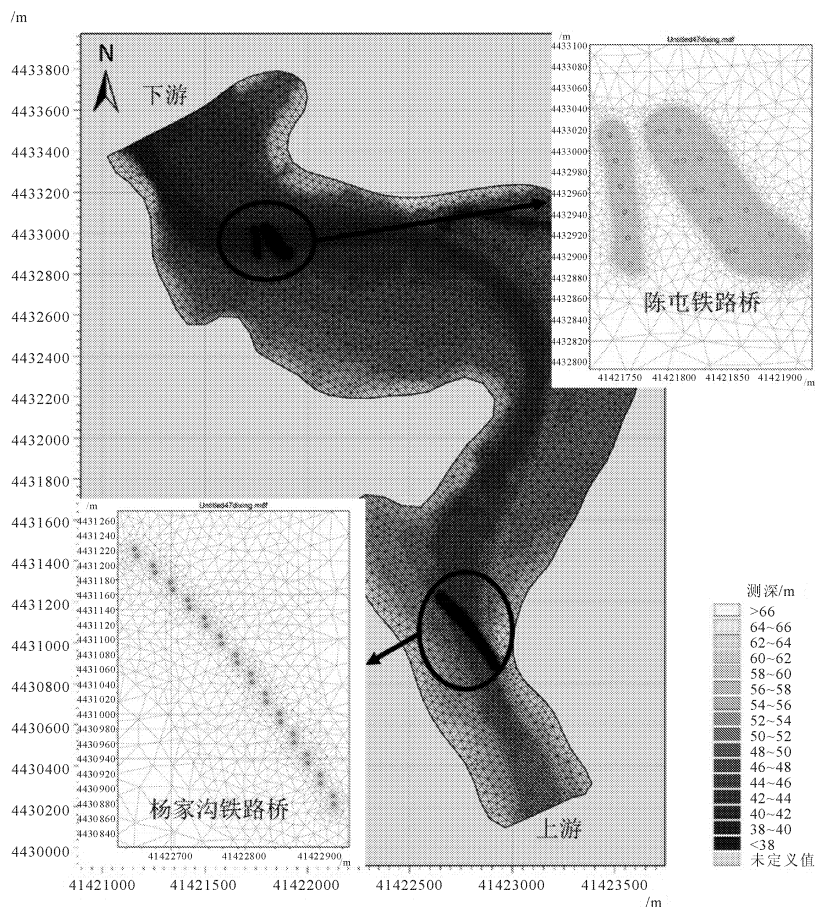


图1 研究区域网格剖分及地形插值结果

2.2 模型边界确定

模型边界包括模型上下游边界及下垫面糙率等。模型计算区域位于浮渡河上游山区丘陵地带,集水面积约 200 km²,因为流域内未设水文测站,属于无资料地区,故设计洪水采用 98 版《辽宁省中小河流(无资料地区)设计暴雨洪水计算方法》中所推荐的推理公式辽宁法推求浮渡河干流及支流腰屯河设计洪峰流量及洪水过程线^[14],洪峰流量计算见表 1。将计算得到的 10 a 一遇、20 a 一遇及 50 a 一遇干支流设计洪水过程线作为模型上边界。下边界因为缺乏实测资料,根据实际地形及曼宁公式计算得到下游边界处的水位流量关系曲线。糙率值参考文献^[11]中的糙率确定方法^[15],根据河流河床有水草、滩地面积大、主槽较窄,水流不够顺畅,且现状河道底部不平整等情况综合考虑,确定整段河道主槽糙率取值为 0.027,滩地糙率取值为 0.04。

表 1 设计洪峰流量计算表

洪水频率/%	10	5	2
浮渡河干流洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	1129.9	1561.8	2140.0
腰屯河洪峰流量/(m ³ ·s ⁻¹)	322.3	443.4	602.9

2.3 桥墩处理

MIKE21 FM 模块对桥墩的处理方法有附加阻力法和加密网格法^[16]。附加阻力法是通过增加桥墩所在单元的拖曳力来考虑桥墩对水流作用的影响,这种情况下桥墩对水流的阻力被均匀地分摊到桥墩所在的单元格上;加密网格法是对桥墩所在区域进行加密,将桥墩处地形进行拔高,使桥墩所在区域完全阻水进行考虑^[17]。本研究采用与实际情况更为接近的加密网格法来模拟桥梁桥墩对河道行洪的影响。

2.4 模型验证与工况设计

浮渡河流域内没有水文站,缺乏实测水位流量资料进行验证,因此将 MIKE21 FM 模型计算 10 a 一遇水面线结果与 2016 年大连市水利建筑设计院利用试算法推求的水面线进行对比,结果如图 2 所示。由图中可以看出模型计算结果基本满足水面线相似要求,说明模型构建合理,可以用于桥梁对河道行洪影响分析。

利用 10 a 一遇洪水计算结果对桥址处水流流态进行分析,杨家沟铁路桥所在河段弗劳德数 $Fr = 1.13 > 1$,水流形态为急流。陈屯铁路桥所在河段弗劳德数 $Fr = 0.10 < 1$,水流形态为缓流。为研究水流形态山区河流行洪影响,采用单线柱式桥墩,在

10 a 一遇设计洪水条件下,设置杨家沟段和陈屯段桥梁斜交角度为 0°,对比不同流态下桥梁的壅水特性;为研究桥梁斜交角度对山区急流条件下河道行洪的影响,分别令杨家沟段桥梁斜交角度为 0°、15°、30°和 45°,分析不同斜交角度下桥梁壅水高度,对比不同斜交角度下桥梁壅水特性。最后按照桥梁实际设计情况,对拟建杨家沟铁路桥和陈屯铁路桥壅水特性及流速流态进行模拟,分析对河道行洪的影响。

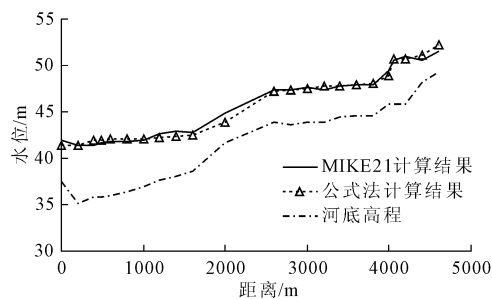


图 2 模型计算与试算法推求 10 a 一遇河道水面线

3 结果分析

3.1 不同流态和斜交角度对水位壅高的影响

10 a 一遇洪水条件下不同流态和斜交角度对水位壅高的影响如表 2 所示。由表 2 中计算结果可以得到,水流流态对水位壅高影响较大,急流情况下水位壅高值要大于缓流情况下水位壅高值。分析其中原因,当水深相同时,急流流速往往要大于缓流流速,即水流所具有的动能较大。当水流遇到桥墩阻拦时,水流动能转化为势能,所以急流条件下水位壅高要大于缓流条件下水位壅高。对急流条件下不同斜交角度水位壅高结果进行分析可得,斜交角度越大,水位壅高越大。主要是因为,在跨度相同情况下,斜交角度越大,河道中桥墩越多,投影在正交断面上的桥墩面积越大,桥下净过水面积越小,影响河道过流能力,会导致壅水增加^[16]。所以桥梁设计时应尽量使桥梁轴线与水流方向正交,以减小水位壅高对河道防洪带来的不利影响。

表 2 不同流态和斜交角度对水位壅高的影响

流态	斜交角度/(°)	壅水高度/m	壅水范围/m
缓流	0	0.011	170
	0	0.023	74
急流	15	0.028	78
	30	0.038	92
	45	0.053	132

3.2 拟建桥梁对河流行洪的影响

从防洪安全中最为关注的水位和流速两个方面

来评估拟建桥梁对河流行洪的影响。拟建桥梁对洪水水位的影响如图 3 和表 3 所示。由图 3 中可以看出,桥墩阻水效应明显,墩前水位较同一断面其他位置要高,并且不同桥墩之间存在叠加效应。由表 3 中计算结果可以看出,10 a 一遇、20 a 一遇和 50 a 一遇洪水条件下杨家沟铁路桥桥址处水位分别壅高 0.31 m、0.40 m 和 0.68 m,陈屯铁路桥桥址处水位分

别壅高 0.18 m、0.27 m 和 0.31 m。随着洪峰流量的增大,壅水高度也逐渐增大。由前文分析可知,山区河流桥梁壅水高度与水流流态和斜交角度均有关系,水流越急,桥梁斜交角度越大,水位壅高越明显。上游杨家沟铁路桥水流流态为急流,且斜交角度大于下游陈屯铁路桥,所以壅水高度较陈屯铁路桥要大。

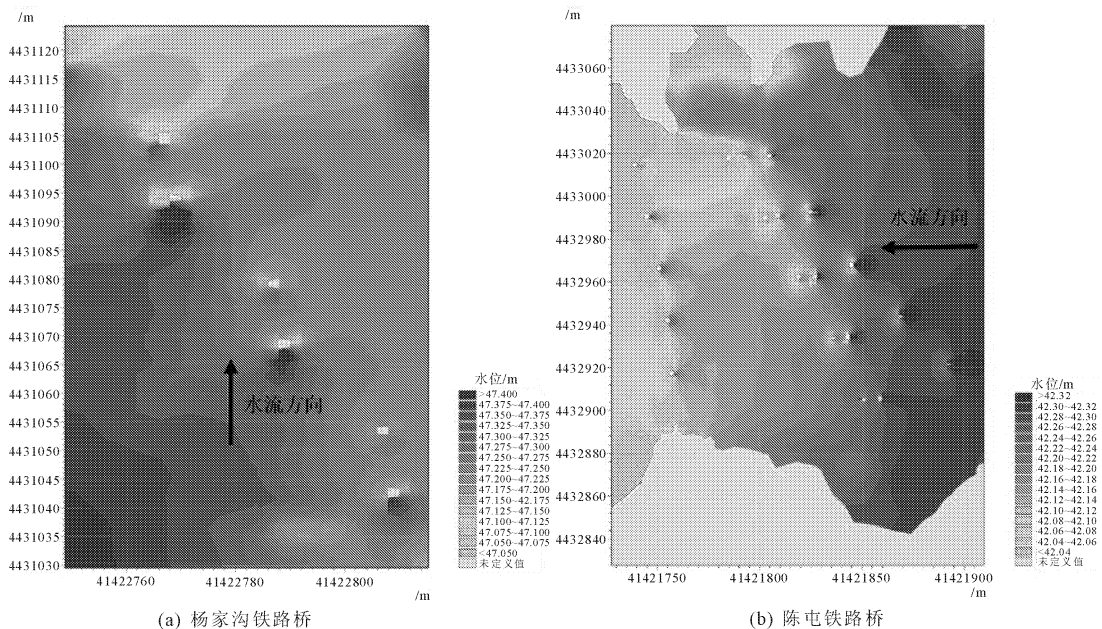


图 3 50 a 一遇洪水条件下建桥后水位分布图

表 3 不同洪水条件下桥梁对水位的影响

洪水类型	杨家沟铁路桥 建桥前水位 /m	杨家沟铁路桥 建桥后水位 /m	杨家沟铁路 桥壅水高度 /m	杨家沟铁路 桥壅水范围 /m	陈屯铁路桥 建桥前水位 /m	陈屯铁路桥 建桥后水位 /m	陈屯铁路桥 壅水高度 /m	陈屯铁路桥 壅水范围 /m
10 a 一遇	48.10	48.41	0.31	180	42.59	42.77	0.18	590
20 a 一遇	48.57	48.97	0.40	195	43.14	43.41	0.27	600
50 a 一遇	49.04	49.72	0.68	210	43.94	44.25	0.31	615

拟建桥梁对洪水流场的影响如图 4 和表 4 所示。由图 4 中可以看出,由于桥墩的阻水作用,桥墩前流速明显减小,桥墩下游由于桥墩的遮蔽效应,流速减小的范围有所增大。而桥墩两侧由于过水断面的减小流速明显增大。由表中计算结果可以得到,当发生 10 a 一遇、20 a 一遇和 50 a 一遇洪水时,杨家沟铁路桥桥下流速分别增加 0.41 m/s、0.46 m/s 和 0.47 m/s,陈屯铁路桥桥下流速分别增加 0.30 m/s、0.32 m/s 和 0.34 m/s。随着洪峰流量的增大,流速增加也越大。杨家沟铁路桥对流速增加的影响要大于陈屯铁路桥。分析其中原因,上游杨家沟处桥梁与河道斜交角度较大,河道中桥墩数量较多,桥梁断

面处阻水比(某一水位条件下桥墩阻水面积与该水位下的河道断面总面积之比)远大于下游陈屯铁路桥处(见表 4)。阻水比越大,过水断面越小,造成杨家沟铁路桥下流速增加值较大。

研究区域河道堤防标准为 10 a 一遇,杨家沟铁路桥和陈屯铁路桥处堤顶高程分别为 50.46 m 和 42.80 m,均高于 10 a 一遇洪水条件下河道壅高水位,说明拟建桥梁对研究区域内河道水位影响不大。但是水位壅高会在一定程度上降低已有堤防的防洪标准,并且流速增大会引起河床和堤防冲刷加剧,对桥梁本身的稳定性也有一定的影响,斜交桥梁对山区河流行洪影响需要引起重视。

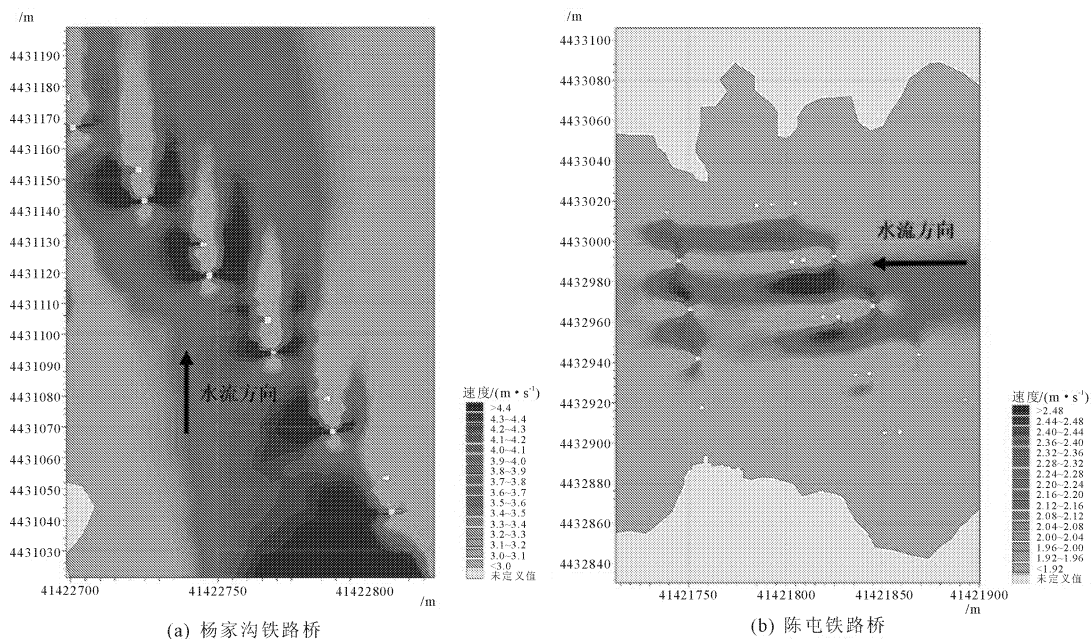


图 4 50 a 一遇洪水条件下建桥后流速分布图

表 4 不同洪水条件下桥梁对流速的影响

洪水类型	杨家沟铁路桥 建桥前流速 $/(m \cdot s^{-1})$	杨家沟铁路桥 建桥后流速 $/(m \cdot s^{-1})$	杨家沟铁路 桥流速增加 $/(m \cdot s^{-1})$	杨家沟铁路 桥阻水比 /%	陈屯铁路桥 建桥前流速 $/(m \cdot s^{-1})$	陈屯铁路桥 建桥后流速 $/(m \cdot s^{-1})$	陈屯铁路桥 流速增加 $/(m \cdot s^{-1})$	陈屯铁路桥 阻水比 /%
10 a 一遇	4.21	4.62	0.41	36.8	1.72	2.02	0.30	12.8
20 a 一遇	4.72	5.18	0.46	35.6	1.91	2.23	0.32	11.1
50 a 一遇	5.17	5.64	0.47	34.1	2.17	2.51	0.34	9.5

4 结 论

针对山区河流桥梁斜交的复杂工况,建立 MIKE21 FM 模型,分析斜交桥梁在不同频率洪水下对山区河流水位及流速的影响,结果表明:

(1) 水流流态对桥梁壅水有较大的影响,急流条件下桥梁壅水效应要大于缓流条件下桥梁壅水效应;在桥墩间距相同条件下,斜交角度越大,桥梁壅水高度越大,桥梁设计时应尽量使桥梁轴线与水流方向正交,以减小水位壅高对河道防洪带来的不利影响。

(2) 受水流流态和斜交角度的影响,杨家沟铁路桥处水位壅高和流速增加均大于下游陈屯铁路桥。斜交桥梁对山区急流条件下河道行洪影响需要引起重视。

参考文献:

[1] 武永新,汪 星.海口荣山河四线并联斜交桥桥墩河段水动力分析[J].南水北调与水利科技,2016,14(4):135-141.

[2] 李 彬,孙东坡,赖冠文,等.桥墩布置形式对桥墩绕流及局部流场的影响[J].中国农村水利水电,2013(7):129-132,134.

[3] 田 芳.宁安铁路小角度斜交桥异形刚架空间分析研究[J].铁道标准设计,2016,60(10):72-75,93.

[4] 汪 星.多线并联斜交桥桥墩河段水动力特性研究[D].天津:天津大学,2016:2-3.

[5] 吴玲玲,余 振,黄华忠.基于数值模拟的斜交桥渡壅水计算[J].科技视界,2014(11):78-80.

[6] 贲 鹏,陈 刚.台州湾大桥桥墩处局部冲刷试验研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(3):87-92.

[7] 叶 培,刘小兵,曾永忠.基于 HEC-RAS 模型的克什米大桥防洪评价中的壅水计算[J].水利与建筑工程学报,2014,12(6):9-13.

[8] 于 冬,拾 兵,刘文沛.城市斜交桥改建对青岛白沙河河道壅水影响的数值模拟[J].海洋湖沼通报,2017(3):38-44.

[9] 杨新伟,常春龙.MIKE21FM 模型在跨河桥梁防洪影响评价中的应用[J].科学技术创新,2017(36):111-112.

(下转第 30 页)

(上接第 10 页)

- [10] 纪忠华,胡勳乾,王璐,等.基于 MIKE21 模型的滨海核电厂厂址防洪评价研究[J].水利水电技术,2016,47(1):132-137.
- [11] 韩帅,马军,王淑云.MIKE 21 在莽山水库坝下河道数模中的应用[J].水利与建筑工程学报,2014,12(3):147-150,177.
- [12] 李彬.桥梁对河流阻水影响的一个综合判别指标[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(2):68-71.
- [13] 曾琼佩,王义刚,黄惠明,等.感潮河段桥梁壅水计算方法比较及敏感性分析[J].长江科学院院报,2015,32(7):58-63.
- [14] 金玲,许士国,于德全.中小河流洪水风险分析中的洪水演进计算研究[J].水电能源科学,2014,32(10):48-51,176.
- [15] 任梅芳,徐宗学,苏广新.基于二维水动力模型与经验公式的桥梁壅水计算及其对比分析[J].水力发电学报,2017,36(5):78-87.
- [16] 王珍,赵吉国.大魁河大桥斜交桥墩附近水流特性研究[J].广东水利水电,2013(11):17-20.
- [17] 常狄,陈雪.基于 MIKE21 二维数值模拟的不同桥墩概化方式下河道壅水计算结果对比分析[J].水利科技与经济,2017,23(2):29-32.
- [18] 张大茹,王向东,朱毕生.山区河道跨河工程的防洪影响研究[J].泥沙研究,2015(2):17-23.