

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2019111

徐雷诺, 吴广昊. 河南沈丘县沙河大桥工程对河道行洪影响研究[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 30(12): 35-38. XU Leino, WU Guanghao. Study on the influence of Shahe Bridge Project on river flood discharge in Shengqiu County, Henan Province[J]. China Flood & Drought Management, 2019, 30(12): 35-38. (in Chinese)

河南沈丘县沙河大桥工程对河道行洪影响研究

徐雷诺^{1,2} 吴广昊³

(1. 水利部淮河水利委员会, 蚌埠 233001; 2. 淮河水利委员会水文局(信息中心), 蚌埠 233001;

3. 中水北方勘测设计研究有限公司, 天津 300000)

摘要:利用二维水动力数值模型研究了河南沈丘县沙河大桥工程建设对河道行洪的影响, 得出了工程建设对河道水位、流速的影响。结果表明, 工程建设对河道行洪的影响主要表现为阻水, 对河势稳定影响较小。研究成果对于衡量工程建设对河道行洪影响具有重要意义, 同时亦可为工程建成后的运行管理提供依据。

关键词:防洪影响; 数值模拟; 水动力; 桥墩壅水

中图法分类号: TV87; U442.3

文章标识码: B

文章编号: 1673-9264(2020)12-35-04

0 引言

桥梁工程建设会减少桥址处河道断面的过水面积, 改变河道流场条件, 并引起局部水位壅高。国内外学者针对桥墩壅水问题已总结出大量经验公式^[1-2], 经验公式法虽然简便, 但精度较低, 主要用于对断面平均壅水值进行估算, 局限性较大。相对而言, 数值模拟具有成熟的理论体系, 得到越来越多的应用^[3-6]。本文采用数值模拟方法, 针对河南省沈丘沙河大桥工程这一工程案例开展桥墩壅水效应及对河道行洪影响方面的研究, 成果可用于分析评价工程建设对河道行洪影响, 为日后工程运行管理提供参考。

1 模型建立

1.1 工程概况

沈丘沙河大桥为河南省沈丘县兆丰大道跨沙颍河大桥, 位于沈丘槐店闸下游 1.3 km 处, 距下游新蔡河口 11.87 km, 是沈丘县连接沙颍河南北的主要交通干道。沈丘沙河大桥全长 645.08 m, 由北引桥、主桥、南引桥 3 部分组

成, 全桥共分 5 联, 主桥宽 40 m, 引桥宽 35 m, 桥面横坡均为 1.5%, 防洪标准为 100 年一遇。

1.2 控制方程

本文基于 Delft3D 软件建立工程区域的二维水动力数值模型, 控制方程为浅水方程。

连续性方程:

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

x 方向动量方程:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = hf\bar{u} - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \quad (2)$$

y 方向动量方程:

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = hf\bar{v} - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \quad (3)$$

收稿日期: 2019-07-01

第一作者信息: 徐雷诺, 男, 工程师, E-mail: xln@hrc.gov.cn。

\bar{u} 和 \bar{v} 的表达式如下:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (4)$$

式中: t 为时间, s; d 为静水深, m; η 为水位, m; $h = \eta + d$, 为总水深, m; u, v 为流速在 x, y 方向上的分量, m/s; f 为科氏力, N; ρ 为密度, kg/m³; ρ_0 为水密度, kg/m³; p_a 为当地的大气压, Pa; T 为水平黏滞应力项, N; S 为源汇项; τ_{sx}, τ_{sy} 为风摩擦应力分量, N; τ_{bx}, τ_{by} 为河床摩擦应力分量, N。

有多种方法求解方程(1)~(3)^[7-8], 本文将一个时间长分作两个时间层, 每一层上分别交替改变方向隐式求解控制方程。

1.3 网格划分

为更好地贴合天然河道的不规则边界, 本文采用正交曲线网格^[9], 网格单元数为414×54, 共计22 356个网格, 结合计算区域的面积, 本模型具有较高的计算精度。为保证计算精度, 本次计算对桥墩采用了干点处理, 即将桥墩所在网格设置为不过水网格来进行计算。

1.4 模型验证

根据工程河段的地质资料可知河床的土质主要为粉质黏土, 依据《水工手册》糙率取值范围, 将河道的糙率设置为0.022 5, 滩地的糙率设置为0.027 5。本次计算采用20年一遇洪水工况验证, 通过对比工程河段桥址处水位的模型计算值和设计值, 来对模型的合理性进行验证。

根据《沙颍河周口至省界航道升级改造工程沈丘枢纽工程规划同意书论证报告》, 沈丘沙河大桥桥址处河道在20年一遇洪水条件下的水位为40.86 m, 与模型计算值的对比如图1所示。由图可知, 桥址处各测点处水位的计算值与设计值的最大误差为0.01 m左右, 说明模型基本合理, 满足本次计算的需求。

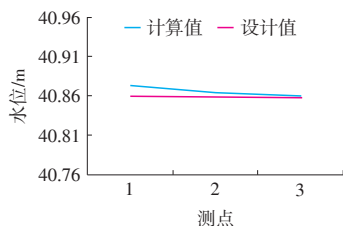


图1 20年一遇洪水工况下桥址处水位计算值和设计值对比图

2 计算工况及结果分析

本文采用20年一遇洪水工况验证, 分别计算50年一

遇和100年一遇洪水工况下工程建成前后水动力场的变化情况, 以研究分析工程建设对河道行洪的影响。20年一遇和50年一遇洪水工况对应的流量、水位根据《沙颍河周口至省界航道升级改造工程沈丘枢纽工程规划同意书论证报告》中的成果取值, 100年一遇洪水流量采用《桥涵水力水文》^[10]中的经验公式法计算:

$$Q_{1\%} = (1 + \Phi_{1\%} C_v) \cdot Q_{\text{平均}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{平均}} = CF^n \quad (6)$$

式中: $Q_{\text{平均}}$ 为平均年洪峰流量, m³/s; F 为大桥以上控制流域面积, km²; C, n 为地区性参数; C_v 为变差系数; $\Phi_{1\%}$ 为重现期为100 a的P-Ⅲ型曲线的离均系数; $Q_{1\%}$ 为100年一遇的洪水流量, m³/s。计算工况如表1所示。

表1 计算工况

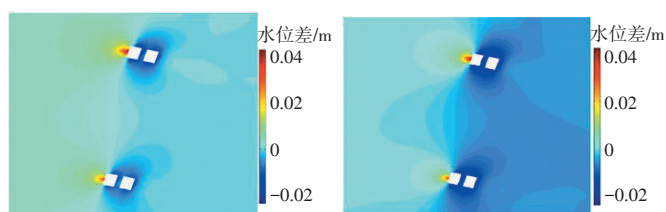
序号	工况	上游边界流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	下游边界水位/ m	备注
1	50年一遇洪水	4 150	41.98	工程建设前
2	50年一遇洪水	4 150	41.98	工程建设后
3	100年一遇洪水	4 780	42.94	工程建设前
4	100年一遇洪水	4 780	42.94	工程建设后

2.1 水位影响分析

图2至图3为50年一遇和100年一遇洪水工况下工程建成前后的水位差分布云图, 本节所述的水位差(水位变化)定义为: 水位差=工程建成后水位-工程建成前水位。由图可知, 工程建设对所在河道水位的影响表现为: 以桥址处为界, 桥址上游水位壅高, 桥址所在断面及其下游水位下降; 受桥墩阻水作用影响, 桥址上游一侧桥墩前沿区域水位壅高最为明显, 两种工况下的水位壅高极值均出现在该区域, 最大水位壅高值分别达到0.041 m和0.047 m; 受桥墩所在断面过水面积减小, 流速增大影响, 桥墩断面所在区域水位下降最为明显, 沿水流流向两桥墩之间区域的水位下降幅度最大; 两种工况下, 最大水位降幅分别达到0.021 m和0.029 m。

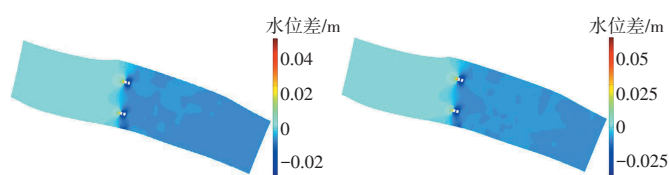
2.2 流场影响分析

图4至图5分别为两种洪水工况下, 工程建设后流速和流速差分布图。由图可知, 桥址处产生的水流扰动范围较小, 未对水流流态产生明显影响。受桥墩阻水作用影响, 流速变幅较大的区域主要集中在桥址前沿, 沿主流线方向的两桥墩之间区域流速下降最为剧烈。



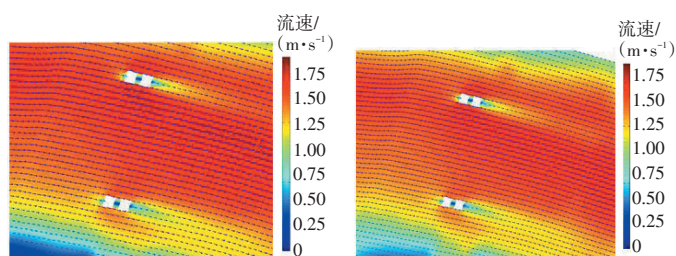
(a) 50年一遇洪水工况 (b) 100年一遇洪水工况

图2 工程建成后桥址处水位差分布



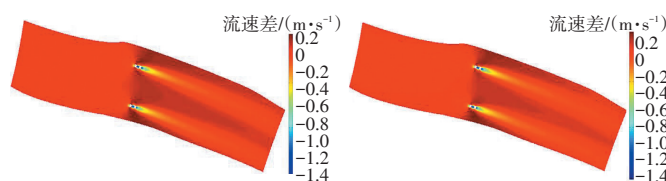
(a) 50年一遇洪水工况 (b) 100年一遇洪水工况

图3 工程建成后工程河段水位差分布



(a) 50年一遇洪水工况 (b) 100年一遇洪水工况

图4 工程建成后桥址处流速分布



(a) 50年一遇洪水工况 (b) 100年一遇洪水工况

图5 工程建成后工程河段流速差分布

由计算结果(表2)可以发现,两种洪水工况下,流速最大变幅分别为 1.29 m/s 和 0.37 m/s,受桥墩阻水作用影响明显;100年一遇洪水工况下,流速最大变幅减小,主要是受

过水断面扩大,流速减小影响。相较于最小流速,工程建设前后,桥址处最大流速的变化幅度相对较小,两种洪水工况下,变幅不大于 0.1 m/s,表明工程建设对河道行洪的主要影响表现为阻水,对河势稳定影响较小。

表2 流场计算结果

序号	工况说明	平均流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	最大流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	最小流速/ ($m \cdot s^{-1}$)
工况1	工程建设前,50年一遇洪水条件,桥址处流场情况	1.72	1.85	1.48
工况2	工程建设后,50年一遇洪水条件,桥址处流场情况	1.70	1.95	0.19
工况3	工程建设前,100年一遇洪水条件,桥址处流场情况	1.62	2.06	0.56
工况4	工程建设后,100年一遇洪水条件,桥址处流场情况	1.62	2.07	0.19

3 结 语

本文采用二维数值模型研究了沈丘沙河大桥工程建设对河道行洪的影响,得出如下结论:

(1)以桥址处为界,上游水位壅高,下游水位下降,桥墩前沿区域水位壅高最为明显,最大值可达 0.041 ~ 0.047 m;桥墩断面所在区域水位下降最为明显,最大降幅可达 0.021 ~ 0.029 m,水位受桥墩阻水作用影响明显,影响程度随流量的增加而缓慢增大。

(2)受桥墩阻水作用影响,流速变幅较大的区域主要集中在桥墩前沿,沿主流线方向的两桥墩之间区域流速下降最为剧烈,两种工况下最大变幅分别可达 1.29 m/s 和 0.37 m/s。工程建设对河道行洪的影响主要表现为阻水,对河势稳定影响较小。

参考文献

[1] Bradley J N. Hydraulics of bridge waterways[M].Washington: US Federal Highway Administration,1978.
[2] 陆浩,高冬光.桥梁水力学[M].北京:人民交通出版社,1991.
[3] HUNT J,BRUNNER G W,LAROCK B E. Flow transitions in bridge backwater analysis[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125(9): 981-983.
[4] SECKIN G,AKOZ M S,COBANER M,et al. Application of ANN techniques

- for estimating backwater through bridge constrictions in Mississippi River basin[J]. *Advances in Engineering Software*, 2009, 40(10):1039-1046.
- [5] 张细兵,余新明,金琨.桥渡壅水对河道水位流场影响二维数值模拟[J]. *人民长江*, 2003, 34(4):23-24, 40.
- [6] 王玲玲,徐雷诺.周口港弯道码头工程水动力特性[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2018(2):134-139.
- [7] Ye J, Mccorquodale J A. Simulation of curved open channel flows by 3D hydrodynamic model[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1998, 124(7):687-698.
- [8] 金忠青. N-S 方程的数值解和紊流模型[M]. 南京:河海大学出版社, 1989.
- [9] 汪德耀. 计算水力学理论与应用[M]. 南京:河海大学出版社, 1989.
- [10] 舒国明. 桥涵水力水文[M]. 北京:人民交通出版社, 2009.

Study on the influence of Shahe Bridge Project on river flood discharge in Shenqiu County, Henan Province

XU Leinuo^{1,2}, WU Guanghao³

(1.The Huaihe River Commission of the Ministry of Water Resource, P.R.C, Bengbu 233001;
2.The Huaihe River Commission Hydrological Bureau (Information Center), Bengbu 233001;
3.Beifang Investigation, Design & Research CO.LTD, Tianjin 300000)

Abstract: The influence of Shahe Bridge Project on river flood discharge in Shenqiu County of Henan Province is studied by using two-dimensional hydrodynamic numerical model, and the influence of engineering construction on river water level and flow velocity is obtained. The results show that the influence of engineering construction on river flood discharge is mainly water blocking, and the influence on river regime stability is small. The results are useful for evaluating the construction's influence on floods, and can also provide basis for the operation and management of the project in the future.

Keywords: flood prevention influence; numerical modeling; hydrodynamics analysis; backwater of piers

责任编辑 姚力玮