

改扩建桥梁基础围堰及桥墩冲刷分析研究

崔广永¹, 支逸骋¹, 董磊², 胡浩业², 黄俊杰²

(1. 安徽省蚌明高速公路开发有限公司, 安徽 蚌埠 233000; 2. 安徽省交控建设管理有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要: 为探究采用老桥保留、上游分离增建方案的改扩建桥梁工程中冲刷在不同阶段对老桥基础的影响, 依托具体工程实例, 采用水文分析确定改扩建桥梁河道的洪水特性, 得到相应的行洪参数, 接着采用 FLUENT 数值仿真分析改扩建桥梁围堰施工时对既有桥梁的冲刷影响。分析结果表明: 位于上游的新桥围堰对老桥桩基而言充当着类似冲刷防护中牺牲桩的作用, 能在极大程度上减小老桥的冲刷。该研究的分析结果可为类似改扩建工程项目的建设方案制定提供依据。

关键词: 桥梁工程; 改扩建; 冲刷; 水文分析; 数值仿真

中图分类号: U443.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0178-04

Analysis and Study on Scour of Cofferdams and Abutments of Reconstructed and Expanded Bridges

CUI Guangyong¹, ZHI Yicong¹, DONG Lei², HU Haoye², HUANG Junjie²

(1. Anhui Province Bengming Expressway Development Co., Ltd, Bengbu 233000, China; 2. Anhui Province Traffic Control Construction Management Co., Ltd, Hefei 230000, China)

Abstract: In order to explore the impact of scour on the old bridge foundation at different stages of the reconstruction and expansion bridge project by using the old bridge retention and upstream separation and addition scheme, relying on the specific engineering examples, the hydrological analysis is used to determine the flood characteristics of the reconstructed bridge channel and obtain the corresponding flooding parameters, and then FLUENT numerical simulation is used to analyze the impact of the reconstructed bridge cofferdams on the scour of the existing bridges. The analysis result shows that the new bridge cofferdam located upstream acts as a sacrificial pile for the old bridge pile foundation in scoring protection, which can decrease the scour of old bridge to a great extent, which can be referenced for the similar reconstruction and expansion projects.

Keywords: bridge engineering; reconstruction and expansion; scour; hydrologic analysis; numerical simulation

1 工程概况

背景桥梁作为安徽某改扩建工程的重要节点, 对于项目的贯通, 具有重要的意义。背景桥梁改扩建采用老桥保留、上游分离增建方案。既有桥梁为双向4车道, 桥面全宽28.0 m, 双幅设置, 单幅桥宽13.5 m。拟建桥梁路线设计线与既有桥梁中心线间距为35.5 m, 基本与既有桥梁对孔布置。新旧桥桥位平面见图1。

新建主桥立面见图2, 22#主墩承台平面尺寸: 22.95 m(顺桥向)×29.2 m(横桥向), 桩基采用20根直径2.5 m的钻孔桩。22#主墩承台施工采用双壁钢

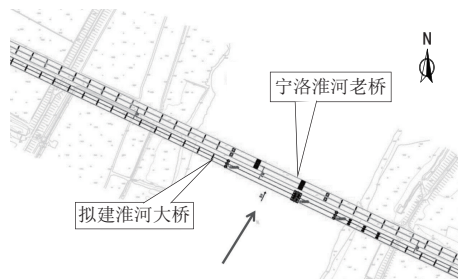


图1 新旧桥梁平面布置图

套箱围堰, 围堰外轮廓尺寸: 32.7 m(长)×26.45 m(宽)×36.15 m; 围堰顶标高+15.5 m, 围堰底标高为-20.65 m, 板厚1.5 m, 主墩双壁钢围堰与老桥位置关系平面见图3。

新建桥梁与既有桥梁中心线相距35.5 m, 其中新桥22#墩与老桥主桥2#桥墩位置关系见图4。

老桥现状及面临的问题如下:

(1) 老桥2#桥墩冲刷严重, 最大冲刷深度近1.5 m;

收稿日期: 2024-06-19

作者简介: 崔广永(1971—), 男, 本科, 高级工程师, 从事公路工程养护管理工作。

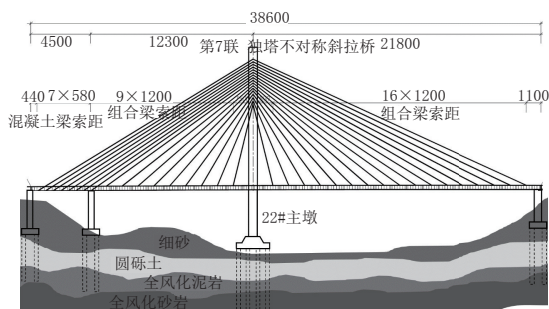


图2 新建桥梁平面布置图(单位:cm)

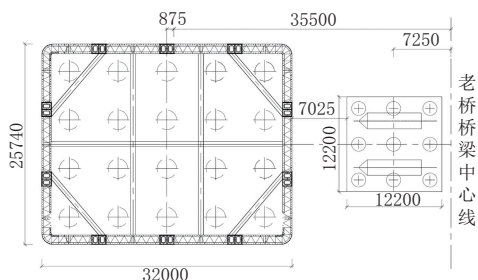


图3 主墩双壁钢围堰与老桥位置关系平面图(单位:mm)

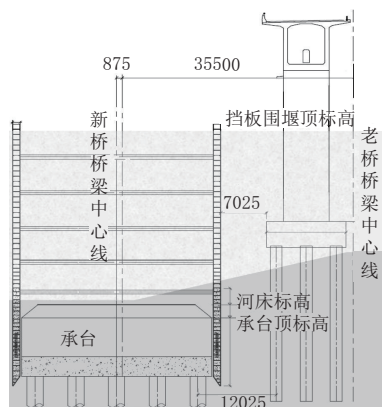


图4 新桥22#墩与老桥主桥2#桥墩位置关系立面图(单位:mm)

(2) 钢围堰距既有桥梁承台净距仅 7 m, 新建桥梁在主墩围堰施工过程中引起的周围流场的变化有概率加剧既有桥梁的冲刷效应导致其发生进一步的冲刷掏蚀;

(3)考虑主墩建成后运营期间对既有桥梁存在的长期冲刷影响,需要结合不同的工作状态对既有桥梁进行冲刷防护。

2 桥址水文分析

基础本身的冲刷是因水流受到桥墩影响在其前方形成涌坡及下降水流、墩两侧形成尾流漩涡和墩后旋涡,随着水位变化、水流流速增大,形成桥梁基础周边和下方的冲刷坑。显然,显而易见,桥址河道处的洪水会加剧对改扩建桥梁和既有桥梁的冲刷。同时,由于新建桥梁的存在,桥墩占用了过水断面的面积,导致水流流线在墩体上游处发生收缩,在下游处发生扩散。再加上墩体本身的阻力等因素,使得

河流的局部阻力增大,造成局部水头损失,引起水流动能转化为势能,必然导致桥前水位升高,从而引发壅水现象^[1]。根据有关规范和资料进行分析,从防洪安全以及桥梁自身安全角度出发,壅水分析计算采用设计洪水工况,分析计算设计洪水条件下的壅水,从而为后续的冲刷仿真提供水文基础数据。根据桥梁设计方案,上游新建桥梁与河道水流流向正交,计算设计洪水条件下新建桥墩占用河道断面面积,成果见表1。其中桥墩阻水面积为墩柱在河道断面上的正投影面积,河道断面实际过流面积扣除老桥桥墩阻水面积。

表1 河道桥墩阻水面积分析计算表

项目名称	设计洪水
设计水位/m	20.94
设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	13 000
建桥前河道过水面积/ m^2	9 225.95
老桥桥墩阻水面积/ m^2	384.45
桥下河道实际过流面积/ m^2	8 841.5
新建桥墩阻水面积/ m^2	324.54
新建桥墩处过流面积/ m^2	8 516.96

由于本桥为在现状老桥上游新建大桥,两桥相距较近,河道水流在行洪期间较为复杂,为更好的分析工程建设前后河道水位、流速变化的影响,采用平面二维数值模拟计算方法^[2]进行分析。二维水流数学模型采用非结构网格模型搭建,控制方程为二维浅水方程,包括连续性方程和动量方程。可以解决带自由表面的二维水流流动问题的通用模型见式(1)^[3]:

$$C_\xi C_\eta \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial(C_\eta w \psi)}{\partial \xi} + \frac{\partial(C_\xi v \psi)}{\partial \eta} = \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\Gamma \frac{C_\eta}{C_\xi} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\Gamma \frac{C_\xi}{C_\eta} \frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) + C \quad (1)$$

式中: ξ, η 分别表示正交曲线坐标系中二个正交曲线坐标; u, v 分别表示沿 ξ, η 方向的流速; C_ξ, C_η 表示正交曲线坐标系中的拉梅系数; ψ 为通量; Γ 为扩散系数; C 为源项。

对于桥梁工程所在河段,工程导致的流速和水位变化呈二维特征,采用二维水流模拟软件搭建工程上下游局部长约 11 km 河段的二维数学模型,分析建桥前后水位、流场的变化情况。为了精确模拟桥梁工程区域河段,地形采用三角形网格划分,三角形网格能较好的拟合岸线,网格尺度在 20 ~ 50 m 之

间,并对墩柱周围进行加密,总网格数为53 256个,离散节点共计29 150个,见图5。

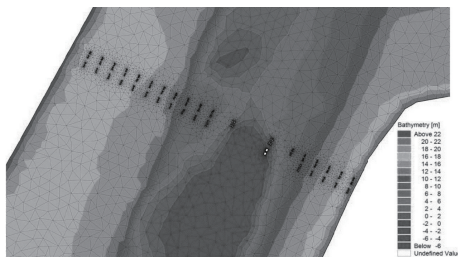


图5 河段网格划分(局部)

受河道桥墩阻壅影响,水流在桥墩局部出现了明显的绕流。通过对比桥梁建设前后流速分布图,河道流速分布变化总体很小,仅墩柱局部流速场发生明显的变化。因桥墩压缩水流,过流断面减小,造成局部流速加大。通过工程前后流速变化差值对比分析,设计洪水工况条件下,桥墩建成后,受桥墩阻壅作用影响,桥墩局部上下游流速下降,桥墩之间流速增加。其中桥下河道断面范围内主跨之间河道流速增幅为0~0.04 m/s,边滩引桥桥墩之间局部流速增幅为0~0.024 m/s,其中新建桥梁22#主墩的局部流速分布见图6。

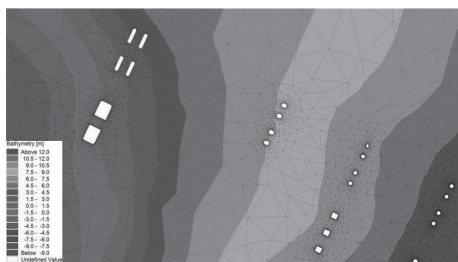


图6 桥墩局部向分布图(以主塔墩为例)

后续的冲刷仿真模型中,提取该洪水工况下的流速与水深分布作为初始边界条件,结合图4中的结构参数对有无新建围堰下的老桥2#墩进行冲刷结果对比,以解释新建围堰对老桥的冲刷影响。

3 新建桥梁对老桥冲刷影响分析

本研究采用Fluent软件创建模型,使用其中二次开发的泥沙动网格模型^[4],结合上节的行洪参数(流速水深参数)对新建桥梁对老桥的冲刷影响展开分析。将围堰的长度记为 D ,则仿真模型的计算域设置为长 $9D$ 、宽 $4.5D$ 、高 $0.4D$ 的长方体区域,其网格划分平面图见图7。对围堰、老桥桩基周围的网格进行适当加密以保证对冲刷坑的精确捕捉。

对于边界条件的设定,流动进口采用速度进口边界条件,在Fluent中设置为Velocity Inlet,速度分布通过加载第2节桥址水文分析中预先计算得到的

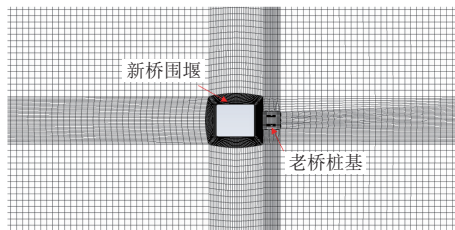


图7 仿真模型计算域网格划分平面图

profile文件实现;出口边界采用自由出流边界条件,在Fluent中设置为Outflow,此条件下出口平面的所有变量扩散通量均为零,即出口数据由前面的计算结果得出;底部边界条件设定为粗糙壁面边界条件,在Fluent中设置为Wall,粗糙高度参照相关文献^[5]取值为0.005 m;左右壁面及围堰、老桥桥墩采用光滑壁面边界条件(Wall),即粗糙高度设置为零;自由液面设置为对称边界条件,在Fluent中设定为Symmetry类型。模型边界条件的具体设置见图8。

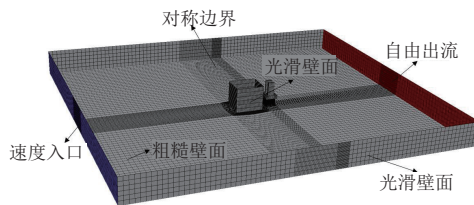


图8 模型边界条件设置

根据表1的行洪参数,采用标准K- ϵ 湍流模型^[6],对新桥围堰存在与否两种情况下老桥的冲刷情况进行数值模拟。本次冲刷模拟计算采用的时间步长为0.075 s,每个时间步下的迭代次数为30次,模拟计算了实际冲刷前120 min的冲刷过程。有围堰存在情况下的冲刷形态及冲深分布见图9。由图9可知,在有围堰存在的情况下,最大冲刷深度发生在围堰的迎水侧,最大冲刷深度为1.2 m,而位于其下游的老桥桥墩的最大冲刷深度经后处理提取仅为0.15 m。无围堰情况下老桥的冲刷深度分布及冲刷形态见图10,由图10可知,老桥群桩基础在每个单桩的冲刷分布较为均匀,这是由于桩间距与桩径之比较小的缘故,但整体冲刷深度仍达到0.8 m,是有围堰情况下的5.3倍。由此可知位于上游的新桥围堰对老桥桩基而言充当着类似冲刷防护中牺牲桩的作用^[7],能在极大程度上减小老桥的冲刷。但对于新桥自身则需要设置一定的冲刷防护措施。

4 结 语

本文以安徽某改扩建工程中的新建桥梁围堰施工对老桥桩基冲刷影响为研究内容,采用水文分析

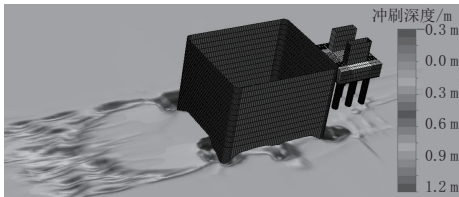


图9 有围堰存在下老桥冲刷形态

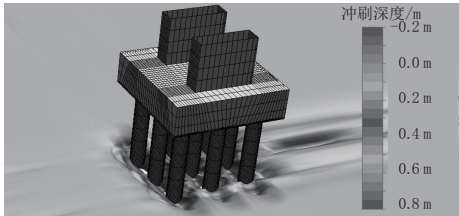


图10 无围堰存在下老桥冲刷形态

确定改扩建桥梁河道的洪水特性,得到相应的行洪参数。基于设计的洪水工况采用FLUENT数值仿真分析改扩建桥梁围堰施对既有桥梁的冲刷影响,结果表明,位于上游的新桥围堰对老桥桩基而言充当

着类似冲刷防护中牺牲桩的作用,能在极大程度上减小老桥的冲刷,存在围堰的情况下老桥桩基的最大冲刷深度减小约81.25%。

参考文献:

[1] 蒋鹏. 拟建桥工程对濠洼蓄洪区洪水演进研究[D]. 合肥: 安徽理工大学, 2022.

[2] 匡翠萍, 刘旭, 陈思宇, 等. 无结构网格二维潮流模型的开发及应用[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(12): 1779-1783.

[3] 杨志. 五河县城南综合码头一期工程对淮河河势影响分析[J]. 价值工程, 2023, 42(20): 19-21.

[4] 王飞, 姚磊华, 张彬, 等. 桥墩局部冲刷动态模拟及不同截面的冲刷特性[J]. 水利水电科技进展, 2018, 38(3): 81-87.

[5] 江磊, 周银军, 陈前海, 等. 弯曲河段床面粗糙高度的分形研究[J]. 泥沙研究, 2018, 43(3): 28-33.

[6] 熊莉芳, 林源, 李世武. 湍流模型及其在FLUENT软件中的应用[J]. 工业加热, 2007, 36(4): 13-15.

[7] 齐洪亮, 罗文俊, 王杰, 等. 透水牺牲桩减少上下游桥墩局部冲刷深度及机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2024(2): 68-79.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

