

基本MIKE21二维水动力模型在大桥防洪评价桥墩局部分析的应用

杨 伟

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300220

摘要: 随着经济的发展, 现有的交通体系不能满足人民群众的通行需求, 因此新建交通道路是必然的趋势, 因此会增加工程涉水的可能, 跨河桥梁的建设河道防洪的需求是相悖的, 为尽可能减少二者之间的互相影响, 需要针对性的进行建模分析。

水流流动条件的模拟主要包括物理模型和数学模型。物理建模方法具有成本高、时间长、通用性强的优点, 而数学模型具有精度高、周期短、程序通用性强的优点。目前, 有许多成熟的业务流程软件的数学模型, 如MIKE、HEC-RAS等。Mike 21是丹麦水资源与水环境研究所(DHI)建立的二维数学模型, 该软件广泛应用于国内外河流状态模拟。本次以独流减河为例, 建立了基于MIKE 21的桥梁二维流场模型。分析了桥梁施工前后水流条件的变化, 为评价桥梁施工对河道的影响提供了技术支持。

关键词: 桥梁; 洪水; 影响评价

1 MIKE21 模型计算原理

桥梁工程跨越独流减河。由于桥墩阻水面积较大、受桥梁受力结构要求导致桥墩中轴线与水流方向存在交角导致水流情况复杂, 为了准确河道内水位、流速等要素变化情况, 需利用二维非恒定流数学模型方法进行分析计算。具体计算方法如下所述。

1.1 数学模型及求解

二维非恒定流数学模型主要依据动量守恒和能量守恒原理, 其基本方法是求解圣维南方程组^[1]。

描述二维非恒定流运动规律的圣维南偏微分方程组形式为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(UM)}{\partial x} + \frac{\partial(VM)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{xb}}{\rho} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(UN)}{\partial x} + \frac{\partial(VN)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{yb}}{\rho} \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{(a)} & \text{(b)} & \text{(c)} & \text{(d)} & \text{(e)} \end{matrix}$$

动量方程中: (a)——加速度项; (b)——X方向惯性项; (c)——Y方向惯性项; (d)——水面坡降项; (e)——阻力项。

确定初始条件及边界条件, 将计算域细划为一系列网格, 即可逐单元逐时段(时段长度与划定的网格长度有关)求解方程组, 求得每一网格的水位、水深、流速、流量等水力要素值, 从而模拟出洪水演进过程, 其糙率等参数的选取也有成熟的可供借鉴的经验取值范围^[2]。

1.2 糙率参数

糙率是反映地面阻水状况的一个综合参数, 它与地形条件及地表阻水特征有关^[3]。本次计算, 糙率值按地形、地貌条件和地面特点, 并参照以往模拟计算的选取^[4]。主槽糙率为0.0225, 滩地糙率为0.04。

2 应用 MIKE21 的跨河桥梁洪水影响模拟分析

2.1 工程概况

新建铁路是我国《中长期铁路网规划》中“八纵八横”京沪辅助通道和沿海通道的重要组成部分, 项目的建设将进一步支撑和引领京津冀协同发展, 完善京沪通道综合交通运输体系, 促进京津冀地区、山东半岛和沿海区域协调发展。

按照可研阶段方案, 铁路跨河角度55°, 曲线, 采用20-56m简支梁跨越河道(桥梁阻水比8.5%), 初设方案按照保持55°线位不变, 经设计技术优化, 扭转桥墩为顺水布设后, 阻水比计算结果为7.9%。

经试算, 只有当跨越角度调整至85°时, 按20-56m简支梁桥梁阻水比可满足5%要求, 但调整角度后的线路将会占压南港工业区及大港油田住宅区(南港工业区内包含大港石化公司、中石化商储库、国储库等多家危化品企业; 大港油田生活区内居民住宅建筑物较多), 安全风险巨大, 不具备铺设高铁的空间及条件, 经研究后予以舍弃。

为研究减小跨河桥梁对河道行洪的影响, 补充了研究了隧道和斜拉桥方案, 并对原初设跨河角度进行优

化,对桥墩尺寸进行进一步优化:为改善跨河角度,跨河角度由 55° 优化至 60° ,桥梁方案于R-6000m半径曲线上跨越独流减河,受曲线段设置大跨温度调节器控制,难以采用较大跨度跨越河道,曲线优化桥跨方案按照逐步扩大桥梁孔跨的思路,直至温度调节器控制极限,提出以下方案:

- ①56m简支梁方案(阻水比10.2%)
- ② 3×70 m刚构连续梁方案(阻水比7.6%)
- ③80+80T构方案(阻水比7.8%)

经过对比分析,根据阻水比变化规律,降低阻水比最有效的跨度约70m左右,继续增大跨径因结构尺寸相应增大,虽然能减少水中墩数量,但伴随墩身尺寸的增大,阻水比无明显优化。

最终跨河方案为跨河特大桥采用 60° 曲线6-(73+73+73)m刚构连续梁跨越独流减河及其河堤,河道内共计17个桥墩:12个主墩采用矩形桥墩、尺寸 2.5×6.8 m、设置0.5m倒角(其中左右大堤迎水坡内共4个主墩采用分离式顺水流包墩处理);5个边墩采用矩形桥墩、尺寸 2.5×6.8 m、设置0.5m倒角且顺水流方向扭转 10° 。基础采用10-1.8m钻孔灌注桩基础。

2.2 河道概况

根据《独流减河治理工程河道深槽扩挖及清淤部分初步设计变更报告》,跨越段东千米桥~防潮闸段河道长5.6km,河道宽度1060m,右深槽底宽为140m,深槽设计边坡1:5。在右堤防与右深槽之间,填筑30m宽的滩地平台,高程2.8m,边坡1:8。

2.3 设计洪水

根据《水利部关于大清河流域综合规划的批复》(水规计[2022]26号),大清河流域尾间总泄量 $4000\text{m}^3/\text{s}$,当独流减河发生设计标准 $3600\text{m}^3/\text{s}$ 及其以下洪水时,中下游河道应充分泄洪。

下一步将结合海河流域防洪规划修编,进一步复核大清河流域设计洪水,充分考虑可能发生的超标准洪水风险,优化洪水出路安排,强化极端暴雨洪水的应对措施。

根据《大清河系防洪规划》,独流减河设计流量 $3600\text{m}^3/\text{s}$,超标准洪水由大港分洪道分泄 $900\text{m}^3/\text{s}$ 。目前独流减河深槽清淤扩挖、右堤加高加固等工程已实施完毕,独流减河泄洪能力已达到防洪标准 $3600\text{m}^3/\text{s}$ 。当上游东淀超标准运用时,独流进洪枢纽下泄 $4500\text{m}^3/\text{s}$ 时,工农兵闸承泄 $3600\text{m}^3/\text{s}$,大港分洪道分泄 $900\text{m}^3/\text{s}$ 。但由于大港分洪道内的大港油田、南港工业区等区域的发展,一旦启用大港分洪道分洪将产生巨大经济损失,因此,考虑独流减河强迫行洪 $4500\text{m}^3/\text{s}$ 。

2.4 水力学模型计算

为进一步分析桥墩设置对河道影响,需采用Mike21针对性分析桥墩对水流的导流影响问题。

- (1)计算现状和工程修建后两种情况。
- (2)模拟范围及地形剖分

①模型范围:根据河道地形地貌等条件,确定模型计算区西至东千米桥上游500m,东至独流减河防潮闸,南北以现状独流减河左右堤为界,模型区面积约 6.64km^2 。模型采用三角网格划分,将网格划分为任意形状,采用分区剖分模式划分网格,在桥墩位置进行加密。

②地形资料:2021年实测1:2000比例尺地形图。

③网格剖分:模拟区地形均采用实测地形图,并根据设计横断面图进行高程点修正和加密,模拟区两侧按间距20m至1m的三角网格进行地形剖分,桥墩位置按间距1m的三角网格进行局部加密地形剖分,模拟区共采集地形点3584个。

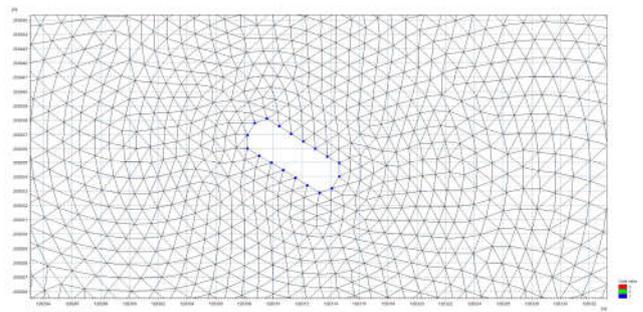


图1 桥墩位置局部加密三角网格剖分图

- (3)模型的上、下边界条件

①上游边界条件:模型的上游边界为流量边界,即入流洪水,流量选取 $4500\text{m}^3/\text{s}$ 。

②下游边界条件:采用独流减河防潮闸闸上水位4.11m。

2.5 壅水及防洪分析

根据二维模型计算成果,南深槽桥墩中间位置处局部流速由工程未建的 $1.124\text{m}/\text{s}$ 增加到 $1.127\text{m}/\text{s}$,近桥墩位置流速由工程未建的 $1.125\text{m}/\text{s}$ 增加到 $1.404\text{m}/\text{s}$;中心滩地桥墩中间位置处局部流速由工程未建的 $0.628\text{m}/\text{s}$ 增加到 $0.67\text{m}/\text{s}$,近桥墩位置流速由工程未建的 $0.631\text{m}/\text{s}$ 增加到 $0.804\text{m}/\text{s}$ 。

经模型分析可知,洪水流场以及工程位置流速差异等成果,均与河道内工程位置情况相协调,流场分布合理,流场变化趋势符合水流运动规律。

根据二维模型计算成果,墩前壅水高度 0.0141m ,南深槽墩前壅高 0.027m ,壅高范围约为桥前55m范围内。

非顺水流的桥墩引起的流场扰动范围沿水流方向约

100m, 垂直水流方向约55m; 顺水流的桥墩引起的流场扰动范围沿水流方向约70m, 垂直水流方向约20m。

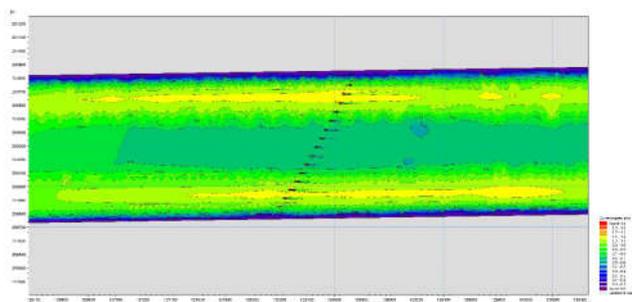


图2 项目区流速分布图

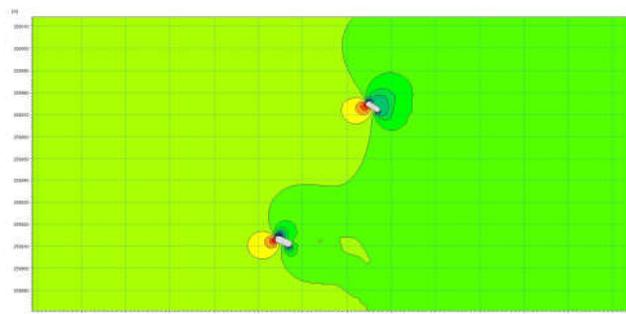


图3 南深槽桥墩位置局部水位变化图

工程对河道行洪的阻水较小, 横向阻水区域未叠加, 桥梁设计以及桥墩布置较合理, 未对水流造成不利的针对堤防冲刷的导流。桥梁修建前后, 桥址断面处流速变化较小, 桥梁对上下游总体流势不会产生明显影响。尽管由于桥墩缩窄河道过水断面, 发生大洪水时, 流过桥孔的水流冲走桥孔上、下游床面的泥沙, 形成桥孔附近床面的冲刷, 迫使水流在桥台前缘、桥墩周围等附近地区产生绕流, 流速、流向急剧变化, 引起旋涡和折冲水流及较大的床面切力, 造成局部冲刷^[5]。其对桥梁下游河床的稳定和桥梁本身的桥台、桥基及防护部分可能产生不利的影。

工程跨越独流减河没有破坏堤身。设计考虑对两岸近堤桥墩进行包墩处理, 使桥墩顺水流方向, 尽量减小水流挑流作用、减小对堤坡脚冲刷作用。同时由于桥梁

跨度较大, 束水影响较小, 加上桥墩基础较深, 局部冲刷对桥梁本身不会构成大的威胁。

2.6 建议

(1) 由于桥墩有布设于临近河道内堤坡的情况, 桥墩可能造成挑流冲刷影响。对南北大堤堤坡桥梁投影及上游100m、下游200m范围和南深槽桥梁投影及上游20m、下游50m范围进行防护, 可减轻桥墩可能造成挑流冲刷影响, 提高岸坡防冲能力, 确保堤防安全。

考虑对邻近两堤内坡的2桥墩采取包墩措施, 调整为顺水流布置, 可进一步减轻挑流作用带来的冲刷影响, 确保防洪安全。

(2) 为了进一步扩大行洪断面, 对南深槽桥梁投影及上下游各1km进行清淤扩挖, 扩挖底宽为左侧50m, 右侧10m, 坡比为1:5。

3 结语

利用Mike 21模型, 建立了桥梁跨河的二维水流数学模型。根据最新实测的地形资料确定地形插值的边界条件, 根据滩槽分界确定糙率范围, Mike 21模型能更准确、直观地反映桥墩布置对附近水位、流速和流场的变化影响。密切分析局部小流量特性的变化, 为科学决策提供技术支持。

参考文献

- [1] 杨祎. MIKE21模型在高速铁路桥梁跨越蓄滞洪区洪水影响分析中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022, 12: 164-168.
- [2] 万强, 江恩惠, 张林忠. 小浪底水库运用以来黄河下游洪水演进特性[J]. 人民黄河, 2021, 32(7): 23-24, 144.
- [3] 张晓华, 郝中州, 王广峰, 等. 花园口至孙口河段洪水传播规律研究[J]. 人民黄河, 2019, 22(11): 11-12, 22.
- [4] 陈建国, 周文浩, 孙高虎. 黄河下游宽河段水沙运行及其对窄河段的影响[J]. 泥沙研究, 2020, 33(1): 1-8.
- [5] 张晓雷, 夏军强, 王增辉, 等. 不同量级洪水对黄河下游游荡段冲淤变化的影响[J]. 水力发电学报, 2018, 37(6): 74-83.