



数值模拟在桥梁净空尺度论证中的应用

李俊娜

(中铁建港航局集团勘察设计院有限公司, 广东 广州 511442)

摘要: 数值模拟是一种相对简便、高效的运用计算机数值计算相关方程并完成图像显示等的方法, 在工程研究中有着广泛的应用。结合现行 GB 50139—2004《内河通航标准》, 介绍数值模拟研究在桥梁净空尺度论证中的应用, 为桥梁通航参数的确定提供科学依据。

关键词: 数值模拟; 桥梁; 尺度

中图分类号: U 442.5⁺7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)08-0119-04

Application of numerical simulation for demonstration on bridge clearance dimensions

LI Jun-na

(CRCC Harbour & Channel Engineering Bureau Group Survey & Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 511442, China)

Abstract: Numerical simulation is a relatively simple and efficient method using computer-related equations and numerical computation of image display, and it has been used widely in the engineering research. Based on the actual the existing code *Navigation Standard of Inland Waterway* (GB 50139—2004), this paper expounds the application of numerical simulation in the demonstration on the bridge clearance to provide a scientific basis for the determination of parameters on the bridge navigation.

Key words: numerical simulation; bridge; dimension

自 GB 50139—2004《内河通航标准》(简称《标准》)于 2004 年 5 月 1 日实施起, 新修建的跨河桥梁均按照标准进行净空尺度论证, 主要包括桥位选择、通航水位、净空尺度、航道选线、安全保障措施等, 为跨河桥梁的通航净空尺度和技术要求的确定提供依据, 确保桥梁建设与航道和港口的良性发展相协调。

数值模拟是一种相对简便、高效的运用计算机数值计算相关方程并完成图像显示等的方法, 在工程研究中有着广泛的应用。本文主要针对数值模拟在该类问题研究论证中的应用进行初步分析。

1 确定桥梁通航净空尺度的步骤方法

1.1 数值模拟工况选取

1) 明确拟建桥梁所跨河道的航道现状及航道

规划, 以此作为洪水频率的标准, 如 IV 级内河航道要求 10 a 一遇作为最高通航标准, 代表通航的上限^[1]; 2) 中水流量工况代表行船的正常状况; 3) 枯水流量工况, 枯水的程度可以采取保证率进行确定, 或者采用维护水位下的流量作为枯水行船工况。需要注意的是, 在受潮汐和潮流影响的河道内, 应选择有代表性的涨潮和落潮过程作为计算边界。

根据计算工况和工程需要, 建立数学模型, 并验证模型至满足 JTS 145-1—2011《内河航运工程水文规范》、JTS/T 231-2—2010《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》等相关规范标准的精度要求。

1.2 桥梁通航净高选取与桥梁梁底最小高程的确定

若该航段有主管部门公布的维护水位和洪水

收稿日期: 2014-01-02

作者简介: 李俊娜 (1982—), 女, 硕士, 工程师, 注册咨询工程师, 主要从事港口、航道工程设计与数值模拟等技术工作。

频率水位,可采用公布的维护水位作为设计最低通航水位,相应洪水频率桥址处的洪水水位可以作为设计最高通航设计水位。并非所有的河道上都有公布的水位可以用,此时可采用相应工况下的数值模拟的结果,但是需对数据进行校验。一般而言,河道上洪水工况下桥址处的工程后的水位相应于设计最高通航水位;枯水工况下桥址处的工程后的水位相应于设计最低通航水位。

在敏感河段,桥梁工程建设后,因桥墩的阻水作用,水位较工程前发生变化,往往上游水位壅高、下游水位降低,为了定量分析这种变化的需要,在数值模拟中可提取相关资料进行分析。

桥梁通航净高根据规范选取,如内河Ⅳ级航道通航净高为8 m^[1],桥梁梁底最小高程=设计最高通航水位+桥梁通航净高。

1.3 桥梁最小跨径的确定

规范要求的桥梁最小跨径可用下式计算^[1]:

桥梁的跨径=最小通航净宽+横向流速与交角加宽+防撞设施宽度+紊流宽度+桥墩宽度 (1)

最小通航净宽= max{《标准》中的净宽值,代表船型计算净宽值} (2)

其中最小通航净宽可根据《标准》附录C中的计算方法^[1]计算。

横向流速是指桥区适航区域内垂直主流流向的水流流速值,该值是行船中一个重要的安全因素,如果横向流速过大,船舶有横向漂移的趋势,将大大增加船撞桥事件的概率。

1) 横向流速引起的加宽值。

① 横向流速取值。

横向流速值可从数值模拟研究中获得,一般而言以规划航道线内或者现状航道线为中心,在桥区适航区域内(根据实际情况结合《标准》确定范围)布置若干个采样点,提取采样点的特征值(流速值、横向流速值、流向)。

$$v_{vmax} = \max(v_{Ni}) \quad (3)$$

式中: v_{vmax} 为采样点横向流速最大点的值; v_{Ni} 为第 i 个采样点的横向流速。

② 交角确定。

交角是指拟建桥梁轴线的法线方向与水流流向的交角。如果交角大于5°,需要加宽^[1]。交角的确定方法:实测航迹、流迹与桥轴线法线的交角值,数模计算洪、中、枯3种工况下采样点流向与桥轴线法线的交角,相互参考、印证,取桥区适航区域内最大的交角值。

$$\theta_{max} = \max(\theta_i) \quad (4)$$

式中: θ_{max} 为适航区域内最大的交角值; θ_{max} 和 v_{vmax} 确定后,根据《标准》中附录C取相应的加宽值。

2) 防撞设施宽度的确定。

由于近几年来船撞桥事件的发生,对桥梁防撞设施的重视被提高到前所未有的高度,但是防撞设施的材料、尺寸等都应视情况确定,首先根据数值模拟的结果提取相关水流特征值,根据国内外撞击力的经验公式、理论公式进行正撞力和侧撞力的计算,选择防撞材料,确定尺寸,据此预留防撞设施的宽度,并略有富余。

3) 紊流宽度的确定。

紊流宽度的确定与桥区周围环境息息相关,如桥位附近是否有丁坝、水闸等建筑物,桥墩的布置会加剧整个区域的水流条件恶化,这就要求考虑紊流宽度。一般来讲,需要根据现场实际条件结合数值模拟流场进行确定,采用现有的桥墩附近紊流宽度的经验公式取值,水流泥沙条件复杂的工程河段尚应根据需要进行实体模型研究。

以上3项确定后,桥跨跨径可根据式(1)计算得出。

1.4 桥区规划航道线

桥梁建设原则上不能恶化现有的通航条件、不改变现有船舶行船习惯、桥墩的布设应不碍航,同时也是桥区航道布设的基本原则。桥区航道布设主要依据现有船舶航行的航行轨迹,可结合数模计算流场情况,按照航宽要求进行规划,必要时进行船模试验。

2 工程案例

1) 工程背景^[4]。

①拟建桥梁所在航道等级：现状与规划均为内河IV级。

②代表船型：货船 42.0 m × 12.0 m × 2.2 m，一顶二船队：111 m × 10.8 m × 1.6 m。

③设计最高通航水位，10 a 一遇桥址处洪水位为 3.90 m；设计最低通航水位，枯水保证率 98% 桥址处水位为 -0.77 m。

2) 数学模型建立。

①数值模拟研究采用正交曲线贴体坐标系下二维潮流数学模型，ADI 法离散求解。

模型范围大约 1.4 km 河道长度，上游边界距桥址 0.7 km；下游边界距离桥址 0.7 km。计算区域离散采用贴体正交曲线网格，共布置网格 109 × 70 个。网格间距沿河长方向为 5 ~ 25 m，沿河宽方向 2.5 ~ 5 m，其中桥墩附近区域进行了局部加密处理（图 1）。

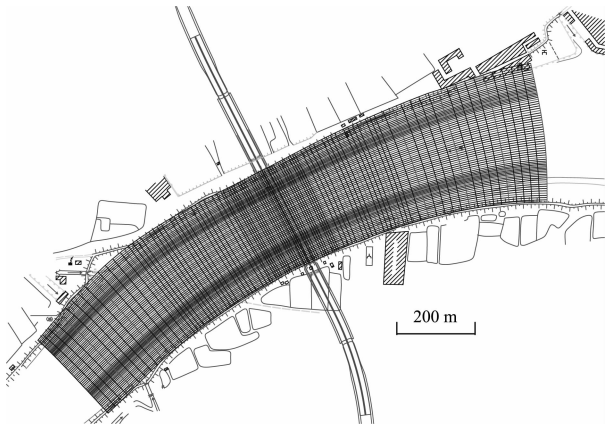


图 1 网格划分布置

②验证满足规范要求后进行 10 a 一遇、中水、设计流量 3 种工况的数值模拟计算。

模型验证设置 2 个验证断面，验证了 012 枯水、997 中水、10 a 一遇洪水 3 组水文条件下的潮位以及流量，其中摘取验证情况见图 2。

验证表明：模型与原型的水位过程线吻合较好，模型的涨、落水历时和相位与原型实测资料基本一致，水位特征值验证误差都小于 ±0.05 m，计算结果与实测资料吻合较好，满足精度要求，

说明本数学模型的建立和数值计算方法合理，模型基本能够模拟实际河道的情况，可以进行下一步工程前后水流流场的计算。

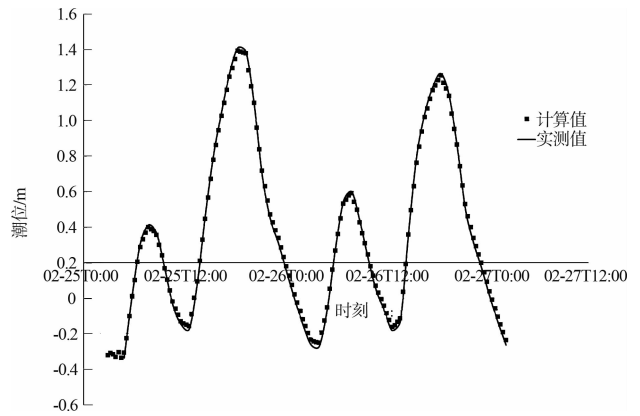


图 2 012 枯水潮位过程验证

模型计算考虑 012 枯水、997 中水、10 a 一遇洪水 3 种工况，对桥梁修建前后附近河流流态变化进行对比分析研究。

③对数值模拟结果进行分析。

从整体的流速大小及流场可以看出，由于桥墩的阻水作用，桥墩上下游附近是流速减小区，桥墩之间以及桥墩与岸之间的是流速增大区。建桥之后，流态良好，桥墩影响范围比较集中，仅在桥墩附近有较明显变化，距桥位较远处变化较小。洪水期工程前后流速大小变化见图 3。

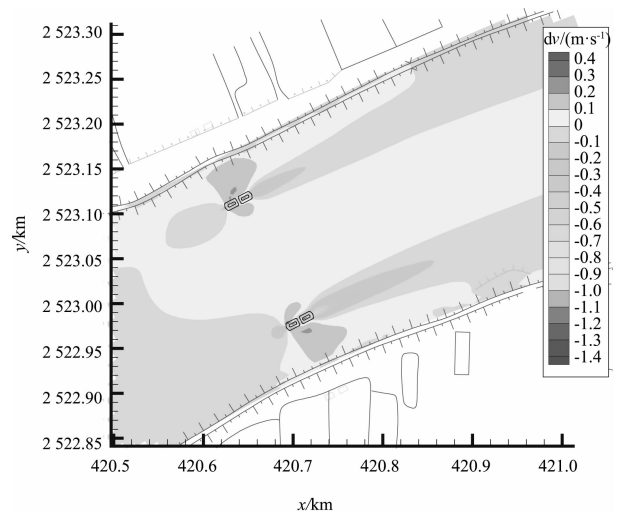


图 3 10 a 一遇洪水桥区垂线平均流速变化

采样点布置见图 4，通过提取采样点处流速特征值进行定量分析。统计采样点数据结果见表 1。

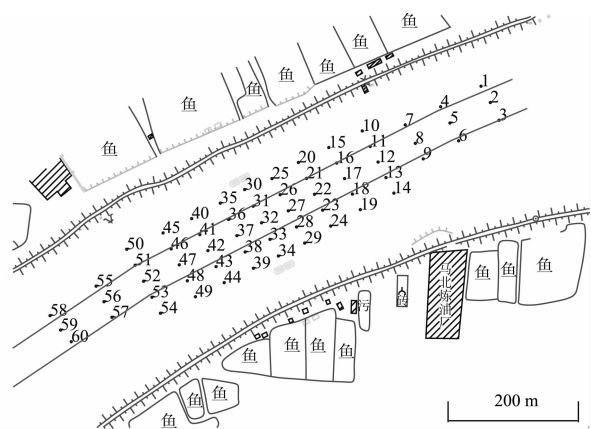


图4 采样点布置

表1 工程前后水流特征值

工况	表面流速 最大值/(m·s ⁻¹)		流速与桥法线 夹角最大值/(°)		表面横向流速 最大值/(m·s ⁻¹)	
	工程前	工程后	工程前	工程后	工程前	工程后
枯水涨急	0.79	0.79	13.48	12.22	0.12	0.12
枯水落急	0.87	0.87	12.85	12.83	0.14	0.14
中水落急	1.61	1.64	11.48	11.50	0.25	0.25
洪水落急	2.37	2.38	11.01	11.02	0.36	0.36

3) 通航净宽尺度要求计算。

① 横向流速、交角加宽。

采样点处数据分析结果(表1)表明,桥区适航区域内在工程实施后表面横向流速为0.36 m/s,最大交角为13°,根据GB 50139—2004《内河通航标准》附录C进行选取^[1];根据表C.0.1下行偏航距取15 m,根据表C.0.3,单向通航净宽增加值取15 m,即双向通航加宽30 m。

② 紊流宽度加宽。

桥位上游左岸约200 m处有一丁坝,下游右岸约100 m处有装卸沙简易码头,而且左岸是该船舶习惯行驶路线,鉴于不恶化现有水流条件的前提下根据前人研究成果^[2],两侧紊流宽度增加1倍桥墩宽度,计9.2 m。

③ 桥墩宽度9.2 m。

④ 防撞设施加宽。

假设船舶船首部交角20°撞击桥墩,此时撞击力根据文献[3]推导公式计算撞击力,载质量500 t,船只重力6 740 kN。

$$C_1 = 0.000\ 07\ \text{m/kN}, C_2 = 0, C_3 = 0.000\ 068\ \text{m/kN},$$

耗散系数 $\gamma = 0.2$, $\sin 20^\circ = 0.34$, $v = 2.4\ \text{m/s}$ 。 $F = \gamma v \sin \theta [W / (C_1 + C_2 + C_3)]^{1/2} = 1\ 140.5\ \text{kN}$ 。

对应相应的防撞设施参数可知橡胶防撞设施尺寸低于2.5 m,结合洪水条件下垂线平均流速变化(图3)确定防撞设施尺寸,正常通航情况下,承台是位于船舶吃水以下的,因此可以把防撞设施安置于承台上的立柱周围,从而不再另外计入桥跨尺寸。

⑤ 根据规范计算,船队要求通航净宽 $97\ \text{m} > 90\ \text{m}$,因此取 $97\ \text{m}$ ^[4]。

⑥ 最终桥跨跨径要求。

跨径要求 = 最小通航净宽 + 横向流速与交角加宽 + 防撞设施宽度 + 紊流宽度 + 桥墩宽度 (5)

计算得,跨径要求为145.4 m。

⑦ 经计算桥梁通航净高(梁底高程 - 设计最高通航水位)为8.6 m,满足规范规定不小于8 m的要求。

3 结论

桥梁通航净空尺度和技术要求论证是随着交通综合运输体系的发展而发展起来的一门交叉学科。在桥梁通航净空尺度和技术要求论证的过程中,需要获取大量水流参数作为计算依据。本文对数学模型在论证中的具体应用进行了分析,介绍了如何运用数学模型为桥梁通航净空尺度计算提供关键计算参数,如横向流速的加宽、防撞设施加宽、设计通航水位等,并用案例说明如何将数学模型研究应用于桥梁通航净空尺度,为技术要求论证提供参考。

参考文献:

- [1] GB 50139—2004 内河通航标准[S].
- [2] 胡旭跃,沈小雄,程永舟,等.墩柱周围水流表层涡旋区宽度的试验研究[J].长沙理工大学学报,2004(1):41-44.
- [3] 陈国虞,王礼立.船撞桥及其防御[M].北京:中国铁道出版社,2006.
- [4] 广东省航道勘察设计研究院有限公司.安利大桥通航净空尺度研究报告[R].广州:广东省航道勘察设计研究院有限公司,2009.