

南京纬七路跨秦淮河大桥壅水计算方法

邱 超, 陈义浦, 王 宁

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:修建跨河桥梁时, 由于桥墩占据了部分过水断面面积, 桥孔压缩水流, 使桥位上游水面壅高, 形成桥前壅水, 影响防洪排涝安全。以纬七路跨秦淮河大桥为研究对象, 总结了近年来常用壅水计算公式和水利行业常用规范公式, 利用 MIKE 二维模型对桥址处上、下游约 2km 河道进行建模计算, 最后采用经验公式计算建桥后河道最大壅水高度, 并与模型结果进行分析比较, 总结各计算方法优缺点及适用性, 为其他类似工程提供参考。

关键词:桥梁壅水; MIKE 21; 经验公式

中图分类号:TV223

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)08-0017-0005

Culation method for backwater of Nanjing Weiqi Road Bridge Crossing Qinhuai River

QIU Chao, CHEN Yipu, WANG Ning

(Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: When constructing a bridge crossing river, due to the bridge piers occupying a portion of the cross-sectional area of the water flow, the bridge opening compresses the water flow, causing the upstream water surface of the bridge site to rise, forming a backwater in front of the bridge, which affects the safety of flood control and drainage. This article takes the Weiqi Road Bridge crossing Qinhuai River as the research object, summarizes the commonly used calculation formulas for backwater in recent years and the commonly used standard formulas in the water conservancy industry. The MIKE two-dimensional model is used to model and calculate the upstream and downstream river channel of about 2 kilometers at the bridge site. Finally, empirical formulas are used to calculate the maximum backwater height of the river channel after the bridge is built, and compared with the model results. The advantages, disadvantages, and applicability of each calculation method are summarized, providing reference for other similar projects.

Key words: bridge backwater; MIKE 21; empirical formula

跨河桥梁工程的安全由桥梁的结构安全和水力安全两部分组成, 桥梁的结构安全若出现承载力不足, 可以采用限制荷载来解决; 而桥梁的水力安全, 即能否安全通畅地排泄暴雨洪峰流量, 是没有

办法采用限制从桥下通过的洪水来解决的。因此, 做好跨河桥梁水文^[1]水力设计工作至关重要, 而桥梁壅水计算是桥梁水力计算的主要内容之一^[2-3]。

本文涉及的纬七路秦淮河大桥的建设增加了

收稿日期: 2023-05-08

作者简介: 邱超(1990—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水利规划与设计工作。Email: 313329052@qq.com

河道阻水面积,并使得桥墩后方的区域流速减小较为明显,同时由于桥墩的束水作用使得桥墩之间的流速略有增加,桥墩附近的水流呈现出高度的三维流动特性,水流紊动剧烈,局部流速变化较大,秦淮河大桥的建设对河道行洪能力的变化和河床演变有一定的影响。

1 工程概况

纬七路是南京市主城“经六纬九”主干路系统的重要组成部分,纬七路东进建设工程项目属于纬七路东段,在秦淮河河道中心处桥梁轴线与秦淮河主流流向为斜交,夹角大约为 68° ,跨秦淮河桥梁在空间布置上分为3层,共5幅桥面。纬七路东进工程跨秦淮河大桥在河道堤防之间共布置有6排桥墩,顺水流向每排5根,其中两排桥墩位于东西两侧堤防背水坡,两组桥墩位于堤防左右亲水平台之上,主跨两组桥墩分别位于河道主河槽两边。主河槽墩台设计顶高程为0.5 m,两侧亲水平台墩台设计顶高程为7.0 m。桥墩布置走向与水流方向基本一致,与桥梁走向斜交。

2 桥梁壅水计算方法

目前常用的桥梁壅水高度计算方法大致可分为3类:经验公式法、数值模拟法^[4]和物理模型法^[5]。其中物理模型法要求的理论条件较多,加之其耗费的人力物力较大、时间较长,在工程建设中很难得到推广,本文主要通过经验公式法和数值模拟法进行分析计算。

2.1 经验公式法

经验公式法通常以水流能量守恒原理、动量守恒原理以及堰流理论为基础,通过某些假定,并根据一定的野外和室内试验或调查资料验证建立起来的具有半理论半经验性质的一类公式。本文主要应用以下几种常用经验公式进行计算分析^[6]。

2.1.1 道不松公式

道不松公式为《铁路工程水文勘测设计规范》(TB10017—2021)中桥前最大壅水高度计算公式。该公式计算准确性较差,但形式简单,可满足一般性工程的计算要求,因此该公式多用于跨河桥梁防洪评价报告中。

$$\Delta Z = \eta(V_m^2 - V_0^2) \quad (1)$$

式中: ΔZ 为壅水高度; η 为与河段特征及河滩路堤阻挡流量和设计流量的比值有关的系数; V_m 为桥下河道平均流速; V_0 为桥前河道平均流速。

2.1.2 实用水力学公式

实用水力学公式源自1958年德国学者阿图尔·维希曼编著的《实用水力学》^[7-8]。

$$\Delta Z = \frac{\alpha V^2}{2g} \left[\left(\frac{B}{\xi \sum b} \right)^2 - \left(\frac{h}{h + \Delta Z} \right)^2 \right] \quad (2)$$

式中: α 为动能校正系数,一般取1.1; ξ 为过水面积收缩系数,取0.85~0.95; B 为河宽; V 为建桥前断面平均流速; h 为建桥前断面平均水深; $\sum b$ 为建桥后过水断面总宽,河宽减去桥墩总宽; g 为重力加速度。

2.1.3 Henderson 公式

Henderson 公式^[9]最早见于美国学者 F.M. Henderson(汉德森)1966年编著的《明渠水流》一书,是 Henderson 通过分析桥墩阻力造成的局部能量损失提出的。

$$\Delta Z = (1 - \eta) \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (3)$$

式中: η 为与桥墩形状有关的系数,矩形墩取0.35,圆形墩取0.18; V_1 、 V_2 分别为桥位断面和河道断面的平均流速。

2.1.4 铁科院陆浩公式

该公式系1998年的铁道部课题成果,为铁道部科学研究院陆浩、曹瑞章、王玉洁,根据我国模型试验和40余座桥梁调查资料,经多年不断完善和检验而制定的^[10]。

$$\Delta Z = K_N K_V \frac{V_q^2 - V_{0q}^2}{2g} \quad (4)$$

式中: V_q 为桥下断面平均流速; V_{0q} 为桥前断面平均流速; K_N 为定床壅水系数,与建桥前后桥下断面流速变化有关; K_V 为与建桥后桥下水流流态有关的系数。

2.1.5 铁科院曹瑞章公式

铁科院曹瑞章收集实测数据,并研究总结模型试验资料后,在陆浩公式基础上简化提出的计算式。

$$\Delta Z = \frac{K}{2g} (V_m^2 - V_{0m}^2) \quad (5)$$

式中: V_m 为桥下平均流速; V_{0m} 为自然条件下平均流速; K 为壅水系数。

2.2 数值模拟法

数值模拟^[11]是用数学分析的方法建立流体运动的基本方程并进行求解,所得的结果具有普遍性,各种影响因素清晰可见,是指导试验研究和验证新的数值计算方法的理论基础。

在河道数值模拟上,近年来,国外出现了以水

流、泥沙、水质等为模拟对象的河流数值模拟集成软件。比较著名的有荷兰的Delft3D、丹麦的DHI系列软件、加拿大的DALCOAST、英国的Wallingford、美国的SMS等。目前国内比较熟知和应用广泛的是MIKE 11和MIKE 21这两个模型

3 秦淮河大桥壅水计算

秦淮河大桥壅水计算主要针对设计流量,分别考虑两种工况,工况一:流域20年一遇降雨遭遇长江10.63 m潮位,对应设计流量为550 m³/s;工况二:流域50年一遇降雨遭遇长江20年一遇潮位,对应设计流量为600 m³/s。比较两种工况下纬七路东进工程秦淮河大桥建设前后水位值,从而得到由于秦淮河大桥建设造成的壅水值。

3.1 经验公式法计算

秦淮河大桥建成后,受大桥桥墩的阻水影响,桥位处的行洪水力条件将会产生一定的变化,断面过水面积将会减少,从而造成桥梁上游洪水水位一定的壅高。两种工况下桥位阻水要素见表1。

不同工况和方法下各桥墩墩前壅水计算结果如下:

3.1.1 道不松公式计算

道不松公式中参数参照河滩路堤阻断流量与设计流量比值选取,这里河滩路堤阻断流量近似认为是河道的压缩程度,计算中取0.07,计算结果见表2。

3.1.2 实用水力学公式计算

此公式相对其他经验公式复杂,资料需求较为详细,采用迭代法进行计算,计算结果见表3。

3.1.3 Henderson公式计算

纬七路跨秦淮河大桥桥墩形式为矩形桥墩,故式中桥墩系数取0.35,计算结果见表4。

3.1.4 铁科院陆浩公式计算

根据公式(4)计算得到壅水结果见表5。

3.1.5 铁科院曹瑞章公式计算

此公式为陆浩公式的简化形式,计算时相比路浩公式少了定床壅水系数一项,应用公式(5),得到表6的计算结果。

表1 桥墩阻水面积要素统计

工况	流量/ (m³·s ⁻¹)	现状		桥墩阻水 面积/m²	建桥后		
		面积/m²	河宽/m		面积/m²	桥墩总宽/m	过水净宽/m
工况一	600	524	170	29.0	495	3.6	166.4
工况二	550	502	165	27.0	475	3.6	161.4

表2 道不松公式壅水计算结果

工况	流量/(m³·s ⁻¹)	水位/m	V _m /(m·s ⁻¹)	V ₀ /(m·s ⁻¹)	ΔZ/m
工况一	550	11.34	1.16	1.10	0.009
工况二	600	10.77	1.21	1.15	0.010

表3 实用水力学公式壅水计算结果

工况	河宽/m	桥前平均流速/(m·s ⁻¹)	ΔZ/m
工况一	165	1.10	0.018
工况二	170	1.15	0.020

表4 Henderson公式壅水计算结果

工况	桥墩系数	V ₁ /(m·s ⁻¹)	V ₂ /(m·s ⁻¹)	ΔZ/m
工况一	0.35	1.16	1.10	0.031
工况二	0.35	1.21	1.15	0.033

表5 铁科院陆浩公式壅水计算结果

工况	K _s	K _v	V _q /(m·s ⁻¹)	V _{0q} /(m·s ⁻¹)	ΔZ/m
工况一	8.563	1.848	1.16	1.10	0.109
工况二	8.756	1.745	1.21	1.15	0.110

表6 铁科院曹瑞章公式壅水计算结果

工况	壅水系数K	V _m /(m·s ⁻¹)	V _{0m} /(m·s ⁻¹)	ΔZ/m
工况一	8.563	1.21	1.15	0.059
工况二	8.756	1.21	1.15	0.063

3.2 水动力模型法计算

本次模型计算采用 MIKE21 软件,模型上边界采用设计流量,下边界水位采用七桥瓮大桥上游水位进行计算,因此选择拟建桥址处的设计水位为验证资料。

3.2.1 数学模型的构建

模型上边界选定在绕城公路大桥上游断面处,下边界选定七桥瓮大桥上游断面处,详见图 1~2。采用 1:1000 水下地形图以及相关的桥梁资料作为计算依据,计算河段全长约 2.0 km。

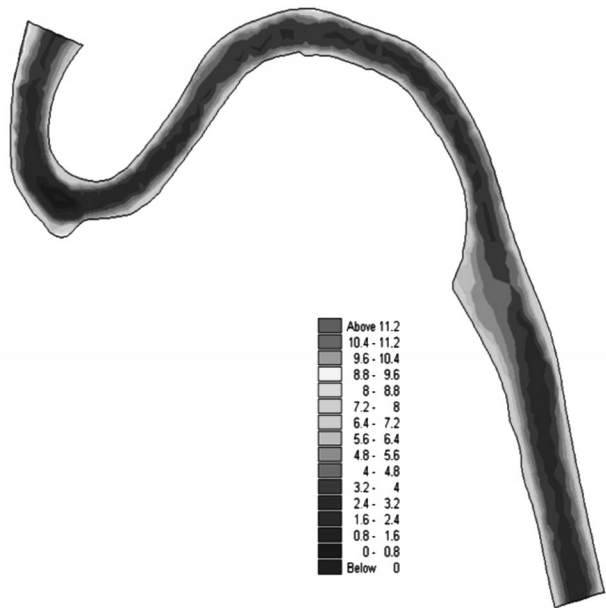


图1 纬七路东进建设工程秦淮河大桥河段数学模型计算范围

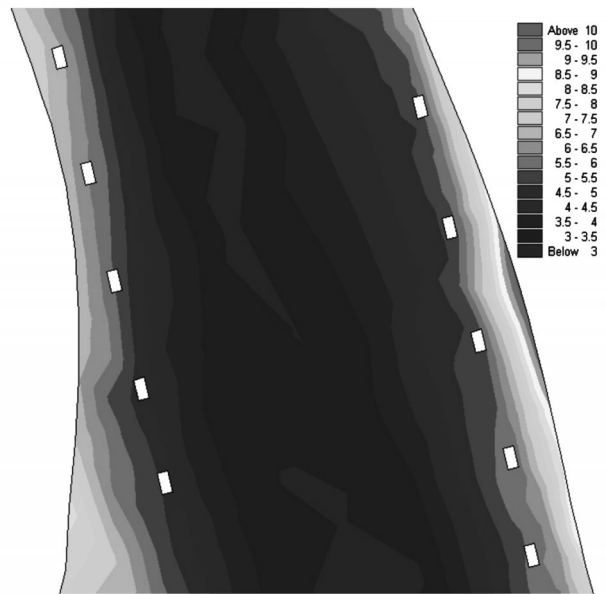


图2 纬七路东进建设工程秦淮河大桥河段

3.2.2 数学模型验证

上边界分别采用设计流量:550 m³/s 及 600 m³/s,下边界七桥瓮大桥上游水位分别为 11.32 m 和 10.72 m。基于以上边界条件就拟建桥址处的设计水位进行了验证。进行验证时,选取各个断面沿宽度的平均水位作为计算结果,结果见表 7。验证结果表明,数学模型计算的水位与设计结果吻合较好。

表7 水位验证情况

工况	设计水位/m	计算值/m	差值/m
工况一	11.34	11.345	-0.005
工况二	10.77	10.769	0.001

3.2.3 模型计算结果

为了便于观察桥址上下游壅水变化情况,选取了河段上主要几个断面,沿其宽度方向上单元水位的平均值与工程前水位平均值的差值作为断面壅水值,两种工况下壅水变化见表 8~9。

表8 工况一沿程壅水

断面编号	距离/m	左岸壅水/m	右岸壅水/m
cs318	0	0.000	0.000
cs325	350	0.000	0.000
cs333	750	0.000	0.000
cs339	1 050	0.000	0.000
cs340	1 100	-0.001	0.000
cs341	1 150	0.003	0.000
cs342	1 200	0.021	0.007
cs343	1 250	0.021	0.015
cs344	1 300	0.021	0.021
cs345	1 350	0.021	0.021
cs347	1 450	0.021	0.021
cs349	1 550	0.020	0.021
cs351	1 650	0.020	0.020
cs354	1 800	0.020	0.020

3.3 计算结果对比分析

两种工况下几种计算方法的计算壅水结果见表 10。

从表 10 可以看出,道不松公式是以上经验公式计算结果中最小的,这与道不松公式系数选取较少有关;实用水力学公式和 Henderson 公式计算出的结果与模型模拟结果相差不多,两者公式中均考虑

表9 工况二沿程壅水

断面编号	距离/m	左岸壅水/m	右岸壅水/m
cs318	0	0.000	0.000
cs325	350	0.000	0.000
cs333	750	0.000	0.000
cs339	1 050	0.001	0.000
cs340	1 100	0.000	0.001
cs341	1 150	0.005	0.001
cs342	1 200	0.026	0.009
cs343	1 250	0.026	0.019
cs344	1 300	0.026	0.026
cs345	1 350	0.026	0.026
cs347	1 450	0.026	0.026
cs349	1 550	0.025	0.025
cs351	1 650	0.025	0.026
cs354	1 800	0.025	0.026

表10 各方法计算壅水值对比

计算方法	工况一 最大壅水值/m	工况二 最大壅水值/m
道不松公式	0.009	0.010
实用水力学公式	0.018	0.020
Henderson公式	0.031	0.033
铁科院陆浩公式	0.109	0.110
铁科院曹瑞章公式	0.059	0.063
MIKE模型法	0.021	0.026

了建桥前后断面水流流速的变化,特别是实用水力学公式中参数选取较为详细;陆浩公式和曹瑞章公式计算结果相对来说较大,这与公式中定床壅水系数的选取有关,曹瑞章公式是陆浩公式的简化形式,相比陆浩公式少了一项建桥后水流流态系数,所以计算结果较陆浩公式小;同时两种工况下相比,整体上工况二较工况一桥梁壅水值大。

4 结 语

研究表明,Henderson公式和实用水力学公

式的最大壅水计算结果与MIKE模型计算结果最接近,这两种公式更适用于秦淮河大桥的壅水计算;而铁科院陆浩公式和曹瑞章公式的计算结果较大,会在一定程度上加大秦淮河防洪的资金投入,并且公式中中值粒径系数的确定就非常困难,需要详细的工程地质资料,导致此公式应用具有一定的局限性;道不松公式形式简单,参数易于选取,但此公式计算出的结果与模型计算结果相比小一倍之多,无形之中会给秦淮河大桥防洪带来隐患,不利于防洪风险的正确预估。

参考文献:

- [1] 殷源. 基于Mike复杂跨河桥梁建设项目的洪水影响分析[J]. 水利技术监督,2023(2):60-64.
- [2] 王艳菊. 某改建跨河桥梁对河道的防洪影响分析[J]. 黑龙江水利科技,2022,50(9):100-102.
- [3] 薛万云,赵勇,俞雷,等. 平原河道桥墩群阻水壅高试验研究[J]. 江苏水利,2021(10):1-3,12.
- [4] 周舟,曾诚,周婕,等. 等宽明渠交汇口壅水特性数值模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(4):347-353.
- [5] 贺新华,蔡勇斌,蔡晓鸿. 跨河桥梁壅水的水面线计算法与经验公式计算法的比较分析[J]. 江西水利科技,2022,48(6):401-406.
- [6] 梁小刚. 关于桥梁壅水计算中几种经验公式应用的探讨[J]. 治淮,2011(11):73-75.
- [7] 郭娅,张玮清. 赤化大桥防洪影响分析[J]. 水利技术监督,2021(10):237-241.
- [8] 汪昊燃,王容,黄鹏年,等. 水文水力学结合的秦淮河流域洪水模拟与实时校正[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):25-30,64.
- [9] 毛北平,钟艳红,肖潇. 基于实测资料的桥墩壅水计算经验公式比较研究[J]. 人民长江,2021,52(12):157-161.
- [10] 杨春瑞. 码头工程壅水经验公式与数学模型计算比较分析[J]. 工程与建设,2015,29(6):793-795.
- [11] 孙治平,赵志宏,刘子金,等. 基于MIKE21的跨河桥梁壅水数值模拟分析[J]. 水资源与水工程学报,2022,33(6):129-136.