

枫叶大桥工程壅水计算分析研究

谭毅

(江西省水利科学院, 江西 南昌 330000)

摘要: 七一水库是金沙溪上的中型水库, 为研究枫叶大桥工程对七一水库阻壅水的影响, 本文采用经验公式与二维水流数学模型两种方法, 收集水库水文、地形等资料, 对新建桥梁进行壅水计算分析, 提出跨河桥梁最大壅水高度这一指标在防洪影响评价中计算方法选取的建议。

关键词: 桥梁工程; 壅水高度; 数学模型; 经验公式

中图分类号: U442.3+3

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2025) 05—0153—03

河道管理范围内修建桥梁将占用河道的行洪断面, 对涉河桥梁引起的壅水计算是建设项目防洪影响评价的重要内容之一。本次利用枫叶大桥工程实例, 依据《河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制导则 (SL 808-2021)》采用经验公式和数学模型两种方式, 为工程防洪影响评价中壅水计算方法的选择提供参考。

1 项目概况

1.1 建设项目概况

研究项目地处金沙溪中游段七一水库库区, 距下游大坝约 8.0 km, 桥梁全长 670 m, 跨七一水库桥梁长 366 m, 采用 12 m × 30 m 先简支后连续小箱梁形式, 桥梁宽度 9.0 m。工程位置如图 1 所示。

素计算波陡 ε ; 第二步, 利用式 (3) 估计参数 r 的数值; 第三步, 利用式 (1) ABR 三角级数计算波面升高 η , 该波面升高即可作为深水五阶 Stokes 波的近似解。

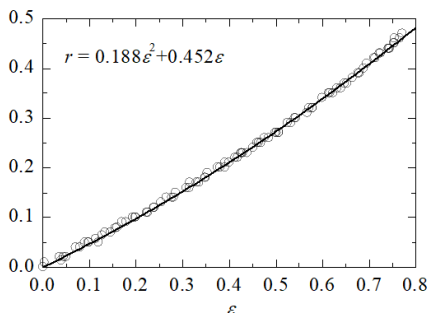


图 3 r 与波陡 ε 之间的散点图及拟合曲线

3 结论

本文利用 ABR 三角级数对深水五阶 Stokes 波波面升高解析解进行拟合, 得到了 ABR 三角级数中参数 r 与波陡 ε 之间的函数关系式, 利用该函数关系式可以实现对深水五阶 Stokes 波波面升高的快速近似计算。

结果表明: 对于不同波高与周期情况, ABR 三角级数均可以良好拟合五阶 Stokes 波波面升高解析解, 拟合偏差随波高增加或周期变短而增加, 偏差一般不超过 1%。利用式 (3) 通过波陡 ε 估计 r 偏差很小, 因此可以利用式 (3) 实现通过 ABR 三角级数快速近似计算深水五阶 Stokes 波的目的。

参考文献:

- [1] 邹志利. 水波理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社发行处出版社, 2005.
 - [2] Gerstner F. Theorie der wellen: Abhandlungen der Koniglichen Bohmischen Gesellschaft der Wissenschaften, Prague[J]. Reprinted in: Annalen der Physik, 1809, 32(08): 412 - 445.
 - [3] Stokes G G. On the theory of oscillatory waves[J]. Transactions of the Cambridge philosophical society, 1847, 08: 441-455.
 - [4] Lesht, Barry, M. Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement, and Predictive Models. Kiyoshi Horikawa[J]. The Journal of Geology, 1989.
 - [5] Zhao K, Liu P L F. On Stokes wave solutions[J]. Proceedings of the Royal Society A, 2022, 478(2258): 20210732.
 - [6] Fang H, Liu P L F, Tang L, et al. The theory of fifth-order Stokes waves in a linear shear current[J]. Proceedings of the Royal Society A, 2023, 479(2280): 20230565.
 - [7] Abreu T, Silva P A, Sancho F, et al. Analytical approximate wave form for asymmetric waves[J]. Coastal Engineering, 2010, 57(07): 656-667.
 - [8] Ruessink B G, Ramaekers G, Van Rijn L C. On the parameterization of the free-stream non-linear wave orbital motion in nearshore morphodynamic models[J]. Coastal engineering, 2012, 65: 56-63.
- 基金项目:** 福建省中青年教育科研项目 (科技类) (JAT220344); 福建省大学生创新创业训练计划项目 (4030124003); 厦门理工学院高层次人才科研启动项目 (YKJ22043R)



图1 工程位置图

1.2 水库概况

七一水库位于鄱阳湖水系信江支流金沙溪中游段, 坝址以上控制流域面积 324.0 km², 主河道全长 46.4 km, 总库容 2.28 亿 m³, 新建桥梁位置处水面宽 320 m。

2 水文计算

2.1 设计洪水

研究采用实测流量法, 根据七一水库 1960 年—2017 年流量资料, 通过水库水量平衡法反推入库洪水, 并经频率分析推算水库的设计洪水。洪峰流量计算结果见表 1。

表1 洪峰流量计算结果

Q _p (P=1%,m ³ /s)	Q _p (P=2%,m ³ /s)
2056.0	1742.0

2.2 设计水位

根据水库瞬时动态调洪法, 采用水库现行库容曲线、溢洪道泄流曲线和调洪规则, 得到评价频率下相应坝前最高洪水位。

新建枫叶大桥地处七一水库库区的落家坞~瓦窑山河段, 属坝前回水区中、上段范围, 考虑实际库容的影响, 该段库水面曲线上翘, 采用回水曲线法计算桥址水位。见表 2。

表2 设计水位成果表

位置	频率	
	1%	2%
七一水库	161.61	161.10
枫叶大桥	161.83	161.25

3 经验公式法计算桥梁壅水

枫叶大桥涉水桥墩共 11 个, 桥墩平行于水流方向, 共有 11×2 根圆柱墩(φ2000)落于水中, 即为阻水建筑物, 最不利断面见图 2。采用《铁路工程水文勘测设计规范》(TB10017-2021)中推荐经验公式计算壅水高度、长度, 成果见表 3。

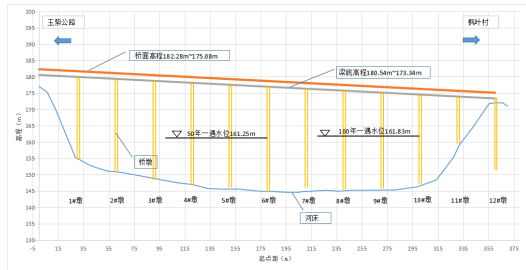


图2 工程阻水情况示意图

表3 工程断面壅水计算结果表

P (%)	1	2
Q (m ³ /s)	2056	1742
天然洪水位 (m)	161.83	161.25
V ₁ (m/s)	0.329	0.288
V ₂ (m/s)	0.341	0.299
计算壅水高度 (m)	0.0012	0.0009
回水长度 (m)	24.4	18.6

4 数学模型法计算桥梁壅水

4.1 二维水动力模型

采用丹麦 DHI 公司开发的 MIKE21 FM 二维水动力模型, 对桥位附近七一水库局部库区水流流态进行模拟。

本次模型计算范围上边界设在瓦窑山嘴附近, 该处水面由窄变开阔, 水位变化较稳定, 下边界设在桥址下游库区最狭窄处, 该处水位受地形缩窄, 水位抬高, 为较不利边界, 上、下游边界分别距桥址 2.4 km 和 0.8 km。模型地形采用实测水下地形图。现状工况网格总数 3901 个, 网格节点 2511 个, 最大网格面积 5488.51 m², 最小网格面积 20.43 m²; 建桥后网格总数 6037 个, 网格节点 3700 个, 最大网格面积 5420.25 m², 最小网格面积 0.47 m²。如图 3、图 4 所示。

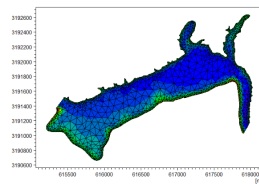


图3 现状地形概化及网格划分示意图

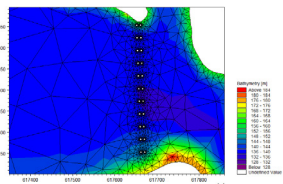


图4 桥址处网格划分示意图

4.2 模型验证

4.2.1 边界条件设置

研究模拟最不利洪水组合, 即模型上边界为最大入库洪峰流量, 下边界为水库调洪后最高水位, 桥位上游支流、下游支流汇流入流量均已考虑在上边界内。见表 4。

表4 计算水流条件表

编号	计算条件	进口流量 (m ³ /s)	计算河段出口水位 (m)
1	100 年一遇	2056	161.61
2	50 年一遇	1742	161.10

4.2.2 模型参数

糙率是表征水流的综合阻力的参数, 先用既有实

测横断面，按曼宁公式计算断面平均糙率，作为模型糙率初始值输入，在计算过程中用节点水深、水流、流场验证对初始值进行修正和分段调试，河床曼宁数设置为32，涡粘系数取值为0.28，不考虑风速影响，干湿边界参数为0.005~0.1 m。

4.2.3 水位验证结果

模型计算区域无实测水文资料，研究将七一水库P=1%、P=2%设计水位成果进行验证，二维模型计算水位与回水曲线计算水位成果分别相差0.08 m、0.03 m，表明模型验证良好，模型可有效模拟研究区域的洪水演进过程。见表5。

表5 验证断面水位对比表

断面	P=1%		P=2%	
	回水曲线计算水位 (m)	二维模型计算水位 (m)	回水曲线计算水位 (m)	二维模型计算水位 (m)
枫叶大桥	161.83	161.75	161.25	161.22

4.3 壅水计算分析

采用 MIKE21 FM 对研究区域进行建桥前后工况数值模拟，对各频率下水位变化进行统计分析如下。水位雍高最大值及主要影响范围统计情况如表6所示。从工程建设前后水位变化图（图5~图7）上来看，工程修建后水位的变化主要集中于枫叶大桥上、下游局部区域内，主要表现为上游局部水位雍高0.003~0.008 m，下游水位降低0.005~0.007 m。从100年一遇和50年一遇两种水流条件下的壅水计算结果来看，一般流量越大，工程后水位变化越大。

表6 水位雍高最大值及主要影响范围统计表

计算条件	项目	水位影响值 (m)		水位影响范围 (m)	
		雍高最大	降低最大	工程上游	工程下游
1%洪水		0.008	0.007	20	300
2%洪水		0.003	0.005	10	200

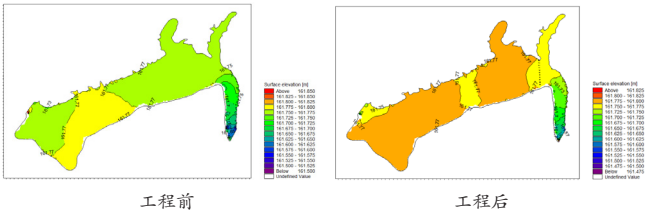


图5 100年一遇洪水水位等值线图

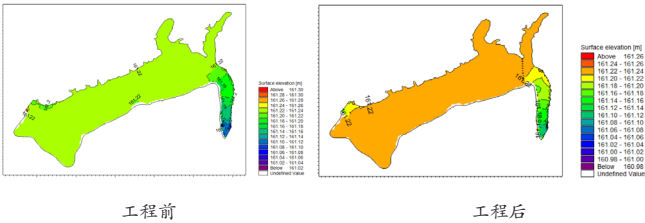


图6 50年一遇洪水水位等值线图

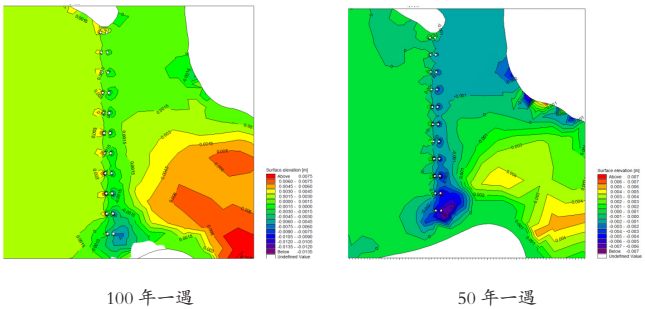


图7 桥址水位等值线图

5 成果分析与应用建议

从经验公式和数学模型两种分析方法计算结果（表7）看，枫叶大桥工程修建后水位的变化较小，反映在断面水位上数值变化在毫米级，其中经验公式法计算结果偏小，分析计算水位是反映全断面的平均水位，对复杂地形和边界条件或涉河建筑物分散分布则不能准确选择影响参数；MIKE21 数学模型能较好地模拟复杂地形，验证洪水位相对误差均小于1%，壅水数值和影响范围更直观、合理。因此，遇到桥梁处于复杂水流形态或是所在河道具有重要防洪任务的情况，建议采用二维数学模型计算壅水高度，以求得更加合理准确的计算结果，为桥梁工程的防洪安全与所在河道自身防洪能力提供分析计算的依据。

表7 各频率雍水高度、长度汇总表

计算方法	洪水频率 (P)	1%	2%
经验公式法	雍水高度 (m)	0.0012	0.0009
	雍水长度 (m)	24.4	18.6
数学模型法	雍水高度 (m)	0.008	0.003
	雍水长度 (m)	20	10

参考文献:

[1] 武汉大学水利水电学院, 水力学流体力学教研室. 水力计算手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[2] 郑秀玲, 于翠松. 桥涵水文学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

[3] 罗蔚, 陈龙. 某工程河道采砂对防洪评价影响的二维数值模拟 [J]. 江西水利科技, 2015, 41(06): 410-414.

[4] 王光磊. 二维水动力模型在老哈河铁路桥防洪影响评价中的应用研究 [D]. 吉林大学, 2016.

[5] 任梅芳, 徐宗学, 苏广新. 基于二维水动力模型与经验公式的桥梁壅水计算及其对比分析 [J]. 水力发电学报, 2017, 36(05): 78-87.

[6] 贺新华, 蔡勇斌, 蔡晓鸿. 跨河桥梁壅水的水面线算法与经验公式计算法的比较分析 [J]. 江西水利科技, 2022, 48(06): 401-406.