

保航需求下拦河闸泄洪流量数值模拟分析

余文忠¹ 张雨生² 刘贵明¹

1. 连云港市水利规划设计院有限公司, 中国·江苏 连云港 222000

2. 连云港市金河水利工程建设监理有限公司, 中国·江苏 连云港 222000

摘要: 通航河流上建设的拦河闸开闸泄洪时, 势必会对航道水流条件造成不利影响。论文以江苏省连云港市燕尾挡潮闸、五灌河挡潮闸为例, 采用二维水动力模型对拦河闸不同泄洪工况进行数值模拟, 在确保防洪安全前提下, 给出满足航道通航条件的泄洪流量。结果表明: 当航道处于最低通航水位 1.2m 时, 对应燕尾挡潮闸泄洪、五灌河挡潮闸泄洪、燕尾挡潮闸及五灌河挡潮闸共同泄洪 3 种工况下, 满足通航条件的最大泄洪流量分别为 244m³/s、173m³/s、577m³/s。

关键词: 拦河闸; 泄洪流量; 二维水动力模型; 通航条件

Numerical Simulation Analysis of Flood Discharge Capacity of River Gate under Navigation Protection Demand

WenZhong Yu¹ Yusheng Zhang² Guiming Liu¹

1. Lianyungang Water Resources Planning and Design Institute Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

2. Lianyungang Jinhe Water Conservancy Project Construction Supervision Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

Abstract: When the sluice gate built on the navigable river is opened for flood discharge, it is bound to have an adverse impact on the channel flow conditions. Taking Yanwei tidal gate and Wuguan River tidal gate in Lianyungang City, Jiangsu Province as examples, this paper uses two-dimensional hydrodynamic model to simulate the different flood discharge conditions of the sluice, and gives the flood discharge that meets the navigation conditions of the channel on the premise of ensuring the flood control safety. The results show that when the channel is at the lowest navigable water level of 1.2m, the maximum flood discharge meeting the navigable conditions is 244m³/s, 173m³/s and 577m³/s respectively under the three conditions of flood discharge of Yanwei tidal gate, wuguanhe tidal gate, Yanwei tidal gate and wuguanhe tidal gate.

Keywords: barrage; flood discharge; two dimensional hydrodynamic model; navigation conditions

1 引言

拦河闸开闸泄洪会造成航道内横、纵向流速发生变化, 可能产生超过通航安全规定的流速, 需对泄洪流量进行分析。为确定满足通航条件^[1-3]的泄洪流量, 论文利用二维水动力模型^[4-7]进行数值模拟分析。

2 基本情况

2.1 拦河闸概况

连云港市燕尾挡潮闸闸址位于五灌河北汉入海口, 该闸与南汉上的五灌河挡潮闸横轴线平行, 两闸横轴线相距约 415m。

燕尾挡潮闸 10 年一遇设计流量 688m³/s, 闸孔规模为总净宽 56m, 闸孔布置为 16m+3×8m+16m; 五灌河挡潮闸 10 年一遇设计流量 601.3m³/s, 闸孔规模为总净宽 50m, 闸孔布置为 5×10m。

2.2 航道概况

东门河航道起点为燕尾挡潮闸, 终点为盐河口, 由五灌河(见图 1)、东门五图河(见图 2)组成。东门河航道为连云港航道网主骨架“三横三纵”中的“横三”, 规划为

五级航道, 规划里程 54.84km。

五灌河上起小南沟, 下至燕尾港入海, 全长 16.0km。五灌河上接善南片区的东门五图河流域、牛墩界圩河流域以及车轴河部分地区的涝水, 尾间分南北两汉分别从五灌河挡潮闸、燕尾港挡潮闸经灌河口入海。五灌河经过历次整治, 现状河道底宽 130~145m, 河道底高程 -3.04~-3.47m, 河面较为宽阔。



图 1 五灌河位置图



图 2 拦河闸位置图

3 不同泄洪工况数值模拟

3.1 流速相关规定

参照 JTJ305—2001《船闸总体设计规范》5.3.2 条规定“在通航期内，口门区的水面最大流速应符合下列规定：平行航线的纵向流速应 $\leq 2.0\text{m/s}$ ；垂直航线的横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ ”。

根据 JTJ180-2—2011《运河通航标准》6.2.2 条规定“运河航道中的纵向流速不宜大于 1.0m/s ”；6.2.3 规定“运河中的取、泄水口和其他汇流口的水域，航道横向流速不应超过 0.3m/s ”。确定燕尾挡潮闸、五灌河挡潮闸上游航道通航水域范围内纵向流速宜 $\leq 1.0\text{m/s}$ ，横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 。

综上，确定东门河航道通航水域范围内纵向流速宜 $\leq 1.0\text{m/s}$ ，横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 。

3.2 安全警戒区划定

根据《江苏省河道管理条例》第二章第二十八条第一款：“涵、闸、泵站、水电站应当设立安全警戒区。安全警戒区由水行政主管部门在工程管理范围内划定，并设立标志。禁止在涵、闸、泵站、水电站安全警戒区内从事渔业养殖、捕（钓）鱼、停泊船舶、建设水上设施”。划定安全警戒区是保证水利工程安全运行的基础保障，是对水利工程划界确权成果的有效利用。

划定安全警戒区^[8]是保证水利工程安全运行的基础保障，是对水利工程划界确权成果的有效利用。水利工程安全警戒区范围应包括闸站主体工程、上下游翼墙、岸墙、捞草机具设施等对水利工程安全运行有重要影响的区域。

根据《灌云县河道和水利工程管理范围划定工作实施方案》（灌政复〔2016〕17号），燕尾挡潮闸管理范围为上游河道堤防 500m，下游河道堤防 300m，左侧 80m，右侧 140m，并已按水利部门规定的统一样制作、埋设界桩。根据水利工程安全警戒区划定原则及标准，燕尾挡潮闸上下游安全警戒区范围与管理划界范围保持一致。燕尾挡潮闸开闸泄洪时，禁止在安全警戒区内停泊船舶，船舶需航行至指定安全地点进行停靠。

3.3 模型分析

3.3.1 模型计算范围及网格划分

计算范围：燕尾挡潮闸上游 1350m，包含燕尾挡潮闸

上游引航道。模型共包含两个边界：燕尾挡潮闸上边界、下边界。

模型地形：本次计算范围内模型地形采用燕尾挡潮闸改建工程实测地形图，并按照设计河道断面进行局部调整。地形典型特征为燕尾挡潮闸上游引航道河底高程 -3.50m ，河道底宽 65m。五灌河挡潮闸上游河底高程 -3.0m ，河道底宽 60m。东门河主航道河底高程 -3.50m ，河道底宽 130m。燕尾挡潮闸底板顶高程 -3.50m ，共 5 孔，闸孔布置为 $16\text{m}+3 \times 8\text{m}+16\text{m}$ 。五灌河挡潮闸底板顶高程 -3.0m ，共 5 孔，每孔净宽 10m。

网格划分：采用无结构三角形网格剖分，边长一般为 7~9m，局部加密为 2~4m，网格数为 68131 个，节点数为 34623 个。

3.3.2 模型计算工况

为了研究燕尾挡潮闸泄洪对上游东门河航道的影响，本模型计算工况分三种：

工况一：燕尾挡潮闸按 10 年一遇校核流量 $688\text{m}^3/\text{s}$ 行洪，闸上水位 2.50m。

工况二：五灌河挡潮闸按 10 年一遇校核流量 $601.3\text{m}^3/\text{s}$ 行洪，闸上水位 2.50m。

工况三：燕尾挡潮闸按 10 年一遇校核流量 $688\text{m}^3/\text{s}$ 、五灌河挡潮闸按 10 年一遇校核流量 $601.3\text{m}^3/\text{s}$ 行洪，闸上水位 2.50m。

各工况边界条件见表 1。

表 1 模型计算工况边界条件汇总表

工况	闸上水位 (m)	过闸流量 (m^3/s)		
		燕尾挡潮闸	五灌河挡潮闸	燕尾挡潮闸 + 五灌河挡潮闸
工况一	2.50	688		
工况二	2.50		601.3	
工况三	2.50			1289.3

3.3.3 模型计算结果

工况一：燕尾挡潮闸闸上引航道、引航道与主航道交叉处、主航道通航水域范围内流速均不满足纵向流速宜 $\leq 1.0\text{m/s}$ 的要求，引航道与主航道交叉处通航水域范围内流速不满足横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 的要求。

工况二：燕尾挡潮闸闸上引航道、主航道通航水域范围内流速均满足纵向流速宜 $\leq 1.0\text{m/s}$ ，横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 的要求。燕尾挡潮闸闸上引航道与主航道交叉处通航水域范围内流速不满足横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 的要求。

工况三：燕尾挡潮闸闸上引航道、引航道与主航道交叉处、主航道通航水域范围内流速均不满足纵向流速宜 $\leq 1.0\text{m/s}$ 的要求，引航道与主航道交叉处通航水域范围内流速不满足横向流速应 $\leq 0.3\text{m/s}$ 的要求。

不同工况下，燕尾挡潮闸上游航道内纵向流速、横向流速结果见表 2。

表 2 航道流速成果表

工况	航道区域	最大流速 (m/s)			
		纵向流速	说明	横向流速	
工况一	引航道	1.35	不满足规定要求	0	
	引航道与主航道交叉处	1.14	不满足规定要求	0.72	不满足规定要求
	主航道	1.05	不满足规定要求	0	
工况二	引航道	0		0	
	引航道与主航道交叉处	0.23		0.55	不满足规定要求
	主航道	0.75		0	
工况三	引航道	1.20	不满足规定要求	0	
	引航道与主航道交叉处	1.15	不满足规定要求	0.32	不满足规定要求
	主航道	1.35	不满足规定要求	0	

4 保航需求下泄洪流量分析

4.1 拦河闸调度运行方式

燕尾挡潮闸、五灌河挡潮闸主要功能为排涝、挡潮、蓄水灌溉，两闸共同承担沂北片区善南片涝水，工程运行调度服从连云港市灌云县水利局及连云港市水旱灾害防御调度指挥中心统一调度指令，工程具体控制运用原则如下：

①在非汛期闸上控制正常水位为 1.6~1.8m，按此要求适当开启闸门孔数及高度，或定期活动闸门。

②在汛期或上游排涝时，按指令预降闸上水位，以确保及时排涝。

4.2 保航需求下最大泄洪流量

根据模型计算结果分析，燕尾挡潮闸开闸泄洪时，势必会对上游东门河航道水流条件产生影响，通航水域范围内横、纵向流速可能超过规定要求。为了保障行洪期间通航需求，结合拦河闸调度运行方式，在确保防洪安全前提下，应明确在各通航水位下满足航道通航条件的最大泄洪流量（见表 3）。

表 3 各通航水位下满足航道通航条件的泄洪流量表

序号	航道水位 (m)	闸上		
		工况一：燕尾挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)	工况二：五灌河挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)	工况三：五灌河挡潮闸 + 燕尾港挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)
1	2.50	350	256	810
2	2.40	342	251	790
3	2.30	334	245	770

序号	航道水位 (m)	闸上		
		工况一：燕尾挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)	工况二：五灌河挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)	工况三：五灌河挡潮闸 + 燕尾港挡潮闸泄洪流量 (m ³ /s)
4	2.20	325	239	750
5	2.10	317	234	733
6	2.00	309	224	715
7	1.90	300	218	698
8	1.80	292	211	680
9	1.70	285	204	663
10	1.60	276	199	646
11	1.50	268	194	628
12	1.40	259	188	611
13	1.30	252	181	594
14	1.20	244	173	577

5 结论

论文采用二维水动力模型对燕尾挡潮闸、五灌河挡潮闸泄洪进行了数值模拟分析，结合拦河闸调度运行方式，从保障通航需求角度，给出了各通航水位下满足航道通航条件的最大泄洪流量。计算结果表明，模型能够较好地反映燕尾挡潮闸、五灌河挡潮闸泄洪时，航道内通航水流条件变化情况，该方法能够为通航河流上拦河闸调度运行提供了一定理论依据。

参考文献：

- [1] 关英俊,杨宇.岷江龙溪口航电枢纽工程引航道口门区通航水流条件影响及对策[J].水运工程,2023(10):27-32.
- [2] 曾敏,林勇.枢纽泄洪对引航道口门区水流条件影响试验研究[J].中国水运,2023(4):119-121.
- [3] 李华勇,严秀俊.万安枢纽二线船闸通航水流条件数值模拟研究[J].中国水运,2023,23(8):36-37.
- [4] 王江,张鹏.基于MIKE21二维水动力模型的天井湖湖区洪水流场流速分布研究[J].治淮,2023(1):22-24.
- [5] 张子浩.浚河南坪船闸引航道流场数值模拟研究[J].治淮,2022(3):20-21.
- [6] 刘融融,查红.沿海河流水动力模型中堰闸孔流模拟技术分析[J].治淮,2018(3):25-26.
- [7] 彭亮.溧河横排头坝下至六安段二维水动力数学模型研制及应用[J].治淮,2018(7):25-27.
- [8] 曾敏,林勇.城区水闸泵站工程安全警戒区划定工作的探索[J].江苏水利,2020(S1):73-78.

作者简介：余文忠（1989-），男，硕士，工程师，从事水利规划与设计研究。