



船闸平面形态突变对泄洪影响的数值模拟

解学超¹, 赵佳源², 李泳龙¹

(1. 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610017;

2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000)

摘要: 岷江龙溪口航电枢纽工程中船闸与泄洪闸相邻布置, 上闸首和闸室外墙结构断面不同导致船闸平面形态发生突变, 泄洪时突扩区域将出现大范围回流、乱流等恶劣流态, 影响枢纽泄洪。通过建立平面二维数学模型, 计算闸室外墙前趾布置导墙前后的流场分布, 结果显示: 回流长度约为突扩宽度的2倍, 按此范围布置导墙可基本消除回流, 曲线形导墙能够使纵向流速等值线呈均匀递减分布, 流态优化效果较好。

关键词: 船闸平面形态突变; 枢纽泄洪; 平面二维数学模型; 流态优化

中图分类号: U641

文献标志码: A 文章编号:

文章编号: 1002-4972(2023)10-0033-04

Numerical simulation of influence of planar morphological mutation of ship lock on flood discharge

XIE Xuechao¹, ZHAO Jiayuan², LI Yonglong¹

(1. Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China;

2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China)

Abstract: In the Minjiang Longxikou Navigation-power Junction project, the ship lock is adjacent to the flood discharge gate, the different outer wall structural sections of the upper lock head and lock chamber lead to planar morphological mutation of the ship lock, during flood discharge, the sudden expansion area will experience severe flow patterns such as large-scale backflow and turbulence, which will affect the junction flood discharge. By establishing a planar two-dimensional mathematical model, the flow field distribution before and after the arrangement of the guide wall at the front toe of the outer wall of lock chamber is calculated, the results show that the length of the backflow is about twice the width of the sudden expansion area, and the arrangement of the guide wall according to this range could basically eliminate the backflow, the curved guide wall could make the longitudinal flow velocity contour uniformly decreasing, thus the flow patterns optimization is better.

Keywords: planar morphological mutation of ship lock; junction flood discharge; planar two-dimensional mathematical model; flow pattern optimization

岷江龙溪口航电枢纽工程是岷江乐山—宜宾段梯级开发的第4级, 枢纽船闸与泄洪闸相邻布置, 由于上闸首外墙和闸室外墙采用了不同的结构断面, 导致船闸平面形态在该区域发生突变, 泄洪时突扩区域将出现回流、乱流等恶劣流态, 影响泄洪和消能效果。受总体布置和闸室外墙结构形式限制, 闸室外墙与消力池相接处无法单独布置消力池边导墙, 为优化该区域流态, 拟在闸室外闸墙前趾布置导墙以平顺扩散水流。

拟布置导墙与水闸工程中的翼墙功能相似, 根据工程经验, 当导墙扩散角太大时, 水流无法沿导墙扩散将形成回流区, 不仅压缩主流且易造成偏流; 导墙扩散角越小, 水流形态越平顺, 但由于增加了导墙长度, 工程不经济^[1-4]。

本文通过建立平面二维数学模型, 对闸室外墙布置不同导墙方案的泄洪流态进行计算分析, 提出导墙的合理布置范围和最优布置形式, 流态优化效果显著。

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 解学超 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计。

1 工程概况

1.1 总体布置

岷江龙溪口航电枢纽工程船闸布置于右岸主河道，上闸首采用整体式结构，左侧与 24# 泄洪冲砂

闸边墩相接；闸室采用分离式结构，外闸墙与消力池、海漫相接，该厢消力池为 20#~24# 泄洪闸共用。

船闸平面形态突变处布置见图 1，上闸首外墙结构断面见图 2，闸室外墙结构断面见图 3。

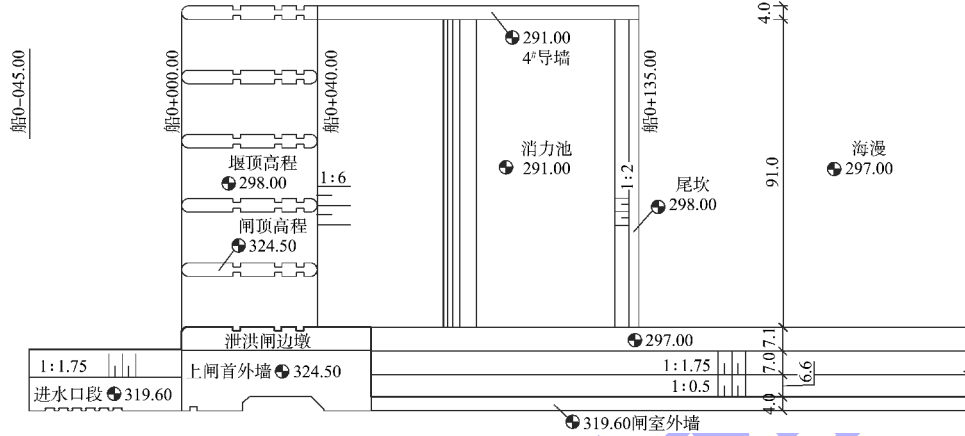


图 1 船闸平面形态突变处布置 (单位: m)

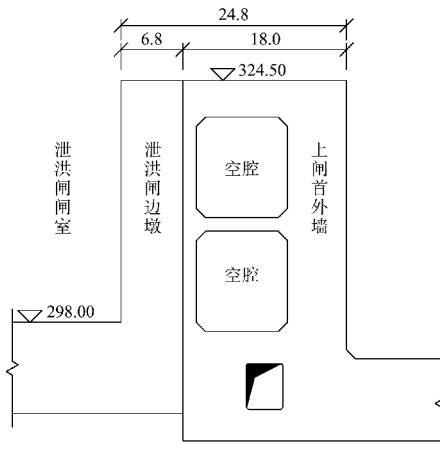


图 2 上闸首外墙结构断面 (单位: m)

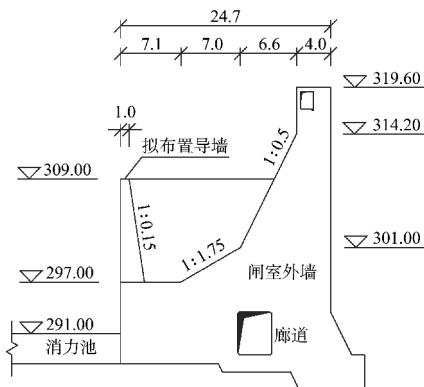


图 3 闸室外墙结构断面 (单位: m)

1.2 导墙布置

船闸外墙采用 C25 混凝土半重力结构形式，基础为弱风化砂岩，为控制正常运行工况下地基反力大于零^[5]，底宽取值接近上闸首外墙与 24# 泄洪闸边墩之和，导致该处无法单独布置消力池边导墙。初始方案中外墙与消力池衔接处平面形态发生突变，不利于工程泄洪消能，拟在外闸墙前趾上布置导墙以平顺扩散水流。导墙平面布置拟采用直线、圆弧和二次曲线 3 种形式，见图 4。

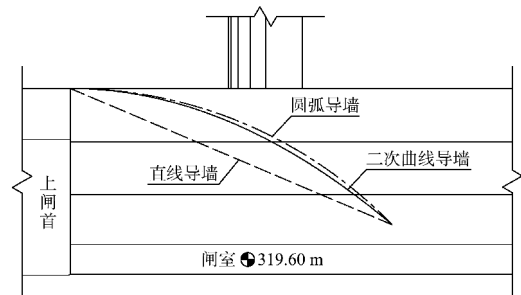


图 4 导墙布置

2 平面二维数学模型

2.1 SMS 软件

Surface-water Modeling System (SMS) 是由美国陆军工程兵水利工程实验室 (United States Army Corps

of Engineers Hydraulics Laboratory) 和杨百翰大学 (Brigham Young University) 等合作开发的一款水动力学数值分析软件, 软件包括多个模型, 每个模型都可分析特定类型的地表水流动问题。SMS 软件无结构网格生成技术, 可以方便地模拟复杂边界下的流动, 强大而简易的前后处理功能使数据高度可视化, 因此在河道水流条件分析中得到广泛应用^[6-8], 本文拟采用软件中的平面二维数学模型 RMA2 进行相关计算。

2.2 模型建立及网格划分

根据图 1 将计算区域的设计高程导入模型, 生成的初始方案高程云图见图 5。计算区域相对规则, 消力池、海漫及闸室外墙部位主要采用四边形网格, 提高计算稳定性且减少了网格数量, 其他区域则采用适应性强的三角形网格。为精确模拟各导墙方案下的流场特性, 对局部区域采用三角形网格进行渐变加密。初始方案网格划分见图 6。

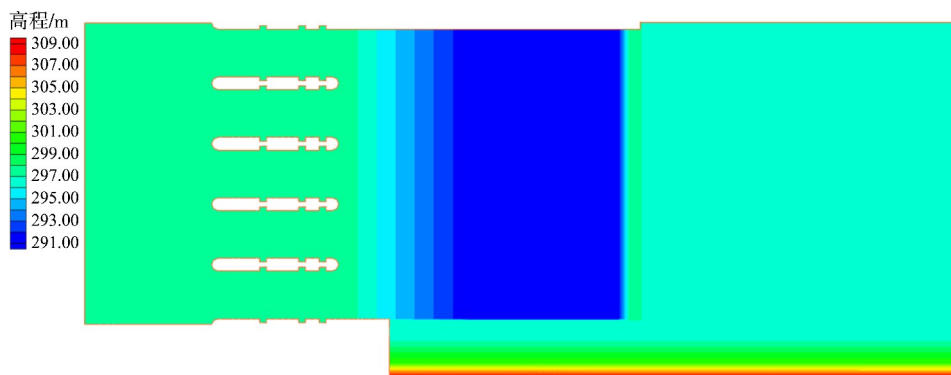


图 5 初始方案高程云图

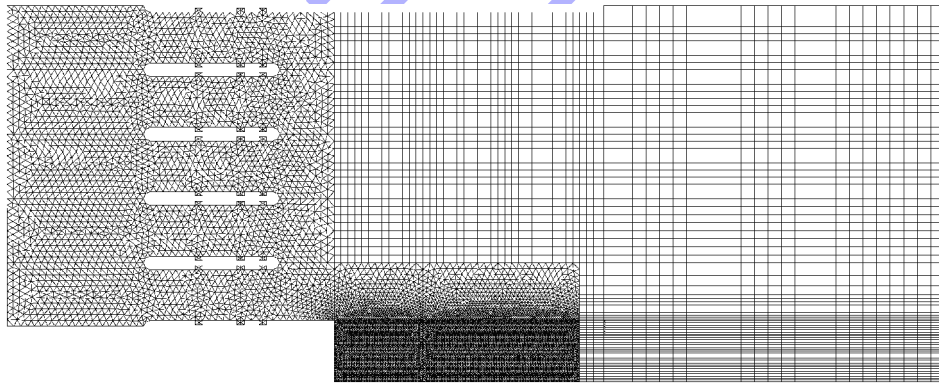


图 6 初始方案网格划分

3 计算结果分析

模型初始值取定值, 闭边界采用自由滑移边界条件, 上游边界条件为枢纽敞泄流量 $1.5 \text{ 万 m}^3/\text{s}$, 下游边界条件为对应水位 308.78 m 。模型糙率系数根据文献[9]的建议值分区取值。

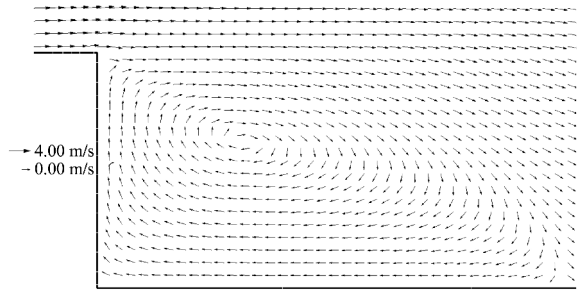
初始方案与不同导墙方案的流场及纵向流速等值线见图 7。

由计算结果可知, 初始方案条件下回流流速超过 0.5 m/s , 回流长度约为突扩宽度的 2 倍, 对主流的压缩明显, 按此范围布置导墙后基本消除

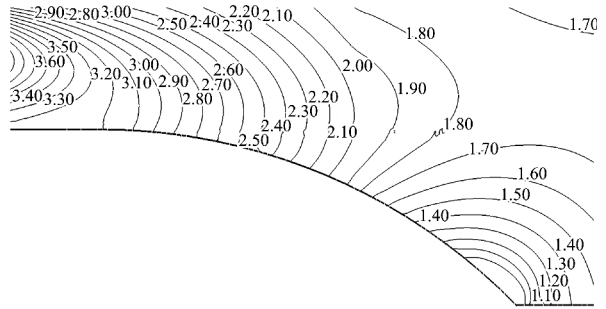
了回流。

直线导墙扩散角为固定值 26.6° , 平面形态仍存在明显的突变, 转折点处主流脱离导墙, 纵向流速等值线密集, 流速骤减导致水流扩散不均匀。根据工程经验扩散角宜为 $7^\circ \sim 12^\circ$, 按该扩散角布置导墙, 长度将增加 1.5 倍以上, 不经济。

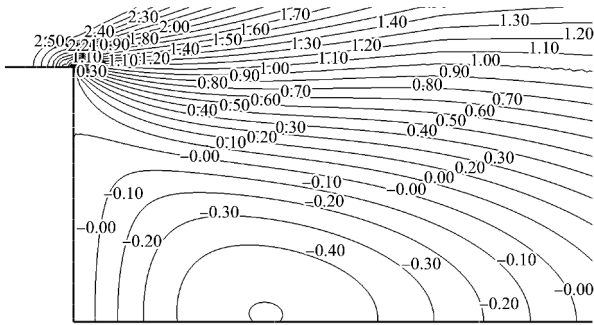
圆弧导墙和二次曲线导墙扩散角沿曲线连续增加, 平面形态平顺, 纵向流速等值线呈均匀递减分布, 水流沿导墙均匀扩散, 流态优化效果较好。



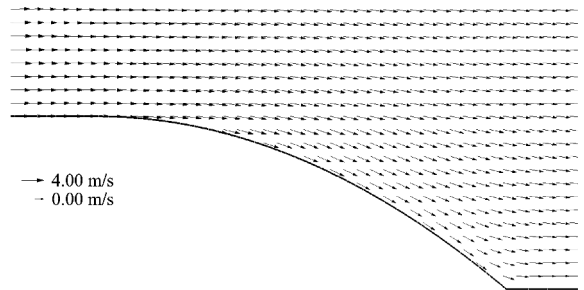
a) 初始方案流场



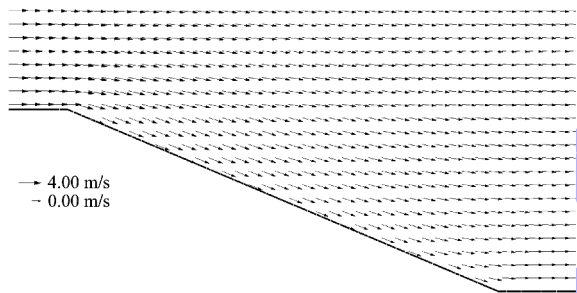
f) 圆弧导墙方案流场纵向流速等值线



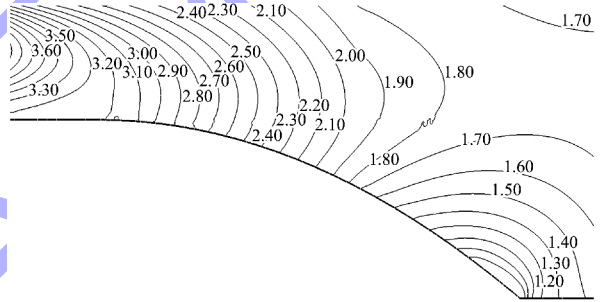
b) 初始方案流场纵向流速等值线



g) 二次曲线导墙方案流场

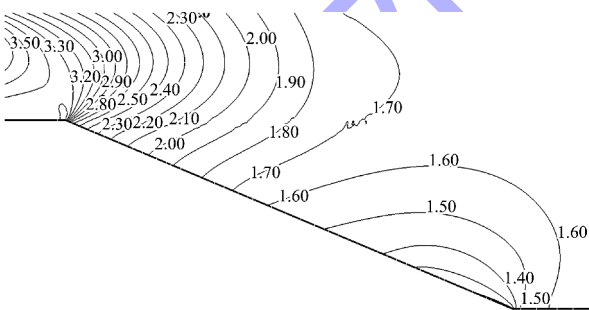


c) 直线导墙方案流场

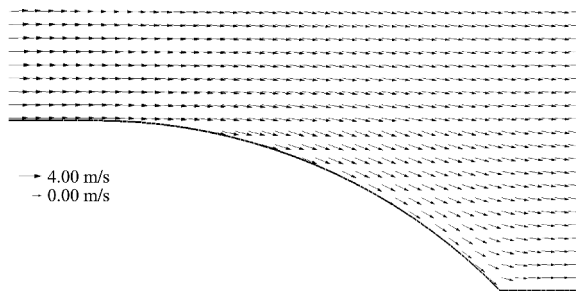


h) 二次曲线导墙方案流场纵向流速等值线

图 7 不同方案流场及纵向流速等值线 (单位: m/s)



d) 直线导墙方案流场纵向流速等值线



e) 圆弧导墙方案流场

4 结语

1) 船闸平面形态突变处未布置导墙, 枢纽泄洪时突扩区域出现大范围回流, 其长度约为突扩宽度的 2 倍, 按此范围布置导墙可基本消除回流, 流态优化效果显著。

2) 直线导墙若按回旋范围布置, 平面形态仍存在突变且扩散角较大, 水流未能均匀扩散, 若按工程经验提出的扩散角布置, 则长度增加 1.5 倍以上, 不经济。

3) 圆弧导墙和二次曲线导墙的扩散角沿曲线连续增加, 平面形态平顺, 纵向流速等值线呈均匀递减分布, 水流沿导墙均匀扩散, 流态优化效果优于直线导墙。

4) 工程布置圆弧导墙和二次曲线导墙的流态优化效果差别较小。

(下转第 51 页)