



# 韩庄双线船闸通航水流条件改善措施

杨 桦

(山东省交通运输厅京杭运河工程建设办公室, 山东 济南 250014)

**摘要:** 韩庄拟建复线船闸和一线船闸共用引航道, 船闸灌、泄水过程中下游引航道中产生非恒定流, 上游韩庄节制闸、老运河节制闸泄洪期间韩庄船闸下游水流流态更加复杂。采用国际上通用的 MIKE21 水动力模型, 研究了泄洪期间韩庄船闸下游引航道、靠船墩、口门区的纵向流速、横向流速及回流分布情况, 并按照《船闸总体设计规范》相关要求, 针对泄洪期引航道的水力学问题, 提出了改善水流的有效工程措施。

**关键词:** 双线船闸; 泄洪; 水流条件; 数值模拟

中图分类号: U 617.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)09-0143-04

## Improvement measures of navigation flow condition of Hanzhuang double way locks

YANG Hua

(Beijing-Hangzhou Canal Construction Office of Shandong Transportation Department, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Hanzhuang double way locks shares the approach channel and its filling and discharging will generate unsteady flow in the downstream approach channel. During flood discharge of Hanzhuang sluice and the old canal sluice, the flow conditions of approach channel are more complex. This study uses international general MIKE21 hydrodynamic model to study the longitudinal velocity, transverse velocity and reflux distribution of approach channel, waiting area and entrance of approach channel of the downstream Hanzhuang double way locks. In accordance with the *Code for Master design of shiplocks*, to solve the problem of hydraulic during flood discharge, this study proposes effective engineering measures for improving the flow conditions.

**Keywords:** double way locks; flood discharge; flow condition; numerical simulation

韩庄船闸位于山东省微山县韩庄镇东南约 1 km 处, 下游距枣庄市万年闸 16.4 km, 上游距微山湖湖口约 4 km, 设计标准为 II 级船闸。近年来, 京杭运河货运量激增, 单线运行的韩庄船闸制约了京杭运河货运通过能力提升, 迫切需要建设韩庄复线船闸。拟建韩庄复线船闸位于韩庄船闸的南侧, 中心线与老闸中心线平行, 间距为 90 m, 船闸主体结构 and 老闸主体齐平, 主尺度与老闸基本一致。上游引航道采用“曲线进闸、直线出闸”布置方式, 下游引航道采用“直线进闸、曲线出闸”布置方式<sup>[1]</sup>。

本文基于国际上通用的 MIKE21 模型建立了韩庄双线船闸二维水流数学模型, 重点研究洪水条件下船闸下游引航道内水流流态、横流、环流等水动力要素<sup>[2-4]</sup>; 根据《船闸总体设计规范》(简称规范)的相关要求, 针对韩庄节制闸、老运河节制闸泄洪引起的韩庄船闸下游引航道水动力学问题, 提出改善通航水流条件工程措施。

### 1 衡量通航水流条件的标准

按照 JTJ 305—2001《船闸总体设计规范》要求, 船闸口门及下游引航道水流限制条件如下:

收稿日期: 2015-02-01

作者简介: 杨桦 (1970—), 女, 硕士, 从事水运工程基本建设管理工作。

1) 引航道口门区水面流速。纵向流速  $v_y \leq 2.0$  m/s, 横向流速  $v_x \leq 0.3$  m/s, 回流流速纵向流速  $v_0 \leq 0.4$  m/s。

2) 引航道内流速。引航道导航段、调顺段宜为静水区, 制动段和停泊段的水面最大纵向流速不应大于 0.5 m/s, 横向流速不应大于 0.15 m/s。

3) 口门区与主航道之间连接段水面流速, 应参考口门区通航水流条件要求, 判别连接段水流条件的优劣。

## 2 韩庄二维水流数学模型建立

### 2.1 基本方程

基于三维不可压缩雷诺 (Reynolds) 平均 Navier-Stokes 浅水方程建立水动力模型, 对连续方程和动量方程在  $h = \eta + d$  范围内进行积分后可得到下列二维深度平均浅水方程<sup>[5-6]</sup>:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial y} = hS \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h\bar{u})}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}^2)}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial y} = & f\bar{v}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ & \frac{gh^2}{2\rho_0} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \\ & \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(h\bar{v})}{\partial t} + \frac{\partial(h\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial(h\bar{v}^2)}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \cdot \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \\ & \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $t$  为时间;  $\eta$  为水面高程;  $d$  为静水深度;  $h = \eta + d$  为总水深;  $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$  为深度平均流速  $x$ 、 $y$  方向的分量;  $S$  为源汇项;  $f$  为科氏力系数;  $g$  为重力加速度;  $\rho$  为水密度;  $\rho_0$  为基准水密度;  $s_{xx}$ 、 $s_{xy}$ 、 $s_{yx}$ 、 $s_{yy}$  为辐射应力张量分量;  $T_{ij}$  为水质点侧向应力, 包括黏滞摩擦力、紊流摩擦力、对流力等。

### 2.2 计算范围

模型采用三角形无结构网格, 计算范围为韩庄节制闸—京福高速大桥下游 3 km 处 (图 1)。模型控制边界包括: 上游控制边界有韩庄节制闸、

老运河节制闸、南水北调提水站、一线船闸、复线船闸, 下游采用开边界。

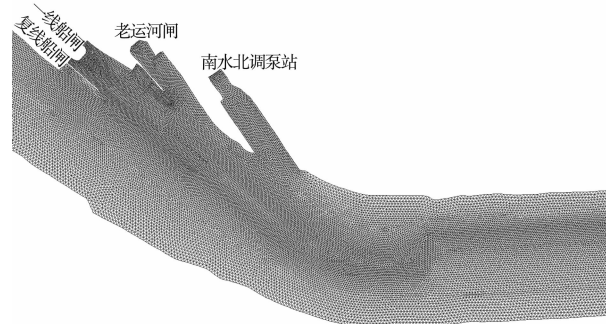


图 1 模型计算范围

## 3 洪水期水流条件计算

### 3.1 计算边界条件

1) 现状情况下, 韩庄船闸在韩庄节制闸泄洪  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  时限制通航。根据《韩庄节制闸和老运河闸调度指令记录表》, 选取 2006 年 7 月 6 日韩庄节制闸泄洪  $832 \text{ m}^3/\text{s}$ 、老运河闸泄洪  $231 \text{ m}^3/\text{s}$  及韩庄节制闸闸下水位 31.35 m 为代表, 计算分析现状条件下泄洪时韩庄船闸下游引航道通航水力特性。

2) 根据“规范”要求, 船闸设计最高通航水位考虑重现期 20 a 一遇洪水, 初步设计阶段计算边界条件为韩庄闸  $3100 \text{ m}^3/\text{s}$ , 老运河  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , 韩庄船闸上游为上游最高通航水位 35.80 m, 下游最高通航水位 34.63 m, 船闸上下游水头差 1.17 m。

### 3.2 计算结果

现状情况下韩庄一线船闸在下游引航道与老运河交汇处产生回流, 回流强度为 0.5 ~ 0.7 m/s, 不满足“规范”中口门区回流速度不大于 0.4 m/s 的要求。这与目前韩庄一线船闸在上游韩庄节制闸泄洪  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  时限制通航实际情况基本一致。

20 a 一遇洪水条件下, 一线船闸和复线船闸靠船墩前沿线横向流速最大值分别为 0.16、0.36 m/s, 均不满足《船闸总体设计规范》中制动段和停泊段的横向流速值不大于 0.15 m/s 的要求。

因此, 洪水条件下韩庄双线船闸下游引航道水动力特性不满足规范要求, 需要采取工程措施改善水流条件。

4 通航水流条件改善措施

本次研究中主要考虑通过格栅（图 2）、口门

局部疏浚及两者相结合的工程措施来改善船闸下  
引航道内水流条件，具体方案设计见表 1。

表 1 改善水流条件方案

| 改善方案 | 泄洪流量/（m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ） | 韩庄节制闸上、下游水位/m | 改善方案      | 具体措施                                                        |
|------|-----------------------------------------|---------------|-----------|-------------------------------------------------------------|
| 1    | 韩庄节制闸 832<br>老运河节制闸 231                 | 32.45 ~ 31.35 | 格栅        | 靠船墩头部设置 350 m 格栅                                            |
| 2    | 韩庄节制闸 832<br>老运河节制闸 231                 | 32.45 ~ 31.35 | 局部疏浚      | 韩庄运河局部浚深至 24.6 m，疏浚面积约 21 万 m <sup>2</sup>                  |
| 3    | 韩庄节制闸 3 100<br>老运河节制闸 500               | 35.8 ~ 34.63  | 格栅 + 局部疏浚 | 靠船墩头部设置 350 m 格栅，韩庄运河局部浚深至 24.6 m，疏浚面积约 30 万 m <sup>2</sup> |

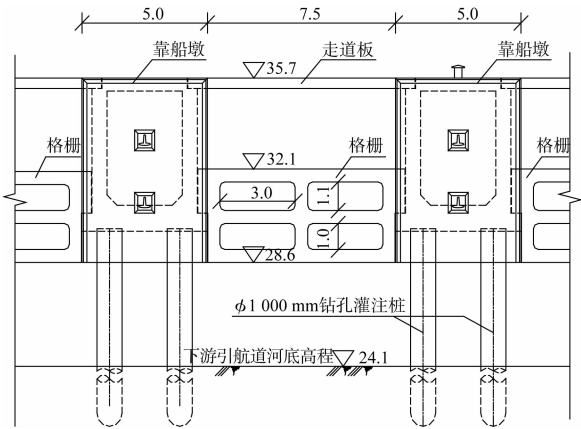


图 2 靠船墩及格栅布置（单位：m）

4.1 方案 1 改善效果分析

现状情况下，韩庄船闸在韩庄节制闸泄洪 800 m<sup>3</sup>/s 时限制通航，复线船闸建设后通航标准应不低于该标准，因此，方案 1 在靠船墩头部设置 350 m 格栅(图 3)，计算分析韩庄节制闸 832 m<sup>3</sup>/s、老运河节制闸 231 m<sup>3</sup>/s 泄洪流量情况下对水流的改善效果。工程方案实施后，引航道内大部分流态良好，口门区没有出现明显的回流。靠船墩前沿线纵向流速最大值为 0.40 m/s，满足规范中制动段和停泊段水面最大纵向流速不大于 0.5 m/s 的要求；口门区纵向流速最大值为 0.94 m/s，满足规范中口门区水面纵向流速不大于 2 m/s 的要求。

靠船墩前沿线横向流速最大值为 0.15 m/s，基本满足规范中制动段和停泊段水面最大横向流速不大于 0.15 m/s 的要求；口门区横向流速最大值为 0.09 m/s，满足规范口门区水面纵向流速不大于 0.30 m/s 要求。

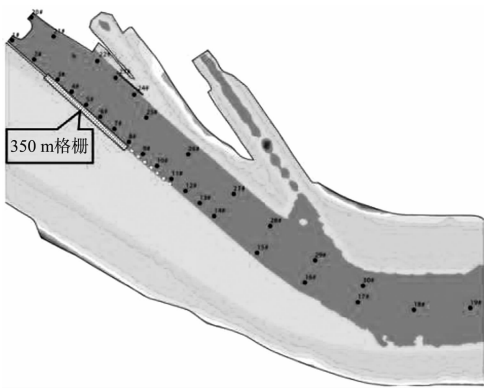


图 3 改善措施 1

4.2 方案 2 改善效果分析

方案 2 采取口门处局部疏浚的方案（图 4），具体为将韩庄运河局部浚深至 24.6 m，疏浚面积约 21 万 m<sup>2</sup>。计算结果表明，靠船墩前沿线纵向流速最大值为 0.31 m/s，口门区纵向流速最大值为 0.82 m/s，满足规范中口门区水面纵向流速相关要求。

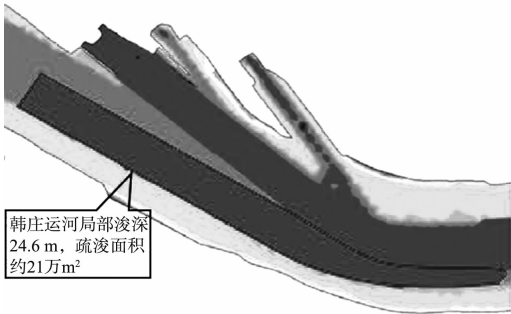


图 4 改善措施 2

靠船墩前沿线横向流速最大值为 0.14 m/s，满足规范中制动段和停泊段水面最大横向流速不大于 0.15 m/s 的要求；口门区横向流速最大值为 0.07 m/s，满足规范口门区水面横向流速不大

于 0.30 m/s 要求。

### 4.3 方案 3 改善效果分析

该方案的设置主要考虑满足 20 a 一遇洪水下游引航道水流条件要求，在船墩头部设置 350 m 格栅且同时疏浚韩庄运河局部区域至 24.6 m，疏浚面积约 30 万 m<sup>2</sup>（图 5）。

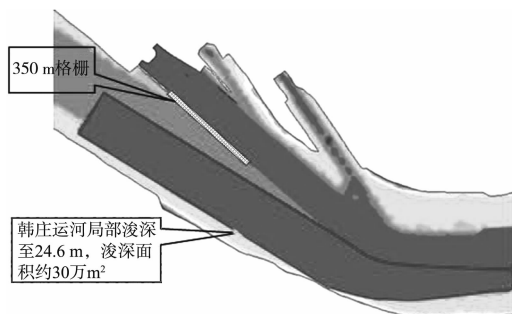


图 5 改善措施 3

20 a 一遇洪水情况下，方案 3 工程实施后，由于格流栅的阻流和疏浚区域的分流作用，韩庄一线船闸和复线船闸下游引航道水流归顺，靠船墩前沿线纵向流速最大值为 0.49 m/s，满足规范中制动段和停泊段水面最大纵向流速不大于 0.5 m/s 的要求；口门区纵向流速最大值为 1.66 m/s，满足规范中口门区纵向流速不大于 2 m/s 的要求。

横向流速：靠船墩前沿线横向流速最大值为 0.15 m/s，基本满足规范中制动段和停泊段水面最大横向流速不大于 0.15 m/s 的要求。口门区横向流速最大值为 0.29 m/s，满足规范中口门区纵向流速不大于 0.3 m/s 的要求。图 6 为方案 3 实施前后流场。

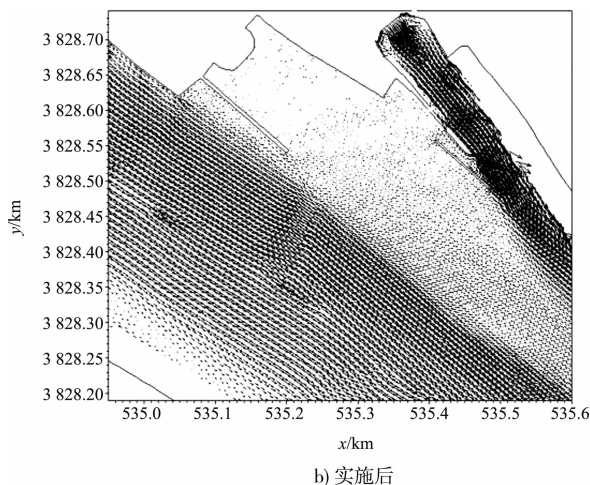
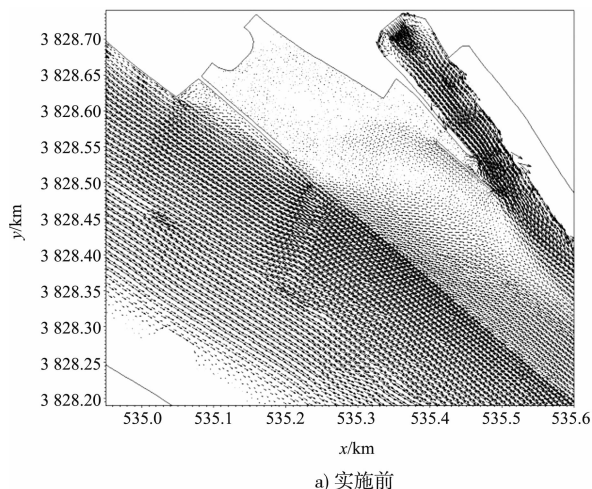


图 6 方案 3 实施前后流场

## 5 结论

1) 韩庄节制闸泄洪 832 m<sup>3</sup>/s、老运河节制闸泄洪 231 m<sup>3</sup>/s 流量情况下，为使韩庄双线船闸下游引航道水流条件满足“规范”要求，建议在靠船墩头部增设 350 m 格栅或局部疏浚韩庄运河至 24.6 m，疏浚面积约 21 万 m<sup>2</sup>。

2) 20 a 一遇洪水条件（韩庄节制闸泄洪 3 100 m<sup>3</sup>/s，老运河闸泄洪 500 m<sup>3</sup>/s），为使韩庄双线船闸下游引航道水流条件满足“规范”要求，建议实施 350 m 格栅并同步疏浚韩庄运河约 30 万 m<sup>2</sup>，疏浚底高程 24.6 m。

3) 研究成果可供船闸设计与决策管理部门参考，设计部门可结合工程措施的经济费用和实施难度，综合确定工程实施方案。

## 参考文献：

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 京杭运河微山南至峰城段复线船闸工程工可报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2013.
- [2] 时延庆, 曾光, 郑喜东. 韩庄运河韩庄至台儿庄河段糙率分析[J]. 山东水利, 2010(4): 26-28.
- [3] 陆四雄, 张延辉. 刘老涧三线船闸上闸首裂缝研究[J]. 水力科技与经济, 2007(12): 942-945.
- [4] 崔冬, 刘新成, 潘丽红. 一、二维耦合数学模型在水利枢纽通航水流条件研究中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2009, 29(1): 35-39.
- [5] 黄伦超, 李珊, 游涛, 等. 双线船闸共用下游引航道水流特性及其影响[J]. 交通科学与工程, 2012, 28(4): 37-44.
- [6] 朱志夏, 东培华. 江苏刘老涧船闸下游引航道非恒定流及改善措施研究报告[R]. 南京: 江苏省水运工程技术研究中心, 2012.

(本文编辑 武亚庆)