

# 和县码头工程防洪影响分析

高 玮, 刘丽红

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2022年6月9日; 录用日期: 2022年6月19日; 发布日期: 2022年6月28日

## 摘 要

为贯彻落实习近平总书记关于深入推动长江经济带发展的重要讲话精神, 提高长江港口岸线利用效率, 促进长江港口和经济社会高质量发展, 拟建皖江散货砂石集散(公、铁)联运中心码头工程。通过平面二维数值模型计算分析, 论证了拟建码头对河势演变、河道行洪的影响。结果表明, 码头建成后, 对工程河段的河势、防洪等影响较小; 拟建工程处近几年河势演变主要表现为左冲右淤, 左岸水深条件良好, 适宜码头工程建设。

## 关键词

码头工程, 数值模拟, 行洪影响, 河演分析

# Analysis of Flood Control Impact of Hexian Wharf Project

Wei Gao, Lihong Liu

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: Jun. 9<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jun. 19<sup>th</sup>, 2022; published: Jun. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In order to implement the spirit of General Secretary Xi Jinping's important speech on further promoting the development of the Yangtze River Economic Belt, improving the utilization efficiency of the Yangtze River port coastline, and promoting the high-quality development of the Yangtze River port and the economy and society, it is proposed to construct the Wanjiang bulk sand and gravel intermodal transport center wharf project. Through the calculation and analysis of two-dimensional numerical model, the influence of proposed wharf on river regime evolution and river flood is demonstrated. The results show that after the completion of the wharf, the influence on the river regime and flood control of the engineering reach is small. The river regime

evolution of the proposed project office in recent years is mainly characterized by left scouring and right silting, and the water depth of the left bank is good, which is suitable for wharf construction.

## Keywords

Wharf Project, Numerical Simulation, Influence of Transferring Flood, River Evolution Analysis

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 工程概况

### 1.1. 拟建码头基本情况

工程位于马鞍山市和县历阳镇境内, 长江下游马鞍山河段左岸, 上游距新河口约 580 m。拟建为 3 个 20,000 吨级水工结构兼顾 30,000 吨级泊位, 包括 2 个进口泊位和 1 个出口泊位, 年设计吞吐量为 900 万吨, 主要货种为非金属矿石、矿建材料、水泥等, 使用岸线长度 590 m。码头采用直立式泊位结构, 泊位长度 590 m, 主要由码头作业平台、接岸汽车引桥、皮带机引桥及后方陆域组成。

### 1.2. 河道概况

马鞍山河段位于长江下游安徽省境内, 是典型的顺直分汊河段[1]。马鞍山河段上承芜湖河段, 下接南京河段, 为长江中下游重点河段之一, 系两端束窄中间展宽顺直分汊型河道, 全长 36 km [2]。该河段上端东、西梁山之间河宽 1.1 km, 下端慈姆山江宽约 2.2 km [3], 中间有江心洲、何家洲、小黄洲、新生洲等纵向排列, 其中江心洲展宽处达 8 km 左右, 为两端束窄、中间展宽的典型顺直分汊型河道[4]。

依据河道平面形态, 全河段大体上可分为江心洲分汊段和小黄洲分汊段。江心洲左汊为主汊, 称江心洲水道, 长约 22 km, 江面宽 2 km, 河道顺直, 历年分流比大都保持在 90% 左右, 其主流线在一定范围内摆动, 两侧滩槽交替变化; 江心洲右汊为支汊, 称太平府水道, 长约 24 km, 宽约 0.6 km, 分流比在 10% 左右, 汊道稳定。江心洲右汊口门以下有彭兴洲, 江心洲尾有何家洲, 均属水流摆动演变过程中形成的二级分汊。小黄洲长度约 7 km, 最大宽度约 2.1 km, 右汊为主汊, 自人工矾头至汊道出口长约 5 km, 小黄洲左、右汊分流比变化较大, 左汊分流比变幅为 2.2%~23.6%。

长江来流进入本段后, 主流走江心洲左汊, 并在进口至郑蒲圩段之间逐步从右岸向左岸过渡; 在郑蒲圩至新河口之间, 主流基本上贴靠左岸下行; 过新河口后, 主流开始逐渐偏离左岸向右岸过流, 经过小黄洲左汊口门, 顶冲小黄洲洲头并贴洲头右缘下行, 进入小黄洲右汊; 过马鞍山港后逐步右偏, 沿右岸进入下游南京河段。

### 1.3. 河势演变

马鞍山河段进出口段分别由东、西梁山和慈母山、斗山两对节点控制, 同时受右岸临江山体的制约, 以及一系列整治工程的守护, 河段两头窄中间宽的顺直分汊道平面形态数十年来稳定不变; 江心洲汊道左、右汊分流比一直维持在 9:1 左右[5]; 马鞍山河段河势总体趋于稳定, 河势变化主要表现为局部崩岸、边滩淤涨及主流摆动。

## 2. 模型建立与验证

本文采用 Mike21 二维水流数学模型, 对拟建码头实施前后的河道流场进行模拟, 以研究该工程的实施对长江河段行洪及河势的影响。目前, 该模型发展比较成熟, 计算精度较高, 在国内外水利领域得到了广泛的应用, 能够满足工程分析的需要。

### 2.1. 平面二维数学模型基本原理

#### 2.1.1. 数学模型

控制方程:

水流连续方程

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial}{\partial \xi} (huC_\eta) + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} (hvC_\xi) = 0 \quad (1)$$

$\xi$  方向动量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta u^2) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi vu) + vu \frac{\partial C_\eta}{\partial \eta} - v^2 \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} \right] \\ & = -g \frac{1}{C_\xi} \frac{\partial H}{\partial \xi} + fv - \frac{u\sqrt{u^2+v^2}n^2g}{h^{4/3}} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta \sigma_{\xi\xi}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi \sigma_{\eta\xi}) + \sigma_{\xi\eta} \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} - \sigma_{\eta\eta} \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$\eta$  方向动量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta vu) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi v^2) + uv \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} - u^2 \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} \right] \\ & = -g \frac{1}{C_\eta} \frac{\partial H}{\partial \eta} - fu - \frac{v\sqrt{u^2+v^2}n^2g}{h^{4/3}} + \frac{1}{C_\xi C_\eta} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} (C_\eta \sigma_{\xi\eta}) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\xi \sigma_{\eta\eta}) + \sigma_{\eta\xi} \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} - \sigma_{\xi\xi} \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $\xi$ 、 $\eta$  分别表示正交曲线坐标系中二个正交曲线坐标;  $u$ 、 $v$  分别表示沿  $\xi$ 、 $\eta$  方向的流速;  $h$  表示水深;  $H$  表示水位;  $f$  表示科氏系数;  $C_\xi$ 、 $C_\eta$  表示正交曲线坐标系中的拉梅系数:

$$C_\xi = \sqrt{x_\xi^2 + y_\xi^2}, \quad C_\eta = \sqrt{x_\eta^2 + y_\eta^2};$$

$\sigma_{\xi\xi}$ 、 $\sigma_{\xi\eta}$ 、 $\sigma_{\eta\xi}$ 、 $\sigma_{\eta\eta}$  表示紊动应力:

$$\begin{aligned} \sigma_{\xi\xi} &= 2\nu_t \left[ \frac{1}{C_\xi} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\xi}{\partial \eta} \right], \quad \sigma_{\eta\eta} = 2\nu_t \left[ \frac{1}{C_\eta} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{u}{C_\xi C_\eta} \frac{\partial C_\eta}{\partial \xi} \right] \\ \sigma_{\xi\eta} &= \sigma_{\eta\xi} = \nu_t \left[ \frac{C_\eta}{C_\xi} \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \frac{v}{C_\eta} \right) + \frac{C_\xi}{C_\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{u}{C_\xi} \right) \right] \end{aligned}$$

$\nu_t$  表示紊动粘性系数。

#### 2.1.2. 数值解法

在数值计算时, 方程式(1)~(3)可表达成如下的通用格式:

$$C_\xi C_\eta \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial (C_\eta u \psi)}{\partial \xi} + \frac{\partial (C_\xi v \psi)}{\partial \eta} = \frac{\partial}{\partial \xi} \left( \Gamma \frac{C_\eta}{C_\xi} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \Gamma \frac{C_\xi}{C_\eta} \frac{\partial \psi}{\partial \eta} \right) + C \quad (4)$$

这样,在数值计算时,只需对式(4)编制一个通用程序,所有控制方程均可用此程序求解。这里,  $\Gamma$  为扩散系数;  $C$  为源项。

根据控制方程的特点,布置成交错网格,即纵向流速  $u$ 、横向流速  $v$ 、水深  $h$  等物理量不布置在同一网格上,并使进出口边界通过纵向流速的计算点,固壁通过横向流速的计算点,网格的疏密程度视物理量变化程度而定。利用控制体积法离散控制方程。将计算区域划分成一系列连续但互不重合的有限体积-控制体积,每个控制体积内包含一个计算节点,得出一组离散方程,其中未知数是网格节点上因变量  $\psi$  的值。本文将控制面布置在相邻节点的中间,并且根据对流-扩散方程解的特点,设节点间物理量按幂函数规律变化,与对流及扩散强度有关。计算程式采用 Pantankar 压力校正法(水深校正)(即 SIMPLEC 算法)原理。

## 2.2. 计算区域及网格划分

综合考虑拟建工程所在河段的河势、工程可能的影响范围及水文资料等,选取江心洲洲头-金河口下游作为二维数学模型的计算区域,总长度约 24 km。采用模型计算范围 2019 年 12 月实测 1:10,000 地形河道资料。

因计算区域地形较为复杂,为了合理布置计算网格,采用三角形网格划分,并在工程附近进行了局部加密。计算区域网格总体尺度在 70~120 m 之间,总网格数为 51,254 个,离散节点共计 26,365 个,其中工程附近计算网格尺度为 20~30 m。

## 2.3. 计算工况及概化

### 2.3.1. 计算工况

本文研究拟建工程前后水位、流场的变化,主要目的是评估工程建设在汛期对长江防洪、河势是否有不利影响,因此计算方案主要考虑长江汛期高水位条件,同时也兼顾河段平滩水位下工程前后的水位、流场变化。选择长江下游防洪设计水位及平滩流量作为本次计算的工况条件(表 1):

**Table 1.** Model calculation conditions

**表 1.** 模型计算工况

工况	洪水组合	上边界流量(m <sup>3</sup> /s)	下边界水位(m)	码头前沿水位(m)
工况 1	防洪设计洪水	85,400	10.30	10.45
工况 2	平滩流量	45,000	6.20	6.30

### 2.3.2. 工程概化

拟建工程对河道行洪有影响的主要有码头、引桥桩基、梁板(梁板在防洪设计洪水条件下将部分淹没)等。为在数学模型中反映工程对河道水流的影响,一方面在网格剖分时尽可能在工程局部加密,另一方面则采用局部地形修正与局部糙率调整来进行概化处理以反映其影响。

① 由于工程桩基的影响,增加了过水湿周,从而引起阻力的增加。假定单元内流速分布均匀、摩阻比降相同,用以下公式对局部糙率  $n_p$  进行修正:

$$n_p = \alpha n_2 \left[ 1 + 2 \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \frac{h}{B} \right]^{0.5}$$

式中:  $n_p$  为修正后的局部糙率;  $n_1$  为桩臂面糙率;  $n_2$  为河道糙率;  $h$  为水深;  $B$  为桩间距;  $\alpha$  为糙率修正系数,取值 1.0~1.2。

② 在防洪设计洪水条件下, 码头梁板将被淹没。将梁板的阻水部分按断面突然缩小的建筑物考虑, 并通过下式换算得到相应的附加糙率系数。

$$n_f = h^{1/6} \sqrt{\frac{\zeta}{8g}}$$

式中:  $h$  为水深;  $\zeta$  为局部阻力系数。

③ 总糙率系数为修正后的局部糙率系数  $n_p$  和附加糙率系数  $n_f$  的几何平均。加糙后工程区总糙率系数在 0.05~0.09 之间。

## 2.4. 数学模型建立与验证

对二维数学模型进行率定及验证的目的在于检验数学模型与计算方法的正确性, 同时率定数学模型相关参数, 并验证其精度。本次计算过程中, 主要对水位及垂线平均流速分布等进行了验证。

### 1) 基本资料

#### ① 地形资料

本次采用模型计算范围 2019 年 12 月实测 1:10,000 地形河道资料。

#### ② 水流运动观测资料

采用计算河段 2016 年 9 月的实测水文资料对模型进行率定计算。沿该河段布设共 12 个水位测点测量水位; 布设了 14 个测速断面, 进行流速、流向、流量、分流比等水文测验。

采用计算河段 2014 年 1 月 5 日~7 月的实测水文资料进行验证计算。沿河段布设共 4 个水位测点测量水位; 布设 4 个测速断面, 进行流速、流向、流量、分流比等水文测验(水位测点及流速测量断面的具体位置见图 1)。

### 2) 率定与验证计算成果

在率定及验证过程中, 采用非恒定流进行计算, 其上下边界方案均采用水位控制。在计算中则进行恒定流计算, 其上边界采用流量, 下边界采用水位控制。

#### a) 水位验证

表 2 给出了计算河段 2014 年 1 月实测水位过程的部分率定结果, 由图可知, 水位的计算值与实测值基本吻合, 其误差一般超过 3 cm。高低潮时误差稍大, 最大误差不超过 8 cm。

## 3. 拟建工程对河势影响

### 3.1. 河势演变特点

项目位于长江马鞍山河段, 河道演变总体趋势为: 受牛屯河边滩淤长下延影响, 江心洲水道过渡段位置不断下移、右摆的影响, 心滩头冲、尾淤, 且整个心滩左缘上段呈冲刷态势, 下段呈淤积态势。拟建工程处近几年主要表现为左冲右淤。

### 3.2. 河势演变分析

二维数学模型计算表明, 拟建工程对计算河段的整体流场影响不大, 工程后流场变化主要位于码头退堤段上下游局部区域, 主要表现为码头平台及上下游流速总体下降, 码头平台前沿流速有所增加。

在设计洪水条件下, 工程实施后, 码头平台及上下游范围内流速减小, 最大降幅为 0.64 m/s, 降幅大于 0.08 m/s 的范围位于码头平台上约 200 m 至下游 1200 m; 受码头阻壅作用影响, 码头前沿流速有所升高, 最大增幅为 0.040 m/s, 增幅大于 0.04 m/s 的范围位于码头前沿部分, 影响范围约为 150 m × 350 m。

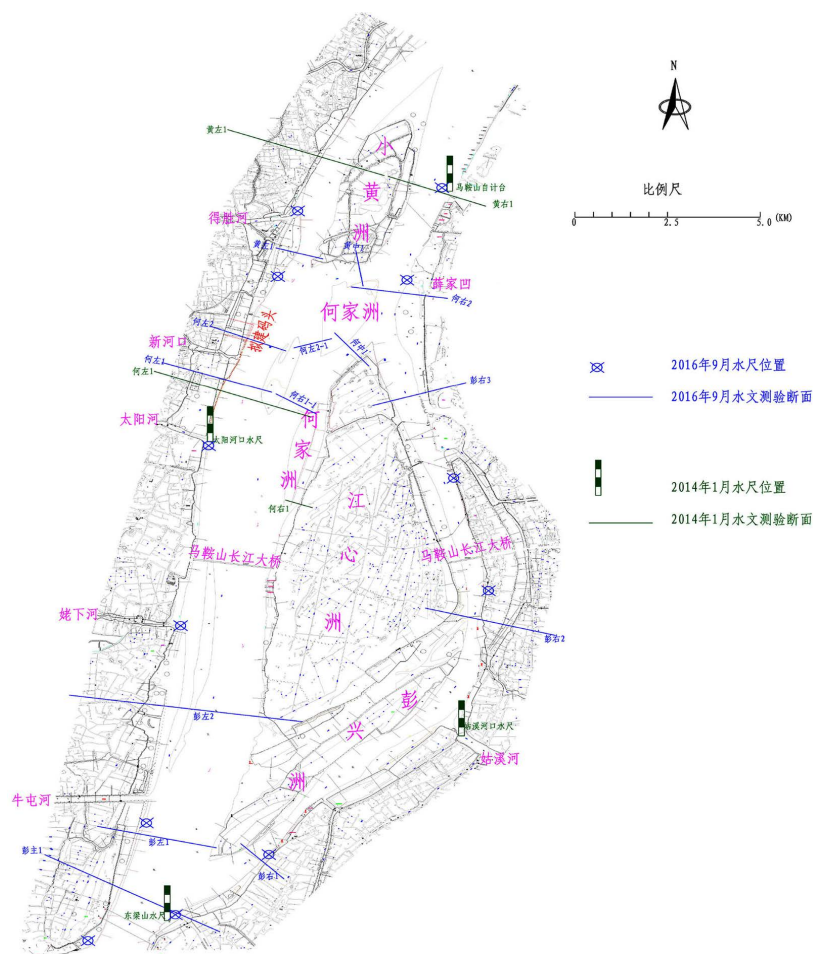


Figure 1. Distribution map of hydrological test  
图 1. 水文测验分布图

Table 2. Water level verification form (January 2014) Unit (m)  
表 2. 水位验证表(2014年1月) 单位(m)

测量时间	实测值			计算值			差值		
	姑溪河口	太阳河	马鞍山	姑溪河口	太阳河	马鞍山	姑溪河口	太阳河	马鞍山
2014/1/6 0:00	2.37	2.25	2.31	2.35	2.26	2.35	-0.02	0.01	0.04
2014/1/6 4:00	2.29	2.16	2.06	2.27	2.18	2.12	-0.02	0.02	0.06
2014/1/6 8:00	1.86	1.73	1.61	1.83	1.73	1.65	-0.03	0	0.03
2014/1/6 12:00	1.79	1.88	2.01	1.76	1.87	1.96	-0.03	-0.01	-0.05
2014/1/6 16:00	2.18	2.06	1.94	2.18	2.05	1.96	0	-0.01	0.02
2014/1/6 20:00	1.78	1.66	1.55	1.77	1.66	1.56	-0.01	0	0.01
2014/1/7 0:00	1.94	2.03	2.16	1.91	2.05	2.12	-0.03	0.02	-0.04
2014/1/7 4:00	2.40	2.28	2.17	2.40	2.3	2.23	0	0.02	0.06
2014/1/7 8:00	1.95	1.82	1.72	1.93	1.84	1.69	-0.02	0.02	-0.03
2014/1/7 12:00	1.65	1.59	1.65	1.62	1.61	1.68	-0.03	0.02	0.03
2014/1/7 16:00	2.29	2.29	2.03	2.24	2.12	2.06	-0.05	-0.01	0.03



在平滩流量条件下, 工程实施后, 码头平台及上下游范围内流速减小, 最大降幅为 0.89 m/s, 降幅大于 0.018 m/s 的范围位于码头平台上约 300 m 至下游 1600 m; 受码头阻壅作用影响, 码头前沿流速有所升高, 最大增幅为 0.026 m/s, 增幅大于 0.018 m/s 的范围位于码头前沿部分, 影响范围约为 1000 m × 1000 m。

通过对小黄洲左汊分流比的分析, 在防洪设计水位和平滩流量条件下小黄洲左汊分流比变化极小, 由此可见, 本次工程对河道分流比基本没有影响。工程修建会引起局部流场的调整, 但总体而言, 工程前后河道主流稳定, 码头工程修建前后水流流态和流速分布变化不明显, 工程对流速的影响是局部的, 对河道主流线走向基本无影响。工程建成后附近范围内流速的增大或减小, 仅工程区域范围内可能导致河床一定的冲淤变化, 但范围有限, 整个河段河势不会因码头工程建设而发生较大范围的变化。

码头建成后, 考虑到进港船舶增多, 船行波等会加剧岸坡的冲刷, 主体设计对港池岸坡采取了抛石护砌, 进一步确保了河势稳定。

## 4. 拟建工程对防洪的影响分析

### 4.1. 对河道行洪断面的影响

拟建项目设计洪水位 10.45 m 以下的阻水结构物主要有码头平台梁板及下部桩基、引起梁板及下部墩柱、靠泊防撞设施等, 以上游汽车引桥及码头平台断面为例, 经对码头处的行洪断面阻水情况进行分析计算, 工程实施后占用行洪断面面积为 400.2 m<sup>2</sup>, 占整个河道行洪断面面积(64,243 m<sup>2</sup>)的 0.62%, 工程占用的阻水面积较小。

### 4.2. 对河道行洪安全产生的影响

码头平台及引桥等阻水构筑物一定程度上缩窄了河道, 码头工程处平台前沿港池岸坡进行削坡, 一定程度增加了过水面积。码头工程兴建后, 对局部河段的水位变化产生影响。通过二维数学模型计算结果表明: 码头工程的修建将对河段的水位产生一定的影响, 河道水位变化主要集中在工程附近的局部区域内, 具体表现为码头平台上游端水位上升, 码头港池范围及下游水位下降。

根据二维数学模型计算, 在防洪设计洪水条件下, 工程实施后, 码头平台上游段水位有所升高, 局部最大增幅为 0.044 m, 水位增幅大于 0.008 m 的范围位于码头平台上游约 500 m 内, 影响区域范围约 500 m\*800 m; 在港池及平台下游端水位有所降低, 其局部最大降幅为 0.028 m, 降幅大于 0.008 m 的范围位于码头平台下游 1100 m 的区域内, 影响区域范围约 700 m\*1100 m。

工程兴建对河道水位、流速场及局部流场影响范围集中在工程局部区域内, 影响程度较小。由此可见, 码头实施对河道行洪影响不大。

## 5. 结论

二维数学模型计算结果表明, 码头修建后, 对工程河段的河势演变、河道行洪等影响较小。

1) 工程区域范围内可能导致河床一定的冲淤变化, 但范围有限, 整个河段河势不会因码头工程建设而发生较大范围的变化。港池岸坡加强护砌后, 进一步确保了河势稳定。

2) 工程设计洪水(10.45 m)条件下, 阻水面积 400.2 m<sup>2</sup>, 占整个河道行洪断面面积(64,243 m<sup>2</sup>)的 0.62%, 河道水位、流速场及局部流场影响范围集中在工程局部区域内, 对河道行洪影响较小。

3) 引桥近堤桥墩缩短了堤基渗透路径、接堤处车辆利用短增加了堤身荷载等对堤防渗流及抗滑安全不利, 应采取堤防加固、局部防渗、堤坡护砌等补救措施。

## 基金项目

山东省鲁南地质工程勘察院开放基金(LNY2020-Z04)、国家自然科学基金(41201017)。

---

## 参考文献

- [1] 郝婕妤, 方娟娟, 李会云, 杨光荣. 长江马鞍山河段洲滩演变特征及影响因素分析[J]. 水利水电快报, 2020, 41(2): 17-21+39. <https://doi.org/10.15974/j.cnki.slsdkb.2020.02.004>
- [2] 刘星童, 渠庚, 徐一民. 长江马鞍山河段演变规律与治理思路研究[J]. 人民长江, 2021, 52(6): 1-6. <https://doi.org/10.16232/j.cnki.1001-4179.2021.06.001>
- [3] 刘星童. 水沙变化下长江马鞍山河段河道演变及治理方案研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2021. <https://doi.org/10.27200/d.cnki.gkmlu.2021.000998>
- [4] 孙业山. 长江马鞍山段河道演变及治理方案探讨[J]. 江淮水利科技, 2019(6): 32-33.
- [5] 唐金武, 由星莹, 侯卫国, 王罗斌. 长江下游马鞍山河段演变趋势分析[J]. 泥沙研究, 2015(1): 30-35. <https://doi.org/10.16239/j.cnki.0468-155x.2015.01.006>