



# 长江中游新九河段蔡家渡护岸 损毁原因及维修对策

杨奇霖<sup>1</sup>, 张晚祺<sup>2</sup>, 尚倩倩<sup>1</sup>, 许 慧<sup>1</sup>, 李国斌<sup>1</sup>

(1. 南京水利科学研究院, 港口航道泥沙工程交通行业重点实验室, 江苏 南京 210029;  
2. 湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司, 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 护岸工程在航道整治工程中被广泛用于抵御水流冲刷和维持岸线的稳定。由于护岸工程通常布置在原有岸坡易发生崩岸和垮塌的部位, 易受水流冲刷而发生损毁, 影响其功能的正常发挥。采用实测资料对长江中游新洲—九江河段蔡家渡护岸损毁情况进行分析。结果表明: 蔡家渡护岸水下护排头部损毁严重、上游侧出现崩窝, 损毁原因主要是大水作用下水流贴岸及大江侧主槽摆动等。在此基础上, 分析了维修的必要性, 并提出采用“补坡+镇脚”的维修方式, 旨在为长江中下游类似护岸建筑物提供参考。

**关键词:** 新九河段; 航道整治建筑物; 损毁原因; 维修对策

**中图分类号:** TV147; U61

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2024)02-0113-07

## Causes of damage and maintenance measures of Caijiadu revetment in Xinzhou—Jiujiang reach of middle reach of the Yangtze River

YANG Qilin<sup>1</sup>, ZHANG Wanqi<sup>2</sup>, SHANG Qianqian<sup>1</sup>, XU Hui<sup>1</sup>, LI Guobin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of the Ministry of Transport,  
Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. Hubei Institute of Water Resources Survey and Design Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

**Abstract:** The revetment project is widely used to resist the erosion of water flow and maintain the stability of the bank in the channel regulation project. It is usually arranged in the bank slope which is prone to collapse so it is vulnerable to water erosion, which is affecting its normal function. In this paper, the measured data are used to analyze the damage of Caijiadu revetment in Xinzhou—Jiujiang reach of the middle reach of the Yangtze River. The results show that the head of Caijiadu underwater revetment is seriously damaged, and the collapse nest on the upstream side becomes larger. The main reasons for the damage are the water flow attaching to the bank and swinging of the major stream channel. On this basis, the necessity of maintenance is analyzed, and the maintenance method of “repairing slope+stabilizing toe” is proposed, which can provide reference for similar revetment in the middle and lower reaches of the Yangtze River.

**Keywords:** Xinzhou—Jiujiang reach; regulation structure; destruction reason; maintenance measures

长江是我国第一大河流, 干流自西向东, 中下游江阔水深, 水运条件优越, 素有“黄金水道”之称。随着一系列航道整治工程的陆续实施, 长江中下游通航能力不断提升。截至 2023 年 5 月,

长江中下游共实施航道整治工程约 60 项, 已竣工航道整治建筑物约 500 处, 建筑物数量多, 投入力度大<sup>[1]</sup>, 建筑物类型主要以护滩、护岸工程为主。护岸工程是防止河岸局部冲刷, 维持岸线稳

收稿日期: 2023-05-25

作者简介: 杨奇霖 (1999—) 男, 硕士研究生, 研究方向为水力学及河流动力学。

定的航道整治工程,常见的护岸类型有平顺护岸、坝式护岸、墙式护岸等。其中,平顺护岸(图1)对河床边界条件改变和对近岸水流条件的影响较小,在长江中下游得到了广泛应用<sup>[2]</sup>,有效地守护了河道和航道边界。

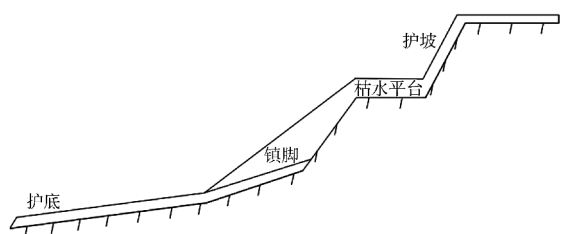


图1 平顺护岸结构

由于长时间受到水流的作用,平顺护岸出现不同程度的损毁。三峡运行后清水下泄,坝下游河床以冲刷为主,也加剧了部分平顺护岸的损毁程度。很多学者对平顺护岸的损毁进行了研究,徐敏<sup>[3]</sup>通过概化水槽试验模拟了护岸的冲淤特性,得到护岸前沿冲刷程度与水动力强度以及挟沙饱和度的关系;费晓昕等<sup>[4-5]</sup>通过分析计算以及水槽试验,提出护岸的3种损毁模式、相应机理以及损毁程度的判别指标;夏军强等<sup>[6]</sup>建立抛石护岸的稳定性计算模型,定量分析近岸流速、块石粒

径及水下岸坡坡度等对抛石护岸坍塌比的影响。

目前学者的研究大多通过物模或数模试验,分析护岸损毁机理及影响因素,采用实测资料对实际工程中护岸的损毁进行分析的并不多<sup>[7-8]</sup>。而天然河道由于边界的复杂性以及来水来沙的不确定性,护岸的损毁情况更为复杂,因此采用实测资料对工程中的护岸损毁情况进行分析是必要的。本文以长江中游新九河段蔡家渡护岸为例,通过实测资料分析护岸的损毁情况和原因,在此基础上提出了相应的维修对策,旨在为长江中下游类似护岸工程的养护与维修提供参考。

## 1 河道及工程概况

### 1.1 河道概况

新洲—九江河段(简称新九河段)位于长江干线武汉—安庆段,上起葫芦山,下迄九江港客运码头,全长35 km,平面呈反S形,包括新洲水道和九江水道,见图2。上段为向左弯曲的新洲鹅头形分汊河段,河中新洲将河道分为两汉,左汉为新洲北水道,右汉为新洲水道;下段为向右弯曲的九江水道,鳊鱼滩将河道分为两汉,主航槽一直稳定于右汉。

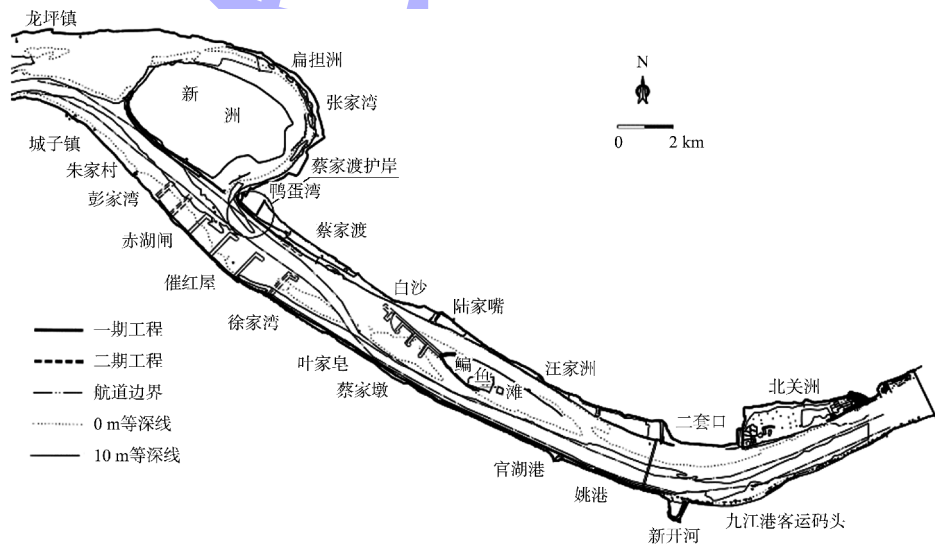


图2 新九河段河势

目前新九河段存在两个碍航浅区<sup>[9]</sup>,即新洲浅区和九江上浅区。新洲浅区位于新洲尾附近,是典型的汇流口浅区,放宽的河道平面形态以及

主支汊交汇的特点是其形成的重要条件<sup>[10]</sup>;九江上浅区位于白沙至蔡家墩过渡区,碍航原因主要包括不利的滩槽形态、三峡运行影响、2020年特

殊水文年等<sup>[11-13]</sup>。

近年来,随着新洲北水道分流比逐渐减小,新洲水道水流动力不断增强,徐家湾边滩整体呈头冲尾淤,滩体下移,右侧临岸槽冲刷发展,滩体向左淤长,向心滩转化,新洲浅区过水断面愈加宽浅;鳊鱼滩左汊不断发展,造成深槽左偏,上下深槽形成交错状,九江上浅区由正常向交错形浅滩转变。

### 1.2 工程概况

为抑制徐家湾边滩头冲尾淤,鳊鱼滩洲头的冲刷萎缩,改善河段内航道条件,实现  $4.5\text{ m} \times 200\text{ m} \times 1\,050\text{ m}$  (航道水深 $\times$ 宽度 $\times$ 弯曲半径)的建设目标,于2011年实施了新九河段航道整治一期工程,内容包括徐家湾边滩建设3道护滩带、鳊鱼滩滩头建设梳齿坝工程、新建新洲洲尾护岸、蔡家渡护岸以及鳊鱼滩滩头/右缘护岸等。实施以来,河槽内滩槽稳定性有所增强,但浅区冲刷水动力仍不足。新九河段航道整治二期工程内容包括徐家湾边滩建设2道丁坝和1道护底带、加高徐家湾边滩已建2道护滩带、鳊鱼滩滩头建设2道

护底带、建设新洲右缘护岸以及蔡家渡护岸(新建蔡家渡护岸上段与已建护岸相衔接),工程于2018年9月开工,2020年5月交工验收并进入试运行期。

蔡家渡护岸是新九河段航道整治一期工程的一部分,采用平顺护岸的形式,全长2 316 m,两端各设50 m衔接段;枯水平台以下采用D形排、X形排护底(护底排宽100~150 m)和水下抛石镇脚(抛石镇脚宽30~60 m,厚0.6~1.0 m),枯水平台以上采用混凝土六边形块(变更为钢丝网格)、干砌石护坡、联锁块和钢丝网格陆上护坡。

### 1.3 航道条件

一期工程实施前,新洲水道航道狭窄,4.5 m航槽最窄只有100 m;工程实施以来,航道条件改善明显,4.5 m航槽最窄在230 m以上,最小水深达到4.7 m以上。九江水道在整治工程实施以前,存在4.5 m航槽不贯通,最小水深只有2.3 m的问题;工程实施以来,航道水深得到明显提高,基本达到 $4.5\text{ m} \times 200\text{ m}$ 航道设计尺度。新九河段4.5 m等深线变化见图3。

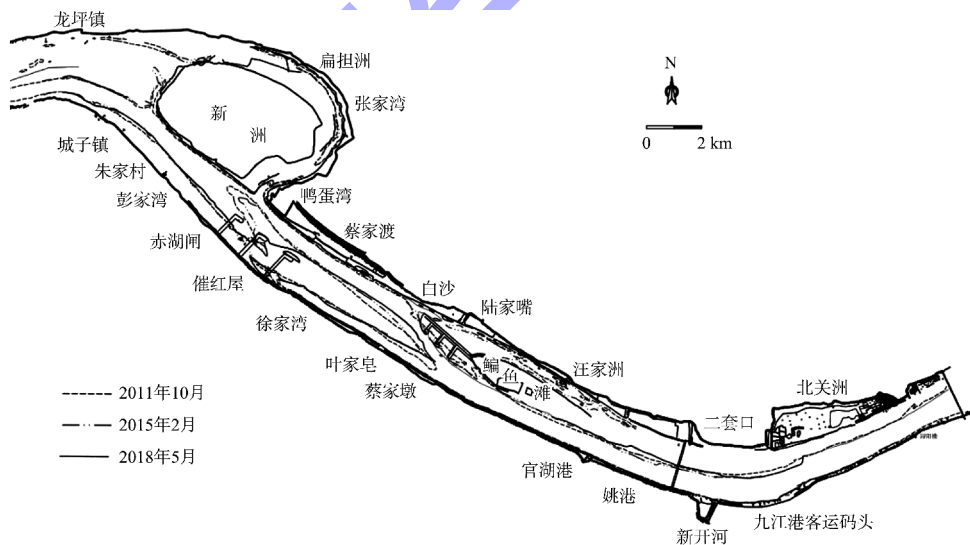


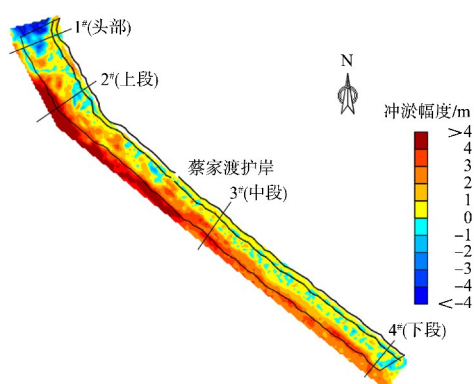
图3 新九河段4.5 m等深线变化

## 2 整治建筑物损毁情况

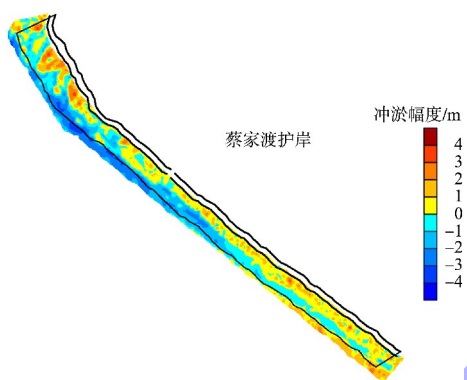
结合建筑物多波束扫测地形成果(测图比例1:1 000)及卫星照片等资料,通过对比完工至竣工以及竣工后冲淤变化,见图4。并选取典型断面研究冲淤变化,对蔡家渡护岸损毁情况进行分析。

断面布置见图4a),自上而下共布置4个断面,1#位于水下护排头部,2#、3#、4#分别位于水下护排上、中、下段,典型断面变化见图5。根据分析结果可知,蔡家渡护岸大江侧整体比较稳定,损毁主要涉及两方面,即护岸工程头部水下护排的

损毁以及上游侧崩窝的不断发展。

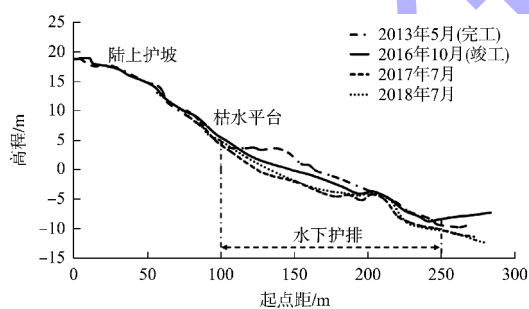


a) 2013年5月—2016年10月, 完工至竣工

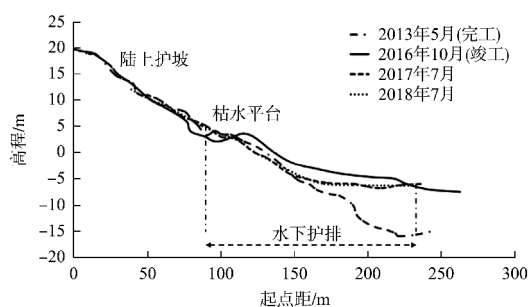


b) 2016年10月—2019年7月, 竣工后

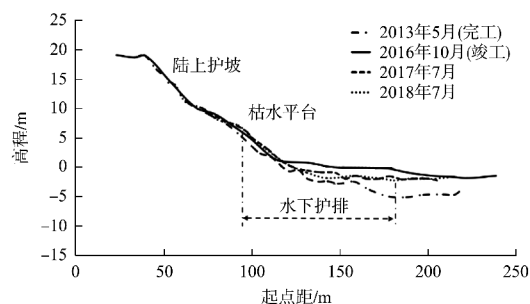
图4 蔡家渡护岸平面冲淤变化



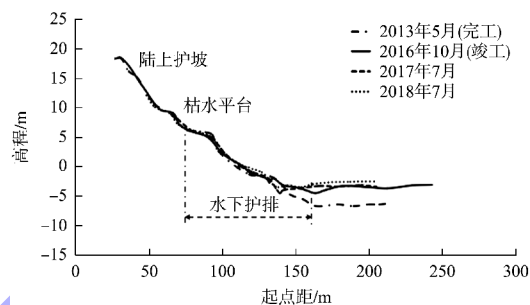
a) 1#断面



b) 2#断面



c) 3#断面



d) 4#断面

图5 蔡家渡护岸断面冲淤变化

## 2.1 水下护排

蔡家渡护岸工程中下段有冲有淤, 冲淤幅度较小, 整体比较稳定, 而头部及其上游侧水下护排持续冲刷, 变形损毁严重, 损毁长度占比31.4%, 其中护排头部100 m 的范围内冲刷变形幅度最大。完工至竣工期间, 护排头部持续冲刷, 最大幅度为3 m; 竣工后, 护排头部仍继续冲刷, 幅度约为1 m。

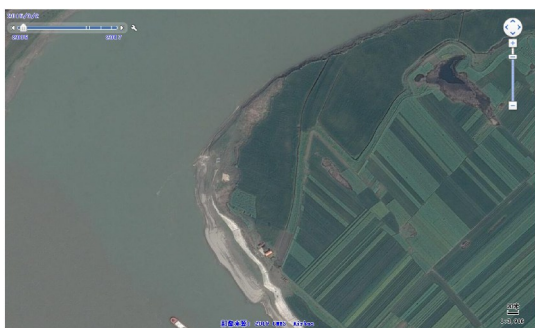
## 2.2 崩窝

护岸上游侧未护岸坡出现口袋形崩窝, 该崩窝距护岸头部约20 m, 见图6。崩窝自形成后迅速发展。2015年该处岸坡较为平缓, 2017年汛期水流快速淘刷, 形成较大崩窝, 至2019年崩窝长度已达100 m, 面积增至250 m<sup>2</sup>, 崩窝中点水下高程为航基面以下11.0 m。表1显示了上游侧崩窝面积随时间的变化趋势, 且附近深泓逐年贴岸, 水下岸坡变陡, 进一步发展的可能性较大, 影响蔡家渡护岸的稳定。



表1 上游侧崩窝面积变化

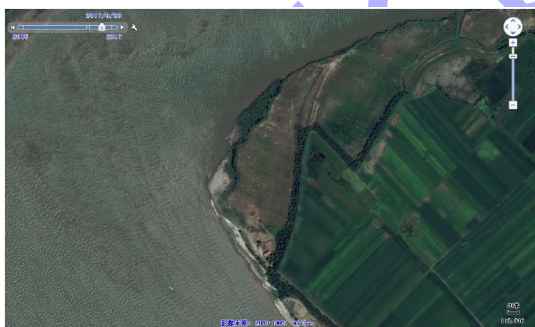
| 时间         | 崩窝面积/m <sup>3</sup> | 增长面积/m <sup>3</sup> |
|------------|---------------------|---------------------|
| 2015 年     | 0                   | —                   |
| 2017 年 3 月 | 123                 | 123                 |
| 2017 年 8 月 | 180                 | 57                  |
| 2018 年     | 217                 | 37                  |
| 2019 年     | 250                 | 33                  |



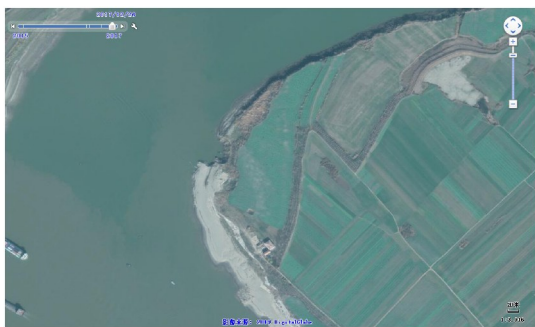
a) 2015年3月



b) 2017年3月



c) 2017年8月



d) 2017年12月

图6 崩窝附近局部卫星图

### 3 损毁原因

采用实测资料与平面二维水流数学模型对蔡家渡护岸损毁原因进行分析。数学模型采用有限体积法离散,对新九河段枯水流量 8 030 m<sup>3</sup>/s、平滩流量 25 950 m<sup>3</sup>/s、洪峰流量 51 820 m<sup>3</sup>/s 流线进行计算。根据分析,蔡家渡护岸水下护排头部损毁及上游侧崩窝发展的原因主要有以下几方面。

#### 3.1 新洲右汊顶托作用减弱

根据 5 m 等深线变化(图 7)可知,新洲水道赤湖闸一带 5 m 深槽表现为槽头不断下挫右摆,槽头面积冲刷扩大。新洲右汊上深槽右摆导致主流有所右偏,对左汊出流顶托作用有所减弱,左汊出口段主流取直左摆,从而对蔡家渡护岸头部一带冲刷增强,导致头部坡脚河床冲刷下切明显。

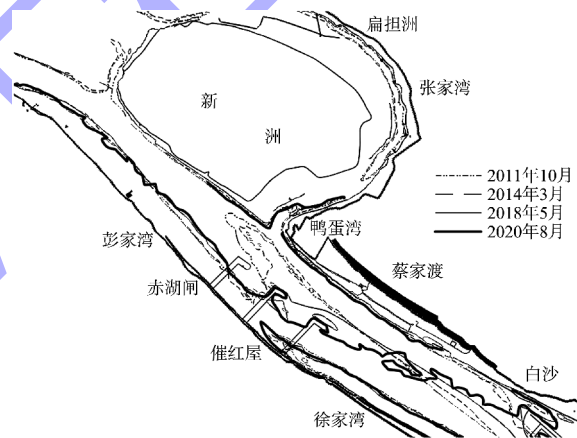


图7 新九河段(局部)5 m 等深线变化

#### 3.2 大水作用下新洲左汊水流贴岸

根据新洲水道不同流量下水流平面(图 8)可知,大流量作用下,新洲左汊出口段主流取直,新洲左汊主流线左偏,从而出口段靠蔡家渡护岸头部侧一带水流贴岸冲刷。根据九江站流量统计,2016、2017 年来水相对较大,且大流量持续时间长,导致出口段左侧岸坡坡脚进一步冲刷下切。九江站日流量分布见表 2。

表2 九江站日流量分布

| 流量/m <sup>3</sup> | 流量分布天数/d |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 2013 年   | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 | 2019 年 |
| $Q \geq 8\,030$   | 365      | 365    | 365    | 366    | 343    | 350    | 346    |
| $Q \geq 25\,950$  | 116      | 152    | 100    | 140    | 116    | 96     | 107    |
| $Q \geq 51\,820$  | 0        | 0      | 0      | 21     | 7      | 0      | 0      |

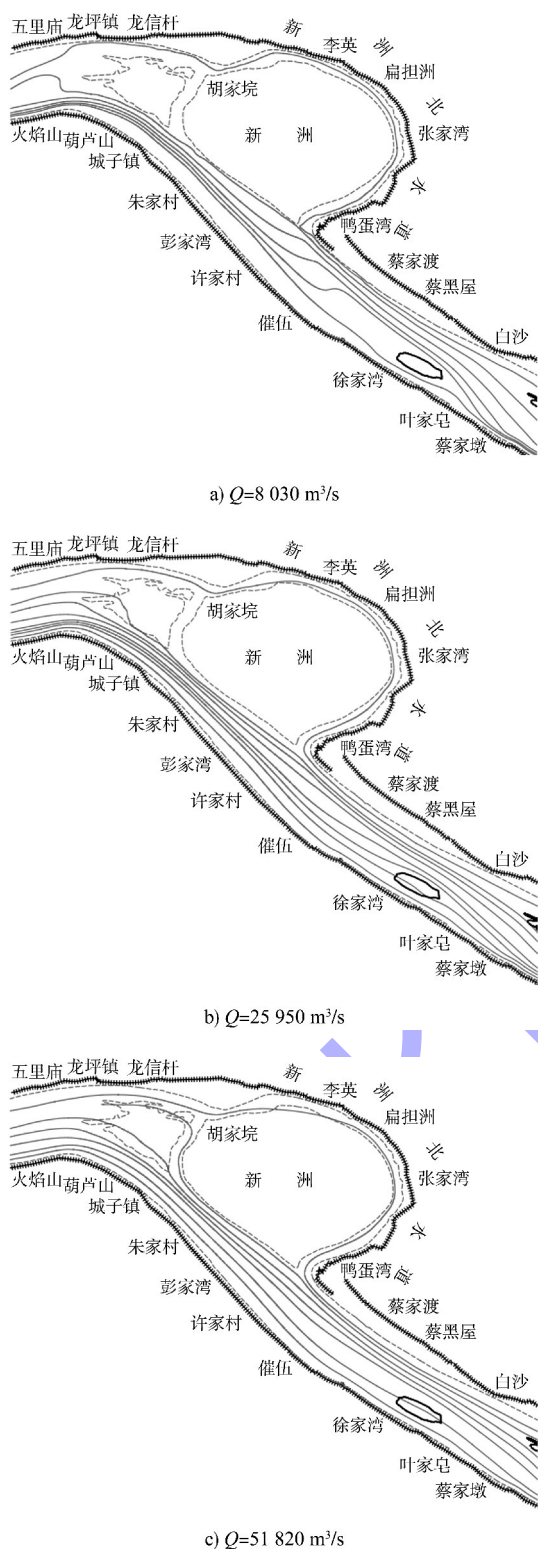


图8 新洲水道不同流量作用下水流平面

### 3.3 三峡工程蓄水后坝下来沙量普遍减少

三峡工程实施后,清水下泄,下游河道来沙量普遍减少70%以上,洲滩易冲刷且难以淤还。位于新洲左汊出口段左侧岸坡冲刷也随之增强,导致河床冲刷下切,岸坡变陡。

## 4 维修对策

### 4.1 维修必要性

蔡家渡护岸是新洲水道航道左边界,若任其冲刷损毁将对航道稳定性带来较大影响,且近年来蔡家渡护岸沿岸冲刷加强,随着新九二期工程建设,蔡家渡附近流速还会继续增加,对岸线稳定性造成影响,如不及时进行维修,后续维修难度及费用将大幅增加。因此,对其进行加固防范是十分必要且紧迫的。

### 4.2 维修原则

目前蔡家渡护岸建筑物本身较为稳定,但其头部衔接段及其上游侧崩窝对护岸头部一带存在较大的威胁。针对此种情况,应对护岸头部衔接段及护岸首端变形区域进行维修加固,同时对上游崩窝靠衔接段区域进行适当控制,防止其过快发展威胁护岸头部稳定。后续应对头部一带岸坡进行重点监测,适时进行完善处理。

### 4.3 维修方案

通过对蔡家渡护岸损毁情况以及原因的分析,根据维修工程的特点,主要采取“补坡+镇脚”守护方式。其中蔡家渡护岸衔接段及上游侧部分崩窝区域,首先对水下岸坡抛枕2层加固,然后对水下坡脚外20 m范围抛枕3层加固镇脚,以保证坡脚的稳定。近岸区域抛石1.0 m厚,当坡比陡于1:2.5时需先进行抛石补坡;蔡家渡主体护岸水下破坏区域,首先对水下岸坡抛石1.2 m厚加固,然后对水下坡脚外20 m范围抛石1.5 m厚镇脚,以保证坡脚的稳定。近岸区域抛石1.0 m厚,当坡比陡于1:2.5时需进行抛石补坡。

## 5 结论

1) 新九河段航道整治一期工程实施以来,河槽内滩槽稳定性有所增强,航道条件得到改善,基本达到航道设计尺度,整治工程效果较好。

2) 蔡家渡护岸建筑物本身较为稳定,但其头部衔接段冲刷下切及其上游侧崩窝迅速发展,损毁情况较为严重,不利于其稳定以及功能的发挥。

3) 在新洲左汊出口段水流贴岸及大江侧主槽

摆动等因素作用下,蔡家渡护岸头部一带河床冲刷下切,岸坡变陡,甚至头部上游侧岸坡发生崩窝垮塌,且新九河段航道整治二期工程的实施将可能加剧蔡家渡护岸工程头部的不稳定,因此对蔡家渡护岸进行维修是必要且紧急的。

4) 维修方案主要对蔡家渡护岸头部衔接段一带长约 132 m 范围进行维修加固,采取“补坡+镇脚”的守护方式。维修方案实施后可抑制冲刷、保持建筑物稳定,同时控制崩窝发展,可为长江中下游类似护岸建筑物提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 陈怡君,江凌.长江中下游航道工程建设及整治效果评价[J].水运工程,2019(1):6-11,34.
- [2] 黄召彪,王朋超,陈一梅.长江中下游护岸服役状态评价[J].水道港口,2022,43(4):471-476.
- [3] 徐敏.水沙条件对护岸工程损毁影响的试验研究[J].水运工程,2021(1):123-128,135.
- [4] 费晓昕,张幸农,陈长英.平顺抛石护岸水毁模式及机理[J].水运工程,2018(5):122-126.
- [5] 费晓昕,张幸农,应强,等.弯道抛石护岸水流特征及水毁试验研究[J].水运工程,2017(12):153-158,178.
- [6] 夏军强,周悦瑶,邓珊珊,等.荆江段抛石护岸稳定性计

算及其影响因素分析[J].水力发电学报,2022,41(8):1-11.

- [7] 温国楠,李彪,李长铃.长江中游燕子窝航道整治 YR1 护滩带损坏原因及维护[J].水运工程,2019(7):173-178.
- [8] 柯亨富,张柠,唐从华.长江中下游典型河段航道整治护岸工程损毁特征及成因浅析[J].中国水运(上半月),2022(5):81-84.
- [9] 朱玉德,刘鹏飞,刘万利.长顺直河段边滩冲淤对新洲—九江河段航道的影 响及治理[J].水运工程,2019(7):162-166,192.
- [10] 朱玉德,李旺生,王国平,等.长江中游新洲汇流口浅滩演变影响因素分析及治理问题初探[J].水运工程,2012(7):124-128.
- [11] 南京水利科学研究院.长江九江航道处 2021 年度航道整治建筑物技术状况分析评价[R].南京:南京水利科学研究院,2021.
- [12] 长江航道规划设计研究院.2021 年度长江中下游航道整治建筑物维修项目设计[R].武汉:长江航道规划设计研究院,2021.
- [13] 石阳威,王蕾,杜媛安.长江中游九江水道近期演变及航道出浅原因分析[J].中国水运.航道科技,2020(4):15-18.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 112 页)

#### 参考文献:

- [1] 交通运输部长江口航道管理局.长江口深水航道治理工程实践与创新[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015:1-2.
- [2] 唐建华,刘玮玮,赵升伟.长江口徐六泾流量与大通流量间关系的探讨[J].水电能源科学,2011,29(7):4-7.
- [3] 匡翠萍,陈维,顾杰,等.洪季长江口径流量与近海海平面的响应关系[J].同济大学学报(自然科学版):2015,43(8):1266-1272.
- [4] 茅志昌,沈焕庭,徐彭令.长江河口咸潮入侵规律及淡水资源利用[J].地理学报,2000,55(2):243-250.

- [5] 陈沈良,张国安,杨世伦,等.长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮[J].地理学报,2004,59(2):260-266.
- [6] 霍思伊.长江全流域遭遇 61 年最严重干旱[J].科学大观园,2022(18):14-21.
- [7] 陈沈良,张二凤,谷国传,等.特枯水文年长江口南槽盐水入侵分析[J].海洋通报,2009,28(3):29-36.
- [8] 王彪,朱建荣,李路.长江河口涨落潮不对称性动力成因分析[J].海洋学报(中文版),2011,33(3):19-27.
- [9] 罗小峰,陈志昌.不同水文组合对长江口南港流场的影响[J].水运工程,2005(1):62-65.

(本文编辑 赵娟)