

# 长江下游拦江矶碍航特征及整治措施

张幸农, 张思和, 陈长英, 黄晋鹏

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

**摘要:** 拦江矶是长江下游典型的礁石碍航滩险, 既存在通航水流条件问题也有泥沙问题. 通过河工模型试验与河床演变分析, 以实测资料和模型试验数据为依据, 全面分析了滩险碍航特征及变化规律, 并在此基础上, 进行了炸礁整治工程措施布置方案的试验研究, 分析了工程实施后滩段通航水流条件的改善及航槽的稳定性. 研究表明: 实施炸礁工程措施, 扩大了航道局部断面, 并使航槽内分流量增加、流速增大, 航槽内不会出现泥沙淤积, 反而略有冲刷, 可保障航槽的稳定性.

**关键词:** 长江下游; 礁石滩险; 整治措施; 试验研究

**中图分类号:** U617

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-640X(2011)01-0055-05

拦江矶位于长江下游太子矶水道, 安徽安庆市以下 20 km, 是长江下游典型的礁石碍航滩险(见图1). 规划拟建的主航道位于河道右侧的东港, 虽然大部分水域航道条件较好, 但进口段因拦江矶挑流而呈现十分险恶的流态, 严重影响船舶航行安全. 近十几年, 该滩段已发生多起海损事故, 造成巨大经济损失. 目前, 长江下游航运需求极高, 按规划的航道建设标准, 拦江矶所在河段航道尺度为航宽 300 m, 航深 6.0 m, 曲率半径 1 050 m. 因此, 有必要对拦江矶施以炸礁工程为主的整治措施, 改善东港进口段通航水流条件, 消除船舶航行安全隐患, 保障黄金水道的畅通.

炸礁工程措施既须达到改善通航水流条件的目标, 又要注意因局部断面扩大而引起的泥沙淤积问题, 尤其不能使矶头下方心滩淤积上延, 影响东港进口航道尺度, 同时还需控制炸礁量, 尽量减小工程对河段水沙运动的影响, 保持河道原有的平衡状态. 近年来, 关于长江下游航道整治方面的研究甚多<sup>[1-4]</sup>, 而拦江矶的整治需同时考虑水流流态和泥沙冲淤问题, 既有普遍性也具有特殊性, 进行深入研究既有学术意义也有工程应用价值.

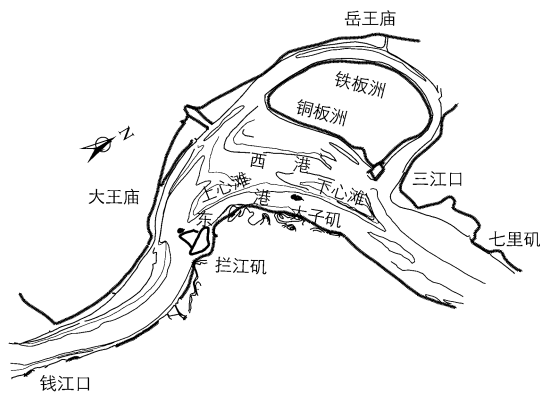


图1 拦江矶滩险示意图

Fig. 1 Sketch of Lanjiangji hazardous rapids

## 1 滩险碍航特征及变化规律

拦江矶所在的太子矶水道呈典型的鹅头型分汊河道, 进口段为单一的微弯河道, 拦江矶是进口段右岸突入江中 700 余米的巨大礁石群, 处于左右两汊分开的“鹅鼻”位置, 河宽在此骤然放大, 矶头下端则出现上、下 2 个淤积心滩. 多年来, 江心洲左汊弯曲、狭窄, 是流量仅占 1/10 的支汊, 只有区间小型船舶通航; 右汊为通航主汊, 因矶头下端存在淤积心滩, 右汊枯水期又分为东港和西港 2 个通航汊道, 其中西港为宽浅型汊道,

收稿日期: 2010-04-23

作者简介: 张幸农(1960-), 男, 上海人, 教授级高级工程师, 主要从事河流泥沙及航道整治研究.

E-mail: xnzhang@nhri.cn

曾为主航道,但 20 世纪 70 年代中期后不断出现泥沙淤积,只能中、洪水期通航;东港为窄深型汉道,大部分区域河床稳定、航道条件较好,但进口段存在回流、泡漩及横流等紊乱流态,且矾头下方心滩的淤长会形成封口沙埂,因而通航水流条件十分恶劣,尤其是枯水期航道狭窄,曲率半径较小,船舶曲折迂回过滩、航行困难,中、洪水期航槽内横流大、泡漩多,流态十分险恶,船舶航行受到很大威胁。

东港进口段的紊乱流态主要由拦江矾挑流及其形成的绕矾头回流所造成,从理论上而言,由于流速较大的挑流与东港进口区的缓流存在较大差异,两股水流交汇必然产生摩擦并形成分离,从而在分界面上形成回流现象,模型试验结果见图 2。可见:绕矾头回流随水情不同而变化,枯水期的挑流现象十分明显,围绕着矾头顶点水流形成曲率半径约 1 200 m 的 S 型弯曲状态,矾头外缘存在纵向长 350 ~ 550 m,横向宽 250 ~ 350 m 的椭圆状回流区,回流强度 0.15 ~ 0.25 m/s,矾头下方水流向左右两侧发散,进入东港的水流横向漫过封口浅埂,流向左侧的水流一部分在上心滩上呈  $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$  从左至右斜向流入东港,形成漫滩水流;中水期挑流现象依然十分明显,水流仍绕矾头呈 S 型弯曲,曲度略有减小,矾头顶点外缘回流充分发展,纵向范围明显增长,东港进口区及上心滩上仍有从左至右的斜向水流,因拦江矾顶部礁石群过水,礁石后部出现漩涡或泡水,并随水流向下移动,造成东港进口区流态很乱;洪水期,拦江矾顶部水深加大,挑流现象减轻,矾头前沿水流弯曲程度趋缓;矾头顶点外缘回流范围缩小,强度减弱,并随流量加大逐步退化为缓流,东港进口及上心滩上从左至右的斜向水流已不明显,矾头后方漩涡或泡水也相应减少,东港进口段紊乱流态现象有所缓和。

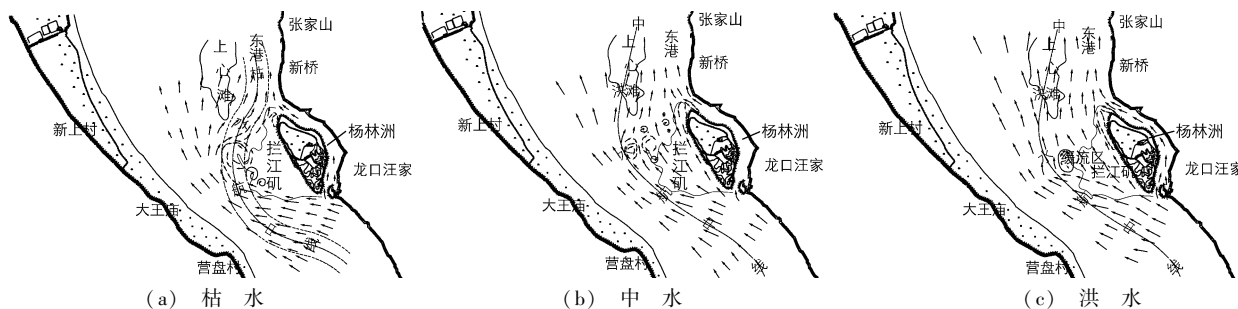


图 2 东港进口区流态

Fig. 2 Flow pattern in inlet area of the east waterway

上心滩冲淤变化也是影响东港进口航道条件的重大因素,如上心滩出现严重淤积,滩头上伸、封口浅埂增高,东港进口区则不仅存在流态险恶的问题,而且将出现碍航浅情。近 20 多年,拦江矾附近河床基本处于平衡状态(见图 3)。

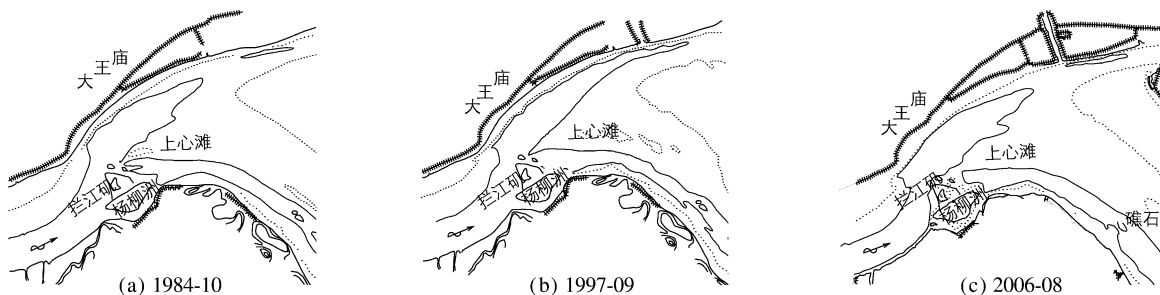


图 3 近 20 年拦江矾附近河床变化

Fig. 3 Variation of riverbed in the Langjiangji reach in recent 20 years

20 世纪 90 年代中期以前,上心滩淤积较重,东港进口断面狭窄,满足航道水深的宽度一般仅为 60 ~ 100 m,浅埂高程较高,个别年份浅埂几乎与上心滩连成一片;90 年代末,连续出现大水年,上心滩受到冲刷,东港进口断面有所拓宽,满足航道 6 m 水深的宽度保持在 400 ~ 450 m 的要求,浅埂高程降低;2000 年以后,上心滩冲淤虽有反复,但总体变化不大。从年内看,东港进口段断面宽度洪水期缩小,退水期和枯水期扩

大,因而具有洪淤枯冲的规律,尤其是近几年来较为明显.表 1 为东港进口段河床条件的历年变化情况,可见随着上心滩的冲淤变化,东港进口浅埂高程产生变化,满足航道水深的宽度也出现反复.

表 1 东港进口段河床条件历年变化

Tab. 1 Annual variation of riverbed in inlet section of the Donggang m							
时 间	水 位	满足航道水深的河床宽度	浅埂高程	时 间	水 位	满足航道水深的河床宽度	浅埂高程
1984-10	8.30 ~ 8.90	90	-3.0	2001-09	7.70 ~ 7.50	420	-12.5
1986-10	6.20 ~ 5.70	60	-4.7	2004-04	3.40 ~ 3.30	210	-6.3
1990-12	7.23 ~ 5.21	110	-3.4	2006-02	1.47 ~ 1.53	310	-4.0
1993-11	5.70	100	-3.4	2007-01	3.42 ~ 3.61	320	-5.1
1995-09	7.40 ~ 6.90	30	-3.0	2008-03	3.00 ~ 3.30	360	-3.3
1997-09	7.20 ~ 6.10	60	-7.4				

## 2 模型试验及整治工程措施

### 2.1 模型试验概况

定床模型范围上起钱江口,下迄七里矾,模拟原体河道 21 km(包括河段内左右两汉);动床模型范围上起新河坝,下迄三江口,模拟天然河道约 14 km,包括右汊河道内的东、西两港.为尽量模拟拦江矶附近复杂的河床地形,反映出三维水流特征,采用了大比尺、小变率(变率小于 2)变态模型,模型平面比尺  $\lambda_L=120$ ,垂直比尺  $\lambda_h=120$ ,变率  $\eta=1.67$ .动床模型既满足悬沙床沙质运动相似,又考虑推移质泥沙运动相似.由实测数据得出,拦江矶附近河床质为颗粒粒径 0.1 ~ 0.3 mm 的均匀细沙,悬沙剔除冲泻质后,床沙质与河床质颗粒级配相似,中值粒径基本为  $d_{50}=0.17$  mm.

按泥沙模型相似理论进行模型设计<sup>[5-6]</sup>,同时考虑悬浮相似和沉降相似,并满足泥沙颗粒起动相似,水流重力相似条件略有偏离,选择木屑为模型沙,经过水流特征和河床变形的验证试验,表明模型与原体河道在水流、泥沙运动规律及河床冲淤变形等方面,均达到了良好的相似性.

### 2.2 整治工程措施

分析表明,拦江矶上缘及其顶端礁石引起挑流,是造成滩段中枯水水流弯曲、流态紊乱的关键,必须施以炸礁的工程措施,以达到减轻矶头挑流、改善东港进口流态的作用.为充分反映炸礁工程措施效果,针对不同炸礁范围和底高程布置工程措施(见图 4),选择枯、中、洪水水文条件进行探索性试验研究,工程效果说明见表 2.

表 2 各类炸礁工程措施布置及其效果

Tab. 2 Reef blasting works and their effects			
措施编号	炸礁线平面布置	底高程/ m	工程效果
1	矶头外缘布置水平向弧形炸礁线,炸除距矶头顶点 43 ~ 119 m 范围内的礁石.	-5	炸礁量少,回流、泡漩未能消除,垂向炸深降低底高程难以起到作用,改善流态效果很不明显.
		-10	
		-15	
2	在 1 类措施基础上,弧形炸礁线继续向右拓展,炸除距矶头顶点 125 ~ 233 m 范围内的礁石.	-5	碍航流态有一定改善,垂向炸深降低底高程有一定作用,但工程量增大、效果欠佳.
		-10	
		-15	
3	在 2 类措施基础上,弧形炸礁线继续向右拓展,炸除距矶头顶点 82 ~ 292 m 范围内的礁石.	-5	碍航流态明显改善,垂向炸深降低底高程起到较好作用,但炸礁工程量剧增.
		-10	
		-15	
4	矶头上部外缘布置斜向直线形炸礁线,炸除距矶头顶点 132 ~ 182 m 范围内的礁石.	-10	碍航流态改善较明显,垂向炸深降低底高程作用有限,炸礁线平面布置有待完善.
		-15	
5	在 4 类措施基础上,炸礁线继续向右拓展,炸除距矶头顶点 173 ~ 280 m 范围内的礁石.	-10	碍航流态改善明显,垂向炸深降低底高程作用较好,但已无必要,且工程量大增.
		-15	



研究表明,码头上缘部分(A~C区域)在中、枯水情时起主要挑流作用,造成码头顶点外缘至东港进口出现回流及泡漩,斜向疏炸的4和5类措施效果明显好于横向平移疏炸的1~3类措施;炸礁底高程为-5 m,效果不理想,炸礁底高程为-15 m,效果增加不明显且工程量大增,炸礁底高程为-10 m,有一定效果、工程量适中,较为合适;调整不同水情时的航道线型,使通航水流条件满足要求,确保船舶安全航行,也是必要的措施。

### 2.3 整治工程措施确定及其效果分析

在前述试验研究的基础上,结合各方面因素<sup>[7-10]</sup>,确立了以炸礁为主、局部回填和疏浚为辅的整治工程措施。选择枯、中、洪水水文条件,经过多方案的对比试验,最终确定的推荐方案由3部分组成(见图5):一是斜向炸除码头上缘,消除码头顶点外缘至东港进口回流及泡漩,炸礁基线布置两道,其中内侧线形上段为直线,下段为弧形线,外侧线为弧形线,两线之间底高程为-4 m,外侧线左侧底高程为-5 m,横向上形成-4和-5 m的两级平台;二是围绕码头布置3个弃渣抛填区,其面积分别为10.5、5.37和2.24万m<sup>2</sup>,顶面高程分别为0、-15和-7 m,减少地形的突变现象,进一步调顺水流,改善流态;三是对东港进口规划航槽不满足水深要求的区域进行局部疏浚。

根据河床演变及滩性分析,拦江矶附近河床具有大水年冲刷、小水年淤积的特征,结合三峡枢纽蓄水运行后长江下游近期年份的来水来沙条件,2004—2007年,长江下游水量较小、沙量适中,水沙条件对东港进口段航道不利。因而,选取这些年份的水沙过程及其组合,进行推荐方案整治工程措施实施前后的典型系列年动床模型试验研究。

试验结果表明,推荐方案整治工程措施实施后,直接增加了东港进口处航道水域宽度,已满足设计航道尺度要求;码头挑流削弱,顶点外缘回流区基本消失,其水流可平顺进入东港,无紊乱流态,枯、中水水流分散现象得到控制,东港进口区域流速增大,流向右偏10°左右,分流比增大1.50%~2.32%,通航水流条件得到很大程度的改善;与此同时,上心滩并未出现较大变化,东港进口断面虽扩大,但分流比增大、流速加大,心滩头部受抑制反而有所后退,封口浅埂也略有冲刷下降,仅航槽疏浚区左侧边缘出现局部回淤,但回淤量较小,航道稳定性有保障。另外,距拦江矶较远区域的水位及流场变化很小,仅码头上游水位略降,河床冲淤变化规律与工程实施前基本相同,说明整治工程措施对整体河势影响甚微,对防洪也无不利影响。

## 3 结 语

(1)长江下游航道主要的问题是浅滩众多,泥沙淤积问题突出,但是临江边界条件突变而引起的滩险也为数不少,拦江矶是典型的实例,类似的还有安庆河段的吉阳矶、马当河段的马当矶、南京河段的燕子矶、镇江河段的马鞍矶等,此类滩险的治理必须同时考虑水流流态和泥沙冲淤问题,这对于物理模型试验而言,具有一定的难度,包括模型几何比尺及变率的确定、模型沙的选择等,应综合分析进行确定。

(2)对于拦江矶等类似滩险的整治,实施炸礁等工程措施,主要是以改善通航水流条件为目标,须确定最佳的工程措施,既达到工程效果,又尽量减小工程对河段水沙运动的影响,保持河道原有的平衡状态,进行探索性试验研究是较好途径。

(3)拦江矶整治工程措施研究表明,实施炸礁工程措施,扩大了航道局部断面,但只要航槽内分流量增加、流速增大,非但不会引起泥沙淤积,反而会略有冲刷,航槽稳定性得以保障。

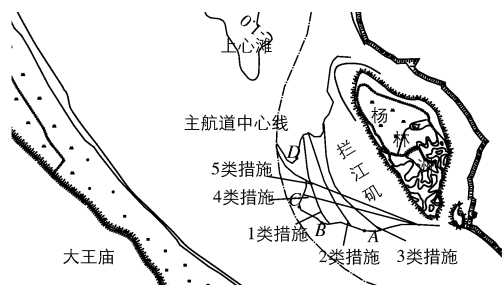


图4 各类炸礁措施平面布置

Fig. 4 Plain layout of every reef blasting project

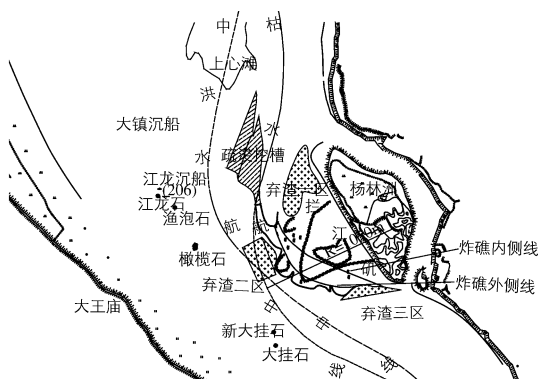


图5 整治工程措施推荐方案

Fig. 5 Layout of the recommended training works

## 参 考 文 献:

- [1] 张幸农. 长江南京以下河段深水航道整治基本原则与思路[J]. 水利水运工程学报, 2009(4): 128-133. (ZHANG Xing-nong. Basic principles and thoughts on deep waterway regulation in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(4): 128-133. (in Chinese))
- [2] 林承坤. 评长江下游航道的开发与建设[J]. 中国航海, 1992, 31(2): 55-63. (LIN Cheng-kun. A review on development and construction of navigable channel in the lower reach of Changjiang River[J]. Navigation of China, 1992, 31(2): 55-63. (in Chinese))
- [3] 李旺生. 长江中下游航道整治技术问题的几点思考[J]. 水道港口, 2007, 28(6): 418-424. (LI Wang-sheng. Some thoughts about technical problems on regulation of waterway in the middle and lower reach of the Yangtze River[J]. Journal of Waterway and Harbour, 2007, 28(6): 418-424. (in Chinese))
- [4] 刘万利, 李旺生, 朱玉德, 等. 长江中游戴家洲河段天然水流特性试验研究[J]. 水道港口, 2009, 30(2): 113-118. (LIU Wan-li, LI Wang-sheng, ZHU Yu-de, et al. Study on flow characteristics of braided reach of Daijiazhou reach in middle Yangtze River[J]. Journal of Waterway and Harbour, 2009, 30(2): 113-118. (in Chinese))
- [5] 李昌华, 吴道文, 夏云峰. 平原细沙可流动床泥沙模型试验的模型相似律及设计方法[J]. 水利水运工程学报, 2003(1): 1-8. (LI Chang-hua, WU Dao-wen, XIA Yun-feng. Similarity criterions and design method of hydraulic models with a movable bed for plain rivers carrying fine sediment[J]. Hydro-Science and Engineering, 2003(1): 1-8. (in Chinese))
- [6] 卢金友, 廖小永, 王家生. 模型几何变态对弯道悬移泥沙冲淤变形影响试验研究[J]. 长江科学院院报, 2008, 25(6): 14-18. (LU Jin-you, LIAO Xiao-yong, WANG Jia-sheng. Experimental study on effects of model geometrical distortion upon suspended sediment scouring and silting in bent reaches[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2008, 25(6): 14-18. (in Chinese))
- [7] 余文畴, 卢金友. 长江中下游河道整治和护岸工程实践与展望[J]. 人民长江, 2002, 33(8): 15-17. (YU Wen-chou, LU Jin-you. Practice and prospect of river regulation and revetment engineering in the middle-lower Yangtze River[J]. Yangtze River, 2002, 33(8): 15-17. (in Chinese))
- [8] 陈肃利, 胡春燕, 王永忠. 三峡工程建成后长江中下游干流河道治理对策[J]. 人民长江, 2009, 40(16): 8-10. (CHEN Shu-li, HU Chun-yan, WANG Yong-zhong. Countermeasures on river improvements of the middle-lower Yangtze River after construction of TGP[J]. Yangtze River, 2009, 40(16): 8-10. (in Chinese))
- [9] 曹民雄, 马爱兴, 王秀红, 等. 内河航道横流对船舶航行的影响[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(1): 61-67. (CAO Min-xiong, MA Ai-xing, WANG Xiu-hong, et al. Influence of cross current on ship navigation in inland waterway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 61-67. (in Chinese))
- [10] GB 50139-2004, 内河通航标准[S]. (GB 50139-2004, Navigation standard of inland waterway[S]. (in Chinese))

## Feature of Lanjiangji hazardous rapids and its improvement in the lower Yangtze River

ZHANG Xing-nong, ZHANG Si-he, CHEN Zhang-ying, HUANG Jin-peng  
(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** Lanjiangji is a typical hazardous reef shoal in the lower Yangtze River with both flow pattern and sediment problems. Based on analysis of alluvial process and model tests, the feature and changing law of the navigation-obstructing flow of the shoal reach is studied. Then, the layout of reef blasting works is researched in model tests, and the improvement of flow pattern and the stability of navigable waterway in the shoal reach are analyzed and estimated. The results show that after performance of reef blasting works, the flow pattern of the shoal reach is improved evidently and that there is slightly erosion instead of siltation in waterway having assurable stability, because flow discharge and velocity in the waterway is increased due to the enlargement of the cross section.

**Key words:** the lower Yangtze River; hazardous reef shoal; improvement measurement; model tests