



断头孤礁险滩整治方法研究

许光祥¹, 刘辛愉¹, 刘天云²

(1. 重庆交通大学, 重庆 400074; 2. 长江航道局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 断头孤礁是指礁石与上游床面之间的河床存在较深凹陷, 礁石头部形似断裂, 河床纵向存在剧烈起伏的河心孤立礁石。由于特殊边界断头的存在, 使得孤礁险滩水流条件更为复杂, 仍采用一般孤礁险滩的常规整治方法难以达到良好效果。以三峡回水变动区重庆主城河段的砖灶子滩为例, 运用河工模型试验开展断头孤礁险滩整治方法的试验研究, 提出采用炸礁结合潜鱼嘴连接坝的工程措施整治断头孤礁险滩, 可达到较好的整治效果。

关键词: 断头孤礁; 险滩; 整治方法; 河工模型; 潜鱼嘴坝

中图分类号: TV 133

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)06-0147-05

Regulation method of beheaded isolated rock

XU Guang-xiang¹, LIU Xin-yu¹, LIU Tian-yun²

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Changjiang Waterway Engineering Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: Beheaded isolated rock refers to the isolated rock of dramatic ups and downs on longitudinal of the riverbed and in shape of fracture, which causes deep sag in the upstream riverbed. The conventional regulation method is hard to obtain better effects due to the special beheaded boundary which makes its flow condition more complex. Based on the Zhuanzaizi shoal in the fluctuant backwater of Three Gorges reservoir in Chongqing city, we probe into the regulation method of beheaded isolated rock using the river model test, and propose to combine rock blasting with the submerged fish-mouth connecting dikes to regulate the beheaded isolated rock shoal.

Keywords: beheaded isolated rock; rapids; regulation method; river model test; submerged fish-mouth connecting dike

险滩是通航河流3大类碍航滩险(浅滩、急滩、险滩)之一, 特别是在山区河流普遍存在^[1]。其主要碍航特点是明、暗礁石以及纵横石梁、岸边突嘴等特殊河床边界的存在使得航道狭窄、曲折, 船舶极易发生触礁事故, 即礁石险滩; 或形成强烈的横流、泡漩等不良流态, 易使船舶横漂和翻沉, 即泡漩、滑梁、扫弯等不良流态险滩。

所谓断头孤礁, 是指河中礁石头部与上游床面之间的河床存在一个较深的凹陷, 好像二者之间由一深沱断开了一样, 如图1河床纵剖面的实线所示。而对于一般的礁石, 上游床面与礁石间基本上是顺势连接, 不存在剧烈起伏, 如图1的虚线所示。

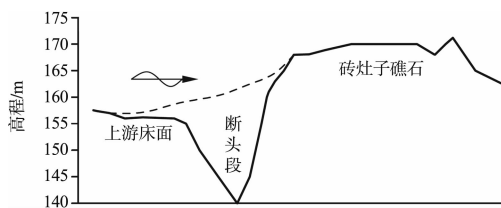


图1 砖灶子滩段局部河床纵剖面

孤礁因断头的存在, 来流受礁石所阻, 不仅左右分流导致横流, 还存在上升和下潜水流, 上升及下潜后受河床所阻折向水面的水流形成泡水, 同时河床的不连续引起水面的不连续而致局部陡比降。所以, 断头孤礁险滩一般存在横流、泡水和跌水等碍航特征, 与一般孤礁险滩整治相比,

收稿日期: 2014-09-25

作者简介: 许光祥(1966—), 男, 博士, 教授, 从事水力学及动力学、航道工程等方面研究。

需要同时解决多种碍航流态，有必要开展研究。

三峡工程建成以后，长江重庆河段从内河Ⅲ级航道提高到内河Ⅰ级航道成为可能。根据《长江干线航道总体规划纲要》，到2020年，长江干线重庆九龙坡至涪陵河段规划达到内河Ⅰ级航道标准，航道尺度为3.5 m×150 m×1 000 m（航深×航宽×转弯半径，下同）。然而，目前该河段维护尺度还为2.7 m×50 m×560 m的内河Ⅲ级航道。三峡成库后虽然整体上具备形成内河Ⅰ级航道的航道条件，但沿线还有不少滩段难以达到规划要求，需要进行适当整治。

砖灶子为一大型的河心孤礁，位于三峡工程回水变动区重庆主城李家沱河段，地处重庆李家沱长江大桥主跨正下方，为规划河段的一个典型孤礁险滩（图2）。为了获得科学合理、经济的整治方案，建立了1:100正态河工模型，对砖灶子的整治措施进行了研究^[2]。

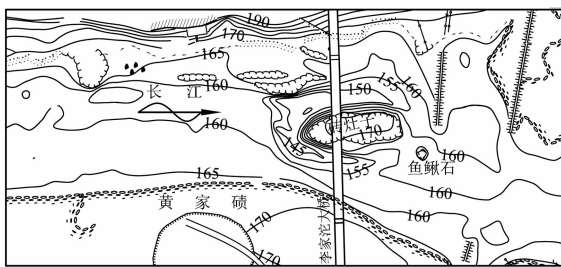


图2 砖灶子河段河势（单位：m，下同）

1 砖灶子险滩的特点

1.1 砖灶子滩的碍航特点

砖灶子位于三峡工程回水变动区重庆主城李家沱河段，宜昌航道里程约676.7 km。滩段有一长约210 m、宽约90 m、顶高程171 m的大型孤礁坐落河心。礁石上游、左侧和右侧3面均呈现较深的断头形态（图2），上游河床高程156~160 m（吴淞高程，下同），礁石顶部高程超过170 m，而断头段最低高程低于140 m，与上游床面高差16~20 m，与礁石顶部高差超过了30 m，为一典型的断头孤礁，流态十分紊乱^[3]。

砖灶子孤礁将中、枯水河槽分为左右两槽，不仅影响了航宽的连续性致使航槽宽度不足，而且两槽流态恶劣。左槽河槽弯曲难以通航，右槽

通航但存在航道窄、坡降陡、横流强、泡漩汹（图3）等4大碍航特点，为孤礁险滩。

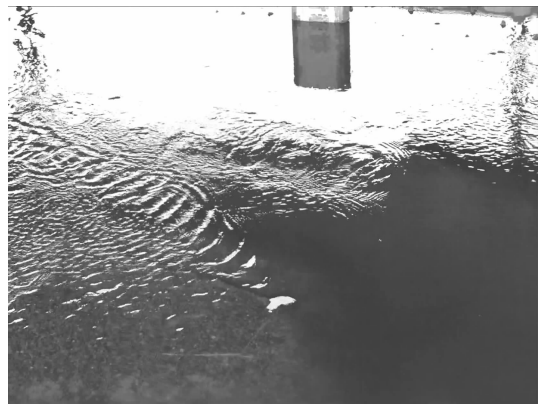


图3 滩段流态模型（Q=8 570 m³/s）

1.2 砖灶子滩成因分析

断头孤礁坐落河心是砖灶子成滩的根本所在。根据现场实测资料以及模型水流条件测试成果分析^[2]，主要成因具体体现在：

1) 孤礁坐落河心是形成滩险的边界条件。

砖灶子孤礁坐落河心（图2），不仅形态宽大，而且前后左右地形很不连续，边界异常复杂，加之右侧黄家碛边滩伸出较开，航槽十分狭窄。经过近年局部炸礁后，在设计水位下（165.7 m）满足3.5 m水深的航宽仍仅约90 m，扣除险恶流态占据的水域，适宜通航的宽度不足60 m。

2) 砖灶子头部正迎上游主流，急流顶冲是形成滩险的来流条件。

砖灶子孤礁位置所在正是来流主流所对，中、洪水最大表面流速接近4 m/s（图4，图中滩段是指断头深沱段和孤礁段的总长度，下同）。来流急致使礁石头部的分流大，继而横流强。因此，主流顶冲礁石头部是形成横流、乱流的来流条件。

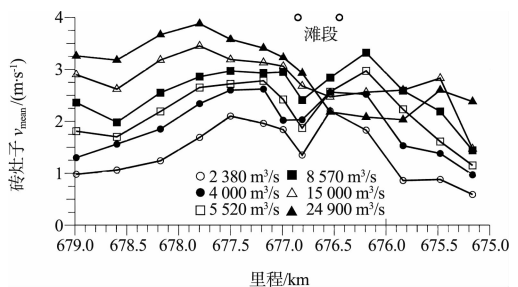


图4 滩段航槽平均表面流速

3) 礁石头部宽大是形成强横流、涵泡漩的原因之一。

图3是模型流态实拍图,横流、泡水十分明显。砖灶子平面形态几成矩形,头部宽大(图2)。主流顶冲后分流角较大,继而形成强烈横流。由于断头的存在,水流潜入底部后受河床所阻折向水面以及上升水流,形成强烈泡水(图3、5)。

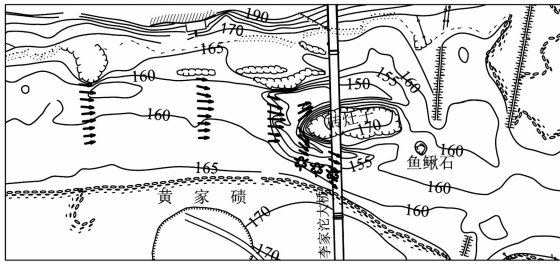


图5 滩段模型实测枯水水流场

4) 河床剧烈起伏(断头)是形成局部陡比降和不良流态的又一原因。

砖灶子孤礁与四周河床连接很不平顺,地形纵向起伏剧烈(图1、2),横向高低交错,导致水面线连续性差,形成局部陡比降(最大比降约2.5‰,图6)以及险恶的不良流态。

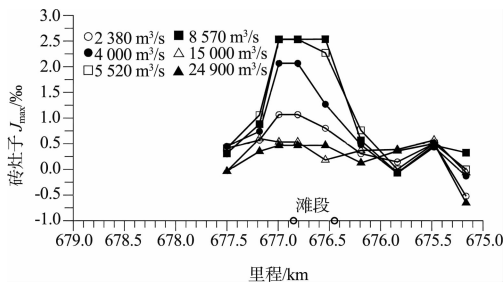


图6 滩段模型实测航槽水面比降

砖灶子滩段流速、比降最大均出现在中水,其水位基本与砖灶子孤礁顶部齐平,约设计水位上5.5 m,消滩指标超标较多。所以,最汹水位为中水期,水位低于166 m(约设计水位上0.5 m)和高于173 m(约设计水位上7.5 m)后基本消滩。

2 整治措施

一般的孤礁险滩,常采用的整治措施是炸礁,如川江石牌滩^[4]、三峡工程施工期变动回水区的

大多礁石险滩^[5]等。将礁石部分或全部炸除,既可扩展航道达到通航尺度要求,亦可改善不良流态。然而,对于砖灶子断头孤礁险滩,由于其断头的存在,仅采用炸礁难以彻底整治。

前面已分析,孤礁坐落河心、正迎主流、礁头宽大和存在断头是砖灶子滩险的4大主要成因。从成因着手,再借助河工模型,对该滩的整治方法进行细致研究。

2.1 方案1

方案1从孤礁坐落河心直接影响航道几何尺度的方面入手,采用常规的炸礁和疏浚的方法扩展航道尺度。由砖灶子炸礁和黄家碛疏浚两部分工程组成(图7),航槽按规划航道尺度布置。其中疏浚深度4.1 m(以设计水位为基面,下同)、炸礁深度4.0 m(考虑了40 m的扩宽)。

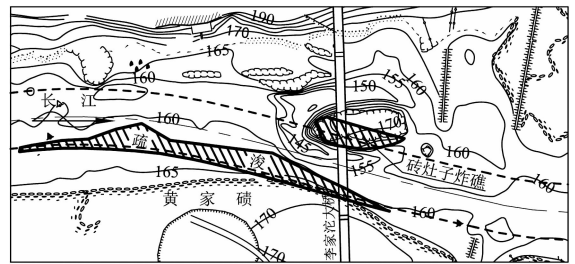


图7 整治工程方案1平面布置

试验表明,方案1通航条件得到一定改善,虽仍存在表层横流,但多在扩炸的40 m范围内,主航槽横流已较弱;航槽中水最大表面流速减小了0.43 m/s。但主航槽泡水仍很汹涌,跌水仍然存在,与整治前改善不大,整治效果较差。分析其原因主要是方案1与工程前一样,仍存在断头和宽大的底层分流角。

2.2 方案2

方案2航槽布置和疏炸工程同方案1,另采用回填的方法消除断头形态,以期减弱泡水(图8),断头采用平填,回填高程基本平上游床面(约设计水位下8.0 m)。

试验表明,主航槽泡水得到较大改善,改善程度能达到80%,基本不碍航,说明消除断头是削弱泡水的关键所在,航槽最大流速较工程前减小了0.28 m/s。但存在3处不足:1) 回填过多占

据了河槽过水面积，增加了中小流量的航槽流速，最大流速较方案1增大0.15 m/s。船舶上滩较困难。2) 砖灶子前端仍有1.8‰的局部陡比降，因平填顶部仍低于礁石5~10 m。3) 回填工程量偏大，炸礁方量不足回填方量，需外运填料。

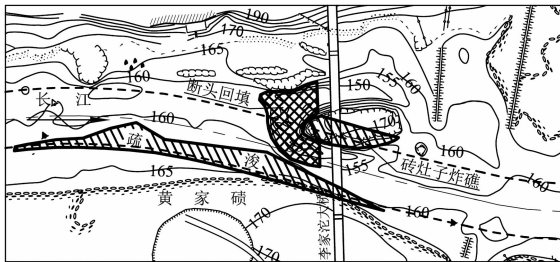


图8 整治工程方案2平面布置

2.3 方案3

方案3针对方案2的不足，采用潜坝来削弱断头形态(图9)，潜坝高程仍为设计水位下8.0 m。经过多次调试，潜坝走向与航槽走向基本一致时通航水流条件最好。

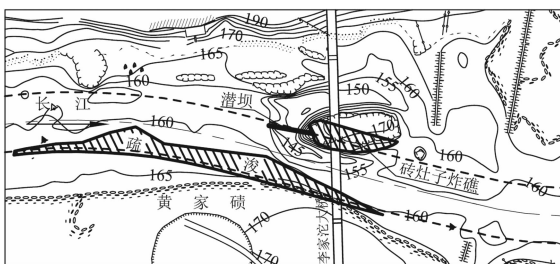


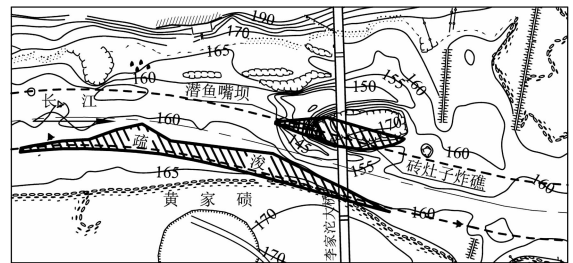
图9 整治工程方案3平面布置

潜坝既不过多占据航槽过水面积，又起到拦断断头的作用。试验表明，方案3整治效果优于方案2，航槽泡流改善程度近90%，基本不成急滩碍航，航槽表面流速与方案1差异不大。但仍存在两处不足：1) 潜坝轴线与炸礁基线间存在局部乱流，仍有1.6‰的局部比降，说明横向虽拦断了断头，但纵向连接还不顺势。2) 潜坝工程量较小，炸礁剩余方量还需外运弃渣。

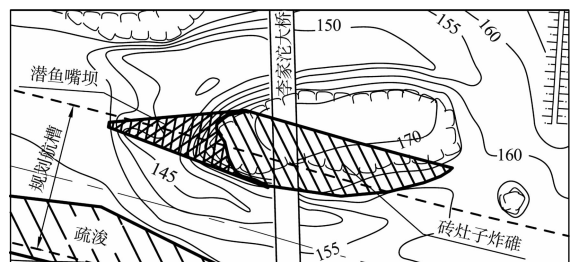
2.4 方案4

针对方案2、方案3的不足，融合其优缺点，方案4采用潜鱼嘴坝消除断头。其工程布置见图10，断头处抛筑1道潜鱼嘴坝，坝上端高程156.0 m，与上游河床平接；下端高程161.7 m，与炸礁高程

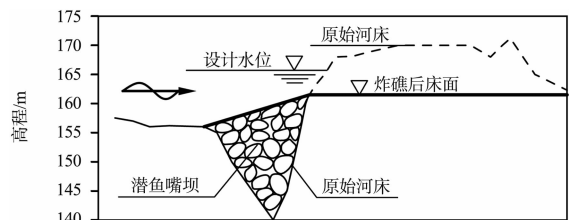
相同。坝上端宽度5 m，下端宽度约64 m，长约125 m，纵坡约4.5%，整体上形成一个上窄下宽、逐渐往下游抬升的鱼嘴形填筑坝。



a) 平面布置



b) 平面布置局部放大图



c) 纵剖面图(局部)

图10 整治工程方案4

试验表明，方案4整治效果很好，潜鱼嘴坝作用非常明显，主要有：

1) 潜鱼嘴坝与上下游河床纵、横方向均顺势衔接，将原来河床纵向剧烈起伏的形态改变为平顺连接的形态，断头基本消失，具有连接建筑物的作用，中枯水局部陡比降从工程前的2.5‰降到了1.3‰，效果明显。

2) 潜鱼嘴坝布置成上窄下宽的渐变形态，减小了礁头的分流角，主航槽横流较弱，炸礁扩宽范围内横流减小程度达到80%，具有鱼嘴坝的作用。航槽最大流速较方案1未见明显增大，较工程前减小了0.39 m/s。

3) 潜鱼嘴坝横向将断头拦断，阻断了水流下潜及底流横向流动，继而消除了产生泡水的根源，

试验表明方案后泡水基本消失,具有潜锁坝的作用。

4) 潜鱼嘴坝抛填方量与炸礁方量相当,很好地解决了抛填石料和炸礁弃渣问题。

因此,方案4是较好的整治方案,推荐为工程设计参考。

3 结语

1) 三峡回水变动区重庆主城河段的砖灶子滩是典型的断头孤礁险滩,孤礁坐落河心、礁头宽大、存在断头、正迎主流是成滩的主要原因。特别是有别于一般浅滩断头的存在,使得滩段出现强横流、涵泡漩、陡比降,属于礁石和不良流态共存的险滩。

2) 运用河工模型对砖灶子断头孤礁险滩整治方法的试验研究表明,断头孤礁险滩仅采用炸礁的方法难以整治彻底,需要辅助其它工程措施。

(上接第130页)

3) 长远来看,因湖区航道所具特征,束水攻沙用以维持航道稳定的措施效果较差,因此,湘江尾闾航道下段的尺度保持将需长期依赖疏浚维护;同时,由于航道开挖,枯水位的降低将向湖区、尾闾航道的上段传递,将导致影响段的航道条件恶化,水位降落一旦传递到长沙综合枢纽下游,就将影响枢纽船闸的正常运行,从而给湘江航运带来负面影响。

参考文献:

- [1] 许全喜. 三峡工程蓄水运用前后长江中下游干流河道冲淤规律研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 146-154.
- [2] 胡春宏, 王延贵. 三峡工程运行后泥沙问题与江湖关系变化[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(5): 107-116.

3) 研究表明,采用炸礁结合潜鱼嘴连接坝的工程措施整治断头孤礁险滩是较好的整治方法。潜鱼嘴连接坝具有平顺连接上下游河床的连接建筑物、减小分流角的鱼嘴坝、阻断底部横流的潜锁坝以及解决炸礁弃渣的综合作用。

参考文献:

- [1] 《山区航道整治》三结合编写组. 山区航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 1975.
- [2] 重庆交通大学. 长江上游九龙坡至朝天门河段航道建设工程工可阶段物理模型试验研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [3] 张秀芳, 彭凯, 尹崇清. 深沱孤礁泡漩水形成特性试验研究[J]. 水利水电工程学报, 2011(2): 26-31.
- [4] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [5] 宋建东. 三峡工程施工期变动回水区礁石险滩整治设计[J]. 珠江水运, 2007(11): 40-42.

(本文编辑 武亚庆)

- [3] 丛振涛, 肖鹏, 章诞武, 等. 三峡工程运行前后城陵矶水位变化及其原因分析[J]. 水利发电学报, 2014, 33(3): 23-28.
- [4] 韩剑桥, 孙昭华, 李义天, 等. 三峡水库蓄水后宜昌至城陵矶河段枯水位变化及成因[J]. 武汉大学学报, 2011, 44(6): 685-695.
- [5] 湖南省交通规划勘察设计院. 湖南省水利水电勘测设计研究总院. 洞庭湖岳阳综合枢纽工程预可行性研究报告[R]. 长沙: 湖南省交通规划勘察设计院, 2014.
- [6] 湖南省交通规划勘察设计院. 湖南省航务勘察设计院. 湘江2000吨级航道建设一期工程(株洲—城陵矶)初步设计[R]. 长沙: 湖南省交通规划勘察设计院, 2010.

(本文编辑 武亚庆)