



三峡水库变动回水区胡家滩滩段 阶梯状整治建筑物设计方案*

樊书刚，朱代臣，何艳军，李俊青
(长江重庆航运工程勘察设计院，重庆 401147)

摘要：三峡工程 175 m 蓄水运行后，重庆主城区胡家滩河段成为变动回水区上段。受枢纽调蓄影响，该河段走沙期从枯水期调整为汛后蓄水前和三峡水库消落期，冲刷历时缩短，冲刷能力减弱。在本河段航道整治工程方案研究过程中，为充分利用消落期不同流量冲刷能力，论证整治建筑物头部 2.5 m 和 3 m 两级高程，最终以 2.5 m 和 3 m 的两级阶梯式坝体为推荐方案。物理模型系列年试验成果表明，方案实施后可保持胡家滩新挖航槽的稳定和合理的上滩指标。

关键词：丁坝；变动回水区；航道整治；胡家滩

中图分类号：U 617 文献标志码：A 文章编号：1002-4972(2016)01-0134-05

Stepped navigation regulation structures design of Hujiatan beach in fluctuating backwater area of the Three Gorges reservoir

FAN Shu-gang, ZHU Dai-chen, HE Yan-jun, LI Jun-qing

(Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Hujiatan beach becomes the upper reach of the fluctuating backwater area after the Three Gorges reservoir's running with 175 m water level, and the period of river bed evolution changes a lot and becomes shorter. During study of the regulation engineering scheme, the 2.5 m and 3 m spur dike head levels are demonstrated in order to take full advantage of the scouring ability of different flow. A new stepped dam of 2.5 m and 3 m head level is the recommended. The physical model test results show that the new dredged channel can be maintained and keep reasonable indicators on the beach after the program is implemented.

Keywords: spur dike; fluctuating backwater area; waterway regulation; Hujiatan beach

长江上游胡家滩滩段位于重庆市主城区。三峡工程 175 m 蓄水后，受消落期泥沙冲刷不及时影响，每年均需进行维护性疏浚才能维持现行 2.7 m×50 m×560 m（水深×航宽×弯曲半径）航道尺度要求。

根据交通运输部《长江干线航道总体规划纲要》，该河段航道等级规划为内河一级，至 2020 年航道尺度应达到 3.5 m×150 m×1 000 m。随着重庆市

航运中心的建设和长江上游水运业的蓬勃发展，提高河段航道尺度成为必然。但由于该段位于变动回水区，具有库区和天然河道双重特性，受枢纽调蓄影响，走沙期从枯水期调整为汛后蓄水前和三峡水库消落期，可冲刷历时缩短，冲刷能力减弱^[1]。滩段年内冲淤变化过程有别于川江以前整治的天然浅滩，消落期表现为水位降低和流量增大。为充分利用消落期冲刷能力，本文结合造

收稿日期：2015-10-30
*基金项目：国家科技支撑计划项目（2012BAB05B02）
作者简介：樊书刚（1985—），男，硕士，工程师，从事港口与航道工程研究与设计。

床流量、水位保证率分析、上滩指标等确定合理的整治参数和整治方案, 为工程建设提供参考。

1 滩段概况

胡家滩位于长江上游航道里程 679.3~680.7 km, 浅碛顶位于里程 680.2 km, 滩段左岸岸壁陡峭, 右岸为倒钩碛大边滩, 下游紧接 90° 的急转弯道 (苏家湾), 枯水河槽紧靠左岸。胡家滩潜碛居于江心, 两侧为浅槽, 左槽为重庆新港港池, 右槽为现行主航槽, 河床由卵石夹沙组成 (图 1)。

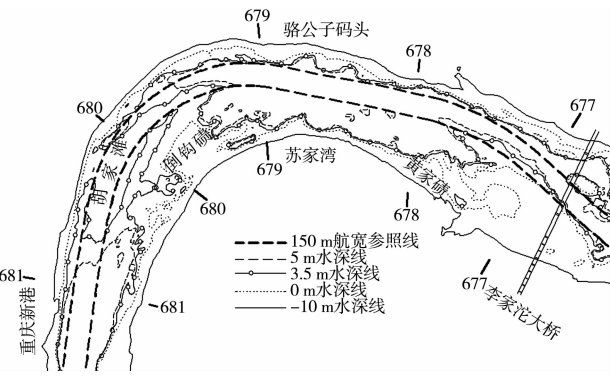


图 1 胡家滩滩段河势

依据 2012 年 5 月实测地形, 按照规划尺度进行核查, 胡家滩 3.5 m 等深线不贯通, 潜碛最小水深不足 2.0 m, 为浅滩碍航。结合河势及水文资料分析, 其主要碍航原因如下: 1) 滩段中下段河势放宽, 水流分散减弱了输沙能力; 2) 滩段为弯道进口且较顺直, 环流强度较弱; 3) 滩段中水以下存在明显的小流速分布区, 中洪水流速分布较均匀, 难以集中水流冲刷航槽; 4) 滩段航槽位于各级流量的主输沙带, 增加了水流输送泥沙的负担。

2 水沙条件变化

胡家滩滩段上游 126 km 设有长江朱沱水文站 (上游航道里程 806 km)、下游 28 km 设有长江寸滩水文站 (上游航道里程 653 km)。通过朱沱站各月平均流量对比分析 (表 1) 可知: 2012 年向家坝蓄水后, 朱沱站枯水期最大、最小流量差值减小; 枯水期来流量略有增加, 洪水期受电站拦峰影响, 流量略有下降。

表 1 朱沱站各月平均流量 m³/s

月份	蓄水前平均流量	2013 年平均流量
1	3 148	3 123
2	2 693	2 860
3	2 955	3 073
4	3 595	3 802
5	5 284	3 987
6	10 190	6 828
7	17 814	17 080
8	17 594	14 212
9	15 661	12 460
10	10 265	10 079
11	5 844	5 078
12	3 825	3 591

为分析胡家滩滩段水位变化特点, 收集了位于滩段下口骆中子水尺 (上游航道里程 679 km) 2009—2013 年的水位资料。从水位过程线可以看出, 2011 年三峡 175 m 正常蓄水后, 每年 1—3 月滩段受三峡水位消落影响, 至 4 月初基本恢复至天然河段。三峡水库消落期的 4—5 月滩段处于天然情况下低水位期, 且水位变化不大, 基本维持在 167.3~169 m (设计水位上 2.17~3.87 m)。

进一步分析胡家滩滩段消落期实测流速资料可知 (表 2): 消落初期 1 月滩段基本维持在高水位, 流速普遍在 1 m/s 以下, 主流带平均流速 0.75 m/s; 3 月滩段流速逐渐增大, 主流线最大流速 2.48 m/s, 平均流速 1.68 m/s, 滩段在 3 月末逐渐转入冲刷阶段; 5 月实测最大流速 3.20 m/s; 3—4 月成为从库区向天然河段过渡期, 水流流速增大的同时淤积泥沙开始逐步冲刷。此时由于水位较低、且由于上冲下移的沙包存在, 造成滩段极易出浅碍航。

表 2 胡家滩滩段消落期实测流速 m/s

观测时间	平均流速	最大流速	最小流速
2011-03	1.68	2.48	0.98
2012-01	0.75	0.98	0.55
2012-05	2.56	3.20	2.07
2014-06	2.96	3.55	2.60

3 整治参数分析

滩段设计最低通航水位 160.82 m, 下游骆中

子河段为优良河道,平滩水位在 2.2 m 左右。同时采用如下方案对整治水位进行确定。

1) 经验法。
长江上游整治过多处滩险,具有丰富的整治经验。如燕子碛整治水位 2.5 m、冰盘碛 1.7 m、火焰碛 1.2 m、吊鱼嘴 1.5 m、小米滩 2 m、叉鱼碛 1 m、神背嘴 1.5 m 等,均取得了较好的整治效果。总体整治水位范围为 1.0~2.5 m。

2) 造床流量对应水位。
以寸滩、朱沱站水文资料分析河段造床流量(图 2)。经分析,造床作用曲线具有明显的 3 个极值,分别代表了洪水、中水、枯水综合造床作用。寸滩站低水造床流量为 7 200 m³/s,流量保证率约 48.5%,全年大约有一半的时间小于该流量,其天然水位为 162.50 m,超设计水位 159.54 m 以上 2.96 m。由于三峡蓄水影响,束在该水位以下的时间却远远小于半年,根据 2008-06-01—2012-05-31 资料统计,寸滩低于水位 162.5 m 的时间约为 14.4%,不到 50 d。表 3 分析了流量小于 7 200 m³/s 且水位低于 162.5 m 的时间在各月的分布。

有较大的冲刷作用和较长的冲刷时间,宜将大部分水流束在整治工程内。从表 4 可见,为了达到 4 月水流全部归槽,整治水位需要 3.19 m,相应流量 7 530 m³/s;为了达到 5 月有半个月时间归槽,整治水位需要 2.84 m,寸滩相应流量 7 020 m³/s;为了达到 5 月 3/4 个月时间归槽,整治水位需要 3.77 m,相应流量 8 410 m³/s;为了达到 5 月水流全部归槽,整治水位大约需要 6 m。

表 4 主消落期寸滩站典型流量及水位				
月份	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	小于该流量 的时间/月	水位 (天然)/m	超高/m
4	4 310	0.50	160.26	0.72
	5 280	0.75	161.07	1.53
	7 530	0.95	162.73	3.19
5	7 020	0.50	162.38	2.84
	8 410	0.75	163.31	3.77
	11 600	0.95	165.21	5.67

综合以上分析,考虑到变动回水区特性和消落期 4、5 月份处于天然河段下的冲刷历时等,以寸滩站造床流量且低于 162.5 m 水位在消落期各月出现的时间为目标,为保证 4 月大部分冲刷和 5 月部分冲刷,整治水位宜在 2~3 m,为保证整治效果,初步拟定整治水位为 3.0 m。

4 方案效果判定标准

胡家滩主要为浅滩,航道整治以航槽稳定性为方案优选条件,但同时需考虑上滩指标等水力要素。根据相关资料,船舶在急滩的上滩水力指标,采用的比降 J (‰)/流速 v (m/s) 组合为: 1/3.5、2/3.0、3/2.6。为了方便分析,将 J 、 v 两个参数合并为一个参数,即消滩指标 E 。根据船舶阻力为坡降和水流阻力组成,可建立下式:

$$E = \alpha L_0 J + \frac{v^2}{2g}$$

(1)

式中: E 为消滩指标; αL_0 为滩段计算长度, L_0 为船长; g 为重力加速度。式(1)等号右边的第 1 项可理解为坡降阻力,与比降成正比;第 2 项可理解为水流阻力,与流速的平方成正比。

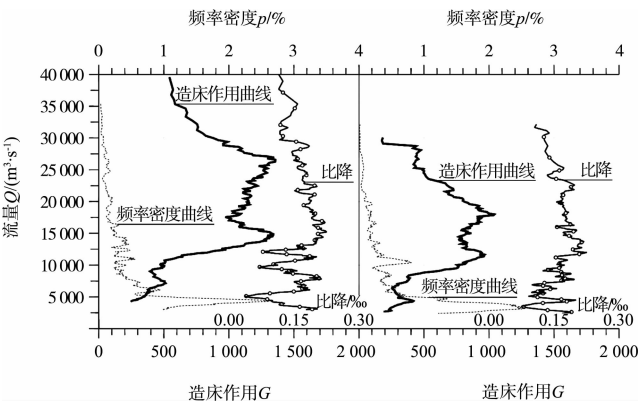


图 2 寸滩、朱沱站造床流量曲线

表 3 寸滩流量 <7 200 m ³ /s 且水位 <162.5 m 的时间在各月的分布												
月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
时间/d	0	0	0	28.1	16.8	1.8	0	0.4	0	0	0	0

3) 消落期流量对应水位。
1—3 月虽然水位有一定消落,但流量较小,水位较高,造床作用不强。4—5 月,特别是 4 月水位消落较低,滩段恢复到天然情况,希望 4 月

经资料拟合分析得:

$$0.800 = 155J + \frac{v^2}{2g}$$

(2)

因此, 确定胡家滩滩段方案效果判定标准如下: 1) 航槽表面平均流速增值 0.2~0.5 m/s, 个别不宜低于工程前流速, 以加强冲刷; 2) 航槽最大消滩指标 $E_{\max}$ 控制在 0.8 m 以内, 不因整治形成新的急滩。

5 阶梯整治建筑物的提出

5.1 3 m 初始方案及效果分析

采用规划尺度依据现行老槽进行航槽线布置, 但受倒钩碛尾部弯曲度过高影响, 滩段难以满足 1 000 m 弯曲半径要求。同时考虑左岸重庆新港使用需求, 初步方案以开挖胡家滩潜碛为基本思路, 通过采取疏浚挖槽达到规划航道尺度, 为维持航槽稳定, 在右岸布置 3 道丁顺坝, 坝头高程为设计水位上 3 m (图 3)。采用数学模型^[2-3]和 1:100 正态物理模型^[4]对方案进行洪中枯不同流量下的试验验证, 重点关注 7 200 m³/s 造床流量以下的中枯水整治效果。

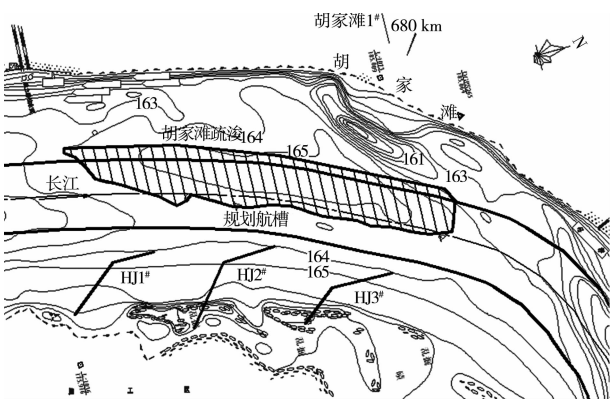


图 3 胡家滩段初步整治方案平面布置

试验表明, 航槽枯水水位降落明显, 设计水位时降落最多, 达 0.77 m。在胡家滩下段流速增加过大, 最大增值为 1.1 m/s, 上滩指标为 0.92 m, 在造床流量 7 200 m³/s 的工况下, 上滩指标也已超过设定的 0.8 m (图 4), 形成了新的急滩。说明胡家滩初步方案的 3 座坝束水过强。

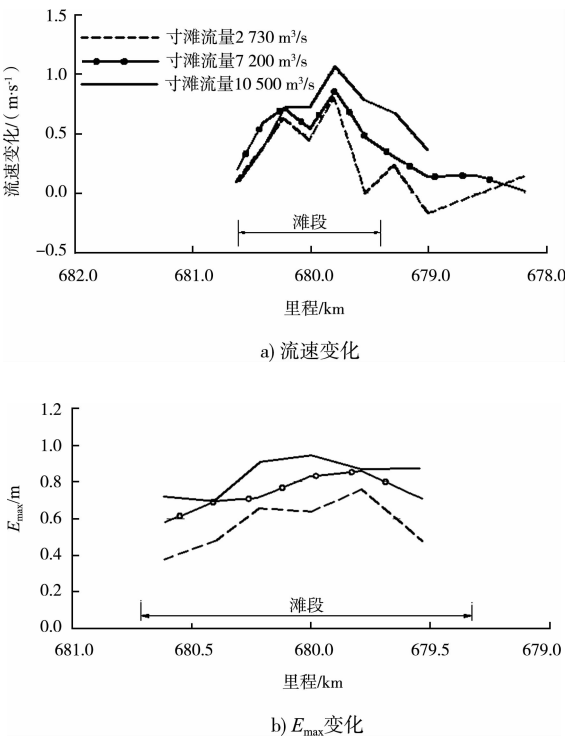


图 4 胡家滩初步方案试验效果

5.2 方案优化过程

1) 优化方案 1: 3 m 坝头后退整治线。上述针对初步方案的试验表明, 整治线靠近航槽较近, 坝顶高程为 3 m, 试验测出中水 (3~5 m) 的航槽流速增加稍大, 有成急滩现象, 因此优化思路为后退整治线, 坝顶高程仍为 3 m, 在原设方案基础上坝头后退 20~30 m。开展进一步模型试验表明: 在主要滩段内, 中、枯水航槽平均流速增值 0.1~0.5 m/s, 洪水流速基本没有减小。变化较为合理, 对航槽稳定有利的同时也不致形成急流, 各处最大消滩指标 $E_{\max}$ 均小于 0.8 m。

存在不足之处是滩段进口和出口航槽流速增值稍偏小, 进口仅增加 0.15 m/s, 出口 (里程 679.5 km) 含整治流量在内的中枯水增速不到 0.1 m/s, 不利于加强航槽冲刷, 总体看航槽中下段整治效果偏弱。因此, 受滩段主流左偏的河势影响, 整治线不宜后退。

2) 优化方案 2: 调整坝头为 2.5 m。整治线平面布置不动, 坝顶高程下调 0.5 m, 坝顶高程调整为 2.5 m。试验表明, 该方案对枯水流量控制较好, 航槽内流速分布合理, 流速增加值也基本在

0.3~0.4 m/s,但对中水流量控制不够理想,水流略显分散,工程后航槽左边缘出现少量淤积。

3) 优化方案3: 2.5、3 m 阶梯坝组合。滩段4月份基本不受三峡蓄水影响,寸滩多年平均流量4 600 m³/s,对应设计水位上0.97 m;5月平均流量7 400 m³/s,对应设计水位上3.10 m。全部采用3 m 整治水位,可满足5月冲刷效果,但对于4月大部分流量下整治效果过强,航槽内流速偏大。综合上述两类方案整治效果,在考虑4、5月流量

变化后,将丁坝做成阶梯状。结合坝头2.0、2.5、2.8 m 多组模型试验论证,确定坝体前段采用2.5 m,后段采用3 m。通过增加一级整治建筑物,形成多级整治形式,避免造成整治建筑物作用过强,主航槽流速过大,同时也增强整治工程对中水的控制,以达到兼顾中、低水整治效果的目的。通过反复试验确定顺坝段高程2.5 m,然后从转点按1‰放坡至100 m 处为2.6 m,再按1:3 坡度升至高程3 m,最后按3‰放坡至坝根(图5)。

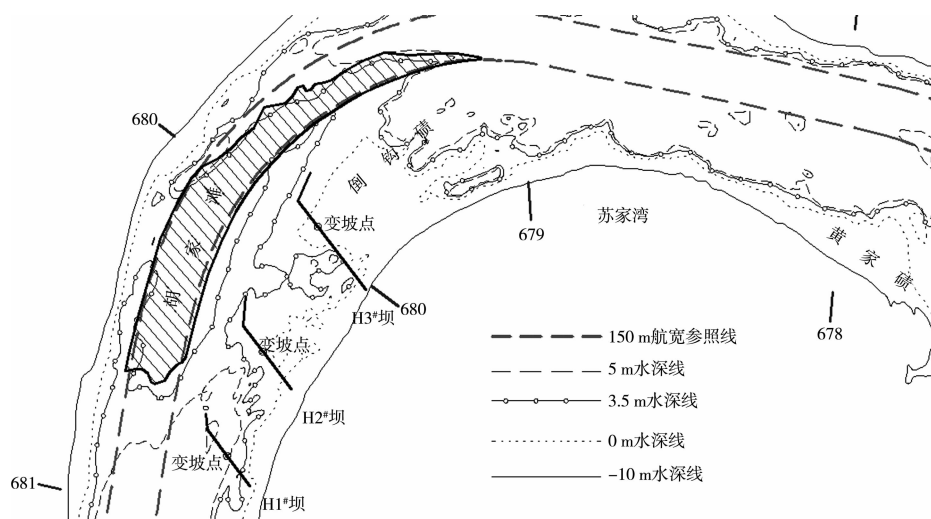


图5 优化方案3平面布置

物理模型试验表明:1) 航槽内最大流速 $v_{\max}$ 、最大比降 $J_{\max}$ 等基本合理,最大消滩指标 $E_{\max}$ 均不超过0.8 m,不会形成新的急滩。2) 中水以下流量,滩段航槽平均流速增值0.2~0.5 m/s,丁坝等整治建筑物控制作用较为合理,能够满足中枯水对应流量。3) 动床系列年试验表明,方案实施后,仅在倒钩碛航槽外有少量回淤,不影响航道尺度。并且坝头冲刷坑深度较整治水位3 m 时略有减小。

通过上述水力特性试验,阶梯坝可以满足中枯流量下航槽的流速分布、工程后的航槽稳定等要求。同时坝做成阶梯后,坝头紊动强度降低,结合丁晶晶^[5]等对台阶式坝面的研究成果,阶梯坝较常规坝面总体可体现出如下优点:1) 对水流流量变化敏感度高,能充分利用中枯水不同流量级进行冲刷;2) 整治建筑物分级布置,避免了枯水时整治强度过大,出现局部大流速和中水控制

较弱的局面;3) 分级布置坝头区域由于降低了坝高,坝头区绕流及紊动强度降低,坝头冲刷坑变浅,坝体损毁程度将减弱,因此可有效降低整治建筑物后期维护工程量和维护费用。

6 结语

1) 胡家滩滩段位于长江上游三峡水库变动回水区上段,受潜碛影响,滩段中、枯水期存在明显的相对低速区,消落期难以集中冲刷航槽,泥沙落淤出浅,形成碍航浅滩。为减小航道维护压力,提高河段航道尺度要求,开展航道整治工程是必要的。

2) 受三峡枢纽调蓄影响,滩段走沙期从枯水期调整为汛后和三峡水库消落期,可冲刷历时缩短。要满足河段新开挖航槽稳定,综合考虑了优良滩段平滩水位法、经验法、造床流量法、消落期流量对应水位法,以枯水造床流量在4月大部分和5月部分冲刷为目标,确定整治水位为设计水位上3 m。

(下转第157页)