

山区河流滩群河段的碍航特征与整治原则分析

赵志舟¹, 赵世强², 许光祥¹

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 重庆西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

摘要: 滩群河段广泛分布于西南山区河流, 与单一滩段的航道整治相比, 多个距离较近滩点形成的滩群, 通航环境复杂, 整治难度更大. 通过对不同山区河流典型滩群的河势特点、碍航特征与整治经验的总结, 归纳了滩群的碍航特征与整治时应遵循的一般原则. 滩群河段的各滩点碍航特征各异, 但滩群河段的主要碍航特征通常与滩群所处的长河段的河势特征有关. 滩群的整治应顺应河势, 注意个滩整治对相邻滩的影响, 着重解决好控制性滩点的整治; 对于沙卵石浅滩群, 应考虑整治后各滩点间的输沙平衡.

关 键 词: 滩群; 碍航特征; 航道整治

中图分类号: U617.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)02-0039-06

我国西南山区河流沿程滩险较多, 部分滩点距离较近形成滩群, 整治难度大, 成为航道整治的重点. 与单一滩段的航道整治相比, 滩群河段的通航环境复杂, 各滩险相互影响, 水流、泥沙运动影响因素多, 整治难度更大^[1]. 目前滩群整治技术的研究多针对某一滩群的整治方案进行^[2-6], 因此有必要对滩群的共性特征、整治应遵守的基本原则与注意事项进行研究.

1 滩群河段的碍航特征

(1) 距离较近滩点组成的滩群河段, 在进行航道整治时各滩整治方案相互影响较大, 多存在牵一发而动全身的关键性滩点. 大雪滩群位于金沙江下游河口段, 河段整体河势较为顺直, 但中段左岸有最宽达 270 m, 长约 550 m 的中坝卵石碛坝边滩, 加之沿岸突嘴、石梁、石盘众多, 致使枯水河槽弯曲, 河宽沿程变化频繁, 河底纵坡局部陡急, 较短河段内分布碛首滩、大雪滩、捞财坝滩和小雪滩等 4 个滩点(图 1).

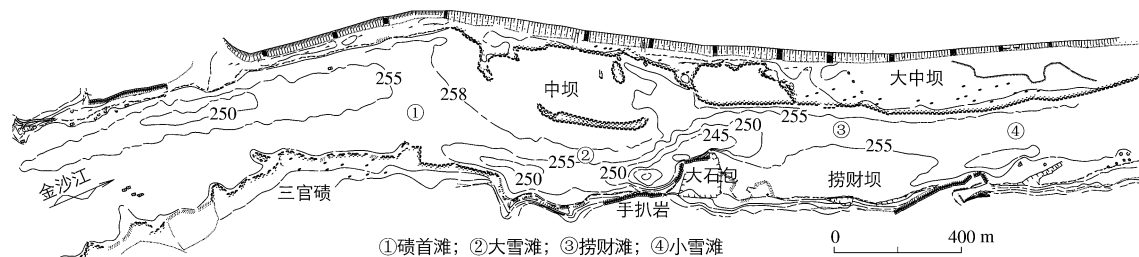


图 1 金沙江大雪滩河段示意图

Fig. 1 Sketch of Daxue shoal reach in the Jinsha River

碛首滩为坡陡、流急、水浅的过渡段枯水卵石浅急滩, 流量 $Q=1\ 250\sim 2\ 547\ \text{m}^3/\text{s}$ 时的枯水期航线比降为 $3.0\%\sim 4.8\%$, 流速达 $3.7\sim 4.2\ \text{m/s}$. 大雪滩为弯急、水乱的弯险滩, 因中坝与大石包相错突出河心而形成急弯航路, 该段枯水最小弯曲半径约 260 m; 上下深槽左右相错形成进口横流, 航线附近横流速度最大可达 $2\ \text{m/s}$, 同时还伴有回流、泡水等不良流态. 捞财坝滩为槽窄、坡陡、流急的枯水卵石急险滩, 因捞财坝浅

收稿日期: 2012-09-14

基金项目: 西部交通建设科技项目(2009328000011)

作者简介: 赵志舟(1971-), 男, 云南大理人, 副教授, 主要从事航道整治研究. E-mail: zhzz2008@163.com

碍引起过水断面不足且水面突然收缩而致,3 m 水深时水面宽约 70 m,无缓流区水域, $Q < 2\,547\text{ m}^3/\text{s}$ 的枯水期航线水面比降达 $3.0\text{‰} \sim 5.7\text{‰}$,相应流速为 $4.2 \sim 4.9\text{ m/s}$,在大石包附近冲坑泡漩强烈.小雪滩主要为流急的中洪水急滩,实测洪水最大流速沿程均超过 4 m/s ,主要因灯杆石、大中坝、青草坝、朝天棒等石梁、高边滩、石盘、礁石等挤占河床而致^[7].

模型试验研究表明,该滩群各滩整治方案的相互影响较大.大雪滩开挖中坝碍翅增加弯曲半径后,为保持航槽的稳定和水流流路基本与航槽曲率相近,需在凹岸布置整治建筑物.该整治建筑物的影响因素较复杂,不仅受本身河段流速比降等水流条件的限制,还受上游碍首滩整治后主流等变化的影响,同时捞财坝、小雪滩整治后该处水流条件发生改变从而需对整治建筑物进行调整.如仅采取捞财坝滩的浅碍疏浚措施以满足该滩点通航水流条件,将引起大雪滩在流量 $1\,250\text{ m}^3/\text{s}$ 时出现 $0.4 \sim 0.5\text{ m}$ 的水位跌落.研究表明:大雪滩碍碍程度最为严重,其整治措施对上下游滩点的影响最为明显,是该滩群河段整治的关键性滩点.

(2)滩群河段各滩点的碍航特征各异,往往皆具浅、急、险等特征;但滩群河段的主要碍航特征通常与滩群所处的长河段河势特征相关.澜沧江绣花滩滩群河段平面特征见图 2,约 3 km 河段内分布有 6 个滩点,各滩碍航特征见表 1.该河段呈现两端窄而长、中间宽而短的平面形态,西瓜滩和无名滩组成的上游窄段枯水河宽一般在 $55 \sim 110\text{ m}$;中间段绣花滩相对宽阔,最宽处约 230 m ;下游窄段勐宋滩枯水河宽一般不超过 75 m .

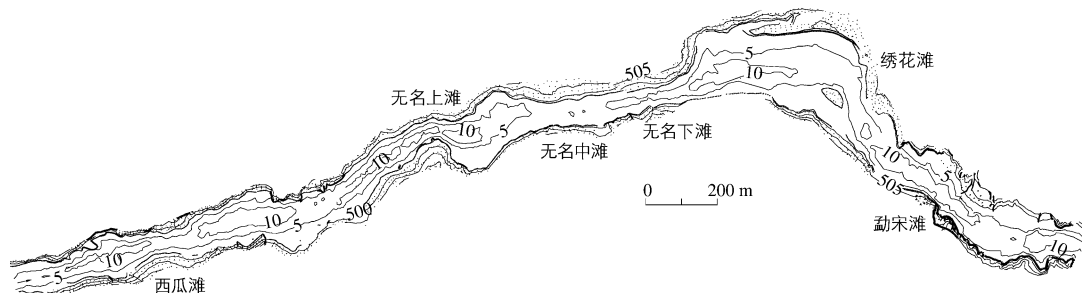


图 2 澜沧江绣花滩滩群河段河势

Fig. 2 Sketch of Xiuhua shoal group reach in the Lancang River

表 1 澜沧江绣花滩滩群碍航特征

Tab. 1 Navigation-obstructing characteristics of Xiuhua shoal group reach in the Lancang River

滩 名	碍航特征	距景洪距离/ km	滩 名	碍航特征	距景洪距离/ km
西瓜滩	常年溪口错口型急流滩	68.1	无名下滩	常年崩岩狭长型急流滩	69.6
无名上滩	中洪水溪口急流滩	68.8	绣花滩	弯曲浅险滩	70.3
无名中滩	石质枯水急流滩	69.3	勐宋滩	溪口中枯水急流滩	71.0

从表 1 可见,澜沧江绣花滩由碍航特征各异的急流滩、浅滩组成.从滩群长河段的河势特征来看,澜沧江西瓜滩至勐宋滩滩群河段中上段,以及出口段为溪堆、崩岩导致的狭窄河段,中间为弯曲放宽段,因此总体碍航特征以急险为主,弯曲放宽段则以弯浅为主^[8].

另外,如乌江郭母子至狮子口滩群位于乌江河口桐麻湾峡与小溪峡之间开阔段,上、下游河段航道较为顺直,中间为中心角约 80° ,弯曲半径 720 m 的冉家沱急弯段,因此滩群碍航特征以浅为主,同时存在急弯段弯曲半径不足、扫湾水碍航的局面.

(3)复杂滩群河段各滩点不同水位期的碍航特征往往差异明显,应进行综合整治.仍以澜沧江绣花滩滩群河段为例,澜沧江代表船型 300 t 华平号船长 46.2 m ,船舶通航消滩水力判数为: $E = \lambda LJ + V^2/(2g)$,其中: λ 为系数; L 为代表船型长度; J 为水面比降; V 为航道表面流速.取 $\lambda = 1.9$ 时,根据经验分析、实船试验、船模试验等方法推求得到的消滩水力指标所对应的 E 值为 1.02 ^[9].计算整治前各滩点水力判数 E 随流量的变化见图 3,可见各急流滩点的碍航特征流量明显不同(表 1),滩群整治时应综合考虑整治措施在不同水位期的整治效果.

(4)少数滩群河段上不同碍航特性滩点的间距相对较近,如金沙江的大雪滩河段仅在7倍洪水河宽长度范围的微弯河段内就分布有4个滩点(图1);多数滩群则是相互影响的各滩点位于较长河段内,如澜沧江西瓜滩至勐宋滩滩群河段(图2)、乌江郭母子至狮子口滩群河段(图4).较长的滩群河段时有桥梁、港口和取水口等分布,滩群整治应考虑其影响.

(5)随着山区河流的梯级开发,有的滩群处于水库变动回水区或者水库下游,滩群的碍航机理更加复杂,大大增加了航道整治的难度.如乌江郭母子至狮子口滩群位于三峡变动回水区的下段(图4),该滩群由郭母子峡口放宽段汉道浅险滩、凉水井至横梁子顺直微弯河段过渡段浅滩、瓦厂坝至狮子口弯曲河段浅险滩等3个滩段、多个滩点组成.与2007年地形相比,2010年郭母子右汉进出口略有淤积;冉家沱弯道处3 m等深线不再贯通,三峡成库运行对该河段的河床演变已产生明显影响.同时,郭母子滩上游约13 km拟建的白马航电枢纽为径流电站,数模计算表明在上游银盘电站下泄最小流量、三峡水库低水位的最不利工况下,郭母子滩段水位将低于设计水位0.36 m^[10],应适当降低右汉浅区疏浚的槽底高程.

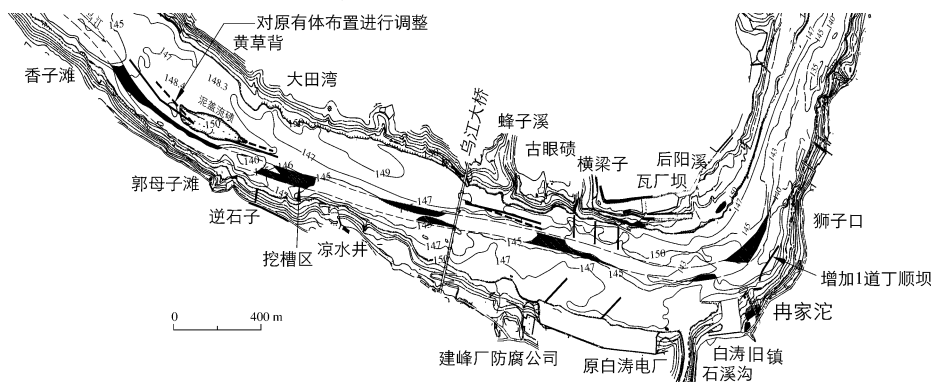


图4 乌江郭母子至狮子口河段整治工程示意图

Fig. 4 Regulation scheme for Guomuzi to Shizikou reach in the Wujiang River

2 滩群整治的一般原则

虽然不同河流各滩群的成滩原因和碍航特性不尽相同,采用的治理方案也有所差别,但总结不同滩群的风势特点、碍航特征与整治经验^[2-8],可归纳出以下滩群整治时应共同遵循的一般原则.

(1)滩群整治是一个系统工程,整治应全面考虑、统筹规划、上下兼顾、注意整治时对相邻滩特别是对上滩的影响,全面考虑滩群河段整治对各滩点整治效果的影响.

(2)应顺应河势,因势利导,全面规划合理航线,进行综合治理.

(3)根据滩群的碍航特征,着重注意解决滩群中控制性滩点的整治.

(4)对于沙卵石浅滩群,应考虑整治后滩群河段输沙能力的一致性和各滩点的输沙平衡.

(5)滩群河段内分布有桥梁、港口和取水设施时,在整治线、规划航线布设时应综合考虑对进港航道、桥区航道和取水口的影响.

(6)当滩群河段上下游有水电站或水库时,应考虑水库运行对滩群整治方案的影响.

3 滩群整治时应注意的问题

(1)滩群的整治应注意个滩整治对相邻滩水位、流速、比降的影响,综合考虑滩群河段的整治效果.特别

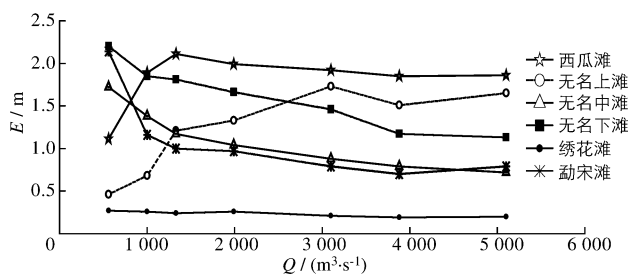


图3 澜沧江绣花滩滩群各滩 E-Q 关系

Fig. 3 Relationships between E and Q of Xiuhua shoal groups

是对于碍航特征以浅、急为主的滩群河段,疏浚或炸礁以增加航深、拓宽航道或扩大泄水面积以减缓流速时,应控制下游滩点整治引起的上游水位跌落.有条件时也可考虑筑坝以壅高上游水位.

红水河十五滩滩段长约 4.5 km,由 10 多个相连的险滩组成(图 5).滩段的上、下游各有一深切河湾,其间河势顺直,但主槽窄深弯曲,滩地宽阔,主槽两边时有暗礁凸出,洲滩上礁石林立.滩上平均比降 1.45‰,局部最大比降 22.0‰,枯水期表面最大流速 5.0 m/s,为石质中枯水汊流型急、险、浅、弯滩险^[11].



图 5 红水河十五滩河势图

Fig. 5 Regime of the Shiwutan shoal reach in the Hongshui River

通过模型试验,优化得到了十五滩兼顾各滩点的整治方案.整治以治险为主,同时需改善急、弯状况.整治措施包括:①规划航槽的平面形态,清理航槽内碍航暗礁,解决了“窄”的问题.②整治前,存在兰刀、牛尾石、龙珠 3 处险段,导致常年发生海损事故.整治后,开辟了排路新航道供船舶下行,从而避开了兰刀险段,同时炸除了牛尾石和龙珠石,清除了暗礁,拓宽了航道,从根本上解决了十五滩“险”的问题.新开排路下行航道,采用复式断面开挖,既避免低水位降水太多、又可改善高水位的流速、流态.③拓宽兰刀、下大潘 2 处窄弯段航槽,增大了弯曲半径,并改善了其流态.④整治前,十五滩存在鱼眼泡、白浪角、兰刀、下大潘、牛尾石、龙珠、洲头角、中肯、横浪、社根共 10 处急流段,在凶滩水位下这些急流段几乎连成一片,形成很长的急流段,导致船舶上行困难.整治后,由于航槽拓宽增大过水断面、以及新开排路航道的分流,大洲以上大部分急流段的流速减缓.十五滩整治对原航线进行了合理调整,并注意整治时对相邻滩特别是对上滩的影响,取得了良好的整治效果^[12].

(2)滩群整治应根据滩群的特征,着重解决滩群中控制性滩点的整治.以澜沧江绣花滩沙卵石滩群河段为例,分析单滩整治与滩群整治之间的关系,确定滩群中控制性滩点及相应整治措施.

①下游勐宋滩为溪口中枯水急流滩,设计流量时急滩的滩情最凶,其水力判数 E 为 2.14 m,船舶上行阻力大.通过切咀可减缓滩口流速,但会引起上游绣花滩水位跌落,因此推荐方案中采取“上疏下抬”的整治措施,在勐宋滩下游深槽右岸建 4#勾头丁坝,以壅高上游水位,同时改善滩下的扫湾水流态.

②绣花滩为弯曲浅险滩,浅区疏浚的同时在左岸筑 1#~3#封弯丁坝,增大弯曲半径,同时可束窄枯水河槽以增加汛后退水冲刷能力.

③无名下滩为常年崩岩狭长型急流滩,设计流量下水力判数 E 值最大为 2.20 m,清除左岸枯水河槽边缘崩岩以增加过水面积.考虑其上游无名中滩枯水滩情最险,应控制水位跌落值,因此考虑尽量减少无名下滩开挖面积,同时将绣花滩的丁坝群纵断面设计为台阶状,可在不同水位期均壅高无名下滩的水位.

④无名中滩主要增加枯水泄水面积,而无名上滩为中洪水溪口急流滩,在中洪水流量下中滩的开挖对上滩的影响相对较小.

⑤应尽量减少无名上滩成滩水位以下的切咀开挖量.西瓜滩为常年急流滩,但枯水流量时 E 值仅接近消滩水力指标,方案引起的上游水位跌落值较小.

上述分析表明,绣花滩滩群河段中的勐宋滩、无名下滩均在设计低流量时滩情最凶,开挖容易引起上游滩险的较大水位跌落,因此整治的重点应为勐宋滩,其次为无名下滩.采取“顺应河势、因势利导、中水控制、低水整治、统筹兼顾”的整治原则,通过挖槽和切咀等措施减缓急滩滩势、针对枯水弯浅险滩绣花滩采取筑坝调整河床形态增加航深,得到的整治方案平面布置见图 6.可见,整治方案实施后该滩群整治效果良好.

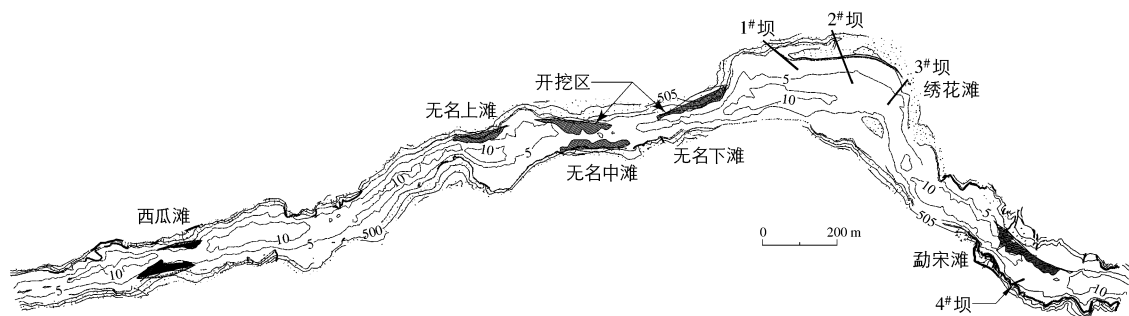


图6 澜沧江绣花滩滩群整治方案示意图

Fig.6 Sketch of the regulation scheme of Xiuhua shoal group reach in the Lancang River

(3)滩群的整治应综合考虑河道的水沙条件和通航条件,以及对滩群河段内进港航道、桥区航道和取水口等的影响,解决上下游航道衔接和航槽稳定的问题。

以乌江郭母子至狮子口河段整治方案为例,综合考虑郭母子左、右汉道与下游两个滩段的航槽的衔接、航槽的稳定性及乌江大桥的通航环境等,选择了郭母子右汉作为通航汉道,保障桥区通航安全(图4)。出口狮子口急弯河段江中有卵石心滩,低水时河道分为两汉,左汉上下游连接过渡平顺,但水深较浅,位于汛期推移质移动路线上,且远离右岸侧码头航道;右汉弯曲半径较小(约180 m),但其与港区航道直接相连;因此将航槽布置在狮子口弯道右汉,开挖心滩加宽航道,增大半径。

(4)应充分考虑上下游电站、水库运行对滩群整治的影响。滩群上下游水库的调度运行,显著改变了滩群河段的来水来沙条件,在下游水库低水位运行、上下游泄流量较小的工况下应分析对滩群河段航深的不利影响。在下泄流量过程变化较大的工况,可能会导致滩群河段急流滩点滩情的进一步恶化,应进行充分论证。

(5)滩群整治一般应通过物理模型试验确定其合理的整治方案。在山区河流边界条件较为复杂的滩群整治中,由于地形复杂,河床断面宽深比较小等特点,水流具有高度的三维性,在确定整治方案时宜采用正态或小变率物理模型进行试验研究。

(6)由于滩群河段滩情复杂,各滩点相互影响,整治效果与预期可能会存在差异,在滩群整治施工期间及完工后,应加强整治效果观测,必要时应进一步采取改善措施。

4 结 语

由距离较近的滩点组成的滩群河段,往往皆具浅、急、险的碍航特征,进行航道整治时各滩整治方案相互影响,整治难度大。虽然不同河流各滩群的成滩原因和碍航特性不尽相同,但治理时均应遵循滩群整治的一般原则。滩群整治应注意个滩整治对相邻滩的影响,着重解决滩群中控制性滩点的整治,顺应河势,因势利导,全面规划合理航线,进行综合治理。

参 考 文 献:

- [1] 长江航道局. 航道手册[M]. 北京:人民交通出版社,2004. (Yangtze River Waterway Bureau. Navigation project handbook [M]. Beijing: The People Communication Press, 2004. (in Chinese))
- [2] 熊锡林. 狮子口滩群的治理[J]. 水运工程, 1994(7): 24-28. (XIONG Xi-Lin. Regulations scheme of Shizikou rapids[J]. Port & Waterway Engineering, 1994(7): 24-28. (in Chinese))
- [3] 邓桂香, 邓伟伟. 乌江羊角碛急流滩群航道整治研究[J]. 水运工程, 1995, 14(2): 77-88. (DENG Gui-xiang, DENG Chuan-wei. A study on regulation of channel located at Yangjiaoji of Wujiang River[J]. Port & Waterway Engineering, 1995, 14(2): 77-88. (in Chinese))
- [4] 张明进, 张华庆. 融江螺滩河段航道整治数学模型研究[J]. 水道港口, 2006, 27(4): 211-216. (ZHANG Ming-jin,

- ZHANG Hua-qin. Study on channel regulation for Rong River by numerical model[J]. Journal of Waterway and Harbour, 2006, 27(4): 211-216. (in Chinese))
- [5] 曹民雄, 蔡国正, 王秀红. 长江上游和尚岩滩群航道整治研究[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 1-8. (CAO Min-xiong, CAI Guo-zheng, WANG Xiu-hong. Waterway regulation of Monk Rock rapids group in the upper reaches of the Yangtze River [J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(3): 1-8. (in Chinese))
- [6] 何进朝, 母德伟. 嘉陵江狗足湾滩整治研究[J]. 水运工程, 2007(6): 83-85. (HE Jin-chao, MU De-wei. Regulation of Gouzuwan Shoal of Jialing River[J]. Port & Waterway Engineering, 2007(6): 83-85. (in Chinese))
- [7] 胡小庆. 金沙江大雪滩群河床演变与滩险碍航特性[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 39-46. (HU Xiao-qing. River channel process and navigation hindering property of the Daxuetan shoals in Jinsha River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(3): 39-46. (in Chinese))
- [8] 杨斌, 许光祥, 刘琪. 澜沧江绣花滩群整治试验研究[J]. 水运工程, 2005, 375(4): 56-61. (YANG Bin, XU Guang-xiang, LIU Qi. Experimental study on Xiuhua shoal group's regulation in Lancang River[J]. Port & Waterway Engineering, 2005, 375(4): 56-61. (in Chinese))
- [9] 童思陈, 许光祥, 邓明文. 内河船舶航行阻力及通航水力指标计算[J]. 水利水运工程学报, 2010(2): 100-106. (TONG Si-chen, XU Guang-xiang, DENG Ming-wen. Calculation of sailing resistance and navigable hydraulic parameters for inland ships [J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(2): 100-106. (in Chinese))
- [10] 文岑. 三峡水库调度及银盘电站下泄非恒定流对白马以下河段复杂滩群航道条件的影响数学模型研究[R]. 重庆: 重庆西南水运工程科学研究所, 2011. (WEN Cen. Mathematical model research on the influencing to the complex shoals group in the Baima downstream reach in the Wujiang River by the operation of Three Gorges Reservoir and the unsteady flow of Yingpan power station[R]. Chongqing: Chongqing Southwest Water Transportation Engineering Institute, 2011. (in Chinese))
- [11] 曹民雄, 陆宏健, 蔡国正, 等. 红水河十五滩滩性分析[J]. 水利水运工程学报, 2005(3): 41-45. (CAO Min-xiong, LU Hong-jian, CAI Guo-zheng, et al. Beach characteristics analysis of Shiwutan in Hongshui River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2005(3): 41-45. (in Chinese))
- [12] 黄伟军, 蔡国正, 曹民雄. 红水河十五滩航道整治[J]. 水道港口, 2006(4): 227-230. (HUANG Wei-jun, CAI Guo-zheng, CAO Min-xiong. Channel regulation of Shiwu Shoal in Hongshui River[J]. Journal of Waterway and Harbour, 2006(4): 227-230. (in Chinese))

Analysis of navigation hindering characteristics and regulation principle of shoal group reaches of mountain rivers

ZHAO Zhi-zhou¹, ZHAO Shi-qiang², XU Guang-xiang¹

(1. River and Ocean Engineering Department of Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
2. Chongqing Southwest Water Transportation Engineering Institute, Chongqing 400016, China)

Abstract: The shoal group reach distributes widely in the southwest mountainous river. Compared with a single shoal reach, the navigation environment of the shoal group reach, which consists of a lot of shoals or rapids sections close to each other, is complex and more difficult to be regulated. By analyzing the sketch features, navigation hindering characteristics and regulation experiences of different shoal group reaches, the navigation hindering features and the general regulation principles which should be followed are summarized. Though the navigation hindering characteristics of each shoal section are different, the characteristics of the shoal group reach are generally associated with the river regime characteristics of the long reach where the shoal group exists. The regulation of the complex shoal group should conform to the river regime, consider the influence of adjacent shoal section, and focus on improving the navigation environment of the controlled shoal section. For sand pebble shoal group, the sediment transport balance of shoal reaches after regulation should be considered too.

Key words: shoal group reach; navigation hindering characteristics; waterway regulation