



滩势转移法在澜沧江急浅滩整治中的应用*

许光祥¹, 陈沁芷¹, 蒋孜伟¹, 童思陈¹, 马超峰²

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 4000741;

2. 澜沧江 244 界碑至临沧港四级航道建设指挥部, 云南 景洪 666100)

摘要: 急浅滩是山区河流常见的滩险类型, 常规整治方法难以奏效, 为此提出滩势转移的整治方法。该方法将原急滩滩势转移为新滩, 形成缓流区等供船舶上行的滩段, 旨在整体达到通航条件。应用河工模型试验研究手段, 以澜沧江曼厅大沙坝河段的无名洲急浅滩为例, 分析滩险特性和成因, 指出扩大泄水断面法等常规整治方法难以整治的根由, 阐明滩势转移法的基本思路、工程布置以及整治效果的分析方法, 得出滩势转移法的适用条件和范围。滩势转移法适用于滩间关联性较强、常规整治方法影响大的滩群整治中, 原滩整治后消滩指数 X_F 不宜过低, 以 0.8~1.0 为宜; 新滩需要较强的束水作用, 但形成的急滩碍航区不能过宽, 需留有上滩适航区。

关键词: 滩势转移法; 急浅滩; 澜沧江; 消滩判据; 上疏下抬

中图分类号: U617; TV133

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)09-0099-06

Application of beach potential transfer method in regulation of Lancang River rapid shoal

XU Guangxiang¹, CHEN Qinzhi¹, JIANG Ziwei¹, TONG Sichen¹, MA Chaofeng²

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China

2. Construction Headquarters of Class IV Waterway from 244 Boundary Monument to Lincang Port in Lancang River, Jinghong 666100, China)

Abstract: Rapid shoal is a common type of beach danger in mountainous rivers, and it is difficult to be effectively regulated by conventional regulation methods, so the regulation method of beach potential transfer is put forward. The method is to transfer the original beach to the new beach, which has conditions to form a slow flow area for ships to go up to achieve overall navigation conditions. Taking the Wuming Beach section in Manting reach of Lancang River as an example, this paper analyzes the rapids characteristics, points out the causes of the difficulty by conventional regulation methods such as expanding the drainage section method, expounds the basic idea, engineering layout and analysis method of regulation effect of the beach potential transfer method, and describes the applicable conditions and scope of the beach potential transfer method. The beach potential transfer method is ideal for regulating beach groups with strong interrelatedness and significant impact from conventional regulation methods. The beach reduction index X_F should not be excessively low after initial regulation, and 0.8—1.0 is suitable. The new shoal requires effective water confinement, but the resulting hazard area must not be excessively wide, ensuring a navigable area for upstream navigation.

Keywords: beach potential transfer method; rapid shoal; Lancang River; rapids abating index; dredging up and uplifting down

急浅滩是指具有急滩和浅滩两种碍航特征的复合型滩险, 在长江、澜沧江、闽江、赣江、北江等山区河流中普遍存在^[1-2]。澜沧江天然河段碍

航滩险中, 急滩或以急为主碍航的滩险居多^[3], 其中大部分也伴有浅的碍航特征。随着沿江社会经济发展和航道等级的提高, 原本仅因急碍航的

收稿日期: 2023-12-10

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFB1600400); 重庆市基础研究与前沿探索项目 (cstc2018jcyjAX0534)

作者简介: 许光祥 (1966—), 男, 博士, 教授, 从事水运工程等研究工作。

滩险，也因航道尺寸的加大变成了急浅滩。

对于只因坡陡流急碍航的急滩，扩大泄水断面是其最基本的整治方法^[4]，当然也是急浅滩整治的基本方法，只是急滩可能只需侧向扩宽，而急浅滩往往还需垂向扩深以增加航深。“上疏下抬”虽然也是急浅滩常用的整治方法，但究其本质仍然属于扩大泄水断面法的一种形式，也就是说在滩口扩宽挖深的同时，还在滩段下游筑坝壅高上游滩段水位，相当于进一步扩大滩段的泄水断面。

然而，对于某些急浅滩，特别是上下游关联性较强的滩群^[5]，本滩断面扩大引起水面降落较大，会明显恶化上游滩险，甚至出现新的碍航滩险，遇此情形，仅靠扩大泄水断面难以达到整治目的。“上疏下抬”的“下抬”为了不形成新的急滩而不能过多束窄河道，壅水效果往往较差，也难以达到整治效果。针对此类急浅滩，基于“上疏下抬”的整治思路，提出滩势转移法，并以澜沧江无名洲急浅滩为例，说明该整治方法的应用。

1 澜沧江无名洲滩段概况

无名洲滩地处澜沧江著名宽浅沙坝曼厅大沙坝河段上端，位于景洪电站大坝下游(简称“坝下”)

约 33.9 km、勐罕渡口下游约 1.6 km (图 1)。

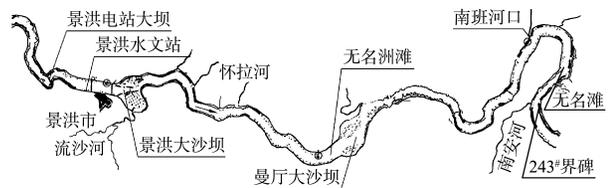


图 1 澜沧江无名洲滩位置

如图 2 所示，澜沧江无名洲滩段左侧为已建丁坝群构成的宽大无名洲边滩，右侧为主河槽，枯水河槽弯曲，中洪水河槽基本顺直。河段处于中洪水放宽段，中洪水河宽从进口的 260 m 逐渐放宽到中部的 550 m，放宽率超过 2.0；受已建整治建筑物控制，枯水河宽沿程变化不明显，范围为 120~200 m，河床基本为沙卵石组成。

从图 2 的设计流量水深分布 ($Q=800\text{ m}^3/\text{s}$ 、无名洲浅段水位 521.51~520.02 m，1985 国家高程) 可以看出， $W_1\sim W_3$ 坝之间的无名洲浅段设计航槽内 2.5 m 水深线不贯通，几乎全航槽水深均小于 2.5 m (图 3)，不满足澜沧江 244 界碑—临沧港 IV 级航道建设工程对航道尺寸 2.5 m×50 m×330 m (航深×航宽×弯曲半径) 的要求，需要整治。

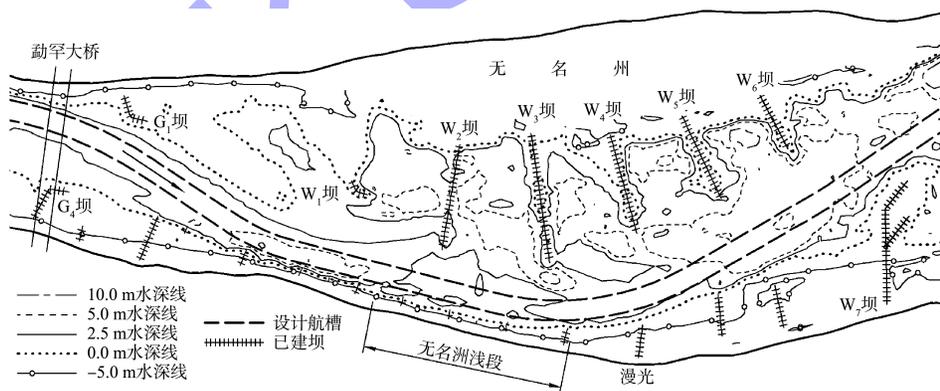


图 2 澜沧江无名洲滩水深分布

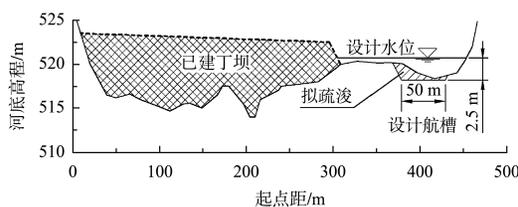


图 3 澜沧江无名洲滩典型断面

2 研究方法

曼厅大沙坝滩段是澜沧江著名的宽浅河段，是包括无名洲滩等多个滩段组成的滩群河段(图 4)，历来是澜沧江滩险复杂、碍航严重的复杂河段^[6]，也是澜沧江 244 界碑—临沧港 IV 级航道建设工程的关键性控制河段。

为了研究澜沧江曼厅大沙坝河段航道整治措施, 建成平面比尺 $\lambda_L = 120$ 、垂直比尺 $\lambda_H = 60$ 、变率 $h=2$ 的变态河工模型, 模型平面布置见图 4。根据中、枯水实测水位、流速、浮标等验证, 达到河工模型相似要求^[7]。无名洲滩位于曼厅大沙坝河段的进口, 是项目研究的重要组成部分。试验主要流量工况见表 1。

表 1 试验主要流量工况

流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	三道拐站水位/m	备注
800	515.05	设计流量(保证率 $P=98\%$)
1 000	515.66	枯水流量($P=75\%$)
1 300	516.61	中偏枯流量($P=54\%$)
1 620	517.62	多年平均流量($P=34\%$)

注: 统计时段为 2013—2022 年糯扎渡、景洪两枢纽同时运行的年份。

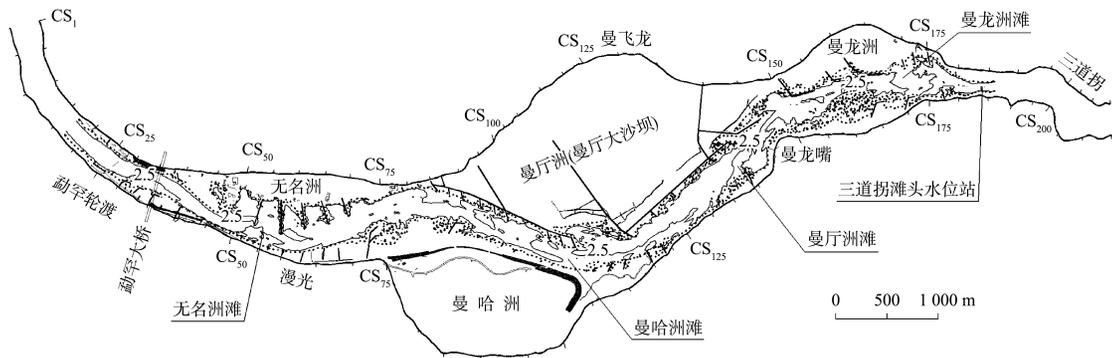


图 4 澜沧江曼厅大沙坝模型平面布置

3 滩险特性及成因

3.1 急滩判据

水深分布仅能表明无名洲为航道尺度不足的

浅滩, 是否为急滩需通过试验获取水流条件判定。

根据IV级航道工程前期专题研究成果, 500 吨级设计代表船舶自航上滩的水力指标即消滩指标见表 2^[8]。

表 2 500 吨级代表船型消滩指标

比降 $J/\%$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
流速 $u/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	4.40	4.25	4.10	3.95	3.80	3.65	3.50	3.35	3.20

为分析比较和判断方便, 可以采用推力分配的思路, 将 u 、 J 进行拟合可以得到一个无因次表达式:

$$4.5 \frac{u^2}{gV^{1/3}} + 59.5J = 1 \quad (1)$$

式中: V 为船舶体积排水量, 设计代表船型 $V=680 \text{ m}^3$; g 为重力加速度, $g=9.81 \text{ m/s}^2$ 。式(1)的物理意义为在船舶临界受力状态下, 将主机提供的推力看作 1, 左边的第 1、2 项分别表达了水流阻力、坡降阻力在船舶推力中的比例分配, 故称式(1)为推力分配式消滩判据^[9]。

对于滩段实际流速 u_i 、比降 J_i , 其消滩指数 X_F 可表达为:

$$X_F = 4.5 \frac{u_i^2}{gV^{1/3}} + 59.5J_i \quad (2)$$

则急滩判据为: $X_F > 1$ 为成滩, $X_F < 1$ 为消滩。

3.2 急滩判定

根据试验成果分析, 无名洲滩段设计航槽内最大流速 $u_{\max} = 4.12 \text{ m/s}$, 最大比降 $J_{\max} = 4.46\%$, 其沿程最大消滩指数 $X_{F,\max}$ 分布见图 5。可以看出, 在无名洲浅段 $Q=1\ 000 \sim 1\ 620 \text{ m}^3/\text{s}$ 时出现 $X_{F,\max} > 1$ 的河段(最大 1.04), 船舶难以自航上行, 成为急滩。结合滩段航道水深、河床组成等, 无名洲滩险特性综合为沙卵石中枯水急浅滩, 需重点考虑中枯水流量。

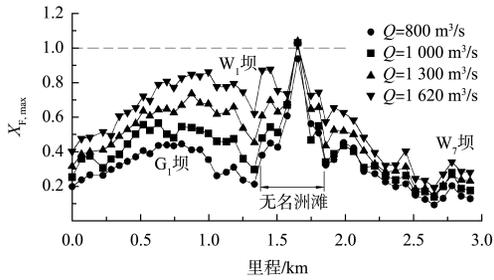


图5 整治前无名洲滩段消滩指数 $X_{F,max}$ 沿程变化

3.3 滩险成因

无名洲滩原本不是碍航滩段，由于近几年下游出现大范围、大幅度的非自然河床展宽和下切，导致滩段枯水水位降落约 2.3 m，加之滩段河床由粗砂组成、两岸边界控制性较强，无法自动调整，故形成了水浅、流急、坡陡的中枯水急浅滩。

4 整治方案优化研究

4.1 扩大泄水断面法

如图 6 所示，扩大泄水断面法共布置 3 个开挖方案。方案 1 设计航槽 50 m 内开挖，挖深 2.5 m (设计水位下)；方案 2 挖宽相同，但挖深 3.0 m；方案 3 上段挖宽 65 m、挖深 3.5 m，下段挖宽 55 m、挖深 3.0 m，采用复式开挖，旨在满足通航条件时减少水面降落。

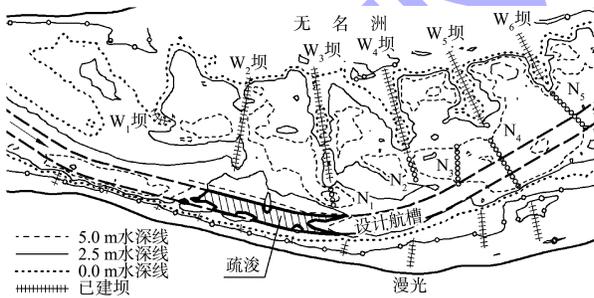


图6 整治优化方案平面布置

如图 7 所示，3 个方案设计水位降落十分明显，方案 1~3 最大水面降落分别达 0.33、0.72、0.93 m，测算工程后航槽最小水深分别为 2.17、2.28、2.53 m，可以看出只有方案 3 基本满足设计航深要求，但上游 G_1 坝段已显航深不足，不宜再扩大开挖。

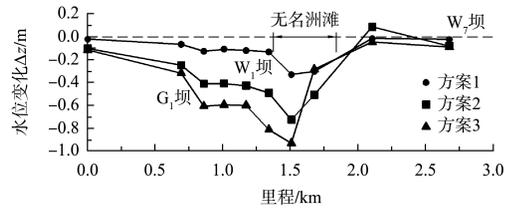


图7 扩大泄水断面法的沿程水位变化

图 8 为 3 个方案沿程最大消滩指数的分布，可以看出各方案均出现 $X_{F,max} > 1$ 的情况，表明仍存在急滩碍航。不同方案出现最大消滩指数的流量不一致，但均出现在浅段中部，方案 1~3 航槽内 u_{max} 分别达 4.61、4.44、4.52 m/s，最大 J_{max} 分别为 4.90‰、3.39‰、2.70‰， $X_{F,max}$ 分别为 1.38、1.19、1.14。

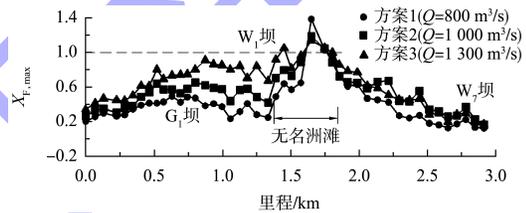


图8 扩大泄水断面法 $X_{F,max}$ 沿程变化

由此可见，扩大泄水断面不仅引起显著的水面降落，还恶化了急滩滩势，仅靠扩大泄水断面难以达到整治效果，且因航槽较窄无法形成可供上行的缓流区。

4.2 下游筑坝壅水法

下游筑坝壅水法仅在滩段下游筑坝，而不开挖滩段，希望通过筑坝壅水达到增加航深的目的。工程布置 $N_1 \sim N_5$ 共 5 条潜坝 (图 6)，为了不影响通航，航槽内及其附近 20 m 内坝顶高程设为 -4.0 m (设计水位为零点)，其余部位坝顶高程为 -3.0 m。

图 9 为下游筑坝壅水法的壅水效果，最大壅高仅 0.08 m，且壅水衰减较快，壅水后最小水深仅约 0.2 m， $N_3 \sim N_5$ 潜坝基本没有作用，壅水效果很差。由此可见，仅靠滩下壅水措施达不到整治目的。

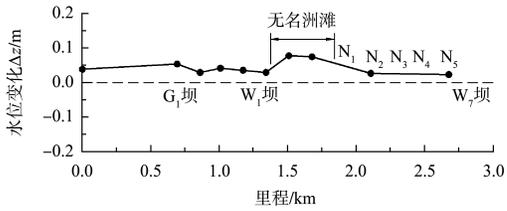


图9 下游筑坝壅水法壅水效果 ($Q=800 \text{ m}^3/\text{s}$)

4.3 常规“上疏下抬”法

常规的“上疏下抬”整治方法是将上述2种方法进行结合,为了不因下游筑坝形成新的滩险,束水、壅水作用不会太强。从前面的分析明显可见,常规的“上疏下抬”法根本起不到整治效果。

4.4 滩势转移法

4.4.1 基本思路

滩势转移法的基本思路仍来源于“上疏下抬”法,即增大“下抬”整治建筑物的束水作用以形成新的急滩,从而较大地壅高上游滩段的水位,继而消除上游滩势。“下抬”之处虽然会形成新的急滩,但因地形特殊、河面比上游滩段宽,存在缓流区供船舶上行。此法相当于将上游滩势向下转移,故称其为滩势转移法。

4.4.2 工程布置

针对澜沧江无名洲急浅滩整治工程,滩势转移法的平面布置见图10。工程主要包括上游滩段的开挖和下游筑坝束水:上游滩段采用方案3的开挖方案,下游修筑1座复式坝 N_1 (丁坝高程 0 m +潜坝高程 -3.0 m)和1座丁坝 N_2 (高程 0 m)。在确定 N_2 丁坝位置之前进行敏感性试验,只有当 N_2 丁坝束窄至枯水河宽约 120 m 时,上游滩段才有明显的壅水效果。

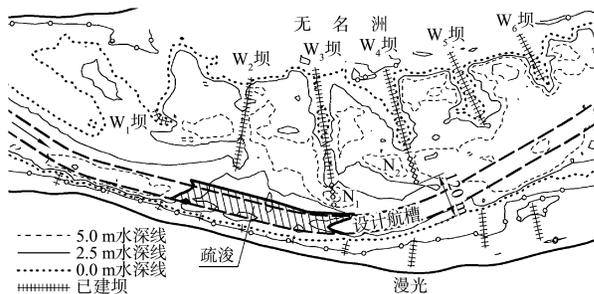


图10 滩势转移法工程平面布置

4.4.3 整治效果

首先分析水位的变化, N_2 丁坝的壅水效果较明显,壅高值约 0.23 m (图11),再加上 N_1 复式坝的壅水作用,无名洲浅段的水面降落从方案3的 0.93 m 减少为 0.69 m ,浅段最小水深为 2.81 m ,满足 2.5 m 的设计航深要求且有一定富余。

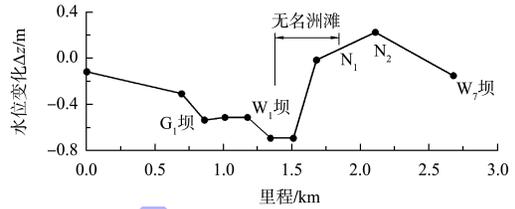
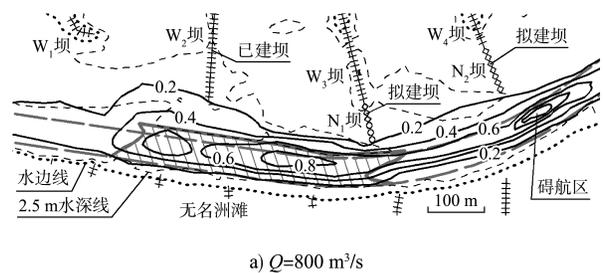
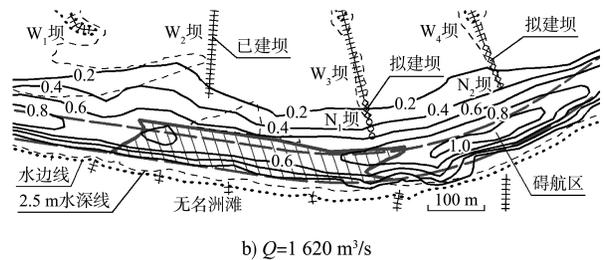


图11 滩势转移法的水位变化 ($Q=800 \text{ m}^3/\text{s}$)

再分析通航水流条件,图12为典型流量的 X_F 平面分布(为了分析适航区,采用消滩指数平面分布的形式表达,适航区指 $X_F < 1$ 、水深 $> 2.5 \text{ m}$ 的水域)。可以看出,通过新建 N_1 坝、 N_2 坝的壅水,无名洲滩段碍航区 ($X_F > 1$ 的水域)已经消失,但 N_2 坝段束水过强,形成了新的碍航区,即将上游滩段的滩势转移到了 N_2 坝段。不过 N_2 坝处于弯道,其左侧存在不小于 45 m 宽的适航区,可供船舶抱碇上行。由此可见,采用滩势转移法对无名洲滩进行整治,基本能达到整治目的。



a) $Q=800 \text{ m}^3/\text{s}$



b) $Q=1620 \text{ m}^3/\text{s}$

图12 滩势转移法 X_F 等值线 (单位: m)

5 滩势转移法的适用条件

滩势转移法是主要针对急滩、急浅滩等的一种整治方法，其基本适用条件为：

1) 原滩情况。滩势转移法虽然使得既有滩险得到整治，但毕竟要形成新的滩段，所以一般在采用扩大泄水断面、上疏下抬、扩展缓流区等常规方法难以奏效时采用。

2) 筑坝位置特征。滩势转移法上游滩段需开挖，滩下需筑坝壅水。筑坝位置一般选在原滩下游，尽量靠近滩尾以增加壅水效果。筑坝处需要有形成适航区的特殊地形和水流条件，如具有凸岸缓流区的弯道、能形成缓流区的凸嘴或扩宽段等，必要时可通过工程措施形成适航区。

3) 整治程度。整治后原滩的消滩指数不宜降得过低， X_F 在 0.8~1.0 范围为宜，以免筑坝处滩势过强，影响整体通航。

4) 滩势转移后需要控制新滩的影响范围。向上一般需要壅水到原滩滩头；下游影响范围不是主要控制因素，因为其主要处于丁坝束水后的扩散段；对于侧向上滩适航区一侧的影响范围，需严格控制急滩碍航区的大小，因为需要留足上滩适航区的范围。

6 结语

1) 滩势转移法主要针对采用常规方法难以整治的急滩类滩险，将上游滩险的急滩滩势转移到滩下附近，而滩下又有条件形成缓流区等供船舶上行，整体上达到满足通航条件的目的。

2) 滩势转移法基本思路来源于“上疏下抬”

的整治方法，上游滩段扩大泄水断面减缓水流，滩下修筑丁坝壅高上游水位，而所筑丁坝一般束水较强，筑坝处通常需要形成新的急滩滩势才能使上游消滩。

3) 为避免形成的新滩滩势过强，整治后上游滩险的消滩指数不宜降得过低， X_F 在 0.8~1.0 范围为宜，筑坝位置需有或可采取工程措施形成的适航区。同时需要严格控制新滩的急滩碍航区范围，以留足上滩适航区的范围。

参考文献：

[1] 长江航道局. 川江航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[2] 长江航道局. 航道工程手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[3] 许光祥, 邓明文, 童思陈, 等. 急滩通航水力工程学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[4] 徐金环. 航道整治[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

[5] 赖璠. 澜沧江强关联急险滩群整治研究: 以澜沧江曼丙滩群为例[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2019.

[6] 疏玉清, 许光祥, 童思陈. 澜沧江曼厅水道整治试验研究[J]. 重庆交通学院学报, 1997, 16(3): 13-19.

[7] 许光祥. 澜沧江 244 界碑至临沧港四级航道建设工程生态航道复杂河段优化物理模型研究报告[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.

[8] 许光祥, 童思陈. 澜沧江 244 界碑至临沧港四级航道建设工程 500 吨级船舶急滩通航水力指标研究[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2017.

[9] 蒋孜伟. 山区船舶推进特性及消滩水力指标研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.

(本文编辑 王传瑜)



(上接第 98 页)

[10] 母德伟, 王永强, 李学明, 等. 向家坝日调节非恒定流对下游航运条件影响研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2014, 46(6): 71-77.

[11] 王志力, 陆永军. 向家坝水利枢纽下泄非恒定流的数值模拟[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(3): 12-15.

[12] 曹民雄, 马爱兴, 胡金义. 电站日调节非恒定流对航道整治效果的影响[J]. 水利水运工程学报, 2011(3): 10-17.

[13] 曹民雄, 庞雪松, 王秀红, 等. 向家坝水电站下游非恒

定水沙特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2011(1): 28-34.

[14] 蔡新永, 蔡汝哲, 李晓飏, 等. 向家坝非恒定流对航道通航条件影响的试验研究[J]. 水运工程, 2017(2): 77-82.

[15] 顾莉, 王立杰, 周小飞, 等. 向家坝水电站切机非恒定流对干流航运影响研究[J]. 水力发电, 2021, 47(1): 107-110.

(本文编辑 赵娟)