



长江上游急流滩整治思路分析

曾涛^{1,2}, 张文³, 张晓琴⁴

(1. 重庆交通大学, 重庆 400074; 2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147;
3. 长江宜宾航道局, 四川 宜宾 644002; 4. 重庆市工程建设招标投标交易中心, 重庆 400014)

摘要: 长江上游以滩多、礁险、流急、水乱著称, 在长达1 000余km范围内有200多个碍航滩险。急流滩在长江上游航道中虽不是最多的碍航滩险, 但有急流滩的位置通常都会成为卡口或控制河段。近年来对长江上游多个急流滩险实施了治理, 取得了显著的成果。对典型急流滩险的碍航特征和整治思路进行总结, 以期为今后长江及其他大型山区河流急流滩险航道治理提供参考。

关键词: 长江上游; 急流滩险; 碍航特性; 航道整治

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0128-06

Regulation idea of rapids reach in upper Yangtze River

ZENG Tao^{1,2}, ZHANG Wen³, ZHANG Xiao-qin⁴

(1. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Changjiang Chongqing Harbor Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China; 3. Changjiang Yibin Waterway Bureau, Yinbin 644002, China;
4. Construction Project Bidding and Bid Trading Center of Chongqing, Chongqing 400014, China)

Abstract: There are more than navigation-obstructing rapids within the 100 meters scope of the upper Yangtze River. Although rapids reaches are not the most navigation-obstructing ones, reaches with rapids usually tend to be the bottle neck or control reach. In the recent years, regulations have been carried out to many rapids on the upper Yangtze River and remarkable achievements have been achieved. This paper summarizes the navigation-obstructing features and regulation ideas for typical rapids, hoping to provide reference for rapids regulation in mountainous rivers.

Key words: upper Yangtze River; rapids reach; navigation-obstructing characteristics; waterway regulation

长江上游属大型山区河流, 20世纪50年代前本河段航道基本处于天然状态, 滩多流急, 素有天险之称, 船舶航行十分困难。从20世纪50年代开始本河段陆续进行了航道整治, 大致可以分成4个阶段^[1]。第一阶段: 1953—1965年, 重点整治宜渝段碍航滩险和困难标位; 第二阶段: 1966—1982年, 通过总结前阶段航道治理工程经验、研究规律全面发展长江航道整治技术; 第三阶段: 1982—2000年, 完成鸡扒子抢险、兰叙段、渝兰段整治工程, 航道整治技术日趋成熟; 第四

阶段: 2000年至今, 长江上游陆续完成了泸渝段, 叙泸段一期、二期以及多处炸礁、疏浚航道治理工程, 工程规模和技术上都得到飞速发展。目前长江上游宜宾至重庆河段全面达到Ⅲ级航道按照2.7 m×50 m×560 m(水深×航宽×弯曲半径)进行维护, 长江上游重庆以下河段在三峡工程175 m蓄水后, 航道条件也得以明显改善, 目前按照Ⅱ级航道3.5m×150×950 m维护, 航道通过能力大大提升。

据初步统计, 长江上游河段在长1 000余km的

收稿日期: 2013-04-01

作者简介: 曾涛(1981—), 男, 工程师, 从事港口与航道工程科研及设计工作。

范围内有各类滩险210处之多,其中主要以急流碍航的滩险有50处之多,占滩险总数的23.8%^[2]。三峡水库蓄水运行以后,库区约20处急流滩为回水淹没,碍航情况得以消除或改善。近年通过一系列航道整治措施,本河段大部分急流滩碍航问题得到明显改善,但随着长江上游航道通过能力和维护等级的不断提高,急流滩碍航治理将会重新成为解决航道卡口和控制河段的关键性问题。

1 急流滩滩性分析

1.1 急流滩的成因

长江上游各类急流滩都有一个共同的特点,就是滩段过水断面面积小,水流又无法自行将其调整扩大,因而形成水流急比降陡的急滩。过水断面小的主要原因有^[3]:1)河岸边有石梁、突嘴从一岸或两岸伸向江中,河道宽度大幅度收缩。河道两岸狭窄河底又有石埂隆起也属于这种情况。2)在洪水期或山洪暴发时大量块石、卵石被水流携带在宽浅河段急速落淤,镶嵌紧密,压缩过水断面形成卵石急流滩。3)崩岩或滑坡等地质灾害,通常会造大量崩塌物进入主河道,压缩过水断面,在河心形成拦门坎,严重时可能会阻断航道。

1.2 急流滩的分类

按成因可将急流滩分为基岩急流滩、卵石急流滩、崩岸急流滩、溪口急流滩等。按照河段形态可将急流滩分为突嘴型急流滩、峡谷型急流滩、潜埂型急流滩等。按照急流滩成滩时间可分为洪水急流滩、中水急流滩和枯水急流滩^[4]。

1.3 急流滩的水流特征

急流滩一般河床质较稳定,主要是河床形态控制着水流形态,急滩的基本水流特征为比降陡,流速大。急流滩的水流可分为3个特征分段^[5],上游缓流段、中部急流段和下段乱流区。缓流段主要是受下游收缩河段壅水影响,急流段断面缩小流速急剧增大,乱流段河面突然放宽形成回流、泡旋、乱水。各种类型急流滩的水流特征总体一致,但也存在各自特征,潜埂型急滩的断面形态,以垂向收缩为主,侧向收缩不一定很明显,峡谷急流滩虽然也是侧向收缩为主,但其收缩强

度远远大于对口急流滩。

各种类型的急流滩总体的水流形态和成滩规律基本相当:过水断面收缩越剧烈,成滩后流速越大,比降越陡。尤其要提的潜埂急流滩类似于宽顶堰,往往是水位越低,比降愈陡,滩势愈汹。

2 急流滩的碍航特性分析

根据历史统计资料^[1],长江上游早期多个急流滩每年均需停航4~5次,每次3~8d,等待急流滩险水势变好后再次通航,俗称“扎水”。限制了船舶的载重量和航行周期。三峡库区原有部分急流滩洪水期需减载50%以上,借助顶船完成上水。

急流滩的碍航特性主要包括流态碍航以及河床地形的突然变化,如礁石、突嘴等。上下水时易被水流推向一边造成海损事故^[6]。当急流滩下回流泡旋强烈时,上行船舶出乱流区进入急流段时,船首受斜流和主流冲压,船尾受回流泡旋作用,易使水动力旋转力矩大于转舵力矩,船舶操作失灵,倾侧上浪或掉头下移,俗称“打张”,下行船舶船头进入回流或泡旋水域突然受阻,船尾在急流段受急流冲击,船体打横或冲向岸边礁石区,俗称“打钺”。

急流滩碍航流态主要分为以下几种:

剪刀水是石质急流滩最常见的流态^[7],因滩口处平面上存在收缩,水流流经滩口时逐渐向下游收缩成一束,水波纹的平面形态上如同剪刀,故称剪刀水。船舶上行难以克服大流速自航上滩,船舶下行乱水丛生无法保持自身平衡。

水流由水位较高处猛跌落至下游,其间水面和河底坡度变化很大的水流流态称之为跌水。跌水急流滩上游一般水面比降较小,甚至还会出现倒比降,俗称“奎水”,但过滩口后,水面比降急剧下降,流速很大。

回流或泡漩水常伴随剪刀水而生,其下是卷浪或波状水跃。强度较小的回流或泡漩水可以作为船舶上滩前调整船位的场所,但强度较大时只能利用其与主流间的二元水流。强度较大的卷浪和波状水跃将引起船舶的颠簸,易使拖驳船队断缆。

滑梁水常见于溢过的石梁或暗礁斜交主流时的横流。船舶经过伴随横流发生的跌水急滩时,

需十分小心，船舶易被推向岸边触礁碰岸，或被滑梁水带至障碍物顶上搁浅、碰撞，发生海损事故。

在弯曲河段或分汊河段的急流滩中，往往剪刀水或跌水下游紧跟着扫弯水，产生强烈单向环流沿凹岸滚动，流态紊乱。行船如果“抱碛”（指船舶利用边滩或碛坝边缘缓流水域通航的航行方式）不稳则易被扫弯水带向岸边触礁或翻船，上水船沿凸岸下游缓流而行时，亦可能被泡漩推入扫弯水区而发生海损^[8-9]。

3 急流滩的整治思路分析

急流滩碍航出现的主要原因为河道泄水断面

缩小所致，故其基本整治方向为扩大过水断面，减缓流速和减小比降^[10]。主要整治思路为：扩大泄水断面、构成错口滩型、拓宽缓流航道。扩大滩口泄水断面，平顺河床、调整比降，改善水流条件，使船舶能够自航上滩。将对口滩型构成错口滩型会将两岸突嘴的缓流区和急流区相应错开，给船舶利用两岸的缓流区上行创造条件。拓宽缓流航道是利用表面流速受河床边界和主流偏向的影响，而出现不均匀分布的规律，有时河道一岸的流速较小，适合船舶航行，但宽度不能船舶航行要求，这就需要通过整治进一步减缓流速扩大缓流区的宽度。针对不同的急流滩具体整治措施见表1。

表1 不同急流滩型的主要整治思路

急流滩特征	主要碍航问题	整治思路
大部分急流滩	流速大、比降陡	扩大卡口断面
突嘴较多河段	流速大、流态差	构建错口滩型搭跳上滩
分汊、弯道或滩地较宽河段	流急、水浅、横流明显	开槽分流或开辟航道
峡谷急流，两岸高山	流速比降大，两岸陡峭	拓宽缓流航道
滩尾或滩尾以下水深不大	流速大、比降陡	分级筑坝、减缓比降、流速
崩岸、滑坡急流滩	航槽挤压，流急水乱	开挖、疏导航道
溪口急流滩	溪沟来石阻塞航道	溪内拦石、溪口改道

4 长江上游急流滩整治实例

长江上游急流滩众多，碍航问题突出，急流滩整治历史由来已久，积累的大量的经验。本文选取长江上游典型急流滩整治实例并结合整治效果对积累的经验进行分析。主要选取分析对象及分析如下。

4.1 青石洞滩

青石洞滩（图1）位于长江上游航道里程155.6 km（起点为宜昌港9码头，下同），为典型错口突嘴型洪水急流滩。其上下游均为顺直的峡谷河段，水深岸陡，滩段正处于巫山十二峰弯道的凸岸。左岸裤套子突嘴与右岸凤凰嘴突嘴对峙，凤凰嘴突嘴上游横流强烈，下游泡漩丛生，水梗发育。当地水位27 m成滩，愈高愈汹，成滩最大流速5 m/s。船队经过要施绞过滩，行船极不安全。

1984—1985年炸除左岸突出，增加错口长度，使水梗上移，滩势好转，船舶可沿缓流上行，1985年施工完成后撤销了绞滩站。三峡工程

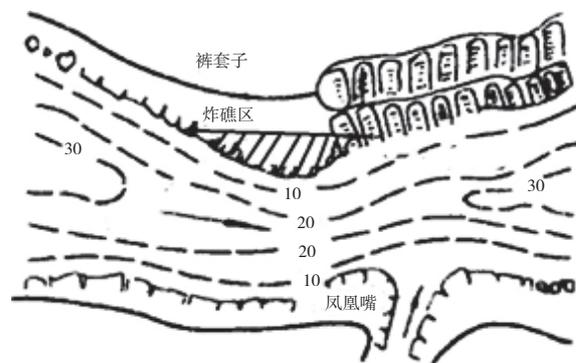


图1 青石洞河势及方案

成库以后，本滩已被淹没，滩势彻底好转。

4.2 喇叭滩

喇叭滩(图2)位于长江上游航道里程230.8 km，为溪口砂卵石滩，两岸溪口斜向对峙，束窄江床，形成中枯水急流滩。当地水位9 m以下成滩，5~7 m最汹，最大表面流速4.7 m/s，右碛沱坝内回流旺盛，左碛沱坝外水流急乱。洪水时，下水船由于避让右碛浅区，极易陷入左碛坝内回流，导致“打戗”事故。上水船舶则循右岸缓流至滩下转至左碛边上滩，打不上时即需缴滩。

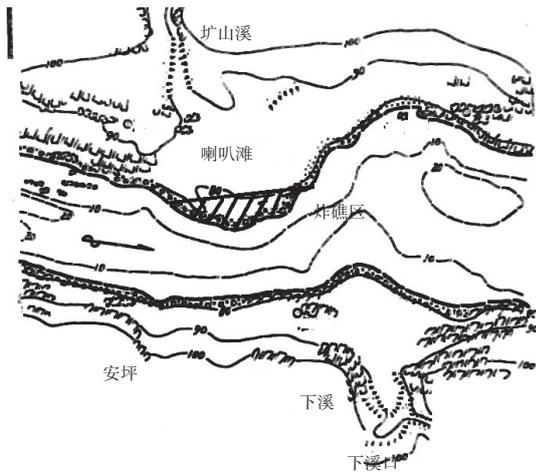


图2 喇叭滩河势及方案

20世纪50年代,多次捡滩改善航道条件,均短期回淤再次碍航。1978—1985年,炸除喇叭滩突嘴,在左岸扩溪沟内筑拦石坝两道,右岸下溪口人工改道。工程实施后,喇叭滩未持续生长,挑流作用减弱,下口改道后回流范围减小,滩势得以改善。三峡工程成库以后,本滩已被淹没,滩势彻底好转。

4.3 鸡扒子滩

鸡扒子滩(图3)位于长江上游航道里程270.5 km,属滑坡急流滩。1982年夏,由于连续降雨,石板坡古滑坡体产生推移式顺层滑坡。滑坡量达1 500万³,约有230万³滑入鸡扒子河段洪水水位以下,形成滑坡急流滩。最大表面流速超过7 m/s,比降超过10‰,川江断航。

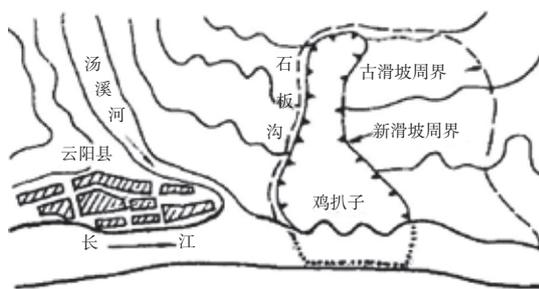


图3 鸡扒子河势及治理措施

鸡扒子滑坡体整治分为治坡和治江两期实施,1982—1983年实施治坡工程,扩大断面改缓滩势、减少水梗、构成错口配合绞滩保证川江通航;1983—1986年经过模型试验配合船模试验,治江工程为扩大断面及岸坡稳定处理。第一期实施后滩面最大流速下降至5 m/s,最大比降5‰;第

二期实施后滩面最大流速3 m/s,最大比降4‰,水流比降达到消滩指标,流态大为改善,撤销绞滩站,完全恢复船舶正常航行,三峡成库后淹没。

4.4 观音滩

观音滩(图4)位于长江上游航道里程488.5 km,为双对口型洪水急流滩。左岸有观音梁、大佛面两大石盘伸入江中,与右岸的黑石背、鹭鸶背两两对峙,当地水位10 m成滩,14 m最汹,最大表面流速5.7 m/s,上滩口发育水梗,上下口之间泡漩汹涌并向两岸滚压,每年均需多次扎水待航。

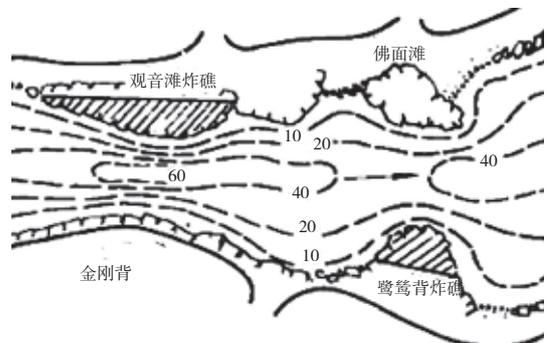


图4 观音滩河势及治理措施

20世纪60—70年代多次对鹭鸶背礁石实施炸礁,减小对口之间的泡漩乱流,船舶可沿观音梁前的缓流区靠岸边上行。工程实施后下口已不在需要绞滩。上口绞滩安全性提高。1998年至1999年炸低观音滩,炸礁结构形式为变坡错台结构。整治后最大流速有5.07 m/s减小为2.06 m/s,纵比降0.13‰,下口绞滩撤消,上口绞滩时间缩短。三峡成库后滩势改善,当汛期坝前水位145m时,流速略大。

4.5 铜锣峡滩

铜锣峡滩(图5)位于长江上游航道里程643 km,为一“哑铃”型峡谷河段,中部峡谷区长约2.5km,上游进口为约90°急转弯河段。河道两岸基岩突嘴参差不齐,左岸中段以大磨石、小磨石最为突出,右岸进口处的鸡公嘴、中段的搬针背和出口处的商王石伸出岸边较长。中、洪水期唐家沱内形成大范围回流区。右岸鸡公嘴突嘴,左岸大小磨石突嘴及下游右岸商王石挑流,水流泡漩、滑梁水丛生,流速、比降大,行船危险。

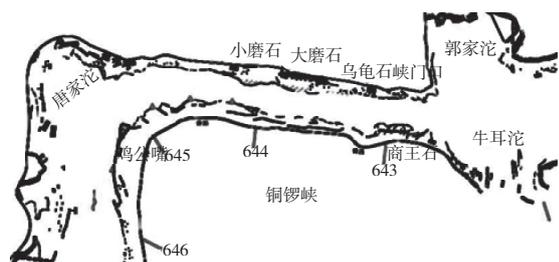


图5 铜锣峡河势及方案

2008年铜娄段炸礁工程对本滩搬针背、大小磨石、鸡公嘴、商王石礁石实施炸除，切除鸡公嘴、大小磨石突嘴，炸低商王石，扩大过流断面。改善流态，扩大通航尺度。整治后挑流礁石减少，洪水期大部分时间船舶能顺利沿两岸环流区上行，泡漩水、滑梁水减少，目前按照150 m航宽核查仍有大小磨石，乌龟石碍航。

4.6 大吉脑滩

大吉脑滩（图6）位于长江上游航道里程795.5 km，为对口型洪水急流滩，左岸大吉脑和右岸鱼子石梁对峙，使河床断面缩窄，当地水位10 m成滩，水位愈高滩势愈汹，滩下最大流速达6.4 m/s，滩口主流比降3.2‰，剪刀水，泡漩水强烈，上水船队需停航扎水。

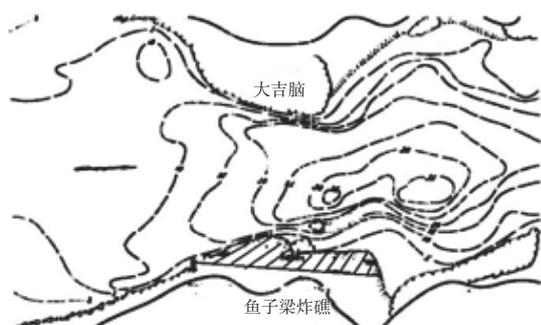


图6 大吉脑滩河势及方案

1990年炸除鱼子石梁的一部分，扩大过水面积，使右边形成缓流航道。整治后，流速减缓，流态平顺，上行船舶上滩顺利，该滩目前航道条件良好，今后提高航道通过能力后可能碍航。

4.7 斗笠子滩

斗笠子滩（图7）位于长江上游航道里程811.4 km，系复杂情况下的枯水急流滩。右岸庙角碛卵石江心洲与左岸零乱基岩夹卵石组成的金堆子相对峙，当地水位1 m成滩，愈枯愈汹，最大表面流速4.23 m/s，河心最大纵比降4.87‰，河心有水

梗、泡漩，为兰叙段唯一配有缴滩设施的急流滩。

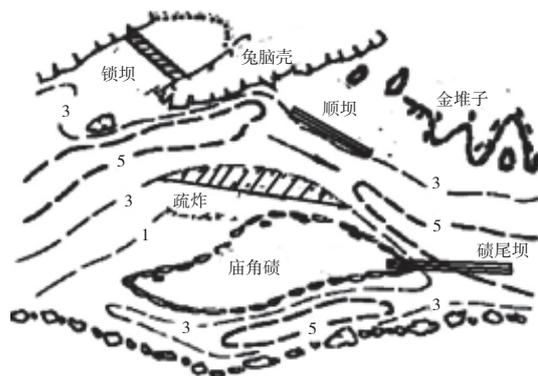


图7 斗笠子滩河势及方案

斗笠子在2006年泸渝段航道建设工程中，疏炸卡口河段河床底高，确保通航水深，在兔脑壳右侧修建顺坝封堵水流，在庙角碛碾尾修筑顺坝调整下游水流，修复兔脑壳上游锁坝。整治实施后，最大流速为3.04 m/s，最大比降为0.86‰，工程完工后撤销绞滩站，船舶能实现自航上滩。

4.8 瓦窑滩

瓦窑滩(图8)位于长江上游航道里程895.5 km，为分汊河段的枯水急浅滩。芙蓉碛卵石碛坝纵卧江中，分河床为两槽，由于芙蓉碛挑流影响，主流冲向右岸的瓦窑滩石梁，形成强泡，严重威胁上下行船舶航行安全。

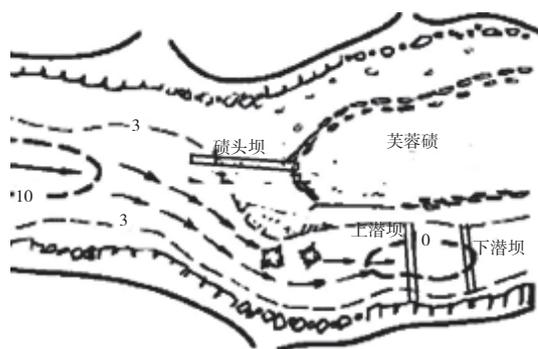


图8 瓦窑滩河势及方案

1979年整治在芙蓉碛头部建碾头坝一道，用以消除横流，减弱扫弯水和泡漩水。工程完工后右汊流量增加，航道条件有所改善。但主流直冲瓦窑滩石梁，横流泡漩问题仍没有得到解决，针对以上问题泸渝段航道建设工程中在瓦窑滩深槽筑潜坝两道，上潜坝封堵深槽主流，优化河床断面流速分布，调顺流量减弱深槽吸流。下潜坝调

整上潜坝的跌水作用区,减小航道内水位落差,改善通航环境。完工后,碛脑回流区减小,流态改善,上下行船舶均不感困难。

4.9 筲箕背滩

筲箕背滩(图9)位于长江上游航道里程1 004.5 km,属于上浅中急下险复杂滩险。滩段宽阔,洪水期上游来砂卵石在此沉积,除形成上首右岸筲箕背、下口左岸鹭鸶碛外,还在江中形成多股的散滩。在上段有自左向右的较强横流,流量分散。中段筲箕背与鹭鸶碛对峙,阻束水流成急滩,最大流速接近4.0 m/s,纵比降3.55‰。

2008年叙泸段一期航道整治工程中修复上段买米石上、下丁坝,恢复其束水作用,保证上段航道水深,引导水流平顺进入中部对口河段。中部疏浚主航槽,调整水流流向,减小横流与扫弯水作用,拓宽航道,增大弯曲半径,降低中段水



图9 筲箕背滩河势及方案

流流速。在下深槽进口筑潜坝3道,增大主航槽流量,防止挖槽淤积,雍高下深槽水位,调整流量分布,改善下段横流较大的状况。工程实施后航槽内水流集中,最大流速为3.5 m/s,相应比降0.9‰,航道条件得到大幅改善。

5 结语

长江上游急流滩险众多,多数急流滩整治后,航道条件均有明显改善。本文借助青石洞滩分析了错口突嘴急流滩适当选取切嘴方案就能改善航道条件,以喇叭滩为典型分析了对口型溪口急流滩的整治方案,以鸡扒子为对象分析了滑坡型急流滩的整治思路,以观音滩为代表的两两对口复杂急流滩可以采取切除斜向对峙的两处礁石

构建缓流航道,以铜锣峡为代表分析了狭长峡谷河段的治理措施,以大吉脑为典型论述了对口洪水急流滩的整治策略,对于复杂急流滩本文共选取了斗笠子、瓦窑滩、筲箕背3个滩险对采用疏浚炸礁结合整治建筑物的整治方案进行剖析。对长江上游常见急流滩型碍航问题和整治方案进行研究,总结急流滩整治经验。

目前长江上游已整治急流滩多是相对于当时或目前而言航道条件良好,随着航道通过能力的提升,可能会重新碍航,急流滩治理尤其是二次治理,往往面临着更大的难度。要总结本滩或相近滩险的历史整治经验,结合目前的主要碍航问题,与现实条件相适应的治理思路实施整治。同时在治理上也不能囿于前期整治思路,比如已经扩大卡口断面的整治滩险,再次扩大过流面积可能工程量巨大,且实施起来困难重重,可改变思路比如从扩宽缓流航道或者制造壅水减小流速、减缓比降方向采取措施。

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] 周冠伦. 航道工程手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [3] 杨小文. 急流滩消滩指标的滩型反演研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2010.
- [4] 董晓韬. 澜沧江下游急流滩航行阻力研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2009.
- [5] 曹民雄. 山区河流急流滩险航道整治技术研究[D]. 南京:南京水利科学研究院, 2005.
- [6] 胡小庆. 胡小庆. 长江宜宾—重庆河段急滩消滩水力指标研究[J]. 水运工程, 2012(10): 76-80.
- [7] 杨胜发, 赵晓马, 王涵. 长江上游卵石急滩消滩水力指标研究[J]. 水运工程, 2007(8): 78-81, 92.
- [8] 傅华, 黄超. 川江青石子滩航道整治方案及效果分析[J]. 水运工程, 2004(9): 31-33.
- [9] 蔡国正, 陈凡. 分汊型急流滩水力特性试验研究[J]. 水利水运科学研究, 1997(2): 95-104.
- [10] 曹民雄, 蔡国正, 龙杰. 石质滩险的滩性分析方法与实践[J]. 水运工程, 2008(12): 110-113.