

急滩通航水力工程学

许光祥 邓明文 等著
童思陈 蔡 创



人民交通出版社
China Communications Press

Jitan Tonghang Shuili Gongchengxue

急滩通航水力工程学

许光祥 邓明文 等著
童思陈 蔡 创

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以急滩通航水力学为基础,着重阐明了利用经验分析法、实船试验法、航行阻力推算法和船模试验法等系统综合方法研究急滩通航水力指标的具体原理,并详述了在澜沧江进行具体实践的研究成果。书中系统法研究路线、动水域进行静水航速实船测算方法、实船试验同步测试手段、航行阻力计算方法的实测检验和修正、急滩通航水力指标系列化方式、非标准与标准工况的相互转换等为较新的研究成果。

本书可供航道工程、船舶工程、航运管理等相关行业管理、设计和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

急滩通航水力工程学/许光祥等著. —北京:人民交通出版社,2010.3

ISBN 978-7-114-08244-3

I. 急… II. 许… III. 航道开发—水力学 IV. U612.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 031341 号

书 名: 急滩通航水力工程学

著 作 者: 许光祥 邓明文 童思陈 蔡 创

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×960 1/16

印 张: 11

字 数: 168 千

版 次: 2010 年 3 月 第 1 版

印 次: 2010 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08244-3

定 价: 49.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

急滩乃急流滩的简称,是浅滩、急滩和险滩等三大碍航滩险类型之一,在山区河流普遍存在。川江急滩数量接近滩险总数的 $1/4$,如考虑险滩中急的碍航原因,可达 $1/2$ 以上;澜沧江思茅港以下的 38 道滩险中,急滩或以急为主碍航的滩险占 84.2%,为澜沧江碍航的主要滩险。急滩以坡陡流急为主要碍航特征,其成因复杂、种类繁多、成滩水期多样,为山区河流重点研究和整治的滩险之一。

表征急滩通航水流条件的关键参数为航线流速和水面比降,即急滩的通航水力指标或称消滩水力指标,也是急滩整治设计和整治效果依据的关键参数,国内外针对此进行了众多研究。但目前我国仅在川江提出了较为系统的急滩通航水力指标,其他少数山区河流提出了通航水力指标的极值限制,大多数山区河流尚无系统的通航水力指标。同时,通航水力指标与船型、急滩特性密切相关,各通航河流间难以相互借用,更具科学性的方法是研究适合各自船型、各自河道特性的通航水力指标。

在云南省科学技术厅以及云南省交通厅的大力支持下,我们开展了云南省科技攻关项目(2006GG21)“澜沧江国际边境河流急流滩通航水力指标研究”的研究工作。项目应用经验分析法、实船试验法、航行阻力推算法和船模试验法等对澜沧江下游急滩通航水力指标进行了系统的研究,研究应用的基本理论、原理以及研究成果构成了本书的主要骨架,希望对广大读者有所助益。

本书共分七章,第一章介绍了急滩通航水力学基础,第二~六章主要阐述了急滩通航水力指标的研究方法及其具体实践,第七章着重对各方法研究成果进行了对比。各章节撰写的具体分工:第一章、第二章、第七章以及第四章的第三节、第六章的第四节由重庆交通大学许光祥教授撰写;第三章由云南省航务管理局邓明文高级工程师撰写;第四章的第一、二、四节由云南省航务管理局秦宗模高级工程师撰写;第五章由重庆交通大学童思陈副教授撰写;第六章的第二、五节由重庆交通大学蔡创副研究员撰写,第一、三节由重庆交通大学蔡汝哲研究员撰写;全书由许光祥教授统稿。在项目研究和本书的撰写过程中,得到了清华大学王兴

奎教授、北京尚水信息技术有限责任公司曲兆松博士、武汉理工大学王志华博士以及云南省航务管理局各位领导的热心指导和大力支持,在此表示衷心的感谢。

鉴于著者水平有限,本书难免有疏漏、谬误与不当之处,衷心希望广大读者批评指正。

著 者
2010. 1. 30

目 录

第一章 急滩通航水力学基础	1
第一节 急滩基本特性	1
第二节 急滩通航水力指标	6
第三节 急滩通航水力指标确定方法	9
第四节 急滩整治通航水力计算	12
第二章 经验分析法	20
第一节 经验分析法的基本原理	20
第二节 滩段计算长度的合理取值	23
第三节 经验分析法应用与实践	29
第三章 实船操纵性能试验	38
第一节 试验内容和方法	38
第二节 实船试验的传统测试方法	41
第三节 航行同步观测系统	43
第四节 动水域进行实船静水航速试验的测算方法	48
第五节 动水域实船操纵性能试验应用与实践	52
第四章 实船试验法	65
第一节 实船上滩试验组织	65
第二节 试验成果整理	67
第三节 通航水力指标的确定	69
第四节 实船试验法应用与实践	73
第五章 航行阻力推算法	79
第一节 航行阻力推算法的基本原理	79
第二节 船舶推力计算	80
第三节 航行阻力计算	88
第四节 航行阻力推算法应用与实践	106
第六章 船模试验法	118
第一节 船模试验的基本原理	119
第二节 船模测控系统	124

第三节 船模相似率定	135
第四节 船模试验环境	139
第五节 船模试验法应用与实践	144
第七章 综合研究法	157
第一节 综合研究的主要方式	157
第二节 综合研究法应用与实践	158
参考文献	167

第一章 急滩通航水力学基础

急滩为急流滩的简称,是山区河流常见三大碍航滩险类型之一,在山区河流普遍存在^[1]。急滩通航水力学是研究船舶上滩能力、急滩整治措施等的基础,涉及常规水力学、河流动力学、船舶水力学以及船舶工程学等众多学科。本章从河道特性和急滩通航的角度,对急滩的成因、类型等基本特性以及急滩通航水力指标的概念及其确定方法进行简要概述。

第一节 急滩基本特性

一、急滩基本概念

急滩为急流滩的简称,此处所谓的“急流”并非指一般水力学中傅汝德数(Froude) $Fr > 1$ 的急流,而是针对通航水流条件而定义的,航道上的急滩通常仍属于 $Fr < 1$ 的缓流范畴。而所谓急流滩是指天然河道因流速急、水面陡致使大多船舶(队)在额定载重、额定功率条件下自航上行困难的航段。当流速和比降增至使船舶(队)航行阻力大于推力后,船舶(队)则无法自航上滩,需借助绞滩、顶推等措施通行。

由此可见,急滩具有如下基本特征:①急滩是针对船舶(队)通航水流条件而言的,其主要碍航原因是坡陡流急;②急滩是针对大多数或标准船舶(队)而言的,对于小功率大吨位的船舶(队)而言是急滩,对于大功率小吨位的船型则可能不碍航;③流急坡陡的航段一般需要一定长度(如大于1倍船长)才能成滩。

急滩在山区河流分布较广,大多险滩也包含急的碍航成分,以急碍航的滩险几乎占山区河流所有滩险的一半^[2]。川江素以滩多、礁险、流急、水乱著称,全长1045km共有50处急滩,占川江滩险总数的23.8%^[3],其中还不包括伴有急流碍航的浅滩和险滩。澜沧江—湄公河是亚洲最长的国际河流,也是亚洲唯一的一江连六国的河流。澜沧江也以滩险密布、流急水险著称,澜沧江思茅港以下158km的航道内,共有大

小滩险 38 道,其中急滩或以急为主碍航的滩险,占 84.2%,成为澜沧江通航方面研究的重点滩险^[4]。川江右岸支流乌江也是滩多流急、落差集中,在贵州境内每一公里就有一个滩险,有潮砥、新槽、龚滩等著名滩险。沅水航道弯曲、滩多水险,仅湖南省境内 500 余公里,就有 128 处滩险,清浪、翁子洞、横石、九矾四大名滩曾经对航运带来极大障碍。闽江、赣江、北江、右江、嘉陵江、岷江等山区河流,急滩也随处可见^[1]。

二、急滩成因

急滩一般出现在山区河流,各种类型的急滩都有一个共同的特点,就是滩段过水断面过小,而河床组抗冲能力强,水流无法自行扩大过水断面而形成坡陡流急的急滩水流特性。坡陡流急是急滩碍航的直接原因,而导致坡陡流急的河道地质地形是急滩的根本成因。形成急滩特殊地质地形条件的原因较多,常有以下几种。

(1) 原生基岩横向、垂向挤压河道,过水断面急剧收缩,形成急滩。

川江上羊背滩、大吉脑滩、观音滩,澜沧江小翻水滩、界碑滩,金沙江牛皮滩,乌江磨溪角滩等急滩,有石梁、石嘴、石盘等或由一岸或由两岸突入江中,使河宽急剧收缩,形成坡陡流急的急滩。川江清石洞、铜锣峡、金沙江筒子林等峡谷段滩险,两岸坚硬陡峻,河谷呈“U”形,过流断面狭小,泄流能力明显小于上下宽谷河段,致使水流湍急而成急滩。赤水河弯滩、右江金陵大滩等滩险,两岸石壁,河中横卧石梁、石盘或满布暗礁,河床局部隆起致使水流垂向急剧收缩,水深快速减小,动能突然增大,位能迅速降低,形成陡坡型急滩。

(2) 山溪冲沟堆积物侵占干流河道,过水断面大幅减小而成急滩。

山区河流有众多山溪冲沟,有的集水面积大,底坡陡,山洪暴发、泥石流等输送大量大型甚至巨型块石至溪口,干流又难以输移而逐年堆积,长时期后形成扇形堆积体压缩干流过水断面而成急滩。山区河流一般均有该类急滩,川江喇叭滩、宝子滩,乌江背磨子滩和小角帮滩,澜沧江贺宽上滩、贺宽下滩、梭罗滩等急滩均为此类成因。

(3) 临江崩岩、滑坡等崩滑物侵入河槽,占据过水断面而成急滩。

山区河流较多河段两岸山高坡陡,时有崩岩、滑坡等崩滑地质活动。大型崩滑块体堆积岸边或河心,形成突嘴或潜埂甚至拦门坎而成急滩。乌江潮砥滩,川江兴隆滩、青滩,澜沧江的无名滩等急滩因一岸或两岸崩岩所致;川江的鸡扒子、乌江的新滩等因岸坡山体滑坡形成坡陡流急

碍航。

(4)河道本身水期输沙差异致使卵石局部堆积而成急滩碍航。

川江筲箕背和斗笠子滩、乌江屈老头滩、岷江乌木桩滩等卵石急滩,由于洪枯水期输沙能力以及主流位置的差异,洪水挟带卵石等较大颗粒河床质从一侧潜入枯水河槽堆积,枯期水流又难以将堆积物全部带走而逐年侵占枯水河槽成滩;或某次特大洪水挟带大量卵石至较宽阔的滩段堆积,退水后堆积物难以输移大幅抬升河床而成滩。

三、急滩分类

各类文献对急滩的分类有所差异^{[1][3][5]},但主要有三种分类方法。

1. 按成因分类

(1)基岩急滩:因原生基岩石嘴、石梁、石盘等突入江中,或石梁石盘横卧河底,或河槽狭窄而使坡陡流急成滩。

(2)溪口急滩:因山溪冲沟冲击物堆积溪口侵占干流过水断面成滩。

(3)崩滑急滩:因两岸崩岸、滑坡等的崩滑物壅堵河道而成滩。有的文献将其分为崩岸急滩和滑坡急滩两种,前者常以河底潜埂形式出现,后者常以侧向突体形式出现。

(4)卵石急滩:河床下伏或侧突抗冲卵石致使过水断面过小而成滩。

2. 按滩险形态分类

(1)突嘴型急滩:因基岩、卵石等河岸突嘴伸入江中而成滩。根据突嘴多少、是否相对等又可分为独嘴、对嘴、错口、多口等急滩(图 1-1)。突嘴型急滩分布较广,大多溪口、基岩、崩滑急滩为此类滩型。

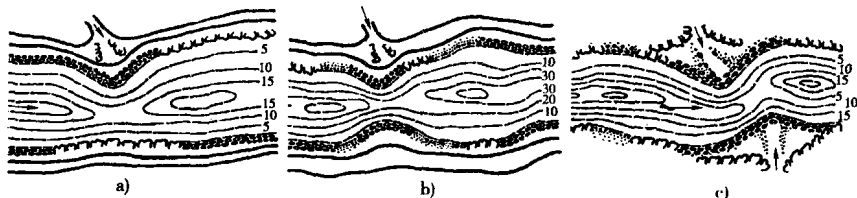


图 1-1 突嘴型急滩示意图

a) 独嘴型急滩; b) 对嘴型急滩; c) 错口型急滩

(2)窄槽型急滩:因河槽狭窄长直,过水断面狭小,泄流不畅而形成湍急流态。峡谷型滩为典型的窄槽型急滩(图 1-2b)。

(3)潜埂型急滩:因石梁、石盘、崩岩体、暗礁群等横卧河中,形成河

床局部隆起而形成陡坡急滩(图 1-2c)。

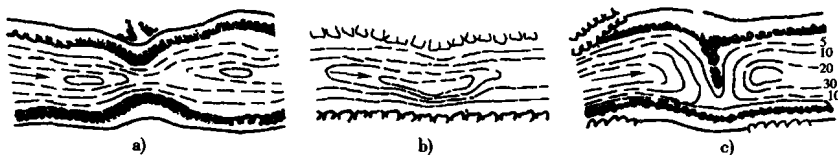


图 1-2 急滩滩型示意图

a)突嘴型急滩;b)窄槽型急滩;c)潜埂型急滩

3. 按成滩水期分类

(1) 枯水急滩:仅枯水期碍航,如突嘴较低的突嘴型急滩和潜埂型急滩等。

(2) 中水急滩:仅中水期碍航,如大多存在宽大中水边滩或台地的急滩等。

(3) 洪水急滩:仅洪水期碍航,如两岸陡直的“U”形窄槽型急滩等。

此外,还有中枯水急滩、中洪水急滩、常年急滩等类型。

四、急滩地形特征

根据文献[2]的统计分析,基岩急滩和溪口急滩,滩段地形大多具有一个共同特点:平面形态上滩口断面河床最窄,而其上下游较为宽阔,即呈现上游收缩下游扩散的平面形态;纵向形态上滩口断面河床隆起,其上下游断面则逐渐跌落,即纵向形态也呈现为上游收缩下游扩散;横断面形态基岩急滩多为“U”形,溪口急滩多为“V”形。统计资料显示,滩口断面过水面积最小,仅为上游断面的 13% ~ 84%,为下游断面的 25% ~ 44%。

五、急滩水流特征

急滩的水流特征与河床形态相适应,图 1-3 为突嘴型典型水流特征。上游缓流段后水流逐渐收缩,流速、动能逐渐增大,水位、位能逐渐降低,至滩口形成陡坡急流段;滩口后由于惯性作用,主流继续收缩,至滩舌处主流达到最大,其两侧回流、泡漩强烈,形成急流乱水段。滩口处流速虽然不为最大,但坡降最陡,且无缓流区可供船舶上行利用,所以为碍航最严重之处。

因为滩口突然收缩后局部水头损失增大,且位能迅速转化为动能,所以急滩通常在流急的同时也体现出坡陡。根据水力学能量方程原理,

可分析断面 2-2 ~ 3-3 间水面陡比降的形成。忽略沿程水头损失后,该段水面比降可表达为

$$J = \frac{\Delta z}{L} = \frac{\alpha_3 V_3^2 - \alpha_2 V_2^2 + \zeta V_3^2}{2gL} \quad (1-1)$$

式中: J ——断面 2-2 ~ 3-3 间的比降;

Δz ——断面 2-2 ~ 3-3 间的落差;

L ——断面 2-2 ~ 3-3 间的间距;

α_2, α_3 ——动能修正系数;

V_2, V_3 ——断面 2-2 和 3-3 的平均流速;

ζ ——局部水头损失系数;

g ——重力加速度。

用 β 表示断面 2-2 到 3-3 的收缩比,取 $\beta = A_3/A_2 = V_2/V_3$, 其中 A_2, A_3 为断面 2-2 和 3-3 的过水面积; ζ 可表示为^[6]

$$\zeta = 0.5(1 - A_3/A_2) = 0.5(1 - \beta) \quad (1-2)$$

取动能修正系数为 1,则 J 可表达为

$$J = \frac{1.5 - 0.5\beta - \beta^2}{\beta^2} \frac{V_2^2}{2gL} \quad (1-3)$$

如取 $V_2 = 2\text{m/s}$, $\beta = 1/2 \sim 2/3$, 相当于 $V_3 = 3 \sim 4\text{m/s}$, $L = 100\text{m}$ (相当于一个中型船长), 则局部比降可达到 $8.2\text{‰} \sim 3.3\text{‰}$ 。由此可看出急滩流急的同时伴随着局部陡比降。

对于潜埂型急滩,其水流特性相当于宽顶堰,埂上具有明显跌水,主要为陡坡碍航。对于窄槽型急滩,由于没有明显的横向、垂向水流收缩,一般不出现局部陡比降,沿程流速变化不大,主要是流急碍航。

六、急滩成滩水期

大多急滩并非为常年急滩,只在某个水期成滩碍航。通常在对某急滩整治研究前均需要掌握其何时成滩、何时滩势最汹、何时消滩,以便选择恰当的整治措施。如图 1-4 所示,某滩涨水时流量增率大于过水面积的增率,流速逐渐增大,至某水位时开始成滩碍航,则称此水位为成滩水位。水位继续上涨,过水断面与流量的适应程度更差,流速增大至某水

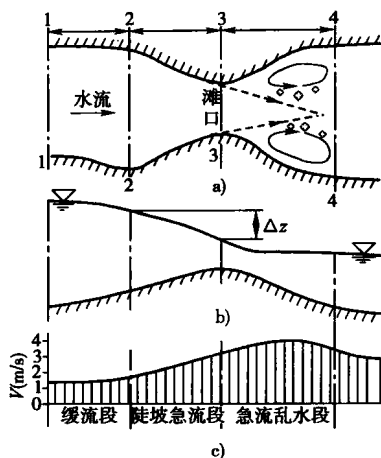


图 1-3 急滩水流特征示意图

a) 平面; b) 纵剖面; c) 主流表面流速沿程变化

位达到最大,碍航最严重,则称该水位为最涌水位。水位再往上升,滩口断面已逐渐扩宽,过水断面增率逐渐大于流量增率,流速逐渐下降,至某水位时急滩消失,则称此水位为消滩水位。落水过程则相反,涨水的消滩、成滩水位分别成为落水的成滩、消滩水位,不过对于存在冲淤变形的卵石等急滩,水位值存在一定差异。当然,有些枯水滩滩势越枯越涌,不存在成滩水位;有些窄槽型滩滩势越洪越涌,没有具体的消滩水位;有些为常年滩,成滩和消滩水位均不明显。

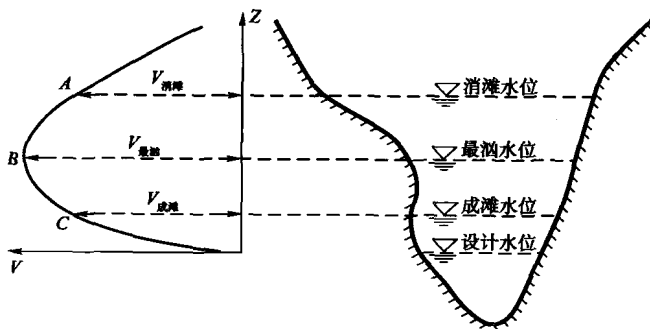


图 1-4 急滩各特征水位示意图

第二节 急滩通航水力指标

一、影响急滩通航的主要因素

船舶航行于河道之中,河道为通道、水流为载体、船舶为主体,影响船舶通航的主要因素应来自以下三个方面。

1. 河道方面

主要有水深、航宽、弯曲半径、断面系数等滩段断面形态参数。

2. 水流方面

主要有航线及航域的纵横流速、比降、流态、流速分布等水力要素。其中滩段水流速度、水面比降以及水深吃水比为关键影响因素^[7]。

3. 船舶方面

主要有船舶尺度、方形系数、浸水面积等船型参数,有载重、主机功率、螺旋桨形态等动力参数。

另外,船舶驾取人员的驾驶技术、上下船舶相互干扰等对急滩通航也有一定影响。

二、急滩通航水力指标

急滩什么水流条件下碍航,又在什么水流条件下消滩,这是急滩航道整治设计和研究中必须首先明确的问题。如整治措施和整治程度不恰当,使通航水流条件偏低过多,则造成工程量和投资的增加,同时可能恶化上游滩险通航条件;或使通航水流条件仍偏高,则船舶仍不能自航上滩(最小航速一般需满足 $0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$),整治不彻底。由此可见,没有这个临界水流条件,急滩整治具有相当大的盲目性。

广义地讲,急滩通航水力指标是指船舶(队)在一定载重、一定主机功率条件下能够自航上滩的最高水流条件,包含航线流速、比降、流态、水深吃水比、断面系数等;狭义地讲,急滩通航水力指标是指某船舶(队)在额定载重、额定主机功率条件下能够自航上滩的最大航线流速和比降,行业内常说的通航水力指标特指狭义的概念。通航水力指标是判定船舶能否自航上滩的临界水流条件,当滩段流速、比降超过该指标则认为成滩碍航,如低于该指标则认为消滩,所以常将急滩通航水力指标称为消滩水力指标。

目前,川江和澜沧江已有较为系统的急滩通航水力指标。相对而言,川江的通航水力指标低于澜沧江(表 1-1 和表 1-2),澜沧江急滩的特点是水面坡降大,船型的特点是大功率、小吨位。

川江部分船型的通航水力指标

表 1-1

船 型	通航水力指标				排水量(m^3)
1942kW 顶推 9 艘 1000 吨级驳船	$J(\text{‰})$	0.1	0.2	0.3	14313
	$V(\text{m/s})$	2.5	2.3	2.1	
1942kW 顶推 2 艘 1000 吨级和 1 艘 500 吨级驳船	$J(\text{‰})$	0.8	2.1	3.0	2645
	$V(\text{m/s})$	4.0	3.1	2.0	
1942kW 顶推 1 艘 1000 吨级和 1 艘 800 吨级驳船	$J(\text{‰})$	1.5	3.5	4.3	3300
	$V(\text{m/s})$	4.3	3.2	2.5	
850kW 顶推 1 艘 1000 吨级驳船	$J(\text{‰})$	1	2	3	1420
	$V(\text{m/s})$	4.0	3.0	2.5	
588kW 的 1000 吨级机驳船	$J(\text{‰})$	1	2	3	1350
	$V(\text{m/s})$	3.5	3.0	2.6	

注: J 、 V 为滩段航线的比降、流速。

澜沧江下游代表船型的通航水力指标^[4]

表 1-2

$J(\text{‰})$	1	2	3	4	5	6	7	8
$V(\text{m/s})$	4.2	4.0	3.8	3.6	3.3	3.0	2.7	2.4

注:船型为 510kW 的 300 吨级机驳船。

另外,有些山区河流针对具体的滩险给出流速、比降的最大限值。如红水河峡龙滩整治采用的指标为 $V \leq 3.5 \text{ m/s}$ 、 $J \leq 5\text{‰}$ ^[10];乌江急流滩整治最大流速控制在 4.0 m/s 以下,最大比降控制在 4.5‰ 以下^[5];黔江师姑滩整治的最大允许局部流速为 3.0 m/s 等^[11]。

三、急滩通航水力指标表示方法

根据收集到的参考文献以及研究成果,急滩通航水力指标通常有三种表示方法。

1. $V-J$ 指标

如表 1-1、表 1-2 所示,采用流速、比降匹配成对给出通航水力指标(简写 $V-J$ 指标)。一般比降取整然后寻求流速与之匹配,表示方法简单明了,缺点是指标为间断非连续函数,当急滩实际流速、比降在所给指标之间时,需要采用直线、曲线等方法插值获取。

2. 曲线指标

如图 1-5 所示^[9],流速、比降的匹配关系采用曲线形式表达,也称上滩能力曲线。曲线左侧区域消滩,右侧区域则成滩。在指标曲线上可查取任何一组指标(如曲线中 $V = 4.0 \text{ m/s}$,与之匹配的 $J = 1.22\text{‰}$),具有连续非间断的优点,缺点是应用时需要从曲线内查出具体的流速、比降值。

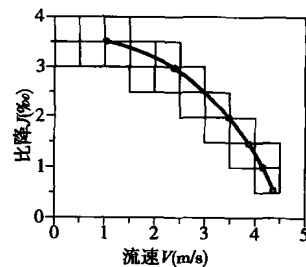


图 1-5 水力指标曲线

3. E 指标

将流速比降转换为一个综合指标,即滩口段的单位能量 $E = \Delta z + \frac{V^2}{2g}$ (简写为 E 指标, Δz 是急滩滩口段长度范围内水面落差, g 是重力加速度)。川江青滩通过实船试验和经验确定指标 $E = 1.4$ ^[3],即当 $E < 1.4$ 时船舶可自航上滩,否则需施绞过滩。该方法虽然将两个参数转换为一个参数表达,但具体应用时仍需要换算为具体的流速比降。

所以,无论哪种表达方式,在航道工程设计、整治效果分析等具体应

用时均需换算为成对的流速、比降,最终仍体现为具体的流速、比降数值,即 $V-J$ 指标。

四、急滩通航水力指标的特征

根据急滩通航水力指标定义,应具有如下基本特征:

(1) 针对具体船型。具体的通航水力指标是针对具体的船型而提出的,同样的水力指标,对于大功率、小吨位的船舶可能消滩,但对于小功率、大吨位的船舶可能仍成滩;或船舶主机功率相同,载重小的消滩而载重大的成滩。所以,通航水力指标是与具体船型相匹配的,没有通用的急滩通航水力指标。

(2) 抓住了碍航的关键水力要素。从力学角度讲,流速表征船舶航行的水流阻力,比降表征坡降阻力,二者之和即航行阻力超过船舶有效推力后,船舶则不能自航上滩。狭窄、浅水、附加坡降、流态等附加阻力均可通过流速和比降的修正来体现,所以流速和比降可完整表征船舶航行的阻力特性,且流速和比降均能准确地定量表达。

(3) 流速和比降需匹配成对。急滩通航水力指标的两个关键指标——流速和比降需匹配成对,缺一不可。

(4) 限于自航上滩和航线流速、比降。有些错口型急滩虽然主流流速和比降均超过通航水力指标,但船舶可利用主流两侧的缓流区“搭跳”上滩;有些船舶不能自航上滩,但可借用绞滩、顶推等外力作用上滩。所以,急滩通航水力指标仅限适用于船舶自航上滩,且指标也特指航线上的流速和比降。

(5) 船舶处于额定或标准载重和额定主机功率状态。对于船舶满载不能自航上滩而减载上行的情况,或满载而不使用最大推力(有些船舶因折旧、损坏等原因,传动等效率有所降低)的情况不适用。

(6) 具有技术指标特性。通航水力指标一般是急滩整治设计的重要依据,其确定的合理性、科学性是急滩整治成功的重要前提。所以,急滩通航水力指标需进行充分论证,且应具有极强的代表性。

(7) 不体现其他干扰因素。通航水力指标一般未考虑船舶驾驭人员的驾驶熟练程度、错船时的相互干扰等因素。

第三节 急滩通航水力指标确定方法

目前,确定通航水力指标的方法主要有经验分析法、航行阻力推算

法、实船试验法、船模试验法、数学船模法以及综合研究法等。

一、经验分析法

经验分析法是根据驾驶人员经验确定成滩或消滩水位,然后获取相应水位时的流速、比降便是通航水力指标。通常做法是向不同船型的船长咨询调查,收集在什么水期、什么水位和载量情况下开始成滩碍航从而获得成滩水位或流量,然后根据实测资料或河工模型试验、数学模型计算成果,确定成滩水位时的流速、比降。

经验分析法方便简单、省时省力,由于不同船长驾驶技术的高低、船型的多样化、载重量及其装载的平衡性不一等复杂原因,凭船长经验给定的成滩水位可能差异较大,准确确定通航水力指标有一定难度,通常作为参考性指标。

二、航行阻力推算法

航行阻力推算法是根据力学原理,即船舶航行阻力与额定条件下的有效推力相等时便为成滩临界条件。船舶航行阻力由水流阻力和坡降阻力组成,在船型确定后水流阻力一般认为仅为流速的函数,坡降阻力仅为水面比降的函数(其他附加阻力可通过流速、比降的修正加以考虑)。船舶有效推力可依据主机功率、航行速度以及螺旋桨型式等参数,通过相关计算方法确定。当某一组流速、比降形成的航行阻力等于船舶在额定工况下的有效推力时,这一组流速、比降便是急滩通航水力指标。

确定山区河流航行阻力的方法较多,如直接修正深水阻力法、巴普米尔曲线法以及修正的兹万科夫法^{[12][13]}。修正的兹万科夫法在我国内河普遍使用,且在川江等山区河流得到成功应用,所以用得较多;巴普米尔曲线法也有一定应用^[14]。

航行阻力推算法省时、省力、费用低,且理论基础坚实,我国普遍用于确定急滩通航水力指标。目前在该方法中难以考虑特殊条件的影响,如横流、斜流、风、浪等环境状态因素,驾驶熟练程度的人为操作因素,不同河道滩险特征等因素。

三、实船试验法

实船试验法是通过船舶上滩的原体观测来确定通航水力指标的方