

STUDY AND PRACTICE OF THE CHANNEL REGULATION

航道整治研究 与实践

卢汉才 著



天津科学技术出版社

航道整治研究与实践

卢汉才 著



天津科学技术出版社

内 容 简 介

本书主要论述各种河流特性,河床演变规律及各种滩性分析方法并据以确定整治原则、方法的新成果和经验总结。各种滩险整治设计参数确定方法和经验,水力计算方法,对复杂滩险进行模型试验设计原理、试验方法和整治经验,都有实例。还论述了我国主要通航河流长江、西江、黄河等的整治新技术和经验,对我国水运建设提出以电养航等政策建议。

本书可供航道整治工程技术人员和大、专学校相关专业研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航道整治研究与实践/卢汉才著. —天津:天津科学技术出版社,2008

ISBN 978-7-5308-4467-0

I. 航... II. 卢... III. 航道整治—研究 IV. U617

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 002362 号

责任编辑:刘丽燕 张 萍

责任印制:王 莹

天津科学技术出版社出版

出版人:胡振泰

天津市西康路 35 号 邮编 300051

联系电话:(022)23332398 (022)23332393

网址:www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

天津市亚豪印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/6 印张 17.25 字数 412 000

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定价:48.00 元

祝王漢才同志吉著付梓

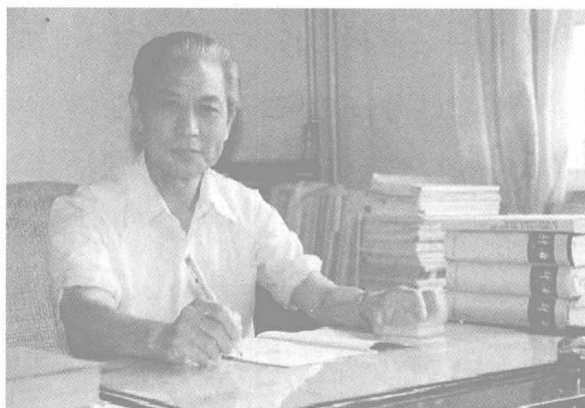
宏篇壯入累々碩果
實近惠及瀟湘左川

長江航運局

榮天富敬賀

丁亥年春

作者简介



卢汉才，广西横（永淳）县人，1925年生。研究员，中共党员。交通部天津水运工程科学研究院技术顾问，原所长。中国水利学会泥沙专业委员会原副主任，天津市水利学会泥沙专业委员会原主任。1953年8月武汉大学水利学院河港工程学系毕业，先后在交通部北京航务工程总局设计局、交通部水运规划设计院、交通部南京水利科学研究院、交通部天津水运工程科学研究院等单位任职。在任职岗位上做了大量工作并作出了重要的贡献，推动了水科所的发展和科技的发展；在天津水利学会（1984-1992年）组建了天津水利学会泥沙专业委员会，和王尚毅（副主任）教授推动了天津市泥沙运动学和水利建设科学技术研发成果的交流，并增加了水利工程建设的科学技术含量。

近半个世纪以来，致力于航道整治工程科学技术的研究，先后参与的国家重点工程项目有长江南京浦口段（轻质沙）动床河工模型试验相似原理和方法研究，长江三峡葛洲坝库区航道整治试验研究。负责的有川江青滩、王家滩、小南海滩、渣角滩的定、动床模型试验研究，川江浅滩变化规律及整治经验研究，西江鸡儿滩、红水河蓬莱滩、龙滩试验研究，广东北江整治试验研究，贵州青

水江、广东韩江整治经验总结，金沙江航道开发试验研究，“七五”国家重点科技攻关，汉江游荡性河段航道整治方法研究，山区河流航道关键技术研究（“07”专题），石质险滩整治技术总结研究等多项研究工作。研究所推荐工程方案均被建设单位采纳，施工后均达到设计通航标准要求，航道稳定，效果优良。多年的研究取得了重要成果，《三峡葛洲坝二、三江工程及其机组》，获国家科委科学技术学术进步特等奖；《汉江游荡性河流航道整治工程试验研究》、《航道整治工程技术规范》（JTJ285—90），获交通部科学技术进步二等奖；《交通部 2000 年公路、水运科技发展战略研究》，获交通部科学技术进步三等奖；《天津市海岸带和海涂资源综合调查研究》成果，获（1987 年度）天津市科委科学技术进步一等奖。1992 年获国务院“政府特殊津贴”。被聘为交通部、陕西省航运建设指挥部“黄河航运开发技术顾问（兼副组长）”，交通部三峡工程航运（领导小组）办公室“三峡工程航运专家组专家”，广东省交通厅“西江出海航道整治工程”高级顾问。译著《河工原理》，人民交通出版社，1986；主编《水利百科全书》（港口航道篇），水利电力出版社，1992；参与编著《中国水运工程建设技术》（主编第四编：内河航道工程建设技术），人民交通出版社，1993；《航道整治工程技术规范》、《航道整治工程手册》（副主编），人民交通出版社，2004。

前 言

本书是作者多年从事航道整治工程技术，包括交通科技重点（攻关）研究及其相关政策等问题学习研究工作成果的概括、总结。

全书共分四篇，第一篇为河床演变与滩性分析，论述对河流理论基础、河流特性；河床演变与滩性；非冲积性、冲积性滩险滩性分析研究成果及其实例。第二篇为航道整治工程设计，论述航道整治工程设计，航道整治工程设计主要参数确定方法、经验；设计中的水面线计算、整治线宽度计算方法、建筑物丁坝水力计算研究成果及计算实例。第三篇为河工模型试验研究，论述当代相似理论的共识，定、动床河工模型设计基础理论、相似条件，设计、研究方法，糙率包括梅花形糙率确定方法及其应用经验、实例。第四篇为综合研究，对长江、西江、黄河及其主要支流红水河、漓江、乌江、汉江、北江等整治工程技术，进行综合分析；对航道整治技术发展，航道建设相关集资政策研究，提出以电养航建设方针及相应政策建议等。

在上述领域一些项目研究过程中，参与讨论有：李昌华、荣天富、刘书伦、唐存本、陆永军、王士毅、杜宗伟以及天津水运工程科学研究院航道研究室的同志。航道整治工程是一个系统性工程，技术发展过程是理论研究、实战、规律性概括的过程。新中国成立以来大规模整治工程的建设实施，既是科技研发的推动力，又为整治技术研发、实践、检验提供平台。工程建设过程中，长江航道局，长江航道重庆工程局，广西航务局，广东省、贵州省航道局，广东省航道勘测设计科研所，湖北省航务局、规划设计院，黄河水系航运规划办公室等单位规划、设计、施工的技术人员付出许多辛劳，研究成果也有他们的心血。

半个世纪以来，航道整治技术发展过程中的当代技术部分成果，有的已在

或正在航道建设中推广、应用；随着二维数模发展，有的计算方式可能已有某些不同，但它仍保留着计算便捷、实用的特点。而政策方面问题研究，由于国家体制改革，实行市场经济，投资环境变化，使整个社会包括内河航运建设有空前发展，因而有些问题已经解决了，有些问题正在或尚未解决。因此读者需考虑时空条件进行阅读和研究。如果本书的某些观点、研究方法、成果能对读者有所裨益，则倍感欣慰。我相信随着国家经济发展，整治技术进步，我国水运事业现代化必将实现。

本书出版过程中得到天津水运工程科学研究院赵冲久院长和航道室李一兵、李伯海同志的大力支持，长江航道局总工荣天富题词，交通部三峡办总工刘书伦写《读后感》（代序），李伯海、李旺生同志提了很好意见，张波同志全面校对整理，并得到许多友人帮助，在此表示衷心感谢。

卢汉才

2006 年 12 月

读后感（代序）

航道是航运的基础，近几十年来我国进行了大规模的航道整治工程，改善了通航条件，促进了内河航运发展。航道整治技术有显著进步，已先后出版了一些专著、研究成果报告和标准规范。今天有幸读到了卢汉才研究员撰写的《航道整治研究与实践》一书感到十分兴奋。书中涉及的工程和研究项目，我曾多次参与讨论，一些整治工程也已实施，有些探讨的课题已得到验证，因此，读后感受很深。本书有很多好经验，在理论和实践方面都有不少创新。我感受较深的有以下几个方面。

一、河床演变分析方面

书中提出较系统的滩性分析方法。强调在河床演变分析中，要着重研究河床演变和滩性变化的关系，把水沙条件变化和河床变化作为滩性变化的主要因素，将河床变化规律和滩性变化规律分析有机结合。这一套分析方法，结合实际，为拟定整治工程方案奠定了良好的基础。

二、急流滩险整治技术方面

作者在长江三峡青滩整治工程试验研究中，提出上削下抬分散水面落差的整治原则，并提出以水位落差和水流动能之和作为消滩判别的水力指标，简单实用，理论概念明确，为急流滩消滩水力计算增加了一种新方法，具有创新性。

三、在浅滩整治方面

对于冲刷性平原河流航道整治，作者提出河流长期冲积中具有准平衡的理念，并以此为基础提出确定整治水位、整治线宽度的计算方法，以及丁坝作用下最大冲刷点距离的计算方法等，已得到广泛应用。

四、在河工模型试验方面

作者长期从事河工模型试验研究，首次提出梅花形糙率变化规律和粒径相

对间距变化的关系，理论明确，应用方便。采用自己研制的轻质模型沙进行动床模型试验，在南京河段应用获得成功后，推广到长江上游王家滩、小南海等浅滩动床模型试验中，解决了工程设计中的难题，并为推移质运动相似准则奠定了相似理论基础，拓宽了动床模型试验方法应用领域。

卢汉才研究员，1953年武汉大学河港系毕业后，致力于航道治理的科学研究，是我国第一代著名航道整治工程专家，他重视理论也重视实践，做到理论与实践相结合。他所做的模型试验成果，可信度高，推荐的工程方案优良，深受建设单位赞誉。几十年来对我国水运主通道建设，特别是对长江、汉江、江西、红水河、北江等河流的航道治理工程，做了大量的实验研究工作，作出了重要贡献。

卢汉才研究员，为人正直，谦虚，朴实，不图虚名，文如其人，他在研究中重视设计施工技术人员创造，重视发挥年轻技术人员的创造性，体现了他在学术上的崇尚风格。本书出版将对我国航道治理工程建设和航道整治科技进步，起到促进作用。

交通部三峡办

刘为伦

2007年2月

目 录

第一篇 河床演变与滩性分析	1
河流特性	1
非冲积性滩险滩性分析	13
冲积性浅滩滩性分析	27
川江浅滩演变规律及航道整治经验	35
广东北江山塘至石角河段河床演变及滩性分析	43
第二篇 航道整治工程设计	49
航道整治工程及设计参数	49
航道整治水面线计算	60
论冲积性河流航道整治线宽度及丁坝高度的确定	68
丁坝水力计算一些问题的讨论	81
第三篇 河工模型试验研究	91
相似理论及河工模型律	91
梅花形糙率的确定	97
川江青滩航道整治工程模型试验研究	104
川江王家滩河段动床模型试验研究	114
川江小南海航道整治动床模型试验研究	120
汉江游荡性河段动床模型试验研究	135
广东北江山塘至石角段动床河式模型试验研究	143
坝区航道西江郁江段鸡儿滩航道整治模型试验研究	152
上海黄浦江隧道越江工程模型试验研究	165

第四篇 综合研究173

石质险滩整治技术研究.....	173
西江（广西段）航道整治几点经验	181
黄河（府谷至禹门口）航道建设开发研究	201
南水北调京杭运河平交穿黄通航问题研究.....	213
广西漓江旅游航运枢纽非恒定流通航调节研究.....	217
内河航道整治技术发展战略研究.....	234
内河航道整治工程技术进步的回顾和展望.....	242
试论以电养航.....	249
内河航道建设几个问题的讨论.....	254

第一篇 河床演变与滩性

河流特性

摘要：本章论述河流类型、河流水文泥沙特性、滩险基本类型、河流自动调节、造床流量的理论及其在航道整治中的应用。

1 河流的类型

河流分类，是概括河流特性，明确整治原则、方法的前提，当前这方面研究很不够，不同的研究者根据不同的观点及其掌握资料不同，对河型有不同的认识。概括起来，大体有三大类。第一是按河流平面形态，把河流分成弯曲、顺直网状型或单股、分岔型河流，这以奥普、康德拉及契也夫为代表。第二是把河流运动特性包括在内，把河流分成周期展宽、蜿蜒、游荡河流，这以罗辛斯基为代表。钱宁把河型分成顺直型、弯曲型、分岔型、游荡型四类，武汉水电学院的同志认为分成蜿蜒型、顺直微曲型、分岔型和游荡型。方宗岱同志认为可以分成弯曲型、江心洲型和摆动型等。按形态分，同样是分岔（或网状）河流，但长江下游那样具有江心洲的河道，相对说来，一般是比较稳定的，而黄河下游，除了支岔很多外，还具有主流摆动不定，平面外形多变的特点，这两类河流，实质上是反映了两类不同的河型，相对稳定和不稳定的河流。例如：长江界牌浅滩虽然浅滩有某种变化，但仍然有相对稳定的航道，而主流不定的游荡性河道，像黄河那样根本不存在可以通航的相对稳定的航道，这类河流的治理是以治河为主。第三是按地区分为山区河流、平原河流以及两者之间过渡性河流。山区河流，多受原生地形、地质的影响，变化极缓慢，而构造运动的突变对河床变化显得重要。而平原河流，泥沙大量的堆积和运移，水流泥沙运动居于主导地位。过渡性河流则居于两者之间。平原河流进入海湾的河口段后，受潮汐影响，动力因素和无潮地段不同。河床变化、整治原则、方法也不相同。英国泰晤士河的河口整治鉴于泥沙运动特点，也分成冲积性河流、非冲积性河流以及半冲积性河流，这在某种意义上和第三种分类有共同之处。我们研究河流类型，是从已经存在的自然现象及其物理特征去研究，并据研究结果予以改造，使其适应于航道通航条件，因此，研究工程问题时，在自然现象分类中，最好采用统一的标准，或者按照形态分类，或者按照运动特性分类，或者按地区分类，这便于说明和解释研究对象。就我们航道整治工程而言，按地区不同，把山区河流和平原河流分开，丘陵或过渡性地区纳入平原地区中去讨论。谈到整治原则时，也涉及平面形态，如顺直（微弯）型、分岔型、弯曲型河道等，这只是便于我们说明服务对象。

2 山区河流一般特性

山区河流和平原河流比较,在河床形态、水文泥沙特征及河床演变上都各有特点。从河床变化角度看,河道外形同样具有弯曲、分岔、顺直类型,纵横方向经长期作用,也有一定变化,但和平原河流比幅度小得多,速度慢得多,河床边界受地质构造及岩性影响较大,河漫滩一般不很发育。

2.1 山区河流水文泥沙特征

(1) 水文

山区河流流经地区坡面陡,径流模数大,汇流时间短,平时流量不多,具有三个显著特点。①洪水暴涨暴落。这种现象在暴雨集中地区尤为显著,暴雨与山洪往往同时发生,一遇暴雨,瞬即洪流汹涌,雨过天晴,水位又迅速下降。洪枯水期是不连续的,枯水历时较长。有一些大中型河流,在其中上游由于地理条件存在峡谷河段,集水面积较广,水位过程有一定调平,涨落速度不那么快。但就幅度而言,由于峡谷作用变幅也是极其大的,例如长江三峡巫山站最大水位变幅达到 55.6 m。②水位流量变幅大。与水位变化相应,流量的变幅也较大,如嘉陵江北碚站, Q 最大为 36 900 m^3/s , 最小为 220 m^3/s , 两者相差近 170 倍; 贵州的北盘江最大流量为 4 260 m^3/s , 最小为 17 m^3/s , 相差达 250 倍。③中水历时不长,缺乏稳定中水期,就流量持续时间而言,中水期都比平原河流小得多。

山区河流坡降较大,河床多系岩石,河槽礁石满布,河岸石嘴卡口较多,岸线不规则,对水流运动起控制作用,水面线多成阶梯形,枯水涌水地段流速为 1~2 m/s,急流区流速在 2~4 m/s 以上。洪水时峡谷深槽流速较大,枯水时则相反。

山区河流由于河床形态复杂,河床边壁对水流影响很大,峡谷河段在各级水位流量下呈满槽状态,侧壁糙率起控制作用,糙率较大;非峡谷地段,一般为卵石组成,糙率一般较小一些;但到高水位时期,边壁的影响增加,接近峡谷段的糙率。表 1 所示为长江三峡河段糙率及沿程流速变化。

表 1 长江三峡河段糙率及流速的沿程变化

河 段		各级流量下的曼宁系数				各级流量下的平均流速 (m/s)			
		5.100	10.000	30.000	50.000	5.100	10.000	30.000	50.000
开 阔 段	奉节—孔明灯	0.019	0.037	0.050	0.061	3.39	1.74	1.33	1.38
	牯中滩—巫山	0.018	0.023	0.046	0.040	2.72	2.32	1.82	1.98
	官渡口—五里堆	0.015	0.024	0.035	0.032	—	—	—	—
	秭归井—香溪	0.045	0.060	0.072	0.075	—	—	—	—
束 窄 段	孔明灯—白鹤背	0.079	0.080	0.082	0.080	0.88	1.32	2.44	3.14
	向家洞—青石洞	0.050	0.053	0.062	0.074	—	—	—	—
	青石洞—青子岩	0.084	0.101	0.099	0.100	0.81	1.32	2.28	2.81
	碛石—石柱子	—	—	—	—	0.84	1.43	2.56	3.10

(2) 泥沙

由于山区河流水文特性,泥沙来量主要集中在汛期,沙峰次数及数量决定于雨量及洪峰次数,南方河流含沙量较小,不到 1.0 kg/m^3 ,枯水期水流很清;北方河流,汛期含沙量特高,达几百千克至一吨。山区河流水流夹带下移的多为黏土细沙,和河床组成物质(沙卵石、卵石、夹石)差别大。可以看出,冲泻质在航道整治时一般可以不考虑。由于河床形态复杂,流速变化沿程不连续,推移质运动有间歇性。小水时,开阔的浅滩段流速大,而束窄深槽流速小,这时推移质会自宽谷段搬到峡谷段,在那里停下来。到下一个洪汛季节,束窄深槽段流速加大而宽阔段流速减小,卵石又自峡谷搬到下一个宽谷段。平面形态上宽窄相间越是明显的河段,这种间歇性越是突出。

有些山区河流,河床里的卵石沉积物并不连续,而是成片或带分布,其他部位则为裸露基岩,这样卵石运动就不仅仅决定于水流条件,还决定于补给条件,使得问题格外复杂。图1为长江万县及奉节两站1974—1975年流量及卵石推移质输沙率曲线。可以看出,万县站卵石运动强度最大出现在洪峰阶段,推移质输沙率和水流条件之间较好地相关。奉节站的情况则不同,汛期因受瞿塘峡口束水的影响,来自上游万县的卵石堆积在奉节以上的回水末端地区,到不了奉节站,汛后瞿塘峡壅水作用消失,这期回水末端地区因前期淤积而有一定数量补给,这些卵石新淤未久,较容易起动,即使在枯水季节,流量较小,也能向下运移,并通过奉节站,使奉节站的卵石出现在12月份。当这一部分卵石全部冲完以后,继之而来的水流,尽管流量流速都没有减小,但推移质输沙率却大幅度降低,山区河流卵石运动的间歇性及补给不同影响浅滩输沙能力特性,浅滩整治后时好时坏,可能与这个因素有关。

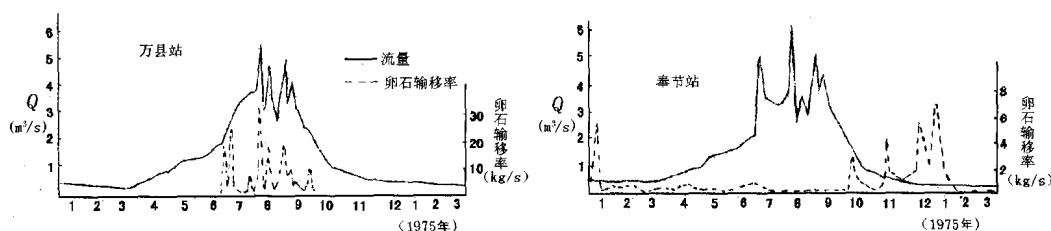


图1 长江万县及奉节站年流量、推移质输沙过程线(1975年)

2.2 山区河流河床形态及水流特性

(1) 河床形态

①平面形态。山区河流河床走向及其形态,因地质构造以及岩性不一样,在水流动力作用下,形成各式各样的平面形态,抗冲力较低和向斜地区往往形成宽谷盘地,而遇到坚硬的岩层和背斜地区则切成峡谷,使得河道宽窄相间成藕节状。

例如长江中游自江津油溪至涪陵河段220 km范围内,沿江岩层为东北—西南向平行排列的梳状褶皱带,长江自西而东,依次剖切6个背斜山脉,构成龙门峡、猫儿峡、铜锣峡、明月峡、黄草峡和剪刀峡等著名的峡谷。驰名世界的三峡地区也是水流切过褶皱带,背斜层形成好,峡谷地区江面狭窄,谷坡陡峭,基岩裸露,两岸山峰耸立。由于岩性不同,长期水流冲蚀,岸线极不规则,急弯、卡口、凸嘴很多,江床上形成各种形态的石梁、石盘

和群礁、孤礁，造成急流浅滩和险滩，或由于崩岩、巨石坠落江中形成各种形态的崩岩滩。

峡谷地区，两峰之间常有溪沟汇来。在溪沟的溪口，形成各种形状的冲积扇，深入干流部分成为溪口滩，压迫水流，形成各种不利航运的流速流态。

②纵断面。山区河流纵断面不是平滑曲线，而存在一系列的折点，河底起伏很大。如川江万县附近河底的“峰”和“谷”之间，相差 60 m 之巨。就冲蚀深度而言，高程低于吴淞零点者，三斗坪地区就有 8 处，南津关附近有 4 处，最深达 -45 m。山区河流纵断面有折点，水面线也存在折点，使缓流和急滩相间，沿江上下滩槽的形成有一定联系，一滩变动上下都受影响，因而就比降调整而言，山区河流航道整治受到限制。见图 2。

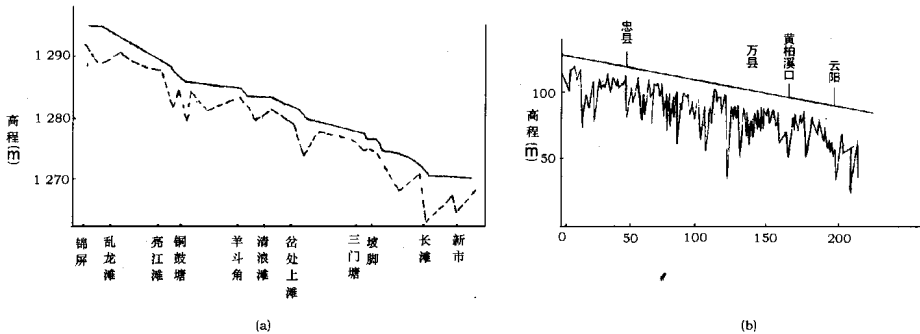


图 2 山区河流河床地形纵剖面变化图

(a) 贵州清水河 (b) 川江

③横断面。山区河流横断面的形态，一般呈 V 形或 U 形，这两种形态河谷，一般看不到河漫滩地带，除崩岩滩和基岩滩外，一般枯水流态较好，只是由于侧壁上有时巨石横伸，影响水流形成各种洪水滩险，在河谷开阔地段，断面呈凹形，存在基岩和卵石形成的边滩，有些边滩上可以看到沙波运动，如贵州清水河基隆滩，卵石沙浪长 150~200 m，高 1.0~1.2 m，坡脊及峰部卵石长径 30~40 cm，背水坡及谷部则为 10~15 cm，排列成鱼鳞状，由于沙波运动，这种浅滩整治比较困难。

(2) 各种碍航水流

山区河流主流区的滩段坡陡流急，流态恶劣，这是众所周知的。由于地形复杂，常存在许多碍航的副流，船舶航行其中安全受到严重的威胁，川江驾引人员常说，“看水走船”，是很有道理的。概括起来，碍航副流有如下 8 种。

① 回流。由于河岸参差不齐，山嘴石梁伸入河中，这些凸嘴挑流，其下方常有回流出现；或者江心巨石，挤压水流，其下游回流强烈；或者溪口滩挤压，主流挑对岸，则溪口下游形成强烈回流。有些地区回流流速较大，例如过去川江青滩鸡心石下游，回流流速达 2.5 m/s，历史上曾因驾驶不顺出过海事。

回流的强度和河道主流强度、河宽、水深、河床糙率有关，两主流流速条件相同，河床糙率大的，回流范围和强度要小一些；水深大的，回流范围和强度大一些；河宽收缩大的，回流范围和强度大一些。若地形条件相同，主流流速愈大，挑流愈大，回流范围、强度愈大。这是容易理解的，因为水流遇障碍物，产生分离面，由于水流切应力的作用形成回流，切应力愈大回流强度愈强。

船舶航行不慎，上水用舵或出回流不及时，使船射出河心横冲向对岸或者船头朝向下游，形成“打张”，航宽不够容易撞船出海事。下水船若选择航线不当，用舵不及时，使船身入回流而回转或射向对岸，形成“打仓”，危险性更大。

② 泡水。主流冲击河底石盘、礁石和凹岸陡壁，水流从深潭反涌上升，冲向水面，样似沸水。如折桅子、三峡南津关的泡水是比较典型的，水流直冲弯道的矶头，由下而上反折，强度很大，形成强烈的泡水，泡水上游因泡水阻水作用形成浅区。船舶下行，靠左则因碛浅，有擦浅危险，靠右因水流压迫，而扫弯，整治前常出海事。见图 3、图 4。

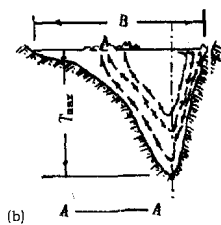
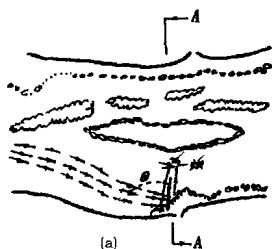


图 3 泡水示意图



图 4 泡流水示意图

泡水形成的机理，主要是水流动能变为位能的一种能量转换现象，大流速是主因，河床形态、水深是必要条件。目前只有定性的认识，研究很不够，还不能用数学形式来描述。

③ 漩水。发生于两种水流交界面上，其中心陷落成漏斗状，船舶航经漩水，船头受横向水力推压而急剧偏离航向，恶化操纵性能。若漩水尺度较大，船舶从漩中过，有发生纵摇、船头下沉或船队歪船扎驳、断缆的危险，如严重倾斜，可能发生海事。

④ 横流。驾引人员把与航线方向成一定角度的水流都称横流，见图 5。是由河床水流具有一定的横比降形成的。形成横流的地方很多：在河的一侧有石梁、凸嘴，水位涌高产生横比降；在分岔河道的入口和出口靠近江心洲头洲尾，有水流向左或右的横流；在过渡段较短，上下边滩深槽交错，有强烈的扇形横流；边滩头部阻水形成射向航槽横流等。横流对船舶具有横向推力，容易使船舶扫弯碰礁，或严重歪船出海事。

⑤ 剪刀水。被两岸相对突出障碍物挑引的两股水流，逐渐向下游收缩，在平面上呈 V 形，形如剪刀。收缩段为急流，其上段比降较陡，船舶上航马力不足以克服水流阻力，则需设绞滩。下航船舶沿主流而下，若操纵不慎，首部入回流而尾部尚在主流区，船身受旋转力矩作用而横驶，或扎驳断缆，或碰礁、触石岸出海事。

⑥ 扫弯水。水流流过弯曲河段，由于离心力作用，产生单向环流，表面水流射向凹岸，形成扫弯水流。扫弯水流顶冲点及强度沿程变化，强度因单宽流量大小及水流弯曲半径而异。船舶在横向推力作用下，容易扫触岸坡、碰礁出海事。

⑦ 走沙水。有些地段因河流形态，洪水期悬沙大量淤积，当水位退落，水流归槽，冲刷泥沙，含沙浓度极大，水流呈棕黑色，有时带黑色水泡，这种水流称走沙水，因含沙浓度大，增大船舶上航阻力。

⑧ 滑梁水。航槽一侧或两侧有石梁、石盘，横亘于江中，当水位高于障碍物时水流流经石梁表面横溢，见图 6。当航道不宽，船舶行经溢流段时对航行危害很大，水流横向吸