

| 贵州省交通建设系列科技专著 |

赤水河航运建设关键技术

RESEARCH ON KEY TECHNIQUE OF
NAVIGATION CONSTRUCTION OF CHISHUI RIVER

贵州省交通运输厅 组织编写

冯小香 韩剑波 李一兵 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

贵州省交通建设系列科技专著

赤水河航运建设关键技术

贵州省交通运输厅 组织编写

冯小香 韩剑波 李一兵 编 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为“贵州省交通建设系列科技专著”中的一本。全书从航道通航条件及维护、航运信息服务、船舶新船型研发、港口装卸工艺及机械设备研发等方面,系统阐述了赤水河航运工程建设前期及建设、运行过程中解决的关键技术难题。在航道整治技术方面,重点介绍了赤水河河口淤沙碍航机理及治理技术、混合底质浅滩滩险特性及治理技术、强动力条件下航道整治建筑物新结构研发等新技术;在通航信息服务方面,重点介绍了赤水河通航信息服务系统构建;在港口船舶装卸工艺方面,重点介绍了适用于大水位差码头的起重机设备的研发;在船舶船型研发方面,重点介绍了适用于山区河流弯、浅、窄、急险滩航道整治施工船舶船型的选型以及船舶标准化船型的研发。本书资料翔实,内容丰富,图文并茂,提出的适用于小流量、大比降的山区河流航运工程建设成套技术已成功应用于赤水河航运工程建设,并推广应用于乌江、都柳江等西部山区河流的航运工程建设。

本书可供从事航道整治、船舶设计、港口设备研发、信息服务等相关专业的规划、设计、建设、科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

赤水河航运建设关键技术 / 冯小香等编著; 贵州省
交通运输厅组织编写. — 北京:人民交通出版社股份有
限公司, 2015. 8

ISBN 978-7-114-12456-3

I. ①赤… II. ①冯… ②贵… III. ①长江—上游—
内河航道—航道建设—研究 IV. ①U697.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 196917 号

贵州省交通建设系列科技专著

书 名: 赤水河航运建设关键技术

著 作 者: 冯小香 韩剑波 李一兵

责任编辑: 周 宇 韩 帅

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

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: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 9.5

字 数: 216 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12456-3

定 价: 40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

贵州省交通建设系列科技专著

编审委员会

主 任：王秉清 陈志刚

副 主 任：罗 强 潘 海

委 员：康厚荣 熊 文 龙平江 刘 彤 赵 伟

冯 伟 任 仁 杨贵平 张 胤 徐仕江

章友竞 刘金坤 许湘华 张 林 梅世龙

粟周瑜 丁志勇 李黔刚 母进伟 何志军

龙万学 邓卫东 杨建国 李华国 胡江碧

吴春颖 王丽铮 彭运动 郭忠印 彭元诚

刘学增 吴立坚 马旭东

总 主 编：罗 强

副总主编：康厚荣

总序

Perface

古往今来,独特的地形地貌赋予贵州重峦叠嶂山高谷深的隽秀之美,但山阻水隔也桎梏着贵州经济社会发展的步伐。打破交通运输瓶颈,建设内捷外畅的现代综合交通运输体系,与全国同步迈向小康,一直是贵州人的夙愿。

改革开放特别是进入“十二五”以来,党中央、国务院及交通运输部等国家部委高度重视贵州经济社会发展。2012年年初,国务院出台支持贵州发展的国发2号文件,将贵州省经济社会发展的战略规划上升到国家层面。贵州省委、省政府立足当前、着眼长远,提出坚持把交通作为优先发展的重大战略,举全省之力加快交通基础设施建设。2012年以来,贵州省先后启动了高速公路建设、水运建设三年会战,普通国省干线公路建设攻坚,“四在农家·美丽乡村”小康路行动计划,“多彩贵州·最美高速”和“多彩贵州·平安高速”创建等一系列行动,志在“十二五”末,通过交通大建设一举打破大山的束缚,畅通经济发展的交通网络。

广大交通建设者紧紧抓住发展的历史机遇,凝心聚智,在广袤的黔山秀水之间,用光阴和汗水构筑贵州面向未来的交通新格局。“十二五”期间,全省交通基础设施建设将完成投资4500亿元,新建成高速公路3600公里,高速公路通车总里程将突破5100公里,全省88个县(市、区)将全部通高速公路。乌江、赤水河建成四级航道700公里,改写了贵州无高等级航道的历史。建成构皮滩水电站翻坝枢纽工程,实现乌江航道全线通航。曾经的黔道天堑正变成康庄大道,一张以高速公路为骨架、国省干线公路为支撑、县乡公路为脉络、小康路为基础的四级公路路网正在形成,“扬帆赴江海”指日可待。

围绕贵州交通发展中出现的科技需求,贵州省交通运输厅组织开展了一批省部级重大科研项目攻关,重点突破一批关键、共性技术难题,在支撑工程建设、引领行业创新发展方面成效显著。在山区复杂条件下大型桥梁建设技术方面,形成了千米级悬索桥、高墩大跨刚构桥和钢管混凝土拱桥等设计施工成套技术,有力支撑了坝陵河大桥、清水河大桥、鸭池河大桥、赫章大桥、木莲大桥等一批世界级桥梁建设工程,实现了我省桥梁建设技术的大跨越;针对西部山区复杂地质地形条件,从勘察设计、建设施工、养护管理和生态环保等方面系统开展基础研究和

技术开发,形成一批山区高速公路修筑技术,其成果居国内先进水平,有力支撑了复杂山区环境下高速公路项目建设;在山区航道整治、船型标准、通航枢纽建设等方面取得的创新性成果,促进了贵州航运工程的发展;完成了“贵州乌蒙山区毕都高速公路安全保障科技示范工程”等交通运输部科技示范项目,有力推动了交通科技成果推广应用;以“互联网+便捷交通”推进智慧交通建设,率先开展智能交通云的建设和应用。交通运输科技成果连续3年获得贵州省科技进步和成果推广一等奖。

为展现在公路、水路和交通安全、信息化建设等方面取得的技术成就,促进技术交流,加大推广应用,贵州省交通运输厅组织编写了“贵州省交通建设系列科技专著”。这套科技专著的出版,对传承科技创新文化,提升交通科技水平,深入实施科技兴省战略,促进贵州经济社会快速发展,意义重大、影响深远。

交通成就千秋梦,东西南北贯黔中。编撰这套系列科技专著,付出的是艰辛、凝结的是智慧、反映的是成绩,折射了交通改变地理劣势、奋斗推动跨越的创新精神,存史价值较高,是一笔当代贵州的可贵财富。



2015年10月

前言

Foreword

赤水河发源于云南省镇雄县两河区鱼洞河,在云、贵、川三省交界的三岔河附近与纳力河和威信河汇合后,东行至赤水河桥后始称赤水河,于赤水市下游 5km 进入四川省至合江汇入长江,干流全长 430km,流域面积为 19 007km²。赤水河航道是黔北和川南地区直通长江的重要水运通道。

赤水河航道等级低、滩险多、港口码头简陋。为进一步提高通航能力,贵州省在交通部(现为交通运输部)的大力支持下,于 2002—2006 年实施“赤水河(岔角—合江)航运建设工程”。工程建设内容包括:整治航道 159km(其中:按六级航道标准整治岔角至狗狮子段 80.9km,按五级航道标准整治狗狮子至合江段 70.9km)、改扩建岔角、土城、赤水、合江四个港区码头,建设 300t 级泊位 6 个和 100t 级泊位 8 个,并同步建设全河段通信、导航、航道管理等设施,将赤水河岔角至四川合江段(长江河口)连续通航能力从 150t 级提升至 300t 级,年设计货运能力提升至 350 万 t。

但是整治赤水河这样流量小、比降大的山区河流,要达到好的整治效果非常困难,只有攻克赤水河河口淤沙碍航机理及治理技术、混合底质滩险特性及治理技术、强水流条件下整治建筑物结构稳定性问题以及其他施工设备、码头装卸机制、船舶标准化等技术难题,才有工程建设成功的可能。为此,交通部 2001 年、2003 年先后设立赤水河口航道治理技术专题和赤水河航运建设关键技术等研究项目,贵州省交通厅 2004~2006 年先后设立赤水河中游浅水船型研究,赤水河中游浅水船舶标准化、系列化船型研究以及赤水河中游船舶通航信息服务系统等项目。

上述项目研究成果成功应用并通过实践检验,依托工程的实施提高了赤水河航道等级,改善了通航条件,提高了港口装卸效率,降低了船舶运输成本,明显提高了航运安全保障的目的,实现了赤水河船舶最大载重吨由 150t 级提高到 300t 级的突破,促进了赤水河航运发展,取得了显著的经济和社会效益。赤水河成为贵州省第一条全年通航的河流,第一条设置有夜航灯标的通航河流,第一条建立了 GPS 海事搜救系统的通航河流,第一个在重点码头(鲢鱼溪码头)安装了安全监督部门的安全监控可视系统。工程实施后赤水河上百舸争流,千帆竞发,呈

现了全国少有的内河运输繁忙景象,赤水河也成为名副其实的黄金水道,狗狮子—合江河段航道更成为国家第一个西部文明样板航道。

本书正是上述科研工作的梳理、总结和提升,旨在进一步加强优秀科技成果的推广应用。全书共分9章:第1章介绍了赤水河航道建设现状、面临的主要技术问题及本书主要内容;第2章介绍了赤水河河口淤沙段的水动力条件、河床演变特点及滩险碍航特征,提出了河口淤沙段的整治原则、方法和措施及实施效果;第3章论述了支流河口的分类、成因和碍航特性,分析泥沙冲淤与水沙特性的关系,提出支流河口整治参数的确定方法和治理措施;第4章介绍了混合底质浅滩的类型、整治经验、整治原则,提出了混合底质过渡性浅滩和汊流浅滩的整治方法、治理目标和方案;第5章在分析贵州省导治建筑物护面结构现状的基础上,对护面层结构形式进行比选,介绍了土工织物沙袋护面结构的稳定性试验及应用;第6章介绍了赤水河安全监控系统 and 远程水深遥测系统方案的总体设计及功能;第7章介绍了浮式双悬臂桥式5吨起重机方案总体构思及结构;第8章介绍了赤水河浅水疏浚船舶选型;第9章介绍了赤水河中游船型主尺度优化、船体型线设计优化、下沉量研究及船模试验,提出了中游浅水货船标准化、系列化船型。

本书由冯小香、韩剑波、李一兵统稿。其中第1章由冯小香、李一兵执笔;第2章由李旺生、冯小香、王益良执笔;第3章由李旺生、李伯海执笔;第4章由李一兵、冯小香、刘臣执笔;第5章由韩剑波、李旺生、王诚执笔;第6章由韩剑波、张鹭、王诚执笔;第7章由王诚、郑见粹执笔;第8章由韩剑波、王诚、刘家新执笔;第9章韩剑波、王丽铮、罗登仑、徐俊平执笔。

本书是十年来水运科技引领、支撑赤水河航运建设的缩影。因此,编写组特别感谢贵州省航务管理局、交通运输部天津水运工程科学研究院、交通运输部水运科学研究院、武汉理工大学、贵州省地方海事局、贵州顺达水运规划设计院、遵义市地方海事局、赤水市地方海事处、仁怀市地方海事处、习水县地方海事处等单位对科研工作的支持;感谢李玉林、王义安、马殿光、李伯海、高倍力、张翔等参研同志贡献的智慧;感谢所有为本书研究工作和编写工作做出贡献的单位和个人。

本书可作为港航等相关专业的本科、研究生教学参考书,也可作为相关专业研究人员及航道维护管理人员的参考用书。

本书涉及面广,限于作者的学识水平,书中可能有欠妥和不当之处,热忱地希望读者批评指正。

作 者

2015年7月

目 录

Contents

第 1 章 引言	1
1.1 背景	1
1.2 面临的主要问题	2
1.3 本书阐述的主要内容	3
第 2 章 赤水河河口淤沙段航道整治	4
2.1 河口淤沙段水沙特性分析	5
2.2 长江对赤水河口淤沙段水动力条件的影响	6
2.3 河口淤沙段河床演变特点及滩险碍航特征	7
2.4 河口淤沙段整治原则及方法	9
2.5 河口淤沙段治理措施	11
2.6 河口淤沙段整治工程初步布置和设计	13
第 3 章 支流河口航道整治	20
3.1 支流河口滩险分类及基本成因	20
3.2 汇流口河段河口滩险碍航特性	22
3.3 支流河口滩险泥沙冲淤与河床演变特点	23
3.4 不同汇流比支流河口的水沙特性	24
3.5 汇流口河段水文特性	26
3.6 整治原则和整治水位及整治线宽度	27
3.7 支流河口滩险治理措施	30
第 4 章 混合底质浅滩整治	32
4.1 混合底质浅滩的特性	32
4.2 混合底质浅滩整治的经验	35
4.3 混合底质浅滩的整治原则	37

4.4	混合底质浅滩的整治方法	37
4.5	典型混合底质浅滩的整治	41
第5章	土工织物导治建筑物护面技术及其灌装工艺	46
5.1	贵州省导治建筑物护面结构现状分析	46
5.2	土工织物导治建筑物护面层结构比选	47
5.3	护面结构稳定性水槽试验研究	50
5.4	土工织物砂袋坝护面技术应用	53
5.5	砂卵石充填物土工织物袋灌装及沉放工艺	54
第6章	赤水河安全监控及通航信息服务系统	60
6.1	赤水河安全监控系统方案设计	60
6.2	远程水深遥测系统方案设计	62
6.3	远程水深遥测系统功能	65
6.4	远程水深遥测系统测试	80
6.5	赤水河码头视频图像监控系统研制	80
6.6	赤水河中游船舶通航信息服务系统总体方案	82
第7章	浮式双悬臂桥式 5t 起重机研究	86
7.1	运输需求	86
7.2	技术现状	86
7.3	工艺要求	89
7.4	方案构思及机型优化	90
7.5	小车结构	91
7.6	主梁结构	92
7.7	防倾翻大车运行机构	98
7.8	整体稳定性	98
7.9	遥控操纵系统	100
7.10	整机主要技术参数	102
第8章	赤水河河口浅水疏浚船舶选型	104
8.1	国内外挖泥船的发展趋势	104
8.2	赤水河河口水域情况及对疏浚船的要求	105
8.3	疏浚挖泥船方案	106
8.4	推荐 80m ³ /h 自航冲沙边抛挖泥船为赤水河河口疏浚用船	111
第9章	赤水河中游航运新船型及浅水船舶标准化系列化	113
9.1	船型主尺度优化论证	113

9.2 船体型线设计和优化 117

9.3 下沉量研究 121

9.4 赤水河新一代 300t 级机动货驳研制 123

9.5 船模试验研究 127

9.6 赤水河中游浅水货船标准化、系列化船型研究..... 131

9.7 赤水河中游浅水客船标准化、系列化船型研究..... 137

参考文献..... 138

第1章

引言

1.1 背景

赤水河发源于云南省镇雄县两河区鱼洞河。在云南、贵州、四川三省交界的三岔河附近,鱼洞河与纳力河和威信河汇合后始称毕数河,东行至赤水河桥后始称赤水河。赤水河于赤水市下游 5km 进入四川省,至合江汇入长江。赤水河流经云南省的镇雄、威信,贵州省的毕节、大方、金沙、仁怀、遵义、桐梓、习水、赤水,四川省的叙永、古蔺、合江等 13 个县(市),干流全长 430km,流域面积为 19 007km²。

作为贵州省最为悠久的北出长江通道,赤水河航道一直是连接黔北腹地与巴蜀、长江中下游地区的捷径。赤水河流域内矿产、森林、旅游、水能等资源丰富,已探明的煤炭保有储量 121.05 亿 t、硫铁矿储量 39.73 亿 t、铁矿储量 1.8 亿 t、铝土矿储量 793.6 亿 t、钾矿储量 1 亿 t、天然气储量 185 亿 m³,可开发的水能资源 93 万 kW;流域森林面积总计 852.93 万亩^①,竹类分布面积 230 万亩,楠竹产量 77.3 万根。由于流域内既无铁路,也无高速公路,陆上运输能力十分有限。多年来,流域内煤炭、化肥等大宗货物运输几乎均由水运承担。

因此,赤水河航运建设一直得到国家交通运输部和贵州省的大力支持。新中国成立后,经过 20 世纪 50 年代、70 年代、80 年代三次大规模疏浚,航道通航能力实现了从断续通航到 7 级航道的飞跃。特别是 2003~2006 年,交通运输部和贵州省合资投入 1.83 亿元,实施“赤水河(岔角—合江)航运建设工程项目”。该项目是国家实施西部大开发、交通运输部关心西部地区内河航运建设、贵州省委省政府重视内河航运发展的一项标志性工程。工程建设内容包括:

整治航道 158.8km(其中:按 VI 级航道标准整治岔角—狗狮子段 80.9km,按 V 级航道标准整治狗狮子—合江段 79.9km,改扩建岔角、土城、赤水、合江 4 个港区码头,建设 300t 级泊位 6 个和 100t 级泊位 8 个,并同步建设全河段通信、导航、航道管理等设施,将赤水河岔角—四川合江段(长江河口)连续通航能力从 150t 级提升至 300t 级船舶,年设计货运能力提升至 350 万 t。

工程实施后,赤水河成为贵州省第一条全年通航的河流,第一条设置了有夜航灯标的通航河流,第一条建立了 GPS 海事搜救系统的通航河流,第一个在重点码头(鲢鱼溪码头)安装了

^①1 亩≈666.7m²。

安全监督部门的安全监控可视系统。工程实施后,赤水河上百舸争流,千帆竞发,呈现了全国少有的内河运输繁忙景象,赤水河也成为名副其实的黄金水道。

1.2 面临的主要问题

赤水河航运条件的改善主要存在以下几个方面的技术问题:

1.2.1 赤水河航道整治

由于赤水河口段水动力条件复杂,且常年受长江来水顶托,致使该河段洪水期流速很小,致使大量的泥沙汛期淤积,但在枯水季节因冲刷不及而障航,个别浅滩主航道甚至全部淤塞。经 20 世纪 70 年代中期的系统治理,虽达到了 VI 级航道标准,航道条件得到改善,但河段内中洪水时期泥沙淤积仍然较为严重。特别是近河口段 11km 航道,仍处于自然状态,未经大规模的治理。其中的原因很多,但水流的动力条件较弱,治理难度大是一个重要原因。

另外,20 世纪 90 年代以来,相关部门虽对西部山区一些主要的河流进行了一次较系统的整治,积累了不少的技术资料和实践的经验,但对混合底质浅滩的整治仍缺乏足够的认识和经验。由于混合底质浅滩具有卵石浅滩和石质浅滩的双重特性,故其整治原则、方法和整治参数与砂卵石浅滩和石质浅滩的整治有所区别。同时整治建筑物结构形式的选择及施工工艺也是必须要解决的难题。

1.2.2 赤水河航运信息服务

赤水河繁忙的水上运输多年来给航道管理和水上安全监督管理带来了巨大压力,特别是航道水深监测和重点港口码头的船舶安全保障监控,显得十分落后并缺乏必要的手段,船舶搁浅和损毁事故也时有发生。如能解决好航道水深监测和重点港口码头的船舶安全保障监控问题,是航运建设工程效益和社会效益充分发挥的基础。

1.2.3 赤水河码头装卸设备

赤水河运输的货物主要是煤炭、矿产品、农副产品、化肥、竹木制品、日用百货。在岔角、太平渡、土城、赤水、合江等主要港口已有的简易码头(不包括“贵州赤天化股份有限公司”码头),基础设施简陋、基本上无装卸机械设备,装卸作业全依靠人力,装卸效率低,影响了船舶的运营。由于受港口码头的集疏运条件的限制,赤水河流域内的煤炭、矿产等大宗货物的开采,处于“以运定产”的状况,制约了地区经济的发展。有必要针对赤水河的具体条件,开展赤水河典型港口装卸工艺及装备研究,大力发展港口基础建设,增加码头装卸设备,提高港口吞吐能力,以适应地区国民经济发展的要求。

1.2.4 赤水河船型标准化

赤水河船型方面,现有几十吨的机动驳,吨位小、能耗高、性能差、运输成本高,缺乏竞争力。赤水—合江段采用拖带运输方式,1 艘 220kW 的拖船拖 4 艘 150t 的半舱驳,主力拖带船

队船龄接近 30 年、运输方式落后,急需更新改造。随着赤水河航运建设工程的开发、实施,岔角—合江通航条件将有较大的提高,未来赤水河客货运量将有较大的增长。现有船型和运输组织方式,将难以承担未来 350 万 t/年的运输量。采用国内先进的内河船型技术以及新型能源为动力,研究适合赤水河航道条件的新船型和运输方式,是赤水河船舶运输业发展需要解决的关键问题。

1.3 本书阐述的主要内容

工程的成功实践离不开科研工作的支撑和助推作用。在赤水河航运工程建设和运行过程中,国家交通运输部和贵州省交通运输厅紧密围绕提高和挖掘赤水河航运能力这个中心任务,陆续组织开展了《赤水河口航道治理技术》《赤水河航运建设关键技术研究》等交通建设科技项目和《赤水河中游浅水船型研究》《赤水河中游浅水船舶标准化、系列化船型研究》《赤水河中游船舶通航信息服务系统研究》等贵州省交通运输厅科技项目,研究内容包括航道整治技术研究(提高航道等级)、信息系统构建(减小海事事故的发生,提高管理服务水平)、港口码头及其装卸工艺和装备研发(提高装卸效率)、运输方式和运输船型研发(船型标准化和先进性)等。创新性的科研成果为赤水河航运的发展提供了重要的技术支撑。本书正是上述系列研究工作的梳理、总结和提升,共包含以下四个方面的内容。

(1)航道整治。主要包括赤水河河口淤沙段航道整治、支流河口航道整治混合底质浅滩河整治、土工织物导治建筑物护面技术灌装工艺研究。

(2)信息服务。主要包括赤水河远程水深遥测系统、赤水河码头视频图像监控系统、赤水河中游船舶通航信息服务系统等信息系统的研制与应用。

(3)港口设备。主要指浮式双悬臂桥式 5t 起重机研究。

(4)船舶船型。主要包括赤水河口浅水疏浚船舶选型、赤水河中游航运新船型、赤水河中游浅水船舶标准化系列化船型研究。

第2章

赤水河河口淤沙段航道整治

赤水河是长江上游南岸的一级支流,也是贵州省北部重要的通江达海航运通道,担负着全省 70% 以上的水路运输总量,其下游赤水—合江段 54km 为 VI 级航道(图 2-1),是贵州赤天化股份有限公司(简称“赤天化”)化肥产品输出的重要通道;同时还肩负着沿岸人民生活物资的运输任务,是沿岸各水路运输企业和生产厂家的生命线。经过几十年的多次整治,赤水河的航道条件得到了较大的改善。但由于河口段水动力条件复杂,且常年受长江来水顶托,致使该河段洪水期流速很小,大量的泥沙汛期淤积,在枯水季节因冲刷不及而障航,个别浅滩主航道甚至全部淤塞。20 世纪 70 年代中期,赤天化建设时曾对河口段进行了全面系统的治理,已经达到了 VI 级航道标准[航道尺度为 $(0.8 \sim 0.9) \text{m} \times 25 \text{m} \times 250 \text{m}$,可通航 $1+4 \times 165 \text{t}$ 驳船队],航道条件得到了很大的改善,但河段内中洪水时期泥沙淤积仍然较为严重。特别是近河口段 11km 航道,至今仍处于自然状态,未经大规模的治理。其中的原因很多,但水流的动力条件较弱,治理难度大是一个重要的原因。研究解决赤水河河口这种弱汇流支流河口的航道治理问题既是工程建设对航道整治技术提高的迫切要求,也是所要解决的关键性技术问题。

本河段航道建设标准为 V 级,设计航道尺度为 $1.3 \text{m} \times 22 \text{m} \times 250 \text{m}$ (航深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径)。本期河口淤沙段的整治工程达到的目标是:使航道尺度在满足设计要求的同时,能够减少淤沙碍航的时间、碍航段的长度及碍航的严重程度,尽可能避免出现断航现象。

本研究采用河床演变分析、数值模拟计算和物理模型试验相结合的研究手段。根据河口淤沙段的水沙运动特点和碍航特性,将河段分为上、下两段,上段的航道治理是围绕着重点滩进行的,而下段则是全河段治理。根据这种划分,分别确定了各滩和河段的航道整治原则。根据多组次方案试验和数模计算的结果,确定了推荐方案,较好地解决了赤水河河口淤沙段的航道治理工程中的关键技术问题。

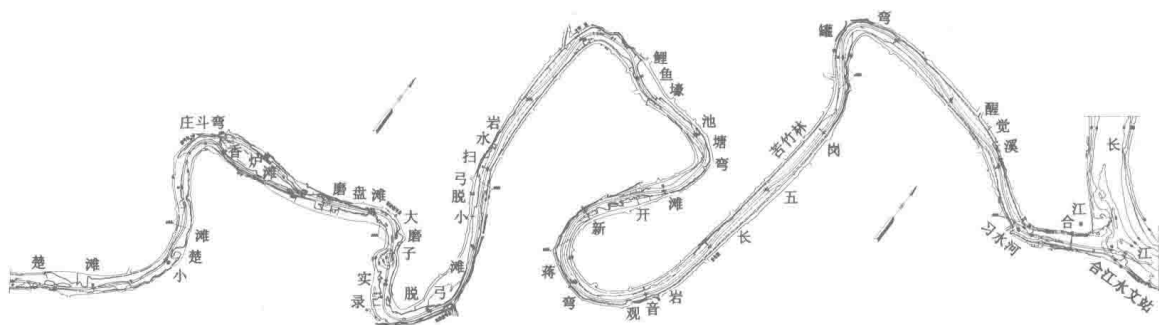


图 2-1 赤水河口淤沙段河势及滩险分布图

2.1 河口淤沙段水沙特性分析

2.1.1 赤水河来水来沙

赤水河多年平均径流量 79.4 亿 m^3 ; 多年日平均流量 $252\text{m}^3/\text{s}$ (1957~2001 年), 历年最大流量为 $9890\text{m}^3/\text{s}$ (1953 年 9 月 6 日), 日平均最小流量为 $33.2\text{m}^3/\text{s}$ (1963 年 6 月 5 日), 年际间水量分配极不均匀, 洪枯流量比最大为 298 倍。根据赤水站多年 (1957~1999 年) 日平均流量统计结果可知, 赤水河一般 4~5 月为涨水期, 径流量约占全年水量的 16.34%; 6~9 月为中洪水期, 径流量约占全年水量的 54.96%; 10~11 月为落水期, 径流量约占全年水量的 13.34%; 12~翌年 3 月为枯水期, 径流量约占全年水量的 15.36%, 年内水量分配极不均匀。枯水期径流主要靠地下水补给, 中洪水期暴雨集中, 日水位变幅达数米, 水位暴涨暴落, 洪峰量大且持续时间短, 峰型尖瘦, 具有典型的山区河流的水文特性。

赤水河悬移质年内分配不均匀, 产沙主要集中在汛期, 含沙量的变化与洪峰的形成过程有关, 一般年份第一、二次洪峰均伴随年内最大的沙峰出现, 沙峰与洪峰基本同步。赤水站多年平均含沙量为 $0.891\text{kg}/\text{m}^3$ (1957~1996 年), 年平均最大含沙量为 $2.707\text{kg}/\text{m}^3$ (1972 年), 年平均最小含沙量为 $0.322\text{kg}/\text{m}^3$ (1956~1986 年); 多年平均输沙量为 755 万 t, 年最大输沙量为 2211.6 万 t (1972 年), 年最小输沙量为 233 万 t (1971 年), 年际间输沙量变化较大。

2.1.2 赤水河与长江来水来沙特性比较

通过对赤水站和长江朱沱站来水来沙特性分析, 可以得出以下几点认识:

(1) 赤水河多年径流量仅为长江的 2.94%, 汇入长江的水量相对较少, 因而赤水河对长江的影响相对较小。赤水河多年平均径流量为 79.4 亿 m^3 , 而长江多年平均径流量为 2697 亿 m^3 , 特别是在洪水期 7~9 月份, 赤水河的径流量仅占长江的 2.18%。赤水河入汇长江的汇流比 ($Q_{\text{赤}}/Q_{\text{长}}$) 大多在 0.010~0.085 之间, 频率约为 86.6%, 特别在 0.010~0.035 之间, 约占 48.8%。如此小的汇流比, 长江势必对赤水河产生壅水顶托影响。

(2) 赤水河涨水及洪峰一般年份均早于长江, 根据赤水站及朱沱站多年水文资料统计分析, 赤水河一般每年 4 月初开始涨水, 较长江一般提前约 1 个月; 赤水河洪峰一般在 6 月初或 7 月初出现, 也较长江提前约半个月。

(3) 长江洪水期 7~9 月多年平均流量 $17950\text{m}^3/\text{s}$, 洪峰峰型肥胖, 高水持续时间相对较长; 而赤水河 7~9 月多年平均流量 $391\text{m}^3/\text{s}$, 水位暴涨暴落, 洪峰持续时间短, 峰型尖瘦。因此, 洪水期长江对赤水河势必产生壅水顶托影响。

(4) 赤水河落水早于长江, 同时长江落水相对缓慢, 使赤水河在落水初期仍然受长江壅水顶托影响。由于赤水河在落水冲刷期的冲刷历时相对较短, 使洪水期在赤水河口淤沙段淤积的泥沙, 因落水冲刷期来流流量小, 走沙速度慢, 造成浅滩水深不足而碍航。有时淤沙需到翌年的汛前涨水时才能走完。

(5) 长江多年平均含沙量高于赤水河。赤水河多年平均含沙量为 $0.891\text{kg}/\text{m}^3$, 而长江为

1. 177kg/m³,特别是在洪水期 7~9 月份,赤水河多年平均含沙量为 1.07 kg/m³,而长江却达 1.74kg/m³。

(6)赤水河年际间输沙量变化较大,且年来沙多集中于汛期。由于中洪水期河口淤沙段受长江顶托影响现象始终存在,因此,淤积在所难免。河口淤沙段的淤积除与两河(江)来流及过程有关外,还与赤水河的来沙有关,大沙年淤积量大,小沙年淤积量小。

2.2 长江对赤水河口淤沙段水动力条件的影响

赤水河口段地处四川盆地低山丘陵区,两岸海拔 200~500m,以蚀余山丘和冲积台地为特点,河谷开阔,河床呈宽浅的 U 形。从来水来沙情况看,赤水河口段具有典型的山区河流的水文特征。但由于该河段受长江的顶托影响,中洪水期水面比降平缓,水流流速较小,悬移泥沙落淤,又具有平原河流的水文特性。

2.2.1 长江对赤水河口淤沙段水位的影响

资料分析表明,长江对赤水河口淤沙段水位多年平均壅高值为 3.27m(以合江站水位计算,下同),多年最大壅高值平均为 7.04m,最小壅高值平均为 0.13m;日平均最大壅高值为 18.3m(1966 年 9 月 2 日),此时,长江朱沱站流量为 52 900m³/s,赤水站为 161m³/s,汇流比仅为 0.003 05,壅水影响范围达赤水市以上,长约 60km。

长江对赤水河口淤沙段多年日平均水位壅高值和多年月平均水位壅高值统计结果表明,涨水期平均水位壅高值为 1.03m,中洪水期平均水位壅高值为 5.74m,特别是 7~9 月,平均水位壅高值达 6.49m,壅水顶托影响范围在新开滩以上;落水期平均水位壅高值为 3.22m,枯水期平均水位壅高值为 0.45m,尤其是 2~3 月,平均水位壅高值仅为 0.18m。可见,中洪水期长江对赤水河口淤沙段壅水顶托影响最大,落水期次之,枯水期最小。即河口淤沙段在落水期受长江的顶托影响依然十分严重,单靠落水期的洗河水冲刷或增加落水期的冲刷历时解决新开滩以下河段的碍航问题,不仅整治工程量巨大,而且整治效果也不十分明显。因此,该河段航道整治应采取枯水治理,全面缩窄枯水河宽,利用有限的来水及有限的历时,采取束水攻沙的整治措施,实现整治目的。

2.2.2 长江对赤水河口淤沙段壅水影响范围分析

选择罐弯、新开滩、鲤鱼壕、脱弓滩、香炉滩及楚滩六把水尺(距入汇处分别为 3.9km、10.4km、12.9 km、17.7 km、21.3 km 及 25.8 km),采用一维数值模拟计算并点绘河口淤沙段沿程六把水尺的水位 H —流量 Q —壅高值 ΔH 关系,从而定性分析长江对赤水河口段的影响范围,由此得到以下认识:

(1)河口淤沙段沿程六把水尺的水位不同程度上都受到长江壅水顶托影响,即各水尺的水位都不是由赤水站流量决定的,而是赤水流量及长江壅水顶托产生的水位壅高值的函数。

(2)同一壅高值下,长江对赤水河口淤沙段水位的影响随赤水流量的增加而减弱;不同壅高值下,长江对赤水河口淤沙段水位的影响随壅高值的增加而增加。