



“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护
长江黄金水道建设关键技术丛书

KEY TECHNIQUES OF
THE WATERWAY REGULATION FROM
YIBIN TO CHONGQING REACH IN
THE UPPER YANGTZE RIVER

长江上游宜宾至重庆河段 航道整治关键技术

刘怀汉 胡小庆 解中柱 著



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



“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护
长江黄金水道建设关键技术丛书

长江上游宜宾至重庆河段 航道整治关键技术

刘怀汉 胡小庆 解中柱 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《长江黄金水道建设关键技术丛书》之一,在充分认识长江上游宜宾至重庆河段滩险特性的基础上,对卵石滩险的水力特性、泥沙输移特性进行了研究,总结归纳了卵石滩险的整治技术、整治建筑物结构设计和施工技术,通过多类卵石滩险整治实例,介绍了卵石滩险整治技术的应用,初步研究了金沙江建库对长江叙渝段航道条件的影响。

本书可供从事水运工程的规划、设计、施工、研究及管理人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

Abstract

As one of the *Key Techniques for Construction of the Yangtze Golden Waterway Book Series*, firstly this book has a full understanding of rapids characteristics from Yibin to Chongqing reach of the upper Yangtze River, then studies hydraulic characteristics and sediment transport characteristics of gravel rapids, finally summarizes regulation techniques, regulation structure designs and constructions of gravel rapids. Moreover, this book introduces gravel rapids regulation applications through different regulation cases and makes a preliminary study on effects of reservoirs constructed along the Jinsha River on shipping conditions of Chongqing segment in the Yangtze River.

This book can serve as reference for those engaged in water transport plan, design, construction, research and management, as well as teachers and students of related specialties in colleges and universities.

图书在版编目(CIP)数据

长江上游宜宾至重庆河段航道整治关键技术 / 刘怀汉, 胡小庆, 解中柱著. —北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.12

(长江黄金水道建设关键技术丛书)

ISBN 978-7-114-12594-2

I. ①长… II. ①刘… ②胡… ③解… III. ①长江—航道整治—研究 IV. ①U617

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 257609 号

长江黄金水道建设关键技术丛书

书 名: 长江上游宜宾至重庆河段航道整治关键技术

著 作 者: 刘怀汉 胡小庆 解中柱

责任编辑: 丁润铎 刘 倩

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) 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: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 21.25

字 数: 480 千

版 次: 2015 年 12 月 第 1 版

印 次: 2015 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12594-2

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

《交通运输建设科技丛书》

编审委员会

主 任 庞 松

副主任 洪晓枫 袁 鹏

委 员 郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

《长江黄金水道建设关键技术丛书》 审定委员会

主 任 赵冲久

副主任 胡春宏

委 员 (按姓氏笔画排列)

王义刚	王前进	王 晋	仇伯强	田俊峰	朱汝明
严新平	李悟洲	杨大鸣	张 鸿	周冠伦	费维军
姚育胜	袁其军	耿 红	蒋 千	窦希萍	裴建军

《长江黄金水道建设关键技术丛书》

主要编写单位

交通运输部长江航务管理局

交通运输部水运科学研究院

南京水利科学研究院

交通运输部长江口航道管理局

交通运输部天津水运工程科学研究院

中交第二航务工程勘察设计院有限公司

武汉理工大学

重庆交通大学

长江航道局

长江三峡通航管理局

长江航运信息中心

上海河口海岸科学研究中心

《长江黄金水道建设关键技术丛书》

编写协调组

组 长 杨大鸣（交通运输部长江航务管理局）

成 员 高惠君（交通运输部水运科学研究院）

裴建军（交通运输部长江航务管理局）

丁润铎（人民交通出版社股份有限公司）

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大

交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王昌顺

2014年7月28日

序

(为《长江黄金水道建设关键技术丛书》而作)

河流，是人类文明之源；交通，推动了人类不同文明的碰撞与交融，是经济社会发展的重要基础。交通与河流密切联系、相伴而生。在古老广袤的中华大地上，长江作为我国第一大河流，与黄河共同孕育了灿烂的华夏文明。自古以来，长江就是我国主要的运输大动脉，素有“黄金水道”之称。水路运输在五大运输方式中，因成本低、能耗少、污染小而具有明显的优势。发展长江航运及内河运输符合我国建设资源节约型、环境友好型社会以及可持续发展战略的要求。目前，长江干线货运量约 20 亿 t，位居世界内河第一，分别为美国密西西比河和欧洲莱茵河的 4 倍和 10 倍。在全面深化改革的关键期，作为国家重大战略，我国提出“依托长江黄金水道，建设长江经济带”，长江黄金水道又将被赋予新的更高使命。长江经济带覆盖 11 个省(市)，面积 205.1 万 km²，约占国土面积的 21.4%。相信长江经济带的建设将为“黄金水道”带来新的发展机遇，进一步推动我国水运事业的快速发展，也将为中国经济的可持续发展提供重要的支撑。

经过 60 余年的努力奋斗，我国的内河航运不断发展，内河航道通航总里程达到 12.63 万 km，航道治理和基础设施建设不断加强，航道等级不断提高，在我国的社会经济发展中发挥了不可估量的作用。长江口深水航道工程的建成和应用，标志着我国水运科学技术水平跻身国际先进行列。目前正在开展的长江南京以下 12.5m 深水航道工程的建设，积累了更多的先进技术和经验。因此，建设长江黄金水道具有先进的技术积累和充足的实践经验。

《长江黄金水道建设关键技术丛书》围绕“增强长江运能”这一主题，从前期规划、通航标准、基础研究、航道治理、枢纽通航，到码头建设、船型标准、安全保障与应急监管、信息服务、生态航道等方面，对各项技术进行了系统的总结与著述，既有扎实的理论基础，又有具体工程应用案例，内容十分丰富。这套丛书是行业内集体智慧之力作，直接参与编写的人员近 200 位，所依托课题中的科研人员超过 1 000 位，参与人员之多，创我国水运行业图书之最。长江黄金水道的建设是世界级工程，丛书涉及的多项技术属世界首创，技术成果总体处于国际先进水平，其中部分成果处于国际领先水平。原创性、知识性

和可读性强为本套丛书的突出特点。

该套丛书系统总结了长江黄金水道建设的关键技术和重要经验，相信该丛书的出版，必将促进水运科学领域的学术交流和技術传播，保障我国水路运输事业的快速发展，也可为世界水运工程提供可资借鉴的重要经验。因此，《长江黄金水道建设关键技术丛书》所总结的是我国现代水运工程关键技术中的重大成就，所体现的是世界当代水运工程建设的先进文明。

是为序。

南京水利科学研究所所长
中国工程院院士
英国皇家工程院外籍院士



2015年11月15日

序

(为《长江上游宜宾至重庆河段航道整治关键技术》而作)

宜宾至重庆段位于长江上游，俗称“叙渝段”，全长 384km，是典型的山区河流，以滩多、流急、水乱而闻名，素有“天险”之称。叙渝段历来为云、贵、川、渝贸易相互往来及出港的咽喉。为增加该段的航道水深、改善航道条件，前人进行了多次尝试，逐渐改善了原有航道“滩如竹节稠，滩滩鬼见愁”的局面。如今，宜宾至重庆河段已全线达到三级航道通航标准，可全年通航 1000 吨级船舶及其组成的船队，货运量大幅上升。仅四川货运量已由 20 世纪 90 年代的几百万吨增加至目前的 8 000 多万吨。但长江叙渝段由于复杂的河道条件，造成的船舶搁浅、侧翻、沉没的事故时有发生，给长江航运的安全带来严重的威胁，进而影响到整个长江流域经济的发展。

在国家全力建设长江黄金水道、打造长江经济带及“一带一路”的大背景下，为了更好发挥黄金水道在综合交通运输体系中的功能和作用，进一步提升宜宾至重庆河段航道通航能力势在必行！鉴于叙渝段滩险众多，碍航特性复杂，治理难度大，为了有效实施整治工程建设，有必要研究解决航道治理中的关键性技术问题。

《长江上游宜宾至重庆河段航道整治关键技术》一书是作者在航道规划设计与科研工作岗位任职多年，根据亲身体会持有心得之余的精心之作。此书内容翔实，从水沙运动理论分析到整治技术的提出，再从应用效果总结成败得失，思路缜密，理论与实践结合紧密，是一本难得一见的好书。目前，叙渝河段即将实施二级航道整治工程，该书的成果已得到了泸渝段、叙泸段航道工程实践的应用和检验，也可继续为叙渝段航道工程的顺利实施提供有力的技术支撑。

值得一提的是，本书中从水沙调控方面提出相应整治方法及措施，对于“半理论、半经验”的山区河流航道整治具有较强的创新意义。本书的出版发行，对丰富内河航道整治的专业理论、促进学科技术进步将起到积极作用，可供从事航道相关专业工作的教学、科研人员参考借鉴。

卵石滩险的整治，还有很多工作要做，国内对于这方面的研究并不多见，但其对长江航运的影响却实实在在地存在。虽然本书作者对此做了很多研究，

但还需要广大科技工作者积极加入，加强研究，认真总结，不断创新，为继续治理、开发、维护健康长江，促进“人水和谐”作出贡献。

中国工程院院士 

2015 年 11 月 20 日

我国是一个多河流的国家，内河航道通航里程位居世界第一。内河航运是国家战略性基础产业，具有占地少、成本低、能耗小、污染轻、运能大、效益高六大优势，是综合运输体系中发展的重点，是典型的资源节约型、环境友好型的产业体系。长江上游地区是我国有色金属矿产品种最多、储量最大的地区之一，也是我国重要的天然气、煤矿基地，蕴藏着投资与开发的巨大潜力，是西部开发的重点区域。长江上游与中下游的区域优势形成互补，充分发挥长江上游的开发潜力，是实现中央长江流域经济发展的战略目标，也是培育长江流域经济新的增长极的迫切需要。

长江上游宜宾至重庆河段（简称叙渝段），全长 384km，是西部沿江各省与长江中下游及沿海地区的重要水上通道，在西部交通网中占有十分重要的地位。长江叙渝段共有 41 个滩险，其中卵石滩险 38 个，占 93%，而复杂卵石滩险一般有“浅”“急”“险”两种或三种碍航特征，整治难度非常大。对于这些滩险的整治，以往均是采用经验法或半理论半经验法，部分滩险通过多次整治才获得成功。而长江航道即将面临新一轮开发，航道尺度将大幅提高，整治难度将加大。因此，针对叙渝段复杂滩险的特点，我们通过水槽试验、物理模型试验、理论分析，对水力特性、卵石运动规律等进行了研究，并形成了山区河流卵石浅险滩和卵石急滩航道整治技术。

本书编写分工如下：第 1 章由刘怀汉、胡小庆编写，第 2 章由解中柱、刘勇编写，第 3 章由刘勇、张毅编写，第 4 章由罗宏、朱俊凤编写，第 5 章由余俊华、陈建编写，第 6 章由何艳军、曾涛编写，第 7 章由胡小庆、朱俊凤编写。全书由刘怀汉、胡小庆、解中柱统稿。

本书在撰写过程中得到了交通运输部西部项目管理中心、交通运输部科技公司、交通运输部长江航务管理局、长江航道局等单位领导和专家的关心和大力支持，同时得到了国内许多同行专家的帮助和指正，作者在此表示衷心感谢。在本书编写过程中，长江航道局王建斌副局长给予了指导，并提出了许多宝贵的意见，作者谨致以衷心的感谢。

限于作者的学识及写作水平，书中难免存在不足、遗漏甚至错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

2015 年 6 月

1	概论	1
1.1	长江上游航道建设的意义	1
1.2	山区航道整治技术研究现状	4
2	长江叙渝段航道概况	12
2.1	流域概况	12
2.2	航道现状	14
2.3	水文特征	15
2.4	滩险概况	24
2.5	滩险分类	48
2.6	卵石基本特征	50
2.7	整治历史	68
3	卵石滩险水力特性	73
3.1	研究重点与方法	73
3.2	弯道水面比降特征	85
3.3	弯道流速特征	104
3.4	弯道水流分离区	106
4	卵石滩险泥沙输移特性	112
4.1	试验设计	112
4.2	床面剪切力	114
4.3	卵石起动	115
4.4	卵石输沙率	120
4.5	卵石输移带	122
5	卵石滩险整治技术	127
5.1	卵石浅滩整治	127
5.2	卵石急滩整治	139
5.3	整治建筑物	149

6	卵石滩险整治实例	158
6.1	典型卵石浅滩——铜鼓滩整治	158
6.2	典型卵石急滩——斗笠子滩整治	209
6.3	典型卵石弯险滩——神背嘴滩整治	252
6.4	典型卵石汊流滩——风簸碛滩整治	260
7	金沙江建库对叙渝段航道影响的初步研究	268
7.1	金沙江建库对叙渝段来水来沙的影响	268
7.2	数学模型	281
7.3	金沙江建库对叙渝段航道条件的影响	297
	参考文献	318
	索引	321

1.1 长江上游航道建设的意义

内河航运是国家战略性基础产业,内河航运具有占地少、成本低、能耗小、污染轻、运能大、效益高六大优势,是综合运输体系中发展的重点,是典型的资源节约型、环境友好型的产业体系。

长江上游叙渝段经过渝兰段(重庆至兰家沱段)航道整治、兰叙段(兰家沱至宜宾段)航道整治、泸渝段(泸州至重庆段)航道工程与叙泸段(宜宾至泸州段)航道工程等一系列的航道工程提升至Ⅲ级航道,其航道尺度为 $2.7\text{m} \times 50\text{m} \times 560\text{m}$ (水深 $\times$ 航宽 $\times$ 弯曲半径,下同)。长江上游航道建设,对促进上游区域经济发展及推进国家实施西部大开发的战略,具有非常重要的影响。

(1) 长江上游航道建设极大推进了水运业的发展

四川省 2009—2013 年水运量的变化情况(表 1-1)表明,2009 年四川省长江段货运量为 4 122 万 t,2013 年增长至 7 247 万 t,增长幅度达 76%,平均每年增长率超过 15%;货运周转量从 2009 年的 566 842 万 t $\cdot$ km 增加至 2013 年的 1 242 732 万 t $\cdot$ km,增长率达 120%。

四川省长江段 2009—2013 年水运量

表 1-1

项目 \ 年份	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
客运量(万人)	2 829	2 732	3 083	3 276	3 228
旅客周转量(万人 $\cdot$ km)	22 381	23 084	26 273	27 283	26 940
货运量(万 t)	4 122	5 237	6 367	7 161	7 247
货运周转量(万 t $\cdot$ km)	566 842	751 030	901 584	1 036 767	1 242 732

表 1-2 统计了四川省长江段 2009—2013 年货物运输组成变化情况,主要运输货种为矿物性建筑材料、煤炭、非金属矿石、化工原料及制品、金属矿石等。

四川省长江段 2009—2013 年货物组成(单位:万 t)

表 1-2

项目 \ 年份	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
合计	4 122	5 237	6 367	7 161	7 247
1. 煤炭及制品	386	469	470	361	386