



“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

FLOW-SEDIMENT TRANSPORT AND
RIVERBED EVOLUTION OF
THE MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER

长江中游水沙运动 及河床演变

李一兵 冯小香 陈立 江凌 等著



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



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“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

长江中游水沙运动 及河床演变

李一兵 冯小香 陈立江 凌等著



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

内 容 提 要

本书共分 11 章, 主要包括: 概述长江上游来水来沙、三峡水库枢纽运行对枢纽出库水沙条件的影响; 三峡水库运行后长江中游水沙输移特性及变化分析; 三峡水库上游建库后长江中游水沙输移特性的变化趋势研究; 长江中游水位变化、设计水位及航行基面研究; 长江中游航道冲淤及滩槽变化; 基于水道关联性的长河段河床演变趋势预测模型研究; 长江中游航道条件变化趋势预测; 分滩型航道整治原则研究; 提高航道建设尺度的可能性分析结语。

本书可供从事航道整治、河床演变、流域规划与管理等方面的科技人员及高等院校相关专业的师生参考。

Abstract

This book summarizes not only the effects of coming water and sediment in upper reaches of the Yangtze River, as well as the Three Gorges Reservoir operation, on outflow water and sediment conditions of the hub, but also some research of the middle reaches of the Yangtze River, including analyses on the characteristics and changes of the flow and sediment after the impoundment of the Three Gorges Reservoir, studies on the changing tendency of the flow and sediment characteristics after the reservoir construction in upper reaches, researches of water-level fluctuation, design water level and navigation-based surface, changes of waterway scour, deposition, flat and pool, discussions about prediction model of riverbed evolution changing trend in long river sections based on channel correlation, forecasting of the changing trend of waterway condition, studies on waterway regulation principles according to beach types, analyses about possibilities of improving the waterway construction dimension.

This book can serve as reference for those who are engaged in waterway regulation, riverbed evolution, river basin planning and management, as well as teachers and students in colleges and universities.

图书在版编目 (CIP) 数据

长江中游水沙运动及河床演变 / 李一兵等著. — 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 978-7-114-12605-5

I. ①长… II. ①李… III. ①长江—中游—含沙水流—泥沙运动—研究 ②长江—中游—河道演变—研究 IV. ①TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 265421 号

长江黄金水道建设关键技术丛书

书 名: 长江中游水沙运动及河床演变
著 者: 李一兵 冯小香 陈立江 凌 等
责任编辑: 韩亚楠 崔 建
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: 20.5
字 数: 470 千
版 次: 2015 年 12 月 第 1 版
印 次: 2015 年 12 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-12605-5
定 价: 65.00 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)

本书编写委员会

组 长 李一兵 冯小香 陈 立 江 凌

编写人员 李旺生 刘万利 张明进 张 明 杨燕华 刘晓菲

 邓金运 张 为 黄成涛 朱玉德 李 明 张 明

 平妍容 杨 阳 刘 哲 普晓刚

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,直接参与编写的研究人员近 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

来水来沙条件是影响河道演变、航道变化的最关键因素。近年来,受长江上游骨干水库群逐步建成运行、人工采砂、流域植被条件的改变、降雨量时空分布改变等因素的影响,长江中游来水来沙条件正经历着显著的变化,特别是三峡水库的运行,显著地改变了长江中游的水沙条件,已经引起长江中游河势、航道、水文等系统的变化。由于向家坝、溪洛渡等大型水电工程的建成运用,长江中游水沙条件还将持续发生改变。

上游水沙条件和边界条件的重大变化使三峡水库枢纽下游的水沙条件、冲淤特性及河床演变规律发生调整。一方面,枯水流量明显增加,航道水深增加,部分浅滩碍航现象得到改善;另一方面,受水库“清水下泄”等影响,三峡水库枢纽下游河段出现以河床冲刷为主的调整变形,沿程水位不同程度地下降,河床持续粗化,大埠街以上砂卵石河段航道水浅、坡陡流急问题较为突出,大埠街以下沙质河段也出现局部岸线崩退、洲滩冲刷、断面展宽、支汊发展等对航道条件不利的变化。如不对这些不利现象或发展趋势进行细致分析,提出相应的工程措施,这些不利变化或趋势将可能继续发展,导致中下游航道条件总体上趋于不稳定,并向不利的方向发展,影响三峡水库工程总体效益的发挥,更影响长江中游干线航道通过能力的提升,制约发展长江水运国家战略的实施。

交通运输部紧密围绕长江和西江黄金水道建设,以提高通过能力、确保航运安全为目标,针对制约长江和西江黄金水道通过能力提升的普遍性、关键性和前瞻性的技术问题,设置六个对行业发展具有明显支撑和引领作用的重大科技专项。“黄金水道通过能力提升技术”是六个重大科技专项之一。该专项设有十三个项目,“长江上游水沙变化对中游航道影响研究”是十三个项目之一。项目研究目标是以长江中游来水来沙条件变化为主要研究对象,系统梳理长江上游水沙变化对中游航道的影响,特别是三峡水库工程不同阶段运行对长江中游航道条件的影响及其发展趋势,为长江中游航道整治原则的确定、设计最低通航水位的计算提供理论支持,为提高长江中游航道建设标准提供决策支持,为提高长江干线航道建设标准,提升航道通过能力提供技

术支持。该项目由交通运输部天津水运工程科学研究院承担，长江航道局、长江航道规划设计研究院、武汉大学等单位参加。

本书基于“长江上游水沙变化对中游航道影响研究”项目的研究成果编制而成。全书共分 11 章。第 1 章为概述（执笔人：李一兵，冯小香）；第 2 章论述上游水沙变化对三峡水库出库水沙变化的影响（执笔人：陈立，杨阳，平妍容）；第 3 章研究长江中游水沙输移特性及变化（执笔人：陈立，冯小香）；第 4 章介绍长江中游水沙运动变化趋势预测（执笔人：陈立，邓金运）；第 5 章研究长江中游实测水位变化、设计水位及航行基面调整（执笔人：冯小香，张明）；第 6 章分析长江中游航道冲淤及滩槽变化规律（执笔人：李一兵，李旺生，刘晓菲）；第 7 章介绍基于水道关联性的长河段河床演变趋势预测模型（执笔人：江凌，杨燕华）；第 8 章预测长江中游航道条件变化趋势（执笔人：江凌，张为，杨燕华）；第 9 章研究分滩型航道整治原则（执笔人：李一兵，杨燕华）；第 10 章探讨长江航道建设标准（尺度）提升的可能性（执笔人：江凌，张为）；第 11 章是全书的总结（执笔人：李一兵，冯小香）。

鉴于三峡水库上游骨干水库调度方式和中游演变影响因素的复杂性，加之时间仓促、水平有限，书中疏漏之处在所难免，真诚欢迎读者批评指正。

在依托项目研究和本书编写过程中，得到了交通运输部科教司、交通运输部西部交通建设科技项目管理中心、长江航务管理局、长江航道局等单位的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，编写组谨此致谢。

作 者

2015 年 9 月

第 1 章 概述	1
1.1 研究背景及目标	1
1.2 研究现状	2
1.3 技术路线	9
第 2 章 长江上游来水来沙、三峡水库枢纽运行对枢纽出库水沙条件的影响	10
2.1 上游干支流水沙变化对三峡水库入库水沙条件的影响分析	10
2.2 上游干支流水沙变化及三峡水库运用对三峡水库出库水沙条件的影响分析	32
第 3 章 三峡水库运行后长江中游水沙输移特性及变化分析	58
3.1 三峡水库运行后长江中游水沙条件的时空变化	58
3.2 三峡水库运行后长江中游总体冲刷特性	70
3.3 三峡水库运行后长江中游泥沙粒径的时空变化	81
3.4 三峡水库运行后长江中游泥沙沿程冲刷恢复分析	87
第 4 章 三峡水库上游建库后长江中游水沙输移特性的变化趋势研究	91
4.1 三峡水库下游一维河网水沙数学模型的建立	91
4.2 模型验证	96
4.3 三峡水库运行后长河段计算条件	101
4.4 90 系列计算成果	104
4.5 03 系列计算成果	118
第 5 章 长江中游水位变化、设计水位及航行基面研究	132
5.1 三峡水库运行前后长江中游流量、水位变化	132
5.2 长江中游宜昌至武汉河段设计水位计算	146
5.3 长江中游宜昌至武汉河段现有航行基面适应性分析	159
第 6 章 长江中游航道冲淤及滩槽变化	170
6.1 宜昌至大埠街砂卵石河段航道冲淤及滩槽变化	170
6.2 大埠街至城陵矶河段航道冲淤及滩槽变化	183
6.3 城陵矶至武汉河段航道冲淤及滩槽变化	201

6.4 长江中游河床演变初步的总体认识 208

第 7 章 基于水道关联性的长河段河床演变趋势预测模型研究 209

7.1 水道关联性分析 209

7.2 相关模型的建立与验证 210

第 8 章 长江中游航道条件变化趋势预测 236

8.1 长江中游宜昌至武汉河段航道现状 236

8.2 航道条件变化特点 242

8.3 航道条件变化趋势预测 261

第 9 章 分滩型航道整治原则研究 275

9.1 浅滩整治的工程类型 275

9.2 不同类型工程整治效果认识性试验 276

9.3 浅滩整治工程类型选取原则 283

9.4 各类滩型航道整治原则 284

第 10 章 提高航道建设尺度的可能性分析 286

10.1 航道建设外部环境评价 286

10.2 航道建设原则 289

10.3 航道治理思路及工程措施 290

10.4 工程措施的可行性分析 292

10.5 航道建设尺度提升的可能性 294

第 11 章 结语 296

11.1 主要成果 296

11.2 建议 299

参考文献..... 300

索引..... 309

1.1 研究背景及目标

长江是我国第一大河，其干支流通航里程达 6.3 万 km 以上，占全国内河通航里程的 52%，水运量占全国内河水运量的 80%。长江航运为流域经济社会发展提供了重要支撑与保障，沿江所需 85% 的铁矿石、83% 的电煤和 85% 的外贸货物均依托长江水运。自 2005 年以来长江已经成为世界上货运量最大、运输最繁忙的通航河流，2010 年，长江干线完成货运量突破 15 亿 t，其干线货运量约是美国密西西比河的 2 倍、欧洲莱茵河的 3 倍。据有关专家预测，长江干流航运若完全开发，其运能应该达到 30 亿 ~ 60 亿 t，这表明，长江运能的开发潜力十分巨大，亟待挖掘。

长江中游航道作为长江干线航道的重要组成部分，起着承上启下的作用，具有显著的战略地位和开发利用价值。由于长江中游河段河形复杂，既有著名的荆江蜿蜒河段，也有独有的鹅头分汊河段，浅滩密集，自然条件下河床演变剧烈复杂，洲滩变迁频繁，航槽极不稳定，通航能力受自然条件影响大，“枯水阻航”、“洪水限航”的现象时有发生，一定程度上制约了长江航运的发展。

三峡水利工程的兴建和蓄水运行后，已经改变了坝下河段的来水来沙条件，而随着长江上游水电开发的步伐加快，一些大型的水电开发工程相继开工，包括干流的溪洛渡、向家坝、乌东德、白鹤滩，以及支流上近百座水电站，这些工程的实施将进一步影响上游的来水来沙；另一方面，随着以“长治”工程为代表的长江上游水土保持工程的实施，长江上游来沙量的减少程度将进一步加大。尤其是三峡水库下游河段的来沙量将进一步减少。

由于长江中游紧接三峡枢纽，将首先响应水沙条件的变化，即中游不同类型河道均将发生相应的冲淤调整，河势及河床演变规律也将发生相应的变化，从而给长江中游航道带来极为复杂的影响和新的问题。由于上游水沙条件的持续复杂变化，长江中游“清水”冲刷所带来的影响也将更加复杂，且具有一定的长期性。这种长期“清水”冲刷，所带来的河道冲淤、河势调整和洲滩变化，必将引起中游航道条件发生持续的改变。因此，在新的河道水沙条件下，需要进一步加强对长江中游河势、航道、水文等变化情况的系统研究，以便采取相应的对策，及时确定适用于长期“清水”冲刷条件下长江中游航道治理的标准、原则和实施方案，最大限度地将三峡水利工程运用后，上游水沙条件变化及其坝下游河道适应调整过程中对长江中游航道所带来的不利影响减小至最低程度，确保航道安全畅通。

为此,交通运输部2011年设立“黄金水道通过能力提升技术”重大专项,并在专项中设立“长江上游水沙变化对中游航道影响研究”(2011 328 224 30)项目。本书依托该项目相关研究成果编著完成,主要在已有研究成果总结分析的基础上,针对长江三峡水库建成前后、三峡水库蓄水水位的变化、长江上游骨干水库的建成运行等诸多因素的影响,分析长江三峡水库入库水沙的变化及其引起的长江中游水沙运动规律的变化,以及水沙变化影响下的河床冲淤、滩槽变化、设计水位变化、航道条件变化等,研究三峡水库工程蓄水运行在中游水沙变化中发挥的作用、航行基面调整、航道建设标准(尺度)提升的可能性等,为中游航道整治工程建设提供基础及重要的技术支撑,为行业管理决策提供技术参考。

1.2 研究现状

1.2.1 三峡水库上游来水来沙条件变化及中游泥沙输移研究

近年来,关于长江上游、中游河段的水沙变化的分析成果很多,对把握长江上游、中游水沙变化规律、指导航道整治工程建设工作发挥了积极作用。比较有代表性的研究成果是科技部在“十一五”国家科技支撑计划中的“三峡水库上游来水来沙变化趋势研究”项目研究成果。该项目在调查分析干支流已建水库拦沙效果、长江上游水土保持生态建设等产沙环境现状的基础上,分析了三峡水库上游来水来沙的总体趋势。总的来看,目前的研究成果可总结为:

(1) 对长江上游水沙变化分析:20世纪90年代以来上游来沙明显减少,三峡水库蓄水后减沙幅度更大;来沙减少的主要原因是水电工程修建、降雨分布的变化、人工采砂、植被的恢复等。

(2) 对三峡水库出库水沙变化分析:水库建成运行后,出库沙量显著降低,且坝前水位的抬高使排沙比进一步降低;水库的运行不改变出库径流量,但会改变过程等。

(3) 对中游水沙输移规律:20世纪90年代以来中游来沙量减少,减少的幅度沿程降低,三峡水库蓄水后继续降低;不同粒径组泥沙沿程恢复程度不同,细颗粒恢复难度大。

(4) 对中游水沙变化预测:三峡水库下游河道将发生长时段长河段的冲刷调整,水位继续降低。三峡水库上游大型水电工程的建成运行,将会改变三峡水库入库水沙条件。

在现有分析成果中,尚有一些分析不到或不够深入之处,还有一些问题还未给出答案,比如:

(1) 上游来沙减少过程的阶段特征到底是什么?不同时段干支流水沙变化对入库水沙变化的贡献度如何?

(2) 三峡水库运行前及运行后不同阶段对径流过程的影响包括哪些方面?入出库水沙变化是否一致?水库调度运行与上游来沙减少对三峡水库出库泥沙减少的影响如何?

(3) 长江中游水沙变化的阶段特征是什么?不同时段不同粒径组泥沙沿程恢复特征是什么?床沙质与悬沙水流挟沙饱和度的沿程恢复特征如何?