

 长江黄金水道建设关键技术丛书

长江

中下游分汊河段
系统治理技术

Systematic Regulation Techniques on Bifurcated Reaches in the Middle and Lower Yangtze River

刘万利 朱玉德 张明进 王建军 刘晓菲 / 著



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



长江黄金水道建设关键技术丛书

长江

中下游分汊河段 系统治理技术

Systematic Regulation Techniques on Bifurcated Reaches in the Middle and Lower Yangtze River

刘万利 朱玉德 张明进 王建军 刘晓菲 / 著



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

内 容 提 要

本书完整归纳总结了长江中下游分汉河段系统治理技术。书中着重揭示了长江中下游典型分汉河段河床演变宏观规律,阐明了分汉河段航道治理思路 and 原则,提出了三峡水库蓄水后设计水位计算方法,对长江河工模型和数学模型进行了阐述,介绍了并行计算方法和三维可视化技术。

本书可供从事航道整治、河床演变分析、河流模拟、工程规划与设计等方面工作的科技人员参考使用,也可供高等院校相关专业的师生作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

长江中下游分汉河段系统治理技术/刘万利等著. —北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.3

ISBN 978-7-114-12110-4

I. ①长… II. ①刘… III. ①长江中下游—河道整治 IV. ①TV882.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 045972 号

书 名:长江中下游分汉河段系统治理技术

著 作 者:刘万利 朱玉德 张明进 王建军 刘晓菲

责任编辑:杜 琛

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.ccpres.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:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:10.25

插 页:2

字 数:260 千

版 次:2015 年 5 月 第 1 版

印 次:2015 年 5 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12110-4

定 价:45.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前言

长江源远流长,水量充沛,终年不冻,水运条件优越,素有“黄金水道”的称誉。长江也是贯通我国东西的水上运输主通道,在我国经济发展和西部大开发中具有十分重要的地位和作用。但由于历史的原因,长江航道落后现状与沿江经济发展需求极不适应,为此交通运输部将加快长江航道的治理建设列为内河建设的重点,陆续开展了长江航道系统整治工作。

长江航道尤其是中下游航道影响因素十分复杂,涉及面广,技术难度大,很多有关航道整治的关键技术目前还未臻完善,如长河段的河床演变宏观分析、上下河段航道整治工程的相互影响、航道整治目标河型、治理时机选择及系统治理思路研究等。为更好地攻克这些技术难题,“长江长河段系统治理技术研究”项目得以开展,该项目着眼于航道系统治理技术问题的研究,旨在推动长江中下游航道整治技术及航道整治学科的发展。

本书是在西部交通建设科技项目——“长江长河段系统治理技术研究”的研究成果基础上,对分汊河段系统治理技术进行的归纳和总结,主要内容包括:

(1)揭示了长江中下游典型分汊河段河床演变宏观规律,分析了分汊河段内上下水道间的联动效应及主支汊易位的原因,在此基础上提出了通航汊道的选汊原则。

(2)通过对弯曲分汊河段的洲头分流特点的研究,提出了分流面的概念。通过数值模拟计算,对分汊河段洲头分流面进行了研究,并提出了分汊河段洲头整治工程的布局原则。

(3)通过分汊河段的水沙运动、河床演变分析,建立了航道整治目标河型的概念——历史上特别是近期出现过的、洲滩布局合理、航道水深条件较好、中枯水流向基本一致、深泓微弯的河型。分析认为,对于长江中下游这种冲积性河流航道整治来说,存在着“有利时机”。对于“有利时机”的认识、把握和选择,更应该关注的是洲滩的合理布局,而不应拘泥于浅滩的水深大小,即重视对“目标河型”的认识、把握和选择。在此基础上提出了典型分汊河段的治理时机。

(4)基于航道整治目标河型的研究,提出了工程区的概念,进而提出了分汊河段的合理的工程区布局及系统的治理思路。

(5)在对设计水位确定方法综合比较的基础上,提出了三峡水库蓄水后非平衡条件下坝下游长河段设计水位计算方法。

(6)提出了河流模拟技术及三维可视化技术,采用 MPI 方法对平面二维水沙数学模型进行并行程序的开发,提出了一种新的并行求解代数方程组的算法。利用立体成像原理,在流场中放置示踪粒子,实现了对三维流场的拉格朗日法仿真模拟,解决了二维显示设备上进行三维显示的瓶颈问题。

康苏海、平克军、刘鹏飞、杨云平、李少希等参与了本书相关研究、资料整理和绘图工作,李旺生研究员给予了技术上的指导,本书凝聚了他们的汗水和智慧,是大家共同劳动的结晶。交通运输部天津水运工程科学研究所及内河港航研究中心的领导及全体同事在本书的编写和出版工作中给予了大力支持、关怀和资助!

在研究过程中,长江航道局、武汉大学给予了大力支持和协助,同时行业内有关专家也给予热情帮助与指导,在此,谨向所有给予支持与帮助的各级领导和专家表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2014 年 6 月于天津滨海新区

目 录

第 1 章 概论 · 1

1.1 现状述评	2
1.2 本书主要内容	9
本章参考文献	10

第 2 章 长江中下游分汊河段河床演变宏观分析 · 13

2.1 典型分汊河段的选取	14
2.2 顺直型分汊河段河床演变宏观分析	15
2.3 微弯型分汊河段河床演变宏观分析	42
2.4 鹅头型分汊河段河床演变宏观分析	70
本章参考文献	83

第 3 章 分汊河段系统治理思路 · 85

3.1 系统治理的理念	86
3.2 分汊河段洲头水流分布特性	86
3.3 通航主汊道的选择	87
3.4 航道整治目标河型	88
3.5 河段治理时机	88
3.6 航道整治工程区	89
3.7 典型分汊河段研究实例	89
本章参考文献	101

第 4 章 三峡蓄水后长江中游长河段设计水位 · 103

4.1 设计水位计算方法总结	104
4.2 三峡水库蓄水后设计水位计算方法	107
4.3 计算实例	109
本章参考文献	114

第 5 章 河工模型 · 117

5.1 长江河工模型设计 118

5.2 系列模型设计 127

5.3 河工模型设计中几个问题的探讨 128

5.4 模型设计实例 133

本章参考文献 135

第 6 章 数学模型 · 137

6.1 数学模型基本原理 138

6.2 并行计算方法 142

6.3 可视化技术 147

6.4 模型计算实例 154

本章参考文献 157



第 1 章 | 概论



1.1 现状述评

1.1.1 长江中下游航道现状^[1]

目前,长江航道承载能力与流域经济发展要求不协调,远不能满足经济发展的需求,与发达国家航道利用程度相比也还存在较大的差距。而且,长江中下游航道自上而下的众多滩险亦限制了航运的进一步发展。

长江中游^[2](图 1.1),宜昌至湖口 900km,属平原河流,河道蜿蜒曲折,局部河段主流摆动频繁,滩槽演变剧烈,有近 20 处碍航浅滩,遇特殊水文年时极易发生碍航、断航情况,历来是长江防洪的重要险段和航道建设、维护的重点与难点;三峡水库运行后,清水下泄又进一步加剧了中游河势及航道变化的复杂程度。目前已实施的航道治理工程以控导为主,可初步缓解长江中游的碍航问题,但仍需要进一步实施航道整治工程才能从根本上解决中游碍航的问题。目前,宜昌至武汉 624km 航道可通航 1000~5000 吨级内河船舶组成的船队,武汉至湖口 276km 可通航 5000 吨级海船。

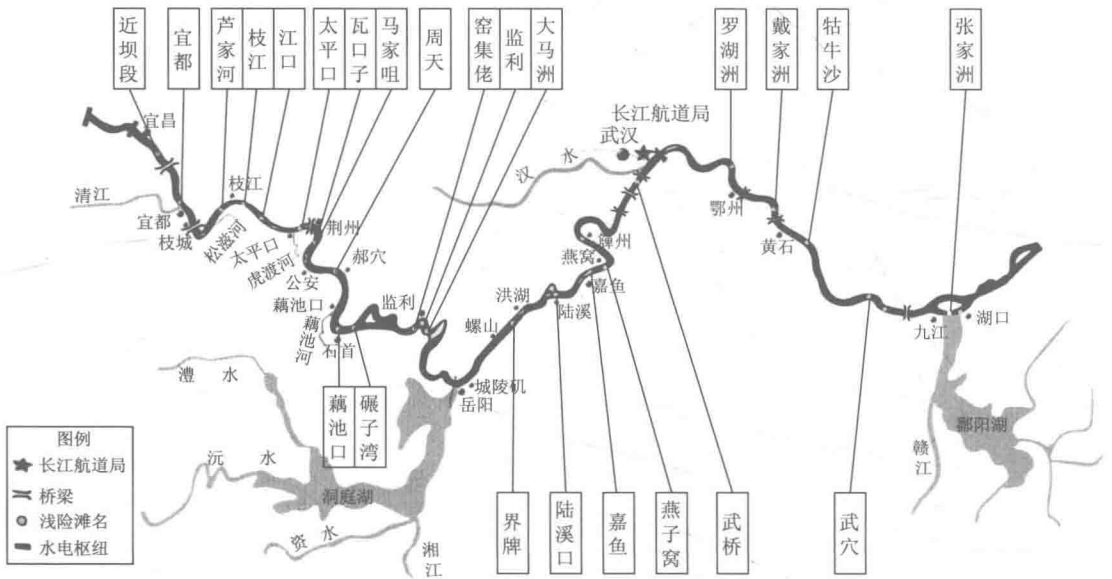


图 1.1 长江中游重点碍航水道分布图

长江下游(图 1.2),湖口至长江口 864km,水流平缓,河道开阔,航行条件较为优越。湖口至南京 432km,可通航 5000 吨级至万吨级海船;南京至长江口 432km,通过长江口深水航道治理一、二、三期工程和深水航道向上延伸工程,南京至太仓段 289km 航道水深已经达到 10.5m,可通航 3 万吨级海船,太仓至长江口段 143km 航道水深达 12.5m,可全天候双向通航 5 万吨级海船。尽管如此,在下游局部河段也存在滩槽演变剧烈且航道条件较差等情况。

航道整治工程^[3]是长江航道建设和维护的重要手段,国家对长江航道的治理给予了高度重视。20 世纪 90 年代以前,长江中下游航道主要利用自然水深通航,在局部河段需年年“战枯水”,采取维护措施,保障航道畅通。90 年代后,部分工程的实施有效缓解了中下游航道年年“战枯水”的紧张局面。进入“十一五”后,经过近年来大规模建设,长江中下游航道通

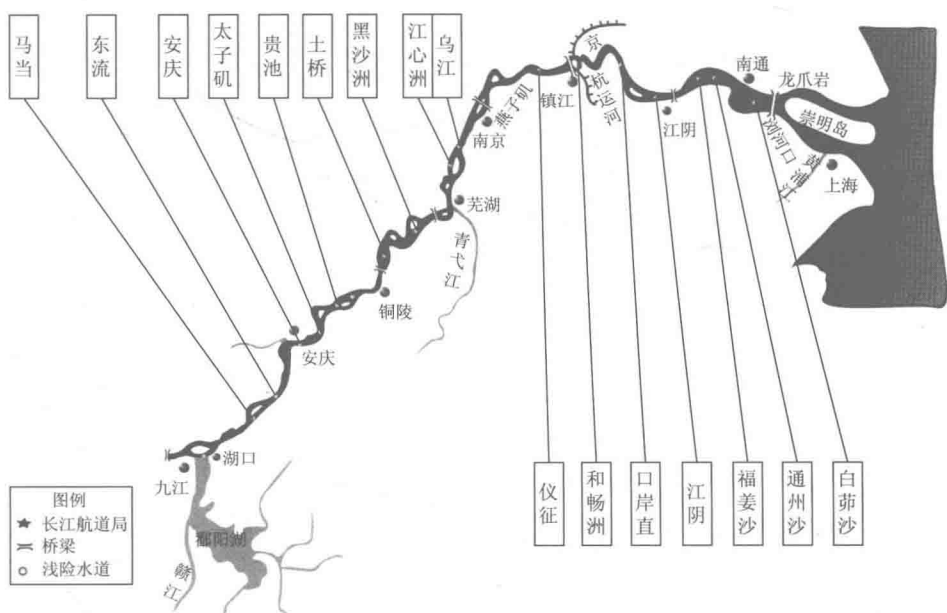


图 1.2 长江下游重点碍航水道分布图

航条件明显改善。多年以来,长江干线航道建设取得了较为显著的成绩,积累了不少成功的经验(如表 1.1),有效缓解了中下游航道年年“战枯水”紧张局面。

长江中下游航道治理部分研究成果 表 1.1

序号	项 目 名 称	项 目 来 源	完成年度	承 担 单 位
1	三峡工程下游河道演变及重点河段整治研究	交通部	1995~1997	交通部天津水运工程科学研究所 (以下简称“交通部天科所”)
2	宜昌至杨家脑河段综合治理措施研究	中国长江三峡集团公司	2000~2005	长江航道局
3	长江中上游重点清淤工程关键技术研究(一期)	交通部	2001~2002	长江航道局
4	长江中游典型浅滩演变规律与整治措施研究	交通部	2002~2003	长江航道局
5	长江航道整治建筑物稳定关键技术研究	交通部	2004~2005	长江航道局
6	长江中游严重碍航河段——监利河段航道治理技术研究	交通部	2006~2008	长江航道规划设计研究院
7	长江航道整治边滩守护及护底工程关键技术研究	交通部	2006~2008	长江航道规划设计研究院
8	三峡工程蓄水运用对荆江(大布街—城陵矶)和洞庭湖湖区港口航道影响及对策研究	交通部	2006~2008	交通部天科所
9	长江中游心滩守护工程关键技术研究	交通部	2007~2009	长江航道规划设计研究院
10	长江中游航道整治参数关键技术研究	交通部	2007~2009	长江航道局
11	三峡工程坝下及中游航道演变规律研究	交通部	2007~2009	长江航道局
12	长江长河段系统治理技术研究	交通运输部	2008~2011	交通运输部天科所
13	复杂条件下长江中游航道系统整治技术研究	交通运输部	2009~2011	长江航道规划设计研究院
14	强冲刷条件下航道整治控导技术研究	交通运输部	2009~2012	交通运输部天科所

虽然长江航道治理^[4]取得了巨大成绩,但目前航道整治研究和建设中仍存在一些问题,同时由于航道整治工程造价大,一旦整治不当,效果将会适得其反,甚至造成难以挽回的后果。

1.1.2 分汊河段研究现状

分汊河段^[5]是世界各国冲积平原河流中一种常见的河型。例如密西西比河、尼日尔河、伏尔加河、多瑙河、莱茵河以及我国的松花江、珠江、长江等。在我国,以长江中下游尤为明显。

长江中下游自宜昌至河口段共有分汊河段 55 个,其中宜昌至城陵矶段有 11 个,城陵矶至河口段有 44 个。分汊河段的汉道总长约 1080km,约占全部河长的 57%。该长河段内汉道按平面形态特点可分为顺直型、微弯型和鹅头型三种^[6]。宜昌至城陵矶河段多为顺直型和微弯型汉道,仅下荆江的监利乌龟洲汉道属鹅头型汉道。城陵矶至河口段有顺直型分汊段 16 段,微弯型分汊段 18 段,鹅头型分汊段 10 段。

分汊河段主流摆动频繁,河势变化剧烈,碍航现象突出,其基本演变特征表现为:主支汊周期性兴衰交替,但演变周期差异较大,有的汉道演变周期较短(15~20 年),而有的汉道演变周期较长(100 年以上)。这主要与分汊河段上游有无节点控制及上游顺直段的河势是否稳定有密切关系。伴随着分汊河段主支汊易位,航道也随之调整,从而对航线布局及岸线利用等产生较大影响,对沿江经济发展有重大影响^[7]。因此,研究分汊河段的整治技术是非常必要的。

关于汉道的整治,目前国内外采取的措施主要为两大类:一类是固定汉道,稳定或调整各汉道的分流比;另一类是塞支强干。其目的都是为了满足航运的要求。各国因国情不同,采取的整治措施和手段也有差别。西方一些国家是以发展航运为主,采取的措施以增加航道水深为目标,例如堵塞支汊,或用大量的丁坝群将水流调整至主通航汉道。我国河流因防洪的要求,多采取稳定汉道的整治措施^[8]。对长江中下游这样的大型平原河流的治理,特别是对在大型水利枢纽下游的碍航严重的弯曲分汊浅滩的演变规律和整治措施的研究正在进行中,尚未有成熟的经验。

浅滩整治多是因为浅滩碍航而开展,传统的航道整治理论也是依据浅滩碍航而形成的^[9-11]。由于长江中游的浅滩存在“好—坏”转换现象(即一段时间内某甲滩航道条件较好,但在下一个时段该甲滩航道条件又变坏),同时,由于长江航道整治工程实施的外部环境复杂,“治好”是目前实际中已经开展的滩段航道整治的一种有效的甚至是优先的选择,这与传统航道整治理论有背离,或者说,现有的较为成熟的航道整治理论就不太适用于长江中下游的浅滩治理。

同时,“治坏”上也存在传统航道整治理论的不适用。如,对于碍航浅滩整治,一般必须采取束水攻沙工程,由于外部条件的限制,工程多分期实施:如何分期?一期工程的目标如何定位?一期工程采取何种布局能够为下期工程的实施创造有利的条件?这些都是传统航道整治理论所未加涉及的。

1.1.3 关于设计水位

航道治理过程中,设计水位、关键整治参数等是关系到整治工程成功的重要因素,这些均是建立在浅滩演变规律分析及航道整治工程实践基础之上的。

目前,通航设计水位是建立在河床基本处于冲淤平衡状态,即河床形态基本不变或定床

的条件基础之上,利用水位反映水深,采用具有代表性的长系列水文资料由统计方法确定,经过一段时间后进行校核修正。1971年前,由于天然情况下长江中游河床演变缓慢,一般10~20年对航行基面进行一次修正校核,但1960~1970年,下荆江人工裁弯使荆江河段水位降低明显,分河段对航行基面进行了修正,该设计水位于1971年1月正式启用,即通常所说的71基面。由于1971年以后下荆江进一步受到人工裁弯及自然裁弯的影响,荆江河段水位变化明显,于是在1981年7月再次修正了汉口—宜昌设计水位,即通常所说的82基面。

三峡水库蓄水运用后,下游河床始终处于变化状态,属于非平衡状态,原有理论和方法难以完全适用,而此种条件下确定设计水位的相关研究却较少,且现有研究成果尚未在航道整治研究中得以应用。因此,对非平衡状态下河段设计水位进行深入研究是十分必要的,也是非常急迫的。2009年,武汉大学结合上游水利枢纽运行情况和南水北调工程,对宜昌至汉口河段设计水位进行了深入研究。该研究在总结三峡工程蓄水前设计水位影响因素、变化原因的基础上,针对蓄水后年内出库流量过程被调节、坝下游河床持续冲刷等特点,确定了三峡水库蓄水后20年内宜昌至汉口河段内主要测站的设计水位,分析了设计水位随时间的变化规律。2011年,武汉大学针对荆江河段设计水位开展了专题研究,在已有研究成果的基础上,补充分析了三峡175m蓄水后2009~2010年的枯水位变化情况,通过综合连续多年水位资料直接计算设计水位、数值模拟计算设计流量来推求设计水位这两种设计水位计算方法的结果,并参考三峡蓄水后河床冲淤与枯水位的实际变化,对荆江河段设计水位进行了修正。上述研究的重点集中在长江中游荆江河段,对于汉口以下河段设计水位的修订研究相对较少,亟待进一步的深入研究。

1.1.4 关于河流模拟技术

1.1.4.1 河工模型

(1) 长江河工模型的发展

河工模型就是仿照水道原体实物,按照相似准则将原型缩制成模型进行试验研究。如想了解原体的实际现象和性质,就可以用模型重演与原体相似的自然情况进行观测和分析研究,然后按照一定的相似准则引申到原型,从而做出判断,这就是河工模型试验的基本任务^[12]。

长江作为世界第三大河和中国最大的河流,开展河工模型试验始于1935年,由中央水工试验所先后进行了长江下游马当河段整治模型试验、镇江水道整治模型试验。1944~1945年,又进行了长江上游干流的筲箕背和小南海两滩险河段整治工程的模型试验。新中国成立后,随着长江水利工程建设事业的发展,为做好长江流域的规划设计提供科学依据,河工模型试验研究得以继续进行。1950年,长江水利委员会与武汉大学合作,开展了荆江分洪工程河工模型试验,进行冲刷试验研究。20世纪50年代,长江科学院围绕防洪、航运、水电开发及河道综合整治研究工作,先后建造了三斗坪至城陵矶河段变态模型、三斗坪至宜昌河段正态模型、下荆江系统裁弯模型等。20世纪60年代,结合重点河段防洪与整治,开展了荆江河段、荆北淤积工程,下荆江裁弯工程及汉江裁弯工程等模型试验;结合三峡工程开展了库尾大规模试验;为研究荆江蜿蜒形河流的演变规律和成因,开展了自然河工模型试验。20世纪70年代,随着葛洲坝水利工程的兴建,为解决枢纽布置、泥沙处理、航道整治、泥

沙过机等问题,国内科研院所和高校共建了4座坝区模型、1座库尾模型等。20世纪80年代以来,围绕三峡工程论证与建设,提出了许多新的泥沙问题。国内科研院所和高校以不同的比尺、不同的模型沙,分别做了3座枢纽模型、9座库尾模型和几座坝下游不同河段的模型,获得了大量的科研成果,保证了三峡工程建设的需要^[13-18]。

综上所述,长江的河工模型试验工作经历了从一般的河道整治试验到大型的综合利用水利枢纽泥沙研究和复杂的河口研究,从比较简单的清水定床模型试验到难度较大的浑水全沙模型试验的过程。它的主要成就在于首先从河流的基本现象出发,在宏观上运用地质、地貌、地理学和水文学知识,对于不同特性的河段从河型成因、水流泥沙运动特点等方面入手,用水力学、流体力学、河流动力学以及河床演变学的理论知识分析研究不同类型的工程泥沙问题,使河工模型的模拟在理论上和应用方面都取得了较大的进展。河工模型为各项工程的建设提供了大量的依据,保证了各项工程的顺利实施,促进了长江流域经济的发展。

(2) 长江河工模型存在的问题

近几十年,随着长江大规模开发治理、桥梁港口的兴建,河工模型研究工作更加蓬勃发展,试验研究提供的试验成果,往往成为规划、设计的依据,在项目立项、实施过程中作用越来越突出。但也应清醒地认识到,尽管河床演变学科、航道整治理论、物理模型目前均取得了较大的进展,但随着长江水利建设事业的进一步发展,目前模型相似理论和试验技术方面仍存在许多问题值得进一步深入研究。主要包括:

①河工模型的变态问题。主要包括几何变态和时间变态。目前,变态河工模型相似在理论上只能做到近似相似,因此,模型试验成果也只能是一种近似的预测,与天然河流或多或少存在一些偏离。

②河床阻力相似。在河工模型设计及试验中,流态及流速分布相似是河工模型泥沙运动相似的前提,而阻力相似又是保证流速及流速分布相似的重要因素。

③模型选沙问题。为保证河工模型的试验成果与天然情况相似,模型沙的选择以满足泥沙运动相似为主要条件,是河工模型试验中的一项关键技术,直接关系到模型泥沙运动和河床变形的相似性及试验预报精度,关系到模型试验的结果。

(3) 长江河工模型的特点和分类^[12]

①通过半个世纪以来河流泥沙研究的实践,长江河工模型具有以下几个特点:

a. 长江从源头至河口,河道特性变化很大,不同的河道特性要求不同的河工模型。长江上游为山区性河流,两岸为基岩或阶地,河床多为基岩、卵石、中粗砂;中下游为冲积平原河道,两岸多为第四纪沉积物及突出江边的山体或人工控制的节点,河床多为疏松的中细砂;大通以下为受潮汐影响的感潮河段和潮流河段。同时,河工模型的选择还需满足防洪和国民经济各部门对开发利用长江水资源的不同要求。因此,长江河工模型类型较多,它们各自发挥不同的作用。

b. 长江为“黄金水道”,两岸经济发达,河工模型试验的成果,往往成为规划、设计的依据,所以要求河工模型定性准确,而且定量上也力求误差最小。

c. 长江上修建了葛洲坝工程、三峡工程等多个大型水利工程,模型试验的预报期往往长达数十年,相应的试验周期很长,对模型的设计、制作、试验的要求较高。因此,要求模型沙性能稳定,且能较好地反映河床演变过程。

d. 河工模型由于场地条件及试验条件限制,往往需要数学模型计算提供控制条件,以扩大河工模型研究范围。

②根据河道演变及整治研究的问题性质不同,河工模型有以下不同的类型:

- a. 按几何尺寸一致性,可分为正态模型和变态模型。
- b. 按模型河床可动性,可分为定床模型、动床模型和动床动岸模型。
- c. 按模型所取的河道范围,可分为整体模型、局部或半江模型和断面(水槽)模型。
- d. 按模型试验中的动力因素不同,可分为水库模型、河道模型、潮汐河口模型和港湾模型。
- e. 按设计模型基本原理,还可分为缩尺模型和自然模型。

③目前,长江上常用的河工模型有以下四种类型:

- a. 研究工程河段水流运动的定床模型(包括单一河段和分汊河段)。
- b. 研究河床演变的动床模型(包括建筑物修建后的河床演变)。
- c. 研究河床局部冲淤变化的断面水槽模型(包括研究冲刷深度系列模型及结构稳定性的概化水槽试验)。
- d. 研究潮汐影响的河口潮流模型(主要用于下游感潮河段研究)。

1.1.4.2 数学模型

(1)泥沙数学模型研究综述

①一维泥沙数学模型

我国的泥沙数值模型研究时间较早。针对长河段长时期的地形演变研究,多采用一维模型,常研究来流来沙条件、冲刷基点情况发生的较大变化,目前理论发展及实际操作均较成熟。

20世纪60年代初期,许协庆、朱鹏程利用一维模型,研究河道中悬沙运动导致的地形演变;窦国仁首次把不平衡输沙概念引入内陆河流及海岸地形变化中,韩其为、林秉南等随后对该不平衡输沙模型进行验证。

目前,全球已有很多成熟的一维模型,各模型水流挟沙力、阻力、推(悬)移质输移等辅助方程或补充关系式表达不同。HEC-6模型^[19]和芦田和男^[20]的实际水流挟沙力,是通过床沙不同组分间的预估水流挟沙力加权平均值得到。韩其为模型认为,水流挟沙力的分组由实际输移的泥沙级配决定,悬沙和床沙的交换过程直接看作模拟时段内的地形冲淤变化结果。假定输沙平衡时,李义天模型采用分组水流挟沙力,地形冲淤变化利用非饱和输沙模式计算,调整级配作为下一步计算依据。一维泥沙模型只能研究断面间的地形冲淤,不能解决床面上各种成型滩体的不断运动变化。

②二维泥沙数学模型

二维泥沙模型分饱和输沙和非饱和输沙两种。饱和输沙模型主要应用在国外,但是,为了取得更为合理、准确的计算结果,我国专家多建立非饱和模型。在运算中,耦合解是由水流和泥沙方程直接联立求得。非耦合解则是两个子模块交替进行,中间变量是水流模块先算出的相关水力要素,最后推求河床冲淤变化,该解法适用于无剧烈变化的河床变形情况。陆永军在计算分组挟沙力时采取了韩其为在一维模型中采取的方式。乐培九、张华庆^[21-25]提出了同理的非均匀沙不平衡输沙水流挟沙力公式。窦国仁充分考虑了不同级配粒径间的相互影响,确定以悬沙含沙量级配作为水流分组挟沙率级配。河道弯道阻力分布、水深关系、平面位置变化等均是河床阻力系数的影响因素。推移质输沙率、床沙交换层厚度均是准确计算河床冲淤变化的核心问题,并且由于上述两种问题计算方法多种多样,因此要采用长

系列水文年资料予以验证,才能保证结果合理、精确。

③存在的问题

a. 基本理论的完善。加强泥沙基本规律、理论的研究,在如何定义边界摩阻、紊动黏性因子、悬沙扩散因子、底部泥沙交换厚度等关键点,应该不断完善,充分考虑悬移质和推移质的共同作用。

b. 量测技术的提高和实测资料的系统化、公开化、共享化。

c. 河流三维泥沙数学模型的开发。由于受到泥沙理论发展的制约,且实际可供验证的水文资料稀缺,因此三维泥沙数学模型发展速度相对较慢,但是发展前景广阔。

(2) 可视化技术发展

以流场可视化为例,最初采用欧拉法表达二维流场,这比起仅依赖于表格数据对比而认识流场的方式有很大进步;20世纪90年代,随着计算机图形学的发展,二维计算机动画制作技术被应用于流场可视化领域,基于拉格朗日法的流场显示方式更符合人们对流场的认识习惯,二维流场可视化技术得到迅猛发展。二维可视化技术的发展,是从对二维流场的动画仿真开始的。采用GDI+图形技术可以实现二维图像制作,完成二维可视化的技术实现。

随着技术进步,利用最先进的图形处理技术,二维可视化技术水平不断提高,内容不断丰富,可以用来解决水运工程领域、数值模拟领域中几乎所有的二维可视化问题。

20世纪末,开始发展一种基于纹理的二维矢量场可视化技术,它以纹理图像方式显示流场,是一种全局的可视化方式,可以描述流场细节^[26]。纹理法主要包括点噪声法(Spot Noise)、线积分卷积法(Line Integral Convolution, LIC)和一些扩展技术、基于图像的流场可视化法(Image Based Flow Visualization, IBFV)。点噪声法是由 van Wijk 于 1991 年提出的^[27],该方法先定义一些点噪声纹理,然后每个噪声点随着流场中的粒子向前移动,在流场中留下自己的轨迹。Cabral 等提出了 LIC 法^[28],该方法用一个一维的卷积核沿流线方向对噪声纹理进行卷积,从而生成一个可以表达矢量场的静态图像。由于 LIC 生成每帧图像时需要对各像素点进行卷积运算得到像素值,所以其执行效率低,因此后来有许多学者对该方法进行了改进^[29-32],提出了 FLIC(Fast LIC)方法、OLIC(Oriented LIC)方法、UFLIC(Unsteady Flows LIC)方法、DLIC(Dynamic LIC)等。LIC 及其扩展法具有可生成高质量的可视化结果的优点,因而得到了广泛的应用。IBFV 方法^[33]执行效率高,在普通 PC 机上能得到很高的帧速率,但其成像对比度较低,特征体现不明显,所以应用受到限制。

在水动力数值模拟领域,越来越多的工程问题需要三维计算来回答,由此推进了三维水动力数值模拟技术的发展,从而对三维计算结果的后处理,尤其是三维流场的仿真模拟提出了要求。如何真实有效地表现三维流场一直是水动力数值模拟研究的一个领域。

(3) 并行计算技术在 CFD 应用中的研究现状

目前,CFD 在模拟流场的计算规模越来越大,用单机进行串行程序的计算已经无法承受大的计算规模了,国内外争相开始在 CFD 领域进行了并行化的研究工作。美国的 FLU-ENT 软件已实现并行计算;水运工程行业应用广泛的丹麦水工所研发的 MIKE 系列软件、荷兰 Delft 大学研发的 Delft3D 软件目前也在进行并行程序的开发,也尚处在起步阶段,国内的北京航空航天大学国家计算流体力学实验室、清华大学工程力学系等在 2000 年对 N-S 方程隐式分区并行计算进行了研究;中国科学院力学研究所也对 Euler 方程的分区并行化技术进行了研究;西北工业大学计算机科学与工程系对面向 CFD 的交互式并行化技术进行了研究,介绍了 CFD 程序并行化的区域计算模型及区域相关的概念,即区域计算模型中程

序是区域操作的有序组合,区域相关则是区域操作之间的相关性。

无论是双核、四核还是更多的核心,要充分发挥处理器的优势,就必须在并行计算上面有所突破,现在高校里面已经有越来越多的人开始学习并行计算专业,开始了解并行思想,学习使用并行程序和语言,将来并行思想将会逐步渗透到应用软件开发中去。因为缺乏相关的配套行业应用软件,到目前为止,还没有一个专门进行并行应用软件和算法研发的国家级专业研发机构。研发力量分散在众多单位及高校,各自为战,不能形成合力,严重阻碍了行业大型应用软件的开发。

1.2 本书主要内容

本书以长江中下游航道整治工程为依托,在充分收集长江中下游典型分汊河段相关基础资料的基础上,采用调查研究、资料分析、理论分析、数值模拟计算及物理模型试验相结合的技术手段,对长江中下游典型分汊河段系统治理技术进行了研究。具体如下:

第1章,概论。从总体上介绍长江中下游航道现状、分汊河段研究现状等,提出本书的主要内容。

第2章,长江中下游分汊河段河床演变宏观分析。首先提出了研究河段选取的基本理念,对选取的不同类型分汊河段的水沙运动规律、河床演变宏观规律及浅滩碍航特点进行了分析,并对浅滩成因、影响洲滩演变的主要因素等进行剖析。分析了分汊河段的洲头“鱼嘴”工程功能属性随河床演变而变化的机理。

第3章,分汊河段系统治理思路。介绍了系统治理的理念;通过数值模拟计算及物理模型试验,分析了分汊河段洲头水流分布特性,论述了洲头分流面;介绍了通航主汊道的选择原则、航道整治目标河型、河段治理时机、航道整治工程区布置原则等;通过具体实例,对分汊河段通航主汊道的选择、航道整治目标河型、治理时机及系统整治思路进行了详细的阐述。

第4章,三峡蓄水后长江中游长河段设计水位。在对设计水位确定方法综合比较的基础上,全面考虑各种因素的条件下,提出水库调节、河床冲刷双重作用下设计水位的推求方法;通过系统的资料收集、整理和计算,对近几十年来长江中游武汉—湖口河段设计水位的变化规律、影响因素(如荆江裁弯、葛洲坝水库蓄水、江湖关系调整等)及变化原因展开分析;考虑三峡水库蓄水后下游河段非平衡的实际情况,提出了坝下长河段设计水位计算方法,通过具体实例,对武汉—湖口长河段设计水位及随时间的变化规律进行了阐述。

第5章,河工模型。介绍了河工模型的设计原理,对河工模型设计中存在的问题进行了探讨,通过具体实例,对典型分汊河段的模型设计进行了详细的阐述。

第6章,数学模型。介绍了数学模型的基本原理,采用 MPI 方法对平面二维水沙数学模型进行并行政务的开发,提出了一种新的并行求解代数方程组的算法。利用立体成像原理,在流场中放置示踪粒子,实现了对三维流场的拉格朗日法仿真模拟,解决了二维显示设备上进行三维显示的瓶颈。通过具体实例,对数学模型及三维可视化进行了详细的阐述。

本章参考文献

- [1] 长江中下游河道基本特征[R]. 武汉:长江流域规划办公室水文局, 1983.
- [2] 长江航道局,等. 航道工程手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [3] 李义天,唐金武,朱玲玲,等. 长江中下游河道演变与航道整治[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [4] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社, 1989.
- [5] E. B. 勃利兹尼亚克. 河床演变[R]. 北京:科学出版社, 1965.
- [6] 张瑞瑾. 河流动力学[M]. 北京:中国工业出版社, 1960.
- [7] 潘庆桑,胡向阳. 长江中下游分汊河段的整治[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(3): 13-16.
- [8] 平原航道整治[M]. 北京:人民交通出版社, 1977.
- [9] 方宗岱. 河型分析及其河道整治上的应用[J]. 水利学报, 1964(1): 1-11.
- [10] 钱宁,张仁,周志德,等. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社, 1987.
- [11] 张瑞瑾,谢鉴衡. 河流泥沙动力学[M]. 北京:水利电力出版社, 1989.
- [12] 余文畴. 长江航道演变与治理[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2005.
- [13] 茆长胜,游强强,赵德玉. 坝下砂卵石河床河工模型设计及应用[J]. 水运工程, 2014(7): 104-109.
- [14] 张红武,冯顺新. 河工动床模型存在问题及其解决途径[J]. 水科学进展, 2001(9): 418-423.
- [15] 张慧,黎礼刚,郑文燕. 武汉河段二七路长江大桥河工模型试验研究[J]. 人民长江, 2008(1): 57-58.
- [16] 黄召彪. 长江下游张家洲南港航道整治工程方案研究[J]. 水运工程, 2002(3): 39-45.
- [17] 王召兵. 长江三峡两坝间河段汛期通航试验研究[J]. 水道港口, 2007(2): 113-118.
- [18] 舒荣龙. 提高三峡—葛洲坝两坝间通航能力试验研究[J]. 人民长江, 2005(7): 31-33.
- [19] Feldman, A. D. Hec Models for Water Resources System Simulation: Theory and Experience. The Hydraulic Engineering Center, Davis, California, 1981.
- [20] 芦田和男. 水库淤积预报[C]//第一次国际河流泥沙会议论文集. 1980.
- [21] 乐培九. 关于非均匀沙悬移质不平衡沙问题[J]. 水道港口, 1996, 12(4).
- [22] 张庆华,乐培九,等. 二维泥沙数学模型的改进——模型的建立[J]. 水道港口, 1996, (4): 9-19.
- [23] 乐培久,张华庆,李一兵. 坝下冲刷[M]. 北京:人民交通出版社, 2013.
- [24] 张华庆. 河道及河口海岸水流泥沙数学模型研究与应用[M]. 南京:河海大学, 1998.
- [25] 吴晓莉,贺汉根. 基于粒子纹理融合的流场可视化方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(8): 2011-2013.
- [26] van Wijk J J. Spot noise: Texture synthesis for data visualization. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Las Vegas, Nevada, 1991: 309-318.
- [27] Cabral B, Leedom C. Imaging vector fields using line integral convolution. Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Anaheim, Cali-