



三峡工程

泥沙模拟与调控

胡春宏 李丹勋 方春明 陆永军 胡维忠 张曙光 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

三峡工程

泥沙模拟与调控

胡春宏 李丹勋 方春明 陆永军 胡维忠 张曙光 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是根据“十二五”国家科技支撑计划项目“三峡水库和下游河道泥沙模拟与调控技术”(2012BAB04B00)的研究成果系统总结而成的。全书以三峡水库优化调度为切入点,揭示了三峡水库与坝下游河道泥沙运动机理,提升了水库和坝下游河道泥沙数学模型模拟技术,提出了符合未来发展趋势的三峡入库新水沙系列,研发了新型航道整治结构技术;系统研究了新水沙情势下三峡水库汛限水位动态变化、城陵矶补偿调度、提前蓄水、沙峰排沙等调控技术,提出了三峡水库泥沙调控与多目标优化调度方案,为进一步拓展三峡工程综合效益提供了技术支撑。

本书可供从事泥沙运动力学、河型演变与河道治理、水库调度、防洪减灾、长江治理等方面的研究、规划、设计和管理人员及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡工程泥沙模拟与调控 / 胡春宏等著. — 北京 :
中国水利水电出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5170-5682-9

I. ①三… II. ①胡… III. ①三峡水利工程—水库泥
沙—研究 IV. ①TV145

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第177590号

书 名	三峡工程泥沙模拟与调控
作 者	SANXIA GONGCHENG NISHA MONI YU TIAOKONG
出版发行	胡春宏 李丹勋 方春明 陆永军 胡维忠 张曙光 等 著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市密东印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 24印张 578千字 6插页
版 次	2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷
印 数	0001—1200册
定 价	128.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

三峡工程是我国水电建设中的标志性工程，举世瞩目。2003年三峡水库蓄水运用以来，在防洪、发电、航运、水资源利用等方面发挥出巨大的综合效益。但在三峡工程运行中出现了一些新情况和新问题：一方面由于上游干支流水库建设，三峡入库水沙条件发生了大幅变化，在水库调度运用和坝下游河道冲刷方面面临着新的水沙情势；另一方面，随着水库淤积不断累积和坝下游大范围冲刷不断发展，一些泥沙问题的影响开始显现，如库区和坝下游局部河段航道泥沙问题、对洞庭湖和鄱阳湖的影响等。同时，国家推动长江经济带发展战略，建设长江黄金水道，对三峡工程运用提出了更高的需求。三峡水库蓄水运用后积累了系统的水文泥沙观测资料，也为进一步研究解决三峡工程泥沙问题打下了良好的基础。为了揭示三峡水库泥沙输移和坝下游河道冲刷规律，研究应对新的泥沙问题的措施，确保三峡工程长期安全运行，在新的水沙条件下进一步拓展综合效益，“十二五”国家科技支撑计划开展了“三峡水库和下游河道泥沙模拟与调控技术”项目研究。项目从三峡水库和下游河道泥沙运动规律、模拟技术、调控技术等方面开展了系统的研究，试图为进一步拓展三峡工程综合效益提供技术支撑。项目主要取得了如下几方面的成果：

(1) 系统研究了三峡水库大水深强不平衡条件下的泥沙输移规律，首次揭示了三峡水库泥沙絮凝规律和坝下游河床二次粗化机理。阐明了长江中下游河道含沙量恢复过程和典型滩群演变与三峡水库水沙过程调节的响应关系等。

(2) 提升了三峡水库和坝下游河道泥沙数学模拟技术，大幅提高了模拟精度；分析了三峡水库与下游河道一维泥沙数学模型精度的主要影响因素，改进完善了模型；研制了能模拟洞庭湖复杂水网和鄱阳湖的一二维耦合水沙数学模型；构建了二元结构岸滩侧蚀崩塌过程的理论模式，解决了岸滩侧蚀三维水沙动力学模拟中的网格自适应等关键技术。

(3) 解析了长江上游典型流域的水沙变化特征，建立了上游水库群的拦沙计算模式，调查了人工采砂对三峡入库泥沙的影响；综合考虑自然变化和人类活动的影响，提出了符合未来发展趋势的三峡入库新水沙系列。

(4) 揭示了长江与洞庭湖、长江与鄱阳湖江湖分汇关系调整机理及变化趋势，明晰了三峡水库蓄水运用、天然降雨径流变化、江湖冲淤以及流域用水量的增加等是引起近年江湖关系变化的重要因素，其中三峡水库运用和天然径流减少是主要影响因素，进而提出了以调控和水系整治相结合的两湖治理对策。

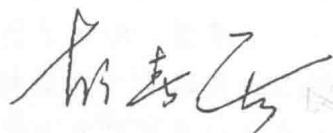
(5) 开发了三峡工程运用后航道整治新技术，发明了透水坝头和台阶式坝头两种新型航道整治结构技术，提出了坝下游典型浅滩段航道整治参数、整治时机、整治措施与方案，并进行了应用示范，工程效果和生态效应显著。

(6) 系统研究了新水沙情势下三峡水库汛限水位动态变化、城陵矶补偿调度、提前蓄水、沙峰排沙调度等技术，提出了三峡水库泥沙调控与多目标优化调度方案，并进行了应用示范，取得了显著成效。

本书是在项目研究成果的基础上总结提炼而成的，全书共分8章，各章主要编写人员如下：第1、2章由胡春宏、方春明执笔，第3章由吉祖稳、李丹勋、陈绪坚、王延贵、王党伟执笔，第4章由李丹勋、毛继新、刘春晶执笔，第5章由方春明、王敏、黄仁勇、关见朝执笔，第6章由陆永军、李国斌、姚仕明、左利钦、陆彦执笔，第7章由胡维忠、徐照明、要威执笔，第8章由周曼、胡挺、杨霞、方春明执笔；全书由胡春宏审定统稿。

本项目是在中国水利水电科学研究院、清华大学、南京水利科学研究院、长江勘测规划设计研究院、中国长江三峡集团公司、长江水利委员会科学院、武汉大学、国际泥沙研究培训中心、长江航道规划设计研究院等单位的共同努力下完成的，项目牵头单位为中国水利水电科学研究院，项目负责人为胡春宏。在研究过程中，项目组全体成员密切配合，相互支持，圆满完成了项目的研究任务，在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的感谢！

泥沙的冲淤变化及影响是一个逐步累积的长期过程，并具有偶然性和随机性，随着三峡水库的运行，三峡工程泥沙问题将不断发展变化，书中涉及的一些内容仍需要深入研究。书中存在的欠妥和不足之处敬请读者批评指正。



2017年3月

目 录

前言

第1章 绪言	1
1.1 三峡工程概况	1
1.1.1 工程基本情况	1
1.1.2 工程泥沙问题研究概述	2
1.2 研究内容与主要成果	5
1.2.1 研究内容	5
1.2.2 主要成果	6
参考文献	7
第2章 三峡水库蓄水运用后水库淤积和坝下游河道冲刷	8
2.1 水库调度运行情况	8
2.1.1 运行方式及调整	8
2.1.2 水库蓄水位变化过程	9
2.2 水库泥沙淤积	12
2.2.1 入库水沙变化	12
2.2.2 水库泥沙淤积分布	15
2.3 水库下游河道冲刷	18
2.3.1 坝下游河道水沙变化	19
2.3.2 坝下游河道冲刷	20
2.3.3 坝下游河道水位流量关系变化	25
2.4 洞庭湖与鄱阳湖的冲淤变化	26
2.4.1 洞庭湖的冲淤变化	26
2.4.2 鄱阳湖的冲淤变化	28
2.5 小结	30
参考文献	31
第3章 三峡水库与坝下游河道泥沙运动规律	32
3.1 水库入库推移质运动规律	32
3.1.1 寸滩站卵石推移质运动特性	32
3.1.2 朱沱站卵石推移质运动特性	39
3.1.3 推移质起动概率	44
3.2 重庆主城区港口与航道泥沙冲淤规律	55

3.2.1 重庆河段输沙特征	55
3.2.2 重庆河段冲淤和走沙规律	57
3.2.3 重庆主城区河段的航运条件与调控措施	64
3.3 水库泥沙絮凝现状与机理	68
3.3.1 泥沙絮凝研究现状	68
3.3.2 水库泥沙絮凝现场观测与分析	71
3.3.3 水库泥沙絮凝机理的理论分析	78
3.3.4 水库泥沙絮凝沉降室内试验	80
3.3.5 水库泥沙絮凝的综合分析	85
3.4 水库悬移质泥沙运动规律	86
3.4.1 泥沙沉积概率与输移距离	87
3.4.2 泥沙起动概率与起动流速	89
3.4.3 泥沙推移悬移概率与推悬比	92
3.4.4 恢复饱和系数计算方法	93
3.5 水库排沙比变化	101
3.5.1 排沙比变化过程	101
3.5.2 排沙比的主要影响因素分析	106
3.5.3 水库场次洪水排沙比	109
3.6 水库坝下游河道含沙量恢复过程	112
3.6.1 水库坝下游河道河床粗化特性	112
3.6.2 三峡水库蓄水运用后长江中游含沙量沿程恢复情况分析	114
3.6.3 含沙量沿程恢复水槽试验研究	116
3.7 小结	121
参考文献	122
第4章 长江上游人类活动和自然变化对三峡入库水沙影响	124
4.1 长江上游水沙变化现状分析	124
4.1.1 入库水沙的地区组成	124
4.1.2 金沙江流域水沙变化	125
4.1.3 岷江流域水沙变化	126
4.1.4 沱江流域水沙变化	128
4.1.5 嘉陵江流域水沙变化	129
4.1.6 乌江流域水沙变化	130
4.2 典型流域来水来沙解译	131
4.2.1 镇江关流域水沙条件变化分析	131
4.2.2 基于 BPCC 的气候波动与覆被变化的流域水沙效应	132
4.3 长江上游梯级水库群拦沙量与过程	144
4.3.1 长江上游梯级水库建设及规划	145

4.3.2	梯级水库群拦沙计算模型	146
4.3.3	模型计算有关参数确定	149
4.3.4	梯级水库群拦沙量与过程计算分析	153
4.4	人工采砂对三峡入库泥沙的影响	155
4.4.1	川江卵石覆盖数量	155
4.4.2	长江干流采砂审批量分析	156
4.4.3	基于 GIS 的数据库分析	158
4.4.4	利用经济数据估算人工采砂量	158
4.4.5	已有的调查资料及综合分析	159
4.5	三峡入库水沙系列预测	160
4.5.1	典型水沙系列分析	160
4.5.2	金沙江下游梯级水库拦沙量与过程	161
4.5.3	向家坝下游河段泥沙补给量	163
4.5.4	三峡入库水沙系列预测与推荐	165
4.6	小结	169
	参考文献	170
第 5 章	三峡水库及坝下游河道泥沙数学模型改进与冲淤预测	173
5.1	水库及下游河道泥沙数学模型简介	173
5.1.1	基本方程	173
5.1.2	关键问题的处理	174
5.2	水库泥沙数学模型改进	175
5.2.1	考虑库区支流和区间来水来沙	175
5.2.2	考虑水库泥沙絮凝作用	177
5.2.3	恢复饱和系数取值方法改进	178
5.2.4	模型验证	178
5.2.5	模型改进效果分析	185
5.3	水库坝下游河道泥沙数学模型改进	195
5.3.1	非均匀沙挟沙能力计算方法改进	195
5.3.2	混合层厚度计算方法改进	195
5.3.3	三口分流分沙模式改进	196
5.3.4	模型验证	197
5.3.5	模型改进效果分析	197
5.4	新水沙条件下三峡水库与坝下游河道泥沙冲淤预测	204
5.4.1	水库泥沙冲淤预测	204
5.4.2	水库坝下游河道冲淤预测	211
5.5	小结	216
	参考文献	217

第 6 章 三峡水库坝下游河道滩群演变对航道影响与治理措施	218
6.1 长江中游典型滩群演变及长期清水冲刷对航道的影 响	219
6.1.1 顺直微弯河段滩群演变规律	219
6.1.2 弯曲河段滩群演变规律	221
6.1.3 分汊河段滩群演变规律	223
6.1.4 典型滩段演变对三峡水库水沙调节的响应	228
6.1.5 三峡工程对长江中游航道影响综合分析	233
6.2 岸滩侧蚀数值模拟	234
6.2.1 岸滩侧蚀坍塌力学机制及理论模式	234
6.2.2 岸滩侧蚀数值模拟关键技术	236
6.2.3 典型河段岸滩侧蚀对航道影响	239
6.3 新型航道整治建筑物结构及应用	242
6.3.1 丁坝水毁动力特性	242
6.3.2 透水坝头稳定性试验及参数确定	243
6.3.3 台阶式坝头稳定性研究及参数确定	249
6.3.4 新型航道整治建筑物的应用	253
6.4 长江中游典型浅滩整治措施与应用示范	255
6.4.1 典型浅滩整治参数与整治时机探讨	256
6.4.2 近坝段砂卵石河段整治	259
6.4.3 顺直微弯河段整治	261
6.4.4 分汊河段整治	262
6.4.5 燕子窝整治方案应用	269
6.5 小结	270
参考文献	271
第 7 章 三峡水库蓄水运用后江湖关系变化与对策研究	273
7.1 长江与洞庭湖关系变化与影响	273
7.1.1 长江干流水沙情势	273
7.1.2 三口分流分沙变化	274
7.1.3 城陵矶水位变化	280
7.1.4 江湖关系变化对防洪及水资源利用的影响	282
7.2 长江与鄱阳湖关系变化与影响	282
7.2.1 近年来鄱阳湖区枯水情势	283
7.2.2 江湖关系变化对防洪及水资源利用的影响	284
7.2.3 鄱阳湖江湖关系变化的成因分析	284
7.3 三峡及上游控制性水库运用后江湖关系变化预测	288
7.3.1 长江中游江湖联算耦合数学模型	288
7.3.2 长江与洞庭湖江湖关系变化趋势	290

7.3.3 长江与鄱阳湖江湖关系变化趋势	292
7.4 荆江三口分流河道演变与整治技术	293
7.4.1 荆江三口口门建闸	294
7.4.2 控支强干	294
7.4.3 城陵矶建闸	295
7.5 松滋口建闸对江湖关系的影响	295
7.5.1 松滋口闸基本情况	296
7.5.2 松滋口建闸对防洪的作用与影响	297
7.5.3 松滋口建闸对泥沙冲淤变化的影响	298
7.5.4 松滋口建闸对水资源利用的影响	299
7.6 鄱阳湖水利枢纽及对江湖关系的影响	299
7.6.1 鄱阳湖水利枢纽工程基本情况	300
7.6.2 鄱阳湖水利枢纽对河湖冲淤的影响	302
7.6.3 鄱阳湖水利枢纽对防洪的影响	303
7.6.4 鄱阳湖水利枢纽对长江下游水资源利用的作用	304
7.7 小结	306
参考文献	307
第8章 三峡水库泥沙调控与多目标优化调度	310
8.1 水库调度调整需求与条件分析	310
8.1.1 调度调整需求分析	310
8.1.2 调度运行条件变化分析	312
8.2 动态汛限水位研究	317
8.2.1 汛限水位动态变化方案	318
8.2.2 方案模拟计算结果分析	319
8.2.3 泥沙冲淤影响分析	321
8.3 提前蓄水泥沙问题研究	334
8.3.1 提前蓄水时机及防洪风险分析	334
8.3.2 提前蓄水方案拟定	335
8.3.3 泥沙冲淤影响分析	336
8.4 城陵矶补偿调度方案	339
8.4.1 方案拟定及调度原则	339
8.4.2 荆江百年一遇防洪标准影响分析	339
8.4.3 库区移民淹没影响分析	342
8.4.4 长江中下游防洪效益分析	343
8.4.5 水库泥沙冲淤影响分析	344
8.5 综合优化调度方案	344
8.5.1 沙峰排沙调度方案及泥沙影响分析	344

8.5.2	综合优化调度方案组合	357
8.5.3	综合优化调度评估模型建立	358
8.5.4	综合优化调度方案模拟分析	361
8.5.5	综合优化方案选择	363
8.5.6	综合优化方案应用与效果分析	365
8.5.7	优化调度风险应对措施分析	368
8.6	小结	370
	参考文献	371

第 1 章 绪 言

1.1 三峡工程概况

1.1.1 工程基本情况

长江三峡水利枢纽工程是治理和开发长江的关键性骨干工程,其开发任务是防洪、发电、航运和水资源等综合利用。通过兴建三峡工程,可防止和减轻长江中下游、特别是荆江河段的洪水灾害;向华中、华东和重庆地区提供电力;改善长江重庆—宜昌河段及中游航道的通航条件等,发挥巨大的综合效益。三峡水库正常蓄水位为 175m,汛限水位为 145m,死水位为 145m。相应于正常蓄水位,水库全长为 660km,水面平均宽度为 1.1km,总面积为 1084km²,库容为 393 亿 m³,其中防洪库容为 221.5 亿 m³,水库调节性能为季调节^[1]。

三峡工程采用坝式开发,坝址位于湖北省宜昌市三斗坪镇,距下游已建成的葛洲坝水利枢纽约 40km;坝址处控制流域面积约为 100 万 km²,多年平均年径流量 4510 亿 m³,多年平均年输沙量为 5.3 亿 t。三峡工程主要建筑物由拦江大坝、水电站和通航建筑物三大部分组成,工程建设总工期 17 年,按“一级开发、一次建成、分期蓄水、连续移民”的方案实施^[2]。

三峡工程拦河大坝为混凝土重力坝,坝轴线全长 2309.5m,底部宽 115m,顶部宽 40m,坝顶高程为 185m,最大坝高 181m。泄洪坝段位于河床中部,前缘总长 483m,设有 22 个表孔和 23 个泄洪深孔,其中深孔进口高程为 90m,孔口尺寸为 7m×9m(宽×高);表孔孔口宽 8m,溢流堰顶高程为 158m,表孔和深孔均采用鼻坎挑流方式进行消能。三峡工程的设计标准可防千年一遇洪水,校核标准是可防万年一遇洪水再加 10%,即当峰值流量为 98800m³/s 的千年一遇洪水来临时,大坝本身仍能正常运行;当峰值流量为 113000m³/s 的万年一遇洪水再加 10%时,大坝主体建筑物不会遭到破坏。三峡工程可将下游荆江河段的防洪标准提高到百年一遇;遇到超过百年一遇至千年一遇洪水,配合分蓄洪工程,也可保障荆江河段的防洪安全。

电站坝段位于泄洪坝段两侧,设有电站进水口,进水口底板高程为 108m。电站压力输水管道为背管式,内径为 12.4m,采用钢衬和钢筋混凝土联合受力的结构型式。三峡水电站共安装 32 台单机容量 700MW 的水轮发电机组,其中左岸 14 台、右岸 12 台、地下 6 台,另外还有 2 台 50MW 的电源机组,总装机容量为 22500MW,多年平均年发电量为 882 亿 kW·h。

船闸位于左岸山体内,为双线五级连续梯级船闸。单级闸室有效尺寸为 280m×34m×5m

(长×宽×坎上水深),可通过万吨级船队,年单向通过能力为5000万t。升船机为单线一级垂直升船机,可通过3000t级客货轮,单向年通过能力为350万t。在靠左岸岸坡设有一条单线一级临时船闸,满足施工期通航的需要,其闸室有效尺寸为240m×24m×4m。临时通航船闸停止运用后,该坝段改建成两个冲沙孔。三峡垂直升船机与三峡主体工程同步设计施工,1995年经国务院批准缓建;2013年2月28日,升船机工程进入全面建设阶段,2015年建成。

1994年12月14日,三峡工程正式开工建设;2003年11月,首批6台机组相继投产发电。2006年5月20日,三峡大坝全线建成,达到185m设计高程;2006年11月27日三峡工程蓄水至156m水位,2008年三峡工程试验性蓄水至172.8m,达到防御百年一遇洪水条件,电站26台机组全部投产发电,2009年8月通过了国务院长江三峡工程整体竣工验收委员会关于正常蓄水位蓄至175.0m水位的验收。2010年10月26日,三峡工程首次达到175m正常蓄水位,标志着其防洪、发电、通航和水资源等各项功能达到设计要求^[3]。

三峡水库泥沙问题涉及的范围大,三峡库区175m蓄水位的回水影响长度(大坝至江津)约660km,如图1.1-1所示,其中,大坝至涪陵库段为常年回水区,长约500km,涪陵—江津库段为变动回水区,长约160km。三峡水库兴建后,水库常年回水区水深增大,水流流速减缓,滩险消除,航道条件得到根本改善;变动回水区上段的航道、港区较建库前也有明显改善,局部库段在枯季库水位消落时出现淤积碍航情况,采取疏浚等措施可以保证通航条件;库区万县、涪陵等港口将可建成为深水港,有充足的水域为干、支直达或中转提供编队作业区。

三峡水库对坝下游的影响直至长江河口,目前冲刷主要发生在宜昌至湖口的长江中游河段,长约955km;湖口以下的长江下游河段,长约938km,输沙量也大幅度减少。三峡水库的调节作用增加了坝下游河道枯水流量,试验性蓄水后枯水期流量提高至5500m³/s以上,且流量、水位的波动幅度明显减小,对航运有利;险滩被淹没,航道尺度扩大,航运水流条件改善,航道维护费用减少,船舶运输效益明显提高,运输周转加快,为保证航运安全及促进长江航运事业发展创造了极为有利的条件,对加速西南地区经济发展具有积极的促进作用。

1.1.2 工程泥沙问题研究概述

三峡工程泥沙问题的研究从可行性论证阶段即开始,针对规划、设计、建设、运行不同阶段关注的泥沙问题,组织国内有关科研院所、高校和设计单位进行持续的研究。自1983年国家计委审批长江三峡水利枢纽可行性研究以来,1984年,三峡工程水文泥沙研究工作开始就不同水位方案展开研究论证;1986年,根据中共中央、国务院《关于三峡工程论证有关问题的通知》的要求,开展了泥沙专题的论证工作,论证工作结束后,专门成立了三峡工程泥沙专家组,继续开展跟踪研究。在“七五”“八五”国家重点科技攻关期间进行了泥沙与航运问题的专题研究^[4]。

在三峡工程规划、设计、建设和运行的不同阶段,三峡工程泥沙专家组组织国内有关单位对三峡工程的水文泥沙问题进行了持续研究。

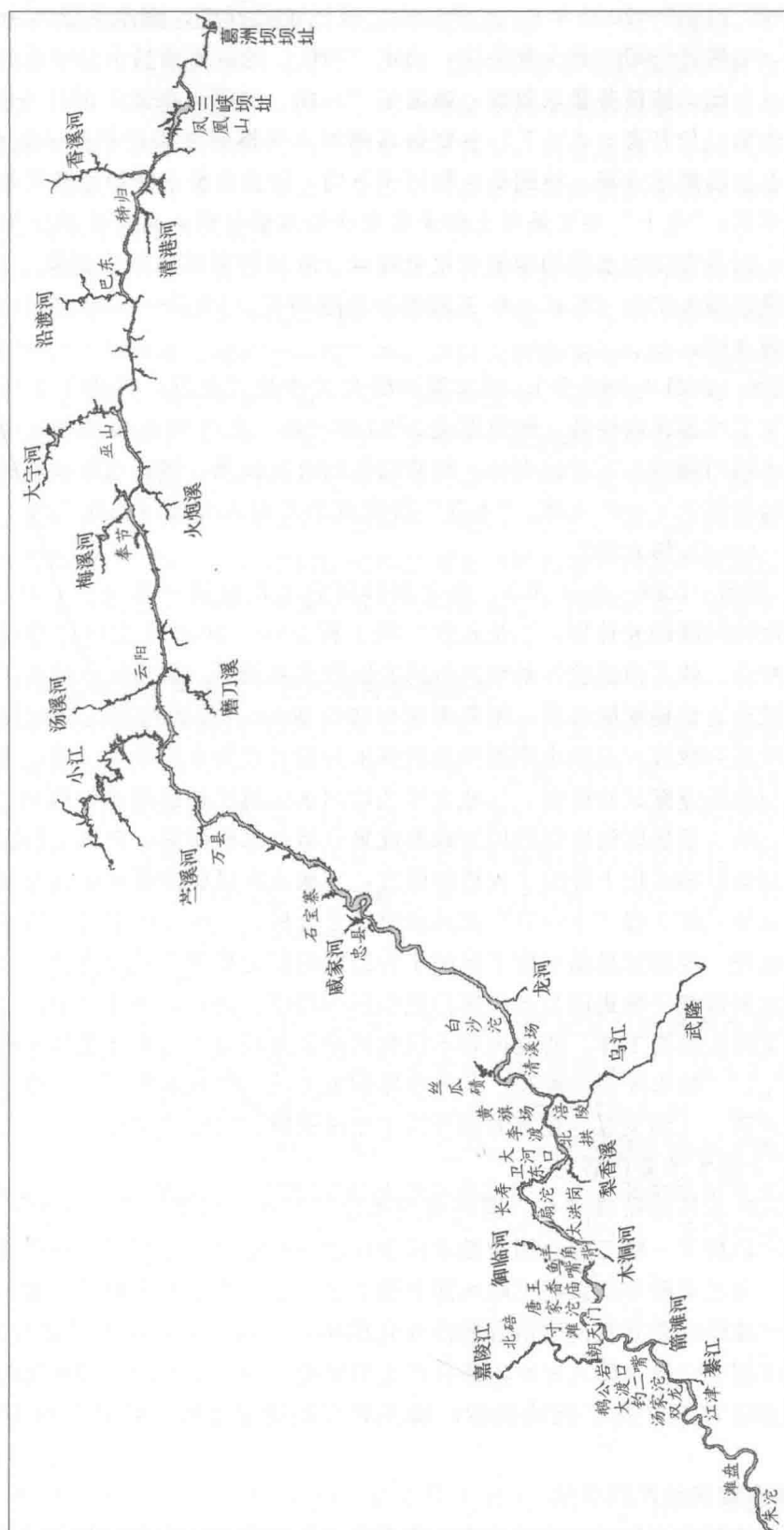


图 1.1-1 三峡水库库区河道示意图

“九五”期间(1996—2000年),由于三峡工程已正式开工,而永久船闸上引航道的布置尚未确定,三峡总公司对此十分关注,确定“坝区”的科研项目由三峡总公司科技委直接组织实施。为此,按任务紧急程度,确定了“一坝、二下、三上”的任务安排。“一坝”即坝区作为第一位任务;“二下”主要是葛洲坝水利枢纽下游近坝段通航水位问题,涉及芦家河以上河段整治方案,特别是控制河床下切,防止水位下降导致葛洲坝三江船闸闸坎通航水深不足;“三上”主要是对上游来水来沙的观测分析,重庆主城区河段走沙规律的观测分析,以及变动回水区的冲淤变化对航运、港口的影响和整治对策。“九五”水文泥沙科研成果汇编入文集《长江三峡工程泥沙问题研究(1996—2000)第八卷》^[5],并应用于工程建设之中。

“十五”期间(2001—2005年),水文泥沙研究工作是“九五”科研工作基础上的继续,除保持研究工作的连续性外,侧重围绕2003年三峡工程开始围堰蓄水运用展开研究工作,研究蓄水运用前后上下游的变化,检验以往的研究成果,修正或作出新的预测,为三峡水库调度运行提供了技术支撑。“十五”研究成果汇编入文集《长江三峡工程泥沙问题研究(2001—2005)第六卷》^[6]。

“十一五”期间(2006—2010年),水文泥沙研究工作包括三部分:一是“十一五”长江三峡工程泥沙问题研究计划,二是长江三峡工程2003—2009年泥沙原型观测资料分析项目,三是配合三峡工程试验性蓄水进行的专题研究和调研。研究涵盖的范围主要自三峡枢纽上游流域至下游杨家脑河段,距葛洲坝枢纽约90km。研究内容主要包括:三峡水库近入库水沙系列研究,三峡水库淤积观测成果分析与近期水库淤积计算,重庆主城区河段冲淤变化与整治方案试验研究,三峡水库变动回水区河段冲淤规律分析和二维泥沙数学模型计算,三峡工程坝区河段泥沙原型观测成果分析和试验研究,宜昌—杨家脑河段河床冲淤及其控制宜昌枯水位下降的工程措施研究,三峡水库试验性蓄水运行方案研究及查勘调研报告,以及三峡工程“十一五”泥沙研究综合分析^[7]。研究成果为三峡水库调度运行、重庆港区治理、控制宜昌枯水位下降的工程措施的制定提供了技术支撑。

科技部、水利部和三峡集团公司等部门组织国内科研、高校、设计等单位开展了大量的三峡工程水文泥沙研究工作,研究内容不仅包括论证阶段提出的水文泥沙问题,还对长江上游水沙变化、三峡水库泥沙淤积、三峡水库调度方式、三峡水库下游河道水文泥沙形势变化及河道冲刷、江湖关系变化等方面开展了系统研究,具体总结如下。

1.1.2.1 长江上游水沙变化研究

针对三峡入库水沙的持续变化,国内有关单位对其影响做了大量的研究。在“十一五”期间,初步剖析了三峡工程运用初期水沙变化的内在原因,分析了气候变化、水库建设、水土保持、河道采砂等因素对三峡水库上游干流水沙变化的影响^[8]。揭示了上游干流和主要支流产流输沙差异及河道沿程输沙变化的特点,估算了长江上游推移质输移量,研究了新建水库群对三峡水库入库水沙条件产生的影响,预测了上游水沙变化趋势。国家重大基础研究973项目“长江流域水沙产输及其与环境变化耦合机理”也有相关研究内容。

1.1.2.2 三峡水库泥沙淤积研究

三峡水库泥沙淤积模拟研究成果较多,在工程论证、设计、施工、蓄水各阶段都针对



备受关注的泥沙问题进行了跟踪研究,尤其是蓄水后的“十一五”期间,中国水利水电科学研究院和长江科学院等单位开展了“三峡工程水库泥沙淤积及其影响与对策研究”^[9],分析了干流泥沙沿水深分布规律,明晰了泥沙传播滞后于洪水传播的现象及其影响等;开发了能模拟复杂边界和水沙条件的水库淤积数学模型,定量预测了不同入库水沙条件和运行方案下的水库淤积规律及库容变化,提出了三峡水库泥沙淤积影响的对策与措施。

1.1.2.3 三峡水库调度方式研究

三峡水库调度方式的研究经历了三个阶段:三峡水库初期运行期方案研究、三峡水库正常运行期方案研究和三峡水库优化调度方案研究。在“十一五”国家科技支撑项目“三峡工程运用后泥沙与防洪关键技术研究”中,长江水利勘测设计研究院等单位提出了三峡水库的综合调度方式,重点考虑了蓄水调度与防洪调度。随着长江上游干支流梯级水库的建设,在新的水沙形势下,三峡工程泥沙专家组组织国内相关单位对三峡水库汛期中小洪水调度、提前蓄水、汛期水位动态变化和城陵矶补偿调度方式等进行了探索和实践,优化了三峡水库的防洪调度方式,提出了考虑防洪、泥沙、生态、航运诸因素要求的三峡水库综合优化调度措施,三峡工程运用初期的荆江河道治理方案,以及洞庭湖区、鄱阳湖区防洪综合治理措施,制定了三峡工程蓄水运用后的两湖生态保护对策,完善了长江中下游防洪体系的调度方式。

1.1.2.4 三峡水库下游河道水文泥沙情势影响研究

三峡水库下游河道泥沙研究成果也很丰富、长江委水文局对下游河道水文泥沙变化进行了连续观测和分析;“十一五”期间,中国水利水电科学研究院、长江科学院、南京水利科学研究院等单位利用数学模型和长江防洪实体模型研究了三峡水库运用初期长江中下游河道的冲淤变化,发展了中下游水沙数学模型和实体模型的模拟技术,揭示了三峡工程蓄水运用以来长江中下游干流河道与洞庭湖区冲淤变化特性,分析了坝下游河势、河型变化的机理并预测了河势、河型变化趋势^[10]。

1.1.2.5 江湖关系变化研究

“十一五”国家科技支撑计划课题对长江中下游干流河道与洞庭湖及鄱阳湖冲淤变化特性等方面进行了研究,初步提出了江湖关系变化的应对措施^[11]。定量计算了三峡工程运用后初期江湖关系的调整变化对长江中下游江湖蓄泄能力的影响,揭示了坝下河道冲刷、江湖蓄泄能力变化与长江中游防洪布局之间的相互作用关系,分析了两湖重要湿地对三峡工程蓄水运用的生态响应,揭示了长江中下游防洪与生态保护的相互关系。

1.2 研究内容与主要成果

1.2.1 研究内容

本书从三峡水库和下游河道泥沙运动规律、模拟技术、调控技术等方面开展研究,主要研究内容如下:

(1) 三峡水库泥沙运动规律。针对三峡水库大水深强不平衡条件下的输沙特性,研究了水库非均匀不平衡输沙、泥沙絮凝、水库排沙比变化等规律以及三峡水库下游河道的演

变与江湖关系变化机理等。

(2) 三峡水库入库水沙变化。建立了分布式水文泥沙模型, 分析了长江上游典型产沙区近年产流产沙变化特点, 解析了主要关联因素的影响; 调查了干支流已建、在建和拟建大型水库的规模及运用方式, 建立长河段非恒定流输沙模型, 分析计算了水库群联合调度的拦沙效果; 开发了卵石推移质水槽实验观测系统, 研究了长江上游河道在床面部分可动、部分不动条件下推移质输沙规律; 调查了三峡水库上游干支流的采砂情况, 评估了人工采砂对三峡水库入库推移质数量和级配的影响。综合分析了上游梯级水库联合运用条件下三峡入库水沙的发展变化趋势, 为三峡泥沙问题研究提供了入库水沙条件。

(3) 在三峡工程泥沙模拟技术方面, 完善与提高了三峡水库和长江中下游泥沙数学模型, 提出岸滩侧蚀冲刷与河道横向变形的三维数值模拟技术, 为三峡工程的综合调度提供技术手段。在总结以往模型研究成果的基础上, 完善三峡水库及下游河道泥沙模拟技术, 提高模拟精度, 模拟研究了三峡水库不同运用方案下水库及下游河道冲淤变化规律, 为三峡水库优化调度提供技术支撑。

(4) 围绕三峡水库运行后下游航道面临的核心问题, 以长江中游典型浅滩河段为主要对象, 研究三峡水库下游河道冲刷机理与演变规律, 揭示三峡水库下游长河段滩群演变及对航道的影响, 研究了长河段滩群演变和整治技术, 为长江中游航道整治提供技术支撑。

(5) 三峡工程运用后长江与洞庭湖和长江与鄱阳湖的水流相互作用关系、泥沙交换关系、冲淤影响关系及其演变趋势。分析了三峡水库运用对江湖冲淤变化的影响, 对两湖枯水期水资源的影响; 探讨了荆江三口分流河道整治措施, 松滋口建闸、湖口建闸对江湖关系变化的影响及对防洪和水资源利用的作用和影响, 为制定三峡水库蓄水运用后江湖治理措施提供技术支撑。

(6) 三峡水库运用与泥沙调控工程示范。分析了新水沙形势下三峡水库调度调整的需求, 研究三峡水库不同运行方式与泥沙冲淤变化间的响应关系, 提出新水沙形势下三峡水库优化调度方案并进行了应用示范, 充分发挥三峡工程综合效益。

研究内容涉及泥沙运动力学、河床演变学、泥沙工程学、环境生态学等学科的内容和理论, 加之三峡水库及其上下游河道的水沙特性和演变规律非常复杂, 采用的研究方法既注重以往研究成果的总结和利用, 又进一步采用实测资料分析、现场调查观测、模型试验、理论分析和数学模型计算等方法进行了系统研究。

1.2.2 主要成果

研究取得的主要创新成果如下:

(1) 三峡工程泥沙输移规律研究取得了理论创新。系统研究了三峡水库大水深强不平衡条件下的泥沙输移规律, 首次揭示了三峡水库泥沙絮凝规律, 揭示了影响三峡水库排沙比的主要因素及响应机理, 研究了推移质输沙及河床二次粗化机理、三峡水库下游不同类型河段的演变机理与含沙量恢复过程。

(2) 泥沙数学模型模拟技术取得了多项突破。分析了影响三峡水库与下游河道一维泥沙数学模型精度的主要因素, 改进完善了泥沙数学模型, 大幅提高了模型精度; 研发了江湖联结二维水沙整体模型, 解决了岸滩侧蚀三维水沙动力学模拟中的关键技术, 建立了三