

三峡工程运用后初期 坝下游江湖响应过程

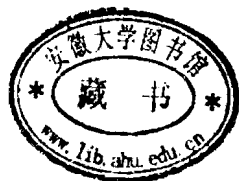
卢金友 姚仕明 邵学军 张细兵 著



科学出版社

三峡工程运用后初期 坝下游江湖响应过程

卢金友 姚仕明 邵学军 张细兵 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

三峡工程运用后,坝下游河道将发生长时间、长距离的冲淤变化,荆江三口分流分沙、洞庭湖区的水沙条件与冲淤以及江湖关系均将发生相应的调整变化,从而对江、湖演变及其防洪、航运、涉水工程运行等产生影响。

本书以三峡水库下游干流河道与洞庭湖为主要研究对象,利用长江防洪实体模型、数学模型和理论分析结合原型观测资料分析等手段,综合研究揭示了三峡工程运用初期坝下游干流河道和洞庭湖区的冲淤变化、干流河道河势与河型变化、荆江三口分流分沙及江湖关系变化规律与发展趋势。

本书资料翔实,内容丰富,可供从事防洪减灾、河道演变与治理、水沙资源配置等相关专业的管理、规划、设计、科研人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡工程运用后初期坝下游江湖响应过程/卢金友等著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035461-7

I. ①三… II. ①卢… III. ① 三峡水利工程—下游—江河—影响—研究 ② 三峡水利工程—下游—湖泊—影响—研究 IV. ①TV632.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 205331 号

责任编辑: 胡 凯 曾佳佳 / 责任校对: 林青梅
责任印制: 赵德静 / 封面设计: 许 瑞

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 9 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 9 月 第一次印刷 印张: 19 3/4

字数: 390 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

举世瞩目的长江三峡水利枢纽工程于1994年12月14日开工建设,2003年6月1日开始围堰挡水发电,2009年全面完成枢纽建设任务,2010年汛后成功实现试验性蓄水至175m水位运用,已全面发挥防洪、发电、航运及补水等综合效益。

三峡工程运用后,由于水库调蓄作用,进入长江中下游河道的水沙条件发生明显改变,将会引起长江中下游河道长时间、长距离的冲淤变化,进而可能引起局部河段的河势调整,对两岸堤防、已建护岸工程和河道整治工程及河道与航道的稳定产生影响;水库下泄水沙过程的改变和坝下游河道的冲淤变化,必然引起荆江三口分流分沙、洞庭湖区和鄱阳湖区的水沙条件与冲淤变化以及江湖关系的调整变化,从而对江、湖演变及防洪、航运、涉水工程运行等产生影响;水沙条件的改变和坝下游河道的冲淤变化及江湖关系调整对长江中下游生态与环境均将产生影响;三峡工程上游干支流水库将在今后一段时间内继续兴建,这些水库与三峡工程联合调度运用,对长江中下游河道和江湖关系将产生更加深远的影响。由此可见,三峡工程及其上游干支流水库建成运用,改变了长江中下游河道的来水来沙条件,干流河道冲淤特性、河势及江湖水沙关系等将发生新的变化,中下游防洪、航运、生态与环境等将面临新的形势。因此,深入研究三峡工程运用后长江中下游干流河道河床冲淤、河道演变和江湖关系的长期调整变化趋势等重大技术问题,为长江防洪规划与中下游干流河道治理修订、河道整治、工程建设和防洪决策提供科学依据,具有重要意义。

为贯彻落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》和《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》,充分发挥三峡工程的综合效益,保障长江中下游防洪安全,支撑长江流域社会经济可持续发展,科技部在“十一五”期间国家科技支撑计划中设立了“三峡工程运用后泥沙与防洪关键技术研究”重点项目,包括五个课题。其中课题三为“三峡工程运用后初期长江中下游干流河道响应过程及江湖关系变化预测研究(2006BAB05B03)”,旨在利用长江防洪实体模型、数学模型与理论分析结合原型观测资料分析等手段,综合研究三峡工程运用初期(上游溪洛渡、向家坝等水电站投入运行以前)长江中下游干流河道和洞庭湖区的冲淤变化、河势变化及江湖关系变化趋势。

本书是在该课题研究成果的基础上撰写而成的,全书共5章。第1章为绪论,主要阐述了三峡水库下游江湖冲淤演变及其关系变化的研究意义以及其江湖关系

变化研究进展。第2章利用实测资料分析了三峡工程自2003年运用以来坝下游干流河道水沙输移与冲淤变化特性,利用数学模型计算与实体模型试验等研究手段对三峡水库运用后初期坝下游干流河道的冲淤变化进行了预测研究,在上述基础上研究揭示了三峡水库运用后初期坝下游干流河道的冲淤过程和机制。第3章概述了天然河流中不同类型河型成因的研究进展,利用概化模型试验与数学模型计算等手段研究揭示了影响大型水利工程坝下游典型河道河势、河型变化的机制,利用实测资料分析揭示了丹江口水库和三峡水库下游不同类型河道河势变化特性,并预测了三峡水库下游不同类型河道河势与河型的发展趋势。第4章介绍了江湖关系和槽蓄关系现状及影响江湖关系变化的主要因素,利用数学模型计算分析了三峡水库运用后初期洞庭湖区的冲淤变化,并对江湖洪水演进特性进行了初步研究,提出了荆江与洞庭湖洪水演进的特点及防洪形势,预测了江湖关系发展趋势。第5章为结语,介绍了本次研究获得的主要认识,提出了需要进一步研究的问题。

本书各章的主要撰写人员如下。第1章执笔人:卢金友、姚仕明;第2章执笔人:卢金友、姚仕明、孙贵洲、张杰、黄悦、毛继新、袁晶;第3章执笔人:邵学军、姚仕明、陈立、周刚;第4章执笔人:张细兵、卢金友、朱勇辉、宫平、王敏、许全喜、宁磊;第5章执笔人:卢金友、姚仕明。全书由卢金友和姚仕明统稿。

特别需要说明的是,本课题是在各参加单位的共同努力下完成的,参加课题研究的单位和主要完成人如下所述。长江科学院:卢金友、姚仕明、范北林、张细兵、魏国远、孙贵洲、宫平、黄悦、朱勇辉、王敏、张杰、黎礼刚、李发政、岳红艳、黄莉、谷利华、潘庆燊、黄煜龄、胡向阳、王家生等;清华大学:邵学军、周刚、假冬冬、王博、庞东明、安凤玲等;中国水利水电科学研究院:毛继新、方春明、何明民、鲁文、关见朝、钟正琴等;长江水利委员会水文局:许全喜、胡功宇、袁晶、彭玉明、王伟、童辉等;长江勘测规划设计研究院:宁磊、要威、张黎明、柴晓玲、朱丽江等;武汉大学:陈立、詹义正、陆晶、冯源等。在研究过程中,课题组成员密切配合,互相支持,圆满完成了课题的研究任务,在此对他们的辛勤劳动表示诚挚的谢意。

鉴于本研究涉及范围大、内容多、影响因素复杂,加之时间仓促和水平有限,书中欠妥或疏漏之处在所难免,真诚欢迎读者批评指正。

本书受国家科技支撑计划课题“三峡工程运用后初期长江中下游干流河道响应过程及江湖关系变化预测研究(2006BAB05B03)”与水利部公益性行业科研专项经费项目(200901004)的资助,特此致谢!

作者

2011年12月于武汉

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 三峡工程坝下游江湖关系基本情况	1
1.1.1 长江中下游干流河道概况	1
1.1.2 洞庭湖概况	4
1.1.3 鄱阳湖概况	5
1.2 三峡工程坝下游江湖关系研究进展	7
1.2.1 “七五”期间及以前	7
1.2.2 “八五”期间	12
1.2.3 “九五”期间	14
1.2.4 “十五”期间	20
1.3 三峡工程坝下游江湖关系研究的重要意义	21
参考文献	24
第 2 章 三峡工程运用后初期坝下游干流河道冲淤变化研究	28
2.1 三峡工程运用以来坝下游干流河道冲淤特性	28
2.1.1 水沙输移特性变化	28
2.1.2 河道冲淤变化	43
2.2 三峡工程运用后初期长江中下游干流河道冲淤变化预测研究	45
2.2.1 一维非恒定河网水沙数学模型的建立与验证	46
2.2.2 二维水沙数学模型的建立与验证	67
2.2.3 三峡工程运用后初期坝下游干流河道冲淤变化	80
2.2.4 三峡工程运用后初期上荆江重点河段冲淤变化试验研究	102
2.3 三峡工程运用后初期坝下游干流河道冲淤过程和机制	124
2.3.1 三峡工程蓄水运用以来坝下游干流河道冲淤过程	124
2.3.2 三峡工程运用后初期坝下游干流河道冲淤过程	132
2.3.3 三峡工程蓄水运用后初期坝下游干流河道冲淤机制	134
参考文献	137
第 3 章 三峡工程运用后初期坝下游河道河势、河型变化趋势	139
3.1 不同类型河型成因的研究进展	139
3.1.1 河型分类	139

3.1.2	河型成因的主要理论	141
3.1.3	河型转化及其影响因素	143
3.2	大型水利工程对坝下游河道河势、河型影响机制	145
3.2.1	丹江口水库下游河道河势与河型变化	145
3.2.2	大型水利工程下游典型河道概化模型试验与数值模拟研究	154
3.3	三峡工程下游河道冲刷对不同类型河段河势、河型的影响过程	211
3.3.1	三峡工程下游河道冲刷对卵石夹砂河段河势、河型变化趋势的影响	213
3.3.2	三峡工程下游河道冲刷对分汊河段河势、河型变化趋势的影响	216
3.3.3	三峡工程下游河道冲刷对弯曲河段河势、河型变化趋势的影响	219
3.4	三峡工程运用后初期荆江河段河型、河势变化趋势研究	224
3.4.1	河型变化	224
3.4.2	河势调整	225
3.4.3	河床形态的调整	228
	参考文献	230
第4章	三峡工程运用后初期长江与洞庭湖关系变化趋势	233
4.1	江湖关系和槽蓄关系现状	233
4.1.1	荆江三口分流河道冲淤及分流分沙变化	233
4.1.2	荆江三口控制站水位流量关系变化	245
4.1.3	洞庭湖泥沙淤积特性	247
4.1.4	江湖关系变化主要影响因素	250
4.1.5	长江中下游江湖槽蓄关系现状	253
4.2	三峡工程运用后初期江湖水沙与冲淤变化预测	258
4.2.1	荆江三口分流分沙变化	260
4.2.2	江湖冲淤变化	262
4.3	三峡工程运用后初期坝下游干流河道和洞庭湖洪水演进特性初步研究	266
4.3.1	三峡工程运用后初期长江中下游洪水调度方案研究	266
4.3.2	现状条件下荆江河段洪水演进特性试验研究	273
4.3.3	三峡工程运用后初期江湖洪水演进特性计算分析	286
4.4	江湖关系变化趋势	301
4.4.1	江湖水沙条件变化趋势	301
4.4.2	江湖冲淤变化趋势	303
4.4.3	江湖关系变化趋势	304
	参考文献	305
第5章	结语	307

第 1 章 绪 论

1.1 三峡工程坝下游江湖关系基本情况

长江作为世界第三大河、我国第一大河，发源于青藏高原唐古拉山脉主峰各拉丹冬雪山西南侧，干流流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海 11 个省、自治区、直辖市，于黄海与东海交汇处入海，全长约 6300km。长江以宜昌为界，以上为长江上游，以下为长江中下游。三峡工程蓄水运用前，长江上游出口控制站宜昌水文站的多年平均径流量和悬移质输沙量分别为 4368 亿 m^3 和 4.92 亿 t，宜昌以下因有以洞庭湖水系、鄱阳湖水系及汉江等为主的众多支流入汇，水量沿程增加，至长江下游大通水文站，其多年平均径流量和悬移质输沙量分别为 9052 亿 m^3 和 4.27 亿 t，多年平均入海径流量约为 9600 亿 m^3 ^[1]。

长江中下游江湖水系十分发达，但近些年来受自然因素与人类活动的共同作用，通江湖泊萎缩与人为阻隔十分严重。曾有“千湖之省”美誉的湖北省现有湖泊已不足 300 个，现存湖泊面积仅为 2438.6 km^2 ，只有 20 世纪 50 年代的 29.4%。截至目前，长江中下游地区只有洞庭湖、鄱阳湖、石臼湖与长江处于自然连通状态，构成复杂而特有的江湖关系。长江中游地区的洞庭湖、鄱阳湖因面积大，在调蓄长江洪水、参与大气调节、维护江湖健康、造福人类等方面发挥着重要的作用，其综合功效不可替代。

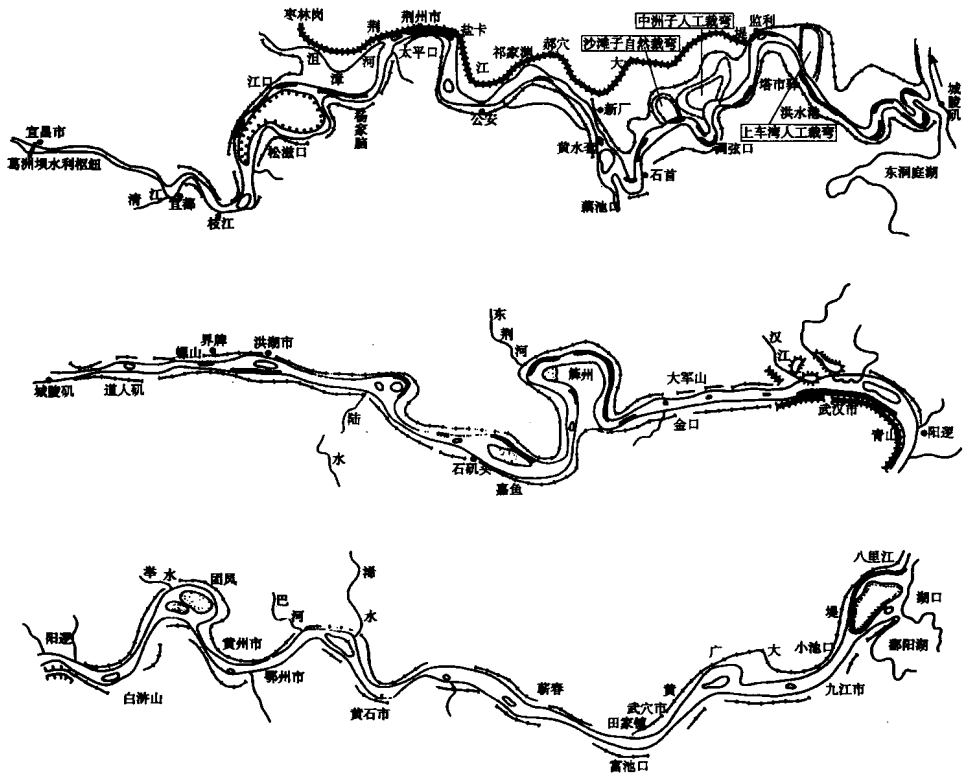
1.1.1 长江中下游干流河道概况^①

长江中下游干流河道全长约 1893km(图 1-1)，其中长江中游自宜昌至湖口长约 955km；湖口以下为长江下游，长约 938km。长江中下游河道流经广阔的冲积平原，沿程各河段河型不同，有顺直型、弯曲线型、分汊型和蜿蜒型四大类，河床边界条件也不同，各种河型河道演变特点各异。

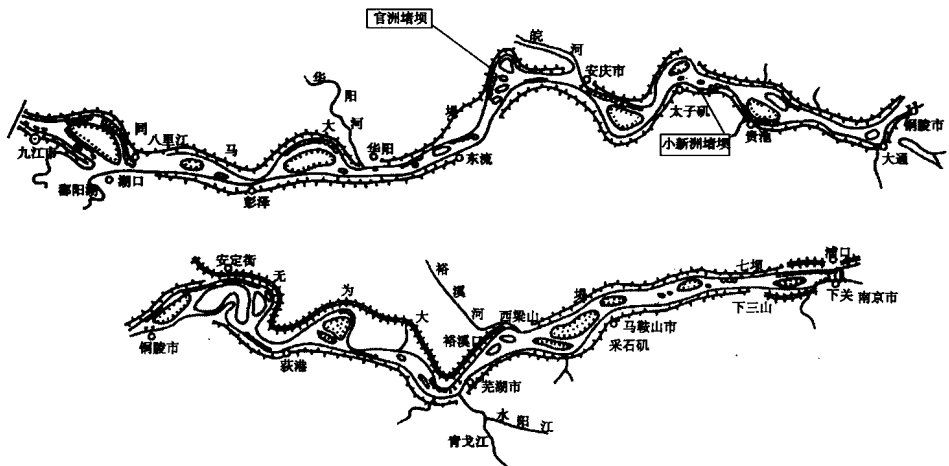
宜昌至枝城河段长约 61km，是从山区河流进入平原河流的过渡段，为顺直微弯型河道，右岸有清江入汇，两岸有低山丘陵和阶地控制，河岸抗冲能力较强，河床为卵石夹砂组成，局部有基岩出露。由于受两岸边界条件的制约，河道平面形态

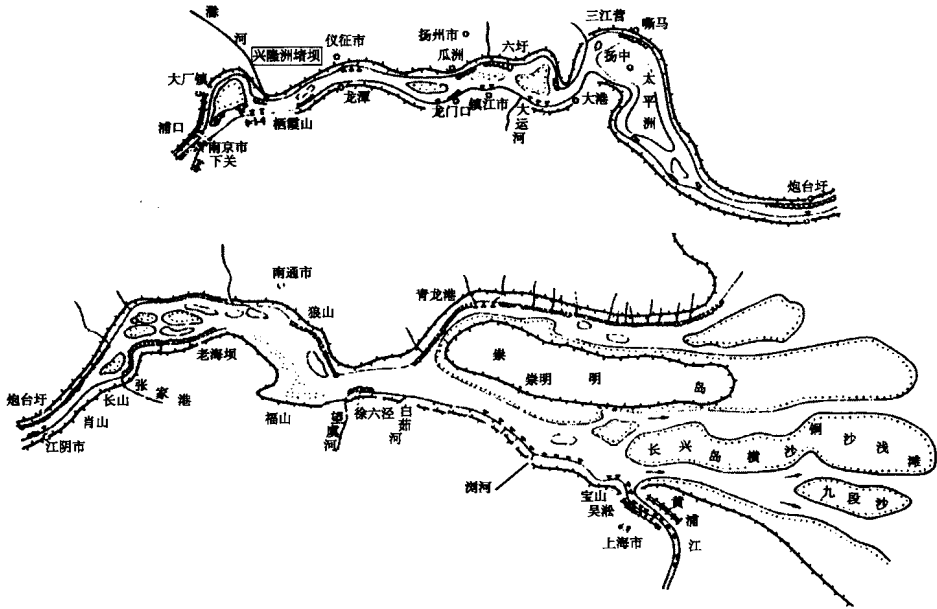
^① 长江水利委员会长江科学院. 2004. 三峡工程建成后长江中下游江湖演变有关科研工作情况汇报材料.

和洲滩格局长期以来保持基本不变，河势相对稳定，河床冲淤年内呈周期性变化，
年际冲淤维持相对平衡。



(a) 长江中游干流河道形势图





(b) 长江下游干流河道形势图

图 1-1

枝城至城陵矶河段称为荆江，长约 347.2km。其中枝城至藕池口的上荆江，长约 171.7km，为弯曲分汉型河道，河床组成主要为中细沙，床沙平均中值粒径约为 0.2mm，其中上段枝城至江口段河床有砾卵石。河岸由卵石、沙和黏性土壤组成，下部卵石层顶板以 0.02% 的坡降向下游倾斜；中部沙层顶板高程较低，一般在枯水位以下，以细沙为主，夹有极细沙和粗沙；上层黏性土层较厚，一般为 8~16m。上荆江河道演变的特点是弯道凹岸崩坍，凸岸边滩淤长，并可能被水流切割成江心洲或江心滩；有江心洲的弯道内主支汉冲淤变化，但主支汉地位相对稳定，如关洲、董市洲、江口洲、火箭洲、马羊洲和突起洲等汉道，仅三八滩、金城洲分汉段的主支汉部分时段兴衰交替。

藕池口至城陵矶的下荆江，长约 175.5km，自然条件下属典型的蜿蜒型河道，河岸大部分为现代河流沉积物组成的二元结构，下部沙层顶板高程较高，一般位于枯水位以上，以中细沙为主；上部为河漫滩相的黏土层，一般厚 3~14m，较上荆江薄，河岸抗冲能力较上荆江弱。河床由中细沙组成，卵石层深埋床面以下，床沙平均中值粒径约为 0.165mm。河道演变的特点是弯道凹岸崩坍，凸岸边滩淤长，并可能发生撇弯切滩或自然裁弯。河弯发生裁弯取直后，河道又重新发展为新的弯道，并引起其下游河势发生较大变化，如尺八口弯道 1909 年自然裁弯后，下游产生七弓岭和观音洲弯道。

荆江河段北岸有荆江大堤, 自上荆江枣林岗至下荆江监利城南全长 182.4km, 是保障江汉平原防洪安全的屏障, 堤外滩地狭窄或无滩, 深泓逼岸, 防洪形势险要。荆江北岸有沮漳河入汇, 南岸沿程有松滋口、太平口、藕池口和调弦口(已于 1959 年建闸控制)分流入洞庭湖, 与洞庭湖区湘江、资水、沅江、澧水及其他支流的来水来沙汇合经洞庭湖调蓄后在城陵矶复入长江, 构成了复杂的江湖关系(图 1-2)。

城陵矶以下河道属分汊型河道, 两岸有汉江、鄱阳湖水系、巢湖水系、太湖水系以及其他支流入汇。河道两岸地质条件具有明显的不均匀性, 左岸多为广阔的冲积平原, 右岸多为山丘阶地。河岸组成有土质、土沙质、沙质和基岩质 4 类, 以沙质岸坡居多。两岸分布有对河势起控制作用的, 由山丘和阶地出露的基岩组成的节点 88 处, 形成藕节状宽窄相间的分汊型河道。河床组成一般为细沙和极细沙, 床沙中值粒径约为 0.16mm。按汊道平面形态不同, 本河段分顺直形、微弯形和鹅头形三种汊道。分汊型河段河道演变的主要特点是, 主支汊兴衰交替表现为主支汊原位交替和摆动交替两种形式, 前者主支汊地位互换, 但其平面位置基本不变, 一般发生于顺直形分汊和微弯形分汊河段; 后者为支汊通过平面位移和断面冲刷扩大而取代主汊, 一般仅发生于鹅头形汊道; 汊道段的主支汊兴衰交替的周期较长, 大多数汊道段的主支汊地位较长时期保持不变; 汊道的演变对其下游的单一汊道及汊道演变的影响程度取决于单一汊道的长度和两岸有无节点控制。

1.1.2 洞庭湖概况

洞庭湖位于湖南省东北部, 长江中游荆江段之南岸。其北有松滋口、太平口、藕池口、调弦口四口分泄长江水入湖; 南、西有湘江、资水、沅江、澧水四水入汇; 还有汨罗江、新墙河等河流入汇。洞庭湖水系流域面积 26.28 万 km^2 , 占长江流域总面积的 14.6%。洞庭湖区河网交错、水系纵横、水流复杂, 相互干扰顶托, 形成一个极为复杂的水网区(图 1-2)。长期以来, 洞庭湖区在自然演变、泥沙淤积和人类活动等因素影响下, 昔日的“八百里洞庭”已演变为众多围垸相隔、洪道纵横交错的洪道型湖泊。洞庭湖区 1995 年的实测地形资料分析表明, 在城陵矶(七里山)水位为 31.50m 时, 湖长 143.00km, 最大湖宽 30.00km, 平均湖宽 17.01km, 湖泊面积 2623 km^2 ; 最大水深 23.5m, 平均水深 6.39m, 相应蓄水量 167 亿 m^3 。为我国第二大淡水湖泊^[2]。洞庭湖多年平均入湖径流量约 2870 亿 m^3 , 其中四水 1690 亿 m^3 、四口 940 亿 m^3 、区间 240 亿 m^3 。湖区泥沙淤积严重, 多年平均入湖泥沙 1.44 亿 t, 出湖泥沙 0.39 亿 t, 淤积在湖区的泥沙年平均达 1.05 亿 $\text{t}^{[3]}$ 。

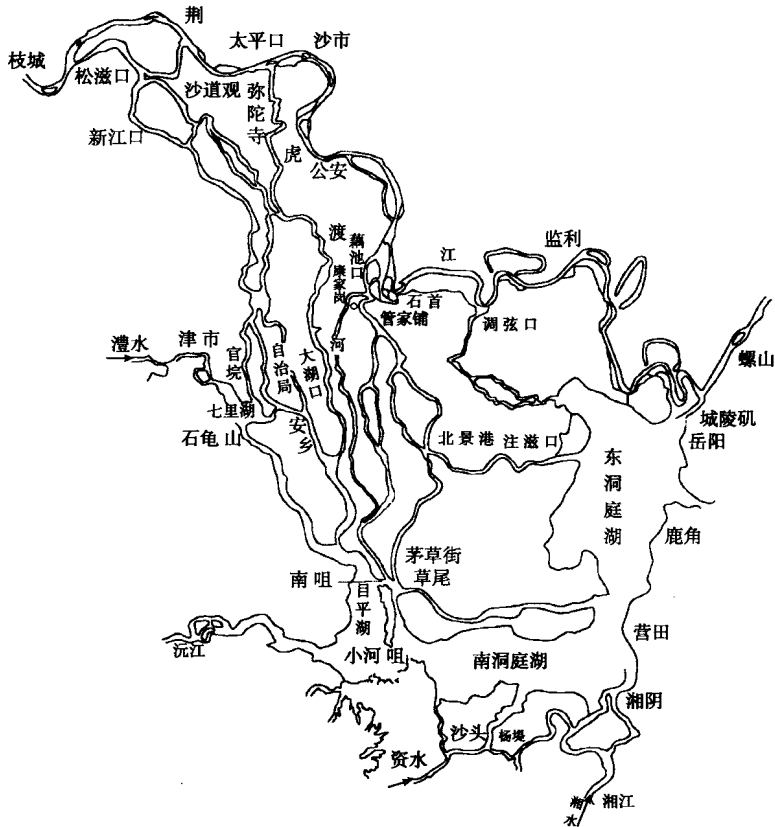


图 1-2 洞庭湖水系

1.1.3 鄱阳湖概况^[4]

鄱阳湖位于江西省的北部，承纳赣江、抚河、信江、饶河、修河五河及博阳河、漳河、潼河之来水，经调蓄后由湖口注入长江，是一个过水性、吞吐型、季节性的湖泊，为我国最大的淡水湖(图 1-3)。鄱阳湖水系流域面积 16.22 万 km^2 ，约占长江流域总面积的 9%。

鄱阳湖南北长 173km，东西平均宽度为 16.9km，最宽处约 74km，入江水道最窄处的屏峰卡口宽约 2.8km，湖岸线总长约 1200km。湖面以松门山为界，分为南、北两部分。南部宽广、较浅，为主湖区；北部狭长、较深，为湖水入长江水道区。湖盆自东向西、由南向北倾斜，高程一般由 12m 降至湖口约 1m。鄱阳湖湖底平坦，最低处在蛤蟆石附近，高程为 -10m 以下；滩地高程多在 12~18m。鄱阳湖地貌由水道、洲滩、岛屿、内湖、汉港组成。鄱阳湖水道分为东水道、西水道和入江水道。赣江在南昌市以下分为 4 支，主支在吴城与修河汇合，为西水道，向北至蚌湖，有博阳河注入；赣江南、中、北支与抚河、信江、饶河先后汇入主湖区，为东水道；

东、西水道在渚溪口汇合为入江水道，至湖口注入长江。洲滩有沙滩、泥滩、草滩三种类型，面积共 3130km²。其中沙滩数量较少，高程较低，分布在主航道两侧；泥滩多于沙滩，高程在沙滩、草滩之间；草滩为长草的泥滩，高程多在 14~17m，主要分布在东、南、西部各河入湖的三角洲。全湖有岛屿 41 个，面积约 103km²，岛屿率为 3.5%，其中莲湖山面积最大，达 41.6km²，而最小的印山、落星墩的面积均不足 0.01km²。

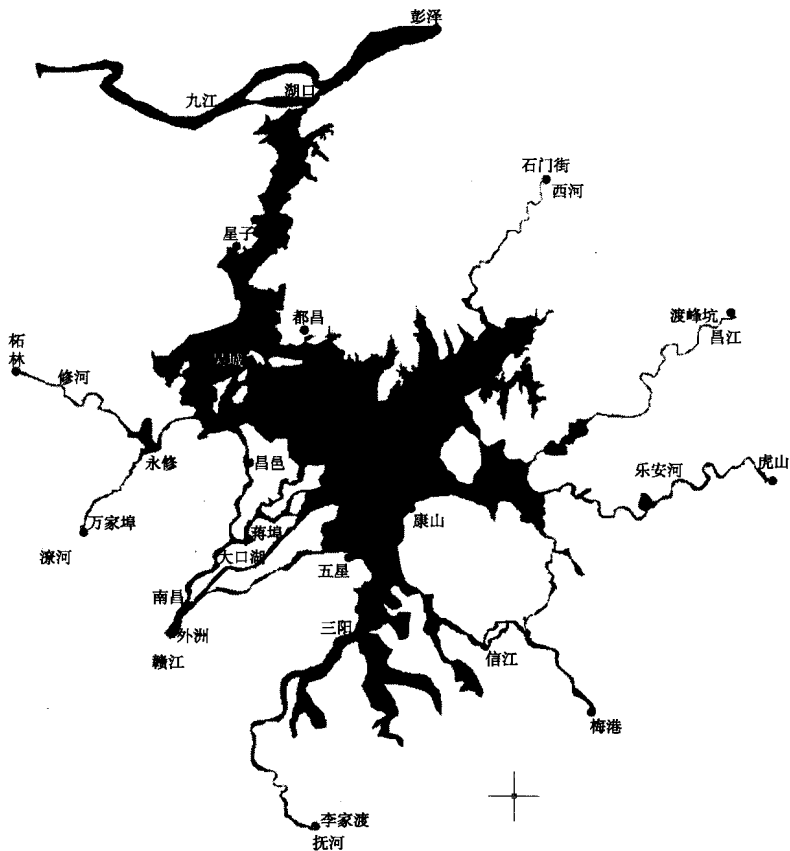


图 1-3 鄱阳湖水系

鄱阳湖水位涨落受“五河”及长江来水的双重影响，每当洪水季节，水位升高，湖面宽阔，一望无际。湖口水文站水位为 21.00m(吴淞基面，下同)时，湖水面积 3840 km²，容积 262 亿 m³，平均水深 6.8m；历年最高实测水位(1998 年 7 月 31 日) 22.58 m 时，湖水面积 4070 km²，容积 320 亿 m³。枯水季节，水位下降，洲滩出露，湖水归槽，蜿蜒一线。历年最低实测水位(1963 年 2 月 6 日) 5.90 m 时，湖水面积仅 146 km²，蓄水量 4.5 亿 m³。鄱阳湖洪、枯水期的水面面积、容积相差极大，呈现

“高水为湖、低水似河”和“洪水一片、枯水一线”的景观^[5]。鄱阳湖水系年均径流量为 1525 亿 m^3 ，“五河”年均入湖沙量 0.15 亿 t，出湖沙量 0.09 亿 t，淤积在湖区的泥沙年均约 0.06 亿 $\text{t}^{[3]}$ 。

1.2 三峡工程坝下游江湖关系研究进展

自 20 世纪 50 年代起，长江水利委员会就开始了对三峡工程泥沙问题的观测、分析和研究工作。20 世纪 70 年代至 80 年代初，全国多个研究单位与大专院校积极参与了葛洲坝水利枢纽泥沙问题研究，为三峡工程的泥沙研究积累了可贵的经验。“七五”期间，在以往工作基础上，针对三峡工程的主要泥沙问题，系统地开展了原型观测与调查、泥沙数学模型计算和泥沙模型试验研究，取得深度、广度和精度均能满足可行性研究阶段要求的研究成果。1988 年 2 月，三峡工程论证泥沙专家组经过详细讨论认为：三峡工程可行性研究阶段的泥沙问题，经过研究，已基本清楚，是可以解决的^[6]。“八五”期间，为配合三峡工程的初步设计与技术设计，由长江科学院牵头，中国水利水电科学研究院参加，继续开展了坝下游泥沙问题的专题研究。“九五”期间，长江科学院、中国水利水电科学研究院、武汉水利电力大学、长江水利委员会水文局、长江航道局与长江航道规划设计研究院、清华大学、天津水运工程科学研究所、南京水利科学研究院等单位主要围绕三峡工程坝下游泥沙问题、江湖关系变化及其治理，运用多种技术手段，开展了大量的研究工作，取得了丰富的研究成果，出版了多部学术著作^[1,7,8]。“十五”期间，长江科学院围绕三峡工程蓄水运用后对荆江的影响，开展了三峡工程运用后初期对荆江的影响研究，并提出了荆江河势应急控制工程的可行性研究报告。同期，为了深入研究三峡工程蓄水运用后对坝下游河道冲淤变化与分布、江湖关系变化以及对坝下游河段的防洪影响与对策措施等，长江科学院利用世界银行贷款项目投资建设了长江防洪模型，包括实体模型与数学模型两部分，其中实体模型范围为长江干流从枝城至螺山河段，洞庭湖区包括三口分流道，东、南、西洞庭湖及湘、资、沅、澧四水尾间，模型比例尺：平面比例尺 1:400，垂直比例尺 1:100；数学模型研究范围为长江干流从宜昌至大通河段，包括洞庭湖区与鄱阳湖区。另外，长江航道局、长江航道规划设计研究院、武汉大学等单位围绕长江中下游干流航道整治工作，开展了浅滩演变机制及航道整治关键技术研究等。

1.2.1 “七五”期间及以前

“七五”以前，为研究三峡水利枢纽工程兴建后，坝下游河床冲刷、水位降低问题，1959 年荆江河床实验站对宜昌至涪市长约 124km 河段的河床组成，进行了

较详细的勘测,获得了该段河床组成的第一手资料,为研究坝下游河道演变与冲淤提供了基础资料;同年,长江流域规划办公室(1982年改为现今的“长江水利委员会”)水文处估算了三峡水利枢纽运用22年后,宜昌站同流量水位下降约1.5m。1974年,长江科学院估算三峡水利枢纽下游河床冲刷达到平衡情况下,宜昌站同流量水位下降约2.0m;葛洲坝水利枢纽单独运用时,宜昌站同流量水位下降值不超过1.0m^①。

根据丹江口水利枢纽下游河床冲刷与水位降低的观测资料,1960年围堰滞洪至1968年蓄水运用阶段,下游黄家港站同流量水位下降1.32m;1968年蓄水运用后,同流量水位下降0.32m,共降低1.64m;1974年已趋于稳定。三峡水利枢纽与丹江口水利枢纽工程沿程河床组成基本相同,水力条件则有差别;黄家港站水位下降值可供估算三峡水利枢纽修建后宜昌站水位下降值时参考^②。

“七五”期间,三峡水利枢纽下游河床冲刷与水位降低问题在以前累积资料与分析研究的基础上,继续勘测并整理枢纽下游宜昌至枝城段河床组成资料,研究者认为三峡大坝建成蓄水后,本河段不会发生明显的河型变化,也不大可能有急剧的河床纵横断面特征的调整^③。1988年,荆江河床实验站完成了宜昌至武汉段20孔钻探取样。庞午昌^④按照悬移质不平衡输沙原理建立的数学模型计算了坝下游河道河床变形,结果表明,宜昌站枯季同流量水位降低值为1.55m,当三峡水库调节下泄最小流量增大至1500~2000m³/s时,可补偿枯季水位降落值,不影响葛洲坝水利枢纽船闸的正常运行。清华大学水利系^⑤运用清水冲刷的数学模型计算分析了宜昌站枯水位的变化,结果表明,当流量为5000m³/s时,宜昌站水位下降值为1.5~1.7m。

三峡水利枢纽采用“蓄清排浑”的调度运用方式,下泄流量过程比建库前稍有调整。特大洪峰流量调平,枯水期流量增大,10~11月流量稍有减小。下泄沙量在枢纽运用初期30年内,减少约2/3。由于枢纽下泄水沙过程有所改变,下游河势会发生调整。在调整过程中,河床演变可能影响长江中下游崩岸和浅滩。

“七五”期间,由水利部科技教育司主持,长江科学院、中国水利水电科学研究院、武汉水利电力大学、清华大学、河海大学及长江航道局规划设计研究所等单位对“三峡水库下游冲刷引起的水位降低及其对下游和河口地区的可能影响”开展

① 长江水利水电科学研究院. 1974. 三峡水库修建后下游宜昌站水位变化预估报告.

② 长江流域规划办公室. 1985. 长江三峡水利枢纽初步设计报告第十一篇泥沙问题研究.

③ 郭厚祯, 唐法贤. 1986. 长江三峡大坝下游宜昌一枝城段河床边界条件. 三峡水利枢纽工程泥沙问题研究成果汇编(150m蓄水位方案).

④ 庞午昌. 1986. 三峡水利枢纽下游宜昌站水位降落计算分析. 三峡水利枢纽工程泥沙问题研究成果汇编(150m蓄水位方案).

⑤ 清华大学水利系. 1988. 坝下游河道冲刷粗化及水位下降预估. 三峡工程泥沙问题研究成果汇编(160~180m蓄水位方案).

了科技攻关研究。主要研究结论如下所述^[9-13]。

1) 宜昌水位降低对葛洲坝三江下游引航道口门水深的影晌

葛洲坝水利枢纽自运行以来,由于坝下游的冲刷和砂石料的开采等原因,宜昌水位已较建坝以前下降了约 0.8m。建议采取积极的措施控制在这段河道中开采砂卵石;将来三峡大坝建设施工时,在宜昌至宜都间河道中开采砂卵石的方案也值得斟酌。经初步估算,若这一河段的河床平均挖深 2m,则可能使宜昌水位下降 0.7~0.8m,是相当可观的。数学模型计算还表明,江口以下河床的冲刷和水位下降对宜昌水位影响不大,因为其间存在着几处起控制性作用的河段。如果在这些河段上采取适当的措施,如河床加糙、束窄河宽等,以调整沿程水面线,维持宜昌水位,可改善通航条件。

据数学模型计算,当宜昌水位降低最严重时,在流量为 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 条件下,葛洲坝三江下游引航道口门水位将为 38.70~39.05m,水深为 4.20~4.55m,与葛洲坝枢纽设计要求的水位 39m 和水深 4.5m 尚有差距,因而对过船可能有一定的影响。

2) 三峡建坝后荆江水沙条件的变化

三峡水库属季调节水库,下泄年总水量保持不变,年内水流过程变化不大,特别是造床作用强烈的汛期,宜昌流量基本未变,但枯季流量有所增加,流量变幅减小,中水流量期有所延长。

由于受水库拦蓄作用的影响,坝下游河段的来沙量大幅度减小,悬沙颗粒细化。以正常蓄水位 175m 方案计,水库运用 20 年内,水库排沙比为 30%左右,40 年以后为 50%左右,70 年以后达 80%,90 年以后为 90%。出库泥沙粒径,在运用初期 20 年,悬移质中值粒径为 0.01mm,40 年以后,汛期明显增粗,可达 0.02~0.03mm,80 年以后,汛期才基本达到天然条件下的中值粒径,为 0.033mm,枯季仅 0.01mm。

3) 建坝后荆江河型的可能转化

三峡建坝后,各家在上荆江河型变化预测是一致的,总体认为三峡建坝后汛期主流线曲率半径会有所减小,而中、枯水流量明显增大,水流曲率半径会增大,同时滩槽差也会增加,主流线更趋稳定,河床粗化,卵石层进一步裸露,抗冲能力提高,河道稳定性进一步增强,建坝后将维持正常弯曲分汉型河道。

下荆江河型变化认识存在差异,共有三种看法。第一种看法认为下荆江将来在冲刷后会继续蜿蜒,曲折率会加大。理由是:冲刷时深切和展宽虽同时发展,但是由于深切会减少三口分流比,加大下荆江流量,从而加大挟沙能力。在三峡水库下泄低含沙量水流条件下,深切较之侧蚀有助于减小三口流量,加大下荆江流量,从而较难制约冲刷的发展。因此,如果认为河流自动调整是以较快速度取得平衡,则在自动调整过程中侧蚀将有相当的发展,曲折率不应该减小,而应该是加大。或者至少具有加大的趋势。按照这种概念和河型判别的经验关系,认为当曲折率大于

1.5 时即为蜿蜒型, 小于 1.25 时为游荡型, 而在 1.25~1.5 时为过渡型。按此经验关系, 求得下荆江目前的曲折率为 2.16, 将来长期冲刷后(约 50 年)为 2.41。需要说明的是, 此处曲折率不是由实际资料得到的, 而是由河型判别指标按经验关系间接推出的。第二种看法认为三峡建坝冲刷后, 下荆江可能向微弯分汊河型发展。这种看法的理由为: 在冲刷过程中, 深蚀与侧蚀虽然同时进行, 但是由于在凹岸冲刷的同时, 水库下泄泥沙减少, 凸岸淤积得不到相应发展, 河道将展宽, 水流逐渐分散, 到一定程度, 主流易摆动, 难以形成单一弯道, 甚至向微弯分汊河型发展; 其次, 从坡降调整看, 将来是通过床沙粗化, 河床拓宽, 发展分汊以加大阻力来进行, 不一定要增加河长。第三种看法认为河型基本维持现状。具体来说, 既不进一步蜿蜒(曲折率加大), 也不可能转为分汊河型。其理由是: 一方面下荆江径流扩大, 水流动力轴线曲率半径不会减小, 曲折率难以加大; 另一方面, 三峡水库主要拦截 $d > 0.025 \text{ mm}$ 的泥沙, 且削峰机会很少。故高漫滩淤积的泥沙并不减少, 凸岸还滩并不会很难。发展微弯分汊河型并不可能。至于将来冲刷过程中坡降的富余不是靠河长增加, 主要是靠藕池口与城陵矶之间的落差减小, 当然床沙变粗等加大阻力也有一定作用。

4) 建坝后江湖关系的变化及对江湖汇流段的影响

三峡建坝后, 下泄水流含沙量小, 沿程冲刷, 降低水位, 减小比降达到新的动态平衡。坝下游冲刷不但可望因裁弯工程的实施, 四口中、枯水位的大幅度降低所带来的江湖关系有利转机能全部保持, 而且还正由于三峡建坝后坝下游含沙量沿程恢复饱和, 对江湖汇流段就不存在产生荆江水沙入汇量相对增大的情况, 仍保持长距离冲刷的特点。汇流段中、枯水位继续降低, 也就是水流动力因素的增大, 反过来又影响江湖关系进一步的调整与改善。这种良性循环, 直至达到新的江湖关系稳定状态。

5) 三峡建坝对荆江与洞庭湖防洪的影响

三峡水库建成后, 正常蓄水位 175m 时, 有防洪库容 221.5 亿 m^3 , 初期运用(156m—135m—140m)时, 有防洪库容 138 亿 m^3 。水库运行 100 年后, 175m 蓄水位时, 仍有防洪库容 190 亿 m^3 。经过三峡水库的调节, 荆江河段防洪标准可提高到 100 年一遇。

根据一维水沙数学模型计算, 三峡建坝后经过 10 年冲刷, 宜昌至陈家湾河段卵石夹砂或沙层较薄、卵石顶板较高的河床, 河床已粗化, 冲刷基本完成并达到平衡。按河宽 1000m 计, 宜昌至枝城平均冲深 2.2m, 枝城至砖窑冲深 3.4m, 砖窑至陈家湾冲深 4.0m。冲刷 20 年后, 陈家湾至沙市冲刷已完成, 按河宽 1200m 计, 平均冲深 4.9m。经 30 年冲刷, 沙市至郝穴冲刷停止, 按河宽 1400m 计, 冲深 5.0m。经 40 年冲刷, 郝穴至城陵矶冲刷基本完成, 按河宽 1400m 计, 平均冲深 6.3m。