

长江中下游

河道演变与航道整治

李义天 唐金武 朱玲玲 高凯春 著



科学出版社

内 容 简 介

本书以长江中下游河道演变与航道整治为研究对象,揭示了滩槽冲淤、崩岸、切滩等演变机理,提出了设计碍航淤积量的确定方法及河岸、滩槽演变模拟方法等,在此基础上提出了长江中下游枯水航槽塑造技术,并深入分析了理想航槽形态、工程平面布置、工程材料结构及稳定性等。这些研究成果发展和完善了河道演变、滩岸变形、浅滩演变模拟与预测及航道整治的理论与技术,对冲积河流的河道整治与航道治理具有重要的参考价值和指导意义。

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有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江中下游河道演变与航道整治/李义天等著. —北京:科学出版社,2012
ISBN 978-7-03-035182-1

I. ①长… II. ①李… III. ①长江中下游-河道演变-研究②长江中下游-航道整治-研究 IV. ①TV152②U617

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 166901 号

责任编辑:刘宝莉 周 炜 / 责任校对:钟 洋
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年7月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年7月第一次印刷 印张:22 1/2

字数:443 000

定价:100.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

长江是我国第一大河，是我国唯一贯通东、中、西部的水路交通运输大通道，通航里程与水运量分别占全国内河的 53% 和 80%。经过多年系统治理，长江航道建设成就显著，航道维护水深得到全面提高，上游航运条件已发生根本性改善、中游航道枯水期通航紧张局面明显缓解、下游河段深水航道通过能力大幅提高，为流域经济社会发展做出了巨大贡献。随着流域经济社会发展，对长江水运提出了更高要求，加快长江等内河水运发展已上升为国家经济社会发展战略。目前，长江干流通航的“瓶颈”主要集中在中下游浅滩河段，制约着东西交通大动脉的畅通，也制约了流域经济社会发展。随着沿江经济快速发展，中下游航道维护尺度与航道通过能力需求不断增长的矛盾日益凸显。

长江中下游地处冲积平原，沿江人民生命财产和工农业生产设施全靠堤防保护，洪水来量大与河槽泄流能力小的矛盾极为突出，一直是中华民族的心腹大患。长江中下游枯水河槽河宽远大于航宽，河槽边界对航槽的控制作用很弱，若采用控制河槽的方式改善航槽通航条件，必将大幅缩窄河槽，进一步减小洪水泄流能力，显然无法实施。因此，长江中下游通航条件的改善方式既不可能借鉴广泛用于中小河流通过河槽控制航槽的成功经验，也不可能采用类似密西西比河、莱茵河、尼罗河等通过筑坝渠化的方式提高航道尺度的措施。随着流域经济发展，货运量不断增加，亟待提高货运能力，如何进行大型冲积河流的航道整治工程，是国内外大型冲积河流治理的技术难题，也是提高长江航道通过能力迫切需要解决的重大技术难题。

长江中下游水沙丰沛，河道演变极为复杂，航道治理工作难度极大。关键技术难题一是浅滩演变趋势难以预测，航槽选择十分困难，长江中下游水沙过程变化幅度大，随机性强，导致主流摆动大、河床冲淤幅度大，崩岸切滩发生频繁，河槽及航槽断面形态变化趋势难以预测；二是航道整治标准或整治参数很难确定。国内现有航道整治理论多是中小河流上的实践总结，其特点是河槽与航槽的宽度接近，河槽边界对航槽的控制作用较强，通过缩窄河槽、束水攻沙的办法提高通航水深，断面形态可概化为矩形，相应地可得到整治水位、整治宽度等参数。长江中下游属于水沙量丰沛的强冲积河流，枯水河槽宽度远大于航槽，浅滩位置变化幅度大、随机性强、演变规律极为复杂，洲滩及航槽无法按照规范规定航道整治参数进行整治。欧美发达国家的航道整治，多以河道梯级化、渠化等措施为主要手段。长江中下游航道整治与防洪矛盾突出，不允许对河槽进行较大幅

度调整,更不允许河道梯级化;三是航道整治工程水毁问题日趋突出,甚至十分严重,有些整治工程竣工初期效果良好,但随着工程运行时间的推移,效果越来越差,不得不进行二期、三期甚至多期整治,不同时期的整治工程如何衔接,也是长期困扰航道治理的关键技术难题。围绕上述技术难题,我们进行了历时十余年的研究与实践,逐步揭示河床演变规律及碍航机理,不断提高河槽及航槽变化的预测能力,优化航道整治工程布置,形成了一套适应大型冲积河流航道治理的理论与技术,本书正是这些研究成果的归纳和总结,主要研究进展如下:

(1) 揭示了长江中下游河道演变及浅滩碍航的机理。通过分析长江中下游河道历史演变进程和近期的河岸、滩槽等冲淤资料,揭示了洪中枯期主流在宽阔段大幅摆动,造成岸滩崩塌及洲滩切割或冲蚀,使洲滩变迁频繁、航槽极不稳定、浅滩冲刷能力不足、航道整治工程水毁问题较突出的河道演变及浅滩碍航机理,解决了大型冲积河流航槽选择及工程布置的理论难题。

(2) 提出了设计碍航淤积量确定方法。根据洪中枯期主流摆动的规律及持续时间,提出了不同水沙过程、断面形态的浅滩冲淤量及不同航道尺度和通航保证率的设计碍航淤积量确定方法,填补了确定大型冲积河流航道整治工程设计标准的空白。

(3) 提出了滩岸变形及浅滩演变模拟与预测技术。通过分析长江中下游河道冲淤特性,提出了不同河型洪中枯期主流摆动模式及临界稳定岸坡确定方法,建立了崩岸、切滩及滩槽冲淤与水沙过程之间的关系,突破了岸滩崩塌及洲滩切割或冲蚀难以预测的瓶颈,解决了不同整治标准工程设计、工程效果预测的难题。

(4) 提出了大型冲积河流枯水航槽塑造技术。通过对比分析长江中下游大量断面形态,提出了不同河型的理想航槽断面形态及不同航道尺度的临界河宽、保持整治建筑物结构稳定的平面布置方法和洲滩守护工程结构等枯水航槽塑造技术,发展了航道整治的理论与技术,已在长江中下游多个水道整治工程中取得良好效果。

长江是中华民族的母亲河,沿江人口密集、经济繁荣,是中国唯一贯穿东、中、西部的水路交通运输大通道,随着长江沿线经济发展,水运成本低廉、节能环保的优势尽显,长江航道建设任重道远,本书只是在该方面开展的一些初步探索。

本书是笔者与笔者众多研究生集体智慧的结晶,研究过程中得到了长江航道局、长江航道规划设计研究院、武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室的大力支持。

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

2012年3月于武汉大学

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 长江中下游河道特征	1
1.1.1 水沙特性	1
1.1.2 地质特征	7
1.2 洪水灾害及防洪工程建设概况.....	12
1.2.1 洪水灾害.....	12
1.2.2 防洪工程建设	13
1.3 长江中下游航道建设概况.....	16
1.3.1 航道现状.....	16
1.3.2 航道治理规划	18
1.4 航道整治面临的问题.....	19
1.5 河道演变与航道整治研究进展.....	20
1.5.1 河道演变研究进展	20
1.5.2 岸滩变形模拟研究进展	22
1.5.3 航道整治研究进展	24
1.6 本书主要内容.....	25
参考文献	26
第 2 章 长江中下游河道演变机理	31
2.1 历史演变简介.....	31
2.1.1 宜昌—城陵矶河段	31
2.1.2 城陵矶—武汉河段	32
2.1.3 武汉—湖口河段	34
2.2 近期演变特征.....	37
2.2.1 顺直段演变特征	37
2.2.2 弯曲段演变特征	45
2.2.3 分汊段演变特征	58
2.3 河道演变机理.....	78
2.3.1 河道演变对流量过程的响应	78
2.3.2 河道演变对含沙量变化的响应	101

2.3.3 河道演变对上游河势调整的响应	102
2.4 崩岸切滩预测方法	106
2.4.1 崩岸预测方法	106
2.4.2 切滩预测方法	122
参考文献	125
第3章 浅滩设计碍航淤积量	128
3.1 浅滩演变特征	128
3.1.1 浅滩形成条件	128
3.1.2 浅滩演变特性	140
3.2 浅滩演变机理	146
3.2.1 浅滩演变对洲滩变形的响应	147
3.2.2 临界枯水河宽	161
3.3 设计碍航淤积量确定方法	167
3.3.1 设计碍航淤积量定义	167
3.3.2 设计碍航淤积量分析	168
参考文献	178
第4章 航槽冲淤过程模拟	182
4.1 控制方程及其解法	182
4.1.1 移动坐标变换方法	182
4.1.2 移动坐标系下的方程	188
4.1.3 离散方法	189
4.2 模型边界条件	192
4.2.1 河床边界条件	192
4.2.2 水沙边界条件	200
4.3 主流摆动及崩岸模拟	214
4.3.1 主流摆动模拟	214
4.3.2 崩岸模拟	240
参考文献	255
第5章 航槽塑造关键技术	260
5.1 枯水航槽形态	260
5.1.1 航道整治基本途径	260
5.1.2 理想航槽形态	263
5.1.3 理想航道尺度	265
5.2 整治建筑物平面布置及结构	271
5.2.1 整治建筑物平面布置	271

5.2.2 整治建筑物结构	276
5.3 整治建筑物稳定性	294
5.3.1 建筑物失稳机理	294
5.3.2 增强建筑物稳定性措施	297
参考文献	300
第6章 工程应用实例	303
6.1 典型水道选择	303
6.1.1 典型浅滩基本特征	303
6.1.2 典型浅滩的选择	303
6.2 河道演变分析	305
6.2.1 河道演变特征	305
6.2.2 河道演变机理	312
6.2.3 河道演变趋势	315
6.3 碍航特征及整治工程布置	316
6.3.1 碍航特征	316
6.3.2 设计碍航淤积量	316
6.3.3 枯水航槽塑造	318
6.3.4 整治工程布置	319
6.4 整治工程效果数值模拟	320
6.4.1 数学模型建立及验证	320
6.4.2 水沙条件选择	327
6.4.3 航道变化趋势	327
6.4.4 整治工程效果	333
6.5 工程结构设计	341
6.5.1 整治建筑物结构形式	341
6.5.2 建筑材料	342
6.5.3 建筑物主要构件	343
6.5.4 建筑物结构	346
6.5.5 建筑物稳定分析	350
参考文献	352

第 1 章 概 论

1.1 长江中下游河道特征

长江发源于青藏高原唐古拉山脉主峰格拉丹东雪山的西南侧，干流流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等 11 个省（自治区、直辖市），在黄海与东海的交汇处入海，全长 6300 余公里，为我国第一、世界第三大河，仅次于非洲的尼罗河和南美洲的亚马逊河。长江流域总面积约 180 余万平方公里，约占我国总面积的 1/5。

长江干流宜昌以上为上游，宜昌—鄱阳湖口为中游，全长约 955km，湖口以下为下游，全长约 938km。其中湖北枝城至湖南省城陵矶河段又称荆江河段，全长约 340km，以藕池口为界，分为上、下荆江。

长江中下游两岸支流、湖泊众多，江湖关系复杂。枝城以上清江自右岸汇入，荆江右岸有松滋、太平、藕池、调弦四口（调弦已于 1959 年封堵，故又称三口）分荆江水沙入洞庭湖，洞庭湖区西南有湘、资、沅、澧四水，三口和四水水沙经洞庭湖调蓄后，于城陵矶汇入长江。城陵矶至湖口左岸主要有汉江入汇，鄱阳湖水系的赣、抚、信、修、饶五河经鄱阳湖调蓄后从右岸湖口汇入；下游左岸主要支流有皖河、滁河和巢湖水系汇入，右岸有青弋江、水阳江和太湖等水系汇入。

1.1.1 水沙特性

1. 多年平均水沙输移量

长江中下游干流主要控制站点有宜昌、枝城、沙市、监利、螺山、汉口和大通站；宜昌站控制上游川江来水来沙，枝城、沙市、监利站分别为荆江河段清江入汇、松滋和太平口分流、藕池口分流后的水沙控制站；螺山站控制着荆江和洞庭湖交汇后的水沙；汉口站为长江接纳汉水后的控制站；大通站位于长江下游，为长江接纳鄱阳湖水系及下游大部分区域水沙的控制站。

统计长江中下游干流河道主要水文站多年平均径流量和输沙量，见表 1.1.1，从表中可以看出，1950~2002 年宜昌站多年平均径流量为 4368 亿 m^3 ，受三口分流影响，荆江河段径流量沿程递减，由于沿程支流入汇，螺山径流量增加至

6460 亿 m^3 , 汉口径流量增加至 7111 亿 m^3 , 大通径流量为 9052 亿 m^3 。2003 年三峡水库蓄水后, 受流域降水偏少的影响, 长江中下游径流量减小, 但沿程变化规律与 1950~2002 年一致。进一步分析可以看出, 宜昌、四水、汉江年径流量占大通的比例分别为 50%、20%、10% 左右, 而汉口以下众多支流的径流量约占大通的 20%, 即宜昌及宜昌以下支流总径流量各占大通的 50% 左右。这表明, 由于沿程支流入汇水量较大, 上游梯级水库运用对宜昌流量过程的调节将沿程得到一定程度的衰减。

表 1.1.1 长江中下游干流河道主要水文站多年平均径流量和输沙量

项 目	统计年份	宜昌	枝城	沙市	监利	螺山	汉口	大通
年均径流量/亿 m^3	1950~2002	4368	4450	3942	3576	6460	7111	9052
	2003~2009	3955	4061	3741	3607	5819	6627	8121
径流量占大通 百分比/%	1950~2002	48	49	44	40	71	79	100
	2003~2009	49	50	46	44	72	82	100
年均输沙量/亿 t	1950~2002	4.92	5.00	4.34	3.58	4.09	3.98	4.27
	2003~2009	0.57	0.70	0.81	0.94	1.05	1.19	1.48
输沙量占大通 百分比/%	1950~2002	115	117	102	84	96	93	100
	2003~2009	39	47	55	64	71	80	100

从表 1.1.1 还可以看出, 1950~2002 年宜昌站平均输沙量为 4.92 亿 t, 为大通站同期输沙量的 1.15 倍, 若考虑荆江三口同期平均分沙量为 1.34 亿 t, 在洞庭湖沉积率约为 74%^[1], 则长江上游来沙扣除洞庭湖内淤积部分, 仍有 3.93 亿 t 进入螺山以下河道, 约占大通站的 92%, 即长江上游来沙占大通站泥沙输移量的 90% 以上, 其他来源总共不足 10%。2003~2009 年宜昌站平均输沙量为 0.57 亿 t, 占同期大通站的 39%, 同期四水、汉江平均输沙量分别为 0.11 亿 t、0.22 亿 t, 汉口以下众多支流输沙量可取 1950~2002 年的 0.29 亿 t (表 1.1.1), 则 2003~2009 年支流平均输沙量总共为 0.54 亿 t (四水在洞庭湖区沉积率按 74% 计), 占大通沙量的 36% 左右。进而推算, 2003~2009 年, 床沙补给悬沙的数量平均为 0.37 亿 t, 占大通输沙量的 25% 左右。可见 2003 年之后, 宜昌下泄沙量占大通输沙量的比例明显减少, 而区间来沙、河床补给的泥沙所占比例明显增加, 由 2003 年之前的不足 10% 增加至 2003~2009 年的 61% 左右。

综上所述, 长江中下游干流沿程各站平均径流量及其来源并没有因三峡水库蓄水而发生明显变化; 干流沿程各站平均输沙量受三峡水库蓄水影响而明显减少, 泥沙主要来源也因三峡水库蓄水而明显调整, 2003 年之前, 长江上游来沙占大通站输沙量的 90% 以上, 2003~2009 年, 宜昌下泄沙量占大通输沙量的比例不足 40%, 而区间来沙、河床补给泥沙所占比例分别约为 36%、25%。

2. 历年水沙输移量

统计长江中下游宜昌、沙市、监利、螺山、汉口、大通等主要站点历年径流量变化,如图 1.1.1 和图 1.1.2 所示。从图中可以看出,宜昌站径流量多年变化不大,而沙市、监利站年径流量在 20 世纪 50~90 年代呈明显增加趋势,20 世纪 90 年代以后却基本不变,螺山、汉口、大通站历年径流量变化均不大。出现这种现象的根本原因在于,20 世纪 50~90 年代三口分流比明显减少(图 1.1.3),使得原本分入洞庭湖的水沙直趋荆江而下,致使荆江径流量增加明显^[1,2],20 世纪 90 年代以后,三口分流比变化不大,荆江径流量也因此保持稳定。

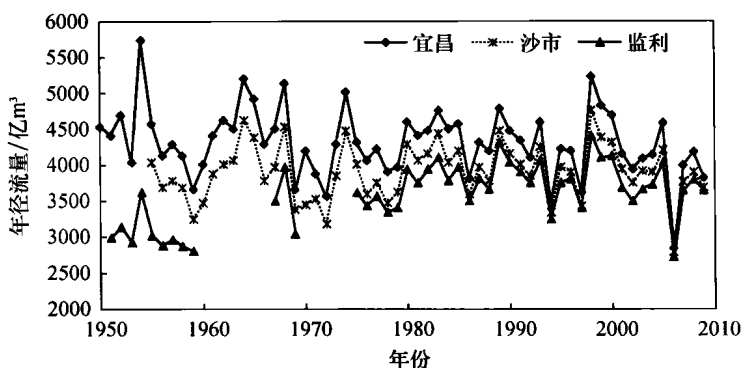


图 1.1.1 宜昌、沙市和监利站历年径流量变化

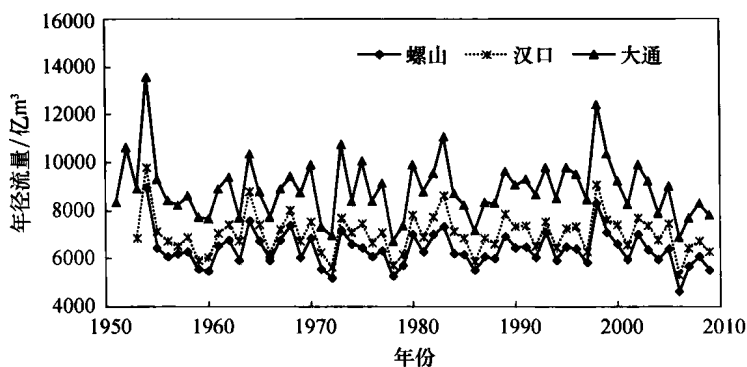


图 1.1.2 螺山、汉口和大通站历年径流量变化

图 1.1.4 和图 1.1.5 为长江中下游河道主要站点历年输沙量变化,从图中可以看出,长江中下游河道输沙量变化大致可分为三个阶段:第一个阶段为 20 世纪 50~90 年代,在此期间宜昌年输沙量变化不大,受三口分沙减小影响,沙市、监利及螺山站输沙量明显增加,汉口站受丹江口水库蓄水影响,70~90 年代

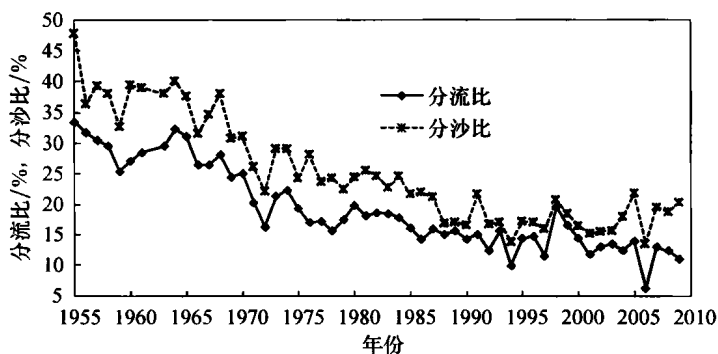


图 1.1.3 三口分流比和分沙比历年变化

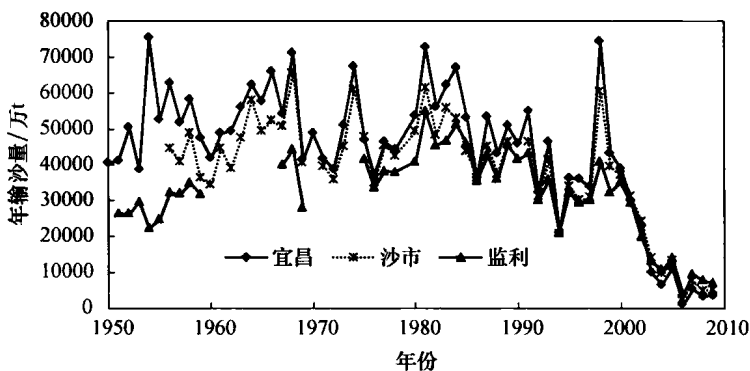


图 1.1.4 宜昌、沙市和监利站历年输沙量变化

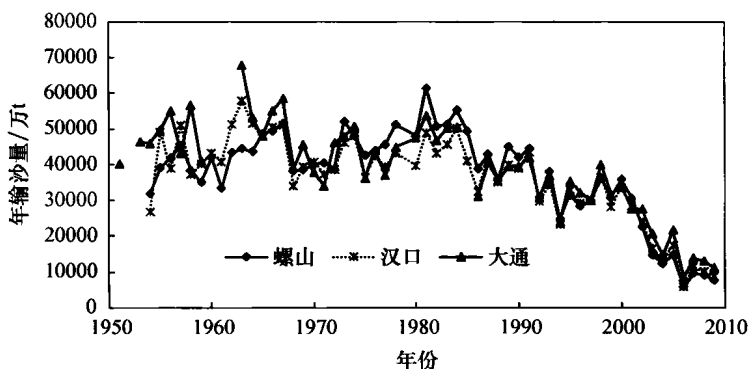


图 1.1.5 螺山、汉口和大通站历年输沙量变化

输沙量有所减小，大通站 90 年代之前输沙量变化不大；第二个阶段为 1990～2002 年，在此期间宜昌输沙量有所减少，较 1950～1990 年减小约 20%，受其影

响,沙市、监利、螺山、汉口、大通各站输沙量均有所减小;第三个阶段为2003年以后,受三峡水库拦截泥沙影响,长江中下游各站输沙量均大幅度减小。

综上所述,近几十年以来,宜昌、螺山、汉口、大通等站年径流量变化不大,而20世纪50~90年代受三口分流剧烈减小影响,荆江河段年径流量明显增加,90年代以来,三口分流比变化不大,荆江河段历年径流量基本稳定;20世纪50~90年代,受三口分沙减小影响,沙市、监利、螺山等站年输沙量大幅度增加,其他站点变化不大,90年代之后,受宜昌输沙量减小影响,沿程各站输沙量均有所减小,2003年以来,受三峡水库拦截泥沙影响,各站输沙量锐减。

3. 水沙输移量年内分配

统计1950~2002年和2003~2010年宜昌站月均流量变化,如图1.1.6所示。从图中可以看出,三峡水库蓄水前汛期流量均占全年流量的大部分,2003年三峡水库蓄水后,宜昌流量过程略有调整,主要表现为10月份流量锐减,减小了约 $6000\text{m}^3/\text{s}$,枯期流量略有增加。需要说明的是,2003~2010年7~9月平均流量较1950~2002年的有所减少,这主要是由于2003年之后来流偏枯,尤其是2006年为特枯年,若不统计2006年,则两者差别明显缩小。

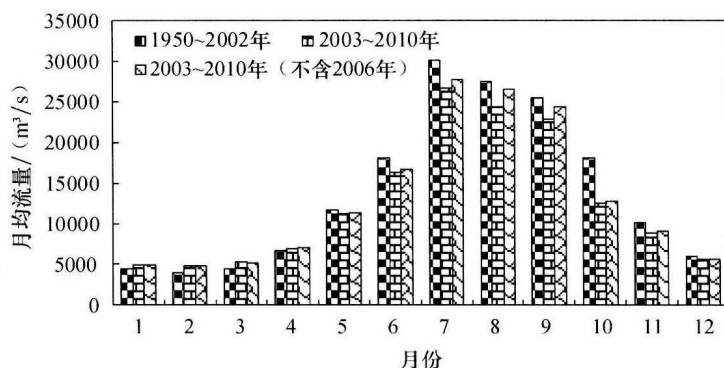


图 1.1.6 宜昌站各月均流量

统计1950~2002年和2003~2010年宜昌站月均输沙量变化,如图1.1.7所示。从图中可以看出,三峡水库蓄水前后宜昌站汛期输沙量均占全年输沙量的绝大部分,但是受三峡水库蓄水影响,2003~2010年各月输沙量较1950~2002年均有所减小,汛期尤为明显。

综上所述,1950年以来,宜昌站汛期流量及输沙量均占全年的大部分,但受三峡水库蓄水影响,2003~2010年与1950~2002年相比,10月平均流量明显减小,枯期流量略有增加,各月输沙量也大幅度减少。

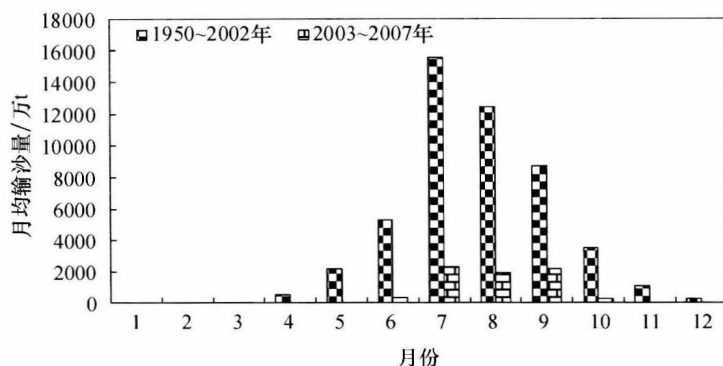


图 1.1.7 宜昌站各月均输沙量

4. 悬移质级配

2003 年之前, 粒径小于 0.125mm 的泥沙是长江中下游悬沙的主要组成部分, 该粒径组的泥沙占全部悬沙重量的 87% 以上; 2003 年之后, 受三峡水库拦截泥沙、下泄沙量减小、床沙补给悬沙等影响, 中下游干流河道悬沙级配有所调整, 枝城—汉口河段粒径小于 0.125mm 泥沙占全部悬沙重量的百分比下降至 65%~80%, 而大通站约为 94% (表 1.1.2)。

表 1.1.2 长江中下游主要站点沙重百分比^[3]

(单位: %)

粒径范围/mm	平均值	宜昌	枝城	沙市	监利	螺山	汉口	大通
$d \leq 0.031$	多年	73.9	74.5	68.8	71.2	67.5	73.9	73.0
	2003~2008 年	84.4	68.9	57.3	45.8	57.8	61.5	77.1
$0.031 < d \leq 0.125$	多年	17.1	18.6	21.4	19.2	19.0	18.3	19.3
	2003~2008 年	8.1	11.1	13.4	19.4	15.4	16.8	16.6
$d > 0.125$	多年	9.0	6.9	9.8	9.6	13.5	7.8	7.8
	2003~2008 年	7.5	20.0	29.3	34.8	26.8	21.7	6.4
中值粒径	多年	0.009	0.009	0.012	0.009	0.012	0.010	0.009
	2003~2008 年	0.005	0.009	0.018	0.045	0.016	0.014	0.007

注: 宜昌、监利站多年平均统计年份为 1986~2002 年, 枝城站多年平均统计年份为 1992~2002 年, 沙市站多年平均统计年份为 1991~2002 年, 螺山、汉口、大通站多年平均统计年份为 1987~2002 年。

荆江河段造床质和冲泻质的分界粒径大约为 0.125mm (表 1.1.2), 统计 1986~2002 年及 2003~2009 年宜昌—监利各站 $d \geq 0.125\text{mm}$ 泥沙输移量, 如图 1.1.8 所示。从图中可以看出, 尽管受三峡水库拦截泥沙影响, 2003~2009 年宜昌站造床质输移量明显减少, 但由于沿程床沙补给悬沙, 到监利站造床质输移量基本恢复至 1986~2002 年的多年平均水平。

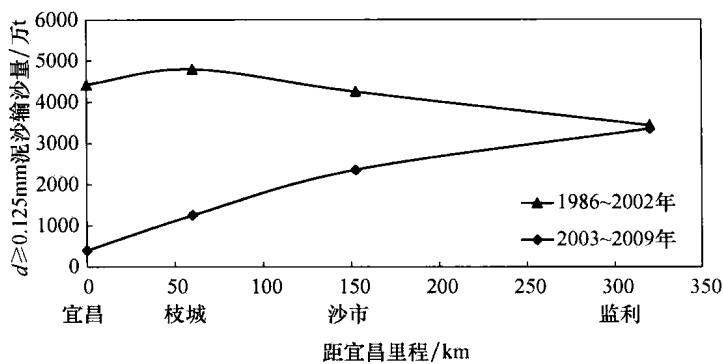


图 1.1.8 1986~2009 年宜昌—监利河段各站 $d \geq 0.125\text{mm}$ 泥沙输移量

1.1.2 地质特征

1. 河床地质特征

长江出三峡后逐渐向下游过渡进入中下游冲积平原，其中宜昌—陈家湾为砂卵石河床，陈家湾以下为沙质河床。表 1.1.3 为 2003 年之前长江中下游河段床沙级配，从表中可以看出，宜昌—陈家湾河段床沙相对较粗，大于 0.25mm 泥沙占床沙的比例约为 50%，大于 0.5mm 泥沙所占比例约为 30%，而陈家湾以下河段床沙明显较细，大于 0.25mm 泥沙所占比例一般不足 15%，大于 0.5mm 泥沙所占比例一般不足 5%。

表 1.1.3 2003 年之前长江中下游河段床沙级配^[4] (单位：%)

河段名称	小于某粒径沙重所占百分数							
	0.005mm	0.01mm	0.025mm	0.05mm	0.1mm	0.25mm	0.5mm	1mm
宜昌—清江口	0.00	0.00	0.00	1.10	3.94	48.38	70.30	100.00
清江口—松滋口	0.00	0.00	0.00	0.83	3.89	48.75	70.30	100.00
松滋口—陈家湾	0.00	0.00	0.00	0.91	4.24	53.12	76.60	100.00
陈家湾—沙市	0.94	3.87	5.86	7.85	12.77	75.37	94.00	100.00
沙市—郝穴	0.00	0.56	1.88	3.57	9.87	82.91	94.00	100.00
郝穴—石首	0.20	1.69	2.98	4.77	10.64	89.86	99.40	100.00
石首—监利	1.00	6.16	10.73	14.83	21.89	91.94	99.40	100.00
监利—莲花塘	0.00	0.00	0.00	0.30	7.91	92.59	99.70	100.00
莲花塘—龙口	0.00	0.00	0.00	0.10	6.91	90.79	99.60	100.00
龙口—汉江口	0.00	0.00	0.00	0.30	8.49	90.49	98.99	100.00
汉江口—东槽洲	0.00	0.00	0.00	0.40	8.12	88.47	98.60	100.00
东槽洲—九江	0.00	0.00	0.00	0.64	8.66	83.85	96.79	100.00
九江—大通	0.00	0.00	0.00	0.41	5.21	84.79	97.24	100.00

2003年以后,受三峡水库蓄水后影响,长江中下游河道床沙有所粗化,近坝段尤为明显。统计宜昌站历年汛后床沙变化(表1.1.4)表明,2001~2002年汛后床沙中值粒径约为0.17mm,0.1~0.5mm泥沙为床沙主要组成部分;随着三峡水库蓄水运用,床沙中值粒径不断增大,床沙粗化明显,至2009年中值粒径达23.1mm,为2001~2002年的136倍左右,而0.1~0.5mm泥沙所占比重不足5%,1.0~64mm泥沙成为床沙的主体部分。

表 1.1.4 2001~2009 年宜昌站汛后床沙变化统计表 (单位:%)

时间 \ 粒径/mm	0.031	0.100	0.125	0.250	0.500	1.00	2.00	4.00	8.00	16.0	64.0	d_{50}
2001-12	0	0.5	20.0	93.9	99.6	100	—	—	—	—	—	0.161
2002-12	0	0.6	27.8	82.9	99.2	100	—	—	—	—	—	0.185
2003-12	—	0	1.2	26.6	95.4	99.8	100	—	—	—	—	0.320
2004-12	—	0	0.9	17.8	89.0	99.7	100	—	—	—	—	0.402
2005-12	—	0	0.2	3.8	69.6	98.9	100	—	—	—	—	0.480
2006-12	—	—	0	1.8	35.7	86.0	89.1	90.2	94.0	100	—	0.680
2007-12	—	0	0.4	2.4	9.7	17.8	24.5	28.7	40.8	61.3	100	11.700
2008-12	—	—	—	0.5	3.6	6.6	10.6	12.3	20.2	39.7	100	19.100
2009-11	—	—	—	0.1	1.2	17.7	23.0	24.8	29.4	40.9	100	23.100

表1.1.5为1999~2009年枝城以下各河段床沙中值粒径变化情况,从表中可以看出,受三峡水库蓄水影响,长江中下游宜昌—湖口河段床沙均有所粗化,同一河段三峡水库运用时间越长,床沙粗化程度越高,同一时期距离三峡水库越近,床沙粗化程度越高。2009年与1999年相比,枝江河段中值粒径增加约0.08mm,沙市、公安、石首河段床沙中值粒径增加约0.03~0.04mm,监利河段、城陵矶—湖口河段中值粒径增加约0.02mm,湖口以下河段床沙中值粒径基本不变。

表 1.1.5 1999~2009 年长江中下游河道床沙中值粒径变化统计表 (单位: mm)

年份		1999	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
河段名称	年份	1999	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	年份	1999	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
荆江	枝江	0.238	0.211	0.218	0.246	0.262	0.264	0.272	0.311
	沙市	0.228	0.209	0.204	0.226	0.233	0.233	0.246	0.251
	公安	0.197	0.220	0.204	0.223	0.225	0.231	0.214	0.237
	石首	0.175	0.182	0.182	0.183	0.196	0.204	0.207	0.203
	监利	0.178	0.165	0.174	0.181	0.181	0.194	0.209	0.202
	全河段	0.203	0.197	0.196	0.212	0.219	0.225	0.230	0.241
城陵矶—汉口		0.149	0.159	0.168	0.165	0.174	0.170	—	0.183
汉口—湖口		0.140	0.140	0.154	0.146	0.154	0.159	—	0.159
大通站		0.185	0.188	0.180	0.179	0.082	0.167	0.183	0.168

2. 河岸地质特征

1) 宜昌—松滋口河段

宜昌—松滋口河段右岸除虎牙滩、清江口、城背溪、白水港、枝城镇—陈二口等段为基岩河岸外，主要由晚更新统（ Q_3 ）硬黄黏土组成，质地较好。左岸除虎牙滩、云池、白洋为基岩外，主要由晚更新统（ Q_3 ）硬黄黏土和全新统（ Q_4 ）河漫滩、边滩等松软沉积，尤其是在白洋以下有全新世边滩发育，部分河段质地较松软。河段左右岸比较，右岸以基岩为主，左岸以晚更新统黏土为主。从总体上看，两岸有基岩节点控制，黄黏土普遍发育，该河段属于抗冲性较好且河势较为稳定的岸段。宜都以上河段一般由 T1、T2 级阶地组成江岸，上部黏性土层质地黏重，呈棕黄色，硬塑态，厚 8~10m，基岩河岸除虎牙滩为砂砾岩外，其余地段多为砂岩等类别^[5]。

2) 松滋口—城陵矶河段

松滋口—城陵矶河段两岸主要由上层为黏土、下层为中细沙的二元结构组成，局部岸段由基岩、黏土组成，如盐卡—文村夹、马家寨—柳口均以冲湖相黏土为主，石首、塔市驿附近由基岩组成，如图 1.1.9 所示^[6,7]。具体分述如下：

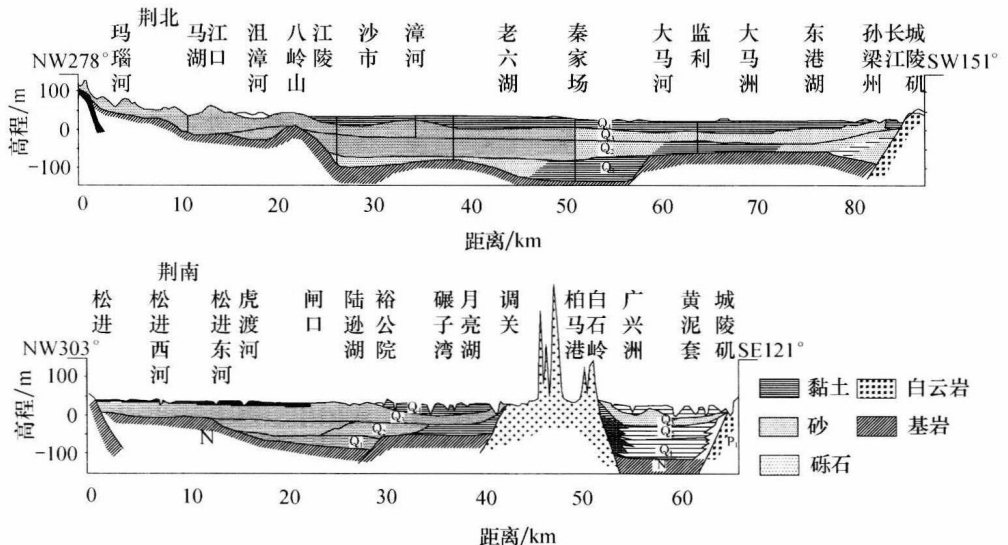


图 1.1.9 荆江河段左右岸地质全图

松滋口—七星台两岸砂土覆盖层为 7~14m，左岸厚于右岸，砂土覆盖层以下为砂卵石层。卵石顶板高程为 24~29m（黄海基面，下同），右岸高于左岸^[5]。即 26m 左右以下为卵石，26~36m 为砂土，36m 以上部分为黏土。

七星台—浣市从松滋城—万城（古为大百里洲），于明代嘉靖年间冲断大百里洲形成的新河道，故两岸组成基本一致，均为粉质壤土与细砂组成的二元结构，砂土覆盖层厚度约为20m。砂土覆盖层以下为砂卵石层，卵砾石顶板高程为18.3m，即18.3m以下为卵石层，18.3~38.3m为砂层，38.3m以上为粉质壤土。

浣市—沙市河段主要为砂土覆盖层。该河段左岸为近代新淤滩，土层砂性很强，较为松散，砂层顶板高，卵石顶板高程约为16~18m。右岸浣市—埠河一线，上段为冲湖相黏土和重黏土，下段分布带状河漫滩，呈二元结构，黏性土层深厚，卵石顶板高程约为15.5~18m。

沙市—藕池口左岸从盐卡—文村夹、马家寨—柳口均以冲湖相黏土为主，上由河漫滩相黏土覆盖，黏质重，土质纯，而文村夹—马家寨之间的二圣洲为近代河漫滩相沉积，由黏性土和细砂组成二元结构，洲滩地段砂性较强，砂土覆盖层厚度约在20m左右。本河段卵石顶板高程沿程呈波状起伏下降，上中段约为13m。右岸除马家咀以上和杨厂以下为全新世河漫滩，仅陡湖堤河湾凹岸马家咀—杨厂段为冲湖相沉积区，其砂土覆盖层上部为河漫滩相黏土，中部为冲湖相粉质黏土、重黏土，下部为河漫滩相黏土与中细砂等，覆盖层厚度高达31.3m。砂卵石顶板高程为-1.37m。

藕池口—荆江门河段左岸为全新世河漫滩相沉积，呈二元结构，上部（面层）河漫滩由粉质壤土、粉质黏土等黏性土组成，含水量高，质地松散；下部河床相为细砂。右岸组成较为复杂，除石首、塔市驿附近为基岩外，其余仍以中细砂为主。

荆江门—城陵矶河段左岸从荆江门对岸至城陵矶对岸河段，除观音洲有冲湖相黏土外，其余均为近代或现代新的淤积物；右岸现代沉积发育，以黏性土和细砂为主。

3) 城陵矶—大通河段

图1.1.10和图1.1.11为城陵矶—河口段左右岸地质剖面图^[8]，从图中可以看出，该河段左右岸由二元结构、黏土、亚黏土、亚砂土、基岩等组成，其中以二元结构为主。

左岸主要由二元结构组成，上层为黏土、亚黏土，下层为中细砂，除此之外完全由黏土、亚黏土、亚砂土等组成的河岸较少。按组成分段如下：二元结构组成的河岸主要分布在城陵矶—官洲村、大咀—军山、军山—沌口、沌口—谌家矶、阳逻—向家地、向家地—马家弄、黄冈—巴河、李英—小池口、小池口—顺济庙；亚砂土组成的河岸主要分布在谌家矶—阳逻、堵程—黄冈、迴凤矶—茅山、岚头矶—蕪州；黏土组成的河岸主要分布在官洲村—向潭、邓家口附近、向家地附近；亚黏土组成的河岸主要分布在向潭—邓家口、邓家口—大咀、马家弄—堵