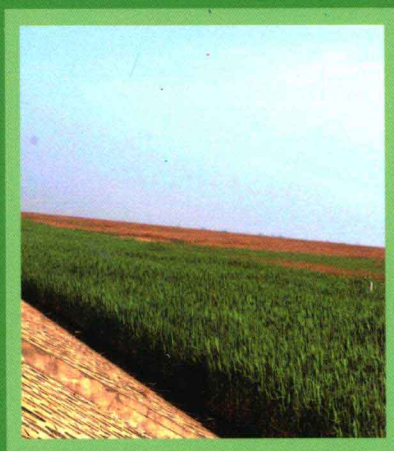


生态上海建设的理论与实践

长江口生态系统修复技术 和决策管理

王开运 张利权 主编



科学出版社

生态上海建设的理论与实践

长江口生态系统修复 技术和决策管理

王开运 张利权 主编



科学出版社
北京

内 容 简 介

本书简要描述了长江口滩涂的发育和演替趋势；总结了长江口重要生态系统的结构、功能、退化机理及其保育、修复和重建的关键技术；结合上海市崇明生态岛建设的需求，重点介绍了滩涂湿地生态系统的保育、多功能护岸林示范工程的建设进展，示范工程生态监测、效益评估以及滨海围垦湿地修复示范区空间管理决策支持系统软件的开发和应用。

本书可供各级政府有关管理人员，以及社会、经济、生态、农林、环境、规划、地理信息、计算机等专业的大专院校师生及科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

长江口生态系统修复技术和决策管理/王开运，张利权主编. —北京：科学出版社，2013.5

(生态上海建设的理论与实践)

ISBN 978-7-03-036882-9

I. ①长… II. ①王… ②张… III. ①长江口—生态恢复—研究 ②长江口—生态管理—研究 IV. ①X321.251

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第040612号

责任编辑：谭宏宇 王淑云 / 责任校对：宣 慧
责任印制：刘 学 / 封面设计：殷 靓

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>

上海锦佳印刷有限公司

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年5月第 一 版 开本：787×1 092 1/16

2013年5月第一次印刷 印张：29

字数：666 000

定价：260.00元

《长江口生态系统修复技术和决策管理》

编辑委员会

主 编 王开运 张利权

副主编 (以姓氏笔画为序)

王 磊 王天厚 李怀正 管永健

编 委 (以姓氏笔画为序)

王 磊 同济大学

王开运 华东师范大学

王天厚 华东师范大学

任文玲 华东师范大学

仲启铤 华东师范大学

杜 钦 桂林理工大学

李怀正 上海市环境科学研究院

李贺鹏 华东师范大学

杨淑慧 华东师范大学

张庆费 上海市园林科学研究所

张利权 华东师范大学

罗祖奎 华东师范大学

查珊珊 华东师范大学

袁 琳 华东师范大学

管永健 上海实业东滩投资开发有限公司

前 言

河口是一个复杂而又特殊的自然综合体,它是海岸的组成部分,但又不形成海岸,河口是河流的尾闾,但又限于陆地约束的范围,它对流域的自然变化和人为作用响应最敏感,且与近岸海域环境变化密切相连。长江口是我国最大的河口,它临江濒海,海陆兼备,集“黄金海岸”和“黄金水道”的区位优势于一体,具有优越的环境和地理条件。长江河口在河口三角洲形态系列中属于河流因子占主导地位的典型河口。长江带来的大量泥沙成为塑造长江河口多样化自然生态系统存在的物质基础。长江泥沙塑造的河口三角洲不仅在我国经济发展中占有重要地位,而且为东亚—澳大利西亚鸬鹚类在迁徙途中提供了重要的越冬地、停歇地和补食地,具有独特的学术研究价值。

长江径流挟带的泥沙进入河口段后,由于河道展宽,又受盐淡水混合及电化作用,在河口三角洲前沿和水下三角洲地区产生堆积,形成广阔的滩涂,孕育了独特的植被演替系列。以上海市为例,其高程 2m 以上的滩涂面积为 266km^2 , 0m 以上滩涂面积为 896km^2 , -2m 以上的滩涂面积为 $1\,513\text{km}^2$, -5m 以上的滩涂面积达 $2\,700\text{km}^2$ 。这些淤积潮滩每年以 $20 \sim 350\text{m}$ 的速度不断地向海淤涨。上海现有土地面积的 $2/3$ 是从这些滩涂中围垦获得的,近 50 年围垦的潮滩约 120 余万亩 ($1\text{亩} \approx 666.7\text{m}^2$),占上海土地面积的 13%,而且目前正在进行更大规模的促淤围垦。江苏也有数十万亩土地从长江北支和黄海之滨的长江三角洲前沿围垦出来。由于长江大量的泥沙来源,并且较好地实行了促淤养滩、滩高成陆和动态保护的原则,20 世纪 50 年代以来滩涂湿地面积变化不大,围海造地面积与滩涂湿地的增长面积基本能维持一个动态平衡。然而,随着近年来流域人类活动和自然双重胁迫的加剧,长江河口滩涂演变趋势正面经历着前所未有的变化。例如:①受流域工程修建的影响,近 20 年来长江入海泥沙量急剧减少,三角洲海岸淤涨减缓,甚至由淤涨型转化为侵蚀型;② 0m 线以上滩涂面积有减少趋势,大部分高滩多被围去,潮间带多为中低滩所占据,河口湿地生态系统的质量和功能降低了;③广泛应用的围垦湿地利用模式(排水—洗盐—撂荒—放牧,粗放种植方式)导致了围垦区湿地水、养分循环改变,

旱生植物扩展, 湿地景观、重要物种生境消失, 植被生产力下降, 生物链断裂, 生物多样性降低, 水体污染加剧; ④与全球气候变化相关的海平面上升, 低海岸淹没, 极端气候事件频率加剧。如何遵循河口海岸自然演变的基本规律, 对河口生态系统进行动态保护, 对滩涂资源进行科学围垦, 对围垦土地进行可持续的利用成为河口海岸区域发展面临的迫切任务。

河口滨海盐沼湿地由于受到潮水淹没时间和盐度变化的影响, 由陆地至海洋方向形成了以盐生的地下芽为主的植物群落逐步演变到以地上芽或者一年生植物为主的群落。这种相对稳定的地带性分布格局和群落结构, 不但为其他生物群落提供了依存的生境, 同时盐沼湿地表层的死亡植物体的分解可为其他滨海盐沼生物, 特别是底栖动物, 提供更多含有蛋白质的碎屑, 并通过盐沼生物的摄食进入河口和海域。因此, 维持河口滨海湿地自然植被景观格局以及群落生态系统结构稳定性不仅能为其他生物种群提供栖息地, 而且是维持区域生物地化循环平衡的重要环节, 对区域系统功能具有重要的调控作用。目前, 互花米草 (*Spartina alterniflora*) 的入侵已经成为影响河口滨海湿地生物多样性、生态系统健康和生态系统服务功能的主要威胁, 它所引发的严重生态和经济问题, 已成为国内外生态学和生物学界研究和广泛关注的焦点。目前, 中国沿海北自辽宁, 南至广东, 互花米草入侵面积已达 5.6 万 hm^2 , 被中国国家环保总局列入首批 16 种外来入侵物种名单。根据我们在 2004 年的分析, 上海滩涂湿地外来物种互花米草群落总面积为 4 553 hm^2 , 占滩涂植被总面积的 21.4%。除了崇明西滩和横沙岛外, 互花米草群落已广泛分布于长江河口地区, 其中南汇边滩最多, 约 2 000 hm^2 , 其次是崇明东滩和九段沙, 分别为 900 hm^2 和 750 hm^2 。崇明东滩自然保护区是国家级鸟类自然保护区, 互花米草占这一区域盐沼植被面积已经超过 1/4。如何有效控制互花米草已成为河口滨海湿地生态系统保育和修复的首要任务。

海岸带侵蚀是全球沿海城市普遍面临的一大难题。例如, 欧盟国家中有 15 个国家的海岸线受侵蚀影响, 其中英国受影响的海岸线为 17.3%, 德国为 12.8%, 法国为 24.9%, 荷兰为 10.5%, 希腊为 28.6%。特别是近十年, 海岸带周边人类活动的增强(如深水航道建设)更是加速了海岸侵蚀过程。长江口滨岸目前正面临同样的问题, 特别是长江南支入海口的深水航道和青草沙水库两项重大工程的建设加剧了对崇明南岸岸滩的冲刷和侵蚀。减少海岸带侵蚀的生物措施主要涉及岸滩生物防护带和海堤

基于林防护带的建设。岸滩植物的护岸作用主要是通过植物地上部分对水流的削减作用和植物地下部分根系对土壤的稳定作用。目前在长江口区域,岸滩生物防护主要是通过海三棱藨草(*Scirpus mariqueter*)和芦苇(*Phragmites communis*)两个植被带的完善和重建。在过去的几十年中,这种海三棱藨草和芦苇护岸群落对岸线的稳定发挥了关键的作用。但由于特殊的水动力学和生境特征,岸滩生物防护技术的理论和实践仍不够完善,如:①不同植物群落构建模式与研究区域岸滩侵蚀过程、季节性变化规律及潮位的耦合问题;②受潮汐、风浪、盐水等多因素影响,海岸带具有入水时间长、土壤湿度高、盐度大、供现场调研的时间短等问题,如何选择适宜的生物固岸评价方法。海堤基于林带是护岸林体系的主体,是海啸和风暴潮等自然灾害防御体系的重要组成部分。由于淤积历史、土壤条件和建设时间不同,不同岸线海堤基于林带状况存在较大的差异。目前除部分海堤外,长江口岸线海堤基于林完备度普遍很低,远没有达到国家沿海防护林体系建设的有关要求。在群落结构方面,存在物种单一、层次简单、立地条件差等问题,这使得护岸林生态系统的稳定性和自维持能力差,经济效益低。因此,深入开展长江河口区海堤基于林区域立地条件分类和抗逆性植物材料的选育研究,加快进行基于多功能基于林体系的景观格局规划、群落配置和结构优化技术等方面的工作,是全面提升长江口海堤基于林带的质量和实现海堤基于林带的多目标功能的首要任务。

近年来,在“十一五”国家科技支撑计划重大项目“典型脆弱生态系统重建技术与示范”课题“崇明岛生态系统修复关键技术开发及应用研究(2006BAC01A14)”、中法国际合作项目“滨岸多功能型防护林体系构建和持续管护技术研究(063907040)”等项目资助下,针对长江口典型生态系统的退化问题和建设需求,我们重点研究了:①河口海岸带退化生态系统保育和修复的关键技术;②河口海岸带典型退化生态系统保育、修复和可持续利用的集成模式示范、推广机制、评估和管理方法。为促进河口海岸带经济开发与生态环境保护的协调发展、为我国河口海岸带生态系统保育、可持续利用及生态安全提供典范。

本书作为上述研究工作的部分总结,共分六章,依次涉及长江口滩涂湿地生态系统特征,滨海滩涂湿地互花米草控制技术与示范,崇明岛围垦湿地多目标修复和重建技术与示范,崇明岛护岸林系统的规划和设计,多功能护岸林构建技术与示范,以及崇明湿地修复区生态过程监测和决策支持系统的开发等内容。

本书可供各级政府有关管理人员, 社会、经济、生态、农林、环境、规划、地理信息等专业的大专院校师生及科研人员参考。

在研究项目的实施和本书的编写以及出版过程中, 得到了上海市科学技术委员会、崇明县水务局、上海市东滩国际湿地开发公司、崇明陈家镇建设开发有限公司等单位领导和工作人员的参与和热心支持, 以及来自华东师范大学、同济大学、上海市园林科学研究所、上海市环境科学研究院等单位近百余名研究人员和研究生的贡献, 在此一并致谢!

王开运

2012年5月于上海

致 谢

本书得到以下研究项目的联合资助：

1. “十一五”国家科技支撑计划项目“崇明岛生态系统修复关键技术开发及应用研究”（2006BAC01A14）
2. “十二五”国家科技支撑计划项目“崇明岛碳足迹评估与温室气体监测技术集成研究”（2010BAK69B15）
3. 芬兰科学院杰出教授项目（Finland distinguished professor programme (FiDiPro) of Academy of Finland)“Sustainable production of bio-fuels, with management of carbon sink/source dynamics in the boreal forests and mires” (No. 127299-A5060-06)
4. 上海市科委崇明生态岛建设重大专项“崇明岛数字生态建设决策支持系统的开发与利用（07DZ12037）”
5. 上海市科委建设重大专项“崇明重要生态系统监测数据管理关键技术研究”（11dz1200903）
6. 上海市科委重大专项“崇明岛湿地碳通量监测和管理平台关键技术集成”（10dz1200602）
7. 中法国际合作项目“滨岸多功能型防护林体系构建和持续管护技术研究”（063907040）

目 录

前 言

致 谢

第一章 长江口滩涂湿地生态系统特征	1
第一节 长江河口发育演变规律	1
一、长江河口发育模式	1
二、长江河口三角洲大陆岸线的历史变迁与形态发展	2
三、河口沙岛的历史演变	2
四、来沙趋势分析	3
第二节 长江口滩涂围垦	9
一、围垦历史	9
二、围垦方式	11
三、围垦土地利用	12
四、促淤围垦工程与潮滩发育演变	13
第三节 长江口滩涂湿地特征	15
一、滩涂湿地类型	15
二、滩涂湿地分布	16
三、上海地区重要湿地描述	16
四、主要滩涂湿地近期自然演变	20
五、生物多样性的时空格局	37
第二章 滨海滩涂湿地互花米草控制技术与示范	49
第一节 互花米草扩张的时空动态	49
一、概述	49
二、崇明东滩互花米草扩张动态	50
三、九段沙互花米草扩张动态	51
四、互花米草入侵对鸟类群落的影响	51
第二节 滨海滩涂湿地控制互花米草方法	55
一、概述	55
二、物理控制	55

三、化学控制	59
四、生物防治	60
五、综合控制	60
六、我国互花米草的控制研究进展	61
第三节 崇明岛滨海滩涂湿地互花米草控制研究	61
一、研究目标	61
二、实验设计	62
三、效果跟踪测定	66
第四节 结论与展望	100
一、结论	100
二、研究展望	101
第三章 崇明岛围垦湿地多目标修复和重建技术与示范	103
第一节 示范目标和技术	103
一、示范目标	103
二、示范技术	103
第二节 示范区建设	103
一、示范区概况	103
二、修复工程和研究内容	104
第三节 围垦湿地修复区旱生植物的侵入过程和影响因子	110
一、研究背景	110
二、研究方法	110
三、结果与分析	112
四、结论与讨论	118
第四节 围垦湿地修复区水位调控对芦苇生长和繁殖的影响	119
一、研究背景	119
二、研究内容	119
三、研究方法	120
四、结果与分析	122
五、讨论和结论	129
第五节 不同管理措施对围垦湿地修复区芦苇群落土壤呼吸的影响	131
一、研究背景	131
二、材料与方法	132
三、土壤呼吸动态及关键因子分析	135
四、管理措施对生长特征的影响	147
五、管理措施对光合生理特征的影响	153
六、土壤容重与土壤有机碳含量	157

七、讨论与结论	160
第六节 围垦湿地修复区鸟类和底栖动物的变化	166
一、研究背景	166
二、研究方法	167
三、结果	168
四、讨论	191
附录	198
第七节 示范区人工湿地污水处理技术研究	200
一、研究目标	200
二、研究进展	200
第四章 崇明岛护岸林系统的规划和设计	219
第一节 护岸林景观格局、群落结构和功能研究	219
一、研究方法	219
二、景观格局、群落结构与功能分析	225
三、群落结构分析	229
四、植物配置模式对土壤理化性质影响	235
第二节 护岸林区域生态风险识别、评估和时空分异研究	247
一、风险识别	247
二、风险源综合危险度评价	250
三、脆弱度评价	251
四、生态风险度评价	253
第三节 护岸林区域生态区划	255
一、区划指标筛选以及空间分异	255
二、生态适宜性分区	258
三、生态功能区划	260
第四节 护岸林树种适应性研究和抗逆物种筛选	262
一、北岸护岸林物种的适应性研究	262
二、新引进植物的抗逆性调查和评价	266
三、新引进植物的耐盐生理生化试验	271
四、东滩区域多功能护岸林树种推荐	275
第五节 护岸林群落构建和动态设计	278
一、植物群落动态可视化模型设计软件开发	278
二、护岸林群落设计	287
第五章 多功能护岸林构建技术研究与示范	305
第一节 滨岸有林湿地的构建技术与示范	305

一、背景	305
二、示范目标和技术	305
三、示范效果分析	309
第二节 多功能护岸绿地系统构建技术与示范	381
一、示范区概况	381
二、示范工程目标和工作流程	382
三、多功能护岸绿地系统设计	382
四、示范工程建设和效果	384
第六章 湿地修复区生态过程监测和决策支持系统的开发	389
第一节 湿地修复区生态过程监测	389
一、碳过程监测的理论框架	389
二、湿地碳过程模型的概念框架	389
三、碳、水通量涡度相关监测系统	390
四、微气候和土壤监测系统	392
五、水环境监测系统	393
六、样地监测（点）	394
第二节 湿地修复区管理决策支持系统的开发和应用	395
一、湿地修复区空间管理决策支持系统开发的目标	395
二、系统总体框架设计	395
三、系统routing过程	397
四、系统模型库的构建	398
五、决策系统空间数据库的设计	413
六、湿地示范区空间管理决策支持系统（WECOD）的实现	414
七、人机交互界面的设计	424
八、湿地修复区空间管理决策支持系统（WECOD）的应用	425
参考文献	435

第一章 长江口滩涂湿地生态系统特征

第一节 长江河口发育演变规律

一、长江河口发育模式

河口发育模式阐明了河口发育的基本规律，为河口发育趋势提供了理论依据。根据华东师范大学陈吉余等早年的研究（陈吉余和恽才兴，1979；陈吉余等，1988），长江河口2000年来的发育模式可以概括为5个方面：南岸边滩推展、北岸沙岛并岸、河口束狭、河道成形、河槽加深。

长江河口涨落潮流流路分异的现象非常明显。落潮流在科氏力的作用下，2000年以来，导致落潮槽不断南偏。径流挟带的泥沙随落潮流入海，在扩散过程中也呈现向南偏转的趋向。遥感卫星照片所反映的长江口的落潮流态向南扩散的现象十分清晰。因此长江口的南边滩成为泥沙沉降的一个重要场所，形成长江口南岸边滩逐渐外伸，使陆地逐渐向外推展。涨落潮流流路分异的现象同时造成涨潮主泓北偏，分歧了的涨落潮流路之间的缓流区，使水流挟带的泥沙得以沉积，从水下沙洲逐渐发展成沙岛。沙岛北侧的河槽，虽然有时候因主流的摆荡而被落潮主流所占据，但常由于科氏力的作用，使落潮主泓趋于南偏，遂使北侧的河槽多为涨潮槽的性质。涨潮优势的河道，其泥沙搬运也是进多出少，上溯的泥沙不能随落潮流入海，从而导致河道淤积。而长江口的涨潮槽，每当汛期洪峰下泄之际，水量丰富的径流量又常使某些涨潮槽在洪水季节转化为落潮优势的水道，出现河槽受到暂时冲刷的现象，从而使某些涨潮槽能够得以维持。但如果河道的边界条件转化为不利于洪水下泄，则这种以涨潮优势的河道终将因上口淤积堵塞而使沙岛和陆地相连。形成长江口的北岸以沙洲并岸的方式，使岸线向前伸展。在河势不断变化的同时，河口宽度逐渐束狭，河道逐渐成形，而局部河槽加深。

最近有学者在地理信息系统技术支持下对东中国海的潮波系统进行了数值模拟（Chen et al., 2001；Zhu et al., 2001），对M2分潮的数值模拟发现长江口和杭州湾为高振幅区。而就在东南方向的舟山群岛所在海域，存在一个相对的低振幅区，可能是一个退化的无潮点。因此长江口南岸不断向东南方向延伸，而杭州湾北岸不断冲刷的历史现象被认为与区域的潮波系统格局以及科氏力有关。

2000年来的长江河口发育模式尤其表现在三角洲大陆岸线的变迁和形态发展以及河口沙岛的历史演变等方面（陈吉余等，1988）。

二、长江河口三角洲大陆岸线的历史变迁与形态发展

根据历史资料分析,古代的长江入海口在镇江扬州一带。随着长江带来的巨量泥沙和海浪夹带的泥沙、贝壳在河口地区不断堆积,长江两岸的沙嘴也就不断向东南伸展。

“冈身”便是上海成陆的一个重要标志(陈吉余,1988)。在6 000多年前,海岸线在江苏太仓、嘉定外冈、青浦徐泾、闵行马桥至金山漕泾一带。5 000多年前,海岸线向东推进,在嘉定委塘和南翔、闵行莘庄、奉贤拓林一线又形成一冈身。约1 000年前,海岸线已向东推至老宝山城、川沙镇、惠南镇,向西南转向大团、奉城、拓林、金山卫一线。约400年前,钦公塘的建造又使海岸线向东推至浦东合庆、蔡路、江镇、施湾、黄路、四团一线。约250年前,在围垦滩涂时建造了陈公塘(彭公塘),1949年遭受台风破坏,经政府组织修建后,北部称为人民塘。而建国后根据滩涂的淤涨趋势又不断往外围垦,胜利塘、七九塘、八五塘、九二塘、世纪塘便是最好的佐证。

随着大陆岸线不断向东推进的同时,杭州湾潮波逐渐变形,并不断加剧。在潮流风浪的冲击下,杭州湾北岸西段逐渐坍塌。1 500年前,陆上王盘山首先沦入杭州湾中,800多年前,大小金山相继沦为杭州湾中之孤岛。这种坍势直至15世纪中叶重筑海塘后才得以控制(恽才兴,2004)。杭州湾北岸曾经历过大规模的坍岸过程,长江南岸局部岸段也曾存在过冲刷坍塌情况。例如,1694年老宝山城坍入江中,1732年宋黄窑镇也随之坍入江中,使围垦成陆的土地随流入海。

三、河口沙岛的历史演变

河口沙岛的历史演变以崇明岛的历史为典型(褚绍唐,1987)。崇明岛是我国的第三大岛。崇明岛的形成及发展,实际上是劳动人民谱写的一部围垦史。约1 300年前,在当时的长江河口中露出两个小沙州,即东沙与西沙,通过围垦,形成了崇明岛历史上的雏形,面积仅十几平方千米。东西二沙在11世纪相继坍去,1101年又出露一个沙岛,称为三沙。崇明建置是开始于三沙之上,1222年在三沙上建天赐场,1277年建崇明州。自从崇明建置以来调换了三个不同的沙岛,现在的崇明是16世纪的“长沙”沙岛,从1583年迁治其上后直到如今,而且在这个不到500年的阶段中也数度摆荡,诸多滩涂沙洲此长彼坍,崇明县城由西往东五迁六建,通过不断的围垦,沙岛的面积得以逐渐扩大。新中国成立初期崇明岛的面积为600多平方千米,现为1 200多平方千米。

长兴岛、横沙岛为长江河口南支中的沙岛。长兴岛是在围垦鸭窝沙的基础上形成的,围垦鸭窝沙约在1842年,当时面积仅为 2.2km^2 。在其后100多年中,鸭窝沙及其周围滩涂沙洲历经冲淤变迁,形成了石头沙、瑞丰沙、潘家沙、金带沙、圆圆沙,连同鸭窝沙共6个沙体。1964年以来,六个沙体之间不断修筑堵坝工程,最终于1972年3月连成上海最大的人工岛,定名为长兴岛。长兴岛的形成,为上海提供了宝贵的深水岸线资源,目前沙岛南岸已成为上海世博会岸线企业段的动迁基地,将建成世界最大的造船基地。横沙岛也是从水下沙洲发育起来的,于1880年开始围垦成陆,受长江口外强潮流的影响,该岛呈现东南冲刷、西北淤涨的特征,从1869~1958年的百年之中,整个横沙岛向西北方向迁移了10多千米,直到1958年前后,通过工程措施才使横沙岛固定下来。

四、来沙趋势分析

(一) 长江来沙总量的变化趋势

长江河口水土资源丰富，宏丰的水量和巨量的泥沙塑造了广袤的三角洲平原和宽阔的黄金水道。近年来，鉴于长江入海泥沙总量明显减少，从可持续发展高度和人与自然和谐相处的需求出发，滩涂围垦及河口湿地保护均需要对河口泥沙问题作一个科学的判断，需要研究长江来沙总量的变化趋势和河口地区泥沙再悬浮的基本变化规律。

根据安徽大通水文站（干流最下游的水文站，位于河口潮区界，离长江河口口门642km）多年含沙量及输沙量观测资料，其多年平均输沙量见表1-1、表1-2。

表 1-1 大通站历年年输沙量统计表

年份	年输沙量 / 10 ⁴ t	年份	年输沙量 / 10 ⁴ t	年份	年输沙量 / 10 ⁴ t
1951	40 300	1969	39 100	1987	40 500
1952		1970	45 600	1988	35 500
1953	46 400	1971	37 800	1989	39 400
1954	46 000	1972	34 100	1990	41 900
1955	49 700	1973	46 100	1991	39 500
1956	54 900	1974	47 800	1992	30 900
1957	43 200	1975	50 700	1993	37 000
1958	56 700	1976	36 300	1994	23 900
1959	40 400	1977	44 100	1995	35 500
1960	41 000	1978	37 000	1996	32 300
1961	46 900	1979	44 900	1997	29 900
1962	45 700	1980	47 400	1998	40 100
1963	53 600	1981	53 700	1999	31 700
1964	67 800	1982	46 700	2000	33 900
1965	53 100	1983	50 100	2001	27 600
1966	47 900	1984	50 400	2002	27 100
1967	55 100	1985	40 300	2003	20 600
1968	58 400	1986	31 300	2004	14 700

由表1-1至表1-3、图1-1可以看出，长江大通站的10年平均输沙率从20世纪60年代后期开始出现持续下降，尤其是80年代后期以来下降加快，其中1994年为20世纪下半叶入海泥沙量最低的年份（2.39亿t）。最近10年（1996~2005年）的输沙率（2.80亿t/a）比早期10年（1956~1965年）（5.04亿t/a）下降了2.04亿t/a（44%）。其间，1966~1975年下降0.41亿t/a，1976~1985年下降0.17亿t/a，1986~1995年下降0.90亿t/a，1996~2005年下降0.76亿t/a（图1-2）。究其原因，与长江中、下游流域水库建设大量拦截泥沙，长江上游地区开展的水土保持措施，流域调水等工程有关（沈焕庭等，1986；2000；沈焕庭，2001）。

表 1-2 大通站多年平均年输沙量统计表

时段	年输沙量 / 亿t	年均输沙量减少率 / % (以4.245亿t为基数)
1951~2000年	4.245	
其中: 1951~1959年	4.72	
1960~1969年	5.09	
1970~1979年	4.24	
1980~1989年	4.34	
1990~1999年	3.43	
2000年	3.39	
2001年	2.76	34
2002年	2.75	35
2003年	2.06	51
2004年	1.47	65

表 1-3 大通站1951~2000年各时段平均径流量及输沙量

时段	年平均径流量 / 亿m ³	年平均输沙量 / 亿t	年平均含沙量 / (kg / m ³)
1951~1967年	8 915	4.930	0.553
1968~1989年	8 739	4.370	0.550
1990~2000年	9 537	3.463	0.362

丹江口水库是迄今为止长江流域第二大的水库，也是三峡工程前流域最大的水库。1967年开始运行的丹江口水库拦截了93%的入库泥沙，从而使长江泥沙减少0.5亿t/a左右。尽管从20世纪90年代开始的流域水土流失治理和80年代以来盛行的河道挖沙都对长江入海泥沙的减少有不可忽视的贡献，但水库修建是主要原因（李芳，2008）。近50

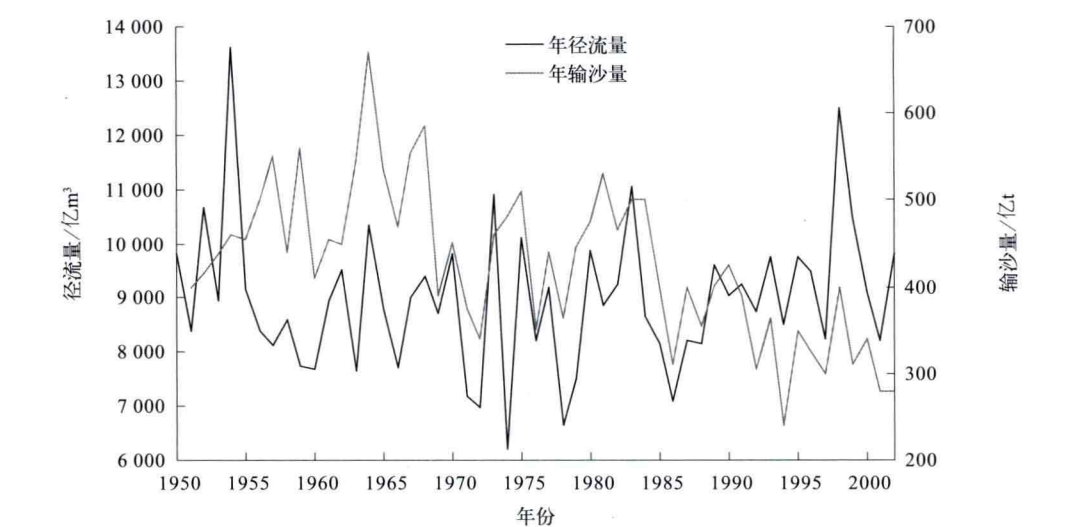


图 1-1 大通水文站1950~2002年径流量与输沙量变化（沈焕庭，2001）