

The Influence of Desilting Engineering on Flood Control and Drainage in Tidal River Network Area and Study on Engineering Proposal

Chunyi Zhao, Lei Wang, Dieshuang Yu

Ningbo Hydraulic Waterpower Planning and Designing Research Institution, Ningbo Zhejiang
Email: zcy8578@sina.com

Received: Apr. 7th, 2015; accepted: Apr. 25th, 2015; published: Apr. 30th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

As the eastern coastal areas in China are muddy, where the sea sand is rich, siltation problems in different degrees occur in most estuaries and tidal rivers upstream of these areas. It's easy to make flow sections narrow, channel depth shallow and urban landscape discord as deposition occurs in rivers, which have a great impact on flood prevention, shipping and ecological environment. In this paper, Ningbo Sanjiang River (Fenghua River, Yaojiang River, and Yongjiang River) was selected as an example to study the characteristics of water and sediment, the fluvial process and the deposition mechanism of the river. For the purpose of flood prevention and drainage and city landscape, different dredging schemes were proposed by using watershed hydrological model to calculate the implementation effect of the fluvial process in different conditions. On the basis of comprehensive comparison, the desilting engineering schemes were determined and provided for Sanjiang River governance. The results show that the desilting engineering can reduce the duration of the high water level, and increase the displacement of main stream or drainage gate along the river, which have an improvement effect on flood drainage of the basin. At the same time, river siltation is inevitable after the desilting engineering implementation. Therefore, the desilting scheme should consider engineering benefit and siltation characteristics, and select the scheme which is favorable for flood prevention, drainage and city landscape with suitable scale. Studies on the characteristics of water and sediment, fluvial process, deposition reasons, governance measures and so on in tidal river reach can provide a reference for other similar tidal river network area's river regulation.

Keywords

Tidal River Network, Characteristics of Water and Sediment, Fluvial Process, Desilting Engineering, Mathematical Model

作者简介: 赵淳逸(1983-), 男, 宁波市水利水电规划设计研究院工程师, 主要从事水文学及河流动力学研究工作。

清淤工程对感潮河网地区防洪排涝的影响及工程方案研究

赵淳逸, 王雷, 余蝶双

宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波

Email: zcy8578@sina.com

收稿日期: 2015年4月7日; 录用日期: 2015年4月25日; 发布日期: 2015年4月30日

摘要

我国东部沿海地区属淤泥质海岸, 海域来沙丰富, 大部分入海河口及上游感潮河流均存在不同程度的淤积问题, 河道淤积易造成过流断面缩小、航深变浅、城市景观不和谐, 给防洪、航运及生态环境造成极大影响。本文以宁波三江河道(奉化江、余姚江、甬江)为例, 通过对河道水沙特性、河床演变特征及淤积机理方面的研究, 以防洪排涝和城市景观为目标, 拟定不同的清淤方案, 运用流域水文模型计算不同工况下清淤工程的实施效果, 在此基础上经综合比选确定清淤工程方案, 为三江河道治理提供依据。研究成果表明, 清淤工程可减少干流高水位持续时间, 增加干流或沿线排涝闸的排水量, 对流域行洪排涝具有一定的改善作用, 但与此同时, 清淤工程实施后, 河道回淤不可避免, 因此, 清淤方案因综合考虑工程效益及回淤特性, 选择对防洪排涝及城市景观有利, 且清淤规模合适的方案。本文对感潮河段水沙特性、河床演变、淤积原因及治理措施等方面的研究, 也可为其它类似感潮河网地区的河道整治提供参考。

关键词

感潮河网, 水沙特性, 河床演变, 清淤工程, 数学模型

1. 问题的提出

宁波位于东海之滨, 北临杭州湾, 居我国大陆海岸线的中段、长三角东南隅。甬江为宁波的母亲河, 与奉化江、姚江并称“三江”, 是甬江流域主要的行洪排涝通道, 同时也是沟通内陆与出海海运的重要通道, 三江河道穿城而过, 沿岸风景秀丽, 人口稠密, 三江河道已成为宁波市城市文化发展的重要标志和载体。但是, 近年来, 在自然和人为因素的共同作用影响下, 三江河道淤积严重, 导致行洪断面缩窄、航深变浅、边滩淤涨, 给流域防洪排涝、港口航运及城市形象带来了诸多不利的影响。尤其是 2013 年第 23 号强台风“菲特”袭击宁波, 宁波发生建国以来最大台风降雨, 余姚、奉化两个县城和宁波市区大面积受淹, 全市直接经济损失达 334 亿元, 本台风灾害尤以余姚最为严重, 余姚城区 70% 面积受淹, 最大受淹时间长达 7 天之久。本次台风受灾原因是多方面的, 既有自然因素, 也有工程因素和社会因素, 但三江河道作为甬江流域主要的行洪排涝通道, 干流局部淤积造成洪水宣泄不畅, 进一步加重了流域防洪排涝压力。甬江流域水系图, 见图 1。

2. 基本情况

2.1. 流域及河道概况

甬江流域东排区面积 3857 km², 主要水系包括甬江、奉化江和姚江, 其中北源姚江干流片东排面积 1479 km²,

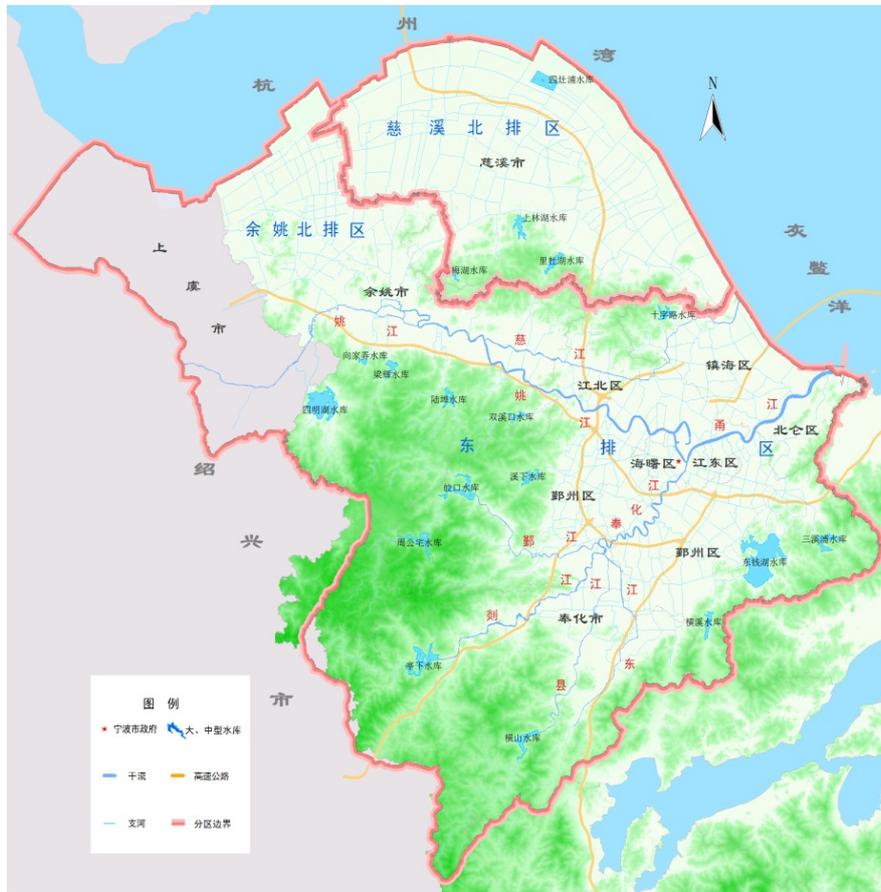


Figure 1. Watershed drainage network of Yong Jiang
图 1. 甬江流域水系图

南源奉化江流域面积 2378 km²，奉化江和姚江在宁波市区三江口汇后东排入海。目前，甬江流域已建成大型水库 5 座，中型水库 12 座，三江干流与平原河道交界处均建有挡潮排涝闸，其中三江口上游 3.3 km 的姚江干流建有干流节制闸(姚江大闸)，姚江闸上河道为平原水库，闸下河道、奉化江和甬江为感潮河段(见图 2)。2000 年以来，宁波市陆续开展了城防工程建设，截至目前姚江闸下河段、奉化江鄞州大桥以下及甬江防洪(潮)能力已按规划百年一遇标准达标建设，奉化江及姚江上游河道堤防正按照防洪规划标准分步实施。

2.2. 水沙特性分析[1]

甬江流域径流来源于降水，因此径流的年际变幅、年内分配和面上分布均与降水相似。与此同时，受下垫面和人类活动影响，径流变化的不均匀性尤为突出，径流的年内变化呈两峰两谷分布，其中奉化江多年平均径流量为 16.855 亿 m³，姚江大闸多年平均排水量为 11.32 亿 m³，甬江多年平均径流量为 30.3 亿 m³。

甬江口属于缓混合海相河口[2]，潮汐类型属不正规半日潮，每日有两个高潮和两个低潮，其相邻的高潮低潮均不相等，夏季的夜高潮高于日高潮，冬季日高潮高于夜高潮，根据历年潮水位数据分析，宁波站多年平均高潮位 1.19 m，平均低潮位为-0.49 m，涨潮平均潮差 1.71 m，落潮平均潮差 1.71 m；镇海站多年平均高潮位 1.11 m，平均低潮位为-0.69 m，涨潮平均潮差 1.80 m，落潮平均潮差 1.80 m。

三江河道的泥沙由陆域来沙和海域来沙两部分组成，且以海域来沙为主。泥沙性质则以黏土质粉砂为主，其次为粉砂。悬沙和底沙的中值粒径范围分别为 0.004~0.009 mm 和 0.010~0.118 mm。这种悬、底沙细而一致的性质，为海域来沙的属性，且决定了泥沙运动以悬移为主。

3. 河床演变及冲淤特性分析

3.1. 河床演变

从奉化江的平面形态看，呈蛇曲形，是冲积平原上比较典型的蜿蜒型河道。因奉化江河道面宽相对较窄，坡降大，河道水动力主要受上游径流控制，从历年监测数据分析，奉化江河道河床较为稳定，河道处于相对冲淤平衡状态。

历史上，姚江河床较为稳定，自从 1959 年姚江大坝建成后，闸下河床大幅淤积。姚江大坝阻断了上溯的潮流，使闸下河道潮波发生变形，涨潮历时缩短而流速较快，落潮历时变长而流速较小，涨潮输沙量大于落潮输沙量，在大闸不泄流的条件下，河道处于单向淤积状态，落淤泥沙经沉积固结后，即使大闸泄流增加落潮流量，也仅能冲刷部分河床表层泥沙，而对于下层固结的泥沙，难以形成冲刷作用，这是姚江闸下河段持续快速淤积的主要原因。

姚江大坝、镇海港拦海大堤工程以及城市发展等因素给甬江河道带来的负面影响，改变了甬江涨落潮流动力条件。自 1959 年以来，甬江河床经历了全河段强烈淤积(1959~1961 年)~冲淤渐趋平衡(1962~1974 年)~平衡打破再次淤积(1975~1979 年)~冲淤动态平衡(1980~1985 年)~缓慢淤积(1986~2000 年)~边滩淤长(2001 年至今)的演变过程。

3.2. 冲淤特性

三江河道冲淤不仅与来水来沙条件有关，还对河床边界、上下游工程及人类活动十分敏感，并随上下游、左右岸的不同而呈现出不同的冲淤演变特性。

(1) 姚江河段在大闸挡潮、涉水工程阻水、下游河道淤积等影响下，河道呈单向淤积状态，目前仅能依靠疏浚或大闸泄流冲刷维持一定的断面尺度，但在此之后河道又会快速回淤；

(2) 甬江河道冲淤具有明显的季节变化规律，即口内河道“洪冲枯淤”而口门段河道“洪淤枯冲”，从断面分布来看，甬江主槽处于相对冲淤平衡状态，自动调整能力较强，而边滩则处于“易淤难冲”状态，随着涉水工程增多及人为因素影响的日益加剧，甬江边滩呈恶化趋势；

(3) 奉化江河道总体处于冲淤平衡状态，仅在局部弯曲河段的凸岸以及涉水工程附近有所淤积，随着上游防洪工程的封闭，洪水实现归槽，奉化江河床断面得以长期维持。

4. 清淤工程实施效果及方案比选

通过对三江干流淤积情况的分析，因奉化江淤积较小，确定清淤的范围主要是姚江(姚江大坝~三江口)和甬江中上游(三江口~界牌碶)。清淤规模论证主要是通过拟定不同河段不同的清淤方案，利用经菲特台风实测洪水

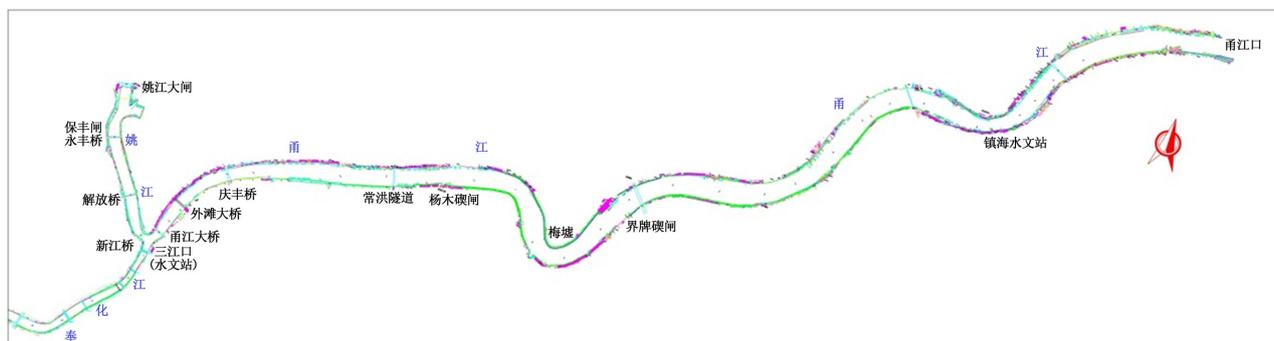


Figure 2. The general situation of Sanjiang River

图 2. 三江河道概况图

过程验证的甬江流域数学模型, 研究不同清淤方案下的实施效果, 经综合比选确定清淤工程的范围及规模。

4.1. 计算方法

根据流域河道和水利工程数据, 将流域水系概化成由河网和水域组成的体系。河网由流域内骨干河道和重要连接等一系列主要河道组成, 是流域输送水流的载体; 水域主要由支流小溪、水塘等水体概化成, 主要起着水量调蓄作用。对河网采用节点-河道模型, 对成片水域则划分为单元, 这部分单元仅起蓄水调节作用, 不起动力输水作用。通过引入陆域宽度概念, 河网和水域组成统一的数学模型, 或称混合模型。

混合模型中水流在河道中运动采用一维非恒定流方法来模拟, 圣维南偏微分方程组为:

$$B_T \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = 0 \quad (2)$$

式中: q 为河道旁侧入流(m^3/s); B_T 为当量河宽(m); Z 为断面水位(m); Q 为流量(m^3/s); K 为流量模数。

为实现方程的求解, 用隐式差分法化为差分方程, 再与边界条件及初始条件联立得微分方程组, 运用计算机程序求解河网水量微分方程组, 最后求得各节点、断面的水位和流量过程。

4.2. 计算方案与成果分析

根据前述对三江河道河床演变及冲淤变化规律的分析, 本次研究对姚江闸下河段及甬江三江口至界牌碇河段进行清淤方案设计, 并通过数学模型研究不同清淤方案下对防洪排涝及城市景观的改善效果, 从而确定清淤工程方案。计算方案及成果如表 1 所示。

(1) 姚江闸下河段清淤工程效益分析

姚江清淤范围自保丰闸至新江桥, 清淤河段长 2.8 km, 其中主槽按照 40 m 底宽控制, 清淤至-3.0 m~-3.42 m, 边滩按照-1 m 控制, 清淤工程量为 33 万 m^3 。按照此方案实施清淤工程, 姚江行洪断面可增加 18%, 以“菲特”台风为例, 姚江大闸 7 天的排水量由现状的 2.98 亿 m^3 增加至 3.06 亿 m^3 , 排水量增加 3%; 余姚、江北段姚江洪水水位超警戒水位时间可缩短 5 h~7 h, 从而能缓解姚江流域的泄洪排涝压力; 同时, 闸下清淤后, 可使边滩出露时间从现状的 101 d 减少至 50 d, 边滩出露时间减少一半, 因此对闸下的景观会有较大改善。

若加大姚江清淤范围和规模, 从防洪排涝角度, 虽可进一步增加姚江大闸的排水量, 但对余姚、江北防洪排涝效益不明显, 无论最高水位和高水位持续时间均未得到明显改善, 工程的投入与综合效益不协调; 从城市景观角度, 加大边滩的清淤幅度, 虽可进一步减少边滩出露时间, 但因边滩回淤速度较快, 工程量增加 12 万 m^3 , 但边滩出露时间仅减少 10 d; 此外, 由于姚江回淤速度快, 3 个月即可回淤 70% 以上, 因此姚江清淤量应以“较优”为原则。

(2) 三江口至甬江庆丰桥河段清淤工程效益分析

该段清淤主要为边滩清淤, 清淤高程控制为-1.5 m, 清淤工程量 25 万 m^3 , 清淤后边滩高程位于平均低潮位-0.5 m 以下, 边滩裸露时间减少 70 d。同时该河段行洪断面可增加 8%, 姚江大闸排水量可再增加 1.1%, 甬江入口排水量增大 1%, 能一定程度上缓解上游的行洪压力。

若加大该河段边滩的清淤幅度, 从防洪排涝角度, 姚江大闸的排水量可在增加 0.2%, 对防洪排涝的改善作用较小; 从城市景观角度, 边滩清淤至-2 m, 工程量需增加 10 万 m^3 , 边滩出露时间仅减少 5 d。考虑到该河段边滩在河道弯曲, 甬江大桥、外滩大桥阻水的影响下, 边滩回淤速度较快, 随着清淤量的增大, 对防洪排涝及城市景观的改善效果不明显, 因此该河段边滩清淤应以“适度”为原则。

(3) 甬江庆丰桥至新杨木碇河段清淤工程效益分析

Table 1. Engineering scheme and calculation results
表 1. 工程方案及计算成果表

河道	河段	清淤方案			防洪效益		景观效益	
		断面方案	工程量 (万 m ³)	工程投资 (万元)	断面面积 增幅	姚江大闸 排水量增幅	姚江江北、余姚站 高水位持续时间	年边滩裸露 时间清淤前/后
姚江	保丰闸~新江桥	边滩清至-1 m; 主槽清至-3~-3.42 m	33	1624	17.9%	2.6%	5 h~7 h	101 d/50 d
		边滩清至-1.5m; 主槽清至-3~-3.42 m	47	2313	26.5%	3.2%	6 h~7 h	101 d/40 d
		边滩清至-1~-1.5 m; 主槽清至-3~-5 m	67	3298	28.8%	3.9%	7 h~8 h	101 d/40 d
三江口 及甬江	三江口~庆丰桥	边滩清至-1.5 m	25	1122	8%	1.1%	0 h	110 d/40 d
		边滩清至-2 m	31	1392	10%	1.3%	1 h	110 d/35 d
	庆丰桥~新杨木碶	边滩清至-1 m	35	1120	5.8%	1.8%	1 h~2 h	186 d/50 d
	新杨木碶~界牌碶	边滩距岸边 50 外清至-1 m	120	4795	18.6%	2.7%	3 h~5 h	/

注: 1: 姚江清淤考虑一定的河道纵坡, 主槽清淤的航道底宽为 40 m; 2: 姚江江北、余姚站位置见图 1 所示; 3: 姚江大闸排水量以最大 7 天统计, 清淤前的排水量为 2.98 亿 m³; 4: 边滩裸露时间根据清淤底高程以三江口站多年实测资料统计得出。

若将边滩清淤至-1 m, 工程量为 35 万 m³。从防洪排涝角度, 姚江大闸的排水量可增加 1.8%, 姚江上游高水位持续时间可缩短 1 h~2 h, 对上游防洪排涝具有一定的改善作用, 但效果不明显; 从城市景观角度, 清淤工程实施后, 边滩出露时间可由现状的 186 d 减少至 50 d, 对该河段沿江水景观的改善作用较为明显。

(4) 新杨木碶至界牌碶河段清淤工程效益分析

若将边滩从岸墙 50 m 外清淤至-1 m, 清淤工程量为 120 万 m³, 实施后虽行洪断面面积增加 18%, 甬江入口排水量增加 2.6%, 干流洪水位超警戒水位时间再缩短 3 h, 但与姚江清淤量及效果相比, 清淤规模大, 工程投资大, 所带来的防洪效益和投资比不经济; 其次, 该段边滩回淤快, 年回淤量超过 50%, 且随着甬江防洪工程的建设, 上游奉化江洪水归槽, 下泄洪水增加, 河床将会发生新的冲淤调整。

4.3. 清淤方案比选

根据上述计算成果, 各河段清淤的方案为:

(1) 姚江闸下河段以防洪为主, 兼顾城市景观。边滩清淤至-1 m 露滩时间可较现状减少一半, 主槽按照 40 m 底宽清淤至-3 m~-3.42 m, 可一定程度上改善姚江流域的行洪排涝压力, 鉴于闸下河道淤积速率较快, 不宜采用较深的挖槽方案。

(2) 三江口至甬江庆丰桥河段以防洪和景观双重任务为主。该河段位于市中心, 因甬江大桥和外滩大桥桥墩阻水边滩淤积速度较快, 将边滩清淤至-1.5 m, 在增加姚江大闸排水量的同时, 露滩时间也减少近 2/3, 随着边滩清淤深度的增加, 因回淤速度也相应提高, 露滩时间减少的效果变差。

(3) 甬江庆丰桥至新杨木碶河段以景观任务为主。该河段清淤后, 景观效果改善较大, 对行洪排涝改善作用较小, 该河段是否清淤应根据城市建设发展的需求而定。

(4) 甬江新杨木碶至界牌碶河段处于城市外围, 清淤以防洪为主, 研究成果表明, 因该河段位于甬江中游, 河道堤防以防潮为首要任务, 边滩清淤工程量大, 回淤速度快, 清淤的工程效益不经济, 因此暂不清淤。

5. 结论与建议

因上游水资源开发利用、沿江阻水设施增多、污染物排放甚至泥浆违法倾倒影响, 很多沿海入海感潮河道

均存在不同程度的淤积问题,进而引发诸如行洪不畅、航深变浅和景观不和谐等问题。河道清淤是解决淤积问题最直接的方法,但因清淤后河道存在回淤问题,因此清淤方案的确定需在掌握冲淤演变规律的基础上,设定合理的清淤目标进行科学清淤。

(1) 河道冲淤变化不仅与来水来沙条件有关,而且对河道边界、涉水工程及人类活动影响十分敏感,解决泥沙淤积问题应在工程措施的基础上,研究相关非工程措施,如通过水利工程调度进行放水冲刷、加强河道涉水工程建设的管理、遏制违法倾倒行为等。

(2) 清淤工程实施后,河道回淤不可避免,清淤应从“应急化”向“常态化”转变,通过“以建促管”的方式,维持清淤工程实施效果,在工程建设的同时,加强对河道地形、水沙等项目的监测及资料分析,为河道长效治理提供科学依据。

参考文献 (References)

- [1] 严文武. 宁波三江河道水沙特性及冲淤变化规律[J]. 水利水运工程学报, 2011, (4): 143-148.
YAN Wenwu. Water and sediment characteristics and their scouring and silting law in the three Rivers of Ningbo. Journal of Water Resources of Water Transport Engineering, 2011, (4): 143-148.
- [2] 熊绍隆, 曾剑. 潮汐河口分类指针与河床演变特征研究[J]. 水利学报, 2008, 39(12): 1286-1295.
XIONG Shaolong, ZENG Jian. Study on classification index and fluvial processes of tidal estuaries. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(12): 1286-1295.