

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.04.005

朱远, 罗小峰. 长江口南港河槽容积变化特征分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(4): 28-36. (ZHU Yuan, LUO Xiao-feng. Characteristics analysis of changes in scouring and silting volumes of south channel of Yangtze estuary [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(4): 28-36.)

长江口南港河槽容积变化特征分析

朱远¹, 罗小峰²

(1. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200061; 2. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 根据长江口南港河段历史地形资料和 1997—2011 年 4 次固定断面水深测量资料, 分析了南港河槽整体及分区域容积变化过程, 重点分析了中潮位、5 m 以深河槽容积变化特征。分析研究表明: 瑞丰沙中部串沟和人类无序采砂导致 2001—2004 年河槽容积季节性变化剧烈, 长兴水道深槽和南港主槽深槽均淤积。2001—2007 年南港河槽基本处于洪淤枯冲状态。2001 年前及 2008 年后季节性变化均为洪冲枯淤, 2008 年后季节性变化减弱; 南港河槽容积长期处于增大趋势, 2001 年开始, 由于瑞丰沙中部串沟, 长兴水道由涨潮占优转变为落潮占优, 不断淤积, 一直持续到 2008 年。南港主槽上段北淤南冲, 中下段南淤, 主泓北偏, 由于瑞丰沙的冲刷, 河槽总容积仍呈增大趋势。2008 年后河槽进入发展期; 南港河槽上段深淤浅冲, 幅度较小, 中段串沟导致水流挟带大量泥沙在下游瑞丰沙嘴淤积; 三峡工程运行后瑞丰沙嘴冲刷较为剧烈。

关键词: 长江口; 南港; 河槽容积; 冲淤变化

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)04-0028-09

长江口是一个丰水、多沙、中等潮差、有规律分汊的三角洲河口, 在徐六泾以下被崇明岛分为南支和北支, 南支在浏河口以下被长兴岛和横沙岛分为南港和北港, 南港下段又被水下沙洲九段沙分为南槽和北槽, 从而形成了长江口三级分汊、四口(北支、北港、南槽、北槽)入海的形势。

本文分析的南港河段指吴淞口至南北槽分汊口之间的河段, 长约 30 km, 平均河宽 6 km。河槽容积是反映河段水动力和河床断面调整综合作用的一个重要指标。前人通过物理模型试验、数值模拟等手段对南港河床演变、河槽冲淤变化等做了大量研究。研究表明: 近 10 年来, 南港河槽经历了先冲后淤, 再逐步趋于稳定的变化过程^[1]。这主要是由于人为工程影响, 使得南港河槽进入调整时期^[2]。南港中瑞丰沙中段以下冲刷剧烈, 南岸淤积, 主流北偏, 南港河道逐渐向着宽浅型河道发展^[3]。本文重点讨论南港自 1998 年洪水以后, 河槽整体及各部分容积变化, 以及滩槽冲淤变化情况, 为南港河势稳定及各项工程提供理论依据和指导。

1 长江口南港水沙动力特性

1.1 近期潮流、径流变化特征

长江口的潮汐属非正规半日潮, 日潮不等现象较明显^[4]。口外存在东海前进潮波和南黄海旋转潮波两个潮波系统, 潮波由东海传入长江口地区, 受上游径流和河床阻力影响, 潮波形状发生变化, 主要表现在潮差减小, 涨潮历时缩短和落潮历时延长。横沙站资料统计表明, 多年平均潮差 2.60 m, 最大潮差 4.64 m^[5]。

收稿日期: 2014-11-18

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51009095)

作者简介: 朱远(1989—), 男, 江苏淮安人, 助理工程师, 硕士, 主要从事河口、海岸工程研究。

E-mail: 812528550@qq.com 通信作者: 罗小峰(E-mail: cjk3d@126.com)

南港潮流一般特性是:涨潮流向为 $295^{\circ} \sim 313^{\circ}$,落潮流向为 $115^{\circ} \sim 122^{\circ}$,基本上是往复流。1998—2001年,瑞丰沙中部串沟发育之前长兴水道表现为明显的涨潮优势,南港主槽则表现为明显落潮优势;2001—2007年为瑞丰沙中部串沟发展时期,本时段内南港主槽的潮流特征仍以落潮优势为主,2003年长兴水道下段已经从涨潮优势向落潮优势转变,2005年长兴水道中段开始向落潮优势转变,长兴水道上段仍表现为一定的涨潮优势;2007年以来,长兴水道上下段的潮流性质基本一致^[6]。对大通流量历年统计表明,大通站来水量无年际趋势性变化,但2003年后来水量略偏小,这与长江三峡工程蓄水运行密不可分。大通站月径流量变化见图1,可见来水量的年内分配表现为洪季大、枯季小,2003年后来水量季节性变化表现为洪减枯增。

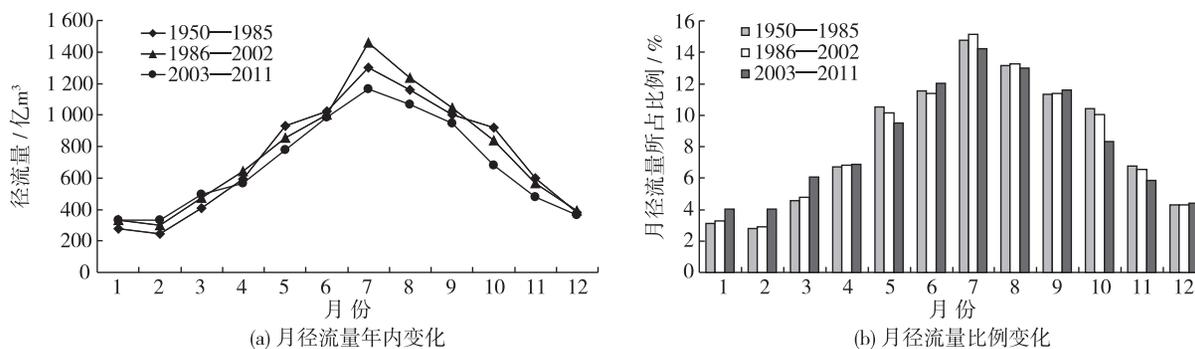


图1 大通站月径流量变化

Fig. 1 Changes in monthly runoff of Datong station

1.2 近期泥沙运动特性

长期以来,长江口上游来水来沙丰富,1950—1985年大通站年均输沙量高达4.70亿t,约40%的泥沙在河口沉积,塑造了广袤的河口水下三角洲,影响着长江口地区的经济和社会发展,但自20世纪80年代中期以来,上游来沙呈明显减小趋势,尤其以三峡大坝为代表的大中型水库建设改变了长江径流过程,减少了上游来沙,大通站的年均输沙量已由三峡工程蓄水前(1998—2003年)的3.02亿t减少为蓄水运行以来(2004—2009年)的1.38亿t^[7]。

长江口南港作为重要的输沙通道,受自然、人类活动影响较大,历次南港水文测验资料归纳悬沙含沙量的一般规律:洪季含沙量大于枯季,大潮期间含沙量大于小潮,大风天含沙量大于小风天或无风天。由此可见,上游径流及来沙量、涨落潮流速以及外海风浪对本河段的含沙量都有直接的影响。一般情况下洪季落潮含沙量大于涨潮含沙量,枯季涨潮含沙量大于落潮含沙量^[8-9]。

多年测量的长江口南港悬沙粒径资料的级配和中值粒径数据有所差别。据1987年8月的南港河床底质取样,上口段为细砂和亚沙土,中值粒径为0.113~0.161mm,中段为亚沙土和亚黏土,中值粒径在0.017~0.0785mm之间,下段中径约0.141~0.149mm。根据长江口深水航道整治三期工程疏浚工程挖泥船船舱中圆圆沙航段的疏浚土采样资料,疏浚泥沙的中值粒径约为0.03~0.12mm,泥沙中值粒径明显减小^[10]。如图2所示,长江流域来沙量大幅减少,2003年三峡水库蓄水后,来沙量的年内分配除2月外各月均减小;大通站悬沙粒径2003年前后变化不明显,蓄水前后平均中值粒径分别为0.009和0.010mm。

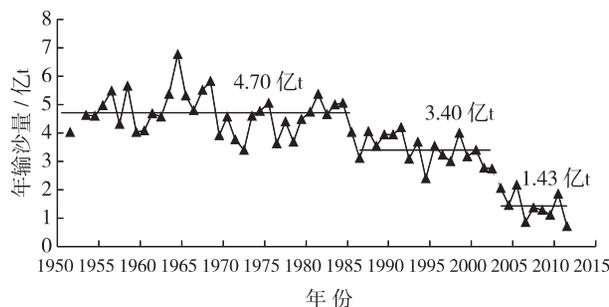


图2 大通站年输沙量变化过程(1951—2011年)

Fig. 2 Annual sediment volume of Datong station

2 南港河槽容积季节性变化特征

近十几年来,瑞丰沙中部串沟、人类无序采砂等,对南港河槽容积产生了极大影响,1997年瑞丰沙体完

整高大,2001—2003年人类无序采砂导致瑞丰沙中部串沟,主泓北偏,深槽淤积^[11]。

本文利用1997年以来一年4次固定断面水深测量资料对南港河槽容积进行分析。分析断面编号采用现场固定监测断面编号。A1断面位于南港上段南、北港分流口附近,A10断面位于南港中下段,瑞丰沙嘴附近(见图3)。

2.1 中潮位下河槽容积季节性变化特征

1997—2011年历年2月、8月A1—A10'河段平均中潮位下河槽容积(见图4)统计中考虑中潮位(吴淞基面+2.0 m)河槽容积^[2]。根据长江口南港近十几年演变特征,将历年河槽容积变化过程划分为4个时期。

第1个时期为1997—2000年,经过1998年洪水年进入冲刷期^[12],河槽容积呈小幅增加趋势。每年8月河槽容积均大于2月河槽容积,南港处于“洪冲枯淤”。以1999年为例,年内季节性冲淤变化小,最大容积出现在8月,最小出现在2月,最大冲淤量只有0.02亿 m^3 。

第2个时期为2001—2003年,这个时期是人类活动最为剧烈的时期,人类对瑞丰沙无序采砂从2001年起一直持续到2003年,2001年2月至2002年2月,中潮水位下河槽容积持续增大,年内季节性容积动荡剧烈,主要由于人类无序采砂导致浅滩沙体冲刷下泄^[13]。2002年内季节性冲淤幅度达0.28亿 m^3 ,2003年8月后,人类无序采砂停止,南港河槽进入恢复期。

第3个时期为2004—2007年,人类无序采砂停止后,南港河槽处于一个缓慢恢复的过程且河槽冲淤变化遵循“洪淤枯冲”。2004年河槽容积季节性变化幅度小,2005和2006年变幅大,2005年内季节性冲淤幅度达0.28亿 m^3 。每年最小河槽容积出现在5月、8月,最大河槽容积出现在2月、11月。2007年河槽容积持续增大,其主要原因是2007年上游来水来沙大幅减少。

第4个时期为2008—2011年,这个时期南港河槽进入发展期。河槽容积季节性小幅震荡,由于上游来沙量大幅减少,加上三峡工程对来水量的调控^[14],南港河槽处于“洪冲枯淤”,但季节性变化减弱,中潮位容积总体趋于小幅增大。2008和2011年河槽容积分别增大0.07和0.17亿 m^3 。

2.2 5 m以下深槽容积季节性变化特征

平均中潮位下河槽容积的变化只能反映河道过水能力的变化,以及整体情况下的冲淤,不能反映断面冲淤的真实情况,因此取吴淞基面5 m高程以下的河槽容积进行统计计算^[15]。

与上文相同,将1997—2011年分为4个区域。2001年以前,5 m以下河槽容积呈增长趋势,深槽冲刷,季节性变化规律不明显;2000年8月达到最大值(6.29亿 m^3);2001—2004年,深槽淤积。以2002年为例,2月5 m以深河槽容积达到最大值6.17亿 m^3 ,8月达最小值6.06亿 m^3 ,可以看出每年2—8月淤积严重。这一阶段,人类无序采砂使得浅滩大量泥沙输移至深槽,对5 m以下河槽容积的影响不容忽视;2004—2006年,南港河槽整体处于采砂后的恢复期,5 m以下河槽容积遵循“洪淤枯冲”规律,以2005年为例,2—5月淤积,5月达年内最小值6.45亿 m^3 ,8—11月冲刷,11月达最大值6.55亿 m^3 ;2008—2011年,5 m以下深槽容积小幅增加,伴随季节性小幅震荡,最大值不到7亿 m^3 。2008和2011年内季节性冲淤震荡幅度分别为0.14和0.18亿 m^3 。随着上游来水来沙情况稳定^[14],瑞丰沙下沙体消亡殆尽,南港深槽进入了发展期。

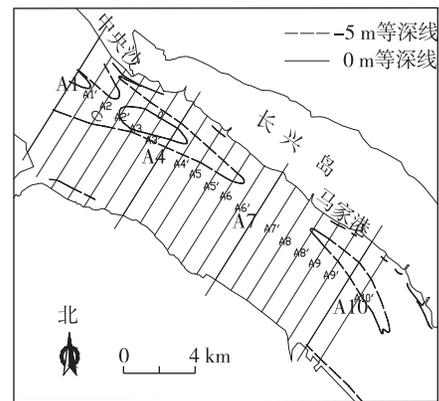


图3 南港水下地形测量断面位置

Fig. 3 Sections of underwater deep pool of the south channel

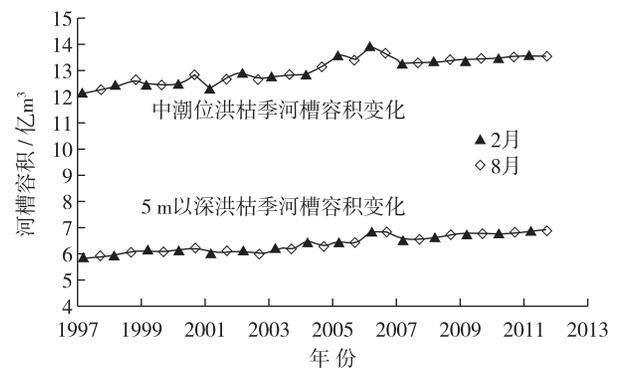


图4 南港河槽容积季节性变化(1997—2011年)

Fig. 4 Seasonal variation of the south channel volume

2.3 南港不同河槽季节性变化特征

1958—1963年南港上口浏河沙与中央沙连成一体,南支下泄水流在长兴岛西端石头沙冲刷形成了一条南北走向的新崇明通道,水流顶冲石头沙及瑞丰沙,冲刷崩坍的6700万 m^3 泥沙中有6600万 m^3 淤积在南港河槽,成为现今瑞丰沙嘴发育基础;1963—1971年中央沙头-5m等深线冲刷下移3.3km,冲刷的6.04亿 m^3 泥沙中有3.20亿 m^3 进入南港,这些泥沙不仅使南港主槽普遍淤高2~5m,而且使瑞丰沙嘴扩大延伸,迫使南港“U”形单一河槽形态分化为“W”形复式河槽,这种淤积趋势一直延续至1978年。目前南港河槽形态呈现为南港主槽、瑞丰沙嘴、长兴岛涨潮槽3个地貌单元组合的格局^[16]。

2003年以前虽然人类无序采砂对长兴水道有一定影响,但长兴水道整体上仍涨潮占优。A1断面为南港上断面,位于吴淞口附近,该断面形态比较复杂,自北向南依次为中央沙、长兴水道上口、瑞丰沙滩顶、南港主槽。从2002年一年4次的实测地形来看,长兴水道受季节性变化影响小,8月深槽有小幅冲刷;瑞丰沙滩顶稳定,瑞丰沙南侧在2月有一定程度冲刷,在8月淤积;南港主槽8月淤积,2月冲刷,南岸相对稳定。2003年以后,随着瑞丰沙中部串沟,瑞丰沙下沙体消亡,长兴水道下段逐渐从涨潮占优转为落潮占优^[6],对河槽容积季节性变化产生一定影响。A4断面位于南港中上段,2005年长兴水道深槽容积小幅动荡;瑞丰沙南侧5月冲刷,11月淤积;南港主槽11月深槽冲刷,河槽容积最大,5月深槽淤积,河槽容积最小。A7断面位于南港中部马家港上游附近,瑞丰沙串沟最严重的区域。2008年瑞丰沙串沟处基本稳定,长兴水道冲刷,深槽从-11.5m增至-13m;瑞丰沙沙顶高程已不足-5m,但年内瑞丰沙相对稳定;主槽深槽在11月有明显冲刷,容积增大,其他月份深槽容积变化幅度较小。瑞丰沙串沟冲刷下泄泥沙在沙嘴处落淤,2008年后,随着上游来沙量减少以及瑞丰沙下沙体冲刷殆尽,供沙不足导致落淤泥沙逐渐冲刷,2011年瑞丰沙沙嘴处断面A10深槽容积年内小幅震荡,主要以瑞丰沙顶及主槽深槽冲淤变化为主;由于人类各项工程导致长兴水道北岸稳定,南岸在5月、8月有小幅冲刷,深槽稳定。

3 南港河槽容积年际间变化特征

3.1 中潮位下河槽容积年际间变化特征

分析平均中潮水位下的南港河槽容积历年平均值可见,1997—2001年,中潮位下河槽容积小幅振荡,整体呈增长趋势。2001—2004年南港河槽容积稳定,增长幅度不明显,与人类无序采砂和瑞丰沙串沟密不可分;2005年出现骤增,由于人类采砂后河槽处于恢复期,加上瑞丰沙串沟处河势逐渐趋于稳定,中潮位下河槽容积从2004年12.9亿 m^3 增长到2005年13.4亿 m^3 ,2006年继续小幅增长。2007年河槽容积小幅减小,达13.4亿 m^3 ,主要由于三峡工程对上游来水来沙的影响;2007年之后,河槽容积保持平稳增长,增幅较小,2011年中潮位下河槽容积达13.5亿 m^3 。

3.2 5m以下深槽容积年际间变化特征

从年际变化看,1997—2000年5m以下河槽容积保持稳步增长趋势,2001—2003年明显减小,原因是人类无序采砂导致大量泥沙落淤深槽^[16-17],使得5m以下深槽容积发生变化,2004年开始恢复增大趋势。瑞丰沙串沟处河势逐步趋于稳定,2005年5m以下深槽容积增大幅度最大,之后稳步增大。2007年深槽容积不增不减,这与2007年上游来水来沙量骤减密不可分。至2011年5m以下容积达到最大,约6.9亿 m^3 。

3.3 南港不同河槽年际变化特征

南港河槽形态年际变化见图5。断面A1,长兴水道变化较大,北岸附近冲刷出一条新沟,深槽南移,长兴水道上段容积一直处于增大趋势。2000—2006年,由于上游新浏河沙包和新浏河沙大量冲刷下泄,底沙沿着瑞丰沙南侧淤积,而瑞丰沙沙顶南移有小幅冲刷;2006年以后,由于新浏河沙护滩工程以及中央沙圈围工程的实施^[18-19],上游下泄底沙减少,瑞丰沙南侧沙体出现大幅冲刷,瑞丰沙沙顶也出现冲刷,同时南港主槽的深槽明显偏北,南岸出现大幅淤积。

断面A4,1997—2007年长兴水道形态稳定,深槽一直淤积,淤积幅度约2m。2007—2011年长兴水道中上段出现同上段一致的两个深槽,但淤积减缓,这与涨潮槽转为落潮占优密不可分;瑞丰沙体较为稳定,瑞丰

沙沙顶高程基本不变;南港主槽逐年冲刷,但南港北侧沙体出现明显淤积,深槽南偏,南岸稳定。

断面 A7,1998 年瑞丰沙滩顶水深为 4 m,断面形态呈明显的“W”型。1999 年出现冲刷,到 2010 年,该断面滩顶水深增至 9 m 左右。1998 年至 2004 年长兴水道深槽和南港主槽的深槽部位同时出现明显淤积,断面形态已经向“U”型转化。从断面形态上看南港南岸淤积,深泓位置明显北移。2004—2011 年,南港深槽持续维持北偏的位置,而长兴水道一侧的水深基本稳定。

断面 A10,1998 年瑞丰沙滩顶水深为 2.5 m,水深一直持续到 2001 年,断面形态呈明显“W”型;2001—2007 年长兴水道大幅淤积,冲刷下泄泥沙落淤在沙嘴处所致;2008—2011 年长兴水道开始冲刷,最大水深保持在 17 m 左右,与上游来沙量减少,分流口护滩工程等息息相关。1997 年后,瑞丰沙体持续冲刷,并向北偏移,至 2010 年沙顶水深达 8 m,断面形态向“U”型转变。1997—2007 年南港主槽靠近南岸部分呈现明显淤积,最大水深从 1998 年近 15 m 至 2007 年已不足 11 m,2007—2011 年南港主槽略有冲刷,主泓北移,水深恢复至 14 m。

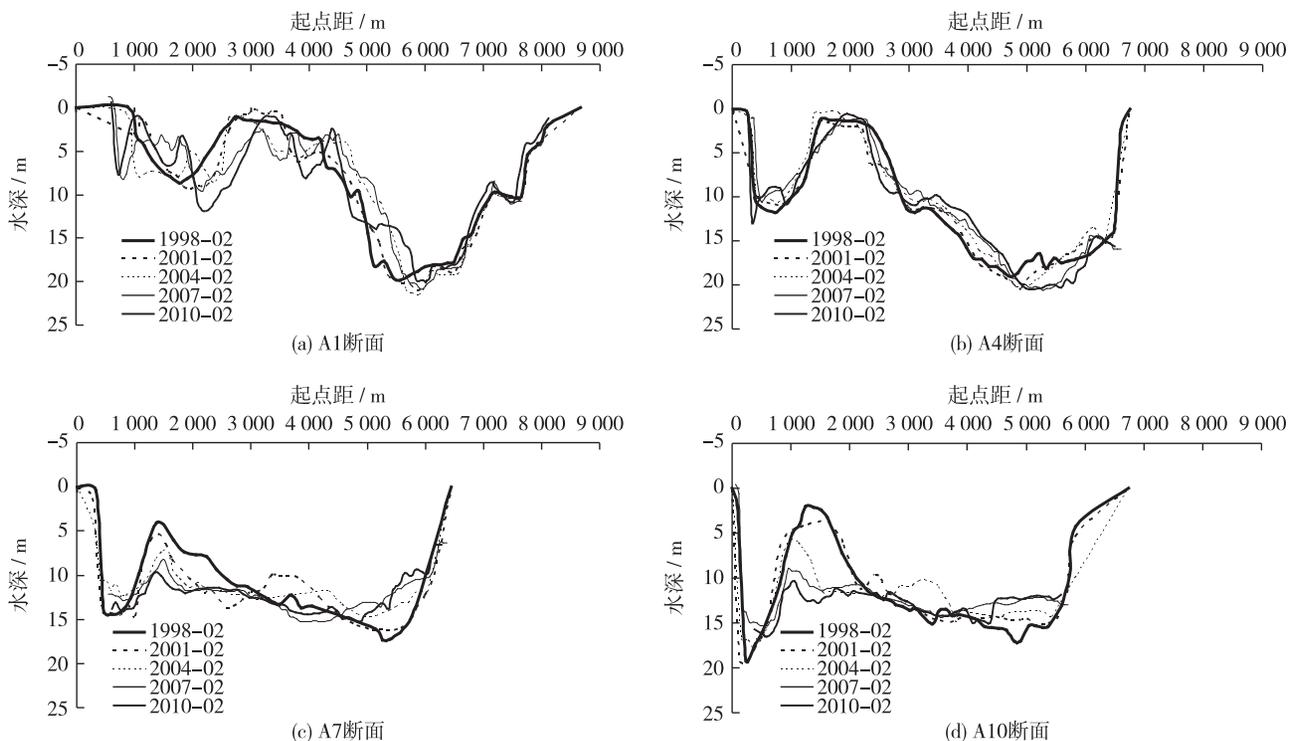


图5 南港河槽形态年际变化

Fig. 5 Interannual riverbed morphology variation of the south channel

4 南港河槽分区容积冲淤特征

本文中南港河段测量断面有 20 个,即 A1—A10',由于南港不同区域冲淤特性不同,整体冲淤变化不能直观地表现每个区域冲淤变化过程,故将 A1—A10'根据不同冲淤特征划分为 3 个分区,每一区域中各个断面都具有相同或相似的冲淤特性。A1—A6 分为一个区域,此河段为瑞丰沙中部串沟以上部分,瑞丰沙高大完整,河段较为稳定;A6—A9 断面分为一个区域,此河段为瑞丰沙串沟最为严重的区域,该段在马家港附近,冲淤幅度受瑞丰沙串沟及人类无序采砂影响变化剧烈;A9—A10'分为一个区域,接近瑞丰沙沙嘴,人类无序采砂导致冲刷下移的泥沙多数淤积于此,随后由于上游来水来沙条件改变,有一定程度冲刷,该河段也具有一定的代表性^[20]。

4.1 河槽分区冲淤变化特征

南港河槽分区冲淤变化统计见表1。2001年前,南港河道3个河槽分区都处于不同程度的冲刷状态,上段河槽长兴水道淤积,瑞丰沙南侧和南港主槽冲刷;中游、下游长兴水道不冲不淤,瑞丰沙冲刷严重,南港主槽淤积。从南北港分流口越往下游冲刷幅度越大,上游断面A6断面以上部分平均冲刷厚度0.1 m,沙嘴处(A9断面以下)平均冲刷0.3 m。

表1 南港分段河槽容积冲淤量及平均冲淤厚度

Tab.1 Variation of volumes and thickness of erosion (+) and deposition (-) of the south channel cross sections

年份	A1—A6		A6—A9		A9—A10'	
	河段中潮水位下平面面积 198 km ²		河段中潮水位下平面面积 40 km ²		河段中潮水位下平面面积 20 km ²	
	冲淤量/ 10 ⁶ m ³	平均冲淤 厚度/mm	冲淤量/ 10 ⁶ m ³	平均冲淤 厚度/mm	冲淤量/ 10 ⁶ m ³	平均冲淤 厚度/mm
1997—2001	+22.73	114	+10.00	250	+6.54	327
2001—2004	+10.34	52	+12.84	321	-2.72	136
2004—2006	+46.76	236	+21.28	532	-3.56	178
2006—2007	-6.45	33	-15.97	399	+7.15	358
2007—2011	+8.02	41	+4.33	108	+3.14	157

注:冲刷为“+”,淤积为“-”。

2001—2004年是人类无序采砂年份,A1—A6段基本保持不冲不淤,南北港分流口处长兴水道底面宽浅,小幅冲刷,瑞丰沙南侧淤积,南港主槽冲刷;而瑞丰沙中段冲刷剧烈,平均冲刷厚度超过0.3 m;长兴水道和南港主槽淤积,瑞丰沙体明显冲刷、萎缩;瑞丰沙嘴处小幅淤积,瑞丰沙体冲刷消亡,但南港深槽、长兴水道淤积幅度较大,主要是因为中上游采砂导致沙体松动,加上串沟冲刷下泄的泥沙,在瑞丰沙嘴处落淤所致。

2004—2006年,南港处于人类无序采砂后的恢复期,上段长兴水道深槽南移,略有淤积;瑞丰沙体冲刷,南侧淤积,南港主槽继续刷深。南港中段冲刷剧烈,平均冲刷厚度达0.5 m;长兴水道小幅冲刷,瑞丰沙体冲刷减缓,南港主槽南淤北冲,主泓北移。南港下段总体小幅淤积,长兴水道和南港主槽淤积,瑞丰沙体冲刷剧烈。2007年上游来水来沙量大幅减少,南港中上段明显淤积,瑞丰沙嘴处被冲刷。

2008年后,南港河槽变化逐渐趋于平缓,河槽容积小幅增大。上段长兴水道南侧冲刷,瑞丰沙顶高程稳定,南侧边坡冲刷,南港主槽北侧有明显淤积。中部串沟处,瑞丰沙冲刷幅度已经明显减小,长兴水道小幅冲刷,南港主槽向着宽浅发展。瑞丰沙中下段冲刷殆尽,长兴水道和南港主槽均有不同程度的小幅冲刷。各河段在3年内冲刷厚度约0.1 m。

4.2 滩、槽冲淤变化特征

南港分区冲淤变化反应河槽各段不同演变特征,对分段河槽浅滩、深槽分别进行统计分析,可以更加准确地分析南港河槽近期变化规律和发展趋势(见表2)。

表2 南港分段河槽容积滩、槽冲淤量统计

Tab.2 Variation of scouring (+) and silting (-) volumes on shoals and deep pools of the south channel

年份	A1—A6		A6—A9		A9—A10'	
	深槽冲淤量/ 10 ⁶ m ³	浅滩冲淤量/ 10 ⁶ m ³	深槽冲淤量/ 10 ⁶ m ³	浅滩冲淤量/ 10 ⁶ m ³	深槽冲淤量/ 10 ⁶ m ³	浅滩冲淤量/ 10 ⁶ m ³
	1997—2001	+17.95	+4.78	+8.02	+1.98	+2.00
2001—2004	-11.21	+21.55	+20.04	-7.20	-6.08	+3.36
2004—2006	-14.00	+60.76	+35.00	-13.72	+14.79	-18.35
2006—2007	-6.88	+0.43	-3.40	-12.57	+12.15	-5.00
2007—2011	+3.09	+4.93	+2.24	+2.09	+4.38	-1.24

注:“+”为冲,“-”为淤。

南港经过1998年大洪水后,进入冲刷期,全河段滩槽均有不同程度的冲刷,中上段以南港主槽深槽冲刷为主,长兴水道深槽小幅淤积。瑞丰沙嘴处浅滩冲刷较大,而南港主槽深槽淤积,5 m以深容积增长较小^[21]。

2001年后,人类无序采砂导致瑞丰沙体冲刷剧烈,浅滩大量泥沙落淤在深槽中,故南港上段长兴水道深槽和南港主槽深槽均被淤积,浅滩冲刷,河槽断面形态由“W”型向“U”型转变;而马家港附近瑞丰沙受人类无序采砂影响,串沟剧烈,大量泥沙冲刷,5 m等深线逐渐断开。虽然长兴水道和南港主槽深槽均大幅淤积,但5 m以深容积增大,浅滩有少量淤积^[16];中上段冲刷下泄的泥沙很大一部分在瑞丰沙嘴处落淤,造成沙嘴、长兴水道深槽和南港主槽深槽淤积,浅滩冲刷^[22]。

2004—2006年,南港上段冲刷最剧烈,长兴水道小幅淤积,主槽北侧淤,南侧冲,深槽总体小幅淤积,浅滩冲刷了 $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$;瑞丰沙中段串沟仍在继续发展,仅A6—A9段瑞丰沙冲刷下泄泥沙达 $0.3 \times 10^6 \text{ m}^3$,浅滩小幅淤积;瑞丰沙嘴处两槽的深槽仍以淤积为主,瑞丰沙体冲刷剧烈,5 m以深容积仍增大,浅滩淤积。2007年三峡蓄水后上游来水来沙减小^[14],南港全河段主槽深槽和长兴水道深槽均淤积,由于上段分流口护滩工程影响,上段浅滩容积变化不大,中段、下段浅滩淤积。

2008年后,南港进入发展期,全河段浅滩、深槽均有不同程度小幅冲刷,瑞丰沙已冲刷消亡,整个南港向着宽浅型河道发展^[23-24]。

5 结 语

本文根据长江口南港河段历史地形资料,分析了近年来南港河槽容积变化特征,重点通过季节性变化、年际变化分析南港中潮水位、5 m以深水水位河槽容积变化特征。

自1997年后,南港河槽容积逐年增大,遵循“洪冲枯淤”基本规律;2001—2004年,人类无序采砂以及瑞丰沙中部串沟,对南港河槽容积季节性变化影响深远;2004—2006年,季节性变化遵循“洪淤枯冲”规律。2007年后由于上游来水来沙条件改变,瑞丰沙冲刷殆尽,南港进入发展期,河槽容积遵循“洪冲枯淤”规律,但季节性变化减弱。从年际变化来看,瑞丰沙的发展、冲刷、消亡与南港河槽容积变化密不可分,1997—2001年南港整段主槽深槽、浅滩均处于冲刷状态,长兴水道深槽淤积;2001—2004年瑞丰沙采砂导致大量泥沙落淤于深槽,南港上段由于护滩工程使得浅滩稳定,两槽的深槽均被淤积;中段浅冲深淤;瑞丰沙沙嘴明显淤积;随着中下部瑞丰沙5 m等深线的消亡,瑞丰沙沙嘴处浅滩淤积减缓,5 m以下深槽容积继续扩大。2008年以后,南港河槽容积变化减缓,呈缓慢增大趋势,瑞丰沙中下沙体受冲刷后因供沙不足而难以恢复,使得南港逐步向宽浅型河槽发展。

参 考 文 献:

- [1] 段子冰, 王义刚. 长江口南港河床演变及南、北槽分流口稳定性分析[C]//中国海洋工程学会. 第十二届中国海岸工程学术讨论会论文集. 北京:海洋出版社, 2009: 122-126. (DUAN Zi-bing, WANG Yi-gang. Analysis of riverbed evolution of south channel in Yangtze estuary and the stability of north and south split[C]//China Ocean Engineering Society. Twelfth China Coastal Engineering Symposium Proceedings. Beijing: Ocean Press, 2009:122-126. (in Chinese))
- [2] 闫龙浩, 杨世伦, 李鹏, 等. 近期(2000—2008年)长江口南港河槽的冲淤变化——兼议外高桥新港区岸段强烈淤积的原因[J]. 海洋通报, 2010, 29(4): 378-384. (YAN Long-hao, YANG Shi-lun, LI Peng, et al. The change of the amount of accretion/erosion of the south channel at the Yangtze estuary from 2000 to 2008; moreover demonstrate the strong accretion in Waigaoqiao new harbor[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 378-384. (in Chinese))
- [3] 刘杰, 赵德招, 程海峰, 等. 长江口南港近期河床演变及南岸淤积原因分析[C]//中国海洋工程学会. 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京:海洋出版社, 2009:927-930. (LIU Jie, ZHAO De-zhao, CHENG Hai-feng, et al. The recent riverbed evolution of south channel in Yangtze estuary and analysis to sediment deposition in south shore[C]//China Ocean Engineering Society. The 14th China Ocean (shore) Project Symposium Proceedings. Beijing: Ocean Press, 2009: 927-

930. (in Chinese))
- [4] SAVENIJEH G H. Salinity and tides in alluvial estuaries [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2005: 27-28.
- [5] 罗小峰, 陈志昌, 路川藤, 等. 长江口南港河段近期潮流性质变化分析[C]//中国海洋工程学会. 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京:海洋出版社, 2009: 931-934. (LUO Xiao-feng, CHEN Zhi-chang, LU Chuan-teng, et al. Analysis of the recent tide nature in south channel of the Yangtze estuary[C]//China Ocean Engineering Society. The 14th China Ocean (Shore) Project Symposium Proceedings. Beijing: Ocean Press, 2009: 931-934. (in Chinese))
- [6] 李九发, 沈煊庭, 万新宁, 等. 长江河口涨潮槽泥沙运动规律[J]. 泥沙研究, 2004, 10(5): 34-40. (LI Jiu-fa, SHEN Huan-ting, WAN Xin-ning, et al. Sediment transport in flood channels of the Changjiang estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2004, 10(5): 34-40. (in Chinese))
- [7] 赵德招, 刘杰, 张俊勇, 等. 新形势下长江口泥沙资源的供需关系及优化配置初探[J]. 泥沙研究, 2011(6): 69-74. (ZHAO De-zhao, LIU Jie, ZHANG Jun-yong, et al. Primary investigation on supply-demand relationship and optimal allocation of sediment resources in Yangtze estuary under new situation[J]. Journal of Sediment Research, 2011(6): 69-74. (in Chinese))
- [8] LI Jiu-fa, SHI Wei-rong, SHEN Huan-ting. The bedload movement in Changjiang estuary[J]. China Ocean Engineering, 1993(4): 441-450.
- [9] HAN Z, JIN Y Q, YUN C X. Suspended sediment concentrations in the Yangtze River estuary retrieved from the CMODIS data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(19): 4329-4336.
- [10] 张国安, 虞志英, 何青, 等. 长江口深水航道治理一期工程前后泥沙运动特性初步分析[J]. 泥沙研究, 2003(6): 31-38. (ZHANG Guo-an, YU Zhi-ying, HE Qing, et al. Primary analysis on sediment motion before & after 1st phase engineering of the deep waterways in Changjiang estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2003(6): 31-38. (in Chinese))
- [11] 李茂田, 程和琴, 周丰年, 等. 长江河口南港采砂对河床稳定性的影响[J]. 海洋测绘, 2011, 31(1): 50-53. (LI Mao-tian, CHENG He-qin, ZHOU Feng-nian, et al. The effect of sand digging to bed from stability of the Nangang channel in the Changjiang River mouth[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2011, 31(1): 50-53. (in Chinese))
- [12] YANG S L, BELKIN I M, BELKINA A I. Delta response to decline in sediment supply from the Yangtze River: Evidence of the recent four decades and expectations for the next half-century[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 57: 689-699.
- [13] 李文正. 长江口南港瑞丰沙整治工程对周边河势的影响[J]. 水利水运工程学报, 2014(4): 87-92. (LI Wen-zheng. Analysis of impacts of Ruifengsha regulation works in south channel of Yangtze River estuary on surrounding river regime[J]. Hydro-Science and Engineering, 2014(4): 87-92. (in Chinese))
- [14] 张珍. 三峡工程对长江水位和水沙通量影响的定量估算[D]. 上海:华东师范大学, 2011. (ZHANG Zhen. The quantitative estimation of the impacts of the Yangtze River water level and the flux of water and sediment from Three Gorges project [D]. Shanghai: East China Normal University, 2011. (in Chinese))
- [15] 韩曾萃, 戴泽衡, 李光炳. 钱塘江河口治理开发[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003. (HAN Zeng-cui, DAI Ze-heng, LI Guang-bing. Qiantang River estuary management and development [M]. Beijing: China Water Power Press, 2003. (in Chinese))
- [16] 陈志昌, 罗小峰. 长江口南港及南北槽分汉口河床形态特征研究[J]. 水利水运工程学报, 2005(4): 1-5. (CHEN Zhi-chang, LUO Xiao-feng. Study on riverbed form of south channel and south-north-passage bifurcation in the Yangtze estuary[J]. Hydro-Science and Engineering, 2005(4): 1-5. (in Chinese))
- [17] 朱远, 罗小峰, 龚政. 瑞丰沙变迁对长江口南港河床特征影响[J]. 水运工程, 2014(8): 107-112. (ZHU Yuan, LUO Xiao-feng, GONG Zheng. Impact of Ruifengsha's changes on the riverbed characteristics at the south channel of the Yangtze River estuary[J]. Port & Waterway Engineering, 2014(8): 107-112. (in Chinese))
- [18] 李玉中, 陈沈良. 长江口瑞丰沙串沟成因分析[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2010(6): 1-11. (LI Yu-zhong, CHEN Shen-liang. Formation mechanism of Ruifeng shoal ditch in the Yangtze River estuary[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2010(6): 1-11. (in Chinese))
- [19] 郑文燕, 赵德招. 长江口南北港分汉口河段护滩限流工程效果分析[J]. 中国港湾建设, 2010(5): 10-14. (ZHENG Wen-yan, ZHAO De-zhao. Effect analysis of shoal protection and discharge control works of south and north channel bifurcation in Yangtze estuary[J]. China Harbour Engineering, 2010(5): 10-14. (in Chinese))
- [20] 刘猛, 李为华, 张宏伟. 长江口南港近年河势变化分析及对策研究[J]. 水运工程, 2013(4): 122-126. (LIU Meng, LI Wei-hua, ZHANG Hong-wei. Variation of river regime in south passage of the Yangtze estuary in recent years[J]. Port & Waterway Engineering, 2013(4): 122-126. (in Chinese))

- [21] 朱留正, 王义刚. 长江口南港河段外高桥新港区河床演变分析[C]//第七届全国海岸工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1993: 393-400. (ZHU Liu-zheng, WANG Yi-gang. Analysis of the riverbed evolution in new Waigaoqiao port of south channel[C]//The 7th China Ocean (Shore) Project Symposium Proceedings. Beijing: China Ocean Press, 1993: 393-400. (in Chinese))
- [22] 郭建强, 茅志昌. 长江口瑞丰沙嘴演变分析[J]. 海洋湖沼通报, 2008(1): 17-24. (GUO Jian-qiang, MAO Zhi-chang. Analysis of the revolution of Ruifengshan spit in Yangtze estuary[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008(1): 17-24. (in Chinese))
- [23] 窦希萍, 陈西庆, 严以新. 三峡水库水沙调节对长江口的影响浅析[C]//第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 2011: 1182-1185. (DOU Xi-ping, CHEN Xi-qing, YAN Yi-xin. Analysis of the impacts on the Yangtze estuary from Three Gorges reservoir[C]//The 15th China Ocean (Shore) Project Symposium Proceedings. Beijing: China Ocean Press, 2011: 1182-1185. (in Chinese))
- [24] ZHANG J, ZHANG Z F, LIU S M. Human impacts on the large world rivers: Would the Changjiang (Yangtze River) be an illustration[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(4): 1099-1105.

Characteristics analysis of changes in scouring and silting volumes of south channel of Yangtze estuary

ZHU Yuan¹, LUO Xiao-feng²

(1. Shanghai Water Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200061, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Based on the historical bathymetry data of the south channel of the Yangtze River estuary, and the water depth of the fixed cross-sections four times every year from 1997 to 2011, the process of changes in the volumes of the overall and sub-regional south channel is analyzed in this study. The paper focuses on the characteristics analysis of the tide and changes in the volumes along 5 m deep river channel. The analysis results show that: (1) from 2001 to 2004, the Ruifeng shoal ditch and the human disorder sand-digging on the sand ridge of the south channel brought about a remarkable change in the river channel's volumes while the deep channel of both Changxing waterway and the main channel of the south channel were in a deposition period; from 2001 to 2007, the south channel the alternate deposition and erosion in the flood season and non-flood season. After 2008, the south channel presented the alternate erosion and deposition in the flood season and non-flood season. This situation also occurred before 2001. However, this seasonal variation weakened after 2008. (2) There is a long-term increase in the riverbed volumes of the south channel. The deposition continued to exist in 2008 as the ebb tide was dominant, instead of the flood tide dominant, in the Ruifeng shoal ditch and Changxing waterway, starting from 2001. There was deposition in the north and erosion in the south at the upper section of the main channel of the south channel, and the south section of the middle-lower reach was scoured, with its thalweg moving to the north. But the erosion of Ruifeng shoal resulted in a trend of increasing in the south channel volumes. Since 2008, the river channel has been in a period of development. (3) There is a slight deposition along the deep channel and an erosion along the shoal, and there is a great amount of sediment, carried by flow from the ditches on the middle section, accumulating along the lower Ruifeng sand spit. The fact is found that the Ruifeng sand spit has been eroded severely since the operation of the Three Gorges project.

Key words: Yangtze River estuary; the south channel; river channel volume; erosion and deposition