



长江口近期潮汐特征值变化及其原因分析*

付 桂

(交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要: 利用长江口沿程11个潮位站的潮位数据, 统计分析1996—2011年各站年平均高潮位、年平均低潮位和年平均海面, 得出长江口海域近期的潮汐特征值变化, 分析相关影响因素, 探讨长江口近期潮汐特征变化的原因。结果表明: 1996年以来, 各潮位站的平均海平面略有抬升, 但变化幅度不大; 流域来水变化对河口潮汐特征值变化影响不大; 从长期看, 全球气候变暖对海平面变化有一定影响, 但短期内的影响不大; 短期内, 主要受到长江口地区近年来各类涉水工程建设的影响, 具体表现为: 平均高潮位下降、平均低潮位上升、潮差减小, 涨潮历时缩短、落潮历时延长, 年最低低潮位上升等。长江口不同河段因受径流、潮流、工程建设等因素的影响程度不同, 其潮位特征值沿程的变化特点也不同, 需要在河口工程设计、防洪减灾与河口治理等方面引起重视。

关键词: 长江口; 潮汐; 特征值; 影响分析

中图分类号: TV 131

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0061-09

Recent change of tidal characteristics in the Yangtze estuary

FU Gui

(Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China)

Abstract: According to data from 11 tidal stations of the Yangtze estuary, this paper analyzes the mean high tide, mean low tide and mean sea level of each station from 1996 to 2011, and finds the recent change of tidal characteristics in the Yangtze estuary, analyzes related factors, discusses the reasons of recent changes of tidal characteristics in the Yangtze estuary. The results show that the mean sea level of each tidal station rises a little bit. The basin's runoff change seems no influence on the estuarine tidal characteristic value. Global warming has some effect on the mean sea level change in the long term, but it has little impact in the short term. It is affected by the engineering construction of the Yangtze estuary in recent years, which shows that the mean high tide level is going down, the average low tide is rising, the tidal range is decreasing, the flood time is shortened, the ebb time is extended, and the annual lowest tide is rising. The Yangtze estuary is influenced by the runoff, tidal current and engineering construction, and the tide's characteristic value changes along the way are also different, so we should pay more attention to the estuarine engineering design, flood control and river estuary management, etc.

Key words: the Yangtze estuary; tide; characteristic value; impact analysis

潮汐与生活和生产有着密切的关系。在航运方面, 可控制船舶航行和进出港时间; 在军事方面, 可选择有利的登陆地点和时间; 在生产方

面, 沿海的渔业、水产养殖业、农业、盐业、资源开发、港口工程建设、测量、环境保护和潮汐发电等, 都要掌握潮汐变化的规律。

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 国家自然科学基金项目(41306085); 上海市科学技术委员会科研计划项目(12231203103); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201301020); 长江科学院开放研究基金(CKWV2012304/KY); 交通运输部科技项目(2011328A0670); 交通运输部科技项目(2012329A06040)

作者简介: 付桂(1981—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事河口海岸工程泥沙研究。

近年来随着上游三峡工程等水利工程的建设和流域水土保持工作的开展，长江口流域的来水来沙条件发生了一定的变化；近期长江口区域的长江口深水航道治理工程、中央沙、青草沙水源地、横沙东滩促淤圈围工程、南汇东滩圈围工程等一系列大型涉水工程的建设及长江口自然河势的变化，使得长江口的河床形态、各汉道径、潮流动力分布等边界条件等也发生了一定的变化。在上游径流量、长江口边界变化的条件下，长江口的潮汐特性有所改变，系统的了解潮汐特征的变化会对长江口深水航道的维护及水利部门的防洪排涝有所帮助。因此，有必要系统收集近年来的长江口各潮位站潮位资料，分析其潮汐变化特征，可为长江口工程设计、防洪减灾与河口治理等方面作参考依据。

1 资料来源和研究方法

为了分析长江口潮汐特征值变化，本文系统

收集长江口各潮位站的历史观测资料，潮位资料年限从1996年1月到2011年12月，共计16年（192个月）。为了满足长江口地区海道测量的需要，满足上海港今后发展的需要，满足该水域潮汐预报的需要，本文确定的研究范围为西至徐六泾，东至绿华山，北至连兴港，南至芦潮港、大戢山、马迹山一带，最终选择了11个潮位站（图1）进行统计分析。潮位资料因分属不同管理单位，采用的高程系统也不尽相同，所以需要仔细校核、修正各潮位站的高程基面，订正各潮位站的历史潮位资料。

利用长江口沿程的石洞口、吴淞、南门、长兴、横沙、北槽中、中浚、牛皮礁、鸡骨礁、南槽东、绿化11个潮位站修正后的潮位数据（基准面全部统一到上海吴淞基面），统计分析1996—2011年各站年平均高潮位、年平均低潮位和年平均海面，得出长江口近期的潮汐特征变化，最后对相关的影响因素进行了分析，深入探讨长江口潮汐特征变化的原因。

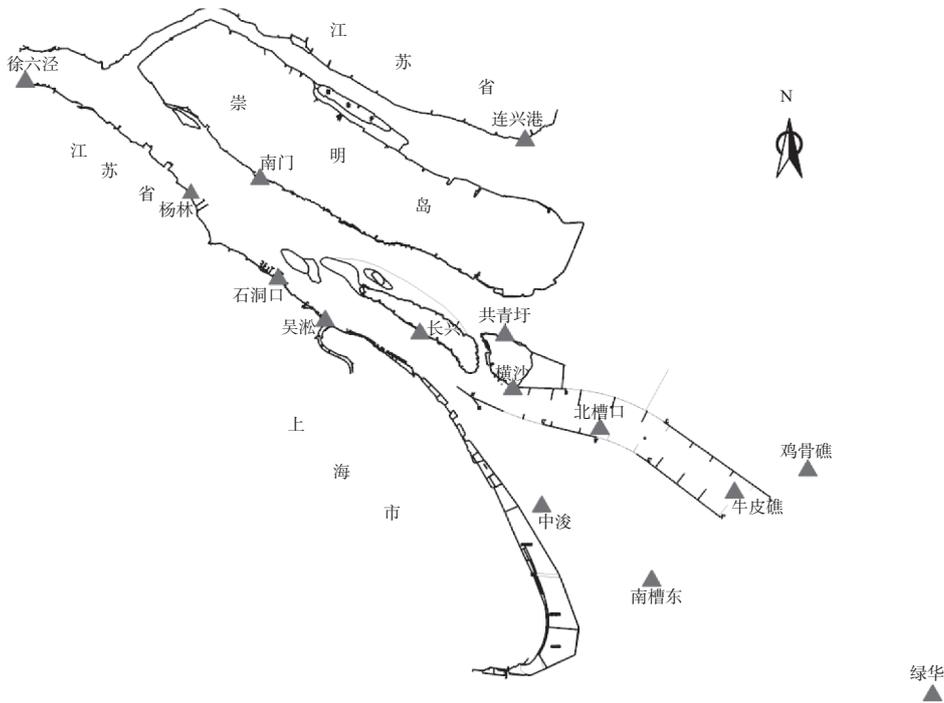


图1 长江口潮位站位置示意

2 结果与分析

2.1 年平均高、低潮位变化

通过对长江口11个潮位站潮位数据的统计，得出各站年平均高、低潮位，从图2可以看出：

1) 1998、1999年各站的年平均高潮位、年平

均低潮位均出现大幅升高，主要原因可认为系受到长江特大洪水的影响。

2) 从1996年至2011年，各站年平均高潮位，石洞口、吴淞、南门、长兴总体呈一下降趋势；绿华、鸡骨礁、北槽中、中浚呈小幅波动状态；

各站在2010年均存在上翘拐头现象,反映了潮汐本身的年变化特征;2005年后,北槽中、中浚、牛皮礁、南槽东呈缓慢上升趋势,与槽外的绿华站一致,同样反映了潮汐本身的年变化。

3) 从1996年至2011年,各站年平均低潮位,石洞口、吴淞、南门、绿华呈小幅波动状态;长兴、横沙、北槽中、中浚总体呈明显上升趋势;鸡骨礁、南槽东较稳定,2005年后,也存在与年平均高潮位类似的潮汐本身的年变化现象。

4) 总体上,长江口深水航道工程上游区域的年平均高潮位有所降低、年平均低潮位有所抬升,变化幅度一般小于10 cm,反映了潮波传播过程中,因阻力增加落潮时上游壅水,涨潮时下游壅水的基本事实。

2.2 年平均海面变化

通过对长江口11个潮位站潮位数据的统计,得出各站年平均海面。从图3^[1]可以看出:

1) 从1996年至2011年,石洞口、南门呈小幅下降趋势;绿华、南槽东、鸡骨礁、牛皮礁、吴淞呈小幅波动;中浚、北槽中、横沙、长兴小幅上升。

2) 1998、1999年各站的年平均海面大幅上升的主要原因可认为系受到长江特大洪水的影响。

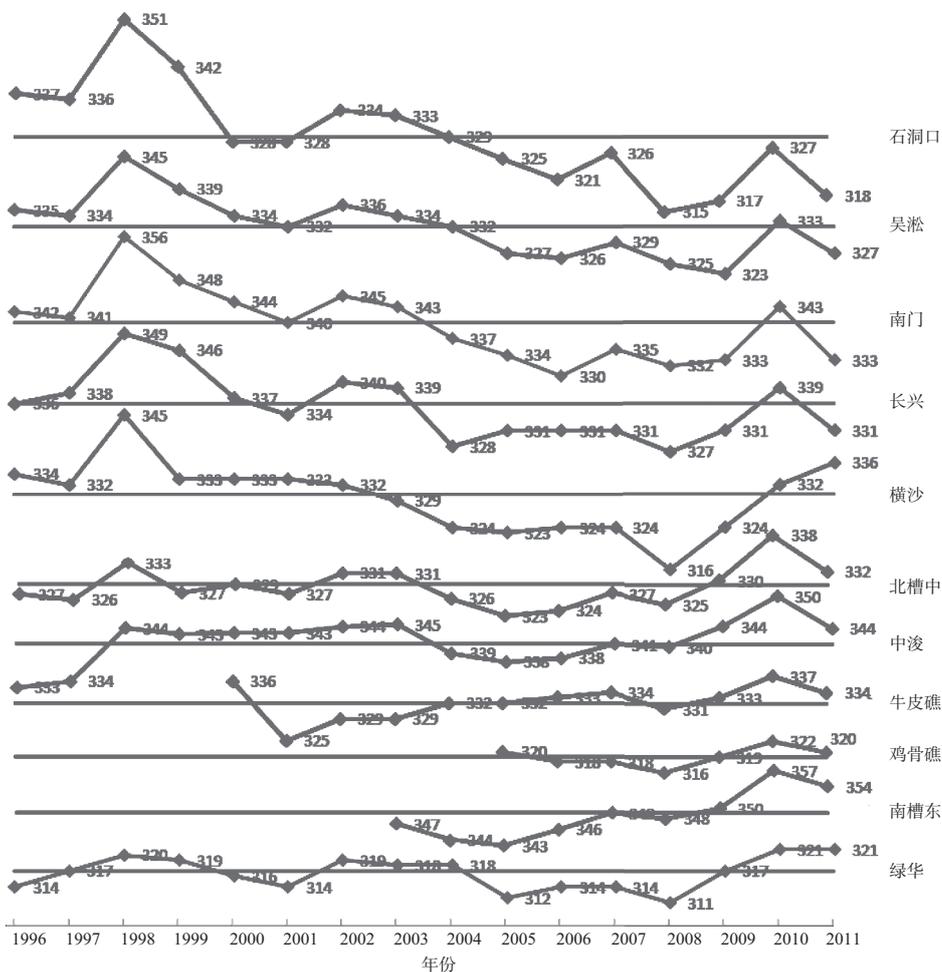
3) 从总体上看,1996年以来长江口平均海面略有上升(一般小于5 cm),变化幅度不大,与长期变化趋势一致。

3 长江口潮位特征值变化原因探讨

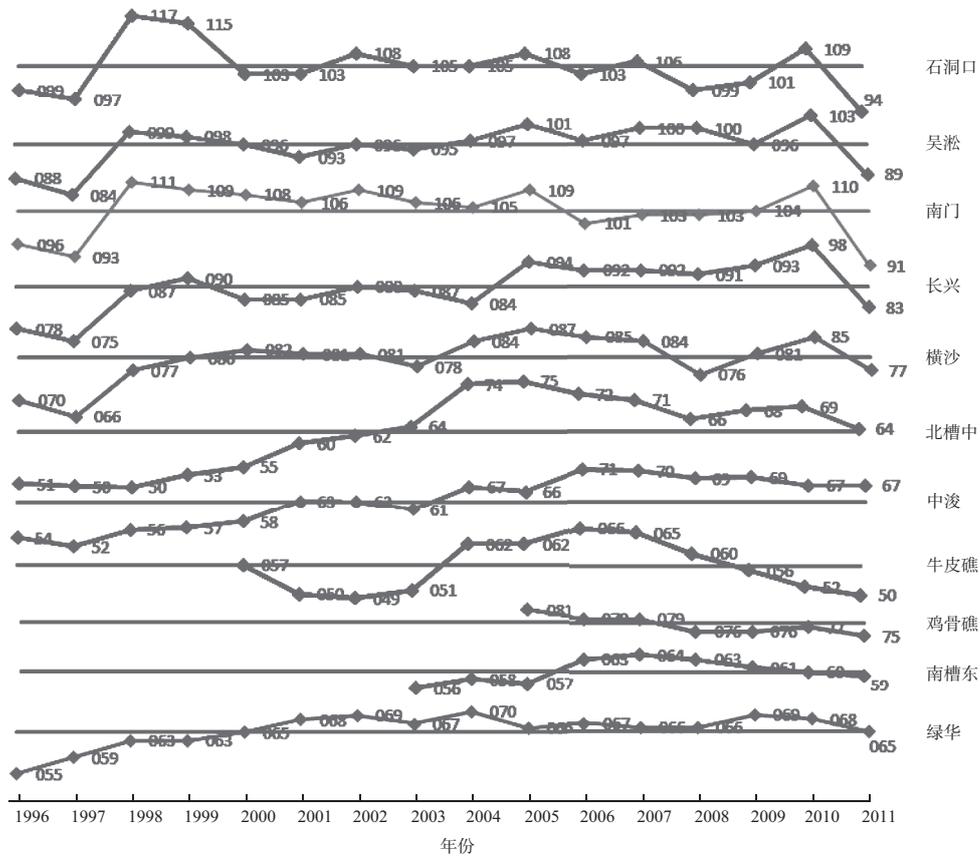
3.1 近年来流域来水来沙变化对长江口潮汐特征变化的影响分析

3.1.1 长江流域来水来沙量变化特征

长江口是一个丰水、多沙、中等潮汐强度的分汊河口,上至安徽大通(枯季潮区界),下至水下三角洲前缘(30~50 m等深线),全长约700多km。



a) 年平均高潮



b) 年平均低潮

图2 各站年平均高、低潮位变化^[1] (单位: cm)

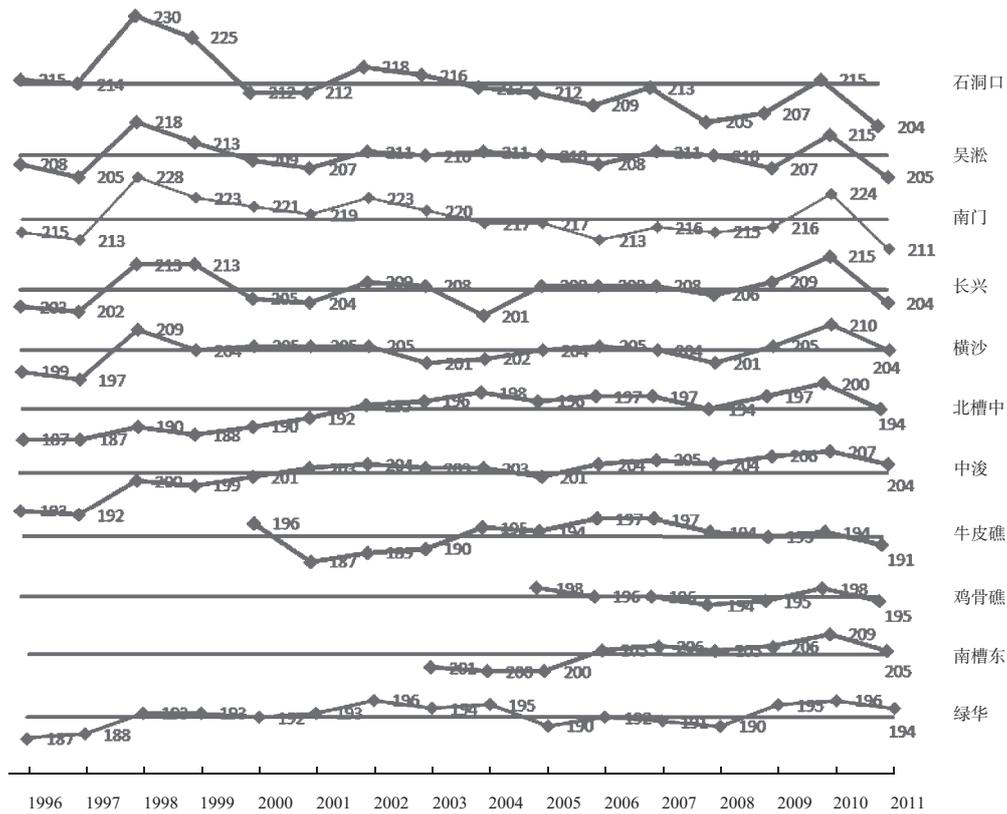


图3 各站年平均海面变化 (单位: cm)

河口分成3个区段，大通至江阴（洪季潮流界），长约400 km。大通水文站是长江下游最后一个干流流量控制站，距长江口门约624 km，位于长江感潮河段最上端，控制流域面积占长江流域总面积的95%，是长江入海水沙的参考站，其水沙特性的变化对下游河口的水流运动、泥沙输移、咸淡水混合的时空分布、河床演变等有着重要的影响。随着三峡工程等大型水利工程建设，流域水土保持工作的开展，流域来水来沙条件发生了明显的变化。通过对收集的大通站历年水沙数据分析，可以得出：

1) 长江流域年来水量没有发生趋势性变化；2003年后三峡水库发挥调蓄作用，来水量年内分配呈现洪季径流量减少，枯季径流量增加的特征。

从20世纪50年代以来，大通站多年平均径流量为8 927亿m³，变化相对比较平稳。从图4可以看出：1950—1985年平均年径流量为8 969亿m³，1986—2002年平均年径流量为9 229亿m³，2003—2011年平均年径流量为8 193亿m³。

从图5和图6可以看出：洪季5—10月径流量所占比例由1950—1985年71.8%下降至1986—2002年、2003—2011年的71.3%和68.7%；枯季径流量所占的比例相应增加。蓄水后2003—2011年7月份月平均径流量比蓄水前1986—2002年下降了20.2%；枯季2月份月平均径流量增加了11.3%。

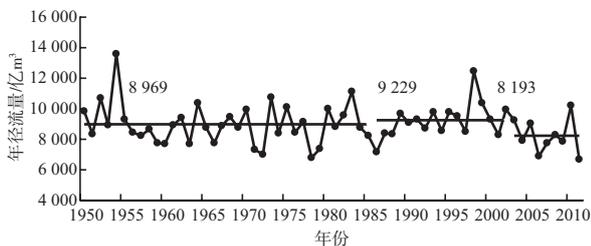


图4 1950—2011年大通站年径流量过程

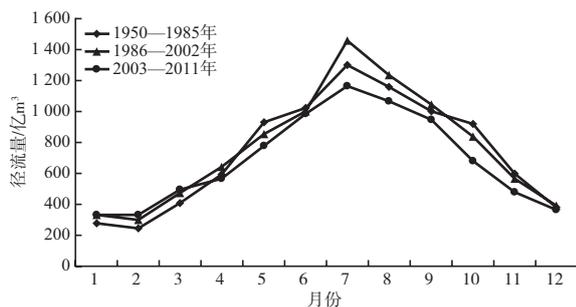


图5 大通站月径流量年内变化

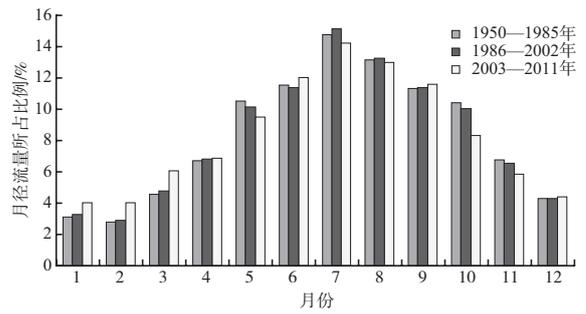


图6 三峡水库蓄水前后大通站月径流量所占比例变化过程

2) 1986年以来长江流域来沙量发生大幅减少，2003年三峡水库蓄水后，来沙量进一步减小，来沙量的年内分配相应发生变化。

从图7可以看出：大通站多年平均输沙量为3.85亿t（1951—2011年），自20世纪80年代中叶开始输沙量就呈减小趋势。1951—1985年平均年输沙量为4.70亿t，1986—2002年平均年输沙量为3.40亿t，2003—2011年平均年输沙量为1.43亿t。

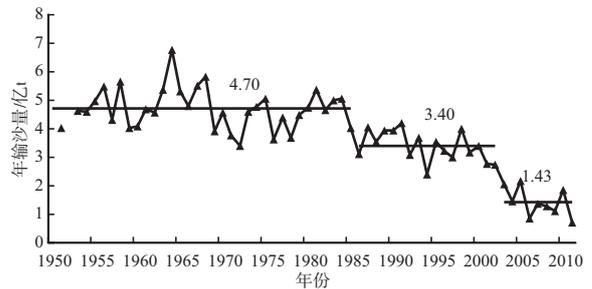


图7 1951—2011年大通站年输沙量变化过程

从图8和图9可以看出：来沙量的年内分配有所调整，洪季5—10月输沙量所占比例由1950—1985年88.4%下降至1986—2002年、2003—2011年的87.8%和80.8%；枯季输沙量所占的比例相应增加。蓄水后洪季输沙量明显减少，2003—2011年

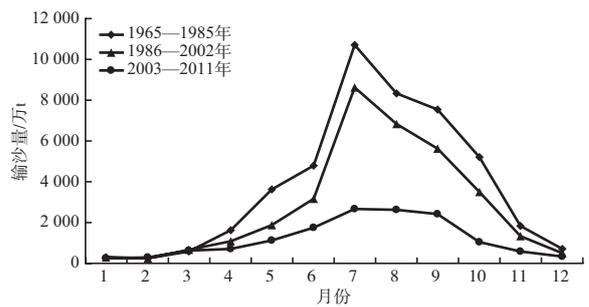


图8 1951—2011年大通站年输沙量变化过程

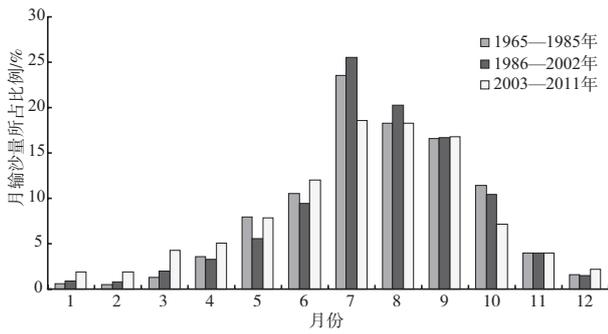


图9 大通站月均输沙量所占比例变化过程

7月份月平均输沙量比蓄水前1986—2002年下降了69.0%；枯季2月份月平均输沙量增加了7.0%。

3.1.2 流域来水来沙变化对潮位特征变化影响分析

长江流域来水量变化主要表现在季节分布上，三峡水库发挥作用，使洪季流量减小，枯季流量增大。通过数模研究在外海潮差、地形、周边工程等边界条件不变的前提下，长江流域来水量与长江口各汊道涨落潮动力的关系表现为：来水量越大，长江口落潮量越大、落潮动力越强、落潮历时越长、高低潮位越高，但整体幅度不大，且变幅从徐六泾向口门递减；涨潮动力反之。

近年来长江流域年来水量没有发生趋势性变化，所以流域来水变化对长江口潮位特征变化影响不大。长江流域输沙量的减少会对长江河口含沙量场和地形变化产生影响，对潮汐特征的影响主要体现在地形变化上。

3.2 近年来长江口水域主要涉水工程建设对长江口潮汐特征变化的影响分析

3.2.1 近年来长江口水域主要涉水工程的建设情况

长江口两岸为冲积平原，历史上河道两岸无天然节点控制。近百年来，为防御水害在两岸陆续修筑的海塘工程以及因经济发展需要实施的两岸边滩圈围工程、码头工程等，形成了多处较稳定的岸段，起到了束水导流、稳定河势的作用；特别是1958年徐六泾人工节点的形成对河势起到了较好的控制作用。

近期（主要指1998年以来），随着我国经济的高速发展，对河口地区的开发强度迅速增大，长江口水域实施了大量涉水工程，河道岸线边界条件的人工控制作用越来越强。主要涉水工程建设情况见图10。已建涉水工程^[2]主要包括长江口深水航道治理工程、新浏河沙护滩及南沙头通道潜堤工程、中央沙圈围及青草沙水源工程、促淤圈围与吹填工程、港口码头工程、桥梁工程、人工采砂活动等。其中促淤圈围工程包括：徐六泾河段北岸围垦工程、东风西沙圈围工程、常熟边滩圈围、横沙东滩促淤圈围工程、南汇嘴人工半岛、长兴岛北沿滩涂促淤圈围工程、浦东机场外侧促淤圈围工程。人工采砂包括瑞丰沙采砂及白茆沙采砂等。这些人类活动对河口河势及水沙变化等均产生了明显影响。

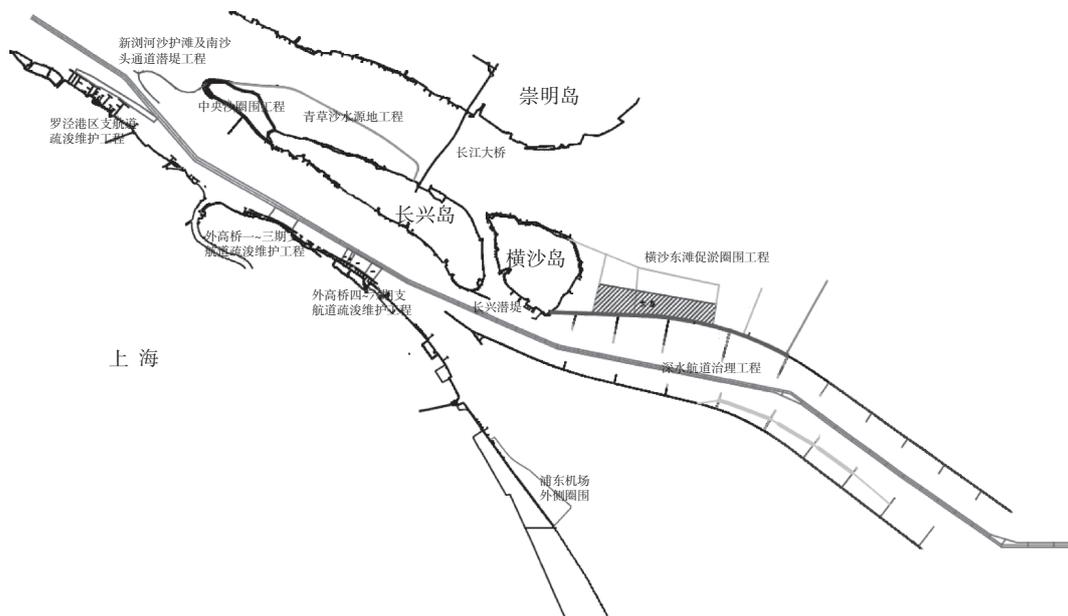


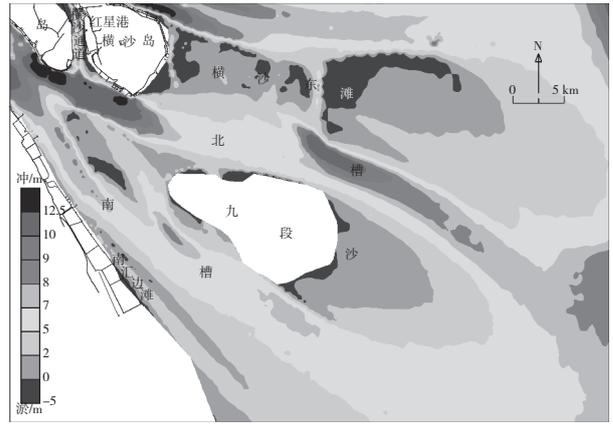
图10 近期长江口主要涉水工程布置

3.2.2 近年来长江口主要涉水工程建设对潮位特征变化影响分析

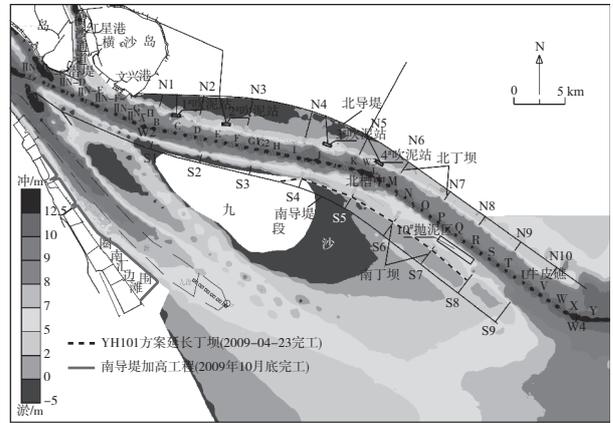
对长江口潮汐特征影响较大的工程主要包括长江口深水航道治理工程、南汇东滩促淤圈围工程、横沙东滩促淤圈围工程、中央沙圈围工程、青草沙水库、新浏河沙护滩工程等大型涉水工程，上述工程对长江口边界条件改变较为明显，对潮汐特征影响较大，特别是深水航道治理二期工程北槽下段导堤、丁坝的建设，将引起北槽内潮汐特性的明显变化。

随着北槽内长江口深水航道治理工程整治建筑物工程的建设，北槽内地形发生明显的变化，主要表现为坝田区淤积、南北丁坝之间的主槽冲刷（图11），北槽河段河床总阻力增大、河床容积减少（图12），引起北槽涨潮流及相应的纳潮量的有所减少，使得工程上游河段沿程高潮位有所减低，而落潮阻力的增大，则抬高了工程区域及上游河段的低潮位。

南汇东滩圈围工程对长江口影响的主要范围主要为邻近工程区域的南槽分流口到南槽口门之间的区段，离工程较远的北槽、南港、九段沙、杭州湾、洋山港等水域影响均微小。对长江口潮



a) 1997年12月北槽水下地形图（工程前）



b) 2010年8月北槽水下地形图（工程后）

图11 1997年12月、2010年8月北槽水下地形示意图

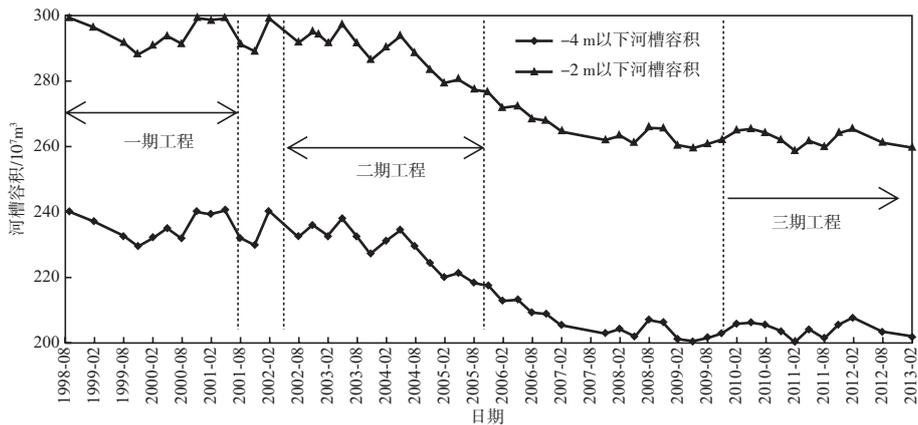


图12 1998年以来北槽-2 m，-4 m以下河槽容积变化（扣除350 m航槽区域）

汐影响主要体现在整个南北槽高潮位有所减小，南槽中段及南港至南槽上段低潮位稍有增加。

长江口涉水工程建设对潮汐特征的影响较为明显。涉水建筑物会增大相应河槽的阻力，下游水位涨潮时外海水位抬升，落潮时上游有所抬升，潮差减小，而平均海平面则变化不大；同时因阻力增大、总涨潮量减小，涨潮历时会有所减

小，而落潮历时相应增加。

3.3 近年来长江口主要河势变化对长江口潮汐特征变化的影响分析

3.3.1 近年来长江口主要河势变化情况

1) 河势演变总体特征。

近年来长江口总体河势基本稳定，而且长江口大规模的人工工程对稳定长江口河势起到了重

要作用，近十年来没有发生大的切滩和新沙洲生成，长江口“三级分汊、四口入海”的总体格局

将稳定存在。

从图13可以看出，各河槽河势状况总体如

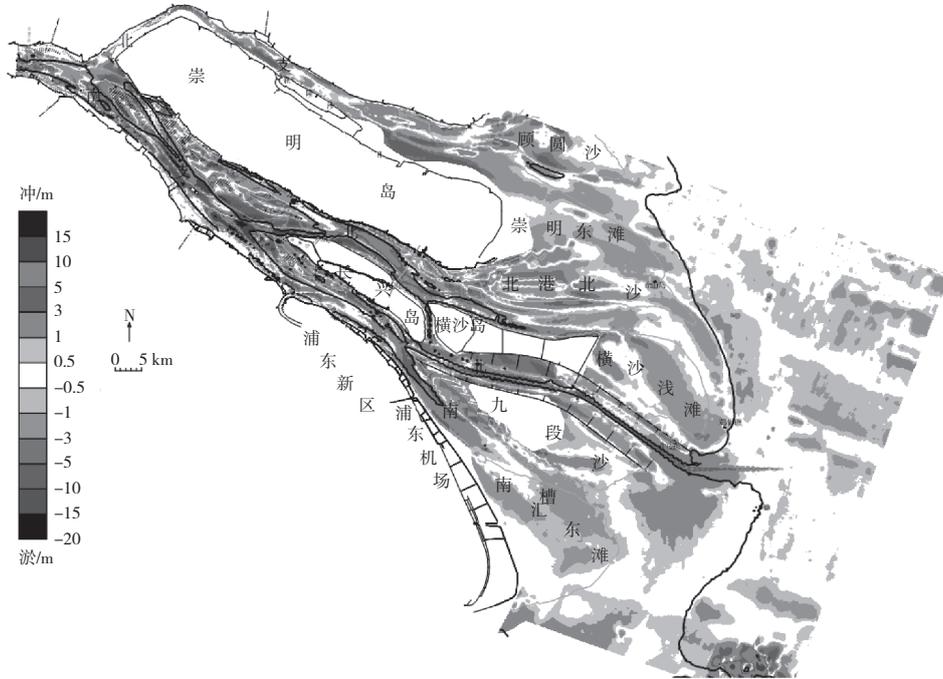


图13 1997—2010年长江口河势冲淤变化

下：南支河段主槽深泓位置基本稳定，主槽向东拓宽，中下段深槽有所淤浅；南港河段瑞丰沙下沙体基本消失，中下段河槽向宽浅型发展，深泓相应有所北偏；北港上段水深优良，主槽微弯程度有所加剧，下段拦门沙水深较浅，近期仍以淤积为主；北槽处于长江口深水航道治理工程的影响范围内，坝田淤积、深槽冲刷，12.5 m航槽已经贯通；南槽上段及口门段冲刷、水深增大，拦门沙缩短淤浅；北支水深条件相对较差，但深泓稳定性加强，河槽仍在束窄。

2) 流域来水来沙影响。

近年来，长江来水量变化不大，来沙量持续减少较为明显，流域水沙变化对长江口河势的影响主要体现在供沙不足引起的河势变化。

南支影响相对明显，主要体现在河槽容积扩大、江心沙洲冲刷缩小，主槽拓宽、中下段深槽淤积等。但南支主槽主体部分尚稳定，也未发育形成新的沙洲。

南北港区域河势变化更多地是由于受上游河

势影响及南北港分流口区域相关工程的作用，仅由流域来沙的减少所产生的影响尚不明显。

拦门沙河段受其特殊水沙环境的影响，流域来沙的变化尚未显现在地形变化上，其中北槽及南槽河槽容积的扩大更多地是来自长江口深水航道治理工程、南汇东滩促淤圈围等周边涉水工程的影响。

在口外，长江下泄泥沙的减少，使得水下三角洲部分区域呈现出由淤积转为冲刷的特征。

3.3.2 近年来长江口主要河势变化对潮位特征变化的影响分析

近年来长江口河势变化较为显著的是长江口口外拦门沙区段，崇明东滩、横沙浅滩，九段沙及南汇东滩均有所淤积。地形变化对潮位变化的影响和增大阻力的性质基本一致：涨潮时下游壅水，落潮时上游壅水。即在拦门沙淤积的影响下，高潮位口内南北支、南北港、南北槽河段均有所降低；低潮位在口内均有所抬升。

总体上，近年来河势变化主要包括自然条件

变化、工程引起的河势变化等。工程引起的河势变化间接对北槽潮位特征产生了影响, 改变了纯工程影响下的高低潮位分布。

3.4 全球气候变化及地面沉降等对长江口潮汐特征值变化影响的初步分析

3.4.1 全球气候变暖导致海平面上升

近100多年来, 全球平均气温经历了冷—暖—冷—暖两次波动, 总的看为上升趋势。进入20世纪80年代后, 全球气温明显上升。

1981—1990年全球平均气温比100年前上升了0.48℃。导致全球变暖的主要原因是人类在近一个世纪以来大量使用矿物燃料(如煤、石油等), 排放出大量的CO₂等多种温室气体。由于这些温室气体对来自太阳辐射的可见光具有高度的透过性, 而对地球反射出来的长波辐射具有高度的吸收性, 也就是常说的“温室效应”, 导致全球气候变暖。

全球气候变暖, 导致海洋水体温度升高, 水体膨胀, 水位上升, 从而海平面上升。1980—2011年, 中国沿海气温和海温均呈上升趋势, 升温速率分别为0.04℃/a和0.02℃/a; 气压呈下降趋势, 变化速率为-0.03 hPa/a。同期, 中国沿海平均海平面上升速率为2.7 mm/a^[3]。

3.4.2 上海地面沉降导致的海平面相对上升

上海是建立在长江口三角洲冲积平原上, 由于其地基土松散, 在其上层受荷载后, 就会压缩沉陷。此外上海市过度开采地下水也引起地面沉降。自1921年发现地面沉降以来, 最严重地方已经累计下沉3 m, 原来的外滩是一片缓缓的滩地, 如今已筑起了高达2.3 m的挡槽墙。20世纪80年代采取限采地下水, 适当采用回灌和回填等措施后, 沉降速度明显变缓, 目前上海市区的地面沉降速度控制在每年6 mm以内^[4]。在上海地区观测的潮位, 由于地面的沉降, 就显示出潮位的相对上升。目前, 通过定期校核, 沿岸区域的潮位值已经考虑了局部区域地面沉降的影响。但长江口

水域目前尚缺乏足够的观测数据来分析地面沉降对平均海平面的影响。

4 结论

1) 1996年以来, 各潮位站的平均海平面略有抬升, 但变化幅度不大, 一般小于5 cm;

2) 流域来水变化对河口潮汐特征值变化影响不大;

3) 从长期看, 全球气候变暖对海平面变化有一定影响, 但短期内的影响不大; 上海局部区域地面沉降值已在潮位资料中得到定期订正, 而上海地面沉降导致长江口区域海平面的相对上升尚需进一步积累资料分析。

4) 短期内, 主要受到长江口地区近年来各类涉水工程建设的影响, 一些潮位站特别是南支、南港和北槽区域一些站的潮汐特征值发生了一定变化, 具体表现在: 平均高潮位下降、平均低潮位上升、潮差减小, 涨潮历时缩短、落潮历时延长, 年最低低潮位上升等。

5) 长江口不同河段因受径流、潮流、工程建设等因素的影响程度不同, 其潮位特征值沿程的变化特点也不同, 需要在河口工程设计、防洪减灾与河口治理等方面引起重视。

参考文献:

- [1] 上海海事局海测大队. 长江口深度基准面的变化与应用研究报告[R]. 上海: 上海海事局海测大队, 2013.
- [2] 交通运输部长江口航道管理局. 长江口深水航道治理工程项目自我总结评价报告[R]. 上海: 交通运输部长江口航道管理局, 2011.
- [3] 国家海洋局. 中国海平面公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2011.
- [4] 刘杜娟, 叶银灿. 长江三角洲地区的相对海平面上升与地面沉降[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(4): 400-404.

(本文编辑 郭雪珍)