

瓯江河口潮汐特征变化及其原因分析^{*1}

张伯虎 潘冬子 胡成飞

(浙江省水利河口研究院浙江省河口海岸重点实验室, 浙江杭州 310020)

【摘要】：利用瓯江河口沿程 4 个长期潮位站的监测数据，结合潮流数学模型，计算分析 1960 ~ 2014 年各站年均高、低潮位，年均涨落潮历时特征值，得出瓯江河口近 54 a 来潮汐特征变化过程，分析相关影响因素，探讨河口潮汐特征变化原因。结果表明：瓯江河口下游的龙湾站多年来潮汐特征尚无明显趋势性变化；河口中上游的温州、梅岙和花岩头站趋势性变化明显且变化规律基本一致，整体表现为高潮位上升、低潮位下降、潮差增大，涨潮历时延长、落潮历时缩短的特征，时空格局上，上游站位潮汐特征变幅大于下游站位，低潮位变幅大于高潮位变幅。原因分析表明，流域来水对河口潮汐特征的影响不明显；堤线调整和围垦工程等人类活动主要引起工程局部河段潮位变化；河口高强度的采砂活动应是温州、梅岙、花岩头站潮汐特征变化的主因。瓯江河口不同河段因受径流、潮流、人类活动等因素的影响程度不同，其潮位特征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予以关注。

【关键词】：潮汐；特征变化；原因；河口；瓯江

【中图分类号】：TV148 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227(2017)11-1857-08

DOI: 10. 11870 /cjlyzyyhj201711014

潮汐与生活和生产有着密切的关系，河口的渔业、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。瓯江位于浙江省南部，是浙江省第二大江，流域面积 18 000 km²，河口地区城市化程度高，人口密集，经济发达，以河口为纽带的人类高强度经济活动赋予流域环境的压力将对河口三角洲及其邻近海域的环境产生深刻的影响^[1]。多年来，瓯江河口采砂、岸线开发、滩涂圈围等人类活动不断加强，河床形态和水文情势发生显著变化，尽管前人对瓯江河口水文历史演变规律做过很多分析工作，亦取得丰富的研究成果，但对河口潮汐特征长历时的变化过程缺乏系统的总结和分析^[2~5]。本文以实测资料为基础，结合潮流数学模型计算，系统分析和探讨河口潮汐变化过程及其主要影响因素，对河口工程设计、防洪减灾与河口后续的治理开发等方面具有重要的现实意义。

1 河口概况与资料来源

瓯江自温溪以下河段受潮汐影响，进入河口地区，梅岙以下河性从山溪性河流转变成平原冲积性河口，在受构造断裂和沿

¹ 收稿日期：2017-01-16； 修回日期：2017-04-13

基金项目：水利部公益性行业科研专项“浙江滩涂资源利用与保护关键技术研究”(201401010) [Governmental Public Industry Research Special Funds for Projects (201401010)]；浙江省水利科技计划项目“杭州湾表层悬浮泥沙时空变化的遥感反演与分析”(RC1630) [Zhejiang Water Conservancy Science and Technology Program (RC1630)]

作者简介：张伯虎(1984 ~)，男，工程师，硕士，主要从事河口海岸水沙运动及数值模拟研究。E-mail: zhangbohu@aliyun.com

江分布的山体基岩控制下，江道以三级汉道形式流入温州湾(图 1)。根据水动力和地形特征，河口区分为河流段、过渡段、潮流段和口外海滨段。温溪至梅岙为河流段，长 25 km，河床系径流塑造而成；梅岙至龙湾为过渡段，长 38 km，河床展宽，水流分汊，滩多水浅，径流、潮流作用相互消长；龙湾至黄华为潮流段，长 15 km，江面宽阔，又受龙湾咀、磐石等矾头制约形成稳定分汊河型；口外海滨段，长 25 km，位于口门以东，河床成形不明显，属温州湾浅区，外侧有洞头列岛为屏障，拦门沙发育，海底地形相对稳定。

瓯江河口长期潮位站自上而下主要有花岩头、梅岙、温州与龙湾站，位置见图 1。为分析河口潮汐特征变化过程，本文系统统计和分析各站年平均高潮位、年平均低潮位和年均涨落潮历时等特征值。瓯江河口潮汐为半日潮，一天有 2 个高潮位和 2 个低潮位，年平均高潮位、年平均低潮位为各年份每天中高潮位、低低潮位的平均值。其中温州站和龙湾站数据系列从 1960 ~ 2014 年，共计 54 a；梅岙站于 1995 年后停测，数据系列 1960 ~ 1995 年；花岩头站于 2000 年后停测，由于 1999 年和 2000 年数据异常，采用该站 1960 ~ 1998 年的数据系列资料。上述潮位数据均统一至 1985 国家高程基准，此外，由于梅岙和花岩头站数据系列相对较短，两站现状潮汐特征数据主要通过二维潮流数学模型计算得到，具体内容详见下文，不再赘述。

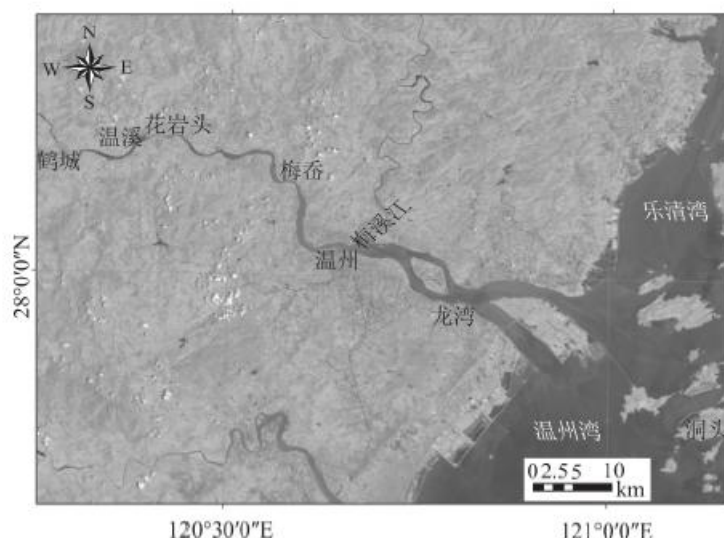


图 1 瓯江河口形势和潮位站位置图

Fig. 1 Study Area and Monitoring for Hydrodynamics

2 潮汐特征的变化

瓯江河口 4 个潮位站 1960 年以来各年代潮汐特征值变化过程示于图 2 和表 1。具体如下：(1)龙湾站 1960 ~ 2014 年的近 54a 来潮汐特征值尚未出现明显的趋势性变化，数据显示，该站 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、本世纪前 10 a 以及 2011 ~ 2014 年，年均高潮位分别为 2.55、2.59、2.52、2.65、2.66 和 2.64 m，年代间较稳定；年均低潮位分别为 -1.94、-1.96、-1.96、-1.86、-1.84 和 -2.07 m，近几年低潮位略有降低，但就长历时而言，相对仍较稳定；年均涨潮历时分别为 5.45、5.44、5.43、5.20 和 5.54 h，年均落潮历时分别为 6.98、6.98、6.96、7.02 和 6.89 h。(2)温州、梅岙和花岩头站变化规律基本一致，整体表现为高潮位上升、低潮位下降、潮差增大，涨潮历时延长、落潮历时缩短的特征。具体数据上，温州站 80 年代以前高潮位较稳定，80 年代以来有趋势性抬高，现状年均高潮位较之 80 年代抬升 0.24 m；年均低潮位 70 年代以来有趋势性降低，现状年均低潮位较之 80 年代降低 0.51 m；现状年均涨潮历时较之 80 年代延长 0.51 h，落潮历时较之 80 年代缩短 0.51 h。梅岙站 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代以及 90 年代（仅统计 1991 ~ 1995 年），年均高潮位分别为 2.58、2.61、2.68 和 2.75 m，60 年代至 90 年代趋势性抬高，幅度 0.17 m；

年均低潮位分别为- 0. 62、- 0. 55、- 0. 79 和-0. 93 m, 70 年代以来有趋势性降低, 幅度 0. 38 m; 年均涨潮历时分别为 4. 39、4. 36、4. 49 和 4. 62 h, 年均落潮历时分别为 8. 03、8. 06、7. 93 和 7. 80 h。花岩头站 20 世纪 60 年代、70 年代、80 年代以及 90 年代(仅统计 1991 ~ 1998 年), 年均高潮位分别为 2. 89、2. 95、3. 05 和 3. 14 m, 60 年代至 90 年代有趋势性抬高, 幅度 0. 25 m; 年均低潮位分别为- 0. 25、- 0. 31、-0. 37 和- 0. 76 m, 60 年代至 90 年代趋势性降低, 幅度 0. 51 m; 年均涨潮历时分别为 3. 91、3. 96、3. 91 和 4. 22 h, 年均落潮历时分别为 8. 50、8. 47、8. 52 和 8. 20 h。

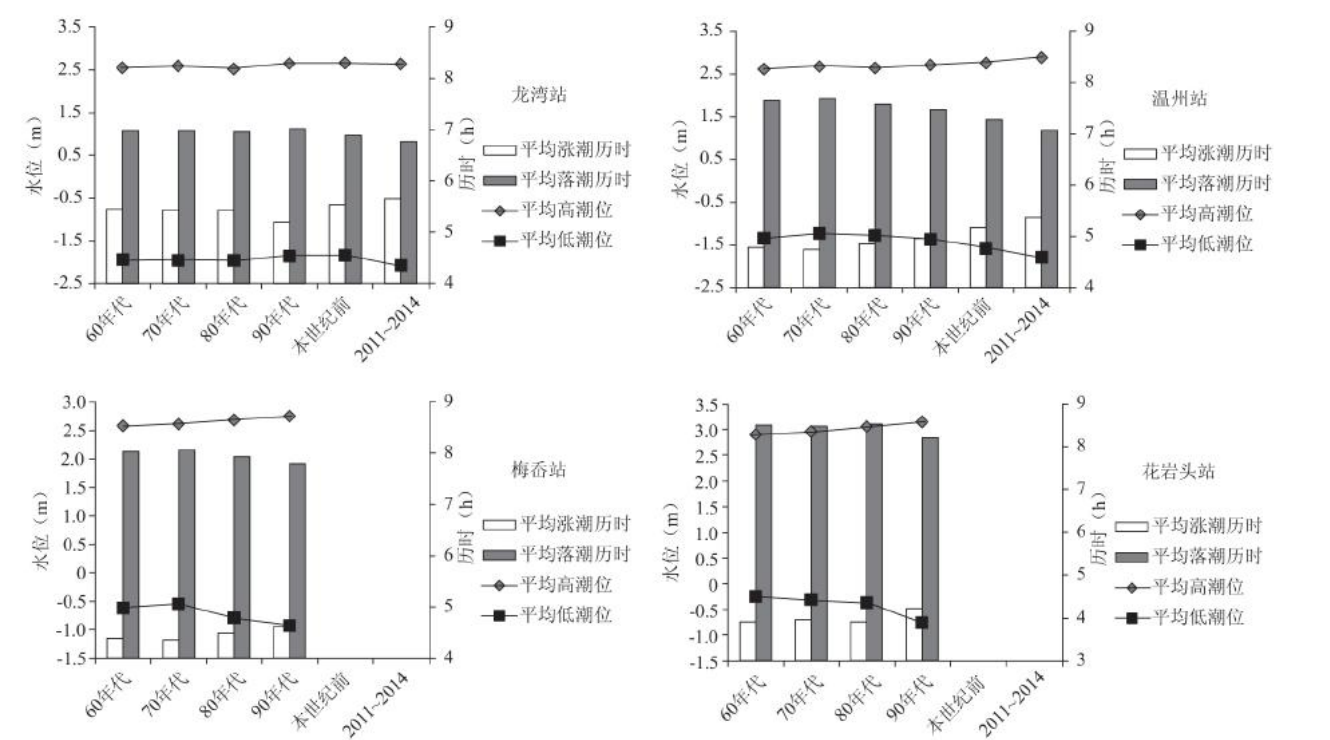


图 2 1960~2014 年各年代潮汐特征值变化过程
Fig. 2 Variation of Tide Characteristic in 1960-2014

表 1 1960~ 2014 年各年代潮汐特征值

征值 水文	平均高潮位 (m)				平均低潮位 (m)				平均涨潮历时 (h)				平均落潮历时 (h)			
	龙湾	温州	梅岙	花岩头	龙湾	温州	梅岙	花岩头	龙湾	温州	梅岙	花岩头	龙湾	温州	梅岙	花岩头
60 年代	2.55	2.60	2.58	2.89	-1.94	-1.35	-0.62	-0.25	5.45	4.78	4.39	3.91	6.98	7.64	8.03	8.50
70 年代	2.59	2.66	2.61	2.95	-1.96	-1.24	-0.55	-0.31	5.44	4.74	4.36	3.96	6.98	7.68	8.06	8.47
80 年代	2.52	2.63	2.68	3.05	-1.96	-1.29	-0.79	-0.37	5.43	4.85	4.49	3.91	6.96	7.57	7.93	8.52
90 年代	2.65	2.70	2.75	3.14	-1.86	-1.38	-0.93	-0.76	5.20	4.95	4.62	4.22	7.02	7.47	7.80	8.20
本世纪前 10 a	2.66	2.74	/	/	-1.84	-1.59	/	/	5.54	5.16	/	/	6.89	7.27	/	/
2011~2014 年	2.64	2.87	/	/	-2.07	-1.8	/	/	5.65	5.36	/	/	6.77	7.06	/	/

备注:梅岙站和花岩头站 90 年代数据分别仅统计 1991~ 1995 年、1991~ 1998 年, 两站本世纪以来数据未有实测数据。

由于梅岙和花岩头站数据系列相对较短，通过搭建平面二维潮流数学模型瓯江河口水流数学模型计算现状年均潮位特征。模型范围见图 3，模型上游开边界分别选在瓯江的三溪口电站和楠溪江的上塘，下游开边界设在瓯江河口黄华断面，瓯江主河道计算长度约 83 km。全域共有 14 169 个网格节点，25 654 个网格单元，上游河道断面最窄处的网格 4 个以上，大部分断面有 8 个以上，最小网格步长约 10 m，计算步长 3S。上游开边界采用实测流量控制，下游开边界由潮位控制。通过龙湾长系列实测潮位资料统计分析得到频率 50% 保证率的中潮潮差为 4.7 m，在此基础上，用大范围的东中国海模型计算，筛选与频率 50% 的中潮潮差对应的潮型作为平均水文工况下口门开边界。作者以及所在的课题组利用多年实测的潮位、流速和流向资料已作了大量的验证^[2~5]，限于篇幅，本文仅给出了 2013 年 8 月水文测验期间驮滩、江南、梅岙和温州 4 个测站的潮位过程验证(图 4)，水位误差控制在 5% 以内，表明模型采用的参数基本合理，计算方法可靠，能够模拟感潮河段潮波运动特性。

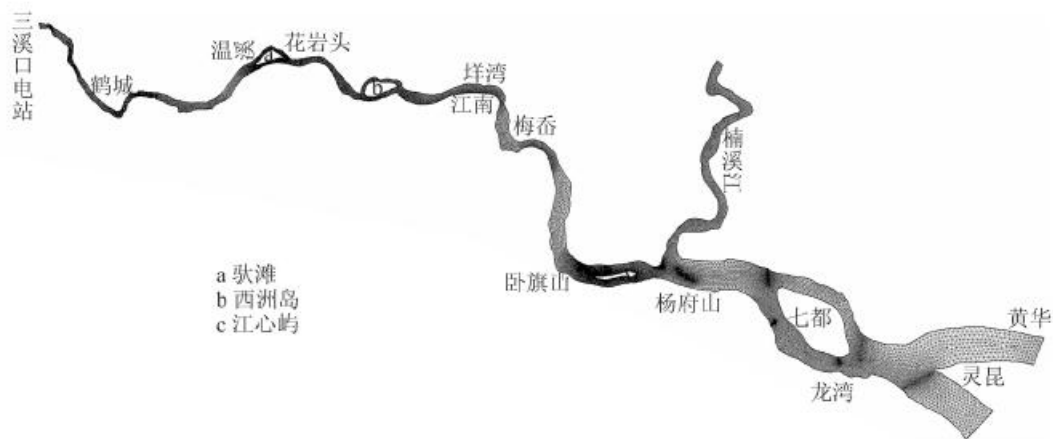


图 3 数模计算范围和网格布置
Fig. 3 Sketch Map of Mesh

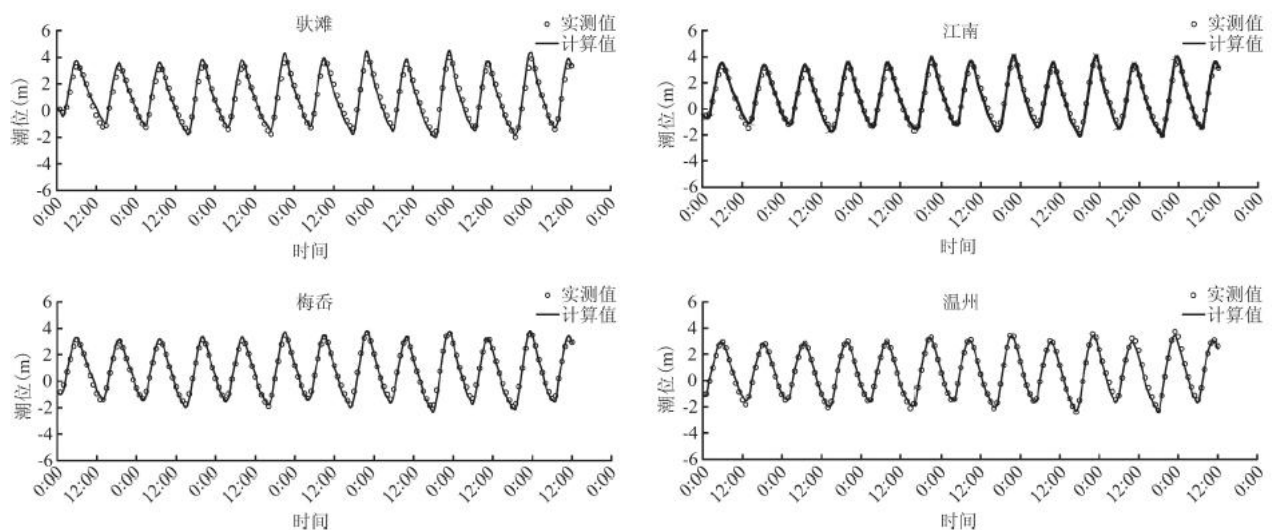


图 4 部分站点潮位验证
Fig. 4 Verifications of Tidal Level at Some Gauge Station

图 5 为采用 2013 年地形数据，在现状平均水文工况下二维潮流数学模型计算的河口高低潮位沿程变化，可表征现状年均

潮位特征,从图可见,高潮位自下而上沿程逐步抬升,符合河口水文变化一般规律,而低潮位沿程变化趋势较差,一定程度上体现了低潮位变化的复杂性。表 2 为数学模型计算现状潮位误差统计,从表可见,温州和龙湾站的高低潮位与实测值基本一致,体现计算结果可信。数据显示,梅岙站和花岩头站 2013 年年均高潮位分别为 2.93 和 3.28 m,年均低潮位分别为- 1.66 和 - 1.76 m。经比较,梅岙站现状高潮位较之 80 年代的 2.68 m 抬高 0.25 m,现状低潮位较之 80 年代的- 0.79 m 降低 0.87 m; 花岩头站现状高潮位较之 80 年代的 3.05 m 抬高 0.23 m,现状低潮位较之 80 年代的-0.37 m 降低 1.39 m,变幅剧烈。时空格局上,上游站位潮汐特征变幅大于下游站位,低潮位变幅大于高潮位变幅。

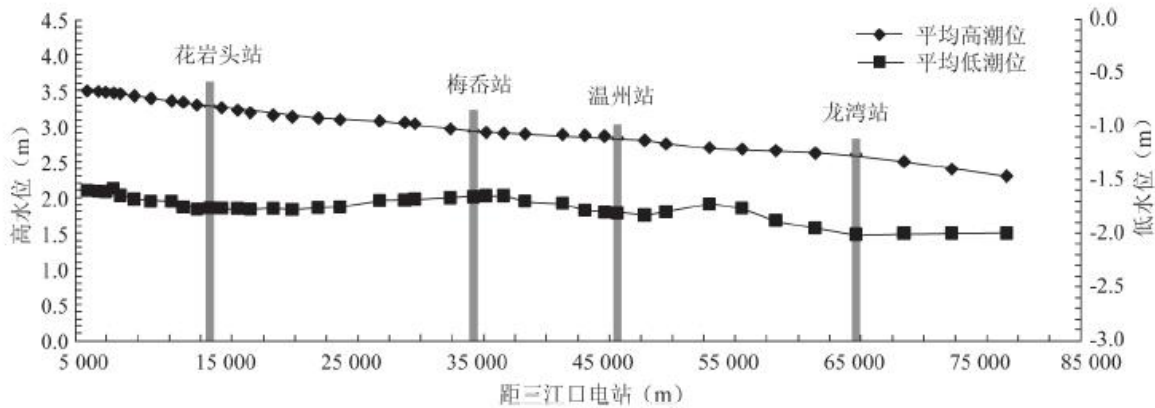


图 5 数学模型计算现状潮位线

Fig. 5 Computed Tidal Level along the Oujiang River

表 2 数学模型计算现状潮位误差统计 (m)

特征值	年均高潮位			年均低潮位		
	实测值	模型计算值	误差	实测值	模型计算值	误差
龙湾站	2.64	2.60	0.04	-2.07	-2.01	0.06
温州站	2.87	2.83	0.04	-1.80	-1.81	0.01
梅岙站	/	2.93	/	/	-1.66	/
花岩头站	/	3.28	/	/	-1.76	/

3 瓯江河口潮位特征值变化原因探讨

3. 1 流域来水变化对河口潮汐特征的影响分析

鹤城(圩仁)水文站是瓯江干流的控制站,集水面积 13 500 km²,控制流域面积 75%,基本能反映瓯江干流水情变化的一般规律。该站于 1947 年建于圩仁,1999 年上迁至青田,2001 年又上移至鹤城,两站相距约 7 km,集水面积大致相当。从鹤城(圩仁)水文站 1954 ~ 2014 年年均流量数据可见(图 6),近 60 a 鹤城站年径流量未有明显趋势性变化,多年平均径流量 443 m³/s,多年平均年径流量总量 140 亿 m³,各年份径流量主要围绕多年平均值上下波动,存在丰、枯水年相互转换的态势。相关研究表明,降水量的变化是径流量变化的主控因子^[6]。多年来瓯江流域年径流量未发生趋势性变化,对瓯江河口潮位特征变化影响不大。

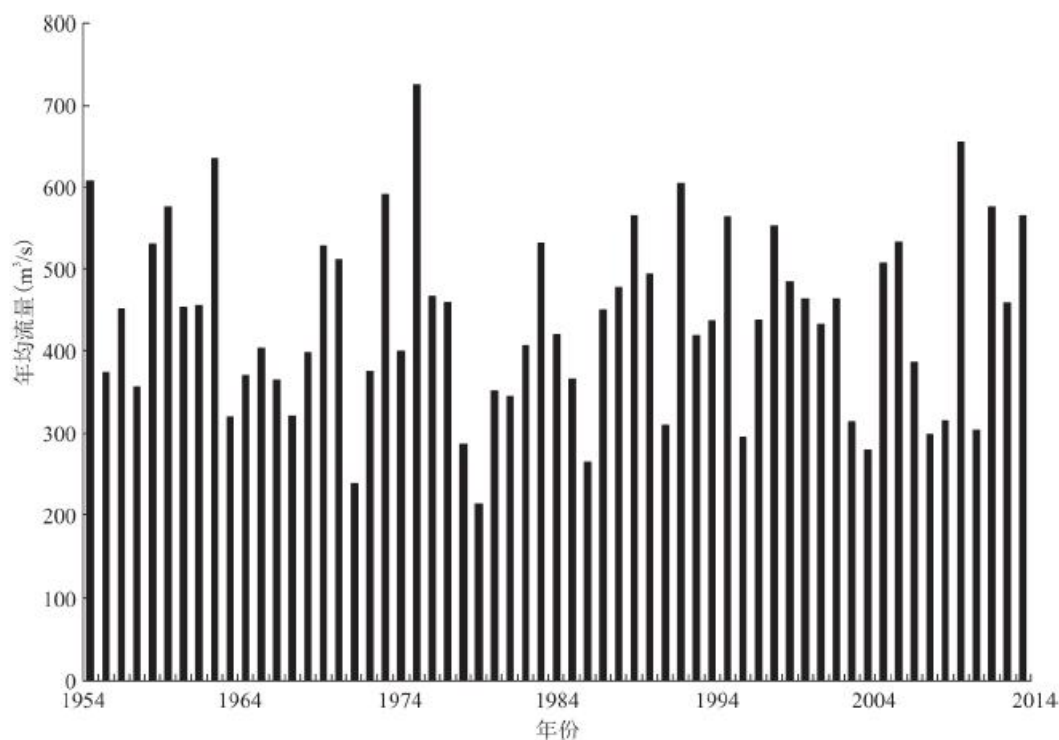


图6 鹤城(圩仁)站多年平均流量变化过程

Fig. 6 Variation of Average Annual Discharge at Hecheng Gauge Station

建国以来,瓯江流域兴建了较多的水库和水电站,其中1988年、1989年建成的紧水滩、石塘水库为两座最大的梯级电站水库,集水面积分别为2 761和3 234 km²,总库容分别为13.93亿m³和0.83亿m³,2009支流小溪建成滩坑水库^[7]。从紧水滩、石塘水库蓄水前后的入海流量季节变化来看(图7),梅汛4月、5月是水库蓄水的主要时段,入海流量显著减小;夏季7月、8月和冬季12月、1月的流量明显增加,其他月份的变化不大。因此,紧水滩、石塘水库的建成和运行,对瓯江入海径流起到了明显的调节作用,使得枯水期和干旱期的流量有所增加,水沙通量年内分配趋于均匀化,蓄峰调洪作用显著,但年度总水量变化不大,不应是多年来年均潮汐特征趋势性变化的主因。

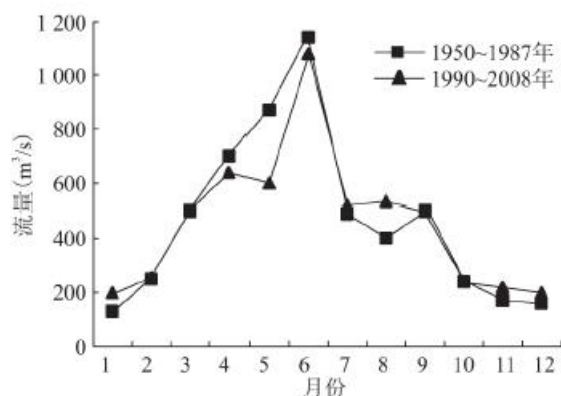


图7 水库蓄水前后多年月均流量变化(据文献7改绘)

Fig. 7 Variation of Average Monthly Discharges after Reservoir Built in the Oujiang River^[7]

3. 2 河口主要涉水工程建设对潮位特征变化的影响分析

建国以来,为防御水害在河口梅岙以下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。本世纪以来,梅岙至黄华河段两岸又相继建设了江滨路防洪堤三期工程、四期工程、永嘉瓯北西段防洪堤工程、七都环岛防洪堤等工程。堤防建设主要依据《瓯江河口综合规划(2005—2020)》中的江堤控制线,河口江堤控制线顺应河势、因势利导,兼顾上、下游堤线衔接平顺,对局部较宽河段进行适当外移,总体保持河段自然的弯曲河势,利于行洪和滩槽的相对稳定。江堤控制线专题研究表明^[2],江堤控制线实施到位后,河口洪水水位抬高约0.05 m,且主要分布在堤线调整的局部河段,不存在累积性影响,对整个河口区水位和河势影响较小。

目前主要的在建和规划的涉水工程为口门的温州浅滩工程和瓯飞围垦工程(图8)。温州浅滩是瓯江口规模最大,发育最完善的拦门沙滩,位于灵昆岛与霓屿岛之间。温州浅滩工程是沿浅滩南北两侧建两条连接灵昆和霓屿的海上大堤,将浅滩人工围垦变为陆地。一期工程由长15.52 km的灵昆北堤以及5.27 km的北围堤与5.22 km长的南围堤之间的围涂组成。二期工程包括北堤加高工程、整个南堤工程以及整个南、北堤之间的剩余围涂工程。灵昆北堤2006年3月竣工,浅滩一期工程的围堤目前已合拢,二期工程正在建设中。瓯飞围垦工程位于瓯江与飞云江的浅海及滩涂区域,一期围垦工程规划面积8 853.33 hm²,未来的二期工程,围垦出近2×10⁴ hm²土地,按照实施计划、工期安排及年度投资计划,是国内迄今为止规模最大的单体围垦项目。

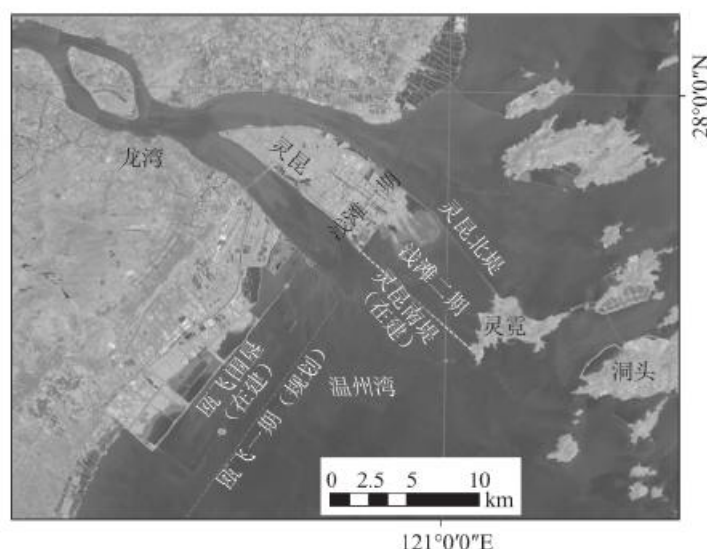


图8 瓯江口门现状及规划工程布局
Fig. 8 Current Situation and Planning Project
Layout at Oujiang Estuary

一般而言,围垦会导致高水位的壅高,就数据变化而言,工程临近的龙湾站多年来高低潮位、潮差尚无明显趋势性变化,口外海滨段的洞头水文站20世纪80年代以来年平均高潮位变化不大,正负变幅仅在10 cm以内^[8]。相关研究表明^[9],瓯飞一期围涂工程实施后将对周边海域水动力环境产生影响,具体表现为工程海域高潮位工程前后略有变化,其中堤前高潮位变幅约0.1 m,远离围堤变化幅度逐渐减少,灵霓大堤以北海域和瓯江灵昆上游水域潮位基本无变化。可见,围垦工程等人类活动主要引起工程局部河段水位变化,对整体河口水位影响不大。龙湾站和洞头站与外海较近,主要受外海潮波和海平面等宏观因素影响较大,目前变化尚不明显。

3. 3 江道河势变化对河口潮汐特征变化的影响分析

近年来瓯江河口江道最为显著的变化是中上游江道河床下切剧烈。根据 2002 ~ 2013 年实测水下地形资料计算可见(表 3) , 河床高程降低明显, 单向河道容积扩大, 且存在自上而下逐渐减弱趋势。其中温溪至西洲河段河床高程平均降低可达 4. 12 m, 西洲至江南河段河床平均降低 2. 94 m, 江南至梅岙河段河床平均降低 1. 29 m, 梅岙至楠溪江口河床平均降低 1. 16 m。楠溪江口至黄华河段的河道 2002 ~ 2010 年地形对比可见, 该河段冲淤变化幅度较梅岙以上河段明显减弱态势, 2002 ~ 2010 年容积增大约 1 256 万 m³, 河床平均高程降低约 0. 15 m, 较稳定。自然状态下, 瓯江江道表现为洪冲潮淤、丰冲枯淤的特性。在空间上表现为上冲下淤, 枯水期表现为下冲上淤的特性, 丰水期河床冲淤幅度大于枯水期, 但由于潮流段短, 潮波变形不大, 泥沙运动又以推移质为主, 冲淤幅度不大^[10]。多年来瓯江河口口外潮动力变化不大, 促使河床冲刷的径流也没有明显增大, 河槽刷深为江道采砂所致。图 9 展示了上游采砂剧烈河段 2002 年与 2013 年水下地形的变化, 可见采砂对江道影响剧烈, 局部深槽内降低幅度可达 20 m 以上。瓯江砂石的开发、利用已有悠久的历史。上世纪 70 年代, 采砂方法落后, 采挖量不大, 主要是在河漫滩或落潮后出露的沙滩上人工露天开采, 江道冲淤幅度较小。80 年代后瓯江开始采砂船水下作业, 用链斗式采砂, 1984 年使用吊斗式, 至 1990 年投入高产量的吸泵式采砂机械, 本世纪以来又出现了链斗吸泵兼容式和带碎石装置无弃碴的链斗作业方式。据有关统计, 现在瓯江采砂量已约占温州全市采砂量的 70%。区域内现有采砂船实际年开采能力为 1 200 万吨以上。采砂所致的河床刷深一方面直接导致了低水位的降低, 另一方面河床容积增大, 引起涨潮流及相应的纳潮量增加, 落潮阻力增大, 相应抬高了江道的高水位, 但其幅度要明显小于低水位变幅。同时, 就河床高程降幅而言, 自上游向下游减弱, 这与瓯江河口上游站位潮汐特征变幅大于下游站位的空间格局相吻合。基于上述分析, 本文认为大规模的采砂活动应是瓯江河口温州、梅岙、花岗岩头站潮水位年际变化的主因。

表 3 近期瓯江河口各河段冲淤变化

河段	面积(km ²)	冲刷量(万 m ³)	平均幅度(m)	数据尺度
温溪至西洲	3. 67	1 513	4. 12	2002 ~ 2013 年
西洲至江南	4. 08	1 199	2. 94	
江南至梅岙	4. 10	529	1. 29	
梅岙至楠溪江口	16. 46	1 879	1. 16	2002 ~ 2010 年
楠溪江口至黄华	96. 62	1 256	0. 13	

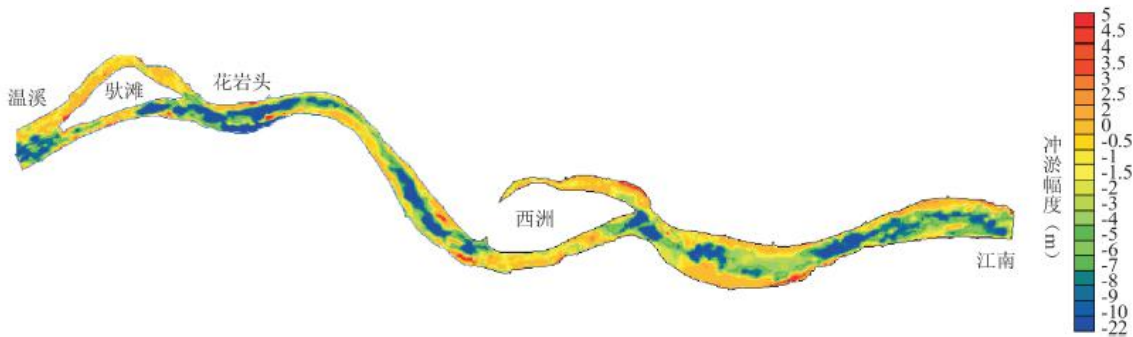


图 9 瓯江采砂剧烈河段 2002~2013 年江道变化图
Fig. 9 Change of Riverbed at Gravelly Dredge River Reach in 2002–2013

为进一步分析江道河势变化对河口潮汐特征变化的影响分析,利用已搭建的瓯江河口平面二维潮流数学模型,计算 2002 年地形和 2013 年地形条件下的瓯江沿程龙湾、温州、梅岙和花岗岩头站 4 个潮位站的年均高低潮位(表 4),从表可见,2002 ~2013 年 4 个潮位站年均高水位变化在 10 cm 以内,相对较稳定,年均低潮位变化较大,2002~ 2013 年龙湾站降低 0. 27 m,温州站降低 0. 25 m,梅岙站降低 0. 46 m,花岗岩头站降低幅度 0. 71 m,可见采砂导致的河床下切对低潮位变化影响剧烈。

表 4 数学模型计算 2002 年和 2013 年年均高低潮位(m)

特征值	年均高潮位			年均低潮位		
	2002 年	2013 年	变化值	2002 年	2013 年	变化值
龙湾站	2.56	2.60	0.04	-1.9	-2.17	-0.27
温州站	2.78	2.83	0.05	-1.6	-1.85	-0.25
梅岙站	2.86	2.93	0.07	-1.2	-1.66	-0.46
花岗岩头站	3.20	3.28	0.08	-1.05	-1.76	-0.71

4 结论

(1)瓯江河口下游的龙湾站多年来潮汐特征尚无趋势性变化; 河口中上游的温州、梅岙和花岗岩头站趋势性变化明显且变化规律基本一致,整体表现为高潮位上升、低潮位下降、潮差增大,涨潮历时延长、落潮历时缩短的特征。

(2)时空格局上,瓯江河口上游站位潮汐特征变幅大于下游站位,低潮位变幅大于高潮位变幅,以现状特征较之 80 年代数据为例,温州、梅岙和花岗岩头站年均高潮位分别抬高 0. 24、0. 25 和 0. 23 m,年均低潮位分别降低 0. 51、0. 87 和 1. 39 m。

(3)多年来瓯江流域年径流量未发生趋势性变化,上游建库后水沙通量年内分配趋于均匀化,蓄峰调洪作用显著,但年度总水量变化不大,对瓯江河口潮位特征变化影响较小; 堤线调整和围垦工程等人类活动主要引起工程局部河段水位变化; 大规模的采砂活动应是瓯江河口温州、梅岙、花岗岩头站潮水位年际变化的主要原因。

(4)瓯江河口不同河段因受径流、潮流、人类活动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予以关注。

参考文献:

[1] 陈吉余,陈沈良. 中国河口海岸面临的挑战[J]. 海洋地质前沿,2002,18(1): 1—5.

【CHEN J Y, CHEN SH L. Estuarine and coastal challenges in China [J]. Marine Geology Letters, 2002, 18(1): 1—5.】

[2] 浙江省水利河口研究院. 瓯江河口(梅岙—炮台山段)堤线规划[D]. 杭州,2016.

【Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary. The planning of dike line in Oujiang estuary [D]. Hangzhou, 2016.】

[3] 张舒羽,倪勇强,韩曾萃,等. 瓯江滩坑水库建库前后盐水入侵研究[J]. 水文水资源,2008(10): 42—49.

【ZHANG SH Y, NI Y Q, HAN Z C, et al. Variety location of saltwater intrusion after the Tankeng Reservoir built

in the Oujiang River [J] . China Rural Water and Hydropower, 2008(10) : 42—49. 】

[4] 浙江省水利河口研究院. 瓯江河口引水枢纽工程闸下淤积专题初步研究 [D] . 杭州, 2013.

【Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary. Study on siltation in the downstream of sluices in the Oujiang estuary [D] . Hangzhou, 2013. 】

[5] 张伯虎, 金新, 张舒羽, 等. 七都南汉堤线外移工程对瓯江河口水动力及河床冲淤的影响 [J] . 中国海洋, 2015.

【ZHANG B H, JIN X, ZHANG S Y, et al. Influences of the Qidu south branch levee realignment project on hydrodynamics and riverbed evolution in Oujiang Estuary [J] . China Ocean Engineering, 2015. 】

[6] 张伯虎, 吴修广, 谢东风. 近 50 年来浙江入海河流水沙通量变化过程 [J] . 泥沙研究, 2015(6) : 21—26.

【ZHANG B H, WU X G, XIE D F. Variation of water and sediment in rivers to sea in recent five decades in Zhejiang Province [J] . Journal of Sediment Research, 2015(6) : 21—26. 】

[7] 宋乐, 夏小明, 刘毅飞, 等. 瓯江河口入海水沙通量的变化规律 [J] . 泥沙研究, 2012(1) : 46—52.

【SONG L, XIA X M, LIU Y F, et al. Variations in water and sediment fluxes from Oujiang River to Estuary [J]. Journal of Sediment Research, 2012(1) : 46—52. 】

[8] 浙江省水利河口研究院. 瓯江河口河床演变、两岸堤防冲刷情况及稳定性分析报告(2012—2015) [D] . 杭州, 2015.

【Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary. Study on riverbed evolution and dike stability in Oujiang Estuary [D] . Hangzhou, 2015. 】

[9] 穆锦斌, 黄世昌, 娄海峰. 河口大规模围海工程对周边水动力环境的影响 [J] . 四川大学学报(工程科学版), 2013, 45(1) : 61—66.

【MU J B, HUANG S C, LOU H F. Study on hydro-dynamic environment of the large-scale reclamation projects at the estuary [J] . Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2013, 45(1) : 61—66. 】

[10] 浙江省水利河口研究院. 瓯江河口水文情势变化分析报告 [D] . 杭州, 2016.

【Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary. Variation of hydrological regime in the Oujiang estuary [D] . Hangzhou, 】