

杭州湾南岸岸线变化对水动力的影响累积效应

鲁友鹏¹, 梁书秀¹, 孙昭晨¹, 丛丕福²

(1. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024; 2. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023)

摘要:基于 FVCOM 数值模型, 针对杭州湾南岸区域, 采用移动固边界的方法, 对 1984 年、2010 年以及 2020 年(规划岸线)3 个不同时期杭州湾南岸区域的岸线地形进行了模拟, 计算了各个时期水动力场。通过对比发现, 在人工及自然因素长期对近岸岸线地形的共同改变作用下, 钱塘水道区域 3 个时期水动力场有较显著变化。分析宁波舟山海域间水道的三个过流断面的流量发现, 3 个年代流量有累积变化的趋势。经过进一步分析可推测, 在落潮流挟沙能力足够的条件下, 水动力的变化可能会进一步加剧南岸及钱塘水道区域宁波港(镇海区、北仑区)的淤积, 从而影响该区域港口航道的正常使用。

关键词:杭州湾南岸; 钱塘水道; 水动力; 数值分析; 累积效应

中图分类号:P731.23; O242.1

文献标识码:A

文章编号:1007-6336(2015)03-0384-07

Cumulative effects of topography change on waterway's hydrodynamic along the southern coast of Hangzhou Bay

LU You-peng¹, LIANG Shu-xiu¹, SUN Zhao-chen¹, CONG Pi-fu²

(1. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract:Hydrodynamic fields are computed with the topography of the year 1984, 2010 and 2020 based on FVCOM model. The hydrodynamic changes near the waterways of Zhoushan and Jintang are studied in details. By comparison, the hydrodynamic fields near Jintang Channel have some significant changes owing to natural and human factors. Analysis on the three Section Runoff in the channel of Ningbo-Zhoushan sea area, it can be easily found that the flow in the three periods has a cumulative effect. After further analysis, it can be assumed that the change of the hydrodynamic field may cause sediment deposition along southern coast of Hangzhou Bay and the port of Ningbo on the condition that the sediment-carrying capacity of flow at low tide is enough, and it would affect the use of the harbor nearby.

Key words:southern coast of Hangzhou Bay; Jintang Channel; hydrodynamic; numerical analysis; cumulative effects

杭州湾位于钱塘江入海口, 属强潮型河口海湾, 水动力条件以潮汐作用为主。在潮汐及其他水动力因素作用下其南、北两岸长期存在着较明显的淤积与侵蚀作用。近几十年, 杭州湾南岸岸线地形变化显著, 是人工及自然因素综合作用下累积效应的影响。自然因素主要指潮流所引起的

泥沙输移所带来的地形变化; 而人工作用则是围填海等工程造成的岸线地形变化^[1]。在 1984 年以前, 围涂造地规模较小, 如 1959 年至 1984 年间南岸围涂面积为 79.33 km²^[2]。岸线地形变化受自然因素影响较大, 变化较缓慢, 长江口泥沙向南岸输移^[3]也导致岸线缓慢外推。从 1984 年到

收稿日期: 2014-04-22, 修订日期: 2014-07-15

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(201105009); 海洋公益性行业科研专项(200805086); 中国海洋发展研究中心科研项目(AOC-ZDA201305)

作者简介: 鲁友鹏(1988-), 男, 黑龙江伊春人, 硕士研究生, 主要从事海岸及近海水动力学研究, E-mail: 328049371@qq.com

通讯作者: 梁书秀(1972-), 副教授, 主要从事海洋环境数值模拟及海洋信息数字化研究, E-mail: sxliang@dlut.edu.cn

2010年,南岸围涂面积则达到了 249 km^2 ^[4],人工作用对岸线地形的改变明显增强。

岸线地形的剧烈变化势必会导致该区域水动力场相应的变化。国内学者对岸线地形变化所引起的水动力场累积效应的影响做过一定的研究。陆荣华等^[5]对厦门湾进行过围填海对潮流动力累积影响的初步研究,曾相明等^[6]在象山港区域进行了多年水动力累积变化的研究。但对于杭州湾南岸这样存在大面积潮滩、岛屿众多、地形复杂的强潮型海域研究还很少。本文分别针对1984年、2010年及2020年浙江省海洋功能区划规划的3套地形岸线分别建立三维水动力模型,详细分析较长时间段内该区域岸线地形改变对水动力场所产生的影响,从而为海岸及近海区域水动力场累积变化的研究做参考。

1 杭州湾南岸区域岸线地形变化情况

本文涉及到的岸线地形共3套,分别为1984年、2010年和2020年的规划岸线。1984年岸线及水深均为历史海图及实测资料;2010年岸线、水深数据是由宁波市海洋渔业局提供的908专项1:50000海图的水深数据及2009~2010年期间新测的岸线数据。2020年岸线是根据浙江省海洋功能区划的用海方案划定的杭州湾南岸岸线,水深同2010年。3套岸线的对比如图1所示(文中图1、图5坐标系采用墨卡托投影,WGS84平面坐标系统,中央基准纬度取为 29.9°),灰色部分表示2010年相对于1984年变化的区域。从1984年至2010年外推面积为 249 km^2 ,岸线平均外推约2.8 km,2010年至2020年规划用海约 400 km^2 ,外推岸线长度117 km,岸线平均外推3.4 km。

2 模型的建立及验证

本文采用的FVCOM非结构网格有限体积法海洋模式,其特点有两点:一是该模型采用三角形网格,能够精确的拟合该区域复杂的岛屿岸线边界,有利于得出更精确的计算结果;二是FVCOM采用了判断干湿网格的方法,更适合模拟杭州湾南岸这样的具有大面积滩涂的区域,充分体现海水对该区域“淹没”以及“露出”的过程。

2.1 模型边界设置

考虑到杭州湾以及金塘水道的涨落潮潮流与宁波舟山海域以及象山港区域密切相关,并根据

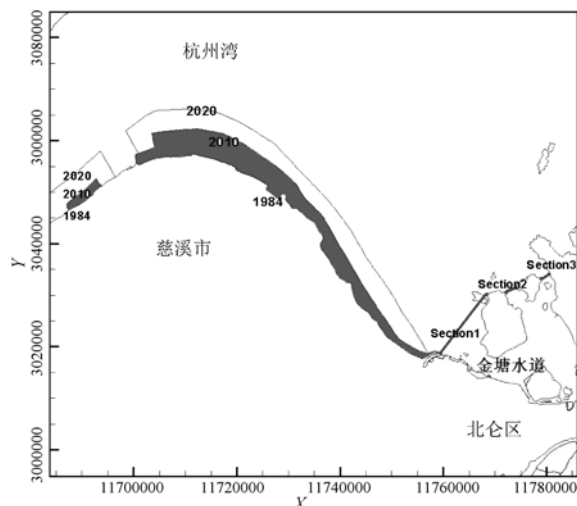


图1 岸线地形变化及断面分布

Fig. 1 Change of topography and coastline and the location of cross sections

已有的2009年2月到3月的潮位流速资料的位置,划定一个较大计算范围,如图2所示。杭州湾内开边界设置为从澉浦到余姚一线,外海边界为北起芦潮港——嵊山一线,向南延伸至三门湾——渔山列岛一线。其中,余姚、澉浦、芦潮港、嵊山、渔山、健跳这6个位置均有逐小时实测潮位资料,可直接用于开边界的潮位驱动,这样实时给定开边界实测潮位的方法可以使得区域内潮位流速验证结果的精确度较高。西开边界澉浦到余姚一线的选取基于两处有历史及2009~2010年的实测潮位资料,可以较准确地给出边界潮位条件。

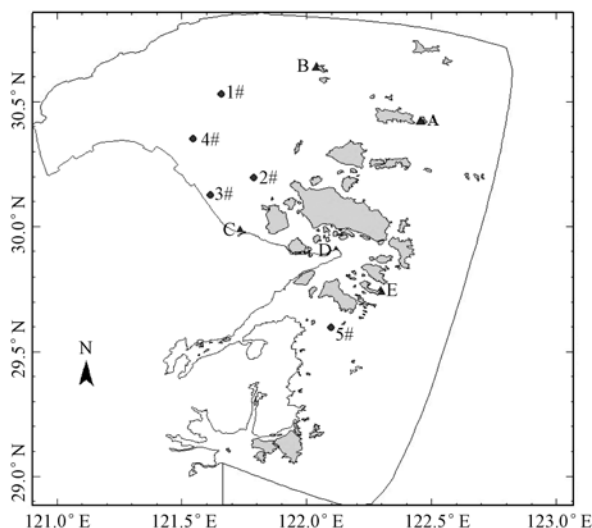
2.2 模型参数设置

对3套岸线进行三角形网格的剖分,3套方案水深均采用反距离加权平均的方法插值到剖分好的网格节点上,精度较高。2010年模型三角形网格总数为157533,三角形节点数为82949,网格尺度从外海到近岸逐渐减小,在重点关注的杭州湾及金塘水道处着重加密。网格尺度范围为70~3000 m。1984年与2020年的网格与2010年仅在岸线变化区域有所不同,其他区域完全一致。底摩阻的设置参考熊伟等^[7]在论文中提出的底摩阻计算公式与设置方法。垂向上分为5个 σ 层进行计算。

2.3 模型验证

由于暂时没有搜集到足够的1984年同时期该处的潮位、流速资料,而2020年的岸线为预测情况,故验证仅针对2010年岸线地形下展开。其他两个工况,将采用相同的边界条件及水动力参数设

置方法。图2为计算域及潮位、潮流验证站分布图,其中A~E为潮位测站,1~5号为潮流测站。



A~E为潮位测站,1#~5#为潮流测站

图2 计算域及潮位、测站站位分布

Fig. 2 Computational domain and distribution of stations

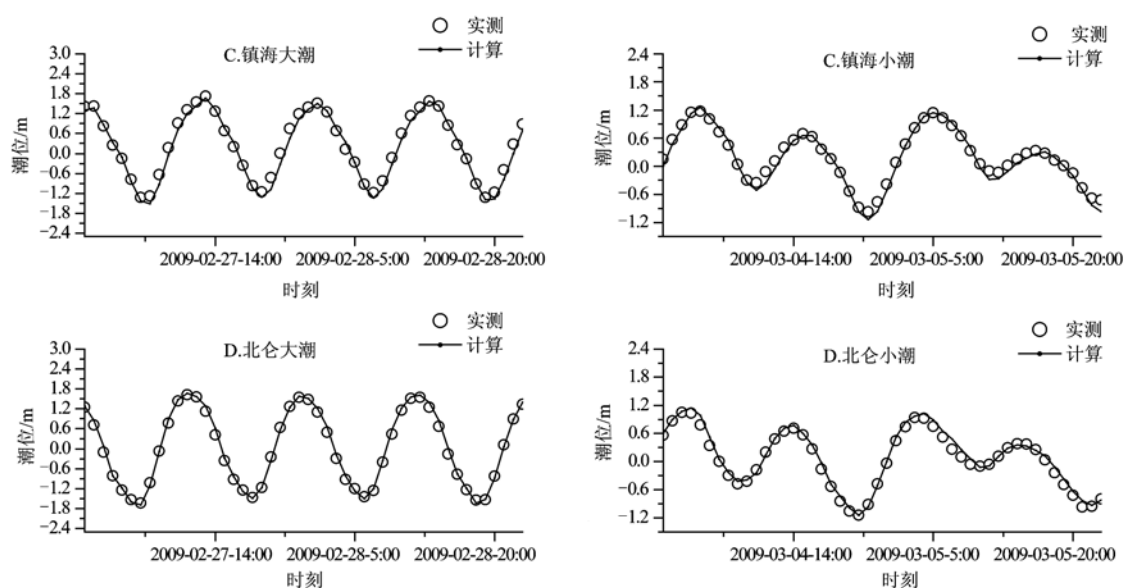


图3 潮位验证结果

Fig. 3 Validation of tidal level

2.3.2 流速验证

由于篇幅所限,图4仅给出1号,2号,3号点0.6H层流速的实测和数值模拟的对比。从下图中可以看出,模型中各测站流速、流向变化验证均较好。

从对整个流场的结果分析可知,潮波在外海中大致是从东南方涨入宁波舟山海域,来自东海的潮波从不同的水道传入杭州湾南岸。如图5中涨急时刻流速矢量图中给出了各个水道的位置及

2.3.1 潮位验证

浙江近海是我国的一个强潮海区,本文计算区域潮差普遍较大,如杭州湾湾顶的平均潮差超过5 m^[8]。该区域潮波以半日潮波为主,本文验证的2~3月属于枯水期,潮汐日不等现象在小潮期间更为显著,而在大潮期间并不显著。杭州湾内以及宁波——舟山深水港的潮汐均呈现出落潮历时长、涨潮历时短的现象,这一现象是由于潮波进入后受地形变浅效应的影响,使得浅海分潮比率逐渐增大所致。

限于篇幅,文中仅列出C、D这两个距离研究海域最近点的潮位验证图,由图3可以看出,模型中的大、小潮潮位变化验证良好,潮位时间过程和潮位幅值与实测均符合良好。

附近的流态。一部分海流从舟山市北部几条宽阔水道直接传入杭州湾;另一部分从舟山市南部的螺头水道传入金塘水道至杭州湾南岸。从整个涨落潮过程流场矢量图(没有一一列出)可以发现,杭州湾南岸海域在涨潮时是通过这些水道的潮流的汇集区,落潮时是分流区。北仑和舟山之间的螺头水道、北仑和金塘岛之间的金塘水道由于水道狭窄,其涨落潮流属于往复流。

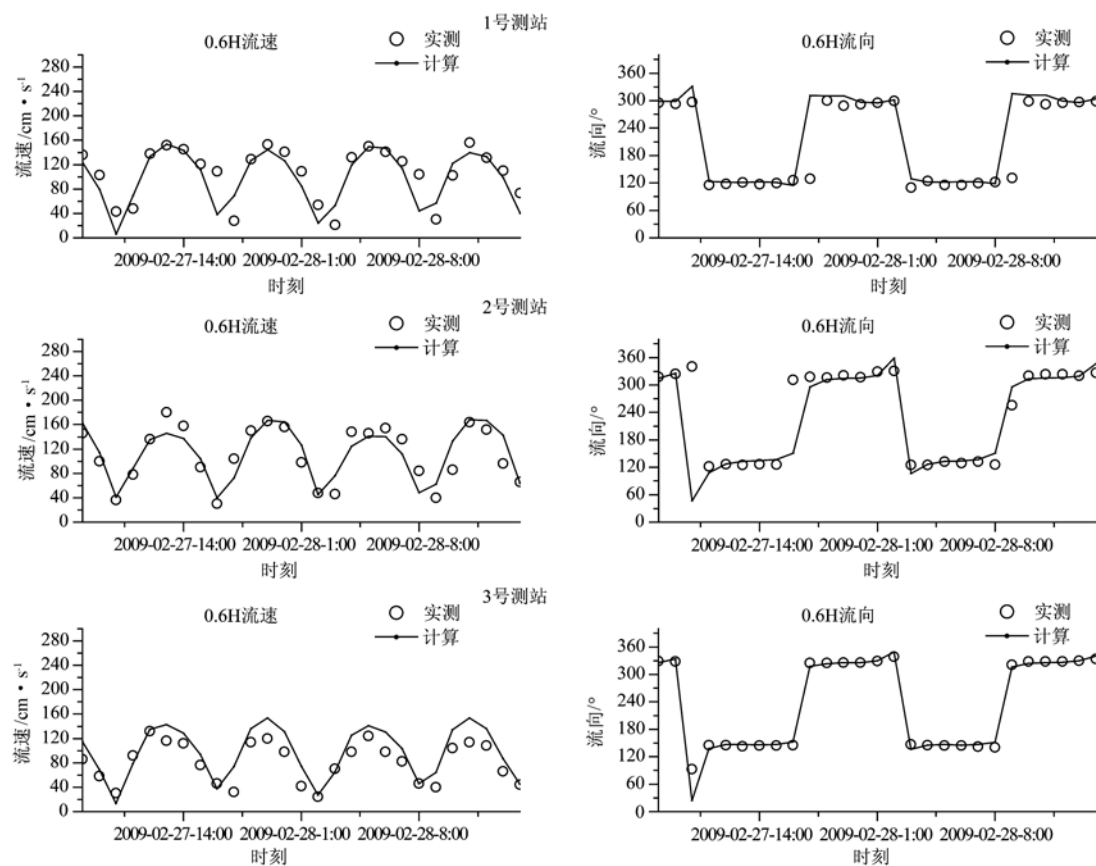


图 4 中层流速流向验证结果

Fig. 4 Validation of tidal current for middle layer

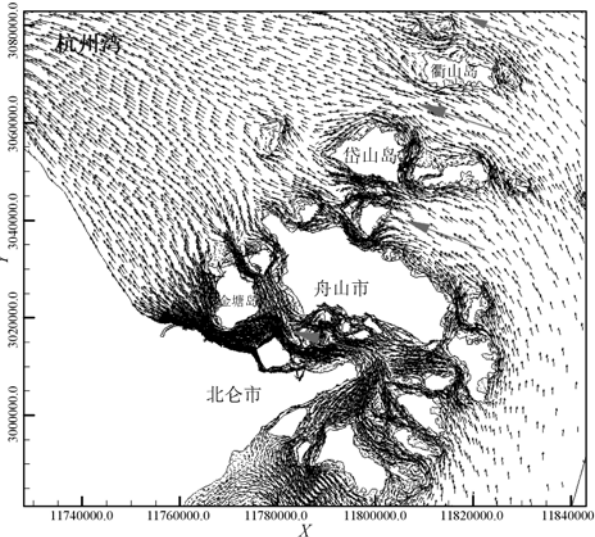


图 5 涨急时刻流速矢量图

Fig. 5 Current vector during flood tide

3 水动力变化分析

杭州湾南岸的岸线地形多年的变化必然会对南岸附近以及与其相连的金塘水道的水动力产生一定的影响,本文分别从重要断面的流量变化以及区域流速变化两个方面来对比 3 个年份该研究海域的水动力场的变化。2020 年由于其为规划岸线,由于无法得知未来水深情况,故模拟时水深采用的是 2010 年的,因此 2020 年模拟结果不包含地形变化可能带来的影响。

3.1 断面流量的变化

选择南岸附近 3 个典型的过流断面,断面位置如图 1 所示,给出通过 3 个断面流量变化。为了减小单个日周期涨落潮时段的不确定性,对连续 3 次涨落潮通过 1、2、3 断面的流量的平均值进行统计分析,以对比流量的累积变化情况,结果如表 1 所示:

表 1 平均涨落潮过程通过断面流量对比 (10^4 m^3)

Tab. 1 Comparison of average flow during flood tide and ebb tide

潮期	项目	断面 1	断面 2	断面 3	断面合计
涨潮	1984 年	366329	307841	89359	763529
	2010 年	356854	316265	92241	765359
	2020 年	336241	320958	93888	751087
	2010 相对 1984 年变化率/(%)	-2.59	2.74	3.23	0.24
	2020 相对 2010 年变化率/(%)	-5.78	1.48	1.79	-1.87
	2020 相对 1984 年变化率/(%)	-8.21	4.26	5.07	-1.63
落潮	1984 年	-366428	-319684	-101363	-787475
	2010 年	-347594	-320724	-101166	-769484
	2020 年	-328590	-321108	-101344	-751042
	2010 相对 1984 年变化率/(%)	-5.14	0.33	-0.20	-2.29
	2020 相对 2010 年变化率/(%)	-5.47	0.12	0.18	-2.40
	2020 相对 1984 年变化率/(%)	-10.33	0.45	-0.02	-4.63

表 1 可以说明,断面 1 与断面 2 在涨落潮过程中的流量均表现出累积变化的趋势,断面 3 涨潮过程以及所有断面合计落潮过程也存在该规律。

结合南岸岸线地形变化图 1 可知,南岸岸线以及潮滩的外推使得涨落潮通过断面 1 的流量有所减小,其中落潮变化更明显。涨落潮通过断面 2 的流量均有所增加,其中涨潮变化更为明显。涨潮通过断面 3 的流量增加,落潮变化并不显著且无明显规律。

3 个断面合计流量即为图 5 中从舟山市南部水道传入杭州湾南岸的总流量。涨潮时段该总量变化并不是很明显,而落潮时段在 3 个年份中有累积减小之趋势,即落潮时段流入宁波舟山之间海域的水量有所减少。

再结合表 1 中各断面不同年份平均涨落潮过程断面流量的变化可知,涨潮过程中 3 个年份的岸线地形变化会引起流量在 3 个断面的重新分配,断面一离外推岸线最近,受岸线地形变化,流量有所减小,断面二、三离变化的岸线渐远,断面一有部分水量被分配到断面二三,从而二三断面的流量有所增加。落潮过程中通过断面一进入金塘水道的水量有明显减小的累积趋势,断面二略有增加,断面三变化不明显。

3.2 区域流速变化

限于篇幅,本文不对各分层流速的区域变化进行讨论,仅分析代表性的垂向平均流速区域变化。如图 6 所示,分别给出涨急、落急时刻南岸以及金塘水道区域 3 个年份垂向平均的流速标量变

化对比情况,正值代表流速有所增大,负值代表流速有所减小。

从图 6 可以看出,近岸区域以及金塘水道的流速变化最明显,距离岸线越远,则变化越不显著。从涨急时刻流速变化图中可以看出,2010 年相对 1984 年流速在南岸近岸域有所降低,大部分区域降低幅度在 0.02 m/s 到 0.4 m/s 之间,在金塘水道中大部分区域有所增大,幅度一般在 0.02 m/s 到 0.4 m/s 之间。2020 年相对于 2010 年则出现相反的状况,南岸近岸区域流速有所增大,而金塘水道区域流速有所减小。从 1984 年到 2020 年该区域涨急时刻流速并无明显累积效应。从落急时刻对比图中可以看出,2010 年相对 1984 年在南岸大片区域流速均有所降低,仅金塘水道部分区域流速有所增加。2020 年相对于 2010 年南岸部分区域流速略有增大,而整个金塘水道流速有所降低。从 1984 年到 2020 年该区域落急时刻流速出现大面积降低情况。

结合水动力的变化延伸讨论金塘水道处泥沙冲淤问题。该区域的泥沙主要是长江口输沙,由落潮潮流带入并落淤的结果。逢自安^[9]指出(金塘水道)西口落潮主流趋向南岸,南岸存在滞留消能区,有利于泥沙落淤。而实际上落潮流的流速降低时,此处泥沙的变化有两种可能的结果:1. 当落潮流流速降低,水流携带泥沙的能力也降低,带入金塘水道悬沙总量减少,则该处落淤泥沙并不增加;2. 水流挟沙力如果足够,但流速降低,则会使泥沙落淤程度增大。

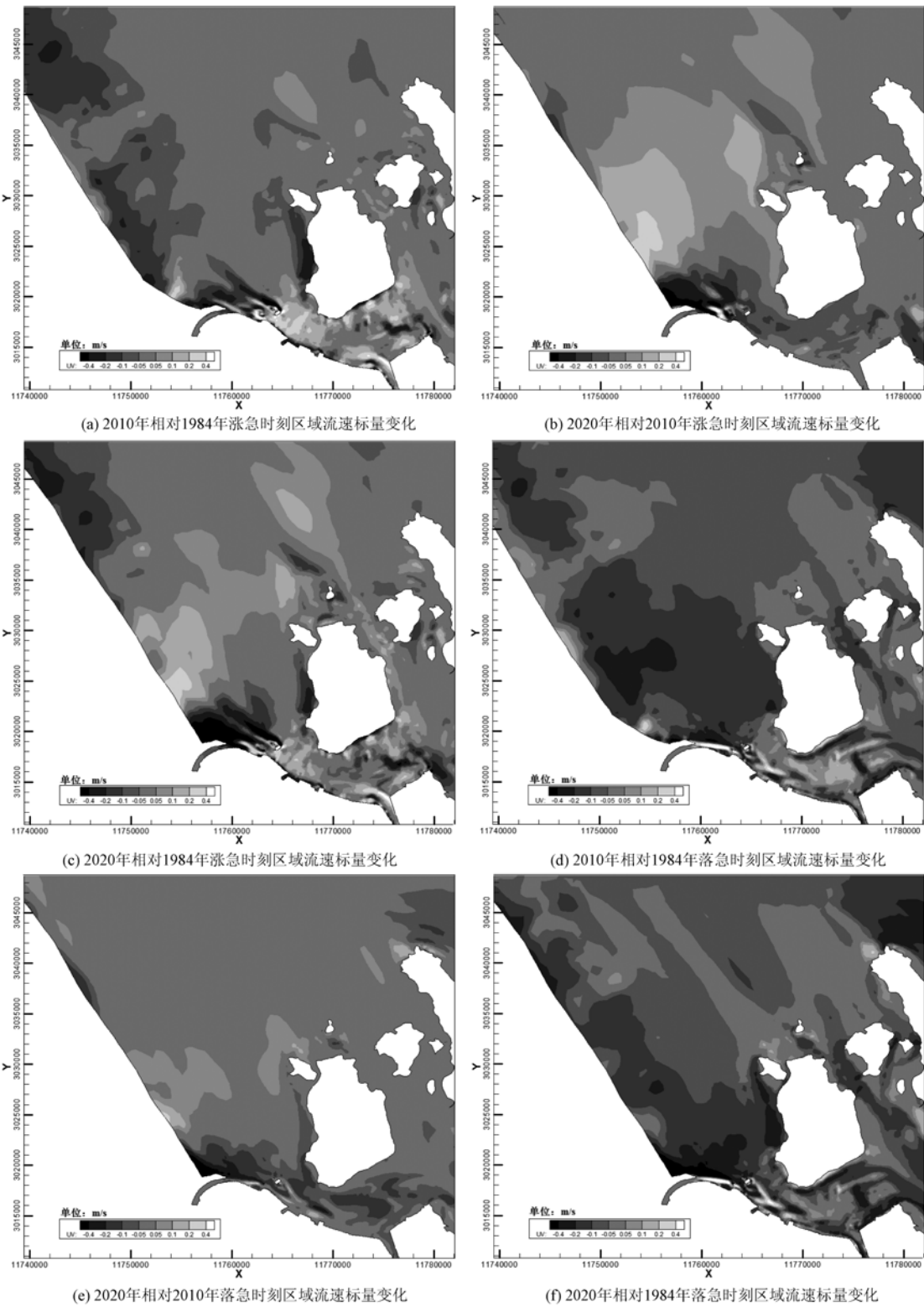


图 6 涨落急时刻区域流速变化标量

Fig. 6 Change of current velocity at maximum flood and ebb tide

将本文所采用的 2010 年与 1984 年区域地形图相减即可得到这些年实际的泥沙冲淤变化,如

图 7 所示。由该图可知,金塘水道内的泥沙以淤积为主,尤其是水道西侧北仑港附近几乎全部呈

淤积状态,淤积厚度多为5 m以上,部分区域甚至超过10 m。这些年中金塘水道内大面积的淤积,使得该段水深显著减小—即过流断面减小,而从断面1落入水道内的总水量仅减小了5.14%,故水道内出现落急时刻区域的流速增大的现象,这与图6(d)中流速变化情况是相符的。以上结果说明,这些年中金塘水道内的落潮流速虽然随着地形的变浅而逐渐增大,但泥沙仍然不断地在该区域落淤。

由断面流量对比可知,2020年相对于2010年断面一落潮流量下降了5.19%,而这些年中金塘水道区域落急流速的大面积减小(图6(e))必然会导致泥沙落淤强度加大,故可推断:若落入金塘水道的落潮流挟沙力仍然没有变化,金塘水道南岸的淤积趋势到2020年会加重,从而影响到附近镇海、北仑港区港口航道的正常使用;若落潮流挟沙能力开始有所下降,泥沙落淤速度虽有所加快,但泥沙冲淤状况可能不会有显著变化。总之,该区域泥沙变化极其复杂,且应考虑局部冲淤变化,泥沙冲淤的预测仍需进一步研究。

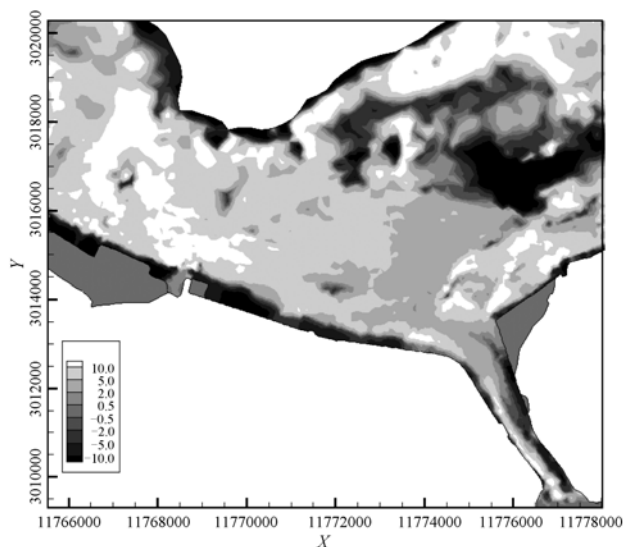


图7 1984~2010年金塘水道深度变化(单位:m)

Fig. 7 Change of depth in Jintang Waterway between 1984 and 2010

4 结论

本文利用FVCOM模型模拟计算并详细对比了1984年至2010年以及2010年至2020年两个较长时间段杭州湾南岸岸线地形变化对水动力产生的影响。

(1) 杭州湾南岸区域在1984至2010以及2010至2020两个时段内,通过宁波舟山间水道过流断面的流量在3个断面中显示出重新分配的趋势。断面1在两个时间段内的总流量、峰值瞬时流量均有所减小,落潮变化更为明显,且在两个时间段内表现出累积减小的趋势。断面2涨落潮通过断面流量均有所增加,其中涨潮变化更为明显,并表现出累积增大的趋势。断面3涨潮通过断面流量累积增大,落潮变化并不显著且无明显规律。3个断面合计的总流量,涨潮变化并不是很明显,而落潮在3个年份中有累积减小之趋势。

(2) 南岸及金塘水道区域涨急时刻流速变化范围一般在0.02 m/s到0.4 m/s之间,且距离岸线越远,则变化越不显著。从2010年到2020年该区域落急时刻流速出现大面积降低情况可推断,金塘水道的淤积趋势到2020年可能会加重,从而影响到附近镇海、北仑港区港口航道的正常使用,此区域应引起关注。

致谢:本论文采用的岸线地形资料、潮位潮流资料来源于宁波市海洋环境监测中心,特此致谢。

参考文献:

- [1] 倪云林,李伯根,詹明旭. 金塘水道冲淤变化分析[J]. 海洋通报,2012,31(2):146-153.
- [2] 李伯根. 宁波市海域泥沙冲淤和岸滩演变分析报告[R]. 杭州:杭州国海海洋工程勘测设计研究院,2013.
- [3] 曹沛奎,谷国传,董永发,等. 杭州湾泥沙迁移的基本特征[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1985(3):75-84.
- [4] 李伯根. 宁波市海域泥沙冲淤和岸滩演变分析报告[R]. 杭州:杭州国海海洋工程勘测设计研究院,2013.
- [5] 陆荣华,于东生,杨金艳,等. 围(填)海工程对厦门湾潮流动力累积影响的初步研究[J]. 台湾海峡,2011,30(2):165-174.
- [6] 曾相明,管卫兵,潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应[J]. 海洋学研究,2011,29(1):73-82.
- [7] 熊伟,刘必劲,孙昭晨,等. 宁波舟山近海三维潮汐潮流数值模拟[J]. 水道港口,2011,32(6):399-407.
- [8] 叶慧明. 宁波建设用海水文泥沙报告[R]. 宁波:宁波市海洋环境监测中心,2010.
- [9] 逢自安. 浙江北仑深水港区岸滩冲淤规律与岸线规划利用[J]. 海洋通报,1992,11(1):41-48.
- [10] KOUTITAS C G. Mathematical models in coastal engineering[M]. London: Pentech Press,1988.
- [11] 宋志尧. 平面潮流数值模拟中底床摩擦系数的修正[J]. 水动力学研究与进展,2001,16(1):56-61.
- [12] 杨金中,赵玉灵,王毅. 杭州湾南、北两岸潮滩变迁遥感动态调查[J]. 地质科学,2004,39(2):168-177.