

杭州湾淤泥质海岸岸线变化及其动态模拟^{*}

施伟勇¹, 戴志军^{2*}, 谢华亮², 张小玲²

(1. 国家海洋局 第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012; 2. 华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要:通过对杭州湾北岸南竹港—龙泉岸段实测岸滩断面资料的统计分析, 进而对淤泥质海岸岸线变化、影响因素及其动态模拟预报进行探讨。结果表明: 因长江来沙减少以及侵蚀/淤积波自东向西移动, 导致近 10 a 来该岸段岸滩处于侵蚀状态, 其中岸线整体后退; 因季节性的波侯作用, 岸滩具有冬淤夏冲的特征, 岸线则表现为冬涨夏退, 因局部工程作用影响的岸线则具有冬退夏涨的特征。此外, 基于-3 m 和-8 m 等深线构建的径向基函数神经网络模型预报岸线的变化是可行的。

关键词:岸线变化; 淤泥质海岸; 动态模拟; 杭州湾北岸

中图分类号: P737

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2012)01-0036-09

岸线变化是海岸演变和海岸带集成管理的核心研究内容^[1-2]。由于复杂的自然过程及强烈的人类活动的叠加作用, 全球海岸线一直处于动态演变状态中。岸线的变化既具有长期性如超过千年尺度的历史变迁, 也具有短期和周期性变化特征, 如一次台风过境岸线形态的瞬息突变以及随季节性波浪或气候驱动而出现的季节、年波动特征^[3]。已有研究表明岸线的变化主要受控于全球气候变化作用、构造运动、三角洲物质供给多寡、沿岸沙嘴的运动和涨落潮三角洲的移动、纵、横向泥沙的输运以及人类活动等作用^[4]。目前对岸线形态变化及其演化机理、变迁预报的研究主要集中在沙质海岸^[5-7], 而涉及淤泥质海岸岸线动态变化的分析则较少。基于此, 本研究将以杭州湾北岸南竹港—龙泉的实测岸滩剖面资料为例, 探讨该岸段淤泥质海岸岸线的近期动态变化特征, 在此基础上构建神经网络模型对岸线的变化进行模拟和预报, 为该区域岸线资源的合理利用和岸滩防护提供理论依据。

1 研究区域概况

龙泉—南竹港岸段地处杭州湾北岸中部, 为金山与奉贤海岸的交界地带(图 1)。该岸段沿岸修建有百年一遇的防汛海堤(约 9 m 高, 吴淞零点基面), 海堤前沿为向海倾斜高度约为 4~6 m 的混凝土低坝平台, 为防止海岸侵蚀和抵御台风与风暴潮的袭击, 在该岸段同时布设有垂直于海堤、与海堤相连的间距不等的丁坝^[8]。杭州湾北岸前沿水域属于浅海半日潮, 潮流主要呈现显著的往复流形式, 所测最大流速可达 2.03 m/s, 自口门向金山石化总厂潮流呈两头大中间小^[9], 近岸带物质组成普遍较细, 以粉砂质粘土为主。

* 收稿日期: 2010-04-14

资助项目: 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项——高强度开发下杭州湾北岸近岸动力响应及岸滩稳定性分析研究(JG0917); 国家自然科学基金——高浊度河口及其临界海域的陆海相互作用(41021064), 杭州湾北岸侵蚀淤泥被迁移及其沉积动力过程(41076050); 上海市科技攻关项目——长江口海平面上升对城市安全影响及应对关键技术研究(10dz1210600)。

作者简介: 施伟勇(1972-), 男, 浙江缙云人, 高级工程师, 主要从事河口海岸地貌及水文等方面研究, E-mail: swyhz1989@163.com

* 通讯作者, E-mail: zjdai@sklec.ecnu.edu.cn

(张 骞 编辑)

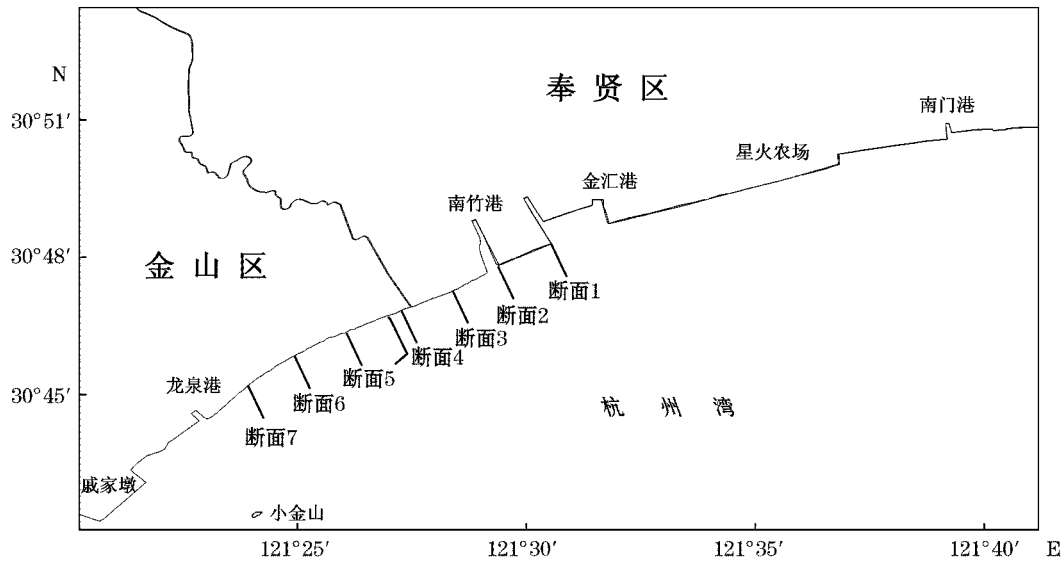


图 1 研究区域和断面设置

Fig. 1 The studied area and the section settings

2 资料收集与研究方法

2.1 资料收集

沿南竹港—龙泉岸段自东向西布设间隔约为 1 000 m 的 7 个固定断面。上海化学工业区海堤管理所自 20 世纪 90 年代开始对这些断面进行连续观测,监测以海堤平台(9 m)为起点,向海到水深约为 10 m、横向距离为 1 000 m 左右的水深位置,考虑到海堤平台到前沿低坝平台均为人工结构,高程不变,因而在此主要绘制自 4 m 到监测水深位置的地形变化图(图 2,在此仅列出 2 个年份冬、夏半年的地形变化)。收集的断面资料时间序列为 1998-11—2009-01,2003 年前为半年监测 1 次,其中自 2003 年开始为每年 1 月份开展监测。

2.2 研究方法

2.2.1 岸线位置确定

岸线作为海陆交界面^[10],由于潮汐水位的波动,其位置是变化的而非一个固定的位置。因此,当对岸线形态及其位置的变化进行研究时,存在确定岸线实际位置的可操作性问题。目前确定岸线位置主要有 2 种方法^[10],一种是基于海岸地貌的固有特征,如海蚀崖、高潮痕迹线以及干湿边界;另一种方法是基于实测海岸剖面,利用多年潮汐水位资料推算当地平均海平面或平均高潮位所在剖面的位置,将其作为岸线。本研究以吴淞零点为依据计算南竹港—龙泉所测剖面的零米位置线,将其作为岸线进行分析。

2.2.2 神经网络模型简介

神经网络由许多并行运算的单元构成,这些单元类似生物神经系统的神经元。作为非线性动力学系统,神经网络的特色在于对信息的分布式存储和并行协同处理。神经网络系统不仅具有极强的集体运算能力和自适应学习能力,而且具有很强的容错和鲁棒性,因而神经网络模型广泛应用于人工智能、自动控制以及其他学科的信息处理^[11]。为便于推广,本研究尝试采用径向基函数(RBF)神经网络模型,即基于多个输入层和一个输出层的多对一映射关系。本研究中,输入层即为影响 0 m 岸线进退的因子,而输出层为 0 m 岸线的位置(图 3)。有关 BP 神经网络模型构建的文献甚多^[11],这里就不赘述。

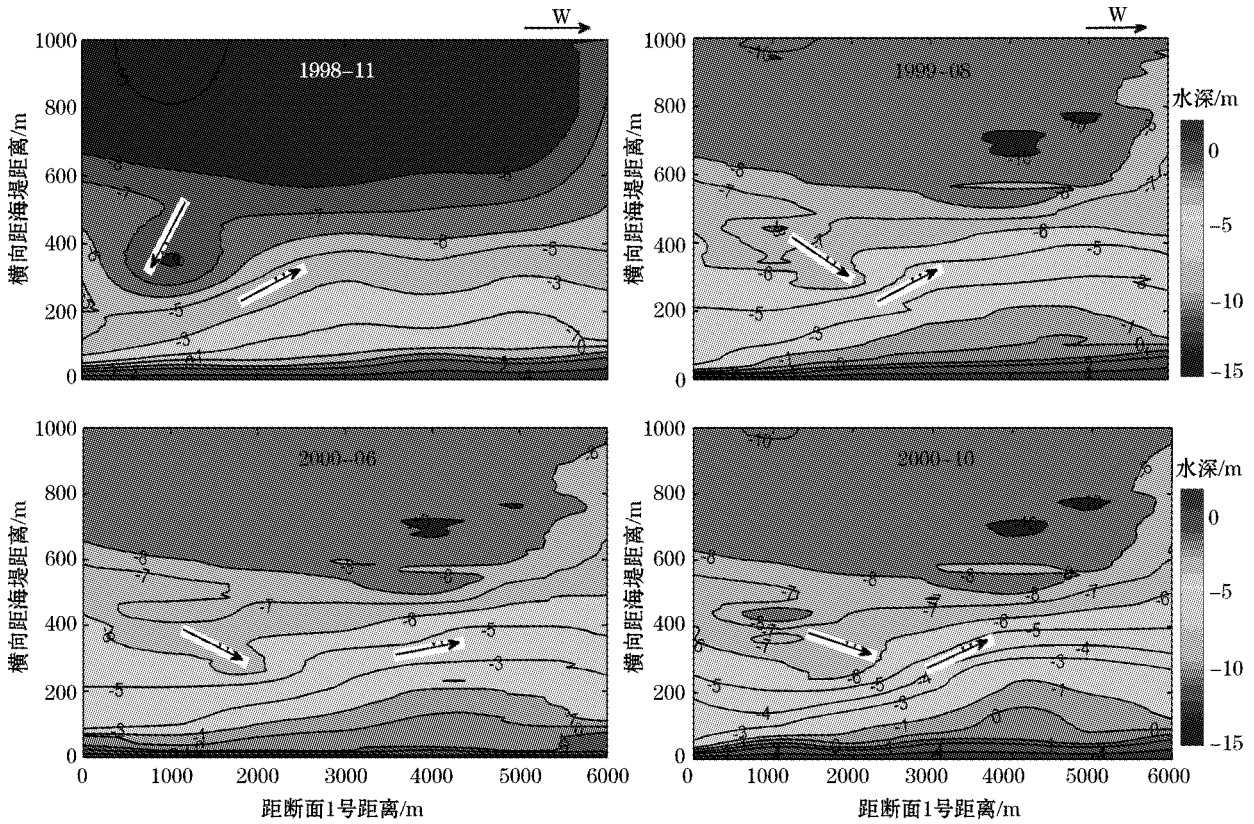


图 2 监测区域不同时段地形等值线变化图

Fig. 2 Changes in topographic contours during different periods in the area monitored

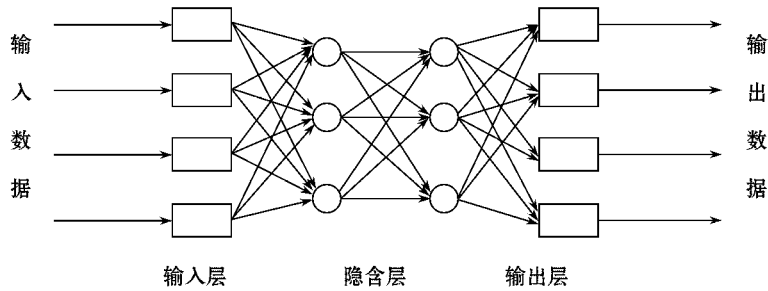


图 3 BP 神经网络原理

Fig. 3 Principle of the BP Neural network

3 结果分析与讨论

3.1 岸线变化特征

为便于对比,将 1998-11 和 2004-10 的地形绘制于图 4。由图 4 可知,包括岸线在内的等深线整体均在后退,即研究区岸段近 10 a 来岸线整体处于侵蚀后退状态。进一步选择断面 5 和断面 3 分别表征受“丁”字形码头工程影响和未受影响的岸段进行分析,由图 5 可知,无论是自然状态抑或人为活动作用,南竹港—龙泉岸段自 1998-11—2009-01 约 10 a 期间,岸线整体趋势是以 2006 年为转折点,在这之前处于快速侵蚀状

态,其中断面 3 岸线退缩为 3.25 m/a,断面 5 为 9.25 m/a。而 2006 年以后岸线略向海移动,但整体还是处于退缩状态。同时考虑到杭州湾北岸岸滩剖面基本呈反“S”型,其中水下斜坡主要是-3~-5 m 之间,-8 m 以深区地形变化基本不大,为通常所说的闭合水深^[8,12]。因而以-3 m 表征水下斜坡的进退,-8 m 则表征闭合水深的临界位置,结果表明水下斜坡和临近闭合水深点离海堤位置的距离和岸线相似,在 2006 年以前是快速递减,随后有所淤涨,而总体上处于侵蚀阶段。

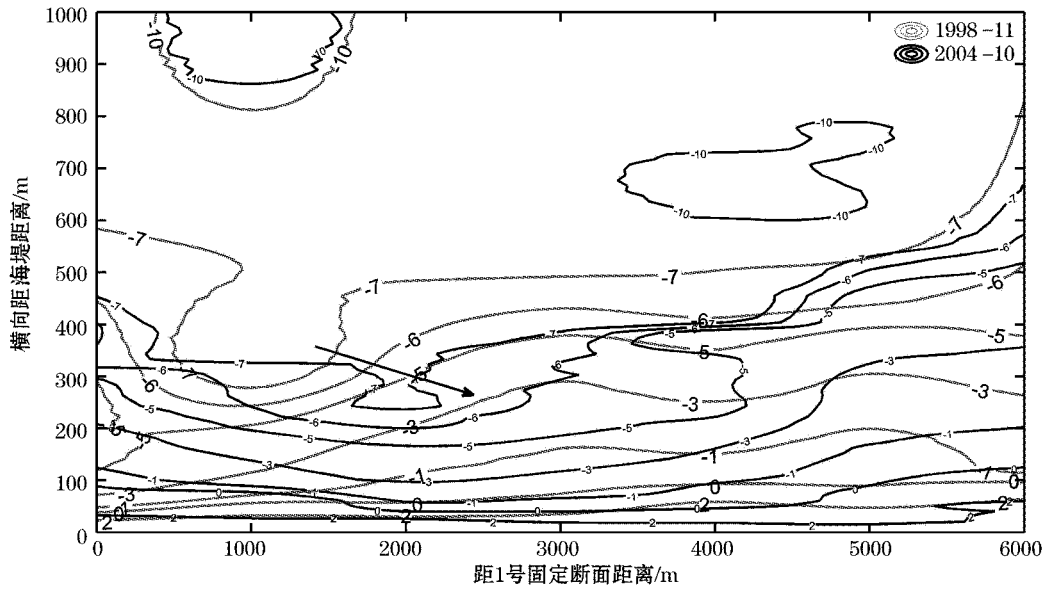


图 4 不同年份的地形等值线变化图

Fig. 4 Changes in topographic isobaths of different years

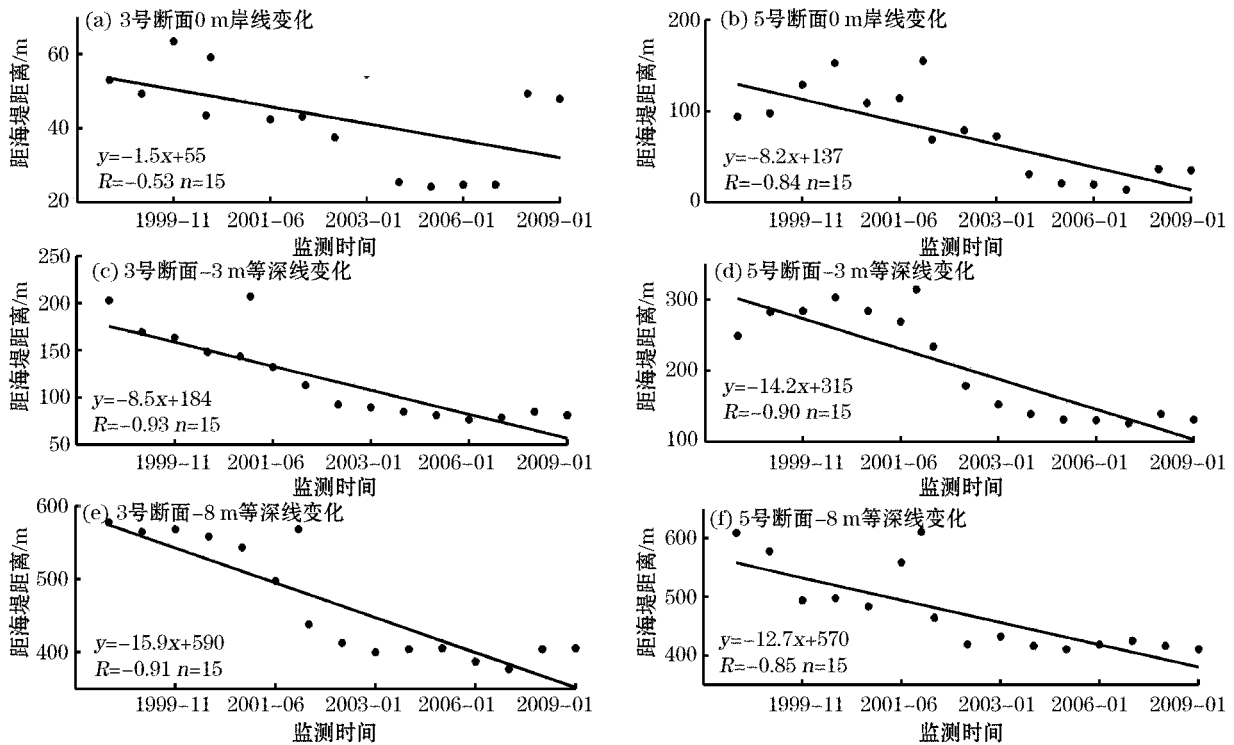


图 5 不同等深线距离海堤位置的变化图

Fig. 5 Changes of the distances away from the position of dikes for different isobaths

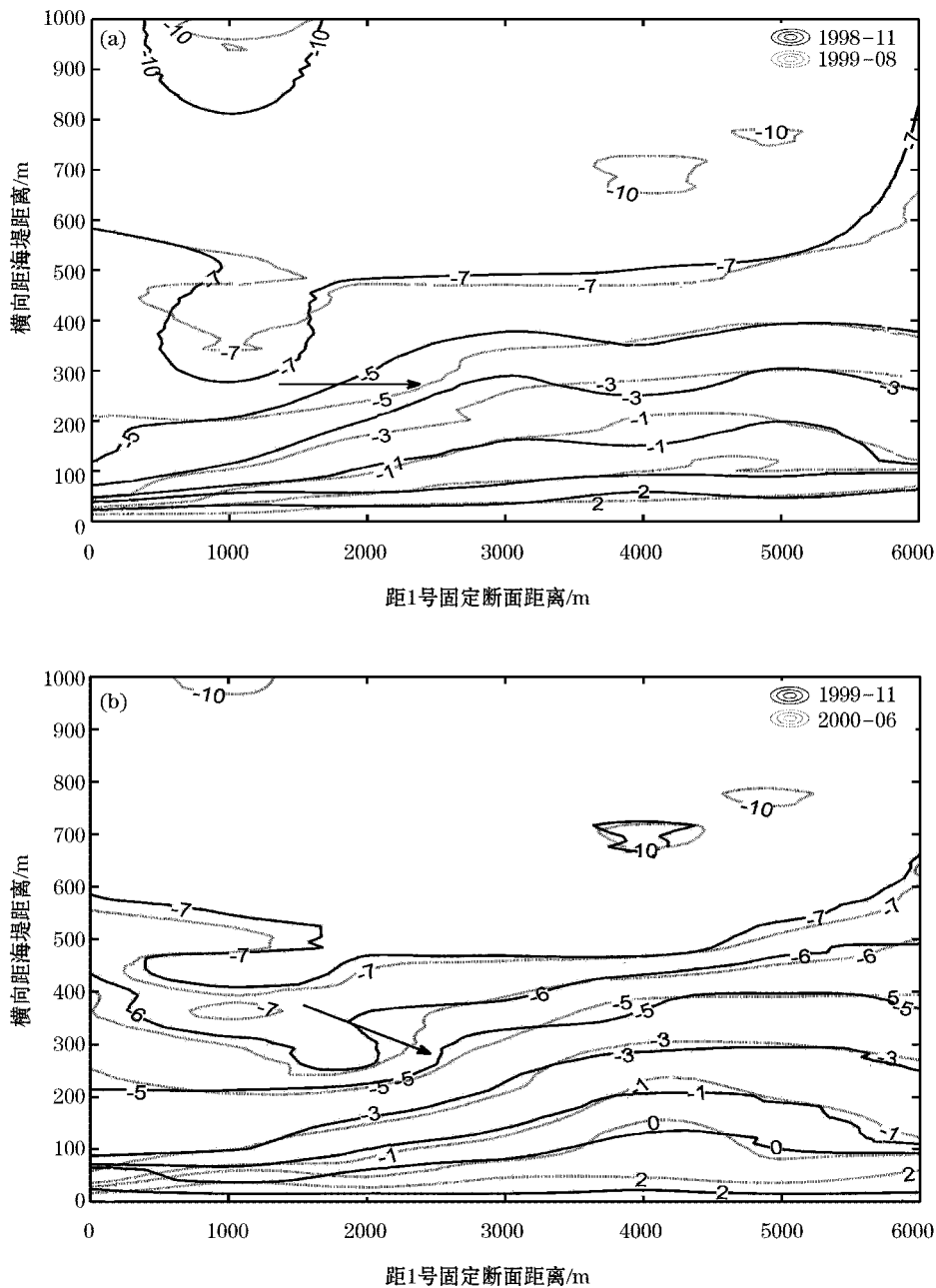


图 6 不同季节尺度的地形等值线变化图

Fig. 6 Changes of topographic isobaths in different seasons

3.2 岸线的波动特征

就杭州湾北岸而言,5—10月为夏半年、11月—次年4月为冬半年,因而由断面3和断面5岸线在1998—11到2003年以前冬、夏监测的位置比较(图5),断面3岸线处于明显的波动特征,而且在冬半年(11月)岸线明显处于淤积阶段,在夏半年(6月)岸线处于侵蚀状态,断面5的波动特征较弱,且出现和断面3相反的特征,即在夏半年岸线处于淤积状态而冬半年处于侵蚀阶段。水下斜坡-3 m及临近闭合水深位置-8 m的季节性波动特征不明显。研究区整体岸滩的变动,如图6所示。可以看出,冬夏半年的岸滩地形等值线在夏半年是整体退缩,而在冬半年是整体淤涨。

3.3 影响岸线变化的因素

杭州湾北岸岸滩的变化主要受控于潮流、波浪以及长江口的来沙条件^[13-14]。由于长江口的泥沙通过长江口与杭州湾的通沙通道或者由涨潮流从口外带到杭州湾北岸^[15],故长江口来沙剧减将导致杭州湾北岸岸滩由淤积转向侵蚀^[14]。据记录长江入海泥沙的大通水文站监测数据表明,在 20 世纪 60 年代长江入海泥沙高达 5.1 亿 t,20 世纪 70 年代为 4.2 亿 t,20 世纪 80 年代为 4.3 亿 t。2003 年由于三峡首次蓄水到 139 m,长江当年入海泥沙减为 2.06 亿 t,其中三峡库区淤积量为 1.24 亿 t;2004 年长江入海泥沙为 1.47 亿 t,三峡库区淤积量为 1.02 亿 t;到 2006 年长江入海泥沙减少到 0.86 亿 t,而三峡库区淤积量 0.92 亿 t,库区淤积量与长江入海泥沙量相当。显然,南竹港—龙泉岸段在 20 世纪 80 年代属于淤涨型岸滩^[12],但在长江上游修建一系列水库特别是目前世界上最大的三峡水库的运行,导致入海泥沙是近年来急剧下降,该岸段岸线出现侵蚀后退在所难免。同时,以图 2 两组不同年代的冬、夏地形等值线对比分析表明,沿岸泥沙输运是以波状的沙体即通常所说的侵蚀/淤积波为载体自西向东移动(图中箭头所指),图 4 和图 6 的箭头亦表明此点,即泥沙在强劲的涨潮流作用下以波状沙体向西移动,这和前人的研究具有一致性^[13]。

此外,杭州湾北岸泥沙在纵向输移的同时还存在泥沙的横向转移,即受到季风气候影响,冬季在离岸西北风作用下,近表层泥沙向岸输运,夏季在向岸东南风作用下,近底层泥沙发生离岸运动,从而导致岸滩出现冬淤夏冲的波动特征。由于局地工程的影响,如断面 5,因丁字码头的阻拦,导致东南风作用形成的东南浪在码头内遮蔽段发生绕射而能力减弱,泥沙发生堆积,冬季则因码头将水流横向交换的路径隔断,而致使泥沙侵蚀岸线后退。因此,就研究区而言,岸线出现侵蚀后退的主要控制条件还是来自长江入海的泥沙减少,同时该岸段内的泥沙主要以潮流为驱动形成的侵蚀/淤积波进行纵向输运,季节性的波浪作用则控制岸滩的冬淤夏冲波动,此外,海岸工程或码头主要影响局部泥沙输运过程。

3.4 基于神经网络的岸线预报模型

即使长江入海泥沙多寡是杭州湾北岸侵蚀/淤积与否的关键因素,但限于仪器以及长时间研究资料获取的困难,进入研究区的泥沙量目前依然难以准确估算。同时该岸段目前也缺乏连续 10 a 以上的潮流和波浪变化的观测资料。因此,要将泥沙、潮流以及波浪动力因素考虑在内对岸线进行模拟和预报无疑存在较大的难度。基于此,本研究根据杭州湾北岸的动力地貌特征,即海岸由陆向海出现相对平缓区、水下斜坡以及闭合水深所处的平衡地带 3 个典型动力地貌,这 3 个动力地貌单元因不同动力作用驱动下的泥沙纵向和横向输移而存在相互关联的变化^[12]。故拟以 0 m 岸线、-3, -8 m 等深线分别表征各自的横向动力地貌单元变化,尝试构建基于代表典型动力地貌单元的等深线变化的 BP 神经网络模型实现对岸线演变的预报。

为此,将每年 7 个断面的 0 m 岸线、-3, -8 m 等深线进行平均,并分别将 0 m 岸线和 -3, -8 m 等深线作相关分析,由图 7 可知 0 m 岸线和 -3, -8 m 等深线的移动紧密相关,即岸线的变化和海底斜坡及其邻近水下平衡地带位置的进退是相连的。进一步分析滞后 0.5 a 或 1 a 的岸线和先期年度的一 3, -8 m 等深线关系表明,滞后时间的相关程度总体要好于或近于同步(年)相关(图 7),其中 0 m 与 -3 m 等深线的滞后相关系数明显好于同步相关系数,且都通过显著度为 0.01 的检验($n=15, P<0.01$, 相关系数 $R>0.61$),然而 0 m 与 -8 m 等深线的滞后相关系数在 2002 年前要弱于同步相关系数。这表明岸线的变化很可能是由于水下侵蚀/淤积波的缓慢西向移动,尔后经波浪的作用向岸或离岸输送,因而岸线变化表现出与上年的水下斜坡移动相关较强,而与水下平衡带的移动相关较弱,这或许与水下平衡带地貌本身活动性差有关。同时,南竹港—龙泉岸段 2002 年以前陆续修建的突堤,可能影响或者在一定程度上阻隔泥沙的沿岸输送,致使 2002 年以前的岸线与水下不同地带等深线的变化相关程度较弱,具体的原因需要深入研究。基于此,本研究利用先期年每个断面 -3, -8 m 等深线距离海堤的位置作为输入层,当年相应的 0 m 岸线位置作为输出层,利用径向基函数构建神经网络进行网络训练,当训练完成后即可利用当年监测的 -3, -8 m 等深线的位置预测下一年固定断面岸线位置的变化。由于南竹港—龙泉岸段 0 m 与 -8 m 和海堤之间的位置距离在

2002 年以前的相关程度较弱,这可能在一定程度影响预测的精度。

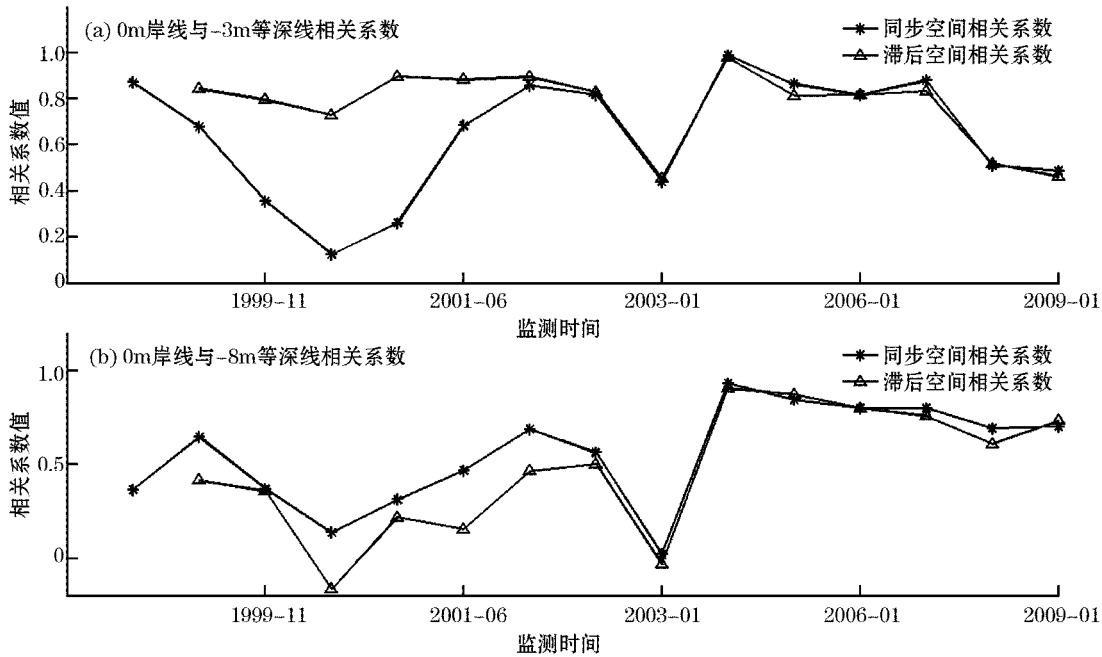


图 7 0 m 岸线与 -3 m、-8 m 等深线的相关系数

Fig. 7 Coefficients of Correlation between the 0 m shoreline and the shorelines at -3 m and -8 m

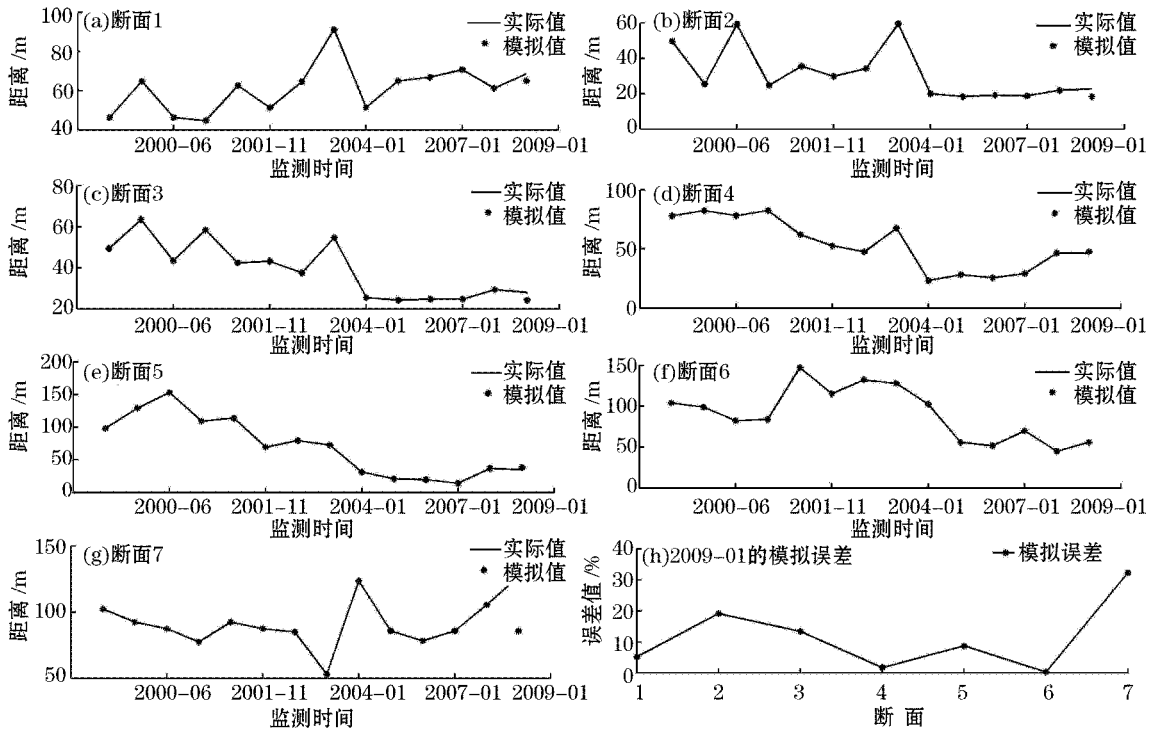


图 8 7 个断面岸线位置的模拟及预测

Fig. 8 Simulation and prediction of shoreline positions for 7 sections

图 8 为基于径向基函数构建的网络模型对 7 个断面的岸线位置进行模拟和预报,其中 2009-01 断面的岸线位置值为利用训练后的神经网络进行预报所得,除第 7 个断面岸线相对误差为 30%、断面 2 岸线相对误差为 18%,其他断面误差均小于 15%,可见,总体而言误差相对较小,故以-3,-8 m 等深线的位置值为输入向量、利用径向基函数进行神经网络训练,构建后一时间步长的岸线位置变化值为输出变量的网络模型还是可行的,因此这就为在研究区地形已知的情况下推知未知时段的岸线进退变化提供可能。

4 结 论

本研究通过对杭州湾北岸南竹港—龙泉岸段的实测岸滩断面分析,探讨淤泥质海岸岸线的变化性质并对其进行预报,主要结论包括:

1) 杭州湾北岸南竹港—龙泉岸滩近 10 a 来处于侵蚀状态,其中 2006 年前岸线为快速后退阶段,2006 年后岸线向海有所淤涨,但整体是处于退缩状态,这主要是由于长江入海泥沙量剧减以及侵蚀/淤积波向西转移引起的。

2) 杭州湾北岸南竹港—龙泉岸滩具有冬淤夏冲的特征,其中岸线则具有冬天向海推涨、夏季退缩的季节性波动性特征,这是由季节性波候作用引起的,而部分岸段出现的冬退夏涨的特征则可能归因于局部工程的影响。

3) 根据杭州湾北部岸滩的动力地貌特征,以水下斜坡-3 m、水下平衡地带-8 m 作为输入向量、后一时间步长的岸线作为输出向量,基于径向基函数构建的神经网络模型应用于岸线的演化预报是可行的,为岸线变迁预警提供了理论依据。

参考文献(References):

- [1] HANSON H, GRAVENS M B, KRAUS S L. Prototype applications of a generalized shoreline change numerical model[R]. Spain: Proceedings of the 21st International Conference on Coastal Engineering: 1265-1279.
- [2] CHEN W W, CHANG H K. Estimation of shoreline position and change from satellite images considering tidal variation[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2009, 84: 54-60.
- [3] CAMFIELD F E, MORANG A. Defining and interpreting shoreline change[J]. Ocean and Coastal Management, 1996, 32(3):129-151.
- [4] KAUFMAN W, PILKEY O H. The beaches are moving: the drowning of America's shoreline[M]. Durham: 2nd edition, Duke University Press, 1983: 326.
- [5] SCHUPP C A, NCNINCH J E, LIST J H. Nearshore shore-oblique bars, gravel outcrops, and their correlation to shoreline change[J]. Marine Geology, 2006, 233: 63-79.
- [6] ZHI J D, CHUN C L, QING L Z. Fractal analysis on shoreline patterns for the crenulate-bay beaches, Southern China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 61(1):65-71.
- [7] DAWSON J L, SMITHERS S G. Shoreline and beach volume change between 1967 and 2007 at Raine Island, Great Barrier Reef, Australia[J]. Global and Planetary Change, 2010, 72(3): 141-154.
- [8] DAI Z J, ZHANG X L, YAN H, et al. Morphodynamic behavior of the mud coast in response to typhoon action [J]. The Ocean Engineering, 2009, 27(2): 63-69. 戴志军,张小玲,闫虹,等. 台风作用下淤泥质海岸动力地貌响应[J]. 海洋工程, 2009, 27(2):63-69.
- [9] GU G C, LI S D, HU F X. Hydrological and sediment characteristics in the nearshore zone of the Northern Bank, Hangzhou Bay[G]. Shanghai: Selective papers of Synthesized Investigation on Shanghai Coastal Zone and Mud-flat Resources, 1983: 84-110. 谷国传,李身铎,胡方西. 杭州湾北部近岸水域水文泥沙特性[G]. 上海:上海市海岸带和海涂资源综合调查论文选编,1983:84-110.
- [10] BOAK E H, TURNER I L. Shoreline definition and detection: a review[J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21(4): 688-703.
- [11] SHI Y, LI J, WANG H G, et al. Method boxes of Matlab language-practice manual of Toolbox[M]. Xi'an: The Northwest Industrial University Press, 1998: 124-257. 施阳,李俊,王惠刚,等. Matlab 语言工具箱-Toolbox 实用指南[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1998:124-257.
- [12] CAO P K, DONG Y F. Evolution of coastal accretion and erosion processes of the Northern Bank (Huijiao-Jiaoqiao), Hangzhou Bay [G]. Shanghai: Selective Papers of Synthesized Investigation on Shanghai Coastal Zone and Mud-flat Resources, 1983: 111-120. 曹沛

- 奎,董永发. 杭州湾北岸(汇角一金桥)岸滩冲淤演变过程[G]. 上海:上海市海岸带和海涂资源综合调查论文选编,1983:111-120.
- [13] LIU C Z, YU Z Y. Erosion and deposit waves along the Northern shore of the Hangzhou Bay[J]. Fujian Geography, 2000, 15(3): 12-15. 刘苍宇,虞志英. 杭州湾北岸的侵蚀/淤积波及其形成机制[J]. 福建地理,2000,15(3):12-15.
- [14] MAO Z C, GUO J Q, YU Z Y, et al. Analysis on erosion and siltation of tidal flats in the north part of the Hangzhou Bay[J]. The Ocean Engineering, 2008, 26(1): 108-113. 茅志昌,郭建强,虞志英,等. 杭州湾北岸岸滩冲淤分析[J]. 海洋工程,2008,26(1):108-113.
- [15] CHEN J Y. Research and practice of Chinese estuary and coast[M]. Beijing: the Advanced Education Press, 2007: 10. 陈吉余. 中国河口海岸研究与实践[M]. 北京:高等教育出版社,2007:10.

Shoreline Change and Its Dynamic Simulation in the Muddy Coast Area of the Hangzhou Bay

SHI Wei-Yong¹, DAI Zhi-Jun², XIE Hua-Liang², ZHANG Xiao-Ling²

(1. *Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China;*

2. *State Key Lab of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 20006, China)*

Abstract: The measured data from a muddy coast segment located from the Nanzhu Harbor to Longquan in the northern coast area of the Hangzhou bay were analyzed statistically. The shoreline change and its influencing factors as well as associated dynamic simulation in the muddy coast segment were discussed. The results show that the beach of the muddy coast segment has been being in an erosion state in recent 10 years due to the decreasing in the incoming sediments from the Yangtze River and the moving of erosion/accretion waves from east to west. This will cause the whole shoreline in the area studied to retreat. Moreover, due to the action of seasonal wave climate, the beach of the muddy coast segment is in a silting state in winter half year and an eroding state in summer half year. As a result, the shoreline is pushed seaward in winter half year and retreated landward in summer half year. However, some parts of the shoreline may be retreated landward in winter half year and advanced seaward in summer half year because of the impacts of local engineering actions. As to the prediction of shoreline changes, it is possible to use the BF neural network mode with input vectors of -3 m and -8 m isobaths.

Key words: shoreline change; muddy coast; dynamic simulation; northern coast of the Hangzhou bay

Received: April 14, 2010