

渤海湾海岸古气候环境及其对海岸变迁的影响

白玉川, 杨艳静, 王靖雯

(天津大学 建筑工程学院泥沙研究所, 天津 300072)

摘要: 以渤海湾西岸这一典型淤泥质海岸为背景, 从研究古气候环境出发, 利用相关考古资料和前人的成果, 重建渤海湾西岸全新世以来的气候环境, 得到渤海湾的气候变化情况. 通过分析孢粉化石资料, 初步恢复渤海湾地区4个特征位置的古气候、古环境. 针对渤海海域水环境, 建立距今2 500~2 000年前、距今1 000年前和公元2004年的渤海二维潮流数学模型, 通过分析流场变化构建出从古至今海岸变迁演变过程(冲淤演变). 研究古气候环境变化与海岸变迁的关系, 探索古气候环境影响下的海岸变迁的内因和外延, 综合古气候变化、海平面变化等影响因素, 总结得出渤海湾海岸古气候环境(温度、降水、潮流风浪等)对海岸变迁的影响, 并对未来海岸线的变化趋势进行预测.

关键词: 渤海湾; 古气候恢复; 气候变化; 海岸变迁

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0018-09

环境是当今世界科学界最为关注的问题之一, 重建古气候、古环境, 研究环境从古至今的发展变迁, 预测其未来的变化趋势, 已成为国内外研究的热点. 海岸是海陆交互作用的地带, 是环境演变最为敏感、复杂和多变的地区之一, 气候演化、海岸变迁、海平面升降等均会对海岸带环境产生巨大影响. 渤海湾为半封闭的三角洲湾, 由于受第三纪以来地壳连续下降和海面波动等多种因素的影响, 岸线在不同时期有所消长, 在西、南岸沉积了厚厚的新生代沉积物并留下了一系列古海岸遗迹, 从而成为研究海岸变迁的理想地区之一. 海岸变迁是岸滩侵淤和地貌动态过程的综合反映, 岸滩演变是一个非常复杂的物理动力过程. 迄今为止, 我国在海岸变迁方面已有一定的研究基础. 在理论研究方面, 许多学者从古环境角度出发, 根据微体古生物、古植被、古地磁、岩性特征等资料, 运用地质学、气候学、生物学和海洋学等相关知识, 讨论古气候演化和海陆变迁历史^[1-5]; 另有一些学者通过研究历史上海侵与海退中的海平面变化情况, 来得到海岸地貌的反映, 如古三角洲等沉积体系的演化和海陆变迁的过程等^[5-10], 其中值得一提的是王颖等^[11]深入探讨了海平面上升与海滩侵蚀的关系, 为海平面上升对海岸变迁的影响提供了理论依据; 围绕着海岸变迁的机理, 还有很多学者从渤海湾西岸淤泥质海岸特有的地貌形态——贝壳堤入手, 研究其形成与岸线变迁和海面波动之间的关系, 对认识海洋动力下的海岸堆积、侵蚀作用起到极大的促进作用^[12-19]. 随着科学技术的发展, 一些新的研究方法(遥感技术、数值模拟等)开始涌现^[20-24]. 但是基于遥感等研究海岸变迁, 研究年限受到限制, 一般仅在百年左右, 不利于充分了解海岸变迁时间性和区域性的特征; 基于数值模拟研究的海岸变迁, 大都不能够很好的与古气候资料相结合, 不利于古气候真实合理地再现; 且百年以来的海岸变迁受人活动的影响较大, 不能很好地解释海岸自然变迁的规律和原因.

鉴于此, 本文以渤海湾西岸这一典型淤泥质海岸为背景, 从研究古气候环境出发, 利用相关考古资料和前人的成果, 重建渤海湾西岸全新世以来的气候环境, 了解这一典型地域海陆变迁过程; 从海岸动力学的角

收稿日期: 2011-09-26

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体科学基金(51021004); 天津市科技计划项目(应用基础与前沿技术, 编号: 11JCYBJC03200)

作者简介: 白玉川(1967-), 男, 山西神池人, 教授, 博士, 主要从事泥沙运动理论、非线性河流动力学及海岸动力学研究.

E-mail: ychbai@tju.edu.cn

度出发,结合古代地形、气温等资料,建立渤海海域现代和古代海岸的二维潮流数学模型,通过分析流场和冲淤改变的原因,探讨海岸变迁机理;研究古气候环境变化与海岸变迁的关系,探索古气候环境影响下的海岸变迁的内因和外延. 本文采用“古今结合”的理念,将古气候学和海岸动力学相结合,旨在提供一种新的思路.

1 古气候的恢复

1.1 孢粉-植被-气候分析方法

在自然因素中,植物对生存环境的反应最为敏感,植物和自然地理环境及气候条件有着密切的关系. 所以孢粉可以作为古植被直接代用指标和古气候间接代用指标. 孢子和花粉由于个体小、易于保存而成为第四纪植被发展史和第四纪古气候、古环境研究的重要手段之一^[25]. 根据各时期的孢粉组合,不仅可以确定其在层位的地质时代,还可用来阐明各地质历史时期的植被分区及某一地区植被的变更历史.

定量地重建古气候有多种方法,如古地磁法、氧同位素法、海洋有孔虫法和冰芯记录等,但从孢粉分析得出的古气候参数以其直接性和可靠性在全球气候研究中具有无可替代的作用. 以孢粉为基本材料,运用“孢粉-植被”的概念,首先恢复“古植被”,再与现代各气候带内生长的不同植被类型进行比较,进一步推测其古气候环境,包括气温和干湿度(表1).

表1 各生态类型的孢粉化石主要属种

Tab. 1 The main ecological types of genera and species of palynofossils

	喜热类型	喜温类型	喜干类型	喜湿类型
蕨类	凤尾蕨科、水龙骨科、莎草科、粗肋孢属、海金砂科、希指蕨孢、抄罗科、三角孢		凤尾蕨科、莎草蕨科、希指蕨孢	水龙骨科、粗肋孢属、海金砂科、抄罗科、三角孢、
裸子植物	罗汉松科、雪松粉属、杉粉属、铁杉粉属	单束松粉属、双束松粉属、杉科、柏科、银杏粉属、麻黄粉属	麻黄粉属	杉科
被子植物	漆树粉属、芸香粉属、栎粉属、椴粉属、克拉梭粉属	榆科、桦科、胡桃粉属、忍冬粉属	唇形三沟粉属、三孔沟粉属、藜粉属、山萝卜粉属、拟白刺粉属、青海粉属、菊科、克拉梭粉属	桉木粉属、菱粉属、眼子菜粉属、黑三棱粉属、鹰粉属

1.2 渤海湾古气候恢复

渤海湾西岸各地孢粉资料来源:曹妃甸地区 96-24 钻孔;黄骅地区 HBI 钻孔;天津地区兴坨剖面钻孔;老黄河口地区 CB20A 孔. 全新世早期为针叶林草原植被;中期为针阔叶混交林草原植被;晚期为具有草甸植被特点的针阔叶混交林草原植被. 相应的古气候主要呈现温干-温凉-温暖湿润、温冷湿、温凉干的气候变化过程(表2).

表2 全新世以来渤海湾西岸各地区代表性钻孔孢粉组合及其所反映的古植被环境和古气候类型

Tab. 2 Palynological assemblage of typical drilling and paleo-vegetation and paleo-climate reflected by palynological assemblage of different west bank regions in Bohai Bay since Holocene

钻孔地区	全新世	孢粉组合		植被环境	气候类型
		木本植被	草本植被		
曹妃甸 96-24 钻孔	晚期	松、栎、桦、榆、栗、枫香	蒿、藜	针阔混交林草原植被	温凉偏干
	中期	松、栎、桦、榆	蒿、藜、菊、禾本	以针叶树为主的针阔混交林草原植被	冷湿
	早期	桦、栎、榆、松(极少)、枫香、漆树、栗、化香	蒿、藜、禾本	以阔叶树为主的针阔混交林草原植被	温湿
黄骅 HBI 孔	晚期		蒿、藜	草原植被	干凉且暖或湿波动
	中期	松、栎、桦		针叶为主的针阔叶混交林草原植被	冷湿
	早期	松(少)、栎、榆、桦	藜、水生草本植被	针阔叶混交林草原植被	温湿

(续表)

钻孔地区	全新世	孢粉组合		植被环境	气候类型
		木本植被	草本植被		
天津 兴坨剖面	晚期	松、桦、栎、椴、榛、鹅耳枥	蒿、藜、菊、禾本、香蒲、莎草	以松为主的针阔叶草原植被	温凉湿
		桦、栎、椴、榆	蒿、藜、菊、禾本、莎草	针阔叶混交林草原植被	温湿
	中期	松、桦、鹅耳枥、冷杉	蒿、藜、菊、禾本、莎草	针阔叶混交林草原植被	冷湿
		桦、栎、椴、榆、松、鹅耳枥、榛	香蒲、莎草、蒿、禾本、藜、眼子菜	针阔叶混交林草原植被	温暖湿
早期	松、椴、榆、栎、云杉、鹅耳枥	麻黄、蒿、菊	针阔叶混交林草原植被	温冷湿	
老黄河口 CB20A 钻孔	晚期	松	菊、蒿	针叶林草原植被	温干
	中期	松、个别阔叶树花粉	蒿、菊	针阔叶混交林草原植被	冷湿
	早期	松	蒿、菊	针叶林草原植被	温湿

其中天津兴坨剖面位于湿地地带,具有渤海“湾中湾”的地貌特征,晚期气候呈现湿润状态.由历史资料可知,秦汉时期渤海地区已经有人类居住,所以古环境演变除了遵循自然的发展变化,同时也不可避免地受到人类活动的影响.

2 渤海湾二维潮流数学模型

海岸的变迁作用是空间上的改变,受众多影响因素的影响.但其各个影响因子,却并不是完全独立的,且影响程度的大小也是因地因时不尽相同.但值得一提的是,所有的影响因子与气候变化均具有紧密的联系.从古气候角度出发,应用古气候的演变规律可以更加深刻的研究海陆变迁、地壳运动等问题.本文即利用已经恢复的古气候,立足海岸动力学视角,结合古代地形、气温、干湿度等资料,建立渤海海域现代和古代海岸的二维潮流数学模型,通过分析流场和冲淤改变的原因,探讨海岸变迁机理.

2.1 模型简介

针对古气候环境中的水环境分支,建立潮流数学模型,并依据模拟结果对海岸线变迁原因进行分析.本文旨在提出一种新的探索方向,故在此仍选用二维模型进行初探.利用 SMS 软件中的 ADCIRC^[26-27] 模块对渤海进行二维潮流数值模拟,并对天津港附近的指定特征点进行潮位、流速和流向验证.研究中选取 3 种工况,分别是 2 004, 1 128 和 2 500 a 前的渤海区域.

数学模型流程如下:导入岸线和地形文件前处理→运行 ADCIRC 模块进行潮流计算→调出并添加边界文件→运行 ADCIRC 模块程序→输出模型结果并进行后处理.

2.2 模型验证

选取塘沽潮位站(测站位置为 38°59'N, 117°47'E), 2004 年 10 月 27—28 日的潮位资料,以及天津港潮流测站 1#和 2#点位的流速及流向资料作为验证特征点资料(见图 1).

模型建立后对其潮位和流速、流向的验证,实测数据的验证时段为 2004 年 10 月 27 日 14 时至 2004 年 10 月 28 日 16 时(大潮),验证点位置为天津港潮流测站,其中对验潮点进行潮位验证,对 1#和 2#点位进行流速、流向验证,验证结果见图 2.

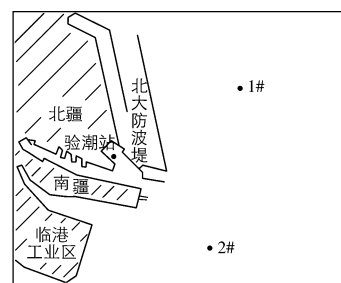
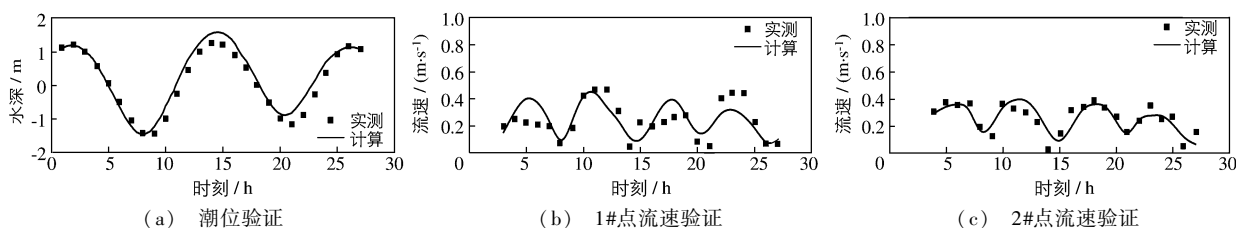


图 1 天津港区全潮水文测站布置示意图
Fig. 1 Layout schematic diagram of whole tidal hydrometric station in Tianjin Port



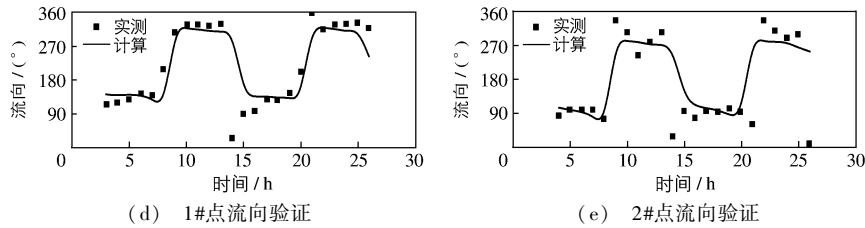


图2 潮位和流速流向验证

Fig.2 Verification of tidal level, current velocity and flow direction

由模型验证结果可知潮位验证结果较理想,其中实测数据中最高潮位为 1.27 m,最低潮位为-1.44 m,最大潮差为2.71 m,而计算数据中最高潮位为 1.56 m,最低潮位为-1.47 m,最大潮差为 3.03 m,实测潮位和计算潮位的大小和涨落变化几乎相同. 验证区域内 1#和 2#点的流速、流向的验证结果也较好,只有 1#点的流速验证结果在峰值时刻偏差相对较大. 误差主要来自以下几个方面:(1)实测资料本身的误差;(2)岸线以及地形水深资料的精确度误差;(3)数值模拟中,为简便处理,糙率统一取为常数. 总体来说,整体曲线变化趋势较好,但仍需进一步改进.

2.3 模型计算结果及其分析

本文分 3 种工况对渤海湾涨、落潮流场进行了计算. 第 1 种工况的岸线地形根据实测资料获得(图 3),第 2 和 3 种工况的岸线和地形在工况 1 基础上,结合恢复的古气候和相关历史文献资料中的古海岸岸线情况,分别绘制 1 000 a 和 2 500 a 前的岸线地形(表 3 给出了工况 2 和工况 3 岸线特征点的位置,表 4 为 3 种工况潮流场对比).

总体看来,渤海整个海域流向趋势一致,不同时期在局部有所不同. 结合泥沙运动,涨潮时泥沙被潮流挟带至岸边,落潮时泥沙又被潮流挟带离岸,整个海岸线基本呈平衡稳定状态. 渤海湾主要的海岸线变迁区域为渤海湾西岸、辽东湾东北侧和黄河口地区. 辽东湾东北侧岸线变迁主要是辽河下游泥沙在入海口处淤积所致,黄河口地区则主要因为黄河下游泥沙在入海口处淤积及黄河口改道.

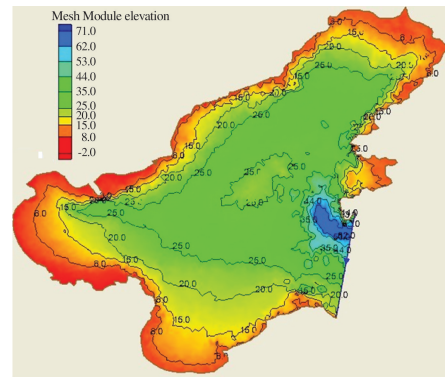


图3 AD2004 年渤海区域岸线和地形

Fig.3 Shoreline and topographic maps of Bohai Bay in AD2004

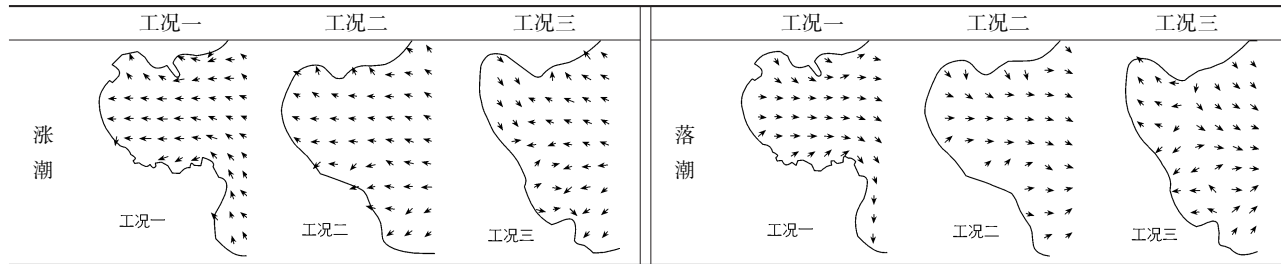
表 3 工况 2 和工况 3 模型岸线特征点位置

Tab.3 Characteristic points location of shoreline about 2,500 and 1,000 years ago

工况 2(1 000 a 前)			工况 3(2 500 a 前)		
地名	纬度	经度	地名	纬度	经度
狼坨子	38°17'N	117°48'E	狼坨子	38°17'N	117°48'E
马棚口	38°27'N	117°33'E	泥沽	39°01'N	117°27'E
歧口	38°36'N	117°34'E	军粮城	39°04'N	117°28'E
张巨河	38°33'N	117°35'E	上古林	38°50'N	117°29'E
贾家堡	38°27'N	117°41'E	马棚口	38°27'N	117°33'E
驴驹河	39°04'N	117°38'E	歧口	38°36'N	117°34'E
塘沽	39°01'N	117°39'E	贾家堡	38°27'N	117°41'E
大辛堡	38°23'N	117°41'E	大辛堡	38°23'N	117°41'E
蛭头沽	39°08'N	117°46'E	宁河	39°20'N	117°49'E
大神堂	39°18'N	117°57'E			

表4 渤海湾3种工况的潮流场比较

Tab.4 Tidal flow field comparison chart of Bohai Bay under three different conditions



2.4 渤海湾西岸岸线变迁原因分析

本文研究区域较大,在此主要结合模型计算结果分析渤海湾西岸海岸变迁的原因。

(1) 研究时间段处于晚全新世,自海侵在中全新世达到高峰以后,海平面缓慢下降,海岸基本处于稳定状态,此时泥沙沉积作用突出,加剧了海退和陆地增长的进程。

(2) 潮流是泥沙输运的载体。涨潮时泥沙被输运至流向相对区域即沙坝位置而沉积下来,落潮时又被水流从沙坝内侧挟至西岸,且落潮延时大于涨潮延时,所以泥沙在沿岸慢慢沉积。渤海湾海岸为粉砂淤泥质海岸,泥沙粒径较小,磨圆度好,不利于水流大量挟带。随着时间变化,渤海湾开口越来越小,湾内流速相应减小,水流挟沙能力降低。

(3) 河口及近岸地带的沉积作用。渤海湾入海河流较多,且都已含沙量大著称。除黄河是渤海湾沉积物的主要来源外(年输沙量12亿t),滦河等河流年输沙量亦均达千万吨以上,总输沙量之大使得泥沙沉积能力相当可观。河口地区沉积作用明显,大量泥沙沉积并形成三角洲,其余随潮流而动被携带至各沿岸地带。从对比图可以看出,渤海湾西岸南北两端的黄河口和滦河口各有一股强大海流沿海岸发展,局部地区更是以沿岸输沙为主,潮流流向与岸线趋于平行,从而形成了一个完整的渤海湾环形输沙带。

(4) 入海径流的迁徙、摆动直接影响岸线分布状况。黄河中游泥沙通过干支流大量携至下游河道,并不断输送至河口,使得三角洲演变剧烈,经常处于不断淤积-延伸-改道的演变过程中。

3 气候变化对渤海湾海岸变迁的影响

3.1 气候变化

3.1.1 渤海湾古气候环境变化 气候研究的主要内容为干湿度与气温。本文研究得出全新世以来渤海湾地区总体气候演变趋势:

早全新世:初期温冷、干燥,逐渐向湿润气候转化,整体表现为温冷湿润气候;气温较现今低2~4℃左右。

中全新世:温湿和冷湿交替出现,平原地区气候偏冷湿,近岸处较温暖,整体气候还是以冷湿为多;气温较现今高3℃左右。

晚全新世:属于典型的亚大西洋期气候,温凉、干燥;气温与现代相似。

综上所述,全新世气候发展变化复杂,冷暖干湿波动频繁,但总体特征仍为温暖湿润的气候环境,气温较更新世也呈现整体温升趋势。

3.1.2 气候变化引起的海平面变化 根据中国东部2万a以来的海面变化曲线(图4),可以得出研究区域

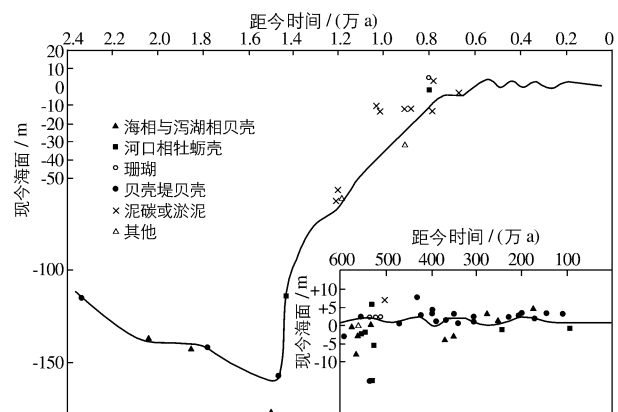
图4 中国东部2a年以来的海面变化曲线^[28]

Fig.4 Sea level changes of the eastern China during the past 20,000 years

自6 000 a以来海平面趋于稳定,基本与现在海平面高度持平,但仍有小幅波动.2 000多年以来海平面比现今海面高出约2 m,1 000 a以来海平面比现今海面高出约1 m.

3.2 海岸线的变迁

全新世以来渤海海岸变迁的基本历程如下:全新世初期,海水进入渤海;距今8 500 a左右,达到现今海域范围;距今5 500~6 000 a左右,海侵达到高峰期,在平原地区,海水深入现今陆上数十到百余千米;海水间歇性后退,岸线持续向海推移;距今1 000 a左右,海退变缓,逐渐转入相对的稳定时期;近代和现代,黄河、滦河、辽河河口地带岸线迅速向海推进,局部海岸受到海潮侵袭缓慢后退,其余岸段仍处于基本稳定状态^[29].本文主要研究自古以来气候变迁对海岸线变迁的主要影响.忽略短期小幅变化,可以将海面变化划为2个阶段:6 000 a以前的急剧上升阶段和之后的基本稳定阶段(图4).

3.3 气候变化对海岸线变迁的影响

海岸变迁是海陆相对运动的结果,气候变化引起的海平面升降、强风大浪及风暴潮等因素共同影响着海岸变迁.

3.3.1 温度和降水对海岸线变迁的影响 海面升降是伴随着气候冷暖交替而发生的.温度升高,可引起冰山融化,在大范围内反映为海平面的升高,岸线向陆推进;温度降低,表面海水冻结,反映为海平面的降低,岸线向海推进.

海面升降与降水量直接相关.降水过多可导致局部区域内海面升高,表现为长时间大规模降水或短期风暴潮灾害等气候;相反,长期干旱亦可导致局部海域内海平面降低.此外,降水丰富使得地表径流水量充沛,水流挟带的泥沙在河口及近岸地带沉积,会引起岸线向海推进.

3.3.2 潮流风浪对海岸线变迁的影响 海岸在强风大浪或大流速潮流作用下,可以促成或者加剧海岸线变化.综合流场变化导致的海岸泥沙输运,在风场和泥沙粒径等条件的影响下得出冲淤变化会进一步说明问题.

此外,风暴潮作为潮流风浪的一种特殊的表现形式,是海岸侵蚀最直接和最重要的因素.在古渤海湾的沉积作用中,风暴潮沉积作用明显,说明渤海湾历史上是风暴潮灾害严重地区.风暴潮作用于海岸,虽然作用时间短但强度极大,故后果和危害及其严重,会引起强烈的岸滩侵蚀,同时风暴潮作用引起海水倒灌,海水上溯,直接入侵沿岸地区,破坏岸线.

3.3.3 气候变化引起的海平面变化对海岸变迁的影响 渤海湾西岸自全新世以来的周期性海平面升降是伴随着气候的冷暖交替发生的.海平面的上升会加剧海岸侵蚀,使得入海径流携沙能力降低、潮流作用和风暴潮影响加强、湿地等地带遭受海岸侵蚀后生态平衡破坏反作用于气候形成气候变暖-海面上升的恶性循环.

另外,从海岸动力学的角度,海平面上升使得陆地相对下降,水深和波高增加、波能增强,海水动力作用显著增大,大大加强了岸滩的冲刷作用和泥沙搬运作用,使得岸线侵蚀后退.

总之,控制海陆变迁的因素各不相同,其作用范围和程度也大不相同.本文讨论的随气候变化而引起的海平面升降是全球或者大区域性因素.当然还有其他很多与海面升降有关的各方面因素,例如地壳运动、人类活动等等,这些因素同时作用甚至互相叠加或者抵消,不同区域以及不同时期条件下,其主次地位也在不断发生变化,使得海岸变迁原因变得更为复杂.

3.4 未来海岸线的变迁趋势

渤海海域的海陆变迁是全球以及整个中国东部地区海陆升降的具体反应,其未来状况是历史变迁的继续和发展.因此,对于不同地质时期中的气候冷暖交替和海陆升降规律的有效分析,是认识了解渤海海域海岸线未来变迁趋势的一个非常重要的前提.

漫长的地质时期始终贯穿着气候的冷暖与海水进退的交替变化.但气温变化和海面变化的高峰期已经过去,2 500 a以来均逐渐趋于稳定.所以,在今后一个相当长的时间段之内,气候变化的基本趋势是在小幅度范围内波动,并逐渐向寒冷方向发展.在这种气候环境下,相应的海陆变化的基本趋势是在往复式进退中

继续发生海退. 又因为在整个气候趋向寒冷的环境下, 冰川扩张作用速度远远小于气候变暖时期冰川消融退缩作用, 故今后长时期内的海退过程将是异常缓慢的. 未来的海退过程中, 温室效应是抑制它缓慢进行的因素之一, 二氧化碳气体的增加所引起的升温作用在目前阶段还是比较有限的, 它在一定程度上削弱了气候变冷的程度, 但是还不能彻底改变气候发展的自然趋势. 气温变化与冰川的消长也有着互相制约的复杂关系. 气温升高导致冰川消融, 冰川消融又吸收大量热量, 从而使得气温下降. 这一制约关系也使得未来的海退过程进展将非常之缓慢.

综上所述, 渤海湾的海面高度和海陆位置将在今后的时期继续保持相对稳定状态, 但局部性的海陆升降和进退变化仍将十分频繁.

4 结 语

通过分析孢粉化石资料, 初步恢复渤海湾地区 4 个特征位置的古气候环境, 基本重建了渤海湾地区古气候环境. 对渤海海域水深和地形等数据进行搜集, 在渤海海域上建立了二维潮流数学模型, 应用模型分别对 2 004, 1 128 以及 2 500 a 前 3 种工况条件进行模拟, 同时对 3 种工况条件下的流场进行了对比分析, 得出气候环境中水环境对于海岸变迁的主要影响因素. 同时, 结合海平面变化资料和模型分析结果, 进一步分析了古气候变化对海岸变迁的影响. 根据所得规律, 预测了未来渤海湾气候变化趋势和渤海海域海岸线的变迁趋势.

然而, 对于古气候、古环境的恢复分析, 由于只是初步探讨, 很多结论有待完善. 若今后能充分利用我国丰富的古代物候、考古资料 and 前人研究成果, 综合气候学、地理学、海洋学等多门学科、多个领域的知识, 进一步改进模型或建立新的模型对多个关键性因素进行更加系统、合理地模拟, 成果是非常可观的.

参 考 文 献:

- [1] 张树山. 晚更新世以来渤海湾沿岸的海进海退及古气候环境[J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 1996, 20(3): 96-102. (ZHANG Shu-shan. Transgression, regression and ancient climate environment in the littoral of Bohai Sea since Pleistocene epoch[J]. Journal of Hebei Normal University (Natural Science), 1996, 20(3): 96-102. (in Chinese))
- [2] 王强, 李凤林. 渤海湾西岸第四纪海陆变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(2): 83-89. (WANG Qiang, LI Feng-lin. The changes of marine-continental conditions in the west coast of the Bohai Gulf during Quaternary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1983, 3(2): 83-89. (in Chinese))
- [3] 肖嗣荣. 河北沿海全新世海侵与岸线变迁探讨[J]. 地理学与国土研究, 1997, 13(2): 47-52. (XIAO Si-rong. Holocene transgression and shoreline changes along the Hebei coast[J]. Geography and Territorial Research, 1997, 13(2): 47-52. (in Chinese))
- [4] 徐家声. 晚更新世末期以来黄河口古地理环境的演变[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 327-333. (XU Jia-sheng. Palaeogeographic environmental evolution in the Huanghe River estuary since late Pleistocene[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(3): 327-333. (in Chinese))
- [5] 魏灵. 近 4 万年渤海西岸海侵时古海面的现代标高对比研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(3): 361-369. (WEI Ling. Comparison study of elevations of ancient sea level during transgressions of the west coast of Bohai Sea in the past 40ka[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(3): 361-369. (in Chinese))
- [6] 任美镠. 第四纪海面变化及其在海岸地貌上的反映[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(3): 295-304. (REN Mei-e. Quaternary sea level changes and their reflection on the coastal geomorphology[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1965, 7(3): 295-304. (in Chinese))
- [7] 夏东兴. 全新世高海面何在[J]. 海洋学报, 1981, 3(4): 601-608. (XIA Dong-xing. Where comes the high sea-level during the Holocene[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1981, 3(4): 601-608. (in Chinese))
- [8] 赵松龄, 张宏才. 渤海地区近 20 万年以来的海面变化[J]. 海洋科学, 1985, 9(3): 10-14. (ZHAO Song-ling, ZHANG

- Hong-cai. Sea level changes of the Bohai Sea region since 200,000 ys [J]. *Marine Sciences*, 1985, 9(3): 10-14. (in Chinese))
- [9] 薛春汀. 天津宁河县俵口牡蛎礁剖面与海面变化关系的讨论[J]. *地理科学*, 2003, 23(1): 49-51. (XUE Chun-ting. Discussion on relationship between Holocene sea level fluctuation and Biaokou section, Ninghe, Tianjin, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(1): 49-51. (in Chinese))
- [10] 张军强. 晚更新世以来古气候与海平面变化在东海地区的响应[J]. *海洋湖沼通报*, 2008(1): 25-31. (ZHANG Jun-qiang. The response to the variety of paleoclimate and sea level in the east China Sea after the late Pleistocene [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2008(1): 25-31. (in Chinese))
- [11] 王颖, 吴小根. 海平面上升与海滩侵蚀[J]. *地理学报*, 1995, 50(2): 118-127. (WANG Ying, WU Xiao-gen. Sea level rise and beach response [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(2): 118-127. (in Chinese))
- [12] 王颖. 渤海湾西部贝壳堤与古海岸问题[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 1964, 8(3): 424-442. (WANG Ying. The shell coast ridge and the old coastlines of the west coast of the Bohai Bay [J]. *Acta Science National University Nankinesis*, 1964, 8(3): 424-442. (in Chinese))
- [13] 赵希涛. 渤海湾西岸的贝壳堤[J]. *科学通报*, 1980, 25(6): 279-281. (ZHAO Xi-tao. Chenier ridge on the west coast of Bohai Sea [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1980, 25(6): 279-281. (in Chinese))
- [14] 徐家声. 渤海湾黄骅沿海贝壳堤与海平面变化[J]. *海洋学报*, 1994, 16(1): 68-77. (XU Jia-sheng. Chenier and sea-level change on the coast of Huanghua, Bohai Gulf [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1994, 16(1): 68-77. (in Chinese))
- [15] 王宏, 张金起, 张玉发. 渤海湾西岸的第一道贝壳堤的年代学研究及1千年来的岸线变化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(2): 7-14. (WANG Hong, ZHANG Jin-qi, ZHANG Yu-fa. Chronology of the chenier I and shoreline changes since the last 1ka on western coast of Bohai Bay [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(2): 7-14. (in Chinese))
- [16] 王宏, 张玉发, 张金起. 渤海湾西岸第二道贝壳堤的细分及其年龄序列[J]. *地球学报*, 2000, 21(3): 320-327. (WANG Hong, ZHANG Yu-fa, ZHANG Jin-qi. The chenier II on the western coast of Bohai Bay: Its subdivision and amended time-frame work [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2000, 21(3): 320-327. (in Chinese))
- [17] 王宏, 李建芬, 张玉发. 渤海湾西岸年轻贝壳堤: 形态、结构与多成因过程[J]. *地质论评*, 2000, 46(3): 276-287. (WANG Hong, LI Jian-fen, ZHANG Yu-fa. The younger cheniers (shell banks) on the west coast of Bohai Bay: Morphology, structure and polygenetic processes [J]. *Geological Review*, 2000, 46(3): 276-287. (in Chinese))
- [18] 王宏, 李凤林, 张玉发. 渤海湾贝壳堤的另一种成因[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(5): 488. (WANG Hong, LI Feng-lin, ZHANG Yu-fa. A new possible origin of the shelly ridge in Bohai Gulf [J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(5): 488. (in Chinese))
- [19] 王强. 渤海湾西岸贝壳堤堆积与海陆相互作用[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 775-786. (WANG Qiang. Shelly ridge accumulation and sea-land interaction on the west coast of the Bohai Bay [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(5): 775-786. (in Chinese))
- [20] 于杰, 杜飞雁, 陈宝国. 基于遥感技术的大亚湾海岸线的变迁研究[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(4): 512-516. (YU Jie, DU Fei-yan, CHEN Bao-guo. Research on coastline change of Daya Bay using remote sensing technology [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(4): 512-516. (in Chinese))
- [21] 周春艳, 李广雪, 史经昊. 胶州湾近150年来海岸变迁[J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(7): 99-106. (ZHOU Chun-yan, LI Guang-xue, SHI Jing-hao. Coastline change of Jiaozhou Bay over the last 150 years [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(7): 99-106. (in Chinese))
- [22] 谢艳珍, 方国智, 倪金. 辽河口海岸线近百年来的变迁[J]. *海洋学研究*, 2010, 28(2): 14-21. (XIE Yan-zhen, FANG Guo-zhi, NI Jin. Research on century's changes of coastline of Liaohe estuary [J]. *Journal of Marine Sciences*, 2010, 28(2): 14-21. (in Chinese))
- [23] 闫晓勇, 张铭. 6000年前中国古气候的数值模拟[J]. *解放军理工大学: 自然科学版*, 2003, 4(6): 81-83. (YAN Xiao-yong, ZHANG Ming. Numerical simulation of the Chinese paleoclimate of 6000 years before present [J]. *Journal of University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2003, 4(6): 81-83. (in Chinese))
- [24] 靳立亚, 陈发虎. 千百年尺度气候快速变化及其数值模拟研究进展[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(10): 1054-1065.

- (JIN Li-ya, CHEN Fa-hu. Process in rapid climate changes and their modeling study in millennial and centennial scales[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(10): 1054-1065. (in Chinese))
- [25] 杨振京, 徐建明. 孢粉-植被-气候关系研究进展[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 73-81. (YANG Zhen-jing, XU Jian-ming. *Advances in studies on relationship among pollen, vegetation and climate*[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(Suppl): 73-81. (in Chinese))
- [26] GRENIER R R, LUETTICH R A, WESTERINK J J. A comparison of the nonlinear frictional characteristics of two-dimensional and three-dimensional models of a shallow tidal embayment[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995: 13719-13735.
- [27] KOLAR R L, WESTERINK J J, CANTEKIN M E. Aspects of nonlinear simulations using shallow water models based on the wave continuity equation[J]. *Computers and Fluids*, 1994, 23(3): 523-538.
- [28] 赵希涛, 耿秀山, 张景文. 中国东部 20000 年来的海平面变化[J]. *海洋学报*, 1979, 1(2): 269-281. (ZHAO Xi-tao, GENG Xiu-shan, ZHANG Jing-wen. *Sea level changes of the eastern China during the past 20000 years*[J]. *Acta Oceanologia Sinica*, 1979, 1(2): 269-281. (in Chinese))
- [29] 张业成, 胡景江, 刘春风. 全新世以来渤海海岸变迁历史及未来发展趋势的初步分析[C]//中国地质科学院 562 综合大队文集(7,8), 北京: 地质出版社, 1989: 213-232. (ZHANG Ye-cheng, HU Jing-jiang, LIU Chun-feng. *Preliminary analysis of the future developing tendency and the vicissitudinous history in the coast of Bohai Sea since Holocene series*[C]// *Bulletin of the 562 Comprehensive Geological Brigade, Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences*, 1989: 213-232. (in Chinese))

Research of paleoenvironment and its impact on coastline evolvement in Bohai Bay

BAI Yu-chuan, YANG Yan-jing, WANG Jing-wen

(*Institute of Sediment in River and Coast Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Abstract: Based on the fact that the west coast of Bohai Bay is a typical muddy coast, paleoclimate and paleoenvironment are both studied. This paper makes an analysis of the pollen fossil according to the relevant archaeological data and related research results of Bohai Bay region and makes a preliminary reconstruction of paleoclimate of the region since Holocene, then the climate changes are obtained. This paper makes an analysis of the pollen fossil of Bohai Bay region and makes a preliminary recovery of four typical locations' paleoclimate and paleoenvironment of the region. This paper establishes a tide mathematical model of the Bohai Bay region under three different periods: AD 2004, 1128 B. P. and 2500 B. P. . At first, the mathematical model is proved reliable by the comparison of the measured data and the model test data of the 2004 model. Thus, numerical models of the other two conditions can be built. And then, this paper makes a comparison and analysis of the characteristics of the rising tide, ebb rush of three models. Finally, this paper studies the relationship between the paleoclimate changes and coastline evolution, explores the internal and external reasons of the coastline evolution under the influence of climate changes, analyzes the evolvement of the coastline based on the climate changes, sea-level changes and other factors, thus gets a conclusion of the influences paleoclimate and paleoenvironment bring to coastline evolvement and predicts the trend of coastline changes in the future based on the rules obtained in this paper.

Key words: Bohai Bay; restoration of paleoclimate; paleoclimate changes; coastline evolvement