南宋以来江苏海岸带历史海岸线时空演变研究

张晓祥[1],王伟玮[1],严长清[2],晏王波[1],戴煜暄[1],徐 盼[1],朱晨曦[2]

(1. 河海大学地理信息科学与工程研究所,江苏 南京 210098; 2.江苏省土地勘测规划院,江苏 南京 210024)

摘要:历史海岸线变迁研究是海岸带研究的一个重要方面,对于海岸带的利用、开发与保护有重要的意义。以江苏海岸带为研究对象,结合数字海岸线分析系统分区段建立有效的海岸线分析断面,并计算各个区段的海岸线历史变化,对南宋至今约1 000 a来的历史海岸线变迁进行定量和定性分析,揭示海岸线时空变迁背后的驱动力。结果表明:废黄河口地区变化剧烈,最大淤涨速率和侵蚀速率分别达250、600 m/a,塑造其剧烈变化的动因是公元1128年的黄河夺淮与公元1855年的黄河北归;此外,近代废灶兴垦等人类活动也导致了辐射沙洲北部及南部变化明显。

关 键 词:海岸带;海岸线变迁;历史演变;时空分析;江苏

中图分类号:P736 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-0690(2014)03-0344-08

海岸线是陆地与海洋的分界线,海岸线变化是环境变化的一个重要表现。一方面,海岸线变化是海岸带冲淤变化的直接体现,是地壳运动、泥沙运动、海流运动等多种自然因素共同作用的结果[1~3];另一方面,人类活动特别是大规模的海岸带围垦及临海工业的发展对海岸带变化的影响日趋剧烈[4]。因此,如何评估海岸线历史发展与变化过程,对于揭示海岸带历史演变机理,重现历史本态,分析时空特征,合理进行海岸带利用、引导后期人类围垦工程、保护海岸带环境有着重要意义[5,6]。

针对历史海岸线分析,长期以来主要是利用遗址考古、古沙堤位置考证、沉积样品 ^{14}C 等方法进行研究[7,8]。然而古代历史海岸线数据由于技术条件限制导致数据获取困难,同时数据分析也缺乏空间精确性,因而无法直观、定量地了解江苏海岸线变迁的过程及演进机理。

现代测绘地形图、航空影像和遥感影像的发展则大大提高了历史海岸线的精度和效率[9],利用遥感影像,尤其是多时相遥感影像来研究海岸线动态变化已成为广大专家学者的共识[10],夏真等[11]、朱小鸽[12]、李学杰[13]尝试使用遥感影像进行现代海岸线变迁的研究;赵英时、杨忆[14]利用遥感图像目视解译方法研究黄淮海平原全新世海侵痕迹;康彦彦等[15]利用Landsat MSS影像的特殊谱段分析了盐城古海岸特征及演变状况;朱高儒等[16]利用遥感影像,对渤海湾西北岸海岸线进行逐年监测,探讨了人工填海造陆区海岸线变化原因。但大多数研究仅利用遥感影像,还欠缺其他辅助资料进行佐证。特别是在如何定量地进行大范围、长时间序列的海岸线分析研究方面,数据源的缺失是一个非常重要的制约因素。

在海岸带分析与建模工具软件研制方面,许多研究机构还开发了相应的软件模块进行海岸带历史海岸线变迁的定量分析。早期较为常见的是SHOREGRID模块[17],该模块通过分析两段时间内海岸线的数字高程模型(DEM)、航片遥感影像来计算海岸线侵蚀率,并在此基础上预测未来海岸线变化;现在使用比较多的是美国地质调查局(USGS)开发的数字海岸线分析系统(DSAS)[18],此模块可以整合到现有GIS平台如ArcGIS中,利用回归方法计算多个时间序列的海岸线变化速率,可方便地用于海岸线定量演变计算与预测,其在不同岸滩海岸线变化的应用研究方面已经取得成功[19,20],而内置于ArcGIS的另外一种表现形式——

收稿日期:2013-02-10;**修订日期**:2013-06-03

基金项目:国家科技支撑计划课题(2012BAC07B01、2012BAB03B01)、江苏近海海洋综合调查与评价项目(江苏908专项)资助。

作者简介:张晓祥(1979–),男,江苏南通人,博士,副教授,主要从事空间分析与建模、资源环境遥感研究。E-mail: xiaoxiang@hhu.edu.cn

Model Builder 工具可用于创建模型进行实时或准实时地计算海岸带变迁及其速率[16,21]。

本研究基于江苏海岸带历史海岸线数据进行长时间、大范围的海岸线变迁研究，采用数字海岸线数据分析(DSAS)技术，利用整理的 9 个时期的江苏海岸线资料计算海岸线年变化率及海岸线净变化量，定量地分析自南宋以来江苏沿海历史海岸线的变迁，宏观地揭示江苏海岸线历史变迁的时空特征和变化机理，为研究区海岸带动态监测研究提供科学依据。

1　研究区概况

江苏海岸带地处江淮下游，介于 119°00′~122°00′ E，31°30′~35°00′ N 之间，海岸带面积约 $3.5\times10^4km^2$，其中沿海陆地面积 $0.5\times10^4km^2$，潮间带滩涂约 $0.5\times10^4km^2$，其余 $2.5\times10^4km^2$ 为浅海海域，沿海滩涂和浅海面积居全国之首，海岸带资源丰富[22,23]。

在综合考虑地貌条件和历史演变、人类活动(主要是围垦)情况基础上，合理地进行研究区分区，寻找海岸带历史变迁的自然规律，有助于对海岸带的进一步开发利用。研究参考张忍顺等[24]的分类方式，根据不同的地质地貌条件特别是岸滩冲淤情况，将江苏海岸线分成 6 个子区(图 1)，其中从苏鲁交界的兴庄河口到西墅的海州湾北部地区为子区 A；从西墅到烧香河口的云台山一带为子区 B；从烧香河口到射阳河口的废黄河口一带为子区 C；从射阳河口到梁垛河口辐射沙洲北部地区为子区 D；梁垛河口到东凌港口的辐射沙洲南部地区为子区 E；从东凌港口到长江入海口的启东咀地区为子区 F。

2　数据准备

研究需要对江苏海岸带各个子区分别进行海岸线变迁的分析与计算，涉及到的数据除研究区基础数据外，主要是获取历史海岸线数据以及分析所需要的断面数据。

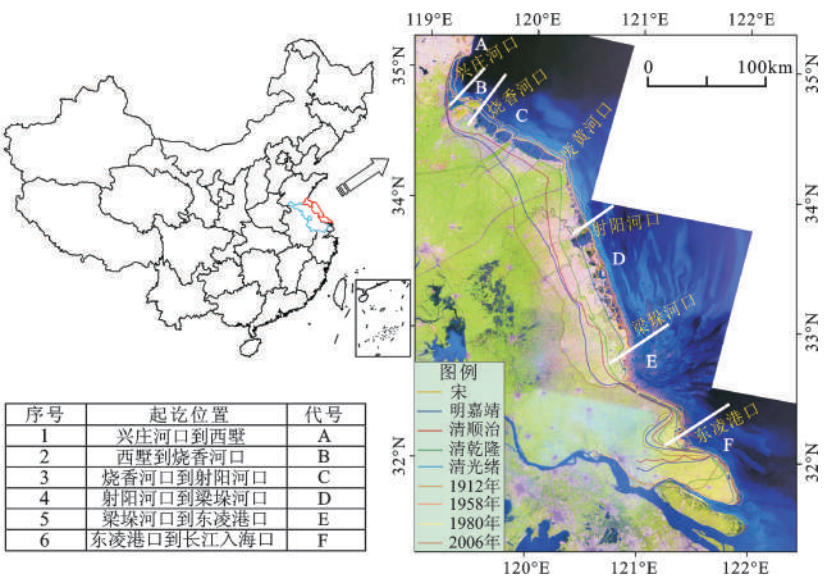
2.1　历史海岸线数据获取

本次研究需要用到 9 期历史海岸线数据，这些历史海岸线数据来源于公开出版和发行的历史地图数据[25]、现代测绘地形图成果以及卫星遥感影像(表 1)。对这些历史数据进行综合整理，得到南宋以来近 1 000 a 江苏海岸带的 9 期历史海岸线数据。

由于表 1 中的数据存在比例尺、坐标系统、投影系统、数据来源等诸多方面的差异，研究还查阅大量地方志[26~28]和各类地图集[29~32](表 2)，其中部分海岸线还利用 2006~2007 年的野外实地考察数据和遥感数据纹理分析进行校验。

2.2　海岸带断面数据获取与筛选

为方便进行历史海岸线比较研究，必须找到一个海岸线变迁的起算基准。本研究最终选定基本与宋代海岸线吻合的范公堤作为起算基线，以 800 m 为采样间距，等间距生成 442 个垂直于基线的断面，与各时期海岸线相交，得到相邻时期之间



序号	起讫位置	代号
1	兴庄河口到西墅	A
2	西墅到烧香河口	B
3	烧香河口到射阳河口	C
4	射阳河口到梁垛河口	D
5	梁垛河口到东凌港口	E
6	东凌港口到长江入海口	F

图 1　研究区区位

Fig.1　The location of study area

表1 历史海岸线数据获取列表

Table 1 Lists of the historical shoreline data and their sources

序号	数据类型	年 代	比例尺/分辨率	主要数据来源
1	历史地图	南宋时期	1∶25万	中国海岸带和海图资源调查综合地图集(江苏省)
2	历史地图	明嘉靖时期	1∶25万	中国海岸带和海图资源调查综合地图集(江苏省)
3	历史地图	清顺治时期	1∶25万	中国海岸带和海图资源调查综合地图集(江苏省)
4	历史地图	清乾隆时期	1∶25万	中国海岸带和海图资源调查综合地图集(江苏省)
5	历史地图	清光绪时期	1∶25万	中国海岸带和海图资源调查综合地图集(江苏省)
6	现代地形图	民国地形图	1∶5万	江苏省测绘地理信息局档案馆
7	现代地形图	1950年代	1∶5万	江苏省测绘地理信息局档案馆
8	现代地形图	1980年代	1∶5万	江苏省测绘地理信息局档案馆
9	遥感影像	2006年	30 m	美国Landsat TM遥感卫星数据

表2 所用到的地方志、地图集资料列表

Table 2 Lists of the used local chronicles and atlas

序号	出版物名称	编 者	出版年份(年)	备注
1	江苏省志•地理志	江苏省地方志编纂委员会	1999	地方志
2	江苏省志•海涂开发志	江苏省地方志编纂编委会	1995	地方志
3	江苏省志•盐业志	江苏省地方志编纂委员会	1997	地方志
4	江苏省地图集	江苏省测绘局	2004	地图集
5	中国海岸带和海涂资源综合调查图集(江苏省)	国家海洋局、国家测绘局	1988	地图集
6	江苏省海岛资源综合调查地图集	江苏省海岛资源综合调查地图集编纂委员会	1996	地图集
7	江苏省海岸带自然资源地图集	邓世杰	1988	地图集

海岸线的位移量。除此之外，对新生成的断面进行人工删除或修正一些会影响海岸线变迁计算的断面，一般在以下几种情况下需要进行修改：① 河口地带海岸线不连续处；② 包含有缺失海岸线数据的地区；③ 基岩海岸；④ 有沿海岸带大型建筑，主要为港口等的地区。

在进行上述断面筛选和修正后，最终得到有效断面数356个，对这356个断面数据进行统计与分析（图2），其中红色断面线为剔除掉的断面，绿色断面线为保留的断面。

3 海岸线变迁分析

海岸线变化是一个复杂的过程，涉及自然环境的变迁和人类活动的综合影响。数字海岸线分析是一种基于地理信息分析与建模技术的新兴的研究方法，近年来在很多湖泊和海岸带管理部门得到了广泛的应用，可以对海岸线变化进行实时分析与监控，很多情况下还可以进行海岸线变化预测[20,33~36]。

本研究使用最新版本的DSAS(Digital Shoreline Analysis System)分析系统进行356个有效断面的分析，选择江苏海岸带海岸线年际变化率及净变化量进行计算和深入分析。

3.1 海岸线年变化率

为了定量分析近千年来海岸线变化趋势，更深入地开展海岸线变化研究，选取年际变化率分析海岸线变化。年际变化率是指9期海岸线相邻时期之间的8个历史区间平均年变化率。其计算公式如下：

$$A_{i+1,\ i}=\frac{L_{i+1}-L_i}{\Delta Y_{i+1,\ i}} \quad (1)$$

式中，$A_{i+1,\ i}$为8个历史区间的年变化率，i=1~8；L_{i+1}为第i+1期海岸线到基线的距离，i=1~8；L_i为第i期海岸线到基线的距离，i=1~8；$\Delta Y_{i+1,\ i}$为第i+1期与第i期公元纪年数的差额，i=1~8。

需要说明的是，一些历史地图笼统地以明嘉靖、清乾隆为皇帝纪年方式，缺乏明确的公历纪年单元，我们查阅这些历史地图的成图日期，大致地把成图日期转化成公元纪年。图3所示为各个相邻历史时期的海岸线年变化率。

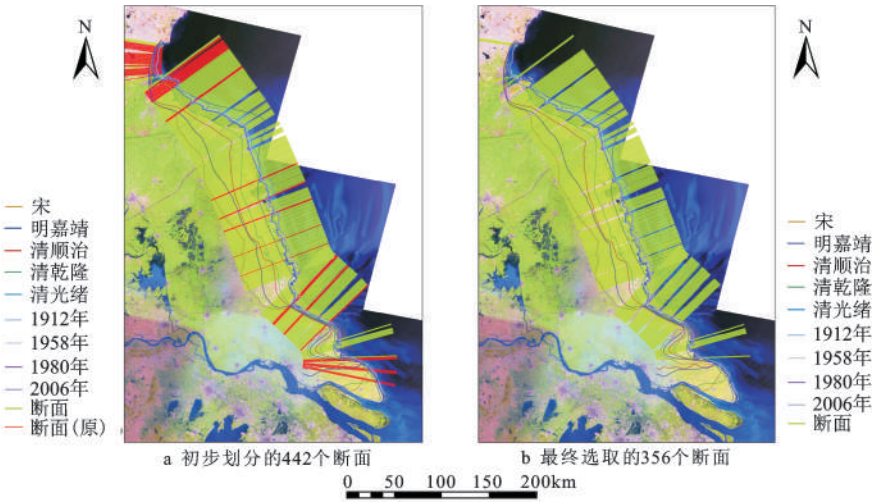


图2　海岸线断面

Fig.2　The coastline transacts

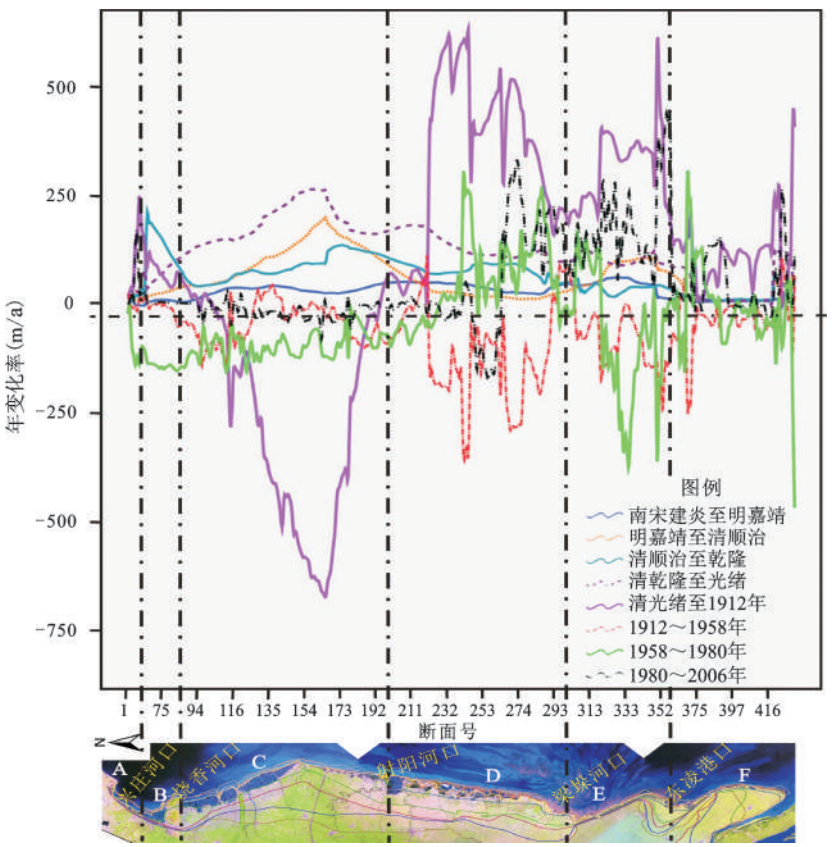


图3　近1 000 a来江苏海岸带海岸线变化速率(m/a)

Fig.3　Coastline change rate in Jiangsu province during the past 1 000 years(m/a)

表3为对上述9个时期间隔之间的海岸线变迁的解读,汇总得到江苏海岸线历史变化的定性分析。

综合图3和表3,从空间上来看,连云港地区的A段、B段以及启东嘴的F段海岸线变化不大,以废黄河口为中心的C段、辐射沙洲北部的D段、辐射沙洲南部的E段的历史变化极为显著,其中C段变化最为剧烈,D段的变化幅度要高于E段。下面就从时间角度来剖析变化剧烈较大的C、D、E段。

从时间上来看,自南宋建炎二年(1128年)起,

表3 江苏海岸带历史海岸线演变的定性分析

Table 3 Qualitative analysis of historical coastline changes in Jiangsu coastal area

分段	南宋至明嘉靖	明嘉靖至清顺治	清顺治至清乾隆	清乾隆至光绪	光绪至1921年	1921~1958年	1958~1980年	1980~2006年	累计淤涨情况
A	持平	持平	持平	淤涨	淤涨	侵蚀	侵蚀	淤涨	淤涨
B	持平	持平	淤涨	淤涨	淤涨	侵蚀	侵蚀	淤涨	淤涨
C	淤涨	淤涨	淤涨	淤涨	侵蚀	侵蚀	侵蚀	侵蚀	淤涨
D	淤涨	淤涨	淤涨	淤涨	侵蚀	侵蚀	淤涨	侵蚀	淤涨
E	淤涨	淤涨	淤涨	淤涨	淤涨	侵蚀	淤涨	淤涨	淤涨
F	持平	持平	淤涨	淤涨	淤涨	侵蚀	侵蚀	淤涨	淤涨

受“黄河夺淮”的影响，高含沙的黄河水携大量泥沙淤积河口，自此整个江苏沿海处于全线向海推进态势。江苏沿海的C段淤涨最为明显，其淤涨中心为现在的滨海废黄河口。据历史记载，“黄河夺淮”后黄河分南道、北道入海，直到黄河北道于明弘治年间(约公元1488~1505年)彻底切断，黄河全流在江苏境内完全实现夺淮入海，江苏北部海岸线进入快速淤进时期，这种淤涨在清乾隆–光绪年间达到顶峰，其最高淤进速率达250 m/a。至清道光年间(约1855年)，受黄河北归的影响，上游来沙逐步截断，以河流输沙作用而引起海岸线东进的基础逐渐消失，C段海岸线停止东进，转变成以海洋动力主导的反向堤岸侵蚀阶段，出现了较明显的侵蚀，侵蚀最快的还是滨海废黄河口地区，最高侵蚀速率达到约600 m/a，其侵蚀速率要快于早年的淤涨速率，直到今天，这一地区仍然是江苏沿海重要的侵蚀海岸线，侵蚀造成的崩岸等险情频繁发生。

D段和E段海岸线的变化受现代长江泥沙的部分影响[37]，但主要是受近代以来沿海大规模围垦的影响。清末至1921年，江苏沿海“废灶兴垦”运动的兴起，即很多煮盐的灶开始废弃，大规模的沿海农业围垦逐渐兴起，对江苏沿海地区特别是辐射沙洲地区的海岸线产生显著影响。D段海岸线外扩明显，最高峰值发生在清光绪年间到1921年间，达600 m/a，按照泥沙物质输移的不变性，其泥沙淤泥来源应该是废黄河口附近被侵蚀的海岸线。可以说，自然环境的变化导致了这一时期辐射沙洲地区沿海围垦速度加剧。然而1920~1950年间，江苏沿海特别是辐射沙洲北部的D段海岸线呈现侵蚀的状态；解放后，随着政局逐渐稳定，沿海围垦进入新的时期，海岸治理与保护工作也得到加强，由于辐射沙洲北部的D段海岸线逐渐稳定，围垦的中心转到辐射沙洲南部E段海岸线，特别是射阳河口以南至如东一带在这一时期海岸线逐渐淤涨，匡围条件增强。1980年代改革开放以后，匡围重心进一步南移，辐射沙洲中部和南部地区在这一时期海岸线继续东扩，同时这一时期受到更多的人工围垦等工程措施影响。

3.2 海岸线变化范围与海岸线净变化量

为了更好地表征海岸带历史演变，本研究提出用两个指标来度量海岸带变化：海岸线变化范围、海岸线净变化量。海岸线变化范围是指研究区域内在整个历史周期内的海岸线变化的最大幅度，本研究是指在近1 000 a内海岸线变化的最大与最小值之间的差值；海岸线净变化量是研究时间跨度内最早与最晚的两期海岸线之间的变化量。这两个指标有利于定量地分析海岸线变化长期幅度和趋势[4]。

海岸线变化范围的计算公式如下：

$$B_i = \max(\Delta L_{ij}) - \min(\Delta L_{ij}) \quad (2)$$

式中，B_i为第i个断面点海岸线变化范围，i=1~356；ΔL_{ij}为第i个断面点从基线到第j期海岸线的距离之差，i=1~356，j=1~9。

海岸线净变化量为累计变化量，其计算公式如下：

$$C_i = L_{i9} - L_{i1} \quad (3)$$

式中，C_i为第i个断面点海岸线净变化量，i=1~356；L_{i9}为第i个断面点从基线到第9期海岸线的距离，i=1~356；L_{i1}为第i个断面点从基线到第1期海岸线的距离，i=1~356。对海岸线净变化量及海岸线变化范围的计算结果如图4所示。

从海岸线变化范围来看，江苏海岸线整体呈现东扩趋势，近1 000 a来绝大部分地区都是呈现淤涨态势，海岸线变化范围最大的区段是C段海

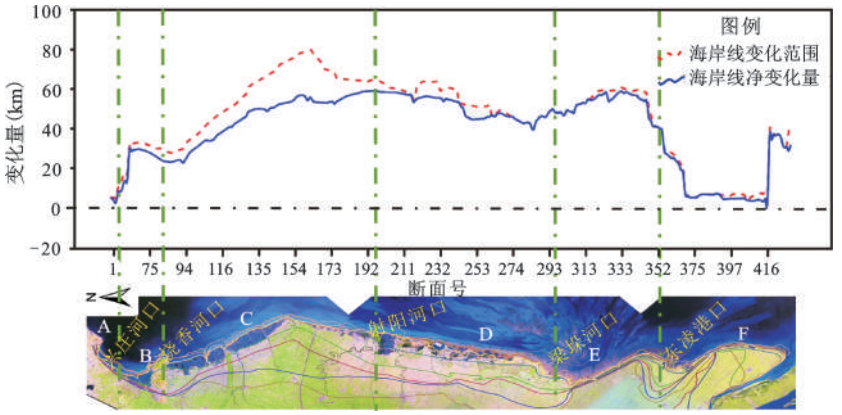


图4　江苏海岸带海岸线变化范围与海岸线净变化量(km)

Fig.4　Coastline changes range and coastline net change amount in Jiangsu coastal areas(km)

岸线,最大峰值出现在滨海废黄河口,其最大的变化幅度达到80 km,也即离基线最远与最近的历史海岸线之间相差80 km,变化幅度之大可谓沧海桑田。但是连云港地区的A段、B段以及启东嘴的F段地区淤涨程度有限。A段、B段变化不大主要是这一地区多为岩石岸滩,同时该地区岸滩冲淤基本平衡。F段在近1 000 a内岸滩基本上保持稳定,在局部地区有少量围垦。

从海岸线净变化量来看,总的来说,就增长幅度而言,废黄河口地区的C段、辐射沙洲北部的D段、辐射沙洲南部的E段整体淤涨最为明显,海岸线净变化量即淤涨在整个1 000 a周期内达30 km以上,淤涨幅度最大的地区总计达到60 km,这一地区也是江苏沿海围垦的核心地区。

4　结　论

江苏沿海滩涂资源丰富,蕴藏了重要的土地资源,海岸线变迁研究对于这一地区海岸带的开发、利用与保护有着重要的意义。受自然条件和人为因素的综合影响,海岸线变化是一个复杂的过程。

1)从时间上来看,自南宋建炎二年起,江苏海岸向东不断淤进,在清乾隆至清光绪时间段内,部分淤进速度最快达250 m/a,而从清道光时期(约1855年)起,因为黄河北归山东入海,上游来沙停止,海岸线东移现象逐渐停止,转向进而向内侵蚀,其中滨海的废黄河口地区侵蚀最为严重,达600 m/a。

2)从空间上来看,连云港地区的海岸段以及启东嘴的F段海岸线变化不大,而变化相对剧烈的是废黄河口段、辐射沙洲北部和南部。近千年来,废黄河口段海岸线的变化范围达80 km,其净变化量也达到50 km;而辐射沙洲北部及南部海岸段在清末至1921年间变化迅速,海岸线平均净变化量达30 km。

5　讨　论

海岸带受各种自然因素和人为因素的综合影响而动态变化,定量分析其变化趋势是进行变化研究的重要技术方法,其量化指标为海岸线的分析提供基础数据,为海岸带动态的持续发展、管理提供科学依据。本文利用定量方法精确分析海岸线的发展变化,对近1 000 a来整个江苏海岸带的发展历程进行系统的研究,揭示了江苏海岸带历史海岸线的时空演变图景,有助于为江苏沿海开发提供科学依据。

1)从影响因素来看,黄河夺淮的自然环境变化对江苏沿海地区的近1 000 a来的海岸线变迁有着根本性的影响,从1128年黄河夺淮到1855年黄河北归,废黄河口段变化剧烈且明显,故近1 000 a来整个江苏沿海都呈现向海推进的趋势与“黄海夺淮”息息相关,“黄河夺淮”甚至影响了近代以来的“废灶兴垦”等人类活动的开展。

近代以来,废灶兴垦等人类活动大大加速了海岸线演变的自然进程。从清末民国开始,围垦活动逐渐兴起,至今已经有超过100 a的历史,围垦面积不断增加,解放以后,随着工程措施的逐步采用,促淤、促围导致海岸线推进明显。这就导致了辐射沙洲北部及南部岸段受此影响,东进特征明显。改革开放以后,特别是土地资源的日趋紧张使得滩涂重要性日益突出,人工围垦、港口开发、港城建设等一系列建设活动强烈影响着这一地区的海岸线变迁。

2）从变迁趋势来看，将来一段时期连云港地区的A段、B段以及启东嘴的F段海岸线变化仍然不大，相对稳定。受黄河北归影响的废黄河口段则以侵蚀为主，但已建护坡工程海堤在一定程度上抑制了海岸线侵蚀，其海岸线基本稳定，变化很小。受强烈人类活动影响的辐射沙洲北部段和南部段人工海岸线不断增加，海岸线继续向东淤长，但随着护岸保滩工作的不断加强以及现代长江口的南移，向南、向北供应的泥沙来源减少，预计未来淤积量和淤长速度有变小的趋势。

参考文献：

[1] Moran C A A.Spatio-temporal analysis of Texas shoreline changes using GIS technique[D].USA:Texas A&M University,2003.

[2] Fenster M S,Dolan R,Morton R A. Coastal storms and shoreline change: Signal or noise?[J].Journal of Coastal Research,2001,**17**(3):714-720.

[3] 薛春汀.7 000年来渤海西岸、南岸海岸线变迁[J].地理科学,2009,**29**(2):217~222.

[4] 王 颖,季小梅.中国海陆过渡带——海岸海洋环境特征与变化研究[J].地理科学,2011,**31**(2):129~135.

[5] Boak E H, Turner I L.Shoreline definition and detection:a review[J].Journal of Coastal Research,2005,**21**(4):688-703.

[6] 赖志坤.泉州湾海岸线变化特征的定量分析研究[J].海洋学报,2012,**36**(8):75~78

[7] 张忍顺.历史时期江苏海岸线的变迁[C]//中国第四纪海岸线学术委员会.中国第四纪海岸线学术讨论会文集.北京:海洋出版社,1985:132~144.

[8] 朱 诚,程 鹏,卢春成,等.长江三角洲及苏北沿海地区7 000年以来海岸线演变规律分析[J].地理科学,1996,**16**(3):207~214.

[9] Smith M J,Cromley R G.Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach[J].Transactions in GIS,2012,**16**(1):3-15.

[10] 常 军,刘高焕,刘庆生.黄河口海岸线演变时空特征及其与黄河来水来沙关系[J].地理研究,2004,**23**(5):339~346.

[11] 夏 真,陈太浩,赵庆献.多时相卫星遥感海岸线变迁研究——以大亚湾地区为例[J].南海地质研究,2000,(12):102~108.

[12] 朱小鸽.珠江口海岸线变化的遥感监测[J].海洋环境科学,2002,**21**(2):19~22.

[13] 李学杰.应用遥感方法分析珠江口伶仃洋的海岸线变迁及其环境效应[J].地质通报,2007,**26**(2): 215~222.

[14] 赵英时,杨 忆.全新世海侵痕迹遥感信息特征提取方法研究[J].地理研究,1996,**15**(1):73~81.

[15] 康彦彦,丁贤荣,程立刚,等.基于匀光遥感的6 000年来盐城海岸演变研究[J].地理学报,2010,**65**(9):1130~1136.

[16] 朱高儒,许学工.渤海湾西北岸1974~2010年逐年填海造陆进程分析[J].地理科学,2012,**32**(8):1006~1012.

[17] Moore L J,Benumof B T,Griggs G B.Coastal erosion hazards in Santa Cruz and San Diego Counties,California[J].Journal of Coastal Research SI,1999,**28**(Special Issue):121-139.

[18] Thieler E R, Danforth W W.Historical shoreline mapping (II): application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico[J].Journal of Coastal Research,1994,**10**(3):600-620.

[19] Esteves L S, Williams J J,Dillenburg S R.Seasonal and interannual influences on the patterns of shoreline changes in Rio Grande do Sul, southern Brazil[J].Journal of Coastal Research, 2006,**22**(5):1076-1093.

[20] Olsen M J,Young A P, Ashford S A. TopCAT—Topographical Compartment Analysis Tool to analyze seacliff and beach change in GIS[J].Computers & Geosciences,2012,**45**(8):284-292.

[21] Chaaban F,Darwishe H,Battiau-Queney Y, et al.Using ArcGIS modelbuilder and aerial photographs to measure coastline retreat and advance:North of France[J].Journal of Coastal Research,2012,**28**(6):1567-1579

[22] 张长宽,陈 君,林 康,等.江苏沿海滩涂围垦空间布局研究[J].河海大学学报(自然科学版),2011,**39**(2):206~212.

[23] 俞肇元,袁林旺,谢志仁.江苏沿海海面的多尺度波动过程和趋势预测[J].地理科学,2008,**28**(1):94~99.

[24] 张忍顺,陆丽云,王艳红.江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J].地理研究,2002,**21**(4):469~478.

[25] 国家海洋局,国家测绘局.中国海岸带和海涂资源综合调查图集(江苏省分册)[M].北京:测绘出版社,1986.

[26] 江苏省地方志编纂委员会.江苏省志·地理志[M].江苏:江苏科学技术出版社,1999.

[27] 江苏省地方志编纂委员会.江苏省志·海涂开发志[M].南京:江苏科学技术出版社,1995.

[28] 江苏省地方志编纂委员会.江苏省志·盐业志[M].南京:江苏科学技术出版社,1997.

[29] 《江苏省地图集》编纂委员会.江苏省地图集[M].北京:中国地图出版社,2004.

[30] 邓世杰.江苏省海岸带自然资源地图集[M].北京:科学出版社,1988.

[31] 谭其骧.中国历史地图集[M].北京:科学出版社,1988.

[32] 江苏省海岛资源综合调查地图集编纂委员会.江苏省海岛资源综合调查地图集[M].北京:测绘出版社,1996.

[33] Esteves L S,Williams J J,Nock A,et al.Quantifying shoreline changes along the Sefton Coast(U K)and the implications for research-informed coastal management[J].Journal of Coastal Research,2009,**56**(Special Issue): 602-606.

[34] Addo K A,Walkden M,Mills J P.Detection,measurement and prediction of shoreline recession in Accra,Ghana[J].ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2008,**63**(5):543-558.

[35] Dolan R,Fenster M S, Holme S J.Temporal analysis of shoreline recession and accretion[J].Journal of Coastal Research, 1991,**7**(3):723-744.

[36] Genz A S,Fletcher C H,Dunn R A,et al.The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui,Hawaii[J].Journal of Coastal Research,2007,**23**(1): 87-105.

Historical Coastline Spatio-temporal Evolution Analysis in Jiangsu Coastal Area During the Past 1 000 Years

ZHANG Xiao-xiang[1], WANG Wei-wei[1],YAN Chang-qing[2], YAN Wang-bo[1],
DAI Yu-xuan[1], XU Pan[1], ZHU Chen-xi[2]

(1. *Institute of Geographical Information Science and Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu* 210098, *China*;
2. *Institute of Land Survey Planning, Nanjing, Jiangsu* 210024, *China*)

Abstract: Historical coastline changes are very important in the coastal area study, which will benefit on utilization, development and protection of coastal areas. In this article, Jiangsu coastal areas are selected as the research area to perform a-1000-years' historical coastline evolution analysis from the South Song Dynasty in ancient China to recent years. Based on the historical coastline analysis, the underlying spatio-temporal evolution mechanism is explored. Firstly, Jiangsu coastal areas are divided into six subdivisions according to the physical geographical conditions and its historical geomorphologic changes. Secondly, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) is used to build 356 effective coastline transacts and historical coastline changes are calculated for each transact. Thirdly, quantitative analysis and qualitative analysis are used to analyze the coastline spatio-temporal change in different historical periods. Finally, the driving forces of coastline historical change are revealed according to the above analysis. The study shows that the old Huanghe River changes severely and the maximum deposition rate and erosion rate reach 250 m/a, 600 m/a respectively. And the most important driving forces for the Millennium's coastline changes are the historical events such as "The Huanghe River captured the Huaihe River" in 1128 AD and "The Huanghe River returned to the north" in 1855 AD and in modern times, as the major human activities, "Demolishing Salt-making Stoves and Cultivating Land" have more significant impact on the Jiangsu coastline change, resulting in the north and south radiate shoal changing obviously.

Key words: coastal areas; coastline changes; historical evolution; spatio-temporal analysis; Jiangsu Province