

doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2013.06.004

高义,王辉,苏奋振,等.我国大陆海岸线近 30 a 时空变化分析[J].海洋学报,2013,35(6):31—42.

Gao Yi, Wang Hui, Su Fenzhen, et al. Spatial and temporal of continental coastline of China in recent three decades[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2013, 35(6): 31—42.

# 中国大陆海岸线近 30 a 的时空变化分析

高义<sup>1,2</sup>, 王辉<sup>2\*</sup>, 苏奋振<sup>3</sup>, 刘桂梅<sup>2</sup>

(1. 北京大学 物理学院, 北京 100871; 2. 国家海洋环境预报中心 海洋灾害预报技术研究国家海洋局重点实验室, 北京 100081; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 基于遥感和地理信息系统的方法与技术, 以 1980、1990、2000 和 2010 年 4 个时期为特征年, 对近 30 年来我国大陆海岸线时空变化特征进行了分析研究。结果显示: (1) 海岸类型转化显著, 人工岸线所占比例由 1980 年的 24.6% 上升到 2010 年的 56.1%; (2) 海岸线变化呈现显著区域特征, 变化较剧烈的区域集中在珠江口岸段、长江口—杭州湾岸段、海州湾—吕四段、滦河口—淮河口段及辽河口—葫芦岛港段; (3) 3 个时期相比, 海岸开发由早期的围垦养殖向后期的城镇建设和海洋运输开发方式转变, 并且这种转换方式在南方早于北方。

**关键词:** 海岸线; 30 a; 时空变化; 珠江口; 杭州湾; 长江口; 黄河口

中图分类号: TP79

文献标志码: A

文章编号: 02534193(2013)06-0031-12

## 1 引言

海岸线处于海陆界面的交汇处, 不仅是海陆的分界线, 还载负着丰富的环境信息, 对海平面升降、新构造运动、沿海滩涂、湿地生态系统及近岸海洋环境等有着重要的指示意义。

长期以来, 人类活动与自然灾害对海岸剧烈的影响, 促使诸多研究者对海岸带进行了有效科学管理的系统研究<sup>[1-4]</sup>。因此, 海岸带监测是国家发展和环境保护的一项重要任务, 其中提取海岸线信息是一项最基础的任务<sup>[5]</sup>。White 和 Wang<sup>[6]</sup> 利用 LIDAR 提取的 DEM 数据分析了佛罗里达州北岸的海岸线; Houghton 和 Vafeidis 等<sup>[7]</sup> 分析了海平面上升对海岸线变化的影响; Cai 等<sup>[8]</sup> 分析了全球气候变化下我国大陆海岸侵蚀

情况; Li 和 Damen<sup>[9]</sup> 通过 RS 和 GIS 技术对珠江口海岸线变化进行了系统分析; 常军等<sup>[10]</sup> 对黄河口海岸线时空演化与来水来沙的关系进行了分析; 笔者也曾对广东省大陆海岸线空间变化及其驱动因素进行过探讨<sup>[11]</sup>。

众所周知, 海岸开发是实现海洋开发战略的“起跑线”, 实现海岸线动态变化监测对海岸带资源可持续利用、管理和环境保护有重要的科学与实际意义。当前对我国海岸线时空变化研究多分散于各个显著变化的岸段, 如珠江口<sup>[12]</sup>、黄河口<sup>[10]</sup>、渤海湾<sup>[13]</sup> 及长江口<sup>[5]</sup> 等岸段, 缺乏对全国大陆海岸线整体性时空变化特征的认识。基于此, 本研究选取了 1980、1990、2000 和 2010 年 4 个时期为特征年, 综合运用遥感和地理信息系统技术, 对近 30 a 我国大陆海岸线时空变化进行系统分析, 以为海岸带资源管理与环境保护

收稿日期: 2013-02-27; 修订日期: 2013-09-08。

基金项目: 国家“九七三”项目(2011CB403606); 国家科技支撑计划(2011BAC03B03); 国家自然科学基金(41222038; 41076011); 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200905013; 201305031); 国家海洋局青年科学基金(2013418)。

作者简介: 高义(1982—), 山东省单县人, 博士, 从事海岸带 RS 与 GIS 应用及海洋灾害风险评估研究。E-mail: coastalchina@gmail.com

\* 通信作者: 王辉, 研究员, 博士生导师。E-mail: wangh@nmeffc.gov.cn

以及科学规划提供科学依据。

## 2 数据基础

如图 1 所示,我国大陆海岸线北起中朝边界的鸭绿江口,南至中越边界的北仑河口。本研究收集了我国大陆沿岸 Landsat 卫星遥感影像 132 景,其中 1980 年 33 景(MSS:32 景;TM:1 景,并对其作几何校正处理,具体处理方法与过程本文不赘述)、1990 年 Landsat TM 影像 32 景、2000 年 Landsat ETM+ 影像 33 景,2010 年 34 景(TM:6 景;ETM+:28 景,并对 ETM+ 影像作了去条带处理,具体处理方法见文献[14])。所收集卫星影像资料在海岸线区域均无云雾遮挡,海陆界线清晰,利于海岸线提取。

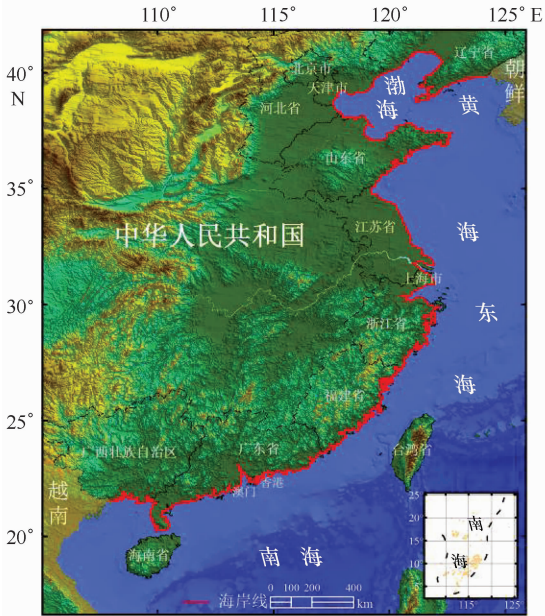


图 1 我国大陆海岸线分布图

## 3 研究方法

### 3.1 海岸线类型划分及提取原则

对于海岸类型的划分目前没有统一的标准。在海岸发育过程中除波浪作用外,还受潮汐、海流、海平面变化、地壳运动、新构造运动、岩石性质、地貌形态、入海河流及生物等诸多因素的作用和影响。本研究根据岸线所在地理环境及海岸开发情况,将海岸线类型分为人工岸线和自然岸线两个一级类,自然岸线和人工岸线分别分为 5 个和 6 个二级类(表 1)。

参照海图和 1:100 000 地形图制作规范(后文统计分析数据比例尺均为 1:100 000),结合海岸线在 Landsat 卫星影像特征,提取海岸线时遵循以下原则:

表 1 海岸线分类系统

一级类	二级类	说明
自然岸线 (自然海陆作用状态下的海陆界线)	淤泥质岸线	位于淤泥或粉砂质泥滩的海岸线
	砂砾质岸线	位于沙滩的海岸线
	基岩岸线	位于基岩海岸的海岸线
	生物岸线	由红树林、珊瑚礁和芦苇等组成的海岸线
人工岸线 (人工改造后形成的事实海陆界线)	河口	入海河口与海洋的界线(908 专项调查标准)
	养殖围堤	由人工修筑而用于养殖的堤坝
	盐田围堤	围垦用于盐碱晒制堤坝
	农田围堤	用于农作物种植的人工堤坝
	码头岸线	修筑港口码头所形成的岸线
	建设围堤	用于城镇建设的围垦岸线
交通围堤	用于交通设施的人工修筑堤坝	

(1)如果岸线在陡峭的基岩岸段,则直接选取水边线为海岸线;在地势较缓的砂质海岸和淤泥质海岸,选取平均大潮高潮线(与植被界线一致)为海岸线;在潮间带生长有生物的生物海岸,岸线参照 1:200 000 海岸带资源调查图的海岸线位置。

(2)人工岸线,分析人为构筑物对近岸海水动力的影响,将修筑的防潮堤、养殖围堤外围及盐田围堤的外围定为人工岸线;码头构筑物的水边线被视为码头岸线。

(3)对于陆连岛处理,当海岛与陆地之间有两条(或两条以上)围堤,而且围堤之间无海水交换的,将岛屿视为陆地。

(4)对于河口处理,保留大型河口港湾特征;反映河口处沙嘴、拦门沙地貌,表现河口自然形态;河口分界原则上按入海口第一座桥梁,对于较小的河口一般在河流缩窄或两岬曲率最大处。

(5)对于近岸潟湖处理,当潟湖内部与海洋有水交换且开口大于两个像元时,海岸线采集潟湖内部,岸线类型视潟湖内环境而定。

### 3.2 岸线提取及时空变化分析方法

现有研究通常是基于卫星遥感影像,参照成像时刻的潮汐规律,利用遥感技术自动提取大潮时水边线,将其视为海岸线<sup>[15]</sup>,这种方法能够高效地获取小范围区域的海岸线。但是我国海岸线漫长,南北潮时差异较大,卫星影像成像时刻与最大潮时有较大差异,实现自动提取海岸线尚需深入研究,为此本文采用建立海岸线目视解译标志库,采用人机交互方式采集各时期海岸线。为便于岸线变化的空间分析,对四个时期岸线统一采用 WGS84 坐标系,岸线长度和岸线变化区内土地面积统计比例尺为 1:100 000。各时期岸线提取顺序是先提取 2010 年岸线,在此基础

上,提取2000年岸线,以此类推,最后提取1980年岸线。仅对岸线类型和空间位置变化的岸段进行编辑,由此可避免MSS与TM分辨率不一致而造成的岸线尺度效应影响。由于遥感信息混合像元影响,岸线提取空间精度控制在两个像元以内。

目前量化分析海岸线变迁的方法主要有基线法、面积法、动态分割法及非线性缓冲区迭代法<sup>[16-17]</sup>。本文采用基线法分析近30a我国大陆海岸线变化,分析工具DSAS(digital shoreline analysis system),DSAS是Thielerd和Himmelstoss<sup>[16]</sup>基于ArcGIS平台开发的用于海岸线变化分析的插件。为便于表达,文中分别将1980—1990年,1990—2000年和2000—2010年时间段分别称为前期、中期和后期。基线定为四期岸线内边界向陆地纵深100m处,基线长14 024 km。

## 4 结果分析

### 4.1 海岸类型空间分布特征

1980、1990、2000和2010年海岸线类型分布如图2所示,海岸线类型与所处的地质构造、地貌形态及水陆相互作用有密切的关系。整体而言,人工岸线多分布于易于开发的平原海岸及经济发达且人口密集的河口区域;自然岸线中基岩岸线主要分布于辽东半岛岸段、山东半岛岸段和浙东至桂南隆起段;受物质补给和沿岸潮汐动力等地理环境因素影响,砂砾质海岸主要分布于各隆起带海湾的岬角之间以及落差较大的入海河口两翼;淤泥质岸线主要分布于沉降带落差较小的入海河口,其中在渤海湾、黄河口段分布较集中;生物岸线主要分布于粤桂沿岸。

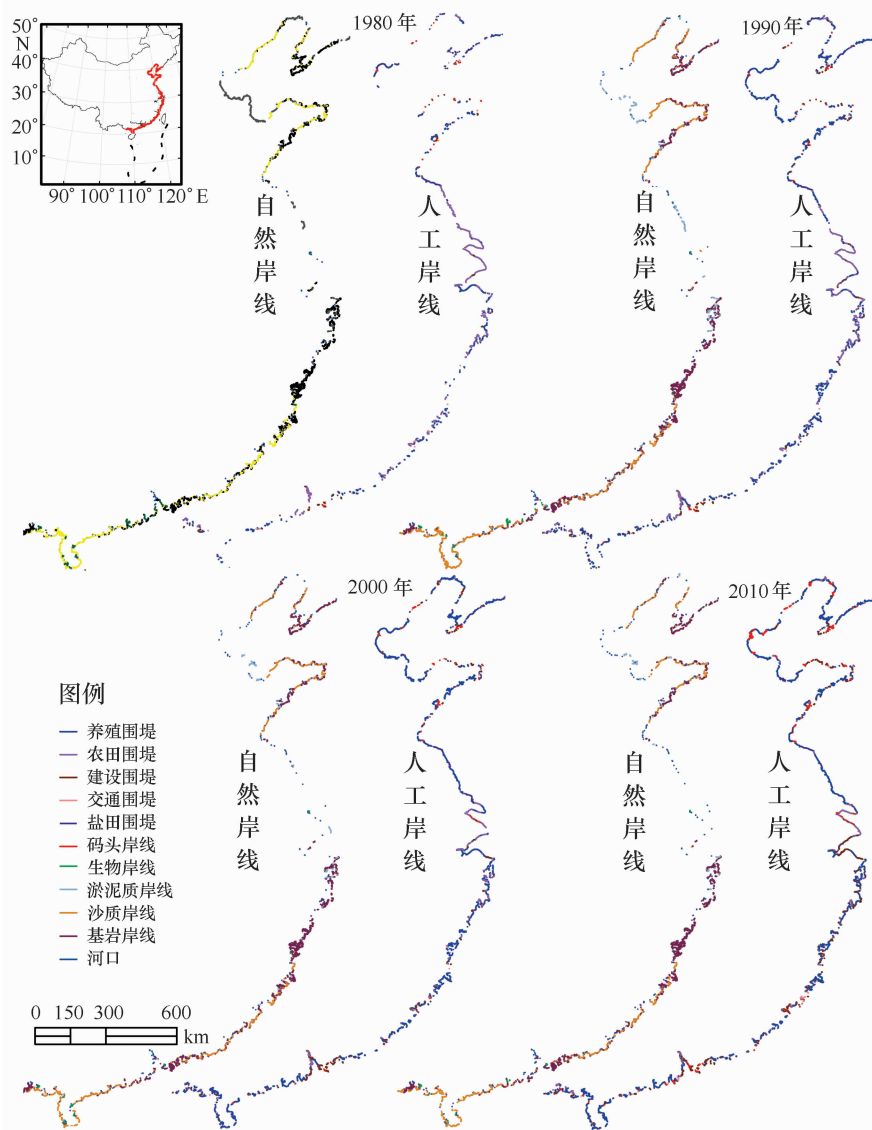


图2 1980、1990、2000和2010年我国大陆海岸线类型分布图(为便于对比,各时期自然和人工岸线分两列显示)

## 4.2 海岸类型构成变化分析

各时期海岸线类型长度及所占比例如表 2 所列。近 30 年来受海陆相互作用和人为开发综合影响,海岸线总长度呈加速增长的趋势,增加了 714.3 km,其中在前、中、后期分别增加了 107.4、244.1 和 362.8 km。在人为开发作用下,一些曲折的淤泥质海岸和海湾被围垦养殖,使海岸线变短,而在港口区域建设码头及一些“凸”字形围垦养殖导致海岸线增长,还有一些近岸岛屿受陆连岛开发作用影响(如辽宁西中岛、广东三灶岛、高栏岛等),成为陆地的一部分,从而导致海岸线增长;另一方面,河口泥沙沉积、沙坝增长等自然因素也使海岸线总长度增加,如黄河口泥沙冲淤造陆。

30 a 来我国大陆海岸线受人为开发影响显著,人工岸线长度在 1980 年为 3 753 km,占大陆海岸线长度的 24.0%,到 2010 年则达 9 175 km,占总长度的 56.1%,人工岸线以 180.7 km/a 的速率增加,其中前、中及后期人工岸线增长速度分别为 243.0、170.9 和 128.3 km/a,与之对应,自然岸线在前期、中期和后期分别以 -232.3、-146.5 和 -92.0 km/a 的速度递减。由此可见,随着海岸开发过程的推进,自然岸线开发潜力逐年下降,从而导致自然岸线人工化速度变

缓。综上所述,在人为开发和海陆相互作用综合影响下,我国大陆海岸线长度及类型处于动态变化中。

在人工岸线类型中尽管标志城镇建设的围堤所占比例不高,但呈现出每 10 年翻 1 倍的速度增长,这是由于海岸环境的宜居优势驱动了近岸城镇扩张;交通围堤在后期增长速度最大;码头岸线在前期、中期均呈增长的趋势,但后期的增长趋势最剧烈,码头岸线的急剧增长体现了我国远洋贸易的增长,这与后期我国进出口贸易急剧增长相吻合;农田围堤持续减少,但在中期减少幅度最大,这是由于大量农田被用于经济价值较高的围垦养殖,其次是被开发用于城镇建设;盐田围堤所占比例变化不大;养殖围堤在前期和中期均有大幅度的增加,前期是在改革开放后的海岸大开发浪潮下进行的,主要是围垦沿海农田、开发砂质海岸以及围填海湾,中期养殖围垦持续增长,到后期,由于易开发海岸资源减少,围垦养殖方式增幅急剧变缓。在自然岸线类型中基岩岸线所占比例有所减少;砂砾质岸线所占比例减少幅度较大,其中以中期减少幅度最显著;淤泥质岸线由 1980 年的 9.7% 减少到 2010 年的 2.1%,其中前期减少幅度最显著,达 5.1%;生物岸线长度及所占比重持续减少,前期减少幅度最显著。

表 2 我国大陆海岸线各时期各类型海岸线长度统计表

类型	岸线长度/km				所占比例/%				
	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	
人工岸线	建设围堤	176.3	359.8	645.1	1 259.1	1.1	2.3	4.0	7.7
	交通围堤	38.3	49.4	72.3	130.6	0.2	0.3	0.5	0.8
	码头岸线	167.1	262.3	503.3	1266.7	1.1	1.7	3.1	7.7
	农田围堤	1 534.3	1 491.0	889.4	648.2	9.8	9.5	5.6	4.0
	盐田围堤	473.9	474.5	456.1	393.0	3.0	3.0	2.9	2.4
	养殖围堤	1 363.2	3 546.4	5 325.8	5 477.5	8.7	22.5	33.3	33.5
	小计	3 753.2	6 183.3	7 892.1	9 175.0	24.0	39.3	49.4	56.1
自然岸线	河口	140.6	132.7	137.8	131.8	0.9	0.8	0.9	0.8
	基岩岸线	6 023.8	5 221.4	4 868.5	4 404.4	38.5	33.2	30.5	26.9%
	砂砾质岸线	3 612.6	3 187.2	2 453.4	2 118.4	23.1	20.2	15.3	13.0%
	生物岸线	584.1	293.5	176.5	167.8	3.7	1.9	1.1	1.0%
	淤泥质岸线	1 518.0	721.6	455.5	349.2	9.7	4.6	2.8	2.1
	小计	11 879.1	9 556.4	8 091.7	7 171.5	76.0	60.7	50.6	43.9
合计	<b>15 632.3</b>	<b>15 739.7</b>	<b>15 983.8</b>	<b>16 346.6</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	

注:由于海岸线尺度效应<sup>[18]</sup>、范围界定和动态变化等诸多因素的影响,本文中我国大陆海岸线长度会与有关部门公布的数据不一致,但并不影响对变化的分析。

## 4.3 海岸线空间变化分析

利用基线法可计算出近 30 a 及其前期、中期和后期 3 个阶段我国大陆海岸线空间变化距离及其空间分布。由图 3a 可知由南向北海岸线变化显著的区域主要分布在珠江口、长江口—杭州湾段、海州湾—吕四

段、滦河口—淮河河口段及辽东湾湾顶的葫芦岛港—辽河口段,其中前期、中期、后期我国大陆沿岸海岸线变化空间分布如图 3b—d 所示。如图 3、图 4 所示,与 30 年变化分布一致,前、中、后 3 个阶段中国大陆海岸线变化距离较大的岸段也均分布于上述 5 个岸段中。

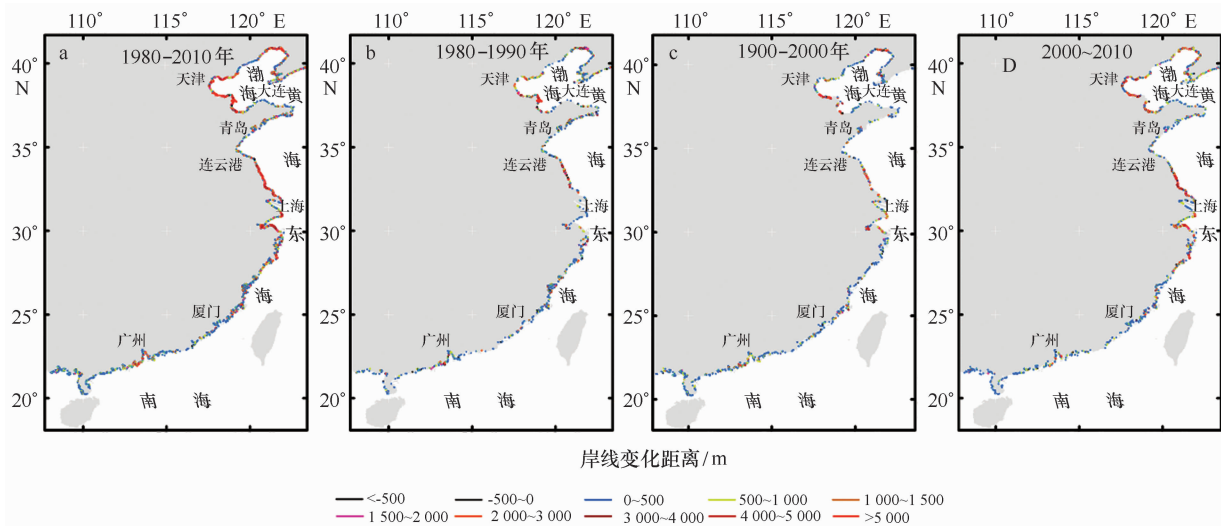


图3 各个时期中国大陆海岸线变化距离分布图

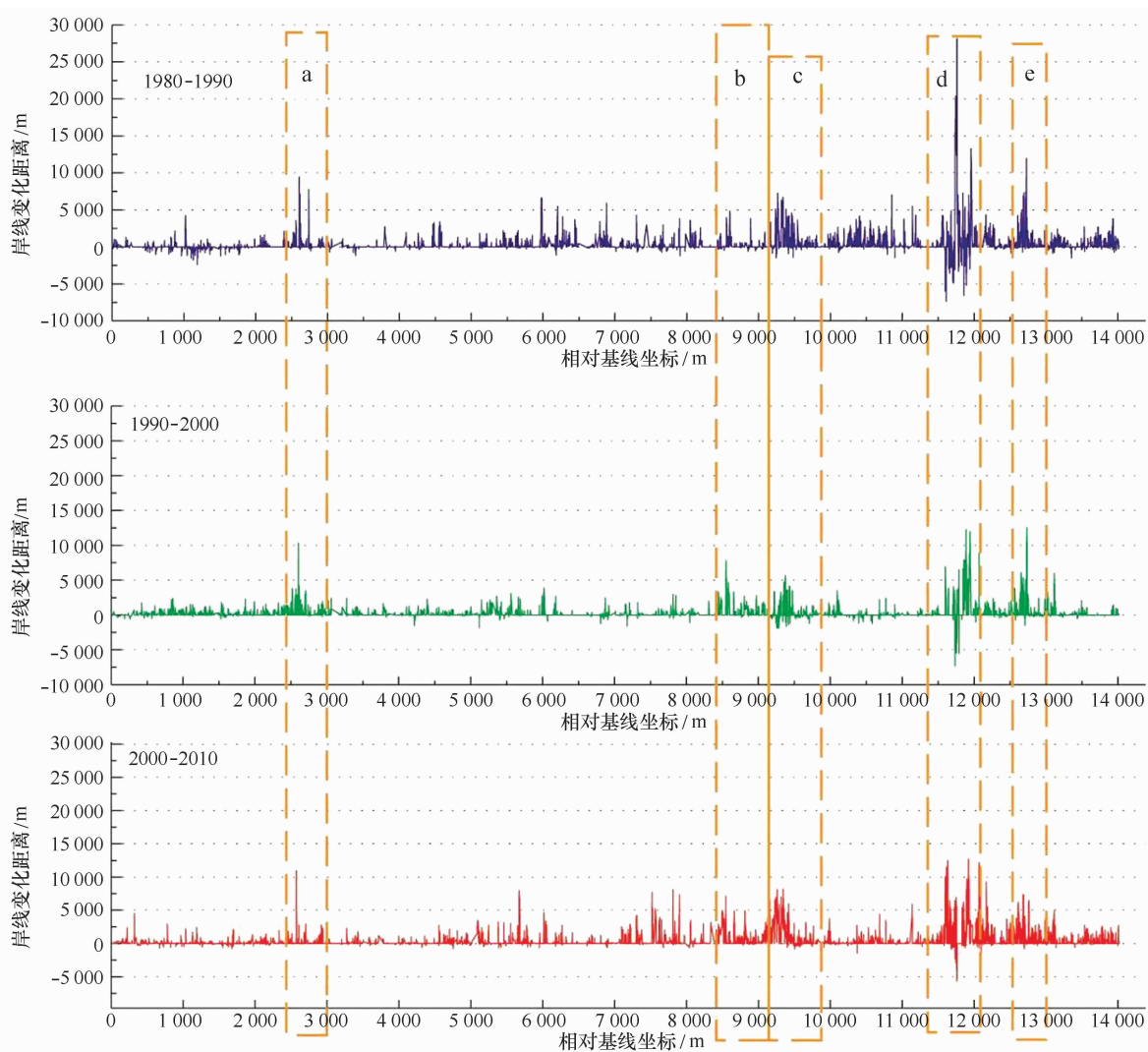


图4 各时期中国大陆海岸线变化图

a. 珠江口段, b. 长江口—杭州湾段, c. 吕四段—海州湾, d. 滦河口—淮河河口段, e. 葫芦岛港—辽河口段

如图 5 所示,30 a 来我国大陆因人工开发为主河口淤积为辅,大陆面积净增加 7 446.6 km<sup>2</sup>,其中前、中、后期 3 个 10 a 分别净增加 2 524.9,1 766.7 和 3 154.9 km<sup>2</sup>;因海岸侵蚀变化,损失土地 264.7 km<sup>2</sup>(侵蚀岸段主要分布于黄河口、江苏省和广东省粤东

及雷州半岛的部分岸段)。人工开发海岸用于围垦养殖的面积达 4 182.4 km<sup>2</sup>,农田 695.6 km<sup>2</sup>,建设用地 649.6 km<sup>2</sup>,码头 584.2 km<sup>2</sup>,陆连岛 498.3 km<sup>2</sup>、盐田 300.2 km<sup>2</sup>,淤积 615 km<sup>2</sup>,此外位于粤桂沿岸的红树林海滩面积也增加了 8.6 km<sup>2</sup>。

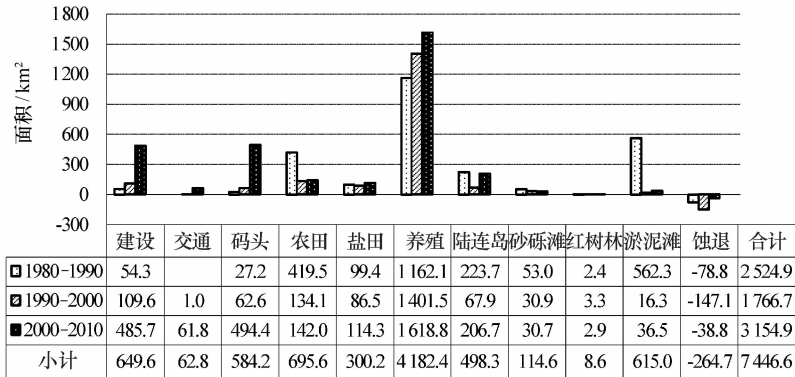


图 5 各时期我国大陆海岸线变化新增土地利用类型面积对比

由此可见各岸段开发方式相比,围海养殖是主要因素,其次为围垦农田,再次为建设用地。在前期,中期和后期影响海岸线变化的因素有显著的时间异质性,早期以围垦养殖、围垦农田和自然淤积为主要因素;中期建设用地和码头用地比例有所增加;后期海岸岸线变化的影响因素呈多元化,码头和建设用地所占比例显著升高。

#### 4.4 海岸线变化的区域特征

如前文所述可知珠江口、长江口—杭州湾、海州湾—吕泗、滦河口—淮河及辽东湾湾顶的葫芦岛—辽河口段等 5 个岸段是我国大陆海岸线变化较剧烈的岸段。以上五个岸段基线长合计 2 650 km,占总基线长度的 18.9%,而岸线变化致土地面积增加 5 325 km<sup>2</sup>,占我国大陆新增土地面积的 68.7%。如图 3、4、6 所示,前期、中期和后期海岸线平均变化距离最大的是淮河—滦河口段;前期海岸线平均变化距离最小的是杭州湾—长江口段;中期海岸线平均变化距离最小的为珠江口岸段;

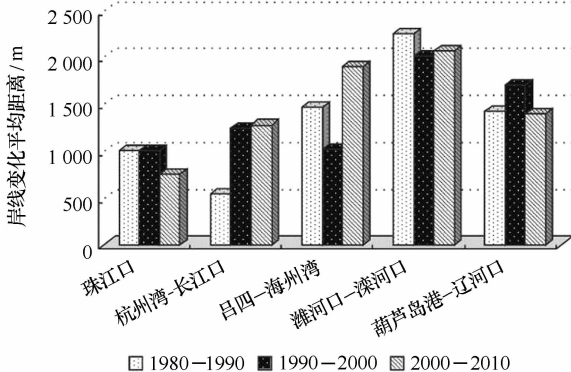


图 6 典型岸段各时期岸线平均变化距离对比

后期海岸线平均变化距离最小的为珠江口岸段。

##### 4.4.1 珠江口岸段

如图 7 所示,该岸段沿基线坐标介于 2 500 与 3 000 km 之间,在 2 815 km 处将珠江口分为东西两岸。在 1980、1990、2000 及 2010 年该岸段海岸线长度分别为 519.1,593.0,625.1 和 684.7 km,岸线长度呈增长趋势,其中 1980 年人工岸线所占比例为 43.5%,2010 年为 82.8%。

近 30 a 来两岸相比,西岸岸线变化规模显著大于东岸的岸线变化,由此可知西岸岸段开发规模相对较大。3 个时期相比,早期珠江口岸线变化使陆地面积增加了 233.9 km<sup>2</sup>,其中建设用地 8.8 km<sup>2</sup>,陆连岛面积 107.6 km<sup>2</sup>,新增农田 75.2 km<sup>2</sup>,养殖用地 31.5 km<sup>2</sup>,码头 7.7 km<sup>2</sup>;中期陆地面积增加了 144.7 km<sup>2</sup>,其中建设用地 51.1 km<sup>2</sup>,陆连岛 2.6 km<sup>2</sup>,新增农田 4.6 km<sup>2</sup>,码头 6.3 km<sup>2</sup>,养殖 80.1 km<sup>2</sup>;后期土地面积增加了 112.6 km<sup>2</sup>,其中建设用地 17.1 km<sup>2</sup>,陆连岛 51.6 km<sup>2</sup>,新增农田 0.9 km<sup>2</sup>,码头 15.7 km<sup>2</sup>、养殖 23.9 km<sup>2</sup>。

在珠江口西岸,3 个时期海岸线均有较大规模变化,海岸线空间变化最大距离均超过了 8 km;而东岸海岸线变化的规模和位置均有较大差异,海岸线变化显著区域为交椅湾—深圳湾岸段,后期海岸线变化规模显著增加。由此可见,珠江口区域陆连岛开发是较大规模改变大陆海岸线空间位置的主要方式,其次为养殖围垦、码头建设、农田围垦及建设用地。早期围填海以围垦农田和养殖为主,中期则以建设用地和养殖为主,后期以建设用地、码头和养殖并重开发,3 个时期

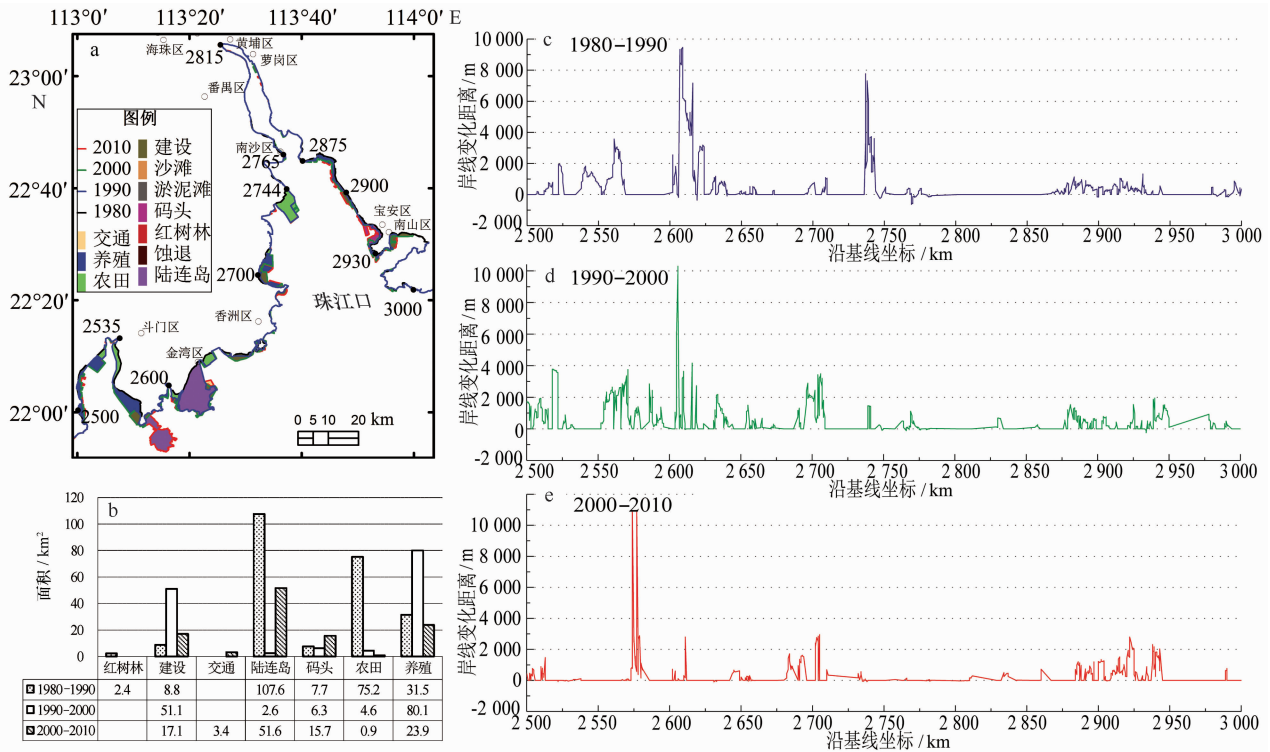


图7 珠江口段岸线变化图

a. 各时期岸线及土地类型分布, b. 岸线变化致各土地利用新增面积对比, c—e. 各时期岸线空间位移

相比围填海活动规模有所降低,围填海开发方式也由早期的围垦养殖转变为城镇建设和港口码头建设。

#### 4.4.2 杭州湾—长江口

如图8所示,该岸段位于长江三角洲,是我国经济最发达的地区之一。该岸段有我国第一大河长江和钱塘江入海,径流量大,携带泥沙多,近30海岸线变化致陆地面积增加了936.6 km<sup>2</sup>。该岸段变化区域主要分布在杭州湾南岸和南汇嘴和启东嘴的东北部。1980、1990、2000及2010年海岸线长度分别为707.5、714.4、735.1、768.3 km,在人工开发及泥沙淤积综合作用下海岸线长度呈增长趋势。由于人们对该段海岸治理较早,因此研究期内人工海岸线所占比例较高,1980年人工岸线比例为87.2%,2010年为96%。该岸段前期岸线平均向海推进556 m,岸线变化使土地面积增加了124.9 km<sup>2</sup>,其中用于建设用地的围填海面积极为10 km<sup>2</sup>,围垦农田为45.7 km<sup>2</sup>,围垦养殖为68.8 km<sup>2</sup>;中期该岸段大规模开发,岸线变化使土地面积增加了335.9 km<sup>2</sup>,其中建设用地为6.2 km<sup>2</sup>,码头为6.4 km<sup>2</sup>,农田为120.6 km<sup>2</sup>,养殖为201.8 km<sup>2</sup>;与前两个时期相比,后期海岸线变化最显著,海岸线平均向海推进了1 285 m,岸线变化使土地面积增加了476.1

km<sup>2</sup>,其中建设用地上为284.4 km<sup>2</sup>,码头为37.5 km<sup>2</sup>,农田为91.3 km<sup>2</sup>,养殖为62.6 km<sup>2</sup>。

3个时期相比,前期变化幅度最小,岸线变化以围垦农田和养殖为主;与前期相比,中期海岸开发新增土地增加将近两倍,同样以围垦农田和养殖为主;后期海岸开发幅度进一步增长,用于建设用地成为围填海主要因素,除围垦农田和养殖外,码头建设大幅增长。海岸开发由农业和渔业开发向城镇建设和港口码头建设的开发模式转变。

#### 4.4.3 吕四港—海州湾

如图9所示,该岸段地处江淮下游、黄海之滨,海岸底质包括粉砂淤泥质、基岩和砂砾质,其中粉砂淤泥质分布较广泛,基岩海岸主要分布于连云港岸段,砂砾质岸线主要分布于海州湾北部。

近30 a面积净增加1 132.8 km<sup>2</sup>,其中前期岸线变化使土地面积净增加368.4 km<sup>2</sup>,其中养殖面积(172.7 km<sup>2</sup>)最大,占早期土地面积增加的46.5%,其次为农田;中期岸线变化使土地面积增加了212.8 km<sup>2</sup>,其中围垦养殖面积达148.8 km<sup>2</sup>;后期土地面积增加了551.6 km<sup>2</sup>,其中码头为3.2 km<sup>2</sup>,农田为2.4 km<sup>2</sup>,盐田为72.7 km<sup>2</sup>,养殖475.5 km<sup>2</sup>。该岸段的翻身河口至新

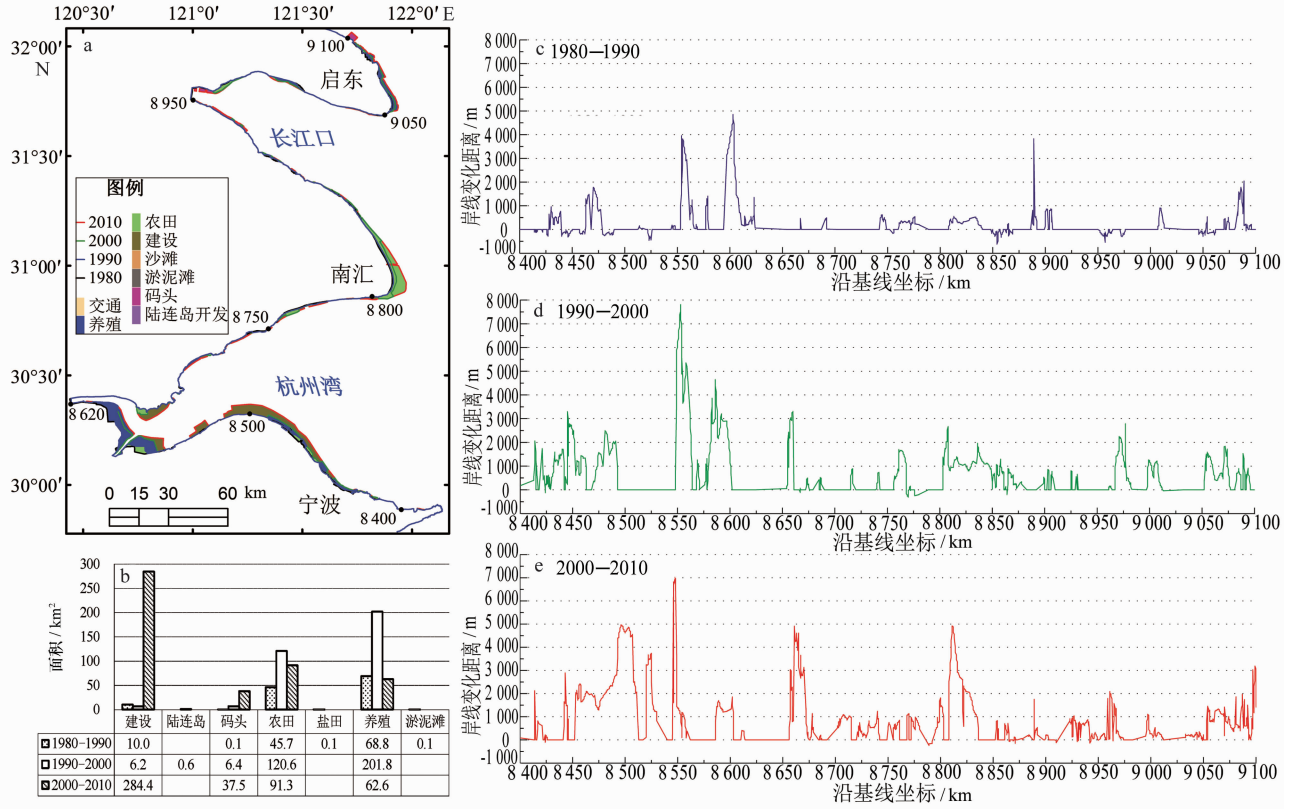


图 8 杭州湾—长江口段岸线变化图

a. 各时期岸线及土地利用分布图, b. 岸线变化致各土地利用新增面积对比, c-e. 各时期岸线空间位移

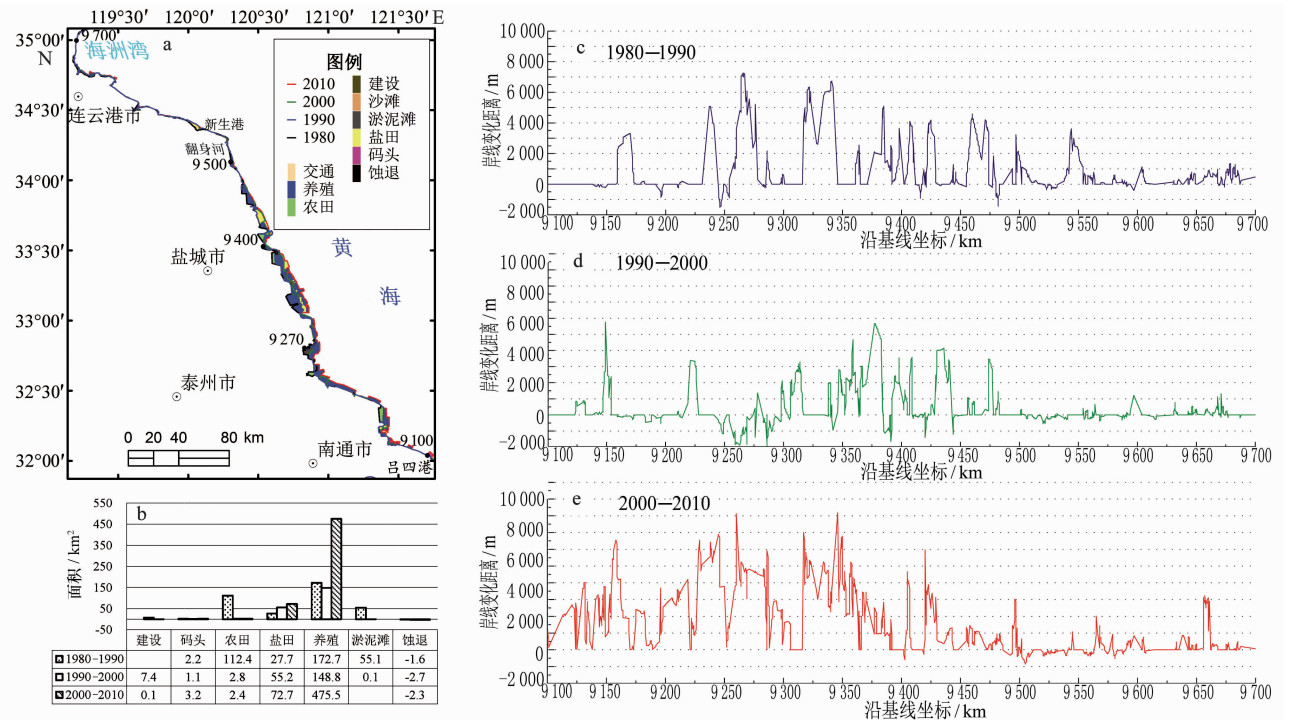


图 9 吕四—海州湾段岸线变化图

a. 各时期岸线及土地利用分布图, b. 岸线变化致各土地利用新增面积对比, c, d, e. 各时期岸线空间位移

生港段,30年来海岸持续侵蚀,致土地损失 $6.6\text{ km}^2$ ,最大侵蚀距离超过 $700\text{ m}$ 。前期各变化岸段海岸线平均向海推进 $1\,477\text{ m}$ ,中期 $1\,028\text{ m}$ ,后期 $1\,906\text{ m}$ 。

该岸段1980年,1990年,2000及2010年海岸线长度分别为 $607.3, 634.2, 612.0$ 和 $658.2\text{ km}$ 。1980年人工岸线所占比例为 $79\%$ ,在2010年增至 $96.8\%$ 。后期海岸开发规模明显大于前两时期,前期

围垦用于农田所占比重较大,在中后期则以附加经济价值较高的养殖与盐田为主。

#### 4.4.4 潍河口—滦河口段

如图10所示,潍河口—滦河口段位于华北平原、濒临渤海,海岸底质类型包括粉砂淤泥质和砂砾质两种,粉砂淤泥质广泛分布,砂质海岸主要分布于滦河口。

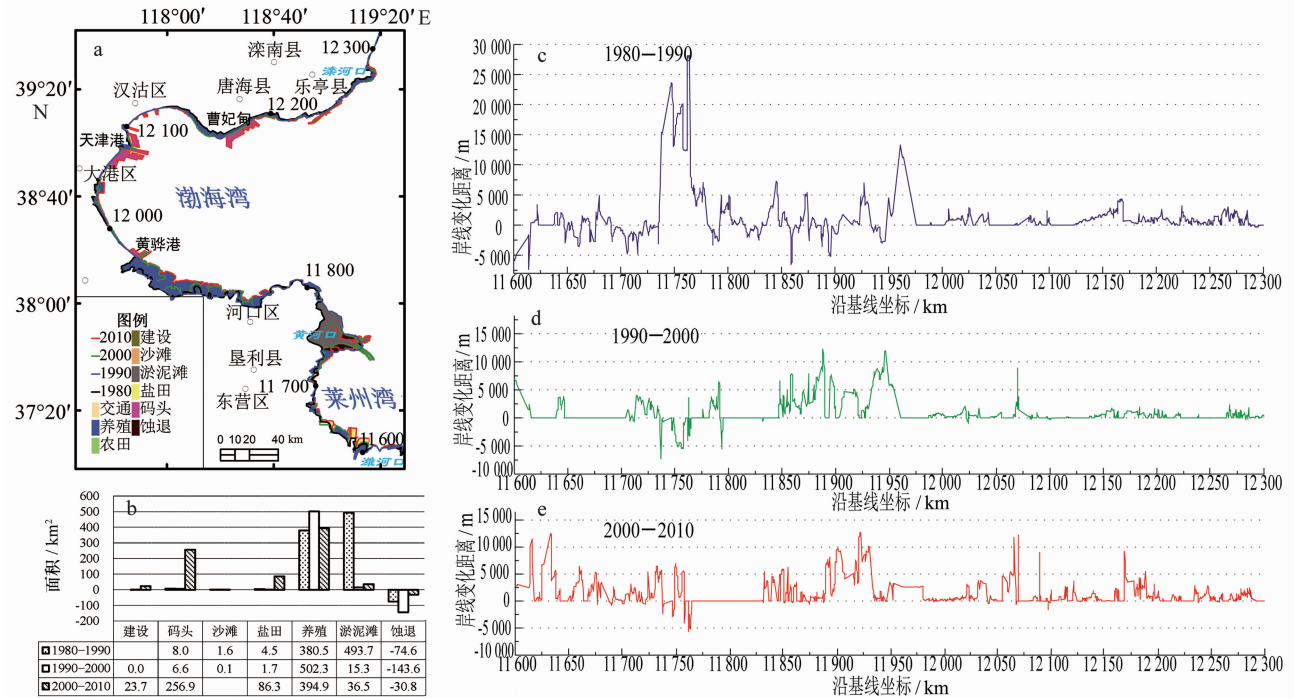


图10 潍河口—滦河口段岸线变化图

a. 各时期岸线及土地利用类型分布图, b. 岸线变化致各土地利用新增面积对比, c-e. 各时期岸线空间位移。

该岸段的黄河三角洲是我国大河三角洲中海陆变迁最活跃的地区<sup>[19]</sup>,由于黄河径流量逐年下降<sup>[20]</sup>,在前期、中期及后期黄河口冲积扇淤积与侵蚀速度呈变缓趋势,前期的岸线变化最大距离超过 $25\text{ km}$ ,在中期和后期最大变化距离均不足 $8\text{ km}$ 。该岸段的黄河口淤积造陆的同时,在河口两翼海岸侵蚀也较显著。该岸段北部天津港至曹妃甸段后期岸线变化较剧烈,主要是由于港口码头扩建引起的。各时期岸线变化新增土地类型及面积有显著的时间异质性,早期土地面积增加 $813.6\text{ km}^2$ ,其中码头 $8\text{ km}^2$ ,砂砾滩 $1.6\text{ km}^2$ ,盐田 $4.5\text{ km}^2$ ,养殖 $380.5\text{ km}^2$ ,淤泥滩 $493.7\text{ km}^2$ ;中期土地面积新增 $669.6\text{ km}^2$ ,其中码头 $6.6\text{ km}^2$ ,盐田 $1.7\text{ km}^2$ ,养殖 $502.3\text{ km}^2$ ,淤泥滩 $15.3\text{ km}^2$ ;后期土地面积新增 $789.6\text{ km}^2$ ,其中建设用 $23.7\text{ km}^2$ ,码头 $256.9\text{ km}^2$ ,盐田 $86.3\text{ km}^2$ ,养殖 $394.9\text{ km}^2$ ,淤泥滩 $36.5\text{ km}^2$ 。

该岸段1980、1990、2000及2010年海岸线长度

分别为 $717.5, 799.8, 930.5$ 和 $1\,052.9\text{ km}$ 。在海陆相互作用及人为开发活动因素影响下,30年来海岸线长度增长幅度达 $47.2\%$ ,该岸段海岸线长度动态变化程度显著高于其它各个岸段的。潍河口—滦河口段海岸大规模开发始于20世纪80年代后期,1980年人工岸线所占比例为 $25.6\%$ ,1990年上升至 $78.6\%$ ,2010年为 $83.8\%$ 。由此可见,早期主要是围垦农田、盐田及养殖使海岸线变化;中期围垦养殖是海岸变化的主要因素;后期引起岸线变化的因素呈多元化,码头建设和围垦养殖是岸线变化的主要影响因素。

#### 4.4.5 葫芦岛港—辽河口

如图11所示,该岸段位于辽河三角洲、南邻渤海,海岸底质包括基岩、砂质和淤泥质3种类型,基岩岸线主要分布于锦州湾与青沟湾段,淤泥质海岸分布较广。该岸段海岸线空间位置变化较大,集中分布于在双台子河口与辽河口。该岸段前期、中期和后期的

海岸线平均分别向海推进 1 432, 1 709 和 1 504 m。各时期岸线变化使新增土地面积基本相当, 早期新增土地 191.7 km<sup>2</sup>, 其中建设用地 17 km<sup>2</sup>, 农田 137.7 km<sup>2</sup>, 盐田 22.2 km<sup>2</sup>, 养殖 7 km<sup>2</sup>, 淤泥滩 6.1 km<sup>2</sup>; 中

期新增土地 164.6 km<sup>2</sup>, 其中建设用地 9.2 km<sup>2</sup>, 码头 3.5 km<sup>2</sup>, 农田 1 km<sup>2</sup>, 养殖 150.5 km<sup>2</sup>; 后期新增土地 169.5 km<sup>2</sup>, 其中建设用地 52.1 km<sup>2</sup>, 码头 26.9 km<sup>2</sup>, 农田 15.2 km<sup>2</sup>, 养殖 75.2 km<sup>2</sup>。

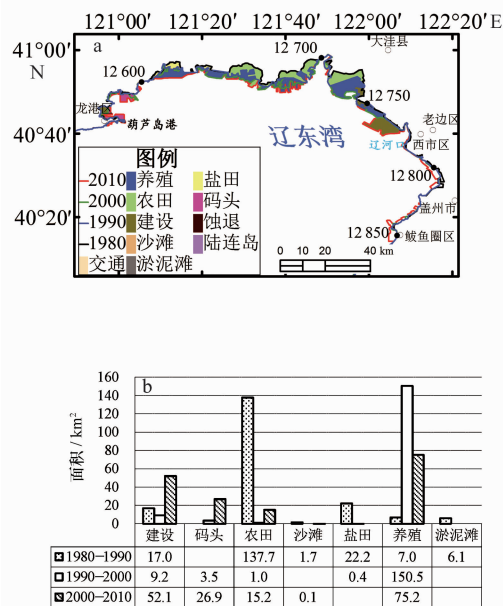


图 11 葫芦岛港—辽河口段岸线变化图

a. 各时期岸线及土地类型分布图, b. 岸线变化致各土地利用新增面积对比, c-e. 各时期岸线空间位移。

辽东湾海岸大规模开发始于 20 世纪 80 年代, 1980 年人工岸线长度所占比例为 32.5%, 在 1990 年上升至 79%, 2010 年为 91.8%。在海陆及人为开发综合影响下, 4 个时期岸线长度先后依次为 255.9, 296.6, 308.5 和 321.6 km, 海岸线长度呈增加趋势。

该岸段海岸线变化影响因素有显著的时间异质性, 在早期以围垦农田、盐田和城镇建设地为主要因素; 在中期以围垦养殖、自然淤积和码头为主要因素; 后期城镇建设、码头建设因素显著增强, 围垦养殖仍是海岸开发的重要方式。

## 5 结语

综上所述可知近 30 a 来我国大陆海岸线变化时空异质性显著。整体而言, 人类开发活动是海岸变化的主导因素, 局部岸段呈自然演变特征。海岸开发过程中新增土地类型及数量变化特征体现了近 30 a 来我国海岸开发模式的转变: 早期海岸开发以围垦农田和养殖为主, 中期以围垦农田及养殖所占比例相对降低, 而后期海岸开发中经济附加值较高的港口码头建设和城镇建设型海岸开发所占比例逐渐上升。通过 5 个典型

区域海岸变化对比分析, 可见我国大陆海岸线变化及其影响因素的时空异质性, 表现为早期海岸开发均以围垦农田和养殖为主, 本文中自南向北 5 个显著变化岸段中, 前期围垦农田养殖分别占各岸段岸线变化新增土地面积的 85%, 91.7%, 77%, 79.5% 和 74.6%, 表征城镇化水平和工业发展的建设用地和码头所占比例均在 10% 以下; 中期分别为 54.7%、96.2%、73.8%、98.4% 和 83.8%, 在珠江口区域用于城镇和码头围填海所占比例增加, 围垦农田和养殖比例下降; 后期分别为 39.5%、32.3%、94.9%、50.1% 和 54.3%, 与此对应, 各岸段建设用地和码头用地面积分别占各岸段海岸开发面积的 34.3%、67.6%、0.6%、34.4% 和 45.7%。

近 30 a 来吕四—海州湾段海岸线变化影响因素所占比例相对稳定, 主要以围垦农田、养殖和盐田为主。其他岸段海岸开发模式从围垦农田及养殖向城镇建设和远洋贸易开发方式转变, 且后期港口建设规模显著增加, 北方其他 3 个岸段后期转变水平与珠江口中期转化水平相当。因此, 研究珠江口段海岸线变化及带来的问题对其他岸段海岸的分析有借鉴作用。对于大陆海岸线漫长的我国, 研究海岸线时空变

化,对海岸治理和海岸资源规划及应对海平面上升有着重要的指导作用和战略意义。

## 参考文献:

- [1] Carter R W G. Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines[M]. New York: Academic Press, 1990.
- [2] Gares P A, Nordstrom K F. Coastal Dune Blowouts—Dynamics and Management Implications[C], Orville T. Magoon. Seventh Symposium on Coastal and Ocean Management. New York: American Society of Civil Engineers, 1991: 2851—2862.
- [3] De Ruij J H M. Coastline management in the Netherlands: human use versus natural dynamics[J]. Journal of Coastal Conservation, 1998, 4(2): 127—134.
- [4] Kroon A, Davidson Ma, Aarninkhof Sg, et al. Application of remote sensing video systems to coastline management problems[J]. Coastal Engineering, 2007, 54(6/7): 493—505.
- [5] 虞志英, 楼飞. 长江口南汇嘴近岸海床近期演变分析——兼论长江流域来沙量变化的影响[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 47—53.
- [6] White S A, Wang Y. Utilizing dems derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(1): 39—47.
- [7] Houghton K J, Vafeidis A T, Neumann B, et al. Maritime boundaries in a rising sea[J]. Nature Geoscience, 2010, 3(12): 813—816.
- [8] Cai Feng, Su Xianze, Liu Jianhui, et al. Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(4): 415—426.
- [9] Li Xuejie, Damen M. C. J. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of The Pearl River Estuary, China[J]. Journal of Marine Systems, 2010, 82(S54—S61).
- [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] 高义, 苏奋振, 孙晓宇, 等. 近20 a广东省海岛海岸带土地利用变化及驱动力分析[J]. 海洋学报, 2011, 33(4): 95—103.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Maxwell Sk, Schmidt Gl, Storey Jc. A multi-scale segmentation approach to filling gaps in landsat ETM+SLC—Off images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(23): 5339—5356.
- [15] 李猷, 王仰麟, 彭建, 等. 快速城市化地区海岸线分维动态演变研究——以深圳市为例[J]. 热带地理, 2009, 29(5): 429—433.
- [16] Thieler E R, Himmelstoss E A, Zichichi J L, et al. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0— an arcGIS extension for calculating shoreline change[R]. U. S. Geological Survey Open—File Report, 2009: 2008—1278.
- [17] Heo Joon, Kim Jung Hwan, Kim Jin Woo. A new methodology for measuring coastline recession using buffering and non-linear least squares estimation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(9): 1165—1177.
- [18] Su Fenzhen, Gao Yi, Zhou Chenghu, et al. Scale effects of the continental coastline of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(6): 1101—1111.
- [19] 叶庆华, 陈沈良, 黄翀, 等. 近, 现代黄河尾闾摆动及其三角洲体发育的景观信息图谱特征[J]. 中国科学 D辑, 2007, 37(6): 813—823.
- [20] 马柱国. 黄河径流量的历史演变规律及成因[J]. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1270—1275.

## The analysis of spatial and temporal changes of the continental coastlines of China in recent three decades

GAO Yi<sup>1,2</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, SU Fenzhen<sup>3</sup>, Liu Guimei<sup>2</sup>

(1. School of Physics, Peking University, Beijing 100871; 2. Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting, National Marine Environmental Forecasting Center, State Oceanic Administration, Beijing 100081, China; 3. State Key Laboratory of Resources and Environment Information System, IGSNRR, CAS, Beijing 100101)

**Abstract:** This paper is mainly focused on the continental coastline changes of China in the span of 1980—2010. Remote sensing images of Landsat MSS, TM and ETM+ in the year of 1980, 1990, 2000 and 2010 are processed

to extract coastlines and land use in the gap of coastline changes. Based on the technology of RS and GIS, the spatial and temporal changes of coastline are analyzed, the result show that: (1) the coastline type changes significantly, the length of artificial coastline in 1980, 1990, 2000, and 2010 occupies 24%, 39.3%, 49.4% and 56.1%, respectively; (2) the coastline change shows a significant regional characteristic, coastline changed significantly in the coast segment of the Zhujiang Estuary, the Changjiang Estuary to the Hangzhou Bay, the Lvsi Port to the Haizhou Bay, the Weihe to the Luan Estuaries and the Liaohe Estuary to the Huludao Port; (3) comparing the three sub periods of the research span, a coastal reclamation is mainly focuses on an urban construction and a maritime transport in the later period while focuses on aquiculture in the earlier period; from the north to the south, the changes of continental coastline of China show significant temporal and spatial heterogeneity.

**Key words:** coastline; three decades; spatial and temporal changes; Zhujiang Estuary; Hangzhou Bay; the Changjiang Estuary; Huanghe Estuary