

基于遥感的黄河三角洲海岸线变化研究

栗云召^{1,2}, 于君宝¹, 韩广轩¹, 王永丽^{1,2}, 张志东¹

(1. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 滨海湿地生态实验室, 山东省海岸带环境过程重点实验室 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院 研究生院 北京 100049)

摘要: 以黄河三角洲的 Landsat TM/ETM+影像(1989~2009年)为数据源, 采用遥感与地理信息系统技术, 对黄河三角洲的岸线与面积变化进行监测。结果表明: 1989年以来, 黄河三角洲的岸线形状及长度均发生了较大变化, 其中北部的刁口河流路区岸线向内陆蚀退明显; 清水沟流路区的岸线整体向海域推进, 部分区域有蚀退现象; 神仙沟流路区主要为人工海堤, 岸线变化不大。黄河三角洲的整体面积在1989~2009年处于增加中, 但2006~2009年, 面积变化为负值。从淤蚀情况来看, 1989~2009年, 黄河三角洲的淤蚀强度经历了“和缓-剧烈”的过程。这说明20年来黄河三角洲整体上处于增长发育中, 但2006年后三角洲整体上呈现蚀退现象, 同时黄河三角洲的淤蚀情况变得比以往更剧烈, 意味着更强的海陆交汇作用和岸线变化。黄河的入海流路、水沙量、降水量等是影响三角洲岸线变化的重要因素, 而人工堤坝能够在一定程度上维持海岸线的稳定。对黄河三角洲海岸线变化的研究有助于有效地管理和保护区域的社会和生态环境。

关键词: 黄河三角洲; 海岸线变化; 遥感; 面积变化

中图分类号: P512.32

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)04-0099-08

海岸带是响应全球气候变化最迅速、生态环境最敏感、最脆弱的地带^[1], 在全球气候变化的背景下, 国际地圈生物圈计划(IGBP)将海岸带陆海相互作用(LOICZ)作为其核心计划之一, 其研究的重心就是居于界面位置的海岸带^[2]。位于河海交接区域的河口三角洲, 是海岸带重要而特殊的组成部分, 同时受到河流和海洋动力的双重作用, 对陆海相互作用的响应更为显著, 其直观表现就是岸线的形状与长度变化和区域面积变化。

对海岸线的提取可以通过现场探测技术进行, 但现场探测方法必须做大量的野外工作, 耗时费力, 工作周期长, 不利于大面积探测和应用推广^[3]。相比而言, 遥感技术感测范围广、更新时间短, 具有强大的数据获取能力, 能够直观地反应海岸线的岸相特征, 适于海岸线的提取。随着遥感技术在水陆岸线提取方面的理论的成熟, 利用遥感技术检测岸线变化在国内外得到了广泛应用^[3-9]。

黄河是世界上入海泥沙通量最高的河流^[4], 入海口水浅坡缓, 易于淤积, 近百余年来, 黄河尾间摆动比较频繁^[5-6], 使得黄河三角洲的陆海变迁比较显著, 海岸形态变化剧烈。而黄河三角洲是我国重要的

油气产区, 同时是我国三大河口三角洲湿地之一^[7], 为东北亚内陆和环太平洋鸟类的迁徙提供了重要的停歇地和越冬地^[8]。及时、准确地监测黄河三角洲的岸线变化及演变趋势, 对合理地开发利用该区域的资源和管理保护其生态环境具有重要的指导意义。何庆成^[9]、董方^[10]、薛允传^[11]等分别采用遥感和GIS相结合的方法对黄河三角洲1976年改道清水沟流路以来的岸线及淤蚀变化情况作了研究; 常军^[12]、崔步礼^[13]等则在通过遥感检测黄河三角洲岸线变化的基础上, 从黄河的来水来沙量等水文状况变化方面对黄河三角洲岸线变迁作了分析, 并得出了保证黄河三角洲冲淤平衡的水沙量, 预测了黄河随未来来水来沙量的不同而可能发生的淤蚀情况, 这些研究为黄河三角洲的岸线变化及淤蚀变化等方

收稿日期: 2010-06-21; 修回日期: 2012-01-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-223); 中国科学院百人计划项目; 山东省科技攻关计划项目(2008GG20005006, 2008GG3NS07005); 林业科技支撑计划项目(2009BADB2B0502-01)

作者简介: 栗云召(1985-), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 主要从事环境与景观生态学方面的研究, E-mail: yzli@yic.ac.cn; 于君宝(1970-), 通信作者, 研究员, 博士, E-mail: Junbao.yu@gmail.com

面的研究提供了参考。

本文在前人研究的基础上,根据黄河三角洲淤蚀变化的集中区域,着重从三角洲的三个亚区域的岸线变迁、面积及淤蚀变化方面出发,分析三角洲1989年到2009年的岸线演变情况、面积变化及淤蚀剧烈程度,从而为该区域的相关研究和管理提供参考和依据。

1 研究区域概况

黄河三角洲包括古代、近代和现代三角洲,本文的研究区域以垦利县渔洼村为顶点,北到挑河口,南到永丰河口,东到海岸,主要部分为现代黄河三角洲。在此研究区内,依据黄河现在和过去入海的流路^[14],分别以东港高速、黄河北岸沟渠大堤为界将研究区分为刁口河流路区、神仙沟流路区和清水沟流路区三个亚区域(图1)。研究区域主要是三角洲冲积平原,地势平坦,海拔多在10 m以下,年均气温12.8℃,年均降水550~600 mm,降水量季节变化和年际变化大^[5]。海岸区域主要是泥质粉砂质海岸和人工海堤,其中清水沟流路区主要是泥质粉砂质海岸,神仙沟流路区主要是人工海堤,刁口河流路区主要为人工海岸和泥质粉砂质海岸。

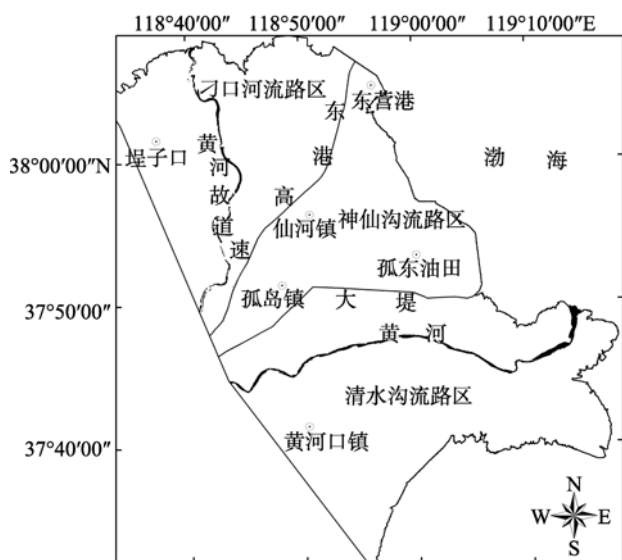


图1 研究区域

Fig. 1 Location of the study area

2 研究方法

2.1 数据准备及预处理

本文以 Landsat TM/ETM+ 数据为数据源,具体

采用的数据见表1。将所有影像以东营市1:50000地形图为准进行几何精校正,像元误差保证在1个像元内;然后在ENVI软件里创建研究区掩模,提取研究区(包括海域部分)。

2.2 海岸线的确定

海岸线包括大陆海岸线和岛屿海岸线^[6],目前对海岸线具体位置的确定基于研究目的不同而存在一定的差异,关于岸线的认定有以下5种观点:(1)低潮线;(2)沿海岸滩与平均海平面的交线;(3)平均高潮线;(4)多年大潮高潮线或痕迹线;(5)最大风暴潮所能达到的位置^[15-16]。近些年来,海平面上升成为许多研究的焦点,海平面上升会影响海岸线的确定,但是在较短的时间尺度内,由海平面上升造成的确定海岸线的误差可以忽略不计,此外,水陆边界线受潮汐的影响也很大。对于水陆边界线的确定,经过分析比较,黄河水利委员会勘察设计院认为同月同潮位法较为理想,但满足此条件的遥感影像不多。为此,本文采用研究区海洋潮流发生一般高潮时,取海水所淹没的平均界线(平均高潮线)方法来提取岸线。研究表明,平均高潮线与同月潮位法相比,两种方法的分析结果相近,能满足宏观分析所需的精度^[15],而平均高潮线可以通过光谱分类的方法来确定,在短期内,平均高潮线受潮汐和海平面的影响相对较小,可以忽略。平均高潮线介于高潮滩与中潮滩之间,由于潮滩组分的差异及暴露于水上时间长度不同,高潮滩与低潮滩的含水量不同,在光谱中表现出不同特征,此外,高、低潮滩上植被的长势及地貌的不同都成为识别平均高潮线的解译标志^[12]。本文在岸线提取时,遵循以下原则:(1)提取的岸线主要是大陆岸线,不包括小岛及与大陆分离的滩涂;(2)将明显突出海岸伸向海中的人工堤坝岸线截取掉,取与岸线相平;(3)潮沟和河口取与沟口和河口岸线相平。

2.3 岸线提取方法

在岸线提取过程中,本文参考樊彦国^[17]等人对黄河三角洲海岸线提取方法的论述,采用光谱分类的方法,利用计算机自动提取,结合人工修正,以平均高潮线为岸线,对黄河三角洲的岸线进行提取。

岸线提取分三个阶段。第一阶段,首先对研究区遥感影像进行缨帽变换,然后取缨帽变换的亮度分量、绿度分量和湿度分量进行图像组合,对重新组合后的图像实施边缘增强,然后进行非监督分类,分类取20~25类;第二阶段,对分类结果进行分类后合

表 1 遥感影像数据信息

Tab. 1 Information of remote sensing images

卫星	传感器	轨道号	成像日期 (年-月-日)
Landsat 4	TM	121/034	1989-02-13
Landsat 5	TM	121/034	1992-08-24
Landsat 7	ETM+	121/034	2000-05-02
Landsat 7	ETM+	121/034	2004-09-18
Landsat 5	TM	121/034	2006-10-02
Landsat 5	TM	121/034	2009-06-04

注：该数据下载前用“多影像局部自适应回归分析模型”进行了条带修复，修复效果良好

并，最终合并为两类，生成二值图，然后将生成的二值图转化为矢量数据；第三阶段，在 ARCGIS 软件里将生成的矢量图进行处理，提取岸线，得到研究区域的面积和岸线长度数据，然后采用空间分析工具对黄河三角洲的面积变化进行提取，得到黄河三角洲两年份之间的重合区域面积、淤积区域面积和蚀退面积等数据，并以年均淤蚀面积和的值表示该区域的蚀退强度，年均淤蚀面积占重合面积的百分比来表示该区域的相对淤蚀强度。

3 结果与讨论

3.1 黄河三角洲岸线长度及形状变化

黄河三角洲海岸线形状变化：如图 2 所示，刁口河流路区和清水沟流路区的海岸线形状变化比较明显，具体表现为：随时间推移，刁口河流路区的岸线整体向内陆方向收缩，岸线曲折性变大。由于没有稳

定的水沙补给，刁口河流路区的海岸线从 1976 年黄河改道以来整体一直处于蚀退状态。刁口河入海口区域的飞雁滩油田区，由于有公路和堤坝等人工设施防护，蚀退相对较小，其余区域，尤其是一千二管理站北部的滩涂，蚀退较大。至 2009 年，一千二管理站以北滩涂在图上呈现明显的“凹”形形态。清水沟流路区岸线由 1989 年开始，先向东南部淤积，形成一个沙嘴；2000 年以后该沙嘴逐步向后蚀退，同时现行河口区又形成一个新的沙嘴，岸线曲折性开始变大；新沙嘴先向东扩展，2006 年后又改向东北部扩展。这些变化主要是由黄河尾间摆动引起的。1976 年以后，黄河取清水沟河道入海，虽然没有发生大的改道，但小的尾间摆动一直存在。1996 年 7 月，黄河由清 8 断面经人工改道转向东北方向入海^[14]，使得 1976 年以来冲积形成的大沙嘴得不到泥沙补充，逐年消退；同时，在大沙嘴的东北方向，黄河泥沙淤

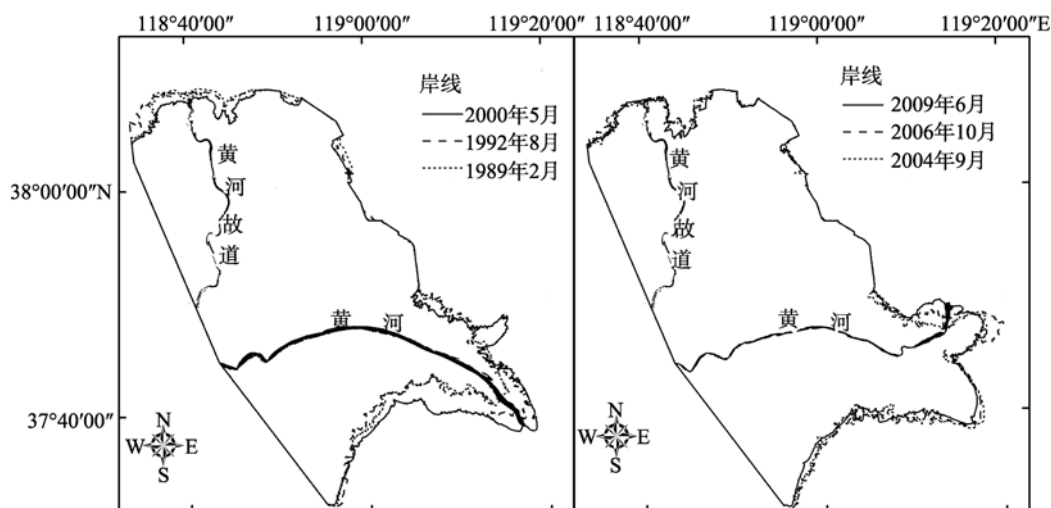


图 2 现代黄河三角洲岸线变化过程

Fig. 2 Coastline migrations of the Yellow River Delta

积而形成了现在的小沙嘴。黄河于 2007 年 8 月在河门处改行北汊道生成了现行河道, 因此, 从图 2 上看小沙嘴在 2006 年到 2009 年整体是向东北发育, 同时东部的淤积部分迅速地蚀退。神仙沟流路区的岸线除神仙沟的入海口处在 1989 年到 2000 年有较明显蚀退外, 其余区域变化不明显。这主要是由于 20 世纪 80 年代以来, 人工堤坝的修建减小了海浪侵蚀, 同时陆上也没有大的水沙输入, 使这段岸线变化不大。

海岸线的长度变化方面: 取 $L_{\max}$ 为 1989 年至 2009 年 20 a 间各区域岸线最大值, $L_{\min}$ 为 1989 年至

2009 年间各区域岸线最小值, K 为 $L_{\max}$ 与相应的 $L_{\min}$ 的差值。黄河三角洲各年份面积、岸线长度详见表 2, 1989 年至 2009 年间, 刁口河流路区的 K 值为 31.57 km; 清水沟流路区, K 值为 60.24 km; 神仙沟流路区, K 值为 7.7 km。表明清水沟流路区在 1989 年到 2009 年岸线长度变化最大, 其次为刁口河流路区, 神仙沟流路区岸线长度变化最小, 其长度变化仅相当于清水沟流路区长度变化的 12.78%。岸线长度变化最大的是现行黄河河道区, 长度变化最小的是人工堤岸段, 这说明黄河造陆和人为干扰对岸线长度变化的影响是两个重要方面。

表 2 黄河三角洲各年份面积、岸线长度

Tab. 2 Areas and coastline lengths of the Yellow River Delta

日期	岸线长度(km)				面积(km ²)			
	刁口河流路区	清水沟流路区	神仙沟流路区	总和	刁口河流路区	清水沟流路区	神仙沟流路区	总和
1989 年 2 月	66.51	121.74	39.68	227.93	689.24	850.56	511.54	2051.33
1992 年 8 月	52.39	174.61	42.26	269.26	697.97	868.24	508.91	2075.12
2000 年 5 月	64.29	146.25	45.50	256.04	653.73	965.49	505.74	2124.95
2004 年 9 月	83.96	161.25	47.37	292.58	635.59	1016.90	504.99	2157.50
2006 年 10 月	65.56	174.47	42.91	282.93	645.46	1050.39	505.26	2201.13
2009 年 6 月	75.99	114.37	44.39	234.75	627.87	1027.22	503.81	2158.91

3.2 黄河三角洲面积及淤蚀变化

在刁口河流路区, 面积变化除 1989 年至 1992 年和 2004 年至 2006 年段为正值外, 其他年份均为负值, 1989 年至 2009 年间年面积平均变化值为 -3.02 km^2 , 其面积共减少了 61.36 km^2 (表 3)。从淤蚀变化方面来说, 刁口河流路区在 1992 年至 2004 年和 2006 年至 2009 年期间, 蚀退区域面积比较大, 淤积区域面积比较小; 1989 年到 1992 年和 2004 年至 2006 年淤积区域面积比较大, 蚀退区域面积比较小(表 4)。淤蚀面积速度在 1989 年至 1992 年和 2006 年至 2009 年期间相对较大, 说明 1989 年至 2009 年间该区域的淤蚀变化剧烈程度是“剧烈-平缓-剧烈”, 从年均淤蚀面积占重合面积的比重来看, 该比例值亦经历了由大到小再到大的过程, 说明该区淤蚀强度和相对淤蚀强度的变化是一致的。在清水沟流路区, 面积变化速度在 2006 年至 2009 年间为负值, 其余年份均为正值, 且在 2004 年至 2006 年间面积增长速度最为明显, 达到了 $16.11 \text{ km}^2/\text{a}$, 1989 年至 2009 年间面积年平均变化值为 8.69 km^2 , 1989 年至 2009 年, 其面积共增加了 176.67 km^2 (表 3)。清水沟流路区的淤蚀变化相对剧

烈, 统计年间发生蚀退和淤积的区域面积都比较大, 其中 2006 年至 2009 年间发生蚀退的区域面积达到了 46.24 km^2 , 同时发生淤积的区域面积为 23.07 km^2 (表 4)。从淤蚀速度来看, 清水沟流路区的淤蚀强度自 1992 年以来, 就一直在增强, 2004 年以后强度增加更是明显, 2006 年到 2009 年间, 清水沟流路区的年均淤蚀速度达到了 $25.96 \text{ km}^2/\text{a}$ (表 4); 而年均淤蚀面积占重合面积的比例, 从总体上来看, 经历了“小-大”的过程。在神仙沟流路区, 除 2004 年至 2006 年间面积变化为正, 其余年份均为负值, 但变化值比较小, 1989 年至 2009 年间, 其面积变化平均值为 $-0.38 \text{ km}^2/\text{a}$, 20 a 间共减少了 7.72 km^2 (表 3)。神仙沟流路区发生淤蚀的区域面积、淤蚀速度和淤蚀面积占重合面积的比例都相对较小, 说明该区岸线比较稳定(表 4)。从黄河三角洲整体上来看, 1989 年至 2009 年间, 其面积总共增加了 107.58 km^2 , 面积平均增长率为 $5.29 \text{ km}^2/\text{a}$ (表 3)。从其淤蚀情况来看, 2004 年至 2006 年间, 其蚀退面积最小; 1992 年至 2000 年间, 淤积面积最大。但从淤蚀强度来看, 2006 年至 2009 年的淤蚀强度最强, 2000 年至 2004 年淤蚀强度最弱。

从1989年至2009年,黄河三角洲的淤蚀强度总体上经历了“缓和-剧烈”的过程。相对淤蚀强度(淤蚀面积占重合面积的比例)则经历了“剧烈-缓和-剧烈”的过程(表4)。淤蚀强度与相对淤蚀强度并不重合,1989年至2009年,黄河三角洲发生淤蚀变化的区域的面积增加了,但是发生淤蚀变化的区域与未发生淤蚀变化的区域的比重由大到小,再到更大,说明发生淤蚀变化的区域所涉及的空间范围相对扩大了。各年份的淤蚀空间变化情况见图3。

进一步分析表明:黄河三角洲的面积变化主要是由刁口河流路区和清水沟流路区决定的(图2),这些区域的大部分岸线是泥质粉砂质海岸,可塑性较容易,淤蚀变化较强。刁口河流路区的淤蚀强度经历了“剧烈-缓和-剧烈”的过程,其中2000年至2004年期间淤蚀强度最为缓和;清水沟流路区的淤蚀强度则一直处于增强过程,2004年到2009年,其淤蚀强度稳定的维持在一个较高水平(表4),相关研究的结果表明,引起这些变化的主要因素有黄河的水沙量

变化、降水变化和人为引水量变化等。20世纪80年代中后期以来,特别是1996年到2002年间,黄河三角洲的来水来沙量明显低于黄河多年来的平均值^[18-20],且多年存在断流问题加剧,断流天数增长,断流河道增长。与此同时,黄河的人为引水量一直处于上升趋势中^[19-20]。2002年黄河实施调水调沙之后,黄河的入海水沙量都有了一定的提高。同时2000年以后,黄河下游的降雨量也高于往年的平均值^[21],黄河水资源公报显示:黄河下游2003年至2008年该区域降水平均值达到729.4 mm,高出该区域多年平均降水量约100 mm,这对黄河三角洲的发育比较有利。经相关性分析,清水沟流路区年均淤蚀面积和的值与现代黄河三角洲该值的变化有很强的相关性,两者相关性达到0.962($P<0.01$, 双维检验);神仙沟流路区则岸线变化很小,面积变化不明显,对黄河三角洲淤蚀变化影响很小;刁口河流路区的淤蚀强度变化较明显,但其值亦达不到清水沟流路区该值的1/3,不能够成为影响黄河三角洲淤蚀强度变化的

表3 黄河三角洲面积变化情况

Tab. 3 Area variations of the Yellow River Delta

研究区亚区	时段(年-月)	面积变化值(km ²)	年面积平均变化值(km ²)
刁口河流路区	1989-02~1992-08	8.74	2.50
	1992-08~2000-05	-44.24	-5.71
	2000-05~2004-09	-18.14	-4.19
	2004-09~2006-10	9.87	4.75
	2006-10~2009-06	-17.59	-6.59
清水沟流路区	1989-02~2009-06	-61.36	-3.02
	1989-02~1992-08	17.67	5.05
	1992-08~2000-05	97.26	12.55
	2000-05~2004-09	51.41	11.87
	2004-09~2006-10	33.50	16.11
神仙沟流路区	2006-10~2009-06	-23.17	-8.68
	1989-02~2009-06	176.67	8.69
	1989-02~1992-08	-2.62	-0.75
	1992-08~2000-05	-3.18	-0.41
	2000-05~2004-09	-0.75	-0.17
现代黄河三角洲	2004-09~2006-10	0.27	0.13
	2006-10~2009-06	-1.45	-0.54
	1989-02~2009-06	-7.72	-0.38
	1989-02~1992-08	23.79	6.80
	1992-08~2000-05	49.84	6.43
	2000-05~2004-09	32.54	7.52
	2004-09~2006-10	43.63	20.98
	2006-10~2009-06	-42.22	-15.81
	1989-02~2009-06	107.58	5.29

表 4 现代黄河三角洲整体淤蚀情况

Tab. 4 Variations of the erosion and accumulation in the Yellow River Delta

研究区亚区	时段	面积(km ²)				年均淤蚀	
		重合区域	蚀退区域	淤积区域	淤积蚀退 面积和	年均淤积 蚀退面积	面积占重合 面积比例(%)
刁口河流路区	1989-02~1992-08	682.06	7.17	15.91	23.08	6.59	0.966
	1992-08~2000-05	653.33	44.64	0.40	45.05	5.81	0.890
	2000-05~2004-09	635.30	18.43	0.28	18.71	4.32	0.680
	2004-09~2006-10	634.49	1.10	10.97	12.07	5.80	0.914
	2006-10~2009-06	625.98	19.48	1.89	21.37	8.00	1.278
清水沟流路区	1989-02~1992-08	831.41	19.15	36.82	55.97	15.99	1.923
	1992-08~2000-05	850.15	18.08	115.34	133.42	17.22	2.026
	2000-05~2004-09	951.50	13.98	65.39	79.38	18.33	1.926
	2004-09~2006-10	1007.08	9.81	43.31	53.12	25.54	2.536
	2006-10~2009-06	1004.15	46.24	23.07	69.32	25.96	2.585
神仙沟流路区	1989-02~1992-08	507.30	4.24	1.62	5.86	1.674	0.323
	1992-08~2000-05	504.66	4.26	1.08	5.34	0.689	0.137
	2000-05~2004-09	503.91	1.83	1.08	2.91	0.672	0.133
	2004-09~2006-10	504.29	0.70	0.98	1.68	0.808	0.160
	2006-10~2009-06	503.36	1.90	0.45	2.35	0.880	0.175
现代黄河三角洲	1989-02~1992-08	2020.77	30.56	54.35	84.90	24.26	1.201
	1992-08~2000-05	2008.13	66.98	116.82	183.81	23.72	1.181
	2000-05~2004-09	2090.71	34.24	66.78	101.02	23.33	1.116
	2004-09~2006-10	2145.88	11.62	55.26	66.88	32.15	1.498
	2006-10~2009-06	2133.49	67.64	25.42	93.06	34.85	1.633

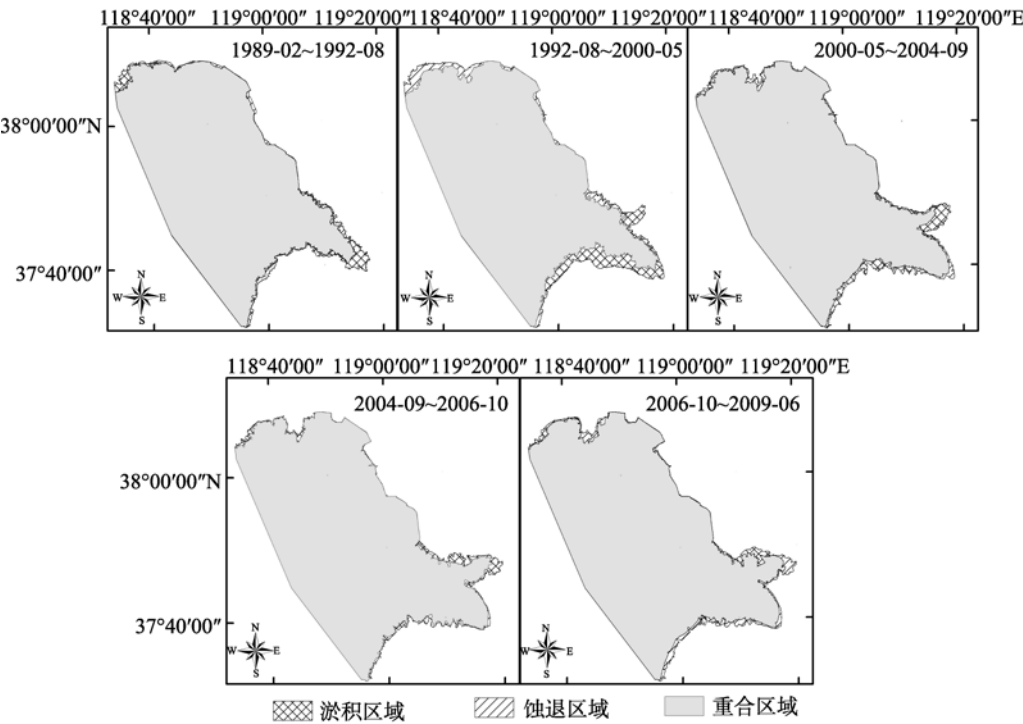


图 3 黄河三角洲不同年份淤蚀变化

Fig. 3 Variations of the Yellow River Delta in different years

主要区域。上述分析表明：清水沟流路区的淤蚀变化状况与黄河三角洲之间有显著的关系，清水沟流路区的淤蚀变化直接影响着黄河三角洲的淤蚀变化。

4 结论

黄河三角洲的岸线在 1989 年至 2009 年间发生了比较大的变化，变化主要发生在北部的刁口河流路区和南部清水沟流路区。北部岸线无海堤防护的区域整体向内陆收缩，南部及东部入海口区域整体上处于扩张状态，但 2006 年至 2009 年，清水沟流路区南部岸线亦呈蚀退状况，神仙沟流路区因主要是人工堤坝，岸线变化不明显。从面积变化上来看，黄河三角洲整体上处于增长趋势，但 2006 年至 2009 年，黄河三角洲面积减少了。从区域上来说，黄河三角洲的淤蚀强度与清水沟流路区有着密切的关系，清水沟流路区的淤蚀变化显著的影响着整个黄河三角洲的淤蚀变化。从淤蚀变化强度来看，黄河三角洲的淤蚀强度在 1989 年至 2009 年间的经历了“和缓-剧烈”的演变过程；2004 年以来，黄河三角洲的淤蚀强度稳定在较高的水平，每年发生淤积、蚀退的区域的面积的值明显高于 2004 年以前，这种高强度的淤蚀变化带来的是区域生态环境的不稳定变化，长期发展下去有可能影响整个区域的经济与社会发展，应引起政府及人们的关注。

参考文献:

- [1] 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 .
- [2] 戴志军, 李春初, 陈锦辉 . 华南海岸带陆海相互作用研究[J]. 地理科学进展, 2004, 23(5): 10-16 .
- [3] 于杰, 杜飞雁, 陈国宝, 等 . 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 .
- [4] 许炯心 .黄河三角洲造陆速率对夏季风强度变化和人类活动的响应[J]. 海洋学报(中文版), 2007, 29(5): 88-94 .
- [5] 张晓龙 .现代黄河三角洲滨海湿地环境演变及退化研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005 .
- [6] 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, 2007, 37(6): 813-823.
- [7] 贺强, 崔保山, 赵欣胜, 等 . 水、盐梯度下黄河三角洲湿地植物种的生态位[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 969-975 .
- [8] 王玉珍 .黄河三角洲湿地资源及生物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1745-1746 .
- [9] 何庆成, 张波, 李采 . 基于 RS、GIS 集成技术的黄河三角洲海岸线变迁研究[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1118-1123 .
- [10] 董芳, 赵庚星, 田文新, 等 . 基于遥感和 GIS 的黄河三角洲淤蚀动态研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 53-56 .
- [11] 薛允传, 马圣媛, 周成虎 . 基于遥感和 GIS 的现代黄河三角洲岸线变迁及发育演变研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(5): 36-40 .
- [12] 常军, 刘高焕, 刘庆生 . 黄河三角洲海岸线遥感动态监测[J]. 地球信息科学, 2004, 6(1): 94-98 .
- [13] 崔步礼, 常学礼, 陈雅琳, 等 . 黄河水文特征对河口海岸变化的影响[J]. 自然资源学报. 2006, 21(6): 957-964.
- [14] 庞家珍, 姜明星 . 黄河河口演变() kl——(二)1855 年以来黄河三角洲流路变迁及海岸线变化及其他[J]. 海洋湖沼通报, 2003, 4: 1-13 .
- [15] 邵正强 . 某些海洋区域性专用名词的法律性定义问题[J]. 海洋与海岸带开发, 1992, 1: 73-79 .
- [16] 严海兵, 李秉柏, 陈敏东 . 遥感技术提取海岸线的研究进展[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 101-105 .
- [17] 樊彦国, 张淑芹, 侯春玲, 等 . 基于遥感影像提取海岸线方法的研究——以黄河三角洲地区黄河口段和刁口段海岸为例[J]. 遥感信息, 2009, 4: 67-70 .
- [18] 彭俊, 陈沈良 . 近 60 年黄河水沙变化过程及其对三角洲的影响[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1353-1362 .
- [19] 樊辉, 刘艳霞, 黄海军 . 1950~2007 年黄河入海水沙通量变化趋势及突变特征[J]. 泥沙研究, 2009, 5: 9-16 .
- [20] 韩景瑞, 王世溪 . 黄河三角洲海岸线蚀退原因及对策[J]. 石油工程建设, 2002, 28(4): 12-15 .
- [21] 杨特群, 饶素秋, 陈冬伶 . 1951 年以来黄河流域气温和降水变化特点分析[J]. 人民黄河, 2009, 10: 76-77 .

Coastline change detection of the Yellow River Delta by satellite remote sensing

LI Yun-zhao^{1,2}, YU Jun-bao¹, HAN Guang-xuan¹, WANG Yong-li^{1,2},
ZHANG Zhi-dong¹

(1. Laboratory of Coastal Wetland Ecology, Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, the Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;
2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Jun., 21, 2010

Key words: the Yellow River Delta; coastline changes; remote sensing; area changes

Abstract: We used remote sensing and geographic information system to extracted coastlines of the Yellow River Delta from multi-temporal Landsat TM/ETM+ images (1989~2009), and analyzed the length and area variations of the Yellow River Delta. The shape and length of the coastline in the Yellow River Delta had significantly changed since 1989. Coastal erosion occurred in the Diaokou Estuary area where the shoreline was not protected by dam. The whole coastline in Qingshuigou area extended seaward because some parts of it suffered from erosion. Coastline in Shenxiangou area changed little because most parts of it were protected by dam. The area of the Yellow River Delta increased from 1989 to 2009, though it decreased from 2006 to 2009. The annual average of area that erosion occurred or siltation changed from small to large. The Yellow River Delta was in expansion in the last 20 years. But from 2006 to 2009, the area of the Yellow River Delta was decreased and more area had been in erosion or siltation status. Discharge and sediment concentration of the Yellow River, precipitation and water diversion were main factors that influenced the area change of the Yellow River Delta. Artificial dams were able to resist the invasion of sea wave and to maintain the stability of coastline. The result of this work is contributed to the management and reservation of coastal environment.

(本文编辑: 刘珊珊)