

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.06.002

基于多时相 GF-1 和 Landsat 影像的连云港市 44 年海岸线遥感监测与演变分析

胡亚斌^{1,2}, 任广波², 马毅^{2*}, 杨俊芳^{2,3}, 安居白¹, 张彦彦⁴, 许海蓬⁴

(1.大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026; 2.自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;
3.中国石油大学(华东), 山东 青岛 266580; 4.连云港市海域使用保护动态管理中心, 江苏 连云港 222001)

摘要:海岸线的动态变化监测可为海岸带防护、海岸带资源开发利用和可持续发展过程中的决策支持提供理论支撑。文中基于 1973–2017 年覆盖连云港市的 Landsat 系列和 GF 系列卫星影像数据, 结合海岸线分类体系, 提取了连云港市 10 期海岸线信息, 并分析了海岸线演变特征及其成因。结果表明: (1) 2017 年连云港市海岸线总长度为 205.90 km, 主要岸线类型为建设围堤和港口岸线, 两类岸线总长为 120.52 km, 占总岸线长度的 58.53%; (2) 1973–2017 年连云港市海岸线长度整体呈现增长态势, 44 年间海岸线长度共增长了 57.17 km, 年增长率约为 1.3 km/a。连云港市海岸线主要增长的岸线类型为建设围堤、港口岸线和生物岸线; (3) 44 年间, 连云港市海岸变化主要的海岸线类型为粉砂淤泥质岸线、生物岸线、港口岸线、建设围堤和盐田围堤; (4) 2017 年连云港市自然岸线长度为 69.15 km, 占总岸线长度的 33.6%, 44 年间, 自然岸线长度减少了 28.8 km, 年减少率为 0.65 km/a。自然岸线减少的原因主要为养殖业发展、城市扩张建设和港口建设。

关键词:连云港市; 海岸线; 遥感监测; 演变特征

中图分类号: P715.7; P737.1

文献标志码: A

文章编号: 1003-2029(2019)06-0009-08

21 世纪可称为“海洋世纪”, 海洋资源的开发和可持续利用是解决资源短缺、环境恶化问题的重要出路。海岸带是陆地和海洋资源间的过渡带, 海岸带的变化严重影响沿海地区经济发展和生态环境^[1-2]。海岸线作为海岸带系统行为重要标志之一, 在我国系指多年大潮平均高潮位时的海陆分界线^[3]。在自然和人为活动的共同因素下, 海岸线时刻处于动态变化过程。海岸线动态变化监测在海岸保护、海岸开发和海岸区域发展规划中担任重要的角色^[4]。连云港市作为新亚欧大陆桥东桥头堡、全国首批沿海开放城市和中国优秀旅游城市, 近年来海岸开发频繁, 特别是海城镇扩张、养殖设施开垦和港口建设导致了连云港海岸线的剧烈变化^[5]。因此, 亟需开展连云港市海岸线时空变化研究, 这对保障沿海居民

生活环境、合理开发海岸带资源和协调经济可持续发展具有指导意义。

国内外学者对海岸线检测分析的研究比较早, 基本始于 20 世纪 60 年代, 主要涉及海岸线提取研究和海岸线变迁分析研究。水体指数^[6]、阈值分离^[7]、边缘检测^[8]、面向对象^[9]和元胞自动机^[10]等方法应用于海岸线遥感提取。在海岸线人工提取方面, 孙伟富等^[11]建立了不同类型海岸线解译标志和提取方法, 众多学者在海岸线提取和岸线变迁分析应用方面, 开展了大量工作^[12-15]。目前针对连云港市研究, 多数学者主要集中于连云港市土地利用监测方面^[16-19], 而对海岸线相关研究少且针对局部区域, 梅雪琴等基于 Landsat 系列影像, 分析了 32 年间临洪河海岸岸线的演变特征^[20], 对连云港市海岸线类型和分布整体

收稿日期: 2018-09-26

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(61601133); 高分专项海岸带遥感监测与应用示范项目

作者简介: 胡亚斌(1991-), 男, 博士研究生, 主要从事海岛海岸带遥感与人工智能应用研究。E-mail: 994642285@qq.com

通讯作者: 马毅(1973-), 男, 博士, 研究员, 主要从事海岛海岸带遥感与应用研究。E-mail: mayimail@fio.org.cn

认识浅,同时也缺乏对连云港市海岸线的长时间序列的演变特征与对比研究分析。

在本文研究中,以 1973 年、1981 年、1990 年、2000 年、2005 年、2009 年、2010 年、2015 年、2016 年和 2017 年等 10 期覆盖连云港市的 Landsat 系列影像和 GF-1 号卫星数据为主要数据源,结合建立的海岸线分类体系及解译标志集,提取连了云港市 10 期海岸线信息,分析了连云港市海岸线时空分布特征和演变特征,并进一步探讨了连云港市海岸线变迁驱动力分析。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

连云港市是新亚欧大陆桥的东桥头堡,位于江苏省东北部,北起苏鲁交界处的绣针河口,南至灌河口(见图 1),是我国首批沿海开放城市和中国优秀旅游城市之一,也是华东地区新兴的重要工业、外贸和港口城市。连云港市属东亚季风气候,冬季盛行偏北风、干旱少雨;夏季盛行东南风、温度偏高、湿度大。连云港市资源类型丰富,有云台山主脉,北部以耕地为主,南部以盐田为主,交通便利,沿海分布有台北、台南和徐圩三大盐场。连云港市海岸地貌类型典型,包括基岩海岸、砂质海岸和粉砂淤泥质海岸等,境内具有海州湾渔场、前三岛海珍品增殖养殖基地等渔业资源。

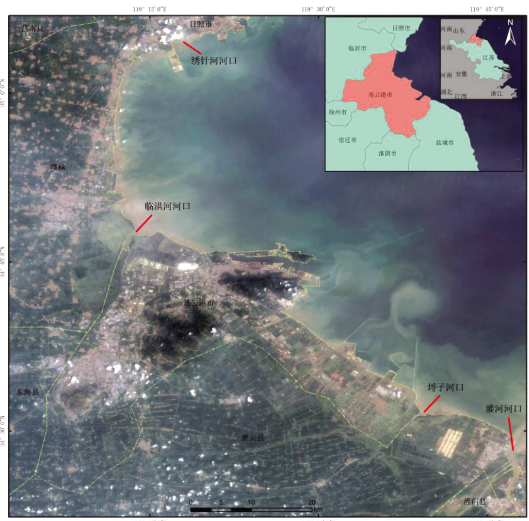


图 1 连云港市区位示意图

1.2 数据与处理

为研究连云港市长时间序列的海岸线演变特征,本文收集了 1973–2017 年间覆盖连云港市的云

覆盖量小于 3%且影像过境时的潮位较高的 Landsat MSS, TM 以及 ETM 系列影像和 GF-1 号 WFV 遥感影像,共 10 景,用于连云港市海岸线信息提取,同时收集了 4 景 SPOT5 用于几何校正,本文所用卫星影像信息详见表 1。

本文基于 2003 年和 2004 年 4 期 SPOT 影像对覆盖连云港市 10 期 Landsat 系列和 GF-1 系列遥感影像进行几何校正,考虑到本文研究重点为海岸线变迁,校正时控制点选取原则为:(1)选取 10 个以上控制点且均匀分布影像,(2)海岸线附近多设控制点,在海岸地形曲折出需有控制点,如海岬顶点和海湾凹形。本文采用二次多项式和双线性内插法进行校正和重采样,校正精度控制在 0.5 个像素之内。校正后的卫星遥感影像均采用高斯-克吕格投影和 WGS-84 坐标系。

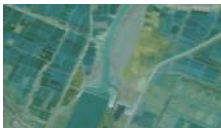
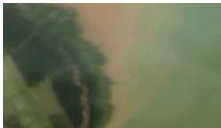
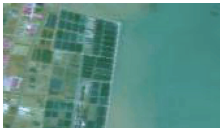
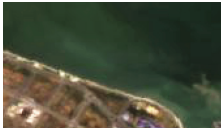
表 1 卫星遥感影像信息表

传感器	成像时间	分辨率	传感器	成像时间	分辨率
Landsat MSS	19731116	30 m	GF-1	20150803	16 m
			WFV4	20160908	
Landsat TM	19811208		GF-1	20170617	2.5 m
	19900307		WFV2	20030912	
Landsat ETM	20000919			20041106	
	20051008		SPOT5	20031024	
Landsat TM	20090715			20031225	
	20100413				

2 连云港市海岸线分类体系和解译标志集

本文基于海岸线成因及连云港市海岸线底质两方面,依据《海岛海岸带卫星遥感调查技术规程》的海岸线分类体系,结合连云港大陆海岸地质地貌的特点,建立了适用于连云港市综合详细的海岸线分类体系,该分类体系包括自然岸线和人工岸线 2 大类,其中自然岸线具体可分为基岩岸线、砂质岸线、粉砂淤泥质岸线、河口岸线和生物岸线 5 类,人工岸线包括 4 类,具体为养殖围堤、盐田围堤、港口岸线和建设围堤,连云港市海岸线遥感解译标志集见表 2。

表 2 连云港市海岸线分类体系及遥感解译标志集

岸线类型	解译标志	岸线类型	解译标志	岸线类型	解译标志
粉砂淤泥质岸线		河口岸线		港口岸线	
基岩岸线		生物岸线		养殖围堤	
砂质岸线		盐田围堤		建设围堤	

3 结果与分析

考虑到影像分辨率的差异,影响岸线解译的精度,尤其对于海岸线自动提取算法。因此,本文采用具有可用性强、精度高的人机交互法进行海岸线信息提取。为进一步保证海岸线解译精度,本文基于 Landsat 系列和 GF 系列卫星影像数据和构建的连云港市海岸线分类体系,先提取了 2010 年连云港海岸线信息,并以此为基础对其他时相的进行修正。修正的原则为:(1) 海岸线位置和类型属性不变,则保留原属性;(2) 海岸线位置变化,而类型属性不变,则仅修正海岸线位置信息;(3) 海岸线位置不变,而类型属性改变,则仅修改海岸线类型属性;(4) 海岸线位置和类型属性都改变,则需同时修正

海岸线的位置和类型属性。最终获取了连云港市 1973 年、1981 年、1990 年、2000 年、2005 年、2009 年、2010 年、2015 年、2016 年和 2017 年等 10 期海岸线信息,各期海岸线提取结果见图 2 和表 3。

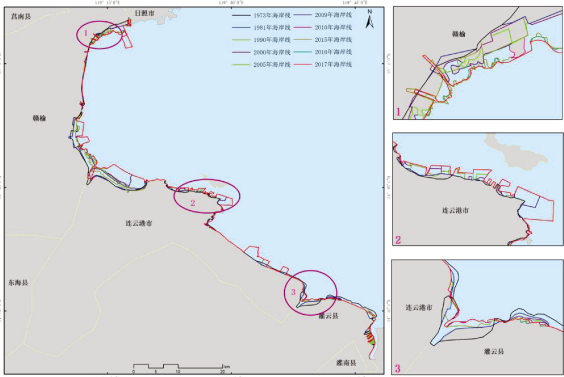


图 2 连云港市 10 期海岸线提取结果图

表 3 1973-2017 年历年连云港市各类型海岸线信息统计表

单位:km

年份	类型									
	粉砂淤泥质岸线	基岩岸线	砂质岸线	河口岸线	生物岸线	港口岸线	养殖围堤	建设围堤	盐田围堤	汇总
1973	54.60	9.27	23.47	0.90	9.72	2.90	11.99	1.93	33.93	148.71
1981	44.65	8.13	22.22	0.63	7.96	4.95	13.57	2.70	41.32	146.13
1990	25.07	8.37	15.37	1.25	12.71	14.72	31.16	3.62	51.24	163.51
2000	17.99	7.26	13.05	1.42	33.48	15.12	30.16	10.02	31.71	160.22
2005	9.92	6.22	11.68	1.86	54.63	16.17	25.42	10.24	31.90	168.04
2009	4.91	4.87	11.55	2.10	47.81	24.47	22.61	23.78	31.51	173.63
2010	4.26	4.74	11.66	2.10	49.53	24.47	23.41	24.17	28.85	173.18
2015	2.35	3.36	10.84	2.10	51.93	58.70	13.39	55.26	7.18	205.12
2016	2.32	3.36	10.80	3.04	50.18	58.42	9.75	56.78	6.62	201.28
2017	1.83	3.36	10.80	3.00	50.16	58.28	9.70	62.24	6.54	205.90

3.1 连云港市历年海岸线特征现状分布

由图 3 和表 3 可知,2017 年连云港市海岸线总长度为 205.90 km,其中建设围堤和港口岸线长度分别为 62.24 km 和 58.28 km,占总岸线长度的 30.23%和 28.3%,粉砂淤泥质岸线长度最短,仅为 1.83 km,占总岸线长度的 0.89%;2016 年连云港市海岸线总长度为 201.28 km,其中建设围堤和港口岸线长度分别为 56.78 km 和 58.42 km,占总岸线长度的 28.21%和 29.03%,粉砂淤泥质岸线长度最短,仅为 2.32 km,占总岸线长度的 1.15%;2015 年连云港市海岸线总长度为 205.12 km,其中港口岸线长度最长,为 58.70 km,占总岸线长度的 28.62%,粉砂淤泥质岸线长度仅为 2.35 km,占总岸线长度的 1.15;2000 年、2005 年、2009 年和 2010 年连云港市海岸线总长度为分别 160.22 km、168.04 km、173.63 km 和 173.18 km,其中最长的岸线类型都为生物岸线,长度分别为 33.48 km、54.63 km、47.81 km 和 49.53 km,占总岸线长度比重分别为 20.9%、32.51%、27.54%和 28.60%,河口岸线长度在连云港市各类岸线中最短,长度分别仅为 1.42 km、1.86 km、2.10 km 和 2.10 km;1990 年连云港市海岸线总长度为 163.51 km,其中在连云港市各岸线类型中所占比重最大的岸线类型为盐田围堤,长度为 51.24 km,占总岸线长度比重为 19.06%,河口岸线长度在连云港市各类岸线中最短,长度分别仅为 1.25 km,建设围堤长度为 3.62 km,占总岸线长度的 2.21%;1973 年和 1981 年年连云港市海岸线总长度为分别 148.71 km 和 146.13 km,其中在连云港市各岸线类型中所占比重最大的岸线类型为粉砂淤泥质岸线,长度分别为 54.60 km 和 44.65 km,占总岸线长度比重分别为 36.72%和 30.56%,河口岸线长度在连云港市各类岸线中最短,程度分别仅为 0.96 km 和 0.63 km;岸线长度排在第二位的海岸类型都为盐田围堤,长度分别为 33.93 km 和 41.32 km,占总岸线长的 22.82%和 28.27%。

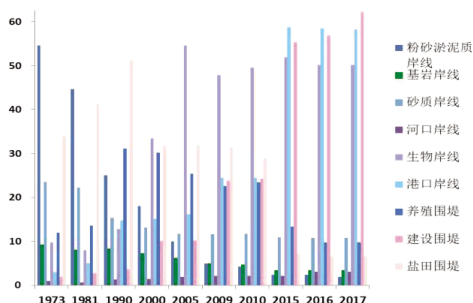


图 3 10 期连云港市海岸线信息统计图 (单位:km)

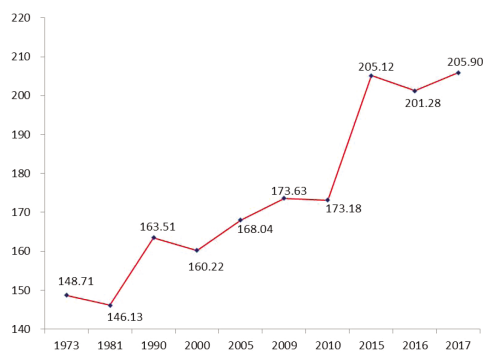


图 4 连云港市历年海岸线长度统计图 (单位:km)

3.2 连云港市海岸线演变特征分析

由图 4 知,1973–2017 年连云港市海岸线呈现出增长态势,长度由 148.71 km 增长到 205.90 km,44 年间海岸线长度共增长了 57.17 km,年增长率为 1.3 km/a。44 年间,连云港市海岸线主要增长的岸线类型为建设围堤、港口岸线和生物岸线,增长的长度分别为 60.31 km、55.38 km 和 40.44 km,年增长速率约为 1.37 km/a、1.26 km/a 和 0.92 km/a。连云港市 44 年间增长的岸线类型还有河口岸线,长度增加了 2.1 km。44 年间,连云港市长度减少最大的岸线类型为粉砂淤泥质岸线,长度减少 52.76 km,年减少率约为 1.19 km/a,其次长度减少的岸线类型为盐田围堤,减少了 27.39 km,基岩岸线、砂质岸线和养殖围堤岸线长度也处于减少状态,长度分别减少了 5.90 km、12.67 km 和 2.29 km。

连云港市在 1973–2017 年处于增长态势,同时还可发现海岸线长度在 1981–1990 年和 2010–2015 年 2 个时间段内处于高速增长模式。在 1981–1990 年间,连云港海岸线总长度增长了 17.38 km,年增长速率为 1.93 km/a,增长的主要岸线类型为养殖围堤和港口岸线,长度分别增加了 17.59 km 和 9.77 km,减少的主要岸线类型为粉砂淤泥质岸线和砂质岸线,减少的长度分别为 19.58 km 和 6.85 km。从图 5~图 6 可知,在海州湾北部 1981 年为粉砂淤泥质岸线,由于养殖业的发展,到了 1990 年海岸岸线类型变迁为养殖围堤;在连云港主港东部 1981 年岸线类型为砂质岸线,由于港口建设的需求,1990 年该区域的海岸线类型变迁为港口岸线。

在 2010–2015 年间,连云港海岸线总长度增长了 31.94 km,年增长速率为 6.39 km/a,增长的主要岸线类型为港口岸线和建设围堤,长度分别增加了 34.22 km 和 31.09 km,减少的主要岸线类型为盐田围堤,减少的长度 21.66 km。从图 7~图 8 可知,在徐

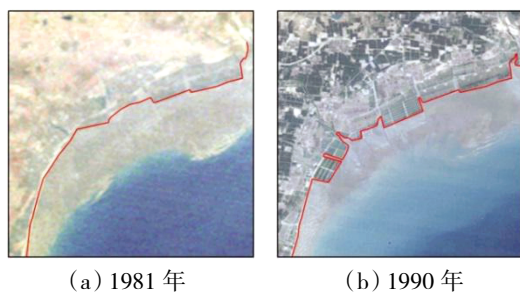


图 5 海州湾北部岸线变迁图

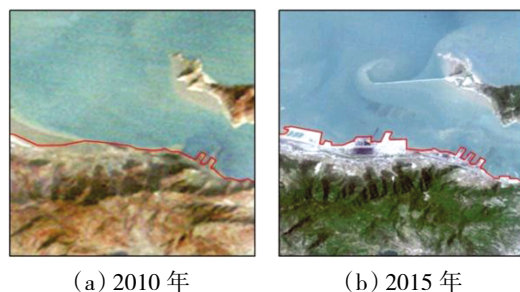


图 6 连云港主港岸线变迁图

圩新港 2010 年为盐田围堤, 由于港口建设, 到了 2015 年海岸岸线类型变迁为港口岸线; 在连云港新城南部 2010–2015 年, 由于填海工程建设, 该区域建设围堤长度发生剧烈增长。

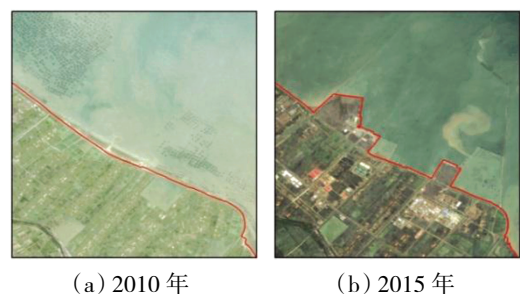


图 7 徐圩新港岸线变迁图

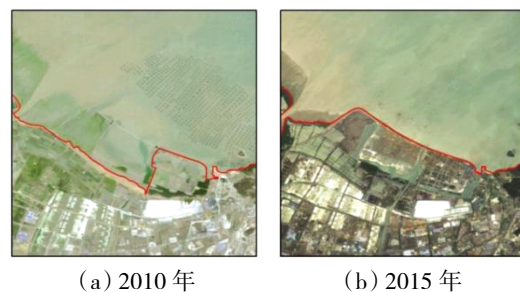


图 8 连云港新城岸线变迁图

3.3 连云港市自然岸线演变特征分析

自然岸线和人工岸线的比例, 可间接分析人类活动对海洋环境和海洋经济的影响。基于 1973–2017 年连云港市各类型海岸线信息提取结果, 进行连云港市自然岸线和人工岸线变迁分析。1973–2017 年连云港市自然岸线演变特征信息见图 9 和表 3。

表 3 1973–2017 年连云港市自然岸线和人工岸线信息表

单位: km

年份	自然岸线	人工岸线
1973	97.95	50.75
1981	83.60	62.53
1990	62.77	100.74
2000	73.21	87.01
2005	84.31	83.73
2009	71.25	102.38
2010	72.28	100.90
2015	70.59	134.53
2016	69.70	131.57
2017	69.15	136.75

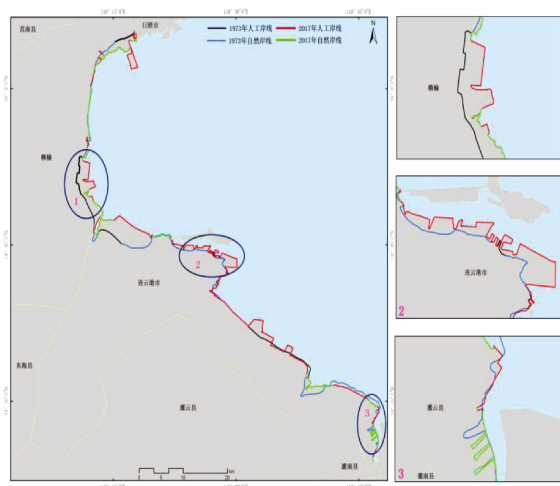


图 9 连云港市 1973–2017 自然岸线演变特征图

由表 3 和图 9 可知, 2017 年连云港市自然岸线长度为 69.15 km, 占总岸线长度的 33.6%, 相比于 1973 年连云港自然岸线的长度, 减少了 28.8 km, 年减少率为 0.65 km/a。44 年间, 自然岸线的占比由 1973 年的 65.9% 下降到 33.6%。1973–1990 年, 自然岸线处于下降趋势, 到了 1990 年长度下降到 62.77 km, 占总岸线长度的比重下降到 38.4%, 这是由于在此期间养殖业的发展, 大量淤泥质海岸进行养殖围垦, 使得自然岸线遭到严重的侵蚀和破坏; 1990–2005 年自然岸线处于增长趋势, 到了 2005 年长度增长到 84.31 km, 占总岸线长度的比重增长到 50.2%, 自然岸线长度增长了 21.54 km, 2005 年自然岸线和人工岸线基本持平, 自然岸线增长的原因是在此期间, 连云港市海岸外围大米草等植被的大量增长, 造成了生物岸线的增加, 从而使得自然岸线比重增加, 见图 10。

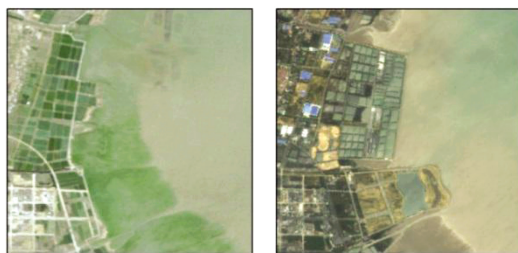
2005–2015 年间, 自然岸线整体上处于下降状

态,10年间自然岸线的长度下降了13.72 km,年减少率约为1.37 km/a,总岸线长度的比重下降到2015年的33.4%,造成这种变化的原因为2010–2015年间连云港市致力于城市扩张建设和港口建设,使得建设围堤和港口岸线长度剧烈增长,因此造成自然岸线比重下降,见图11;2015–2017年自然岸线长度和比重都处于稳定的状态,2016年和2017年的自然岸线长度分别为69.70 km和69.15 km,所占总岸线的长度分别为34.6%和33.6%。



(a) 2000年 (b) 2005年

图10 赣榆东部岸线变迁图



(a) 2010年 (b) 2015年

图11 赣榆新城建设围堤变迁图

3.4 海岸线演变驱动力分析

连云港市海岸线长度从1973年到2017年呈现出增长态势,但在2000年、2010年和2016年3个时间节点上呈现出轻微下降的趋势,造成海岸线变迁的原因主要为养殖业发展、城市扩张建设和港口建设等人为活动影响。1973–1990年,自然岸线处于下降趋势,这是由于在此期间养殖业的发展,大量淤泥质海岸进行养殖围垦,使得自然岸线遭到严重的侵蚀和破坏。在1981–1990年间,连云港海岸线总长度增长了17.38 km,增长的主要岸线类型为养殖围堤和港口岸线,减少的主要岸线类型为粉砂淤泥质岸线和砂质岸线,这是由于养殖业和港口建设的影响,在海州湾北部1981年为粉砂淤泥质岸线,由于养殖业的发展,到了1990年海岸岸线类型变迁为养殖围堤;在连云港主港东部1981年岸线类型为砂质岸线,由于港口建设的需求,1990年该区域的海岸线类型变迁为港口岸线。1990–2005年

自然岸线处于增长趋势,原因是在此期间,连云港市海岸外围大米草等植被的大量增长造成了生物岸线的增加,从而使得自然岸线比重增加。在2010–2015年间,造成连云港海岸线总长度增长的主要岸线类型为港口岸线和建设围堤而减少的主要岸线类型为盐田围堤,因为在此期间连云港市为促进经济的发展,大力施行城市建设、港口建设和围填海等工程,在徐圩新港2010年为盐田围堤,由于港口建设,到了2015年海岸岸线类型变迁为港口岸线,在连云新城南部2010–2015年,由于填海工程建设,该区域建设围堤长度发生剧烈增长。

4 结论与讨论

本文以1973年、1981年、1990年、2000年、2005年、2009年、2010年、2015年、2016年和2017年等10期覆盖连云港市的Landsat系列影像和GF-1号卫星数据为主要数据源,结合海岸线成因及连云港市海岸线底质两方面,建立了适用于连云港市综合详细的海岸线分类体系。基于连云港市海岸线分类体系,提取了连云港市详细的海岸线信息,分析了连云港市海岸线分布现状、演变特征和自然岸线演变特征规律,并进一步探讨了海岸线演变主要因素。本文主要结论如下:

(1) 基于连云港市海岸线成因及其海岸地质地貌特性,构建了综合详细的连云港市2大类9小类海岸线分类体系。

(2) 2017年连云港市海岸线总长度为205.90 km,主要岸线类型为建设围堤和港口岸线,两类岸线总长为120.52 km,占总岸线长度的58.53%,粉砂淤泥质岸线长度最短,仅为1.83 km,占总岸线长度的0.89%。

(3) 1973–2017年连云港市海岸线长度整体呈现增长态势,44年间海岸线长度共增长了57.17 km,年增长率约为1.3 km/a。44年间,连云港市海岸线主要增长的岸线类型为建设围堤、港口岸线和生物岸线,增长的长度分别为60.31 km、55.38 km和40.44 km,年增长速率约为1.37 km/a、1.26 km/a和0.92 km/a。

(4) 44年间,造成连云港市海岸变化主要的海岸线类型为粉砂淤泥质岸线、生物岸线、港口岸线、建设围堤和盐田围堤。

(5) 2017年连云港市自然岸线长度为69.15 km,

占总岸线长度的 33.6%,44 年间,自然岸线长度减少了 28.8 km,年减少率为 0.65 km/a。自然岸线的占比由 1973 年的 65.9%下降到 33.6%。44 年间,自然岸线减少的原因主要为养殖业发展、城市扩张建设和港口建设。

本文所用影像数据的空间分辨率不完全统一,易造成提取的海岸线信息统计结果与真实情况存在稍微偏差,顾采用精度高的人机交互法提取海岸

线信息,同时这不影响分析连云港市海岸线演变特征规律。同时,本文针对连云港市的演变特征原因分析方面主要侧重于易造成海岸线短时间发生剧烈变化的人为活动因素,下一步工作中将引入自然因素对海岸线变迁的影响分析。准确、高效地获取海岸线信息,研究海岸线演变分析和变迁机制,可为海岸带资源开发、管理和可持续利用问题的解决提供重要的作用。

参考文献:

- [1] Arkema K K, Guannel G, Verutes G, et al. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(10): 913-918.
- [2] Kirwan M L, Megonigal J P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise[J]. *Nature*, 2013, 504(7478):53-60.
- [3] 国家质量技术监督局. GB/T 18190-2000. 海洋学术语·海洋地质学[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
- [4] B B Parker. The difficulties in measuring a consistently defined coastline: the problem of vertical referencing [J]. *Coastal Res*, 2003(38): 44-56.
- [5] 吴立珍,赵明,吴涛,等. 连云港市海岸资源开发现状及管护对策研究[J]. *淮海工学院学报(人文社会科学版)*, 2015, 13(11): 101-103.
- [6] 胡亚斌,马毅,孙伟富,等. 基于多期遥感影像的砂质岸线提取方法:以海阳沙滩为例 [J]. *海洋开发与管理*, 2016, 33(5): 32-36,49.
- [7] Guariglia A, Buonamassa A, Losurdo A, et al. A multisource approach for coastline mapping and identification of coastline changes[J]. *Ann Geophys*, 2006(49):295-304.
- [8] 刘晓莉,范玉茹. 常用边缘检测算法在不同影像海岸线中提取比较研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2014,37(11): 149-151.
- [9] Di Dong, Ziwei Li, Zhaoqin Liu, et al. Automated techniques for quantification of coastline change rates using Landsat imagery along Caofeidian, China [M]. *Earth and Environmental Science*,2014,17 (2014): 012103.
- [10] Feng Y J, Liu Y, Liu D. Coastline mapping with cellular automata and coastline progradation analysis in Shanghai, China from 1979 to 2008 [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2014,37(11): 149-151.
- [11] 孙伟富,马毅,张杰,刘善伟,等. 不同类型海岸线遥感解译标志建立和提取方法研究[J]. *测绘通报*, 2011(3): 41-44.
- [12] 张霞,庄智,张旭凯,等. 秦皇岛市海岸线遥感提取及变化监测[J]. *遥感技术与应用*, 2014,29(4): 625-630.
- [13] Kevin White, Hesham M. Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery, an example from the Nile Delta [J]. *Geomorphology*, 1999, 29(1-2): 93-105.
- [14] 田震,朱建华,王世昂,等. 1991-2015 年唐山市海岸线时空变化遥感分析[J]. *海洋开发与管理*, 2018, 35(9): 34-41.
- [15] 周磊,马毅,胡亚斌,等. 1988-2016 年泰国湾海岸线变迁遥感分析[J]. *海洋开发与管理*, 2018, 35(5): 44-50, 76.
- [16] 许祝华,张铁军,刘媛,等. 近 20 年连云港市海岸带土地利用动态变化分析[J]. *海洋开发与管理*, 2014, 31(9): 54-57.
- [17] 谢宏全,高祥伟. 连云港海岸带土地利用 _ 覆盖变化与驱动力分析[J]. *海洋科学*, 2011, 35(11): 52-57.
- [18] 贾艳红,潘蓉,陈丽. 基于 ETM_ 影像的连云港海岸带土地利用现状分析 [J]. *淮海工学院学报(自然科学版)*, 2013, 22(1): 53-56.
- [19] 白珏莹,徐威杰,管明雷,等. Landsat 影像海岸带土地利用动态监测方法研究[J]. *测绘通报*, 2016 (2): 84-86, 119.
- [20] 梅雪琴,谢宏全,王亚娜,等. 基于 Landsat 的连云港临洪河海岸岸线变化分析[J]. *科技创新导报*, 2018 (7): 145-146, 148.

Remote Sensing Monitoring and Evolution Analysis of the Coastline in the Lianyungang City Based on Multi-temporal GF-1 and Landsat Images During 44 Years

HU Ya-bin^{1,2}, REN Guang-bo², MA Yi², YANG Jun-fang^{2,3}, AN Ju-bai¹, ZHANG Yan-yan⁴, XU Hai-peng⁴

1. *Information Science and Technology College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning Province, China;*

2. *First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, Shandong Province, China;*

3. *China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong Province, China;*

4. *Oceanic Administration and Protection Center of Lianyungang, Lianyungang 222001, Jiangsu Province, China*

Abstract: Dynamic monitoring of coastline can provide theoretical support for coastal belt protection, coastal resource development, utilization, and decision support in sustainable development. Based on the Landsat and GF-1 series satellite images covering the Lianyungang City from 1973 to 2017, this paper extracts the coastline information by coastline classification system, and analyzes the evolution characteristics of the coastline and its causes. The results show that: (1) In 2017, the total length of the coastline in the Lianyungang City was 205.90 km. The main types of coastlines were construction dikes and port coastline. The total length of the two types of coastline was 120.52 km, accounting for 58.53% of the total coastline length. (2) From 1973 to 2017, the length of the coastline of the Lianyungang City showed a trend of overall growth. During the 44 years, the length of the coastline increased by 57.17 km, with an annual growth rate of about 1.3 km/a. (3) The main types of the coastline changes in the Lianyungang City were silty silt coastline, biological coastline, port coastline, construction dike and Yantian dikeduringthe 44 years. (4) In 2017, the length of the natural coastline of the Lianyungang City was 69.15 km, accounting for 33.6% of the total coastline length. During the 44 years, the length of the natural coastline decreased by 28.8 km, and the annual reduction rate was 0.65 km/a. The main reasons for the reduction of natural coastlines are the development of aquaculture, urban expansion and port construction.

Key words: Lianyungang City; coastline; remote sensing; evolution characteristics