

近 44 年来滦河口障壁岛演变过程及其影响因素研究——以唐山市龙岛为例

程 林, 田海兰, 刘西汉, 王艳霞

(河北省科学院地理科学研究所, 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心, 河北 石家庄 050011)

摘要: 为掌握滦河口障壁岛的演变特征、为海岛保护与适度利用提供数据支撑, 以唐山市龙岛为例, 基于 RS 及 GIS 技术, 分析了近 44 年来障壁岛的演变特征, 并探讨了影响海岛演变的主要因素。分析显示, 近 44 年来海岛面积和长度分别呈减少和增加的趋势, 海岛质心位置向西南偏西方向迁移, 海岛外海一侧岸线不断后退, 平均后退速率达 7.37 m/a, 其中 1978—1984 年、1996—2003 年、2008—2013 年及 2018—2019 年海岛侵蚀后退明显。研究认为, 由于滦河口的自然迁移, 河流输沙减少, 受沿岸输沙特征影响, 海岛主体部分侵蚀而两端沙嘴处堆积, 海岛自然状态下已出现 5~6 m/a 的侵蚀。航道整治挖岛及景区建设挖岛导致近年来海岸典型断面平均后退速率达到研究期内最大值 14.27 m/a, 海岛长度也出现明显减少, 是影响海岛演变的首要因素。滦河流域大型水库的修建使滦河输沙急剧减少, 海岛岸线侵蚀加剧、海岛面积明显减少, 是研究时段内影响海岛演变的次要原因。风暴潮是影响海岛演变的主要的突发性因素, 尤其是 2018 年内短期内密集过境的台风, 造成海岛岸线典型断面平均后退达 10.25 m。当前, 海岛的保护与适度利用要遵循海岛演变特征, 严格禁止不必要的挖岛采砂, 并采取海滩修复、构筑透水潜堤等工程措施对重点功能区海岸线加以防护。

关键词: 障壁岛; 龙岛; 海岛演变过程; 影响因素

中图分类号: P737.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2020)06-0022-09

DOI: 10.11759/hyxx20190924001

障壁岛是沙坝-潟湖地貌体系的主要组成部分之一, 多为狭长的砂质海岛, 是沿海的生态敏感带和脆弱区。障壁岛海岸占世界海岸线长度的 10%^[1], 主要分布在东南亚及南亚沿岸、北大西洋沿岸、北冰洋沿岸、非洲东南部及西部沿岸等地区^[2]。障壁岛受沉积物来源及水动力条件等因素的影响, 形态变化幅度较大^[3-5], 对风暴潮^[6]、海平面上升^[7]等典型自然因素及水库建设^[8]、城市与海岸工程建筑^[9-10]、围填海开发^[11]等高强度人类开发活动的响应明显。欧美地区沿海开发强度相对较低, 对障壁岛影响因素的研究以自然因素为主。而东亚地区尤其是中国沿海, 海岸带开发强度较高, 对障壁岛的研究侧重于反应人类活动的影响^[11-12]。如何综合评价自然过程及多类别人类活动的影响特征, 是障壁岛保护与利用亟需解决的问题。

中国障壁岛多分布在渤海滦河口沿海、雷州半岛、海南岛及台湾岛等地区, 是当前重要的旅游资源。唐山市龙岛是当前滦河口沿海障壁岛中最南端的海岛, 是唐山市曹妃甸区当前唯一的沙滩旅游资

源和自然海岛类景观, 也是当地旅游开发的重要对象。为了科学开展海岛保护及并适度进行旅游开发, 有必要掌握岛屿演变特征、识别海岛演变的主要影响因素。本文基于遥感影像分析, 研究近年来唐山市龙岛演变特征, 探讨影响龙岛演变的主要影响因素及其影响程度差异, 以为海岛管理提供决策参考。

1 研究区域概况

龙岛, 原名东坑坨, 位于 39°01'23"N, 118°44'02"E, 曹妃甸人工岛东侧, 行政隶属于河北唐山市曹妃甸区(见图 1 及图 2)。海岛为狭长的沙质岛, 长 7.7 km,

收稿日期: 2019-09-24; 修回日期: 2019-12-16

基金项目: 河北省科学院科技计划项目(19101); 河北省科学院两院合作项目(191402)河北省科学院人才培养工程资助项目(2019G04)

[Foundation: Science and Technology Program of Hebei Academy of Science, No. 19101; Cooperation Program of Hebei Academy of Sciences and China Academy of Sciences, No. 191402; Fund For Youth Scholars of Hebei Academy of Science, No. 2019G04]

作者简介: 程林(1985-), 河北定州人, 助理研究员, 硕士, 主要从事海岸带环境变化研究, E-mail: chinachenglin@126.com; 王艳霞(1978-), 通信作者, 副研究员, E-mail: chelsea_wang@126.com

面积达 43.59 ha(2019 年数据), 因岛体形态呈 L 形而得名龙岛。龙岛为古滦河口沙嘴, 海岛形态依赖于滦河输沙。由于滦河入海口不断向东北迁移, 原有三角洲岸线与淤泥质浅滩不断蚀退, 龙岛等沙嘴逐渐成为海岛^[12]。

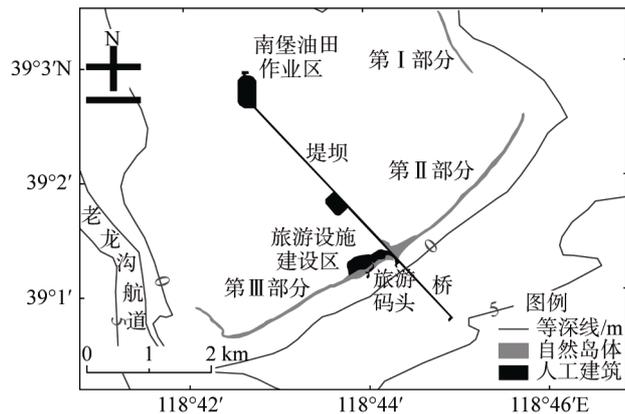


图 1 研究区位概况

Fig. 1 Map of the research island

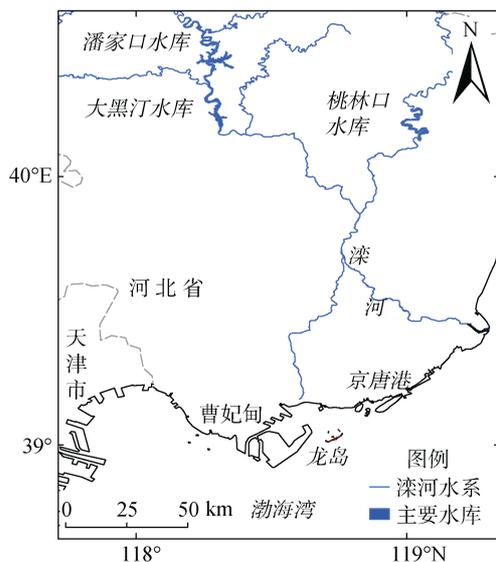


图 2 龙岛区位特征

Fig. 2 Location characteristics of the Loong Island

龙岛所在区域为温带海洋性季风气候, 常风向为 S, 强风向以 E、ENE、ESE 为主。波浪方面, 常浪向为 S, 出现频率为 10.87%, 平均波高 2.4 m; 强浪向为 ENE, $H_{4\%} \geq 1.3$ m 出现频率为 2.28%^[13]。潮汐为不正规半日潮, 平均潮差 140 cm, 潮流为往复流, 流向为 WSW-ENE, 涨潮流速达 94 cm/s, 落潮流速可达 262 cm/s。临近龙岛的余流流向为 SW, 流速为 8.4 cm/s^[14]。对龙岛产生主要影响的风暴潮主要发生

在夏季或冬春交替之际, 多为登陆型、进入渤海型及进入北黄海型^[15]。岛上目前主要的人工构筑物为南堡油田作业区通港大桥、堤坝及龙岛旅游景区设施。

为了分析海岛变化趋势的空间差异, 根据海岛走向特征, 本文将海岛分为 I、II、III 三段展开论述。其中第 I 部分位于海岛东部, 20 世纪 80 年代以来与海岛主体(第 II 及 III 部分)分离为两部分。海岛第 II、III 部分分别在人类构筑物东西两侧, 其中第 III 部分人类开发强度较大。

2 技术与方法

近 44 年来, 龙岛及其沙源滦河的主要人类活动事件包括潘家口水库及大黑汀水库蓄水(1980 年)、桃林口水库蓄水(1998 年)、老龙沟航道整治(2010 年)、龙岛浅滩油气田开发(2008 年以来)、龙岛旅游开发(2010 年以来)、龙岛岸滩修复(2014 年)等。除此之外, 2018—2019 年是近年来典型的多风暴潮集中期。本文为了反应不同人类开发活动及风暴潮对海岛的影响, 分别选择典型事件前后的多源多期遥感影像(表 1), 并通过解译获得海岛形态。所选影像在卫星过境时刻天文潮位相近且气象条件良好。将卫星影像配准至 WGS1984 坐标系, 并进行校正及增强处理。依据孙伟富等^[6]、马小峰等^[7]及相关技术规程^[18], 以滩肩为岸线位置, 解译标志为海岛影像高亮区域向海侧的边界。基于 ArcGIS10.2 分析不同时段海岛的质心位置、岸线位置、岸线长度及海岛面积等基本要素。

表 1 遥感影像来源

Tab. 1 Sources of remote sensing images

日期/ (年-月-日)	卫星	传感器	成像时刻天 文潮高/cm	分辨 率/m
1975-05-29	Landsat2	ETM	80	60
1978-07-07	Landsat3	ETM	64	60
1984-04-19	Landsat5	TM	73	30
1996-04-04	Landsat7	TM	83	30
2003-05-18	Landsat7	TM	68	30
2008-08-04	Landsat7	TM	69	30
2013-07-24	ZY02C	PMS	86	10
2018-06-01	Sentinel-2	MSI	79	10
2019-04-10	Sentinel-2	MSI	71	10

注: 1975 年图像结合 KH-9(分辨率 10 m)进行解译

使用数字海岸分析系统 DSAS^[19]对海岸线变化速率进行分析。该系统由美国地质调查局研发, 基

于 ArcGIS 构建, 通过生成垂直于计算基线的断面并计算断面与不同时期岸线的交点之间的距离来分析岸线变化速率, 现已广泛应用于海岸线变化分析^[20]。采用常用的端点速率法(EPR), 对研究区域 44 年以来的总变化速率以及不同时段的变化速率进行计算。

为分析海岛变化影响因素, 分别采用常用的 CERC 公式、Bruun 公式计算沿岸输沙特征及海岸线对海平面上升的响应。CERC 公式^[21]及 Bruun 公式^[22]见公式(1)及(2):

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - \xi)} (ECn)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b, \quad (1)$$

式中, Q_l 为沿岸输沙率; K 为经验系数, 取 0.77; $(ECn)_b$ 为破波波能通量, 其中 $E = 0.125 \rho g (H_b)^2$, $(Cn)_b$ 为破波波群速, 浅水条件下 $C = \sqrt{gh}$; α_b 为破波时波向线与岸线法向的夹角; ρ_s 、 ρ 分别为泥沙和海水的密度; ξ 为天然海滩孔隙率。波浪统计资料使用文献^[14]所提供的曹妃甸甸头波浪统计资料。

$$R = \frac{LS}{B + h}, \quad (2)$$

式中, R 为海岸线后退速率; h 为闭合水深, 根据相关文献研究^[23]取 5 m; L 为闭合水深点到岸线的长度, 根据海图量算取 1.2 km; B 为滩肩或海岸护坡工程高度, 根据野外调查结果取 2 m; S 为海平面上升速率, 本文根据相关文献^[24]取 3.7 mm/a。

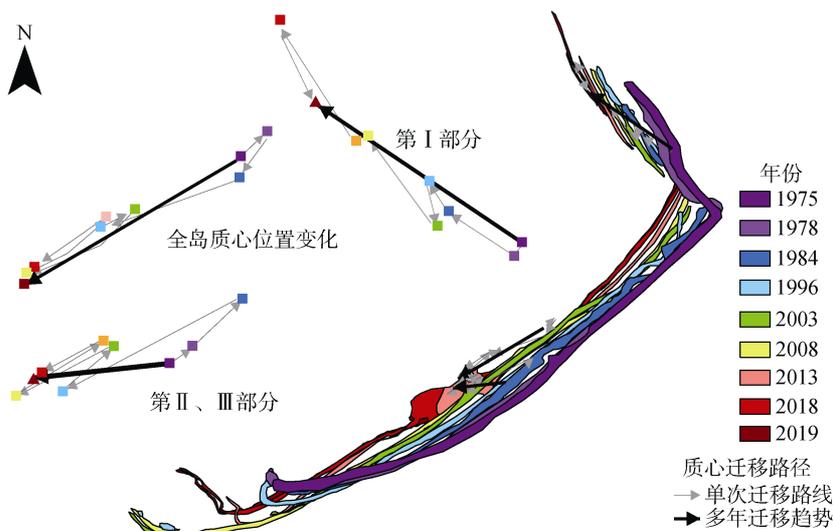


图 4 海岛形态及质心变化
Fig. 4 Variations of the shape and centroid of the Loong Island

海岛长度变化趋势与面积相反, 总的趋势以略有增长为主(图 3)。1978 年及之前, 海岛作为一个整

3 研究结果

3.1 海岛形态演变特征

近 44 年来, 龙岛的质心位置、海岛面积及长度均处于不断变化之中。其中海岛面积以减少为主(图 3、图 4), 累计减少量达 23.01 ha, 至 2019 年仅余 1975 年岛体面积的 65%。1978 年以来, 海岛第 I 部分与第 II、III 部分分离, 其后时段内海岛面积以逐步减少为主, 2013 年海岛面积仅有 1975 年的 48.93%。2013 年以来, 由于旅游设施建设造地及海岛修复, 海岛面积出现显著增加, 但随后再次出现减少。



图 3 海岛长度和面积变化
Fig. 3 Variations of the length and area of the Loong Island

体, 总长度达 7.4 km。1978—1984 年间, 海岛第 I 部分的分离导致总长度减少为 6.59 km。随着两端

沙嘴的发育,总长度后期不断增长,到 2008 年达 8.09 km。但受人类活动影响,2013 年总长度减少至 7.61 km。2013 年以来,虽有海岛修复及沙嘴再发育,但由于第 I 部分长度的减少,海岛总体变化趋于平稳。

海岛质心位置变化方面,海岛的总体迁移趋势为向西南偏西方向迁移(见图 4),研究期内质心位移达 1.04 km;第 I 部分向西北方向迁移,研究期内质心位移达 1.04 km;第 II、III 部分为一体,其质心位置向正西方向迁移,研究期内质心位移达 0.55 km。这一迁移趋势主要受到沙嘴不断发育的影响。

3.2 海岛外海侧岸线变化特征

龙岛东、南侧水深较深,水动力较强,海岸线时空变化相对于北部更加明显,因此本文主要对龙岛外海侧岸线的变化情况进行分析。DSAS 计算结果(表 2、图 5、图 6)显示,海岛外海一侧岸线总体以侵蚀后退为主,44 年来平均后退距离达 324.19 m,平均后退速率达 7.37 m/a,其中第 I 部分后退最为严重。

表 2 海岛岸线变化特征

Tab. 2 Variations of the coastline of the Loong Island

海岛部位	平均后退距离/m	平均侵蚀速率/(m/a)
第 I 部分	408.00	9.27
第 II 部分	360.74	8.20
第 III 部分	250.48	5.69
海岛整体	324.19	7.37

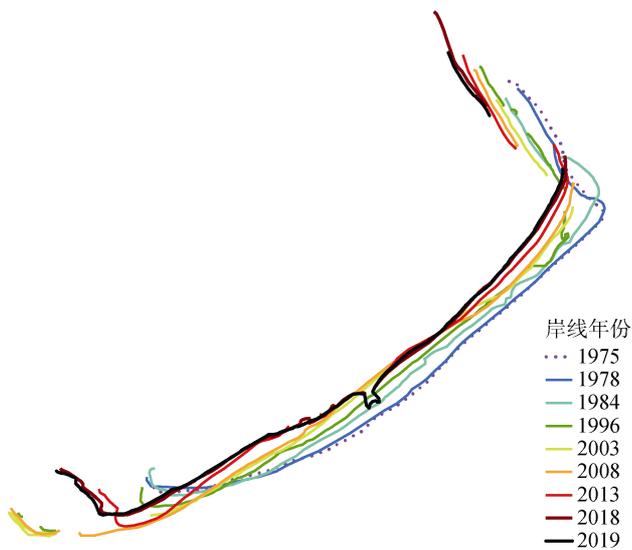


图 5 海岛外海侧岸线形态变化

Fig. 5 Variations of the coastline shape of the southern part of the Loong Island

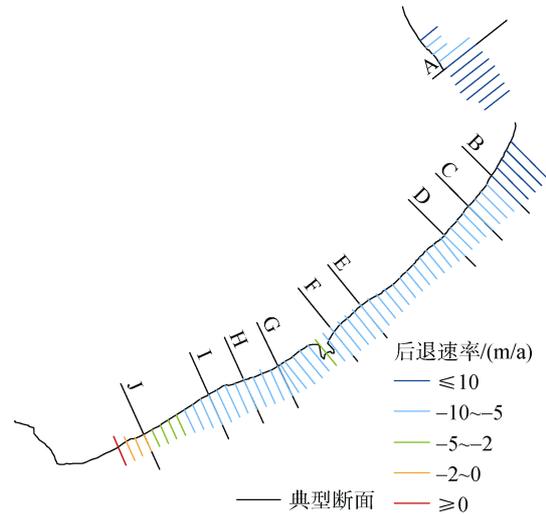


图 6 海岛外海侧岸线后退特征

Fig. 6 Retreat of the coastline shape of the southern part of the Loong Island

在 DSAS 自动生成的断面中,根据海岛形态特征,选择无人类构筑物、岸线变化相对较为明显且代表海岛不同位置的 10 个典型断面,编号为 A—J(见图 6),分析典型断面的不同年份之间的变化特征。典型断面分别位于第 I 部分(A)、第 II 部分东段(B、C、D)及西段(E、F)、第 III 部分东段(G、H、I)及西段(J)。

从岸线侵蚀-淤积幅度(图 7)来看,除第 III 部分 J 断面在部分时段以淤积为主外,其他均以持续侵蚀后退为主。后退距离较大的断面包括 A、E、F、G 等断面,即第 I 部分及第 II 部分西段。其中 E、F、G 断面累计后退达 320~370 m, A 断面截止到 2013 年累计后退达 416.87 m。

从岸线变化速率(图 7)来看,海岸线变化速率的时间分异特征明显。研究初始时段(1975—1978 年)典型断面的平均变化速率为-5.72 m/a。侵蚀后退速率较高的时段为 1978—1984 年、1996—2003 年、2008—2013 年及 2018—2019 年,典型断面的平均变化速率达-11.82 m/a、-6.69 m/a、-14.27 m/a、-10.25 m/a。出现淤积的情况主要包含两类: J 断面在 2003 年之前出现持续淤积; E、F、G、H 等断面在 2013—2018 年时段内出现淤积。其他时段海岛典型断面的平均侵蚀速率介于 5~6 m/a。

4 讨论

确定海岛演变的主要因素是开展海岛保护及适当开发的首要前提。一般认为,海岛及海岸带演变的

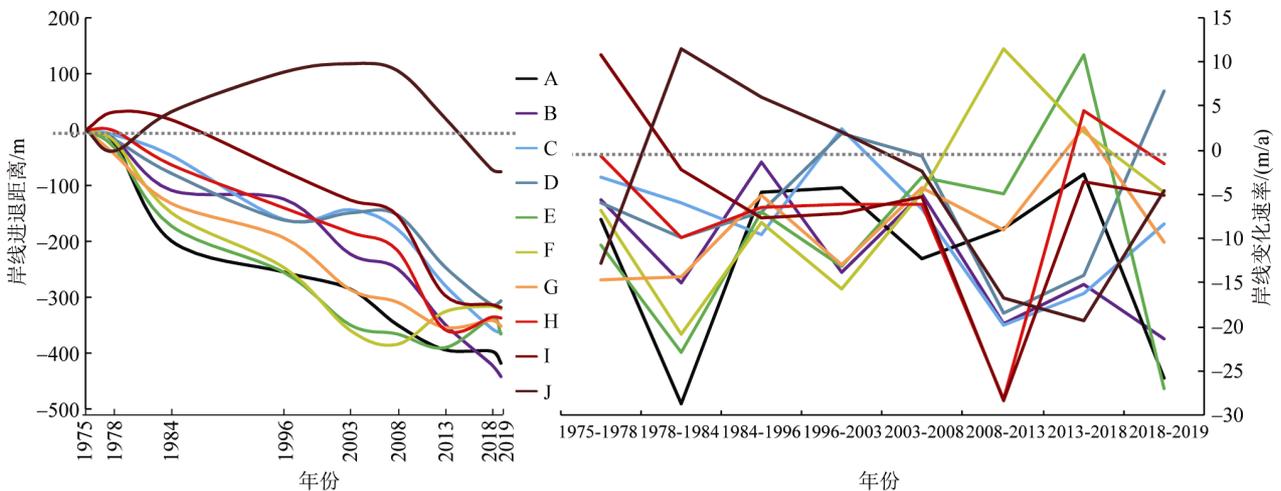


图7 海岸线典型断面进退距离及变化速率
Fig. 7 Distance and rate of the key profile variation in the Loong Island

影响因素包括地质构造、海平面变化、海岸动力环境及沉积物供给条件^[25]。地质构造是影响千年以上时间尺度海岛及海岸带演变的影响因素，本文不做讨论。国外对障壁岛影响因素的部分研究多侧重于海平面变化^[7]，而根据 Bruun 公式计算结果，当前海平面上升情境下龙岛岸线侵蚀后退仅为 0.29 m/a，远小于龙岛当前的侵蚀后退速率。因此，动力环境及沉积物供给是海岛的年代际及年际演变的控制因素，容易受到极端天气及人类活动的影响。除此之外，炸岛、挖沙、填海连岛^[26]等海岛高强度开发活动也可在短时间内迅速改变海岛及海岸线形态。本文在分析自然状态下海岛演变的基础上，探讨海岛对不同类型的人类活动的响应特征，以此确定海岛演变的主要影响因素。

4.1 自然状态下海岛演变特征

自然状态下，近海水动力环境及风暴潮等突发天气灾害分别通过作用于长期的沿岸输沙及短期的横向输沙的方式影响海岛的形态变化。

沿岸输沙计算结果显示，龙岛第 I 部分的净输沙方向为由南偏西向北偏东，净输沙率达 $5.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。龙岛西段的净输沙方向为由东向西或西南偏西方向，其中第 II 部分净输沙率达 $3.46 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ ，西段第 III 部分净输沙率达 $6.18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ (见图 8)。由此可见，龙岛第 I 部分北延、第 III 部分向西南偏西延长是海洋动力作用下长期沿岸输沙所产生的现象。

沙源充足的情况下，海岛岸线基本保持稳定且两端沙嘴将不断生长。而全新世以来尤其是 14 世纪以来，作为龙岛沿岸输沙主要来源的滦河经历多次

自然改道，下游入海口不断向东北偏移^[27]，这使得龙岛沙源不足。在外源输沙稳定性不能保障的情况下，海岛主体部分侵蚀并搬运至第 I、III 部分沙嘴处堆积成为维持沿岸输沙的主要方式。因此自然状态下，即使没有人类活动或风暴潮 (如 1975—1978 年)，海岛岸线仍存在 5~6 m/a 的侵蚀，且第 II 部分侵蚀速率大于第 III 部分。由于第 I、III 部分的沿岸输沙率大于第 II 部分，第 II 部分将持续侵蚀后退。

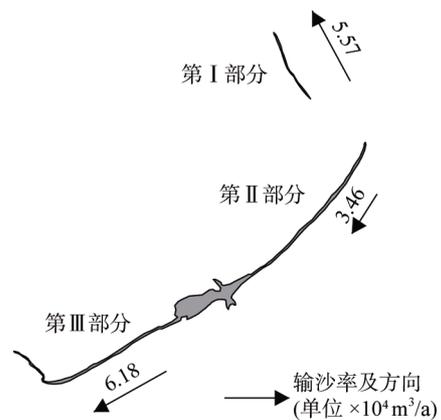


图8 海岛沿岸输沙率
Fig. 8 Longshore sediment transport rate of the Loong Island

风暴潮方面，虽然该区域内平均每 3.8 a 出现一次风暴潮天气^[14]，但部分时段会出现风暴潮密集过境的情况。2018—2019 年影响渤海湾的风暴潮达 3 次 (见表 3)，为近年来之最。由图 7 可见，2018—2019 年，受 3 次较大的风暴潮影响，除个别断面外，龙岛岸线普遍出现侵蚀后退，典型断面平均后退距离达 10.25 m，

最大后退距离达 27.08 m, 海岸线侵蚀后退状况远大于无台风时期。之前出现淤积的 E、F、G、H 及 J

均出现不同程度的侵蚀后退。由此可见, 风暴潮是导致海岛短时间内出现侵蚀的主要原因。

表 3 2018 年影响龙岛的主要风暴潮

Tab. 3 Major storms that affected the Loong Island in 2018

风暴潮名称	风暴潮类型	影响日期/(年-月-日)	影响范围
201811 号台风“安比”	热带风暴	2018-07-24	过境沧州、天津、唐山等地区
180815 号风暴潮	温带风暴潮	2018-08-15	造成渤海湾主要港口出现较高增水
201819 号台风“温比亚”	热带风暴	2018-08-20	过境滨州、东营级渤海中部

4.2 人类活动对海岛演变的影响

近 44 年来, 随着沿海地区经济社会的发展, 龙岛沿海地区开发活动逐渐增强。龙岛沙源、水动力条件等发生相应变化, 其对海岛演变过程的影响各有差别。

4.2.1 滦河水库建设对海岛演变过程的影响

沙源的稳定性决定了海岛的稳定性。在海岸线侵蚀后退速率明显升高且海岛面积明显减少的 1978—1984 年及 1996—2003 年两时段(见图 9), 滦河多年平均输沙量仅占 1975—1978 年的 26.10%及 4.77%。由此可见, 滦河输沙对龙岛的影响显著。

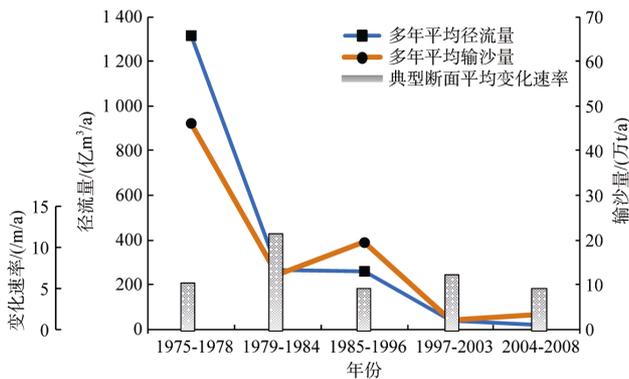


图 9 滦河滦县站输沙量及径流量变化

Fig. 9 Water discharge and sediment load of Luanxian Station at the Luan River

导致滦河输沙减少的主要因素是滦河上游水库的建设。20 世纪 80 年代以来, 为了防洪及保障城市供水, 滦河干流及主要支流的中上游先后修建了一系列水利工程, 其中库容量最大、管制流域面积最大的三个工程依次是潘家口水库、大黑汀水库及桃林口水库。潘家口水库及大黑汀水库于 1980 年蓄水, 桃林口水库于 1998 年蓄水。大型水库建设对滦河径流量、输沙量的影响极为明显(图 9)。水库蓄水后, 滦河入海径流量及输沙量即出现锐减。因此, 可以认为滦河大型水库蓄水是上述两时段内龙岛变化的主要影响因素。

4.2.2 南堡油气田堤坝-桥梁建设对海岛演变过程的影响

由沿岸输沙率计算结果可见, 龙岛存在较为明显的沿岸输沙, 垂直于海岸的堤坝的建设会导致小范围内流场的变化, 并进一步改变海岸线的变化趋势。2008 年以来, 在全岛海岸持续侵蚀的情况下龙岛中段典型断面 E、F 断面由侵蚀改为淤积, 至 2018 年累计淤积达 27.06 m 及 68.16 m, 这一局部变化是对南堡油气田不透水堤坝建设的响应。

南堡 4-1、4-2 油气田以人工岛的形式建在龙岛北侧浅滩海域, 龙岛南部海域建有输油码头。两人工岛之间及两人工岛到龙岛之间以不透水堤坝相连, 修建于浅滩之上, 浅滩水动力条件微弱, 堤坝对海岛及浅滩影响有限。而龙岛及输油码头之间以桥梁和小段堤坝相连, 堤坝向海伸出 100 m, 对海岛沿岸输沙起到拦截作用。而由于龙岛堤坝西侧部分岸段人工固化, 并未出现相应的侵蚀。因此, 龙岛堤坝的建设对海岛的影响主要体现在靠近堤坝和码头的局部岛体。

4.2.3 旅游开发建设及航道整治对海岛演变过程的影响

2008 年以来, 龙岛面积出现增加的趋势, 但海岛侵蚀反而加剧, 这主要是受龙岛旅游开发建设及曹妃甸港老龙沟航道整治的影响。

2010 年 7 月以来, 龙岛旅游开发工程启动, 工程建设初期主要对靠近油田堤坝的龙岛中段及附近浅滩进行人为加固硬化, 并通过工程挖掘将其与龙岛西段分离(图 10); 工程建设后期(2013 年之后)对被挖掘海岛整治修复, 同时旅游景区建设面积不断扩大。2010 年, 为了促进曹妃甸三港池发展需要, 拓宽航道并减少航道转向, 相关工程方对老龙沟航道(见图 1)进行整治, 对龙岛第 III 部分西段岛体进行挖岛取砂, 龙岛岛体相应缩短。

受航道整治及旅游开发初期工程影响, 2008—

2013 年时段内, 龙岛岸线长度累计减少 0.48 km, 面积减少 2.06 ha; 另一方面, 岛体中段挖掘导致水动力条件相应变化, 沿岸输沙遭进一步破坏, 典型断面的海岸侵蚀速率达到研究时段内的最大值 14.27 m/a。而受旅游开发后期工程及海岛沙嘴生长的影响,

2013—2018 年时段内海岛岸线长度出现缓慢增加, 海岛面积达到 44.85 ha, 增幅显著。因此, 可以认为人类对海岛的高强度开发活动是近年来海岛演变的主要影响因素, 同时也是近 44 年来对龙岛影响最为显著的因素。

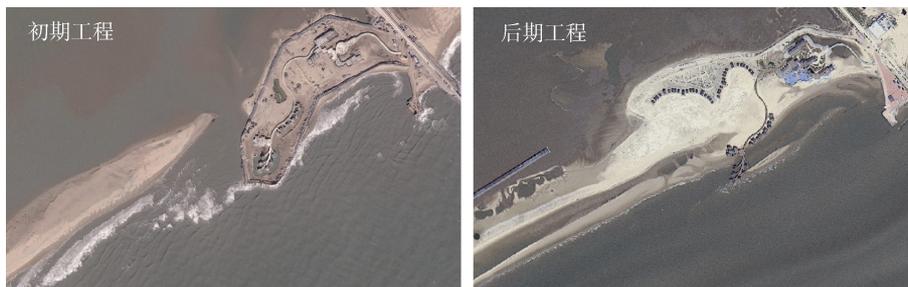


图 10 龙岛旅游开发工程
Fig. 10 Construction of tourist attractions in the Loong Island

5 结论

通过对龙岛面积、长度、质心等形态变化的分析, 可以发现近 44 年以来, 海岛面积和长度分别呈现为减少和不断增加的趋势, 海岛质心位置不断向西南偏西方向迁移, 海岛外海侧岸线不断侵蚀后退。自然状态下, 岸线后退速率多为 5~6 m/a。1978—1984 年、1996—2003 年、2008—2013 年及 2018—2019 年时段内, 海岛岸线侵蚀后退速率明显增加, 典型断面年均侵蚀速率最大可达 14.27 m/a。

分析结果显示, 对龙岛形态影响最明显的 3 个因素可依次归纳为海岛高强度开发活动、滦河中上游水库建设以及风暴潮。其中, 海岛高强度开发建设活动是影响海岛演变的首要因素, 也是可控性较强的因素, 挖岛等破坏性开发直接干扰了海岛形态的正常演变规律, 造成海岛面积和岸线长度同时减少; 适当的海岛修复等建设性活动也会促使海岛长度、面积等的增加。滦河水库建设活动次之, 水库建设显著减少了滦河入海泥沙量, 加剧了龙岛本已存在的沿岸输沙不平衡。风暴潮对龙岛等障壁岛的破坏作用仅次于人类活动, 产生明显的离岸输沙, 且因素本身具有极大偶然性和不可控性。

针对影响因素作用程度及其特征的差异, 当前龙岛等滦河口障壁岛管理的主要原则是严格禁止无必要性的挖岛采砂及近海海沙开采, 减少凸堤等干扰沿岸输沙的构筑物的修建, 在丰水年适当利用水库调水调沙措施缓解沙源短缺的状况, 同时加强风暴潮灾害监测预警。

受大规模围填海开发的影响, 龙岛是当前唐山市曹妃甸区唯一的自然类海岛, 也是当地重要的旅游资源。适度利用应当遵循岛体自然形态, 考虑海岛自然演变规律。因必要的航道整治而需开挖龙岛第 III 部分沙嘴的情况下, 挖掘方案应经过充分论证, 沙嘴泥沙及航道疏浚泥沙应充分用于海岛海滩养护工程。旅游景区开发建设不能破坏、割裂海岛岛体, 景区的设计与建设应当顾及到海岛岸线持续后退的状况, 与当前海岸线保持一定距离。此外, 为了防治风暴潮灾害, 保护旅游沙滩, 应当采取构建水下透水潜堤等工程措施消减波能及离岸输沙。

受数据资料所限, 本文仅对海岛形态演变特征进行了分析。龙岛浅滩、老龙沟潮道演变特征及其影响因素, 有待结合海底地形实测数据进行进一步讨论。

致谢: 本文的研究得到华东师范大学贾建军研究员、河北省科学院地理科学研究所顾建清研究员的指导, 两位审稿专家及编辑老师为本文提出了详尽的修改意见, 特此致谢!

参考文献:

- [1] Stutz M L, Pilkey O H. Open-ocean barrier islands: global influence of climatic, oceanographic, and depositional settings[J]. *Journal of Coastal Research*, 2011, 27(2): 207-222.
- [2] Stutz M L, Pilkey O H. A review of global barrier island distribution[J]. *Journal of Coastal Research*, 2001, 34(Special 34): 15-22.
- [3] Davis R A Jr. *Geology of Holocene Barrier Island Sys-*

- tems[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] 程林, 王伟伟, 付元宾, 等. 不同类型海岛的海滩稳定性分析: 以大连长兴岛和唐山打网岗岛为例[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(3): 313-323.
Cheng Lin, Wang Weiwei, Fu Yuanbin, et al. Morphology stability analysis of sandy beaches in different-type islands: Case studies in the Changxing Island of Dalian and Dawanggang Island of Tangshan[J]. *Advances in Marine Science*, 2015, 33(3): 313-323.
- [5] Zhang K, Douglas B C, Leatherman S P. Global warming and coastal erosion[J]. *Climatic Change*, 2004, 64(1-2): 41.
- [6] Hapke C J, Brenner O, Henderson R E, et al. Coastal change from Hurricane Sandy and the 2012-13 winter storm season: Fire Island, New York[R]. Reston: US Geological Survey, 2013.
- [7] Moore L J, Patsch K, List J H, et al. The potential for sea-level-rise-induced barrier island loss: Insights from the Chandeleur Islands, Louisiana, USA[J]. *Marine Geology*, 2014, 355(9): 244-259.
- [8] Pilkey O H. Coastal erosion[J]. *Episodes*, 1991, 14(1): 46-51.
- [9] Escudero M, Silva R, Mendoza E. Beach erosion driven by natural and human activity at Isla del Carmen Barrier Island, Mexico[J]. *Journal of Coastal Research*, 2014, 71(sp1): 62-74.
- [10] Kombiadou K, Matias A, Ferreira Ó, et al. Impacts of human interventions on the evolution of the Ria Formosa barrier island system (S. Portugal)[J]. *Geomorphology*, 2019, 343: 129-144.
- [11] 王建步, 张杰, 马毅, 等. 2008~2013年滦河口外泥沙岛动态变化遥感监测[J]. 2014, 31(8): 55-59.
Wang Jianbu, Zhang Jie, Ma Yi, et al. Remote sensing monitoring of dynamic changes of sandy islands outside Luan River Estuary[J]. 2014, 31(8): 55-59.
- [12] 吴桑云, 耿秀山, 金永德, 等. 冀东泻湖系统演进与人类干预影响[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(2): 190-199.
Wu Sangyun, Geng Xiushan, Jin Yongde, et al. Evolution of lagoon system in the Jidong Area and effect of human interference[J]. *Advances in Marine Science*, 2008, 26(2): 190-199.
- [13] 国家海洋局海洋环境保护研究所. 曹妃甸新区跨青龙河大桥工程海洋环境影响报告书[R]. 大连: 国家海洋局海洋环境保护研究所, 2014.
Institute of Marine Environmental Protection, State Oceanic Administration. Marine environment influencing assessment of Qinglong River Bridge in Caofeidian[R]. Dalian: Institute of Marine Environmental Protection, State Oceanic Administration, 2014.
- [14] 胡殿才. 人工岛岸滩稳定性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
Hu Diancai. A study of shore stability of artificial island[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009.
- [15] 温连杰, 刘桂艳, 刘清容, 等. 1960—2013年影响渤海的热带气旋特征分析[J]. 海洋开发与管理, 2016, 33(8): 84-89.
Wen Lianjie, Liu Guiyan, Liu Qingrong, et al. Statistical analysis of tropical cyclones which affected the Bohai Sea during 1960~2013[J]. *Ocean Development and Management*, 2016, 33(8): 84-89.
- [16] 孙伟富, 马毅, 张杰, 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.
Sun Weifu, Ma Yi, Zhang Jie, et al. Study of remote sensing interpretation keys and extraction technique of different types of shoreline[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2011(3): 41-44.
- [17] 马小峰, 赵冬至, 邢小罡, 等. 海岸线卫星遥感提取方法研究[J]. 海洋环境科学, 2007(2): 185-189.
Ma Xiaofeng, Zhao Dongzhi, Xing Xiaogang, et al. Means of withdrawing coastline by remote sensing[J]. *Marine Environment Science*, 2007(2): 185-189.
- [18] 国家海洋局908专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程(试行本)[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
Office of 908 Project, State Oceanographic Administration. Technical Regulation of Coastline Serving for 908 Project[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007.
- [19] Himmelstoss E A, Henderson R E, Kratzmann M G, et al. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.0 user guide[R]. Reston: US Geological Survey, 2018.
- [20] Oyedotun T D T. Shoreline geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis[J]. *Geomorphological Techniques*, 2014, 3(2.2): 1-12.
- [21] 邹志利. 海岸动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
Zou Zhili. Coastal Hydrodynamics[M]. Beijing: People's Traffic Press, 2009.
- [22] Bruun P. Sea-level rise as a cause of shore erosion[J]. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, 1962, 88(1): 117-132.
- [23] 陈西庆, 陈吉余. 长江三角洲海岸剖面闭合深度的研究: Bruun法则及其应用的基本问题[J]. 地理学报, 1998, 53(4): 323-331.
Chen Xiqing, Chen Jiyu. A study of closure depth on the coast profiles of Yangtze River Delta: On the fundamental problems associated with Bruun Rule and its application[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(4): 323-331.

- [24] 国家海洋信息中心. 河北省海洋灾害风险评估-海平面上升分册[R]. 天津: 国家海洋信息中心, 2015.
National Marine Data and Information Service. Risk assessment of sea disaster in Hebei province (Volume on sea-level rise)[R]. Tianjin: National Marine Data and Information Service Center, 2015.
- [25] 贾建军, 蔡廷禄, 刘毅飞, 等. 考虑人类活动的海岸线分类体系: 近期浙江省海岸线调查的实践与思考[J]. 海洋科学, 2019, 43(10): 13-23.
Jia Jianjun, Cai Tinglu, Liu Yifei, et al. A Classification of coastline considering human activities with special refer-
ences to latest practices on coastline survey in Zhejiang Province[J]. Marine sciences, 2019, 43(10): 13-23.
- [26] 夏小明. 中国海岛(礁)名录[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
Xia Xiaoming. Dictionary of China's Island& Reef[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [27] 水利部海河水利委员会. 滦河志[M]. 石家庄: 河北人民出版社, 2007.
Haihe River Water Conservancy MWR. Annals of Luan River[M]. Shijiazhuang: Hebei People's Press, 2007.

Variations and influencing factors of the barrier islands near the Luan River estuary in the past 44 years—A case study of the Loong Island in Tangshan

CHENG Lin, TIAN Hai-lan, LIU Xi-han, WANG Yan-xia

(Institute of Geographic Science, Hebei Academy of Science, Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang 050011, China)

Received: Sep. 24, 2019

Key words: barrier island; the Loong Island; shape variation; influence factors

Abstract: To provide data support for island management, the variation rules and main influencing factors of the Loong Island in the past 44 years were investigated in this case study. The analysis results showed that the area and length of the Loong Island tended to decrease and increase, respectively. A distinct transfer tendency of the island's centroid was observed, that is, it moved southwest by west. A retreating tendency of the coastline with an average erosion rate of 7.37 m/a was observed on the outer seaside of the island. The maximum erosion rate occurred in 1978–1984, 1996–2003, 2008–2013, and 2018–2019. The erosion rate of the coastline in its natural state can reach 5~6 m/a, which is a result of the sediment shortage caused by the flow of the Luan River. This resulted in the distinct reduction of the length of the island, with the maximum erosion rate of 14.27 m/a of the key profile in 44 years. Channel regulation and scenic spot construction were the first driver of the island's visible variation. Construction of a large water reservoir was the second driver, which led to an accelerated tendency of coastline erosion and island area reduction in 1978–1984 and 1996–2003. In addition, as the main driver, typhoons, particularly those crossing multiple times in a short period (2018–2019), led to a retreat rate of 10.25 m. To ensure effective protection or appropriate utilization, the natural variation rules of these islands should be followed. Moreover, management measures, such as prohibiting sand mining, and engineering measures, including beach nourishment and permeable submerged breakwater, in key functional areas should be taken.

(本文编辑: 刘珊珊)