

近 50 年来天鹅湖沙坝海岸地貌演变

孙 阳

(荣成大天鹅国家级自然保护区管理服务中心,山东 威海 264200)

摘要: 荣成天鹅湖是典型完整的天然沙坝—潟湖体系,近年来在人类活动及自然因素影响下,沙坝—潟湖动力地貌体系发生重大变化。本文在野外考察的基础上,以不同时期成像的遥感影像为数据源,综合使用数字岸线分析、遥感、地理信息系统等方法,对近 50 年来荣成天鹅湖沙坝—潟湖海岸地貌演变进行研究。研究表明:1975—2021 年,天鹅湖沙坝坝体剧烈侵蚀且位置变化显著,坝尾处侵蚀后退距离达 112.53 m;沙坝先侧蚀变窄,后切蚀变短;潮汐通道逐年展宽,2005—2015 年,潮汐通道的平均展宽速率高达 $14.00 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$,2015—2021 年坝体剧烈变窄,尾端内弯显著,但长度变化不明显。沙坝宽度与长度的变化主要受 1979 年潮汐通道内建闸和 2015 年 3 座丁坝建设的时空耦合作用。上述人类活动改变了沙坝尾端和潮汐通道的地貌冲淤动态平衡,是沙坝尾端严重蚀退的主要原因。

关键词: 沙坝; 潮汐通道; 海岸地貌; 天鹅湖

中图分类号: P737.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2021)04-0366-08

沙坝—潟湖型海岸占世界海岸线总长度的 13%,占我国砂质海岸的 60%^[1]。荣成天鹅湖属于典型的潟湖—潮汐水道体系,由一个半封闭潟湖和一条与外海相通的狭窄水道(即潮汐水道)所构成。潮汐水道系统通常由纳潮盆地、口门及口门外水域组成,其发育演化受沿岸输沙强度及潮汐水道输沙能力的控制,二者此消彼长,与潮汐水道系统的负反馈机制一起影响着水道系统的地貌与动力演化^[2]。与大型潮汐水道相比,小型潮汐水道系统对外界变化的反应更为敏感,在特定情况下,人类活动可能干扰甚至改变它们的演化方向与进程^[3]。

数十年尺度的海陆边缘线变化是定量判定海岸系统稳定性的一个重要参数。不同时间尺度、不同区域范围的海陆边缘线进退,可以敏感地反映整个海岸系统的地貌冲淤状态变化和沉积环境演变,历来得到地貌学者的高度关注和研究^[4]。除了采用海岸地貌学研究常用的定性描述以外,本文借助边缘线分析的原理与方法,应用数字岸线分析系统(digital shoreline analysis system, DSAS),定量分析近 50 年来天鹅湖沙坝坝体迁移过程及其空间差异。

天鹅湖位于荣成大天鹅国家级自然保护区

内,是我国北方较大的大天鹅集中越冬栖息地之一,是典型的沙坝地貌^[5]。近年来在人类活动及自然因素影响下,沙坝发生了严重的侵蚀后退,沙坝—潟湖动力地貌体系发生重大变化,潟湖湿地生态系统遭到破坏,生物多样性逐渐减少,大天鹅生栖环境逐步恶化^[6]。因此,许多学者开始定性研究天鹅湖海岸地貌,文献[1]通过对纳潮量与潮汐水道断面面积之间关系,对潟湖—潮汐水道体系的稳定性进行研究;文献[5]通过多波段组合模型对天鹅湖地区的水深进行反演;文献[7]通过垂线平均流速的方法对天鹅湖口门落潮干道的推移质输运进行研究。以上研究成果对天鹅湖沙坝—潟湖海岸的地貌演变的定量研究关注较少,因此有必要深入了解天鹅湖沙坝—潟湖系统在数十年尺度上的海岸地貌与环境演变,为科学整治修复天鹅湖的沙坝—潟湖系统提供理论依据。

1 研究区概况

天鹅湖位于山东半岛最东端、荣成湾湾顶(图 1),系 NE 向沿岸泥沙流输沙堆积成沙坝分隔荣成湾而成,属沙坝—潟湖复式海岸。地貌体

系主要包括沙坝、潟湖、潮汐通道、涨潮三角洲和落潮三角洲(图 2)。荣成湾海域开阔,海湾动力较强,滩面窄而陡,其西侧过渡为潟湖潮滩或滨海湿地;沙坝的组成物质为中粗砂及砾石^[1],其表

受风力改造,覆有风沙,使地形略有起伏;口门附近的潮汐类型为不规则半日潮^[8]。有 5 条季节性河流注入天鹅湖,最大的河流为黄埠河,汇水面积仅为 0.35 km²,在丰水期有淡水注入^[1]。

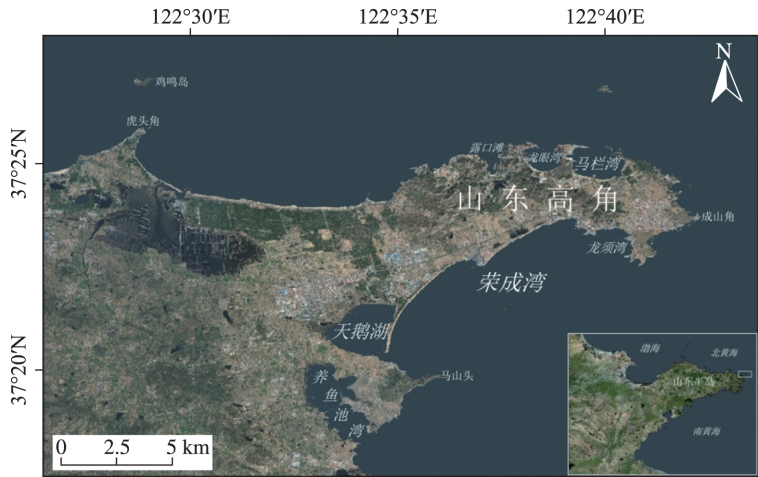


图 1 天鹅湖位置
Fig.1 Location of Rongcheng Swan Lake

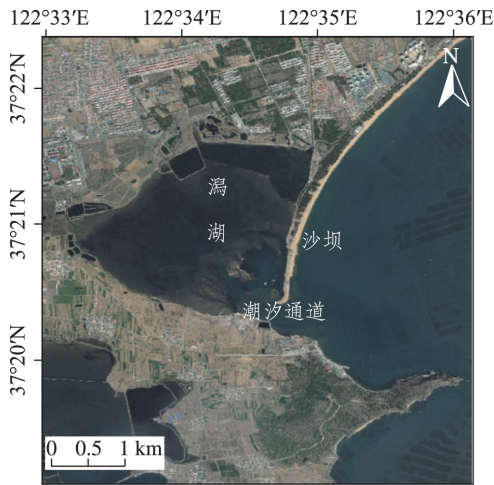


图 2 荣成天鹅湖沙坝—潟湖地貌景观
Fig.2 Geomorphc of the barrier-lagoon system
in Rongcheng Swan Lake

天鹅湖内潮滩发育,滩面开阔平坦,实测滩面比降 1/1000 左右^[9],组成物质主要为细砂。潮滩

上潮沟不发育,分带性不明显,潮滩的后缘有狭长的湿地,系潮滩淤涨退化而成,其后为古海蚀崖^[10]。天鹅湖潮汐通道内外均有潮流三角洲分布,其口外的落潮三角洲较发育,低潮时部分出露离岸约 50 m 的心形砂质浅滩^[11];涨潮三角洲位于口内,为西北方向延伸的长条形浅滩^[12]。

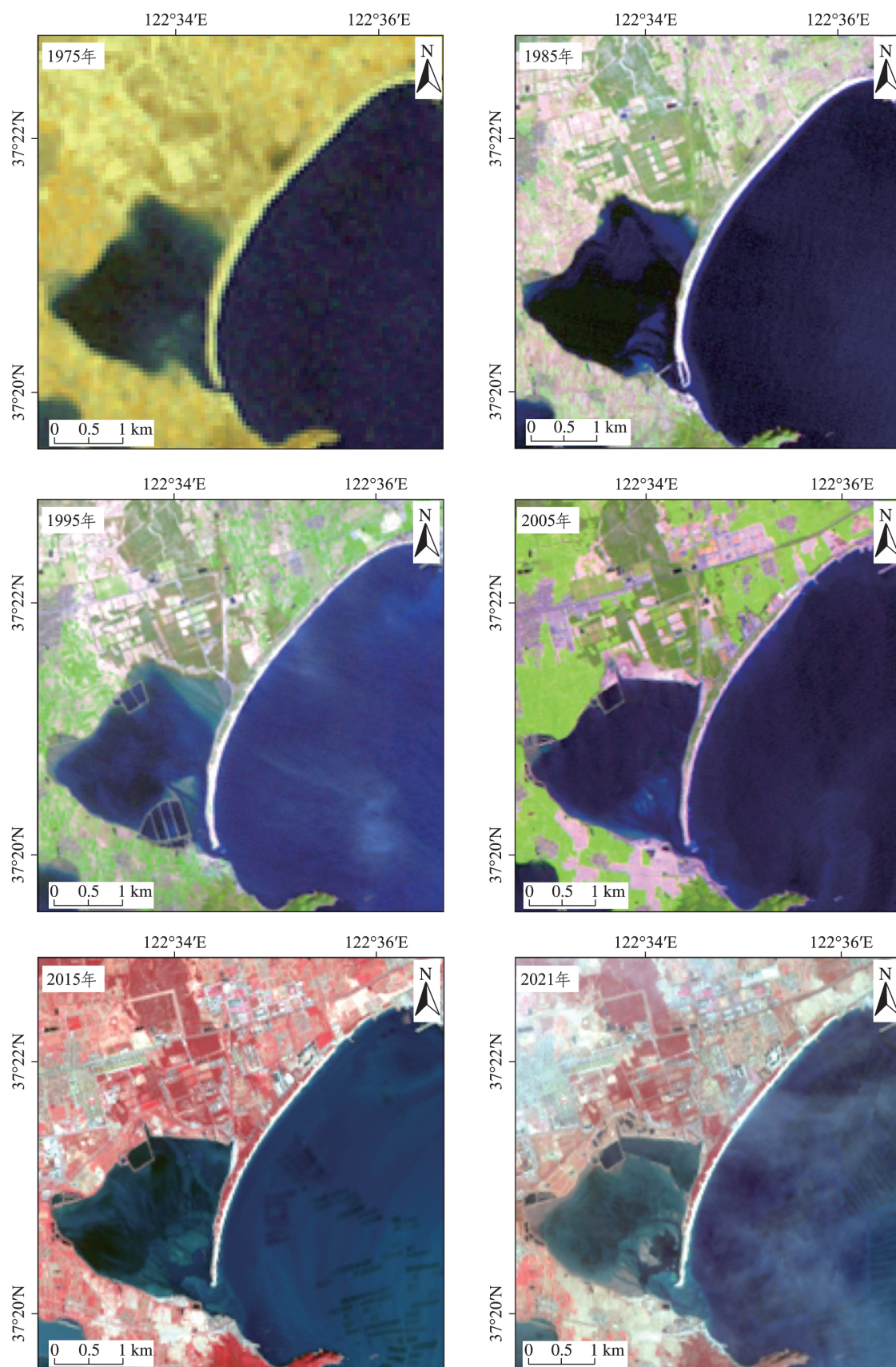
2 研究数据与方法

2.1 研究数据

所用数据主要为不同时期成像的卫星遥感影像和野外实测数据资料。遥感影像共有 6 景,时间序列为 1975—2021 年,影像类型、空间分辨率和成像时间如表 1 所示,均为荣成湾湾顶低潮时的影像,分辨率满足岸线地貌研究需要。图 3 为天鹅湖不同时期成像的遥感影像。

表 1 遥感影像资料
Tab.1 Selected remote sensing images

序号	日期	卫星	传感器	波段/个	空间分辨率/m	轨道号	坐标系
1	2021-03-19	Landsat-8	OLI	11	15	119/34	WGS-84
2	2015-09-27	Landsat-8	OLI	11	15	119/34	WGS-84
3	2005-05-10	Landsat-5	TM	7	30	119/34	WGS-84
4	1995-05-15	Landsat-5	TM	7	30	119/34	WGS-84
5	1985-06-04	Landsat-5	TM	7	30	119/34	WGS-84
6	1975-05-19	Landsat-2	MSS	7	30	128/34	WGS-84



(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

图 3 不同年份遥感影像

Fig.3 Remote sensing images in different years

2.2 研究方法

在进行岸线提取时,根据 1975—2021 年的遥感影像,采用目视解译法提取坝体低潮线信息。为了确保岸线空间位置和属性准确,在解译过程中和解译完成后多次到野外用 GPS 进行实地定位调查,在此基础上对室内目视判读结果进行修正。为便于统计分析,所得 6 期海岸线矢量数据统一采用 WGS84 空间坐标系、UTMZone 51 地图投影,岸线数据保存在 ESRI ArcGIS 10.1 个人数

据库(geodatabase)中。

根据以上解译得到低潮线空间分布数据,利用岸线净迁移距离(net shoreline movement, NSM)和终点速率法(end point rate, EPR)分别计算 1975—2021 年 6 期低潮线中相邻时间的每 2 期岸线之间的进退距离和速率。其中,计算分析采用 USGS 推荐的 DSAS 程序(version 4.3)在 ArcGIS 10.2 平台上实现。DSAS 系统定量分析的具体流程如图 4 所示。

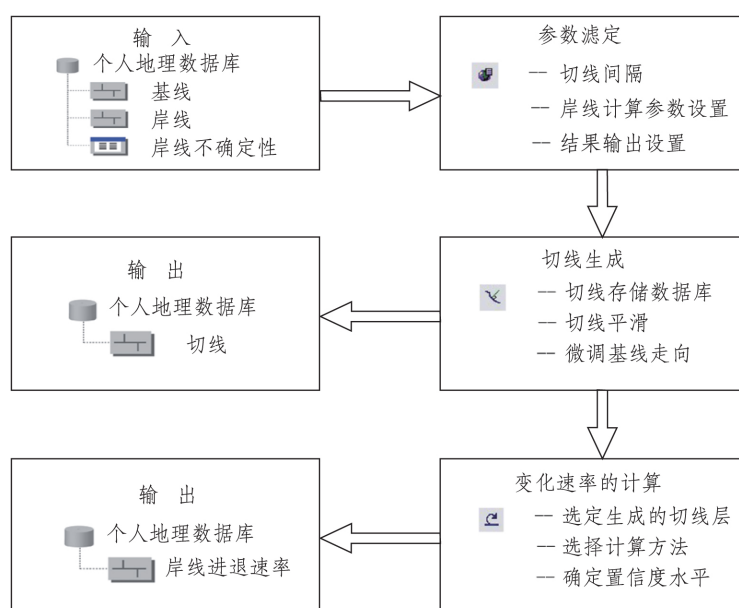


图 4 DSAS 系统计算岸线演变速率的具体流程

Fig.4 The process of the integrated DSAS analysis and the shoreline change

3 结果与讨论

3.1 沙坝坝体位置与面积

近 50 年来,天鹅湖沙坝坝体剧烈侵蚀位置变化显著。本文所指的坝体系低潮面以上的部分,包括潮间带海滩和岸线以上潮上带坝顶部分。荣成湾侧的坝体动力较强,低潮线变化显著,1975—2021 年整个坝体强烈侵蚀后退,最大距离达 112.53 m,平均后退 46.76 m(图 5)。从坝根到坝尾,速率基本呈逐渐增加趋势,坝根处侵蚀速率最低为 0.13 m/a,坝尾处侵蚀速率最高达 2.5 m/a,如图 6 所示。

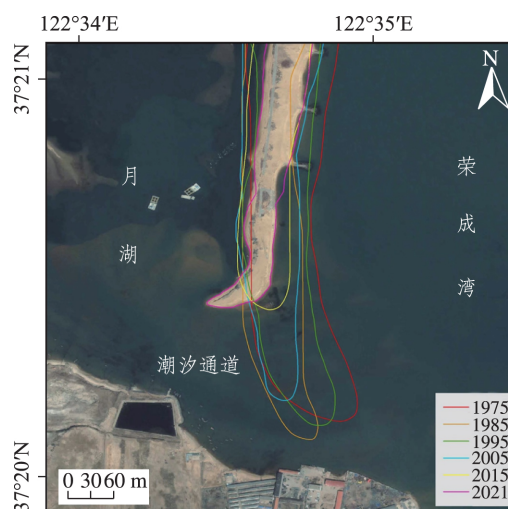


图 5 1975—2021 年沙坝坝体位置与范围变化

Fig.5 Changes in the location and scope of barrier from 1975 to 2021

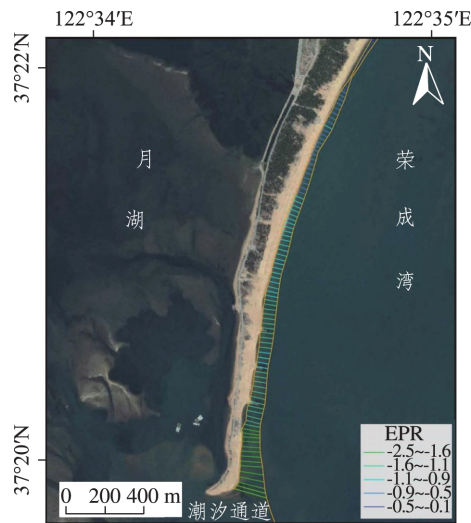


图 6 1975—2021 年沙坝荣成湾侧低潮线
侵蚀后退终点速率分布

Fig.6 Distribution of end point rate of low tide line
on the Rongcheng Bay side of barrier from 1975 to 2021

其中,1975—1985 年侵蚀最剧烈,低潮线最大后退达 102.63 m,平均后退 42.88 m;1995—

2005 年后退显著,坝体冲淤相间分布,坝尾处低潮线最大后退达 86.12 m,平均后退 13.62 m(图 5)。低潮面以上坝体位置演变呈现出显著的时空分布差异,表明沙坝的侵蚀过程是先侧蚀变窄,后切蚀变短;以后会重复这个过程,而且侵蚀速度会越来越快。1975—1985 年坝体剧烈侵蚀后退主要与 1979 年潮汐通道内建闸有关。

1975—2021 年,坝体的面积减少了 43.76%。1975 年坝体面积高达 0.501 3 km²,2005 年维持在近 50 年的平均值,2015 年坝体面积仅为 0.261 5 km²,为近 50 年来的最小值(表 2)。具体而言,1975—1985 年,坝体面积急剧减小,平均速率高达 0.009 3 km²·a⁻¹;1985—2021 年坝体面积减小,速率放缓,但仍然呈继续减小趋势,平均速率为 0.003 5 km²·a⁻¹。此外,对沙坝坝体面积的年际变化速率进行平滑处理后得到图 7。由图 7 可以看到,沙坝坝体面积减小具有显著的空间上的不同步性和时间上的非线性特点。

表 2 不同年份沙坝坝体面积

Tab.2 Scope of barrier area in different years

年份	2021	2015	2005	1995	1985	1975	均值
坝体面积/km ²	0.281 9	0.261 5	0.368 9	0.408 0	0.408 8	0.501 3	0.371 7

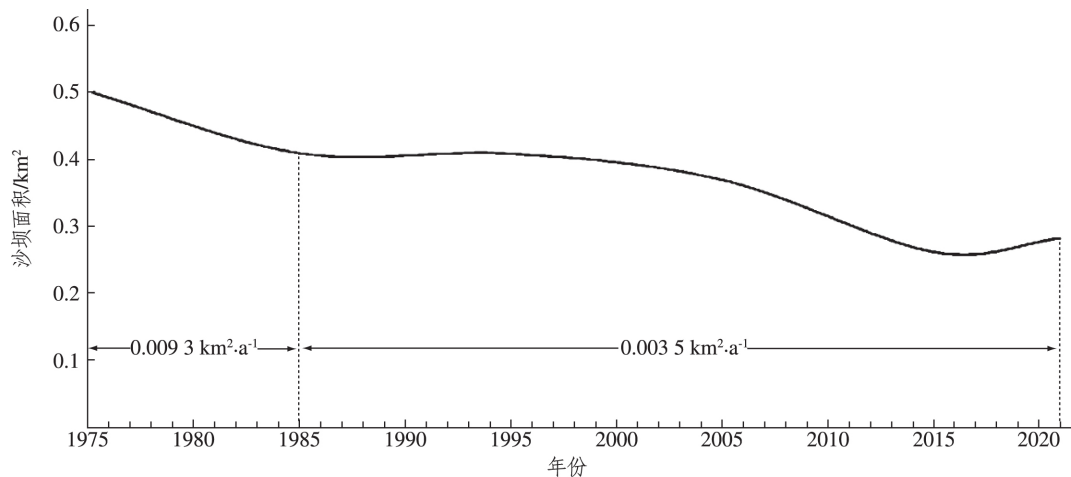


图 7 1975—2021 年沙坝坝体面积变化曲线

Fig.7 Area change curve of barrier from 1975 to 2021

3.2 潮汐通道及其宽度

近 50 年来潮汐通道逐年展宽。1975 年,潮汐通道处于自然的稳定状态,通道最窄处仅 42.34 m。至 1995 年潮汐通道的宽度仍然不足 100 m,1985—1995 年潮汐通道的平均展宽速率

为 1.97 m·a⁻¹,2005 年后潮汐通道展宽速率迅速增加,至 2015 年后宽度超过 300 m(表 3)。对潮汐通道宽度的年际变化速率进行平滑处理后得到图 8,可以看到:2015 年恰好是展宽速率突变的年份;2005—2015 年,潮汐通道的平均展宽速率高达 14.00 m·a⁻¹。

表 3 不同时期潮汐汊道宽度

Tab.3 The width of the tidal inlet during different periods

年份	2021	2015	2005	1995	1985	1975
潮汐汊道宽度/m	311.41	301.07	161.12	89.34	69.62	42.34

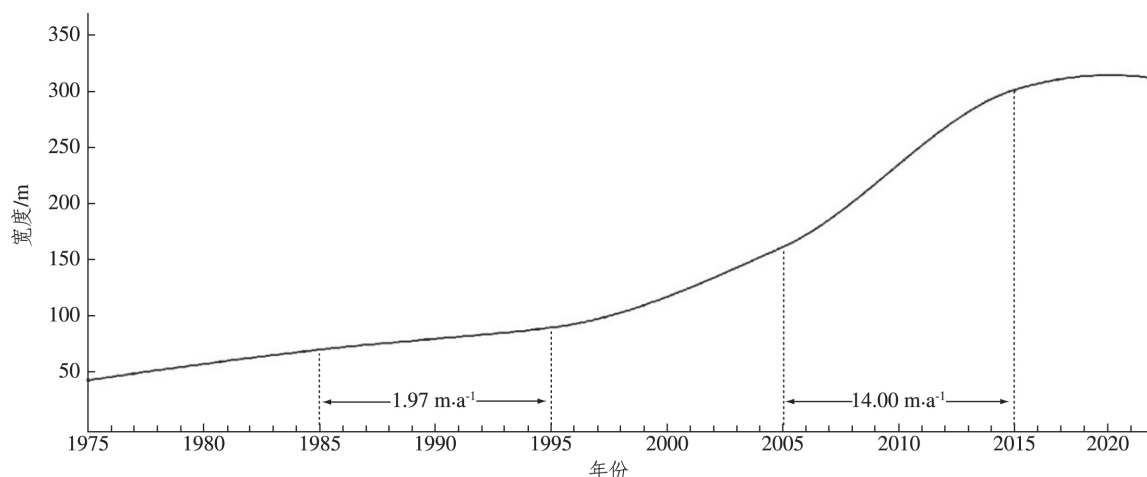


图 8 1975—2021 年潮汐通道宽度曲线

Fig.8 Width curve of tidal channel from 1975 to 2021

3.3 坝尾宽度与长度演变及人类活动的影响

1975—2021 年,坝尾地貌演变呈现非线性的显著特点。具体而言,1975 年,坝尾反映建闸前的自然状态;1979 年潮汐通道内建闸,导致 1985—2005 年坝体以蚀退变窄为主,变短不显著;2005—2015 年坝体变短加速,继续蚀退变窄,潮汐通道的宽度达 100~300 m,坝尾长度产生突变,由于坝体变窄而容易被波浪冲蚀坍塌,因此坝体显著变短。与此同时,2015 年 3 座丁坝的建设导致 2015—2021 年坝体剧烈变窄,尾端内弯显著,但长度变化不明显(图 9)。坝尾宽度与长度的变化主要受 1979 年潮汐通道内建闸和 2015 年 3 座丁坝的建设的时空耦合作用。

天鹅湖沙坝是在 NE/SE 两组波浪、以 NE 向波浪为主作用下,沿岸输沙自北而南搬运、堆积而成^[13]。沙坝形成后将荣成湾顶部分割形成潟湖,潟湖通过沙坝南端的狭窄潮汐通道与外海进行水交换。建闸前,潮汐通道水深大,波浪作用弱,潮流不能携粗砂,沙坝尾端泥沙流不能越过潮汐通道,沙坝外侧海岸泥沙不亏损,动力地貌保持稳定。建闸后,潮汐通道水深变小,成为潮间带,波浪作用变强,沙坝尾端侵蚀,泥沙流越过潮汐通道,沙坝外侧海岸泥沙亏损海岸侵蚀后退。2015 年在沙坝尾端外侧修建 3 座丁坝阻碍了沿岸输

沙,加剧了蚀退进程。沙坝尾端侵蚀后,潮流通道变宽,波浪直射绕射加强,沙坝侵蚀泥沙进入潮汐通道内侧,导致涨潮三角洲淤积,沙坝尾端向内侧弯曲,落潮三角洲成为侵蚀泥沙的“汇”。以上人类活动改变了沙坝尾端和潮汐通道地貌冲淤动态平衡,是沙坝尾端严重蚀退的主要原因。

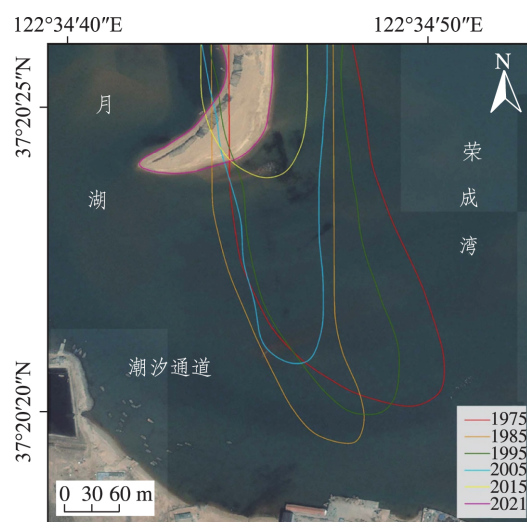


图 9 1975—2021 年沙坝坝尾演变

Fig.9 The evolution of barrier tail from 1975 to 2021

沙坝尾端是北东向泥沙流的“汇”,但是在东南向波浪作用下,此“汇”又可成为沙坝中上游的泥沙“源”,长期作用下保持了沙坝地貌稳定。3 座丁坝的修建打破了平衡,导致沙坝侵蚀,尤其是

下游尾端侵蚀变短,进而导致沙坝中上游侵蚀。潮流通道变宽,由 1975 年的 42.34 m 展宽至 2021 年的 311.41 m。不仅沙坝外侧侵蚀,而且内侧以及潟湖内也发生侵蚀。未来潮汐通道将成为潮间带,季节性或长期堵塞使得沙坝继续侵蚀后退,潟湖变小淤塞。

4 结论

1975—2021 年,天鹅湖沙坝坝体剧烈侵蚀且位置变化显著,坝尾处侵蚀后退距离达 112.53 m,坝体平均后退 46.76 m。低潮面以上坝体位置演变呈现出显著的时空分布差异,表明沙坝的侵蚀过程是先侧蚀变窄,后切蚀变短。潮汐通道逐年展宽。2005—2015 年,潮汐通道的平均展宽速率高达 $14.00 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 。坝体变短加速,继续蚀退变窄,潮汐通道的宽度达 100~300 m,坝尾长度产生突变。与此同时,2015 年 3 座丁坝的建设导致 2015—2021 年坝体剧烈变窄,尾端内弯显著,但长度变化不明显。沙坝宽度与长度的变化主要受 1979 年潮汐通道内建闸和 2015 年 3 座丁坝建设的时空耦合作用。上述人类活动改变了沙坝尾端和潮汐通道的地貌冲淤动态平衡,是沙坝尾端严重蚀退的主要原因。关于近 50 年来天鹅湖沙坝—潟湖海岸地貌演化规律的研究,可为逐步恢复天鹅湖沙坝的自然演化状态和实施综合整治方案奠定基础,为科学整治修复天鹅湖的沙坝—潟湖系统提供理论依据。

参考文献:

[1] 魏合龙,庄振业.山东荣成湾月湖地区的潟湖—潮

汐河道体系 [J].湖泊科学,1997(2):135-140.

[2] 牟晓燕,杨永亮,李春雁,等.山东半岛荣成湾月湖环境特征研究 [J].青岛大学学报(工程技术版),1999(4):56-59.

[3] 李树华.中国海湾志 [M].北京:海洋出版社,1993.

[4] 贾建军,高抒,薛允传,等.山东荣成月湖潮汐河道系统的沉积物平衡问题——兼论人类活动的影响 [J].地理科学,2004(1):83-88.

[5] 赵鹏,卢文虎,杨红生,等.中国北方沿海典型潟湖——山东月湖水深遥感反演 [J].海洋与湖沼,2016,47(4):714-718.

[6] 高抒.论海岸带受损环境恢复与改善之对策:以山东半岛月湖为例 [J].世界科技研究与发展,1998(4):123-126.

[7] JIAN J J, SHU G, XUE Y C. Sediment dynamic processes of the Yuehu inlet system, Shandong Peninsula, China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2003, 57(5): 783-801.

[8] 贾建军.小型潮汐河道系统的沉积动力过程与演化 [J].青岛:中国科学院海洋研究所,2001.

[9] 殷效彩,杨永亮,乌大年,等.山东荣成湾月湖沉积底泥重金属研究 [J].青岛大学学报(自然科学版),1999(4):75-79.

[10] 薛允传,高抒,贾建军.山东荣成湾月湖口门落潮干道的推移质输运 [J].海洋与湖沼,2002(4):356-363.

[11] 许帅.黄渤海典型鳗草海草床声呐探测及种子保存研究 [D].北京:中国科学院大学,2019.

[12] SHU G, JIAN J J. Sediment and carbon accumulation in a small tidal basin: Yuehu, Shandong Peninsula, China [J]. Regional Environmental Change, 2004, 4(1): 63-69.

Coastal Geomorphic Evolution of Swan Lake Barrier During the Past 50 Years

SUN Yang

(Rongcheng Swan National Nature Reserve Management Service Center, Weihai 264200, China)

Abstract: Swan Lake is the typical and complete natural barrier-lagoon system. In recent years, under the influence of human activities and natural factors, the barrier-lagoon dynamic geomorphology system has undergone major changes. Based on field investigations, remote sensing images in different periods were used as data sources. Comprehensive use of digital shoreline analysis system, remote sensing, geographic information system and other methods had been used to study the evolution of the coastal geomorphology of the barrier-lagoon of

Rongcheng Swan Lake in the past 50 years. The results show that from 1975 to 2021, the barrier body of the Swan Lake barrier has been eroded violently and its position has changed significantly, and the erosion retreat distance of the barrier's tail reaches 112.53 m. The first side alteration of the barrier becomes narrower, and the later cutting alteration becomes shorter. The tidal channel widens year by year. From 2005 to 2015, the average widening rate of the tidal channel was as high as $14.00 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$. From 2015 to 2021, the barrier body narrowed drastically, and the tail end was bent significantly, but the length change was not obvious. The changes in the width and length of the barrier are mainly due to the temporal and spatial coupling of the built-in gate of the tidal inlet in 1979 and the construction of three spur barriers in 2015. The above-mentioned human activities have changed the dynamic balance of erosion and deposition at the end of the barrier and the tidal channel, which is the main reason for the serious erosion of the end of the barrier.

Keywords: barrier; tidal channel; coastal geomorphology; Swan Lake

(责任编辑 顾建忠)

(上接第 357 页)

Abstract ID: 1673-8020(2021) 04-0354-EA

Determination of Nickel Ion with Perovskite Modified Glassy Carbon Electrode

PAN Yuxin, DONG Yanjie, LI Yuansheng

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Anqing Normal University, Anqing 246011, China)

Abstract: The $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NHPbBrNCs}$ modified glassy carbon electrode was prepared, and the electrochemical behavior of Ni^{2+} on the modified electrode was studied. The conditions such as the amount of Ni^{2+} solution, the pH value of the solution, the amount of buffer solution and the pH value of the buffer solution were optimized. In $\text{pH}=6.8$ disodium hydrogen phosphate-citrate buffer, the linear range of Ni^{2+} measured by cyclic voltammetry is $\Delta I = 0.49185C - 0.58899$ (C unit $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), the linear correlation coefficient is 0.9960, the detection limit is $0.20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Through 11 measurements of $1.5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Ni^{2+} solution, the relative standard deviation (RSD) is 2.9%.

Keywords: nickel ion; perovskite material; chemically modified electrode; cyclic voltammetry

(责任编辑 刘军深)