

海阳砂质海岸岸滩演化

任智会¹, 胡日军^{1,2}, 张连杰¹, 王楠¹, 朱龙海^{1,2}

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100;

2 中国海洋大学海底科学与探测技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要:基于海阳近岸海域的水深地形、表层沉积物粒度以及遥感影像等资料,利用泥沙起动流速和沿岸输沙数理公式以及岸滩演化数学模型,探讨了海阳近岸海域岸滩演化特征及主要控制因素。研究表明,研究区总体处于动态平衡状态,潮流很难使泥沙发生直接起动,波浪造成的沿岸输沙总体向 ENE 方向运移。影响研究区冲淤变化的因素主要有河流来沙、波浪以及人工构筑物。河流径流量减小,导致研究区泥沙来源减少,加剧了局部海岸侵蚀;近岸人工构筑物的建设,改变了泥沙输运趋势,并导致局部冲淤环境发生变化;波浪是控制研究区泥沙运移、沉降的关键因素,控制着研究区冲淤演化的整体格局。

关键词:海阳近岸;砂质海岸;岸滩演化;控制因素

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2016.11003

自 20 世纪 50 年代末期以来,我国多数砂质海岸由淤进或稳定状态转为侵蚀状态,其中约有 70% 的砂质海岸受到侵蚀,导致岸线后退,自然景观遭到破坏^[1]。山东半岛砂质海岸属于冰后期海侵的岸段,近年来遭到蚀退,且有逐年加剧的趋势。海阳市有 200 余千米的海岸线,砂质海岸曲折绵延约 20 km,是天然的海水浴场,然而目前其砂质岸线正在不断蚀退^[2],因此,对海阳近岸海域砂质海岸岸滩演化的研究已经迫在眉睫。

国内外对于砂质海岸演化进行了较为系统的研究。Fenneman^[3]于 1902 年提出砂质海岸的海滩平衡剖面,并得到了不断发展和完善。沿岸输沙变化对于砂质海岸岸滩演化具有重要的作用,目前主要基于波能流法,如 CERC 法^[4]、ACES 法^[5]以及 Kamphuis 公式^[6]等。近几十年来,数值模拟技术被广泛用于岸滩演化研究中,目前较

常见的一线岸线演化模型主要包括 GENESIS^[7]、UNIBEST^[8]及 LITPACK^[9,10]等。此外,遥感影像由于可以直观反映岸线的变化,也被广泛应用于岸线演化趋势研究中^[11]。关于海阳近岸海域岸滩演化分析,目前主要集中在人工构筑物对砂质海岸的影响研究。张泽华等^[12]、汪守东和徐洪磊^[13]、岳娜娜等^[14]、吴园园^[15]分别探讨了海阳港、连理岛以及海阳中心渔港对对岸滩的影响,其结果表明,近岸人工构筑物的建设会对砂质海岸的冲淤环境产生一定影响。本文基于海阳近岸海域的水深地形、表层沉积物粒度以及遥感影像等资料,利用泥沙起动流速和沿岸输沙数理公式以及岸滩演化数学模型,旨在分析研究区的岸滩演化特征,研究潮流和波浪以及人工构筑物对岸滩演化的影响,并探讨研究区岸滩演化的主要控制因素。

1 研究区概况

海阳市地处山东半岛东南部,丁字湾口北邻

收稿日期:2016-05-16

作者简介:任智会(1991—),女,硕士,主要从事海洋地质学研究工作。E-mail:renzhihui@zhu@sina.com

(图 1),其海岸为典型的砂质海岸。研究区人工岛海区附近海岸为基岩岬角的微曲砂质海岸,近岸陆域主要为冲积、海积平原和剥夷准平原。海底地势自岸向海、自老龙头向西侧倾斜,老龙头礁石区地形崎岖,水深变化复杂,其余水域地形坡度均一,水深较大,平均坡度一般为 $0.6\text{‰} \sim 1.4\text{‰}$ [2]。

研究区潮流主要为规则半日潮流,潮流为典型的往复流。常浪向为 SSW 向,次常浪向为 S 向和 SW 向;强浪向为 SE 向,最大波高为 5.8 m,次强浪向为 SSE 向,最大波高为 3.9 m [12]。

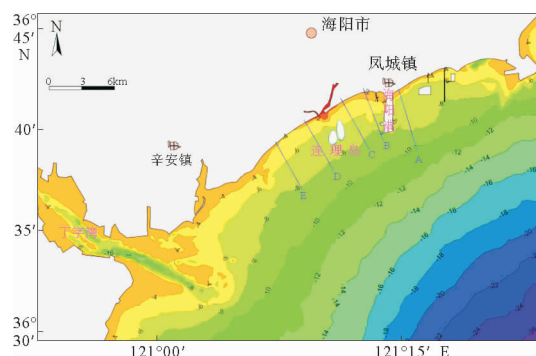


图 1 研究区位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

2 资料来源与研究方法

2.1 海岸线提取

本文收集了 2011 和 2013 年研究区的 Google Earth 遥感影像,其遥感影像清晰,满足对岸线的提取要求。首先将遥感影像导入 AutoCAD 中进行配准校正,然后采用目视解译的方法 [16] 提取不同时期的海岸线,将岸线叠加后对比分析研究区 2011 至 2013 年的岸线变化特征。

2.2 岸滩剖面对比分析

中国海洋大学于 2011 年 6 月和 2013 年 6 月在研究区海域内进行了 2 次水深地形测量,测量仪器水上岸滩部分采用 RTK,水下岸滩部分采用单波束测深仪,测量期间在海阳港进行了同步验潮,本文选取了其中 5 条水深断面进行了对比(图 1),深度基准系统为国家 1985 高程基准。

2.3 沿岸输沙及泥沙起动计算

为探讨波浪破碎产生的沿岸输沙,通过波能通量法计算出研究区的沿岸输沙率,采用最具代表性的美国海岸工程研究中心 (CERC) [4] 的公式,该公式对于平直的海岸较为适用。

为探讨研究区泥沙起动流速,根据研究区近岸的表层沉积物特征和该区域的水动力条件,选用窦国仁 [17] 的泥沙起动流速公式,该公式较全面的考虑了影响泥沙起动流速的多个因素,能较好的反映泥沙颗粒的起动规律。

2.4 岸滩演化数值模拟

本文主要采用海岸过程和动力学模型 (Lit-pack) 对海滩剖面的变化进行稳定性预测与分析。LITPACK 模型主要用于砂质海岸环境波流耦合作用下的横向剖面演化、岸线演化、泥沙输运、沿岸流计算等方面的模拟,该模型已在动力地貌模拟中得到广泛应用 [18-21]。

3 研究区岸滩演化特征

3.1 岸线变化

从研究区岸线变化图(图 2)可以看出,岸段 I 东部呈淤积状态,西部呈侵蚀状态,该段的蚀淤变化基本呈动态平衡状态,东部沙滩向海淤进明显,平均淤进速率约为 4 m/a,西部滩面变窄,基岩出露,呈侵蚀状态;岸段 II 呈淤积状态,防波堤东侧淤积非常明显,平均淤进速率约为 8 m/a,低潮时防波堤内侧岸滩已基本全部露出,防波堤西侧也呈淤进状态;岸段 III 连理岛引堤东侧呈侵蚀状态,引堤脚处基岩裸露,滩面变窄,引堤西侧淤积明显,平均淤进速率约为 4 m/a,明显受到连理岛引堤建设的影响,东村河口岸段则呈轻微侵蚀状态,岸线蚀退速率约 2 m/a;岸段 IV 呈轻微的淤积状态,但淤进不明显;岸段 V 中部为裸露的基岩,呈侵蚀状态,两端均为淤积状态。

遥感影像的解译结果表明,研究区海岸线总体处于动态平衡状态,局部岸线受人工构筑物影响显著,表现为在人工构筑物的西侧呈淤进状态,而在人工构筑物的东侧呈蚀退状态。

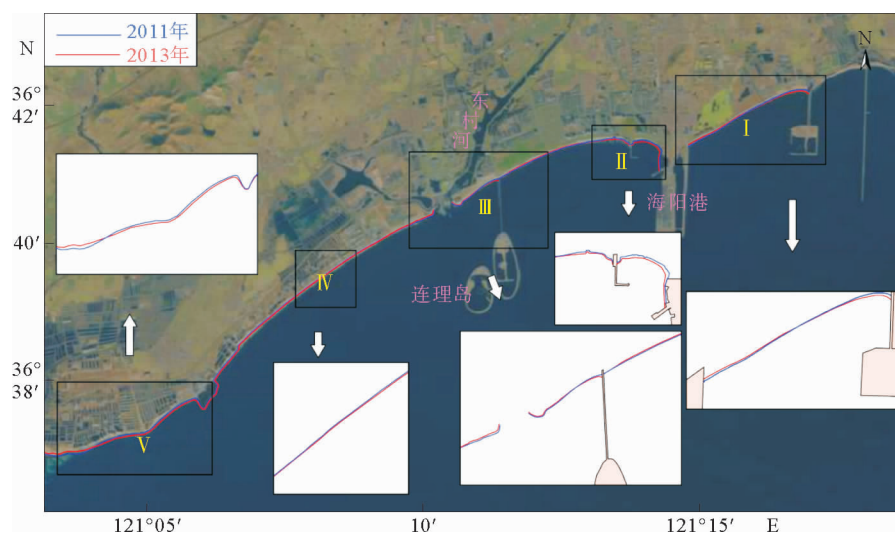


图 2 2011—2013 年海阳海岸线变化

Fig. 2 Shoreline changes in Haiyang (2011—2013)

3.2 岸滩滩剖面变化

高程以上的岸滩呈微淤积状态(最大淤积量约为 0.5 m), 高程 0~4 m 之间岸边的岸滩呈明显侵蚀状态(最大侵蚀量约为 1.8 m), 侵蚀量远大于剖面冲淤变化(图 3)中可以看出, A 断面 4 m

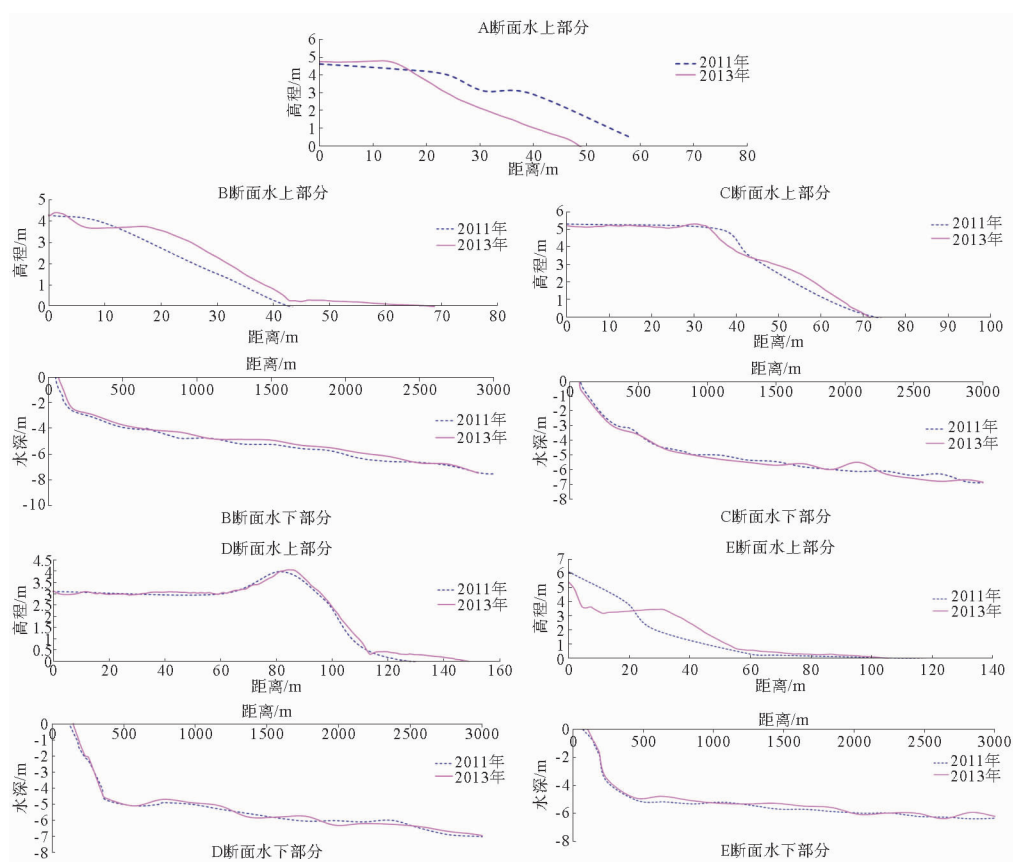


图 3 2011—2013 年海阳海滩剖面冲淤变化

Fig. 3 Erosion/deposition changes of cross-shore profiles in Haiyang(2011—2013)

于淤积量,整体呈侵蚀状态;B 断面 3 m 高程以上岸滩变化较小,基本处于平衡状态,高程 0~3 m 之间的岸滩呈明显淤积状态(最大淤积量约为 1 m),水深-6 m 以浅的水下岸滩呈淤积状态(最大淤积量约为 0.6 m);C 断面高程 0~3 m 之间的岸滩呈淤积状态(最大淤积量约为 0.8 m),高程 3~5 m 之间的滩肩发生后退,滩肩遭受侵蚀,水深-6 m 以浅的水下岸滩呈轻微侵蚀状态,-6 m 以深呈淤积状态(最大淤积量约为 0.8 m),并发育 2 个沙坝,离岸 2 200 m 以外呈现侵蚀状态,C 断面整体处于蚀淤平衡状态;D 断面 2 m 高程以上的岸滩变化不明显,滩肩略有淤进,高程 0~2 m 之间呈轻微淤积状态(最大淤积量约为 0.4 m),水深-5 m 以浅的水下岸滩呈淤积状态(最大淤积量约为 0.7 m),水深-5~-6 m 段侵蚀与淤积情况交替出现,-6 m 以深呈现微侵蚀状态;E 断面高程 3 m 以上的岸滩呈明显的侵蚀状态(最大侵蚀量可达 2 m),高程 0~3 m 之间岸边的岸滩呈明显淤积状态(最大淤积量约为 1.5 m),滩肩前进,水深-6 m 以浅的岸滩呈轻微淤积状态(最大淤积量约为 0.5 m),水深-6 m 以外呈轻微淤积状态。

整体来看,研究区岸滩的水上部分,断面 A 呈侵蚀状态,断面 B、C、D、E 呈淤积状态,其中,断面 B、C 淤积强度较大,而断面 D、E 仅呈轻微淤积;岸滩的水下部分,断面 C、D 以侵蚀为主,断面 A、E 以淤积为主,基本处于蚀淤平衡状态。另外,断面 C、D 在离岸 2 500 m 左右的海域处淤蚀情况发生较大变化,推断可能是连理岛的建设改变了周边海域冲淤环境所致。

4 岸滩演化的主要控制因素

流入研究区海域及附近海域有多条河流入海,河流入海泥沙是研究区重要的泥沙来源,然而,目前入海径流量和泥沙量均大大降低,由于缺少实测数据,因此,本文仅对河流来沙进行简要分析。研究区为典型的砂质海岸,波浪作用是塑造海滩剖面的主要动力因素,潮流对泥沙搬运也起到重要的辅助作用,因此,本文重点从波浪和潮流两个方面对研究区泥沙输运进行分析。海洋工程的建设改变了地形地貌格局和水动力环境,从而

打破了原有冲淤环境的平衡状态,进而导致了海岸淤进或者蚀退^[22]。近几年,研究区沿岸建设了较多的海岸工程和海洋工程,包括海阳港西港区、海阳中心渔港以及连理岛等,其中连理岛建设较晚且位于海阳万米海滩外侧,因此,本文以连理岛为例探讨人工构筑物对砂质海岸的影响。

4.1 河流来沙

河流来沙是砂质海岸泥沙的主要来源,河流携带大量泥沙流入海中,河流泥沙含量影响着岸滩的冲淤环境。流入研究区海域及附近海域的主要河流包括位于海阳港西侧的五龙河、纪疃河、闫家河、东村河以及海阳港东侧的留格庄河,这些河流携带泥沙是研究区的主要泥沙来源。这些河流均为季节性河流,受降水量的影响,天然径流量的年内变化较大,汛期洪水暴涨暴落,枯季河川径流量很少;同时,随着上游建坝、生活生产用水等活动,目前河流径流量及输沙量均大大降低,其结果就加剧海岸侵蚀,造成岸线后退,局部海域出现沉积物粒度粗化。

4.2 波浪

沿岸输沙率计算使用的波浪要素选用乳山南黄岛海洋站统计 1984—1995 年的波浪观测资料(表 1)。根据计算结果(图 4)可以看出,研究区各断面的净输沙方向均为 ENE 向。海阳近岸范围砂质海岸岸线平直,走向基本上为 ENE—WSW 方向,但是因为海岸多被基岩岬角以及修建于其上的港口堤坝隔开,不同岸段波浪动力条件有很大差别。近年来在研究区沿岸建设了海阳港东港区、防波堤以及连理岛等工程,改变了海岸形态,近岸的水动力条件亦发生了巨大的变化,沿岸输沙被部分隔断。沿岸泥沙的现状运移状态表现为沿岸泥沙向 ENE 方向运移,到达人工构筑物的西侧时发生淤积,人工构筑物的东侧呈侵蚀状态。

4.3 潮流

为探讨潮流与泥沙起动的关系,在研究区近海沿岸设置了 6 条断面(图 5),分别计算了不同水深的沉积物的起动流速,并根据潮流数值模拟结果提取了大潮涨急、落急时的流速,然后进行对比分析,计算结果如图 6 所示。计算结果表明所

表 1 乳山南黄岛海洋站波浪要素统计

Table 1	Statistics of main wave characteristics of the oceanic station on Nanhuang island, Rushan														
波浪要素	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NNW
平均波高/m	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.5
最大波高/m	1.5	2.5	3.5	2.8	2.4	2.2	5.8	3.9	3.3	3.8	3.2	2.3	2.3	3	1.7
平均周期/s	3.4	3.6	3.8	4.1	4.4	4.7	5.1	5.4	4.7	4.6	4.4	4	3.6	3.7	3.3
风浪频率/%	4	2	3	2	3	2	3	3	5	5	7	3	3	2	6
涌浪频率/%	0	0	1	1	2	2	6	10	5	7	7	2	1	0	0

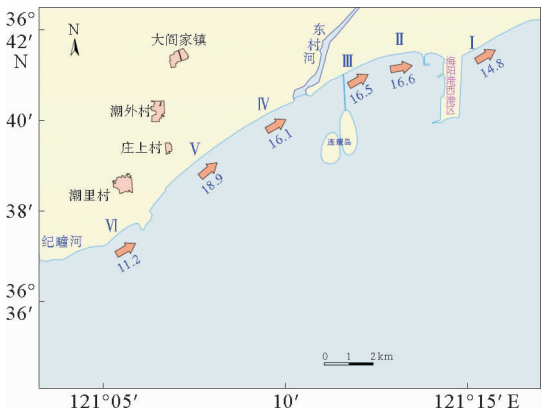


图 4 沿岸输沙计算结果(单位:104 m³/a)
Fig. 4 Values of alongshore sediment discharge rate measured for each profile

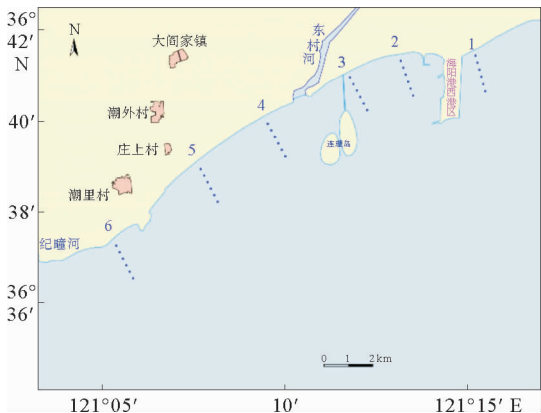


图 5 泥沙起动流速计算断面分布
Fig. 5 Distribution of the sections to calculate incipient velocity

有剖面的起动流速介于 20~49 cm/s 之间。随水深的增大、离岸距离的渐远,研究区近岸泥沙的起动流速呈逐渐增大的趋势。断面 1、2、3、4、5 受近岸人工构筑物的影响,涨急、落急流速较小,一般不超过 25 cm/s,涨急、落急流速均小于起动流

速,潮流不能起动泥沙;断面 6 由于海岸线突出等地形因素影响,涨急、落急流速较大,最大可达 45 cm/s,涨急、落急流速均超过泥沙的起动流速,断面 6 的泥沙可以被潮流起动。综上分析可知,研究区内潮流的流速很难使沉积物发生直接起动。潮流对研究区冲淤变化的主要贡献在于,波浪搅动掀起泥沙后,海水成为承载悬浮泥沙的载体,而潮流为悬浮泥沙的搬运提供了动力。

4.4 人工构筑物

本文以海阳连理岛为例,利用岸滩演化数值模拟,探讨了人工构筑物对研究区岸线和剖面的演化影响。海阳连理岛建设前岸线演化模拟结果见图 7,建设后岸线演化模拟结果见图 8,建设前后岸线变化情况见图 9。

海阳连理岛建设前,剖面 I 附近为快速淤积岸段,1 年后岸线最大向海推进约 7 m,平均向海推进约 4 m,5 年后岸线最大向海推进约 13 m,平均向海推进约 9 m;剖面 I 和 II 之间为缓慢淤积岸段;剖面 II 附近岸段为冲淤平衡岸段;剖面 II 至剖面 III'西侧 500 m 之间岸段为缓慢侵蚀岸段;剖面 III 以西岸段以及剖面 IV 为缓慢淤积岸段。

海阳连理岛建设后,剖面 I 附近仍为快速淤积岸段,但向海淤进速率较连理岛建设前有所减小。剖面 I 和 II 之间为缓慢淤积岸段,年平均淤进速率减小约 0.6 m,与连理岛建设阻挡了部分西南向波浪,来沙量减少有关;剖面 II 附近岸段为冲淤平衡岸段,与连理岛建设前基本一致;剖面 II 西侧 350 m 至 1 100 m 岸段由微侵蚀变为微淤积岸段;剖面 II 西侧 1 100 m 至剖面 III 东侧 640 m 为微侵蚀岸段,连理岛建设后,侵蚀速率有所减小;剖面 III 东侧 640 m 至剖面 IV 西侧 200 m

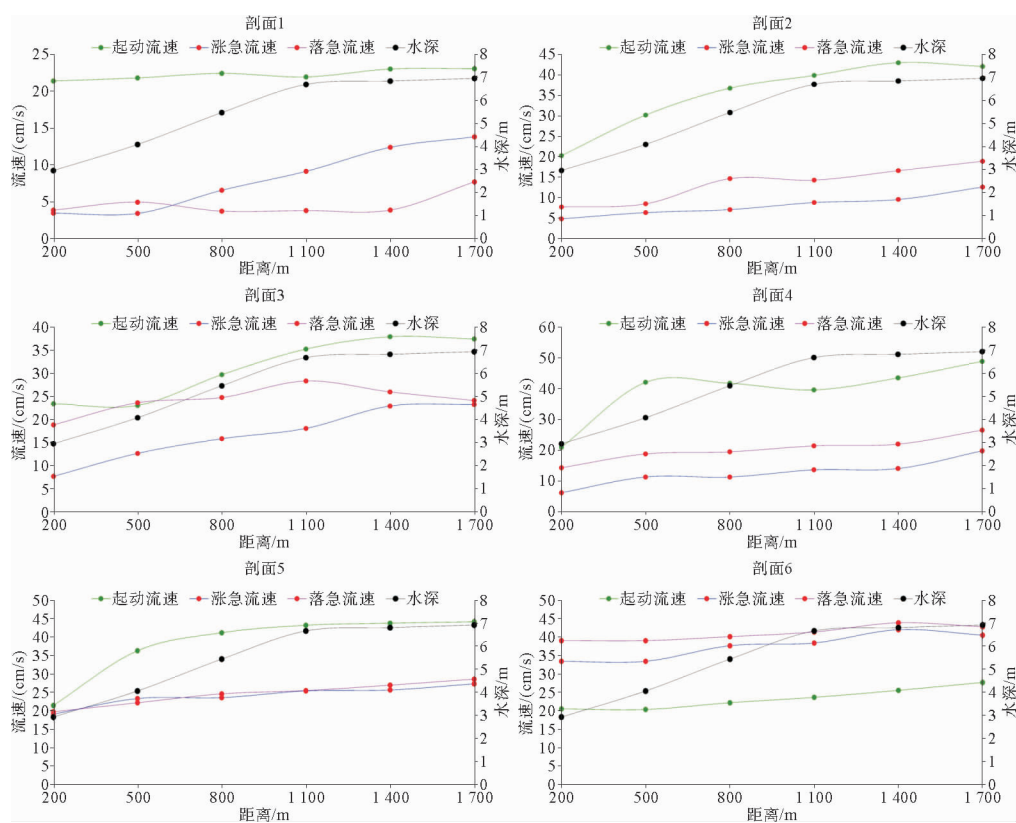


图 6 泥沙起动流速与模拟流速剖面对比

Fig. 6 Comparison between incipient velocity and analog velocity of every section

为淤积岸段,淤积速率较连理岛建设前有所减缓;剖面Ⅳ西侧 200 m 至 800 m 岸段由微淤积变为微侵蚀;剖面Ⅳ西侧 800 m 以西岸段为微淤积岸段。

综上所述,连理岛建成后连理岛西侧淤

积岸段淤积速率略有减缓,连理岛北侧侵蚀速率降低,连理岛东侧淤积速率略微减小,其总体维持了连理岛建设前的状态,未改变研究区冲淤的基本格局,其这与前人的研究成果基本一致^[14]。

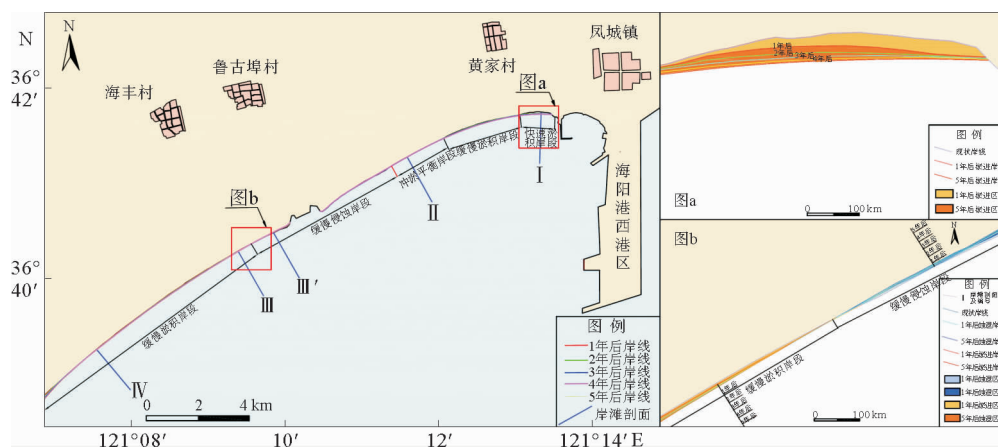


图 7 连理岛建设前岸线演化模拟结果

Fig. 7 Simulation result of shoreline evolution before Lianli Island

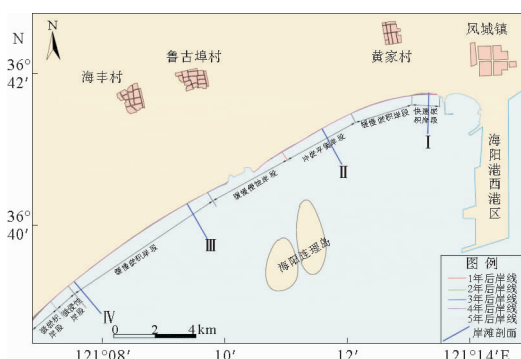


图 8 连理岛建设后岸线演化模拟结果

Fig. 8 Simulation result of shoreline evolution after Lianli Island

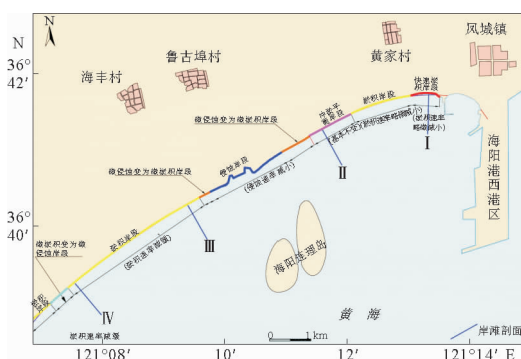


图 9 连理岛建设前后岸段冲淤变化

Fig. 9 Changes of the erosion /deposition pattern before and after the construction of Lianli Island

5 结论

(1)研究区海岸线总体处于相对稳定状态,部分岸段处于侵蚀状态;局部海岸线受近岸构筑物的影响较大,一般在构筑物的西侧呈淤进趋势,东侧呈蚀退趋势。

(2)研究区泥沙起动流速主要在 20~49 cm/s 之间,潮流很难使泥沙发生直接起动;波浪破碎产生的沿岸输沙总体向 ENE 方向运移,波浪是控制研究区岸滩演化的关键因素。

(3)连理岛建成后连理岛西侧淤积岸段淤积速率略有减缓,连理岛北侧侵蚀速率降低,连理岛东侧淤积速率略微减小,其总体维持了连理岛建设前的状态,未改变研究区冲淤的基本格局。

参考文献:

- [1] 栾天. 山东半岛北岸砂质海岸现状及演化分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2011.
- [2] 岳娜娜. 离岸人工岛对沙质海岸的影响研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.
- [3] Fenneman N M. Development of the Profile of Equilibrium of the Subaqueous Shore Terrace[J]. Acta Physiologica Scandinavica, 1902, 104(4):491-495.
- [4] US Army Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual, Volume I. second edition [M]. 1975:1-1~4-8.
- [5] Leenknecht D A, Szuwalski A, Sherlock A R. Automated coastal engineering system-user's guide [R]. CERC, US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss, 1992.
- [6] Kamphuis J W, Davies M H, Nairn R B, et al. Calculation of littoral sand transport rate [J]. Coastal engineering, 1986, 10(1):1-22.
- [7] Hanson H, Kraus N C. Numerical simulation of shoreline change at Lorain, Ohio [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1991, 117(1):1-8.
- [8] Walton T L, Cheng J, Wang R, et al. Modeling of three beach fill projects [J]. Ocean Engineering, 2005, 32:557-569.
- [9] Ranga R V, Ramana M V, Murthy M B, et al. Littoral sediment transport and shoreline changes along Ennore on the southeast coast of India: Field observations and numerical modeling[J]. Geomorphology, 2009, 112: 158-166.
- [10] Aagaard T. Sediment transfer from beach to shoreface: The sediment budget of an accreting beach on the Danish North Sea Coast[J]. Geomorphology, 2011, 135: 143-157.
- [11] Blodgett H W, Taylor P T, Roark J H. Shoreline changes along the Rosetta-Nile Promontory: Monitoring with satellite observations[J]. Marine Geology, 1991, 99(1/2): 67-77.
- [12] 张泽华, 吴建政, 朱龙海, 等. 海阳港东港区建设对砂质海岸冲淤影响[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(8):49-55.
- [13] 汪守东, 徐洪磊. 烟台港海阳港区沙滩冲淤稳定性数值模拟分析[J]. 水运工程, 2010(7):11-17.
- [14] 岳娜娜, 吴建政, 朱龙海, 等. 离岸人工岛对砂质海岸的影响[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(4):18-22.
- [15] 吴园园. 海阳中心渔港工程附近海域水动力及泥沙冲淤数值模拟[D]. 青岛:中国海洋大学, 2014.
- [16] 孙钦帮, 苏媛媛, 马军, 等. 长兴岛海岸线变化遥感动态监测及分形特征[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(3):389-393.

- [17] 窦国仁. 再论泥沙起动流速[J]. 泥沙研究, 1999(6):1-9.
- [18] Nguyen N T, Luong P H. Studying shoreline change by using LITPACK mathematical model (case study in Cat Hai Island, Hai Phong City, Vietnam) [J]. Journal of Science, Earth Sciences, 2007, 23:244-252.
- [19] Sao N T, Anh T N, Son N T, et al. Structural measures to restore Cua Tung beaches, Quang Tri province[J]. VNU Journal of Science, Earth Sciences, 2010, 26: 98-103.
- [20] Shamji V R, Shahul H T S, Kurian N P, et al. Application of numerical modelling for morphological changes in a high-energy beach during the south-west monsoon [J]. Current Science, 2010, 98(5): 691-694.
- [21] Zhang W, Wu J Z, Li W R, et al. Beach morphology and coastline evolution in the southern Bohai Strait[J]. Journal of Ocean University of China, 2015, 14(5):803-815.
- [22] Fanos A M, Khafagy A A, Dean R G. Protective Works on the Nile Delta Coast [J]. Journal Coastal Research, 1995, 11(2):516-528.

EVOLUTION OF THE SANDY BEACH IN HAIYANG

REN Zhihui¹, HU Rijun^{1,2}, ZHANG Lianjie¹, WANG Nan¹, ZHU Longhai^{1,2}

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2 Key Laboratory of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: This paper discusses the evolution of the beach and its controlling factors in the nearshore area of Haiyang, using several methods including calculation of the incipient velocity of the sediment, mathematical approaches for coastal transportation of sediment, and mathematical modeling for beach evolution, based on the depth and grain size data and remote images. The results show that the beach of the study area is roughly in a state of dynamic equilibrium as a whole. It is difficult for the sediment to make incipient motion. Longshore transport caused by waves may move the sediment to ENE direction. Factors affecting the changes of erosion and deposition include sand supply from rivers, waves and artificial structures. The reduction of rivers runoff may cause the decrease in sediment input and increase the erosion of local coast. The construction of coastal artificial structures may change the migration path of sediment, and lead to the local changes in erosional and depositional patterns. Wave is a key factor in controlling sediment transportation and sedimentation. In conclusion, hydrodynamics is the factor controlling the overall evolutionary pattern of erosion or deposition in the study area.

Key words: nearshore Haiyang; sandy coast; evolution of beach; controlling factors