

# 胶东半岛南部典型海湾地貌过程 对滩涂养殖的响应\*

战超<sup>1</sup> 王庆<sup>1</sup> 夏艳玲<sup>1</sup> 王燕飞<sup>1</sup>  
刘亚龙<sup>2</sup> 张明明<sup>1</sup>

(1. 鲁东大学海岸研究所 烟台 264025; 2. 中国海洋大学信息科学与工程学院 青岛 266100)

**摘要** 应用 3S 技术和海湾涨/落潮不对称原理, 研究了最近 40 年来胶东半岛南部四个典型潮汐汉道海湾的动力地貌演变, 分析了大面积修建养殖池对海湾地貌过程的影响。结果表明, 最近 30 年来 4 个海湾的海岸地貌类型面积、空间分布格局、地貌类型转换、地貌结构和地貌冲淤状态发生了显著改变。在大面积养殖池被围建以前的 1960s 年代末到 1980s 年代初, 丁字湾处于涨潮不对称状态但不对称程度增高, 乳山湾、五垒岛湾和靖海湾也处于涨潮不对称状态但不对称程度在降低。最近 30 年来的大面积滩涂养殖池修建, 使丁字湾由不断增强的涨潮不对称向落潮不对称状态逆转, 使五垒岛湾、靖海湾由涨潮不对称向落潮不对称状态的转化提前, 使乳山湾由涨潮不对称向落潮不对称状态的转化延缓。

**关键词** 涨/落潮不对称; 潮汐不对称比率; 潮汐汉道海湾; 滩涂养殖; 胶东半岛

**中图分类号** P731

近年来, 海水养殖池作为众多海域使用方式的一种, 其对海湾生态、环境的影响得到重视和研究 (Brojo *et al.*, 2011; Carlos *et al.*, 2010; César *et al.*, 2011; Mohammad *et al.*, 2011; Mônica *et al.*, 2011; Stokstad, 2010; Pham *et al.*, 2010)。但是, 关于数十年尺度上大面积围垦滩涂并迅速修建养殖池, 对海岸地貌过程尤其是地貌冲淤状态影响的研究还不多见。

胶东半岛南岸有若干口窄、腹阔、狭长的潮汐汉道式海湾, 系全新世最大海侵期间海水侵入并淹没河谷而成, 各湾均由潮汐汉道、潮间滩涂组成, 狭窄的潮汐汉道深入陆地内部并贯通整个海湾, 宽平的滩涂沿汉道两侧呈条状分布。最近 30 年中, 这些海湾的港航功能弱化、水产养殖功能强化, 海湾的航道、港口功能逐渐迁移到湾外海岸, 大面积滩涂被围垦、建造为养殖池, 导致潮间滩涂面积急剧减少。

此类海湾在全球许多地方都有分布, 其潮流所

受摩擦力与瞬时水深呈负相关 (Soulsby, 1997; Prandle, 2003)。在形成初期, 因高潮时平均水深大于低潮, 海湾受涨潮不对称控制发生净淤积 (Dronkers, 1986, 1998, 2005; Brown *et al.*, 2010)。随着持续淤积, 潮间滩涂、潮汐汉道及沟通其间潮沟系统形成 (D'Alpaos *et al.*, 2007)。此后, 因低潮水流局限在深槽内, 导致低潮平均水深大于高潮, 海湾转为落潮不对称控制的净侵蚀 (Pethick, 1994; Townend, 2005; Dronkers, 1986, 1998, 2005)。净侵蚀必然导致潮汐汉道侵蚀下切, 使海湾再次出现涨潮不对称 (Dronkers, 1986, 1998, 2005)。据此, 许多学者提出了表征海湾涨/落潮不对称状态的参数及计算公式 (Aubrey *et al.*, 1985; Speer *et al.*, 1985; Dronkers, 1986, 1998, 2005)。

研究表明, 宽阔的滩涂对此类海湾动力地貌演变有重要影响 (Brown *et al.*, 2010; Pethick, 1994; Soulsby, 1997; Prandle, 2003; Townend, 2005), 海湾边

\* 国家自然科学基金项目, 41071011 号; 国家自然科学基金项目, 41171158 号; 国家自然科学基金项目, 41271016 号。战超, E-mail: zhanchaolddx@126.com

通讯作者: 王庆, 博士, 教授, E-mail: schingwang@126.com

收稿日期: 2012-04-10, 收修改稿日期: 2012-05-26

界的变化可导致海湾涨/落潮不对称及地貌冲淤状态的显著变化(Roberts *et al*, 1998), 在自然状态下涨、落潮不对称的转换可在百年尺度上发生(Pethick, 1994)。本文在前人基础上, 使用 RS、GIS 和 GPS 技术, 以丁字湾、靖海湾、五垒岛湾和乳山湾为对象, 对最近 40 年各海湾动力地貌演变进行研究, 揭示大面积滩涂养殖池修建对海湾地貌过程的影响。

### 1 实验方法

#### 1.1 数据源及预处理

研究区范围包括丁字湾、乳山湾、五垒岛湾、靖海湾等 4 个海湾及附近海域, 向陆一侧边界为全新世海积平原边界(图1)。所用数据源包括研究区不同时期测量的海图、地形图和卫星遥感影像, 包括 1:5 万地形图 13 幅(1969 年 9 幅、1981 年 2 幅、1982 年 2 幅)、1:10 万地形图 1 幅(1971 年)、1:3 万海图 2 幅(1980 年)、1:2.5 万海图 1 幅(1971 年)、LANDSAT TM 遥感影像 1 幅(1989 年 2 月 6 日)、ETM+遥感影像 4 幅(2000 年 1 月 20 日、2003 年 1 月 21 日、2009 年 10 月 20 日、2009 年 3 月 2 日)。在选取遥感影像时, 考虑到潮位变化对潮滩面积的影响, 选择成像时研究区潮位尽可能接近大潮低潮位的遥感影像, 部分影像采

用 Joohyung 等(2002, 2008)的方法进行了水边线校正。在使用以上数据前首先进行预处理, 预处理包括假彩色合成、几何校正、图像拼接、图像裁切等。

#### 1.2 海岸地貌分类与解译

根据海岸地貌演变研究需要, 考虑胶东半岛南部海岸地貌、沉积与动力特征以及所用数据源的空间分辨率, 将海岸地貌划分为养殖池、盐田、水田等人工类型和滩涂、沙滩、沼泽、水面等自然类型(表 1)。由于海湾沿岸海积平原系由滩涂及水面转换而来, 并可被人工改造为养殖池、盐场、水田等人工地貌, 其边界则是全新世海侵最大范围时的海湾范围, 因而将海积平原作为海湾地区的一种地貌类型进行解译, 并以海积平原陆侧边界作为各个海湾的研究范围, 以便用于不同时期对比研究。

地貌解译包括遥感影像解译和海图、地形图解译。其中, 遥感影像的地貌解译, 选择较为成熟的目视解译方法, 解译中利用充足的相关数据和资料以保证判读精度。解译前, 在利用 GPS 进行野外调查基础上, 根据不同地貌类型的遥感光谱特征, 建立了 TM、ETM+影像 7、4、3 波段与全色波段融合后的各地貌类型的解译标志(表 1)。地形图和海图的地貌解译, 根据野外调查和图例确定解译标志。在解译过程中和解译结束后, 多次用 GPS 通过野外调查对结果进行验证, 并据此修正解译结果。

#### 1.3 海岸动力地貌分析

据各海湾地貌解译结果, 首先用 ArcGIS 编制不同时期的海湾地貌图, 分析近 40 年来不同海湾地貌空间结构变化趋势。其次, 用 ArcGIS 空间分析模块的叠加功能, 将不同时期的海岸地貌图叠加, 得出不同时段海岸地貌类型的转移矩阵。再次, 据各海湾 1970s 年代初到 1980s 年代初即大面积养殖池修建前测量的海图或地形图, 用 Matlab 计算各海湾低潮平均水深( $x$ ), 并将低潮时水面范围近似地看作潮汐汉道, 用以揭示潮汐汉道侵蚀或淤积状况。

在此基础上, 计算各海湾不同时期的潮间滩涂/滩涂与水面面积之和的比值( $\lambda$ )、水面/滩涂/海积平原的比值( $\beta$ )。其中,  $\lambda$ 值反映最近 40 年来不同

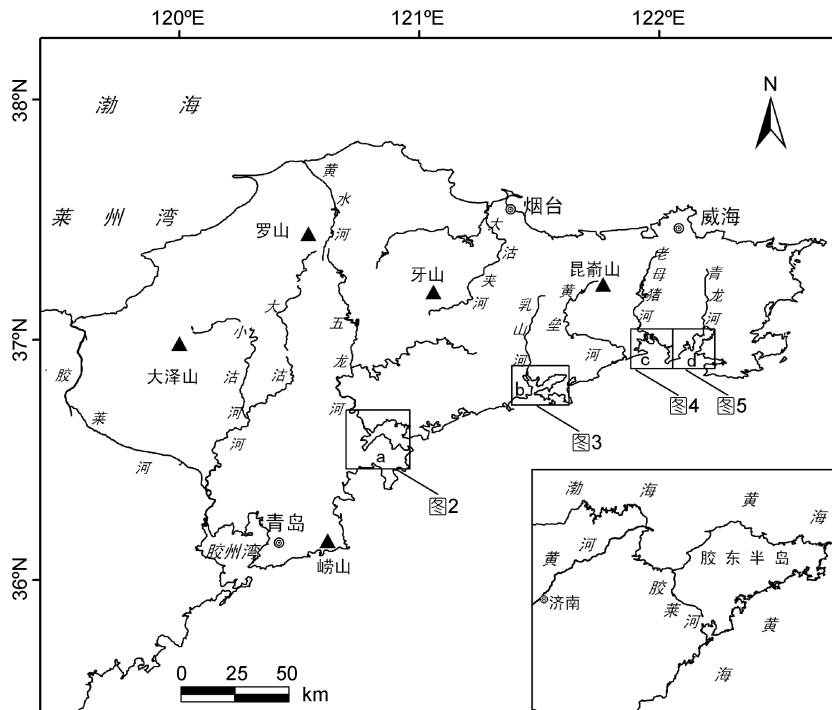


图 1 胶东半岛南部典型潮汐汉道式海湾地理位置图

Fig.1 Location of the four typical tidal inlet bays in southern Jiaodong peninsula  
注: a. 丁字湾, b. 乳山湾, c. 五垒岛湾, d. 靖海湾

表 1 胶东半岛南部典型海湾地貌类型及遥感解译标志  
Tab.1 Geomorphic types and their RS interpretation signs of typical bays in southern Jiaodong peninsula

类型	地貌特征	遥感解译标志		
		形状	色调	纹理
滩涂	大潮高、低潮线间, 周期性被潮水浸润或淹没, 坡度平缓, 沉积物为泥或泥沙	不规则, 沿水面分布	深绿、褐	均匀
沙滩	大潮高、低潮之间, 周期性被潮水浸润或淹没, 沉积物为分选好的砂	条带状、块状, 沿水面分布	亮粉	细腻
沼泽	经常积/渍水或周期性被海水淹没并有水生或湿生植物生长的低洼地	不规则, 沿滩涂分布	褐、蓝绿, 有季节差异	较均匀
水面	大潮低潮线下的海湾水面, 近似地相当于潮汐汊道即海湾中央潮流深槽	片状、条带状, 与海连通	深蓝	均匀
盐田	人工开挖、围垦滩涂、沼泽、海积平原用于制盐的盐场, 海水进出受人为控制	网格状, 规则	深绿, 粉色, 有季节差异	较粗糙
养殖池	人工开挖、围垦滩涂、水面、沼泽及海积平原而成, 海水进出受人为控制	网格状, 较规则	黑、深蓝	粗糙
水田	人工开挖、围垦沼泽、滩涂或低洼平原而成, 用于水稻种植	网格状, 较规则	深绿色, 浅蓝色	较均匀

期海湾地貌边界条件变化,  $\beta$ 值反映海湾在大面积滩涂围垦前、全新世中期海湾形成以来长期形成的地貌演化状态。考虑到沼泽在大潮高潮时能够被淹没, 在计算 $\lambda$ 、 $\beta$ 值时将沼泽计入滩涂; 考虑到 1969、1982 年时养殖池面积很小并分布零星, 为揭示大面积养殖池修建前的海岸地貌边界条件, 在计算 1969、1982 年 $\lambda$ 、 $\beta$ 值时将养殖池计入滩涂。

最后, 按 Dronkers 的方法计算涨/落潮不对称比率( $\gamma$ )即所谓的 Dronkers 潮汐不对称比率(Dronkers, 1986, 1998, 2005), 用于揭示各海湾涨/落潮流不对称状态和地貌冲淤状态及其演变趋势。根据 Dronkers 提出的涨/落潮不对称比率( )的计算公式:

$$\gamma = \left( \frac{h+a}{h-a} \right)^2 \frac{S_{lw}}{S_{hw}} \quad (1)$$

$$h = a + \frac{V_{lw}}{S_{lw}} \quad (2)$$

式中,  $h$  为海湾平均水深,  $V$  为低潮时海水体积,  $a$  是潮幅(半潮差),  $S_{lw}$  是低潮时海湾面积,  $S_{hw}$  为高潮时海湾面积。将式(2)代入式(1)化简得到:

$$= \left( 1 - \frac{\Delta h}{x} \right)^2 (1 - \lambda) \quad (3)$$

式中,  $\Delta h$  为海湾湾口处潮差, 统一取值为乳山口海洋站最大潮差观测值;  $x$  为低潮时海湾(即潮汐汊道)平均水深;  $\lambda$  为海湾滩涂/滩涂+水面的比值;  $\lambda$  为涨/落潮不对称比率。当  $\gamma > 1$  时, 海湾处于涨潮不对称状态。反之, 当  $\gamma < 1$  时, 海湾处于落潮不对称状态。

## 2 研究结果

### 2.1 海岸地貌空间格局演变

在 20 世纪 80 年代初期以前, 各海湾的地貌空间格局, 总体上以水面为中心, 自水面以外依次为滩涂、海积平原, 水面与滩涂、滩涂与海积平原在空间上彼此相邻(图 2、图 3、图 4、图 5)。而海岸地貌演变的趋势则是, 水面不断转化为滩涂、滩涂则不断转化为海积平原。与此同时, 人类开发使用强度较低, 盐田、水田、养殖池面积均较小且零星分布。从 20 世纪 80 年代初开始, 各海湾地貌空间分布发生了显著变化, 原来在空间上相邻、有密切成生联系的海积平原与滩涂之间, 出现了大面积且连片分布的养殖池(图 2、图 3、图 4、图 5)。

### 2.2 海岸地貌类型转换

**2.2.1 丁字湾** 最近 40 年来的总趋势是滩涂向养殖池、水面向滩涂、水田向养殖池、水田向海积平原转换(表 2)。从 1971—1981 年, 主要为水面向滩涂(10.02km<sup>2</sup>)、滩涂向沼泽(11.37km<sup>2</sup>)、水田向沼泽(13.80km<sup>2</sup>)、水田向海积平原(9.84km<sup>2</sup>)转入; 从 1981 年开始以其它类型向养殖池转入为主, 1981—2000 年滩涂、沼泽、盐田、水田、水面、海积平原向养殖池的转入面积达 90.98km<sup>2</sup>。其中, 滩涂和沼泽向养殖池的转入即分别达 36.53km<sup>2</sup>、27.10km<sup>2</sup>。从 2000 年开始水面、滩涂、沼泽、海积平原及盐田向养殖池的转入显著变缓, 2000—2009 年总转入只有 13.71km<sup>2</sup>。

**2.2.2 乳山湾** 最近 40 年来总趋势是滩涂向养殖

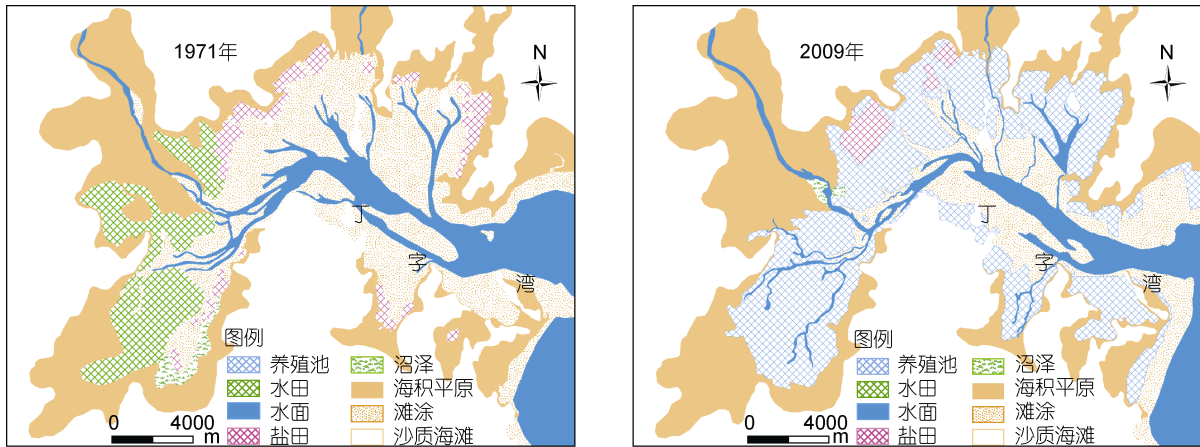


图 2 最近 40 年来丁字湾海岸地貌演变图

Fig.2 Coastal geomorphic evolution of Dingzi Bay in the last 40 years

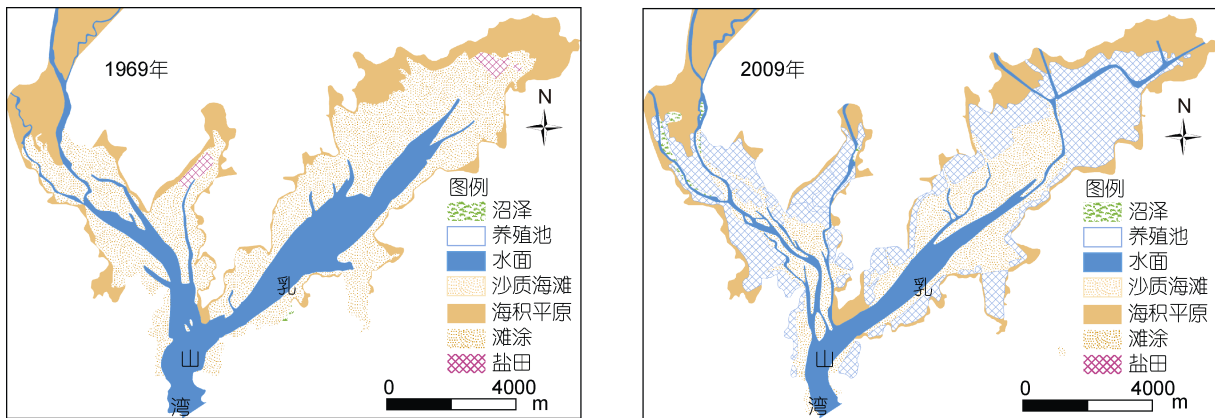


图 3 最近 40 年来乳山湾海岸地貌演变图

Fig.3 Coastal geomorphic evolution of Rushan Bay in the last 40 years

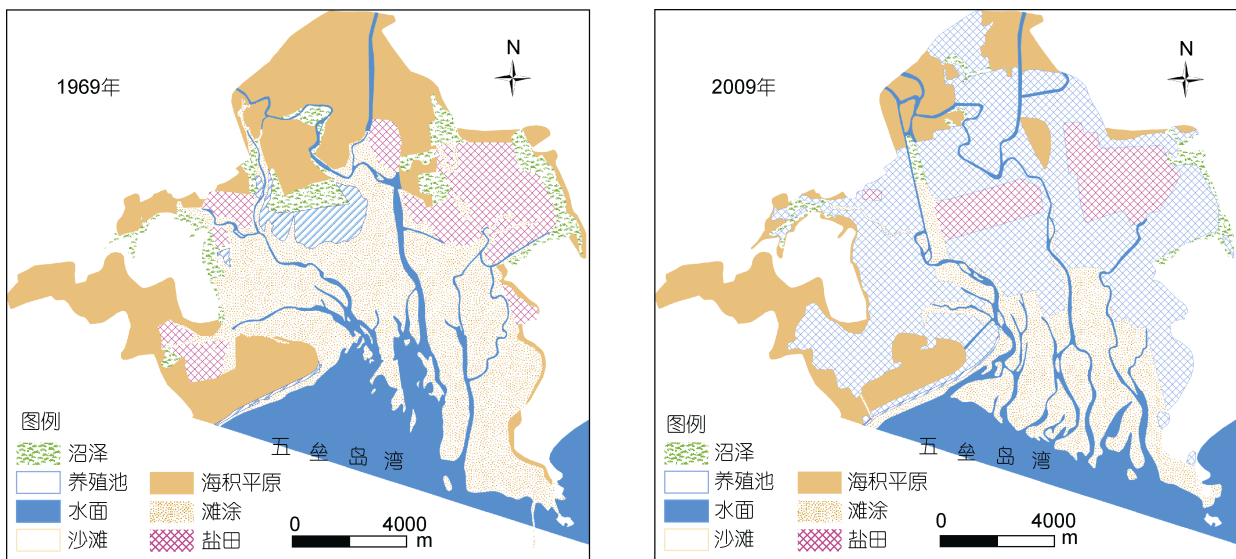


图 4 最近 40 年来五垒岛湾海岸地貌演变图

Fig.4 Coastal geomorphic evolution of Wuleidao Bay in the last 40 years

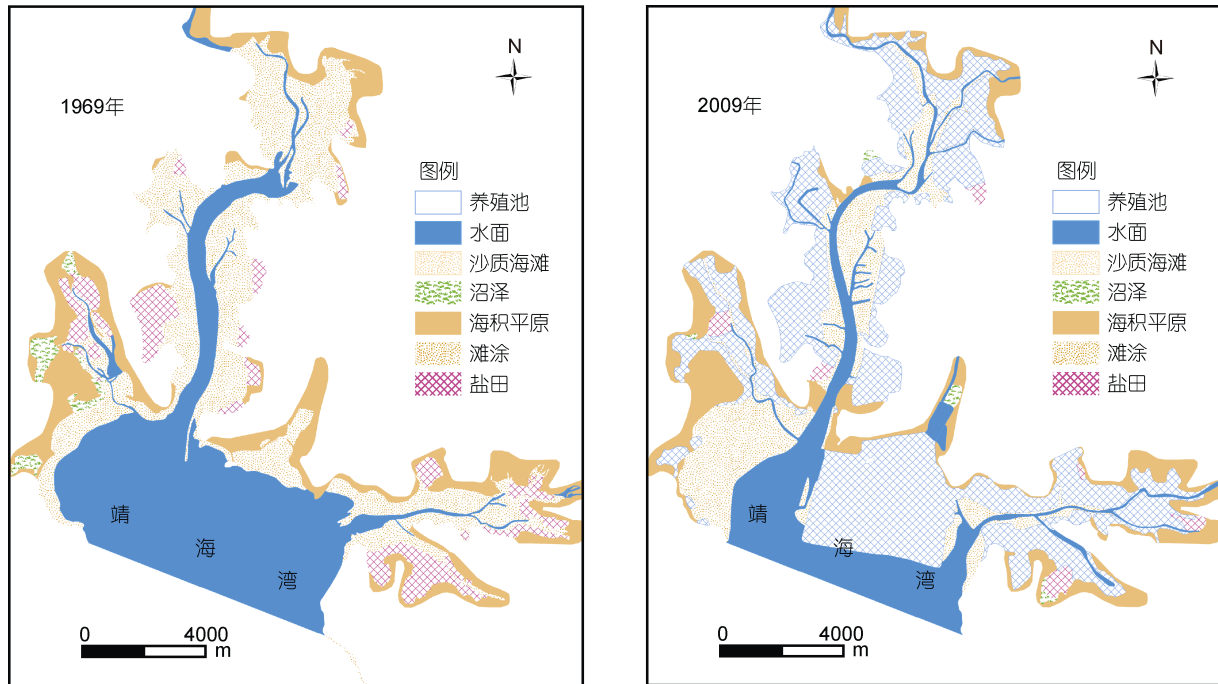


图 5 最近 40 年来靖海湾海岸地貌演变图

Fig.5 Coastal geomorphic evolution of the Jinghai Bay in the last 40 years

表 2 1971—2009 年丁字湾海岸地貌类型面积转移矩阵 (单位: km<sup>2</sup>)

Tab.2 The area transfer matrix of coastal geomorphic types of the Dingzi Bay from 1971 to 2009 (unit: km<sup>2</sup>)

1971 年	2009 年					
	滩涂	盐田	水面	沼泽	养殖池	海积平原
滩涂	35.37	2.43	6.45	0.86	50.91	1.34
盐田	0.02	3.47	0.09	0	9.48	0.32
水面	23.39	0	29.95	0.33	1.72	1.12
沼泽	0	0	0.05	0	2.80	0.28
海积平原	0.55	0.61	0.63	0.51	9.59	110.87
水田	0.07	0.06	0.42	0	20.07	12.50

表 3 1969—2009 年乳山湾海岸地貌类型面积转移矩阵 (单位: km<sup>2</sup>)

Tab.3 The transfer matrix of coastal geomorphic area of Rushan Bay from 1969 to 2009 (unit: km<sup>2</sup>)

1969 年	2009 年				
	养殖池	滩涂	沼泽	水面	海积平原
滩涂	21.42	9.89	0.37	1.75	1.68
盐田	0.95	0	0	0.03	0
沼泽	0.01	0	0	1.75	0.05
水面	1.11	7.76	0.09	7.70	0.47
海积平原	2.12	0.06	0.18	0.72	14.42

池转换(表 3)。从 1969—1982 年, 主要为水面向滩涂 (6.67km<sup>2</sup>)、滩涂向海积平原(3.40km<sup>2</sup>)、滩涂向沼泽

(2.07km<sup>2</sup>)的转入。从 1982 年开始以其它类型向养殖池的转入为主, 1982—2003 年水面、滩涂、沼泽、海积平原及盐田向养殖池转入达 24.66km<sup>2</sup>。其中, 滩涂即有 16.69km<sup>2</sup> 转入养殖池。从 2003 年开始水面、滩涂、沼泽、海积平原及盐田向养殖池转入显著变缓, 2003—2009 年总转入仅 3.62km<sup>2</sup>。

**2.2.3 五垒岛湾** 最近 40 年来总趋势是滩涂向养殖池、海积平原向养殖池、盐田向养殖池转换(表 4)。从 1969—1982 年, 主要为水面向滩涂(16.21km<sup>2</sup>)、海积平原向沼泽(5.41km<sup>2</sup>)、滩涂向沼泽(5.21km<sup>2</sup>)转换, 另有少量滩涂向盐田(5.56km<sup>2</sup>)、养殖池(5.58km<sup>2</sup>)转换。从 1982 年开始主要是其它类型向养殖池转入,

表 4 1969—2009 年五垒岛湾海岸地貌类型面积转移矩阵 (单位: km<sup>2</sup>)

Tab.4 The transfer matrix of coastal geomorphic area of Rushan Bay from 1969 to 2009 (unit: km<sup>2</sup>)

1969 年	2009 年						
	养殖池	滩涂	沙滩	盐田	沼泽	水面	海积平原
滩涂	29.99	20.93	0	1.97	0.14	6.01	0.49
沙滩	1.78	0.48	0.21	2.57	0.05	0.09	0.02
盐田	11.84	0.05	0	6.48	0	0.04	0.96
沼泽	6.05	0.44	0	2.25	1.30	0.16	1.28
水面	1.96	11.80	0.05	0.03	0.01	23.13	0.18
海积平原	21.44	0.53	0.01	0.76	2.27	0.76	26.28

1982—2003 年计有 64.99km<sup>2</sup> 滩涂、沼泽、海积平原和盐田向养殖池转变。其中, 滩涂即有 16.51km<sup>2</sup> 转入养殖池。从 2003 年开始水面、滩涂、沼泽、海积平原及盐田向养殖池转入显著变缓, 2003—2009 年转入仅 7.52km<sup>2</sup>。

**2.2.4 靖海湾** 最近 40 年来总趋势是水面向养殖池、水面向滩涂、滩涂向养殖池转换(表 5)。从 1969—1982 年, 主要为水面向滩涂(7.54km<sup>2</sup>)、滩涂向海积平原(5.76km<sup>2</sup>)、滩涂向盐田(3.68km<sup>2</sup>)转换。从 1982—2003 年计有 51.66km<sup>2</sup> 的滩涂、水面、沼泽和海积平原转化为养殖池。其中, 滩涂即有 16.70km<sup>2</sup> 转入养殖池。从 2003 年开始水面、滩涂、沼泽、海积平原及盐田向养殖池转入显著变缓, 2003—2009 年总转入面积仅 8.20km<sup>2</sup>。

表 5 1969—2009 年靖海湾海岸地貌类型面积转移矩阵  
(单位: km<sup>2</sup>)

Tab.5 The transfer matrix of coastal geomorphic area of Jinghai Bay from 1969 to 2009 (unit: km<sup>2</sup>)

1969 年	2009 年					
	养殖池	滩涂	盐田	沼泽	水面	海积平原
滩涂	25.99	11.47	0.51	0	2.40	2.05
盐田	8.02	0.18	1.42	0.12	0.25	1.27
沼泽	1.07	0.13	0	0.03	0	1.27
水面	14.29	11.84	0.07	0	18.97	0.62
海积平原	6.69	0.20	0.27	0.47	0.88	14.92

## 2.3 海湾边界条件演化

**2.3.1 水面/滩涂/海积平原比值( $\beta$ )** 自从全新世中期形成以来, 这些海湾一直处于不断被泥沙充填、淤塞的过程, 其地貌演化的趋势是水面转为滩涂、滩涂转为平原, 因而在人类开发之前的水面/滩涂/海积平原比值反映海湾地貌演变状态。在 1969 年时, 丁字湾、乳山湾、五垒岛湾、靖海湾的滩涂加海积平原与水面面积比分别是 3.97、3.07、3.32、1.48(表 6)。其中, 除靖海湾水面面积略大于滩涂、滩涂并明显大于海积平原外, 其余三海湾水面面积均小于滩涂、海

积平原, 但丁字湾海积平原面积大于滩涂, 而乳山湾和五垒岛湾的海积平原面积尚小于滩涂(表 6)。这反映在 20 世纪 60 年代末、70 年代初, 四海湾所处地貌演化阶段各不相同, 依据泥沙充填程度由高到低依次是丁字湾、五垒岛湾、乳山湾、靖海湾。

到 1982 年时, 四海湾周边的海积平原面积总体有显著增加趋势, 而水面和滩涂面积则有减少趋势(图 2, 图 3, 图 4, 图 5)。与此同时, 滩涂加海积平原与水面面积的比例由 1969 年的 3.97、3.07、3.32、1.48, 分别增加到 1982 年的 4.62、5.42、5.64、1.81(表 6)。这表明到 20 世纪 70 年代末、80 年代初, 各海湾仍处于自然的淤积充填状态, 其泥沙充填程度依次仍为丁字湾、五垒岛湾、乳山湾、靖海湾。20 世纪 70 年代末、80 年代初开始进行大面积围垦滩涂、修建养殖池后, 连片的养殖池隔断了滩涂与海积平原之间的原有动力地貌联系, 因而 2003、2009 年的水面/滩涂/海积平原比值已不能反映地貌演变的自然趋势。

**2.3.2 滩涂/(滩涂+水面)比值( $\lambda$ )** 最近 40 年来各海湾的滩涂/滩涂+水面比值( $\lambda$ )有显著变化。从 1969—1982 年, 由于海湾自然淤积, 滩涂面积扩大, 导致各海湾的比值均为增加趋势; 从 1982—2003 年, 由于养殖池大面积修建, 滩涂面积迅速减少, 除了靖海湾仍略有增加外, 其余各海湾比值均呈减少趋势, 其中以乳山湾和五垒岛湾为显著; 从 2003—2009 年, 除了五垒岛湾外的各海湾比值均为减少趋势, 其中丁字湾减少趋势最为显著。但是, 除靖海湾略高以外, 其余海湾 2009 年比值均低于 1969 年(表 7)。总体上, 最近 40 年来四海湾的滩涂/(滩涂+水面)面积比值( $\lambda$ ), 均经历了先显著增加、然后持续减少的变化过程。

## 2.4 地貌冲淤动态变化

**2.4.1 滩涂与水面的转化速率变化** 从 1969—1982 年, 由于处于海湾形成后持续至今的泥沙充填阶段, 各海湾均为水面向滩涂的净转入, 水面发生显著净减少, 表明海湾处于地貌淤积状态(表 8)。从 1982—2003 年, 丁字湾、乳山湾、靖海湾为水面向滩

表 6 四海湾水面/滩涂/海积平原比值( $\beta$ )变化表

Tab.6 The change of  $\beta$  value (proportion of water/tidal flat/marine accumulation plain) in the four bays

海湾	1969 年	1982 年	2003 年	2009 年
丁字湾	1.00/1.79/2.18	1.00/2.20/2.42	1.00/1.64/3.37	1.00/1.30/3.02
乳山湾	1.00/2.05/1.02	1.00/3.52/1.90	1.00/1.99/1.46	1.00/1.80/1.63
五垒岛湾	1.00/1.92/1.40	1.00/3.39/2.25	1.00/1.18/0.96	1.00/1.26/0.97
靖海湾	1.00/0.97/0.51	1.00/1.06/0.75	1.00/1.16/0.80	1.00/1.09/0.87

注: 丁字湾为 1971 年, 丁字湾为 1981 年, 丁字湾为 2000 年

表 7 四海湾滩涂/滩涂+水面比值( $\lambda$ )变化表Tab.7 The change of  $\lambda$  value (proportion of tidal flat/tidal flat plus water) in the four bays

海湾	1969 年	1982 年	2003 年	2009 年
丁字湾	0.64	0.69	0.64	0.57
乳山湾	0.67	0.78	0.67	0.64
五垒岛湾	0.67	0.77	0.55	0.56
靖海湾	0.49	0.52	0.54	0.52

注: 丁字湾为 1971 年, 丁字湾为 1981 年, 丁字湾为 2000 年

净转入即处于地貌淤积状态, 但是转化速率发生了显著改变(表 8)。其中, 丁字湾转入速率显著增加, 而乳山湾、靖海湾则显著减少; 五垒岛湾的净转换方

向发生了变化, 由此前的滩涂向水面的净转入转为水面向滩涂的净转入, 也即由地貌侵蚀状态转变为地貌淤积状态。从 2003—2009 年, 丁字湾、靖海湾在前期水面向滩涂净转换速率减少的基础上, 转为由滩涂向水面净转入, 即由地貌淤积转为侵蚀; 五垒岛湾转为水面向滩涂净转入, 乳山湾则保持水面向滩涂净转入; 各海湾转换速率均大大小于此前各个时期。总体上看, 从 1982—2009 年, 与此前的 1969—1982 年相比, 丁字湾仍为水面向滩涂净转入, 但是转换速率略有增加; 乳山湾、靖海湾仍为水面向滩涂净转入, 但是转换速率显著减少; 五垒岛湾则演变为滩涂向水面净转入即地貌侵蚀状态。

表 8 四海湾水面与滩涂转化面积与速率变化表

Tab.8 The change of conversion area and rate between water and tidal flat in the four bays

海湾	1969—1982		1982—2003 年		2003—2009 年		1982—2009 年	
	转换量(km <sup>2</sup> )	速率(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /a)	转换量(km <sup>2</sup> )	速率(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /a)	转换量(km <sup>2</sup> )	速率(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /a)	转换量(km <sup>2</sup> )	速率(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /a)
丁字湾	+3.3	+33.00	+13.94	+73.37	-1.13	-12.56	+11.46	+40.93
乳山湾	+6.06	+46.62	+5.54	+26.38	+0.16	+2.67	+0.84	+3.12
五垒岛湾	+12.17	+93.62	-6.48	-30.86	+0.48	+8.00	-6.27	-23.21
靖海湾	+4.96	+38.15	+5.74	+27.33	-0.22	-3.67	+4.83	+17.90

注: 丁字湾为 1971—1981 年, 丁字湾为 1981—2000 年, 丁字湾为 2000—2009 年, +表示水面向滩涂净转入, -表示滩涂向水面净转入。全表同

**2.4.2 潮汐汉道的平均水深变化** 根据计算结果, 丁字湾(1971 年)、乳山湾(1969 年)、五垒岛湾(1969 年)、靖海湾(1969 年)低潮时平均水深也即潮汐汉道平均水深( $x$ )分别为 4.62、1.83、1.01、1.28m, 而丁字湾(1981 年)、乳山湾(1978 年)、五垒岛湾(1982 年)、靖海湾(1982 年)低潮时平均水深( $x$ )分别为 3.13、3.52、2.41、1.52m(表 9)。进一步的计算结果显示, 从 1969—1982 年, 丁字湾潮汐汉道水深以 14.9cm/a 的速率减小, 而乳山湾、五垒岛湾和靖海湾水深分别以 13.0、10.8 和 1.85cm/a 的速率增加。因此, 丁字湾潮汐汉道从 1971—1981 年处于显著的淤积状态, 乳山湾和五垒岛湾潮汐汉道处于显著的侵蚀状态, 而靖海湾潮汐汉道近乎处于冲淤平衡状态。对比表 8、表 9 可发现, 从 1969—1982 年, 不同海湾滩—槽转化趋势与潮汐汉道冲淤变化并不同步。

## 2.5 涨/落潮不对称状态

根据相关海洋测站的实地观测资料, 丁字湾、乳山湾、五垒岛湾、靖海湾湾口的最大潮差( $\Delta h$ )分别为 3.80m、4.31m、3.94m、3.94m(王文海, 1993)。将  $\Delta h$  和表 7 中  $\lambda$ 、表 9 中  $x$  的数值代入式(3), 得到 1969 年时丁字湾、乳山湾、五垒岛湾、靖海湾的涨/落潮不

对称比率( $\gamma$ )分别为 1.20、3.71、7.93、8.48, 而到 1982 年时丁字湾、乳山湾、五垒岛湾、靖海湾的涨/落潮不对称比率( $\gamma$ )依次变化为 1.52、1.09、1.60、6.19(表 10)。按照 Dronkers(1986, 1998, 2005)的划分标准, 在 1971—1981 年, 丁字湾涨/落潮不对称比率均大于 1 并显著增加, 表明海湾不仅处于涨潮不对称状态并且不对称程度增高(表 10)。根据 1971 年 7 月 9—24 日的观测数据, 平均涨潮历时(5h57min)明显短于落潮历时(6h 31min)(王文海, 1993), 也显示丁字湾处于显著的涨潮不对称状态。乳山湾、五垒岛湾、靖海湾 1969—1982 年的涨/落潮不对称比率均大于 1 并显著减小, 表明海湾处于涨潮不对称状态, 但不

表 9 四海湾不同时期低潮平均水深和冲淤变化表

Tab.9 The changes in mean low depth and erosion/deposition rate in the four bays of different periods

时间	低潮平均水深(m)			
	丁字湾	乳山湾	五垒岛湾	靖海湾
1969 年	4.62	1.83	1.01	1.28
1982 年	3.13	3.52	2.41	1.52
速率(cm/a)	-14.9	+13.0	+10.8	+1.85

注: 丁字湾为 1971 年, 丁字湾为 1981 年, +表示水深减小, -表示水深增加

表 10 四海湾涨/落潮不对称比率( $\gamma$ )变化表  
Tab.10 The change in  $\gamma$  value (flood/ebb asymmetry ratio) in the four bays

时间	丁字湾	乳山湾	五垒岛湾	靖海湾
1969 年	1.20	3.71	7.93	8.48
1982 年	1.52	1.09	1.60	6.19

注: 丁字湾为 1971 年, 丁字湾为 1981 年

称程度在降低。因此, 在 20 世纪 70 年代也即大面积养殖池修建以前, 各海湾均处于涨潮不对称状态。其中, 丁字湾涨潮不对称比率处于显著增加过程, 而乳山湾、五垒岛湾、靖海湾处于显著的减少过程。

### 3 讨论与结论

如上所述, 在 1971—1981 年, 丁字湾涨/落潮不对称比率均大于 1 并显著增加, 海湾不仅处于涨潮不对称状态并且不对称程度增高。与此相对应, 丁字湾潮汐河道处于淤积变浅状态, 而滩—槽转换为水面向滩涂净转换, 表明海湾滩、槽均处于地貌淤积状态(表 8、表 9)。乳山湾、五垒岛湾、靖海湾 1969—1982 年的涨/落潮不对称比率均大于 1 并显著减小, 海湾处于涨潮不对称状态, 但不称程度在降低。与此对应, 这三个海湾的潮汐河道处于侵蚀下切状态, 而滩—槽转换仍为水面向滩涂净转换, 表明海湾地貌演变处于由淤积向侵蚀的转变时期(表 8、表 9)。其中, 乳山湾的涨/落潮不对称比率已经非常接近 1, 而据 1966 年 1 月—1970 年 12 月观测数据, 乳山湾平均涨潮历时(6h 04min)接近平均落潮历时(6h 21min)(王文海, 1993)。因此, 若无人类干扰, 这三个海湾的地貌冲淤状态将由淤积向侵蚀转变。

但是, 从 20 世纪 70 年代末、80 年代初开始的大面积围垦滩涂、修建养殖池, 深刻影响了这种自然的地貌演化趋势(表 8)。其中, 丁字湾在经历一个高淤积率阶段(1981—2000 年)后转入侵蚀状态; 乳山湾虽未直接转入侵蚀状态, 但淤积速率从 1982 年后持续急剧减少; 五垒岛湾在 1982—2003 年一度转入侵蚀后又于近期转为淤积, 但从 1982—2009 年总体仍为侵蚀; 靖海湾在 1982—2003 年淤积速率显著减少后又于近期转入侵蚀状态。这说明人类活动深刻改变了各海湾原有的地貌演化趋势, 使丁字湾由不断增强的涨潮不对称向落潮不对称状态突然逆转, 使五垒岛湾、靖海湾由涨潮不对称向落潮不对称状态的转化提前发生, 而乳山湾虽然淤积速率显著变小但地貌侵蚀状态未出现(表 8)。

从最近 30 年的地貌冲淤动态变化看, 人类大规模的滩涂围垦和养殖池修建活动, 导致各海湾的潮汐河道淤积速率减缓, 甚至出现地貌侵蚀现象, 似乎是有利于潮汐河道的维持。但是, 对其地貌冲淤状态演化趋势需要进一步观测、研究, 以避免出现类似于距离本区不远的月湖口门建坝导致泻湖地貌冲淤状态和泻湖生态系统恶化的情况(高抒, 1998, 2002)。此外, 由于 3S 技术无法解决最近 30 年来各海湾地貌演变的动力机制问题, 作者已应用数值模拟方法对海湾边界条件变化的动力效应进行了研究, 相关结果将另文发表。

综上所述, 按照人类活动影响以前的自然地貌演化趋势, 在 20 世纪 80 年代初以前, 丁字湾处于涨潮不对称状态并且不对称程度增高, 乳山湾、五垒岛湾和靖海湾也处于涨潮不对称状态但不称程度在降低。其中, 乳山湾的涨/落潮不对称比率已经非常接近向落潮不对称状态转变的临界值。但是, 随后的大面积滩涂养殖池修建改变了海湾地貌结构和边界条件, 并进而深刻影响了原有的海湾地貌过程, 使丁字湾由不断增强的涨潮不对称向落潮不对称状态逆转, 使五垒岛湾、靖海湾由涨潮不对称向落潮不对称状态的转化提前, 使乳山湾由涨潮不对称向落潮不对称状态的转化延缓。

### 参 考 文 献

- 王文海, 1993. 中国海湾志(第四册). 北京: 海洋出版社, 8—105
- 高 抒, 1998. 论海岸带受损环境的恢复和整治: 以山东半岛月湖为例. 世界科技研究与发展, 20(4): 123—126
- 高 抒, 2002. 潮汐开发中的水环境问题. 水资源保护, 3: 18—21
- Aubrey D G, Speer P E, 1985. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet-estuarine systems. Part 1: Observations. *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 21: 185—205
- Brojo Gopal Paul, Christian Reinhard Vogl, 2011. Impacts of shrimp farming in Bangladesh: Challenges and alternatives. *Ocean & Coastal Management*, 54(3): 201—211
- Brown J M, Davies A G, 2010. Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport. *Geomorphology*, 114(3): 431—439
- César Alejandro Berlanga-Robles, Arturo Ruiz-Luna, Gerardo Bocco *et al*, 2011. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 54(7): 535—543
- Carlos Augusto Ramos e Silva, Pablo Bezerra Dávalos, Leonel da Silveira Lobo Sternberg *et al*, 2010. The influence of shrimp



- farms organic waste management on chemical water quality. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 90(1): 55—60
- D'Alpaos A, Lanzoni S, Marani M *et al*, 2007. Spontaneous tidal network formation within a constructed salt marsh: Observations and morphodynamic modeling. *Geomorphology*, 91(3—4): 186—197
- Dronkers J J, 1986. Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Journal of Sea Research*, 20(2/3): 117—131
- Dronkers J J, 2005. Dynamics of Coastal Systems. In: *Advanced Series on Ocean Engineering*, 25. World Scientific, 519
- Dronkers J, 1998. Morphodynamics of the Dutch Delta. In: Dronkers J, Scheffers M B A M ed. *Physics of Estuaries and Coastal Seas*. Balkema, Rotterdam, 297—304
- Joohyung R, Changhwan K, Yoonkyung L *et al*, 2008. Detecting the intertidal morphologic change using satellite data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(4): 623—632
- Joohyung R, Joongsun W, Kyungduck M, 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, 83(3): 442—456
- Mônica Cavalcanti Sá De Abreu, Paloma De Mattos, Pedro Elder Silva Lima *et al*, 2011. Shrimp Farming in Coastal Brazil: Reasons for Market Failure and Sustainability Challenges. *Ocean & Coastal Management*, 54(9): 658—667
- Mohammad Shahidul Hasan Swapam, Michael Gavin, 2011. A desert in the delta: Participatory assessment of changing livelihoods induced by commercial shrimp farming in Southwest Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 54(1): 45—54
- Pethick J S, 1994. *Estuaries and wetlands: function and form*. Wetland Management. Thomas Telford, London, 75—87
- Pham Thi Anh, Carolien Kroeze, Simon R Bush *et al*, 2010. Water pollution by intensive brackish shrimp farming in southeast Vietnam: Causes and options for control. *Agricultural Water Management*, 97(6): 872—882
- Prandle D, 2003. Relationships between tidal dynamics and bathymetry in strongly convergent estuaries. *Journal of Physical Oceanography*, 33(12): 2738—2750
- Roberts W, Dearnaley M P, Baugh J V *et al*, 1998. The Sediment Regime of the Stour and Orwell Estuaries. In: Dronkers J, Scheffers M B A M ed. *Physics of Estuaries and Coastal Seas*. Balkema, Rotterdam, 93—102
- Soulsby R L, 1997. *Dynamics of Marine Sands: A Manual for Practical Applications*. Telford, London, 249
- Speer P E, Aubrey D G, 1985. A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems, Part : Theory. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21: 207—224
- Stokstad E, 2010. Down on shrimp farm. *Science*, 328: 1504—1505
- Townend I, 2005. An examination of empirical stability relationships for UK estuaries. *Journal of Coastal Research*, 21: 1042—1053

## THE RESPONSE OF GEOMORPHIC PROCESS TO AQUACULTURE ON TIDAL FLAT IN TYPICAL TIDAL INLET BAYS ALONG THE SOUTHERN JIAODONG PENINSULA

ZHAN Chao<sup>1</sup>, WANG Qing<sup>1</sup>, XIA Yan-Ling<sup>1</sup>, WANG Yan-Fei<sup>1</sup>,  
LIU Ya-Long<sup>2</sup>, ZHANG Ming-Ming<sup>1</sup>

(1. *Coast Institute, Ludong University, Yantai, 264025*; 2. *College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, 266100*)

**Abstract** Based on flood/ebb asymmetry theory and 3S technologies, the morphodynamic evolution during the last 40 years and the impact of mass coastal ponds construction on geomorphic process during the last 30 years of four typical tidal inlet bays in southern Jiaodong Peninsula were studied. Results show that the coastal geomorphic types and the area, distribution, conversion, structure, and erosion/deposition in four bays have significantly changed in the last 30 years. From late 1960s to early 1980s, when large areas of coastal ponds had not been reclaimed, the Dingzi Bay was in flood asymmetry state with its asymmetry ratio increasing, while the Rushan Bay, the Wuleidao Bay, and the Jinghai Bay were also in this state, but their asymmetry ratios were decreasing. However, large-scale coastal pond construction in the last 30 years had caused the Dingzi Bay sudden reverse in ebb asymmetry from rising flood asymmetry state, speeded up the transformation from flood to ebb asymmetry in the Wuleidao Bay and the Jinghai Bay, and delayed the transformation from ebb to flood asymmetry in the Rushan Bay.

**Key words** flood/ebb asymmetry; tidal asymmetry ratio; tidal inlet bay; aquaculture on tidal flat; Jiaodong Peninsula