

# Study on Tidal Asymmetry in Haizhou Bay

Xueqing Zhang, Wenqing Li, Yang Zhao, Qingzhen Li, Jinzhen Yu

Key Laboratory of Marine Environment and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao Shandong

Email: zxq@ouc.edu.cn

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2017; accepted: Mar. 26<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Tidal current and water level are distorted from their sinusoidal forms during propagation into coastal waters and entry into bays, which gives rise to tidal asymmetry. On the base of continuous observation data for 18 days, the characters of the tidal asymmetry are analyzed. The results show that the duration of falling tide is longer than the rising tide, which means that the flood flow is dominated. The study results can provide reference for the sediment transport and the pollutant transport in Haizhou bay.

## Keywords

Tidal Distortion, Tidal Asymmetry, Haizhou Bay

---

# 海州湾及毗邻海域潮不对称性研究

张学庆, 李文庆, 赵 杨, 李庆臻, 于金珍

中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 山东 青岛

Email: zxq@ouc.edu.cn

收稿日期: 2017年3月11日; 录用日期: 2017年3月26日; 发布日期: 2017年3月29日

---

## 摘 要

外海潮波传播到近海河口海湾过程中, 由于地形作用而发生变形, 表现为潮汐潮流涨落潮的不对称。本文利用海州湾附近18天连续高频观测资料, 分析了潮汐和潮流的不对称性, 潮波向海州湾传播过程中, 潮波变形较小, 潮流变形较大, 4个站位均为涨潮占优, 本研究可为海州湾的泥沙输运、污染物迁移等研究提供参考。

## 关键词

潮波变形, 潮不对称, 海州湾

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

潮波在传入海湾和河口过程中, 由于水深变浅以及海底摩擦等因素的影响, 波速  $c = \sqrt{gd}$  会逐渐变小, 波谷比波峰传播慢, 初始对称的潮汐或潮流发生变形[1]。除了海底摩擦, 海湾和河口的几何形状, 物理过程等因素, 以及天文分潮和浅水分潮的相互作用也会导致潮波变形[2]。潮波变形的主要特点表现为潮汐涨落潮不对称性。比如在一些河口和海湾, 潮波表现为涨潮历时短, 流速较大, 落潮历时长而流速较小, 即涨潮流占优, 而另一些河口和海湾可能表现为落潮流占优[1] [3]。潮的不对称性对于泥沙运动、地形地貌演变、水体交换以及近海污染物的迁移都有重要的影响[4]。在涨潮流大于落潮流的河口, 泥沙向上游净输运, 这往往会造成河口和海湾内的泥沙淤积。而在落潮流较强的河口, 地形地貌上更为稳定, 同时有利于污染物向湾外迁移, 有利于海湾的自净。

近十多年来, 潮不对称现象的研究越来越引起国内外学者的重视, 近岸海湾和河口内潮波变形的物理机制和控制因子问题一直是海洋动力学探讨的问题之一, 在理论、方法及应用的研究上都取得了重要的进展[3] [4] [5] [6]。在正规半日潮海域, 通过计算  $M_2$  分潮和  $M_4$  分潮的振幅比及二者的位相差分析潮的不对称性[7]。在正规全日潮或混合潮型的海域, 可通过分析各分潮振幅和位相的关系分析潮的不对称性[1]。在某些海域, 潮不对称影响因素复杂, 需要用调和常数的方法多次重复分析并比较生成的倍潮。本文通过直接统计方法, 通过计算潮汐、潮流时间序列的偏度分析潮不对称性[9]。

以海州湾为研究区域, 海州湾位于南黄海西部, 为开敞海湾, 东以岚山头与连云港外的东西连岛的连线为界与黄海相通, 海底自西向东缓倾, 湾口水深, 海湾顶部有 1~6 km 宽的潮间带滩涂。湾内生物资源丰富, 为中国八大渔场之一, 是中国首批国家级海洋公园。本文基于 2014 年 6 月 16 日~7 月 7 日在海州湾的连续观测数据, 分析外海的潮波向海州湾传播过程中的潮变形和不对称现象。

## 2. 潮不对称性计算方法

在正规半日潮海域,  $M_2$  是主要分潮, 在其传播过程中, 产生的  $M_4$ 、 $M_6$  等倍潮叠加在  $M_2$  分潮上, 由于位相的差异导致原  $M_2$  分潮发生变形。Friedrichs 和 Aubrey 提出通过计算  $M_2$  分潮和  $M_4$  分潮的振幅比以及二者的位相差分析潮的不对称性[7]。

$$A = \frac{H_{M_4}}{H_{M_2}}, \quad G = 2g_{M_2} - g_{M_4} \quad (1)$$

$A$ ,  $G$  为潮变形系数,  $A$  为  $M_4$  分潮与  $M_2$  分潮的振幅比,  $G$  为位相差,  $g_{M_2}$ 、 $g_{M_4}$  分别为  $M_2$  分潮与  $M_4$  分潮的迟角。当  $0^\circ < G < 180^\circ$  涨潮占优,  $180^\circ < G < 360^\circ$  落潮占优。振幅比  $A$  越大潮汐不对称性越强。该方法主要应用在半日潮为主的区域, 例如象山港[3], 长江口[8]等海域。

计算潮不对称性的另外一种重要方法是直接统计数据的偏度[9]。本文采用 Elgar 和 Guza 的方法统计波的偏度  $S_x$  和不对称性的统计量  $A_x$  [10]:

$$S_x = \frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x(t) - \bar{x})^3}{\left( \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x(t) - \bar{x})^2 \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

$$A_x = S_{\text{imag}(H(x))} \quad (3)$$

其中： $x(t)$  为时间序列值， $\bar{x}$  为  $x(t)$  的平均值， $H(x)$  为  $x(t)$  的 Hilbert 变换。不对称度  $A_x$  就是对时间序列  $x(t)$  进行 Hilbert 变换，然后求其虚部的偏度。不对称度  $A_x$  代表了时间序列在一个周期中涨落潮历时关系， $A_x > 0$  表示涨潮历时大于落潮历时，即落潮占优； $A_x < 0$  表示涨潮历时小于落潮历时，涨潮占优。

### 3. 数据与分析

#### 3.1. 资料来源

潮汐和潮流数据采用中国海洋大学 2014 年 6 月 16 日~7 月 7 日在海州湾的连续 20 天的水文调查数据。选取数据良好的中间 18 天的数据进行分析。本次调查的水位和流速分别采用水位计和安德拉海流计进行测量，仪器布放采用浮标系统的“U”型方式布设，每个站位由一艘船只监守，仪器记录间隔为 5 分钟，是近海少有的中长期海流观测记录。本文选取海湾中间垂直于海岸的一条断面调查数据进行分析。S<sub>1</sub> 站位于海州湾中部，在 5 m 等深线附近，S<sub>2</sub>~S<sub>4</sub> 位于海州湾以东海域，调查站位及水深等值线见图 1。

以第一天观测数据为例，流速和水位的过程曲线如图 2，流速和水位每天两涨两落，为半日潮性质，流速和水位的位相差自 S<sub>4</sub> 至 S<sub>1</sub> 逐渐增大，S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub> 涨落潮流速最大值发生在潮位高潮和低潮之间，分析结果表明研究区域潮波兼具驻波和行进波的特征，潮汐和潮流的性质需要通过潮汐、潮流的调和分析获得。从水位和流速的过程曲线上直观分析可知，流速的不对称性高于水位的不对称性，湾内的水位和潮流的不对称性高于湾外的水位和潮流的不对称性。

#### 3.2. 调和分析

潮汐潮流的调和分析是以平衡潮理论为基础，将实测潮位和潮流视为各分潮的总和，利用最小二乘法使实测潮位或潮流与调和潮位或潮流的误差值最小，求得分潮的振幅和迟角，即分潮的调和常数。本文采用 Foreman 的调和分析工具包 [11] 对水位和潮流进行调和分析。潮汐性质根据潮汐类型系数  $F = (H_{O1} + H_{K1}) / H_{M2}$  的大小判别， $F < 0.5$  为半日潮， $0.5 < F < 4$  为混合类型， $F > 4$  为全日潮。

根据调和分析结果 S<sub>1</sub>~S<sub>4</sub> 号站 M<sub>2</sub> 分潮的振幅最大，潮汐的类型系数均小于 0.5，为正规半日潮，潮汐类型系数是近岸小，离岸大，潮流类型的判别方法和潮汐类型一致，研究海域潮流为正规半日潮流，但潮流类型系数在近岸偏大。

### 4. 潮汐潮流不对称性分析

根据正规半日潮海域的潮不对称性的计算公式(1)，M<sub>2</sub> 分潮和 M<sub>4</sub> 分潮潮汐的位相差在 0°~180° 之间(见表 1)，研究海域潮波是涨潮占优，潮波变形系数在 0.02~0.07 之间，潮波自外海向湾内传播，变形逐渐增大。对于潮流，涨潮流流向湾内，落潮流流向湾外，涨潮流和落潮流的历时关系是流速曲线关于水平轴的对称关系，而水位的涨落潮的历时关系是水位过程曲线关于垂向轴的对称关系。利用统计方法的式(2)可更方便地计算潮汐和潮流的不对称性。

根据公式(2)，统计数据个数对结果有影响，像调和分析一样，越长的资料长度，分析得到的结果越能代表该区域的潮汐和潮流特征。为此，本文仅给出利用监测期间 18 天的数据分析潮汐和潮流的不对称性(见表 2)。分析结果表明，潮汐的不对称度系数均为负值，研究海域为涨潮占优，结果

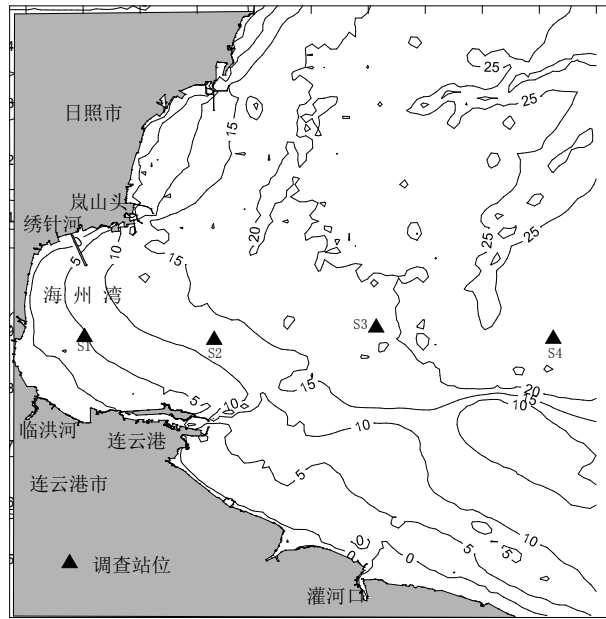


Figure 1. The study area and the locations of the observed stations  
图 1. 研究区域及调查站位图

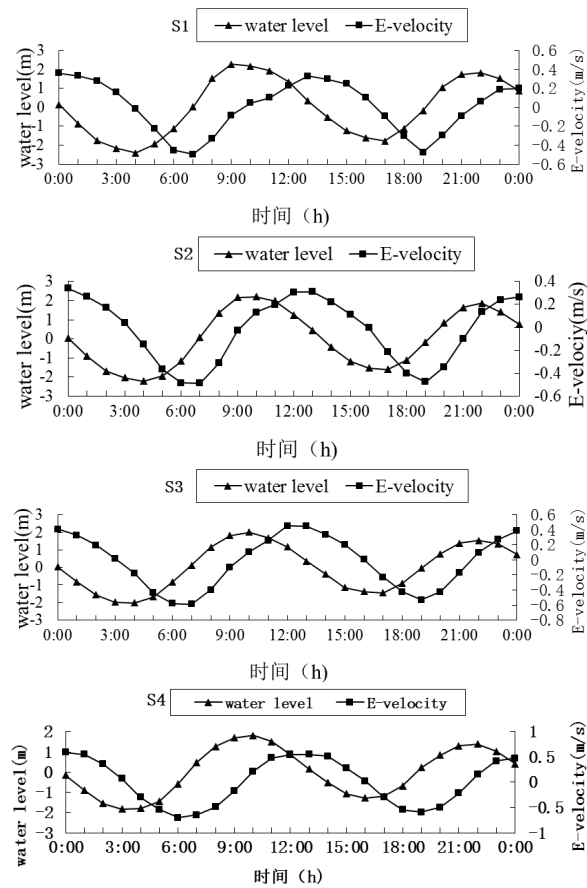


Figure 2. The time series of the tidal current and water level at the survey stations  
图 2. 调查站位的流速、水位过程曲线

**Table 1.** The tidal character at the survey stations  
**表 1.** 4 个站点的潮汐性质

Station	$(H_{O1} + H_{K1})/H_{M2}$	$H_{M4}/H_{M2}$	$2\varphi_{M2} - \varphi_{M4}$
S <sub>1</sub>	0.37	0.07	81°
S <sub>2</sub>	0.38	0.04	75°
S <sub>3</sub>	0.42	0.04	97°
S <sub>4</sub>	0.46	0.02	88°

**Table 2.** Asymmetry of the tide and tidal current at the survey stations  
**表 2.** 4 个站点潮汐和潮流的不对称性

	S1	S2	S3	S4
水位不对称性	-0.24	-0.19	-0.16	-0.14
潮流不对称性	-0.40	-0.33	-0.22	-0.15

与利用调和常数方法得到的结果一致。潮流的不对称度也为负值，本文以流速东分量为例进行的分析，西向为负，因此，潮流也是涨潮流占优。由潮汐和潮流的不对称度可知，潮流的不对称度大于潮汐的不对称度，说明近海海底摩擦，岸线形状等对海流的影响要大于对潮汐的作用。

### 5. 结语

利用海州湾外海断面 18 天连续观测的潮汐和潮流数据，通过调和与分析得到了主要分潮的调和常数，研究海域为正规半日潮汐和正规半日潮流。利用  $M_4$  分潮和  $M_2$  分潮的振幅比和位相差计算方法得到，潮波向海湾传播过程中，受水深地形的影响，潮波逐渐发生变形，落潮历时大于涨潮历时，即涨潮占优，潮波变形系数 0.02~0.07，利用统计方法统计实测数据的偏度，结果表明，潮汐为涨潮占优，不对称度 -0.14~-0.24，潮流也为涨潮占优，不对称度 -0.15~-0.40，直接统计方法考虑了所有引起变形的因素，因此，该方法研究潮变形更灵活方便，特别在混合潮海区或变形影响因素复杂的海域，该方法是研究潮汐动力过程的重要的工具，可为海州湾的泥沙输运过程和物质输运提供参考。例如，来自海湾南部灌河口附近的泥沙绕过东西连岛向湾内输运过程中，在海州湾口由于涨潮占优，泥沙输运至湾内，在湾顶部沉积下来；另外，来自临洪河、龙王河、兴庄河、绣针河等河流的泥沙，向外海输运过程中，至海湾中部由于东北-西南方向的涨潮流大于落潮流的作用，泥沙向海湾的西南方向沉积，这种泥沙输运趋势与海湾西南岸边的大范围的潮滩是相对应的。

### 基金项目

江苏省科技基础设施建设计划(BM2012059)。

### 参考文献 (References)

- [1] Hosseini, S.T., Chegini, V., Sadrinasab, M., Siadatmousavi, S.M. and Yari, S. (2016) Tidal Asymmetry in a Tidal Creek with Mixed Mainly Semidiurnal Tide, Bushehr Port, Persian Gulf. *Ocean Science Journal*, **51**, 195-208. <https://doi.org/10.1007/s12601-016-0017-9>
- [2] Kang, J.W. and Jun, K.S. (2003) Flood and Ebb Dominance in Estuaries in Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **56**, 187-196. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00156-7](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00156-7)
- [3] 董礼先, 苏纪兰. 象山港潮波响应和变形研究: 观测和分析[J]. 海洋学报, 1999, 21(1): 1-10.
- [4] Aldridge, J.N. (1997) Hydrodynamic Model Predictions of Tidal Asymmetry and Observed Sediment Transport Paths

- in Morecambe Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**, 39-56. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0113>
- [5] 宋德海, 鲍献文, 张少锋. 基于 FVCOM 的廉州湾及周边海域三维潮汐潮流数值模拟[J]. 海洋通报, 2012, 32(2): 136-145.
- [6] Huang, H., Chen, C., Blanton, J.O. and Andrade, F.A. (2008) A Numerical Study of Tidal Asymmetry in Okatee Creek, South Carolina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78**, 190-202. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.027>
- [7] Friedrichs, C.T. and Aubrey, D.G. (1988) Non-Linear Tidal Distortion in Shallow Well-Mixed Estuaries: A Synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **27**, 521-545. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(88\)90082-0](https://doi.org/10.1016/0272-7714(88)90082-0)
- [8] 尹倩瑜, 龚政, 李欢, 张长宽. 长江口北支河段潮汐不对称性分析[J]. 人民长江, 2013, 44(21): 81-84.
- [9] Bruder, B., Bomminayuni, S., Haas, K. and Stoesser, T. (2014) Modeling Tidal Distortion in the Ogeechee Estuary. *Ocean Modelling*, **82**, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2014.08.004>
- [10] Elgar, S. and Guza, R.T. (1985) Observations of Bispectra of Shoaling Surface Gravity Waves. *Journal of Fluid Mechanics*, **161**, 425-448. <https://doi.org/10.1017/S0022112085003007>
- [11] Pawlowicz, R., Beardsley, B. and Lentz, S. (2002) Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB Using T\_TIDE. *Computers & Geosciences*, **28**, 929-937. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00013-4)

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ams@hanspub.org](mailto:ams@hanspub.org)