

# 海州湾海域悬沙分布特征及运动规律分析

左书华, 庞启秀, 杨 华, 张 娜

(交通运输部天津水运工程科学研究所 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

**摘 要:**根据海州湾海域 2006 年 1 月、2009 年 6 月和 2009 年 8 月大风期间的含沙量资料, 结合 1987—2005 年不同时刻卫星遥感影像资料, 对海州湾海域悬沙分布特征及运动规律进行分析, 结果表明: ①海州湾海区含沙量存在明显的季节性变化, 含沙量及其影响范围均是冬季明显高于夏季; ②含沙量与潮汐的关系是大潮 > 中潮 > 小潮, 近岸含沙量有明显的涨落潮变化, 远岸变化不明显; ③近岸水域含沙量明显高于远岸水域, 总体上呈南部含沙量大, 北部含沙量低的特点; ④大风期间水体紊动的作用比较强烈, 含沙量较高, 实测最大含沙量在  $1.5 \text{ kg/m}^3$  以上; ⑤随着波高的增大, 含沙量有逐渐增大的趋势, 不过波高的变化与含沙量的变化存在一定的滞后性; ⑥大多数情况下, 波浪是近岸浅水区泥沙运动的主要动力, 海域自身泥沙在波流作用下的反复搬运或输移对海州湾地形产生了重要影响。

**关键词:**海州湾; 悬沙分布; 遥感卫片; 运动规律

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2013)01-0010-08

## Analysis on the Distribution and Movement of Suspended Sediment in Haizhou Bay Sea Area

Zuo Shuhua, Pang Qixiu, Yang Hua, Zhang Na

(Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Communications,

Tianjin Research Institute of Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Tianjin 300456, China)

**Abstract:** The distribution and the movement tendency of suspended sediment in Haizhou Bay sea area are analyzed. According to the observation data of suspended sediment concentration during the strong wind in Jan, 2006, Jun, 2009 and Aug, 2009, and by using the remote sensing image from 1987 to 2005. The results show: ① there exist distinct seasonal changes at the distribution of suspended sediment concentration with clearly higher concentration and greater influence sphere in winter than those in summer; ② the change of suspended sediment concentration is controlled by tidal range with the largest concentration during the spring tide; ③ the horizontal distribution of suspended sediment becomes larger from nearshore to the offshore and from north to south. In a tidal circle, the suspended sediment in nearshore fluctuated with the flood and the ebb tide, and the suspended sediment is lagged to the current, while in offshore, the suspended sediment doesn't fluctuate with the current; ④ during the strong wind, water turbulence is more intense, and sediment concentration is high, with the max of  $1.5 \text{ kg/m}^3$  above; ⑤ with the increase of wave height, sediment concentration tends to increase gradually, but the changes of wave height and concentration are certain hysteresis; ⑥ in most cases, waves are the main power of sediment movement in the offshore shallow water, the repeated sediment movement under the actions of wave and tidal current has an important influence on the Haizhou Bay terrain.

**Key words:** Haizhou Bay; distribution of suspended sediment; remote sensing; movement rule

收稿日期: 2012-02-20

基金项目: 中央级公益性科研院所科研专项基金项目(TKS100103)

作者简介: 左书华(1979—), 男, 河北邱县人, 副研究员, 博士, 主要从事河口海岸动力沉积与动力地貌及数值模拟研究。

E-mail: zsh0301@163.com

海州湾是濒临黄海的一个开敞海湾,海州湾海岸是基岩—砂质海岸与淤泥质海岸的交汇地带,目前海湾内港口开发还是一个空白。为了开发海州湾的港口资源,拟在海州湾北部,江苏与山东两省交界区建设连云港赣榆港区,以促进江苏赣榆的经济发展。

许多学者曾对海州湾海域的地貌特征、岸线变迁、水动力和沉积物等做过相关的研究<sup>[1-5]</sup>,但对海州湾悬沙分布特征的研究并不多见。悬沙运动是港口建设中一个重要而又复杂的问题,对港口后期建设和维护起到了重要作用。目前,在悬沙分布研究中,多采用实测定点资料分析和遥感资料反演的方法。两种方法各有优缺点:①定点实测资料定量准确,针对性强,但覆盖面小;②遥感资料范围大,能够全面把握整个海域悬沙动态,在分析宏观泥沙环境时应用范围较广,已在多个海域得到应用<sup>[6-8]</sup>,不过需要率定(或公式反算)。本文采用定点实测资料和遥感资料相结合的方法,对海州湾海域悬沙分布特征及运动规律进行定性定量研究,为进一步认识赣榆港区海域的水文泥沙特征奠定基础。

## 1 研究海域概况

海州湾北起山东日照岚山镇的佛手嘴(35°05′55″N,119°21′53″E),南至连云港市高公岛(34°45′25″N,119°29′45″E)是一个濒临黄海的开敞海湾,湾口宽42 km,岸线长87 km,海湾面积876 km<sup>2</sup>,水体较浅。由于地质构造、供沙条件、水动力条件和岸坡形态的不同,海湾地貌特征和冲淤动态也各不相同,海岸类型比较齐全,岚山头及西墅以东为基岩海岸,湾岸处常有小规模沙砾滩发育;岚山头—兴庄河口为平直的砂质海岸;兴庄河口—西墅之间的海湾湾顶为粉砂质淤泥海岸<sup>[9]</sup>。海州湾是典型的弧形岸线海湾,南、北两端分别由连云港东西连岛和岚山头为基岩岬角,海湾底床自NW向SE缓倾。从水下地形特征看,在整个海州湾岸段,只有—5 m以浅的浅水区等深线表现出明显的海湾形态,—5~—15 m的等深线仅在北部的岚山头附近发生转折,向东南均基本顺直经过东西连岛。水下地形坡度在—5 m以浅部分不同岸段有着明显差异,—5~—15 m之间的距离基本保持在20 km左右,平均坡度1.0‰。

海州湾潮汐属正规半日潮,平均潮差3.43 m,潮汐强度中等;海州湾潮流动力作用较弱,大潮全潮平均流速一般在0.20~0.40 m/s,最大流速0.50~0.70 m/s;波浪以风浪为主,常浪向为NE向和E向,出现频率分别为26.41%,18.40%,平均H<sub>1/10</sub>波高为0.7 m和0.5 m,强浪向为NNE向和NE向,最大波高分别为5.0 m和4.2 m。

海州湾底质沉积物分布有一定的区域性,龙王河口南部底质中值粒径大多数都<0.01 mm,主要以粘土质粉砂和粉砂质粘土的细颗粒沉积物为主,粘土含量一般都在40%以上,分选性中常;龙王河口北部(绣针河口、岚山头附近)粗细相间,沉积物类型多样(有粉砂质粘土、粘土质粉砂、粗中砂、中细砂、砾石等),细的沉积物中值粒径为0.004 mm左右,粗的直径为1 cm以上的砾石,砾石大多分布在—10 m等深线以外,粘土含量<20%,分选性较好。

## 2 资料与方法

本研究采用实测资料与遥感影像资料相结合的方法,对海州湾悬沙分布特征进行分析。

### 2.1 定点实测资料及处理方法

为了解赣榆港区海域的水文、泥沙状况,有关部门曾对赣榆港区所在的海州湾海域进行了多次水文泥沙观测,时间分别在2006年1月、2009年6月以及2009年8月大风期间(图1),采用瓶式取样器采集水样,然后微孔滤膜过滤,烘干称重,计算含沙量。同时,本文结合海州湾南端连云港近岸水域大西山的含沙量长期观测资料(1985—1995年),对海州湾海域进行了分析。

### 2.2 遥感影像资料及处理方法

选取1987—2005年不同时期遥感卫片,资料包括大、小潮、涨、落潮和不同季节(表1)。首先对遥感影像进行定标、大气校正、几何校正等处理,然后根据以往连云港海域的研究成果以及实测资料<sup>[10]</sup>,建立表层含沙量与TM波段灰度值(光谱反射率)之间的拟合关系式,然后对遥感图像进行定量分析(图2)。

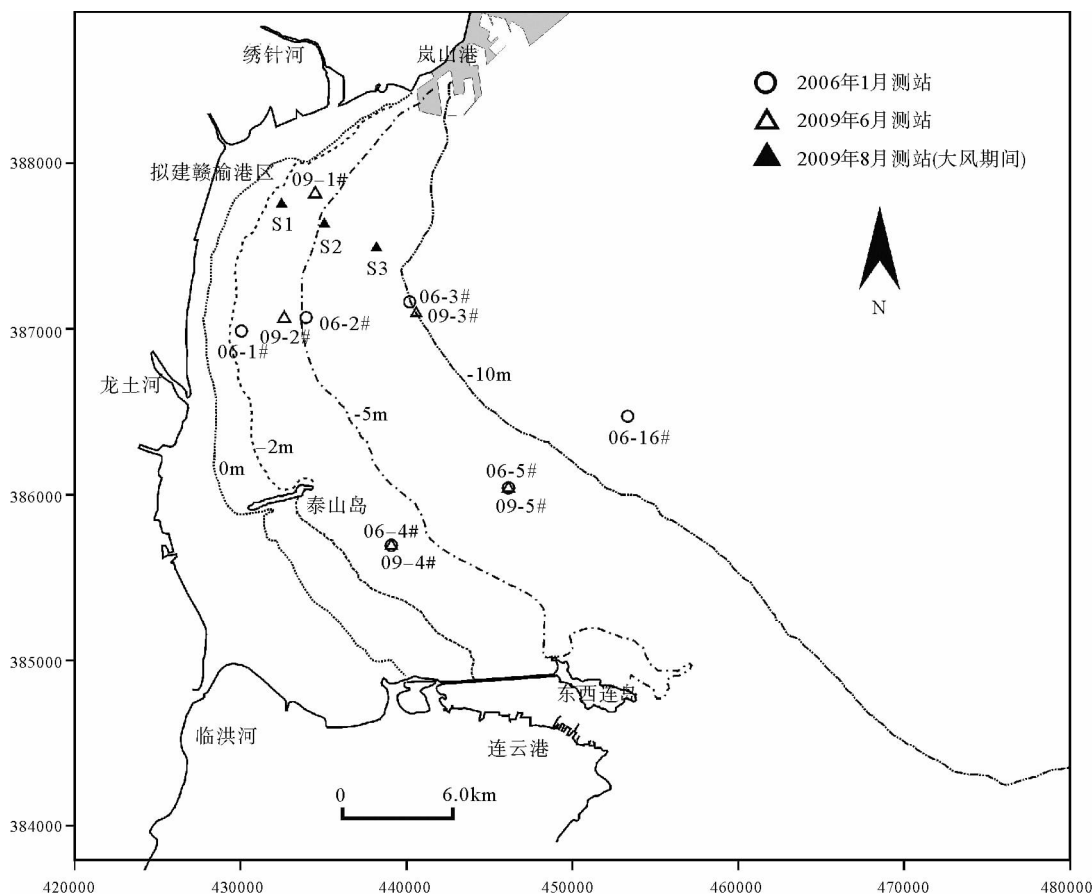


图 1 研究区域及测站分布图(北京 54 坐标系)

Fig.1 Sketch of the study area and measured stations

表 1 海州湾遥感卫片成像日期及和潮型、潮位情况表

Tab.1 Date of satellite image and status of synchronic tide in Haizhou Bay

| 序号 | 类型  | 成像日期       | 潮型   | 连云港站潮位/cm |
|----|-----|------------|------|-----------|
| 1  | TM  | 1990-05-08 | 中潮落潮 | 232       |
| 2  | TM  | 1994-05-19 | 小潮落潮 | 302       |
| 3  | TM  | 1997-01-19 | 中潮落潮 | 102       |
| 4  | ETM | 2000-03-08 | 大潮落潮 | 341       |
| 5  | ETM | 2000-09-16 | 中潮落潮 | 391       |
| 6  | TM  | 2005-06-02 | 中潮涨潮 | 136       |

### 3 结果与讨论

#### 3.1 年际和季节变化

海州湾海域年平均含沙量年际变化不大,约  $0.21 \text{ kg/m}^3$ 。季节性变化十分明显,与风浪的年内频率变化一致,即冬半年风浪频繁季节,且为多向岸风,风浪作用强烈,掀沙作用明显,因此含沙量相对较高,最高含沙量一般出现在 12 月或 1 月,表层含沙量大多  $>0.20 \text{ kg/m}^3$ ;而夏半年风浪静稳季节,该海域潮流速较小,大风浪掀沙的作用小,所以水体含沙量相对较低,一般  $<0.20 \text{ kg/m}^3$ (表 2);从遥感图解译的悬沙分布形态

上可以明显看出(图 2),1 月份较高含沙量分布范围明显要高于 9 月份。因此,本区水体含沙量的大小主要由大风浪掀沙造成的,即大风浪冲刷岸滩掀起大量泥沙悬浮水中,在涨、落潮流的挟带下沿程输移沉积;由于海州湾、连云港海域冬季多偏北大风,风浪掀沙使水体含沙浓度明显增高。在同样潮型下,各区段含沙量比夏季增大 1 倍。

表 2 大西山测站逐月表层含沙量统计表

Tab. 2 Monthly variation of surface suspended sediment concentration at Daxishan station

| 年份 \ 月份 | kg/m <sup>3</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 平均   |
| 1985    | 0.26              | 0.17 | 0.29 | 0.27 | 0.20 | 0.19 | 0.13 | 0.21 | 0.14 | 0.11 | 0.24 | 0.16 | 0.20 |
| 1991    | 0.25              | 0.23 | 0.45 | 0.23 | 0.17 | 0.12 | 0.18 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.20 | 0.39 | 0.22 |
| 1995    | 0.26              | 0.15 | 0.22 | 0.19 | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.23 | 0.19 | 0.19 | 0.31 | 0.26 | 0.21 |

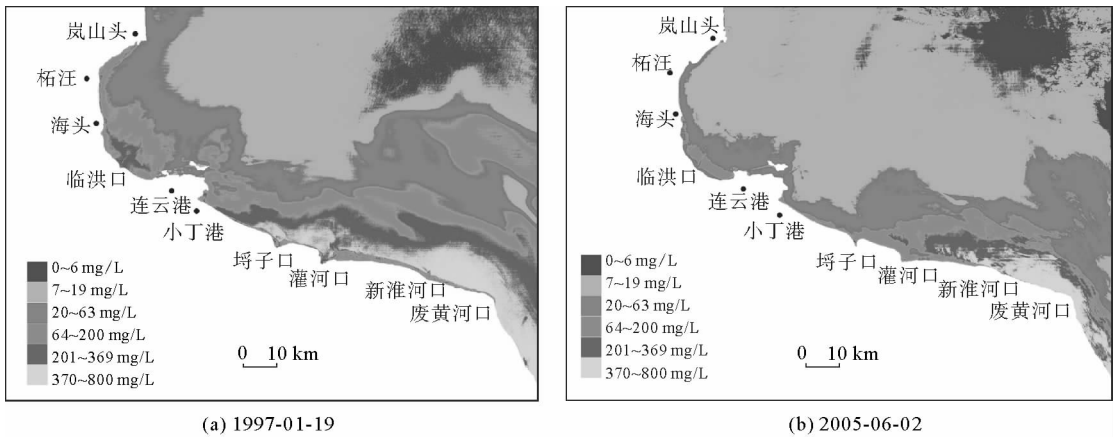


图 2 海州湾及连云港海域表层悬沙含量分布图

Fig. 2 The distribution of surface suspended sediment concentration in Haizhou Bay sea area

### 3.2 潮型变化特征

通常情况下,大潮时,由于潮流作用强劲,潮流流速大,其含沙量较大,呈现出大潮含沙量大于中潮,中潮大于小潮的特征。由遥感图分析结果来看(图 3),正常天气条件下,大潮的较高含沙量分布范围明显比小潮范围大。

根据实测资料统计,潮段平均含沙量涨落潮相差不大,落潮略大于涨潮,2009 年 6 月大潮涨、落潮平均含沙量分别为 0.120,0.121 kg/m<sup>3</sup>;图 1(b)和图 2(a)分别为中潮时期的涨潮和落潮含沙量分布图,可以看出,各级含沙量分布范围基本一致。在一个潮周期中,含沙量的变化与流速的大小密切相关。一般流速越大,含沙量也越大。然而时间上却不同步,一般地,含沙量的峰值会滞后于流速的峰值,即流速达到最大后,含沙量才会达到最大,不过从含沙量与流速过程分析来看(图 4),近岸含沙量受潮汐影响,涨落变化过程明显,而远岸含沙量则没有明显的涨落过程。

### 3.3 平面分布特征

在横向分布上,海州湾表层含沙量均呈现从近岸至外海递减趋势(图 5),相对较高的含沙区域主要集中在近岸浅水区,表层含沙量约 0.05 kg/m<sup>3</sup>,含沙量横向分布特征反映了海岸水动力作用的分布规律:在近岸,破波作用频繁,波浪掀沙作用十分显著,含沙量较大;而在破波带以外,波浪作用较弱,潮流作用相对重要,其含沙量主要来源于破波带水体含沙量在潮流作用下的输移扩散。

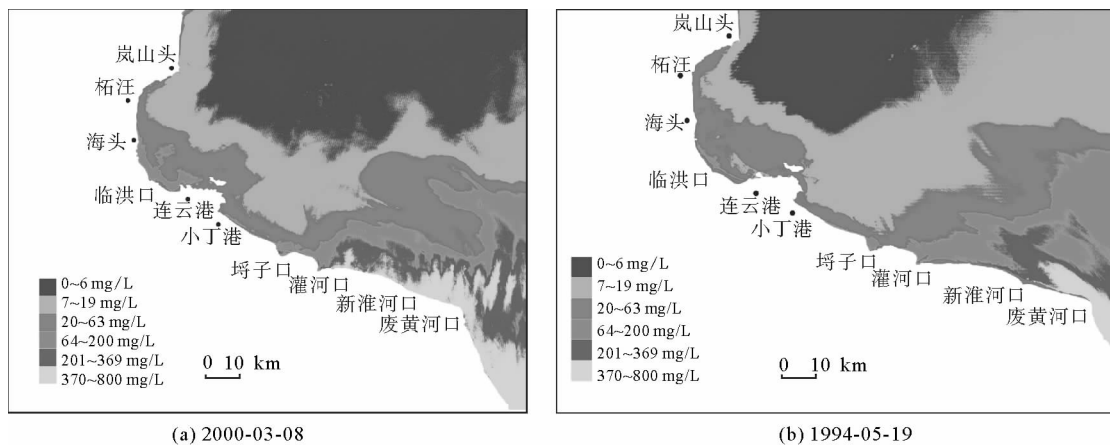


图 3 海州湾及连云港海域表层悬沙含量分布

Fig. 3 The distribution of surface suspended sediment concentration in Haizhou bay Bay sea area

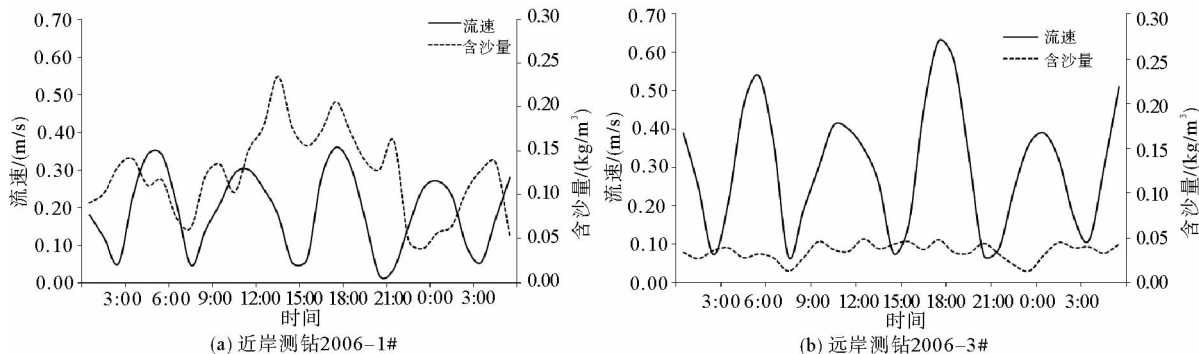


图 4 含沙量与流速变化图

Fig. 4 Variation of suspended sediment concentration and current velocity

纵向分布上,即沿岸线走向,总体上呈南部含沙量高,而北部含沙量低的特点(图 5)。含沙量较高区域主要分布在废黄河口至灌河口沿线海域,由岸向海逐渐递减,废黄河口含沙量一般都在  $0.2 \text{ kg/m}^3$ ;由废黄河口向连云港港区、海州湾,含沙量呈递减趋势,含沙量分布形态与地形分布相似,海州湾内表层含沙量一般  $< 0.1 \text{ kg/m}^3$ ;工程区岚山头附近海域则属于低含沙量区,除近岸浅滩外,表层含沙量  $< 0.05 \text{ kg/m}^3$ 。

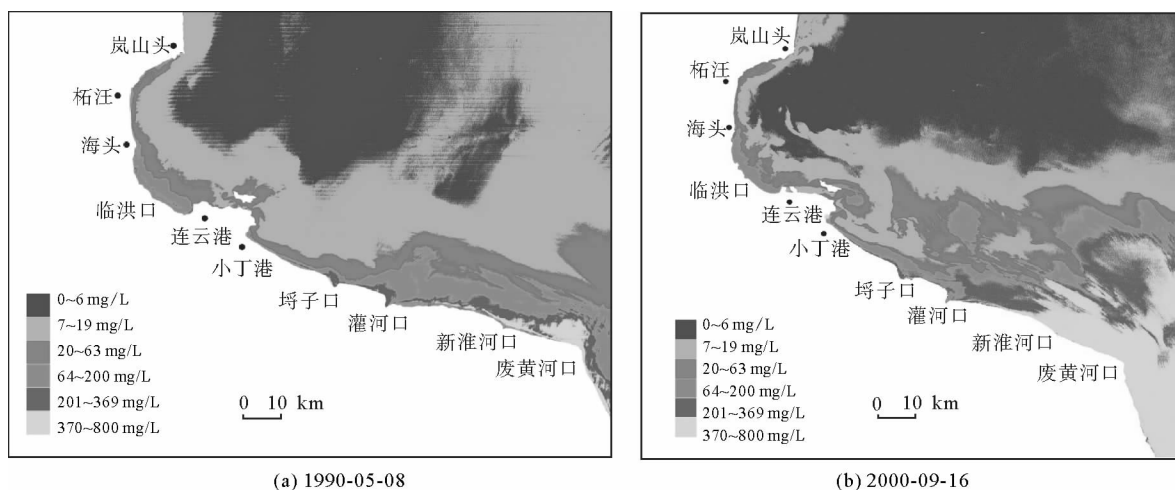


图 5 海州湾及连云港海域表层悬沙含量分布

Fig. 5 The distribution of surface suspended sediment concentration in Haizhou Bay sea area



### 3.4 大风期间的含沙量变化

根据 2009-8-10—12 大风天(7-8 级以上大风)期间赣榆港区海域沿航道轴线—3 m(S1 站)、—5.5 m(S2 站)和—8 m(S3 站)等深线布置的三个测站含沙量资料,大风期间含沙量具有以下特点:

- 1)大风期间含沙量明显增大,是风后含沙量的 3~5 倍以上;
- 2)随着测站水深的增大,含沙量呈减少的趋势,S1(-3 m)、S2(-5.5 m)、S3(-8 m)最大含沙量分别为 1.532,0.837,0.411 kg/m<sup>3</sup>,出现的时间基本一致(图 6);

3)从 S2 站含沙量垂向分布上可以看出(图 7),在床面上 0.5 m 和 1.0 m 处的变化过程基本一致,显示了在大风作用下水体紊动的作用比较强烈,导致水体上下的含沙量相对比较均匀;

4)随着波高的增大,含沙量有逐渐增大的趋势;但是在波高逐渐减弱以后,较高含沙量仍然会持续一段时间,这说明波高的变化与含沙量的变化存在一定的滞后性(图 8)。

### 3.5 海域泥沙来源分析

沿岸滩地的侵蚀和堆积是水动力作用下泥沙运移的具体反映。海州湾海域附近沿岸没有大的供沙河流,河流输沙对海域影响有限。由遥感卫片资料可以看出,海州湾海域悬沙含量要比连云港南部水域悬沙含量低,其中最主要的一个原因是连云港南部水域受到灌河口和废黄河口三角洲水域的滩面悬浮泥沙的运移的影响,而废黄河口自南向北的泥沙流在一般天气波及不到海州湾海域。

该海域属中潮海区,波浪是近岸浅水区泥沙运动的主要动力,对泥沙的作用非常显著,当波浪斜向入射至近岸水域时,由于波浪变形和破碎,使水体产生强烈紊动,掀扬破波带的泥沙形成沿岸输沙。在破波带内,大多数泥沙是以悬移质形式搬运的。不过,由相关统计结果<sup>[11]</sup>,海州湾海域破波带分布范围较

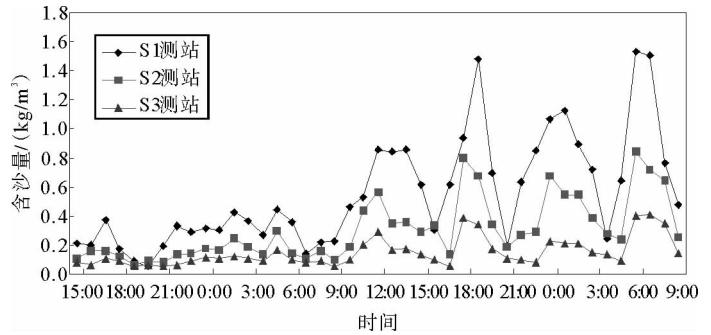


图 6 大风期间不同测站含沙量变化过程图

Fig. 6 Variation of suspended sediment concentration at different stations during the strong wind

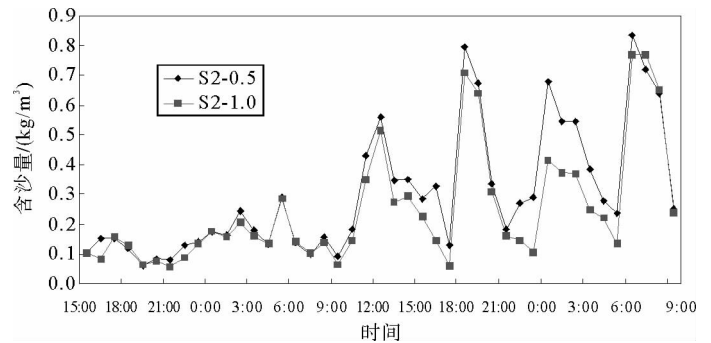


图 7 大风期间 S2 测站垂向的含沙量变化过程图

Fig. 7 Vertical variation of suspended sediment concentration at S2 station during the strong wind

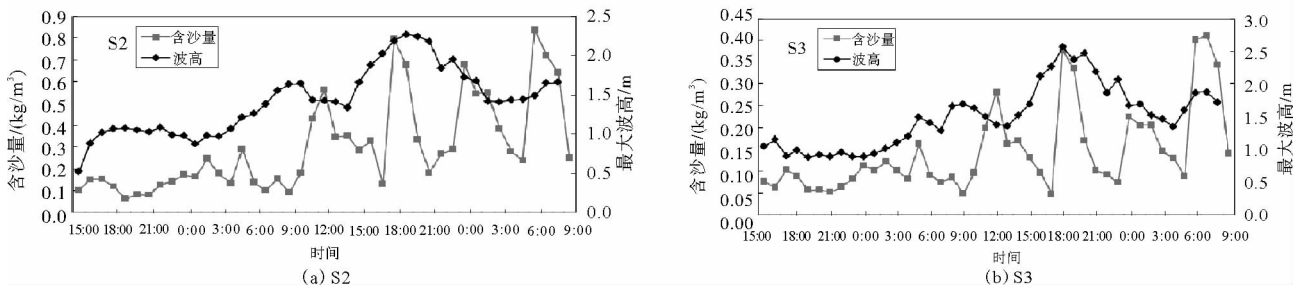


图 8 大风期间不同测站含沙量与波高变化过程图

Fig. 8 Variation of suspended sediment concentration and wave height at different stations during the strong wind

窄,在两年一遇的波高约 2.5 m 时,低潮位下破波位置约在-2.0 m 等深线处;在十年一遇的波高 4.0 m 情况下,破波位置约在-1.8~-5.3 m 等深线处。由于破波带分布范围较窄使得波浪破碎对滩面泥沙的扰动有限。

总体而言,海域泥沙来源少,一般天气下波浪作用范围窄使得海域含沙量较低。

### 3.6 泥沙输移对地形变化的影响

沿岸泥沙的输移扩散对海域地形变化起到了重要影响。海州湾湾顶以北,在波浪流和潮流的作用下,沿岸泥沙自岚山头向南输送,对早期海州湾地形的塑造起到了重要影响;临洪河是海州湾南部区域的主要入海河流,其河口泥沙及水动力对其附近海岸冲淤的影响较大,堆积于河口附近的泥沙在风浪作用下重新启动输移向外扩散,使其附近的淤泥质海岸成为海州湾近岸淤积最快的岸段。泥沙分布的差异也使得近岸浅滩在不同岸段的冲淤表现存在一定的差异,总体上表现为北部基本稳定略有冲刷,侵蚀速率约为 2.0 cm/a,南部淤积,以临洪河口为例,自 15 世纪以来,临洪河口一直处于不断向外淤涨形势;1958 年临洪闸和石梁河水库兴建以后,临洪河泥沙明显减少,河口向外淤涨缓慢,但仍处于淤涨状态,如表 3。

表 3 临洪河口断面向海推进距离及速率表<sup>[12]</sup>

Tab. 3 Movement distance to the sea and deposit speed at the cross-section of Linhong estuary

| 年代       | 1957—1978 | 1978—1987 | 1987—2000 | 2000—2003 | 2003—2005 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 距离/m     | 0.26      | 0.17      | 0.29      | 0.27      | 0.20      |
| 速率/(m/a) | 0.25      | 0.23      | 0.45      | 0.23      | 0.17      |

## 4 结论

通过对卫星遥感影像的定量反演和实测资料分析,海州湾海区含沙量年平均含沙量在 0.21 kg/m<sup>3</sup> 左右,冬季含沙量及其影响范围均明显高于夏季;含沙量及其范围有随潮差增大而增大的特点,即大潮含沙量 > 中潮 > 小潮,近岸含沙量变化有明显的涨落潮变化,远岸变化不明显。在平面分布上,近岸水域含沙量明显高于远岸水域,总体上呈南部含沙量大,而北部含沙量低的特点,含沙量较高区域主要分布在废黄河口至灌河口沿线海域。大风期间水体紊动强烈,随着波高的增大,含沙量有逐渐增大的趋势,不过波高的变化与含沙量的变化存在一定的滞后性。海州湾泥沙来源少,一般天气下波浪作用范围窄,海域含沙量低;泥沙分布的差异也使得近岸浅滩在不同岸段的冲淤表现存在一定的差异。

### 参考文献:

- [1] 王宝灿, 虞志英, 刘苍宇, 等. 海州湾岸滩演变过程和泥沙流动向[J]. 海洋学报, 1980, 2(1): 79-96.  
Wang Baocan, Yu Zhiying, Liu Cangzi, et al. The change of coasts and beaches and the moment of longshore sediments of Haizhou Bay[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1980, 2(1): 79-96.
- [2] 樊社军, 虞志英, 金镠. 海州湾淤泥质海滩剖面堆积过程的计算模式[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(4): 411-418.  
Fan Shejun, Yu Zhiying, Jin Liu. The accretion process of the Haizhou Bay mud flat profile [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1997, 28(4): 411-418.
- [3] 赵庆英, 王小波, 陈荣华, 等. 绣针河口附近岸线变迁特征[J]. 海洋学研究, 2008, 26(2): 41-46.  
Zhao Qingying, Wang Xiaobo, Chen Ronghua, et al. The characteristics of modern coast erosion accretion change near the Xiuzhenhe River Estuary[J]. Journal of Marine Sciences, 2008, 26(2): 41-46.
- [4] 张存勇, 冯秀丽. 海州湾南部近岸现代沉积速率及其沉积通量[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 478-485.  
Zhang Cunyong, Feng Xiuli. Recent sedimentation rate and sediment flux in the nearshore area of the southern Haizhou Bay [J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(4): 478-485.
- [5] 孙长青, 郭耀同, 赵可胜, 等. 海州湾及邻近海域潮流数值计算[J]. 海洋科学, 2003, 27(10): 54-58.  
Sun Changqing, Guo Yaotong, Zhao Kesheng, et al. Numerical computation of tidal current for Haizhou Bay and near sea area [J]. Marine Sciences, 2003, 27(10): 54-58.

- [6]左书华,杨华,赵群,等.温州海区近岸表层水体悬沙分布及运动规律的遥感分析[J].地理与地理信息科学,2007,23(2):47-50.  
Zuo Shuhua, Yang Hua, Zhao Qun, et al. Remote sensing analysis on distribution and movement of surface suspended sediment in coastal waters of Wenzhou[J]. Geography and Geo-Information Science, 2007(2):47-50.
- [7]左书华,李蓓,杨华.长江口南汇嘴海域表层悬浮泥沙分布和运动遥感分析[J].水道港口,2010,31(5):384-389.  
Zuo Shuhua, Li Bei, Yang Hua. Remote sensing analysis on distribution and movement of surface suspended sediment in the Nanhuizui tidal flat, Yangtze Estuary[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2010, 31(5):384-389.
- [8]吴明阳,许家帅,冯玉林.杭州湾湾口水体含沙量的时空分布[J].泥沙研究,2011(1):33-37.  
Wu Mingyang, Xu Jiashuai, Feng Yulin. Spatial-temporal distribution of suspended sediment concentration in Hangzhou Bay [J]. Journal of Sediment Research, 2011(1):33-37.
- [9]中国海湾志编纂委员会.中国海湾志第四分册“山东半岛南部和江苏海湾”[M].北京:海洋出版社,1993:133-157.
- [10]刘杰.连云港市海岸线利用遥感技术开发研究[R].上海:上海河口海岸科学研究中心,2006:58-65.
- [11]庞启秀,左书华,张娜,等.连云港赣榆港区港池航道建设方案工程泥沙问题研究[R].天津:交通运输部天津水运工程科学研究所,2009:114-128.
- [12]张祥国.海州湾临洪河口淤进与弧形海岸形态发育的相关性[D].南京:南京师范大学,2006:36-54.

(责任编辑:高丽华)

## “沉积·资源·环境”研究专栏征稿

### 征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿,来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表,优稿优酬。

投稿平台:[http://xuebao.sdust.edu.cn/index\\_z.asp](http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp)

电子邮箱:[zkglhxx@163.com](mailto:zkglhxx@163.com); [zkzxcg@sdust.edu.cn](mailto:zkzxcg@sdust.edu.cn)

联系电话:0532-86057859