

文章编号:1009-2722(2017)09-0013-05

# 文登南部近岸海域悬沙输运特征

张卓<sup>1</sup>, 吴建政<sup>1,2</sup>, 朱龙海<sup>1,2</sup>, 胡日军<sup>1,2</sup>

(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:**依据 2015 年 5 月悬浮泥沙实测资料, 计算各站不同层位悬沙浓度, 分析研究区海域的悬沙时空分布特征, 利用小波变换分析悬沙浓度变化周期, 结合余流场探讨了研究区的悬沙整体输运特征。结果表明, 悬沙浓度由表层到底层依次增大; 悬沙浓度变化的周期约为 6 h, 与正规半日潮流特征吻合较好; 在长会口一带、张家埠新港防波堤及好当家渔港防波堤附近区域, 悬沙净输运方向与落潮流方向一致; 好当家渔港内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致; 五垒岛湾与靖海湾呈顺时针环流输运, 湾内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致, 指向湾内。

**关键词:**悬浮泥沙; 周期特征; 悬沙输运; 余流场

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2017.09002

文登南部近岸海域东、西两侧为靖海湾及五垒岛湾, 拥有优质的沙滩及港口设施等。近年来, 开发利用活动频繁, 对靖海湾及五垒岛湾的西侧沙滩产生影响, 悬沙输运是最为直接的指标之一, 此外悬沙输运特征研究一直是近岸海域研究的热点问题, 因此对文登南部近岸海域悬沙输运特征研究有十分重要的意义, 可以为沙滩养护、港口维护、近岸海洋工程提供一定的数据和理论参考。

## 1 研究区概况

文登南部近岸海域的海岸地貌主要有海积平原、海蚀平台、沙嘴、潮滩等。研究区潮流类型为正规半日潮, 潮流运动形式以往复流为主<sup>[1,2]</sup>。根据乳山口南黄岛海洋站统计资料, 波浪主要为风浪, 以偏 S 向占主体部分, 常浪向为 SSW、次常浪向为 SSE, 强浪向为 SSE、次强浪向为 S<sup>[1]</sup>。

研究区地理位置见图 1。

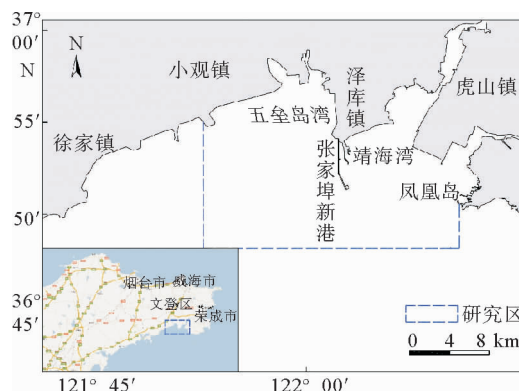


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographic map of the study area

## 2 资料与方法

### 2.1 悬沙、海流

2015 年 5 月, 在研究区布设了 4 个悬浮泥沙取样与海流观测站位 (图 2), 取样与观测时间同

收稿日期: 2017-05-15

作者简介: 张卓 (1990—), 男, 在读硕士, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: zhangzhuo1120@163.com

步,时间长度为连续 25 h,时间间隔 1 h。悬浮泥沙浓度采用重量法测量,将水样经 0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤、低温烘干、干燥冷却后称重,校正并计算各站位的悬浮物浓度。

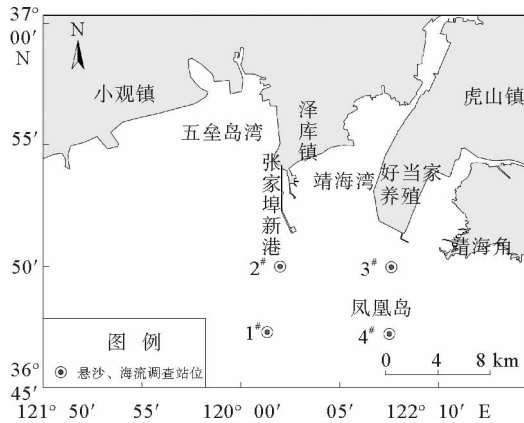


图 2 调查取样点位置

Fig. 2 Distribution map of sampling stations

### 2.2 余流场

利用 MIKE21 中的 Flow Model FM 模块对研究区附近海域进行潮流场模拟,从模拟结果中提取研究区 2015 年 5 月大潮期的海流数据,利用准调和分析法计算大潮期余流<sup>[3]</sup>,并绘制余流场矢量图。

## 3 结果

### 3.1 海流特征

研究区海流基本为往复流性质,属正规半日潮流,海流旋转方向为逆时针旋转,最大流速可达 110 cm/s,各站位海流玫瑰图见图 3。从平面分布看,平均流速近防波堤一侧较大;从垂直分布看,表层流速最大、底层流速最小。涨潮流方向 2#、3# 站位为 NW 向,1#、4# 站位为 WNW 向;落潮流方向 1~3# 站位为 SE 向,4# 站位为 ESE 向。

### 3.2 悬浮泥沙浓度分布特征

在一个潮周期内,各站位悬沙浓度曲线如图 4 所示。在时间上,各站位悬沙浓度多出现 4 次峰值;在空间上,各站位均呈底层浓度最大,表层浓度最小。各站位各层平均悬沙浓度分布如图 5

所示,呈底层浓度最大、表层最小的分布规律,其中 3# 站位垂向上的浓度变化近似呈斜线型,其余 3 个站位近似呈抛物线型变化。

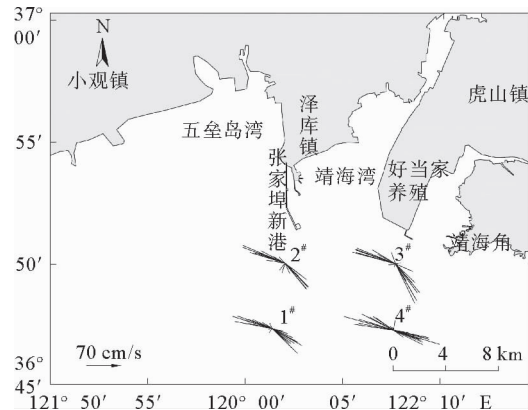


图 3 实测潮流玫瑰图(中层)

Fig. 3 Current vector map of the middle layer

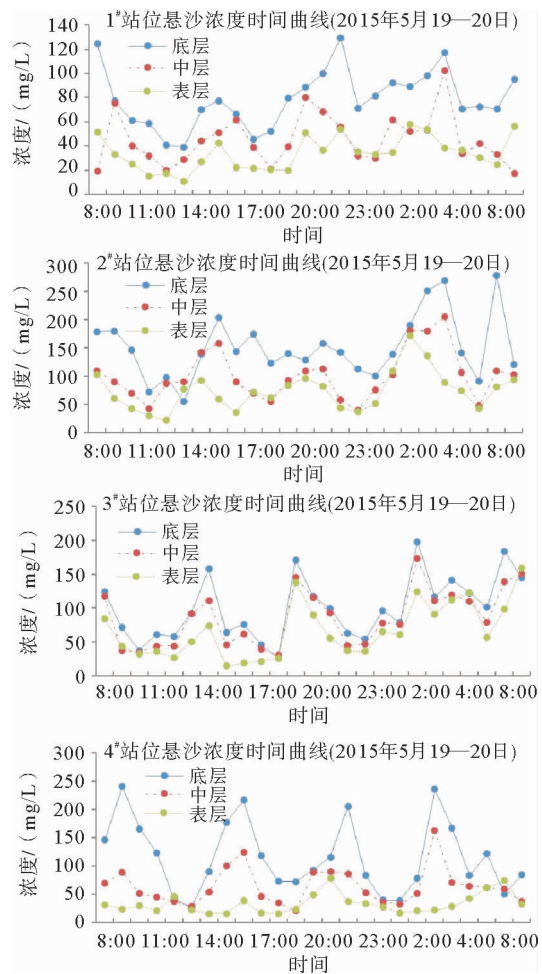


图 4 悬沙浓度时间曲线

Fig. 4 Suspended sediment concentration-time curves

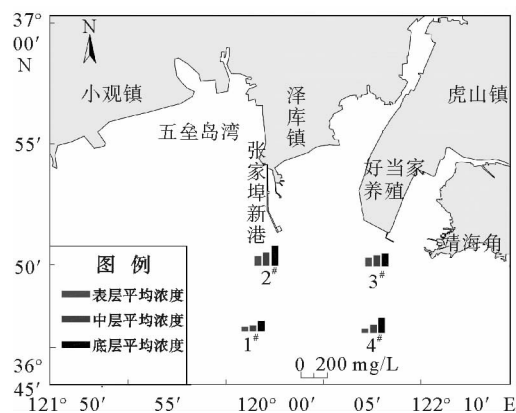


图 5 各层平均悬沙浓度分布

Fig. 5 Distribution of average suspended sediment concentration in a tidal cycle

### 3.3 悬沙浓度周期特征

对 2015 年 5 月 4 个站位实测的悬沙浓度时间序列利用 matlab 中的 Wavelet Toolbox 进行小波变换,采用一维 Morlet 小波进行分析得到 Morlet 复小波系数。小波系数中的实部,能反映不同时间尺度的周期变化及其在时间域中的分布<sup>[3,10]</sup>,因此主要对小波系数的实部进行分析。

对 4 个站位悬沙剖面平均浓度时间序列进行了小波变换后,分析其周期特性(图6)。图6中

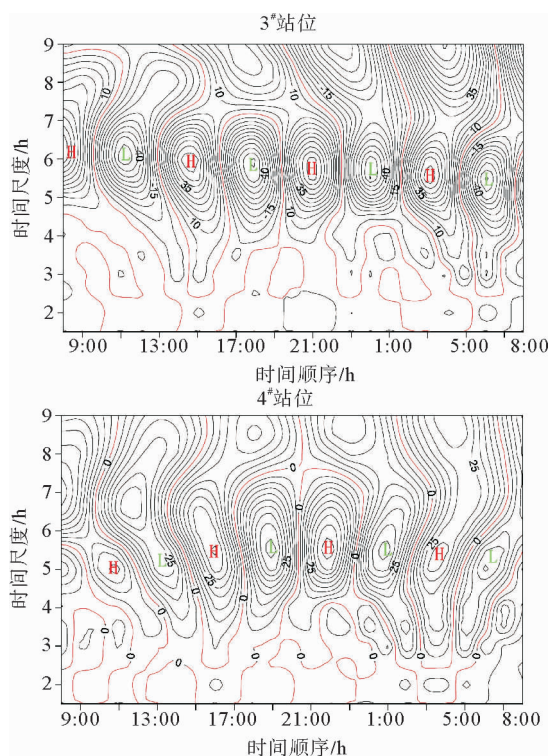


图 6 悬沙剖面平均浓度周期分析

Fig. 6 The periodicity of the average concentration of suspended sediment

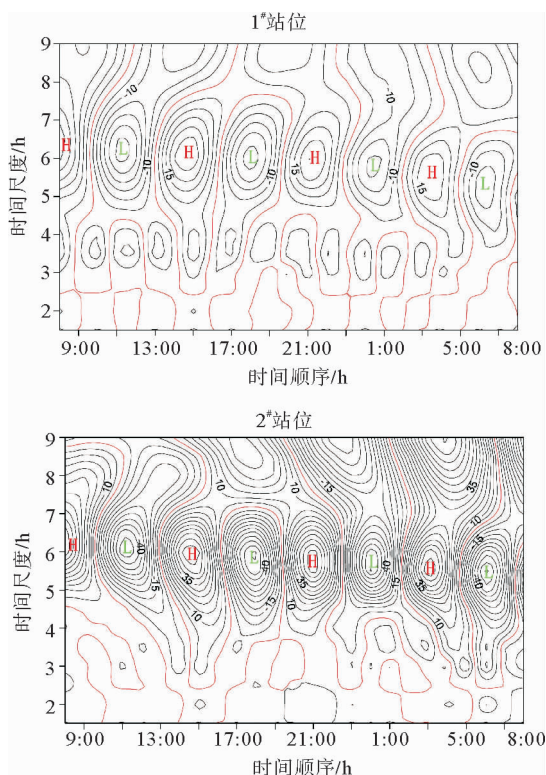
H 所处的中心代表着悬沙浓度的最大值,L 所处的中心代表着悬沙浓度的最小值,可以看出悬沙浓度随时间呈现周期性的变化,根据 25 h 的连续观测,悬沙浓度由高值到低值的振荡次数为 4 次,平均周期约 6 h。

### 3.4 悬沙浓度对潮流的响应

一般来说,一个潮周期内的悬沙浓度变化与海流流速的变化十分紧密<sup>[6]</sup>,即当流速增大时,底部表层沉积物受到切应力变大,部分沉积物会悬浮在水体中,悬沙浓度增高;而当流速降低到不足以带动泥沙运动时,水体中的泥沙会发生落淤,悬沙浓度降低。为了分析悬沙浓度与海流流速的关系,做了悬沙含量与流速剖面对比图、悬沙含量与流速曲线对比图。

#### 3.4.1 悬沙含量与流速剖面对比

从剖面对比图(图7)中可以清晰地看出悬沙含量层化现象比较明显,表层含沙量明显低于中层,中层低于底层,这是由于底层除了底质再悬浮产生一部分增量外,还有一部分来自表、中层由于



流速减小后悬浮体落淤产生的增量。图中含沙量的变化与潮流流速呈现了一定的对应关系,流速增大时悬沙含量也增大,流速降低时悬沙含量随之降低,但悬沙含量的变化相比流速有一段时间的滞后。底层悬沙含量对流速降低时的响应相对不太明显,这是由于流速降低时,底沙再悬浮虽然降低,但表层及中层落淤的泥沙补充了部分底层含沙量。相比表层和底层,中层悬沙含量对流速的响应最明显。

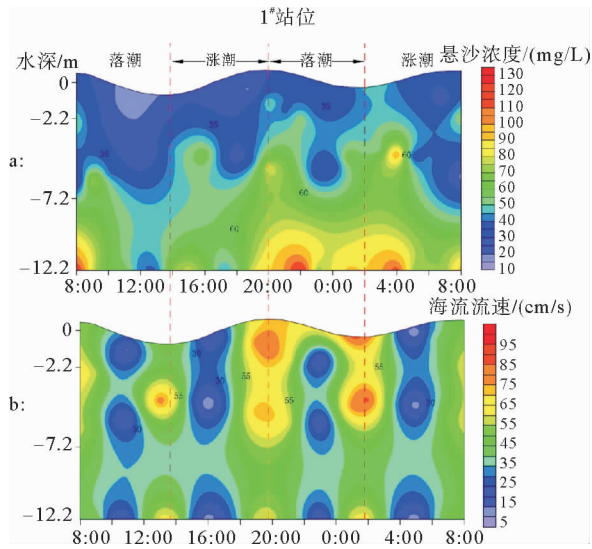


图7 悬沙流速剖面对比图

Fig. 7 Comparison of suspended sediment and current profiles

### 3.4.2 悬沙含量与流速变化对比

为了更加清晰的说明悬沙含量与流速之间的关系,消除“噪声”的干扰,对2015年5月4个站位的悬沙剖面平均浓度与垂向流速时间序列进行了处理分析。利用 Matlab 中 Wavelet Toolbox 进行小波变换,采用一维 Wavelet 中的 Dmey 小波进行分析。将分析结果进行归一化处理,进行对比。

从曲线对比图(图8)中可以看出,悬沙含量的变化对流速变化的响应较好,可以清晰地看出悬沙浓度的变化与流速相比,滞后的时间约为1h。

### 3.5 悬沙输运特征

在海洋环境中,余流对沉积物和营养盐等物质运输具有重要作用<sup>[8,9]</sup>。研究区悬沙输运主要受平流输运控制,余流方向基本与悬沙净输运方向一致,因此用余流场来探讨研究区悬沙的输运特征。由研究区余流场(图9)看出,在五垒岛湾

西侧余流方向呈NW向,五垒岛湾近岸处余流方向为NE向,五垒岛湾东侧余流方向为SE向;在靖海湾东侧中部余流方向呈NW向,靖海湾近岸处余流方向为NE向,在长会口门附近及北侧余流方向为SW向,靖海湾西侧中部余流方向为SE向;张家埠新港堤头南侧及好当家渔港处呈S、SW向;好当家渔港内部余流呈NE向。

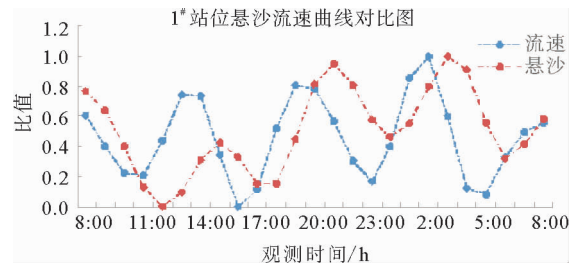


图8 悬沙含量与流速曲线对比图

Fig. 8 Comparison of suspended sediment and current curves

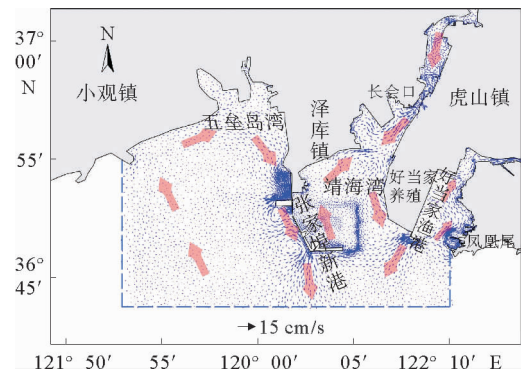


图9 研究区余流场

Fig. 9 Residual current field in the study area

整体来看,五垒岛湾与靖海湾余流自NW向呈顺时针方向变化,形成顺时针环流,在环流内部余流方向与涨潮流方向一致;好当家渔港内部余流方向与涨潮流方向一致;在长会口北侧及口门南侧附近,余流方向与落潮流方向一致;在张家埠新港防波堤南部及好当家渔港防波堤南部余流方向指向外海,这是由于构筑物的挑流作用造成的。

根据余流场,研究区悬沙净输运的特征为:五垒岛湾及靖海湾悬沙净输运方向为外部呈顺时针环流输运,环流内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致;好当家渔港内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致;长会口一带,受青龙河的影响,悬沙净输运方向与落潮流方向一致;张家埠新港防波堤南部及好当家渔港防波堤南部附近区域悬沙净输运方向指向外海。

## 4 结论

(1)研究区的悬沙时空分布特征为,在时间上表现为悬沙浓度随流速的变化呈现周期性特征,周期约为6 h,与正规半日潮流特征吻合较好,与流速的变化相比,悬沙浓度的变化有一定的时间滞后特征,滞后的时间约为1 h;在空间上表现为,悬沙浓度由表层到底层依次增大,靠近防波堤一侧的站位与外侧站位相比,由于防波堤挑流的作用,流速与悬沙浓度较高。

(2)研究区的悬沙输运特征为,文登南部近岸海域在长会口一带、张家埠新港防波堤及好当家渔港防波堤南部附近区域,悬沙净输运方向与落潮流方向一致;好当家渔港内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致;五垒岛湾与靖海湾呈顺时针环流输运,湾内部悬沙净输运方向与涨潮流方向一致,指向湾内。

### 参考文献:

[1] 刘杰,冯秀丽,刘潇,等. 山东半岛东部靖海湾及邻近海域表层沉积物分布和输运特征分析[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2013,43(5):77-81.

- [2] 刘潇,冯秀丽,刘杰,等. 山东半岛靖海湾及其附近海域悬浮泥沙分布与变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012,32(6):9-15.
- [3] 汤毓祥. 潮汐余流研究简况[J]. 海洋科学进展, 1987, 5(3):75-82.
- [4] Montes S. Mechanics of sediment transport by M. S. YALIN[J]. American Journal of Physiology, 1977, 233(3): C92-98.
- [5] 陈斌,刘健,高飞. 莱州湾悬沙输运机制研究[J]. 水科学进展, 2015,26(6):857-866.
- [6] 江文胜,苏健,杨华,等. 渤海悬浮物浓度分布和水动力特征的关系[J]. 海洋学报, 2002, 24(S1):213-218.
- [7] 杨晓东,姚炎明,蒋国俊,等. 乐清湾悬沙输移机制分析[J]. 海洋通报, 2011, 30(1):53-59.
- [8] Tee K T. Tide-induced residual current—verification of a numerical model [J]. Journal of Physical Oceanography, 2010, 7(3): 396-402.
- [9] Jr Luettich R A, Carr S D, Reynolds-Fleming J V, et al. Semi-diurnal seiching in a shallow, micro-tidal lagoonal estuary[J]. Continental Shelf Research, 2002, 22(11-13): 1669-1681.
- [10] Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1989, 11(7):674-693.

## CHARACTERISTICS OF SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT OF COASTAL WATERS IN SOUTH WENDENG

ZHANG Zhuo<sup>1</sup>, WU Jianzheng<sup>1,2</sup>, ZHU Longhai<sup>1,2</sup>, HU Rijun<sup>1,2</sup>

(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:** In-situ measurement of suspended sediment was conducted in the coastal waters of Wendeng in May 2015. With the measured data, we calculated the concentrations of the suspended sediments in different water layers and analyzed their spatial and temporal distribution patterns. Wavelet transform was done to define the cyclicity of the suspended matter. Combined with the residual current field, the overall transport characteristics of the suspended sediment in the study area are scrutinized and summarized. Results show that the concentration of suspended sediment has a periodic characteristic of every 6 hours, in good agreement with the regular half-day tidal current, and increases from surface to bottom. In the areas dominated by the residual flow, such as the Changhuikou area, the area near Zhangjiabu Newport breakwater and the area near the Haodangjia fishing harbor breakwater, suspended sediment transporting direction is same as the ebb direction. In the area near the Haodangjia fishing harbor, however, the suspended sediment moves following the direction flood tide. Suspended sediment transportation is in a clockwise manner in the Wuleidao Bay and the Jinghai Bay, following the ebb current.

**Key words:** suspended sediment; periodic characteristics; suspended sediment transport; residual current field