

基于遥感分析渤海湾冬季表层悬浮体浓度变化规律*

孙思婷^{1, 2} 徐继尚^{1, 2, 3①} 李广雪^{1, 2, 3} 刘 雪^{1, 2} 乔璐璐^{1, 2, 3} 周 尚^{1, 2}

(1. 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; 2. 中国海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266100;
3. 中国海洋大学海洋油气开发与安全保障教育部工程研究中心 青岛 266100)

摘要 渤海湾是三面环陆的半封闭浅水海湾, 海底泥沙悬浮与输运对海洋工程与生态环境有重要影响。冬季是渤海泥沙输运、海床冲刷和海底灾害的主要发生季节, 但冬季观测(特别是连续观测)难度大, 观测资料相对缺乏, 研究冬季悬浮体分布与输运规律对海洋生态环境保护和海洋工程维护等具有指导意义, 对认识近海物质及能量循环有重要科学价值。本文基于海洋水色卫星 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)遥感影像资料, 对渤海湾冬季悬浮体浓度进行了长达 8 年监测, 提取 2011—2017 年冬季(11、12、1、2 月)悬浮体浓度(Total Suspended Sediment, TSS)月平均数据, 对渤海湾冬季悬浮体分布情况及输运规律进行研究。结果表明, 渤海湾冬季的表层悬浮体浓度分布呈现近岸高离岸低、南岸高北岸低的规律, 悬浮体浓度的高值区主要分布于黄河口附近以及渤海湾南岸一带, 该海域冬季 TSS 在 80mg/L 以上, 最高可达 200mg/L; 海河口及辽东湾沿岸流区域各存在一个低值区, 悬浮体浓度介于 0—40mg/L。冬季大风天气对水体扰动剧烈, 导致渤海湾海底泥沙再悬浮, 风速与悬浮体浓度存在正相关性。同时, 冬季渤海湾沿岸流等环流增强, 使黄河口再悬浮的沉积物向渤海湾西部和北部扩散。

关键词 渤海湾; GOCI(Geostationary Ocean Color Imager); 冬季; 悬浮体; 遥感技术

中图分类号 P736 **doi:** 10.11693/hyh20190700151

悬浮体是海水中重要的物质成分, 对水体环境有重要影响。在海洋中, 悬浮体具有强大的吸附作用, 是营养盐和各类污染物的重要载体, 其分布和输运会对海洋生态环境产生重要影响(Ma *et al.*, 2001), 研究其时空分布对于海洋环境保护具有重要意义。此外, 悬浮泥沙堆积变化可能导致河口海岸地区大范围的演化变迁, 影响港口航道和近岸工程的建设。

渤海湾位于渤海西部, 是渤海三大海湾之一。因其特殊的地理位置和丰富的自然资源, 渤海湾一直是我国海岸带的重要研究区域。研究该地区的悬浮体分布及其输运规律, 可以为指导区域社会经济活动、海洋生态环境保护、海洋工程维护和防灾减灾等提供

理论依据。

前人通过对渤海悬浮体分布及输运规律研究, 提出悬浮体浓度分布主要受入海径流、潮汐潮流、季风、海岸类型等因素的影响(秦蕴珊等, 1982; 张经等, 1985; 谷国传等, 1989; 江文胜等, 2002)。庞重光等(2004)根据 2000—2004 年 SeaWiFS 数据反演得到渤海表层悬浮体浓度资料, 总结出渤海表层悬浮体浓度时空分布规律, 认为夏季影响悬浮体浓度的主要因素是入海径流, 冬季的主要因素则是海浪和潮流造成的沉积物再悬浮; 樊辉等(2007)利用 2004 年黄河口海区实测数据和 Landsat TM 遥感数据, 建立了光谱反射率和表层悬浮体浓度的回归关系; 乔璐璐

* 国家自然科学基金, 41976198 号, 41806072 号; 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项, SQ2017YFGH001475 号。孙思婷, 硕士研究生, E-mail: sunsiting96@163.com

① 通信作者: 徐继尚, 硕士生导师, 副教授, E-mail: jishangxu@ouc.edu.cn

收稿日期: 2019-07-31, 收修改稿日期: 2019-11-12

等(2010)对 2008 年渤海湾中北部观测数据进行分析,指出悬浮体体积浓度垂直分布与温跃层有关;陈燕等(2014)建立了渤海湾近岸悬浮体浓度遥感反演的半定量分析模型,并得出研究区悬浮体浓度整体偏低,且近岸海域大于远海的结论;周舟等(2017)利用 2003—2014 年的 MODIS 遥感数据对渤海表层悬浮体浓度的长期变化和分布进行研究,表明悬浮体浓度呈下降趋势,并指出这种变化可能与季风信号减弱、黄河调水调沙以及围海造田工程有关。可见,冬季是渤海悬浮体输运的主要季节,但冬季悬浮体观测资料相对匮乏。卫星遥感具有监测范围广、时空连续性强等优点,逐渐成为表层悬浮体浓度监测的重要手段,但目前对于长时间尺度的悬浮体浓度分布和输运规律研究还需要进一步加强。

GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)是 2010 年 6 月 27 日韩国发射的全球第一颗地球同步轨道海洋水色卫星上搭载的传感器,它可以从静止的平台不断观测环朝鲜半岛的海洋水色,用来研究海洋、陆地和大气的快速变化。GOCI 卫星拥有极高的时间分辨率和较高的空间分辨率,每天提供 8 幅影像,时间分辨率为 1h,空间分辨率为 500m,能够满足大范围内快速监测悬浮体变化的需求。近年来 GOCI 被广泛应用于海水表层悬浮体浓度的研究(He *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2014; Doxaran *et al.*, 2014; 江彬彬等, 2015; 刘波等, 2016),也有很多学者对 GOCI 数据产品的可靠性进行了检验(Lamquin *et al.*, 2012; Ruddick *et al.*, 2012; 李豪等, 2016)。本文采用长时间序列的 GOCI 遥感影像,对渤海湾 2011—2017 年冬季悬浮体的分布和输运机制进行重点研究,采用 GDPS(GOCI Data Processing System)和 ENVI(The Environment for Visualizing Images)软件,处理获得渤海湾悬浮体浓度分布(Total Suspended Sediment, TSS)月平均数据,总结冬季渤海湾表层悬浮体的分布特点和扩散路径,并分析其影响因素和动力机制。

1 研究区概况

渤海湾是渤海的三大海湾之一,位于渤海西部,东部通常以滦河口至黄河口的连线为界。三面环陆,与河北省、天津市、山东省相邻,包含天津港、黄骅港、曹妃甸港等重要港口,面积为 1.59 万 km^2 ,约占渤海的五分之一,平均水深 12.5m。本文研究区范围为(117.2°—119.5°E, 37.7°—39.6°N)(图 1)。该地气候

属于大陆性季风气候,冬季盛行西北风,寒冷干燥,常有大风天气出现;夏季盛行东南风,温暖湿润,且风力较弱。气温年际变化存在较大差异,1 月平均气温约为 -2°C ,7—8 月平均气温可达到 25°C 。渤海的年平均降水量为 500—1100mm 左右,降水集中分布在 6—8 月份,占全年总降水量的一半以上(高瑞华等, 2008)。渤海的环流受季风的影响较大,呈“冬强夏弱”的特征。冬季多偏北大风,是冬季环流的主要驱动力(冯士筭, 2007)。渤海湾冬季环流主要包含两支水团,分别是外海的高盐水和黄河冲淡水,外海高盐水包括黄海暖流的分支和黄海冷水团,沿渤海湾北岸流入渤海湾,在湾内呈逆时针回转;黄河冲淡水则沿渤海湾南岸呈顺时针方向流动,呈“北逆南顺”的双环结构(赵保仁等, 1995)。渤海湾表层余流的流速通常为 0.1—0.2m/s,冬季较强,可达 0.2m/s 以上(冯士筭, 2007)。

大量河流汇入渤海湾,主要包括黄河、滦河、海河、蓟运河等,河口有黄河口、大清河口、大沽河口等,这些河流携带大量泥沙入海。黄河作为我国第二大河,其最大特点是水少沙多。根据泥沙公报 1950—2005 年统计资料,黄河年平均径流量为 $313.3 \times 10^8 \text{m}^3$,利津站年均输沙量可达 $7.78 \times 10^8 \text{t}$,是渤海湾现代沉积物的主要来源,对渤海湾水体环境产生重大影响。其中,黄河口沉积物是黄河携带的大量泥沙在入海处淤积而成,表层沉积物以粉砂为主,整体较为松散,稳定性差,易受风浪、潮流等影响而扩散和输运(王楠, 2014)。

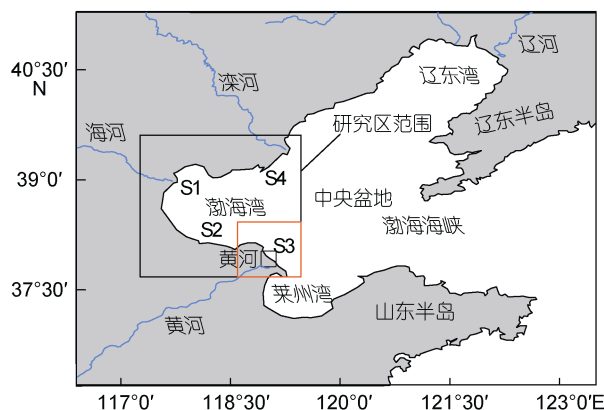


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of the research area
注: S1: 海河口低值区; S2: 渤海湾沿岸流区; S3: 黄河口高值区; S4: 辽东湾沿岸流区; 黑框: 研究区范围; 红框: 黄河口高值区取值范围

2 数据与方法

本研究使用 GOCI 遥感影像和风场数据进行分析。GOCI 影像选取的是 2011—2017 年 1、2、11、12 月由韩国海洋卫星中心(Korea Ocean Satellite Center, KOSC)提供的基于 GOCI 数据的表层 TSS(单位: mg/L)二级产品, TSS 是 GDPS 基于 Case-2 算法(Min *et al.*, 2013)得到的可应用于极度浑浊海域的产品, 算法为:

$$TSS = 10^{\left(c_0 + c_1 \times \left(\frac{Rrs(745)}{Rrs(555)} \right) + c_2 \times \left(\frac{Rrs(680)}{Rrs(490)} \right) \right)}$$
 (1)

表 1 GOCI 原始数据质量情况
Tab.1 Quality of the GOCI raw data

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 月		√	数据质量差	√	√	√	√
2 月		√	√	√	√	√	√
11 月	√	√	√	√	数据质量差	√	
12 月	√	√	√	√	√	√	

为了研究天气因素对悬浮体分布的影响, 本文收集了渤海湾西部观测站实测资料(38.5°N, 118°E, 图 1), 分析观测站的风场和气温变化与悬浮体分布之间的关系。所用的 ERA-Interim 海面风场资料是由欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)提供的再分析产品, 空间分辨率为 1/8°, 时间分辨率为 6h。

3 研究结果

3.1 渤海湾冬季悬浮体的区域分布特征

渤海湾冬季悬浮体的空间分布不均匀。根据 2011—2017 年度悬浮体浓度平均分布情况(图 2), 将渤海湾分为四个区域(图 1): 黄河口高值区、渤海湾沿岸流区、海河口低值区和辽东湾沿岸流区。黄河口高值区和渤海湾沿岸流区为浓度较高的区域, 其中, 黄河口高值区位于东南部黄河入海口附近, 悬浮体浓度超过 80mg/L, 最高值在 200mg/L 以上; 渤海湾沿岸流区位于渤海湾中部和南部沿岸区域, 区域内的悬浮体主要来源于黄河口沉积物再悬浮后向西、向北扩散, 悬浮体浓度在 50—100mg/L 左右。部分悬浮体在渤海湾中部沉积, 这也为渤海北部泥质沉积区的形成提供了物质来源(刘建国, 2007)。海河口低值区和辽东湾沿岸流区悬浮体浓度整体偏低, 海河口低值区位于渤海湾西北部的海河入海口附近, 为悬浮体浓度最低的区域, 通常在 0—30mg/L 之间; 辽东湾沿

其中, $c_0=0.08823$, $c_1=1.627$, $c_2=1.121$, Rrs 表示遥感反射率。

由于云层、海冰等因素的影响, 遥感影像无法完全覆盖所研究的海区, 在海区边缘存在数据缺失现象。为了提高数据准确性, 使用 ENVI 软件对每年 1、2、11 和 12 月的数据进行平均, 获得月平均悬浮体浓度分布图; 再将每个月和每个年度冬季的数据进行平均, 分析渤海湾冬季悬浮体的整体分布情况。其中 2013 年 1 月和 2015 年 11 月的数据存在缺失或质量不好的现象, 无法进行分析。具体数据应用情况见表 1。

岸流区位于东北部辽东湾沿岸流南下区域, 其悬浮体浓度通常介于 0—40mg/L。

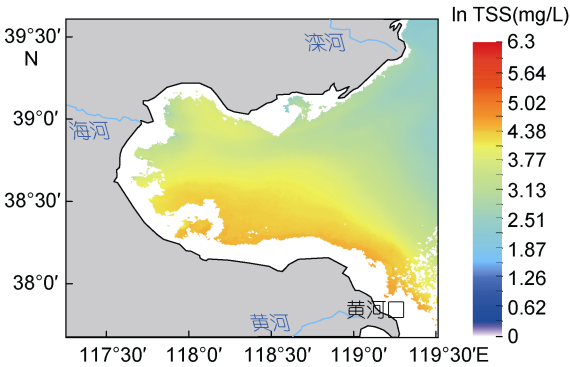


图 2 2011—2017 年冬季渤海湾基于 GOCI 影像的多年平均 ln(TSS)图

Fig.2 Distribution of multi-year mean ln(TSS) of Bohai Bay based on GOCI imaging in winter of 2011—2017

注: TSS 表示悬浮体浓度, 单位为 mg/L

3.2 渤海湾冬季悬浮体的年度变化

图 3 为 2011—2017 各年悬浮体浓度冬季平均分布。2011—2012 年冬季悬浮体浓度较高, 黄河口高值区最高值为 170mg/L, 在渤海湾沿岸流区的北部存在一个明显的悬浮体浓度锋面。2012—2013 年冬季悬浮体浓度整体偏低, 浓度锋面不明显且靠近渤海湾南部, 黄河口高值区和渤海湾沿岸流区南岸一带悬浮体浓度最高值 100mg/L 左右, 大部分地区不超过

70mg/L, 且沿岸高浓度悬浮体向北扩散范围较小, 辽东湾沿岸流区低浓度水体影响范围较广, 悬浮体浓度大多在 20mg/L 以下。2013—2016 年渤海湾冬季悬浮体平均浓度整体呈逐渐升高的趋势, 且高浓度悬浮体持续向北扩散。其中, 2014—2015 年冬季悬浮体平均浓度较 2013—2014 年略有增加, 但最大浓度在 150mg/L 以下, 悬浮体整体扩散范围较广, 浓度锋面不明显, 且辽东湾沿岸流区和海河口低值区均存在明显的低浓度水体影响, 悬浮体浓度整体偏低, 不超过 20mg/L; 2015—2016 年冬季悬浮体浓度普遍较高, 浓度锋面向北移, 最远可延伸至渤海湾北岸, 黄河

口高值区浓度大多在 100mg/L 以上, 最高可达 200mg/L, 中部海区浓度也普遍达到 70mg/L, 辽东湾沿岸流区与海河口低值区悬浮体浓度也明显增加。整体来看, 2012—2016 年冬季渤海湾南岸悬浮体浓度呈逐渐增加的趋势, 高浓度悬浮体向北扩散范围增大, 辽东湾沿岸流区与海河口低值区低浓度水体影响减弱。2016—2017 年冬季悬浮体浓度及扩散范围出现一定程度的减小, 但渤海湾中部大部分海域悬浮体浓度也在 70mg/L 以上, 黄河口高值区和渤海湾沿岸流区南岸浓度可达 100mg/L, 辽东湾沿岸流区与海河口低值区浓度增高, 多在 10—40mg/L 之间。

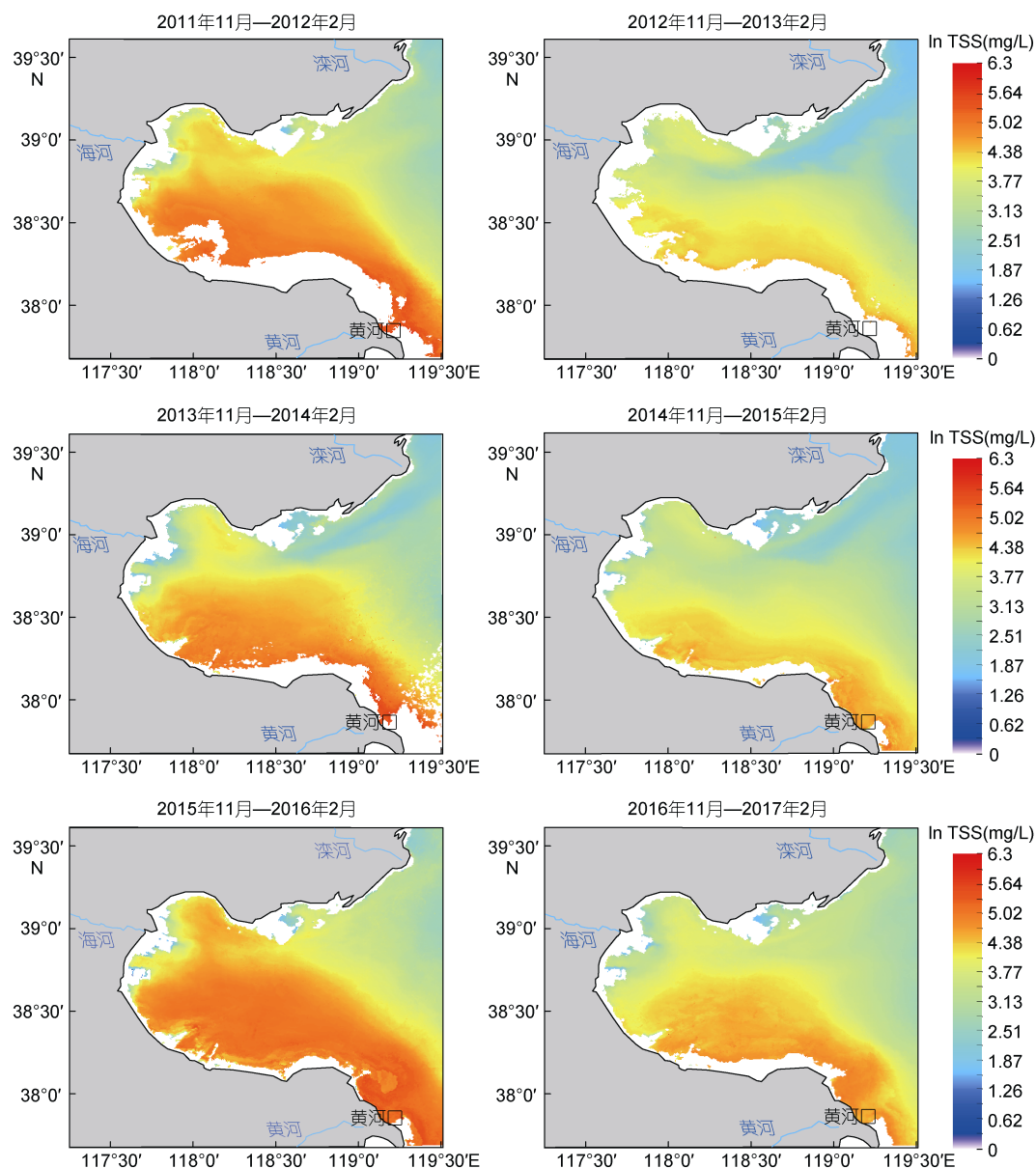


图3 2011—2017 年渤海湾基于 GOCI 影像的冬季平均 ln TSS 图

Fig.3 Distribution of annual mean ln TSS of the Bohai Bay based on GOCI imaging in winter of 2011—2017

3.3 渤海湾冬季悬浮体的月平均变化

图 4 为 2011—2017 年冬季各月悬浮体浓度平均分布, 渤海湾海区悬浮体主要来自黄河口高值区的大量泥沙再悬浮, 11 月悬浮体浓度高值主要集中在南岸黄河口高值区和渤海湾沿岸流区, 12 月开始受冬季风影响, 水体扰动强烈, 在波浪、环

流系统作用下悬浮体沿渤海湾南岸向西输运的同时也在向北扩散, 11 月到次年 2 月渤海湾内悬浮体浓度逐渐增大。辽东湾沿岸流区与海河口低值区悬浮体浓度在 12 月和 1 月增加, 低浓度水体扩散范围较小。到了 2 月, 辽东湾沿岸流区悬浮体浓度始趋降低。

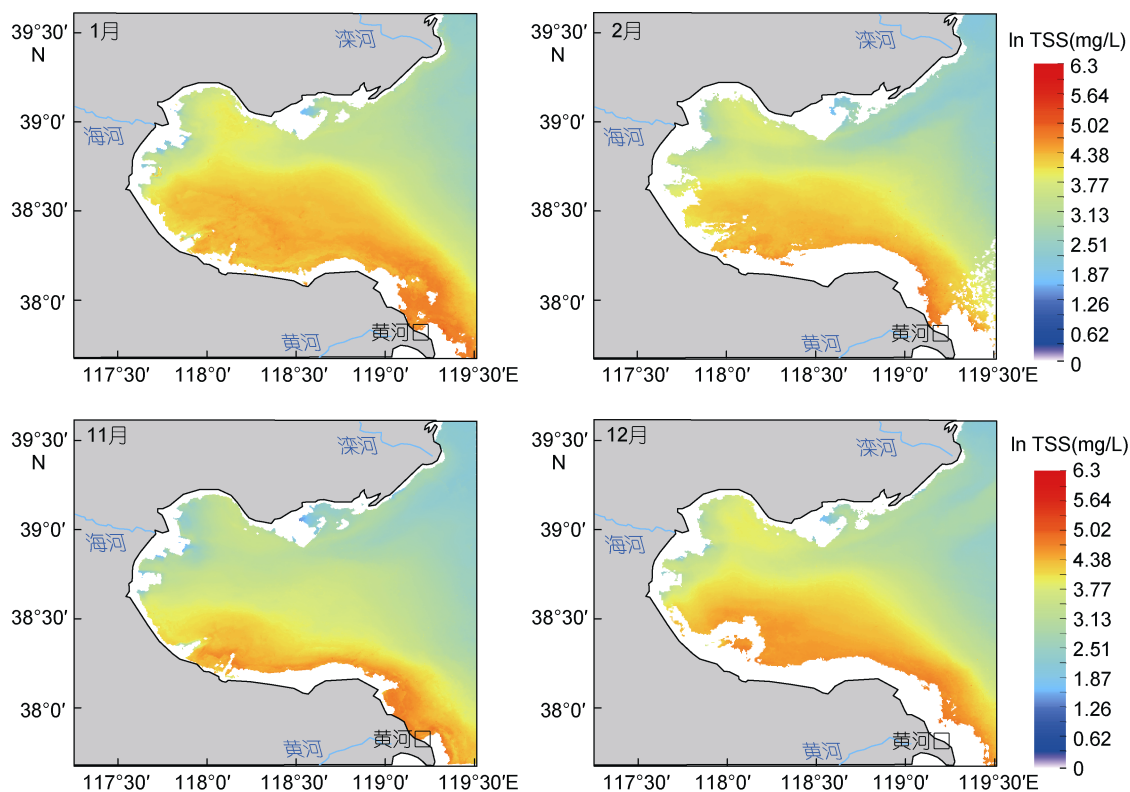


图 4 2011—2017 年冬季渤海湾基于 GOCI 影像的各月平均 ln TSS 图

Fig.4 Distribution of monthly mean ln TSS of the Bohai Bay based on GOCI imaging in winter of 2011—2017

4 讨论

4.1 悬浮体浓度变化机制

渤海湾悬浮体主要来源有河流入海输沙以及沉积物在冬季强风作用下发生的再悬浮。根据中国河流泥沙公报 (<http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/zghlnsgb/>) 显示, 2014 年以来黄河入海的年径流量和年输沙量都明显减小, 且呈现逐年降低的趋势。而图 3 显示 2012—2016 年冬季悬浮体浓度逐渐升高, 因此黄河入海泥沙扩散对渤海湾冬季悬浮体的贡献减弱, 该区域悬浮泥沙主要来自于近岸侵蚀及沉积物再悬浮, 并在风浪、环流等作用下扩散。

为研究风浪对悬浮体浓度的影响, 选取 2011—2017 年冬季黄河口遥感影像质量较好的日期, 求得渤海湾东南部黄河口高值区(图 1 红色区域)悬浮体浓

度平均值, 绘制悬浮体浓度与日平均风速散点图(图 5), TSS 与风速的相关系数为 0.67, 二者存在较好的正相关性。这说明冬季强风天气对渤海湾悬浮体浓度分布有重要影响, 强风浪会增强对海岸和海底的侵蚀作用, 造成大量泥沙再悬浮, 从而导致悬浮体浓度增加。

4.2 悬浮体浓度区域分布机制

图 6 为渤海湾冬季环流示意图, 渤海湾主要有两支流, 分别为外海高盐水和黄河冲淡水。黄海暖流的余脉在进入渤海湾后向南转折, 呈逆时针方向流动; 黄河冲淡水沿渤海湾南岸向西, 呈顺时针方向流动, 所以渤海湾的环流呈北部为逆时针环流、南部为顺时针环流的双环结构(赵保仁等, 1995)。结合悬浮体分布情况分析, 冬季受强风天气的影响, 风浪作用

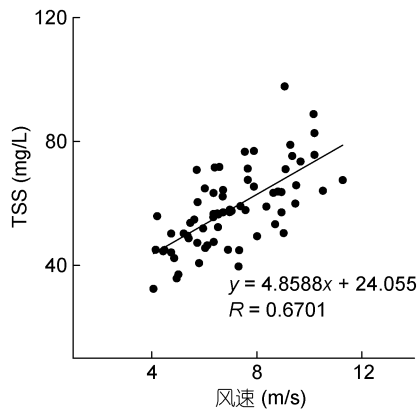


图5 黄河口高值区悬浮体浓度与风速散点图

Fig.5 The scatter map of TSS and wind speed in the high TSS area of the Huanghe (Yellow) River Estuary

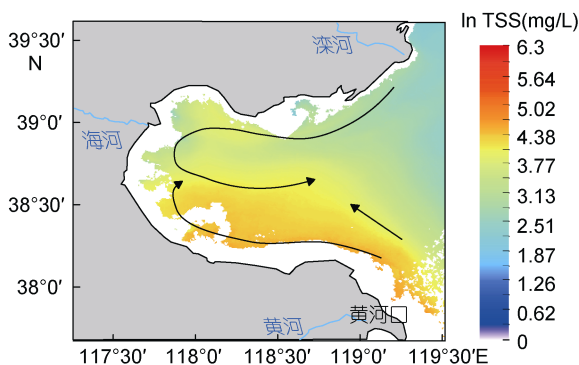


图6 2011—2017 渤海湾冬季悬浮体平均分布及环流示意图

Fig.6 Circulation and average TSS distribution in the Bohai Bay in winter 2011–2017 (modified from Zhao *et al.*, 1995)

注: 改绘自赵保仁等(1995)

强烈, 黄河口的沉积物被掀起再悬浮, 产生大量悬浮泥沙。含高浓度悬浮体的水体在环流、潮流、波浪等作用下一部分向湾内运移, 遇黄海暖流阻隔, 在渤海湾中部形成悬浮体浓度锋面, 并沿锋面在渤海湾中部转为东向运输。

5 结论

本文利用 2011—2017 年 11、12、1、2 月 GOCI 传感器的月平均 TSS 数据, 对渤海湾冬季的悬浮体分布输运规律进行了研究, 并结合观测站的风场和气温数据综合分析了其影响因素。研究发现:

(1) 渤海湾冬季表层悬浮体空间分布不均匀, 呈现出近岸高、离岸低; 南岸高、北岸低的趋势。受围填海工程及其他人类活动的影响, 渤海湾西北部曹妃甸港附近普遍存在一个悬浮体浓度偏高的区域,

平均在 40—60mg/L; 黄河口附近以及渤海湾南岸一带为悬浮体浓度高值区, 悬浮体浓度通常在 80mg/L 以上, 最高值可达 200mg/L; 海河口附近和辽东湾沿岸流流经的区域都受到低浓度水体流入的影响, 存在一个悬浮体浓度偏低的区域, 浓度低于 40mg/L。

(2) 渤海湾悬浮体的主要来源是黄河入海携带的泥沙在黄河口淤积, 冬季受强风浪以及冬季风的影响, 水体扰动强烈, 黄河口的沉积物发生再悬浮, 悬浮体浓度增加, 并在环流、潮流、波浪等作用下向渤海湾西部和北部扩散; 辽东湾沿岸流携带的低浓度水体南下使得悬浮体浓度降低。

(3) 冬季渤海湾的风速与悬浮体浓度存在一定的正相关性, 强风浪会加强对海岸和海底的侵蚀作用, 导致渤海湾近岸黄河口高值区悬浮体浓度明显增加。

参 考 文 献

- 王 楠, 2014. 现代黄河口沉积动力过程与地形演化. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 15
- 冯士筌, 张经, 魏皓等, 2007. 渤海环境动力学导论. 北京: 科学出版社, 3, 12—13
- 乔璐璐, 李广雪, 邓声贵等, 2010. 夏季渤海湾中北部悬浮体分布. 海洋地质与第四纪地质, 30(3): 23—30
- 刘 波, 程 乾, 曾焕建等, 2016. 基于 GOCI 数据的杭州湾跨海大桥两侧水域悬浮泥沙浓度空间分异规律研究. 杭州师范大学学报(自然科学版), 15(1): 102—107
- 刘建国, 2007. 全新世渤海泥质区的沉积物物质组成特征及其环境意义. 青岛: 中国科学院海洋研究所博士学位论文, 122—123
- 江文胜, 苏 健, 杨 华等, 2002. 渤海悬浮物浓度分布和水动力特征的关系. 海洋学报, 24(S1): 212—217
- 江彬彬, 张霄宇, 杜 泳等, 2015. 基于 GOCI 的近岸高浓度悬浮泥沙遥感反演——以杭州湾及邻近海域为例. 浙江大学学报(理学版), 42(2): 220—227
- 李 豪, 何贤强, 丁 静等, 2016. 春季辽东湾静止轨道海洋水色遥感产品的真实性检验. 光学学报, 36(4): 9—20
- 谷国传, 胡方西, 1989. 我国沿海近岸带水域的悬沙分布特征. 地理研究, 8(2): 1—15
- 张 经, 黄薇文, 刘敏光, 1985. 黄河口及邻近海域中悬浮体的分布特征和季节性变化. 山东海洋学院学报, 15(2): 96—104
- 陈 燕, 孔金玲, 孙晓明等, 2014. 基于分析模型的渤海湾近岸海域悬浮泥沙浓度遥感反演. 地理与地理信息科学, 30(3): 33—36, 55
- 周 舟, 张万磊, 江文胜等, 2017. 渤海表层悬浮物浓度长期变化(2003-2014 年)的卫星反演研究. 中国海洋大学学报, 47(3): 10—18
- 庞重光, 白学志, 胡敦欣, 2004. 渤、黄、东海海流和潮汐共同作用下的悬浮物输运、沉积及其季节变化. 海洋科学集刊, (46): 32—41
- 赵保仁, 庄国文, 曹德明等, 1995. 渤海的环流、潮流及其对沉积物分布的影响. 海洋与湖沼, 26(5): 466—473

- 秦蕴珊, 李 凡, 1982. 渤海海水中悬浮体的研究. 海洋学报, 4(2): 191—200
- 高瑞华, 王式功, 张孝峰等, 2008. 渤海海峡大风的气候特征分析. 海洋预报, 25(3): 7—15
- 樊 辉, 黄海军, 唐军武, 2007. 黄河口水体光谱特性及悬沙浓度遥感估测. 武汉大学学报·信息科学版, 32(7): 601—604
- Choi J K, Park Y J, Lee B R *et al*, 2014. Application of the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) to mapping the temporal dynamics of coastal water turbidity. *Remote Sensing of Environment*, 146: 24—35
- Doxaran D, Lamquin N, Park Y J *et al*, 2014. Retrieval of the seawater reflectance for suspended solids monitoring in the East China Sea using MODIS, MERIS and GOCI satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 146: 36—48
- He X Q, Bai Y, Pan D L *et al*, 2013. Using geostationary satellite ocean color data to map the diurnal dynamics of suspended particulate matter in coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 133: 225—239
- Lamquin N, Mazeran C, Doxaran D *et al*, 2012. Assessment of GOCI radiometric products using MERIS, MODIS and field measurements. *Ocean Science Journal*, 47(3): 287—311
- Ma M, Feng Z, Guan C *et al*, 2001. DDT, PAH and PCB in sediments from the intertidal zone of the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 42(2): 132—136
- Min J E, J K Choi, Y J Park *et al*, 2013. Retrieval of suspended sediment concentration in the coastal waters of yellow sea from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Proceeding of International Symposium of Remote Sensing* 2013, 809—812
- Ruddick K, Vanhellefont Q, Yan J *et al*, 2012. Variability of suspended particulate matter in the Bohai Sea from the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI). *Ocean Science Journal*, 47(3): 311—345

ANALYSIS OF SUSPENDED SEDIMENTS CONCENTRATION IN THE BOHAI BAY IN WINTER BASED ON REMOTE SENSING

SUN Si-Ting^{1,2}, XU Ji-Shang^{1,2,3}, LI Guang-Xue^{1,2,3}, LIU Xue^{1,2}, QIAO Lu-Lu^{1,2,3}, ZHOU Shang^{1,2}

(1. Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques, Qingdao 266100, China; 2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. Engineering Research Center of Marine Petroleum Development and security Safeguard, Ministry of Education, Qingdao 266100, China)

Abstract Bohai Bay is a semi-enclosed shallow bay of the Bohai Sea, North China. Understanding the material and energy circulation in coastal areas at seabed is important for local marine engineering and ecological environment. Winter is the main season of sediment transportation, seabed erosion, and geologic hazards in the Bohai Sea. However, observation of the suspending sediment in winter (especially continuous observation) is difficult, and the observation data are relatively scarce. Based on the GOCI (Geostationary Ocean Color Imager) remote sensing image data, we conducted an 8-year observation to monitor the concentration of suspended sediments in Bohai Bay in winter (November, December, January, and February) from 2011 to 2017. The monthly averaged data of Total Suspended Sediments (TSS) concentration were obtained, with which distribution and transportation of suspended sediments in winter were analyzed. Results show that the TSS of near-shore areas was much higher than that of the offshore, and higher in the south coast than that of the north coast. The high-TSS areas distributed mainly near the Huanghe (Yellow) River estuary and on the southern coast of the Bohai Bay. In winter, TSS concentration was often above 80 mg/L, and the maximum could reach 200 mg/L occasionally. A low-TSS area was observed each in Haihe River estuary and Liaodong Bay coastal current area, where the TSS concentration was between 0 and 40mg/L. The strong wind in winter disturbed the water seriously, which resulted in the resuspension of sediment in the Bohai Bay. At the same time, circulation systems such as coastal current in Bohai Bay were strengthened in winter, making the sediments of the Huanghe River estuary re-suspended and diffused westward and northward in the Bohai Bay.

Key words Bohai Bay; GOCI; winter; suspended sediments; remote sensing technology