

莱州湾悬浮泥沙分布形态 及其与底质分布的关系*

江文胜 王厚杰

(中国海洋大学物理海洋实验室 物理海洋研究所 青岛 266003)

(中国海洋大学河口海岸研究所 青岛 266003)

提要 根据卫星遥感图像和历史观测资料分析,莱州湾的高悬浮物浓度区基本在以黄河口为中心的北侧海域,而湾顶往往浓度低。2002年8月针对莱州湾的底质类型、悬浮物粒径分布以及海流、盐度的航次调查资料显示,莱州湾的底质类型决定着其悬浮物的分布形态。距黄河口较近的区域底质粒级分布呈明显的双峰结构,即一个较粗的峰值和一个较细的峰值,而较细的峰值与水体中悬浮颗粒的粒径相近;距河口较远站位的底质分布则呈现单峰结构,并且底质的粒径较粗。因此,在一般潮流作用下,河口附近底部沉积物容易形成再悬浮,水体中悬浮物浓度较高;而距河口较远的区域底部沉积物再悬浮相对困难,水体中悬浮物浓度较低。本研究结果对莱州湾悬浮泥沙分布形态给出了合理的解释。

关键词 莱州湾,黄河口,悬浮物,再悬浮,粒径

中图分类号 P736

渤海是中国的内海,历来受到中国海洋科学工作者的关注(万修全等,2004;孙涛等,2004;姚庆祯等,2004;宋金明等,2004)。其中黄河这一举世闻名的河流的注入,使渤海的悬浮物运输更具特色。特别是1976—1996年,黄河经清水沟流路入海,大量的河流泥沙使得黄河入海口呈楔状向海中伸展,对莱州湾内的悬浮泥沙分布产生了很大影响。1996年夏季人工引黄河从北汊入海,使得楔型的发展受到了阻碍,转而从新的入海口处向外扩展。由于近年来随着中国经济的发展,黄河入海水沙急剧减少,从而使得黄河三角洲岸滩出现侵蚀情况,给滨海油田等工业设施带来了很大危害。

黄河入海的泥沙主要来自中游黄土高原细颗粒物,因此悬浮颗粒物的运输在总沉积物运输中占有很重要的地位。Yang等(1989)对莱州湾10m等深线以深区域的1985年夏季航次悬浮物分布进行了分析,指出了黄河入海物质对莱州湾悬浮物分布的重要影响,但是本次研究没有涉及

到10m等深线以浅的莱州湾大部分区域。臧启运(1996)利用1984年的资料,Li等(1998)利用1991年的悬浮物观测资料分别进行了细致的分析,其中Li等(1998)还对悬浮颗粒的粒径进行了分析,但他们的研究区域基本局限在黄河三角洲邻近的海域。江文胜等(2002)利用2000年夏季的资料研究了渤海悬浮物浓度与水动力特征的关系,其中特别分析了莱州湾中一个站7天的浊度剖面时间序列,得到了潮流、风对浊度的影响。

目前,悬浮颗粒物运输的模拟研究正逐渐开展,Jiang等(2000)利用三维数值模式模拟了渤海一年的悬浮物浓度变化。由于悬浮物运输问题本身的复杂性,这些数值研究中某些数据只能就掌握的资料进行简化、近似处理。为了进一步理解黄河入海的悬浮物运输过程,中国海洋大学在2002年夏季对莱州湾进行了一次观测,着重研究莱州湾的底质及悬浮颗粒物的粒径分布,并结合水动力条件对悬浮物运输进行分析。

* 国家863青年基金资助项目,2001AA616100号及国家重点基础研究发展规划资助项目,2002CB412504号。江文胜,教授, E-mail:wsjiang@ouc.edu.cn

1 区域概况

范兆木等(1992)的动态卫星遥感图集展示了10余年不同季节的黄河三角洲邻近海域的悬浮物分布。从这些图中可以看出一个令人关注的现象,

高浊度的水并不是充满整个莱州湾,往往集中在莱州湾的中部,湾顶水浅处浓度却反而低(图1及封面插图)。显然这种悬浮物分布形态与黄河悬浮泥沙入海分布密切相关。

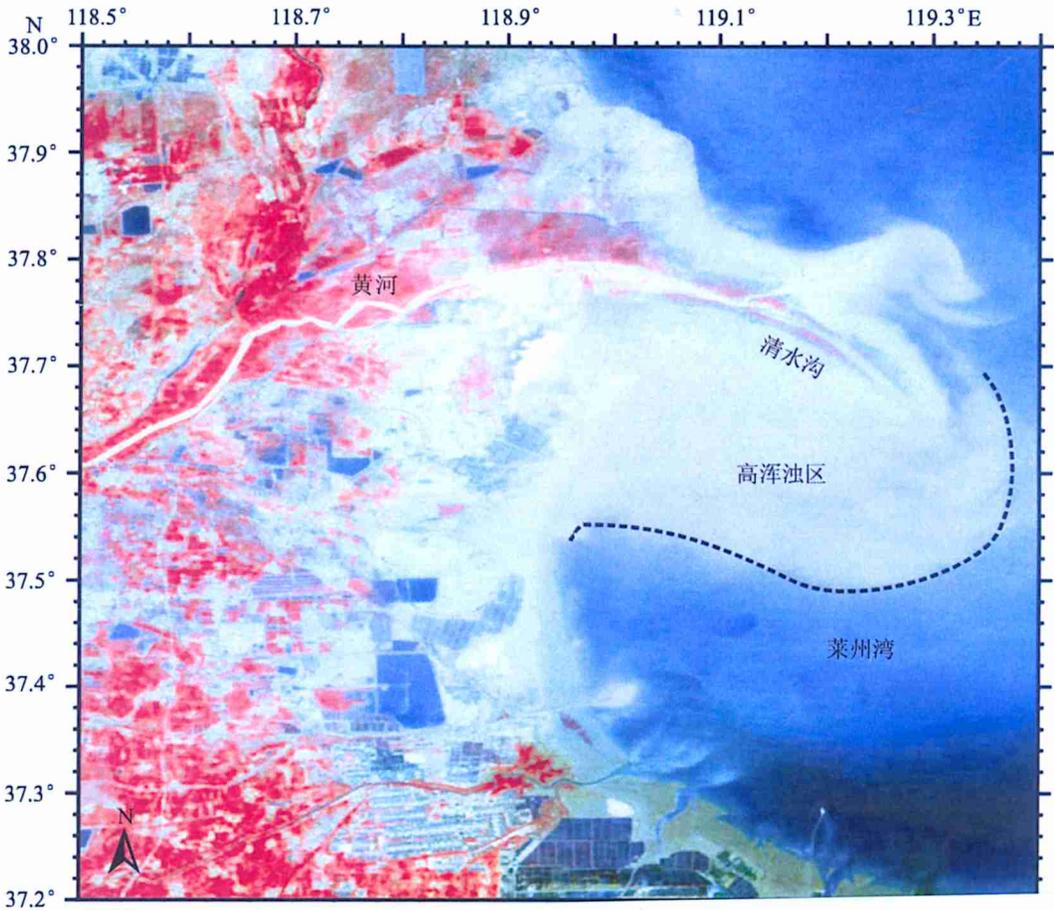


图1 1999年8月28日LANDSAT 遥感图像显示的莱州湾内高浊度区的形态及位置

Fig. 1 Landsat image of August 28, 1999, indicating the shape and location of the high-turbidity zone in Laizhou Bay

2 现场观测

本次调查在莱州湾设置了5个断面(A—E)进行大面观测,每断面4—5个站(图2)。这几个断面基本集中在莱州湾西半部,覆盖了卫片显示的高浓度区。

观测项目包括:在每个站采底质样用来分析粒度,分表、中、底3层采水样测悬浮颗粒物粒度,在同样层位上测海流,用YSI多参数水质仪对盐度、浊度等参数进行了剖面观测。另外还测量了风速及各站水深。

所带主要仪器设备:SLC9-2型直读海流计2台,YSI水质仪1台,测深仪1台,3杯风速仪1

支,采水器2个,0.025m²挖泥斗1个。

2002年8月27日凌晨3:00由东营广利港出发,租用一艘29m长、吃水2m、GPS导航木壳渔船,5:30左右出河口开始观测。观测航线见图2。观测中在E5、C5等站均遇到渔民的流网,绵延十数里,只好不断躲避、等待,因此部分站位被迫去掉,但总体上不影响观测结果。8月28日22:00观测结束。

整个观测过程天气状况良好,所测最大风速为8m/s,大部分时间的风速为3m/s以下。仪器工作正常,只是底质采样时A3、A4、B5、D1、E1等黄河口附近的“铁板沙”区域以及莱州湾顶的几个

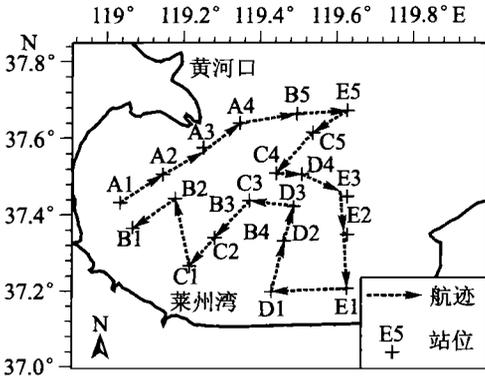


图2 2002年8月27—28日观测站位和航迹图
Fig.2 Location map of stations and cruising track on August 27—28, 2002

站未能用挖泥斗采上泥样。但由于所使用的渔船铁锚顶端恰有一管状凹槽,当下锚时有时会像管状采泥器一样保存一段泥柱。经现场验看,A3、B5、E1 三站锚上的泥柱受扰动不大,样品从锚上获得。不过D1 站未抛锚,A4 站锚上没有泥样,因此这两站底质样品未得到。

3 样品分析

流速、水深、盐度、浊度、风速等数据均由仪器现场测定。浊度反映的是海水的光学性质,它与悬浮物浓度具有较好的关系。除了与悬浮物浓度有关外,还与悬浮颗粒的粒径、形状、颜色等有关。因此悬浮物浓度与浊度之间的关系一般需要同海区相关联。苏健等(2001)利用1998、1999年渤海中南部的观测资料,拟合出了浊度与悬浮物浓度的经验公式: $S = 1.459T - 0.439$ 。其中 S 表示悬浮物浓度,单位为 mg/L ; T 表示浊度,单位为 NTU。下面仅对浊度进行论讨。

底质粒度分布采用法国生产的CILAS 940L型激光粒度分析仪,实验在中国科学院海洋研究所沉积动力实验室进行。样品经超声波分散后进行测定,其测量范围为 $0.3 - 2000\mu m$,分为100级。

水样中悬浮物样品由 Beckman Coulter Multi-sizer 3 计数器测定,测定范围为 $0.948 - 30\mu m$,同样分为100级。测量时将所采水样充分搅拌使之均匀,然后直接进行测量。

4 结果

4.1 浊度

图3为调查区域悬浮颗粒物浊度的表、底层

分布。从中可以看出表层浓度低于底层浓度,但二者的水平分布特征基本相似,存在一个以老河口为中心的高浊度区,在距离河口最近的A3 站底层浊度最高达 $194.1 NTU$,表层也达 $115.3 NTU$ 。观测时该站的底层流速为 $34 cm/s$ 。这一浊度分布形态与卫星遥感资料中的水色分布(图1)相吻合。在浅海中悬浮物的浓度与当地的水动力条件密切相关(江文胜等,2002),然而观测时流速及风速表明,调查区域内悬浮物的高浓度区并不对应着高流速或大风区,悬浮物浓度与底层流速的相关系数约为 0.1 ,而与风速的相关系数更小为 -0.01 。也就是说这里得到的浊度分布尽管不是同步的,但这种不同步性并没有掩盖莱州湾悬浮物浓度水平分布的主要特征。

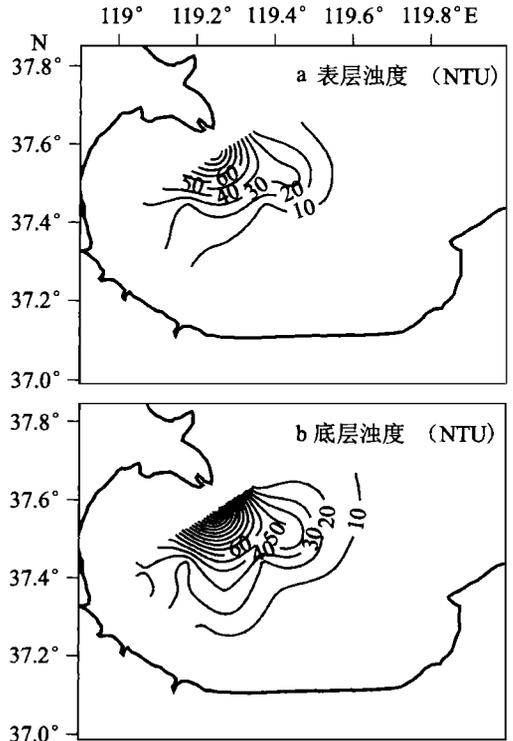


图3 表层(a)和底层(b)浊度分布(单位:NTU)
Fig.3 Distribution of surface (a) and bottom (b) turbidity (NTU)

4.2 浊度分布形态与底质类型

上述的浊度分布形态在莱州湾出现频率是很高的。本观测中通过对底质的采样分析发现,这种浊度分布形态与底质类型分布有密切关系。本研究区底质类型基本为粉砂,但是在黄河口附近有一片粘土质粉砂,其中值粒径小于 $16\mu m$ (图4)。

这一细颗粒底质的分布范围与观测到的高浊度分布区吻合很好(图 3), 这表明高浊度区的形成是该区域细颗粒底质在水动力作用下再悬浮的结果。江文胜等(2002)在莱州湾内 7 天连续站观测结果(B5 站附近)亦清楚地显示了潮流引起的再悬浮可以达到离底 10m 的高度。本次调查期间无明显的风浪, 因而底质的再悬浮情况主要取决于底质类型。

径都在 100 μm 以下, 而且基本能达到 80 μm 左右。从谱形上看, 所有站可以分成两类: 一类是双峰结构, 一类是单峰结构。A1、A2、A3、B2、B5、C2、C3、C4 诸站的底质分布呈现双峰结构, 其中 A1、A2、B2、B5 站见图 5。这几个站的共同特点是在 1.2 μm 附近存在着一个颗粒物的聚集区, 而在 30—60 μm 左右有另一个聚集区。有些站双峰分得比较明显, 如 A1、A2, 而如 C3、C4 站却双峰分得不是非常明显。其他站显示了一种单峰结构, 大部分颗粒物集中在 40—60 μm 左右, 细颗粒物则很少(图 6)。

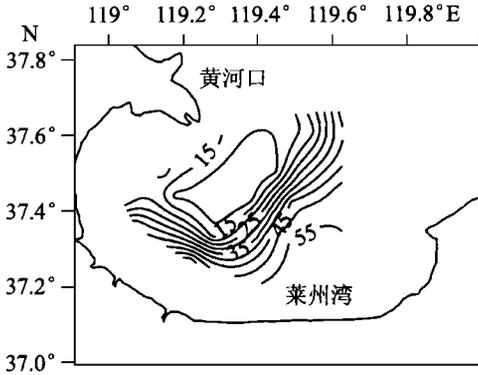


图 4 莱州湾表层沉积物中值粒径(μm)分布
Fig. 4 Median size(μm) distribution of bottom sediment in Laizhou bay

4.3 底质粒径分布

分析每个站的粒径谱发现, 所有站的底质粒

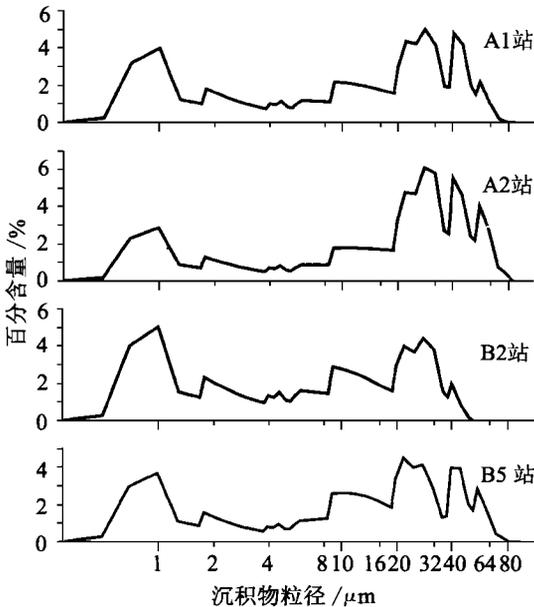


图 5 距河口较近的 A1、A2、B2、B5 站沉积物粒径谱(μm)
Fig. 5 Spectrum of particle size (μm) at stations near the Huanghe River mouth (A1, A2, B2 and B5)

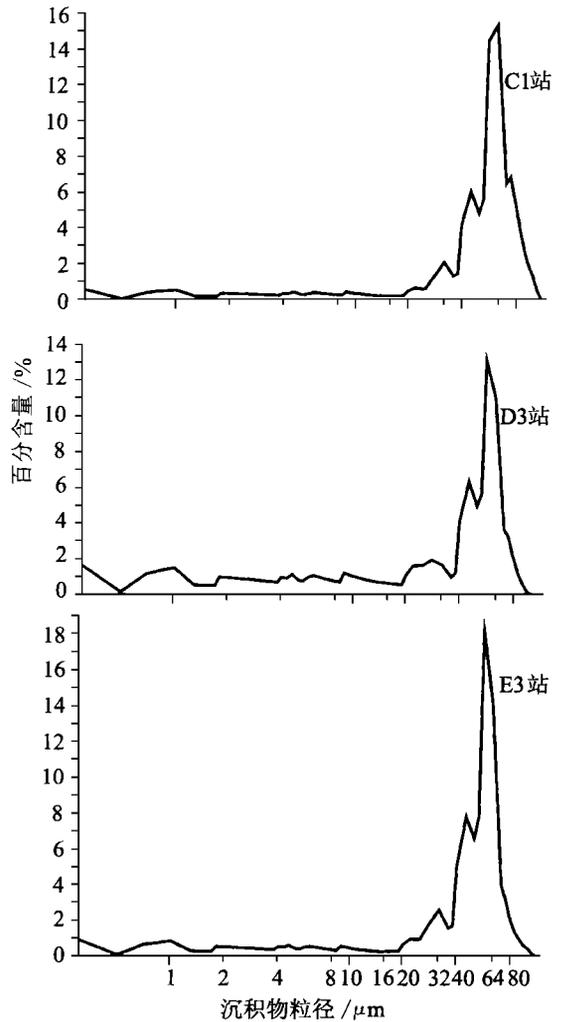


图 6 距黄河口较远的 C1、D3、E1 站沉积物粒径谱(μm)
Fig. 6 Spectrum of grain size (μm) at stations far from the Huanghe River mouth (C1, D3 and E1)

底质粒径的这种分布使得浊度的水平分布特征的出现成为必然。所有测出粒径谱双峰的站

基本对应着高浊度区,很明显这是由于该区域内细颗粒泥沙容易再悬浮而导致浊度较高。

4.4 悬浮颗粒物粒径分布

水体中悬浮颗粒物粒径的分析结果表明,各站的粒径分布基本一致;从颗粒个数粒径分布上看,呈明显的单峰结构,谱峰在 2.5 μm 左右,而且谱较窄,一般到 15 μm 以上颗粒数就已经相当低(图 7);从体积粒径分布上看也有一个非常明显

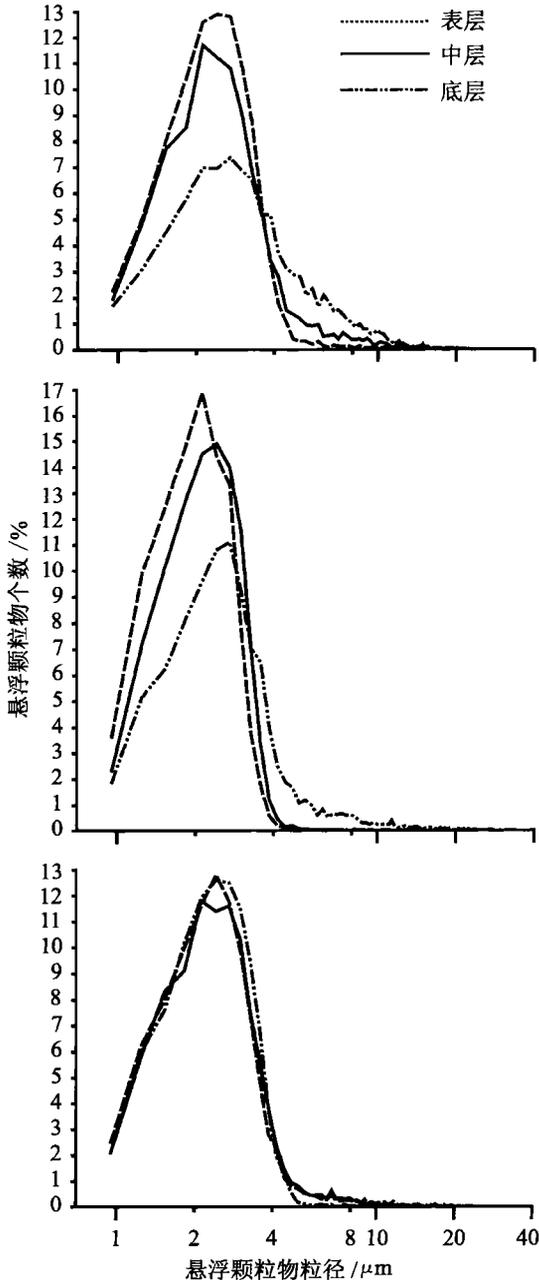


图7 悬浮颗粒物颗粒个数粒径谱(C4, E1, A4)

Fig. 7 Size distribution of suspended particulate matter (A4, C4 and E1)

的峰,不过这时谱峰移到 3.5 μm 左右。结合底质的粒径谱可以发现,实际上水体中悬浮颗粒物的粒径与底质粒径分布中较细的峰值基本相对应。这表明,在正常的潮流动力条件下,底质中只有比较细的这一部分泥沙才能再悬浮,从而使得莱州湾内悬浮物浓度的分布基本保持了一种比较稳定的形态。但从二者的比较来看,还存在一定的偏差。悬浮泥沙粒度峰的位置在 2.5 μm 处,而沉积物细粒峰在 1.2 μm 附近,这可能是由于小于 2 μm 的泥沙属于粘性泥沙,起动条件较高,因此小于 2 μm 的泥沙通过再悬浮进入水体的量较少,从而导致这种偏差。

从各站表、中、底 3 层来看,粒径分布形态基本一致,在大部分站位由表及底粒径谱的峰值逐渐向粗的方向移动,但是 A1、C1、E1 站位的中层悬浮物粒径较底层为粗。Li 等(1998)利用 SED-GRAPH 5100 分析的黄河口附近的水体悬浮物粒径也是大部分在细粉砂(< 16 μm) 以下,中层粒度相对较粗。产生这一现象的原因尚需要进一步研究。

4.5 盐度分布

盐度是表征黄河入海径流影响范围的一个很好的标志,从本次观测的表、底层盐度分布来看(图 8),莱州湾的盐度整体很高,部分岸边站位已高于 33,其整体分布与历史上情况大相径庭,这一点已经被海洋学家注意到(吴德星等,2004),其原因主要是黄河入海径流量锐减,因此黄河对莱州湾的影响已大大减弱。

离开湾顶盐度逐渐减小,并且由莱州湾中部到黄河口有一个相对低盐度区(图 8),这可能是河口淡水径流沿岸向南扩散的结果,但是由于观测范围所限,新河口入海的径流与泥沙对调查区域的影响程度尚难以给出定论。事实上,本次观测时黄河利津断面的月平均流量仅为 50 m^3/s ,它的影响是很弱的,这样水量挟带的泥沙就更少了。这从另一个角度说明目前莱州湾的高浊度区主要由局地再悬浮形成。

5 结论

从卫星图片及实测资料上看,莱州湾的悬浮物浓度分布在风浪不显著的时期有一个基本形态,即高浓度区只是以黄河口为中心向外延伸到莱州湾中部,而不会到达湾顶。经过本次观测发现,这种分布是由底质类型决定的。底质中细颗

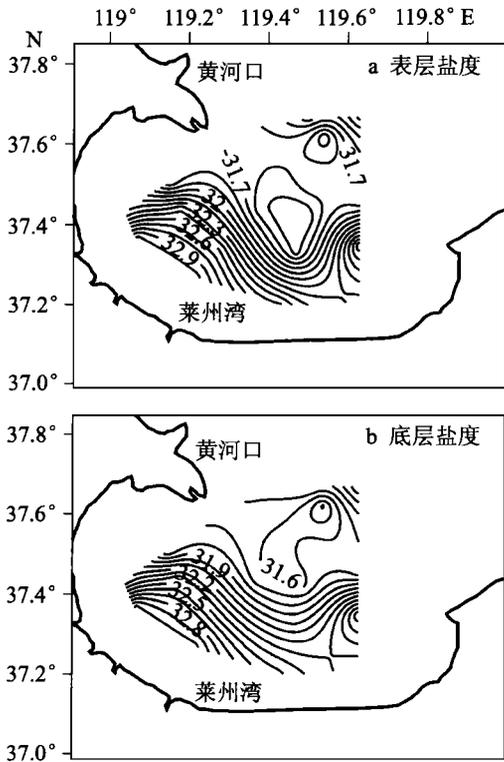


图8 莱州湾表层(a)和底层(b)盐度分布

Fig. 8 Distribution of surface (a) and bottom (b) salinity in Laizhou Bay

颗粒物含量较高的海域容易在潮流作用下再悬浮,有利于高悬浮物浓度的形成,而其他区域则只有在风浪较大时才能有较强的再悬浮现象发生。因此对于莱州湾底质分布及再悬浮过程的认识,有助于了解悬浮物在渤海中的输运状态,对于研究黄河三角洲的蚀退过程有重要的科学意义。

致谢 本文中的水样由中国海洋大学化学化工学院杨茹君博士分析,谨致谢忱。

参 考 文 献

万修全, 鲍献文, 吴德星等, 2004. 渤海夏季潮致风生热盐余流的数值诊断计算. 海洋与湖沼, 35(1): 41—47 [Wan X Q, Bao X W, Wu D X *et al.*, 2004. Numerical Diagnostic Simulation of Summertime Tide-Induced Wind-Driven and Thermohaline Currents in the Bohai Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(1): 41—47]

- 孙涛, 陶建华, 2004. 波浪作用下渤海湾近岸海域污染物的输移扩散规律. 海洋与湖沼, 35(2): 120—129 [Sun T, Tao J H, 2004. The study of pollutant transport on the action of wave in near-shore area of Bohai Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(2): 120—129]
- 江文胜, 苏健, 杨华, 张英娟等, 2002. 渤海悬浮物浓度分布与水动力特征的关系. 海洋学报, 24(增1): 212—217 [Jiang W S, Su J, Yang H *et al.*, 2002. The relationship between SPM concentration and hydrodynamic condition in the Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 24 (suppl 1): 212—217]
- 吴德星, 牟林, 李强等, 2004. 渤海盐度长期变化特征及可能的主导因素. 自然科学进展, 14(2): 191—195 [Wu D X, Mu L, Li Q *et al.*, 2004. The long term trend of salinity in the Bohai Sea and its major control element. *Advances in Natural Science*, 2004, 14(2): 191—195]
- 苏健, 江文胜, 孙文心, 2001. 渤海中南部悬浮物海洋调查资料分析. 青岛海洋大学学报, 31(5): 647—652 [Su J, Jiang W S, Sun W X, 2001. Analysis of SPM data obtained in ocean investigation in the Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 31(5): 647—652]
- 宋金明, 马红波, 李学刚等, 2004. 渤海南部海域沉积物中吸附态无机氮的地球化学特征. 海洋与湖沼, 35(4): 315—322 [Song J M, Zhao W D, Li P C *et al.*, 2004. Carbon Cycling in Nansha Coral Reef Ecosystem, South China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(4): 315—322]
- 范兆木, 郭永盛, 1992. 黄河三角洲沿岸遥感动态分析图集. 北京: 海洋出版社, 123
- 姚庆祯, 张经, 2004. 渤海海区无机硒的形态及其分布. 海洋与湖沼, 35(3): 221—229 [Yao Q Z, Zhang J, 2004. Species and Distribution of Inorganic Selenium in the Bohai Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 35(3): 221—229]
- 臧启运, 1996. 黄河三角洲近岸泥沙. 北京: 海洋出版社, 152
- Jiang W S, Pohlmann T 2000. A modelling study of SPM transport in the Bohai Sea. *J Marine System*, 24(3/4): 175—200
- Li G X, Wei H L, Yue S H *et al.*, 1998. Sedimentation in the Yellow River delta, part II: suspended sediment dispersal and deposition on the subaqueous delta. *Marine Geology*, 149: 113—131
- Yang Z S, Wang Z X, Zhang A F *et al.*, 1989. Distribution and movement of suspended matter in summer in Laizhou Bay, The Gulf of Bohai. *J Ocean Uni Qingdao*, 4(1): 49—61

DISTRIBUTION OF SUSPENDED MATTER AND ITS RELATIONSHIP WITH SEDIMENT PARTICLE SIZE IN LAIZHOU BAY

JIANG Wen-Sheng, WANG Hou-Jie

(Laboratory of Physical Oceanography, Institute of Physical Oceanography, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

(Institute of Estuarine and Coastal Studies, Ocean University of China, Qingdao 266003)

Abstract Indicated by satellite images and historical investigations, the suspended matter in Laizhou Bay was mainly distributed in the area near old Huanghe (Yellow) River mouth (1976—1996), while in shallow coastal area the suspended matter concentration was relatively low. At first glance this may result from the sediment and water flux from the Huanghe River. However, the high suspended matter concentration zone continues to exist in the years after 1996 despite the facts that the end channel of the Huanghe River was shifted to the north, and that the water and sediment flux from the Huanghe River to the sea has been reduced sharply in recent years.

A cruise in the Laizhou Bay was carried out on August 27—28, 2002 to reveal the formation of this high turbidity zone. During the survey 20 grid stations were covered in 54 hours and water samples were collected in the surface, middle and bottom layers at each station, together with the sea currents recorded in the same layers, as well as the sediment samples taken at the seabed. The YSI multi-parameter probe was used to get *in situ* temperature, salinity, and turbidity profile. The size distribution of the sediment was measured by Cilas 940 L Particle Size Analyzer and the size distribution of the suspended matter was tested with Beckman Coulter Multisizer 3 Particle Analyzer.

Observed surface and bottom turbidity distribution shows a high suspended concentration zone centered near the old Huanghe River mouth, which well matches the satellite images of this area during the same period. Although measurements were not taken at the same time, the horizontal pattern of the turbidity does not associate with the pattern of high current velocity or surface wind. This implies that the stable pattern of the turbidity may be dominated by the size distribution of sediment on the seabed.

On the size spectrum, the surface sediment size in the survey area is less than 100 μm . Horizontal medium size distribution is similar to that of turbidity. In addition, in the area around the Huanghe River mouth, the sediment size is less than 16 μm , which corresponds to the high turbidity zone. However, such correspondence does not exist between the medium size of the suspended particles and that of the sediment. The suspended particles and the sediment are different not only in medium size value but also in size spectrum. At the stations near the river mouth, sediment grain size spectrum is characterized by a bi-modal pattern. The fine peak is very close to the suspended sediment peak in water column. At the stations far from the river mouth, the spectrums are in a mono-modal pattern with the grain size coarser than that of the stations near the mouth. Therefore, the pattern of the turbidity distribution in the Laizhou Bay is a result of the resuspension, which is in turn dominated by the grain size of the sediment and hydrodynamic states. In the area near the Huanghe River mouth, the fine-grained fraction ($< 16 \mu\text{m}$) of the bottom sediment is more subject to be resuspended than that at stations far from the Huanghe River mouth. Consequently, the suspended particle concentration is high near the mouth and low far off the mouth.

The horizontal distribution of the salinity illustrates a lower salinity zone extending from new Huanghe River mouth to the center of the Laizhou Bay, which implies an influence of freshwater dilution from the river. But the monthly mean of the water flux was only $50\text{m}^3/\text{s}$ during the cruise, resulting in low sediment discharge to the sea. Therefore, the high concentration of suspended matter in the high-turbidity zone is mainly due to resuspension of the sediment. This is important for understanding the suspended matter transport in the Laizhou Bay.

Key words Laizhou Bay, Huanghe River mouth, Suspended matter, Resuspension, Particle size