

文章编号: 1674 - 5566(2015)04 - 0570 - 09

夏、冬季苏北近岸海域悬沙浓度垂直分布特征

杨 红, 阎 莉, 王春峰, 刘成秀

(上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306)

摘 要: 通过将 2012 年 8 月、12 月在苏北黄海海域野外调查获得的声学多普勒流速剖面仪(ADCP)后向散射强度数据与悬沙浓度进行拟合, 得知两者的相关系数在 0.8 以上, 反演结果较理想。并结合同步观测的温度、盐度等水文要素资料, 对该区域夏、冬季两季悬浮泥沙的垂直分布特征、形成原因及输运进行了研究, 结果表明苏北近岸海域悬浮泥沙分布的典型性季节变化明显, 冬季悬沙浓度普遍高于夏季。悬浮泥沙分布及输运受苏北沿岸水、黄海西部沿岸流、长江冲淡水、黄海暖流、黄海冷水团等影响, 其中黄海西部沿岸流的季节变化为主要的影响因素。苏北沿岸水携带废黄河口的再悬浮泥沙和近岸悬沙向东南外海扩散, 冬季的搬运量和扩散范围显著大于夏季。黄海暖流阻碍悬沙向外海扩散, 使其在近岸被大量捕集下来。夏季长江冲淡水的东北方向偏转, 使得苏北南部海域悬沙分布出现层化现象。

研究亮点: 苏北海域海洋动力因素复杂, 悬浮泥沙分布影响因素众多, 在利用 ADCP 测量流速的同时进行悬浮泥沙浓度反演, 能更好地揭示悬浮泥沙运动、迁移规律, 对于研究海底泥沙侵蚀及沙脊演变规律具有重要意义。

关键词: 悬浮泥沙; 后向散射强度; 苏北沿岸水; 废黄河口

中图分类号: X 145

文献标志码: A

黄海作为一个典型的半封闭性陆架浅海, 具有独特的地形以及复杂的物理和生态环境, 多年来一直都是众多海洋学者关注的焦点^[1]。悬浮泥沙输运和堆积, 对海底沙脊和近岸滩涂的发育起着至关重要的作用, 研究这一区域悬浮泥沙的分布特征及其影响因素具有重要的理论和实践意义^[2]。传统的现场过滤水样获得悬浮泥沙浓度的方法费时费力, 而且只能得到零散的数据^[3]。光学仪器测量悬浮泥沙浓度时受到时间和空间分辨率上的限制, 仪器也会对测量区域的流场产生扰动^[4]。ADCP 通过声波脉冲测量流速, 不对水流产生扰动^[5], 可获得三维的流速(南/北流向、东/西流向、垂直流向)剖面数据, 其输出数据中还含有声学的浊度或悬浮泥沙浓度信息, 可用于悬浮泥沙浓度的估测^[6]。研究表明, 其测量结果可以达到专用悬沙测量仪器的精度^[7-8]。

本研究基于“黄海绿潮业务化预测预警关键

技术研究与应用”项目, 选取苏北近岸海域具有代表性的 3 条断面(滨海断面位于废黄河口海域, 大丰断面穿过江苏近岸沙脊, 如东断面靠近长江, 受长江冲淡水的影响较为显著)进行研究。利用夏、冬两季 ADCP 后向散射强度数据反演得到各站点的悬浮泥沙剖面数据, 通过拟合进而得到整条断面悬浮泥沙浓度的垂直分布, 并结合同步观测的温度、盐度资料以及夏、冬两季南黄海环流特点等, 分析研究了苏北近岸海域夏、冬季悬浮泥沙分布特征及其影响因素。

1 材料与方法

1.1 野外调查和室内分析

2012 年 8 月、12 月对黄海苏北海域布设的 3 条断面 15 个站点进行野外实地调查, 站点布设见图 1。调查项目包括: 采集悬浮体水样, 测量水色、透明度、风速、风向、波高等水文气象要素。其中悬浮物水样按照《海洋监测规范》

收稿日期: 2014-11-06 修回日期: 2015-01-30

基金项目: 黄海绿潮业务化预测预警关键技术研究与应用(201205010)

作者简介: 阎 莉(1990—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋化学及沉积物。E-mail: yanli158@163.com

通信作者: 杨 红, E-mail: hyang@shou.edu.cn

(GB17378.3—2007)中相关规程进行采集,每个站点采集表层、0.5H(H为水深)、距离海底1 m 水层三层水样,每次采集45个水样,两次共采集90个水样。

采集水样的同时,使用ADCP(美国TRDI公司生产的WHRG-600KHz型ADCP)进行定点流速、流向、水深观测。观测时ADCP固定于船舷左侧,探头位于水下0.2 m,单元层水深设为0.5 m,发射频率2 Hz。使用CTD(Seabrids37)测量海水的温度、盐度和溶解氧等指标。

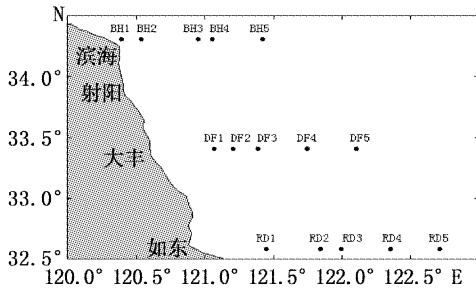


图1 调查海域站位分布图

Fig. 1 Location of station in the survey area

采用真空抽滤方法测定悬浮泥沙浓度,先将0.45 μm 滤膜在60℃的烘箱内烘干2 h,称重后用双层滤膜对水样进行过滤,后再将滤膜放入60℃烘箱烘干24 h,用十万分之一天平称量重量,滤膜前后重量差即为泥沙重量,校正滤膜误差后,计算出悬浮泥沙浓度。

1.2 后向散射强度估算悬浮泥沙浓度的反演算法

ADCP后向散射强度反演悬浮泥沙浓度的原理为:源散射强度的大小与散射水体中悬浮物浓度的大小成正比^[9]。而声波在水中传播时会产生能量衰减,因此在计算源散射强度时,需对声波的几何衰减和吸收衰减进行修正^[10]。本文首先对ADCP后向散射强度进行修正,然后用修正后的后向散射强度与同一深度的悬浮泥沙浓度进行对数线性回归,得到后向散射强度与悬浮泥沙浓度之间的关系式。

根据声呐方程,校正后的后向散射强度可表示为^[11]:

$$S_{ijh} = C + 10 \log_{10} \left((T_{ij} + 273.26) R_{2ijh} \right) - 2\alpha_{ijh} R_{ijh} + K_c (E_{ijh} - E_{rijh}) \quad (1)$$

式中: i 为测量断面; j 为测量站号; h 为ADCP测量的不同层次深度; C 为与ADCP自身性能有关

的参数,为常量^[10]19 count; T_{ij} 为ADCP换能器表面温度; a 为海水的吸收系数; K_c 为ADCP记录的以count为单位的声强信号转化为以dB为单位的后向散射强度时的转化系数,为0.45; E_{ijh} 为ADCP记录的回声强度; E_{rijh} 为噪声本底值,为40 count; R_{ijh} 为换能器到散射层距离,可表示为^[11]:

$$R_{ijh} = \left[\frac{B + (L+D)/2 + (N_{ijh} - 1)D + (D/4)}{\cos\theta} \right] \times \frac{C_{ijh}}{C} \quad (2)$$

式中: B_{ij} 为表层盲区厚度; L 为ADCP脉冲长度,1.45 m; D 为ADCP设置的水层单元厚度,0.5 m; N 为水层序数; θ 为ADCP波束与中心线之间夹角,20°; C_{ijh} 为ADCP换能器记录的单位距离平均声速; C 为ADCP设置的声速,1500 m。

α 为海水的声波吸收系数,可表示为^[12]:

$$\alpha_{ijh} = \left(\frac{2.34 \times 10^{-6} S_{ijh} F_{Tijh} f_{ijh}^2}{f_{Tijh}^1 + f_{ijh}^2} + \frac{3.38 \times 10^{-6} f_{ijh}^2}{f_{Tijh}} \right) (1 - 6.54 \times 10^{-4} P_{ijh}) \quad (3)$$

式中: S_{ijh} 为海水盐度; f_{ijh} 为声波频率; P_{ij} 为大气压强; f_{Tijh} 为弛豫频率,其表达式为:

$$f_{Tijh} = 29.1 \times 10^{(6 - \frac{1520}{T_{ijh} + 237})} \quad (4)$$

式中: T_{ijh} 为海水温度。

利用修正后的后向散射强度与实验室测得的悬浮泥沙浓度进行线性回归,可得^[13]:

$$\lg(SSC_{ijh}) = A + B \times S_{ijh} \quad (5)$$

式中: SSC_{ijh} 为悬浮泥沙浓度; S_{ijh} 为修正后的ADCP后向散射强度; A 为截距; B 为斜率。

1.3 悬浮泥沙浓度、温度、盐度层化系数

通过层化系数可以判断水层的稳定程度,层化系数越大,表示水层越稳定,上下水层的物质或能量越不频繁,反之则相反。其中悬浮泥沙浓度、温度、盐度的层化系数分别用下式表达:

悬浮泥沙浓度层化系数:

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta Z} = \frac{\rho_{n+1} - \rho_n}{\Delta Z} \quad (6)$$

式中: $\Delta\rho$ 为水层间变化浓度; ΔZ 为水层间变化深度; ρ_{n+1} 为下层水悬浮泥沙浓度; ρ_n 为上层水悬浮泥沙浓度,其中浓度由上往下递增取正号,反之取负号。

温度层化系数:

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} = \frac{T_{n+1} - T_n}{\Delta Z} \quad (7)$$

式中: ΔT 为水层间变化温度; ΔZ 为水层间变化

深度; T_{n+1} 为下层水温; T_n 为上层水温, 其中温度由上往下递增取负号, 反之取正号。

盐度层化系数:

$$\frac{\Delta S}{\Delta Z} = \frac{S_{n+1} - S_n}{\Delta Z} \quad (8)$$

式中: ΔS 为水层间变化盐度; ΔZ 为水层间变化深度; S_{n+1} 为下层水盐度; S_n 为上层水盐度, 其中盐度由上往下递增取正号, 反之取负号。

为更加直观地比较夏季、冬季悬浮泥沙浓度、温度、盐度水层的稳定性, 取各水层层化系数绝对值的平均值作为本文的层化系数。

2 结果与讨论

将校正后的后向散射强度与实测悬浮泥沙浓度代入公式 5 建立的声学模型可得夏季和冬季的泥沙线性拟合关系, 见表 1。

表 1 后向散射强度与悬浮泥沙浓度的线性拟合关系

Tab.1 Linear relationship between backscatter intensity and suspended sediment concentration

季节 season	拟合关系式 fitting relation
夏季 summer	$\lg(\text{SSC}_{\text{ijh}}) = -0.0261 + 0.1343 \cdot S_{\text{ijh}} (R = 0.80)$
冬季 winter	$\lg(\text{SSC}_{\text{ijh}}) = 0.5058 + 0.0254 \cdot S_{\text{ijh}} (R = 0.84)$

校正后的后向散射强度与悬浮泥沙浓度的拟合结果较好, 相关系数均在 0.8 以上, 因此, 可利用 ADCP 测量悬浮泥沙浓度^[14-15]。

2.1 夏、冬季悬沙浓度垂向分布特征

2.1.1 夏季

从图 2 中可以看出断面悬浮泥沙分布存在两个明显的区域, 即西侧悬沙浓度的高值区和东侧悬沙浓度的低值区。每条断面的悬沙分布趋势虽有不同, 整体上均表现出由岸向外海递减的趋势。在西侧悬沙浓度的高值区, 浓度普遍 200 mg/L 以上, 水体中悬沙浓度层化现象明显, 底层浓度远高于表层浓度, 一般在表层浓度的 2 倍以上。在东部悬沙浓度低值区, 悬沙浓度一般在 100 mg/L 以下, 其在上、下水层的垂直分布基本相同, 层化现象远不如西侧明显。

滨海断面位于废黄河水下三角洲, 常年受到波浪、潮汐的侵蚀, 在强烈的冲刷作用下, 大量泥沙在原地再悬浮^[16], 从图中可以清晰地看到 BH1

站点底部悬沙浓度较高。再悬浮的泥沙有很大一部分会再次沉降, 其余部分被海流搬移到其他海域, 使得苏北废黄河口水下三角洲成为江苏近岸海域悬浮泥沙的重要来源。大丰断面位于射阳河、渭河等河流入海口附近海域, 地表径流可携带大量泥沙入海, 在河口区域形成悬浮浓度的高值区, 悬沙在向外海扩散的过程中逐渐絮凝沉降, 加之地形阻隔, 使得泥沙大量沉积在东沙沙脊的西侧。如东断面位于弼港, 该海域潮流集中、潮差大、潮波强, 强潮波可侵蚀和冲刷海底沉积物, 造成细颗粒物再悬浮、搬运和堆积^[2], 因而形成近岸海域的高值区, BH4 站点底层悬沙浓度高值区可能与夏季长江冲淡水向北偏转有关。

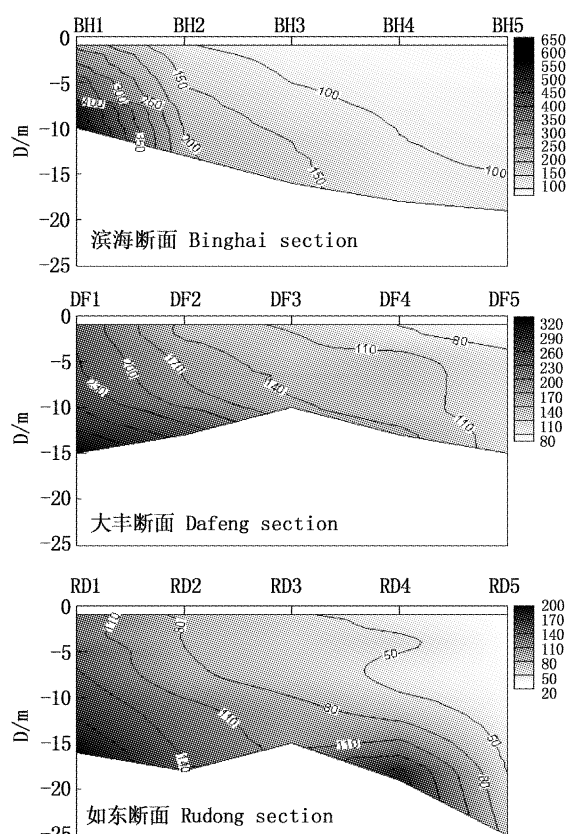


图 2 夏季各断面悬浮泥沙浓度垂直分布图

Fig. 2 Vertical distribution of suspended sediment concentration in summer

2.1.2 冬季

图 3 表明冬季断面悬沙浓度分布趋势与夏季相似, 同样表现为西侧悬沙浓度的高值区和东侧悬沙浓度的低值区。冬季悬沙浓度较夏季显著增加, 在断面西侧悬沙浓度高值区浓度增加到

400 mg/L 以上。悬浮泥沙垂向层化基本消失,表、底层浓度差异比夏季明显减小。悬浮泥沙向外海扩散的趋势较夏季显著增强,东侧悬沙浓度在 100 mg/L 以上。

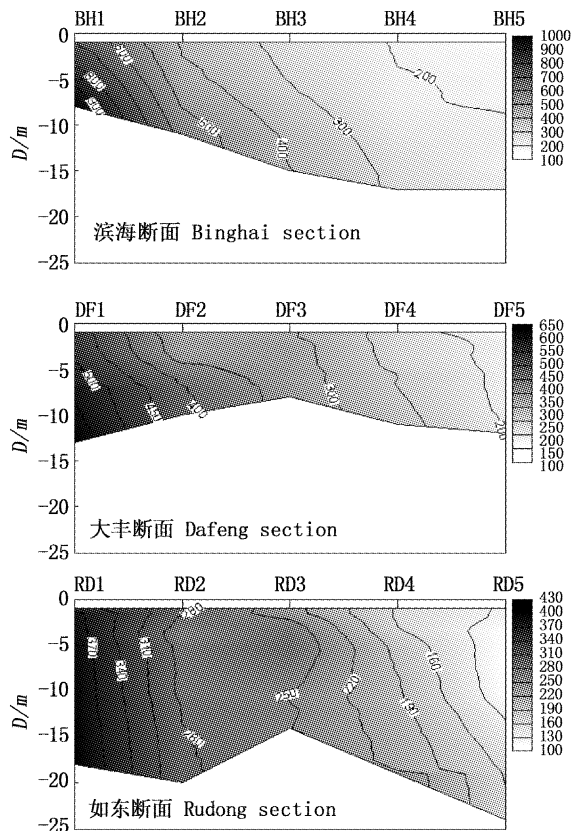


图3 冬季各断面悬浮泥沙浓度垂直分布图

Fig. 3 Vertical distribution of suspended sediment concentration in winter

废黄河三角洲的底侵蚀较夏季明显增强,再悬浮泥沙向外海扩散能力显著增加,BH3 站位悬沙浓度在 300 mg/L 以上,而夏季基本在 100 mg/L 左右。大丰断面冬季悬沙扩散趋势与夏季相似,浓度较夏季有较大幅度增大。如东断面悬沙浓度层化现象不如夏季明显,表、底层浓度一致,近岸浓度达到 430 mg/L,相较夏季的 200 mg/L,增幅达到 115%,RD4 站点底层的浓度高值区消失。

2.2 形成原因分析与讨论

2.2.1 夏季

结合夏季各断面的温度、盐度的垂直分布(图4)可以看出,断面西侧被高温、低盐的水体占据,而东侧水体则呈现出低温、高盐的状态,结合

黄海冷水团环流结构^[17]和南黄海环流系统^[18]分析,这是由黄海冷水团爬升和苏北沿岸水南下造成的。各断面东侧海域等温线密集,其中如东断面 RD5 站位海域出现明显的温、盐跃层,跃层下为黄海冷水团^[17]。在近岸的强混合区与东侧深水区之间海域存在强陆架锋^[19],其对近岸悬浮泥沙向外海输运起到屏障作用,使悬浮泥沙在锋区的西侧海域大量沉降。

夏季台湾暖流^[20]强盛,可从中、底层入侵长江口,加剧长江冲淡水的北向扩展^[21],同时使得长江入海泥沙主要集中在中、底层水体,在各种动力和絮凝作用下逐渐被捕集下来(图2如东断面),阻挡了近岸悬浮泥沙向外海的输运。

夏季江苏海域盛行东南风,使得东南流向的黄海沿岸流向西北退缩^[22],悬浮泥沙主要集中在离岸较近的海域。东南风引起的海水垂直混合作用较弱,沉积物受到潮流的侵蚀弱,不易再悬浮,同时夏季温度高,海水的粘滞性低,再悬浮的泥沙较易沉降,地表径流输入的泥沙大量沉降在西侧近岸海域,几乎无法到达东侧外海海域,从图中可以清晰地看到底层悬沙浓度高于表层,近岸浓度高于外海浓度。

2.2.2 冬季

从图5、表2可以看到各断面温度、盐度由表至底的垂直分布状态较为均匀,较夏季发生了明显变化,冬季断面西侧海域被低温、低盐水所占据,而断面东部深水域的温度、盐度较高,结合南黄海的环流^[18]分析可知,这是由苏北沿岸水和黄海西部沿岸流南下,同时黄海暖流北上造成的。冬季苏北海域强劲的风暴使得废黄河口水下三角洲沉积泥沙剧烈再悬浮^[23],加之入冬以后苏北沿岸水和黄海西部沿岸流向东南扩展的趋势不断增强,使得近岸水体向外海输运悬沙的能力增强,同时缺少了陆架锋的动力屏障作用,因而整体上每条断面的悬沙都保持较高的浓度。

冬季盛行的西北风与黄海沿岸流流动方向相同,能够使水体携带的悬沙向东南扩散到更远的距离。西北风引起的海水垂直混合作用较强,使得沉积物受到潮流的侵蚀作用增强,容易再悬浮。同时冬季温度较低,海水粘滞性较强,再悬浮的泥沙不易沉降,从而使得断面的表、底层都保持较高的悬沙浓度。

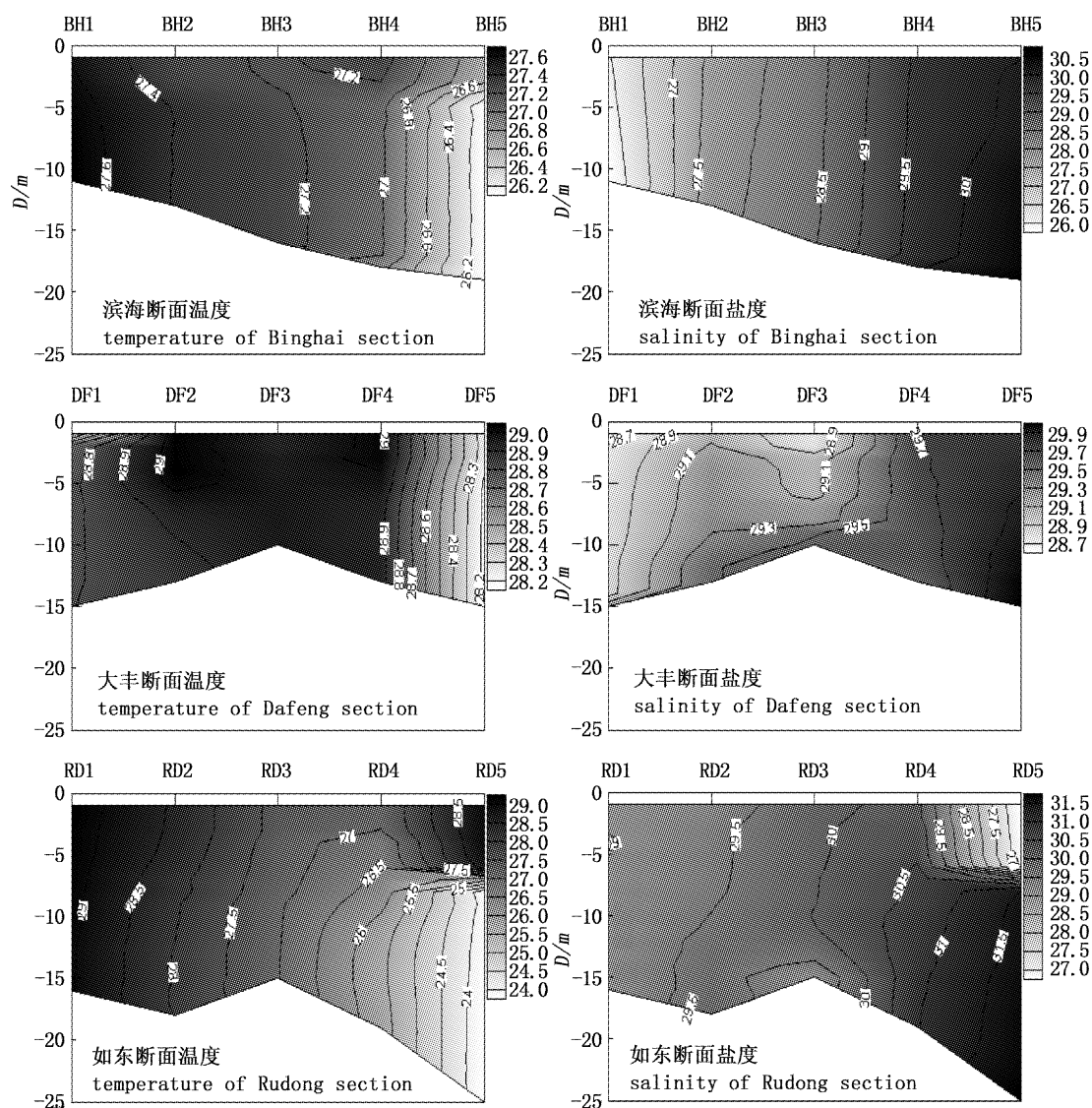


图4 夏季各断面温度、盐度垂直分布图

Fig. 4 Vertical distribution of temperature and salinity in summer

通过对比夏、冬季断面西部近岸区的盐度可以看出冬季盐度较夏季高 0.5 左右,这表明冬季入海的地表径流量比夏季要少,径流携带的泥沙也相对较少,从图 2 和图 3 中可以看出冬季近岸海域悬沙浓度远远大于夏季,这表明陆源输入的悬浮体绝大部分沉降聚集在近岸海底,而冬季近岸海域的高浓度的悬沙则为这部分沉降的物质在波浪侵蚀作用下的再悬浮。这与杨作升等学者提出的黄海陆架海区悬浮体具有“夏贮冬输”的季节性输运格局的观点^[24]相一致。

3 结论

利用夏、冬季苏北海域野外调查获得的

ADCP 后向散射强度数据线性拟合得到悬沙浓度的断面分布。并综合调查期间流场、温度、盐度的变化,分析了苏北近岸海域悬浮泥沙的分布特征以及形成原因得到:

(1) ADCP 的后向散射强度反演悬浮泥沙浓度的精度较高,相关系数在 0.8 及以上,能够反映悬浮泥沙浓度垂直分布变化。

(2) 夏、冬两季悬沙浓度的垂直分布均表现出由岸到外海逐渐递减的趋势。夏季,苏北海域的垂向混合作用较弱,悬沙浓度的高值区只要集中在近岸底层海域。冬季,垂向混合作用强烈,整个海域表底层均保持较高的浓度。

(3) 苏北沿岸水和黄海暖流为苏北近岸海域

悬浮泥沙分布的主要控制因素,海浪、潮流、风等动力因素使得近岸沉积泥沙再悬浮,其中冬季风

造成的沉积泥沙再悬浮的程度和再悬浮泥沙向外海扩展的范围均远大于夏季风。

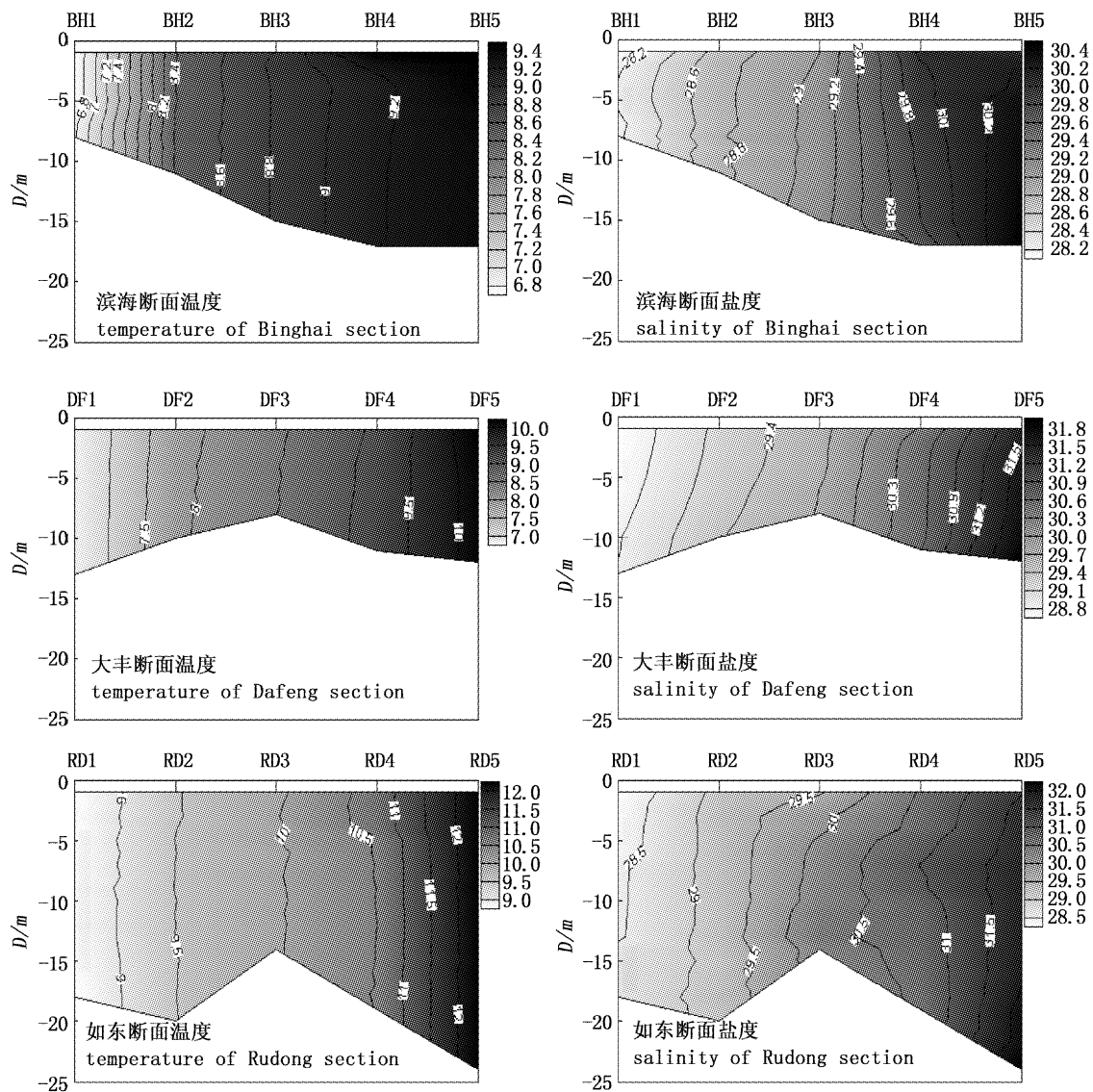


图5 冬季各断面温度、盐度垂直分布图

Fig.5 Vertical distribution of temperature and salinity in winter

表 2 各站点温度、盐度、悬沙浓度的平均层化系数

Tab. 2 The average stratification coefficient of temperature, salinity and suspended sediment concentration at each site

季节	站点	浓度层化系数 /[mg/(L·m)]	温度层化系数 /(10 ⁻² °C/m)	盐度层化系数 /(10 ⁻² /m)
夏季	BH1	36.13	2.12	3.19
	BH2	8.57	0.46	1.38
	BH3	5.95	1.41	1.06
	BH4	2.05	1.22	3.13
	BH5	2.81	0.47	3.73
	DF1	7.32	1.17	4.69
	DF2	10.07	1.85	3.77
	DF3	5.60	0.58	8.92
	DF4	6.22	1.15	1.53
	DF5	2.51	0.22	2.30
	RD1	6.04	1.39	8.26
	RD2	4.51	3.34	4.12
	RD3	3.29	2.03	10.55
	RD4	9.21	6.10	3.49
	RD5	2.11	1.23	2.93
冬季	BH1	39.97	2.74	4.30
	BH2	15.28	1.44	2.75
	BH3	9.92	0.05	0.67
	BH4	5.45	0.38	2.92
	BH5	5.79	0.31	1.30
	DF1	6.48	0.11	2.45
	DF2	11.06	1.32	2.56
	DF3	4.21	1.48	1.53
	DF4	4.48	0.75	1.33
	DF5	3.96	0.61	4.01
	RD1	2.88	1.30	2.66
	RD2	3.37	0.24	4.24
	RD3	4.38	0.74	5.87
	RD4	4.88	0.49	1.93
	RD5	3.21	0.70	5.85

上海海洋大学霍元子、陈中伟、蒋兴佩、张建伟、崔建军等参加了现场调查, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 韦钦胜, 魏修华, 战闰, 等. 夏季南黄海西部溶解氧的分布特征及其影响因素分析[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(6): 808-814.
WEI Q S, WEI X H, ZHAN R, et al. Distribution of dissolved oxygen and influence factor in west of Southern Yellow Sea in summer[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(6): 808-814.
- [2] 邢飞, 汪亚平, 高建华, 等. 江苏近岸海域悬沙浓度的时空分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 459-468.
XING F, WANG Y P, GAO J H, et al. Seasonal distributions of the concentrations of suspended sediment along Jiangsu coastal sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(3): 459-468.
- [3] 程鹏, 高抒. ADCP 测量悬沙浓度的可行性分析与现场标定[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 168-176.
CHENG P, GAO S. Suspended sediment concentration measurements with ADCP feasibility analysis and in situ calibration[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 168-176.
- [4] HOINTINK A J F, HOEKSTRA P. Observations of suspended sediment from ADCP and OBS measurements in a mud-dominated environment[J]. Coastal Engineering, 2005, 52(2): 103-118.
- [5] 薛元忠, 顾靖华, 韦桃源. 声学多普勒流速剖面仪原理及其在长江中下游的应用[J]. 海洋科学, 2004, 28(10): 24-28.
XUE Y Z, GU J H, WEI T Y. The working principle of the acoustic doppler profiler and its applications in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Marine Sciences, 2004, 28(10): 24-28.
- [6] 高建华, 汪亚平, 王爱军, 等. ADCP 在长江口悬沙输运观测中的应用[J]. 地理研究, 2004, 23(4): 455-462.
GAO J H, WANG Y P, WANG A J, et al. Suspended sediment behavior and transport in Changjiang River Estuary [J]. Geographical Research, 2004, 23(4): 455-462.
- [7] HOLDAWAY G P, THORNE P D, FLATT D, et al. Comparison between ADCP and transmissometer measurements of suspended sediment concentration [J]. Continental Shelf Research, 1999, 19(3): 421-441.
- [8] 汪亚平, 潘少明, WANG H V, 等. 长江口水沙入海通量的观测与分析[J]. 地理学报, 2006, 61(1): 35-46.
WANG Y P, PAN SM, WANG H V, et al. Measurements and analysis of water discharges and suspended sediment fluxes in Changjiang Estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(1): 35-46.
- [9] THORNE P D, HANES D M. A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes [J]. Continental Shelf Research, 2002, 22(4): 603-632.
- [10] 兰志刚, 龚德俊, 李思忍, 等. ADCP 对悬浮沉积物浓度的测量及其误差分析研究[J]. 海洋科学, 2004, 28(10): 20-23.
LAN Z G, GONG D J, LI S R, et al. Acoustic measurement of suspended sediments with ADCP and its error analysis[J]. Marine Sciences, 2004, 28(10): 20-23.
- [11] DEINES K L, TION B E. Using broadband acoustic doppler current profilers[C]// Presiding of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement. San Diego Instruments, 1999: 249-253.
- [12] FISHER F H, SIMMONS V P. Sound absorption in sea water [J]. The Journal of the Acoustical of America, 1977, 62(3): 558.
- [13] GARTNER J W. Estimating suspended solids concentrations from backscatter intensity measured by acoustic Doppler current profiler in San Francisco Bay, California[J]. Marine Geology, 2004, 211(3/4): 169-187.
- [14] 原野, 赵亮, 魏皓, 等. 利用 ADCP 和 LISST-100 仪观测悬浮物浓度的研究[J]. 海洋学报, 2008, 30(3): 48-

55.
YUAN Y, ZHAO L, WEI H, et al. Research on observing suspended sediment concentration using ADCP and LISST - 100 instruments [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2008, 30 (3): 48 - 55.
- [15] 田慧娟, 韩赋, 朱柯行, 等. 基于多普勒声学原理测定海水悬沙质量浓度[J]. *淮海工学院学报: 自然科学版*, 2013, 22(2): 89 - 92.
TIAN H J, HAN F, ZHU K X, et al. Determination of suspended sediment concentration by ADCP signal strength [J]. *Journal of Huaihai Institute of Technology: Natural Sciences Edition*, 2013, 22(2): 89 - 92.
- [16] 余佳. 黄海悬浮体分布及季节性变化[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
YU J. Seasonal variation and distribution of suspended sediment in the Yellow Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [17] 于非, 张志欣, 刁新源, 等. 黄海冷水团演变过程及其与邻近水团关系的分析[J]. *海洋学报*, 2006, 28(5): 26 - 34.
YU F, ZHANG Z X, DIAO X Y, et al. Analysis of evolution of the Huanghai Sea cold water mass and its relationship with adjacent water masses [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(5): 26 - 34.
- [18] 汤毓祥, 邹娥梅, 李兴宰, 等. 南黄海环流的若干特征[J]. *海洋学报*, 2000, 22(1): 1 - 16.
TANG Y X, ZOU E M, LI X Z, et al. Some features of circulation in the southern Huanghai Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 22(1): 1 - 16.
- [19] 赵保仁. 黄海冷水团锋面与潮混合[J]. *海洋与湖沼*, 1985, 16(6): 25 - 34.
ZHAO B R. The fronts of the Huanghai Sea cold water mass induced by tidal mixing [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1985, 16(6): 25 - 34.
- [20] 翁学传, 王从敏. 台湾暖流深层水变化特征的分析[J]. *海洋与湖沼*, 1983, 14(4): 357 - 366.
WENG X C, WANG C M. An analysis of variational characteristics of the deep water of Taiwan warm current [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1983, 14(4): 357 - 366.
- [21] 朱建荣, 沈焕庭, 周健. 夏季苏北沿岸流对长江冲淡水扩展影响的数值模拟[J]. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 1997, 5(2): 62 - 67.
ZHU J R, SHEN H T, ZHOU J. Numerical simulation of the impact of the Subei coastal current on the expansion of the Changjiang River diluted water in summer [J]. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 1997, 5(2): 62 - 67.
- [22] 苏育嵩, 李凤岐, 马鹤来, 等. 东海北部区域底层冷水团的形成及其季节变化[J]. *青岛海洋大学学报*, 1989, 19(1): 1 - 14.
SU Y S, LI F Q, MA H L, et al. Formation and seasonal variation of bottom cold water mass in northern area of the East China Sea [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1989, 19(1): 1 - 14.
- [23] 秦蕴珊, 李凡, 徐善民, 等. 南黄海海水中悬浮体的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1989, 20(2): 101 - 112.
QIN Y S, LI F, XU S M, et al. Research on the Yellow Sea suspension [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1989, 20(2): 101 - 112.
- [24] 杨作升, 郭志刚, 王兆祥, 等. 黄东海陆架悬浮体向其东部深海区输送的宏观格局[J]. *海洋学报*, 1992, 14(2): 81 - 90.
YANG Z S, GUO Z G, WANG Z X, et al. Macro pattern of Yellow Sea shelf suspension conveying its deep-sea areas east [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 14(2): 81 - 90.

The characteristics of vertical distribution of suspended sediment concentration in inshore waters of northern Jiangsu in summer and winter

YANG Hong, YAN Li, WANG Chunfeng, LIU Chengxiu

(College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Through fitting the Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) backscatter intensity data obtained by field survey and suspended sediment concentration in Jiangsu Yellow Sea in August and December 2012, we learned that the correlation coefficient was 0.8 or more, the inversion results were ideal. Combined with the simultaneous observation of the hydrological data such as temperature, salinity, we studied vertical distribution of suspended sediment transport characteristics, formative causes of two seasons of summer and winter in the region. The results show that Jiangsu typical seasonal variation of suspended sediment distribution in nearshore waters was obvious, and suspended sediment concentration was generally higher in winter than in summer. The distribution and transportation of suspended sediment were affected by Subei coastal water, western Yellow Sea coastal currents, Yangtze diluted water, Yellow Sea warm current, Yellow Sea cold water mass and other factors, in which seasonal variation of western Yellow Sea coastal currents were its main influence factors. Subei coastal water carrying the resuspended sediment in Yellow River estuary and nearshore suspended sediment spread to the south-east coast, and the transportation amount and diffusion range is larger in winter than in summer. Warm currents of Yellow Sea prevented suspended sediment from outward diffusion, which was captured in nearshore. Northeasterly direction deflection of Yangtze diluted water caused the distribution stratification phenomenon of suspended sediment in southern Subei in summer.

Key words: suspended sediment; Backscatter intensity; Jiangsu coastal current; abandoned Huang he River