

南黄海表层沉积物粒度特征季节变化及其影响因素

卢健^{1,2}, 李安春¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 通过对南黄海春季和秋季 27 个相同站位表层沉积物的粒度分析, 并结合水文观测资料, 研究了南黄海表层沉积物粒度的季节变化, 参考文献资料初步讨论了粒度变化的影响因素。研究结果显示, 按照 Folk 分类, 南黄海表层沉积物可以分为粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂和泥四种类型。秋季与春季相比, 总体上砂和粉砂的含量增加, 黏土含量降低, 相应地平均粒径相对变粗, 分选系数和峰态的变化较小, 而偏态表现为更加正偏。季节性变化还表现出明显的区域差异, 主要是受环流系统、河流来沙及波浪的季节性变化的影响。

关键词: 南黄海; 粒度; 季节变化; 黄海暖流; 黄海沿岸流

中图分类号: P67 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)03-0048-11

doi: 10.11759/hyxx20140527001

海洋沉积物粒度组成和分布特征受物质来源、输动力和沉积过程的控制, 而且与沉积环境紧密相关, 因此对粒度特征的研究, 可以反映沉积环境、水动力条件及物质运输等信息^[1]。对南黄海表层沉积物粒度分布特征的研究已有相关报道^[2-5]。南黄海表层沉积物类型多样^[2], 且影响粒度分布的环流系统复杂^[6]。在以往对南黄海的研究中, 较少涉及粒度分布的季节变化, 已有的讨论粒度季节变化的研究^[7-9]多局限在较小的海域范围内, 而对其他海域表层沉积物粒度特征随时间变化的研究则较多地集中在河口^[10-12]和海滩^[13-19], 这主要是因为相对于空间变化, 粒度随时间的变化量较小且更加难以识别^[14, 19]。因此, 在更大海域开展表层沉积物粒度特征季节变化的研究十分必要, 有助于更好地认识沉积过程及水动力环境。

本文通过对南黄海春季和秋季相同站位表层沉积物粒度特征的分析, 研究了表层沉积物粒度特征的季节变化, 并结合水文资料探讨了粒度变化的影响因素, 以期为今后进一步的深入研究起到抛砖引玉的作用。

1 研究区概况

黄海是位于中国大陆与朝鲜半岛之间的一半封闭浅海, 海底地形由北、东、西三面向黄海中部及东南部倾斜。南黄海平均水深为 46 m, 在中东部有一水深在 60~80 m 间的洼槽, 通常称为“黄海槽”。南黄海夏季盛行南风 and 东南风, 而冬季盛行北风和东北

风^[20]。黄海的环流系统, 在冬半年(12月至翌年4月), 主要由黄海暖流及其余脉与东、西两侧的沿岸流组成。黄海暖流自济州岛西南侧海域呈舌状伸向黄海, 分布从表至底; 黄海沿岸流沿山东半岛北岸东流, 在成山角附近转向南和西南流动, 沿 40~50 m 等深线向南的分支在 33°N~32°N 附近流向东南; 西南为苏北沿岸流, 冬季向东南方向流动(图 1)。在暖半年(5月~11月), 因黄海冷水团密度流的出现, 从而形成一近乎封闭的循环^[6]。与冬季流向不同, 近期研究证明苏北沿岸流在夏季向北流^[21-25]。南黄海沉积物分布受黄海暖流, 沿岸流和近岸潮流的影响, 沉积环境多变, 环流系统的季节性差异可以造成沉积物粒度特征的季节变化。

2 材料和方法

所用样品为中国科学院海洋研究所 2009 年春季和秋季中国近海海洋科学考察开放共享航次取得, 采样时间分别为 2009 年 5 月 17 日~6 月 17 日和 2009 年 11 月 20 日~12 月 17 日, 采样设备为箱式采样器。样品选取表层 0~2 cm 的沉积物, 采样站位分布如图 2 所示。同时调查过程中使用了 SBE9 型 CTD 采集

收稿日期: 2014-05-27; 修回日期: 2014-09-11

基金项目: 国家海洋局项目(DOMEP(MEA)-01-05), 国家自然科学基金重点项目(41430965)

作者简介: 卢健(1984-), 男, 博士研究生, 主要从事海洋沉积学研究, E-mail: lujian623@126.com; 李安春, 通信作者, 研究员, 从事海洋沉积学研究, E-mail: acl@qdio.ac.cn

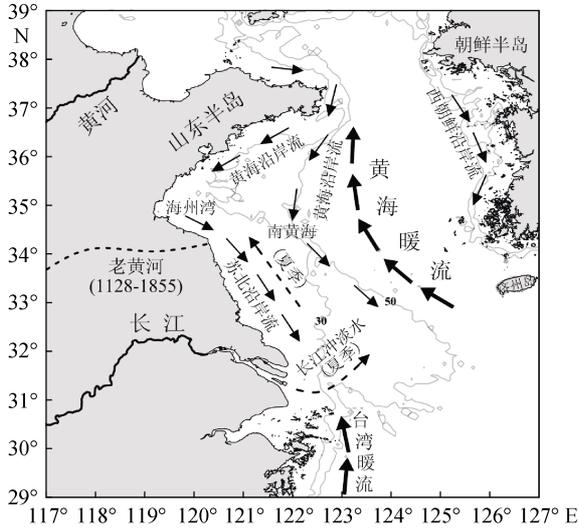


图1 南黄海环流分布图(据苏纪兰, 2005)

Fig.1 Regional ocean circulation patterns in the South Yellow Sea (modified after Su, 2005)

了温度(T)、盐度(S)等数据, 其调查站位分布如图 2 所示。两次采样的站位经纬度及取样位置差异如表 1 所示。可以看到, 两次取样站位位置距离差异在 4 km 以内。

沉积物样品用 15%的 H_2O_2 去除有机质, 0.25 mol/L HCl 除去钙质胶结物和生物壳体, 经离心洗盐后, 使用超声波发生器将样品充分分散后上机测试。测试用仪器为法国产 Cilas 940L 型激光粒度仪, 测量粒径范围为 0.3~2 000 μm , 分析结果间隔为 $1/4\Phi$, 重复测量相对误差 <2%。样品的前处理和上机测试均在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室完成。粒度参数的计算采用矩法^[26], 得到平均粒径 (Mz)、分选系数(σ)、偏态(Sk)和峰态($K\mu$)等参数。借鉴以往对南黄海表层沉积物分类的研究结果^[4], 本文沉积物分类和命名采用 Folk 分类法^[27], 这种分类法可以更好地反映沉积动力学和沉积环境变化。

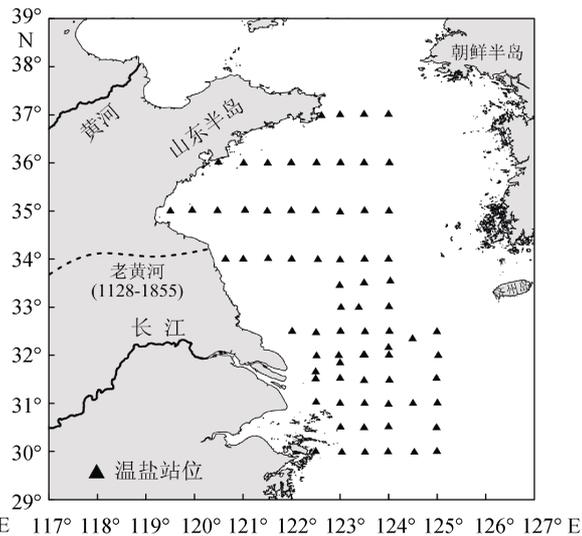
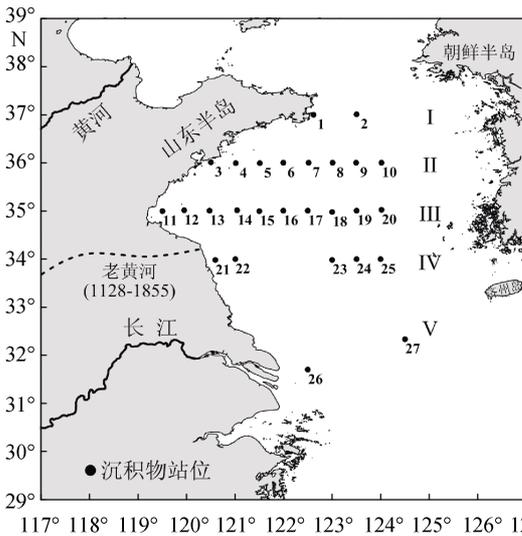


图2 站位分布图

Fig.2 Location of survey stations

3 结果

3.1 Folk 分类结果及沉积物粒度组成

本文只研究不含砾石的组分, 根据 Folk 分类法, 研究区春季和秋季表层沉积物类型共有 4 类, 分别为粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂和泥(图 3)。可以看出, 总体上, 春季和秋季沉积物类型相同, 但是部分站位在不同季节分类结果不同。4 种类型沉积物粒度组成在春季和秋季的统计结果如表 2 所示。可以看出, 各类型沉积物粒度组成春季和秋季差别不大, 但总体上, 春季和秋季粒度组成差别

明显。春季砂、粉砂和黏土平均含量分别为 18.67%、55.73%和 25.60%, 而秋季则分别为砂 20.75%、粉砂 57.87%、黏土 21.38%, 秋季砂和粉砂平均含量高于春季, 而黏土含量则低于春季。从沉积物类型的数量也可以看出春季与秋季的区别, 秋季相对于春季, 粉砂质砂和砂质粉砂的站位数量比较接近, 而秋季粉砂的站位比春季多 6 个, 分类为泥的站位则比春季少 5 个。

3.2 粒度参数分布特征

表 3 为春季和秋季表层沉积物粒度参数的对比结果, 各参数的平面分布分别如图 4 和图 5 所示。

表 2 各类型沉积物不同季节粒度组成(括号中数字为样品数量)

Tab.2 Grain size compositions of different type sediments in spring and autumn (number in the parentheses represent sample numbers)

季节	沉积物类型	沉积物粒度组成(%)		
		砂	粉砂	黏土
春季	粉砂质砂(2)	71.81	21.42	6.77
	砂质粉砂(13)	26.49	54.32	19.19
	粉砂(4)	2.68	72.33	25
	泥(8)	0.66	58.32	41.03
	全部样品(27)	18.67	55.73	25.6
秋季	粉砂质砂(4)	70.66	22.44	6.9
	砂质粉砂(10)	25.01	56.81	18.18
	粉砂(10)	2.74	72.99	24.27
	泥(3)	0	58.25	41.75
	全部样品(27)	20.75	57.87	21.38

表 3 春季和秋季表层沉积物样品粒度参数对比

Tab.3 Grain size parameter comparisons between surface sediment samples collected in spring and autumn

季节	$Mz(\Phi)$		σ		Sk		$K\mu$	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值	变化范围	平均值
春季	3.47~7.96	6.32	1.32~2.55	1.89	-1.04~2.29	0.91	1.57~3.01	2.35
秋季	1.99~7.95	6.05	1.31~2.45	1.83	-1.18~2.56	1.35	1.56~3.25	2.33

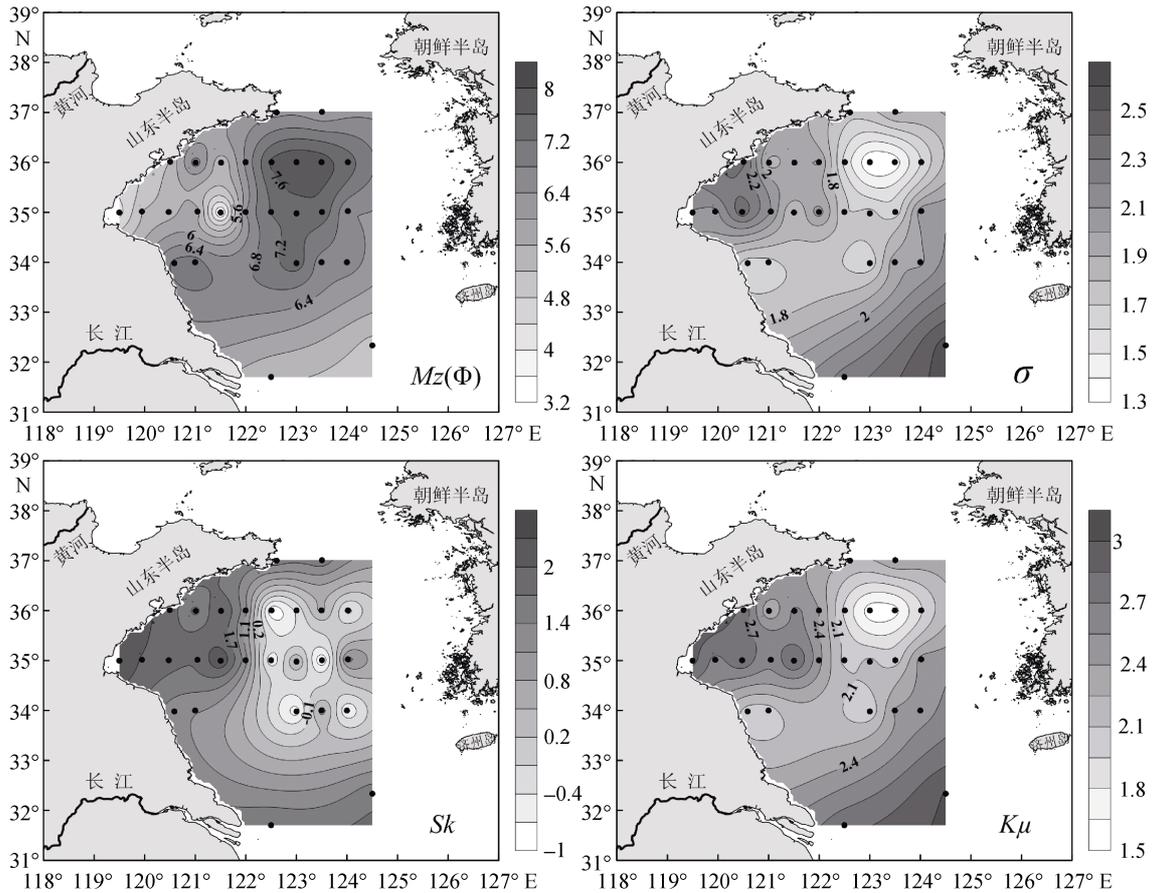


图 4 春季表层沉积物样品粒度参数分布图

Fig.4 Grain size parameter spatial distributions of surface sediment samples collected in spring

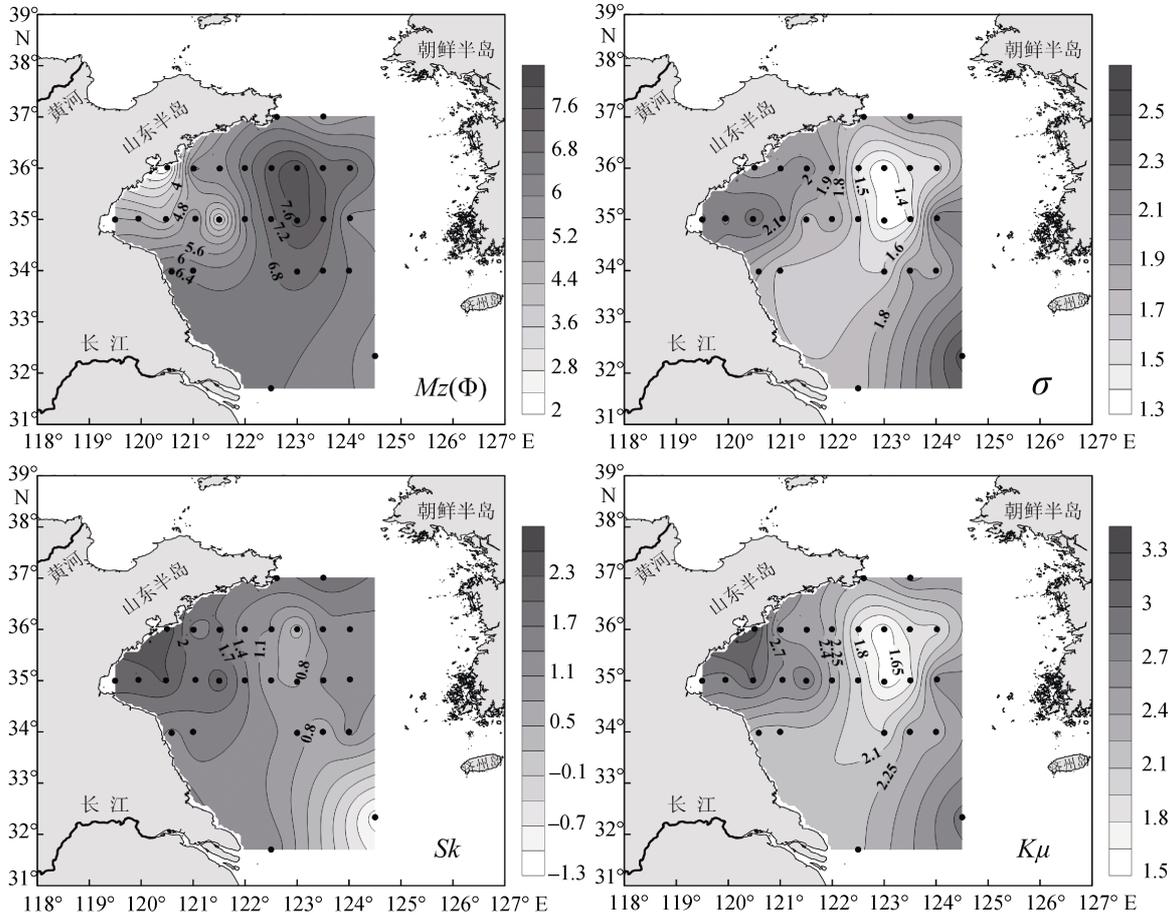


图 5 秋季表层沉积物样品粒度参数分布图

Fig.5 Grain size parameter spatial distributions of surface sediment samples collected in autumn

春季表层沉积物样品平均粒径(图 4)在 3.47~7.96 Φ 之间, 平均为 6.32 Φ 。在研究区中东部表现为细粒沉积区($Mz > 7.2\Phi$), 西部和南部的站位粒径相对较粗($Mz < 6\Phi$)。分选系数(图 4)在 1.32~2.55 之间, 平均为 1.89。对照平均粒径分布可以发现, 粒径较粗的区域分选相对较差($\sigma > 1.8$), 而粒径较细的区域则分选相对较好($\sigma < 1.8$)。偏态(图 4)在 -1.04~2.29 之间, 平均为 0.91。研究区中部和东部的站位呈现为近对称和负偏($Sk < 0.5$), 其他区域的站位则为正偏和极正偏($Sk > 0.5$)。峰态(图 4)在 1.57~3.01 之间, 平均为 2.35。其分布特征与分选系数相似, 中部西南-东北条带状区域内站位粒度的峰态相对宽平($K\mu < 2.25$), 而西部和东南部站位的峰态相对尖锐($K\mu > 2.25$)。

与春季粒度参数相比较, 秋季表层沉积物的分选系数和峰态的变化较小, 而平均粒径和偏态则表现出较大差异(表 3)。秋季表层沉积物的平均粒径

(图 5)分布范围更广, 在 1.99~7.95 Φ 之间, 平均为 6.05 Φ , 粒径相对春季的要粗。与春季平面分布相比, 秋季平均粒径的分布并未发生太大变化, 二者基本相似, 仍表现为中东部较细($Mz > 7.2\Phi$), 而西部站位粒径相对较粗($Mz < 6\Phi$), 仅南部的两个站位(26、27)相对春季粒径变细。分选系数(图 5)在 1.31~2.45 之间, 平均为 1.83, 与春季的接近一致。所不同的是, 秋季样品分选相对较好($\sigma < 1.8$)的站位比春季的要多, 分选系数与平均粒径仍表现出粒径越细分选相对越好的特点。偏态(图 5)分布范围增大, 在 -1.18~2.56 之间, 平均为 1.35, 相对春季更加正偏, 其分布特征与春季的不同, 仅两个站位(8、27)呈现为近对称和负偏($Sk < 0.5$), 而其他站位则为正偏和极正偏($Sk > 0.5$)。峰态(图 5)在 1.56~3.25 之间, 平均为 2.33, 与春季的相接近。其分布特征也与分选系数的相类似, 中部站位粒度峰态相对宽平($K\mu < 2.25$), 而西部和东部站位的峰态相对尖锐($K\mu > 2.25$)。

从粒度参数相关性曲线(图 6)可以看出,春季和秋季样品的平均粒径与分选系数呈明显负相关,且两个季节的相关程度相似,随着粒径变细,分选相对变好,季节差异不大;而春季样品偏态与峰态的相关性弱于秋季,秋季样品偏态与峰态呈明显的正相关。

4 讨论

4.1 粒度组成和参数变化的影响因素

从春季和秋季表层沉积物样品的 Folk 分类结果(图 3)可以看出,部分站位不同季节粒度组成发生了变化,分类结果也不同。将研究站位按纬度划分为 5 个剖面,分别标记为剖面 I, II, III, IV, V(图 2)。各剖面站位粒度组成季节变化如图 7 所示。从春季到秋季,各站位粒度变化为:剖面 I 中站位 1 粒度组成几乎不变,参照该区域的沉积速率(图 8)可以发现,站位 1 处的沉积速率几乎为零,这主要是因为黄海沿岸流在绕过成山角南下过程中,水动力较强(流速 $>30\text{ cm/s}$ ^[28]),受到沿岸流的冲刷及搬运作用,黄河入海物质很难在该区域发生沉积^[29],站位 1 基本上未接受现代沉积;站位 2 位于成山角以东,水深 72 m,受风浪影响较小,但属于黄海槽北端,秋季,受北风影响,水流的冲刷作用增强,粉砂和黏土含量降低,砂含量相对增加。剖面 II 站位 3 和 4 水深小于 30 m,受波浪及近岸潮流影响较强,而波浪能量的增强,可以导致砂含量的增加^[14];站位 5、6 和 7 粉砂含量有所增加,主要受黄海沿岸流携带的现代黄河物质的影响;站位 8 粒度组成几乎不变,这是因为该站位距离陆缘相对

较远,大量的陆源物质很难被搬运沉积到该处,同时由于它位于黄海冷水团的中部,水动力条件稳定,²¹⁰Pb 垂直分布模式指示其物质来源没有发生显著变化,沉积环境稳定^[29];站位 9 和 10 粉砂含量明显增加,而黏土含量减少,主要是由于秋季黄海暖流的出现,携带部分细粒物质向北输运^[30]的结果。剖面 III 中站位 11 尽管靠近海岸,但因受外来物质的影响,粗粒组分减少而细粒组分增加;站位 12 和 13 虽然水深较深,在 30 m 左右,受潮流和波浪的影响,同时由于苏北沿岸流在秋季转向东南流动,不能继续向北输运细粒物质,从而使得粗粒组分相对增加;站位 14 和 15 粒度组成几乎不变,这是因为这两个站位位于残留沉积区,黄海沿岸流在绕过成山角后,主要把物质沉积在海州湾外海区,海州湾为悬沙浓度低值区^[9],这两个站位处现代物质供应不足^[31],从沉积速率分布(图 8)也可以看出,该处沉积速率(1.5~1.7 mm/a)较低;站位 16、17 和站位 6、7 相似,同样受黄海沿岸流的影响,粉砂含量增加;黄海暖流在 35°N 附近向西分出一个分支^[6],与南下的黄海沿岸流形成一气旋型涡旋,站位 18 大致位于涡旋处,由于底层的辐聚作用^[2, 32],粒级逐渐变细;站位 19 受黄海暖流的影响,黏土含量降低,粉砂含量增加;站位 20 可能受秋季西朝鲜沿岸流增强的影响^[28],砂含量增加。剖面 IV 中站位 21 和 22 所处地形为老黄河水下三角洲^[20],沉积物以粉砂为主^[8],此处潮流作用强烈^[33],站位 21 粒度组成几乎不变,是受物质来源稳定且粒度组成均一的影响^[8],在近岸潮流作用下,细粒物质由岸向海迁移,造成站位 22 粉砂含量增加,黏土含量降低;站位 23

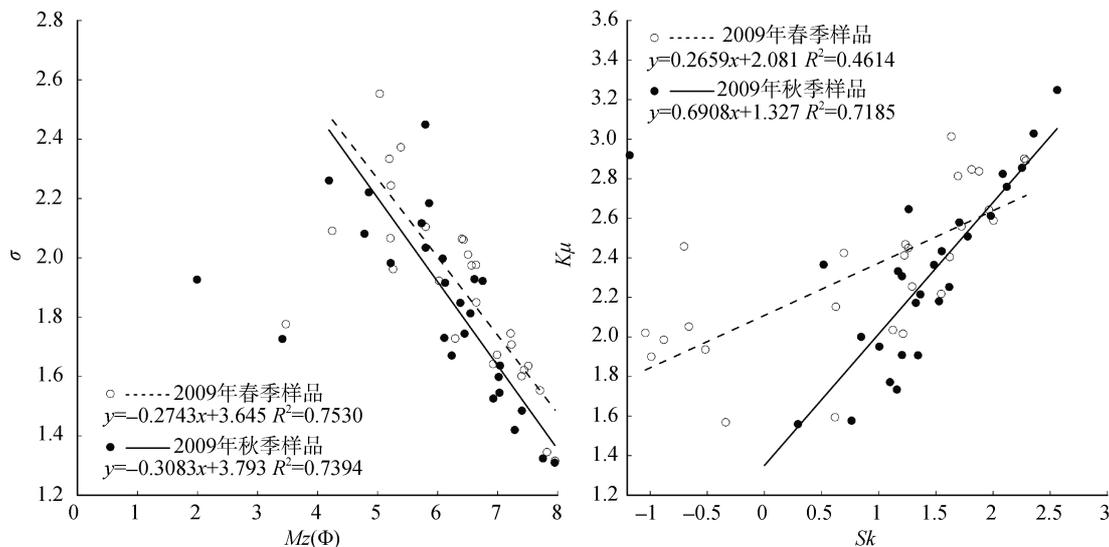


图 6 粒度参数相关曲线

Fig.6 Relationship between different grain size parameters

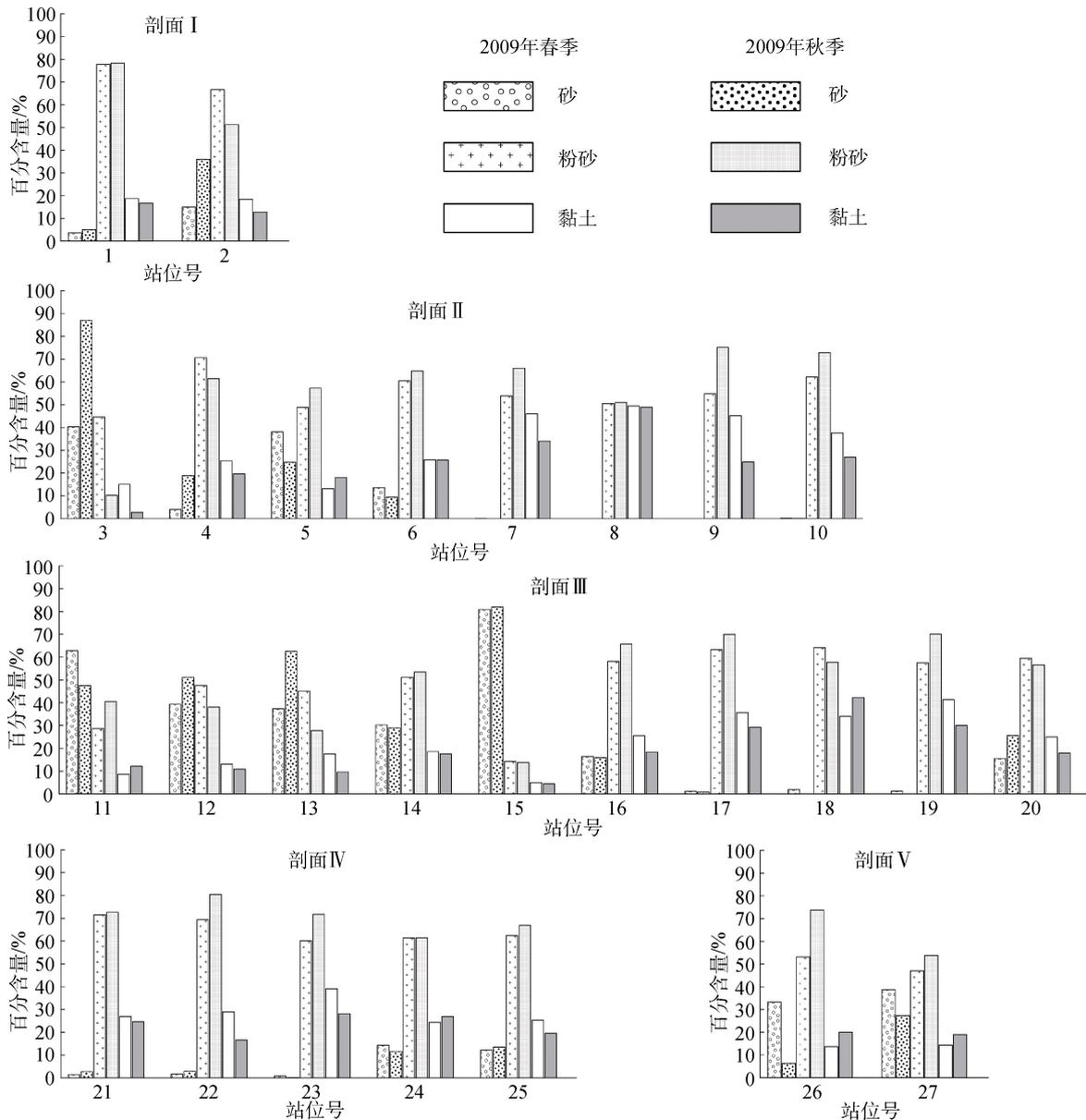


图 7 各剖面站位粒度组成

Fig.7 Grain size compositions of surface sediment samples in different sections

和 25 分别受黄海沿岸流和黄海暖流影响,粉砂含量增加,而站位 24 位于两者之间,受到影响较小,粒度组成几乎不变。剖面 V 中站位 26 和 27,秋季砂含量全部降低而粉砂和黏土含量增加,主要是受到长江冲淡水的影响。春末和夏季,长江冲淡水($S < 31.0$)呈舌状指向东北方向,其携带的长江物质在沿途沉积下来,而秋季长江冲淡水入海后不久就顺岸南下^[6],所以站位 26 和 27 粒度组成在春季和秋季呈现如此变化。

4.2 粒度频率分布的季节变化及影响因素

南黄海表层沉积物粒度分布的季节变化主要受

环流系统的影响。结合典型站位的粒度频率分布曲线(图 9)及春季和秋季水文观测资料(图 10),可以看出,春季南黄海中东部主要受黄海冷水团(冷中心温度 8°C ^[6])的控制(图 10)。受冷水团稳定结构影响,其所在区域为低能沉积环境^[2],从站位 7、8 和 10 的春季粒度频率曲线分布也可以看出,站位 8 呈双峰分布,峰值分别在 6.5Φ 和 9Φ 附近,峰态近对称;站位 7 和 10 呈三峰分布,峰值分别在 4.5Φ 、 6.5Φ 和 9Φ 附近。以上三个站位粒度频率分布都反映了较弱的水动力条件和比较稳定的沉积环境,与其所处环流系统水动力条件相一致。黄海沿岸流的路径基本上保持终年不变,在成山角附近由于流幅较窄,流速

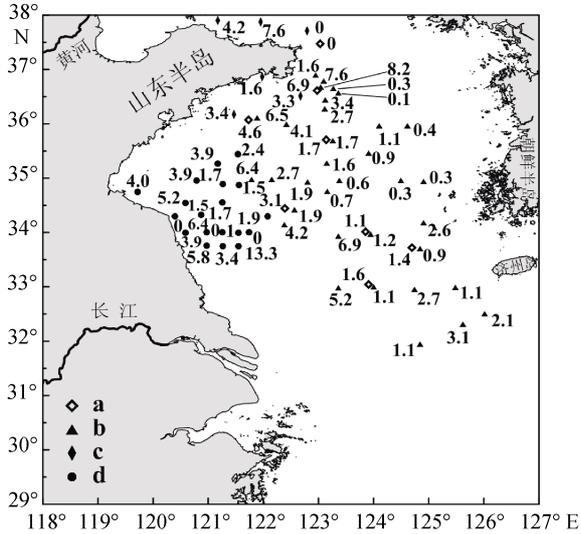


图 8 南黄海 ^{210}Pb 沉积速率(mm/a)分布(a, [29]; b, [34]; c, [35]; d, [36])
 Fig.8 Spatial distribution of ^{210}Pb accumulation rates (mm/a) in the South Yellow Sea

较大, 最大流速可达 $30\sim 40\text{ cm/s}$ ^[6, 28]。从站点 1 粒度频率分布可以看出, 粒径分布呈单峰分布, 峰值在 5Φ 左右, 峰态较尖锐, 代表了较强的水动力环境和单一的物源。春季和秋季频率分布几乎相同, 说明黄海沿岸流在流经此处时比较稳定。春季到秋季, 站点 7、17 和 23 所在区域由主要受黄海冷水团控制转变为受黄海沿岸流的影响, 其粒度频率分布也发生相应变化, 峰态变得相对尖锐, 细粒组分减少, 反映水动力条件增强, 站点 7 频率分布变化十分明显, 这与其春季距离冷水团中心较近且比较靠近黄海沿岸流流经北端有关。秋季黄海暖流($S>33$ 的舌状分布)开始出现(图 10), 其携带细粒物质向北运输^[30], 并可以影响南黄海中东部沉积物的分布。从站点 10 和 19 的频率分布曲线可以看出, 春季到秋季, 由三峰变为双峰分布, 峰值在 4.5Φ 左右的峰消失, 而峰值在 6.5Φ 附近的峰含量增加, 峰态相对尖锐, 峰值在 9.5Φ 附近的峰含量降低。由前面的分析可知, 由于

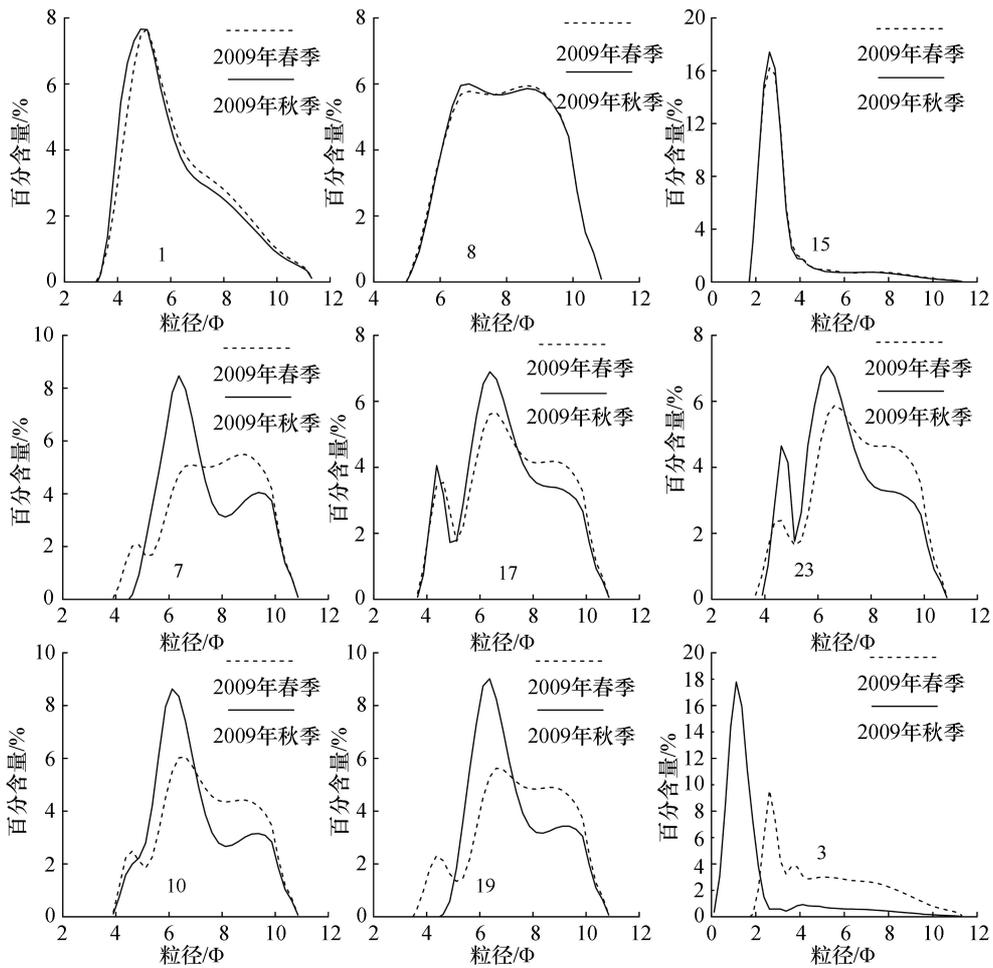


图 9 典型站点粒度频率曲线分布图
 Fig.9 Grain size frequency distribution curves of typical samples

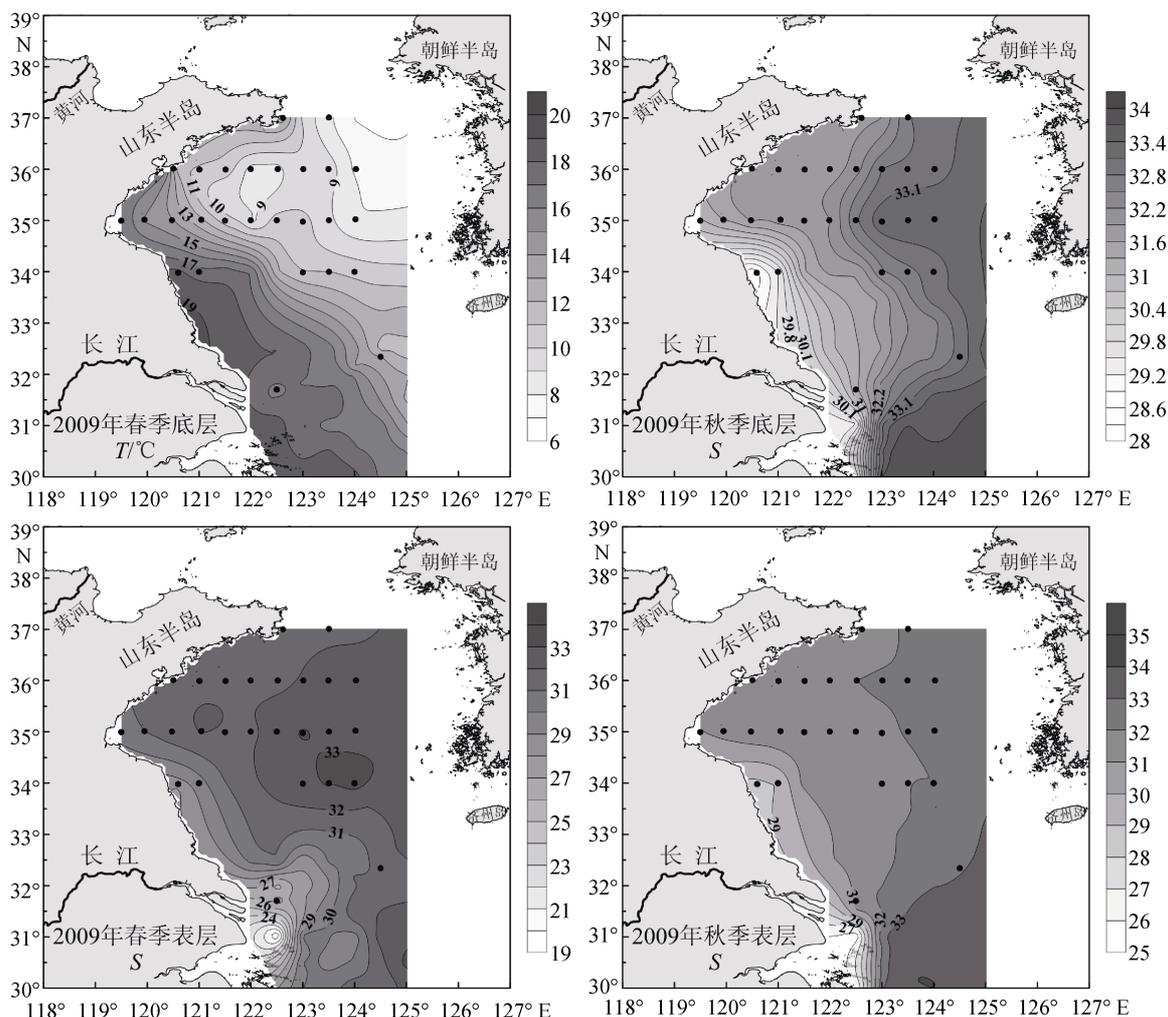


图 10 水文观测数据平面分布图

Fig.10 Spatial distributions of hydrodynamic data

黄海暖流的作用，流经范围内的站位粉砂含量增加而黏土含量降低。沿岸水深较浅的海域(水深<30 m)主要受近岸波浪和潮流的影响^[8]，秋季水动力增强，沉积物的粒度组成中粗粒组分增加。站位3水深19 m，春季到秋季，粒径分布由三峰变为明显的单峰，且主峰峰值由 3Φ 变为 1Φ ，峰态尖锐，峰值含量明显增加，反映水动力条件明显增强和物源的改变。部分站位受环流系统影响较小，其粒度组成比较稳定。站位15所在海域沉积物属于残留沉积^[31]，其粒度频率分布曲线表现为明显的单峰分布，峰值在 3Φ 附近，峰态尖锐，代表了较强的水动力条件，这是由于残留沉积物曾经历过强烈的水动力作用，细粒物质被带走^[37]。同时站位15处沉积速率较低(1.5~1.7 mm/a，图8)，受到现代沉积作用影响较小，春季到秋季其粒度频率分布曲线几乎没有变化。研究区南部粒度

分布受长江冲淡水的影响。从表层盐度分布图(图10)可以清楚的看出长江冲淡水流向的变化。春季(图10)，长江冲淡水($S<31.0$)呈舌状指向济州岛方向；秋季(图10)，长江冲淡水入海后便顺岸南下。长江冲淡水季节变化对研究区南部沉积物粒度组成产生了一定影响(图7)。

5 结论

通过对南黄海春季和秋季相同站位表层沉积物的粒度分析，研究了南黄海表层沉积物粒度分布的季节变化，并结合水文观测资料和参考前人研究成果，讨论了粒度季节变化的影响因素。主要得到以下结论：

南黄海表层沉积物，无论在粒度组成含量上，还是粒度分类结果上，都显示出季节变化。与春季相

比, 秋季表层沉积物的砂和粉砂含量有所增加, 而黏土含量降低, 平均粒径相对变粗; 分选系数和峰态的变化较小, 而偏态变化较大, 表现为更加正偏。粒度季节变化具有明显的区域性特征, 这种季节性变化和区域性特征主要受水动力和物质供应的控制, 与黄海环流作用下的物质运输、长江冲淡水等河流来沙及沿岸和海底侵蚀等密切相关。本研究只是初步的, 值得进一步开展更长时间和更广泛区域的深入研究。

致谢: 感谢 2009 年中国科学院海洋研究所中国近海海洋科学考察开放共享航次提供沉积物样品和部分温盐数据

参考文献:

- [1] 高抒, Collins M. 沉积物粒径趋势与海洋沉积动力学[J]. 中国科学基金, 1998, (4): 11-16.
- [2] 石学法, 申顺喜, Hi-il Y, 等. 南黄海现代沉积环境及动力沉积体系[J]. 科学通报, 2001, (S1): 1-6.
- [3] 张宪军, 蓝先洪, 赵广涛, 等. 南黄海中西部表层沉积物粒度特征分析[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(7): 8-13.
- [4] 王中波, 何起祥, 杨守业, 等. 谢帕德和福克碎屑沉积物分类方法在南黄海表层沉积物编图中的应用与比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, (1): 1-8.
- [5] 徐刚, 刘健, 温春, 等. 南黄海西部陆架区表层沉积特征与物源分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, (4): 49-56.
- [6] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 192-206.
- [7] Chough S K, Lee H J, Chun S S, et al. Depositional processes of late Quaternary sediments in the Yellow Sea: a review[J]. Geosciences Journal, 2004, 8(2): 211-264.
- [8] 张林, 陈沈良. 苏北废黄河三角洲沉积物的时空变化特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, (3): 11-19.
- [9] 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.
- [10] 刘红, 何青, 王元叶, 等. 长江口表层沉积物粒度时空分布特征[J]. 沉积学报, 2007, (3): 445-455.
- [11] 罗向欣, 杨世伦, 张文祥, 等. 近期长江口-杭州湾邻近海域沉积物粒径的时空变化及其影响因素[J]. 沉积学报, 2012, 30(1): 137-147.
- [12] 唐诚, 赵艳, 张华, 等. 珠江口近 30 年海底表层沉积物粒度分布及其环境变化[J]. 海洋科学, 2013, (5): 61-70.
- [13] Dubois R N. Seasonal variation of mid-foreshore sediments at a Delaware beach[J]. Sedimentary geology, 1989, 61(1): 37-47.
- [14] Guillén J, Palanques A. Short- and medium-term grain size changes in deltaic beaches (Ebro Delta, NW Mediterranean)[J]. Sedimentary Geology, 1996, 101(1-2): 55-67.
- [15] 陈沈良, 杨世伦, 吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(3): 299-305.
- [16] Guillen J, Jimenez J A, Palanques A, et al. Bottom sediment variability in the active layer of the inner shelf off the Ebro Delta[J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21(3): 482-499.
- [17] 王轲道, 王建, 何加武. 茅家港滩面沉积物粒度变化及其与水动力的关系[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 73-79.
- [18] 王永红, 孙静, 庄振业. 青岛旅游海滩沉积物粒度的季节性变化特征和输运[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2012, 12: 012.
- [19] Stubblefield W L, Permenter R W, Swift D J P. Time and space variation in the surficial sediments of the New York Bight apex[J]. Estuarine and Coastal Marine Science, 1977, 5(5): 597-607.
- [20] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989: 1-32.
- [21] Xia C S, Qiao F L, Yang Y Z, et al. Three-dimensional structure of the summertime circulation in the Yellow Sea from a wave-tide-circulation coupled model[J]. J. Geophys. Res., 2006, 111(C11): C11S03.
- [22] Yuan D L, Zhu J R, Li C Y, et al. Cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas indicated by MODIS satellite observations[J]. Journal of Marine Systems, 2008, 70(1-2): 134-149.
- [23] 刘志亮, 胡敦欣. 黄海夏季近岸海区环流的初步分析及其与风速的关系[J]. 海洋学报(中文版), 2009, (2): 1-7.
- [24] Pang C G, Yu W, Yang Y, et al. An improved method for evaluating the seasonal variability of total suspended sediment flux field in the Yellow and East China Seas[J]. International Journal of Sediment Research, 2011, 26(1): 1-14.
- [25] Wang B, Li Y, Yuan D L. Effects of topography on the

- sub-tidal circulation in the southwestern Huanghai Sea (Yellow Sea) in summer[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 32(3): 1-9.
- [26] McManus J. Grain size determination and interpretation[J]. *Techniques in Sedimentology*, 1988: 63-85.
- [27] Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1970, 13(4): 937-968.
- [28] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [29] 李凤业, 袁巍, Demaster D J, 等. 南海、南黄海、渤海 ^{210}Pb 垂直分布模式[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1991, (3): 35-43.
- [30] Gao S, Park Y A, Zhao Y Y, et al. Transport and resuspension of fine-grained sediments over the southeastern Yellow Sea[C]//*Proceedings of the Korean-China international seminar on Holocene and late Pleistocene environments in the Yellow Sea Basin*, 1996: 83-98.
- [31] 刘锡清. 中国陆架的残留沉积[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1987, 7(1): 1-14.
- [32] Hu D X. Upwelling and sedimentation dynamics[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1984, 2(1): 12-19.
- [33] 丁文兰. 渤海和黄海潮汐潮流分布的基本特征[C]//中国科学院海洋研究所. *海洋科学集刊*(25). 北京: 科学出版社, 1985: 27-39.
- [34] Alexander C R, DeMaster D J, Nittrouer C A. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 1991, 98(1): 51-72.
- [35] 胡邦琦, 李国刚, 李军, 等. 黄海、渤海铅-210 沉积速率的分布特征及其影响因素[J]. *海洋学报(中文版)*, 2011, (6): 125-133.
- [36] Liu J, Kong X H, Saito Y, et al. Subaqueous deltaic formation of the Old Yellow River (AD 1128-1855) on the western South Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 2013, 344: 19-33.
- [37] 王振宇. 南黄海西部残留砂特征及成因的研究[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1982, 2(3): 63-70.

Seasonal variations and influencing factors of the grain size characteristics of surface sediments in the South Yellow Sea

LU Jian^{1, 2}, LI An-chun¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: May, 27, 2014

Key words: South Yellow Sea; grain size; seasonal variations; Yellow Sea Warm Current; Yellow Sea Coastal Current

Abstract: We have analyzed grain sizes of 27 surface sediment samples collected from the same stations in the South Yellow Sea in spring and autumn. Combined with hydrological data, the seasonal variations of grain size characteristics of surface sediments have been studied, and the influencing factors of the variations have also been discussed according to related literatures. The results indicate that the surface sediments in the South Yellow Sea can be divided into four kinds of types, including silty sand, sandy silt, silt and mud with Folk's classification. Compared with the results in spring, the sand and silt contents increase while the clay content decreases in autumn. Correspondingly, the mean grain size (Mz) is coarser in autumn. The changes of sorting coefficient (σ) and kurtosis ($K\mu$) are smaller, while the skewness (Sk) is more positively skewed in autumn. Moreover, the seasonal variations show obvious regional differences, which are influenced by the circulation system, river discharges and seasonal changes of waves.

(本文编辑: 康亦兼)