

文章编号: 1000-0550(2010)01-0150-08

浙闽沿岸南部泥质沉积中心表层沉积物粒度特征及其季节性差异^①

李云海 陈 坚 黄财宾 李东义

(国家海洋局第三海洋研究所 福建厦门 361005)

摘 要 通过对浙闽沿岸南部泥质沉积中心 15 个站位夏季和冬季表层沉积物的粒度分析和对比,探讨了表层沉积物粒度的分布特征、季节性差异及其影响因素。研究表明,各站样品以黏土质粉砂为主,各粒度参数差别较小,平均粒径和标准偏差呈显著的负相关,偏态和尖态呈弱负相关。粒级—标准偏差曲线上,在 4.92 ~ 6.46 和 25.32 ~ 33.27 μm 之间存在峰值,在 11.16 ~ 13.39 μm 之间为低谷值。粒度分布具有季节性差异,冬季样品各粒度参数分布范围均高于夏季,平均粒径(ϕ 值)总体上比夏季的要小,偏态和尖态等值线的梯度明显大于夏季的。在粒级—标准偏差曲线上,冬季样品的变化程度要显著高于夏季的。粒度分布的差异主要受物质来源和海洋动力环境的季节性变化影响。

关键词 浙闽沿岸南部泥质沉积中心 表层沉积物 粒度 季节性变化

第一作者简介 李云海 男 1980 年出生 博士 海洋沉积学和海洋地球化学 E-mail: liyunhai1980@gmail.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

东海浙闽沿岸存在带状平行等深线分布,北宽南窄的浙闽沿岸泥质沉积区^[1],其形成受多种因素控制^[2~5],是东海陆架细颗粒物(主要是长江入海颗粒物)的汇集区之一。20 世纪 80 年代以来,在该泥质区开展了大量的研究工作,取得了丰硕的成果。研究内容涉及泥质区的时空分布^[1,2,4~7],物质来源^[1,2,4~8],沉积物通量^[4~6],矿物及地球化学特征^[3,9~13]以及泥质沉积的地质记录^[14~16]等方面。研究表明,浙闽沿岸泥质区是长江入海泥沙在陆架沉积体系的重要组成部分,约占高海面(7 000 yrBP)以来长江入海泥沙量的 32%^[4~5]。泥质区的沉积过程具有季节性特征。首先,长江输沙量和河口泥质区沉积速率季节差异较大,洪季(5—10 月)多年平均输沙量占全年输沙量的 87%^[17]。与此相对应,长江口附近在 6—9 月的月沉积速率约为 4.4 cm,大大高于年平均的 1.6 cm^[18],有相当量的沉积物在冬半年被再次悬浮和搬运。其次,影响泥质区的主要水动力体系——东海沿岸流也存在季节性变化,受季风影响,夏季向北冬季向南运移^[19]。这些因素导致东海存在“夏储冬输”的沉积格局^[10]。冬季长江口附近再悬浮的底质沉积物在东海沿岸流携带下南向运移是泥质区形成的最重要的动力、沉积过程,而常年北向运移

的台湾暖流将沉积中心限制在暖流西侧沿岸带^[2~5]。

浙闽沿岸泥质区是长江入海泥沙在陆架沉积体系的重要组成部分,其时空分布和成因机制在全球变化、海洋物质通量和陆海相互作用等研究中具有重要的意义^[4~5]。泥质沉积是良好的古环境信息载体,不仅记录了陆架区的海洋环境演化,也记录了陆地向海洋的物质输入。沉积物中敏感粒级是反演海洋环境与气候变化(尤其是东亚季风强度等)的有效指标之一,在浙闽沿岸泥质沉积区得到了良好的应用^[14~16]。敏感粒级反演古环境变化是基于沉积历史上季风规律性变化引起了颗粒物粒度差异。浙闽沿岸现代海洋动力环境具有显著的季节性差异,这种季节性差异对表层沉积物粒度分布有何影响?其影响引起的粒度变化(包括敏感粒级)与沉积物柱状样中的是否一致?这些问题的研究将对阐明粒度分布(敏感粒级)特征对古海洋环境和气候变化的响应及其机制提供参考和佐证。

本文利用 2008 年 8 月和 12 月在浙闽沿岸南部泥质沉积中心区采集的 15 个站位表层底质沉积物样品,对其粒度组成、各粒度参数分布特征及其季节性差异进行对比分析研究。在阐述粒度分布差异的基础上探讨影响粒度分布特征的因素及其季节性差异

^①国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金项目(编号:海三科 2008004),国家自然科学基金项目(批准号:40806024)联合资助。收稿日期:2009-02-12; 收修改稿日期:2009-04-13

的科学意义。

1 样品采集和分析方法

1.1 样品采集

调查研究海域和站位设置见图 1。其中夏季取样时间为 2008 年 8 月 13~16 日, 取样站位 15 个, 冬季取样时间为 2008 年 12 月 15~17 日, 取样站位 25 个。为了进行有效对比, 只取两次调查均有取样的 15 个站位进行分析。其中 B2 站所在位置为浙闽沿岸泥质区沉积中心, 泥质沉积厚度可达 30 m^[4,5]。样品用蚌式取样器获取, 随即用塑料勺取其最表层约 3 cm 的底质沉积物(含 2 cm 左右浮泥)装入样品袋中, 带回实验室进行分析。

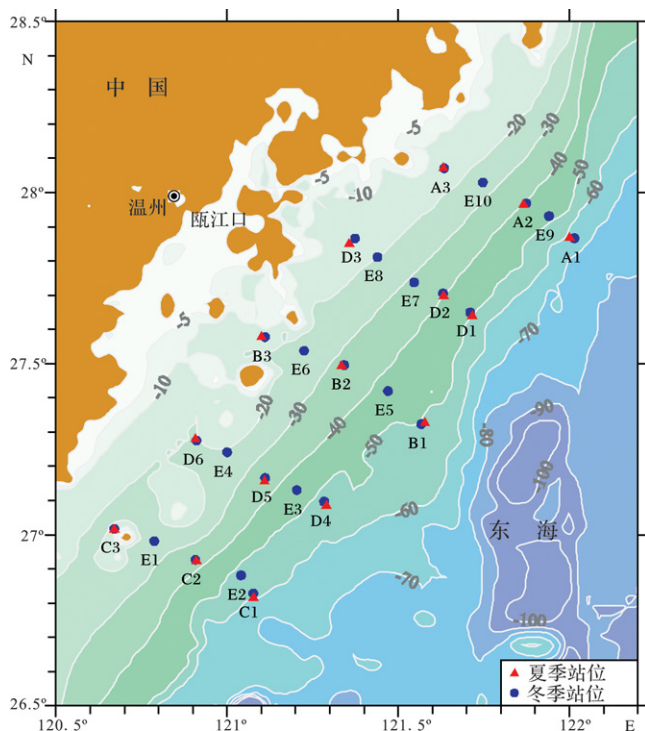


图 1 调查位置及站位设置

Fig. 1 The study area and station locations

1.2 粒度分析方法

所有样品的粒度均较细, 以青灰色粘土质粉砂为主。称取烘干后的样品 0.15 g 左右加入 100 mL 去离子水和 15 mL 30% 的 H₂O₂ 室温反应 24 h, 去除有机质。反应完全后加入 1 mL 2N 的盐酸(样品中碳酸盐主要是少量有孔虫, 少量盐酸即可去除), 室温放置 24 h 后移去烧杯顶部清液, 去除碳酸盐。最后加入 7 mL 0.5N 的 (NaPO₃)₆, 静置 24 h, 超声振荡 12sed 后在英国 Malvern2000 型激光粒度仪上进行测

试, 仪器测量范围为 0.02~2 000 μm, 粒径分辨率为 0.01φ, 重复测量的相对误差 < 3%。每个样品分为三份分别进行测量, 所有样品三次测量结果一致性均高。样品的预处理和测试分析均在国家海洋局第三海洋研究所海洋与海岸地质环境开放实验室完成。根据粒度分析结果计算了不同季节不同站位样品各个粒级的标准偏差, 利用粒级—标准偏差法来提取反映环境变化的沉积物粒度特征^[14~16,24]。

2 结果和分析

2.1 底质沉积物粒度分布特征

粒度分析的结果通常用两种方法表达: 一是图解法, 将粒度分析结果用频率曲线或概率曲线表达出来; 另外一种参数法, 通过计算各种粒度参数(如平均粒径、标准偏差、偏态、尖态等)进行沉积环境等解释。

2.1.1 底质沉积物粒度组成特征

从样品粒度频率分布曲线(图 2)上可以看出, 研究区表层沉积物样品粒度分布为单峰近对称偏正偏式, 粒度相对较细, 粒度众数为 5~19 μm, 粒度值在 6~11 μm 的组分占总量的 3% 以上。粒度频率曲线在 0.5~1 μm 之间略有上凸, 出现小峰, 其机理不明^[20], 是否是浮泥的粒级显示尚待证实。粒度频率曲线特征显示研究区冬夏两季海底表层沉积物均以细粒级的粘土质粉砂为主, 沉积动力环境较单一并相对稳定。

研究区位于浙闽沿岸流控制区域, 距离大陆尚有一定距离, 近岸入海物质影响较小。表层沉积物主要来源于浙闽沿岸流携带的长江入海泥沙, 沉积动力环境相对稳定。表层沉积物粒度的分布特征与其物质来源和沉积动力环境相关, 研究区样品粒度的特征表现了研究区冬夏两季表层沉积物主要来源于沿岸流携带的悬浮颗粒物, 其反映的沉积环境特征与实际沉积动力环境一致。各站具体分布情况略有差异, 可能是局地沉积动力环境差异(包括季节性差异和地理位置差异等)造成的。

2.1.2 底质沉积物粒度参数分布特征

各种粒度参数(如平均粒径、标准偏差、偏态、尖态等)的平面分布情况是沉积物分布特征及其形成环境的反映。以下选取粒度分析中最常用的平均粒径(单位为 φ 值)、标准偏差、偏态和尖态等来描述研究区夏冬两季表层沉积物的粒度分布特征(图 3、图 4)。

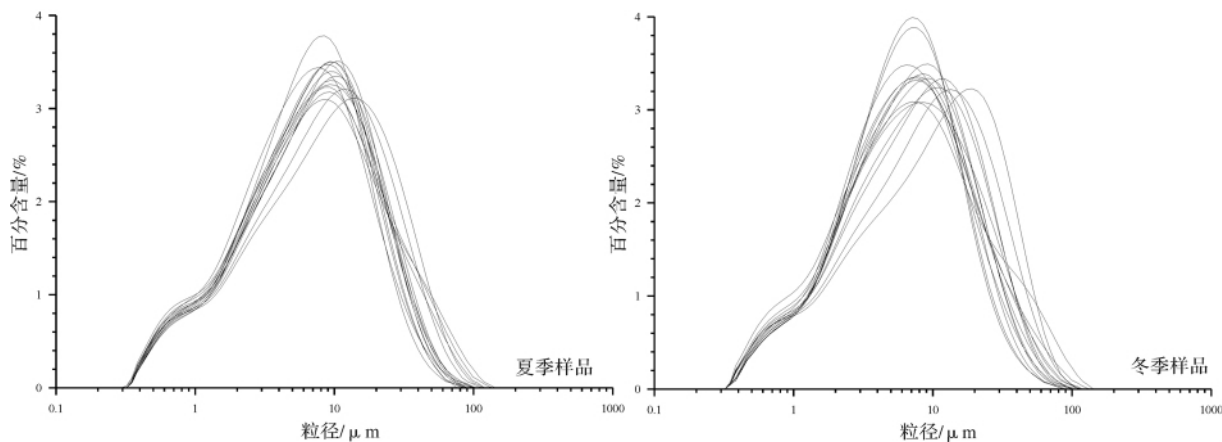


图2 粒度频率分布曲线

Fig. 2 The frequency curves of grain size

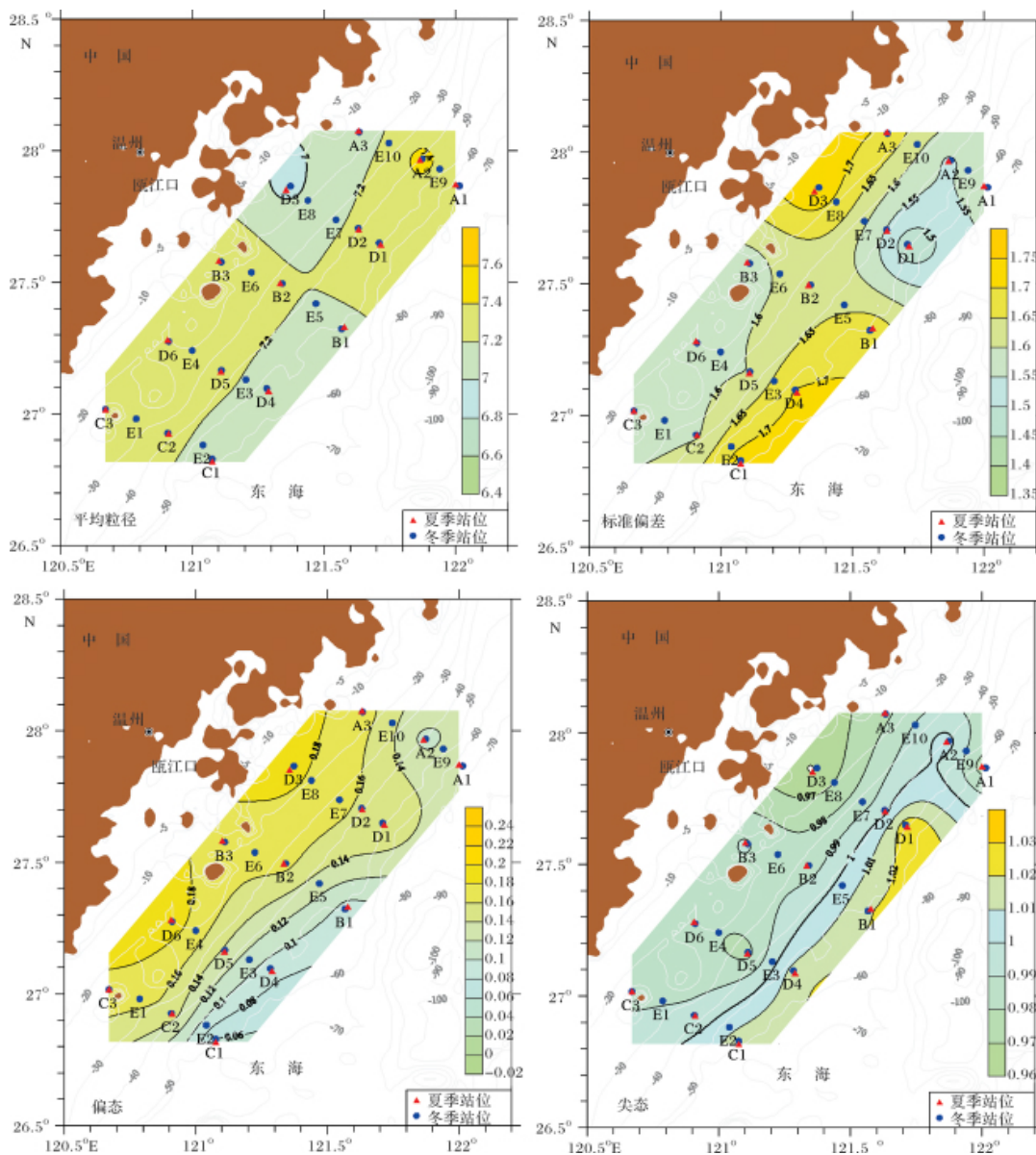


图3 夏季样品粒度特征分布图

Fig. 3 The characteristics of grain-size distribution of samples in summer season

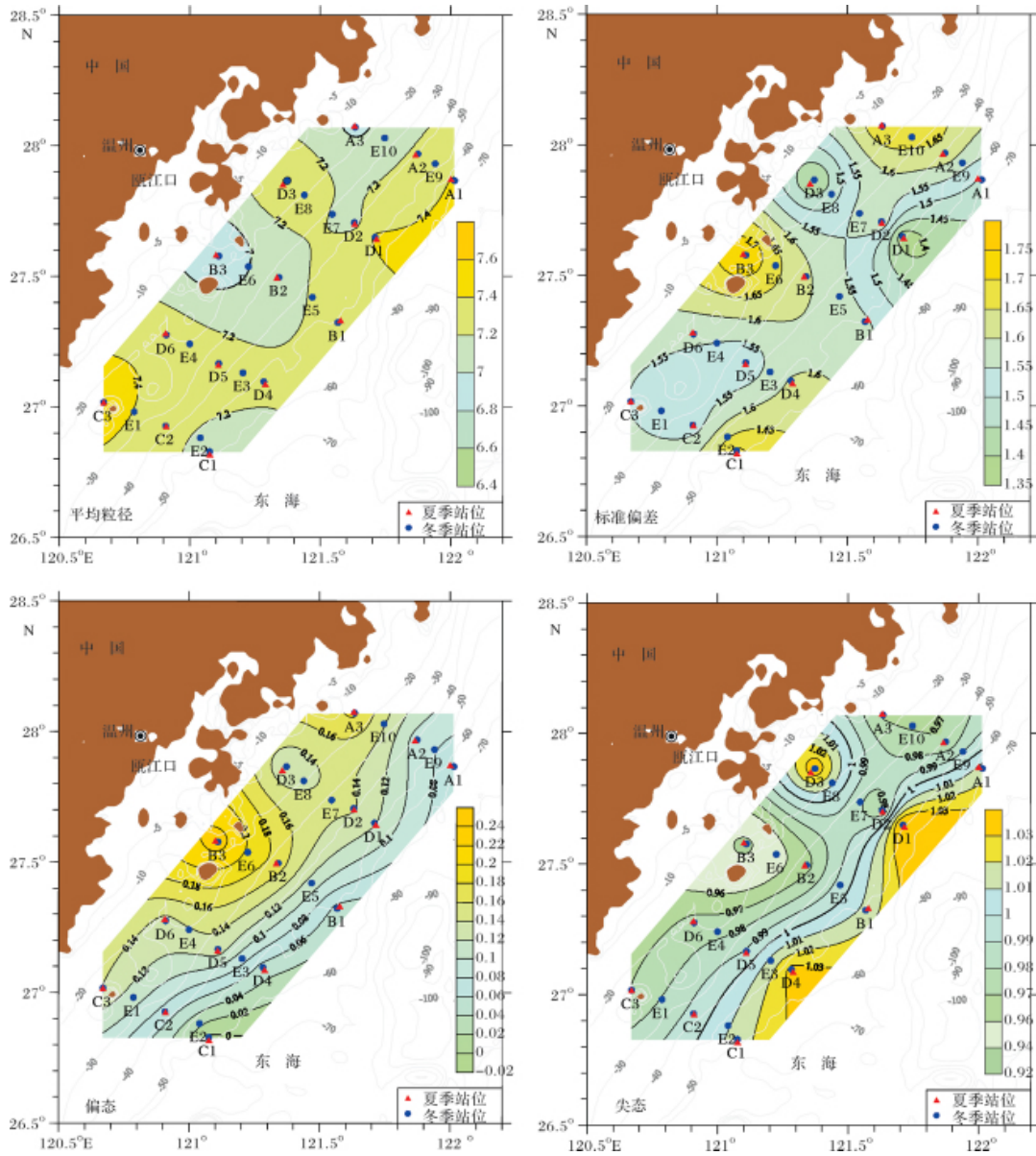


图 4 冬季样品粒度特征分布图

Fig. 4 The characteristics of grain-size distribution of samples in winter season

夏季样品中,平均粒径(ϕ 值)在 6.95 ~ 7.45 ϕ 之间,变化不大。平面上呈现为片状均匀分布,仅在西北侧距离陆地最近的 D3 站粒度略粗,小于 7 ϕ ,东北侧 A2 站粒度最细,大于 7.4 ϕ 。标准偏差在 1.46 ~ 1.75 之间,分选差。平面上呈现为片状近对称分布,东北和西南侧标准偏差低,小于 1.6,分选相对好;西北和东南侧标准偏差高,大于 1.6,分选相对差。偏态在 0.05 ~ 0.19 之间,近对称偏正偏。平面上呈现出平行海岸线由浅水向深水逐渐降低的趋势,其等值线梯度由南向北逐渐增加,在东南侧最低。尖态在 0.96 ~ 1.03 之间,中等尖锐,粒度分布比较集

中。平面上呈现出平行海岸线由浅水向深水逐渐增加的趋势,水深小于 40 m 的区域,尖态一般小于 1,在西北侧靠近大陆的 D3 站最低,约为 0.96;大于 40 m 的区域,除东北侧 A1 站小于 0.98 外,其他区域均大于 1,其中在 D1 站最高,大于 1.02。

总体来看,夏季样品粒度各参数的变化范围不大,不同粒度参数的分布特征差异明显。平均粒径和标准偏差分布特征相似,均表现为片状近对称分布,平均粒径 ϕ 值较小的区域分选相对差;偏态和尖态的分布特征相似,表现为平行海岸线的分布。各站粒度参数的分布差异与其相对地理位置差异(水深及

离岸距离等)相关,可能与颗粒物沉积分异作用及其物质来源有关。

冬季样品中,平均粒径(ϕ 值)在 $6.80 \sim 7.48\phi$ 之间,变化不大。平面上呈现为片状分布,大部分区域在 7.20ϕ 左右,在西侧南部A1站和中部B3站较小,小于 7ϕ ;东北部和西南部粒度最大,大于 7.4ϕ 。标准偏差在 $1.36 \sim 1.75$ 之间,分选差。平面上呈现为片状分布,东北、西南部及D3站附近标准偏差低,小于 1.6 ,分选相对好;西北、东南部及B3站附近标准偏差高,大于 1.6 ,分选相对差。偏态在 $-0.01 \sim 0.23$ 之间,近对称偏正偏。平面上呈现出平行海岸线由浅水向深水逐渐降低的趋势(B3站最高,可达 0.23)。等值线梯度由南向北逐渐增加。尖态在 $0.94 \sim 1.04$ 之间,中等尖锐,粒度分布比较集中。平面上呈现出平行海岸线由浅水向深水逐渐增加的趋势,水深小于 40 m 的区域,尖态一般小于 1 ,在西北侧靠近大陆的B3站最低,约为 0.94 ,在D3站尖态显著增加,大于 1.02 ;大于 40 m 的区域,尖态一般大于 1 ,在D4站最高,大于 1.03 。

总体来看,冬季样品粒度参数分布总体特征与夏季的相似,粒度各参数变化范围相对不大,不同粒度参数的分布特征差异明显。平均粒径和标准偏差分布特征相似,均表现为片状分布,平均粒径 ϕ 值较小的区域分选相对差;偏态和尖态的分布特征相似,表现为平行海岸线的分布。各站粒度参数的分布差异与其相对地理位置差异(水深及离岸距离等)相关,可能与颗粒物沉积分异作用及其物质来源有关。

从各粒度参数平面分布特征可以看出:(1)研究区各粒度参数总体差别较小。平均粒径变化在 0.68ϕ 之内;标准偏差变化在 0.38 之内;偏态变化在 0.24 之内;尖态变化在 0.11 之内。显示研究区海底

表层沉积物物质来源及影响其沉积过程的水动力等海洋环境相对单一。(2)平均粒径和标准偏差显著负相关(图5),平均粒径(ϕ 值)较小的区域分选相对较差;偏态与尖态弱负相关(图5),呈现由浅水向深水逐渐变化趋势。这种分布格局显示表层沉积物的各粒度参数的平面分布特征与其沉积环境和沉积过程有关,是颗粒物物质来源及沉积分异作用的反映。(3)冬夏两季海底表层沉积物粒度参数分布格局总体相似,但在粒度参数变化范围及其分布上差异明显,应该是季节性沉积环境差异影响造成的。

2.2 底质沉积物粒度分布季节性差异

冬夏两季表层沉积物粒度组成及其含量分布总体相似(图2),显示出两季表层沉积物物质来源类似和沉积动力环境均相对单一,但在各粒度参数变化范围(表1)和相关性(图5)以及分布特征上有明显差异(图3、图4),具体表现在:

(1)各粒度参数变化范围及相关性不同。两季表层沉积物各粒度参数的平均值差别不大,但其分布范围有显著的规律性差别(表1)。冬季表层沉积物样品各粒度参数的变化范围要大于夏季样品的,其最小值均小于夏季样品的,而其最大值均大于夏季样品的。从各粒度参数相关性曲线上可以看出,冬季样品平均粒径与标准偏差及偏态与尖态相关性要弱于夏季样品的(图5)。

(2)各粒度参数分布特征略有差异(图3、图4)。在平均粒径上,夏季样品分布格局较简单,在研究区西北部存在由陆侧向海延伸的低 ϕ 值区;冬季样品分布格局相对夏季的要复杂一些,平均粒径(ϕ 值)总体上比夏季的要小,特别是在研究区中部存在由陆侧向海延伸的低 ϕ 值区。在标准偏差分布特征上,两季样品分布格局及其差异与平均粒径的可以对

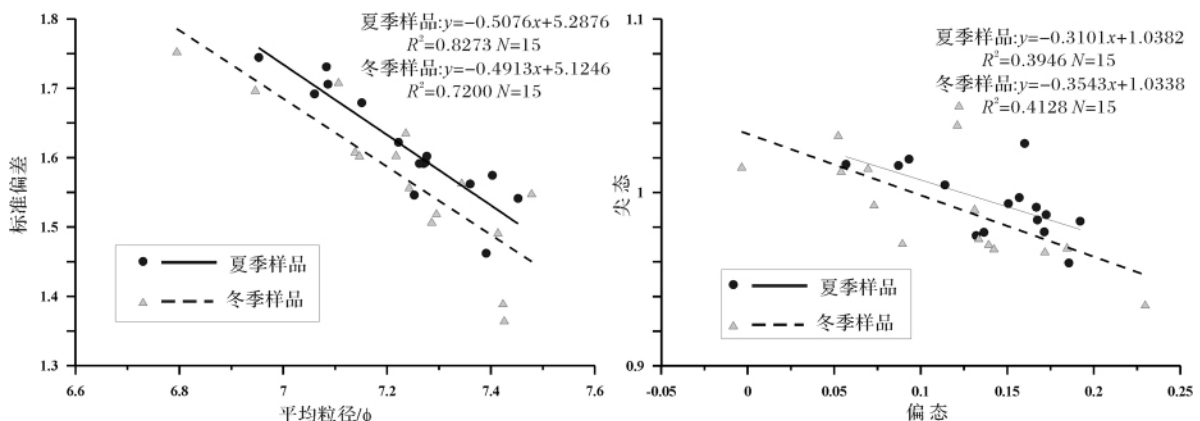


图5 各粒度参数相关曲线

Fig. 5 The correlation curve among the parameters of grain size

表 1 不同季节样品粒度参数的对比

Table 1 The comparison of the grain size parameters in different seasons' samples

样品	平均粒径/ ϕ		标准偏差		偏态		尖态	
	平均值	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
夏季	7.23	7.45 ~ 6.95	1.62	1.74 ~ 1.46	0.14	0.19 ~ 0.06	0.99	1.03 ~ 0.96
冬季	7.23	7.48 ~ 6.80	1.57	1.75 ~ 1.37	0.11	0.23 ~ -0.01	0.99	1.05 ~ 0.94

应,平均粒径(ϕ 值)较小的区域分选相对较差。在粒度偏态上,两季表层沉积物样品均呈现随水深增加偏态降低的趋势,偏态等值线向东南向倾斜。冬季样品的偏态除在 B3 站附近显著增加外其余海域分布总体较夏季的低,偏态等值线的梯度明显大于夏季的。与粒度偏态相反,冬季样品的尖态除在 B3 站附近显著降低外,在其他海域总体较夏季的高,尖态等值线的梯度也明显大于夏季的,在冬季存在两个与总体相比显著异常的区域,一个以 D3 站为中心,向海一侧显著急剧降低,一个以 B3 站为中心,向海一侧逐渐增加。

2.3 粒度分布差异的影响因素及其意义

影响表层沉积物粒度分布差异的因素主要包括物质来源和颗粒物沉积过程中的海洋动力环境(特别是水动力环境)因子。

根据已有研究成果,研究区底质沉积物主要来自长江入海泥沙^[14-7 21 22],浙江沿岸小河流携带的泥沙由于差异沉积作用,也有部分细粒级物质运输至深水区沉积^[2 23]。沿岸流搬运来的长江入海物质由于沉积分异作用,沉积下来的物质粒度相对较细,粒度各参数差别较小,这与研究区粒度各参数的总体分布特征相对应(图 3、图 4)。随着水深增加,沉积分异作用加强,粒度参数分布呈现出相应的变化趋势(特别是偏态和尖态)。在各粒度参数分布图上还可以看到一些与总体分布特征不一致的异常区,一般在靠近大陆的浅水区(尤其是在研究区的中北部),表现为由陆向海逐渐延伸的特征,在这些异常区粒度参数变化存在季节性差异。研究区中北部临近瓯江入海口,周围有许多岛屿分布,瓯江及周围海岛入海颗粒物与沿岸流携带南下长江入海泥沙在粒度组成上的差异是造成粒度参数分布异常的主要原因。

研究区在海洋动力环境上主要受浙闽沿岸流的影响。由于季风影响,浙闽沿岸流在流场上具有显著的季节性特征。夏季由南向北流,冬季由北向南流,由于冬季风暴的持续作用,冬季浙闽沿岸流水动力相对要强,携带的泥沙粒度相对略大。由于强动力的淘洗,颗粒物分布相对更集中,分选要略好。这与研究

区样品粒度参数分布特征相一致,显示出海洋水动力环境的季节性变化是影响研究区表层沉积物粒度(粒度参数)总体分布特征的动力因素。

在利用沉积物粒度分布特征反演古环境演化中,经常用粒级——标准偏差法来提取反映环境变化的沉积物粒度特征^[14-16 24]。该方法在浙闽沿岸泥质沉积区沉积物柱状样得到了良好的应用,其研究理论基于沉积物沉积历史上季风规律性变化引起的颗粒物粒度差异。这种差异在季风显著影响的物源供应相对稳定的现代沉积环境中理应存在。浙闽沿岸南部泥质沉积中心区就是理想的研究区之一。本研究分别对冬夏两季和全部样品沉积物粒度数据进行分析后得出粒级——标准偏差曲线(图 6),曲线呈现出典

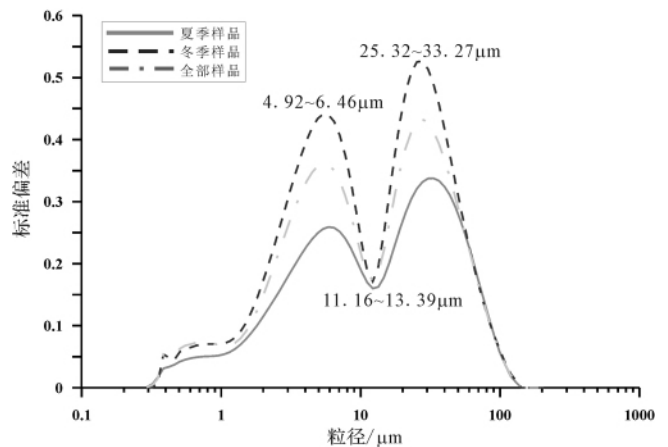


图 6 粒级—标准偏差曲线

Fig. 6 The standard deviation of grain size

型的“双峰分布”,高值粒度组分分布范围分别在 4.92 ~ 6.46 μm 和 25.32 ~ 33.27 μm ,其中 4.92 ~ 6.46 μm 粒级主要成分为粘土,25.32 ~ 33.27 μm 粒级主要成分为粘土质粉砂。低值分布范围在 11.16 ~ 13.39 μm ,主要成分为粘土质粉砂,是研究区样品粒度的主要组成部分。这种分布特征与浙闽沿岸泥质沉积区柱状样中获得了数据非常接近^[16]。两个季节样品的曲线变化趋势虽然相同,但变化范围具有显著差异:高值区间冬季样品的标准偏差要显著大于夏季样品的,在 4.92 ~ 6.46 μm 冬季样品的标准

偏差大于0.44,而夏季样品的仅有0.25;在25.32~33.27 μm 冬季样品的标准偏差大于0.52,而夏季样品的仅有0.33。低峰值区间,两季样品标准偏差相差不大,均在0.16左右。粒级—标准偏差曲线特征说明4.92~6.46 μm 和25.32~33.27 μm 两种粒级分布差异最大,因而可以作为指示海洋环境变化的敏感粒级,这与研究区柱状样中获得的敏感粒度粒级相似^[16]。两个季节样品的粒级—标准偏差曲线差别明显,也是研究区粒度组成季节性差异的佐证。

3 结论

(1) 浙闽沿岸南部泥质沉积中心区海底表层沉积物以细粒级的粘土质粉砂为主。平均粒径和标准偏差分布呈显著负相关,片状分布;偏态和尖态分布呈弱负相关,分布与等深线近平行。在粒级—标准偏差曲线上显示有三个峰值,高、低峰值粒度组分分布范围分别在4.92~6.46 μm 和25.32~33.27 μm ,低峰值分布范围在11.16~13.39 μm 。

(2) 粒度分布特征具有季节性差异。冬季样品各粒度参数分布范围均比夏季的要大,平均粒径(ϕ 值)总体上比夏季的要小,偏态和尖态等值线的梯度明显大于夏季的。在粒级—标准偏差曲线上,冬季样品的变化程度要显著高于夏季的。

(3) 表层沉积物粒度季节性差异的影响因素包括颗粒物物质来源和沉积过程中海洋环境,尤其是水动力环境情况。底质沉积物粒度特征是指示海洋环境变化的良好替代性指标。

致谢 感谢参加两次调查的所有人员的全力配合;几位审稿专家提供的宝贵意见和建议使本文得以很大提高,谨致谢忱。

参考文献(References)

- 1 秦蕴珊,陈丽蓉,郑铁民主编. 黄海、东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 31-53 [Qin Yunshan, Chen Lirong, Zheng Tiemin, eds. The Geology of the Yellow Sea and the East China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1982: 31-53]
- 2 胡敦欣, 杨作升著. 东海海洋通量关键过程[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 1-18 [Hu Dunxin, Yang Zuosheng, Eds. The Key Process of Marine Flux in the East China Sea [M]. Beijing: Ocean Press, 2001: 1-18]
- 3 郭志刚, 杨作升, 范德江, 等. 长江口泥质区季节性沉积效应[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 591-597 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Fan Ddjiang, et al. Seasonal sedimentary effect on the Changjiang Estuary mud area [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4): 591-597]

- 4 Liu J P, Li A C, Xu K H, et al. Sedimentary features of the Yangtze River-derived along-shelf clinform deposit in the East China Sea [J]. Continental Shelf Research, 2006, 26: 2141-2156
- 5 Liu J P, Xu K H, Li A C, et al. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea [J]. Geomorphology, 2007, 85: 208-224
- 6 Milliman J D, Shen H T, Yang Z S, et al. Deposition of river sediment in the Changjiang estuary adjacent shelf [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 1984, 19: 119-128
- 7 Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z S, et al. Modern Huanghe River driven muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms [J]. Continental Shelf Research, 1985, 4: 175-188
- 8 蔡智爱. 长江入海泥沙的扩散[J]. 海洋学报, 1982, 4(2): 78-88 [Cai Aizhi. The expansion of suspended sediment from Changjiang River [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1982, 4(2): 78-88]
- 9 杨作升. 黄河、长江、珠江沉积物中粘土的矿物组合、化学特征及其与物源区气候环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(4): 336-346 [Yang Zuosheng. Mineralogical assemblages and chemical characteristics of clays from sediments of the Huanghe, Changjiang, Zhujiang River and their relationship to the climate environment in their sediment source areas [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1988, 19(4): 336-346]
- 10 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运的宏观格局[J]. 海洋学报, 1992, 14(2): 81-90 [Yang Zuosheng, Guo Zhigang, Wang Zhaoxiang, et al. Basic pattern of transport of suspended from the Yellow Sea and East China Sea to the eastern deep sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1992, 14(2): 81-90]
- 11 郭志刚, 杨作升, 曲艳慧, 等. 东海陆架泥质区沉积地球化学比较研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 284-289 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Qu Yanhui, et al. Study on comparison sedimentary geochemistry of mud area on East China Sea Continental Shelf [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 284-289]
- 12 周晓静, 高抒, 贾建军. 长江粘土矿物示踪标记稳定性的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 683-692 [Zhou Xiaojing, Gao Shu, Jia Jianjun. Preliminary evaluation of the stability of Changjiang clay minerals as fingerprints for material source tracing [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(6): 683-692]
- 13 赵家成, 肖尚斌, 张国栋, 等. 闽浙沿海泥质沉积物的稀土元素地球化学特征[J]. 地球科技情报, 2007, 26(2): 7-12 [Zhao Jiacheng, Xiao Shangbin, Zhang Guodong, et al. REE geochemistry of the mud off Zhejiang-Fujian Provinces [J]. Geological Science and Technology Information, 2007, 26(2): 7-12]
- 14 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近2ka 来东海内陆架的泥质沉积记录及其气候意义[J]. 科学通报, 2004, 49(21): 2233-2238 [Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing, et al. The 2 ka record and its climate significance of the mud area of inner shelf of the East China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(21): 2233-2238]
- 15 肖尚斌, 李安春, 蒋富清, 等. 近2ka 闽浙沿岸泥质沉积物物源分析[J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 268-274 [Xiao Shangbin, Li Anchun, Jiang Fuqing, et al. Provenance analysis of mud along the Min-

- Zhe coast since 2 kaBP [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23 (2): 268-274]
- 16 王可, 郑洪波, Maarten P, 等. 东海内陆架泥质沉积反映的古环境演化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(4): 1-10 [Wang Ke, Zheng Hongbo, Maarten P, *et al.* High-resolution paleoenvironmental record of the mud sediments of the East China Sea Inner Shelf [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2008, 28(4): 1-10]
- 17 沈焕庭, 李九发, 朱慧芳, 等. 长江河口悬沙输移特征[J]. *泥沙研究*, 1986, 1: 1-12 [Shen Huangting, Li Jiufa, Zhu Hui Fang, *et al.* Characteristics of suspended sediment transport in the Changjiang River estuary [J]. *Journal of Sediment Research*, 1986, 1: 1-12]
- 18 McKee B A, Nittrouer C A, DeMaster D J. Concepts of sediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River [J]. *Geology*, 1983, 11(11): 631-633
- 19 苏纪兰等著. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 229-246 [Su Jilan, *et al.* Eds. *The Oceanography in the Chinese Margin Sea* [M]. Beijing: Ocean Press, 2005: 229-246]
- 20 孙有斌, 高抒, 鹿化煜. 前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(6): 665-671 [Sun Youbin, Gao Shu, Lu Huayu. Influence of different pretreatment procedures on the particle-size distribution of surficial sediments in the Northern Yellow Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(6): 665-671]
- 21 谢钦春, 叶银灿, 陆炳文. 东海陆架坡折地形和沉积作用过程[J]. *海洋学报*, 1984, 6(1): 61-71 [Xie Qinchun, Ye Yincan, Lu Bingwen. The terrain and sedimentary process in the East China Sea Slope [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1984, 6(1): 61-71]
- 22 Li F, Li P, Zhang X R. Transport of suspended matter from the Changjiang River to the East China Sea shelf [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1997, 15(3): 264-270
- 23 谷国传, 胡方西, 张正惕. 浙东淤泥质海岸的泥沙来源和塑造机理[J]. *东海海洋*, 1997, 15(3): 1-12 [Gu Guochuan, Hu Fangxi, Zhang Zhengti. The sediment sources and shaping mechanism of muddy coast in the east Zhejiang Province [J]. *Donghai Marine Science*, 1997, 15(3): 1-12]
- 24 Xiang Rong, Yang Zuosheng, Yoshiki Saito, *et al.* East Asia Winter Monsoon changes inferred from environmentally sensitive grain-size component records during the last 2300 years in mud area southwest off Cheju Island, ECS [J]. *Science in China: Series D*, 2006, 49(6): 604-614

Grain-size Characteristics of the Surface Sediments and Their Seasonal Variability in the Mud Depocenter off the Southern Zhejiang-Fujian Coast

LI Yun-hai CHEN Jian HUANG Cai-bin LI Dong-yi

(Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen Fujian 361005)

Abstract Samples of surface sediments at 15 stations in the mud depocenter off the southern Zhejiang-Fujian coast were collected in both summer and winter seasons. The distribution pattern, seasonal variability of grain-size of the surface sediments in this area and their influential factors were discussed based on the grain-size measurements. The results indicate that surface sediments were mainly clayey silts with slight variations in the grain size parameters such as median grain size (Mz), standard deviation (SD), skewness (Sk) and kurtosis (Kg). There exists an evidently negative correlation between Mz and SD , while a weakly negative correlation is found between Sk and Kg . Two peak values around 4.92 ~ 6.46 and 25.32 ~ 33.27 μm , and a low value around 11.16 ~ 13.39 μm are identified from the SD of grain-size curves. Meanwhile, significant seasonal variability is found as indicated by the large differences between the parameters of surface sediments collected in summer and winter season. The ranges of all the four parameters in the winter samples are higher than those in the summer samples, while the ϕ values of Mz in winter samples are generally smaller than those in the summer samples. And the gradients of Sk and Kg are larger than those in the summer samples at the same station. The variability in SD of grain size in the winter samples was evidently higher than that in the summer samples. The variations of the parameters of surface sediments in this area are mostly attributed to sediment sources and the seasonal difference in marine dynamic environment.

Key words the mud depo-center off the southern Zhejiang-Fujian coast; surface sediments; grain size; seasonal variability