

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2016.03.004

生物硅对南海南部表层沉积物粒度分析结果的影响

张晋¹, 李安春¹, 万世明^{1,2}, 黄杰¹, 卢健¹, 蒋富清^{1,2}, 李铁刚^{1,2}

(1. 中国科学院 海洋研究所, 中国科学院 海洋地质与环境重点实验室, 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 青岛 266061)

摘要:通过采用两种不同的粒度预处理方案,对南海南部表层沉积物进行了粒度分析,探讨了生物硅对南海南部表层沉积物粒度结果的影响。结果表明,生物硅无论是对粒度组分、粒度参数,还是对沉积物类型都有显著的影响。同时,结合显微镜镜下涂片鉴定的硅质生物碎屑含量,认为要获取有效的南沙陆坡区的陆源沉积物的粒度分布特征需去除掉生物硅。通过对比发现南海南部表层沉积物生物硅的主要粒级分布范围为8~90 μm。

关键词:生物硅;粒度;预处理方案;南海南部

中图分类号:P736.22

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2016)03-0035-12

粒度是沉积物最基本的表征,其中不仅蕴含了大量有关物源、搬运和沉积方式信息^[1-6],还蕴藏着气候及环境变化(季风演化)^[7-14]、洋流的变迁^[12,15]、海平面升降^[16]以及构造活动^[17]等信息。然而如何剥离其他无关因素的影响,如生物作用、成壤^[18-19]、成岩等后期地质作用,将其中有效的地质信息更为完整地提取出来就显得极为重要。前人根据不同的沉积环境及影响因素,提出了不同的粒度前处理方案^[20-28],为海洋沉积物的粒度环境信息的提取提供了充足的依据。但是由于不同海域的复杂性及其特殊性,使得我们在粒度前处理过程中既要借鉴其他海区粒度分析的良好经验及方案,又要根据研究区沉积物的组成特点,因地制宜地制定出最佳预处理方案。近年来有关研究者对南海表层沉积物的粒度特征及沉积类型等做了一些区域性或局部性研究^[29-45],初步探讨了南海表层沉积物的组分、粒度特征、物质来源及沉积环境等,然而相关研究多集中于南海北部,南部海区研究较少^[30,32,37,42],尤其是南沙海区研究程度极低,并且如何有效地提取南海表层陆源沉积物的粒度信息尚缺乏较为一致的标准。黄东海表层沉积物中有机质及生物自生组分含量较低,尤其是生物硅含量很低($<1\%$)^[46-47],通过双氧水及盐酸处理就可以较为有效地提取出陆源组分,

然而南海海区生物生产力较高,含有较高量的生物硅,前人对南海南部海域生物硅含量做了相关研究^[48-50],其含量为0.3%~9.1%,但是生物硅对南海南部表层陆源沉积物的粒度结果有无影响及影响程度如何等相关研究甚少。

为了探讨生物硅对陆源组分粒度结果的影响程度,本文选取南海南部海区为研究区域,选择两种不同的粒度预处理方案,方案A采用黄、东海常规的处理方案(仅除去有机质和碳酸盐组分),方案B在常规方案的前提下,去除生物硅,以期得到较为准确的陆源沉积物粒度结果,确保粒度信息在分析陆源组分的搬运与沉积作用、水动力条件与沉积环境及物源信息等方面的准确性,为今后南海及相关海区的粒度前处理分析提供参考。

1 研究区概况

南海是西太平洋最大的半封闭边缘海之一,是研究海陆间水体、能量和物质交换的理想场所。研究区位于南海南部($5^{\circ}\sim 8^{\circ}\text{N}$ 、 $109^{\circ}\sim 116^{\circ}\text{E}$)(图1),面积约为 $2.59\times 10^5\text{ km}^2$,主要为南沙群岛中南部海区,地貌上属于陆架和陆坡,南部为巽他大陆架北缘部分,水深 $<150\text{ m}$,坡度很小;中西部为水深1500~2000 m的南沙台阶;而上大陆坡折处为深达2800~2900 m的南沙海槽;海底地形复杂,礁盘和海山星罗棋布^[45]。研究区属于热带海洋季风气候,夏季(6—9月)为西南季风期,海区大部受反气旋环流控制,冬季(11月至翌年3月)为东北季风期,在西南部存在一个强的气旋式环流,4—5月和10月分别是过渡季^[32,45,51]。研究区陆源碎屑物质

基金项目:全球变化及海气相互作用项目(GASI-04-01-02);中国科学院战略性先导科技专项(A类)项目(XDA11030103);国家自然科学基金项目(41576034);大陆架科学钻探项目(GZH201100202)

作者简介:张晋(1988—),男,硕士,主要从事海洋沉积学研究,
E-mail: zhangjin-2004@163.com

收稿日期:2015-10-30; **改回日期:**2015-11-27. 文凤英编辑

的来源主要为中南半岛的湄公河和加里曼丹岛的短源河流,而这些沉积物大多数沉积于内陆架,只有少数可以搬运到更远处^[52]。

2 材料与方法

2.1 样品来源及粒度前处理方法

本项研究使用样品由中国科学院海洋研究所“科学一号”考察船于 2012 年 4 月“南海地质调查”航次中用箱式取样器获得,共计 153 个表层样,站位多数位于南沙陆坡及南沙海槽区,巽他外陆架及陆架坡折区相对较少(图 1)。用于粒度分析的样品的采集控制在表层沉积物 0~5 cm 深度范围内。两种预处理方案分别为:A 方案,取混合均匀的适量样品,先后各加过量的 15% 的 H_2O_2 和 0.25 mol/L 的 HCL 于 60 °C 水浴反应各 1 h,以去掉有机质和碳酸盐,离心清洗两次,再加少许蒸馏水超声波充分分散 1 min 后上机测试;B 方案,在 A 方案的步骤下,再加入过量的 2 mol/L 的 Na_2CO_3 于 85 °C 水浴反应 5 h^[53],以去除生物硅,离心清洗两次,再加少许蒸馏水超声波充分分散 1 min 后上机测试。粒度测试在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室的 Cilas 940L 激光粒度仪上完成,测试范围为 0.3~2 000 μm ,重复测量的相对误差 < 3%。

Na_2CO_3 处理生物硅是比较经典的方法,就 Na_2CO_3 处理效果,前人做了大量的研究^[53-56],结果表明,前 1 小时,生物硅溶解速率呈指数关系,之后溶解速率下降,超过 5 小时之后,淋滤出的生物硅极低。为了检验生物硅去除效果,任意选取了 15 个样品(约占 10%)在经方案 B 处理后,进行涂片,并在显微镜下鉴定。

2.2 硅质生物碎屑含量统计

首先制片:取搅拌均匀的适量样品置于载玻片上,加入少量蒸馏水,用干净牙签充分搅拌,使其均匀分散于载玻片上,在电热板上烤干,用加拿大树脂(折射率 1.54)将盖玻片固结在载玻片上,并挤出气泡晾干。再在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室的蔡司偏光显微镜下对沉积物组分(硅质、钙质、黏土、矿物碎屑、自生矿物等)进行定性鉴定和定量统计,体积百分含量估算标准参照 Terry 等^[57] 和 Folk^[58] 视估算模板。

2.3 粒度参数计算

粒级标准采用尤登-温德华氏(Udden-Wentworth)粒级划分标准^[59],鉴于矩法较图解法具有更高的代表性和准确性^[60-62],因此,我们采用 McMathus 矩法计算沉积物粒度参数^[63],并用定性术语描述相应粒度参数。

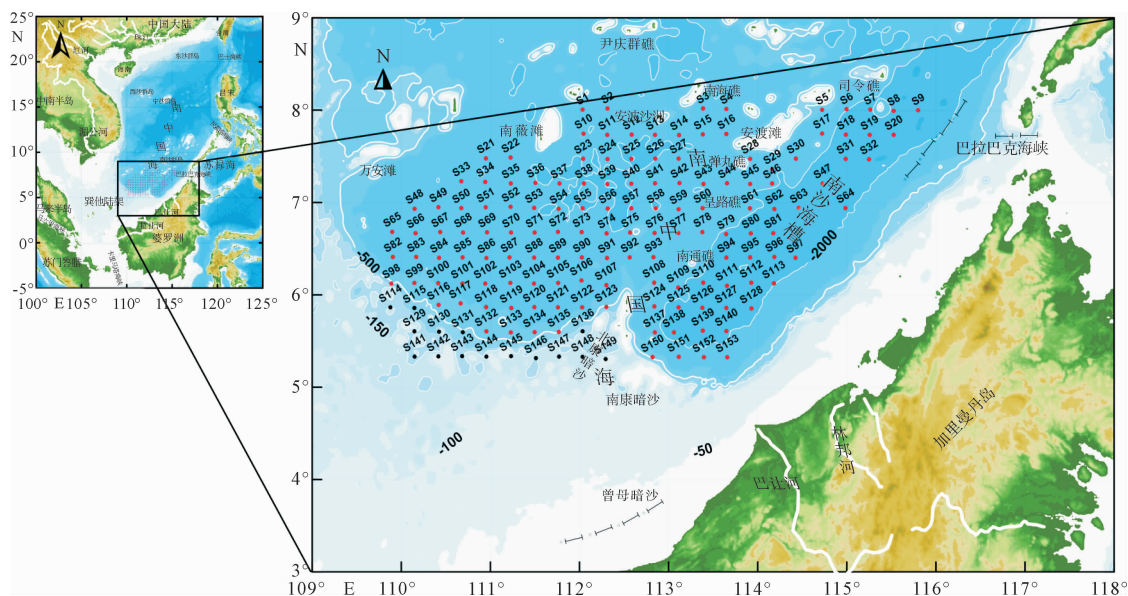


图 1 南海南部表层沉积物取样站位分布(红色站点水深大于 500 m,黑色站点水深小于 500 m)

Fig. 1 Locations of surface sediments sampling stations (the depth of red stations is over 500 meters and the depth of black stations is less than 500 meters)

3 结果与讨论

3.1 粒度

陆架平坦地形外缘出现明显坡折的水深,世界平均为 130 m,也有少数海区达 550 m^[64],南沙大陆架外缘水深约为 150 m^[32,45],结合粒度分析及生物硅含量(表 1、2)等,按水深 500 m,将沉积物分为两类,Ⅰ类以细碎屑物质为主,Ⅱ类以较粗碎屑物质为主(图 1),Ⅰ类沉积物的硅质生物碎屑含量较高,平均在 10% 左右,Ⅱ类沉积物的硅质生物碎屑含量很低,平均约 1.7%。这里按 500 m 水深进行沉积物划分,依据是沉积物粒度及镜下鉴定结果以及相应站位水深、水动力环境等实际情况,有利于方案 A、B 两种结果的对比与讨论。镜下鉴定结果显示,经过方案 B 处理后,硅藻和放射虫等生物碎屑均能较好地去除掉,海绵骨针去除效果不佳,但由于海绵骨针仅在少数海槽区站位含量较高,整体上对方案 B 粒度结果的影响程度较小。

据尤登-温德华氏粒级划分标准^[59],以 > 63 、 $63 \sim 4$ 、 $< 4 \mu\text{m}$ 3 个粒级范围分别对应砂、粉砂、黏土,得到两种预处理方案的粒级组成统计结果,见表 1。图 2 给出了两种预处理方案获得的所有样品的粉砂和黏土的体积分数。Ⅰ型沉积物,与方案 A 相比,经过方案 B 处理后的结果,沉积物粒级组分含量差别很大(表 1、图 2):如黏土含量最小值增大近 5 倍,最大值增大 13.8%,平均值增大 18.4%;粉砂含量最小值减少了 13.8%,最大值减少了 28.2%,平均值减少了 18%;砂含量均较少,但 B 方案结果基本就不含砂粒级物质。Ⅱ型沉积物,两种方案得到的沉积物粒级组分含量差异不大,基本在 5% 范围变化(表 1、图 2)。

Ⅰ型沉积物(表 2、图 2),方案 B 与方案 A 相比,平均粒径明显减小;标准偏差即分选系数,变化不大,分选均较差;偏态具有一定的粗偏的趋势,主要为负偏和近对称为主,而方案 A 主要为正偏、负偏和近对称;峰态都属于宽平和很宽平,变化不大。Ⅱ型沉积物(表 2、图 2),粒度参数变化较小:平均粒径基本一样;分选均为较差;偏态均属于近对称、正偏和极正偏;峰态以宽平和很宽平为主。

粒度频率分布曲线及累积曲线是沉积物粒度结果的最直观的体现,对了解沉积物粒度的分布形态和沉积动力学条件具有重要意义。Ⅰ型沉积物,方案 A 得到的频率曲线通常为双峰或多峰,而方案 B 通常为不明显的双峰,且偏态也具有一定的粗偏,如典型站位 S7(图 3),其 $10 \sim 90 \mu\text{m}$ 的多峰基本上可以认为是生物硅的影响,累积曲线均为三段式跃移-悬移-悬移,但是方案 A 得到的跃移组分含量远大于方案 B,因此,在水动力条件分析时,方案 A 的水动力条件明显大于方案 B。Ⅱ型沉积物,如典型站位 S149(图 4),从累积曲线和频率曲线上看,两种方案得到结果差异性较小,累积曲线通常以三段式为主,跃移-悬移-悬移,以跃移组分为主,反映了较强的水动力条件。

Ⅱ型沉积物主要位于外陆架和陆架坡折处,以砂和粉砂为主,两种预处理方案的结果差别不大,由于硅质生物碎屑含量低(平均含量为 1.7%),生物硅对这类沉积物粒度影响不大。这与张兰兰等^[48]和周鹏等^[49]得到的生物硅含量结果基本一致,陆架区生物硅含量较低,可能主要受湄公河及加里曼丹岛短源河流等的影响,仅湄公河年输沙量就达 $160 \times 10^6 \text{ t}$ ^[65],大量陆源碎屑物质的输入稀释了生物硅的含量^[48-49]。该区域粒度偏粗主要是冰期低海平面时期,巽他陆架大部分暴露或处于潮间带^[66],古巽他等河流沉积物直接沉积于巽他陆架上^[67-68],属近

表 1 不同预处理方案获得的南海南部表层沉积物粒级含量及硅质生物碎屑含量的对比

Table 1 Comparison of the volume percentage of various size fractions and siliceous bioclastic of surface sediments in the Southern South China Sea with different pretreatment methods

类型及样品数		黏土/％		粉砂/％		砂/％		8～90μm/％		硅质生物 碎屑/％
		方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	
Ⅰ类	最小值	7.6	36.1	51.3	37.5	0.0	0.0	27.4	14.8	6.0
	最大值	48.7	62.5	92.1	63.9	4.5	0.2	86.3	41.7	15.0
	平均值	32.4	50.8	67.2	49.2	0.4	0.0	48.2	23.6	10.0
Ⅱ类	最小值	3.2	6.1	13.5	16.8	0.0	0.0	15.5	17.9	1.0
	最大值	23.8	31.0	86.8	85.1	83.3	77.1	79.3	75.9	7.0
	平均值	11.7	14.6	61.4	57.4	26.9	28.0	62.8	57.6	1.7

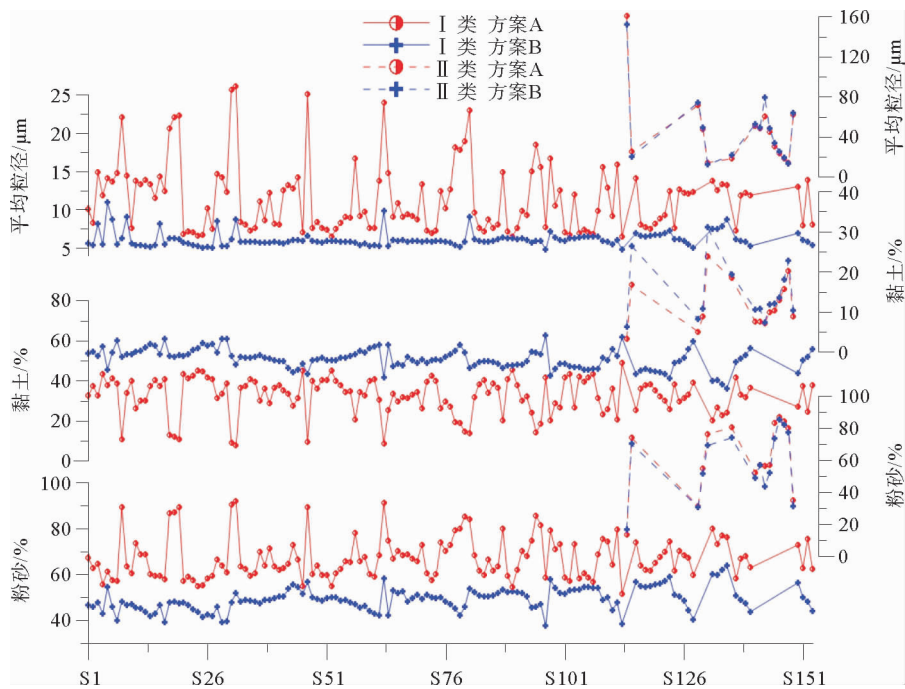


图 2 不同预处理方案获得的南海南部表层沉积物粉砂和黏土含量及平均粒径的对比
Fig. 2 Comparison of the volume percentage of silt and clay and the mean grain size of surface sediments in the Southern South China Sea with different pretreatment methods

表 2 不同预处理方案获得的南海南部表层沉积物粒度参数的对比

Table 2 Comparison of the grain size parameters of surface sediments in the Southern South China Sea with different pretreatment methods

类型及样品数		水深/m	平均粒径/ μm		标准偏差		偏度		峰态	
			方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B	方案 A	方案 B
Ⅰ类	最小值	613.9	6.43	4.72	1.13	1.03	−0.52	−0.77	1.83	1.96
	最大值	2 849.0	26.10	10.93	1.70	1.57	1.32	0.15	4.54	3.00
	138 平均值	1 759.0	11.38	6.10	1.34	1.14	0.23	−0.21	2.23	2.22
Ⅱ类	最小值	123.1	13.97	11.76	1.33	1.35	0.28	0.00	2.27	1.90
	最大值	477.7	160.48	151.92	1.87	1.99	1.86	1.48	6.24	4.33
	15 平均值	189.2	45.80	47.38	1.59	1.70	0.82	0.74	3.03	2.71

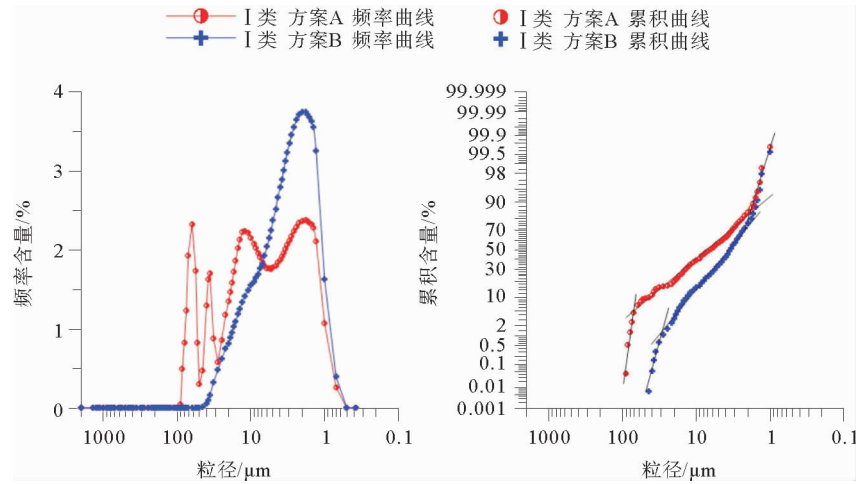


图 3 不同预处理方案获得的南海南部典型站位 S7 的频率曲线和累积曲线
Fig. 3 The grain size frequency distribution and probability accumulation curves of a representative sample S7 with different pretreatment methods

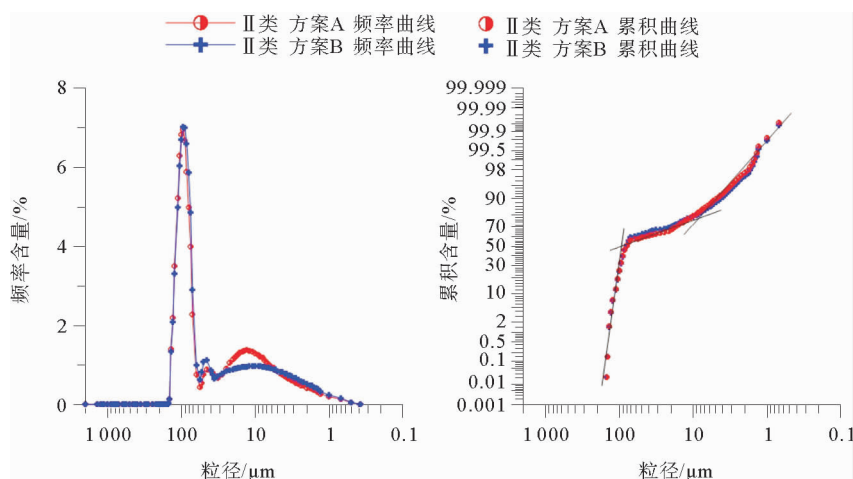


图 4 不同预处理方案获得的南海南部典型站位 S149 的频率曲线和累积曲线
Fig. 4 The grain size frequency distribution and probability accumulative curves of a representative sample S149 with different pretreatment methods

源沉积为主,强水动力条件下,细粒黏土被带走,剩下较粗的物质,部分样品重矿物鉴定结果表明其片状矿物含量极少,锆石含量较高等,也可以佐证这一点,属于残留沉积^[36,42]。粒度组分、参数及粒度分布特征等表明,两种方案得到的粒度结果基本上一致。综上所述,生物硅对陆架区的粒度分析结果、物源判别、水动力条件恢复及沉积环境分析等影响较小,粒度前处理方案 A 基本可以满足需要。

I 型沉积物,主要位于陆坡区,方案 B 处理结果与方案 A 相比发现,优势粒级和次要粒级(粉砂和黏土)都产生了明显变化,甚至发生了互换,说明生物硅的主要粒径分布范围应该以 $4\sim 63\ \mu\text{m}$ 为主,且生物硅对粒度分析结果影响较大。该区沉积物硅质生物碎屑平均含量为 10%,略高于张兰兰等^[48]和周鹏等^[49]得到的结果(南沙陆坡区样品均小于 25 个),这可能主要由于南沙陆坡区取样密度较高(138 个)及镜下半定量估算的系统误差等的影响。从图 2 可以发现,方案 A 的黏土、粉砂含量和平均粒径与方案 B 的结果泾渭分明,且变化幅度很大。粉砂是递变悬浮组分,黏土是均匀悬浮组分,二者的含量和比值可以反映水动力介质的扰动强度和浑浊度^[69];且沉积物的搬运过程是沉积物按照粒度进行分异的过程,即由岸向海,随着物源和搬运距离的增加,海洋动力条件逐渐减弱,沉积物的粒度具有变小的趋势;一般认为,沉积物平均粒径和分选系数与沉积物来源关系密切,偏态和峰态反映的是沉积环境对粒度的改造结果^[39];而从水动力条件来看,方案 A 的结果反映了水动力条件略强且动荡多变,方案 B 则反映了水动力条件相对较弱且较为稳定;而从

物源角度看,方案 A 的结果一定程度上指示了物源复杂、变化无常,方案 B 则指示了物源较为稳定;从沉积环境看来,方案 B 相对方案 A 具有一定程度的负偏(粗偏)属性,沉积环境较为稳定;显然,方案 A 的结果对于陆坡区的物源、水动力条件及沉积环境等的认识会产生一定的偏差。分选系数、峰态的变化趋势无规律性主要可能与样品间生物硅粒径分布的规律性较差和分选系数及峰态自身定义的属性有关。粒度分布曲线也可以指示物质来源及沉积动力条件,单峰态粒度分布曲线反映了较为单一、稳定的物源和水动力条件,多峰态则可能是同一物源在不同沉积动力过程作用下的不等比率混合,或者是不同物源和不同沉积动力综合的结果^[70-71];累积曲线则可以根据砂、粉砂、黏土动力学上的意义,粗略地划分为跃移、递变悬移和均匀悬移,由此看来,方案 A 的结果会对物源和沉积动力学分析产生较大的偏差。综上所述,生物硅对南沙陆坡区表层沉积物的粒度结果、物源、水动力条件及沉积环境等的分析影响颇大,粒度前处理方案以 B 方案为宜。

由以上分析数据可以判定,硅质生物碎屑含量超过 10% 会显著影响粒度分析结果,硅质生物碎屑的含量在外陆架区与陆坡区存在明显差异,在南海南部其影响粒度数据的临界水深为 500 m 左右。

由于 II 型沉积物生物硅含量较少,方案 A 与 B 得到的沉积物组分及粒度参数等相差不大,基本一致,因此不予讨论 II 型沉积物两种方案的粒度结果的相关性。据 I 型沉积物(138 个样本),两种方案得到的沉积物组分及粒度参数,分别做两种方案的相关性,探讨方案 A 与方案 B 的粒度结果是否存在

线性关系。图 5 显示,无论是粉砂、黏土含量,还是粒度参数,两种方案的粒度结果的线性相关性极低,因此,方案 A 与 B 得到的粒度结果无相关性。

3.2 沉积物结构分类和命名

沉积物的分类和命名,对于描述沉积物特征以及解析物质来源和沉积环境具有重要意义,谢帕德和福克的沉积物结构分类是较为常用的两种分类方法^[69,72-73]。谢帕德分类是一种纯描述性分类,是对沉积物的粒级组成的客观描述而不考虑其水动力学性质;而福克分类是一种兼顾沉积物粒度组分及水动力学属性的分类,一定程度上可以反映物源信息^[69]。我们选用两种不同的沉积物分类命名方案(图 6),分别对比两种不同预处理方案得到的沉积物类型,以期对比不同预处理方案对沉积物分类的影响。

谢帕德分类中方案 A 得到的沉积物类型主要为黏土质粉砂和部分粉砂,而方案 B 则显示沉积物类型以黏土质粉砂和粉砂质黏土为主;谢帕德分类中方案 A 与 B 在粗端元(砂、粉砂质砂和砂质粉砂)中基本一致,主要差异集中于细端元(粉砂、黏土质粉砂和粉砂质黏土)的分类,而造成这种差异的主要原因是生物硅。福克分类中,砂/泥(粉砂和黏土)比为 1/9 的界限为泥线^[73],两种预处理方案得到的结果大体类似,方案 A 的沉积物类型主要为粉砂和

泥,而方案 B 的沉积物类型显示主要为泥;其分类的差异情况也基本类似谢帕德分类,粗端元分类基本一致,而细端元具有较大差异,然而细端元的粉砂与黏土含量比具有明显的水动力学属性,这种差异会严重地影响到水动力条件及沉积环境的分析,由此看来,生物硅对福克分类也产生了较大影响。

总而言之,无论是纯组分的谢帕德分类方法,还是结合组分与动力环境的福克分类方法,预处理方案 A 与方案 B 在南海南部表层沉积物的细端元分类命名中迥然不同。这种细端元的差异,会导致我们将远源沉积物解析为近源沉积物,将弱水动力环境反演为较强水动力条件,因此,预处理方案的不同会对沉积物类型的划分、物源和沉积环境的解析造成较大的影响,在对陆源沉积物的分类过程中应去掉生物组分——生物硅。

3.3 生物硅主要粒径分布

前文中,通过对比发现生物硅主要影响粒级为粉砂级。考虑到Ⅱ型沉积物的生物硅含量较少,这里不作讨论。仅讨论Ⅰ型沉积物,对 138 个样品的粒度分析结果求平均值,分别得到方案 A、方案 B 及方案 A 与方案 B 差值的粒度平均频率分布曲线(图 7)。方案 A 与方案 B 得到的平均频率分布曲线,基本上都为双峰,方案 A 以粗峰(4~90 μm)为主,而方案 B 以细峰(0.6~30 μm)为主,由此对比

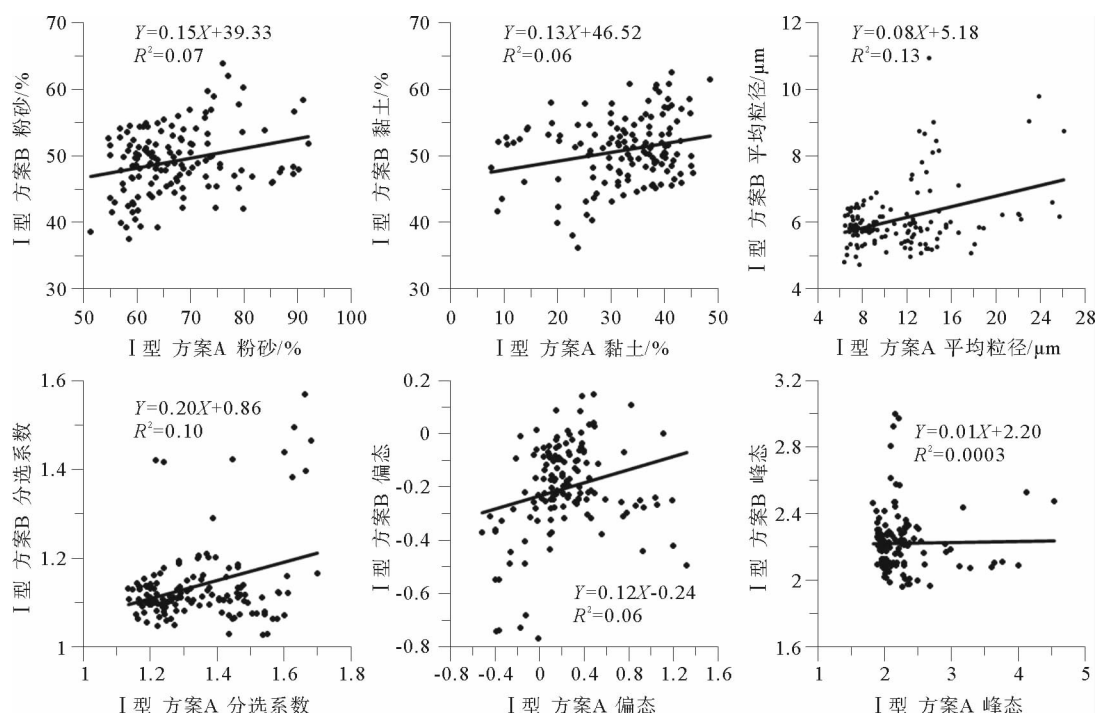


图 5 两种预处理方案粒度结果间关系散点图

Fig. 5 Scatter plots of the two grain size results with different pretreatment methods

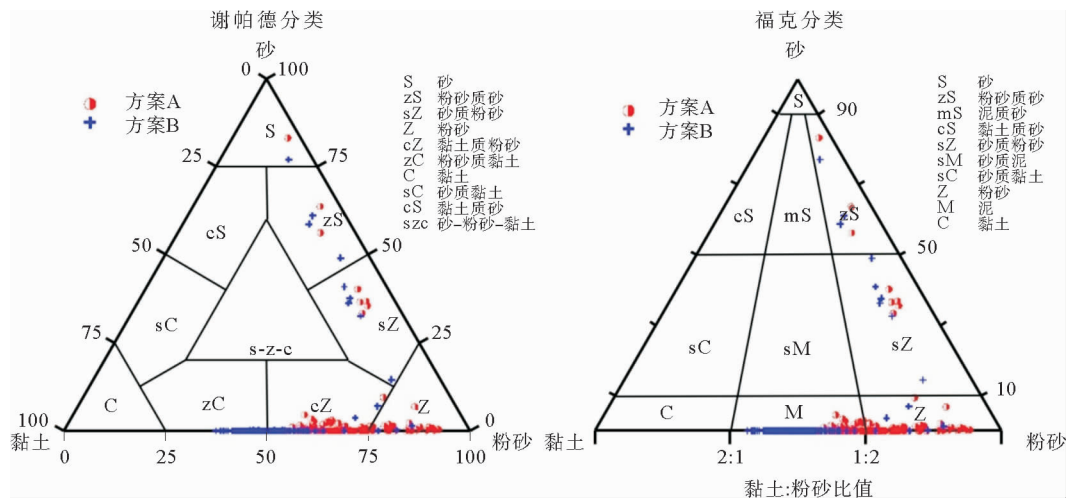


图6 不同预处理方案得到的谢帕德分类和福克分类

Fig. 6 Shepard and Folk classifications with different pretreatment methods

也更为直观地展现了生物硅对粒度分布结果具有较大影响。然而图3展示了方案A粒度分布曲线具有多峰属性,似乎与图7相矛盾,其实仔细对比可以发现图7有一不明显的小峰,正好可以与图3相对应,说明整个样本30~90 μm 的生物硅含量相对较少。将方案A得到的每一个粒级含量与方案B相应粒级含量相减,将得到的138个样品的差值粒级含量求平均值,得到其平均频率分布曲线,可分为两个单元,8~90 μm 和0.4~8 μm ,基本上可以认为生物硅主要分布粒径范围为8~90 μm ,这与镜下鉴定结果得到的生物硅粒径范围相似(图8)。然而这个粒径范围并不是绝对的,因为粒度粒级含量是相对百分含量,粉砂级组分的减少,相

对黏土粒级的百分含量必定增加,且该结果是138个样品的平均值,只可以代表大多数样品的生物硅的粒径分布范围。

3.4 粒度预处理方案选择

南海表层沉积物主要由陆源碎屑、生源碎屑、自生矿物及火山碎屑等组成^[32,45,74]。陆源碎屑主要由河流或风力搬运入海^[66],生源组分既可能是原地堆积,也可能是异地生源物质经过海流搬运而来^[34],考虑到南海生物生产力较高,尤其是陆坡和海盆区,而生物组分更可能以原地沉积为主,因此,在讨论陆源沉积物的物源、水动力条件及沉积环境等信息时,应尽可能去除掉生物组分且较完整保留陆源组分。通常去除掉有机质沉积物粒度一般变细,这主要是由于有机质具有较强的吸附力和黏滞力,对细颗粒物产生了较强的吸附作用^[24],增大了沉积物粒度。前人对于碳酸盐物质的去留问题做了大量研究^[20-21],研究表明保留碳酸盐组分的测试结果,其细颗粒含量通常会增高,镜下观察这些细颗粒部分是碳酸盐(原生和次生)经超声波破碎产物^[21],对于碳酸盐含量较低的沉积物,碳酸盐可能对粒度测试结果影响不大,但是碳酸盐含量较高的样品,其对粒度结果具有显著影响^[21]。然而,在碳酸盐的去留问题中我们还要考虑沉积物中的碳酸盐是生物成因还是陆源成因,如黄河源区本身就含有较高的碎屑碳酸盐物质方解石^[75-77],如果不加讨论一并去除的话,虽然去除了生物碳酸盐,但同时也影响到整体陆源碎屑物质的粒度特征,所以就其去留问题应统一考虑这两种组分的含量和距离河口的位置。黄、渤海区由河口区向外海方向,陆源碎屑碳酸盐含量降低,

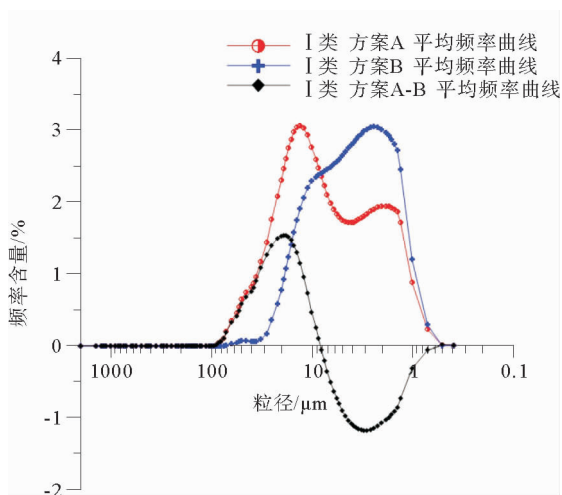


图7 不同预处理方案获得的I型粒度平均频率曲线

Fig. 7 The average frequency distribution curves of grain size of the first classification with different pretreatment methods

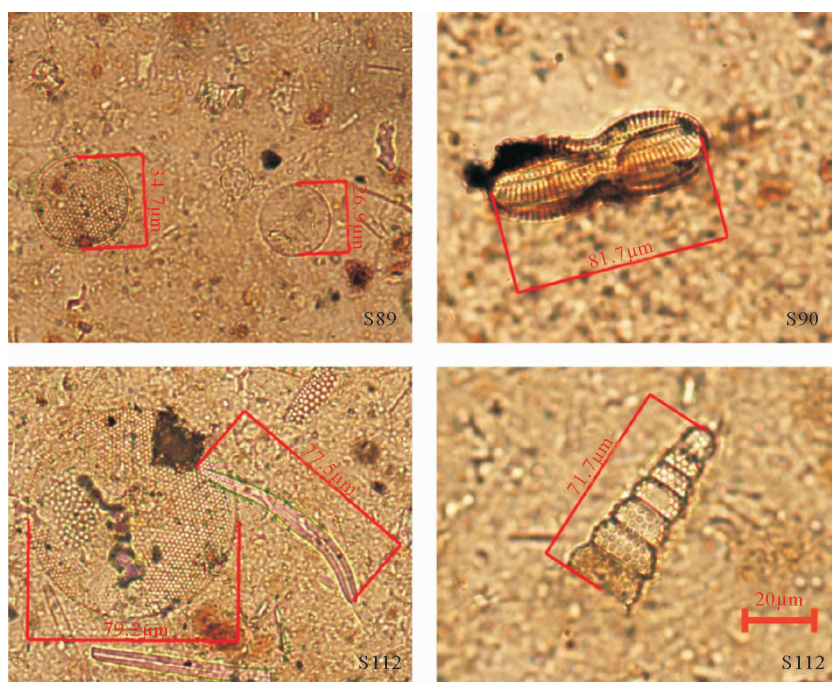


图 8 单偏光镜下硅质生物碎屑特征(500×)

(S89 海链藻属, S90 双壁藻属, S112 圆筛藻属和海绵骨针, S112 放射虫)

Fig. 8 The features of siliceous bioclastic under microscope, polars not crossed (500×)

(S89 *Thalassiosira* sp., S90 *Diploneis* sp., S112 *Coscinodiscus* sp. and sponge spicule, S112 radiolarian)

生源碳酸盐含量增高,而南海和东海离岸越远,方解石含量越大,说明生物沉积作用逐渐增强^[75]。虽然不同方案得到的沉积物平均粒径或相关主要粒级含量可能相近,但并不等于粒度分布是相似的,如果不考虑物理机制,仅仅从统计数据得出结论是错误的^[21]。镜下鉴定及部分样品重矿物鉴定显示,南海南部自生矿物中粗组分以海绿石为主,主要分布于外陆架区域,而细组分以 Fe-Mn 微粒为主,平均含量只有 3.6%,由于自生组分含量较少,我们暂且不考虑自生组分对粒度结果的影响。南海南部海域表层沉积物中火山玻璃含量很少,仅有的两个富集区主要集中于万安滩东(8°N、111°E)和巽他陆架(5.5°N、110°E)^[74],而粒度分析结果和显微镜镜下均未发现明显火山玻璃物质,这主要可能由于取样站位远离火山玻璃核心富集区。

总之,不考虑沉积物组分及相应有效预处理方案,而讨论沉积物粒度特征、物源、水动力条件及沉积环境等是没有意义的。

本文结合南海表层沉积物的主要组成特征,预处理方案 B 中取混合均匀的适量样品,排除了湿样存在着的自身重力分异作用导致分析样品偏细或偏粗,过量双氧水和盐酸剔除了有机质和碳酸盐的影响,过量碳酸钠去除了生物硅影响,离心清洗两次,排除了杂质离子易造成沉积物细颗粒絮凝作用,上

机前加少许蒸馏水超声波分散 1 min,保证了沉积物充分分散,倾倒残液和离心清洗及上机加样等步骤,小心谨慎,防止溅落含沉积物颗粒的溶液,尽可能地减小人为因素造成粒度组分部分缺失,且相关化学试剂对陆源组分影响较小,较好地保全了陆源碎屑组分。因此,本文方案 B 是较好的半深海陆坡区沉积物粒度分析预处理方案。

4 结论

通过不同的粒度预处理方案,对南海南部表层沉积物分别进行了粒度分析,探讨了生物硅对南海南部表层沉积物粒度的影响。结果表明,生物硅无论是对其粒度组分、粒度参数的计算,还是对判定沉积物的类型都产生了显著的影响。陆架区表层沉积物中生物硅含量较低,对粒度影响较小,而南沙陆坡区生物硅含量较高,对粒度结果具有显著影响。但考虑到实验方案的一致性和便于对比,在粒度分析前应去除生物硅。不同预处理方案分析结果的差异与镜下测量数据一致性表明南沙陆坡区表层沉积物中生物硅主要粒径分布范围为 8~90 μm。粒度分析预处理方案应根据沉积物的组分、研究区环境以及要提取的相关地质信息等来确定。

致谢: 本研究使用样品由中国科学院海洋研究所 2012 年 4 月南海地质调查航次中获得,“科学一号”考察船全体队员和船员为调查付出了艰辛,海洋地质与环境重点实验室王红莉女士在粒度分析中提供了大力帮助,在此一并谨致谢忱。

参考文献 (References)

- [1] McLaren P. An interpretation of trends in grain size measures [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1981, 51(2): 611-624.
- [2] McLaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain-size distributions [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1985, 55(4): 457-470.
- [3] Shi X, Liu Y, Chen Z, et al. Origin, transport processes and distribution pattern of modern sediments in the Yellow Sea [J]. *Sediments, Morphology and Sedimentary Processes on Continental Shelves: Advances in technologies, research and applications (Special Publication 44 of the IAS)*, 2012, 44: 321-350.
- [4] Gao S, Collins M. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors” [J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 81(1): 47-60.
- [5] Gao S, Collins M B. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments [J]. *Journal of Coastal Research*, 1994, 10(1): 70-78.
- [6] 王伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. *海洋与湖沼*, 2009, 40(5): 525-531. [WANG Wei, LI AnChun, XU FangJian, et al. Distribution of surface sediments and sedimentary environment in the North Yellow Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(5): 525-531.]
- [7] Ding Z, Yu Z, Rutter N W, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1994, 13(1): 39-70.
- [8] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2002, 416(6877): 159-163.
- [9] An Z, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. *Nature*, 2001, 411(6833): 62-66.
- [10] An Z. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19(1): 171-187.
- [11] Wan S, Li A, Clift P D, et al. Development of the East Asian monsoon: mineralogical and sedimentologic records in the northern South China Sea since 20 Ma [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 254(3): 561-582.
- [12] Huang J, Li A, Wan S. Sensitive grain-size records of Holocene East Asian summer monsoon in sediments of northern South China Sea slope [J]. *Quaternary Research*, 2011, 75(3): 734-744.
- [13] 孙东怀, 鹿化煜, David Rea, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 327-335. [SUN Donghuai, LU Huayu, David Rea, et al. Bimode grain-size distribution of Chinese loess and its paleoclimate implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 327-335.]
- [14] Wang L, Sarnthein M, Erlenkeuser H, et al. East Asian monsoon climate during the Late Pleistocene: high-resolution sediment records from the South China Sea [J]. *Marine Geology*, 1999, 156(1): 245-284.
- [15] McCave I N, Hall I R. Size sorting in marine muds: Processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2006, 7(10): 1-37.
- [16] Hu D, Böning P, Köhler C M, et al. Deep sea records of the continental weathering and erosion response to East Asian monsoon intensification since 14ka in the South China Sea [J]. *Chemical Geology*, 2012, 326: 1-18.
- [17] 李安春, 黄杰, 蒋恒毅, 等. 渐新世以来南海北部陆坡区沉积演化及其对构造的响应 [J]. *地球物理学报*, 2012, 54(12): 3233-3245. [LI Anchun, HUANG Jie, JIANG Hengyi, et al. Sedimentary evolution in the northern slope of South China Sea since Oligocene and its response to tectonics [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2012, 54(12): 3233-3245.]
- [18] 孙东怀. 黄土粒度分布中的超细粒组分及其成因[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(6): 928-936. [SUN Donghuai. Super-fine grain size components in Chinese loess and their palaeoclimatic implication [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(6): 928-936.]
- [19] 鹿化煜, 安芷生. 洛川黄土粒度组成的古气候意义[J]. *科学通报*, 1997, 42(1): 66-69. [LU Huayu, AN Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size composite of loess deposit in Luochuan [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(1): 66-69.]
- [20] Lu H, An Z. Pretreated methods on loess-palaeosol samples granulometry [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 43(3): 237-240.
- [21] 鹿化煜, 苗晓东, 孙有斌. 前处理步骤与方法对风成红粘土粒度测量的影响[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(3): 129-135. [LU Huayu, MIAO Xiaodong, SUN Youbin. Pretreatment methods and their influences on grain-size measurement of Aeolian “Red Clay” in north China [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2002, 22(3): 129-135.]
- [22] 商和辉, 林伟清. 不同预处理方法对南海东沙海域沉积物粒度的影响[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(1): 141-146. [SHANG Hehui, LIN Weiqing. Influence of different pretreatment methods on grain sizes of the dongscha sediments of the South China Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2010, 30(1): 141-146.]
- [23] Sun Y, Gao S, Li J. Preliminary analysis of grain-size populations with environmentally sensitive terrigenous components in marginal sea setting [J]. *Chinese Science Bulletin*,

- 2003, 48(2): 184-187.
- [24] 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 of the Particle-Size Distribution of Surficial Sediments in the Northern Yellow Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(6): 665-671.]
- [25] 王德杰, 范代读, 李从先. 不同预处理对沉积物粒度分析结果的影响[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31(3): 314-318. [WANG Dejie, FAN Daidu, LI Congxian. Influence of different pretreatments on size analysis and its implication [J]. Journal of Tongji University, 2003, 31(3): 314-318.]
- [26] 王君波, 朱立平. 不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 17-23. [WANG Junbo, ZHU Liping. Influence of different pre-treatments on grain-size measurement of lake sediments [J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(1): 17-23.]
- [27] 谢昕, 郑洪波, 陈国成, 等. 古环境研究中深海沉积物粒度测试的预处理方法[J]. 沉积学报, 2007, 25(5): 684-691. [XIE Xin, ZHENG Hongbo, CHEN Guocheng, et al. Pre-treatment method of grain size measurement of marine sediments in paleoenvironment research [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(5): 684-691.]
- [28] 易亮, 于洪军, 徐兴永, 等. 碳酸盐含量对莱州湾南岸钻孔沉积物粒度测试结果的影响[J]. 海洋科学进展, 2010, 28: 325-331. [YI Liang, YU Hongjun, XU Xingyong, et al. Influences of carbonate contents on the grain-size measurements of borehole sediments from southern shore of Laizhou Bay [J]. Advances in Marine Science, 2010, 28: 325-331.]
- [29] Su Guangqing, Wang Tianxing. Basic characteristics of modern sedimentation in South China Sea. Oceanology of China Seas [M]. Netherlands: Springer, 1994: 407-418.
- [30] 杨群慧, 李木军, 杨胜雄, 等. 南海西南部表层沉积物粒度特征及输运趋势[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(6): 1-7. [YANG Huiqun, LI Mujun, YANG Shengxiong, et al. Grain size distribution of surface sediments in the southwestern south China sea and transport trend analysis [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2013, 33(6): 1-7.]
- [31] Wang Pinxian, Li Qianyu. The South China Sea: Paleoceanography and Sedimentology [M]. Springer Science and Business Media, 2009.
- [32] 刘昭蜀, 赵焕庭, 范时清, 等. 南海地质[M]. 北京: 科学出版社, 2002. [LIU Zhaoshu, ZHAO Huanting, FAN Shiqing, et al. The Geology of South China Sea [M]. Beijing: Science Publishing House, 2002.]
- [33] 李粹中. 南海中部沉积物类型和沉积作用特征[J]. 东海海洋, 1987, 5(1): 10-18. [LI Cuizhong. Sediment types and sedimentation of the central South China Sea Basin [J]. Donghai Marine Science, 1987, 5(1): 10-18.]
- [34] 李亮, 陈忠, 刘建国, 等. 南海北部表层沉积物类型及沉积环境区划[J]. 热带海洋学报, 2014, 33(1): 54-61. [LI Liang, CHEN Zhong, LIU Jianguo, et al. Distribution of surface sediment types and sedimentary environment divisions in the northern South China Sea [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2014, 33(1): 54-61.]
- [35] 罗又郎, 劳焕年, 王禄漪. 南海东北部表层沉积物类型与粒度特征的初步研究[J]. 热带海洋, 1985, 4(1): 33-41. [LUO Youlang, LAO Huannian, WANG Luyi. A preliminary study on the surface sediment types and their grain size characteristics of the northeastern part of the South China Sea [J]. Tropic Oceanology, 1985, 4(1): 33-41.]
- [36] 罗又郎, 冯伟文, 林怀兆. 南海表层沉积类型与沉积作用若干特征[J]. 热带海洋, 1994, 13(1): 47-54. [LUO Youlang, FENG Weiwen, LIN Huaizhao. Bottom sediment types and depositional characteristics of sediments of the south China [J]. Tropic Oceanology, 1994, 13(1): 47-54.]
- [37] 邱燕, 钟和贤, 刘坚. 南海中南部表层沉积物类型, 分布与水动力条件[J]. 南海地质研究, 2008(1): 1-13. [QIU Yan, ZHONG Hexian, LIU Jian. Type, Distribution and hydrodynamic condition of seafloor sediments in the middle and southern parts of South China Sea [J]. Geological Research of South China Sea, 2008(1): 1-13.]
- [38] 钟和贤, 黄磊, 崔兆国. 南海西北部海域表层沉积物粒度分布特征及其影响因素[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(11): 22-31. [ZHONG Hexian, HUANG Lei, CUI Zhaoguo. Grain-size distribution of surface sediments in the northwestern South China Sea and influence factors [J]. Marine Geology Frontier, 2013, 29(11): 22-31.]
- [39] 张富元, 章伟艳, 杨群慧. 南海东部海域沉积物粒度分布特征[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 452-460. [ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan, YANG Qunhui. Characteristics of grain size distributions of surface sediments in the Eastern South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(3): 452-460.]
- [40] 张富元, 章伟艳, 张德玉, 等. 南海东部海域表层沉积物类型的研究[J]. 海洋学报, 2004, 26(5): 94-105. [ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan, ZHANG Deyu, et al. Research on surface sediment types and distributions from the eastern South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(5): 94-105.]
- [41] 张富元, 张霄宇, 杨群慧, 等. 南海东部海域的沉积作用和物质来源研究[J]. 海洋学报, 2005, 27(2): 79-90. [ZHANG Fuyuan, ZHANG Xiaoyu, YANG Qunhui. Research on sedimentations and material sources in the eastern South China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(2): 79-90.]
- [42] 吴时国, 罗又郎. 南海南部大陆架的残留沉积[J]. 热带海洋, 1994, 13(3): 47-53. [WU Shiguo, LUO Youlang. The relict sediments in the south shelf of South China Sea [J]. Tropic Oceanology, 1994, 13(3): 47-53.]
- [43] 李泽文, 栾振东, 阎军, 等. 南海北部外陆架表层沉积物粒度参数特征及物源分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(12): 92-98. [LI Zewen, LUAN Zhendong, YAN Jun, et al. Characterization of grain size parameters and the provenance analysis of the surface sediment in the outer shelf of the northern

- South China Sea [J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(12): 92-98.]
- [44] 苏广庆, 范时清. 南海中北部沉积成因类型[J]. *热带海洋学报*, 1987, 6(2): 1-9. [SU Guangqing, FAN Shiqing. Genetic types of sediments in central and northern South China Sea [J]. *Tropic Oceanology*, 1987, 6(2): 1-9.]
- [45] 中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其临近海区第四纪沉积地质学[M]. 湖北: 科学技术出版社, 1992: 7-200. [The Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to Nansha Islands [M]. *Quaternary Sedimentary Geology of Nansha Islands and Adjacent Sea Area*. Hubei: Science and Technology Publishing House, 1992: 7-200.]
- [46] 叶曦雯, 刘素美, 张经. 黄海, 渤海沉积物中生物硅的测定及存在问题的讨论[J]. *海洋学报*, 2002, 24(1): 129-134. [YE Xiwen, LIU Sumei, ZHANG Jing. Determination of biogenic opal in sediment of the Huanghai and Bohai Sea and questions in the method [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(1): 129-134.]
- [47] 赵颖翡, 刘素美, 叶曦雯, 等. 黄, 东海柱状沉积物中生物硅含量的分析[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(3): 423-428. [ZHAO Ying fei, LIU Sumei, YE Xiwen, et al. The analysis of biogenic silica in the sediments of the East China Sea and the Yellow Sea [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2005, 35(3): 423-428.]
- [48] 张兰兰, 陈木宏, 向荣, 等. 南海南部表层沉积物中生物硅的分布及其环境意义[J]. *热带海洋学报*, 2007, 26(3): 24-29. [ZHANG Lanlan, CHEN Muhong, XIANG Rong, et al. Distribution of biogenic silica in surface sediments from southern South China Sea and its environmental significance [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2007, 26(3): 24-29.]
- [49] 周鹏, 李冬梅, 刘广山, 等. 南海东北部和南部海域表层沉积物生物硅研究[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(4): 40-47. [ZHOU Peng, LI Dongmei, LIU Guangshan, et al. Biogenic silica in surface sediments of the northeastern and southern South China Sea [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2010, 29(4): 40-47.]
- [50] 贾国东, 翦知湣, 彭平安, 等. 南海南部 17962 柱状样生物硅沉积记录及其古海洋意义[J]. *地球化学*, 2000, 29(3): 293-296. [JIA Guodong, JIAN Zhimin, PENG Pingan, et al. Biogenic silica records in core 17962 from southern South China Sea and their relation to paleoceanographical events [J]. *Geochimica*, 2000, 29(3): 293-296.]
- [51] 方文东, 方国洪. 南海南部海洋环流研究的新进展[J]. *地球科学进展*, 1998, 13(2): 166-172. [FANG Wendong, FANG Guohong. The recent progress in the study of the Southern South China Sea circulation [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1998, 13(2): 166-172.]
- [52] Liu J, Xiang R, Chen M, et al. Influence of the Kuroshio current intrusion on depositional environment in the Northern South China Sea: Evidence from surface sediment records [J]. *Marine Geology*, 2011, 285(1): 59-68.
- [53] Mortlock R A, Froelich P N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments [J]. *Deep Sea Research Part A: Oceanographic Research Papers*, 1989, 36(9): 1415-1426.
- [54] DeMaster D J. The supply and accumulation of silica in the marine environment[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45(10): 1715-1732.
- [55] DeMaster D J. Measuring biogenic silica in marine sediments and suspended matter[J]. *Marine Particles: Analysis and Characterization*, 1991: 363-367.
- [56] Conley D J. An interlaboratory comparison for the measurement of biogenic silica in sediments[J]. *Marine Chemistry*, 1998, 63(1): 39-48.
- [57] Terry R D, Chilingar G V. Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by MS Shvetsov [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1955, 25(3): 229-234.
- [58] Folk R L. A comparison chart for visual percentage estimation [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1951, 21(1): 32-33.
- [59] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments [J]. *The Journal of Geology*, 1922, 30(5): 377-392.
- [60] 卢连战, 史正涛. 沉积物粒度参数内涵及计算方法的解析[J]. *环境科学与管理*, 2010, 35(6): 54-60. [LU Lianzhan, SHI Zhengtao. Analysis for sediment grain size parameters of connotations and calculation method [J]. *Environmental Science and Management*, 2010, 35(6): 54-60.]
- [61] 徐兴永, 易亮, 于洪军, 等. 图解法和矩值法估计海岸带沉积物粒度参数的差异[J]. *海洋学报*, 2010, 32(2): 80-86. [XU Xingyong, YI Liang, YU Hongjun, et al. The differences of grain-size parameters estimated with graphic and moment methods in coastal sediments [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(2): 80-86.]
- [62] 贾建军, 高抒, 薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6): 577-582. [JIA Jianjun, GAO Shu, XUE Yunchuan. Grain-size parameters derived from graphic and moment methods: a comparative study [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(6): 577-582.]
- [63] McManus J. Grain size determination and interpretation [J]. *Techniques in Sedimentology*, 1988, 408: 112-116.
- [64] 吕炳全. 海洋地质学概论[M]. 上海: 同济大学出版社, 2008: 161-190. [LV Bingquan. *Marine Geology* [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2008: 161-190.]
- [65] Milliman J D, Syvitski J P M. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers [J]. *The Journal of Geology*, 1992, 100: 525-544.
- [66] Wang L, Wang P. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Glacial-interglacial contrasts in an enclosed basin [J]. *Paleoceanography*, 1990, 5(1): 77-90.
- [67] Pelejero C, Kienast M, Wang L, et al. The flooding of Sun-

- daland during the last deglaciation: imprints in hemipelagic sediments from the southern South China Sea [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 171(4): 661-671.
- [68] Wang P. Response of Western Pacific marginal seas to glacial cycles: paleoceanographic and sedimentological features [J]. *Marine Geology*, 1999, 156(1): 5-39.
- [69] 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, 28(1): 1-8. [WANG Zhongbo, HE Qixiang, YANG Shouye, et al. Comparison and application of Shepard's and Folk's classifications to the subsurface mapping in the South Yellow Sea [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2008, 28(1): 1-8.]
- [70] Ashley G M. Interpretation of polymodal sediments [J]. *The Journal of Geology*, 1978, 86(4): 411-421.
- [71] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用[J]. *自然科学进展*, 2001, 11(3): 269-276. [SUN Donghuai, AN Zhisheng, SU Ruixia, et al. Mathematics method and its application of grain-size distribution of paleoenvironment sediment [J]. *Progress in Natural Sciences*, 2001, 11(3): 269-276.]
- [72] Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1954, 24(3): 151-158.
- [73] 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.
- [74] 陈忠, 夏斌, 颜文, 等. 南海火山玻璃的分布特征, 化学成分及源区探讨[J]. *海洋学报*, 2006, 27(5): 73-81. [CHEN Zhong, XIA Bin, YAN Wen, et al. Distribution, chemical characteristics and source area of volcanic glass in the South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 27(5): 73-81.]
- [75] 李国刚, 秦蕴珊. 中国近海细粒级沉积物中的方解石分布, 成因及其地质意义[J]. *海洋学报*, 1991, 13(3): 381-386. [LI Guogang, QIN Yunshan. Distribution, origin and geological significance of calcite in fine sediments of China continental seas [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1991, 13(3): 381-386.]
- [76] 申顺喜, 陈丽蓉, 徐文强. 黄海沉积物中的矿物组合及其分布规律的研究[J]. *海洋与湖沼*, 1984, 15(3): 240-250. [SHEN Shunxi, CHEN Lirong, XU Wenqiang. Mineral composition and their distribution patterns in the sediments of the Huanghai Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1984, 15(3): 240-250.]
- [77] 范德江, 杨作升, 王文正. 长江、黄河沉积物中碳酸盐组成及差异[J]. *自然科学进展*, 2002, 12(1): 60-64. [FAN Dejiang, YANG Zuosheng, WANG Wenzheng. Compositions and differences of carbonate in the sediments of the Changjiang river and the Huanghe River [J]. *Advance of Natural Science*, 2002, 12(1): 60-64.]

THE INFLUENCE OF BIOGENIC OPAL ON THE RESULTS OF GRAIN SIZE ANALYSIS OF SURFACE SEDIMENTS IN THE SOUTHERN SOUTH CHINA SEA

ZHANG Jin¹, LI Anchun¹, WAN Shiming^{1,2}, HUANG Jie¹, LU Jian¹, JIANG Fuqing^{1,2}, LI Tiegang^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071;

2. Laboratory for Marine Geology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061)

Abstract: Two different pretreatment methods were used to measure grain size of surface sediments collected from the Southern South China Sea, and the influence of the biogenic opal on the grain size results were evaluated. The grain size results show that all the grain size fractions, grain size parameters, and the sediment classification were significantly influenced by the existence of biogenic opal. Based on the volume percentage of siliceous bioclastic, to construct the grain size distribution pattern of the terrestrial sediments on the Nansha Continental Slope, it is necessary to remove biogenic opal from samples in pretreatment. Comparison between the grain size results of two pretreatment methods suggest that the biogenic opal mainly occur in the range of 8 to 90 micron.

Key words: biogenic opal; grain size; pretreatment methods; Southern South China Sea