

常量元素含量作为滩涂沉积物粒径参数 替代指标的可行性分析

高翔 张燕 高超

南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093

摘要 采用筛分-比重计法测定滩涂沉积物样品的粒度组成,同时利用 X 射线荧光分析测定其中 Si、Al、Fe、Mg 和 K 等常量元素的含量,通过建立二者之间的定量关系,探讨以滩涂沉积物常量元素组成作为粒径替代指标的可行性。结果表明:砂粒、粉粒、粘粒含量及粒径中值与常量元素含量之间有着十分显著的相关性,其中粘粒、粉粒含量及粒径中值与 Al、Fe、Mg、K 呈正相关,与 Si 含量呈负相关。砂粒含量则相反,与 Al、Fe、Mg、K 呈负相关,与 Si 含量呈正相关。利用常量元素含量预测滩涂沉积物粒径分布的关系建立的模型可行且结果可靠,对海洋科学和环境科学等领域具有良好的应用前景。

关键词 滩涂沉积物; 粒径分布; 常量元素; 替代指标

中图分类号 P 512.23 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)04-0084-04

海洋沉积物的粒度组成是其重要的物理参数,可用于揭示沉积物的来源、输送介质、沉积环境以及源区环境条件的演变等^[1-3]。同时,由于不同粒级沉积物中所含的矿物类型及数量不同,沉积物的粒度特征还能指示其基本化学组成^[4-7],所以在进行沉积物的相关研究时,通常要测定其粒度分布特征。目前测定沉积物和土壤等颗粒物粒度组成的常用方法有吸管法、比重计法和激光粒度仪测定法。吸管法和比重计法都是以 Stokes 定律为基础,前者操作步骤非常繁琐,耗时较长,后者准确性略逊于前者,但测定过程相对简单。激光粒度仪方法基于光的衍射和散射理论,该方法操作简便快捷,需要的样品量较少,但该方法分析得到的结果严重低估了粘粒部分的含量^[8-11]。上述方法各有其利弊,不同方法测得的粒度数据并不具有可比性。笔者通过分析滩涂沉积物粒度特征与化学组成之间的关系,探讨以滩涂沉积物物质组成作为粒径替代指标的可行性。

1 材料与方法

所用沉积物样品均采自浙江省宁波、温州等地的沿海滩涂,样品总数 152 个。样品为 10 cm 左右

的表层沉积物,取样时去除最表层的浮泥。采集的样品在室内自然风干后剔除砾石和颗粒较大的动植物残体,碾碎备用。沉积物粒径测定参考文献^[12]中的方法,样品经过分散后用筛分-比重计法测定。学术界对沉积物粒径的划分标准并不统一,笔者采用土壤学研究中粒径划分方法,即 0.020~2.000 mm 部分为砂粒,0.002~0.020 mm 部分为粉粒,<0.002 mm 部分为粘粒。沉积物样品中 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na 等常量元素含量的测定是将样品磨细过孔径 0.075 mm 筛后进行粉末压片,采用 X 射线荧光分析法实现同时测定。

2 结果与分析

2.1 沉积物样品粒径分布和常量元素组成

供试样品粒径中值的平均值为 18.5 μm ,变化范围为 5.4~398.0 μm (表 1)。研究区滩涂沉积物总体上以粉粒为主,其平均含量超过 60%,近 80% 样品的粉粒含量占 50% 以上,最高为 86%。砂粒和粘粒含量均为 20% 左右,但砂粒含量变异较大,变异系数达 135%,个别样品几乎全部由砂粒构成。

收稿日期: 2013-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271467)

高翔,实验师. 研究方向: 资源环境分析. E-mail: gaoxiang308@nju.edu.cn

通信作者: 高超,博士,教授. 研究方向: 土地利用变化及其环境效应. E-mail: chgao@nju.edu.cn

表 1 供试样品基本理化特征¹⁾

Table 1 Selected physical and chemical characteristics of sediment samples

指标 Parameters	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 Stdev.	变异系数 CV/%	中国浅海沉积物均值 ¹⁾ Mean values of shallow marine sediments in China
粘粒含量/% Clay content	18.90	38.70	0.00	12.80	67.80	/
粉粒含量/% Silt content	60.80	86.30	1.65	17.90	29.40	/
砂粒含量/% Sand content	20.30	98.30	0.00	27.30	134.70	/
粒径中值/ μm Median of grain size	18.45	398.00	5.41	354.00	26.00	/
SiO ₂ /%	59.00	71.30	47.70	6.86	11.60	62.20
Al ₂ O ₃ /%	12.60	15.70	8.15	2.08	16.50	10.70
Fe ₂ O ₃ /%	5.04	7.14	1.24	1.24	24.50	4.40
CaO/%	3.52	9.77	0.89	0.82	23.30	5.20
MgO/%	2.32	2.95	0.34	0.44	19.00	1.80
Na ₂ O/%	2.05	2.27	1.32	0.12	5.90	2.20
K ₂ O/%	2.41	4.16	1.78	0.36	15.10	2.20
Org C/%	0.41	0.75	0.15	0.15	36.70	/
pH	8.48	9.04	8.07	0.25	2.90	/

1) 全国浅海沉积物丰度引自《应用地球化学元素丰度数据手册》,2007。Mean values of shallow marine sediments in China are from *Data Handbook of Applied Geochemical Elemental Abundance*.

由表 1 可见,7 种常量元素的氧化物中,除 SiO₂ 平均含量超过 50% 外,其余元素的含量顺序是: Al₂O₃ > Fe₂O₃ > CaO > K₂O > MgO > Na₂O。与全国浅海沉积物相比,研究区沉积物样品中含量相对较高的常量元素有 Al、Fe、Mg 和 K,而 Ca、Na 的含量较低。由于常量元素的含量分布受人类活动影响较小,物源区物质组成的差异应是造成这种现象的主要原因。

沉积物样品的常量元素含量普遍变异性较小,变异系数均小于 25%,Na₂O 和 SiO₂ 的变异系数分别只有 5.9% 和 11.6%。CaO 含量全距相对较大,最大值与最小值相差一个数量级,这可能与某些滩涂样沉积物样品中含有贝壳的碎屑有关。

2.2 沉积物粒径与化学成分的关系

由表 2 可知,供试滩涂沉积物样品常量元素之

间有着十分显著的相关性,Al、Fe、Mg、K 相互之间为极显著正相关,上述 4 种元素与 Si 均呈极显著负相关。同时,砂粒、粉粒和粘粒含量、粒径中值等参数与常量元素含量之间也有着十分显著的相关性。除 CaO、Na₂O 外,砂粒、粉粒和粘粒含量及粒径中值与其他常量元素之间的正相关或负相关都达到了极显著水平。其中粘粒、粉粒含量及粒径中值与 Al、Fe、Mg、K 呈正相关,与 Si 含量呈负相关。砂粒含量则相反,与 Al、Fe、Mg、K 呈负相关,与 Si 含量呈正相关。沉积物粒径与常量元素之间极为显著的相关性主要是由于不同粒级沉积物中矿物成分的差异所造成。一般来说,粒径较大的沉积物颗粒主要由耐风化的石英、长石和云母等原生矿物所构成,这些矿物中 Si 含量较高,而 Al、Fe、Mg、K 等元素含量较低。细粒级沉积物则主要由层状硅酸盐和

表 2 沉积物样品粒径和主要化学成分的相关矩阵¹⁾

Table 2 Correlation matrix between grain size parameters and chemical compositions of sediment samples

	粘粒 Clay	粉粒 Silt	砂粒 Sand	粒径中值 Grain size median	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
粉粒 Silt	0.58**	1									
砂粒 Sand	-0.85**	-0.92**	1								
粒径中值 Grain size median	0.97**	0.72**	-0.92**	1							
SiO ₂	-0.91**	-0.54**	0.78**	-0.90**	1						
Al ₂ O ₃	0.92**	0.54**	-0.78**	0.92**	-0.94**	1					
Fe ₂ O ₃	0.91**	0.51**	-0.76**	0.90**	-0.92**	0.97**	1				
MgO	0.85**	0.64**	-0.81**	0.88**	-0.88**	0.90**	0.94**	1			
CaO	-0.04	0.14*	-0.07	-0.05	-0.11	-0.10	-0.20	-0.09	1		
Na ₂ O	-0.13	0.12	-0.02	-0.06	0.02	-0.04	-0.03	0.16*	0.23**	1	
K ₂ O	0.56**	0.19**	-0.39**	0.50**	-0.61**	0.54**	0.50**	0.37**	0.13*	-0.23**	1
Org C	0.82**	0.57**	-0.76**	0.83**	-0.87**	0.88**	0.88**	0.85**	-0.04	0.04	0.49**

1) * 在 0.05 的显著性水平上相关; ** 在 0.01 的显著性水平上相关, n = 152。*, P < 0.05; **, P < 0.01.

铁、锰氧化物等次生粘土矿物构成,其特点是 Si 含量相对较低,而 Al、Fe、Mg 和 K 等元素含量较高^[3-5],从而造成了常量元素含量随沉积物粒径变化发生有规律的变化。

2.3 沉积物化学成分作为粒径替代指标的可行性分析

根据 152 个样品 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 MgO 常量元素与粘粒间的关系,建立了用 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 MgO 常量元素预测粘粒的线性回归方

程。回归方程、回归方程的置信区间及回归方程的决定系数见图 1,线性回归方程均能通过置信水平为 0.001 的 F 检验。因此,以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 MgO 含量为自变量,可通过简单的线性方程较为满意地预测沉积物的粘粒含量。同样,根据 SiO_2 、 Al_2O_3 与砂粒间的关系,建立了用 SiO_2 、 Al_2O_3 预测砂粒的指数回归方程,指数回归方程(图 2)也均能通过置信水平为 0.001 的 F 检验,也可以用 SiO_2 、 Al_2O_3 预测沉积物中的砂粒含量。

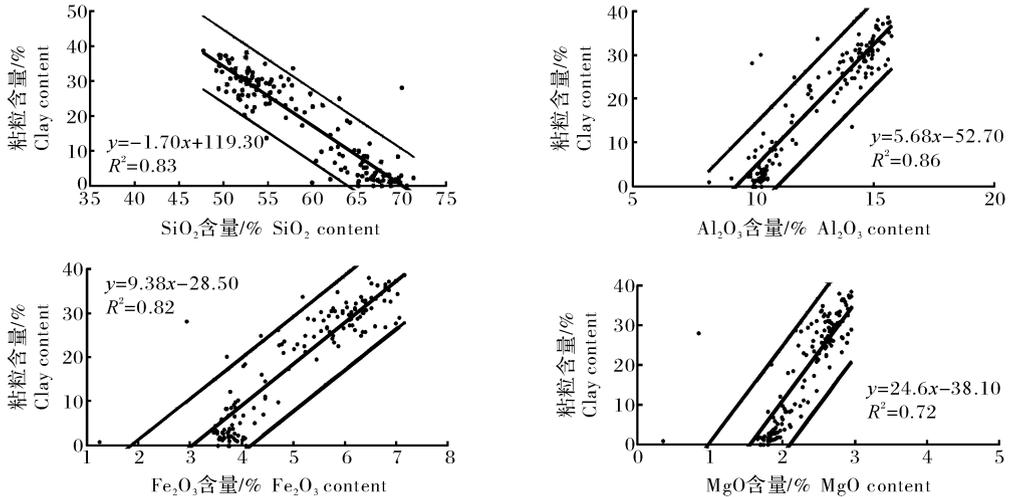


图 1 粘粒含量与部分常量元素之间的关系

Fig. 1 Relationship between clay and major element contents of sediment samples

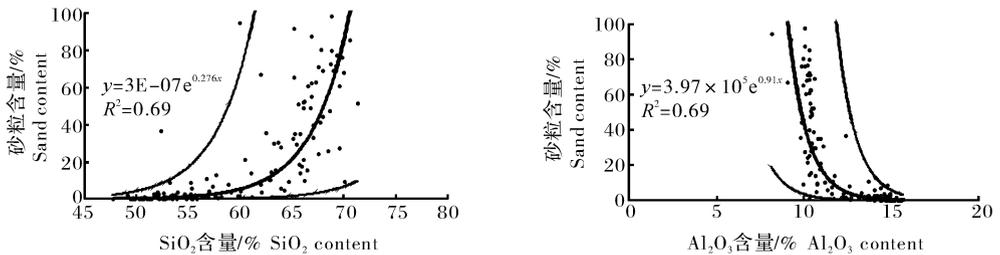


图 2 砂粒含量与 Si、Al 含量之间的关系

Fig. 2 Relationship between sand and major element contents of sediment samples

3 讨论

本研究结果表明,滩涂沉积物中的粘粒、粉粒、砂粒含量及粒径中值都与 Si、Al、Fe、Mg 和 K 等元素的含量呈极为显著的相关关系,利用沉积物常量元素含量与粒径参数之间极显著的相关关系预测沉积物粒径分布特征,其决定系数可达到 80% 以上,说明该方法具有较高的可靠性。

海洋沉积物的粒度组成是其重要的物理参数,在进行沉积物的相关研究时,通常要测定其粒度分

布特征。但现有的几种粒度测定方法都存在不同程度的不足之处,或繁琐耗时,或准确性欠佳。目前仍有一些学者在不断尝试改进已有方法或探索新的粒度测定方法^[9]。鉴于沉积物粒度分布与常量元素含量之间存在极为显著的相关关系,如果能够在较高置信度的前提下建立常量元素含量与粒度参数之间的定量关系,则可以以常量元素含量作为粒度参数的替代指标,通过直接测定常量元素含量获取沉积物粒度分布特征。此外,在一些先前未测定粒度但拥有基础地球化学数据的调查研究中,可进行粒度

信息的数据开发,以提高其利用价值。

吸管法、比重计法和激光粒度仪测定法等不同方法测得的粒度数据结果相差较大,可比性较差,因而其利用价值受到一定的限制。常量元素含量作为粒度参数替代指标的优势之一,就是所得结果可通过插入的标样评估其准确性,因而在分析结果可靠的前提下,不同地区或同一地区不同时段的结果具有可比性。目前一些测定沉积物常量元素含量的分析方法,如X射线荧光光谱法(XRF)和电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)都是较为成熟的分析方法,其特点是快速、灵敏,且检出限较低,可同时测定多种常量元素的含量,前者还是无损分析,即测试后的样品还可用于其他目的。因此,通过一定量前期工作,建立利用常量元素含量预测滩涂沉积物粒径分布的关系模型,对于海洋科学和环境科学等领域都具有良好的应用前景。

参 考 文 献

[1] 高抒. 沉积物粒径趋势分析: 原理与应用[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 826-836.
 [2] 罗向欣, 杨世伦, 张祥, 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.

[3] FUKUE M, YANAI M, SATO Y, et al. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 136: 111-119.
 [4] HORWITZ A, ELRICK K. The relation of stream sediment surface area, grain size, and trace element chemistry[J]. Applied Geochemistry, 1987, 2: 437-445.
 [5] 张虎才. 元素表生地球化学特征及理论基础[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1997.
 [6] 于培松, 薛斌, 潘建明, 等. 长江口和东海海域沉积物粒径对有机质分布的影响[J]. 海洋学研究, 2011, 29(3): 202-208.
 [7] 韦彩嫩, 牛红义, 吴群河. 珠江(广州河段)表层沉积物中重金属的粒度效应[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(10): 53-56.
 [8] KETTLER T A, DORAN J W, GILBERT T L. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analysis[J]. Soil Science Society of America Journal, 2001, 65: 849-852.
 [9] STEFANOT C D, FERRO V, MIRABILE S. Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods[J]. Biosystems Engineering, 2010, 106(2): 205-215.
 [10] 刘雪梅, 黄元仿. 应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 579-582.
 [11] 全长亮, 高抒. 江苏潮滩沉积物激光粒度仪与移液管一筛析分析结果的对比[J]. 沉积学报, 2008, 26(1): 46-53.
 [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

Feasibility of using major element compositions as proxies of grain size distribution for tidal flat sediments

GAO Xiang ZHANG Yan GAO Chao

School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract Grain size distribution of marine sediments is an important indicator used for various topics in sedimentology, environmental change and many other fields. However, current methods of grain size determination are either very labor intensive or lack of accuracy. Feasibility of using major element compositions as proxies of grain size distribution for tidal flat sediments was studied. One hundred and fifty-two tidal flat sediment samples from coastal areas of East China Sea were collected and analyzed for grain-size distribution and major element composition. The results showed that the contents of sand, silt, clay and the median of grain size were significantly correlated with major element concentrations of sediment samples. The contents of silt, clay and the median of grain size are positively correlated with the contents of Al, Fe, Mg and K while the content of sand is negatively correlated with the content of Si. The regress equations were obtained to predict grain size parameters using major element compositions. It is proved that using major element compositions as proxies of grain size distribution for tidal flat sediments is feasible.

Key words tidal flat sediment; grain size distribution; major elements; proxy indicator

(责任编辑: 陆文昌)