

三亚近岸海域表层沉积物常量元素地球化学特征及其物源指示

张从伟, 李 亮, 龙根元, 张匡华, 李江涛

(海南省海洋地质调查研究院, 海南 海口 570206)

摘 要:为充分了解三亚海岸带的状况,对三亚近岸海域的 331 个站位表层沉积物的常量元素进行了分析。结果表明,研究区内沉积物常量元素组分以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主。除 SiO_2 、 CaO 外,其余各常量元素组分含量(质量分数)均低于其各自在我国浅海沉积物中的丰度值。空间分布上,三亚近海表层沉积物中的常量元素基本遵循“元素的粒度控制律”, Al_2O_3 和与其密切相关的常量组分显示陆源细粒沉积物特征, SiO_2 则表现出相反的特征。除“粒控效应”外, K_2O 、 MnO 和有机碳在空间的分布还受其他因素影响, CaO 的空间分布则主要受控于海洋生物作用。研究区物质来源应以附近的陆源碎屑物质为主,另外还有海洋生物及自生作用等其他物质来源。

关键词:表层沉积物;常量元素;地球化学;物质来源;近岸海域;三亚

中图分类号:P632

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2018)01-0026-10

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2018.01.003

元素地球化学是海洋沉积学研究的重要内容,同时也是海洋地质学研究的重要手段^[1]。作为判断沉积物物质组成的重要指标之一,元素地球化学的含量变化及分布规律可以反映沉积物的物质来源,示踪沉积物搬运和沉积过程^[2-3]。近海是海陆物质交换的主要场所,通过对近岸海底表层沉积物中元素含量及分布的研究,不仅可以丰富对近岸海域元素地球化学特征的认识,还可以深化对近海区域沉积特征的研究^[4-5]。海南省三亚市是著名旅游城市,其近岸海域内有着众多的河口、港口区、旅游区、水产养殖区及珊瑚礁保护区等。以往对该海域表层沉积物元素地球化学的研究,往往离岸距离较远,采样密度偏低的问题,针对海岸带的研究相对薄弱^[1,6-9]。本次调查基本覆盖了整个三亚海岸带沿线海域部分,全面深入地对三亚近岸海域内表层沉积物进行了地球化学调查研究工作。深入研究分析调查区内表层沉积物中常量元素的地球化学特征,对于丰富三亚近海沉积物的区域地球化学资料,探讨其物质来源、影响因素、沉积环境等都存在着积极意义。

1 样品采集与分析

样品采集范围为三亚西部东锣湾至东北部土福湾一带海岸线向海延伸 3 km 的海域部分,区内海湾、港口、岛屿众多。海域自然保护区等未纳入研究范围,最终调查海域面积约 610 km²。调查期间,按 1 km×2 km 的网格密度,利用蚌式取样器获得了 331 个表层底质样品,采样站位如图 1 所示。

沉积物样品经 110 ℃烘干后,研磨至粉末状,以备常量元素的分析测试。测试方法有 X 射线荧光光谱法、重量法和分光光度法等。 SiO_2 采用重量法,依据《硅酸盐岩石化学分析方法》(GB/T 14506.28—2010)^[10] 进行检测; Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 K_2O 、 Na_2O 、 MnO 、 P_2O_5 、 TiO_2 等采用 X 射线荧光光谱法(XRF),依据《海底沉积物化学分析方法》(GB/T 20260.8—2006)^[11] 进行检测,检测设备为 X 射线荧光光谱仪 ZSX-

收稿日期:2017-08-22

资助项目:海南省国土资源厅项目——海南岛海岸带综合地质调查与评价(跨年度项目)(HZ2015-235)

作者简介:张从伟(1979-),男,工程师,硕士,主要从事地球化学与海洋地质等方面研究。E-mail:498568486@qq.com

(王佳实 编辑)

Primus II(BE63000106);烧失量(LOI)采用重量法,依据《岩石和矿石分析规程》(DZG 93-05)^[12]进行检测;有机碳(Org.C)依据《海洋监测规范》(GB 17378.5.18—2007)^[13]进行检测,CaCO₃依据《岩石和矿石分析规程》(DZG 93-05)^[12]进行检测,检测设备为原子吸收分光光度计 GG X-600(101)。

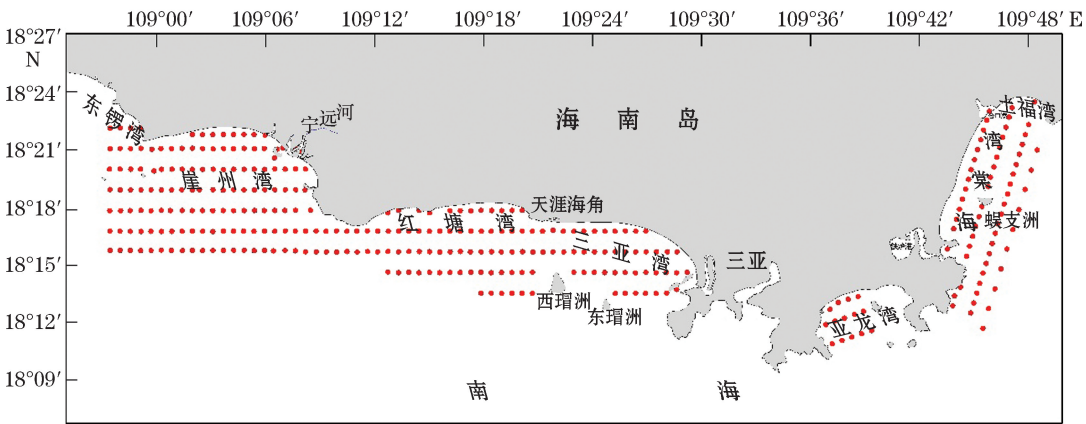


图1 研究区位置及取样站位
Fig.1 Locations of the study area and the sampling stations

2 结果与讨论

2.1 常量元素地球化学特征

三亚近岸表层沉积物常量组分的含量及其他参数见表1。在测试分析的11种常量组分中SiO₂,Al₂O₃和CaO三者平均含量之和高达83.59%,为常量元素中最主要的组分,表明区内沉积物以硅酸盐和铝硅酸盐及碳酸盐为主,反映了区域沉积特征。

表1 研究区表层沉积物常量元素地球化学组分含量特征
Table 1 The changing characteristics of major elemental compositions in the surface sediments of the study area

元 素	最小值/%	最大值/%	平均值/%	变异系数 (CV)	中国 浅海 ^[6]	海南岛 花岗岩 ^[14]	海南岛水 系沉积物 ^[15]	海南岛 表层土壤 ^[15]	海南岛 深层土壤 ^[15]
Al ₂ O ₃	0.87	17.29	7.52	0.43	11.09	13.62	10.10	12.92	17.35
CaO	0.99	13.04	5.60	0.46	5.08	1.95	0.67	0.19	0.20
TFe ₂ O ₃	0.27	5.49	2.19	0.54	4.43	3.37	—	2.66	3.55
MgO	0.33	2.35	1.19	0.42	1.82	0.71	0.52	0.32	0.42
K ₂ O	1.02	3.66	2.29	0.20	2.32	3.56	1.87	2.42	2.52
SiO ₂	42.86	89.09	70.47	0.13	62.51	70.66	57.80	69.00	63.10
Na ₂ O	0.51	2.57	1.34	0.42	2.00	2.79	0.67	0.34	0.36
TiO ₂	0.03	0.88	0.35	0.60	0.58	0.28	—	—	—
MnO	0.01	0.10	0.04	0.40	0.07	0.08	—	—	—
P ₂ O ₅	0.02	0.14	0.07	0.42	—	0.08	—	—	—
LOI	1.80	16.69	7.62	3.09	—	—	—	—	—
CaCO ₃	1.34	26.86	11.30	0.48	—	—	—	—	—
Org.C	0.03	0.85	0.28	0.68	0.62	—	—	1.05	0.31

注:—为无参照值

其中, SiO_2 是表层沉积物中含量最高的指标, 含量介于 42.86%~89.09%, 平均值 70.47%。 SiO_2 含量低于 50% 的站位仅有 5 个, 其余均大于 50%, 变异系数小, 为 0.13; Al_2O_3 是表层沉积物中含量居第二位的指标, 含量介于 0.87%~17.29%, 平均值 7.52%, 变异系数为 0.43; CaO 的含量介于 0.99%~13.04%, 平均值 5.60%, 变异系数为 0.46。

TFe_2O_3 与 MgO , K_2O , Na_2O 的含量接近, 都很低, 平均含量分别为 2.19% 和 1.19%, 2.29%, 1.34%。 TiO_2 , MnO , P_2O_5 的含量都在 1% 以下, 平均含量分别为 0.35%, 0.04%, 0.07%。

有机碳 (Org.C) 的平均含量为 0.28%, 其变异系数较大, 为 0.68, 显示其离散程度较大。烧失量 (LOI) 的变化范围为 1.8%~16.69%, 平均含量为 7.62%, 变化高达 3.09, 显示其离散程度极大。

由于 CaO 绝大部分以碳酸盐形式构成了钙质生物碎屑的主体, 因此, CaCO_3 作为碳酸盐的主要成分, 其含量变化特征与 CaO 规律一致。

研究海域表层沉积物的常量组分中, 除 SiO_2 , CaO 的含量水平高于各自在我国浅海表层沉积物中的丰度外, 其余均低于各自在我国浅海表层沉积物中的均值, 如 Fe_2O_3 , 有机碳等, 还不到各自在全国浅海沉积物中丰度值的一半。海南岛内广泛发育中生代花岗岩, 在研究区近岸及入海河流流经区域更是如此, 而沉积物的物质组成应该继承源区源岩的物质组成。通过与岛内花岗岩及水系沉积物、土壤地球化学数据对比发现, 绝大多数常量组分与以上数据较接近, 说明本区物质来源可能以近岸陆源碎屑物质为主。其中, 差异较大的 CaO , MgO , Na_2O 等, 应该与海洋生物、海水及其自身在迁移过程中的化学性质等因素有关。

2.2 常量元素分布特征

依据 Folk 沉积物分类法, 研究区内主要沉积物类型分别为砂质粉砂、粉砂质砂、砾质泥质砂、砂、粉砂, 其中含砾泥质砂只有很小面积的分布 (图 2)。

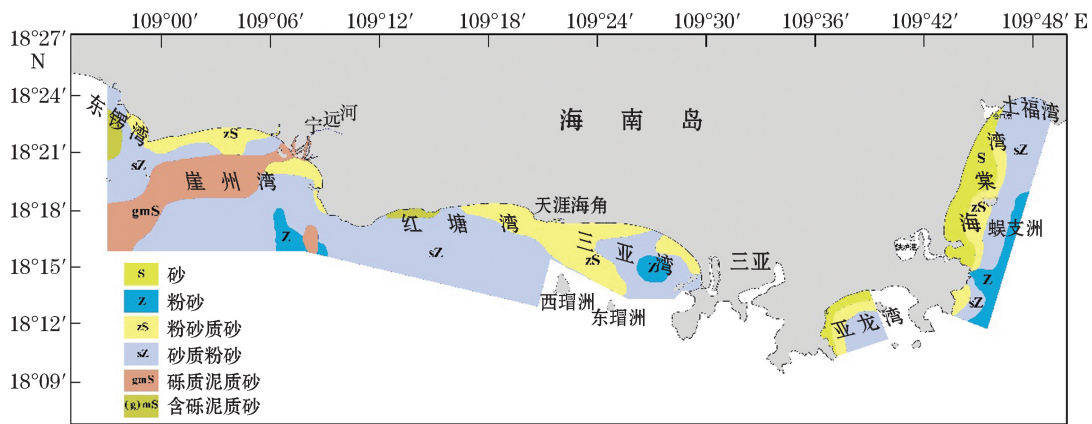


图 2 研究区表层沉积物分布图

Fig.2 Distribution of the surface sediments in the study area

中国近海沉积物中的元素含量明显受粒度控制的规律, 称之为“元素的粒度控制率”, 其由赵一阳率先提出, 早已被证实^[6,16]。本文用 SPSS 软件对样品的常量元素氧化物和平均粒径 (M_z) (粒径用 Φ 值, 值越大, 则粒度就越小; 反之, 则粒度越大) 进行相关性分析, 结果见表 2。

Al_2O_3 除与 SiO_2 , CaO 为负相关外, 与其他常量元素氧化物基本为正相关的关系; CaO 与其余常量组分大多为负相关或不相关, 而与 LOI 具有显著的正相关性, 表明两者具有同源性; 平均粒径 (M_z) 除与 SiO_2 呈明显的负相关, 与 CaO , K_2O 呈弱负相关或基本不相关外, 与 Al_2O_3 等其余常量元素氧化物均表现为正相关的关系。

表 2 三亚近岸表层沉积物常量元素氧化物与平均粒径相关性

Table 2 Correlation between the major element oxides and the mean particle diameter in the surface sediments of the Sanya offshore area

	Al ₂ O ₃	CaO	TFe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	CaCO ₃	Org.C	M _Z
Al ₂ O ₃	1.00													
CaO	-0.29	1.00												
TFe ₂ O ₃	0.93	-0.18	1.00											
MgO	0.80	0.13	0.87	1.00										
K ₂ O	0.40	-0.46	0.17	-0.05	1.00									
SiO ₂	-0.42	-0.73	-0.50	-0.70	0.17	1.00								
Na ₂ O	0.80	0.01	0.74	0.82	0.26	-0.58	1.00							
TiO ₂	0.91	-0.23	0.91	0.87	0.16	-0.43	0.79	1.00						
MnO	0.47	-0.01	0.61	0.50	0.15	-0.34	0.37	0.47	1.00					
P ₂ O ₅	0.75	0.17	0.83	0.84	-0.01	-0.71	0.72	0.73	0.54	1.00				
LOI	0.07	0.92	0.17	0.43	-0.37	-0.92	0.30	0.09	0.17	0.48	1.00			
CaCO ₃	-0.31	0.98	-0.19	0.11	-0.44	-0.71	-0.01	-0.25	-0.01	0.15	0.89	1.00		
Org.C	0.84	-0.16	0.82	0.74	0.15	-0.47	0.74	0.78	0.37	0.84	0.21	-0.17	1.00	
M _Z	0.60	-0.04	0.69	0.65	-0.07	-0.39	0.44	0.60	0.36	0.61	0.19	-0.06	0.55	1.00

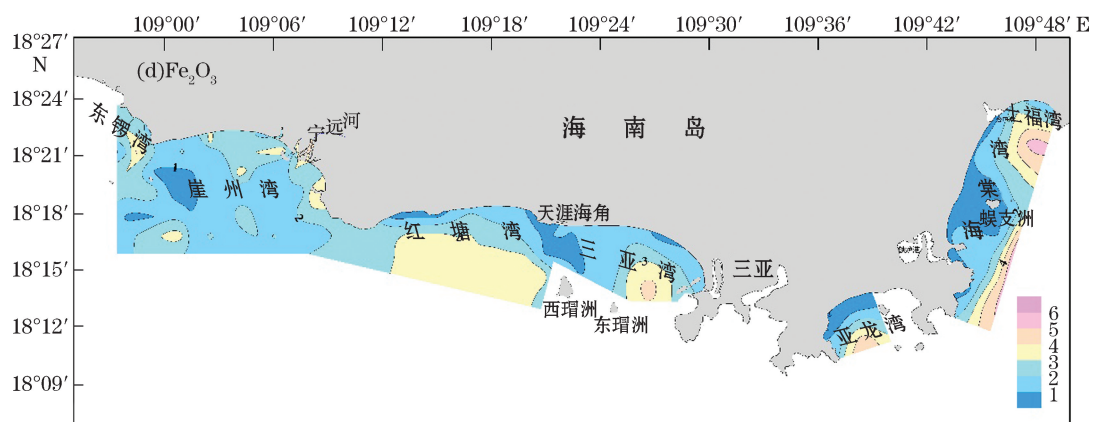
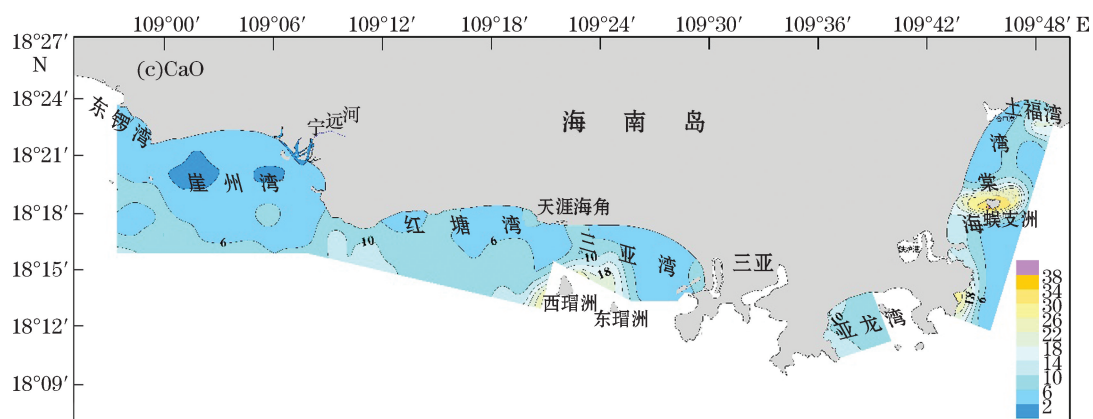
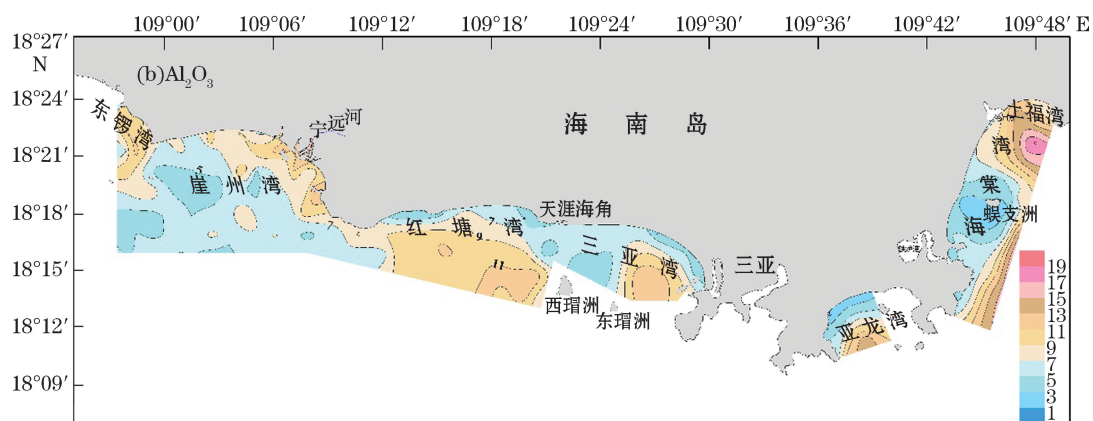
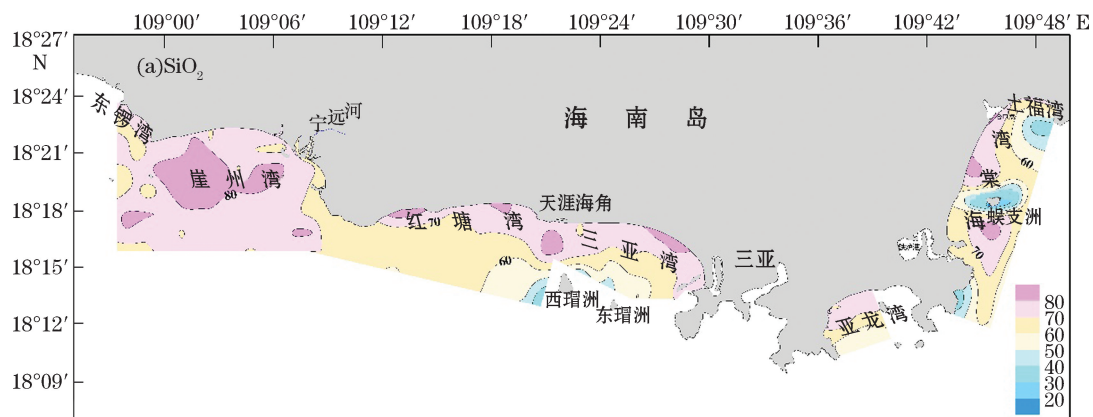
注:空白处表示无数据

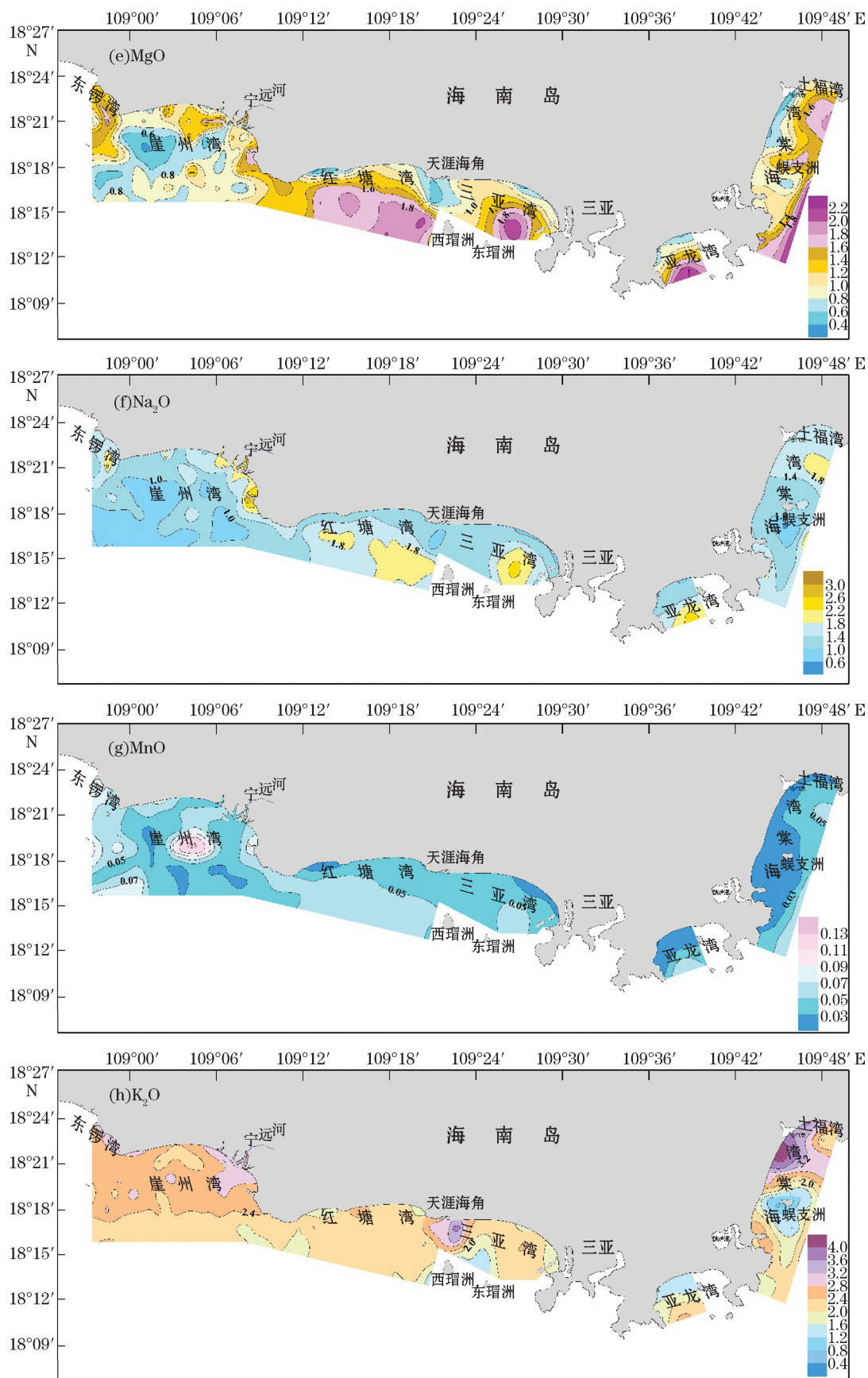
Si 元素的“粒控效应”明显,表现出粒度效应的第二种模式。研究区沿岸宁远河、三亚河等河流的汇入,使三亚近岸浅水区表层沉积了以砂质为主,粒度较粗的沉积物, SiO₂ 的含量较高。 SiO₂ 的分布相对其他元素而言较为均匀,其高值区总体上分布于沿岸浅水区域,在西部的崖州湾和东部的海棠湾有局部高值区离岸稍远;大部分低值区呈东西向条带状分布,调查区东部海棠湾内低值区大致呈北北东向展布(图 3)。

Al 主要赋存于黏土矿物晶格中,是黏土矿物的特征元素,主要以铝硅酸盐矿物和氧化物(Al₂O₃)的形式存在^[17]。 Al 从大陆到海洋是一个相对稳定的元素,可作为海洋中陆源成分的指标,利用元素与铝的相关性来判断沉积物中某些元素的来源^[1,9]。中国浅海沉积物中铝的含量变化与硅相反,属于元素粒度控制率的第一种模式^[6,16]。研究区内 Al₂O₃ 的分布基本符合这一模式,表现为高值区总体上为离岸远的地方,大致呈东西向和北北东向舌状延伸(图 3)。 Al₂O₃ 的分布在崖州湾内有所不同,其高值区反而离岸最近,应与该区域内宁远河所携带的沉积物泥质含量高,沉积物粒度较细,黏土矿物含量较大有关。

沉积物的 Fe₂O₃, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂ 等与 Al₂O₃ 存在良好的正相关关系,属于元素粒度控制率的第一种模式。风化过程中淋漓出来的 Fe³⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Ti⁴⁺ 非常容易被吸附到细粒的富铝黏土矿物中,随 Al₂O₃ 一起迁移和沉淀^[1,9]。因此,研究区内 Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂ 含量分布特征与 Al₂O₃ 大多相似(图 3)。其中, Fe₂O₃ 和 TiO₂ 的分布与 Al₂O₃ 最为类似,其次是 MgO 和 Na₂O, 区别较大的是 K₂O。 K₂O 的含量高值区主要有 3 个:一是在宁远河入海口区域,二是在天涯海角区域,三是在土福港的外围。3 个高值区均靠近人口较密集的近岸或河港。调查发现,研究区近岸及地表径流经区域广布着富钾的花岗岩,可为该区提供一定的钾物质来源。另外,宁远河、三亚河两侧均为重要的农田地区,耕种时较多使用的钾肥,在雨水或径流的作用下,被带入沉积物中,也可能是导致该区域 K₂O 含量较高的主要原因。此外,亦不排除人类排污造成的影响。

TiO₂ 在表生作用中比较稳定,属于惰性元素,风化后难以形成可溶性化合物,是陆源碎屑组分的重要指示指标^[18-19],与 TiO₂ 有明显正相关的元素,如上述 Al₂O₃, Fe₂O₃ 等元素均可推测为来自于陆源的输入。研究区内 P₂O₅ 与 TiO₂ 及 Al₂O₃, Fe₂O₃ 等元素存在较好的正相关关系,代表了陆源细粒沉积物的特征。





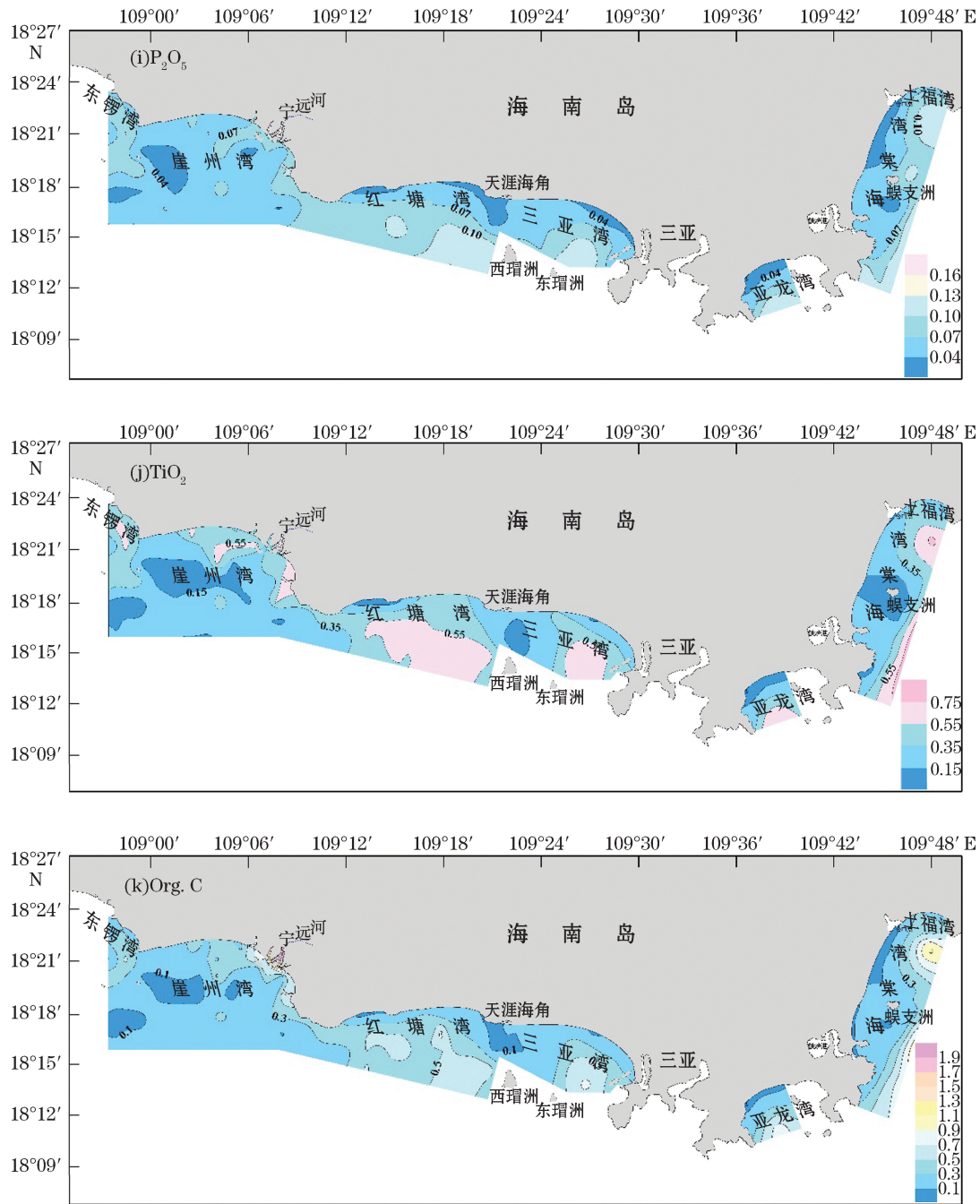


图3 研究区表层沉积物常量元素氧化物分布(%)

Fig.3 Distributions of major element oxides in the surface sediments of the study area (%)

CaO 在调查区的分布趋势如图 3 所示,高值区主要集中在调查区中间略偏东部三亚湾海域内西瑁洲岛和东瑁洲岛的珊瑚保护区周围,还有东部的海棠湾海域内蜈支洲岛周围,其他海域含量较低且变化梯度不大。CaO 与平均粒径(M_z)呈弱负相关或基本无相关关系,表明其不符合“元素的粒度控制率”。有研究表明,Ca 是海洋生源沉积物的特征元素,代表了生源钙质沉积^[20-21]。从 CaO 高值区的空间分布及样品含生物贝壳的情况来看,本区 CaO 主要为生物来源。因 CaO 绝大部分以碳酸盐形式构成了钙质生物碎屑的主体,所以区内 $CaCO_3$ 的含量在空间分布上与 CaO 相一致。

研究区内 MnO 与平均粒径(M_z)呈弱正相关的关系,其分布趋势总体呈现随离岸距离增大而增高的趋势(图 3)。浅海沉积物中 Mn 的含量除受近岸河流输入和沉积后期的迁移作用控制外,在含氧丰富的水体环境中 Mn 也会以自生氧化物的形式沉积下来^[22-23]。研究区内 MnO 的高值区集中在宁远河入海口的外围,可能指示该区水体富含氧,从而促成了成自生 Mn 的沉积。

有机碳(Org.C)的含量分布明显受沉积物类型和沉积环境的影响。其最高值区位于调查区西北部宁远河入海口区域,其余区域基本表现为随离岸距离增大而增高的趋势。在沉积物粒度较细的区域,含量较高,在砂质粉砂和粉砂质砂覆盖的沿岸浅水区域,其含量相对偏低(图 3),遵循“元素粒度控制规律”。宁远河入海口外围砂、粉砂质砂覆盖区,为有机碳低值区,恰好对应于 MnO 的高值区,这很可能表明该区曾经处于高能氧化环境,使有机质发生了分解或者漂移,因此造成了有机碳含量低的缘故。

2.3 常量元素组合特征

为了进一步了解、验证区域常量元素组合的控制因素,以及物质来源或沉积环境,利用 SPSS 软件对研究区表层沉积物的常量化学组分进行了 R 型因子分析(表 3)。在公因子载荷大于 1 的条件下,共得到 F_1 和 F_2 两个主因子。2 个主因子的方差贡献的累计贡献率为 78.18%,基本代表了沉积物中常量元素的主要信息。

表 3 研究区表层沉积物常量元素氧化物因子分析
Table 3 Factor analysis of the major element oxides in the surface sediments of the study area

公因子	Al ₂ O ₃	CaO	TFe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Org.C	方差贡献率/%	累计方差/%
F ₁	0.89	0.20	0.92	0.95	0.01	-0.77	0.84	0.88	0.37	0.92	0.52	0.84	55.08	55.08
F ₂	0.39	-0.98	0.27	-0.07	0.53	0.62	0.12	0.32	0.22	-0.07	-0.84	0.21	23.09	78.18

F_1 因子的方差贡献率为 55.08%,为影响元素组分变化的主导因素,其组合为 Al₂O₃, TFe₂O₃, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂, 有机碳(Org.C)和 SiO₂, 而 SiO₂ 为负载荷。Al 是黏土矿物的特征元素,除 SiO₂ 外, Al₂O₃ 与其他常量组分有很强的正相关关系,且这些常量组分与平均粒径(M_z)都存在正相关关系,因此可认为其代表了陆源细粒沉积物特征;SiO₂ 和其他常量组分与平均粒径(M_z)均为负相关关系,表现为粒度效应的第 2 种模式。综合以上可认为, F_1 因子组合代表了受粒控效应的陆源沉积物质组合。

F_2 因子的方差贡献率为 23.09%,为影响元素含量变化的次要因素,其组合为 CaO, 烧失量(LOI)和 K₂O。CaO 代表了生源钙质沉积,与烧失量(LOI)呈强正相关,二者为同源。而 K₂O,则可能受到人类农业活动、排污或其他生物活动的影响。综合以上可认为, F_2 因子组合代表了生源或受人类活动的沉积物组合。

根据 R 型因子分析和相关分析的结果判断, MnO 的分布受其他因素的影响,与粒度和生源的关系不大。

3 结 论

通过 331 个三亚近岸海域表层沉积物样品常量元素的测试数据,利用区域数据对比、相关性分析、因子分析等方法手段,对该区表层沉积物常量元素的组分含量及其相关参数、空间分布特征及其控制影响因素、区域物质来源等进行了研究分析。通过上述研究分析,得到以下几点认识:

1) 三亚近岸海域表层沉积物常量元素的主要组分为 SiO₂, Al₂O₃ 和 CaO,三者平均含量之和高达常量组分总量的 83.59%。除 SiO₂, CaO 外,其余常量元素组分含量均低于我国浅海表层沉积物的元素丰度均值。

2) 在空间分布上,三亚近海表层沉积物中的常量元素基本遵循“元素的粒度控制律”。Al₂O₃ 和与其密

切相关的元素显示陆源细粒沉积物特征, SiO_2 含量则表现出随沉积物粒度变细而降低的特征; K_2O , MnO 和有机碳(Org.C)在空间的分布除粒控效应的影响外, 可能还与人类活动、沉积的氧化还原环境等因素有关; CaO 的空间分布则主要受控于海洋生物作用。

3) 该区的物质来源应以附近的陆源碎屑物质为主, 另外还有海洋生物及自生作用等来源。

参考文献(References):

- [1] CUI Z A, GAN H Y, LIU W T, et al. Geochemical characteristics of major elements and provenance implication of surface sediments in the eastern Beibu Gulf[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 37(4): 522-531. 崔振昂, 甘华阳, 刘文涛, 等. 北部湾东部海域表层沉积物常量元素地球化学特征及其物源指示意义[J]. 物探化探计算技术, 2015, 37(4): 522-531.
- [2] QIN Y S, ZHAO Y Y, ZHAO S L, et al. Geology in the Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 1985. 秦蕴珊, 赵一阳, 赵松龄, 等. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [3] HAN Z Z, ZHANG J Q, ZOU H, et al. Characteristics and provenance of clay mineral assemblage of sediments from the Northern part of the Bohai Bay[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science), 2011, 41(11): 95-102. 韩宗珠, 张军强, 邹昊. 渤海湾北部底质沉积物中黏土矿物组成与物源研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2011, 41(11): 95-102.
- [4] WANG H Y, HU S Q, TANG L L, et al. Geochemical characteristics of surface sediments from the sea areas of Pearl river estuary and South Yellow Sea[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2014, 38(1): 51-57. 王惠艳, 胡树起, 汤丽玲, 等. 珠江口海域与南黄海海域表层沉积物地球化学特征[J]. 物探与化探, 2014, 38(1): 51-57.
- [5] CUI Y, XIN F Y, MA S S, et al. Pollution of heavy metals in sediments and its evaluation of potential ecological harm in Rushan Bay, Shandong Peninsula[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(1): 82-89. 崔毅, 辛福言, 马绍赛, 等. 乳山湾沉积物重金属污染及其生态危害评价[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 82-89.
- [6] ZHAO Y Y, YAN M C. Geochemistry of sediments of the China shelf sea[M]. Beijing: Science Press, 1994. 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [7] DOU Y G, LI J, LI Y. Rare earth element compositions and provenance implication of surface sediments in the eastern Beibu Gulf[J]. Geochimica, 2012, 41(2): 147-157. 窦衍光, 李军, 李炎. 北部湾东部海域表层沉积物稀土元素组成及物源指示意义[J]. 地球化学, 2012, 41(2): 147-157.
- [8] ZHAO Y Y, YAN M C, LI A C, et al. Geochemistry of muds along the coast of China and their significance[J]. Geology in China, 2002, 29(2): 181-185. 赵一阳, 鄢明才, 李安春, 等. 中国近海沿岸泥的地球化学特征及其指示意义[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 181-185.
- [9] CAI G Q, CHEN H J, ZHONG H X, et al. Geochemical characteristics of major elements in surface sediments of the Northwestern South China Sea[J]. Marine Geology Frontiers, 2013, 29(11): 14-21. 蔡观强, 陈泓君, 钟和贤, 等. 南海西北部表层沉积物常量元素地球化学特征[J]. 海洋地质前沿, 2013, 29(11): 14-21.
- [10] National Technical Committee on Land and Resource of Standardization Administration of China. Methods for chemical analysis of silicate rocks: Part 28 Determination of 16 major and minor elements content: GB/T 14506.28—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011. 全国国土资源标准化技术委员会. 硅酸盐岩石化学分析方法: 第28部分 16个主次成分量测定: GB/T 14506.28—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [11] State Oceanic Administration, People's Republic of China. Chemical analysis methods for marine sediment: GB/T 20260—2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006. 国家海洋局. 海底沉积物化学分析方法: GB/T 20260—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [12] Ministry of Geological and Mineral of the People's Republic of China. Procedures for chemical analysis of rocks and ores: Part 5 Procedures for chemical analysis of non-metallic mineral: DZG 93-05[S]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1994. 地质矿产部. 岩石和矿石分析规程: 第5部分 非金属矿分析规程: DZG 93-05[S]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994.
- [13] National Technical Committee on Ocean of Standardization Administration of China. The Specification for Marine Monitoring: Part 5 Sediment analysis: GB 17378.5—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. 全国海洋标准化技术委员会. 海洋监测规范: 第5部分 沉积物分析: GB 17378.5—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] XU D R, LIANG X Q, CHEN G H, et al. Research on the geochemistry and genesis of mesoproterozoic granites on Hainan Island[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 25(4): 420-433. 许德如, 梁新权, 陈广浩, 等. 海南岛中元古代花岗岩地球化学及成因研究[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(4): 420-433.
- [15] Geophysical and Geochemical Exploration Brigade of Jiangxi Bureau of Geology and Mineral. The specification of geochemical map of

- Hainan island(Stream sediment survey 1 : 200000)[R]. Nanchang: Jiangxi Bureau of Geology and Mineral, 1989. 江西省地质矿产局物化探大队. 海南岛地球化学图说明书(水系沉积物测量 1 : 200000)[R]. 南昌: 江西省地质矿产局, 1989.
- [16] ZHAO Y Y. Numbers of pattern of Geochemistry in sediments of China Sea Shelf[J]. Chinese Journal of Geology, 1983(4): 307-314. 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式[J]. 地质科学, 1983(4): 307-314.
- [17] LIU Y J, CAO L M. Element Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1984. 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [18] JIN B F, LIN Z H. Interpretation of element geochemical records of marine sedimentary environment and provenance[J]. Advances in Marine Science, 2003, 21(1): 99-106. 金秉福, 林振宏. 海洋沉积环境和物源的元素地球化学记录释读[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(1): 99-106.
- [19] CHEN H, LIU J, WANG H B. Geochemical characteristics and geological significance of major elements in surface sediments in Qiongdongnan area[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(6): 39-45. 陈弘, 刘坚, 王宏斌. 琼东南海域表层沉积物常量元素地球化学及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(6): 39-45.
- [20] LI G S, YANG R, ZHANG H R. Geochemistry and provenance of the PC5222 drill core from the mid-Pacific Ocean[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(2): 26-36. 李国胜, 杨锐, 张洪瑞. 中太平洋 PC5222 孔岩心地球化学特征及物源探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2): 26-36.
- [21] WANG W G, CHEN J. Distribution characters of major elemental composition contents and the influence factors in sediments of the late Pleistocene in central South China Sea[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2011, 30(4): 449-456. 汪卫国, 陈坚. 南海中部晚更新世以来沉积物常量元素组分含量分布特征及其影响因素[J]. 台湾海峡, 2011, 30(4): 449-456.
- [22] WEI G J, LIU Y, LI X H, et al. High resolution elemental records from the South China Sea and their paleo-productivity implications[J]. Paleoclimatology, 2003, 18(2): 32, 1-2.
- [23] WEI G J, LI X H, LIU Y, et al. Transfer patterns of Mn, Cd and Mo in sediments during early diagenesis: evidences from sediment cores at ODP Site 1148[J]. Geochimica, 2005, 34(2): 129-135. 韦刚健, 李献华, 刘颖, 等. 沉积物成岩蚀变过程中的 Mn, Cd 和 Mo 元素活动特征: 以 ODP1148 站钻孔沉积物记录为例[J]. 地球化学, 2005, 34(2): 129-135.

Geochemical Characteristics and Provenance Implication of Major Elements in the Surface Sediments of the Sanya Offshore Area

ZHANG Cong-wei, LI Liang, LONG Gen-yuan, ZHANG Kuang-hua, LI Jiang-tao

(Marine Geological Survey Institute of Hainan Province, Haikou 570206, China)

Abstract: In order to fully understand the status of the Sanya coastal zone, major chemical elements of 331 surface sediment samples taken from the Sanya offshore area are analyzed. The results show that SiO_2 , Al_2O_3 and CaO are dominant chemical components in the sediments of the study area. Except for SiO_2 and CaO , the contents of other major elements are all lower than their abundance values in the sediments of the shallow seas of China. In the spatial distribution, the major elements in the surface sediments of the Sanya offshore area follow basically the “grain size control law of elements”. Al_2O_3 and the major elemental compositions closely related to it show the characteristics of terrestrial fine-grained sediments, whereas SiO_2 shows an opposite character. Except for the “grain-size control effect”, the spatial distributions of K_2O , MnO and organic carbon are also influenced by other factors, of which the spatial distribution of CaO is mainly controlled by marine biological effect. The sources of the sediments in the study area are dominated by the terrestrial detritus from the nearby, followed by other sources such as marine biogenic and authigenic materials.

Key words: surface sediments; major elements; geochemistry; provenance; offshore area; Sanya

Received: August 22, 2017