

海南岛东方外海域表层沉积物常量元素地球化学特征

孙龙飞^{1,2,3*}, 张从伟^{2,3}, 瞿洪宝^{2,3}, 邓开章^{2,3#}, 刘艳锐⁴

¹中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东 青岛

²海南省海洋地质资源与环境重点实验室, 海南 海口

³海南省海洋地质调查院, 海南 海口

⁴中国科学院深海科学与工程研究所, 海南 三亚

收稿日期: 2025年7月3日; 录用日期: 2025年7月30日; 发布日期: 2025年8月8日

摘要

对海南岛东方外海域57个站位表层沉积物的常量元素分析结果表明, 研究区表层沉积物常量元素组分以SiO₂、Al₂O₃、CaO为主。在空间分布上, 研究区常量元素基本遵循“元素的粒度控制律”, 与Al₂O₃密切相关的常量元素, 代表了陆源细粒沉积物的特征, SiO₂则表现出相反的特征; 除受粒控效应控制外, CaO、MnO和碳酸钙空间分布受海洋生源沉积和自生沉积作用的控制, Na₂O和K₂O代表了区域地质背景对元素分布的控制。研究区物质主要来源于海南岛西南部河流的输入及沿岸的侵蚀。

关键词

表层沉积物, 常量元素, 地球化学, 控制因素

Geochemical Characteristics of Major Elements in Surface Sediments from the Offshore Area of Dongfang City, Hainan Island

Longfei Sun^{1,2,3*}, Congwei Zhang^{2,3}, Hongbao Qu^{2,3}, Kaizhang Deng^{2,3#}, Yanrui Liu⁴

¹College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong

²Hainan Key Laboratory of Marine Geological Resources and Environment, Haikou Hainan

³Marine Geological Survey of Hainan Province, Haikou Hainan

⁴Institute of Deep-Sea Science and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Sanya Hainan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 孙龙飞, 张从伟, 瞿洪宝, 邓开章, 刘艳锐. 海南岛东方外海域表层沉积物常量元素地球化学特征[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(8): 1147-1157. DOI: 10.12677/ag.2025.158107

Abstract

The analysis of major elements in surface sediments from 57 sampling stations in the offshore area of Dongfang, Hainan Island, indicates that the major components of surface sediments in the study area are dominated by SiO_2 , Al_2O_3 , and CaO . In terms of spatial distribution, the major elements in the study area generally follow the “grain-size control law of elements.” The major elements closely associated with Al_2O_3 represent the characteristics of terrigenous fine-grained sediments, while SiO_2 exhibits the opposite trend. In addition to being controlled by the grain-size effect, the spatial distributions of CaO , MnO , and calcium carbonate are influenced by marine biogenic sedimentation and authigenic deposition. Na_2O and K_2O reflect the control of regional geological background on element distribution. The material in the study area mainly originates from the input of rivers in southwest Hainan Island and coastal erosion.

Keywords

Surface Sediments, Major Elements, Geochemical, Control Factors

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

海洋沉积地球化学研究是海洋地质学研究的重要手段，地球化学元素特征和元素组合与沉积环境和物质来源有着密切的关系，加之由源到汇过程中经历的复杂多样的物理、化学、生物作用催生了丰富的地质信息，使其对海陆源汇过程及沉积环境研究具有重要意义[1]-[3]，东方市八所港是海南岛西部最大深水良港，是重要开放口岸，具有独特的资源优势 and 区位优势，该海域在海底表层沉积物地球化学方面的研究较为薄弱，采样密度偏低，本文通过对该海域 57 站位的海底表层地质取样进行地球化学分析，研究了区内表层沉积物的常量元素地球化学含量、分布特征及其控制因素，探讨了研究区表层沉积物物源，丰富了地化数据，还可为深入了解该海域的沉积作用和沉积环境提供基础资料。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集

研究区范围位于海南岛西南部东方市外海域(见图 1)，水深介于 20~50 m 之间，2022 年 5 月，海南省地质局在该海域开展了表层地质取样等工作，按照 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 采样间距，采用蚌式取样器获取了 57 站位的表层样，本次分析样品就来自于该 57 站位。

2.2. 样品加工与分析

对 57 件表层沉积物样品的 Na_2O 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 P_2O_5 和 MnO 共 10 种常量组分，以及酌减量、碳酸钙、有机质、硫化物、石油类、 Eh 、 pH 和 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 共 8 个项目进行了测试分析。具体步骤如下：

(a) 取 100 克样品过 200 目筛后于 108℃烘箱中烘 1 小时，置于干燥器中。试样用塑料环压制成样片，置于样杯中于 X-荧光光谱仪上进行测定。加入烧失量结果，对测量数据进行加总处理，计算各分析项目含量(SiO_2 、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 K_2O 、 Na_2O)。

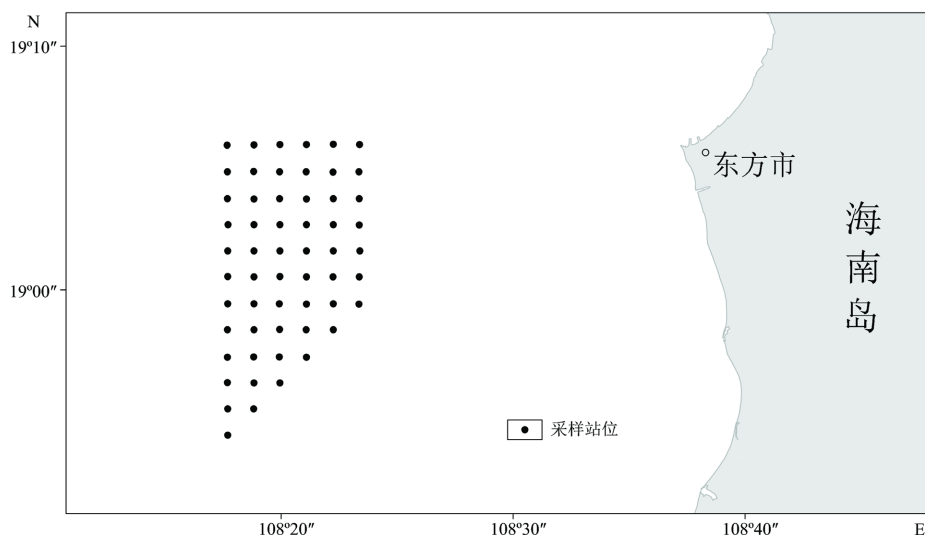


Figure 1. Location of the research area and surface sample station map

图 1. 研究区位置和表层样站位图

(b) 称取 1.0000 g 样品放入已灼烧至恒重的瓷方舟中。将瓷方舟放于马弗炉中，使样品在炉内先低温加热，再逐渐升温至 950℃，并保温 40 min。取出稍冷约 2 分钟，将瓷方舟放于干燥器中冷却至室温，称重，计算烧失量。

本次样品的分析，均插入标准样品和加标回收，进行准确度控制；按样品总数的 20%进行重复分析测定，以控制精密度。样品分析质量控制结果表明，插入的标准样品、加标回收测定合格率均为 100%，化学成分分析重复分析相对偏差合格率为 99.7%，符合要求。

3. 结果与分析

3.1. 常量元素地球化学特征

对 57 件表层沉积物样品的 Na_2O 、 MgO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 K_2O 、 CaO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 P_2O_5 和 MnO 共 10 个常量元素，以及烧失量、碳酸钙进行了测试分析。根据测试结果对以上各项的含量变化、平均值、变异系数等分别进行了统计分析，统计结果见表 1。

由表 1 可知，常量元素中，含量最高的是 SiO_2 ，平均值高达 68.62%，远远高于其它常量元素，其变异系数很小，仅为 0.13，表明 SiO_2 在研究区的分布较为均匀； Al_2O_3 的含量排第二位，平均值为 8.79%，变异系数相对较大，为 0.5，表明其在研究区内含量分布不均； SiO_2 和 Al_2O_3 的含量之和高于 75%，排第三位的是 CaO ，其平均值为 5.73%，变异系数较大，为 0.41，表明其含量分布在研究区内不太均匀；排第四位的是 Fe_2O_3 ，其平均值为 2.62%，其变异系数大，为 0.52，表明其含量分布在研究区内波动明显；排第五位的是 K_2O ，其平均值为 2.53%，其变异系数小，为 0.15，表明其含量分布在研究区内较为均匀；其余常量元素的平均含量均在 2% 以下。

把研究区元素含量与中国浅海、海南岛水系沉积物、海南岛表层土壤、海南岛深层土壤、海南岛花岗岩、红河、珠江、湄公河数据进行对比(见表 2)，发现研究区 SiO_2 与海南岛表层土壤、海南岛花岗岩

Table 1. Statistical data of major element geochemistry indicators of bottom surface sediments in the study area
表 1. 研究区海底表层沉积物常量元素地球化学指标统计数据一览表

元素	样品数量(件)	最小值(%)	最大值(%)	平均值(%)	标准偏差	变异系数
SiO ₂	57	49.32	86.10	68.62	9.04	0.13
Al ₂ O ₃	57	2.88	15.52	8.79	4.43	0.50
Fe ₂ O ₃	57	0.98	5.18	2.62	1.35	0.52
MgO	57	0.33	2.59	1.48	0.77	0.52
CaO	57	2.41	18.39	5.73	2.37	0.41
Na ₂ O	57	0.63	2.13	1.43	0.34	0.24
K ₂ O	57	1.43	3.49	2.53	0.37	0.15
TiO ₂	57	0.05	0.83	0.39	0.28	0.72
P ₂ O ₅	57	0.04	0.12	0.08	0.03	0.36
MnO	57	0.08	0.99	0.16	0.14	0.85
烧失量	57	2.61	17.61	6.97	2.24	0.32
碳酸钙	57	3.54	26.96	8.85	3.57	0.40

Table 2. Comparison of constant component content of bottom surface sediments in the study area with constant component content in other regions

表 2. 研究区海底表层沉积物常量组分含量与其他地区常量组分含量对比表

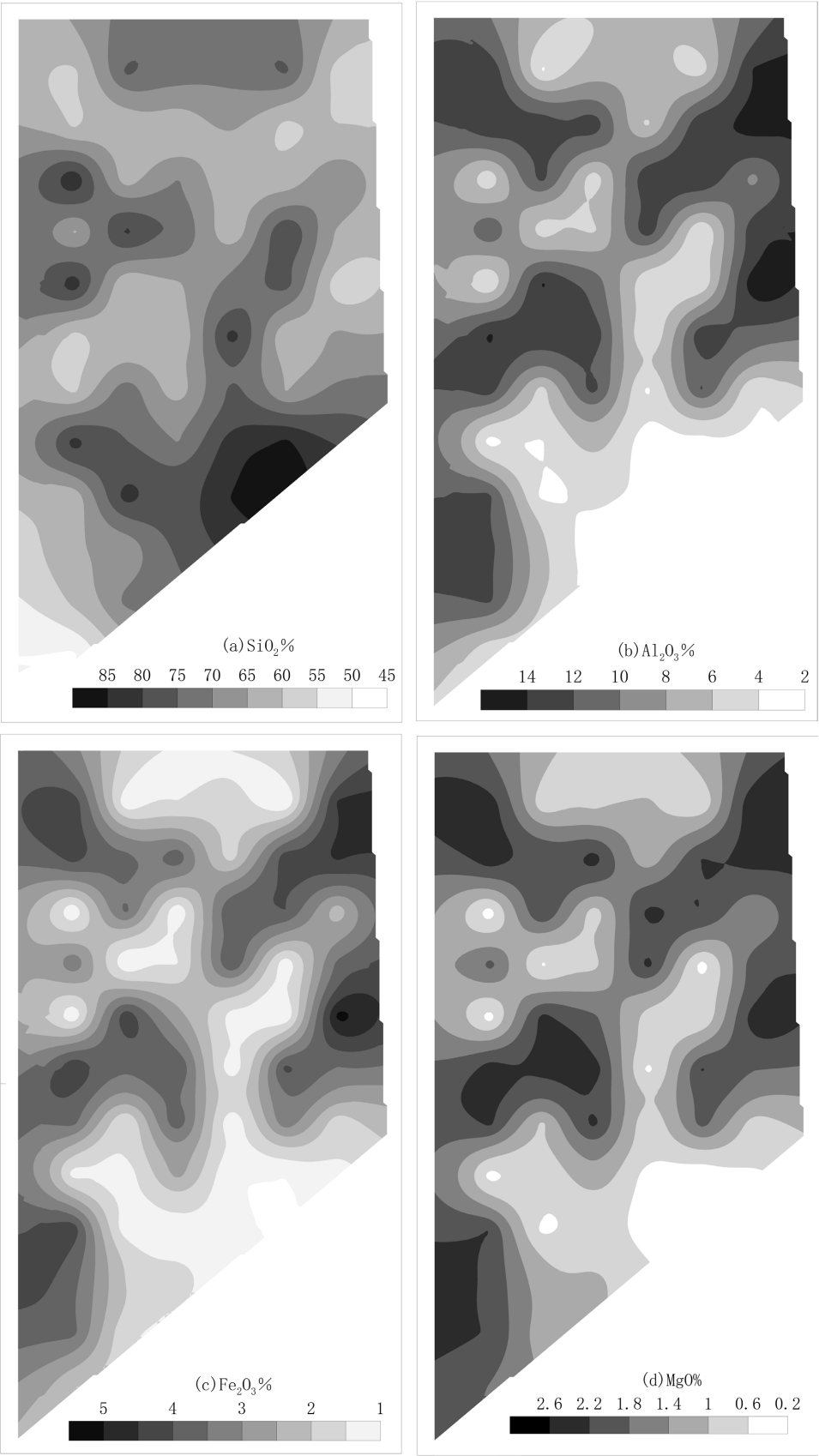
元素	最小值 (%)	最大值 (%)	平均值 (%)	中国浅海 [1]	海南岛水系沉积物 [6]	海南岛表层土壤[2]	海南岛深层土壤[2]	海南岛花岗岩 [7]	红河[8]	湄公河 [4]
SiO ₂	49.32	86.10	68.62	62.51	57.8	69	63.1	70.66	62.8	65.2
Al ₂ O ₃	2.88	15.52	8.79	11.09	10.1	12.92	17.35	13.62	15.7	15.78
Fe ₂ O ₃	0.98	5.18	2.62	4.43	—	2.66	3.55	3.37	7.38	7.38
MgO	0.33	2.59	1.48	1.82	0.52	0.32	0.42	0.71	1.71	0.04
CaO	2.41	18.39	5.73	5.08	0.67	0.19	0.2	1.95	0.79	0.38
Na ₂ O	0.63	2.13	1.43	2.00	0.67	0.34	0.36	2.79	0.84	0.72
K ₂ O	1.43	3.49	2.53	2.32	1.87	2.42	2.52	3.56	2.71	2.30
TiO ₂	0.05	0.83	0.39	0.58	—	—	—	0.28	0.97	0.87
P ₂ O ₅	0.04	0.12	0.08	—	—	—	—	0.08	0.18	0.16
MnO	0.08	0.99	0.16	0.07	—	—	—	0.08	1.71	0.04

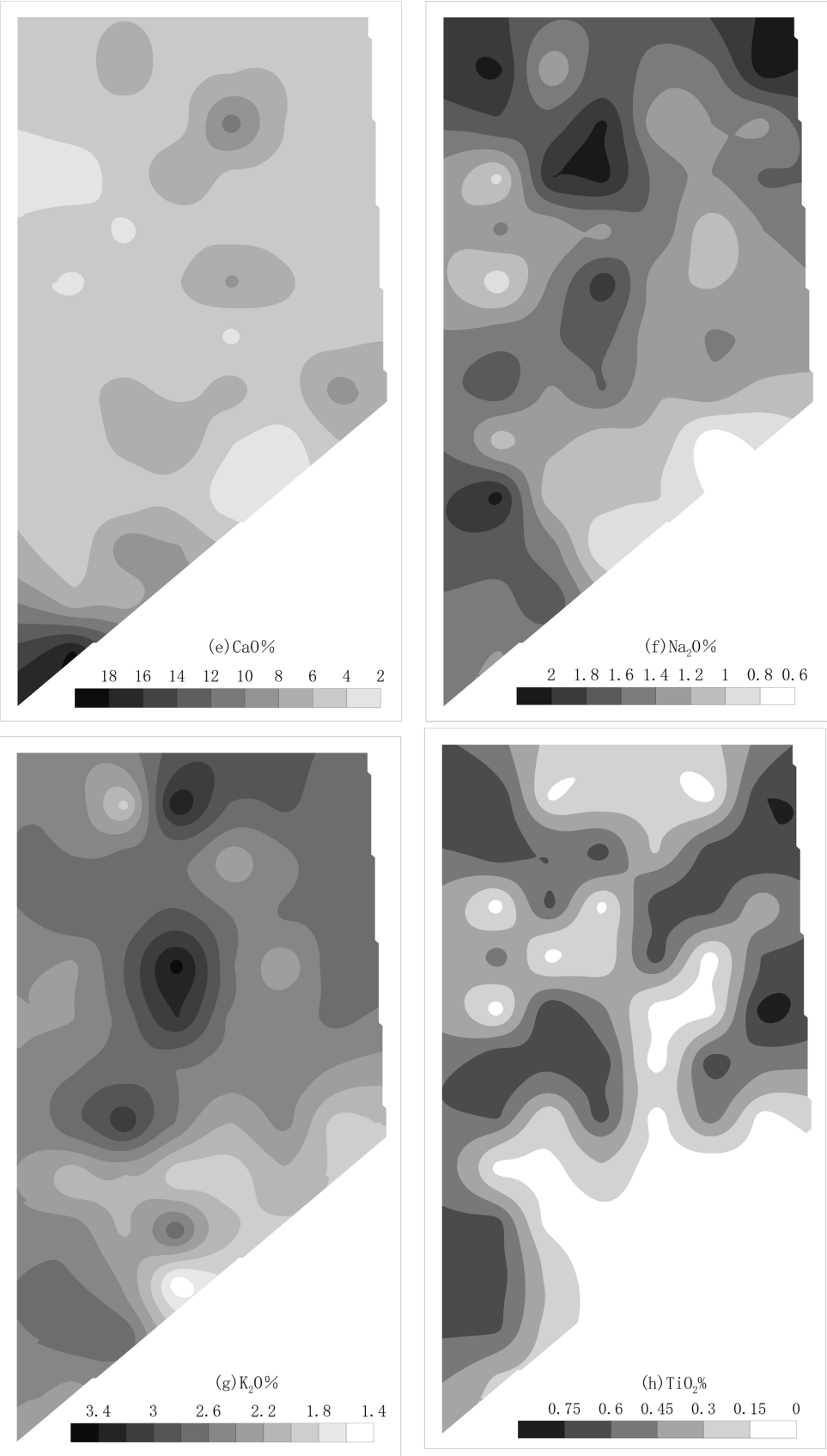
注：表中 SiO₂ 至 MnO 等 10 项测试项目的含量单位为%。

含量接近, Fe₂O₃ 与海南岛表层土壤含量接近, K₂O 与海南岛表层土壤和海南岛深层土壤含量接近, TiO₂、P₂O₅ 与海南岛花岗岩含量接近, 海南岛西南部沿岸有数条河流入海, 这些河流流经区域大部分为花岗岩发育地区, 陆源碎屑物质随河流输入到近海沿岸地区, 这些河流除感恩河外, 北黎河、罗带河、通天河及南港河均为山溪性河流, 流域面积相对较小, 河流径流量年际变化大, 输水、输沙量有限, 这些河流输入物质与沿岸侵蚀物质在近海经潮流的搬运沉积改造, 形成了研究区元素分布格局, 因此, 推测研究区内物源应以河流输入和沿岸侵蚀为主, 这与很多学者的研究成果也相符合[4] [5]。

3.2. 常量元素分布特征

为了更直观地了解研究区表层沉积物常量元素含量的平面分布情况, 根据测试数据结果, 绘制了空间分布等值线图(见图 2)。





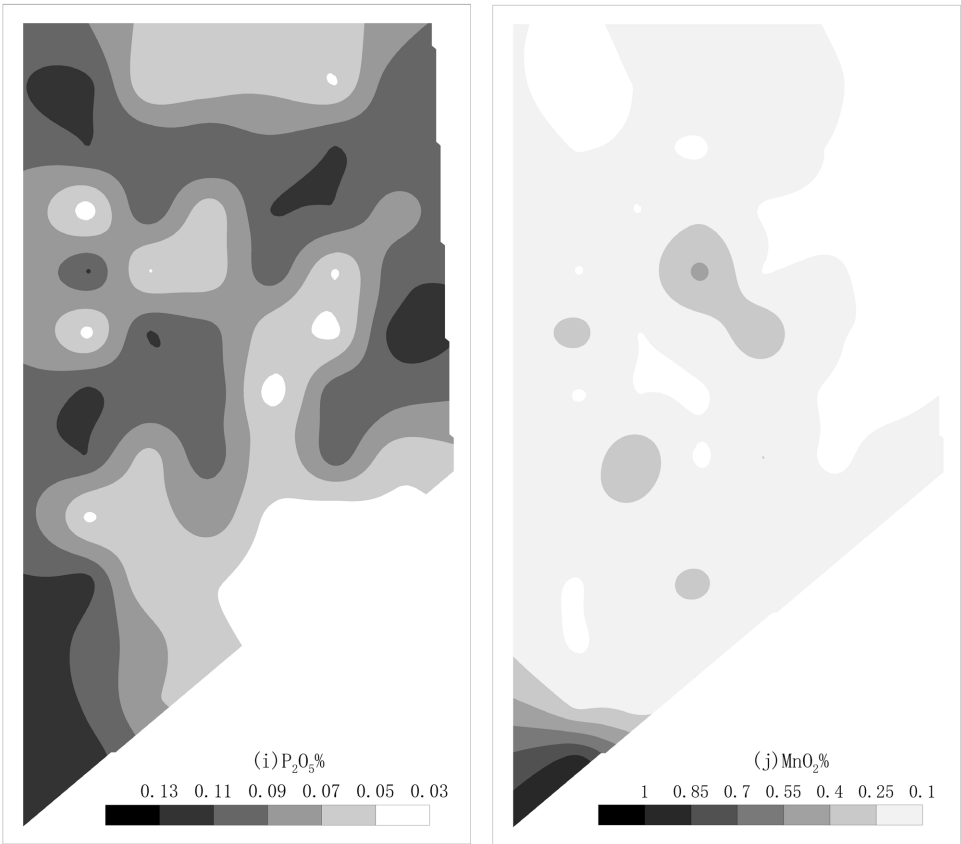


Figure 2. Spatial distribution contour map of constant element content in surface sediments of the study area
图 2. 研究区表层沉积物常量元素含量空间分布等值线图

从等值线图上可以看出, SiO_2 分布比较均匀, 高值区主要分布于沙脊上粗粒沉积区, 低值区主要分布在沙脊间的沟槽中, 基本上与砂粒级分布区相一致。

Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 P_2O_5 的分布具有相同的变化趋势, 高值区主要分布沙脊间沟槽的细粒沉积物区, 与 SiO_2 分布, 刚好相反, 与粉砂粒级和粘土粒级分布区一致。 Al_2O_3 是大陆化学风化产物富铝硅酸盐的主要成分, 在地壳中较稳定。风化过程中淋漓出来的 Fe^{3+} 、 Ti^{4+} 等离子非常容易被吸附到细粒的富铝黏土矿物中, 一起迁移和沉淀。这些元素含量随粒度的变化呈现出明显的规律性, 反映出它们在沉积物形成过程中具有相近的迁移、富集规律。

K_2O 和 Na_2O 分布特征大致相似, 但 K_2O 的高值区主要分布在沙脊上粗粒沉积区, 而 Na_2O 高值区既在粗粒沉积区有分布, 在细粒沉积区也有分布。

CaO 和 MnO_2 的分布特征一致, 与以上元素明显不同, 其高值区仅一处, 小面积分布于研究区西南角, 其余区域为相对低值区。

4. 讨论

4.1. 表层沉积物常量元素相关性分析

为进一步了解研究区元素分布的特征, 采用 SPSS 软件对所分析的常量元素及表层沉积物的平均粒径 M_z 进行了相关性分析(见表 3), 可以看出, SiO_2 除与 K_2O 有明显正相关关系外, 与 TiO_2 、 P_2O_5 、平均粒径 M_z 有着明显或稍弱的负相关关系, 与其它测试元素或项目基本为不相关或极弱的相关关系。 SiO_2

与平均粒径 Mz 为明显的负相关关系, 这说明 SiO_2 主要赋存在粗粒沉积物中。同时 SiO_2 与 K_2O 具有明显的正相关关系, 而 K_2O 又与 Na_2O 为明显的正相关关系。前文已提到, 海南岛西南部海域海底物质主要来源于海南岛南部河流的输入及沿岸的侵蚀, 海南岛南部河流流经区域主要为二长花岗岩区, 岩石中除石英外, 还富含斜长石和钾长石矿物, 因此, 研究区 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 的相关关系, 应该是沉积物中含有较多花岗岩风化产生且因搬运距离较短而残存的斜长石和钾长石矿物所致。

Table 3. Correlation coefficients between constant elements in surface sediments
表 3. 表层沉积物常量元素间相关系数表

元素	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼减量	碳酸钙	MZ
Na ₂ O	1.00												
MgO	0.68	1.00											
Al ₂ O ₃	0.67	0.96	1.00										
SiO ₂	0.15	-0.31	-0.21	1.00									
K ₂ O	0.73	0.37	0.47	0.53	1.00								
CaO	0.31	0.17	0.03	0.18	0.25	1.00							
Fe ₂ O ₃	0.61	0.97	0.97	-0.24	0.36	0.10	1.00						
TiO ₂	0.51	0.93	0.91	-0.50	0.19	-0.01	0.93	1.00					
P ₂ O ₅	0.13	0.50	0.40	-0.67	-0.19	-0.01	0.44	0.71	1.00				
MnO	-0.13	-0.15	-0.29	-0.14	-0.06	0.57	-0.21	-0.08	0.35	1.00			
灼减量	0.58	0.60	0.48	0.04	0.43	0.86	0.55	0.41	0.19	0.37	1.00		
碳酸钙	0.29	0.12	-0.01	0.21	0.27	0.99	0.06	-0.06	-0.05	0.57	0.85	1.00	
MZ	0.60	0.88	0.90	-0.79	0.36	-0.20	0.90	0.90	0.82	-0.32	0.39	-0.23	1.00

Al_2O_3 与 SiO_2 、 CaO 、 MnO 和碳酸钙基本无相关性, 与 K_2O 、 P_2O_5 具有稍弱的正相关性, 与其它测试元素或项目, 包括平均粒径 Mz , 基本都存在着明显或极强的正相关关系。 Al 作为黏土矿物的特征元素, 这些元素与 Al_2O_3 和细粒沉积物的显著正相关关系, 反映了它们都具有亲黏土性[9] [10]。这些元素之间的显著的相关性, 揭示它们可能具有相同的物源。

研究区内 CaO 与 $CaCO_3$ 、灼减量、 MnO 都存在良好的正相关指示, 尤其是与 $CaCO_3$ 相关系数达到 0.99, 而与 Al_2O_3 等其它大部分元素及平均粒径 Mz 均没有明显的相关关系, 推测本区 CaO 有可能是以生源钙质沉积为主, 至于 MnO , 推测除陆源碎屑来源外, 还可能与其在富氧区域的自生沉积有关。

本区灼减量与 CaO 和 $CaCO_3$ 均存在显著的正相关关系(相关系数分别为 0.86 和 0.85), 说明其主要与碳酸钙(生物贝壳)有关。但我们也注意到, 本区灼减量与 Na_2O 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 TiO_2 等 6 种元素均为明显或稍弱的正相关关系, 而这 6 种元素中均与平均粒径 Mz 为显著正相关关系, 有机质和硫化物之间也为显著的正相关关系。这说明, 本区沉积物的灼减量除与碳酸钙(生物贝壳)有关外, 应该还与细粒沉积物质有关, 比如黏土矿物的结晶水等。

4.2. 常量元素组合特征及控制因素

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, 采用 SPSS 软件对所分析的常量元素进行 R 型因子分析, 选用最大方差旋转法, 数据通过 KMO ($KMO = 0.445$) 和 Bartlett 球形度检验($df = 78$, $sig. < 0.001$), 共提取出初始特征值大于 1 的公因子 3 个, 累计方差贡献率为 92.62% (见

表 4), 效果比较明显。

Table 4. Analysis of major elemental factors in surface sediments of the eastern outer sea area of Hainan island
表 4. 海南岛东方外海域表层沉积物主量元素因子分析表

元素	F1	F2	F3
Na ₂ O	0.61	0.03	0.58
MgO	0.99	-0.05	0.12
Al ₂ O ₃	0.94	-0.27	0.19
SiO ₂	-0.94	-0.29	-0.15
K ₂ O	0.15	-0.09	0.96
CaO	0.06	0.97	-0.15
Fe ₂ O ₃	0.97	-0.20	0.03
TiO ₂	0.97	-0.20	0.11
P ₂ O ₅	0.98	0.11	0.08
MnO	-0.31	0.81	0.19
碳酸钙	-0.01	0.97	-0.11
平粒径 Mz	0.87	-0.20	0.23
方差贡献量(%)	56.74	23.70	12.17
累计贡献(%)	56.74	80.44	92.62

F1 因子的方差贡献率为 56.74%，远高于其他因子，是控制研究区常量元素分布的最主要因素。该因子的组合的元素包括 Na₂O、MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、P₂O₅ 及中值粒径 Mz，均为强正载荷(0.61~0.99)，组合中的常量元素与 Al₂O₃ 及 MZ 呈强或极强的正相关关系。Al₂O₃ 是大陆化学风化产物富铝硅酸盐的主要成分，在地壳中较稳定，风化过程中淋漓出来的 Fe³⁺、K⁺、Na⁺、Ti⁴⁺ 非常容易被吸附到细粒的富铝黏土矿物中，一起迁移和沉淀[11]。Fe₂O₃、Na₂O、MgO、TiO₂ 等常量元素及平均粒径 Mz，与 Al₂O₃ 都存在良好的正相关指示，研究区这些元素自然来源占主要贡献，以 Al₂O₃ 密切相关的这一组元素应该代表了陆源细粒沉积物的特征。而在 F1 因子中，SiO₂ 表现为较强的负载荷(-0.94)，SiO₂ 在浅海沉积中，一般代表以石英和硅酸盐矿物为主的粗粒陆源碎屑沉积[1]，综合以上分析，可认为 F1 因子代表了粒控效应对研究区主量元素分布的控制[12]。

F2 因子的方差贡献率为 23.70%，该因子的组合的元素包括 CaO、MnO 和碳酸钙，均为强正载荷(0.81~0.97)，自然界含钙矿物甚多，重要的如斜长石、辉石、磷灰石、方解石等[1]，钙也是许多海洋生物壳体的重要组成物质(如软体动物-贝壳)，即 CaO 绝大部分以 CaCO₃ 的形式构成钙质生物碎屑的主体。至于 MnO，推测除陆源碎屑来源外，还可能与其在富氧区域的自生沉积有关，结合其与 CaO 和 CaCO₃ 的正相关关系，有可能是其自生沉积环境与珊瑚或贝类的生长环境为富氧环境的一种区域重合关系的反映。因此，F2 因子应该代表了海洋生源沉积和自生沉积作用对元素分布的控制。

F3 因子的方差贡献率为 12.17%，该因子的组合的元素主要为 Na₂O 和 K₂O，均为强正载荷(0.58、0.96)，K₂O、Na₂O 主要赋存在钾长石、斜长石中，结合研究区 SiO₂、K₂O、Na₂O 的相关关系，应该是海南岛西南部花岗岩风化并通过河流输入所致。因此，F3 因子可能代表了以花岗岩为主的区域地质背景的影响。

综上所述,研究区的主量元素分布主要受到粒度控制,我国近海沉积物中元素的含量分布明显受粒度控制,不同粒级沉积物中,元素在其中的含量各异,这称之为“元素粒度控制规律”,由赵一阳率先提出[1],并被很多学者证实[13][14],有三种模式,即①大多数元素的含量随粒度变细(砂→粉砂→泥)而升高;②少数元素的含量随粒度变细而降低;③个别元素的含量随粒度变细先升后降而在中等粒度粉砂中达到最大值[15]。结合相关性分析和因子分析,研究区 Al_2O_3 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 、 Na_2O 含量分布遵循“元素的粒度控制律”的第一种模式, SiO_2 含量分布符合“元素的粒度控制律”的第二种模式,其次研究区的主量元素分布受到海洋生源沉积和自生沉积作用影响,第三控制因素为陆源物质输入。

5. 结论

(1) 研究区主量元素平均含量从高到低分别为 SiO_2 (68.62%)、 Al_2O_3 (8.79%)、 CaO (5.73%)、 Fe_2O_3 (2.62%)、 K_2O (2.53%)、 MgO (1.48%)、 Na_2O (1.43%)、 TiO_2 (0.39%)、 MnO (0.16%)、 P_2O_5 (0.08%)。其中, Al_2O_3 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 的含量分布具有较高的一致性,与 SiO_2 含量分布相反。

(2) 元素的相关性和因子分析结果表明,研究区大部分主量元素(SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 MgO 、 TiO_2)受到沉积物粒度控制,遵循“元素粒度控制规律”; CaO 和 MnO_2 代表了海洋生源沉积和自生沉积作用对元素分布的控制; Na_2O 和 K_2O 代表了区域地质背景对元素分布的控制。

(3) 通过与中国浅海、海南岛水系沉积物、海南岛表层土壤、海南岛深层土壤、海南岛花岗岩、红河、珠江、湄公河数据进行对比,表明海南岛东方外海域的物质主要来源于海南岛南部河流的输入及沿岸的侵蚀。

基金项目

海南省海洋地质资源与环境重点实验室开放课题(22-HNHYDZZYHJKF026)。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 袁星芳, 李恒猛, 常宝坤, 等. 威海湾表层沉积物地球化学特征及影响因素分析[J]. 山东国土资源, 2024, 40(10): 26-34.
- [3] 黄艳娜, 王锦荣, 陈钦, 等. 福建南日水道及其邻近海域表层沉积物地球化学特征及物源指示[J]. 地质与勘探, 2024, 60(4): 762-775.
- [4] 崔振昂, 甘华阳, 刘文涛, 张亮. 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.
- [5] 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.
- [6] 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 1:200,000) [R]. 江西省地质矿产局, 1989: 44-49.
- [7] 许德如, 梁新权, 陈广浩, 黄智龙, 胡惠东. 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(4): 420-433.
- [8] 童胜琪. 珠江、红河及湄公河流域表层沉积物元素地球化学研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2007.
- [9] 金秉福, 林振宏, 季福武. 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(1): 99-106.
- [10] 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(6): 39-45.
- [11] 蔡观强, 陈泓君, 钟和贤, 崔兆国, 李顺. 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.
- [12] 张从伟, 瞿洪宝, 熊元凯, 韩孝辉, 龙根元, 全长亮. 三亚近岸海域表层沉积物微量元素地球化学特征[J]. 海洋学研究, 2021, 39(3): 72-83.

-
- [13] 杜德文, 石学法, 孟宪伟, 程振波, 陈志华, 熊应乾. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. 海洋科学进展, 2003(01): 78-82.
 - [14] 于世磊, 朱龙海, 胡日军, 刘莹, 林超然. 北黄海南部近岸海域表层沉积物稀土元素分布特征及影响因素[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(12): 89-99.
 - [15] 赵一阳, 鄢明才, 李安春, 高抒, 贾建军. 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.