

琼州海峡西口表层沉积物地球化学特征及其对沉积环境的指示

李洁玉

中国海洋大学 海南 海口 570100

摘要：琼州海峡西口是南海北部湾和琼州海峡的关键通道。本文通过对琼州海峡西口的151个表层沉积物样品进行常量地球化学元素分析、粒度特征分析可知，西口 SiO_2 、 K_2O 、 TiO_2 的平均值指示研究区物源主要来自海南岛、雷琼半岛花岗岩的风化产物，玄武岩风化产物是重要的次生物源。琼州海峡西口 MnO 、 P_2O_5 、 Eh 等含量都反映了琼州海峡西口的氧化环境。琼州海峡西口表层沉积物具有细粒为主、分选差、负偏态、宽峰态的特征，空间异质性极强，指示西口物源上多样性显著，水动力强劲。

关键词：琼州海峡西口；常量地球化学元素分析；粒度特征分析

引言：琼州海峡西口作为南海北部湾和琼州海峡的关键通道，其表层沉积物地球化学特征对揭示沉积物源区属性、物质输运路径、沉积环境演变及人类活动影响具有重要意义。Nesbitt and young (1982) 团队通过化学蚀变指数 (CIA) 量化了边缘海沉积物的源区风化历史^[1]。赵青芳等 (2009) 通过对神狐海域109个站位表层沉积物样品的常量组分化学分析，得出神狐海域属于半深海沉积环境^[2]。杨楚鹏等 (2023) 分析了南海的常量元素分布特征、微量元素分布特征、稀土元素分布特征等，研究了南海的沉积物物源、沉积环境和沉积过程^[3]。

研究区概况：

琼州海峡西口北部是雷州半岛西南岸线，南部是海南岛西北岸线，西侧连着北部湾。琼州海峡位于华南地块与印支地块的结合部位，受中生代以来多期构造运动影响，形成了一系列北东向展布的褶皱和断裂构造，其走向大致可分为：东西向、北东向和北西向共三组断裂构造。

1 材料与方法

样品采集范围为琼州海峡西口的部分海域，面积约432km²。调查期间，除海底电缆等特别区域外，总体按照1km×2km的网格密度，利用蚌式取样器取得了151个表层底质样品，采样深度0~20cm，具体采样站位如图1所示。

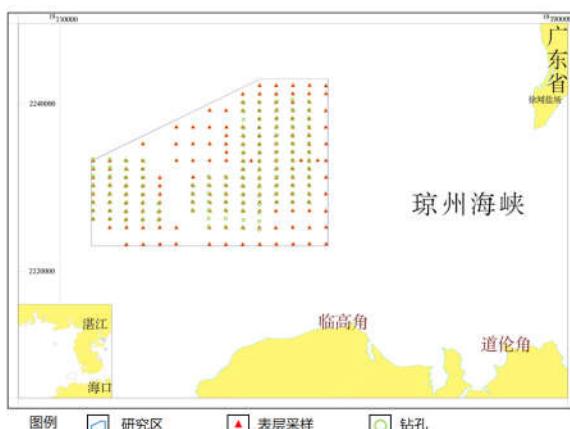


图1 研究区位置及表层取样、钻孔站位

样品的采集、保存和运输过程均严格按照《海洋监测规范》中的规定和要求进行。采用X射线荧光法 (XRF)、电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-AES)、X射线衍射法 (XRD) 等，对沉积物样品中 SiO_2 、 Al_2O_3 、碳酸钙等元素或项目进行了测试分析；沉积粒度

利用Mastersizer 2000 激光粒度仪进行测量。以上测试分析均在海南省地质测试研究中心进行，化学分析测试过程中以国家一级土壤标准物质 (GBW系列) 标准物质进行质量控制，结果表明相对标准偏差 (RSD) 均小于10%，符合要求。

2 结果

2.1 常量元素含量特征

对151个表层沉积物样品的 Na_2O 等10个常量元素，以

测试项目	最小值	最大值	平均值	变异系数	南海浅海 ^[4]	海南岛花岗岩 ^[5]	海南岛表层土壤 ^[6]	海南岛北部玄武岩土壤(细土)	琼州海峡东口	海南岛深层土壤 ^[6]
SiO_2	56.64	88.43	73.9	0.1	62.64	70.66	69.00	32.87	88.74	63.10
Al_2O_3	2.06	16.14	9.13	0.37	9.9	13.62	12.92	25.91	2.00	17.35
Fe_2O_3	2.38	7.16	3.89	0.21	5.52	3.37	2.66	22.95	1.30	3.55
MgO	0.58	2.28	1.46	0.23	1.77	0.71	0.32	1.16	0.42	0.42
CaO	0.53	12.04	2.79	0.53	6.06	1.95	0.19	0.53	2.26	0.20
Na_2O	0.65	1.93	1.28	0.17	1.62	2.79	0.34	0.53	0.72	0.36
K_2O	0.76	2.59	1.87	0.21	2.01	3.56	2.42	0.34	1.12	2.52
TiO_2	0.1	0.85	0.47	0.37	0.57	0.28	—	4.74	0.08	—
P_2O_5	0.04	0.29	0.08	0.32	0.1	0.08	—	0.25	0.04	—
MnO	0.06	0.29	0.09	0.43	0.06	0.08	—	0.28	0.10	—
灼减量	1.68	9.6	4.6	0.34	—	—	—	—	—	—
碳酸钙	0.61	19.83	4.48	0.58	—	—	—	—	—	—
有机质	0.04	1.61	0.46	0.62	—	—	—	—	—	—
硫化物	2	23	9.81	0.44	—	—	—	—	—	—
Eh	276.7	422	370.45	0.09	—	—	—	—	—	—
pH	7.49	9.11	8.71	0.02	—	—	—	—	—	—
$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	0.17	2.76	0.63	0.87	—	—	—	—	—	—

注：表中 SiO_2 至有机质等13项测试项目的含量单位为%，硫化物的含量单位为mg/kg，Eh单位mV，PH、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 无量纲，西口各测试项目样品个数151。

由表1可知，表层沉积物常量元素中，含量最高的是 SiO_2 ，最大值高达88.43%，平均值高达73.90%，远远高于其它常量元素，其变异系数很小，仅为0.10，表明 SiO_2 在研究区的分布较为均匀； Al_2O_3 的含量其次，平均值为9.13%，变异系数相对较大，为0.37，表明其在研究区内含量分布不太均匀； Fe_2O_3 含量次之，其平均值为3.89%，变异系数较小，为0.21，表明其含量分布在研究区内较为均匀； CaO 其平均值为2.79%，其变异系数大，为0.53，表明其含量分布在研究区内波动明显；其余常量元素的平均含量均在2%以下。

2.2 沉积物粒度特征

沉积物粒度参数与水动力条件关系密切，可通过粒度参数特征分析沉积物环境的水动力情况。本文采用距值法计算沉积物粒度参数，得到研究区的粒度参数特征，详见表2。

表2 研究区表层沉积物粒度参数统计表

粒度参数	平均粒径(φ)	分选	偏态	峰态	中值粒径(φ)
最大值	7.20	4.00	0.59	2.44	7.80
最小值	0.87	0.66	-0.67	0.50	1.35
平均值	4.71	2.29	-0.23	0.81	5.22

及酌减量、碳酸钙等8个项目，以及各项的含量变化、平均值、变异系数等分别进行了统计分析，见下表。

由表2可知，研究区的平均粒径值介于0.87 φ -7.20 φ 之间，平均值为4.71 φ ，整体上属于细砂至粗粉砂的范畴。分选值介于0.66-4.00之间，平均值为2.29，分选差。偏态值介于-0.67-0.59之间，平均值为-0.23，大部分区域偏度小于0，属于负偏的范畴。峰态值介于0.50-2.44之间，平均值为0.81，研究区峰度总体表现为中等-平坦。中值粒径值介于1.35 φ -7.80 φ 之间，平均值为5.22，数值跨度较大。

3 讨论

3.1 表层沉积物常量元素地球化学特征对环境的指示

由表1可知，研究区表层沉积物常量地球化学元素以 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 为主，三者平均含量之和为85.82%，表明区内沉积物以硅酸盐和铝硅酸盐及碳酸盐为主，说明研究区物源以陆源碎屑与生物化学沉积为主。

SiO_2 变异系数为0.10，变异系数极低，说明其来源稳定。平均含量为73.90%，其平均值远高于南海浅海平均值的62.64%，与海南岛花岗岩平均值的70.66%和海南岛表层土壤平均值的69.00%较为接近。这表明研究区以陆源碎屑输入，特别是来自海南岛的花岗岩风化产物是主要物源。研究区 SiO_2 最大值88.43%和琼州海峡东口平均值的88.74%接近，表明局部区域石英极度富集，这可能

受强水动力分选影响。

Fe_2O_3 平均值为3.89%，低于南海浅海平均值，高于海南岛花岗岩平均值，远低于玄武岩土壤和玄武岩平均值。推测主要原因是其含量被石英稀释。

Al_2O_3 变异系数为0.37，变异系数较高，可能反映多源输入。平均值为9.13%，与南海浅海平均值的9.9%较为接近，低于海南岛花岗岩平均值的13.62%和玄武岩平均值的13.90%，但显著高于琼州海峡东口平均值的2.00%。表明其在迁移过程中因稀释作用或水动力分选导致富集程度降低。

K_2O 平均值为1.87%，低于南海浅海平均值，远高于玄武岩土壤和玄武岩平均值。说明研究区的物源以花岗质岩石风化来源为主。

TiO_2 的平均值为0.47%，低于南海浅海平均值，高于海南岛花岗岩平均值，与海南岛北部玄武岩土壤（细土）接近。这表明存在玄武岩风化物质的贡献，但其含量被高石英稀释。

CaO 平均值为2.79%，低于南海浅海平均值，但高于海南岛花岗岩及表、深层土壤平均值，变异系数高达0.53，表明其分布受生物碳酸盐沉积主导，推测受局部生物活动或水动力扰动影响，呈现显著空间波动。 CaO 最大值为12.04%，推测可能表明钙质生物碎屑的局域富集。

MnO 的平均值含量高于南海浅海平均值，表明该研究区域的沉积环境呈现富氧特征。 P_2O_5 平均值为0.08%，低于南海浅海，推测与研究区富氧环境下生物对磷酸盐的吸收有关，抑制了磷的沉积保存。 Eh 平均值为370.45 mV，氧化还原条件稳定。 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值为0.63，比值较

低，反映沉积物中铁以还原态为主，可能受局部微环境影响。 pH 平均值为8.71，说明研究区沉积物偏碱性，而有机质平均值为0.46%，含量较低，再次表明研究区为氧化性沉积环境，这样有利于硅酸盐矿物的稳定和抑制有机质积累。

4 结论

琼州海峡西口 SiO_2 平均含量与海南岛花岗岩平均值接近， K_2O 远高于玄武岩土壤和玄武岩平均值，指示研究区物源主要来自海南岛、雷琼半岛花岗岩的风化产物。 TiO_2 的平均值与海南岛北部玄武岩土壤（细土）接近， Fe_2O_3 平均值虽被稀释但仍高于纯花岗岩预期，指示海南岛北部玄武岩、雷琼半岛玄武岩风化产物是重要的次生物源。

参考文献

- [1] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. nature, 1982, 299(5885): 715-717.
- [2] 赵青芳, 龚建明, 陈建文, 等. 南海神狐表层沉积物常量元素地球化学特征及其物源分析 [J]. 海洋地质动态, 2009, 25 (09): 10-14.
- [3] 周娇, 杨楚鹏. 南海矿产资源[M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- [4] 崔振昂, 夏真, 黄向青, 等. 南海北部湾全新世环境演变及人类活动影响研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- [5] 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, (04): 420-433.