

武佳星, 刘升发, 曹鹏, 等. 塞舌尔群岛东北部海域现代沉积物黏土矿物特征及来源分析[J]. 海洋学报, 2023, 45(6): 160–170, doi:10.12284/hyxb2023085

Wu Jiaxing, Liu Shengfa, Cao Peng, et al. Sources and transport of clay mineral in surface sediments of the sea of northeastern Seychelles Islands[J]. Haiyang Xuebao, 2023, 45(6): 160–170, doi:10.12284/hyxb2023085

塞舌尔群岛东北部海域现代沉积物黏土矿物特征及来源分析

武佳星¹, 刘升发^{1,2*}, 曹鹏^{1,2}, 张辉¹, 黄牧¹, 刘焱光^{1,2}, 石学法^{1,2}

(1. 自然资源部第一海洋研究所 自然资源部海洋地质与成矿作用重点实验室, 山东 青岛 266061; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋地质过程与环境功能实验室, 山东 青岛 266061)

摘要: 本文基于塞舌尔群岛东北部海域 34 个表层沉积物样品的黏土矿物测试结果分析其组成特征、分布规律和物质来源。研究区表层沉积物中黏土矿物平均相对含量从高到低依次为伊利石 (35%)、坡缕石 (20%)、蒙皂石 (20%)、高岭石 (16%)、绿泥石 (10%)。根据沉积物黏土矿物相对含量和空间分布规律, 可将研究区分为 2 个亚区 (I 区、II 区)。I 区覆盖研究区北部大部区域, 物质来源主要为阿拉伯半岛、印度半岛西南部以及索马里海岸沙漠的风尘物质; II 区位于研究区南部的塞舌尔群岛以东, 主要接收塞舌尔高原风化物质。综合分析研究区细颗粒物来源、空间分布规律及区域动力环境特征, 南亚夏季风搬运阿拉伯半岛、印度西部及索马里海岸沙漠风尘物质向南输运是影响 I 区黏土矿物组成的主要因素; 南赤道逆流驱动塞舌尔高原富高岭石、绿泥石的细粒风化物质向东扩散, 控制了 II 区黏土矿物组成特征和空间分布规律。

关键词: 沉积物; 黏土矿物; 物源; 季风; 洋流; 西印度洋

中图分类号: P736.21

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2023)06-0160-11

1 引言

黏土矿物是海洋沉积物的重要组成部分, 其形成和演化过程受气候、物源、水介质条件、成岩作用等多重因素综合影响^[1]。海洋沉积物中常见的矿物包括蒙皂石、伊利石、高岭石和绿泥石及较少的石英和长石, 另外深海沉积物中可见混层矿物坡缕石和海泡石^[2]。黏土矿物颗粒极细, 能够通过风力、河流携带进行远距离输运, 尤其能够被海流再悬浮搬运至远洋^[3], 因此, 深海沉积物黏土矿物组合变化很难系统反映大陆源区的风化过程, 而是更多反映来源和输运介质的变化^[4], 分析深海黏土矿物组成特征、分布规律

是追溯细颗粒沉积物运移路径的良好方法, 近年来被广泛应用于海洋沉积物来源及输运过程研究^[5-7]。

西赤道印度洋 (5°N~10°S, 65°E 以西) 被大陆、洋脊环绕, 沉积物来源复杂, 不仅接收了大量陆源物质, 原位自生黏土亦对细粒物质组分有一定贡献^[8]。通常情况下, 陆源入海物质在近岸海域主要通过河流携带输入, 而在深海区域则主要受控于风尘输入^[9]。西赤道印度洋粉尘活动发育, 北非和中东是全球两大粉尘来源, 分别占全球粉尘通量的 58% 和 12%^[7], 阿拉伯半岛、印度半岛西部和索马里海岸沙漠是西赤道印度洋风尘沉积的主要贡献源区^[9-10], 年均粉尘输入速率介于 0.2~1.0 g/(m²·a) 之间^[11]。前人对西印度

收稿日期: 2022-08-31; 修订日期: 2023-01-16。

基金项目: 全球变化与海气相互作用专项 (GASI-01-WIND-CJ01)。

作者简介: 武佳星 (1998—), 女, 山西省太原市人, 主要从事海洋沉积学研究。E-mail: wujiaxing@fio.org.cn

* 通信作者: 刘升发, 男, 研究员, 研究方向为海洋沉积学。E-mail: liushengfa@fio.org.cn

洋表层黏土矿物进行研究,指出西赤道印度洋细颗粒物组分及分布主要受物质源区控制,且受南亚季风和表层环流两大动力因素影响^[2,8,12]。阿拉伯海西部、欧文海脊(Owen Ridge)和嘉士伯洋脊(Carlsberg Ridge)的黏土矿物中富伊利石和坡缕石,主要受控于阿拉伯半岛沙漠风尘物质输入^[13]。东阿拉伯海沉积物的主要贡献端元为印度半岛陆源碎屑物质^[1,14-15],印度半岛由北至南可分为三大物质供应源区,由北至南分别为印度河、德干高原及西高止山片麻岩区。印度河是东阿拉伯海最大的物质贡献来源,流量约5 000万t^[6],将大量喜马拉雅风化剥蚀物质和巴基斯坦西部、印度西北部干旱区的细颗粒物输送入海^[17],黏土矿物组成特征为富伊利石、绿泥石^[6]。德干高原气候炎热湿润,化学风化作用强,纳默尔达(Narmada)河和塔普提(Tapti)河流经德干高原玄武岩区,作为印度半岛的第二、第三大河,两条河流每年共同向阿拉伯海释放约 0.6×10^{14} g沉积物^[18],将德干高原风化剥蚀物质搬运入海,并在季风控制的盛行表层流作用下向阿拉伯海扩散。印度半岛南部西高止山片麻岩区气候温暖湿润,科钦(Kochi)河和奎隆(Quilon)河等一系列小型河流携带富高岭石、蒙皂石的碎屑风化物质向西汇入阿拉伯海^[14,19]。马斯克林海台附近海底玄武岩广布,陆源物质贡献比例降低,原位自生的蒙皂石富集^[8,20]。多元化的物质来源以及多变的动力环境导致赤道西印度洋区域细颗粒沉积物输运过程较为复杂,难以用单一的沉积模式进行解释,尚需开展精细化的调查来进一步丰富其理论体系。

以往西印度洋沉积物来源及输运过程方面的研究工作主要集中在阿拉伯海等近岸区域,前人虽进行了一些西印度洋表层黏土矿物研究,但着重讨论不同黏土矿物分区及潜在来源,未系统阐述多种运输动力对表层黏土矿物分布的影响。因此本文旨在对塞舌尔群岛西北部海区进行黏土矿物组成和分布规律研究,分析该海区的黏土矿物贡献源区,探讨影响西赤道印度洋细粒物质的输运规律及其机制。

2 研究区概况

西赤道印度洋塞舌尔群岛东北部海域地处非洲板块与印度板块碰撞带,自北向南为嘉士伯洋脊和中印度洋脊(Mid-Indian Ridge),嘉士伯洋脊和中印度洋脊均为缓慢扩张型洋脊,嘉士伯洋脊的热液活动仅在局部发育,洋脊上热液沉积物很少^[21]。中印度洋脊轴部岩浆活动较发育,可见火山玻璃及火山爆发沉积物^[22]。查戈斯-马尔代夫-拉克迪夫洋脊(Chagos-Maldive-

Laccadive Ridge System)、马斯克林海台(Mascarene Plateau)和毛里求斯岛(Mauritius Island)在德干大陆溢流玄武岩省和西印度洋的留尼汪岛(Reunion Island)之间共同形成约5 000 km的火山岛弧链^[20],热卤水上涌加速海底玄武岩风化,形成大量以蒙皂石族为主的自生黏土矿物^[23]。研究区西南方向为马斯克林海台北端的塞舌尔高原,是一个约43 000 km²的浅海平台,水深基本不超过65 m,其构造背景为一被淹没的大洋中微陆块,主要由前寒武纪晚期花岗岩块体组成,后被第三纪侵入岩体切割,构造较为稳定^[24],表面被珊瑚礁生长堆积形成的碳酸盐沉积物覆盖。马斯克林海台表面的碳酸盐沉积物厚度可至2 km^[25]。基底岩石为火山热点活动形成的玄武岩,矿物以斜长石为主,可见辉石和橄榄石^[25],基底地形不规则,上覆沉积物厚度从50 m到400 m以上^[26]。

西印度洋水文、气候模式强烈受南亚季风信号影响,表层洋流系统具有季节性逆转特征。南亚夏季风盛行时期,水体呈顺时针方向流动;南亚冬季风盛行时期,水体呈逆时针方向流动^[27-28]。季风强盛期(12月至次年2月、6-8月),季节性环流由当地风场驱动过程主导,季风转换期则由当地和远程驱动过程共同控制^[29]。赤道印度洋环流系统与西北印度洋不同,夏季风控制时期,南赤道流(Southern Equatorial Current, SEC)在10°~20°S之间发展,自东向西贯穿印度洋,在马达加斯加岛东侧转变为向西北流动,形成东北马达加斯加流(Northeast Madagascar Current, NEMC),随后与东非沿岸流(East African Coastal Current, EACC)相汇向北流动,在赤道以北为补充因季风吹拂而缺失的表层水体转为东向,即北赤道流(Northern Equatorial Current, NEC)。西赤道印度洋表面环流连接沟通了南半球低纬海区水团(0°~10°S,东非海岸至75°E之间)^[30]。此时赤道海面的水体明显受地转偏向力和区域埃克曼输送(Ekman Transport)影响向南流动^[29]。冬季风控制时期(12月至次年3月),东非沿岸流与索马里海流在索马里半岛南部相汇转向东,即南赤道逆流(Southern Equatorial Counter Current, SECC),SECC在2°~4°S一带发展,在冬季风控制时期势力强盛^[31]。SEC和SECC的经向流动促使塞舌尔-查戈斯温跃层脊(The Seychelles-Chagos Thermocline Ridge, SCTR)形成^[32]。春季(4-5月)和秋季(10-11月)是季风过渡期,阿拉伯海上空风力减弱,赤道地区为东风,此时赤道海面出现强烈的东向喷流,即赤道急流,赤道急流将温暖的上层水体向东运输^[33],加剧了赤道印度洋东西海表温度不平衡。

3 材料与方 法

3.1 样品采集

本文所用样品来自 2020 年“全球变化与海气相互作用”专项西印度洋调查航次,使用箱式取样器获

得 34 个表层沉积物样品。为保持样品的时间均一性,每个样品均选取表层 0~5 cm 采集,具体采样位置见图 1,取样站位水深介于 3 588~4 711 m 之间。由于采集沉积物为海底表层的松散沉积物,故认为其矿物组分不受成岩蚀变影响。

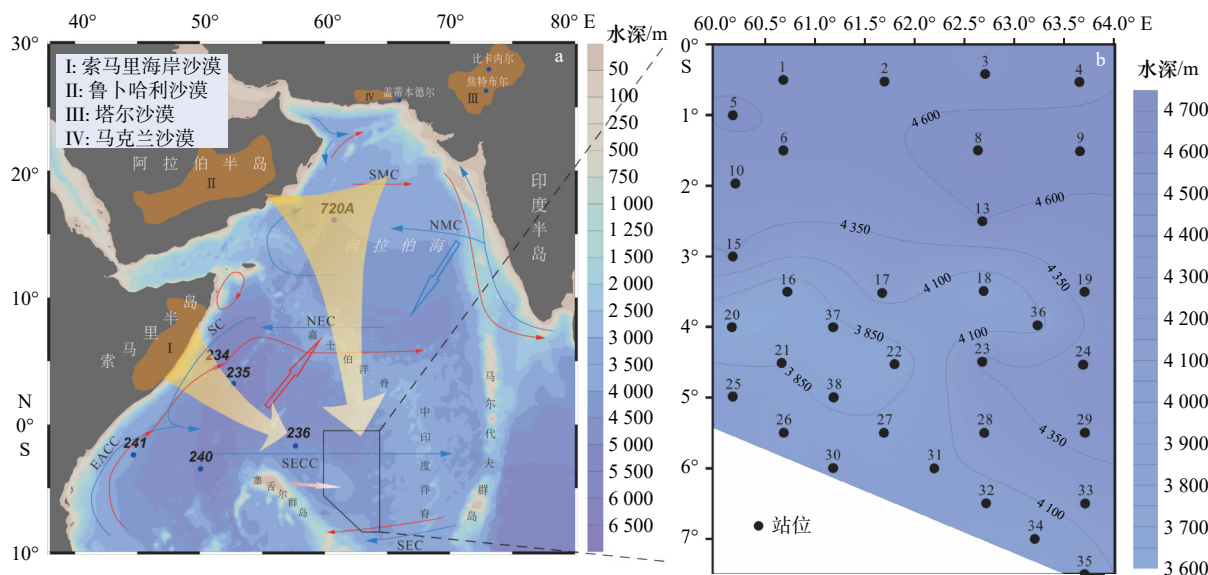


图 1 研究区位置、南亚季风路径及表层环流模式图

Fig. 1 Location of the study area, southern Asian monsoon and surface Current pattern of map

研究区站位包括 DSDP 234~236, 240~241; SK 114, GC03, GC04^[34]; ODP 720A^[35]; 塔尔沙漠^[13]。红色曲线代表夏季西印度洋表层环流,蓝色曲线代表冬季西印度洋表层环流。SMC: 夏季风环流; NMC: 冬季风环流; NEC: 北赤道流; SC: 索马里海流; EACC: 东非沿岸流; SECC: 南赤道逆流; SEC: 南赤道流。红色箭头代表西南季风风向,蓝色箭头代表东北季风风向;黄色箭头代表亚洲、非洲风尘物质输送路径周边重要尘源区,依据文献 [10] 改绘;西印度洋表层环流依据文献 [31] 改绘

Sampling stations includes DSDP 234–236, 240–241; SK 114, GC03, GC04^[34]; ODP 720A^[35]; Thar Desert^[13]. Red curves indicate the surface circulation during southwest monsoon. Blue curves indicate the surface circulation during northeast monsoon. SMC: Summer Wind Circulation; NMC: Winter Wind Circulation; NEC: North Equatorial Current; SC: Somali Current; EACC: East African Coastal Current; SECC: South Equatorial Counter Current; SEC: South Equatorial Current. Red arrow indicates the southwest monsoon winds. Blue arrow indicates the northeast monsoon winds. Yellow arrow indicates the transport path of aeolian materials in Asia and Africa. Some important dust source regions modified from reference [10]. The western Indian Ocean surface circulation modified from reference [31]

3.2 涂片鉴定

深海沉积物使用涂片法鉴定沉积物类型及其组分相对含量。具体步骤为:(1)取少量表层沉积物样品置于干净载玻片上,以蒸馏水稀释后均匀涂抹,使其展布面积不少于 22 mm×22 mm,并将样品在小于 100°C 的温度下烘干;(2)滴折射率为 1.537~1.540 的中性树胶于涂片上,盖上载玻片后挤出气泡,标明样品编号并烘干;(3)制好的涂片在偏光镜下以单偏光和正交偏光交替使用,全面观察,对涂片中的所有沉积物组分进行定性鉴定,对于有命名意义的组分作相对百分含量半定量估算。涂片鉴定应全面观察整个涂片的沉积物,且沉积物组分相对百分含量估算误差范围

应控制在 5% 之内,根据深海沉积物分类命名原则^[36]对沉积物进行命名。沉积物涂片鉴定在自然资源部第一海洋研究所完成。

3.3 黏土矿物分析

黏土矿物分析采用定向薄片的 X 射线衍射法。取适量沉积物样品,分别加入 15% 的双氧水和 5% 的稀盐酸(或 25% 的醋酸)去除有机质和碳酸盐。根据斯托克斯沉降原理,提取出小于 2 μm 的颗粒,离心富集。采用涂片方法制成定向薄片上机测试。

用于上机测试的为乙二醇饱和处理片和自然片。采用的仪器及工作条件:日本理学的 D/max22500 转靶 X 射线衍射仪,铜靶,管电压 40 kV,管电流 100 mA;

连续扫描, 步长 $0.02^\circ(2\theta)$ 、扫描速度为 $2^\circ/\text{min}$, 扫描范围 $3^\circ\sim 30^\circ(2\theta)$ 。样品分析测试在自然资源部第一海洋研究所完成。

测试数据使用 Jade6.0 进行平滑、扣除背景和寻峰, 获取蒙皂石、伊利石、高岭石、绿泥石、坡缕石的峰高、峰面积, 选取蒙皂石 (17 \AA)、坡缕石 (10.5 \AA)、伊利石 (10 \AA)、高岭石+绿泥石 (7 \AA) 为特征衍射峰。由于 10.5 \AA 衍射峰与 10 \AA 衍射峰非常接近, 在 XRD 图谱上表现为 10 \AA 衍射峰峰形左右不对称^[37]。使用 Biscaye 和 Weaver 的权重系数对蒙皂石、伊利石、高岭石、绿泥石、坡缕石 5 类黏土矿物作半定量计算^[38-39]。

蒙皂石与伊利石的结晶度分别通过乙二醇饱和曲线上 17 \AA 峰与 10 \AA 峰的半高宽 (FWHM) 得出。伊利石结晶度分类为: 小于 0.4, 结晶度很好; $0.4\sim 0.6$, 结晶度较好; $0.6\sim 0.8$, 结晶度中等; 大于 0.8, 结晶度

差。蒙皂石结晶度分类为: 小于 1.5, 结晶度很好, $1.5\sim 2.0$, 结晶度中等; 大于 2.0, 结晶度差^[40]。伊利石化学指数为 5 \AA 和 10 \AA 两个峰的面积之比, 该指数小于 0.15 为富 Fe-Mg 伊利石, 代表源区为强物理剥蚀环境, 大于 0.4 为富 Al 伊利石, 代表源区水解作用较强^[40]。

4 结果

4.1 研究区沉积物类型特征

涂片鉴定显示研究区表层沉积物以黏土组分为主, 介于 $65\%\sim 95\%$ 之间, 其次为硅质生物 (镜下主要为放射虫、硅藻等), 介于 $1\%\sim 30\%$ 之间, 平均为 10% (图 2a, 图 2b)。另外, 还可见少量云母、角闪石、有孔虫及骨针, 不超过 5% 。研究区沉积物类型为黏土和含硅质黏土, 这是下文主要讨论研究区表层黏土矿物的来源及运输机制的前提。

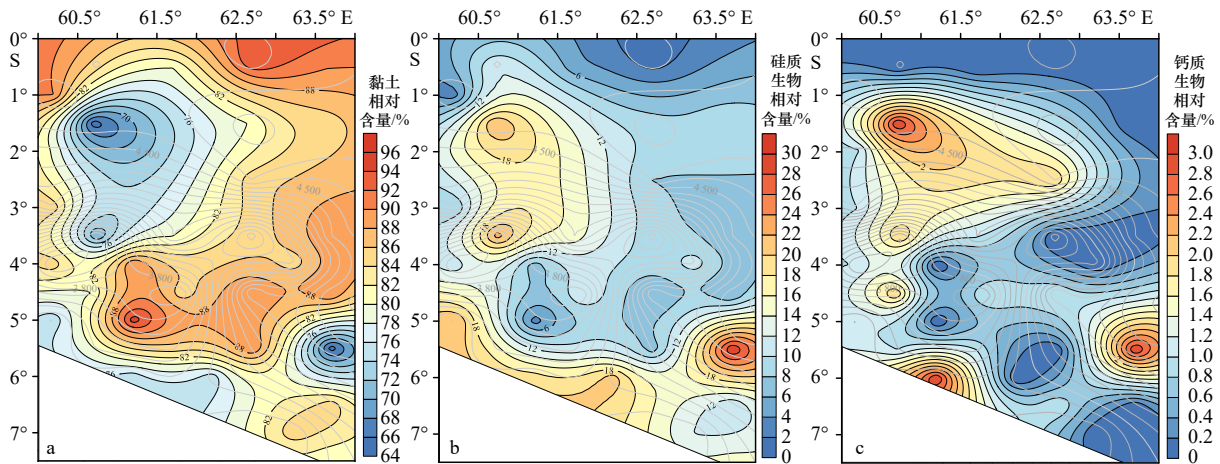


图 2 研究区表层沉积物分布特征及水深分布

Fig. 2 Distribution of surface sediments types and water depth in the study area

a. 黏土; b. 硅质生物; c. 钙质生物。灰色线为等深线

a. Clay; b. siliceous ooze; c. calcareous ooze. The gray lines indicate the isobath lines

4.2 黏土矿物分布特征

黏土矿物分析结果表明, 塞舌尔群岛东北部海域表层黏土矿物存在明显空间差异, 平均相对含量由高到低依次为伊利石、坡缕石、蒙皂石、高岭石、绿泥石。

4.2.1 伊利石

伊利石相对含量介于 $24\%\sim 45\%$ 之间, 平均相对含量为 35% 。高值带呈西北-东南向延伸, 其相对含量仅在塞舌尔群岛附近明显降低 (图 3a)。伊利石化学指数总体偏低, 介于 $0.06\sim 0.50$ 之间, 平均为 0.18, 研究区南缘伊利石化学指数最高, 略大于 0.4 (图 3f), 表明本区的伊利石以物理风化成因为主^[40]。伊利石结晶度介于 $0.41\sim 0.83$ 之间, 平均为 0.57, 研究区南部的伊利石结晶度比北部低, 可能指示陆源碎屑的输

运方向 (图 3g)。

4.2.2 坡缕石

研究区内坡缕石相对含量介于 $14\%\sim 28\%$ 之间, 平均为 20% 。在 63°E 以东坡缕石相对含量高于平均值, 最高值出现在中印度洋脊北段以西, 坡缕石相对含量的经向变化明显, 自东向西相对含量递减 (图 3b)。

4.2.3 蒙皂石

蒙皂石相对含量介于 $9\%\sim 34\%$, 平均为 20% , 呈现明显的东北-西南向分布趋势 (图 3c), 其分布趋势与伊利石相对含量基本相反, 高值区位于 $4^\circ\sim 7^\circ\text{S}$ 之间, 其相对含量出现自塞舌尔高原向北、向东逐渐降低的趋势。本区蒙皂石结晶度介于 $0.61\sim 1.08$ 之间, 平均为 0.89 (图 3h), 结晶程度很好,

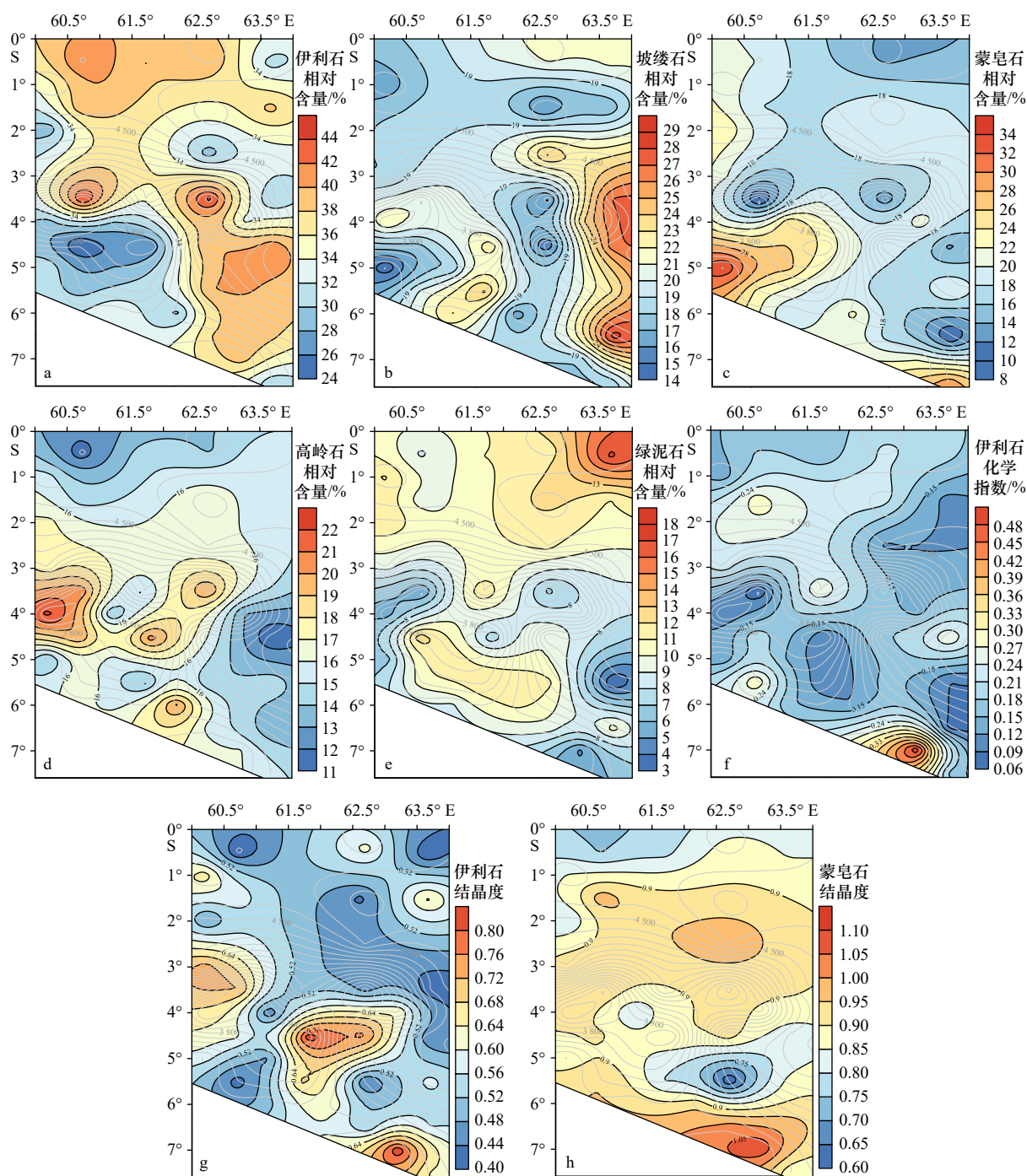


图3 表层沉积物黏土矿物含量(a-e)、黏土矿物指标(f-h)分布特征及研究区水深分布(灰色线为等深线)

Fig. 3 Distribution characteristic of clay mineral content (a-e) and index (f-h) in surface sediments and water depth distribution in the study area (the gray lines indicate the isbath line)

可能指示蒙皂石主要为自生成因。

4.2.4 高岭石

研究区高岭石相对含量介于11%~22%，平均为16% (图3d)，在本研究区为次要黏土矿物，最高值位于研究区西部邻近塞舌尔群岛的站位(4°S, 60°E)，并自西向东递减，在63°E降至16%。最低值出现在研究区北部和东部，即嘉士伯洋脊南侧和中印度洋脊

西侧。

4.2.5 绿泥石

绿泥石相对含量在5种黏土矿物中最低，相对含量介于3%~17%，平均为10% (图3e)。其分布整体为自北向南降低，3°S以北相对含量高于10%，最高值出现在研究区东北角。在3°S以南，中部的绿泥石相对含量介于10%~11%，高于两侧的绿泥石相对含

量,表明绿泥石具有从北向南的输运路径。

4.3 黏土矿物组合分区

为揭示5类黏土矿物空间分布规律及内在联系,本文使用SPSS 18数理统计软件,以5种黏土矿物相对含量为变量进行Q型聚类分析。结果显示研究区可分为2个亚区(I区和II区),各分区的黏土矿物相对含量见表1,分区分界线西北-东南向延伸(图4),2个亚区黏土矿物具体如下特征。

表1 研究区表层沉积物黏土矿物含量统计表
Table 1 Statistical table of clay minerals content in surface sediments of the study area

沉积物	I区(n=24)			II区(n=10)		
	平均值/%	最高值/%	最低值/%	平均值/%	最高值/%	最低值/%
伊利石	37	45	29	30	39	24
坡缕石	21	29	15	19	23	14
蒙皂石	18	26	9	25	34	21
高岭石	15	21	11	18	22	14
绿泥石	10	17	3	9	13	5

I区位于研究区北部,基本覆盖除马斯克林海台之外的剩余区域,伊利石富集(平均为37%),坡缕石、绿泥石相对含量偏高(平均分别为21%、10%),伊利石和坡缕石的相对含量占5种黏土矿物的一半以上(平均为58%);全区绿泥石相对含量最高值(17%)位于研究区东北部,呈现东北-西南向降低的

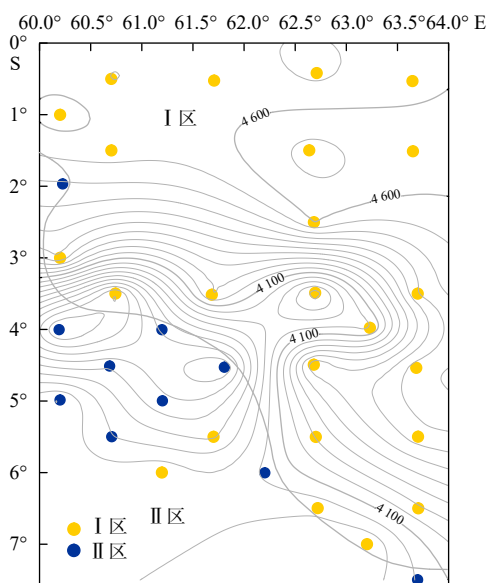


图4 研究区表层黏土矿物分区

Fig. 4 Clay mineral provinces in the study area

灰色为等深线

The gray lines indicate the isobath lines

趋势,蒙皂石相对含量较低(小于16%)。II区主要分布于研究区西南部,蒙皂石相对含量明显上升(平均为25%),高岭石相对含量较I区略有上升,但变化幅度较小,伊利石和坡缕石相对含量降低(平均为49%)。

5 讨论

研究区表层沉积物中生源物质占比平均低于10%(图2),且在黏土矿物分析前处理中已尽可能去除有机质及碳酸盐,减小生源物质对沉积物黏土矿物组成的影响,故表层黏土矿物可以反映碎屑风化物质信号,为下文沉积物来源及其输运规律研究奠定基础。

5.1 细颗粒物来源判别

黏土矿物是一定气候条件下源区沉积物风化蚀变的产物,深海沉积物中的黏土矿物多为大陆风化作用形成的碎屑相^[41]。赤道西印度洋被非洲、亚洲大陆及一系列岛屿包围,碎屑风化物质来源多元,并广泛接收周边沙漠区的风尘物质输入^[8-10]。基于前人研究和研究区地理位置,本文将北部阿拉伯半岛和印度半岛西部沙漠和西部的索马里半岛海岸沙漠的风尘物质、印度半岛碎屑风化物质、塞舌尔高原风化物质以及东印度洋苏门答腊岛风化物质作为本区细颗粒物的潜在物源。

Suresh等^[5]选取蒙皂石、伊利石、坡缕石三端元区分东非努比亚沙漠、印度半岛西部和阿拉伯半岛对东阿拉伯海的物质贡献比例。本文使用蒙皂石-(伊利石+绿泥石)-坡缕石三角端元图进一步判别不同分区的黏土矿物来源。研究区表层黏土矿物数据投点可较清晰地分为两个区域,基本与I区、II区对应(图5),指示了两个区域物质来源存在显著差异。

研究区坡缕石相对含量较高(15%~29%),伊利石和坡缕石相对含量平均为55%,在I区这一数值可达到59%(表1),同时研究区东北缘的绿泥石相对含量最高(17%)。红外粉尘指数(IDDI)显示在0°~35°N、30°~90°E之间存在5个主要粉尘输送源区:非洲东北部的努比亚沙漠、阿拉伯半岛、索马里半岛西海岸、伊朗及其与阿富汗、巴基斯坦东部边界以及印度西北部^[9],其中阿拉伯半岛南部(以鲁卜哈利沙漠为代表)沙漠区是最主要的风尘贡献源区^[9],坡缕石为其特征黏土矿物^[8,37,43],而印度半岛西部(塔尔沙漠、马克兰沙漠)风尘物质则以富伊利石、绿泥石为主,几乎未见坡缕石^[5]。由图5和表2可见,阿拉伯半岛沙漠和印度西部沙漠风尘混合端元(伊利石44%、坡缕石13%、绿泥石17%)的投影位置与I区最接近^[5],据此推断,阿拉伯半岛南部和印度西部沙漠的风尘物

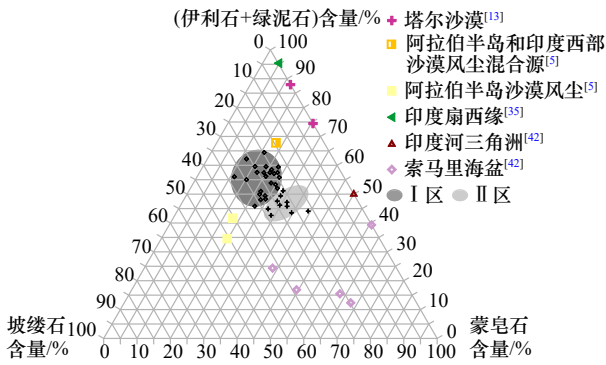


图5 蒙皂石-(伊利石+绿泥石)-坡缕石三角端元图

Fig. 5 Triangular diagram with smectite, playgorskite and illite+chlorite as end members

质共同控制了I区黏土矿物组成,阿拉伯半岛南部沙漠为主要贡献源区。研究区西北部也可见相对较高的坡缕石相对含量(15%~18%)。前人研究指出索马里海岸沙漠的风尘物质也可见坡缕石^[8]。索马里海岸沙漠研究程度较低,但索马里半岛以南陆架的孔位顶部坡缕石相对含量较高(分别为29.3%、27.5%),可以推断索马里海盆沉积物可见索马里海岸沙漠的风尘输入信号,由于西南季风在到达赤道印度洋海面先穿过索马里半岛^[9-10, 23, 44-45],因此我们推断索马里海岸沙漠的风尘物质也能够输送至西赤道印度洋,索马里海岸沙漠风尘物质也对研究区有一定贡献。

印度半岛陆源风化碎屑是东阿拉伯海的重要物质端元^[14-15],但其能否抵达西赤道印度洋尚不清楚。下文分别讨论喜马拉雅山脉、德干高原、印度南部片麻岩区三大印度半岛物质供应端元对本区的贡献。I区伊利石、绿泥石相对含量较高(分别大于30%和13%),然而伊利石结晶度小于0.6,结晶程度相对较差,印度河主要搬运喜马拉雅山脉风化碎屑物质,黏土矿物组成富伊利石(74%)、绿泥石(27%),然而由于该地物理风化作用占主导地位,伊利石结晶程度较好^[6],与I区黏土矿物特征不符,由图5可见,印度河三角洲端元的投影位置与I区较远。印度河携带的陆源风化碎屑物质很难抵达本研究区;I区高岭石、蒙皂石相对含量均小于16%,蒙皂石结晶度小于0.9,结晶程度很好,在纳尔默达河入海口获得的岩芯显示德干高原碎屑物质风化形成的黏土矿物中蒙皂石非常富集(76%),伊利石(12%)、高岭石(7%)、绿泥石(6%)相对含量较低,伊利石、蒙皂石结晶程度较低^[6],I区黏土矿物组成与德干高原碎屑物质不符;印度半岛南部片麻岩区气候温暖湿润,其细粒风化物质中高岭石、蒙皂石,蒙皂石结晶程度也较低^[14,19],与I区

黏土矿物组成不符。故就黏土矿物相对含量及相关指标而言,本文认为印度半岛端元对塞舌尔群岛东北部海域细粒沉积物贡献较小。

研究区西南部黏土矿物特征与北部不同。II区为高岭石高值中心(相对含量介于16%~24%之间),自塞舌尔高原往东高岭石相对含量降低。伊利石相对含量虽较I区偏低,但仍介于24%~30%之间,值得注意的是,II区的伊利石结晶度有明显升高趋势,介于0.6~0.8之间,这与I区沙漠风尘来源的伊利石相区别,研究区西南部的塞舌尔高原花岗岩基岩中多含黑云母和角闪石^[46],绿泥石、伊利石、高岭石是黑云母的一系列风化蚀变产物^[47],II区伊利石结晶程度较差,指示其以化学风化成因为主,与风尘成因的伊利石来源不同,结合II区高岭石、绿泥石的高相对含量,可以推断塞舌尔高原的基岩风化蚀变物质对研究区西南部的细粒组分存在明显贡献。II区的坡缕石相对含量较之I区明显下降,在靠近塞舌尔高原处降至14%,表明阿拉伯半岛南部、印度西部沙漠风尘物质在向南搬运过程中逐渐沉降,风尘输入信号变弱,塞舌尔高原风化物质的贡献更为显著。

尽管两个亚区黏土矿物组成和分布规律存在明显的差异性,但两者之间也具有一定的相似性,尤其是蒙皂石的相对含量和分布规律。由图3c可见整个研究区蒙皂石较为富集(20%~34%),在西南部相对含量可达34%,蒙皂石结晶程度均很好(小于0.9),表明本区蒙皂石应为同一来源,且更可能为海底自生成因。研究区地处德干-留尼汪岛热点路径之上,Kolla等^[8,12]提到在嘉士伯洋脊和马斯克林海台之间存在海底玄武岩原位风化和与之相关的火山产物蚀变,蒙皂石相对含量大于20%,在61°E附近可达到30%以上,开阔海洋环境的差异沉降过程也对蒙皂石沉积有积极影响^[48],本文研究区的蒙皂石相对含量与Kolla等人的研究结果一致,因此本区蒙皂石应主要来源于海底玄武岩原位蚀变,这与西印度洋大部分海域的蒙皂石富集背景是一致的。

另外,南赤道流稳定地自东向西沟通东、西印度洋,苏门答腊岛的风化物质也为本区潜在物质端元之一,研究区东部高岭石、蒙皂石相对含量均很低,高岭石相对含量小于14%,蒙皂石相对含量小于16%,呈现自西向东降低的趋势,而苏门答腊岛的黏土矿物组成极富高岭石(大于58%),另有一定量蒙皂石,伊利石、绿泥石相对含量很低^[48],与本区东部的黏土矿物组成及分布规律不符。此外,位于孟加拉湾南端的中印度洋盆(Central Indian Basin, CIB)是东赤道印度洋最大的沉积单元,印度半岛恒河-雅鲁藏布江携带

的碎屑物质,印度半岛南部玄武岩、苏门答腊岛、澳大利亚大陆碎屑物质均在中印度洋盆沉积^[49],已在印度洋盆沉积的物质很难再悬浮向西搬运,且南赤道流路径上有九十度海岭和中印度洋脊等海山阻挡,因此我们认为苏门答腊岛的风化碎屑很难到达本区。

5.2 黏土矿物输运过程

沉积物中黏土矿物分布除受源区物质影响外,还与运输动力密切相关,塞舌尔高原东北部海域表层黏土矿物空间分布差异可反映细颗粒物质的输运过程。南亚季风和表层环流是影响赤道西印度洋细颗粒物扩散的两大动力。

南亚季风的影响范围最远可至 7°S 以北,基本涵盖本研究区。I 区富伊利石、坡缕石、绿泥石,伊利石相对含量呈西北-东南向分布,自北向南从 40% 降至 30%,在塞舌尔高原附近(4°S 以南,62°E 以西)伊利石相对含量受高岭石、蒙皂石的稀释作用降至 25%。绿泥石最高值出现在研究区东北部,可达 15%~18%,相对含量整体自北向南降低,伊利石、绿泥石相对含量变化梯度与南亚季风方向基本一致^[31],表明南亚季风是将阿拉伯半岛沙漠和印度西部沙漠风尘物质搬运至 I 区的主要动力。由于南亚夏季风势力强

于南亚冬季风,因此夏季风期间(6-8月)的大气粉尘湿沉降是将风尘物质输送至赤道西印度洋的主要方式^[5,10]。自南亚夏季风结束至次年冬春季(10月至次年2月),印度西部沙漠位于冬季风路径上,风尘物质通过干沉降形式输入阿拉伯海^[9],研究区东北缘的绿泥石高值区(15%~18%)可反映印度西部沙漠风尘物质的输入,然而干沉降的输运距离较短,主要影响阿拉伯海中、东部^[9],I 区东北部的绿泥石高值区范围也较局限,表明南亚冬季风并非将风尘物质输送至研究区的主要动力。此外,研究区西北部(3°S 以北,62°E 以西)伊利石相对含量偏高,介于 36%~44%,反映了索马里海岸沙漠风尘物质的输入信号,前人研究也提到西南季风在到达赤道印度洋海面前先穿过索马里半岛,将索马里海岸沙漠风尘物质带至赤道西印度洋,再由索马里海流和芬德勒流进一步将其向西赤道印度洋扩散^[9-10,23,44-45],因此我们虽无法从黏土矿物组成区别阿拉伯半岛沙漠与索马里海岸沙漠风尘物质信号,但结合伊利石平面分布规律、南亚夏季风风向和赤道洋流方向可认为南亚夏季风期间,阿拉伯半岛沙漠和索马里海岸沙漠风尘物质可达本研究区。

研究区东缘坡缕石相对含量最高,其相对含量自

表 2 研究区周边大陆及钻孔顶部沉积物黏土矿物相对含量

Table 2 Relative content of clay minerals in the adjacent regions and the top of holes of study area

研究地点	站位	纬度	经度	相对含量					参考文献
				蒙皂石/%	坡缕石/%	伊利石/%	绿泥石/%	高岭石/%	
印度扇西缘	720A	16.130 0°N	60.740 0°E	4	0	69	14	13	Govil和 Naidu ^[35]
索马里海盆	234	4.482 7°N	51.224 7°E	30	29	19	0	8	深海钻探计划(DSDP)
	235	3.234 3°N	52.694 0°E	41	28	14	0	11	
	236	1.677 0°S	57.647 5°E	37	0	22	2	12	
	240	3.487 3°S	50.053 7°E	55	16	10	0	14	
	241	2.370 7°S	44.679 5°E	53	18	13	0	11	
印度河三角洲	盖蒂本德尔	23.910 0°N	66.210 0°E	49	0	41	8	1	Alizai等 ^[42]
印度西部塔尔沙漠	焦特布尔	26.200 0°N	73.100 0°E	10	0	62	11	17	Goldberg和Griffin ^[13]
	比卡内尔	28.000 0°N	73.300 0°E	24	0	47	23	7	
阿拉伯半岛沙漠	沙特阿拉伯沙漠	-	-	40	20	5	0	35	Ganor等 ^[50]
	大气尘埃颗粒	-	-	16	37	28	0	19	
	-	-	15	34	21	14	17		
阿拉伯半岛与印度西部沙漠大气尘埃混合	-	-	-	16	13	44	17	10	Suresh等 ^[5]

注:“-”表示文献未提到数据。

东向西递减,由 29% 降至 20%,由 5.1 节可知,坡缕石为阿拉伯半岛沙漠风尘物质的特征矿物,阿拉伯半岛沙漠风尘物质在北印度洋夏季顺时针环流作用下先向东南方向扩散至赤道印度洋海面^[13],然后在南北赤道流作用下向西扩散,形成坡缕石的东-西向相对含量梯度。阿拉伯半岛沙漠也是本研究区伊利石的重要来源,在 0°~4°S 之间,本区伊利石相对含量高于 40%,形成赤道伊利石富集带。本区坡缕石、伊利石的空间分布与 Goldberg 和 Griffin^[13]提到的赤道伊利石富集带一致,因此阿拉伯半岛沙漠风尘物质是 I 区的主要贡献端元,南亚季风风向、北印度洋季节性环流和赤道流共同影响坡缕石的空间分布。

SECC、SEC、NEMC、EACC 连接了 0°~10°S 之间的水体^[30],形成低纬度表层水团循环,促使塞舌尔群岛细颗粒物经向扩散,尤其影响 II 区黏土矿物组成及分布。II 区主要接收塞舌尔高原富高岭石、绿泥石风化物质,高岭石相对含量自塞舌尔高原(4°S, 60°E)向东逐渐从 24% 降至 16%,绿泥石相对含量在 II 区也存在一个相对高值区,介于 10%~12%,指示了塞舌尔高原风化物质自西向东的输送路径。SECC 在 2°~4°S 一带发展,在冬季风期间势力强盛^[28, 31],是促使塞舌尔高原的风化物质向东扩散的主要动力。同时,II 区仍在南亚季风影响范围之内,其坡缕石相对含量较之 I 区降低,但仍介于 14%~20%,伊利石相对含量介于 24%~40%,输入 II 区的富伊利石、坡缕石细颗粒物应主要由索马里海岸沙漠风尘物质贡献,索马里海岸沙漠风尘物质由西南季风和索马里海

流、芬德勒喷流将其向西赤道印度洋扩散^[9-10, 44-45]。

6 结论

本文分析了塞舌尔群岛东北部海域表层沉积物的黏土矿物组成和分布,并与周边端元相对比,浅析研究区的物质来源,阐明了赤道西印度洋物质运输方向和范围,主要结论如下。

(1) 赤道西印度洋表层沉积物中伊利石相对含量最高,相对含量介于 24%~45%,平均为 35%;坡缕石相对含量介于 14%~28%,平均为 20%。蒙皂石相对含量介于 9%~34%,平均为 20%;高岭石相对含量介于 11%~22%,平均为 16%;绿泥石相对含量最低,介于 3%~17%,平均为 10%。

(2) 研究区广泛接受周边大陆沙漠风尘贡献,风尘源包括阿拉伯半岛沙漠、印度西部塔尔沙漠、马克兰沙漠和索马里海岸沙漠。印度半岛、苏门答腊岛的陆源碎屑物质输入信号较弱。研究区西南部的沉积物黏土矿物组成主要受到塞舌尔高原碎屑风化物质贡献,另可识别到研究区内存在海底玄武岩原位蚀变导致蒙皂石相对含量相对富集的现象。

(3) 南亚季风系统是将阿拉伯半岛、印度西部及索马里海岸沙漠风尘输送至塞舌尔群岛东北部海域的主要动力,其中夏季风盛行期间的风尘输入通量更高。赤道以南表层环流进一步将研究区表层细粒沉积物扩散,0°~10°S 之间的南赤道环流促使研究区表层黏土矿物向南、向西扩散;南赤道逆流将塞舌尔群岛风化物质向东扩散。

参考文献:

- [1] Purnachandra Rao V, Ramalingeswara Rao B. Provenance and distribution of clay minerals in the sediments of the western continental shelf and slope of India[J]. *Continental Shelf Research*, 1995, 15(14): 1757-1771.
- [2] Windom H. Lithogenous material in marine sediments[M]//Riley J P, Chester R. *Chemical Oceanography*. London: Academic Press, 1976.
- [3] Zöllmer V, Irion G. Clay mineral and heavy metal distributions in the northeastern North Sea[J]. *Marine Geology*, 1993, 111(3/4): 223-230.
- [4] Thiry M, Pletsch T. Palygorskite clays in marine sediments: records of extreme climate[J]. *Developments in Clay Science*, 2011, 3: 101-124.
- [5] Suresh K, Kumar A, Ramaswamy V, et al. Seasonal variability in aeolian dust deposition fluxes and their mineralogical composition over the northeastern Arabian Sea[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2022, 19(8): 7701-7714.
- [6] Kessarkar P M, Rao V P, Ahmad S M, et al. Clay minerals and Sr-Nd isotopes of the sediments along the western margin of India and their implication for sediment provenance[J]. *Marine Geology*, 2003, 202(1/2): 55-69.
- [7] Lindhorst S, Betzler C, Kroon D. Wind variability over the northern Indian Ocean during the past 4 million years—Insights from coarse aeolian dust (IODP exp. 359, site U1467, Maldives)[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2019, 536: 109371.
- [8] Kolla V, Henderson L, Biscaye P E. Clay mineralogy and sedimentation in the western Indian ocean[J]. *Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 1976, 23(10): 949-961.
- [9] Léon J F, Legrand M. Mineral dust sources in the surroundings of the north Indian Ocean[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(6): 1309.
- [10] Singh N D, Singh S K. Distribution and cycling of dissolved aluminium in the Arabian Sea and the western Equatorial Indian Ocean[J].

- [Marine Chemistry](#), 2022, 243: 104122.
- [11] Jickells T D, An Z S, Andersen K K, et al. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate[J]. [Science](#), 2005, 308(5718): 67–71.
- [12] Kolla V, Kostecki J A, Robinson F, et al. Distributions and origins of clay minerals and quartz in surface sediments of the Arabian Sea[J]. [Journal of Sedimentary Research](#), 1981, 51(2): 563–569.
- [13] Goldberg E D, Griffin J J. The sediments of the northern Indian Ocean[J]. [Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts](#), 1970, 17(3): 513–537.
- [14] Thamban M, Purnachandra Rao V, Schneider R R. Reconstruction of late Quaternary monsoon oscillations based on clay mineral proxies using sediment cores from the western margin of India[J]. [Marine Geology](#), 2002, 186(3/4): 527–539.
- [15] Pandarinath K. Clay minerals in SW Indian continental shelf sediment cores as indicators of provenance and palaeomonsoonal conditions: a statistical approach[J]. [International Geology Review](#), 2009, 51(2): 145–165.
- [16] Haq B U, Milliman J D. [Marine Geology and Oceanography of Arabian Sea and Coastal Pakistan](#)[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
- [17] Limmer D R, Köhler C M, Hillier S, et al. Chemical weathering and provenance evolution of Holocene-Recent sediments from the western Indus Shelf, northern Arabian Sea inferred from physical and mineralogical properties[J]. [Marine Geology](#), 2012, 10(326/328):101–115.
- [18] Baskaran M, Sarin M M, Somayajulu B L K. Composition of mineral fractions of the Narbada and Tapti estuarine particles and the adjacent Arabian Sea sediments off western India[J]. [Chemical Geology](#), 1984, 45(1/2): 33–51.
- [19] Das S S, Rai A K, Akaram V, et al. Paleoenvironmental significance of clay mineral assemblages in the southeastern Arabian Sea during last 30 kyr[J]. [Journal of Earth System Science](#), 2013, 122(1): 173–185.
- [20] Fisk M R, Duncan R A, Baxter A N, et al. Reunion hotspot magma chemistry over the past 65 m. y. : Results from leg 115 of the ocean drilling program[J]. [Geology](#), 1989, 17(10): 934–937.
- [21] Yu Z, Li H, Li M, et al. Hydrothermal signature in the axial-sediments from the Carlsberg Ridge in the Northwest Indian Ocean[J]. [Journal of Marine Systems](#), 2018, 180: 173–181.
- [22] Lim D, Kim H, Kim J, et al. Mercury proxy for hydrothermal and submarine volcanic activities in the sediment cores of Central Indian Ridge[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2020, 159: 111513.
- [23] Clemens S, Prell W, Murray D, et al. Forcing mechanisms of the Indian Ocean monsoon[J]. [Nature](#), 1991, 353(6346): 720–725.
- [24] Camoin G F, Montaggioni L F, Braithwaite C J R. Late glacial to post glacial sea levels in the western Indian Ocean[J]. [Marine Geology](#), 2004, 206(1/4): 119–146.
- [25] Duncan R A, Backman J, Peterson L, et al. Reunion hotspot activity through tertiary time: initial results from the ocean drilling program, leg 115[J]. [Journal of Volcanology and Geothermal Research](#), 1989, 36(1/3): 193–198.
- [26] Naidu P D, Malmgren B A. Quaternary carbonate record from the equatorial Indian Ocean and its relationship with productivity changes[J]. [Marine Geology](#), 1999, 161(1): 49–62.
- [27] Fioux M. Indian Ocean Equatorial Currents[M]//Steele J H. [Encyclopedia of Ocean Sciences](#). 2nd ed. Oxford: Academic Press, 2001: 362–373.
- [28] Fioux M, Reverdin G. Current systems in the Indian Ocean[M]//Steele J H. [Encyclopedia of Ocean Sciences](#). 2nd ed. Oxford: Academic Press, 2001: 728–734.
- [29] Castillo-Trujillo A C, Arzeno-Soltero I B, Giddings S N, et al. Observations and modeling of ocean circulation in the seychelles Plateau region[J]. [Journal of Geophysical Research: Oceans](#), 2021, 126(2): e2020JC016593.
- [30] L'Hégaret P, Beal L M, Elipot S, et al. Shallow cross-equatorial gyres of the Indian Ocean driven by seasonally reversing monsoon winds[J]. [Journal of Geophysical Research: Oceans](#), 2018, 123(12): 8902–8920.
- [31] Schott F A, McCreary J P. The monsoon circulation of the Indian Ocean[J]. [Progress in Oceanography](#), 2001, 51(1): 1–123.
- [32] Nyadjro E S, Jensen T G, Richman J G, et al. On the relationship between wind, SST, and the thermocline in the Seychelles-Chagos Thermocline Ridge[J]. [IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters](#), 2017, PP(12): 1–5.
- [33] Wyrtki K. An equatorial jet in the Indian Ocean[J]. [Science](#), 1973, 181(4096): 262–264.
- [34] Valsangkar A B, Borole D, Shejwalkar A S, et al. Potential diagenetic and detrital sources for calcareous sediments from the Carlsberg Ridge, Indian Ocean[J]. [Current Science](#), 2009, 96(8): 1090–1099.
- [35] Govil P, Naidu P D. Late Quaternary changes in depositional processes along the western margin of the Indus Fan[J]. [Geo-Marine Letters](#), 2008, 28(1): 1–6.
- [36] Dean W E, Leinen M, Stow D A V. Classification of deep-sea, fine-grained sediments[J]. [Journal of Sedimentary Petrology](#), 1985, 55(2): 250–256.
- [37] Ehrmann W, Schmiedl G. Nature and dynamics of North African humid and dry periods during the last 200 000 years documented in the clay fraction of Eastern Mediterranean deep-sea sediments[J]. [Quaternary Science Reviews](#), 2021, 260: 106925.
- [38] Biscaye P E. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans[J]. [Geological Society of America Bulletin](#), 1965, 76(7): 803–832.

- [39] Weaver C E, Beck K C. Miocene of the S. E. United States: a model for chemical sedimentation in a peri-marine environment[J]. *Sedimentary Geology*, 1977, 17(1/2): 9–21.
- [40] Esquevin J. Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité[J]. *Bulletin-Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 1969, 3(1): 147–153.
- [41] McMurtry G M. Deep-sea sediment: authigenic deposits[M]//Cochran J K, Bokuniewicz H J, Yager P L. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 3rd ed. London: Academic Press, 2019: 121–132.
- [42] Alizai A, Hillier S, Clift P D, et al. Clay mineral variations in Holocene terrestrial sediments from the Indus Basin[J]. *Quaternary Research*, 2012, 77(3): 368–381.
- [43] Sirocko F, Lange H. Clay-mineral accumulation rates in the Arabian Sea during the late Quaternary[J]. *Marine Geology*, 1991, 97(1/2): 105–119.
- [44] Stein R. Clay minerals[M]//Harff J, Meschede M, Petersen S, et al. *Encyclopedia of Marine Geosciences*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015: 1–8.
- [45] Tindale N W, Pease P P. Aerosols over the Arabian Sea: atmospheric transport pathways and concentrations of dust and sea salt[J]. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1999, 46(8): 1577–1595.
- [46] Tucker R D, Ashwal L D, Torsvik T H. U–Pb geochronology of Seychelles granitoids: a Neoproterozoic continental arc fragment[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 187(1–2): 27–38.
- [47] 马在平, 姜在兴, 钱峥. 我国热带亚热带部分地区花岗岩和片麻岩中黑云母风化研究[J]. *矿物岩石*, 1996, 16(2): 17–24.
Ma Zaiping, Jiang Zaixing, Qian Zheng. Weathering of Biotite in some weathered granite and gneiss from some subtropical and tropical area of China[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1996, 16(2): 17–24.
- [48] Debrabant P, Fagel N, Chamley H, et al. Neogene to Quaternary clay mineral fluxes in the Central Indian Basin[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1993, 103(3/4): 117–131.
- [49] Liu Z, Wang H, Hantoro W S, et al. Climatic and tectonic controls on chemical weathering in tropical Southeast Asia (Malay Peninsula, Borneo, and Sumatra)[J]. *Chemical Geology*, 2012, 291: 1–12.
- [50] Ganor E. The composition of clay minerals transported to Israel as indicators of Saharan dust emission[J]. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 1991, 25(12): 2657–2664.

Sources and transport of clay mineral in surface sediments of the sea of northeastern Seychelles Islands

Wu Jiaying¹, Liu Shengfa^{1,2}, Cao Peng^{1,2}, Zhang Hui¹, Huang Mu¹, Liu Yanguang^{1,2}, Shi Xuefa^{1,2}

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Metallogenesis, Ministry of Natural Resources, The First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 2. Laboratory for Marine Geology, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266061, China)

Abstract: The relative contents of clay minerals in 34 surface sediment samples were analyzed by X-ray diffraction. The results showed that the content of clay minerals in the surface sediments was illite (35%), palygorskite (20%), smectite (20%), kaolinite (16%) and chlorite (10%). Q-cluster analysis using SPSS software shows that clay minerals can be divided into two provinces (Province I and Province II). Province I covers most of the northern area, and the source is mainly the dust influx from the deserts of Arabian Peninsula, western India and Somali coast; Province II is located at the southwest of the study area, mainly receiving the weathering matters from the granite bedrock of Seychelles Plateau. A comprehensive analysis of the sources of fine particulate matter in the study area and the regional dynamical environment reveals that the southward transport of the aeolian dust from the Arabian Peninsula, western India and the Somali coastal deserts by the South Asian summer monsoon controls the composition of clay minerals in the Province I. The south equatorial low latitude ocean current system promotes the meridional diffusion of fine particles in the study area. The southern Equatorial Counter Current drives the eastward diffusion of kaolinite and chlorite-rich fine materials from Seychelles Plateau.

Key words: sediment; clay minerals; provenance; monsoon; ocean currents; western Indian Ocean