

东海中部近海表层沉积物粘土矿物特征及地质意义

李金铎*, 施兴安, 赖纪海, 余海俊, 王日彪

自然资源部宁波海洋中心, 浙江 宁波

收稿日期: 2024年6月2日; 录用日期: 2024年7月9日; 发布日期: 2024年7月18日

摘要

根据粘土矿物和粒度以及环境因子分析测试资料, 对东海中部近海表层沉积粘土矿物含量、分布特征及影响因素进行了分析讨论。结果表明, 研究区表层沉积物中粘土矿物组合为伊利石-绿泥石-高岭石-蒙皂石, 四种粘土矿物平均含量为: 伊利石67.40%, 绿泥石17.75%, 高岭石12.28%, 蒙皂石2.57%。研究区高岭石分布非常有规律, 从西北近岸向东南外海方向含量逐渐减小, 而伊利石含量则总体呈增加趋势, 绿泥石分布较为均匀。研究区蒙皂石含量低, 高值区分布北部边缘。研究区粘土矿物含量和分布主要受控于水动力条件, 与水体介质的盐度有较为明显的相关性。高岭石和伊利石的分布特征表明了该区域沉积物的扩散沉积方向。蒙皂石在研究区北部边缘的较高含量, 指示了来自北部黄河的物质向南的影响范围。

关键词

表层沉积, 粘土矿物, 东海中部近海

Characteristics of Clay Minerals of the Surface Sediments on the Central East China Sea Offshore Area and Their Geological Significance

Jinduo Li*, Xing'an Shi, Jihai Lai, Haijun Yu, Ribiao Wang

Ningbo Marine Center, Ministry of Natural Resources, Ningbo Zhejiang

*通讯作者。

文章引用: 李金铎, 施兴安, 赖纪海, 余海俊, 王日彪. 东海中部近海表层沉积物粘土矿物特征及地质意义[J]. 地球科学前沿, 2024, 14(7): 949-955. DOI: 10.12677/ag.2024.147088

Abstract

Based on the measurements of clay minerals and particle size as well as some environmental factors, the content, distribution characteristics and influencing factors of clay minerals in the surface sediments on the central East China Sea offshore area were analysed and discussed. The results show that the clay mineral assemblage in the study area is illite-chlorite-kaolinite-semctite, with the average contents are 67.40% for illite, 17.75% for chlorite, 12.28% for kaolinite and 2.57% for semctite. The distribution of kaolinite in the study area is very regular, with the content gradually decreasing from the north-west near-shore to the south-east offshore area, while the content of illite shows an increasing trend in general in the same direction, and the distribution of chlorite is more uniform. Semctite content is low in the study area and high values are distributed in the northern part of the study area. The content and distribution of clay minerals in the study area are mainly controlled by hydrodynamic conditions, and there is an obvious correlation between clay minerals contents and the salinity of the water. The distribution characteristics of kaolinite and illite indicate the patterns of diffuse and deposition of sediments in this area, and the northern part of the study area with higher content of semctite maybe suggests the south boundary of the materials from the Yellow River in the north have ever reached.

Keywords

Surface Sediment, Clay Minerals, Central East China Sea Offshore Area

Copyright © 2024 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

海洋沉积物中粘土矿物含量、时空分布和组合特征能够反映出物源、沉积动力以及流域和沉积区不同尺度的气候和环境演化等地质和环境状况[1]-[4]。东海中部近海沉积是东海陆架沉积的主体部分(图 1), 其中水深 60~70 m 以浅的内陆架覆盖厚层的全新世楔形泥质带[5] [6], 外陆架上广泛分布低海面时期形成并且经过冰后期改造的砂质沉积[7], 主要来源于今古长江径流携带的陆源碎屑。前人对东海陆架及邻近海域沉积物中粘土矿物的研究已经取得了大量成果[8]-[13]。朱凤冠等(1988)的研究认为东海陆架粘土矿物含量和组合主要受古今长江入海物质控制, 属北温带粘土矿物组合类型, 其扩散范围和组合分区主要受到物源和海流活动控制[8]。李国刚(1990)的研究认为中国近海沉积物中粘土矿物的组成和分布与陆源物质供应和源区气候密切相关, 另外化学絮凝和生物作用也有一定影响[9]。周晓静等(2010)的研究认为类长江细颗粒沉积物主要分布于东海陆架中西部地区, 类黄河沉积物分布于东北部和东部南部局部区域[10]。这些研究通常包括东海陆架的邻近区域在内, 或者取样站位比较靠近陆架边缘, 主要探讨不同时期不同物源的贡献和影响及其地质环境意义, 因而涉及到北部的黄河、废黄河和南部的福建、台湾河流入海物质的影响, 粘土矿物的含量统计结果和分布特征并不统一[8]-[13]。东海中部近海沉积表层沉积类型丰富, 但是均主要来源于长江入海物质, 对该区域沉积物粘土矿物的研究可以取得比较精确纯粹的结果。

2022 年 3~5 月在研究区近岸至外陆架(水深 5~110 m)做了沉积物采样分析, 7~8 月进行了夏季悬浮体

调查, 本文根据研究区内表层沉积物粒度和粘土矿物分析测试资料, 结合相同站位悬浮体调查结果, 探讨了该海域的表层沉积物粘土矿物含量、分布特征及影响因素, 为大区域海洋沉积的综合研究和近海海洋开发利用提供一个局部典型区域的资料。

2. 材料与方法

选取 2022 年 3~5 月调查项目中 217 个采样站资料(图 1)。采用箱式取样器采样。现场使用 HANNA pH211 型酸度计(意大利 HANNA Instruments 公司)对表层沉积物进行了 pH 和氧化还原电位值(Eh, mV)测定, 测试深度在表层向下 1 cm 处。粒度分析取表层 0 cm~2 cm 样, 大于 0.063 mm 的粗粒物质做筛分法分析, 小于 0.063 mm 的物质充分冲洗入量筒之中, 加入蒸馏水制成 1000 ml 悬液, 用来做沉析法分析。根据 Stokes 沉降定律的原理, 分别抽取各个粒级的悬液, 烘干后称重, 得到各粒级的质量分数[14]。

吸取粒度分析制备的悬浮液中<0.002 mm 粒级, 采用刮片法制成自然定向片(N 片), 采用 X 射线衍射(XRD)分析法进行沉积物粘土矿物测试。使用 Rigaku D/max-rB 型 X 射线衍射仪(日本理学株式会社), CuK α 靶, 波长 $\lambda = 1.54178 \text{ \AA}$, 连续扫描, 扫描速度为 $2^\circ/\text{min}$ (2θ), N 片测试后放置于 55°C 的乙二醇饱和蒸汽中 16 小时, 制成乙二醇饱和片(EG 片), 同等测试条件下测定 XRD 图谱。EG 片经 XRD 测定后, 加热至 350°C 恒温 1 小时, 制成加热片, 测定 XRD 图谱(保持相同的测试条件)。进行半定量的粘土矿物含量计算[1] [10]。悬浮体调查使用 SBE-19Plus 温盐深剖面仪(CTD) (美国 Sea-Bird Scientific 公司)获得悬浮水体的温盐深剖面数据。

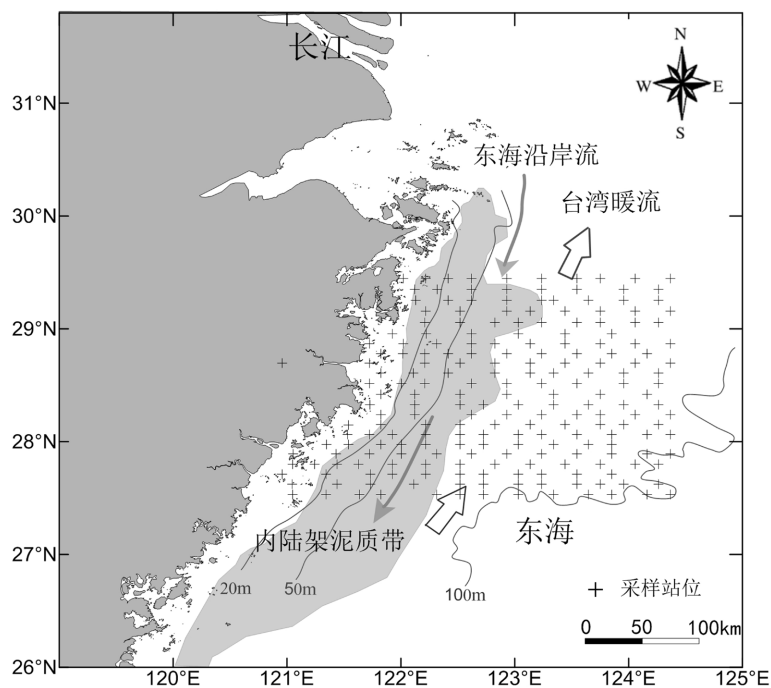


Figure 1. Sample locations in the study area
图 1. 研究区域的采样站位图

3. 结果

3.1. 研究区表层沉积物粘土矿物含量

研究区表层沉积物中粘土矿物组合为伊利石 - 绿泥石 - 高岭石 - 蒙皂石, 四种粘土矿物平均含量为:

伊利石 67.40%，绿泥石 17.75%，高岭石 12.28%，蒙皂石 2.57% (表 1)。内陆架泥质沉积区伊利石含量低于外陆架砂质沉积区，而高岭石含量则相反，在内陆架泥质沉积区较高，绿泥石和蒙皂石在两个区域的含量大致相当。与前人的研究成果比较，本文的测试结果与 Liu 等(2014)在内陆架的研究结果和秦蕴珊等(1987)外陆架砂质区的研究结果相当；与作为主要物源的长江入海物质和研究区临近海岸带相比，伊利石和蒙皂石含量稍低，而绿泥石和高岭石含量稍高；文献中东海陆架北部和长江口外海域由于其他物源(比如黄河或废黄河物质)的影响，蒙皂石的含量明显高于本研究区[13] [15]。

Table 1. Clay minerals contents (average (minimum-maximum), %) of the surface sediment on the central East China Sea offshore area and research results of adjacent areas

表 1. 东海中部近海表层沉积物粘土矿物含量(平均值(最小值 - 最大值), %)及临近区域研究成果统计

研究区域	伊利石	绿泥石	高岭石	蒙皂石
本文研究区总体	67.40 (51.34~83.24)	17.75 (9.97~33.10)	12.28 (4.52~18.51)	2.57 (0.07~8.26)
本文内陆架泥质区	65.95 (55.21~75.35)	17.94 (12.87~23.64)	13.62 (6.93~18.51)	2.50 (0.07~8.26)
本文外陆架砂质区	72.71 (51.34~83.24)	17.07 (9.97~33.10)	7.41 (4.52~13.03)	2.81 (0.45~7.18)
东海陆架平均[9]	59.70	19.60	8.90	11.90
东海陆架平均[10]	65.4	14.4	6.9	13.3
30°30'N 以南东海陆架平均[8]	71.2	13.6	8.2	7.2
浙江海岸带平均[8]	70.73	11.97	9.57	7.93
内陆架泥质区[12]	66~70	12~19	7~13	0~6
外陆架砂质区[5]	71.7	(绿泥石 + 高岭石) 21.9		6.5
长江口外平均[11]	60.3	12.3	13.5	14.9
长江下游沉积[15]	70.8	13.2	9.4	6.6

3.2. 研究区表层沉积物粘土矿物分布

研究区伊利石含量的等值线大体平行海岸线，从西北近岸向东南外海方向，伊利石含量总体呈增加趋势，高值区分布于中偏东部和东南部，低值区位于西北部(图 2)。

绿泥石在整个研究区分布较为均匀，相对高值区呈斑块状分布，其间为相对低值区。

高岭石分布非常有规律：等值线平行海岸线，呈东北 - 西南走向，从西北近岸向东南外海方向含量逐渐减小，高值区位于西北部，其东南侧有一个高梯度带，含量迅速减小。研究区中部和东南部低值区等值线方向没有西北部等值线方向明显。

研究区蒙皂石含量低，显示出明显的长江物质的特征[8] [15]，高值区和低值区成斑块状相间分布，主要高值区分布于调查区北部边缘。

4. 讨论

4.1. 研究区粘土矿物含量和分布特征的影响因素

海洋沉积物中粘土矿物的含量及分布特征与沉积区域和沉积物类型有关[1] [2]，受控于物源、水动力和沉积环境等诸多因素[9]-[13]。研究区粘土矿物含量和分布在内陆架泥质区和外陆架砂质区有明显不同(表 1, 图 2)，尤其是伊利石和高岭石，在两个沉积区之间形成梯度带。泥质区的形成与东海沿岸流对长江入海陆源碎屑的搬运扩散和台湾暖流的阻隔作用有关[5] [6] (图 1)，研究区物源和海域地形地貌条件较

为统一, 粘土矿物含量和分布显然主要受控于水动力条件, 前述梯度带的位置基本处于东海沿岸流和台湾暖流的流路之间。前人的研究也指出, 尽管东海陆架沉积物类型多变, 但全区粘土矿物组合无明显变化, 主要受到物源和海流活动控制, 其中东海中南部陆架为长江物源型低蒙皂石含量区[8]-[10]。

对研究区粘土矿物含量与沉积物和水体部分理化特征值做相关性分析(表 2), 四种粘土矿物含量与沉积物的粗细有较高的相关性, 其中伊利石与沉积物粒径和砂颗粒的含量呈正相关, 其他三种粘土矿物呈负的相关, 说明细粒沉积中这三种粘土矿物较为富集, 而较粗的沉积物中伊利石含量相对较高, 再次表明该区粘土矿物从岸向海方向的分布受到水动力条件控制的沉积分异的影响。

研究区粘土矿物的含量与沉积物 pH 值和 Eh 值没有明显的相关性, 与水体介质的 pH 值、温度和浊度的相关性也较差(表 2), 但是与盐度有较为明显的相关性。前人的研究指出, 河口等近岸地区水动力作用较强, 盐度较低, 化学絮凝作用较弱, 水体为酸性介质, 高岭石易富集, 相反, 陆架地区盐度较高, 絮凝作用强, 水体呈碱性, 形成伊利石和蒙皂石高值区[11] [16]。而本文的研究表明, 在影响东海中部近海沉积物中粘土矿物含量分布特征的环境因素中, 水体介质的盐度占主导地位, 其他环境因子的影响不明显。这可能主要是因为研究区为开阔海域, 海水和海洋沉积物中的各环境因子分布比较均匀, 均为陆架浅海环境, 因而没有如同河口近岸与陆架海域之间存在的较大的差异[16]。

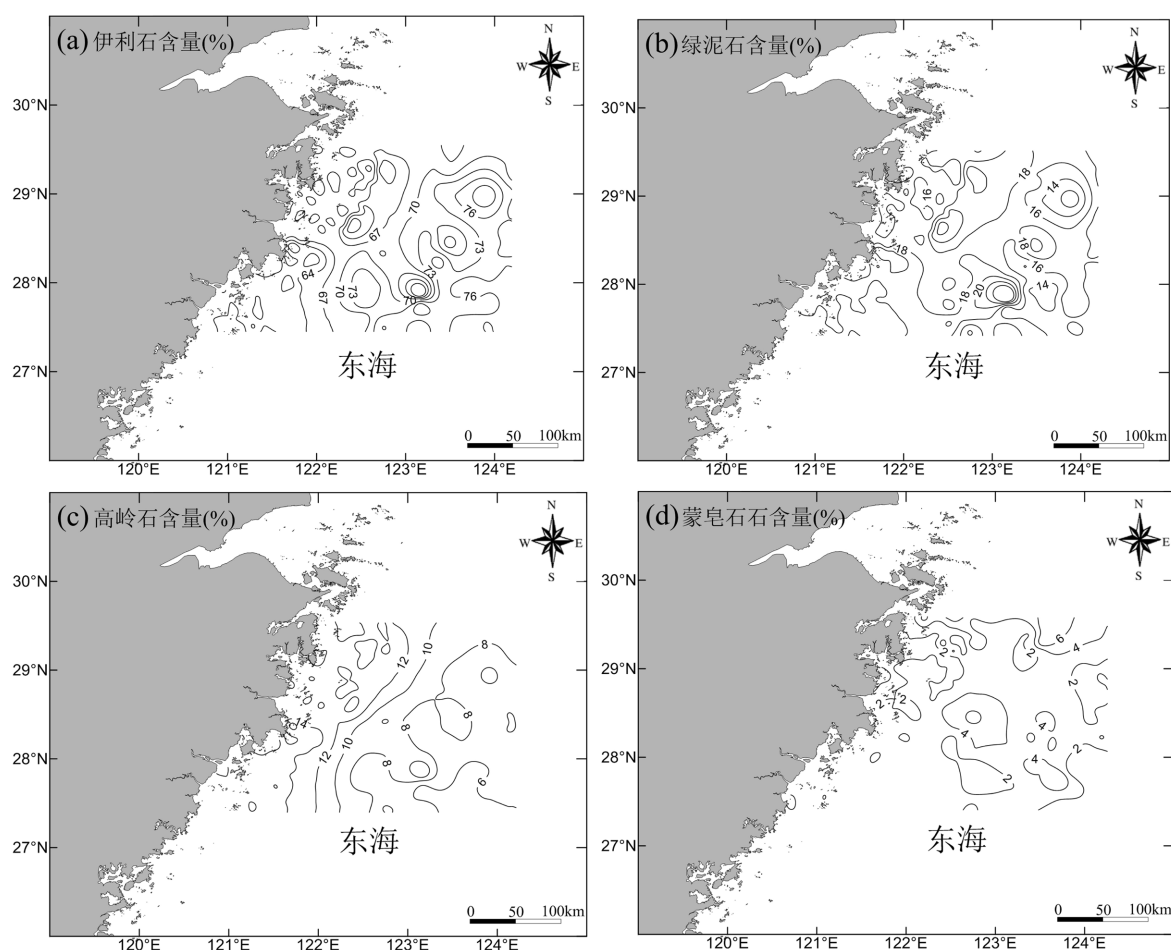


Figure 2. Distribution of clay minerals contents (%) of the surface sediment on the central East China Sea offshore area: (a) illite; (b) chlorite; (c) kaolinite; and (d) smectite

图 2. 东海中部近海表层沉积物粘土矿物含量(%)分布: (a) 伊利石; (b) 绿泥石; (c) 高岭石; (d) 蒙皂石

Table 2. Correlation coefficients between clay minerals contents (%) of the surface sediment on the central East China Sea offshore area and some physical and chemical properties of the sediment and sea water**表 2.** 东海中部近海表层沉积物粘土矿物含量(%)与部分沉积物和水体理化特征值的相关系数统计

沉积物和水体特征	伊利石含量(%)	绿泥石含量(%)	高岭石含量(%)	蒙皂石含量(%)
平均粒径(mm)	0.4562	-0.5267	-0.1931	-0.3329
沉积物中砂含量(%)	0.5105	-0.5032	-0.2979	-0.4412
沉积物中粘土含量(%)	-0.3873	0.4685	0.1476	0.2606
沉积物 pH 值	-0.0770	0.1332	0.0007	0.0078
沉积物 Eh (mV)	0.1655	-0.2410	-0.0546	-0.0393
水体表层 pH 值	0.1338	0.2478	-0.1426	0.2790
水体表层温度(°C)	-0.2179	0.2940	0.0839	0.0839
水体表层盐度(‰)	0.6191	0.5835	-0.4843	0.4290
水体表层浊度(FTU)	0.0821	-0.1567	-0.0138	0.0383
水体底层温度(°C)	-0.2204	0.0932	0.3583	0.1432
水体底层盐度(‰)	0.3544	0.4503	-0.1095	0.2278
水体底层浊度(FTU)	-0.1026	0.0312	0.2151	0.0282

4.2. 粘土矿物特征所揭示的沉积物运移和成因

研究区表层沉积物中高岭石和伊利石含量由近岸到外海的变化趋势(图 2), 与前人的研究成果中研究区表层沉积物总体上呈现由北向南, 由西向东(即由岸到海)的输运趋势一致[5] [6], 表明该区域沉积物主要由北侧长江入海陆源碎屑向东南扩散沉积而形成[17]。研究区高岭石从西北近岸向东南外海方向含量逐渐减小, 其分散态势指示了现代陆源物质输运方向, 而中国近海伊利石含量较高且较稳定[9], 在研究区与高岭石的分布互为消长。

研究区绿泥石的分布较为均匀, 内陆架泥质沉积主要为现代物质, 而外陆架砂质沉积主要来源于低海面时期的陆源碎屑, 寒冷干燥气候的机械风化作用利于绿泥石的富集[1], 因此虽然外陆架沉积现代物质供应少, 沉积速率低, 但是绿泥石的含量并不比内陆架低。

高岭石在外陆架的含量低, 可能表明了以下几个原因: 一是现代沉积物的输运扩散, 受到水动力条件的控制, 到外陆架现代物质已经较少, 沉积速率低; 二是高岭石是湿热气候强风化作用的产物, 外陆架沉积主要形成于低海面寒冷气候时期[5], 高岭石含量较低。

蒙皂石在北部边缘含量较高, 可能是受到北侧输运而来的物质影响[11], 长江口及邻近东海北部陆架海域, 由于黄河物质的影响, 蒙皂石含量高[15], 研究区蒙皂石的分布状况表明来自北部黄河的物质向南的影响范围最远到达 29.5°N 附近(图 2(d))。蒙皂石比较细小, 易随着水体搬运[1] [9]。在研究区中南部蒙皂石较为均匀的分布, 一种原因是内陆架和外陆架虽然其沉积主体的类型和成因时代不同, 但是含有蒙皂石的细颗粒组分的组成大致相同; 另一种原因则是现代陆源细颗粒物质的跨陆架输运[18], 蒙皂石随着细颗粒物质扩散到了整个陆架区域。

5. 结论

1) 研究区表层沉积物中粘土矿物组合为伊利石 - 绿泥石 - 高岭石 - 蒙皂石, 四种粘土矿物平均含量为: 伊利石 67.40%, 绿泥石 17.75%, 高岭石 12.28%, 蒙皂石 2.57%。

研究区高岭石分布非常有规律,从西北近岸向东南外海方向含量逐渐减小,而伊利石含量则总体呈增加趋势,绿泥石分布较为均匀。研究区蒙皂石含量低,高值区分布北部边缘。

2) 研究区粘土矿物含量和分布主要受控于水动力条件,与水体介质的盐度有较为明显的相关性。高岭石和伊利石的分布特征表明了该区域沉积物的扩散沉积方向。蒙皂石在研究区北部边缘的较高含量,表明了来自北部黄河的物质向南的影响范围。

参考文献

- [1] Biscaye, P.E. (1965) Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans. *Geological Society of American Bulletin*, **76**, 803-832.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1965\)76\[803:MASORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1965)76[803:MASORD]2.0.CO;2)
- [2] Griffin, J.J., Windom, H. and Goldberg, E.D. (1968) The Distribution of Clay Minerals in the World Ocean. *Deep Sea Research*, **15**, 433-459. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(68\)90051-X](https://doi.org/10.1016/0011-7471(68)90051-X)
- [3] Thiry, M. (2000) Paleoclimatic Interpretation of Clay Minerals in Marine Deposits: An Outlook from the Continental Origin. *Earth-Science Reviews*, **49**, 201-221. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00054-9)
- [4] Jiwarungrueangkul, T. and Liu, Z.F. (2021) East Asian Monsoon and Sea-Level Controls on Clay Mineral Variations in the Southern South China Sea since the Last Glacial Maximum. *Quaternary International*, **592**, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.04.033>
- [5] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 赵松岭. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-637.
- [6] 李安春, 张凯棣. 东海内陆架泥质沉积体研究进展[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(4): 705-727.
- [7] 陈方. 中国东南部海岸砂与大陆架砂沉积特征比较及其环境意义[J]. 第四纪研究, 1997, 17(4): 367-375.
- [8] 朱凤冠, 李秀珠, 高水土. 东海大陆架沉积物中粘土矿物的研究[J]. 东海海洋, 1988, 6(1): 40-51.
- [9] 李国刚. 中国近海表层沉积物中粘土矿物的组成、分布及其地质意义[J]. 海洋学报, 1990, 12(4): 471-479.
- [10] 周晓静, 李安春, 万世明, 孟庆勇. 东海陆架表层沉积物粘土矿物组成分布特征及来源[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(5): 667-675.
- [11] 蓝先洪, 张志珣, 李日辉, 王中波, 陈晓辉, 田振兴. 长江口外表层沉积物黏土矿物分布特征[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(11): 1-7.
- [12] Liu, S.F., Shi, X.F., Fang, X.S., Dou, Y.G., Liu, Y.G. and Wang, X.C. (2014) Spatial and Temporal Distributions of Clay Minerals in Mud Deposits on the Inner Shelf of the East China Sea: Implications for Paleoenvironmental Changes in the Holocene. *Quaternary International*, **349**, 270-279. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.016>
- [13] Zhao, Y.F., Zou, X.Q., Liu, Q., Wang, C.L., Ge, C.D. and Xu, M. (2018) Clay Mineralogy Indicates the Muddy Sediment Provenance in the Estuarine and Inner Shelf of the East China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, **152**, 69-79.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.11.036>
- [14] GB/T12763.8-2007. 海洋调查规范第8部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 5-12.
- [15] 范德江, 杨作升, 毛登, 郭志刚. 长江与黄河沉积物中粘土矿物及地化成分的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12.
- [16] 陈耀泰. 珠江口伶仃洋表层沉积物粘土矿物特性及其与动力环境的关系[J]. 中山大学学报(自然科学)论丛, 1990, 9(4): 55-60.
- [17] Liu, J.P., Xu, K.H., Li, A.C., Milliman, J.D., Velozzi, D.M., Xiao, S.B. and Yang, Z.S. (2007) Flux and Fate of Yangtze River Sediment Delivered to the East China Sea. *Geomorphology*, **85**, 208-224.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.023>
- [18] Liu, S.D., Qiao, L.L., Li, G.X., Li, J.C., Wang, N. and Yang, J.C. (2015) Distribution and Cross-Front Transport of Suspended Particulate Matter over the Inner Shelf of the East China Sea. *Continental Shelf Research*, **107**, 92-102.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.07.013>