

南黄海和东海沙脊区沉积物粒度特征的对比研究

李金铎, 余海俊, 赖纪海, 王日彪, 贺智能

自然资源部宁波海洋中心, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年4月12日; 录用日期: 2025年6月5日; 发布日期: 2025年6月18日

摘要

对南黄海和东海典型沙脊区域沉积物的特征的研究仍比较缺乏。根据2022年和2023年表层沉积物采样和测试资料, 对研究区沉积物粒度特征进行分析讨论。结果表明, 南黄海沙脊沉积区峰脊或浅滩区域和其间的槽洼区域沉积物相比有明显差别, 水动力的改造比较经常而且强烈。东海沙脊沉积区沙脊沉积物和沙脊间的槽洼沉积物相近。南黄海沙脊为活动性沙脊, 沉积物为多源、多期沉积, 且不稳定。东海沙脊沉积形成后, 后期的改造和现今的活动性都比较弱。东海沙脊沉积主要是低海面或海侵早期的河口三角洲或滨浅海相沉积。后期的改造主要是细颗粒的粉砂和粘土再悬浮和再沉积, 沉积物有一定程度的粗化, 但仍然总体上保持了原来的特征。

关键词

沉积物粒度特征, 沙脊, 南黄海, 东海

Comparative Study of Sediment Grain Size Characteristics in the Sand Ridge Area of the South Yellow Sea and the East China Sea

Jinduo Li, Haijun Yu, Jihai Lai, Ribiao Wang, Zhineng He

Ningbo Marine Center, Ministry of Natural Resources, Ningbo Zhejiang

Received: Apr. 12th, 2025; accepted: Jun. 5th, 2025; published: Jun. 18th, 2025

Abstract

Studies on the of sediments characteristics in typical sand ridge areas in the South Yellow Sea and East China Sea are still relatively lacking. Based on the sediment grain size test data in 2022 and

文章引用: 李金铎, 余海俊, 赖纪海, 王日彪, 贺智能. 南黄海和东海沙脊区沉积物粒度特征的对比研究[J]. 地理科学研究, 2025, 14(3): 515-521. DOI: 10.12677/gser.2025.143051

2023, the sediment grain size characteristics of the study area were analyzed and discussed. The results show that there is a significant difference between the sediments in the peak ridge or shallow beach regions of the South Yellow Sea sand ridge deposition area and those in the trough regions between them, and the hydrodynamic modification is more frequent and intense. In the East China Sea, the sediments of the sand ridges and the sediments of the troughs between the ridges are similar. The sand ridges in the South Yellow Sea are active sand ridges, and the sediments are multi-source, multi-phase deposits and unstable. After the formation of the East China Sea sand ridge deposits, the later modification and present-day activity are relatively weak. The East China Sea sand ridge deposits are mainly estuary or coastal phase deposits in the early stage of low sea surface or transgression. The later modification is mainly fine-grained silt and clay resuspension and redeposition, and the sediments are coarsened to a certain extent, but still generally maintain the original characteristics.

Keywords

Grain-Size Characteristics, Sand Ridges, South Yellow Sea, East China Sea

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

南黄海和东海最显著的地貌形态是大面积的主要由砂质沉积组成的沙脊[1][2]。南黄海沙脊主要呈辐射状分布于苏北近岸水深 30~50 m 以浅, 多数学者认为是现代近岸陆架活动潮流沙脊[3]-[5], 粉细砂沉积为主; 东海潮流沙脊以 NW-SE 向呈线状 = 分布于水深 50~150 m 东海外陆架, 细砂沉积为主[6]-[8]。前人的研究认为, 南黄海沙脊发育的主要动力是辐合辐散潮流系统, 水动力和物质来源复杂, 潮流沙脊和沉积物都存在活动性[2]-[5]。关于东海外陆架沙脊的成因时代和活动性, 国内外的研究至今仍有争议[1][6]。早期认为是残留沉积[9], 现在普遍认为沉积物形成和改造过程主要发生水深 30~50 m 以浅的时段, 也就是现在南黄海沙脊的水深条件下, 在沙脊顶部仍可受到现代沉积的影响[7], 潮流沙脊具有多期性和多成因性[8]。但也有学者认为是晚更新世冰期的海退三角洲体系, 并非潮流沙脊, 也没有迁移[10]。由此可见, 无论是南黄海近岸沙脊, 还是东海外陆架沙脊, 其沉积物都可能是多种来源, 经过多期改造, 或者有争议, 然而前人的研究集中于沙脊形态、结构、成因和演化等方面的研究, 对典型沙脊区域沉积物的特征的研究仍比较缺乏。海洋沉积物粒度特征可用来推断出其物源、成因、侵蚀堆积过程和强度以及沉积体即沙脊的演化趋势等地质和环境信息[5][6], 本文利用研究区沉积物采样和粒度分析资料, 对南黄海和东海沙脊的沉积特征进行对比分析, 一方面可以推测后者在前者水深条件下的沉积过程及其在古海洋学、古气候变化研究上的意义, 另一方面可以根据后者沙脊的现状对前者的演化趋势做预测。

2. 材料与方法

采用苏北专项调查 62 个站和浙江近海调查 126 个站资料(见图 1)。表层采样使用箱式取样器, 样品取 0~1 cm 样, 聚乙烯袋中密封冷藏, 带回陆地实验室测试。部分站位同时取柱状样, 采用振动活塞式采样器, 聚乙烯套管取岩心, 两端盖帽蜡封, 存于冷藏箱中。在实验室内, 按照 10~30 cm 的间隔取样进行测试分析[11]。样品以砂质沉积为主, 粒度分析采用综合法(筛分法 + 沉析法)进行。去除大的贝壳碎屑, 取 5~10 g 样品放入玻璃烧杯, 加入适量的 H_2O_2 溶液和 HCL 溶液去除有机质和钙质贝壳, 加入分散剂

[NaPO₃]₆ 溶液和蒸馏水, 浸泡一昼夜, 通过 0.063 mm 孔径的筛子倒入量筒, 蒸馏水多次冲洗, 留在筛子上的粗粒物质烘干做筛分法分析, 小于 0.063 mm 的物质加入蒸馏水制成 1000 ml 悬液, 用于做沉析法分析。根据 Stokes 沉降定律的原理, 抽取悬液烘干称重, 得到各粒级的质量分数。各粒级质量分数之和在 95%~105% 之间认为合格, 并据此进行各粒级质量分数校正, 超出上述范围的样品重新进行实验分析, 保证粒度分析结果的准确。采用等比制 Φ 值($\Phi = -\log_2 D$, D 为用 mm 表示的粒径值)粒级标准, 筛分粒级间隔 $1/2 \Phi$, 沉析粒级间隔 1Φ 。根据粒度分析结果采用 Shepard 分类法对沉积物分类命名, 采用图解法公式计算粒度参数。

利用同时进行的多波束调查结果分变出峰脊区和沙脊间的槽洼区。图件采用 Suffer 16.0 软件制作。

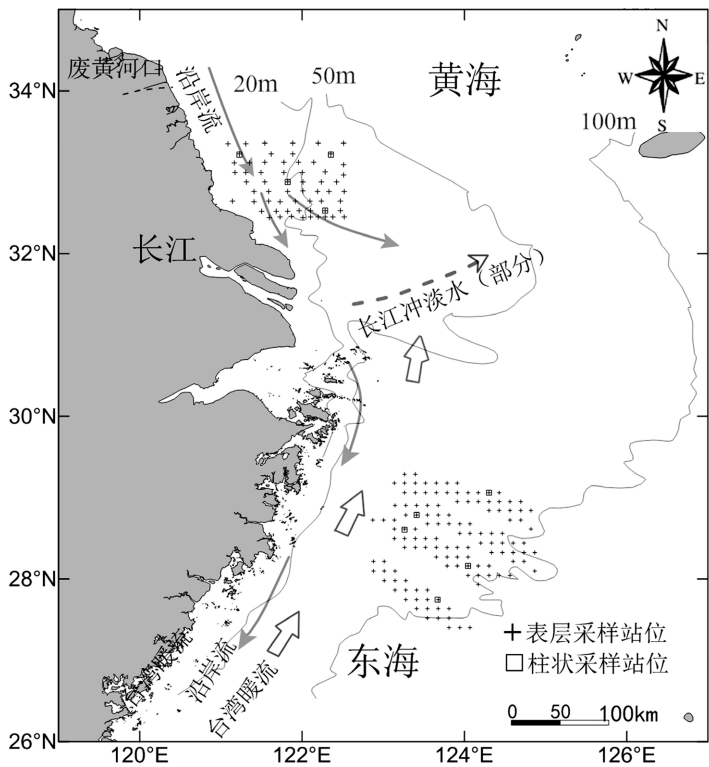


Figure 1. Investigated area and sampling position (modified from literature [1] [3] [8])
图 1. 研究区域位置和采样站位(参考文献[1] [3] [8])

3. 结果与讨论

3.1. 南黄海沙脊区沉积特征

按照海底地形地貌类型可分为浅滩或峰脊区和槽洼区, 二者之间相对高差为 3~6 m 左右。粒度分析数据表明, 研究区滩脊区和槽洼区沉积类型和特征明显不同(见表 1), 前者以中细砂为主, 可以称为砂质沉积; 槽洼区则以粘土质粉砂或砂质粘土或粘土质砂, 可称为砂泥混合沉积, 与前人的研究结果中“脊砂槽泥”的结论一致[5]。

滩脊沙质沉积分选较好, 分选系数基本在 1.00Φ 以下, 频率曲线单峰型, 峰值在 $2\sim3 \Phi$ ($0.25\sim0.125$ mm)之间, 微弱正偏态, 峰态中等-微尖, 概率曲线一般 $2\sim3$ 段, 推移和跃移段大致相当, 截点在 $2\sim3 \Phi$, 悬移段不明显, 或有或无, 截点在 10Φ (0.001 mm)左右, 具有海滩砂特点[12], 表明沉积物经过波浪或潮流等反复搬运冲洗。而槽洼区混合沉积分选较差, 分选系数基本在 1.50Φ 以上, 频率曲线单峰型为

主, 主峰值 3~6 Φ (0.125~0.016 mm), 次峰值 6~8 Φ (0.016~0.004 mm), 正偏态, 峰态中等, 概率曲线一般 1~3 段, 跃移段为主, 推移和悬移段不明显, 或有或无, 截点在 2~3 Φ 和 10 Φ 左右, 具沙丘砂特点, 但分选差, 具有多源或/和多期改造沉积的特点。

柱状样沉积物在所揭穿的 100~240 cm 厚的浅表地层在浅滩或峰脊区总体上呈上粗下细, 表层至 50 cm 的沉积物明显较下部粗, 一般为中细砂, 下部多为细砂和粉砂质砂夹层沉积。而在槽洼区, 柱状样剖面上一般为砂泥互层沉积。上述特征说明, 沉积物形成时或沉积后, 仍然受到风浪、潮流以及沿岸流等的作用, 在浅滩或沙脊区, 水动力对近表层 50 cm 沉积物进行了粗化改造。

Table 1. Characteristics of particles concentrations and grain-size parameters of sediments in ridge- and swale-region in the South Yellow Sea

表 1. 南黄海沙脊区滩脊区和槽洼区沉积物粒组含量和粒度参数特征值统计表

地貌形态		沙脊或浅滩	槽洼
沉积类型		细砂 - 中砂	粘土质粉砂 - 砂质粘土 - 粘土质砂
粒度参数 (Φ 值, 括号内 为最大最小值)	平均粒径	2.62 (3.68~1.41)	5.45 (7.41~3.39)
	中值粒径	2.55 (3.28~1.40)	5.19 (7.28~2.51)
	分选系数	0.78 (2.09~0.44)	2.10 (2.82~0.95)
	偏态值	0.14 (0.74~-0.01)	0.23 (0.70~-0.18)
	峰态值	1.32 (3.56~0.94)	1.02 (1.78~0.69)

3.2. 东海潮流沙脊沉积物特征

根据采样和粒度分析资料, 表层沉积物类型以青灰色细砂为主, 细砂含量多在 65%~80%之间, 粉砂和粘土颗粒的含量一般都在 5%~15%之间, 含有贝壳碎片或碎屑。峰脊区的表层沉积物比槽洼区稍粗, 砂粒组百分含量大 10%左右, 粉砂粒组和粘土粒组含量相应各减小 5%左右, 平均水深变浅 5~15 m。柱状样粒度分析结果表明, 随着埋深增加, 沉积物逐渐变细。

研究区沉积物频率曲线呈现很正偏态, 平均粒径小于中值粒径, 说明沉积物以粗粒为主, 峰态不正常, 变化大, 分选差, 分选系数基本在 2.00 Φ 以上。粒度分析资料和该区沉积物典型频率分布都表明, 沉积物 1~2 Φ (0.05~0.25 mm)粒级占 10%左右, 主要集中在 2~3 Φ (0.25~0.125 mm)粒级和 3~4 Φ (0.125~0.063 mm)粒级, 分别占 35%~60%和 15%~40%左右, 4~10 Φ (0.063~0.001 mm)各粒级含量一般在 5%左右。

Table 2. Characteristics of particles concentrations and grain-size parameters of sediments in ridge- and swale-region in the East China Sea

表 2. 东海沙脊区滩脊区和槽洼区沉积物粒组含量和粒度参数特征值统计表

地貌形态		沙脊	槽洼
沉积类型		细砂	粉砂质砂 - 粘土质砂
粒度参数 (Φ 值, 括号内 为最大最小值)	平均粒径	3.22 (4.89~2.44)	4.55 (5.41~3.79)
	中值粒径	2.33 (3.53~2.03)	3.36 (4.28~2.51)
	分选系数	1.99 (2.98~1.44)	2.60 (2.82~2.39)
	偏态值	0.88 (0.95~0.62)	0.63 (0.80~-0.48)
	峰态值	2.27 (4.18~0.60)	1.62 (2.28~0.69)

峰脊区沉积物分选比槽洼区稍好(见表 2),柱状样表层沉积物比下层分选稍好。上述特征说明,研究区沉积物搬运距离很小,很可能就是原地沉积;后期水动力的改造主要表现为峰脊区和浅表层沉积物粗化,分选变好,分选系数基本在 1.50 Φ 和 2.00 Φ 之间,但这种改造的程度还不足以改变原始沉积物的类型和特征,至少没有经过潮流反复冲刷沉积的过程。研究区沉积物粒度概率曲线可分 3~4 段,滚动组分缺失,跃移段较陡,可分 1~2 段,截点 2 Φ 左右;悬移组分分为 2 段,粗、细截点分别在 3~4 Φ 和 9 Φ 左右。沉积物的这种粒度概率图形与沙丘砂、海滩砂、浅海砂和一般河流砂都有很大不同,而表明沉积物更接近于是一种河口三角洲或天然堤及其附近浅水弱流沉积,并具有某些浊流沉积的特点[12]。

3.3. 南黄海和东海沙脊区沉积特征的对比分析

南黄海沙脊沉积区沙脊或浅滩沉积物和槽洼沉积物相比有明显差别(见表 1、表 3),前者沉积粗,分选好,经过波浪、水流反复冲洗,类似于海滩砂,而后者沉积明显较细,分选差,沉积物带有明显的多源或多期性。柱状样揭示出的近表层沉积物由下往上变粗,剖面可见多处互层沉积,说明后期水动力的改造比较经常而且比较强烈。前人的研究也指出,南黄海同时受到辐合辐散潮流系统、沿岸流、风浪等水动力的影响,同时物质来源复杂,既有来自现代黄河、废黄河、长江等入海泥沙,也有残留沉积等古物质,潮流沙脊结构形态不断调整,沉积物也发生变化[2]-[5]。根据本文的研究,研究区沙脊为活动性沙脊,沉积物为多源、多期沉积,且不稳定,与很多学者的研究结论一致。

而东海沙脊沉积区峰脊区域和槽洼区域沉积物相比差别不是很大(见表 2、表 3),沙脊沉积略粗,槽洼沉积略细,粒度参数和概率曲线都相近,沉积相亦相近。柱状样揭示出的近表层沉积物由下往上也差别不大,上部略变粗。有学者认为东海沙脊现在仍具有活动性[7] [13] [14],即沉积物仍有改造,或者现代沉积物的加入[15]。本次研究表明,东海沙脊沉积形成后,后期的改造和现今的活动性都比较弱,这主要是由于在沙脊形成后,海面已上升至最高海面,沙脊区水深达到约 50~150 m,水动力条件很弱。

Table 3. Comparison between the characteristics of sediments in ridge- and swale-region in the South Yellow Sea and East China Sea

表 3. 南黄海和东海沙脊区沉积物特征比较

海区	东海	南黄海
分布水深(m)	60~120	<30~50
沙脊长(km)	几十到 120	5~30
沙脊宽(km)	8~15	3~10
沙脊高(m)	5~15	3~6
沉积类型	细砂为主	含贝壳碎屑,中细砂为主
沙脊沉积		
中值粒径(Φ)	2.33 (3.53~2.03)	2.62 (3.68~1.41)
分选性	差	好
沉积相	接近三角洲沉积	接近河流砂或海滩砂沉积
沉积类型	粉细砂为主	粘土质砂为主
槽洼沉积		
中值粒径(Φ)	3.36 (4.28~2.51)	5.45 (7.41~3.39)
分选性	差	差
沉积相	接近三角洲沉积	接近沙丘砂沉积
柱状样沉积特征	沉积物剖面分布较均匀	顶端明显粗化
活动性	弱	受潮流、风暴等影响,活动性较强

关于东海沙脊沉积的成因时代, 早期认为是低海面时期形成的残留沉积[9], 现在大部分学者则认为是冰后期上面上升过程中受到潮流改造的变余沉积[1] [2] [6], 物源主要来自古长江, 海平面的升降和沙脊的侧向迁移使得沉积物发生多次侵蚀堆积过程[6], 在沙脊顶部仍可受到现代沉积的影响[7], 并且潮流沙脊具有多期性和多成因性, 下部是形成于 15-12 KaBP 的以粉细砂为主的古长江河口沙脊, 上部发育冰消期后 12-7 KaBP 时期主要由往复潮流冲刷改造形成的潮流沙脊[8]。但也有学者认为主体是晚更新世冰期的海退三角洲体系, 目前被海侵席状砂体覆盖, 并非潮流沙脊, 也没有迁移[10]。本次研究显示后期的改造主要是细颗粒的粉砂和粘土再悬浮和再沉积, 因此各粒级含量比较均匀, 沉积物有一定程度的粗化, 但仍然总体上保持了原来的特征, 即可能主要是低海面或海侵早期的河口三角洲或滨浅海相沉积。

无论南黄海近岸的活动沙脊, 还是东海外陆架沙脊, 都是区域原始地形、物源和水动力条件互相平衡的结果, 除了沉积物特征外, 对二者进一步的研究还需要大量准确的有关底形、物源、水动力条件等方面的资料进行综合分析。

4. 结语

(1) 南黄海沙脊沉积区峰脊或浅滩区域和其间的槽洼区域沉积物相比有明显差别, 前者沉积粗, 分选好, 经过波浪、水流反复冲洗, 类似于海滩砂; 槽洼沉积细, 分选差, 沉积物带有明显的多源或多期性。水动力的改造比较经常而且强烈。东海沙脊沉积区沙脊沉积物和沙脊间的槽洼沉积物相比差别不是很大, 沙脊沉积略粗, 槽洼沉积略细, 粒度参数相近。

(2) 南黄海沙脊为活动性沙脊, 沉积物为多源、多期沉积, 且不稳定。东海沙脊沉积形成后, 后期的改造和现今的活动性都比较弱, 主要原因是水深较深, 水动力条件弱。东海沙脊沉积主要是低海面或海侵早期的河口三角洲或滨浅海相沉积。后期的改造主要是细颗粒的粉砂和粘土再悬浮和再沉积, 沉积物有一定程度的粗化, 但仍然总体上保持了原来的特征。

(3) 南黄海近岸的活动沙脊和东海外陆架沙脊沉积体系都是区域原始地形、物源和水动力条件互相平衡的结果, 需要大量准确的有关底形、物源、水动力条件等方面的资料进行综合分析。

参考文献

- [1] 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [2] 刘振夏, 夏东兴, 王揆洋. 中国陆架潮流沉积体系和模式[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(2): 141-147.
- [3] 王建, 阎国年, 林琿, 等. 江苏岸外潮流沙脊群形成的过程与机制[J]. 南京师大学报(自然科学版), 1998, 21(3): 95-108.
- [4] 杨子庚, 王圣洁, 张光威, 等. 冰消期海侵进程中南黄海潮流沙脊的演化模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 4-13.
- [5] 刘阿成, 陆琦, 王百顺, 等. 南黄海太阳沙西侧潮流脊槽的沉积物分布特征和沉积环境演变[J]. 海洋学研究, 2015, 33(2): 40-46.
- [6] 王中波, 杨守业, 张志珣, 等. 东海外陆架晚第四纪若干沉积学问题的研究现状与展望[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(3): 1-10.
- [7] Liu, Z., Berné, S., Saito, Y., Yu, H., Trentesaux, A., Uehara, K., et al. (2007) Internal Architecture and Mobility of Tidal Sand Ridges in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, **27**, 1820-1834. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.03.002>
- [8] Wu, Z., Jin, X., Cao, Z., Li, J., Zheng, Y. and Shang, J. (2010) Distribution, Formation and Evolution of Sand Ridges on the East China Sea Shelf. *Science in China Series D: Earth Sciences*, **53**, 101-112. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0190-0>
- [9] Emery, K.O. (1968) Relict Sediment on Continental Shelves of the World. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **52**, 445-464.
- [10] 杨文达. 东海海底沙脊的结构及沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1): 12-19.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T12763-2007 海洋调查规范[S].

-
- 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12] Visher, G.S. (1969) Grain Size Distributions and Depositional Processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, **39**, 1074-1106.
- [13] 苏大鹏, 胡刚, 刘健, 等. 东海陆架区潮流沙脊的沉积动力学[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(6): 15-18.
- [14] 印萍. 东海陆架冰后期潮流沙脊地貌与内部结构特征[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 181-186.
- [15] Zhang, K., Li, A., Huang, P., Lu, J., Liu, X. and Zhang, J. (2019) Sedimentary Responses to the Cross-Shelf Transport of Terrigenous Material on the East China Sea Continental Shelf. *Sedimentary Geology*, **384**, 50-59.
<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.03.006>