

文章编号: 1000-0550(2013)03-0497-12

南黄海中部表层沉积物有机质分布与分子组成研究^①

张生银^{1,2,3} 李双林² 董贺平² 赵青芳² 张中宁¹ 史基安¹

(1. 中国科学院油气资源研究重点实验室 兰州 730000; 2. 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室 山东青岛 266100;
3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 通过分析南黄海中部501个站位表层沉积物总有机质、粒度及常量元素特征,了解有机质分布特征及影响因素,并进一步对其中64个站位的进行气相色谱(GC-FID)分析,探讨有机质分子组成。分析表明:南黄海中部总有机碳受水动力影响呈分布西低东高分布,总有机碳与 Al_2O_3 含量中值粒径依次相关特性;正构烷烃组成表明有机质主要来源于陆源高等植物,海洋浮游藻类贡献次之,陆源植物中草本植物与木本植物贡献相当,类异戊二烯烃反映了短链正构烷烃明显海洋还原沉积环境;常量元素与正构烷烃参数综合分析表明,南黄海中部陆源有机质主要来自于现代黄河、苏北古黄河输入,体现无机-有机综合分析对有机质物源判断;部分样品具有明显石油源输入特征,细菌对沉积物有机质贡献普遍存在。

关键词 沉积物 有机质 常量元素 正构烷烃 物源分析 南黄海

第一作者简介 张生银 男 1986年出生 博士 有机地球化学 E-mail: zhangseepage@126.com

通讯作者 史基安 E-mail: jashi@lzb.ac.cn

中图分类号 P593 P736.2 文献标志码 A

0 前言

陆架边缘海是海洋生态系统中能量转换和碳循环的关键区域,海洋中平均80%以上有机质埋藏于陆架与陆坡,受海陆相互作用影响,其有机质来源较为复杂^[1,2],陆架边缘海具有快速沉积堆积和较高生物生产率,探讨陆架边缘海有机质来源与分布对认识海洋生态系统演化与河口—陆架“源汇”问题具有重要意义^[3~7]。此外,近年来,随着我国经济发展,特别是山东半岛工业水平快速提高,通过河流或大气进入黄海环流的污染物逐年增加,人类活动对海洋生态系统的影响日益加剧,基于对边缘海有机质来源判别进行海洋环境污染评估和治理必不可少。

海洋沉积物中的有机质具有较好稳定性,特别是在黏土矿物的吸附作用下,部分化合物能够保持相对稳定的结构,如正构烷烃、类异戊二烯类烷烃、甾烷和萜烷等有机化合物^[8,9]。研究这些有机化合物的地球化学特征,不仅可以揭示沉积物来源、古沉积环境和成岩演化等重要信息^[10,11],还可用于环境污染的示踪,甚至为海洋油气及天然气水合物勘探提供必要依据^[12,13]。

黄海是冰后期海侵作用下形成的典型陆架海,平均水深50 m,最大水深100 m,全新世以来受黄河长江影响,接受了大量的陆源物质^[14]。南黄海沉积物主要来源于古黄河和现代黄河输入,环流作用下形成了中国东部海区特有的泥质沉积^[14,15]。研究区位于南黄海中部,北纬 $34^{\circ}12' \sim 35^{\circ}24'$,东经 $121^{\circ}12' \sim 124^{\circ}$ 之间(图1),西部为苏北岸舌状地体系,主要为砂质沉积,中—东部为南黄海中部平原,主要为泥质沉积。本文通过分析沉积物有机质、粒度及常量元素的分布特征,了解研究区有机质分布主控因素;并结合正构烷烃与类异戊二烯类烷烃组成特征,探讨南黄海中部泥质区有机质的物源和归宿。

1 样品采集与分析方法

1.1 样品采集

本文研究样品涉及501个站位,其中饱和烃气相色谱测试样品64个,其分布见图2(A),而常量元素、有机碳和粒度样品501个,其分布如图2(B)。研究区水深40~90 m,采样工具为振动取样器,取样过程对沉积物扰动不明显,柱状样长2.5~3.0 m。样品采集后现场分样,样品经铝箔纸无污染包装,在室

①国土资源部行业科研专项项目(海洋油气地球化学勘查技术及其应用研究:201211060);国土资源部海洋油气资源与环境重点实验室开放基金项目(南黄海沉积物单体正构烷烃碳同位素组成对有机质来源环境演化的指示:MRE201205)资助
收稿日期:2012-05-20;收修稿日期:2012-08-10

室冷冻(-20℃)保存,直至有机分析。

1.2 实验分析

1.2.1 常量元素分析

Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、K₂O、Na₂O、MgO、TiO₂、P₂O₅、MnO 等测定是将试样经 10 mL 氢氟酸、5 mL 硝酸分解,低温加热 30 min,稍冷后,加 2 mL 高氯酸分解,再

加 10 mL 盐酸溶取,制成溶液,用压片法 X-射线荧光光谱(XRF)和等离子体光谱法(ICPOES)进行测定。元素分析分别进行了若干样品的重复分析与标样分析,分析元素的相对误差小于 5%。

1.2.2 粒度分析及有机碳分析

有机碳和粒度分析均在青岛海洋地质研究所完成。粒度测定步骤如下:样品冷冻干燥 48 h,直至水分完全冻干,样品质量不随冷冻时间变化。冻干后样品碾磨成粉末,过 100 目筛,再次冻干置于室温下。取 1 克左右的样品加入 10 mL 含 5% H₂O₂ 静置 24 h,以去除有机质组份,再加入稀盐酸去除生物 CaCO₃。然后用仪器自带的超声波振荡器超声分散 30 min,试验采用英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度分布测量仪进行粒度分析。测量范围为 0.02 ~ 2000 μm,分辨率 0.01 φ,分析误差 ± 2%。

有机碳测定方法采用酸洗去除碳酸盐再上元素分析仪的方法。具体步骤如下:称取样品约 1 g 左右,用 10% 的盐酸 10 mL 浸泡三次,每次约 8 h,离心弃去酸液,水洗至中性,然后 60℃ 下烘干过夜,放入干燥器中平衡至恒重。取 1 ~ 10 mg 样品上元素分析仪(Vario EL—III Elemental Analyzer)上测定碳的百分含量。然后由酸洗前与酸洗后重量之差校正测得碳的百分含量,并最终计算得出原始样品中有机碳的百分含量。

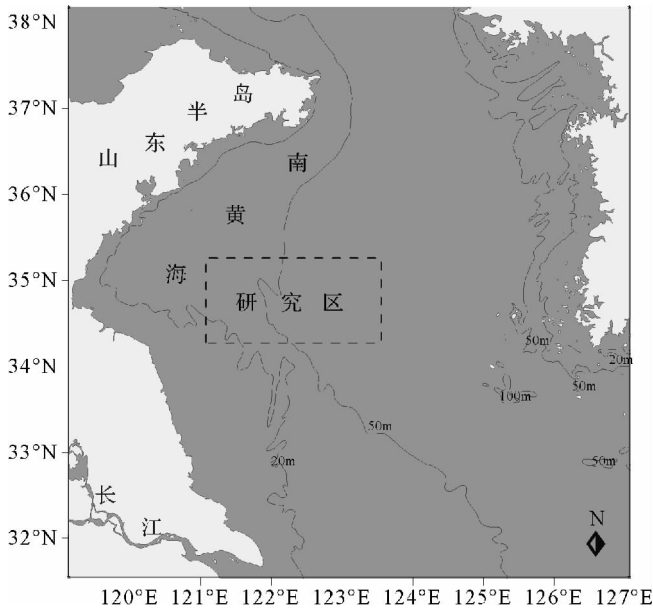


图1 研究区位置

Fig. 1 The location of the study area

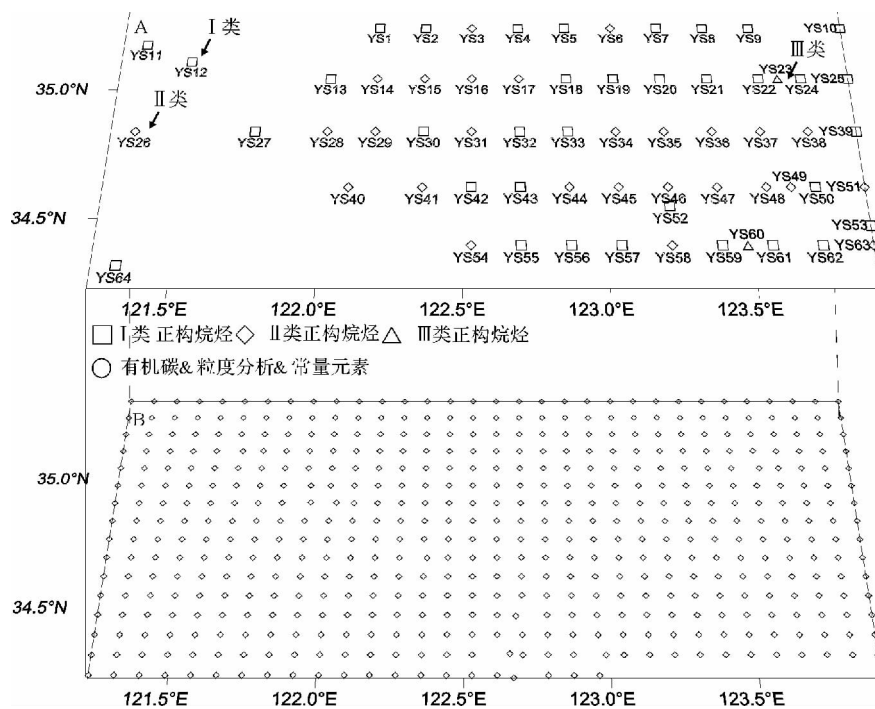


图2 样品站位及各类正构烷烃分布

Fig. 2 The distribution of sampling sites and all kinds of n-alkanes

1.2.3 气相色谱分析

有机质萃取、分离纯化和测试按 SY/T 5119—2008 进行。基本步骤为: 沉积物样品经冷冻干燥, 研磨称取 20 g 左右, 用二氯甲烷索式抽提 72 g, 抽提底瓶中事先加入一定量的活化铜片以去除样品中的硫。提取液经浓缩、转换溶剂, 过硅胶/氧化铝(1:1)层析柱分离净化, 用 20 ml 正己烷分四次淋洗, 收集饱和烃馏分。

饱和烃色谱定量分析: Agilent 6890N 气相色谱仪; 色谱柱为 PONA 柱 50m × 0.20mm × 0.3 μm, 进样口温度: 300℃, 柱炉温的升温程序为: 35℃ 恒温 10 min, 以 4℃/min 至 300℃ 恒温 50 min, 载气流速为 1.0 ml/min, 载气为 N₂。正构烷烃标样为: C₂₄D₅₀(全氘化碳二十四正构烷烃), 检测依据 GB/T18606—2001。

1.3 质量控制

实验对每个样品均加入回收率指示物来监测实验过程中的损失, 烷烃的回收率可根据保留时间和分子量采用五种氘代多环芳烃中的氘代菲(D-Phe)进行控制, 实验得回收率为 91.5 ± 10%。此外, 还采用了空白和加标空白试验进行空白对照, 空白试验中无明显目标化合物的干扰(<5%)。

2 结果与讨论

2.1 总有机碳

2.1.1 主成分分析

基于有机碳(TOC)与常量元素、中值粒径(MD)相关性做主成分分析, 经 Varimax 旋转得到 2 个主成分特征向量(图 3)。第一主成分解释了总方差的 58.9%, 反映了沉积物粒度、碎屑矿物含量控制因素; 第二主成分解释了总方差的 77.2%, 主要反映了海洋自生沉积作用影响。主成分因子载荷表明, 有机碳、Al₂O₃ 等主量元素与沉积物粒度关系密切; 而 CaO、CaCO₃、MnO 和 P₂O₅ 则受到陆源方解石和生物地球化学过程、自生作用的控制, 其中 MnO 代表了还缺氧还原海洋环境^[16], 这一聚类与有机碳的弱相关也反映了海洋自生作用对沉积物有机质贡献有限; 此外 SiO₂ 以单聚点形式出现, 与中值粒径等要素呈负相关。

2.1.2 总有机碳分布

总有机碳作为研究有机质含量重要指标, 广泛应用于现代沉积物和泥质岩类中^[9, 17]。研究区包括横跨苏北沙脊辐射区和南黄中部平原, 总有机碳含量在

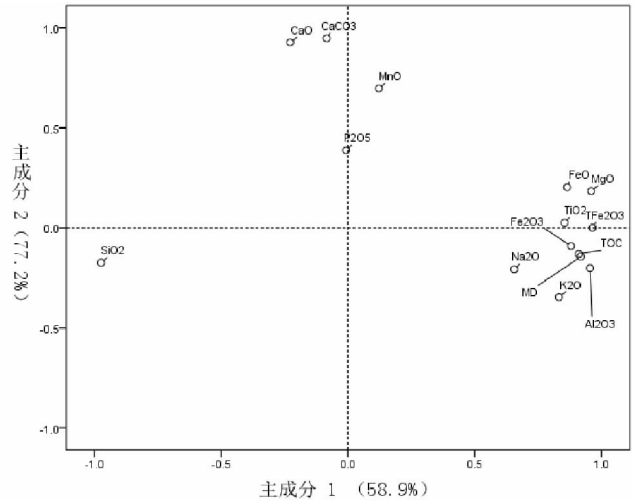


图 3 沉积物样品中常量元素、总有机碳(TOC)、中值粒径(MD)因子载荷图

Fig. 3 The components load map of major elements, TOC and median size in sediment samples

0.02% ~ 1.41%, 平均值为 0.56 ± 0.29%, 有机质含量远高于大洋水平, 反映了近海沉积的特点^[18]。其中西部侵蚀区总有碳质含量主要 0.05% ~ 0.45% 之间, 而中部泥质区总有机碳含量为 0.65% ~ 1.41% (图 4), 明显高于侵蚀区总有机碳含量, 为有机质主要汇聚场所。

边缘陆架海沉积物有机质含量主要与有机质生产率和河流输入作用有关, 已有研究资料表明, 南黄海沉积物有机质主要来源于陆源植物输入^[19-21], 由于古黄河三角洲沉积物受黄海环流作用严重侵蚀, 水动力对研究区有机质分布显得至关重要。前已述及, 研究区沉积物中有机质含量与黏土矿物密切相关, 而黏土含量则直接受沉积物粒度大小控制。鉴于铝(Al)作为黏土矿物主要组成部分, 本次研究选取常量元素铝(Al₂O₃)含量与粒度、总有机碳含量(TOC)进行相关性分析。分析表明, TOC 与 Al₂O₃ 含量具有较高相关关系($R^2 = 0.74$) (图 5A), 说明黏土矿物对有机质具有良好的富集作用; 相对而言, TOC 与中值粒径(MD)相关系数略低($R^2 = 0.68$) (图 5B), 但仍然反映了细颗粒物对有机质分布影响。这主要是由于相对于粒径对有机质影响, 黏土矿物更为直接, 细颗粒沉积物对有机质影响通过黏土矿物对有机质吸附作用表现。图 2 对三者空间分布同样反映这一特征, TOC、Al₂O₃ 和 MD 高值区均位于中部泥质区, 而其周边及苏北沙脊区均为低值区, 三者之间相关性向下略

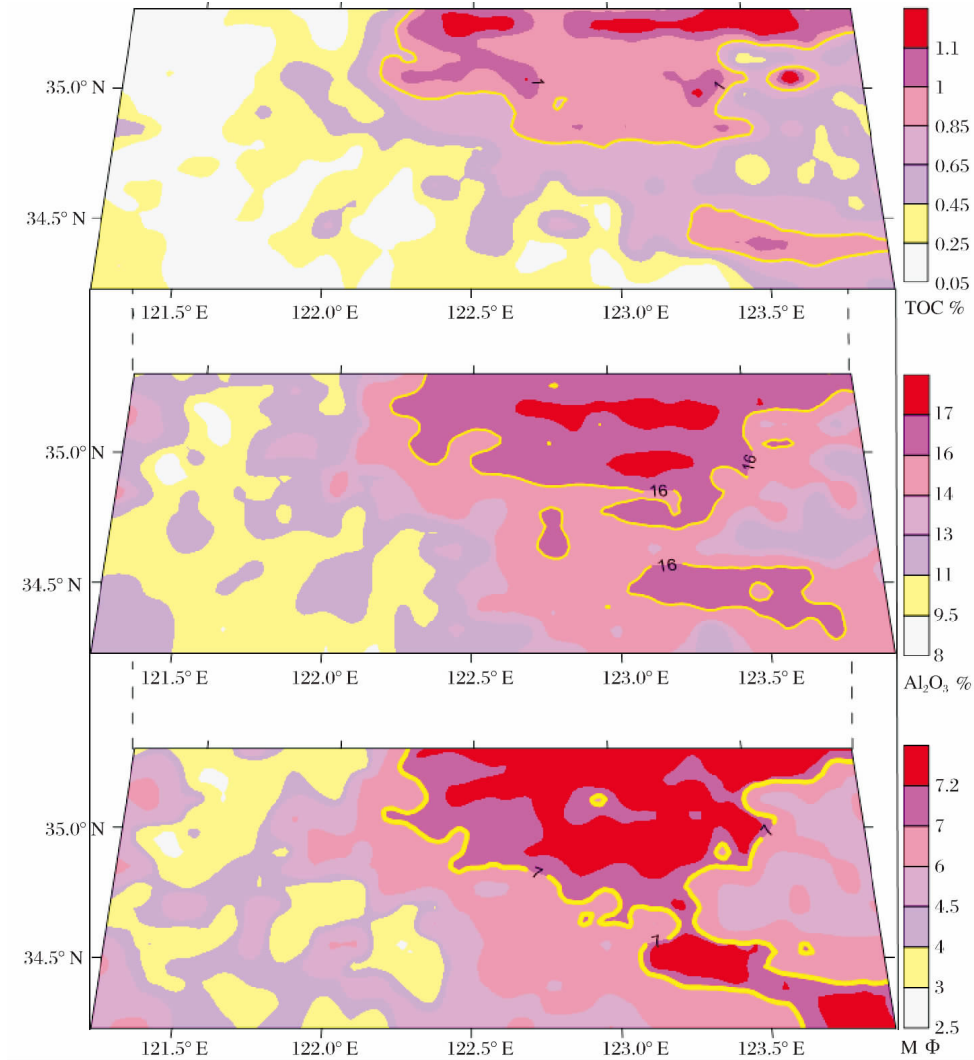


图4 总有机碳、Al₂O₃与中值粒径区域分布图

Fig. 4 The distribution of TOC , Al₂O₃ and median size in the study area

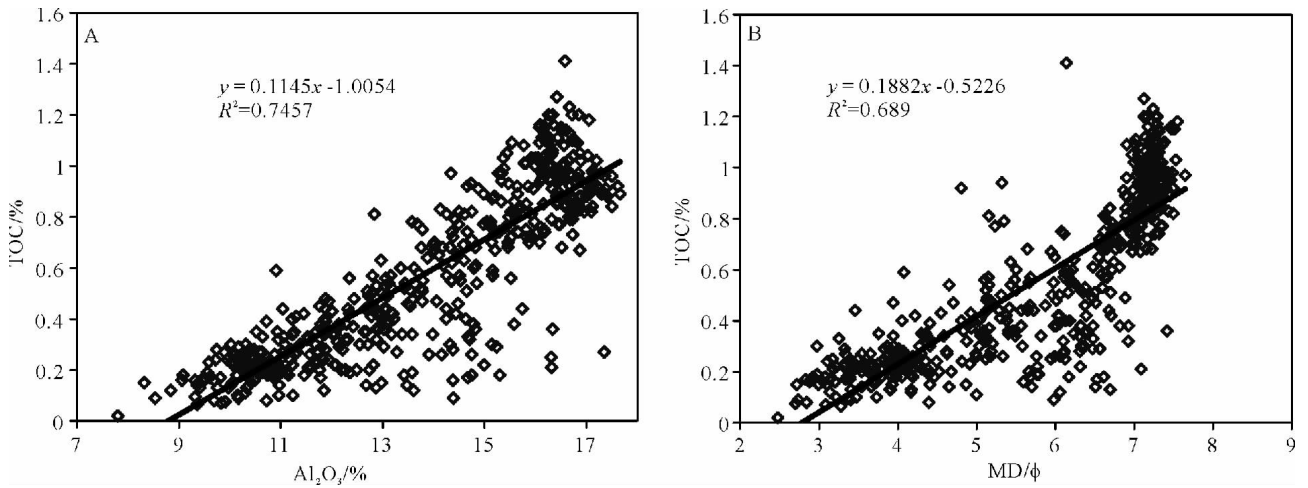


图5 沉积物有机碳与 Al₂O₃ (A)、有机碳与中值粒径 (B) 相关性分析

Fig. 5 The correlation between TOC and Al₂O₃ (A) , TOC and median size

降。南黄海现代陆架沉积受黄海沿岸流、波浪、潮流、黄海暖流以及气旋型涡旋(冷涡)和反气旋型涡旋(暖涡)共同控制^[15],现代黄河物质沿黄海沿岸流绕过成山头进入黄海环流,古黄河沉积物则经过再悬浮参与南黄海沉积体系,两者构成南黄海沉积物主要来源,因此,中值粒径对有机质影响反映了水动力对有机质的控制。

2.2 正构烷烃及类异戊二烯烷烃分布

正构烷烃碳分子特征是一个常用的有机地球化学指标,在地质体中它不仅表现为与母质来源有很好的相似性,而且还能指示沉积环境特征。高碳数的烃类($nC_{25} - nC_{35}$)主要来源于高等维管植物蜡质和针叶树起源的脂碎屑;低碳数烃类($nC_{17} - nC_{23}$)则主要起源于海洋藻类的类脂物(藻类、浮游生物和细菌输入)^[10, 11, 21]。南黄海沉积物有机质主要来源于河流的输入,大气沉降对有机质组成影响也较为明显^[20, 21, 23]。

2.2.1 总体特征

研究区正构烷烃分布碳分子数分布范围为 $C_{14} - C_{38}$,多数站因 C_{13} 与 C_{38} 含量较低而未能检出。正构烷烃主要呈双峰群分布,前峰群为 $C_{14} - C_{21}$,后峰群为 $C_{22} - C_{38}$,表明来源的复杂性和多重性。部分表现为单峰特征;气相色谱图(GC-FID)中低碳数峰群以 C_{18} 为主峰碳,高碳数峰群则多以 C_{29} 或 C_{31} 为主峰碳,部分样品主峰碳为 C_{25} 或 C_{27} (表1)。奇偶优势 OEP 为 1.11 ~ 4.08,平均值为 1.64 ± 0.42 ,反映了明显奇碳优势(表1,图6);低碳数正构烷烃与高碳数正构烷烃(L/H)比值为 0.03 ~ 0.62,平均值为 0.10 ± 0.04 ,说明研究区沉积物中正构烷烃以高碳数为主(表1,图6);Pr/ nC_{17} 与Ph/ nC_{18} 均值分别为 0.85 ± 0.20 和 1.28 ± 0.19 ;Pr/Ph 值为 0.11 ~ 1.84,植烷含量较高;前峰群碳优指数 CPI_1 范围为 1.83 ~ 1.01,后峰群 CPI_2 为 1.20 ~ 3.39,后峰群奇碳优势显著;陆源优势 Alkterr 均值为 0.37 ± 0.05 ,陆源指数明显; C_{31}/C_{29} 值为 0.89 ± 0.10 , C_{31} 与 C_{29} 含量相当,说明草本植物与木本植物贡献相当,与前人研究结果一致^[2, 24]。

2.2.2 主成份分析

基于各元素之间相关性和贡献值,对 $C_{16} - C_{36}$ 和 Pr、Ph 做主成分分析,经 Varimax 旋转得到 2 个主成分特征向量,可代表总数据方差的 97%(图7)。第一主成分解释了总方差的 26%,主要解释了短链正构烷烃及类异戊二烯烷烃之间的相关性,反映了海洋来源的贡献;第二主成分解释了总方差的 71%,主要解

释了长链正构烷烃之间的相关性,代表了陆源有机质输入。图7中可以看出,检测的正构烷烃和类异戊二烯烷烃可以分为两个部分, $C_{16} - C_{25}$ 、Pr 和 Ph 主要位于海源贡献负荷区,而 $C_{27} - C_{36}$ 则位于陆源贡献负荷区, C_{26} 明显区别于两个变量,其主要与 C_{26} 附近较强的干扰峰或角鲨烷有关,同时也反映了海洋中可能的细菌类的降解产物、特殊的藻类及石油烃。

表1 南黄海中部正构烷烃及类异戊二烯烷烃分子组成特征参数范围

Table 1 The characteristics of these *n*-alkanes and isoprenoids molecule indices in the central part of South Yellow Sea

参数	最大值	最小值	平均值	方差
OEP	4.08	1.11	1.64	0.42
L/H	0.62	0.03	0.10	0.04
$(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$	4.99	0.1	0.39	0.20
Pr/ nC_{17}	1.58	0.67	0.85	0.20
Ph/ nC_{18}	1.99	0.96	1.28	0.19
Pr/Ph	0.84	0.11	0.47	0.19
CPI_1	1.83	1.01	1.17	0.04
CPI_2	3.39	1.20	1.54	0.24
Alkterr	0.59	0.10	0.37	0.05
C_{31}/C_{29}	1.28	0.09	0.89	0.10
主峰碳数	$C_{25}/C_{27}/C_{29}/C_{31}$			

OEP = $[(C_i + 6C_{i+2} + C_{i+4}) / (4C_{i+1} + 4C_{i+3})]^n$, i = 主峰碳数 (C_{29} 或 C_{31}) $n = (-1)^{i+1}$;

L/H = $\sum nC_{21-} / \sum nC_{22+}$;

$CPI_1 = 1/2 [\sum C_{15-21}(\text{奇碳}) / \sum C_{14-20}(\text{偶碳}) + \sum C_{15-21}(\text{奇碳}) / \sum C_{16-22}(\text{偶碳})]$;

$CPI_2 = 1/2 [\sum C_{25-35}(\text{奇碳}) / \sum C_{24-34}(\text{偶碳}) + \sum C_{25-35}(\text{奇碳}) / \sum C_{26-36}(\text{偶碳})]$;

Alkterr = $(C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / \sum C_{14-38}$

2.2.3 基于无机—有机的 Q 型聚类分析

本文根据研究对象的相似性,对样品的各个观测变量分析,找出一些能够度量样品这间相似程度的统计量,把相似程度大的样品聚为一类,相似度小的聚为一个大类,直到所有样品都聚合完成,形成一个由小到大的分类系统。本文聚类主要采用方法是沃尔德最小方差法(Ward's method),类组之间的距离系数的计算是采用二值欧氏距离平方(Square Euclidean Distance)来计算,聚类分析采用快速样品聚类过程(图8)。

研究区内 64 个正构烷烃及类异戊二烯烷烃样品包括 11 个参数,即主峰碳数、OEP、L/H、 $(nC_{21} + nC_{22}) / (nC_{28} + nC_{29})$ 、Pr/ nC_{17} 、Ph/ nC_{18} 、Pr/Ph、 CPI_1 、 CPI_2 、Alkterr 和 C_{31}/C_{29} 。由于 Pr/Ph 为 Pr/ nC_{17} 、Ph/ nC_{18} 计

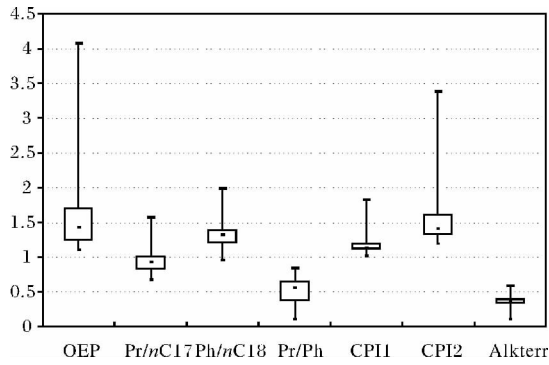


图 6 正构烷烃参数箱线图,箱内横线代表平均值,顶底横线分别代表上下四分位值,垂线为参数范围

Fig. 6 Box plots showing the *n*-alkanes and isoprenoids molecule indices. The means are shown by solid circles. The median is represented by the middle horizontal line, with the upper and lower quartiles being the lines above and below. The vertical lines show the indices concentration spread and the asterixes are outliers.

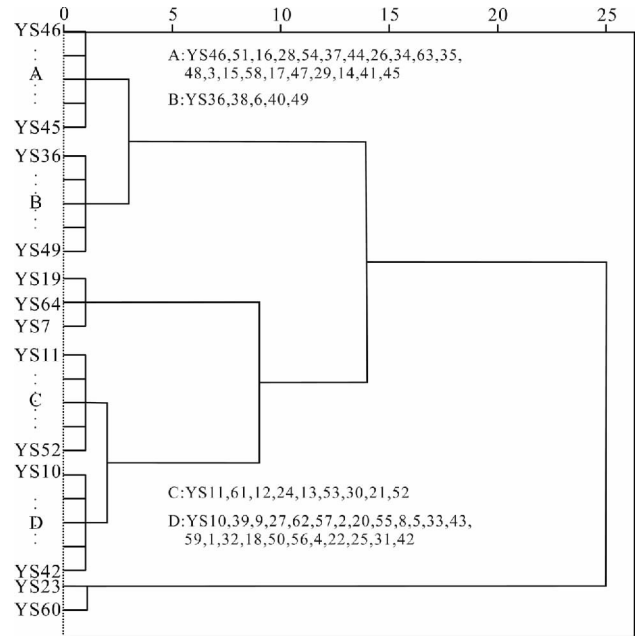


图 8 沉积物样品聚类树状图

Fig. 8 Dendrogram of cluster analysis on *n*-alkanes parameter

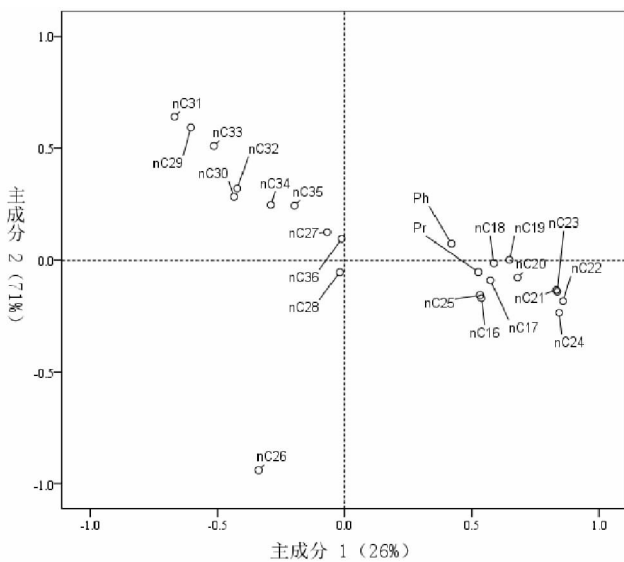


图 7 沉积物中正构烷烃因子载荷图

Fig. 7 The components load map of *n*-alkanes in sediment samples

算得来,聚类时选取参数不包括 Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈与 C₃₁/C₂₉。此外,鉴于沉积物本身特征对有机质影响,将中值粒径(MD)、TOC、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、K₂O、Na₂O、MgO、TiO₂、P₂O₅、MnO 综合考虑。依据上述无机-有机参数将样品分为三类: I 类样品、II 类样品和 III 类样品,其分布见图 2A。

I 类样品: I 类样品包含 35 个站位的表层沉积物样,其代表站点为 YS12,正构烷烃碳数分布范围 nC₁₆ - nC₃₇,呈单峰群分布,最高主碳峰为 C₂₉ 或 C₃₁;低分子正构烷烃(C₁₆ - C₂₁)与高分子正构烷烃(C₂₂ - C₃₇)比值(L/H)为 0.03 ~ 0.19,均值 0.07; (nC₂₁ + nC₂₂) / (nC₂₈ + nC₂₉) 为 0.10 ~ 0.47,均值为 0.24,正构烷烃主要分布于高碳数;OEP 值为 1.19 ~ 4.08,均值 1.88,Alkterr 范围为 0.37 ~ 0.59,陆源植物贡献明显;前峰群短链正构烷烃 CPI₁ 为 1.02 ~ 1.83,后峰群长链正构烷烃 CPI₂ 为 1.23 ~ 3.39,奇碳优势明显;其 Pr/Ph (姥鲛烷/植烷) 比值为 0.11 ~ 0.62,均值为 0.33,表现为植烷优势。此外,从图中可以看到,正构烷烃底部有明显的“鼓包”,说明 UCM (复杂不溶有机质) 含量较多;C₂₅ - C₂₆ 之间有较强的干扰峰(图 9)。

II 类样品: II 类样品包括 27 个站位的表层沉积物样,代表站点 YS26。正构烷烃碳数分布范围 nC₁₅ - nC₃₇,呈双峰群分布,中低碳数峰群以 C₁₈ 为主碳峰,最高主碳峰为 C₂₇ 或 C₂₉;低分子正构烷烃与高分子正构烷烃比值(L/H)为 0.04 ~ 0.21,均值 0.10,高分子正构烷烃优势明显; (nC₂₁ + nC₂₂) / (nC₂₈ + nC₂₉) 为 0.16 ~ 0.81,均值 0.42,说明正构烷烃分布偏向于高碳数;OEP 值为 1.11 ~ 2.40,均值 1.36,Alkterr 范围为 0.20 - 0.37,陆源植物贡献明显;前峰群短链正构烷烃 CPI₁ 为 1.07 ~ 1.22,后峰群长链正

表 2 各类样品正构烷烃及类异戊二烯烃分子组成特征参数范围

Table 2 The characteristics of these *n*-alkanes and isoprenoids molecule indices in all types of samples

类型	样品	TOC /%	MD/ ϕ	OEP	L/H	C_{21+22}/C_{28+29}	Pr/Ph	CPI ₁	CPI ₂	Alkterr	主碳数
I	YS11	0.12	6.06	1.39	0.03	0.1	0.4	1.24	1.37	0.42	C ₂₉
	YS12	0.11	5.00	1.59	0.07	0.18	0.36	1.12	1.58	0.43	C ₂₉
	YS64	0.23	4.91	3.65	0.03	0.11	0.31	1.83	3.39	0.59	C ₂₉
	Max	1.23	7.50	4.08	0.19	0.47	0.84	1.83	3.39	0.59	C ₂₉ /C ₃₁
	Min	0.11	3.99	1.19	0.03	0.10	/	1.02	1.23	0.37	
	Avg	0.77	6.53	1.88	0.07	0.24	0.45	1.19	1.67	0.41	
II	Max	1.20	7.26	2.40	0.21	0.81	0.80	1.22	1.70	0.37	C ₂₉ /C ₂₇
	Min	0.37	4.41	1.11	0.04	0.16	/	1.07	1.20	0.20	
	Avg	0.77	6.47	1.36	0.10	0.42	0.49	1.13	1.36	0.33	
III	YS23	1.41	6.14	1.12	0.62	4.99	0.59	1.11	1.86	0.10	C ₂₃
	YS60	1.09	7.19	1.11	0.30	0.00	0.40	1.10	1.33	/	
	Avg	1.25	6.67	1.12	0.46	2.50	0.50	1.10	1.59	0.05	

注: Max、Min、Avg 代表各类样品最大值、最小值及平均值。

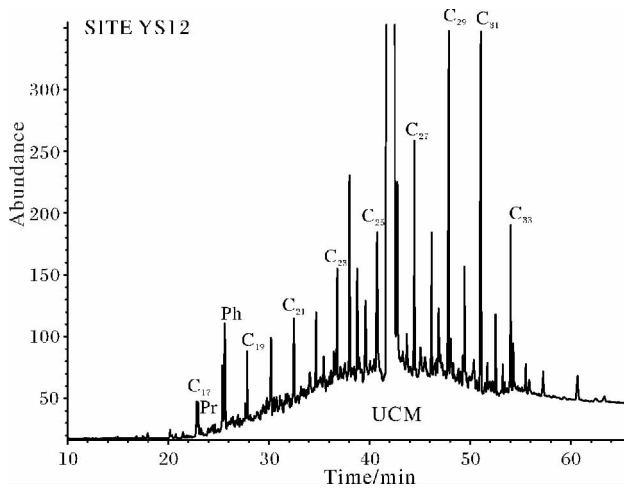


图 9 I 类样品典型站位 GC—FID 图
Fig. 9 The GC—FID of Type I sample

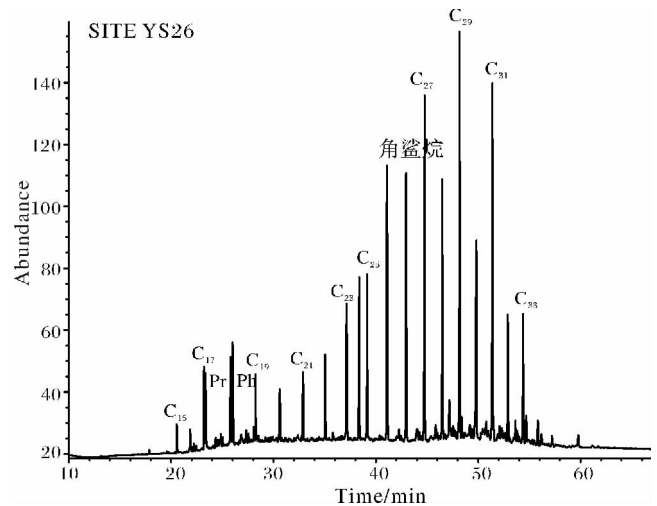


图 10 II 类样品典型站位 GC—FID 图
Fig. 10 The GC—FID of Type II sample

构烷烃 CPI₂ 为 1.20 ~ 1.70, 奇碳优势明显。此外在 C₂₆ 与 C₂₇ 之间, 角鲨烷含量较高; 其 Pr/Ph(姥鲛烷/植烷) 均值为 0.49, 表现为植烷优势, 其典型 GC—FID 见图 10。

III 类样品: III 类样品包括 2 个站位的表层沉积物样, 分别为 YS23、YS60。正构烷烃碳数分布范围为 nC₁₅ - nC₃₇, 呈双峰群分布, 中低碳数峰群以 C₁₇ 为主碳峰, 最高主碳峰为 C₂₃; 低分子正构烷烃(C₁₅ - C₂₁) 与高分子正构烷烃(C₂₂ - C₃₇) 比值(L/H) 为 0.30 ~ 0.62, 均值 0.46; (nC₂₁ + nC₂₂) / (nC₂₈ + nC₂₉) 均值为 2.50, 说明正构烷烃分布偏向于中低碳数; OEP 值分别为 1.11、1.12, Alkterr 均值为 0.05, 陆源植物贡献不明显; 前峰群短链正构烷烃 CPI₁ 为 1.10, 后峰群长链正构烷烃 CPI₂ 为 1.59, 奇碳优势明显, Pr/Ph(姥鲛

烷/植烷) 均值为 0.50, 表现为植烷优势(图 11)。

2.3 沉积物有机质主要来源分析

一般认为, 高碳数的烃类(nC₂₂ - nC₃₅) 主要来源于高等维管植物蜡质和针叶树起源的脂碎屑, 而且会显示出奇数碳原子对偶数碳原子的强烈优势; 低碳数烃类(nC₁₇ - nC₂₃) 则主要起源于海洋藻类的类脂物(藻类、浮游生物和细菌输入), 虽然藻类合成的偶数和奇数同系物比例接近 1, 但通常存在 C₁₅ 或 C₁₇ 的优势^[10, 11, 22, 25, 26]。正构烷烃有无奇偶优势通常可用 CPI(碳优指数) 或 OEP(奇偶优势) 来表示, CPI 或 OEP 明显大于 1 时具有奇碳优势, 明显小于 1 时具有偶碳优势; 另外, OEP 通常也可用来反映有机质成熟度, OEP < 1.20 时有机质进入生油门限, OEP 接近 1.0 时进入成熟阶段, 但继续埋深之后正构烷烃的奇

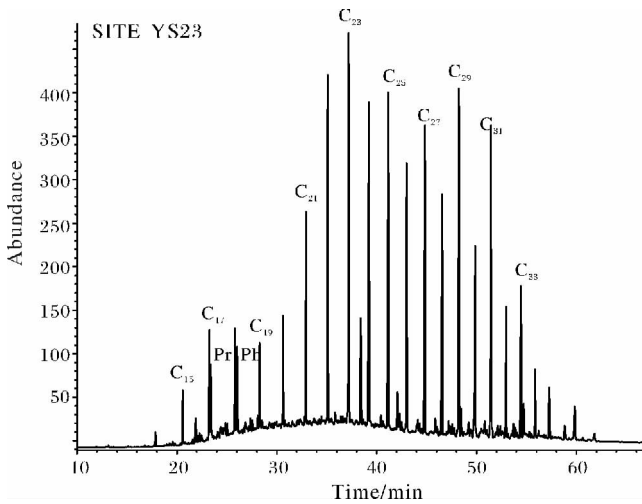


图 11 Ⅲ类样品典型站位 GC—FID 图
Fig. 11 The GC—FID of Ⅲ type sample

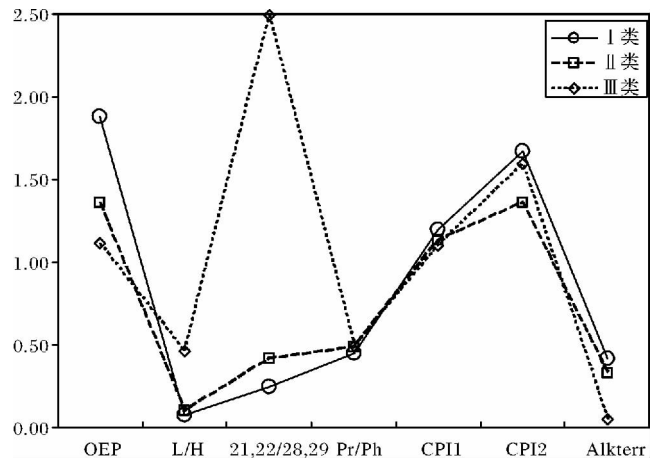


图 13 不同类型样品正构烷烃参数均值图
Fig. 13 The mean parameter of *n*-alkanes in various samples

偶优势就消失了。因此, OEP 只适宜于未成熟到成熟阶段沉积物^[27, 28]。

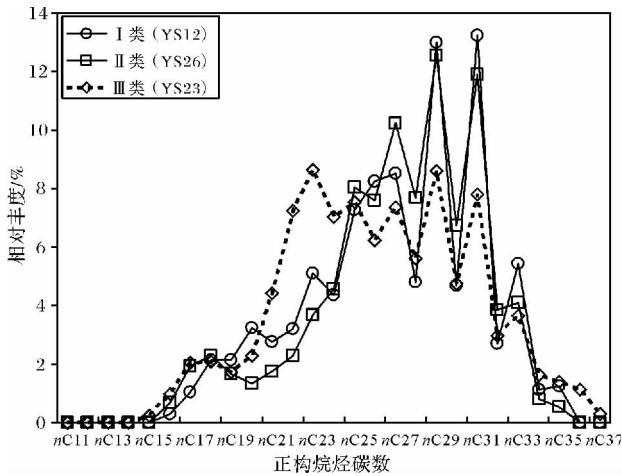


图 12 不同类型样品正构烷烃分布特征图
Fig. 12 The distribution of *n*-alkanes in various samples

I 类、II 类和 III 类正构烷烃分布特征可以看出 (图 12) 除 I 类在 C₁₄ - C₂₁ 范围内碳群不显明, I 型和 III 型都在这一范围内以中低碳群出现, 以 C₁₇ 或 C₁₈ 为主峰; 但三种类型正构烷烃在 C₂₂ - C₃₇ 均表现为峰值区, C₂₅、C₂₉、C₃₁ 含量高, 并且高碳数群优势明显。由于研究区内大部分样品为 I 类与 II 类, 这说明南黄海中部沉积物有机物具有陆源高等植物和海洋生物两种来源, OEP 与 Alkterr 表明陆源植物贡献远高于海洋生物 (图 13)。

沉积物作为有机质主要赋存体, 直接影响到有机质搬运与汇集。因此, 为了进一步探讨有机质来源,

笔者首先通过常量元素识别沉积物源, 然后结合正构烷烃参数判断有机来源。有关南黄海中部泥质区沉积物来源讨论已久^[30-34], 早期曾认为其物质由现代黄河和苏北老黄河供应, 但也有学者认为泥质区为现代黄河、苏北老黄河、长江物质和朝鲜半岛物质多源沉积形成。前人研究发现, 由于流域内岩性的气候差异, 南黄海周边河流沉积存在明显差异: 长江相对富 Fe、Mg、Ti, 黄河相富含 Ca、Na、Sr, 而朝鲜半岛河流则相对富 K、Ba、Al^[33], Youn 等^[35] 利用上述差异成功识别了东海西北部表层沉积物来源, 其中 (Al + Fe) / (Ca + Mg + K) 代表环境中易迁移元素与稳定元素关系, (Ca - Fe) / Al 可以敏感指示黄河物质, (Ca - Mg) / K 指示不稳定元素在长江、黄河和 Keum (朝鲜半岛) 之间变化。本文采用上述三个指标对沉积物常量元素分析表明: 研究区大部分样品来源较为一致, 且更接近黄河端元, 其中位于苏北浅滩 (古黄河三角洲) 附近的三个样品 (YS11、YS12、YS64) 则完全落入黄河端元 (Hurs), 进一步证明 (Ca - Fe) / Al 对黄河物质敏感性 (图 14)。

三类样品在图 14 和图 15 分布情况来看, 黄河端元三个样品均为 I 类, 其特点为高 OEP、CPI₂、Alkterr 指示了较强的陆源影响, 而 II 类样品均位于泥质区内, 其陆源优势相对较弱 (表 2、图 13), I 类样品代表了原始陆源有机输入, II 类样品则反映了迁移后受海洋生物影响混入有机质特征。赵美训等通过 Alkterr 指标与 $\sum C_{27+29+31} / 1.5 \sum$ (菜子甾醇 + 甲藻甾醇) 综合分析表明, 古黄河口附近的苏北沙脊副辐射区有强陆源影响区, 受黄海暖流和冷涡作用影响, 南黄海中部表现为较低 $\sum C_{27+29+31} / 1.5 \sum$ 值, 同时指出

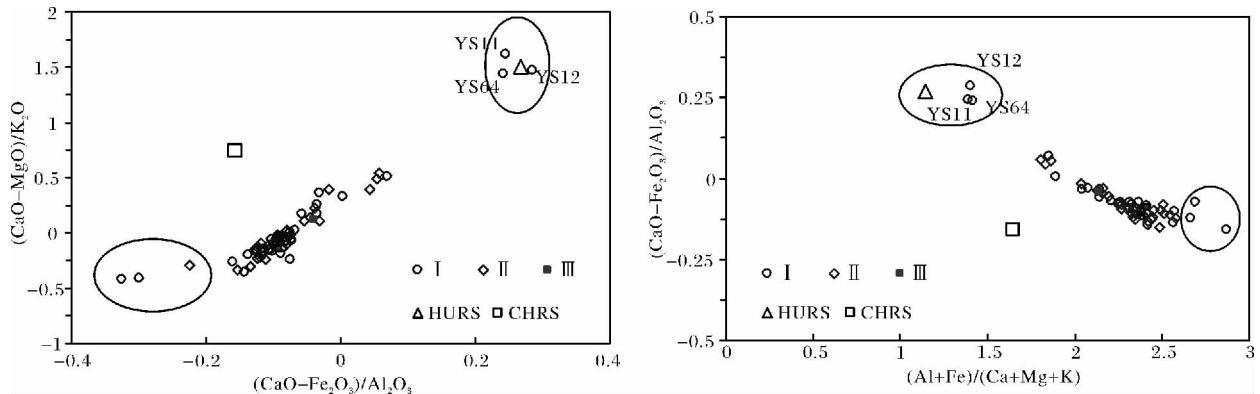


图14 研究区常量元素 $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$ 、 $(Ca-Fe)/Al$ 、 $(Ca-Mg)/K$ 对比分析^[35]
(HURS 为黄河端元、CHRS 为长江端元^[36])

Fig. 14 Comparison of the geochemical indices of $(Al+Fe)/(Ca+Mg+K)$, $(Ca-Fe)/Al$, and $(Ca-Mg)/K$

Alkterr 指标与 $\sum C_{27+29+31}/1.5\sum$ 均可指示有机质来源^[2]。因此,结合常量元素对沉积物来源指示,研究区内有机质主要来源现代黄河和苏北老黄河输入,这些有机质向南黄海深水区运移过程中受海源物质影响,其陆源优势逐渐减弱,同时,图14表明了黄河、长江外其他河流对研究区有机质贡献。这一结论与前人应用有机质 $\delta^{13}C$ ^[31]、Sr 同位素^[37]等方法得出结论类似。

2.4 石油源烃识别

Ⅲ类正构烷烃主要分布于 $C_{16}-C_{25}$ 之间, $C_{29}-C_{31}$ 的正构烷烃含量相对较少,相对于其他两种类型,中低碳数正构烷烃含量较高。从中等相对分子质量峰群分布来看,Ⅲ类正构烷烃高等植物来源与Ⅰ类、Ⅱ类截然不同,有报道称发动机使用的柴油和汽油正构烷烃分布在 $C_{19}-C_{26}$ 之间^[38,39],说明了石油产品或其不完全燃烧形成的颗粒进入原有的沉积物,改变了原有的正构烷烃分布特征,图14中可以看出,在沉积物来源相似的情况下,Ⅲ类正构烷烃现在出与Ⅰ类、Ⅱ类明显差异,表明其有机质来源特殊。此外,Ⅲ类正构烷烃 C_{23} 之前的 UCM 也反应了石油源污染客观存在^[40,41],其来源可能为船舶航行过程中产生石油泄露,与南黄海中部多环芳烃研究成果相符^[42,43]。

此外,所有样品的 GC—FID 图谱中均有不可分离“鼓包”,即复杂不溶有机质,Ⅲ类正构烷烃 GC—FID 图谱中更为明显,间接说明受到石油源污染^[44];Ⅱ类正构烷烃 GC—FID 图谱中在 C_{26} 与 C_{27} 之间,角鲨烷含量较高,角鲨烷主要来源于古细菌^[45],代表细菌对沉积有机质的贡献,与主成分分析结果一致。

3 结论

(1) 南黄海中部总有机碳含量在 0.02% ~ 1.41%,其中西部侵蚀区总有机碳含量主要 0.05% ~ 0.45% 之间,而中部泥质区总有机碳含量为 0.65% ~ 1.41%。水动力作用使有机质富集于中部细粒沉积物,且表现为总有机碳与 Al_2O_3 、中值粒径依次相关性。

(2) 沉积物中正构烷烃多呈双峰群分布,前碳峰群为弱奇碳优势,后碳峰群为强奇碳优势。正构烷烃 OEP、Alkterr、L/H 等参数表明有机质主要来源于陆源高等植物,海洋浮游藻类贡献次之, C_{31} 与 C_{29} 含量相近反映了草本植物与木本植物贡献相当;类异戊二烯烃表现为植烷优势,反映了明显海洋还原沉积环境。

(3) 通过常量元素及正构烷烃参数聚类分析表明,南黄海中部有机质主要来自现代黄河、苏北古黄河输入,石油类产品对有机质污染表现明显,细菌对沉积有机质的贡献普遍存在,反映无机—有机综合分析可以有效指示有机质物源。

致谢 国家海洋局“浙海环监”号全体船员为样品采集提供协助,国土资源部青岛海洋地质研究所、长江大学张敏教授为本次研究给予实验支持;审稿专家提出中肯而有建设性意见,使得论文系统性和科研意义有了重要提升。

参考文献 (References)

- 1 Muller-Karger F E, Varela R, Thunell R, *et al.* The importance of continental margins in the global carbon cycle [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(L01602): 1-4

- 2 赵美训, 张玉琢, 邢磊. 等. 南黄海表层沉积物中正构烷烃的组成特征、分布及其对沉积有机质来源的指示意义[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 44(4): 90-96 [Zhao Meixun, Zhang Yuzhuo, Xing Lei, *et al.* The composition and distribution of *n*-alkanes in surface sediments from the South Yellow Sea and their potential as organic matter source indicators [J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 44(4): 90-96]
- 3 Hedges J I, Keil R G, Benner R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? [J]. Organic Geochemistry, 1997, 27 (5-6): 195-212
- 4 Benner R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? [J]. Marine Chemistry, 2004, 92: 307-310
- 5 Peter A R, James E B. Use of ^{14}C and ^{13}C natural abundances for evaluating riverine, estuarine, and coastal DOC and POC sources and cycling: a review and synthesis [J]. Organic Geochemistry, 2001, 32: 469-485
- 6 Alongi D M, McKinnon A D. The cycling and fate of terrestrially-derived sediments and nutrients in the coastal zone of the Great Barrier Reef shelf [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 51: 239-252
- 7 Hu L M, Guo Z G, Feng J L, *et al.* Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China [J]. Marine Chemistry, 2009, 113(3-4): 197-211
- 8 Brassell S, Eglinton G, Howell V. Poleo-environmental assessment of marine organic-rich sediments using molecular organic geochemistry [C]//Brooks J, Fleet A, eds. Marine Petroleum Source Rocks. Geological Society Special Publication, 1987, 26: 79-88
- 9 蔡进功, 包于进, 杨守业, 等. 泥质沉积物和泥岩中有机的赋存形式与富集机制[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(2): 244-253 [Cai Jingong, Bao Yujin, Yang Shouye, *et al.* Preservation ways and accumulated mechanism in muddy sediment and muddy rock [J]. Science in China: Series D, 2007, 37(2): 244-253]
- 10 Garrigues P, Soclo H, Marniesse M P. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments from the continental shelf of the "Golfe de Gascogne" (Atlantic Ocean) and in the Gironde estuary [J]. International Journal of Environmental and Analytical Chemistry, 1987, 28: 121-131
- 11 Yunker M B, Macdonald R W, Cretney W J, *et al.* Alkane, terpene and polycyclic aromatic hydrocarbon geochemistry of the Mackenzie River and Mackenzie Shelf: riverine contributions to Beaufort Sea coastal sediment [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 3041-3061
- 12 林卫东, 周永章, 沈平, 等. 南海深水海域近代沉积物中饱和烃的地球化学特征及其来源[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(6): 123-136 [Lin Weidong, Zhou Yongzhang, Shen Ping, *et al.* Geochemical characteristics and source of hydrocarbon in recent sediments from deep sea area of the South China Sea [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyateni, 2005, 44(6): 123-136]
- 13 吴能友, 邬黛黛, 叶瑛, 等. 南海东北部东沙海域沉积物烃类有机地球化学研究及其意义[J]. 南海地质研究, 1: 1-15 [Wu Nengyou, Wu Daidai, Ye Ying, *et al.* Hydrocarbon geochemical study of sediment from Dongsha area, northeast South China Sea and their significances [J]. Geological South China Sea, 2007, 1: 1-15]
- 14 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989 [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, *et al.* Geology of the Yellow Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 1989]
- 15 石学法, 申顺喜, Yi Hi-il. 南黄海现代沉积环境及动力沉积体系[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 1-6 [Shi Xuefa, Shen Shunxi, Yi Hi-il, *et al.* Modern sedimentary environments and dynamic depositional systems in the southern Yellow Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 48 (Supp.): 1-6]
- 16 蓝先洪, 王红霞, 李日辉, 等. 南黄海沉积物常量元素组成及物源分析[J]. 地学前缘, 2007, 14(4): 197-203 [Lan Xianhong, Wang Hongxia, Li Rihui, *et al.* Major element composition and provenance analysis in the sediment of the South Yellow Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(4): 197-203]
- 17 Emeterio Iglesias Jiménez, Víctor Pérez García. Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts [J]. Original Research Article Bioresource Technology, 1992, 41(3): 265-272
- 18 Degens E T, Mopper K. Factors controlling the distribution and early diagenesis of organic material in marine sediment [J]. Chemical Oceanography, 1976, 6: 59-113
- 19 Wu Y, Zhang J, Mi T Z, *et al.* Occurrence of *n*-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the core sediments of the Yellow Sea [J]. Marine Chemistry, 2001, 76: 1-15
- 20 Jeng W L, Huh C A. A comparison of sedimentary aliphatic hydrocarbon distribution between East China Sea and southern Okinawa Trough [J]. Continental Shelf Research, 2008, 28(4-5): 582-592
- 21 张生银, 李双林, 董贺平, 等. 南黄湖北部表层沉积物中生物标志物的组成特征及其地球化学意义[J]. 海洋通报, 2012, 28(02): 198-206 [Zhang Shengyin, Li Shuanglin, Dong Heping, *et al.* The characterization of biomarkers composition and geochemical significance of surface sediments from the northern part of South Yellow Sea [J]. Marine Science Bulletin, 2012, 28(02): 198-206]
- 22 段毅, 罗斌杰, 徐雁前, 等. 南沙海洋沉积物中生物标志化化合物的组成及地化意义[J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(3): 258-263 [Duan Yi, Luo Binjie, Xu Yanqian, *et al.* Composition and geochemical significance of biomarkers in marine sediments from nansha islands waters, South China Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1996, (3): 258-263]
- 23 毛登, 范德江, 郭志刚. 长江、黄河河口沉积物中生物标志化合物组成的初步研究[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2001, 31(5): 747-754 [Mao Deng, Fan Dejiang, Guo Zhigang. Preliminary study on biomarker in surface sediments from mouths of the Changjiang River and the Huanghe River [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2001, 31(5): 747-75]
- 24 王开发, 张玉兰, 蒋辉, 等. 黄海表层沉积物的孢粉、藻类组合[J]. 植物学报, 1980, 22(2): 182-190 [Wang Kailan, Zhang Yulan, Jiang Hui, *et al.* Pollen, algae combination in surface sediments of Yellow Sea [J]. Chinese Bulletin of Botany, 1980, 22(2): 182-190]
- 25 卢冰, 潘建明, 王自磐, 等. 北极沉积物中正构烷烃的组合特征

- 及古沉积环境的研究[J]. 海洋学报, 2002, 24(6): 34-48 [Lu Bin, Pan Jianming, Wang Zipan, *et al.* The composition indexes of n-alkanes in sediments and study on paleoenvironment in the Arctic [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002: 24(6): 34-48]
- 26 康跃惠, 盛国英, 傅家谟. 珠江澳门河口沉积物柱样品正构烷烃研究[J]. 地球化学, 2000, 29(3): 302-310 [Kang Yuehui, Sheng Guoying, Fu Jiamo, *et al.* The study of n-alkanes in a sedimentary core from Macao Estuary, Pearl River [J]. *Geochimica*, 2000, 29(3): 302-310]
- 27 许怀先, 陈丽华, 万玉金, 等. 石油地质实验测试技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001 [Xu Huaixian, Chen Lihua, Wang Yujin *et al.* *Petroleum Geological Experiment Technology and Application* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001]
- 28 卢双舫, 张敏. 油气地球化学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 174-199 [Lu Shuangfang, Zhang Min. *Petroleum Geochemistry* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008]
- 29 郭志刚, 杨作升, 陈致林, 等. 东海陆架泥质区沉积有机物的物源分析[J]. 地球化学, 2001, 35(5): 416-424 [Guo Zhigang, Yang Zuosheng, Chen Zhilin, *et al.* Source of sedimentary organic matter in the mud areas of the East China Sea shelf [J]. *Geochimica*, 2001, 30(5): 416-424]
- 30 王昆山, 石学法, 姜晓黎. 南黄海沉积物的来源及分区: 来自轻矿物的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 24-29 [Wang Kunshan, Shi Xuefa, Jiang Xiaoli. Sources and provinces of sediments in South Yellow Sea: evidence from light minerals [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(Supp.): 24-29]
- 31 蔡德陵, 石学法, 周卫健, 等. 南黄海悬浮体和沉积物的物质来源和运移: 来自碳稳定同位素组成的证据[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 16-23 [Cai Deling, Shi Xuefa, Zhou Wei-jian, *et al.* Sources and transportation of suspended matter and sediment in the South Yellow Sea: Evidence from stable carbon isotopes [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(Supp.): 16-23]
- 32 赵一阳, 李凤业, 秦朝阳. 试论南黄海中部泥的物源及成因[J]. 地球化学, 1991, 2: 112-117 [Zhao Yiyang, Li Fengye, Qin Chaoyang. Source and genesis of mud in the central part of the south Yellow Sea in special reference to geochemical data [J]. *Geochimica*, 1991, 2: 112-117]
- 33 Yang Shouye, Jung Hoi Soo, Lim Dhong Il, *et al.* A review on the provenance discrimination of sediments in the Yellow Sea [J]. *Earth-Science Reviews*, 2003, 63: 93-120
- 34 蓝先洪, 张训华, 张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J]. 海洋湖沼通报, 2005(4): 53-60 [Lan Xianhong, Zhang Xunhua, Zhang Zhixun. Material sources and transportation of sediments in the southern Yellow sea [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005(4): 53-60]
- 35 Youn J, Kim T-J. Geochemical composition and provenance of muddy shelf deposits in the East China Sea [J]. *Quaternary International*, 2010
- 36 Yang Shouye, Lim D I, Jung H S. Geochemical composition and provenance discrimination of coastal sediments around Cheju Island in the southeastern Yellow Sea [J]. *Marine Geology*, 2004, 206(1-4): 41-53
- 37 Youn Yeugsu, Yang Shouye, Park Yong Ahn. Clay minerals and geochemistry of the bottom sediments in the northwestern East China Sea [J]. *Chinese Journal of Oenology and Limnology*, 2007, 25(3): 235-246
- 38 Simoneit BRT. Application of molecular marker analysis to vehicular exhaust for source reconciliations [J]. *International Journal of Environmental and Analytical Chemistry*, 1985, 22(3): 203-32
- 39 Rogge W F, Mazurek M A, Hildemann L M, *et al.* Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: identification, abundance and seasonal variation [J]. *Atmospheric Environment*, 1993, 27A: 1309-30
- 40 Abrams M A. Interpretation of surface methane carbon isotopes extracted from surficial marine sediments for detection of subsurface hydrocarbons [J]. *Association Petroleum Geochemical Exploration Bulletin*, 1989, 5: 139-166
- 41 Abrams M A. Geophysical and geochemical evidence for subsurface hydrocarbon leakage in the Bering Sea, Alaska [J]. *Marine and Petroleum Geology Bulletin*, 1992, 9: 208-221
- 42 韩彬, 蒋凤华, 李培昌, 等. 南黄海中部海水、间隙水和沉积物中多环芳烃的分布及源分析[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(2): 233-242 [Han Bin, Jiang Fenghua, Li Peichang, *et al.* Distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sea water, pore water and sediment of the central area in the south Yellow Sea [J]. *Advances in Marine Science*, 2009, 27(2): 233-242]
- 43 杨佰娟, 郑立, 陈军辉, 等. 南黄海中部表层沉积物中多环芳烃含量分布及来源分析[J]. 环境科学学报, 2009, 29(3): 662-667 [Yang Baijuan, Zheng Li, Chen Junhui, *et al.* Concentration and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments collected in the Southern Yellow Sea [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 662-667]
- 44 任佩军, 林玉祥. 油气地球化学[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 2001 [Ren Yongjun, Lin Yuxiang, *Petroleum Geochemistry* [M]. Dongying, Shandong: Petroleum University Press 2011]
- 45 Havan H L, Leeuw J W. Anomalies in steroid and hopanoid maturity indices [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 853-855

Distribution and Molecular Composition of Organic Matter in Surface Sediments from the Central Part of South Yellow Sea

ZHANG Sheng-yin^{1,2,3} LI Shuang-lin² DONG He-ping² ZHAO Qing-fang²
ZHANG Zhong-ning¹ SHI Ji-an¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000;

2. Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao, Shandong 266071;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Approximately half of the world's net annual photosynthesis occurs in the oceans ($\sim 48 \text{ Pg C y}^{-1}$). Continental margin support 10% ~ 15% of this production. Thus, continental margin seas play the critical role for the energy conversion and carbon cycle in marine ecosystems. However, it is more difficult to identify the source of these organic matters because continental margin has been affected by both marine currents and terrestrial rivers. The Yellow Sea, a typical semi-enclosed epicontinental sea, rests on a flat, broad, and tectonically stable seafloor with water depth of average 55 m and maximum 100 m. The Yangtzi River and Yellow River around the Yellow Sea bear remarkably different sizes, water, and sediment discharges; they were regarded to have governed the sediment of major parts of the Yellow Sea during Holocene. This paper is aimed to determine the source, behavior and composition of organic matters access to the understanding the characteristics in *n*-alkanes, total organic carbon, and elements. Another attempt to assess the sediment environment of organic matters and the approaches to discriminate differently sourced organic.

The 501 surface sediments from the central part of South Yellow Sea show in detail the characteristics and main factors of the organic matter based on the total organic carbon, grain size, and major elements. There are 64 samples from the above surface sediments detected by GC-FID to understand the molecular composition of organic matter in further. The study suggests that the total organic carbon are higher in the eastern part of this region than in the western part area, which affected by the background of the regional circulation patterns in the Yellow Sea, as there are positive correlation between the total organic carbon and the concentration of Al_2O_3 , as well as the grain size (median size), although the former seemed more positive. Principal component analysis (PCA) based on correlation was performed using the individual *n*-alkane, as another tool to analyze the compositional distribution of *n*-alkanes in sediment and assess their sources. This analysis identified two principal components registering 71% (Factor 1) and 26% (Factor 2) of total variance, which represents terrestrial plants and marine plank contribution individually. The distribution of *n*-alkanes reveals that the organic matter mainly comes from terrestrial plants, which contain the approximate equal amounts of grassy and woody plant. Marine planktonic algae organic matter is the second important component, as the isoprenoids indicates the obvious reducing environment related shorter chain *n*-alkanes.

Hierarchical cluster examination (HCA) for *n*-alkanes, total organic matter (TOC), grain size (median size) and elements was carried out, grouping the sampled sites. There are three groups samples/sampled sites through HCA analysis in this study area: The I group samples may represent primary terrestrial organic matters, the II group samples may represent mobile terrestrial organic matters, which were affected by the marine plank input more obviously, and the III group samples response anthropogenic factor. The terrestrial organic matters are derived from Yellow Sea which included the old Yellow River and the modern Yellow River. The petroleum pollution input seemed more objective in some sample, and it is common to bacterial production in organic matter of surface sediments.

The study shows that it is more precise to combine inorganic geochemical approaches and organic geochemical approaches to understand the origin and dispersal patterns of organic matter in marine sediment, even to establish the fate of terrestrial organic matter in marine environment.

Key words: sediment; organic matter; elements; *n*-alkanes; origin; South Yellow Sea