

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0100-05

济阳坳陷古近纪沟鞭藻分子化石的分布与控制因素^①

王广利¹ 王铁冠¹ 陈致林² 张林晔² 徐金鲤²

(1 中国石油大学教育部油气成藏机理重点实验室 北京 102249; 2 中国石化胜利油田分公司地质科学研究院 山东东营 257015)

摘要 济阳坳陷古近纪沟鞭藻化石十分丰富, 沟鞭藻为有机质富集层的形成作出了重要贡献。三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷是沟鞭藻及其祖先在古代沉积物中两种重要的存在形式, 并且它们几乎专一性地由沟鞭藻提供。研究发现, 沟鞭藻的不同属种, 德弗兰藻属、多刺甲藻属、渤海藻类等, 均可以提供丰富的三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷, 但是三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷对沉积环境的变化具有不同的响应。在淡水、半咸水、咸水等不同水介质条件下, 三芳甲藻甾烷指数稳定分布在 0.50~0.96 之间, 高丰度的三芳甲藻甾烷与地层中丰富的沟鞭藻化石相一致, 因而三芳甲藻甾烷是指示沟鞭藻输入的有效分子化石。甲藻甾烷的丰度与古沉积环境存在密切关系, 高盐环境有利于甲藻甾烷的形成和保存, 随着盐度的降低甲藻甾烷指数在 0.04~0.74 这样一个较大的范围内变化, 其发育程度与有机质沉降过程中和成岩作用早期遭受的微生物降解作用有关, 强烈的生物降解不利于甲藻甾烷的保存。

关键词 三芳甲藻甾烷 甲藻甾烷 沟鞭藻 分子化石 沉积环境 古近纪

第一作者简介 王广利 男 1973 年出生 博士 讲师 有机地球化学 E-mail: sydxwg@yahoo.cn

中图分类号 Q914.2 P593 **文献标识码** A

分子化石, 或称生物标志物, 是古代生物在地层中除了实体化石、模铸化石、遗迹化石外另一种重要的赋存形式^[1]。分子化石来源于生物体内的类脂大分子, 它在地质热演化过程中能够保持其骨架结构基本不变, 因而与古生物之间存在极其密切的亲缘关系, 在研究生命起源与进化等方面已经越来越显示出其无可比拟的优越性, 成为当今分子有机地球化学的前缘领域和学科生长点^[2-6]。确切的沟鞭藻(Dinoflagellate)化石出现于中三叠世, 晚白垩世至第三纪最为丰富^[7, 1]。三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷是沟鞭藻及其祖先在古代沉积物中两种重要的存在形式, 并且它们几乎专一性地由沟鞭藻体内的甲藻甾醇提供^[7-10]。4-甲基-2-乙基胆甾烷也是沟鞭藻重要的存在形式之一, 但它也可以由细菌或其它浮游藻类提供^[11-12]。Moldovan 等对前寒武纪至白垩纪三芳甲藻甾烷与沟鞭藻化石和疑源类化石的关系进行了对比研究, 发现它们之间具明显的相关性^[13]; 随后在下寒武统 Lukati 组具有强荧光组分的疑源类生物的干酪根热解产物和全岩抽提物中检测到了较为丰富的甲藻甾烷^[14]。张水昌等则在我国塔里木盆地寒武纪和震旦纪地层中发现甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷具有很高的浓度^[15-19]。分子化石的这些研究表明, 沟鞭藻的祖先早在前寒武纪已经出现(晚 Riphean 时期, ~800 Ma), 至早寒武世已较为丰富。此后, 沟鞭藻

中具现今结构的一支在中三叠世后逐渐发展起来, 并与硅藻、颗石藻等构成现代海洋的主要浮游藻类。

济阳坳陷古近纪沟鞭藻化石数量丰富, 种类繁多, 是划分和对比地层的重要依据, 沟鞭藻为本区有机质富集层的形成作出了重要贡献^[3-20]。陈致林等、侯读杰等曾经在济阳坳陷古近纪咸化湖泊中检测到了丰富的甲藻甾烷^[24-27]。本次研究通过对济阳坳陷古近系烃源岩剖面中沟鞭藻分子化石的深入分析, 探讨沟鞭藻的赋存方式和演变规律, 从而为古沉积环境的重建和古生物学的研究提供重要依据。

1 样品与实验方法

1.1 样品及其地质背景

本文研究的样品采自济阳坳陷古近系沙河街组, 共 46 件, 岩性为泥岩和页岩。济阳坳陷位于渤海湾盆地的南部, 是发育在古生代华北地台基础上的中、新生代陆相断陷盆地。从始新世早期开始, 古济阳湖盆进入断陷阶段, 构造运动相对稳定, 湖盆持续下沉, 沉积沙河街组四段上部(E_{s4}^+)、三段下部和中部(E_{s3}^- 和 E_{s3}^+ 、一段(E_{s1})等主要的烃源层。 E_{s4}^+ 亚段烃源岩主要分布在东营凹陷以及沾化凹陷的部分地区, 厚度约 40~120 m, 东营凹陷岩性组合以灰褐色钙质纹层泥页岩为主, 夹泥灰岩和白云岩, 为咸水一半咸水的闭流湖沉积; E_{s3}^- 亚段烃源岩分布于

①国家自然科学基金项目(批准号: 40703011)资助

收稿日期: 2007-03-14 收修修改稿日期: 2007-04-18

整个济阳拗陷, 厚度约 150~200 m, 岩性以泥岩、灰褐色油页岩及页岩为主, 夹灰岩及白云岩, 为半咸水至微咸水的闭流湖沉积; $E_{s_3}^{\text{中}}$ 亚段烃源岩同样分布于整个济阳拗陷, 厚度 200~400 m, 岩性以灰色、深灰色厚层块状泥岩为主, 为淡水敞流湖沉积; E_{s_1} 烃源岩分布于沾化、车镇凹陷, 厚度 50~120 m, 岩性为含颗石藻纹层泥页岩, 为半咸水沉积。近年来的勘探实践和研究表明, $E_{s_4}^{\text{上}}$ 、 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 、 E_{s_1} 等为三套有机质富集层十分发育的优质烃源岩, 是济阳拗陷的主要烃源层和重点研究对象^[28-31]。

1.2 实验方法

将粉碎岩样用氯仿抽提得到的氯仿沥青脱沥青质之后, 在硅胶-氧化铝色层柱上, 用正己烷冲洗出饱和和馏分, 二氯甲烷+正己烷(7:3)冲出芳烃馏分。

在 GC6890-MS5973N 型气相色谱-质谱联用仪上, 配置 DB-5 型毛细色谱柱 (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 进行色谱-质谱 (GC-MS) 分析。气相色谱分析条件: 饱和烃升温程序的初始温度为 100 °C, 以 4 °C/m in 速率, 升至 320 °C, 再恒温 20 min; 芳烃升温程序的初始温度为 80 °C, 以 10 °C/m in 速率升至 100 °C, 然后以 3 °C/m in 的速率升至 320 °C, 恒温 20 min。以氦作载气, 分流比 20:1, 流量 1 ml/min。质谱分析条件: 采用 EI 源, 电子轰击能量 70 eV; 作全扫描采集, 质量数 50~500 amu。

在 Quattro-II 型色谱-质谱-质谱系统上进行甾烷的串联质谱 (GC-MS/MS) 分析, 色谱条件同饱和和烃 GC-MS 分析, 质谱系统为四极杆分析器, 碰撞室气体采用氩气; 母离子⁺子离子方式检测, 采集 $M^+ \rightarrow 217, M^+ \rightarrow 231, 414 \rightarrow 98$ 其中分子离子 M^+ 分别为 m/z 358, 372, 386, 400 和 414。甲藻甾烷和三芳甲藻甾烷的鉴定参考张水昌等、陈致林等的有关报道^[15, 24, 25]。

2 结果与讨论

沟鞭藻在济阳拗陷古近纪藻类生物群中占有重要地位, 藻类的三次极盛期均以沟鞭藻为主^[27] (表 1)。第一个极盛期发生在始新世 $E_{s_4}^{\text{上}}$ — $E_{s_3}^{\text{上}}$ 时期, 在 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 早期湖水盐度较高, 藻类属种单一, 主要以 *Delflandrea* (德弗兰藻属) 为主; 晚期湖盆面积迅速扩大, 水体加深, 淡水影响力增强, 属于咸水—半咸水环境, 藻类繁盛, *Delflandrea* (德弗兰藻属) 和地方性的渤海藻类互层出现; 进入 E_{s_3} 时期, 淡水大量注入, 为半

深湖—深湖沉积, 盐度进一步减小, 渤海藻类极度发育。第二个极盛期发生在 E_{s_1} 时期, 化石数量丰富, 种类繁多, 并以 *Sentusidinium*—*Pararhombodella* (多刺甲藻属—菱球藻属) 等小个体刺球类高度发育为特征。第三个极盛期发生在东营组时期, 具粒、网、穴纹饰的球形藻类占优势。本次所分析的 46 件古近系样品中, 全部检测到了沟鞭藻的两类分子化石。从三芳甲藻甾烷分布来看, 取自 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 底部的营斜 94 王 130 等 3 个盐间或盐岩附近的泥岩样品含量较低, 三芳甲藻甾烷指数为 0.10~0.43, 其余样品, 尽管盐度逐渐从咸水向半咸水和淡水过渡, 藻类的属种也随之发生了变化, 但它们均具有较高丰度的三芳甲藻甾烷, 三芳甲藻甾烷指数为 0.50~0.96, 其中 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 中上部为 0.68~0.93, $E_{s_3}^{\text{下}}$ 为 0.50~0.95, $E_{s_3}^{\text{中}}$ 为 0.59~0.88, $E_{s_3}^{\text{上}}$ 为 0.80~0.86, E_{s_1} 为 0.74~0.96, 这与沟鞭藻囊泡在古近纪地层中的出现和繁盛期一致。这表明, 沟鞭藻的不同属种, 如德弗兰藻属、渤海藻类、多刺甲藻属—菱球藻属等都可以大量形成三芳甲藻甾烷, 三芳甲藻甾烷指数是衡量沟鞭藻输入和贡献的有效分子化石。

表 1 古近系沙河街组地层中的沟鞭藻化石与分子化石丰度

Table 1 Abundance of fossils and molecular fossils of dinoflagellates in the Shahejie Formation of Paleogene

地层单元	TAI	DSI	囊泡数量	
E_{s_1}	0.74~0.96 (0.90)*	0.68~0.79 (0.75)	丰富	
E_{s_2}	—	—	稀少	
E_{s_3}	$E_{s_3}^{\text{上}}$	0.80~0.86 (0.83)	0.05~0.44 (0.16)	丰富
	$E_{s_3}^{\text{中}}$	0.59~0.88 (0.74)	0.07~0.37 (0.17)	丰富
	$E_{s_3}^{\text{下}}$	0.50~0.95 (0.78)	0.04~0.74 (0.27)	丰富
E_{s_4}	$E_{s_4}^{\text{上}}$ 上部	0.68~0.93 (0.82)	0.13~0.50 (0.28)	丰富
	$E_{s_4}^{\text{下}}$ 下部	0.10~0.43 (0.29)	0.03~0.06 (0.04)	稀少

* 括号内为平均值

但是, 在沟鞭藻发育的样品中, 甲藻甾烷含量变化却很大 (图 1), 甲藻甾烷指数为 0.04~0.79, 平均值 0.25, 最高值与最低值最多相差 20 倍之多。其中高端值出现在 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 、 E_{s_1} 和 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 等 12 个样品中; 低端值出现在 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 、 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 等样品中。这预示着除了原始的生产力外, 其它地质因素, 特别是保存条件, 可能是影响甲藻甾烷丰度的重要因素。从图 2 可以看出, 丰富的甲藻甾烷既可以赋存于咸化环境的 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 、 E_{s_1} 段, 也可以存在于半咸水至淡水湖泊的 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 、 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 、 $E_{s_3}^{\text{上}}$ 段。咸化环境中常常具有较高的甲藻甾烷^[15, 24, 25], 这是因为咸化湖泊中较高的盐度易于形成

盐跃层, 盐跃层以上水体相对较淡, 有利于沟鞭藻的生长、繁殖和勃发, 形成高生产力; 盐跃层以下水体能量较低, 盐度较高, 为缺氧的强还原环境, 利于生物先质甲藻甾醇加氢、还原形成甲藻甾烷。因此, $E_{S_4}^{\pm}$, E_{S_1} 咸化湖泊中高丰度的甲藻甾烷, 一方面得益于沟鞭藻的高生产力, 另一方面则与咸化环境有利于甲藻甾烷的形成和保存密不可分。

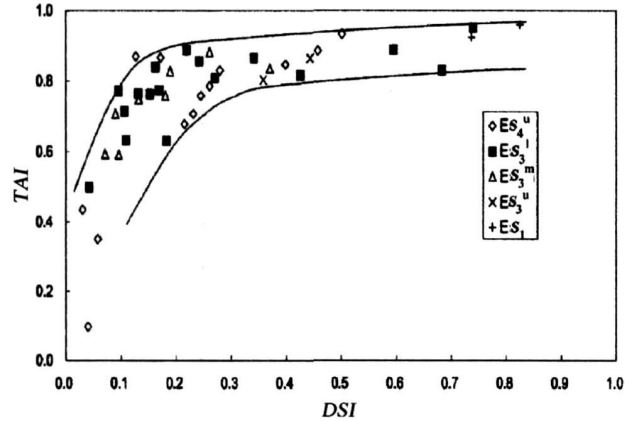


图 1 古近系沙河街组样品中甲藻甾烷指数和三芳甲藻甾烷指数
Fig 1 TAI against DSI in the samples of Paleogene Shahejie Formation
甲藻甾烷指数 $DSI = \text{甲藻甾烷} / (\text{甲藻甾烷} + 3\text{-甲基甾烷})$; 三芳甲藻甾烷指数 $TAI = \text{三芳甲藻甾烷指数} / (\text{三芳甲藻甾烷指数} + 3\text{-甲基三芳甾烷})$

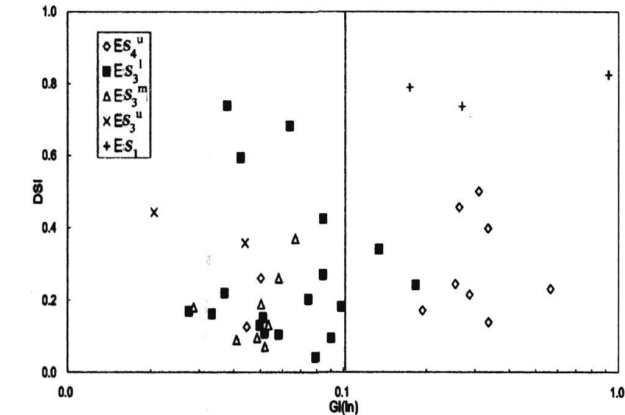


图 2 古近系沙河街组样品中甲藻甾烷指数与伽玛蜡烷指数的关系

Fig 2 DSI against gammacerane index in the samples of Paleogene Shahejie Formation
伽玛蜡烷指数 $GI = \text{伽玛蜡烷} / (17\alpha, 21\beta\text{-甾烷})$

半咸水—淡水条件下三芳甲藻甾烷同样十分发育, 但是甲藻甾烷的含量大多很低, 甲藻甾烷指数大多低于 0.2。不过, 在沾化凹陷富 15 义东 36 等井的 $E_{S_3}^{\text{下}}$, $E_{S_3}^{\text{中}}$, $E_{S_3}^{\text{上}}$ 地层中, 仍然检测到了高丰度的甲

藻甾烷, 其含量不亚于咸化环境的 $E_{S_4}^{\pm}$ 和 E_{S_1} 。由于 E_{S_3} 沉积时期盐度已经明显较低, 不再是影响甲藻甾烷形成的主要条件; 而水体含氧量、有机质沉降过程中以及成岩作用早期微生物对有机质的降解改造, 可能是制约甲藻甾烷发育的更为重要的因素。Pr/Ph 常用于反映水体的氧化还原程度, 从图 3 可以看到, 甲藻甾烷指数与 Pr/Ph 之间没有明显的正相关性。当 Pr/Ph 分布在 0.52~1.44 之间时, 为还原—弱还原—弱氧化的环境, 甲藻甾烷指数为 0.34~0.74。Pr/Ph > 1.5 的含氧量更高的环境中, 未见高丰度的甲藻甾烷。这表明甲藻甾烷的含量在一定程度上与水体含氧量有关, 但它并不是直接的因素。藿烷/甾烷可以反映有机质遭受微生物降解作用的强度, 甲藻甾烷指数与藿烷/甾烷之间存在较好的指数式线性相关性 (图 4), 高丰度的甲藻甾烷只赋存于那些受微生物降解强度相对较弱的样品中, 其藿烷/甾烷为 1.99~9.18。藿烷/甾烷 > 10 的受到强生物改造作用的样品中, 甲藻甾烷丰度均较低, 甲藻甾烷指数只有 0.04~0.22。这表明, 甲藻甾烷的发育程度严格受到古沉积环境的控制, 咸化环境由于水体分层的存在甲藻甾烷常常十分丰富; 半咸水至淡水条件下, 有机质沉降过程中以及成岩作用早期较弱的微生物降解作用可能是甲藻甾烷富集的主控因素。

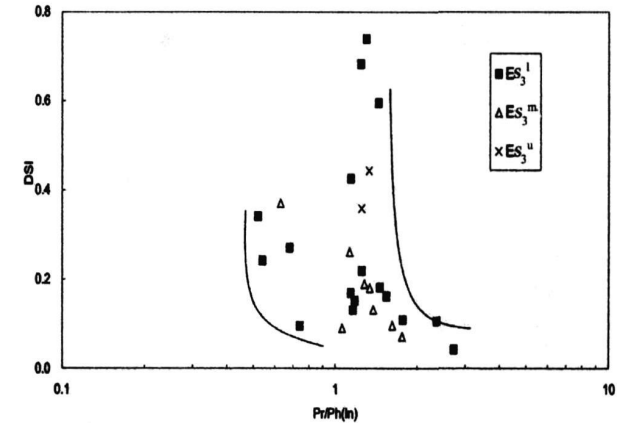


图 3 古近系沙河街组样品中甲藻甾烷指数与 Pr/Ph 的关系
Fig 3 DSI against Pr/Ph in the samples of Paleogene Shahejie Formation
Pr/Ph = 姥鲛烷/植烷

3 结论

济阳坳陷古近系地层中具有丰富的沟鞭藻分子化石—三芳甲藻甾烷和甲藻甾烷。咸化环境有利于

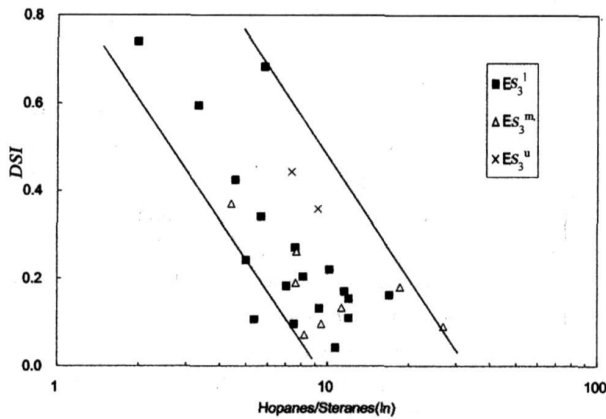


图 4 淡水条件下 (Es_3^l , Es_3^m , Es_3^u) 甲藻甾烷指数与藿烷 / 甾烷的关系

Fig 4 DSI versus hopanes/steranes ratio in the strata formed under fresh water (Es_3^l , Es_3^m , Es_3^u)

$$\text{Hopanes/Steranes} = \frac{\sum 17\alpha, C_{27}\text{-}C_{35}\text{藿烷}}{\sum 5\alpha, C_{27}\text{-}C_{29}\text{甾烷}}$$

甲藻甾烷的形成和保存; 在半咸水至淡水湖泊中, 如果保存条件好, 也可以形成丰富的甲藻甾烷。三芳甲藻甾烷的丰度与沟鞭藻数量具有正相关性, 且受沉积环境的影响较小, 在反映沟鞭藻输入方面更为完整和有效。

参考文献 (References)

- 何心一, 徐桂荣. 古生物学教程 [M]. 第二版. 北京: 地质出版社, 1993: 1-6 [He Xinyi, Xu Guirong. Paleontology [M]. 2nd edition. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-6]
- Brocks J J, Logan G A, Buick R, *et al*. A rhean molecular fossils and the early rise of eukaryotes [J]. *Science*, 1999, 285: 1033-1036
- Summons R E, Jahnke L L, Hope J M. 2-Methylhopanoids as biomarkers for cyanobacterial oxygenic photosynthesis [J]. *Nature*, 1999, 400: 554-557
- Brocks J J, Summons R E, Logan G A, *et al*. Composition and syngeneity of hydrocarbons molecular fossils from the 2.78 to 2.45 billion years old Mount Bruce Supergroup, Pilbara Craton, Western Australia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(22): 4289-4319
- Brocks J J, Buick R, Summons R E, *et al*. A reconstruction of Archaean biological diversity based on molecular fossils from the 2.78 to 2.45 Ga Mount Bruce Supergroup, Hamersley Basin, Western Australia [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(22): 4321-4335
- Xie S, Richard D P, Yin H, *et al*. Two episodes of microbial change coupled with Permian/Triassic faunal mass extinction [J]. *Nature*, 2005, 434: 494-497
- Thomas J B, Marshall J, Mann A L, *et al*. Dinosterane and other biological markers on dinoflagellate-rich marine sediments of Rhætic age [J]. *Organic Geochemistry*, 1993, 20(1): 91-104
- Robinson N, Eglinton G, Brassell S C. Dinoflagellate origin for sedi-

- mentary 4 α -methylsteroids and 5 α -stanols [J]. *Nature*, 1984, 308: 439-441
- Volan J K, Barrett S M, Dunstan G A, *et al*. Geochemical significance of the occurrence of dinosterol and other 4-methylsterols in a marine diatom [J]. *Organic Geochemistry*, 1993, 20(1): 7-15
- Summons R E, Thomas J M, Maxwell *et al*. Secular and environmental constraints on the occurrence of dinosterane in sediments [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 2437-2444
- Volan J K, Keamey P, Jeffrey S W. A new source of 4-methylsterols and 5 α (H)-stanols in sediments: pyrenesiphyte microalgae of the genus Pavlova [J]. *Organic Geochemistry*, 1990, 15(5): 489-497
- Huang Difan, Zhang Dajiang, Li Jinchao. The origin of 4-methylsterane and pregnanes from Tertiary strata in the Qaidam Basin, China [J]. *Organic Geochemistry*, 1994, 22(2): 343-348
- Moklowan J M, Dahl J, Jacobson S R, *et al*. Chemostratigraphic reconstruction of biotites: Molecular evidence linking cyst-forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors [J]. *Geology*, 1996, 24: 159-162
- Moklowan J M, Talyzina N M. Biogeochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the early Cambrian [J]. *Science*, 1998, 281: 1168-1170
- Zhang S C, Moklowan J M, Li M, *et al*. The abnormal distribution of the molecular fossils in the pre-Cambrian and Cambrian: its biological significance [J]. *Science in China*, 2002, 45(3): 193-200
- 张水昌, 王飞宇, 张保民, 等. 塔里木盆地上奥陶统油源层地球化学研究 [J]. *石油学报*, 2000, 21(6): 23-28 [Zhang Shuichang, Wang Feiyu, Zhang Baomin, *et al*. The geochemical study of Upper Ordovician in the Tarim Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2000, 21(6): 23-28]
- Zhang S C, Handson A D, Moklowan J M, *et al*. Paleozoic oil-source rock correlations in the Tarim Basin, NW China [J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 273-286
- Zhang S, Moklowan J M, Bian L, *et al*. Biological and molecular geochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the upper Sinian-Cambrian [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(4): 740-747
- Hanson A D, Zhang S C, Moklowan J M, *et al*. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(8): 1109-1128
- 徐金鲤, 潘昭仁, 杨育梅, 等. 山东胜利油区早第三纪沟鞭藻类和疑源类 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1997 [Xu Jinli, Pan Zhaoen, Yang Yumei, *et al*. Dinoflagellates and Acritarcha in the Eocene of Shengli Oilfield, Shandong Province, East China [M]. Dongying Shandong: Petroleum University Press, 1997]
- 刘传联, 徐金鲤, 汪品先. 藻类勃发—湖相油源岩形成的一种重要机制 [J]. *地质论评*, 2001, 47(2): 207-210 [Liu Chuanlian, Xu Jinli, Wang Pinxian. A global bloom: the primary mechanism in the formation of lacustrine petroleum source rocks [J]. *Geologica Review*, 2001, 47(2): 207-210]
- 刘传联, 徐金鲤. 生油古湖泊生产力的估算方法及应用实例 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(1): 144-150 [Liu Chuanlian, Xu Jinli. Estimation method on productivity of oil-producing lake and a case study

- [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(1): 144-150]
- 23 张林晔, 刘庆, 张春荣. 东营凹陷成烃与成藏关系研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2005: 8-34 [Zhang Linye, Liu Qing, Zhang Chunrong. Study on the genetic relationships between hydrocarbon occurrence and pools formation in Dongying Depression [M]. Beijing Geological Publishing House, 2005: 8-34]
- 24 陈致林, 李素娟, Alexander R. 甲藻甾烷——一种生源和沉积环境的生物标志物 [J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 60-64 [Chen Zhilin, Li Sujuan, Alexander R. Dinosterane as a biomarker of biogenic origin and sedimentary environment [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1994, 21(3): 60-64]
- 25 Chen Zhilin, Zhou Guangjia, Alexander R. A biomarker study of immature crude oils from the Shengli oilfield, People's Republic of China [J]. *Chemical Geology*, 1994, 117-132
- 26 Hou D J, Wang T G. Dinosteranes in terrestrial deposits and crude oils [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40: 1903-1906
- 27 侯俊杰, 王铁冠, 张一伟, 等. 中国东部第三系陆相沉积中的甲藻甾烷——海侵指相的标志物? [J] 地质论评, 1997, 43(5): 524-528 [Hou Dujié, Wang Tieguan, Zhang Yiwei *et al*. Dinosteranes in the Tertiary lacustrine deposition in East China: the biomarkers of marine transgression? [J]. *Geological Review*, 1997, 43(5): 524-528]
- 28 王秉海, 钱凯, 主编. 胜利油区地质研究与勘探实践 [M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992: 34-48 [Wang Binghai, Qian Kai. Geological research and exploration practice in Shengli Petroleum Province [M]. Dongying Shandong Petroleum University Press, 1992: 34-48]
- 29 孙镇城, 杨藩, 张枝焕, 等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 179-215 [Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhifan *et al*. The salt lake depositional environments and oil formation in Cenozoic of China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1997: 179-215]
- 30 邓宏文, 钱凯. 沉积地球化学与环境分析 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 18-28 [Deng Hongwen, Qian Kai. Sediment geochemistry and environment analysis [M]. Lanzhou Gansu Science and Technology Press, 1993: 18-28]
- 31 张林晔, 孔祥星, 张春荣, 等. 济阳坳陷下第三系优质烃源岩的发育及其意义 [J]. 地球化学, 2003, 32(1): 35-42 [Zhang Linye, Kong Xiangxing, Zhang Chunrong *et al*. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang depression [J]. *Geochimica*, 2003, 32(1): 35-42]

Distribution and Controlling Factors of Molecular Fossils Derived from Dinoflagellates in the Paleogene Lacustrine Jiyang Super-depression

WANG Guang-li¹ WANG Tie-guan¹ CHEN Zhi-lin² ZHANG Lin-yue² XU Jin-li²

(1 Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism of Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249,

2 Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield Company, Dongying Shandong 257015)

Abstract Triaromatic dinosteroid hydrocarbons and dinosteranes are two important molecular fossils derived from dinosterols compounds known in modern organisms to be the nearly exclusively occurring natural products of dinoflagellates. Now they have been identified from a Paleogene lacustrine basin, Jiyang super-depression located at East China, by GC-MS and GC-MS/MS. The results show that different genera of dinoflagellates including the *Deflandrea* living in saline-brackish lacustrine (E_{s4u}), the *Sentusidinium-Rhombodella* in brackish lacustrine (E_{s1}) and the *Bohaiina-Parabohaidina* in fresh lacustrine (E_{s3}) all could offer these two molecular fossils. However, it is observed that there are not linear pertinences between the triaromatic dinosteroid hydrocarbons and dinosteranes. The abundance of triaromatic dinosteroid hydrocarbons is consisted with the distribution of dinocysts in the Shahejie Formation. In saline and near-shore deposition, the TAI (triaromatic dinosteroid index) is 0.1~0.43, indicating a low production of dinoflagellates; in sub-deep to deep lacustrine whatever brackish or fresh the TAI is 0.50~0.96, suggesting a high production of dinoflagellates. But the abundance of dinosteranes is corresponding to the changing depositional environments, high palaeosalinity or low biodegradation during organic matter subsiding and early stage of diagenesis is in favor of the preservation of dinosteranes.

Key words molecular fossil, triaromatic dinosteroid hydrocarbon, dinosterane, dinoflagellate, depositional environment, lacustrine