

文章编号 1001-8166(2007)03- 06

柴达木盆地始新统沟鞭藻及其油源意义*

吉利明¹, 李林涛^{1,2}, 吴 涛^{1,2}, 张晓宝¹, 周世新¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 气体地球化学重点实验室, 甘肃 兰州 730000 ;
2. 中国科学院研究生院 北京 100069)

摘 要 我国中生代陆相沉积,特别是咸化湖泊沉积中普遍发现属于“海源陆生”的沟鞭藻化石,由于其良好的生油特性,被认为是我国白垩纪—第三纪陆相油气资源的重要来源。柴达木盆地第三系始新统下干柴沟组是该地区最主要的烃源岩,生油岩及原油中富含公认的沟鞭藻生物标志物 4-甲基甾烷和甲藻甾烷,但迄今该地区尚未发现可靠的沟鞭藻化石。本次研究在柴达木盆地北缘昆 2 井下干柴沟组发现了类型单调但化石丰富的以 *Subtilisphaera* 为主的沟鞭藻化石组合,为柴达木盆地第三系原油沟鞭藻来源提供了直接化石证据。研究表明,沟鞭藻发育的第三系中始新统可能是本地区最有利的生油层,形成于湿热气候所控制的陆相咸水湖泊。

关 键 词 沟鞭藻; 烃源岩; 下干柴沟组; 始新统; 柴达木盆地

中图分类号: 文献标识码: A

沟鞭藻(Dinoflagellate)是一类低等浮游植物,广泛分布于现代海洋,也见于内陆湖泊,多数种类属于甲藻门沟鞭藻超纲横裂甲藻纲,因此也经常被称为甲藻。最早的沟鞭藻化石发现于澳大利亚中三叠统拉丁阶,更可靠的化石记录出自英国萨墨塞特(Somerset)县北部沃切特(Watchet)地区上三叠统诺利阶—瑞替阶的黑色页岩中,并检测出被认为是沟鞭藻的分子生物标志物——甲藻甾烷^[1]。现生沟鞭藻 RNA 研究显示沟鞭藻的起源早于寒武纪有孔虫和放射虫的出现^[2],有证据表明沟鞭藻很可能起源于新元古代^[3],表明最早的沟鞭藻并未在地史上留下化石记录。

1 沟鞭藻及其与油气源的关系

沟鞭藻化石多发现于晚三叠世至第四纪的海相沉积中,因此早期一般认为沟鞭藻为海相浮游生物。20 世纪 80 年代以来,我国各地中生代陆相地层,尤其是咸化湖泊沉积中大量发现沟鞭藻化石,如三水盆地上白垩统^[4]、江汉盆地上白垩统至下第三

系^[5]、渤海湾盆地下第三系^[6]等。对于陆相地层中沟鞭藻的出现,最初认为是海侵造成的,随着我国东北地区白垩系非海相沟鞭藻的大量发现^[7,8],存在陆相沟鞭藻的认识被普遍接受。之后我国各地早白垩世及其以后的地层中,均陆续发现陆相沟鞭藻,它们被认为是中国白垩纪至第三纪丰富的陆相油气资源形成的重要物质基础^[9,10]。

现代咸水湖泊生物群的研究发现,一些与现代海洋无空间联系的咸水湖泊中也存在通常分布于海水中的生物,包括有孔虫、海生介形虫、瓣鳃类、腹足类等类型。这些源自海洋,但已适应内陆盐湖环境的生物被称之为“海源陆生”生物^[11],与海水相似的高盐度是其存在的重要条件。我国白垩系和第三系盐湖相沉积中广泛发育沟鞭藻,其先驱可能来自海侵,但已适应内陆咸水湖泊,显然也属于“海源陆生”生物。尽管盐湖中包括甲藻在内的各种浮游生物的丰度、分异度远低于淡水湖,但这种环境中经常出现某些具有特殊适应能力的单调甲藻类型的相对富集。

* 收稿日期:2006-10-10; 修回日期:2007-01-23。

基金项目:中国科学院科技支青工程项目“构造岩性油气藏预测技术及其在柴西南地区的应用”(编号:2006-06)资助。

作者简介:吉利明(1963-)男,陕西咸阳市人,副研究员,从事微体古生物学与石油地质学研究。E-mail: jilimin@lzb.ac.cn

沟鞭藻因其有机壁中富含孢粉素,并且在海洋与湖泊中均能大量繁殖,而成为公认的生油藻类,是中、新生界沉积物中 I 型干酪根的主要母质来源。我国渤海湾沿岸地区、济阳、东濮等地的沙河街组,泌阳凹陷核桃园组以及江汉盆地潜江组等主要生油层段都富含沟鞭藻。大量研究表明,含沟鞭藻的咸水—半咸水环境形成的生油岩类型好于含其他藻类的淡水环境形成的生油岩,并且随湖泊咸化程度升高和沟鞭藻化石丰度增大,烃源岩母质类型也变好。如冀中坳陷沙四段—沙三段、东濮凹陷北部沙一段和沙四上段—沙三段、江汉盆地潜江凹陷潜江组等^[28]。

中国北方中、新生代陆相盆地中的油气资源十分丰富,占我国石油资源的 86.6%,其中第三系尤其突出,占 51.9%,而第三系油气的形成多数与沟鞭藻类的分布有密切关系^[29]。

2 沟鞭藻生物标志物

迄今对沟鞭藻的起源与地史分布已经有较深入的了解,这得益于不同时代地层中 4-甲基甾烷和甲藻甾烷等沟鞭藻类所特有的生物标志物的研究。Summons 等^[12]较早从没有沟鞭藻化石记录的古生代样品中检出甲藻甾烷, Moldowan 等^[13]在前寒武纪至泥盆纪样品中也检出丰富的三芳甲藻甾烷,其丰度与疑源类化石数量有很好的相关关系。之后又在富含疑源类的前寒武系干酪根热解产物中检出丰富的甲藻甾烷^[14],证明某些未被确认的沟鞭藻在前寒武纪已经出现,并且疑源类可能是沟鞭藻的祖先。

甾烷是以环戊烷多氢菲为核心的饱和环状化合物,10 位和 13 位各有一个角甲基,17 位存在一个长支链,由于支链 24 位可能出现一个甲基或乙基,其碳数有所变化,包括胆甾烷(C_{27})、麦角甾烷(C_{28})和豆甾烷(C_{29})。甾烷 4 位上如果增加一个甲基则成为 4-甲基甾烷($C_{28} \sim C_{30}$),4-甲基甾烷的 23、24 位上如果又分别存在一个甲基,则称为甲藻甾烷(C_{30})。4,23,24-三甲基甾烷的特征离子碎片为 M/Z 231 和 M/Z 98,可由 M/Z 414-231 和 M/Z 414-98 检测。

4-甲基甾烷既可由甲藻形成,也可由某些细菌产生^[15]。沟鞭藻体内富含其前驱物 4-甲基甾醇^[16],沉积物中甲藻化石的含量与其丰度呈正相关^[17]。

高盐度湖泊环境单调甲藻类型的相对富集,可导致高丰度 4-甲基甾烷的出现。中、新生界广泛发

育的咸化湖泊形成的生油岩和原油中 $C_{28} \sim C_{30}$ 4-甲基甾烷含量相当丰富,且随盐度的增大而增高,常规甾烷具有 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ 的指示藻类母质输入的普遍特征,如江汉盆地和柴达木盆地第三系^[18,19]。

C_{30} 甲藻甾烷是一种特殊的 4-甲基甾烷,主要出现于海相或盐湖相沉积中^[10],其先质为甲藻甾醇。沟鞭藻不仅含有丰富的 4-甲基甾醇,而且含有丰富的甲藻甾醇。Goodwin 等^[20]在富含沟鞭藻的侏罗纪沉积物中检测到丰富的甲藻甾烷,并发现甲藻甾醇和甲藻甾烷与沟鞭藻孢的丰度具有良好的对应关系。

原油和沉积物中的 4,23,24-三甲基胆甾/三芳烷、4,23,24-三甲基甾烷是由生物体中的 4,23,24-三甲基胆甾烯醇和/或 4,23,24-三甲基胆甾烷醇在地质体中经过一系列地质地球化学作用,脱水、氧化、加氢还原及芳构化而形成,它们基本上保留了其生物先质的碳骨架结构。由于具这种结构的胆甾醇和胆甾烷醇仅出现于沟鞭藻和富含沟鞭藻的沉积物中,因此被称为甲藻甾醇,其相应的饱和烃被称为甲藻甾烷。尽管硅藻和少数金藻也可以生成少量的甲藻甾醇,但普遍认为 C_{30} 4-甲基甾烷及其生物先质主要来源于沟鞭藻^[21-24]。

3 柴达木盆地沟鞭藻生物标志物的检出

我国第三系咸化湖泊沉积是重要的生油岩,其中不仅多含有丰富的沟鞭藻化石,而且多检测到丰富的 4-甲基甾烷和 C_{30} 甲藻甾烷,如胜利油田下第三系^[25]、渤海湾盆地八面河地区沙四段^[26]等,陆相半咸水—咸水环境存在的沟鞭藻被认为是甲藻甾烷的重要生源^[27]。

柴达木盆地西部以第三系内自生自储型油藏为特征,目前已发现 17 个第三系油源的油田,其主要烃源岩层位是陆相湖泊沉积的始新统下干柴沟组^[30]。第三系生油岩及原油中含有丰富的 $C_{28} \sim C_{30}$ 4-甲基甾烷^[19],盆地内最大的油田——尕斯库勒油田的原油形成于咸水—超咸水环境,具有高含量的规则甾烷和 4-甲基甾烷,甾烷分布表现为 $C_{27} > C_{29} > C_{28}$ ^[31],烃源岩和原油中 4-甲基甾烷、甲藻甾烷的检出不仅明确了油—源对比关系,而且指示其主要成烃母质为咸化湖泊环境中广泛发育的以甲藻类为主的浮游生物^[21]。这一点也可从柴达木盆地及其邻区现代咸水湖泊中沟鞭藻类的发育程度得到证明。

青海湖是我国现代最大的半咸水湖泊,常见的

浮游植物包括硅藻和甲藻,其中甲藻占 3.51% ~ 49.88%。青海湖近代沉积物中除检出丰富的 C₂₇、C₂₈和 C₂₉ 甾醇外,还检出包括甲藻甾醇在内的 C₃₀ 4-甲基甾醇,甲藻类和硅藻类被认为是这些 4-甲基甾醇的生物来源^[32]。柴达木盆地尕斯库勒湖是典型的高盐度盐湖,主要水体内发现浮游藻类 5 门 32 属 46 种,其中甲藻门虽然仅有 4 属 4 种,但丰度高,密度大,占藻类总数量的 34.5%,裸甲藻密度达到 19.4×10^4 cells/L^[33]。盐湖中虽然生物属种的分异度随着盐度的升高而减少,但生物丰度并不减少,甚至可出现在淡水环境中少见的高生物量^[34]。

尽管柴达木盆地与第三系原油有关的地层中普遍检出 4-甲基甾烷、甲藻甾烷等沟鞭藻来源的生物标志物,但迄今尚未见该地区沟鞭藻化石的可靠报道,前人仅在盆地大风山地区上油砂山组发现个别可疑的锥藻(*Conicoidium*)化石^[35]。

4 柴达木盆地沟鞭藻化石新发现

近年来笔者在柴达木盆地昆 2 井单井石油地质研究中,有幸获得较为丰富的沟鞭藻化石,从而为本

地区第三系 4-甲基甾烷、甲藻甾烷及原油的沟鞭藻来源提供了直接证据。化石产出的昆 2 井位于柴达木盆地北缘昆特依凹陷区,地处冷湖镇西约 25 km 处。沟鞭藻化石通过传统的孢粉分析方法获得,全井共分析岩屑和岩芯样品 113 个。在井深 5 159 ~ 5 272 m 的下干柴沟组下段中下部发现类型单一,但数量较丰富的多甲藻形沟鞭藻孢囊化石。其特征是:孢囊为贴近式或腔式,轮廓多甲藻形到亚圆形,具一个短的顶角,两个或一个底角,横沟浅,但一般比较清楚,似为环形;古口不清楚,或在部分标本的上孢显示一模糊的、移去的口盖,比较大,似乎反映联合古口的特征(图 1)。这些孢囊化石与渤海湾盆地沙河街组四段中、上部的娇球藻属(*Subtilisphaera* Jain et Millepied 1973)十分相近,应为同一属孢囊。

Subtilisphaera 属于多甲藻目古多甲藻科,曾报道于欧洲和北美晚白垩世 Cenomanian-Maastrichtian 期海相沉积中^[36,37],大量出现于英格兰晚白垩世 Santonian 期^[38]和巴西盆地早白垩世晚期 Aptian-Albian 期的海相沉积^[39]。

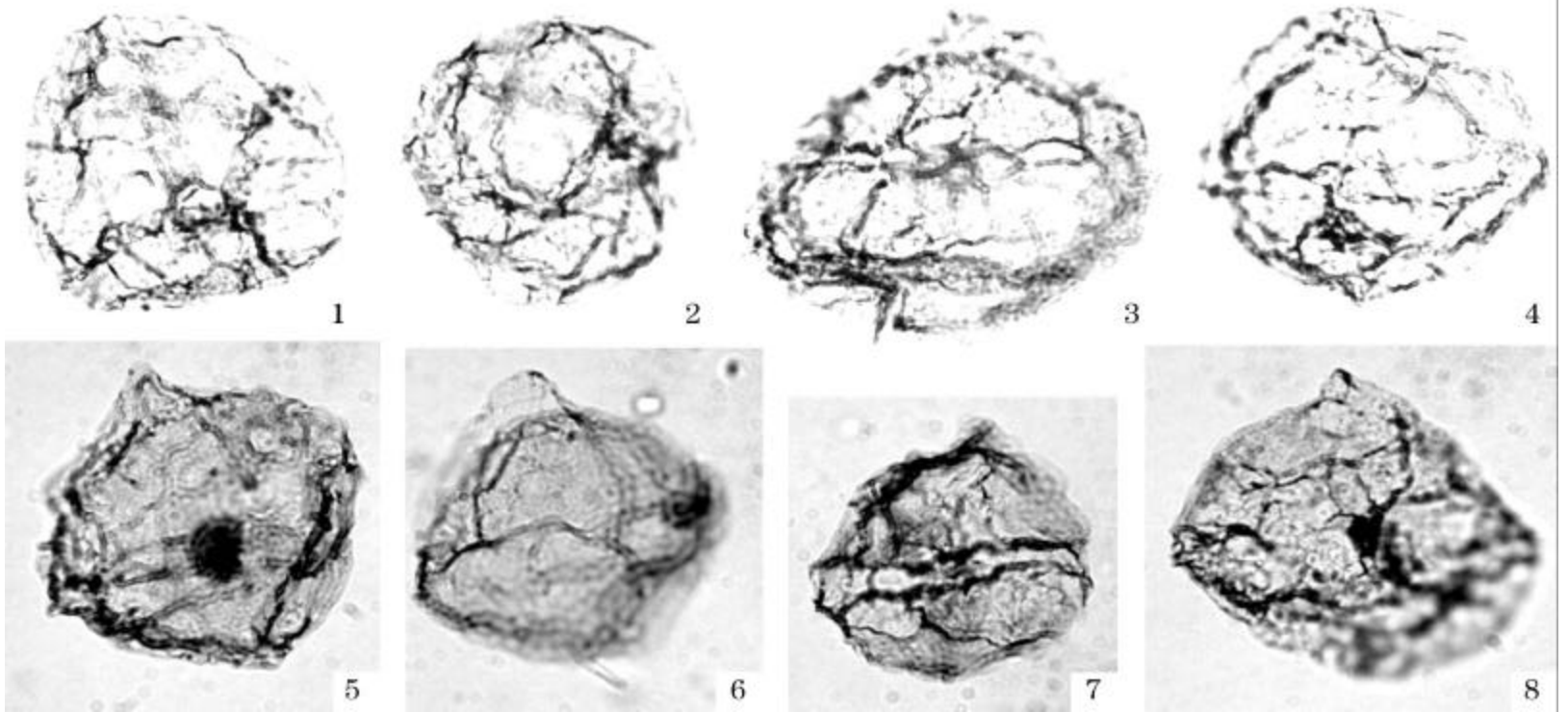


图 1 昆 2 井下干柴沟组下段娇球藻(*Subtilisphaera* spp.) ,350 ×

Fig. 1

在我国 *Subtilisphaera* 最早发现于黑龙江绥滨地区早白垩世 Valanginian-Hauterivian 期的城子河组非海相化石组合^[40]。塔里木盆地西部晚白垩世 Cenomanian-Santonian 期的海相沉积^[41]和苏北晚白垩世陆相沉积的泰州组^[42]也有分布。大量出现于内蒙开鲁盆地晚白垩世非海相的四方台组^[43]。此外,还见于渤海湾沿岸冀中等地区始新世沙河街组

上亚段^[44]。

以上资料显示,*Subtilisphaera* 在国外多出现于古地中海沿岸的海相白垩纪地层,在我国主要出现于陆相地层,其时代为白垩纪至始新世。昆 2 井产 *Subtilisphaera* 的下干柴沟组下段的时代,据笔者对该段的孢粉组合研究表明,可能为古近纪中始新世早中期。

海相地层中的沟鞭藻一般类型丰富多彩,而非海相沟鞭藻的类型则要少得多,组合面貌也相当单调,往往一个属种就代表了一个组合,同时沟鞭藻孢的壁也较海相的薄,不容易保存为化石。本文述及的昆 2 井沟鞭藻化石组合极其单调,仅出现 *Subtilisphaera* 一个属,充分显示了非海相沟鞭藻的明显特征。前人研究也表明,柴达木盆地西部古新统一始新统的路乐河组和下干柴沟组含湖泊相古生物化石群,为典型的陆相沉积^[30]。

昆 2 井下干柴沟组下段至下干柴沟组上段底部的 *Piceapollenites-Ulmipollenites* 孢粉组合,以大量出现具囊的 *Pinuspollenites* 和 *Piceapollenites* 为特征,同时出现 *Tsugaepollenites* 等多种类型的热带和亚热带植物花粉,代表干凉气候特征的 *Ephedripites* 和 *Chenopodipollis* 含量较低。其中,下部与沟鞭藻化石共生的 *Sphagnum sporites - Piceapollenites - Ulmipollenites* 亚组合含较丰富的 *Taxodiaceapollenites*, *Sphagnum sporites*, *Polypodiaceasporites* 等湿生分子。

虽然柴达木盆地北缘地区古近系并未发育较好的烃源岩,但下干柴沟组仍然是整个新生界有机质丰度和有机质类型相对较好的层位。昆 2 井下干柴沟组沟鞭藻化石的发现在一定程度上指示,沟鞭藻是盆地内同时代地层中含 4-甲基甾烷、甲藻甾烷的腐泥型烃源岩有机质的重要贡献者,古近系中始新统可能是因沟鞭藻发育而最有利的生油层,当时的沉积古环境为受湿热气候所控制的陆相咸水湖泊。

臻谢:样品分析与沟鞭藻化石鉴定中得到了胜利石油管理局地质科学研究院徐金鲤高级工程师的帮助,在此表示衷心地感谢。

参考文献(References):

- [1] Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments[M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
- [2] Lipps J H. Introduction to Fossil Prokaryotes and Protists[C]. Lipps J H, ed. Fossil Prokaryotes and Protists. Boston: Blackwell, 1993: 1-10.
- [3] Knoll A H. Archean and Proterozoic Paleontology[C]. Jansonius J, McGregor D C, eds. Palynology: Principles and Applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, TX, Vol. 3, 1996: 249-277.
- [4] Yu Jingxian, Mao Shaozhi, Sun Mengrong, et al. Later Cretaceous dinoflagellates and acritarchs in the Sanshui basin of Guangdong Province[J]. Journal of Oil & Gas, 1981, 2(3): 254-264. [余静贤, 茅绍智, 孙孟蓉, 等. 广东三水盆地晚白垩世沟鞭藻和疑源类[J]. 石油与天然气地质, 1981, 2(3): 254-264.]
- [5] Wan Chongfang, Mao Shaozhi. Later Cretaceous-Paleogene dinoflagellates, acritarchs of Jiangnan basin and their significance in renewing sedimentary environment[J]. Petroleum Exploration and Development, 1987, 6: 30-37. [万重芳, 茅绍智. 江汉盆地晚白垩世—早第三纪沟鞭藻、疑源类及其在沉积环境恢复中的意义[J]. 石油勘探与开发, 1987, 6: 30-37.]
- [6] Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences. The Paleogene Dinoflagellates and Acritarchs from the Coastal Region of Bohai[M]. Beijing: Science Press, 1978, 1-190. [中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区早第三纪沟鞭藻类和疑源类[M]. 北京: 科学出版社, 1978, 1-190.]
- [7] Gao Ruiqi, He Chengquan, Qiao Xiuyun. Cretaceous nonmarine Dinoflagellates, Green alga and Acritarchs in Songliao Basin[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1992: 1-68. [高瑞祺, 何成全, 乔秀云. 松辽盆地白垩纪非海相沟鞭藻、绿藻及疑源类[M]. 南京: 南京大学出版社, 1992: 1-68.]
- [8] Wan Chuanbiao, Qiao Xiuyun, Wang Renhou, et al. Cretaceous nonmarine microphytoplankton from the Hongqi depression in the Hailar basin, NE China[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1997, 14(4): 405-418. [万传彪, 乔秀云, 王仁厚, 等. 海拉尔盆地红旗凹陷非海相微体浮游藻类[J]. 微体古生物学报, 1997, 14(4): 405-418.]
- [9] Mao Shaozhi, Yu Jingxian. Origin and evolution of terrestrial dinoflagellates and their significance in source potential for petroleum[J]. Earth Science-Journal of China University of Geoscience, 1990, 15(3): 283-290. [茅绍智, 余静贤. 陆相沟鞭藻的起源和演化及其生油意义[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1990, 15(3): 283-290.]
- [10] Sun Zhencheng, Yang Fan, Zhang Zhihuan, et al. Sedimentary Environment and Oil and Gas Generation of Cenozoic Salt Lake in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 79-84. [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: 79-84.]
- [11] Wang Pinxian. On the terrestrial fossils from sea and Cenozoic transgression in China[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 1995, 23 (Supple.): 129-135. [汪品先. “海源陆生化石”与中国新生代“海侵”问题[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 1995, 23 (增刊): 129-135.]
- [12] Summons R E, Volkman J K, Boreham C J. Dinosterane and other steroidal hydrocarbons of dinoflagellate origin in sediments and petroleum[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51(11): 3075-3082.
- [13] Moldowan J M, Dahl J, Jacobson S R, et al. Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: Molecular evidence linking Cyst-forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors[J]. Geology, 1996, 24(2): 159-162.
- [14] Moldowan J M, Talyzina N M. Biogeochemical evidence for Dinoflagellate Ancestors in the Early Cambrian[J]. Science, 1998, 281: 1168-1170.
- [15] Boon J J, Rijpstra W I C, Lange F, et al. Black sea sterol - a molecular fossil for dinoflagellate blooms[J]. Nature, 1979, 277:

- 125-127.
- [16] Johns R B. *Biological Markers in the Sedimentary Record* [M]. Wang Tieguan, Huang Difan, Yu Lina, et al. (interpreted). Beijing: Science Press, 1991: 58-163. [R.B. 约翰斯. 沉积记录中的生物标志物[M]. 王铁冠, 黄第藩, 徐丽娜, 等译. 北京: 科学出版社, 1991: 58-163.]
- [17] Brassell SC, Eglinton G, Mo F J. Biological marker compounds as indicators of depositional history of the Maoming oil shale [J]. *Organic Geochemistry* 1986, 10: 927-941.
- [18] Fu Jiamo, Sheng Guoying. In advances in science of China-earth sciences [C]. Tu Guangzhi, ed. Beijing: Science press, 1986: 251-286.
- [19] Huang Xinzhen, Shao Hongshun, Gu Shusong, et al. Petroleum generation and searching direction of oil-gas field in Qaidam basin [M]. Lanzhou: Gansu Scientific and Technology press, 1993: 265-462. [黄杏珍, 邵宏舜, 顾树松, 等. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 265-462.]
- [20] Goodwin N S, Mann A L, Patience R L. Structure and significance of C₃₀ 4-methyl steranes in lacustrine shales and oils [J]. *Organic Geochemistry* 1988, 12(5): 495-506.
- [21] Robinson N, Eglinton G, Brassell SC. Dinoflagellate origin for sedimentary 4-methylsteroids and 5-(H)-steroids [J]. *Nature*, 1984, 308: 439-441.
- [22] Wolff G A, Lamb N A, Maxwell J R. The origin and fate of 4-methyl steroid hydrocarbons. Diagenesis of 4-methyl steranes [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1986, 50: 335-342.
- [23] Volkman J K, Barrett S M, Dunstan G A, et al. Geochemical significance of the occurrence of dinosteol and other 4-methylsteroids in a marine diatom [J]. *Organic Geochemistry* 1993, 20(1): 7-15.
- [24] Thomas J B, Marshall J, Mann A L, et al. Dinosteranes (4 β , 24-trimethylsteranes) and other biological markers in dinoflagellate-rich marine sediments of Rhaetian age [J]. *Organic Geochemistry* 1993, 20(1): 91-104.
- [25] 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. [陈致林, 李素娟, R. Alexander. 甲藻甾烷——一种物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.]
- [26] Li Sumei, Pang Xiongqi, Jin Zhiyun. Distribution and significance of steroids in Bamianhe oilfield, east China [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2002, 27(6): 711-717. [李素梅, 庞雄奇, 金之钧. 八面河地区原油、烃源岩中甾类化合物的分布特征及其应用[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(6): 711-717.]
- [27] Hou Dujie, Wang Tieguan. Dinosterane from terrestrial sediments and crude oils [J]. *Chinese Science Bulletin* 1995, 40(4): 333-335. [侯读杰, 王铁冠. 陆相沉积物和原油中的甲藻甾烷[J]. 科学通报, 1995, 40(4): 333-335.]
- [28] Ye Dequan, Zhong Xiaochun, Yao Yimin, et al. Tertiary of Oil-gas Fields in China (pandect) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993. [叶得泉, 钟筱春, 姚益民, 等. 中国油气区第三系(总论)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.]
- [29] Wan Chuanbiao, Qiao Xiuyun, Zhao Chuanben, et al. Discussion on original bodies of gas-oil formation in different stages in China [J]. *Global Geology* 2004, 23(1): 35-40. [万传彪, 乔秀云, 赵传本, 等. 中国各时代油气形成母源体探讨[J]. 世界地质, 2004, 23(1): 35-40.]
- [30] Sun Zhencheng, Qiao Zizhen, Yang Gelian, et al. Discussion on ownership of Qaidam basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2002, 4(1): 55-66. [孙镇城, 乔子真, 杨革联, 等. 柴达木盆地归属问题[J]. 古地理学报, 2002, 4(1): 55-66.]
- [31] Duan Yi, Wang Chuanyuan, Zheng Chaoyang, et al. Geochemical characteristics and genesis of crude oils from Gaskule oilfield in western Qaidam basin [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology* 2006, 26(1): 86-91. [段毅, 王传远, 郑朝阳, 等. 柴达木盆地西部尔斯库勒油田原油地球化学特征及成因[J]. 矿物岩石, 2006, 26(1): 86-91.]
- [32] Li Jinggui, Gui Mingzhong, Li Zhenxi, et al. Steroids and their evolution of Qinghai lake sediments [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 1994, 12(4): 66-76. [李景贵, 崔明中, 李振西, 等. 青海湖沉积物中的甾醇及其演化[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 66-76.]
- [33] Xu Muqi, Cao Hong, Jia Qinxian, et al. Preliminary study of plankton community diversity of the Gahai salt lake in the Qaidam basin of the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Biodiversity Science* 2002, 10(1): 38-43. [许木启, 曹宏, 贾沁贤, 等. 青藏高原柴达木盆地尔海盐湖浮游生物群落多样性特征的初步研究[J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 38-43.]
- [34] Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences; Institute of Aquatic Biology, Chinese Academy of Sciences; Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, et al. A Synthesis Investigation Report on Qinghai Lake [M]. Beijing: Science Press, 1979: 44-49. [中国科学院兰州地质研究所, 中科院水生生物研究所, 中科院微生物研究所, 等. 青海湖综合考察报告[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 44-49.]
- [35] Institute of Petroleum Exploration & Development of Qinghai Petroleum Administration, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences. Studies of Tertiary Palynology of Qaidam basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press. 1985, 59-258. [青海石油管理局勘探开发研究院, 中国科学院南京地质古生物研究所. 柴达木盆地第三纪孢粉学研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985, 59-258.]
- [36] Harker SD, Sarjeant W A S. The stratigraphic distribution of organic walled dinoflagellate cysts in the Cretaceous and Tertiary [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1975, 20: 217-315.
- [37] Roncaglia L, Corradini D. Correlation of key dinoflagellate events with calcareous nannoplankton and planktonic foraminiferal zones in the Solignano Formation (Maastrichtian, Late Cretaceous), northern Apennines, Italy [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology* 1997, 97: 177-196.
- [38] Prince I M, Jarvis I, Tocher B A. High-resolution dinoflagellate

- cyst biostratigraphy of the Santonian basal Campanian (Upper Cretaceous) : new data from Whitecliff, Isle of Wight, England [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 105 :143-169.
- [39] Arai M, Neto J B, Lana C C, et al. Cretaceous dinoflagellate provincialism in Brazilian marginal basin [J]. *Cretaceous Research*, 2000, 21 :351-366.
- [40] Yu Jingxian. Later Jurassic-Early Cretaceous dinoflagellates assemblage in Suibin area of Heilongjiang Province [J]. *Series of Shenyang Institute of Geology and Minerals, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1982, 5 :227-276. [余静贤. 黑龙江绥滨地区晚侏罗世—早白垩世沟鞭藻组合 [J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊. 1982, 5 :227-276.]
- [41] Mao Shaozhi, Norris G. Later Cretaceous- Paleogene dinoflagellates and acritarchs in the western Tbasin of Xinjiang [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 1984, 2 :7-22. [茅绍智, Norris G. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世—早第三纪的沟鞭藻及疑源类 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1984, 2 :7-22.]
- [42] Zheng Yahui, He Chengquan. On the Later Cretaceous palynology of Taizhou Formation in Well Qin-30 of Dabieshan mountains [J]. *Series of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences*, 1984, 8 :55-118. [郑亚惠, 何承全. 苏北钦 30 井晚白垩世泰州组的孢粉学 [J]. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊, 1984, 8 :55-118.]
- [43] Wang Renhou, Qin Derong, Wu Bingwei, et al. Cretaceous dinoflagellates and other algae from Kailu basin, Nei Monggo [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1996, 13(3) :303-312. [王仁厚, 秦德荣, 吴炳伟等. 开鲁盆地白垩纪沟鞭藻类及其它藻类 [J]. 微体古生物学报, 1996, 13(3) :303-312.]
- [44] Cai Zhiguo, Zheng Guoguang, Cui Zhantang, et al. Tertiary Strata and Micropalaeontological Floras in the Oil and Gas Area of Middle Hebei Province [M]. Beijing : Science Press, 1998, 1-551. [蔡治国, 郑国光, 崔占堂, 等. 冀中油气区第三纪地层及微体古生物群 [M]. 北京 : 科学出版社, 1998, 1-551.]

Eocene Dinoflagellate in Qaidam Basin and its Significance on Hydrocarbon Source

JI Li-ming¹, LI Lin-tao^{1,2}, WU Tao^{1,2}, ZHANG Xiao-bao¹, ZHOU Shi-xin¹

(1. Key Laboratory of Gas Geochemistry, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100069, China)

Abstract : Nonmarine fossil dinoflagellates with marine origin have been found widely in China from the Mesozoic-Cenozoic terrigenous, especially salty lacustrine sediments in China. Because of the characteristic of dinoflagellates in favorable oil-generating, they are considered to be important hydrocarbon resource of nonmarine Cretaceous-Tertiary in China. The Eocene Lower Ganchaigou Formation is the uppermost hydrocarbon source rock in Qaidam basin. Abundant 4-methylsteranes and dinosteranes, which are generally thought biomarkers of dinoflagellates, were preserved in the hydrocarbon source rocks and crude oils. However, no reliable fossil dinoflagellates have been discovered in the area heretofore. The paper reports the new finding of fossil dinoflagellates from the Eocene Lower Ganchaigou Formation in Qaidam basin. A monotype but comparatively abundant dinoflagellate assemblage was recovered from the Formation of Well Kun-2 in the north margin of Qaidam basin. The assemblage mainly consists of abundant cysts of *Subtilisphaera*, and shows obviously nonmarine characteristics. All these provide direct evidence for dinoflagellates as an important source of Tertiary hydrocarbon in Qaidam basin. The studies indicated the Middle Eocene where dinoflagellates were discovered maybe is the most favorable hydrocarbon source rock in Qaidam basin, and the sedimentary environment was a salty lake in wet and hot climate.

Key words : Dinoflagellate ; Hydrocarbon source rock ; Lower Ganchaigou Formation ; Eocene ; Qaidam basin.