doi:10.3799/dqkx.2011.110

山东东营凹陷古近纪湖相藻礁群落结构及古生态特征

李国山[1],王永标[2*],卢宗盛[1],廖 卫[1],侯玮伟[1]

1. 中国地质大学地球科学学院,湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,湖北武汉 430074

摘要: 地质历史上的生物礁主要为海相生物礁.海相生物礁中生物种类丰富,而且常常出现在正常的海洋环境中.陆相湖泊生物礁则极为少见,而且造礁生物种类单调,常常出现在特有的湖泊环境.山东东营凹陷古近纪湖相藻礁主要由绿藻门的枝管藻形成礁体的骨架,蓝细菌藻纹层起粘结作用.居礁生物种类十分单调,但数量丰富,主要包括广盐性的介形类、小型腹足类和龙介类.在湖相藻礁建造过程中,早期碳酸盐成岩作用产生的纤维状方解石十分发育,对加固枝管藻骨架起到了重要作用.同时,大量早期碳酸盐胶结物的存在表明当时湖泊水体的碳酸盐饱和度较高.藻礁发育的古近纪在世界许多地方出现蒸发岩沉积,反映藻礁总体是在气候比较干旱的时期形成的.枝管藻藻礁不但对古生态和气候具有重要的指示意义,而且对油气储集层的研究勘探也有重要价值.

关键词: 生物礁;古近纪;东营凹陷;地层学.

中图分类号: P52; P534 **文章编号:** 1000-2383(2011)06-1044-09 **收稿日期:** 2011-06-09

Community Structure and Paleoecology of Paleogene Lacustrine Cladosiphonia Reefs in the Dongying Depression, Shandong Province, China

LI Guo-shan[1], WANG Yong-biao[2*], LU Zong-sheng[1], LIAO Wei[1], HOU Wei-wei[1]

1. *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*
2. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*

Abstract: Most fossil reefs found so far are preserved in marine sediments with high biodiversity of reef-building organisms and recognized as implication for shallow normal marine environment. However, lacustrine reefs are relatively scarce and usually constructed by low biodiversity but high abundance of reef associated fossils, implying specialized water conditions. The frame of Paleogene lacustrine reefs in Dongying depression of Shandong Province were constructed mainly by *Cladosiphonia* and bound by *Cyanobacteria*. Reef-dwelling organisms are of great abundance though only a few species are involved, such as ostracodes, micro-gastropods and spirorbis, which belong to euryhaline organisms. Large amount of fibrous calcite cement was formed as the product of early diagenesis around the *Cladosiphonia*, reinforcing the solidity of reef structure. Early diagenesis cement widely formed in the reef structure suggests high saturation of lacustrine chemistry for carbonate precipitation. Paleogene is a special stage in geologic history, during which different types of evaporates were deposited all over the world. Paleogene *Cladosiphonia*-build reefs in Dongying depression should have been formed under arid climate conditions. *Cladosiphonia*-build reefs undoubtedly facilitates the understanding of the palaeoecology of ancient lacustrine and the condition of paleoclimate, and is of great importance to the study of petroleum reservoir as well.

Key words: reefs; Paleogene; Dongying depression; stratigraphy.

生物礁在漫长的地质历史上均有分布,但真正由后生生物建造而成的生物礁则从寒武纪才开始出现.地质历史上已发现的生物礁绝大部分为海相的生物礁,不同时期海相生物礁中造礁生物类群各不相同,如寒武纪的古杯礁、奥陶纪及志留纪的层孔虫和珊瑚礁(张廷山等,1999;Li *et al*., 2004)、泥盆纪

基金项目: 国家油气重大专项(No. 2009ZX05009);国家自然科学基金(No. 40730209).
作者简介: 李国山(1986-),男,硕士研究生,主要从事古生物学与地层学研究. *通讯作者:王永标,E-mail: Wangyb@cug.edu.cn

的层孔虫礁(周怀玲，1996)、石炭纪的刺毛虫礁(巩恩普等，2010)、二叠纪的钙质海绵礁(范嘉松等，1990；林启祥，1992；吴亚生和范嘉松，2002)、三叠纪的硅质海绵礁(吴熙纯，2009)、侏罗—白垩纪的厚壳蛤礁(余光明等，1982；肖传桃等，2000)和新生代的珊瑚礁. 尽管显生宙海相生物礁中藻类也常常参与造礁，但在造礁过程中起主导作用的则是能分泌钙质骨骼的动物.

与海相生物礁相比，陆相湖泊环境的生物礁则非常少见. 目前，已发现的陆相湖泊生物礁主要出现在古近纪，如中国东部的山东东营凹陷(杜韫华，1996)和西部的柴达木盆地(郭泽清等，2008). 从生态环境上来看，大部分海相生物礁形成于低纬度热带、亚热带正常浅海环境，而古近纪却是湖相地层中普遍出现膏盐的一个时期. 古近纪湖相生物礁发育在这样一个特殊的时期，这与海相正常环境的生物礁在生态上形成了鲜明的对比. 因此，古近纪陆相湖泊生物礁的生物组成、古生态特征和形成机制的研究具有重要的理论意义. 此外，陆相湖泊生物礁发育良好的孔隙条件，为沉积有机质的储集创造了条件，因此，陆相湖泊生物礁的研究对油气资源的勘探同样具有重要的经济价值.

1　地质背景

东营凹陷是渤海湾盆地济阳坳陷中主要凹陷之一. 本凹陷古近纪地层由 3 个组组成，自下至上分别为孔店组、沙河街组和东营组. 古近纪湖相生物礁主要发育在沙河街组四段(始新世晚期)上部和沙一段(渐新世中期)中下部(图 1). 沙河街组四段整合或假整合于孔店组之上，岩性分 3 部分：下亚段主要为红色泥岩，夹少量白云质砂岩或硬石膏泥岩；中亚段主要为蓝灰色泥岩，含硬石膏或盐岩；上亚段油页岩和碳酸盐发育，部分含硬石膏. 沙三段—沙二段下部深湖相油页岩发育，由于湖盆上升的影响，向上逐渐过渡为泥质岩夹浊积岩直至河口砂质岩. 沙一段中、下亚段油页岩及碳酸盐岩等特殊岩层发育，上亚段以红色砂岩为特征. 东营组整合于沙一段之上，总体特征为东粗、西细，西部主要为深水泥质岩，东部为 3 个由粗变细的旋回.

尽管东营凹陷沙河街组主体为陆相湖泊沉积序列，但由于前人在该组油页岩中发现颗石藻化石，因此认为沙河街组沉积过程中可能存在多次短暂海侵(郝诒纯和李蕙生，1984). 然而，孙镇城等(2002)在我国西北和东北(内蒙古东部)的新生代—现代陆相咸化湖泊沉积中也发现了钙质超微化石，因此认为不能笼统地把所有钙质超微化石的发现都当作海相或海侵的证据. 但由于沙河街组中除了浮游的颗石藻外，缺乏其他海相化石. 因此，笔者认为其主体仍以陆相沉积为主.

根据目前钻孔岩心资料分析，枝管藻生物礁主要分布在济阳坳陷的东营凹陷西部地区. 在义和庄凸起东部的陡坡带相变为小规模的枝管藻藻礁丘，而在东营凹陷北部陡坡和南部缓坡带则以含藻的生物层为特征(图 2). 从前人研究资料分析，枝管藻生物礁单个礁体的规模不大，一般厚度在 0.5～4.0 m，最大约 11 m(杜韫华，1996). 尽管枝管藻生物礁规模较小，但由于其内部孔洞发育，是油气的良好储层，同时层位稳定，因此在油气勘探研究中已被引起广泛的关注(Qian *et al*.，1980；钱凯和王淑芬，1986；周自立和杜韫华，1986；杜韫华，1996；吴花果等，2003；郭泽清等，2004). 然而，枝管藻生物礁作为地质历史上少见的一种陆相湖泊型生物礁，更具有重要的古生物学和古生态研究价值.

2　枝管藻生物礁的生物化石群落

生物礁是指由造礁生物形成的具有一定古地貌隆起的生物建造. 地质历史上的海相生物礁一般由海绵、层孔虫或复体珊瑚等底栖固着生物在原地建造骨架，藻类等生物参与粘结，腕足、棘皮等动物为居礁生物而共同营造起来的生物建造. 山东东营凹陷古近纪枝管藻生物礁中起造架作用的不是动物，而是钙质藻类枝管藻. 生物礁中起粘结作用的主要为纹层状的藻纹层. 居礁生物十分单调，主要为介形类和小型腹足类. 此外，生物礁中还有一些龙介类的虫管化石. 总体来看，东营凹陷古近纪枝管藻生物礁是一造礁生物种类单调，但组成独特的碳酸盐岩建造.

2.1　造架生物—枝管藻

枝管藻属于绿藻门的管藻目. 现代管藻目绝大多数为暖水产(刘志礼，1990)，也有出现在陆相湖泊环境的. 东营凹陷古近纪枝管藻在生物礁骨架建造中起着关键作用，是唯一的造架生物. 本研究在位于东营凹陷西边的滨斜 171 井藻礁中发现不同类型的枝管藻，经鉴定，一种为中国枝管藻 *Cladosiphonia sinensis*，另一种为山东枝管藻 *Cladosiphonia shandongensis*，但以中国枝管藻为主.

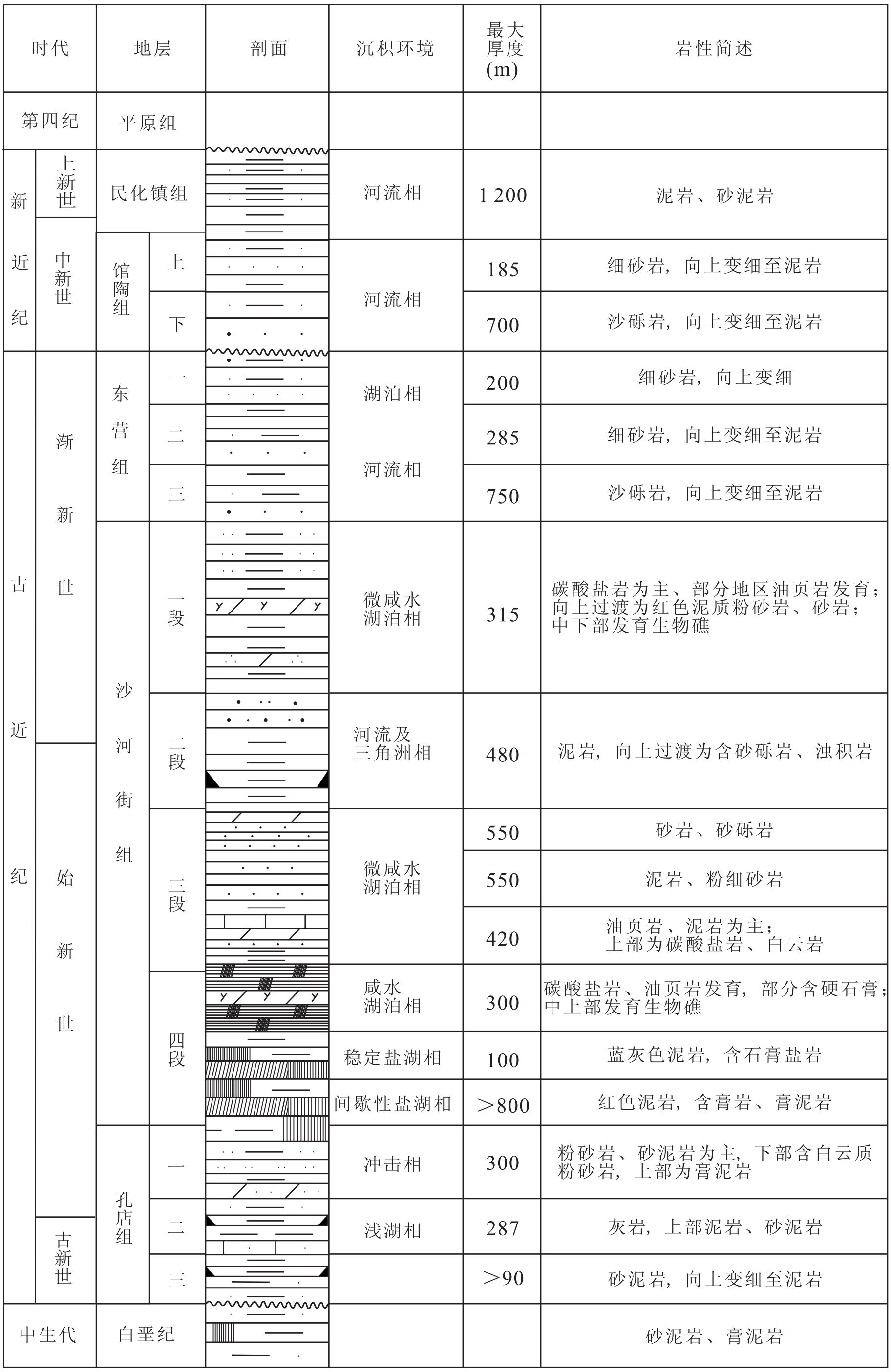

图 1 东营凹陷新生代沉积地层序列(据中国石油地质志·卷六，1993 修改)

Fig. 1 Lithologic column profile and facies showing the Paleogene and Neogene reefs in Dongying depression

中国枝管藻是一种具对生、互生或一侧出的管状分枝的绿藻，分枝的基部与主轴交接处相互贯通，看不到隔壁(朱浩然，1979). 主轴和分枝间的角度多为锐角，一般小于 45°，但也有分枝和主轴近平行的. 分枝和主轴互相分开，并不互相缠绕(朱浩然，1979). 据光面和镜下观察，中国枝管藻藻体的主轴和分枝的直径非常接近，分别为 35～50 μm 和 30～45 μm(图 3). 钙化藻体管壁由颗粒状方解石所组成，厚约 5～10 μm(图 4a，4b).

山东枝管藻 *Cladosiphonia shandongensis* 与中国枝管藻 *Cladosiphonia sinensis* 的区别在于前者的藻体分枝常常呈纽曲状，而后者则主要为平直分枝. 朱浩然(1979)认为山东枝管藻的这一特征与独囊藻属的分枝近于相似，而和中国枝管藻显然不同. 另外，山

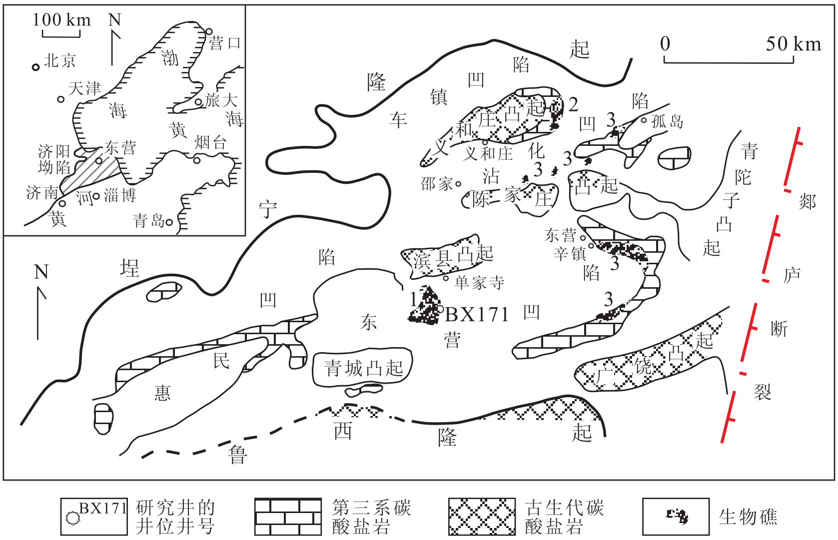

图 2　济阳坳陷第三纪湖相生物礁分布(据杜韫华，1996 修改)

Fig. 2　Locality of the Jiyang sag and Paleogene lacustrine reefs

1. 藻礁；2. 藻礁丘；3. 藻生物层

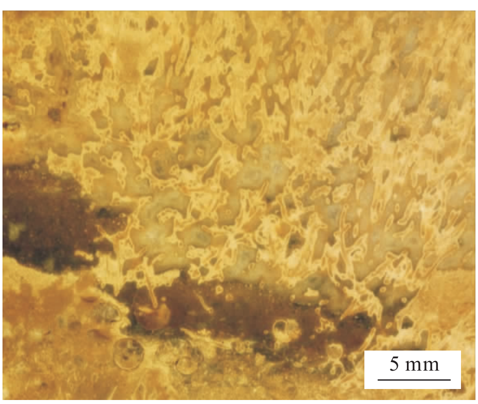

图 3　山东东营凹陷古近纪藻礁中的中国枝管藻

Fig. 3　*Cladosiphonia* sinensis in the Paleogene reefs in Dongying depression, Shandong Province

滨斜 171 井，沙河街组四段，井深 1 854～1 859 m，光面

东枝管藻藻体主轴的直径较中国枝管藻明显要小，一般为 25～40 μm(图 4c,4d)，但朱浩然(1979)认为其分枝的直径有的大于主轴，达 30～50 μm，另外，体壁厚而硅化程度也超过中国枝管藻. 然而，本研究发现，无论是中国枝管藻还是山东枝管藻，其体壁似乎均由碳酸盐所组成，未见硅化现象.

2.2　粘结生物—藻纹层

除枝管藻格架岩外，藻礁中起造礁作用的还有藻粘结岩. 从光面上看，藻粘结岩呈云朵状，纹层构造在外围特别清楚(图 5aⅡ). 纹层内包裹着许多生物碎屑，特别是一些小型腹足类化石常常被完整地包裹在其中(图 5aⅠ). 显微镜下观察发现藻纹层由明暗纹层所构成(图 5b)，与由蓝细菌形成的藻纹层非常一致. 郭泽清等(2008)在研究柴达木盆地西部古近纪藻礁时也发现多种类型的叠层石、藻凝块和鲕粒等，并且在叠层石中鉴别出鞘丝藻(*Lyngbya*)和杜氏藻(*Dunaliella*). 在海相地层中，叠层石、藻凝块和鲕粒的形成一般被认为与蓝藻(或蓝细菌)的作用有关.

2.3　居礁生物

东营凹陷古近纪藻礁中的居礁生物主要为介形类、腹足类和龙介类. 介形类是一类广盐性生物，可生活在海洋和淡水环境中. 东营凹陷古近纪藻礁骨架之间的空隙中常常可见大量的完整介形虫化石或碎片，它们是藻礁中的主要居礁生物之一. 藻礁中的介形类个体大小差异很大，壳体常常很厚，达 30 μm. 经鉴定，东营凹陷古近纪藻礁中的介形类主要为南星介属(*Austrocypris*)(图 6a).

腹足类也是一类广盐性生物，而且在高盐度环境条件下常常与介形虫相伴生. 东营凹陷古近纪藻礁中的腹足类主要为水螺属 *Hydrobia*(图 6b). 在高盐度环境中，由于大量窄盐性生物的消失常常导致腹足类的泛滥. 东营凹陷古近纪藻礁相中的腹足类化石多出现在藻礁格架之间，可形成特征的螺壳灰岩. 此外，也有许多腹足类化石被包裹在藻粘结灰岩中，在藻粘结灰岩的间隙也存在大量腹足类化石(图 5aⅠ). 值得注意的是，藻礁相腹足类化石尽管数量丰富，但种类单调，而且个体均非常小，一般壳高 3～5 mm，壳宽 2～3 mm. 地质历史上一些生物化石个体的小型化被解释为缺乏足够营养的结果(He

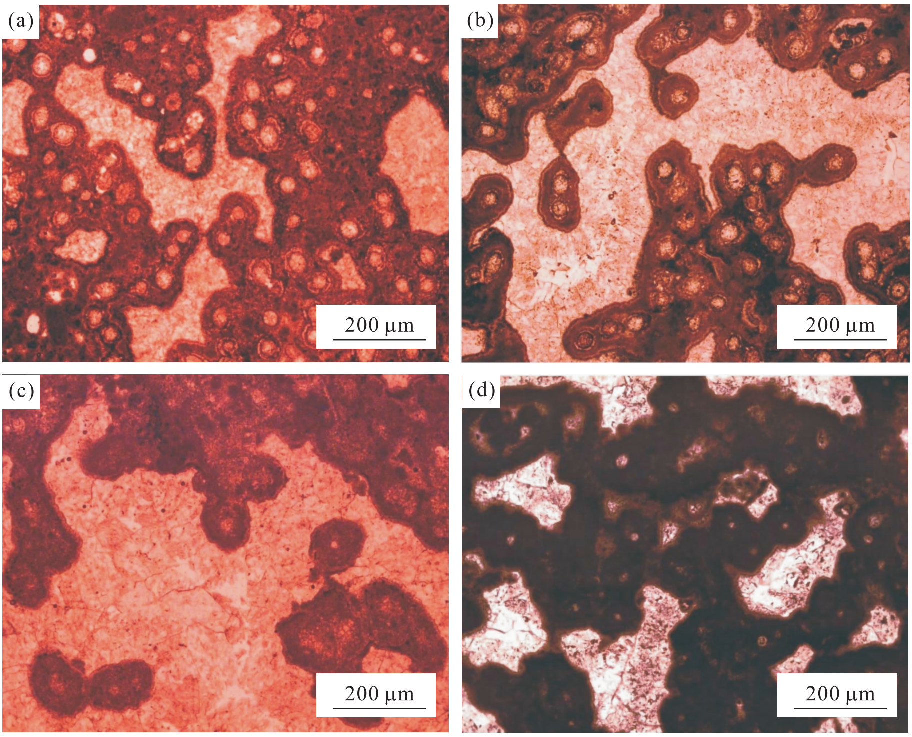

图 4 山东东营凹陷古近纪藻礁中不同类型的枝管藻

Fig. 4 Species of Cladosiphonia in the Paleogene reefs in Dongying depression, Shandong Province

a 和 b. 中国枝管藻；c 和 d. 山东枝管藻. 滨斜 171 井，沙河街组四段，井深 1 854～1 859 m，显微镜下照片

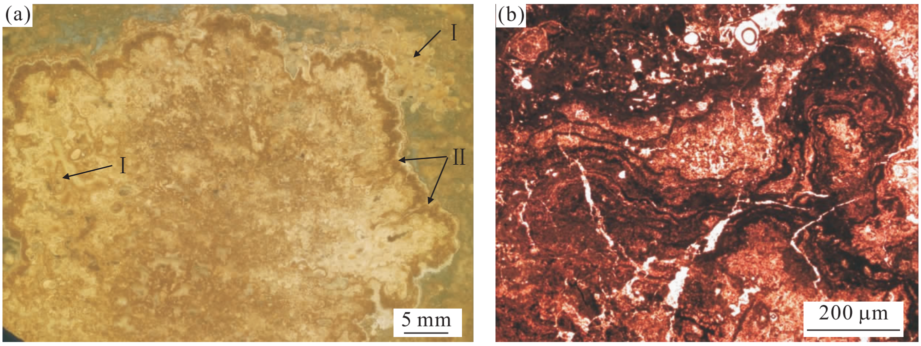

图 5 山东东营凹陷古近纪藻礁中的藻粘结灰岩(a)和藻粘结岩中的藻纹层(b)

Fig. 5 Bindstone (a) and algae laminar (b) in the Paleogene reefs in Dongying depression, Shandong Province

Ⅰ. 腹足类，被藻粘结层包裹或充填在粘结岩之间；Ⅱ. 藻粘结岩；滨斜 171 井，沙河街组四段，井深 1 854～1 859 m，光面；b 图为显微镜下照片

et al., 2007；Metcaes *et al*., 2011)，或因为淡水注入导致海水淡化及蒸发作用导致的盐度异常增高(姜红霞等，2010). 东营凹陷古近纪藻礁中的腹足类个体的大小可能既是自然选择的结果，也可能是高盐度和种群数量过多导致的生态压力造成的.

龙介虫属于环节动物门多毛纲. 多毛纲化石早在震旦纪末期就有发现. 而多毛纲中的山东龙介虫属 *Serpula shandongensis* 的出现时间则是从第三纪古新世开始，分布具有世界性(陈木和吴宝铃，1979). 东营凹陷古近纪藻礁中的龙介类以虫管形式与枝管藻共生在一起成为化石. 龙介虫管是一些彼此直立平行排列的圆柱形管，横切面圆形或椭圆形，管径 4～6 mm，栖管壁厚 0.5～1.0 mm(图 6c). 扫描电镜观察发现，龙介类虫管管壁由多层细密的纹层组成，化石虫管内部由粒状碳酸盐矿物所充填(图 6d). 尽管龙介类分泌的钙质虫管也构成了藻礁建造的一部分，并对礁体起到了局部性的加固作用，但从生物礁群落的内部划分上分析，龙介类属于破坏者群团，因为龙介类的钻孔显然对礁体起到了一定的破坏作用.

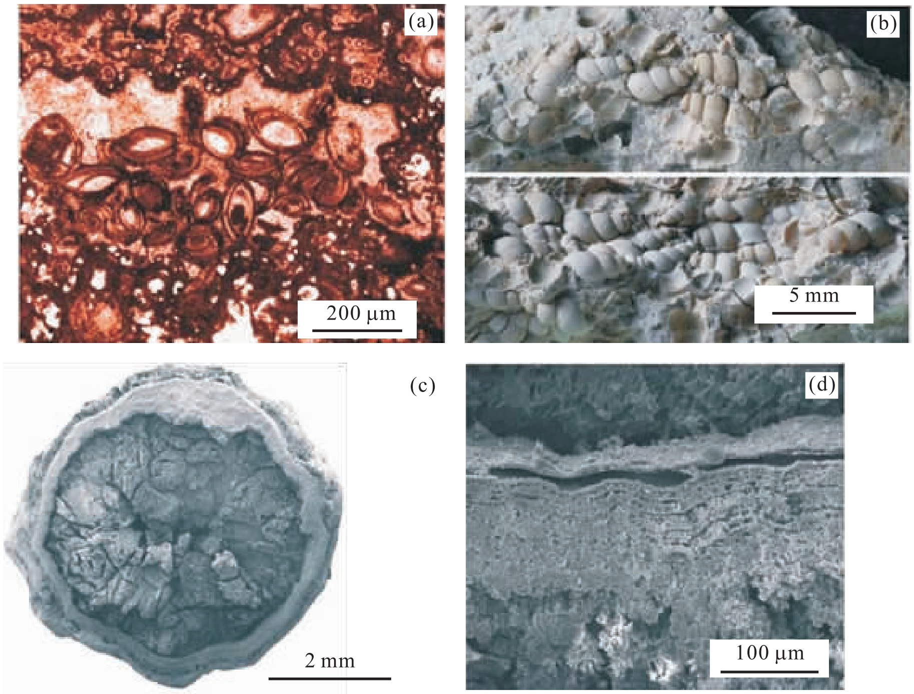

图 6　山东东营凹陷古近纪藻礁中的居礁生物化石

Fig. 6　Reef-dwelling organisms in the Paleogene reef in Dongying depression, Shandong Province

a. 介形类化石,偏光镜下照片;b. 腹足类化石,手标本照片;c. 龙介虫管横断面,扫描电镜照片;d. 龙介虫管分层的微细构造,扫描电镜照片. 滨斜 171 井,沙河街组四段,井深 1 854～1 859 m

3　藻礁的古生态特征和古气候指示

除枝管藻外,东营凹陷古近纪藻礁中的生物主要为介形类、腹足类、龙介类和起粘结作用的蓝藻. 与正常海相生物礁中具有丰富的居礁生物不同,东营凹陷古近纪藻礁中居礁生物种类十分单调. 但值得引起注意的是,东营凹陷古近纪藻礁中作为居礁生物的介形类、小型腹足类和龙介类这些生物均为广盐性生物,其组合特征与二叠纪末大灭绝后出现的微生物岩中的多细胞生物化石组合具有惊人的相似性(Wang *et al*., 2005;Yang *et al*., 2011). 二叠纪末大灭绝后的微生物岩形成于浅水咸化环境,微生物岩的类型包括大量藻席灰岩、藻凝块石或叠层石. 藻礁与介形类、小型腹足类和龙介类之间的这种伴生关系可能暗示着某种生态联系.

对一些造架能力较差、自身抗浪性较差的生物礁来说,早期成岩作用产生的碳酸盐胶结物对于礁体的构建具有重要意义. 东营凹陷古近纪藻礁中的枝管藻各分枝外围均形成有约 30～50 μm 厚的纤维状碳酸盐胶结物(图 7). 胶结物将枝管藻各枝体紧密地联系在一起,加强了礁体骨架的稳定性,为新的枝体的生长奠定了坚实的基础.

此外,碳酸盐早期成岩作用常常与沉积作用同时发生,因此早期成岩作用的特征在一定程度上也反映了环境的水化学状况. 无论在古代海相生物礁中(范嘉松等,1982),还是现代海洋碳酸盐沉积物中(沙庆安,1977),早期成岩作用的典型产物是纤维状方解石. 纤维状方解石的原始矿物主要为文石. 文石在海洋环境中是常见的沉积矿物,但由于不同地史时期海洋化学条件的差别,常常可区分为文石海阶段和方解石海阶段(颜佳新和伍明,2006). 当海水中 Mg/Ca 摩尔比高时,碳酸盐沉积物中就富含文石(Steuber and Veizer,2002). Mg/Ca 摩尔比在一定程度上与水体的盐度有关. 在热带海水中,Mg、Sr 和 Na 的浓度随盐度的增加而升高(富里格,2006),因此容易形成文石. 而在大气淡水成岩环境,Mg/Ca 比值低,文石会被方解石所取代,因此一般淡水湖泊环境难以形成文石. 东营凹陷古近纪藻礁中纤维状方解石的广泛存在,说明藻礁形成时湖盆水体不同于正常的淡水,应该具有较高的盐度. 钱凯和王淑芬(1986)认为基于本区部分生物礁常常与泥膏岩相伴生,礁体所处的水体较咸. 总之,东营凹陷古近纪藻礁中丰富的纤维状方解石不但对礁体的建造起到了加固作用,同时也反映着水体的盐度和碳酸盐

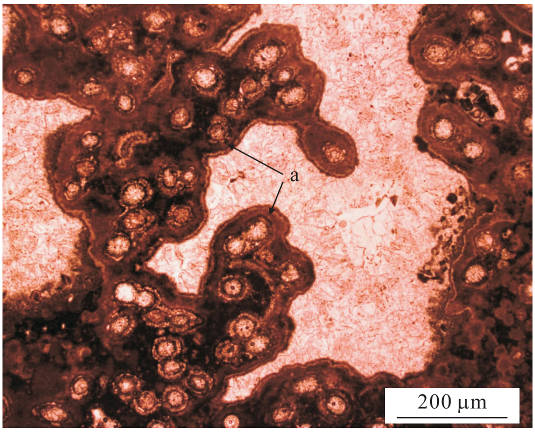

图 7 早期成岩作用形成的纤维状方解石和埋藏成岩作用形成的粗晶方解石

Fig. 7 Fibrous calcite as the product of early diagenesis in marine environment and sparry calcite formed under the condition of burial diagenesis

a. 纤维状方解石;白色部分为粗晶方解石. 滨斜 171 井,沙河街组四段,井深 1 854~1 859 m,显微镜下照片

饱和状况.

我国已发现的古近纪湖相生物礁主要分布在山东济阳凹陷和柴达木盆地(郭泽清等,2008). 国外已报道的湖相生物礁有美国爱达荷地区蛇河平原西南部中新世的藻礁建造(Straccia *et al.*, 1990). 古近纪是气候非常干旱的一个时期. 干旱的气候条件使陆相湖泊蒸发量大于降雨量,我国东部地区的环渤海湾盆地、中部的南阳盆地(周建民和王吉平,1989)和江汉盆地(张永生等,2005)、西部的柴达木盆地在这一时期形成了广泛的膏盐沉积,而"地中海事件"中形成的大面积蒸发岩所反映的干旱气候出现的时间略晚,主要为新近纪的中新世. 这种极端干旱的气候条件导致湖泊盐度升高,水生生物种类单调. 而生物多样性的减少却为介形类、小型腹足类、蠕虫等广盐性生物的繁盛提供了难得的机会. 在地质历史上,由这几类生物组成的低分异度和高丰度生物化石群落似乎也常常出现在灾后极端环境条件之下(Yang *et al.*, 2011). 而干旱的环境条件导致的水体浓缩增加了碳酸盐的饱和度,这对于藻礁的钙化和早期胶结物的广泛形成起到了促进作用. 因此,山东东营凹陷古近纪生物礁所反映的是干旱气候条件下的陆相咸化湖泊环境.

References

Chen, M., Wu, B. L., 1979. On the discovery of Lower Tertiary polychaetous tubes from the Jiyang district of Shandong Province, China. *Acta Oceanologic Sinica*, 1(2): 338-341 (in Chinese with English abstract).

Du, Y. H., 1996. The Tertiary reefs in Shandong Province, North China. In: Fan, J. S., ed., The ancient organic reefs of China and their relations to oil and gas. Ocean Press, Beijing, 275-293 (in Chinese).

Editorial Committee of "Petroleum Geology of Shengli Oil Field", 1993. Petroleum geology of China, Vol. 6. Petroleum Industry Press, Beijing, 35 (in Chinese).

Fan, J. S., Qi, J. W., Zhou, T. M., et al., 1990. Permian reefs of Longlin, Guanxi, China. Geological Publishing House, Beijing, 4-6 (in Chinese).

Fan, J. S., Zhang, W., Ma, X., et al., 1982. The Upper Permian reefs in Lichuan district, West Hubei Provice. *Scientia Geologica Sinica*, 3: 274-284 (in Chinese with English abstract).

Flügel, E., 2006. Microfacies of carbonate rocks—analysis, interpretation and application. Translated by Ma, Y. S.. Geological Publishing House, Beijing, 591 (in Chinese).

Gong, E. P., Zhang, Y. L., Guan, C. Q., et al., 2010. Main features of the Carboniferous organic reefs in the world. *Journal of Palaeogeography*, 12(2): 127-139 (in Chinese with English abstract).

Guo, Z. Q., Zheng, D. W., Liu, W. H., et al., 2008. Discovery and significance of the Neogene and Palaeogene lacustrine reefs in the western Qaidam basin. *Journal of Stratigraphy*, 32(1): 60-68 (in Chinese with English abstract).

Guo, Z. Q., Zhong, J. H., Liu, W. H., et al., 2004. Reservoir characteristics and significance of Tertiary lacustrain reef in western Qaidam. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(3): 425-433 (in Chinese with English abstract).

Hao, Y. C., Li, H. S., 1984. Discovery and significance of calcareous nanofossils from Early Tertiary in on shore Bohai basin and its adjacent areas. *Chinese Science Bulletin*, 29(12): 741-745 (in Chinese with English abstract).

He, W. H., Shi, G. R., Feng, Q. L., et al., 2007. Brachiopod miniaturization and its possible causes during the Permian-Triassic crisis in deep water environments, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 252(1-2): 145-163. doi: 10.1016/j.palaeo.2005.11.040

Jiang, H. X., Wu, Y. S., Diao, J. B., et al., 2010. A dwarf euomphalid fauna from the Permian-Triassic boundary in Laolongdong, Beibei, Chongqing: opportunity taxa surviving the disaster event? *Acta Geoscientica Sinica*, 31(2): 163-169 (in Chinese with English abstract).

Li, Y., Kershaw, S., Chen, X., 2004. Control of carbonate sedimentation and reef growth in llandovery sequences on the northwestern margin of the Yangtze platform, South China. *Gondwana Research*, 7(4): 937－949. doi: 10.1016/S1342.937X(05)710

Lin, Q. X., 1992. Nature and evolution of Late Permian reef in Ziyun, Guizhou Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 17(3): 301－307 (in Chinese with English abstract).

Liu, Z. L., 1990. Introductions of the algae fossils. Higher Education Press, Beijing, 95 (in Chinese).

Metcalfe, B., Twitchett, R. J., Price-Lloyd, N., 2011. Changes in size and growth rate of 'Lilliput' animals in the Earliest Triassic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308(1－2): 171－180. doi: 10.16/j.palaeo.2010.09.011

Qian, K., Wang, S. F., 1986. Low Tertiary reef limestone and the oil pool of such reef in Jiyang depression. *Petroleum Exploration and Development*, 5: 1－7 (in Chinese with English abstract).

Qian, K., Wang, S. M., Liu, S. F., et al., 1980. The disxocery of Paleogene reefal limestons in the northern part of East China and its petroleum geological singificance. *Chinese Science Bulletin*, 24: 1140－1142.

Sha, Q. A., 1977. Diagenesis of Holocene biocalcirudite in the southern part of Hainan Island, Guangdong. *Scientia Geologica Sinica*, 2: 172－180 (in Chinese with English abstract).

Steuber, T., Veizer, J., 2002. Phanerozoic record of plate tectonic control of seawater chemistry and carbonate sedimentation. *Geology*, 30(12): 1123－1126. doi: 10.1130/0091－7613(2002)030<1123: PROPTC>2.0.CO;2

Straccia, F. G., Wilkinson, B. H., Smith, G. R., 1990. Miocene lacustrine agal reefs-southwestern Snake River Plain, Idaho. *Sedimentary Geol.*, 67: 7－23.

Sun, Z. C., Yang, G. L., Qiao, Z. Z., et al., 2002. Characteristics and geologic significance of calcareous nanofossils in sediments of terrestrial salinized lakes. *Journal of Palaeogeography*, 4(2): 56－63 (in Chinese with English abstract).

Wang, Y. B., Tong, J. N., Wang, J. S., et al., 2005. Calcimicrobialite after end-Permian mass extinction in South China and its palaeoenvironmental significance. *Chinese Science Bulletin*, 50(6): 665－671. doi: 10.1360/982004－323

Wu, H. G., Li, C., Qian, Z., 2003. Haline lacustrine biohermal reservoir characters in Block Da 81-4 of the Yidong oil field, East China. *Petroleum Exploration and Development*, 30(4): 43－46 (in Chinese with English abstract).

Wu, X. C., 2009. Sedimentary facies analysis of the Late Triassic Carnian siliceous sponge reef-oolite bank complex in northwestern Sichuan Province. *Journal of Palaeogeography*, 11(2): 125－132 (in Chinese with English abstract).

Wu, Y. S., Fan, J. S., 2002. Permian Triassic history of reefal thalamid sponges: evolution and extinction. *Acta Palaeontologica Sinica*, 41(2): 163－177 (in Chinese with English abstract).

Xiao, C. T., Li, Y. B., Hu, M. Y., et al., 2000. Discovery and geologic significance of Jurassic organic reef in northern Tibet. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 3(16): 178－182 (in Chinese with English abstract).

Yan, J. X., Wu, M., 2006. Synchronized osciliations in Phanerozoic chemical composition of sea water, carbonate sedimentation and biotic evolution: progresses and prospects. *Geological Science and Technology Information*, 25(3): 1－7 (in Chinese with English abstract).

Yang, H., Chen, Z. Q., Wang, Y. B., et al., 2011. Composition and structure of microbialite ecosystems following the end-Permian mass extinction in South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308(1－2): 111－128. doi: 10.1016/j.palaeo.2010.05.029

Yu, G. M., Lan, B. L., Lin, W. Q., et al., 1982. The Environment and characters of Late Cretaceoces crassatellida organic reef in Gangba Tibet. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 3: 39－44 (in Chinese with English abstract).

Zhang, T. S., Lan, Z. G., Kershaw, S., et al., 1999. Silurian reef diagenesis and reservoir characterisitics on north & south margins of Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(3): 374－382 (in Chinese with English abstract).

Zhang, Y. S., Wang, G. L., Yang, Y. Q., et al., 2005. Rhythms of saline lake sediments of the Paleogene and their Paleoclimatic signifieanee in Qianjiang sag, Jianghan basin. *Journal of Palaeogeography*, 7(4): 461－470 (in Chinese with English abstract).

Zhou, H. L., 1996. The devonian reefs in Guangxi, South China. In: Fan, J. S., ed., The ancient organic reefs of China and their relations to oil and gas. Ocean Press, Beijing, 88－116 (in Chinese).

Zhou, J. M., Wang, J. P., 1989. Shallow evaporative environment for the formation of nahcalite-bearing series in the Biyang basin, Henan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 7(4): 149－156 (in Chinese with English abstract).

Zhou, Z. L., Du, Y. H., 1986. Relationship between sendimentary facies of lacustrine carbonate rocks and oil and gas distribution. *Experimental Petroleum Geology*, 8(2): 123－132 (in Chinese with English abstract).

Zhu, H. R., 1979. Microfossil algae from the lower Tertiary Shahejie Formation of Binxian, northern Shandong. *Acta Palaeontologica Sinica*, 18(4): 327－344 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈木，吴宝铃，1979.山东济阳凹陷下第三系多毛类虫管的发现.海洋学报，1(2)：338－341.

杜韫华，1996.山东第三纪藻礁.见：范嘉松编，中国生物礁与油气.北京：海洋出版社，275－293.

范嘉松，齐敬文，周铁明，等，1990.广西隆林二叠纪生物礁.北京：地质出版社，4－6.

范嘉松，张维，马行，等，1982.鄂西二叠系生物礁的基本特征及其发育规律.地质科学，3：274－284.

富里格，2006.碳酸盐岩微相——分析、解释及应用.马永生主译，北京：地质出版社，591.

巩恩普，张永利，关长庆，等，2010.世界石炭纪生物礁发育基本特征.古地理学报，12(2)：127－139.

郭泽清，郑得文，刘卫红，等，2008.柴达木盆地西部古近纪－新近纪湖相生物礁的发现及意义.地层学杂志，32(1)：60－68.

郭泽清，钟建华，刘卫红，等，2004.柴西第三纪湖相生物礁储层特征及意义.沉积学报，22(3)：425－433.

郝诒纯，李蕙生，1984.渤海沿岸及邻近地区早第三纪钙质超微化石的发现及其意义.科学通报，29(12)：741－745.

姜红霞，吴亚生，刁建波，等，2010.重庆北碚老龙洞二叠－三叠系界线层中的全脐螺侏儒化：环境突变中的机会群落？地球学报，31(2)：163－169.

林启祥，1992.贵州紫云晚二叠世生物礁及其演化.地球科学——中国地质大学学报，17(3)：301－307.

刘志礼，1990.化石藻类学导论.北京：高等教育出版社，95.

钱凯，王淑芬，1986.济阳坳陷下第三系礁灰岩及礁灰岩油气藏.石油勘探与开发，5：1－7.

沙庆安，1977.海南岛南部一地全新世生物屑灰岩的成岩作用.地质科学，2：172－180.

胜利油田石油地质编写组，1993.中国石油地质志·卷六.北京：石油工业出版社，35.

孙镇城，杨革联，乔子真，等，2002.我国咸化湖泊沉积中钙质超微化石特征及其地质意义.古地理学报，4(2)：56－63.

吴花果，李纯，钱峥，2003.以东油田大81-4块咸化湖泊生物礁储集层特征.石油勘探与开发，30(4)：43－46.

吴熙纯，2009.川西北晚三叠世卡尼期硅质海绵礁－鲕滩组合的沉积相分析.古地理学报，11(2)：125－132.

吴亚生，范嘉松，2002.二叠纪—三叠纪礁相房室海绵演化与灭绝.古生物学报，41(2)：163－177.

肖传桃，李艺斌，胡明毅，等，2000.藏北地区侏罗纪生物礁的发现及其意义.中国科学基金，3(16)：178－182.

颜佳新，伍明，2006.显生宙海水成分、碳酸盐沉积和生物演化系统研究进展.地质科技情报，25(3)：1－7.

余光明，兰伯龙，林文球，等，1982.西藏岗巴晚白垩世厚壳蛤生物礁环境的特征.矿物岩石，3：39－44.

张廷山，兰光志，Kershaw, S.，等，1999.四川盆地南北缘志留纪生物礁成岩作用及储层特征.沉积学报，17(3)：374－382.

张永生，王国力，杨玉卿，等，2005.江汉盆地潜江凹陷古近系盐湖沉积盐韵律及其古气候意义.古地理学报，7(4)：461－470.

周怀玲，1996.广西泥盆纪生物礁.见：范嘉松编，中国生物礁与油气.北京：海洋出版社，88－116.

周建民，王吉平，1989.河南泌阳凹陷含碱段的浅水蒸发环境.沉积学报，7(4)：149－156.

周自立，杜韫华，1986.湖泊碳酸盐岩的沉积相与油气分布关系——以山东胜利油田下第三系碳酸盐岩为例.石油实验地质，8(2)：123－132.

朱浩然，1979.山东滨县下第三系沙河街组的藻类化石.古生物学报，18(4)：327－344.