

大港油田中部滩海新近纪古湖泊发育的证据

廖远涛¹, 王 华¹, 卢宗盛², 喻建新², 曹 飞¹

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 大港中部滩海新近系层系是重要的油气后备勘探领域和战略接替区。前人普遍认为新近系层系发育曲流河和辫状河沉积。借鉴渤海海域浅层油气勘探经验, 基于遗迹组构、微古生物、生物有机化合物、碳氧同位素以及地震等地质资料分析, 认为中部滩海东部发育开阔的古湖泊, 其证据为: 发育见于国内外浅湖环境的典型的 *Palaeophycus* 遗迹组构; 发现丰富的见于正常浅湖环境的浮游绿藻化石; 发现较多的仅分布在古代和现代湖泊中的介形类——*Candona*、*Cypris*; 干酪根类型、生物有机化合物、碳氧同位素以及地震等地质资料也证明了古湖泊的存在。馆陶组中、晚期至明化镇组沉积早期为湖泊逐渐扩张达到鼎盛发育的时期。

关键词: 古湖泊; 遗迹组构; 新近纪; 滩海区; 大港油田。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2008)03-0357-08

收稿日期: 2008-01-24

Evidence of Neogene Paleolake in the Central Beach Area of Dagang Oilfield

LIAO Yuan-tao¹, WANG Hua¹, LU Zong-sheng², YU Jian-xin², CAO Fei¹

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Neogene strata of central beach area in the Dagang Oilfield are important for reserve exploration and strategic substitution. The main depositional system of Neogene was regarded as meandering rivers and braided rivers. However, based on the analysis of ichnofabric, microfossils, organic compounds, oxygen and carbon isotope, seismic data, as well as the experiences of petroleum exploration in the shallow strata of Bohai Bay, lacustrine environment can be recognized in the east district of central beach, which is supported by the following evidence: typical *Palaeophycus* ichnofabric is found, which develops particularly in the shallow lake; abundant phytoplanktonic algae fossils are discovered, which live generally in the shallow lake. Moreover, as an indicator of ancient and modern lakes' existence, lots of ostracods such as *Candona* and *Cypris* are discovered. The type of kerogen, organic compounds, oxygen and carbon isotope, and seismic data are also the existent evidences of lacustrine environment. The paleolake expanded till its maximum during the middle and late periods of Guantao Formation and the early period of Minghuazhen Formation.

Key words: paleolake; ichnofabric; Neogene; beach district; Dagang oilfield.

大港滩海区北起涧河,南至泗女寺河,西以海岸线、过水路面和海堤为界,东至5 m水深线附近的矿区登记线,总面积2130 km²。按地质构造,可以把黄骅拗陷滩海区划分为3大构造区,即南部滩海区(埕北斜坡区)、中部滩海区(歧口凹陷深凹区及西缘斜坡带)、北部滩海区。大港滩海区地处歧口、北塘两大

生油凹陷的中心地带,石油地质条件十分优越,已发现了3个中型油气田和多个含油气构造,尤其是随着勘探工作的不断深入,陆上勘探和开发已经进入中后期,勘探程度相对较低的滩海地区作为后备勘探领域和战略接替区,具有非常大的勘探潜力(杨池银,2003)。

基金项目: 中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助计划项目(No. CUGQN L0642); 湖北省杰出青年基金项目(No. 2003ABB012)。

作者简介: 廖远涛(1977-),男,讲师,博士,主要从事沉积学、石油地质方面研究。E-mail: lyt706@163.com

滩海区经过多年的勘探,在第三系和前第三系地层中相继发现 7 套含油层系,已有的发现集中分布于南部滩海赵东及张东等地区,而中部滩海区中浅层,尤其是新近系层系成为潜在的重要勘探领域,解决沉积体系发育特征等相关地质问题,成为加快中部滩海勘探步伐的当务之急.关于新近系馆陶组和明化镇组,前人一般认为发育曲流河和辫状河沉积体系(王德发,1987).但近年来渤海海域浅层油气勘探取得重大进展(米立军和段吉利,2001;李思田,2004),尤其是东营组上部、馆陶组和明化镇组形成的有利油气储盖组合,表明新近纪可能存在湖泊沉积.

关于古湖泊环境,前人运用介形类优势分异度、遗迹群落、遗迹化石、微量元素、遗迹组构等资料在古近系地层开展过研究(张喜林等,2006),而在新近纪地层开展类似研究,则鲜有报道(米立军等,2004).本文将结合遗迹组构、藻类化石、介形化石等生物化石资料,干酪根类型、生物有机化合物、碳氧同位素等分析化验资料,辅助于测井、地震等地质资料,对大港中部滩海区古湖泊存在的证据进行研究.

1 地质概况

大港滩海区经钻探揭示了前第三系、古近系、新近系和第四系等多套地层.其中,新近系馆陶组主要岩性为灰白色砂岩、含砾砂岩、砾岩夹灰绿色、紫红色泥岩,具有粗—细—粗三段特点.明化镇组下部岩性主要以紫红色、灰绿色、棕红色泥岩为主,夹灰白色砂岩;上部为厚层状灰绿色、浅灰色砂岩与浅棕色、黄绿色及杂色泥岩互层.滩海区主要发育北东—北北东、近东西和北西 3 组断裂,形成 4 大断裂系,即沿海岸线分布的断裂带、张东断裂带、海河—新港断裂带和羊二庄—海 4 井断裂带.

2 古湖泊存在标志分析

2.1 遗迹组构

遗迹组构用于沉积环境解释最早见于海相沉积(龚一鸣等,1997;Locklair and Savrda,1998).近年来,该方法在我国陆相沉积中逐步得到应用,成为油田钻井岩心生物相分析的新手段之一.遗迹组构强调生物活动与沉积物之间、遗迹化石个体与群体之

间在时间、空间上的相互关系,注重沉积底层不同深度(或阶层)遗迹化石的特点,使生物活动的信息得以充分利用,并克服了传统遗迹相研究没有区分生物遗迹活动先后顺序和世代关系的不足,从而使得沉积环境解释更为准确(卢宗盛等,2003).

通过精细岩心观察,在研究区明化镇组、馆陶组中发现了较为丰富的遗迹化石,这些遗迹化石以前主要在我国东部古近系地层中见报道(王海方等,2005),在新近系明化镇组、馆陶组地层中属首次发现.研究区遗迹化石共有 7 个属:*Scoyenia*(斯柯菌迹)、*Skolithos*(石针迹)、*Palaeophycus*(古藻迹)、*Planolites*(漫游迹)、*Ancorichnus*(锚形迹)、*Cylindricum*(圆柱迹)、*Muensteria*(明斯特迹)(图 1).根据遗迹化石在岩心中的分布及结构,可划分为 4 种遗迹组构类型(表 1).

研究区 *Palaeophycus* 遗迹组构大量分布,如 G14 井、QD1 井、G29 井等.该组构特征为以个体较大的觅食迹十分发育为特点,以不具回填构造的水平洞穴为主,由高丰度的 *Palaeophycus* 组成,同时也含有一些大个体 *Planolites* 及生物扰动构造等.这些化石表现了生物在沉积物内快速进食的特点,在岩心剖面中常位于向上变细的水下分河道序列的顶部,围岩为泥质细砂岩和粉砂岩,代表了一种浅湖、水流能量不强,但沉积速率较快的环境.该遗迹组构目前主要见于国内外浅湖环境,如鄂尔多斯盆地延安组、济阳凹陷沙河街组等(卢宗盛等,2003;胡斌等,2006).

2.2 藻类化石

浮游藻类是水域内部的原地植物群,其兴盛衰亡直接受制于水体本身的环境要素,如盐度、营养、光照和温度等.因此藻类化石能较好地指示水体类型,藻类化石的繁盛一般认为属于浅湖环境,特别是浮游绿藻化石主要在正常浅湖环境中出现(汪品先等,1991;徐金鲤和祝幼华,1993).在研究区新近系地层中分离出较为丰富的藻类,主要包括绿藻类、轮藻类、疑源类.

2.2.1 绿藻类 研究区绿藻化石主要为 *Pediastrum* 和 *Campenia*.它们是内陆湖生藻类的代表.*Pediastrum* 属是世界性广布藻类,国内外不少学者认为盘星藻是淡水藻类,可以把它作为淡水湖相的指示物,同时它的个别分子可以在现代微咸水体(含盐度低于 0.5%)生活(朱浩然等,1978).它生活的水体都属于浅水型的湖泊、池塘、洼地等,水深很少

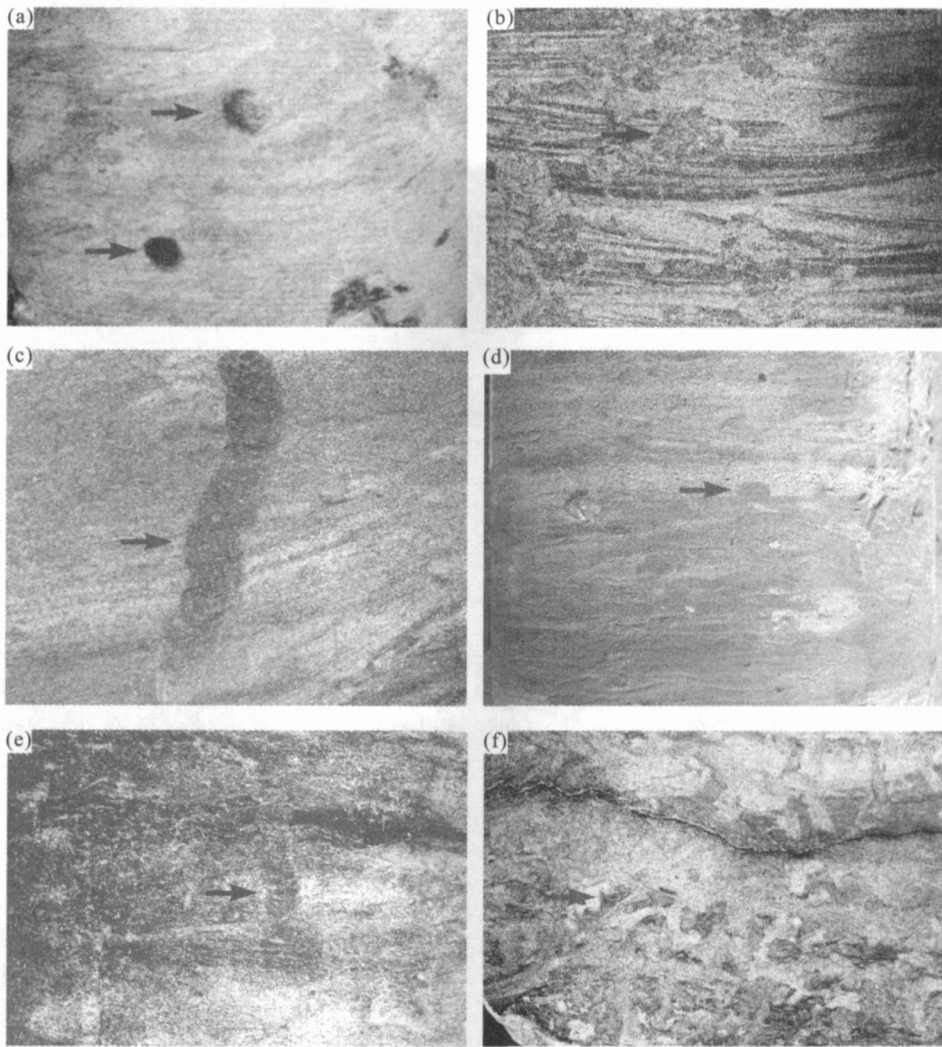


图1 大港油田中部滩海新近系岩心遗迹组特征

Fig.1 Characteristics of Neogene core ichnofabrics in the central beach area of Dagang Oilfield

(a) *Palaeophycus*, G14井, 1484.5 m; (b) *Palaeophycus*, QD1井, 1790.5 m; (c) *Skolithos*, Zq13井, 1186.5 m; (d) *Planolites*, G14井, 1484.5 m; (e) *Scoyenia*, Q116井, 1714.2 m; (f) 生物扰动构造, G29井, 1739.0 m

超过 15 m. 现代淀山湖以及阳澄湖和西湖浮游生物中盘星藻最为常见(王开发等, 1981). 所以, 盘星藻化石在地层中的大量出现, 可作为淡水湖沼沉积的标志.

2.2.2 轮藻类 现生轮藻主要生活在湖泊、水塘、稻田等静态的内陆水体中, 除少数种可生活在微咸、甚至半咸水中外, 绝大多数为淡水种类. 化石轮藻常常被看作淡水藻类, 仅极少数可有限度地忍耐逐渐咸化了的水体. 据对现生轮藻的考查, 有利其生长的水深为 0.5 ~ 3 m. 轮藻的上述特征使其在判别浅水、淡水, 确定古河流与古湖泊界限, 推测某一时期最大湖岸线方面有较大作用, 成为生物相带划分的主要标志性生物. 研究区获得的轮藻化石极少, 仅在

表1 大港油田中部滩海新近系遗迹组类型及特点
Table 1 Types and features of Neogene ichnofabrics in the central beach area of Dagang oilfield

名称	特点	主要遗迹化石	生态类型
<i>Scoyenia</i> 遗迹组	个体较大, 以回填构造的觅食潜穴为主	<i>Scoyenia</i> <i>Muensteria</i> <i>Ancorichnus</i>	泛滥平原
<i>Skolithos</i> 遗迹组	以垂直管状居住迹十分发育为特点	<i>Skolithos</i> <i>Cylindricum</i> 其他生物扰动	较高能、浅水、软低或半固化砂质基底环境
<i>Palaeophycus</i> 遗迹组	以无回填构造的觅食潜穴为主	<i>Palaeophycus</i> <i>Planolites</i> <i>Ancorichnus</i>	浅湖及浅湖三角洲河口坝沉积环境
强生物扰动组	沉积物全部被生物扰动	遗迹形态结构不清	浅湖三角洲环境

个别井中见有保存极差的轮藻化石,显微镜下无法鉴定,主要分布在明化镇组下段。

2.2.3 疑源类 疑源类系指分类位置不明,靠化石外部形态、结构作非正式实用分类的化石单元。在我国鄂尔多斯盆地、南阳油田、江汉油田、北部湾盆地中常见的疑源类化石为 *Leiosphaeridia*, *Granodiscus*, 指示了微咸水环境(潜江凹陷)或滨浅湖环境(吉利明等, 2006)。研究区新近系地层中主要的疑源化石为 *Leiosphaeridia* 和 *Granodiscus*, 其他疑源类少见。

2.3 介形类化石

在新生代微古动物生态研究中,介形虫古生态学较微体腹足类化石相对深入,但新近系馆陶组—明化镇组的介形虫分离工作难度较大,相关报道极少。现代介形类的分布遍及海洋、湖泊、河流、池塘等环境,善游泳,或漂浮或底栖匍匐。研究区 G14、G29 等井中发现介形虫 12 个属种,以金星介科分子为主,少数湖花介科分子,以壳形单一、壳壁薄、表面光滑的类型为主,表现了典型的非海相淡水介形类面貌。

其中 *Ilyocypris*(土星介)多见于馆陶组, *Candona*(玻璃介)则主要见于明化镇组。*Ilyocypris*(土星介)为广泛分布的种属,现生种大多数生活于阳光透射好的淡水水域的岸边,尤以湖泊近岸区较为普遍,偶见于微咸至半咸水中。该种属喜栖静水泥底,营爬行或掘泥穴居,有些种能游泳,是典型的局限浅

水介形类。*Candona*(玻璃介)也是世界范围广布的种属,个体小,壳面光滑,是一种正常湖泊中生活的介形类。据中国科学院南京地理与湖泊研究所(1990)对抚仙湖介形类的调查, *Cypris*、*Candona* 仅见于浅湖相带中。

2.4 干酪根类型、生物有机化合物、碳氧同位素

尽管干酪根类型、生物有机化合物、碳氧同位素对环境的对应相对较宽,但其中的一些指标仍可作为判断古环境的辅助标志。

2.4.1 干酪根类型 据对研究区样品的干酪根分析测试表明,新近系大部分样品的干酪根类型为 II 1 型和 II 2 型(图 2),说明所取样品显微组分是由腐泥的藻类植物为主组成,为湖泊及沼泽环境植物的化学化石。

2.4.2 有机化合物分析 有机质在沉积岩中分布广泛,结构复杂,易于变化,受沉积环境制约,同时又影响到沉积环境。有机质对沉积环境判别有意义的指标很多,其中对水体环境意义较大的为正烷烃及异戊类烷烃的姥鲛烷和植烷。

根据正烷烃分布曲线图(图 3)可以看出,它们的形态属后峰型奇碳正烷烃类型,主峰碳数为 C_{27} 或 C_{31} , 高分子正烷烃含量高, nC_{21}/nC_{22} 比值小于 1, 平均为 0.38, 奇偶优势明显,表明其主要来源是植物的类脂物,因而推测为弱还原的内陆浅湖环境。

姥鲛烷与植烷的比值(Pr/Ph)常用来作为判断原始沉积环境及介质酸碱度的标志。研究区样品

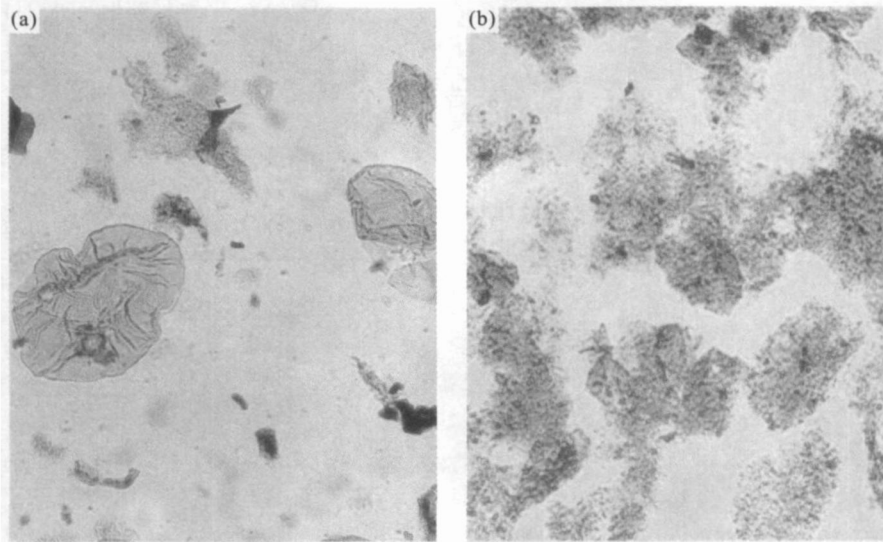


图 2 大港油田中部滩海新近系干酪根类型

Fig. 2 Neogene kerogen type in the central beach area of Dagang Oilfield
a. II 2 型干酪根, G14 井(1 736.0 m); b. II 1 型干酪根, G29 井(1 767.0 m)

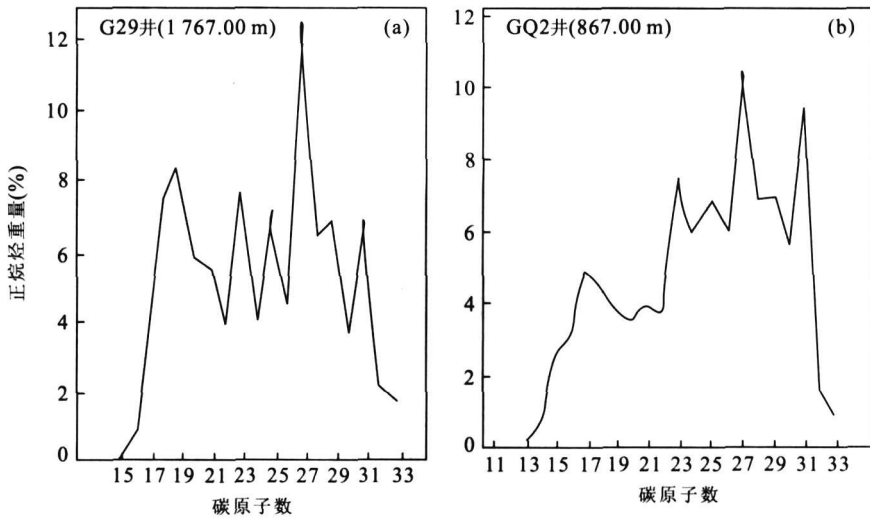


图 3 大港油田中部滩海代表井正烷烃分布曲线

Fig. 3 Normal alkane distribution curve of typical wells in the central beach area of Dagang oilfield

Pr/Ph 值的范围为 2.8~4.0, 反映当时的水介质为弱氧化—弱还原, 属淡水湖泊沼泽相沉积环境.

2.4.3 碳、氧同位素分析 运用碳氧同位素研究沉积环境, 前人已做了大量工作(刘传联等, 2001a, 2001b). 海水中的氧同位素和碳同位素都比淡水中要高, 沉积物的自生矿物能反映这一差别, 从而成为利用稳定同位素作古环境指示的根据.

一般认为海相碳酸盐的 $\delta^{13}C$ 的范围为 $-3.2\text{‰} \sim +5.2\text{‰}$, 陆相湖泊淡水的范围为 -4.93‰ . 研究区样品分析显示, $\delta^{13}C$ 的范围 $-8.36\text{‰} \sim -5.24\text{‰}$, 平均值为 -6.98‰ 表明新近系下部层段为陆相湖泊沉积环境.

沉积介质中氧同位素的组成主要受分馏作用的影响. 一般来说, 海水中 $\delta^{18}O$ 比陆地淡水要高, 沉积介质的氧同位素组成的差别也反映在沉积物中. 研究区样品 $\delta^{18}O$ 值为 $-10.54\text{‰} \sim -5.55\text{‰}$, 平均值为 -8.05‰ 对比于 Degens 的划分标准(PDB 标准), 指示了半咸水—淡水的湖相沉积环境.

2.5 生物相图

基于遗迹组构、微古植物、微古动物、有机标志化合物及碳氧同位素等标志特征, 可以编绘出研究区生物相平面分布图, 来验证湖泊分布的合理性.

研究区新近系可以划分为 5 类生物相(图 4): (1)A 相, 以 *Scoyenia* 遗迹组构发育为特点, 无介形类化石和藻类化石, 孢粉主要为反映陆地植被的 *Magnastites* 亚组合和 *Artemisia* 亚组合, 干酪根以 II2 型为主, 代表环境为河流或三角洲泛滥平原带;

(2)B 相, 含有介形虫化石 *Ilyocypris* 和挺水植物花粉化石 *Sparganium*, 同时含有 *Scoyenia* 遗迹组构, 干酪根类型为 II1 型. 相比 A 相的差别在于 B 相含有介形类化石, 代表环境为河流或三角洲泛滥平原小型湖; (3)C 相, 以垂直潜穴发育的 *Skolithos* 遗迹组构为主, 孢粉、藻类、介形类化石极少, 代表了一种水流能量较高的砂质基底环境; (4)D 相, 主要特征为: 多种化石类型丰富, 以不具回填构造的 *Palaeophycus* 遗迹组构和介形类、藻类化石发育为标志. 介形类主要是壳面较光滑的 *Candona*、*Candoniella* 为主; 藻类以绿藻为特征; 干酪根类型为 II1 型; 生物标记化合物正烷烃为典型双峰型; 碳、氧同位素值在 $-5.3 \sim -7.9$ 之间. 该相反映了一种开阔浅湖环境; (5)E 相, 以大量形态结构不清的生物组构为标志, 动物实体化石较少, 含有一定量孢粉藻类化石, 干酪根为 II1 型, 大量生物扰动构造发育, 生物标记化合物为典型双峰型, 反映了食物丰富的浅湖前三三角洲地带环境特征.

2.6 地震响应特征

高精度三维地震剖面作为地下地质情况的反映, 可以用来进行沉积体系的分析, 不同的沉积体系类型在地震上会表现出不同的响应特征. 结合地震响应的响应特征(或地震相), 可以为古环境的判别提供辅助依据. 地震剖面图 5 上, 馆陶组底界面(NgSB)具有明显的上超反射结构, 表明湖水范围扩大, 局部地区还可见低位体系域内发育的低位扇体, 相似的特征在 NmSB₂ 界面上也有反映.

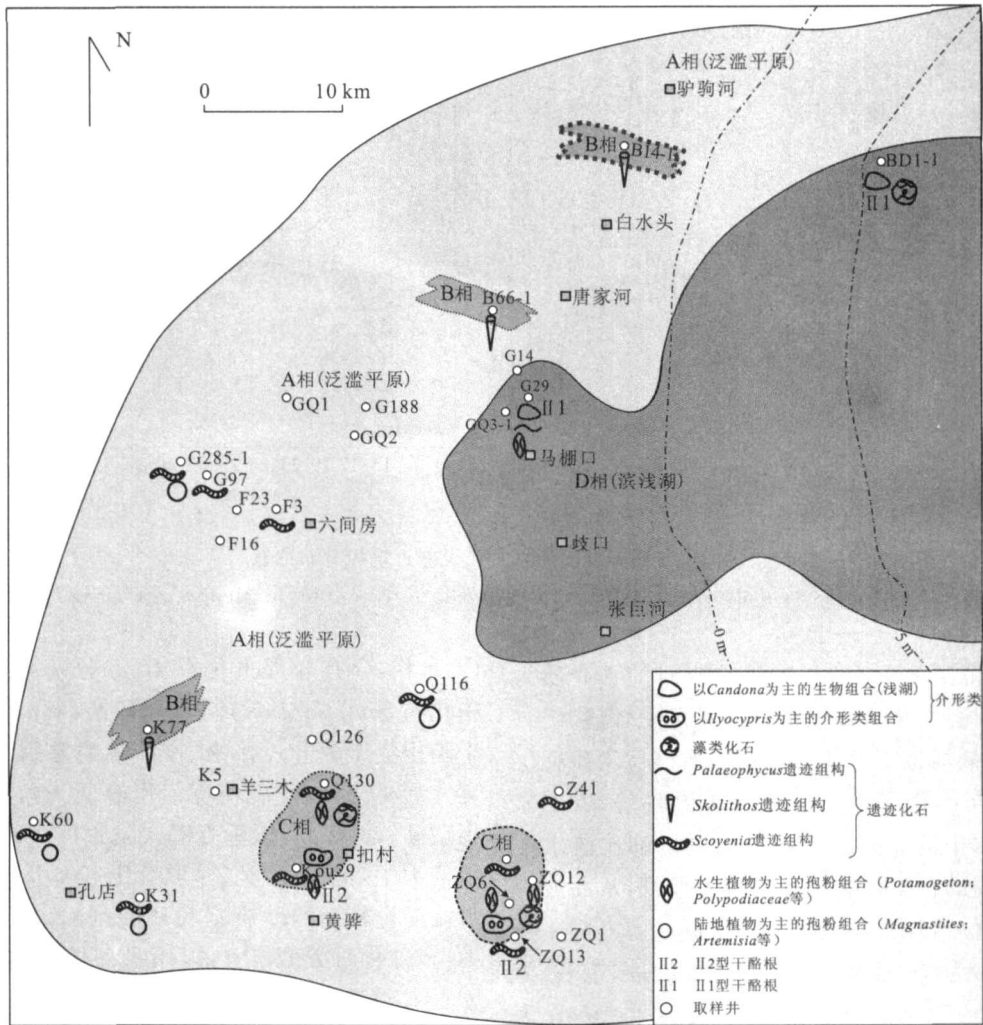


图 4 大港中部滩海馆陶组生物相平面图

Fig. 4 Biofacies map of Guantao Formation in the central beach area of Dagang oilfield

A 相. 泛滥平原; B 相. 蓄水洼地或泛滥平原小型湖; C 相. 河道及水下分流河道边部; D 相. 滨浅湖; E 相. 前三角洲

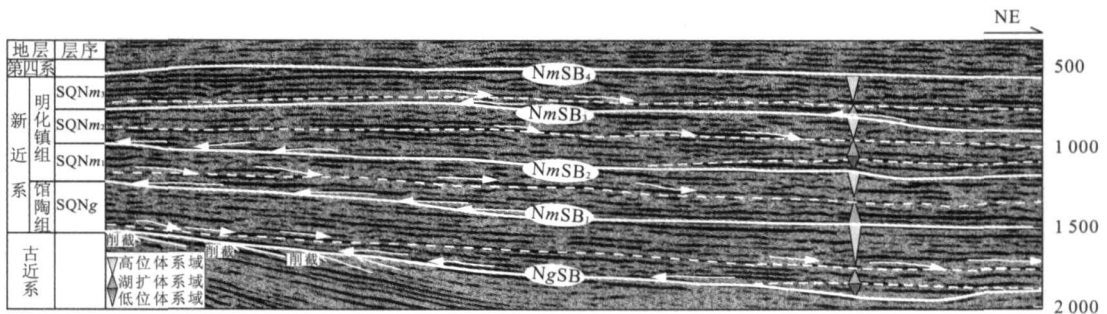


图 5 大港油田中部滩海 2001 测线层序地层解释

Fig. 5 Sequence stratigraphy interpretation of 2001 profile in the central beach area of Dagang oilfield

3 结论

综合遗迹结构、微古植物、微古动物、有机标志

化合物、碳氧同位素以及测井、地震等特征分析, 认为大港中部滩海地区馆陶组—明化镇组虽以冲积体系和河流沉积体系为主, 但在东部也有正常开阔的

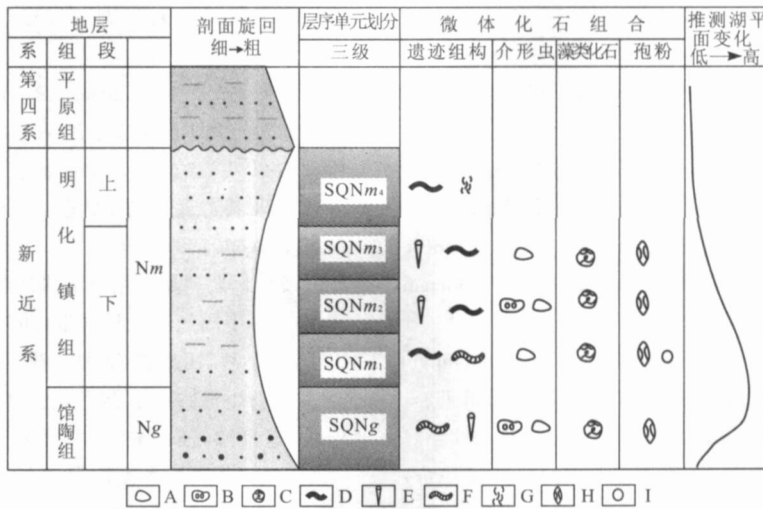


图 6 大港油田中部滩海新近纪古湖泊演化趋势

Fig. 6 Paleolake development in the central beach area of Dagang Oilfield during Neogene

A. 以 *Candona* 为主的生物组合(浅湖); B. 以 *Ithyocypris* 为主的介形类组合; C. 藻类化石; D. *Palaeophycus* 遗迹组构; E. *Skolithos* 遗迹组构; F. *Scoyenia* 遗迹组构; G. 生物扰动组构; H. 水生植物为主的孢粉组合(*Potamogeton*, *Polypodiaceae* 等); I. 陆地植物为主的孢粉组合(*Magnastites*, *Artemisia* 等)

古湖泊分布,其证据为:(1) *Palaeophycus* 遗迹组构中以不具回填纹的水平潜穴为主,这种遗迹组构主要代表了一种浅湖、水流能量不强的环境;(2)丰富的浮游绿藻类化石,浮游绿藻主要在正常浅湖环境中出现;(3)首次发现较多的 *Candona*、*Cypris* 等介形类化石,该生物种属仅分布在古代和现代湖泊沉积中;(4)干酪根类型、生物有机化合物、碳氧同位素以及地震等资料为古湖泊存在提供了辅助证据;(5)生物相的平面分布特征也验证了研究区存在正常湖泊的合理性;(6)综合各方面证据及其分布层位,认为研究区古湖泊分布范围在馆陶组发育早期分布范围可能较小,到中、晚期至明化镇组发育早期湖泊逐渐扩张达到鼎盛,而后分布范围逐渐减小,明化镇沉积晚期湖泊已经消亡(图 6)。

References

Gong, Y. M., Liu, B. P., Xiao, S. Y., et al., 1997. Marine Devonian ichnofabrics of China and their relations to sedimentary sequences. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(2): 123–128 (in Chinese with English abstract).

Hu, B., Jiang, Z. X., Qi, Y. A., et al., 2006. Trace fossils of deeper lacustrine deposits in the Paleogene Shahejie Formation of Jiyang depression, Shandong Province, eastern China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 45(1): 83–94 (in Chinese with English abstract).

Ji, L. M., Wang, S. F., Xu, J. L., 2006. A critarch assemblage in Yanchang Formation in eastern Gansu Province and its environmental implications. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(6): 798–806 (in Chinese with English abstract).

Li, S. T., 2004. Basin geodynamics background of formation of huge petroleum systems. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 505–512 (in Chinese with English abstract).

Liu, C. L., Zhao, Q. H., Wang, P. X., 2001a. Correlation between carbon and oxygen isotopic ratios of lacustrine carbonates and types of oil-producing paleolakes. *Geochimica*, 30(4): 363–367 (in Chinese with English abstract).

Liu, C. L., Zhao, Q. H., Wang, P. X., 2001b. Paleolimnological significance of carbon and oxygen isotopic ratios of ostracoda from oil source rocks in Dongying depression. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(5): 441–445 (in Chinese with English abstract).

Locklair, R. E., Savrda, C. E., 1998. Ichnofossil tiering analysis of a rhythmically bedded chalk-marl sequence in the Upper Cretaceous of Alabama. *Lethaia*, 31: 311–322.

Lu, Z. S., Hao, C. K., Ma, H. B., et al., 2003. Continental ichnofabric types in the Liaohe oilfield and their environmental interpretation, China. *Acta Geologica Sinica*, 77(1): 9–15 (in Chinese with English abstract).

Mi, L. J., Bi, L. G., Gong, S. L., et al., 2004. Direct evidence for development of Bohai paleolake during the Neogene.

- Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(2): 37–42 (in Chinese with English abstract).
- Mi, L. J., Duan, J. L., 2001. Characteristics of middle and shallow strata oil-gas reservoirs and oil-gas accumulation rule in the middle area of Bohai. *Acta Petrolei Sinica*, 22(2): 32–37 (in Chinese with English abstract). Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, 1990. Fuxian lake. China Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Wang, D. F., 1987. Sedimentary facies and sedimentary environments of Tertiary in the Huanghua depression. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, H. F., Hu, B., Zhang, G. L., et al., 2005. Discovery and significance of *Paleodictyon* of Paleogene in Dongying sag. *Xinjiang Petroleum Geology*, 26(4): 404–407 (in Chinese with English abstract).
- Wang, K. F., Zhang, Y. L., Jiang, H., et al., 1981. Discovery of pediatrum assemblage from submarine peat bed in the East China Sea and its implication in sea level changes of the latest Pleistocene. *Chinese Science Bulletin*, 2: 109–112 (in Chinese).
- Wang, P. X., Chen, J. S., Liu, C. L., 1991. Translation collections of paleolimnology. China Ocean Press, Beijing (in Chinese).
- Xu, J. L., Zhu, Y. H., 1993. Application of phytoplanktonic microfossils in paleolimnology. Research methods of paleolimnology in petroliferous basins. China Ocean Press, Beijing, 117–191 (in Chinese).
- Yang, C. Y., 2003. Exploration realm and strategy analysis for Dagang exploration area. *China Petroleum Exploration*, 8(2): 13–17 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. L., Zhu, X. M., Guo, C. M., et al., 2006. Trace fossils of shore-shallow lacustrine Dainan Formation (Paleogene) in Gaoyou sag, Subei basin, Jiangsu Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(1): 81–89 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. R., Zeng, Z. Q., Zhang, Z. Y., 1978. Fossil pediatrum algae from the Dainan Formation lower tertiary of northern Jiangsu with note on their sedimentary conditions. *Acta Palaeontologica Sinica*, 17(3): 233–244 (in Chinese with English abstract).
- 及沉积层序的关系. 地球科学——中国地质大学学报, 22(2): 123–128.
- 胡斌, 姜在兴, 齐永安, 等, 2006. 山东济阳坳陷古近系沙河街组深水湖沉积中的遗迹化石. 古生物学报, 45(1): 83–94.
- 吉利明, 王少飞, 徐金鲤, 2006. 陇东地区延长组疑源类组合特征及其古环境意义. 地球科学——中国地质大学学报, 31(6): 798–806.
- 李思田, 2004. 大型油气系统形成的盆地动力学背景. 地球科学——中国地质大学学报, 29(5): 505–512.
- 刘传联, 赵泉鸿, 汪品先, 2001a. 湖相碳酸盐氧碳同位素的相关性与生油古湖泊类型. 地球化学, 30(4): 363–367.
- 刘传联, 赵泉鸿, 汪品先, 2001b. 东营凹陷生油岩中介形虫氧、碳同位素的古湖泊学意义. 地球科学——中国地质大学学报, 26(5): 441–445.
- 卢宗盛, 郝朝坤, 马宏斌, 等, 2003. 辽河油田陆相遗迹组构类型及其环境解释. 地质学报, 77(1): 9–15.
- 米立军, 毕力刚, 龚胜利, 等, 2004. 渤海新近纪古湖发育的直接证据. 海洋地质与第四纪地质, 24(2): 37–42.
- 米立军, 段吉利, 2001. 渤中坳陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律. 石油学报, 22(2): 32–37.
- 王德发, 1987. 黄骅坳陷第三系沉积相及沉积环境. 北京: 地质出版社.
- 王海方, 胡斌, 张关龙, 等, 2005. 东营凹陷古近系 *Paleodictyon* 遗迹化石的发现及意义. 新疆石油地质, 26(4): 404–407.
- 王开发, 张玉兰, 蒋辉, 等, 1981. 东海海底泥炭层盘星藻组合的发现与晚更新世晚期的海平面变化. 科学通报, 2: 109–112.
- 汪品先, 陈嘉树, 刘传联, 1991. 古湖泊学译文集. 北京: 海洋出版社.
- 徐金鲤, 祝幼华, 1993. 微体浮游植物化石在古湖泊研究中的应用. 含油盆地古湖泊学研究方法. 北京: 海洋出版社, 117–191.
- 杨池银, 2003. 大港探区勘探领域及对策分析. 中国石油勘探, 8(2): 13–17.
- 张喜林, 朱筱敏, 郭长敏, 等, 2006. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组滨浅湖沉积中的遗迹化石. 沉积学报, 24(1): 81–89.
- 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1990. 抚仙湖. 北京: 海洋出版社.
- 朱浩然, 曾昭琪, 张忠英, 1978. 江苏古近系戴南组的盘星藻化石及其沉积环境的初步分析. 古生物学报, 17(3): 233–244.

附中中文参考文献

龚一鸣, 刘本培, 肖诗宇, 等, 1997. 中国海相泥盆纪遗迹组构