文章编号:1673-5005(2010)02-0031-07

辽东湾地区烃源岩特征及其主控因素

姜 雪^{1,2}, 邹华耀^{1,2}, 庄新兵^{1,2}, 田金强^{1,2}, 杨元元^{1,2}

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; 2. 中国石油大学 资源与信息学院,北京 102249)

摘要:根据烃源岩地球化学,岩石学,沉积学、构造沉降及古气候等特征,对辽东湾地区古近系3套湖相烃源岩发育的主 控因素进行综合分析。结果表明:3套烃源岩均形成于温暖湿润的还原环境,生产力高;沙三段烃源岩形成于快速沉降 的深水窄盆环境,水体根据温度和弱盐度分层,且具最高生产力;沙一段烃源岩形成于沉降速率低的浅水广盆环境,水 体根据高盐度分层,且有机质生源高等植物贡献小;东下段烃源岩形成于快速沉降的深水广盆环境,水体根据温度和弱 盐度分层;同层内烃源岩的差异受沉积相控制;沙三段烃源岩生烃潜力最好,沙一段次之,再次为东下段。 关键词:断陷湖盆; 古湖泊环境; 烃源岩; 沉积相; 辽东湾地区

中图分类号: TE 121.1 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1673-5005.2010.02.006

Characteristics of hydrocarbon source rocks in Liaodong Bay area and its main controlling factors

JIANG Xue^{1,2}, ZOU Hua-yao^{1,2}, ZHUANG Xin-bing^{1,2}, TIAN Jin-qiang^{1,2}, YANG Yuan-yuan^{1,2}

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
 School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: According to the source rocks characteristics in respect to geochemistry, petrology, sedimentology, tectonic subsidence and ancient climate, the main controlling factors of three sets of Paleogene lacustrine source rocks in Liaodong Bay area were comprehensively analyzed. The results show that the three sets of hydrocarbon source rocks were all with high productivity and formed in warm, moist and anoxic condition. The source rocks in member 3 of Shahejie formation were formed in the environment of deep-water and narrow lacustrine basin with high subsidence rate and the highest productivity. The stratified water column relied on temperature and low salinity. The source rocks in member 1 of Shahejie formation were formed in the environment of shallow-water and wide lacustrine basin with low subsidence rate. The stratified water column relied on high salinity. The organic matter was few higher plants. The source rocks in lower Dongying formation were formed in the environment of deep-water and wide lacustrine basin with high subsidence rate. The stratified water column relied on temperature and low salinity. The heterogeneity in the same set of source rocks was controlled by sedimentary facies. The hydrocarbon generating potentiality in member 3 of Shahejie formation is the best, member 1 of Shahejie formation is second and the lower Dongying formation is third.

Key words: rift lacustrine basin; ancient lake environment; hydrocarbon source rocks; sedimentary facies; Liaodong Bay area

优质烃源岩是形成大中型油气田的物质基础,国 内外学者已十分重视优质烃源岩发育机制与分布规 律研究^[1-3]。与湖相沉积相关的油气资源占总资源量 的20%以上^[4],关于湖相优质烃源岩形成机制问题 已受到人们普遍关注。断陷湖盆沉积记录了由构造 沉降、气候旋回、物源供给等因素引起的可容空间和 相对湖平面的变化^[54],湖盆演化不同阶段,发育不同 特征的源岩,断陷湖盆烃源岩非均质性极强^[74]。渤 海海域辽东湾探区勘探程度相对较高,已发现多个油 气田,其古近系湖相烃源岩发育,但在烃源岩发育机 制研究方面开展的工作还不系统,因此笔者结合该区 岩石学、地球化学、构造沉降、古气候特征及古水文条

收稿日期:2009~09-23

基金项目:国家自然科学基金重点项目(90914006);中海油重点科技攻关项目(SC06TJ-TQL-004)

作者简介:姜雪(1981~),女(汉族),吉林梨树人,博士研究生,主要从事油气成藏机制与分布规律方面研究。

件对烃源岩特征及主控因素进行研究,以准确评价及 预测优质烃源岩的分布,进而指导勘探。

1 研究区地质概况

辽东湾地区指渤海东北部海域,是下辽河盆地 向渤海海域的自然延伸,面积为2.6×10⁴ km²,为渤 海湾盆地的一个次级构造单元。辽东湾地区划分为 "3 凹2 凸"5 个北东向展布的次级构造单元(图1), 整个坳陷充填古近系和新近系沉积。古近系自下而 上依次为孔店组、沙河街组和东营组。



图 1 构造单元划分及烃源岩成藏贡献图 Fig. 1 Tectonic division and contributions to

hydrocarbon accumulation of hydrocarbon source rocks

孔店组和沙四段沉积时期处于初始裂陷期,为 一系列小且彼此分隔的裂谷,统一盆地未形成。沙三 段沉积时期处于第一快速断陷期,统一湖盆基本形 成,南北连片、东西分隔。沙一、二段沉积时期处于第 一稳定热沉降期,盆地迅速扩张,湖盆范围明显扩大, 构造活动减弱,盆地地形相对变缓。东三段沉积时期 处于又一快速断陷期,随断裂作用增强,辽东凹陷形 成,盆地规模进一步扩大,湖水变深,再次出现深湖-半深湖沉积。东二段沉积期继承了东三段沉积时的 构造背景,但构造活动相对减弱。东一段沉积时期处 于填凹补齐的断陷晚期,全盆发育三角洲沉积。

多年的石油地质研究和勘探实践表明,辽中和 辽西凹陷是该区的两个生烃凹陷,发育沙河街组三 段(E₂s₃)、沙河街组一段(E₃s₁)和东下段(E₃d^L,东 三段和东二下段)3 套烃源层。

2 烃源岩特征

2.1 岩石学特征

半深湖相泥质岩类构成了辽东湾地区烃源岩的

主体,局部层段发育的碳酸盐岩也构成了该区的烃 源岩。沙三段源岩以暗色泥岩、页岩和褐色油页岩 为主;沙一段为古近系的特殊岩性段,烃源岩类型有 暗色泥岩、灰褐色油页岩、钙质页岩、泥灰岩及生物 碎屑灰岩;东下段的烃源岩主要为深灰色泥岩。

2.2 有机地球化学特征

2.2.1 有机质丰度

由该区近千个烃源岩样品热解测试结果的统计 (表1,数值分别为测量值范围、平均值和括号内的 样品个数)可知,沙三段和沙一段都为好的烃源岩, 其中沙一段的有机碳(TOC)含量平均值高达 2.07%,但因沉积厚度较薄,生烃量有限,故沙三段 是该区的主力烃源岩。东下段综合各项指标整体评 价为中一好烃源岩。

表1 烃源岩有机质丰度评价

Table 1 Evaluation of organic matter aboundances of hydrocarbon source rocks

层位	有机碳含量 w(TOC)/ %	氰仿 沥青"A" 含量/%	总烃 含量/ 10 ⁻⁶	生烃潜量 (S ₁ +S ₂)/ (mg・g ⁻¹)	评价
东下段	0.21~4.17 1.47(733)	0.01 ~ 1.14 0.14(544)	43 ~ 7 464 732(544)	0. 19 ~ 33. 42 5. 17(733)	中−好
沙一段	0. 12 ~ 5. 62 2. 07 (108)	0.03~0.86 0.27(71)	181 ~ 5 183 1 289(71)	0. 17 ~ 28. 38 10. 71 (108)	好
沙三段	0. 13 ~ 8. 88 1. 64(343)	0. 02 ~ 0. 94 0. 26(148)	84 ~ 5 899 1 460(148)	0. 07 ~ 50. 6 7. 55(343)	好

2.2.2 有机质类型

2.0

烃源岩有机质类型是决定其生烃能力的另一重 要指标。不同干酪根类型的烃源岩,生烃能力差别 很大。由图2可知,该区3套烃源岩干酪根以Ⅱ型



Fig. 2 Van Krevelen diagram of kerogen elements of source rocks

为主,即有机质类型以偏低等水生生物来源(Ⅱ,型)与偏陆源高等植物来源(Ⅱ,型)的混合类型为主。

2.2.3 生物标志物特征

源岩的生标参数对比,可以区分不同层位烃源 岩特征、反映有机质生物来源以及沉积和早期成岩 环境特别是氧化还原条件和介质盐度等特征。

姥鲛烷/植烷(w(Pr)/w(Ph))常用于指示氧化 还原环境,低姥植比反映还原环境^[10-11]。对比其判 别标准^[12],图3(a)显示3套烃源岩均形成于相对 还原的环境,沙一段沉积时的环境还原性最强,主体 值小于1。

三环萜烷和四环萜烷因其热稳定性好且具较强的抗生物降解能力^[11],被广泛用于烃源岩研究, C₁₉/C₂₃三环萜烷($w(C_{19}TT)/w(C_{23}TT)$)高值和大量的C₂₄四环萜烷(C_{24} Tet)聚集指示较多的陆源有机质输入^[13-15]。藿烷/甾烷(w(H)/w(S))同样是反映有机质来源的指标,其高值指示高的陆源有机质输入。图 3(b),(c)显示沙一段高等植物贡献小,而沙三段和东下段则呈现类似的特征,高等植物贡献贡献明显加大,且东下段略大于沙三段。



图3 辽东湾地区烃源岩生标特征



大量的伽马蜡烷表明烃源岩沉积时分层水体的 存在^[11,16],且一般为高盐度分层水体的表征^[17]。图 3(a),(d)表明沙一段烃源岩伽马蜡烷指数($w(C_{19}$ TT)/ $w(C_{23}$ TT))呈明显的高值,主体大于0.1,处于 高度咸化的水体中,是一种稳定分层的还原环境,而 沙三段和东下段源岩的伽马蜡烷指数明显低于沙一 段。

渤海湾盆地4-甲基甾烷的出现和渤海藻、副渤 海藻等沟鞭藻类有关^[17]。4-甲基甾烷的含量用4-甲基甾烷指数w(4-MS)/w(ΣC₂₉S)来表示,图3(d) 表明沙三段源岩的4-甲基甾烷指数范围广且存在 高值,反映沙三段源岩有丰富的沟鞭藻类来源,而沙 一段和东下段的该参数值仅局限在较低范围内。

2.3 烃源岩生烃潜力

有机质丰度、类型及生源和沉积环境等特征共 同控制着3套烃源岩的生烃潜力,如图4所示。整 体上生烃潜力排序为沙一段>沙三段>东下段。但 是,就3套烃源岩的成藏贡献而言,沙一段虽生烃潜 力指标高但沉积厚度薄,东下段的烃源岩整体埋深 较浅,成熟度较低,大多未进入生油门限,故该区的 油气来源以沙三段与沙一段混源为主(图1),其中 辽西低凸起目前所发现的油气资源均为沙三段与沙 一段混源,在辽中中南洼部分油气藏单独由沙三段 烃源岩供烃,仅在辽中北洼的部分构造有东营组烃 源岩贡献。就探明储量而言,由沙三段和沙一段烃 源岩混源的油气资源总探明储量达7.12×10⁸m³, 占该区目前总油气探明储量的92.66%。兼顾烃源 岩的厚度和成熟度及成藏贡献等可知沙三段源岩生 烃潜力最好,沙一段次之,第三是东下段。







3 烃源岩形成的主控因素

陆相断陷盆地中,构造运动控制着盆地古地理

面貌,决定着盆地蓄水空间的形成和消亡,是影响湖 盆及湖相烃源岩发育的决定性因素,在一定构造背 景下,湖相优质烃源岩的形成还与古气候、古湖泊的 生产力、良好的保存条件等因素有关,而气候的变 化、古湖泊生产力、保存条件又隐含着内在联系^[18]。

3.1 构造沉降

古近纪以来构造沉降量的不同,导致了渤海湾 盆地各坳陷烃源岩发育的差异^[19]。分析辽东湾地 区烃源岩发育层位、特征的差异及该区的沉降史 (图5),可知烃源岩的发育与构造沉降的阶段性密 切相关。

该区辽中和辽西两个生烃凹陷的沉降史相似, 均经历了两次主要的构造沉降期。自沙三段沉积时 期开始迅速沉降,之后沙二段一沙一段沉积时期沉 降速率变慢,东三段一东二段沉积时期沉降再次加 快,不同的是东三段一东二段沉积时期辽中凹陷的 构造沉降量明显大于辽西凹陷,且辽中凹陷最大沉 降量发生在东营组沉积时期,而辽西凹陷则为沙三 段沉积期沉降量最大。东一段一馆陶组沉积时期构 造沉降速率最小,明化镇组一第四系沉积期因新构 造运动,沉降逐步加快。





Fig. 5 Subsidence history diagram of Liaoxi sag and Liaozhong sag

快速沉降形成了好的烃源岩。辽西和辽中凹陷 均接受了强烈断陷期沙三期的深水湖相沉积,发育 了一套有机质丰度较高的烃源岩。渐新世,郯庐断 裂以走滑活动为主,在原伸展断陷背景下形成了走 滑拉分断陷(又一次快速沉降),这次走滑拉分的沉 降中心为辽中凹陷和渤中凹陷,沉降中心东营组厚 度超过4 km,分布面积超过10⁴ km^{2[20]},故东下段也 发育一套烃源岩,是渤中、辽中凹陷成为富生烃凹陷 的重要物质基础。 3.2 古生产力和保存条件

就烃源条件而言,最具意义的古湖泊学特征是 表层水高的生产力和因湖水分层而引起的湖底贫氧 环境^[21]。地层中藻类化石的高含量通常被作为高 生产力和湖盆水体发育的标志^[22-23]。笔者根据实 际资料对藻类化石的含量进行了统计(图6)。结果 显示该区对应于沙三段、沙一段、东下段烃源岩发育 时期,藻类含量均为高值,且沙三段烃源岩中的藻类 含量最高。反映了这3套地层沉积时均具较高的古 生产力。

有机质的聚集和保存是形成优质烃源岩的另一重要因素,沉积有机质仅在缺氧条件下才能保存。前已述及该区的3套烃源岩沉积期均处于还原性较强的环境。在陆相湖盆中,水体由盐度和 温度形成的分层作用可以导致缺氧环境的形成^[24]。其中咸化湖泊水体因重力形成上下盐度不一致,易形成稳定的分层^[25],因此了解沉积介质何时发生咸化有助于分析水体的分层状态。目前常 用的方法主要有微量元素法、同位素法和其他地 化参数法等^[26-27]。用微量元素法对水体咸化进行 研究,筛选了w(Ca)/w(Ca+Fe),w(B),w(Rb)/ w(K),w(Sr)/w(Ba),w(B)/w(Ga)几个效果比较 好的元素含量比值互相验证水体咸化情况,如图 6 所示。该区在沙三中亚段、沙二一沙一段和东下段 3 套烃源岩沉积期水介质均趋于咸化,结合生标参 数可知伽马蜡烷在沙一段沉积时期水体是最咸化 的,其水体分层最稳定。





3.3 古气候条件

前人对该区的古气候条件进行了系统恢 复^[12,28-29],笔者直接引用前人成果,侧重分析何种古 气候条件有利于烃源岩的发育及气候影响烃源岩形 成和保存的机制。辽东湾地区古近纪在古气候带上 处于暖温带至亚热带,气候变化的总趋势是由暖变 冷(图6)。可知该区3套烃源岩发育时期均为暖热 湿润的气候条件,说明良好的古气候,即温暖湿润的 气候条件对湖相优质烃源岩发育起控制作用。具体 的作用机制是气候通过对湖盆的古生产力、有机质 的保存条件、外部沉积物的输入3个方面的影响, 最终控制湖盆中烃源岩的发育^[12]。前文述及该区 3 套烃源岩发育期均出现藻类高含量段,且又与湿 热气候——对应,即反映出良好气候条件对湖盆生 产力的控制作用,而较高的初始生产力形成的有机 质沉积大量消耗底层水中的氧是形成还原环境的基 础。

3.4 沉积相

陆相湖盆中烃源岩的展布及发育明显受沉积相 的控制,造成处于不同沉积相带的烃源岩岩性、有机 质丰度及类型的差异^[30]。

沙三段沉积期凹陷迅速沉降,属深水窄盆型湖 盆,物源充足,为近源和短源。盆地相以浅湖、半深 湖为主,边缘相以辫状河三角洲为主,局部见扇三角 洲(图7),稳定的半深水沉积约为40%。深水利于 形成稳定的分层,为一套好的烃源岩,但湖盆不同位 置,烃源岩性质存在差异。如辽西北洼的JZ14-2-1 井(图6),处于稳定的半深水区,沙三段钻遇720 m,以暗色泥岩为主,所夹薄层细砂岩累积14 m,烃

源岩占总厚度的98%,为一套好的烃源岩;位于辽 中北洼西斜坡上的JZ20-2-13 井(图7),沙三段钻遇 370 m,处于浅湖至半深湖的过渡区,粉砂岩及砂岩 夹层累积达65 m,虽源岩也评价为好,但有机质丰 度指标低于JZ14-2-1 井区。



图 7 典型剖面地层构造格架及沉积相解释

Fig. 7 Stratigraphic-tectonic framework and interpretation of sedimentary facies of typical profiles

沙一段沉积期是浅水广盆型湖盆,该区处于第 一稳定热沉降阶段,沉降速率低,盆地迅速扩张,湖 盆面积变大,浅湖沉积为主,局部为碳酸盐岩台地 (图7)。因构造活动弱,地形变缓,地层厚度变化不 大,约为100~200 m。水体咸化程度高,分层稳定, 为较好的还原环境,故远离扇体的浅湖区都形成好 烧源岩。

东三段沉积期为湖盆再次断陷早期,沉降速率 显著增大,水体加深,湖盆进一步扩大,以浅水一较 深水湖泊为主,属深水广盆型湖盆。湖泊面积达 80%,其中半深湖沉积达50%,扇体仅分布在盆地 边缘区域,对稳定湖水的影响范围小。有机质丰度 高,为好的烃源岩。东二下亚段沉积早期继承东三 段沉积,为较深水湖相沉积,后期湖侵达到高峰后, 盆地开始萎缩,大规模扇体发育及断裂的强烈活动 导致大量陆源物质输入破坏了水体的分层,烃源岩 质量变差,东二下亚段总体为中等烃源岩。沉积相 的不同造成北部东下段烃源岩的有机质丰度高于南 部(图6,7)。南部 LD16-3-1 井区东下段沉积期以 浅湖沉积为主且湖盆范围小,大规模扇体位于湖心 部位,对稳定水体影响范围大,虽然烃源岩自下而上 评价为由好一中等,但有机质丰度指标明显低于北 部处于稳定浅湖一半深湖区的 JZ14-2-1 井。

4 结 论

(1)辽东湾地区沙三段烃源岩为低伽马蜡烷含量,高4-甲基甾烷含量;沙一段烃源岩为高伽马蜡烷含量,低4-甲基甾烷含量;东下段烃源岩为低伽马蜡烷含量,低4-甲基甾烷含量。3 套烃源岩有机质类型均以混合型为主,沙一段烃源岩有机质生源高等植物贡献最小。

(2)沙三段烃源岩生烃潜力最好,沙一段次之,

再次为东下段。

(3)3 套烃源岩均形成于温暖湿润的还原环境, 生产力高。其中沙三段烃源岩形成于快速沉降的深 水窄盆环境,水体靠温度和弱盐度分层,且具最高生 产力;沙一段烃源岩形成于沉降速率低的浅水广盆 环境,水体靠高盐度分层;东下段烃源岩形成于快速 沉降的深水广盆环境,水体靠温度和弱盐度分层。

参考文献:

[1] 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 Lin-ye, KONG Xiang-xing, ZHANG Chun-rong, et al. High-quality oil-prone source rocks in Jiyang depression[J]. Geochimica, 2003, 32(1): 35-42.

- [2] 朱光有,金强.东营凹陷两套优质烃源岩地质地球化学 特征研究[J]. 沉积学报, 2003,21(3);506-512.
 ZHU Guang-you, JIN Qiang. Geochemical characteristics of two sets of excellent source rocks in Dongying depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003,21(3);506-512.
- [3] FRIMMEL A, OSCHMANNC W, SCHWARK L. Chemostratigraphy of the Posidonia black shale, SW Germany: influence of sea-level variation on organic facies evolution [J]. Chemical Geology, 2004,206:199-230.
- [4] CARROL A R, BOHACS K M. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls
 [J]. Geology, 1999, 27(2):99-102.
- [5] SOREGHAN M J, COHEN A S. Textural and compositional variability across littoral segments of lake Tanganyika: the effect of asymmetric basin structure on sedimentation in large rift lakes [J]. AAPG Bulletin, 1996, 80(3): 382-409.
- [6] 林畅松,李思田,任建业.断陷湖盆层序地层学研究和计算机模拟——以二连盆地乌里雅斯太断陷为例[J].地学前缘,1995,2(3):124-132.
 LIN Chang-song, LI Si-tian, REN Jian-ye. Sequence architecture and depositional systems of Erlian lacustrine fault basins, north China [J], Earth Science Frontiers, 1995,2(3):124-132.
- [7] DERENNE S, LARGEAU C, BRUKNER Wein A. Origin of variations in organic mater abundance and composition in a lithologically homogeneous maar-type oil shale deposit (Gérce, Pliocene, Hungary) [J]. Organic Geochemistry, 2000,31(9);787-798.
- [8] CARROLL A R, BOHACS K M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basin [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(6):1033-1053.
- [9] 朱光有,金强. 经源岩的非均质性及其研究——以东营

凹陷牛 38 井为例[J]. 石油学报,2002,23(5):34-39. ZHU Guang-you, JIN Qiang. Study on source rock heterogeneity-a case of Niu-38 well in Dongying depression[J]. Acta Petrolei Sinica,2002,23(5):34-39.

- [10] TISSOT B P, WELTE D H. Petroleum formation and occurrence[M]. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- [11] PETERS K E, WALTERS C C, MOLDOWAN J M. The biomarker guide, biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [12] 刘占红.黄河口凹陷层序地层与旋回地层研究及烃源 岩形成条件分析[D].北京:中国地质大学,2007.
- [13] PRESTON J C, EDWARDS D S. The petroleum geochemistry of oils and source rocks from the northern Bonaparte Basin, offshore northern Australia[J]. The Appea Journal, 2000,40(1):257-282.
- [14] PHILIP R P, GILBERT T D. Biomarker distributions in Australian oils predominantly derived from terrigenous source material[J]. Organic Geochemistry, 1986,10(1/ 3):73-84.
- [15] DUAN Y, WANG C'Y, ZHENG C Y, et al. Geochemical study of crude oils from the Xifeng Oilfield of the Ordos Basin, China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008,31(4-6):341-356.
- [16] ZHU Y M, WENG H X, SU A G, et al. Geochemical characteristics of Tertiary saline lacustrine oils in the western Qaidam Basin, northwest China[J]. Applied Geochemistry, 2005,20(10):1875-1889.
- [17] CHEN J Y, BI Y P, ZHANG J G, et al. Oil-source correlation in the Fulin Basin, Shengli petroleum province, east China[J]. Organic Geochemistry, 1996, 24(8/9): 931-940.

 [18] 张林晔. 湖相烃源岩研究进展[J]. 石油实验地质, 2008,30(6):591-595.
 ZHANG Lin-ye. The progress on the study of lacustrine source rocks[J]. Petroleum Geology & Experiment,2008,

[19] 许世红,钟建华,徐佑德,等. 郯庐断裂带两侧坳陷、烃 源岩及成烃演化的差异性[J]. 成都理工大学学报:自 然科学版,2007,34(5):505-510.

30(6):591-595.

XU Shi-hong, ZHONG Jian-hua, XU You-de, et al. A discussion on the diversities of the source rock and hydrocarbon-generating evolution in the adjacent depressions of the Tanlu fault zone in China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007,34(5):505-510.

(下转第42页)

- [10] THORBECKE J, BERKHOUT A J. Recursive prestack depth migration using CFP gathers [J]. Geophysics, 2006,71(6):273-283.
- [11] 李振春,杨敬磊.平滑算子在地震叠前深度域成像中的应用[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008, 32(6):47-50.

(上接第37页)

[20] 龚再升,蔡东升,张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部 油气成藏的控制作用[J]. 石油学报,2007,28(4):1-10.

> GONG Zai-sheng, CAI Dong-sheng, ZHANG Gongcheng. Dominating action of Tanlu fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(4):1-10.

[21] 吴国瑄,朱伟林,黄正吉,等. 湖相沉积浮游藻类及有 机质类型与烃源研究[J]. 同济大学学报,1998,26 (2):176-179.

> WU Guo-xuan, ZHU Wei-lin, HUANG Zheng-ji, et al. Research on phytoplankton and organic matter in the lacustrine sediments and hydrocarbon source conditions [J]. Journal of Tongji University, 1998, 26 (2): 176-179.

- [22] 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 Chuan-lian, XU Jin-li. Estimation method on productivity of oil-producing lake and a case study[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002,20(1):144-150.
- [23] 米立军,毕力刚,龚胜利,等. 渤海新近纪古湖发育的 直接证据[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(4): 37-42.

MI Li-jun, BI Li-gang, GONG Sheng-li, et al. Direct evidence for development or Bohai paleolake during the Neocene [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004,24(4):37-42.

- [24] 金强. 有效烃源岩的重要性及其研究[J]. 油气地质 与采收率,2001,8(1):14.
 JIN Qiang. Importance and research about effective hydrocarbon source rocks[J]. Oil & Gas Recovery Techinology, 2001,8(1):14.
- [25] 金强,朱光有,王娟.咸化湖盆优质烃源岩的形成与 分布[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32 (4):19-23.

LI Zhen-chun, YANG Jing-lei. Application of smoothing operator in seismic prestack depth imaging [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2008,32(6):47-50.

(编辑 徐会永)

JIN Qiang, ZHU Guang-you, WANG Juan. Deposition and distribution of high-potential source rocks in saline lacustrine enviroments[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science), 2008, 32(4): 19-23.

- [26] 王敏芳,焦养全,王正海,等. 沉积环境中古盐度的恢复——以吐哈盆地西南缘水西沟群泥岩为例 [J]. 新疆石油地质,2005,26(6):719-722.
 WANG Min-fang, JIAO Yang-quan, WANG Zheng-hai, et al. Recovery Paleosalinity in sedimentary environment —an example of mudstone in Shuixigou group, southwestern margin of Turpan-Hami Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology,2005,26(6):719-722.
- [27] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等. 海相地层无机参数与烃源岩发育环境的相关研究——以鄂尔多斯盆地为例
 [J].石油与天然气地质, 2005,26(4):411-421.
 TENG Ge-er, LIU Wen-hui, XU Yong-chang, et al. Study on relation between inorganic parameters in marine deposits and developmental environment of hydrocarbon source rocks: taking Ordos Basin as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2005,26 (4): 411-421.
- [28] 赵澄林,陈纯芳,季汉成,等. 渤海湾早第三纪油区岩 相古地理及储层[M]. 北京:石油工业出版社,2003; 56-67.
- [29] 徐长贵,许效松,丘东洲,等. 辽东湾地区辽西凹陷中南部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析
 [J].古地理学报,2005,7(4):449-459.
 XU Chang-gui, XU Xiao-song, QIU Dong-zhou, et al. Structural and sequence stratigraphic frameworks and palaeogeography of the Paleogene in central-southern Liaoxi sag, Liaodongwan Bay area [J]. Journal of Palaeogeography,2005,7(4):449-459.
- [30] 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,2005:16-34.

(编辑 徐会永)