

文章编号: 0253- 9985(2004) 02- 0209- 07

东营凹陷油气成藏期次及其分布规律研究

朱光有¹, 金 强², 戴金星¹, 张水昌¹, 郭长春², 张林晔³, 李 剑¹

(1. 中国石油石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 石油大学地球资源与信息学院, 山东东营 257061;

3. 中国石化胜利油田地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要: 东营凹陷发育了咸水湖相沙河街组四段上部烃源岩和半咸水深湖相的沙河街组三段下部烃源岩两套有效烃源岩。根据原油的地球化学特征和储层流体包裹体等资料, 将油气藏的形成分为两个大的阶段: 第一期为早第三纪东营期末, 凹陷中心的沙河街组四段上部烃源岩已进入生油门限并开始排烃, 后由于喜山运动使全区遭受抬升和剥蚀, 油气生成过程中断, 原油的生物标志化合物组成表明, 此阶段的原油成熟度较低, 油气生成数量有限; 第二期为晚第三纪至第四纪沉积时期, 伴随着凹陷的持续全面沉降和深埋, 沙河街组三段下部和沙河街组四段上部烃源岩进一步成熟, 生烃作用增强, 原油的成熟度较高。两次成藏的原油分布具有明显的规律性: 凹陷边缘油藏的原油主要来自沙河街组四段上部烃源岩, 原油成熟度较低, 是早期充注成藏的; 生油凹陷中心油藏的原油主要来自沙河街组三段下部烃源岩, 原油成熟度较高, 为第二期充注成藏的; 而过渡带(斜坡带)油藏的油气来源及成藏期比较复杂, 总体特征是混源聚集、多期充注成藏。

关键词: 烃源岩; 成藏期次; 油气分布规律; 东营凹陷

中图分类号: TE112.1 文献标识码: A

A study on periods of hydrocarbon accumulation and distribution pattern of oil and gas pools in Dongying depression

Zhu Guangyou¹ Jin Qiang² Dai Jinxing¹ Zhang Shuichang¹ Guo Changchun² Zhang Linye³ Li Jian¹

(1. Petroleum Exploration and Development Research Institute, PetroChina, Beijing;

2. College of Earth Resources and Information, Petroleum University, Dongying, Shandong)

Abstract: Two sets of active source rocks, the saline lake facies in the upper part of the 4th member of Shahejie Formation and the brackish deep lake facies in the lower part of the 3rd member of Shahejie Formation, have been developed in Dongying depression. Based on analysis of crude geochemical features and reservoir fluid inclusion, hydrocarbon accumulations have been formed in two different periods. In the first period, at the end of Dongying epoch in Paleogene, the source rocks in the upper part of the 4th member of Shahejie Formation in the depression center entered the oil threshold and began discharging hydrocarbons. Hydrocarbon generation was then disrupted due to the uplifting and erosion caused by Himalayan movement. The biomarker components in the crude indicate that oil maturity was low and the amount of hydrocarbons generated was limited in this period. In the second period, Neogene to Quaternary, along with successive and overall subsidence, the deeply buried source rocks both in the lower part of the 3rd member and in the upper part of the 4th member of Shahejie Formation would further be matured with intensifying hydrocarbon generation and relatively high oil maturity. Distribution patterns of crude oil generated in these two periods are obvious different. Oil reservoirs with low maturity on the edge of depression were mainly generated from the upper part of the 4th member of Shahejie Formation and accumulated in the first period; while that with high maturity in the center of depression were generated from the lower part of the 3rd member of Shahejie Formation and accumulated in the second period. Hydrocarbons in reservoirs in the transitional zone (slope zone) came from multi-sources and accumulated in multi-periods.

Key words: hydrocarbon source rock; period of hydrocarbon accumulation; hydrocarbon distribution pattern; Dongying depression

基金项目: “十五”国家重大科技攻关项目(编号: 2001BA605A09)资助。

第一作者简介: 朱光有, 男, 29 岁, 博士后, 油气地球化学和石油地质学

收稿日期: 2004- 02- 28

含油气盆地既是一个巨大的低温热化学反应器, 又是一个天然的复杂成藏系统^[1,2]。前者生产成藏所必需的流体——油、气、水; 后者包括由油源、输导体系、圈闭等组成的成藏要素子系统, 烃源岩是两者的物质基础。由于油气生成是一个十分复杂的地质地球化学过程, 涉及到地质过程与生烃母质两个方面^[3]。断陷盆地沉积演化的多旋回性和源岩母质组成的多样性必然导致油气成藏过程的复杂性^[4~6]。这种复杂性主要体现在: 充注期次的多幕性、油气组成的多样性和油藏成分的多源性。因此从有效烃源岩的分析入手, 研究油气的生成过程和充注期次, 将有助于揭示油气成藏的过程及其分布的规律, 对油气勘探工作具有十分重要的指导意义。

东营凹陷属于渤海湾盆地济阳坳陷的次级负向构造单元, 济阳坳陷是我国重要的油气产地之一。其中, 下第三系的探明储量占济阳坳陷总资源量的45%以上^[7], 累计生产原油4亿多吨。近年来, 随着油气勘探难度的加大^[8], 逐步加强了隐蔽油气藏勘探的力度, 其中对烃源岩的研究也提出了很高要求。不仅要求探讨有效烃源岩的形成环境、识别方法, 还要求探讨他们的空间分布规律以及如何影响周围圈闭的油气成藏作用^[9]。笔者近年来通过对东营凹陷深入系统的成烃和成藏解剖, 发现了凹陷边缘的油气藏原油成熟度较低, 原油是来自沙河街组四段(以下简称沙四段)上部烃源岩早期排烃(喜马拉雅运动东营幕)早期成藏所致; 凹陷中央原油成熟度高, 原油来自于沙河街组三段(以下简称沙三段)下部烃源岩, 是馆陶、明化镇组沉积期生、排烃充注而形成的; 而处于斜坡带的油藏则以混源聚集、多期充注成藏为特征。这一发现对于指导相似凹陷的油气勘探具有十分重要的指导意义。

1 有效烃源岩的确定及其特征

沉积盆地发育了烃源岩才能形成油气聚集。前人的研究成果表明, 大套的暗色泥页岩(即使是处于主力烃源岩层位中)并不是都能生成和排出油气为油气成藏做出贡献的^[10~12]。只有那些有机质丰度相对高的、经历了生烃过程并有大量烃类排出的细粒沉积岩才能对油气成藏有贡献, 这种细粒沉积岩就称为有效烃源岩。长期以来, 人

们认为东营凹陷下第三系沙河街组(主要为沙四段上部、沙三段下部和沙三段中部)厚达1 000~1 500 m的暗色泥岩都为其有效烃源岩。但是, 根据国内、外学者对有效烃源岩形成条件的研究, 认为盆地中有效烃源岩的分布不是巨厚的, 而是非均质的^[13~18]。因此正确认识东营凹陷的有效烃源岩已显得十分必要, 因为它决定了油气勘探部署这一重要的现实问题。

笔者通过对东营凹陷20多口取心井4 000多米泥岩岩心的观察及地球化学分析, 以及对数百个烃源岩和原油进行的生物标志化合物分析: 发现分布于沙四段上部、沙三段下部和沙三段中部的3套暗色泥岩在岩性及地球化学组成、特征等方面存在着显著的差异; 而对油气聚集成藏真正有贡献的是沙三段下部和沙四段上部有机质丰度较高的烃源岩, 是它们控制了东营凹陷各亿吨级大油田的形成。

沙四段上部烃源岩形成于强还原的咸水沉积环境^[19,20]。主要由深灰色泥岩、灰褐色钙质页岩、夹薄层白云岩、泥质白云岩、膏质泥岩和褐灰色油页岩组成, 凹陷深处发育有厚层条带状分布的膏盐、岩盐等蒸发岩沉积序列, 总体上是浅湖—半深湖沉积(表1)。沙四段上部有机碳(TOC)含量为1.5%~4%(图1), 干酪根以I型为主, 有效烃源岩厚度150~250 m, R_o 主要在0.7%~0.9%。水生生物是烃源岩有机质的主要来源, 饱和烃呈“单峰型”分布, 植烷优势明显($Pr/Ph < 0.5$); 在长链藿烷系列中具有 C_{35} 藿烷 $> C_{34}$ 藿烷 $> C_{33}$ 藿烷的“翘尾”特点; 奥利烷不发育; 重排甾烷和4-甲基甾烷含量极低(图2)。

沙三段下部烃源岩主要由深灰色泥岩、钙质泥岩、褐灰色油页岩组成, 属于深湖半咸水环境沉积^[21,22]。烃源岩有机质丰度比较高, TOC含量多数在2%~5%, 其中油页岩的TOC含量介于5%~13%(图1), 烃源岩厚度200~300 m。干酪根以I型和II₁型为主, R_o 分布在0.4%~0.8%, 正构烷烃呈双峰型。与下伏层位(沙四段上部)相比, 植烷优势明显下降, Pr/Ph 分布为0.6~1.6(表1), C_{31} ~ C_{35} 藿烷峰的高度呈有规则的逐渐降低分布; 伽马蜡烷含量降低; 重排甾烷和4-甲基甾烷含量十分发育(图2)。

沙三段中部沉积时期, 东营三角洲开始大规

表 1 东营凹陷沙四段上部、沙三段下部和沙三段中部亚段烃源岩特征对比

Table 1 Correlation of source rocks in the upper part of the 4th member

and the lower and middle parts of the 3rd member of Shahejie Formation in Dongying depression

层 位	沙四段上部	沙三段下部	沙三段中部
沉积亚相	浅湖- 半深湖,	深湖相	半深湖、三角洲
水体环境	咸水- 盐湖	半咸水	淡水
有机碳含量/ %	0. 6~ 11. 2, 多数大于 2	1. 5~ 19, 平均 2. 5	平均在 1. 1 左右
氯仿沥青“ A ” / %	0. 3~ 0. 8, 多数大于 0. 6	0. 3~ 2. 3, 平均为 0. 48	小于 0. 2, 平均在 0. 08
干酪根类型	I 为主	I 和 II ₁ 为主	II ₁ 和 II ₂ 为主
有机质来源	水生生物组成为主	水生生物和陆源高等植物	陆源高等植物为主
Ro 分布范围	0. 45~ 0. 93	0. 36~ 0. 80	0. 22~ 0. 57
Pr/ Ph 值	小于 0. 6	0. 6~ 1. 6	大于 1. 2
主峰碳	nC ₁₆ 或 nC ₁₈	nC ₁₆ 、nC ₁₇ 或 nC ₂₇	nC ₂₇ 或 nC ₂₉
伽马蜡烷/ C ₃₁ 藿烷值	大于 1. 2	1. 0~ 0. 41	小于 0. 5
烃源岩评价	有效烃源岩	有效烃源岩	无效烃源岩

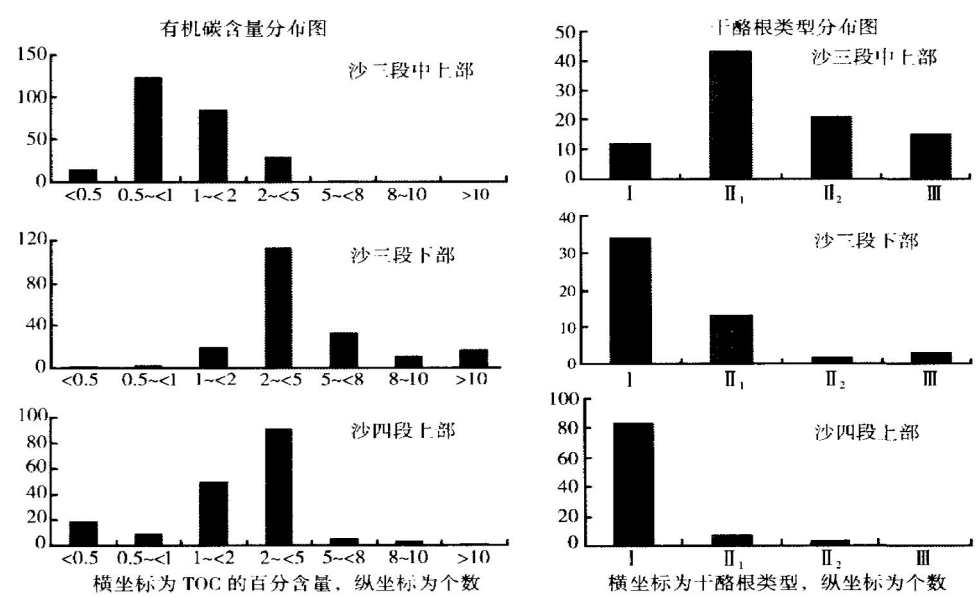


图 1 东营凹陷烃源岩有机碳含量和干酪根类型频率直方图

Fig. 1 Frequency histogram of TOC and kerogen types of source rocks in Dongying depression

模向湖盆推进, 因此沙三段中部主要发育灰色泥岩和粉砂质泥岩^[23]。TOC 含量绝大多数小于 1.5%(图 1), 干酪根类型以 II₁ 型和 II₂ 型为主, 厚度在 600~ 800 m。R_o 主要分布在 0.3%~ 0.55%。饱和烃呈后“单峰型”分布, 反映出有机母质中陆源高等植物输入较多。代表陆源输入的奥利烷在沙三段中部含量丰富; 伽马蜡烷已明显降低并基本消失; 同时以高 C₃₁- 藿烷优势分布, C₃₁- C₃₅藿烷峰分布构成“L”形, 反映了弱氧化- 弱还原的三角洲沉积环境。在甾烷系列中, 重排甾烷含量较高, 而 4- 甲基甾烷不发育(图 2), 与沙三段下部形成显著的差异。

上述 3 套烃源岩地球化学的差异性, 为油- 源对比提供了可靠的依据。通过对东营凹陷大量原油样品开展的色谱、色- 质等多项分析结果, 东营凹陷原油来源可划分为 3 种类型: 即“沙四段上

部型”(原油来自沙四段上部烃源岩)、“沙三段下部型”(原油来自沙三段下部烃源岩)和“混合型”(原油来自沙三段下部和沙四段上部烃源岩的混源)(图 2)。也就是说东营凹陷各油田的原油是来自沙三段下部或沙四段上部的烃源岩, 据此, 将有机碳含量高、类型好的沙三段下部和沙四段上部暗色泥页岩称为东营凹陷的“有效烃源岩”, 从而否定了厚度在 500~ 800 m 的沙三段中部层段的烃源岩。因此对于成熟的探区来说, 油- 源对比是确立有效烃源岩层段的重要手段。

2 油气充注时间及期次分析

油气成藏期次分析是现代油气地质研究的一个热点问题, 成藏期次的确定有助于正确认识油气藏的形成规律。目前确定成藏期次比较成熟和

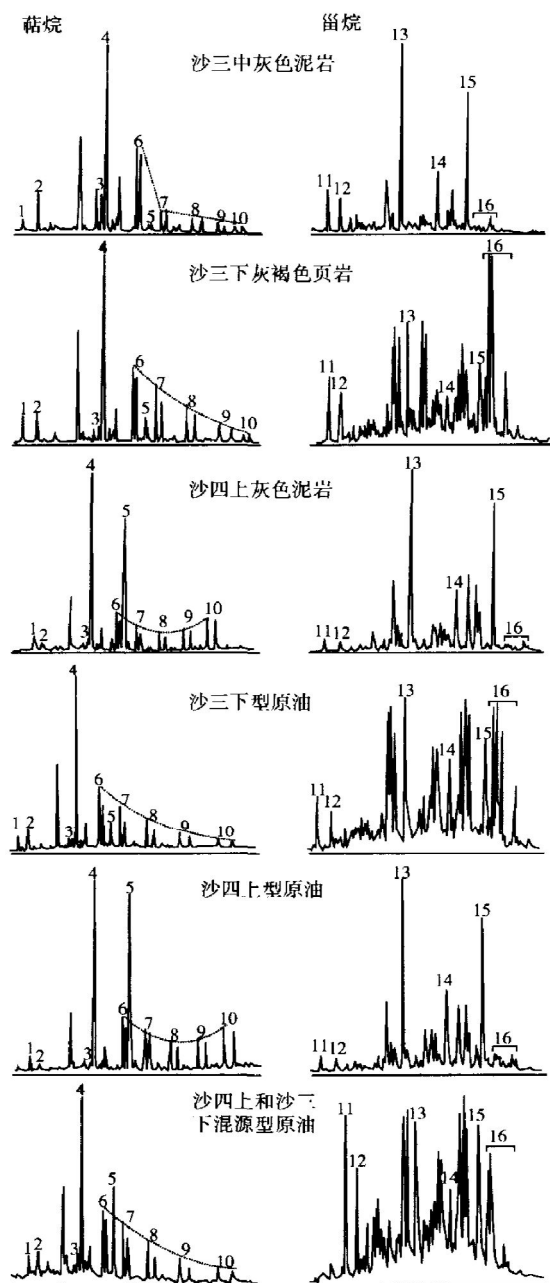


图2 东营凹陷沙河街组烃源岩和原油萜烷、甾烷特征对比图

Fig. 2 Characteristic pattern of sterane and terpane both in oil and source rocks in Shahejie Formation in Dongying depression

- 1—Ts; 2—Tm; 3—奥利烷; 4—C₃₀藿烷; 5—伽马蜡烷;
6—C₃₁藿烷; 7—C₃₂藿烷; 8—C₃₃藿烷; 9—C₃₄藿烷; 10—C₃₅藿烷;
11、12—重排甾烷; 13—C₂₇甾烷; 14—C₂₈甾烷;
15—C₂₉甾烷; 16—4-甲基甾烷

通用方法是烃类流体包裹体均一温度法^[24,25]。由于流体包裹体是矿物结晶过程中捕获于晶体中的成岩成矿流体,是流体生成、演化、运移、聚集过程中遗留下来的原始样品和历史记载,直接记录了沉积盆地油气成藏的条件及过程,作为化石记录

它们可用于重塑油气藏形成和演化史,因此已成为常用的有效手段。应用烃类流体包裹体均一温度法,再结合烃源岩生排烃史和盆地的构造活动特点等综合分析,可以比较准确的确定油气运移聚集的历史。

根据东营凹陷多口取心井含油砂岩储层流体包裹体均一温度的测定数据,古温度值呈两个高峰区间,主峰区分别在 70~92℃和 108~128℃。结合古地温分析资料,采用地表温度为 15℃,地温梯度一般为每百米 3.8℃,计算出油藏充注时对应的埋深分别为 1450~2000 m 和 2450~2950 m,充注时间分别为 32.8~24.6 Ma 和 13.6~2 Ma, (图 3),即两期充注分别对应于东营组沉积末期和馆陶—明化镇组沉积期。

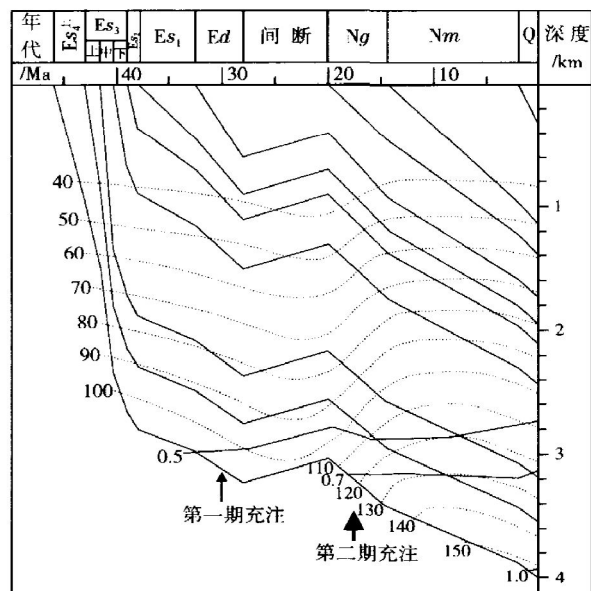


图3 东营凹陷埋藏史曲线

Fig. 3 Buried history curve in Dongying depression

在分析油砂包裹体的同时,也对油砂进行了抽提。通过分析原油的生物标志化合物组成,发现东营末期充注的油气成熟度普遍较低,并具有明显的高伽马蜡烷含量和植烷优势,与沙四段上部烃源岩生物标志化合物组成具有十分相似的特征;而馆陶—明化镇组沉积期充注的原油生物标志化合物组成则比较多样化,既有与沙四段上部烃源岩生物标志化合物组成相似的原油,也有与沙三段下部烃源岩生物标志化合物组成相似的原油,还有具有沙三段下部和沙四段上部混源生物

标志化合物特征的原油。这一结果表明: 沙四段上部除了东营组末期发生生排烃充注外, 在馆陶-明化镇组沉积期进行了二次生排烃充注过程, 而沙三段下部烃源岩仅发生一期充注过程, 即馆陶-明化镇组沉积期。

另外从东营凹陷的地质发育过程来看, 渐新世末的构造运动奠定了凹陷的基本构造格局, 大型构造圈闭基本完成于此期, 为油气大规模聚集提供了聚集场所。古近纪末的东营运动使东营凹陷整体抬升剥蚀, 进入生油门限深度的沙四段上部烃源岩被迫生油中断。大约经历了近10 Ma的沉积间断后, 盆地进入新近纪全面拗陷缓慢沉降阶段, 全区普遍沉积了馆陶组和明化镇组的冲积-河流相碎屑岩, 伴随着凹陷的整体下沉, 馆陶组和明化镇组沉积整体覆盖于东营、沙河街组沉积物之上, 使沙三段下部及沙四段上部烃源岩埋藏深度加深, 沙四段上部烃源岩再次进入生油门限, 沙三段下部烃源岩则第一次进入生油门限, 随着埋深的加大, 沙三段下部和沙四段上部烃源岩大范围成熟并进入生排油高峰期, 同时东营期之后, 盆地拗陷阶段发生的微弱构造活动为油气运移提供必要条件, 成为东营凹陷重要的充注期。

3 不同成藏期次的油气分布特征

我国石油地质学家在长期的陆相盆地油气勘探实践中, 创造性的提出了“复式油气聚集带”重要理论^[26~31], 卓有成效的指导了陆相盆地特别是我国东部断陷盆地的油气勘探。该理论的核心是各种类型油藏围绕生烃洼陷呈环状分布, 即洼陷中心分布着岩性油气藏, 边缘分布着潜山、地层油气藏, 斜坡带则分布着断块油气藏, 它总结了多断陷、多断块、多含油气层系的陆相盆地, 形成多种油气藏类型复合连片聚集的特征。而对于各类油藏的油气来源则没有关注。本次研究通过对不同区带、不同类型油藏分别采样分析, 发现各类油藏原油(不同成藏期次的原油和不同油源的原油)的分布具有较强的规律性。

东营凹陷边缘分布的地层油气藏和古潜山型油气藏, 油气主要来自沙四段上部烃源岩, 原油具有明显的植烷优势和高伽马蜡烷含量, 正构烷烃为前主峰型分布(图4), 而且原油成熟度较低, 成熟度参数 Ts/Tm , C_{29} 甾烷 $20S/20S+20R$, C_{29} 胆甾烷 $\beta\beta/(\alpha\alpha+\beta\beta)$ 等分别小于 0.5, 0.35, 0.40, 孕甾烷

和孕甾烷不发育(图4), 原油硫含量较高^[32]。油砂包裹体均一温度(如东营凹陷东侧的辛154块油藏)为 91~99℃, 油气充注成藏期为东营末期。

在凹陷中心分布的岩性油气藏, 原油的生物标志化合物与沙三段下部烃源岩十分相似(图4), 而且原油成熟度较高, 孕甾烷和孕甾烷含量丰富, 成熟度参数 C_{29} 甾烷 $20S/20S+20R$ 大于 0.50, 油气主要来自沙三段下部烃源岩; 油砂包裹体均一温度(如牛庄油田)主要分布在 108~124℃, 对应的充注成藏期为馆陶-明化镇组沉积期。

在斜坡带部位的油气藏比较复杂, 从原油的生物标志化合物特征图谱上(图4)也清晰看出: 正构烷烃呈现双主峰型, 即具有高4-甲基甾烷和重排甾烷, 又具有一定丰度的伽马蜡烷含量, 既具有沙三段下部烃源岩特征又具有沙四段上部源岩特征, 明显具有混源特征; 油砂包裹体均一温度的分布范围也比较宽, 为 86~122℃, 既有反映早期东营末期充注的, 也有反映晚期馆陶-明化镇组沉积期充注的油藏, 也有一些油藏存在两次充注的成藏期。

4 结论和认识

(1) 东营凹陷发育了咸水湖相沙四段上部烃源岩和半咸水深湖相的沙三段下部烃源岩两套有效烃源岩; 油源对比表明沙三段中部烃源岩不是东营凹陷的有效烃源岩。

(2) 东营凹陷存在两期油气充注。第一期是在东营末期, 仅沙四段上部烃源岩进入生油门限深度, 生成的原油成熟度较低; 喜山运动的东营幕形成东营期与馆陶期之间较长时期的沉积间断, 致使第一个生油期(沙四段上部烃源岩)生烃停止。至馆陶、明化镇组沉积时, 伴随着凹陷的整体下沉, 使沙四段上部和沙三段下部烃源岩埋深增大, 并相继进入生油门限, 为第二期油气成藏期, 也是东营凹陷的主要成藏期。

(3) 不同成藏期次的原油分布具有一定的规律性。分布于生油凹陷的油藏原油主要来自沙三段下部烃源岩, 原油成熟度较高, 为第二期成藏; 凹陷边缘的油藏原油成熟度较低, 主要来自沙四段上部烃源岩, 为早期充注成藏; 而过渡带(斜坡带)油藏油气来源及成藏期比较复杂, 总体特征是混源聚集、多期充注成藏。

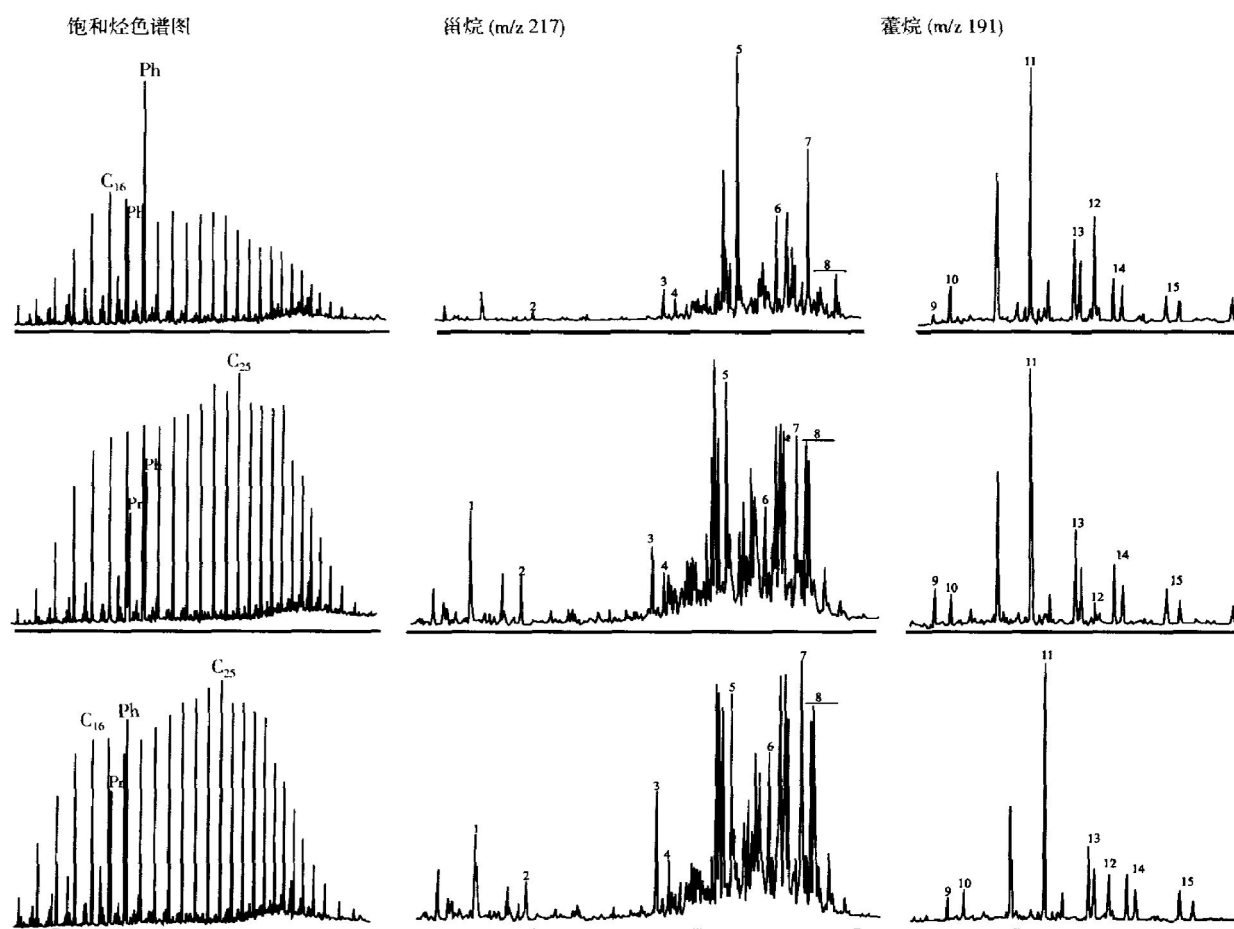


图4 不同油气充注成藏期原油的生物标志物分布特征图

Fig. 4 Characteristic diagram of biomarkers of oils charged and accumulated in different periods of accumulation

1—孕甾烷; 2—升孕甾烷; 3, 4—重排甾烷; 5— C_{27} 甾烷; 6— C_{28} 甾烷; 8—4-甲基甾烷; 9—Ts; 10—Tm; 11— C_{30} 藿烷;

12—伽马蜡烷; 13— C_{31} 藿烷; 14— C_{32} 藿烷; 15— C_{33} 藿烷; 16— C_{34} 藿烷; 17— C_{35} 藿烷

上: 凹陷边缘早期充注, 沙四上烃源岩提供的原油, 原油成熟度较低(辛 154-1 井, 2 956.8~2 976.1 m); 中: 凹陷中心晚期充注, 沙三下烃源岩提供的原油, 原油成熟度较低(牛 871 井, 3 27.0~3 283.5 m); 下: 过渡带两期充注, 早期充注由沙四上烃源岩提供, 后期又有沙三下烃源岩提供的原油充注, 原油为混源油(王 543 井, 3 175.3~3 225.7 m)

致谢: 在本文的研究中, 受到胜利油田地质院张林晔、卓勤功、刘俊民等高级工程师和石油大学蒋有录教授的帮助和支持; 在岩心描述过程中, 石油大学万丛礼博士协助了观察; 胜利油田地质科学研究院地化室完成了大量的分析化验, 在此致以衷心的感谢!

参 考 文 献

- Anderson R N, He Wei, Hobart M A. Active fluid flow in the Eocene island area, offshore Louisiana[J]. Geophysics, 1991, 10(4): 6~10
- 田世澄, 陈永进, 张兴国, 等. 论成藏动力学系统中的流体动力学机制[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 329~336
- 王建宝, 肖贤明, 郭汝泰, 等. 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩生烃动力学研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(4): 403~409
- 何登发, 赵文智, 雷振宇, 等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 23~37
- 陈建渝, 牛瑞卿. 断陷盆地多次运移成藏的有机地球化学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 253~259
- 赵文智, 何登发. 中国含油气系统的基本特征与勘探对策[J]. 石油学报, 2002, 23(6): 1~11
- 郭元岭, 赵乐强, 石红霞, 等. 济阳拗陷探明石油地质储量特点分析[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 33~37
- 邱桂强, 王居峰, 张昕, 等. 东营三角洲沙河街组三段中亚段地层格架初步研究及油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(4): 569~574
- 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): 1~4
- 梁狄刚, 张水昌, 张宝民, 等. 从塔里木盆地看中国海相生油问题[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 534~547

- 11 张水昌, 张保民, 王飞宇, 等. 塔里木盆地两套海相有效烃源岩层- I 有机质性质、发育环境及控制因素[J]. 自然科学进展, 2001, 11(3): 261~ 268
- 12 程克明. 生油岩的定量评价[A]. 见: 石油勘探开发科学研究院. 中国陆相油气生成[C]. 北京: 石油工业出版社, 1982. 175~ 188
- 13 张水昌, 梁狄刚, 张大江. 关于古生界烃源岩有机质丰度的评价标准[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 8~ 12
- 14 夏新宇, 戴金星. 碳酸盐岩生烃指标及生烃量评价的新认识[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 36~ 41
- 15 Carroll A R, Bohacs K M. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls[J]. *Geology*, 1999, 27(2): 99~ 102
- 16 朱光有, 金强. 烃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): 20~ 26
- 17 Derenne S, Largeau C, Brukner W A. Origin of variations in organic matter abundance and composition in a lithologically homogeneous maatype oil shale deposit[J]. *Organic Geochemistry*, 2000, 31: 787~ 798
- 18 Bertrand P, Lallier V E, Boussafir M. Enhancement of accumulation and anoxic degradation of organic matter controlled by cyclic productivity: a model[J]. *Organic Geochemistry*, 1993, 22: 511~ 520
- 19 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
- 20 朱光有, 金强. 东营凹陷两套优质烃源岩层地质地化特征研究[J]. 沉积学报, 2003, 21(3): 452~ 460
- 21 洪志华, 陈致林, 殷沫, 等. 东营凹陷牛38井沙三段中下部有机碳分布特征[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(3): 292~ 299
- 22 朱光有, 金强, 周建林. 东营凹陷旋回式深湖相烃源岩研究[J]. 地质科学, 2003, 38(2): 254~ 262
- 23 冯有良, 何立琨, 郑和荣, 等. 山东牛庄地区沙三段前三角洲斜坡重力流沉积[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 314~ 318
- 24 施继锡. 有机包裹体及其与油气的关系[J]. 中国科学, 1987, (7): 318~ 325
- 25 邱楠生, 蔡进功, 李善鹏, 等. 昌潍坳陷潍北凹陷热历史和油气成藏期次[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 332~ 341
- 26 胡见义, 徐树宝, 童晓光. 渤海湾盆地复式油气聚集区(带)的形成和分布[J]. 石油勘探与开发, 1986, (1): 5~ 9
- 27 李德生. 迈向新世纪的中国石油地质学[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 1~ 8
- 28 刘兴才, 杨申铤. 济阳复式油气区大油田形成条件及分布规律[J]. 成都理工学院学报, 1998, 25(2): 276~ 284
- 29 戴金星. 油气地质学的若干问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 710~ 718
- 30 李晋超, 马永生, 张大江, 等. 中国海相油气勘探若干重大科学问题[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 1~ 2
- 31 李丕龙. 富油断陷盆地油气环状分布与惠民凹陷勘探方向[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 146~ 148
- 32 朱光有, 金强, 周建林, 等. 济阳坳陷胜坨油田原油物性及其成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 9~ 13

(上接第208页)

- 6 Chowdhury A H, Noble J P A. Origin distribution and signification of carbonate cements in the Albert formation reservoir sandstones New Brunswick, Canada[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1996, 13: 837~ 846
- 7 Worden R H, Coleman M L, Matray J M. Basin scale evolution of formation waters: a diagenetic and formation water study of the Triassic Chaunoy Formation, Paris Basin[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(17): 2513~ 2528
- 8 Kelly J, Parnell J, Chen H H. Application of fluid inclusions to studies of fractured sandstone reservoirs[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, 69~ 70: 705~ 709
- 9 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model[J]. *AAPG Bull*, 1997, 81(8): 1451~ 1481
- 10 Welte D H, Hantschel T, Wygrala B P, et al. Aspects of petroleum migration modeling[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2001, 69~ 70: 711~ 714
- 11 宋维海, 王璞珺, 张兴洲, 等. 松辽盆地中生代火山岩油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 12~ 17
- 12 杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985. 200~ 208
- 13 Zhou Y S, Litke R. Numerical simulation of the thermal maturation, oil generation and migration in the Songliao Basin, Northeastern China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1999, 16: 771~ 792
- 14 刘景彦, 林畅松, 喻岳钰, 等. 用声波测井资料计算剥蚀量的方法改进[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 302~ 306
- 15 Gvirtzman Z. Lateral thickening of sedimentary units: sediment compaction vs. tectonics[J]. *Tectonophysics*, 2001, 340: 109~ 115
- 16 Matenco L, Bertotti G, Cloetingh S, et al. Subsidence analysis and tectonic evolution of the external Carpathian-Moesian platform region during Neogene times[J]. *Sedimentary Geology*, 2003, 156: 71~ 94
- 17 漆家福, 杨桥, 王子煜. 编制盆地复原古构造图的若干问题的讨论[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 413~ 424
- 18 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷二)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1987. 147~ 149