

文章编号: 1001- 6112(2006)02- 0177- 05

# 渤海湾盆地东营凹陷孔店组烃源岩特征研究

袁彩萍<sup>1</sup>, 徐思煌<sup>1</sup>, 贾霍甫<sup>1</sup>, 王新征<sup>2</sup>, 韩忠义<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学 资源学院, 武汉 430074; 2. 中国石化 胜利油田现河采油厂, 山东 东营 257068)

**摘要:** 沙三下和沙四上是东营凹陷的 2 套优质烃源岩。目前认为东营凹陷南斜坡原油主要属于“沙四型”, 而对于东营凹陷孔店组的生烃潜力一直存在着争论。油源对比结果表明, 孔店组烃源岩以较高的伽马蜡烷区别于沙三型烃源岩, 又以较高的三升藿烷和 C<sub>29</sub> 甾烷 S 构型区别于沙四型烃源岩; 南斜坡孔店组及其以下的深层原油与孔店组烃源岩具有亲缘关系。虽然目前发现的孔店组烃源岩有机质含量较低、类型差、成熟度较高, 综合评价较差, 但是生物标志化合物显示, 向沉积中心其有机质有优化的趋势。因此推测在沉积中心发育更优质的孔店组烃源岩, 其生烃潜力不容忽视。

**关键词:** 烃源岩; 油源对比; 生物标志化合物; 孔店组; 东营凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

东营凹陷位于济阳拗陷东南部, 是典型的中、新生代箕状断陷构造单元, 平面上划分为北部陡坡带、中央洼陷带和南部缓坡带。其中南部斜坡带面积占整个凹陷面积的一半以上, 出现多期剥蚀和超覆<sup>[1]</sup>。目前已在古近系东营组(Ed)、沙河街组沙一段(Es<sup>1</sup>)、沙二段(Es<sup>2</sup>)、沙三段(Es<sup>3</sup>)、沙四段(Es<sup>4</sup>)、孔店组(Ek)、中生界(Mz)、奥陶系(O)等 8 套含油层系中发现了丰富的油气资源。该区古近系 Ed—Es<sup>4</sup> 含油层系已进入高含水开发阶段, 稳产难度大, 为寻找油气接替目标层系, 对孔店组(Ek)及前第三系油气成藏规律的研究渐显迫切<sup>[2]</sup>。但深层油气勘探能否取得更大突破, 孔店组的生烃潜能成为焦点问题之一。前人研究表明, Es<sup>3</sup>下和 Es<sup>4</sup>上 是东营凹陷主要的 2 套优质烃源岩<sup>[3-6]</sup>, 其中南斜坡的原油主要来源于沙四烃源岩<sup>[7,8]</sup>。孔店组是否作出了生烃贡献, 尚未得到充分的肯定。惠民凹陷是济阳拗陷孔店组沉积期的沉降中心, 推测惠民凹陷的孔店组应具有可观的生烃潜能<sup>[9,10]</sup>。东营凹陷孔店组的宏观沉积特征已见诸论述<sup>[11,12]</sup>, 但其中孔店组烃源岩的地质、地球化学特征尚未见到公开的报道。本文通过东营凹陷南斜坡的原油及烃源岩地球化学对比, 来探讨原油与孔店组烃源岩的成因关系; 并从孔店组烃源岩的地质、地球化学角度, 来探讨孔店组的生烃潜能。

## 1 油源对比

### 1.1 样品采集

1) 烃源岩样品: 本区孔店组烃源岩的研究程度相对较低, 公开发表的文献中无理想的烃源岩岩心

样品。本次研究在王 130 井、王 96 井和王 95 井采集了孔店组暗色泥岩岩心, 由其氯仿抽提物研究该组烃源岩地球化学特征。至于沙三、沙四优质烃源岩, 前人已做了大量的工作本次不再涉及。

2) 原油样品: 东营凹陷南斜坡出油层位较多, 本次研究采集了草古 100 井、草 13- 151 井、王 130 井、王 14- 10 井、王 542- 2 井、王斜 95 井等奥陶系、古近系孔店组、沙河街组沙三中及沙二段等层位的原油样品。此外, 还收集了部分原油样品的测试分析资料。

### 1.2 样品测试实验

烃源岩、原油样品处理及地球化学分析测试由中国石化江汉油田分公司完成。测试实验项目主要包括族组分分析、饱和烃色谱分析、饱和烃谱/质谱分析等, 其中后者检测依据为 GB/T 18606-2001, 检测主要设备及编号为 HP5890 型气相色谱仪(2443A04603)和 HP5971A 型质量选择器(3040A01501)。

由测试实验结果和所收集资料整理得到各层烃源岩及原油生物标志化合物特征参数如表 1 所示。

### 1.3 油源对比分析

#### 1.3.1 孔店组与沙三、沙四段间的源—源对比

关于东营凹陷沙四上亚段、沙三下亚段 2 套优质烃源岩的主要特征, 目前已经得到比较一致的认识。即沙四上亚段烃源岩具有盐湖或咸水湖相有机质特征, 具有 Ph 优势、 $\gamma$ -蜡烷含量高、成熟度低。而沙三下亚段烃源岩则表现出 Pr 优势、 $\gamma$ -蜡烷含量低、成熟度相对较高。

收稿日期: 2005- 09- 23; 修订日期: 2006- 01- 28。

作者简介: 袁彩萍(1963—), 女(汉族), 湖北浠水人, 副教授、在职博士生, 主要从事石油地质及油气田开发工程的教学和科研工作。

表 1 渤海湾盆地东营凹陷南斜坡烃源岩及原油生物标志化合物特征参数平均值

Table 1 Average parameter of biomarkers of crude oil and source rocks on south slope of the Dongying Sag, the Bohaiwan Basin

样品	层位	C <sub>29</sub> ααα 20S/ (20S+ 20R)	C <sub>29</sub> ββ/ (ββ+ α)	T <sub>s</sub> /T <sub>m</sub>	C <sub>30</sub> β <sub>α</sub> /αβ	C <sub>31</sub> αβ 22S/ (22S+ 22R)	C <sub>27</sub> /C <sub>29</sub> ααα20R	γ- 蜡烷/ C <sub>30</sub> αβ	(22S+ 22R) C <sub>35</sub> /C <sub>33</sub>	ααα20R, %			Pr/Ph	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>
										C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>			
烃源岩	E <sub>s</sub> <sup>3</sup>	0.423/3		1.025/3				0.073/3					1.49/3		
	E <sub>s</sub> <sup>4</sup>	0.244/8	0.300/3	0.570/8	0.160/3	0.470/3	0.834/5	0.899/8	1.295/3				0.42/6		
	E <sub>k</sub>	0.476/5	0.431/5	0.525/5	0.190/5	0.571/5	0.738/5	0.394/5	0.370/4	28.31/5	32.76/5	38.93/5	0.40/1	0.80/1	0.26/1
原油	E <sub>s</sub> <sup>2</sup>	0.420/1	0.344/1	0.529/1	0.151/1	0.589/1	0.812/1	0.647/1	0.563/1	32.91/1	26.58/1	40.51/1			
	E <sub>s</sub> <sup>3</sup>	0.376/2	0.402/2	0.549/2	0.129/2	0.560/2	0.875/2	0.766/2	0.298/1	33.99/2	26.19/2	39.82/2			
	E <sub>s</sub> <sup>4</sup>	0.328/1	0.430/1	0.450/1	0.150/1	0.510/1	0.561/1	1.000/1	0.430/1	26.64/1	26.03/1	47.33/1			
	E <sub>k</sub>	0.422/7	0.392/7	0.734/7	0.160/7	0.585/7	0.492/7	1.353/7	0.338/6	23.15/7	28.84/7	48.01/7	0.44/4	1.53/4	2.35/4
	J	0.440/1	0.320/1	0.450/1	0.170/1	0.550/1	0.430/1	0.950/1					0.58/1		
	O	0.487/7	0.477/2	0.695/8	0.186/3	0.566/3	0.618/7	0.673/8	0.683/7	30.19/2	31.32/2	38.48/2	0.68/2	0.20/2	0.30/2

注: 数据格式为参数平均值/样品数。

孔店组烃源岩生物标志化合物与沙三烃源岩明显不同, 与沙四烃源岩既有一定的相似性, 又可以明显地区分。

孔店组与沙四烃源岩的相似性在于: 均具 Ph 优势、γ- 蜡烷含量较高、成熟度较低的特点。

孔店组与沙四烃源岩的区别之处在于: 1) 孔店组烃源岩五升藿烷含量比较低、三升藿烷含量比较高, 因而 (22S+ 22R) C<sub>35</sub>/C<sub>33</sub> 值小; 2) 孔店组烃源 S 构型程度比较高、R 构型程度比较低, 因此 C<sub>29</sub>ααα20S/(20S+ 20R) 值较大。如图 1、2 所示, 根据烃源岩 γ- 蜡烷/C<sub>30</sub>藿烷值和烃源岩 T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub> 能够很好地将沙三下亚段烃源岩同沙四上亚段及孔店组烃源岩区分开来; 再根据 C<sub>29</sub>ααα20S/(20S+ 20R) 则可以较好地将沙四上亚段同孔店组烃源岩区分开来。

因此, 东营凹陷典型烃源岩除了“沙三型”、“沙四型”2 种以外, 还应包括“孔店型”烃源岩。

### 1.3.2 孔店组烃源岩不同样品间的源-源对比

虽然东营凹陷孔店组烃源岩的样品并不多, 但笔者发现不同样品之间生物标志化合物特征仍存在微妙的差异, 尤其是反映有机质来源及类型的 C<sub>27</sub>—C<sub>29</sub> 甾烷相对含量。表 2 说明, 东营凹陷南斜坡孔店组烃源岩规则甾烷的分布, 一般以来源于高等植物的 C<sub>29</sub> 甾烷占优势, 但来源于浮游生物(主要为藻类)的 C<sub>27</sub> 甾烷随井位而变化。王家岗地区王 96 王 130 及王斜 95 等井规则甾烷相对分布以 C<sub>27</sub> 甾烷相对含量最低, 即 C<sub>29</sub>> C<sub>28</sub>> C<sub>27</sub>; 而更靠近洼陷的王 46 井的规则甾烷中, C<sub>27</sub> 明显增加, 规则甾烷含量呈“V”型分布, 反映由南斜坡向北往洼陷深部, 孔店组有机质来源及类型有优化的趋势。由此推测, 在牛庄洼陷等孔店组沉积中心, 应该分布有比王 46 井所发现的孔店组烃源岩品质更优的烃源岩。

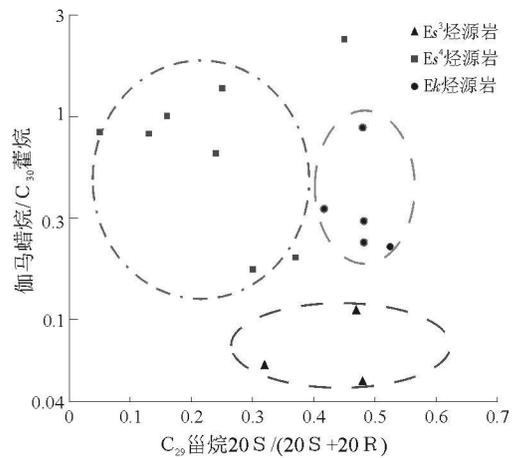


图 1 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩 γ- 蜡烷/C<sub>30</sub>藿烷与 C<sub>29</sub>甾烷 20S/(20S+ 20R) 关系

Fig. 1 Relationship between gammacerane/C<sub>30</sub> hopanes and C<sub>29</sub>ααα20S/(20S+ 20R) ratios of source rocks in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin

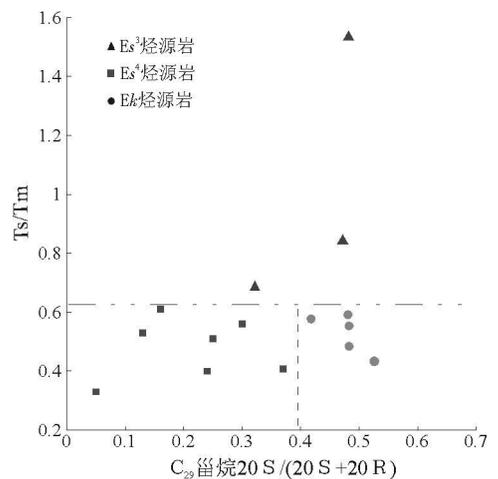


图 2 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩 T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub> 与 C<sub>29</sub>甾烷 20S/(20S+ 20R) 关系

Fig. 2 Relationship between T<sub>s</sub>/T<sub>m</sub> and C<sub>29</sub>ααα20S/(20S+ 20R) ratios of source rocks in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin

表 2 渤海湾盆地东营凹陷孔二段烃源岩  $C_{27}$ — $C_{29}$  甾烷相对含量对比

Table 2  $C_{27}$ — $C_{29}$  Sterane content of  $E_k^2$  Source rocks in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin

井号	$C_{27}$ 甾烷, %	$C_{28}$ 甾烷, %	$C_{29}$ 甾烷, %
王斜 95	28.746	34.504	36.750
王 130	28.051	37.663	4.286
王 96	27.991	35.462	36.547
王 46	36.300	26.300	37.300

1.3.3 油—源对比

将东营凹陷南斜坡的不同层位的原油, 同上述“沙四型”、“沙三型”和“孔店型”烃源岩进行对比, 可以帮助确定其原油来源。

从  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$  藿烷对  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S+20R)$  的关系图(图 3) 上可以看到, 东营凹陷南斜坡的原油的  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值高于沙三型烃源岩, 接近沙四型烃源岩与孔店型烃源岩。说明东营凹陷南斜坡的原油主要不是来源于沙三型烃源岩。

然而, 进一步对比图 3 发现, 原油的  $C_{29}$  甾烷  $20S/(20S+20R)$  明显高于沙四型烃源岩, 而更接近孔店型烃源岩。这说明这些原油可能来自沙四段与孔店组的混源, 甚至来源于孔店组烃源岩的可能性更大。

藿烷/莫烷(即  $C_{30}\beta\alpha/\alpha\beta$ ) 比值以及升藿烷的  $22S/(22S+22R)$  比值, 均能反映有机质的成熟度。在  $C_{30}\beta\alpha/\alpha\beta$  与升藿烷  $22S/(22S+22R)$  交汇图上(图 4), 可以清楚地区分沙四段、孔店组烃源岩及其原油, 沙四烃源岩成熟度偏低, 孔店烃源岩相对偏高。南斜坡原油, 特别是前第三系原油均与孔店组烃源岩更为相似(表 1)。

可见, 孔店组烃源岩与沙四段烃源岩特征相似, 但二者是有区别的; 部分原油, 特别是深层原油与孔店组烃源岩具有亲缘关系。过去认为是来自沙四段烃源岩的原油, 一部分是来源于孔店组。

2 孔店组烃源岩特征及生烃潜力

2.1 烃源岩地球化学特征

总体而言, 东营凹陷, 乃至整个济阳拗陷的孔店组烃源岩研究程度仍比较低, 近十年来的研究成果大体能揭示孔店组烃源岩的基本地球化学特征。

济阳拗陷惠民凹陷盘河地区的盘深 1、盘深 3 等井在孔二段钻遇了数十米厚的灰色泥岩。系统地评价分析发现, 该处孔二段暗色泥岩有机质丰度低( $TOC < 0.4\%$ )、干酪根类型(— 2)差、有机质成熟度偏高, 属于较差的烃源岩。不过这些并未

钻在孔二段沉积中心, 不排除沉积中心发育更好些烃源岩的可能性<sup>[10, 13]</sup>。济阳拗陷沾化凹陷东部的桩北洼陷的桩深 1 井钻遇 200 余米孔二段深灰色、灰色泥岩。分析结果表明, 孔二段有机碳含量为 0.17%~0.82%, 干酪根类型为 Ⅱ型, 成熟度较高。综合评价孤北洼陷孔二段为差—中等的烃源岩<sup>[14]</sup>。最近在济阳拗陷东营凹陷的王 46 井钻遇孔店组二段灰色、深灰色泥质岩, 岩心地球化学测试表明, 其有机碳含量一般在 0.32%~1.32% 之间, 干酪根类型以 Ⅱ— Ⅰ型为主, 镜质体反射率为 1.11%~1.24%, 具有一定的生油潜力。

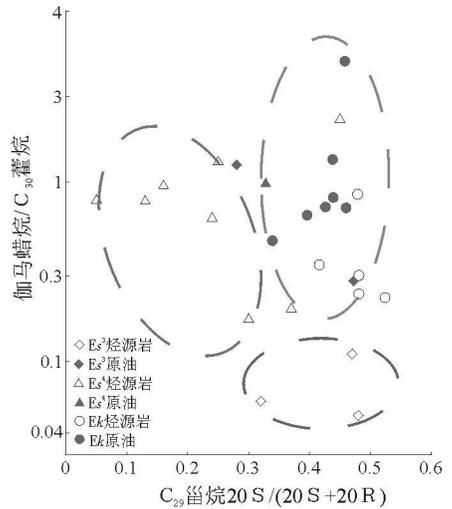


图 3 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩及原油  $\gamma$ -蜡烷/ $C_{30}$  藿烷对  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$  关系

Fig. 3 Relationship between gammacerane/ $C_{30}$  hopanes and  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$  ratios in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin

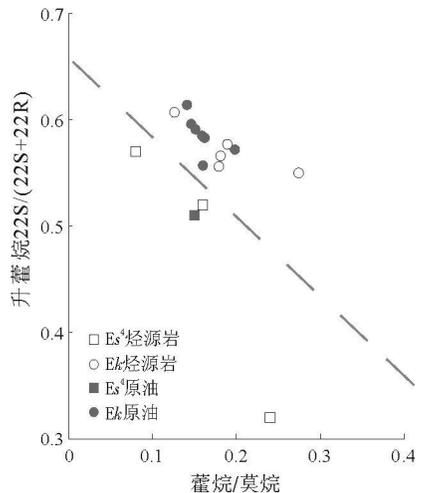


图 4 渤海湾盆地东营凹陷烃源岩及原油中藿烷/莫烷与升藿烷  $22S/(22S+22R)$  关系

Fig. 4 Relationship between  $C_{30}\beta\alpha/\alpha\beta$  and  $C_{30}\alpha\beta 22S/(22S+22R)$  ratios of source rocks and crude oil in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin

表 3 渤海湾盆地东营凹陷南斜坡 3 种重要烃源岩特征对比表

Table 3 Comparison among three types of main source rocks in south slope of the Dongying Sag, the Bohaiwan Basin

层位	孔店组(孔二段)	沙四上亚段	沙三下亚段
岩性	灰色—深灰色泥岩、油页岩、炭质泥岩及煤层	灰色—深灰色泥页岩、钙质泥岩夹油页岩,局部鲕状灰岩	褐灰色油页岩、深灰色钙质泥岩、泥页岩
沉积环境	微咸—半咸还原环境	浅湖半咸水沉积环境	潮湿、微咸水深湖环境
沉积厚度/m	200~ 500	100~ 250	200~ 300
有机碳含量, %	0.32~ 1.32	2~ 11	2~ 5
沥青“ A”含量, %	0.19 ~ 0.30	多数> 0.6	多数> 0.4
干酪根类型	2 和 为主	和 1 为主	1 为主
R <sub>o</sub> , %	0.77~ 1.24	0.45~ 0.90	0.32~ 0.64
有机质来源	高等植物和浮游生物	水生生物组成为主	水生生物和陆源高等植物

### 2.2 烃源岩分布特征

孔店组地层是在东营断陷凹陷发育早期的充填式沉积,在典型剖面上,自下而上是由红粗(孔三段)—黑细(孔二段)—红粗(孔一段)3大岩性层段组成完整的沉积旋回<sup>[9]</sup>。

东营凹陷博兴洼陷的柳参 2 井、利津洼陷的东风 6 井、以及王家岗地区的王 46 井,均钻遇了孔二段暗色泥岩。其中王 46 井孔二段 4 203.0~ 4 206.3 m 的岩心为深灰色泥岩,是迄今在东营凹陷内揭示的最优质的烃源岩,具有良好的生油潜力。利津和博兴洼陷分别为孔店组的 2 个沉积中心,孔二段厚度为 200~ 500 m,平均厚度为 300 m 左右。

总之,从沉积环境、有机质来源及成熟度等方面,孔店组烃源岩与沙三、沙四型烃源岩有显著区别<sup>[15]</sup>(表 3)。

### 2.3 生烃潜力

通过对东营凹陷孔二段泥岩沉积环境和生烃指标等进行综合分析,发现东营凹陷孔店组是一套微咸—半咸还原沉积泥岩,有机质成熟度已进入成熟阶段。源—源对比结果表明,孔店组烃源岩与沙三段烃源岩不同,与沙四段烃源岩相似,但可以区分。油—源对比结果还表明,南斜坡深层原油与孔店组烃源岩具有一定的亲缘关系。根据石油地球化学对比结果和孔店组烃源岩特征,综合判断东营凹陷孔店组孔二段应是一套不可忽视的重要烃源岩。至于孔店组烃源岩具有怎样的生烃潜力,按照其有机质类型向洼陷深部逐渐优化的趋势推测,应抱乐观态度。

## 3 结论与讨论

1) 烃源岩地球化学特征表明,东营凹陷南斜坡孔店组烃源岩以较高的伽马蜡烷区别于沙三型烃

源岩,又以较高的三升藿烷和 C<sub>29</sub> 甾烷 S 构型区别于沙四型烃源岩。

2) 东营凹陷南斜坡油源对比结果显示,孔店组及其以下的深层石油与孔店组烃源岩生物标志化合物特征对比得较好,显示孔店组烃源岩对于深层油气的重要意义。

3) 东营凹陷南斜坡孔店组沉积于微咸—半咸滨湖相沉积环境,孔二段暗色泥岩有机质含量较低、有机质类型较差,热演化已进入了较高成熟阶段,目前的综合评价属于较差的烃源岩。但其有机质类型有向北优化的趋势,推测洼陷深部发育更优质的孔二段烃源岩,生烃潜力可观。

### 参考文献:

- 1 王秉海,钱凯.胜利油区地质研究与勘探实践[M].东营:石油大学出版社,1992
- 2 刘伟,肖传桃,吕优良.东营凹陷南斜坡东段潜山油气成藏条件分析[J].江汉石油学院学报,2004,26(增刊):6~7
- 3 王圣柱,金强,王强.东营凹陷胜坨地区油气运移方向研究[J].油气地质与采收率,2004,11(6):19~21
- 4 朱光有,金强.东营凹陷两套优质烃源岩层地质地球化学特征研究[J].沉积学报,2003,21(3):506~512
- 5 张守春.东营凹陷沙三段烃源岩生烃模式研究[J].油气地质与采收率,2005,12(4):49~51
- 6 刘伟.东营凹陷沙河街组烃源岩结构对排烃及成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2005,12(5):30~33
- 7 张林畔,蒋有录,刘华等.东营凹陷油源特征分析[J].石油勘探与开发,2003,30(3):61~64
- 8 赵阳.渤海湾盆地东营凹陷南区通王断裂带下第三系成藏动力及输导体系特征[J].石油实验地质,2004,26(6):557~561
- 9 陈建渝,彭晓波,张冬梅等.济阳坳陷古新世孔店组生烃潜能评价[J].石油勘探与开发,2002,29(3):17~20
- 10 许建华,王思文,周季军等.惠民凹陷孔二段烃源岩综合评价[J].特种油气藏,2003,10(2):31~33
- 11 吕明才,张立强,史文东等.东营凹陷南斜坡孔店组冲积体系碎屑岩储层特征及评价[J].西安石油大学学报(自然科学

- 版), 2004, 19(6): 5~ 9
- 12 许卫平, 田海芹. 东营凹陷—惠民凹陷孔店组层序地层学研究  
与油气勘探[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(6): 28~ 30
- 13 许建华, 肖焕钦, 黄梦云. 盘河地区深层孔店组石油地质特  
征[J]. 特种油气藏, 2001, 8(4): 8~ 12
- 14 陈广军, 张林晔. 胜利油区孤北洼陷孔店组生烃潜力探讨[J].  
断块油气田, 2002, 9(6): 9~ 12
- 15 林会喜. 渤海湾盆地东营凹陷古近系沙河街组三段沉积相  
类型及平面分布特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1):  
55~ 61

## CHARACTERISTICS OF SOURCE ROCK OF THE KONGDIAN FORMATION IN SOUTH SLOPE OF THE DONGYING SAG, THE BOHAIWAN BASIN

Yuan Caiping<sup>1</sup>, Xu Sihuang<sup>1</sup>, Jia Huofu<sup>1</sup>, Wang Xinzhen<sup>2</sup>, Han Zhongyi<sup>2</sup>

(1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Xianhe Oil Production Plant, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257068, China)

**Abstract:** The source rocks of lower Es<sup>3</sup> and upper Es<sup>4</sup> are high quality source rock in the Dongying Sag of the Bohaiwan Basin. It was considered that the crude oil on south slope of the Dongying Sag mainly came from Es<sup>4</sup> source rock; while it was argued that whether Ek<sup>2</sup> can generate hydrocarbon. The correlation between oil and source rock shows that Ek<sup>2</sup> source rock differs from Es<sup>3</sup> source rock with higher gammacerane and differs from Es<sup>4</sup> source rock with higher trishomohopane and S configuration of C<sub>29</sub> sterane. There is consanguinity between crude oil in deeper layers and Ek<sup>2</sup> source rock. Although Ek<sup>2</sup> source rock was found belongs to bad source rock with lower organic carbon, poorer type of kerogen and higher maturity, it optimizes toward the sag center based on biomarkers. So it is presumed that there would be good source rock of Ek<sup>2</sup> in its sedimentary center, and the genetic potential of Ek<sup>2</sup> would be large.

**Key words:** source rock; correlation of oil-source rock; biomarkers; the Kongdian Formation; the Dongying Sag; the Bohaiwan Basin

(continued from page 176)

than that from total rock in the presence of element sulfur. Carbon isotopic values of methane from total rock series are lightening with the increasing maturity of organic matter in the presence of element sulfur. Mechanics analysis revealed that element sulfur is mostly effect carbon isotopic values of methane as a reactant.

**Key words:** sulfur; carbon isotopic fractionation; methane; thermal simulation experiment