

## 阳信洼陷古近系湖盆复合生烃系统的地球化学特征\*

陈中红, 查明

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 东营 257061)

**摘要:**古近系沙河街组是阳信洼陷最重要的生烃层段。其湖盆充填具阶段性和沉积演化的旋回性, 形成了由沙四段、沙三段与沙一段组成的复合生烃系统和不同的地球化学特征。利用 Rock-Eval 生油岩评价仪、色谱—质谱仪等实验分析技术对不同层系样品进行了地球化学特征分析研究, 其中生烃潜力指标包括有机碳含量(TOC)、残余生烃潜量( $S_1 + S_2$ )、氢指数  $I_H$ 、氯仿沥青“A”; 成熟度指标包括热解峰温  $T_{max}$ 、奇偶优势参数 OEP、饱和烃轻重比( $C_{21} + C_{22}$ )/( $C_{28} + C_{29}$ )及  $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$ 、镜质体反射率  $R_o$ 、萘烷/藿烷及甾烷生物标志物参数  $C_{29}\beta\beta$  ( $\beta\beta + \alpha\alpha$ )、 $C_{29}\alpha\alpha$ 20S (20S + 20R); 古环境指标包括异构烷烃参数 Pr/Ph、Pr/n -  $C_{17}$ 、Ph/n -  $C_{18}$  及伽马蜡烷等。结果表明, 沙四段为弱还原 - 还原性的半深湖沉积, 沉积了一套中等厚度、分布局限的烃源岩(TOC 平均为 1.5%), 其较深位置的烃源岩基本进入成熟阶段, 多形成成熟油; 沙三段属弱还原 - 还原性的半深湖 - 深湖环境, 其烃源岩中有机质丰度较高(TOC 平均为 3.5%), 大部分烃源岩处于未成熟 - 低成熟状态, 主要形成未熟油; 沙一段为湖水咸化、还原性的半深湖相环境, 其烃源岩中有机质丰度高(TOC 平均为 5% 左右), 但处于未成熟阶段, 主要生成生物气。

**关键词:**阳信洼陷; 烃源岩; 生油岩; 生烃系统; 地球化学

## Multiplex hydrocarbon-generation system in Yangxin Sub-depression and its exploration potential

CHEN Zhonghong & ZHA Ming

(China University of Petroleum, Dongying, 257061, P. R. China)

**Abstract:** The shahejie Formation of Paleogene System is the most important hydrocarbon generation interval in Yangxin Sub-depression. Multiplex-set hydrocarbon generation series of strata being of different geological-geochemical characteristics were formed because of the staging property of the filling and evolution of Paleogene lake basin and the cyclicity of sedimentary process. The organic carbon content, the parameters of pyrolysis and biomarker characters of saturated hydrocarbon was investigated by using the means of Rock-Eval, GC-MS. The Sha-4 hydrocarbon source rocks formed under the semi-saline to saline water environment, the content of organic matter (TOC) was 1.5% averagely, and most of them was being matured and formed into matured oil; The Sha-3 hydrocarbon source rocks formed under the deep-lake environment with fresh-slight saline water, the content of organic matter(TOC) was 3.5% averagely, and most of them was still immature and formed into immature oil; The Sha-1 immature hydrocarbon source rocks formed under the salt lake-saline water environment, the content of organic matter(TOC) was 5.0% averagely, they are formed into biogas.

**Keywords:** Yangxin Sub-depression; source rock; hydrocarbon generation system; geochemistry

受盆地结构及其多旋回演化的控制, 陆相断陷湖盆普遍具有多沉降中心、多物源供给及多沉积旋回, 形成了多套有机地球化学特征不同的复合烃类流体系统<sup>[1-9]</sup>, 具体表现为各子生烃系统中烃类地球化学指标有着一定差异, 如生油母质的多样性, 既有来自陆源高等植物碎屑的有机组份, 也有来自水生生物和藻类等有机组份; 沉积环境的多样性, 既有盐湖、咸水湖相沉积环境, 也有淡水或半咸水湖相沉积; 成熟度的多样

\* 国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA605A-09-21)资助。2006-03-06 收稿; 2006-07-14 收修改稿。  
陈中红, 男, 1976 年生, 博士, 讲师; Email: hongczh@163.com.

性,从低熟-未熟油到成熟油-高熟油,显示原油成熟度的多阶性<sup>[10]</sup>。如东营凹陷<sup>[11,12]</sup>和沾化凹陷<sup>[13,14]</sup>作为中国东部陆相断陷湖盆的典型代表,其各子生烃系统中地球化学指标就显示出明显不同的特征。

阳信洼陷位于惠民凹陷的东北部,北到无棣凸起,南接临邑中央隆起带,西以沙河街构造与惠民凹陷的次一级凹陷滋镇向斜相连,东与沾化凹陷的流钟向斜及滨县凸起相接,是一个以新生界沉积为主的箕状洼陷,北陡南缓,北超南剥<sup>[15]</sup>。现已发现有成熟油、低熟油、生物气和二氧化碳气等多种油气类型<sup>[16]</sup>。随着阳101井在沙四段上亚段获得了工业油流<sup>[17]</sup>,引起人们对该区资源潜力和油气远景的关注。与我国其它陆相断陷湖盆相似,一方面富含有机质的生烃洼陷控制了油气资源的富集程度<sup>[18,19]</sup>,另一方面,断陷湖盆的沉积结构特征决定了其中复合生烃系统的形成。本研究主要根据钻井岩芯的测试数据结果,拟对阳信洼陷古近系湖盆的多旋回的沉积和充填特征以及复式生烃系统的形成与地球化学特征作初步分析。

## 1 区域背景与分析方法

### 1.1 构造特征及湖盆演化

阳信地区自下而上发育了太古界、中生界和新生界地层,新生界古近系是洼陷的主体地层。古近系依次沉积了孔店组、沙河街组四段(后文简称沙四段)、沙河街组三段(沙三段)、沙河街组二段(沙二段)、沙河街组一段(沙一段)及东营组地层,其中孔店组依次沉积了孔店组二段(孔二段)及孔店组一段(孔一段),沙三段依次沉积了沙三段下亚段(沙三下)、沙三段中亚段(沙三中)、沙三段上亚段(沙三上)。

孔店组和沙四段时期古湖盆处于下沉阶段的水进时期。孔二段时期该区为弱还原-还原沉积环境,在深洼区可能发育了较厚的暗色地层,孔一段时期水位较浅,主要沉积了一套不等厚互层的紫色泥岩与浅棕色粉-细砂岩。沙四段下亚段沉积时期时水位上升,以棕色泥岩、泥砂和灰质砂岩沉积为主;到沙河街组四段上亚段水位大幅度上升。深洼陷区发育了较厚的暗色地层,包括灰色油页岩、油泥岩,构成了本区主要的烃源岩层系。沙三下时期处于深湖相的相对稳定阶段,沉积了一套暗色泥岩和油页岩为主的地层,面积分布较广。沙三中至沙二段,湖盆抬升,湖水变浅,以油泥岩和砂岩沉积为主。沙二段沉积时期,气候干旱,湖水变浅,滨浅湖和三角洲广泛分布,以砂岩沉积为主,多发育小型扇体及席状砂,此时期烃源岩不发育。沙一段沉积时期,湖盆开始下沉,再次水进为半深湖相环境,洼陷内沉积了一套以暗色泥岩为主的地层,由浅湖相-半深湖相的深灰色、灰黑的泥岩、油泥岩和油页岩组成,其中生物灰岩和油页岩相对比较发育。东营时期湖盆开始隆升遭剥蚀,直至上第三系馆陶组时期地壳下沉,沉积了一套较厚的河湖相沉积。

### 1.2 实验流程

实验流程如下:①以氯仿为溶剂,70℃恒温下在索氏抽提器中连续抽提72 h。②取抽提物10-15 mg,加入石油醚溶解,反复冲洗后移至烧瓶中,静置24 h(烧瓶中有石油醚100 ml左右),过滤。不溶部分即为沥青质,可溶部分为饱和烃、芳香烃和非烃的混合物。准备硅胶-氧化铝充填柱,氧化铝在450℃恒温下连续活化5 h,硅胶在150℃恒温下连续活化8 h。硅胶和氧化铝以3:1的比例填入色谱柱中(硅胶在上,氧化铝在下)。用石油醚润湿柱子后,倒入样品滤液,加石油醚冲洗得到饱和烃,二氯甲烷冲洗得到芳烃,乙醚冲洗得到非烃。

### 1.3 分析仪器及条件

(1)抽提:索氏抽提器。(2)有机碳分析:LECWR-112型仪器。(3)热解:Rock-Eval II型生油岩分析仪。(4)GC-MS分析:仪器为美国HP公司的HP-Chemstation-色谱连用仪。型号:色谱为HP-5890 II型,质谱为HP-5890A型,色谱柱为DB5-MS,柱长60 m,内径0.25 mm。起始温度100℃,升温速率4.0℃/min,温度终点320℃,终点时间20.00 min,气化室及传输管线温度310℃,离子源温度250℃,柱前压为170 kPa,分流比为20:1,载气为氦气,电子能量70 eV,扫描速率为0.46 can/s,离子化方式为电子轰击。

## 2 结果与讨论

### 2.1 沙四段( $E_{s4}$ )生烃系统

沙四段烃源岩样品有机碳含量(TOC)从0.27%到2.79%,平均值为1.5%;残余生烃潜量( $S_1 + S_2$ )值变化范围从0.03 mg/g到21.5 mg/g,平均值为3.66 mg/g;氢指数 $I_H$ 值变化范围从6.97 mgHc/g到653.13

mgHc/g(图1). 氯仿沥青“A”为0.01% - 1.839%, 平均为0.2761%; 有机质类型主要为I型、II型干酪根, 含有部分III型干酪根.

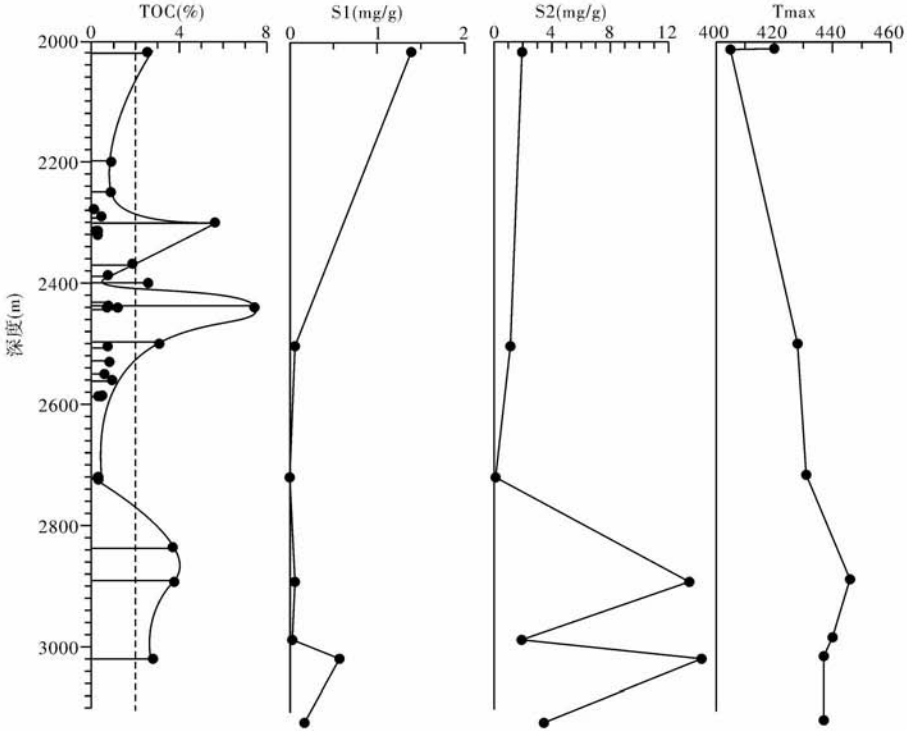


图1 阳信洼陷沙四段烃源岩地球化学参数分布

Fig. 1 The distribution of the geochemistry parameters of the source rocks in the Member-4 of Shahejie Formation

热解峰温  $T_{max}$  分布范围为 341 - 549°C, 平均为 430°C; 奇偶优势参数 OEP 值为 0.87 - 3.47, 平均值为 1.3, 表现出较弱的奇碳数优势; 饱和烃轻重比  $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$  分布于 0.34 - 18.59, 主要分布区间为 0.35 - 2.25;  $\Sigma C_{21-} / \Sigma C_{22+}$  分布于 0.16 - 1.93, 主要分布区间为 0.16 - 0.89 (图2); 源岩镜质体反射率  $R_o$  值分布于 0.34% - 0.86%, 大部分大于 0.5%; 莫烷/藿烷分布于 0.12 - 0.72, 主要分布区间为 0.12 - 0.24; 部分样品莫烷/藿烷小于 0.15 (主要是中下部地层), 表明  $E_{s4}$  中下部地层烃源岩演化已至成熟期; 升藿烷有一定的含量, 但大多数样品 (主要是中下部地层) 的三、四环藿烷已经有一定的含量, 表明已至成熟期; 反映热演化程度的两生物标志物  $C_{29}\beta\beta$  ( $\beta\beta + \alpha\alpha$ )、 $C_{29}\alpha\alpha 20S$  ( $20S + 20R$ ) 基本落在图 3a 两区域内, 分别代表成熟烃源岩及未熟烃源岩分布. 上述热演化参数分布特征表明沙四段部分样品进入成熟阶段, 洼陷边缘的源岩仍然处于未成熟状态.

沙四段岩样的主峰碳分布多为  $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ , 部分分析样品表现出不同幅度的双峰群分布, 其正构烷烃分布曲线表现为为齿状的非平滑曲线, 这种双峰形的谱线是多源有机质或其差异成熟作用的反映. 异构烷烃参数  $Pr/Ph$  为 0.1 - 3.26, 平均值为 0.78, 部分样品  $Pr/Ph$  值大于 1.0, 显示出一定的姥鲛烷优势;  $Pr/n-C_{17}$  分布于 0.20 - 4.40, 平均值为 1.58;  $Ph/n-C_{18}$  分布于 0.53 - 9.04, 平均值为 2.16;  $(Pr + Ph) / (nC_{17} + nC_{18})$  分布于 0.46 - 3.74, 平均值为 1.75;  $Ts/Ts + Tm$  分布于 0.13 - 0.78, 平均值为 0.30; 莫烷/藿烷分布于 0.12 - 0.72, 平均值为 0.23; 伽马蜡烷/藿烷分布于 0.09 - 3.53, 平均值为 0.47. 其中阳 8 井 3793.7 m 和 3794.0 m 的灰色泥岩及灰黑色泥岩样品的伽马蜡烷/藿烷分别达 1.38 及 3.53, 显示了高盐度强还原性的沉积环境. 上述参数特征表明, 沙四段沉积时期, 阳信洼陷古湖盆的发育比较局限, 洼陷沉降中心可能水体较深, 属弱还原 - 还原性的半深湖沉积环境; 湖盆边缘水体较浅, 为弱氧化性的滨浅湖及三角洲环境.

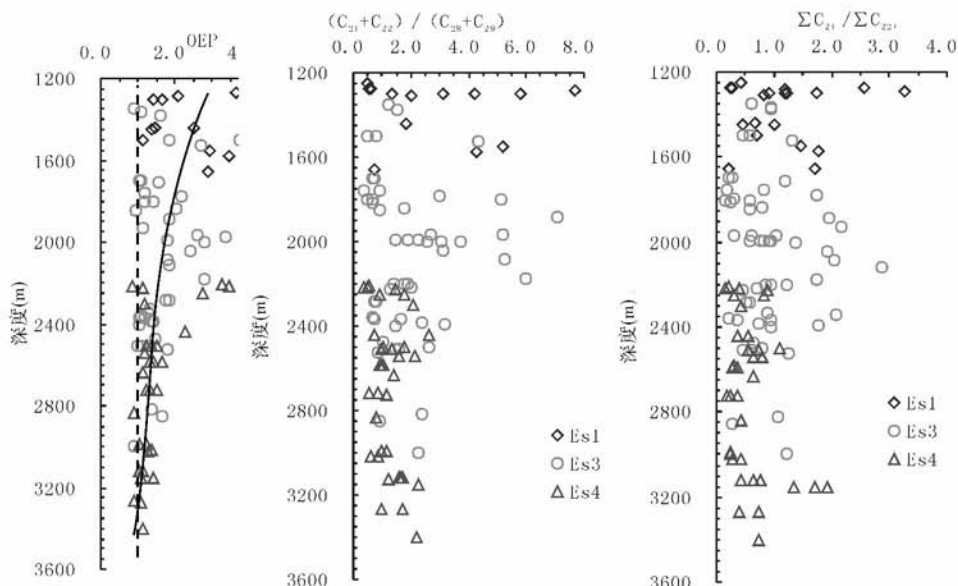


图2 阳信洼陷古近系烃源岩热演化剖面

Fig. 2 The thermal evolution section of the source rocks in Paleogene system

以上表明,沙四段以形成成熟油为主,其原油物性相对具有三低特征:低密度、低粘度和低含硫量;族组分表现为高总烃、低沥青质和低胶质含量。原油正构烷烃 Pr/Ph (姥植比) 值较高,达到 0.9 左右,成熟度指标  $C_{29}20S/C_{29}$  ( $20S + 20R$ ) 大于 0.4,  $R_o$  基本大于 0.5, 沉积环境指标伽马蜡烷/ $C_{30}$  - 藿烷值为 0.3 - 0.5, 说明原油主要是来自咸化水体和强还原环境的沙四段上亚段成熟烃源岩,但也有部分沙四段的原油仍未达到成熟。

作为中国东部陆相断陷湖盆典型代表的东营凹陷和沾化凹陷,其沙四段上部烃源岩的还原性咸水湖相有机质特征也十分明显,正构烷烃呈“单峰型”分布,植烷优势十分明显(东营凹陷 Pr/Ph < 0.6, 沾化凹陷 Pr/Ph < 0.65),主峰碳位于  $nC_{14}$ - $nC_{24}$  之间,多数主峰碳为  $nC_{16}$  或  $nC_{18}$ ; 孕甾烷和升孕甾烷含量较高,反映出源岩成熟度较高;甾烷系列中  $C_{27}$  甾烷含量高于  $C_{29}$  甾烷,说明有机质来源由水生生物组成为主;三萜烷系列中具有伽马蜡烷含量高的特征,东营凹陷伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷均大于 1.2, 沾化凹陷伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷比值大于 0.25),长链藿烷分布具有  $C_{35}$  藿烷 >  $C_{34}$  藿烷 >  $C_{33}$  藿烷的“翘尾”特点,4 甲基甾烷含量低,生物标志物的这些组合特征充分体现了沙四段上部沉积是在高盐度环境下形成的,其中有机碳含量高(东营凹陷 TOC 分布于 0.6% - 8.2%, 沾化凹陷 TOC 分布于 1.5% - 4.0%, 多数大于 2.0%),形成了优质烃源岩<sup>[11,14]</sup>。与东营凹陷和沾化凹陷相比较,阳信凹陷还原性指标参数整体下降,生烃指标相对较低(TOC 从 0.27% 到 2.79%, 平均值为 1.5%),主要是由于阳信洼陷古湖盆的发育相对比较局限,湖盆水体相对较浅,导致其烃源岩的生烃能力下降。

## 2.2 沙三段生烃系统(Es<sub>3</sub>)

沙三段烃源岩主要由半深湖-深湖相的深灰色、灰黑色泥岩、油泥岩、油页岩等组成,厚度 100 - 800 m, 洼陷中心厚度达 1200 m。沙三段样品 TOC 从 1.05% 到 13.15%, 平均值为 3.53%;  $S_1 + S_2$  值变化范围从 0.27 mg/g 到 84.82 mg/g, 平均值为 20.33 mg/g(图 4);  $I_{11}$  值变化范围从 3.53 mgHc/g 到 693.13 mgHc/g, 平均值为 532.6 mgHc/g。氯仿沥青“A”为 0.05% - 1.0657%, 平均为 0.2212%; 有机质类型主要为 I 型干酪根, 少部分为 II 型、III 型干酪根。沙三段烃源岩生烃指标较沙四段有了明显的提高,反映了古湖盆沉降加剧,湖盆水体逐渐变深的过程。

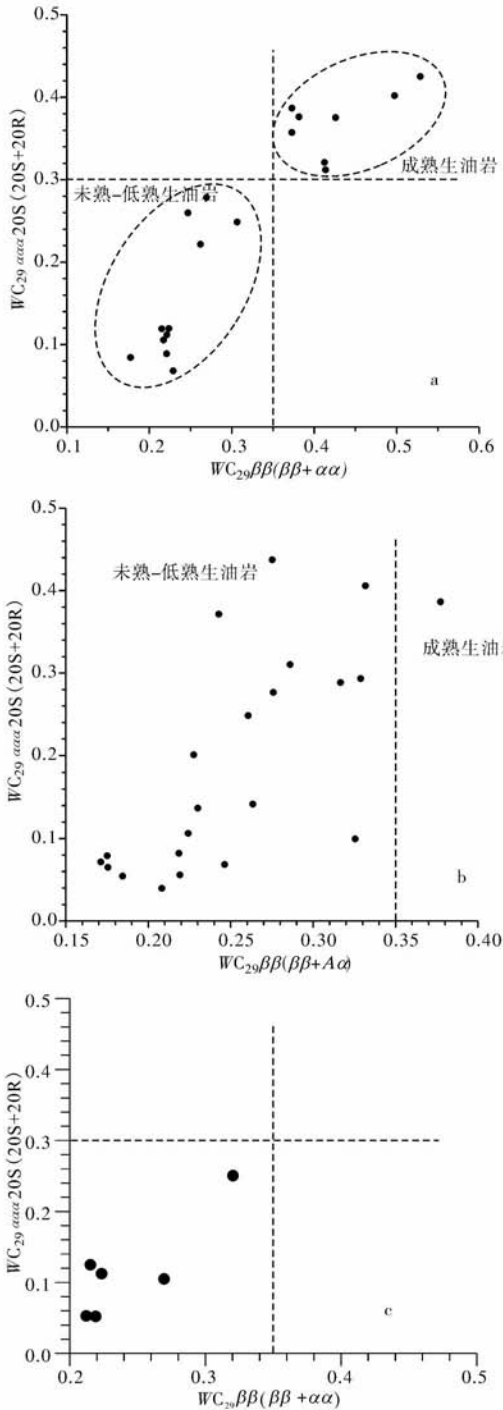


图3 古近系烃源岩  $C_{29}\beta\beta(\beta + \alpha)$ 、 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S(20S + 20R)$  点分布

Fig. 3 The distribution of  $C_{29}\beta\beta(\beta + \alpha)$ 、 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S(20S + 20R)$  of the source rocks in Paleogene system

$T_{max}$  分布范围为 311 - 547℃, 平均为 418℃; OEP 值为 0.90 - 8.04, 平均值为 1.95, 表现出明显的奇碳数优势; 饱和烃轻重比  $(C_{21} + C_{22}) / (C_{28} + C_{29})$  分布于 0.39 - 15.89, 平均值为 2.19, 主要分布区间为 1.24 - 5.97;  $\Sigma C_{21} / \Sigma C_{22}$  分布于 0.16 - 2.87, 平均值为 0.92, 主要分布区间为 0.5 - 2.0, 具重组分含量高的特征;  $R_o$  值分布于 0.29% - 0.60%, 主要分布于 0.29% - 0.45%, 表明其烃源岩热演化程度较低; 萘烷/藿烷分布于 0.13 - 0.53, 平均值为 0.21; 升藿烷有一定的含量, 但大多数样品的三、四环萘烷含量非常低; 生物标志物  $C_{29}\beta\beta(\beta + \alpha)$  和  $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S(20S + 20R)$  基本落在 [0.35, 0.3] 内 (图 3b)。上述热演化参数分布特征表明沙三段样品基本上处于未成熟状态。

对比沙四段岩样数据, 沙三段岩样主峰碳  $C_{27}$  明显增多, 分析样品多表现出不同幅度的双峰群分布; 异构烷烃参数 Pr/Ph 为 0.31 - 1.79, 平均值为 0.67, 31% 的样品 Pr/Ph 值小于 0.5, 90% 的样品 Pr/Ph 值小于 1.0, 显示出弱的植烷优势; Pr/n -  $C_{17}$  分布于 0.51 - 5.94, 平均值为 1.46; Ph/n -  $C_{18}$  分布于 0.31 - 13.52, 平均值为 2.86;  $(Pr + Ph) / (nC_{17} + nC_{18})$  分布于 0.53 - 8.76, 平均值为 2.0; Ts/Ts + Tm 分布于 0.04 - 0.7, 平均值为 0.29; 另沙三段伽马蜡烷/藿烷分布于 0.05 - 1.07, 平均值为 0.18, 数值较沙四段有明显的下降, 反映了古湖泊环境水深增大, 湖面扩大, 盐度降低和水体淡化的演变过程, 属弱还原 - 还原性的半深湖 - 深湖沉积环境。

沙三段主要为低熟油, 原油产量较低, 多属稠油, 具有高密度、高粘度、高含蜡和高含硫的特点。沙三段原油正构烷烃 Pr/Ph 为 0.55 - 0.81; 萘烷标志物伽马蜡烷为 3.81% - 7.81%, 伽马蜡烷值/ $C_{30}$  - 藿烷值在 0.13 - 0.24, 甾烷标志物  $C_{29} 20S / C_{29}(20S + 20R)$  值为 0.26 - 0.39, 也显示原油主要来自沙三段的还原和低成熟环境。

沾化凹陷沙三段烃源岩有机质丰度较高 (沾化凹陷 TOC 在 2.0% - 13.5% 之间, 干酪根类型主要为 I 型, 正构烷烃具有奇碳优势 (图 2); Pr/Ph 在 0.6 - 1.7 之间, 伽马蜡烷/ $C_{30}$  藿烷值小于 0.2, 显示了淡水 - 微咸水的湖相沉积环境; 孕甾烷和升孕甾烷含量降低, 重排甾烷含量增高, 4 甲基甾烷含量十分丰富<sup>[14]</sup>。东营凹陷沙三下和沙三中烃源岩生烃环境和生烃指标有着较大差别, 沙三下为半咸水环境, Pr/Ph 在 0.6 - 1.6 之间, 伽马蜡烷/ $C_{31}$  藿烷值在 0.41 - 1.0 之间, 多数大于 0.5, TOC 含量高 (1.5% - 19.0% 之间, 平均 2.5%), 为东营凹陷的主力烃源岩; 而沙三中为淡水湖相环境, Pr/Ph 大于 1.2, 伽马蜡烷/ $C_{31}$  藿烷值小于 0.5, TOC 含量明显下降 (多数

在 1.0% 左右),生烃能力有限<sup>[11]</sup>。

与东营凹陷和沾化凹陷相比较,阳信凹陷沙三段反映咸水环境的指标参数整体下降,与东营凹陷和沾化凹陷相似,其生烃指标相对较高( TOC 平均值为 3.53%),主要是由于阳信洼陷沙三段古湖盆相对发育,但与东营凹陷和沾化凹陷区别较大的是,阳信洼陷沙三段埋藏较浅,烃源岩整体上未进入成熟门限。

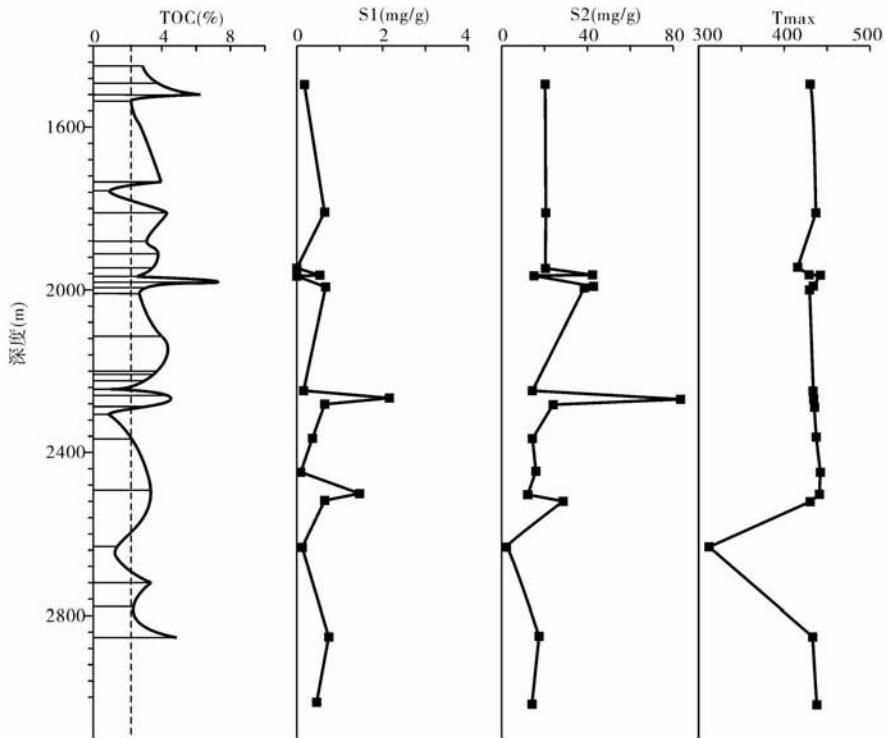


图 4 阳信洼陷沙三段烃源岩地球化学参数分布

Fig. 4 Distribution of the geochemistry parameters of the source rocks in the Member-3 of Shahejie Formation

### 2.3 沙一段生烃系统( Es<sub>1</sub> )

沙一段烃源岩样品 TOC 从 0.14% 到 11.8%, 平均值为 4.97%; 原岩厚度 50 - 100 m, 面积约 1000 km<sup>2</sup>; 氯仿沥青“ A ”为 0.01818% - 0.2927%, 平均为 0.2377%; 有机质以腐泥组为主, 含量在 91.7% - 97.7%, 壳质组和镜质组含量较低, 有机质类型主要为 I 型干酪根。 R<sub>o</sub> 值为 0.26% - 0.36%, 均小于 0.5%; OEP 分布于 1.13 - 4.57, 表现出较为明显的奇碳数优势; 莫烷/藿烷分布于 0.15 - 0.3, 均大于 0.15, 三、四环萜烷含量非常低, 表明其成熟度较低; 生物标志物 C<sub>29</sub>ββ (ββ + αα) 分布于 0.21 - 0.33, C<sub>29</sub>ααα20S (20S + 20R) 分布于 0.05 - 0.26 (图 3c), 表明沙一段烃源岩处于未成熟状态。

沙一段岩样多表现出不同幅度的双峰群分布; 异构烷烃参数 Pr/Ph 为 0.31 - 1.01, 平均值为 0.54, 整体显示出较强的植烷优势; Pr/n - C<sub>17</sub> 分布于 0.44 - 2.88, 平均值为 1.02; Ph/n - C<sub>18</sub> 分布于 0.34 - 3.78, 平均值为 1.72; (Pr + Ph) / (nC<sub>17</sub> + nC<sub>18</sub>) 分布于 0.38 - 2.36, 平均值为 1.32; 沙一段烃源岩中伽马蜡烷高, 伽马蜡烷含量为 6.72% - 24.83%, 伽马蜡烷/藿烷分布于 0.25 - 1.87, 平均值为 0.90, 伽马蜡烷/C<sub>30</sub> - 藿烷值介于 1.01 - 1.87, 高伽马蜡烷指标显示古湖泊可能具有盐跃层的分层水体现象<sup>[20-22]</sup>。微量元素 Fe/Mn 值位于 0.1 - 0.54, Sr/Ba 值为 1.33 - 2.08, 也反映了咸水湖相沉积特征。

沙一段埋深较浅, 最深处仅 1700 m 左右, 因此沙一段到目前还是处于未熟阶段, 主要生成以 CH<sub>4</sub> 为主的生物气, 阳 1、阳 101、阳 16 等井的沙一段均获得工业天然气气流。本段由于咸化和还原相古环境对生物气形成较有利, 同时沉积速率达高 60m/Ma, 也有利于有机质的保存和阻止甲烷的扩散消耗, 减少上覆水体



中溶解的硫酸盐补给,形成了生物气储积的良好地质环境<sup>[23,24]</sup>.

沙一段生物气层埋深 1309.38 - 1520.40 m;天然气组分中甲烷含量为 95.0% - 98.49%,平均为 97.30%,天然气相对密度平均值为 0.5747 g/cm<sup>3</sup>;天然气甲烷碳同位素为 -56.46‰至 -60.88‰,平均为 -59.31‰,具有埋藏较浅、高甲烷含量和轻同位素的特征.

与阳信洼陷相似,沾化凹陷和东营凹陷在沙一段沉积时期为湖进期.沾化凹陷烃源岩有机碳含量为 2.8% - 7.5%,干酪根类型为 I 型;具有明显的植烷优势其 Pr/Ph < 0.6,伽马蜡烷含量高(伽马蜡烷与 C<sub>30</sub>藿烷比值为 0.4 - 0.9),反映了咸水 - 半咸水缺氧环境;重排甾烷及 4 甲基甾烷含量很低,甾烷异构化参数 C<sub>29</sub>ααα20S(20S + 20R) < 0.32, R<sub>o</sub> 在 0.3% - 0.5%,反映出沙一段烃源岩处于未熟 - 低成熟阶段<sup>[14]</sup>.

### 3 结论与认识

阳信洼陷沙四段时期本区处于断陷伸展期,由于断陷活动强烈,物源丰富,故滨浅湖及三角洲沉积分布广泛,湖相沉积分布相对较小,仅在洼陷中心形成了弱还原 - 还原性的半深湖环境,形成了一套厚度中等、分布局限的烃源岩(TOC 平均为 1.5%),构成了阳信洼陷古近系沙河街组埋藏最深、成熟度最高的烃源岩,湖盆较深位置的烃源岩基本进入成熟状态,主要形成成熟油.

沙三段沉积时期古湖盆扩展,相应古气候湿润,物源供给丰富,处于较均衡的沉积充填状态,形成了沙河街组水体最深和弱还原 - 还原性的半深湖 - 深湖沉积环境.因有机质得以有效保存,故烃源岩有机质丰度高(TOC 平均为 3.5%),但由于埋藏较浅,大部分烃源岩处于未成熟 - 低成熟状态,主要形成未熟油.

沙一段沉积时,湖盆再次沉降,形成还原性的半深湖相沉积,此时湖水咸化,形成了分层的水体结构,有利于有机质保存,发育了有机质丰度高的烃源岩(TOC 平均为 5% 左右),但成熟度更低,主要生成生物气.

与东营凹陷和沾化凹陷对比表明,古湖盆的沉积环境决定了其中烃源岩的地球化学指标构成,相似的沉积环境其地球化学指标构成特征相似,利用地球化学指标特征分析沉积盆地古湖盆的沉积环境及其演化是一有效途径.

致谢:审稿专家对本文进行了认真细致的修改,并提出了许多宝贵的意见,同时得到吴孔友,赵卫卫,姜林等同志的协助,在此表示衷心的感谢!

### 4 参考文献

- [1] Carroll A R, Bohacs K M. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls. *Geology*, 1999, 27(2): 99 - 102.
- [2] Carroll A R, Bohacs K M. Lake-type controls on Petroleum source rock potential in nonmarine basin. *AAPG Bull*, 2001, 85(6): 1033 - 1053.
- [3] Derennes, Largeau C, Brukner W A. Origin of variations in organic mater abundance and composition in a lithologically hogogeneous type oil shale deposit. *Organic Geochemistry*, 2000, 31(9): 787 - 798.
- [4] 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. *地球科学*, 2000, 25(3): 253 - 259.
- [5] 陈建渝,熊书权,毕研鹏等. 断陷盆地中含油气系统的特征. *石油学报*, 2000, 21(2): 36 - 41.
- [6] 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. *地学前缘*, 2000, 7(3): 23 - 37.
- [7] 赵文智,何登发,池英柳等. 中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术. *石油学报*, 2001, 22(1): 6 - 13.
- [8] 赵文智,何登发,瞿 辉等. 复合含油气系统中油气运移流向研究的意义. *石油学报*, 2001, 22(4): 7 - 12.
- [9] 蒋有录,谭丽娟,荣启宏等. 油气成藏系统的概念及其在东营凹陷博兴地区的应用. *石油大学学报*, 2002, 26(6): 12 - 16.
- [10] 朱光有,金 强,戴金星等. 复合生烃系统 - 陆相断陷盆地烃源岩评价和油气预测的重要概念. *地质科学*, 2005, 40(1): 133 - 144.

- [11] 朱光有,金 强,张水昌等. 东营凹陷沙河街组湖相烃源岩的组合特征. 地质学报,2004,78(3):416-427.
- [12] 朱光有,金 强,周建林. 东营凹陷旋回式深湖相烃源岩研究. 地质科学,2003,38(2):254-262.
- [13] 朱光有,金 强,丁 浩等. 济阳坳陷沾化断陷湖盆沙河街组生烃系统特征. 天然气工业,2003,23(增刊):10-12.
- [14] 朱光有,金 强,张水昌等. 陆相断陷盆地复式成烃及成藏系统研究——以济阳坳陷沾化凹陷为例. 石油学报,2004,25(2):12-18
- [15] 吕修祥,李训海. 济阳坳陷阳信洼陷构造特征及勘探对策. 石油勘探与开发,1994,21(4):1-5.
- [16] 杨显成,耿春雁,郭 瑾等. 阳信洼陷油气分布规律及勘探方向. 油气地质与采收率,2003,10(6):24-27
- [17] 刘 利. 阳信洼陷沙四段上亚段油气成藏主要控制因素. 河南石油,2005,19(6):13-15.
- [18] 陈建渝,熊书权,毕研鹏等. 断陷盆地中含油气系统的特征. 石油学报,2000,21(2):36-41
- [19] 金 强. 关于东部油气富集盆地勘探可持续性的一些思考. 油气地质与采收率,2002,9(1):5-8.
- [20] Peter K E, Moldowan J M. The biomarker guide—Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. New Jersey:Prentice Hall,1993:88.
- [21] 张立平,黄第藩,廖志勤. 伽马蜡烷—水体分层的地球化学标志. 沉积学报,1999,17(1):136-140.
- [22] 王铁冠. 论分子有机地球化学若干名词与术语的辨析和厘定. 地质论评,2002,48(3):284-289.
- [23] 刘 利. 阳信洼陷生物气成藏条件研究. 天然气工业,2005,25(10):11-13.
- [24] 甘志红,杨显成,郭 瑾等. 阳信洼陷天然气成藏系统分析. 油气地质与采收率,2004,11(2):31-33.