



胜坨油田是胜利探区迄今发现的最大油田。从1964年在坨庄构造的坨1井和胜利村构造的坨7井获得高产油流发现胜坨油田以来,到目前为止,已探明石油地质储量 $4.9 \times 10^8$  t。由于紧临多个生油洼陷,油源充足。到目前为止,从 $E_{s_4}-Nm$ 的所有7个层位( $Nm, Ng, Ed, E_{s_1}, E_{s_2}, E_{s_3}, E_{s_4}$ )都已证实含油。主力含油层系 $E_{s_3}$ 上— $E_{s_2}$ 下,为一套河流三角洲沉积,由于物源由东向西推进,形成具有三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲亚相的一套完整系列。

胜坨油田原油物理性质变化较大,如地面原油密度为 $0.86 \sim 0.97$  g/cm<sup>3</sup>,地表原油粘度为 $10 \sim 6000$  mPa·s。纵向上看,从 $E_{s_3}$ 至 $Ng$ 原油性质有两个变化过程,即存在从 $E_{s_1}$ 至 $E_{s_3}$ 和 $E_{s_1}-Ng$ 两个由轻到重的体系。具体来说, $E_{s_3}^{\text{中}}$ 以下原油密度较轻,粘度小(地面密度 $0.87$  g/cm<sup>3</sup>左右,粘度 $20 \sim 30$  mPa·s), $E_{s_3}^{\text{上}}$ 和 $E_{s_2}$ 比重大、粘度高且变化较大,其中以中部的两个砂层组油质最重, $E_{s_1}$ 原油性质轻于 $E_{s_2}$ ,到 $Ed$ 原油性质又逐渐变差,至 $Ng$ 变为高比重、高粘度原油。

油田的勘探,早期以背斜油气藏和构造—断块油气藏为主,埋藏深度也较浅,进入20世纪90年代以后,逐渐转向深部油藏和隐蔽油气藏勘探。

### 3 烃源岩地球化学特征

胜坨油田紧邻的利津洼陷和民丰洼陷,均为一类生油洼陷,油源岩主要有 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 、 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 和 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 3套。其中 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 为一套咸水—半咸水湖相沉积,岩性以灰褐色钙质页岩、油页岩和灰色至深灰色泥岩为主,夹有碳酸盐岩和含膏泥岩; $E_{s_3}^{\text{下}}$ 为一套淡水至微咸水湖相沉积,岩性以深灰色页岩、油页岩、纹层泥岩夹块状泥岩为主; $E_{s_3}^{\text{中}}$ 为一套淡水湖相沉积,主要岩性为巨厚层块状泥岩和粉砂质泥岩,缺乏油页岩沉积。

#### 3.1 有机质丰度

$E_{s_4}^{\text{上}}$ 和 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 烃源岩纹层理相对较为发育,形成于滞水强还原环境,因而利于有机质的保存。其有机质丰度具有相对较高和非正态分布的特点<sup>[3]</sup>。显微镜下观察,源于浮游藻类的“富集有机质”大量存在<sup>[4]</sup>,有机质类型以I型为主,总体评价为优质烃源岩。 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 以块状层理为主,形成于弱还原—弱氧化环境,有机质保存条件变差。其有机质丰度相对低于前两个层段并为单峰形分布。显微镜下观察,以“分散有机质”为主<sup>[4]</sup>,源于陆源高等植物的有机质含量明显增加,I—III型均存在,为中等烃源岩。

#### 3.2 生物标志物特征

根据饱和烃色谱——质谱分析,三套烃源岩的生

物标志化合物特征呈现出一定差异(图2)。 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 总体含有较高的 $\gamma$ -蜡烷含量,并具有植烷优势,这与其沉积过程中湖水较高的盐度和强还原底水条件是一致的<sup>[5]</sup>,可作为区分其它两套烃源岩的重要标志。 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 重排甾烷含量较低,这与其较高的碳酸盐岩和强还原的条件是一致的<sup>[6]</sup>。

$E_{s_4}^{\text{上}}$ 沉积时期,湖水从早到晚经历了一个淡化的过程,这在生物标志物特征上也有反映。主要表现在以下两个方面:一是从下向上 $\gamma$ -蜡烷逐渐降低,下部层段 $\gamma$ -蜡烷很高,有时甚至高于 $C_{30}$ 藿烷,而上部仅有中等的 $\gamma$ -蜡烷含量;二是下部4-甲基甾烷含量较低,4-甲基甾烷/ $C_{29}$ 规则甾烷一般小于0.2,而上部源岩中4-甲基甾烷相对含量较高(图2)。较高 $\gamma$ -蜡烷一般指示着咸化环境,而高4-甲基甾烷一般指示着淡水湖相环境<sup>[7]</sup>,两者同时以较高的含量存在,表明湖水已不能维持较高的咸度,而是在发生频繁的波动性变化,并导致不同的生物类群交互繁衍。这种解释也可从互层中不同岩性源岩的生物标志化合物特征差异得到证实。以块状泥岩与页岩互层为例,页岩中的 $\gamma$ -蜡烷含量一般高于相邻的块状泥岩。 $E_{s_4}^{\text{上}}$ 烃源岩的上述特征必须在油源对比过程中加以注意。

总体上看, $E_{s_3}^{\text{下}}$ 源岩以低 $\gamma$ -蜡烷、高4-甲基甾烷和姥鲛烷优势为特点,其中伽马蜡烷指数一般小于0.15~0.20,姥/植比多在0.7~1.5之间,而4-甲基甾烷含量迅速提高,4-甲基甾烷/ $C_{29}$ 规则甾烷含量最高可达1.0以上,另外重排甾烷含量也有所上升。但是 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 不同岩性的烃源岩生标特征存在明显的差异,以4-甲基甾烷表现的最为突出,表现为4-甲基甾烷指数以页岩最高,纹层岩次之,而块状泥岩和粉砂质泥岩中最低。因此平面上随岩相的变化和岩性组成的差异,生标特征发生有规律的变化。在洼陷中心页岩和纹层泥岩集中区4-甲基甾烷总体含量最高,从洼陷中心向两侧,随页岩和纹层泥岩相对含量的减少和块状泥岩的增加,4-甲基甾烷含量逐渐降低,进入盆地边缘地区,岩性组成以块状泥岩为主,与其相对应,4-甲基甾含量总体已变得较低。

$E_{s_3}^{\text{中}}$ 具有低 $\gamma$ -蜡烷, $\gamma$ -蜡烷指数一般小于0.15~0.20,姥/植比一般介于0.7~2.0之间,与 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 比较相似。从4-甲基甾烷含量来看, $E_{s_3}$ 中远低于 $E_{s_3}$ 下的页岩与纹层泥岩,而与 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 块状泥岩相近,另外重排甾烷含量也略有增加,依据这些特征二者可以相互区分。

### 4 原油地球化学特征及油源

根据烃源岩和原油的生物标志化合物特征,可把胜坨地区的原油划分为三种成因类型(图3)。

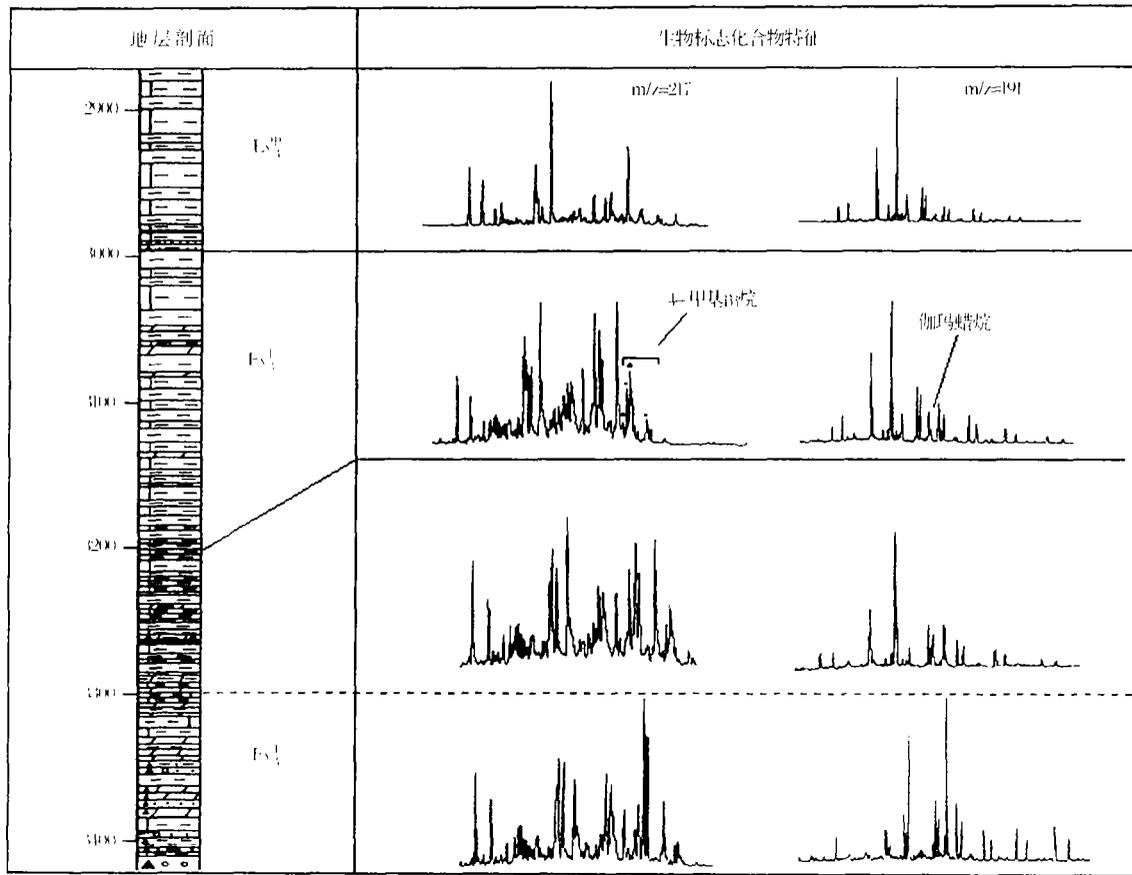


图 2 胜坨油田不同烃源岩的生标特征差异

Fig. 2 The biology characteristics of different hydrocarbon source rocks in Shengtuo Oilfield

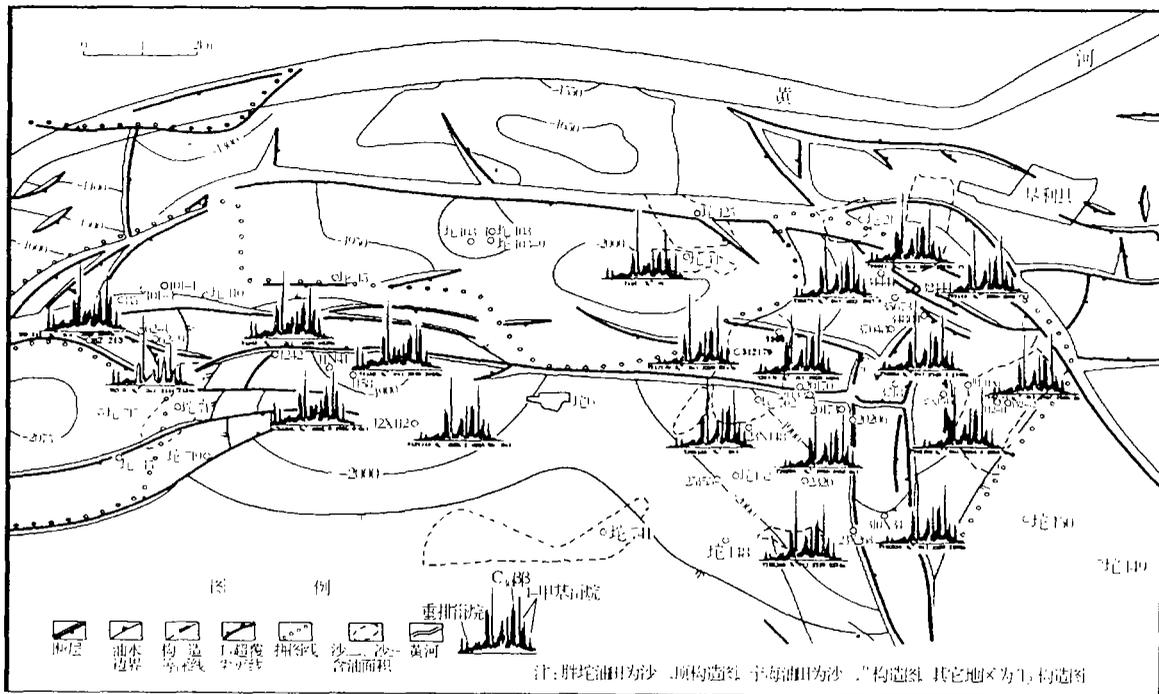


图 3 胜坨油田主力储层  $E_{3^1}-E_{3^2}$  原油  $m/z=217$  质量色谱

Fig. 3 The  $m/z=217$  mass chromatogram of oils from the main reservoir of  $E_{3^1}-E_{3^2}$

第一类原油具有“一高三低”的特点，即高  $\gamma$ -蜡 大多数高于 0.7,  $C_{27}$ 重排甾烷/ $C_{27}$ 规则甾烷(20R) < 烷、低重排甾烷、低 4-甲基甾烷、低姥植比,  $\gamma$ -蜡烷指数 0.25, 4-甲基甾烷/ $C_{29}$ 规则甾烷(20R)一般 < 0.25, Pr/

Ph<0.60,反映原油来自咸水—半咸水强还原的沉积环境。而从甾烷异构化参数  $C_{29}20S/(20S+20R)$  一般小于 0.35~0.40,成熟度不高。以上特征表明该类原油主要来自  $E_{s_4}^{\pm}$  的下部层段,为成熟阶段较早期形成的烃类。从原油族组成来看,非烃加沥青质的含量较高,而从全油色谱特征来看,该类原油饱和烃含量较低,异构烷烃含量较高,因而原油的粘度、比重较大。该类原油主要分布于胜北断层两侧紧邻断层的部位,储量较小。

第二类原油, $\gamma$ -蜡烷指数一般为 0.15~0.40 之间, $C_{27}$ 重排甾烷/ $C_{27}$ 规则甾烷(20R)介于 0.15~0.50 之间,4-甲基甾烷/ $C_{29}$ 规则甾烷一般介于 0.20~0.5 之间(图 6),Pr/Ph 一般略小于 1.0。而甾烷异构化参数  $C_{29}20S/(20S+20R)$  一般大于 0.40。从烃源岩的生标特征来看,该类原油主要来自  $E_{s_4}^{\pm}$  上部中等  $\gamma$ -蜡烷的成熟烃源岩。该类原油在区内分布广泛,储量最大,坨三区、坨二区的绝大部分油藏均属于该种类型,另外在坨一区也有一定量分布。

第三类原油与第一类原油存在明显的差别,具有一低三高的特征,即低  $\gamma$ -蜡烷(图 5)、高  $C_{27}$ 重排甾烷、高 4-甲基甾烷、高姥植比。一般  $\gamma$ -蜡烷指数<0.15, $C_{27}$ 重排甾烷/ $C_{27}$ 规则甾烷(20R)>0.50,4-甲基甾烷/ $C_{29}$ 规则甾烷>0.5,Pr/Ph 一般介于 0.8~1.2 之间。其  $C_{29}$ 甾烷  $20S/(20S+20R)$ >0.4,具有较高的成熟度。表明原油来自于  $E_{s_3}$  下成熟烃源岩。该类原油族组成中非烃和沥青质的含量较低,正构烷烃特别是低碳数烃类含量较高,异构烷烃含量较低,原油的粘度、比重均较小。该类原油主要分布在坨一区(如  $E_{s_2}^{\pm}$  储层)以

及近洼陷带的一系列  $E_{s_3}^{\pm}$ - $E_{s_4}^{\pm}$  的浊积砂砾岩体(如 T76、T71、T144)中。

## 5 油田水化学特征

油气的生、排、运聚过程都是在有水的环境中进行的,地下水与油气的关系极其密切。因此,油藏水化学特征和水动力条件等的研究,对于成藏过程和成藏规律研究具有重要意义。

区内的油藏水平面展布具有一定的规律性。以主力含油层系  $E_{s_3}^{\pm}$ - $E_{s_2}^{\pm}$  为例,西部坨一区以碳酸氢钠型为主,坨二区氯化镁和氯化钙型水含量有所增加,至坨三区已主要变为氯化钙型水(图 4)。油藏水总矿化度的变化与水型变化是一致的,表现为自西向东逐渐升高,坨一区的最低,一般小于 15 000 mg/l,坨二区有一定程度的升高,而到坨三区特别是坨 7 块、坨 11 块,大部分已经超过 20 000 mg/l。其它的层段也有具有相同的特征。

由于同一储集层水化学性质存在较大差异,且与埋深关系不明显,因此,笔者认为储层同生水化学特征的差异,以及埋藏过程中的蒸发浓缩作用不是影响油藏水变化的主要原因。从平面上看,油藏水的分布与油源的分布具有一定的相关性,具体来说,坨一区原油主要来自淡水—微咸水环境沉积的  $E_{s_3}^{\pm}$  烃源岩,而坨二区和坨三区,油源主要为咸水—半咸水环境沉积的  $E_{s_4}^{\pm}$  烃源岩。油藏水与油源的上述关系,在东营凹陷的梁家楼油田也同样存在。这种关系表明,深部高矿化度氯化钙型水的补给和混合作用是造成油藏水差异的主要原因<sup>[8]</sup>。坨二、坨三区油气来源和储量丰富,表明

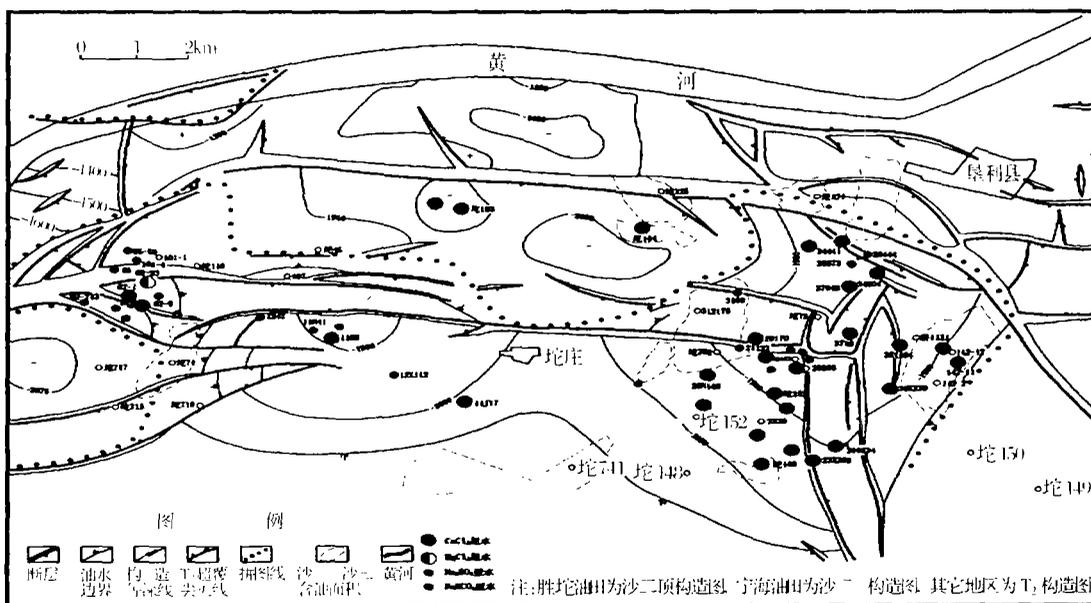


图 4 胜坨地区  $E_{s_3}^{\pm}$ - $E_{s_2}^{\pm}$  油藏水水型平面分布

Fig. 4 The distribution map of water types within  $E_{s_3}^{\pm}$ - $E_{s_2}^{\pm}$  reservoir in Shengtuo oilfield

断层及其它疏导体系相对较为发育,而坨一区以  $E_{s_3}^F$  为主要油源,  $E_{s_4}^+$  生成的油气较少到达,表明缺少深部油气和水向上运移的有效通道。

## 6 成烃与成藏组合关系和成藏过程分析

### 6.1 烃源岩生排烃演化

$E_{s_3}^F$  和  $E_{s_4}^+$  烃源岩分别形成于不同的沉积环境,二者的生烃演化具有明显的差异性。根据张林晔等研究,咸水一半咸水沉积的  $E_{s_4}^+$ ,既存在低熟阶段生油高峰,也存在成熟阶段生烃高峰,而微咸水—淡水沉积的  $E_{s_3}^F$  烃源岩仅存在成熟阶段的生烃高峰<sup>[3]</sup>。

为考察两者生烃演化的差异性,笔者利用氯仿沥青“A”和生烃压实曲线对烃源岩的含油饱和度进行了计算,并分别建立了含油饱和度—深度曲线,如图5。从图中可以看出,  $E_{s_4}^+$  上烃源岩在 2 500~2 600 m 左右有一突变点,残余油饱和度迅速升高,该深度对应着突变压实阶段的后期;而微咸—淡水环境的  $E_{s_3}^F$  下残余油饱和度迅速增加的深度在 3 000~3 200 m,对应着紧密压实阶段。

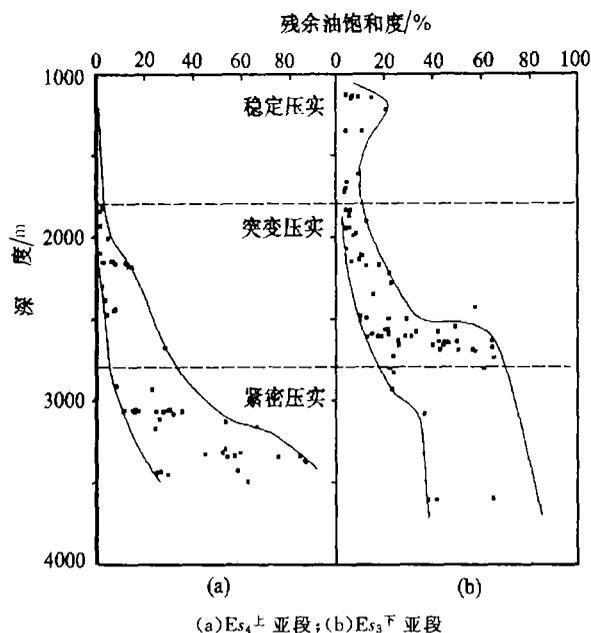


图5 东营凹陷  $E_{s_4}^+$  和  $E_{s_3}^F$  烃源岩残余油饱和度深度曲线  
Fig. 5 The depth change profile of remaining oil saturation of  $E_{s_4}^+$  and  $E_{s_3}^F$  source rocks in Dongying depression

根据近年来国内外的研究,烃源岩排烃主要是以独立烃相运移(而非水相)的观点逐渐为大多数研究者所接受<sup>[9]</sup>。由于毛细管阻力的存在,独立烃相运移必须达到一定的临界饱和度,但是不同专家提出的饱和度差异很大。本文根据含油饱和度纵向上的变化,认为突变点是主要运移过程发生的关键点,据此分析区内烃源岩

运移的临界饱和度在 30%~40%左右,这与 Ungerer 和 Machenzie 等的研究是一致的<sup>[10,11]</sup>。结合烃源岩、原油甾烷异构化参数、烃转化率、 $R_o$  与深度关系(图6)<sup>[12]</sup>,确定  $E_{s_3}^F$  的排烃门限为 3 200 m,  $E_{s_4}^+$  低熟油排烃门限为 2 600 m,成熟油排烃门限在 2 900 m。

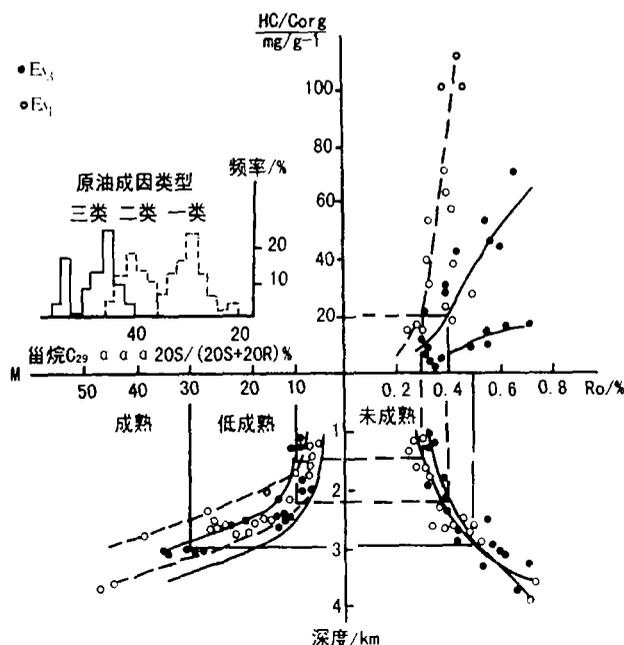


图6 东营凹陷烃源岩的烃转化率、 $R_o$  与原油甾烷异构化参数和深度关系(据张林晔等,1999 修改)

Fig. 6 The relationships of sterane isomerization index, hydrocarbon transformation ratio,  $R_o$  and depth between source rocks and oil in Dongying Depression (after Zhang Linye, et al., 1999)

### 6.2 成藏历史分析

在上述地质研究的基础上,本文结合区内的断裂发育特点,对成藏过程进行了分析。图7和图8为穿过区内两个构造的南北向和近东西向的2条油藏剖面。从图7可以看出,胜坨油田虽然断裂十分发育,但在众多的断层中只有胜北大断层切穿了烃源岩及其以上的盖层,成为油气运移的主要垂向疏导体系,为油源断层,其它断层在油气运移中仅起到了油源分配的作用。由于在坨二区和坨三区,胜北断层主要位于民丰洼陷内,因此民丰洼陷的烃源岩从下向上供油(图7)。该断层落差大于 400 m,下盘的  $E_{s_3}^+$  块状泥岩与上盘的  $E_{s_3}^+$  砂层对接,使得油气沿断层源源不断的进入上部储层并聚集成藏。坨一区成藏过程类似于坨二区和坨三区,但原油仅来自  $E_{s_3}^F$  烃源岩。造成这一现象的原因可能与该处断层落差较小,断层通透能力较弱,  $E_{s_4}^+$  烃源岩生成的原油不能突破盖层或存在其它运移路径所致。

以下本文根据烃源岩埋藏史分析,在时间框架内对源岩的成藏过程进行了分析。图9所示,  $E_{s_4}^+$  烃源

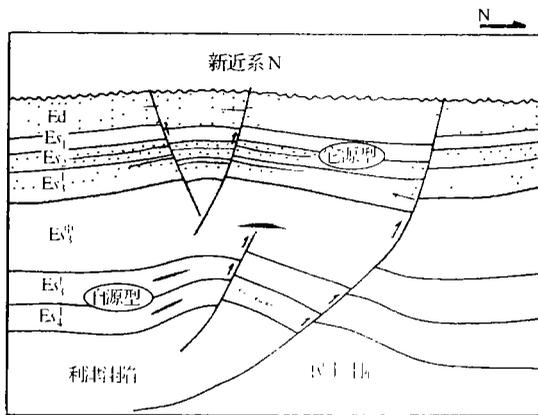


图7 胜利村背斜东西向油藏剖面  
Fig.7 The East to West oil play section of Shengli Anticline

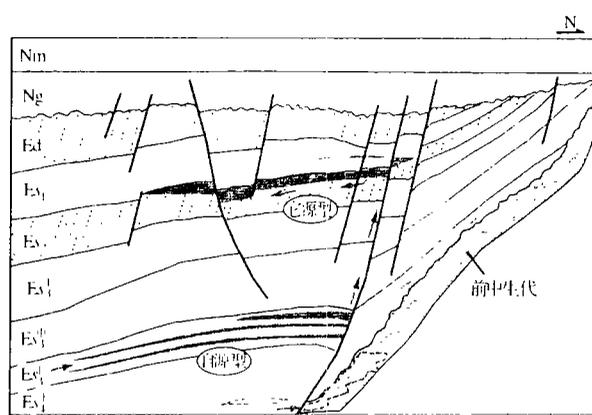


图8 坨庄构造南北向油藏剖面  
Fig.8 The South to North oil play section of Tuzhuang Anticline

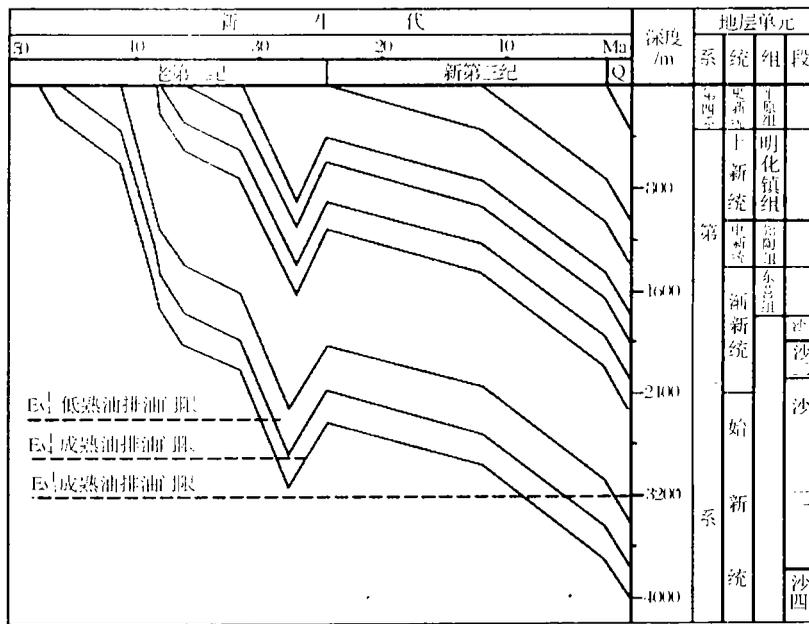


图9 民丰洼陷烃源岩埋藏史  
Fig.9 The burial history of source rocks in Minfeng Sag

岩在  $E_{s_2}^+$  沉积末期埋深已超过 2 600 m, 低熟生烃过程已经开始, 并且具备了排烃所需要的含油饱和度条件。  $E_{s_2}$  时期一期弱断裂活动, 配合了第一次成藏过程的发生, 形成少量的低熟油藏。

其后,  $E_{s_1}-E_d$  沉积期全区经历了持续的构造沉降和沉积物发育, 到东营末已有较大范围的  $E_{s_4}^+$  烃源岩达到成熟阶段。 随后东营末期的构造运动促成了源自  $E_{s_4}^+$  烃源岩的成熟油藏的形成, 三区 8-9 砂层组较重的原油即为该期成藏的结果。 由于成藏较早, 该期形成的油藏遭受了一定程度的降解, 油质变重。 其后, 又经过厚度 1 000 m 左右  $Ng-Nm$  的沉积,  $E_{s_4}^+$  和  $E_{s_3}^+$  烃源岩均达到排烃阶段, 发生第三期成藏。 在该期成藏过程中, 还发生了前期油藏的改造, (如坨二区、三区),

最终形成沿构造核部多含油层系的油藏分布格局。 胜坨油田纵向上原油两轻两重的格局, 是多次成烃和成藏的结果。

从区内目前找到的油藏来看, 胜北大断层附近的低熟油藏主要是  $E_{s_4}^+$  段低熟烃源岩在  $E_{s_2}$  时期成藏的结果, 坨二和坨三区  $E_{s_2}-E_d$  油层为  $E_{s_4}^+$  烃源岩三次成藏的结果, 而一区找到的原油基本上是  $E_{s_3}$  烃源岩在明化镇末期成藏的结果。

从目前胜坨油田的储量分布来看, 坨二、三区探明储量 4.2 亿吨, 其油源主要来自民丰洼陷  $E_{s_4}^+$  烃源岩, 而坨一区的探明储量仅有 0.6 亿吨, 油源主要来自利津洼陷的  $E_{s_3}^+$  烃源岩。 然而, 大量钻井和测井资料表明, 民丰洼陷和利津洼陷  $E_{s_4}^+$  和  $E_{s_3}^+$  具有相对统

一的沉积特征和相近的生烃演化。因此,推测区内仍具有相当规模的剩余资源有待勘探。结合油气的运聚过程和成烃与成藏组合关系,笔者认为在第三系较深部位应存在自源型油藏,在陡坡带包括潜山中应存在它源型油藏,并且均具有相当的规模。

## 7 结论

胜坨油田成烃与成藏关系的分析表明,具有39年历史的胜坨油田仍然具有相当规模的资源可供勘探。作为资源基础的主力烃源岩,并不包括以往认为的 $E_{s_3}^{\text{中}}$ 块状泥岩,而是页理发育的 $E_{s_3}^{\text{上}}$ 和 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 富页岩的优质源岩。残余油饱和度分析表明,两套烃源岩具有不同的排烃门限,其中 $E_{s_3}^{\text{上}}$ 在2600m左右已进入排烃门限,而 $E_{s_3}^{\text{下}}$ 在3200m左右才进入排烃门限。胜坨油田虽然断裂发育,但仅有胜北断层才是油气运移的主要垂向通道,为油源断层。胜坨油田的形成是多期构造活动的结果,但以 $E_d$ 、 $N_m$ 两期成藏为主。目前胜坨油田找到的油藏以它源型为主,自源型仅有较少部分。根据该区成烃与成藏的组合规律,下一步勘探应在利津洼陷陡坡带第三系储层及相关潜山寻找自源型和它源型的油气藏。

### 参考文献(References)

- 刘兴材,杨申镛. 济阳拗陷大油气田形成及分布规律. 见:张文昭. 中国陆相大油气田. 北京:石油工业出版社,1997. 55~166
- 王秉海,钱凯主编. 胜利油区地质研究与勘探实践. 北京:石油大学出版社,1992
- 张林晔,孔祥星,张春荣,等. 济阳拗陷优质烃源岩的发育及其意义. 地球化学,2003,32(1):35~42
- 刘庆,张林晔,沈忠民,等. 东营凹陷湖相盆地类型演化与烃源岩发育. 石油学报,2004,待刊
- Moldowan J M, Seifert W K, Gallegos E J. Relations between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. AAPG Bulletin, 1985,69:1255~1268
- Rubinstein I, Sieskind O, Albrecht P. Rearranged sterenes in a shale: Occurrence and simulated formation. Journal of the Chemical Society, Perkin Transaction, I, 1975. 1833~1836
- Fu Jiamo, Sheng Guoying, Xu Jiayou, et al. Application of biological markers in the assessment of paleoenvironment of Chinese non-marine sediments. Organic Geochemistry, 1990, 16: 769~779
- 刘庆,张林晔,张春荣,等. 梁家楼油田油藏水化学特征与油源关系初探. 见:地球化学与岩石圈动力学开放实验室年报(2001/2002). 东营:石油大学出版社,2002. 53~57
- 李明诚. 石油与天然气运移研究综述. 石油勘探与开发,2000,27(4): 3~10
- Ungerer P, Bessis F, Chenet P Y, et al. Geology and geochemical models in oil exploration: principles and practical examples. In: Demaison G and Murriss R J, eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation. AAPG Memoir. 1984,35:53~77
- Mackenzie A S, Quigley T M. Principles of geochemical prospect appraisal. AAPG Bulletin, 1988,72(4):399~415
- 张林晔,张春荣. 低熟油生成机理及成油体系——以济阳拗陷牛庄洼陷南部斜坡为例. 北京:地质出版社,1999. 120~122

## The Causative Assemblages of Oil Pools Based on Hydrocarbon Generation and Accumulation Process in Terrestrial Rift Basin: A case study from Shengtuo Oilfield

ZHANG Lin-ye<sup>1</sup> LIU Qing<sup>1,2</sup> ZHANG Chun-rong<sup>1</sup> WANG Ru<sup>1</sup>  
KONG Xiang-xing<sup>1</sup> LI Zheng<sup>1</sup>

1(Geology Scientific Research Institute of Shengli Oilfield Co., Dongying Shandong 257015)

2(Energy Institute, Chengdu Technology University, Chengdu 610059)

**Abstract** The relation assemblage of oil pools and its effective hydrocarbon source rocks is the key factor in the study of pool-forming process, and to elucidate its controlling factors will do much help in the exploration and forecasting of the remaining unfound reservoirs. In this article Shengtuo oilfield with 39 years of exploitation history in the east of China is taken as an example for the study. Based on oil and source correlation, the time and space assemblages of oil reservoirs and its hydrocarbon generation and accumulation process are studied, and a new research procedure for subtle reservoir exploration is put forward. The study indicates Shengtuo oilfield is mainly sourced from excellent hydrocarbon source rocks, that is the oils from Area I, and Area III are mainly sourced from  $E_{s_3}^{\text{上}}$  while the oils from Area I is sourced mainly from  $E_{s_3}^{\text{下}}$ . Reservoir water chemistry and fault system studies imply that Shengbei fault is the most important vertical conduit, since it is a source fault connecting the effective source rocks and the reservoir. As the oil pools found before are all else-sourced, it is believed that self-sourced oil pools with certain size should exist in the deep part of Paleogene and the burial hills on the steep slope.

**Keywords** Dongying Depression, excellent source rocks, source fault, self-sourced oil pool