

文章编号: 1006-6616 (2003) 01-0048-08

# 冀东柳赞地区油气成藏中断层的作用

丁文龙<sup>1</sup>, 张博闻<sup>2</sup>

(1. 清华大学自动化系, 北京 100084; 2. 中国石油天然气勘探开发公司, 北京 100724)

**摘要:**冀东油田柳赞地区断裂构造发育, 在面积约为 40km<sup>2</sup> 范围内; 发育着 30 多条断层, 而这些断裂是什么时期产生的, 它们在油气聚集成藏中起着什么作用, 是先有油气聚集、后有断裂, 还是先有断裂后才发生油气聚集。这些问题不仅是油气成藏过程研究的焦点, 而且还直接影响到对该地区的评价和有利油气聚集带的确定。本文通过研究发现, 本区断裂的形成和分布主要受柏各庄、溯河、高柳三条边界断裂活动的控制, 并且断裂的产生是有次序的, 不同时期形成的断层对油气藏的形成具有不同的作用。

**关键词:**柳赞地区; 断层; 油气藏; 油气聚集

中图分类号: TE122.3<sup>+</sup>21

文献标识码: A

## 1 引言

柳赞地区位于冀东油田南堡凹陷东部边缘柏各庄断裂带下降盘。该区断层发育, 构造破碎, 是南堡凹陷内的复杂断块之一。由柏各庄断裂、高柳断裂和溯河断裂所围限, 面积约 40km<sup>2</sup> (图 1)。钻证实古近系沙河街组为主力含油层系, 其中, 以沙三段含油最好, 又以第二、第三亚段 ( $E_s^{x(2+3)}$ ) 和第五亚段 ( $E_s^{x(5)}$ ) 为主要产层 (图 2)。砂层呈条带状或透镜状分布, 厚度小, 分布范围窄。储层物性变化急剧, 孔隙度一般在 13% ~ 23% 之间, 渗透率平均约  $25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ , 但变化范围很大, 从  $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  到  $1000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。目前, 已发现了许多断层和断鼻构造油气藏。由于含油砂体薄而分散, 连通性差, 致使各油藏无统一的油水界面, 即使在同一含油断块内也是每个油层各有其油水界面, 除此之外, 该区断层数量多、方向复杂也是影响区内油气聚集的重要因素。已发现的含油气区大多以断层为界, 断块的性质 (垒、堑) 决定着断块内油气藏的含油层位和丰度<sup>①</sup>。因此, 为了揭示本区油气藏形成和分布规律, 寻找有利钻探区, 就必须在划分有利储集带的同时, 重点要研究断裂的发育过程及其对油气聚集的影响。为此, 本文通过断裂发育史分析和油气运聚过程的研究, 已

收稿日期: 2002-03-11

基金项目: “九五” 中国石油天然气集团公司重大科技攻关项目 (编号: 96007-07): 《大中型油气田成藏定量模式研究》。

作者简介: 丁文龙 (1965-), 男, 2002 年获中国地质大学博士学位, 现在清华大学自动化信息处理研究所作博士后研究工作。

①李纯菊, 柳赞地区  $E_s^{x(2+3)}$  亚段地质特点、油藏类型及勘探部署, 冀东石油勘探开发公司, 1991, 35 ~ 40。

初步查明了本区油气的生成、运聚和断裂活动的时期及其相互的配置关系，从而揭示了断层在柳赞地区油气运移、聚集成藏过程中的作用，这对柳赞油田滚动勘探开发具有极其重要指导意义。

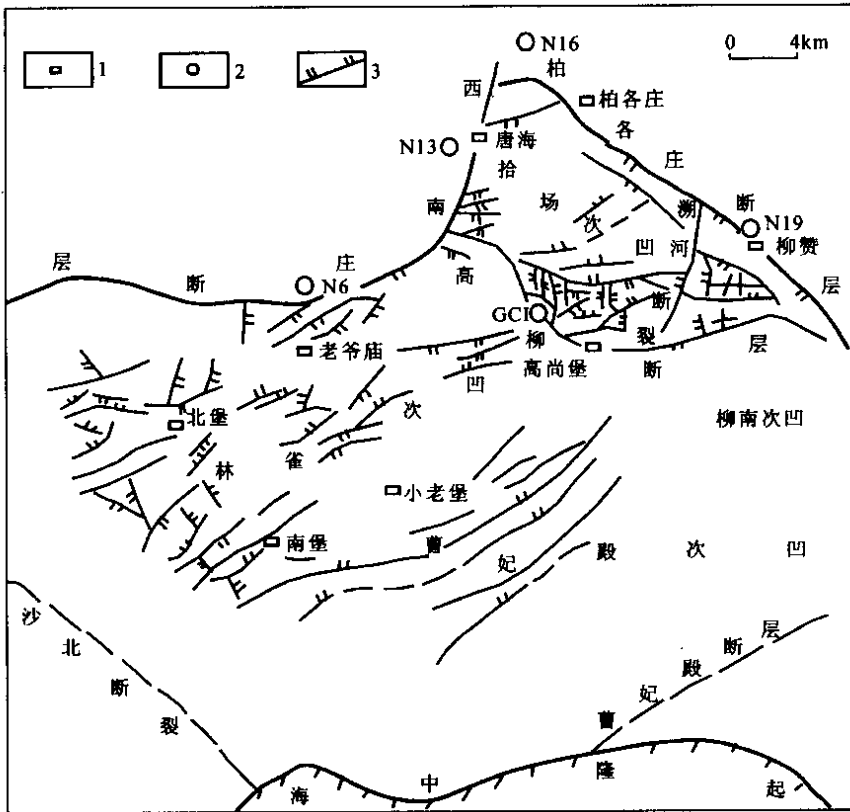


图 1 南堡凹陷断裂分布图 (据冀东油田勘探开发公司, 1991)

Fig.1 Distribution of faults in Nanpu depression

1. 地名; 2. 井位; 3. 断层

## 2 柳赞地区的断裂构造

### 2.1 边界断裂活动控制着内部断裂的产生

本区的 30 多条断裂，除了柏各庄、溯河、高柳三条断裂为边界断裂外，其余皆分布在柳赞构造区内<sup>①</sup> (图 3)。这些内部断层与边界断裂不同，它们都不是同沉积断裂，垂直断距小，绝大部分是断在沙一段 ( $E_s^1$ ) 以下的地层中，其走向或者与边界断裂平行、或者与之相交，推断区内断裂形成与边界断裂的活动关系密切<sup>[1]</sup>。因此，为了确定区内断裂的产生序次和了解它们同油气运移、聚集的关系，首先需要查明按三条边界断裂的性质和它们的活动时期。

① 孙子华, 王璐. 柳赞地区中深层三维地震资料解释及圈闭评价. 冀东石油勘探开发科技发展中心物探室, 1993, 28~36.

### 2.1.1 柏各庄断裂

为南堡凹陷的东北边界断裂，是一条 NW 向张扭性西倾的控凹基底大断裂，其垂直落差达 8000m，断面产状较陡，约  $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。断层发育早，活动时间长，强度大。断裂西南侧下降盘沉积了一套巨厚的中、新生代地层，而东北侧的马头营凸起上只有新近系馆陶组，缺失全部古近系和中生界。

### 2.1.2 溯河断层

为柳赞地区西侧边界断裂，近 SN 走向，西倾，正断层，向北与柏各庄断裂相交，断面较陡，倾角在  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$  之间，断距下大上小，在 50m ~ 500m 之间，为一条同沉积断裂，在沙三段第五亚段至东营组 ( $E_s^{x(5)} - E_d$ ) 沉积时期，上、下盘的沉积厚度差达 784m。从断裂生长指数 (图 4)，即断裂两侧同一地层下降盘厚度与上升盘厚度的比值可以看出，该断裂活动较早，从沙三段时期开始活动，沙三段第一亚段至沙一段 ( $E_s^{x(1)} - E_s^1$ ) 沉积时期活动增强，东营期活动最强烈，造成上升盘东营组沉积仅残留很少部分。平面上，各地层断层垂直落差由北向南增大，这反映出断裂活动强度从北向南逐渐增强<sup>[2]</sup>。

### 2.1.3 高柳断裂

近 EW 走向，横贯南堡凹陷，平面上向南突出呈弧形，其东段为柳赞地区南部边界，断面上陡下缓呈犁状，断距西边小东边大，为一向南倾的同沉积断层。该断层断穿沙三段 ( $E_s^3$ ) 至明化镇组 ( $N_m$ )，但在沙三段第二、三亚段 ( $E_s^{x(2+3)}$ ) 沉积时期两盘并无厚度差，只是从沙一段 ( $E_s^1$ ) 沉积时期明显活动，沙一段 ( $E_s^1$ ) 沉积早期两盘厚度差为 167m，而古近纪末的东营期 ( $E_d$ ) 活动剧烈，上升盘柳赞构造区大都缺失东营组，而下降盘保存着 1700m ~ 1850m 的东营组地层，到馆陶组、明化镇组沉积时期断裂活动强度相对减弱了 (图 4)。值得注意的是，伴随着高柳断裂的活动，柳赞构造区内还发育了与高柳断裂东段大致平行的南掉的 2 号、3 号和北掉的 5 号正断层 (图 3)。这 3 条断层均不具有同沉积性质。

由以上对柳赞地区的 3 条边界断裂分析可以看出，柏各庄断裂活动最早，活动时间长，强度大，是一条控凹基底大断裂，而溯河断裂和高柳断裂是凹陷内次级同沉积断裂，控制着次级凹陷和二级构造带的形成，其中高柳断裂活动略晚于溯河断裂，但其活动强度较大，但二者均是在东营期活动最强烈，柳赞构造区内部众多小断层的产生同这三条边界断裂的活动密切相关，

地层时代						生储盖组合			
系	统	组	段	亚段	符号	生油层	储油层	盖层	
新近系	中新统	馆陶组			$N_g$	.....	.....	.....	
			东营组	东一段		$E_d^1$	.....	.....	.....
				东二段		$E_d^2$	.....	.....	.....
东三段		$E_d^3$		.....	.....	.....			
古近系	渐新统	沙一段			$E_s^1$	.....	.....	.....	
					$E_s^2$	.....	.....	.....	
					$E_s^3$	.....	.....	.....	
		沙二段	第一亚段		$E_s^{x(1)}$	.....	.....	.....	
			第二亚段		$E_s^{x(2)}$	.....	.....	.....	
			第三亚段		$E_s^{x(3)}$	.....	.....	.....	
			第四亚段		$E_s^{x(4)}$	.....	.....	.....	
		沙三段	第五亚段		$E_s^{x(5)}$	.....	.....	.....	
					$E_s^4$	.....	.....	.....	
					$E_s^5$	.....	.....	.....	
新近系	新统	河街组			$E_s^6$	.....	.....	.....	
					$E_s^7$	.....	.....	.....	
					$E_s^8$	.....	.....	.....	
					$E_s^9$	.....	.....	.....	
					$E_s^{10}$	.....	.....	.....	

图 2 南堡凹陷古近—新近系生、储、盖组合示意图

Fig.2 Graphic representation of source rock, reservoir, caprock assemblage in Tertiary System in Nanpu depression

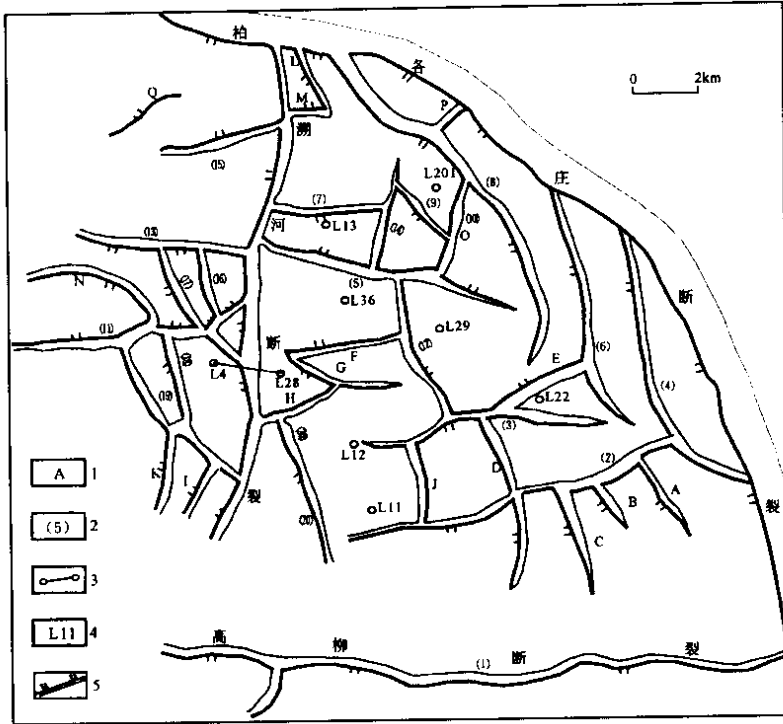


图 3 柳赞地区沙河街组第三段第二亚段 ( $E_s^{(2)}$ ) 底界断裂分布图

Fig.3 Distribution of faults of the bottom surface for the second sub member of the Third Member of Shahejie Formation in Liuzan region  
 1. 断层编号; 2. 断层编号; 3. 油藏剖面位置; 4. 井号; 5. 正断层

断层产生的主要时期是在沙三段 ( $E_s^3$ )、沙一段 ( $E_s^1$ )、东营组 ( $E_d$ ) 沉积时期。

### 2.2 柳赞地区内断层形成的次序

柳赞地区的边界断裂活动时期先后差别必然引起其内部断层的产生有先有后, 本文根据地震剖面上断裂断开层位、不同走向断层之间的交切关系及构造发育史等方面的综合分析, 确定出了柳赞地区断层形成次序 (图 5), 图中对本区断裂产生顺序共划分了 4 个时期。总体特征是受柏各庄断裂和湖河断裂控制形成的 SN 向次级断层形成早, 而受高柳断裂控制形成的 EW 向次级断层形成晚于 SN 向的。在平面上明显表现出晚形成的 EW 向断层切割早形成的 SN 向断层或与 SN 向断裂相交 (图 3)。

总之, 柳赞地区虽然断层数量多, 分布密集, 但其边界断裂特征明显, 活动时期易于确定, 并可以进一步分析区内断层的形成顺序和时期, 从而为研究构造圈闭的形成、油气运聚过程提供了比较可靠的地质依据。

## 3 断裂活动对油气成藏的控制作用

### 3.1 断裂活动控制着生油凹陷的分布

南堡凹陷在多次断块活动中, 形成了由一、二级断裂控制的多个断裂构造带和不同沉积时期的生油次凹。以高柳断层为界, 北面的拾场次凹为沙河街组生油凹陷; 南面有林雀、

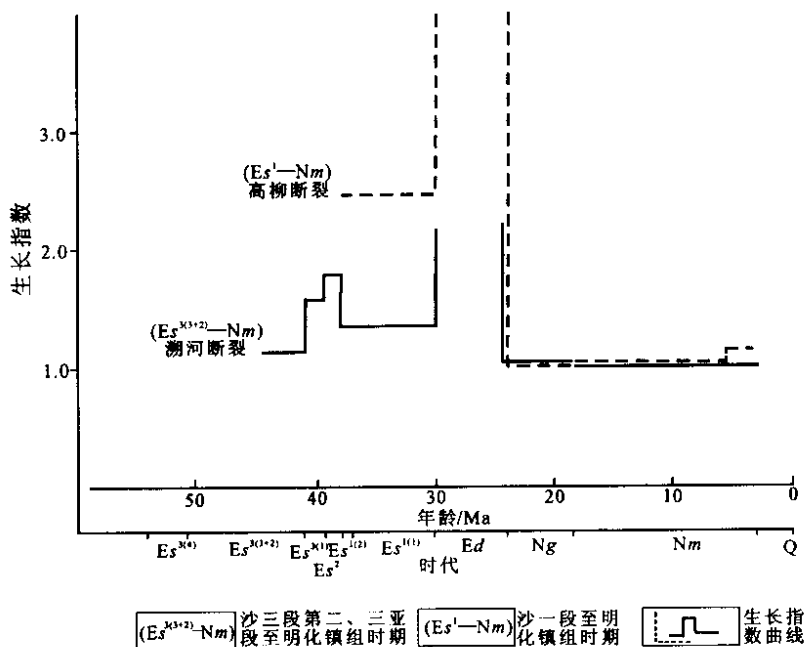


图4 溯河、高柳断裂生长指数曲线

Fig.4 The growth index curve of Suhe and Gaoliu fault

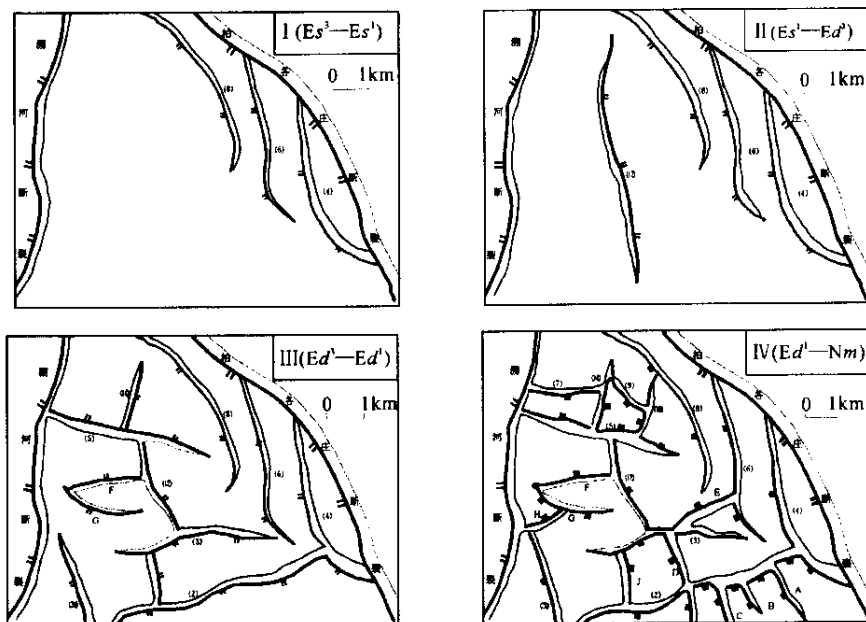


图5 柳赞地区断裂形成次序图

Fig.5 The formation sequence of faults in Liuzan region

- I. 沙河街组第三段至第一段时期；II. 沙河街组第一段至东营组第三段时期；  
 III. 东营组第三段至第一段时期；IV. 东营组第一段至明化镇组时期

曹妃殿、柳南次凹，它们则是沙一段和东营组的生油凹陷，如图 1 所示。

钻探结果表明，南堡凹陷古近系发育 3 套生油岩层，即：沙三段 ( $E_s^{x(5)}$ — $E_s^{x(2)}$ )、沙一段 ( $E_s^1$ ) 和东营组第三段 ( $E_d^3$ )，其中沙三段第四亚段 ( $E_s^{x(4)}$ ) 亚段的深灰色泥岩、油页岩是本区内的主力生油层。

### 3.2 断裂活动控制着储集相带展布

由于受柏各庄、高柳和溯河同沉积断裂活动的影响，位于高柳断层上升盘柳赞构造的主体部位，沙三段发育了一系列近源水下扇体的扇中亚相，沙一段为沿岸扇三角洲沉积的前缘亚相，岩性均以砂砾岩粗碎屑沉积物为主，到高柳断层以南和溯河断层以西，其岩性变细，泥质含量增高，相变为扇端和前扇三角洲的泥质岩相。

### 3.3 断裂是油气运移的主要通道

#### 3.3.1 边界断裂是柳赞地区供油的油源断裂

根据柳赞构造主体部位探井岩心观察发现，本区沙河街组泥岩颜色以褐色、褐灰色为主，几乎没有深灰色和黑灰色暗色泥岩段。褐色泥岩段多以隔层或夹层出现，其厚度较薄，在 20cm~40cm，因此，推测柳赞地区沙河街组可能不具有生油能力。其中深层沙三段第五亚段 ( $E_s^{x(5)}$ )、沙三段第二、三亚段 ( $E_s^{x(2+3)}$ )、沙三段第一亚段 ( $E_s^{x(1)}$ )、沙一段 ( $E_s^1$ ) 和浅层馆陶组 ( $N_g$ )、明化镇组 ( $N_m$ ) 的油气主要来自其临近的生油次凹，油源对比的结果亦证实了柳赞油田的原油绝大部分是来自邻区拾场次凹内主要烃源岩沙河街第三段第四亚段 ( $E_s^{x(4)}$ ) 生油层。其中断裂是油气运移的主要通道。主要依据是：

① 沉积相研究结果：沙河街组砂体厚度薄而分散，且连通性差，故本区缺少稳定分布和连通性较好的砂体，不利于油气侧向长距离运移。

② 据生烃史研究，与本区临近的拾场生油次凹中主要烃源岩沙三段第四亚段 ( $E_s^{x(4)}$ )，在沙三段第一亚段 ( $E_s^{x(1)}$ ) 时期开始进入成熟范围，在沙一段 ( $E_s^1$ ) 时期达到高成熟阶段，因此，油气向柳赞地区的主要运移期为沙河街组沉积晚期，此时正是断入生烃区沙三段主力生油岩中的溯河断裂和高柳断裂主要活动时期，断裂处于开启状态，对油气运移起通道作用<sup>[3]</sup>。如图 6 所示，溯河断裂下降盘柳 4 井沙三段第二亚段第一油组 ( $E_s^{x(2)}-I$ ) 为上倾岩性尖灭油藏，上部油层向东至断裂上升盘柳 28 井相变为泥岩，而柳 4 井油层之下 I 油组中另外三个砂岩水层至柳 28 井处仍然存在，也为水层。这表明溯河断层是开启的<sup>[4]</sup>。因此，溯河断层可以作为拾场生油次凹沙三段第四亚段 ( $E_s^{x(4)}$ ) 生油层向柳赞构造供油的油源断层，对油气运移起通道作用。

#### 3.3.2 柳赞地区内的小断层亦是油气运移的次级通道

在古近系内发育的小断层和从沙三段第四亚段 ( $E_s^{x(4)}$ ) 一直断到馆陶组 ( $N_g$ )、明化镇组 ( $N_m$ ) 组内的小断层，在断层活动期间也可以作为油气垂向和侧向运移的通道。尤其是在砂层发育的层段中，落差较小的四、五级断层，其封闭性很差，在油田开采过程中，已有实例证实了此类断层往往是开启的。

从以上分析可以看出，柳赞地区油气运移主要存在着沿主断面垂向运移和穿阶梯状断层侧向运移两种方式。前者主要是沿边界断裂进行的，后者则是沿区内次级断裂进行的。二者交替进行便构成了柳赞地区油气运移的路径。柳赞地区由于受其边界同沉积断裂活动的控制自沙河街组沉积起，一直处于南堡凹陷的较高部位，直到第四系，区内阶梯状分布的东西向和南北向断层并未改变这一高部位低势区的状态。因此，柳赞地区一直是油气运移的指向和油气聚集的有利地区。

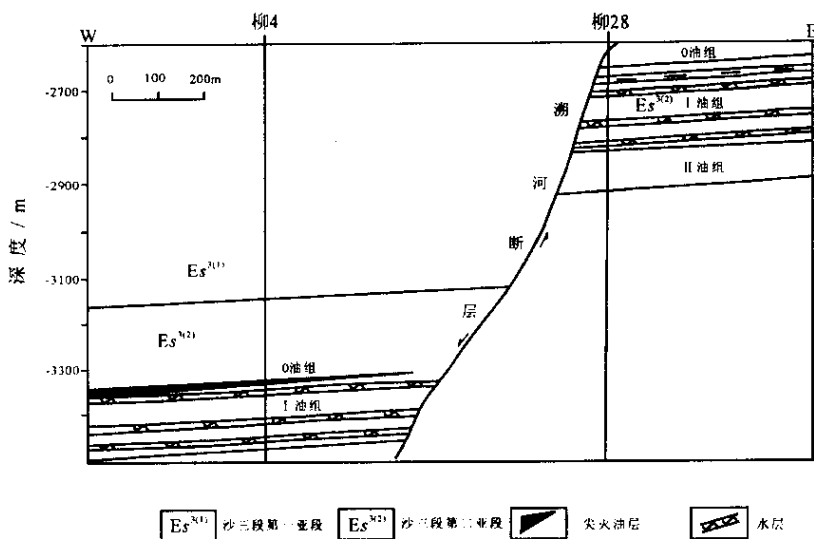


图6 柳赞地区柳4-柳28油藏剖面图(据冀东油田勘探开发公司,1991)

Fig.6 The pool cross section from Liu4 well to Liu28 well in Liuzan region

### 3.4 东营期产生的东西向正断层使已聚集的油气重新分配

东营期的构造运动在本区表现得很剧烈,高柳断层东段发生了区域抬升使大部分东营组被剥蚀,同时产生了一系列东西向的正断层。这些断层同原有的南北向断层交错,在区内构成断块,并使原有的地垒块更加抬升,地堑式继续下降掀斜变成向某一方向倾斜的断块,使原有的油气聚集发生了重新分配。

东营期的断裂活动对已聚集的油气的影晌,可从柳11号断块(L11)和柳13号断块(L13)的含油状况看出,柳13号断块(L13)的含油层位低,为沙三段第三亚段( $E_s^{x(3)}$ )的II、III油组,而柳11号断块(L11)的含油层位高,自沙三段第二亚段( $E_s^{x(2)}$ )的0、I油组开始,向下沙三段第三亚段( $E_s^{x(3)}$ )也含油。在相带位置方面,两个断块都处于扇中部位。造成这种差别的原因显然是东营期的断裂使柳13号断块(L13)下降,成为地堑型的断块,与之相反的是柳11号断块(L11)在这次断裂活动中继续保持着地垒型的位置,且有所上升,在柳11井中并形成气顶,可以断定,柳13号断块(L13)原先储集的油气在东营期断裂活动中有所散失,仅保存下沙三段第三亚段( $E_s^{x(3)}$ )中的部分,而柳11号断块(L11)中的油气则更富集。

## 4 结论

(1) 柳赞地区断裂是分期次产生的,SN走向断层的形成时期早于EW走向的断层,前者对油气运移聚集起着积极作用,后者使油气聚集复杂化。

(2) 该地区的油气主要来自溯河断裂以西和高柳断裂以北的拾场生油次凹,断裂是油气运移的通道。油气于沙河街组沉积晚期聚集成藏,在东营期发生重新分配后定型至今。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 贾志斌. 张扭性边界大断层上盘的构造分布模型 [ J ]. 石油地球物理勘探, 1993, 28 ( 5 ): 584 ~ 590.
- [ 2 ] 王燮培, 费琪, 张家骅. 石油勘探构造分析 [ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990, 80 ~ 128.
- [ 3 ] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compaction sediments [ J ]. JPG. 1991, 14 ( 2 ): 161 ~ 180.
- [ 4 ] 薛云松. 断层在南堡凹陷复式油气聚集区形成中的作用 [ J ]. 冀东油气, 1993, ( 2 ): 48 ~ 52.

## FAULTING IN FORMATION OF POOL IN LIUZAN REGION OF EASTERN HEBEI

DING Wen-long<sup>1</sup>, ZHANG Bo-wen<sup>2</sup>

( 1. Department of Automation, Tsinghua University, 100084;

2. China oil and gas Exploration and Development Corporation, Beijing 100724 )

**Abstract** : Faults are well developed in Liuzan region in Jidong ( eastern Hebei ) oil field , and there are more than thirty faults in 40km<sup>2</sup>. But there are several key issues that need to be solved , such as when these faults wre formed , what function these faults acted on oil and gas accumulation and pool formation , and does hydrocarbon accumulation results in faulting or vice versa ? These are critical problems in pool formation study , as well as in resources assessment in this region and identification of favorable exploration targets. The author's study shows there is a sequence for fault formation. Fault formation and distribution are controlled by boundary fault of Baigezhuang , Shuohe and Gaoliu. Fault played different roles in pool formations in different times.

**Key words** : Liuzan region ; fault ; pool ; oil-gas accumulation