

文章编号: 1006-6616(2003)02-0122-07

济阳拗陷桩西油田 L451 断块断裂特征 及其封闭性

王洪宝^{1,2}, 缪明才³, 吴孔友⁴, 洪梅⁴, 钟建华^{4,5}

(1. 浙江大学地球科学系, 杭州 310026; 2. 胜利油田东辛采油厂, 山东东营 257094;
3. 胜利油田桩西采油厂, 山东东营 257098; 4. 石油大学(华东)地球资源与信息学院,
山东东营 257061; 5. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘要: L451 断块的基底形态为一典型的凸起—缓坡边缘构造坡折带, 盖层沿基底斜坡向上超覆, 呈单倾形态, 构造简单, 油气主要受断层控制。区内共发育 6 条断层; 走向为 NNE 向和 NWW-EW 向两组, 其中 NNE 向断层形成早且具生长性质, NWW-EW 向断层形成晚, 两组断层相交构成墙角式断块。在分析断层几何特征基础上, 从断层活动期与油气运移期的匹配关系、泥岩涂抹带的是否连续分布等因素分析了研究区断层的封闭性, 最后利用模糊数学的方法综合评价了各砂体的封闭性, 评价结果与油田钻井基本吻合。

关键词: 济阳拗陷; 断块; 断裂特征; 形成机制; 断层封闭性

中图分类号: P542+.3

文献标识码: A

1 地质背景

埕子口凸起南邻车镇凹陷、东为沾化凹陷、北邻埕北凹陷、西接埕宁隆起, 是济阳拗陷内一个次级构造单元, 毗邻渤海。L451 断块位于埕子口凸起北坡腰部(图 1), 处于埕宁隆起复式大背斜埕东短轴小背斜北翼^[1]; 东临老河口油田桩 106 块, 西邻飞雁滩油田, 南邻埕东油田, 北邻埕岛油田及埕北凹陷, 面积约 40km²。基底为侏罗纪、白垩纪地层, 呈单倾形态, 但基底顶部由浅入深坡度由缓变陡, 为一典型的凸起—缓坡边缘构造坡折带^[2]。该区盖层构造简单, 地层沿基底斜坡向上超覆; 沙河街组四段—沙河街组二段较薄, 整体呈楔状, 圈闭主要依靠断层侧向遮挡; 断层对本区的油气成藏起重要的控制作用。

2 断层特征及其形成机制

2.1 断层特征

收稿日期: 2002-10-31

作者简介: 王洪宝(1962-), 男, 毕业于石油大学(华东)石油地质专业, 1994 年获硕士学位, 长期从事油气田勘探开发工作, 现任东辛采油厂总地质师, 现在浙江大学攻读博士学位。电话: 0546-8557171



图 1 研究区构造位置图

Fig.1 Location map of studying area

L451 断块内共发育 6 条断层 (图 2), 主要的控油断层为 L451 井东 1 号断层 (图 2 中③), L451 井南断层 (图 2 中②)、L45 井南断层 (图 2 中①)、L45 井东断层 (图 2 中④)。L451 井东 1 号断层位于研究区中部, 走向 NNE, 倾向 SEE, 断面倾角在 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间, 平面延伸近 3km。该断层主要发育在沙河街组, 向上切入东营组三段, 向下切入基底, 断距最大为 60m。沙河街组和东营组三段上、下盘厚度明显不同, 显示该断层具同生性质, 最大生长指数可达 1.7, 且下盘在抬升过程中形成牵引构造, 推测其形成始于沙河街组沉积早期, 持续活动到东营组沉积早期。



图 2 L451 断块断裂及油气分布图

Fig.2 The L451 block and oil distribution

- ①L45 井南断层; ②L451 井南断层; ③L451 井东 1 号断层;
- ④L45 井东断层; ⑤L451 井东 2 号断层; ⑥L451 井东 3 号断层

L451 井南断层位于 L451 井以南, 走向 NWW; 倾向 NE; 倾角在 $55^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间, 平面延伸近 6km, 与 L45 井南断层交会于 Z106-10-7 井附近; 构成墙角式断块。该断层主要发育在古近系中, 向上切入新近系馆陶组底部, 向下终止于基底顶面, 推测主要形成于东营组沉积末期至馆陶组沉积初期。

L45 井南断层位于 L45 井以南, 走向 EW, 断面北倾, 倾角在 $50^{\circ} \sim 76^{\circ}$ 之间; 延伸 10km, 横贯全区, 为研究区内最大的一条断层; 构造位置处于基底顶面由缓变陡的构造坡折带的锋线上。该断层与 L451 井南断层相似; 主要发育在古近系中, 切入新近系馆陶组底部, 向下终止于基底顶面, 断距变化较大, 为非生长性断层。

L45 井东断层位于 L45 井以东，延伸近 4km，走向 NNE，倾向东；被后期 EW 走向的 L45 井南断层所切断；构成墙角式断块。该断层断面近铲状，发育在古近系中，具生长性质，东营组三段及沙河街组在断层两侧的厚度有较大差异，东营组沉积期生长指数为 1.26，推测其形成开始于沙河街组沉积早期，持续活动到东营组沉积早期，与 L451 井东 1 号断层属同期断层。

2.2 断层的形成机制及其对沉积的控制作用

中、晚始新世（距今 45Ma ~ 37Ma）是郯庐断裂右旋活动最强烈的时期^[3]，导致渤海湾盆地形成左旋张扭应力场。在此背景下，渐新世以来济阳拗陷进入断层发育期，形成大量正断层，且大都具有同生断层的性质。此时 NE 走向的埕子口凸起东部边界断裂——埕东断裂也强烈活动，受其影响，L451 断块 L45 井东断层和 L451 井东 1 号断层、2 号断层、3 号断层先后形成。其中 L45 井东断层和 L451 井东 1 号断层具长期持续活动的性质，并且由于其走向垂直于坡折带、平行于水流向，在低水位体系域时期形成下切谷，构成水下沟道，控制了 L45 井区和 L451 井区两个扇体的沉积（图 3）。

新近纪以来，郯庐断裂控制下的渤海湾盆地各序次同生断层的活动强度大大降低。拗陷运动与郯庐断裂活动的关系已不密切，重力均衡作用占主导地位^[3]。研究区内随着沉积盖层的增厚，在基底顶面斜坡作用下发生重力滑动，沿构造坡折位置产生正断层，先后形成 L45 井南断层和 L451 井南断层；这也是它们没有切入基底的根本原因。

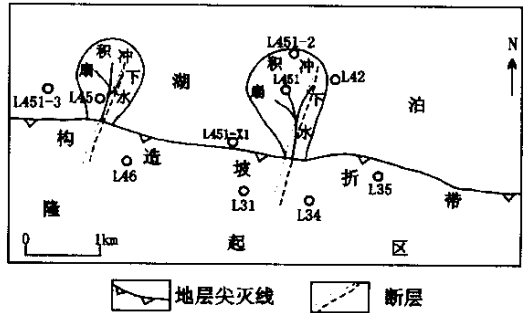


图 3 L451 断块沙河街组二—三段沉积相模式图

Fig.3 The sedimentary facies pattern of the Es²-Es³ Member in the block L451

3 断层的封闭性

L451 断块区褶皱不发育；油气主要聚集在断层形成的圈闭之中；因此研究断层的封闭性，对研究区的油气开发和下一步勘探寻找目标区有着重要意义。由于目前发现的油气主要集中在 L45 井区和 L451 井区且油田已处于开发阶段，因此封闭性研究主要针对 L451 井东 1 号断层、L451 井南断层、L45 井南断层及 L45 井东断层等控油断层和单个砂体展开。

3.1 断层活动期与油气运移期的配置

研究表明，在油气生聚期已停止活动的断层，特别是停止活动时间较长的断层，在多数情况下，都具有较强的封闭性；这种断层对油气运移聚集能起良好的封堵作用；相反，在油气大规模生聚期仍继续强烈活动的断层，一般来说，在纵向上常常具开启性，这类断层对油气藏特别是早期形成的油气藏往往起破坏作用^[4]。

L451 断块区控油断层活动期可分两个期次。L451 井南断层、L45 井南断层形成于东营组沉积末期至馆陶组沉积初期，对应于东营运动晚期；L451 井东 1 号断层、L45 井东断层形成于沙河街组沉积期和东营组沉积初期，对应于济阳运动及东营运动早期（图 4），这两条断层是研究区内主要的控油断层，也是典型的生长性断层。埕北凹陷生油门限深度为 2400m，其大量生油期和主要的油气运移期为东营组沉积末期至明化镇组沉积早期。根据断

层活动期与生油期匹配关系：L451 井东 1 号断层和 L45 井东断层在油气大量生成期已停止活动且停止活动时间较长，断层活动期与油气运聚期配置较好；L451 井南断层、L45 井南断层在大量生油期仍在活动，在馆陶组沉积早期停止活动，此时油气仍在大量生成；因此该断层早期作为油气运移的快速通道，晚期又可对流体进行侧向封堵。

3.2 泥岩涂抹因子分析

地壳上任一地区发育断层后，被断的岩层或岩体都会沿着断层面发生明显的位移。若被断地层中富含泥页岩，因泥页岩多具较强的可塑性，则在断层位移动过程中，随位移加大而变薄，沿断层涂抹分布，形成泥岩涂抹带。泥岩涂抹带沿断面附近连续分布，成为油气良好的遮挡面，是断层封闭中的一种重要封闭类型^[5]。

为了定量描述泥岩涂抹带在空间上分布，引入泥岩涂抹因子这一参数。泥岩涂抹因子是指断层沿一个横剖面内的位移倾斜距 L 与断面附近发生明显位移的泥页岩厚度 H 之比。即：

$$\text{泥岩涂抹因子 (Shale Smear Factor 缩写为 SSF)} = L/H$$

在实际求取某一断层被断储集层的泥岩涂抹因子时，是同一套储集层相当点（近似地取储层中点）之间的总滑距 L 与相当点所滑过的地层中泥岩沿断面的斜厚度之比值。研究表明，被断地层中泥岩累计厚度不低于总厚度的 25% 才能形成泥岩涂抹带^[4]。

据上式，对 L451 断块区内上述 4 条主要断层分层系对各砂体进行了泥岩涂抹因子计算。L451 井东 1 号断层下盘 1 号砂体 SSF 为 1.0，2 号砂体为 1.25，3 号砂体为 1.34；上盘 4 号砂体 SSF 为 2.6（图 5）。L451 井南断层下盘上部砂体 SSF 为 1.0，中部砂体为 1.2，下部砂体为 1.5；上盘 1 号砂体 SSF 为 1.7，2 号砂体为 1.6，3 号砂体为 1.65。L45 井南断层 1 号砂体 SSF 为 1.9，2 号砂体为 3.3。L45 井东断层下盘 1 号砂体 SSF 为 1.5，2 号砂体为 1.8；上盘 3 号砂体 SSF 为 2.1，4 号砂体的 SSF 为 2.8。邻区东营凹陷统计资料显示^[5]：SSF 值在小于 2 的情况下，断层能对油气起遮挡作用；大于 2 时，则断层封闭性较差。这一结果与我们对研究区内各断层计算的结果基本吻合，研究区内绝大部分含油砂体的 SSF 值均小于 2，介于 1.0~1.7 之间，个别砂体 SSF 值大于 2，主要依靠韧性剪切带的封堵作用。说明在 L451 断块区内 SSF 值小于 2 的储集层在断层活动过程中能形成连续分布的泥岩涂抹层，封闭条件良好，而

断层活动名称		断裂名称				油气生聚期
		L451井东断裂	L451井南断裂	L45井南断裂	L45井东断裂	
明化镇期						▲
馆陶期			▲	▲		▲
东营期	E ₁ ¹					▲
	E ₁ ²					▲
	E ₁ ³	▲			▲	
沙河街期	Es ¹	▲				▲
	Es ²					▲
	Es ³					▲

图 4 研究区断层活动期与油气运移期的关系

Fig.4 The match relationship of the time between the block activity and the oil migration

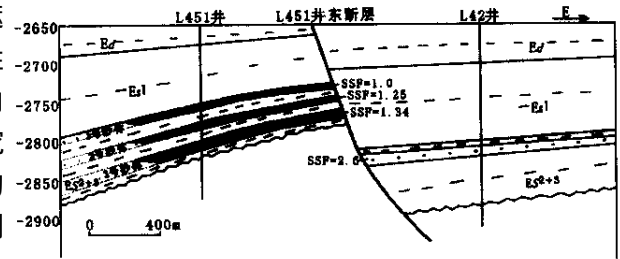


图 5 L451 井东 1 号断层泥岩涂抹因子分布图

Fig.5 The SSF distribution of the No. 1 fault in the east of well L451

SSF 值大于 2 的储集层在断层活动过程中形成的泥岩涂沫带不连续, 封闭条件差。由此判断: L451 井东 1 号断层下盘 1 号、2 号、3 号砂体, L451 井南断层 1 号、2 号、3 号砂体, L45 井东断层 1 号砂体等在断层活动中形成了连续分布的泥岩涂沫带, 具有较强的封闭性; L451 井东 1 号断层 4 号砂体, L45 井东断层 2 号、3 号、4 号砂体, L45 井南断层 2 号砂体等在断层活动过程中形成不连续的泥岩涂沫带, 封闭条件差。

3.3 断层封闭性模糊数学综合评价

断层的封闭与否; 不能仅仅靠某一种因素, 而必须是多种因素综合分析。模糊数学综合评价就是应用模糊变换和最大隶属度原则, 考虑影响断层封闭性的多种因素进行的综合研究。

依据影响断层封闭性的主要因素, 以及 L451 断块区的研究程度, 本次研究主要选取了 8 个评价因素: ①泥岩厚度与总厚度之比; ②泥岩厚度与砂岩厚度之比; ③断层倾角; ④断层力学性质(张性取值 0.2, 张扭性取值 0.35, 扭性取值 0.5, 压性取值 0.8, 压扭性取值 1.0)^[4]; ⑤断层产状与地层产状匹配关系(断层面倾向与地层倾向相同的正断层取值 0.5, 断层面倾向与地层倾向相反的正断层取值 0.9, 弧形反向正断层取值 1.0); ⑥油气运移期与断裂活动期的匹配关系(匹配取值 0.3, 欠匹配取值 0.7, 不匹配取值 1.0); ⑦断面岩性砂岩与泥岩配置取 1.0, 砂岩与砂质泥岩配置取 0.75, 砂岩与泥质砂岩配置取 0.5, 砂岩与砂岩配置取 0; ⑧泥岩涂抹因子, $SSF > 4$ 时取 0, $2 \leq SSF \leq 4$ 时取 0.5, $SSF < 2$ 时取 1.0。将各因素的取值输入 FaultSEM (Fault Sealing Evaluation Software System 的简称) 软件^① 进行模拟运算, 得出各断层封闭性综合评价表(表 1)。结果显示: L451 井东 1 号断层 1~3 号砂体, L451 井南断层 1、2、4~6 号砂体, L45 井东断层 1 号砂体, L45 井南断层 1 号砂体断层封闭性好, 能够遮挡油气的继续运移, 在附近聚集成藏, 这与勘探结果相符合, L45 井南断层 3 号砂体, L451 井南断层 3 号砂体断层封闭性较好; L451 井东 1 号断层 4 号砂体, L45 井南断层 2 号砂体, L45 井东断层 4 号砂体断层封闭性较差; L45 井东断层 2、3 号砂体封闭性最差。

4 结论

(1) L451 断块基底形态为一典型的凸起-缓坡边缘构造坡折带, 区内断层和坡折带一道控制了油气分布和水下扇体的发育。

(2) L451 断块区共发育 NNE 向和 NWW-EW 向两组断层, 其中 NNE 向断层形成早且具生长性质; 与 NWW-EW 向断层相交组成墙角式断块, 形成断块型圈闭。

(3) L451 井东 1 号断层在油气大量生成斯已停止活动, 可对油气进行侧向遮挡; L451 井南断层、L45 井南断层在油气生成期仍在活动, 于馆陶组沉积早期停止, 此时油气仍在大量生成, 因此该断层早期作为油气运移的快速通道, 晚期又可对流体进行侧向封堵。

(4) 通过泥岩涂抹因子分析计算, L451 断块区绝大多数断层满足封闭性的要求; 模糊综合评价结果也与油田钻井结果相吻合。

① 石油大学(华东)侯加根教授负责完成的中国海洋石油总公司“九五”科技攻关二级课题“渤海主要油气聚集带油气运移特征及断层封堵性研究”的研究成果。

表 1 老 451 断块区断层封闭性模糊数学综合评价结果

Table 1 Synthetical results of fuzzy mathematics about fault sealing in L451 blocks

断裂	砂体	综合评价隶属度值				评价结果
		好	较好	较差	差	
L451 井东 1 号断层	1 号砂体	0.66	0.11	0.19	0.04	好
	2 号砂体	0.62	0.11	0.14	0.13	好
	3 号砂体	0.48	0.36	0.14	0.02	好
	4 号砂体	0.29	0.2	0.45	0.04	较差
L451 井南断层	1 号砂体	0.51	0.21	0.12	0.16	好
	2 号砂体	0.48	0.20	0.24	0.08	好
	3 号砂体	0.31	0.39	0.16	0.14	较好
	4 号砂体	0.56	0.14	0.12	0.18	好
	5 号砂体	0.49	0.16	0.18	0.17	好
	6 号砂体	0.52	0.14	0.16	0.18	好
L45 井南断层	1 号砂体	0.38	0.31	0.23	0.08	好
	2 号砂体	0.27	0.15	0.48	0.10	较差
	3 号砂体	0.31	0.44	0.14	0.11	较好
L45 井东断层	1 号砂体	0.52	0.24	0.14	0.10	好
	2 号砂体	0.10	0.14	0.32	0.44	差
	3 号砂体	0.09	0.13	0.32	0.46	差
	4 号砂体	0.14	0.16	0.41	0.29	较差

参 考 文 献

- [1] 胜利油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷六)——胜利油田[M]. 北京:石油工业出版社,1987. 72~81.
- [2] 林畅松,潘元林,肖建新.“构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2000,25(3):260~266.
- [3] 宗国洪,肖焕钦. 济阳拗陷构造演化及其大地构造意义[J]. 高校地质学报,1999,5(3):275~282.
- [4] 刘泽容,等. 断块群油气藏形成机制和构造模式[M]. 北京:石油工业出版社,1998. 30~60.
- [5] 张煜,李亚辉. 东辛油田东营组泥岩涂抹因子与断层封闭性关系探讨[J]. 石油勘探与开发,2000,27(6):14~15.

STUDY ON THE FRACTURE FEATURES AND SEALING PROPERTIES OF THE L451 BLOCK IN ZHUANGXI OIL FIELD , JIYANG DEPRESSION

WANG Hong-bao^{1,2} , MIAO Ming-cai³ , WU Kong-you⁴ , HONG Mei⁴ , ZHONG Jian-hua^{4,5}

(1. *Earth Science Department , ZheJiang University , Hangzhou city , ZheJiang province 310026 ;*

2. *Dongxin Oil Recovery Plant , Dongying City , Shandong Province 257098*

3. *Zhuangxi Oil Recovery Plant , Dongying City , Shandong Province 257098 ;*

4. *Earth Resources and Information College , Petroleum University of China , Dongying City , Shandong Province 257061 ;*

5. *Guangzhou Geochemical Research Institute of CAS , Guangzhou city , Guangdong province 510640*)

Abstract : Based on the analysis of the L451 block , we know that the basement of the block is the typical structural slope-break zone located at the upward-gentle slope margin , and the cap rock overlapping on the slope of the basement shows the monoclines style . So the structure in the L451 block is simple and the faults controlled the characteristic of oil/gas . There are six faults trending in two main directions in the block , one is NNE , developed early and contemporaneously , and the other is NWW-EW , developed later . The corner-like block was formed by intersecting of the two groups of the faults . According to the analysis of geometric characteristic , the sealing properties of the faults are revealed by the several factors , such as the matching relationship between the fracture activity and the oil/gas migration stage , the extent of the continuous distribution of the mudstone-smearing zone . Then , using the fuzzy mathematics , we evaluate the sealing properties of the sandstone bodies , and the results are coinciding with the data of some wells in the oil filed .

Key words : Jiyang depression ; fault block ; fracture feature : formation mechanism ; fault sealing property