



东营凹陷沙一段断层封闭性研究

肖淑明¹, 王国壮¹, 钟建华^{1,2}, 孟 玮²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

2. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘 要：东营凹陷位于济阳拗陷的东南部，区内断层平面组合特征复杂，剖面组合类型多样，导致了该凹陷内断层体系的复杂性和构造类型的多样性。通过对东营凹陷沙一段断层封闭性研究的总结，概述了该区断层封闭性的主要原理和机理以及影响因素，从定量和定性的角度分析了评价断层封闭性的方法，讨论了泥岩涂抹、挤压和地球化学作用对断层封闭性的影响。

关键词：东营凹陷；断层封闭性；油气遮挡；油气运移聚集

中图分类号：TE122.3

文献标识码：A

济阳拗陷是中国东部新生代华北断陷盆地的一个二级构造单元。华北断陷盆地近年来已做过不少石油地质研究工作^[1~13]。东营凹陷位于济阳拗陷内，油气极为丰富，尤其是在凹陷中央构造带内，有多个年产超过 $50 \times 10^4 \text{ t}$ 的油田。但是经过近半个世纪的勘探开发，油气资源逐渐减少，尤其是近年来油气资源急剧减少，导致稳产难度加大。所以在滚动勘探与开发积累的大量资料基础上，利用近年来的新技术、新理论对油田所在的东营凹陷中央构造带进行全面的综合地质与成藏规律研究具有重要意义。

东营凹陷断裂系统发育，它控制着凹陷的构造格局。北部一系列南掉正断层与陈南断层一起构成了凹陷的北部陡坡构造带。而南部多发育走向基本一致的正断层，NEE 向展布，同时控制着缓坡断裂构造带。陡坡和缓坡带的走向决定了深洼陷带主断裂走向亦成 NEE，在深洼陷带发育中央构造带，为整个东营凹陷油气富集区域。

根据钻井资料，沙一段的断层大多数为控制含油断块油气富集程度和使油气水关系复杂化的四级断层，占总数的 73%；其次是三级断层，占 25%；而二级断层只占总数的 2%。尽管二、三级断层数量较少，但由于其长期活动，断层规模较大，故对构造的形成、演化和油气富集区块的形成，起着至关重要的作用。

1 断层封闭性研究的意义

断层封闭性的研究历史已有半个世纪之久，最早系统论述断层封闭性的是 Smith。Smith 于 1966 年从分析断层封闭性的实质出发，建立了断层封闭性的经典模型^[14]，并于 1980 年利

收稿日期：2009-03-09

作者简介：肖淑明（1966-），男，高级工程师，1987 年毕业于华东石油学院采油工程专业，现从事石油勘探与开发工作。

用油田实例论证了该模型的适用性。虽然 Smith 建立的断层封闭性经典模型有一定的局限性, 但为后来学者在这一领域的研究打下了坚实的基础: Downey 在 1984 年指出了断层封闭性的双向性, 即垂向和侧向封闭^[15]; Watts 于 1987 年从理论上论述了断层两盘不同渗透能力的砂岩相互对置, 断层无充填情况下断层封闭烃柱能力的差别^[16]; Allan 在 1989 年从油气运移的角度, 利用断面剖面分析技术, 进行了断层封闭性的研究^[17]; Gibson 于 1994 年阐述了断裂带充填物的存在及其分布规律对油气侧向封闭能力的影响^[18]; Berg 等 1995 年在研究生长断层封堵特征时, 比较了剪切带的性质与圈闭能力, 丰富了断层封闭作用的类型和研究方法^[19]; Yielding G 等 1997 年通过涂抹因子的求取与计算, 为断层封闭性的定量预测做出了贡献^[20]。可以看出, 早期的断层封闭性研究多集中在理论方面, 而近期的工作则侧重于断层封闭性的预测。

在国内, 近年来关于断层封闭性的讨论已引起人们极大的关注。张树林等 1997 年利用断层剖面分析技术和差异聚集模式研究断层封闭性^[21]。赵永祺等 1996 年以枣北孔一段为实例, 研究了原始条件下断层封闭性和注水开发后断层封闭性的变化, 此研究对调整注采系统和有效注水有较大的参考价值^[22]。杨克明等 1995 年探讨了塔里木盆地断裂的输导性和封闭性, 并认为该区断裂的封闭性是因断裂系统及断层的几何学和运动学特征存在差异造成的^[23]。吕延防等 1996 年通过断层两盘砂泥岩对接概率的模拟, 研究断层的侧向封闭程度, 利用断面压力研究断层的垂向封闭程度, 将两个分析结果组合判断断层的综合封闭能力, 此方法使断层封闭性的研究向半定量—定量化发展^[24]。王志欣等 1997 年从孔隙压力和有效压力原理出发, 提出了断层封闭性评价的新见解^[25], 值得进一步探索。李亚辉等和付广等 1998 年通过沉积埋藏史、构造演化史、应力场演化史的研究, 提出了通过计算地史时期断面所承受的正应力来研究断层封闭演化史的方法, 丰富了断层封闭性理论^[26 27]。

2 断层封闭性研究方法

油气通过断层运移有两种情况, 一是穿越断层面从断层的一侧运移到断层的另一侧; 二是沿断层面从深部地层运移到浅部地层或从浅部运移到深部地层, 前者称为侧向运移, 后者称为垂向运移。根据油气运移方向, 断层封闭性也分为两种情况, 即侧向封闭性和垂向封闭性。封闭体的封闭性主要取决于封闭体与储集体的排替压力差, 当断层目的盘的排替压力小于与之对置的断层另一盘岩层的排替压力(无断层充填)或断层充填物的排替压力(断层被充填), 断层在侧向上具有封闭性, 否则断层侧向开启; 当目的盘储集层的排替压力小于上覆岩层中断裂带的排替压力时, 断层在垂向上具有封闭性, 否则断层垂向开启。

基于此, 断层封闭机理相应可划分为两种类型, 第一种类型为侧向封闭, 侧向封闭还可划分为两类, 一类是对接封闭, 即目的盘渗透层与对置盘非渗透层对接引起的侧向封闭, 另一类是断裂充填封闭, 即断裂充填物所起到的侧向封闭作用; 第二种类型是垂向封闭。

断层封闭性的研究方法很多, 可以通过分析断层性质、落差大小、断面形态及断层两盘地层接触关系、断面能否形成较大排替压力的低渗带等多种方法进行研究。

2.1 根据断裂充填物判断断层封闭性

如果断裂充填物以泥质为主, 其泥质充填物本身就具备侧向封闭性, 并且该泥质充填物一定同时也具有垂向封闭性, 由此形成断层的侧向与垂向封闭, 但若断裂充填物以砂质为主, 则不具侧向封闭性。断裂中的充填物是一种普遍现象, 同生断层往往充填与围岩具相同

压实程度的充填物,而非同生断层往往充填的是断层碎裂物质,前者裂缝可能较少,后者裂缝发育。

2.2 根据断移地层的砂泥比值判断断层封闭性

同生断层断移地层的砂泥比值大于 1.0,非同生断层大于 0.8,断层不具封闭性;封闭断层断移地层的砂泥比值一般小于 0.6^[26]。分析造成同生断层与非同生断层封闭性不同的原因,可能主要是二者形成的时间及其导致的断裂充填物性质不同所致。由于非同生断裂充填物是岩石固结成岩后形成,碎裂物间的孔隙与裂缝需要重新压实与胶结后方能封闭流体,而这种压实与胶结无疑比处于塑性状态下同生断层产生的断层涂抹层差。因此,相同砂泥比值下同生断层的封闭能力比非同生断层好。

2.3 根据断层面倾角陡缓判断断层封闭性

断层倾角在塑性地层段缓,在脆性地层段陡,缓角断层的封闭性能好于陡角断层。

2.4 根据是否存在孔隙流体超压判断断层封闭性

当断层两盘或断层一侧地层中存在孔隙流体超压时,证明断层面不作为流体泄压的通道,断层封闭性好。

2.5 根据压力系数的垂向变化判断断层封闭性

所谓压力系数指实测地层压力与同深度静水压力之比值。一个具有统一压力系数的烃藏气顶点的系数最大,随着测压点的降低,压力系数减小,至烃水界面压力系数为 1.0。处于同一构造上多层叠置的含烃层,如果被断层或裂缝沟通,应属于同一烃藏,其各层压力系数应自最顶点至最底层有规律地递减。否则说明各含烃层并不互相连通,各自为独立的压力系统,断层不作为各烃层的沟通通道。

如果断层附近烃藏内压力系数小于 1.0,或井身剖面上多层叠置的烃储集层内压力系数无规律的变化,本身就说明断层不作为沟通上下储集层的油气运移通道,各储集层间的隔层封闭能力较强。

2.6 根据断移地层内垂向地温梯度变化判断断层垂向封闭性

如果断层作为流体垂向运移的通道,被断层沟通的上下储集层中流体应相互串通,上下储集层的地温应处于一个地温梯度。若断层不作为流体运移通道,上下储集层不连通,由于盖层的隔热作用或某些地层中放射性元素相对较多,在其蜕变时放出热量而使地温提高,造成上下相邻储集层内地温梯度的差异。因此,在断层附近,如果被断移的地层各层内的地温梯度不同,且差异较大,在地层剖面上各层地温梯度的变化无规律性,说明断层是封闭的。

2.7 泥岩涂抹分析

断层两盘在相对运动过程中,断面上往往会形成碎裂岩系列的构造岩或发生塑性物质流动,甚至出现重结晶现象,产生糜棱岩系列的构造岩。断裂带中这些物质的存在,对断层封闭性起着重要作用。因此在研究断层侧向封闭性时,不能仅仅依据断层两盘砂、泥岩是否对接,还应考虑断裂带中充填物质的影响。

复杂断块油田勘探的实践证明,当被断开的是砂泥岩间互的地层时,断裂带中碎裂岩不仅泥质成分增多,而且碎裂的泥岩极易变形,使砂质、角砾之间孔隙被堵塞,降低了断裂带的渗透性,使之成为油气运移的遮挡面。然而,真正使断层形成良好侧向封闭的还应是在断层错动过程中,由于构造应力和重力作用,使泥岩对两盘砂岩“涂抹”而形成的泥质薄膜,像一个天然“泥饼”堵塞了砂岩孔隙。泥岩涂抹层空间连续性越好,断层的侧向封闭性越好,反之越差。营 87 断块、辛 151 断块就是由于泥岩涂抹而形成的局部封堵圈闭油藏。

根据形成机理，泥岩涂抹层在空间上的连续性与其埋深、断面所受地应力、泥质含量和断层错动规模等因素有关。通常用泥岩涂抹因子（ SSF ）来定量地反映泥岩的涂抹情况，所谓涂抹系数是指断层的落差与通过目的盘上某一点泥岩的厚度之比。 SSF 值越小，泥岩涂抹越好，断层封闭性就可能越好；反之可能越差。根据资料统计，东营凹陷东辛地区涂抹系数小于或等于 2.2^①作为泥岩涂抹层在空间上是否连续的标准（见图 1），亦可作为判别断层侧向封闭性的参考（见表 1）。

由图 1 可以看出：①最大油柱高度所对应的 SSF 值在 2.0 左右，所对应的断层多为三级断层，说明本区三级断层的封闭性最好；②本区存在一个泥岩沾污因子界限值，这个数值大约为 4.3（见图 1）；③ SSF 值在 2~4.3 范围内，随着 SSF 值逐渐增大，油柱高度逐渐减小，而在 1.0~2.0 之间，随着 SSF 增大，油柱高度逐渐增大，说明三级断层的封闭性优于四级小断层；④ SSF 与油柱高度并不是完全的对对应关系，要想封堵较高的油柱，必然要有较小的 SSF 值，即断层的涂抹量较大，而 SSF 值小并不一定会封堵较高的油柱。

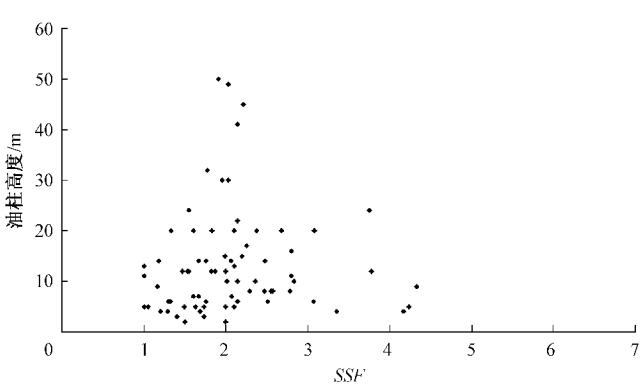


图 1 沙一段油柱高度与 SSF 值散点关系图

Fig.1 Relationship between oil column height and SSF Es₁

表 1 东辛油田部分断层 SSF 值数据表

Table 1 SSF value of some faults in Dongxin oil field

断裂名称	SSF 值变化范围	SSF 平均值	油层 SSF 值	油层 SSF 平均值
辛 37-1	1.10 ~ 10.00	2.36	1.11 ~ 1.90	1.58
辛 11-113	1.70 ~ 2.50	2.12	1.72 ~ 2.11	1.82
辛 11-30	1.60 ~ 2.30	2.00	2.00 ~ 2.27	1.94
辛 11-66	1.17 ~ 6.00	2.27	1.17 ~ 6.00	2.44
辛 68-4	1.00 ~ 2.76	2.06	2.10 ~ 2.80	2.45
辛 68-6	1.17 ~ 3.00	1.72	1.17 ~ 3.00	1.46
辛 68-10	1.00 ~ 100.00	2.85	1.00 ~ 1.83	1.41
辛 2	1.09 ~ 8.00	1.59	1.11 ~ 1.49	1.33
辛 37-1	1.00 ~ 100.00	1.95	1.00 ~ 5.00	1.97
辛 37-25	1.10 ~ 2.00	1.58	1.10 ~ 1.50	1.40
辛 23	1.26 ~ 3.76	1.74	1.26 ~ 3.76	1.93
辛 1	1.00 ~ 1.54	1.31	1.19 ~ 1.61	1.32
营 8	1.32 ~ 5.07	1.88	1.33 ~ 3.22	1.91
营 49	1.00 ~ 1.75	1.25	1.00 ~ 1.50	1.10

3 断面构造体系油气遮挡能力分析

断面形成通常经过两个阶段：首先是岩层受力发生断裂，然后是断裂面两侧的同—岩层

① 据胜利油田东辛采油厂内部资料。

产生相对位移（包括水平的张开或挤压，垂直的上下移动或沿断面发生水平的错位）。岩石断裂由于岩性不同使得断面倾角不相同，断裂面不是一平直的面，而是由许多角度不一致的层间小面组成^[28]。图 2 所示为本区主要断面形态，常见的有同向断层、反向断层、地堑状、地垒状和“Y”型断层。

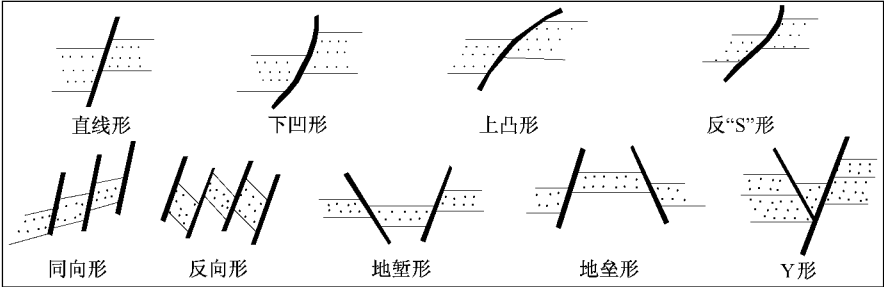


图 2 断面发育形态示意图

Fig.2 Sketch showing growth of faults in section

组成同向断层的各单个断层沿地层的下倾方向逐阶下掉，组成反向断层的各单个断层则沿地层的上倾方向平行排列，二者常与地堑状断层伴生。地堑状断层从上向下逐渐收敛，中间的断块像“楔子”一样被紧紧夹持其中，使得各断面间的摩擦力增大，断面间闭合程度高，有利于油气的聚集；如果地堑的断层倾角不对称，就会引起地层的翘倾，使得陡倾角的断层面张开，封闭程度变差。地垒状断层与地堑状断层恰好相反，断层从上向下呈发散状，断面间的挤压不紧密，摩擦力不大，有利于油气的运移。

断面实际上是在三维空间展布的曲面带，正断层一般断面形态为上陡下缓，而剪切断层为上缓下陡。本区断层断面形态较复杂，变化较大。无论哪种类型的断层，只要为曲面，当两盘相互运动时受力状况就是不一样的。以上陡下缓的正断层为例，当上盘下降时，断面上部出现相对伸展带（T），下部出现相对压缩带（C），而在中部为相对剪切带（S）；如果是剪切断层，也可划分出对应的 3 个带（见图 3）。

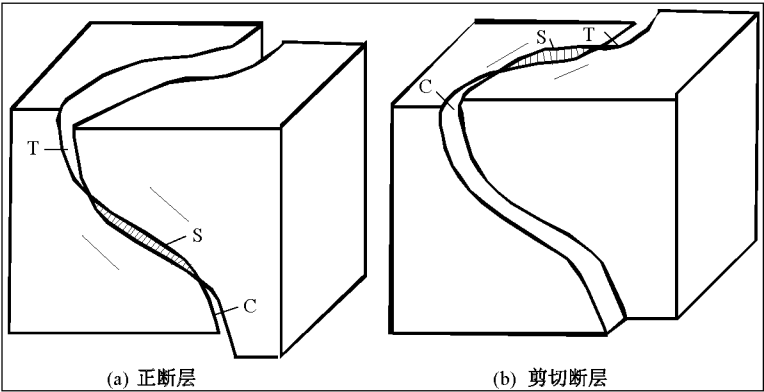


图 3 断面力学性质示意图

Fig.3 Sketch showing mechanical behavior of fault section

断面的伸展带和压缩带的概念对石油地质意义重大。断面的伸展带意味着断层的相对开启性，断层泥相对不发育，对油气遮挡性较差；而在断面的压缩带，由于构造挤压力相对较

大和断块本身的重力作用，使断面带封闭，对油气有封闭遮挡作用。压缩带的范围越大，封闭性也就越好。本区营 8—辛 58 断层、营 14 断层规模较大，平面上褶曲较多，故遮挡性相对较好（见图 4）。

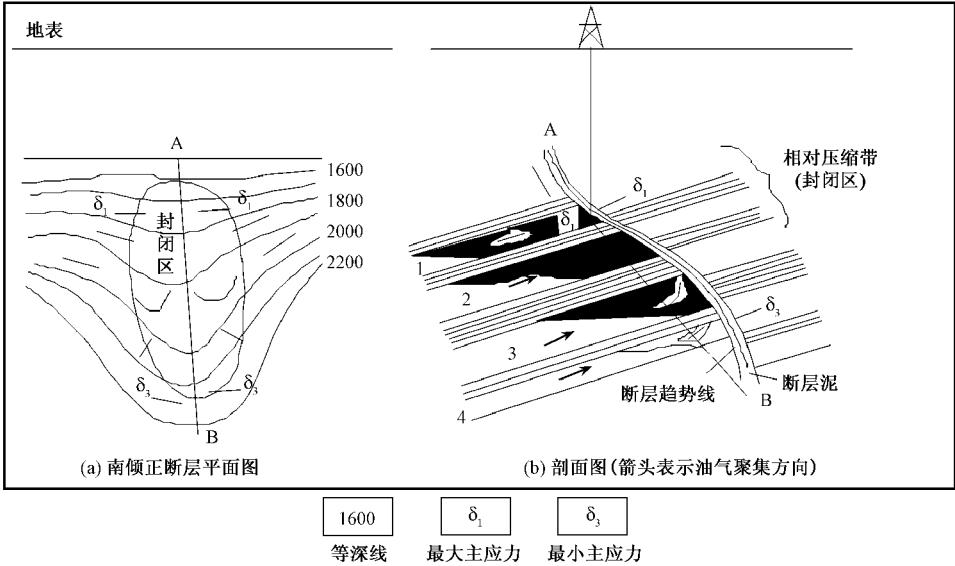


图 4 断面对成藏影响示意图

Fig.4 Sketch showing effect of faults on oil reservoir

4 断层封闭性与油气运移聚集

断裂是断陷盆地构造变动的主要形式。在复杂断块油田，断裂作用是控制油气聚散的主导因素，不同断块区油气富集程度差异悬殊。这主要是由于断层的封闭性及断块圈闭的完整性造成的。

4.1 断层作为油气纵向运移的通道

东辛地区沙一段纵向上含油气层系多，含油气井段长。沙一段地层本身虽然具有烃源岩，但由于埋深太浅，一般为 1800 ~ 2200 m，不够成熟，因此形成原生油气藏的可能性很小。所以沙一段绝大多数油气藏是来自深部烃源岩中的成熟油气或原生油气藏被破坏后沿断裂向浅层运移形成的次生油气藏。

某些断层附近高矿化度地层水的出现，也说明深部流体确实发生过沿断层的向上运移。济阳凹陷临盘、东辛等断块油气田的地层水矿化度资料显示，油源断层附近浅层地层水的矿化度显著提高，可为背景值的 2 ~ 3 倍。高矿化度地层水的分布趋势、油气藏的分布均与油源断层相一致，如辛 68-35 井的总矿化度在沙二段的 2079.9 ~ 2352 m 井段为 44715 mg/L，而在沙一段第四砂层组的 2047 m 时总矿化度为 46000 mg/L，说明地层水的确发生了沿断层的大规模纵向运移。油源断层成为压实水流向上泄水的通道，但伴随油气的大规模纵向运移主要应发生在构造作用强烈时期。显然这种运移作用在地质历史中是瞬时的、快速的，其运移的动力不单是浮力，而是在构造作用力的影响下，使地下流体产生很高的流体势，沿断层快速向上运移的。运移的相态可能是混相的，一旦注入到适当的地方，在重力作用下，油气逐

渐分异。依靠这种运移聚集方式,可在断层附近形成富集束状油气藏。多数油气藏含油带较窄,但纵向多层段含油,可叠合连片。

4.2 断层封闭程度的差异性

断裂活动导致不同断块区油气富集程度的差异,在东辛油田沙一段表现得非常明显。控制构造带形成发育的二级断层及部分三级断层,其活动期一直延续到中新世甚至上新世,如控制东辛埭式背斜带形成的营 8、营 1、辛 120 等二级断层,开始活动时期早,断距大,且长期继承性活动,活动时间跨越整个聚油期,断层沟通了下伏沙三、沙二段烃源岩和原生油气藏与沙一段各砂层组的圈闭之间的联系。同时,断层活动使断层面两侧岩性条件发生变化,从而导致断层面性质的变化,原来封闭断层面变为开启,而原来开启断层面变为封闭。

断裂活动导致深层原生油气藏的破坏和浅层次生油气藏的形成,油气沿断层作大规模纵向运移,在同一含油气构造内引起不同层位间的油气再分配。与此同时,由于断层侧向封堵性的差异,必然伴随着较大规模的穿越断层的横向运移。由于断层活动的长期性和多期性,断层在不同时期和不同层段的封闭性存在差异,导致平面上各断块之间油气聚散不平衡。有些断块区油气高度富集,如营 31、营 1 等断块区,有些则比较贫乏,如营 14 等断块区;有些断块曾富集过油气,后来由于断层活动而部分散失或全部散失。

5 结论

断层封闭性是一个极为复杂的地质问题,它不仅受断层的力学性质、断面承受应力状况、泥岩玷污带、断层两盘储集层排驱压力、断层两盘岩性配置关系、断层两盘地层产状配置关系和断层活动时期与油气运移聚集期的配置等多种地质条件制约,而且也受构造演化史、应力场演化史、盆地充填史的间接影响。

错综复杂的断层导致深部烃源岩层的油气及沙二、沙三段已形成的原生油气藏可通过纵向断层向沙一段运移,垂向运移距离可达数千米。断层在油气运移聚集中的双重性在复杂断块区表现最明显。没有断层开启和封闭双重作用的转化,沙一段就不可能形成纵向上长达数百米、众多油气藏沿断层叠瓦式分布的格局。断层的发生和活动时期不同,对油气运移的作用也不同。在断裂活动期,断层通常起通道作用,是油气大规模纵向运移的主要时期。在断层稳定期,多数断层表现为封闭作用,并作为断层圈闭的遮挡条件。正是这两种作用的结合,形成了沙一段油气沿断层呈叠瓦状展布的格局。

参 考 文 献

- [1] 徐守余,严科.渤海湾盆地构造体系与油气分布[J].地质力学学报,2005,11(3):259~265.
XU Shou-yu, YAN Ke. Structural system and hydrocarbon distribution in the Bohai Gulf Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(3): 259~265.
- [2] 赵国连,赵澄林,叶连俊.渤海湾盆地“四扇一沟”沉积体系及其油气意义[J].地质力学学报,2005,11(3):245-358.
ZHAO Guo-lian, ZHAO Cheng-lin, YE Lian-jun. Sedimentary system of “four fans and one channel” in the Bohai Gulf Basin and its significance for petroleum exploration [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11(3): 245~358.
- [3] 徐守余,李学艳.胜利油田东营凹陷中央隆起带断层封闭模式研究[J].地质力学学报,2005,11(1):19~24,59.
XU Shou-yu, LI Xue-yan. Fault seal model of the central uplift, Dongying Depression [J]. Journal of Geomechanics, 2005,

- 11 (1): 19 ~ 24, 59.
- [4] 刘伟, 余传谋. 河南濮卫环洼带断裂特征及其在油气运聚中的作用 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (2): 190 ~ 200.
- LIU Wei, YU Chuan-mo. Characteristics of faults in the Pu-Wei ring depression and its contribution to migration and accumulation of oil and gas [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (2): 190 ~ 200.
- [5] 王海潮, 王余泉, 秦云龙, 等. 渤海湾盆地沉积斜坡及其含油气性 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 23 ~ 30.
- WANG Hai-chao, WANG Yu-quan, QIN Yun-long, et al. Sedimentary slopes of the Bohai Gulf Basin and their oil potential [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (1): 23 ~ 30.
- [6] 首皓, 黄石岩. 渤海湾盆地济阳凹陷潜山油藏分布规律及控制因素 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 31 ~ 36.
- SHOU Hao, HUANG Shi-yan. Distribution and constraints of buried hill reservoirs in the Jiyang depression, Bohai Gulf Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (1): 31 ~ 36.
- [7] 李胜利, 于兴河, 陈建阳, 等. 渤海湾盆地济阳凹陷沾化凹陷地层流体压力分布规律及其对油气成藏的影响 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 37 ~ 42.
- LI Sheng-li, YU Xing-he, CHEN Jian-yang, et al. Distributing characteristics of fluid pressure in the Zhanhua subbasin, Jiyang depression, Bohai Gulf Basin, and their influence on oil and gas accumulations [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (1): 37 ~ 42.
- [8] 徐守余. 渤海湾盆地构造体系与油田地质灾害 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (1): 6 ~ 11.
- XU Shou-yu. Structural system and oilfield geological hazards in the Bohai Gulf Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (1): 6 ~ 11.
- [9] 贾齐山, 李胜利, 马乾, 等. 冀东油田南堡凹陷南堡2号构造带烃源岩地球化学特征与油源对比 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (4): 469 ~ 475.
- JIA Qi-shan, LI Sheng-li, MA Qian, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in the No. 2 structural belt of the Nanpu subbasin, eastern Hebei oil field, and source rock correlation [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (4): 469 ~ 475.
- [10] 孙思敏, 梁德富, 黄述旺. 东濮凹陷文留油田盐岩地震反射特征及相关油藏类型 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (4): 348 ~ 354.
- SUN Si-min, LIANG De-fu, HUANG Shu-wang. Seismic reflection characteristics of halite and related hydrocarbon accumulation types of the Wenliu oilfield in the Dongpu subbasin [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (4): 348 ~ 354.
- [11] 孙海宁, 夏景生, 钟建华, 等. 山东东营凹陷东部浊积扇油藏成藏条件与模式 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (3): 221 ~ 230.
- SUN Hai-ning, XIA Jing-sheng, ZHONG Jian-hua, et al. The condition and pattern of turbidite fan reservoir formation in eastern Dongying depression, Shandong Province [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (3): 221 ~ 230.
- [12] 王书宝, 钟建华, 陈志鹏. 惠民凹陷新生代断裂活动特征研究 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (1): 86 ~ 96.
- WANG Shu-bao, ZHONG Jian-hua, CHEN Zhi-peng. Characteristics of Cenozoic fault activities in the Huimin subbasin [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (1): 86 ~ 96.
- [13] 韩清华, 充鹏, 余朝华, 等. 渤海湾盆地东营凹陷辛店地区构造演化及油气成藏规律 [J]. 地质力学学报, 2008, 14 (4): 362 ~ 373, 345.
- HAN Qing-hua, YAN Peng, YU Zhao-hua, et al. Structural evolution and hydrocarbon accumulation in the Xindong area of Dongying Sag, Bohai Bay Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2008, 14 (4): 362 ~ 373, 345.
- [14] Smith D A. Theoretical considerations of sealing and nonsealing faults [J]. AAPG Bulletin, 1966, 50 (3): 363 ~ 374.
- [15] Downey M W. Evaluating seals for hydrocarbon accumulations [J]. AAPG Bulletin, 1984, 68 (11): 1752 ~ 1763.
- [16] Watts N L. Theoretical aspects of cap-rock and fault seals for single- and two-phase hydrocarbon columns [J]. Marine and Petroleum Geology, 1987, 4 (4): 274 ~ 307.
- [17] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures [J]. AAPG Bulletin, 1989, 73 (7): 803 ~ 811.
- [18] Gibson R G. Fault-zone seals in siliclastic strata of the Columbus Basin, offshore Trinidad [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78 (2): 1372 ~ 1385.
- [19] Berg R R, Avery A H. Sealing properties of Tertiary growth faults, Texas Gulf Coast [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79 (3): 375 ~ 393.
- [20] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81 (6): 897 ~ 917.
- [21] 张树林, 田世澄, 陈建渝. 断裂构造与成藏动力系统 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18 (4): 261 ~ 266.
- ZHANG Shu-lin, TIAN Shi-cheng, CHEN Jian-yu. Faulted structure and play [J]. Oil and Gas Geology, 1997, 18 (4):

- 261 ~ 266.
- [22] 赵永祺, 王华崇, 贾玉梅. 复杂断块油藏断层封闭性研究 [J]. 断块油气田, 1996, 3 (1): 21 ~ 25.
ZHAO Yong-qi, WANG Hua-chong, JIA Yu-mei. An analysis of fault characteristic in complex fault block oil reservoir [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 1996, 3 (1): 21 ~ 25.
- [23] 杨克明, 牟泽辉, 董秀芳. 塔里木盆地圈闭封闭样式及封闭效率分析 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22 (4): 11 ~ 15.
YANG Ke-ming, MU Ze-hui, DONG Xiu-fang. An analysis of the sealing styles and efficiencies of traps in Tarin Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22 (4): 11 ~ 15.
- [24] 吕延防, 陈章明, 陈发景. 非线性映射分析判断断层封闭性 [J]. 石油学报, 1995, 16 (2): 36 ~ 41.
Lü Yan-fang, CHEN Zhang-ming, CHEN Fa-jing. Evaluation of sealing ability of faults using nonlinear mapping analysis [J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16 (2): 36 ~ 41.
- [25] 王志欣, 信荃麟. 关于地下断层封闭性的讨论——以东营凹陷为例 [J]. 高校地质学报, 1997, 3 (3): 294 ~ 300.
WANG Zhi-xin, XIN Quan-lin. An analysis of sealing ability of subsurface faults [J]. Geological Journal of China Universities, 1997, 3 (3): 294 ~ 300.
- [26] 李亚辉, 刘泽容, 陈利. 断层封闭演化史研究方法及其应用 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1998, 22 (3): 16 ~ 18.
LI Ya-hui, LIU Ze-rong, CHEN Li. A method for studying on the evolution of fault sealing properties and its application [J]. Journal of the University of Petroleum China, 1998, 22 (3): 16 ~ 18.
- [27] 付广, 李凤君, 白明轩. 断层侧向封闭性与垂向封闭性关系分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 1998, 17 (2): 6 ~ 9, 52.
FU Guang, LI Feng-jun, BAI Ming-xuan. An analysis of lateral fault and vertical fault sealing [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 17 (2): 6 ~ 9, 52.
- [28] Villarroel T. Observation on the sealing properties of faults in Sumatra [A]. In : Petroleum Association 14th Annual Conversion Proceeding, 1985. 105 ~ 106.

ANALYSIS OF THE SEALING PROCESS OF FAULTS IN MEMBER 1 OF SHAHEJIE FORMATION IN THE DONGYING SAG

XIAO Shu-ming¹, WANG Guo-zhuang¹, ZHONG Jian-hua^{1,2}, MENG Wei²

(1. College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, China ;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract : The Dongying sag is located in southeastern part of the Jiyang Depression. The study area displays a great complexity of fault system in plane and a high diversity of structure in section. Based on a study of sealing process of faults in Member 1 of the Shahejie Formation, the authors have summarized the mechanism and affecting factors of sealing process of faults, and analyzed the method of quantitatively and qualitatively evaluating the sealing process of faults. Finally, a discussion has been made on the effect of compression and geochemistry on the sealing process of faults.

Key words : Dongying sag ; sealing process of fault ; screened oil and gas ; migration and aggregation of oil and gas