

文章编号: 0253-9985(2011)02-0192-07

渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对 油气成藏的控制作用

范柏江^{1,2}, 刘成林¹, 庞雄奇^{1,2}, 张健³, 李晓辉⁴, 马俊宝⁵

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249; 3. 中国石油 冀东油田公司 河北 唐山 063004; 4. 中国石油 长庆油田公司采气三厂, 内蒙古 乌审旗 017300; 5. 北京众博达石油科技有限公司 北京 102200)

摘要: 南堡凹陷断裂发育, 但断裂与本区丰富的油气有何关系还不明确。通过对地震资料的构造解释和断裂统计来研究断裂的基本特征。在此基础上, 结合本区圈闭条件、储层条件和油气运移条件, 来研究断裂对油气的控制作用。分析认为, 南堡凹陷内部的断裂以 NEE 向或者近 NE 向断裂为主, 在剖面上形成了“坡坪式”、“铲式”、“多米诺式”等多种构造样式。南堡凹陷内部的断裂可划分为 3 个级次: 一、二级断裂发育于古近纪, 一级控凹断裂发育时间最早、持续时间长、活动强度大, 二级断裂控制局部构造、发育时间稍晚; 三级断裂多为新近纪以来发育的次级断裂, 断裂发育时间晚, 活动强度小。在不同级次断裂的控制下, 本区形成了其特殊的石油地质条件。本区断裂系统对油气成藏的控制作用表现在 3 个方面, 即断裂的发育有利于各类圈闭的形成; 断裂引起的裂缝扩大了油气的储集空间; 断裂封闭性的差异使得深部油气运移至浅部聚集。

关键词: 断裂特征; 圈闭条件; 储层条件; 断裂封闭性; 南堡凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1 **文献标识码:** A

Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, the Bohai Bay Basin

Fan Bojiang^{1,2}, Liu Chenglin¹, Pang Xiongqi^{1,2}, Zhang Jian³, Li Xiaohui⁴, Ma Junbao⁵

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Research Center for Basin and Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei 063004, China; 4. Changqing Oilfield Company, PetroChina, Wushenqi, Nei Mongol 017300, China; 5. Beijing Polydoctor Petroleum Technology Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: Nanpu Sag has well developed faults, yet the relationship between the faults and abundant oil and gas is not clear in the study area. The paper studied the basic characteristics of faults through seismic interpretations of structures and statistical analysis of the fault distribution. On this basis and combining with the conditions of trap, reservoir and hydrocarbon migration, the paper researched the controlling effects of the faults on the oil and gas accumulation in Nanpu Sag. The results indicate that the majority of the faults trending NEE or NE in the Nanpu Sag, showing structural styles such as “flat and ramp style”, “listric style” and “domino style” and so on in the section. The faults within the Nanpu Sag can be classified into three orders, with the first- and second-order faults being developed in the Paleogene. The first-order faults control the formation of the sag and are characterized by the earliest development, long duration and strong intensity. The second-order faults control the local structures, and were developed later than the first-order faults. The third-order faults are mostly secondary faults formed since the Neogene with weak intensity. Unique petroleum geological conditions occur in the study

收稿日期: 2010-11-12。

第一作者简介: 范柏江(1983—), 男, 博士研究生, 油气藏形成机理与分布规律。

基金项目: 国土资源部、国家发改委和财政部联合组织的国家重大专项(2009-002)

area due to the control of faults of different orders. The controlling effects of the fault system on hydrocarbon accumulation are represented in three aspects ,that is ,the occurrence of faults benefits for the formation of various types of traps ,the fractures caused by faults enlarge the reservoir space for oil and gas accumulation ,the diversity of sealing ability of faults prompts hydrocarbons to migrate from the deep to shallow reservoirs where they accumulate.

Key words: fault characteristics , trap condition , reservoir condition , fault sealing ability , Nanpu Sag , Bohai Bay Basin

南堡凹陷为渤海湾盆地的一个次级构造单元,其北部与燕山相连,南部和东部毗邻渤海,凹陷面积为 1 932 km²^[1-4],自北向南分别为陆上的北堡构造、老爷庙构造、高尚堡—柳赞构造;滩海的南堡 5 号、南堡 1 号、南堡 2 号、南堡 3 号、南堡 4 号构造(图 1)。南堡凹陷油源充足,油气储量丰富,然而本区断裂极其发育^[5-6],油气似乎容易被断裂破坏。为了探讨断裂有无破坏油气的成藏或者破坏程度的大小,对凹陷全区的断裂系统进行了综合分析,并从油气藏的形成条件着手,来探讨断裂对油气成藏的控制作用,以利于认识断陷盆地的油气成藏特点。

1 断裂系统的基本特征

1.1 断裂分布特征

从断裂平面分布上看,南堡凹陷内部的断裂在全区均较发育。以明化镇组的断裂分布为例(图 1),该区断裂的走向以 NEE 向或者近 NE 向为主。按照断裂的活动强度、断距大小以及对构造单元的控制作用,本区的断裂大致可以分为三级。一级断裂为西南庄、柏各庄等控凹边界断裂,该类断裂呈继承性稳定发育,断裂的活动强度大,

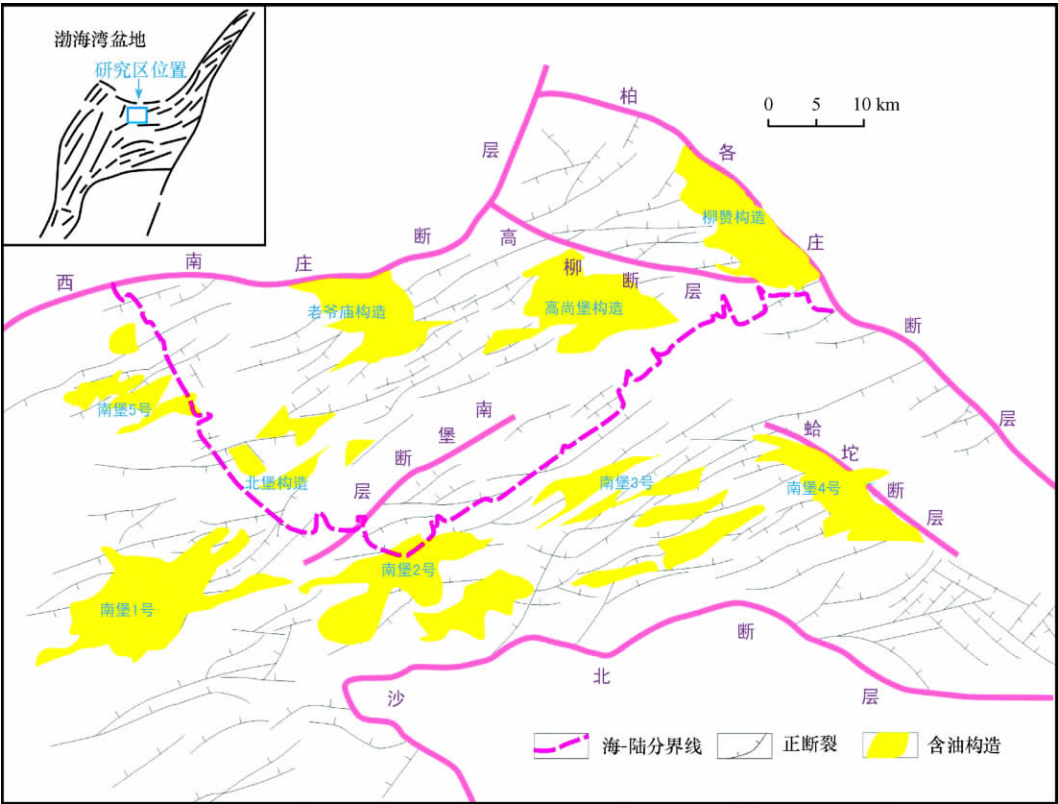


图 1 南堡凹陷区域构造及断裂分布

Fig. 1 Regional structures and fault distribution in the Nanpu Sag

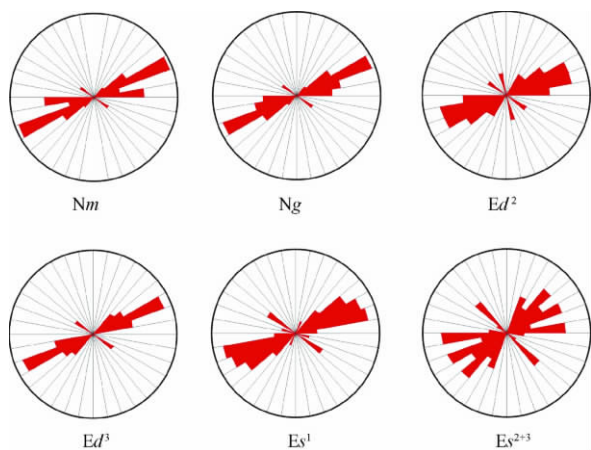


图 2 南堡凹陷断层方位分布

Fig. 2 Orientations of faults in the Nanpu Sag

活动时间长,控制了南堡凹陷的形成和演化,对各个次级构造的发育具有影响。二级断裂为南堡、蛤坨等控制次级构造单元的断裂,该类断裂大致在古近纪中晚期开始发育,具有一定的继承性,断裂活动时间和强度足以控制临近次级构造单元的发育。三级断裂数量最多,基本上是新近纪以来发育的次级小断裂,对凹陷的构造格局基本上没有影响,但这类断裂对局部圈闭的发育具有一定的控制作用。

通过对南堡凹陷不同层位断层方位分布的统计来看(图2),发现沙河街组一段及其上覆地层其内部发育的断层走向具有高度的一致性,NEE向的断层占据了绝对的主导地位。南堡凹陷深部

沙河街组二段及三段内部发育的NW向及NE向断层占有较大的比例,这可能与深部断裂发育的机制以及受早期构造运动的影响有关。但就全区而言,南堡凹陷发育的断裂系统具有很大的相似性,断裂的发育具有继承性的特征。

1.2 断裂几何特征

空间展布上南堡凹陷内部断裂具有一定的几何学分带特征。根据各次级构造单元构造样式不同,可以把南堡凹陷分为3个带:高尚堡构造-柳赞构造带、北堡构造-老爷庙构造带以及南部滩海构造带。高尚堡构造与柳赞构造带发育“坡坪式”构造样式,具有明显的断坡(坡度较大)和断坪(坡度较小)结构(图3);北堡构造-老爷庙构造带发育“铲式”构造样式,具有地堑内部断层向深部主边界断层交汇的特征,高尚堡构造的深部亦具备“铲式”构造样式的特征(图3);南部滩海构造带多发育“多米诺式”构造样式,具有地层发生破裂旋转、形状类似多米诺骨牌的特征,由于多期构造运动的影响,各期次的“多米诺式”构造样式容易发生叠加交错,典型的如南堡2号构造(图3)。从断裂的纵向组合上看,部分活动大断裂延伸至深部后,容易收敛在主边界断裂之上,该类断裂能很好地沟通深部烃源岩。在浅部,不同期次的次级断裂相互切割,断裂延伸范围较小,只局限于一定的深度范围发育,形成类似于网状的块断结构(图3)。

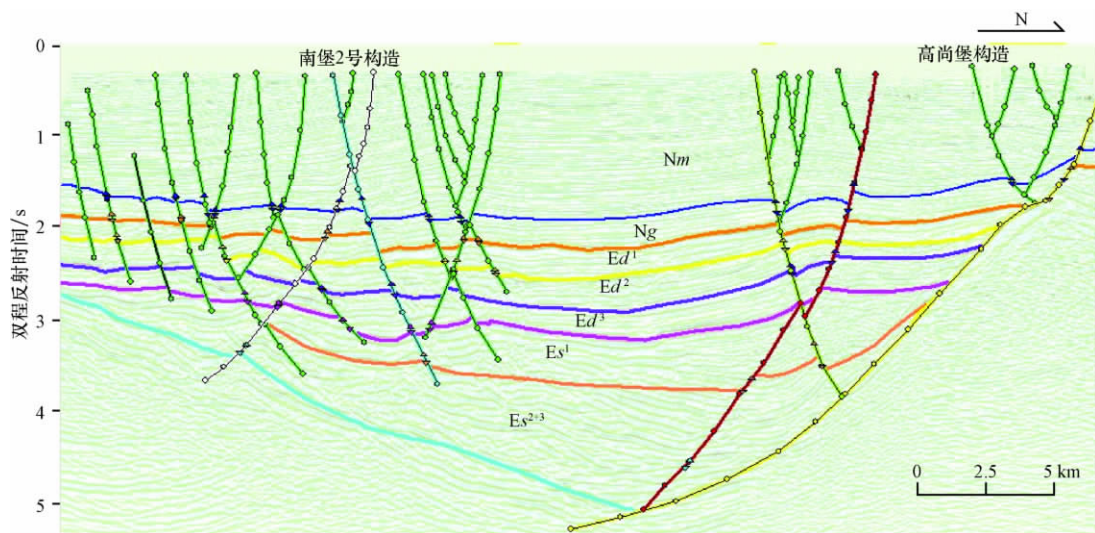


图 3 南堡凹陷南堡 2 号构造-高尚堡构造断裂发育剖面

Fig. 3 Profile of faults developed in the Nanpu 2-Gaoshangpu unit in the Nanpu Sag

1.3 断裂发育过程

南堡凹陷作为典型的断陷构造,其断裂系统的发展演化历史也即是古近纪、新近纪两个阶段。古近纪,受强烈构造活动的影响,本区进入断陷发育阶段,区内形成大量具有同生性质的正断裂,西南庄、柏各庄等控凹一级断裂在沙河街组三段沉积时期亦开始发育。沙河街组一段沉积期,在构造活动及先期同生断裂的双重影响下,区内二级断裂如南堡断裂、蛤坨断裂开始发育,此时本区开始具备箕状断陷的雏形。经过长期的断裂活动,在东营组二段沉积期,南堡凹陷内的一级断裂已经具备了铲式形态,受其控制凹陷开始形成“北断南超”的构造格局,在一级和二级断裂共同作用下,高尚堡、老爷庙、北堡构造均开始成型。新近纪,南堡凹陷构造活动减弱,基本呈继承性发育,凹陷发育已经不受一、二级断裂控制,由此,凹陷的沉积中心亦逐渐向南转移。新近纪以来,较快的沉积、伸展速率导致沉积地层迅速加厚。受上覆地层重力载荷的影响,各级构造坡折带产生众多次级正断层^[7],由于发育期次的差异,该类断层往往相互叠加切割,部分断层甚至延伸至深部被大断裂所切,次级断层对断层类圈闭的形成和对油气的输导均有影响。

2 断裂系统对油气成藏的控制作用

2.1 对圈闭条件的控制

南堡凹陷是在断裂活动控制下形成的箕状断陷构造,内部断裂相当发育,与断裂相关的圈闭有滚动背斜、逆牵引背斜、断块、断鼻、断背斜以及岩性圈闭等多种类型^[8-9](表 1)。受断裂活动以及

沉积、沉降作用的影响,不同构造带发育不同类型的圈闭且在形成时间上存在差异。平面上,高尚堡-柳赞、老爷庙、北堡等构造带的圈闭发育时间较早,一般在第一主沉积地层形成初期即形成雏形,圈闭定型时间也较早,如高尚堡-柳赞构造在沙河街组沉积时期发育并定型,而南部滩海地区圈闭定型时间主要在东营组沉积时期。

古近纪是南堡凹陷的裂陷发育期。该时期,老爷庙、北堡等陆上构造,由于深部基底大断裂发育且断裂在深部具有滑脱性质,因而在靠近深大断裂的上盘部位,容易受重力滑塌作用而产生剩余空间,从而导致地层变形形成滚动背斜,该类背斜通常具有圈闭闭合面积大、圈闭闭合度高的特点。而在深大断裂的下盘,受逆牵引力的作用,地层则容易变形形成逆牵引背斜,相对于断裂上盘的滚动背斜而言,其弯曲变形程度较小,圈闭面积亦较小,伴生断层的发育也较弱。在多米诺式构造样式发育的南堡 2、南堡 4 号构造,断裂在垂向分量上的活动性最为强烈,这为砂砾岩滑塌浊积体和深水浊积扇的发育创造了条件。沙河街组一段沉积时期,在边界断层的作用下,凹陷构造格局变化,沉降中心向滩海迁移。该时期,南堡凹陷为湖相沉积环境,烃源岩厚度大,成熟度高,油气运移动力大,因而滑塌浊积体较缓坡带滑塌浊积岩容易得到油源供给,利于形成岩性油气藏。

新近纪以来,南堡凹陷进入拗陷发育期,断裂活动减弱,整体沉降,凹陷沉积速率亦增加。受重力均衡作用影响,在先期发育同生断裂的基础上发育众多次级断裂,沿次级断裂带形成了断块、断背斜、断鼻、低幅度背斜等多种类型的圈闭。该类圈闭的形成与展布明显受到断裂活动的控制,如柳赞构造东营组、馆陶组其断鼻、断块圈闭发育,

表 1 南堡凹陷各构造单元断裂发育情况与圈闭类型对比

Table 1 Comparison of trap types and fault styles in different structural units of the Nanpu Sag

	北堡	南堡 1 号	老爷庙	南堡 2 号	高尚堡-柳赞	南堡 3 号	南堡 4 号
主要受控断裂	西南庄	西南庄 南堡	西南庄	次生断裂	高柳 柏各庄	南堡 次生断裂	蛤坨
构造样式	铲式		铲式	多米诺式	坡坪式		多米诺式
圈闭类型	滚动背斜 断块圈闭 断鼻圈闭	同沉积背斜 底辟背斜 断块圈闭	滚动背斜 逆牵引背斜 断块圈闭 断鼻圈闭	滚动背斜 底辟背斜 断块圈闭 断鼻圈闭	滚动背斜 同沉积背斜 断鼻构造 断块圈闭	低幅度背斜 断块圈闭	地垒构造 岩性圈闭 断块圈闭

在平面上,该类圈闭往往是由两条或两条以上的断层相交形成构造封闭或向下倾方向敞开;在剖面上,该类圈闭在储层的上倾方向往往会被断层切割封堵。

2.2 对储集条件的控制

晚白垩世末—古新世,南堡凹陷整体上遭受隆升剥蚀,沙河街组底部形成一区域不整合。尽管遭受长期的风化剥蚀形成风化壳,但在针对不整合面之下的古生界(尤其是奥陶系)油气勘探中,发现只有少数井存在放空现象,其原因是暴露时间太长,导致孔洞空间充填严重,孔渗性变差^[10]。但对古生界潜山油藏的勘探表明,构造裂缝能增加油气的赋存空间。

对于构造裂缝的研究,前人更偏重于从应力场的角度来进行分析或者模拟^[11-13]。但从应力场

作用结果上分析,构造裂缝是在断裂错动引起的局部差异诱导力条件下,断裂内及其附近岩石沿断裂面没有发生明显位移而形成的一种伴生或诱导构造^[14]。这也即是说,构造裂缝的发育往往伴随有断裂的发育。南堡凹陷断裂极其发育,本区断裂对构造裂缝的控制作用亦表现明显。从南堡1号、南堡2号构造与北堡构造对比情况上看,南堡1号及南堡2号构造深大断裂较北堡构造发育,其古生界灰岩中的张性构造裂缝发育情况明显较好,而北堡构造的溶蚀裂缝具备一定规模。南堡凹陷古生界碳酸盐岩(以灰岩为主)主要发育高角度的构造裂缝。通过对南堡1号构造和南堡2号构造的统计,发现本区古生界灰岩中的构造裂缝以NW向裂缝为主,裂缝基本上呈未被充填(图4a)或者被方解石充填(图4b)状态,未被充填的裂缝无疑为油气提供了潜在的储存空间(图4c,

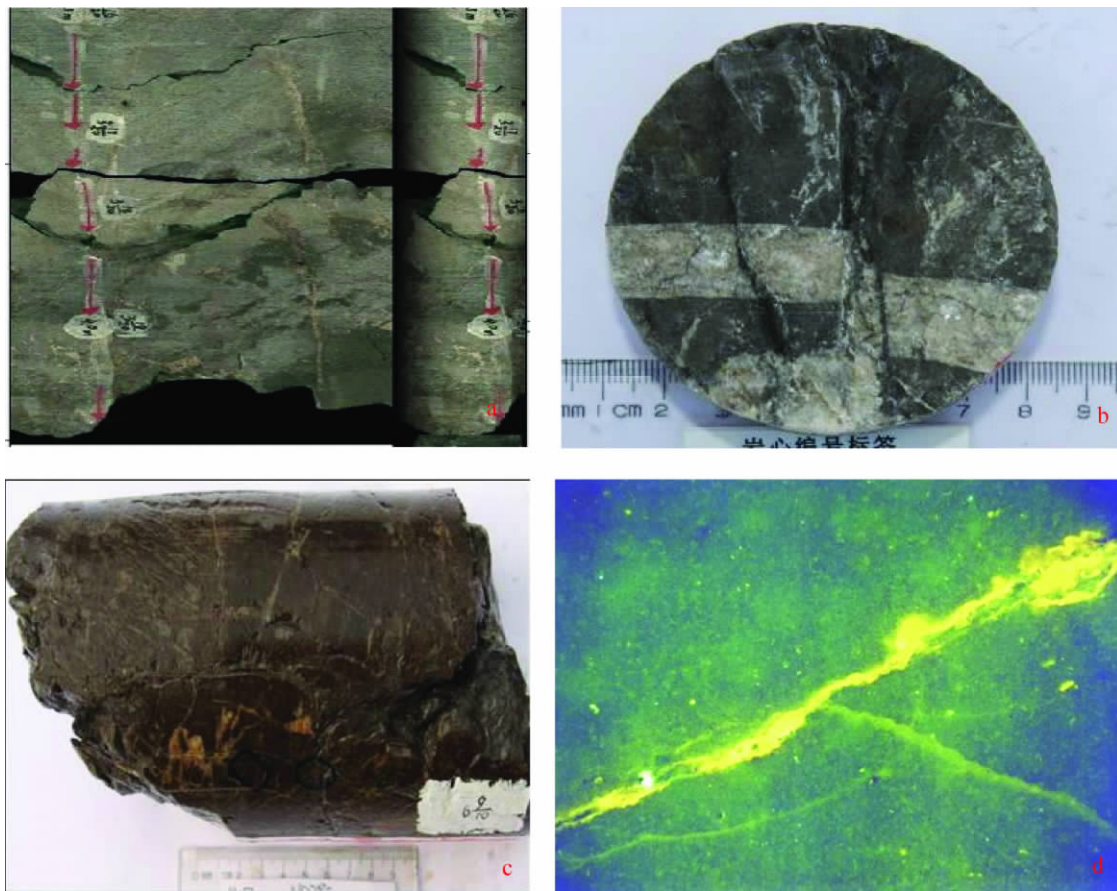


图4 南堡凹陷古生代碳酸盐岩中的构造裂缝

Fig. 4 Structural fractures in the Palaeozoic carbonate rocks of the Nanpu Sag

a. NP1-5井,灰岩构造裂缝,3963.2~3963.7m,岩心照片;b. NP1-80井,灰岩中两组高角度裂缝互相切割,3741.21m,岩心照片;c. NP280井,灰岩溶蚀孔洞沿构造缝发育,497.43m,岩心照片;d. LPN1井,灰岩构造缝含油(黄橙色光)177.40m,FL×102

d)。由于遭受多期构造运动的改造,南堡凹陷发育的构造裂缝具有一定的期次性,常见的是两组高角度裂缝交错发育(图4b),局部还可以见到3组裂缝交错发育,但裂缝发育的期次性在平面分布上并没有分区性,这可能与空间上受力分布不均匀有关。本区碳酸盐岩中的油气赋存与构造裂缝的发育相关,储集油气的孔、洞、缝空间往往与构造裂缝共存,如南堡280井奥陶系灰岩中(4 497.43 m)在其构造裂缝路径上发育有溶蚀孔洞,而在溶蚀孔洞及构造缝中含油(图4c)。综合取心情况分析表明,溶蚀孔洞发育的部位往往也是裂缝比较发育的部位。溶蚀孔洞缝沿着裂隙发育,这充分说明构造裂缝的形成时间相对较早,而溶蚀孔洞缝则是在后期、由烃类流体对构造裂缝进行改造而形成的^[15-16]。

2.3 对运移条件的控制

断层的封闭能有效遮挡下伏油气的运移。断层的开启能使油气发生运移或者发生再次运移,也能导致油气散失^[17-19]。从南堡凹陷已发现的油气看,靠近凹陷中部,其浅层油气相对较少;凹陷中部向外,其浅层油气相对较多。例如高尚堡、柳赞、老爷庙等构造,其浅层油气是现今油气开发的主力。究其根本原因,凹陷中部,深大断裂(尤其是一级控凹断裂)对其的控制作用较弱,深部油气难通过大断裂直接进入浅层,而在环凹陷带,受深大断裂长期持续活动的影响,深部油气可经断裂直接向上运移。

断裂对油气的封闭能力主要体现在断层样式、断层两盘地层性质、断层活动性等方面,在定量表征上,常用断裂的断面压力、泥岩涂抹系数等参数进行表征^[20-24],如Lindsay认为断面压力大于5 MPa为垂向封堵、Smith认为涂抹系数大于0.44为侧向封堵。但在不同地区,以上参数的取值标准会有差异。通过NP1-5井钻遇断裂及其周围断裂该类组合参数在垂向上的变化情况可以发现,东营组、沙河街组泥岩涂抹系数基本小于0.45,断面压力大致为4.31~12.31 MPa;明化镇组泥岩涂抹系数为0.42~0.67、断面压力为9.13~16.49 MPa。表明由下向上断裂的封闭性大致具有增强的趋势,明化镇组断裂的封闭性最强,基本上保持封闭,油气在纵向运移的过程中其难度逐渐增大,以至油气基本不能突破明化镇组

盖层。断裂输导的油气不断被断裂附近的相关圈闭“捕获”并保存下来,这也是本区尽管断裂发育,而油气没有被全部破坏的原因。就封闭机理而言,浅层的砂、泥岩分别处于塑性流动和弹性变形状态^[25],断裂易受到封堵,提高了其封闭性能。

3 结论

南堡凹陷断裂极其发育且以NEE向断裂为主,断裂的分布以“阶梯式”、“铲式”和“多米诺式”3种构造样式呈分带性分布。受各级断裂的控制,断裂相关类圈闭发育;断裂活动产生的构造裂缝改善了储层储集条件;断裂封闭性的差异变化使得运移的油气免遭完全破坏。因此,尽管南堡凹陷断裂发育,但对油气成藏仍具有一定的促进作用。

参 考 文 献

- [1] 郑红菊,董月霞,朱光有,等.南堡凹陷优质烃源岩的新发现[J].石油勘探与开发,2007,34(4):385-391.
Zheng Hongju, Dong yuexia, Zhu Guangyou, et al. High-quality source rocks in Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(4): 385-391.
- [2] 梅玲,张枝焕,范有余,等.南堡凹陷Es³⁽⁴⁾段烃源岩有机地球化学特征及其油源贡献[J].天然气地球科学,2009,20(6):961-967.
Mei Ling, Zhang Zhihuan, Fan Youyu, et al. Geochemical characteristics of Es³⁽⁴⁾ source rocks and its oil-source contribution in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(6): 961-967.
- [3] 汪泽成,郑红菊,徐安娜,等.南堡凹陷源上成藏组合油气勘探潜力[J].石油勘探与开发,2008,35(1):11-16.
Wang Zecheng, Zheng Hongju, Xu Anna, et al. Oil-gas exploration potential for above-source plays in Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 11-16.
- [4] 郑红菊,董月霞,王旭东,等.渤海湾盆地南堡富油气凹陷烃源岩的形成及其特征[J].天然气地球科学,2007,18(1):78-83.
Zheng Hongju, Dong Yuexia, Wang Xudong, et al. The generation and characteristics of source rocks in Nanpu oil-rich depression, Bohai Bay Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(1): 78-83.
- [5] 周海民,魏忠文,曹中宏.南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J].石油与天然气地质,2000,21(4):345-349.
Zhou Haimin, Wei Zhongwen, Cao Zhonghong. Relationship between formation evolution and hydrocarbon in Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 345-349.
- [6] 董月霞,汪泽成,郑红菊,等.走滑断层作用对南堡凹陷油

- 气成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 424 - 430.
- Dong Yuexia, Wang Zecheng, Zheng Hongju, et al. Control of strike-slip faulting on reservoir formation of oil and gas in Nanpu Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(4): 424 - 430.
- [7] 张文才, 杨凤波, 冯有良, 等. 南堡凹陷高柳地区古近系坡折带类型及隐蔽圈闭分布特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2006, 21(6): 15 - 19.
- Zhang Wencai, Yang Fengbo, Feng Youliang, et al. Types of the Paleogene slope-break zones and distribution of the subtle traps in Gaoliu area of Nanpu Sag[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(6): 15 - 19.
- [8] 周海民. 断陷盆地油气成藏动力学与含油气系统表征——以渤海湾盆地南堡凹陷为例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 1 - 87.
- Zhou Haimin. The accumulation dynamics of fault basin and the characterization of petroleum system—take the Nanpu Sag as an example[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 1 - 87.
- [9] 罗群, 史锋兵, 黄捍东, 等. 中小型盆地隐蔽油气藏形成的地质背景与成藏模式——以渤海湾盆地南堡凹陷为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 560 - 565.
- Luo Qun, Li Fengbing, Huang Handong, et al. Geologic settings and pool forming models of subtle petroleum accumulations in middle-small basins—a case study of the Napu Sag of the Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 560 - 565.
- [10] 成永生, 陈松岭. 南堡凹陷外围地区古生界地层油气成藏分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 108 - 112.
- Cheng Yongsheng, Chen Songling. Hydrocarbon accumulation of Paleozoic Strata in peripheral areas of Nanpu Sag[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(1): 108 - 112.
- [11] 周晓峰, 于均民, 杨双, 等. 青西油田下白垩统裂缝特征及其成因[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(6): 703 - 705.
- Zhou Xiaofeng, Yu Junmin, Yang Shuang, et al. Fractural characteristic and genesis of Lower Cretaceous in Qingxi Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(6): 703 - 705.
- [12] 孙永河, 万军, 付晓飞, 等. 贝尔凹陷断裂演化特征及其对潜山裂缝的控制[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 316 - 322.
- Sun Yonghe, Wan Jun, Fu Xiaofei, et al. Evolutionary of faults and their control on fractures in buried hill in Beier Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(3): 316 - 322.
- [13] 尹志军, 彭仕宓, 高荣杰. 裂缝性油气储层定量综合评价——以辽河油田齐家古潜山基岩储层为例[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 240 - 243.
- Yin Zhijun, Peng Shimi, Gao Rongjie. Quantitative assessment of fractured reservoir: take the basement rock reservoir of Qijia buried hill in Liaohe Oilfield as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(3): 240 - 243.
- [14] 徐广军, 崔广学. 苏仁诺尔断裂伴生和派生裂缝垂向封闭性形成时期研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 5 - 8.
- Xu Guangjun, Cui Guangxue. Research on formation period for vertical seal of fractures companied and derived by Surennuoer fault[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2007, 26(4): 5 - 8.
- [15] 吴智勇, 郭建华, 吴东胜. 大民屯凹陷静安堡西侧低潜山变质岩储层裂缝发育特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 322 - 325.
- Wu Zhiyong, Guo Jianhua, Wu Dongsheng. Fractured characteristics of metamorphic reservoirs in low buried-hill in west of Jing'anpu, Damintun Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 322 - 325.
- [16] 周波, 贾承造, 顾家裕, 等. 塔中台地边缘上奥陶统灰岩段裂缝对储层发育的控制作用——以塔中 I 号断裂带为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(2): 198 - 209.
- Zhou Bo, Jia Chengzao, Gu Jiayu, et al. Controlling effect of the fractures in Upper Ordovician fractures upon reservoir formation at the platform edge of Tazhong oilfield, the Tarim Basin—an example from the Tazhong-I slope break zone[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 198 - 209.
- [17] 范昌育, 王震亮, 李萍. 新构造运动对东濮凹陷北部古近系烃源岩生烃的影响及其对浅层油气成藏的意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 386 - 392.
- Fan Changyu, Wang Zhenliang, Li Ping. Influence of Neotectonics on hydrocarbon generation in the Paleogene source rocks of the northern Dongpu Depression and its implications for the forming of oil/gas pools in shallow strata[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 386 - 392.
- [18] 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 邻庐走滑断裂带活动特征与油气成藏的关系——以金县地区为例[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 102 - 106.
- Deng Jinhui, Zhou Xinhui, Wei Gang, et al. Strike-slip faulting activities in the Tanlu fault zone and their relationship with hydrocarbon accumulation—an example from Jinxian area[J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 102 - 106.
- [19] 张树林, 田世澄, 朱水安, 等. 南堡凹陷的断裂构造与油气三次运移[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 262 - 267.
- Zhang Shulin, Tian Shicheng, Zhu Shui'an, et al. Fracture structures and hydrocarbon third migration in Nanpu Depression[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(4): 262 - 267.
- [20] 吕廷防, 沙子萱, 付晓飞, 等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34 - 38.
- Lü Yanfang, Sha Zixuan, Fu Xiaofei, et al. Quantitative evaluation method for fault vertical sealing ability and its application[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 34 - 38.
- [21] 周文, 邓虎成, 单铭钰, 等. 断裂(裂缝)面的开启及闭合压力实验研究[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 277 - 283.
- Zhou Wen, Deng Hucheng, Shan Yuming, et al. Experiment research on open and closed pressure of fault (fracture) [J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(2): 277 - 283.

- [10] 赵明,樊太亮,于炳松,等.塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层裂缝发育特征及主控因素[J].现代地质,2009,23(4):709-718.
Zhao Ming, Fan Tailiang, Yu Bingsong, et al. Ordovician carbonate reservoir fracture characteristics in Tazhong area of Tarim basin [J]. Geoscience, 2009, 23(4): 709-718.
- [11] 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858-868.
Chen Jingshan, Li Zhong, Wang Zhenyu, et al. Paleokarstification and reservoir distribution of Ordovician carbonates in Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6): 858-868.
- [12] 何长坡,王振宇,张云峰,等.塔中北斜坡中下奥陶统鹰山组沉积相类型及分布研究[J].新疆石油天然气,2009,5(2):11-19.
He Changpo, Wang Zhenyu, Zhang Yunfeng, et al. Study on sedimentary facies types and distribution of the middle-lower Ordovician in the north ramp of Tazhong area [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2009, 5(2): 11-19.
- [13] 周波,贾承造,顾家裕,等.塔中台地边缘上奥陶统灰岩段裂缝对储层发育的控制作用——以塔中I号断裂带为例[J].石油与天然气地质,2008,29(2):198-205.
Zhou Bo, Jia Chengzao, Gu Jiayu, et al. Controlling effect of the fractures in Upper Ordovician fractures upon reservoir formation at the platform edge of Tazhong oilfield, the Tarim Basin—an example from the Tazhong-I slope break zone [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(2): 198-205.
- [14] 王招明,赵宽志,邬光辉,等.塔中I号坡折带礁滩型储层发育特征及其主控因素[J].石油与天然气地质,2007,28(6):797-804.
Wang Zhaoming, Zhao Kuanzhi, Wu Guanghui, et al. Characteristics and main controlling factors of the Upper Ordovician reef-bank reservoir development in the Tazhong I slope-break zone [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 797-804.
- [15] 赵宗举,周新源,王招明,等.塔里木盆地奥陶系边缘相分布及储层主控因素[J].石油与天然气地质,2007,28(6):738-744.
Zhao Zongju, Zhou Xinyuan, Wang Zhaoming, et al. Distribution of marginal facies and main controlling factors of reservoirs in the Ordovician, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(6): 738-744.
- [16] 代宗仰,周翼,陈景山,等.塔中中上奥陶统礁、滩相储层的特征及评价[J].西南石油学院学报,2001,23(4):1-5.
Dai Zongyang, Zhou Yi, Chen Jingshan, et al. The characteristics and evaluation of middle & upper Ordovician reef & shoal related carbonate reservoir in Tazhong north slope, Tarim Basin [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(4): 1-5.
- [17] 王振宇,严威,张云峰,等.塔中上奥陶统台缘礁滩体储层成岩作用及孔隙演化[J].新疆地质,2007,25(3):287-292.
Wang Zhenyu, Yan Wei, Zhang Yunfeng, et al. Diagenesis and porosity evolution of upper Ordovician platform margin reefs and grain banks reservoir in Tazhong area [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 25(3): 287-292.
- [18] 吕修祥,杨宁,解启来,等.塔中地区深部流体对碳酸盐岩储层的改造作用[J].石油与天然气地质,2005,26(3):284-290.
Lv Xiuxiang, Yang Ning, Xie Qilai, et al. Carbonate reservoirs transformed by deep fluid in Tazhong area [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 284-290.
- [19] 金之钧,朱东亚,胡文瑄,等.塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响[J].地质学报,2006,80(2):245-254.
Jin Zhijun, Zhu Dongya, Hu Wenxuan, et al. Geological and Geochemical Signatures of Hydrothermal Activity and Their Influence on Carbonate Reservoir Beds in the Tarim Basin [J]. Acta Geological Sinica, 2006, 80(2): 245-254.
- [20] 吕修祥,李建交,汪伟光.海相碳酸盐岩储层对断裂活动的响应[J].地质科技情报,2009,28(3):1-6.
Lv Xiuxiang, Li Jianjiao, Wang Weiguang. Responses of marine carbonate reservoirs to fault activities [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(3): 1-6.

(编辑 董立)

(上接第198页)

- [22] Knipe R J. Juxtaposition and seal diagrams to help analyze faults seals in hydrocarbon reservoirs [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(2): 187-195.
- [23] Smith D A. Sealing and nonsealing faults in Louisiana Gulf Coast salt basin [J]. AAPG Bulletin, 1980, 64(2): 145-172.
- [24] 全裕科,丁文龙,余腾孝,等.塔里木盆地巴楚隆起同岗断裂封闭性综合评价[J].石油与天然气地质,2008,29(6):769-773.
Quan Yuke, Ding Wenlong, Yu Tengxiao, et al. Comprehensive evaluation of sealing ability of Tonggang fault in the Bachu up lift of the Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(6): 769-773.
- [25] 谢建磊,杨坤光.冀东南堡凹陷关键成藏时刻主要断裂封闭性分析[J].西安石油大学学报(自然科学版),2006,21(3):5-8.
Xie Jianlei, Yang Kunguang. Analysis of the closeness of the main faults in Nanpu Sag in southeastern Hebei at key hydrocarbon accumulation moments [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2006, 21(3): 5-8.

(编辑 张亚雄)