

doi: 10.13745/j.esf.2015.03.006

# 走滑作用对渤海凸起区油气聚集的控制作用:以沙垒田凸起为例

黄 雷

1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 陕西 西安 710069
2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452

HUANG Lei

1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China
2. Tianjin Branch of CNOOC China Limited, Tianjin 300452, China

**HUANG Lei. The control of hydrocarbon accumulation by strike-slip motion within the Bohai Sea Rise: A case study from Shaleitian Uplift. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(3): 068-076**

**Abstract:** Although most oilfields discovered in the Bohai Sea were controlled by the NE-trending strike-slip fault, their controlling process was still poorly investigated. In this study, we choose the Shaleitian Uplift as one case to investigate the controlling process and mechanism of the NE-trending fault on the hydrocarbon accumulation. The result shows that the NE-trending fault had a long-term impact and cumulative effect on the hydrocarbon migration and accumulation. Two aspects about this impact are suggested: the Mesozoic sinistral motion of the NE-trending fault cut the basement, reworked the structural high of the basement, and consequently, controlled the migration pathways of hydrocarbon; whereas, the Cenozoic dextral motion of the NE-trending fault cut the draping structures and reworked the structural high of the Cenozoic strata, as a result, controlled the favorable site of hydrocarbon accumulation. Such understanding of the controlling process and mechanism of the NE-trending fault on the hydrocarbon accumulation can be widely referred in the hydrocarbon exploration of other areas offshore the Bohai Sea.

**Key words:** offshore Bohai Sea; strike-slip fault; Mesozoic sinistral motion; Cenozoic dextral motion; hydrocarbon accumulation

**摘 要:**渤海海域已发现油气中绝大部分受NE向走滑性质断层的控制,但对其具体控制过程缺乏深入分析。本研究选取NE向断层发育、且有相当油气发现的沙垒田凸起为解剖实例,从构造演化的角度对NE向断层控藏过程与机理进行了分析。结果表明,研究区NE向断层对油气运聚的控制作用是一个长期演化的累积效果,主要通过两个重要过程实现:中生代左旋活动分割基底,改造基底高点,控制油气运移路径;新近纪晚期右旋活动分割披覆构造,改造盖层高点,控制油气聚集场所。这一认识可为渤海其他地区油气勘探提供借鉴。

**关键词:**渤海海域;走滑断层;中生代左旋;新生代右旋;油气成藏

**中图分类号:**P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2015)03-0068-09

尽管在走滑作用对渤海湾盆地形成-演化影响的认识上尚存争议,或认为是盆地开启的主因<sup>[1-3]</sup>,或认为仅对盆地起到一定的改造-影响作用<sup>[4-6]</sup>,但从渤海海域目前的勘探结果来看,走滑断裂对盆地的浅层油气聚集具有明显的控制作用。例如,目前渤海所发现油气绝大多数位于NE向郯庐断裂带内<sup>[7-11]</sup>,而该断裂带在渤海新生代中、晚期发生较强的右旋走滑活动<sup>[1,5-6,10,12-14]</sup>。针对走滑作用对渤海

收稿日期:2014-05-02;修回日期:2014-08-28

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划(91214301,90814005);“十二五”国家油气重大专项(2011ZX05023)

作者简介:黄 雷(1982—),男,博士,主要从事油气勘探综合研究。E-mail:yutian0620@163.com

油气聚集控制的研究,目前在两方面尚显欠缺:一方面,尽管已有较多研究提及 NE 向郯庐走滑断裂带与渤海油气富集的耦合关系<sup>[8,15]</sup>,但走滑作用对油气聚集的具体控制过程鲜有针对性阐述;另一方面,从对渤海目前浅层油气富集规律的认识来看,NE 向郯庐断裂带各分支主断层在渤海东部一般处于新生代凸起-凹陷接合部位或凹陷内部,因而目前所关注的直接控制油气聚集的走滑作用也多位于这些构造部位<sup>[10]</sup>。但在凸起区内部,一般认为披覆背斜构造是重要的油气聚集控制要素<sup>[16]</sup>,因而走滑断层在凸起区内部对油气富集的控制作用未见相关讨论。

最新的三维地震资料显示,渤海西部沙垒田凸起内部发育多条 NE 向走滑断层。在凸起上已发现三级地质储量达 3.5 亿 t 的油田在空间分布上与走滑断层密切相关,这为深入分析 NE 向走滑断层对凸起区内部浅层油气聚集的控制机理提供了难得的实例。对其研究可望丰富走滑断层对油气聚集控制的认识。

## 1 区域地质概况

研究区沙垒田凸起位于渤海西部海域(图 1),走向 NWW 向,周围被南堡凹陷、歧口凹陷、渤中凹陷和沙南凹陷等诸凹陷所包绕,其中北部南堡凹陷、东部渤中凹陷及西部歧口凹陷均为渤海湾盆地已证实的富烃凹陷;凸起南北两侧以 NW 向断层与凹陷接触,东西两侧则倾没于凹陷中。在沙垒田凸起上基底为太古宇变质花岗岩,其上被新生代地层(古近系东营组上段、新近系馆陶组和明化镇组、第四系平原组)所披覆,在凸起的构造高部位处东营组地层缺失,仅发育馆陶组及以上地层(图 2)。古构造地貌特征显示凸起明显被 NE 向断层左旋错开而成东西两部分(分别称作凸起东段和凸起西段)。最新的二维-三维地震资料揭示,沙垒田凸起内部尚存在至少 6 条 NE 向走滑断层,并在新生代地层内部显示右旋走滑活动的特征(图 2)。

## 2 凸起区油气聚集成藏特征

目前在沙垒田凸起内发现油气总计约 3.5 亿 t 油气当量的地质储量,其中这些油气约 90%存在于凸起东段。

从构造部位来看,凸起东段已发现油田均分布于两相邻 NE 向断层之间(图 2),油气富集层位则位于新近系馆陶组和明化镇组内,主要油藏类型为大型披覆背斜背景上的构造和构造-岩性油藏;油源对比分析揭示这些凸起东段发现油气多来自东侧渤中凹陷,运移输导体系主要是新生界底界(即潜山顶面)和馆陶组底部的厚层砂砾岩层;储盖组合主要为馆陶组上段的“馆细段”泥岩盖层与其下部的辫状河砂岩储层构成的组合,以及明下段曲流河沉积形成的泥包砂结构特征的储盖组合(图 3)。相比之下,凸起西段的油气商业发现较少,少数已发现的油气来自歧口凹陷。

从油气与断层的平面分布配置关系来看,显然凸起上这些 NE 向断层对油气的聚集起到了明显的控制作用。为探讨其作用细节和过程,本文从这些断层对凸起的形成演化及对油气运-集的控制过程两方面入手进行。

## 3 NE 向断层及沙垒田凸起的构造特征与演化

### 3.1 NE 向走滑断层特征及演化

地震资料揭示沙垒田凸起内部至少发育 6、7 条 NE 向走滑断层(图 2 和 4),其中规模最大的一条为凸起东西两段的分割断层(F1)。NE 向断层在地震剖面上均表现为典型的负花状构造形态,可见主干断层直立深插基底。与走滑活动相关的大量伴生断层在新生界内部发育,并收敛汇聚至直立主断层组成花枝部分。这些 NE 向断层对基底面具有一定的改造作用,在主断层部位均形成相应的沟谷地貌,相应花状构造在浅部断层部位也形成负向地形。

三维地震时间方差切片清晰显示 4 条 NE 断层在凸起东段发育(图 5:F4—F7),这些断层的几何学与运动学特征可以被较好地揭示:在深层潜山内幕(1 500 ms 切片),较少发育伴生断层,仅见主断层孤立切穿基底地层;而在新近系浅层内部(800 ms 切片)可见多数主干断层未切穿至浅层,取而代之的是在基底主断层位置的两侧发育密集的伴生小断层,这些伴生断层在平面上呈雁列式排布,多呈近东西向而与 NE 向断层呈一定夹角,夹角的锐角方向指示这些雁列断层组是基底主干断层右旋走滑作用的产物。

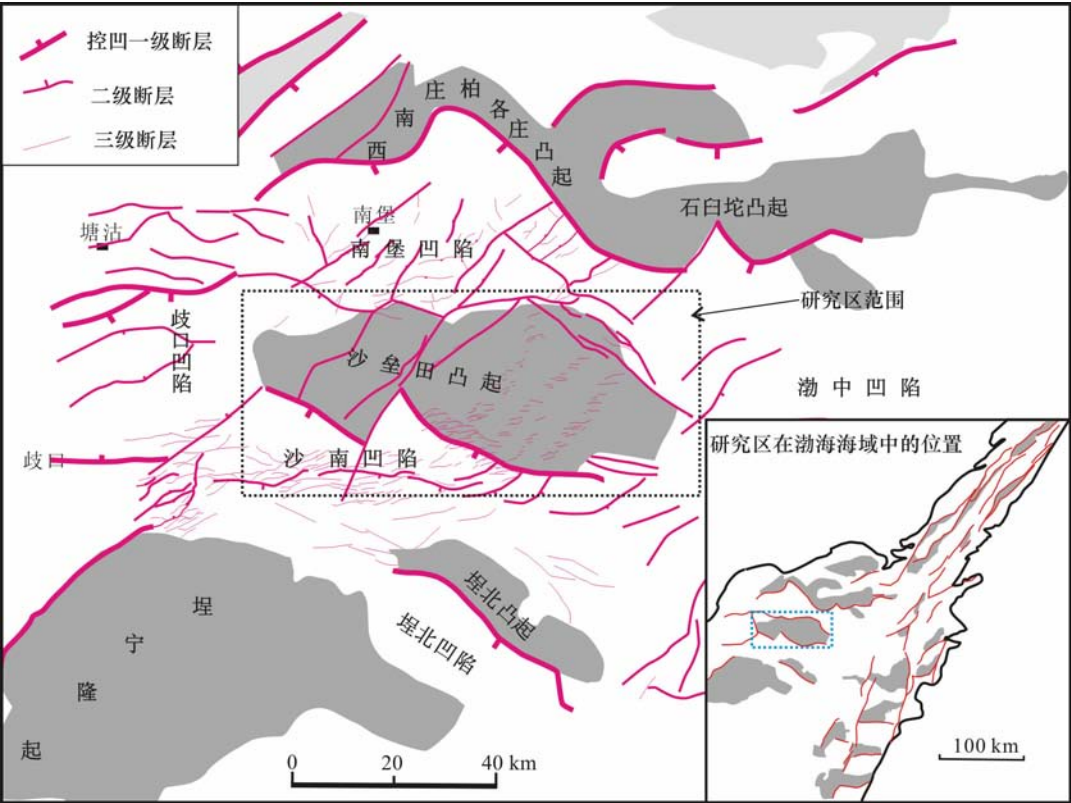


图 1 研究区沙垒田凸起位置及区域构造图

Fig. 1 Map showing location of study area and the regional tectonic elements

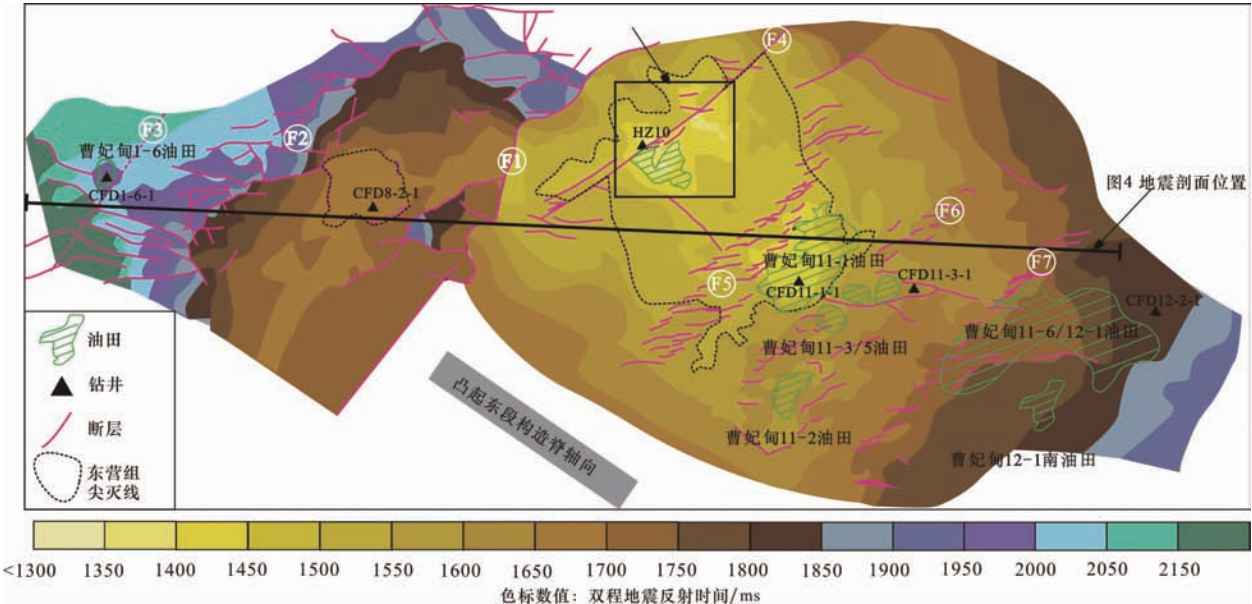


图 2 沙垒田凸起馆陶组底部构造形态图与已发现油田叠合图

Fig. 2 Map showing structural character at the bottom of the Guantao Formation and the oilfields which have been found in the Shaleitian Uplift

从地震资料上较难判断 NE 向断层在前新生代的  
的活动性质,但从整个凸起的古地貌形态可见,NE  
向断层 F1 将凸起以左旋走滑的形式错断为东西两  
段。与此同时,对以郯庐断裂带为代表的中国东部  
NE(NNE)向断裂(带)活动的研究表明,这些断层  
在中生代均发生大规模的左旋走滑活动<sup>[19-20]</sup>。所以



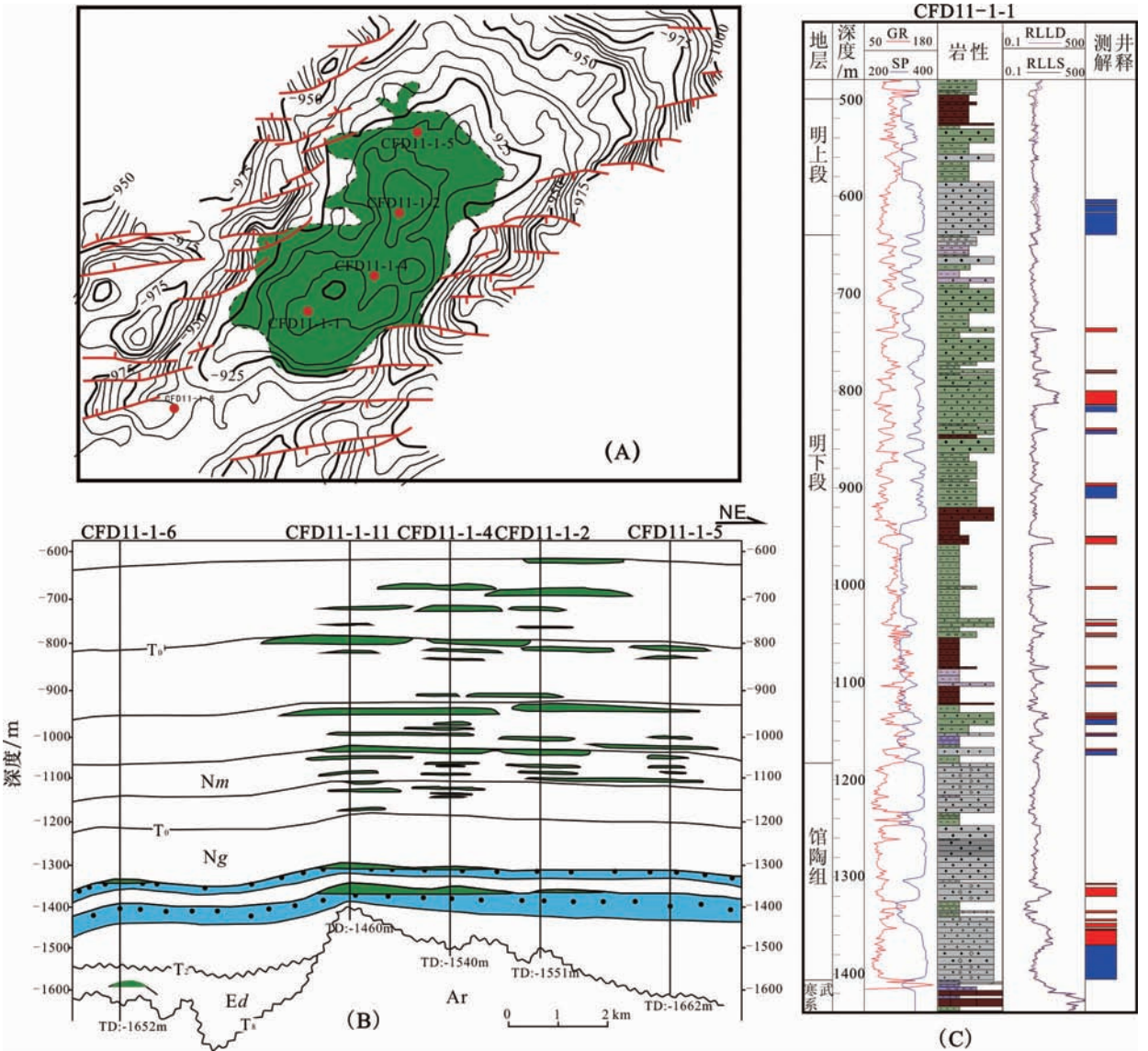


图3 沙垒田凸起东段典型油田构造形态图(A),油藏模式图(B)及井剖面图(C)  
(A、B据文献[17]重绘)

Fig.3 Structural map(A), schematic cross-section of oil filed(B), and well section(C) of CFD11-1 field in the eastern section of Shaleitian Uplift

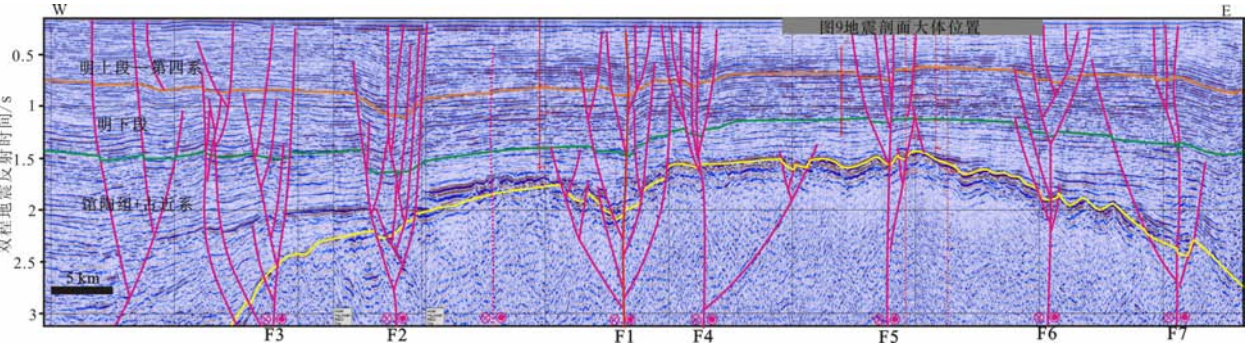


图4 沙垒田凸起EW向地震剖面

地震剖面显示 NE 向断层对基底的分割作用,断层发育部位存在明显基底沟谷(剖面位置见图2)

Fig.4 Seismic section crossing the Shaleitian Uplift showing the cross-cut of the NE-trending faults on the basement

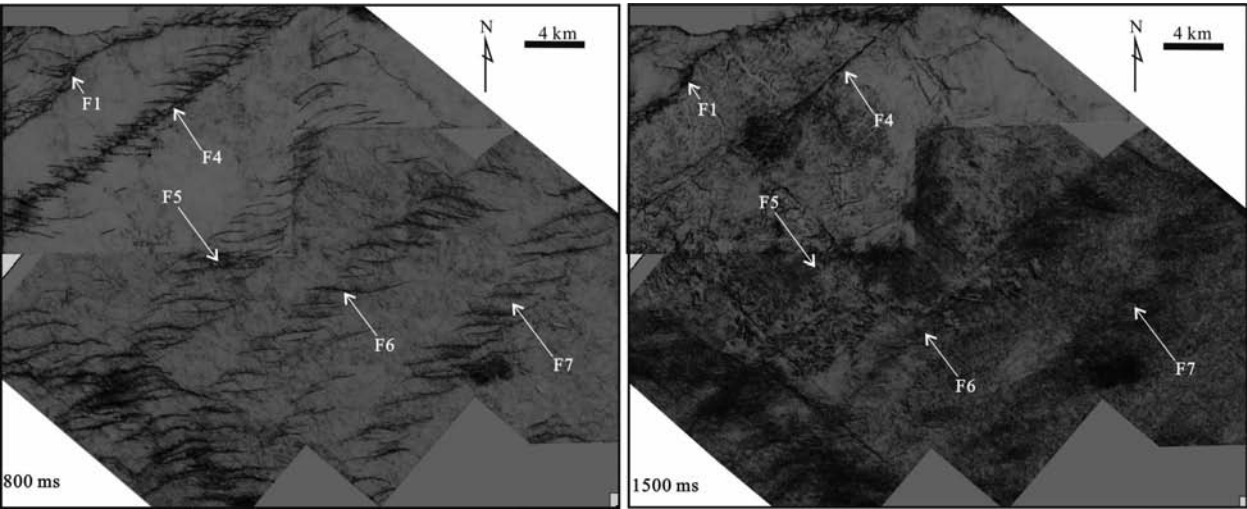


图 5 沙垒田凸起东段深浅层地震方差切片  
Fig. 5 Seismic time slice of the eastern section of the Shaleitian Uplift

综合判断,沙垒田凸起上的 NE 向断层在中生代发生了较强烈的左旋走滑活动,新生代期间则发生较强的右旋走滑活动。由于凸起在新生代沉积之前长期的暴露剥蚀作用,可能使记录左旋走滑的沉积地层剥蚀殆尽,加之后期右旋走滑的再改造作用,其结果是左旋走滑的痕迹较少保留。

3.2 沙垒田凸起演化史

从目前的地层发育情况来看(图 6),沙垒田凸起主要为太古宇变质花岗岩基底,主体部分缺少中生界—古近系,应为长期继承性发育的古隆起。凸起轴向整体呈近东西向轴向,可能是印支期南北向挤压的产物;从残留的古生界来看,具有明显的 NE (NNE)轴向的褶皱痕迹,表明中生代期间曾受到 NW-SE 向挤压,推测可能是燕山期东西向挤压的构造形迹。同时,凸起区这一前新生代地层的整体分

布特征也指示了新生界沉积之前凸起整体具有南高北低的古地貌特征。

此外,从上文对 NE 向断层性质的分析来看,NE 向断层对凸起的整体构造演化起到了重要的控制作用。首先,从凸起的构造形态来看,NE 向断层左旋走滑作用下使凸起内部发生分割、古地貌的高点发生错断,同时多条平行断层的左旋使构造脊轴向可能发生旋转,从而总体控制了前新生代古地貌。其次,NE 向断层在浅层的发育对新生近系构造形态产生了显著的控制作用,这种控制作用主要表现在,NE 向右旋走滑形成的负花状构造产生相应的负向地形,而在两条 NE 向主断层之间则成为正向构造。

根据以上分析,对凸起的演化史可划分 3 个关键阶段(图 7):(1)中生代早期为一完整隆起,尚未发现 NE 向断层活动的形迹;(2)中生代晚期,NE 向断层形成并强烈左旋走滑,凸起被分隔成东西两段,凸起的构造高点被相应错开,同时发生块体旋转,构造脊轴向由东西向变为北西—南东向;(3)新近纪,NE 向断层发生右旋走滑作用,改造、分割盖层内的披覆构造。

值得注意的是,之所以将 NE 向断层的形成时期定位于中生代晚期,是根据与之平行的 NE 向郯庐断裂系普遍被认为在该期发生大规模左旋运动<sup>[19-23]</sup>,而 NE 向断层右旋走滑活动形成的相关伴生断层分布层位较浅,根据凸起区地层残存情况及相关地震剖面推测其主要活动期为新近纪。

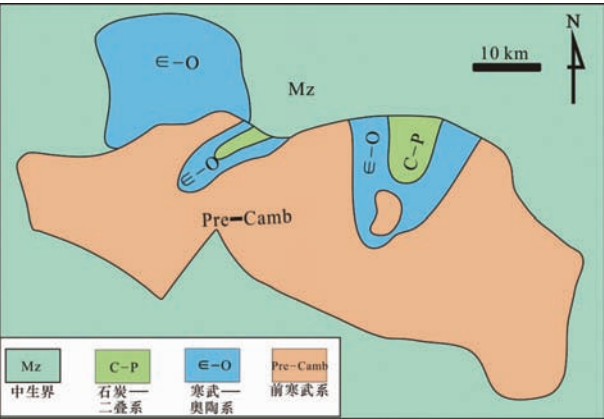


图 6 沙垒田凸起及围区基底(前新生代)地质图  
Fig. 6 The pre-Cenozoic geological map of Shaleitian Uplift



## 4 NE 向走滑断层对油气聚集的控制与影响

根据上述凸起区基本油气成藏规律及对 NE 向断层演化的认识,综合分析认为,NE 向断层对新近系油气的聚集成藏起到明显地控制作用,其控制过程可概括为以下两个阶段。

### 4.1 早期左旋活动分割基底,改造基底高点,控制油气运移路径

沙垒田凸起内部 NE 向断层在早期的左旋走滑过程中对凸起的基底产生了明显的分割作用。这一分割作用除使基底发生错断位移、块体旋转以外,走滑活动尚在凸起上形成相应的负向沟谷地貌(图 4),从而对基底的古构造地貌产生强烈的改造作用。从地震资料来看,对基底明显改造的大型断层主要有两条:分割东西段凸起的 F1 断层,基底沟谷深度大于 900 m;位于凸起西段内部的 F2 断层,基底沟谷深度大于 600 m。凸起东段虽然发育多条 NE 向断层,但规模较小,对基底的分割作用不强,形成的沟谷不明显(沟谷深度多小于 200 m)。

在长期继承性凸起区,浅层披覆构造发育且一般规模大,基底构造对浅层构造及其特征有重要影响。这就决定了沙垒田凸起早期走滑作用对基底的

改造会对浅层构造发育的部位及特征产生深远影响。这种影响主要表现在以下两个方面:

(1)块体错段与旋转过程中改造古构造脊,导致其在凸起东西两段不连续延展(图 2)。从现今构造脊的分布来看,其轴向整体呈 NWW 向延伸,凸起的最高点位于东段的东北部,次高点在西段凸起的中西部,已发现油气在凸起(东段)均沿构造脊走向展布,同时已发现油气也仅止于凸起最高点(也即构造脊最高点)以东处,显示古构造脊对油气运移路径的控制。

(2)较深的沟谷会对凸起区油气沿潜山顶面的运移起到一定的阻隔作用。同时,走滑作用对基底改造所产生的沟谷地貌,对毗邻凸起的凹陷区起到提供物源输送通道的作用,利于在凸起区裙边带的油气聚集成藏。后者已在本文探讨范围之外,在此不展开讨论。

总体来讲,上述两方面因素共同作用大体决定了凸起区油气整体的运移路径。也控制了歧口凹陷和渤中凹陷分别沿古构造脊在凸起东西两段的供烃范围。

### 4.2 晚期断裂右旋走滑活动分割披覆构造,改造盖层高点,控制油气聚集场所

新近纪 NE 向断层发生强烈的右旋走滑活动,特别是对凸起东段改造明显。其构造活动和改造特征主要表现有三方面:

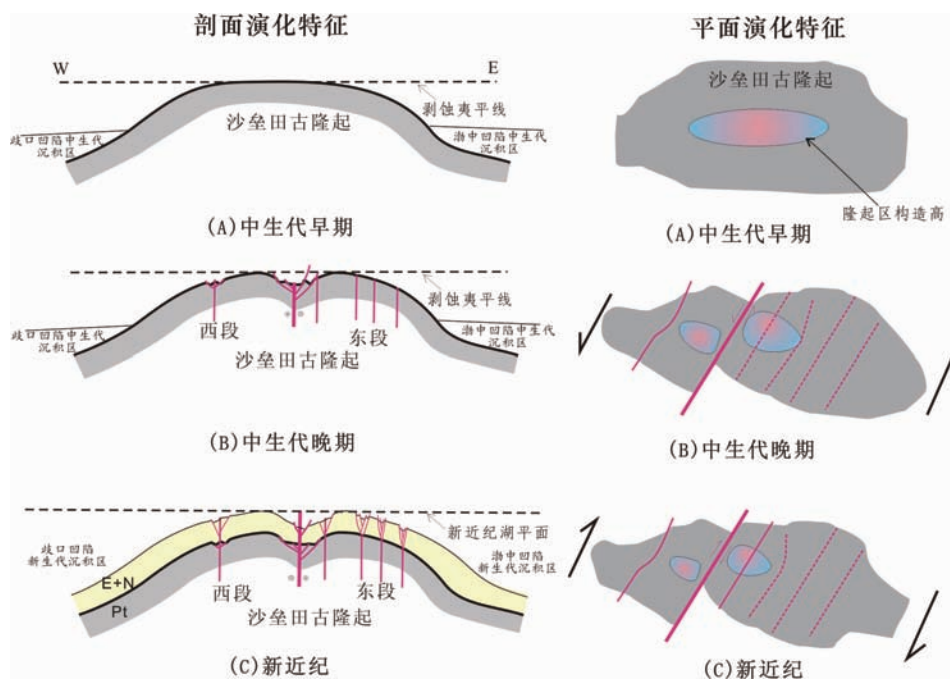


图 7 沙垒田凸起及 NE 向断层演化模式图

Fig. 7 Map showing the evolutionary processes of Shaleitian Uplift and the NE-trending fault

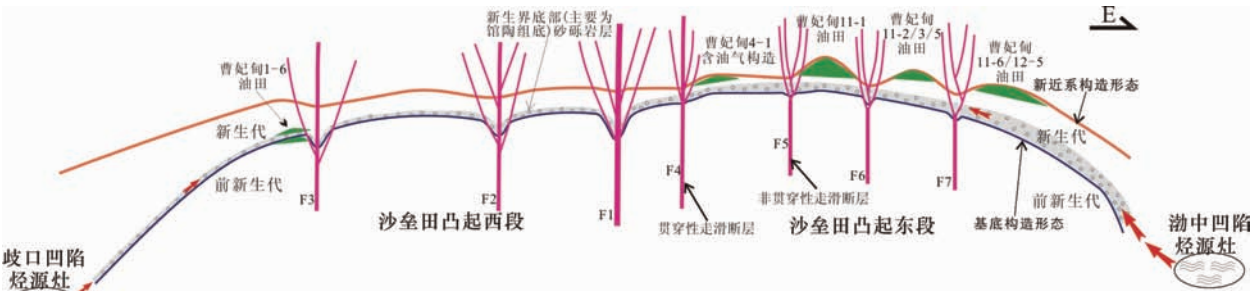


图 8 沙垒田凸起北东向断层控制下的油气运聚模式  
Fig. 8 The model showing the hydrocarbon migration and accumulation in the Shaleitian Uplift

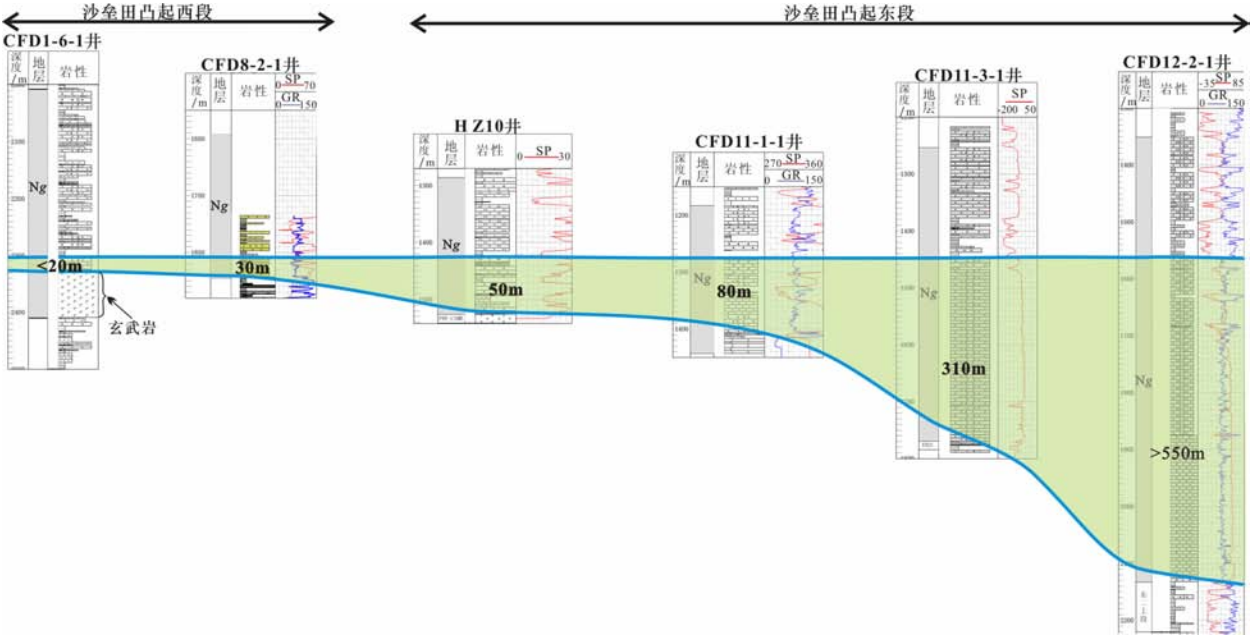


图 9 连井剖面显示凸起底部砾岩层厚度变化(井位见图 2)  
Fig. 9 Well cross-section showing the variety of the thickness of the conglomerate bed at the bottom of Guantao Formation

(1)新近纪走滑活动总体仍处于伸展构造环境之中,故在东北向主走滑断层发育部位位于盖层中产生负向构造,将基底顶面和盖层中的披覆构造分割,在断层两侧新近系中形成浅层构造高点(图 4)。在油气沿基底构造脊方向向凸起最高点运移过程中,在这些浅层构造高部位聚集成藏(图 8)。

(2)断层活动影响断凸的隆降起伏。受凸起地貌起伏的控制,馆陶组下段砂砾岩层在凸起上整体表现为东厚西薄,凸起东段可达数百米,而西段则小于 50 m;此外,西段砂砾岩层多有泥岩互层,东段砂砾岩层则呈连续堆积(图 9)。基底顶面较深的沟谷和盖层中的负向构造虽会对凸起区油气侧向运移起到一定的阻隔作用,但凸起区馆陶组下段沉积砂砾岩是油气运移的高效输导层,其存在会改变沟谷单因素对油气运移的效应。凸起东段基底顶面的沟谷深度多小于 200 m,馆陶组砂砾岩的厚度在多数区

域可将其填平补齐(图 10),而使来自东邻渤中凹陷的油气不受沟谷阻碍而向基底最高部位运移。在凸

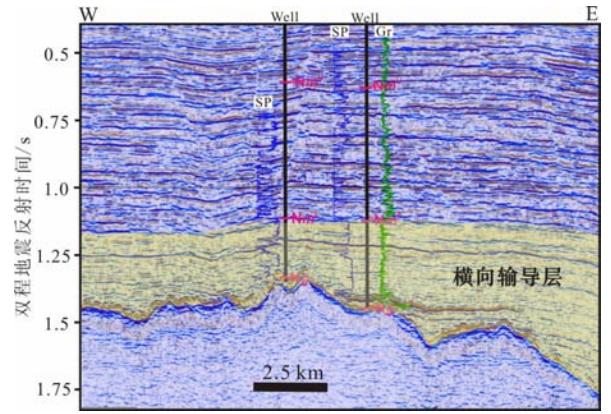


图 10 地震剖面显示厚层的馆陶组底部砂砾岩作为油气横向运移输导层对基底沟谷填平补齐效应(剖面位置比图 4)  
Fig. 10 Seismic section showing the distribution of the conglomerate bed at the bottom of Guantao Formation

起西段基底顶面沟谷深度达数百米,相对几十米的砂砾岩层,远远不能填平这些沟谷,因而沟谷对来自西邻歧口凹陷的油气运移至高点可能起到阻碍作用。

(3)中、新生代较大断层走滑活动运动旋向和特征的不同,造成浅层披覆构造高点相对于基底高点上下不一,从而造成油气富集层位在平面上的变化。

总之,凸起区油藏主要在新近系浅层,而北东向断层晚期右旋走滑活动直接控制了新近系构造变动和抬升起伏,从而也明显控制了油气的富集部位。

## 5 讨论

### 5.1 东西段油气富集差异性的解释

沙垒田凸起是我国海上石油较早开展勘探的地区。迄今的油气勘探现状明显揭示,凸起东西段油气贫富差异显著,已发现的油气绝大多数位于凸起东段。凸起东、西两端均临富生烃凹陷,却出现此巨大差异,令勘探和研究者困惑。上述研究分析找到其中某些关键影响因素。首先中生代期间 NE 向断层的左旋走滑对基底改造作用形成的古沟谷对油气运移整体起到障碍作用,后期沉积的馆陶组底部砂砾岩层填平补齐了东段沟谷而消除了东段的这一不利因素;相反,砂砾岩层却并未在西段填平补齐沟谷,从而造成来自歧口凹陷的油气难以逾越古沟谷这一障碍运移至凸起区(图 8)。可以说是 NE 向断层在较早期的活动产物影响了新近的油气聚集成藏。

此外,凸起东西两侧分别与两相邻富生烃凹陷接触关系有所不同,西侧与歧口凹陷存在一定程度的断层接触关系(断-坡接触),而东侧与渤中凹陷为较好的斜坡接触关系<sup>[18]</sup>;目前勘探资料揭示,在凸起西段靠近歧口凹陷处的馆陶组底部发育大于 80 m 厚的火山岩建造(图 9),这一厚层火山岩建造与凸-凹间特殊的断-坡接触关系共存的效应,可能也不利于油气自歧口凹陷沿凸起向东畅通运移。

总体来看,在凸起区西段油气勘探中,考虑到凸起南高北低的古地貌特征,我们可能更需要关注来自凸起区以北的南堡凹陷油源的贡献因素。

### 5.2 区域地质意义

研究区北东向断层经历了中生代左旋走滑与新生代中晚期的右旋走滑活动,这与郯庐断裂带具有一致的演化史,笔者认为这些断层属于广义上的郯庐断裂系统,其活动演化史也一定程度上反应郯庐

断裂带的演化史。

如果将沙垒田凸起看做地质标志体,其明显的左旋错断位移可看成相关断裂带的左旋走滑位移量。据此,可直接测量沙垒田凸起上断层累积错断距离约 35 km;而研究区以东位于郯庐断裂带内部的渤海低凸起也存在这种左旋错断位移,累积错断距离也为 40 km 左右。这一结果可能暗示我们,在渤海地区,郯庐断裂带内部和邻近的单条走滑断层,中生代左旋走滑位移量约为 30~40 km 左右。而对陆上郯庐断裂带研究认为走滑达几百千米<sup>[19-22]</sup>的认识,可能为郯庐断裂系统多条走滑断层走滑量的叠加累计。

## 6 结论

(1)NE 向断层对渤海沙垒田凸起的形成演化及油气运聚起到关键的控制作用,其对油气的控制作用并非表现在某一时期或某次活动的影响上,而是其长期演化的一个累积影响及综合控制的结果。具体而言,其早期中生代的左旋走滑作用分割凸起基底并改造基底高点,奠定后期油气运移的方向,新近纪晚期的右旋走滑活动则进一步改造分割盖层高点最终决定了油气聚集部位。在这一系统控制过程中,走滑作用中产生的负向地形(沟谷或负花构造)起到直接的关键影响作用。其中早期中生代左旋走滑作用所产生的基底沟谷可能是造成凸起上东西两段油气聚集产生差异性的关键原因。

(2)渤海的 NE 向断层均经历了中生代以来复杂的活动过程,在新生代的油气聚集成藏过程中,我们均应注意这一累积影响过程。因而有关沙垒田凸起 NE 向断层对油气控制过程与机理的认识,对渤海其他 NE 向断层发育区的油气勘探具有较大的借鉴意义。

西北大学刘池洋教授对论文提出了宝贵的建设性意见,在此谨表衷心感谢!

## 参考文献

- [1] Allen M B, MacDonald D I M, Zhao X, et al. Transtensional deformation in the evolution of the Bohai basin, northern China[C]//Holdsworth R E, Strachan R A, Dewey J F. Continental Transpression and Transtensional Tectonics. Geological Society (London) Special Publication, 1998, 135: 215-229.



- [2] Allen M B, MacDonald D I M, Zhao X, et al. Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northern China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1997, 14: 951-972.
- [3] Chen W P, Nabelek J. Seismogenic strike-slip faulting and the development of the North China Basin[J]. *Tectonics*, 1988, 7: 975-989.
- [4] Hu S, O'Sullivan P B, Raza A, et al. Thermal history and tectonic subsidence of the Bohai Basin, northern China: A Cenozoic rifted and local pull-apart basin[J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2001, 126(3): 221-235.
- [5] 黄雷, 王应斌, 武强, 等. 渤海湾盆地莱州湾凹陷新生代盆地演化[J]. *地质学报*, 2012, 86(6): 1-10.
- [6] Huang L, Liu C Y. Evolutionary characteristics of the sags to the east of Tan-Lu Fault Zone, Bohai Bay Basin (China): Implications for hydrocarbon exploration and regional tectonic evolution[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 79 (Part A): 275-287.
- [7] 邓运华. 郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J]. *中国海上油气(地质)*, 2001, 15(5): 1-5.
- [8] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J]. *石油学报*, 2007, 28(4): 1-10.
- [9] 朱伟林, 米立军, 龚再升, 等. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] Gong Z S, Zhu W L, Chen P H. Revitalization of a mature oil-bearing basin by a paradigm shift in the exploration concept: A case history of Bohai Bay, offshore China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2010, 27: 1-17.
- [11] 夏庆龙, 田立新, 周心怀, 等. 渤海海域构造形成演化与变形机制[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [12] Hsiao L Y, Graham S A, Tilander N. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system: Paleogene structure and evolution of the Tan-Lu fault system, Liaodong Bay, Bohai, offshore China [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88: 71-97.
- [13] 李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏[J]. *地学前缘*, 2010, 17(4): 64-89.
- [14] 詹润, 朱光, 杨贵丽, 等. 渤海海域新近纪断层成因与动力学状态[J]. *地学前缘*, 2013, 20(4): 151-165.
- [15] 万桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 450-454.
- [16] 邓运华, 李建平. 浅层油气藏的形成机理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [17] 朱伟林, 米立军. 中国海域含油气盆地地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [18] 黄雷, 周心怀, 王应斌, 等. 渤海西部海域新生代构造与演化及对油气聚集的控制[J]. *地质科学*, 2013, 48(1): 275-290.
- [19] Zhu G, Liu G S, Niu M L, et al. Syn-collisional transform faulting of the Tan-Lu fault zone, East China[J]. *International Journal of Earth Science*, 2009, 98: 135-155.
- [20] Zhu G, Wang Y S, Liu G S, et al.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of strike-slip motion on the Tan-Lu fault zone, East China[J]. *Journal of Structural Geology*, 2005, 27: 1379-1398.
- [21] Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: A major shear system to the northern of the Pacific Ocean[J]. *Tectonophysics*, 1987, 134: 273-310.
- [22] Xu J W, Zhu G. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China[J]. *International Geology Review*, 1994, 36: 771-784.
- [23] Gilder S S A, Leloup P H, Courtillot V. Tectonic evolution of the Tancheng-Lujiang (Tan-Lu) fault via Middle Triassic to Early Cenozoic paleomagnetic data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104: 15365-15390.