

渤海湾盆地沙垒田地区新近纪走滑断裂发育特征 及其对油气富集的控制作用

张正涛¹, 林畅松², 李慧勇³, 黄志³, 张国坤³

[1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083;
3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452]

摘要:沙垒田凸起地区是渤海海域西部新近系油气最为富集的区域,为了明确新近系走滑断裂发育特征及对油气富集的控制作用,依托连片高精度三维地震、钻井取心等资料,对走滑断裂类型及发育特征进行了详细刻画,并对走滑断裂与成藏要素之间的关系进行了探讨。综合研究表明:研究区发育断穿基底走滑断裂、盖层走滑断裂及伸展-走滑断裂三种不同类型走滑断裂;走滑断裂对圈闭的控制作用表现为在不同类型走滑断裂控制下,断裂带内及断裂带间形成了多种类型圈闭,其中大型披覆背斜圈闭、断鼻、断背斜圈闭为有利圈闭,小型断块圈闭为不利圈闭;走滑断裂对输导体系的控制作用体现在断裂活动控制了骨架砂体输导体系及断裂输导体系的形成发育,有利于周边凹陷成熟烃源岩排烃及运移输导;走滑断裂对储层的控制作用表现为走滑作用形成的高角度裂缝提高了储层渗透率,改善了储层物性。新近纪普遍发育的走滑断裂是研究区油气富集的主控因素。

关键词:高角度裂缝;走滑断裂;断裂特征;圈闭类型;断裂控藏;新近纪;沙垒田凸起;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Characteristics of the Neogene strike-slip faults and their controls on hydrocarbon accumulation in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin

Zhang Zhengtao¹, Lin Changsong², Li Huiyong³, Huang Zhi³, Zhang Guokun³

[1. School of Energy Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
2. School of Ocean Sciences, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;
3. Tianjin Branch Company Ltd., CNOOC, Tianjin 300452, China]

Abstract: Shaleitian uplift is the most abundant area for Neogene hydrocarbon accumulation in the western Bohai Sea. In order to clarify the characteristics of strike-slip fault growth and their controls on hydrocarbon accumulation, the fault types and development characteristics were described in detail using high resolution 3-D seismic and core data, and the relationship between strike-slip faults and hydrocarbon play elements was also discussed. The results show that there are three types of strike-slip faults developed in the study area, namely the basement involved strike-slip faults, caprock strike-slip faults and extensional strike-slip faults. Various types of traps are formed within or between fault zones under the influence of different types of strike-slip faults. Among others, the large-scale drape anticline, fault-nose and faulted anticline traps are favorable traps, but the small-scale fault-block traps are adverse ones. Strike-slip faults control the formation and development of skeletal sand body and fault conduit systems, which are pathways for hydrocarbon expulsion and migration from mature source rocks from adjacent sags. High-angle fractures caused by strike-slip improve reservoir qualities such as permeability. Strike-slip faults widespread in the Neogene formations are the main factors controlling hydrocarbon accumulation in the study area.

Key words: high-angle fracture, strike-slip fault, fault characteristics, trap type, hydrocarbon accumulation controlled by faults, Neogene, Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin

收稿日期:2018-10-30;修订日期:2019-01-18。

第一作者简介:张正涛(1985—),男,博士研究生、工程师,构造解析和沉积地质。E-mail:laotingsos@163.com。

通讯作者简介:林畅松(1958—),男,教授、博士生导师,沉积地质与盆地分析。E-mail:lincs@cugb.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(91328201);国家科技重大专项(2011ZX05023-002-004)。

我国东部地区新生代盆地普遍发育走滑断裂,对油气富集规律具有较强的控制作用^[1-4]。特别是郯庐断裂带两侧附近区域,走滑断裂活动一方面控制了烃源岩的发育范围、形成并改造了大量的构造及岩性-构造圈闭,另一方面影响并主导了绝大部分的油气输导体系^[5-8],郯庐断裂的晚期活动是影响渤海海域油气分布规律、成藏机理的主控因素^[9-10]。

沙垒田凸起区域新近系是渤海湾盆地渤海西部海域目前最重要的油气产区及下步有利勘探区域之一^[11],勘探实践表明已发现的油气田多与断裂活动密切相关^[12]。虽然近20年来该区域经过与国外石油公司多轮合作勘探,发现了C11-1和C12-1等亿吨大油田,但由于多家矿权主体、三维地震资料有限,前期对沙垒田地区构造活动特别是新近系走滑断裂对油气富集的控制作用研究并不深入,制约了后续的勘探工作。在2010年之后随着多家合作区块勘探权的收回及近年来多块三维地震资料的采集处理,目前基本实现了沙垒田区域三维地震资料的全覆盖,这为精细研究新近系走滑断裂发育特征及对油气富集条件的制约作用提供了前提条件。近期虽有学者尝试从沙垒田凸起构造演化史及典型走滑断裂演化史方面探讨走滑断裂对油气的控制作用^[13-15],但在断裂控藏作用方面仍有很多不足之处:一方面,没有对研究区域内发育的走

滑断裂特征进行系统的梳理刻画;另一方面,没有对走滑断裂的类型进行详细划分,进而探讨每种不同类型走滑断裂对圈闭、输导体系等成藏要素的具体控制作用。本文主要利用连片高精度三维地震资料、钻井岩心资料对新近纪走滑断裂特征开展研究,并对不同类型走滑断裂对圈闭、输导体系及储层的控制作用进行了探讨,这对明确走滑断裂控藏机理、深化渤西地区地质认识及指导后续油气勘探具有重要意义。

1 区域地质概况

沙垒田凸起处于渤海海域西部地区,面积约2 000 km²。构造位置属于渤海湾盆地埕宁隆起东北部^[12],为其内部一个三级正向构造单元。凸起四周为多个生烃凹陷环绕,北部为南堡凹陷,南部为沙南凹陷,西临歧口凹陷,东接渤中凹陷(图1)。沙垒田凸起基底主体为太古宇变质花岗岩,在凸起北部局部残留发育古生界寒武系-奥陶系及中生界石炭系-二叠系灰岩^[16]。沙垒田地区新生代构造活动与渤海湾盆地具有一致性,具有多期次与多旋回的特征,古近纪为裂陷阶段,新近系为裂后热沉降拗陷期,明化镇组上段至今为构造再活化期。研究区自古生代以来至古近纪沙河街组长期继承抬升发育,形成了渤海海域潜山面积

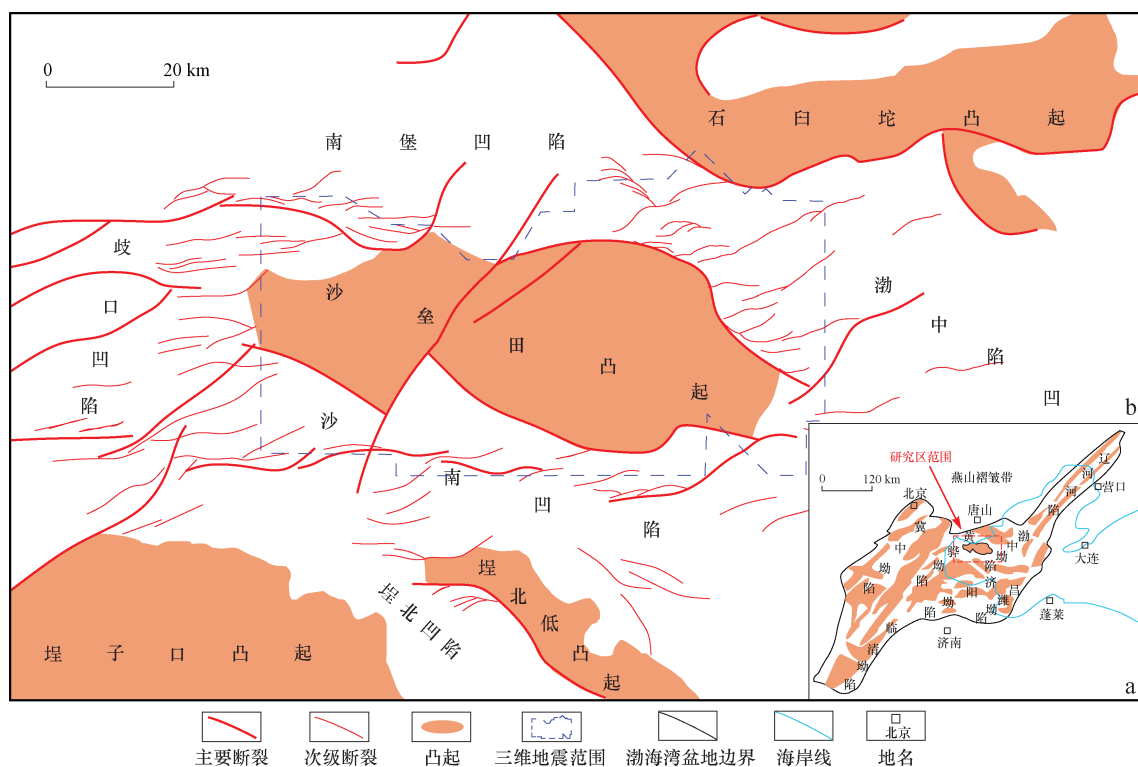


图1 渤海西部海域构造单元划分(b)及研究区位置(a)

Fig. 1 Tectonic unit division of the western Bohai Sea waters(b) and location of the study area(a)

最大的凸起^[17-18],古近纪晚期埋深加深并开始接受沉积,除凸起周边及顶部低洼处发育东营组地层外,大部分地区为馆陶组地层直接覆盖在基底潜山之上。该区处于北东向黄骅-东明断裂带、北北东向郯庐断裂西支和北西西向张家口-蓬莱断裂带夹持交汇处^[19],断裂活动非常发育,既有以张性伸展为主的边界基底同沉积断裂,也有盖层雁列状走滑断裂^[15,20]。沙垒田凸起古生代被北东向左旋走滑断层切割,分成东凸起和西凸起,古构造地貌表现为东高西低的特征^[16],新生代走滑断裂活动主要集中在新近纪中新世至今。

2 走滑断裂类型及特征

沙垒田凸起内部及南北两侧新近系发育大量走滑断裂,图2a为在1 000 ms(相当于明化镇组下段)方差切片基础上解释得到的断裂平面展布特征图,可见研究区发育大量成条带状展布的雁列状走滑断裂。沙垒田凸起之上发育6组近北西向展布的走滑断裂F0—F5,沙垒田东部北侧边界及南侧边界分别发育北西向走滑断裂F6和F7,其中F0—F5为右旋走滑断裂,F6和F7为左旋走滑断裂。由横切F1—F5走滑断裂的A—A'剖面(图2b)可见凸起上走滑断裂在剖面上表现为典型的负花状(F1,F2)及似花状(F3,F4,F5)构造。根据这些断裂在平面上深部及浅部发育特征、剖面发育特征及是否发育主位移带(PDZ)将该区走滑断裂分为3类:断穿基底走滑断裂、盖层走滑断裂及伸展-走滑断裂。

2.1 断穿基底走滑断裂

F1及F2断裂带均为断穿基底走滑断裂,以断穿前古近系基底、深部发育主走滑断裂为特征与盖层走滑断裂相区分。对F2断裂带发育特征进行了精细解剖,F2断裂深部(双程旅行时大于1 000 ms)表现为具有明显的主走滑断裂(图3c1,d1),垂直断裂走向的剖面上具有典型的负花状构造,图3e1为横切F2走滑断裂带的B—B'剖面,表现为典型的“背型负花”状构造,即由断裂带两侧向断裂带内部地层逐渐下掉,但地层形状却表现为背斜形态。自深部至浅层F2断裂发育具有如下特征:深部表现为仅发育主走滑断层,未见伴生断裂发育,如图3d1双程旅行时1 500 ms深度方差切片所示,发育一条北东-南西向主断层,在其上下两侧各发育一条分支断层,均以约20°与主断层斜交合并,通过与L1和L2剖面图(图3d2)对比可知该主断裂对应于花状构造的“花根”部位;上升至1 200 ms

(图3c1,c2),主断层上侧分支断层消失,开始大量出现与主断裂伴生的雁列状断层,据雁列断层与主断层的平面分布关系可知该走滑断裂具有明显的右旋走滑性质;至600 ms(图3b1,b2),雁列状断裂发育密度及长度进一步加大,主干断裂不连续,分段发育;300 ms(图3a1),主要表现为呈带状分布的雁列状断层,主断层在南部已消失,仅在北部零星发育几段,在垂直走滑方向剖面上表现为地堑与地垒构造(图3a2)。

2.2 盖层走滑断裂

该类走滑断裂以F0,F3,F4和F5断裂带为代表,均发育在沙垒田凸起内部,走向北东向,均为右旋走滑断裂。发育层位主要在新近系馆陶组和明化镇组,上部延伸至第四系海底。盖层走滑断裂与断穿基底走滑断裂的差异性具体表现为:其自浅部至深层均无主走滑断裂带发育,在剖面上虽也表现为负花状构造(图3e2),但相比于断穿基底走滑断裂花状构造的次级断裂明显减少。以F3—F5为例,断裂明显呈北东向条带状雁列展布,断裂带长度分别为18.1,21.2和23.2 km,两条断裂带之间基本无断裂发育(图4a)。具体到各断裂带内部发育一系列东西向及北东东向小断裂,这些小断裂延伸长度绝大多数在2.5~5.0 km,小断裂间平均距离约为800 m。如此规整的盖层走滑断裂仅发育在沙垒田凸起之上,周边凹陷并未见发育,其具体成因后续仍须进一步开展工作,但可推测与该区域前寒武系变质花岗岩刚性基底被新近系沉积盖层覆盖,所导致的两套地层刚度及韧性的差异性密切相关,可能受控于新近纪以来北东向右行走滑应力场作用下,下部刚性基底减弱了走滑应力向凸起上盖层的传播。

此外,依据三维地震资料,对盖层走滑断裂进行了精细解释,并利用Petrel软件将F5断裂剖面形态进行了三维立体显示(图4b)。可得到3点主要认识:①盖层走滑断裂带内部发育的“S”型雁列小断层在空间上并非是同一条断裂,往往是由分为2~3段的不同倾向正断层构成;②小断裂的倾向与其平面形态具有较好的相关性,断裂倾向与平面弧形凹面指向方向相同;③单个小断面空间形态呈“贝壳”状,断面倾角中间陡两侧缓与上部陡底部缓。

2.3 伸展-走滑断裂

此处伸展-走滑断裂包括两方面的内涵,从其形成发育的力学机制上看受控于张扭作用形成的;从形

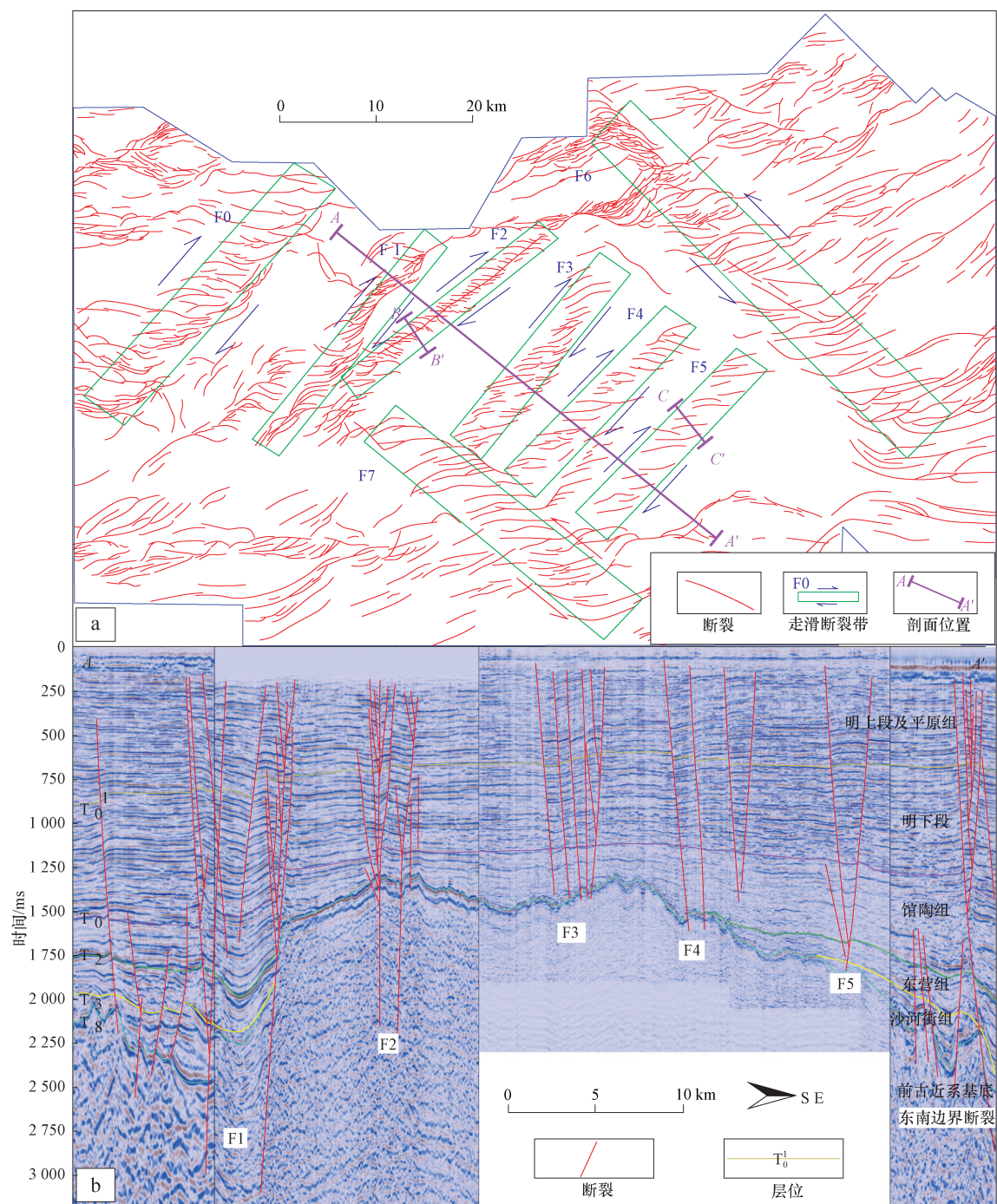


图 2 渤海湾盆地沙垒田凸起走滑断裂平面及剖面发育特征(剖面位置见图 2a)

Fig. 2 Seismic characteristics of the strike-slip faults in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin(see Fig. 2a for the section location)

a. 1 000 ms 方差切片拼图基础上的断裂平面分布特征;b. 过沙垒田凸起近 NW - SE 方向剖面断裂发育特征

T_0^1 . 明化镇组上段底界; T_0 . 明化镇组下段底界; T_2 馆陶组底界; T_3 . 东营组底界; T_8 古近系底界

成的时空演化过程来看在始新统及渐新统受控于伸展作用发育形成了边界铲式断层,至中新统到上新统依托主边界断层沿其走向大致平行发育一系列的走滑断裂。该类走滑断裂在平面上主要发育在沙垒田凸起的边界上,如 F6 及 F7 断裂带(图 2a)。以 F7 断裂为例,图 5a 为 800 ms 方差切片(大致相当于明上段底部),

可见明显发育北西向雁列状排列的一系列断裂,在平面上不发育明显的主走滑断裂,为一左旋左阶走滑断裂。图 5b 为横切 F7 断裂的一条南北向剖面,在剖面上发育负花状构造(图 5b),与断穿基底走滑断裂相比典型的区别是不发育陡直的花根,而是在底部与边界主断层斜交。

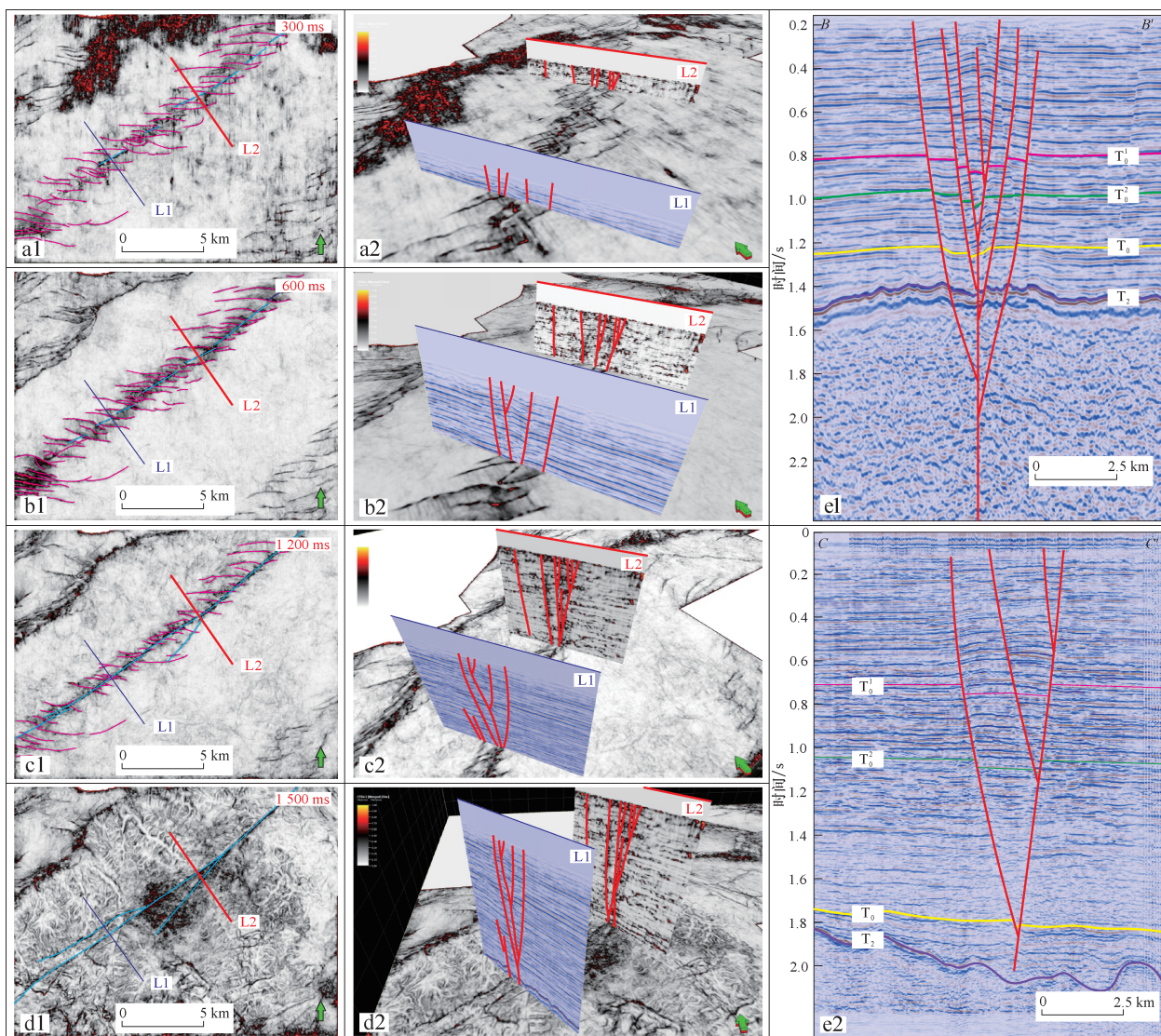


图3 渤海湾盆地沙垒田凸起 F2 与 F5 走滑断裂不同深度平面及剖面发育特征(剖面位置见图 2a)

Fig. 3 Seismic characteristics of the strike-slip faults F2 and F5 with different depths in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin
(see Fig. 2a for the section location)

a1, b1, c1, d1. F2 断裂带不同深度方差切片, 对应的双程旅行时分别为 300, 600, 1 200 和 1 500 ms, 其中 L1 和 L2 为剖面位置, 长度分别为 6.2 km 和 6.6 km, 粗蓝线所示为主走滑断裂带, 红色细线为雁列状伴生断裂; a2, b2, c2, d2. 分别与左图所示位置相对应的剖面断裂特征, 其中 L1 为地震剖面, L2 为方差剖面; e1. B—B' 剖面背形负花状构造, e2. C—C' 剖面负花状构造

3 走滑断裂对油气成藏的控制作用

渤海西部沙垒田地区新近系目前已发现油气主要位于走滑断裂带内部或断裂带附近区域, 表明走滑断裂对油气成藏具有一定的控制作用, 本文重点从走滑断裂对圈闭、输导体系及储层的控制作用方面进行了探讨, 为明确走滑断裂控藏机理提供依据。

3.1 对圈闭的控制作用

走滑断裂对与构造圈闭具有控制作用^[21-22], 渤海

海域新近纪走滑断裂活动对于浅层圈闭的发育规模、程度、幅度及类型具有重要的影响^[11,23]。主走滑断裂带两侧的力学性质(张性、挤压、张扭及压扭)是影响走滑断裂伴生构造发育特征的主控因素, 决定了其构造样式及展布规律。目前主要根据走滑断裂伴生构造及走滑转换带所受挤压、拉张应力状态的不同, 将其划分“增压区”和“释压区”^[24]。走滑断裂“增压区”所发育的圈闭规模比较大, 圈闭类型多为背斜、断背斜及断鼻圈闭, 且该区域控圈断裂多具有良好的侧封性, 圈闭条件较好; “释压区”则多发于小型断块圈闭, 侧向封堵性欠佳, 圈闭条件较差^[7]。

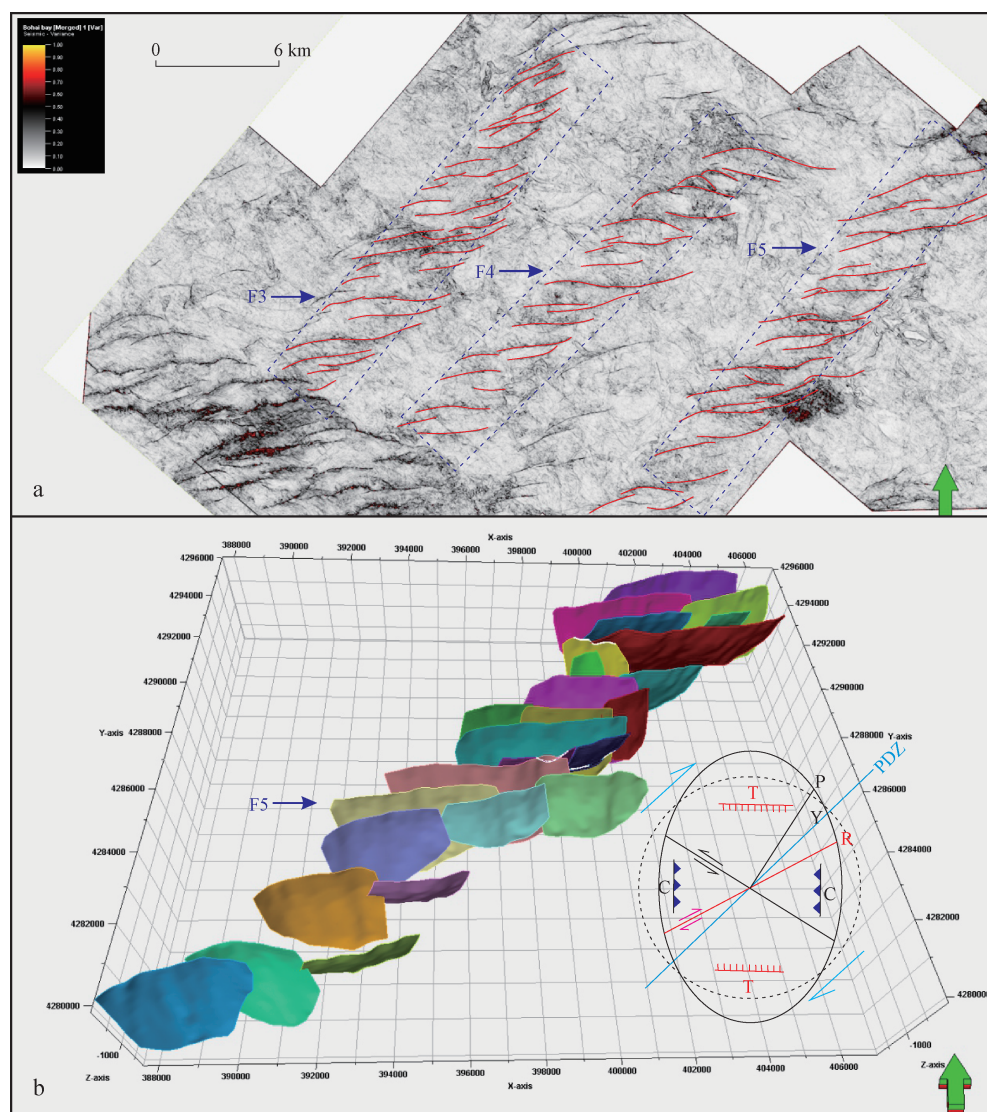


图4 渤海湾盆地沙垒田凸起盖层走滑断裂平面及空间发育特征(剖面位置见图2a)

Fig. 4 Planar and spatial characteristics of strike-slip faults developed in cap rocks of Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin
(see Fig. 2a for the section location)

a. 800 ms 方差切片示 F3—F5 盖层走滑断裂平面特征; b. F5 走滑断裂断面空间发育特征

T. T 破裂; R. 里德尔剪切破裂; P. 同向剪切破裂; Y. Y 剪切; C. 挤压构造

沙垒田凸起主要发育构造圈闭和构造—岩性圈闭,这两种圈闭的形成均与走滑断裂具有密切关系。根据其形成机理及与走滑断裂的关系将其分为3类:盖层走滑断裂间大型披覆背斜、伸展—走滑断裂带内小型断块圈闭、断穿基底走滑断裂带内断背斜及断鼻圈闭。

盖层走滑断裂带之间发育大型披覆背斜圈闭。以 C11-1, C11-3, C11-6 和 C12-1 等圈闭为代表,该类圈闭面积较大,主要发育在馆陶组及明下段地层,是沙垒田凸起区域最重要的圈闭类型。图6为明化镇组下段顶面(T_0^1)、馆陶组顶面(T_0)构造图,可见 F3, F4 和 F5 盖层走滑断裂带明显处于相对低的位置,而走滑断裂带之间为构造高部位。以 C11-1 圈闭为例,其发育在 F3 和 F4 走滑断裂带之间(图7a),明化镇组下段

圈闭面积可达 52.8 km²,是研究区单一面积最大的圈闭,为油气聚集的有利部位,也是 C11-1 大油田的所在地,可见走滑断裂带间发育的压扭性质的大型披覆背斜圈闭为研究区有利圈闭类型。

伸展走滑断裂带内发育小型断块圈闭。伸展走滑断裂带内部普遍发育小型断块圈闭,这类圈闭面积较小,数量众多,普遍不含油气(圈闭有效性差)。如 F7 伸展走滑断裂带内馆陶组除 C16-1 和 C16-4 面积在 3.0 km² 以上,其他圈闭面积均小于 1.0 km²(图7b)。断裂带内以张扭应力状态为主,断块圈闭边界断层侧向封闭能力普遍较差,近年来在该区带部署了 C16-1-1 和 C16-1-2d 等一批探井,虽有油气显示,但始终未发现大的商业油气田,证实这种分布于伸展走滑

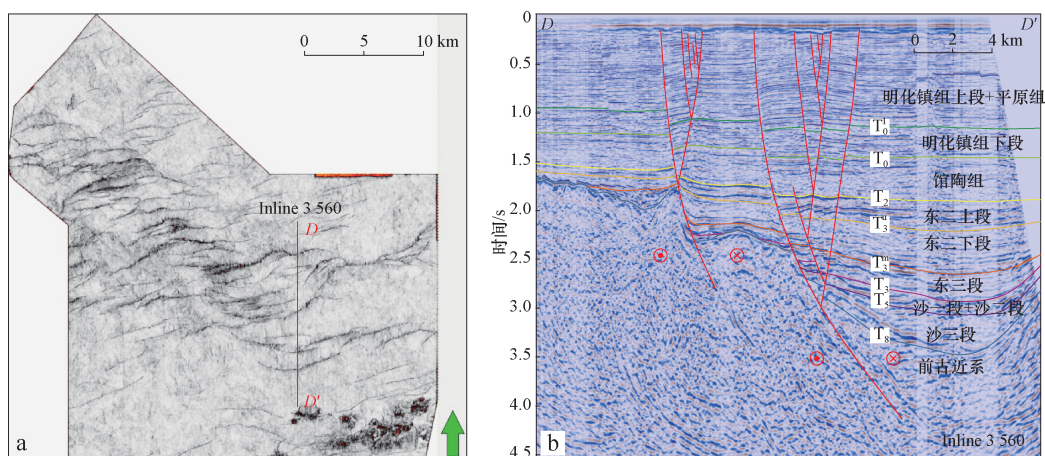


图5 渤海湾盆地沙垒田凸起 F7 伸展-走滑断裂平面及剖面发育特征(剖面位置见图 2a)

Fig. 5 Seismic characteristics of the extension-strike-slip fault F7 in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin (see Fig. 2a for the section location)

a. 800 ms 方差切片示 F7 伸展-走滑断裂平面特征; b. 过 F7 断裂 D—D' 地震剖面解释

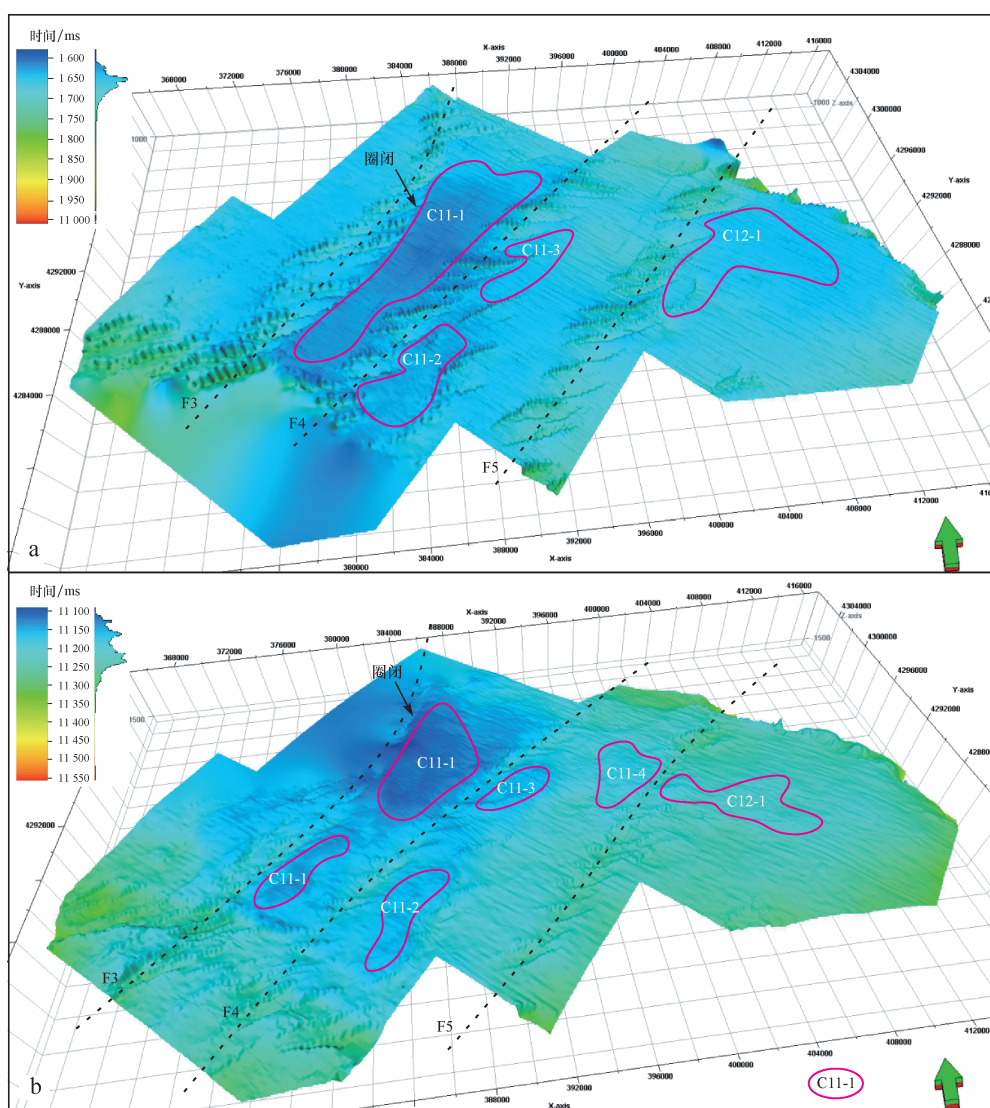


图6 渤海湾盆地沙垒田凸起明下段顶面(T_0^1)及馆陶组顶面(T_0)构造及圈闭发育范围

Fig. 6 Top surface structure and trap distribution of T_0^1 and T_0 in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin

a. F3—F5 断裂附近圈闭在明下段顶部分布特征; b. F3—F5 断裂附近圈闭在馆陶组顶部分布特征

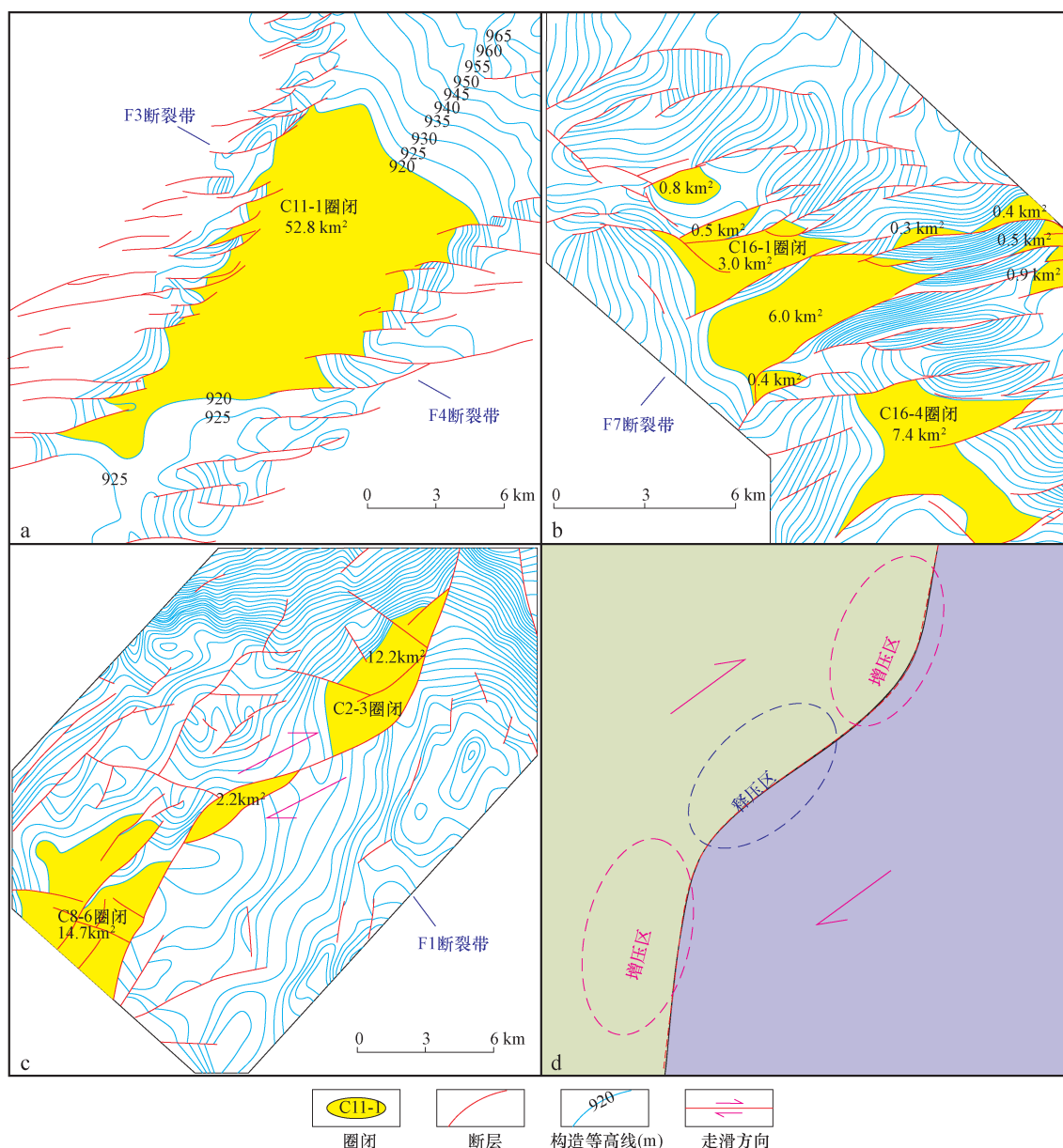


图7 渤海湾盆地沙垒田凸起3类走滑断裂对不同类型圈闭发育的控制作用

Fig. 7 The impact of the strike-slip faults (grouped into three types) on the development of different types of traps in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin

a. 发育在 F3 和 F4 两条盖层走滑断裂带之间的大型披覆背斜圈闭,层位明化镇组下段;b. 发育在 F7 伸展-走滑断裂带内部的断块圈闭,层位明化镇组下段;c. 发育在 F1 断穿基底走滑断裂带内部的断鼻、断背斜圈闭,层位馆陶组下段;d. “S”型走滑断裂作用示意图

内部的小型断块圈闭为研究区不利圈闭。

断穿基底走滑断裂带内部增压区断背斜圈闭:F1走滑断裂带内部可见发育“S”型走滑断裂(图7c),在“S”型断裂两端均发育断背斜型圈闭,如C2-3圈闭明化镇组下段圈闭面积12.2 km²,C8-6圈闭明化镇组下段圈闭面积14.7 km²,在“S”型断裂中间部位仅发育面积2.2 km²的小型断鼻圈闭。前人通过沙箱模拟实验对该类圈闭的形成过程进行了模拟^[7,25],结果显示在“S”型右旋走滑断裂两端位置为走滑增压区,

在该区域地层上隆,发育断背斜圈闭,同时由于具有挤压性质分量,断面侧向封闭性较好,圈闭有效性也较好;在“S”型右旋走滑断裂中间部位为走滑释压区,未见明显圈闭发育,由于具有拉张分量,断裂侧向封闭性欠佳,即使发育形成圈闭往往有效性也较差。模拟结果与研究区断穿基底走滑断裂带内实际圈闭发育情况具有较好的对比性(图7c,d),也证实了断穿基底走滑断裂带内发育的大型断背斜圈闭为研究区有利的圈闭类型。

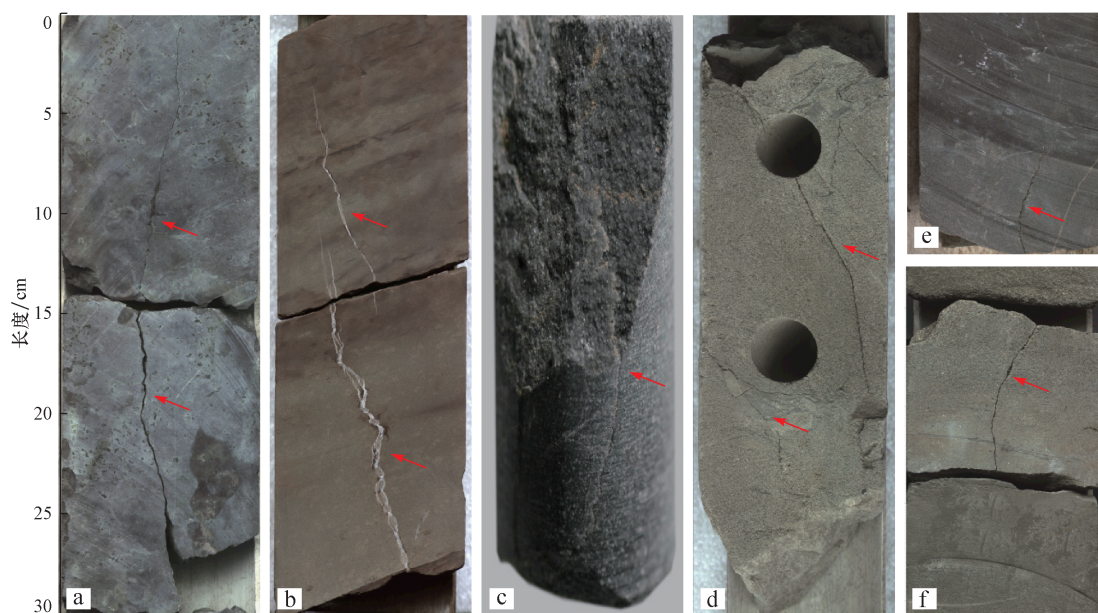


图8 渤海湾盆地沙垒田凸起馆陶组(N_1g)及明化镇组(N_2m)岩心裂缝发育特征

Fig. 8 Characteristics of core fractures in N_1g and N_2m in Shaleitian uplift, Bohai Bay Basin

a. w-b-13井,馆陶组,深度1 906.29~1 906.59 m,高角度裂缝贯穿;b. w-c-13井,馆陶组,深度1 996.78~1 997.08 m,两条高角度裂缝,被方解石脉充填;c. w-c-21井,馆陶组,深度1 924.33~1 924.63 m,高角度裂缝贯穿;d. w-b-18井,明化镇组,深度1 263.01~1 263.31 m,发育2条高角度裂缝;e. w-h-20井,明化镇组,深度1 216.50~1 216.80 m,发育1条高角度裂缝;f. w-c-21井,明化镇组,深度1 356.87~1 357.17 m,发育1条高角度裂缝

3.2 对输导体系的控制作用

沙垒田凸起本身并不发育烃源岩,但周边为歧口凹陷、渤中凹陷和南堡凹陷等富烃凹陷环绕,所以决定该区油气能否富集成藏的一个关键因素是能否形成有效的输导体系将烃源岩与圈闭沟通起来。目前大部分学者倾向于将输导体系划分为3类,即储集体型(骨架砂体型)、断裂型及不整合面型^[26-28]。研究区一个非常典型的特征是,在相对小的研究范围内这3种输导体系均广泛发育:馆陶组底部大段的砂砾岩平面上全区展布稳定、物性较高,构成了骨架砂体型输导体系;下至基底,上通海底的各种复杂断裂网络构成了断裂输导体系;凸起之上大部分地区馆陶组以不整合方式(T_2 不整合)沉积在前古近系基底之上,而在凸起斜坡部位及周边凹陷位置东营组或沙河街地层则常以不整合(T_8 不整合)叠置在中生界或前中生界基底之上, T_2 和 T_8 两个重要不整合面构成了该区域不整合面型输导体系。

该区走滑断裂的发育对断裂输导体系和骨架砂体输导体系具有明显的控制作用。在凸起内部以C11-1, C11-6, C11-6和C12-1等油田为代表,这些油田发育的典型特点是单层厚度薄(几米至十几米)、含油层数多(基底潜山油藏、东营组油藏、馆陶组油藏及明化镇组油藏)含油层数众多(几十层)、油藏边界常以

走滑断裂为限,成藏时间晚,集中在5~7Ma至今^[11],与F1—F5走滑断裂活动时间相吻合,可见中新世至上新世走滑断裂输导体系的发育构成了凸起上油气成藏的直接通道。沙垒田凸起边缘位置由于伸展走滑断裂的发育,形成了多种类型的凸起边缘和构造坡折带^[29],构造坡折带对砂体的展布具有明显的控制作用^[30-32],在坡折带下部及斜坡加厚发育的沙河街及东营组砂体常与凹陷成熟烃源岩成指状或层状接触,这对于有效烃源岩的高效排烃及向上运移输导均具有积极意义。总之,走滑断裂的发育演化对凸起内部断裂输导体系、凸起边缘骨架砂体输导体系控制作用明显,这为研究区多层系立体成藏提供了前提条件。

3.3 对储层的控制作用

沙垒田凸起地区新近系主要储层为馆陶组和明化镇组砂岩,其中馆陶组发育典型辫状河砂体,明化镇组发育曲流河砂体。明化镇组砂岩储层为细-中砂岩,含少量的钙质,泥质胶结。馆陶组发育厚层砂砾岩,单层厚度可达50 m以上,储层物性普遍较好。这两套储层内均有走滑断裂引起的大量裂缝发育,如图8所示明化镇组和馆陶组岩心中常发育高角度裂缝(图8a—f),部分裂缝被方解石脉充填(图8b),裂缝在岩心中延伸长度可达50 cm以上(图8a),部分岩心中可见裂

缝分支发育形成复杂裂缝网络(图8d),这些普遍存在的裂缝极大地提高了储层渗透率,对改善储层物性具有积极意义。

4 结论

1) 走滑断裂是沙垒田地区新近系最主要的断裂类型,平面上识别出呈条带状发育8个走滑断裂带,并依据发育特征将其分为断穿基底走滑断裂、盖层走滑断裂及伸展-走滑断裂3类,其中F1及F2断裂为断穿基底走滑断裂,F0,F3,F4和F5盖层走滑断裂,F6及F7断裂为伸展-走滑断裂。

2) 研究区新近系发育的所有圈闭类型均与走滑断裂活动密切相关,其中盖层走滑断裂带之间明化镇、馆陶组地层中发育的大型披覆背斜圈闭及断穿基底走滑断裂带内发育的断鼻、断背斜圈闭为有利圈闭,油气富集条件较好;伸展走滑断裂带内部发育的小型断块圈闭为不利圈闭,油气聚集条件较差。

3) 走滑断裂的发育演化对断裂输导体系及骨架砂体输导体系具有明显的控制作用,为研究区多层系立体成藏提供了前提条件。一方面,走滑断裂通过与主边界断层、馆陶底部区域砂体的连接沟通了圈闭与烃源岩,构成了沙垒田凸起之上最重要的输导体系;另一方面,凸起边界伸展走滑断裂对斜坡砂体的控制促进了有效烃源岩的高效排烃及向上运移输导。此外,走滑作用造成馆陶组及明化镇组下段砂岩中普遍发育高角度裂缝,对于改善储层物性具有积极意义。

参 考 文 献

- [1] 龚再升. 中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 133-138.
Gong Zaisheng. Neotectonic movement and hydrocarbon accumulation in petroliferous basins, offshore China[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(2): 133-138.
- [2] 邓津辉, 周心怀, 魏刚, 等. 郑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.
- [3] Qi J, Yang Q. Cenozoic structural deformation and dynamic processes of the Bohai Bay basin province, China[J]. Marine & Petroleum Geology, 2010, 27(4): 757-771.
- [4] Huang L, Liu C Y, Wang Y B, et al. Hydrocarbon accumulation in strike-slip fault restraining bends: New insights into the tectonic controls on the Penglai 19-3 and Penglai 25-6 oil fields, Tan-Lu fault zone, east China[J]. AAPG Bulletin 2016, 100(8): 1239-1263.
- [5] 龚再升, 蔡东升, 张功成. 郑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.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1-10.
- [6] 许世红, 钟建华, 徐佑德, 等. 郑庐断裂带两侧坳陷、烃源岩及成烃演化的差异性[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(5): 505-510.
Xu Shihong, Zhong Jianhua, Xu Youde, et al. A discussion on the diversities of the source rock and hydrocarbon-generating evolution in the adjacent depressions of the Tanlu fault zone in China[J]. Journal of Chengdu University of technology, 2007, 34(5): 505-510.
- [7] 徐长贵. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2016, 41(9): 1548-1560.
Xu Changui. Strike-slip transfer zone and its control on formation of medium and large-sized oilfield in Bohai sea area[J]. Earth Science, 2016, 41(9): 1548-1560.
- [8] 武云云, 马立驰, 杨贵丽, 等. 渤海湾盆地垦东地区新近系断裂特征及其控藏作用[J]. 石油实验地质, 2017, 39(1): 65-70.
Wu Yunyun, Ma Lichi, Yang Guili, et al. Fault characteristics and their controls on hydrocarbon accumulations in Neogene, Kendong area, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2017, 39(1): 65-70.
- [9] 万桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郑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.
Wan Guimei, Zhou Donghong, Tang Liangjie, et al. Control of the Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 450-454.
- [10] 吕丁友. 郑庐断裂带渤海段新生代构造特征及其与油气成藏关系研究[D]. 中国地质大学(北京), 2012.
Lv Dingyou. Study of relationship between Cenozoic structure movement and hydrocarbon accumulation on TanLu strike-slip fault in Bohai sea[D]. China University of Geoscience(Beijing), 2012.
- [11] 朱伟林, 米立军, 龚再升. 渤海海域油气成藏与勘探[M]. 北京: 科学出版社, 2009. 1-7.
Zhu Weilin, Mi Lijun, Gong Zaisheng, et al. Oil and gas accumulation and exploration in Bohai sea[M]. Beijing: Science Press, 2009, 1-7.
- [12] 夏庆龙. 渤海海域油气藏形成分布与资源潜力[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012. 186-190.
Xia Qinglong, Tian Lixin, Zhou Xinhui, et al. Tectonic evolution and transformation mechanism in Bohai sea waters[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 186-190.
- [13] 黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期——证据及区域动力学分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 893-904.
Huang Lei, Zhou Xinhui, Liu Chiyang, et al. The important turning points during evolution of Cenozoic basin offshore the Bohai Sea: Evidence and regional dynamics analysis[J]. Science in China(Series D), 2012, 42(6): 893-904.
- [14] 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.

- Huang Lei, Zhou Xinhui, Wang Yingbin, et al. Cenozoic tectonic evolution and its control on the hydrocarbon accumulation of the western Bohai Sea [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2013, 48 (1): 275 – 290.
- [15] 彭文绪, 张志强, 姜利群, 等. 渤海西部沙垒田凸起区走滑断层演化及其对油气的控制作用[J]. *石油学报*, 2012, 33 (2): 204 – 212.
- Peng Wenxu, Zhang Zhiqiang, Jiang Liqun, et al. Evolution of strike-slip faults in the Shaleitian bulge of the western Bohai offshore and their control on hydrocarbons [J]. *Acta Petroli Sinica*, 2012, 33 (2): 204 – 212.
- [16] 黄雷. 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[J]. *地学前缘*, 2015, 2 (3): 68 – 76.
- Huang Lei. The control of hydrocarbon accumulation by strike-slip motion within the Bohai Sea Rise: A case study from Shaleitian Uplift [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22 (3): 68 – 76.
- [17] 彭文绪, 张如才, 樊建华, 等. 渤海海域西部凸起区大型雁列断层特征[J]. *石油地球物理勘探*, 2011, 46 (5): 795 – 801.
- Peng Wenxu, Zhang Rucui, Fan Jianhua, et al. Large scale en echelon faults on the west uplift in Bohai Gulf, China [J]. *Oil Geophysical, Prospecting*, 2011, 46 (5): 795 – 801.
- [18] 石文龙, 张志强, 彭文绪, 等. 渤海西部沙垒田凸起东段构造演化特征与油气成藏[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34 (2): 242 – 247.
- Shi Wenlong, Zhang Zhiqiang, Peng Xuwen, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in the east part of Shaleitian sailent, western Bohai sea [J]. *Oil and Gas Geology*, 2013, 34 (2): 242 – 247.
- [19] 李家康. 渤西地区断裂体系与油气运聚[J]. *中国海上油气*, 2000, 14 (4): 233 – 239.
- Lia Kang. Fault system and hydrocarbon migration and accumulation in boxi area [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2000, 14 (4): 233 – 239.
- [20] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2001, 37 (6): 845 – 851.
- Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai basin in mesozoic and cenozioti time [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37 (6): 845 – 851.
- [21] Harding P T. Petroleum traps associated with wrench faults [J]. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 1974, 58 (7): 1290 – 1304.
- [22] Sun M, Liu C, Chen S, et al. Control of petroleum traps by Cenozoic tectonic style in the Liaodong Bay area, of the Bohai Bay basin, China [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, 9 (5): 346.
- [23] Chen S, Zhou X, Tang L, et al. Wrench-related folding: A case study of Bohai Sea basin, China [J]. *Marine & Petroleum Geology*, 2010, 27 (1): 179 – 190.
- [24] 范军侠, 李宏伟, 朱筱敏, 等. 辽东湾北部地区走滑构造特征与油气富集规律[J]. *古地理学报*, 2006, 8 (3): 415 – 418.
- Fan Junxia, Li Hongwei, Zhu Xiaomin, et al. Characteristics of strike-slip structure and rules of hydrocarbon accumulation in northern Liaodong Bay [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2006, 8 (3): 415 – 418.
- [25] 李明刚, 吴克强, 康洪全, 等. 走滑构造变形特征及其形成圈闭分布[J]. *特种油气藏*, 2015, 22 (2): 44.
- Li Minggang, Wu Keqiang, Kang Hongquan, et al. Deformation Features and Trap Distribution of Strike—slip Structures [J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2015, 22 (2): 44.
- [26] 张照录, 杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21 (2): 133 – 135.
- Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. Study on passage system of petroliferous basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21 (2): 133 – 135.
- [27] 张卫海, 查明, 曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. *新疆石油地质*, 2003, 24 (2): 118 – 120.
- Zhang Weihai, Zha Ming, Qu Jiangxiu. The type and configuration of petroleum transportation system [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2003, 24 (2): 118 – 120.
- [28] 陈欢庆, 朱筱敏, 张琴, 等. 输导体系研究进展[J]. *地质论评*, 2009, 55 (2): 269 – 276.
- Chen Huanqing, Zhu Xiaomin, Zhang Qin, et al. Advances in pathway system research [J]. *Geological Review*, 2009, 55 (2): 269 – 276.
- [29] 康海亮, 林畅松, 牛成民, 等. 渤海西部海域沙垒田凸起古近系边缘断裂构造样式与沉积充填响应[J]. *天然气地球科学*, 2017, 28 (2): 254 – 261.
- Kang Hailiang, Lin Changsong, Niu Chengmin, et al. Faulting structure styles and their depositional filling response of the Paleogene margin of Shaleitian uplift, western Bohai Sea area [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28 (2): 254 – 261.
- [30] 林畅松, 潘元林. “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 (3): 260 – 266.
- Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin, et al. Structural slope-break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basins [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25 (3): 260 – 266.
- [31] 林畅松, 郑和荣, 任建业, 等. 渤海湾盆地东营、沾化凹陷早第三纪同沉积断裂作用对沉积充填的控制[J]. *中国科学: 地球科学*, 2003, 33 (11): 1025 – 1036.
- Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye, et al. The control of syn-depositional faulting on the Eocene sedimentary basin fills of the Dongying and Zhanhua sags, Bohai Bay basin [J]. *Science in China (Series D)*, 33 (11): 1025 – 1036.
- [32] 林畅松, 刘景彦, 张英志, 等. 构造活动盆地的层序地层与构造地层分析——以中国中、新生代构造活动湖盆分析为例[J]. *地学前缘*, 2005, 12 (4): 365 – 374.
- Lin Changsong, Liu Jingyan, Zhang Yingzhi, et al. Sequence stratigraphy and tectonic-stratigraphic analysis of tectonically active basins: A case study on the Cenozoic-Mesozoic lacustrine basins in China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12 (4): 365 – 374.