

文章编号:0253-9985(2010)05-0664-07

辽东湾地区辽西低凸起油气田成藏地质条件的差异

李潍莲¹, 刘震¹, 刘俊榜¹, 夏庆龙², 周心怀²

(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. 中国海洋石油总公司 天津分公司, 天津 300452)

摘要:在油气藏特征、油气来源、输导体系等综合对比分析的基础上,总结了辽东湾地区辽西低凸起 JZ20-2 凝析气田、JZ25-1S 油气田、SZ36-1 油田 3 个大中型油气田成藏模式的差异性。JZ20-2 为单向双源成藏模式,以东营组二段下亚段—东营组三段区域超压盖层分隔,上部东营组正常地层压力油藏为辽中北洼东营组三段烃源岩排出的油气沿东营组二段三角洲砂体运聚而成,下部沙河街组及潜山超压凝析气藏则是由辽中北洼沙河街组烃源岩释放出的超压凝析油气沿不整合运聚而成。JZ25-1S 为双向油源混合型成藏模式,辽西凹陷的油气沿西侧辽西 1 号、辽西 2 号边界断层垂向运移到辽西低凸起,同时辽中凹陷油气沿东斜坡不整合、砂体侧向运移,最终两个方向油气在 JZ25-1S 构造沙河街组二段砂体或太古界潜山储集体混合聚集成藏。SZ36-1 为单向油源成藏模式,辽中南洼的油气沿油源断层—三角洲砂体大规模、长距离运移至 SZ36-1 构造东营组二段砂体中聚集成藏。

关键词:油-源对比;输导体系;油气成藏模式;油气藏特征;辽西低凸起;辽东湾

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Differences of geological conditions of hydrocarbon accumulation among fields in the Liaoxi Low Uplift, the Liaodong Bay

Li Weilian¹, Liu Zhen¹, Liu Junbang¹, Xia Qinglong² and Zhou Xinhui²

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. CNOOC Tianjin Company, Tianjin 300452, China)

Abstract: Based on comprehensive analyses of reservoir features, source rocks and carrier systems, this paper summarizes differences of hydrocarbon accumulation among three middle and large oilfields (the JZ20-2, JZ25-1S and SZ36-1 oilfields) in the Liaoxi Low Uplift, the Liaodong Bay area. For the JZ20-2 oilfield, the hydrocarbon accumulation pattern is single migration direction and double sources. Separated by the regional overpressure cap rocks consisting of the lower part of the 2nd member and the 3rd member of the Dongying Formation, the upper oil pool in the Dongying Formation has normal pressure and its hydrocarbons were generated by source rocks in the 3rd member of the Dongying Formation in the northern Liaozhong subsag, and migrated along the delta sandbodies in the 2nd member of the Dongying Formation, while the lower condensate gas pool in the Shahejie Formation and buried hill has overpressure and the hydrocarbons were generated by source rocks in the Shahejie Formation in the northern Liaozhong subsag and migrated along unconformities. For the JZ25-1S oilfield, the hydrocarbon accumulation pattern is double migration direction and mixed sources. Hydrocarbons sourced from the Liaoxi sag migrated vertically to the Liaoxi low uplift along the Liaoxi-1 and Liaoxi-2 boundary faults, and hydrocarbons sourced from the Liaozhong sag migrated laterally along unconformities and sandbodies in the eastern slope.

收稿日期:2010-01-18。

第一作者简介:李潍莲(1969—),女,副教授,石油地质学。

基金项目:国家“十五”重大科技攻关项目(SC04TJ-TQL-001)。

Finally, these hydrocarbons mixed and accumulated in the sandstone of the 2nd member of the Shahejie Formation in the JZ25-1S structure and the reservoirs in Archeozoic buried hills. For the SZ36-1 oilfield, hydrocarbon accumulation pattern is single migration direction and single source. Hydrocarbon sourced from the southern Liaozhong subsag migrated in large scale and long distance along the faults connecting source rocks and reservoirs and delta sandbodies to sandstones in the 2nd member of the Dongying Formation in the SZ36-1 structure.

Keywords: oil-source correlation, carrier system, hydrocarbon accumulation pattern, reservoir characteristics, Liaoxi Low Uplift, Liaodong Bay

辽东湾地区为渤海湾盆地的一个次级构造单元,是下辽河拗陷在海域的延伸部分。郯庐断裂新生代右行走滑运动控制了该区北东走向凹凸相间的构造格局^[1,2],自西向东依次是辽西凹陷、辽西低凸起、辽中凹陷、辽东凸起、辽东凹陷。辽中凹陷、辽西凹陷均为主力生烃凹陷,又均可细分为北、中、南3个次洼。辽西低凸起东以斜坡与辽中凹陷相邻,西以辽西1号、辽西2号和辽西3号断层为界与辽西凹陷相邻,具有“凹中隆”的特点,是油气聚集的有利区带^[3],辽东湾目前已发现的亿吨级储量的大油气田SZ36-1、JZ25-1S和天然气地质储量超过 $100 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的JZ20-2凝析气田都位于此带,充分显示了该区带巨大的勘探潜力(图1)。SZ36-1、JZ25-1S、JZ20-2油气田虽同处于辽西低凸起,但位于其不同的部位,成藏条件和成藏过程存在差异,导致其油气藏特征不同。前人针对某个油气田开展过油气藏特征的研究^[4-9],但对这3个典型油气田成藏特征的差异性缺乏系统分析和对比。通过油气藏特征、油气来源、输导体系等的综合对比分析,总结这3个油气田成藏模式的差异性,以期对认识辽东湾地区油气成藏、指导油气勘探有一定启发。

1 油气藏特征的差异

1.1 JZ20-2凝析气田

JZ20-2凝析气田位于辽西低凸起北端,西以辽西3号断层与辽西凹陷相邻,东南侧以断续发育倾向南东的正断层向辽中凹陷下倾。由于断层切割,构造被分为南、中、北3个高点(图1)。基底为元古界和中生界组成的潜山,其上为古近系和新近系披覆背斜。整个构造长约21 km,宽约2~3 km。

JZ20-2凝析气田上部东营组油藏为断块控

制的正常地层压力层状油藏,只存在于中高点,储层为东二段上亚段三角洲相的粉、细砂岩,流体为低熟-成熟油,地面原油密度 $0.836 \sim 0.883 \text{ g/cm}^3$,粘度 $6.8 \sim 14.4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。下部沙河街组及潜山凝析气藏为受岩性和断背斜共同控制的具有底油、底水的异常高压块状凝析气藏(压力系数为 $1.56 \sim 1.70$),在南、中、北3个高点都存在,是JZ20-2凝析气田的主力油藏系统,储层由沙河街组一段、二段碳酸盐岩台坪相白云岩、中生界火山岩及元古界混合花岗岩组成,流体主要为高成熟凝析气,地面凝析油密度 $0.750 \sim 0.760 \text{ g/cm}^3$,粘度小于 $1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

1.2 JZ25-1S油气田

JZ25-1S油气田位于辽西低凸起中北段,西以辽西1号、辽西2号断层为界与辽西凹陷相邻,东侧向辽中凹陷下倾。构造被辽西2号断层分割为东西两个高点(图1)。基底为太古界潜山,其上为古近系和新近系披覆半背斜。整个构造长24 km,宽9 km。

JZ25-1S油气田沙河街组二段油气藏为断背斜控制的正常地层压力、边水层状油气藏,其中沙河街组二段气藏为低-微凝析油含量、带油环的凝析气藏,储集层为辫状河三角洲前缘亚相含砾砂岩,地面原油密度 $0.854 \sim 0.922 \text{ g/cm}^3$,粘度 $5.10 \sim 36.39 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,地面凝析油密度 $0.727 \sim 0.780 \text{ g/cm}^3$,粘度 $0.56 \sim 1.04 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。太古界潜山油藏为正常地层压力、底水块状裂缝性油藏,储集层以片麻岩及其形成的碎裂岩为主^[10,11],地面原油密度为 $0.864 \sim 0.901 \text{ g/cm}^3$,粘度 $6.50 \sim 15.04 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

1.3 SZ36-1油田

SZ36-1油田位于辽西低凸起中段,西以辽西1号断层为界与辽西凹陷相邻,东侧向辽中凹陷下

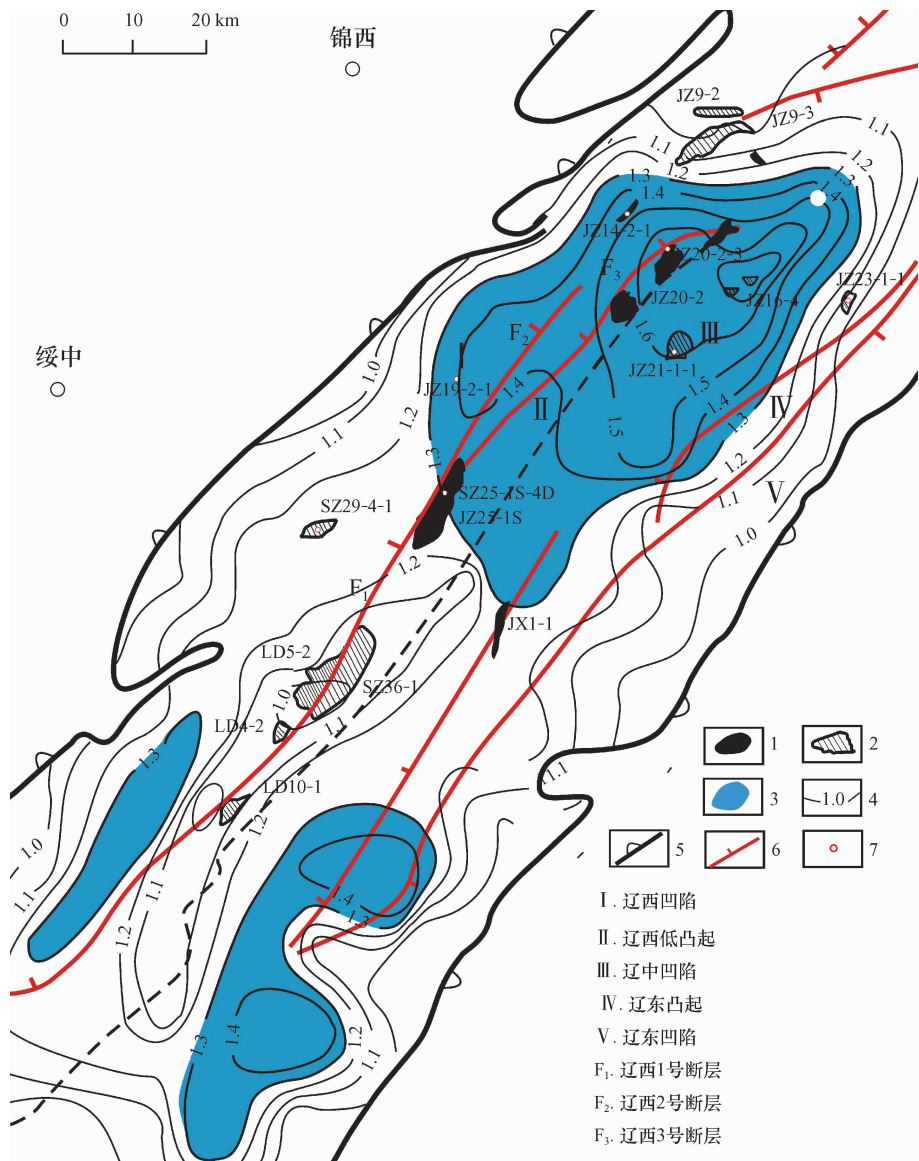


图 1 辽东湾地区东营组二段下亚段—东营组三段地层压力系数等值线图

Fig. 1 Contour of formation pressure coefficients from the lower part of the 2nd member to the 3rd member of the Dongying Formation in the Liaodong Bay area

1. 沙河街组及潜山油气田; 2. 东营组油气田; 3. 异常高压区; 4. 压力系数等值线; 5. 古近系尖灭线; 6. 断层; 7. 钻井

倾(图 1)。基底为下古生界灰岩潜山,其上为古近系和新近系披覆背斜。整个构造东营组圈闭面积 130 km²。

SZ36-1 油田主力油藏含油层位为东营组二段下亚段,油藏类型为受构造和岩性控制的正常地层压力层状油藏,储层为三角洲前缘亚相砂岩,地面原油密度 0.962 3 g/cm³,平均地面粘度 1 055.8 mPa·s。SZ36-1 油田泥岩盖层厚度较薄,质量较差,油藏受到不同程度的水洗氧化,多为重质稠油。

2 油气来源的差异

依据伽马蜡烷、4-甲基甾烷、甲藻甾烷等主要油源参数及甾烷指纹,将 JZ20-2, JZ25-1S, SZ36-1 油气田原油与辽中凹陷和辽西凹陷烃源岩及邻近油气藏中原油进行油-岩对比、油-油对比,并结合烃源岩评价的结果,综合判断出 JZ20-2, JZ25-1S, SZ36-1 油气田的油气来源存在差异。

JZ20-2 的凝析油主要来源于辽中凹陷北洼沙河街组烃源岩,具备单向油源供烃的特征。JZ20-2 凝析油的伽马蜡烷丰度中等或较高、4-甲基甾烷含量较低,具有高丰度的三环萜烷、高的Ts/Tm 值及重排甾烷,显示出高成熟的特征, $\alpha\alpha\alpha RC_{27}, \alpha\alpha\alpha RC_{28}, \alpha\alpha\alpha RC_{29}$ 规则甾烷的分布表现为 $C_{27} \gg C_{28} \approx C_{29}$ 的“L”型。JZ20-2 凝析油的这些甾烷、萜烷特征与现今已钻达的烃源岩和已获得的原油样品的甾烷、萜烷特征差别均较大。因至今仍无井钻达辽中凹陷北洼沙河街组,无法进行油-岩的直接对比,但辽东湾地区仅辽中凹陷北洼沙河街组可以达到生成凝析气的高成熟演化阶段,因此,辽中凹陷北洼沙河街组烃源岩应是 JZ20-2 凝析气田的主力源岩。

JZ25-1S 油田的油源主要为辽西凹陷沙河街组三段下亚段烃源岩,同时辽中凹陷烃源岩贡献也较大,具备双向油源供烃的特征。JZ25-1S 油田主体原油伽马蜡烷丰度中到高、4-甲基甾烷丰富,甲藻甾烷含量低,三环萜烷丰度中等, C_{27} -重排甾烷和甾烷的 $20S, \beta\beta$ 异构体相对丰度较高,反映原油具有较高的成熟度,为成熟原油; $\alpha\alpha\alpha RC_{27}, \alpha\alpha\alpha RC_{28}, \alpha\alpha\alpha RC_{29}$ 规则甾烷指纹分布呈现出 $C_{27} \gg C_{28} < C_{29}$ 的偏“V”字型。这些特征与辽西凹陷中洼 SZ29-4-1 井东营组二段原油以及辽西凹陷北洼 JZ14-2-1 井沙河街组二段原油表现出很好的一致性,而且三者稳定碳同位素分布上也表现出很好的一致性,说明三者油源关系密切。JZ25-1S 主体原油与辽西凹陷北洼 JZ14-2-1 井和辽西凹陷中洼 JZ19-2-1 井沙河街组三段下亚段烃源岩甾烷和萜烷分布特征相似性较好,但其伽马蜡烷含量远高于沙河街组三段下亚段烃源岩^[12],表明 JZ25-1S 油田的油源主要来自辽西凹陷沙河街组三段下亚段烃源岩,但又存在一定的差异。JZ25-1S 主体原油与辽中凹陷中洼原油、烃源岩的甾烷和萜烷分布特征具有一定的相似性,又存在差异,表明辽中凹陷烃源岩的贡献;另外,JZ25-1S 沙河街组二段带油环的凝析气藏的油源可能主要为辽中凹陷北洼沙河街组烃源岩。

SZ36-1 油田油源主要来自辽中凹陷南洼沙河街组烃源岩。因至今在辽西凹陷南洼未获得沙河街组烃源岩样品,无法进行直接的油-岩对比,但可与邻近的辽西 1 号断层下降盘 LD5-2 和 LD4-2 油田进行油-油对比(图 1)。对比结果显

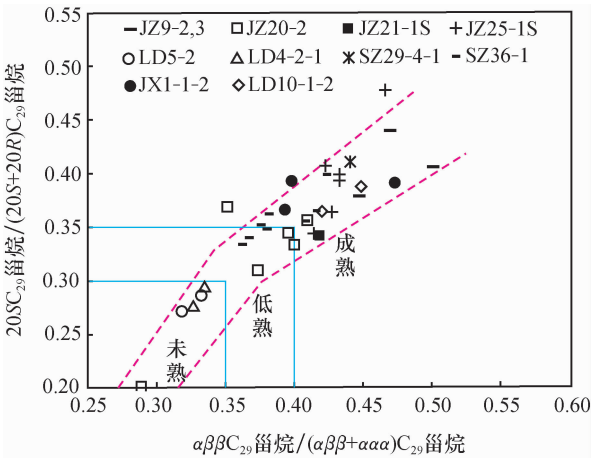


图2 辽东湾地区东营组原油 C_{29} 甾烷 $\alpha\beta/(\alpha\beta + \alpha\alpha)$ 与 C_{29} 甾烷 $20S/(20S + 20R)$ 相关图

Fig. 2 Correlation between $\alpha\beta/(\alpha\beta + \alpha\alpha)$ of C_{29} sterane and $20S/(20S + 20R)$ of C_{29} sterane in crude oil from the Dongying Formation of the Liaodong Bay area

示 3 个油田东营组二段下亚段原油甾烷和萜烷分布特征基本一致,都表现为伽马蜡烷丰度中等,4-甲基甾烷中等,含有一定量的甲藻甾烷,规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha RC_{27}, \alpha\alpha\alpha RC_{28}, \alpha\alpha\alpha RC_{29}$ 指纹均呈 $C_{27} \gg C_{28} < C_{29}$ 的偏“V”字型分布,但原油成熟度存在明显差异,且在横向上不存在明显的渐变。SZ36-1 油田为低熟-中等成熟原油,而 LD5-2 和 LD4-2 油田则为典型的未熟油(图 2)。这说明 SZ36-1 与 LD5-2 和 LD4-2 之间的辽西 1 号断层具有分隔性,SZ36-1 油田原油可能主要来自辽中凹陷南洼,LD5-2 和 LD4-2 油田原油源于辽西凹陷南洼,SZ36-1 油田具备单向油源供烃的特征。

3 输导体系的差异

JZ20-2, JZ25-1S, SZ36-1 油气田处于辽西低凸起的不同部位,其西侧陡坡带边界断层的输导性能、东侧斜坡带不整合和砂体的输导性能均存在明显的差异。

JZ20-2 凝析气田西侧辽西 3 号边界断层在成藏期输导性能差,以东侧斜坡带不整合输导体系的侧向运移为主。辽西 3 号断层东营组一段沉积期间基本停止活动(东营组一段沉积期、馆陶组沉积期断层生长指数约 1.0),辽西凹陷沙河街组三段烃源岩的主要生排烃期是东营组沉积末期至明化镇组沉积期,因此辽西 3 号断层在油气运移的

早期已停止活动,主要起封闭遮挡作用。JZ20-2 东斜坡输导断层、沙河街组砂体均不甚发育,而中生界与太古界或元古界、古近系与前古近系之间普遍为不整合接触关系,钻井揭示,太古界或元古界混合花岗岩不整合附近及中生界火成岩不整合附近,裂缝、溶蚀孔隙比较发育,使不整合构成油气侧向运移的重要通道和储集空间,辽西低凸起中北部潜山为重要含油层系即是有力的证明^[13]。

JZ25-1S 油气田西侧辽西 1 号、辽西 2 号边界断层在成藏期为油气运移的重要输导通道,同时其东侧斜坡带具备不整合和砂体输导体系。通过断层活动性、泥岩涂抹因子和断面正压力等多种分析方法的综合判断,在成藏期即东营组一段沉积末期 JZ25-1S 构造西侧辽西 1 号、辽西 2 号断层活动性较强,断层在沙河街组三段侧向开启,在 1 800 m 以上垂向开启,断层具备良好的输导性能^[12]。JZ25-1S 东斜坡带潜山不整合仍然很发育,而且沙河街组二段辫状河三角洲砂体在斜坡有一定延伸、侧向连续性较好。

SZ36-1 油气田西侧辽西 1 号边界断层在成藏期具备良好的输导性能,同时其东侧斜坡带具备大型三角洲砂体输导体系。辽西 1 号断层在 SZ36-1 构造附近活动时间长(从沙河街组三段到明化镇沉积时断层一直在活动)、活动强度大,输导性能好。SZ36-1 东斜坡带东营组二段三角洲砂体规模大,连续性好,储集物性普遍较好,钻井统计平均砂岩厚度为 82~104 m,砂岩孔隙度大于 20%,渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,侧向输导能力强,为油气大规模、长距离运移创造了条件。另

外,东斜坡带潜山不整合亦是重要的输导体系。

4 成藏模式的差异

JZ20-2 油气田为单向双源成藏模式。因为成藏期辽西 3 号断层的封闭遮挡,JZ20-2 油气主要来源于辽中凹陷的北洼。由于东营组二段下亚段—东营组三段巨厚湖相超压泥岩区域盖层的分隔^[14],上部东营组油藏与下部沙河街组及潜山凝析气藏的流体互不混合,流体压力不互相传递。东营组油藏为辽中凹陷北洼东营组三段烃源岩排出的油气(辽东湾东营组三段烃源岩仅辽中凹陷北洼达到成熟)沿东营组二段上亚段大规模三角洲砂体或断层—砂体输导通道运移至辽西低凸起聚集形成。沙河街组及潜山凝析气藏则是由辽中凹陷北洼沙河街组烃源岩(尤其是沙街组三段主力烃源岩)释放出的超压凝析油气沿不整合向辽西低凸起侧向运移;伴随超压流体的运移,地层间的流体压力也在不断地进行传递调整,在有利的构造和储层发育部位,超压凝析油气不断充注和聚集,能量也不断积聚,从而形成少见的侧向传递型超压油气藏^[13](图 3)。

JZ25-1S 油气田为双向油源混合型成藏模式。辽西凹陷沙街组三段烃源岩生成的油气由辽西 1 号、辽西 2 断层垂向运移到辽西低凸起,同时辽中凹陷沙河街组烃源岩生成的油气沿不整合、砂体侧向运移,最终两个方向的油气在 JZ25-1S 构造沙街组二段砂体和太古界变质岩潜山储集体混合聚集成藏(图 4)。JZ25-1S 构造东营组二段

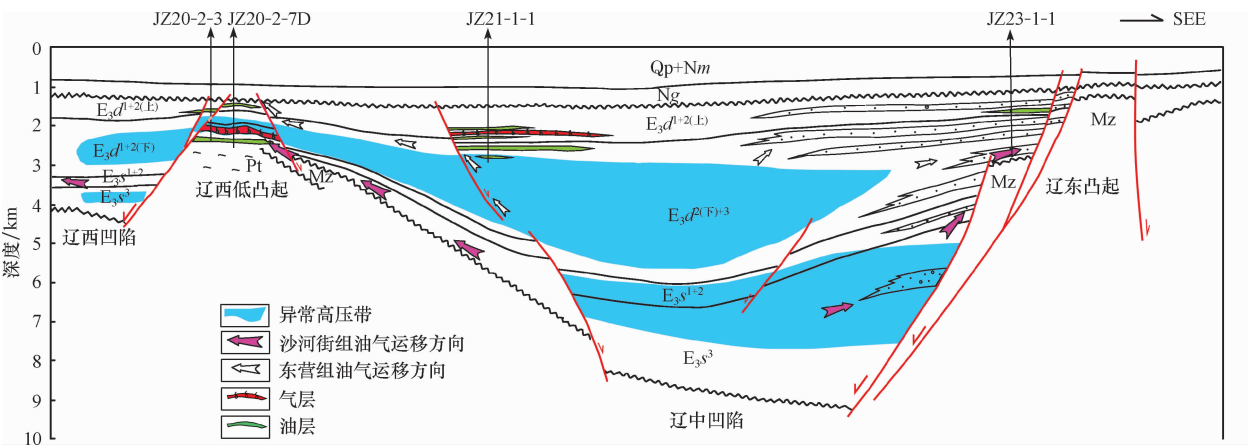


图 3 辽东湾地区 JZ20-2 凝析油气田成藏模式

Fig. 3 Hydrocarbon accumulation pattern of JZ20-2 condensate oilfield in the Liaodong Bay area

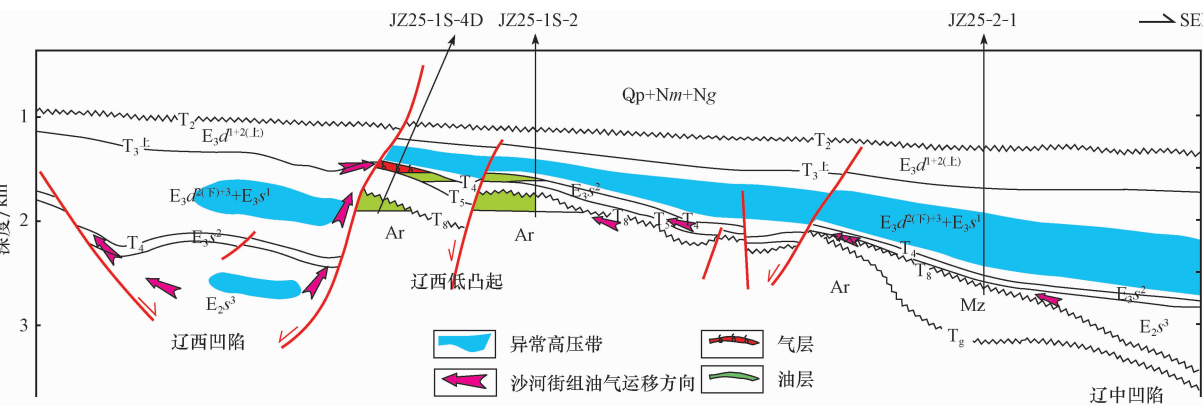


图4 辽东湾地区JZ25-1S油气田成藏模式

Fig. 4 Hydrocarbon accumulation pattern of JZ25-1S oilfield in the Liaodong Bay area

下亚段—东营组三段超压泥岩区域盖层广泛发育^[14],辽中凹陷沙河街组的油气多在此套盖层之下运移;辽西凹陷沙街组三段运移动力不很充足,而且新近纪以来辽西1号、辽西2号断层活动明显减弱,油气也不能沿断层运移至浅部,因此多在下部沙河街组和潜山成藏^[15]。

SZ36-1油田为单向油源成藏模式。SZ36-1油田油源主要来自辽中凹陷南洼,以缓中三角洲向南推进形成的大型三角洲砂体与油源断层配合构成主要输导体系。辽西1号断层把辽西凹陷的油气输导至断层下降盘的东营组二段,因断层下降盘的东营组二段也发育大型三角洲砂体,且辽西凹陷烃源岩超压不发育^[15],油气运移动力较弱,油气就近聚集成藏,形成LD4-2和LD5-2等油田,而不运移到断层上升盘的SZ36-1构造与辽中凹陷南洼的油气混合,造成SZ36-1与LD4-2和LD5-2油田的原油成熟度存在明显差异(图5)。

5 结束语

JZ20-2,JZ25-1S,SZ36-1油气藏成藏模式差异明显,预示着这些构造邻近地区的油气勘探方向可能有所差异。JZ20-2构造附近,应加强其东侧斜坡低部位的沙河街组及辽中北洼东营组的勘探。JZ25-1S构造附近的辽西低凸起中北段,进一步勘探应注重西侧辽西1号、辽西2号大断层下降盘的沙河街组砂体,可望找到岩性油气藏或断层-岩性油气藏;另外,此带东侧斜坡低部位沙河街组砂体和潜山亦有一定的含油可能性。SZ36-1构造附近的辽西低凸起中南段东营组二段发育大型的三角洲砂体,砂体覆盖低凸起的高部位、东侧的斜坡带和西侧辽西1号大断层下降盘的陡坡带,进一步应注意东侧斜坡带地层岩性油气藏勘探及辽西1号断层下降盘陡坡带勘探。

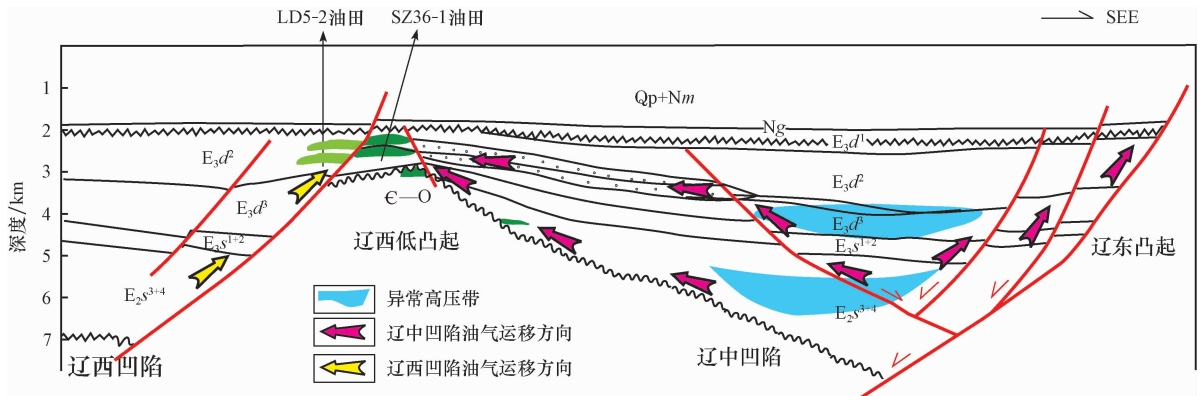


图5 辽东湾地区SZ36-1油田成藏模式

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation pattern of SZ36-1 oilfield in the Liaodong Bay area

参 考 文 献

1 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

2 杨桥,魏刚,马宝军,等. 郯庐断裂带辽东湾段新生代右旋走滑变形及其模拟实验[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):483~489

3 吕丁友,杨明慧,周心怀,等. 辽东湾拗陷辽西低凸起潜山构造特征与油气聚集[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):490~495

4 陈国风. 锦州 20-2 凝析气田油气藏评价工作的主要特点[J]. 中国海上油气(地质),1997,11(4):268~273

5 陈国风,冯国智. JZ20-2 凝析气田的水驱能量[J]. 中国海上油气(地质),1998,12(4):273~276

6 项华,周心怀,魏刚,等. 渤海海域锦州 25-1 南基岩古潜山油气成藏特征分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2007,29(5):32~35

7 薛永安,项华,李思田,等. 锦州 25-1S 大型混合花岗岩潜山油藏发现的启示[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(3):29~31

8 邓津辉,黄晓波,李慧勇,等. 辽东湾海域 JZ25 地区流体包裹体与油气运移[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):420~424

9 张文昭. 中国陆相大油田[M]. 北京:石油工业出版社,1997. 52~103

10 周心怀,项华,于水,等. 渤海锦州南变质岩潜山油藏储集层特征与发育控制因素[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):17~20

11 刘乐,杨明慧,李春霞,等. 辽西低凸起变质岩潜山裂缝储层及成藏条件[J]. 石油与天然气地质,2009,30(2):188~194

12 李潍莲,刘震,代春萌,等. 辽东湾 JZS 油气田西侧边界断层输导性能分析[J]. 现代地质,2009,23(2):292~298

13 李潍莲,刘震,夏庆龙,等. 辽东湾凝析气田超压成因及侧向传递机制初探[J]. 地质科学,2008,43(2):377~388

14 徐长贵,朱秀香,史翠娥,等. 辽东湾拗陷古近系东营组泥岩对油气藏分布的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):431~437

15 李潍莲,刘震,于水,等. 地温—地压场特征与油气分布的关系——以辽东湾地区为例[J]. 天然气工业,2006,26(9):17~20

(编辑 高 岩)

(上接第 663 页)

参 考 文 献

1 蔡进功,谢忠怀,田芳,等. 济阳拗陷深层砂岩成岩作用及孔隙演化[J]. 石油与天然气地质,2003,23(1):84~88

2 蔡进功,谢忠怀,刘宝军,等. 胜利油区深部砂岩储集层类型及特征[J]. 石油学报,2001,22(5):34~37

3 胡宗全,周新科,张玉兰. 济阳拗陷前第三系油气勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):655~660

4 李军亮. 民丰洼陷盐下深层天然气储层特征[J]. 油气地质与采收率,2007,14(4):48~49

5 钱铮,李淳,李跃,等. 济阳拗陷深层砂岩储层成岩作用及其阶段划分[J]. 石油大学学报(自然科学版),1996,20(2):6~11

6 宋国奇,卓勤功,孙莉. 济阳拗陷第三系不整合油气藏运聚成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):716~720,732

7 吕慧,陈致林,王忠,等. 济阳拗陷东营凹陷南斜坡高蜡原油高分子量烃类分布及高蜡成因[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):355~360

8 张善文,袁静,隋风贵,等. 东营凹陷北部沙河街组四段深部储层多重成岩环境及演化模式[J]. 地质科学,2008,43(3):576~587

9 吴光华,王红亮,林会喜,等. 渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):33~41

10 王勇,钟建华,马锋,等. 济阳拗陷陡坡带深层砂砾岩体次生孔隙成因机制探讨[J]. 地质学报,2008,82(8):1152~1159

11 许晓明,刘震,谢启超,等. 渤海湾盆地济阳拗陷异常高压特征分析[J]. 石油实验地质,2006,28(4):345~349

12 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践[J]. 石油与天然气地质,2006,27(6):731~740,761

13 蔡李梅,陈红汉,李纯泉,等. 济阳拗陷东营凹陷沙三中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质,2009,30(1):17~24

14 袁静,赵澄林. 水介质的化学性质和流动方式对深部碎屑岩储层成岩作用的影响[J]. 石油大学学报,2000,24(1):60~63

15 王效美,张立强,罗晓容,等. 沾化凹陷沙河街组异常高压分布及形成机制探讨[J]. 油气地质与采收率,2004,11(3):37~39

16 高建岗,高树新,王风华,等. 东营凹陷胜坨地区沙四段地层压力特征及其对储层的影响[J]. 油气地质与采收率,2008,15(1):35~38

17 刘延莉,邱春光,邓宏文,等. 冀东南堡凹陷古近系东营组构造对扇三角洲的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):95~101

18 应凤祥,罗平,何东博,等. 中国含油气盆地碎屑岩储集层成岩作用与成岩数值模拟[M]. 北京:石油工业出版社,2003. 98

(编辑 董 立)