

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2021.02.007

饶阳凹陷留楚地区东二段、东三段断一砂配置输导油气能力及其与油气富集关系

韩 刚^{1,2} 曹 成¹ 张文婧³ 曹 阳³ 王树恒³ 包 丽³

(1 东北石油大学地球科学学院; 2 东北石油大学“非常规油气成藏与开发”省部共建国家重点实验室;

3 中国石油大庆油田公司勘探开发研究院)

摘 要: 断一砂配置输导体系作为油气运移的主要通道, 控制着油气的分布。为厘清留楚地区东二段、东三段油气分布规律, 基于三维地震资料及钻井资料, 刻画断裂优势输导通道和连通砂体分布, 通过东二段、东三段断一砂配置输导体系与下伏沙一段烃源岩之间关系, 结合东二段、东三段油气分布, 研究留楚地区东二段、东三段断一砂配置输导油气能力及其与油气聚集关系。研究表明: 留楚地区东二段、东三段输导断裂两侧发育大量砂体, 只有输导断裂与连通砂体配置合适, 才可形成沙一段烃源岩向东二段、东三段储层运移的断一砂配置输导体系。留楚地区东二段、东三段强输导油气能力断一砂配置输导体系发育, 主要分布在其北部地区; 其次为弱输导油气能力断一砂配置输导体系, 主要分布在其东南部地区; 中等输导油气能力断一砂配置输导体系最不发育, 仅分布在其中部及东、西边部地区。

关键词: 饶阳凹陷; 留楚地区; 断一砂配置; 输导油气能力; 油气富集

中图分类号: TE112.12

文献标识码: A

Hydrocarbon transport capacity of fault-sandstone configuration of Ed₂₊₃ members in Liuchu area of Raoyang Sag and its relationship with oil and gas enrichment

Han Gang^{1,2}, Cao Cheng¹, Zhang Wenjing³, Cao Yang³, Wang Shuheng³, Bao Li³

(1 School of Earth Science, Northeast Petroleum University; 2 State Key Laboratory of "Unconventional Oil and Gas Accumulation and Development"; 3 Exploration and Development Research Institute of PetroChina Daqing Oilfield Company)

Abstract: As the main channel of hydrocarbon transport, the fault-sandstone configuration migration system controls the distribution of oil and gas. In this paper, the dominant transport channel of faults and the distribution of connected sand bodies are depicted based on 3D seismic and well data, and the rule of oil and gas distribution of Ed₂₊₃ members in Liuchu area is studied. From the relationship between hydrocarbon transport system of fault-sandstone configuration of Ed₂₊₃ members and the underlying source rock of Es₁ member, hydrocarbon transport capacity of fault-sandstone configuration and its relationship with oil and gas enrichment is studied combining with the oil and gas distribution in Ed₂₊₃ members. The result shows that a large number of sand bodies are developed on both sides of the faults of Ed₂₊₃ members in Liuchu area, and only the proper configuration of faults and the connected sand bodies can form fault-sandstone transport system for hydrocarbon migration from source rock of Es₁ to reservoirs of Ed₂₊₃ members. The fault-sandstone configuration with strong hydrocarbon transport capacity in Liuchu area is relatively developed, mainly distributed in the northern area, and followed by the fault-sandstone configuration with weak hydrocarbon transport capacity, which is mainly in the southeastern region. The fault-sandstone configuration with medium hydrocarbon transport capacity is the least developed and distributed in the middle, eastern and western regions.

Key words: Raoyang Sag, Liuchu area, fault-sandstone configuration, hydrocarbon transport capacity, oil and gas enrichment

引用: 韩刚, 曹成, 张文婧, 等. 饶阳凹陷留楚地区东二段、东三段断一砂配置输导油气能力及其与油气富集关系[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(2): 69-76.

Han Gang, Cao Cheng, Zhang Wenjing, et al. Hydrocarbon transport capacity of fault-sandstone configuration of Ed₂₊₃ members in Liuchu area of Raoyang Sag and its relationship with oil and gas enrichment[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(2): 69-76.

基金项目: 国家自然科学基金项目“陆相页岩油储层孔隙结构非均质性成因及其对烃类赋存相态的影响”(41972156)。

第一作者简介: 韩刚(1978-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 2018年毕业于东北石油大学, 副教授, 主要从事地球物理勘探教学与研究工作。地址: 黑龙江省大庆市高新区黎明街道发展路184号东北石油大学地球科学学院, 邮政编码: 163318。E-mail: hangangdqpi@163.com

通信作者简介: 张文婧(1978-), 女, 黑龙江肇东人, 硕士, 2007年毕业于东北石油大学, 高级工程师, 主要从事油气勘探规划综合研究工作。地址: 黑龙江省大庆市让胡路区奋斗街道大庆油田勘探开发研究院勘探规划研究室, 邮政编码: 163712。E-mail: zhangwenjing@petrochina.com.cn

收稿日期: 2019-11-22; 修改日期: 2021-01-23

0 引言

勘探实践证明,含油气盆地下生上储式生储盖组合中断裂和砂体配置是油气运移的重要输导通道^[1-2],并在一定程度上控制着油气的分布。断裂与砂体配合形成的各种类型的油气藏已成为我国目前油气勘探的主要目标。这不仅表现在含油气盆地的隆起区,而且也表现在含油气盆地的凹陷区。关于断裂和砂体作为油气运移输导通道,国内外学者通过野外观察、理论研究、物理模拟^[3-11]等方面进行了大量研究,阐述了影响断裂和砂体输导有效性的因素^[12-15]、断裂和砂体输导油气特征^[16-17]及断裂和砂体分布对油气成藏与分布的控制作用^[18-21]等,对指导含油气盆地断裂发育区油气分布规律认识和油气勘探起到了非常重要的作用。但对构成断—砂配置输导体系的断裂优势输

导通道与砂体的分布特征,以及不同输导油气能力的断—砂配置输导体系与油气聚集成藏之间关系等方面的研究几乎没有。基于此,本文从刻画断裂优势输导通道和连通砂体分布入手,研究断—砂配置输导体系输导油气能力与油气富集关系,对于正确认识含油气盆地下生上储式生储盖组合油气成藏规律和指导油气勘探均具有重要意义。

1 地质概况

渤海湾盆地是中国东部重要的含油气盆地^[22-25]。留楚地区位于该盆地冀中坳陷饶阳凹陷南部(图1),是受东侧留楚—黄甫村断裂和西侧大王庄东断裂双向挤压形成的北东向不对称塌陷背斜构造。背斜核部位于留楚地区北部和中部地区,背斜东翼陡、西翼缓。

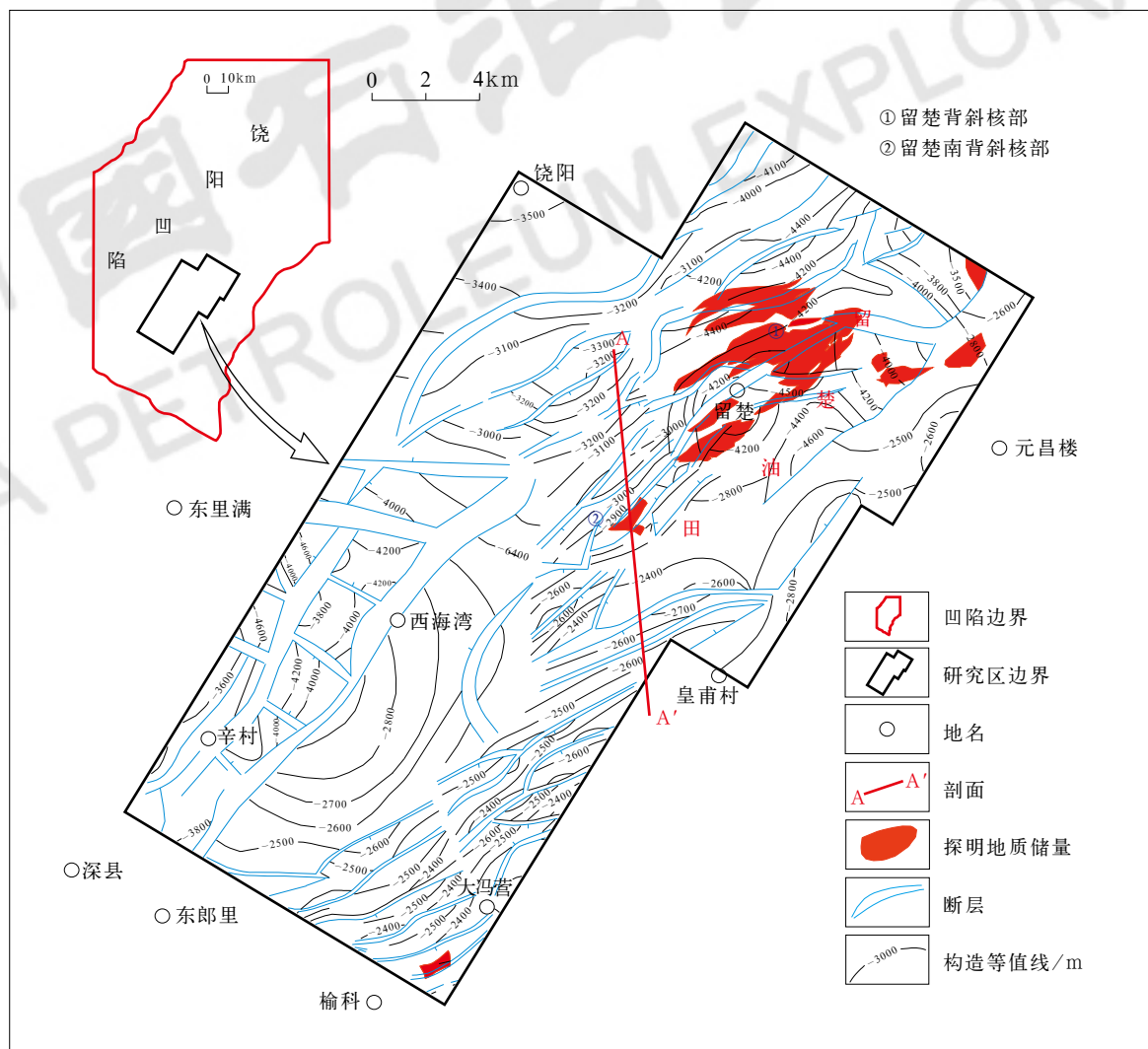


图1 留楚地区构造纲要图

Fig.1 Structural outline map of Liuchu area

留楚地区从下至上发育的地层有古近系孔店组、沙河街组、东营组和新近系馆陶组、明化镇组及第四系平原组（图2）。目前留楚地区已发现的油气主要分布在东营组二段和三段（分别简称东二段、东三段），少量分布在东营组一段（简称东一段）和馆陶组，油气源对比结果^[25-27]表明，其油气主要来自下伏沙河街组一段（简称沙一段）烃源岩，属于典型的下生上储式生储盖组合。然而，留楚地区东二段、东三段目

前已发现的油气主要分布在北部留楚背斜核部，少量分布在中北部留楚南背斜核部，这除了与其构造和储层发育有关，在很大程度上受到东二段、东三段断一砂配置输导体系输导油气能力强弱的影响，断一砂配置输导体系输导油气能力越强，越有利于油气聚集分布；反之，则不利于油气聚集与分布。因此，明确断一砂配置输导体系内在机理和控制要素应是留楚地区东二段、东三段油气勘探的关键。

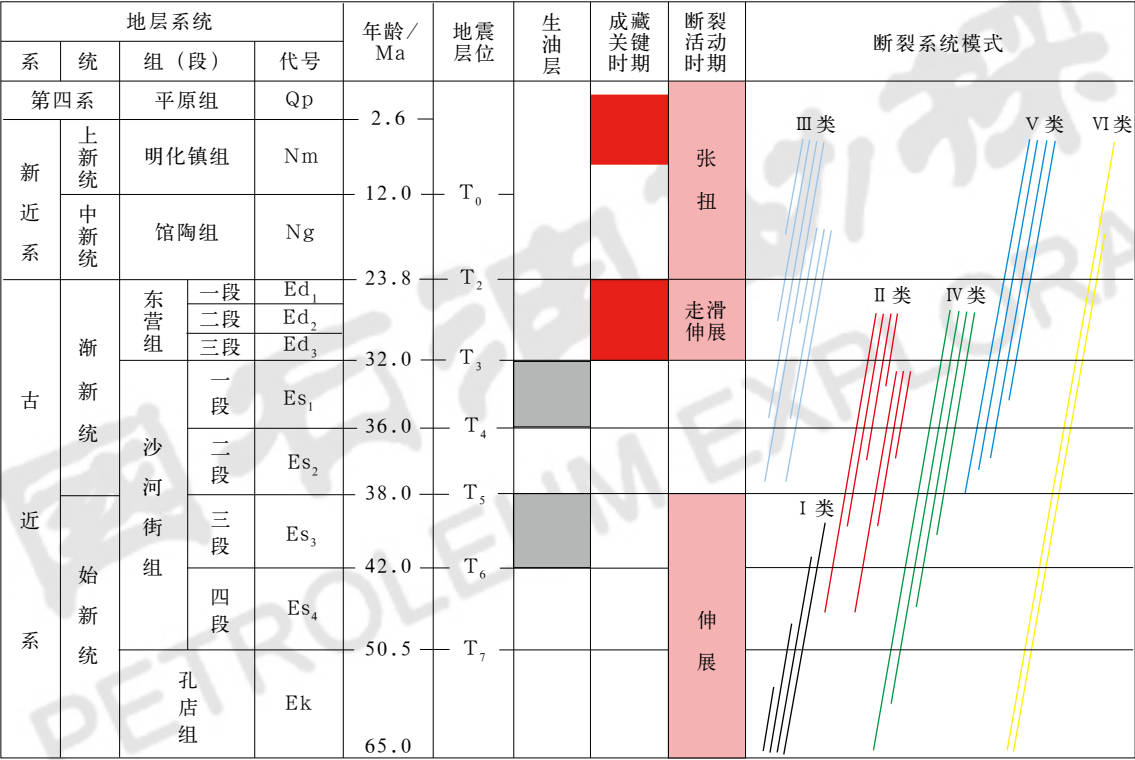


图2 留楚地区断裂系统划分模式图

Fig.2 Division pattern of fault system in Liuchu area

I类为早期伸展断裂；Ⅱ类为中期走滑伸展断裂；Ⅲ类为晚期张扭断裂；Ⅳ类为早期伸展—中期走滑伸展断裂；Ⅴ类为中期走滑伸展—晚期张扭断裂；Ⅵ类为早期伸展—中期走滑伸展—晚期张扭断裂

2 断一砂配置输导体系断裂输导通道特征

2.1 断裂类型及特征

断裂不仅可以作为油气聚集的遮挡，更重要的是作为油气运移的输导通道，起着连接烃源岩和圈闭的桥梁作用，使油气聚集成藏^[28-32]。留楚地区东二段、东三段内发育有大量不同规模和类型的断裂，各断裂呈密集带分布（图3a）。依据断裂的活动时期：沙河街组三段（简称沙三段）属于伸展期、东营组属于走滑伸展期、馆陶组以来属于张扭期（图2），留楚地区东二段、东三段储层中发育早期伸展断裂、中

期走滑伸展断裂、晚期张扭断裂、早期伸展—中期走滑伸展断裂、中期走滑伸展—晚期张扭断裂和早期伸展—中期走滑伸展—晚期张扭断裂6种类型。其中，连接沙一段烃源岩和东二段、东三段储层且在油气成藏期——明化镇组沉积末期活动的断裂，即第五类中期走滑伸展—晚期张扭断裂和第六类早期伸展—中期走滑伸展—晚期张扭断裂两类，是沙一段烃源岩生成的油气向上覆东二段、东三段储层运移的优势输导通道（图3b）。由图3可以看出，留楚地区东二段、东三段输导断裂呈北北东向展布，第五类中期走滑伸展—晚期张扭断裂几乎全区范围内发育，第六类早期伸展—中期走滑伸展—晚期张扭断裂仅在边部发育。

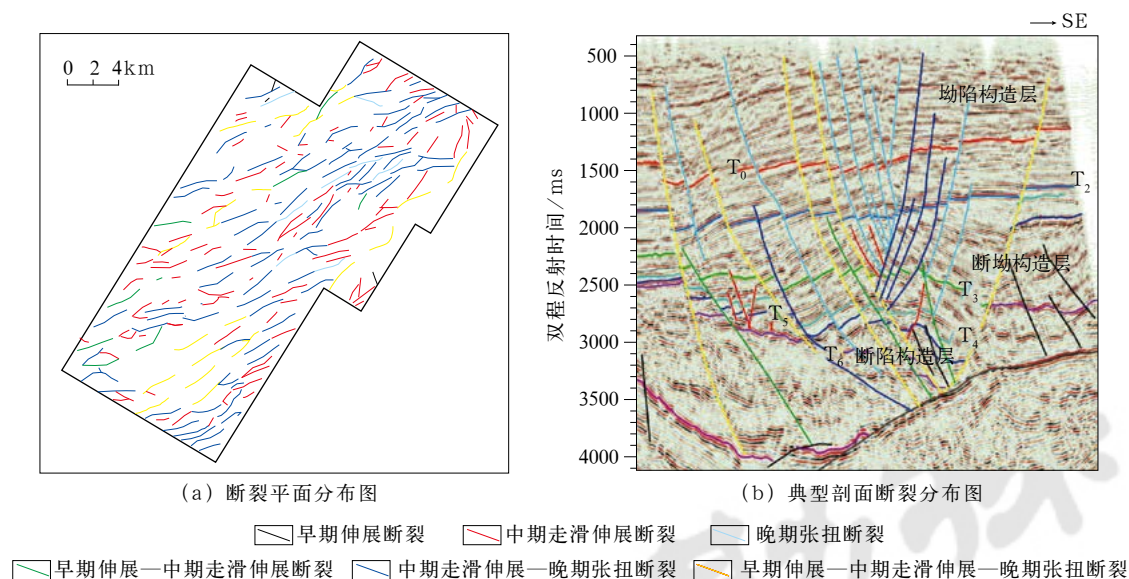


图3 留楚地区东二段、东三段不同类型断裂分布图

Fig.3 Distribution of different type faults of Ed_{2+3} members in Liuchu area

2.2 优势输导通道分布特征

受断层面凸凹不平的影响,留楚地区沙一段烃源岩生成的油气并非沿整条输导断裂大面积向上覆东二段、东三段储层中运移,而是沿着凸面脊部向上运移。由于凸面脊部构造位置相对较高,为油气运移的高势区,而凹面脊部构造位置相对较低,为油气运移的低势区,油气沿断裂由下至上运移过程中,凸面脊两侧凹面脊部的油气会向凸面脊部汇聚运移,形成优势运移通道(图4)。由此可知,油气主要是通过凸面脊沿输导断裂由下至上运移。根据三维地震资料解释追索留楚地区东二段、东三段内每条输导断裂断面形态,以及断面凸脊、凹脊分布位置确定断裂优势输导通道位置(图5)。

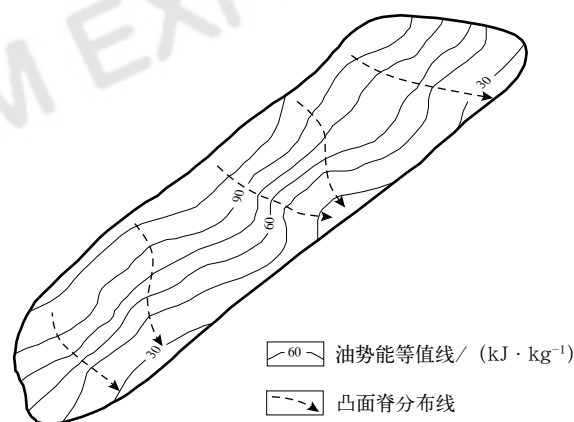


图5 留楚—皇甫村油源断裂优势输导通道分布图

Fig.5 Distribution of dominant hydrocarbon transport paths of oil source faults in Liuchu-Huangpucun area

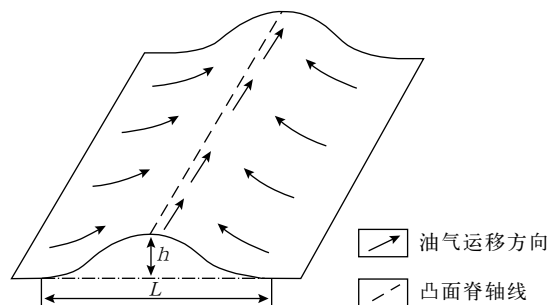


图4 油源断裂凸面脊汇聚运移油气示意图

Fig.4 Sketch map of hydrocarbon migration and accumulation along convex ridge of oil source faults
L—凸面脊宽度; h—凸面脊高度

3 断—砂配置输导体系砂体分布特征

由于留楚地区东二段、东三段探井少且分布不均,难以准确确定其砂体空间连续分布范围,故只能利用地层砂地比资料来间接预测。由已知井点处东二段、东三段油气层的砂地比值统计结果可以看出(图6),留楚地区东二段、东三段油层最小平均砂地比为20%,即其砂体连通所需最小砂地比应为20%。因为只有砂体连通,砂体与输导断裂配置,沙一段烃源岩生成的油气才可以向上覆东二段、东三段储层运移,进而聚集成藏;否则油气不能进入,也就无油气聚集成藏。

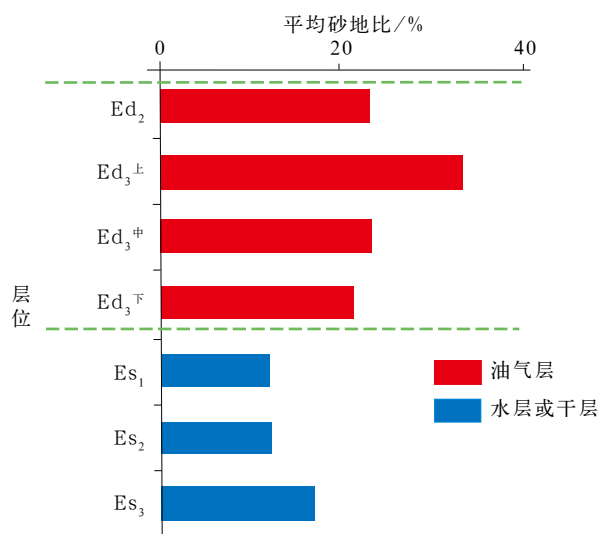


图6 留楚地区东营组平均砂地比统计图

Fig.6 Relationship between sand-formation ratio and oil-gas distribution of Ed Formation in Liuchu area

利用钻井和地震资料预测留楚地区东二段、东三段连通砂体分布可知(图7),留楚地区东二段、东三段输导断裂两侧发育大量砂体,除了北部边部外,其余广大地区砂体皆为连续分布。东二段、东三段这种断—砂配置输导体系主要是由输导断裂优势输导通道与上盘连通砂体构成,在平面上主要分布在留楚地区东部、南部和中北部地区,西部地区相对较少。

4 断—砂配置输导体系输导油气能力及分布特征

留楚地区东二段、东三段断—砂配置输导体系输导油气能力的强弱,还受到与其连接下伏烃源岩品质好坏的影响。被油源断裂沟通的烃源岩品质越好,为油源断裂优势通道输导提供的油气量越多,越有利于油源断裂优势通道输导油气;反之则不利于输导油气。因此,沙一段烃源岩品质越好,东二段、东三段断—砂配置供油气能力越强;反之则越

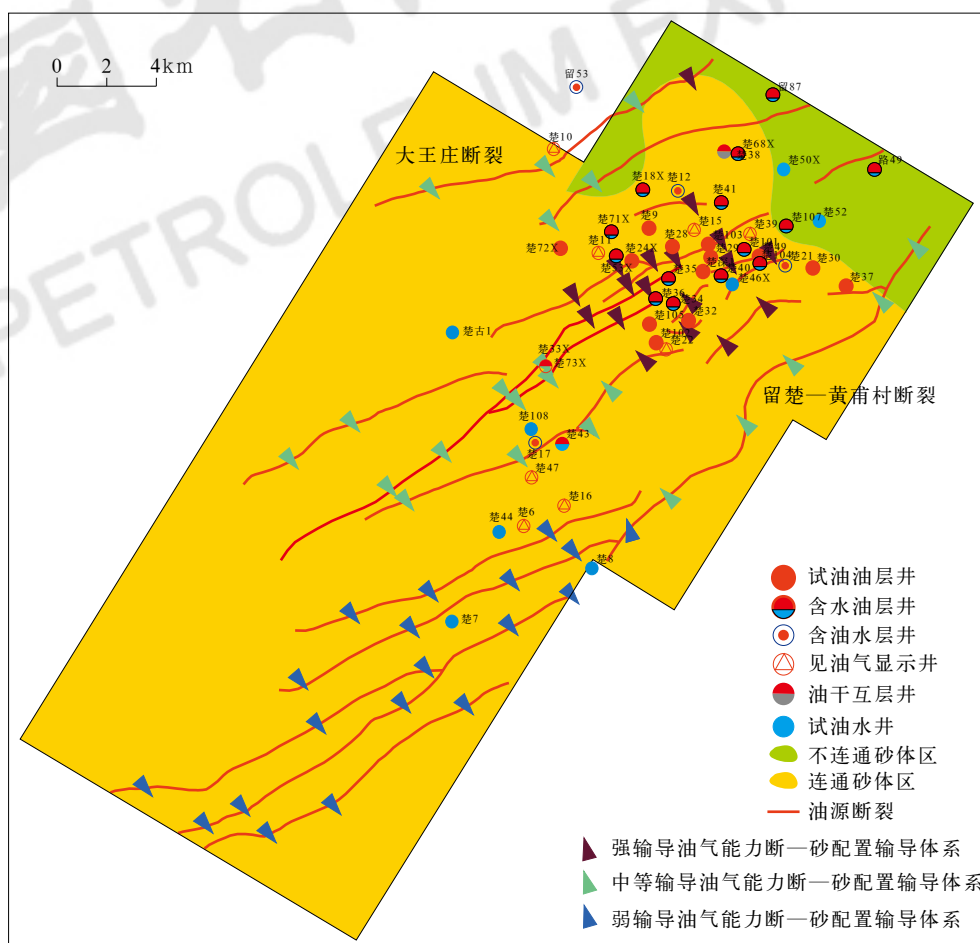


图7 留楚地区东二段、东三段断—砂配置输导体系与砂体分布关系

Fig.7 Relationship between hydrocarbon transport system of fault-sandstone configuration and distribution of sand bodies of Ed₂₊₃ members in Liuchu area

弱。由钻井及地震资料统计可知,留楚地区沙一段烃源岩厚度最大可以达到200m以上,主要分布在留楚地区北部,东南部烃源岩厚度减小至50m以下,如图8所示。有机地球化学测试结果表明,留楚地区沙一段烃源岩有机质丰度相对较高,总有机碳含量(TOC)为0.6%~2.0%;氯仿沥青“A”为0.15%~0.2%;生烃潜量(S_1+S_2)为3.0~9.0mg/g;有机质类型以 II_1 和 II_2 为主;有机质演化已进入生烃门限(埋藏深度为3000m), R_o 为0.5%~1.0%。

留楚地区沙一段烃源岩品质分为好、中等和差3个等级。将东二段、东三段断—砂配置输导体系分布与沙一段烃源岩分布区叠合(图8)可以看出,强输导油气能力的断—砂配置输导体系个数相对较多,主要分布在留楚地区北部的好品质烃源岩区;其次弱输导油气能力的断—砂配置输导体系,主要分布在留楚地区东南部的差品质烃源岩区;再次为中等输导油气能力的断—砂配置输导体系,主要分布在留楚地区中部及东、西两侧边部的中等品质烃源岩区。

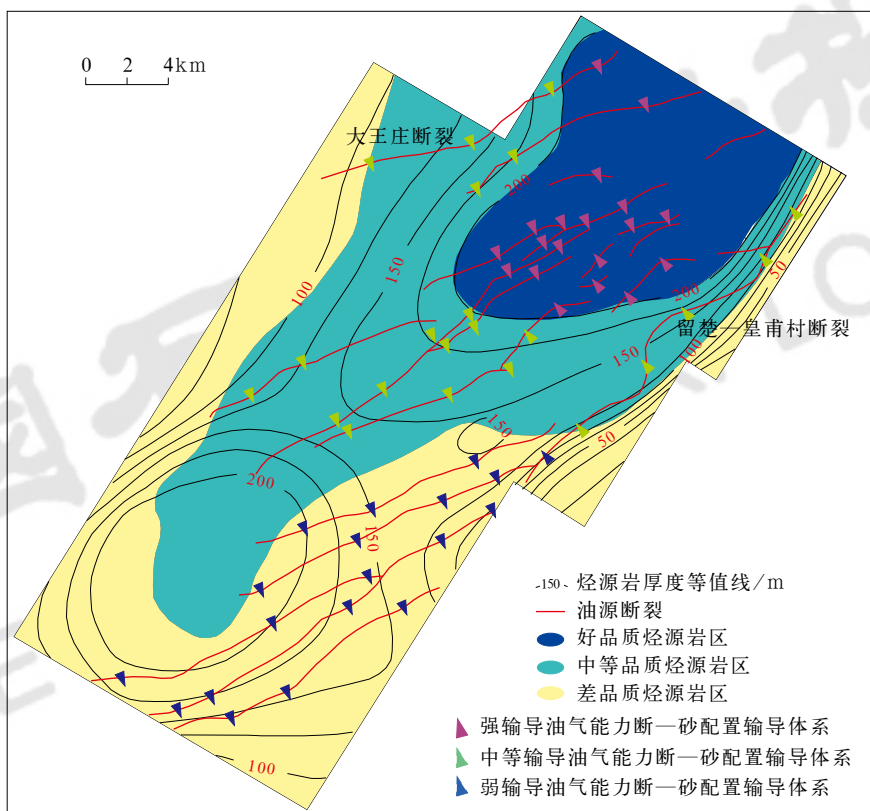


图8 留楚地区东二段、东三段断—砂配置输导体系与沙一段优质烃源岩分布关系图

Fig.8 Relationship between hydrocarbon transport system of fault-sandstone configuration of Ed_{2+3} members and distribution of high-quality source rocks of Es_1 member in Liuchu area

5 断—砂配置输导体系对油气成藏与分布的控制作用

从图7可以看出,留楚地区东二段、东三段目前已发现的油气主要分布在北部留楚背斜核部和中北部留楚南背斜核部,与不同输导油气能力断—砂配置输导体系分布之间存在较好的对应关系。通过统计工业油流井与不同输导油气能力断—砂配置输导体系之间的关系(图7)可知,强输导油气能力断—砂配置输导体系附近油气最富集,其次是中等输导油气能力断—砂配置输导体系,弱输导油气

能力断—砂配置输导体系附近目前尚未获得工业油流井。这是因为只有位于强输导油气能力断—砂配置输导体系附近的圈闭,才能从下伏沙一段烃源岩获得大量油气,有利于油气运聚成藏,油气最为富集。位于中等输导油气能力断—砂配置输导体系附近的圈闭,从下伏沙一段烃源岩获得的油气有限,只能形成少量的油气聚集,典型例子为留楚南背斜(图9)。而位于弱输导油气能力断—砂配置输导体系附近的圈闭,从下伏沙一段烃源岩获得的油气更少,不利于油气聚集成藏,如留楚地区南部及东、西两侧(图1)。

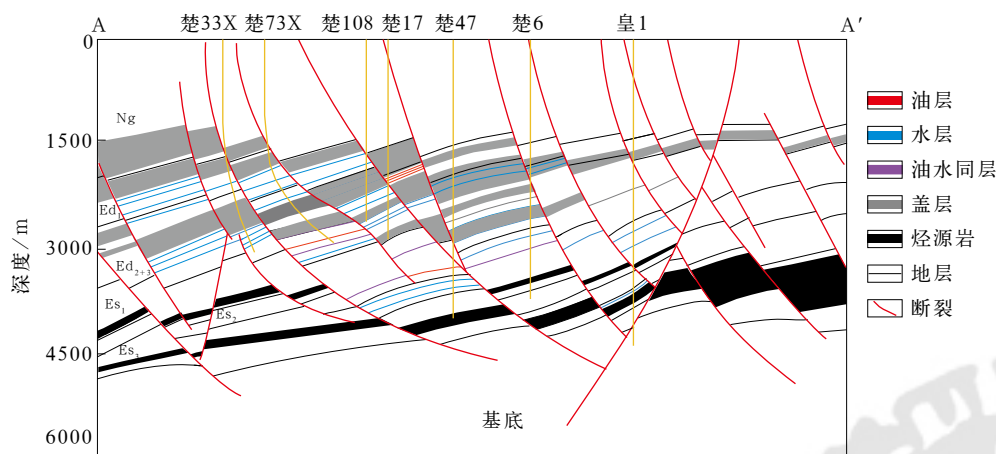


图9 留楚地区油气藏剖面图 (剖面位置见图1)

Fig.9 Oil and gas reservoirs profile in Liuchu area (profile location as shown in Fig.1)

6 结论

(1) 留楚地区东二段、东三段储层与下伏沙一段烃源岩被多套泥岩层相隔, 沙一段烃源岩生成的油气不能直接通过地层岩石孔隙向上覆东二段、东三段储层运移, 只能通过断裂才能使沙一段烃源岩生成的油气进入东二段、东三段储层, 而只有连接沙一段烃源岩和东二段、东三段储层且在油气成藏期活动的断裂才能构成断—砂配置的优势输导通道。

(2) 留楚地区东二段、东三段断—砂配置输导体系主要由断裂优势输导通道和连通砂体构成, 其输导油气能力的强弱与烃源岩品质密切相关并控制着油气富集程度, 这一研究结果与留楚地区东二段、东三段油气勘探所揭示的油气分布相吻合。

参考文献

- [1] 张照录, 王华, 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 of carrier system of oil and gas basin[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(2): 133–135.
- [2] 周广胜, 彭仕宏, 张秀丽, 等. 中国大中型气田断裂和砂体输导特征对比[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 653–657.
Zhou Guangsheng, Peng Shimi, Zhang Xiuli, et al. Contrast of transporting characteristics between faults and sandbodies of medium and large gas fields in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(6): 653–657.
- [3] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(8): 1451–1481.
- [4] Gudmundsson A, Berg S, Lyslo K B. Fracture networks and fluid transport in active fault zone[J]. Journal of Structural Geology, 2001, 23: 343–353.
- [5] 柳广弟, 吴孔友, 查明. 断裂带作为油气散失通道的输导能力[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(1): 16–17, 22.
Liu Guangdi, Wu Kongyou, Zha Ming. Draining capacity of fault zone as a pathway of oil and gas leakage[J]. Journal of the University of Petroleum China (Edition of Natural Science), 2002, 26(1): 16–17, 22.
- [6] 杨智, 何生, 王锦喜, 等. 断层泥比率 (SGR) 及其在断层侧向封闭性评价中的应用[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 347–351.
Yang Zhi, He Sheng, Wang Jinxi, et al. Shale gouge ratio and its application in the fault seal estimation across the faulted zone[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 347–351.
- [7] 朱筱敏, 刘成林, 曾庆猛, 等. 我国典型天然气藏输导体系研究: 以鄂尔多斯盆地苏里格气田为例[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 724–729.
Zhu Xiaomin, Liu Chenglin, Zeng Qingmeng, et al. Study of carrier system of typical gas reservoirs in China: taking Sulige Gas Field in Ordos Basin as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(6): 724–729.
- [8] 姜振学, 庞雄奇, 曾熾辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 507–516.
Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zeng Jianhui, et al. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4): 507–516.
- [9] 何登发. 断裂—岩性体油气藏特征[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 23–34.
He Dengfa. Features of oil–gas reservoir generated by fault–lithologic body[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 23–34.
- [10] 张宏国, 王昕, 官大勇, 等. 渤海海域蓬莱9A油田输导脊研究及应用[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(4): 51–57.
Zhang Hongguo, Wang Xin, Guan Dayong, et al. Research and application of transport ridges in Penglai 9A Oilfield in Bohai Sea[J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(4): 51–57.
- [11] 赵弟江, 郭永华, 乔柱, 等. 高精度油气运移模拟技术在渤中19–6油气田及围区的应用[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(4): 520–531.
Zhao Dijiang, Guo Yonghua, Qiao Zhu, et al. Application of high-precision hydrocarbon migration simulation technology in BZ 19–6 Oil and Gas Field and its surrounding area[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(4): 520–531.
- [12] 邓运华. 断裂—砂体形成油气运移的“中转站”模式[J]. 中国石油勘探, 2005, 10(6): 14–17.
Deng Yunhua. “Transfer station” model of oil–gas migration formed by fault–sandbody[J]. China Petroleum Exploration, 2005, 10(6): 14–17.
- [13] 罗群, 庞雄奇, 姜振学. 一种有效追踪油气运移轨迹的新方法: 断面

- 优势运移通道的提出及其应用[J]. 地质论评, 2005, 51(2): 156–162.
- Luo Qun, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue. A new method for effective trace petroleum migration path: concept of fault section dominant migrating channel and its application[J]. Geological Review, 2005, 51(2): 156–162.
- [14] 尚晓庆, 刘洛夫, 高小跃, 等. 断裂—砂体复合输导体系输导效率的定量评价: 以库车前陆盆地北带白垩系为例[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(3): 38–45.
- Shang Xiaoping, Liu Luofu, Gao Xiaoyue, *et al.* Quantitative evaluation of transporting efficiency of composite fault—sandbody pathway system: by taking the Cretaceous in the North Belt of Kuqa Foreland Basin for example[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(3): 38–45.
- [15] 吕延防, 王伟, 胡欣蕾, 等. 断层侧向封闭性定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 310–316.
- Lü Yanfang, Wang Wei, Hu Xinlei, *et al.* Quantitative evaluation method of fault lateral sealing[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(2): 310–316.
- [16] 孙建军. 不同类型断—砂配置输导的油气特征及成藏控制作用[J]. 东北石油大学学报, 2013, 37(1): 57–63.
- Sun Jianjun. Transporting oil—gas characteristics with different fault—sandstone matching and its control of oil—gas accumulation[J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2013, 37(1): 57–63.
- [17] 刘宝增. 塔里木盆地顺北地区油气差异聚集主控因素分析: 以顺北 1 号、顺北 5 号走滑断裂带为例[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(3): 83–95.
- Liu Baozeng. Analysis of main controlling factors of oil and gas differential accumulation in Shunbei area, Tarim Basin: taking Shunbei No.1 and No.5 strike slip fault zones as examples[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(3): 83–95.
- [18] 罗群, 白新华. 断裂控烃理论与实践: 断裂活动与油气聚集研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998: 1–12.
- Luo Qun, Bai Xinhua. Theory and application of fault control on hydrocarbon: study on the fault activities and oil and gas accumulation[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998: 1–12.
- [19] 付广, 夏云清. 南堡凹陷东一段油气成藏与分布的主控因素及模式[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(6): 27–31.
- Fu Guang, Xia Yunqing. Main controlling factors and models of oil and gas accumulation and distribution of Ed₁ in Nanpu Depression[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(6): 27–31.
- [20] 姜贵璞, 付广, 孙同文. 利用地震资料确定油源断裂输导油气能力及油气富集的差异性[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(1): 160–166.
- Jiang Guipu, Fu Guang, Sun Tongwen. Seismic data is used to determine the transportation oil—gas ability of oil source faults and the difference of oil—gas accumulation[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(1): 160–166.
- [21] 付红军, 姜洪福, 王运增, 等. 断—砂配置侧向输导油气能力研究方法的改进及应用[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(5): 1048–1055.
- Fu Hongjun, Jiang Hongfu, Wang Yunzeng, *et al.* Improvement and application of the method for quantifying lateral transport capacity of fault—sandstone configuration[J]. Oil & Gas Geology, 2019, 40(5): 1048–1055.
- [22] 梁生正, 张以明, 李旭, 等. 渤海湾盆地油气地质与勘探[J]. 中国石油勘探, 2006, 11(2): 1–7.
- Liang Shengzheng, Zhang Yiming, Li Xu, *et al.* Oil/gas geology and exploration in Bohai Bay Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2006, 11(2): 1–7.
- [23] 赵贤正, 周立宏, 赵敏, 等. 陆相页岩油工业化开发突破与实践: 以渤海湾盆地沧东凹陷孔二段为例[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(5): 589–600.
- Zhao Xianzheng, Zhou Lihong, Zhao Min, *et al.* Breakthrough and practice of industrial development on continental shale oil: a case study on Kong-2 Member in Cangdong Sag, Bohai Bay Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(5): 589–600.
- [24] 李成海, 田建章, 金芳, 等. 饶阳凹陷河间变质岩潜山内幕油气成藏模式与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(6): 781–790.
- Li Chenghai, Tian Jianzhang, Jin Fang, *et al.* Hydrocarbon accumulation models and exploration direction inside Hejian metamorphic buried hills in Raoyang Sag[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(6): 781–790.
- [25] 宋明水, 李友强. 济阳拗陷油气精细勘探评价及实践[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 93–101.
- Song Mingshui, Li Youqiang. Evaluation and Practice of fine petroleum exploration in the Jiyang Depression[J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 93–101.
- [26] 易士威, 蒋有录, 范炳达, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷古近系源岩特征与新近系油气来源[J]. 石油实验地, 2010, 32(5): 475–479.
- Yi Shiwei, Jiang Youlu, Fan Bingda, *et al.* Neogene petroleum source and characteristic of paleogene hydrocarbon source rock in the Raoyang Sag, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Experiment, 2010, 32(5): 475–479.
- [27] 蒋有录, 卢浩, 刘华, 等. 渤海湾盆地饶阳凹陷新近系油气富集特点与主控因素[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 791–796.
- Jiang Youlu, Lu Hao, Liu Hua, *et al.* Enrichment characteristics and major controlling factors of hydrocarbons in the neogene in Raoyang Depression, Bohai Bay Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 791–796.
- [28] 王建伟, 廖伟, 曾治平, 等. 准噶尔盆地乌夏地区压扭断裂带发育特征及其组合样式分析[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(6): 1–10.
- Wang Jianwei, Liao Wei, Zeng Zhiping, *et al.* Development characteristics and geometric pattern analysis of compression—torsion fault zone in the Wuxia area of Junggar Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(6): 1–10.
- [29] 于浩雨, 于明德, 李洲, 等. 洛伊凹陷西南部边界大断裂发育特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率, 2020, 27(5): 13–24.
- Yu Haoyu, Yu Mingde, Li Zhou, *et al.* Development characteristics of large fault in southwest boundary of Luoyi Sag and its controlling effect on hydrocarbon accumulation[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2020, 27(5): 13–24.
- [30] 李兵, 邓尚, 李王鹏, 等. 塔里木盆地塔河地区走滑断裂体系活动特征与油气地质意义[J]. 特种油气藏, 2019, 26(4): 45–51.
- Li Bing, Deng Shang, Li Wangpeng, *et al.* Strike—slip fault system activity and hydrocarbon geology understanding in Tahe of Tarim Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(4): 45–51.
- [31] 柳永军, 赵弟江, 李正宇, 等. 走滑—伸展断裂叠合特征及其控藏作用[J]. 特种油气藏, 2019, 26(2): 46–51.
- Liu Yongjun, Zhao Dijiang, Li Zhengyu, *et al.* The superposition patterns of strike—slip—extension faults and its effects on hydrocarbon accumulation[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(2): 46–51.
- [32] 齐荣. 鄂尔多斯盆地杭锦旗东部断裂特征及对天然气成藏的影响[J]. 特种油气藏, 2019, 26(4): 58–63.
- Qi Rong. Fault characterization and its influences on gas accumulation in the Eastern Haggin Banner of Ordos Basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(4): 58–63.