

文章编号:1673-5005(2008)04-0013-06

东营凹陷辛东地区有效输导体系及成藏模式

刘 华, 蒋有录, 陈 涛

(中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:以断层、砂体及断-砂组合关系分析为基础,结合地质、地震、地化等资料,对东营凹陷辛东地区的油气来源、有效输导体系和成藏模式进行了研究。结果表明:辛东地区主要以沙四型原油为主,构造两翼的油气来源相对单一,主要由相邻的牛庄和民丰生油洼陷供烃;构造核部的油气主要由牛庄、民丰洼陷以及下伏地层的烃源岩提供,来源相对较为复杂。含氮化合物的分布特征揭示了该区油气的注入方向为西北和西南方向的民丰洼陷和牛庄洼陷。该区油气运移的有效输导体系主要受辛172、辛120和水20断层控制,据此建立的砂体控藏模式、圈闭控藏模式和断、砂匹配关系控藏模式可用来指导该区的油气藏勘探。

关键词:东营凹陷;辛东地区;含氮化合物;有效输导体系;成藏模式

中图分类号:TE 122.31 **文献标识码:**A

Effective migration pathways and pool-forming model of Xindong area in Dongying depression

LIU Hua, JIANG You-lu, CHEN Tao

(Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: Based on fault, sand body and matching relationship of sand-fault, geological, seismic and geochemical data were used to study the oil resource, effective migration pathways and pool-forming model of Xindong area in Dongying depression. The results show that hydrocarbons of Xindong area mainly come from Es₄ source rock, petroleum bearing in structural flanks originates from adjacent sag. Niuzhuang sag, Minfeng sag and Xindong underlying source rock offer hydrocarbon for structural core where the origin of petroleum is complicate. According to the pattern of nitrogen compounds, hydrocarbons of Xindong area come from northwest Minfeng sag and southwest Niuzhuang sag. The effective migration pathways of Xindong area are dominated by the X172, X120 and Y20 faults. So the pool-forming models are generalized to three types: sand control pool-forming, trap control petroleum accumulation, the matching relationship of sand-fault control pool-forming, which are used to guide the exploration survey of Xindong area.

Key words: Dongying depression; Xindong area; nitrogen compound; effective migration pathways; pool-forming model

含氮化合物是烃源岩中有机质在热演化过程中与烃类一起生成的,仅占原油的0.1%~0.2%,主要以芳香环形式存在于原油的高沸点组分中,其中吡咯类含氮化合物具有显著的分馏效应,在油气二次运移的研究中成为一种有效的示踪标志^[1-6],同时有些参数还成为判断油气成熟度的有效指标^[7]。虽然有机质及沉积演化过程对吡咯类化合物具有一

定的影响,但对于成因类型相同、热演化程度相似的原由而言,吡咯类含氮化合物仍不失为一种有效的运移参数。在此,笔者利用含氮化合物和烃类生物标志化合物指标,对东营凹陷辛东地区的油气运移方向和优势运移路径进行研究,并据此建立研究区的油气成藏模式,为下一步油气勘探提供一定的理论指导。

收稿日期:2008-02-02

基金项目:“十五”国家科技攻关项目(2001BA605A09)和校博士基金项目(Y060118)

作者简介:刘华(1977-),女(汉族),辽宁大洼人,讲师,博士,从事油气藏形成及分布规律研究。

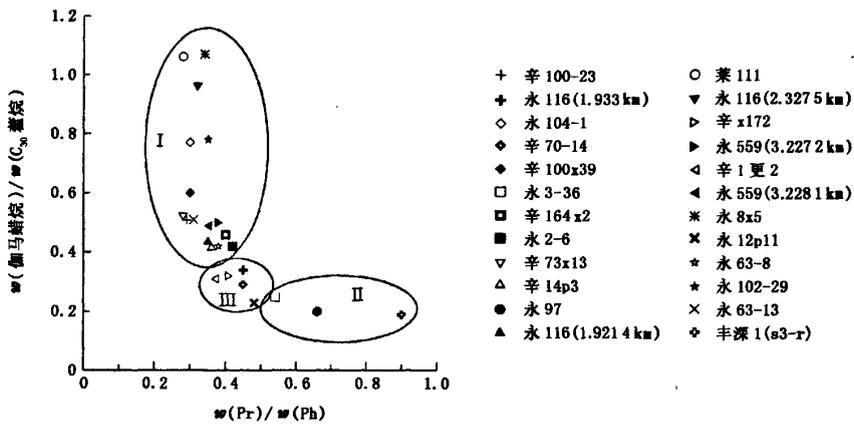


图2 辛东地区原油 $w(\text{Pr})/w(\text{Ph})$ 与 $w(\text{伽马蜡烷})/w(\text{C}_{30}\text{藿烷})$ 的关系

2.3 含氮化合物的分布特征与原油注入方向

基于含氮化合物运移分馏原理,辛东地区主要采用如下3个运移参数,即 $w(\text{咔唑系列})/w(\text{苯并咔唑系列} \times 10)$, $w(1,8\text{-二甲基咔唑})/w(2,7\text{-二甲基咔唑})$ 和 $w(\text{苯并咔唑}[c])/w(\text{苯并咔唑}[a])$ 。

沿油气运移的方向,3个参数均具有逐渐增大的趋势。根据研究区已发现油藏中原油含氮化合物的变化特征,两洼陷提供的沙四型原油具有沿不同方向运移的特点,运移路线如图3所示。

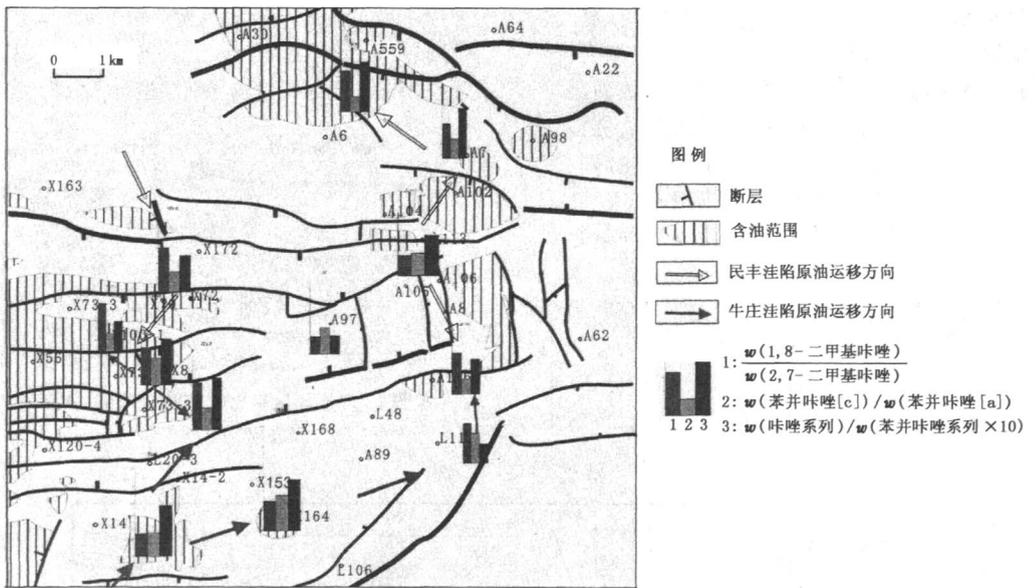


图3 辛东地区沙四型原油含氮化合物的油气运移分馏效应

含氮化合物分布特征表明,牛庄洼陷提供的沙四型原油主要有两大运移路径:(1)沿构造翼部的砂体和层理向广利油田和辛镇构造的高部位进行侧向运移;(2)沿辛镇构造近东西向的断层垂向运移,然后在断层两侧与之匹配较好的砂体中运聚成藏(图3)。民丰洼陷沙四型原油在近东西向的辛172断层附近的含氮化合物数据较低,显示出油气注入点的特征,表明油气向辛东地区的供油主要是先沿

辛172断层垂向运移,然后再向两侧的构造高部位运移,一部分向构造核部运移并与牛庄洼陷的原油混合成藏,另一部分沿砂体向永安镇的构造高部位运聚成藏。此外,辛东构造核部较低位置的永97井具有含氮化合物各项运移指标较低的特征,显示出短距离运移的特点,结合其埋深(2.888 km)和烃源岩生烃史^[11],该处的沙三中烃源岩已进入生烃门限,可能为自生自储式油气藏。综上所述,辛东

地区构造两翼的油气来源相对单一,主要由相邻生油注陷供烃,而构造核部的油气主要由牛庄、民丰注陷以及下伏地层的烃源岩提供,来源相对较为复杂。

2.4 有效输导体系分析

在油源对比所示的宏观运移规律的前提下,利用含氮化合物运移分馏效应,结合油气输导要素及其匹配关系,来确定该区油气有效输导体系。

2.4.1 输导要素

辛东地区的输导体系主要由砂体和断层两个输导要素组成,两者在平面上及纵向上具有不同的分布特征。受沉积相的影响,辛东地区沙四上、沙三中下地层发育近岸扇体、扇三角洲、冲积扇等沉积体系,内部发育大量的浊积砂体,砂体分布相对较为孤立,连通性较差,不利于油气的侧向长距离运移;沙三上、沙二段、东营组和馆陶组发育东营三角洲(根部)、辫状河道等沉积,骨架砂体发育,砂体连通性较好,可以作为油气侧向运移的良好通道。

辛东地区的断层基本上呈东西向展布,南翼断层多数北倾,北翼断层多数南倾,形成“包心菜”式构造格局,由西向东断层的断距、落差逐渐增大,但断层数量逐渐减少(图1)。研究区二、三级断层均为同生断层,断层生长指数分析表明,该区存在沙三期和东营期两次构造活动高峰期,断层演化时间较长,与油气大规模成藏时期(东营末期、馆陶-明化镇时期)匹配较好,对油气的垂向运移及调整起到了重要的作用。

在输导体系的研究中,断层和砂体的空间组合关系一直是研究的一个弱点。波阻抗反演可以直观地在横向较宽的范围内预测出储集砂体的分布,是显示砂体和断层匹配关系的理想手段之一,因此,本

文中主要采用测井约束稀疏脉冲反演处理的方法对辛东地区的断-砂组合关系进行了分析。处理结果表明:该区砂体发育程度高,且砂体连片分布(一般砂岩表现为高速,泥岩表现为低速特征);断裂发育程度高,但大断层发育较少。砂体与断层的空间组合关系在中部层系(沙三上、沙二段)和大断层附近较好,有利于油气沿着砂体和断层进行小范围的阶梯式运移和长距离的侧向运移(图4)。

2.4.2 有效输导体系

辛东地区油气藏的形成、破坏和再形成与断裂活动紧密相连。在断层活动期间,由断块运动导致不同块体或同一块体不同部位的流体势不同,断裂成为不同块体或不同层系之间流体运移的通道,流体从高势区流向低势区。当构造运动结束后,多数断裂逐渐失去通道性,油气在两侧砂体中聚集、成藏。因此,根据地质发育特征,利用 $w(1,8\text{-二甲基咪唑})/w(2,7\text{-二甲基咪唑})$ 、 $w(1,8\text{-二甲基咪唑})/w(N\text{-H全裸露咪唑})$ 、 $w(1,8\text{-二甲基咪唑})/w(2,5\text{-二甲基咪唑})$ 、 $w(\text{苯并咪唑}[c])/w(\text{苯并咪唑}[a])$ 以及 $w(\text{咪唑系列})/w(\text{苯并咪唑系列} \times 10)$ 等值的变化对辛东地区有效输导断层进行了分析(图5)。

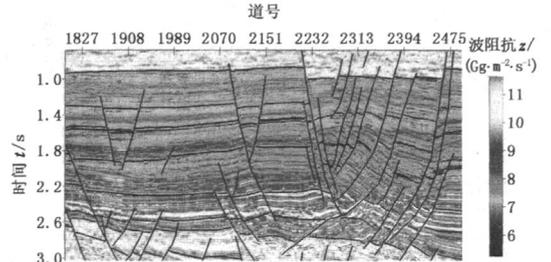


图4 辛东地区南北向3985测线测井约束稀疏脉冲反演剖面

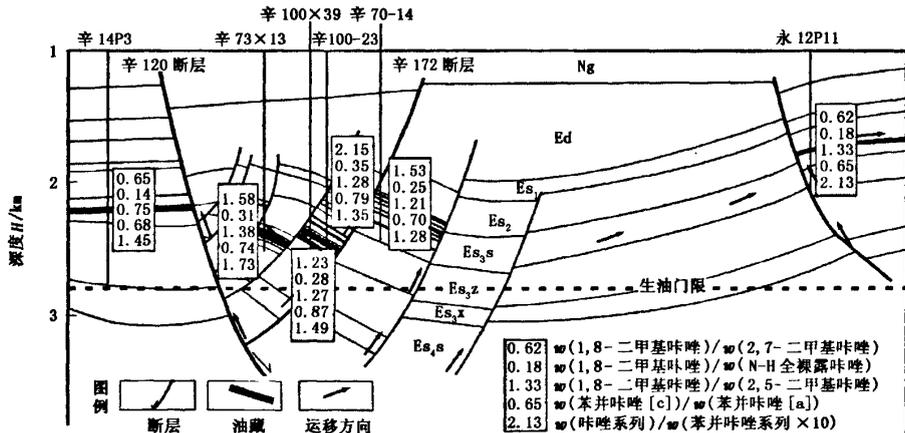


图5 辛东地区南北向构造油气运移剖面

根据含氮化合物研究油气运移原理,随着油气的运移,上述参数将逐渐增大。在构造翼部和辛172断层处含氮化合物的参数值较低,反映出油气注入点的特征。油气从南面的牛庄洼陷注入后,由于核部断层破碎程度高,油气从辛120大断层直接向核部的侧向运移不利,油气主要在辛120断层的上升盘成藏。由于南倾172断层与辛120断层的对接较好,部分油气被辛172断层分流运走,然后沿着砂体与断层向两侧呈阶梯式运移成藏(图5)。同时,民丰洼陷所提供的油气易于沿着构造高部位向永安镇运移成藏,在辛东地区提供的油气范围相对较小。结合其他构造剖面,辛东地区的有效输导体系主要受辛172,辛120和永20三条主断层控制,而与之匹配关系较好的砂体和小断层成为油气运移的有利指向区。

3 成藏模式及勘探有利地区预测

以含氮化合物特征及有效输导体系分析为依

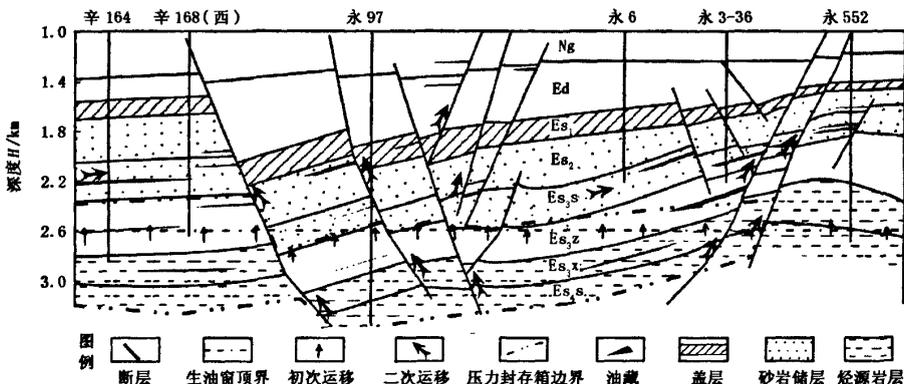


图6 辛东地区油气成藏模式

(2)圈闭控藏模式。根据输导要素特征与油气运移方向研究,辛东地区沙三上和沙二段砂体的发育程度较高,自西向东地层韵律交互频繁,储层横向易于连通,油气借助于断层和砂体以“阶梯式”运移方式向高部位运移成藏。辛东地区的构造位置低于四周地区,加上良好的侧向运移通道,导致油气成藏条件较差。综合分析表明,该层系油藏的形成主要受圈闭有效性控制,在封堵性较好的构造高部位有利于成藏。如水116井沙三上砂体对应断层下盘的沙一段泥岩,因侧向封堵较好而成藏。

(3)断、砂匹配关系控藏模式。根据“中转站”输导原理,浅层(主要指沙一段以上)油藏的形成需要在中深层存在一定数量与规模的砂体作为油气运移的“中转站”,与输导断层相配合为油气向浅层运

据,建立了辛东地区3种成藏模式(图6),分析了各种模式的主控因素。同时,结合探井失利原因分析,对辛东地区的有利探区进行了预测。

(1)砂体控藏模式。油气显示及油气有效输导体系分析表明,研究区沙三中下和沙四上层系是油气运移的起点,也是必经之路,因此该层系发育的砂体具有较大的勘探潜力。根据本区沉积、储层的发育特征,沙三中下及沙四上亚段油积砂体发育,构造翼部(尤其是北翼)发育的岩性油藏是勘探的主力目标。由于翼部地区构造简单,靠近油源,成为油气优先聚集的场所,容易形成原生油气藏。更重要的是,核部受断裂破坏影响大,易于形成“中转站”式输导体系^[12],使油气转移至浅部层系成藏;翼部地区由于断裂活动比核部的少,油藏受断裂破坏的可能性较小,易于保存下来。因此,对翼部砂体分布情况的分析是确定该层系油气成藏的关键所在。

移提供保障。因此,东营组和馆陶组油藏的分布受控于输导断层纵向输导能力和砂体与断层的组合关系。辛东地区的输导断层以辛172、辛120和永20断层为主,结合成藏期分析^[13],由于辛172断层的活动时间相对较晚,与油气运移时间匹配较好,因而输导能力较强。因此,辛东地区浅层油藏的勘探应以有效输导断层为主线,对辛172、辛120和永20断层与砂体的组合关系进行评价,预测油藏分布的潜力区。

4 结论

(1)辛东地区主要以沙四型原油为主,构造两翼的油气来源相对单一,主要由相邻的牛庄和民丰生油洼陷供烃,而构造核部的油气主要由牛庄、民丰

洼陷以及下伏地层的烃源岩提供,来源相对较为复杂。

(2)原油中含氮化合物的组成变化较好地指示了辛东地区油气的运移效应。辛东地区油气的注入方向为牛庄和民丰洼陷。该区发育的通源大断层,尤其是辛172、辛120和永20断层成为油气垂向运移的注入点,对浅层油藏的形成起着重要的控制作用。

(3)辛东地区存在的油气成藏模式为砂体控藏模式、圈闭控藏模式和断、砂匹配关系控藏模式。不同成藏模式内油藏形成的控制因素不同,可以针对不同成藏模式的特征进行油气藏勘探。

参考文献:

- [1] LARTER S R, BOWLER B F J, LI M, et al. Molecular indicators of secondary oil migration distances [J]. *Nature*, 1996, 383: 593-597.
- [2] 张敏,梅博文. 原油中的咪唑类化合物[J]. *科学通报*, 1997, 42(22): 2411-2414.
ZHANG Min, MEI Bo-wen. Carbazole compounds of petroleum [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(22): 2411-2414.
- [3] 刘洛夫. 塔里木盆地群4井原油吡咯类含氮化合物地球化学研究[J]. *沉积学报*, 1997, 15(2): 184-187.
LIU Luo-fu. Investigation on pyrolytic nitrogen compounds in the Qun-4 well oil of the Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(2): 184-187.
- [4] DORBON M, SCHMITTER J M, GARRIGUES P, et al. Distribution of carbazole derivatives in petroleum [J]. *Organic Geochemistry*, 1984, 7: 110-120.
- [5] 王铁冠,李素梅,张爱云,等. 应用含氮化合物探讨新疆轮南油田油气运移[J]. *地质学报*, 2000, 74(1): 85-92.
WANG Tie-guan, LI Su-mei, ZHANG Ai-yun, et al. A discussion on petroleum migration in the Lunnan Oilfield of Xinjiang based on nitrogen compounds [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74(1): 85-92.
- [6] 李素梅,张爱云,王铁冠. 朝长地区原油中的有机氮化合物及其应用[J]. *现代地质*, 1999, 13(4): 444-451.
LI Su-mei, ZHANG Ai-yun, WANG Tie-guan. Organic nitrogen-compounds in crude oils of Chaochang area and their application [J]. *Geoscience*, 1999, 13(4): 444-451.
- [7] 刘洛夫,毛东风. 石油运移研究的新方法[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(6): 607-610.
LIU Luo-fu, MAO Dong-feng. Fresh approach of petroleum migration development [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, 11(6): 607-610.
- [8] 王青春,朱扬明,贺萍,等. 中性含氮化合物的演化及地化意义[J]. *地质地球化学*, 2002, 30(4): 15-20.
WANG Qing-chun, ZHU Yang-ming, HE Ping, et al. Evolution of neutral nitrogen-containing compounds and geochemical significance [J]. *Geology Geochemistry*, 2002, 30(4): 15-20.
- [9] 刘华,蒋有录,杨万芹,等. 东营凹陷中央隆起带油源特征的分析[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(1): 39-43.
LIU Hua, JIANG You-lu, YANG Wan-qin, et al. An analysis of oil-source characteristics of central uplift belt in Dongying depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(1): 39-43.
- [10] 刘华,蒋有录,宋西云,等. 东营凹陷东辛油田油源对比研究[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 2005, 29(4): 1-4.
LIU Hua, JIANG You-lu, SONG Xi-yun, et al. Research on oil and source rock correlation of Dongxin Oilfield in Dongying depression [J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2005, 29(4): 1-4.
- [11] 周建林. 利津洼陷和民丰洼陷沙河街组生烃史分析[J]. *江汉石油学院学报*, 2004, 26(2): 9-10.
ZHOU Jian-lin. History of hydrocarbon generating in Shahejie formation of Lijin depression and Minfeng depression [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2004, 26(2): 9-10.
- [12] 蒋有录,查明. 石油天然气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社, 2006: 209-210.
- [13] 蒋有录,刘华,张乐,等. 东营凹陷成藏期分析[J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24(3): 215-218.
JIANG You-lu, LIU Hua, ZHANG Le, et al. Analysis of petroleum accumulation phase in Dongying sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 215-218.

(编辑 刘艳荣)