

东营凹陷梁家楼油田有效输导体系研究

郝雪峰^{1,2}, 陈汉林¹, 杨树锋¹, 卓勤功², 熊伟²

(1 浙江大学 地球科学系, 杭州 310027; 2 胜利油田有限公司 地质科学研究院, 山东东营 257015)

摘要:综合运用油源对比、断裂-砂体研究、油藏充注史分析等方法,对东营凹陷梁家楼地区输导体系进行了研究,认为梁家楼油田下第三系沙三中、下亚段及沙四上亚段有效烃源岩主要通过同生断层与沙三上亚段储层连通,垂向运移是本地区油气主要运移方式,断层是输导体系的主要组成部分,断层活动期次控制油气运移期次,有效烃源岩分布和断裂活动方式共同决定了油气运移模式,进而提出有效输导体系概念是油气运移路径空间有限性及时间有效性的统一表现。

关键词:有效输导体系;有效烃源岩;同生断层;阶段性运移

中图分类号: P618.130.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7493(2005)01-0118-08

1 引言

油气运移是目前油气研究领域相对薄弱的环节。当前理论研究和生产实践证明,油气的运移并非是在三维空间做等效运移,而是被限制在一定的路径上进行,存在油气运移主干道(Hindle, 1997),具空间上的有效性及有限性,这就是油气运移的输导体系。该体系有骨架砂体、层序界面、断层及裂缝等不同组构类型(谢泰俊, 2000)。不同体系类型的油气运移方式差异,将直接影响成藏机理研究和对具体目标的评价。输导体系与油气运聚相辅相成,目前正成为继烃源岩、圈闭研究后的又一石油地质主要研究方向(付广等, 2001; 张照录等, 2000)。东营凹陷是渤海湾裂谷系内大型中、新生代张扭性半地堑盆地,位于济阳拗陷东隅,呈北东东走向(图1)。东营凹陷在第三系裂陷盆地的演化可分为两个阶段,即裂陷充填期(E)和拗陷期(N)。根据裂陷充填期的区域性不整合面、构造活动、沉积和火山岩特征,可进一步划分为4个裂陷阶段,即I期(E_{1-2k}), II期(E_{2s4}), III期($E_{2s3}-E_{2s2}^{\text{下}}$)和IV期($E_{3s2}^{\text{上}}-E_{3d}$)(图2)。

梁家楼油田位于东营凹陷南部缓坡草桥—纯化镇鼻状构造带向北倾没部位,工区内北东东向同生断裂发育,控制了基本构造形态及地层分布特征。其主要含油层位为下第三系沙河街组三段上亚段(以下简称沙三上亚段),储集层为一面积达120 km²的大型水下冲积扇体,即著名的梁家楼水下浊积扇。扇体被早第三纪生长断层切割成数个断块,主要形成3个具有统一油水界面的断层—岩性油藏组合。

该油田是济阳拗陷研究油气运移的典型地区,王秉海等(1992)根据对沙三上亚段梁家楼砂体下伏取芯暗色泥岩的地球化学数据分析,认为初次运移是烃类由下伏沙三中亚段泥岩直接进入上覆砂体;与此相对应的观点认为,烃类二次运移的主要输导体系为梁家楼砂体,油气主要沿砂体进行侧向运移,即梁家楼油田为典型岩性油藏,这一观点一直影响着本地区的勘探实践及理论研究工作。

本文系中石化重点理论攻关课题“东营凹陷成藏组合体理论研究”专题“梁家楼成藏组合体理论研究”成果的一部分。作者以输导体系为成藏研究的重要组成部分,认为除对其地质体所需的静态描述外,还应关注油气运移的动态过程。因此在精细油源对比的基础上,结合输导体系主要组成要素的砂

收稿日期: 2004-02-13; 改回日期: 2004-12-07

作者简介: 郝雪峰,男,1971年生,现为浙江大学地球科学系博士研究生,从事石油地质综合研究。E-mail: hlchen@css.zju.edu.cn

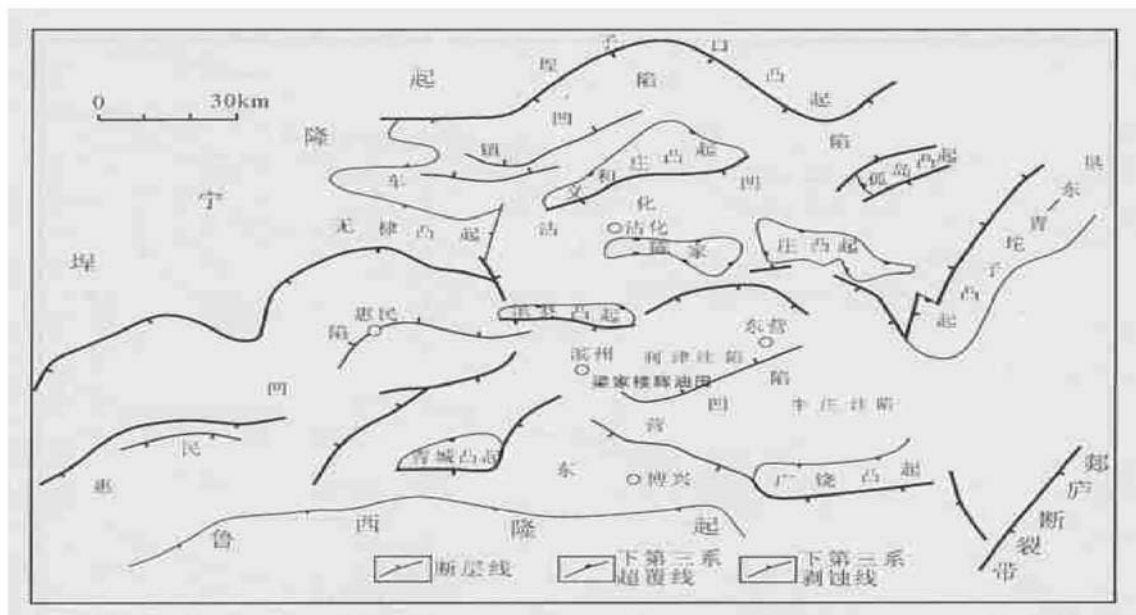


图1 梁家楼油田区域位置图

Fig. 1 Location map of Liangjialou oil field

体物性、同生断裂活动性分析及油藏充注史研究, 在确认真正输导体系类型的同时, 进一步对梁家楼油田油气输导体系时间上的有效性进行探讨。

2 原油基本特征及油源对比

油源对比是石油运移研究的基础。对梁家楼油田各油藏的油样分析表明, 梁家楼地区存在 3 种类

型的原油, 分别对应于不同层段有效烃源岩, 其空间分布也不同(图 3)。

I 类原油分布在梁家楼地区纯 47~56 断块的沙三上亚段、纯 47 断块的沙四上亚段和沙三上亚段、梁 44~38 断块的沙二段, 总体上含油区块处于梁家楼油田的南部边缘。它具有两高(高 γ -蜡烷、高 β -胡萝卜烷)、三低(低重排甾烷、低成熟度、低 4-甲基甾烷)的特点。该类原油 γ -蜡烷指数(γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷)均大于 0.3, C_{27} 甾烷含量远大于 C_{29} 甾烷的含量, 姥植比均小于 0.5; C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 一般为 0.33~0.39, 个别高达 0.44, 属成熟早期的产物。根据油源对比特征, 此类原油来源于沙四上亚段油页岩。

II 类原油主要分布在梁家楼地区中部断块(梁 32 块), 另外通过本文所做储层精细地化分析和包裹体分析, 梁家楼北部断块沙三上亚段储层中均见到该类原油存在或曾经存在的迹象。原油中 γ -蜡烷较低, γ -蜡烷指数为 0.1 左右; 规则甾烷中 C_{27} 甾烷含量略大于或等于 C_{29} 甾烷含量; 姥植比均大于 0.5; C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 一般为 0.43~0.45, 个别为 0.39, 属中等成熟原油。油源对比表明, 此类原油来源于沙三下亚段油页岩。

III 类原油分布在梁家楼地区中北部断块的沙三上亚段。该类原油特征恰好与 I 类原油特征相

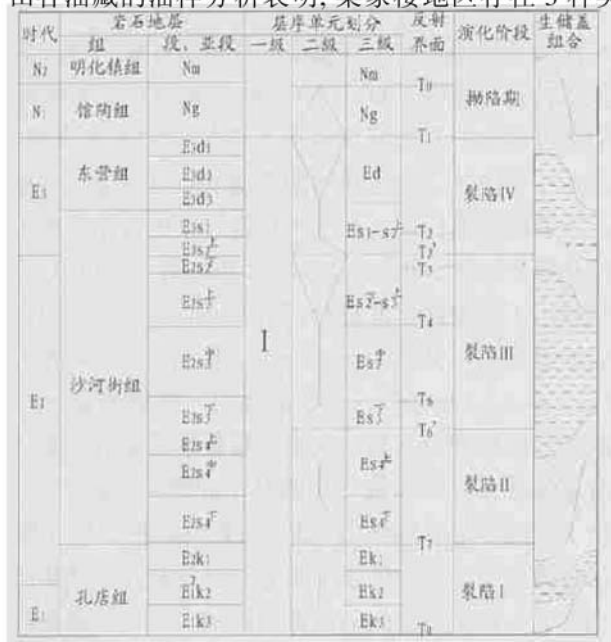


图2 济阳坳陷东营凹陷的层序和演化阶段划分

Fig. 2 Division of stratigraphical sequences and developing stages in Dongying depression

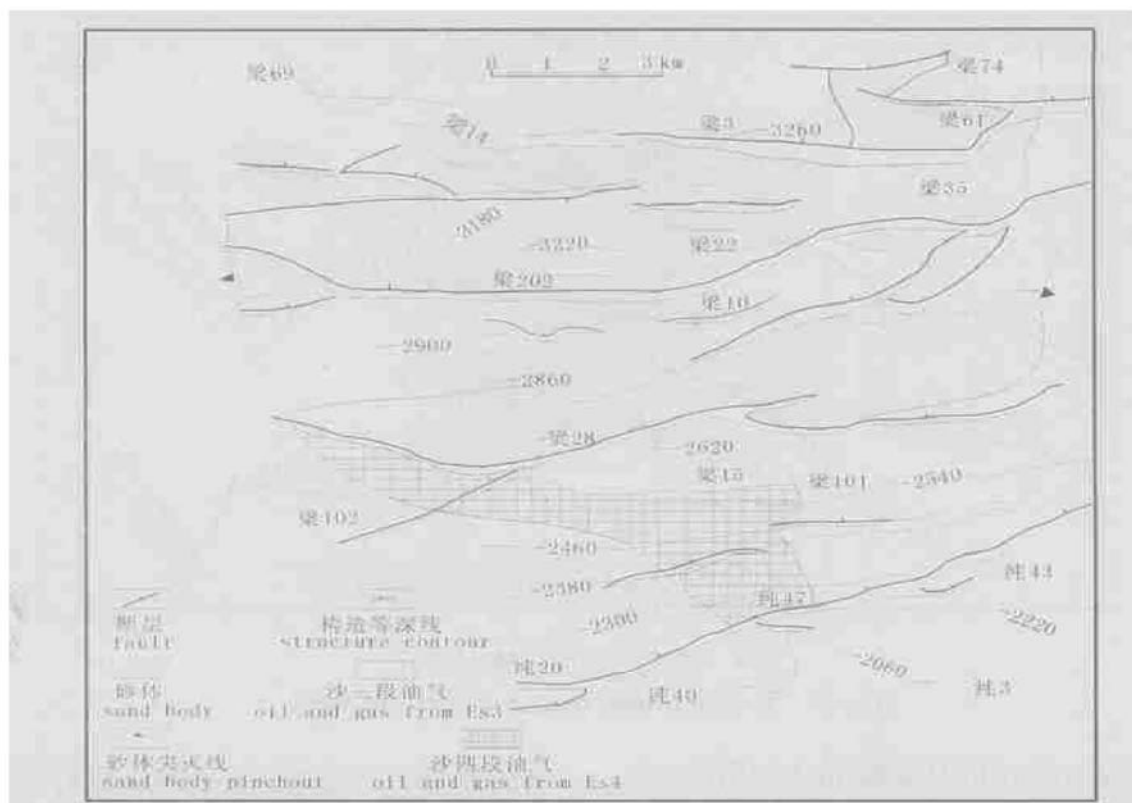


图3 梁家楼油田不同类型原油空间分布图

Fig. 3 Distribution of different kinds of oil from different source rocks in Liangjialou oilfield

反,具有两低(低 γ 蜡烷、低 β 胡萝卜烷)、三高(高重排甾烷、高成熟度、高4-甲基甾烷)的特点。原油中 γ 蜡烷含量极低, γ 蜡烷指数均小于0.1;规则甾烷中 C_{27} 甾烷含量小于 C_{29} 甾烷含量;姥植比均大于0.8; C_{29} 甾烷 $20S/(20S+20R)$ 一般为0.47~0.51,个别为0.43,0.44,属成熟中晚期原油。III类原油油源为沙三中亚段泥岩或油页岩。

综上所述,平面上梁家楼油田南部油藏(纯47~56断块)以I类原油为主,北部各油藏均以II类、III类原油为主;剖面上沙二段、沙四段油藏以沙四上段为油源,而沙三段油藏除南部(纯47~56断块)外,均以沙三中下段为源岩。

3 断层活动史

本区发育5条北东或近东西向排列的同生断层,断层均断至沙四段以下,起到了连接烃源岩(沙三中、下及沙四上亚段)与储层(梁家楼砂体)的作用。它们将梁家楼油田切割成大小不等的多个断块,其中控制油气运移聚集的主要断层是纯北断层、梁28南断层、梁51北断层以及梁61南断层(分别

控制四个断块油藏的统—油水界面深度)(图4)。

Hooper(1991)总结了同生断裂对流体封闭和作为通道的事实依据,并从断裂活动的角度出发,认为流体沿断裂运移是个周期流动过程(Hooper 1991;赵文智,1999;费琪,1997)。Hippler(1993)对拉张型断层附近砂岩的显微变形构造与成岩作用研究发现,盆地中与油气二次运移同期活动的断层对油气运移起重要的通道作用。对于砂页岩层序中常见的粘土涂抹断层封闭,Gibson(1994)和Bouvier等(1989)分别提出了定量评价此种封闭作用的定量指标,即页岩涂抹系数(shale smear factor)和粘土涂抹潜力(clay smear potential)。这些成果对于碎屑岩层序中断层封闭机理及其与油气运移和聚集关系的研究具有重要意义。邹华耀等(1999)在此研究基础上,分析了黄骅坳陷北塘凹陷断层的封闭机理,讨论了断层封闭性与碎屑岩层序中常见的异常高孔隙流体压力泥岩欠压实带之间的关系,其研究表明,碎屑岩层序中断层在活动停止期主要起封闭作用。断层断裂活动的主要作用是提供一条破碎软弱带,当超压系统内的孔隙流体压力积累到足以克服最小围限应力

时, 流体就能沿断裂快速向上涌流, 张性断裂活动时期减小了垂直其走向的围限应力, 更有利流体沿断裂运移; 而且断裂的活动更可以导致超压系统内高压流体的向外运移。因此, 断层运动不论在时间、空间上都起主要作用。

东营凹陷主要油气运聚期即在东营组沉积后期及晚第三纪(王捷等, 1999)。因此, 本文在进行梁家楼地区东营、馆陶、明化镇组精细地层单元对比及地震剖面标定的基础上, 采取同时利用多条穿越连井剖面进行对比, 古落差与生长指数相结合消除沉积影响的方法, 计算主要同生断层生长指数, 对其东营期及晚第三纪的活动性进行了分析, 判断本区断层

主要有三期活动, 分别对应于东一段沉积时期、馆下段沉积时期及明化镇组下段沉积时期(图4)。

4 有效输导体系研究

4.1 静态输导体系确立

在相对比较局限的油藏分布范围内(梁家楼地区)出现油源如此不统一的现象, 充分说明了东营凹陷梁家楼油田油气运移及成藏机理的复杂性。这种油藏的有效烃源岩分布特征表明, 烃类直接从下伏烃源岩进入砂体的自生自储运移方式是不符合梁家楼油田客观实际的, 因为沙三中下亚段、沙四上亚段烃源岩生成的原油必须经过特定的通道进入不与其

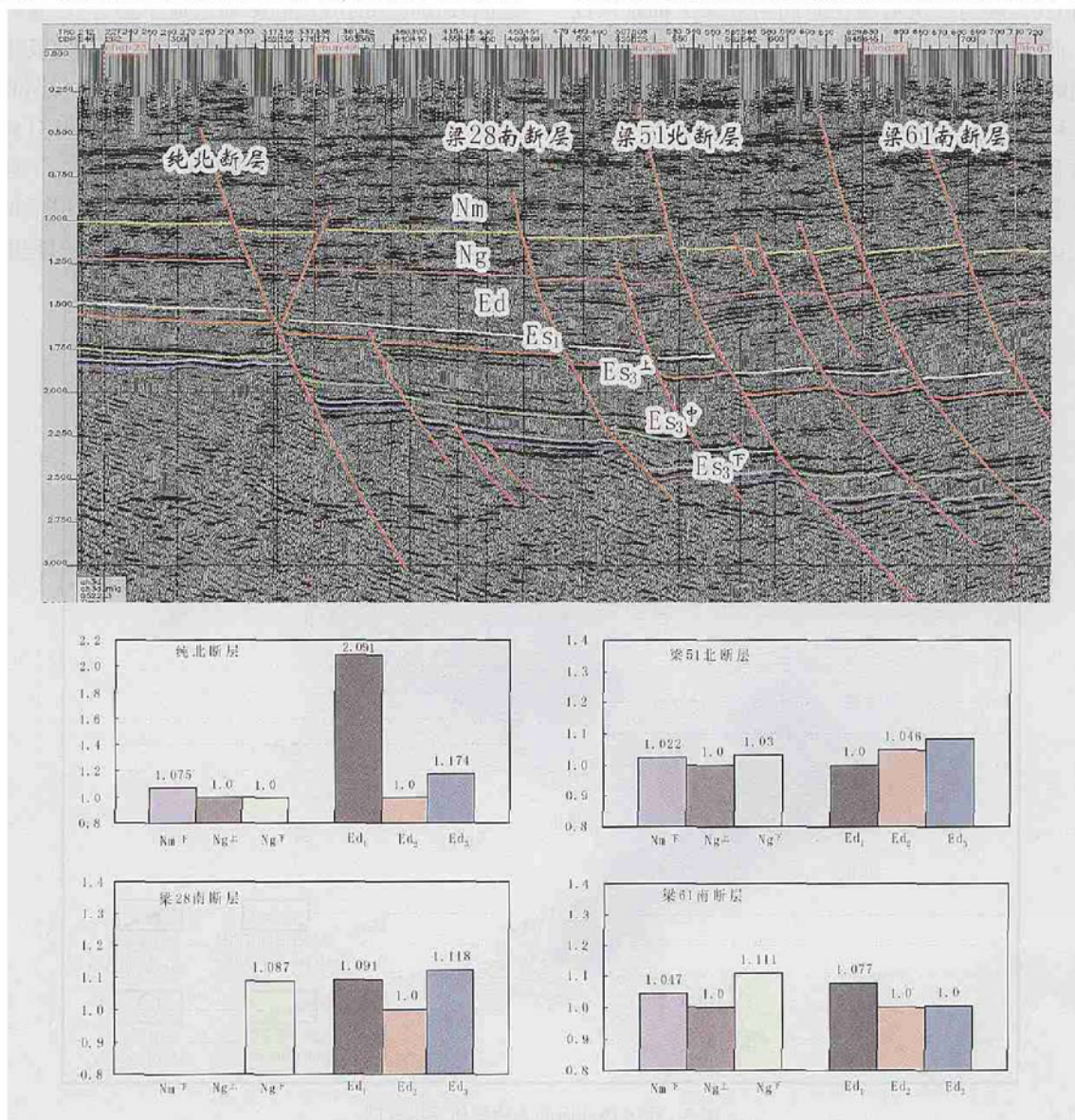


图4 梁家楼地区主要生长断层分布及生长指数

Fig. 4 Growth index of synsedimentary faults in Liangjialou oil field

续。从晚第三纪开始,盆地进入全面的拗陷期,沙四上亚段和沙三段生油岩再次进入生烃门限。因此,总体上看,本区具有两期成油的特点(王捷等, 1999)。

4.3 油藏充注史分析

流体包裹体均一化温度是进行油气充注期次、时间研究的一个重要手段(刘德汉, 1995; 陈建平等, 2000)。本文取梁家楼地区各含油层位砂岩样品 25 块, 进行流体包裹体均一化温度分析, 在此基础上结合精细的地温-埋藏史推测其对应的地质年代, 进行油气充注期次、时间研究(郝雪峰等, 2004)(图 6)。

具 I 类原油特征的油气包裹体均一温度分 2 个区间, 平均温度分别为 71.9 °C 和 90.9 °C。由利津洼陷埋藏史恢复沙四上亚段烃源岩的埋藏深度为 1 800~2 100 m 和 2 500~2 800 m, 对应时间域为 32~24.6 Ma 和 11~4 Ma。说明本区 I 类原油存在两次大的油气运移期, 即东营期和馆陶期。具 II 类原油特征的油气包裹体均一温度分为 2 个区间, 平均温度分别为 77.2 °C 和 95.9 °C, 对应沙三下亚段

埋藏深度为 2 100~2 300 m 和 2 700~2 900 m, 对应时间域为 11~5 Ma 及 4~2 Ma。因此本区 II 类原油亦存在两次大油气运移期, 即馆陶期和明化镇期。

具 III 类原油特征的油气包裹体均一温度有 1 个主要区间, 为 80~100 °C, 平均温度为 90.5 °C, 对应沙三中烃源岩埋藏深度为 2 300~3 000 m, 时间为 4~2 Ma, 即明化镇期。

因此本区存在三次大规模的油气运移期, 分别是东营期、馆陶期和明化镇期。

4.4 有效输导体系

梁家楼地区的研究实际表明, 输导体系的静态描述固然重要, 但在以断层为主要油气运移通道的地区, 脱离断层活动性来分析输导体系, 也就是不考虑输导体系开启的周期性, 是不符合运移及成藏实际情况的。以断层为主要通道的输导体系, 只有在断层开启时才是有效的; 有效输导体系即是指受断层活动性控制的一定地质时间段内发生油气运移的输导体系。

断层活动所控制的流体阶段性运移从本质上说明流体运移成藏的突变性, 流体二次运移的时间与

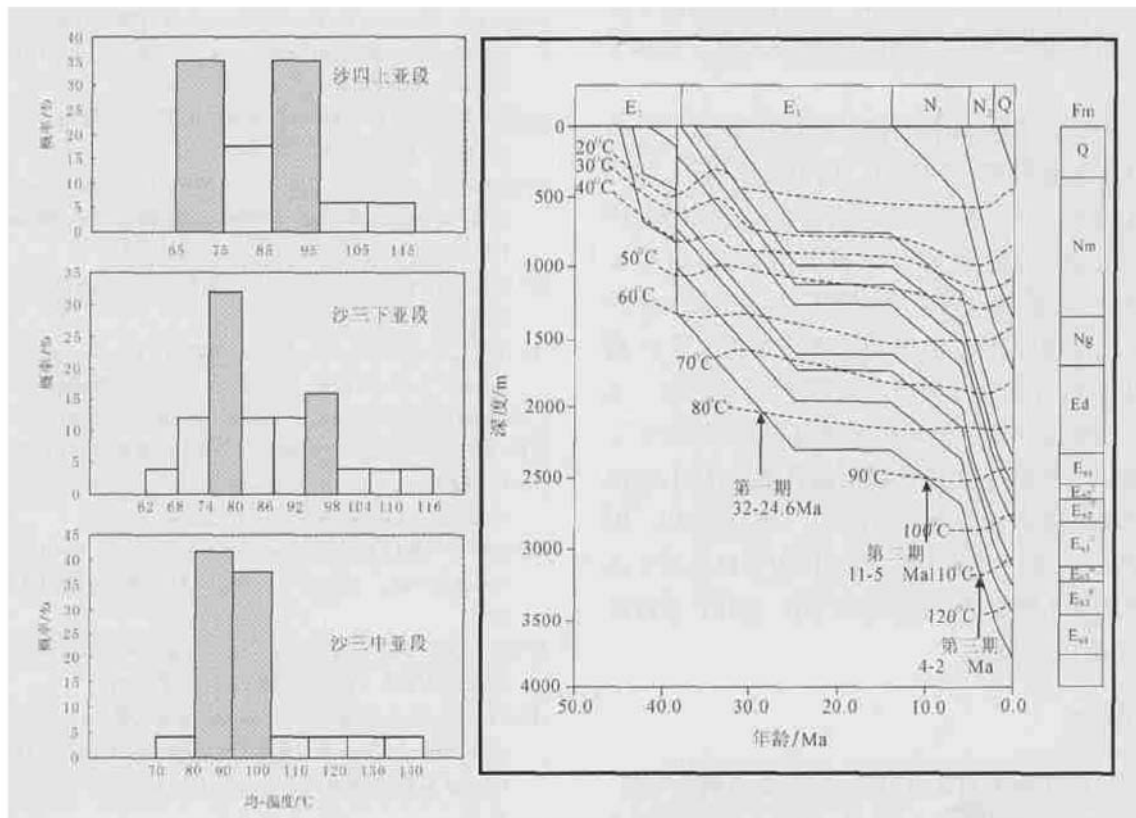


图 6 梁家楼油田流体包裹体均一温度分布及成藏史恢复

Fig. 6 The homogenization temperature distribution of fluid inclusions from the Shahejie formation and restoration of the burial-ground temperature history in Liangjialou oil field

地质历史相比是非常短暂的,几乎可以认为是瞬时完成的。根据前人研究结果,断层在活动时不仅能起到油气运移通道作用,而且断层活动的地震泵作用也是油气运移的重要动力(阎福礼等,1999;贾东等,2002)。特别是在陆相含油气断陷盆地,断层在油气运移、成藏中起到了“开关”的作用。

有效输导体系的建立,是根据有效烃源岩主力成烃期后连接源岩与储层的断层活动时间、次数,确定输导体系的有效时间段及期次,即开通几次,何时开通,并根据油气运移特性建立优势运移路径。具体到梁家楼地区,就是研究东营运动(中新世早期,距今约23 Ma)前后本地区主要生长断层的活动史,建立有效输导体系模型。

综上所述,利津洼陷存在两次主要成烃期,分别是东营期及馆陶—第四纪,在此期间,本地区生长断层存在三期主要活动,分别是东一段沉积时期、馆下段沉积时期及明化镇组下段沉积时期;同时,油气包裹体均一温度分析证明本区存在三次大规模的油气运移,对应于东营期、馆陶期和明化镇期;因此,可以推论梁家楼地区存在三期有效输导体系,与成油期断层活动史相对应,分别是东一段沉积时期、馆下段沉积时期及明化镇组下段沉积时期的断裂—梁家楼砂体组合。

这种输导体系的时间有限性对油气运聚及分布状态具有重要影响。如晚第三纪明化镇时期,北部利津洼陷沙三中下亚段烃源岩开始大量生、排烃,根据断层活动性分析,此时梁61南断层、梁51北生长断层活动,而梁28南断层不活动。因此,来源于沙三中下亚段烃源岩的II、III类原油首先通过梁61南断层和梁51北断层垂向向上运移,然后进入沙三上亚段后沿断裂—砂体输导体系继续侧向运移,充注各个断块。但此时梁28南断层起到遮挡作用,致使油气不能继续运移进入南部纯47—纯56断块。因而形成以梁28南断层为界,其南部为来自沙四上亚段烃源岩的I类原油,北部为来自沙三中下亚段烃源岩的II、III类原油。

5 结论

综合运用油源对比及砂体、同生断裂研究结果,表明梁家楼地区沙三中下亚段、沙四上亚段有效烃源岩主要通过同生断裂与沙三上亚段储层连通,同生断裂在油气输导体系中占据主要位置,垂向运移

是本地区油气运移的主要方式。利用流体包裹体分析数据,确定梁家楼地区存在3次阶段式成藏,分别是32~24.6 Ma, 11~5 Ma, 4~2 Ma,与同生断层活动史具有较好的对应性,说明梁家楼地区存在3期构造运动控制的有效输导体系。同生断层活动性控制的有效输导体系决定了油气运移的时期与方式,油气运移方式是阶段式运移。梁家楼垂向运移模式的确定,意味着油藏分布受控于断层展布而不是砂体展布,明确了勘探方向,也进一步拓展了勘探领域。本文提出的有效输导体系概念,指出输导体系不仅是空间上油气运移的有效及有限的空间,在陆相断陷盆地中,更是与断层活动性密切相关,具有鲜明的时间属性,阶段性是其主要特点。

致谢: 本次研究得到胜利油田有限公司地质科学研究院宋国奇、宗国洪教授级高级工程师的指导,宁方兴、闵伟同志的大力帮助,在此一并表示衷心感谢。

参考文献[References]:

- Bouvier J D, Sijpesteijn K, Kluesner D F, et al. 1989. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations. Nun River field, Nigeria. *AAPG Bull.*, 73(11), 1397-1414.
- 陈建平, 查明, 周瑶琪. 2000. 有机包裹体在油气运移研究中的应用综述. 地质科技情报, 19(1): 61-64.
- [Chen Jianping, Zha Ming, Zhou Yaoqi. 2000. Application of inclusion in oil-gas migration. *Geological Science and Technology Information*, 19(1): 61-64 (in Chinese with English abstract).]
- 付广, 薛永超, 付晓飞. 2001. 油气运移输导系统及其对成藏的控制. 新疆石油地质, 22(1): 24-26.
- [Fu Guang, Xue Yongchao, Fu Xiaofei. 2001. On oil-gas migration systems and their control over the formation of reservoir. *Xinjiang Petroleum Geology*, 22(1): 24-26 (in Chinese with English abstract).]
- 费琪. 1997. 成油体系分析与模拟. 武汉: 中国地质大学出版社.
- [Fei Qi. 1997. Analysis and Modeling of Petroleum System. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).]
- Gibson R G. 1994. Fault-zone seals in siliciclastics of the strata of the Columbus Basin, offshore Trinidad. *AAPG Bull.*, 78(9): 1372-1385.
- 郝雪峰, 宋国奇, 宗国洪, 等. 2004. 渤海湾盆地东营凹陷梁家楼油田成藏机理探讨. 石油实验地质, 26(5): 452-456.
- [Hao Xuefeng, Song Guoqi, Zong Guohong, et al. 2004. Reservoir forming mechanism of Liangjialou Oilfield in Dongying depression. *Petroleum Geology & Experiment*. 26(5): 452-456 (in Chinese with English abstract).]
- Hindle A D. 1997. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model. *AAPG Bull.*, 81(9): 1451-1481.
- Hippler S J. 1993. Deformation microstructures and diagenesis in sandstone adjacent to an extensional fault: implications for the flow and entrapment

- of hydrocarbon. *AAPG Bull.*, 77(4): 625-637.
- Hooper E C D. 1991. Fluid migration along growth faults in compaction sediments. *Journal of Petroleum Geology*, 14(2): 161-180.
- 贾东, 卢华复, 魏东涛, 等. 2002. 断弯褶皱和断层褶皱中的油气运移聚集行为. 南京大学学报(自然科学版), 38(6): 747-755.
- [Jia Dong, Lu Huafu, Wei Dongtao, et al. 2002. Hydrocarbon migration and accumulation behaviour in fault-bend folds and fault-propagation folds. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 38(6): 747-755 (in Chinese with English abstract).]
- 刘德汉. 1995. 包裹体研究—盆地流体追踪的有利工具. 地学前缘, 2(4): 149-154.
- [Liu Dehan. 1995. Fluid inclusion studies—an effective means for basin fluid investigation. *Earth Science Frontiers*, 2(4): 149-154 (in Chinese with English abstract).]
- 李明诚. 1994. 石油与天然气运移. (第二版). 北京: 石油工业出版社.
- Li Mingcheng. 1994. Oil and Gas Migration. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).]
- 王秉海, 钱凯. 1992. 胜利油区地质研究与勘探实践. 山东东营: 石油大学出版社. 134-139.
- [Wang Binghai, Qian Kai. 1992. Geology Research and Exploration Practice in the Shengli Petroleum Province, Dongying, Shandong, Petroleum University Press. 134-139 (in Chinese).]
- 王捷, 关德范. 1999. 油气生成运移聚集模型研究. 北京: 石油工业出版社.
- [Wang Jie, Guan Defan. 1999. The Modeling Research of Petroleum Generation, Migration and Accumulation. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).]
- 谢泰俊. 2000. 琼东南盆地天然气运移输导体系及成藏模式. 勘探家, 5(1): 17-21.
- [Xie Taijun. 2000. Natural gas migration conducting system and reservoir formation pattern in Southeast Hainan Basin. *Petroleum Explorationist*, 5(1): 17-21 (in Chinese with English abstract).]
- 阎福礼, 贾东, 卢华复, 等. 1999. 东营凹陷油气运移的地震泵作用. 石油与天然气地质, 20(4): 295-298.
- [Yan Fuli, Jia Dong, Lu Huafu, et al. 1999. Seismic pumping mechanism of hydrocarbon migration in Dongying depression. *Oil and Gas Geology*, 20(4): 295-298 (in Chinese with English abstract).]
- 张照录, 王华, 杨红. 2000. 含油气盆地的输导体系研究, 石油与天然气地质, 21(2): 133-135.
- [Zhang Zhaolu, Wang Hua, Yang Hong. 2000. Study on passage system of petroliferous basins. *Oil and Gas Geology*, 21(2): 133-135 (in Chinese with English abstract).]
- 赵文智. 1999. 石油地质综合研究导论. 北京: 石油工业出版社, 232-234.
- [Zhao Wenzhi. 1999. Introduction of Integration Research of Petroleum Geology. Beijing: Petroleum Industry Press. 232-234 (in Chinese with English abstract).]
- 邹华耀, 金燕, 黄光辉. 1999. 断层封闭与油气运移和聚集. 江汉石油学院学报, 21(1): 9-12.
- [Zou Huayao, Jin Yan, Huang Guanghui. 1999. Fault sealing and its influence on petroleum migration and accumulation. *Journal of Jianghan Petroleum College*, 21(1): 9-12 (in Chinese with English abstract).]

Study on Effective Passage System in Liangjialou Oilfield, Dongying Depression

HAO Xue-feng^{1,2}, CHEN Han-lin¹, YANG Shu-feng¹, ZHUO Qin-gong² and XIONG Wei²

(1. Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Institute of Geological Sciences, Shengli Oilfield, Dongying 257015, China)

Abstract: As a important part of the reservoir mechanism research, not only the static description of the geological bodies, but also the dynamic attention of petroleum migration should be considered together in the passage system study. Based on the correlation between oil and source rocks, analysis of faults and sand bodies, and the analysis of oil accumulation history, this paper discusses passage system of Liangjialou oil field in Dongying sag. This paper suggests that the effective source rocks in the upper part of the fourth stage, the middle and lower parts of the third stage of Shahejie Formation were connected with reservoir through synsedimentary faults, and the vertical migration was the major type of accumulation in Liangjialou oil field. The growth fault is the most important element in the passage system, and the accumulation stage is determined by the active stage of faults. The model of petroleum migration is controlled by the distribution of effective source rocks and the motion type of faults.

Key words: effective passage system; effective source rocks; synsedimentary fault; episodic migration