

文章编号: 1001-6112(2007)05-0506-06

辽东湾盆地辽中凹陷隐蔽油气藏成藏模拟

蒋 恕^{1,2}, 蔡东升³, 朱光辉^{1,4}, 仝志刚¹, 贺 清¹, 朱筱敏²

(1. 中海石油研究中心, 北京 100027; 2. 中国石油大学, 北京 102249

3. 中海石油(中国)有限公司 湛江分公司, 广东 湛江 524057; 4. 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要: 利用辽东湾盆地辽中凹陷高精度层序地层研究的结果, 构建了包含隐蔽砂体的精细沉积剖面, 并使用法国石油研究院的 Temis2D 软件对隐蔽油气藏成藏进行了模拟, 模拟的结果和实际钻探情况一致。模拟结果表明: 辽东湾盆地辽中凹陷沙河街组透镜体隐蔽油气藏以初次运移为主, 地层油气藏靠储集体以侧向二次运移为主, 沙河街组隐蔽油气藏形成较早, 大概于东营组沉积末期至馆陶组沉积初期最终成藏, 但远离生烃中心的隐蔽油气藏由于运移距离较长其成藏定型时间有一定的延迟; 东营组隐蔽油气藏以断层作为主要的输导通道以二次运移为主, 也有借助于微裂缝或者靠超压突破盖层压力以初次运移为主, 东营组隐蔽油气藏成藏较晚, 于新近纪明化镇组沉积时期(12 Ma)开始成藏, 而远离生烃中心的隐蔽油气藏甚至 6 Ma 以后才开始成藏。隐蔽油气藏形成与输导体系、侧封和顶封密切相关, 如果输导通道的输导性能过强而封堵性差, 油气可能漏失。

关键词: Temis2D; 油气成藏模拟; 隐蔽油气藏; 辽中凹陷; 辽东湾盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

THE SUBTLE RESERVOIR FORMING MODELING IN THE LIAOZHONG SAG, THE LIAODONG BAY BASIN

Jiang Shu^{1,2}, Cai Dongsheng³, Zhu Guanghui^{1,4}, Tong Zhigang¹, He Qing¹, Zhu Xiaomin²

(1. CNOOC Research Center, Beijing 100027, China; 2. China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. CNOOC China Ltd, Zhanjiang, Guangdong 524057, China; 4. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The research results of high precision sequence stratigraphy in the Liaozhong Sag of the Liaodong Bay Basin are used to build up detailed sedimentary sections that can exhibit the subtle sandbodies, and Temis2D software of IFP is employed to model the subtle reservoirs forming process for the first time. The results indicate that the modeling outcome is consistent with the drilling activities, which shows the subtle reservoir modeling is feasible. The modeling results reveal: the subtle lens reservoirs in Shahejie Fm in the Liaodong Sag of the Liaodong Bay Basin were formed by primary migration while the stratigraphic reservoirs were formed by secondary migration; the forming time of the subtle reservoirs in Shahejie Fm is relatively earlier than that in Dongying Fm; subtle reservoirs in Shahejie Fm were mainly formed at the final stage of Dongying and early stage of Guantao, but the forming time of some subtle reservoirs far away from the hydrocarbon kitchen were delayed due to the long distance migration. The subtle reservoirs in Dongying Fm were formed by the conduits of fault pathways and secondary migration, some were formed by the conduits of micro-crack or primary migration with the result of overpressure surpassing the seal pressure. The subtle reservoirs within Dongying Fm were formed later than those within Shahejie Fm, most were formed at the time of about 12 Ma, but some far away from the hydrocarbon kitchen were even formed after 6 Ma. Moreover, the forming of subtle reservoirs in this basin is related to the pathway system, lateral seal and top seal, the oil and gas would leak under the conditions of the open conduit and poor seal characteristics.

Key words: Temis2D; reservoir forming modeling; subtle reservoirs; the Liaozhong Sag; the Liaodong Bay Basin

收稿日期: 2006-10-13; 修订日期: 2007-08-01。

作者简介: 蒋 恕(1976—), 男(汉族), 湖北郧西人, 博士, 主要从事石油地质研究工作。

基金项目: “十五”国家重大科技攻关项目(SC04TJ-TQL-001)。

1 盆地成藏模拟现状

随着计算机技术和石油地质理论的发展,盆地成藏模拟得到了快速的发展^[1~9],已成为分析含油气系统性能以及减小勘探风险的一种强有力的工具。当前国际上盆地成藏模拟商业软件主要有 3 家:法国的 TEMISPACK,德国的 PetroMod 和美国的 BasinMod。TEMISPACK 是回剥技术的代表,PetroMod 是超压技术的代表,BasinMod 中 BasinSeis 模块侧重于层序地层研究。TEMISPACK 是法国石油研究院研制的盆地模拟软件,该软件集成了地质、地球物理、地球化学数据,可以重建盆地构造发育过程中热传递、烃类形成和运移现象,再现压实、压力、流体、热史、烃类生成、油气运移的位置和时间;其中的 Temis2D 可以模拟盆地的构造演化,评价圈闭的可能性,预测油气聚集的位置和时间,对最终圈闭的油气组分及资源量作出评价,还可进行钻前压力预测,同时能够评价构造对油气运移和聚集的影响,Temis2D 作为一种成熟的成藏模拟软件在油气勘探中得到了广泛应用^[10]。但目前盆地成藏模拟主要模拟盆地宏观的温压场及流体势演化以及油气的生成、运移和聚集,在构造油气藏中运用的较广,目前还未见到系统的隐蔽油气藏成藏模拟的报道,仅在物理实验中

模拟了物性及围岩含油性对隐蔽砂体成藏的影响^[11]。近年来,随着层序地层学、坡折带、输导体系及地球物理技术在隐蔽油气藏勘探中的广泛运用,使层序地层格架内精细沉积体系的研究及隐蔽砂体的刻画成为成熟的技术^[12~15],这为隐蔽油气藏成藏模拟奠定了基础。因此,探讨隐蔽油气藏的成藏模拟不仅能进一步扩大油气藏成藏模拟的领域,而且可以再现隐蔽油气藏的生成、运移及聚集,为研究隐蔽油气藏成藏机理及主控因素提供了新的工具。

2 隐蔽油气藏成藏模拟

2.1 隐蔽油气藏剖面概况

本次研究选择辽东湾盆地辽中凹陷中洼和南洼典型的两条剖面进行隐蔽油气藏成藏模拟。中洼剖面经过 JZ31-1-1 典型隐蔽气藏,郑一庐断裂从其东部的 JZ31-2-1 井附近穿过。图 1 是高精度层序地层解释结果,从中可以清晰地看出隐蔽圈闭(砂体)在层序地层格架中的分布位置;为了便于精细的成藏模拟,依据层序地层研究结果,将该剖面简化为图 2 所示的沉积剖面,图中不同颜色表示不同砂泥比。南洼剖面是过旅大反转构造带的典型剖面(反转带在 LD27-1-1 井一带),剖面经过 LD28-1-1 典型的地层油气藏,依据精细层序地

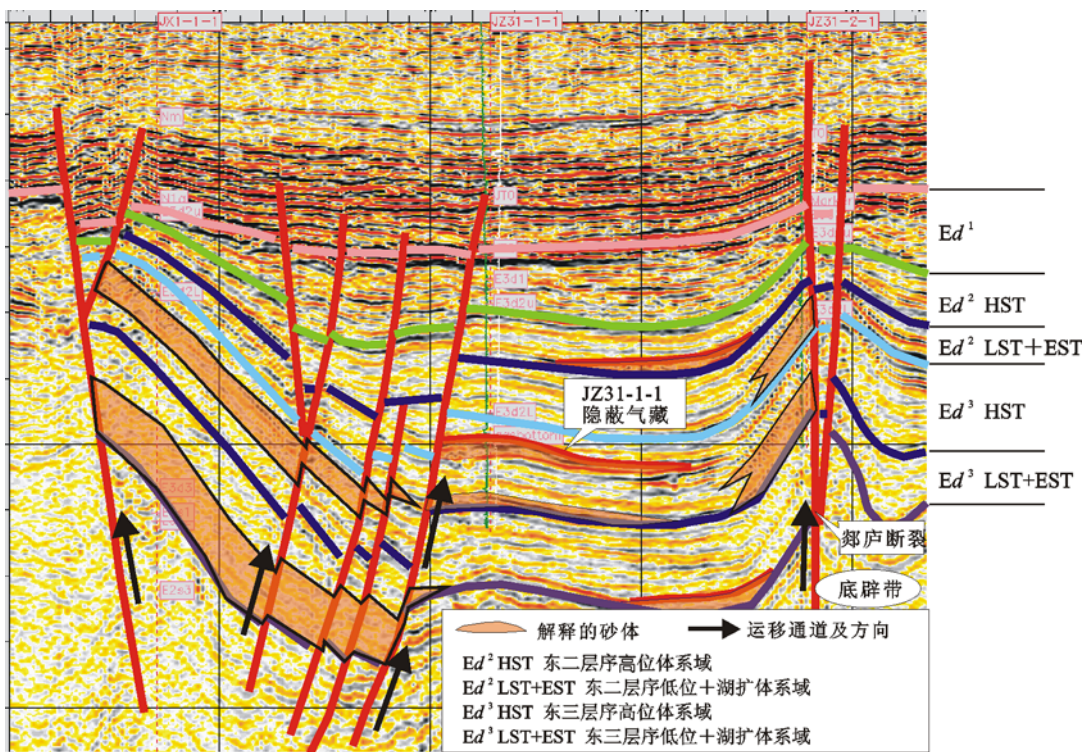


图 1 辽东湾盆地辽中凹陷高精度层序地层解释及隐蔽圈闭分布

Fig. 1 The high precision sequence stratigraphic interpretation and the subtle reservoirs distribution

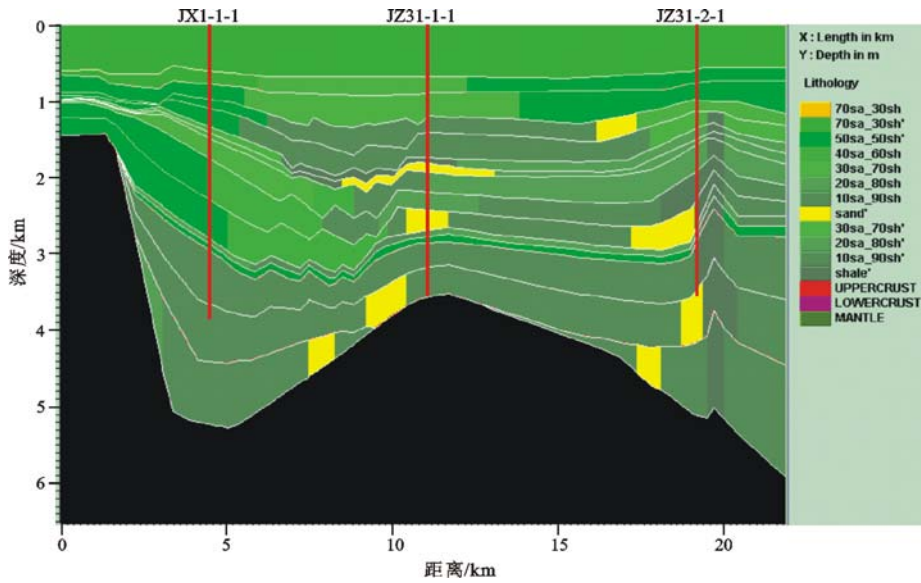


图 2 辽东湾盆地辽中凹陷过 JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 连井沉积剖面

Fig. 2 The sedimentary section cross JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 wells in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

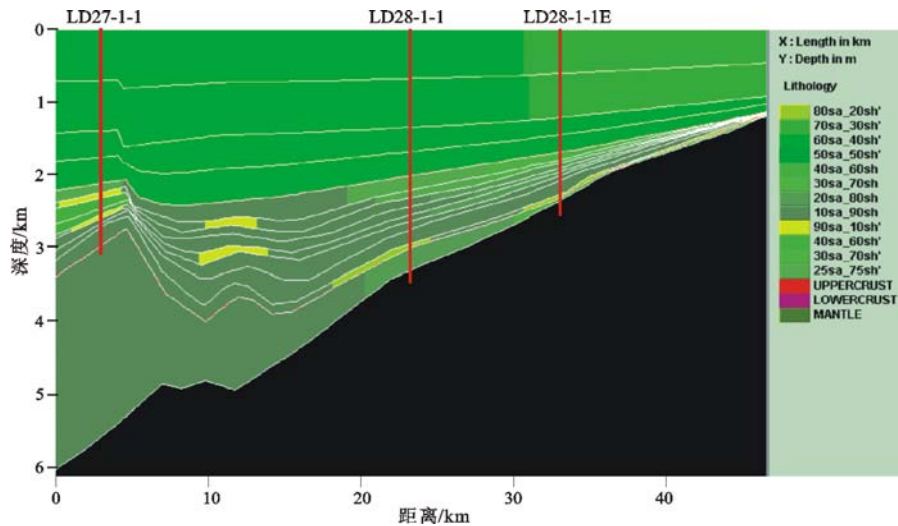


图 3 辽东湾盆地辽中凹陷过 LD27-1-1—LD28-1-1—LD28-1-1E 连井沉积剖面

Fig. 3 The sedimentary section cross LD27-1-1—LD28-1-1—LD28-1-1E wells in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

层研究,其简化的沉积剖面如图 3 所示。相对普通的成藏模拟剖面而言,该剖面除了能精细刻画断层和层系外,更注重将各种类型沉积体系的岩性尤其是隐蔽砂体置于高精度层序地层格架中。

2.2 模拟参数的选择

在 Temis2D 模拟中,热传递是通过顶底的边界条件计算的,顶部的边界条件是通过地表温度、下部的边界条件是通过下地壳和上地幔的温度来确定;岩石圈在 Temis2D 中定义为上地壳、下地壳和上地幔 3 层,根据 Mckenzie^[16]的岩石圈拉伸模型,岩石圈底部温度定义为等温常量,拉伸系数定义为上下地壳减薄程度。在主要的盆地模拟参数选择上,烃源岩的干酪根类型、TOC 值、S₁ 及 S₂ 值依据实测的数据;界面年龄依据渤海湾盆地通用的

年龄;古地表温度则通过将渤海湾盆地现今经纬度和温度输入到 Petromod 软件中计算得到;地表热流依据文献[17,18]采用 58 mW/m² (0 Ma)及 75 mW/m² (55 Ma),基底热流值取 35 mW/m² (0 Ma)及 45 mW/m² (55 Ma);地壳厚度参考了文献[19]成果,并根据辽东湾地区实际情况,上、下地壳厚度分别取值 14,16 km,上地幔岩石圈厚度取 50 km。

2.3 模拟结果

辽东湾盆地辽中凹陷 JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 连井剖面(图 4)模拟表明,油气主要通过长期活动的断裂以垂向运移为主,尤其郯庐断裂作为输导体系垂向输导能力强;侧向上油气通过砂体和不整合面运移,尤其是沙二段储集层,由于砂体输导性能较好,是油气侧向运移的主要输导体系。

有些隐蔽砂体成藏(如 JZ31-1-1 以及深部邻近烃源岩的沙河街组隐蔽砂体),有些没有成藏(如 JZ31-2-1 西部东营组浅层的 2 个岩性体)(图 4), JZ31-1-1 和 JZ31-2-1 井钻探的实际情况和模拟的结果吻合,说明了模拟结果的可靠性。JZ31-1-1 隐蔽气藏成藏源于断裂良好的输导以及盖层良好的封闭;JZ31-2-1 井钻探失利则由于其过于靠近郯庐断裂带,郯庐断裂带油气运移过于活跃,封堵性差,只有在郯庐断裂封堵性好并且储层发育的地段才是油气聚集的有利地带,比如深层沙河街组。成藏史分析表明,沙河街组隐蔽油气藏在 20 Ma 已经最终

定型,说明沙河街组隐蔽油气藏形成时间较早,可能于东营组沉积末期开始成藏,定型于 20 Ma 左右(图 5)(由于模拟的年龄间隔过大造成成藏时期的确定有一定误差)。其中透镜体油气藏以初次运移为主,地层油气藏以侧向运移为主,而 JZ31-1-1 井东三段砂岩透镜体隐蔽气藏则是 12 Ma 以后才成藏的(图 6),是油气二次运移的结果,输导通道为切割至烃源岩中的断层。

辽东湾盆地辽中凹陷 LD27-1-1—LD28-1-1—LD28-1-1E 连井剖面(图 7)模拟结果表明,上部东营组隐蔽油气藏主要是油气垂向运移的结果,其中

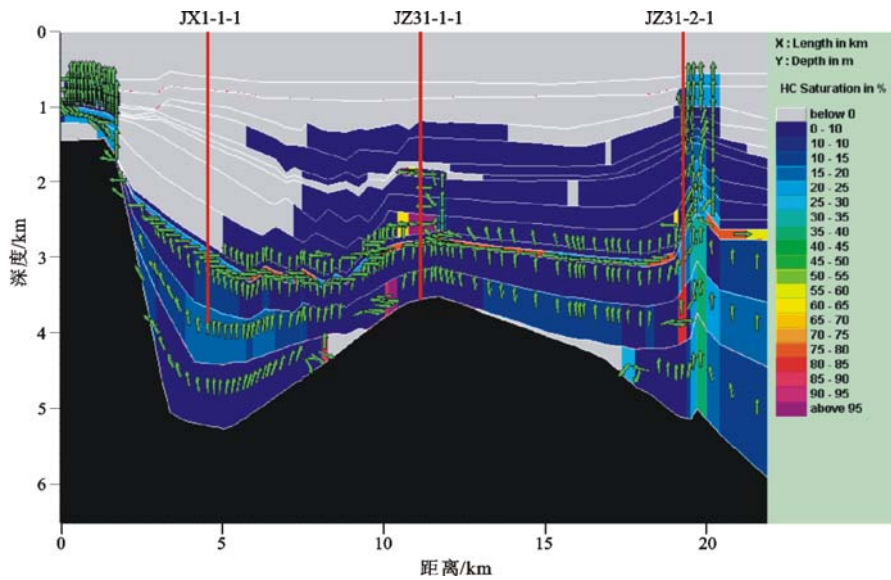


图 4 辽东湾盆地辽中凹陷 JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 连井剖面现今油气运移及聚集结果

Fig. 4 The present oil and gas migration and accumulation result of the section cross JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 Wells in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

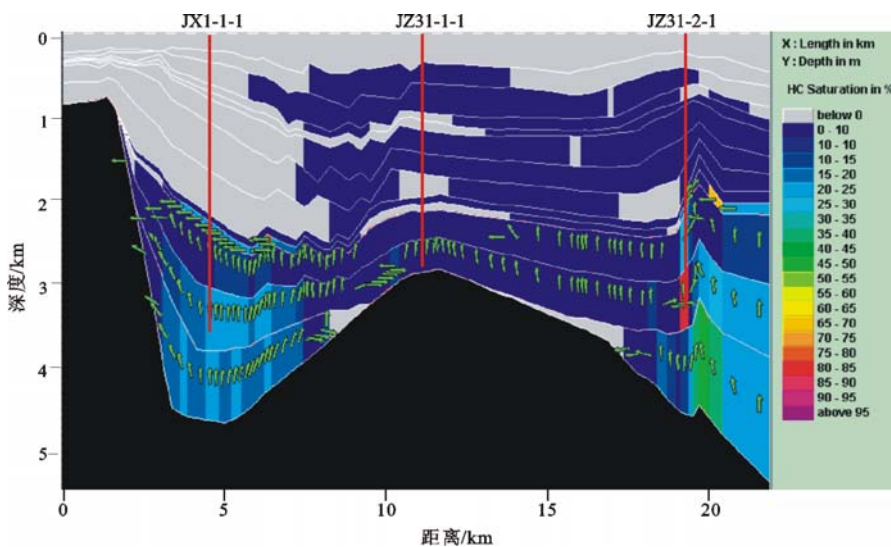


图 5 辽东湾盆地辽中凹陷 JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 连井剖面 20 Ma 时油气运移及聚集结果

Fig. 5 The oil and gas migration and accumulation result of the section cross JX-1-1—JZ31-1-1—JZ31-2-1 Wells at the time of 20 Ma in Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

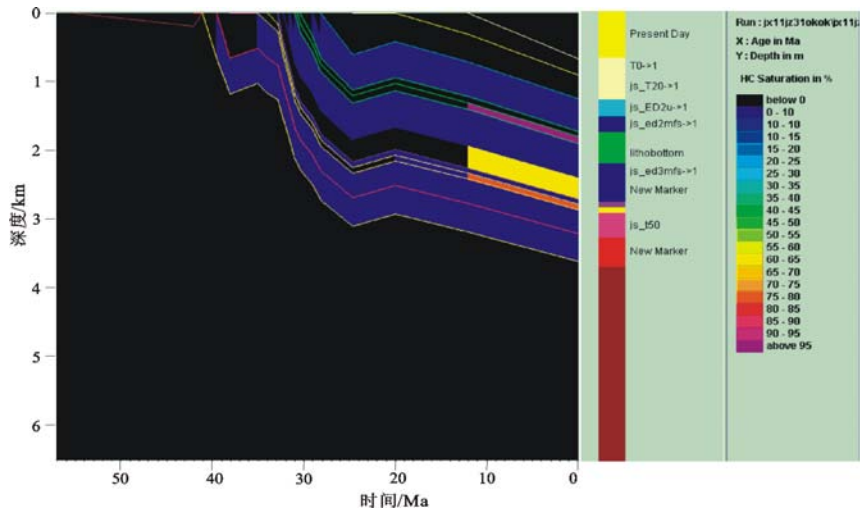


图 6 辽东湾盆地辽中凹陷 JZ31-1-1 井成藏史

Fig. 6 The reservoir forming history of Well JZ31-1-1 in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

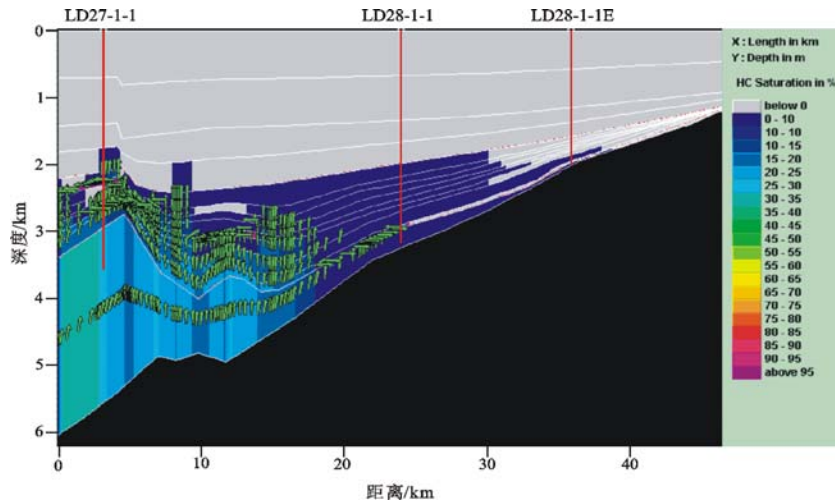


图 7 辽东湾盆地辽中凹陷 LD27-1-1—LD28-1-1—LD28-1-1E 连井剖面现今油气运移及聚集结果

Fig. 7 The present oil and gas migration and accumulation result of the section cross LD27-1-1—LD28-1-1—LD28-1-1E Wells in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

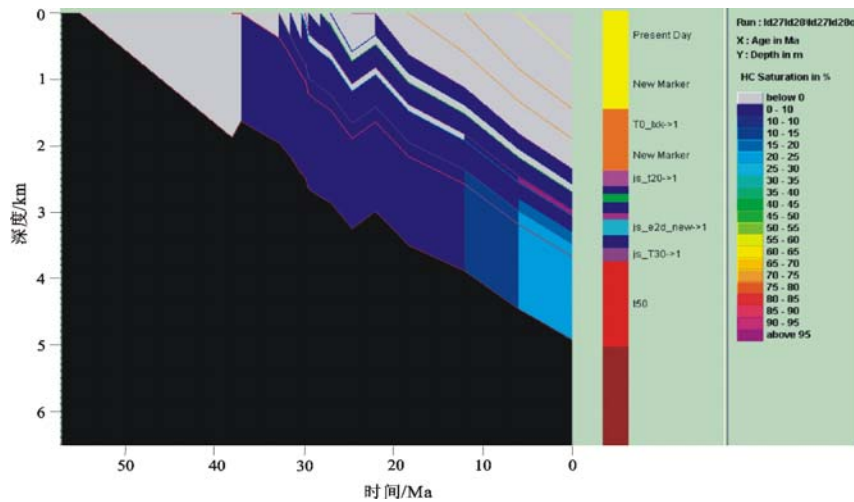


图 8 辽东湾盆地辽中凹陷 LD28-1-1 井成藏史

Fig. 8 The reservoir forming history of Well LD28-1-1 in the Liaozhong Sag, the Liaodong Bay Basin

深凹中成藏的隐蔽砂体并无断裂输导通道,油气垂向运移可能源于微裂缝或者超压使油气穿层运移的结果,可能属于以初次运移为主的超压封存箱内成藏;而 LD28-1-1 井沙二段地层油气藏主要源于沙二段储集层及底部的不整合面作为良好的油气输导通道导致油气侧向运移的结果。实钻结果和模拟结果也是一致的,LD28-1-1 井沙二段地层油气藏钻探获得成功,而其东部的 LD28-1-1E 井却失利,如果按照传统的油气模拟结果,油气肯定聚集在处于上倾方向的 LD28-1-1E 井。这个不可思议的结果主要源于 LD28-1-1 和 LD28-1-1E 井之间出现了泥岩侧封段,油气无法继续侧向运移至东部的 LD28-1-1E 井。当然,LD28-1-1E 沙二段砂体上倾侧向上无封堵条件也可能是一个重要的因素,只不过本次模拟未见到该现象。成熟史和油气运移模拟表明,该剖面沙河街组于 24.6 Ma 油气开始大量充注,但 LD28-1-1 井成藏史分析表明沙河街组砂体油气大量充注始于 12 Ma,而东营组隐蔽油气藏直到 6 Ma 才开始油气的大量充注(图 8),这与该井所处位置有关。该井处于盆地东部斜坡带,地层油气藏所在的沙二段地层很薄,与其上部东营组地层呈不整合接触,油气从烃源灶经较长距离、较长时间才能运移至该处成藏。

3 结论与建议

1) 隐蔽油气藏成藏模拟是可行的,前提是要进行精细的高精度层序地层研究,弄清隐蔽砂体等沉积体在层序地层格架中的分布。

2) 辽中凹陷隐蔽油气藏模拟表明,辽中凹陷沙河街组隐蔽油气藏形成较早,大概于东营组沉积末期至馆陶组沉积初期油气最终成藏,但远离生烃中心的隐蔽油气藏成藏有一定的延迟。东营组隐蔽油气藏形成较晚,于新近纪明化镇组沉积时期(12 Ma)开始成藏,而远离生烃中心的隐蔽油气藏甚至于 6 Ma 以后才开始成藏。沙河街组砂体透镜体隐蔽油气藏以初次运移为主,地层油气藏靠储集体以侧向二次运移成藏。东营组隐蔽油气藏主要以断层作为主要的输导通道,属于超压封存箱外下生上储油气成藏,油气以二次运移为主;但凹陷中也有无明显断裂、不整合或砂体输导体系的隐蔽油气藏,油气主要借助于微裂缝或者靠超压突破盖层压力进行运移,可能属于超压封存箱内成藏。

3) 通过实钻成功和失败的典型隐蔽油气藏模拟对比表明,隐蔽油气藏形成与断裂等输导体系密切相关,如果输导通道的输导性能过强而封堵性

差,油气可能漏失;油气成藏的关键在于断裂的开启和闭合的平衡。同时,侧封和顶封对岩性及地层油气藏的形成也至关重要。

参考文献:

- 1 Nakayama K D, Siclen C V. Simulation model for petroleum exploration[J]. AAPG, 1981, 65: 1230~1255
- 2 Ungerer P, Burrus J, Doligez B, et al. Basin evaluation by integrated two-dimensional modelling of heat transfer, fluid flow, hydrocarbon generation and migration[J]. AAPG, 1990, 74: 309~335
- 3 石广仁,郭秋麟,胡福祥等. 盆地模拟方法及综合勘探系统[A]. 见:赵重远编. 含油气盆地地质学研究进展[G]. 西安: 西北大学出版社, 1993. 1~10
- 4 石广仁. 油气盆地数值模拟方法[M]. 北京:石油工业出版社, 1999. 5~20
- 5 张庆春,石广仁,田在艺. 盆地模拟技术的发展现状与未来展望[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 312~316
- 6 文志刚,何文祥,米立军等. 利用盆地模拟技术评价渤海凹陷下第三系油气勘探潜力[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4): 379~382
- 7 侯创业,孟元林,李 臣等. 成藏史数值模拟:以渤海湾盆地文安斜坡古生界为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 298~300
- 8 尚尔杰,金之钧,丁文龙等. 断裂控油的物理模拟实验研究:以准噶尔盆地西北缘红车断裂带为例[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 414~418
- 9 史建南,郝 芳,邹华耀等. 调整改造型隐蔽油气藏形成与分布模拟实验研究:以准噶尔盆地腹部地区为例[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 590~594
- 10 Gerard C, Sebastien B. 2D modeling of hydrocarbon migration along and across growth faults: an example from Nigeria[J]. Petroleum Geoscience, 2003, 9: 113~124
- 11 李丕龙,庞雄奇,陈冬霞等. 济阳拗陷砂岩透镜体油藏成因机理与模式[J]. 中国科学 D 辑, 2004, 34(增刊): 143~151
- 12 樊太亮,李卫东. 层序地层运用于陆相油藏预测的成功实例[J]. 石油学报, 1999, 20(2): 12~17
- 13 林畅松,潘元林,肖建新. “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, 25(3): 260~267
- 14 李思田,潘元林,陆永潮等. 断陷盆地隐蔽油藏预测及勘探的关键技术:高精度地震探测基础上的层序地层学研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 592~597
- 15 李丕龙,张善文,宋国齐等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成的机制:以渤海湾盆地济阳拗陷为例[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3~10
- 16 McKenzie D P. Some remarks on the development of sedimentary basins[J]. Earth Planet Sci Lett, 1978, 40: 25~32
- 17 胡圣标,张容燕,罗毓晖等. 渤海海域盆地热历史及油气资源潜力[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(5): 306~314
- 18 胡圣标,张容燕,罗毓晖等. 渤海盆地热历史及构造—热演化特征[J]. 地球物理学报, 1999, 42(6): 748~753
- 19 刘绍文,王良书,龚育龄等. 济阳拗陷岩石圈热—流变学结构及其地球动力学意义[J]. 中国科学 D 辑, 2005, 35(3): 203~214