

南堡凹陷拾场次洼的构造-沉积特征及其对岩性油藏勘探的影响

刘君荣¹, 王晓文¹, 赵忠新¹, 张磊^{2,3}, 李杰¹, 路鹏飞¹

(1. 中国石油冀东油田分公司, 河北唐山 063004; 2. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

3. 中国石油大学 盆地与油藏研究中心, 北京 102249)

摘要:南堡凹陷拾场次洼是冀东油田的一个勘探开发老区, 构造油藏基本已经探明, 并投入开发, 急需寻找新的勘探接替领域。通过研究南堡凹陷拾场次洼构造演化、沉积体系分析和构造-沉积格局对岩性圈闭形成的控制作用, 建立拾场次洼岩性油藏成藏模式, 为今后的勘探提供理论基础。拾场次洼在沙河街组沉积早期, 物源主要来自于洼陷东部柏各庄断层上升盘凸起区, 沿柏各庄断层下降盘发育多个扇三角洲沉积体系, 向洼陷内进积较远。在西部西南庄断层下降盘发育小型扇三角洲、滨浅湖及半深湖沉积。在沙河街组沉积后期, 柏各庄断层活动加剧, 早期沉积的地层产状发生了反转, 导致沙河街组沉积早期由柏各庄断层上升盘来的向洼陷进积的砂体, 转变为上倾尖灭的砂体。这些砂体与洼陷内向西抬升的构造, 配合形成上倾尖灭圈闭。这些圈闭形成了拾场次洼最重要的砂岩上倾尖灭油藏, 具有多层富集, 油藏规模大和多油水系统的特征。

关键词:成藏模式; 岩性油藏; 沙河街组; 拾场次洼; 南堡凹陷

中图分类号: TE121

文献标识码: A

Tectonic-sedimentary characteristics and their influences on the forming of lithologic hydrocarbon reservoirs in the Shichang Subsag of the Nanpu Sag

Liu Junrong¹, Wang Xiaowen¹, Zhao Zhongxin¹, Zhang Lei^{2,3}, Li Jie¹, Lu Pengfei¹

(1. Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei 063004, China; 2. State Key Laboratory for Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Shichang Subsag of Nanpu Sag is an old exploration and development area of Jidong Oilfield, the its main structural reservoir has been proven, and put into development. The next is to find new areas to relay. In this paper, the lithologic reservoir accumulation mode is established through research and analysis of tectonic evolution, sedimentary system and their controlling role on lithologic traps. That provides a theoretical basis for future exploration. In the early Shahejie Formation (Es) period, the provenance was mainly from the bulge on the upthrown side of Baigezhuang fault in the east of subsag. There existed multiple fan-delta systems along the Baigezhuang downthrown side and they prograded far towards the subsag center. Meanwhile, small fan-delta, shallow lake and semi-deep lake sediments distributed along the downthrown side of Xinanzhuang faults in the west. In the late Es, the activity of Baigezhuang fault led to the inversion of early strata attitude. And the early downlap sandbody pinched on the slope, forming a updip pinchout type deposition mode. These sand bodies and sub-sag cooperated with west uplift tectonic introversion to form the updip pinchout trap, which formed the most important lithologic reservoirs in Shichang Subsag. These reservoirs have the characteristics of multi-strata-enrichment, large-scale and multi-oil-water systems.

Key words: accumulation mode, lithologic reservoir, Shahejie Formation, Shichang Subsag, Nanpu Sag

断陷盆地中构造格局及其演化特征决定了盆地的充填格局, 控制了盆地内石油地质条件的空间配置关系及随后的油气地质事件, 从而也决定了有利的油气勘探领域和区带^[1-3]。成熟盆地中油气勘探由常规构造向岩性地层油气藏和非常规油气藏转战的过程中, 盆地的构造-沉积格局是永恒的研究主题^[1-3]。南堡凹陷是渤海湾盆地中的富油气凹陷, 前期的油

气勘探主要围绕关键的构造带展开, 后备勘探领域不明^[2-3]。本文通过对拾场次洼构造-沉积格局的分析, 认为断层分期活动控制了沉积沉降中心的迁移和早期三角洲前积沉积体在晚期的翘倾, 形成的上倾尖灭砂体是重要的油气勘探对象和增储领域。研究成果对指导渤海湾盆地同类型盆地的油气勘探具有重要的指导意义。

收稿日期: 2014-02-10; 修订日期: 2014-06-20。

第一作者简介: 刘君荣(1981—), 女, 硕士, 构造沉积分析。E-mail: liujunrong@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05006-05, 06)。

1 地质背景

南堡凹陷位于燕山台褶带南缘,渤海湾盆地黄骅坳陷北部,是中、新生代渤海湾裂谷盆地黄骅坳陷的一部分^[1-3](图1)。其西北界为西南庄断层,与西南庄凸起、老王庄凸起相隔;东北界为柏各庄断层,与柏各庄凸起、马头营凸起相邻;南部与沙垒田凸起呈断超关系。受边界断层控制,凹陷整体呈“四带两隆夹两凹”、北陡南缓的宏观格局(图1)。整个南堡凹陷面积约为1 932 km²,其中滩海面积1 100 km²^[4-6]。

拾场次洼是南堡凹陷最重要的二级构造单元,位于南堡凹陷东北部,面积约200 km²^[1-3](图1a)。该次洼北侧和东侧以边界断层与西南庄凸起、柏各庄凸起

等相邻,南侧以高柳断层与林雀次洼相隔(图1)。拾场次洼包括两个正向构造带(高尚堡构造带、柳赞构造带)和一个负向构造带——洼陷带(图1)。目前,在高尚堡构造带和柳赞构造带主体的构造油藏都已经探明并且进入了开发中后期,急需寻找后备区带^[2-3]。在构造斜坡区的L9、G87X2和G22X1等多口井获得高产工业油气流,勘探证实这些井区没有构造圈闭,油藏受到岩性控制,展示了较大的勘探潜力。针对该区岩性油藏发育模式的总结,有利于油气勘探从构造主体的构造油藏扩展到斜坡区岩性油藏,实现拾场次洼斜坡区油藏由“点”到“面”的扩展。

2 沉积充填格局及其演化特征

拾场次洼具有与南堡凹陷相似的沉积充填格局,

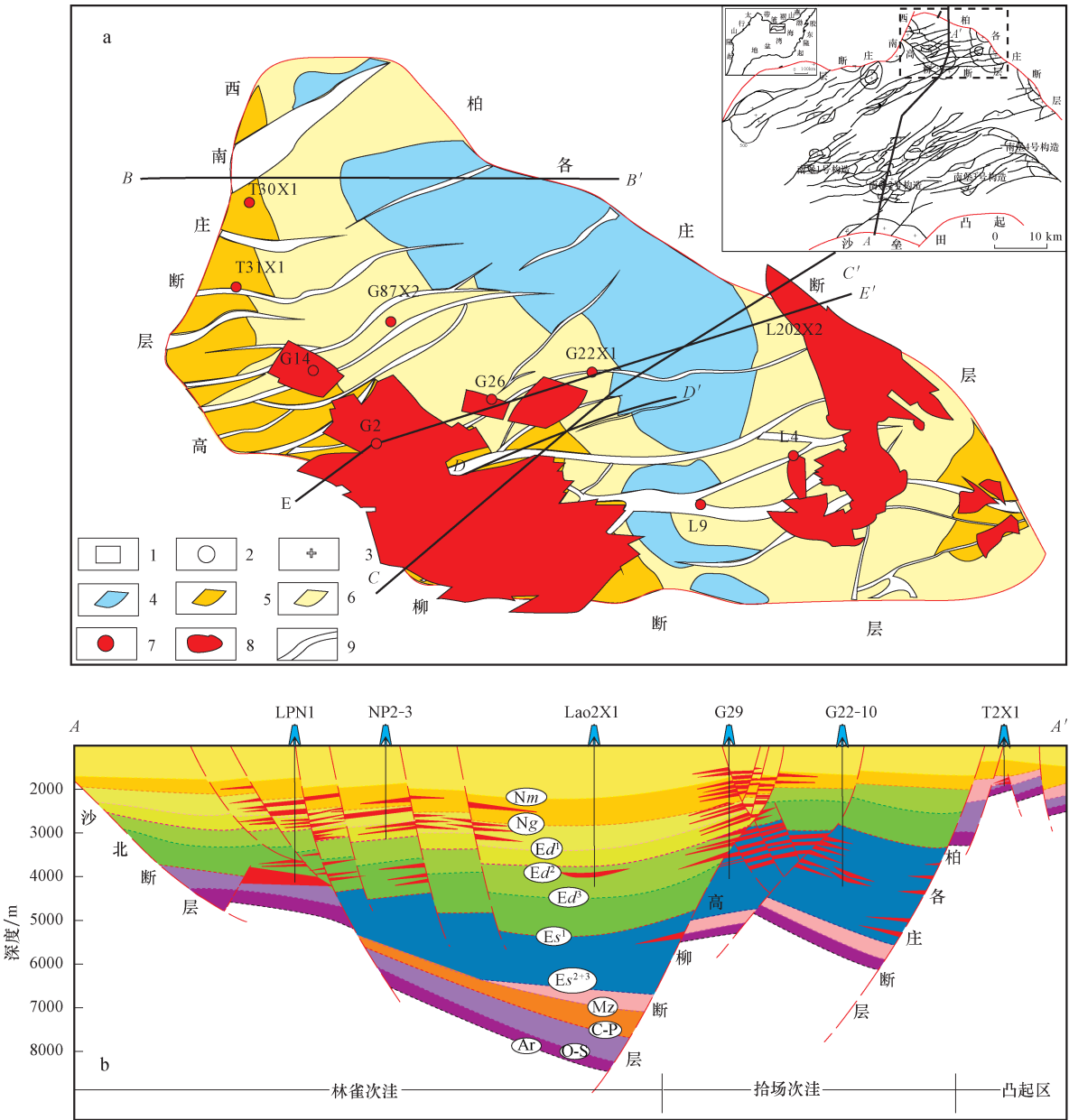


图1 南堡凹陷拾场次洼构造位置与构造格局

Fig. 1 Tectonic location of Shichang Subsag in Nanpu Sag

1. 拾场次洼在南堡凹陷的构造位置;2. 井位;3. 构造高点;4. 洼陷带;5. 构造带;6. 斜坡带;7. 工业油气流;8. 含油面积;9. 断层

经历了从断陷湖盆初始裂陷到断陷湖盆全盛阶段及湖盆迁移、衰亡的全过程,在不同演化阶段和不同构造背景下发育了多种沉积体系。根据已有钻井的岩心资料、录井资料及相关地震相的分析,在研究区沙河街组识别出多种沉积体系类型,具体包括扇三角洲、水下扇、湖泊、冲积扇等沉积体系。

2.1 单井沉积相特征

钻井岩心特征揭示本区沙河街组的沉积体系主要为冲积扇 - 扇三角洲沉积体系。通过拾场次洼东部柏各庄边界断层下降盘 L202X2 井沙河街组三段 3 亚段的岩心分析,表明沙河街组沉积期在柏各庄边界断层下降盘主要发育陡坡冲积扇和扇三角洲平原沉积。冲积扇沉积体系主要岩性是砂和砾石互层,砾石具有不明显的平行层理或者交错层理,向洼陷内以较陡的前积相为特征,牵引流构造很发育,常见大、中型槽状交错层理,向下方渐变为前扇三角洲沉积,以不规则分布的泥、砂和砾石的透镜状层理为特点,砾岩成分主要为杂色砾石,粒径较大,多为 5~20 mm,次棱角一次圆状,分选差(图 2)。

扇三角洲平原亚相主要表现为近源的砾质辫状河沉积,以水流和沉积物重力流的粗粒沉积物为特征,主要岩性是砂岩和砾岩互层,分选差,具砂质基质,并表现为块状层理或者正粒序层理。

由柏各庄断层下降盘向洼陷内部,冲积扇和扇三角洲平原逐渐过渡为扇三角洲前缘。扇三角洲前缘以河道砂岩、含砾砂岩为主,前缘末端以粉、细砂岩为主,经常发育平行层理;向下方渐变为前扇三角洲沉积,以不规则分布的泥、砂和砾石的透镜状为特点。

以 G8 井为例(图 3),底部(3 902.9~3 906.1 m)为灰绿色含砾粗砂岩,见泥砾。砾石次圆状 - 次棱角状,定向不明显;中部取心段的底部(3 791.8~3 790.2 m)为灰色块状粗砂岩、细砂岩,泥质粉砂岩,胶结致密,偶见碎屑,向上为泥质粉砂岩,具有顶冲刷构造,粒度变化呈现正粒序,且粒度较粗,为扇三角洲前缘分支河道微相;上部(3 790.2~3 787.9 m)以灰绿色块状泥质粉砂岩为主,胶结致密,为扇三角洲前缘河道间湾沉积微相。

2.2 剖面沉积充填特征

南堡凹陷拾场次洼的沉积充填结构主要受两条边界断层控制^[4],即西南庄断裂和柏各庄断裂。这两条断裂活动时间长、继承性强、断距大,控制着次洼的形成和发展(图 4)。从穿越拾场次洼的典型剖面来看,早期断层西南庄活动强烈,在断层下降盘形成了较大的可容纳空间。但物源主要来自于柏各庄断层上升盘,从过柏各庄断层到洼陷内的连井剖面上可以看到,由边界断层下降盘 L202X2 井向洼陷中部 G66X5、G26 井砂体逐渐减少,到 G2 井在沙三段 3 亚段基本上没有砂体。呈现出与单井沉积相分析相同的特征。反映了拾场次洼内物源进积方向和沉积体系的展布特征——由边界断层下降盘的冲积扇、扇三角洲平原,到洼陷内部的扇三角洲前缘和浅湖 - 中深湖沉积(图 5)。晚期柏各庄断层活动强度大,控制了东营组的沉积充填。新近系沉积时期两条断层均有活动,但是对沉积充填格局的控制有限(图 4)^[5-7]。

2.3 平面沉积相展布特征

从岩心观察、录井、测井、地震等资料出发,在单井相、连井剖面相及地震相分析的基础上,结合砂岩厚度图、砂岩百分含量图,编制了沙三段 3 亚段各准层序的沉积相平面展布图(图 6)。不同准层序的平面展布图显示沙三段 3 亚段沉积物源具有一定的继承性,主要物源来自于柏各庄断层上升盘,由边界断层向凹陷内进积,沉积范围较大,一直延伸到凹陷西部的拾场次洼西部;沉积相类型主要为扇三角洲平原亚相、扇三角洲前缘亚相;西南庄断层下降盘物源较小,主要发育靠近断层根部的小型扇三角洲体系。其中主要的储集砂体为扇三角洲平原和前缘中分支河道砂、远砂坝等(图 6)。

3 讨论

3.1 断层活动对沉积充填格局的影响

拾场次洼的剖面形态显示了边界断层的活动对凹

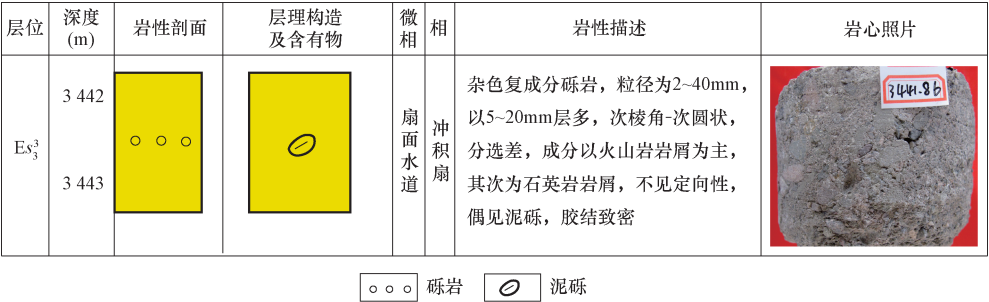


图 2 拾场次洼 L202X2 井 Es₃³ 亚段岩心分析

Fig. 2 Core analysis of the third subsection in Shahejie Formation from Well L202X2 in Shichang Subsag

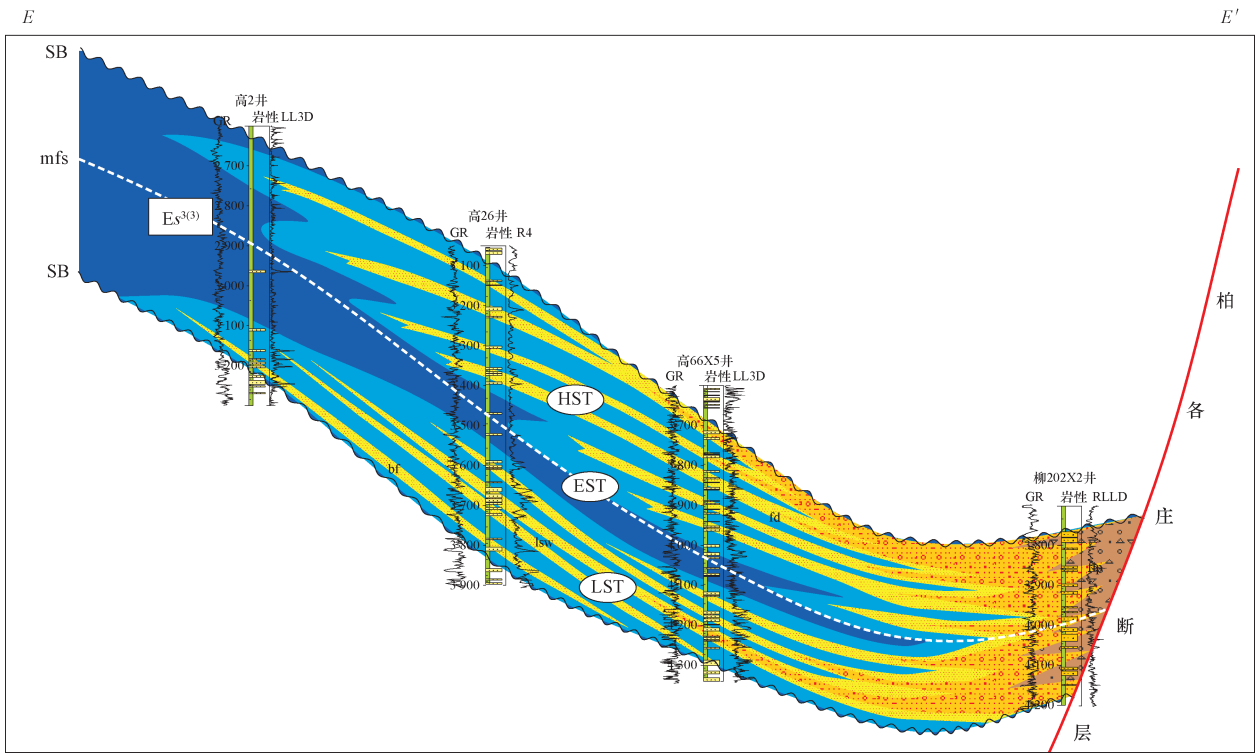


图 5 过拾场次洼 G2—L202X2 连井剖面
Fig. 5 Well tie profield of well G2-L202X2 in Shichang Subsag

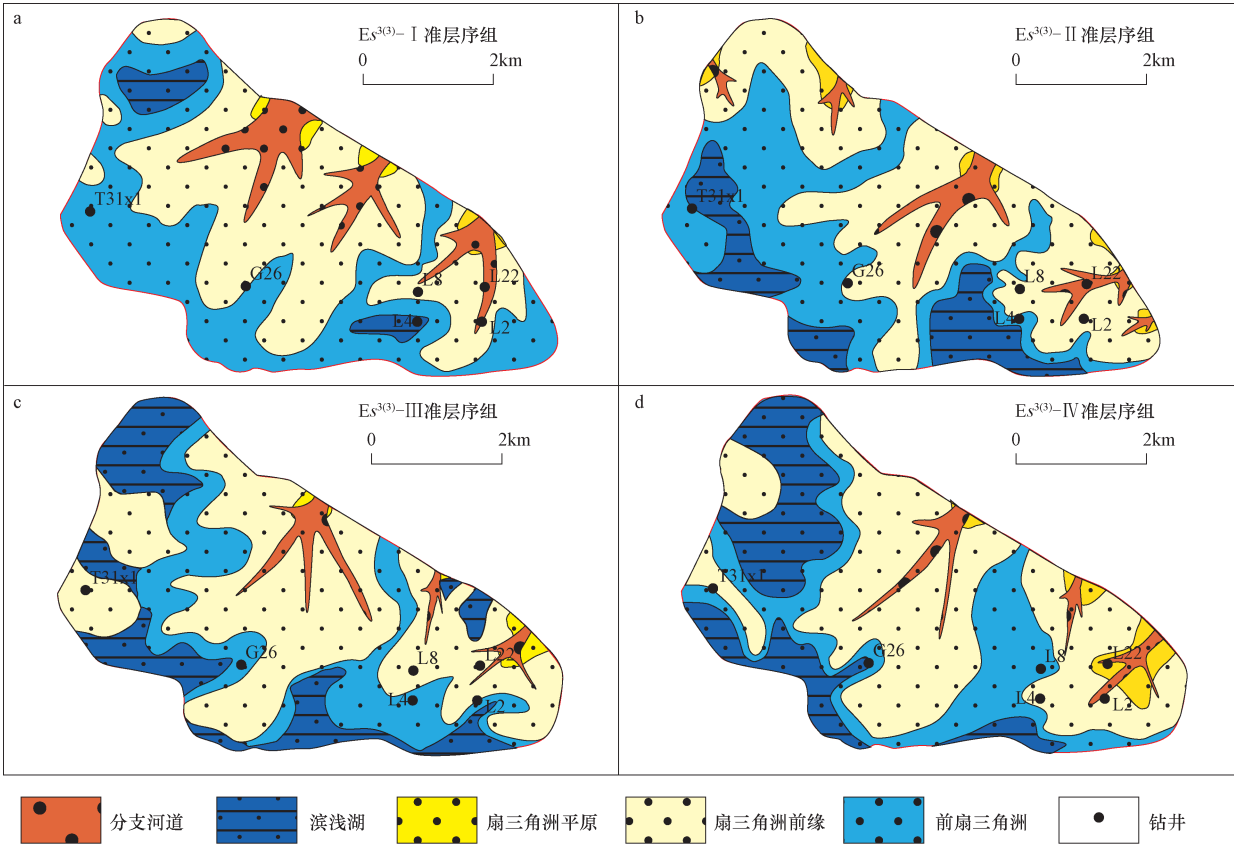


图 6 南堡凹陷拾场次洼不同准层序组沉积相
Fig. 6 Sedimentary fancies of different parasequence sets in Shichang Subsag of Nanpu Sag

3.2 构造活动对岩性圈闭的影响

拾场次洼的构造(断层)活动对岩性圈闭具有重要的

控制作用,表现在两个方面,首先,拾场次洼沙河街组的主要物源体系来源于柏格庄断层,相对于西南庄的短轴近源体系来说,经历了更长距离的搬运,分选和磨圆程度更

好,因而具有更好的储层物性,更易于形成岩性圈闭。

其次,边界断层西南庄断层、柏各庄断层在时间上的差异活动导致拾场次洼的砂体倾向发生了强烈的翘倾作用,形成了特殊的上倾尖灭岩性圈闭。图 8a 显示了现今拾场次洼沙三段 3 亚段的剖面和沉积体系特征,扇体表现出两侧高,中间低的分布特征,其分界点大致位于冲积扇和扇三角洲沉积体系转换的部位。然而,原始的沉积特征显然不是这样的,如果将沙河街组的顶面拉平,就得到了沙三段 3 亚段沉积时期的大致特征,此时的扇体来源于伯格庄断层,由北东向南西,层层前积和下超,与现今的沉积格局迥异(图 8b)。正是由于柏各庄断层在东营期及其后的剧烈活动,导致沙河街期前积的砂体转变为上倾尖灭的砂体,形成了上倾尖灭型沉积模式。因此,构造活动导致本区上倾尖灭型岩性圈闭的形成。

3.3 岩性油藏成藏模式

构造活动控制和改造的岩性圈闭有利于在本区发育多种类型的岩性油气藏^[12-14]。除了在扇三角洲前缘发育的系列透镜体油气藏(受控于扇三角洲前缘的滑塌浊积岩、深水浊积扇,或者是水下分支河道的河口坝砂体与废弃的河道砂体)之外,最具特色的是构造控制的上倾尖灭油气藏。

以 G66 井区沙三段 3 亚段油藏为例,G66 井、G66X3 井和 G66X8 井在斜坡区距离较近,3 口井之间的间距分别为 1.2 km² 和 0.5 km²。但砂岩由 G66X8 向 G66X3 和 G66 井减少明显,尤其是 G66X3 向 G66 井由于砂体的上倾尖灭型岩性油藏(图 9)。这类油藏的特征表现为:①在斜坡区三角洲前缘砂体呈多次向高部位推进,因而形成了多层油气藏;②砂体在其上倾

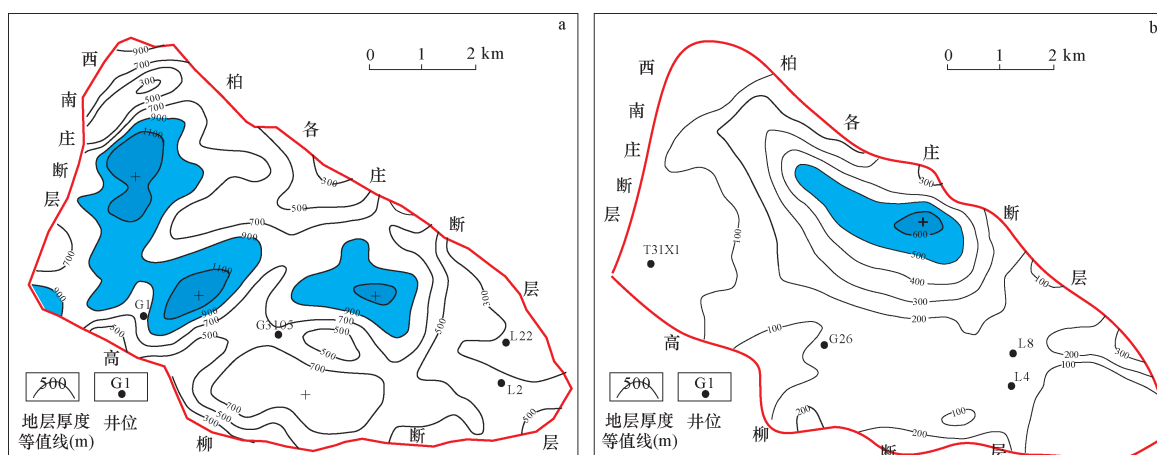


图 7 南堡凹陷拾场次洼沙河街期与东营期沉积中心变迁示意图

Fig. 7 Sketch map of depositional center change from Shahejie period to Dongying period in Shichang Subag of Nanpu Sag

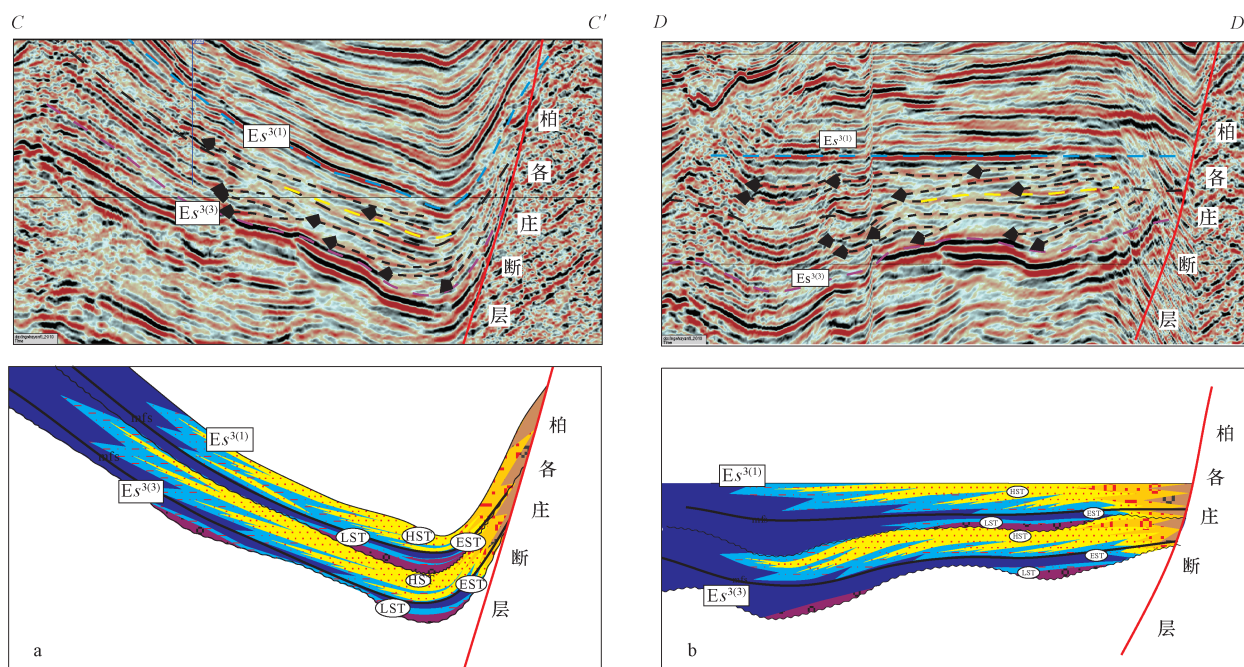


图 8 南堡凹陷拾场次洼上倾尖灭圈闭形成机理

Fig. 8 Forming mechanism of the updip pinchout lithologic reservoir in Shichang Subag of Nanpu Sag

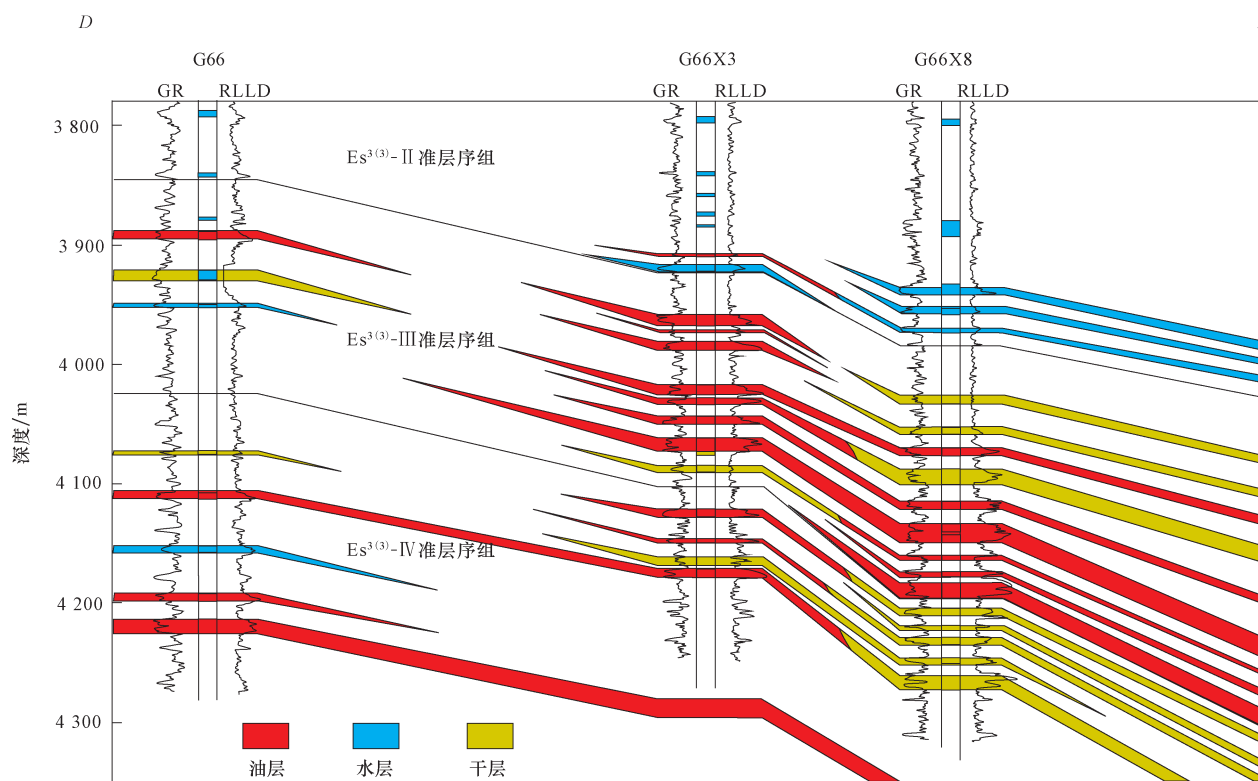


图9 南堡凹陷拾场洼陷不同类型岩性油气藏分布发育模式

Fig. 9 Distribution and development mode of different lithologic reservoirs in Shichang Sub-sag of Nanpu Sag

砂体厚度逐渐减薄尖灭,而其下部(尾部)则多联合,砂体厚度增大,因而扩大了岩性油气藏的规模;③不同砂组的岩性油气藏经常形成不同的油水界面,但是向下部多经历了由纯油层-含水油层-含油水层-水层的变化过程,在纵向上表现出多油水系统的特征(图9)。

这种构造改造原始沉积充填格局而形成的上倾尖灭油气藏对南堡凹陷的油气勘探具有重要的启发作用,目前已经在其南部的柏各庄断层下降盘找到了相似的勘探实例,勘探领域正在扩大。可以预见,这种特殊类型的岩性油气藏的持续发现和勘探领域的不断扩大,必将启发在渤海湾盆地其它凹陷的油气勘探。

4 结论

1) 拾场次洼的构造活动控制了洼陷的沉积充填格局。早期沙三段应力方向为北西-南东向,导致北东-南西向的西南庄断层活动剧烈,沉降中心主要位于西南庄断层下降盘。东营期后应力方向转为南北向。此时,柏各庄断层受南北向应力作用明显,活动加剧,沉降中心迁移到了柏各庄断层下降盘。

2) 拾场次洼在沙河街组沉积早期,物源主要来自于洼陷东部柏各庄断层上升盘凸起区,沿柏各庄断层下降盘发育多个扇三角洲沉积体系,向洼陷内进积较远。在西部西南庄断层下降盘发育小型扇三角洲、滨浅湖及半深湖沉积。

3) 沙河街组沉积之后柏各庄断层活动加剧,早期沉积的地层产状发生了反转,导致沙河街组沉积早期由柏各庄断层上升盘来的向洼陷进积的砂体,转变为上倾尖灭的砂体。这些砂体与洼陷内向西抬升的构造,配合形成上倾尖灭圈闭。

4) 构造活动控制和改造的岩性圈闭有利于在本区发育多种类型的岩性油气藏,除传统的砂岩透镜体油气藏之外,砂体上倾尖灭油藏是本区特殊的油气藏类型,具有多层富集,油气藏规模大和多油水系统的特征。

参考文献

- [1] 冯有良,周海民,李思田,等. 陆相断陷盆地层序类型与隐蔽油气藏勘探—以南堡凹陷古近系为例[J]. 地球科学,2004,29(5): 603-608.
Feng Youliang, Zhou Haimin, Li Sitian, et al. Sequence types and subtle trap exploration in continental rift basin: A case study of lower tertiary of the Nanpu depression[J]. Earth science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 603-608.
- [2] 周海民,董月霞,刘蕴华. 冀东南堡凹陷精细勘探实践与效果[J]. 中国石油勘探,2003,8(1): 11-15.
Zhou Haimin, Dong Yuexia, Liu Yunhua. Precise exploration practice and results of Nanpu depression in Jidong Oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2003, 8(1): 11-15.
- [3] 周海民,魏忠文,曹中宏. 南堡凹陷的形成演化与油气的关系[J]. 石油与天然气地质,2000,21(4): 345-349.
Zhou Haimin, Wei Zhongwen, Cao Zhonghong, et al. Relationship between formation, evolution and hydrocarbon in the Nanpu sag[J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(4): 345-349.
- [4] 张翠梅,刘晓峰. 南堡凹陷边界断层及成盆机制[J]. 石油学报, 2011, 33(4): 581-587.

- Zhang Cuimei, Liu Xiaofeng. The boundary faults and basin-formation mechanism of Nanpu sag [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 33(4): 581–587.
- [5] 王华, 赵淑娥, 林正良, 等. 南堡凹陷东营组巨厚堆积的关键控制要素及其油气地质意义[J]. *地质前缘*, 2012, 19(1): 108–120.
- Wanghua, Zhao Shue, Lin Zhengling, et al. The key control factors and its petroleum and geological significance of extra-thick deposition in Dongying Formation, Nanpu Sag [J]. *EarthScience Frontiers*, 2012, 19(1): 108–120.
- [6] 徐安娜, 郑红菊, 董月霞, 等. 南堡凹陷东营组层序地层格架及沉积相预测[J]. *石油勘探与开发*, 2006, 33(4): 437–443.
- Xu Anna, Zheng Hongju, Dong Yuexia, et al. Sequence stratigraphic framework and sedimentary facies prediction in Dongying Formation of Nanpu sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(4): 437–443.
- [7] 姜华, 王华, 林正良, 等. 南堡凹陷古近纪幕式裂陷作用及其对沉积充填的控制[J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 977–983.
- Jiang Hua, Wang Hua, Lin Zhengliang, et al. Periodic rifting activity and its controlling on sedimentary filling of Paleogene period in Nanpu Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 977–983.
- [8] 童亨茂, 赵宝银, 曹哲, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统成因的构造解析[J]. *地质学报*, 2013, 87(11): 1647–1661.
- Tong Hengmao, Zhao Baoyin, Cao Zhe, et al. Structural analysis of faulting system origin in the Nanpu sag, Bohai Bay Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(11): 1647–1661.
- [9] 范柏江, 刘成林, 庞雄奇, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 192–198.
- Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 192–198.
- [10] 史冠中, 王华, 徐备, 等. 南堡凹陷柏各庄断层活动特征及对沉积的控制[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(1): 85–90.
- Shi Guanzhong, Wang Hua, Xu Bei, et al. Activity of Baigezhuang fault of Nanpu depression and its controlling on sedimentation [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(1): 85–90.
- [11] 姜华, 王建波, 张磊, 等. 南堡凹陷西南庄断层分段活动性及其对沉积的控制作用[J]. *沉积学报*, 2010, 28(6): 1047–1053.
- Jiang Hua, Wang Jianbo, Zhang Lei, et al. Segment activity of Xinnan-zhuang fault in Nanpu sag and its controlling on sedimentary process [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(6): 1047–1053.
- [12] 吕延防, 许辰璐, 付广, 等. 南堡凹陷中浅层盖—断组合控油模式及有利含油层位预测[J]. *石油与天然气地质*, 2014, 35(1): 86–97.
- Lü Yanfang, Xu Chenlu, Fu Guang, et al. Oil-controlling models of caprock-fault combination and prediction of favorable horizons for hydrocarbon accumulation in middle-shallow sequences of Nanpu sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2014, 35(1): 86–97.
- [13] 黄曼宁, 董月霞, 庞雄奇, 等. 南堡凹陷构造型油气藏分布主控因素及预测方法[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(5): 695–704.
- Huang Manning, Dong Yuexia, Pang Xiongqi, et al. Controlling factors of structural reservoir distribution and its prediction method in Nanpu depression, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(5): 695–704.
- [14] 孙永河, 赵博, 董月霞, 等. 南堡凹陷断裂对油气运聚成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(4): 540–549.
- Sun Yonghe, Zhao Bo, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in the Nanpu Sag [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(4): 540–549.

(编辑 董立)

(上接第600页)

- [11] Grauls D. Overpressures; causal mechanisms, conventional and hydro-mechanical approaches [J]. *Oil & Gas Science and Technology*, 1999, 54(6): 667–6781.
- [12] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1991, 14(2): 161–180.
- [13] Aydin A. Fractures, faults and hydrocarbon entrapment, migration and flow [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17: 797–814.
- [14] 魏福军, 高志前, 樊太亮, 等. 塔里木盆地塔中地区输导体系及成藏效应[J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(2): 266–273.
- Wei Fujun, Gao Zhiqian, Fan Tai-liang, et al. Carrier system and its effects on the hydrocarbon pooling in Tazhong area, Tarim Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(2): 266–273.
- [15] Nie F J, Li S T, Wang H. Lateral migration pathways of petroleum in the Zhu III sub-basin, Pearl River Mouth Basin, south China sea [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18: 561–575.
- [16] 向才富, 夏斌, 谢习农, 等. 松辽盆地西部斜坡带油气运移主输导通道[J]. *石油与天然气地质*, 2004, 25(2): 204–208.
- Xiang Caifu, Xia Bin, Xie Xinong, et al. Major hydrocarbon migration pathway system in western slope zone of Songliao Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2004, 25(2): 204–208.
- [17] 曹剑, 胡文瑄, 姚素平, 等. 准噶尔盆地储层中的锰元素及其原油运移示踪作用[J]. *石油学报*, 2009, 30(5): 705–710.
- Cao Jian, Hu Wenxuan, Yao Suping, et al. Manganese in reservoir calcite cement and its implication for tracing oil migration in Junggar Basin [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(5): 705–710.
- [18] 潘钟祥. 不整合对油气运聚的重要性[J]. *石油学报*, 1983, 4(4): 1–10.
- Pan Zhongxiang. Significance of unconformity to oil and gas migration and accumulation [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1983, 4(4): 1–10.
- [19] 高长海, 查明. 不整合运移通道类型及输导油气特征[J]. *地质学报*, 2008, 82(8): 1113–1120.
- Gao Changhai, Zha Ming. The types of unconformity migration passages and characteristics of hydrocarbon transport [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(8): 1113–1120.
- [20] Wu K Y, Douglas P, Zha M. Unconformity structures controlling stratigraphic reservoir in the north-west margin of Junggar Basin, North-west China [J]. *Front. Earth Sci.*, 2013, 7(1): 55–64.
- [21] Sehowalle T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. *AAPG Bulletin*, 1979, 63(5): 723–768.
- [22] Hindle A D. Petroleum migration pathway and charge concentration: a three-dimensional model [J]. *AAPG Bulletin*, 1997, 81(9): 1451–1481.
- [23] 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 on passage system of petroliferous Basins [J]. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21(2): 133–135.
- [24] England W A, Mackenzie A S, Mann D M, et al. The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface [J]. *Journal of the Geological Society*, 1987, 144: 327–347.
- [25] 李明诚. 油气运移基础理论与油气勘探[J]. *地球科学*, 2004, 29(4): 379–383.
- Li Mingcheng. Basic principles of migration and hydrocarbon exploration [J]. *Earth Science*, 2004, 29(4): 379–383.

(编辑 张玉银)