

渤海海域旅大油田储层展布特征新认识

刘超, 马奎前, 吴东昊, 王腾

(中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院)

摘要 渤海海域旅大油田油水井注采实践表明, 北东—北北东方向注采井网为优势受效方向, 这与储层砂体呈北西—南东向展布的以往认识相矛盾。具右旋走滑性质的辽西一号断层由分段的弧形断层相接而成, 构造转换带控制了油田储层展布, 这一认识获得了地震属性、重矿物分析的支持。重新编制了主要油组的沉积体系图。旅大油田的储层展布方向为北东—北北东向, 这一新认识对储层精细描述、水淹规律分析及剩余油挖潜等具有一定指导意义。

关键词 渤海; 旅大油田; 物源方向; 构造转换带; 储层分布

中图分类号: TE512.3⁺3 文献标识码: A

1 问题的提出

旅大油田位于渤海辽东湾海域辽西凹陷中段(图1a), 为控凹边界断层——辽西一号断层下降盘上的一个复合断块构造(图1b), 近南北走向, 东侧紧靠辽西低凸起(图1)。油田发现于1988年, 经过多轮次的开发调整, 目前有七十余口生产井, 年产量近

$100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。油田主力含油层系为渐新统东营组二上段和二下段, 由上至下各分为3个油组(图2), 东二段沉积为三角洲前缘亚相, 主要由粗—中粒长石岩屑砂岩和中—细粒岩屑长石砂岩组成, 具高孔隙度、中高渗透率的物性特征^[1], 区域地质分析认为物源主要来自盆地西北侧的燕山隆起^[2]。

旅大油田采用合注合采开发模式, 目前已进入

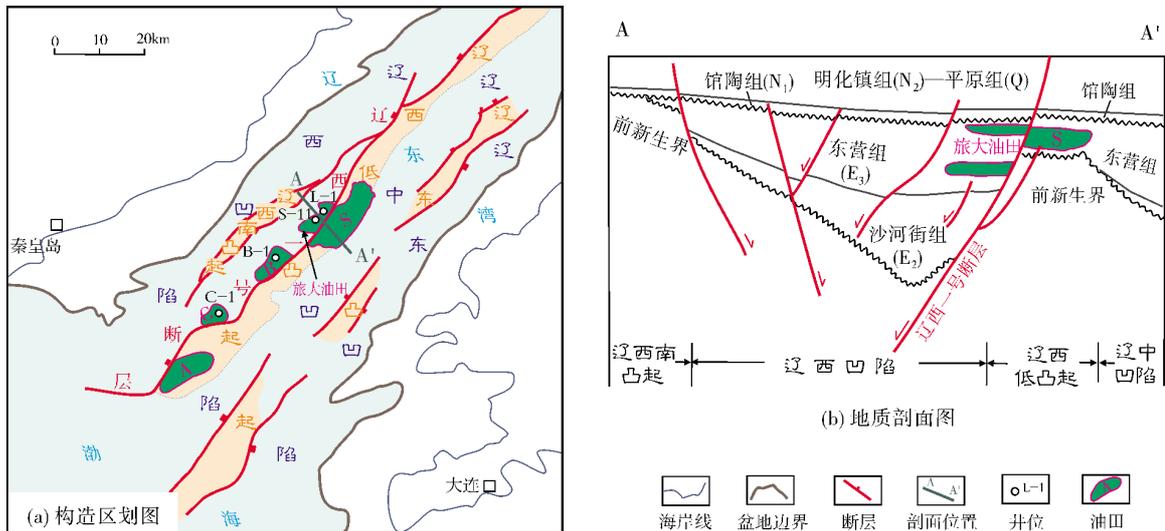


图1 渤海海域旅大油田构造位置图

收稿日期: 2013-12-04; 改回日期: 2014-12-15

本文受国家重大科技专项“海上油田丛式井网整体加密及综合调整油藏工程技术示范”(编号:2011ZX05057-001)资助

刘超: 1984年生, 工程师。2009年毕业于西北大学地质学系, 硕士。主要从事油田开发地质研究工作。通讯地址: 300452 天津市塘沽区闸北路3号609信箱; E-mail: liuchao5@cnooc.com.cn

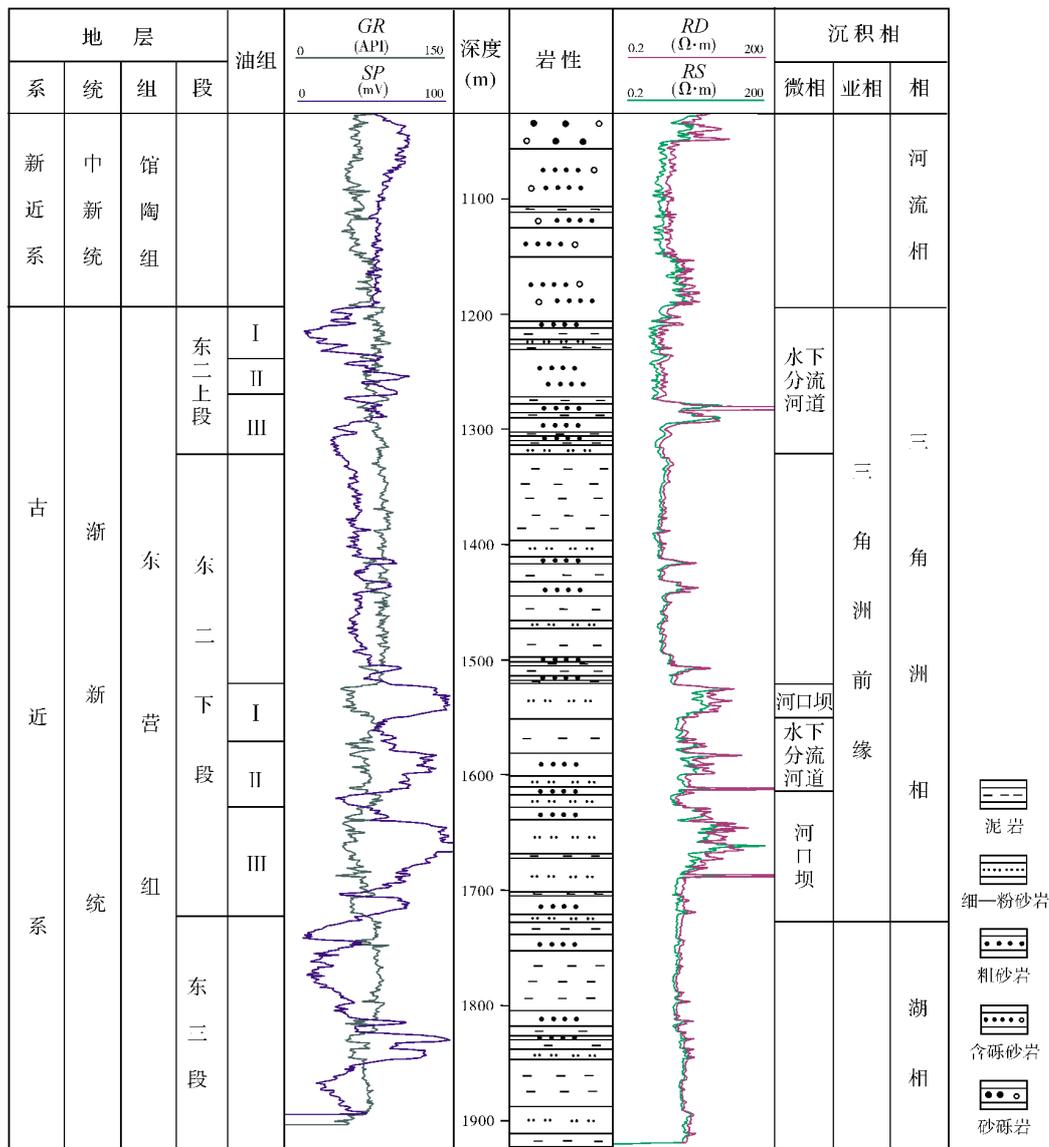


图2 旅大油田 L-3 井东营组沉积综合柱状图

高含水期开采阶段,主要表现为采油速度低、采出程度小、含水上升速度快等特点。油田注采过程中存在单层突进、方向性“水窜”等问题,统计分析发现,注水平面波及不均一,北东—北北东方向注采井网为优势受效方向。通常,油层发生“水窜”的优势方向往往与该套储层形成时期的古河道砂体沉积展布方向关系密切^[3],那么,由此推测,旅大油田储层展布方向应为北东—北北东方向,而这与前人关于储层呈“西北—东南方向”展布的认识^[2](按区域沉积模式推测旅大油田砂体为自西北至东南方向的三角洲沉积朵叶体,近垂直构造方向)有较大矛盾。

物源分析在确定沉积物物源位置、性质及沉积物搬运路径,乃至盆地的沉积作用和构造演化等方面都有一定价值^[4-5]。在油田开发阶段,有关储层展布规律的认识对注水开发、油田水淹风险预警及剩余油挖潜等具有重要意义。本文充分考虑了具右旋走滑性质的辽西一号边界大断层对沉积砂体发育和展布的影响,以构造转换带控制沉积的模式为理论指导,利用地质、地震数据,采用地震属性、重矿物组合及沉积相等综合分析方法,开展了旅大油田储层展布特征的研究,并认为储层展布方向为北东—北北东向。

2 旅大油田储层展布

2.1 构造转换带控制沉积

构造转换带是一类在构造变形中为保持区域上缩短量或伸展量守恒而产生的调节构造体系^[6-8],常发育在区域伸展构造背景下。它与油气关系十分密切:转换带可以形成有利于油气聚集的构造圈闭,也可将沉积区分隔为不同的洼陷并控制储集砂体的分布,为油气运移和聚集提供通道,从而使得构造转换带成为潜在的油气聚集区^[9-18]。

辽西一号断层是分割辽西凹陷与辽西低凸起的边界断层,作为郯庐断裂带的一分支,断层长期发育,新生界底面断距可达数千米,平面延伸超过100km;东营组沉积期,断层整体具有伸展—走滑双重活动性,其中,伸展活动具有明显的分段性,表现为南强北弱,形成了南低北高的古构造格局,并控制着两侧地层的沉积^[16,19],如图1b的地质剖面所示,辽西一号断层上盘古近系明显增厚,具有同沉积断层特征。

从研究区三维地震方差数据体切片(图3)看,辽西一号断层并非一条大而直的断层,而是由若干条雁列排布的弧形断层侧接而成(图3a),在相邻断层的侧接部位形成了构造转换带。旅大油田位于辽西一号断层的下降盘,它处在两条弧形断裂斜交侧接的部位,油田区发育一系列近东西向的派生调节断层(图3b)。

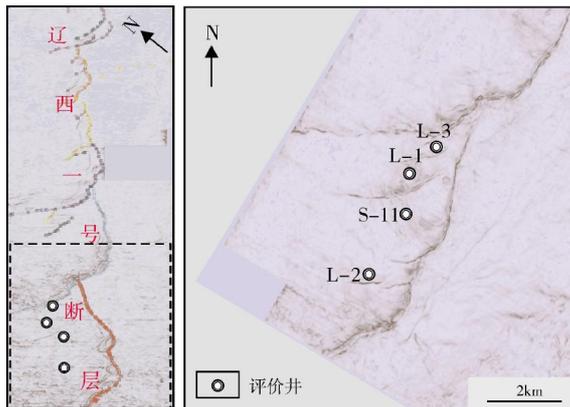


图3 旅大油田东营组二下段 I 油组构造方差切片

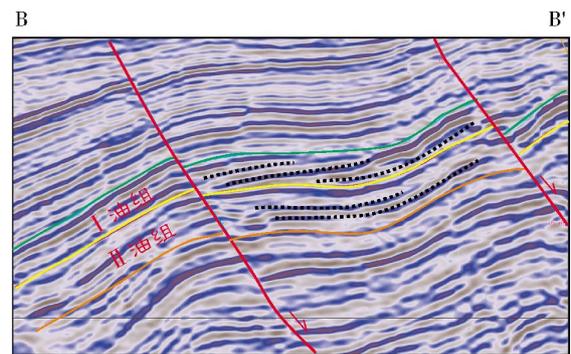
在断陷盆地中,断层活动的差异性造成了地势高差。构造转换带多趋近于低地势,它对物源供给、水系汇聚起引导作用^[19-20]。来自西北方向物源区的

水流可能受到近东西向调节断层的阻隔,转变为沿着辽西一号断层构造转换带相对较低的地形进入湖盆,所携带的碎屑物质卸载、堆积,三角洲前缘砂体的分布受到边界断层的控制。由此分析,与辽西一号断层相关的构造转换带应是旅大油田储层展布的主控因素,在转换带的控制和输送下,砂体呈北东—北北东方向展布。

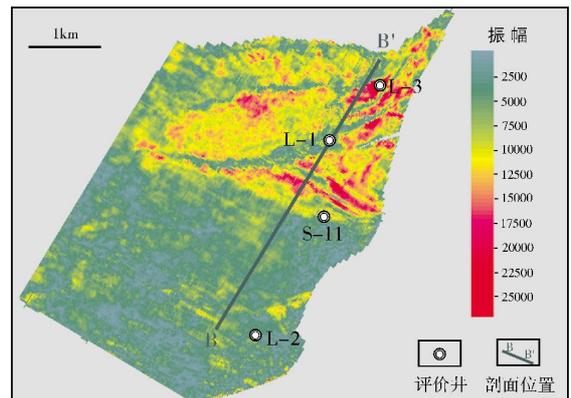
2.2 地震属性证据

三维地震剖面上,油田区东二下段 I 油组发育近南北向的前积反射结构(图4a),且横向分布较稳定,这支持了构造转换带控制沉积的分析。

沿 I 油组顶界提取均方根振幅属性(图4b),反映出砂体富集的强振幅区集中在油田北部 L-3 井—S-11 井一带,往西和往南振幅减弱。



(a) 前积反射结构(剖面位置见图(b))



(b) I 油组顶界均方根振幅平面图

图4 旅大油田东营组二下段 I 油组地震属性

2.3 重矿物证据

“物源方向”一词,应包含两层含义:“物源”一般强调沉积物的来源,而“方向”则强调古水流以及沉

积砂体的展布方向。沉积砂体展布方向受物源、构造、古地貌、A/S比值(A:可容纳空间,S:沉积物供给量)及断裂活性等多因素的综合影响,因此,在某种意义上,物源的方向与沉积砂体展布的方向并不一定完全一致。在诸多物源分析方法^[3,21]中,本文根据旅大油田的实际资料,开展了重矿物研究。

矿物之间具有严格的共生关系,重矿物组合是对物源变化极为敏感的指示剂;利用同一时期、不同

位置的重矿物种类和含量变化图,可推测物质来源的方向^[22-23]。辽西一号断层上盘4口井的东二下段I油组重矿物含量统计分析(图5)表明,自东北侧的L-1井至西南侧的C-1井,ZRT指数(锆石、金红石和电气石三种重矿物的组合在透明重矿物碎屑中所占的比例)逐渐增大,稳定矿物如锆石、白钛矿、电气石、石榴子石的含量逐渐增大,不稳定矿物如磁铁矿、角闪石、绿帘石的含量则逐渐降低。

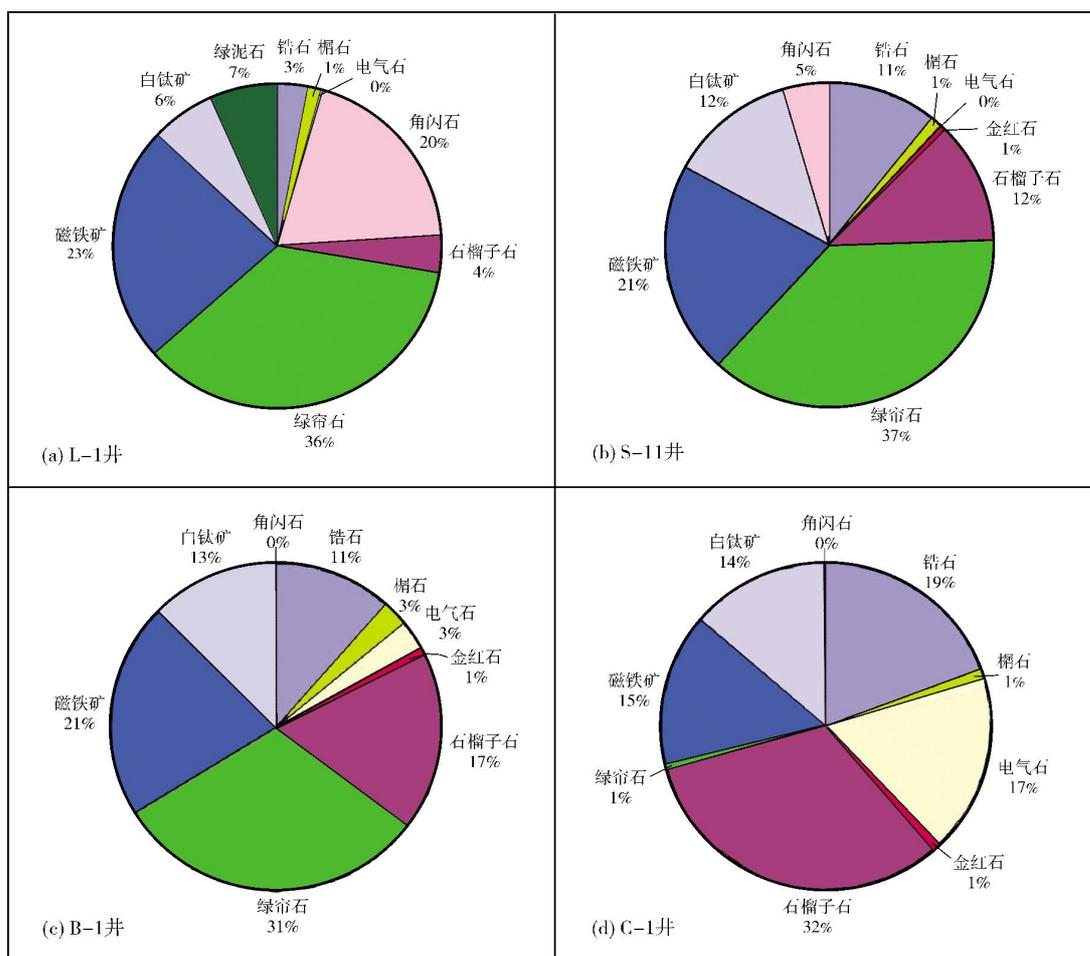


图5 辽西一号断层上盘东营组二下段I油组重矿物含量统计图
井位见图1a

从区域上来讲,盆地物源主要来自西北方向的燕山古隆起^[2],具体到旅大油田区,受辽西一号断层构造转换带的控制,东二下段的储层砂体则呈北东—北北东向展布。

2.4 储层展布特征

基于前述分析,本次研究在新增30余口调整

井资料的基础上,利用密井网及建模技术,重新编绘了旅大油田东二下段I油组沉积体系“四图”(图6)。由北至南,油田东二下段I油组主要采油区的L-3、L-1、S-11、L-2井砂岩百分含量依次为56%、62%、64%、67%(图6c)。在北高南低、东高西低的古地貌和辽西一号断层联合控制下,旅大油田储层砂体呈北东—北北东向分布。

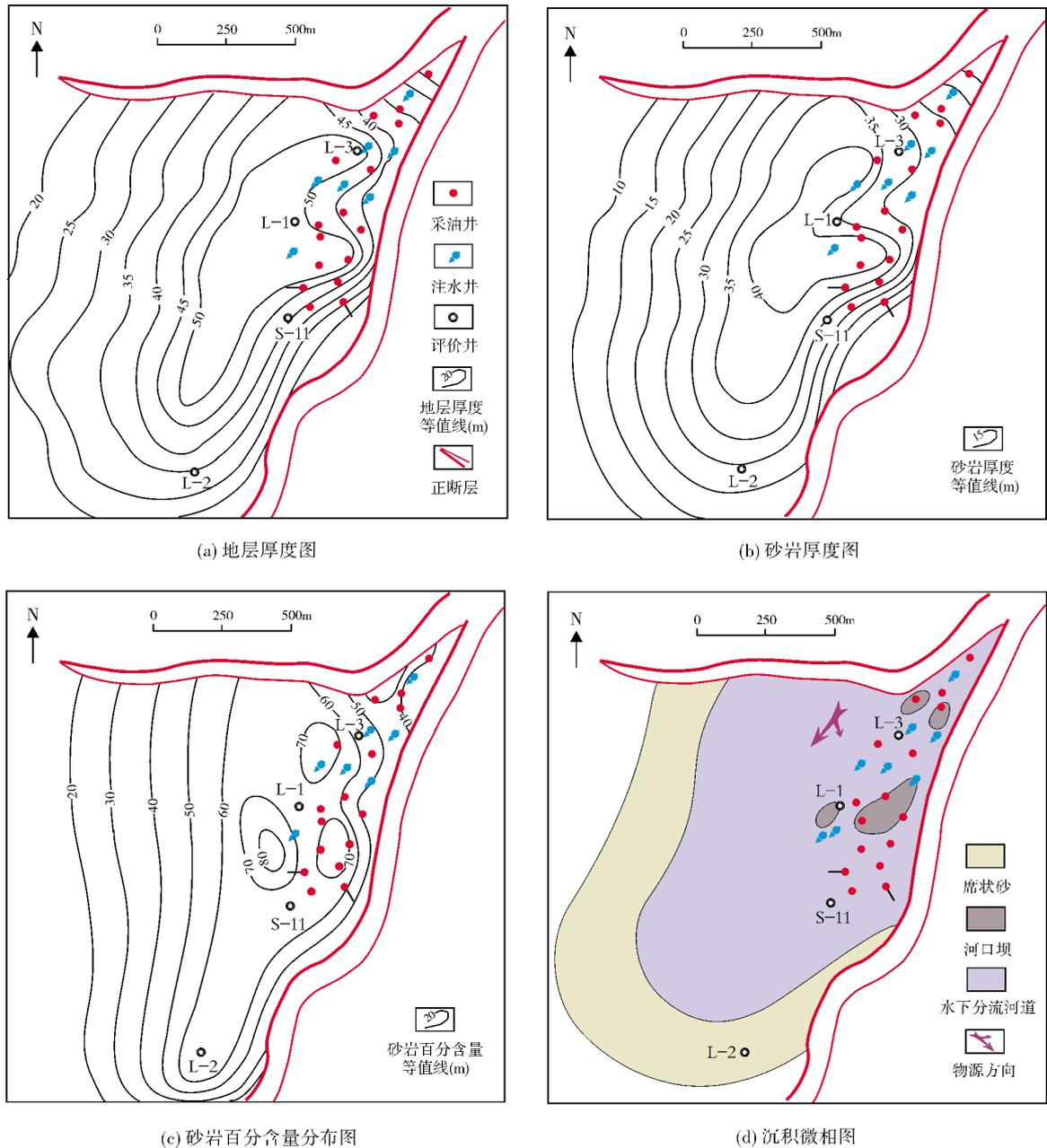


图6 旅大油田东营组二段下段 I 油组沉积体系平面图

3 油田开发效果

近年来旅大油田东二上段实施了多口调整井,较好地验证了油田储层展布特征的新认识,这对油田的调整挖潜、水淹规律分析研究等具有指导意义。

在油田西侧边部区域的东二上段 4 口新增调整

井(图 7)方案中,根据储层展布新认识,东二上段储层自东向西厚度有减薄趋势,据此,优化了调整井的靶点数据,有效规避了储层风险(调整井实钻的储层厚度与钻前预测基本吻合),因而确保了调整井的高产稳产,这也为油田后续的调整挖潜奠定了地质认识基础。

随着油田注水开发,储层的水淹风险日益加剧,

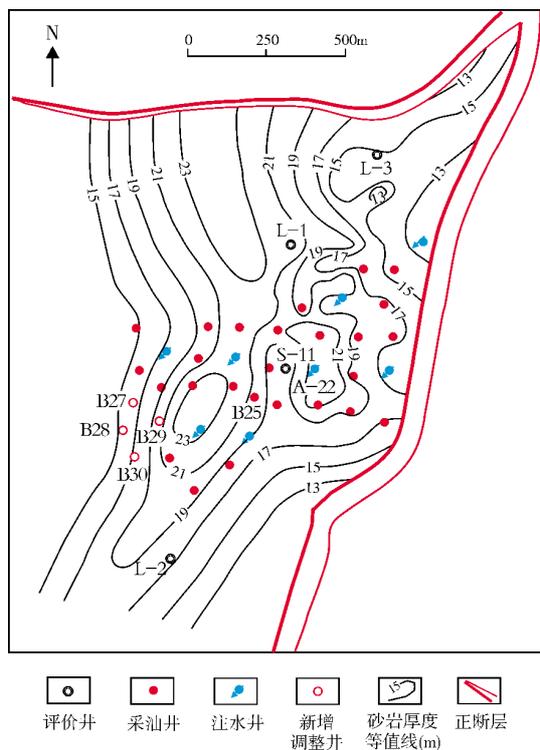


图7 旅大油田东营组二上段Ⅲ油组砂岩厚度图

例如,油田东二上段的一口调整井B25井(位置见图7)就钻遇了约9m的中强水淹层。若从B25井区周边的生产井情况来看,含水30%~45%、累产油量少、采出程度低、注水波及的范围有限,照理说,B25井区不应出现中强水淹程度的情况,但是,若依据油田储层呈北东—北北东向展布的特点,这一现象就能较好地解释了:

(1) 储层具有纵向非均质性,水淹段储层为水下分流河道微相沉积,砂体粒度分布具有下粗上细的正韵律特征,底部物性好、渗透率级差大,易于发生水突进。

(2) 据综合注水量、吸水剖面测试以及注采对应率等动态生产资料,B25井水淹层段主要受东北方向构造高部位的注水井A22井的影响,注入水沿对应层段砂体底部物性较好的“高渗条带”发生水窜。

(3) A22井至B25井的主流线方向与沉积砂体展布方向一致,顺古河道方向为发生水窜的优势方向,则优势方向上注采井网中的油井易于发生水淹。

以上分析是以储层展布特征的新认识为指导

的,在油田后续调整井的实施过程中,通过优化注采井网、射孔方案,并在投产初期保持了较高的产油量和较低的含水率,取得了较好的实际应用效果。

4 结 语

旅大油田的沉积物源主要来自西北方向的燕山隆起,受具有右旋走滑性质的辽西一号断层相关构造转换带的控制,油田储层呈近平行于辽西一号断层的北东—北北东向展布,表现出与物源方向的不一致。这一认识对本油田的储层精细描述、水淹规律分析等具有重要的指导意义,它在油田调整挖潜中取得了较好的应用效果。

参 考 文 献

- [1] 刘超,马奎前,陈剑,等. 旅大油田非均质性定量表征及开发调整[J]. 油气地质与采收率,2012,19(5):88-90.
- [2] 周守为,张凤久,孙福街. 中国近海典型油田开发实践[M]. 北京:石油工业出版社,2009:23-97.
- [3] 程日辉,王璞珺,刘万洙. 构造断阶对沉积的控制:来自地震、测井和露头的实例[J]. 沉积学报,2003,21(2):255-259.
- [4] 赵红格,刘池洋. 物源分析方法及研究进展[J]. 沉积学报,2003,21(3):409-415.
- [5] 魏然,李红阳,于斌,等. 沉积盆地物源体系分析方法及研究进展[J]. 岩性油气藏,2013,25(3):53-57.
- [6] 余一欣,周心怀,魏刚,等. 渤海湾地区构造变换带及油气意义[J]. 古地理学报,2008,10(5):555-560.
- [7] Dahlstrom C D A. Structural geology in the eastern margin of the Canadian Rocky Mountain[J]. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1970, 18(3): 332-406.
- [8] 张彤,李忠权,蒙启安,等. 构造变换带的识别及其在乌尔逊凹陷的应用[J]. 岩性油气藏,2010,22(4):52-56.
- [9] 周心怀,余一欣,魏刚,等. 渤海辽东湾海域JZ25-1S转换带与油气成藏的关系[J]. 石油学报,2008,29(6):837-840.
- [10] 胡望水,王燮培. 松辽盆地北部变换构造及其石油地质意义[J]. 石油与天然气地质,1994,15(2):164-172.
- [11] 朱秀香,吕修祥,王德英,等. 渤海海域黄河口凹陷走滑转换带对油气聚集的控制[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):476-482.
- [12] 王家豪,王华,肖敦清,等. 伸展构造体系中传递带的控砂作用——储层预测的新思路[J]. 石油与天然气地质,2008,29(1):19-25.
- [13] 王芝尧,苏俊青,钱茂路,等. 走滑断裂作用对油气成藏的控制——以歧口凹陷新生代断裂为例[J]. 岩性油气藏,2011,23(4):35-40.

- [14] 徐长贵, 赖维成, 薛永安, 等. 古地貌分析在渤海古近系储层预测中的应用[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 53-56.
- [15] 孙向阳, 任建业. 东营凹陷北带转换带构造与储集体分布[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(1): 21-23.
- [16] 徐长贵. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 365-371.
- [17] 范玲玲, 宋荣彩, 金文辉, 等. 鄂尔多斯盆地苏西 X 井区盒 8 段砂体发育模式研究[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(4): 29-33.
- [18] 刘池洋. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 113-124.
- [19] 杨明慧. 渤海湾盆地变换构造特征及其成藏意义[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 816-823.
- [20] 郭涛, 王军, 石文龙, 等. 辽西低凸起中南段古近系东营组层序地层及地层-岩性油气藏勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 248-255.
- [21] 赖维成, 宋章强, 周心怀, 等. “动态物源”控砂模式[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 763-768.
- [22] 鲍志东, 赵艳军, 祁利祺, 等. 构造转换带储集体发育的主控因素——以准噶尔盆地腹部侏罗系为例[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 867-877.
- [23] 刘宗堡, 贾钧捷, 赵森, 等. 大型凹陷源外斜坡区油运聚成藏模式——以松辽盆地长 10 地区扶余油层为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(1): 64-68.

编辑:董庸

Recognition of Orientation of Oligocene Reservoirs in Offshore Lüda Oil Field, Bo Hai, China

Liu Chao, Ma Kuiqian, Wu Donghao, Wang Teng

Abstract: The NE-NNE orienting pattern of injection-to-production wells is preponderant in practice in offshore Lüda Oil Field, Bo Hai. This orientation is discrepant with the past standpoint that the Oligocene Dongying sand-body reservoirs were regarded as NW-SE distribution. It is shown that the Fault Liaoxi-1 with dextral strike-slip is comprised of connecting arcuate faults so that the distribution of reservoirs is controlled by the structural transfer zone. This cognition is supported by seismic attributes and heavy minerals analysis. The plots of sedimentary system that are re-established by major oil formation groups have demonstrated the reservoirs with NE-NNE distribution in this oil field. This recognition is significant for reservoir elaboration, flood-out rule analysis and remaining-oil development.

Key words: Provenance; Structural transfer zone; Reservoir distribution; Bo Hai; Lüda Oil Field

Liu Chao; MSc., Petroleum Geology Engineer. Add: Bohai Petroleum Institute, Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin, 300452, China