

[引著格式] 邢杨, 何幼斌, 张鑫, 等. 惠民凹陷临盘油田大芦家东营组二段沉积特征及演化 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (7+8): 5~12.

惠民凹陷临盘油田大芦家东营组二段沉积特征及演化

邢杨, 何幼斌, 张鑫, 王宁 (长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100)

[摘要] 惠民凹陷临盘油田大芦家东营组二段 (Ed_2) 为砂泥岩频繁互层。该油田已进入中后期开发阶段, 层间矛盾逐渐突出, 开发难度也不断加大, 其中主要问题是对沉积微相和对应砂体类型及其分布规律的认识有待进一步深化。在岩心观察、镜下薄片鉴定和测井资料分析的基础上, 结合区域地质背景和已有研究成果, 通过岩石颜色、岩石结构及粒度分析特征等相标志的综合分析, 共识别出三角洲前缘、前三角洲和浅湖 3 种沉积亚相并细分为 8 种沉积微相类型, 描述了各小层沉积微相砂体的特征, 阐明沉积微相的分布特征并探讨其演化规律。随着沉积物供给变化和湖平面升降综合作用影响, 三角洲从北西向南东持续推进或者收缩, 纵向上识别出 3 个中期基准面旋回, 对应于 1 次湖退和 2 次湖进过程。由于三角洲前缘砂体发育且砂体横向变化小、连续性较好, 可形成较大规模的地层岩性圈闭。

[关键词] 大芦家; 东营组二段; 三角洲相; 湖泊相; 沉积特征

[中图分类号] TE121.3 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 07+08-0005-08

大芦家地区是临盘油田的主要产油区, 其中东营组二段 (Ed_2) 是该区块的主力含油层位, 现已进入中后期开发阶段。随着开采和注水程度的不断提升, 层间矛盾逐渐突出, 随之开发难度也不断加大, 其中主要问题是对储集砂体类型和分布规律的认识有待深化。前人曾对研究区沉积、构造、储层、油气成藏等方面, 开展了一系列的研究工作^[1~8]。从研究成果可知, 研究区 Ed_2 物源主要来自于西北部或北部, 主要发育湖相河控型三角洲体系。过去的研究多集中在研究区北部, 并未对南部做系统的研究, 也未以小层作为最小研究单元对沉积微相做精细划分, 从而导致砂体的平面和剖面分布规律认识不清。针对以上问题, 应先确定研究区 Ed_2 各砂层组内沉积微相类型, 其次明确砂体的平面展布和纵向分布规律, 为下一步油田后期开发方案提供一定的地质依据。

1 区域地质概况

大芦家地区构造位置位于惠民凹陷中央隆起带临邑大断层的下降盘, 受临邑断层牵引作用的控制, 该地区属于典型的逆牵引背斜构造^[1~7], 东北部紧邻临十、临十三断块区, 西与盘河断块区相连, 南与临南洼陷相隔, 北隔滋镇洼陷与埕宁隆起相望, 研究区面积约为 27.28km² (图 1)。研究区古近纪地层发育较完整, 从老到新发育孔店组、沙河街组和东营组 (Ed), 其中 Ed 自上向下分为东营组一段和 Ed_2 。 Ed_2 为深灰色泥岩与灰色、灰白色粉砂岩互层, 厚度为 230m 左右。根据小层对比结果, 该段可分为 3 个砂组, 共 35 个小层。

2 沉积相标志

相标志是判别沉积相最直接的研究手段, 一般包括岩性标志、古生物学标和地球化学标志等^[9~10]。由于资料原因, 笔者选取岩石颜色、岩石结构和粒度分析进行说明 (图 2)。

[收稿日期] 2015-05-20

[作者简介] 邢杨 (1991-), 男, 硕士生, 从事储层地质学的学习研究工作; 通信作者: 何幼斌, heyb122@163.com。

以方解石为主，体积分数一般为 15%~30%；颗粒主要为点-线接触，胶结类型以孔隙式为主，其次是接触式；杂基以泥质为主，体积分数一般为 5%~10%。上述特征说明，Ed₂ 储层砂岩结构成熟度中等-偏差，反映沉积物沉积时所处于中等强度水动力条件，这是三角洲沉积常见的特征之一^[5,11~16]。

2.3 粒度分析

根据 L34-2 井的筛析资料，绘制了研究区 Ed₂ 砂岩的典型粒度概率累计曲线图（图 3），曲线共分 3 类：

1) 两段式曲线 由低斜率的跳跃总体和悬浮总体组成，跳跃总体体积分数为 35%~45%；悬浮总体体积分数 55%~65%，分选较差，与跳跃总体交截点 ϕ 为 4 左右（图 3（a））。该类曲线显著特点是悬浮总体含量高，代表河流作用大于波浪综合作用。

2) 三段式曲线 该类曲线以跳跃总体和悬浮总体为主，且跳跃总体分选较好，跳跃总体由于受河流和湖泊双重作用，导致沉积物粒度大小和分选性不同而分为 2 段；悬浮总体体积分数在 20%左右，与跳跃总体交截点 ϕ 为 3~3.5（图 3（b））。

3) 多段式曲线 可看作由 2 段跳跃总体与 1 段悬浮总体组成，跳跃总体体积分数为 30%~40%，悬浮总体含量较高，跳跃总体与悬浮总体交截点 ϕ 为 3.5~4（图 3（c））。分流河道携砂体向湖盆中央推进时，由于湖水的强烈顶托作用，水流能量和湍动性呈现动荡性特点，造成颗粒搬运方式复杂多变，可能会造成跳跃总体分化出多个次总体，跳跃总体一般含有多个斜率不等的次总体，这反映了水流的牵引流特点^[17~19]，以上特征均属于三角洲前缘沉积的典型粒度特征。

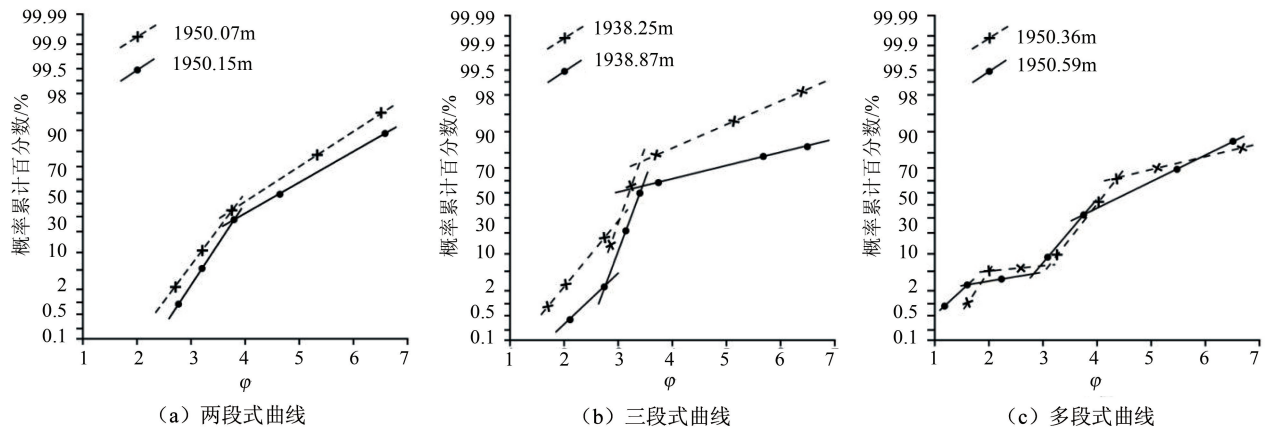


图 3 临盘油田大芦家 L34-2 井 Ed₂ 粒度概率累计曲线

3 沉积相类型及特征

通过 3 口取心井的岩心观察描述，综合 2 口井的测井、录井和室内分析化验资料，结合观察到的沉积构造等相标志，对研究区 Ed₂ 进行了沉积相研究。综合分析认为，研究区 Ed₂ 属于三角洲-湖泊沉积体系。其判断依据为：①Ed₂ 岩心原生色整体偏深，反映当时弱氧化-还原的浅水环境；②Ed₂ 岩心主要发育受河流作用影响的沉积构造，发育少量波浪作用影响和改造的层理，说明沉积物受波浪冲洗作用较弱；③岩心观察配合测井曲线特征，从底部到顶部观察到多次的三角洲进积沉积序列，多期岩性以泥岩开始向上粒度逐渐变粗，表现为反韵律特征；④结合区域地质背景，研究区 Ed₂ 沉积时期，地壳不断抬升，水体变浅，水域收缩，洼陷地形渐近平缓，河流携带沉积物从北部的中央隆起带系而来，向湖盆中央不断推进。在上述分析基础上，将研究区 Ed₂ 沉积体系划分为三角洲前缘、前三三角洲和浅湖 3 种亚相、8 种微相类型。

3.1 三角洲前缘亚相

研究区 Ed₂ 三角洲前缘亚相通过现有资料综合分析，可细分为水下分流河道、河口砂坝、远砂坝、席状砂和支流间湾 5 个沉积微相（图 4）。

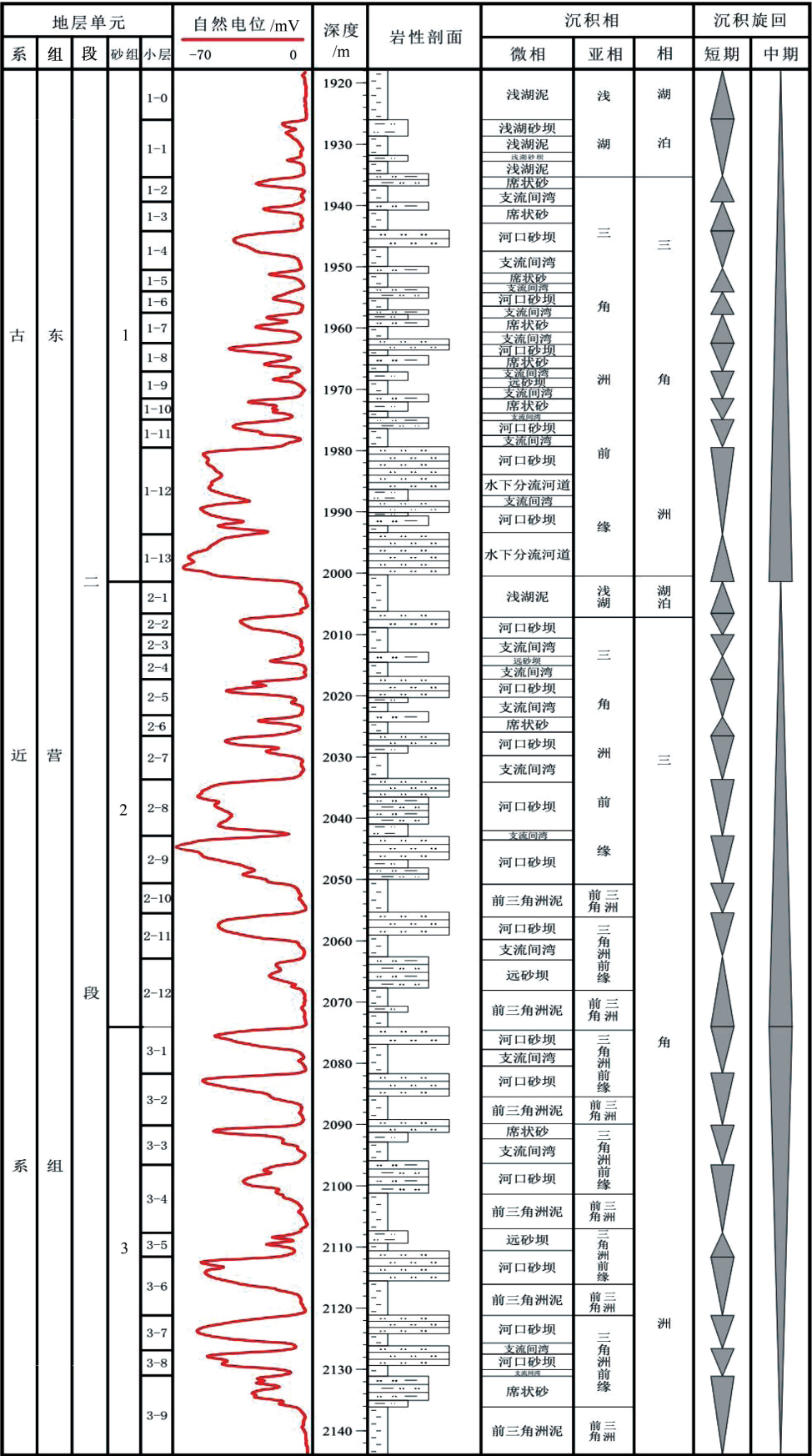


图 4 大芦家 L50 井 Ed₂ 垂相沉积序列

1) 水下分流河道微相 沉积物由浅灰色、灰绿色细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩组成。垂向上表现为向上变细的正旋回,砂岩中发育有槽状交错层理、平行层理、波状层理,夹泥质条带,有时因强水流条件在水下分流河道沉积底部出现泥砾,多呈长条形,反映水流突然增强,对下伏泥质沉积物进行冲刷作用。粒度概率曲线为两段式、三段式,滚动总体较发育。单个沉积序列厚度变化于 4~10m 之间。砂体多以单一透镜体存在,纵向上也可由多层砂岩透镜体相互叠加形成厚度达 10m 以上的砂体。在自然电位曲线上表现为高幅钟形、箱形或钟形-箱形复合型。

2) 河口砂坝微相 河口砂坝在各个小层中均有发育。主要为灰色、灰白色细砂岩、粉砂岩为主,顶部常见灰色致密薄层灰质砂岩。层内发育沙纹层理、平行层理和波状层理,偶见少量植物屑和炭屑,局部见冲刷面和爬升波纹层理,形成于中等水动力条件。粒度概率累积曲线为两段式或三段式,由跳跃和悬浮总体组成,反映出河口砂坝在向上加积的过程中水动力条件不断增强的特征,有时跳跃总体又分为 2 段,是河流与湖泊同时作用的结果^[20~24]。在垂向上,具有典型的下细上粗反旋回特征。单个沉积序列厚度一般为 3~10m。自然电位曲线表现为中-高幅的(微齿化)漏斗形。

3) 远砂坝微相 分布范围较为局限,仅发育在某些小层,多分布于南部、西南部,以不明显的反粒序为特征。岩性主要为灰色、灰褐色泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,单砂体厚度为 2~5m。常见平行层理和沙纹层理,局部可见流水波痕构造。细粒沉积物中可见植物炭屑。远砂坝沉积粒度特征与河口砂坝的区别在于悬浮总体较多,分选较差,说明河流和湖泊综合作用的水体能量与河口区相比较弱。自然电位曲线上呈低幅-中幅指状或者低幅漏斗形。

4) 席状砂微相 分布比较广泛,基本上各小层都较发育。岩石类型以灰色泥质粉砂岩为主。纵向上,可见连续性较好的薄层砂岩与泥岩互层,可见不同规模透镜体。发育有平行层理和波状层理。砂体受河流和湖泊综合作用,分选和磨圆较好,厚度较薄,一般小于 3m。自然电位曲线表现为低幅-中幅的指形。

5) 支流间湾微相 属于低能沉积环境,岩性为深灰色泥岩或粉砂质泥岩,偶见薄层砂质条带。研究区支流间湾发育少量的水平层理,局部可见植物屑和炭屑,反映较安静的低能环境。自然电位曲线特征表现为较平滑泥岩基线,有时因沉积物颗粒不纯而成微齿化。

3.2 前三角洲亚相

前三角洲亚相发育前三角洲泥微相,主要由深色细粒泥质沉积物组成,有时夹有薄层状的砂质条带,局部可以观察到植物屑、炭屑和少量介形虫化石。自然电位曲线上体现为略带微齿化的泥岩基线。

3.3 浅湖亚相

1) 浅湖砂坝 仅发育在各砂组顶、底部的浅湖泥沉积中。岩性主要为灰白色粉砂岩、泥质粉砂岩,发育平行层理和小型浪成波痕等,在泥质粉砂岩中观察到壳类化石。砂体厚度变化较大,一般在 2~4m。自然电位曲线表现为低幅-中幅的漏斗形或者指形。

2) 浅湖泥 发育在前三角洲泥外围向湖盆方向,岩石类型主要为泥岩,局部发育少量灰质泥岩和泥质白云岩,以薄层夹层形式出现。泥岩中发育水平层理,含有大量的介形虫化石。自然电位曲线特征与前三角洲泥微相测井响应特征相似,主要以平面展布特征区分。

4 沉积相展布与演化

在了解区域地质背景的基础上,根据以上特征,结合地层厚度等值线图、砂地比等值线图,利用“优势相原则”^[25],以小层为基本单位,绘制了研究区 Ed₂ 的 3 个砂组的沉积相平面展布图(图 5)。

1) 3 砂组沉积时期 该期研究区发育三角洲前缘亚相(图 5(a)、(b)),主要发育水下分流河道、河口砂坝、远砂坝、席状砂、支流间湾和浅湖泥微相。从 9 小层到 5 小层,水下分流河道规模逐渐减小,河口砂坝沉积面积逐渐增大,席状砂沉积相应减小,远砂坝分布面积较小,一般孤立发育在研究区南部,多呈椭圆状或者条带状,较厚砂体发育在区内西北部,向南有变薄的趋势;4~1 小层,砂体沉积厚度逐渐增大,规模也扩大,连续性较好,平面上展现出向三角洲前缘向东南部逐渐推进的趋势。

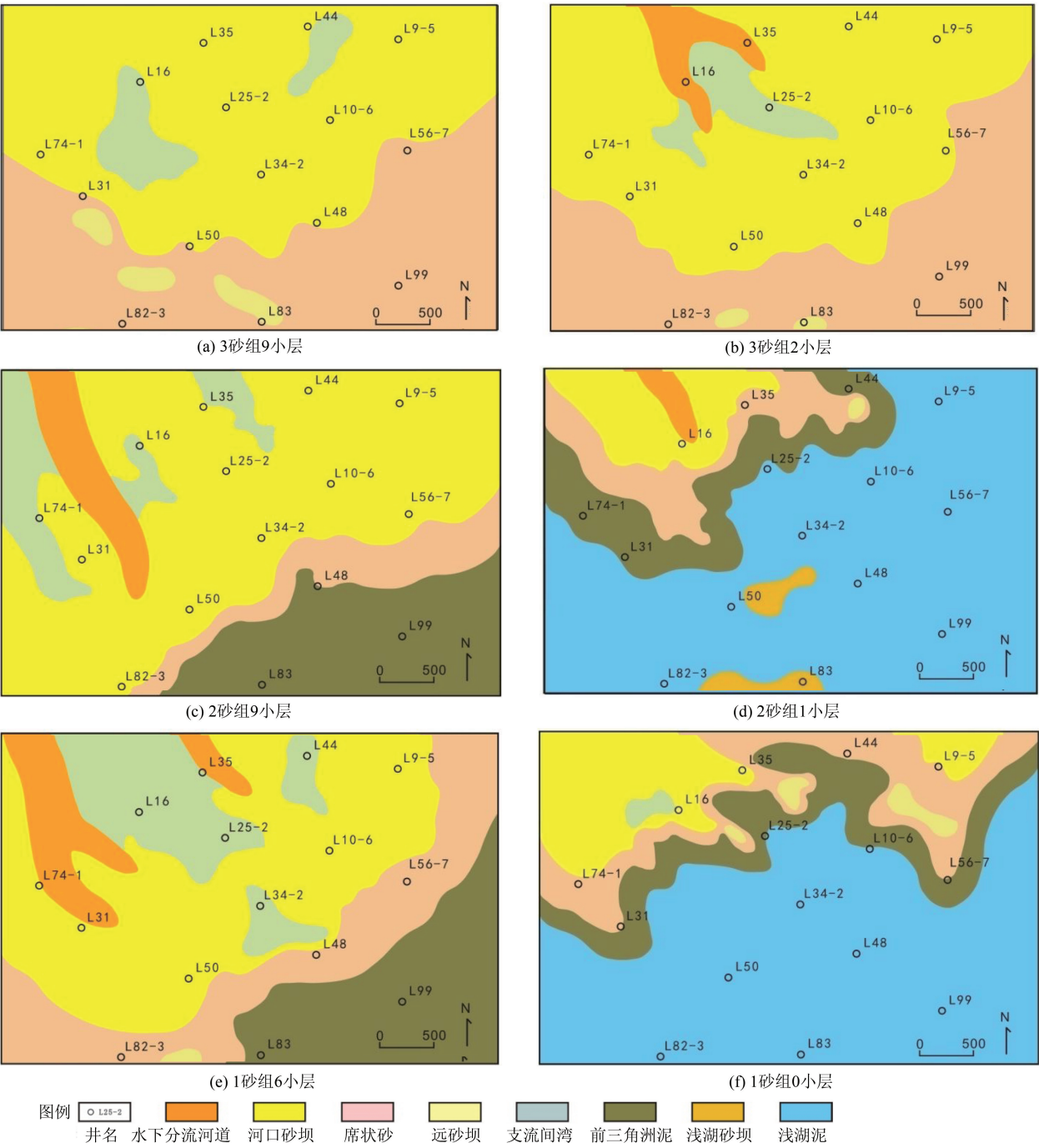


图 5 大芦家地区东二段沉积微相展布图

9~1 小层总体表现出了湖盆水体相对变浅的湖退沉积环境，局部有短期的湖水动荡过程。

2) 2 砂组沉积时期 研究区主体为三角洲前缘亚相沉积，前三角洲和浅湖亚相次之（图 5（c）、（d））。与 3 砂组相比，各小层微相平面展布变化不大，亦有显著的继承性，主要特征为：三角洲前缘砂体主要为河口砂坝，其次是席状砂和水下分流河道，远砂坝分布面积较小，一般零星发育在研究区南部或者东南角，在水下分流河道周围的低洼处常发育支流间湾沉积，在 2 砂组沉积晚期，前三角洲泥和浅湖泥微相较为发育，砂体主要发育在研究区北部，向东南砂体厚度逐渐减薄，研究区东南部常发育有孤立的浅湖砂坝沉积。该期三角洲规模有减小的趋势，浅湖亚相面积相对增大，反映水体不断加深的湖进沉积过程。

3) 1 砂组沉积时期 该砂组各小层三角洲前缘亚相对于 2 砂组、3 砂组更为发育, 多占据了整个工区, 且继承性较好(图 5 (e)、(f))。微相发育有水下分流河道、河口砂坝、席状砂、远砂坝和浅湖砂坝, 砂体主要发育于研究区北部、西北部, 向南有减薄之势。该时期因为湖盆水深和物源供给的变化, 导致 1 砂组 13~1 小层经历了一次大型湖进。

综上, 研究区 Ed₂ 沉积时期, 三角洲携带物源从西北部向东南部不断推进或收缩, 经历了 1 次湖退和 2 次湖进过程, 3 砂组对应一次三角洲进积的湖退演化过程, 2 砂组和 1 砂组对应 2 次三角洲退积的湖进演化过程。综合剖面相分析认为沉积微相与砂体的对应关系在时间和空间上的展布是同步的。

5 沉积相模式

根据以上特征, 再综合考虑区域地质背景, 结合前人研究^[4,26~31], 建立了惠民凹陷临盘油田大芦家 Ed₂ 的沉积模式图(图 6)。沉积体系为三角洲-湖泊沉积, 主要发育三角洲前缘亚相、前三角洲亚相以及浅湖亚相, 物源方向主要来自大芦家北部、西北部(图 6 (a))。研究区水下分流河道从西北部进入, 前端形成分流河道, 河口砂坝发育在河道前端周围, 远砂坝孤立分布在河口砂坝较远地带, 并与河口砂坝共同经过湖浪改造作用, 形成大面积包裹在河口砂坝周围的席状砂, 支流间湾分布在分流河道附近的凹陷区域, 浅湖砂坝孤立发育在浅湖靠近陆附近。水下分流河道在单层中砂体最厚, 呈透镜状, 河口砂坝分布最为广泛, 席状砂单层厚度相对较薄, 与河口砂坝在横向上的连续性较好, 远砂坝和浅湖砂坝多为椭圆形单砂体(图 6 (b))。

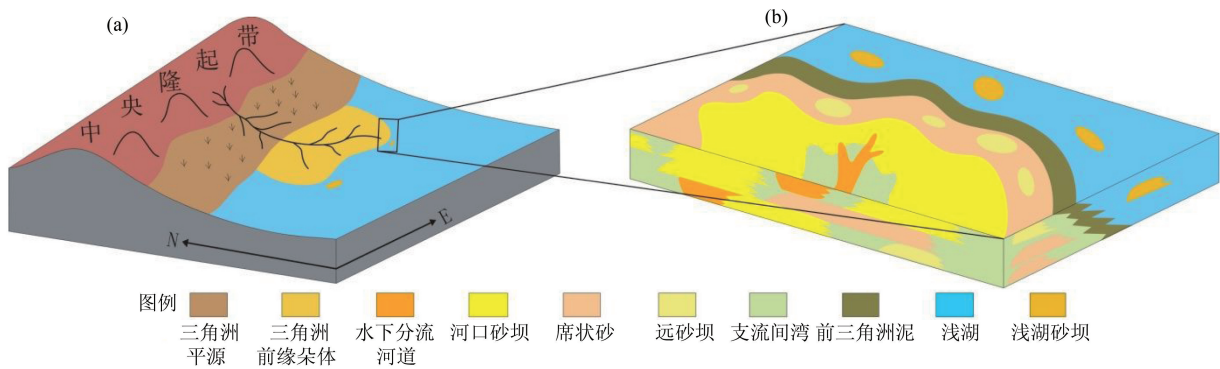


图 6 大芦家地区 Ed₂ 沉积模式图

6 结论

1) 临盘油田大芦家 Ed₂ 储层岩石类型主要为长石质石英细砂岩和岩屑质石英粉砂岩, 砂岩成分成熟度中等, 结构成熟度中等-较差, 粒度分析表明碎屑颗粒主要以牵引流沉积为主, 表明沉积物沉积时受河流和湖泊双重作用影响, 其中河流起主要作用。

2) 研究区 Ed₂ 沉积环境为三角洲-湖泊沉积体系, 包括发育三角洲前缘、前三角洲、浅湖 3 种亚相, 进一步可细分为水下分流河道、河口砂坝、远砂坝、席状砂、支流间湾、前三角洲泥、浅湖泥和浅湖砂坝 8 种微相。其中水下分流河道和河口砂坝对应砂体厚度大, 粒度较粗, 储层物性好, 属于储层研究的有利相带区, 远砂坝和席状砂次之。

3) 在单井和连井剖面上, 研究区 Ed₂ 以河口砂坝与支流间湾和前三角洲泥相互叠置为主要特征。各小层平面展布上规模和方向有所变化, 但具有较好的继承性, 垂向上, 砂体横向变化不大、连续性较好, 纵向上各砂组顶部均发育厚层泥岩, 具有良好的区域盖层条件。因此, 可形成条件较好的地层岩性圈闭。

[参考文献]

- [1] 王淑玲. 大芦家一田家地区东二段油气成藏主控因素分析 [J]. 胜利油田职工大学学报, 2004, 18 (2): 11~12, 62.
- [2] 国庆鹏, 金振奎, 曹志军. 济阳拗陷大芦家区块薄储集层预测研究 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 35 (5): 82~85.
- [3] 邱隆伟, 姜在兴, 操应长. 惠民凹陷临盘油田沙二下亚段储层成岩演化 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 1997, 21 (4): 6~8.
- [4] 马士忠. 惠民凹陷古近纪构造与沉积演化及油气成藏模式 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2007.
- [5] 范立勇, 夏斌, 陈永红, 曹海防. 惠民凹陷大芦家断块东营组油气成藏控制因素研究 [J]. 天然气地球科学, 2007, 16 (3): 403~407.
- [6] 姜在兴, 操应长. 砂体层序地层学及沉积学研究 [M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [7] 何瑞武. 临南洼陷构造、沉积演化及油气成藏研究 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2005.
- [8] Fielding C R, Ashworth P J, Best J L, et al. Tributary, distributary and other fluvial patterns: What really represents the norm in the continental rock record? [J]. Sedimentary Geology, 2012, 261: 15~32.
- [9] Trendell A M, Atchley S C, Nordt L C. Facies Analysis of A Probable Large-Fluvial-Fan Depositional System: The Upper Triassic Chinle Formation At Petrified Forest National Park, Arizona, U. S. A [J]. Journal of Sedimentary Research, 2013, 83 (10): 873~895.
- [10] Weissmann G S, Hartley A J, Nichols G J, et al. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems [J]. Geology, 2010, 38 (1): 39~42.
- [11] 张莉, 钟大康, 朱筱敏. 惠民凹陷古近系碎屑岩储层性质主控因素简析 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4): 158~165.
- [12] 《沉积构造与环境解释》编著组. 沉积构造与环境解释 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [13] 李尊芝, 杨志军, 王思文, 等. 商河油田储层特征及同沉积断层对其影响作用 [J]. 高校地质学报, 2010, 16 (4): 539~546.
- [14] Speneer D W. The interpretation of grain-size distribution curves of clastic sediments [J]. Jour. Sed. Petrology, 1963, 33: 180~190.
- [15] Klován J E. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions [J]. Jour. Sed. Petrology, 1966, 36: 115~125.
- [16] Christopher R F, Philip J A, James L B. Tributary, distributary and other fluvial patterns: What really represents the norm in the continental rock record [J]. Sedimentary Geology, 2012, 10: 15~32.
- [17] 郑杰文. 现代黄河三角洲沉积物波浪动力响应过程对其再悬浮控制作用研究 [D]. 北京: 中国海洋大学, 2013.
- [18] 程超, 胡望水, 秦刚, 等. 精细油藏描述中的沉积微相研究——以吉林油田大 208 区黑帝庙油层为例 [J]. 石油地质与工程, 2009, 23 (2): 26~28.
- [19] 何幼斌, 王文广. 沉积岩与沉积相 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [20] 宋子齐, 潘艇, 程英, 等. 利用测井曲线研究沉积微相及其含油有利区展布 [J]. 中国石油勘探, 2007, 12 (4): 37~41.
- [21] 杨延强, 吴胜和, 岳大力, 等. 长期基准面旋回内河口坝构型的演化规律——以胜坨油田坨 7 断块沙二段下油组为例 [J]. 沉积学报, 2015, 33 (2): 326~336.
- [22] 毕义泉. 山东尚南断块古近系东营组沉积相及其古地理 [J]. 古地理学报, 2002, 4 (3): 19~25.
- [23] 李建平, 杨波, 周心怀, 等. 渤中凹陷东营组层序地层及其沉积相分析 [J]. 东北石油大学学报 (自然科学版), 2012, 36 (4): 1~10.
- [24] 张春明. 山东惠民凹陷临南地区古近系沙三下亚段沉积相与储集性能研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2012.
- [25] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 河口坝砂体构型精细解剖 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32 (5): 42~46.
- [26] 石富伦. 基于沉积模拟的辫状河三角洲河口坝原型模型建立 [D]. 荆州: 长江大学, 2013.
- [27] 王国光. 惠民凹陷西部古近系沙三段物源特征与沉积体系分布研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- [28] 丁海军. 济阳拗陷下第三系湖相层序地层学研究 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2005.
- [29] 徐周. 济阳拗陷古近系泥页岩含油性与其构造、沉积、沉降的关系 [D]. 西安: 西北大学, 2013.
- [30] 欧成华, 陈景山. 大芦家地区渐新统东二₁亚段三角洲前缘砂体微相及储集性研究 [J]. 沉积学报, 1998, 4 (4): 85~90.
- [31] 于兴河, 姜辉, 李胜利, 等. 中国东部中、新生代陆相断陷盆地沉积充填模式及其控制因素——以济阳拗陷东营凹陷为例 [J]. 岩性油气藏, 2007, 1 (1): 39~45.

[编辑] 邓磊