

文章编号: 1009-3850(2007)01-0079-07

扇三角洲高精度层序地层及其与油气聚集关系 ——以东营凹陷胜北断层下降盘坨 76 块为例

梁书义^{1,5}, 赵俊青², 姜在兴³, 夏 斌², 纪友亮⁴, 张善文⁵

(1. 石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中海石油研究中心, 北京 100027; 3. 中国地质大学 能源学院, 北京 100083; 4. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092; 5. 中石化胜利油田有限公司, 山东 东营 257015)

摘要: 本文通过地质、地震、测井等资料, 对东营凹陷胜北断层下降盘坨 76 块沙四上亚段扇三角洲沉积体层序地层单元进行了精确划分对比, 将其划分为 4 个准层序、18 个层组和 29 个单层。在扇三角洲沉积体系中, 准层序及层组边界在地层记录中的表现形式随地理位置而变化; 在完全由一种相构成的准层序、层组基准面旋回中, 孔隙度和渗透率是 A/S 值变化的函数, 在准层序及层组内部随 A/S 的变化, 储层物性及其含油饱和度呈现一定的变化规律。

关键词: 东营; 古近系; 沙河街组; 扇三角洲; 层序地层; 油气; 山东

中图分类号: P539.2

文献标识码: A

近年来, 在含油气盆地分析中, 层序地层学从盆地规模的地震地层学不断向储层规模的高精度层序地层和储集体分布预测的方向深化, 以满足减小隐蔽油气藏的勘探风险、优选开发方案及剩余油分布预测等的需要^[1,2]。高精度层序地层学的应用, 为精细的地层对比、沉积相和储层特征研究、储层三维预测及流动单元等的研究提供了有效的分析方法和预测工具, 并取得了显著效果^[3~7]。

对于扇三角洲沉积体系而言, 通过测井方法可以识别的高精度层序地层单元划分为准层序组、准层序、层组、层 4 级。国内外大量的扇三角洲研究统计显示^[6~18], 对于一个扇三角洲沉积体来讲其形成和发育的时间大致相当于一个准层序组形成和发育的时间, 因此在对扇三角洲沉积体的高精度层序地层研究中, 其内部更高精度的层序地层单元划分对

比应当是准层序、层组甚至是层的划分和对比^[19]。本文主要针对扇三角沉积体系中最基本的准层序和层组两级高精度层序地层单元的发育特征及其与油气汇聚的关系进行了研究。

1 区域概况

坨 76 断块位于山东省东营市胜坨乡胜利村, 构造位置位于胜坨油田三区与二区结合部的深层, 胜北大断层以南的下降盘, 构造比较简单, 为一高点在坨 76 井附近的穹隆背斜; 胜北大断层为其北边界, 东、西方向为洼陷, 南以鞍部与中央隆起带连接(图 1)。受胜北大断层影响, 地层倾角南缓北陡, 北翼地层倾角 18.4° , 南翼地层倾角为 7.59° 。古近系沙河街组四段油藏为一具滚动背斜形态的构造岩性油藏。1997 年通过三维地震解释发现了坨 76 断块沙

收稿日期: 2006-08-15

第一作者简介: 梁书义, 1973 年生, 博士研究生, 主要从事沉积学、石油地质及层序地层学方面的研究。

资助项目: 国家十五科技攻关项目“济阳拗陷下第三系隐蔽油气藏形成机理研究(2001BA60509)”; 国家重点基础研究发展规划项目“渤海湾盆地中生代地层剥蚀量恢复及中、新生代盆地叠合关系探讨(G1999043304)”。

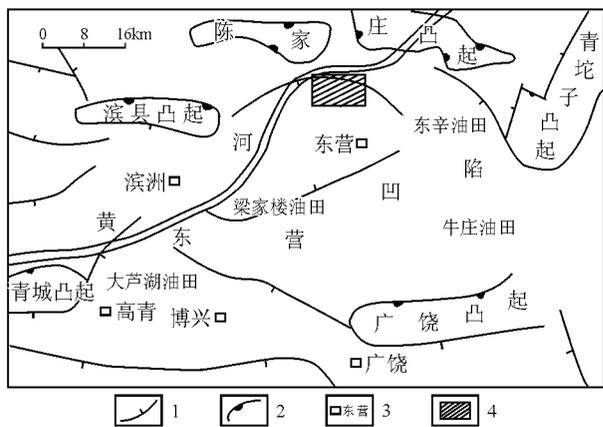


图1 研究区位置图

1. 断层; 2. 剥蚀线 3. 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

1= fault; 2= plane of denudation; 3= study area

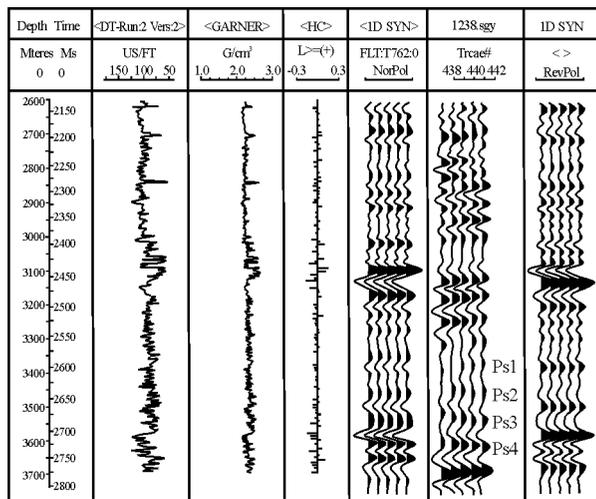


图2 T762井层位标定图

Fig. 2 Horizon standardization of the T762 well

四段扇三角洲砂砾岩体, 砂体顶面呈背斜形态, 顶面埋深约3300m。

2 层序地层单元的划分对比

由于该区沙四段砂砾岩体岩性复杂、测井曲线多变、特征不明显、规律性差, 而且缺乏标准层和标志层等原因, 因此造成地层的划分和对比困难较大。为此笔者充分利用岩性和电性资料, 结合沉积旋回特征进行对比, 对比所选用的测井曲线依然是砂泥岩测井系列, 以自然电位、视电阻率和感应曲线为主, 辅以微电极。同时还选取了7条过井三维地震剖面在声波合成地震记录分析的基础上帮助确定和追踪整个砂体的展布和延伸特征。本次研究对T76、T761、T762、T76-3和T732井进行了合成地震记录分析, 合成地震记录与地震剖面对应关系较好(图2、图3)。

依据上述划分对比的方法, 坨76块沙四上亚段扇三角洲沉积体共划分为4个准层序(由上而下为PS I、PS II、PS III、PS IV)、18个层组、29个单层。

3 层序地层单元特征

3.1 层组特征

通过对坨76块4个准层序的层组划分和对比发现, 在扇三角洲沉积体系的不同相域层组界面特征的具体表现形式亦不同: 在扇三角洲前缘大部分地区层组边界为10cm厚的暗色泥岩; 在水下分流河道部位层组边界为含砾的小型侵蚀冲刷面; 前扇三角洲前缘部位层组边界为无沉积面。同时, 每一个层组下部湖泛泥岩沉积单元厚度一般在2~5m左

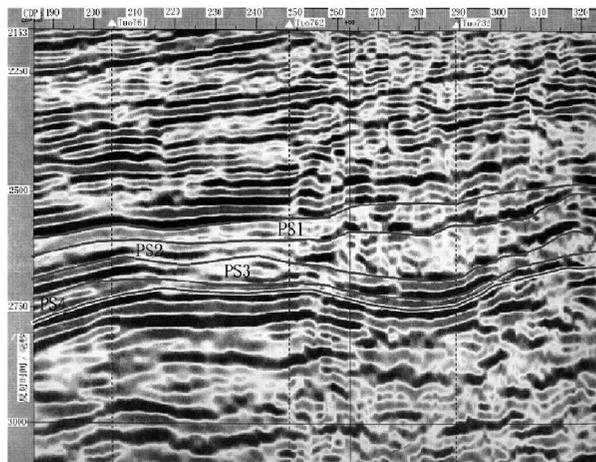


图3 过T761-T762井三维地震解释图

Fig. 3 3-D seismic interpretation for the T761 and T762 wells

右。但是在水下分流河道的叠置部位, 由于水下分流河道的下切作用使得湖泛泥岩厚度减薄或为一侵蚀冲刷面所替代(图4—图6)。

3.2 准层序特征

对坨76块扇三角洲沉积体的4个准层序的划分对比情况来看, 在扇三角洲沉积体系中准层序边界在地层记录中的表现形式随地理位置而变化: 在扇三角洲平原地区, 浅水沉积物直接覆于较深水沉积物之上, 在准层序界面上通常可见弱的侵蚀冲刷现象; 在扇三角洲前缘地区, 准层序界面位于向上变深的相序或相组合向水体逐渐变浅的相序或相组合的转化处, 界面上下的岩石物理相为连续过渡型; 在前扇三角洲相域准层序界面表现为无沉积作用面。此外, 当层序界面与准层序界面重合时, 界面两侧岩石记录通常以相突变和界面下部的侵蚀冲刷为

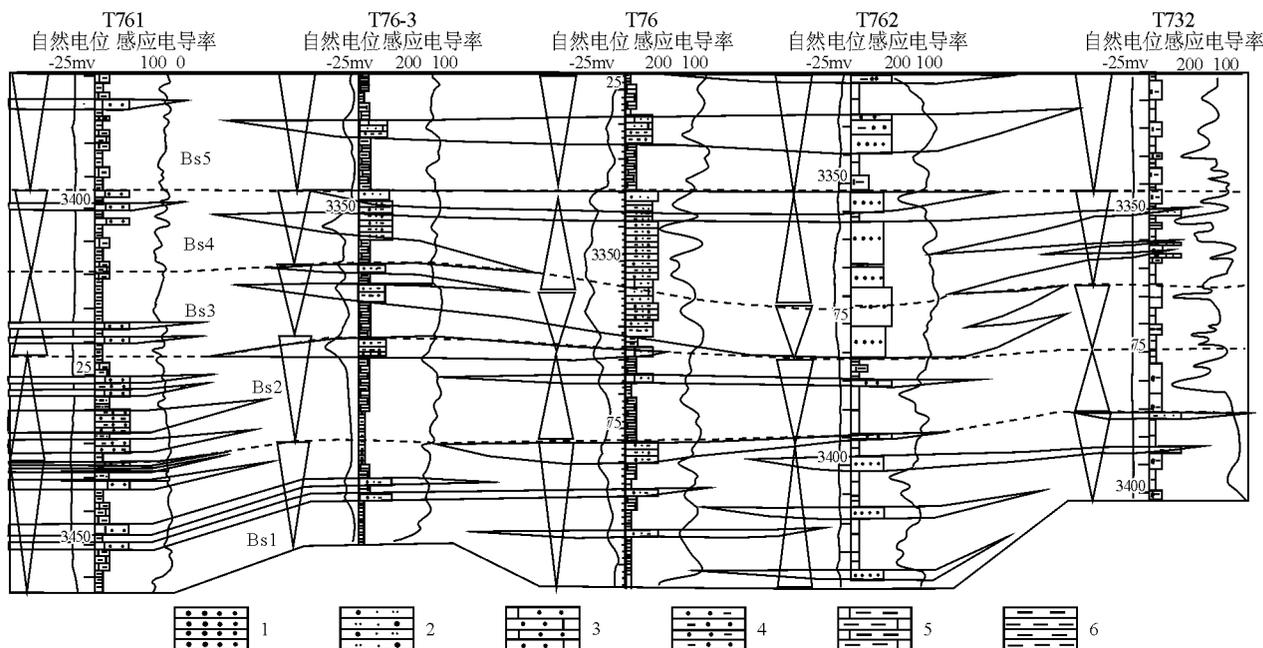


图4 坨76块扇三角洲沉积体系第I准层序对比图

1. 砾岩; 2. 含砾砂岩; 3. 钙质砂岩; 4. 含泥砂岩; 5. 钙质泥岩; 6. 泥岩

Fig. 4 Correlation of the 1st parasequences in the fan delta depositional system in the T76 block

1= conglomerate; 2= gravelly sandstone; 3= calcareous sandstone; 4= muddy sandstone; 5= calcareous mudstone; 6= mudstone

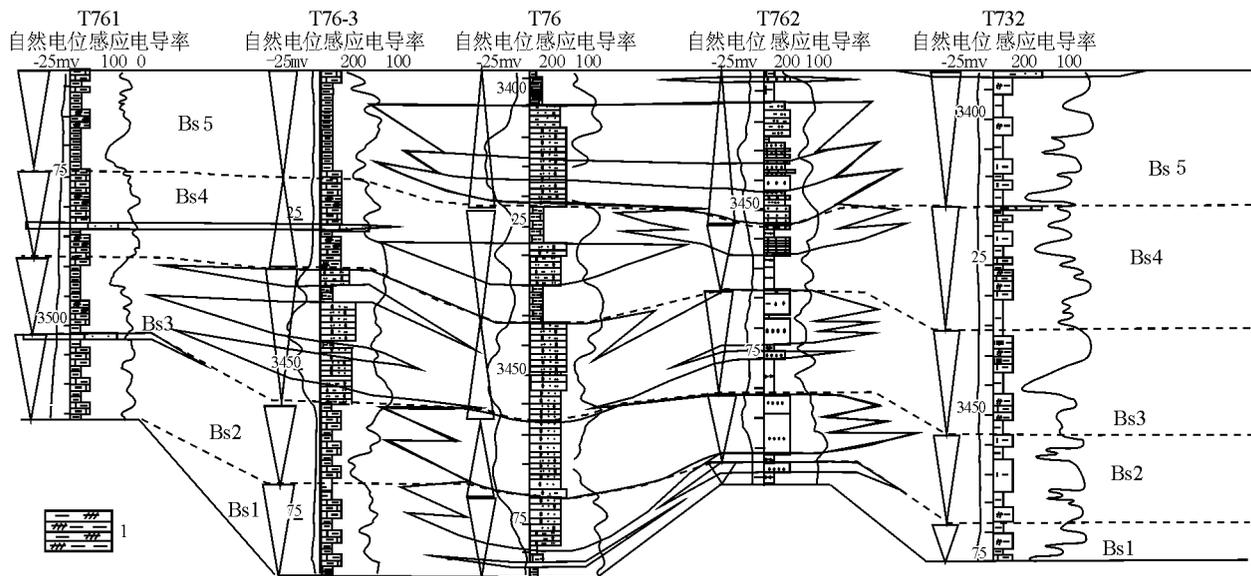


图5 坨76块扇三角洲沉积体系第II准层序对比图

1. 油页岩(其它图例见图4)

Fig. 5 Correlation of the 2nd parasequences in the fan delta depositional system in the T76 block

1= oil shale. See Fig. 4 for the explanation of other symbols.

特征。同时,各准层序底部泥岩厚度一般在10~15m左右,可在整个扇三角洲沉积当中追踪对比。但在扇三角洲前缘亚相的分流河道部位,由于多期分流河道之间的侧向侵蚀切割作用,使得准层序边

界表现为侵蚀冲刷面,稳定泥岩段沉积很薄或不发育;在这种情况下侵蚀冲刷面作为其对比标志,向两侧泥岩厚度逐渐增大并趋于稳定(图4—图6)。

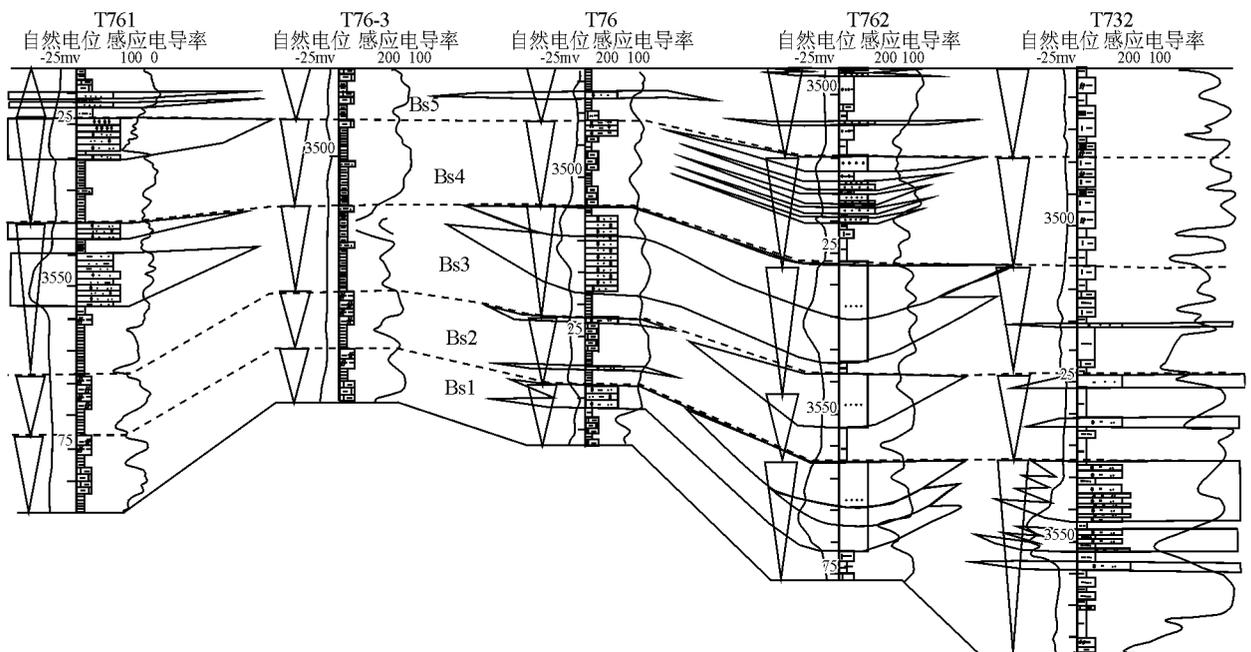


图6 坨76块扇三角洲沉积体系第Ⅲ准层序对比图(图例见图4,图5)

Fig. 6 Correlation of the 3rd parasequences in the fan delta depositional system in the T76 block. See Figs. 4 and 5 for the explanation of symbols.

4 平面分布特征

4.1 第Ⅰ准层序(PS I)

该准层序沉积厚度 68.0~81.0m 不等,可划分为5个层组(BS1—BS5)、12个单层,砂层总厚10.5~27.3m。最厚处在T76井,向南和东西两侧逐渐减薄尖灭。底部泥岩较稳定,一般大于20m。电测曲线砂岩层自然电位曲线为负异常,基本对应视电阻率高阻值。厚层砂岩一般有着较宽的视电阻率曲线高幅带。沉积相类型主要为扇三角洲前缘水下分流河道和河道间微相,其中分流河道微相分布在BS3、BS4的T76井区,为不稳定的互层型水道沉积;BS1、BS2、BS5为远端砂坝和河口坝微相(图4)。

4.2 第Ⅱ准层序(PS II)

该准层序沉积厚度 60.5~86.0m,砂层厚度10.0~48.5m,厚度中心在T76—T762一线。可划分为5个层组(BS1—BS5)、6个单层。底部泥岩一般大于15m,且稳定。电测曲线特征明显,自然电位曲线为负异常,反旋回漏斗型,电阻率曲线为尖峰状高阻,与自然电位曲线相对应。主要为扇三角洲前缘亚相水下分流河道、河道间及席状砂沉积。其中BS1、BS2、BS3、BS5在T76井区及T762井区主要为水下分流河道微相,但T762更靠近前缘末端,不同期次的水道相互间叠置切割。在T763—152井区主

要前缘席状砂微相(图5)。

4.3 第Ⅲ准层序(PS III)

该准层序沉积厚度 57.0~78.0m,砂层厚6.9~44.9m,可划分5个层组(BS1—BS5)、7个单层。厚度中心在T762南北一线和T761南北一线。底部泥岩较稳定。电测曲线自然电位为钟形,电阻率曲线由宽幅高峰和指状高峰。砂体由北而南分布,以T76-3为界可明显分成东西两个北部相连的小扇体。沉积相类型主要为扇三角洲前缘水下分流河道、河口坝及席状砂微相。水下分流河道微相主要分布在BS1—BS4的T762—T76井区,为稳定情况下的孤立型水道沉积(图6)。

4.4 第Ⅳ准层序

该准层序和各层组厚度较薄,砂层厚度约5.9~18.0m,厚度中心在T76-3井附近,可划分为3个层组、4个单层。电性特征明显,自然电位钟形负异常,电阻率曲线为高阻尖峰状。扇体分布范围不大,主要在T76-3—T761一线,沉积相类型基本和上述各准层序相近。

5 层序地层单元与油气关系

5.1 层序地层单元与储层非均质性

储层非均质性是指储层的基本性质,包括岩性、物性、电性、含油性以及微观孔隙结构等特征,在三

维空间上分布的不均一性。从高分辨率层序地层学的观点出发研究储层,不仅可以提高储层表征的准确性和精确性,高分辨率时间单元的对比还为把从钻井获得的一维信息转变为三维地层关系预测提供了定量依据,使地层几何形态、大小和沉积相的位置、岩石物性的预测变为可能,而且更加精确^[20]。

5.2 层序地层单元对储层的控制

将高分辨率层序地层单元的规模与储层及其流体流动单元的大小相比较可以发现,通常井距(0.04~2.60km)与准层序和层组的规模是一致的^[21](图7)。考虑到地层单元与井距大小的相当程度,通常将准层序和层组作为非裂缝储层内控制流体流动的地层单元的首要控制因素。比层组更小的地层单元层、纹层组、纹层,可直接对储层内流体的非均质性和方向性起作用,形成局部的流体流动的漏失河道或孤立的带状体。只要流体势能存在,流体一般要围绕这些非均质体流动。因此,小规模的非均质性总体上并不影响流体在整个储层内的流动。

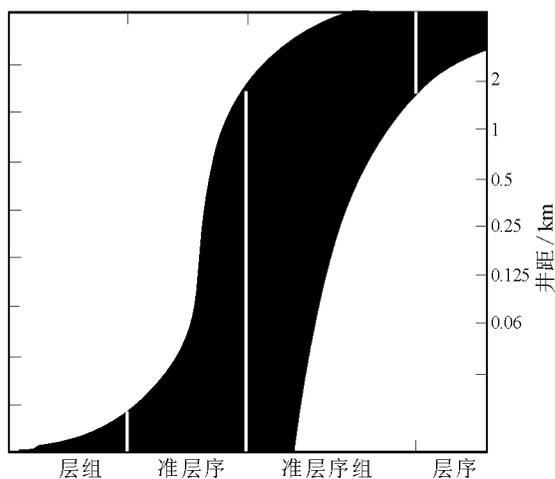


图7 流动单元与不同级别精度层序地层单元空间尺度对比图

Fig.7 Correlation of the space scales for the flow units and sequence stratigraphic units of varying orders

从不同级别的高精度层序地层单元角度对对坨76块扇三角洲沉积的非均质性进行了研究。各层组内单砂层突进系数变化范围0.16~0.46;变异系数变化范围0.76~1.60;级差变化范围19.1~152.0,表明该区沙四段储层属强非均质储层。但是,在准层序及层组内部随A/S的变化,储层物性呈现一定的变化规律。

1. 层组与储层特征及油气关系

对PS II下部的BS1、BS2、BS3等3个层组内部

储层特征进行了研究。这3个层组均为由多个侧向和垂向相互叠置的冲刷-充填的复合底形扇三角洲水下分流河道组合构成。在每个层组内随A/S值增加从底部到顶部砂岩叠置的程度逐渐减弱,孔隙度和渗透率从下部向上部逐渐减少;该规律在构成层组的单层内部同样表现明显。而且,每一个层组的孔隙度和渗透率的初始值和终点值均比其上部层组的高(图8)。孔隙度和渗透率的增加与床沙切割作用强度的增大一致。上述规律表明,在完全由一种相构成的水下分流河道的基准面旋回中,孔隙度和渗透率是A/S值变化的函数。这种A/S值的控制作用,同样体现其对储层内部流体流动单元上,如图9所示,在每个层组及其内部单层中由下向上,含油饱和度由大逐渐变小。

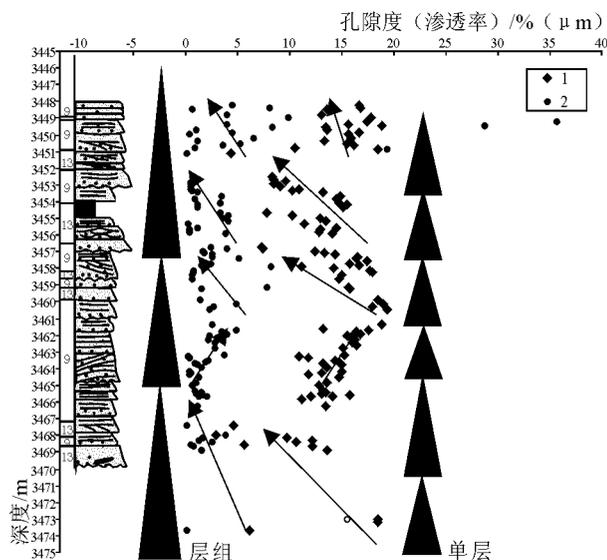


图8 扇三角洲水下分流河道砂体孔隙度、渗透率与A/S关系图

1. 孔隙度; 2. 渗透率

Fig.8 Relationship between porosity, permeability and A/S ratios for the fan delta subaqueous distributary channel sandstones

1= porosity; 2= permeability

2. 准层序与储层特征及油气关系

形成于不同A/S比值准层序中的沉积砂体具有不同的岩石物性特征。如图10所示,形成在低A/S值条件下的PS II准层序中的扇三角洲水下分流河道砂体,相互切割、叠置程度大,趋于形成侧向叠置、相互连通的席状砂体,垂向上粒度变化不大,具有较高的孔隙度和渗透率。而形成在高A/S值条件下的PS I、PS III准层序中的扇三角洲水下分流河道砂体,常呈单层、孤立状,区域连通性和连续性

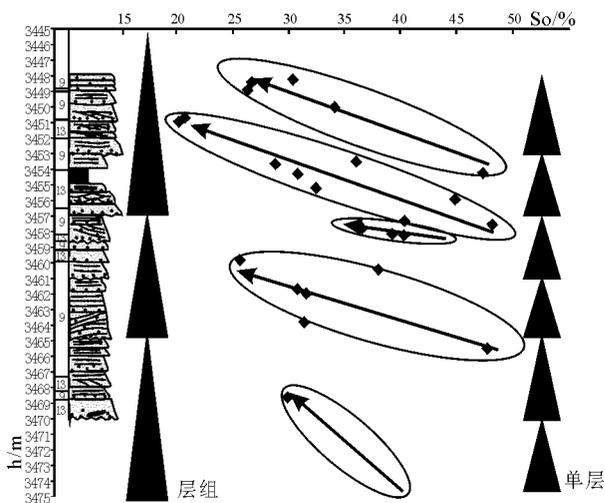


图9 扇三角洲水下分流河道砂体含油饱和度与A/S关系图

Fig.9 Relationship between oil saturation and A/S ratios for the fan delta subaqueous distributary channel sandstones

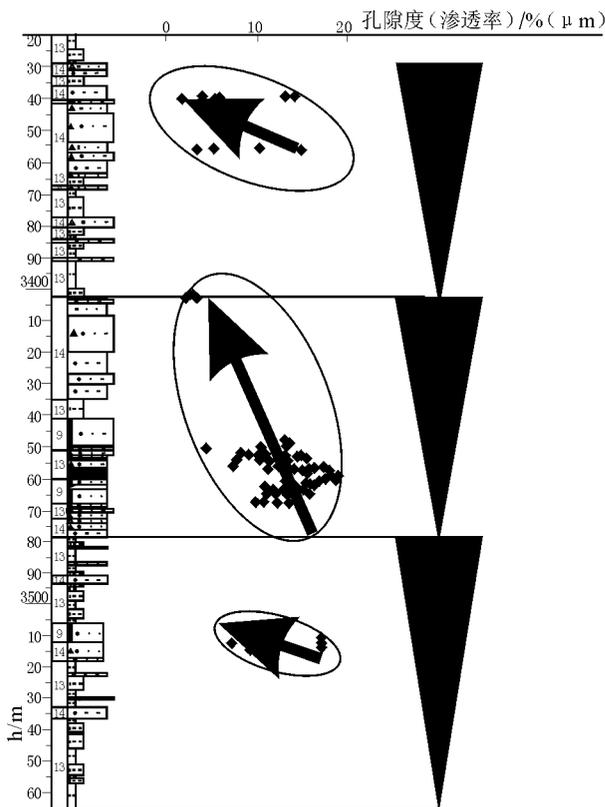


图10 准层序孔隙度和渗透率与A/S值关系图

Fig.10 Relationship between porosity, permeability and A/S ratios for the parasequences

较低,孔隙度和渗透率值比前者要小。同时,在同一准层序内部,具有较低A/S值砂体的孔隙度和渗透率变化幅度要比高A/S值情况下要小。各准层序含油饱和度具有类似的变化规律,形成于低A/S值

下的PS II含油性最好,形成于较低A/S值下的PS III的含油性次之,而形成于高A/S值下PS I和PS IV含油性只在局部地区较好,且连通性差。

6 结 论

(1) 坨76块沙四上亚段扇三角洲沉积体共划分为4个准层序、18个层组和29个单层。

(2) 从对坨76块扇三角洲沉积体的4个准层序及其内部层组的划分对比情况来看,在扇三角洲沉积体系中准层序及层组边界在地层记录中的表现形式随地理位置而变化。

(3) 在完全由一种相构成的层组基准面旋回中,孔隙度和渗透率是A/S值变化的函数。这种A/S值的控制作用,同样体现其对储层内部流体流动单元上。

(4) 形成于不同A/S比值准层序中的沉积砂体具有不同的岩石物性特征。同时,在同一准层序内部,具有较低A/S值砂体的孔隙度和渗透率变化幅度要比高A/S值情况下要小。各准层序含油饱和度和具有类似的变化规律。

参考文献:

- [1] AITKEN J F, HOWELL J A. High resolution sequence stratigraphy: innovations, application and future prospects [A]. Aitken J F. High Resolution Sequence Stratigraphy: Innovation and Application [C]. London: Geological Society Special Publication, 1996, 104: 1-9.
- [2] 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J]. 地质前缘, 2000, 7(3): 110-117.
- [3] 许广明, 徐怀大, 孔祥言. 高分辨率层序地层学在油藏数值模拟中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 115-119.
- [4] 段秋梁, 武法东, 陈建渝, 等. 渤南油田9砂层组高分辨率层序特征及其沉积演化[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 83-87.
- [5] 张尚锋, 洪秀娥, 郑荣才, 等. 应用高分辨率层序地层学对储层流动单元层次性进行分析——以泌阳凹陷双河油田为例[J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(2): 147-151.
- [6] 肖玉茹, 何峰煜. 高分辨率层序地层学在储层预测中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 169-173.
- [7] 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 654-662.
- [8] VAN WAGONER J C, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops [J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1-55.
- [9] COOPER M R. Tectonic cycles in Southern Africa [J]. Earth Science Review, 1990, 28(4): 321-364.
- [10] MITCHUM R M, VAN WAGONER J C. High frequency and their stacking patterns: sequence stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles [J]. Sedimentary Geology, 1991, 70(2): 131-

- 160.
- [11] VAIL P R, AUDEMARD F R, BOWMAN S A, et al. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology — an overview [A]. Einsele G et al. Cycles and Events In Stratigraphy [M]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1991. 617—659.
- [12] 李思田, 等. 含能源盆地沉积体系——中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 97—106.
- [13] 张春生, 刘忠保, 施冬, 等. 扇三角洲形成过程及演变规律[J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 521—527.
- [14] 贾爱林, 穆龙新, 陈亮, 等. 扇三角洲露头区沉积模拟[J]. 石油学报, 2000, 21(6): 107—110.
- [15] 武法东, 陈永进, 李寅, 等. 河北滦平盆地构造演化及对扇三角洲发育的控制作用[J]. 现代地质, 2000, 14(2): 179—184.
- [16] 焦养泉, 周海明, 庄新国, 等. 扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系. 沉积学报[J]. 2000, 18(1): 70—75.
- [17] 陈永进, 武法东. 滦平盆地桑园营子露头剖面沉积层序的 Markov 链模拟[J]. 现代地质, 2000, 14(4): 444—458.
- [18] 陈程, 孙义梅, 邓宏文. 油田开发后期扇三角洲前缘微相分析及应用[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 88—93.
- [19] 赵俊青, 纪友亮, 夏斌, 等. 扇三角洲沉积体系高精度层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 302—309.
- [20] 邓宏文, 王洪亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学原理及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 160—180.
- [21] CROSS T A, BAKER M R, CHAPIN M A, CLARK et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [A]. R Eschard and B Doligez. Sub-surface Reservoir Characterization from Outcrop Observations [C]. Proceeding of the 7th IFP Exploration and Production Research Conference, Paris: Technip, 1993. 11—33.

High-resolution sequence stratigraphy of fan deltas and its relations to oil and gas accumulation: A case study of the T76 block on the falling wall of the Shengbei fault in the Dongying depression, Shandong

LIANG Shu-yi^{1, 5}, ZHAO Jun-qing², JIANG Zai-xing³, XIA Bin², JI You-liang⁴, ZHANG Shan-wen⁵
 (1. Faculty of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China; 2. Research Centre, CNOOC, Beijing 100027, China; 3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. School of Ocean and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China; 5. Shengli Oil Field Co., Ltd., SINOPEC, Dongying 257015, Shandong, China)

Abstract: The division and correlation of sequence stratigraphic units are constructed for the fan delta deposits in the upper submember of the 4th member of the Shahejie Formation in the T76 block on the falling wall of the Shengbei fault in the Dongying depression, Shandong on the basis of geological data, seismic sections and well logs. These fan delta deposits are divided into 4 parasequences, 18 bed sets and 29 beds. In the fan delta depositional system, the boundaries of the parasequences and bed sets are changed with the geographic positions, whereas in the base-level cycles of the parasequences and bed sets in a single facies, the porosity and permeability are the function of A/S ratios. The physical properties and oil saturation in oil reservoirs also display similar regular changes.

Key words: Dongying; Paleogene; Shahejie Formation; fan delta; sequence stratigraphy; oil and gas; Shandong