

扇三角洲层序地层特征及其 油气汇聚规律

——以东营凹陷胜北断层下降盘坨 76 块为例

刘 阳,赵俊青

(中海油研究总院海外评价中心,北京 100027)

摘 要:以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为例,通过地质、地震、测井等资料对其层序地层单元进行了精确划分对比,将坨 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,29 个单层,并研究了各准层序及其内部层组特征及分布规律。研究发现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。在上述基础上,探讨了扇三角沉积体系中最基本的准层序和层组 2 级层序地层单元与油气汇聚的关系,研究发现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:扇三角洲;准层序;层组;油气汇聚;沙四上亚段

中图分类号:TE121.34 **文献标识码:**A

近年来,高精度层序地层学的发展引起了人们的广泛关注并取得了显著的进展。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,以满足减小日益增加的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概念和理论可有效地应用于地下地质的研究,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有效的分析方法和预测工具,并已取得了显著效果^[3-7]。

对于扇三角洲沉积体系而言,通过测井方法可以将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^[8-18],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 2 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

收稿日期:2011-03-30

基金项目:国家“十五”科技攻关课题“济阳坳陷复杂隐蔽油气藏地质评价和勘探开发关键技术研究”(2001BA605A09)

作者简介:刘 阳(1977—),男,工程师,主要从事油气勘探综合地质研究工作. E-mail:liuyang3@cnoc.com.cn

南缓北陡,北翼地层倾角 18.4°,南翼地层倾角为 7.59°。沙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 断块沙四段这套扇三角洲砂砾岩体,砂体顶面呈背斜形态,顶面埋深约 3 300 m。

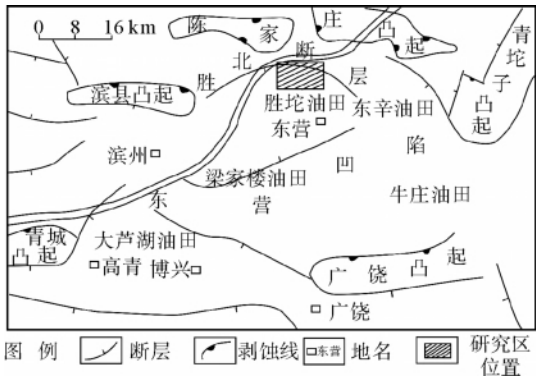


图 1 研究区位置
Fig. 1 Location map of the study area

2 层序地层单元的划分对比

由于本区沙四段砂砾岩岩性复杂,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,造成地层的划分和对比困难较大。为此,我们充分利用岩性和电性资料,结合沉积旋回特征进行对比,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、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、18 个层组、29 个单层。

3 层序地层单元特征

3.1 准层序特征

从坨 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

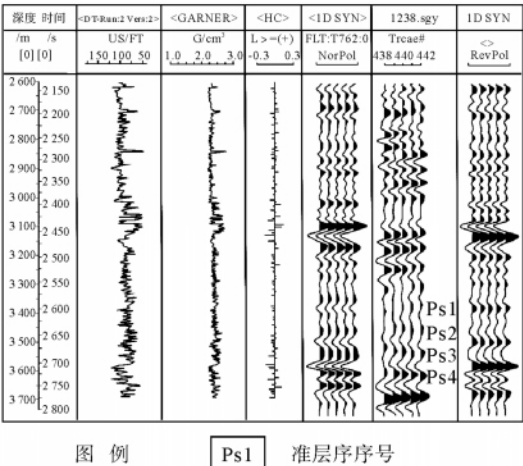


图 2 T762 井层位标定
Fig. 2 The horizon standardization of well Tuo762

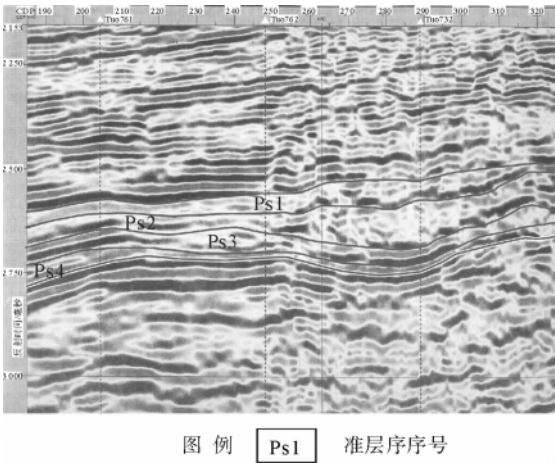


图 3 过 T761-T762 井三维地震解释
Fig. 3 The 3-D seismic profile across wells of Tuo761 and Tuo762

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特征。同时,各准层序底部泥岩厚度一般在 10~15 m 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、5、6)。

3.2 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 10 cm 厚的暗色泥岩;在

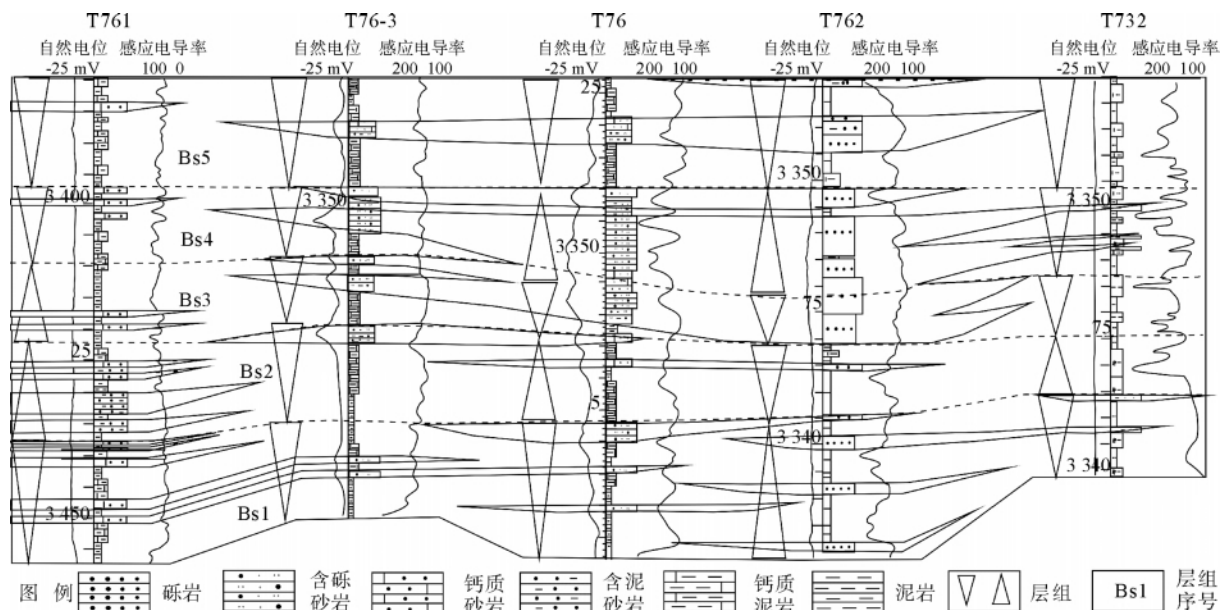


图 4 坨 76 块扇三角洲沉积体系第 1 准层序对比

Fig. 4 Correlation of the 1st parasequence in the fan deltaic depositional system of the Tuo76 block

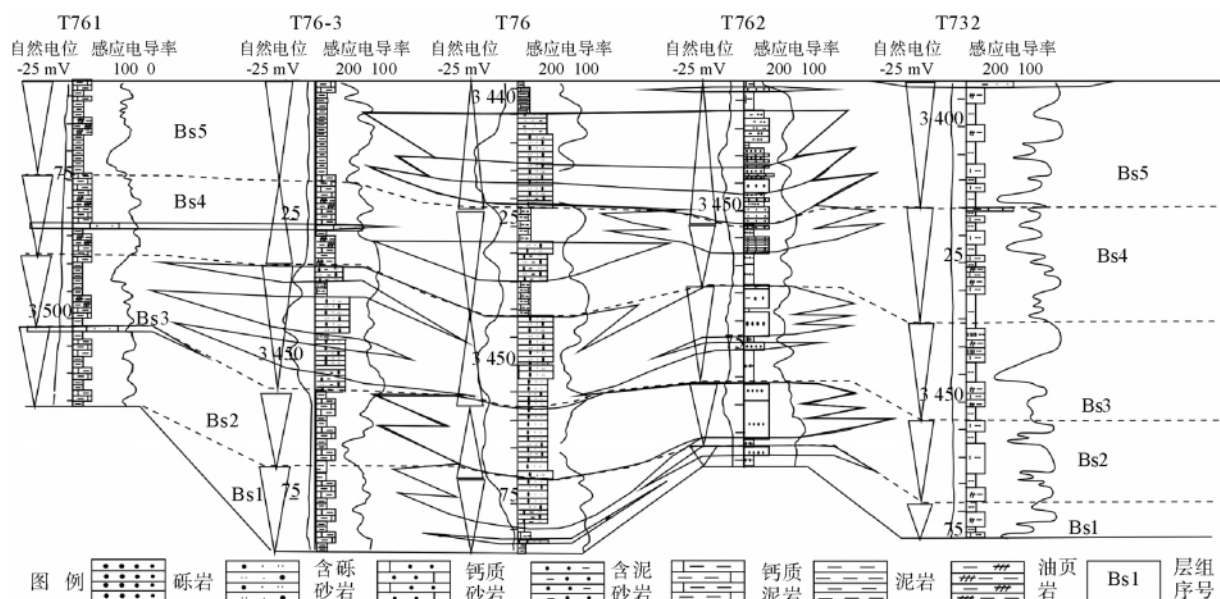


图 5 坨 76 块扇三角洲沉积体系第 2 准层序对比

Fig. 5 Correlation of the 2nd parasequence in the fan deltaic depositional system of the Tuo76 block

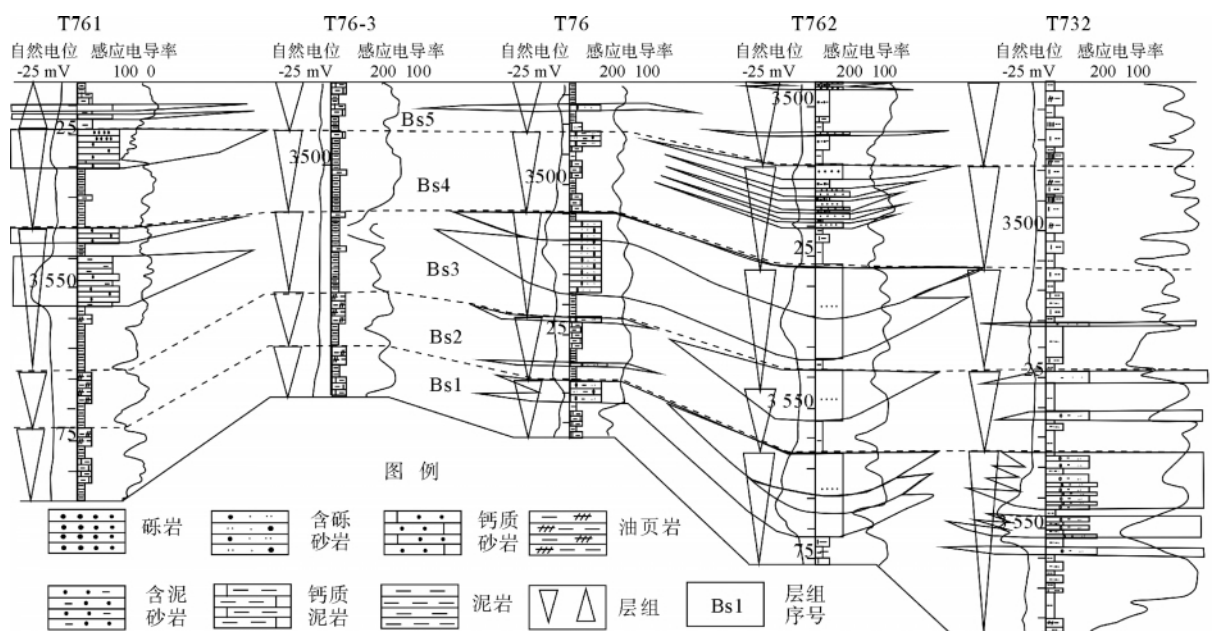


图 6 坨 76 块扇三角洲沉积体系第 3 准层序对比

Fig. 6 Correlation of the 3rd parasequence in the fan deltaic depositional system of the Tuo76 block

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 2~5 m 左右。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、5、6)。

4 平面分布特征

4.1 第 1 准层序

沉积厚度 68.0~81.0 m 不等,可划分为 5 个层组、12 个单层,砂层总厚 10.5~27.3 m。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 20 m。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 2 准层序

沉积厚度 60.5~86.0 m,砂层厚度 10.0~48.5 m,厚度中心在 T76—T762 一线。可划分为 5 个层组,6 个单层。底部泥岩一般大于 15 m,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 T76-3—152 井区主要为前缘席状砂微相(图 5)。

4.3 第 3 准层序

沉积厚度 57.0~78.0 m,砂层厚 6.9~44.9 m,可划分 5 个层组,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 4 准层序

准层序和各层组厚度较薄,砂层厚度约 5.9~18.0 m,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 井一线,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

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。从高分辨率层序地层学的观点出发研究储层,可以提高储层表征的准确性和精确性。本文从不同级别的高精度层序地层单元角度,运用单砂层突进系数(K_k)、渗透率变异系数(K_v)、渗透率级差(K_n)等 3 个渗透率非均质参数对坨 76 块中的 T76 和 T761 井部分层组内砂层的非均质性进行了研究(表 1、2)。结果表明,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 19.1~63.2,显示本区沙四段储层属强非均质储层。同时研究还发现,在准层序及层组内部随 A/S (可容空间与沉积物供给量的之比)的变化,储层物性呈现一定的变化规律。

表 1 T76 井储层非均质性参数
Table 1 Heterogeneous parameters
of the reservoir in Well T76

准层序	层组	井段/m	单层突进系数 (K_k)	渗透率变异系数 (K_v)	渗透率级差 (K_n)
Ps1	Bs1	3 340.50~3 342.75	0.28	1.48	120
Ps2	Bs3	3 448.14~3 454.30	0.32	1.12	63.2
	Bs2	3 454.30~3 475.20	0.16	1.60	42.5
Ps3	Bs3	3 511.10~3 518.55	0.46	0.76	19.1

5.1 层组与储层特征及油气关系

对 Ps2 下部的 Bs1、Bs2、Bs3 等 3 个层组内

表 2 T761 井储层非均质性参数
Table 2 Heterogeneous parameters of
the reservoir in Well T761

准层序	层组	井段/m	单层突进系数 (K_k)	渗透率变异系数 (K_v)	渗透率级差 (K_n)
Ps3	Bs4	3 523.30~3 529.35	0.32	1.120	56.33
	Bs3	3 546.90~3 553.98	0.20	1.45	28.11

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 7)。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 8 所示,在每个层组及其内部单层中由下而上,含油饱和度由大逐渐变小。

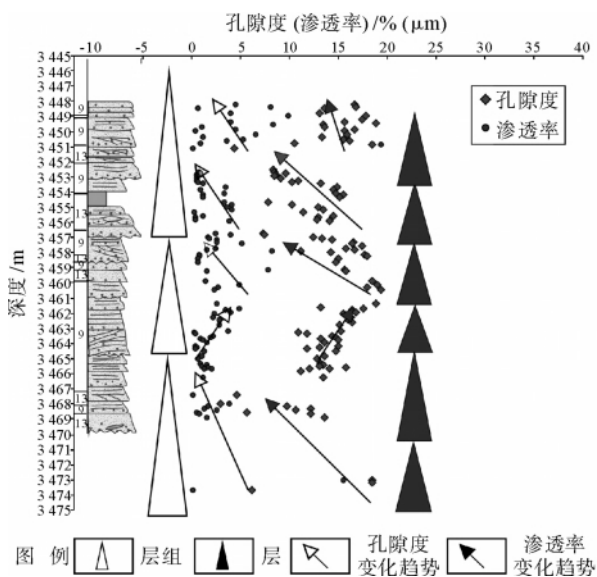


图 7 扇三角洲水下分流河道砂体
孔隙度、渗透率与 A/S 关系

Fig. 7 The relationship between porosity and permeability and A/S in a underwater distributary channel of the fan delta

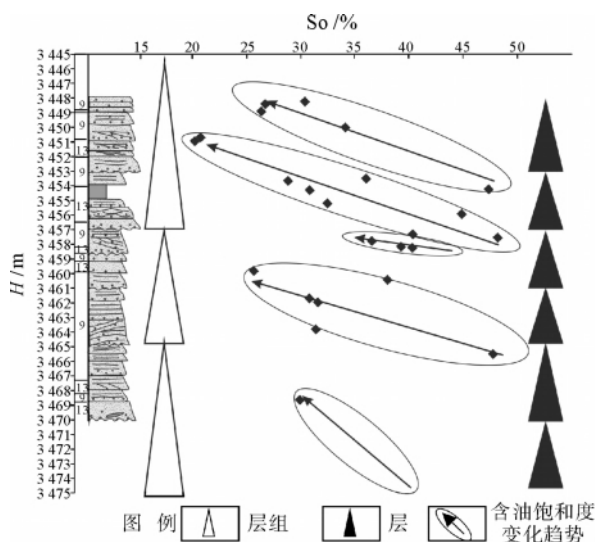


图 8 扇三角洲水下分流河道砂体含油饱和度与 A/S 关系

Fig. 8 The relationship between oil saturation and A/S in a underwater distributary channel of the fan delta

5.2 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 9 所示,形成在低 A/S 值条件下的 Ps2 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 Ps1、Ps3 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 Ps2 含油性最好,形成于较低 A/S 值下的 Ps3 的含油性次之,而形成于高 A/S 值下 Ps1 和 Ps4 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可划分为 4 个准层序,18 个层组,29 个单层。

(2) 从坨 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。

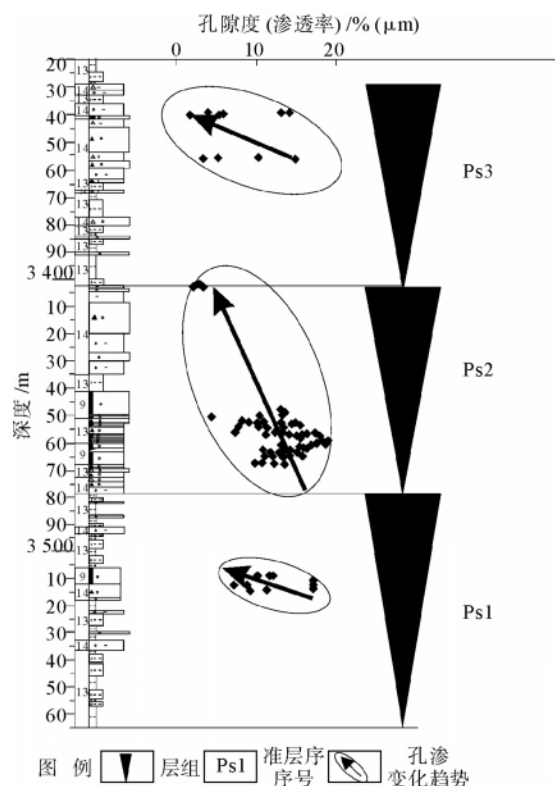


图 9 准层序孔隙度和渗透率与 A/S 值关系

Fig. 9 The relationship between porosity and permeability and A/S in a parasequence

(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 [C]// Aitken J F, ed. High resolution sequence stratigraphy: Innovation and Application. 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].地学前缘,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, cross and outcrops[C]//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 Wanger 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 [C]//Einsele G, Ricken W, Seilacher A eds. Cycles and events in stratigraphy. Berlin: Heidelberg, Springer-Verlag. 1991:617-659.
- [12] 李思田.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.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.

SEQUENCE STRATIGRAPHY OF A FAN-DELTA AND ITS IMPLICATIONS FOR OIL-GAS ACCUMULATION—A CASE OF THE T76 BLOCK ON THE DOWNTOWN SIDE OF SHENGBEI FAULT IN DONGYING DEPRESSION

LIU Yang, ZHAO Junqing

(International Research Department, CNOOC Research, Beijing 100027, China)

Abstract: Taking the Tuo76 fan-delta of the upper part of the 4th member of the Shahejie Formation on the downthrown side of the Shengbei fault in the Dongying depression as an example, this paper deals with the characteristics and distribution pattern of parasequences in a fan-delta depositional system. Based on geological, seismic and well logging data, the Tuo76 fan-delta is divided into 4 parasequences, 18 bed sets and 29 beds. Our data show that the occurrence and boundaries of the parasequences and bed sets change with time. Oil-gas accumulation is related to the distribution of parasequences and bed sets. The change in porosity and permeability of the reservoir is a function of A/S (Accommodation space/sediment supply) in the parasequence and bed sets consisting of one facies. And reservoir properties and oil-gas saturation show similar pattern of variation.

Key words: fan-delta; parasequence; bed set; contrasting method; oil-gas accumulation; the 4th member of Shahejie Formation