

文章编号: 0253-9985(2004)05-0513-06

渤海湾盆地沾化凹陷下第三系 高精度层序地层学研究

魏魁生¹, 史淑玲¹, 厉大亮¹, 罗彦¹, 卢松涛¹邱以钢², 宗国洪², 郑和荣², 郝运轻², 宋国齐²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化胜利油田分公司, 山东东营 257015)

摘要: 以钻井、三维地震等资料为基础, 运用高精度层序地层学理论及方法, 建立了沾化凹陷层序地层格架, 划分出1个一级层序、4个二级层序、17个三级层序、51个体系域、70个准层序组和109个准层序。根据地震反射终止结构特征、准层序组叠加方式的转换和岩性剖面, 识别出层序边界、首次洪泛面和最大洪泛面等关键界面。根据准层序组的叠加型式及地震相区分沉积体系类型, 恢复了沉积体系。在层序地层格架内, 低位体系域沉积体系类型丰富, 以三阶坡折控制的冲积扇-扇三角洲(三角洲)-低位楔-低位扇为特征; 水进体系域和高位体系域的沉积体系具有继承性。每个体系域的沉积体系组合具有成因上的连续性。强烈断陷期发育的沉积体系与不整合面、断层面相配置的地区是油气勘探的有利区带。

关键词: 沾化凹陷; 高精度; 层序地层格架; 低位体系域; 三阶坡折; 有利区带

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

High accuracy sequence stratigraphy of Lower Tertiary in Zhanhua depression, Bohai bay basin

Wei Kuisheng¹, Shi Shuling¹, Li Daliang¹, Luo Yan¹, Lu Songtao¹Qiu Yigang², Zong Guohong², Zheng Herong², Hao Yunqing², Song Guoqi²

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Shengli Oilfield Company Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong)

Abstract: Based on 3-D seismic, drilling data and other data, and by using the theories and methods of high accuracy sequence stratigraphy, sequence stratigraphic framework has been established in Zhanhua depression, which consists of 1 first-order sequence, 4 second-order sequences, 17 third-order sequences, 51 system tracts, 70 parasequence sets and 109 parasequences. Critical surfaces, such as sequence boundary, initial flooding surface and maximum flooding surface, have been defined on seismic profiles, according to the termination patterns of reflection configuration, transformation of stacking patterns of parasequence sets and lithologic profile. Sedimentary systems are categorized and restored based on the stacking pattern of parasequence sets and seismic phases. In the sequence stratigraphic framework, lowstand system tract (LST) consists of many types of sedimentary systems, which are characterized by alluvial fan-fan delta (delta)-lowstand wedge-lowstand fan under control of the third-order slope break. The sedimentary systems in transgression system tract and high stand system tract have inheritance. Combinations of sedimentary systems in each system tract have genetic continuity. Areas where sedimentary systems developed during strong fault subsidence and allocated with unconformities and fault planes are the favorable exploration play.

Key words: Zhanhua depression; high accuracy; sequence stratigraphic framework; lowstand systems tract; third-order slope break; favorable play

基金项目: 国家“九五”重大攻关项目: 沾化凹陷第三系沉积、构造及含油性研究

第一作者简介: 魏魁生, 男, 48岁, 教授, 层序地层学与沉积学

收稿日期: 2004-08-23

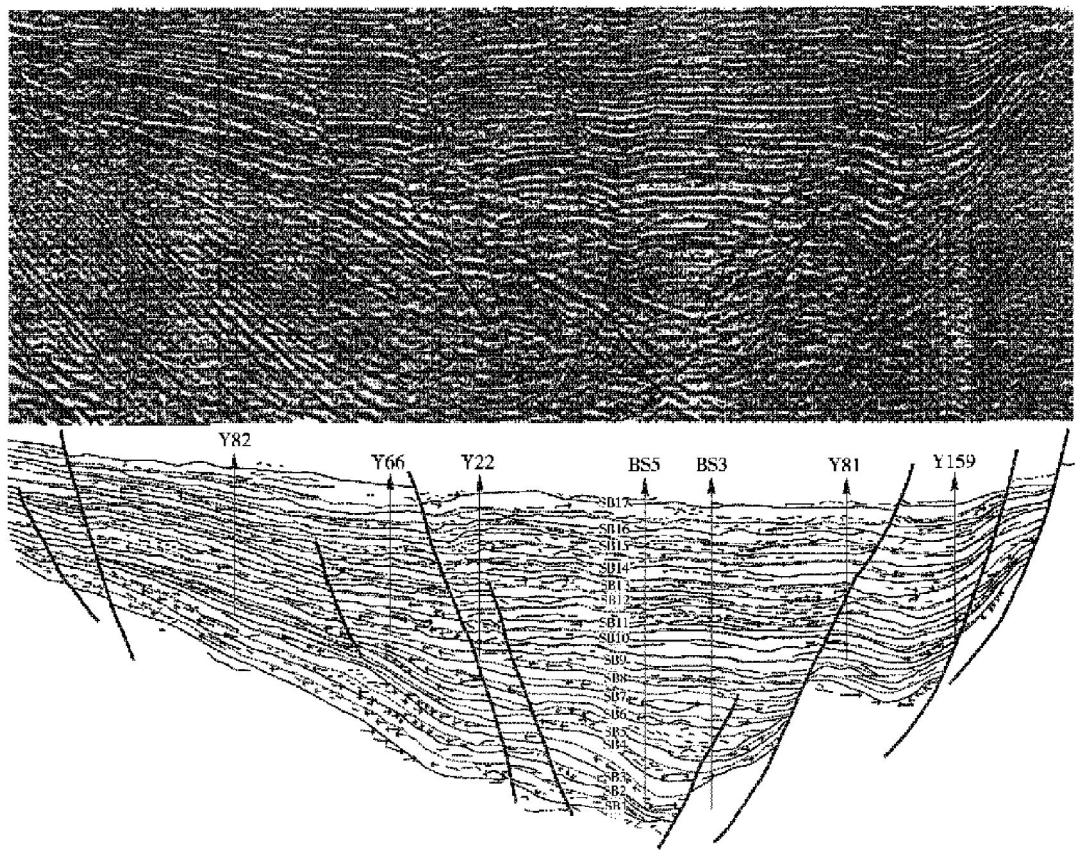


图 3 沾化凹陷地震层序格架及充填反射特征(南北向测线)
Fig. 3 Seismic sequence framework and reflectance signatures in Zhanhua depression(NS line)

表 1 层序边界的地震反射特征

Table 1 Seismic reflectance signatures of sequence boundaries

层序边界	层序边界特征				
	边界之上			边界之下	
	缓坡	中央	陡坡	缓坡	陡坡
SB17	上超	平行	上超	削截	顶超
SB16	平行	平行	上超	削截	顶超
SB15	上超	平行	上超	顶超	顶超
SB14	上超	平行	上超	顶超	顶超
SB13	上超	平行	上超	顶超	削截
SB12	上超	平行	上超	顶超	削截
SB11	上超	平行	上超	顶超	顶超
SB10	上超	平行	上超	顶超	削截
SB9	上超	平行	上超	顶超	削截
SB8	上超	平行	上超	顶超	削截
SB7	上超	双向下超	上超	顶超	削截
SB6	上超	一端上超 一端下超	上超	削截	削截
SB5	上超	双向下超	上超	顶超	削截
SB4	上超	一端上超 一端下超	上超	削截	削截
SB3	上超	双向下超	上超	削截	削截
SB2	上超	一端上超 一端下超	平行	削截	削截
SB1	上超	双向下超	上超	削截	削截

钟型。准层序组呈退积式。反射结构不稳定,从平行成层到无反射,连续性差,振幅低,外形呈向盆地边缘加厚的楔形。扇三角洲前缘的测井曲线形态呈漏斗型,准层序组呈前积式。在地震剖面上,反射结构呈斜交前积或羽状前积,中-高振幅,连续性较好。前扇三角洲主要由细粉砂岩和泥质粉砂岩组成,测井曲线形态呈低幅平缓 and 微齿化波形。地震反射结构为平行、亚平行、前积反射,向盆地方向厚度增加,连续性变好。

(3) 三角洲体系。在形成过程中,三角洲朵叶体不断向湖盆中心前积,在倾向上呈楔形,在走向上呈丘形。三角洲平原为三角洲体系的顶积层,由砂岩、粉砂岩和泥岩夹层组成。测井曲线形态呈钟型或箱型,地震反射结构呈高振幅、连续性较好、平行或亚平行。三角洲前缘为砂、泥岩互层,测井曲线形态呈漏斗型,地震反射呈斜交前积型,具中-高振幅,连续性较好。前三角洲为三角洲的底积层,主要由泥岩组成,测井曲线呈低幅平缓形态,准层序组呈加积式。地震反射呈较连续弱振幅反射。

(4) 低位楔体系。主要发育于滨、浅湖,可延

律旋回沉积为主。测井曲线形态多呈锯齿箱型和

伸到滨线以上, 分布于湖盆坡折附近, 由加积和前积作用共同形成。由沙滩、砂坝、远砂坝、席状砂, (辫状) 河道、水道、河口坝、河道间等组成。在钻井剖面上, 岩性以砂岩为主, 夹泥岩, 砂层厚度向上变大、粒度变粗, 准层序组呈前积式结构, 曲线形态呈漏斗式(图 4)。在地震剖面上, 一端下超于低位扇之上, 一端上超于斜坡, 中等振幅, 连续性较好。

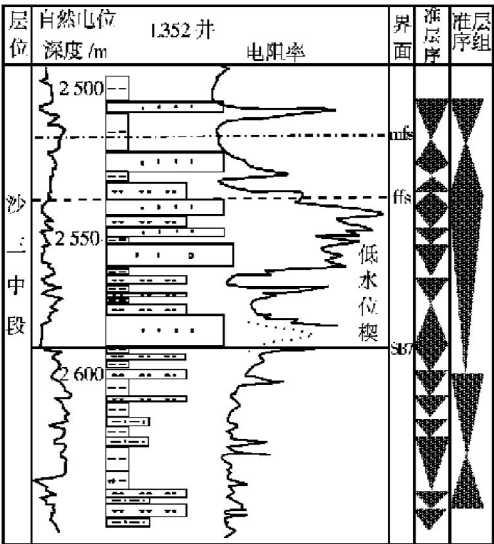


图 4 低位楔的钻井层序特征
Fig. 4 Sequence features of lowstand wedge represented in well logs

(5) 低位扇体系。主要发育滨、浅湖亚环境, 有时可在区域性水进期赋存于半深湖、深湖环境, 分布于湖底, 由辫状河道的牵引流和重力流水道的重力流共同作用形成的朵叶状复合扇体。地震剖面上, 呈双向下超反射结构或一端下超于老扇体, 另一端上超于层序边界(图 5)。在测井曲线

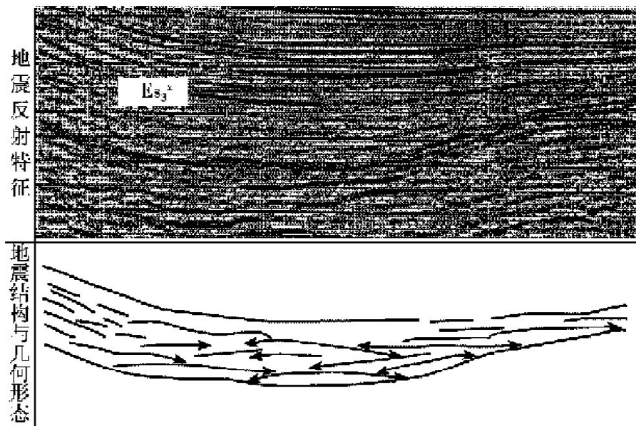


图 5 低位扇地震反射特征
Fig. 5 Seismic reflectance signatures of lowstand fan

上, 低位扇的每个准层序以向上变细为主, 准层序组呈加积式, 扇体下部以砂岩为主、向上砂岩逐渐减少、变薄(图 6)。

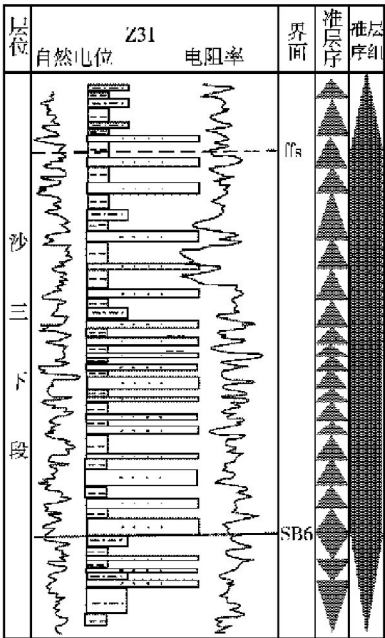


图 6 低位扇的测井层序特征
Fig. 6 Sequence features of lowstand fan represented in well logs

(6) 浊积扇体系。主要发育于深湖和半深湖亚环境, 为重力流作用形成的扇体, 根据成因和发育部位可进一步分为近岸浊积扇和湖底扇。近岸浊积扇发育在陡坡和同沉积断裂等近岸的水下部位, 主要由扇三角洲的滑塌在重力流作用下再搬运形成的扇体。地震反射结构呈发散型或帚状前积型, 从扇根到扇缘连续性变好。在钻井剖面上, 准层序为向上变细, 准层序组呈加积式或退积式。岩性为砂砾岩与泥岩互层, 砂/泥较大。湖底扇在测井曲线上呈齿状箱形-钟形(图 7)。准层序为向上变粗或向上变细的型式, 准层序组为退积式。底部岩性为重力流水道或下切谷的块状砂岩, 中部为砂泥不等厚互层, 粒度总体向上变细。地震反射结构呈中-高振幅、不连续-较连续, 呈丘状外形(图 8)。

(7) 滨岸体系。指无三角洲沉积的滨岸带沉积, 主要包括沙滩和砂坝。岩性为细-粉砂岩。测井曲线形态呈漏斗形、齿化波形或中幅指形。在地震剖面上, 沙滩和砂坝顶部的地震反射常见削蚀和顶超, 内部为顶凸底平的丘形。

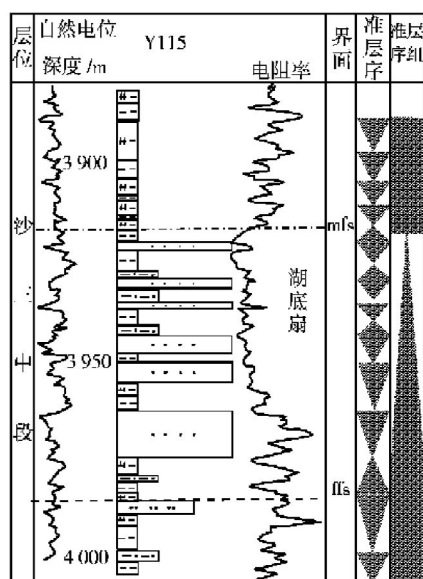


图7 湖底扇的测井层序特征

Fig. 7 Sequence features of sublacustrine fan represented in well logs

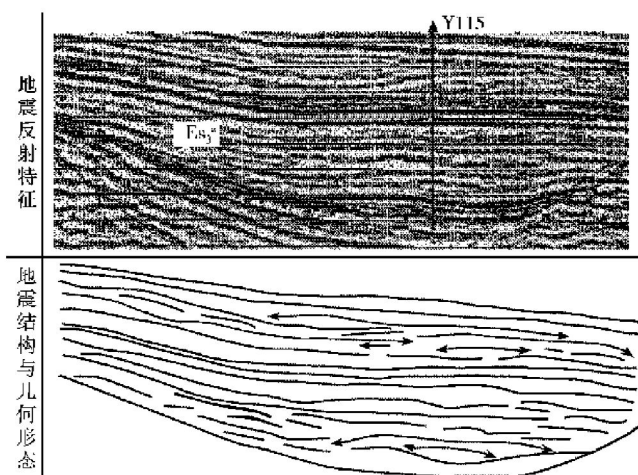


图8 湖底扇的地震反射特征

Fig. 8 Seismic reflectance signatures of sublacustrine fan

(8) 河流体系。常见不规则的侵蚀面和侧向加积面。岩性主要为砂岩和粉砂岩,在辫状河底部可见砾岩和粗砂岩。在地震剖面上,河道一般为中振幅、弱连续、平行-亚平行反射,常见削截现象。测井曲线形态呈箱型或钟型,准层序组呈退积型。

(9) 下切谷。在地震剖面上呈对下伏地层的切割,内部呈下超充填、上超充填等特征。测井曲线形态呈箱型或钟型。

2.2 沉积体系的时空展布

湖盆构造、沉积演化决定层序地层构型特征,湖盆基准面升降控制层序内体系域的形成,沉积体系是湖盆演化及基准面变化过程的物质记录。

裂陷初始期和强烈裂陷早期,低位体系域的沉积体系以辫状河-冲积扇为特征,发育在各个断层带及陡坡附近。强烈裂陷中、晚期的低位体系域,三阶坡折控制河流、下切谷-三角洲(扇三角洲)-低位楔-低位扇沉积体系组合,二阶坡折控制冲积扇-扇三角洲-低位楔(图9)。在裂陷扩张早期,凹陷东部陡坡的低位体系域以冲积扇-辫状河道-扇三角洲沉积体系组合为主,西部缓坡发育三角洲体系,中央发育低位楔和低位扇体系。裂陷扩张晚期的低位体系域不发育,仅在北部的断裂带有小规模的扇三角洲和冲积扇。

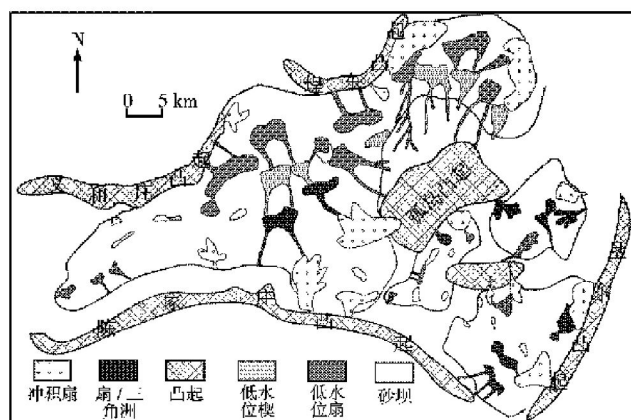


图9 层序Sq6和Sq7的低位体系域沉积体系分布

Fig. 9 Distribution of lowstand system tracts in sedimentary sequences Sq6 and Sq7

裂陷初始期和强烈裂陷早期,沉积相具有明显的分带性,水进和高位体系域不发育,沉积体系以扇三角洲、三角洲、沙滩和砂坝为主。在强烈裂陷的中、晚期,水进体系域和高位体系域在滨岸带发育沙滩、砂坝,在断层附近和陡坡发育呈环带状分布的冲积扇-扇三角洲沉积体系,在半深湖和深湖发育近岸浊积扇和湖底扇。在裂陷扩张早期,环绕盆地的滨岸带沉积砂坝、沙滩;断层附近有扇三角洲,局部深洼部位沉积湖底扇。在裂陷扩张晚期,沉积体系主要为沙滩、砂坝、近岸浊积扇和湖底扇。

总之,在不同演化阶段,低位体系域的沉积体系类型丰富,古地貌背景控制沉积体系的空间组合。水进体系域和高位体系域沉积体系的发育具有成因上的继承性和空间上的连续性。

3 有利区带预测

层序地层学是寻找隐蔽圈闭的有利工具^[16],

在储层预测与地层、岩性圈闭识别方面提供一种新的分析方法。建立层序地层格架、分析沉积体系的时空展布和演化特征,目的是为了确定有利圈闭。在盆地内,与油气密切相关的生、储、盖层都与基准面的变化周期中的特定时间段上形成的沉积物相联系。

3.1 生油层和盖层

在Sq5-Sq10和Sq12-Sq14的最大洪泛时期,断裂活动加剧,构造沉降速率远大于沉积物的注入速率,水体快速扩张,沉积物以暗色泥岩、油页岩为主,为良好的生油层和盖层。

3.2 储集层有利区带

在低位、水进和高位期都可能形成不同成因类型的砂体。根据沾化凹陷的古地理和构造背景,将储集层的有利分布划分为4种类型。

(1) 断阶坡折控制的有利砂体的分布。在凹陷北部地区的沙河街组三段的低位期,形成二阶或三阶断阶式坡折,河流纵横,下切谷穿越一阶坡折,通常在二阶坡折处发育低水位楔,三阶坡折处发育低水位扇,此外还见三角洲、扇三角洲、砂坝等(图10)。在水进期,一阶坡折的下切谷充填上沙滩,二阶坡折的下切谷充填砂坝,三阶坡折附近发育湖底扇。在高位期,一阶坡折处发育扇三角洲和三角洲,在二阶和三阶坡折附近发育湖底扇。

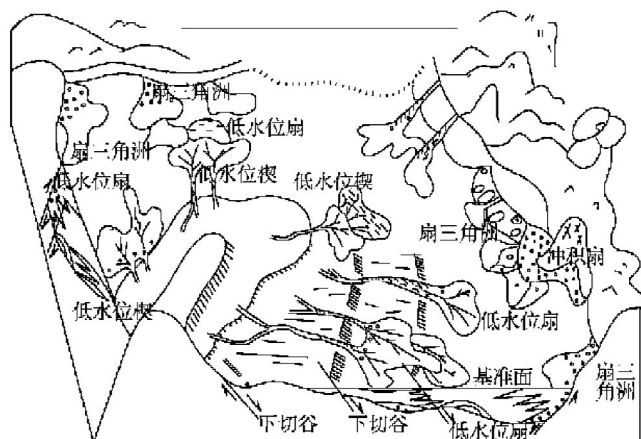


图10 沾化凹陷北部高位体系域沉积体系模式图(断阶坡折型)

Fig. 10 Sedimentary system model of highstand system tract in northern Zhanhua depression (fault step slope break type)

(2) 砂体厚度大的陡坡带。在凹陷东南和西北部的沙河街组三段,洼陷边界受高陡断层控制,相当于双断式结构。低位体系域发育扇三角洲、三角洲、低位扇、辫状河道。水进和高位期,近岸

浊积扇和湖底扇发育。在凹陷西部的沙河街组二段,低位体系域的冲积扇、扇三角洲发育。沙河街组一段下亚段的水进体系域碳酸盐滩尤为发育,其次为浊积岩、砂滩等。高位体系域主要由东营组三段构成,发育三角洲、扇三角洲、近岸扇等,环绕孤岛凸起发育辐射状水系,其前方为扇三角洲体系,凹陷西部边界断裂之下也发育扇三角洲,并可能演化为湖底扇或近岸扇。

(3) 砂体物性良好的缓坡带。在西南部,低位体系域发育下切水道、低位楔、三角洲,并常为浅湖相泥岩所覆盖,在三角洲前端深湖区可以形成小型浊积扇,这些沉积体经长距离搬运或波浪的改造作用,分选良好,可形成良好的储层。

(4) 在凹陷中央的深水浊积砂体区具有由不同规模的重力流作用形成湖底扇。

在不同演化时期和相应的古构造及古地理背景下发育的砂砾岩沉积体与生油层、盖层、断层及不整合面的有利配置可以形成岩性-构造、岩性-地层、岩性等复合圈闭。这些圈闭主要赋存于低位体系域,其次存在于高位、水进体系域。目前,已在GB105、GB19和Z241等井的低位体系域砂砾岩体中获工业油流。

参 考 文 献

- 1 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. AAPG Bull, 1994, 78: 544~ 568
- 2 Shanley K W, McCabe P J. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: detailed correlations between marine and nonmarine strata[A]. In: Leckie D, Posamentier H W. Proceedings of 1991 NUNA conference on high resolution sequence stratigraphy[C]. Geological Association of Canada, 1991. 50~ 51
- 3 Shanley K W, McCabe P J. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework: a case history from the Upper Cretaceous of southern Utah, USA[A]. In: Flint S, Bryant I. Quantitative modelling of clastic hydrocarbon reservoirs and outcrop analogues[C]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1993, 15: 21~ 55
- 4 Andrew D M. Architecture and sequence stratigraphy of Pleistocene fluvial systems in the Malay Basin, based on seismic time-slice analysis[J]. AAPG Bull, 2002, 86(7): 1 201~ 1 216
- 5 Baltzer F. Late Pleistocene and recent detrital sedimentation in the deep parts of northern Lake Tanganyika (East African rift)[A]. In: Anadón P, Kelts C K. Lacustrine facies analysis[C]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1991, 13: 147~ 173
- 6 Scholz C A, Johnson T C, McGill J W. Deltaic sedimentation in a rift valley lake: new seismic reflection data from Lake Malawi (Nyasa), east Africa[J]. Geology, 1993, 21: 395~ 398

(下转第538页)

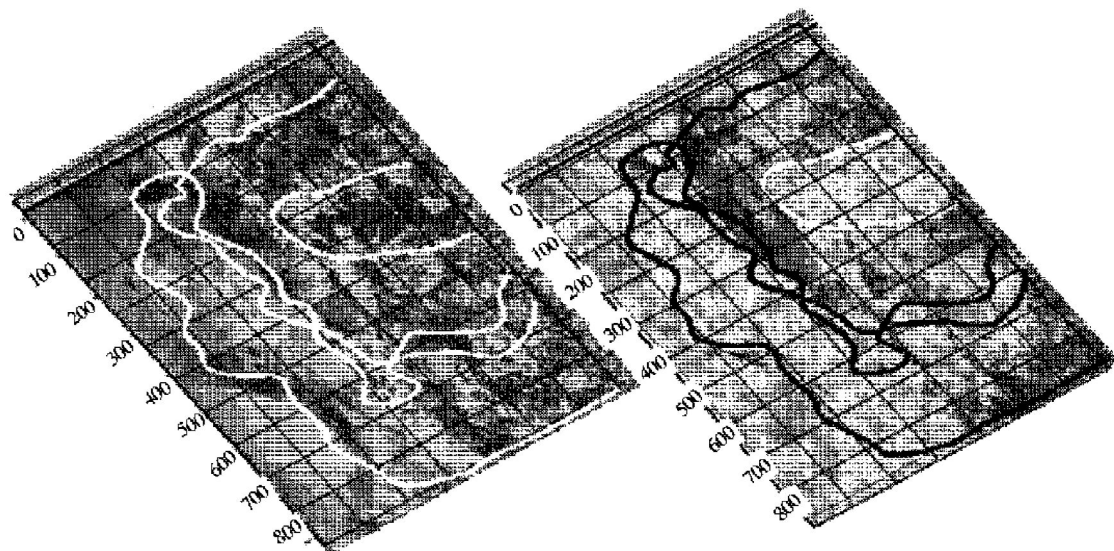


图8 八道湾组一段 AVO、波形分析与储层平面分布叠合图

Fig.8 Stacking chart of AVO, wave form analysis and plane distribution of reservoirs in the 1st member of Badaowan Formation

参 考 文 献

- 1 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89~ 97
- 2 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~ 183
- 3 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 305~ 313
- 4 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~ 57
- 5 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83~ 89
- 6 蒲仁海. 断陷盆地层序地层学的几点进展[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 410~ 414
- 7 高新生, 赵霞飞, 李天明, 等. 准噶尔盆地西部侏罗系层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 165~ 168
- 8 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平. 成油体系中的层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 221~ 226
- 9 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
- 10 周锦明, 熊翥. 地震数据精细处理[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 11 石万忠, 李举子, 李梦溪, 等. 时-频分析在高分辨率层序地层学中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(3): 234~ 237
- 7 Fryberger S G, Schenk C J, Krystinik L F. Stokes surfaces and the effects of near-surface groundwater-table on aeolian deposition[J]. Sedimentology, 1988, 35: 21~ 41
- 8 魏魁生, 徐怀大, 叶淑芬. 松辽盆地白垩系高分辨率层序地层格架[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(1): 7~ 14
- 9 王秉海, 钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 1~ 187
- 10 徐怀大. 层序地层学理论用于我国断陷盆地分析中的问题[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(1): 52~ 57
- 11 魏魁生. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 1~ 115
- 12 魏魁生, 徐怀大. 华北典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(2): 139~ 149
- 13 魏魁生, 徐怀大. 二连盆地白垩系非海相沉积层序地层学特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(2): 181~ 193
- 14 徐怀大. 陆相层序地层学研究中的某些问题[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 83~ 89
- 15 魏魁生, 李培柱, 龙更生. 孤北地区断阶式坡折沉积层序特征与隐蔽圈闭预测[J]. 现代地质, 2003, 17(3): 303~ 310
- 16 徐怀大. 寻找非构造油气藏的新思路[J]. 勘探家, 1996, 1(1): 43~ 45

(上接第518页)