

文章编号:1673-5005(2009)01-0001-06

断陷盆地深层膏盐层系砂砾岩体细分层方法

于雯泉, 林承焰, 孙晓庆, 吴国忱, 李 丽

(中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要:利用地质、钻井、测井、三维地震等资料,以民丰地区沙四下亚段为研究对象,提出了膏盐层系砂砾岩体细分层的方法:依据膏盐层期次划分砂砾岩体期次;采用电阻率和声波测井曲线即 $\Delta I_g R$ 方法对膏盐层的内部旋回进行划分,进一步细分砂砾岩体亚期;运用加入遗传算法的 BP 神经网络方法判别砂砾岩体岩性,结合地震奇异性分析,划分扇体内幕。研究表明,加入遗传算法的 BP 神经网络方法可以对单井的砂砾岩体内幕进行划分,时频谱斜率的奇异性剖面中砂砾岩体包络线内的每个页状体都对应着一组扇体,可以利用其实现砂砾岩体横向的细致划分。民丰地区沙四下亚段的砂砾岩体分为 3 期、6 个亚期、14 个砂组,并可进一步细分小层,为勘探开发研究提供分层依据。

关键词:砂砾岩体;膏盐层系;神经网络;奇异性分析;内幕期次

中图分类号:TE 121.3 **文献标识码:**A

Subdivision delamination method of glutinite bodies in gypsum-salt bed of rift-basin

YU Wen-quan, LIN Cheng-yan, SUN Xiao-qing, WU Guo-chen, LI Li

(College of Geo-Resources and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: According to the geologic, drilling, logging and 3-D seismic data, the method of delamination for glutinite bodies in gypsum-salt bed was advanced as example with the glutinite bodies of the under section of fourth member of Shahejie formation in Minfeng region. The gypsum-salt bed times could be used to carve up glutinite bodies period. The inter cycles of gypsum-salt bed were studied by $\Delta I_g R$ method (the estimate method for organic matter content of mud by resistivity and acoustic logging), and the sub-period of glutinite bodies can be measured. The lithology was differentiated by BP neural network acceded with genetic algorithm, and the internal fan body was classified, combining with seismic singularity attribute. The results show that the neural network acceded with genetic algorithm could reflect single well lithology sensitively. The seismic singularity attribute section of time-frequency spectrum slope could be used to measure off glutinite bodies transversely. The every lamina in the section was corresponded with one set of fan. With this method, the glutinite bodies of the under section of fourth member of Shahejie formation in Minfeng region were separated into 3 periods, 6 sub-periods, 14 sets and many thin layers. This method afforded delamination grounds for the exploration and development.

Key words: glutinite bodies; gypsum-salt bed; neural network; seismic singularity attribute; internal times

断陷盆地是重要的含油气盆地类型,在中国的中、新生代陆相含油气断陷盆地的深层(埋深大多于 3.5 km)陡坡带发育巨厚的砂砾岩体,并且往往伴随着厚层的膏盐岩^[1]。随着勘探的深入,砂砾岩体的油气勘探越来越受到重视,尤其是在渤海湾盆地济阳拗陷的断陷湖盆中砂砾岩体的油气勘探取得了巨大突破,因此加强砂砾岩体储层的识别与描述,

寻找有利的储层发育相带就成为了油气勘探与开发中必须解决的理论和和技术问题^[2-3]。但是,由于这些砂砾岩体往往缺乏生物化石,且埋深大、膏盐层系复杂、测井响应不明显、地质录井粗糙、地震分辨率低,造成了单井划分与全区对比困难,砂砾岩体沉积期次的划分对比已成为制约砂砾岩体油气藏勘探与开发的瓶颈之一^[4]。东营凹陷是济阳拗陷中的一个

收稿日期:2008-06-16

基金项目:国家自然科学基金项目(40872094);山东省博士后创新基金项目(200702040)

作者简介:于雯泉(1977-),男(汉族),山东莱州人,博士,现在博士后工作站从事油气地质、海洋地球化学、沉积学等方面的研究。

次级构造单元,是中国东部陆相断陷湖盆的典型代表,具有北断南超的开阔型箕状凹陷特征。东营凹陷古近系沙四下亚段广泛发育富膏盐岩层,并且在北部陡坡带发育了大套的砂砾岩体,以民丰地区最具有代表性。笔者基于该地区的地质、钻井、测井和三维地震等资料,对断陷盆地深层膏盐层系砂砾岩体细分层进行研究。

1 期的划分

民丰地区沙四下亚段发育巨厚的膏盐层,从井资料与三维地震剖面上可以清晰地分辨出3套(表1)。膏盐层是由于干旱炎热的气候导致湖盆中的石膏、石盐等矿物的沉淀所致,而在沙四下亚段时期,该地区经历了3次的气候旋回变化,形成了3套

膏盐层,而这3套膏盐层也正为该地区砂砾岩体的期次划分提供了依据。原因在于砂砾岩体是由于间歇性山洪携带陡坡带上升盘的碎屑物质进入湖盆沉积形成,在气候湿润时期,湖盆深部沉积正常的湖相泥岩,大量的山洪携带碎屑物质以重力流的形式沉积在湖盆的陡坡带上,形成砂砾岩扇体;当气候变得干旱时,降水减少,湖盆蒸发萎缩,从湖盆的边缘向湖盆中心形成环状的膏盐沉积层,并可覆盖在由于缺乏洪水而停止生长的砂砾岩体之上,直到气候再次变得湿润而开始新的湖相泥岩与砂砾岩扇体的沉积。因此,3套膏盐层也就对应了3套砂砾岩体^[5-8]。从地震剖面上可以将膏盐层的顶面标定延伸至基岩断层面,从而将该地区沙四下亚段的砂砾岩体从上到下划分为3期(图1)。

表1 东营凹陷深层膏盐层系不同井的顶面深度

Table 1 Tip depth of salt-gypsum bed of different wells in Dongying sag km

膏盐层	东风1	郝科1	东风5	东风6	新东风10	丰深1	丰深2	丰深3
第一套	3.444	3.399	3.119	2.754	3.350	3.9915	3.855	4.316
第二套	4.035	3.861	3.526	2.918	3.810	—	4.821	—
第三套	4.400	4.569	4.007	3.268	4.520	—	5.162	—

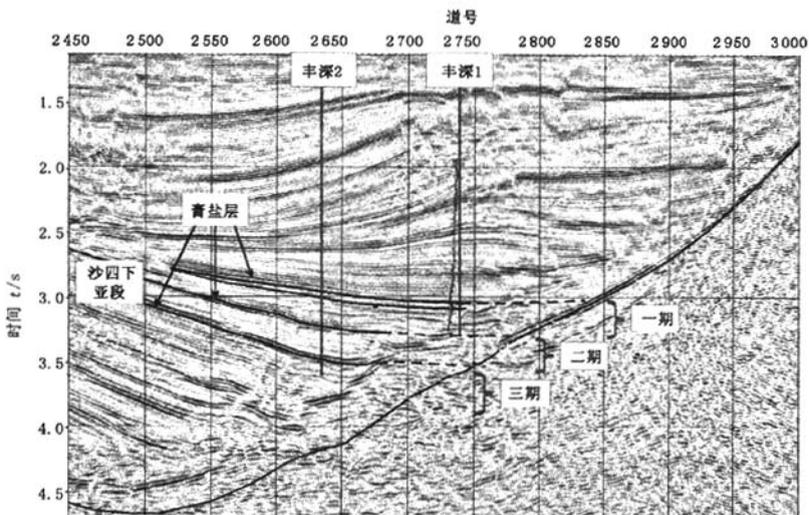


图1 过丰深1-丰深2井地震剖面砂砾岩体期次划分

Fig. 1 Glauconite bodies period division on seismic section crossing well Fengshen 1 to Fengshen 2

2 亚期的划分

三维地震剖面只能反应出砂砾岩体大的期次顶、底界面,无法反应其内部情况。但是,砂砾岩体是一种阵发性的事件沉积体,它与气候有着密切的关系。前文中所划分的砂砾岩体期次是发育于两套干旱气候所形成的膏盐层之间,可以说是湿润气候

时期的沉积产物,而在一个湿润气候时期中同样也有着次级旋回,这种次级旋回依然作用在砂砾岩体沉积上。相对更加湿润的气候次级旋回降水更加丰富,砂砾岩体也就更加发育,而相对干旱时期的砂砾岩体发育则较差。因此,可以通过研究气候的次级旋回来进行砂砾岩体的亚期划分。

很多学者研究证明气候的旋回变化是可以反映

在湖相泥岩的有机碳含量上的,通过 $\Delta\lg R$ 法,即应用声波测井和电阻率测井值可以计算出泥岩的有机碳含量^[9-10],表达式为

$$\Delta\lg R = \lg(R/R_{\text{基线}}) - 0.0061(\Delta t - \Delta t_{\text{基线}}), \quad (1)$$

$$TOC = \Delta\lg R 10^{-0.994R_o + 1.5374}. \quad (2)$$

式中, R 为测井电阻率, $\Omega \cdot m$; Δt 为声波时差, $\mu s/m$; $R_{\text{基线}}$ 为非烃源岩对应于 $\Delta t_{\text{基线}}$ 值时的电阻率, $\Omega \cdot m$; $\Delta\lg R$ 为与泥岩的有机碳含量呈正相关关系的中间变量; TOC 为有机碳含量; R_o 镜质体反射率。

既然 $\Delta\lg R$ 与泥岩的有机碳含量呈正相关关系,就只须利用公式(1)计算出 $\Delta\lg R$ 即可,并且通过

$\Delta\lg R$ 的形态来划分沉积期次。在民丰地区,丰深 2 井的进尺最深,且钻遇的湖相泥岩最厚,故可对其钻遇的膏盐层段间的泥岩进行 $\Delta\lg R$ 的计算,得到的有机碳含量的旋回变化即为当时气候的旋回变化,从而可对其对应的砂砾岩体进行亚期的划分。通过丰深 2 井的 $\Delta\lg R$ 计算(图 2),发现其整个泥岩段可以分出 3 个旋回,对应了砂砾岩体的 3 个期。在 3.85 ~ 4.75 km(第一套膏盐层)存在着两个有机碳含量变化旋回,对应着砂砾岩体中的两个亚期;4.75 ~ 5.53 km(第二套膏盐层)同样也存在着两个旋回。由此,可以将各井的砂砾岩体所对应的期次划分开来(图 3)。

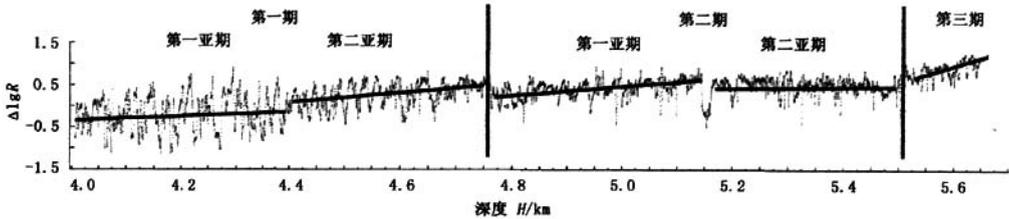


图 2 丰深 2 井膏盐层段 $\Delta\lg R$ 法期次划分

Fig. 2 Period division of salt-gypsum bed on well Fengshen 2 using $\Delta\lg R$

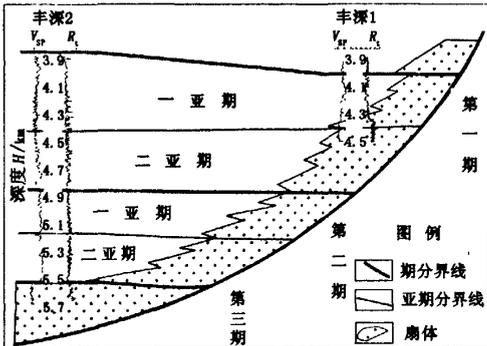


图 3 丰深 1-丰深 2 剖面砂砾岩体期次划分

Fig. 3 Glutinite bodies period division on section crossing well Fengshen 1 and well Fengshen 2

3 内幕的划分

由于每个亚期也有数百米厚,对于油气勘探与开发来说依然难以应用,还需进一步细分。民丰地区各井的砂砾岩体岩性复杂,录井资料难以应用到细分层中,笔者结合岩心、测井和地震资料,在大的期次划分的基础上,对民丰地区的各井砂砾岩体进行细致的内幕划分。

3.1 加入遗传算法的 BP 神经网络方法的岩性判别

人工神经网络方法是以自身特有的样本学习能力获得识别模式,从而克服了模糊数学法、灰色聚类法和多元统计法的缺陷,可以用于岩性、岩相、沉积

微相的识别,矿床预测及矿物岩石分类等地质方面的研究^[11-12]。笔者采用加入遗传算法的 BP 神经网络方法判别未取心井段的岩性,在加快了数据计算收敛的同时,也提高了计算的准确性。

通过岩心资料标定测井数据,利用 BP 神经网络反演岩性来划分丰深 1、丰深 2、丰深 3 井录井中粗糙的岩性韵律,具体步骤如下:

(1) 将岩心观测后的岩石划分为 7 种类型,并给以数字标示:1 为泥岩,2 为粉砂岩,3 为细砂岩,4 为中粗砂岩,5 为含细砾粗砂岩,6 为细砾岩,7 为复模态中粗砾岩。

(2) 将已知的各类型岩石的测井数据输入 BP 神经网络模型进行学习、检验(主要提取了 V_{SP} , GR , Δt , ρ , $R_{2.5}$, R_{LLD} , R_{LLS} 等)(表 2)。

(3) 将未取心井段相应的测井数据输入 BP 神经网络模型进行判别。

(4) 对未取心层段进行解释分析。

(5) 对整个层段进行基于亚期的内幕划分。

3.1.1 丰深 2 井的判别结果

用录井情况较好的丰深 2 井对该方法进行可信度检验。根据神经网络学习数据对丰深 2 井未取心段测井数据进行判别,得出岩性数据,对丰深 2 井 5.50 ~ 5.66 km 的岩性进行划分,并运用沉积学原理进行沉积相解释(图 4(a))。其中,录井图件列为实际录井结果,评价结果为神经网络对未取心段测井数

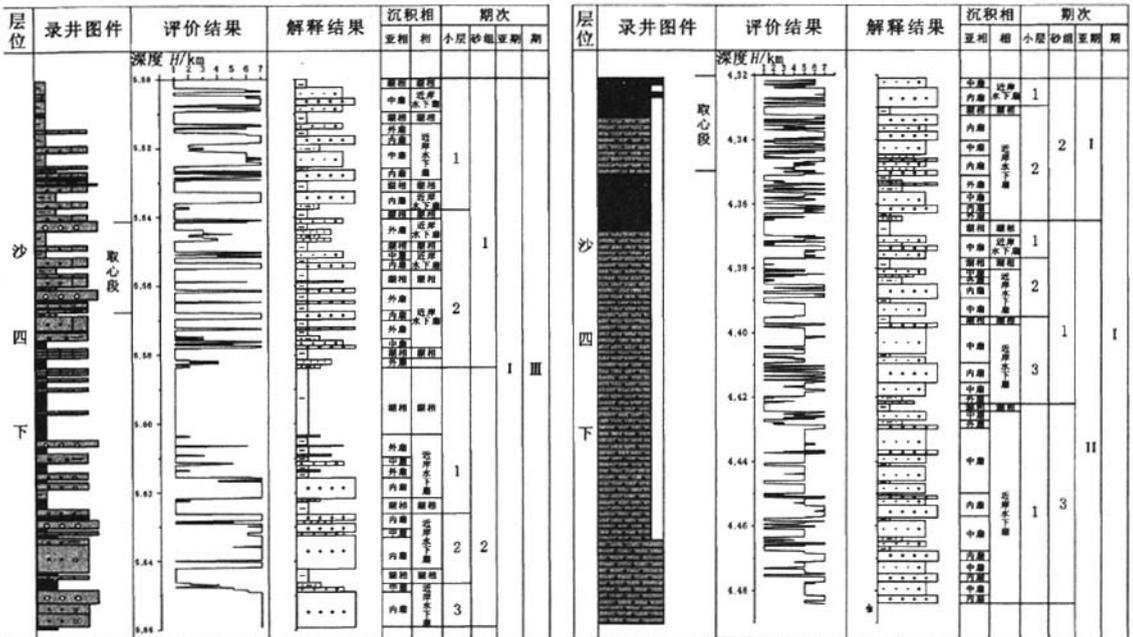
据进行计算评价的数值曲线,解释结果则是根据评价数值反推的岩性情况,沉积相与期次是据沉积学原理与该地区的沉积特征作出的判断结果。结果表明,该井段处于第三期砂砾岩体的第一亚期,共发育了两组近岸水下扇,每组内还可划分小层,小层的分辨率达

到了十米级,而沉积相的分辨率可以到亚相级。与实际录井图相比,除了顶部的钙质泥岩被误判为含砾砂岩外,基本相符。在砂砾岩体中,泥岩的钙质胶结并不十分强烈,说明该方法具有可信性。

表2 丰深1,2井BP神经网络判别数据

Table 2 Datasheet of BP neural network on well Fengshen 1 and well Fengshen 2

井号	截断误差	训练段数据	总数据	测井系列					
丰深1	0.001	74(4.320~4.350 km)	1377(4.320~4.484 km)	V_{SP}	GR	Δt	ρ	R_{LLD}	R_{LLS}
丰深2	0.01	88(5.542~5.568 km)	1362(5.500~5.660 km)	V_{SP}	GR	Δt	$R_{2.5}$	—	—



(a) 丰深2井

(b) 丰深1井

图4 判别解释结果

Fig.4 Distinguished result

3.1.2 丰深1井的判别结果

丰深1井的录井情况很差(图4(b)),无法从录井资料出发进行砂砾岩体的期次划分。通过对丰深1井4.320~4.484 km的岩性进行BP神经网络判别,发现该井段处于第一期扇体,可分为两个亚期,第一亚期发育一组近岸水下扇,第二亚期发育了两组,各组还可进一步划分小层。对比粗糙的录井图件,采用BP神经网络反演岩性来进行砂砾岩体岩相的细分具有十分明显的优越性。

3.2 与地震奇异性分析相结合进行扇体的期次与内幕划分

运用神经网络反演岩性技术可以对单井的砂砾

岩体进行细分,却难以应用到区域上。三维地震数据由于砂砾岩体反射信号的杂乱性也无法以直观方式应用,但由于地震数据携带大量的奇异性信息,而这些信息则与地下构造和地层分层有着重要联系。通过前面的研究,可以发现砂砾岩体存在着不同级别的期次旋回,这些旋回之间往往具有沉积间歇面,这些间歇面可以在地震信号中的不同频率部分得到反应^[13-14]。选取能够更好反应细分旋回的地震信号高频部分进行分析,结果表明频谱的斜率作为奇异性剖面的载体能够很好地反映砂砾岩体的内幕构造。

根据神经网络判别岩相数据,运用沉积学原理进

行砂砾岩体的期次解释,可以将这些扇体在单井中进行划分,而通过各井的时-深转换,将各期次扇体的深度换算成地震时间,并与地震奇异性剖面相结合,可以对整个砂砾岩体进行划分。将丰深 1 与丰深 2 井各期次扇体的顶、底深度读出,运用各井的时深转换数据将这些深度转换为地震剖面上的时间(表 3)。

表 3 扇体期次时-深对应关系

Table 3 Corresponding relationship of time-depth on fan period

井号	期次	深度 H/km	时间 t/s
丰深 1	I ₁₋₁	4.320 ~ 4.365	3.220 ~ 3.240
	I ₂₋₁	4.365 ~ 4.425	3.240 ~ 3.262
	I ₂₋₂	4.425 ~ 4.484	3.262 ~ 3.283
丰深 2	III ₁₋₁	5.500 ~ 5.583	3.572 ~ 3.619
	III ₁₋₂	5.583 ~ 5.660	3.619 ~ 3.655

对过丰深 1 与丰深 2 井的 3680 剖面线进行时频谱斜率的奇异性转换,并将两井的判别结果标定于其上,依据奇异性分析的图形划分出各期扇体的形态与

叠合关系。从深度上,奇异性分析中所划出的扇体与判别结果十分吻合(图 5)。

丰深 1 井在岩性剖面上可以判别出 3 组扇体,在奇异性剖面上也准确对应着 3 个页状体,而丰深 2 井的两组扇体同样对应两个页状体,其间的泥岩段也有清晰的反映,这表明时频谱斜率的奇异性剖面具有很好的反应砂砾岩体内幕期次的能力,其每个页状体都对应着一组扇体,通过与井资料进行相互验证,便可以对大套的砂砾岩体进行区域上的内幕划分。

由此,可以将该地区的砂砾岩体进行细化:第一期扇体可分为两个亚期,其中 I 亚期为退积序列,共包含两个砂组,丰深 1 井打到了第二砂组,第 II 亚期扇体为进积序列,包含 3 个砂组,丰深 1 井打到了第一和第三砂组;第二期扇体可分为两个亚期,共包含 3 个砂组;第三期扇体可分为两个亚期,其中 I 亚期为加积序列,共包含 4 个砂组,丰深 2 井打到了第一、二砂组,第 II 亚期扇体为退积序列,包含两个砂组。

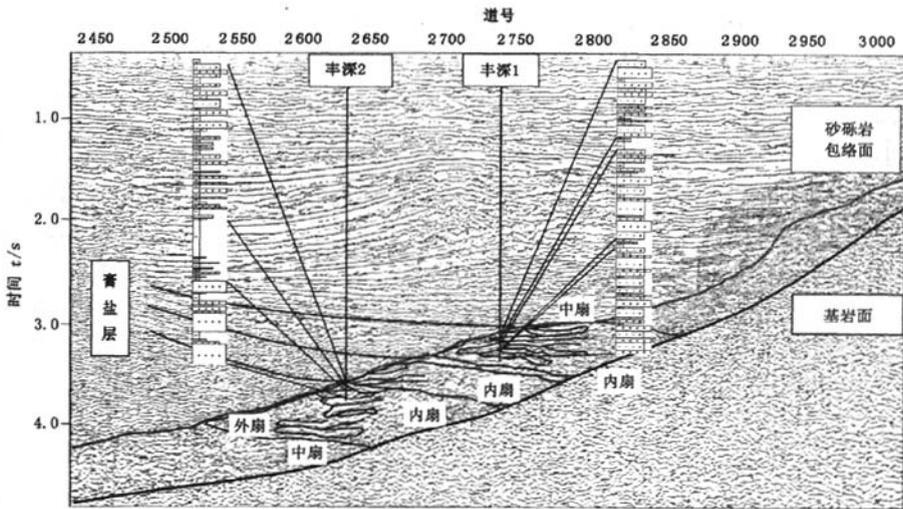


图 5 过丰深 1-丰深 2 井的奇异性分析剖面砂砾岩体内幕划分

Fig. 5 Internal fan body partition on seismic singularity attribute section crossing well Fengshen 1 to Fengshen 2

4 结论

(1)砂砾岩体细分层方法包括:以膏盐层期次划分砂砾岩体期次;采用 $\Delta \lg R$ 方法对膏盐层的内幕进行划分以进一步细分砂砾岩体亚期;运用加入遗传算法的 BP 神经网络方法判别砂砾岩体岩性,结合地震奇异性分析划分扇体内幕。

(2)加入遗传算法的 BP 神经网络方法能够灵敏地判别出砂砾岩体中复杂的岩性,并通过对其判

别厚的岩性进行沉积旋回的解釋,可以对单井的砂砾岩体内幕进行划分。

(3)时频谱斜率的奇异性剖面具有很好的反映砂砾岩体内幕期次的 ability,其剖面中砂砾岩体包络线内的每个页状体都对应着一组扇体,应用这种剖面可以实现砂砾岩体横向的细致划分。

(4)民丰地区沙四下亚段的砂砾岩体可分为 3 期:第一期扇体分为两个亚期,包含 5 个砂组;第二期扇体分为两个亚期,包含 3 个砂组;第三期扇体包

括两个亚期包含6个砂组。各个砂组中又可进一步细分小层。

参考文献:

- [1] 赵澄林,刘孟慧,胡爱梅,等.特殊油气储层[M].北京:石油工业出版社,1997:150-180.
- [2] MUTO T, STEEL R J. The middle Jurassic Oserberge delta, Northern sea asedimentological and sequence stratigraphic interpretation [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(7): 1070-1086.
- [3] RYAND W H, CHOUGH S K. Sequential development of alluvial/lacustrine system southeastern Eumsuny Basin (Cretaceous), Korea [J]. Journal of Sedimentary Research, 1997, 67(2): 274-285.
- [4] 陈业全,陈发亮,杨小波.东濮断陷湖盆兰聊陡坡带扇体形成机制及成藏规律研究[J].地球物理学进展, 2004, 19(2): 348-356.
CHEN Ye-quan, CHEN Fa-liang, YANG Xiao-bo. Research on the origin of the deposit fans and their reservoir formation in lanliao steep slope zone of dongpu depression [J]. Progress In Geophysics, 2004, 19(2): 348-356.
- [5] 孔凡仙.东营凹陷北带砂砾岩扇体勘探技术与实践[J].石油学报, 2000, 21(5): 27-31.
KONG Fan-xian. Exploration technique and practice of sandy-conglomeratic fans in the northern part of Dongying depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 27-31.
- [6] 王金铎,于建国,孙明江.陆相湖盆陡坡带砂砾岩扇体的沉积模式及地震识别[J].石油物探, 1998, 37(3): 40-47.
WANG Jin-duo, YU Jian-guo, SUN Ming-jiang. Depositional mode and seismic recognition of sandstone and conglomerate fan bodies in the abrupt slope zone of terrestrial facies lake basin [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1998, 37(3): 40-47.
- [7] 鄢继华,陈世悦,姜在兴.东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征[J].石油大学学报:自然科学版, 2005, 29(1): 12-21.
YAN Ji-hua, CHEN Shi-yue, JIANG Zai-xing. Sedimentary characteristics of nearshore subaqueous fans in steep slope of Dongying depression [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(1): 12-21.
- [8] 王宝言.断陷湖盆陡坡带砂砾岩体勘探技术——以东营凹陷北部陡坡带为例[J].特种油气藏, 2004, 22(6): 29-32.
WANG Bao-yan. Exploration of glutenite on the steep slope of rift lake basin: a case in the north steep slope of Dongying sag [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2004, 22(6): 29-32.
- [9] 许晓宏,黄海平.测井资料与烃源岩有机碳含量的定量关系研究[J].江汉石油学院学报, 1998, 20(3): 8-12.
XU Xiao-hong, HUANG Hai-ping. A quantitative relationship between well logging information and organic carbon content [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1998, 20(3): 8-12.
- [10] 于雯泉.拗陷型盆地层序地层学研究——以松辽盆地为例[D].东营:石油大学地球资源与信息学院, 2003: 41-44.
- [11] 卢新卫,金章东.前馈神经网络的岩性识别方法[J].石油与天然气地质, 1999, 20(1): 82-85.
LU Xin-wei, JIN Zhang-dong. Method of lithologic recongnizing based on feed forward neural network [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(1): 82-85.
- [12] 张福明,李洪奇,邵才瑞,等.应用神经网络模式识别技术进行测井沉积学研究[J].石油勘探与开发, 2003, 30(3): 121-123.
ZHANG Fu-ming, LI Hong-qi, SHAO Cai-rui, et al. Application of artificial neural network pattern recognition technology to the study of well-logging sedimentology [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 121-123.
- [13] 董臣强,王军,张金伟.时频分析技术在三角洲层序分析中的应用[J].断块油气田, 2002, 9(2): 18-21.
DONG Chen-qiang, WANG Jun, ZHANG Jin-wei. Application of time-sequence analysis in delta sequency analysis [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2002, 9(2): 18-21.
- [14] 周静毅,印兴耀,吴国忱.小波变换与地震奇异性属性[J].物探化探计算技术, 2006, 28(2): 117-120.
ZHOU Jing-yi, YIN Xing-yao, WU Guo-chen. Wavelet transform and seismic singularity attribute [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2006, 28(2): 117-120.

(编辑 徐会永)