

埕岛油田东斜坡层序约束下的储层预测技术

王绍忠* 周红科

(中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司海洋采油厂,山东东营 257237)

王绍忠,周红科. 埕岛油田东斜坡层序约束下的储层预测技术. 石油地球物理勘探, 2012, 47(1): 142~149

摘要 由于埕岛油田东部斜坡带东营组储层埋藏深、相变快、且常常与围岩速度差异小,依据目前的三维地震资料分辨该区东营组单个砂层及进行层位标定难度较大,从而无法了解储层的空间展布规律。本文通过钻井、测井和地震资料的综合分析及东营组长期旋回内部界面的识别,将东营组长期旋回自上而下划分为层序S1、S2、S3、S4;根据东营组储层的各种沉积相具有独特的地震波组响应特征,通过扩大砂体研究对象,从层序约束的角度,以砂体所在沉积韵律或旋回为目标,充分利用地震资料进行储层预测,形成了一套有效的储层预测技术。主要流程包括层序划分与解释、宏观地震相解释、时窗界定、在无井控制下的聚类分析储层预测、在有井约束下的储层平面预测。通过宏观地震相解释、综合瞬时相位切片、BP神经网络储层预测图,进行该区块砂体追踪和解释,取得了良好的效果。

关键词 埕岛油田 东营组 旋回 层序约束 地震相 储层预测

中图分类号:P631 **文献标识码**:A

1 概述

在油气勘探中,地震属性的研究和应用始于20世纪70年代,主要应用瞬时振幅属性直接检测油气。中国自20世纪80年代中期以来,也发展了多项地震属性提取技术,如相关分析、傅里叶谱分析、自回归分析、功率谱分析、振幅特征分析、三瞬技术等^[1~3],并由此发展了一些反演方法,如用克里金或协克里金法反演孔隙度变化等。如今可利用的地震属性信息主要分为速度信息、信号动态信息、弹性参数信息三类。

从岩石物理学的角度看,在储层参数和地震属性之间并不存在直接的解析关系,而且影响储层参数的因素很多,其间的关系也十分复杂,故不能用确定的函数表达式进行描述。因此综合利用地质、地球物理信息,通过数理统计等方法进行储层参数空间变化预测,应是今后的发展方向。目前由地震属性预测储层参数的方法有多元逐步回归法、神经网络法、协克里金法等,这些方法各有特点及应用

前提,影响因素也较多。在实际应用中,究竟采用何种方法,每种方法应如何选择地震属性具有很大的随意性,从而造成预测结果的多解及不可靠性^[4~7]。

本次研究区域为埕岛东部地区,位于渤海湾西南部的浅海海域,区域构造位置为埕岛潜山披覆构造带东北部,与渤中拗陷、郯庐断裂带紧邻。由于其紧邻渤海湾盆地最大的生油凹陷——渤中凹陷,因而具有形成大中型油气藏的基础。

多年勘探已经证实,该区东营组具有一定的储油能力,油藏类型为隐蔽岩性—地层油藏,具有较好的勘探前景^[8,9]。该区东营组中、下段发育多期深水浊积扇和扇三角洲前缘滑塌扇沉积,是主要储层,这类储层受浊积事件和古地形、古地貌等因素的影响,埋藏深、相变快,一般与围岩速度差异小(图1),识别和描述难度很大,缺乏有效的技术手段进行储层描述。依据目前的三维地震资料分辨该区东营组单个砂层及进行层位标定,尚存在很大难度,表现为:在振幅特征上,一是砂岩、泥岩难识别(在地震剖面上两者均可呈空白反射、中弱反射及中强反射),

* 山东省东营市海洋采油厂海三管理区,257237。Email:wsz1423001@163.com

本文于2011年1月13日收到,最终修改稿于同年12月28日收到。

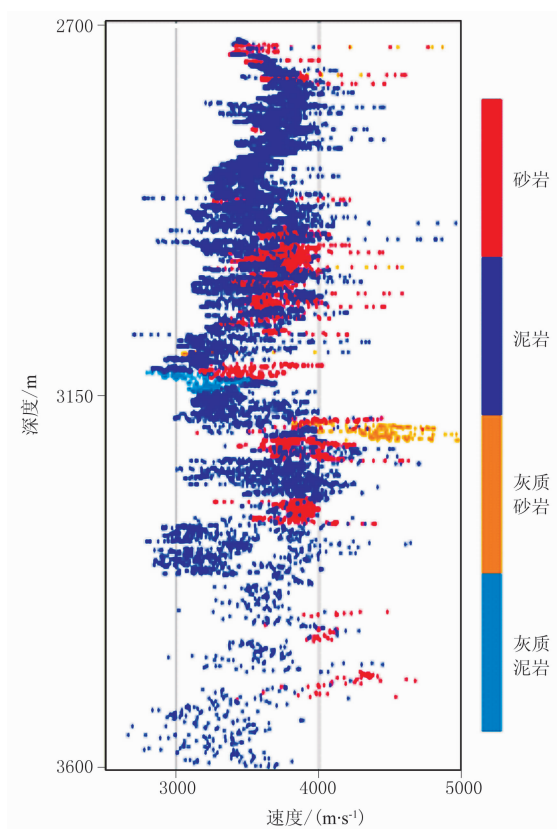


图 1 埕岛东部砂、泥岩层速度图板

本图依据 SH8、SH801、CB32、CB802、CB94 等 5 口井资料编制

二是砂体难追踪;在频谱特征上,当前地震资料在东营组的优势频率约为 25Hz,根据已钻井统计结果可知,在该频率可识别的砂体厚度一般大于钻遇储层的厚度,因此以常规时间域地震剖面在目标深度段的品

质,尚无法精细描述储层的纵向分布特征^[10~14]。

2 解决方法与技术路线

由于地震资料波组特征对于东营组储层的各种沉积相具有独特的响应,如合成记录表现为反射系数的中值均衡特征与地震剖面的中弱长轴反射对应,在钻井剖面上表现为单层储层厚度较大,粒度均一,以细砂岩为主,顶、底部出现泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,电测曲线为中—高幅的齿化箱形特征,顶、底部均为突变式接触,齿中线不变,反映沉积过程物源充足,水动力条件稳定,测井相解释为分支河道砂体主水道,为稳定时期分流河道砂体的响应特征(图 2)。地震剖面的弱短轴反射与舌形、指形测井曲线特征对应,指示钻井剖面上单层储层厚度较小,粒度较细,以细砂岩、粉砂为主,上、下均为渐变形,幅度不大,反映水动力条件相对较弱,分布于河口砂坝外缘的薄层砂。

通过扩大砂体研究对象,从层序约束的角度,以砂体所在沉积韵律或旋回为目标,充分利用地震资料进行储层预测是一条有效的途径。即利用地震资料结合已划分的层系,通过精细合成记录标定,对埕岛东斜坡的 4 套层序、5 个界面进行构造解释。利用 LANDMARK 软件对各层序进行储层初步识别,综合测井约束反演,对砂体进行精细描述,提供井位部署方案,其流程如图 3 所示。

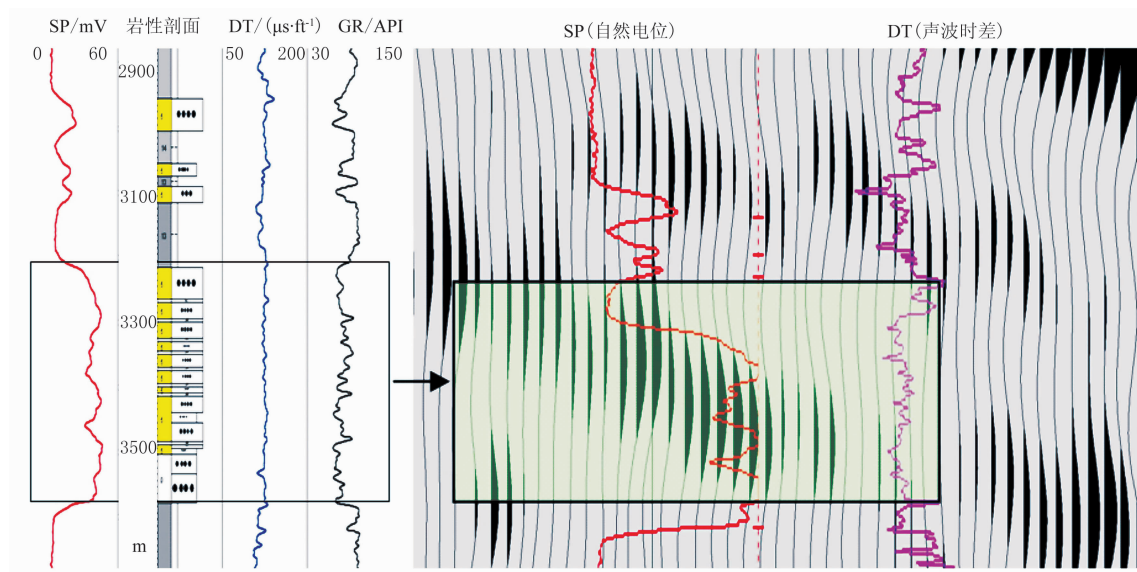


图 2 埕岛东斜坡 CB323 井测井响应(左)与近东西向地震剖面(右)

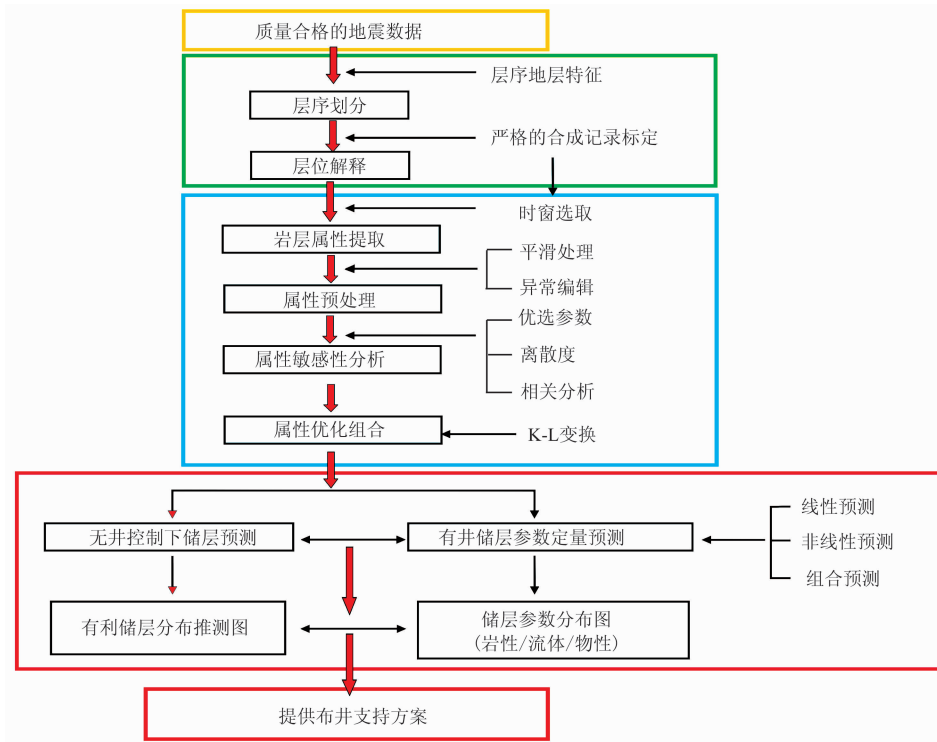


图3 基于属性分析的储层预测流程

3 层序约束下的储层预测

3.1 高分辨率层序地层划分^[13,15,16]

根据高分辨率层序地层学原理与技术手段,通过钻井、测井和地震剖面的综合分析及东营组长期旋回内部界面(包括上超面、顶超面、下超面以及进积/退积转换面、洪泛面等)的识别,可将东营组长期旋回划分为四个中期基准面旋回(即四级层序),自上而下命名为层序 S1、S2、S3、S4,分述如下。

(1)层序 S4。相当于 V + VI 砂组,为一不对称旋回,仅发育上半旋回,底界面为东营组和沙一段之间的超覆不整合面,地震剖面上表现为明显的上超特征;顶界面在地震剖面上表现为指向斜坡的上超特征,在钻井剖面上为一套浊积砂岩的底部界面。该层序主要以发育深灰色泥岩、油泥岩为主,砂岩不发育,仅局部夹薄层砂岩。

(2)层序 S3。该层序上半旋回大致相当于 IV 砂组,下半旋回大致相当于 III² 砂组。底界面为层序 S4 的顶界面,顶界面在地震剖面上为一前积反射的顶超面,钻井剖面上为一套典型的进积序列的顶部界面。其内部在地震剖面上发育一个下超面,钻/测井剖面上表现为退积与进积作用的转换面,为

较厚层的深灰色泥岩发育层段,表现为最大洪泛面的特征,为该层序上升与下降半旋回的转换面,也是东营组长期旋回上升与下降半旋回的转换面。上半旋回以发育深灰色泥岩夹砂岩、砾质砂岩为特征;下半旋回下部主要为厚层暗色泥岩发育段,上部在研究区南部以发育扇三角洲砂岩、砾质砂岩与灰绿色泥岩互层为主,研究区北部主要为暗色泥岩夹砂岩、砾质砂岩。

(3)层序 S2。该层序大致相当于 III¹ 砂组。底界面为层序 S3 的顶界面,在近凹陷中心部位表现为上超面;顶界面在地震剖面上也表现为顶超面特征,在钻井剖面上表现为一套辫状河三角洲厚层砂岩、含砾砂岩由进积、加积到退积的地层叠加样式的转换位置。

(4)层序 S1。该层序大致相当于 I + II 砂组,如进一步细分,上半旋回相当于 II 砂组,下半旋回相当于 I 砂组。底界面为层序 S2 的顶界面,顶界面为古近系与新近系之间的区域不整合面,在地震剖面上表现为削截面特征;在钻井剖面上为一套厚层砂砾岩的底部界面。整体上以灰、灰绿色、棕红色泥岩夹砂质沉积为特征。上升与下降半旋回的转换位置为退积与进积地层叠加样式的转换处,为较厚层的灰、灰绿色洪泛平原泥岩发育的位置。

3.2 层序界面的精细解释

由埕岛东斜坡地层特征认识到,该区最大洪泛面即传统意义上的 Ed III² 砂组底部界面在控制主要储层的发育方面起到了举足轻重的作用。区内已钻遇的有利储层,大都分布于洪泛面附近至 S3 层序的底部,即传统意义上的 Ed IV 砂组底。因此追踪 Ed III² 砂组底、Ed IV 砂组底分别作为顶、底层位,在此控制下进行储层预测。

3.3 宏观地震相解释

在储层预测中人们通常过于关注细节之处,而常常忽略了对储集体的宏观把握。事实上,通过对常规地震相的追踪来确定大型沉积体的大致分布范

围及特征,对地球物理技术成果的地质解释起着重要的作用。

通过研究已钻井位,认为在目的层段内层序地层具有三个特点:其一,层段上、下皆有相对稳定的厚层(油)泥岩存在,即上部对应层序 S3 上升半旋回的大套泥岩,下部对应层序 S4 中上部的大套油泥岩;其二,该层序于本层段内,砂岩层明显增多,砂、泥含量比值明显增大;其三,储集体沉积类型均属浊积扇体沉积。根据前两个特点,可以认为在相当厚的一段地层内,可视本层段上、下趋近于泥岩环境,而层段本身趋近于砂岩环境(图 4)。据此可以选取对砂、泥环境变化较敏感的属性探测整个层段内砂

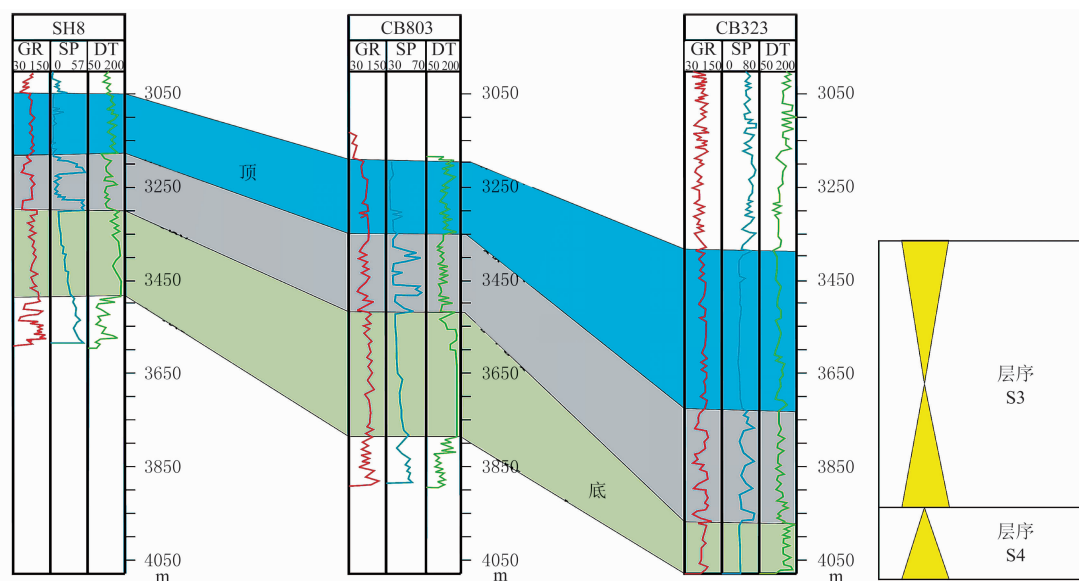


图 4 SH8—CB803—CB323 井连井录井剖面

GR、SP、DT 的量纲分别为 API、mV、 $\mu\text{s}/\text{ft}$ 。

岩较发育的空间范围,同时以顶、底界面为参考层分别向上、向下开取较大时窗,不会影响宏观预测结果的解释精度(图 5)。在属性选择方面,结合第三个特点与前人的经验,认为振幅及其衍生类属性对扇体形态的反映较明显^[17]。

如弧长属性是特定间隔内“地震波形”长度的一种度量方法(学术上讲,它是间隔内地震道线积分的近似值),反映了反射波的非均质性。弧长属性是振幅与频率的混合属性,用于区分强振幅/高频率与强振幅/低频率或者弱振幅/高频率与弱振幅/低频率的反射特征。由于泥岩与砂岩的界面通常具有更高的阻抗差异,因此可用于区分泥岩层序(环境)或者是砂岩层序(环境)。再如均方根属性对振幅的变

化非常敏感,对于油气流体的聚集、岩性、孔隙度、三角洲与河道砂的展布、不整合、调谐效应以及层序变迁等地质现象的识别都非常有利。通过利用振幅类属性,可有效地识别出东斜坡带砂岩的宏观展布规律:超覆带储层零星分布,整体不发育;第一坡折带储层分散发育,受沟谷坡折影响极大;第二坡折带砂体规模增大,近连片分布;至凹陷带砂体规模最大,连片分布;断坡带砂体发育,并被断层切割,平面呈破碎状。

3.4 时窗界定

界定时窗的常规作法是:利用钻井数据在地震剖面上标定储层层位,统计其相对于参考层的位置,开取时窗提取属性;再根据属性分析结果调整时窗

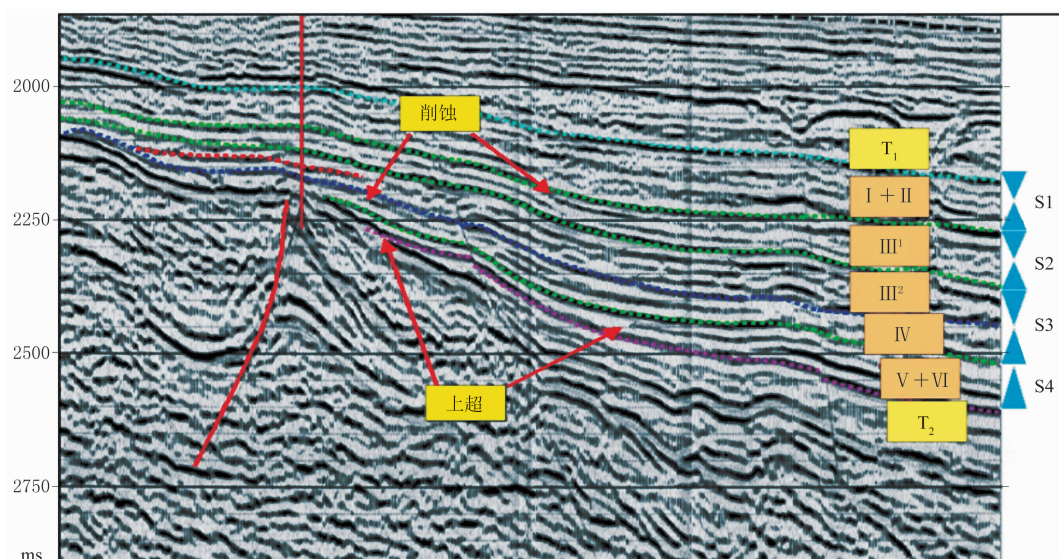


图5 埕岛东斜坡东西向层序分析剖面

范围。但此法过于简单,尤其是层位位置的偏差(与标定精度有关)及手工拾取的不连续性都会给预测结果带来不稳定性。

通过观察区内已钻井位,发现目的层段内砂泥互层现象明显,砂岩相对较厚,连续性较好,因此选取对浊积扇垂向变化反映敏感的属性进行观察。通过分析不同模型下的地震响应特征发现,瞬时相位类属性可有效识别岩性尖灭、超覆、构造不连续等地质现象。考虑到瞬时相位的周期性,以及易受某些无用信息的干扰,最终选取了振幅加权瞬时相位体属性,这是因为振幅作为加权因子后,可在一定程度上减少干扰的损害。此外,由于研究区块属斜坡带,常规等时切片和基于单个参考层的沿层或层拉平切片,都会不同程度地造成穿时现象,因此研究中采用了同时以顶、底层位为约束,提取等比例地层切片的方法,即可准确地反映凹陷带扇体在不同发育阶段的沉积相特征,以了解上、中、下地质体在纵向上的变化特征。

3.5 层序约束下的储层预测

3.5.1 无井控制下的聚类分析

由于研究区内已钻井井位分布极不平衡,因此文中首先单纯利用属性进行聚类分析。主要利用 Geoframe 软件中属性分析工具 SeisClass 下的“K-Means Clustering”算法,该算法主要用于无井或井较少的探区,选取传统的 CSA (Computed Seismic Attributes, 计算地震属性) 进行聚类分析。在属性提取过程中,某些属性从平面上看常常存在雪花状

噪点,或者零值的情况(频率类属性常有)。如有必要,须对属性数据进行预处理或者异常校正。在属性提取之后,利用 Crossplot 交会软件对属性进行筛选,即根据属性间的相关程度,最终选取 13 种属性组成属性包参与聚类分析,得到 K-Means Clustering 算法分析结果(图 6)。根据平面展布形态及已钻井资料,推测红色区域砂岩储层最为发育,黄色次之,蓝色再次之,绿色相关性最小,为储层不发育区。通过预测结果与实际测井资料(表 1)的对比表明,两者具有很好的吻合度。

3.5.2 有井约束下的储层平面预测

(1) 样本井的选取原则。第一,避免选取断层附近的井,因为受断层影响,井旁地震特征参数难以准确提取,使得井旁地震提取的地震特征参数难以准确反映油气特征;第二,避免选取破碎带(低连续性)附近的井,因为在这种地带很难确定哪一个相位代表油气层,提取的地震特征参数也未必能正确反映油气藏;第三,代表含油气样本与代表不含油气样本的地震特征参数必须具有差异性。通过以上筛选,选出七口井位(CB323、CB803、CB804、CB805、CB806、SH8、SH801),并对各目的层段内的储层厚度进行统计(表 2)。

(2) 属性的选取原则。由于属性数目众多,因此必须进行筛选。在筛选过程中,根据经验,总结出三个原则:第一,剔除与厚度相关值太小的属性,保留相关值大的属性,组成初级属性集合;第二,在初级属性集合内,若某两个属性与厚度相关值较一致,同

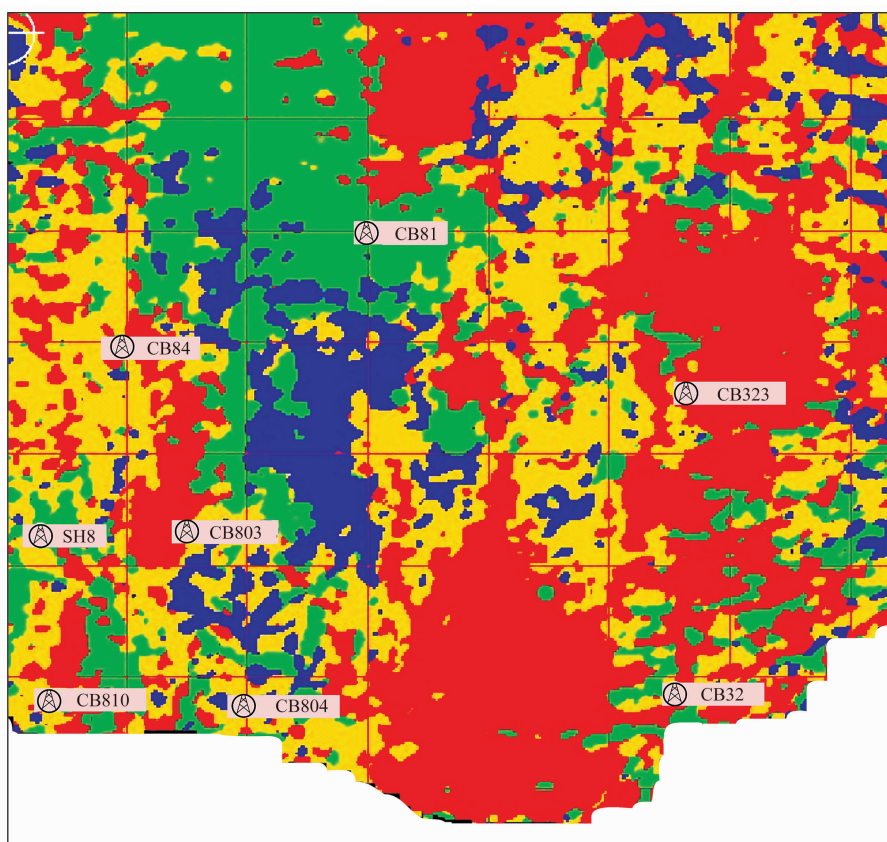


图 6 K-Means Clustering 算法聚类分析结果图

红色区域砂岩储层最为发育,黄色次之,蓝色再次之,绿色区域为储层不发育区

表 1 埕岛东斜坡测井解释资料

井号	深度段/m	测井厚度/m	解释结果
CB323	3945~3973	21	含油水层
CB32	3482~3514	18.5	油层
CB803	3432~3507	20	含油水层
SH8	3195~3266	23	中砂岩,无油气显示
CB810	2962~3028	10	砂岩,遇薄含油水层
CB804	3221~3278		多套较连续薄层,遇薄含油水层

时互相关值也大,则保留其一即可;第三,在初级属性集合内,若某两个属性互相关值大,但两者与厚度的相关值大小差异较大,说明这两个属性在反映厚度上是有差异的,需要都保留。按照该原则组成最终的属性集合,既达到了剔除冗余属性、减少属性分析错误、提高运算速度的目的,又在一定程度上保留了属性的多样性。根据经验,参与预测的属性集合中含 5~9 种属性即可。最终选取最大值、全波形面

表 2 按层序界面 Ed^{III}²-Ed^{IV} 拾取的深度段

井名	CB323	CB803	CB804	CB805	CB806	SH8	SH801
深度段/m	3877.5~4101	3384~3585	3177~3410	3084~3210	3106~3280	3130~3280	3009~3129
累计厚度/m	42.5	62	74	48.5	39.5	59.5	33

积等六种属性组成属性包。

(3)BP 神经网络预测^[18]。利用神经网络算法,厚度参数参与其中,得到具有明确地质意义的储层预测图(图 7)。由图中可见,东营组^{III}²-IV 砂组储层明显呈南、北两个条带展布,分别为第一、第二坡折带及 CB32~CB323 一带,至深洼带储层发育较差。

4 砂体追踪与解释

综合观察瞬时相位切片、BP 神经网络储层预测图,结合常规地震剖面,进行砂体的追踪描述(图 8)。最终分砂组追踪解释砂体 52 个,有利含油

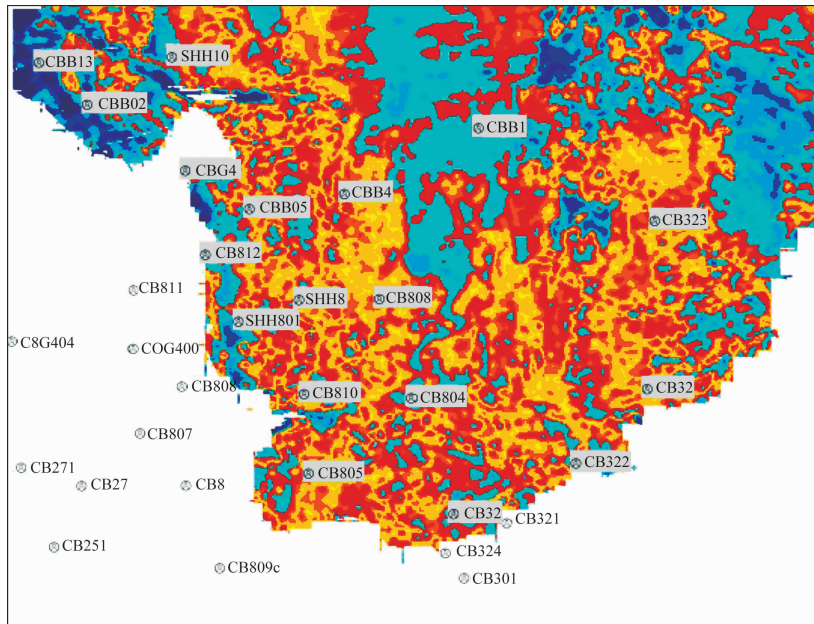


图7 埕岛东部东营组Ⅲ²-Ⅳ砂组储层预测平面图(振幅加权瞬时相位体切片)
黄色区域为砂岩发育区,蓝色区域为泥岩发育区

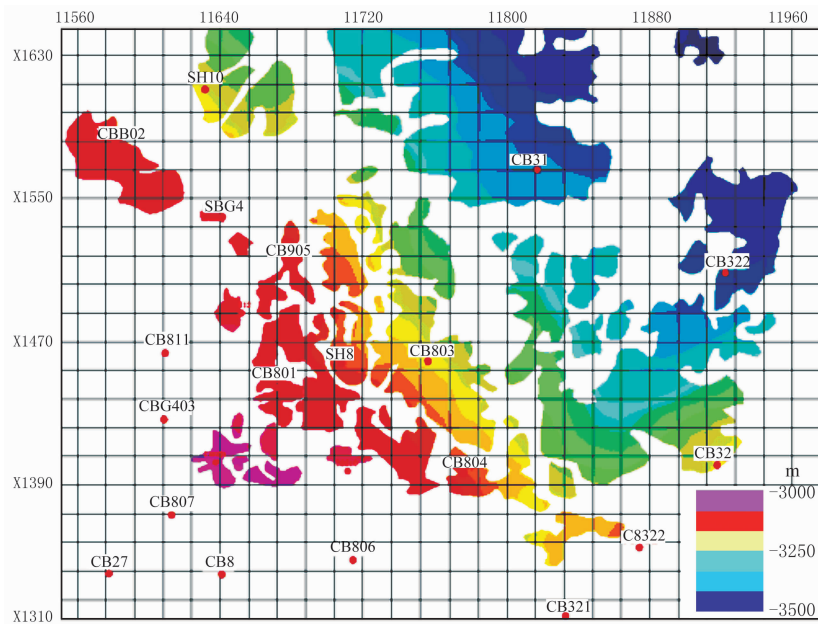


图8 埕岛东斜坡东营组Ⅳ砂组砂体构造图(单位:m)

面积为 35km^2 , 预测石油地质储量达 $2800 \times 10^4\text{t}$ 。

5 结论

(1) 本文通过钻井、测井和地震剖面资料的综合分析及东营组长期旋回内部界面的识别, 将东营组长期旋回划分为四个中期基准面旋回(即四级层序), 自上而下命名为层序 S1、S2、S3、S4。

(2) 根据东营组储层的各种沉积相特有的地震波组响应特征, 通过扩大砂体研究对象, 从层序约束的角度, 以砂体所在沉积韵律或旋回为目标, 充分利用地震资料进行储层预测, 形成了一套有效的储层预测技术。

(3) 通过宏观地震相解释、综合瞬时相位切片、BP 神经网络储层预测图, 进行该区块砂体追踪和解释, 取得了良好的效果。

本文是在胜利油田地质院、海洋采油厂领导与专家的大力帮助下撰写的,在此表示最诚挚的谢意!

参考文献

- [1] Daniel P Hampson, James S Schuelke, John A Quirein. Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data. *Geophysics*, 2001, 66(1):220~236
- [2] 王赞, 滕殿波, 邢春颖. 多分量地震技术实用化的一些关键问题. 勘探地球物理进展, 2005, 28(3):174~177
Wang Zan, Qi Dianbo, Xing Chunying. Some key issues of multi-component seismic technology to be practical. *Process in Exploration Geophysics*, 2005, 28(3):174~177
- [3] 陈文超, 高静怀. 基于改进的最佳匹配地震子波的地震资料衰减特性分析. 地球物理学报, 2007, 50(3):837~843
Chen Wenchao, Gao Jinghui. Characteristic analysis of seismic attenuation using MBMSW wavelets. *Chinese Journal Geophysics*, 2007, 50(3):837~843
- [4] 张洪波, 王伟, 顾汉明. 高精度地震属性储层预测技术研究. 天然气工业, 2005, 25(7):35~37
Zhang Hongbo, Wang Wei, Gu Hanming. Research of reservoir prediction technology by high precision seismic attribute. *Natural Gas Industry*, 2005, 25(7):35~37
- [5] 董宁, 周小鹰, 刘振峰等. 鄂北上古生界隐蔽气藏地震储层预测技术. 地球物理学进展, 2006, 21(3):909~916
Dong Ning, Zhou Xiaoying, Liu Zhenfeng et al. The application of integrated seismic reservoir prediction in forecasting hidden gas reservoir of upper Palaeozoic group, north Ordos basin. *Progress in Geophysics*, 2006, 21(3):909~916
- [6] 陈守田, 孟宪禄. 薄互层储层预测方法. 石油物探, 2004, 43(1):33~36
Cheng Shoutian, Meng Xianlu. Thin interlayer reservoir prediction technology. *GPP*, 2004, 43(1):33~36
- [7] 付志方, 张君, 邢卫新等. 拟声波构建技术在砂泥岩薄互层储层预测中的应用. 石油物探, 2006, 45(4):415~417
Fu Zhifang, Zhang Jun, Xing Weixin et al. Application of simulating sound wave construction technology at sandstone shale thin interlayer reservoir prediction. *GPP*, 2006, 45(4):415~417
- [8] 高喜龙, 李照延, 杨鹏飞等. 层序地层学在埕岛油田东斜坡隐蔽油气藏勘探中的应用. 石油地球物理勘探, 2002, 37(增刊):210~214
Gao Xilong, Li Zhaoyan, Yang Pengfei et al. The application of sequence stratigraphy for masking reservoir exploration at east slope Chengdao oilfield. *OGP*, 2002, 37(Sup):210~214
- [9] 李阳. 胜利海上埕岛油田东部斜坡带东营组隐蔽油气藏勘探. 复杂油气藏勘探技术国际学术研讨会论文集. 山东东营:石油大学出版社, 1998
- [10] 张学芳, 董月昌, 慎国强等. 曲线重构技术在测井约束反演中的应用. 石油勘探与开发, 2005, 32(3):70~72
Zhang Xue-fang, Dong Yue-chang, Shen Guo-qiang et al. Application of curve rebuild inversion in reservoir prediction. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3):70~72
- [11] 魏立花, 郭精义, 杨占龙等. 测井约束岩性反演关键技术分析. 天然气地球科学, 2006, 17(5):731~735
Wei Lihua, Guo Jingyi, Yang Zhanlong et al. Analysis of logging restriction rock inversion crucial technology. *Natural Global Science*, 2006, 17(5):731~735
- [12] 姜素华, 王永诗, 林红梅等. 测井约束反演技术在不同类型沉积体系中的应用. 石油物探, 2004, 43(6):587~590
Jiang Suhua, Wang Yongshi, Lin Hongmei et al. Application of logging restriction inversion at different depositional system. *GPP*, 2004, 43(6):587~590
- [13] 高喜龙, 孙希瑞, 李顺玲等. 测井约束反演在埕岛油田储层预测中的应用. 石油地球物理勘探, 2001, 36(3):334~338
Gao Xilong, Sun Xirui, Li Shunling et al. Application of logging restriction inversion for reservoir prediction at Chengdao oilfield. *OGP*, 2001, 36(3):334~338
- [14] 张剑秋, 张福炎. 地震层位信息三维可视化. 石油地球物理勘探, 1998, 33(1):119~124
Zhang Jianqiu, Zhang Fuyan. Seismic horizon information three dimensional visualization. *OGP*, 1998, 33(1):119~124
- [15] 鹿洪友, 操应长, 吴明荣等. 层序地层学应用于陆相湖盆中隐蔽油气藏的成因解释. 大地构造与成矿学, 2004, 28(2):209~213
Lu Hongyou, Cao Yingchang, Wu Mingrong et al. Sequence stratigraphy applied to cause of formation explain for masking reservoir at land facies lake basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28(2):209~213
- [16] 樊太亮, 李卫东. 层序地层学应用于陆相油藏预测的成功实例. 石油学报, 1999, 20(2):12~17
Fan Tailiang, Li Weidong. A successful case on sequence stratigraphy application to the prediction of land facies oil reservoir. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(2):12~17
- [17] 孙希瑞, 时丕同, 付兆辉. 利用地震多属性实现储层参数预测——以埕岛东斜坡下第三系为例. 渤海湾油气勘探开发工程技术论文集(第九集), 2004
- [18] 杨立强. 基于BP神经网络的波阻抗反演及应用. 地球物理学进展, 2005, 20(1):34~37
Yang Liqiang. Application of impedance inversion based on BP neural network. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(1):34~37

(本文编辑:刘勇)