

振幅属性在 M 气田盒 1 段储层预测中的应用

齐 颖, 范久霄, 黎小伟, 杨 靖

(中石化华北分公司勘探开发研究院, 郑州 450006)

摘 要: M 气田的主力储层为二叠统下石盒子组盒 1 段河道砂体储层, 属于典型的低孔、低渗岩性油气藏, 地震预测难度大。针对这一难题, 从储层和围岩的地球物理特征出发, 运用地震原理方法, 经过正演模型验证、对比, 总结出本区盒 1 段地震反射特征和提取叠后地震数据的振幅属性, 建立储层预测与识别的依据。经过统计本区 40 口实际钻井资料, 振幅属性与实际钻井的符合率达到 75% 以上, 表明该方法对本区盒 1 段储层含气性有很好的预测效果, 是该层段储层预测的有效的实用方法之一。

关键词: 储层预测; 波阻抗特征; 振幅属性

中图分类号: TE311

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2017.06010

M 气田是位于鄂尔多斯盆地北部的一个大型致密—低渗透气田。主要含气层位自下而上为上石炭统太原组、下二叠统山西组和下石盒子组, 是一套完整的海相潮坪—近海三角洲—陆相辫状河沉积层序, 厚度 250~280 m, 横向稳定, 宏观形态呈一巨大的“箱型”, 受上石盒子组区域盖层物性和异常压力的双重封盖作用, 工业气藏的发育被严格限制在该箱体内, 多层大型岩性圈闭叠合发育, 具有“近源箱型”成藏模式^[1]。天然气主力产层属于上古生界石炭系—二叠系海陆交互相含煤碎屑岩含油气体系。二叠系下石盒子组、山西组、石炭系太原组为气田主要目的层。二叠系下石盒子组盒 1 段沉积时期北部的阴山隆起进一步抬升, 来自北部剥蚀区的大量粗碎屑物质由河流携入本区, 使冲积平原迅速向南扩大, 三角洲体系

快速向南退出, 同时因该期气候由潮湿型转化为干旱炎热型, 因而发育了一套总体以河流相为主的灰绿、灰白色和紫红色的高建设型以砂泥岩为主的沉积。盒 1 段沉积期为陆相组河流相沉积环境, 河道滞留沉积、心滩、边滩为主要砂体类型。盒 1 段砂体在全区内广泛发育, 砂体累计厚度为 99~173 m, 平均 139 m, 埋藏深度 2 540~2 840 m。

盒 1 段储层岩性主要为致密的岩屑砂岩^[2], 少量中—粗粒岩屑石英砂岩。碎屑颗粒中石英含量为 52%~94.0%, 平均为 73.3%; 长石含量为 0~13%, 平均为 2.4%; 岩屑含量为 5%~48%, 平均为 24.3%。颗粒分选中等, 次棱状, 颗粒之间隙物中主要为泥质杂基。

以往研究河道的方法通常在常规地震剖面的基础上, 以地震地层学或叠前反演的方法进行。由于本区的地质情况十分复杂, 主要表现在砂体大面积分布, 但有效储层厚度变化大、连续性差。各单砂体纵向上相互叠置, 横向上交互搭接, 连片复合, 主河道识别困难, 含油储层厚度较薄、物性相对较差, 横向变化大, 常规地震无法判识是岩性还是储层引起的变化^[3]; 而叠前反演需要对储层

收稿日期: 2017-03-27

基金项目: 国家科技重大专项“低丰度致密低渗油气藏开发关键技术”(2016ZX05048)

作者简介: 齐 颖(1971—)女, 工程师, 主要从事石油地震储层预测和综合研究工作。E-mail: 672715359@qq.com

及围岩的地球物理物理特征,特别是纵波、横波特性有较细致的了解,而本区缺乏横波测井资料,且运算量超大,处理效率较低。

地震振幅分析技术通过建立储层与地震响应之间的振幅变化关系解决储层预测问题^[4]。岩层间波阻抗差异的大小决定了地震波振幅属性的特征,通过储层与围岩之间物性差异而引起的地震反射特征的变化能够寻找有效的储集体^[5]。本文在对钻井测井资料统计的基础上,分析了储层和围岩的物性特征,以地震勘探原理方法为指导,以地质模型的地震正演模拟、对比分析为手段,总结出本区盒1段地震反射特征,同时提取叠后地震数据的振幅属性,建立储层预测与识别的依据,最后对实际地震数据进行应用,取得了较好的效果。

1 盒1段储层地球物理参数特征

通过对本区已有钻井的盒1段测井数据进行统计分析(图1)表明,盒1段的致密纯砂岩(图中橙色框区域)波阻抗大部分在 $10\ 800\sim 13\ 200\ (\text{g}/\text{cm}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$ 之间,泥岩(蓝色框区域)波阻抗在 $9\ 800\sim 12\ 900\ (\text{g}/\text{cm}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$ 之间,二者的大部分数值重叠,难以有效区分;但是,砂岩储层含气后波阻抗(紫色框区域)有了较大的降低,在 $8\ 500\sim 11\ 500\ (\text{g}/\text{cm}^3)\cdot(\text{m}/\text{s})$ 之间,有效砂岩储层的波阻抗小于泥岩和纯砂岩的波阻抗,能够与围岩形成较大的波阻抗界面,即砂岩储层含气

后与围岩(致密纯砂岩或泥岩)形成较大的反射系数,反映在地震剖面上表现为振幅能量较强的波峰或波谷。根据这一特性,可通过研究这些常规地震剖面的反射特征和波形结构来研究M气田盒1有效砂岩的分布。

2 盒1段地震正演模拟与响应特征

通常地震剖面是地下地层间波阻抗差异(反射系数与子波褶积)的结果。一般情况下,子波的有效带宽和旁瓣效应会影响地震道振幅和反射系数的对应关系,但是对于本气田的盒1段来说岩性组成以砂泥岩为主,属辫状河道沉积,砂岩较厚、分布广泛而且稳定,具有砂包泥特征;有效储层以物性好、非连续分布在砂岩中为主要特征。形成地震反射的主要因素就是砂泥岩之间的波阻抗差异,砂泥岩的波阻抗差异相对下伏的煤系地层波阻抗差异小、相对稳定;通过测井分析结果(图1)可知,致密砂岩和泥岩波阻抗相近,不易产生大的反射系数。所以,本区盒1段受到的有效带宽和旁瓣效应影响较小。

本工区盒1段的有效砂岩与泥岩或致密砂岩的波阻抗差异大,容易形成大的反射系数,而泥岩与致密砂岩的波阻抗的相近差异较小,形成较小的反射系数,如不考虑谐振效应,经过正子波褶积后在地震剖面上较大的正反射系数表现为大的波峰振幅,负反射系数表现为大的波谷振幅,较小的

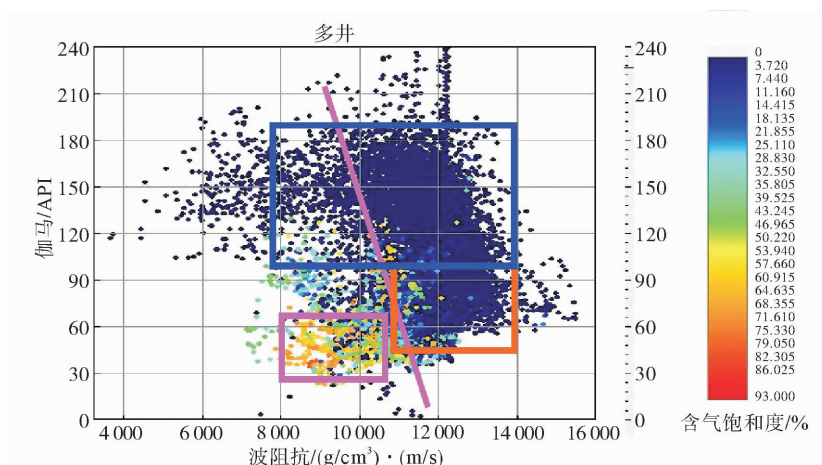


图1 盒1段储层物理参数统计

Fig. 1 The diagram of P1x1 reservoir physical parameters

反射系数经过子波褶积表现为小的波峰(谷)振幅或杂乱反射(图 2)。

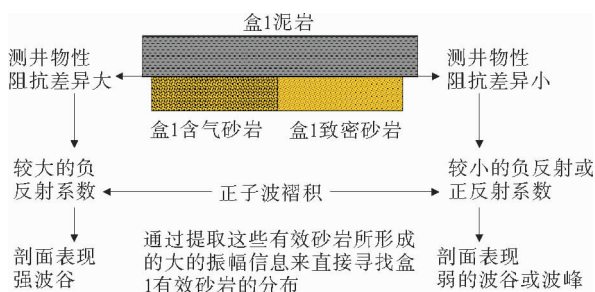


图 2 子波与大反射系数褶积形成强振幅

Fig. 2 The strong amplitude formed by the convolution of wavelet and big reflection coefficient

基于盒 1 段有效砂岩与其围岩的差异,可通过正演模型设定有效砂岩层速度为 4 600 m/s,密度为 2.2 g/cm³;泥岩和致密砂岩波阻抗相近均为层速度 4 800 m/s,密度为 2.65 g/cm³;有效砂岩波阻抗为 10 120 (g/cm³) · (m/s),小于致密砂岩和泥岩的波阻抗 12 720 (g/cm³) · (m/s),结合辫状砂沉积特点,设计了分别发育的单层砂体、累计厚层砂体等多种地震地质模型,采用正演褶积模拟方法,选择与实际地震记录相同主频的 Ricker 正子波,模拟目标层的地震反射特征,结果如图 3 所示。

从图 3 的模拟结果中可以看出,累计厚砂层较厚,表现为中-强波谷,而且波谷两侧有大的波

峰振幅,砂层越厚波谷越宽、顶和底正振幅具有上弱下强组合特征;当有多个薄砂层时,形成多个叠加波形,而且砂体越厚,表现为波谷越宽、旅行时越大;薄砂层时顶和底正波峰振幅能量具有上强下弱组合特征,之间旅行时相对较小,顶或底部有弱波峰。

3 储层地震振幅属性识别

储层的地震响应特征是地震预测的主要内容,是评价有利储层重要定性依据,需要借助钻井和测试成果进行不同级差样本的优选,并进行有效性的确定,通过样本井从砂体厚度、有效厚度、产能测试情况筛选并在剖面上进行对比分析。图 4 为过钻遇不同厚度的盒 1 段砂岩储层钻井的地震剖面,经过对地震剖面反射波组的标定分析认为,该套储层在地震剖面上处于反射较为稳定的 T9d—T9e 波组之间,具有 2 个正波峰夹持一个负波峰的地震反射同相轴组合特征,主体储层地震响应位于 T9d—T9e 波组之间的波谷位置,整体上反射振幅相对稳定、变化不大,局部会出现能量、频率和旅行时差的变化。

结合模型正演模拟成果,对图所示的实际地震剖面分析,获得对储层的基本地震反射响应特征的认识。在图 4 呈现的过实际钻井的地震剖面上,从左到右分别 A1、A2、A3、A4 钻井,钻遇的

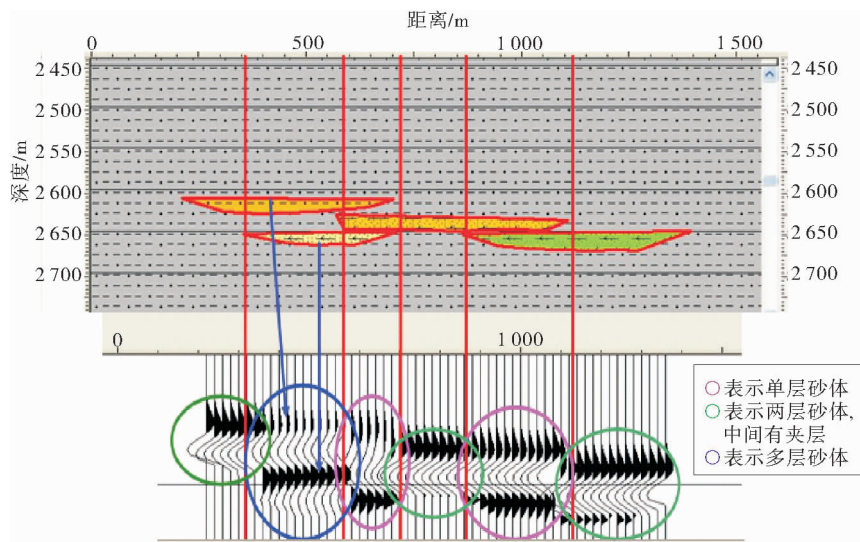


图 3 盒 1 段地质模型的正演模型及结果

Fig. 3 The seismic forward model and results for P1x1 reservoir

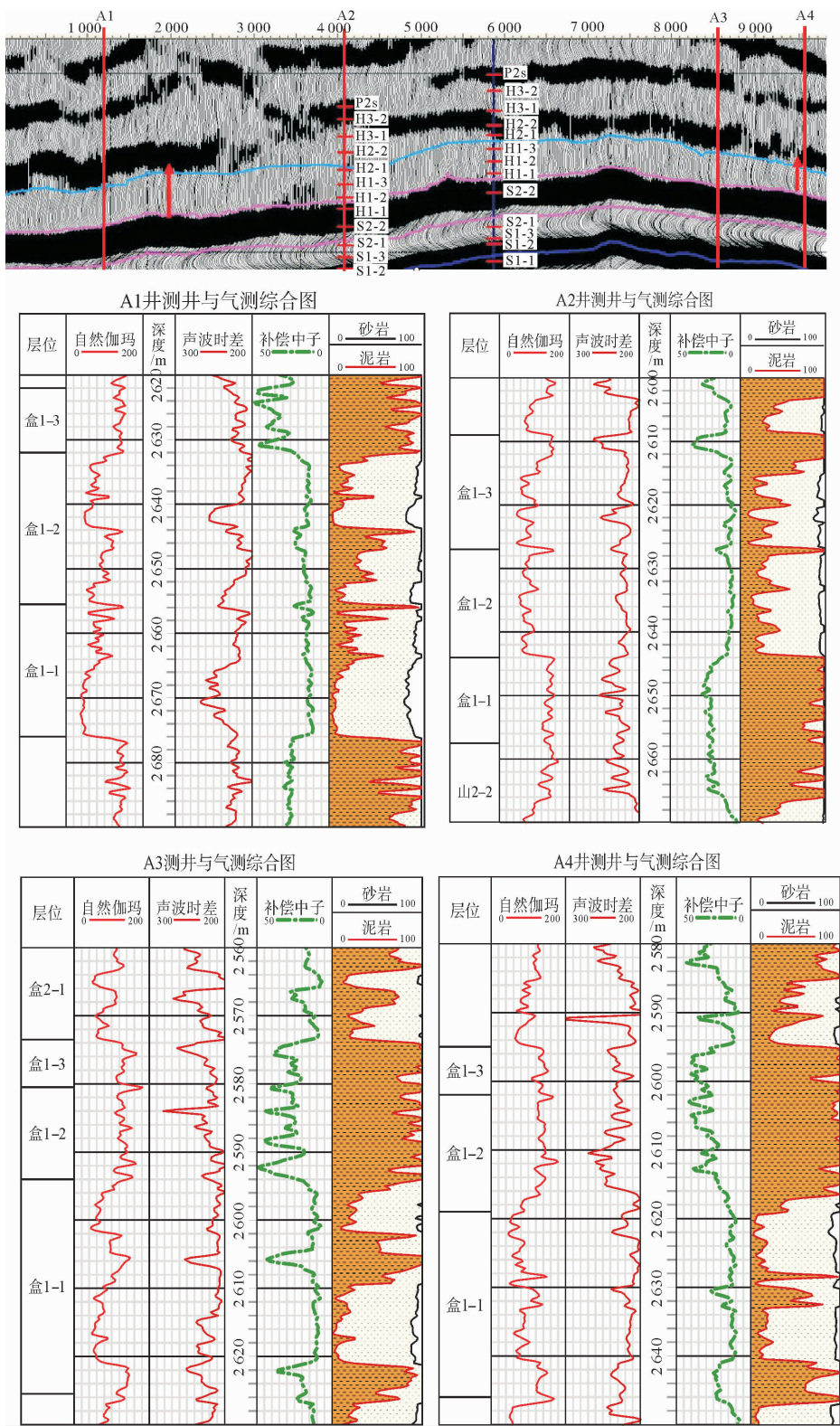


图 4 盒 1 储层在地震剖面的响应特征

Fig. 4 The response characteristics of seismic section of P1x1 reservoir

砂岩储层逐渐变薄。在对应的地震叠加剖面上,表现为代表盒1段储层地震波形响应的波谷周期依次变短。其中,A1井的盒1段有效砂岩储层厚度大,含气饱和度高,其波阻抗较低,与围岩间形成较大的反射系数,在地震剖面表现为波谷振幅最大、波形相对较宽且稳定;A2井的盒1段顶部发育有砂岩、泥岩互层,地震剖面上表现为波谷上部反射杂乱,波形强弱变化大,稳定性差;而A3、A4井的盒1段砂体最薄,在地震剖面虽然波形响应稳定,振幅能量中等,但波谷周期短,且波谷之上的波峰振幅能量较弱。

通过地震剖面特征结合模型正演模拟认识,可归纳出盒1段有利储层的地震剖面响应具有以下特征:

(1)砂体厚度与T9d—T9e反射波组之间旅行时呈正相关关系,有效储层厚度与砂体具有正相关关系,砂体较厚会造成T9d—T9e反射波组之间旅行时增大;由于旅行时增大,单位时间里反射波震荡的次数降低,频率的降低。

(2)由于砂体中的有效储层与围岩的波阻抗相差最大,会产生较大的波阻抗差异,使得T9d—T9e波之间反射波组之间反射强度与有效砂体具有正相关关系,储层较发育时其反射能量也相对较强。

(3)稳定的砂岩和泥岩沉积微相分布的稳定性与相应层段地震波形特征的稳定性具有正相

关,波形稳定说明沉积微相变化不大。

由以上正演模型分析和实际资料的统计结果可以看出,盒1段储层在叠后正极性地震剖面表现为较强而且无杂乱反射的波谷,波谷宽度越大代表盒1储层越厚、含气性越好。振幅以中强振幅为主。

根据以上分析结果表明,叠后地震剖面T9d—T9e的强振幅、宽波谷是盒1段有效储层的地震反射响应,通过提取该时窗的振幅属性能够有效预测盒1段储层的分布。图5中是为采用AVO反演方法对叠前地震数据提取的盒1段AVO梯度响应属性(图5a)与对叠后地震数据提取的盒1段振幅属性预测(图5b)比较结果。从中可以看出,二者在整体上相似度较高,在整个勘探区中存在3个呈南北向分布盒1段储层有利天然气储集区,中间区域分布面积大,是盒1段储层天然气开发产能建设最主要的建产区域。此外,在工区东部和西南部局部区域,分布振幅属性连续性较好区域,虽然面积规模较小,但从振幅属性分析,其储层特性优于中间区域,应在下一步勘探工作中给予重点关注。

为了验证振幅属性在本区对盒1段储层有利含气区预测的可靠性,采用位于勘探区的40口钻井资料,对盒1储层发育区的情况与预测结果进行了验证和统计分析。在这40口钻井中,分布在

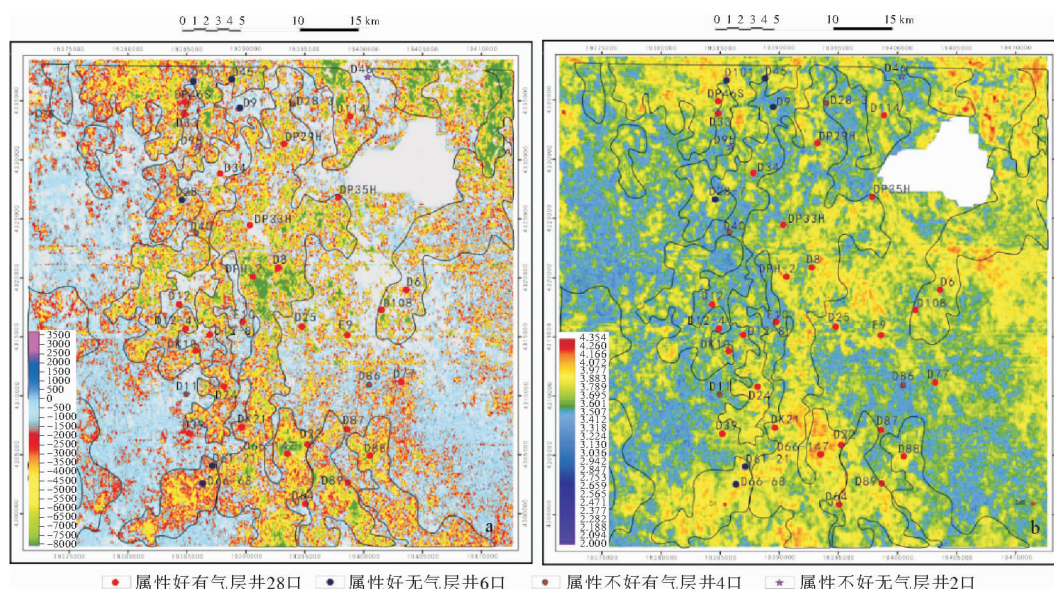


图5 盒1 AVO负梯度和振幅属性对盒1段储层预测

Fig. 5 Prediction by comparison between AVO negative gradient attributes and the amplitude attributes for P1x1 reservoir

振幅属性优良区域的钻井34口,有28口钻井在盒1段发育厚度较大的砂岩储层,经测试后获得工业气流,另外6口钻井钻遇的盒1段砂岩的泥质含量较高,速度较低,造成振幅能量较大;分布在振幅属性差区域钻井6口,其中有2口钻井钻遇的盒1段为大套泥岩,速度高、振幅弱,其余4口井虽然在盒1段见到了有效含气储层,但厚度较小,为砂岩、泥岩互层。总计振幅属性预测与实际钻井符合井数有30口,符合率为75%,由此可见利用叠后地震数据的振幅属性可以较好地反映盒1段有利含气层在勘探区的展布规律。

4 结论

应用叠后数据振幅属性能够较好地反映本区盒1段储层含气有利区的分布,与实际钻井符合率较高,而且振幅属性提取、分析操作简单,易于实现,地震叠后数据量相比叠前数据量较小,对软硬件的要求不高,是适合本区盒1段储层的预测方法之一。

本文利用振幅属性预测盒1段砂岩储层含气有利区的分布,是在现有地震资料的分辨率基础

上进行的,没有讨论地震波的分辨率对预测影响。众所周知,由于地震波主频不同造成的岩性组合的地震响应是不同的,不同的岩性组合在相同的地震波分辨率情况下也可能产生振幅属性,这是预测中存在部分误差的原因,建议在振幅属性预测的基础上,结合地震数据的高频属性和低频属性^[6],进一步判别储层的岩性组合和含气特性,以提高预测精度。

参考文献:

- [1] 郝蜀民,惠宽洋,李良.鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术[J].石油与天然气地质,2006,6:45-57.
- [2] 贺晓,焦健,许建权,等.地震河道检测技术在鄂尔多斯盆地上古生界的应用[J].非常规油气,2015,2(2):22-26.
- [3] 杜立筠,吴志强,龙利平.鄂尔多斯盆地中生界低幅度构造岩性圈闭油气储层预测技术[J].海洋地质前沿,2013,29(10):59-64.
- [4] 曲寿利,王鑫.国内外物探技术现状与展望[M].北京:石油工业出版社,2003.
- [5] 关达.提高碎屑岩地震储层预测精度的一种解释方案[J].海洋地质前沿,2015,31(7):59-65.
- [6] 党丹,李金泉.低频数据体的属性提取在储层预测中的应用[J].海洋地质前沿,2013,29(12):65-70.

APPLICATION OF AMPLITUDE ATTRIBUTES IN RESERVOIR PREDICTION FOR THE P1X1 SECTION OF M GAS FIELD

QI Ying, FAN Jiuxiao, LI Xiaowei, YANG Jing

(Research Institute of Exploration and Development for North China Branch of Sinopec, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: The P1x1 (the He-1 Section of the Xiashihezi Formation of the Permian) channel sand body, the main reservoir of the M gas field, is the most important exploration target in this region. It is a typical lithologic reservoir with low porosity and permeability and thus hard to make seismic prediction. In this paper, we presented a practical way for reservoir prediction. Upon the principle of seismics and using of method of statistics and data analysis, actual drilling data, in addition to the geophysical characteristics of actual logging data are collected and processed by the seismic forward modeling. As the results, the seismic section features of P1x1 are summarized, and then the amplitude attributes of the post-stack seismic data, which can be used as a criterion for distribution prediction, are extracted from these features. According to the actual drilling data of 40 wells in this area, the coincidence rate of amplitude attributes and actual drilling data is as high as 75%, which shows a good effect of prediction. The process to draw amplitude attributes from seismic post-stack data is rather simple. It requires relatively small amount of data and the workload is not heavy. It is easy to carry out and only requires limited hardware support.

Key words: reservoir prediction; wave impedance characteristic; amplitude attributes