

波形差异分析技术在气田高产气区预测中的应用

张文旗¹, 王志章², 韩海英², 陈昭佑³, 刘忠群³

1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083
2. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249
3. 中国石油化工股份有限公司华北分公司, 郑州 450006

摘要 针对大牛地气田含气层段多、砂体非均质性强、横向变化快、波阻抗差异不突出的问题, 在地层格架划分的基础上, 结合生产井的生产信息, 对储层进行波形差异分析, 结果表明, 不同类产层所对应的井旁道质心、均值、方差、变方差的中心、概率及特征值有一定差异, 但敏感度不够。为得到含气性敏感度更高的地震波形参数, 对地震波形敏感信息进行分析与重构, 构建出 7 个新的波形差异参数, 建立不同产能储层与地震波形的对应关系; 在此基础上, 反演出目的产层的波形差异数据体; 结合沉积相等地质信息对波形差异数据体进行综合解释, 得到目的产层的高产气区的预测图; 利用生产井及新投产井对预测结果进行分析, 总预测符合率达 86%。

关键词 大牛地气田; 地震波形; 波形差异; 高产气区预测

中图分类号 P631

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.18.002

Analysis of Waveform Differences in High Gas Zone of Daniudi Gas Field for Prediction

ZHANG Wenqi¹, WANG Zhizhang², HAN Haiying², CHEN Zhaoyou³, LIU Zhongqun³

1. Research Institute of Petroleum Exploitation and Development, Beijing 100083, China
2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. Huabei Company, China Petroleum & Chemical Corporation, Zhengzhou 450006, China

Abstract In Daniudi gas field there are many gas bearing segments, and the sand bodies are highly heterogeneous with great lateral variations, so the differences of the wave impedance are indistinct. Based on the stratigraphic framework, the seismic waveform differences of the reservoir are analyzed according to the production information of wells. There are some differences in the center, probability, and characteristic value of centroid, mean, variance and varying variance for the seismic waves from nearby wells between different production layers, but the sensibility is not enough. In order to obtain seismic waveform parameters of gas bearing formation with higher sensitivity, the seismic waveform sensitive formation is analyzed and reconstructed, and seven waveform parameters are obtained. By analysis and reconstruction of the sensitive information, the corresponding relationship among reservoirs of different productivity and seismic waves is established, and the data of waveform differences are obtained by inversion for the target stratum with this relationship. Combined with geological information, sedimentary facies etc. the waveform difference data are interpreted, and the high gas area layer prediction diagram of the target stratum is obtained. With the data of production wells and new production wells in this area, the prediction results are analyzed, and the total prediction agreement rate reaches 86%.

Keywords Daniudi gas field; seismic waveform; waveform differences; prediction of high gas zone

收稿日期: 2011-03-17; 修回日期: 2011-04-12

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05045)

作者简介: 张文旗, 博士研究生, 研究方向为油气田开发地质, 电子邮箱: carlqi1981@qq.com; 王志章(通信作者), 教授, 研究方向为油气藏描述、测录井地质、储层地质、油气地质工程等, 电子邮箱: whx3998@vip.sina.com

0 引言

随着油气藏勘探开发的不断深入,油藏地球物理技术不断向油气田开发领域延伸,使得该技术已经成为油气田开发与生产的一种重要技术手段^[1],其中利用地震属性分析及地震反演技术进行储层预测已被广泛应用^[2-3]。但在进行储层预测时,地震属性仅反映地震信号的某种特性,单一属性无法描述地震信号的整体特征,而地震反演假定选用井能够表征所有地质信息的差别,但未考虑地质相的复杂变化^[4]。因此,在地震分辨率不能满足直接识别砂体的情况下,须充分利用地震波所提供的丰富信息进行储层预测。

本文以鄂尔多斯盆地大牛地气田为例,从储层的地震波形特征出发,进行不同类产层波形差异分析及高产层的分布预测。研究表明,储层、非储层、高产气层及不含气储层在地震、地质、测井、测试信息等方面存在一定的差异性。因此,利用其差异性求取优质储层敏感的波形差异参数,在地震波形敏感信息分析的基础上,进行储层敏感信息重构,有助于提高不同类产层的预测精度。

1 地质概况

大牛地气田位于陕西省榆林市与内蒙古自治区伊金霍洛旗交界地区,区域构造上处于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡带北部,南和长北气田相接,全区面积 2004km²。区块构造背景单一,在西倾大单斜的背景上,发育若干局部低幅隆起及鼻状隆起,地层平缓,断裂不发育。

大牛地气田发现于 2000 年,目前已发现盒 3、盒 2、盒 1、山 2、山 1 和太 2 这 6 套含气层段,埋深 2540—2970m。其中,太原组为滨岸沉积,厚度为 25—82m;山西组为三角洲平原沉积,厚度为 65—135m;下石盒子组为辫状河沉积,厚度为 100—160m。气田内气藏为无边底水定容弹性驱动的低渗致密岩性气藏,单井产能低。该气田储层具有如下特点:(1) 多期河道砂体纵向叠置,横向变化大,不连续,非均质性严重;(2) 砂体普遍具有低孔低渗的特征;(3) 单砂体厚度薄,一般为几米至几十米,气层厚度更薄;(4) 下石盒子组为薄砂泥互层结构,山西组、太原组为夹煤层、灰岩层的砂泥互层结构;(5) 储层波阻抗特征不突出,与泥岩间差异不明显;(6) 砂体相对泥岩具有低自然伽玛、低中子、高密度、低声波时差特征,含气砂体一般具有较高电阻率特征。

2 波形差异分析

地震子波在地质体中的传播过程中相当于一个滤波过程^[5],因此,不同类储层从总体波形来看,特征基本类似,但单一波形特征在形态、宽窄、幅度、均值等方面均具有一定的差异性。

鉴于无阻流量与储层有效厚度、物性及含气丰度间存在良好的对应关系,依据产能将研究区目的层段储层分为 6 类:高产层(无阻流量大于 10×10⁴L)、中产层(无阻流量介于 5×10⁴—10×10⁴L)、低产层(无阻流量介于 1×10⁴—5×10⁴L)、特

低产层(无阻流量介于 0.1×10⁴—1×10⁴L)、微产层(无阻流量小于 0.1×10⁴L)。

图 1 为本区不同类产层的单一波形特征模式图。经分析认为,同类产层间的波形差异,主要由物性差异、含气饱和度和有效储层分布位置等因素引起;而不同类产层间的波形差异,主要由有效储层厚度、含气饱和度等因素引起。综上所述,导致波形差异的因素包括有效储层厚度、物性和含气饱和度等。因此,如何精细准确地刻画波形差异,直接决定优质储层的分布与预测。

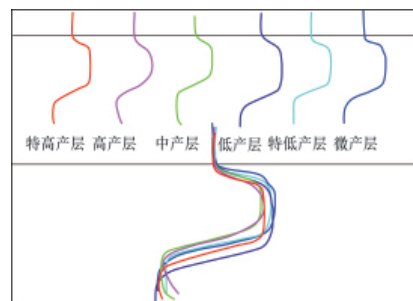


图 1 大牛地气田不同类产层单一波形特征模式

Fig. 1 Single waveform characteristics diagram of different yield types in Daniudi gas field

2.1 地震波形敏感信息分析

有效储层厚度往往影响波形幅度,储层物性及含气性往往与波形形态关系密切^[6-7]。为了充分反映波形特征,研究中主要利用质心、均值、方差、变方差等参数刻画波形的差异。

(1) 质心,物质系统上被认为质量集中于此的一个假想点,在此可用来反映同一时窗内各采样点的振幅在同一时窗内的几何关系,其计算公式为

$$RM = \frac{\sum_{i=1}^N i \cdot x(i)}{N \cdot \sum_{i=1}^N x(i)}$$

其中, $x(i)$ 为对应于点*i*的振幅值, N 为时窗内的采样点个数。

(2) 均值,为同一时窗内各个采样点的地震振幅平均值,可大致刻画同一时窗内的平均振幅大小,其计算公式为

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x(i)}{N}$$

(3) 方差,度量总体(或样本)各变量间变异程度的参数(总体)或统计量(样本)。在此反映波形的离散程度,描述采样点的振幅偏离其均值的程度,当均值为 0 或常数时,方差也反映波形的能量及交互层情况。方差计算公式为

$$S = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [x(i) - \bar{x}]^2$$

(4) 变方差,用以刻画同一时窗内相邻采样点,及其前一个采样点之间的振幅同该时窗内的各采样点的方差之间的关系,是一个描述振幅变化的量值。变方差计算公式为

$$SY = \sqrt{\frac{r(h-1) + r(h)}{2} - S}$$

其中, $r(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [x(i) - x(i+h)]^2$ 为同一时窗内间隔为 h 的两个采样点振幅差的平方和的均值, $N(h)$ 为时窗内间隔为 $h-1$ 的采样点个数。

从不同类产层所对应的井旁道质心、均值、方差、变方差频率直方图(图2和图3)可以看出,每类产层的方差和变方差分布范围没有太大差异,方差基本在8—12之间,变方差基本在8—10之间,但是二者的中心、概率及特征值有一定

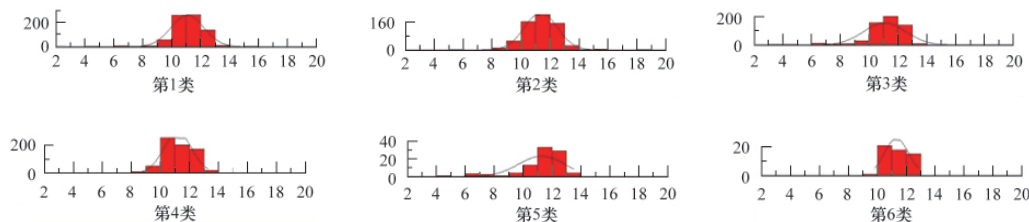


图2 山1段井旁道6类储层方差对比图

Fig. 2 Variance chart of seismic wavelets for six types of reservoirs at uphole trace about Shan 1 formation

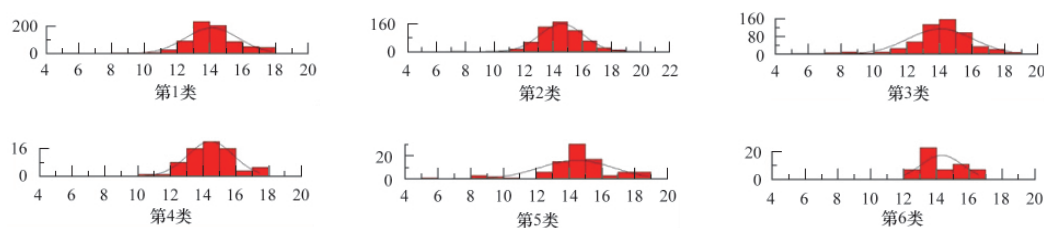


图3 山1段井旁道6类储层变方差对比图

Fig. 3 Varying variance chart of seismic wavelets for six types of reservoirs at uphole trace about Shan 1 formation

差异,只是其敏感度不够。

2.2 地震波形敏感信息重构—波形差异参数的求取

为得到含气性敏感度更高的地震波形参数,对单一信息进行重构,目的在于构造新的波形差异参数。在广泛分析基础上,研究中构造了以下7个相对敏感参数: $A_1 = SY/\sqrt{S}$, $A_2 = SY - \sqrt{S}$, $A_3 = A_1 \times A_2$, $A_4 = \bar{x}/SY$, $A_5 = \bar{x}/S$, $A_6 = (\bar{x} \times SY)/100$, $A_7 = (\bar{x} \times S)/100$,用于大牛地气田的优质储层预测。

2.3 波形差异分析

2.3.1 波形差异敏感参数提取

对目的层山1段进行波形差异研究,提取不同类产层井旁100m地震道数据的振幅值,根据以上构造的公式计算相应的 A_1 — A_7 参数值,并进一步利用模糊数学方法,得到不同类产层 A_1 — A_7 参数的标准值。

如图4和图5为波形差异函数 A_1 和 A_3 的分布直方图,

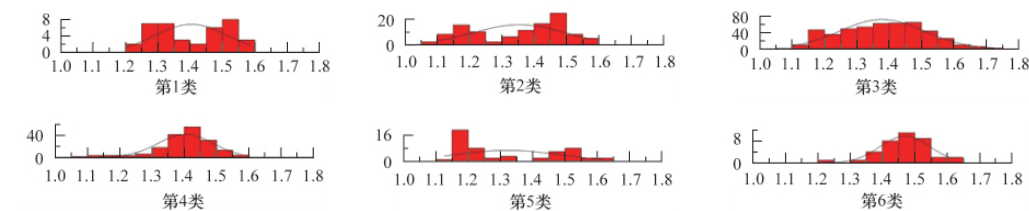


图4 山1段井旁道6类储层 A_1 对比图

Fig. 4 A_1 chart of seismic wavelets for six types of reservoirs at uphole trace about Shan 1 formation

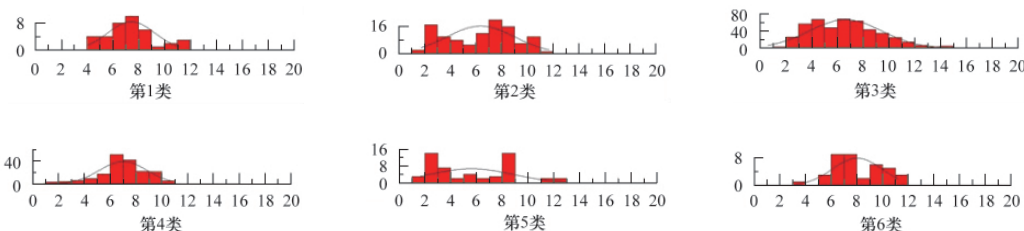


图5 山1段井旁道6类储层 A_3 对比图

Fig. 5 A_3 chart of seismic wavelets for six types of reservoirs at uphole trace about Shan 1 formation

从图中可以看出,无论是参数的分布范围还是特征值,不同产层间均有较明显的差异。

2.3.2 波形差异分析

提取所有地震道的 7 个参数,进行概率分析,即把所有地震道的 7 个参数与所建立的每一类产层的 7 个参数标准值进行比较,并且计算其相关系数,将各参数所对应的相关系数(共 7 个值)累加,形成所要判断的地震道的相关系数和,6 类产层共得到 6 个相关系数和;比较所得到的 6 类产层所对应的相关系数和,其中相关系数和最大的那一个所对应的类认为是所要判断的地震道所对应的类。

图 6 为利用波形差异分析方法得到的大牛地气田山 1 段波形差异图,图中紫色、红色和粉色代表中、高产能,主要分布于工区的西南部;而黄色、绿色和蓝色代表低产、特低产和微产,主要分布于工区的东北部。

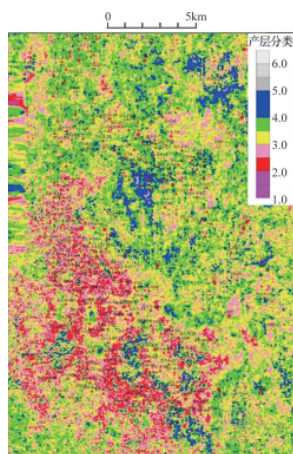


图 6 山 1 段波形差异分析图

Fig. 6 Analysis chart of the waveform differences of Shan 1 formation

3 高产气区预测

利用波形差异分析预测产能,提供了综合利用地质、地震、测井信息预测优质储层的新思路。但图 6 实际上仍然只

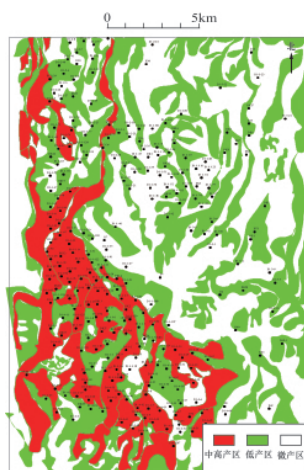


图 7 山 1 段高产气区预测图

Fig. 7 Prediction chart of high gas yield area of Shan 1 formation

是一地球物理属性的转换,尽管在进行分析时,已经把不确定性、非线性、随机性以及概率性考虑其中,但是仍然很难将其与地质理念融为一体。

为更加真实地反映地下地质信息,充分利用生产测试资料,将产层划分为中、高产气区、低产气区、特低、微产区。在充分考虑沉积背景与波形差异间的关系的基础上,剔除波形差异背景后得到山 1 段产能分布预测图(图 7)。图中红色为中、高产区,绿色为低产区,白色为特低、微产区。从图上可以看出山 1 段中、高产区主要集中于西南部,东北部以低产、特低产为主。

依据所预测的高产、中产、低产、特低产、微产区,与已有生产井进行对比分析,中、高产区符合率达到 87.3%,低产区符合率 82.2%,特低产、微产区符合率 100%。利用新投产的 18 口井进行预测,总预测符合率可达 86%。

4 结论

(1) 依据产能将研究区目的层段储层分为 6 类,通过构造各类储层的地震波形敏感信息参数,可得出不同产能气层对应的地震波形具有差异性。

(2) 在波形差异分析及反演的基础上,结合沉积可有效地对中高产区、低产区、微产区(无效区)进行预测,且预测符合率高于 85%。为实现低渗透气田“多打高产井,少打低产井,不打无效井”的高效开发奠定基础。

参考文献 (References)

- [1] 王喜双, 甘利灯, 易维启, 等. 油藏地球物理技术进展 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(5): 606-613.
Wang Xishuang, Gan Lideng, Yi Weiqi, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(5): 606-613.
- [2] 武丽, 于文芹, 杨立强, 等. 地震属性分析技术在波斯湾盆地中部 S 区块储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 557-561.
Wu Li, Yu Wenqin, Yang Liqiang, et al. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(5): 557-561.
- [3] 刘书会, 张繁昌, 印兴耀, 等. 砂砾岩储集层的地震反演方法 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 142-143.
Liu Shuhui, Zhang Fanchang, Yin Xingyao, et al. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3): 142-143.
- [4] 赵海涛, 刘艳, 许士朝, 等. 兴马地区沙三段地震相和沉积相分析[J]. 科技导报, 2010, 28(19): 26-29.
Zhao Haitao, Liu Yan, Xu Shichao, et al. Science & Technology Review, 2010, 28(19): 26-29.
- [5] 韩宏伟. 薄互层地震波形特征研究——以博兴洼陷沙四段滩坝砂为例 [J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 349-355.
Han Hongwei. Earth Science Frontiers, 2009, 16(3): 349-355.
- [6] 徐伯勋, 白爱萍, 杨积凯. 利用波形特征参数识别和预测储层含油性 [J]. 石油物探, 1995, 34(3): 78-83.
Xu Boxun, Bai Aiping, Yang Jikai. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1995, 34(3): 78-83.
- [7] 叶泰然. 基于波形的波阻抗特征识别技术在川西气田储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2005, 44(6): 632-635.
Ye Tairan. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(6): 632-635.

(责任编辑 刘志远)