

利用地震频谱比进行河道砂体预测

赵力民¹, 彭苏萍¹, 康洪全², 张超文²

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 中国石油 华北油田 勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

摘要: 随着地震勘探处理技术的发展, 充分利用与岩性、含油气性相关的地震信息进行储层砂体预测和含油性识别已成为提高油气勘探成功率的重要手段之一。然而在许多情况下, 地质解释人员无法分清地震记录的变化是由地层、岩性, 还是由外界条件引起的。地震频谱比技术充分利用了地震资料信息丰富的特点, 细致刻画了地震频谱的横向变化, 能较好地消除地震记录上由激发和接收条件产生的噪声影响, 从而突出岩性、油气的横向变化特征, 以此可用于岩性识别和储层预测。文中以冀中饶阳凹陷大王庄油藏为例, 介绍如何应用地震频谱比方法进行河道砂体和岩性油藏的预测。依据预测结果提供 2 口钻探井位, 经钻探实施均获工业油流, 取得了明显的应用效果。

关键词: 河道砂体; 岩性油藏; 褶积原理; 地震频谱比

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

随着地震勘探技术特别是高分辨三维地震勘探技术方法的不断提高, 综合应用地震属性信息进行储层砂体及含油性预测的方法也日趋发展。对于河道砂体和岩性油藏的识别和预测, 常采用波阻抗反演等预测方法; 然而在勘探阶段, 对于井资料少的情况, 利用波阻抗反演方法其结果往往多解性较强, 很难对其进行准确预测。本文以冀中探区的大王庄岩性油藏为例, 介绍如何应用地震频谱比方法进行河道砂体预测, 以提高储层预测的符合率。

1 地震频谱比方法

1.1 方法原理

众所周知, 地震记录的变化不仅是地层岩性或含油气的变化引起的, 此外还有外界条件的干扰。如何最大限度地消除外界因素, 通过研究认为采用信息比可有效地减少地震属性的多解性。地震信息比包括反射波振幅比、频谱比、速度比、旅行时间比、视周期比等, 而通过对本区单井进行频谱分析后认为, 应用频谱比信息可有效进行储层预测。

地震频谱比方法原理如下。设地震子波 $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$, 地层顶、底的反射系数为 $R_1(t)$ 、 $R_2(t)$, 地层顶、底的反射波为 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 。依据褶积定理, 则

有:

$$x_1(t) = s_1(t) \times R_1(t) \quad (1)$$

$$x_2(t) = s_2(t) \times R_2(t)$$

在频率域表示为:

$$x_1(\omega) = s_1(\omega) \times R_1(\omega) \quad (2)$$

$$x_2(\omega) = s_2(\omega) \times R_2(\omega)$$

两反射波的频谱之比为:

$$\begin{aligned} H_2(\omega) &= x_2(\omega) / x_1(\omega) \quad (3) \\ &= s_2(\omega) \times R_2(\omega) / [s_1(\omega) \times R_1(\omega)] \\ &= R_2(\omega) / s_1(\omega) \end{aligned}$$

上式中 $R = R_2(\omega) / R_1(\omega)$ 是常数; $H_2(\omega)$ 反映了层间岩石特性, 而且只与该层吸收系数有关, 不受系统及上覆介质的影响。从公式(3)可以看出, 频谱比无量纲, 但却是一种非常有意义的物理量。当研究的频谱比的比值具有明确的物理意义时, 称这种比值是一种信息。频谱分析中, 低频能量与总能量之比称为低频能量百分比, 它是地层的岩性或油气性能指标。

因此, 频谱比中的信息可以是同一类型反射波的同一种信息, 也可以是不同类型反射波的同一种信息。利用频谱比方法进行储层砂体预测和含油气性判别主要有 3 个优点: a) 能够消除地震记录上由激发和接收条件产生的噪声影响; b) 能够突出岩性、

油气的横向变化特征;c)征,减少地震资料的多解性^[1]。

1.2 工作流程

利用频谱比方法进行储层砂体预测的基本工作流程是:首先,进行研究目的层段地震资料的构造解释,或直接从解释系统中输入解释层位结果;其次,对研究区内已钻井目的层段的砂泥岩井段进行单井频谱分析,标定出目的层段典型砂岩、泥岩的地震反射频谱图版;然后,在此基础上根据解释数据体进行频谱比的平面分析,并根据频谱比异常区预测出储层砂体的分布范围^[2]。

2 应用实例

本文主要应用频谱比方法对大王庄构造东营组河道砂体及岩性油藏的分布范围进行了预测,依据预测结果部署并钻探实施取得成功。

2.1 研究区地质概况

大王庄岩性油藏位于冀中饶阳凹陷中南部大王庄与留西构造带结合部的LU70井区。大王庄东断层下降盘构造比较简单,总体上为东南抬、西北倾、北东走向的单斜,进一步寻找断块油藏的潜力不大。而沉积相研究表明,该区东营组储层多属于河流相分支河道砂体,砂体变化快,易于形成上倾尖灭油藏,客观上存在发现岩性油藏的可能。老井复查发现,靠近断层根部的L89井在东营组地层中见到良好显示,试油获低产,而位于构造高部位的L419等井砂层明显减薄,说明发育在大王庄东断层下降盘的河道砂岩确实是自断层根部向东逐渐上倾尖灭,而该砂体与大王庄东油源断层相接,具备成藏条件。因此,在该区寻找岩性油藏是勘探再获新发现的重要途径。

2.2 技术难点与对策

研究表明,本区东营组河道砂体预测及岩性油藏识别主要存在以下技术难点:

- a) 砂体薄、相带窄,地震资料分辨率低,不易识别;
- b) 地震反射与岩性对应关系不具唯一性,不能单一使用强反射特征预测砂体;
- c) 油藏主要受砂体控制,多套砂体空间相互叠置,不易落实。

针对上述难点采取的技术对策是:首先,应用迭前反褶积和偏移后分频处理等手段对该区老三维地震资料进行连片,提高分辨率处理;其次,进行目的层段储层砂岩精细标定和全区构造解释,为预测提

供基础的地震信息资料,在此基础上应用区内综合地质成果重塑研究区的沉积和成藏模式;最后,采用频谱比方法开展河道砂体和岩性油藏分布范围的预测^[3,4]。

2.3 应用频谱比识别河道砂体分布范围

2.3.1 单井频谱分析

通过单井砂泥岩段频谱分析与单井综合分析认为,本区砂泥岩集中段频谱类型主要有两类(图1)。

a) 泥岩单峰型:在频谱图中表现为一个主谱峰(F_2),第一主频(F_1)和第三主频(F_3)不发育;自然电位近似泥岩基线;电阻率曲线为齿状低阻;泥岩相对发育,渗透砂岩占地层的8%~11%。

b) 砂岩双峰型:单井频谱特征表现在频谱图上具有两个谱峰(F_1 和 F_2)且频带较宽,谱能量大于50%,频谱形态一致,第二谱峰(F_2)与第一谱峰(F_1)比值较大;电性特征表现为自然电位呈钟状中幅度负异常;电阻率曲线为锯齿状中阻;砂岩发育、分布集中,砂泥比值较大,渗透砂岩平均厚度18m,单层厚度大,最大可达14.0m,渗透砂岩占地层的20%~38%,主要反映河道砂的频谱特征。

2.3.2 频谱比平面分布

在单井频谱分析的基础上,重点对本区 Ed^2 iv砂组等层段进行了频谱比平面上的研究。从研究区 Ed^2 iv地震频谱比平面图(图2)上看出,沿大王庄东断层根部发育一个NE向的频谱比异常分布区。该异常区北至L99井以北380m处,南至LU105井南约400m处,东以LU701井东约500m处为界,异常区面积约3.8km²。钻探该区的有L89、L99和LU70等井。结合钻井地质资料标定,发现这些井所钻 Ed^2 iv地层砂岩发育,频谱特征表现为“双峰型”;而LU71、L414、L419等井区则砂岩不发育,其井旁道频谱特征表现为“单峰型”。由此圈定出大王庄地区 Ed^2 iv河道砂体的分布范围(图2)。

利用同样的方法,得到了 Ed^3 上的地震频谱比平面图。结果表明, Ed^3 油层段砂体呈现出由北向南发育的特征,平面上沿大王庄断层下降盘根部分布,由LU105井向南存在一个砂体发育区。

2.4 应用效果分析

应用频谱比平面预测结果(图2)结合地质研究成果,先后在研究区下降盘实施钻探LU701和LU70-1井,试油均获得商业性油流。其中,LU701井在 Ed^2 段2648~2652m井段试油获日产油21.85t。该井的钻探证实,该区纵向上多砂体叠置含油,横向上叠合连片,具有一定的储量规模。LU701和LU70-1井的钻探都发现了多套河道砂

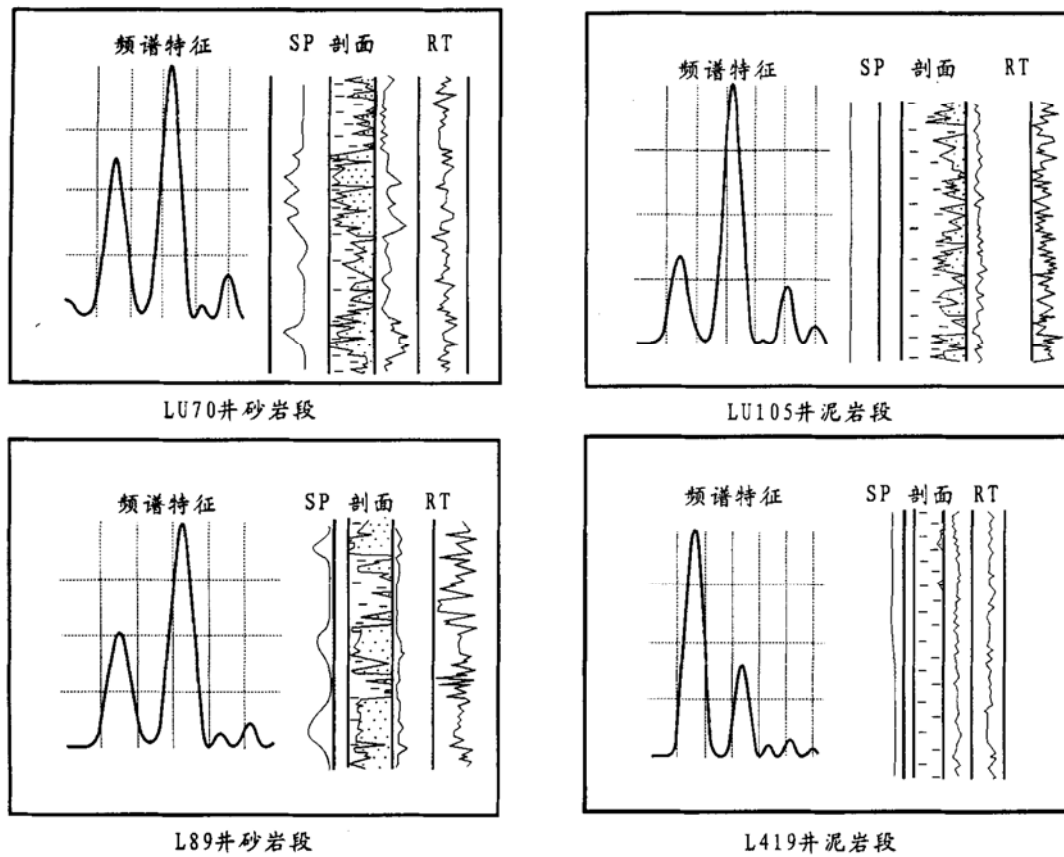


图 1 大王庄地区频谱特征综合图

Fig. 1 Integrated map of frequency spectral characteristics in Dawangzhuang area

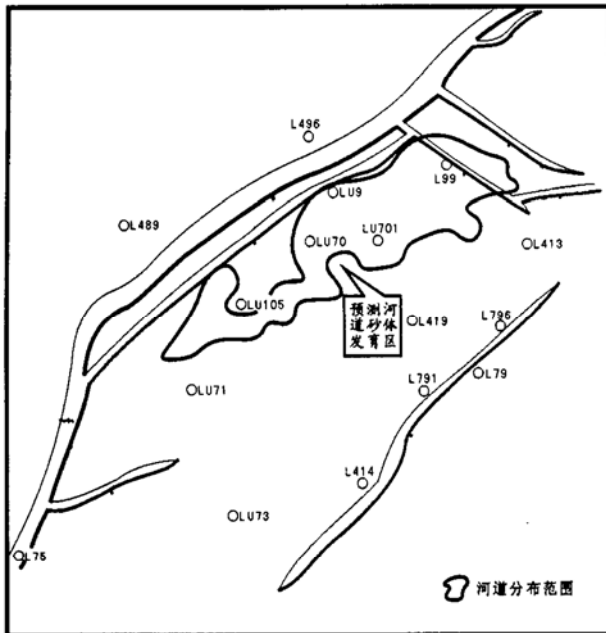


图 2 大王庄地区东营组频谱比平面图

Fig. 2 Planimetric map of frequency spectral ratio for the Dongying Formation of Dwangzhuang area

识应用频谱比方法开展河道砂体预测和岩性油藏研究的成功实例。

3 结论

利用频谱比预测河道砂体的实际应用表明,在砂泥岩组成的剖面中,地震频谱特征主要取决于地层中的砂泥岩组合、子波的波形和地层的含油性等 3 个因素。因此,应用地震频谱的变化特征进行储层的定性预测具有直接的指导意义。特别是在地震资料品质好的地区,应用此方法进行河道砂体预测是行之有效的。

参考文献:

- [1] 中国石油天然气集团公司新技术推广中心. 储层综合评价配套技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 263- 269.
- [2] 中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司. 储层预测技术及应用实例[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000. 3- 7.
- [3] 刘企英. 利用地震信息进行油气预测[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [4] 常子恒. 石油勘探开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 750- 779.

岩,且均为油层。发现了东营组 3 套含油层系,整装探明石油储量 500×10^4 t 以上,这是冀中探区有意

Abstract: The Kelasu tectonic zone located in the Kuqa Depression of the Tarim Basin is rich in natural gas. Affected by salt-bearing measures, the structural deformation of salt-above layers is not consistent with that of salt-under layers, and it has the features of dual thrust structures. The thrust-nappe-typed drag structure with gentle or deep dipping angles, and the mass-upthrusting structure with deep dipping angles were developed in salt-above layers. And salt-under layers are characterized by developing superimposed thrust structures. According to the analysis of lithomechanical properties, the occurrence of thrust faults and the change of structural patterns in salt-above layers are related to the developing thickness and distributive range of plastic saltrock layers. Meanwhile, as saltrock layers are high-quality caprocks for natural gas, their thickness and continuous changes are also key factors to result in the differential accumulation of natural gas in the Kelar-2 and Kelar-3 structures.

Key words: differential accumulation; deformation mechanism; structural pattern; the Kuqa Depression; The Tarim Basin

(continued from page 246)

APPLICATION OF SEISMIC FREQUENCY SPECTRAL RATIO TO THE PREDICTION OF CHANNEL SANDBODIES

ZHAO Li-min¹, PENG Su-ping¹, KANG Hong-quan², ZHANG Chao-wen²

(1. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Huabei Oilfield, CNPC, Renqiu, Hebei 062552, China)

Abstract: With the development of seismic prospecting and processing technologies, using the seismic information correlated to lithology and oil potential to predict reservoir sandbodies and distinguish oil potential has become one of the important means to increase success ratio of petroleum exploration. But in many cases, geologists can't distinguish the changes of seismic records being resulted from stratigraphy, lithology, or from outside conditions. The seismic frequency spectral ratio technology makes full use of the features that seismic data include rich information. It carefully depicts the transverse variation of seismic frequency spectrum, and can better eliminate the noise influences in seismic records resulted from exciting and receiving conditions so as to project the transverse changing characteristics of lithology and hydrocarbon. It can be applied to distinguish lithology and predict reservoirs. In this paper, the Dawangzhuang oil pool in the Raoyang Say of Central Hebei Province was taken as an example to introduce the prediction of channel sandbodies and lithologic reservoirs by means of the seismic frequency spectral ratio method. Two drilling well sites were determined according to predicted results, and industrial oil flow was obtained by drilling practice.

Key words: channel sandbody; lithologic reservoir; convolution principle; seismic frequency spectral ratio