

埕岛油田馆陶组上段的定量地震相分析及砂体预测

杨凤丽 周祖翼

(同济大学, 上海 200092)

才巨宏

印兴跃

(胜利油田地质研究院, 山东东营 257015)

(石油大学勘探系, 山东东营 257000)

本文利用研究区的三维地震资料, 对反映沉积相的特征地震参数进行了提取, 应用地质综合参数转换法和单地震参数法建立了埕岛油田馆陶组上段地层的复合沉积旋回和单旋回地震—沉积亚相数值模型, 并分别从砂岩组和单砂层两个方面对砂体进行了预测和评价, 研究结果与实际钻探发现吻合较好。

关键词 地震参数相 砂体预测 馆陶组 埕岛油田

第一作者简介 杨凤丽 女 32岁 高级工程师 地震地质

在陆相地层中, 对地震相的研究, 是勘探开发隐蔽油气藏的重要工作。到目前为止, 这些工作几乎都是地质学家根据地震剖面的反射结构、几何外形、振幅频率、连续性和层速度等的特征, 定性地进行地震相的解释, 其结果与工作人员的经验密切相关。在岩性地震地层学研究中, 利用从地震速度谱资料中转换后得到的层速度资料, 进行砂岩百分含量的计算(张万选等, 1988), 取得了一定的成果, 但由于受到地震速度谱资料精度的限制, 往往达不到预期的地质效果。随着地震资料精度的迅速提高和计算机技术的大量应用, 丰富的地震信息已成为研究地震相特征的强有力手段。将地震同地质、测井、现代数学等学科结合, 用人机交互计算机分析、识别地震相, 已成为当前地震资料计算处理解释与地震地层学研究的新领域。近年来, 我们开展了对我国近几年来在滩海地区发现的大型油气田——埕岛油田的主要含油层系即馆陶组上段地层的地震—沉积亚相研究。研究中我们应用了综合参数转换法与单参数法, 用计算机人机交互的形式对研究区的三维地震资料进行地震参数相的分析, 并进行砂体预测。

1 地震参数相分析

将常规地震参数资料同地质资料和测井资料相结合, 进行地震—沉积亚相分析, 定量识别地震参数相的基本原理是: 以沉积相及砂体成因特征研究为基础, 利用声波测井资料进行合成地震记录标定, 用多种方法提取反映沉积亚相的特征地震参数; 选用适当的数学方法建立研究区的地震—沉积亚相数值模型; 根据所建立的模型用人机交互工作站对地震资料进行处理; 自动连续地识别地震相, 获得研究区地层的地震参数相平面图和剖面图。

1.1 馆陶组地层沉积特征

埕岛油田上第三系馆陶组上段地层是由砂岩、粉砂岩和泥岩组成。在纵向上具有下粗上细的正旋回。沉积结构、构造、岩性、粒度、测井等资料表明, 这是一套曲流河沉积^①。依沉积机制的不同, 本区的曲流河沉积可划分为 3 种亚相(图 1)。

1.1.1 河道亚相

由块状砂岩、大型交错层砂岩和平行层理砂岩组成, 多发育于旋回的中下部, 概率曲线具两段式的牵引流特征。该亚相是曲流河相冲积平原沉积地层中的主要砂体和有利储集相带, 厚度一般为 3~8m。

1.1.2 堤岸亚相

其砂岩具有小型波状交错层理和波状层理结

① 胜利石油管理局地质科学研究所. 埕岛地区第三系砂岩体沉积相、测井相、地震相研究. 1993

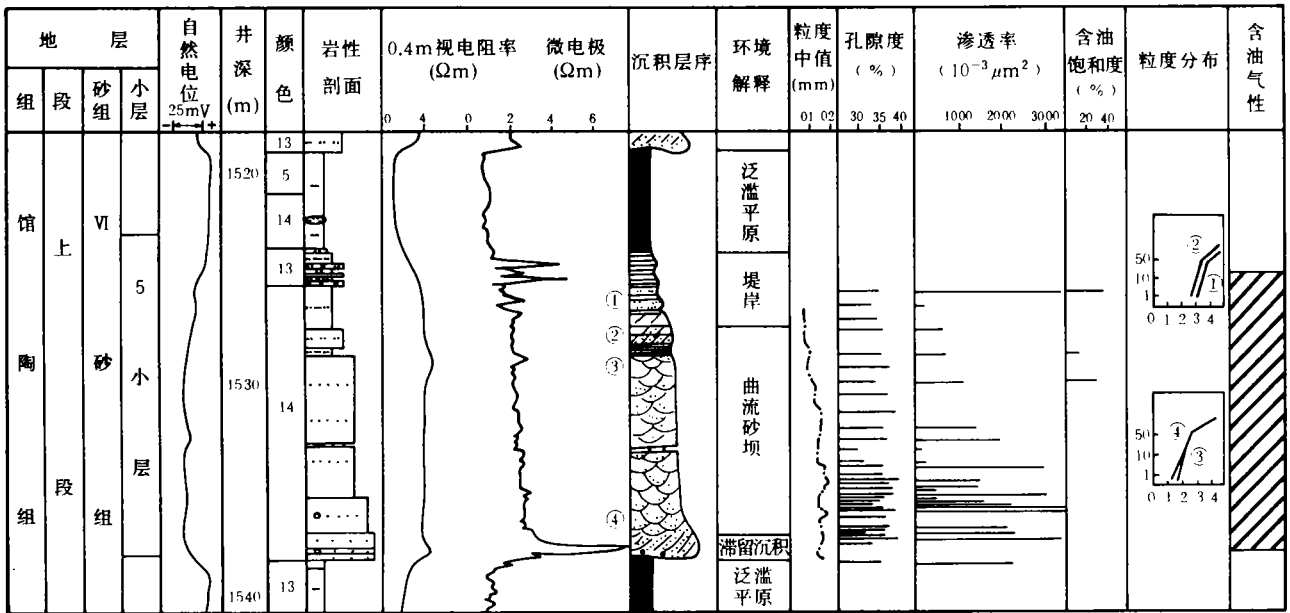


图 1 埕北 20-1 井 VI₅ 小层储层综合评价图

构,发育于旋回上部。包括天然堤和决口扇沉积。该类沉积中的砂岩一般小于 1m,与泥岩互层,储集性能差。

1.1.3 泛滥平原亚相

由水平纹理泥岩和块状泥岩组成。发育于旋回上部,是漫溢洪水在河床外广阔平原上的垂向加积产物,充当盖层和隔层。

从构造特征上看,埕岛油田馆陶组构造形态整体上表现为较完整的披复背斜,构造形态较单一,仅局部有断层分割,倾斜较缓。多年的勘探结果表明,馆上段为岩性—构造油气藏。主要储集体为河道亚相中的曲流河砂坝。

1.2 地震特征参数的提取

从地震资料中提取反映沉积亚相的特征参数,是实现自动识别地震相的首要前提。研究区的三维地震资料在野外采用了高覆盖次数(72次)、小 CDP 网格(25m×12.5m)、高信噪比激发接收方式。频率分析表明,区内目的层段内的反射主频可达 35~55Hz。钻探井的岩性—速度分析表明:砂岩速度为 2500m/s~2800m/s,泥岩速度为 2150m/s~2500m/s。

由河流相沉积模式可知,河道砂岩的反射段是短反射。李庆忠(1987)用地震模型证明:在地震剖面上,短的反射波基本上与砂层对应,限于地震资料的分辨能力,反射不是与单个砂层一一对应,而是沿着厚砂层扭曲,一个扭曲的短反射段指示了砂岩的相

对发育带。因此,根据埕岛油田具体的地震地质条件,我们在一定的时窗单元内(通常不小于 9 个采样点)提取了 4 类 21 种地震特征参数。这 21 种地震特征参数的具体意义如下。

1.2.1 Hilbert 特征

包括瞬时振幅、瞬时频率和瞬时相位。对时窗内的地震信号 $x(t)$ 进行 Hilbert 变换得到 $y(t)$:

$$y(t) = H[x(t)] = \frac{1}{\pi t} x(t)$$

由地震信号 $x(t)$ 和它的 Hilbert 变换可以得到:

$$\text{瞬时振幅 } A(t) = [x^2(t) + y^2(t)]^{1/2}$$

$$\text{瞬时频率 } \theta(t) = \arctg\{y(t)/x(t)\}$$

$$\text{瞬时相位 } f(t) = \theta'(t)$$

计算出 $A(t)$ 、 $\theta(t)$ 、 $f(t)$ 后,提取出对应层为时间 t 值,得到 3 个瞬时特征,再分别计算出它所在时窗内的方差和均值,可得到 9 个地震特征参数。

1.2.2 功率谱参数

众所周知,岩性和含油气性信息寓于地震反射波波中,通常地震波通过不同性质的地层时,其波形都要发生不同的变化,因而对它的功率谱进行分析可以提取出有关的地震特征。由于目的层在地震剖面上所占的时间很短,因此我们采用 Burg 谱估计算法,从 Burg 谱中提取下列特征:平均频率、主频、25%功率谱对应频率、75%功率谱对应频率。

1.2.3 自相关函数参数

自相关函数是地震波的时间域描述,自相关函数的特征反映了反射波记录的总体特点。我们从自相关函数中提取出下列参数:自相关函数的极大/极小值和自相关函数的第一个过零点。

1.2.4 自回归系数

自从 Bios(1980)提出用自回归模型(AR 模型)的系数对产油区与没有生产能力的区域的地震信号进行分类以来,自回归系数在含油气识别中得到了广泛的应用。它将地震记录表示为自身样本的线性组合,用多项式的系数作为反射特征参数,自回归过程可表示为:

$$X_k = \sum_{j=1}^M a_j x_{k-j} + \epsilon$$

我们选用 5 阶 AR 模型,因此可提取出 5 个自回归系数。

1.3 复合沉积旋回地震参数相模型的建立

1.3.1 有效特征参数的选取

上述提取的 21 种地震特征参数直接用于描述地震相特征,不仅参数多、数据量大,而且参数之间存在着相关性,给随后的数学分类工作带来了很大困难。为此,利用人机交互工作站人机交互的功能,从具有复杂相关关系的 21 种特征参数中进一步选取最能反映该区域地震—沉积亚相特征的少数几个非相关的特征参数,使其能有效地综合原 21 种特征参数所反映的沉积相信息,又大大减少样本的维数和数据量,以利于随后的数学分类计算。

在与已知井的先验地质目标进行对比分析后(工作中选用 CB19、CB22 井及相应的过井测线 L55),确定了 7 种有效特征参数,即:主频(Fm)、频宽(Fb)、25%功率谱对应频率(pf25)、自相关函数极大/极小值(max/min)、自回归系数 A₁、A₂、A₃。7 种有效特征参数的判别结果能有效地区分开它们不同的砂岩含量。

1.3.2 综合地震参数相模型的建立

所谓地震参数相模型就是用于反映沉积特征,并能将不同的沉积亚相区分开的一组特征参数集。由于许多地震参数的提取,需要一定的采样点数控制,即在一定厚度(时窗)内才能获得比较可靠的参数资料,而同时又存在着由多个厚度较小(小于分辨率)砂层(曲流砂坝)与堤岸和泛滥平原泥质岩互层组成的复合旋回地层段,因此,将每个砂组视为一个

复合旋回进行多种地震参数相特征的研究。

根据埕岛油田馆上段沉积亚相的特点,选用综合参数转换法^①来建立该区的地震参数相数值模型。综合参数转换法的基本原理为:

把地震异常 \vec{s} 看成是信号 \vec{f} 的有效分量,即: $\vec{f} = \vec{s} + \vec{n}$, \vec{n} 为干扰,为了突出该分量,设计一个滤波器,使其输出的有效分量(有效信号 \vec{s} 能量/信号能量)达最大。根据这个原则经数学推导,得滤波器的滤波因子:

$$\vec{h} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_3 \end{bmatrix} \text{ 可由下式求得。}$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} - \lambda_{max} & r_{12} - \lambda_{max} & \cdots & r_{1L} \\ r_{12} & r_{22} & \cdots & r_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{L1} & r_{L2} & \cdots & r_{LL} - \lambda_{max} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_4 \end{bmatrix} = 0$$

$$\text{其中 } \vec{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1L} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2L} \\ \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{L1} & \cdots & \cdots & r_{LL} \end{bmatrix} \text{ 为信号的自相关矩阵;}$$

λ_{max} 为自相关矩阵的最大特征向量

利用求得的 \vec{h} 对 \vec{f} 进行滤波,其输出即是反映地震异常的综合参数 \vec{x} 。

$$\vec{x} = \vec{f} \cdot \vec{h}$$

得到综合参数的值后,再根据已知井资料,建立砂岩含量与综合参数值之间的回归曲线关系,便得到了复合旋回的地震综合参数相模型。

根据上述原理,我们对研究区内三砂组进行了综合参数判别法的计算,其判别值与已知先验井的砂岩百分含量之间的回归分析结果表明(表 1):当判别值在 -0.13~1.0 时,砂岩含量 > 15%;当判别值在 -0.3~-0.7 或 1.0~1.4 时,砂岩含量为 12%~15%。

值得说明的是:不同的砂组,由于埋深、旋回分布结构等因素的变化,其参数相特征略有差异。

① 杜世通. 油藏地球物理异常目标的预测. “七五”国家重点科研项目成果报告

表 1 三砂组 T₃ 砂层组分析数据表

综合参数	实际含量	计算值	误差
-0.22	13.7	15.338	-1.638
1.830	7.5	7.454	0.046
-0.582	12.2	12.666	-0.466
-0.425	16.2	13.974	2.226
-1.374	2.4	2.568	-0.168

计算砂岩百分含量值: $Y = 16.36 + 3.65X - 4.65X^2$
 式中: X 为综合参数

泥岩地层中瞬时振幅与瞬时频率能较好的反映出地层岩性的变化(苏盛甫, 1988), 所以提取瞬时振幅和瞬时频率两种参数建立起曲流沙坝的单旋回参数定量数值模型(表 2)。

表 2 单旋回地震参数相模型

单元	亚相	岩性	瞬时振幅	瞬时频率	备注
上部单元	堤岸+泛滥平原	泥质岩	<62	>45	
下部单元	曲流沙坝	砂岩	>62	30~45	>6

1.4 曲流河沉积单旋回参数相模型建立

正旋回的曲流河沉积层序具有二元结构, 下部单元主要由河道亚相的曲流河沙坝组成, 上部单元由堤岸和泛滥平原泥质沉积构成。通过合成记录标定, 建立钻井剖面与地震剖面的时深关系, 确定出与沉积相的曲流河沙坝相对应的地震响应。由于在砂

2 砂体预测及效果

应用上述原理, 应用并开发了相应的计算机软件, 对埕岛油田三维区内馆上段的主力含油层段 T₁⁰ - T₃⁰ 砂层组(平均层厚 50m)从两个方面对砂体进行了预测和评价(图 2)。

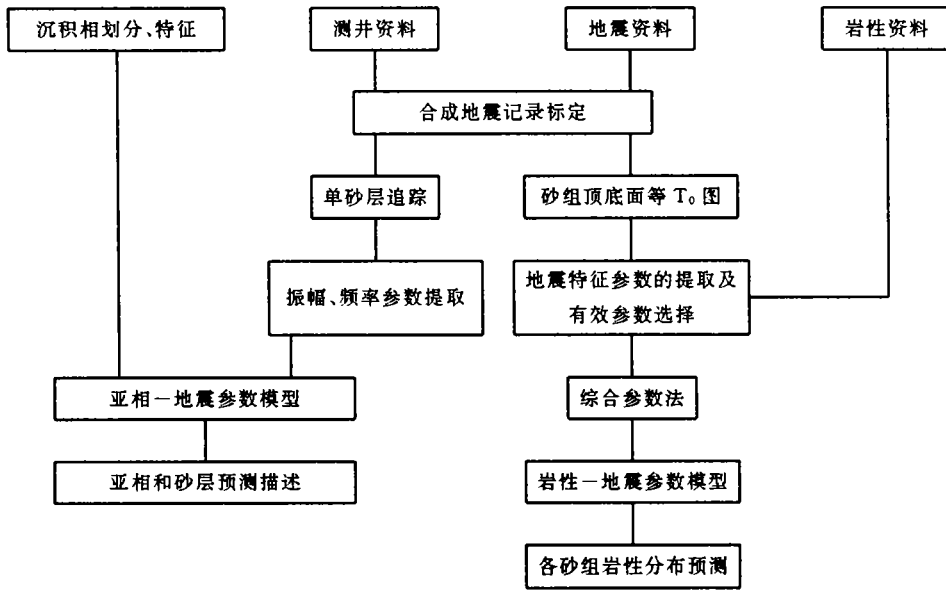


图 2 砂体预测流程图

2.1 以砂层组为单元的复合沉积旋回地震参数相砂体预测

根据上述建立的复合旋回地震综合参数相模型, 首先对三维区地震资料以砂层组为单元进行地震参数相的自动定量识别, 然后进行岩性转换, 便得到砂岩含量平面分布图, 进而对各砂组砂岩发育区作出评价。

2.1.1 各砂组砂岩分布特征

T₃⁰ 砂组: 总体砂岩含量高, 65%以上的砂岩发育范围占总面积的 60%以上。

T₂⁰ 和 T₁⁰ 砂组: 两者砂岩对发育区的展布形态相似, 比较分散, 其面积和砂岩含量均比 T₃⁰ 砂组小, 最高砂岩含量达 35%~50%。

T₃¹ 和 T₁¹ 砂组: 两者总体砂岩含量均较低, 相对发育区成带性明显。

上述各砂组的砂岩发育情况, 反映了各自的曲

2.3.2 在储量计算中的应用

把我们单砂层的描述发展,应用于1995年的探明储量计算,顺利通过了国家储量委员会审核,后经开发井的钻井证实,砂层厚度符合率达90%以上。

总之,综合参数转换法是一种应用条件较宽,效果较好的聚类转换法,在埕岛油田的勘探中取得较好效果。同样,这种思路和方法也可应用于成熟区和较成熟区的勘探开发工作。

参 考 文 献

1 张万选等.陆相断陷盆地地区地震地层学研究.北京:石油大学出版社,1988

2 李庆忠.陆相沉积地震地层学若干问题.石油地球物理勘探,1987,(5,6)

3 Bios P. Autoregressive Pattern Recognition to Delineation of Oil and Gas Reservoir. *Geophysical Prospecting*, 1980.(28)

4 苏盛甫.薄储层的反射特征和定量解释方法.石油地球物理勘探,1988,(4):387~402

5 Robert Sherif. Reservoir Geophysics, In: Investigation in Geophysics (edited by R. E. Sherif), USA, *Society of Exploration Geophysicists*, 1992

(收稿日期:1997年6月4日)

QUANTITATIVE SEISMIC FACIES ANALYSIS AND SANDBODY PREDICTION ON THE UPPER PART OF THE GUANTAO FORMATION(UPPER TERTIARY) IN CHENGDAO OILFIELD

Yang Fengli Zhou Zuyi

(Department of Marine Geology and Geophysics, Tongji University, Shanghai 200092)

Cai Juhong

(Geological Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying, Shandong 257015)

Yin Xingyao

(Department of Oil Exploration, Petroleum University, Dongying, Shandong 257000)

Abstract

In this paper, the characteristic seismic parameters of sedimentary facies are calculated from 3-D seismic data of the study area, the mathematical models of composite sedimentary cycles and single seismic-sedimentary subfacies cycles for the upper part of the Guantao Formation(Late Tertiary) in Chengdao oilfield are established by means of the Integrated Seismic Parameter Conversion Method and the Monoseismic Parameter Method, and the prediction and evaluation on sandbody for sandstone sets and single sand beds are accomplished, respectively. The results yielded are compatible with the practical drilling data obtained.