

[文章编号] 1671-9727(2004)03-0297-04

# Jason 多井约束反演技术在油气储层预测中的应用

郝银全<sup>1</sup> 潘 懋<sup>1</sup> 李忠权<sup>2</sup>

(1. 北京大学“造山带与地壳演化”教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 成都理工大学)

[摘要] Jason 多井约束反演技术是一种基于模型的反演方法。其原理是通过最大似然反褶积求得一个具有稀疏特性的反射系数序列, 然后通过最大似然反演导出宽带波阻抗; 优点是能获得宽频带的反射系数, 具有多种建模方法, 通过对多种模型进行比较分析, 使地质模型更趋合理, 反演结果更加真实可靠。运用该技术对 HX 油田的储层进行了预测, 预测结果与实际资料吻合得很好。

[关键词] Jason 软件; 多井约束; 多种建模; 稀疏脉冲; 波阻抗

[分类号] P631.443 [文献标识码] A

随着油气开发难度的不断增大, 储层预测显得越来越重要。正是在这一背景下, 油气储层的预测方法得到了不断的发展和完善。储层预测是综合运用地震、测井等资料, 以地震技术为主, 定量预测储层的空间几何形态及物性参数在空间的分布特征。目前储层预测常用的方法有波形振幅法、声阻抗反演法、频谱分析法等<sup>[1],[2]</sup>。其中声阻抗反演法是从反射地震资料导出的一项反演技术<sup>[3]</sup>, 它把测井和地震资料结合起来进行综合分析, 充分利用了测井纵向分辨率高、地震横向分辨率高这两大优点, 因此反演出的波阻抗剖面集地震剖面的横向连续可追踪性、测井资料垂向高分辨率性以及地质剖面的直观性于一体, 为储层研究提供可靠的信息。

## 1 Jason 反演的原理及特点

### 1.1 反演原理

Jason 储层预测技术以测井资料为约束条件, 以地震解释的层位作为控制, 从井点出发, 首先完成井旁道反演, 再由井旁道开始对所有地震道进

行外推内插来完成波阻抗反演, 这样就克服了地震分辨率的限制, 最佳地逼近测井分辨率, 同时又使反演结果保持了较好的横向连续性。Jason 技术的主要原理是: (1) 通过最大似然反褶积求得一个具有稀疏特性的反射系数序列; (2) 通过最大似然反演导出宽带波阻抗。该方法的主要优点是能获得宽频带的反射系数; 是一种基于模型的反演, 具有多种建模方法, 对所建模型进行比较分析, 并使地质模型更趋合理, 反演结果更加真实可靠。

最大似然反褶积对地层的假设认为: 地层的反射系数是较大的反射界面的反射和具有高斯背景的小反射叠加组合而成的, 根据这种假设导出一个最小的目标函数<sup>[4]</sup>。

$$J = \sum_{K=1}^L \frac{R^2(K)}{R^2} + \sum_{K=1}^L \frac{n^2(K)}{N^2} - 2M \ln(\lambda) - 2(L - M) \ln(1 - \lambda)$$

式中:  $R(K)$  为第一个采样点的反射系数;  $M$  为反射层数;  $L$  为采样总数;  $N$  为噪音变量的平方根;  $\lambda$  为给定反射系数的似然值。

最大似然反演就是通过转换反射系数导出宽

[收稿日期] 2003-11-24

[作者简介] 郝银全(1968—), 男, 博士生, 石油构造专业。(E-mail: haoyq686@163.com)

带波阻抗的过程。如果从最大似然反褶积中求得的反射系数是  $R(t)$ ，则波阻抗

$$Z(i) = Z(i - 1) \frac{1 + R(i)}{R(i)}$$

在上述过程中为了得到可靠的反射系数估算值,可以单独输入波阻抗信息作为约束条件,从而求得最合理的波阻抗模型。

### 1.2 Jason 反演的特点

一方面,Jason 反演所导出的结果是一个宽频带的反射系数序列和波阻抗数据,同时加入了低频分量,使反演结果能正确地反映地层的变化规律;另一方面它具有多种质量控制方法,具体表现为监控子波的选取、时深关系的合理性判断、反演结果准确性的判断和提供多种交汇显示的相关性分析。

## 2 储层预测的关键流程

工作流程大体分为两大部分,即对地震资料和测井资料的处理工作。其中地震资料的处理工作主要包括地震资料的重处理和重采样、层位的解释;测井资料的处理工作主要包括测井资料的标准化、子波的提取、合成地震记录;而基于两者资料结合起来的工作主要包括层位的标定、初始模型的建立、三维体的反演,以及对反演结果的效果分析。如反演结果满足实际要求的精度,可作为正式结果应用。下面简要介绍关键的工作步骤。

### 2.1 井资料标准化处理

由于测井资料是在不同的时间和条件下利用不同的仪器进行测量的<sup>[5]</sup>,因此存在随机误差和系统误差。为了减少或消除这些误差,必须对测井资料进行标准化处理,主要包括环境校正、深度校正和刻度校正等。测井资料的标准化实际上是刻度标准化,其过程就是选择分布稳定的岩性,作为测井刻度的两个点。其依据是具有相同沉积环境的沉积物,其岩性、电性大致相同。因此同一研究区不同井的同类测井曲线对同一标准层段的测井响应是相似的。实际操作是选取研究区内分布稳定的泥岩段作为标准层段进行测井资料的标准化。

### 2.2 子波的提取

子波的提取是反演的关键步骤<sup>[6]</sup>。首先利用地震资料和井资料提取子波的振幅谱和相位谱(图 1),然后利用振幅谱和相位谱的信息合成一

个理论雷克子波。用理论子波合成的记录进行层位标定。若标定不符时,需重新修改时深关系和提取子波,用新的子波制作合成记录,重新修正井的时深关系。如此反复,直至得到相位振幅谱变化稳定的子波,同时得到与井旁道相关性最好的合成记录。

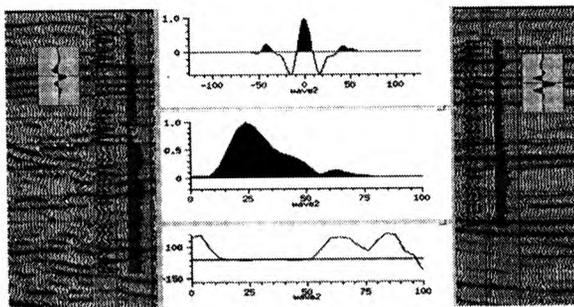


图 1 井旁地震子波提取及其频谱特征

Fig. 1 Seismic wavelets extraction and spectrum feature

由于是多井反演,同一个工区地震资料的相位在时间和空间上的变化是不会太大的。根据此原则,如果子波的变化太大,则认为所提取的子波不合理。子波长度根据资料的信噪比、频率特征等因素,通过反复试验来确定。

### 2.3 时深关系的确定

地震-地质层位标定是地震解释和反演的基础。合成地震记录是把地震资料和测井资料联系起来的桥梁,其目的是利用测井资料的高分辨率精确标定各岩性界面在地震剖面上的反射位置。层位标定的准确与否将直接影响到反演的结果。

根据钻井地质分层,利用测井井旁地震子波并参考研究区速度,制作井的合成地震记录(图 2)。在标定的过程中,要充分利用测井曲线和地质认识,对个别井进行改造,以达到最大限度的对应;同时对目的层的对应关系进行分析,使相关系

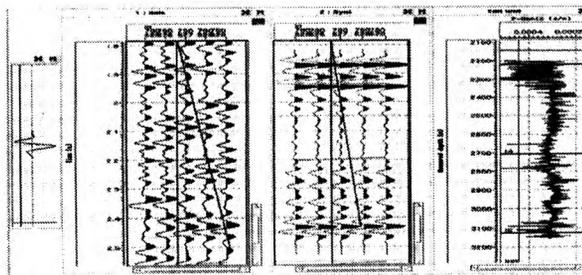


图 2 H129 井合成地震记录

Fig. 2 Synthetic seismogram of Well H129

数大于70%。按标定后的时深关系进行时深转换,同时对各井的时深关系曲线进行了交汇对比,以便取得研究区正确的时深转换关系。

#### 2.4 模型的建立

Jason 的反演是基于模型的反演,因此首先要建立正确的地质先验模型。根据地震资料解释主要目的层地层内速度的变化情况,建立反演模型的速度趋势(图3)。

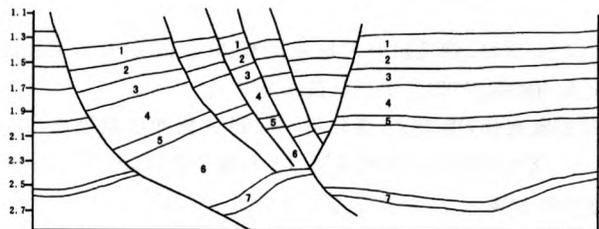


图3 建立的地层框架模型

Fig. 3 Built stratum frame model

#### 2.5 波阻抗反演

波阻抗约束反演采用多井子波和井的内插方法(图4),形成全区子波数据体和波阻抗数据体,同时采用道间约束。在反演过程中反复调整井的速度变化趋势,在进行了综合对比后确定速度的变化趋势。

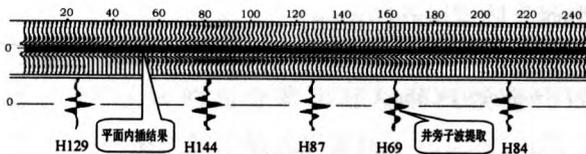


图4 井的子波平面内插

Fig. 4 Wavelets horizontal interpolation

### 3 Jason 储层反演在 HX 油田的应用

HX 油田位于凹陷的中央背斜带,为大型鼻状构造。工区内已完钻探井5口,试油获得了高产,勘探证实沙三段是油藏富集的主要层段,属自生自储原生油藏。油藏主要受砂体的岩性和岩相变化控制。由于地震资料分辨率低,单层砂体厚度较薄,横向变化快,且储层与围岩纵向速度差异小,再加上研究区块断层发育,地质构造复杂;因此仅利用地震资料预测砂体的分布很大的困难,造成了勘探的几起几落。所以在对地震、地质及开发资料充分认识的基础上,利用 Jason 多井约束反演技术对目的层进行储层预测,取得了很好的

效果。

#### 3.1 明确了砂层的横、纵向分布特征

预测的各井之间的砂层关系与实际的砂层分布比较符合,明确了砂层间的关系。H144 井与 H871 井的储层之间关系比较复杂,油层的变化也较大,根据地震资料无法判断它们之间的关系。但反演结果上表现得非常明确,H144 沙三中的储层虽与 H871 井沙三中同属一套,但沙三中的砂层组并不连通,特别是 H871 沙三下储层比较复杂,在地震资料上很难识别,但在反演剖面上七套砂体反映得非常清楚(图5)。同时根据各井有效储层的速度和密度统计,确定有效储层的波阻抗值在  $(8.0 \sim 8.8) \times 10^6$  根据该值来确定储层的分布范围,依此解释出 H871, H69, H166, H159, H144, H169 和 H871-2 井等砂体的范围,并得到了相应的砂体埋深图和等厚图。

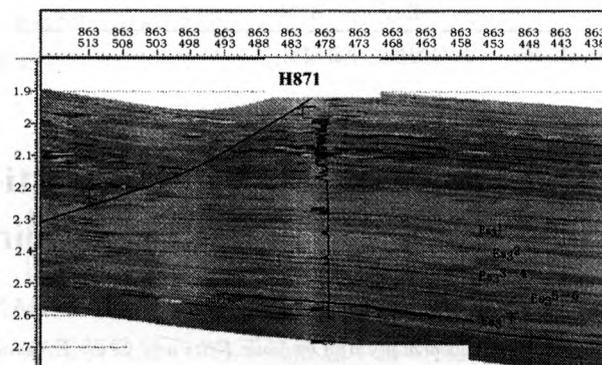


图5 H871 井区反演剖面

Fig. 5 Inversion profile of Well H871

#### 3.2 共预测砂体 16 个,总面积为 22.9 km<sup>2</sup>

研究区目的层沙三段的砂岩平面上分布较广,但变化较快,而且纵向上砂层的厚度变化也较大。预测的沙三下单砂层最厚约 15 m(如 H166, H159, H871),较薄的约 4~5 m(如表 1),预测厚度与钻井的实际厚度较为吻合。

### 4 结论

Jason 是目前国际上很流行的储层预测软件,功能强大。应用 Jason 对 HX 油田的储层进行预测,取得了良好的效果,主要表现在以下三方面:(1)通过未参加反演的井资料验证,反演结果与实际情况比较吻合,效果明显;(2)反演结果与地质沉积特征比较吻合;(3)明确了砂体之间的分布关系。这些均说明 Jason 在储层预测中有着重要的

作用。

表 1 各砂体的预测结果  
The forecasted results of every sand body

区块名称	层位	顶界埋深 $h/m$	预测砂体 厚度 $\delta/m$	面积 $A/km^2$
H166 井区	$E_{s_3}^F$	3325	15	0.72
H159 井区	$E_{s_3}^H$	3000	15	0.6
H169 井区	$E_{s_3}^1$	2934	6	0.16
H144 井区	$E_{s_3}^H$	3080	6	0.25
H871-2 井区	$E_{s_3}^H$	2910	14	1.28
	$E_{s_3}^1$	2810	7	0.4
	$E_{s_3}^2$	2932	5	2.2
	$E_{s_3}^3$	3039	7	3.4
H871 井区	$E_{s_3}^4$	3069	4	1.24
	$E_{s_3}^5$	3134	5	2.8
	$E_{s_3}^6$	3158	9	3.6
	$E_{s_3}^F$	3267	15	1.6
	$E_{s_3}^1$	3034	6	2.6
H69 井区	$E_{s_3}^2$	3096	4	0.88
	$E_{s_3}^3$	3134	5	1.2

注: ( $E_{s_3}^1-E_{s_3}^6$ ) 为沙三中砂层组。

### [参 考 文 献]

- [1] 潘元林. 油气地质地球物理综合勘探技术[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [2] Mitchum Jr R M, Vail P R, Thompson M. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis[A]. Payton C E. Seismic stratigraphic applications of hydrocarbon exploration AAPG Memoir[C]. London: Geological Society Special Publication, 1997, 26: 53-62.
- [3] 刘雯林. 油气田开发地震技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- [4] 安鸿伟, 李正文, 李仁甫, 等. 稀疏脉冲波阻抗反演在 XY 油田开发中的应用[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 56-60.
- [5] 鲁红, 李建民, 刘青山, 等. 进行声波测井资料校正的一种方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1996, 15(1): 71-73.
- [6] 梁光河. 地震子波提取方法研究[J]. 石油物探, 1998, 37(1): 31-39.

## Application of Jason multi-well constrained inversion to reservoir prediction

HAO Yin-quan<sup>1</sup>, PAN Mao<sup>1</sup>, LI Zhong-quan<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crust Evolution of the Ministry of Education, Peking University, China;

2. Chengdu University of Technology, China)

**Abstract:** Jason multi-well constrained inversion is a kind of inversion method based on models. The paper presents the main principle, merit, workflow of the method. The principle is to use maximum-likelihood deconvolution (MLD) to get spare reflectivity, and then get wide-band impedance through maximum-likelihood inversion. Its merit is able to get wide-band reflection coefficient sequence and has many methods of model-building. Using comparing the authors can gain a reasonable geological model and creditable inversion results. The authors forecast the characters of reservoirs in HX oilfield using Jason, and the forecasted results consistent with factual data.

**Key words:** Jason; multi-well constrained; multi-modeling; sparse impulse; impedance