

井约束地震道反演和多项式拟合的联合应用*

张玉芬, 凌峰, 程冰洁

(中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要: 井约束地震道反演和多项式拟合技术联合应用提高地震记录分辨率的处理方法的基本思想是充分利用已知的测井、地质、地震资料的信息, 在它们的共同约束下, 去求取一个具有较高分辨率和较宽频带的近似反射系数序列剖面, 并对高分辨率处理后的剖面再进行横向多项式拟合处理, 不仅提高了地震记录的分辨率而且也提高了地震记录的信噪比。用该方法对某地区部分实际地震资料进行了处理, 取得了明显的效果。

关键词: 井约束; 地震道反演; 分辨率和信噪比; 多项式拟合

第一作者简介: 张玉芬, 女, 44岁, 副教授(博士生), 石油地震勘探

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

1 基本原理

1.1 井约束地震道反演

有关井约束地震道反演方法基本原理笔者曾在文献[1, 2]中有过较详细的阐述, 这里仅就井约束地震道反演方法基本思路作一简单的叙述。

井约束地震道反演是综合利用地震、测井、地质等信息沿剖面进行逐道反演的一种方法。其基本思想是充分利用已知的测井资料的丰富的高频信息和完整的低频成分来补充实际地震记录有限带宽的不足, 用已知的地质信息、地震资料作为约束条件, 将低分辨率的实际地震记录反演成具有较高分辨率的近似反射系数序列, 为进一步开展波阻抗、层速度反演、岩性反演以及薄储层的追踪、对比、预测提供较可靠的地震依据。

1.2 多项式拟合^[3, 4]

在高分辨率地震资料处理中, 如何有效的消除噪声, 通过提高信噪比来提高分辨率一直是人们追求的目标。地震信号的噪声一般分为两类, 即相干噪声和随机噪声, 通常认为地质结构沿测线方向的变化是相对缓慢的, 相邻道的反射波有效成分在波形和能量上应具有较强的相关性。多项式拟合技术就是利用共深度点反射波具有相关性的性质, 通过对地震道反演后的数据用多项式拟合进行信噪分离, 达到提高地震道反演结果的分辨率和信噪比的目的。

设 N 为确定的正整数, 给定数据值 $f(-N), f(-N+1), \dots, f(N-1), f(N)$, 则可用一个 $2N$ 次多项式拟合数据 $f(x)$, 有

$$f(x) = c_0 p_0(x) + c_1 p_1(x) + \dots + c_n p_n(x) \quad (n = 2N) \quad (1)$$

这里每一个 $p_i(x)$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) 为 x 的 i 次多项式, 且满足

$$\begin{cases} p_0(x) = 1 \\ \sum p_k(x) p_m(x) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$p_k(x)$ 与 $p_m(x)$ ($k \neq m$) 相互正交。由于 $p_k(x)$ 比 $p_{k-1}(x)$ 高一次, 所以 $p_k(x)$ 可表示为

$$p_k(x) = x^k + \sum_{i=0}^{k-1} b_i^{(k)} p_i(x) \quad (3)$$

将式(3)代入式(2), 并令 $m < k$ 得

$$\sum_{x=-N}^N [x^k p_m(x) + p_m(x) \sum_{i=0}^{k-1} b_i^{(k)} p_i(x)] = 0 \quad (4)$$

再利用(2)式得

$$\sum_{x=-N}^N [x^k p_m(x) + b_m^{(k)} p_m^2(x)] = 0 \quad (5)$$

因此有

$$b_m^{(k)} = \sum_{x=-N}^N x^k p_m(x) / \sum_{x=-N}^N p_m^2(x) \quad (6)$$

这样, 我们就可以由 $p_0(x) = 1$ 递推出全部的 $p_i(x)$ ($i > 0$)。一般情况下, 对地震信号来说, 用3次以下的多项式拟合就够了。

对(1)式两边同乘以 $p_0(x)$, 再对 $x = -N, -N+1, \dots, N-1, N$ 求和, 得

$$\begin{aligned} \sum_{x=-N}^N p_0(x) f(x) &= c_0 \sum_{x=-N}^N p_0^2(x) + c_1 \sum_{x=-N}^N p_0(x) p_1(x) + \\ &\dots + c_n \sum_{x=-N}^N p_0(x) p_n(x) \end{aligned} \quad (7)$$

由式(2)可得

* 中国石油天然气总公司“九五”重点科技攻关项目“高分辨率地震勘探技术研究”资助

收稿日期: 2001-04-22

$$c_0 = \sum_{x=-N}^N p_0(x)f(x) / \sum_{x=-N}^N p_0^2(x) \quad (8)$$

有一般形式

$$c_k = \sum_{x=-N}^N p_k(x)f(x) / \sum_{x=-N}^N p_k^2(x) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

可以认为前几项反映信号, 后几项反映噪声。取出前 $I+1$ 项作为有效信号:

$$v(x) = c_0 p_0(x) + c_1 p_1(x) + \dots + c_I p_I(x) \quad (x = -N, -N+1, \dots, N-1, N) \quad (10)$$

I 为拟合得最高次数。它的选取可以控制去噪的强弱, 以及对真实信号的损害程度。

2 应用

将原始的地震记录首先进行测井资料约束的地震道反演。其具体实现的步骤为: (1) 通过声波和密度测井资料、地震资料及一定的构造地层解释信息建立一个初始的反射系数序列模型; (2) 用该初始模型与一个已求出的子波褶积形成一个理论合成地震记录剖面; (3) 将合成地震记录剖面与实际地震记录剖面比较, 求取相关系数, 通过不断修改模型和反复迭代, 使所求相关系数达到给定阈值, 则此时的反射系数序列剖面就是要求的最佳反射系数序列剖面^[1,2]。由于原始地震记录中存在着噪声, 因此, 经地震道反演后虽然记录的纵向分辨率得到了提高, 但横向分辨率(信噪比)却降低了很多。剖面中地震同相轴连续性变差, 噪声增强。从理论上我们可以证明, 提高信噪比可以提高分辨率, 如 Widess 提出的信噪比与分辨率 p_s 的关系

$$p_s = \int [A_s(f) df]^2 / \int [A_s^2(f) + A_n^2(f)] df \quad (11)$$

就充分说明了这一点。上式中 $A_s(f)$ 是信号的振幅谱, $A_n(f)$ 是噪声的振幅谱。鉴于上述分析, 可将地震道反演与多项式拟合技术相结合, 联合应用。即首先对地震记录进行地震道反演处理, 然后再对其进行多项式拟合处理, 从而达到既提高了资料的分辨率又保持了资料信噪比的目的。

图1为某地震测线的一段原始地震记录, 图2为对图1只进行了测井资料约束地震道反演处理的结果, 图3为对图1用本文提出的方法进行处理的结果。比较图1、2、3可见, 测井资料约束地震道反演方法处理后的剖面, 虽然其分辨率有了很大的提高, 但剖面中的信噪比却降低了很多(图2)。而使用本文提出的方法处理的结果不仅分辨率有了很大的提高, 而且剖面的信噪比也没有降低(图3)。

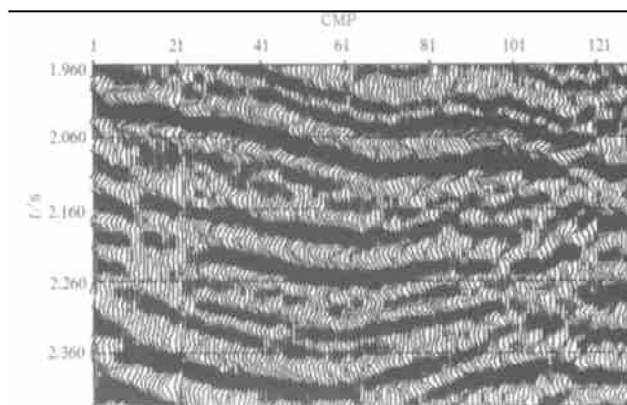


图1 某地震测线的原始记录片段

Fig. 1 Segments of original records in certain seismic measure line

(图中横坐标为地震道号, 纵坐标为地震记录的时间, 单位是秒, 图2、3相同)

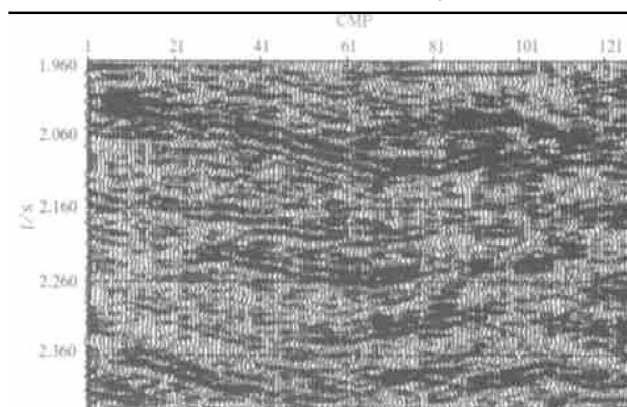


图2 对图1仅进行测井约束地震道反演处理的结果

Fig. 2 Results of Fig. 1 processed by well log constrained seismic trace inversion

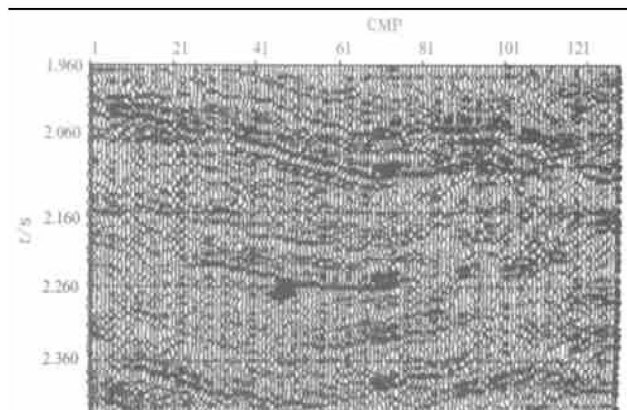


图3 对图1用本文方法处理后的结果

Fig. 3 Results of Fig. 1 processed by well log constrained seismic trace inversion combined with polynomial fitting technique

3 结论

(1) 理论分析和实际资料的处理表明: 把井约束地震道反演方法和横向多项式拟合技术结合起来联合应用, 能有效地提高地震剖面的信噪比和分

分辨率。横向多项式拟合处理可在测井资料约束地震道反演前进行也可在后进行,主要据原始地震资料中噪声水平来定。

(2) 由于地震信号中有效信号在沿测线方向相关性是比较强的,所以沿测线方向记录信号的慢变化部分可以认为反映的是真实信号,而剩余部分反映的是噪声。因此,对于相邻道的共深度点的记录信号可以用较低的拟合次数,一般多项式拟合的次数不要超过3次。

(3) 参与拟合的地震道数的多少应取决于地震信号横向同相轴变化的情况,一般同相轴连续性差,振幅变化较大,较复杂的记录,其多项式拟合的道数应取少一些,反之,可以取多一些。

(4) 该方法算法优化,所需机器内存较小,一般微机即可处理。同时,该方法要求欲进行高分辨率处理的原始地震记录应该是经过保振幅处理的结果带。实际资料处理还表明:处理后剖面的分辨率

与原始地震记录的分辨率有密切的关系,一般来说,处理后的地震剖面相对于原始地震记录剖面来说,其主频提高、频带展宽约2~3倍左右。

该方法的一个不足之处就是在欲反演的地震剖面上必须要有声波测井资料,否则无法建立初始的反射系数序列模型剖面。

参 考 文 献

- 1 Zhang Yufen, Hong Feng. A method of improving seismic data resolution: comprehensive inversion of well logging and seismic data[J]. Journal of China University of Geosciences, 1996, (2): 193~196
- 2 张玉芬, 韩世勤, 熊维纲. 井约束条件下的地震道反演[A]. 见: 罗延钟. 应用地球物理学进展[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996
- 3 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 4 刘贵忠, 宗涛, 章珂, 等. 利用纵向小波包变换和横向多项式拟合提高地震信号的信噪比和分辨率[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(5): 584~592

APPLICATION OF WELL LOG CONSTRAINED SEISMIC TRACE INVERSION COMBINED WITH POLYNOMIAL FITTING

Zhang Yufen Ling Feng Cheng Bingjie
(China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: The processing method of combining well log constrained seismic trace inversion with polynomial fitting technique was used to improve the resolution factor of seismic records. The purpose was to make full use of the ready information of well log, geological and seismic data to constrain seismic trace inversion so as to obtain an approximate reflectivity sequence section with higher resolution factor and wider band, and then use lateral polynomial fitting technique to process the section. This method does not only improve the resolution factor of seismic records, but also the signal/noise ratio of the records. This method was used to process some seismic data of a certain area, the result was evident.

Key Words: well log constrain; seismic trace inversion; resolution factor; signal/noise ratio; polynomial fitting