

文章编号: 1671-8585(2009)03-0186-03

# 最优化相似加权 Radon 变换压制多次波

罗小佳<sup>1</sup>, 朱仕军<sup>1</sup>, 刘二军<sup>2</sup>, 文中平<sup>3</sup>, 马黎明<sup>3</sup>

(1. 西南石油大学, 四川成都 610500; 2. 中国石油集团东方地球物理勘探公司装备事业部, 河北涿州 072750; 3. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司地球物理勘探公司, 四川成都 610213)

**摘要:**多次波压制一直是地震资料处理的难题, 常规方法多种多样, 但都受到使用条件的限制, 在实际应用中不能达到良好的效果。Radon 变换是一种压制多次波的较好方法, 如何提高 Radon 变换的分辨率一直困扰着地球物理工作者。在此提出了最优化相似系数加权法, 该方法结合了相似系数加权法的优点能够较好地控制假频和截断效应, 再结合 Gauss-Seidel 迭代的“最早迭代能量占优”的特点, 能够提高 Radon 域的分辨率。通过合成理论记录 and 实际资料计算分析对比, 该方法能较好地压制多次波, 具有实际应用价值。

**关键词:** Radon 变换; 多次波; 地震资料处理; 分辨率; 去噪

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

1917 年 Johan Radon 提出 Radon 变换后<sup>[1]</sup>, 该变换在医学和物理学等多学科得到了广泛应用, 地球物理专业较早使用的是倾斜叠加技术, 即  $\tau$ - $p$  变换。后来 Thorson<sup>[2~7]</sup> 等提出了时间域双曲线的最小二乘法, 试图解决“拖尾”现象, 但其需要计算维数较大的矩阵并且效果不是很理想; Hampson<sup>[8]</sup> 提出了频率域的抛物线最小二乘法, 并迅速成为工业标准, 但是在  $\tau$ - $p$  域还是存在“拖尾”现象。Sacchi 和 Ulrych<sup>[9]</sup> 通过使用“先验信息”改进了 Hampson 的方法<sup>[8]</sup>, 但是能量不容易聚焦在最佳的  $p/q$  道。Bradshaw 等先后提出在时间域使用 Gauss-Seidel 迭代和相似系数加权方法结合改进 Thorson 的方法。Thorson 方法的主要缺陷是  $\tau$ - $p/g$  域会呈现能量向最先计算的  $p/g$  道聚集的现象<sup>[8]</sup>; 最优化相似系数加权法正是利用这个特点和“先验”信息的优点对时间域相似系数加权方法的一种改进, 它能够较大程度地解决 Radon 变换固有的能量“拖尾”现象, 而其相似系数加权的优点能够克服假频的影响, 所以该方法具有独特的优点。

## 1 方法原理

### 1.1 相似系数加权法 Radon 变换<sup>[10]</sup>

相似系数加权法是在时间域 Radon 变换的基础上乘以相似系数而得, 相似系数的理论计算公式为:

$$S(\tau, q) = \frac{\sum_l \left( \sum_x d(t = \tau + qx^2, x) \right)^2}{N_x \sum_l \sum_x d^2(t = \tau + qx^2, x)}$$

式中:  $l$  表示时窗长度, 通常选择子波长度;  $N_x$  是

时间域地震道的道数。时间域相似系数加权法的计算公式<sup>[11]</sup>为:

$$u(\tau, q) = S(\tau, q) \sum_x d(t = \tau + qx^2, x)$$

### 1.2 最优化相似系数加权 Radon 变换的实现

此方法利用了 Gauss-Seidel 迭代的特性——最早迭代能量占优, 所以在一系列的  $q$  值中, 能量会向最先迭代的  $q$  值聚集, 具体的实现步骤为:

1) 给定一个特定的  $q = q_i$ , 在该  $q_i$  值处计算时间域剩余 CMP 道集 Radon 变换并且乘以  $s(\tau, q_i)$ , 得到  $q_i$  道的估计值  $u_{\text{est}}(\tau, q_i)$ 。

2) 计算  $q_i$  道估计值  $u_{\text{est}}(\tau, q_i)$  的 Radon 反变换, 并且在第 1 步中的时间域剩余 CMP 道集中减去反变换的数据体得到  $q_{i+1}$  的输入数据(即第 1 步中提到的时间域剩余 CMP 道集)。通常该算法开始的输入数据就是动校后的 CMP 数据, 但是它的能量会随着  $q$  值的增加和 Gauss-Seidel 迭代次数的增加而减小。

3) 把这些估计值  $u_{\text{est}}(\tau, q_i)$  累加到对应  $q_i$  值可接受的 Radon 域  $u_{\text{acc}}(\tau, q_i)$  之中。

4) 增加  $q$  值到  $q_{i+1}$ , 并且重复第 1 步 ~ 第 4 步直到所有的  $q$  值都取到为止, 最终形成  $u_{\text{acc}}(\tau, q)$ 。

5) 在  $u_{\text{acc}}(\tau, q)$  中按照  $q$  值能量的大小降序重新排列  $q$  值。

6) 取  $q$  值能量最大的  $q_j$  开始按照第 1 步 ~ 第 3 步再次计算。

7) 增加  $q_j$  值到下一个  $q_{j+1}$ , 按照第 1 步 ~ 第 3

收稿日期: 2009-02-22; 改回日期: 2009-03-15。

第一作者简介: 罗小佳(1982—), 男, 西南石油大学地球探测信息与技术专业硕士在读, 现主要从事地震数据处理工作。

步计算直到所有的  $q$  值都被覆盖, 唯一不同的是  $q_{j+1}$  道的输入数据道集是  $q_j$  道的剩余 CMP 道集。

通常情况下, 大约 1~3 次的迭代就足够把时间域的剩余道集能量衰减到一个可以接受的水平。所有的  $q$  值循环完后,  $u_{acc}(\tau, q)$  就是最优化相似系数加权 Radon 变换的结果。

## 2 计算分析

### 2.1 合成记录计算分析

图 1a 是经动校后的输入 CMP 道集, 其中包含一次波 P 和 3 个多次波 M1, M2 和 M3; 图 1b 是

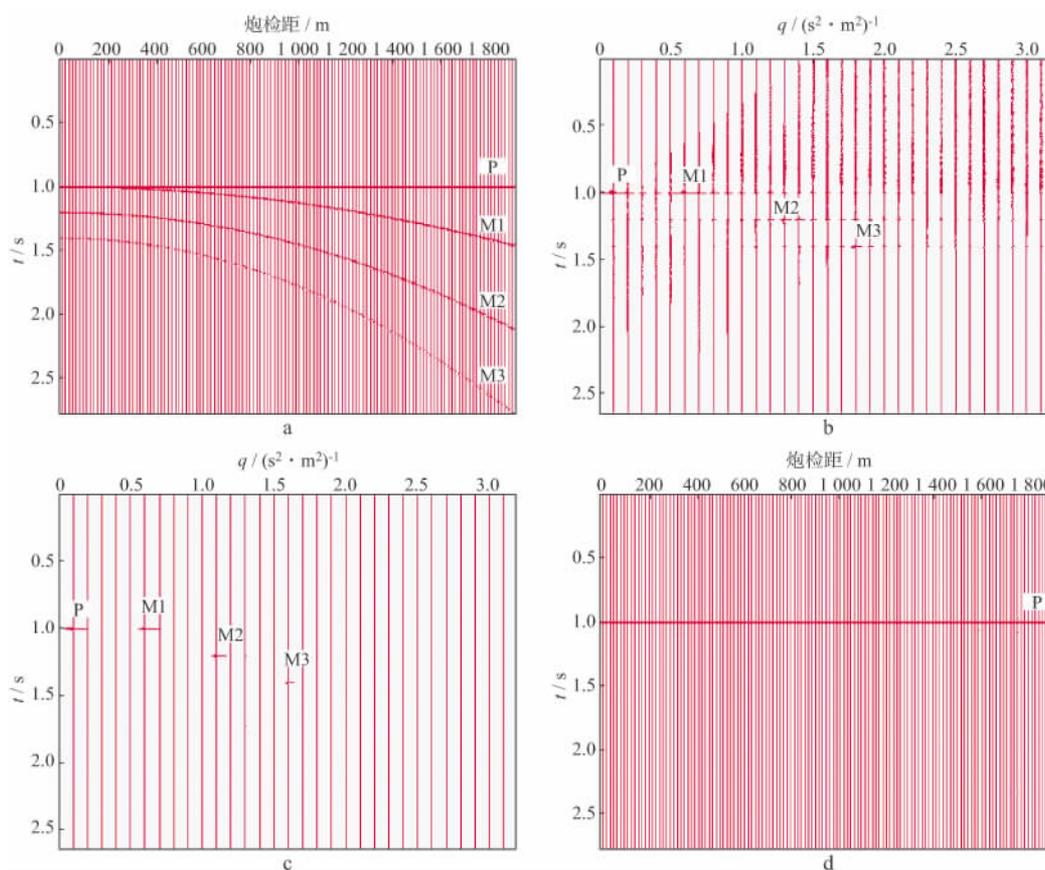


图 1 合成记录 Radon 变换分析

a 输入数据, 不含噪声的合成记录; b 传统 Radon 变换的结果; c 用本文方法 Radon 变换的结果; d 多次波压制后的结果

传统 Radon 变换的结果; 图 1c 是最优化相似加权法 Radon 变换的结果; 图 1d 是经过多次波压制后的结果。

### 2.2 实际资料处理分析

图 2 是某地区的 CMP 资料(仅显示其中的部分道和时间段), 从图 2 中可以看出多次波影响严重, 根据上面给出的最优化相似系数加权法对该记录进行滤波, 得到滤波后的地震剖面(图 3), 图 4 是被压制的多次波显示。

从图 3 中可以看出多次波受到明显的压制, 有效反射波的同相轴得以显现。最优化相似系数加权法应用于实际资料的结果表明这种方法能有效地压制多次波, 而且能够很好地保护有效波成分。

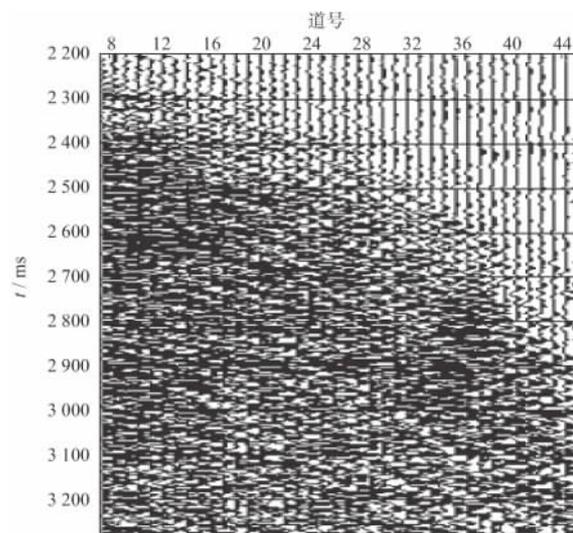


图 2 含多次波 CMP 资料

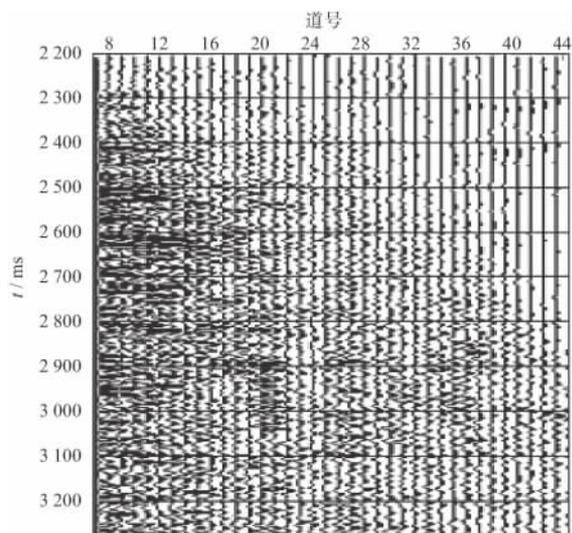


图 3 压制多次波后的 CMP 资料

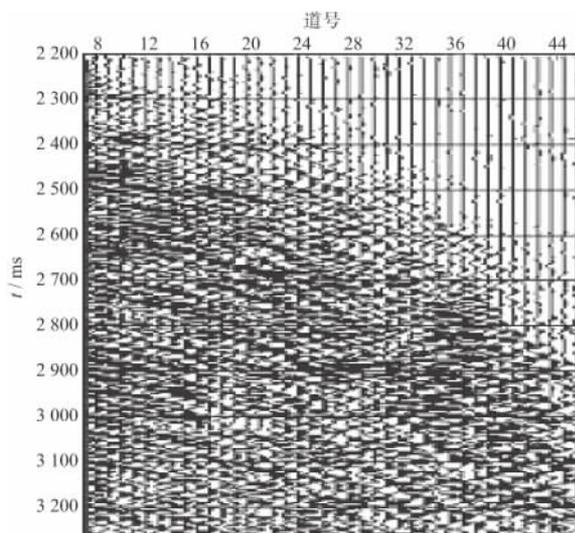


图 4 被压制的多次波

### 3 结论

传统压制多次波方法很多,它们都有一定的限制条件,实际资料中,这些假设条件不能完全得到满足,在滤波去噪的时候会出现去噪不完全,或者损失掉有效成分。本文应用最优化相似系数加权法在一定程度上克服了传统压制多次波方法的缺陷,避免出现上述问题。将本技术应用于理论计算

和实际资料的结果表明:

1) 最优化相似系数加权法集合了相似系数加权法的优点能够较好地克服假频和截断效应,提高资料的可信度。

2) 最优化相似系数加权法由于不受偏移距的影响能够进一步地提高正变换的分辨率。

3) 最优化相似系数加权法压制多次波结果表明,该方法可望成为地震资料处理中压制多次波另一有力工具。

### 参 考 文 献

- 1 吴律. Tau-p 变换及应用[M]. 北京:石油工业出版社, 1993. 5~40
- 2 Thorson J R. Velocity-stack and slant-stack stochastic Inversion: Geophysics [J]. Geophysics, 1985, 50 (8): 2 727~2 741
- 3 Ng M, Perz M. High resolution Radon transform in the  $t-x$  domain using "intelligent" prioritization of the Gauss-Seidel estimation sequence [J]. Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists, 2004, 18 (3): 260~263
- 4 刘启发, 张关泉. 借助广义 Radon 变换进行方位角校正[J]. 石油物探, 1996, 35(4): 41~48
- 5 Moon W, Carswell A, Tang R, et al. 垂直地震剖面资料的 Radon 变换波场分离法[J]. 勘探地球物理进展, 1987, 2(1): 27~33
- 6 王立歆, 李强, 姬小兵, 等. 用 Radon 变换法消除沙丘鸣震的应用及效果分析[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 89~91
- 7 黄新武, 吴律, 牛滨华, 等. 抛物线 Radon 变换中的参数采样与假频[J]. 石油大学学报(自然科学学版), 2003, 27(2): 28~31
- 8 Hampson D. Inverse velocity stacking and multiple elimination[J]. Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists, 1986, 22(8): 44~55
- 9 Sacchi M D, Tadeusz J U. High-resolution velocity gathers and offset space reconstruction[J]. Geophysics, 1995, 60(2): 1 169 ~ 1 177
- 10 沈操, 牛滨华, 余钦范. 拉冬变换的 MATLAB 实现 [J]. 物探化探计算技术, 2000, 22 (4): 347~350
- 11 渥·伊尔马兹. 地震数据处理[M]. 北京:石油工业出版社, 1994. 685~709

(编辑:任 鹏)