

利用蒙特卡罗方法的剩余静校正及其应用

陈枫^{1,2}, 王彦春², 王海泉³, 段云卿², 王娜¹

(1. 天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 中国地质大学 地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083; 3. 恒泰艾普石油天然气技术服务有限公司, 北京 100084)

摘要: 针对剩余静校正问题, 讨论了统计方法中的蒙特卡罗法用于反射波能量最大化剩余静校正的方法。分别论述了反射波叠加能量最大化法和蒙特卡罗方法, 以及蒙特卡罗方法如何应用于剩余静校正的计算中, 并用实例说明了该方法的效果。通过实际应用蒙特卡罗剩余静校正方法, 解决了经野外静校正后残留的剩余静校正问题, 并与其他剩余静校正方法的实际应用对比, 说明了蒙特卡罗剩余静校正方法的优势。对于大剩余量的静校正问题, 蒙特卡罗剩余静校正方法仍然可以很好的解决, 并且不会产生串相位问题, 说明蒙特卡罗剩余静校正方法是可靠的。

关键词: 剩余静校正; 蒙特卡罗法; 能量最大; 随机变量

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)04-0628-05

静校正技术是陆地地震资料处理的一项关键技术, 静校正问题的解决程度, 直接影响地震资料处理的结果好坏。目前, 静校正的方法已经发展了若干种, 根据实际地震采集地表条件及地震资料, 这些静校正方法的适当应用显著提高了地震资料成像剖面的质量。但是, 由于多种因素影响, 即使经过静校正处理之后, 一个 CMP 道集内的各道之间仍然可能会存在剩余静校正问题, 这些剩余静校正问题在一定程度上影响了叠加剖面的质量。消除剩余静校正问题可以用地表一致性反射波剩余静校正方法, 它的算法影响剩余静校正的效果, 因此需要对算法进行研究分析, 以找到较好的算法。笔者将讨论蒙特卡罗统计模拟方法应用于反射波叠加能量最大化求取剩余静校正的算法, 该方法利用随机变量的统计特性, 依托蒙特卡罗方法原理, 使其他方法在剩余静校正过程中可能出现的时移量过大导致的串相位或时移不动等不收敛现象得以消除。

1 反射波叠加能量最大化剩余静校正的基本原理

在地表一致性假设条件下, 反射波剩余静校正通过校正叠加能量的最大化来计算炮点和检波点的静校正量。设对应于第 j 个震源, 第 i 个检波器位置, 第 h 层上第 k 个中心点的旅行时间

$$t_{ijk} = s_j + r_i + G_{jki} + M_{kh} x_{ij}^2, \quad (1)$$

式中, s_j 和 r_i 分别为第 j 个震源位置和第 i 个检波点位置的静态时移, G_{jki} 表示位于基准面上的炮点到反射界面的共中心点再到接收点的旅行时, $M_{kh} x_{ij}^2$ 为剩余偏移距时差, 由它计算 h 层的不正常动校。由式 (1) 可得到旅行时间 t_{ijk} , 将其分解, 可以求出 s_j 和 r_i 两个剩余静校正分量。旅行时间 t_{ijk} 采用叠加能量最大化方法来计算。具体过程: 在动校道集中构建一个模型道, 道集中每一道都跟这个模型道进行互相关计算, 得到叠加能量及时移时间, 应用时移时间为寻求叠加能量的最大, 进行迭代互相关时移过程, 最终迭代得到最大的叠加能量的结果, 经过迭代得到的一个地震道的反射时间即是所求的 t_{ijk} 。通常, 为求取叠加能量最大, 采取目标函数最小化方法。目标函数是每一道与其三个相邻叠加道加权的标准相关的相反数, 因此叠加能量的最大就是目标函数的最小, 这一目标函数是地表一致性的炮点和检波点的函数, 它依赖于炮点和检波点的静校正时移量。目标函数的形式为

$$E[\{s_j\}, \{r_i\}] = -\frac{1}{M} \cdot \sum_j \sum_i \sum_t \frac{1}{\sqrt{N}} \cdot d_{ij}^k(t + s_j + r_i) \cdot y_{ij}^k(t), \quad (2)$$

式中: j 为震源位置炮点站号; i 为检波点位置站号; k 是 CMP 号, 且 $k = (i+j)/2$; t 是时间采样点; $d_{ij}^k(t)$ 是用炮点站号 j 和检波点站号 i 重新排列的道; s_j 是炮点站号 j 上的炮点一致性静校正时移量; r_i 是

波点站号 i 上的检波点一致性静校正时移量; M 是总道数; N 是标准化常数,

$$N = \left\{ \sum_i [d_{ij}(t + s_j + r_i)]^2 \right\} \cdot \left\{ \sum_i [y_{ij}^k(t)]^2 \right\},$$

其中, $y_{ij}^k(t)$ 是 CMP 号为 $k-1, k, k+1$ 三个相邻叠加道的加权和, 且

$$y_{ij}^k(t) = \sum_{n=k-1}^{k+1} w_n \cdot y_0^n(t) - d_{ij}(t),$$

这里, y_0^n 为第 k 个 CMP 道集的所有道叠加形成的叠加道, w_n 为加权因子。

根据目标函数直接最小化方法, 静校正问题归结为寻找合适的 s_j 和 r_i , 使目标函数全局最小化。

2 蒙特卡罗方法原理

蒙特卡罗方法是一种统计模拟的方法, 以概率统计理论为指导, 其基本原理是: 由概率定义知, 某事件的概率可以用大量试验中该事件发生的频率来估算, 当样本容量足够大时, 可以认为该事件的发生频率即为其概率。因此, 可以先对影响其可靠度的随机变量进行大量的随机抽样, 然后把这些抽样值一组一组地代入功能函数式, 确定结构是否失效, 最后从中求得结构的失效概率。设有统计独立的随机变量 $x(i=1, \dots, k)$, 其对应的概率密度函数分别为 $f(x_1), \dots, f(x_k)$, 功能函数式为 $Z = g(x_1, \dots, x_k)$ 。先根据各随机变量的相应分布, 产生 N 组随机数 $x_1, \dots, x_k$, 计算功能函数值 $Z_i = g(x_1, \dots, x_k) (i=1, \dots, N)$, 若其中有 L 组随机数对应的功能函数值 $Z_i \leq 0$, 则当 $N \rightarrow \infty$ 时, 根据伯努利大数定理及正态随机变量的特性, 有结构失效概率和可靠指标。

当所求问题的解是某个事件的概率, 或者是某个随机变量的数学期望, 或者是与概率、数学期望有关的量时, 通过某种试验的方法得出该事件发生的频率, 或者该随机变量若干个具体观察值的算术平均值, 从而得到问题的解, 此为蒙特卡罗方法的基本思想。蒙特卡罗方法使用随机抽样统计来估计数学函数。它需要一个良好的随机数源, 这种方法往往包含一些误差, 但是随着随机抽取样本数量的增加, 结果越来越精确, 而大量的样本数计算可以由计算机完成。蒙特卡罗方法的优点是能够比较逼真地描述具有随机性质的事物的特点及物理实验过程, 受几何条件限制小, 具有同时计算多个方案与多个未知量的能力, 程序结构简单, 易于实现。

3 蒙特卡罗剩余静校正应用及具体实例

在反射波剩余静校正方法中, 由于每次迭代计

算得到的校正量都被应用, 当迭代一定次数后, 即使实际中仍存在剩余量, 但由于每一道与模型道已经达到最大互相关, 那么每一道不会再被时移, 因此剩余静校正后仍然存在剩余量, 即使进行第二次反射波剩余静校正, 得到的资料品质与第一次剩余静校正几乎相近, 这种存在剩余量的不收敛问题并没有解决。而蒙特卡罗剩余静校正正在实现中应用统计学原理, 能最终将这种不收敛问题较好的解决。蒙特卡罗方法应用于反射波叠加能量最大化剩余静校正中, 是在动校正的 CMP 道集中用每一道与各道的叠加做互相关, 求得的互相关量分别统计到炮点和检波点上, 并用多次迭代的方法来求取最佳静校正量。在做下一轮迭代时, 前一轮的静校正量已被应用, 新校正量的应用与否取决于新校正量对应的相关能量是否大于前一轮静校正量的相关能量, 如果大于则采用此校正量, 如果小于则采用蒙特卡罗算法随机抽样采用一些静校正量, 以防止收敛于局部极小值。这样 N 组随机的应用与不应用的校正量, 若其中有 L 组随机量对应的目标函数值最小, 即反射波叠加能量最大化, 那么当 N 一定大的时候, 所得出的目标函数最小值满足要求, 最终得到炮点校正量 s_j 和 r_i 检波点校正量。这种蒙特卡罗剩余静校正方法避免了反射波叠加能量最大化剩余静校正应用每一个时移校正量后可能产生的串相位或时移不动的现象, 它通过统计模拟随机选取校正时移量。从而在一定程度上有利于剩余静校正量的精确求取。蒙特卡罗剩余静校正的实施步骤如图 1 所示。

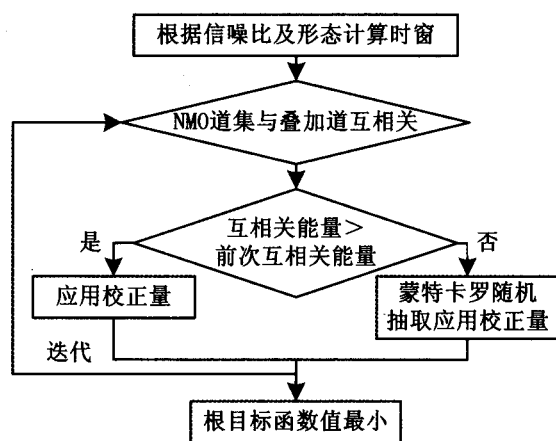


图 1 蒙特卡罗剩余静校正流程

图 2 给出了新疆某工区的剩余静校正前、后完整的叠加剖面, 方框处可看出叠加剖面校正前、后的效果。

将图 2a 中左边方框部分放大显示即为图 3。图 3 中可见, 经过野外静校正和一次速度分析后, 长

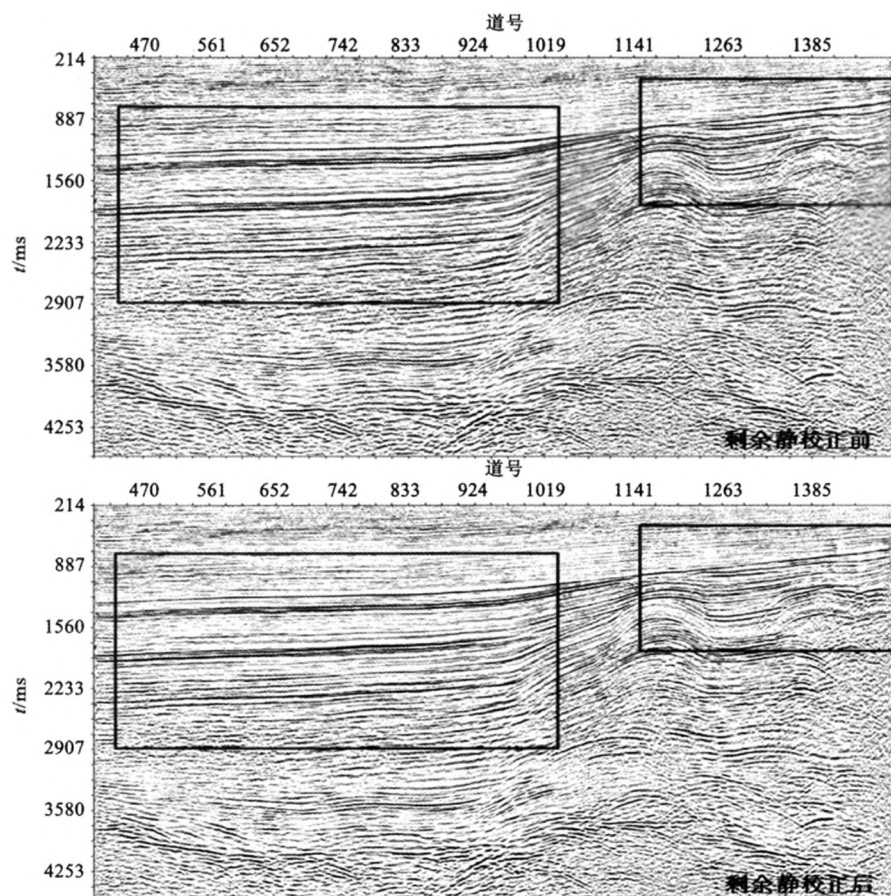


图2 新疆某工区蒙特卡罗剩余静校正前、后叠加剖面对比

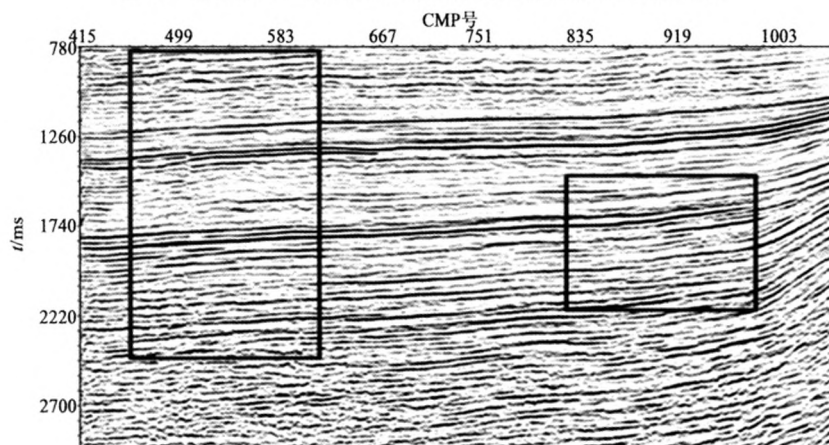


图3 新疆某工区剩余静校正前的部分叠加剖面

波长静校正量问题得到解决,但是仍然存在短波长的静校正问题,导致同相轴不连续,因此需要通过剩余静校正加以解决。图4给出了对图3的同一数据进行剩余静校正处理后的结果。图4a显示的是内部模型道的反射波剩余静校正处理后的结果,与处理前相比,叠加剖面的信噪比有一定的提高,同相轴的连续性也有改善,但是总体效果仍不理想;而由图4b可以看出,经过蒙特卡罗剩余静校正处理后,同相轴的连续性得到了明显的提高。

对于剩余量比较大的情况,蒙特卡罗剩余静校正方法仍然可以较好地解决问题,并且由于蒙特卡罗方法的随机性,在解决大的剩余量的同时不会产生串相位的现象。图5所示为剩余静校正前后的叠加剖面。剩余静校正前的叠加剖面在解决长波长静校正问题后存在较大的剩余量,为解决该问题并且不产生串相位现象,笔者采用蒙特卡罗剩余静校正方法。首先,拾取浅—中层信噪比较高的层位作为模型道,然后在此基础上对动校正后的CMP道集进

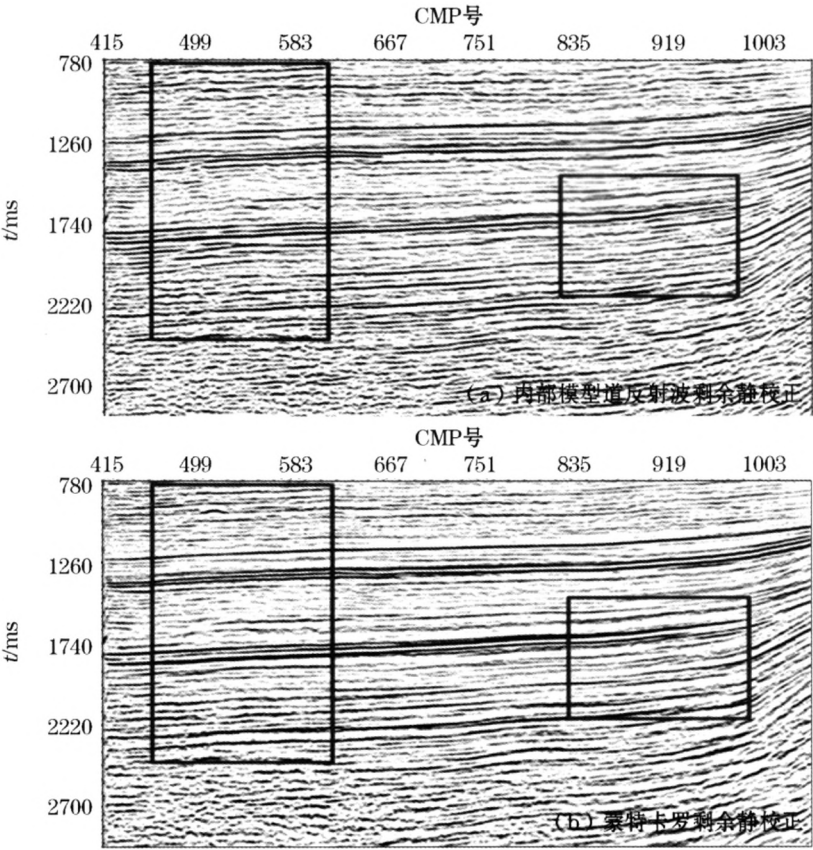


图 4 图 3 数据经剩余静校正后的叠加剖面

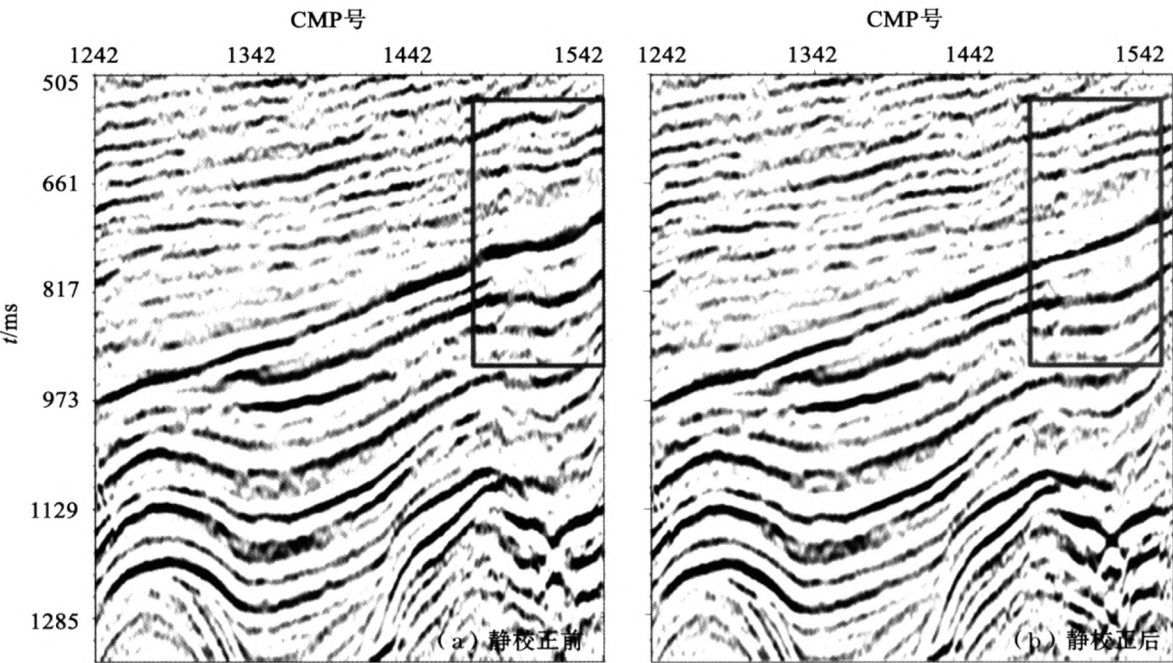


图 5 大剩余量蒙特卡罗剩余静校正前、后叠加剖面对比

行蒙特卡罗剩余静校正计算,最后将计算得到的剩余校正量应用于数据中,得到图 5b。从两图的对比中可以看到,蒙特卡罗剩余静校正不但解决了大的

剩余量问题,同时也没有产生串相位等不收敛问题,叠加剖面的信噪比和同相轴的连续性都明显提高,这样处理得到的资料结果质量更为可靠。

4 结论

剩余静校正是地震资料处理中不可或缺的步骤,剩余静校正有时是通过几次迭代完成的。因为剩余静校正改善了速度谱的质量,所以,通常在剩余静校正后需要重作速度分析,通过更加精确的速度,动校正得到的 CMP 道集,再作剩余静校正,迭代几次后得到较好的结果。

笔者讨论了统计方法中的蒙特卡罗法用于反射波叠加能量最大化剩余静校正计算中,该方法的优点是通过从大量数据中随机选取并应用校正量,从而能够防止剩余静校正中正串相位或同相轴时移不动等不收敛问题的产生。通过实例分析可以看出,经过野外静校正后,虽然静校正量长波长问题得到解决,但是同相轴的连续性仍然比较差,存在剩余静校正问题。利用蒙特卡罗剩余静校正方法对数据进行校正后,同相轴的连续性和剖面的信噪比有明显的提高,并且与其他剩余静校正方法相比,蒙特卡罗剩余静校正可以更好的解决同相轴时移不动的问题。同时,通过实际例子表明,对于剩余量较大的静校正问题,蒙特卡罗剩余静校正方法仍然有效,并且不会产生串相位的问题。这说明蒙特卡罗剩余静校正方法在对地震数据进行剩余静校正处理上是可行的,

并且效果也较为明显。

参考文献:

- [1] 谭昌勇,王彦春,张伟宏,等.静校正方法在黄土源地区的联合应用[J].石油物探,2009,48(3):252-257
- [2] 姚姚.地震波场与地震勘探[M].北京:地质出版社,2006.
- [3] 牟永光,陈小宏,李国发,等.地震数据处理方法[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [4] 渥·伊尔马兹.地震资料分析——地震资料处理、反演和解释[M].北京:石油工业出版社,2006.
- [5] 王彦春,余钦范,段云卿.折射波静校正方法在复杂地表地区的应用[J].物探与化探,1999,23(6):428-434.
- [6] 王有新.应用地震数据处理方法[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [7] 罗英伟,段卫星,徐维秀,等.几种静校正方法的研究与比较.油气地球物理,2010,8(1):34-39.
- [8] 何光明,贺振华,黄德济,等.几种静校正方法的比较研究.物探化探计算技术,2006,28(4):310-314.
- [9] 吉庆丰.蒙特卡罗方法及其在水力学中的应用[M].江苏:东南大学出版社,2004.
- [10] 熊翥.复杂地区地震数据处理思路[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [11] 魏庚雨,李振勇,薛慧.利用地震属性求取剩余静校正的方法.石油地球物理勘探,2009,44(增1):10-12.
- [12] 张伟,王彦春,段云卿,等.用变换时窗统计能量比法拾取地震初至波[J].物探与化探,2009,33(2):178-180.

THE APPLICATION OF MONTE CARLO METHOD TO RESIDUAL STATIC CORRECTION

CHEN Feng^{1,2}, WANG Yan-chun², WANG Hai-quan³, DUAN Yun-qing², WANG Na¹

(1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China; 2. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. LandOcean Energy Services Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract: According to the residual static correction, this paper has discussed the application of statistical Monte Carlo method to residual static correction which is computed by the method of maximal energy of reflected wave. The study included the detailed description of Monte Carlo method and the method of maximal energy of reflected wave, the discussion on the way of applying Monte Carlo method in residual static correction exemplified by some practical application. As a result of processing seismic data with Monte Carlo residual static correction, the residual static state has been corrected. Based on a comparison between Monte Carlo residual static correction and other residual static corrections, this paper demonstrates the predominance of Monte Carlo residual static correction. Furthermore, Monte Carlo residual static correction can solve obvious residual amount without phase shifting. These results show the dependability of Monte Carlo residual static correction.

Key words: residual static correction; Monte Carlo method; maximal energy; random variable

作者简介: 陈枫(1985-),女,硕士研究生,主要从事地震资料处理工作,公开发表学术论文数篇。