

# 基于相关参数的时移地震互均 化质量监控方法研究

郝振江, 陈小宏

(中国石油大学资源与信息学院 物探重点实验室, 北京 102249)

**摘要** 在时移地震技术的实际应用过程中, 限于观测条件及处理流程等因素的影响, 不同时期所获得的地震数据的一致性往往是较差的, 这些不一致通常表现为地震资料在振幅、时间延迟、频率、相位等方面的差异. 为了消除这些差异带来的影响, 通常使用的方法就是进行时移地震的互均化处理, 本文讨论了一种有效的时移地震互均化质量监控方法, 用来评定时移资料的优劣, 互均化结果的好坏, 能够为时移地震可行性分析及互均化处理流程带来一定的帮助, 同时可以起到很好的指导意义.

**关键词** 时移地震, 互均化, 相关参数, 质量监控

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)03-0929-05

## A study on time-lapse seismic cross-equalization QC method based on correlation parameters

HAO Zhen-jiang, CHEN Xiao-hong

(Key Lab of Geophysical Exploration under CNPC, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract** There usually to be lots of differences about amplitude, time lapse, frequency, phase etc. on repeatability between the time-lapse seismic data got form different years limited by observation system and processing flow. The paper proposed a new method based on correlation parameters for time lapse seismic non-repeatability analysis and quality control for cross-equalization processing. This method worked well with the time-lapse seismic records from a Chinese ocean oil field. The correlation parameters we selected and presented in this paper are proved effective for time-lapse seismic cross-equalization quality control.

**Keywords** time-lapse seismic, cross-equalization, correlation parameters, quality control

### 0 引言

近年来, 时移地震作为一种重要的油藏动态监测方法, 得到了油藏工程师的极大重视. 开展时移地震的两个假设分别是地震资料在非油藏区的一致性和油藏区的差异性. 然而实际应用过程中受采集、处理等因素的影响, 时移资料的差异剖面上总是存在非油藏流体变化引起的地震响应变化<sup>[1~5]</sup>. 利用时移地震资料监测油藏流体变化前, 应分析非油藏流体变化产生差异的原因, 并进行时移地震互均化处理, 通过合理选择时移地震的处理方法和处理流程、

高保真和高信噪比地获得可信的时移地震成果.

时移地震数据处理有别于常规地震数据处理的一个重要方面就是不同时间采集的数据之间的差异巨大<sup>[6,7]</sup>. 互均化处理的核心思想是通过设计合理的算法, 将各种由于采集和处理所带来的影响时移地震数据振幅、时间延迟、频率、相位等的因素加以消除, 使得的结果以非储层部分地震响应具有重复测量不变性为最佳<sup>[8~13]</sup>.

然而, 互均化处理的结果是否能够满足时移地震分析的需求, 是否能够在最大程度上为提高油气的产量服务并没有一个确切的指标. 此时可以通过

收稿日期 2007-01-17; 修回日期 2007-03-14.

基金项目 国家自然科学基金项目(40574048)和国家高技术研究发展计划(863 计划)(2003AA602110-2)联合资助.

作者简介 郝振江, 男, 1979 年生, 汉族, 辽宁凌源人, 博士研究生, 现就读于中国石油大学(北京)资源与信息学院, 主要从事开发地震数值模拟, 地球物理软件研制与开发方面的研究. (E-mail: zj\_hao@126.com).

一些地球物理参数在互均化处理前后的变化来判断互均化处理结果的好坏,同时将信息反馈,指导互均化改进处理方法和流程,以便得到更为可信的时移地震数据。

## 1 方法理论

这里假设两单道地震记录分别为  $x(n)$  和  $y(n)$  是能量有限的<sup>[14, 15]</sup>, 它们的互相关函数可表示为:

$$\phi_{xy} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)y(n+m), \quad (1)$$

其中:  $0 \leq n \leq N-1$ , 为地震信号取值范围,  $1-N \leq m \leq N-1$ , 为延迟量。

若  $w_1(n)$ 、 $w_2(n)$  与  $r_1(n)$ 、 $r_2(n)$  分别表示两道地震记录所对应的子波和反射系数的函数, 那么通过褶积模型及适当的假设<sup>[16~18]</sup>, (1)式可以表示为:

$$\phi_{xy} A \sum_{n=0}^{N-1} w_1(n)w_2(n+m), \quad (2)$$

其中:  $A$  为方差项, 携带了地震记录的能量信息, 余项则为地震子波的函数, 携带了时移资料中有关时间延迟、频率、相位等的信息。

因此, 对于时移地震互均化处理的质量监控来说, 便可以从这两方面对其加以考虑。

### 1.1 累计能量差

对于能量来说, 不同时期地震数据能量上的差异往往是由采集所决定的。众所周知, 理想的时移地震观测系统应该是将检波器固定, 在一定时间内通过相同的手段对某一地区频繁的进行重复的地震勘探。然而, 实际的情况却远非如此, 随着多年来物探技术的发展, 勘探过程中采用的震源有了很大的差异。此外, 随着勘探条件与环境的变化(如: 季节变化、气候影响、潮汐差异、旱季雨季差异等等<sup>[19, 20]</sup>), 地表对地震能量的吸收与衰减也是不同的。这些都会使得采集到的地震数据在能量上出现非常大的差异, 而理想的互均化过程需要将这种能量上的巨大差异抚平。

直观上来说两道地震数据的累计能量差异就能够很好的在宏观上反应两组数据能量上的不同。

互均衡处理后在非油藏部分由于没有流体变化引起的影响, 两组数据体的能量也应该达到一致, 也就是说它们的总能量的差异应该接近于零。同时, 由于地震数据的能量是与振幅的平方成比例的, 因此假设  $x_i$  有为第一年份勘探的地震数据,  $y_i$  为第二年份勘探的地震数据, 那么就有:

$$d_{\text{diff}} = \frac{|\sum_t x_i^2 - \sum_t y_i^2|}{|\sum_t x_i^2 + \sum_t y_i^2|}, \quad (3)$$

此式即为总体累计能量差, 虽然计算简单, 但是能够从全局很好体现两组地震数据体的直观差异, 对于时移地震数据分析来说有着重要的意义。

### 1.2 归一化均方根能量差

时移累计能量差能够很好的从宏观上给出时移数据的差异, 却往往会将局部差异特征弱化, 同时由于直接计算能量, 忽略了数据在振幅极性上面的变化信息, 此时, 通常采用归一化均方根能量差异来描述时移数据能量上存在的差异就会得到更好的效果。同样的道理, 理想的时移数据体能量在归一化均方根尺度内也应该降低并趋近于零:

$$n \text{ rms} = a \times \log_{10} \left\{ \frac{2 \times \text{rms}(x_t - y_t)}{\text{rms}(x_t) + \text{rms}(y_t)} \right\}, \quad (4)$$

其中:

$$\text{rme}(x_t) = \sqrt{\sum_t x_t^2 / n},$$

$n$  是时窗内的采样点数, 为归一化因子。

### 1.3 可预测性<sup>[21]</sup>

对于时移地震互均化处理来说, 能量互均化只是最基础的部分。通过能量匹配, 时移数据体之间的宏观振幅特征趋于一致, 为利用差异分析进行流体检测提供了前提。然而时移数据体之间波形、相位、频率、时间延迟等方面存在的差异才是互均化分析的重点, 这些因素处理的好, 时移地震的结果便会更具有可行性, 在指导生产的过程中才能发挥更大的作用。

对于理想的互均化结果来说, 他们在数据体中非油藏流体的部分应该是一致的, 也就是说对于油藏以外的地震数据来说他们的相关性应该是很强的, 同时考虑到相关函数的特征, 并结合(2)式可以得到  $p_{\text{red}}$  曲线表达式:

$$p_{\text{red}} = A \times \frac{\sum \phi_{xy}(\tau) \times \phi_{xy}(\tau)}{\sum \phi_{xx}(\tau) \times \phi_{yy}(\tau)}, \quad (5)$$

其中:  $\phi_{xy}$ ,  $\phi_{xx}$ ,  $\phi_{yy}$  分别是两次测量对应地震道在时窗  $t$  内的互相关与自相关,  $A$  为加权系数。

这是一个归一化的表达式, 理论取值区间为  $[0, A]$ , 通过上面的分析可知,  $p_{\text{red}}$  值越大, 说明时移数据体之间在相关性越好, 波形、相位、频率、时间延迟越接近, 互均化的结果越理想,  $p_{\text{red}}$  值越小则得到相反的结果。

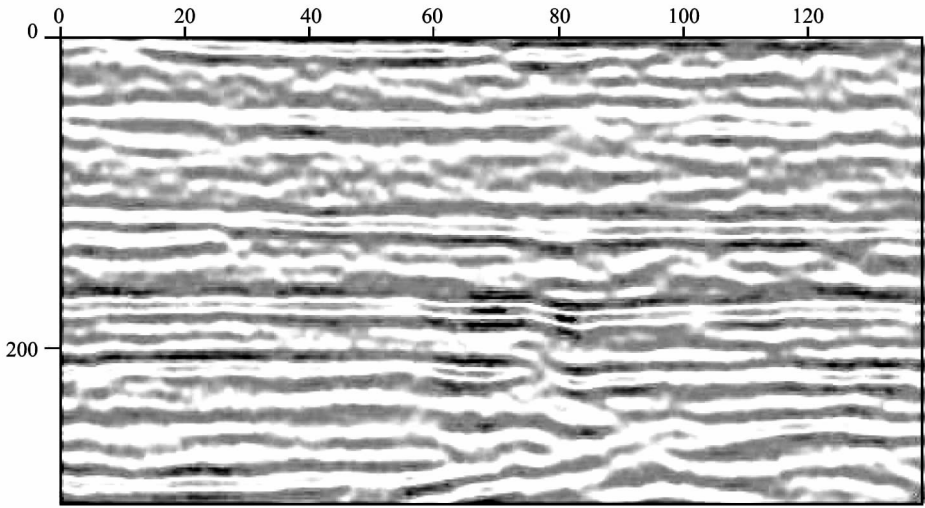


图 1 1985 年地震剖面(其中:横坐标为 cdp,纵坐标为时间(ms),下同)  
Fig.1 1985 seismic section(x: cdp, y: time(ms), the same to below)

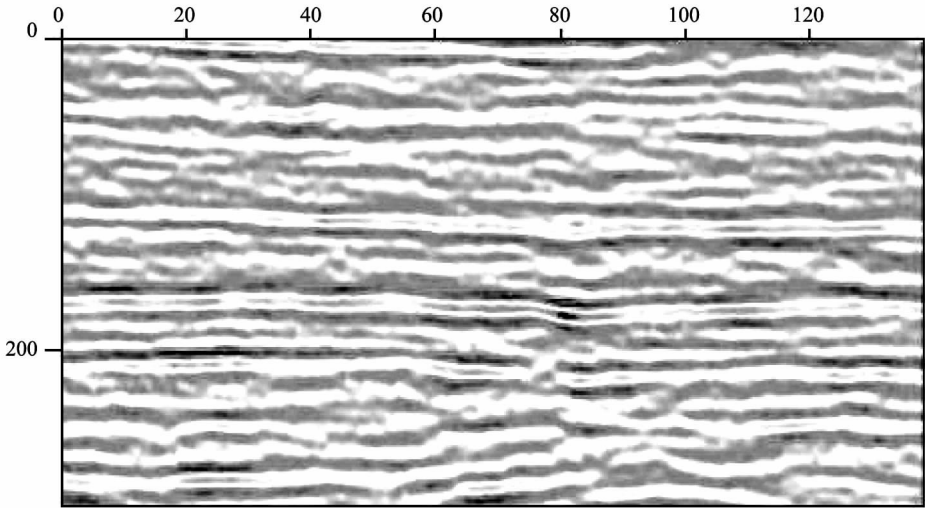


图 2 1992 年地震剖面  
Fig.2 1992 seismic section

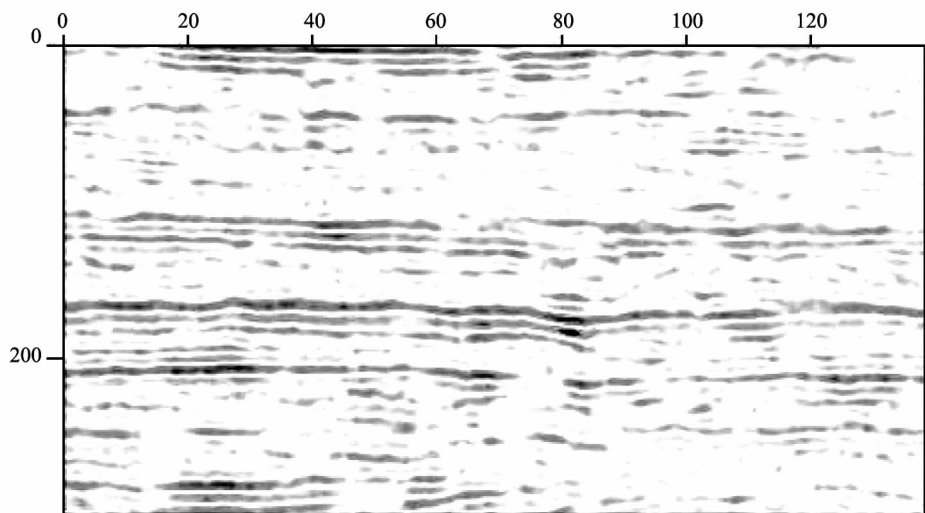


图 3 互均化前差异地震剖面  
Fig.3 The difference seismic section before applies cross-equation

### 2 实例分析

选择我国海上某油田同一地区 1985 年和 1992 年两次不同时间测得的两条二维测线,并选取油藏上方长度为 300 ms 的窗口作为互均化处理设计窗口,并抽取其中 139 道构成验证互均化质量监控的数据体(见图 1、图 2)。

这两组数据的采集相隔 7 年,为了满足时移地震的应用,在进行时移地震互均化处理之前进行了面元重置,因此互均化前的宏观能量差异并不是很大.主要差异集中在局部能量,以及相位、频率、时间延迟上。

差异剖面上可以清晰地看到互均化前残存的大量的错误信息已经消失,互均化处理前后,nrms 曲线变化比较明显,强度变化范围从原来的 100 下降到 30,说明了两组地震数据之间的能量关系在局部趋于合理.pred 的强度变化范围从原来 70 上升到 90,说明了相位、频率与时间延迟得到了很好的匹

配.这些特征都说明了互均化处理取得了理想的结果,其结果为时移地震差异分析并用于油藏流体动态监测提供了依据.后续对于油藏监测的结果也充分的说明了本次互均化所采用的计算参数是合理的,差异分析是可靠的,同时 nrms 和 pred 作为时移地震互均化质量监控的方法也是有效可行的。

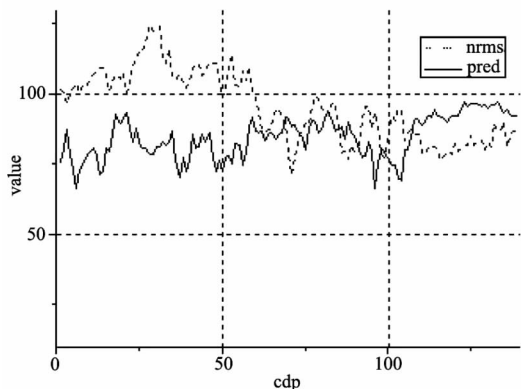


图 4 互均化前 NRMS、PRED 曲线分布

Fig. 4 NRMS&PRED curves before applies cross-equation

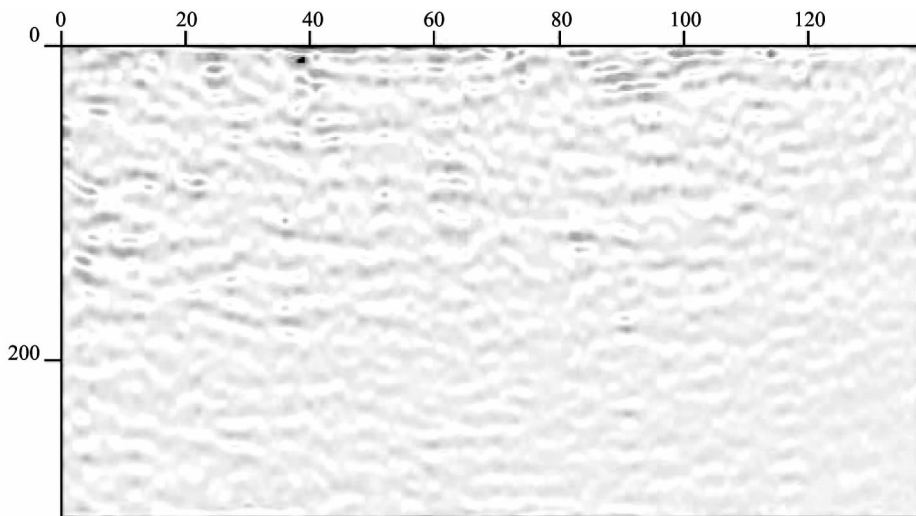


图 5 互均化后差异地震剖面

Fig. 5 The difference seismic section after applied cross-equation

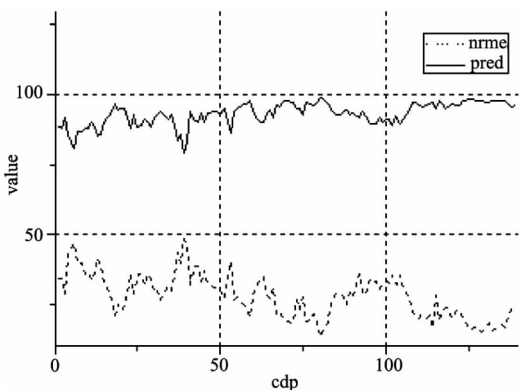


图 6 互均化后 NRMS、PRED 曲线分布

Fig. 4 NRMS&PRED curves after applied cross-equation

### 3 结 论

通过对时移地震资料互均化处理结果所作的探讨和研究,分析了影响时移地震资料一致性的诸多因素,并给出了几个基于地球物理的参数用以检验时移地震资料互均化处理结果的优劣,同时这些质量监控参数也可用于改进时移地震资料互均化处理中与振幅、频率、相位、时延量相关的流程,通过不断的修正处理参数及流程,为差异分析、油藏流体动态监测提供有力的数据支持.此外,这些标准可用于时移地震可行性分析的环节,以降低勘探开发的风险。

## 参 考 文 献 (References):

- [1] 陈小宏, 牟永光. 四维地震油藏监测技术及其应用[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(6): 707~715.
- [2] Martin Landro, Uncertainties in quantitative time-lapse seismic analysis [J]. *Geophysical Prospecting*, 2002, 50: 527~538.
- [3] 陈小宏, 易维启. 时移地震油藏监测技术研究[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(1): 1~6.
- [4] 杨勤勇. 四维地震勘探技术新进展[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(5-6): 339~341.
- [5] 曹辉. 油藏监测中的时延地震技术[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(5-6): 342~348.
- [6] 金龙, 陈小宏. 时移地震互均衡法混合因素处理技术[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(4): 400~406.
- [7] 凌云, 高军, 张汝杰等. 随时间推移(TL)地震勘探处理方法研究[J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(2): 173~179.
- [8] 李蓉, 胡天跃. 时移地震资料处理中的互均衡技术[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(4): 424~427.
- [9] 金龙, 陈小宏, 刘其成. 基于奇异值分解的时移地震互均衡方法[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 294~297.
- [10] 甘利灯, 姚逢昌, 邹才能等. 水驱四维地震技术—叠后互均化处理[J]. 勘探地球物理进展, 2003, 26(1): 54~60.
- [11] 云美厚, 丁伟, 王开燕等. 地震资料一致性处理方法研究与初步应用[J]. 石油物探, 2006, 45(1): 65~69.
- [12] 金龙, 陈小宏, 李景叶. 基于误差准则和循环迭代的时移地震匹配滤波方法[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 698~703.
- [13] Thomas N B. Correcting amplitude, time, and phase mis-ties in seismic data [J]. *Geophysics*, 1994, 59 (6): 946~953.
- [14] 姜建国, 曹建中, 高玉明. 信号与系统分析基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994, 19: 1~124.
- [15] 徐平, 王宝善, 张尉等. 利用互相关函数求地震波衰减[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1738~1744.
- [16] 金龙, 陈小宏, 刘其成. 相关参数时移地震互均衡质量监控方法[J]. 天然气工业, 2005, 25(11): 33~35.
- [17] 渥. 伊尔马滋. 地震资料分析—地震资料处理、反演与解释(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006, 8: 19~43.
- [18] 蔡希玲, 陈义景, 刘树田. 自相关参数统计分析法——一种地震数据处理中的有效的分析工具[J]. 信号处理, 2000, 16 (增刊): 63~69.
- [19] 阎爱英, 贺向阳. 地震重复性试验是时移地震检测的关键因素[J]. 石油物探译丛, 2001, 3: 80~87.
- [20] Robert Laws, Ed Kragh. Rough sea and time-lapse seismic [J]. *Geophysical Prospecting*, 2002, 50: 195~208.
- [21] Ed Kragh, Phil Christie. Seismic repeatability, normalized rms, and predictability [J]. *The Leading Edge*, 2002, 21 (7): 641~647.