

Key Techniques of Post-Stack Processing for Onshore Non-Repeatable Time-Lapse Seismic and Application

Wenrui Teng Zhenqing Wu Liangjun Li Duang Chen Yongjun Wang*

School of Artificial Intelligence, Wenzhou Polytechnic, Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract

The repeatability of acquired data serves as the foundation and critical guarantee for time-lapse seismic work. Building upon pre-stack consistency processing of two-phase data, this study focuses on exploring four key post-stack consistency processing techniques—time shift correction, wavelet correction, frequency correction, and amplitude correction—for onshore 3D non-repeatable time-lapse seismic applications. Case study results demonstrate that these four techniques further enhance the quality of time-lapse data for subsequent interpretation and residual oil analysis, providing a reference framework for implementing time-lapse seismic workflows in mature onshore oilfields.

Keywords

Onshore, non-repeatable time-lapse, post-stack consistency processing

陆上非重复性时移地震叠后关键处理技术及应用实例研究

滕文瑞 吴镇廷 李良军 陈杜昂 王永军*

温州职业技术学院人工智能学院, 中国·浙江温州 325000

摘要

采集资料的重复性是时移地震工作的数据基础和重要保证。由于采集目的、方式的不同（尤其是陆上勘探）导致了不同时期的采集数据不一致性较大，增加了时移地震效果的难度。在叠前一致性处理的两期数据基础上，重点探索了四项（时差校正、子波校正、频率校正和振幅校正）叠后一致性关键处理技术在陆上三维非重复性时移地震中应用。实例研究表明，四项技术为后期解释和剩余油分析进一步改善了时移数据质量，为陆上老油田开展时移地震关键环节探索了范例。

关键词

陆上，非重复性时移，叠后一致性处理

1 引言

时移（四维）地震技术是指在满足一定条件（如储层特点、流体特性和地震资料品质等）下，利用两期或多期地震响应的差异信息（如油气藏流体变化）进行油藏特征研究的技术^[1]。

在时移地震工作中，因为采集的不一致性，使得同一地区的不同时期采集数据是非重复资料情况非常普遍。针对这种不同时期的不同勘探目标或使用不同观测方式采集的数据进行的时移地震处理研究，称为非可重复时移地震处理^[2]。

近年来，为寻找复杂岩性构造、小幅度构造等，在已经勘探开发的成熟区开展了高精度、高密度地震勘探，利用新、老勘探采集的资料进行非重复性时移地震研究，可以在不增加采集成本的基础上，充分利用时移地震技术指导油气田开发^[2]。

为了开展时移工作，郭念民^[2,3]、朱振宇^[4]、王大为^[5]等致力于探索两期数据的关键处理技术。朱振宇^[4]、王大为^[5]、吴意明^[6]等主要关注的是海上时移地震资料的采集和处理技术。张宝安^[7]参考中外时移地震工作，探讨了严格意义上完成时移地震的关键条件。刘巍^[8]研究了时移地震从资料采集设计之初，需要考虑采集的可行性，揭示了非可重复时移地震的难度。

然而，专门讨论陆上非可重复数据重构算法文献资料较少，而陆上非重复性采集数据的时移地震相关技术难度更大^[8]，但这些技术对目前中国老油气田的开采、开发有着更重要的意义和价值。基于此，本文重点探索陆上资料的叠后互均衡处理技术及应用实例。

2 叠后互均衡处理技术

两期数据经过了数据重构、叠前一致性处理和统一的速度分析和剩余静校正分析后，两期资料中较大尺度的非重复性影响因素得到一定消除，但两期资料在时间、能量、带宽和相位等方面存在的相对小尺度的差异需要进一步消除，

【作者简介】滕文瑞（2005-），男，中国浙江金华人，从事软件技术专业研究。

以期望进一步提高两期地震资料的一致性，提高两期数据体差异剖面的信噪比，使得差异剖面上的地震响应能够更好的反映剩余油分布信息。

叠后时移地震互均衡技术的基本原理是，设定基础数据或控制数据，再设定监测数据或被处理数据，然后以基础数据为标准求取校正算子，以将两次或多次地震记录的反射时间、振幅、相位和频率校正到与基础数据相一致为设计准则，然后将校正算子作用于监测数据，进而提取与油藏有关的差异信息。一般互均衡过程往往包括多步，利用多个校正算子对两期地震资料的主要差异进行匹配校正，某些步骤中存在着把基础数据和监测数据都校正的情况。互均衡技术一般分主要包括时间校正、振幅均衡、相位校正、频率均衡、构造校正、基于标志层的匹配处理和匹配滤波等几方面。

实际应用中，这几项互均衡技术可以多次应用，而且可以有不同的组合方式，最终的数据匹配效果也有所差异。通过实际资料的测试和理论数据的一些研究结果，我们探索并采用时差校正+滑动时窗匹配滤波+频率均衡+振幅均衡的技术流程来匹配两期叠后成像资料，效率和效果比较好。具体内容和效果说明如下：

(1) 时差校正，由于两期数据不同时期的采集因素和勘探目标不同，如采集排列的不同、井深不同、震源与接收环境的变化等都可能使两期地震资料产生时移；处理中的速度和剩余静校正等方面的参数或算法也可能影响到时差。另外，当相位发生旋转时，也相当于时间域的时移。时移校正就是根据两期数据对应道存在时间差，求取匹配算子，然后使监测数据匹配基础数据，消除了数据之间的对应信号的时间延迟，同时对相位旋转有校正作用。

(2) 滑动时窗匹配滤波，在指定的时窗内，基于时窗采取各个校正算子，求取可以是空变和时变的匹配滤波算子。滤波时注意要以频率低、带宽较窄的数据频谱为标准。

(3) 频率均衡和匹配滤波，由于地震信号主频不同、激发药量和井深引起的子波差异等使得两期资料频谱存在差异。频率均衡就是最小化两期资料的频谱差异。根据参考数据频谱分析结果进行频谱的光滑，利用光滑后的曲线对监

测数据进行校正处理。匹配滤波就是针对两期资料，采用应用时窗内求取和应用一系列的匹配算子，使得两期资料在时移、相位和频谱上差异更小，有整形滤波的作用。

(4) 振幅均衡，由于两期震源激发能量不同（如2004年用3kg，2008年用1-3kg炸药震源）、接收仪器的差异、排列方式以及记录噪音和季节等环境的变化都可能造成地震波在振幅上的不同。振幅均衡就是使两期资料对应的信号能量处于同一水平，保证基础数据和监测数据在非储层部分的振幅一致。振幅均衡或者能量校正包括了大时窗的横向能量和横向能量振幅包络匹配，但不影响局部差异分析。

本次叠后互均衡处理中，以04年重构的数据为基础数据，08年重构的数据为监测数据。图1-3展示了按照时差校正+滑动时窗匹配滤波+频率均衡+振幅均衡过程的监控图片。其中，图1是按照上述互均衡过程的一条测线的逐步处理后的剖面。图2是图1中各个剖面与基础数据（04数据）相减后的剖面。图3是最终匹配的两期剖面及差值剖面。

从图2中还可以看到，经过第一步时差校正后，差值剖面的剩余量明显减弱，相比与后面几步的互均衡处理而言，变化最明显，说明叠后互均衡处理在增强剖面一致性方面非常必要，也说明了本次处理的两期资料由于本身固有的一些排列、激发和静校正问题在时延上差异最大。在较大改善了基础数据和监测数据的一致性基础上，尽管后面的互均衡处理不如第一步互均衡处理效果明显，后面的几步也逐渐提高了资料的一致性，使异常的边界更加清晰。需要说明的是，频率均衡步骤的目的在于改善两期资料的频谱一致性，此步不一定降低两期资料的振幅能量差异。

从图3可以看到，管每一步的变化在前后两次剖面上的显示比较微弱，但监测数据（2008年数据）都经过了一个逐渐向04年数据靠近的匹配过程。图3是最终匹配的08数据和04数据，以及两期相减的最终差值剖面，从图3看到，最终得到的08年匹配数据与04年匹配数据在频率、振幅能量、时间上已经非常相似。仅从剖面面貌上已经看不出两期资料之间的差异。具体匹配的效果可以用两期匹配资料的相减（差异）剖面进一步考察。

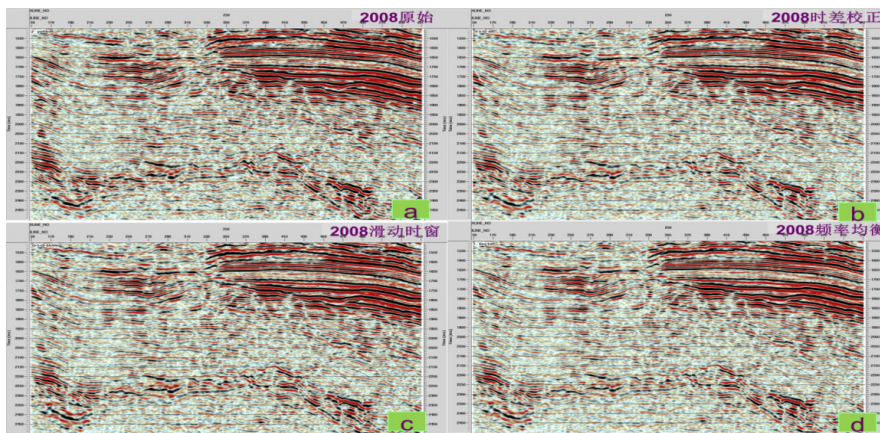


图1 互均衡过程中的逐步匹配偏移剖面

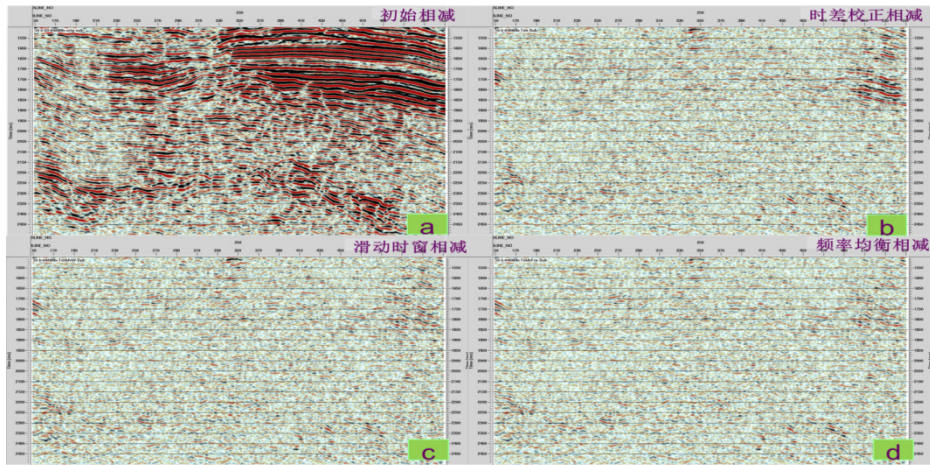


图2 互均衡过程中的差值偏移剖面

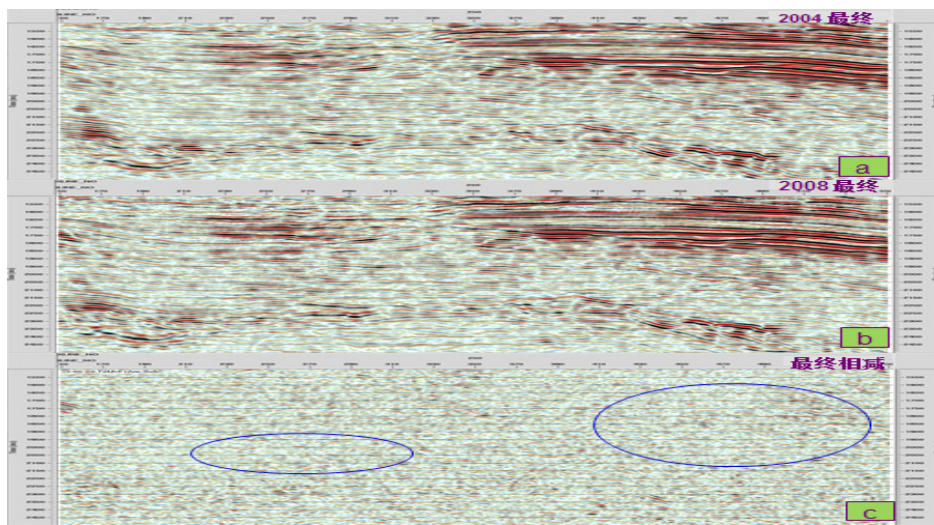


图3 互均衡过程中两期资料最终偏移剖面 (a,b) 和差值剖面 (c)

总之，时差校正 + 滑动时窗匹配滤波 + 频率均衡 + 振幅均衡的叠后互均衡处理是减少或削弱非重复噪音等因素的影响、提高一致性的非常有效的技术组合。

3 讨论与认识

通过本次研究，可以认识到：

(1) 时移资料处理只是一定程度上，不可能完全消除资料中存在的非一致性影响。另外，叠后互均衡处理的效果与互均衡方法和处理时窗等参数有关系。

(2) 陆上非重复性时移地震必须充分综合利用一切信息来进一步验证互均衡处理结果，客观评价互均衡处理后的地震差值剖面中的剩余（油）量的真实性和可靠性。

参考文献

[1] Wang ,Z., Feasibility of time-lapse seismic reservoir monitoring :The physical basis, The leading Edge[J], 1997,16(9):1327~1329.
 [2] 郭念民, 尚新民, 刘欣欣, 等, 非重复性时移地震数据关键

处理技术应用研究[J], 石油地球物理勘探, 2011, 46(4):581-592.

[3] 郭念民, 孟亚玲, 杨文博, 等, 时移地震数据重复性度量及一致性分析方法[J], 物探化探计算技术, 2012,34 (2) , 186-192.
 [4] 朱振宇, 王小六, 何洋洋, 等, 海上时移地震关键技术研究与应用[J], 中国海上油气, 2018,30 (4) , 76-85
 [5] 王大为, 刘金朋, 丘斌煌, 等, 海洋时移地震数据处理质量控制技术[J], 工程地球物理学报, 2018, 15 (3) , 253-260。
 [6] 吴意明, 凌云, 张永江等, 海上拖缆时移地震采集设计实例 [J], 石油地球物理勘探, 2016,51(1):1-12
 [7] 张安宝.时移地震可行性论证中的关键技术研究[J].石化技术,2024,31(02):204-206.
 [8] 刘巍,邓海东,张亮,等.时移地震采集时机可行性分析及研究——以南海L气田为例[J].石油物探,2022,61(03):490-498.