

基于全波形反演速度约束的叠后地震反演方法

曹树春

(中国海洋石油国际有限公司, 北京 100028)

摘要: 对于井数较少或者沉积相变化较快的地层,利用测井曲线建立的反演低频模型难以控制反演弹性参数的空间变化趋势。据此笔者发展了基于FWI速度约束的叠后地震反演方法,该方法充分利用了FWI速度的真三维信息,据此得到反演弹性参数的空间变化趋势。对于叠后地震反演所需要的纵波阻抗低频模型,提出了基于测井岩石物理拟合关系将FWI速度转换为FWI纵波阻抗的方法。另外,针对FWI纵波阻抗和测井纵波阻抗存在一定差异的问题,提出了FWI纵波阻抗均值校正方法,据此可得到较为准确的纵波阻抗低频模型。单井和实际工区应用表明,纵波阻抗反演结果和井上结果匹配性较高,因此笔者提出的基于FWI速度约束的叠后地震反演方法较为有效,可为储层预测提供较为有利的技术支持。

关键词: 低频模型; FWI速度; 均值校正; 岩石物理; 纵波阻抗; 地震反演

中图分类号: P631 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.05.01

0 引言

地震记录可以看成是地震子波和反射系数序列的褶积,代表地下地层地球物理特征的反射系数可利用地震记录和地震子波反演得到。然而最小二乘地震反演方程抗噪性较差,地震记录即使有较低的噪声,反演结果也会出现极大的畸变^[1]。为了增强反演结果的稳定性,一般会改造反演方程,如将最小二乘反演方程改造为(加权)最小长度或(加权)阻尼最小二乘方程,反演结果稳定性会有一定程度提高,但是反演结果缺少低频分量,难以体现地球物理参数的空间变化趋势^[2-3]。

为了进一步提高反演结果稳定性和体现地球物理参数的空间相对关系,反演方程中引入了测井低频约束^[4-6]。目前基于测井低频约束的地震反演方法已成为地震反演的主流方法,并取得了较好的效

果。该方法的关键是基于测井数据构建一个准确的弹性参数低频约束模型,一般采用测井数据三维空间插值的方法,因此该方法适用于沉积相带变化较小的区域,以保证井外低频模型的准确性。

测井低频模型是若干一维信息的集成,难以控制少井或沉积相快速变化区域的弹性参数的三维空间变化^[7-10]。因此,对于复杂地质条件的油田,反演方程中需要引入真三维信息,以得到准确的反演结果。其中全波形反演(FWI, Full Waveform Inversion)的速度是真三维速度,该方法利用叠前地震波场的运动学和动力学信息,重建地下速度结构,具有揭示复杂地质背景下构造与岩性细节信息的潜力^[11-14]。据此笔者提出利用FWI速度构建低频模型以约束反演方程的方法,以得到准确的弹性参数空间展布。

但利用FWI速度建立低频模型存在两个问题:一是FWI速度和测井速度存在一定的偏差;二是

收稿日期: 2023-06-06

基金项目: 国家“十三五”重大专项(2017ZX05032-003, 2017ZX05032-04-01); 中海油“十四五”重大科技项目(KJGG2022-0903, KJGG2022-0904, KJGG2022-0905)

作者简介: 曹树春(1975—),男,硕士,高级工程师,主要从事油气田开发地质及开发地震研究, E-mail: 452842148@qq.com。

FWI 只能提供纵波速度信息,故难以建立纵波阻抗的低频模型。为解决以上两个问题,笔者提出了基于岩石物理关系将 FWI 速度转换为纵波阻抗的方法和纵波阻抗均值校正方法,通过单井测试和实际工区应用表明,基于 FWI 速度约束的地震反演可得到较为准确的纵波阻抗反演结果,对油田勘探和开发可提供较为有利的支持。

1 约束稀疏脉冲反演原理

笔者采用约束稀疏脉冲反演方法开展地震反演,该方法假设地下反射系数是稀疏分布的,该方法的主要目的是利用低频数据体及地震反射系数建立弹性参数数据体^[15-17]。反演目标函数如下:

$$J = |r|^p + \lambda |d - wr|^q + \alpha |t - \eta r|^2 \quad (1)$$

式中, J 是反演目标函数, r 是反射系数序列, d 是地震记录序列, w 是地震子波矩阵, t 是低频数据序列, η 是道积分算子, λ 是地震残差权重因子, α 是低频残差权重因子, p, q 是 L 模因子。第 1 项表示反射系数的 p 模,第 2 项表示地震数据和合成地震记录的残差的 q 模,第 3 项表示低频弹性数据和反演弹性数据残差的平方,一般情况下 $p=1, q=2$ 。

λ 值体现地下反射系数的稀疏性, λ 越小,表示反射系数越稀疏; λ 越大,表示合成地震记录越靠近地震,但也会引入更多的噪声,故实际反演中需要反复试验合适的 λ 值。

t 是低频数据约束,一般利用测井数据建模得到,但测井数据三维空间插值难以控制沉积相变化较快或者少井地区的弹性参数的空间变化。故笔者引入 FWI 速度,代替测井低频模型,建立基于 FWI 速度的低频模型,用于约束反演方程,以得到准确的反演结果。

2 全波形反演的原理和方法

2.1 全波形反演的基本流程

全波形反演技术利用了叠前地震波场的全部信息(包括振幅、相位、走时等运动学和动力学信息),重建地下速度结构,具有揭示复杂地质背景下构造与岩性细节信息的潜力。原则上全波形反演适用所有类型的地震波,如直达波、绕射波、回折波、折射波、透射波、反射波、多次波等。

全波形反演在目标函数约束下近似为线性问题,主要步骤为正演模拟、梯度计算和优化更新三部

分(图 1)。首先基于初始模型正演模拟得到合成地震记录,将合成地震记录与观测地震记录进行比较;然后利用观察误差定义目标函数,对目标函数进行伴随模拟后再进行反复的梯度计算;最后通过反复迭代来更新初始模型,直到反演达到目标函数的最小值为止^[18]。

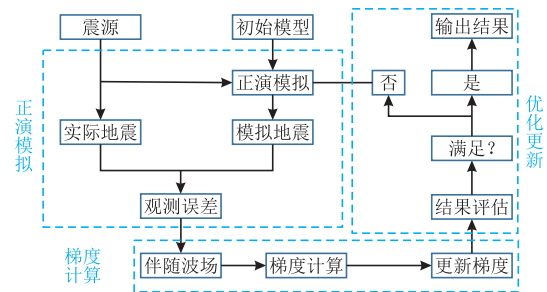


图 1 全波形反演流程

Fig. 1 Workflow of FWI

2.2 靶区 FWI 速度反演条件及策略

1) 靶区地层情况

笔者利用巴西桑托斯盆地 S 油田作为研究的靶区,桑托斯盆地经历 3 期构造演化,分别是早白垩世的裂谷期、中白垩世的盐沉积期、晚白垩世—第三系的大陆漂移期。其中 S 油田水深 1 800 m~2 200 m,目的层是早白垩世的 BVE 组和 ITP 组地层,主要储层是碳酸盐岩储层。

2) 输入地震数据

全波形反演对初始模型的精度依赖性很高,若初始模型和实际地下地质情况差异较大,目标函数将很难收敛。根据前人研究,地震数据中的低频成分或大偏移距信息对于 FWI 初始模型构建十分重要,因此用于全波形反演的地震数据最好是大偏移距、宽方位、富低频地震数据^[19-20]。

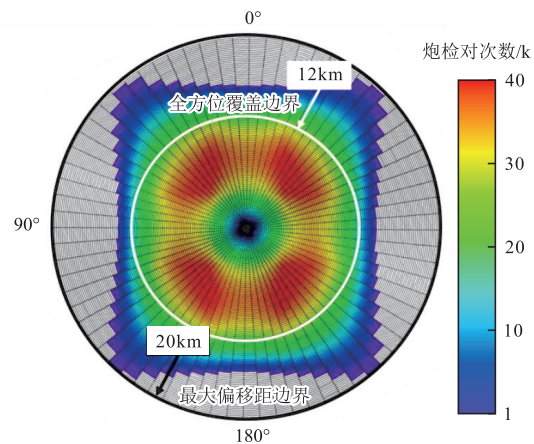


图 2 S 油田 OBN 地震采集的偏移距-方位玫瑰图

Fig. 2 Offset azimuthal rose diagram of OBN seismic in oilfield S

S 油田目的层埋深 3 km~5 km,所使用的地震资料是 OBN 地震资料,最大偏移距是 12 km,全方位角采集(图 2),有效频带 1.5 Hz~70 Hz(图 3),因此 S 油田的 OBN 地震资料是大偏移距、全方位、富低频的地震数据,可为 FWI 提供较好的数据基础。

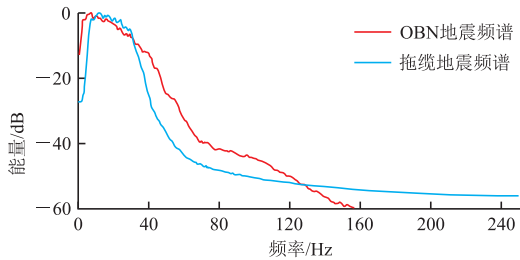


图 3 S 油田地震资料频谱

Fig. 3 Power spectrum of seismic in oilfield S

3) 目标函数匹配对象

常规全波形反演主要利用实际地震数据和模型地震数据的振幅、相位、频率差异构建目标函数,以此获得高精度的地下速度模型。但对于速度突变地层,由于受到周期跳跃和振幅差异的影响,常规 FWI 方法会受到较大挑战^[21]。

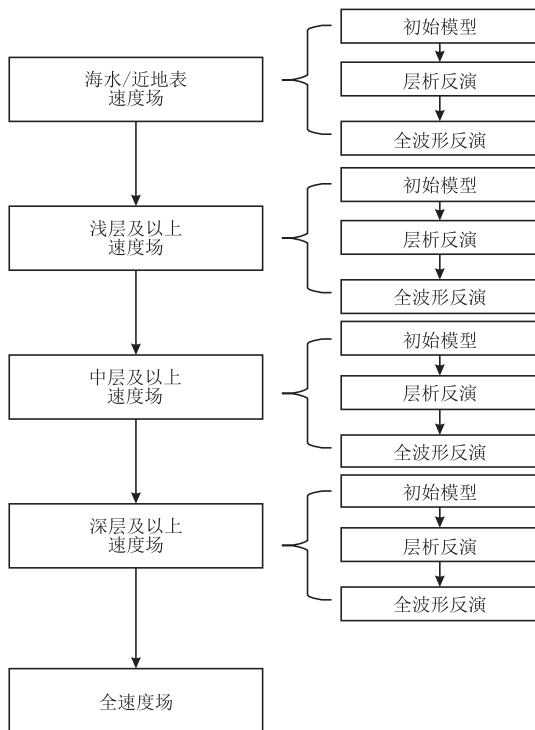


图 4 全波形反演策略

Fig. 4 Strategy of FWI

靶区 S 油田纵向上岩性差异较大,浅层是低速碎屑岩地层、中层是中高速盐岩地层、深层是高速碳

酸盐岩地层,故靶区全波形反演采用了实际地震数据和模型地震数据的旅行时差异建立目标函数,最后可得到低频 FWI 速度场,用于构建稀疏脉冲地震反演的低频模型。

4) 全波形反演策略

全波形反演是一种全局反演,需要充分考虑目的层及其之上的地震波场,但全局考虑会耗费大量时间和成本,为了提高全波形反演结果的效率和准确性,靶区 S 油田采用了逐层分步的策略(图 4)

首先,纵向上根据实际地下地质情况,将地层分为海水层、盐上碎屑岩地层、盐岩地层和盐下碳酸盐岩层 4 个地层;然后,逐层开展全波形反演,每层及以上均依照初始模型,先后采用层析反演和全波形方法建立速度场;最终可得到全局速度场(图 5(a))。

基于该速度场开展逆时偏移,偏移后地震剖面断面清楚、绕射波归位效果好,特别是复杂盐下目的层的地震成像效果好,说明 FWI 速度准确有效。

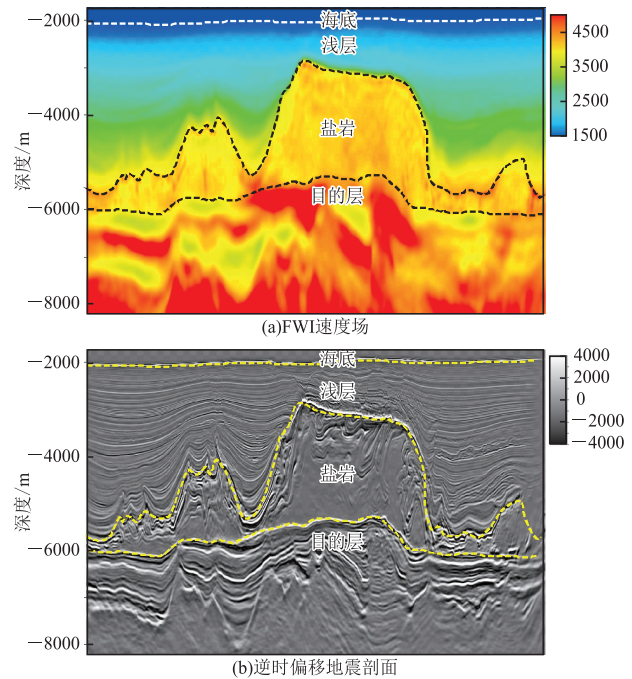


图 5 FWI 速度场和逆时偏移地震剖面

Fig. 5 FWI velocity field and RTM seismic profile

图 6 是靶区 3 口井的测井声波速度和井旁 FWI 速度的对比,图中 FWI 速度随着深度增加而逐渐增大,且能反映测井声波速度的变化趋势。然而,叠后反演需要纵波阻抗低频模型,为了满足叠后反演的需求,还要基于 FWI 速度建立纵波阻抗低频模型。

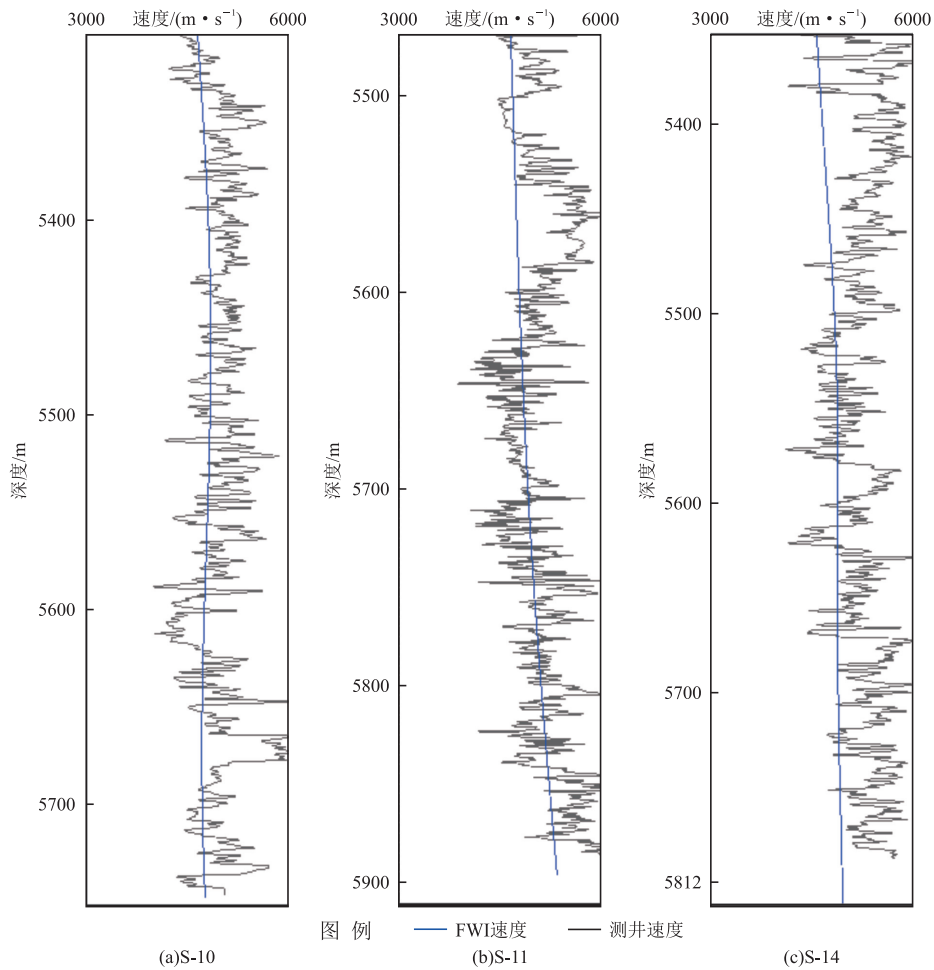


图 6 FWI 速度和测井速度对比

Fig. 6 Comparison between FWI velocity and well velocity

3 纵波阻抗低频模型构建原理

3.1 FWI 速度场频谱分析

靶区 S 油田 OBN 地震资料的有效频带是 1.5 Hz~70 Hz(图 3),其 FWI 速度的有效频带是 0 Hz~1.5 Hz(图 7),故 FWI 频带和 OBN 地震频带正好互补,因可利用 FWI 速度约束 OBN 地震资料的反演。

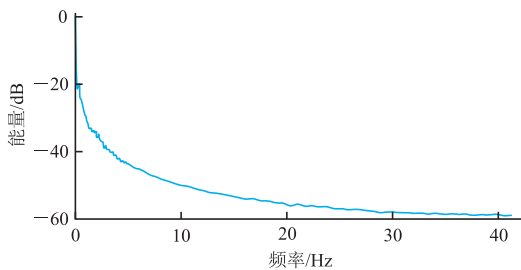


图 7 S 油田 FWI 速度频谱

Fig. 7 Power spectrum of FWI velocity in oilfield S

3.2 基于岩石物理关系的 FWI 纵波阻抗计算

一般纵波速度和纵波阻抗有较好的相关性,故可采用测井纵波速度拟合纵波阻抗。图 8 是靶区多

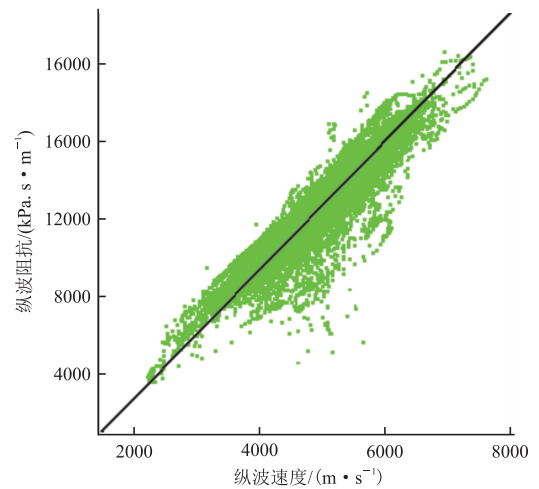


图 8 多口钻井的测井纵波速度和纵波阻抗拟合图

Fig. 8 Crossplot fitting of multi-wells

口钻井在目的层段的测井纵波速度和纵波阻抗的拟合图,二者的拟合关系式如式(2)所示。

$$y = 3.31055x - 3838.68 \quad (2)$$

式(2)中 x 是测井纵波速度, y 是测井纵波阻抗。

靶区测井速度和测井阻抗的拟合相关性较高,相

关系数是 97.9%,故可根据式(2)将 FWI 速度转换为纵波阻抗,作为叠后地震反演的低频模型。图 9 是 FWI 速度转换的纵波阻抗(简称 FWI 纵波阻抗,下同)和测井阻抗的对比,图中 FWI 纵波阻抗可以反映测井纵波阻抗随着深度增加而逐渐增大的变化趋势。

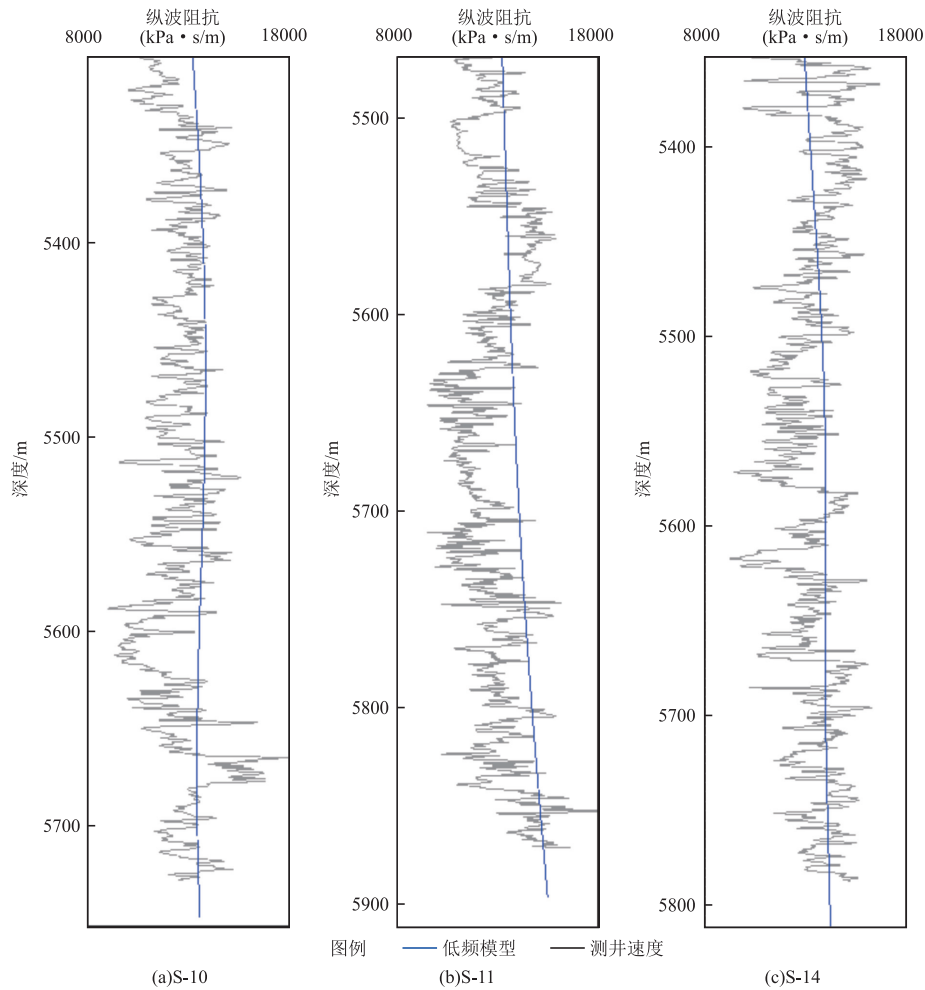


图 9 FWI 纵波阻抗和测井纵波阻抗对比

Fig. 9 Comparison between FWI P-impedance and well P-impedance velocity

3.3 FWI 纵波阻抗均值校正

通过分析,FWI 纵波阻抗的均值和测井阻抗的均值有一定偏差,例如 S-10 井相差 1 015 kPa · s/m, S-11 井相差 1 124 kPa · s/m, S-14 井相差 313 kPa · s/m,二者的均值有差异且偏差不一,故需要对 FWI 纵波阻抗开展均值校正。

首先,统计各井在目的层内的 FWI 纵波阻抗和测井纵波阻抗的均值差异值,据此得到一系列的散点值;然后将以上散点作图形成一个面,得到目的层内两个阻抗均值差异的平面分布;然后根据平面分布,得到 FWI 校正纵波阻抗。

图 10 是根据以上方法得到的靶区的 FWI 纵波

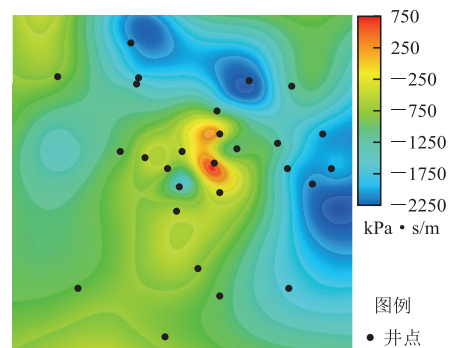


图 10 FWI 纵波阻抗均值校正量平面分布

Fig. 10 Correction values distribution of FWI P-impedance

阻抗和测井纵波阻抗的均值差异平面分布,据此可得到 FWI 校正纵波阻抗。图 10 是靶区 FWI 纵波阻抗及其校正阻抗和测井纵波阻抗

对比,图中 FWI 校正纵波阻抗和测井纵波阻抗的均值一致,更能体现测井纵波阻抗的空间变化。

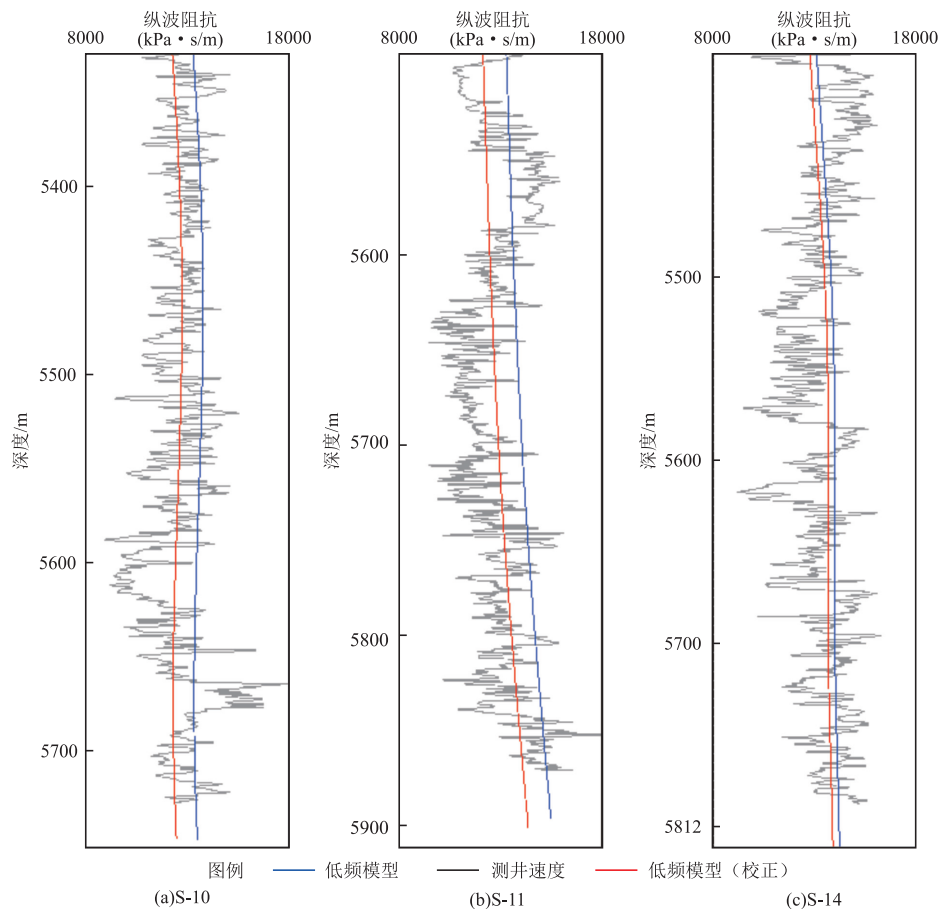


图 11 FWI 纵波阻抗及其校正阻抗和测井纵波阻抗对比

Fig. 11 Comparison among FWI P-impedance, corrected P-impedance and well P-impedance

4 地震反演应用

4.1 单井测试

为测试 FWI 纵波阻抗的低频模型的反演效果,选择靶区 S-10 井作为测试井,输入地震选择井旁实际地震(图 12)。同时为了研究均值校正对反演结果的影响,设计 3 种低频模型,即正常校正、欠校正、过校正纵波阻抗低频模型(图 13(a)),正常校正指在目的层段利用 FWI 纵波阻抗和测井阻抗的实际均值差异进行校正,欠校正指利用小于实际均值差异的值进行校正,过校正指利用大于实际均值差异的值进行校正。

基于约束稀疏脉冲反演方法和 3 种低频模型完成纵波阻抗反演(图 13(b)),图中基于正常校正的低频模型的反演结果和测井纵波阻抗吻合程度较高,

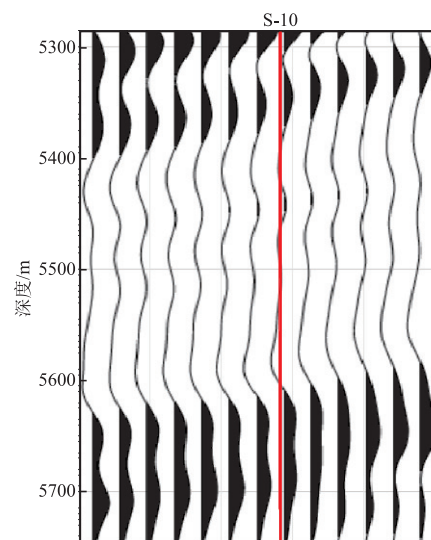


图 12 S-10 井井旁地震

Fig. 12 Seismic near well S-10

说明基于 FWI 校正纵波阻抗的反演方法可行性较高。另外基于欠校正和过校正低频模型的反演结果只能体现测井纵波阻抗的相对关系,和实际纵波阻

抗的绝对值还有一定的差距,说明 FWI 纵波阻抗需要进行均值校正处理,笔者提出的均值校正方法可以得到较为准确的纵波阻抗反演结果。

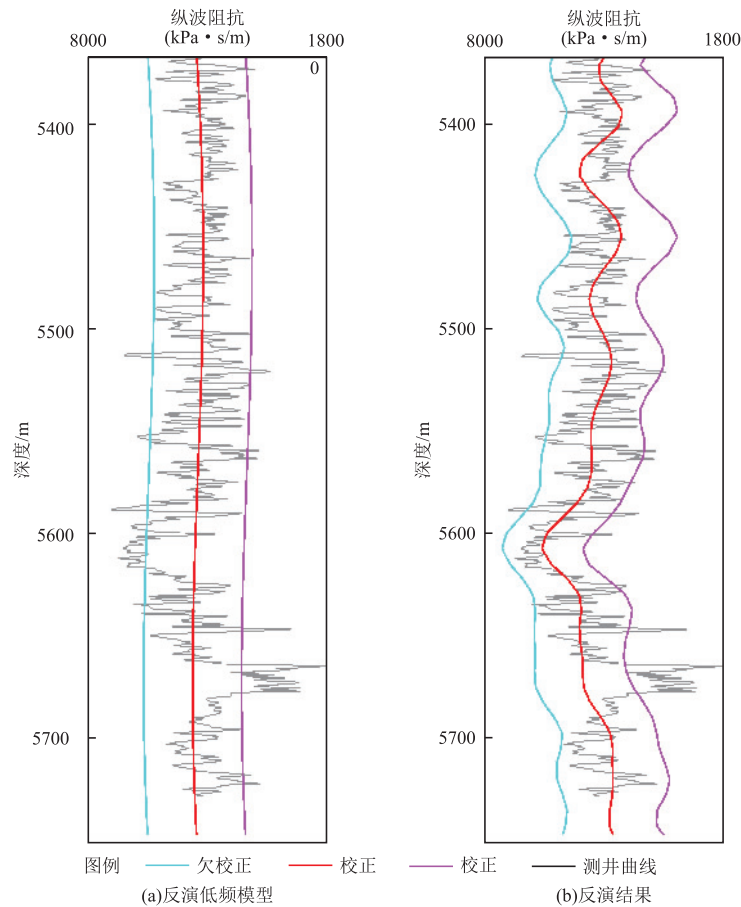


图 13 S-10 井反演低频模型和反演结果

Fig. 13 Low frequency model and inversion results of Well S-10

4.2 实际工区应用

利用约束稀疏脉冲反演方法和 FWI 校正纵波阻抗,对靶区开展纵波阻抗叠后地震反演,图 14(a)

是靶区过 S-11 井的地震剖面;图 14(b)是过 S-11 井的 FWI 校正纵波阻抗,反映了纵波阻抗的空间变化趋势,可作为纵波阻抗反演的低频约束;图 14(c)

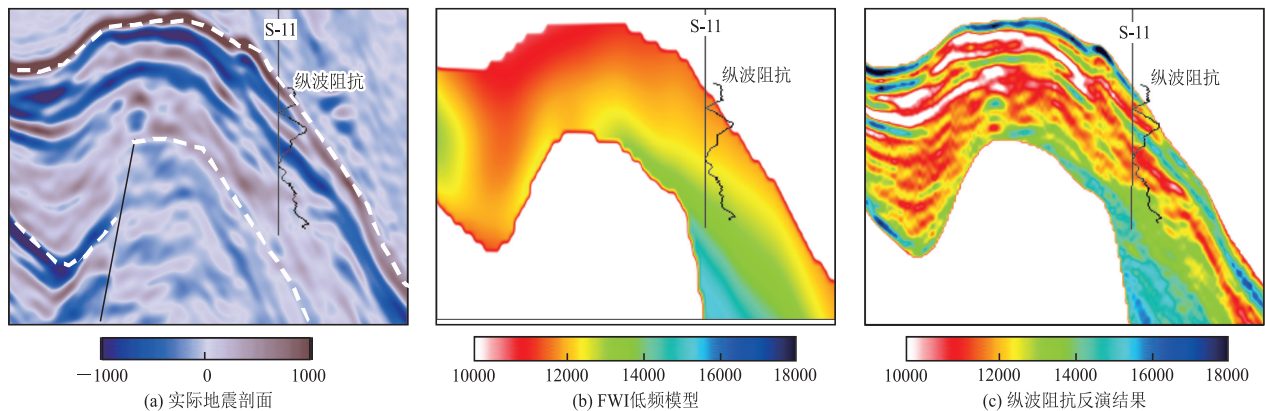


图 14 过 S-11 井的实际地震剖面、FWI 低频模型和纵波阻抗反演结果

Fig. 14 Real seismic, P-impedance low frequency model of FWI and inverted P-impedance across well S-11

是纵波阻抗反演结果,反演的纵波阻抗和 FWI 校正纵波阻抗的空间变化趋势基本一致,而且 S-11 井的反演结果和井上结果基本匹配,说明利用 FWI 校正纵波阻抗作为低频约束可得到稳定的且较为准确的反演结果,可为油田储层预测提供有利的技术支持。

5 结论

1)相比利用测井曲线建立低频模型,FWI 速度建模可提供真三维信息,能反映弹性参数的空间变化趋势,对少井或沉积相变化较快的地层有更强的适用性。

2)一般情况下纵波速度和纵波阻抗都会有较好的拟合关系,为将 FWI 速度转换为纵波阻抗以约束叠后地震反演,可利用基于岩石物理拟合关系的 FWI 纵波阻抗转换方法。另外为准确匹配测井纵波阻抗和 FWI 纵波阻抗,可利用均值校正方法得到 FWI 校正阻抗,以为反演结果提供准确低频信息。如果在某些工区或目标地层,纵波速度和阻抗没有明确的拟合关系,需要利用其它方法开展地震反演。

3)对于叠前反演所需要的横波速度、密度、横波阻抗、拉梅参数等低频模型,也可按照岩石物理拟合方法和均值校正方法得到其他叠前弹性参数低频模型。

参考文献:

- [1] 李春鹏,刘志国,杨松岭,等. 基于背景驱动的储层弹性参数反演方法研究[J]. 地球物理学进展, 2017, 32(4): 1569—1573.
LI C P, LIU Z G, YANG S L, et al. Study of reservoir lithology prediction method in low exploration block[J]. Progress in Geophysics, 2017, 32(4): 1569—1573. (In Chinese)
- [2] 陈建江. AVO 三参数反演方法研究[D]. 青岛:中国石油大学,2007.
CHEN J J. Study of three-term AVO inversion method[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2007. (In Chinese)
- [3] 付小念. 阻尼最小二乘法波阻抗反演方法研究及应用[D]. 成都:成都理工大学,2019.
FU X N. Research and application of damped least squares wave impedance inversion method[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019. (In Chinese)
- [4] 聂凯轩,陆正元,冯斌. 测井约束反演技术在 LZ21-4 构造带储盖层综合分析中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(1): 98—101.
NIE K X, LU Z Y, FENG B. Application of log-constraint inversion technique in comprehensive analysis of

- reservoir and cap in LZ21-4 structural belt[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(1): 98—101. (In Chinese)
- [5] 赵虎,崔若飞,陈同俊,等. 基于模拟测井资料的波阻抗反演[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(3): 197—199.
ZHAO H, CUI R F, CHEN T J, et al. Seismic inversion based on simulation log data [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29(3): 197—199. (In Chinese)
- [6] 桂文华,常锁亮,曾维望. 测井约束反演在鄂尔多斯盆地东缘致密砂岩勘探中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2014, 26(3): 53—58.
GUI W H, CHANG S L, ZENG W W. Application of well logging constrained inversion in dense sandstone at eastern margin of Ordos basin[J]. Coal Geology of China, 2014, 26(3): 53—58. (In Chinese)
- [7] 朱超,刘占国,杨少勇,等. 利用相控分频反演预测英西湖相碳酸盐岩储层[J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53(4): 832—841.
ZHU C, LIU Z G, YANG S Y, et al. Lacustrine carbonate reservoir prediction in Yingxi, Qaidam basin with the facies-constrained and segmented-frequency-band inversion [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2018, 53(4): 832—841. (In Chinese)
- [8] 肖思和,李曙光,许多,等. 叠前弹性波阻抗反演在储层预测中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(5): 476—479.
XIAO S H, LI S G, XU D, et al. Application of pre-stack elastic impedance inversion to reservoir prediction[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 32(5): 476—479. (In Chinese)
- [9] 熊健,马荣,杨卫琪. 双河油田薄层岩性油藏地震波形相控预测技术及应用[J]. 复杂油气藏, 2022, 15(2): 32—40.
XIONG J, MA R, YANG W Q. Seismic waveform facies-controlled prediction technology and its application in thin-layer lithologic reservoirs of Shuanghe oilfield [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2022, 15(2): 32—40. (In Chinese)
- [10] 裴然,李华东. Jason 反演技术在李堡地区储层预测中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(3): 462—466.
PEI R, LI H D. The application of the Jason inversion technique to reservoir prediction in libao area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(3): 462—466. (In Chinese)
- [11] 白璐,韩立国,张盼,等. 基于小波域最小平方滤波的多尺度自适应全波形反演[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(5): 618—625.
BAI L, HAN L G, ZHANG P, et al. Multi-scales adaptive full waveform inversion based on the wavelet domain least square filter[J]. Computing Techniques

- for Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 38(5): 618—625. (In Chinese)
- [12] 齐红宇, 傅红笋, 杨露. 应用修正正交有限内存拟牛顿算法的全波形反演[J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57(5): 1114—1119.
- QI H Y, FU H S, YANG L. Modified Orthant-Wise Limited-memory Quasi-Newton algorithm for full-waveform inversion[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2022, 57(5): 1114—1119. (In Chinese)
- [13] 杨瑞冬, 黄建平, 杨振杰, 等. 基于双对角通量校正的多尺度全波形反演[J]. 石油地球物理勘探, 2022, 57(5): 1120—1128.
- YANG R D, HUANG J P, YANG Z J, et al. Multi-scale full waveform inversion based on double diagonal flux correction transport[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2022, 57(5): 1120—1128. (In Chinese)
- [14] 何兵红, 杨林, 方伍宝, 等. 多参数全波形反演研究进展[J]. 物探化探计算技术, 2020, 42(3): 295—306.
- HE B H, YANG L, FANG W B, et al. Progress in multi-parameter full waveform inversion[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 42(3): 295—306. (In Chinese)
- [15] 张铭, 张文起, 徐海霞, 等. AVO约束稀疏脉冲反演技术在濮城油田储层预测中的应用[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(4): 78—82.
- ZHANG M, ZHANG W Q, XU H X, et al. Application of AVO constrained sparse spike inversion of reservoir prediction in Pucheng oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(4): 78—82. (In Chinese)
- [16] 刘喜武, 刘洪. 实现稀疏反褶积的预条件双共轭梯度法[J]. 物探化探计算技术, 2003, 25(3): 215—219.
- LIU X W, LIU H. The preconditional dual conjugate gradient algorithm for sparse deconvolution[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 25(3): 215—219. (In Chinese)
- [17] 杨俊, 尹成, 代荣获, 等. 叠后地震数据自适应正则化参数稀疏约束反演方法[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(6): 2259—2264.
- YANG J, YIN C, DAI R H, et al. Sparse constrained post-stack seismic data inversion with adaptive selection of regularization parameters[J]. Progress in Geophysics, 2020, 35(6): 2259—2264. (In Chinese)
- [18] 陈子龙, 王海燕, 郭华, 等. 地震全波形反演研究进展与应用现状综述[J]. 物探与化探, 2023, 47(3): 628—637.
- CHEN Z L, WANG H Y, GUO H, et al. A review of the research progress and application status of seismic full waveform inversion [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(3): 628—637. (In Chinese)
- [19] 黄金, 高星, 王伟. 地震勘探全波形反演的应用与发展分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(3): 396—401.
- HUANG J, GAO X, WANG W. Application and development of full waveform inversion research in the seismic exploration [J]. Journal of Geo-Information Science, 2014, 16(3): 396—401. (In Chinese)
- [20] 姚刚, 吴迪. 反射波全波形反演[J]. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(10): 1220—1232.
- YAO G, WU D. Reflection full waveform inversion [J]. Scientia Sinica: Earth science, 2017, 47(10): 1220—1232. (In Chinese)
- [21] 董士琦. 基于波场局部尺度匹配的时间域全波形反演研究[D]. 长春: 吉林大学, 2021.
- DONG S Q. The study of full waveform inversion in time-domain based on local-scale matching of Wavefield[D]. Changchun: Jilin University, 2021. (In Chinese)

Post-stack seismic inversion method based on FWI velocity constraint

CAO Shuchun

(CNOOC International Limited, Beijing 100028, China)

Abstract: For the formation with few wells or rapid changes in sedimentary facies, it is difficult to control the spatial change trend of inversion elastic parameters by using the inversion low-frequency model established by logging curves. Based on this, this paper develops a post-stack seismic inversion method based on FWI velocity constraint, which fully uses the accurate three-dimensional information of FWI velocity. It obtains the spatial variation trend of inversion elastic parameters. For the low-frequency model of P-wave impedance required for post-stack seismic inversion, a method of converting FWI velocity to FWI P-wave impedance based on the well-logging petrophysical fitting relationship is proposed. In addition, given the difference between FWI P-wave impedance and logging P-wave impedance, a correction method of FWI P-wave impedance mean value is proposed, from which a more accurate low-frequency model of P-wave impedance can be obtained. The application of a single well and actual work area shows that the P-wave impedance inversion results match well with the results on the well. Therefore, the post-stack seismic inversion method based on the FWI velocity constraint proposed in this paper is more effective and can provide more favorable technical support for reservoir prediction.

Keywords: low-frequency model; FWI velocity; mean value correction; petrophysical; P-wave impedance; seismic inversion