

文章编号:0253-9985(2010)01-0038-05

分频反演方法及其在塔河A区储层预测中的应用

季玉新,刘春园,陈冬,王康宁

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:塔河油田A区石炭系卡拉沙依组是重要储油层系之一,而储层的空间展布,厚度变化及物性特征的落实程度是勘探开发的关键问题。针对这些难点,在精细岩石物理特征分析的基础上,研究了目标特征曲线的构建方法,利用分频反演方法,得到高分辨率的反演数据体,追踪解释有利砂体,建立了一套行之有效的适合该区石炭系储层预测工作的技术流程,取得了良好的应用效果。

关键词:分频反演方法;储层预测;卡拉沙依组;石炭系;塔河油田

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Frequency-divided inversion and its application to reservoir prediction in Block A of Tahe oilfield

Ji Yuxin, Liu Chunyuan, Cheng Dong, and Wang Kangning

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The Carboniferous Kalashayi Formation of Block A in the Tahe oilfield is one of the most important oil-bearing formations in the area. A thorough understanding of its spatial distribution, thickness and physical properties is crucial to exploration and production. To tackle the problem, the researchers study the construction of target characteristic curves based on a fine analysis of petrophysical features and obtain a high-resolution inversion data volume for prediction of favorable sand bodies by adopting frequency-divided inversion method. As a result, an effective technical process is established for the prediction of the Carboniferous reservoirs in the area and its application has been proven successful.

Keywords: frequency-divided inversion, reservoir prediction, Kalashayi Formation, Carboniferous, Tahe oilfield

塔河油田碎屑岩领域具有较好勘探前景,石炭系卡拉沙依组是重要储油层系之一。该层以潮坪相沉积为主,储层物性差,砂岩总体上以中低孔、中低渗为主^[1~6]。

在实际的勘探开发工作中,该层系面临着诸多难题,主要集中在:

1) 目的层储层埋藏深,厚度薄、横向规模小、变化大,对比追踪困难,沉积模式复杂,模型建立困难,地震反演及储层预测难度很大。

2) 目的层地震资料主频低,信噪比和分辨率

低,目的层段内幕反射连续性差;石炭系目的层段的地震反射波频谱宽度 10 ~ 60 Hz,主频在 28 ~ 35 Hz,纵向分辨率为 30 m 左右,难以分辨石炭系薄砂体,以及无法和满足定量预测的需要。

3) 基于地震资料的沉积相研究相对薄弱,砂层组的划分及沉积相带的划分等还存在许多争议,这是制约油气勘探的一个主要因素。

4) 卡拉沙依组砂泥波阻抗差别小,反演及预测难度大。

因此,要刻画目的层的砂体储层,必须针对石

收稿日期:2009-12-10。

第一作者简介:季玉新(1967—),男,博士、高级工程师,储层预测。

炭系卡拉莎依组沉积层序、沉积相和储层预测技术方法开展综合研究,建立一套行之有效的技术流程。

1 方法原理

随着勘探对象的日益复杂,对储层预测技术不断提出更高的要求,近年来地震分频技术得到了广泛的应用,将分频信息和支持向量机的反演技术进行结合,发展出了分频反演技术^[7],并在薄互层等复杂储层对象的勘探开发方面取得了可喜的进展。其基本原理就是对于不同厚度的地层,其调谐频率不同(图1a);反过来,利用该种关系就可以得到在不同时间厚度下振幅与频率(AVF)的关系(图1b)。

地震记录实际上是波阻抗(AI)和时间厚度(H)的函数^[8~10]。上述 AVF 关系给出了一个重要启示:即同样地层在不同主频的地震子波下表现出不同的振幅特征。AVF 关系很复杂,很难用一个显性函数表达出来,但可用支持向量机非线性映射(SVM)的方法或者神经网络技术在测井和地震分解剖面上找到这种关系,利用 AVF 关系反演得到目标数据^[11]。

实际上 SVM 是一种类似神经网络的计算方法,可以视为模式分类和非线性回归,而且是3个参数控制的学习方法,也是统计学习和人工智能中非常先进的算法^[12~15]。在利用分频信息进行反演的过程中,由于加入了 AVF 信息,能有效地降低反演的多解性。具体思路是:首先对地震资料进行频谱分析,根据有效频带范围设计合适

的尺度进行分频处理,产生不同频段的数据体;然后对分频后的数据体利用 SVM 方法计算出不同厚度下振幅与频率之间的关系,即 AVF,并将 AVF 关系加入到反演过程中,建立井中曲线与地震波形间的非线性映射关系。最终把每个分频属性体作为输入,用支持向量机建立已经学习好的分频体与反演体之间的映射关系,合成反演体(图2)。

2 A 井区井中特征曲线构建及反演实现

从目的层段砂泥岩波阻抗与伽马的交会图(图3)可以看出,目的层段砂泥阻抗差别很小,直接利用井中波阻抗作为目标属性进行反演学习,很难取得好的效果。因此必须寻找或构建合适的能突出砂体,更好区分砂泥的特征曲线作为目标控制曲线进行分频反演才能取得好的效果。

从该区某井目的层段的录井资料和测井曲线(图4)的对比中可以看出,目的层段的自然电位曲线对于砂体有很好的反映,因此将这种砂泥的差别以合适的方式与阻抗曲线进行重构,得到一条包含阻抗曲线和 SP 曲线双重特征的合成目标控制曲线(图5)作为学习的目标,将会有以下优势:充分利用了地震资料中有效频带中的相对高频和相对低频信息,即保持了总体趋势,又突出了砂体,克服了模型反演中解释人员认识的局限性,能够减少薄层反演的不确定性。

应用该方法进行曲线重构的前提是目标层内砂岩阻抗大于泥岩阻抗,区域内 SP 曲线特征一

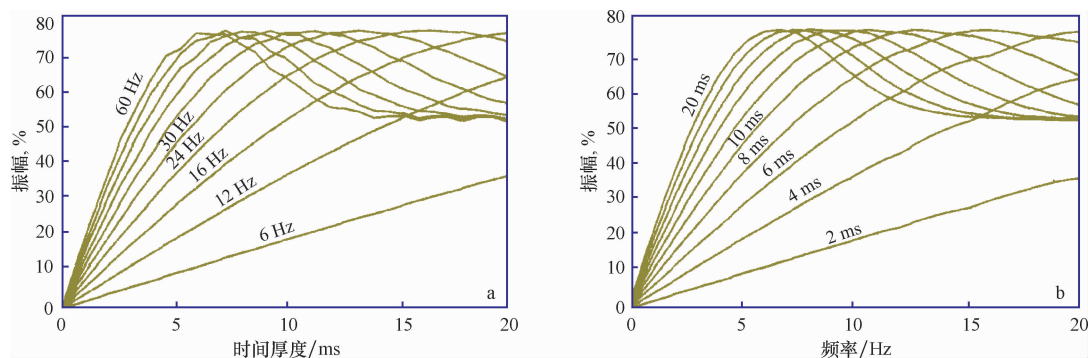


图1 振幅与时间厚度在不同频率的调谐曲线

Fig. 1 Tuning curve of amplitude and time at different frequencies

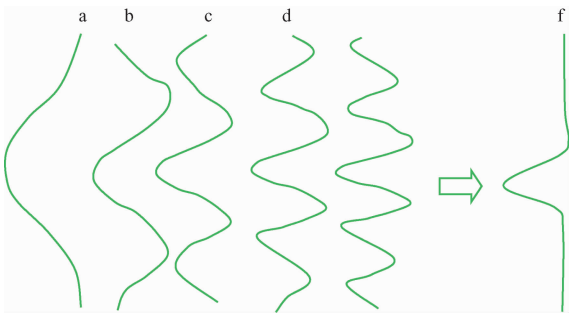


图 2 分频反演原理示意图

Fig. 2 Sketch map showing the principle of the frequency-divided inversion method

a. 原始地震信号;b—e. 不同频率分频地震信号;
f. 目标学习曲线

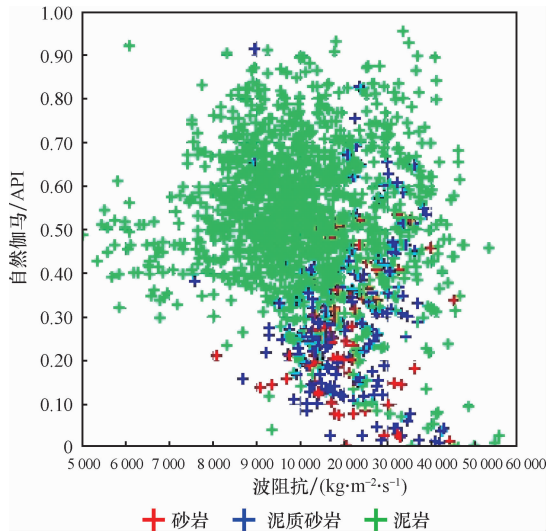


图 3 目的层段砂、泥岩阻抗交会图

Fig. 3 Cross plot of wave impedance for sandstone and mudstone in the target zone

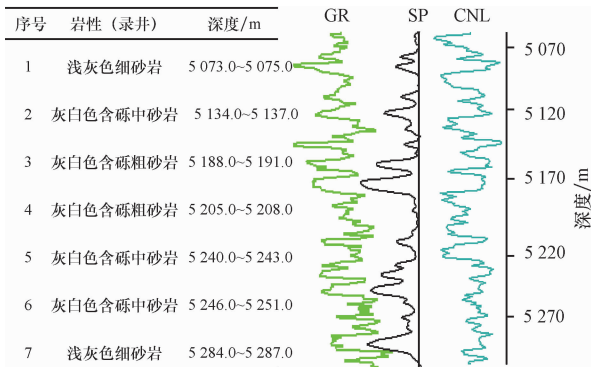


图 4 某井目的层段录井结果和测井曲线

Fig. 4 Logs of the target zone in a well

致;具体做法是将 SP 曲线归一化到某数值范围得到重构系数,将重构系数与阻抗相乘,得到重构后的阻抗;该重构方法的优点是能够突出渗透性好的砂岩储层,阻抗曲线带有低频趋势与地震数据关系紧密,学习容易取得好的效果。从图 6 重构阻抗交会图上可以看出,砂泥岩得到了比较好的区分,这为分频反演提供了很好的基础。

然后,对目的层段进行分频处理和频谱分析,经过多次试验选定合适的低、中、高频段的地震频频信息,选择最好的反应储层特征变化的地震属

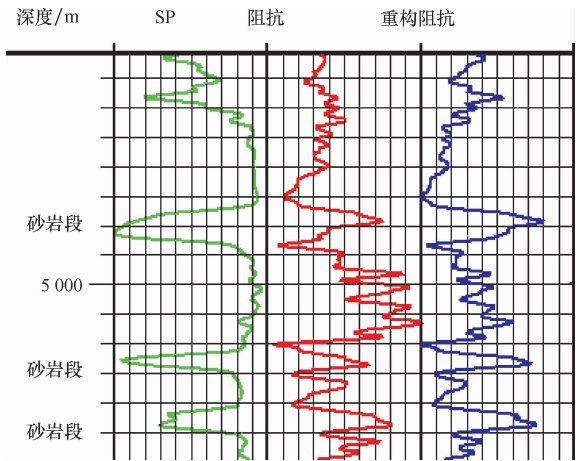


图 5 曲线重构

Fig. 5 Reconstruction of curves

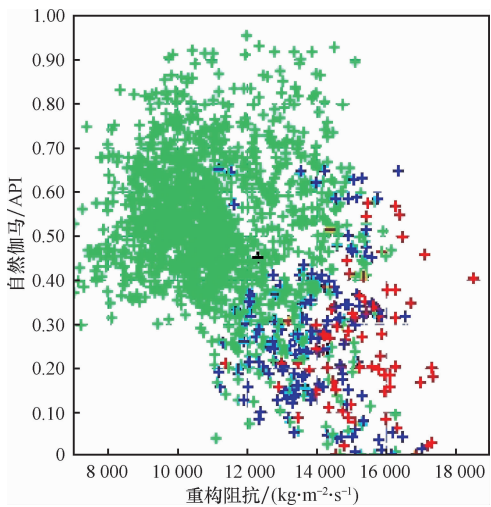


图 6 波阻抗与自然电位曲线重构目标曲线砂、泥岩交会图

Fig. 6 Cross plot reconstructed based on wave impedance and spontaneous potential curve for sandstone and mudstone

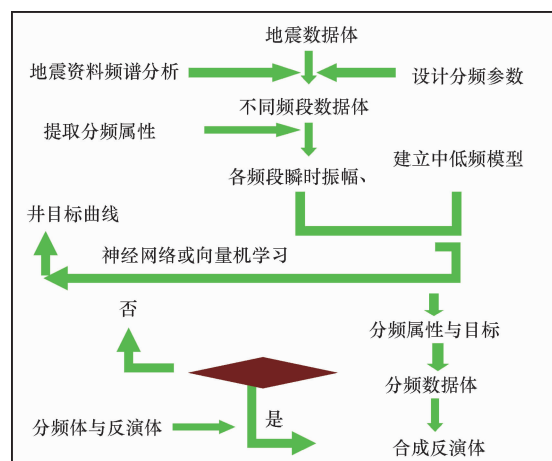


图 7 分频反演流程图

Fig. 7 Flow chart for frequency-divided inversion

性,并给定不同的权系数,利用前述的支持向量机或神经网络的映射方法,得到各控制井点目标曲线的学习结果,并进而计算得到整个工区反演数据体。由于选取了地震分频信息,比单一利用地震原始道反演,信息更丰富,对于储层的特点更有针对性,因此得到的反演结果具有更好的稳定性和可靠性。图 7 是具体的反演流程图。

3 应用效果

在完成多口井的精细合成记录标定、断层解释、层位解释、模型建立等大量准备工作基础上,重构 50 多口井的阻抗曲线,以 4 个砂层组和顶底标志层的构造模型为约束,试验选定了反演参数,完成了目标工区目的层段的分频反演,得到

了反演数据体。从图 8 的过某井反演剖面上可以看出反演结果与井吻合程度较高,分辨率较高,求解稳定,横向变化合理,与地震关系密切,阻抗反映真实,达到了预想的效果。

为了验证反演结果的可靠性,预留了几口井资料没有参与反演。图 8 中间的井作为验证井,没有参与反演。从反演结果来看,该井目的层段的主要砂体得到了很好的反映,说明了反演方法的可靠性。

在此反演数据体上,对区内测井解释含油气性有利的厚度在 4 m 以上的砂体进行了追踪解释,得到了四个砂层组有利砂体的叠合图(图 9),为下步的勘探开发目标提供了重要的依据。综合各砂层组的构造位置和有利储层叠合情况,选择 A 位置为本区内最有利目标井位,如有突破,将会更加有力证明本套应用方法的正确性。

5 结论与认识

结果表明所采用的波阻抗重构目标曲线结合分频反演的方法对于解决西部塔河地区石炭系深层薄砂体的储层预测工作是有效的。

分频反演方法是一种全新的反演方法,不需要提取子波,不依赖于初始模型,从标定到反演快捷、方便;分频反演是全频约束反演,比常规反演具有更高的分辨率。

当然,该方法的应用需要一定的条件,即地震要有较高的主频和较高的分辨率,作为目标学习的控制曲线必须对储层有较好的突出能力。

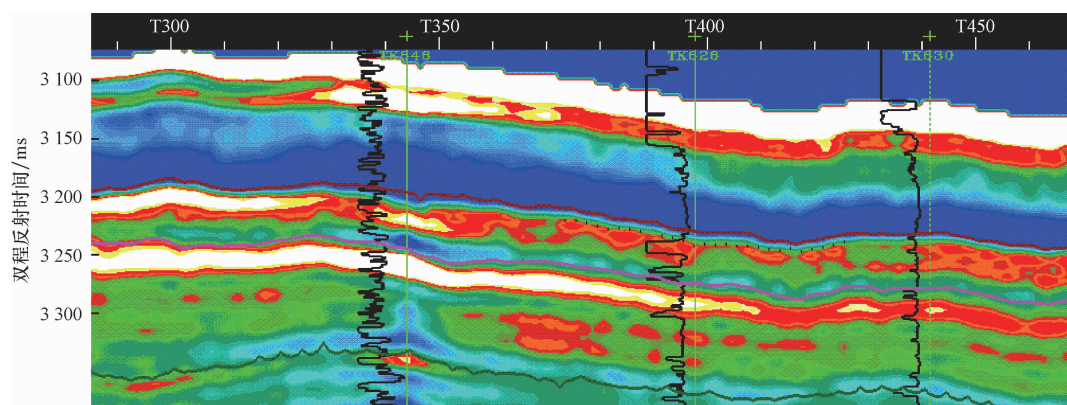


图 8 过验证井的反演剖面

Fig. 8 Inversion profile tied to a check well

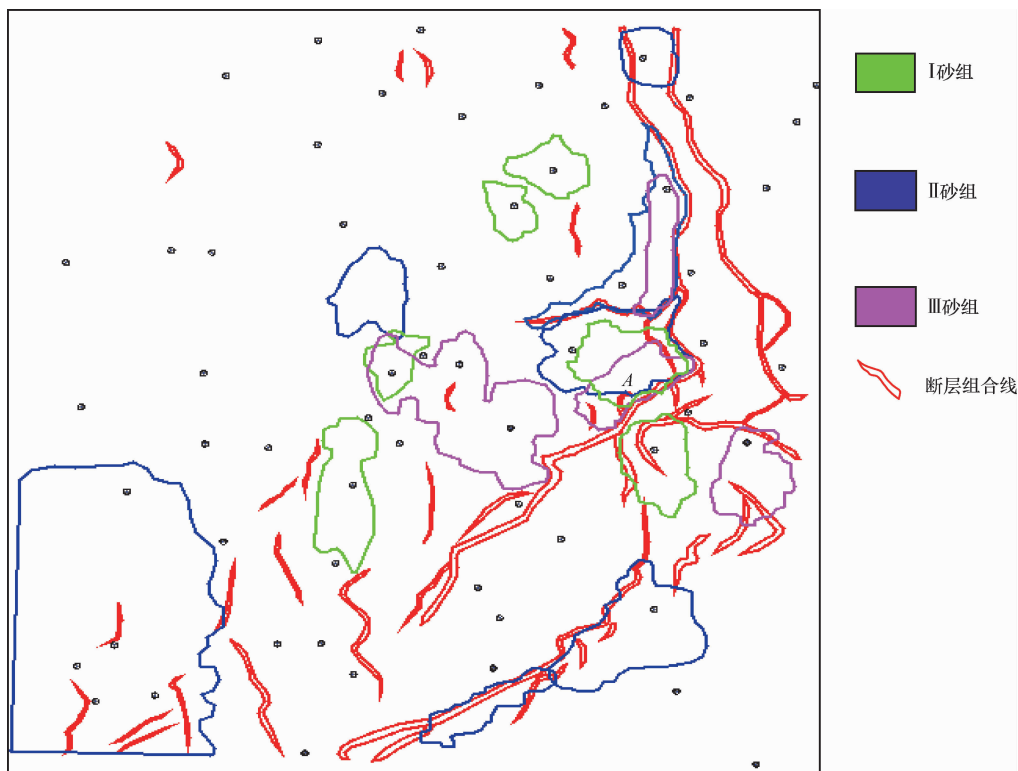


图9 各砂层组追踪有利砂体叠合图

Fig.9 Overlay chart of the favorable sandbodies in each sandstone unit

同时,该套方法有一定的局限性,对于IV砂组数据,由于埋深大,地震资料品质差,整体阻抗高,特别是泥岩中灰质含量高,砂泥之间波阻抗差更小,IV砂组的砂体反演效果很差,该套反演方法对于IV砂组是不适用的,需要研究新的目标特征曲线构建和反演方法。

参 考 文 献

- 1 云露,蒋华山.塔河油田成藏条件与富集规律[J].石油与天然气地质,2007,28(6):768~775
- 2 翟晓先,云露.塔里木盆地塔河大型油田地质特征及勘探思路回顾[J].石油与天然气地质,2008,29(5):574~581
- 3 翟晓先.塔河大油田新领域的勘探实践[J].石油与天然气地质,2006,27(6):751~761
- 4 宋美虹.塔河油田4区奥陶系碳酸盐岩潜山油藏储层预测[J].油气地质与采收率,2005,12(4):23~25
- 5 陈元壮,王毅.塔里木盆地塔河地区南部志留系油气成藏特征[J].石油实验地质,2008,30(1):32~36
- 6 李永宏,阎相宾,张涛.塔河油田石炭系卡拉沙依组储层特征及控制因素[J].石油与天然气地质,2004,26(1):17~22
- 7 于建国,韩文功,刘力辉,等.分频反演方法及应用[J].石油地球物理勘探,2006,41(2):193~197
- 8 白彦彬,杨长春.地质规律约束下的波阻抗反演[J].石油物探,2002,41(1):61~64
- 9 张永刚.地震波阻抗反演技术的现状和发展[J].石油物探,2002,41(4):385~390
- 10 王延光.储层地震反演方法以及应用中的关键问题与对策[J].石油物探,2002,41(3):299~303
- 11 孙家振,李兰斌.多信息储层预测和油气判别[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.44~51
- 12 马劲风,王学章,贾春环,等.波阻抗约束反演中的约束方法研究[J].石油物探,2000,39(2):52~63
- 13 肖阳,朱敏.测井约束反演技术在油藏描述中的应用[J].石油地球物理勘探,2001,36(5):633~638
- 14 沈财余,阎向华.测井约束地震反演的分辨率与地震分辨率的关系[J].石油物探,1999,38(4):96~106
- 15 张永刚.地震波阻抗反演技术的现状和发展[J].石油物探,2002,41(4):385~390

(编辑 董立)