

AVF分频属性反演预测托甫台北薄砂体

徐 浩¹, 李 赫²

(1.中国石化西北油田分公司勘探开发研究院,新疆 乌鲁木齐 830011;

2.中国石油集团东方地球物理勘探有限公司西南物探研究院,四川 成都 610041)

摘要:塔里木盆地塔河油田托甫台北地区白垩系舒善河组储层厚度薄,横向变化大,对比追踪困难,薄砂体识别和预测成为制约该区油气藏评价的关键。采用 AVF 分频属性反演方法,首先对原始地震资料进行拓频处理,筛选目标曲线,然后通过 BP 神经网络学习法获得有效的高分辨率反演数据体,并在此基础上识别和追踪该区目的层段的有利砂体。结果显示,AVF 分频属性反演与 SP 曲线吻合度较高,反演过程方便快捷,对薄层单砂体的刻画和识别效果较好,为该区薄砂体储层的勘探部署提供了重要的技术支持。

关键词:AVF 分频属性;反演;白垩系;舒善河组;托甫台北

中图分类号:TE122 **文献标志码:**A

AVF frequency-division attribute inversion to predict thin sandbody in TPTB area

XU Hao¹, LI He²

(1.Research Institute of Exploration and Development, Northwest Oilfield Company, SINOPEC, Urumqi 830011, China;

2.Southwest Geophysical Research Institute, Dongfang Geophysical Exploration Company, CNPC, Chengdu 610041, China)

Abstract: Reservoirs of the Cretaceous Shushanhe Formation in the TPTB area of Tahe Oilfield in the Tarim Basin are thin, have large lateral variations, and are difficult to compare and track. The identification and prediction of thin sandbodies have become the key to restrict the evaluation of oil and gas reservoirs in the area. Because of this, the AVF frequency-division attribute inversion method is used. First, the original seismic data is processed by a frequency-broadening technique, and the target curve is selected. And then an effective high-resolution inversion data volume is obtained by the BP neural network learning method. On this basis, the favorable sandbodies in the target interval of the area are identified and tracked. The results show that the AVF frequency-division attribute inversion has a good agreement with the SP curve, and the inversion process is convenient and fast. It has a good effect on the description and recognition of thin sandbodies, which provides important technical support for the exploration and deployment of thin sandbody reservoirs in this area.

Key words: AVF frequency-division attribute; inversion; TPTB; Cretaceous; Shushanhe Formation

地震沉积学的概念由 ZENG 等(1998)^[1-2]首次提出,主要是应用地震平面属性特征来识别岩石及砂体宏观特征、研究沉积体系发育演化,并弥补地震资料纵向分辨率的局限性,是目前薄层、薄互层砂体平面展布预测的重要方法之一,利用该方法对储集体的内幕结构分析已经成为岩性油气藏勘探研究的主要突破口(陈旭,2010;刘化清等,2018)^[3-4]。相位转换技术、地层切片技术、地震数据分频技术是地震沉积学的核心技术(董春梅等,2006;曾洪流,2011)^[5-6]。近年来,国内外学者在此经典技术的基础上辅以拓频处理和地震属性预测和反演等技术,在薄层砂体识别中得到了较好的运用效果(常

少英等,2015;黄林军等,2012)^[7-8]。

随着勘探程度的日益提高,传统的反演手段已不能满足储层预测的需要,基于雷克子波和楔形模型,构建储层厚度、振幅、频率三者之间关系的 AVF 分频反演技术应运而生,并得到了广泛的运用(季玉新等,2010;张广智等,2015;姚振岸,2017;李伟等,2017)^[9-12]。此反演方法是将分频信息和支持向量机

收稿日期:2019-12-30;修回日期:2020-05-08。

第一作者简介:徐浩(1985—),硕士,工程师,主要从事地震资料综合解释与储层预测研究工作。E-mail: xuhaohzh@163.com。

基金项目:国家重大科技专项 2017ZX05005-004-008 资助。

的反演技术结合发展而成,优势在于可对地震数据进行分频分析,能充分运用地震数据中的相对低频和相对高频成分,通过向量机器学习获取其中有效信息,减少薄层砂体反演的不确定性,具备较高的分辨率(于建国等,2006;张延章等,2006;范洪军等,2007)^[13-15]。

托甫台北区块位于塔里木盆地塔河油田主体区,白垩系舒善河组为重要的储油层系之一,该层系主要以辫状河三角洲相沉积为主(王峻等,2012)^[16]。在实际的勘探开发中,该层系面临砂岩储层厚度薄、横向发育规模小且变化大、对比追踪困难等难题;而舒善河组地震资料主频低、信噪比和分辨率低、内幕反射连续性差、低频资料缺失较为严重,因此,薄层砂体地震反演及储层预测难度较大(徐丽萍,2009)^[17]。砂体和强振幅对应关系差,使得传统的振幅识别砂体方法在该层系无法应用;舒善河组内幕砂泥岩从声波时差(*AC*)曲线、密度(*DEN*)曲线以及纵波阻抗上无法区分开,导致常规的反演无法在本区发挥作用,制约了薄砂体储层的有效预测。本文以托甫台北白垩系舒善河组为例,利用AVF分频属性反演方法,首先从岩石物理参数及基础地震资料入手,筛选目标曲线,对原始地震资料进行拓频处理;然后通过BP神经网络算法获得有效的高分辨率反演数据体,并在此基础上识别和追踪有利砂体。

1 概况

托甫台北三维地震工区位于阿克库勒凸起西南斜坡,哈拉哈塘凹陷东部。区内70余口井揭示白垩系地层,已发现的白垩系舒善河组油气藏为受断裂及构造控制的岩性油气藏(图1)。受印支-燕山构造运动影响,中新界地层发生反翘,塔河地区中新界地层南东抬北西降。其压应力方向为NE-SW向,持续性的稳定区域挤压导致局部发育张扭与压扭作用以及工区南部下石炭统盐丘的盐拱作用,形成雁列型、地堑型、Y字型、阶梯状、阶梯状地堑等断裂组合样式,中生界断裂成排成带分布。舒善河组地层厚约230 m,纵向上可划分为下、中、上三段,出油层主要位于中段;沉积类型主要为辫状河三角洲前缘亚相水下分流河道、席状滩坝及湖泊相滨浅湖沉积,垂向上砂泥互层沉积,单砂层或砂层组横向变化快,单砂体厚度薄,多数单砂体厚度集中在4~8 m之间;储层岩性以细砂岩、极细砂岩为主,粉砂岩次之,储层岩性细,但其储集、渗滤能力较强,是岩性圈闭发育的有利层段。

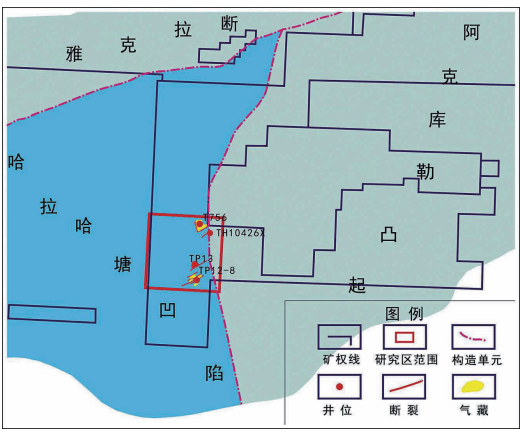


图1 托甫台北工区位置

2 AVF分频反演原理

不同厚度的地层,其调谐频率不同。对于一个楔状砂体模型,用不同主频的雷克子波与其褶积进行正演模拟,得到一系列合成地震数据体,并可得到振幅与砂体厚度在不同频率下的调谐曲线(图2),建立不同时间厚度下振幅随频率变化(AVF)的关系(图3)(于建国等,2006;李伟等,2017)^[12-13]。由AVF关系可知,相同地层在不同的主频频率子波下会展现不同振幅特征的重要规律,但这种关系非常复杂,很难用一个显示函数表示,需用支持向量机(SVM)非线性影射的方法在测井和地震子波分解剖面上找到这种关系,利用AVF信息进行反演(于建国等,2006)^[13]。

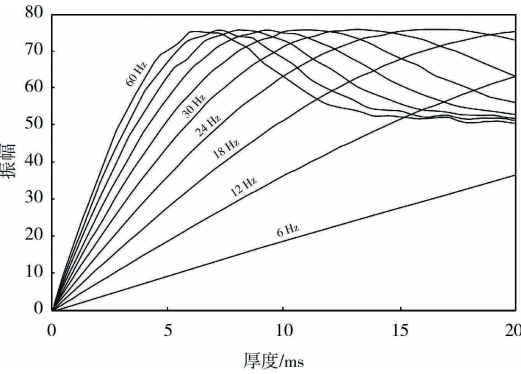


图2 振幅与厚度在不同频率时的调谐曲线

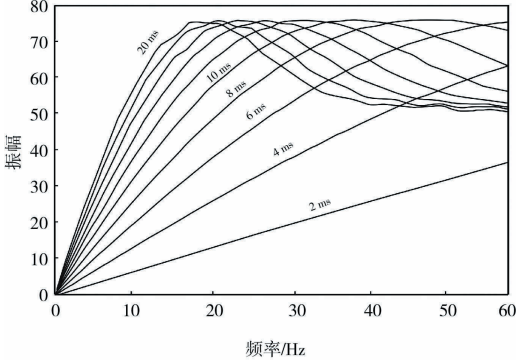


图3 不同时间厚度下振幅随频率变化曲线

分频反演首先要对地震资料进行频谱分析,掌握资料的主频信息及有效频带范围,同时根据井点数据统计,分析不同显示级别井在其目的层的特征频率。根据特征频率、主频及频带宽度范围设计合适的尺度进行分频,产生不同频段的数据体,从而达到分频的目的。对于分频后的数据体,利用支持向量机(SVM)的方法计算出不同厚度下振幅与频率(AVF)之间的关系,将AVF关系引入反演,从而建立起测井波阻抗曲线与地震波形间的非线性映射关系,并基于Geoscope软件得到反演结果(于建国等,2006)^[13]。

3 AVF分频反演实现

3.1 拓频处理

拓频高分辨率处理技术是一项全新的地震数据处理方法,主要将低频子波形成的地震数据转换

为由高频子波形成的地震数据,在保证地震数据的时频特征及波组特征不发生变化的情况下拓宽频带,提高相应的地震分辨率,从而达到更精确地识别薄层沉积砂体的目的(袁红军等,2008;孙夕平等,2010;常少英等,2015)^[7,18-19]。本区频谱宽度集中在20~60 Hz之间,主频28 Hz,原始地震数据分辨率较低,地震标定原始剖面与合成地震道吻合程度也低。因此,需要对原始地震资料进行拓频处理。拓频方法主要有三种:(1)合理保留低频;(2)相对增强调谐能量;(3)增强高频弱信号处理。根据实际资料分析,本文主要运用调谐能力增强法进行拓频。

拓频后地震资料的主频为35 Hz,频带宽度为20~80 Hz。从拓频处理前后地震道与合成地震记录的对比情况可以看出(图4):拓频后的资料与合成记录对比特征较好。以下工作均是基于此拓频体的基础上进行的。

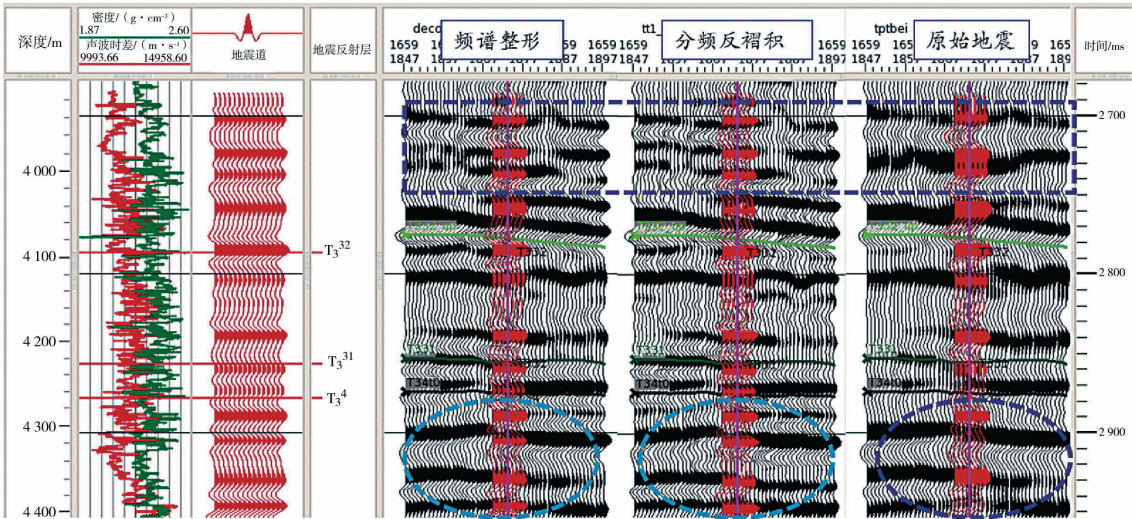


图4 拓频前后地震道与合成地震记录对比

3.2 特征频率及曲线优选

主要从两个方面优选特征频率:(1)有油气显示井和无油气显示井的频率区分;(2)拓频后的资料主频率。两者相结合选择有效频率刻画砂体及含油气性特征。通过对研究区白垩系舒善河组46口钻井的频率进行统计分析,结果表明油气显示井频率主要集中在33~38 Hz,平均频率35 Hz,而27口无油气显示井平均频率为48 Hz左右,两者差异较大(表1);拓频后地震资料的主频为35 Hz。综上分析,本次分频反演的特征频率确定为35 Hz。

从工区内目的层段砂泥岩的岩石物理参数分析可以看出(图5),砂泥速度、密度和波阻抗差别均

较小,直接运用波阻抗进行反演,取得的效果不能达到预期目标。从该工区内70口井的测井资料综合分析,自然电位(SP)曲线对砂泥区分响应特征较好。

表1 研究区目的层不同显示级别与频率对应关系表				
显示级别		频率 /Hz	井数 / 口	平均频率 /Hz
有油气显示	油水同层	34.5	4	35.0
	油气层	33.0	7	
	差油气层	36.0	7	
	含油水层	38.0	1	
无显示	无显示	48.0	27	48.0
合计			46	

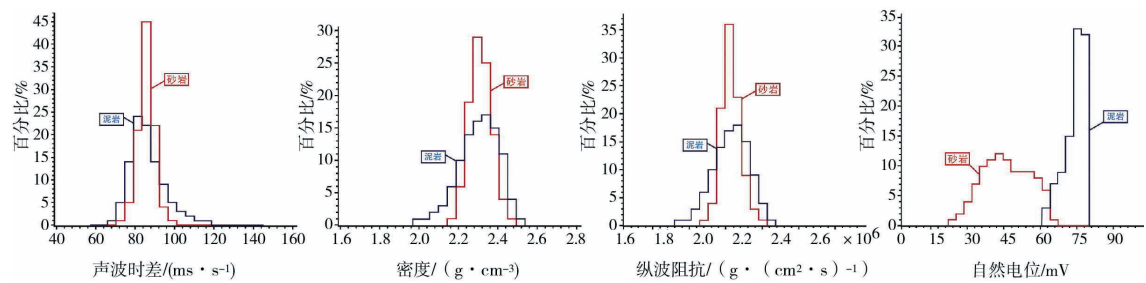


图5 目的层砂泥岩岩石物理参数分析

3.3 反演实现过程

首先对工区内参与反演的67口井的SP曲线进行归一化处理,在保证一定区域内砂泥岩反射特征相似的前提下,进行合成记录的制作和调整,得到合理的目标曲线。另外通过对地震资料拓频得到与合成记录对应关系较好的拓频数据体,并对拓频数据体作外部属性运算,如瞬时属性、分频属性、频率属性等,也可建立模型如相控模型或者井控模型作为外部属性对反演过程进行约束。然后选择合适的学习方法(BP神经网络、支持向量机和粒子群算法)分频段建立非线性映射关系,最后得到反演结果。

本次参与反演的数据体为拓频数据体,67口测井数据,外部属性为井控模型。选取工区内25口井建立三条连井剖面,通过联井小层对比的方法,建立砂体识别模式,并将其作为井控模型约束整个数据体进行反演。AVF分频反演选取的方法为BP神经网络,其优势是能够通过学习获得多个输入和输出数据的映射关系,并利用这种网络关系得到对应的输出结果。此种方法运用过程中,调节算法和参数,通过检查学习曲线和目标曲线的相关度,决定学习效果好坏,从而得到满意的反演结果。

4 应用效果分析

在上述工作的基础上,完成了工区内67口井白垩系舒善河组的分频反演,得到了反演数据体。后期的效果分析工作主要从两个方面进行:(1) 参与反演的井与反演体的吻合度分析;(2) 泥岩百分比含量曲线读取的砂岩百分比与反演体得到的砂体厚度之间的拟合关系。

从反演结果可以看出(图6),反演结果与SP曲线吻合度较高。反演剖面的纵横向分辨率高,砂体横向变化合理,尤其是在单砂体的刻画中,达到了预期目标。从选取的两口未参与反演的井验证来看,曲线与反演数据吻合度较高,主要砂体的识别程度较好,证实了反演的可靠性。

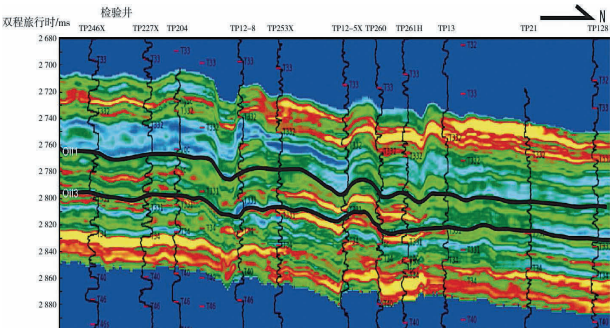


图6 过验证井的反演剖面

此外,拾取单井目的层段泥质含量曲线数值,与反演数据体上拾取的砂岩厚度数据进行拟合分析,结果如图7所示,参与反演井及后期验证井的泥质含量与AVF统计砂体厚度拟合整体呈线性特征,进一步证实了反演方法的有效性。

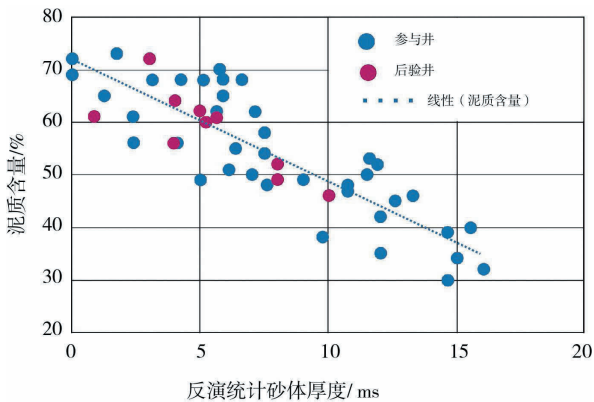


图7 泥质含量与AVF反演统计砂体厚度拟合

在AVF反演体的基础上,通过带通滤波运算,得到常规振幅地震数据体,再运用出油气井对其进行标定追踪,在本区舒善河组中段共计标定出三套储盖组合。其中Oil1圈闭和Oil3圈闭为主要出油气层段,通过追踪两者的层面,刻画出有利单砂体的分布特征,将其叠合在一起(图8),可为下一步勘探提供重要依据。结合波形指示反演以及“甜点”预测结果,综合优选H点为工区内最为有利的部署位置。

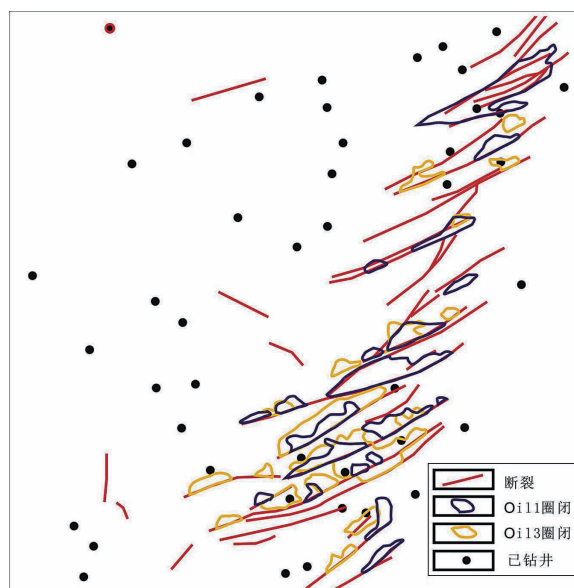


图8 断裂及各层有利砂体叠合

5 结论

(1)AVF分频属性反演作为一项全新的技术手段,目前已被广泛运用于塔北薄砂体储层的预测和识别中。通过地震资料拓频处理、特征频率和曲线优选建立最优井控模型,应用模型约束AVF分频属性反演,采用BP神经网络法对学习曲线和原始曲线进行监控,从而得到有效的反演结果。

(2)模型控制AVF分频属性反演在托甫台北地区舒善河组薄砂体识别中的应用效果较好。反演所得的Oil1和Oil3砂体展布特征得到了多口钻井验证。为下一步钻井提供有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] ZENG H, BACHUS M M, BARROW K T, et al. Stratal slicing; Part 1, Realistic 3-D seismic model [J]. Geophysics, 1998, 63(2):502-513.
- [2] ZENG H, HENRY S C, RIOLA J P. Stratal slicing, Part II: Real 3-D seismic data [J]. Geophysics, 1998, 63(2):514-522.
- [3] 陈旭, 陈红汉, 董玉文, 等. 地震沉积学研究方法评析 [J], 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1):54-60.
- [4] 刘化清, 苏明军, 倪长宽, 等. 薄砂体预测的地震沉积学研究方法 [J]. 岩性油气藏, 2018, 30(2):1-11.
- [5] 董春梅, 张宪国, 林承焰. 地震沉积学的概念、方法和技术 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5):698-704.
- [6] 曾洪流. 地震沉积学在中国:回顾和展望 [J]. 沉积学报, 2011, 29(3):417-426.
- [7] 常少英, 张先龙, 刘永福, 等. 薄层砂体识别的地震沉积学研究—以TZ12井区为例 [J]. 岩性油气藏, 2015(6):72-77.
- [8] 黄林军, 潘建国, 黄玉, 等. 分频反演技术在准东XIQ地区古沟谷薄砂层储层预测中的应用 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34(11):52-55.
- [9] 季玉新, 刘春园, 陈冬, 等. 分频反演方法及其在塔河A区储层预测中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1):38-42.
- [10] 张广智, 李振振, 赵阳, 等. AVF反演Q值方法研究 [J]. 地球物理学进展, 2015, 30(5):2293-2300.
- [11] 姚振岸, 孙成禹. 含流体薄层时移地震AVA/AVF特征分析 [J]. 吉林大学学报(地), 2017, 47(3):884-898.
- [12] 李伟, 岳大力, 胡光义, 等. 分频段地震属性优选及砂体预测方法—秦皇岛32-6油田北区实例 [J]. 石油地球物理勘探, 2017, 52(1):121-130.
- [13] 于建国, 韩文功, 刘力辉. 分频反演方法及应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(2):193-197.
- [14] 张延章, 尹寿鹏, 张巧玲, 等. 地震分频技术的地质内涵及其效果分析 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1):64-66.
- [15] 范洪军, 李军, 肖毓祥, 等. 地震分频技术在扇三角洲演化过程研究中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5):682-686.
- [16] 王峻, 刘家铎, 王元君. 塔河油田XX井区白垩系层序—古地理特征 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(3):56-64.
- [17] 徐丽萍. 测井约束地震反演技术在塔河油田碎屑岩储层预测中的应用 [J]. 石油物探, 2009, 48(6):591-595.
- [18] 袁红军, 吴时国, 王箭波, 等. 拓频处理技术在大牛地气田勘探开发中的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(1):69-75.
- [19] 孙夕平, 张研, 张永清, 等. 地震拓频技术在薄层油藏开发动态分析中的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(5):695-699.

(编辑 杨芝文)