doi: 10.11720/wtyht.2021.1316

韦红,白清云,张鹏志,等.基于反褶积广义S变换的双相介质理论油水识别法在渤海S油田馆陶组的应用[J].物探与化探,2021,45(6):1394-1401.http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1316

Wei H, Bai Q Y, Zhang P Z, et al. The application of seismic oil-water identification method to Guantao Formation of Bohai S oil field [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(6): 1394-1401. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1316

# 基于反褶积广义 S 变换的双相介质理论油水识别法 在渤海 S 油田馆陶组的应用

# 韦红,白清云,张鹏志,甄宗玉

(中海石油(中国)有限公司 天津分公司渤海石油研究院,天津 300450)

摘要:受限于地震资料分辨率较低,渤海S油田馆陶组的复合叠置砂体中的单砂体顶底识别较困难;且在时—空 域里,地震反射特征相似的砂层组出现截然不同的流体类型,油水关系非常复杂。为此,本文首先开展了反褶积广 义S变换的时频分析,参照已钻井的地震反射特征,优选低频、高频属性体;其次进行储层顶、底的准确识别;利用 双相介质理论进行油、水的频谱特征差异分析。分析表明,油、水层在频率域的地震响应有较明显的特征,频率类 的属性对地震波的高频衰减较敏感;通过优选该油田主力油层的低频、高频属性体数据及储层顶、底的频谱衰减差 异的平面数据,共同构建一个新的流体识别因子,进行油水识别,并取得较好的效果,助力剩余 10 余口开发井的布 署和实施。

关键词:油水识别;频谱;地震响应;双相介质;黏滞弥散;油气地质工程 中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2021)06-1394-08

0 引言

地震油水识别方法越来越广泛应用于勘探开发 油田中,有关的油气检测技术快速发展。国内外研 究人员利用叠前叠后地震资料研究流体检测方面取 得了很多成果。Dilay A 等讨论储层的内部及其顶、 底的频率谱,分析含油、水对地震波频率的影响<sup>[1]</sup>。 Stockwell R G 等利用广义 S 变换时频分析法取得高 精度的时频谱<sup>[2]</sup>。Goloshubin 等<sup>[3-4]</sup>和 Korneev V A 等<sup>[5]</sup>建立考虑流体粘滞性和弥散性的声波方程,指 导数值模拟,较好地描述了储层流体的频率依赖衰 减特征。Korneev V A 等在物理实验的基础上取得 带衰减的地震记录,认为地层含流体后出现地震波 的低频阴影、高频衰减异常和双程旅行时间延迟等 等现象<sup>[5]</sup>。Goloshubin G 等应用地震波的低频信息 来识别孔隙介质中的流体性质<sup>[6]</sup>。国内研究人员 利用对流体检测做了很多研究,并取得一些成果。 卢明辉等基于双相介质理论进行数值模拟,分析油、 气、水的地震波反射规律<sup>[7]</sup>。He Z H 等寻找低频伴 影及其能量强度随频率变化规律以识别流体[8]。 孙万元等研究流体参数、频率对地震波衰减和频散 的影响规律助力识别流体<sup>[9]</sup>。胡军辉等利用黏 滞---弥散波动方程理论进行数值模拟,提出--种分 析储层主频差、频带宽度差及频谱相似系数的流体 检测方法<sup>[10]</sup>。张广智等在角道集资料基础上,基于 Curvelet变换提取角度流体因子来区分流体信 息<sup>[11]</sup>。黄捍东等和李红梅通过流体敏感参数分析, 进行叠前反演,提高流体识别精度<sup>[12-13]</sup>。李相文等 利用方位 AVO 分析技术削弱裂缝各向异性特征对 油气响应的影响,提高油气预测精度<sup>[14]</sup>。李灿等利 用纵横波速度比反演识别致密低渗储层中的流 体<sup>[15]</sup>。但该油田是开发油田,钻井节奏很快,需要 快速较准确地识别流体,帮助指导井位布署。由于 该油田馆陶组的油属于较稠油,据文献研究其衰减 吸收特征在叠后地震资料上会有较明显的特征,但

#### 收稿日期: 2020-10-21; 修回日期: 2021-06-17

基金项目:"十三五"国家科技重大专项"渤海油田加密调整及提高采收率油藏工程技术示范"项目(2016ZX05058-001)

第一作者: 韦红(1984-),女,2013 年毕业于西南石油大学,博士,主要从事开发地震处理解释工作。Email:weihong@ cnooc.com.cn

是馆陶组的地震分辨率低,其储层特征是富砂特征, 常规地震识别单砂体极困难,因此本文基于叠后地 震资料的双相介质理论的地震波衰减理论,首先开 展了反褶积广义S变换的时频分析,在高精度时频 谱基础上利用油、水的频谱特征差异,提取单砂体储 层顶、底的频率类属性,提高砂体识别精度,降低在 时一空域中地震反演进行油、水层识别的多解性。

1 流体检测原理

#### 1.1 反褶积广义S变换

由于渤海 S 油田馆陶组极其富砂的特征,要对 单砂体进行准确识别顶底,当前原始地震资料的分 辨率严重不足。因此,需要利用适合的时频分析方 法进行改善。时频分析方法是进行地震信号的谱分 解,检测频率信息的关键手段。在 S 变换的基础上, 很多学者分别提出几种广义 S 变换方法,它们的区 别在于窗函数不同,且不满足能量归一化条件,随频 率增加,窗函数幅值会快速增大,时频分布的能量产 生加权效应,从而得到错的能量分布特征。为此,本 文利用陈学华等<sup>[16-17]</sup>代入高斯窗函数的调节参数λ >0、p>0,以改变高斯窗函数随着频率变化趋势,灵 活分析和处理具体信号。

信号 x(t) 的广义 S 变换定义:

$$GST(T,f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sqrt{\frac{|f|^{p}}{\pi\lambda}} e^{\frac{-f^{p}(t-T)^{2}}{2\lambda} - i2\pi ft} dt$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} p(t,f)\omega(T-t,f) dt$$
$$= p(t,f)\omega(T,f)$$
(1)

其中:

$$p(t,f) = x(T) e^{-i2\pi/T},$$
  

$$\omega(T,f) = \sqrt[4]{\frac{|f|^p}{\pi\lambda}} e^{\frac{-j^{p_t^2}}{2\lambda}},$$

式中:T为高斯窗的控制时间,t为时间,f为频率。

广义S变换谱是高斯窗和原信号各自的Wigner-Vill分布的二维褶积,即:

$$SPEC_{x} \mid GST_{x}(t,f) \mid^{2} = \iint_{-\infty}^{\infty} WVD_{x}(u,v) \times WVD_{h}(t-u,f-v) dudv$$
(2)

式中: $WVD_x$ 、 $WVD_h$ 分别为原信号和高斯窗的 Wigner-Vill 分布。本文采用反褶积算法<sup>[18]</sup>计算广义 S 变换时频谱,即

$$WVD_{x}^{-}(k+1) =$$

$$WVD_{x}^{-}(k) \left(WVD_{h} * \frac{S_{x}}{WVD_{h} \times WVD_{x}^{-}(k)}\right) , (3)$$

式中:k+1是迭代次数,  $WVD_x(0) = S_x$ 是原信号的广义S变换, \*是相关算子, ×是褶积算子。

#### 1.2 双相介质理论

双相介质理论认为地下介质由固体和流体组成,且两种相态之间存在相对运动,并引起黏滞摩擦损耗<sup>[19]</sup>。据 Biot 理论,双相介质的波动方程表达式为<sup>[20-22]</sup>:

$$\begin{cases} N \nabla^2 \boldsymbol{u} + \operatorname{grad} \left[ (A + N) \boldsymbol{\theta} + Q \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\boldsymbol{\rho}_{11} \boldsymbol{u} + \boldsymbol{\rho}_{12} \boldsymbol{U}) \right. \\ \left. + b \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\boldsymbol{u} - \boldsymbol{U}) \right] \\ \left. \operatorname{grad} \left[ Q \boldsymbol{\theta} + R \boldsymbol{\varepsilon} \right] = \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\boldsymbol{\rho}_{12} \boldsymbol{u} + \boldsymbol{\rho}_{22} \boldsymbol{U}) - b \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\boldsymbol{u} - \boldsymbol{U}) \end{cases}$$

$$\tag{4}$$

式(4)中考虑流体的影响。A、N 为弹性参数,Q 为 常数,R 为量度, $\theta$  为固体相应变, $\varepsilon$  为流体相应变,t为时间, $\rho_{11}$ 为单位体积中固体相的等效质量,u 为介 质的固体位移, $\rho_{12}$ 为单位体积流体和固体间质量耦 合系数,U 为介质的液体位移, $\rho_{22}$ 为单位体积流体 相的等效质量,b 为耗散系数,与流体黏滞系数、孔 隙度和渗透率参数有关。

$$\begin{cases} u = u_0 e^{i(k' - \omega t)} = u_0 e^{-\alpha x} e^{ikx - i\omega t} \\ U = U_0 e^{i(k' - \omega t)} = U_0 e^{-\alpha x} e^{ikx - i\omega t} \end{cases}$$
(5)

式中: $u_0$  和 $U_0$  为初始值,k'为复波数,k 为波数, $\alpha$  为 衰减系数, $\omega$  为圆频率,将式(5)代入式(4),并简化 之后得到:

$$\begin{cases} k^{2} - \alpha^{2} = \frac{\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^{2}}{\rho_{12} + \rho_{22}} \frac{Q + R}{PR - Q^{2}} \omega^{2} \\ k\alpha = \frac{(P + R + 2Q)}{2(PR - Q^{2})} \end{cases}$$
(6)

其中,*P=A+2N*。 求解该式得到:

$$\begin{cases} k = \sqrt{\frac{\sqrt{(\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2)^2 H^2 \omega^4 + \rho^2 b^2 H^2 \omega^2 + (\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2) H \omega^2}{2\rho (PR - Q^2)}}, \\ \alpha = \sqrt{\frac{\sqrt{(\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2)^2 H^2 \omega^4 + \rho^2 b^2 H^2 \omega^2 - (\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2) H \omega^2}{2\rho (PR - Q^2)}} \end{cases}$$
(7)

0.2

0.4

0.6

0.8

 $\left[\cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{20}{512}\right)\right]t \quad 0 \le t \le \frac{512}{3}\right]$ 

 $x(t) = \left\{ \cos \left[ 2\pi \cdot \left( \frac{60}{512} \right) \right] t \quad \frac{512}{3} < t \le \frac{1024}{3} \quad (8) \right\}$ 

 $\left|\cos\left[2\pi \cdot \left(\frac{100}{512}\right)\right]t \quad \frac{1024}{3} < t \le 512\right]$ 

其中,

$$H = P + R + 2Q ,$$
  

$$\rho = \rho_{11} + \rho_{22} + 2\rho_{12}$$

式(7)可见,衰减系数与圆频率近似成正比。式(4) 为非黏弹性方程,说明地震波的衰减是双相介质固 有特性。而地下流体的介质具有黏弹性,它会引起 能量的衰减,使高频能量衰减更大。

#### 2 模型试算

(a)

f/Hz

通过合成信号来进行时频分析,并证明广义S 变换与反褶积广义S变换的不同的效果。设合成信 号为x(t).即





图 1 广义 S 变换时频谱(a)和反褶积广义 S 变换时频谱(b)

#### Fig.1 Time spectrum of generalized S-transform (a) and deconvolution generalized S-transform (b)



图 2 透镜体储层模型(a)及含油透镜体(b)、含水透镜体(c) Fig.2 Lens reservoir model(a) and oil-bearing lens (b), water bearing lens(c) 面能较好地体现含流体储层在频率域的地震波衰减 特性。图 2b 油层地震剖面显示,其顶底的频率差异 较大;图 2c 水层的地震剖面显示,其顶底的频率差 异弱于油层的。

3 应用实例

#### 3.1 油田概况

为了证实文中方法的有效性,本次对渤海 S 油 田馆陶组的储层进行了反褶积广义 S 变换时频分析 后,再进行频率域的储层顶底的频率差属性进行油 水识别。

S油田的构造是一个在古潜山背景上发育起来的被断层复杂化的大型低幅度披覆构造,形成于渐

新世,定形于上新世末期。馆陶组构造高点、主体部 位构造特征与潜山构造面貌相近。馆陶组地层厚度 137~459 m,极富砂,为辨状河沉积,其中馆陶组二 段的主力油组为一套巨厚砂砾岩沉积,单井平均钻 遇砂岩 8、9 层,平均砂岩含量 89%。纵向上呈砂岩 夹泥岩特征,储层平面分布稳定。储层岩性以中— 细砂岩及粉砂岩为主;泥岩夹层的厚度约 10 m,储 层厚度约 10~26 m 不等。从井震标定结果来看,该 主力油组的地震反射特征为较强振幅,地震同相轴 较连续(见图 3)。现有的地震资料品质较好,主频 为 40 Hz,地层平均速度为 3 000 m/s,但是对于馆陶 组的复合叠置砂体来说,其地震资料垂向分辨率不 能准确识别储层或泥岩夹层的顶底界面,且振幅受 干涉影响,并不能真实反映储层及流体的响应。



图 3 常规的连井地震剖面 Fig.3 Normal multi-well seismic profile

#### 3.2 流体识别的现状

渤海 S 油田的馆陶组的复合叠置砂体油水关系 复杂,严重制约井位部署。如馆陶组二段的主力油 组 1640 砂体属于典型的复合叠置砂体,地质储量较 大,目前综合调整部井 10 余口,但是第 1 口最有把 握的 I38P1 遭遇失利,它离探井的距离仅仅 300 m 远,它的地震剖面与平面特征也与探井 10 井的非常 相似(见图4、5),10 井为油层,而 I38P1 井确钻遇水 层,两种不同的流体类型有相似的地震反射特征,这 给后续井位部署带来极大不确定性。

据胡军辉等<sup>[10]</sup>基于黏滞一弥散波动方程理论, 分析不同流体的黏滞系数对储层底的地震波形及频 谱的影响,从数值模拟结果来看,在时间域里,黏滞 系数越大,储层底的地震波的波形变化越明显;在频



图 4 过 I38P1-10 井的地震剖面 Fig.4 Seismic profile of well I38P1 and 10





Fig.5 Plane amplitude property map of main oil layer

率域里,黏滞系数越大,储层底地震波频谱变化曲线 越明显,且曲线差异大于时间域的差异<sup>[10]</sup>。该油田 的原油具有密度高、黏度高、胶质沥青含量高、含蜡 量中等、含硫量低及凝固点低的特征,属重质稠油。 因此,在该油田的流体识别方法优选中,选取基于黏 滞—弥散波动方程理论的频谱分析,提取储层顶底 的频率信息差异,会对流体识别有较好的效果。然 而由于地震分辨率低,较难准确识别储层顶底。

### 3.3 流体识别方法的应用

由于该油田的油层的黏度是变化的,为了减小 流体识别的多解性,本文在黏滞—弥散波动方程理 论的基础上,再结合双相介质理论同时研究流体变 化。首先进行反褶积广义S变换时频分析,在频率 域,计算高频属性体和低频属性体,据双相介质理 论,低频吸收,高频衰减的动力学特征,利用已钻井 进行反复尝试,计算得到地震波的一个低频体,其地 震波衰减最小,振幅最大;同时计算一个高频体,地 震波衰减最大,振幅最小。再将高频属性体与低频 属性体作比值,得到一个新的频率属性体,若含油 气,则该属性值会变小。同时基于高频属性体,较清 楚地识别储层顶底,利用已钻井反复计算,最终提取 得到储层顶底的主频差异属性,主频差异越大,含油 气可能性越大。最后将储层顶底的主频差属性值比 上新的频率属性体得到一个最终的频率属性体,以 此放大流体差异,本文称这个最终的频率属性体为 构建的该主力油组的流体识别因子,如式(11):

 $I = (f_{mb} - f_{mt}) / (F_h / F_l)$ (11)  $\exists r : f_{mb} \Rightarrow f_{mb} = f_{mb} = f_{mb} + F_h = f_{mb} = f_{mb} + F_h = f_{mb} + F_h = f_{mb} = f_{mb} = f_{mb} + F_h = f_{mb} =$ 

本文利用构建的流体识别因子,首先检验失利 井 I38P1,从图6中可以看到,虽然 I38P1 井与 10 井 距离很近,且从时间域里其地震波形相似,但是在频 率域里,通过构建的流体识别因子—频率属性体里 可以清楚地发现 I38P1 井的地震波的频谱变化特征 截然不同,I38P1 井的流体因子显示为弱属性值(0 ~35 之间),10 井的为强属性值(35~55 之间),地 震剖面和平面属性均有明显的区别(见图 7),这与 实钻结果非常吻合。并且从流体识别因子的平面属



图 6 基于流体识别因子过 I38P1-10 井地震剖面 Fig.6 Seismic profile of well I38P1-10 based on fluid identification factor



图 7 基于流体识别因子平面属性

Fig.7 Plane attribute map based on fluid identification factor 性表明,I38P1 井位于一条明显的分支河道中,与主 体河道有不同的油水系统。这一发现为后续的井位 布署提供了很多帮助,并在I38P1井北边500m的

位置布署一口水平井 I38H 井, 并取得了成功。显 然,I38H 井位在常规地震振幅属性中(值35~55之 间)也是属于有利区域(见图5),不足以证明流体识 别因子的可靠性。为此,我们在另一口探井附近布 署一口评价性质的井 J56H 井,若评价成功,则转为 采油水平井。钻前分析,从常规地震剖面和平面属 性来看,该井离探井11井距离约60m,构造位于较 高部位,着陆点位置储层特征在常规地震剖面和平 面属性中表现为较弱振幅属性(见图 8a,图 9a),若 着陆失败,则进行侧钻备选井位。而基于流体识别 因子的地震剖面与平面属性中,其储层特征则表现 为较好的地震属性(见图 8b.图 9b)。最终.J56H 井 成功着陆并钻遇油层,并且水平段也钻遇80%的优 质储层。这口井的成功充分证明了,本次构建的流 体识别因子在该油田的准确性和实用性,为后续调 整井的实施提供了巨大帮助。



图 8 常规地震剖面(a)与基于流体识别因子的过 11-J56H 井的地震剖面(b)

#### Fig.8 Normal seismic profile(a) and seismic profile of well 11-J56H based on fluid identification factor(b)

4 结论与认识

1) 反褶积广义S 变换在本文的时频分析中起 到了提高分辨率和频率能量聚集的效果,适用于该 油田的地震资料解释性处理。

2) 在反褶积时频分析的基础上进行双相介质

理论的应用,寻找到含油储层和含水储层的频率衰 减特征,能较好地区分流体。并且利用新钻井的开 发井再次验证了本次研究的实用性,助力该油田后 期10余口调整井的布署和实施。

**致谢:**感谢本次一起工作的流体检测小组成员 的辛勤付出,感谢专家和编辑部提出的宝贵意见。



#### 图 9 常规振幅平面属性(a)与基于流体因子的平面属性(b)

#### Fig.9 Normal seismic profile(a) and plane attribute map based on fluid identification factor(b)

#### 参考文献(References):

- Dilay A, Eastwood J.Spectral analysis applied to seismic monitoring of thermal recovery [J].The Leading Edge, 1995, 14(11):1117 – 1122.
- [2] Stockwell R G, Mansinha L, Lowe R P. Localization of the complex spectrum: the S transform [J].IEEE Trans Signal Process, 1996, 44(4):998-1001.
- [3] Goloshubin G M, Korneev V A.Seismic low-frequency effects from fluid-saturated reservoir [J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2000, 19:1671 – 1674.
- [4] Goloshubin G M, Korneev V A, Vingalov V M.Seismic low-frequency effects from oil-saturated reservoir zone [J].SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2002, 21:1813 – 1816.
- [5] Korneev V A, Goloshubin G M, Daley T M, et al. Seismic low-frequency effects in monitoring fluid-saturated reservoirs [J]. Geophysics, 2004, 69(2):522 - 532.
- [6] Goloshubin G, VanSchuyver C, Korneev V, et al. Reservoir imaging using low frequencies of seismic reflections [J]. The Leading Edge, 2006, 5:527 - 531.
- [7] 卢明辉,巴晶,杨慧珠,等.双相介质分界面上弹性波的反射与透射[J].地球物理学进展,2007,22(5):1439-1445.
  Lu M H,Ba J, Yang H Z, et al. Reflection and transmission of elastic waves from a boundary of two-phase media [J]. Progess in Geophysics,2007,22(5):1439-1445.
- [8] He Z H, Xiong X J, Bian L E. Numerical simulation of seismic lowfrequency shadows and its application [J]. Applied Geophysics, 2008,5(4):301-306.
- [9] 孙万元,张会星,孙杨,等.地震波衰减和频散属性的提取及其 在油气检测中的应用[J].中国海洋大学学报:自然科学版, 2013,43(10):83-87.
   Sun W Y,Zhang H X,Sun Y, et al. Apply s-transform to extract the

Sun W 1, Zhang H X, Sun 1, et al. Apply s-transform to extract the attenuation and dispersion attributes of the seismic wave to detect oil and gas [J].Periodical of Ocean University of China:Science & Technology Edition, 2013, 43(10):83 – 87.

[10] 胡军辉,文晓涛,许艳秋,等.利用黏滞--弥散波动方程理论进

行油水识别[J].石油地球物理勘探,2016,51(3):556-564. Hu J H, Wen X T, Xu Y Q, et al. Oil-water recognition based on diffusive-viscous wave equation [J]. OGP, 2016, 51(3):556-564.

- [11] 张广智,郑静静,印兴耀,等.基于 Curvelet 变换的角度流体因子提取技术[J].物探与化探,2011,35(4):505-510.
  Zhang G Z,Zheng J J,Yin X Y,et al.The technique for extracting angle fluid factor based on curvelet transform[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2011,35(4): 505-510.
- [12] 黄捍东,汪佳蓓,郭飞.敏感参数分析在叠前反演流体识别中的应用[J].物探与化探,2012,36(6):941-946.
  Huang H D, Wang J B, Guo F. The application of sensitive parameters analysis to fluid identification based on pre-stack inversion
  [J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(6):941-946.
- [13] 李红梅.弹性参数直接反演技术在储层流体识别中的应用[J]. 物探与化探,2014,38(5):970-975.
  Li H M. The application of elastic parameters direct inversion to reservoir fluid identification [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2014,38(5):970-975.
- [14] 李相文,刘永雷,但光箭,等.方位 AVO 技术在碳酸盐岩缝洞型 储层含流体预测中的研究与应用[J].物探与化探,2016,40
   (1):129-134.

Li X W, Liu Y L, Dan G J, et al. The study and application of azimuthal AVO analysis technique for fluid-containing prediction of fractured-vuggy carbonate rocks reservoir [J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(1):129 – 134.

- [15] 李灿,归平军.纵横波速度比在东胜气田致密低渗储层流体识别中的应用[J].物探与化探,2019,43(3):536-542.
  Li C,Gui P J.V<sub>P</sub>/V<sub>S</sub> applied to fluid identification of tight sandstone reservoir of Dongsheng gas field [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(3):536-542.
- [16] Lu W K, Li F Y.Seismic spectral decomposition using deconvolutive short-time Fourier transform spectrogram [J]. Geophysics, 2013,78(2):V43-V51.

- [17] 朱恒,文晓涛,金炜龙,等.基于反褶积短时傅立叶变换的油气 检测[J].地球物理学进展,2015,30(5):2354-2359.
  Zhu H, Wen X T, Jin W L, et al.Oiland gas detection based on deconvolutive short-time Fourier transform [J].Progress in Geophysics,2015,30(5):2354-2359.
- [18] 张懿疆,文晓涛,刘婷,等.基于反褶积广义S变换的地震频谱 成像方法研究[J].科学技术与工程,2017,17(15):12-18. Zhang Y J, Wen X T, Liu T, et al.Seismic spectral imaging method based on deconvolutive generalized S-transform [J].Science Technology and Engineering,2017,17(15):12-18.
- [19] 张会星,何兵寿,姜效典,等.利用地震波在双相介质中的衰减
   特性检测油气[J].石油地球物理勘探,2010,45(3):343-349.
   Zhang H X, He B S, Jiang X D, et al. Utilizing attenuation characteristic of seismic wave in dual-phase medium to detect oil and gas

[J].Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45(3): 343-349.

- [20] Biot M A.Theory of porpagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid:Low-frequency range[J].Acoust. Soc. Amer., 1956, 28(2):168-178.
- [21] Amos Nur.双相介质中波的传播[M].许云译.北京:石油工业出版社,1986.

Amos Nur. Wave propagation in the two-phase medium [M]. Xu Yun Trans..Beijing: Petroleum Industry Press, 1986.

[22] 严海滔,黄饶,周怀来,等.同步挤压广义S变换在南海油气识别中的应用[J].地球物理学进展,2019,34(3):1229-1235.
Yan H T, Huang R, Zhou H L, et al. Application of Nanhai oil and gas identification based on synchrosqueezing generalized S transform [J]. Progress in Geophysics, 2019,34(3):1229-1235.

## The application of seismic oil-water identification method to Guantao Formation of Bohai S oil field

WEI Hong, BAI Qing-Yun, ZHANG Peng-Zhi, ZHEN Zong-Yu

(China National Offshore Oil Corporation(CNOOC) Limited Tianjin Branch, Tianjin 300450, China)

**Abstract**: Restricted by the low resolution of seismic data, the identification of the top and bottom of a single sand body is difficult in the composite superposed sand bodies of the Guantao Formation in the Bohai S oil field. Moreover, in the time-space domain, sandstones with similar seismic reflection characteristics have very different fluid types, and the oil-water relationship is very complicated. In view of such a situation, based on the two-phase medium theory and the theory of viscous dispersion wave equation, the authors first carried out the time-frequency analysis of the generalized S transform, and selected the low-frequency and high-frequency attribute bodies with reference to the seismic reflection characteristics of the drilling well. Secondly, the top and bottom of the reservoir were accurately identified. Then the analysis of the difference of the spectrum characteristics of oil and water was conducted. The result shows that the seismic responses of the oil and water layers in the frequency domain have obvious characteristics, and the frequency attribute volume data of the main oil layer of the oil field and the plane data of the spectral attenuation difference between the top and bottom of the reservoir, a new fluid identification factor was jointly constructed to identify oil and water and achieved better results to help the remaining deployment and implementation of more than 10 development wells.

Key words: oil-water identification; frequency spectrum; seismic response; two-phase medium; viscous dispersion; oil-gas geological engineering

(本文编辑:叶佩)