

文章编号: 1001-1749(2023)01-0001-07

# 基于双相介质弹性波波场分离的逆时偏移方法

王鸣谦<sup>1</sup>, 张胜寒<sup>1</sup>, 张济东<sup>1</sup>, 付继有<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油物探技术研究院, 南京 211103

2. 中国石油 长庆油田页岩油开发分公司, 甘肃 745000)

**摘要:** 随着地震勘探的发展, 以单相介质模型为基础的声波逆时偏移和弹性波逆时偏移很难比较精确地描述地下介质和满足复杂的工程要求, 尤其是在处理地下含流体多孔介质时, 所以需要引入双相介质模型。首先基于 Biot 理论双相介质一阶速度-应力弹性波方程, 利用散度场和旋度场的波场分离理论将固相和流相中的纵横波场解耦分离, 并由波场快照图得出固相与流相中的纵波波场与横波波场均完成分离, 而快纵波与慢纵波相互耦合均存在于纵波波场中。采用高阶交错网格有限差分方法, 结合 PML 吸收边界条件, 推导了具有波场分离的双相介质弹性波正传与反传的偏移延拓算子, 结合互相关成像条件, 可以得到双相介质弹性波固相与流相中的各分量偏移成像剖面。最后对模型使用该双相介质弹性波波场分离的逆时偏移方法进行偏移成像试算并取得成功, 效果较常规双相介质弹性波逆时偏移成像效果有了明显提升。

**关键词:** Biot 理论; 双相介质; 波场分离; 弹性波逆时偏移

**中图分类号:** P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.01.01

## 0 前言

由于实际情况中含有油气的储层是具有固体与流体两种状态的双相介质, 因此建立在均匀各向同性的理论上研究波动传播规律并不是十分准确的, 只是将储层简化为单相弹性介质, 从而忽略了固相和流相之间的耦合作用, 因此对地震波的传播描述有所偏差, 所以建立更加符合实际地层情况的双相介质模型具有重大意义。

Biot 理论<sup>[1-2]</sup>预测了双相介质中存在快纵波、慢纵波、横波三种体波, 但因为条件所限当时并未得到证实; Plona<sup>[3]</sup>在实验室以烧结玻璃珠为样本首次观察到了慢纵波; Hassanzadeh<sup>[4]</sup>使用有限差分法计算了低频 Biot 孔隙声波方程; 郭建<sup>[5]</sup>模拟了纵波在

多孔双相介质中的传播; 杨顶辉<sup>[6]</sup>推导了 Biot 理论双相各向异性介质的 Galerkin 变分方程; 张文忠<sup>[7]</sup>利用交错网格有限差分进行了 Biot 双相介质的二维弹性波波场模拟; 巴晶<sup>[8]</sup>针对复杂多孔介质模型展开了弹性波波场响应的研究; 张军舵<sup>[9]</sup>利用伪谱法进行了 Biot 理论双相介质弹性波波场模拟; 张会星等<sup>[10]</sup>利用双相介质中弹性波的衰减检测油气取得良好效果; 陈可洋<sup>[11]</sup>在双相介质中进行纵横波分离研究并取得成功; 刘欣欣<sup>[12]</sup>使用 Biot 理论双相介质弹性波方程进行逆时偏移成像取得了不错的效果; 张晓波<sup>[13]</sup>实现了双相介质方程逆时偏移的 GPU 加速。其相关双相介质弹性波逆时偏移算法均是由混合波场进行成像, 针对双相介质波场分离的纯波逆时偏移成像还有待研究。

单相介质由于其不含有流相分量, 其弹性波波

收稿日期: 2021-10-23

基金项目: 国家自然科学基金创业创新发展联合基金(U19B603)

第一作者: 王鸣谦(1995-), 男, 硕士, 主要研究方向为地震波正演及偏移成像, E-mail: 285639863@qq.com。

场分离只需通过赫姆霍兹涡流理论公式将速度场分为无旋场的纵波与无散场的横波,而基于 Biot 理论的双相介质的弹性波方程由固相与流相两部分构成,在进行波场分离时要考虑固相分量与流相分量,在固相分量的速度与流相分量的速度中均使用赫姆霍兹涡流理论进行波场分离,将其分解为固相中的纵波与横波以及流相中的纵波与横波。

笔者对双相介质弹性波方程进行波场分离的纯纵波逆时偏移成像。首先对 Biot 理论双相介质的一阶速度—应力弹性波方程,应用赫姆霍兹涡流理论进行纵横波解耦,使用高阶交错网格有限差分方

$$\begin{aligned}
 (\rho_{12}^2 - \rho_{11}\rho_{22}) \frac{\partial v_x}{\partial t} &= (\rho_{12} + \rho_{22})b(v_x - V_x) + \rho_{12} \frac{\partial S}{\partial x} - \rho_{22} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \\
 (\rho_{12}^2 - \rho_{11}\rho_{22}) \frac{\partial v_z}{\partial t} &= (\rho_{12} + \rho_{22})b(v_z - V_z) + \rho_{12} \frac{\partial S}{\partial z} - \rho_{22} \left( \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} \right) \\
 (\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2) \frac{\partial v_x}{\partial t} &= (\rho_{11} + \rho_{12})b(v_x - V_x) + \rho_{11} \frac{\partial S}{\partial z} - \rho_{12} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \\
 (\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2) \frac{\partial v_z}{\partial t} &= (\rho_{11} + \rho_{12})b(v_z - V_z) + \rho_{11} \frac{\partial S}{\partial x} - \rho_{12} \left( \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} \right) \\
 \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial t} &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v_x}{\partial x} + \lambda \frac{\partial v_z}{\partial z} + Q \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \\
 \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial t} &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v_z}{\partial z} + \lambda \frac{\partial v_x}{\partial x} + Q \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) \\
 \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial t} &= \mu \left( \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \\
 \frac{\partial S}{\partial t} &= Q \left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + R \left( \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

式中: $v_x$  为固相速度水平分量; $v_z$  为垂直分量; $V_x$  为流相速度水平分量; $V_z$  为垂直分量; $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{zz}$ 、 $\tau_{xz}$  分别表示水平正应力、垂直正应力、切应力; $S$  为流相应力; $\lambda$ 、 $\mu$  为拉梅参数; $\rho_{11}$ 、 $\rho_{22}$ 、 $\rho_{12}$  分别为固液相对运动时的固相等效密度参数、固液相对运动时的流相等效密度参数、固相和流相密度耦合系数; $b$  为耗散系数; $R$  为流相弹性系数; $Q$  为固相和流相耦合的弹性参数。

## 1.2 赫姆霍兹理论纵横波解耦

根据赫姆霍兹涡流理论,在给定矢量场的散度、旋度以及边界条件时,这个矢量场可以唯一确定,且可以表示为一个无散场和无旋场的矢量和。将固相和流相中的纵波速度位分别定义为  $\varphi$  和  $\Phi$ ,将固相和流向中的横波速度位分别定义为  $\psi$  和  $\Psi$ ,则固相流相中的速度  $v$ 、 $V$  满足下面的关系。

$$\begin{cases} v = \nabla \varphi + \nabla \times \psi \\ V = \nabla \Phi + \nabla \times \Psi \end{cases} \tag{2}$$

通过式(2)可将固相与流相中的振动速度矢量表示为无散场和无旋场两部分,满足以下条件: $\nabla \times$

法结合 PML 吸收边界条件,推导了正向与反向延拓算子,最后利用互相关成像条件对分离后的纯纵波波场进行成像,形成了双相介质波场分离的弹性波逆时偏移成像算法,进行模型试算并取得了成功。

## 1 双相介质正演及波场分离

### 1.1 一阶速度—应力弹性波方程

由双相介质中的应变—位移关系,应力—应变关系,应力—位移关系,可推得二维各向同性双相介质一阶速度—应力弹性波方程<sup>[14]</sup>为式(1)。

$(\nabla \varphi) = 0, \nabla \times (\nabla \psi) = 0, \nabla \cdot (\nabla \times \Phi) = 0, \nabla \cdot (\nabla \times \Psi) = 0$ 。将固相与流相中的质点振动速度矢量的散度场和旋度场定义为:

$$\begin{cases} \text{固相散度场} & \theta = \nabla \cdot v = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \\ \text{流相散度场} & \Theta = \nabla \cdot V = \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \\ \text{固相旋度场} & \omega = \nabla \times v = \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_z}{\partial z} \\ \text{流相旋度场} & \Omega = \nabla \times V = \frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \end{cases} \tag{3}$$

将式(3)代入式(2)可得式(4)。

$$\begin{cases} \theta = \nabla \cdot v = \nabla \cdot (v + \nabla \times \psi) = \\ \quad \nabla \cdot (\nabla \varphi) + \nabla \cdot (\nabla \times \psi) = \nabla^2 \varphi \\ \Theta = \nabla \cdot V = \nabla \cdot (\nabla \Phi + \nabla \times \Psi) = \\ \quad \nabla \cdot (\nabla \Phi) + \nabla \cdot (\nabla \times \Psi) = \nabla^2 \Phi \\ \omega = \nabla \times v = \nabla \times (\nabla \cdot \varphi + \nabla \times \psi) = \\ \quad \nabla \times (\nabla \varphi) + \nabla \times (\nabla \times \psi) = \nabla \times (\nabla \times \psi) \\ \Omega = \nabla \times V = \nabla \times (\nabla \Phi + \nabla \times \Psi) = \\ \quad \nabla \times (\nabla \Phi) + \nabla \times (\nabla \times \Psi) = \nabla \times (\nabla \times \Psi) \end{cases} \tag{4}$$

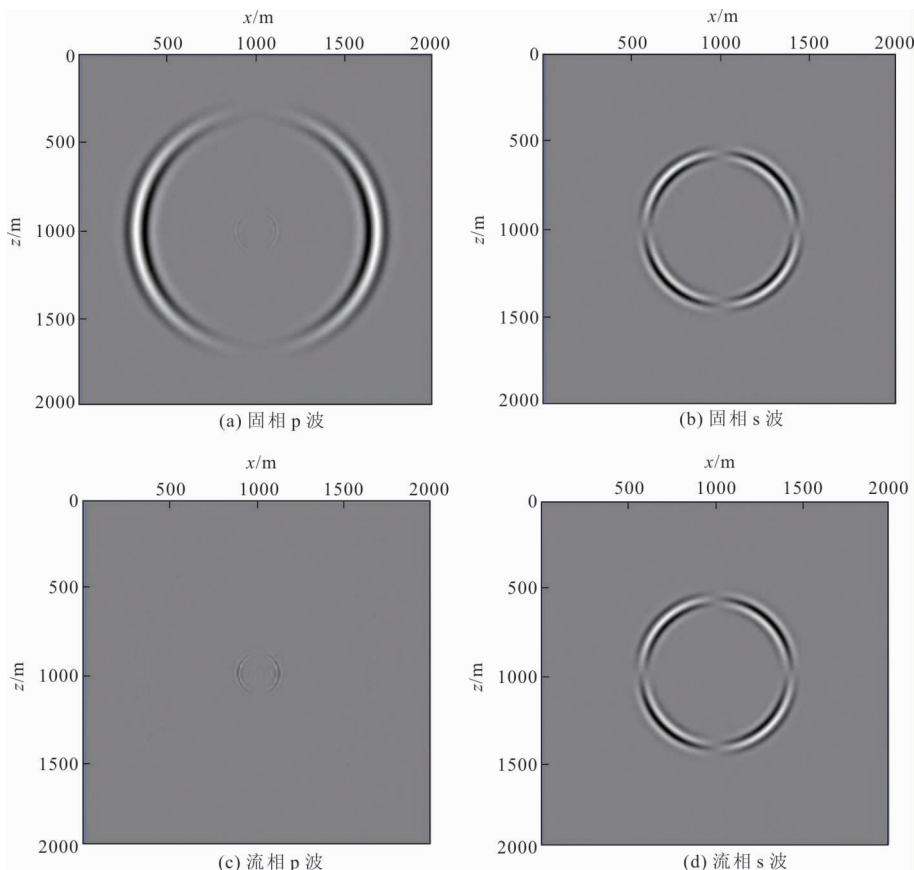


图 1 0.25 s 时刻双相介质波场分离后波场快照

Fig. 1 Snapshot of p-wave and s-wave field in the solid-phase flow after the wavefield separation of the two-phase medium at 0.25 s

其中:  $\nabla \times (\nabla \times \psi) = \nabla^2 \psi$ ;  $\nabla \times (\nabla \times \Psi) = \nabla^2 \Psi$ 。由式(4)可以得出, 固相散度场和流相散度场只与固相与流相中的纵波速度位有关, 与横波速度位无关, 同时固相旋度场和流相旋度场只与固相与流相中的横波速度位有关, 而与纵波速度位无关。这在理论上证明了可以将双相介质中纵横波场分离开来, 从而实现双相介质波场中的纵横波解耦。

### 1.3 双相介质波场分离模型试算

设计一个全空间均匀的介质模型进行双相介质波场分离算法的模型试算, 模型空间大小为  $2\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ , 网格大小为  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ , 采用 20 Hz 的雷克子波震源激发, 双相介质物性参数如表 1 所示, 对 0.25 s 时刻的固相与流相分量的纯 p 波与纯 s 波波场快照记录如图 1 所示。

由图 1(a)、图 1(b)可以看出, 在双相介质的固相分量中的纵波与横波完成分离, 图 1(c)、图 1(d)中流相分量中的纵横波也成功分离开来, 而快纵波慢纵波相互耦合。

表 1 双相介质物性参数

Tab. 1 Physical properties of two-phase media

固相参数		流相参数		耦合参数		
$\lambda$	$\mu$	$\rho_{11}$	$R$	$\rho_{22}$	$Q$	$\rho_{12}$
5.42	12.31	2434	0.2	480	0.13	-320

$\lambda, \mu, Q, R$  的单位  $10^9\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ ,  $\rho_{ij}$  的单位  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

## 2 弹性波逆时偏移

针对基于双相介质波场分离的弹性波逆时偏移算法可以分为下述几个步骤:

1) 输入地震记录与速度模型作为逆时偏移的启动参数。对地震记录进行炮域的并行, 对于每一个炮而言, 首先利用双相介质的高阶交错网格有限差分法进行正向波场延拓, 在延拓的过程中根据散度场、旋度场的理论对双相介质中的纵横波场进行解耦。将所需要成像的分量的每一个时刻的波场值进行存储。

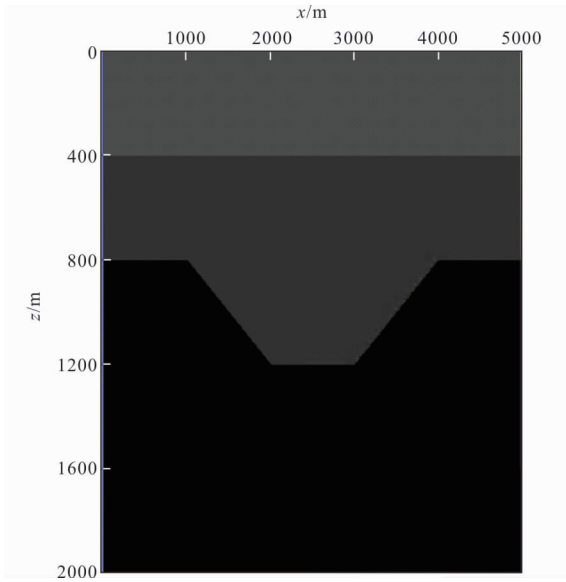


图2 四层凹陷模型

Fig. 2 Four-layer depression model

2) 将地震记录作为震源进行反向的波场延拓以获得检波点波场, 同样在延拓的过程中依据散度场旋度场的赫姆霍兹理论进行固相和流相分量的波场分离, 将所需要成像的分量的每一个时刻的波场存储下来。

3) 对存储下来的各个分量的每个时刻的正传与反传波场值, 使用相应的互相关成像条件提取成像值, 将其作为一炮的某个分量的成像结果。对正向与反向延拓过程中的纯 p 波分量使用互相关成像条件提取成像值。

4) 对所有炮的某个分量的成像结果进行按观测系统排列进行叠加, 得到最终的成像结果, 输出最终的双相介质某个分量的逆时偏移叠加剖面。对所有炮重复上面的步骤, 然后将所有炮的成像值按观测系统排列进行叠加, 输出最终的逆时偏移叠加剖面。

$$\text{Image}(x, z) = \int S(x, z, t) R(x, z, t) dt \quad (5)$$

式中:  $\text{Image}(x, z)$  为在空间  $(x, z)$  点处的成像值;  $S(x, z, t)$  为正时传播的双相介质所要进行成像分量的波场值;  $R(x, z, t)$  为逆时传播的双相介质所要进行成像分量的波场值。

### 3 模型试算

采用图 2 的四层凹陷模型进行算法验证, 模型物性参数如表 2 所示, 为了更好地突出双相介质慢

纵波的特性, 将双相介质弹性波方程中的耗散系数  $b$  设为“0”, 模型大小为  $5\,000\text{ m} \times 2\,000\text{ m}$ , 网格大小为  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ , 时间步长为  $0.5\text{ ms}$ , 采用时间二阶空间八阶差分精度, 使用分裂式的 PML 吸收边界条件, 使用胀缩源进行震源加载, 即在水平与垂直正应力以及流相应力上施加雷克子波, 采用中间放炮的方式, 炮点位置为  $(500, 4500)$ , 炮间距为  $40\text{ m}$ , 共 101 炮。采用炮域并行的计算策略, 各炮之间 MPI 并行, 单炮内波场正传与反传部分使用 Openmp 多线程并行, 所用 CPU 型号为 Intel Xeon E5-2682 v4, 具有 16 核心 32 线程, 使用 22 个 CPU 节点进行计算, 共耗时  $45\text{ min}$ , 单炮的计算时间为  $9\text{ min}$ 。

图 3 为第 50 炮的双相介质固相 PP 分量成像结果与流相 PP 分量成像结果对比。由于耗散系数  $b$  为“0”, 所用双相介质弹性波方程的偏移延拓算子无耗散, 故慢纵波未受到衰减, 由波场分离波场快照可以看出, 慢纵波在固相分量中的能量相比于快纵波较弱, 所以在固相分量的 PP 成像结果上影响较小, 而慢纵波在流相分量中的能量强于快纵波, 在流相分量的 PP 成像结果上表现为慢纵波对成像结果造成了影响, 使其成像结果表现为虚假构造。

图 4 为对其分别进行经过波场分离之后的双相介质弹性波固相纵波的 PP 成像、常规的双相介质弹性波固相速度垂直分量混合波场  $V_v$  成像、波场分离后的流相分量的纵波 PP 成像、波场分离后的流相分量的横波 SS 成像。对比图 4(a) 和图 4(b) 可以看出, 在对双相介质弹性波逆时偏移的波场延拓中, 进行波场分离之后的固相纯纵波偏移剖面, 效果较常规的双相介质弹性波逆时偏移剖面效果有了较大提升, 所获得的偏移剖面的层位位置准确, 抑制了由于双相介质弹性波波场复杂而在常规的混合速度分量的偏移剖面上出现的虚假构造。由图 4(c) 可以看出, 在流相 PP 分量的成像剖面上, 由于慢纵波在流相分量中的能量强, 而快慢纵波均同在纵波波场中耦合无法通过波场分离使其分离, 造成成像结果中出现了由于快纵波与慢纵波在成像条件中互相关而产生的虚假地质信息。由图 4(d) 可以看到, 双相介质中的横波波场可以同纵波波场完整的进行波场分离, 所得成像剖面层位位置准确, 且没有虚假构造。

表 2 四层凹陷模型双相介质物性参数

Tab. 2 Physical properties of dual-phase media in four-layer depression model

	固相参数			流相参数		耦合参数	
	$\lambda$	$\mu$	$\rho_{11}$	$R$	$\rho_{22}$	$Q$	$\rho_{12}$
第一层	5.42	12.31	2434	0.2	480	0.13	-320
第二层	5.93	20.53	2828	0.21	550	0.13	-450
第三层	9.75	24.51	2700	0.331	480	0.953	-320
第四层	13.75	27.55	2900	0.331	280	1.13	-260

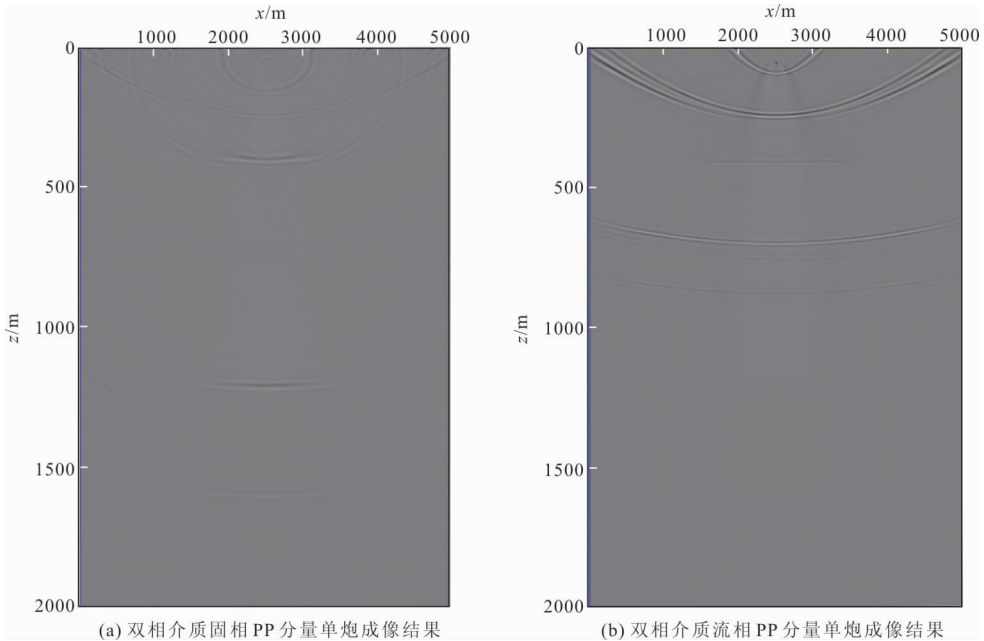


图 3 双相介质单炮成像结果

Fig. 3 The single shot imaging result of the two-phase media

## 4 结论

基于 Biot 双相介质弹性波理论和赫姆霍兹涡流理论波场分离方法推导了双相介质波场分离的弹性波逆时偏移算法,通过模型试算取得了初步的成功,得到了以下几点认识:

1)地震勘探正在逐步从简单模型假设走向更为接近实际但也更为复杂的模型假设,研究双相介质中的逆时偏移成像相较于单相介质更加接近实际地质情况,而双相介质中波场更为复杂,同时存在固相与流相,这对于储层的识别与描述提供了更加有力的手段,对双相介质展开研究具有较大的实际意义。

2)根据散度场、旋度场的理论,成功将双相介质固相与流相中的纵波与横波解耦分开,快纵波与慢纵波相互耦合均存在于固相与流相的纵波波场中。

3)通过这里推得的双相介质波场分离的弹性波逆时偏移算法相较于常规的双相介质弹性波逆时偏移算法,可以有效地提升双相介质弹性波逆时偏移成像效果,抑制了由于双相介质弹性波场复杂而在常规混合速度分量偏移剖面上出现的虚假构造现象。

### 参考文献:

- [1] BIOT M A. Theory of propagation of elastic wave in fluid saturated porous solid. I. Low frequency range [J]. J. Acoust. Soc. Am, 1956, 28(2): 168-178.
- [2] BIOT M A. Theory of propagation of elastic wave in fluid saturated porous solid. II. Higher frequency range [J]. J. Acoust. Soc. Am, 1956, 28(2): 179-191.
- [3] PLONA T J. Observation of a second bulk compressional wave in a porous medium at ultrasonic frequen-

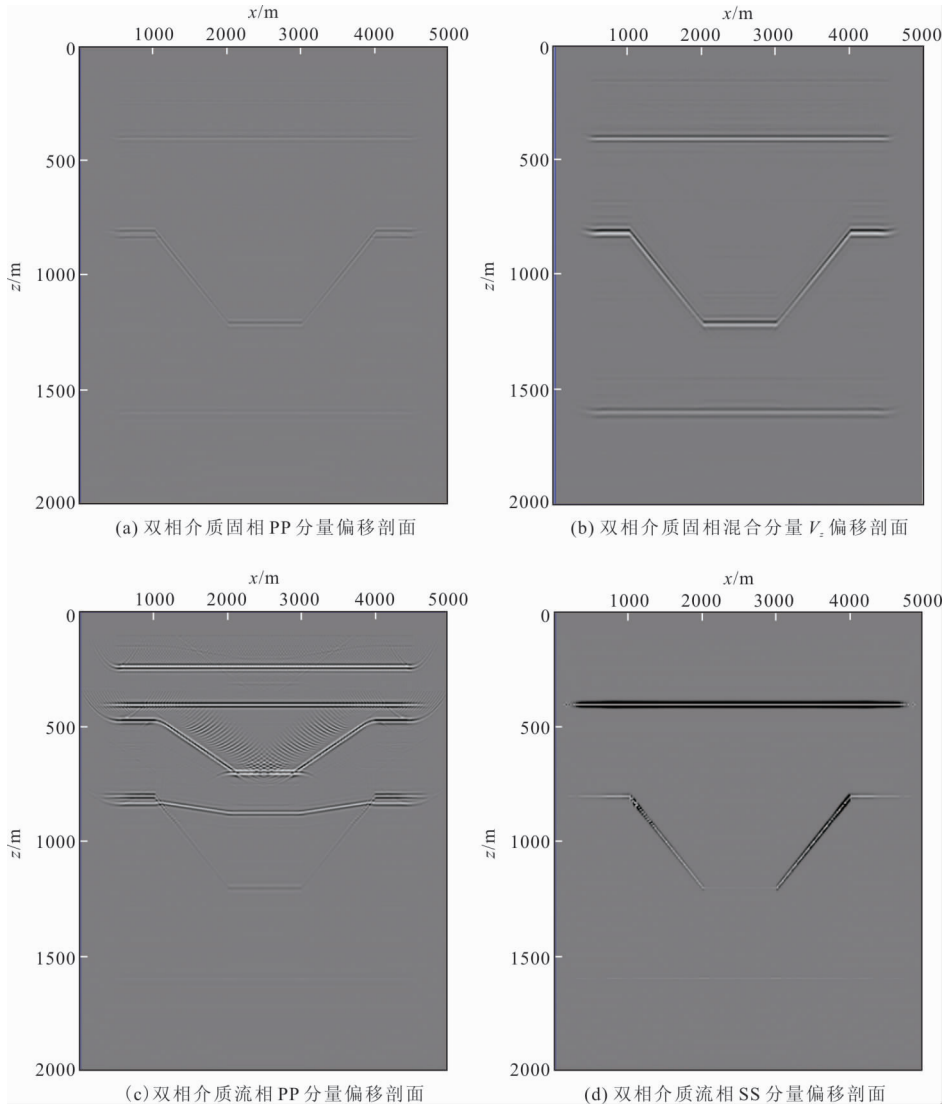


图 4 双相介质偏移叠加剖面

Fig. 4 The migration stack profile of the tow-phase medium

cies[J]. Applied Physics Letters, 1980, 36(4): 259-261.

- [4] HASSANZADEH S. Acoustic modeling in fluid-saturated porous media [J]. Geophysics, 1991, 54(4): 424-435.

- [5] 郭建. 双相介质中 P 波波场的有限差分模拟[J]. 石油地球物理勘探, 1992, 27(2): 182-199.

GUO J. Finite difference simulation of P wave field in two-phase medium[J]. Petroleum Geophysical Exploration, 1992, 27(2): 182-199. (In Chinese)

- [6] 杨顶辉. 双相各向异性介质中弹性波方程的有限元解法及波场模拟[J]. 地球物理学报, 2002, 45(4): 575-583.

YANG D H. Finite element solution and wave field simulation of elastic wave equation in two-phase an-

isotropic media[J]. Earth Journal of Science, 2002, 45(4): 575-583. (In Chinese)

- [7] 张文忠. Biot 介质的交错网格差分法波场模拟研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.

ZHANG W Z. Staggered-grid difference method wave field simulation study of Biot medium[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2007. (In Chinese)

- [8] 巴晶. 复杂多孔介质中的地震波传播机理研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.

BA J. Research on seismic wave propagation mechanism in complex porous media [D]. Beijing: Tsinghua University, 2008. (In Chinese)

- [9] 张军舵, 乐友喜, 王艳香. 双相各向同性介质伪谱法地震波场数值模拟[J]. 石油物探, 2008, 47(4): 338-

345.  
ZHANG J D, LE Y X, WANG Y X. Numerical simulation of seismic wave field using pseudo-spectral method in dual-phase isotropic media[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2008, 47(4): 338-345. (In Chinese)
- [10] 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. Using the attenuation characteristics of seismic waves in dual-phase media to detect oil and gas[J]. Petroleum Geophysical Prospecting, 2010, 45(3): 343-349. (In Chinese)
- [11] 陈可洋. 一阶速度-应力 Biot 双相各向同性介质弹性波波场分离数值模拟[J]. 计算物理, 2011, 28(3): 404-412.  
CHEN K Y. Numerical simulation of first-order velocity-stress Biot two-phase elastic wave field separation in isotropic media[J]. Computational Physics, 2011, 28(3): 404-412. (In Chinese)
- [12] 刘欣欣, 印兴耀, 刘百红. 孔隙介质弹性波叠前逆时偏移方法[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(06): 3165-3173.  
LIU X X, YIN X Y, LIU B H. Prestack reverse time migration method for elastic waves in porous media[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(06): 3165-3173. (In Chinese)
- [13] 张晓波, 刘保华, 于凯本, 等. 一阶速度-应力双相介质方程逆时偏移及 GPU 加速实现[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(02): 366-376.  
ZHANG X B, LIU B H, YU K B, et al. Reversetime migration of the first-order velocity-stress dual-phase medium equation and implementation of GPU acceleration[J]. Advances in Marine Science, 2020, 38(02): 366-376. (In Chinese)
- [14] 苏云. 各向异性及双相介质弹性波正演模拟与波场特征分析[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.  
SU Y. Forward modeling of elastic waves in anisotropic and two-phase media and analysis of wave field characteristics[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.

## Pure compressional wave reverse time migration method based on elastic wave field separation in two-phase media

WANG Mingqian<sup>1</sup>, ZHANG Shenghan<sup>1</sup>, ZHANG Jidong<sup>1</sup>, FU Jiyong<sup>2</sup>

(1. SINOPEC Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Petrochina changqing Oilfield shale Oil Development Branch, Gansu 745000, China)

**Abstract:** With the development of seismic exploration, acoustic reverse-time migration, and elastic wave reverse-time migration based on the single-phase medium model is difficult to describe the underground medium accurately and meet the complex engineering requirements, especially when dealing with underground contaminants. When the fluid is a porous medium, it is necessary to introduce a two-phase medium model. Based on Biot theory, this paper first derives the first-order velocity-stress elastic wave equation of two-phase media. Then, the wave field separation theory of divergence and curl fields are used to decouple and separate the vertical and horizontal wave fields in the solid and fluid phases. The field snapshot shows that the longitudinal wave field and the transverse wave field in the solid phase and the fluid phase are separated. The coupling between the fast longitudinal wave and the slow longitudinal wave exists in the longitudinal wave field. Using the high-order staggered finite grid difference method, combined with the PML absorbing boundary conditions, the migration continuation operator for the forward and reverse propagation of the two-phase media elastic wave with wave field separation is derived. Combined with the cross-correlation imaging conditions, the offset imaging profile of each component in the solid phase and the fluid phase of the two-phase medium elastic wave can be obtained. Finally, the model uses the reverse time migration method of elastic wavefield separation in the two-phase medium to conduct migration imaging trial calculations and obtain success. Compared with conventional two-phase media elastic wave reverse time migration imaging effect has been significantly improved.

**Keywords:** Biot theory; two-phase media; wave field separation; elastic reverse-time migration