

## 地震道反演面临的问题与进展\*

马劲风<sup>1</sup>, 许升辉<sup>2</sup>, 王桂水<sup>1</sup>, 高 乐<sup>1</sup>

(1. 西北大学地质学系, 陕西西安 710069; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101)

摘要: 常规叠后地震道反演技术, 受多种因素的影响。在实用中, 很难获得准确的结果。从地震道反演的主要技术环节来看, 造成地震道反演错误或解释陷井的原因主要集中在噪声、假设条件、子波提取、时深转换、低频分量、约束条件等方面。Patrick Connolly 提出的弹性阻抗( elastic impedance) 的思想, 改进了反射系数垂直入射假设的错误, 巧妙地将 AVO 问题与地震道反演相结合, 将地震道反演技术向前推进了一步。在此基础上建立的适合常规叠后资料的、非零炮检距纵波资料的广义弹性阻抗( generalized elastic impedance) 模型不仅包含波阻抗, 还包含了纵横波速度等岩性信息。进一步发展纵波与转换波弹性阻抗的联合反演, 能更准确地获得纵横波速度信息, 还能获得流体饱和度及渗透特性的信息, 是地震反演发展的最新方向。

关键词: 波阻抗, 陷井, 地震道反演, 弹性阻抗, 递推公式

第一作者简介: 马劲风, 男, 37 岁, 副教授, 石油物探

中图分类号: P631.4 文献标识码: A

建立于反射系数垂直入射假设基础之上的叠后地震反演技术, 是油藏描述与储层预测的关键技术。该项技术的意义在于将反映构造信息的地震剖面, 转换成为反映岩性信息的波阻抗剖面。李庆忠院士曾经指出, 波阻抗剖面是高分辨率勘探的最终成果<sup>[1]</sup>。由于波阻抗信息的简单性和精确性, 使得地震数据到波阻抗的反演成为一个迅速发展的领域<sup>[2]</sup>。自从 Lindseth 先生 1978 年提出该项技术以来<sup>[3]</sup>, 该项技术在 20 多年的时间内, 获得了长足的进展, 新方法和新软件不断涌现<sup>[1,4~6]</sup>。然而, 波阻抗反演技术在实际应用中, 往往难以获得人们所期望的精度和可靠性。所以说, 正确的理解波阻抗反演中存在的问题, 了解解决问题的思路, 对做好储层横向预测工作具有重要的意义。

## 1 基本原理

设地面接受到的自激自收的地震记录为  $s(t)$ , 地震子波为  $w(t)$ , 反射系数系列为  $R(t)$ , 则地震道  $s(t)$  可表示为

$$s(t) = w(t) * R(t) \quad (1)$$

式中  $*$  为褶积运算符号。

当平面波垂直入射到水平反射界面上时, 反射

系数序列的表达式为

$$R_i = \frac{\rho V_i - \rho_{i-1} V_{i-1}}{\rho V_i + \rho_{i-1} V_{i-1}} \quad (2)$$

式中  $R_i$  为第  $i$  个反射界面的反射系数系列,  $\rho$  为第  $i$  层的密度,  $V_i$  为第  $i$  层的速度。

如果对地震子波  $w(t)$  求逆, 可以得到反子波  $a(t)$ 。子波与反子波在时间域的关系为

$$w(t) * a(t) = \delta(t) \quad (3)$$

式中  $\delta(t)$  为单位脉冲函数。

通过反子波  $a(t)$  与地震道  $s(t)$  褶积, 就可以得到反射系数系列  $R(t)$ 。

$$R(t) = s(t) * a(t) \quad (4)$$

对反射系数序列  $R(t)$  递推求和

$$\rho_n V_n = \rho_{n-1} V_{n-1} \frac{1+R_n}{1-R_n} = \rho_0 V_0 \sum_{i=1}^n \frac{1+R_i}{1-R_i} \quad (5)$$

由式(5)可得到各层的波阻抗值。

## 2 影响因素

从上面波阻抗求解的过程, 我们可以分析出可能影响波阻抗求取精度的一些因素。

## 2.1 存在噪声

褶积模型公式(1)中没有考虑噪声的影响。如果存在噪声, 就会对后面的子波提取、反褶积及公式(5)的波阻抗递推产生影响。当然, 剖面中信噪比越高, 噪声的影响也就越小。反之亦然。

\* 本研究由国家自然科学基金项目“纵波与转换波(P-SV)弹性阻抗的联合反演(H40144017)”资助

收稿日期: 2002-04-20

## 2.2 假设条件与实际不符

反射系数递推公式(2),是在平面波入射、反射界面水平、介质内部为各向同性和垂直入射条件下的反射系数表达式。在实际应用中,这些条件都难以满足。实际的地震波为球面波,地层界面常常倾斜,岩层或储集层内和横向均存在非均质性。实际的地震道为一定炮检距范围内共中心点道集的平均,并非垂直入射。这都与假设前提不符,因此会造成波阻抗反演的错误。

## 2.3 子波提取不精确

子波提取方法不同,会导致反演结果的不同。波阻抗反演中最常用的子波提取方法有两种:一是井旁道子波提取方法;二是多道统计方法。对于井旁道提取方法,存在井资料的环境校正、声波测井资料的深时转换、截断误差、地震道噪声等对子波的影响;而对于多道统计方法,同样存在地震道噪声、子波相位确定不准等问题。同时,提取的子波不能兼顾地震道从浅到深频率和相位的变化。这些都会造成反射系数求取的错误,进一步导致波阻抗反演的错误和岩性反演与解释的错误。

## 2.4 测井资料的深时转换不准

声波测井资料在从深度域转换到时间域时,由于采样间隔的限制或储层太薄,将会漏掉薄层信息。这种薄层信息漏掉后,会导致人工合成地震记录与实际地震道不匹配,井旁道提取的子波不准确,低频分量构建不准。

## 2.5 低频分量求取不准

已知反射系数序列后,按照公式(5)求取波阻抗时,只能获得相对波阻抗剖面。还需要加上低频分量,才能获得绝对波阻抗信息。而低频分量的求取,不容易把握准确。在整个剖面只有一口井时,低频分量可以从井点推向整个剖面。此时,距井点越近,低频分量越可靠,反演出的波阻抗也越准确。而距井点越远,低频分量也越不可靠。尤其在横向构造复杂或岩性变化较大时,低频分量的横向递推就更难以把握。

如果剖面或工区有两口或多口井时,一方面利用一口井可以提取一个子波,子波提取不能统一;另一方面,低频分量横向的递推如何去利用多口井的信息,一口井应当控制多大范围,两口井低频分量的衔接处,如何去拼接等。无井时低频分量怎样才能求得更加准确等。

即使是采用广义线性反演方法求解褶积模

型<sup>[5,6]</sup>,低频分量的求取也是反演至关重要的因素。低频分量可以作为广义线性反演的初值,这个初值选择得好,迭代反演收敛得就快,反之迭代反演的速度就慢,甚至结果会发散。

## 2.6 约束条件不准确

对于反问题的求解,目前已经发展了模拟退火、遗传算法、共轭梯度、蒙特卡罗等算法。无论那种方法,对于含噪声的褶积模式,没有约束条件的限制,都会得到多个极值点,难以计算出正确的结果。而约束条件怎样建立和应用,同样存在很多问题。约束条件放得宽,反演的多解性就强,运算速度还慢。约束条件限制的范围小,反演结果又过分依赖约束条件。一般来说,距井点越近,约束条件构建得越可靠,反演结果也较准确。距井点越远,约束条件构建也越不准确,反演结果的可信度也越低。

## 2.7 振幅、频率不保真

地震道反演的成败,主要依赖于地震资料处理过程中频率和振幅的保真程度。地震资料采集和处理的许多环节,都可能造成地震资料频率和振幅的损失。比如采集时的检波器耦合、组合检波,处理时的静校正、动校正、去噪、叠加、DMO、偏移等环节,目前还很难做到频率和振幅的保真处理。但是,保真处理是确保反演正确可靠的首要因素。

此外,还有一些反演方法,不采用褶积模型,仅仅利用地震道的相似性从井点外推测井曲线,或采用地震属性信息、解释层位约束等地震信息控制,来进行测井曲线的内插外推。这些方法可以较常规地震反演获得更高的分辨率,但从某种意义上说,这是一种地质上的小层对比或油藏剖面的制作<sup>[7]</sup>,是一种猜测、一种艺术创作,而不是具有可靠物理意义的地震反演。这种测井曲线的内插外推,在储集层较厚和岩性横向变化不大时,与实际结果相符较好。而在储集层为薄互层和复杂构造情况下,很难获得好的结果。这种测井曲线的内插外推,同样在远离井点处可靠性很差。在有多口井控制的情况下,每口井控制多大范围,两井控制范围的衔接处,如何拼接等,都存在着多种不确定性因素。因此,这种内插外推的可靠性是难以预料的。

从频率域来看,将地震道转换为波阻抗的过程,是将有限频带的地震道信息拓宽的过程。因为只有单位脉冲函数具有无限的频宽,只有单位脉冲函数才具有最高的分辨率。在对地震信号拓宽的

过程中,有限频带以外拓宽的低频和低频信息,都具有非唯一性,因此造成反演后波阻抗的多解性<sup>[1,8]</sup>。当然,造成反演多解性的原因还包括:处理中没有去除干净的干扰或噪声;岩性本身的多解性<sup>[9]</sup>。

当然,不同的地震反演方法可以得到不同的反演结果。同一地震反演方法或软件,不同的人员使用或处理时选择不同的参数,也会导致不同的反演结果。这些问题也会导致反演结果中的陷井或假象,造成解释人员对波阻抗和岩性判断的错误。

因此,要做好常规的波阻抗反演,需要在改进上述的影响因素中下功夫。这里一方面需要在采集和处理中,对振幅和频率信息尽可能保真。另一方面,还需要从子波提取、反褶积、低频分量求取、约束条件、井资料的校正和深时转换及反演的算法、计算速度等方面加以改进。

### 3 新进展——弹性阻抗反演

前面我们看到,常规的波阻抗反演方法,其反射系数建立在地震波垂直入射假设的基础上。在共中心点道集的炮检距变化范围较小时,地震波近乎垂直入射于反射界面,应用这种常规的地震道反演方法能够取得比较好的地质效果。但是,实际的叠后地震资料,并非自激自收的地震记录,而是共反射点道集反射振幅叠加平均的结果,共反射点地震资料又存在振幅随炮检距的变化,即 AVO 问题。尤其在炮检距变化范围较大时,垂直入射假设的反

射系数就与实际叠加道集的反射系数有很大不同,不能反映真实的叠加振幅信息。比如,目前的海底多波多分量地震勘探、山地地震勘探与盐下地震勘探,都是采用较大炮检距方式进行的。在这种情况下,反射波振幅随炮检距变化的问题非常突出,垂直入射假设的理论不成立。而且随炮检距的变化,子波的频率和相位也在变化,水平叠加会导致这些信息的丢失。仍然使用常规的地震道反演方法,就会导致错误的反演结果,得到错误的解释结论。

#### 3.1 弹性阻抗正反演

BP Amoco 公司的 Patrick Connolly<sup>[10]</sup>,率先将纵波反射系数随炮检距变化的思想引入叠后地震资料的正、反演问题中,提出了弹性阻抗 (elastic impedance) 的概念,用于解决地震波非垂直入射条件下纵波的正、反演问题。

在反射界面上下岩层的纵、横波速度和密度差异不大的情况下,Patrick Connolly<sup>[10]</sup> 定义弹性阻抗为

$$EI = \rho^{1-4K\sin^2\theta} V_p^{1+\tan^2\theta} V_s^{-8K\sin^2\theta} \quad (6)$$

式中  $V_p$  为纵波速度;  $V_s$  为横波速度;  $\rho$  为密度;  $K = [(V_{s_{i+1}}/V_{p_{i+1}})^2 + (V_{s_i}/V_{p_i})^2]/2$  为常数;  $i$  为岩层序号;  $\theta$  为  $P$  波入射角度,在此  $\theta = \Theta$  为常数,即  $\theta$  角度对任一反射界面均相同。

当地震波垂直入射到界面时,入射角  $\theta = 0^\circ$ , 弹性阻抗  $EI$  蜕化为波阻抗。已知弹性阻抗  $EI$ , 可以写出第  $i$  个界面  $P$  波反射系数公式

$$\begin{aligned} R_{ppi}(\theta) &= \frac{EI_{i+1} - EI_i}{EI_{i+1} + EI_i} = \frac{\rho_{i+1}^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_{i+1}}^{1+\tan^2\theta} V_{s_{i+1}}^{-8K\sin^2\theta} - \rho_i^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_i}^{1+\tan^2\theta} V_{s_i}^{-8K\sin^2\theta}}{\rho_{i+1}^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_{i+1}}^{1+\tan^2\theta} V_{s_{i+1}}^{-8K\sin^2\theta} + \rho_i^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_i}^{1+\tan^2\theta} V_{s_i}^{-8K\sin^2\theta}} \\ &\approx \frac{1}{2} \ln \frac{EI_{i+1}}{EI_i} = \frac{1}{2} \ln \frac{\rho_{i+1}^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_{i+1}}^{1+\tan^2\theta} V_{s_{i+1}}^{-8K\sin^2\theta}}{\rho_i^{1-4K\sin^2\theta} V_{p_i}^{1+\tan^2\theta} V_{s_i}^{-8K\sin^2\theta}} \end{aligned} \quad (7)$$

这个公式同垂直入射假设的反射系数公式(2)形式相同,但意义不同。首先,弹性阻抗不仅仅包含纵波信息,还包含了横波速度,即包含了全波信息。这有利于对流体的识别和有利于储层物性参数预测精度的提高;其次,公式(7)求取的反射系数序列,考虑了反射系数随炮检距或入射角度的变化,较垂直入射假设的反射系数更加符合实际;第三,公式(7)同公式(2)一样是递推公式,因此,建立于垂直入射假设基础上的所有正、反演方法,都适合于公式(7)。

弹性阻抗 ( $EI$ ) 目前已被 Jason 公司纳入其软件平台中<sup>[11]</sup>。该项技术已经成为储层横向预测技术中的新亮点<sup>[12~16]</sup>。

#### 3.2 广义弹性阻抗的正反演

运用弹性阻抗  $EI$ , 进行正反演计算时,要求整个剖面的纵、横波速度比平方的平均值  $K$  必须为常数,限制  $P$  波的入射角  $\theta$  必须是常数。反演所使用的地震资料必须是共角度的 AVA 拟合叠加剖面,不适合目前广为采用的、高信噪比的共中心点道集叠加地震剖面。笔者改进了 Patrick Connolly

的方法,提出了广义弹性阻抗 (generalized elastic impedance) 的概念,使这种方法能够适合于常规叠后地震资料正反演的要求。新的广义弹性阻抗 ( $GEI$ ) 定义为

$$GEI_i = \frac{\rho_i V_{P_i}}{\cos \theta_i} \cos^8 \varphi_i = \frac{\rho_i V_{P_i}}{\cos \theta_i} \left(1 - \frac{V_{S_i}^2}{V_{P_i}^2} \sin^2 \theta_i\right)^4$$

$$= \frac{\rho_i V_{P_i}}{\cos \theta_i} \left(1 - \frac{1-2\sigma}{2(1-\sigma)} \sin^2 \theta_i\right)^4 \quad (8)$$

式中  $\Phi$  为  $P-SV$  波反射角,  $\sigma$  为泊松比。

将广义弹性阻抗  $GEI$  写成反射系数的递推形式

$$R_{ppi}(\theta) = \frac{\frac{\rho_{i+1} V_{P_{i+1}}}{\cos \theta_{i+1}} \cos^8 \varphi_{i+1} - \frac{\rho_i V_{P_i}}{\cos \theta_i} \cos^8 \varphi_i}{\frac{\rho_{i+1} V_{P_{i+1}}}{\cos \theta_{i+1}} \cos^8 \varphi_{i+1} + \frac{\rho_i V_{P_i}}{\cos \theta_i} \cos^8 \varphi_i}$$

$$= \frac{GEI_{i+1} - GEI_i}{GEI_{i+1} + GEI_i} \quad (9)$$

当  $P$  波入射角度  $\theta = 0^\circ$  时, 广义弹性阻抗  $GEI_i$  就蜕化为波阻抗, 公式(9)就成为垂直入射条件下的反射系数公式, 所有基于垂直入射假设的理论方法都适合于公式(9)。不难看出, 利用公式(9)计算的人工合成地震记录, 可以更好地与地震道匹配, 可以提取更加准确的井旁道子波, 还可用于解释常规波阻抗反演中的一些假象。

为使叠后地震资料保留 AVO 特性和适合广义弹性阻抗正、反演的要求, 需要选择 CDP 道集内, 振幅随炮检距或角度线性变化的部分进行动校叠加, 形成多个具有 AVO 特性的炮检距或角度剖面。这种部分叠加方法, 还可以有效降低 CDP 道集内地震子波随炮检距变化的问题。如果对三维地震资料进行方位的叠加, 还会得到与裂隙等各向异性有关的信息。

目前在实际生产中, 不少的储集层与盖层的纵波速度差异较小, 使用常规的波阻抗反演, 无法反映储层与盖层的岩性差异。不少学者采用电阻率、自然电位等曲线来构建新的纵波速度曲线, 这种采用电性曲线代替弹性曲线的方法并没有可靠的物理基础。从国外的很多实例来看, 往往这种情况下, 上下岩层的横波速度有较大的差异, 此时利用广义弹性阻抗的反演, 就可以得到可靠的结论。这也说明了, 弹性阻抗反演较常规纵波反演具有更广泛的适用性。

### 3.3 纵波与转换波 ( $P-SV$ ) 弹性阻抗联合反演

尽管  $EI$  与  $GEI$  方法的提取, 较常规的波阻抗

反演有了很大的进展。但是, 由于沿用常规波阻抗反演的基本方法, 波阻抗反演所存在的问题, 一样存在于  $EI$  与  $GEI$  反演中。比如, 叠前处理的噪声问题、测井资料的环境校正和深时转换、低频分量的构建问题、多井条件下的约束问题等。 $EI$  与  $GEI$  的反演, 同样是拓宽地震信号的频带问题, 同样存在非唯一性。

随着多波多分量地震勘探技术的开展, 转换波 ( $P-SV$ ) 的速度反演又成为新的技术热点。因为, 早期使用的利用纵波与转换波层间旅行时之比, 来确定纵横波速度比的方法, 不能反映层间岩性变化的细节<sup>[17]</sup>。而直接反演转换波的速度, 目前还存在很多困难。利用弹性阻抗的思想, 进行隐式的转换波弹性阻抗反演, 是转换波反演的发展方向。挪威 Statoil 公司的 Martin Landro 等<sup>[18, 19]</sup>, 对  $P-SV$  转换波问题也提出了横波弹性阻抗 ( $SEI$ ) 的概念, 用于解决转换波的层位标定和岩性反演问题。但是这个方法目前还很不完善。

更先进的反演方法, 应当是向纵波与转换波 ( $P-SV$ ) 弹性阻抗联合反演的方向发展。通过联合反演, 两种资料互相对比标定, 互相印证, 可以准确确定弹性阻抗中的纵横波速度、泊松比等参数, 有效降低单纯纵波弹性阻抗反演的非唯一性, 提高储集层岩石物性参数预测的精度, 特别是在远离井点处物性参数预测的精度。比如我们可以使用  $P$  波与  $P-SV$  波的层间旅行时, 来约束远离井点纵横波速度的变化等。

利用联合反演获得的纵横波速度信息, 可以帮助确定储集层的流体饱和度及渗透特性等常规波阻抗反演不能得到的参数, 为油气田勘探开发提供准确的储集层物性参数。由于横波速度对流体、气体不敏感, 在四维地震观测中具有较好的重复性或一致性, 因此纵、横波弹性阻抗联合反演也将是 4D/3C 或 4D/4C 纵、横波岩性反演技术的基础。

### 参 考 文 献

- 1 李庆忠. 走向精确勘探的道路——高分辨率地震勘探系统工程剖析[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994. 5, 154~177
- 2 Latimer R B, Davison R, van Riel P. An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data[J]. The Leading Edge, 2000, 19(3): 242~256
- 3 Lindseth R O. Synthetic sonic logs - a process for stratigraphic interpretation[J]. Geophysics, 1978, 44(1): 3~26
- 4 Russell B H, Hampson D P. A comparison of post-stack seismic

- inversion [ R ]. 61<sup>th</sup> SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 1991. 876~ 878
- 5 Cooke D A, Schneider W A. Generalized linear inversion of reflection seismic data[ J ]. *Geophysics*, 1983, 48( 6 ): 665~ 676
  - 6 杨文采. 地震道的非线性混沌反演—I, 理论和数值试验[ J ]. *地球物理学报*, 1993, 36( 3 ): 376~ 386
  - 7 李庆忠. 符合小层对比原则的砂层内插技术[ J ]. *石油物探*, 1989, 28( 1 ): 12~ 21
  - 8 马劲风, 王学军, 钟俊, 等. 测井资料约束的波阻抗反演中的多解性问题[ J ]. *石油与天然气地质*, 1999, 20( 1 ): 7~ 10
  - 9 刘雯林. 油气田开发地震技术[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1996
  - 10 Connolly P. Elastic impedance[ J ]. *The Leading Edge*, 1999, 18( 4 ): 438~ 452
  - 11 Hanna R W. Virgil kauffman award for Patrick Connolly[ J ]. *The Leading Edge*, 2001, 20( 11 ): 1 926~ 1 301
  - 12 Whitcombe D N, Connolly P A, Reagan R L, et al. Extended elastic impedance for fluid and lithology prediction [ R ]. 70<sup>th</sup> SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2000
  - 13 Savic M, Masters R, Sena A, et al. Elastic impedance inversion in practice[ R ]. 70<sup>th</sup> SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2000
  - 14 Cambos G. AVO and elastic impedance[ R ]. 70<sup>th</sup> SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2000, AVO 2. 4
  - 15 Mukerji T, Jorstad A, Avseth P, et al. Mapping lithofacies and pore-fluid probabilities in a North Sea reservoir seismic inversions and statistical rock physics[ J ]. *Geophysics*, 2001, 66( 4 ): 988~ 1 001
  - 16 Hilterman F J, van Schuyver C, Sbar M. AVO examples of long-offset 2-D data in the Gulf of Mexico[ J ]. *The Leading Edge*, 2000, 19( 11 ): 1 200~ 1 213
  - 17 马劲风, 贾春环, 李庆春, 等. 转换波人工合成地震记录与速度反演方法研究[ J ]. *石油地球物理勘探*, 1999, 34( 5 ): 509~ 519
  - 18 Rogno H, Kristensen A, Amundsen L. The staffjord 3-D, 4C OBC survey[ J ]. *The Leading Edge*, 1999, 18( 11 ): 1 300~ 1 305
  - 19 Landro M, Duffaut K, Rogno H. Well calibration of seabed seismic data [ R ]. 69<sup>th</sup> SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, 1999, SAVOMC6

## PROBLEMS AND PROGRESS IN SEISMIC TRACE INVERSION

Ma Jinfeng<sup>1</sup> Xu Shenghui<sup>2</sup> Wang Guishui<sup>1</sup> Gao Le<sup>1</sup>

(1. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi;*

2. *Geological and Geophysical Institute, the Chinese Academy of Sciences, Beijing*)

**Abstract:** Routine post-stack seismic trace inversion techniques are affected by many factors. It is difficult to gain satisfied results in practice. Possible reasons of causing wrong inversion results and interpretation pitfalls were analyzed in terms of main technique details of seismic trace inversion, chiefly concentrating on the aspects of noise, assumed conditions,  $w(t)$  extraction, transition of time and depth, low frequency component and restrained conditions etc. The concept of Elastic Impedance put forward by Patric Connolly has improved the reflectivity of normal incidence assumption which combines AVO problems and seismic trace inversion method in a skillful way so as to promote the seismic trace inversion method. Moreover, a model of Generalized Elastic Impedance established on this base suiting the routine post-stack, non-zero offset seismic data was put forward by us. Generalized Elastic Impedance which does not only include acoustic impedance but also include lithologic information of P and S-wave velocity. More accurate P and S-wave velocity and fluid, saturation, penetration information can be got by making a further study on joint P-wave and P-SV elastic impedance inversion. This is the new trend for seismic trace inversion.

**Key words:** acoustic impedance; pitfall; seismic trace inversion; elastic impedance; recursive formula