

· 综合研究 ·

复杂介质的折射波射线追踪

徐 涛 徐果明 高尔根

蒋先艺

(中国科学技术大学地球和空间科学学院)

(东方地球物理公司研究院研发中心)

摘 要

徐涛, 徐果明, 高尔根, 蒋先艺 复杂介质的折射波射线追踪 石油地球物理勘探, 2004, 39(6): 690~ 693

本文由二维层状介质模型出发论述了折射波逐段迭代射线追踪的原理, 由于连接炮点和接收点之间的初始射线路径满足费马原理, 因此其上任意连续三点之间的射线路径也满足费马原理。据此即可分别推导出透射中间点和折射点的一阶修正公式, 进行折射射线逐段迭代计算求出整条射线路径。将此原理推广到二维块状介质模型, 用于解决复杂介质中的折射波射线追踪, 推导出任意界面上折射点的一阶显式增量修正公式, 避免了高次多元方程的求解, 具有计算速度快, 能够适用任意界面的特点。文中还指出了在块状介质模型中用逐段迭代法进行射线追踪较在层状介质中难度大的原因在于射线路径点的增、删。实例试算表明, 文中所述方法是一种有效的折射波射线追踪方法。

关键词 块状模型 射线追踪 折射波 逐段迭代

引 言

在地震勘探领域, 地震波射线追踪是一种重要的正演方法, 在层位标定、层析成像、地震数据偏移处理中起着重要作用。静校正则是地震数据处理的基础, 较常用的方法是反射波剩余静校正法^[1], 但对于介质复杂、地表起伏很大的地区, 该方法难以达到要求, 因此研究折射波射线追踪具有重要意义。实践证明, 折射波静校正法可以取得较好的效果^[2, 3]。

随着地震勘探的深入开展, 研究的地下介质越来越复杂, 常用的网格化和层状化描述方法已不适应: 前者因网格化数据量巨大, 对内存和计算速度要求很高^[8], 难以满足野外勘探快速处理的需要; 后者基于传统的层状结构在描述复杂介质及射线追踪时存在很大困难(如逆断层模型在进行射线追踪时需要增加“虚面”), 在描述更复杂的模型时流程更加繁琐^[6, 10]。文献[13]、文献[14]中提出了块状结构模型的概念, 并描述了尖灭、蘑菇云等较复杂的三维地质模型。文献[6]、文献[9]、文献[10]中提出了二维和三维块状结构的描述方法, 从根本上改变了层状地层不能适应复杂介质的局面。在块状结构模型中, 地

质体不再被看成是由“一层一层”的地层组成, 而是由“一块一块”的地质块组成, 每个地质块是均匀的(具有相应的形状、大小、密度、地震波速等), 并与其他地质块相邻, 不同的地质块尺寸可以不同, 且不受形状的限制。根据实际地质条件的需要, 结构变化较小的空间采用较大、较少的块来描述, 结构变化较大的空间则采用较小、较多的块来描述。而目前普遍使用的空间网格化描述中的网格尺寸基本相同。

对于反射波、透射波的射线追踪, 文献[4]提出了一种快速的二维速度随机分布逐步迭代射线追踪方法, 文献[5]和文献[7]分别提出了任意界面下的逐段迭代、整体迭代射线追踪方法, 文献[9]将逐段迭代方法用于三维块状模型的射线追踪中。上述二维、三维块状模型射线追踪根据同一条射线路径满足相同的射线参数原理, 从任意一个端点出发, 依次选取连续的两段路径, 通过导出的中间点迭代修正公式求取新的中间点, 并代替原来的点, 然后以一个点的跨越为步长, 按顺序逐段迭代, 直至另一端点为止。由于修正公式只包含加、减、乘、除运算, 因而计算速度极快, 极大地提高了射线追踪的效率。

本文基于射线走时的费马原理, 用逐段迭代方法求出折射波射线路径, 并对任意的折射面导出了

本文于 2004 年 1 月 20 日收到, 修改稿于 2004 年 9 月 23 日收到。



折射点的一阶修正公式。

方法原理

折射波逐段迭代射线追踪原理

图 1 为二维层状介质的逐段迭代射线追踪示意图, 首先给出连接炮点 S 和接收点 R 之间的初始折射射线路径 $SP_1P_2\dots P_nQ_n\dots Q_2Q_1R$ 。由于整条射线路径满足费马原理, 因此任意连续三点也将满足费马原理。根据费马原理, 可以分别导出透射中间点和折射点的一阶修正公式, 然后可以从任一端点(源点或接收点)出发, 连续地选取三点 (T_{m-1}, T_m, T_{m+1}) , 通过得到的一阶修正公式进行逐段迭代求取中间点 (T_m) , 再利用新求出的点代替原来的点, 再以一点的跨越作为步长, 按顺序逐段迭代, 直到另一端点为止。这样, 新计算出的中间点和两个端点就构成了一次迭代射线路径(图 1 中 $SP_1P_2\dots P_nQ_n\dots Q_2Q_1R$)。如果整条射线路径中校正量的某种范数之和满足给定的精度要求, 则认为射线追踪过程结束, 否则从追踪出的射线路径开始, 继续重复上述过程, 直到满足精度要求为止。最后一次追踪到的中间点和两个端点, 就构成了整条射线路径。

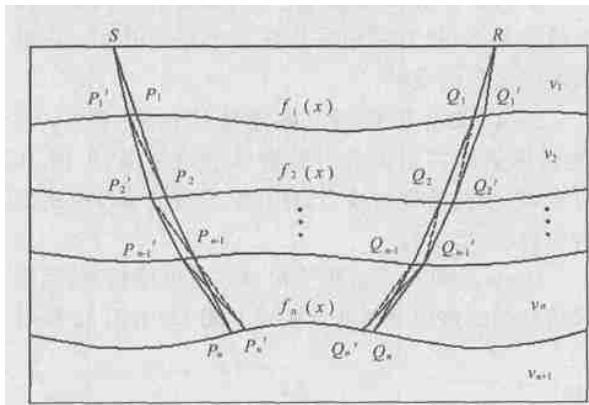


图 1 折射波迭代射线追踪示意图

v_1, v_2, \dots, v_n 分别为每层的速度; $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ 分别为每层之间任意的光滑连续界面函数; S 为炮点, R 为接收点; $SP_1P_2\dots P_nQ_n\dots Q_2Q_1R$ 为初始折射射线路径, $SP_1P_2\dots P_nQ_n\dots Q_2Q_1R$ 为一次迭代射线路径

初始迭代路径的选取可以是任意的, 也可以结合试射法来选取。由于问题的非线性化, 迭代收敛的结果可能是次极小, 因此选择合适的迭代初始路径非常关键。试射法选取初始迭代路径的过程为: 从炮点出发, 以一定间隔的角度发射一束射线, 遇到指定的折射面, 产生一束折射射线(并非每一条试射线

都能产生折射射线)。如果接收点和相邻折射射线的出射点距离小于精度要求, 则该射线路径即为追踪的折射路径; 否则, 找出最近的折射射线路径, 直接将出射点坐标设置为接收点的坐标, 并作为迭代的初始路径, 通过迭代追踪得到的射线路径大部分即为最小走时路径。试验表明, 射线路径越接近真实路径, 迭代收敛的速度就越快。

折射迭代修正公式的推导

首先讨论折射射线从左向右, 且折射波为下行的情况(图 2)。对于折射射线的连续三点, 射线路径段 $P_1P_2Q_2$ 的走时为

$$t = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2} \tag{1}$$

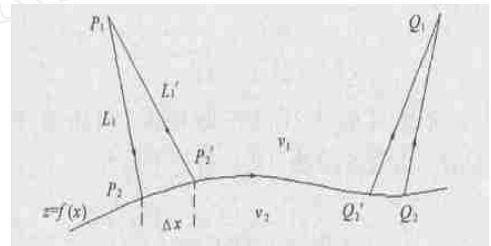


图 2 折射点迭代修正示意图

$P_1P_2Q_2$ 为折射射线路径, $P_1(x_1, z_1)$ 为入射射线起始路径点, $P_2(x_2, f(x_2))$ 为界面上的初始折射点, $Q_2(x_Q, z_Q)$ 为折射界面上的一点; $z = f(x)$ 为界面函数, $P_2(x_2, f(x_2))$ 为新的折射点; Δx 为校正量; 前、后路径段所在块的速度分别为 v_1 和 v_2

其中路径长度

$$L_1 = \overline{P_1P_2} = [(x_2 - x_1)^2 + (f(x_2) - z_1)^2]^{1/2}$$

$$L_2 = \overline{P_2Q_2} = \int_{x_2}^{x_Q} [1 + (f'(x))^2]^{1/2} dx$$

由于射线路径满足费马原理, 故有

$$\frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x_2} = \frac{x_2 - x_1 + (f(x_2) - z_1)f'(x_2)}{v_1 L_1} - \frac{[1 + (f'(x_2))^2]^{1/2}}{v_2} \Big|_{x_2} = 0 \tag{2}$$

$P_2(x_2, f(x_2))$ 点为最终的临界入射点, 并有

$$x_2 = x_2 + \Delta x$$

关系式成立。将式(2)在 x_2 点进行泰勒展开, 当增量 Δx 值与路径段长度 $\overline{P_1P_2}$ 和 $\overline{P_2Q_2}$ 相比较小时, 仅保留一阶小量, 则有

$$\begin{cases} f(x_2) = f(x_2 + \Delta x) = f(x_2) + f'(x_2)\Delta x \\ f'(x_2) = f'(x_2 + \Delta x) = f'(x_2) + f''(x_2)\Delta x \\ L_1(x_2) = L_1(x_2 + \Delta x) = L_1(x_2) + \frac{\partial L_1}{\partial x} \Big|_{x_2} \Delta x \end{cases} \tag{3}$$

$$= L_1 + \frac{x_2 - x_1 + (z_2 - z_1)f'(x_2)}{L_1} \Delta x$$

将式(3)代入式(2), 仅保留一阶小量, 最终得到

$$\Delta x = \frac{v_1 l_1 e_1 - c_1 v_2}{v_2 d_1 - v_1 (p_1 e_1 + l_1 f / e_1)} \quad (4)$$

式中

$$c_1 = a_1 + b_1 f(x_2)$$

$$d_1 = 1 + (f(x_2))^2 + b_1 f(x_2)$$

$$e_1 = (1 + (f(x_2))^2)^{1/2}$$

$$l_1 = (a_1^2 + b_1^2)^{1/2}$$

$$p_1 = \frac{c_1}{l_1}$$

$$f = f(x_2)$$

$$f = f(x_2)$$

而

$$a_1 = x_2 - x_1$$

$$b_1 = f(x_2) - z_1$$

对于折射射线从右向左的情况(如图 2 中的 $Q_1 Q_2 P_2$), 由同样方法可得一阶修正量为

$$\Delta x = \frac{-v_1 l_1 e_1 - c_1 v_2}{v_2 d_1 + v_1 (p_1 e_1 + l_1 f / e_1)} \quad (5)$$

式(5)中各物理量的定义与式(4)相同。若折射波为上行波, 即 P_1 和 Q_1 在折射面的下面, 则从左向右和从右向左的迭代修正公式形式同式(4)、式(5)。式(4)、式(5)均为一阶显式增量形式, 避免了高次多元方程的求解, 具有计算速度快, 能够适用任意界面的特点。以上基本原理可以直接推广到三维情况。

迭代过程中射线路径点的增、删

在块状介质模型中, 用逐段迭代法进行射线追踪时, 射线路径点的数目可能会增加或减少^[6](图 3), 如射线路径段 $P_0 P_1 P_2$ 经过一次迭代修正后变为 $P_0 P_0' P_1 P_2$, 增加了一个路径点。由于每个路径点所在边的两边为不同的面元, 且相邻路径点的两边存在公共面元(如点 P_0 和 P_1 存在于公共面元 0 中), 故当 P_1 点(属于边 $Edge_0$)经修正变为 P_1' (属于边 $Edge_1$), 由于点 P_0 和 P_1 没有公共面元, 因此点 P_0 和 P_1 之间增加了路径点。连接 P_0 和 P_1 得到和 $Edge_2$ 的交点 P_0' , 由于 P_0 和 P_0' 、 P_1 均存在公共面元(面元 0 和 1), 因此不需要再增加路径点, 而 P_1 和 P_2 有公共面元(面元 2), 故也不需要增加路径点。当然, 对于更复杂的情况需要进一步的考虑。例如, 面元 2 中存在一个透镜体(图 3 中的面元 3), 所以还要考虑以下约束条件: 点 P_1 和 P_2 的连线是否和面元 2 中的其他边相交(面元 3 中的边同时也属于面元 2), 如相

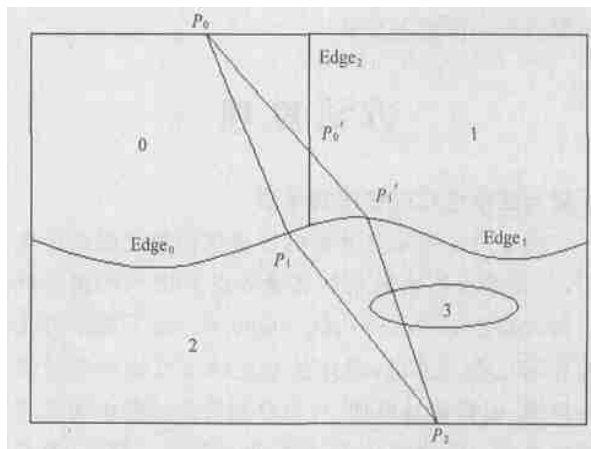


图 3 迭代过程中路径点的增、删示意图
路径段 $P_0 P_1 P_2$ 迭代时修正为 $P_0 P_0' P_1 P_2$

交, 就要考虑再增加新的路径点; 否则不需要增加新的路径点。减点过程(路径段 $P_0 P_0' P_1 P_2$ 变为 $P_0 P_1 P_2$)与增点过程类似, 不再赘述。

由于层状介质在射线追踪时路径点数目不变, 因此不会发生增、删点情况。这也是块状模型射线追踪比层状模型复杂得多的主要原因。

折射波射线追踪实例

本文基于块状模型进行了折射波射线追踪实例数值计算, 以检验文中方法在复杂介质中进行折射波射线追踪的效果。

图 4a 为尖灭模型及其速度结构图, 图 4b 为图 4a 模型的共炮点折射波射线追踪结果, 由图 4b 可见, 对于两条折射线, 均存在部分检波器没有折射射线(处在影区)。

图 5a 为复杂组合模型以及其速度结构图, 用层状结构描述该模型将非常困难。图 5b 为图 5a 模型

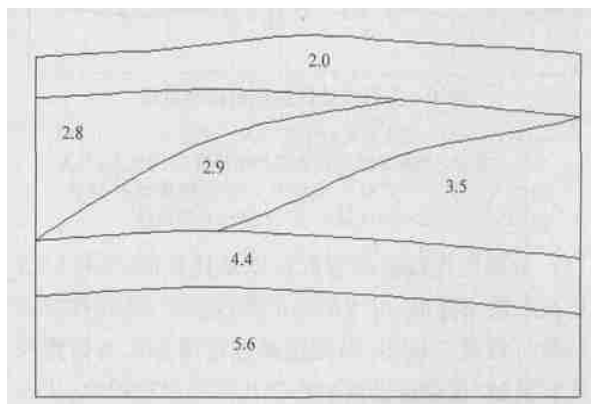


图 4a 尖灭模型及其速度结构(数值单位: km/s)
模型尺寸为 800m × 600m, 由 6 个面元, 36 个点构成

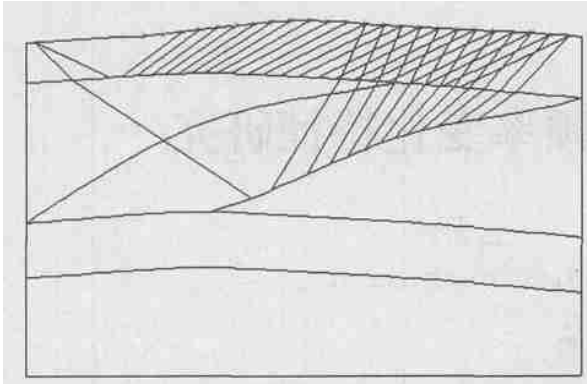


图 4b 图 4a 模型共炮点折射波射线追踪结果

24 个检波器放置在起伏地表(图中用叉号表示), 第一层底部和第二个尖灭层的底部定义为折射线, 射线追踪的精度为 0.1m

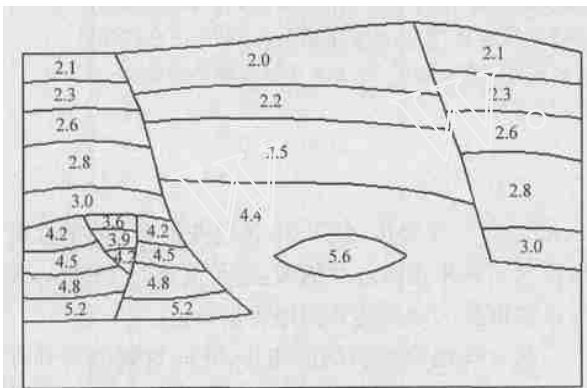


图 5a 复杂组合模型及其速度结构(数值单位: km/s)

组合模型包含正断层、逆断层、侵入体和透镜体等, 模型尺寸为 800m × 600m, 由 26 个面元、90 个点构成

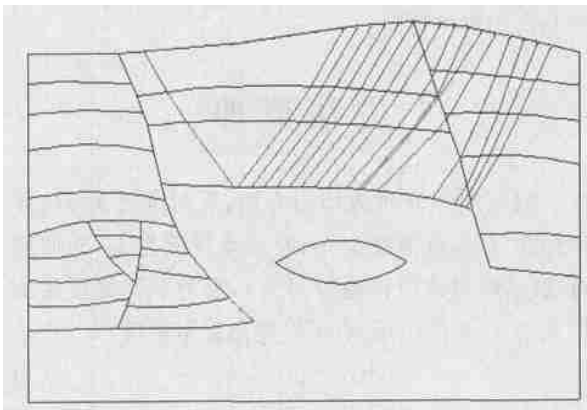


图 5b 图 5a 模型共炮点折射波射线追踪结果

24 个检波器放置在起伏地表, 第三个断层面定义为折射线, 射线追踪精度为 0.1m

的共炮点折射波射线追踪结果。由图 5b 可见, 部分检波器处在影区内, 没有折射射线, 尽管模型中的侵入体和透镜体部分没有折射射线透过, 但是该部分

也参与了折射追踪的计算。

上述数值试算结果表明, 逐段迭代方法是复杂介质进行折射追踪的有效方法。

结 论

在二维块状模型的基础上, 本文提出的针对任意界面的折射波逐段迭代射线追踪法基本思想明确, 增量以显式给出, 避免了高次多元方程的求解, 具有计算速度快、追踪精度高的特点; 结合透射点的迭代修正公式, 适用于复杂介质的折射波射线追踪。实例试算表明, 文中方法是一种有效的折射波射线追踪方法。

参 考 文 献

- [1] Musgrave A W. *Seismic Refraction Prospecting*. New York: Soc Expl Geophys, 1967
- [2] Marsden Dave. Static corrections — a review, part I, part II, part III *The Leading Edge*, 1993, 12 (1, 2, 3): 43~ 49, 115~ 120, 210~ 216
- [3] Taner M T et al. A unified method for 2-D and 3-D refraction statics *Geophysics*, 1998, 63: 260~ 274
- [4] 高尔根等. 二维速度随机分布逐步迭代射线追踪方法 *地球物理学报*, 1996, 39(增刊): 302~ 307
- [5] 高尔根等. 一种任意界面的逐段迭代射线追踪方法 *石油地球物理勘探*, 1998, 33(1): 54~ 60
- [6] 徐果明等. 二维复杂介质的块状建模及射线追踪 *石油地球物理勘探*, 2001, 36(2): 213~ 219
- [7] 高尔根等. 任意界面下的整体迭代射线追踪方法研究 *声学学报*, 2002, 27(3): 282~ 287
- [8] 李迎春等. 地下介质三维模型中界面的描述方法 *地球物理学进展*, 2002, 17(3): 445~ 450
- [9] Xu T et al. Block modeling and segmentally-iterative ray tracing in complex 3-D heterogeneous media *Geophysics* (in press)
- [10] 杨文采等. *应用地震层析成像* 北京: 地质出版社, 1993
- [11] 朱介寿等. *地震学中的计算方法* 北京: 地震出版社, 1988, 603~ 630
- [12] Gjøystdal H et al. Computer representation of complex 3-D geological structures using a new "solid modeling" technique *Geophys Prospect*, 1985, 33: 1195~ 1211
- [13] Pereyra V. Two-point ray tracing in general 3-D media *Geophys Prospect*, 1992, 40: 267~ 287

(本文编辑: 刘勇)

in the paper and difference and link with sequence-stratigraphy are also discussed. On that basis, the paper systematically discussed the applied mechanism of seismic analysis of reservoir evolution and practical applied results.

Key words: sedimentary evolution seismic exploration, lithologic seismic exploration, sequence-stratigraphy

Ling Yun Research Group, BGP, CNPC, Zhuozhou City, Hebei Province, 072751, China

Wavefield characters of 2-D elastic random medium. Xi Xian and Yao Yao 2004, 39 (6): 679~685

Through the staggered-grid finite-difference forward modeling of wave equation, the paper modeled the propagation of seismic wave in 2-D elastic random medium and self-excited and self-received time-records; comparison of acoustic wave with elastic wave is made in layered random medium model, which showed that both have big difference. In order to study the wavefield characters in 2-D elastic random medium model, we divided the theoretical records into three different time segments and computed three statistical characteristic values of section separately in three different time segments: laterally central frequency, vertically central frequency and relative value of wavefield energy. Then, corresponding to each elastic random medium model, 9 different wavefield-characterized values are obtained by computation. Finally, through studying the changed characters corresponding to characteristic values of wavefield when medium models are changed; the conclusion that closely related the model characters (self-correlation length and roughness of random medium etc.) to wavefield characters (disturbed frequency and energy of recorded section etc.): the statistic characteristic values of wavefield strongly rely on statistic characters of medium, such as correlation length and roughness etc.; the seismic records corresponding to random medium models are characterized by complex wavefield such as scattered wave and seismic wave tail.

Key words: random medium model, elastic wavefield modeling, wavefield character, statistic characteristic value

Xi Xian, Department of Math, Central China Science and Technology University, Wuhan City, Hubei Province, 430074, China

Smear-eliminated technique of image used for fault detection. Lu Wen-kai, Zhang Shan-wen and Xiao Huan-qin. OGP, 2004, 39 (6): 686~ 689, 696

3D post-migration seismic data volume provid-

ed a great number of information for seismic interpretation. Because of influence of aperture of migration operator, the image of 3-D seismic data volume in space is smeared after migration, which is unfavorable for detecting the faults. Therefore, the paper presented using smear-eliminated technique of image to enhance fault information of 3D seismic data volume. The nature of the method is to take observed image as convolution of true image with expansion function at a point, and the smear-eliminated technique of image is to eliminate the influence of expansion function at the point by multi-dimension deconvolution, then adding coherent analysis resulted in high-resolution image. The method is of benefit for fault detection.

Key words: fault detection, smear-eliminated technique of image, coherent analysis

Lu Wen-kai, State Key Lab of Intelligence Technology and System, Department of Automatics, Qinghua University, Beijing City, 100084, China

Refraction ray-tracing in complex medium. Xu Tao, Xu Guo-ming, Gao Er-gen and Jiang Xian-yi OGP, 2004, 39 (6): 690~ 693

Starting from 2-D layered medium model, the paper described the theory of iterative refraction ray-tracing segment by segment: as the primary ray-paths connecting shot-points and receiver points met Fermat's principle, the ray-paths connecting three arbitrary points also met the Fermat's principle. Accordingly, the first-order modified formula for transmitted intermediate points and refracted points is derived and whole ray-path can be computed for refracted ray iteratively segment by segment. The first-order explicit modified increment formula at refracted points of arbitrary interface is derived and the principle is popularized to the 2-D blocky medium model, which is used to solve refraction ray-tracing in complex medium that avoids solve the high-order, multivariate equations and is characteristic of fast computational speed and suitable for arbitrary interface. The paper also pointed out that the reasons having bigger difficulties in blocky medium than in layered medium when using iterative ray-tracing segment by segment are in increasing and deleting the ray-path points. The real case showed that the method in the paper is an effective refraction ray-tracing method.

Key words: blocky model, ray-tracing, refraction, iteration segment by segment

Xu Tao, College of Space Science, China Science and Technology University, Hefei City, Anhui Province, 230026, China

作者介绍

- 裴正林** 副研究员, 1962年生; 1984年毕业于西安地质学院勘探地球物理系, 获学士学位, 2000年获中国地质大学(北京)地球探测与信息技术专业博士学位, 现为石油大学(北京)博士后。发表论文30余篇, 合著专著1部。现在石油大学CNPC物探重点实验室从事井间地震层析成像、地震波传播理论及其数值模拟方法、小波变换应用研究。
- 孙夕平** 博士后, 1976年生; 1998年毕业于石油大学(华东)地球探测与信息技术专业, 获学士学位, 2003年获石油大学(华东)地球探测与信息技术专业博士学位。主要从事复杂地质条件下的地震勘探机理和解释方法研究。现为中石油勘探开发研究院在站博士后。
- 吴爱弟** 教授, 1963年生; 1995年毕业于石油大学(北京)物探专业, 获博士学位。发表论文20余篇, 曾参与完成两项国家自然科学基金项目, 完成一项校级基金项目, 主持过一项天津市高校发展基金项目。现主要从事多小波理论及应用方面的教学与研究工作。
- 张叔伦** 教授, 1941年生; 1964年毕业于大连理工学院应用数学专业, 1987年参与地震数据方法研究, 并获国家进步二等奖, 1991年参与波动方程地震偏移成像理论和应用研究, 获上海市科技进步一等奖, 1993年获中科院应用研究进步二等奖。现在大连理工大学应用数学系从事教学和科研工作。
- 孟宪军** 高级工程师, 1961年生; 1982年毕业于华东石油学院物探专业, 获学士学位, 1994年获应用地球物理专业硕士学位; 主要从事地震波阻抗反演、地震叠前偏移成像和储层描述研究工作; 现在胜利油田有限公司物探研究院工作, 同时为浙江大学在职博士研究生。
- 林伯香** 高级工程师, 1962年生; 1983年毕业于长春地质学院石油地球物理勘探专业; 一直从事地震资料处理方法研究和地震资料处理工作, 发表过多篇论文。现在中石化石油勘探开发研究院南京石油物探研究所从事静校正方法研究工作。
- 赵加凡** 博士, 1973年生; 1997年毕业于石油大学(北京)综合勘探专业, 2001年获该校沉积学专业硕士学位, 现在该校攻读应用地球物理专业博士学位; 主要从事石油地质、应用地球物理方法及信息技术方面的工作。
- 陆文凯** 副教授, 1969年生; 1991年毕业于清华大学自动化系, 获学士学位, 1996年获石油大学地球科学系应用地球物理专业博士学位。共发表论文40多篇。现在清华大学自动化系从事信号处理理论及其在石油勘探开发、无线通信、生物信号处理和语音处理等方面的应用研究。
- 王金铎** 高级工程师, 1967年生; 1990年毕业于长春地质学院地质系, 现在中国海洋大学海洋地球科学学院攻读博士学位。主要从事石油地质综合研究工作, 发表论文10余篇。现为胜利油田有限公司物探研究院副总工程师。
- 奚先** 副教授, 1964年生; 1984年毕业于山东大学数学系, 获学士学位, 1989年获华中师范大学数学系应用概率统计专业硕士学位, 2002年获中国地质大学(武汉)应用地球物理系地球探测与信息技术专业博士学位, 研究方向为地震勘探; 目前在华中科技大学数学系做博士后研究, 研究方向为随机介质和随机波动方程的数学模拟。已发表论文10余篇。
- 徐涛** 博士后, 1977年生; 2004年毕业于中国科技大学地球物理专业, 获博士学位。目前在中国科学院地质与地球物理所从事射线追踪正演研究工作。
- 王延光** 高级工程师, 1963年生; 1983年毕业于华东石油学院物探专业, 获学士学位, 2001年获中国科学院地质与地球物理研究所地质学博士学位。长期从事地球物理方法、地震地质技术研究等工作, 主持承担的多项科研课题获科技进步奖, 并发表多篇论文。现任胜利油田有限公司物探研究院副院长。
- 付雷** 工程师, 1970年生; 1994年毕业于西南石油学院物探专业, 获学士学位, 1999年获长春科技大学地球探测与信息技术专业硕士学位, 现为吉林大学地球探测科学与技术学院博士生, 在大庆物探公司研究所主要从事地震资料处理、解释及三维AVO方法的研究工作。
- 杨光大** 高级工程师, 1956年生; 1982年毕业于长春地质学院地球物理勘探专业, 获学士学位; 现在中国地质大学(北京)攻读物探专业博士学位。现任中国石油集团吉林油田分公司勘探事业部总工程师。
- 赵庆国** 高级工程师, 1965年生; 1988年毕业于同济大学勘查地球物理专业, 获学士学位, 现在石油大学(华东)攻读硕士学位, 先后从事过地震勘探的资料采集、处理和解释工作。
- 曹务祥** 高级工程师, 1955年生; 1982年毕业于华东石油学院物探专业, 获学士学位, 1996年获石油大学物探专业硕士学位。长期从事地震资料处理方法研究和采集方法研究工作。现在东方地球物理公司采集技术支持部进行可控震源方法研究和野外采集技术支持。
- 侯德金** 高级工程师, 1964年生; 1986年毕业于成都地质学院物探专业, 获学士学位, 2000年获中国地质大学(武汉)物探专业硕士学位。现为中石油东方地球物理公司综合物化探部高级工程师, 主要从事大地电磁勘探资料采集、处理与方法研究工作。
- 许建荣** 高级工程师, 1963年生; 1983年毕业于中南大学地球物理专业, 获硕士学位, 2000年获南京大学工商管理硕士学位; 多年从事地球物理勘探方法技术研究工作, 获江苏省先进科技工作者称号, 现为江苏省有色金属华东地质勘查局八一四队大队长。
- 王婧韞** 高级工程师, 1967年生; 1989年毕业于北京邮电学院计算机专业, 获学士学位, 2003年在中国地质大学攻读硕士学位, 现在中原油田勘探开发科学研究院从事油气勘探研究工作。
- 夏竹** 高级工程师, 1964年生; 1984年毕业于安徽理工大学煤田地质与勘探专业, 获学士学位; 1991年获成都理工大学地球科学系硕士学位, 目前正在中国地质大学(北京)攻读地球探测与信息技术专业博士学位。现在东方地球物理公司研究院物研中心从事地震资料高分辨率层序地层学解释方法研究。先后在国内核心期刊上发表学术论文12篇, 合作出版专著2部。
- 王焕弟** 副编审, 1966年生; 1988年毕业于江汉石油学院物探系, 获学士学位, 现为在中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院在读博士, 主要从事隐蔽油气藏勘探方法方面的研究工作。现任石油工业出版社总编室副主任。