文章编号:1000-1441(2010)01-0007-05

盆山结合部近地表速度结构与静校正方法研究

——以西南天山与塔里木盆地结合部为例

侯贺晟[1],高 锐[1],贺日政[1],刘金凯[1,2],鄢少英[1,3],管 烨[1],
蔡勋育[4],James. H. Knapp[5],Francis T. Wu[6]

(1. 中国地质科学院地质研究所岩石圈中心,北京 100037;2. 中国石油化工集团公司华东石油局第六物探大队,江苏南京 210007;3. 中国地震局地球物理勘探中心,河南郑州,450002;4. 中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司,四川成都 610041;5. 南卡罗来纳大学地球与海洋科学学院,美国南卡罗来纳州哥伦比亚 SC 29208;6. 纽约州立大学宾汉姆顿大学,美国纽约州宾汉姆顿 NY 13902)

摘要:盆山结合部位近地表结构复杂,地震资料信噪比低,静校正问题突出。以横穿西南天山与塔里木盆地的某二维地震测线为例,通过分析盆地、盆山结合部和山区的典型单炮记录,确定了一套基于浮动基准面的层析静校正流程——对起伏地表的高程进行平滑,将其作为浮动基准面;在该基准面上应用初至波层析反演方法计算炮、检点静校正量,并应用于数据体上;之后对该数据体进行速度分析和动校正等常规处理,再应用高程法计算浮动基准面到最终基准面的炮、检点静校正量。实际应用效果表明,该方法能较好地解决盆山结合部资料中的中、长波长静校正问题,地震剖面的成像质量得到了明显提高。

关键词:西南天山;塔里木盆地;盆山结合部;近地表结构;初至波;层析反演方法;高程静校正方法;浮动基准面
DOI:10.3969/j.issn.1000-1441.2010.01.002
中图分类号:P631.4 **文献标识码**:A

西南天山与塔里木盆地结合地带备受国际地学界关注[1-4]。天山被认为是塔里木板块与哈萨克斯坦板块汇聚形成的陆内造山带[5],西南天山的现代火山活动与山前频繁发生的地震活动[6],暗示塔里木板块与哈萨克斯坦板块的汇聚可能仍在继续[7],西南天山山前可能隐伏巨大的大陆板块俯冲带[8]。因此,西南天山与塔里木盆地的结合部位是研究陆-陆深部汇聚过程和新生代盆山耦合关系的最佳地区。

盆山结合部的地下构造和近地表结构都很复杂,使得地震资料的采集、处理、解释和成图都遇到不同程度的困难[9]。其中,地震资料处理所面临的三大难题是静校正、噪声衰减和分辨率的提高。静校正的作用是消除地形起伏、地表低速带横向变化对地震波传播的影响,使反射波时距曲线满足动校正的双曲线方程[10]。静校正的精度是影响地震剖面质量的关键。

1 盆山结合部基本情况简介和常规静校正方法测试

1.1 数据采集和近地表结构

2007年夏,中美合作(中国地质科学院地质所和美国南卡罗莱纳大学)在阿图什以西布置了一条穿过塔里木盆地西南缘与天山南缘的地震测线(图1中的红线,简称TT2007线),以揭示盆山结合部地壳的精细结构。该地震测线全长121 km,炮间距250 m,检波点距50 m,分别采用小药量(40 kg)、中药量(80 kg)和大药量(300 kg)深井(井深范围为20~36 m)激发及长排列接收方式进行数据采集,共激发474炮,激发点的最高海拔高程为2 887 m,最低海拔高程为1 228 m。

低、降速带的调查采用小折射方法,工作点距为5 km,共计26个点。由低、降速带调查结果可知,沿地震测线由盆地区进入山区方向,浅层折射面呈不连续分布,低、降速层厚度变化较大。在山地,存在降速层,低、降速层厚度大,一般为20~31 m,高速层速度为2 500~3 600 m/s;在盆地,不存在降速层,低速层厚度为5~9 m,高速层速度在1 600 m/s左右。

收稿日期:2009-05-05;**改回日期**:2009-09-10。
作者简介:侯贺晟(1980—),男,博士,主要从事深地震反射数据处理方法研究工作。
基金项目:科技部国际合作重点项目(2006DFA21340)、国土资源部创新计划地质调查项目(1212010711813)、国家专项深部探测技术实验与集成项目(SinoProbe-02)和中国地质科学院地质所基本科研业务费(J0916)共同资助。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.2 山地、盆地及盆山结合部的炮集特征

TT2007线南部始于塔里木盆地的北缘，海拔高程在1 300 m左右，地势平缓，近地表结构以粘土、粉沙和细沙互层为主，在单炮记录上初至较清晰，面波发育(图2a)，速度和频率均低于盆山结合部位。

TT2007线中部即盆山结合部位，表层为山前风化严重的砂砾石及冲积型砾卵石层，较为松散，浅部折射层横向变化剧烈，在单炮记录上发育有多套面波，高频线性干扰严重，松散的表层及其下坚硬的岩层对地震波高频成分有较强的吸收和散射作用(图2b)。

TT2007线北部为西南天山基岩出露地带，最高海拔近2 900 m，浅层速度高，单炮记录上面波呈断续发育，表明山地折射层呈断续破碎分布状态(图2c)。

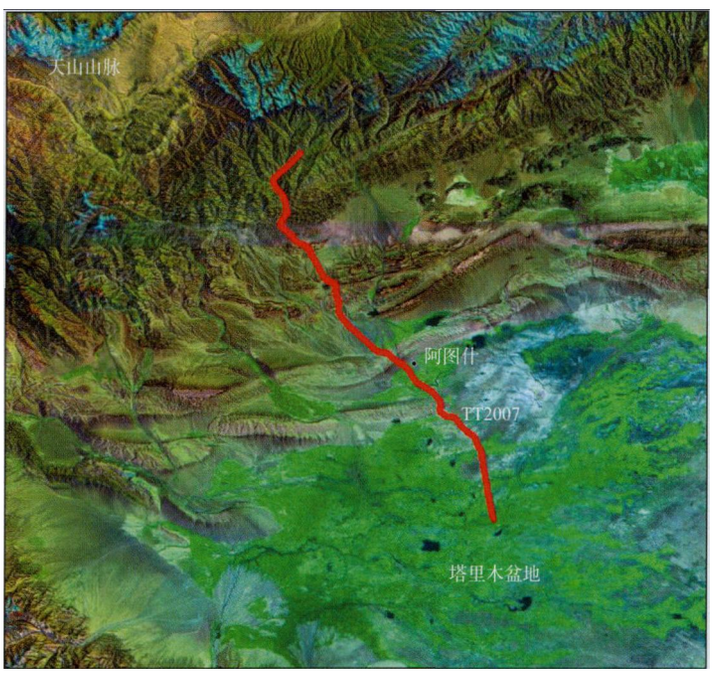

图1 地震测线TT2007在盆山结合部的位置

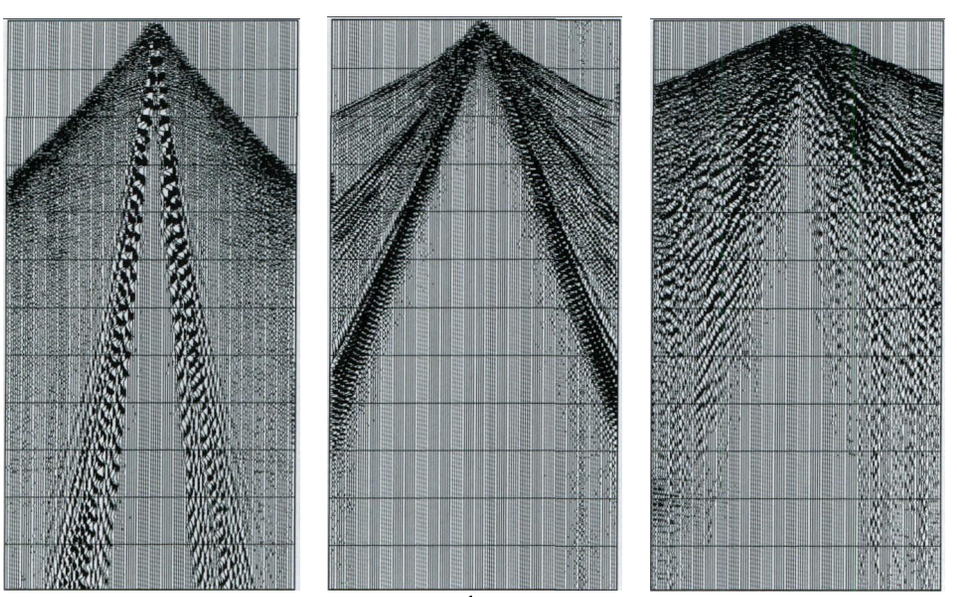

图2 不同区域的单炮记录(偏移距为0～3 000 m)

a 盆地；b 盆山结合部；c 山地

盆地区折射层比较稳定，近偏移距(0～3 000 m)初至视速度为1 800～2 200 m/s；盆山结合部位，受山地复杂近地表结构、激发与接收高程落差、表层散射作用和干扰波等因素的影响，左右两边排列的初至波速度在横向上存在差异，难以用相同的折射速度进行线性动校，导致初至拾取困

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

难。由山地到盆地，折射层速度变化范围较大，表明盆山结合部位的表层速度和厚度变化较大。

1.3　常规静校正方法测试

高程静校正不考虑低速带，仅对物理点与固定基准面之间的高程差进行校正。在地震资料处理中，高程静校正更多的是作为静校正质量控制的最基本标准。在使用其它静校正方法前，必须先对地震资料进行高程静校正，并进行速度分析，得到初叠剖面，以了解地震资料的基本情况[11]。

折射静校正使用最为广泛[12]，但其必须满足两个基本条件：①存在相对稳定的折射面；②已知表层速度（通常用井口时间来计算表层速度）。但在复杂地表地区，如盆山结合部位，由于不能在整条测线上追踪到相对稳定的折射面，因此不能满足折射静校正的适用条件。

我们对高程静校正和折射静校正两种方法的静校正效果进行了测试，结果表明，高程静校正的效果要稍好于折射静校正（图 3b 和图 3c）。

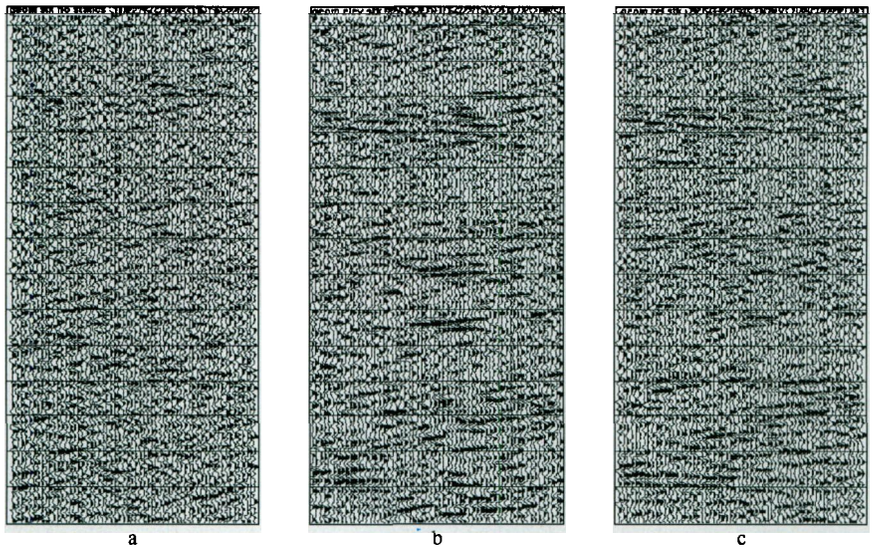

图 3　不同静校正方法的叠加剖面

a 未做静校正；b 高程静校正；c 折射静校正

分析认为，折射初至静校正方法基于层状介质结构假设，因此不适用于具有复杂近地表结构的盆山结合部。高程静校正方法通过替换地表以上、基准面以下的速度来实现资料的静校正处理，因此，方法只与所选择的最终基准面和替换速度有关。但是，对于近地表速度和厚度横向变化较大的盆山结合部，如果采用过高的替换速度，会对盆地过多剥蚀；如果采用过低的替换速度，则不足以去除山地的低速层影响。此外，地形起伏大和近地表结构横向变化较大，可能会导致长波长静校正问题。因此，要很好地解决盆山结合部的静校正问题，必须获得较准确的近地表结构，并针对其特点采用相应的静校正方法和基准面[11-12]。

2　盆山结合部近地表速度结构及静校正

我国中西部造山带和周缘盆地的结合部，近地表结构复杂，仅靠表层地质调查或常规浅层调查无法满足地震勘探的需要。研究表明，剧烈起伏的地形以及低、降速带纵、横向速度和厚度的变化，是引起中、长波长静校正问题的主要原因[13]。在低、降速带的研究中，即便是速度纵、横向变化大甚至存在高速夹层的地区，层析反演方法都取得了较好的应用效果[14-22]。为此，我们采用层析反演方法，利用地震资料处理系统中的层析建模和校正系统（Tomodel），建立了 TT2007 线的近地表速度结构模型[22]。

2.1　近地表速度结构模型的建立

地震初至波层析反演是利用地震记录中的初至旅行时来求取介质的速度分布。方法原理是：首先，划分地下介质网格，用网格单元的速度分布来模拟复杂的速度结构，根据走时场计算出射线路径；然后，根据走时方程计算各网格单元内的速度分布，在求得慢度（速度）函数后，结合高程等信息计算出静校正量[17]。

分析可知，大药量的单炮记录能量强，初至清晰，特别适于层析反演方法；小药量的单炮记录，远排列能量较弱，初至不清，针对此情况，选择炮检距小于 7 500 m 的初至波走时进行反演计算。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

此外，在盆山结合部，地震测线大部分为弯曲测线，炮点和检波点排列并非总是在一条直线上，在进行层析反演时，需要进行坐标变换，将所有炮点和检波点投影到一条直线上。我们选取地震测线最南端的检波点位置为投影点，在最小二乘法的意义下，用所有炮、检点拟合出一条直线，然后将所有的炮点和检波点投影到该直线上，并以经度方向确定新坐标的正负号。

投影变换后，炮、检点的最大距离为 7 500 m。根据走时与变换后相对投影点的距离关系，建立了网格横向尺度为 25 m、纵向尺度为 10 m 的初始模型，经初至波走时反演后，拟合残差（均方根）由初始的 0.18 s 降为 0.02 s。

图 4 为利用层析反演方法得到的近地表速度结构模型，可见，盆地和山地的近地表速度结构截然不同，反映出盆地低、降速层巨厚和山地高速层出露以及盆山结合部位高速层起伏变化等特征。

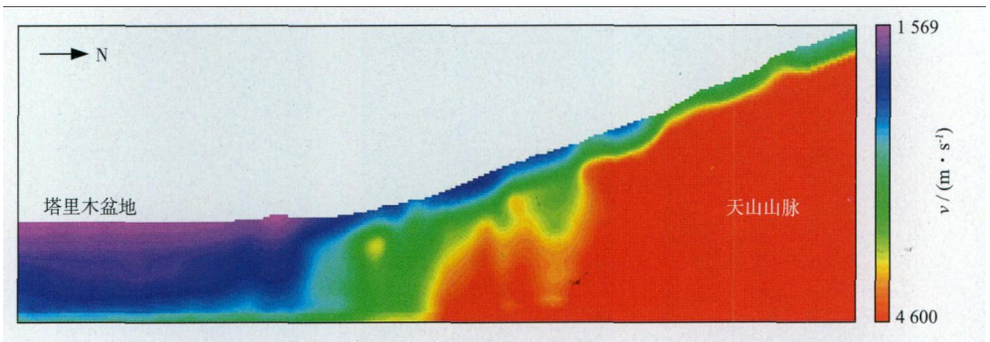

图 4 初至层析反演的近地表速度结构模型

2.2 静校正处理流程及应用

由表层速度结构可以看出，盆山结合部的静校正问题主要是由山地高速层较薄而盆地低、降速带巨厚造成的。针对盆山结合部位高程落差大、近地表速度横向变化剧烈等特征，确定了一套静校正处理流程，即基于浮动基准面[12]，在层析精细反演速度模型的基础上计算层析静校正量，然后利用高程法求取由浮动基准面到最终基准面的静校正量。

具体方法是：选取替换速度为 2 850 m/s，对起伏地表的高程进行平滑，并将其作为浮动基准面；然后在该基准面上应用初至层析反演方法计算出炮点和检波点的静校正量，并应用于数据体上；之后进行速度分析、动校正等常规处理；最后应用高程法计算出从浮动基准面到最终基准面的炮点和检波点的静校正量。层析静校正方法可以解决由速度变化引起的中波长静校正问题，高程静校正方法可以解决由大落差地形引起的长波长静校正问题。

分别利用高程静校正方法和本文方法对 TT2007 线进行了静校正处理（图 5）。图 5a 为盆

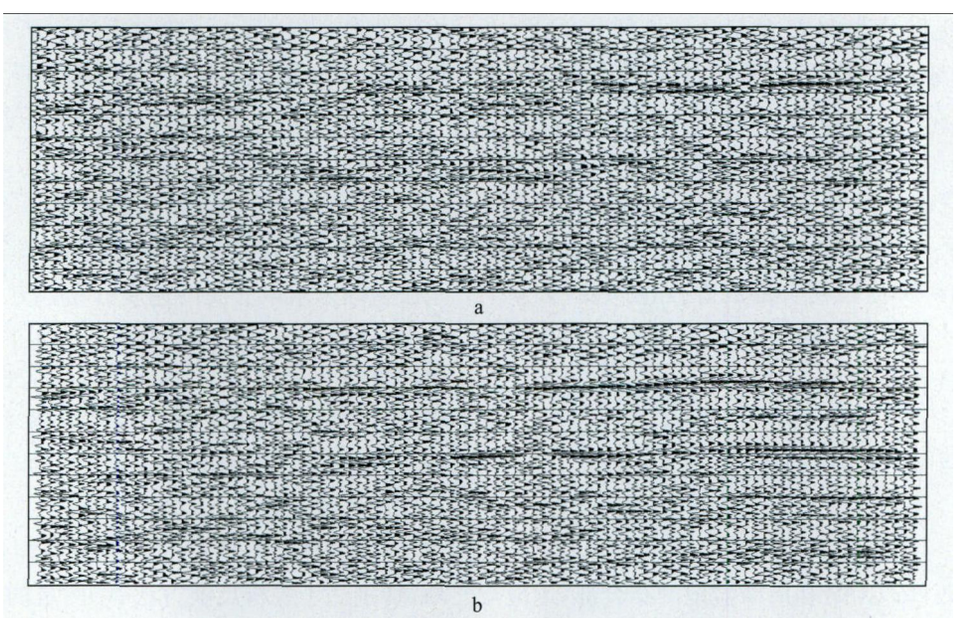

图 5 盆山结合部不同静校正方法的叠加剖面

a 高程静校正；b 层析与高程静校正相结合

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山结合部高程静校正法的叠加剖面,图5b为盆山结合部本文方法静校正后的叠加剖面,对比可见,本文方法较好地解决了中、长波长静校正问题,反射同相轴的连续性得到了改善,信噪比得到了提高。

3　结束语

针对盆山结合部地震资料特征,提出了在层析反演速度结构基础上,应用浮动基准面技术,分步进行静校正处理的方法,较好地解决了盆山结合部复杂近地表结构带来的静校正问题,地震剖面的信噪比得到了提高,成像效果得到了明显的改善。我们认为:

1) 西南天山与塔里木盆地结合部,地表起伏大,山地基岩地层出露,盆地覆盖地层较新,盆山结合部近地表结构复杂,没有稳定的折射层,折射静校正技术不适用。

2) 基于初至波走时信息,利用层析反演技术建立的盆山结合部近地表速度结构模型,可以反映出盆地低、降速层巨厚和山地高速层出露以及盆山结合部低、降速层厚度和埋深变化等特征。

3) 在地形高低起伏大、近地表速度横向分布不均匀的复杂地区,以平滑后的地表作为浮动基准面,在该基准面上计算层析静校正量,然后进行常规速度分析和动校正,再应用高程法计算浮动基准面到最终基准面的静校正量,可以有效地解决复杂地区存在的严重静校正问题。

致谢:感谢中国石化华东石油局第六物探大队处理与解释中心匡朝阳和张治立高级工程师在数据处理时提供的帮助。

参　考　文　献

[1] Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J]. Science, 1975, 189(4201): 419-426

[2] Burchfiel B C, Brown E T, Deng Q D, et al. Crustal shortening on the margins of the Tien Shan, Xinjiang, China[J]. International Geology Review, 1999, 41(8): 665-700

[3] Chen C M, Lu H F, Jia D, et al. Closing history of western Tianshan oceanic basin, western China, a collisional orogeny[J]. Tectonophysics, 1999, 302(1/2): 23-40

[4] 舒良树,郭召杰,朱文斌,等.天山地区碰撞后构造与盆山演化[J].高校地质学报,2004,10(3):393-403

[5] 蔡立国.天山陆内俯冲造山转换带的基本特征[J].石油实验地质,2000,22(3):206-209

[6] 田勤俭,丁国瑜,郝平.南天山及塔里木北缘构造带西段地震构造研究[J].地震地质,2006,28(2):213-223

[7] 高锐,肖序常,高弘,等.西昆仑—塔里木—天山岩石圈深地震探测综述[J].地质通报,2002,21(1):11-18

[8] 罗志立,刘树根,雍自权,等.中国陆俯冲(C-俯冲)观的形成和发展[J].新疆石油地质,2003,24(1):1-7

[9] 申立中,刘先荣,刘宗亮.西部地区静校正方法研究[J].内蒙古石油化工,2005(1):60-61

[10] 邓志文.复杂山地地震勘探[M].北京:石油工业出版社,2006:42-60

[11] 林伯香,孙晶梅,徐颖,等.几种常用静校正方法的讨论[J].石油物探,2006,45(4):367-372

[12] 林伯香,孙晶梅,刘起弘,等.关于浮动基准面概念的讨论[J].石油物探,2005,44(1):94-97

[13] 陈同俊.浅层折射静校正方法[J].物化探计算技术,2004,26(1):5-8

[14] 刘振宽,吴永刚,刘英杰.近地表层地震层析成像[J].石油地球物理勘探,1994,29(3):294-301

[15] 李录明,罗省贤,赵波.初至波表层模型层析反演[J].石油地球物理勘探,2000,35(5):559-564

[16] 华勇.折射层析静校正方法及其应用效果[J].勘探地球物理进展,2002,25(5):52-54,66

[17] 林伯香,孙晶梅,刘清林.层析成像低速带速度反演和静校正方法[J].石油物探,2002,41(2):136-140

[18] 成谷,马在田,张宝金,等.地震层析成像中存在的主要问题及应对策略[J].地球物理学进展,2003,18(3):512-518

[19] 冯泽元,李培明,唐海忠,等.利用层析反演技术解决山地复杂区静校正问题[J].石油物探,2005,44(3):284-287

[20] 杨文军,段云卿,姜伟才,等.层析反演静校正[J].物探与化探,2005,29(1):41-43

[21] 何光明,贺振华,黄德济,等.无射线追踪层析静校技术在川西复杂地区资料处理中的应用[J].成都理工大学学报(自然科学版),2006,33(6):598-602

[22] 张继国,刘连升.复杂区初至层析反演静校正[J].石油地球物理勘探,2006,41(4):383-385,395

[23] 薛为平,宋阳,刘居文,等.准噶尔盆地石南地区静校正方法应用研究[J].石油物探,2006,45(6):615-618

(编辑:陈　杰)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

ABSTRACT

Seismic spectral decomposition fast matching pursuit algorithm and its application. Zhang Xianwen, Han Liguo, Wang Yu, Shan Gangyi. GPP, 2010, 49(1): 1～6

A two-step matching pursuit(MP) algorithm of seismic signal spectral decomposition was presented, which is based on the time-delay of the optimal wavelet, by multi-points simultaneous searching-style, to improve the operation efficiency without losing algorithm accuracy. Then the principle of MP algorithm based on Ricker wavelet was elaborated, and the processing workflow of two-step MP algorithm was given. Based on theoretical model, the effects of spectral decomposition by MP algorithm was discussed, and compared to the spectral decomposition results of Gabor transform and wavelet transform. The peak instantaneous frequency of spectral decomposition was utilized for thin-bed inversion, the comparison with the conventional thin-bed inversion algorithms shows that the algorithm is not sensitive to the variation of reflection coefficient of reservoir top and bottom interface. Finally, the two-step MP algorithm was applied to spectral decomposition of field data, meanwhile, based on the slices of different frequency, the gas shadow phenomenon below gas-bearing reservoir was analyzed, the results show that shadow phenomenon can directly indicate the existence of hydrocarbon.

Key words: seismic signal; matching pursuit; spectral decomposition; time-frequency analysis; thin-bed inversion; hydrocarbon detection

Zhang Xianwen, College of Geo-exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China

Near-surface velocity structure and static correction of basin-mountain junction zone: case study on the junction belt of western part of South Tianshan and Tarim Basin. Hou Hesheng, Gao Rui, He Rizheng, Liu Jinkai, Feng Shaoying, Guan Ye, Cai Xunyu, James. H. Knapp, Francis T. Wu. GPP, 2010, 49(1): 7～11

In basin-mountain junction zone, near-surface structure is complex, S/N of seismic data is low and statics problem is serious. Taking a 2-D seismic line crossing western part of South Tianshan and Tarim basin as an example, by analyzing the typical single shot record from basin, mountain-basin junction belt and mountain, a series of tomography statics workflow based on floating datum was identified. Firstly, the elevation of rugged surface is smoothed and taken as floating datum. Then, on this floating datum, first break tomography inversion method is applied to calculate statics of shot points and receiving points, the calculated results are used on data set. Finally, conventional processing including velocity analysis and normal moveout is carried out on data volume, and elevation method is used to calculate the statics of shot points and receiving points between floating datum and terminal datum. Actual application results show that the method can effectively solve the middle-wavelength and long-wavelength statics problem of the seismic data from basin-mountain belt, meanwhile, the seismic imaging quality has been obviously improved.

Key words: western part of South Tianshan; Tarim basin; basin-mountain junction belt; near-surface structure; first break wave; tomography inversion method; elevation statics method; floating datum

Hou Hesheng, Lithosphere Research Center, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

Test and analysis on borehole near-source three-component wavefield survey. Hu Lixin, Peng Hongchao, Yu Fuwen, Sun Chengyu, Yang Dekuan, Gong Tongju. GPP, 2010, 49(1): 12～18

Near surface medium has significant effect on wave field because of its characteristics such as low velocity and strong absorption. Three-component geophone is beneficial for recording the information of full wavefield. Therefore, three-component geophone is adopted for near-source seismic data acquisition at limestone area. Meanwhile, the impact of near surface medium on wavefield is studied. P-wave wavefield is synthesized based on three-component data. By comparing and analyzing the spectrum characteristics and energy characteristics of synthetic P-wave record, combing with absorption coefficient characteristics, the conclusion can be obtained that the absorption is strong and near surface filtering is obvious at limestone area. The first break is picked up from synthetic P-wave record, and the distribution of surface velocity is analyzed.

Key words: near-source wavefield; three-component; wavefield synthesis; near-surface survey; velocity analysis

Hu Lixin, Geophysical Exploration and Development Company, Shengli Petroleum Administration, SINOPEC, Dongying 257100, China

Anisotropic analysis of difference approximation in seismic wave numerical modeling. Chen Keyang. GPP, 2010, 49(1): 19～22

The finite difference algorithm has its inherent numerical dispersion problem, which seriously disturb the effective wavefield during forward simulation and therefore decrease the resolution of seismic wavefield. In order to solve the problem, starting from the analysis of the simplest plane wave numerical theory, we derived the formula of relative phase velocity and group velocity under the condition of arbitrary high-order finite-difference approximation, and gave the computational method for acquiring the optimum Courant number, and then analyzed the anisotropic effects due to finite difference approximation. The theory analysis and numerical examples show that the precision of seismic wave forward numerical modeling has close relationship with the least wavelength nodes, the Courant number and the finite-difference approximating order. Rationally adjusting the three factors can improve the numerical modeling precision in the effective wavefield region, extend the frequency bandwidth of the forward modeling wavefield and improve the computational efficiency of the numerical simulation.

Key words: numerical modeling; difference approximation; anisotropy; precision analysis; Courant number; difference approximating order; least wavelength nodes

Chen Keyang, Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Company Limited, CNPC, Daqing 163371, China

Crosscorrelation moveout analysis and its application: case study on 3-D multi-surveys merged processing in Shengli Oilfield. Li Jiguang, Geng Lin, Gu Qinglei, Chen Xinrong, Xu Hui. GPP, 2010, 49(1): 23～29

Aiming at the moveout problems existing in 3-D multi-surveys merged processing, we proposed a crosscorrelation-based maximum energy moveout idenfication algorithm. Generally, the 3-D multi-surveys of adjacent blocks is partly overlapped. The overlapped parts are corresponding to the formations in the same region, where the properties of seismic waves are almost the same and with good correlation. Crosscorrelation function is a comparison on the similarity degree of two seismic signals, therefore, we can use crosscorrelation function to carry out crosscorrelation analysis of two seis-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net