

多信息约束层析反演静校正技术及其应用

王孝^{1,2}, 贺振华¹, 王述江², 冯会元², 王西林²

(1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:在近地表速度结构变化较快的地区,能否做好静校正直接决定了地震勘探效果。而在复杂地区三维资料处理中,很难用一种方法彻底解决整个区块的静校正问题。为此,以非线性层析反演静校正方法为基础,在平面上对速度模型进行相带划分,以及用小折射和微测井资料作为初始模型,进行约束层析反演,可大大提高模型的垂向反演精度和空间合理性。对不同静校正方法具有成像优势的高频静校正量,采用拼接方法,在边界用函数插值方法进行处理,可实现多种方法在一个三维区块成像优势的结合。以上复杂地区三维静校正综合技术,在实际三维资料处理中见到了很好的应用效果。

关键词:速度结构;静校正;相带;约束函数

中图分类号:TE132.1⁺4

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2010)02-0316-05

0 引言

中国西部内陆盆地的静校正问题,是决定地震剖面成像效果的主要因素,也是地震勘探取得突破的技术瓶颈^[1]。在近地表速度结构变化较快的复杂地区三维资料处理中,首先需建立统一的近地表结构模型,确保构造成像可靠性,其次需考虑平面成像的效果。

近年的研究表明,基于初至信息的非线性层析反演静校正方法能够适应近地表速度的剧烈变化,已成为改善地震资料成像品质的有效手段^[2-7]。为此,本文以层析反演静校正方法为基础,建立统一的三维近地表模型,通过平面上对速度模型进行相带划分和用小折射、微测井资料作为初始模型信息来进行约束层析反演^[8],大大提高了模型的垂向反演精度和空间合理性;再用函数进行插值,对不同静校正方法具有成像优势的高频静校正量进行了合理对接,实现了用合理的模型来控制长波长静校正,结合多种方法的成像优势,确保高频静校正量的成像效果。这样,形成了一套解决复杂地区三维静校正的多信息约束层析反演静校正综合技术,在实际三维资料处理中取得了很好的应用效果。

1 研究区概况

研究区位于青海油田的主力产油区,地处柴达木盆地西部南区,气候属内陆高原干旱型气候。受阿尔金山走滑断裂影响,研究区断裂活动期次多、分布规律复杂,小断层对油气藏具有直接的控制作用^[9-10]。随着地震采集、处理、解释技术的提高和勘探开发工作的深入,认为研究区主要是构造和构造岩性油气藏,但勘探显示出诸多认识方面的不足,特别是小断层、小断块、微幅度构造和油层砂体空间展布不清等问题难以解决。这就要求在三维资料的重新处理中,首先要解决好静校正问题,消除浅层低速带对断层解释的影响,落实好低幅度圈闭。

研究区海拔在2 850~3 020 m之间,北部和东北部为砾石沙滩区,南部为沼泽及盐碱草滩。研究区内潜水面变化较大,西南部潜水面深度从几十公分到几米范围内变化,而北部及东北部潜水面较深,一般超过60 m。因而低速带厚度也随之变化(变化范围为8~80 m),总的变化趋势为由西南向东北逐渐变厚。因此,建立合理的近地表模型,计算准确的静校正量是成像关键。

收稿日期:2009-12-29;修回日期:2010-03-30.

基金项目:中国石油重大科技专项“柴达木盆地油气勘探开发关键技术”项目(编号:07-01Z-01-01)资助。

作者简介:王孝(1975-),男,甘肃陇西人,工程师,在读博士,主要从事连片地震资料成像处理研究工作. E-mail: wang_x8@petrochina. com. cn.

2 层析反演静校正基本原理

层析反演将近地表结构模型假设为由速度网格单元组成,每个单元内是常速,单元之间的速度不同。这样,就可以模拟任意复杂的近地表速度分布,允许地形剧烈起伏或速度横向变化。根据地震射线理论,初至旅行时与近地表速度的关系如下:

$$t = \int_{R(v)} \frac{1}{v(x,y)} dl \quad (1)$$

式中: $R(v)$ 为射线路径; dl 为沿射线路径 $R(v)$ 的距离增量,初至旅行时与速度分布呈非线性关系。为了用阵列观测的初至时间重建近地表速度模型,先给定一个初始的速度模型 $v(0)$,通过射线追踪计算理论初至时间,建立观测旅行时与理论旅行时之差 Δt 和速度扰动量 Δv 满足的线性方程,用最优化方法求出速度的扰动量 Δv ,修正速度 $v = v(0) + \Delta v$;模型修改后^[11-14],再计算基于当前速度模型的初至旅行时,这样,就构成了一个迭代过程,当正演旅行时和实际旅行时的差小于某个误差值时,就得到了最终的速度分布。

另外,层析反演采用正演、反演迭代方法,根据初至时间重构速度分布,可以充分利用更多的地球物理信息,如直达波、折射波、回折波、绕射波等初至信息,得到的结果也更加可靠。

3 实现步骤

解决复杂地区三维静校正问题的多信息约束层析反演静校正技术,在实际资料处理中,约束层析静校正量的求取主要包括以下几步:

(1)初至波时间拾取。初至波时间拾取在共炮点道集上进行,拾取范围要根据地质区域内反演的低降速层最大速度和深度确定。初至波拾取的质量直接影响模型质量和静校正的效果,拾取时用相邻

炮初至曲线、炮点与检波点互换差曲线,检查拾取的初至波时间,保证拾取准确。

(2)初始速度模型建立和网格划分。以往建立初始速度模型都是提供一个简单的层状模型,本次处理用延迟时反演的方法得到初始速度模型,更能反映实际地表的速度信息,大大提高了运算效率。对地质区域内初始速度模型进行网格划分,层析反演过程中,网格划分要确定3个参数:面元大小、反演深度和纵向步长。通过试验,在保证模型反演精度的前提下,考虑运算效率,确定2个具体参数:面元与实际采集大小一样为 $15\text{m} \times 30\text{m}$,纵向用5 m步长,反演深度为80 m。

(3)相带划分和小折射、微测井资料精细处理。根据研究区的卫片、地质露头调查和岩性组成信息等进行相带划分,我们认为,在每个相带内,地质地貌特点和岩性基本相同,因此,在同一个相带内,近地表速度的分布规律具有一定的相似性。这样对研究区的小折射、微测井资料进行相控下的精细处理和解释,剔除个别不合理的异常值,得到具有研究区地质结构信息的近地表模型。

(4)约束初至波走时反演速度模型的建立。在建立初始速度模型及完成初至波拾取的基础上,对区域内表层及近地表速度模型进行层析反演。在本次反演过程中,对地震资料初至波信息缺乏的浅层部分,采用前面经过相控处理的小折射、微测井资料获得的模型,对大炮初至反演的初步速度模型进行约束(图1),形成垂向精度更高的初始模型,在此基础上,再进行大炮初至约束层析反演。这样得到的模型更具有地质意义,可客观地反映实际近地表速度结构,也能大大提高速度—深度模型的纵向分辨率。

(5)求取炮点和检波点静校正量。在层析反演得到的速度—深度模型基础上,根据近地表调查资料的高速层顶界速度,按区域内界面速度相对稳定

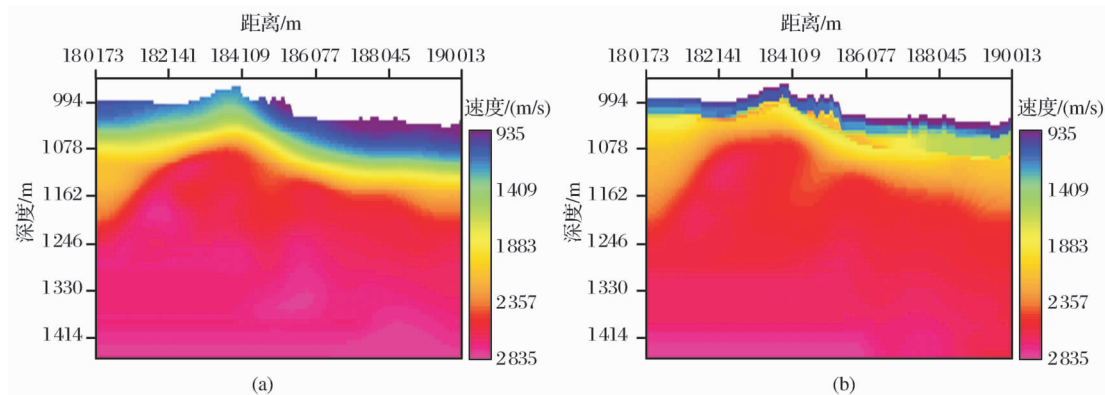


图1 无约束(a)与约束(b)层析反演模型对比

的原理,自动拾取一个高速层顶界面,通过对速度—深度模型上各网格时间的纵向求和,得到地表实际观测点相应的静校正量。

(6)在建立合理近地表结构模型和较好成像的基础上,为使基础静校正的成像效果达到最佳,需要对不同方法静校正的成像优势进行结合。实际处理

中先对比几种不同方法静校正量的叠加剖面成像效果,以约束层析静校正量为基础,在平面上确定其他有成像优势的静校正量范围,用函数插值法进行边界处理,把经过高频、低频分离的高频静校正量,沿所确定的范围进行对接,能形成一套具有成像优势的综合静校正量(图 2)。

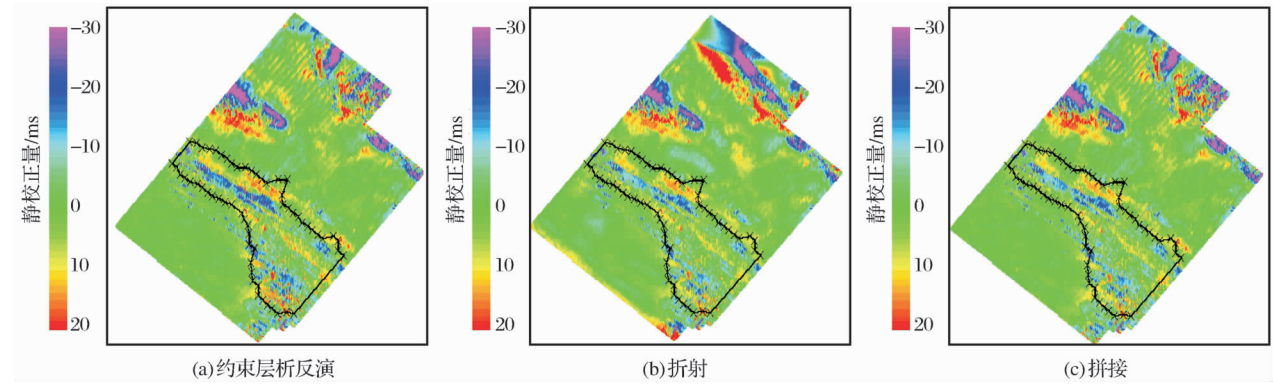


图 2 采用不同方法计算的静校正量

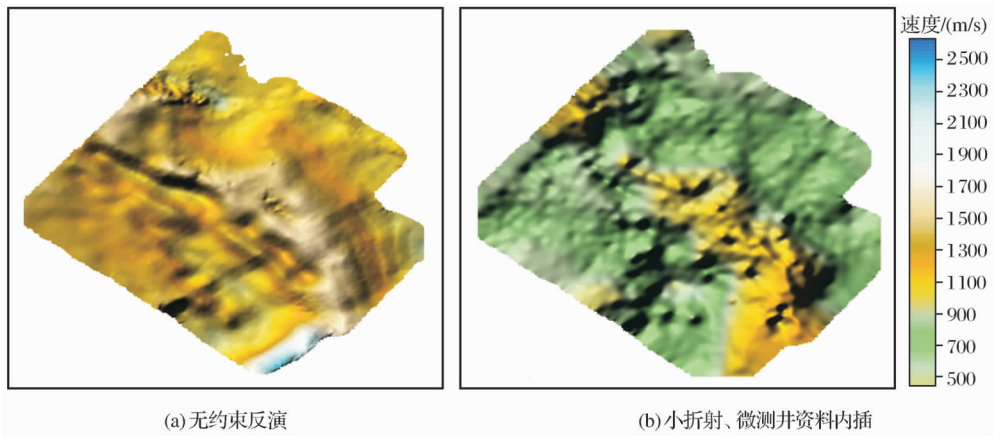


图 3 浅层 0~15 m 范围速度模型对比

4 实际应用效果

通过对用小折射和微测井资料建立的近地表模型、无约束层析反演建立的近地表模型(图 3),与相控处理小折射、微测井资料约束层析反演建立的近地表模型进行对比(图 4),可以看出,无约束层析反演的速度模型能准确反映速度的空间变化趋势,但不能很好地描述小尺度范围的速度垂向信息变化;而用小折射和微测井资料内插的速度模型,垂向速度信息比较准确,但无法准确描述速度信息的空间变化特征;相控约束层析反演的速度模型,既可体现小折射和微测井资料在垂向上速度信息的准确性,又能很好地反映速度信息空间变化的合理性,得到空间结构变化合理且垂向分辨能力更高的近地表结构模型。

图 5 是不同静校正量对应的叠加剖面,对比可

以看出,综合静校正量的成像效果明显优于无约束反演静校正量的成像效果,这说明该方法求得的静校正量在成像上具有明显优势。

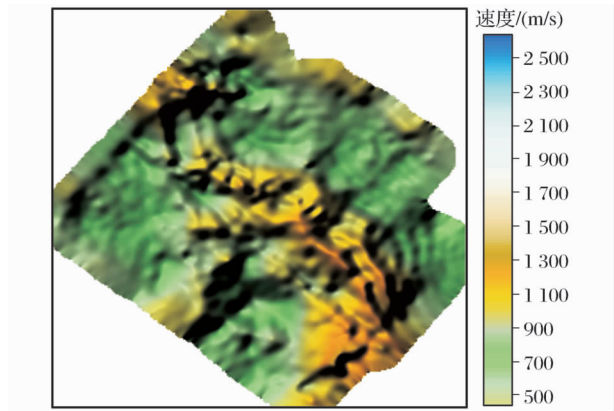


图 4 相控约束层析反演建立的浅层 0~15 m 范围速度模型

图6是采用不同静校正量,处理解释后对应的构造图,对比可以看出,原处理剖面在地表有河流的位置,由于静校正解决不彻底,构造图上出现了明显的假断层,而

本文静校正方法在很好地解决成像的同时,又合理地恢复了地下真实构造,消除了假断层(钻井资料已经证实),说明该方法彻底地解决了研究区的静校正问题。

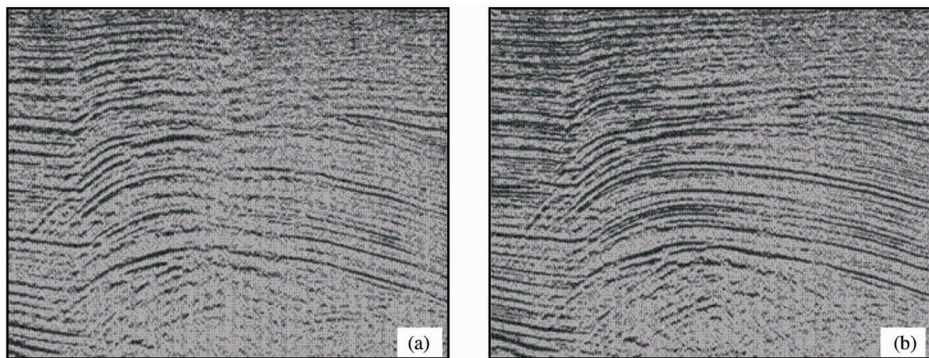


图5 无约束静校正量(a)与综合静校正量(b)叠加剖面对比

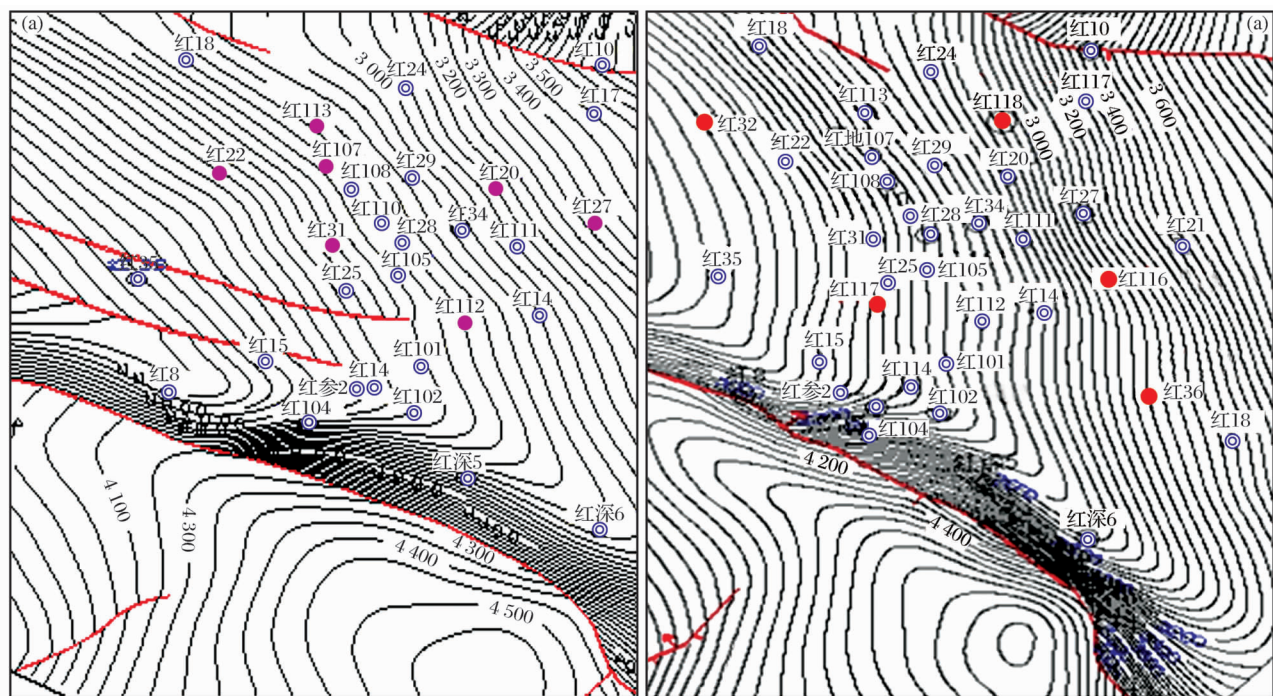


图6 原处理(a)与新处理(b)的某层构造特征对比

5 结论

采用相控处理小折射、微测井资料建立初始模型,并以该模型作为约束,进行层析反演,建立三维近地表模型,可得到空间结构变化合理且垂向分辨能力更高的近地表结构模型。

约束层析反演静校正方法,能够有效地解决复杂地区三维近地表建模及静校正问题,是复杂地区三维静校正建模的有效手段。在实际处理中,为进一步提高成像质量,可在平面上确定各种静校正量成像优势的范围,用函数插值方法进行边界处理,把经过高频、低频分离的高频静校正量,沿所确定的范

围进行对接,形成一套具有成像优势的综合静校正量,从而使成像效果达到最佳。

参考文献:

- [1] Xiong Zhu. Thoughts of Seismic Data Processing in Complex Areas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. [熊翥. 复杂地区地震数据处理思路[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.]
- [2] Liu Quanxin, Li Daoshan. Points about land static correction and migration datum[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(1): 61-63. [刘全新, 李道善. 关于山地静校正和偏移基准面的一些认识[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(1): 61-63.]
- [3] Wang Wei, Liao Daxiang, Du Hongjun, et al. Application of to-

- mographic static correction of seismic data process in Zekou area [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2007, 29(3): 227-228. [王伟, 廖大香, 杜宏筠, 等. 层析静校正正在泽口地区地震资料处理中的应用[J]. *石油天然气学报*, 2007, 29(3): 227-228.]
- [4] Chen Aiping, Liang Bo, Zou Wen, *et al.* First-arrival seismic tomography and its application in complex area of Sichuan [J]. *Global Geology*, 2006, 25(4): 440-444. [陈爱萍, 梁波, 邹文, 等. 初至波地震层析技术及其在四川复杂地区的应用[J]. *世界地质*, 2006, 25(4): 440-444.]
- [5] Feng Zeyuan, Li Peiming, Tang Haizhong, *et al.* Solving the static correction problem in mountain complex block using tomographic inversion[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2005, 41(3): 284-287. [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, 41(3): 284-287.]
- [6] Lin Boxiang, Sun Jingmei, Liu Qinglin. Tomography for LVZ velocity inversion and statics[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2002, 41(2): 136-140. [林伯香, 孙晶梅, 刘清林. 层析成像低速带反演和静校正方法[J]. *石油物探*, 2002, 41(2): 136-140.]
- [7] He Guangming, He Zhenhua, Huang Deji, *et al.* The application of nonlinear tomography statics in Chuanxi data processing[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2006, 45(1): 88-92. [何光明, 贺振华, 黄德济, 等. 非线性层析静校正正在川西地区资料处理中的应用[J]. *石油物探*, 2006, 45(1): 88-92.]
- [8] Fan Mancang. Application of tomographic static correction in loess plateau area[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2008, 43(supplement 1): 36-38. [樊满仓. 层析静校正正在黄土源地区的应用[J]. *石油地球物理勘探*, 2008, 43(增刊 1): 36-38.]
- [9] Zhang Daowei, Zhang Shuncun, Shi Ji'an. Reservoir characteristics of sand beds I and II in lower member of Xiaganchai-gou Formation, Hongliuquan-Yuejin area and influence factors [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(1): 26-32. [张道伟, 张顺存, 史基安. 红柳泉一跃进地区下干柴沟组下段(E₁) I 和 II 砂层组的储层特征及其影响因素浅析[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(1): 26-32.]
- [10] Dong Wenju, Zhang Daowei, Shao Yi, *et al.* Sedimentary microfacies and evolution of sand members I and II of lower Ganchaigou Formation in Hongliuquan area of Qaidam basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(1): 111-115. [董文举, 张道伟, 邵毅, 等. 柴达木盆地红柳泉地区下干柴沟组 E₁ I 和 E₁ II 砂层组沉积微相及沉积演化研究[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(1): 111-115.]
- [11] He Guangming, He Zhenhua, Huang Deji, *et al.* The comparison of several static's correction methods [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 2006, 28(4): 310-314. [何光明, 贺振华, 黄德济, 等. 几种静校正方法的对比研究[J]. *物探化探计算技术*, 2006, 28(4): 310-314.]
- [12] Zhao Feng, Zhen Hongming, Guo Hongxian. Tomographic inverse technique for static correction and result analysis for its application[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2002, 23(5): 397-399. [赵峰, 郑鸿明, 郭洪宪. 层析反演静校正技术及应用效果分析[J]. *新疆石油地质*, 2002, 23(5): 397-399.]
- [13] Liu Zhenkuan, Wu Yonggang, Liu Yingjie. The seismic tomography for near surface formation[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1994, 29(3): 294-301. [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.]
- [14] Li Luming, Luo Shengxian, Zhao Bo. Tomographic inversion of first break in surface model [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2000, 35(5): 559-564. [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.]

Technology of Static Correction for Multi-information Constrained Tomographic Inversion and Its Application

WANG Xiao^{1,2}, HE Zhen-hua¹, WANG Shu-jiang², FENG Hui-yuan², WANG Xi-lin²

(1. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*; 2. *Northwest Branch, Reaserch Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Lanzhou 730020, China*)

Abstract: In the area near surface with swift change of velocity structure, static correction is significant for seismic exploration. A single method is hard to make a right static correction in the three-dimensional seismic integration. So, based on nonlinear tomographic inversion, phase belt plot of velocity model in plane section, and short refraction and minilog data as initial model, we can make the tomographic inversion improve the vertical inversion precision and spacial reasonability. For the high frequency static correction values that has imaging advantage, we piece together, then use function interpolation at boundary. Thus, the imaging advantage of different methods in a 3D block can be used. The 3D static correction technology has been used in some complex areas, and the good results has been gotten.

Key words: Velocity structure; Static correction; Phase belt; Constraint function.