doi: 10.11720/wtyht.2022.1512

齐鹏.深层膏盐体局部层析速度建模[J].物探与化探,2022,46(4):982-987.http://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1512

Qi P.Local tomography velocity modeling method of deep gypsum salt bodies [J].Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 46(4):982-987.ht-tp://doi.org/10.11720/wtyht.2022.1512

深层膏盐体局部层析速度建模

齐鹏

(中国石化石油物探技术研究院,江苏南京 211103)

摘要:在山前带和超深层等复杂探区,深部通常会发育低速的膏盐岩体,给速度建模带来很大困难,影响最终成像 的质量和可靠性。常规网格层析方法很难适应由这种特殊地质体造成的剧烈的横向速度变化,为此引入针对深层 膏盐体的局部层析速度建模方法,通过构造新的速度异常体层析目标函数,将岩下局部剩余残差通过层析转化为 特殊岩性体速度更新量,进一步提升特殊岩性体速度模型精度,有效提高岩下成像质量。实际资料处理结果验证 了局部层析方法的有效性,为复杂探区油气勘探提供了有效的技术支撑。

关键词:局部层析;速度建模;膏盐;异常地质体

中图分类号: P631.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2022)04-0982-06

0 引言

随着地震勘探的不断深入,山前带、超深层已成 为重点攻关领域,但是这些地区地质结构复杂,深部 经常发育特殊岩性体^[14](如火成岩、膏盐岩等),给 油气开发带来很大困难。以深部膏盐岩为例,它通 常具有低速特征,与围岩速度差异大,这种厚度与速 度的横向变化,导致速度建模误差较大,盐下构造容 易产生畸变,构造圈闭难以落实。

在速度建模领域,前期学者进行了大量的研究。 目前主要包括波形反演^[5]和走时层析^[6-11]两大类。 全波形反演方法基于波动理论,具备反演高波数速 度信息的能力,但该方法对地震数据品质要求较高, 虽然在海洋资料处理中得到越来越多的应用,但在 陆地资料处理中仍无法大规模应用推广。而走时类 层析成像方法对数据品质要求低、计算效率高,是目 前工业界的主要速度建模方法。其中最为常用的是 网格层析方法,该方法基于数据驱动,利用离散的矩 形网格点对地下空间连续的介质剖分,通过解析建 立的矩阵方程来反演迭代局部的速度扰动,在地层 连续沉积、构造相对稳定的工区取得了较好的应用 效果。但是对于深层的特殊岩性体,常规网格速度 层析建模方法难以适应局部剧烈横向速度变化,速 度边界难以准确刻画,反演模型精度存在较大误差。

针对以上问题,本文以深层膏盐岩为例,采用一 种小尺度局部层析方法。该方法在常规网格层析基 础上,构造新的速度异常体层析目标函数公式,将岩 下局部剩余残差通过层析转化为特殊岩性速度更新 量,实现膏盐岩体的局部速度更新,最后通过实际资 料处理验证了该流程的有效性。

1 方法原理

网格层析建模技术完全数据驱动,不需要先验 地质信息,是目前最常用的建模方法。在给定了初 始速度模型后,模拟记录与观测记录的走时残差可 以通过慢度差沿射线的线性积分得到,即

$$\Delta t = \int_{s}^{r} \Delta s(x,z) \, \mathrm{d}l \quad , \tag{1}$$

式中: Δt 代表从震源 s 到检波器 r 的旅行时残差,dl代表射线路径的微分, Δs 代表初始模型与真实模型 的慢度差。

将上式网格离散化,写成矩阵形式:

$$L\Delta s = \Delta t , \qquad (2)$$

式中:L代表灵敏度矩阵,表示每个射线在网格内的

收稿日期: 2021-09-15; 修回日期: 2022-05-18

基金项目:国家自然科学基金企业创新发展联合基金(U19B6003)

第一作者:齐鹏(1989-),男,主要从事地震资料处理及速度建模方法研究工作。Email:qipeng.swty@sinopec.com

长度。

4 期

网格层析反演时,需要通过偏移和层析交替迭 代进行速度更新。首先利用深度域偏移的成像道集 上求取剩余时差 $\Delta t_{\rm RMO}$,可以表示为,

 $\Delta t_{\rm RMO} = 2s\cos\theta\cos\varphi\Delta z$, (3) 式中: $\Delta t_{\rm RMO}$ 代表走时残差;s代表慢度; θ 、 φ 分别代 表偏移入射角和地层倾角; Δz 代表成像道集上的剩 余深度差。将式(3)代入式(2)即可得到网格层析 反演方程。求解该反演方程可以得到慢度更新量, 再经过多轮迭代,即可得到网格层析后的背景速度。

常规的全局网格层析方法可以建立稳定的背景 速度场,但是对于速度异常体,难以刻画速度突变边 界,容易产生构造假象。因此利用局部层析反演方 法构建速度异常体层析目标函数,实现仅对速度异 常体精细反演,提升对局部速度的反演分辨率。在 背景速度确定的基础上,具体实现步骤如下:

1)特殊岩性体层位解释:在局部层析前,利用初 始速度模型成像结果,依据特殊岩性体与围岩明显 的波阻抗界面,完成特殊岩性体顶、底层位的高精度 解释,获得相对准确的分布特征,作为下一步局部层 析反演的指导层位;

2)岩下道集剩余残差拾取:受特殊岩性体速度 精度的影响,岩下构造难以准确成像。而成像道集 上同相轴的剩余残差就是特殊岩性体速度异常信息 的表征,对这部分剩余残差进行高密拾取;

3) 层位约束层析反投影:构造新的速度异常体 层析目标函数公式,将岩下局部剩余残差通过层析 转化为特殊岩性速度更新量:

 $S(m) = \|z_{true} - z_{pick}\|_{2}^{2} + \varepsilon_{1} \| D\Delta v \|_{2}^{2}$, (4) 式中: z_{true} 代表计算深度; z_{pick} 代表拾取深度; ε_{1} 代表 平衡反演权重的系数;D代表层位约束算子; Δv 代 表速度更新量。其中,第一项为岩下成像道集拉平 项,第二项是第一项的约束项,即利用特殊岩性体 顶、底层位对速度更新量进行空间滤波,使特殊岩性 体顶界面以上速度更新量为零,仅在岩性体范围内 有更新量,将获得的岩体更新量与初始模型相加,即 得到局部层析反演速度模型。

2 实际资料处理

图1是某实际数据地震剖面,该地区地下构造 复杂,深层发育低速的膏盐体,存在明显速度反转, 由于膏盐体速度难以刻画,导致岩下构造成像质量 较差(图1黑圈所示),膏盐体边界难以识别,影响 构造圈闭的可靠性。



CDP

2000

1900

1800

5000



Fig.1 The imaging results with low-speed ointment body

图 2a 为膏盐刻画的初始速度模型,该模型盐上 沉积层速度相对准确,膏盐位置为大尺度平滑速度, 需要进一步精细刻画。分别采用常规网格层析方法 及局部层析方法进行精细反演,得到模型如图 2b、 2c 所示,其中图 2c 为局部层析反演结果。通过对 比,可以看出常规网格层析方法建模结果可以反映 膏盐体的大尺度构造轮廓,但速度场较为平滑,与围 岩速度边界不清晰:而局部层析反演方法除了能够 得到大尺度背景速度,还能够反演得到清晰的膏盐 体速度边界,速度模型精度明显提升。图3为两种 方法膏盐体速度反演的更新量对比,可以看到,常规 网格层析方法(图 3a)由于进行全局速度更新,速度 分辨率较低,围岩的高速更新量会"污染"膏盐体速 度更新,导致膏盐速度边界不清晰,而局部层析方法 (图 3b)可以仅对局部的异常体进行速度更新,不受 围岩影响。

图 4 为局部层析反演前后的速度模型对比,可 以看出经过局部层析后,膏盐体速度得到更新,速度 边界更加清晰。图 5 是局部层析反演前后的 CIG 道集对比。在速度更新前,由于膏盐体速度刻画不 准确,下伏地层同相轴存在明显下掉特征(如图箭 头所示)。经过局部层析反演更新后,膏盐体岩下 的同相轴得到进一步拉平。图 6 局部层析反演前后 下伏地层成像对比。可以看到,经过局部层析反演 后盐体边界下掉的现象得到改善(如图箭头所示), 成像更加聚焦。

图 7 为常规网格层析与局部层析反演膏盐体速 度的水平切片对比,绿色代表低速的膏盐体,可以看

2100

出,局部层析速度建模后,膏盐体空间多尺度信息及 速度的精度明显提高,细节更加清晰。图 8 为两种 方法对应的 RTM 成像结果。可以看出,由于常规 网格层析方法对膏盐体速度刻画的局限,导致盐下 成像质量相对较低;而图 6b 中经过局部层析反演 后,膏盐体成像质量显著提高,内部成像更聚焦,盐 下与围岩边界成像更加清晰,黄色箭头位置断面成 像更清楚,更有利于后续对构造圈闭的精细解释。



a---膏盐体刻画的初始速度模型;b---常规网格层析反演结果;c---局部层析反演结果

a-the initial velocity model of ointment body; b-the conventional grid tomography inversion results; c-the local tomography inversion results

图 2 膏盐体速度局部层析反演结果











a--局部层析前速度模型与成像叠合;b--局部层析速度更新量;c--局部层析后速度模型与成像叠合

a-the velocity model and imaging stack before local tomography; b-the velocity update of local tomography; c-the velocity model and imaging stack after local tomography

46卷

图 4 局部层析反演前后速度模型对比

Fig.4 Comparison of the velocity model before and after local tomography















a-常规网格层析方法;b-局部层析方法

a-conventional grid tomography; b-local tomography

Fig.7 Comparison of horizontal slice in the low-speed ointment body



图 8 常规网格层析(a)和局部层析(b)反演的速度模型对应的 RTM 成像结果 Fig.8 The RTM imaging result from the conventional grid tomography (a) and the local tomography (b)

3 结论

在构造复杂地区,全局网格层析方法可以解决 构造背景的成像问题,但是对于膏盐岩体等特殊异 常体难以准确刻画。在全局网格层析的基础上,本 文采用了一种局部层析的速度建模方法。该技术通 过构建速度异常体层析目标函数,将岩下局部剩余 残差通过层析转化为异常体速度更新量,实现了对 速度异常体精细反演,提升对局部速度的反演分辨 率,可以建立更加符合地质认识的高精度速度模型, 有效提升深层局部膏盐体成像质量。这也证明了对 于复杂工区先采用全局网格层析建立背景速度,再 利用局部层析进行细节刻画的建模思路具有较大实 际应用前景。

参考文献(References):

- [1] 刘文卿,王西文,刘洪,等.盐下构造速度建模与逆时偏移成像 研究及应用[J].地球物理学报,2013,56(2):616-625.
 Liu W Q, Wang X W, Liu H, et al. Application of velocity modeling and reverse time migration to subsalt structure[J]. Chinese J. Geophys., 2013,56(2):616-625.
- [2] 王兆旗,叶月明,庄锡进,等.层控网格层析速度建模技术在陆 上盐丘区的应用[J].天然气地球科学,2016,27(11):2070-2076.

Wang Z Q, Ye Y M, Zhuang X J, et al. Application of layer constrained grid tomographic velocity modeling in onshoresaltdomes area [J].Natural Gas Geoscience, 2016, 27(11): 2070 – 2076.

- [3] 刘畅,李振春,曲英铭,等.地震层析成像方法综述[J].物探与 化探,2020,44(2):227-234.
 Liu C,Li Z C,Qu Y M, et al. A review of seismic tomography methods [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2020,44(2):
- 227-234.
 [4] 郑浩,蔡杰雄,王静波.基于构造导向滤波的高斯束层析速度建模方法及其应用[J].物探与化探,2020,44(2):372-380.
 Zheng H, Cai J X, Wang J B. Gaussian beam tomography with structure-filter and its applications [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2020,44(2):372-380.
- [5] 蔡杰雄.基于方位—反射角度道集的高斯束层析速度建模方法 及实现[J].物探与化探,2018,42(5):977-989.
 Cai J X. Method and application of Gaussian beam velocity tomography based on azimuth-reflection angle domain common imaging gather [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42 (5):977-989.
- [6] 薛花,杜民,文鹏飞,等.网格层析速度反演方法在准三维西沙水合物中的应用[J].物探与化探,2017,41(5):846-851.
 Xue H, Du M, Wen P F, et al. The application of grid tomography method to quasi three-dimensional of Xisha hydrate [J].Geophysical and Geochemical Exploration,2017,41(5):846-851.
- [7] 徐嘉亮,周东红,贺电波,等.高精度深度域层析速度反演方法
 [J].石油地球物理勘探,2018,53(4):737-744.
 Xu J L, Zhou D H, He D B, et al. High-precision velocity tomography inversion in the depth domain [J].OGP,2018,53(4):737-744.
- [8] 李黎,沈水荣,吴意明,等.全波形反演与断控层析反演联合速度建模——以南海东部 A 油田为例[J].中国海上油气,2020, 32(5):107-113.

Li L, Shen S R, Wu Y M, et al. Velocity modeling combining full waveform inversion with fault controlled tomographic inversion; A case study of A oilfield in the eastern South China Sea [J].China Offshore Oil and Gas, 2020, 32(5):107-113.

- [9] Jones I F.3-D prestack depth migration and velocity model building
 [J].Geophysics, 1998, 63(4):1177 1183.
- [10] 徐嘉亮,周东红,贺电波,等.高精度深度域层析速度反演方法 [J].石油地球物理勘探,2018,53(4):737-744.

Xu J L, Zhou D H, He D B, et al. High precision velocity tomography inversion in the depth domain [J].Oil Geophysical Prospecting, 2018, 53(4):737 - 744.

[11] 局兴国,郭恺,刘定进.基于相速度的 TTI 介质射线追踪方法研究[J].石油物探,2017,56(2):171-178.
Ju X G,Guo K,Liu D J.Research on a ray tracing method for TTI medium based on phase velocity [J].Geophysical Prospecting for Petroleum,2017,56(2):171-178.

Local tomographic velocity modeling of deep anhydrite-bearing rocks

QI Peng

(Sinopec Geophysical Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: The deep parts of complex prospecting areas such as piedmont zones and ultra-deep strata are usually accompanied by anhydrite-bearing rocks, leading to great challenges to velocity modeling and affecting the final imaging quality and reliability. It is difficult for the conventional grid tomography method to adapt to the severe lateral velocity changes of special geological bodies. To this end, this study introduced a local tomographic velocity modeling method for deep anhydrite-bearing rocks. By constructing a new tomographic objective function for velocity anomalies, the local remaining residuals below the rocks were converted into the velocity update amount of the special lithologic bodies through tomography in order to further improve the accuracy of the velocity model and effectively improve the quality of imaging below the rocks. The actual data processing results have verified the effectiveness of the local tomography method, which will provide effective technical support for oil and gas prospecting in complex prospecting areas.

Key words: local tomography; velocity modeling; gypsum-salt; special lithological body

(本文编辑:叶佩)