

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2025 年 2 月 20 日 (20.02.2025)



(10) 国际公布号
WO 2025/035685 A1

(51) 国际专利分类号:

G01V 1/30 (2006.01)

(21) 国际申请号:

PCT/CN2023/142794

(22) 国际申请日:

2023 年 12 月 28 日 (28.12.2023)

(25) 申请语言:

中文

(26) 公布语言:

中文

(30) 优先权:

202311033453.X 2023年8月16日 (16.08.2023) CN

(71) 申请人: 中国石油天然气股份有限公司 (PETROCHINA COMPANY LIMITED) [CN/CN];

中国北京市东城区东直门北大街 9 号, Beijing 100007 (CN)。

(72) 发明人: 尹继全 (YIN, Jiquan); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 窦立荣 (DOU, Lirong); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 朱秋影 (ZHU, Qiuying); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 段海岗 (DUAN, Haigang); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 罗贝维 (LUO, Beiwei);

中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 王震 (WANG, Zhen); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 杨沛广 (YANG, Peiguang); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 肖萌 (XIAO, Meng); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。

(74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司 (RUNPING & PARTNERS); 中国北京市海淀区北四环西路 9 号银谷大厦 515 室, Beijing 100190 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: SPEED MODEL CONSTRUCTION METHOD, CONTROL DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 构建速度模型的方法、控制装置和存储介质

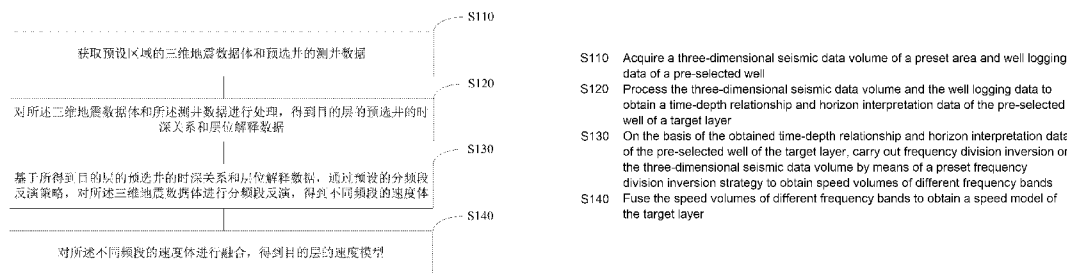


图 1

(57) Abstract: Embodiments of the present invention relate to the technical field of geological exploration, and provide a speed model construction method, a control device, and a storage medium. The method comprises: acquiring a three-dimensional seismic data volume of a preset area and well logging data of a pre-selected well; processing the three-dimensional seismic data volume and the well logging data to obtain a time-depth relationship and horizon interpretation data of the pre-selected well of a target layer; on the basis of the obtained time-depth relationship and horizon interpretation data of the pre-selected well of the target layer, carrying out frequency division inversion on the three-dimensional seismic data volume by means of a preset frequency division inversion strategy to obtain speed volumes of different frequency bands; and fusing the speed volumes of different frequency bands to obtain a speed model of the target layer. Well logging data and a three-dimensional seismic data volume are fully utilized, and frequency division inversion is carried out on the three-dimensional seismic data volume by means of a preset frequency division inversion strategy and a data fusion technique to obtain speed volumes of different frequency bands, so as to construct a speed model capable of finely characterizing the speed change features of the interior and boundary of a special geological body.



(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明实施例提供一种构建速度模型的方法、控制装置和存储介质, 属于地质勘探技术领域。该方法包括: 获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据; 对三维地震数据体和测井数据进行处理, 得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据; 基于所得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据, 通过预设的分频段反演策略, 对所述三维地震数据体进行分频段反演, 得到不同频段的速度体; 对不同频段的速度体进行融合, 得到目的层的速度模型。充分利用测井数据和三维地震数据体, 通过预设的分频段反演策略和数据融合技术, 对所述三维地震数据体进行分频段反演, 得到不同频段的速度体, 来构建能够精细表征特殊地质体内部及边界速度变化特征的速度模型。

构建速度模型的方法、控制装置和存储介质

相关申请的交叉引用

本申请要求 2023 年 08 月 16 日提交的中国专利申请 202311033453.X 的权益，该申请的内容通过引用被合并于本文。

技术领域

本发明涉及地质勘探技术领域，具体地涉及一种构建速度模型的方法、控制装置和存储介质。

背景技术

速度参数是地下地层的基本物理属性，也是地震勘探的重要参数，影响着地震勘探的各个环节，在油气勘探开发中发挥着举足轻重的作用。不同时代、不同岩性地层或地质体通常具有不同的层速度；地下储层孔隙因所含流体（气、油、水）不同或地质体因异常、高压封闭也会表现出不同程度的速度差异。因此，准确并符合地质规律的速度模型不仅是叠前偏移成像和时深转换的关键，也影响着构造精度、探井深度落实、地层厚度、储层预测、压力界面预测等勘探开发的诸多方面。

随着勘探开发的不断深入，面临的地质条件也越来越复杂，常面临着伴有盐丘、带状礁建造、火成岩侵入体以及碳酸盐岩异常体等一些局部分布的特殊地质体，这些特殊地质体通常在岩性、速度及厚度等方面与围岩存在较大差异，具有强非均质性。目前的速度建模方法由于不能反映特殊地质体速度的局部变化，从而导致时深转换的误差大、构造落实精度低，且容易形成构造假象等，严重制约了与特殊地质体相关的地质目标的勘探开发进程。因此，复杂的地质条件对速度建模提出了新的挑战。

目前，层速度模型的建立方法主要包括：1）利用叠前时间偏移速度或叠加速度，通过 Dix 公式来计算层速度，该方法基于均匀介质或水平层状介质模型，由地震处理速度谱估算得来，可以得到速度变化趋势和相对关系，该方法对于普遍存在空间各向异性的沉积地层序列，精度较差。2）网格层析速度建模方法，该方法采用数据驱动和计算机自动迭代求解的方法，可以得到速度较精细的变化，但该方法计算量大，且因缺少人工干预，多解性大，在复杂地质条件下，难以控制速度误差。3）利用已钻井的地震测井和声波测井资料，结合地质层位的解释，进行层速度模型的建立，该方法在有控制井的位置，可以得到真实反应地层岩性特征的高精度层速度数据，但是受控于已钻井的平面分布和钻井密度，特别是在少井、无井区的速度预测精度较差。

发明内容

本发明实施例的目的是提供一种构建速度模型的方法，该构建速度模型的方法所构建的速度模型能够精细表征特殊地质体内部及边界速度变化特征。

为了实现上述目的，本发明实施例提供一种构建速度模型的方法，所述构建速度模型的方法包括：获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据；对所述三维地震数据体和所述测井数据进行处理，得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据；基于所得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据，通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数

据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体；以及对所述不同频段的速度体进行融合，得到目的层的速度模型。

可选的，在所述获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据之前，所述构建速度模型的方法还包括：确定所述目的层的范围；获取所述预设区域的井的测井数据；以及对于钻穿所述目的层的井，根据对应的测井数据，筛选具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的井作为所述预选井。

可选的，在所述获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据之后，所述构建速度模型的方法还包括：将所述预选井的声波曲线转换成速度曲线。

可选的，在所述得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据之前，所述构建速度模型的方法还包括：对于所述目的层的预选井，通过所述测井数据对单井的柱状图进行分析，确定所述目的层的岩性及速度的纵向变化特征；通过所述测井数据对连井的速度曲线进行对比分析，确定所述目的层的速度的横向变化特征；以及通过所述目的层的速度的纵向变化特征和所述目的层的速度的横向变化特征，确定所述目的层的速度变化特征及地质体类型。

可选的，对所述预选井的测井数据进行处理，得到目的层预选井的时深关系，包括：获取所述预选井的测井数据中的声波曲线和密度曲线；以及通过所述声波曲线和所述密度曲线制作合成地震记录，将时间域的地震反射界面与深度域的地质分层建立对应的关系，得到所述预选井的时深关系。

可选的，所述对所述三维地震数据体和所述测井数据进行处理，得到层位解释数据，包括：对所述预选井的测井数据进行分析，得到所述目的层的速度变化特征；通过对所述目的层的速度变化特征进行分析，并根据速度界面的速度差，确定所述目的层的 T 个地质分层；通过制作合成的地震记录，标定所述目的层的所述 T 个地质分层，确定与每个地质分层对应的地震反射同相轴的特征；以及基于所述三维地震数据体，完成与每个地质分层对应的地震反射同相轴的追踪和解释，以得到所述目的层的所述 T 个地质分层的层位解释数据。

可选的，所述通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体，包括：通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行反演，得到低频段速度体；通过谱模拟反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到中频段速度体；以及通过波形指示反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到高频段速度体。

可选的，在所述通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演之前，所述构建速度模型的方法还包括：由下至上确定所述目的层的 T 个解释层位；在每相邻的两个解释层位之间，根据上下两层之间的接触关系，按照预设的细分比例 C ，在每相邻的两个解释层位之间内插得到 C 个内插子层；以及由所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层，构建目的层的层位格架模型。

可选的，所述通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行反演，得到低频段速度体，包括：获取所述预选井的测井数据中的速度曲线，对所述速度曲线进行低通滤波，以保留第一截止频率值以内的低频速度曲线；基于所得到的预选井的时深关系，将滤波后的低频速度曲线由深度域转到时间域，得到时间域的低频速度曲线；以及基于所述目的层的层位格架模型，建立所述低频速度曲线的横向约束条件，以通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值，来得到所述低频段速度体。

可选的，所述基于所述目的层的层位格架模型，建立所述低频速度曲线的横向约束条件，以通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值，来

得到所述低频段速度体,包括:对于所述层位格架模型中的每个层位,基于所述预选井的每口井的观测值,得到该层位每个 CDP 处的估计值,其中,将在所述每口井处读取的低频速度值,作为所述每口井的观测值,通过该层位每个 CDP 处的估计值,得到该层位的低频速度值;以及通过所述每个层位的低频速度值,得到所述低频段速度体,所述每个层位包括所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层。

可选的,所述通过谱模拟反演法,对所述三维地震数据体进行反演,得到中频段速度体,包括:获取所述预选井的测井数据中的速度曲线,构建对应的波阻抗曲线;基于所得到的目的层预选井的时深关系,将所述预选井的波阻抗曲线由深度域转到时间域,得到对应的时间域波阻抗曲线;以及将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体,并通过谱模拟反演法进行反演,得到所述中频段速度体。

可选的,所述将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体,并通过谱模拟反演法进行反演,得到所述中频段速度体,包括:对于所述目的层的每口预选井,对井旁地震道与该预选井的时间域波阻抗曲线进行频谱分析,计算得到频率匹配算子,将所述频率匹配算子施加到所述三维地震数据体,得到谱模拟的反演结果,根据反射系数与波阻抗的对应关系,由所述谱模拟的反演结果,得到波阻抗反演结果;通过所述目的层的波阻抗反演结果与第一密度均值的比值,得到所述中频段速度体。

可选的,所述通过波形指示反演法,对所述三维地震数据体进行反演,得到高频段速度体,包括:对于 n 口预选井中每口井的井旁地震道,在所述目的层的层位格架模型下,将待预测的地震波形与所述每口井的井旁地震道的波形进行对比,根据波形相似性以及空间距离两个因素,选取 K 个井旁地震道的波形模拟样本,并通过对应的测井数据构建初始阻抗模型;基于所述初始阻抗模型的特征,并根据预设的高通频率参数值和预设的高截频率参数值,不断滤除高频段信息,并在每个井旁地震道的波形模拟样本之间进行对比,保留预设的确定性频带成分;以及根据所述 K 个井旁地震道的波形模拟样本和空间结构特点,确定未知点的估计值,以得到波形指示反演的波阻抗反演结果,通过所述目的层的波阻抗反演结果与第二密度均值的比值,得到所述高频段速度体。

可选的,所述对所述不同频段的速度体进行融合,得到所述目的层的速度模型,包括:通过所述低频段速度体、所述中频段速度体和所述高频段速度体的加权和,得到所述目的层的速度模型。

本发明实施例还提供一种用于构建速度模型的控制装置,所述控制装置包括:存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序,以实现上述的构建速度模型的方法。

本发明实施例还提供一种机器可读存储介质,该机器可读存储介质上存储有指令,该指令使得机器执行上述的构建速度模型的方法。

通过上述技术方案,本发明实施例为更准确进行特殊地质体相关的时深转换、厚度计算、储层预测以及井位落实等地震地质综合研究,提供了一种构建速度模型的方法。以对特殊地质体的地质特征分析为前提,通过精细的地震地质层位标定获得精细的时深关系和层位解释数据,以此为基础,充分利用测井数据和三维地震数据体,通过预设的分频段反演策略和数据融合技术,对所述三维地震数据体进行分频段反演,得到不同频段的速度体,并采用低频、中频和高频段的分频段速度,来构建能够精细表征特殊地质体内部及边界速度变化特征的速度模型,为时深转换、构造精细落实、井位部署等综合地质研究提供可靠的速度数据,以助力特殊地质体相关领域勘探的拓展和高效推进。

本发明实施例的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

附图是用来提供对本发明实施例的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明实施例，但并不构成对本发明实施例的限制。在附图中：

图 1 是本发明实施例提供的构建速度模型的方法流程示意图；

图 2 是示例地质体的速度变化特征的示意图。

图 3 是示例偏移叠加地震数据的剖面示意图；

图 4 是示例目的层低频段速度体的一条速度剖面示意图；

图 5 是示例目的层中频段速度体的一条速度剖面示意图；

图 6 是示例目的层高频段速度体的一条速度剖面示意图；

图 7 是示例速度模型的一条速度剖面示意图；以及

图 8 是示例常规速度模型的一条速度剖面示意图。

具体实施方式

以下结合附图对本发明实施例的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明实施例，并不用于限制本发明实施例。

现有的速度模型适用于地层横向分布相对比较稳定的地质条件，而对于地质结构相对复杂，例如，伴有盐丘、带状礁建造以及碳酸盐岩异常体等特殊地质体发育的地质条件，现有的速度建模不能精细刻画特殊地质体内部及边界的速度变化特征，影响了构造特征的落实精度，制约了特殊地质体相关领域的勘探，因此，针对伴有特殊地质体发育的勘探区，需要一种能够精细表征特殊地质体内部及边界速度变化的速度模型。

图 1 是本发明实施例提供的构建速度模型的方法流程示意图，请参考图 1，所述构建速度模型的方法可以包括以下步骤：

步骤 S110：获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据。

其中，所述三维地震数据体数据为保幅处理后的偏移叠加地震数据。

优选的，在步骤 S110 之前，所述构建速度模型的方法还包括：确定所述目的层的范围；对于钻穿所述目的层的井，根据对应的测井数据，筛选具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的井作为所述预选井。

以示例说明，在预设区域选择钻穿目的层的井，在这些井中，优选同时具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的 n 口井作为所述预选井。

优选的，在步骤 S110 之后，所述构建速度模型的方法还包括：将所述预选井的声波曲线转换成速度曲线。

优选的，通过下式，将上述 n 口预选井对应的声波曲线转换成速度曲线，

$$Vel=1000000/DT \quad (1)$$

其中， DT 表示声波曲线，单位是微秒/米， Vel 表示速度曲线，单位是米/秒。

如上所述，得到预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据。

步骤 S120：对所述三维地震数据体和所述测井数据进行处理，得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据。

优选的，在所述得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据之前，所述构建速度

模型的方法还包括：对于所述目的层的预选井，通过所述测井数据对单井的柱状图进行分析，确定所述目的层的速度的纵向变化特征；通过所述测井数据对连井的速度曲线进行对比分析，确定所述目的层的速度的横向变化特征；以及通过所述目的层的速度的纵向变化特征和所述目的层的速度的横向变化特征，确定所述目的层的速度变化特征及地质体类型。

以示例说明，所述目的层的速度变化特征和特殊地质体的类型，可以通过目的层段单井及连井的对比分析获得。通过单井的柱状图分析，确定目的层的岩性及速度的纵向变化特征；通过目的层速度曲线的连井对比分析，分析目的层速度的横向变化特征，确定目的层内特殊地质体（例如，伴有盐丘、带状礁建造以及碳酸盐岩异常体等特殊地质体）的类型，获取其速度变化特征，为速度模型的建立提供基础。

优选的，步骤 S120 可以包括：1、对所述预选井的测井数据进行分析，得到目的层预选井的时深关系，包括：获取所述预选井的测井数据中的声波曲线和密度曲线；以及通过所述声波曲线和所述密度曲线制作合成地震记录，将时间域的地震反射界面与深度域的地质分层建立对应的关系，得到所述预选井的时深关系。

优选的，步骤 S120 可以包括：2、所述对所述三维地震数据体和所述测井数据进行分析，得到层位解释数据，包括：对所述预选井的测井数据进行分析，得到所述目的层的速度变化特征；通过对所述目的层的速度变化特征进行分析，并根据速度界面的速度差，确定所述目的层的 T 个地质分层；通过制作合成地震记录，标定所述目的层的所述 T 个地质分层，确定与每个地质分层对应的地震反射同相轴的特征；以及基于所述三维地震数据体，完成与每个地质分层对应的地震反射同相轴的追踪和解释，以得到所述目的层的所述 T 个地质分层的层位解释数据。

1、目的层预选井的精细时深关系可以通过合成地震记录的方法实现，以示例说明，通过目的层预选井的声波曲线和密度曲线制作合成地震记录，将深度域的相应的曲线转换到时间域上，即，将时间域的地震反射界面与深度域的地质分层建立一一对应的关系，来获得每口预选井更加精细的时深关系。

2、根据上述所确定的目的层的速度变化特征的分析结果，根据速度界面的速度差，确定目的层的速度界面变化明显的 T 个地质分层；通过 1) 所制作合成地震记录，标定目的层段的 T 个地质分层，确定与各地质分层对应的地震反射同相轴的特征，并基于所述三维地震数据体进行与 T 个地质分层对应的地震反射同相轴的追踪和解释，得到目的层的 T 个地质分层的层位解释数据。

步骤 S130：基于所得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据，通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体。

优选的，在步骤 S130 之前，所述构建速度模型的方法还包括：由下至上确定所述目的层的 T 个解释层位；在每相邻的两个解释层位之间，根据上下两层之间的接触关系，按照预设的细分比例 C ，在每相邻的两个解释层位之间内插得到 C 个内插子层；以及由所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层，构建所述目的层的层位格架模型。

以示例说明，通过目的层的 T 个解释层位建立目的层的框架模型，包括：自下至上选择目的层段的 T 个解释层位（例如， $T=5$ ），在每相邻的两个解释层位之间，根据上下两层之间的接触关系，按照预设的细分比例 C （例如， $C=25$ ），在每相邻的两个解释层位之间内插出 C 个内插子层，则共有 $C*(T-1)$ 个（子）层位。由 T 个解释层位和每相邻的两个解释层位之间的内插子层构成了目的层的层位格架模型（Layer_Model），该层位格架模型

Layer_Model 可以作为横向约束条件。

优选的, 步骤 S130 可以包括: 1、通过克里金插值法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到低频段速度体; 2、通过谱模拟反演法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到中频段速度体; 3、通过波形指示反演法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到高频段速度体。

1、所述通过克里金插值法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到低频段速度体, 包括: 获取所述预选井的测井数据中的速度曲线, 对所述速度曲线进行低通滤波, 以保留第一截止频率值以内的低频速度曲线; 基于所得到的预选井的时深关系, 将滤波后的低频速度曲线由深度域转到时间域, 得到时间域的低频速度曲线; 以及基于所述目的层的层位格架模型, 建立所述低频速度曲线的横向约束条件, 以通过克里金插值法, 对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值, 来得到所述低频段速度体。

以示例说明, 对预设区域的 n 口预选井的速度曲线 (如上文所述, 通过声波曲线转换成的速度曲线) 进行低通滤波, 即将频率成分大于第一截止频率值 FL (例如, $FL = 15\text{Hz}$) 的曲线数据滤除, 只保留 FL 以内的低频速度曲线; 并根据上述获得的每口预选井的时深关系, 将滤波后的低频速度曲线由深度域转到时间域, 得到时间域的低频速度曲线; 通过目的层的地震解释层位建立横向约束条件, 即, 通过目的层的层位格架模型 Layer_Model 作为横向约束条件; 基于滤波后的低频速度曲线和层位格架模型 Layer_Model, 通过普通克里金插值方法, 可以得到目的层的低频 (层) 速度体 (通过 Vel_Low 表示)。

优选的, 所述基于所述目的层的层位格架模型, 建立所述低频速度曲线的横向约束条件, 以通过克里金插值法, 对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值, 来得到所述低频段速度体, 包括: 对于所述层位格架模型中的每个层位, 基于所述预选井的每口井的观测值, 得到该层位每个 CDP 处的估计值, 其中, 将在所述每口井处读取的低频速度值, 作为所述每口井的观测值, 通过该层位每个 CDP 处的观测值, 通过所述每个层位的每个 CDP 处的估计值, 得到该层位的低频速度值; 以及通过所述每个层位的低频速度值, 得到所述低频段速度体, 所述每个层位包括所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层。

承接上述示例, 对于层位格架模型中的每个层位 LayerM (包括所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层), 将该预设区域内沿着该层位 LayerM 的每个 CDP 处的低频速度值视为区域变量 $Z(x)$, 对于 n 口预选井 (例如, $n=25$), 沿着该层位在每口预选井处可以读取到低频速度值, 则 n 口预选井读取的低频速度值可以视为 n 个观测值, 即, $Z(x_1), Z(x_2), Z(x_3), \dots, Z(x_n)$, 对于该预设区域内沿着该层位 LayerM 的某个 CDP 处的低频速度的估计值记为 $Z(x_0)$, 可以通过 n 个已知采样点的观测值加权和获得, 即, 可以通过下式表示:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_i Z(x_i) \quad (2)$$

其中, $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为待求的权系数。根据克里金插值法的原则, 保证估计量无偏且估计方差最小的前提下, 通过求解如下方程组可以得出 n 个权系数值。

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \alpha_i \gamma(x_i, x_j) + \mu &= \gamma(x_0, x_j), \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i &= 1 \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $\gamma(x_i, x_j)$ 为采样点 x_i 和 x_j 之间的线性变异函数值。由方程组 (3), 可以得到

加权系数 $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的值, 将其代入式 (2), 可以求得某个 CDP 处的低频速度的估计值记为 $Z(x_0)$ 。

由此可以计算得到该预设区域内沿着每个层位 LayerM 的每个 CDP 处的估计值, 依次可以得到该层位格架模型中的沿着每个层位 LayerM 的低频速度值, 由此得到目的层的低频速度体 Vel_Low。

2、所述通过谱模拟反演法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到中频段速度体, 包括: 获取所述预选井的测井数据中的速度曲线, 构建对应的波阻抗曲线; 基于所得到的目的层预选井的时深关系, 将所述预选井的波阻抗曲线由深度域转到时间域, 得到对应的时间域波阻抗曲线; 以及将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体, 并通过谱模拟反演法进行反演, 得到所述中频段速度体。

所述目的层的中频段以内反演层速度体, 可以通过谱模拟反演法获得。谱模拟反演是一种频率域测井约束波阻抗反演技术, 将测井数据和三维地震数据体数据分别进行频谱分析, 在频率域设计一个匹配算子, 使地震频谱和井的波阻抗频谱相匹配, 然后将频率匹配算子施加到三维地震数据体, 反算成时间域算子参与反演运算, 得到反演数据体。

以示例说明, 根据预设区域内的 n 口预选井的速度曲线, 构建预选井的阻抗曲线, 将其作为谱模拟反演法的输入数据。优选的, 为了便于将反演得到的阻抗数据体转换为速度数据体, 在阻抗曲线构建时, 优选将密度取值为常数, 即取为目的层的密度测井值的均值 Den_average, 将预选井的速度曲线值乘以常数密度值 Den_average, 得到预选井的阻抗曲线, 并利用已经得到的每口预选井的时深关系, 将预选井的阻抗曲线由深度域转到时间域, 得到时间域阻抗曲线 IMP_time。将 n 口预选井的时间域阻抗曲线和三维地震数据体 (即, 保幅偏移叠加数据), 通过谱模拟反演, 可以得到目的层中频段速度体 (通过 Vel_Medium 表示)。

优选的, 所述将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体, 并通过谱模拟反演法进行反演, 得到所述中频段速度体, 包括: 对于所述目的层的每口预选井, 对井旁地震道与该预选井的时间域波阻抗曲线进行频谱分析, 计算得到频率匹配算子, 将所述频率匹配算子施加到所述三维地震数据体, 得到谱模拟的反演结果, 根据反射系数与波阻抗的对应关系, 由所述谱模拟的反演结果, 得到波阻抗反演结果; 通过所述目的层的波阻抗反演结果与第一密度均值的比值, 得到所述中频段速度体。

承接上述示例, 在 n 口预选井处对应提取 n 个井旁地震道, 每个地震道记为 $s_i(t)$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 将地震子波记为 $b(t)$, 反射系数记为 $r_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$), 则地震道的褶积模型可以表示如下:

$$s_i(t) = r_i(t) * b(t) \quad (4)$$

将其变换到频率域, 得到下式:

$$S_i(\omega) e^{-j\Phi_i(\omega)} = [R_i(\omega) e^{-j\Psi_i(\omega)}] [B_i(\omega) e^{-j\phi_i(\omega)}] \quad (5)$$

其中, $S_i(\omega)$ 为地震道的振幅谱, $\Phi_i(\omega)$ 为地震道的相位谱, $R_i(\omega)$ 为反射系数的振幅谱, $\Psi_i(\omega)$ 为反射系数的相位谱, $B_i(\omega)$ 为子波的振幅谱, $\phi_i(\omega)$ 为子波的相位谱, 则根据式 (5) 可以得到下式:

$$S_i(\omega) = R_i(\omega) B_i(\omega) \quad (6)$$

对式 (6) 取对数, 可以得到下式:

$$\ln S_i(\omega) = \ln R_i(\omega) + \ln B_i(\omega) \quad (7)$$

假设每口预选井处的波阻抗为 $z_i(t)$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 则, 将对应的波阻抗 $z_i(t)$ 变换

到频率域，可以得到下式：

$$Z_i(j\omega) = Z_i(\omega)e^{-j\theta_i(\omega)} \quad (8)$$

其中， $Z_i(\omega)$ 为预选井处的波阻抗振幅谱， $\theta_i(\omega)$ 为预选井的波阻抗相位谱。根据通用的波阻抗与反射系数之间的关系，通过波阻抗的振幅谱可以用求得反射系数振幅谱 $R_i(\omega)$ ，将反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和地震道的振幅谱 $S_i(\omega)$ 代入式（7）中，即可得到频率匹配算子 $B_i(\omega)$ 。

将频率域得到的匹配算子施加到三维地震数据体，便得到谱模拟的反演结果。令 $A_i(\omega) = 1/B_i(\omega)$ ，根据式（6），可以得到下式：

$$R_i(\omega) = \frac{1}{B_i(\omega)} S_i(\omega) = A_i(\omega) S_i(\omega) \quad (9)$$

将式（9）作傅里叶反变换到时间域，得到反射系数的计算公式，通过下式表示：

$$r_i(t) = a_i(t) * s_i(t) \quad (10)$$

其中， $a_i(t)$ 为 $A_i(\omega)$ 的时间域函数，可以通过频率匹配算子 $B_i(\omega)$ 求得。

对于该预设区域内的某个 CDP 处的地震道，通过式（10），通过时间域算子 $a_i(t)$ 和地震道 $s_i(t)$ 的褶积，即可得到反射系数的反演结果，再利用通用的反射系数与波阻抗的对应关系，将反射系数转换为波阻抗值，得到该地震道的波阻抗反演结果。此时得到的波阻抗为相对波阻抗，为了更直观的分析谱模拟波阻抗的反演效果，便于用井进行反演质控，将得到的中频段波阻抗反演结果加上低频背景，得到最终的谱模拟的绝对波阻抗。

对该预设区域内的每个地震道进行如上计算，得到目的层的谱模拟的波阻抗反演体，再将波阻抗反演体除以密度均值 $Den_average$ ，得到目的层的中频段速度体 Vel_Medium 。

3、所述通过波形指示反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到高频段速度体，包括：对于 n 口预选井中每口井的井旁地震道，在所述目的层的层位格架模型下，将待预测的地震波形与所述每口井的井旁地震道的波形进行对比，通过分析波形相似性和空间距离两个因素，选取 K ($K \leq n$) 个井旁地震道的波形模拟样本，并通过对应的测井数据构建初始阻抗模型；基于所述初始阻抗模型的特征，并根据预设的高通频率参数值和预设的高截频率参数值，不断滤除高频段信息，并在每个井旁地震道的波形模拟样本之间进行对比，保留预设的确定性频带成分；以及根据所述 K 个井旁地震道的波形模拟样本和空间结构特点，确定未知点的估计值，以得到波形指示反演的波阻抗反演结果，通过所述目的层的波阻抗反演结果与第二密度均值的比值，得到所述高频段速度体。

波形指示反演是在传统地质统计学反演基础上发展起来的一种新的高精度反演方法，其理论基础是：地震波形所包含的振幅、相位和频率等信息代表了储层的特征，虽然地震有效频带窄，无法直接获取高频成分，但地震波形的横向变化反映了储层的变化特征。因此，可以充分利用地震波形的横向变化来反映储层空间的相变特征，进而分析储层岩性组合的高频结构特征，实现井震结合的高精度预测。波形指示反演的基本思想是：在参照空间分布距离和地震波形相似性两个基本因素基础上，对所有井按照相关度排序，优选与预测点关联度最高的井作为初始模型对高频成分进行无偏最优估计，并保证最终反演的地震波形与原始地震波形一致。本发明实施例通过波形指示反演法获得所述目的层的高频段速度体的过程如下：

有效样本数为 K （即，上文从 n 个井旁地震道的地震波形选出的 K 个井旁地震道的波形模拟样本，例如， $K=5$ ），波形指示反演需要依次进行 1）样本优选、2）样本曲线（即，波形模拟样本）分析和 3）空间估值三个流程。

1) 对于样本优选, 将待预测的地震波形与 n 口预选井的井旁道波形在层位框架模型 Layer_Model 下进行对比, 基于波形相似性和空间距离双变量优选出波形最相似的 K 个井旁道作为模拟样本, 利用其测井数据构建初始阻抗模型。

2) 对于样本曲线分析, 统计样本井的阻抗特征, 根据高通频率 R_1 和高截频率 R_2 两个参数值, 利用分频的方法不断滤除高频段信息并在样本间进行对比, 保留确定性频带成分。

3) 对于空间估值, 通过样本井的原始数据和空间结构特点, 对未知点进行线性无偏、最优估计。

设 $M(x_0)$ 为未知点的估计值, $M(x_i)$ ($i = 1, 2, \dots, K$) 为波形优选的样本点的值, λ_i 为第 i 个样本点对未知点的权重, K 为有效样本数, 则通过下式, 计算未知点的估计值:

$$M(x_0) = \sum_{i=1}^K \lambda_i M(x_i) \quad (11)$$

由式 (11) 可以得到波形指示反演得到的波阻抗体, 将其除以密度均值 Den_average, 得到层速度体。但基于波形指示反演的原理, 在其反演过程中应用了地震的低频和中频信息, 因此反演结果中包含了一定的低频和中频成分, 为了将低频和中频成分去除, 只保留波形指示反演的高频成分, 优选的, 可以对波形指示反演进行高通滤波处理, 得到只反映高频成分的数据体, 即为波形指示反演得到的高频段速度体 (通过 Vel_High 表示)。

优选的, 以三维地震数据体、层位格架模型和时间域阻抗曲线为基础, 进行平滑半径、有效样本数和截止频率这三个反演关键参数的测试, 以使反演结果达到最优。平滑半径主要影响反演体的横向连通性, 平滑半径越大, 反演体的连通性越好; 有效样本数主要表征地震波形空间变化对储层的影响程度, 当有效样本数增加到一定程度后, 地震波形对储层的表征度不再变化时, 此时的样本数即为有效样本数; 截止频率控制了反演的频带范围, 包括低频段的高通和高截频率, 高频段低截、低通、高通和高截频率。其中, 截止频率的取值可以根据三维地震数据体的振幅谱进行选择, 其取值原则是能够有效地补偿地震数据的低频部分和高频部分。通过反复的参数测试, 不断对三个参数的取值进行微调, 寻找到能够使目的层的波形指示反演误差最小、反演结果最优的参数。例如, 关键参数确定为: 平滑系数为 2, 有效样本数为 5, 低频段的高通和高截频率分别为 5Hz 和 10Hz, 高频段的低截、低通、高通和高截频率分别为 40 Hz、50 Hz、90Hz 和 100 Hz。基于上述确定的反演参数, 进行波形指示反演, 得到波形指示反演的波阻抗数据体, 再对其除以密度均值 Den_average (例如, Den_average=2.5), 得到波形指示反演的层速度体, 但由于波形指示反演在计算过程中包含了一定的低频和中频的信息, 为了获得反演的高频段速度值, 需要对反演结果进行高通滤波, 即将频率值为 FH (FH 可以根据地震的振幅谱确定, 例如, $FH=60\text{Hz}$) 以下的频率成分滤除, 只保留高频部分, 则可以得到高频段速度体 Vel_High。

步骤 S140: 对所述不同频段的速度体进行融合, 得到目的层的速度模型。

优选的, 步骤 S140 可以包括: 通过所述低频段速度体、所述中频段速度体和所述高频段速度体的加权和, 得到所述目的层的速度模型。

如步骤 S130 所述, 可以通过低频、中频和高频段的反演速度体融合, 得到所述目的层的速度模型。即, 通过分段反演得到的目的层的低频段速度体 Vel_Low、中频段速度体 Vel_Medium 和高频段速度体 Vel_High, 计算 (层) 速度模型 Vel_Model。

优选的, 由于在目的层中频段的反演 (通过谱模拟反演法, 对所述三维地震数据体进行反演, 得到中频段速度体) 过程中, 为了更直观的分析储层的纵、横向变化特征和进行有

效的反演质控，加入了一定的低频的信息，因此，可以将中频段速度体 Vel_Medium 中的低频信息去除掉。即，对中频段速度体 Vel_Medium 进行高通滤波（高通滤波的参数可以基于三维地震数据体的频谱确定，例如，高通频率为 15Hz），通过高通滤波，得到只保留中频段信息的（层）速度体 $Vel_Mediumfilter$ 。

接着，按照预设的权重值，对目的层的低频段速度体 Vel_Low 、中频段速度体 Vel_Medium 和高频段速度体 Vel_High 进行加权，得到融合后的速度模型。其中，预设的权重值可以通过反演的层速度数据与井的吻合度的分析来确定，例如，可以为介于 1-2 之间的值，吻合度大的权重高，吻合度小的权重低。例如，通过反演结果与井吻合度的分析，确定低频段速度体的权重值 W_Low 、中频段速度体的权重值 W_Medium 和高频段速度体的权重值 W_High 。对于目的层段的任意一个采样点 i ，依次读取其对应的低频段速度体 $Vel_Low(i)$ 、中频段速度体 $Vel_Mediumfilter(i)$ 和高频段速度体 $Vel_High(i)$ 的层速度值，通过下式，得到该点数据融合后的层速度值 $Vel_Model(i)$ ：

$$Vel_Model(i) = Vel_Low(i) \times W_Low + Vel_Mediumfilter(i) \times W_Medium + Vel_High(i) \times W_High \quad (12)$$

基于此，可以实现对目的层段每个采样点的数据融合，即可得到目的层段层速度模型 Vel_Model 。

优选的，本发明实施例还可以通过 1) 速度模型对比和/或 2) 时深转换后井点处深度误差对比，分析步骤 S110-S140 所得到的速度模型的可靠性。

1) 通过常规基于模型的反演得到的（层）速度体 $Vel_tradition$ 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 进行对比：（层）速度体 $Vel_tradition$ 不能精细表征预设区域地层速度的纵横向变化特征，（层）速度体 $Vel_tradition$ 不能识别特殊地质体内部及边界的速度变化；而本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 不仅能够反映出层间和纵向不同岩相之间的速度特征，精细反映该区域的地质规律，同时也能够很好的刻画特殊地质体的发育区边界，且与钻井上的速度吻合度高，从而验证速度模型 Vel_Model 的可靠性。

2) 分别利用（层）速度体 $Vel_tradition$ 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 对目的层进行时深转换；分别计算（层）速度体 $Vel_tradition$ 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 转换后，各井点处的深度误差；通过两个不同速度模型转换后得到的井点处深度误差的对比分析表明：本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 进行时深转换后得到的井点处的深度误差值，明显低于（层）速度体 $Vel_tradition$ 转换后的深度误差值，验证了本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 的可靠性。

据此，本发明实施例为更准确进行特殊地质体相关的时深转换、厚度计算、储层预测以及井位落实等地震地质综合研究，提供了一种构建速度模型的方法。以对特殊地质体的地质特征分析为前提，通过精细的地震地质层位标定获得精细的钻井时深关系和层位解释数据，以此为基础，充分利用测井数据和三维地震数据体，通过预设的分频段反演策略和数据融合技术，对所述三维地震数据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体，采用低频、中频和高频段的分频段速度体，来构建能够精细表征特殊地质体内部及边界速度变化特征的速度模型，为时深转换、构造精细落实、井位部署等综合地质研究提供可靠的速度数据，以助力特殊地质体相关领域勘探的拓展和高效推进。

以某盆地某勘探区发育有特殊地质体的层段为例，详细描述本发明实施例的一种实施过程。

如图 3 所示，获取保幅处理后的偏移叠加地震数据；获取该区域目的层的测井数据。

选择所有钻穿目的层的井，根据对应的测井数据，筛选同时具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的 n 口井，作为预选井。例如，选择当前区钻穿目的层的井 28 口，对这 28 口钻穿目的层的井的测井数据进行分析，筛选同时具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的井 25 口，即预选井 $n=25$ 。

接着，通过式 (1)，将每口预选井的声波曲线转换成速度曲线，即，获得 25 口预选井的声波曲线、密度曲线、速度曲线和井径曲线，由此完成获取预选井的测井数据。

根据目的层单井及连井的对比分析，获得目的层的速度变化特征和特殊地质体的类型。通过对预选井的单井柱状图分析，获得目的层的岩性特征和速度纵向变化特征。本示例中，该区域目的层主要为碳酸盐岩沉积地层，岩性主要为泥岩、灰岩和泥灰岩互层，泥岩速度低，灰岩速度高，目的层的纵向上速度呈现高速区和低速区互层的特征。通过目的层的速度曲线的连井对比，分析目的层速度的横向变化特征，确定目的层内特殊地质体类型及其速度特征，为速度模型的建立提供地质基础。

其中，通过部分预选井的连井对比，如图 2 所示，可以获取目的层段纵向自上而下 P1、KT1 和 MKT 三个层段的厚度和速度变化特征。其中，KT1 段和 MKT 段地层横向上分布相对稳定，速度和厚度变化不是很明显，而目的层顶部 P1 段的厚度和速度差异比较明显，P1 段的速度纵向和横向均有明显的差异，P1 段纵向上具有下部低速、中上部高速的特征。P1 段下部的速度横向变化相对稳定，平均速度在 3200m/s 左右，而 P1 段中上部的速度横向变化较大，速度值在 3300m/s-5600m/s 之间变化，低速区在 3300m/s 左右，高速区速度可达 5600m/s，且高速区 P1 段的地层厚度明显增加。经过分析可以确定，目的层的 P1 段中上部速度横向变化大，非均质性强，局部存在明显的特殊地质体，特殊地质体的类型为灰岩高速异常体，而目的层的 P1 段下部、KT1 和 MKT 段速度变化相对稳定。

通过合成地震记录标定，确定预选井的精细的时深关系。本示例中，对 25 口预选井制作合成记录，对目的层进行了精细的井震标定，可以得到 25 口预选井的精细的时深关系。

接着，根据上述所确定的目的层的速度变化特征的分析结果，确定目的层的 T 个地震解释层位。本示例中，根据上述所确定的目的层的速度变化特征的分析结果，确定目的层段速度变化明显的地质分层主要有 5 个，即 $T=5$ ，分别为 P1 顶、泥岩顶、KT1 顶、MKT 顶和 KT2 顶 5 个地质分层。根据 25 口预选井的合成地震记录，标定各个地质分层在地震剖面上的反射特征，并在三维地震数据体范围内，对 5 个地质分层对应的地震反射层位进行了追踪和解释。为了进行地震地质分析，将各地震解释层位的命名与其对应的地质分层一致，如图 3 所示，通过追踪和解释，确定目的层与地质分层相对应的 5 个地震反射层位的层位解释数据。

根据测井数据、时深关系和目的层的层位解释数据，通过克里金插值法，得到低频段速度体。对该区域预选井的速度曲线进行低通滤波，根据三维地震数据体的频谱分析，确定低频段的第一截止频率值 FL ，即将频率成分大于第一截止频率值 FL 的频率成分滤除，只保留截止频率值以内的速度值，得到滤波后的低频速度曲线，并根据每口预选井的时深关系，将滤波后的低频速度曲线由深度域转到时间域。

接着，基于层位解释数据建立目的层的层位格架模型 Layer_Model，作为速度模型的横向约束条件。本示例中，自下至上选择目的层段的 T 个解释层位，在每相邻的两个解释层位之间，根据上下两层之间的接触关系，按照一定的细分比例 C （例如， $C=25$ ），在每相邻的两个解释层位之间内插出 C 个内插子层，可以得到 $C*(T-1)$ 个（子）层位，由 T

个解释层位和每相邻的两个解释层位之间的内插子层构成了目的层的层位格架模型 (Layer_Model)，该层位格架模型可以作为低频段速度体的横向约束条件。

以此为基础，利用滤波后的时间域的低频速度曲线和层位格架模型 Layer_Model，通过普通克里金插值方法，得到目的层段的低频段速度体。本示例中，对于层位格架模型中的每个层位 LayerM (包括所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层)，将该区域内沿着该层位的每个 CDP 处的低频速度值视为区域变量 $Z(x)$ ，对于该区域内 n 口预选井，沿着该层位在每口井处可以读取到一个低频速度值， n 口预选井读取的低频速度值可以视为 n 个观测值，通过上述公式 (2) 和方程组 (3)，即可以求出某个 CDP 处的低频速度的估计值记为 $Z(x_0)$ ，即，沿着层位格架模型 Layer_Model 中的某个层位 LayerM 在某一个 CDP 处的估计值。根据上述计算过程，计算该区域内沿着层位 LayerM 的每个 CDP 处的估计值，得到沿着层位 LayerM 的低频速度值；对于层位格架模型 Layer_Model 中的每个层位，按照沿着层位 LayerM 的低频速度值的计算过程，依次可以得到该层位格架模型 Layer_Model 中的沿着每个层位的低频速度值，由此得到目的层的低频段层速度体 Vel_Low。

本示例中，对 25 口预选井的速度测井曲线 (记为 V_p) 进行低通滤波，通过对目的层段的三维地震数据体的频谱分析结果，可以得到目的层的频带范围在 15Hz-45Hz，主频为 30Hz，即，该三维地震数据体缺少小于 15Hz 的频率成分。因此，可以利用井上的低频成分进行补充。确定第一截止频率值 $FL=15$ Hz，即从井上提取小于 15Hz 的频率成分。通过对速度曲线的低通滤波，得到 15Hz 以内的低频速度曲线，并根据上述得到的 25 口预选井的时深关系，将深度域的低频速度曲线转换到时间域。接着，根据该区域目的层的 T 个地震解释层位 ($T=5$)，选定细分比例 $C=25$ ，自下而上依次在每相邻的两个解释层位之间内插出 25 个子层，得到由 5 个解释层位和每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层构成的层位格架模型 Layer_Model。基于时间域低频速度曲线和层位格架模型 Layer_Model，对于层位格架模型 Layer_Model 中的某个层位，依次读取 25 口预选井在该层位处的低频速度值，然后采用克里金插值法，通过上述公式 (2) 和方程组 (3) 依次计算沿着该层位的每个 CDP 处的低频速度值，得到该层的速度值。按照同样的计算过程，计算得到层位格架模型 Layer_Model 中每个层位的速度值，由此，得到目的层低频段层速度体 Vel_Low。如图 4 所示，示例剖面反映了目的层速度的总体变化趋势，体现了目的层灰岩高速异常体的背景速度特征。

所述目的层的中频段以内反演层速度体，可以通过谱模拟反演法获得。根据预选井的速度曲线，对应构建预选井的阻抗曲线，将其作为谱模拟反演的输入数据。为了便于将反演得到的阻抗数据体转换到速度数据体，在阻抗曲线构建时，可以将密度取值为常数，即取为目的层段密度测井值的均值 Den_average (本示例中，根据目的层段密度测井值的统计结果可以设置 Den_average=2.5)，将预选井的速度曲线值乘以常数密度值 Den_average，可以得到预选井的阻抗曲线，并根据所得到的每口预选井的时深关系，将预选井的阻抗曲线由深度域转到时间域，得到时间域阻抗曲线 IMP_time。

接着，将 n 口预选井的时间域阻抗曲线和三维地震数据体 (即，保幅偏移叠加数据)，通过谱模拟反演，可以得到目的层中频段速度体 Vel_Medium。通过测井数据和三维地震数据体的频谱分析，得到使地震频谱和测井的波阻抗频谱达到最佳匹配的频率匹配算子。在 n 口预选井处对应提取 n 个井旁地震道，每个地震道记为 $s_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)，将地震子波记为 $b(t)$ ，反射系数记为 $r_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)，则根据上述式 (4) 和式 (5)，可以得到地震的振幅谱 $S_i(\omega)$ 、反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和子波的振幅谱 $B_i(\omega)$ 之间的关系。即，上述

式(6)中所揭示的地震的振幅谱 $S_i(\omega)$ 等于反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和子波的振幅谱 $B_i(\omega)$ 的乘积。对式(6)取对数,可以得到更加便于计算的关于地震的振幅谱 $S_i(\omega)$ 、反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和子波的振幅谱 $B_i(\omega)$ 之间的关系式(7)。对于式(7),由于地震的振幅谱是已知的,只要求出反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$,就可以求得子波的振幅谱 $B_i(\omega)$,其中, $B_i(\omega)$ 即为谱模拟反演的频率匹配算子。由于预选井的波阻抗是已知的,可以根据通用的波阻抗与反射系数之间的对应关系,并利用波阻抗的振幅谱求得反射系数振幅谱 $R_i(\omega)$,并将反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和地震道的振幅谱 $S_i(\omega)$ 代入式(7),即可得到频率匹配算子 $B_i(\omega)$ 。

将频率匹配算子施加到三维地震数据体,得到谱模拟反演数据体。根据地震的振幅谱 $S_i(\omega)$ 、反射系数的振幅谱 $R_i(\omega)$ 和子波的振幅谱 $B_i(\omega)$ 的关系,取频率匹配算子的倒数为 $A_i(\omega)$,即 $A_i(\omega) = 1/B_i(\omega)$,则可以得到式(9),将式(9)作傅里叶反变换到时间域,则得到反射系数的计算公式,即式(10)。根据式(10),对于该区域内的某个CDP处的地震道,通过时间域算子 $a_i(t)$ 和地震道 $s_i(t)$ 的褶积,即可以得到该地震道的反射系数的反演结果,再通过通用的反射系数与波阻抗的对应关系,将反射系数转换到波阻抗值,得到该地震道的波阻抗反演结果。所得到的波阻抗为相对波阻抗,为了更直观的分析谱模拟波阻抗的反演效果,便于用井进行反演质控,可以将得到的中频段相对波阻抗反演结果加上低频背景,即将谱模拟反演得到的相对阻抗反演值加上测井上的低频背景值,即,根据测井分析结果,对每个层位分配一个低频阻抗值,得到最终的谱模拟的绝对波阻抗值。

对该区域内的每个地震道进行如上计算,得到该区域内目的层的谱模拟的波阻抗反演体,再将波阻抗反演体除以密度均值 $Den_average$, 则可以得到目的层的中频段速度体 Vel_Medium 。

本示例中,根据 25 口预选井的密度曲线,统计目的层段的密度均值 $Den_average=2.5$,将 25 口预选井的速度曲线值乘以常数密度值 $Den_average$, 则可以得到预选井的阻抗曲线,并通过所得到的每口预选井的时深关系,将预选井的阻抗曲线由深度域转到时间域。接着,根据通用的反射系数与波阻抗的对应关系,将 25 口预选井的测井波阻抗振幅谱转换成反射系数振幅谱,提取 25 口优选井的井旁道振幅谱和测井波阻抗振幅谱 $R_i(\omega)$,计算 25 口预选井的井旁道振幅谱 $S_i(\omega)$ 。根据式(7)求得谱模拟反演的频率匹配算子 $B_i(\omega)$ 。接着,将频率匹配算子取倒数并通过傅里叶反变换到时间域,得到时间域的算子 $a_i(t)$,利用式(10),通过时间域算子 $a_i(t)$ 和三维地震数据体中的每个地震道 $s_i(t)$ 的褶积,即可得到反射系数的反演结果,再利用通用的反射系数与波阻抗的对应关系,将反射系数转换到波阻抗值,得到相对波阻抗反演结果。再根据测井数据的统计结果,对目的层的每个层位设置低频背景值,例如,自上而下的低频阻抗背景值依次为 10050, 8250, 11250 和 6875,得到最终的谱模拟的绝对波阻抗体,再将波阻抗反演体除以密度均值 2.5,得到目的层的中频段以内的中频段速度体 Vel_Medium 。如图 5 所示,示例剖面反映了与地震同频带的目的层速度变化特征。

利用波形指示反演法获得目的层的高频段速度体。根据波形指示反演法的基本原理,以所获得的三维保幅处理偏移叠加数据、所得到的层位格架模型 $Layer_Model$, 以及时间域测井阻抗曲线 IMP_time 为基础,进行波形指示反演的关键参数测试。关键反演参数包括平滑半径、有效样本数和截止频率。其中,平滑半径主要影响反演体的横向连通性,平滑半径越大,反演体的连通性越好,取值范围例如在 2-3 之间。有效样本数主要表征地震波形空间变化对储层的影响程度,随着有效样本数的增加,地震波形对储层的表征程度越好,但当有效样本数增加到一定程度后,地震波形对储层的表征度不再变化,此时的样本数即为有效样

本数。截止频率控制了反演的频带范围,包括低频段的高通和高截频率,高频段低截、低通、高通和高截频率,截止频率的取值要根据三维地震数据体的振幅谱进行选择,其取值原则是能够有效地补偿地震数据的低频部分和高频部分,在此原则下,再对截止频率值进行微调,寻找使得反演的误差达到最小的参数。通过反复的参数测试,寻找到能够使目的层的波形指示反演误差最小、反演结果达到最优的关键参数。接着,利用参数测试中确定的关键反演参数,按照上述的波形指示反演法,对目的层的每个采样点数据进行最优的波阻抗估计,由此得到波形指示反演的波阻抗体,将其除以密度均值 $Den_average$, 则可以得到波形指示反演的层速度体。但基于波形指示反演法的原理,由于在其反演过程中应用了三维地震数据体的低频和中频信息,因此,得到的波形指示反演的结果中包含了一定的低频和中频成分,为了将低频和中频成分去除,只保留波形指示反演的高频成分,可以对波形指示反演进行高通滤波处理,即将频率值为 FH (FH 可以根据三维地震数据体的振幅谱确定) 以下的频率成分滤除,只保留高频部分,得到只反映高频成分的数据体,即为波形指示反演得到的高频段速度体 Vel_High 。

本示例中,根据 25 口预选井的时间域阻抗曲线 IMP_time 、三维地震数据体以及由 5 个解释层位创建的层位格架模型 $Layer_Model$, 进行反演参数的测试。根据反演误差最小的原则,确定反演的关键参数如下:平滑系数为 2,有效样本数为 5,低频段的高通和高截频率分别为 5Hz 和 10 Hz,高频段的低截、低通、高通和高截频率分别为 40 Hz、50 Hz、90Hz 和 100 Hz。接着,通过以上反演参数进行波形指示反演,得到波形指示反演的波阻抗数据体,再对其除以密度均值 2.5,得到速度体。对该速度体进行高通滤波,即将 60Hz ($FH=60Hz$) 以下的频率成分滤除,只保留高频部分,得到高频段速度体 Vel_High , 如图 6 所示,示例剖面反映了目的层速度的高频变化特征,能够充分识别一些薄层的速度纵向和横向变化特征。

通过分频段反演得到的目的层的低频段速度体 Vel_Low 、中频段速度体 Vel_Medium 和高频段速度体 Vel_High , 计算(层)速度模型 Vel_Model , 采用数据融合技术,建立目的层的(层)速度模型 Vel_Model 。

其中,由于在目的层中频段的反演(通过谱模拟反演法,对所述三维地震数据体进行反演,得到中频段速度体)过程中,为了更直观的分析储层的纵、横向变化特征和进行有效的反演质控,加入了一定的低频的信息,因此,可以将中频段速度体 Vel_Medium 中的低频信息去除掉。即,对中频段速度体 Vel_Medium 进行高通滤波(高通滤波的参数可以基于三维地震数据体的频谱确定,例如,高通频率为 15Hz), 通过高通滤波,得到只保留中频段信息的(层)速度体 $Vel_Mediumfilter$ 。

接着,按照预设的权重值,对目的层的低频段速度体 Vel_Low 、中频段速度体 Vel_Medium 和高频段速度体 Vel_High 进行加权,得到融合后的速度模型。其中,预设的权重值可以通过反演的层速度数据与井的吻合度的分析来确定,例如,可以为介于 1-2 之间的值,吻合度大的权重高,吻合度小的权重低。例如,通过反演结果与井吻合度的分析,确定低频段速度体的权重值 W_Low 、中频段速度体的权重值 W_Medium 和高频段速度体的权重值 W_High 。对于目的层段的任意一个采样点 i , 依次读取其对应的低频段速度体 $Vel_Low(i)$ 、中频段速度体 $Vel_Mediumfilter(i)$ 和高频段速度体 $Vel_High(i)$ 的层速度值,通过上式(12), 则可以得到该点数据融合后的层速度值 $Vel_Model(i)$ 。

基于此,可以实现对目的层段每个采样点的数据融合,即可得到目的层段层速度模型 Vel_Model 。

本示例中,对所得到的中频段速度体 Vel_Medium 进行高通滤波,即将低于 15Hz 的

频率成分滤除，只保留 Vel_Medium 层速度体中高于 15Hz 的频率成分，通过高通滤波得到高通滤波后的中频段速度体 Vel_Mediumfilter。通过反演结果与井吻合度的分析，确定低频 W_Low、中频 W_Medium 和 高频 W_High 的权重值（例如，都为 1）。接着，利用式（12），进行低频段速度体 Vel_Low、中频段速度体 Vel_Mediumfilter 和高频段速度体 Vel_High 的融合，可以得到目的层的速度模型 Vel_Model，如图 7 所示，示例剖面不仅能够清晰地反映了目的层速度的纵向和横向变化特征，而且能够精细描述灰岩高速异常体内部和边界的速度变化特征，同时也能精细揭示一些薄层的速度变化。

通过速度模型 Vel_Model 对比和时深转换后井点处深度误差对比，对速度模型的可靠性进行分析。将通过常规方法得到的（层）速度模型 Vel_tradition 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 进行对比。如图 7 和图 8 对比所示，（层）速度模型 Vel_tradition 不能识别特殊地质体（本示例为灰岩高速异常体）的速度变化，对目的层速度的纵横向变化表征不精细；而本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 则能够反映出速度在纵向和横向上的精细变化，反映研究区的地质规律，同时也能够很好地刻画特殊地质体（本示例为灰岩高速异常体）的内部及边界速度变化特征，且与钻井上的速度吻合度高，从而验证速度模型 Vel_Model 的可靠性。

接着，根据所得到的（层）速度模型 Vel_tradition 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model，对目的层进行时深转换，本示例中，选取目的层的 KT1 顶面解释层位进行时深转换，分别计算层速度模型 Vel_tradition 与本发明实施例的（层）速度模型 Vel_Model 转换后各井点处的深度误差，如表 1 所示。

表 1-时深转换后各井点在目的层处的深度误差对比表

井名	钻井海拔深度 (米)	速度模型 Vel_tradition 时深转换后的深度误差			本发明实施例的速度模型 Vel_Model 时深转换后的深度误差		
		转换深 (米)	绝对误差	相对误差	转换深(米)	绝对误差	相对误差
T-10	-2026.00	-2120.00	-94.00	4.64%	-2042.00	-16.00	0.79%
T-9	-1906.55	-1940.00	-33.45	1.75%	-1928.00	-21.45	1.13%
T-7	-1939.00	-1890.00	49.00	2.53%	-1960.00	-21.00	1.08%
T-2	-1984.90	-2060.00	-75.10	3.78%	-2009.00	-24.10	1.21%
T-13	-1894.70	-1900.00	-5.30	0.28%	-1900.00	-5.30	0.28%
K-1	-1998.00	-2100.00	-102.00	5.11%	-2012.00	-14.00	0.70%
CT-56	-2054.73	-2200.00	-145.27	7.07%	-2072.00	-17.27	0.84%
CT-53	-2085.30	-2110.00	-24.70	1.18%	-2107.00	-21.70	1.04%
CT-50	-2065.10	-2110.00	-44.90	2.17%	-2083.00	-17.90	0.87%
AK-5	-1970.00	-1982.00	-12.00	0.61%	-1972.00	-2.00	0.10%
AK-4	-1951.70	-2006.00	-54.30	2.78%	-1962.00	-10.30	0.53%
AK-2	-1898.89	-1890.00	8.89	0.47%	-1900.00	-1.11	0.06%
AK-1	-2052.39	-2120.00	-67.61	3.29%	-2066.00	-13.61	0.66%
CT54	-2102.00	-2190.00	-88.00	4.19%	-2088.00	14.00	0.67%
综合分析		平均误差 2.86%			平均误差 0.71%		

表 1 示出了该区域 14 口井在 KT1 地质分层处对应的钻井海拔深度与时深转换深度的

误差值。通过两个不同速度模型在各井点处时深转换误差的对比分析,本发明实施例的(层)速度模型 Vel_Model 进行时深转换后得到的井点处的深度误差值为 0.71%,明显低于(层)速度模型 Vel_tradition 转换后的深度误差值 2.86%。由此进一步验证了本发明实施例根据频段反演建立的速度模型的可靠性。

据此,本发明实施例构建速度模型的方法,有效地实现了特殊地质体发育地层的速度模型的精细建立,提高了速度模型对于储层速度在纵向和横向上变化特征的表征度,速度模型不仅能够反映地质规律,同时也能够很好地刻画特殊地质体(本示例为灰岩高速异常体)内部及边界的速度变化特征,为时深转换、构造精细落实、井位部署等综合地质研究提供可靠的速度数据。本发明实施例便于实施,可信度高,对于特殊地质体相关领域勘探的拓展和高效推进具有积极意义。

本发明实施例还提供一种用于构建速度模型的控制装置,所述控制装置包括:存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序,以实现上述的构建速度模型的方法。

本发明实施例还提供一种机器可读存储介质,该机器可读存储介质上存储有指令,该指令使得机器执行上述的构建速度模型的方法。

本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

在一个典型的配置中,计算设备包括一个或多个处理器(CPU)、输入/输出接口、网络接口和内存。

存储器可能包括计算机可读介质中的非永久性存储器,随机存取存储器(RAM)和/或非易失性内存等形式,如只读存储器(ROM)或闪存(flash RAM)。存储器是计算机可读介质的示例。

计算机可读介质包括永久性和非永久性、可移动和非可移动媒体可以由任何方法或技术来实现信息存储。信息可以是计算机可读指令、数据结构、程序的模块或其他数据。计算

机的存储介质的例子包括，但不限于相变内存 (PRAM)、静态随机存取存储器 (SRAM)、动态随机存取存储器 (DRAM)、其他类型的随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、电可擦除可编程只读存储器 (EEPROM)、快闪记忆体或其他内存技术、只读光盘只读存储器 (CD-ROM)、数字多功能光盘 (DVD) 或其他光学存储、磁盒式磁带，磁带磁磁盘存储或其他磁性存储设备或任何其他非传输介质，可用于存储可以被计算设备访问的信息。按照本文中的界定，计算机可读介质不包括暂存电脑可读媒体 (transitory media)，如调制的数据信号和载波。

还需要说明的是，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、商品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、商品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括要素的过程、方法、商品或者设备中还存在另外的相同要素。

以上仅为本申请的实施例而已，并不用于限制本申请。对于本领域技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原理之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的权利要求范围之内。

权利要求书

- 1、一种构建速度模型的方法，其特征在于，所述构建速度模型的方法包括：
获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据；
对所述三维地震数据体和所述测井数据进行处理，得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据；
基于所得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据，通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体；以及
对所述不同频段的速度体进行融合，得到目的层的速度模型。
- 2、根据权利要求 1 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，在所述获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据之前，所述构建速度模型的方法还包括：
确定所述目的层的范围；
获取所述预设区域的井的测井数据；以及
对于钻穿所述目的层的井，根据对应的测井数据，筛选具有声波曲线、密度曲线和井径曲线的井作为所述预选井。
- 3、根据权利要求 2 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，在所述获取预设区域的三维地震数据体和预选井的测井数据之后，所述构建速度模型的方法还包括：
将所述预选井的声波曲线转换成速度曲线。
- 4、根据权利要求 1 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，在所述得到目的层的预选井的时深关系和层位解释数据之前，所述构建速度模型的方法还包括：
对于所述目的层的预选井，通过所述测井数据对单井的柱状图进行分析，确定所述目的层的岩性及速度的纵向变化特征；
通过所述测井数据对连井的速度曲线进行对比分析，确定所述目的层的速度的横向变化特征；以及
通过所述目的层的速度的纵向变化特征和所述目的层的速度的横向变化特征，确定所述目的层的速度变化特征及地质体类型。
- 5、根据权利要求 1 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，对所述预选井的测井数据进行处理，得到目的层预选井的时深关系，包括：
获取所述预选井的测井数据中的声波曲线和密度曲线；以及
通过所述声波曲线和所述密度曲线制作合成地震记录，将时间域的地震反射界面与深度域的地质分层建立对应的关系，得到所述预选井的时深关系。
- 6、根据权利要求 5 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述对所述三维地震数据体和所述测井数据进行处理，得到层位解释数据，包括：
对所述预选井的测井数据进行分析，得到所述目的层的速度变化特征；
通过对所述目的层的速度变化特征进行分析，并根据速度界面的速度差，确定所述目的层的 T 个地质分层；

通过制作合成的地震记录，标定所述目的层的所述 T 个地质分层，确定与每个地质分层对应的地震反射同相轴的特征；以及

基于所述三维地震数据体，完成与所述每个地质分层对应的地震反射同相轴的追踪和解释，以得到所述目的层的所述 T 个地质分层的层位解释数据。

7、根据权利要求 1 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演，得到不同频段的速度体，包括：

通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行反演，得到低频段速度体；

通过谱模拟反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到中频段速度体；以及

通过波形指示反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到高频段速度体。

8、根据权利要求 7 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，在所述通过预设的分频段反演策略，对所述三维地震数据体进行分频段反演之前，所述构建速度模型的方法还包括：

由下至上确定所述目的层的 T 个解释层位；

在每相邻的两个解释层位之间，根据上下两层之间的接触关系，按照预设的细分比例 C ，在每相邻的两个解释层位之间内插得到 C 个内插子层；以及

由所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层，构建目的层的层位格架模型。

9、根据权利要求 8 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行反演，得到低频段速度体，包括：

获取所述预选井的测井数据中的速度曲线，对所述速度曲线进行低通滤波，以保留第一截止频率值以内的低频速度曲线；

基于所得到的预选井的时深关系，将滤波后的低频速度曲线由深度域转到时间域，得到时间域的低频速度曲线；以及

基于所述目的层的层位格架模型，建立所述低频速度曲线的横向约束条件，以通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值，来得到所述低频段速度体。

10、根据权利要求 9 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述基于所述目的层的层位格架模型，建立所述低频速度曲线的横向约束条件，以通过克里金插值法，对所述三维地震数据体进行所述横向约束条件下的测井插值，来得到所述低频段速度体，包括：

对于所述层位格架模型中的每个层位，基于所述预选井的每口井的观测值，得到该层位每个 CDP 处的估计值，其中，将在所述每口井处读取的低频速度值，作为所述每口井的观测值，

通过所述每个层位的每个 CDP 处的估计值，得到所述低频段速度体，

所述每个层位包括所述 T 个解释层位和所述每相邻的两个解释层位之间的 C 个内插子层。

11、根据权利要求 7 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述通过谱模拟反演

法，对所述三维地震数据体进行反演，得到中频段速度体，包括：

获取所述预选井的测井数据中的速度曲线，构建对应的波阻抗曲线；

基于所得到的目的层预选井的时深关系，将所述预选井的波阻抗曲线由深度域转到时间域，得到对应的时间域波阻抗曲线；以及

将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体，并通过谱模拟反演法进行反演，得到所述中频段速度体。

12、根据权利要求 11 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述将所述时间域波阻抗曲线叠加到所述三维地震数据体，并通过谱模拟反演法进行反演，得到所述中频段速度体，包括：

对于所述目的层的每口预选井，对井旁地震道与该预选井的时间域波阻抗曲线进行频谱分析，计算得到频率匹配算子，将所述频率匹配算子施加到所述三维地震数据体，得到谱模拟的反演结果，

根据反射系数与波阻抗的对应关系，由所述谱模拟的反演结果，得到波阻抗反演结果；以及

通过所述目的层的波阻抗反演结果与第一密度均值的比值，得到所述中频段速度体。

13、根据权利要求 8 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述通过波形指示反演法，对所述三维地震数据体进行反演，得到高频段速度体，包括：

对于 n 口预选井中每口井的井旁地震道，在所述目的层的层位格架模型下，将待预测的地震波形与所述每口井的井旁地震道的波形进行对比，根据波形相似性以及空间距离两个因素，选取 K 个井旁地震道的波形模拟样本，并通过对应的测井数据构建初始阻抗模型；

基于所述初始阻抗模型的特征，并根据预设的高通频率参数值和预设的高截频率参数值，不断滤除高频段信息，并在每个井旁地震道的波形模拟样本之间进行对比，保留预设的确定性频带成分；以及

根据所述 K 个井旁地震道的波形模拟样本和空间结构特点，确定未知点的估计值，以得到波形指示反演的波阻抗反演结果，通过所述目的层的波阻抗反演结果与第二密度均值的比值，得到所述高频段速度体。

14、根据权利要求 7 所述的构建速度模型的方法，其特征在于，所述对所述不同频段的速度体进行融合，得到所述目的层的速度模型，包括：

通过所述低频段速度体、所述中频段速度体和所述高频段速度体的加权和，得到所述目的层的速度模型。

15、一种用于构建速度模型的控制装置，其特征在于，所述控制装置包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序，以实现根据权利要求 1-14 中任意一项所述的构建速度模型的方法。

16、一种机器可读存储介质，其特征在于，该机器可读存储介质上存储有指令，该指令使得机器执行根据权利要求 1-14 中任意一项所述的构建速度模型的方法。

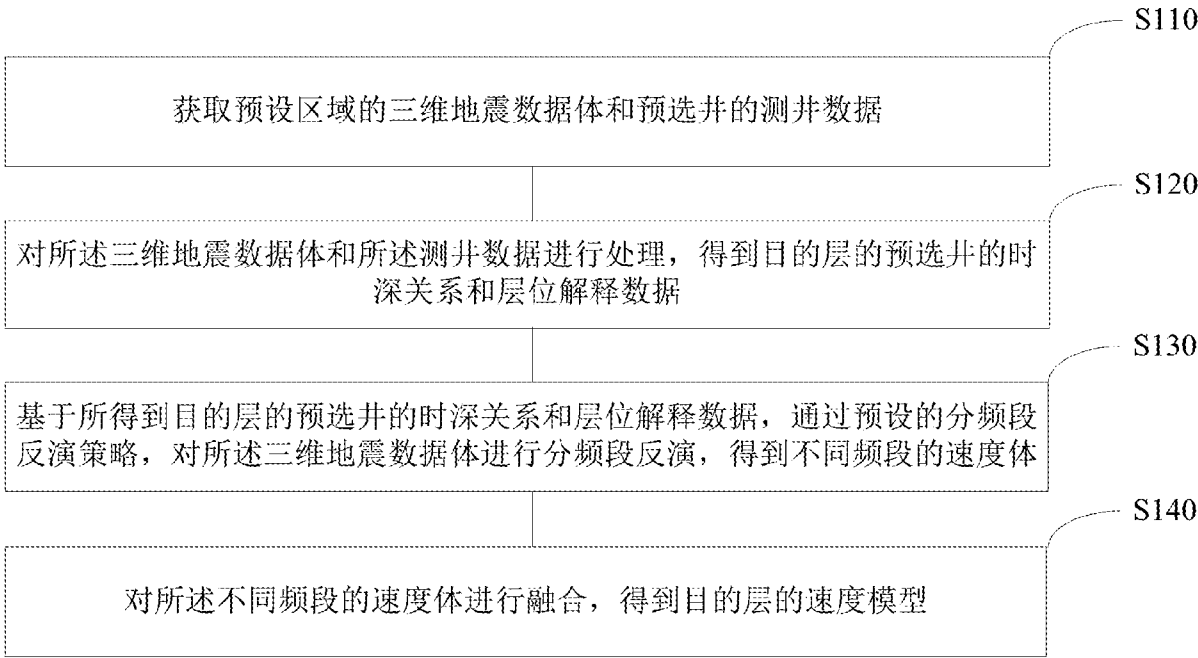
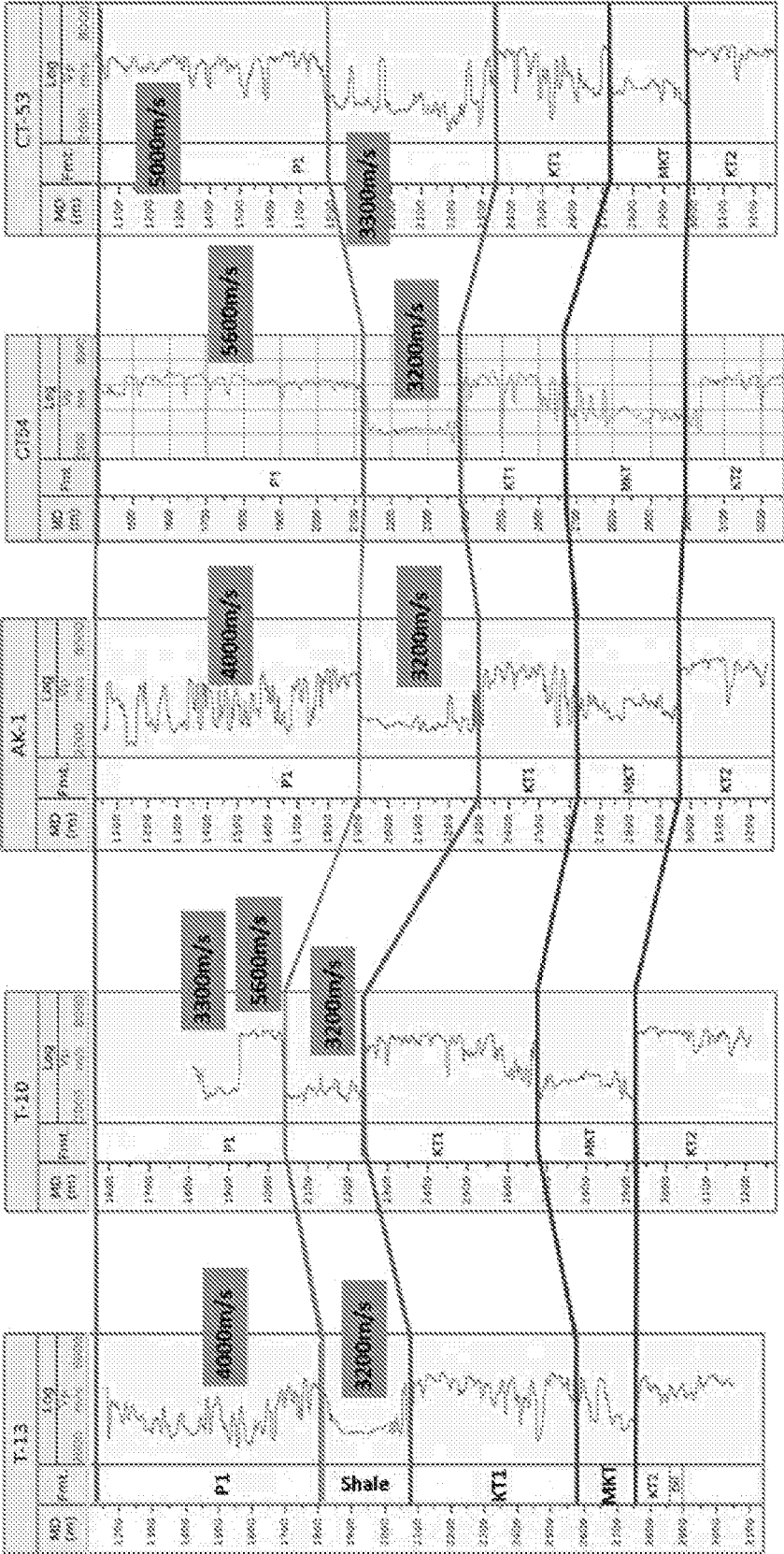


图 1



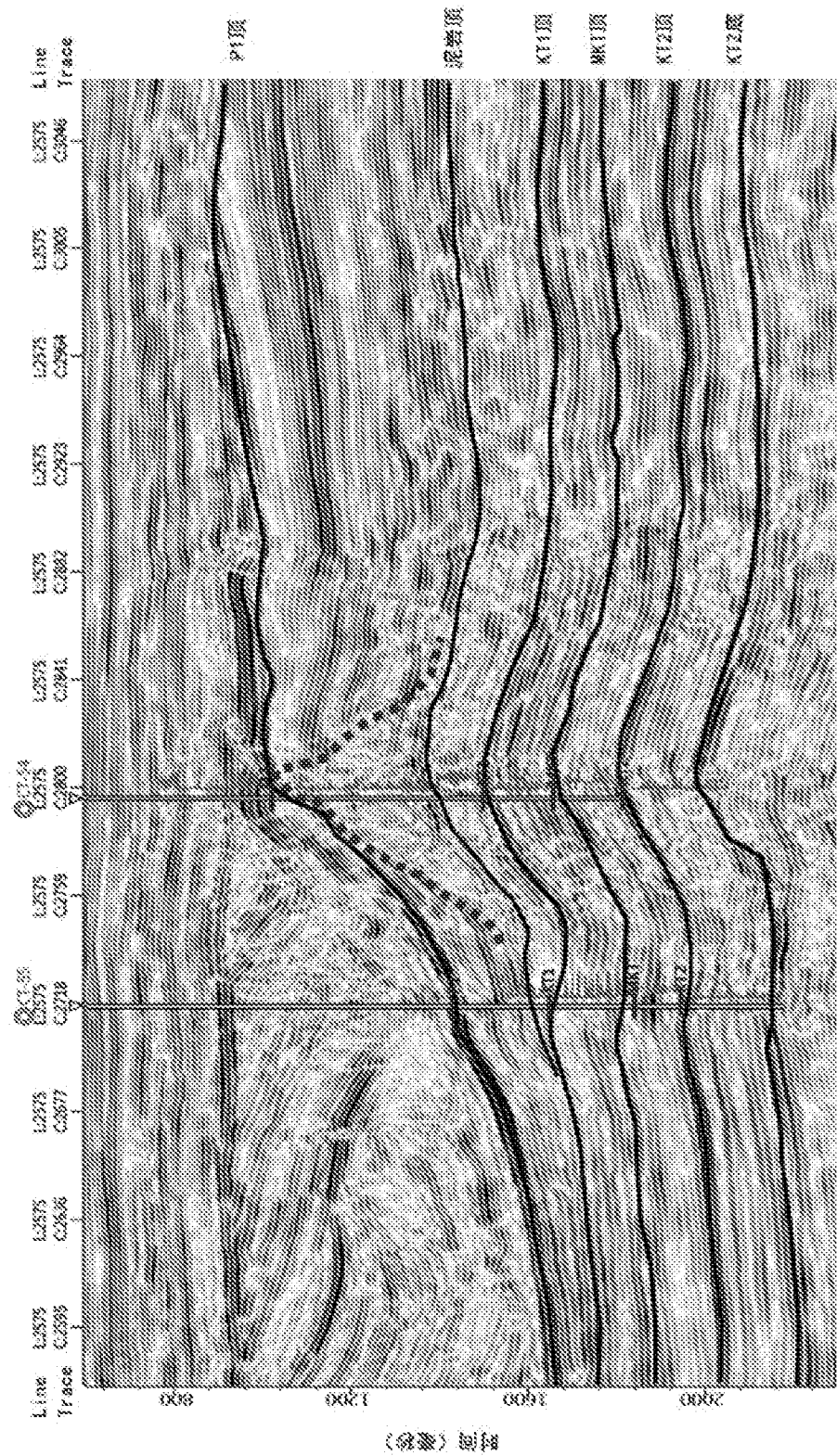
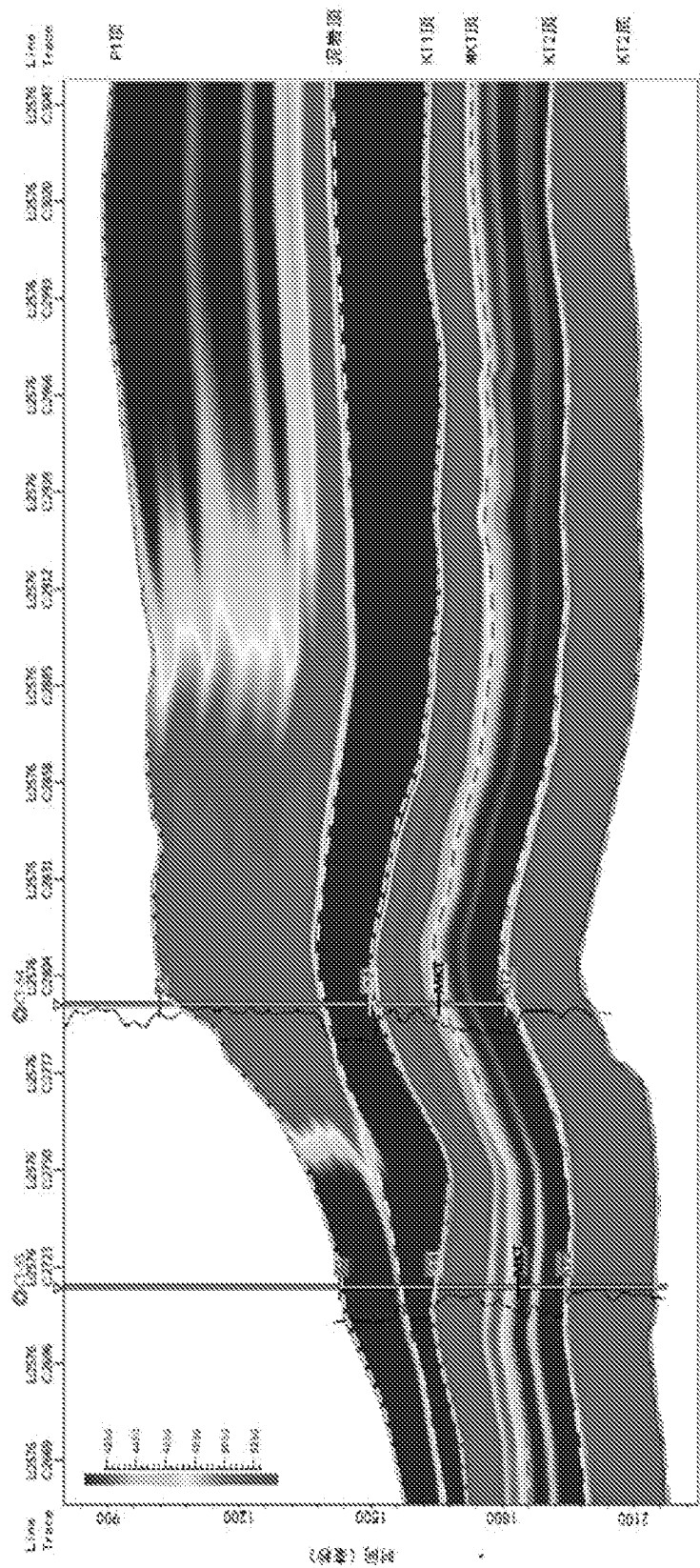


图 3



4

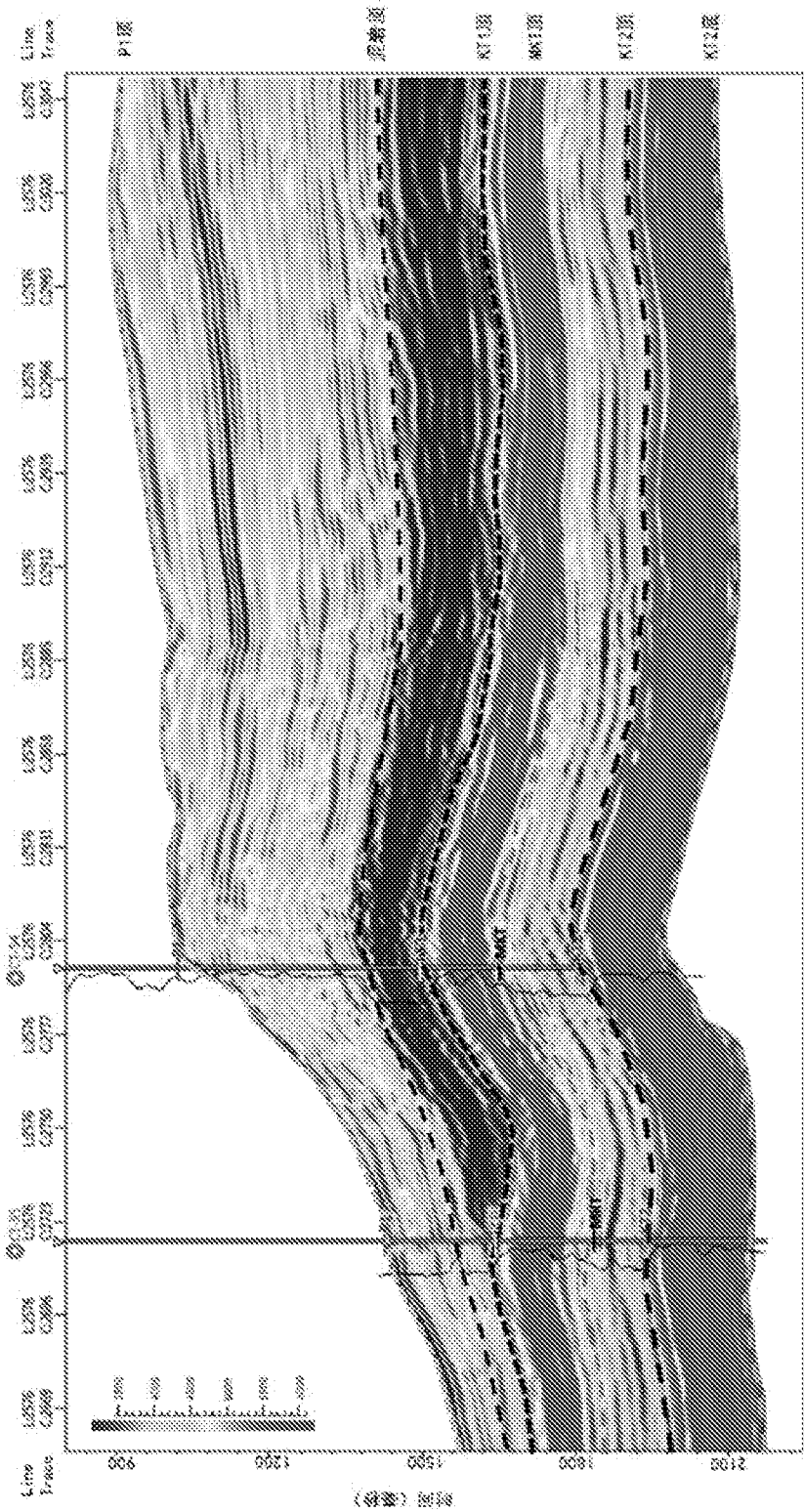


图 5

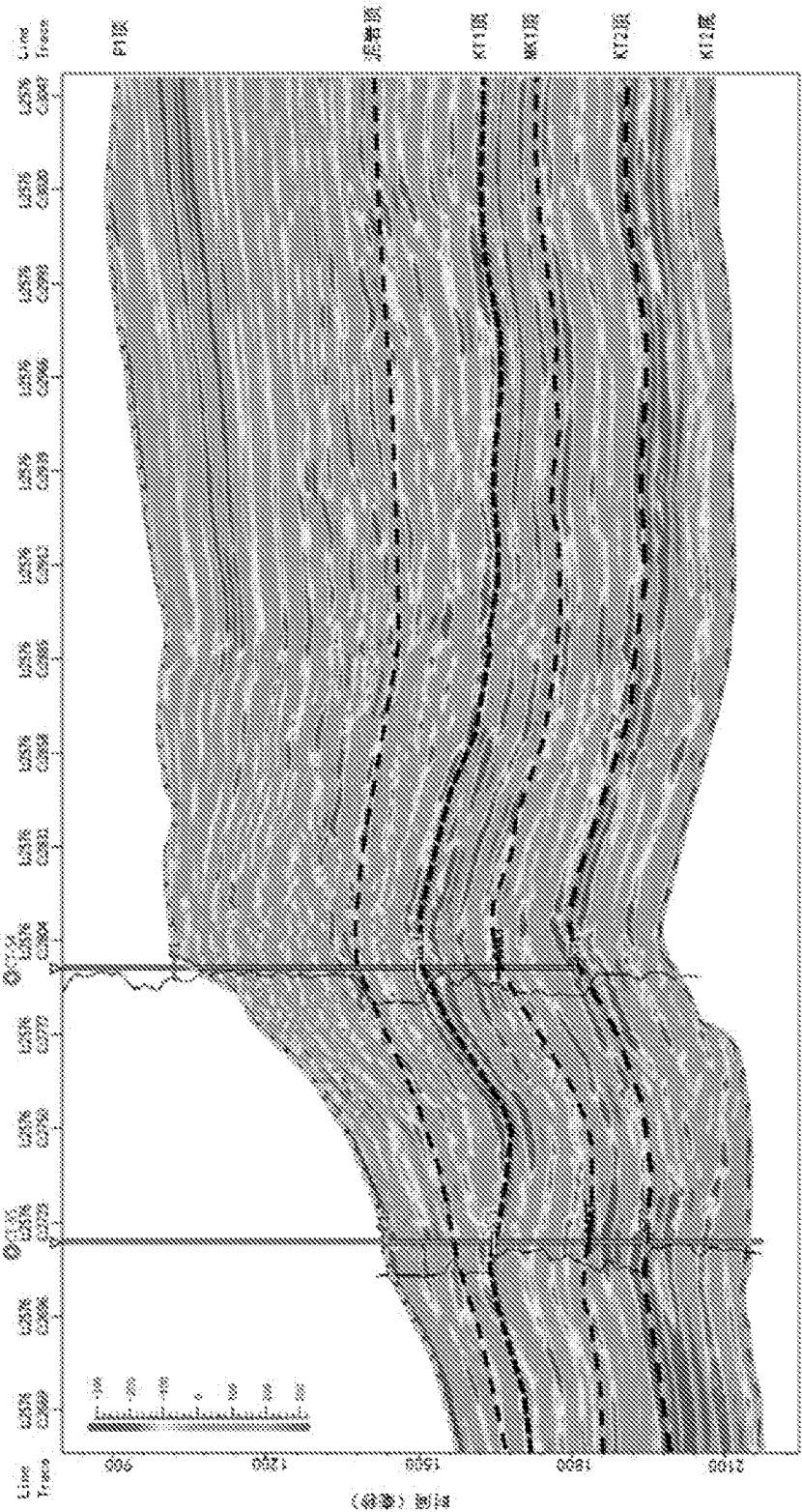


图 6

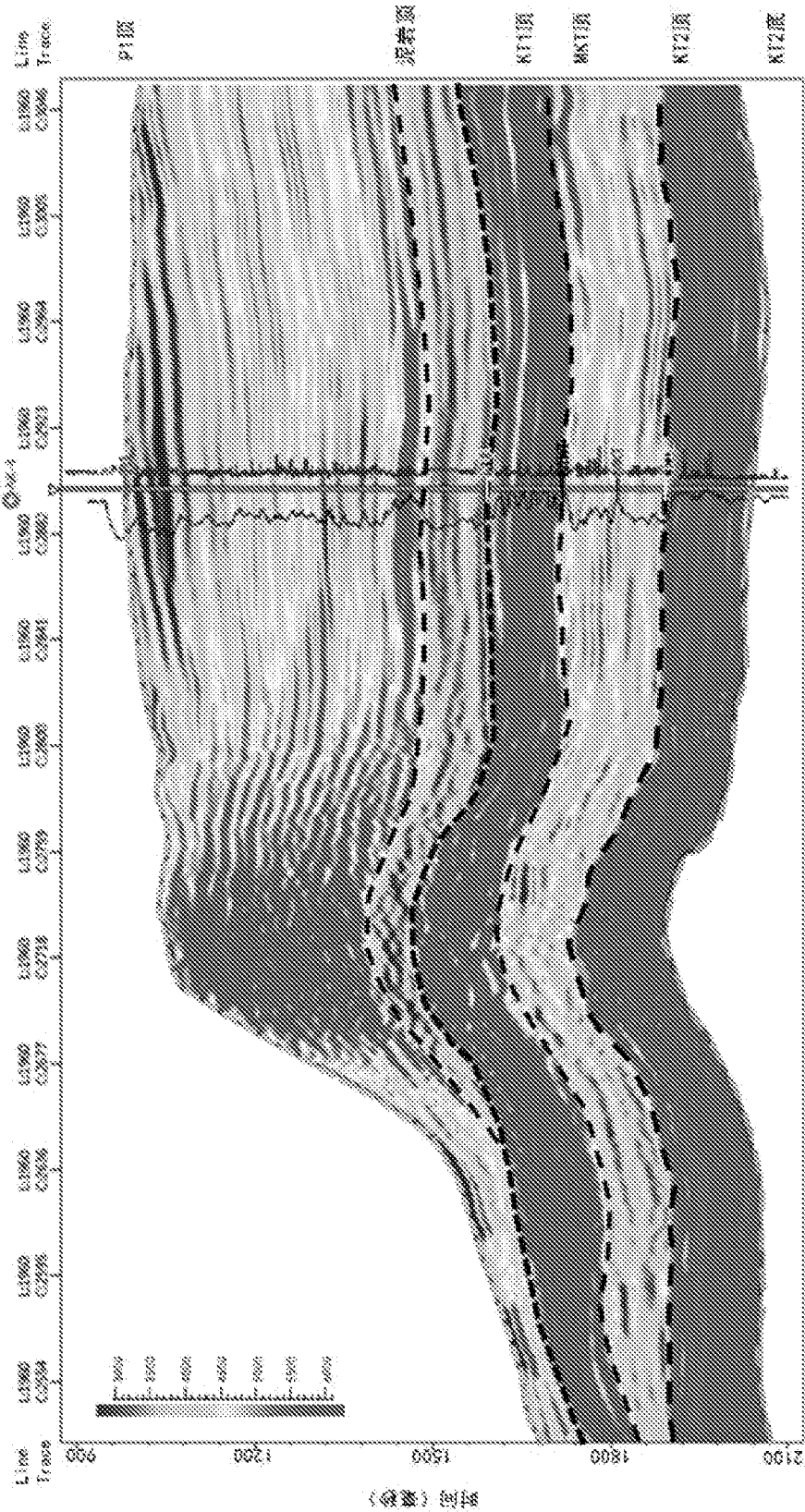
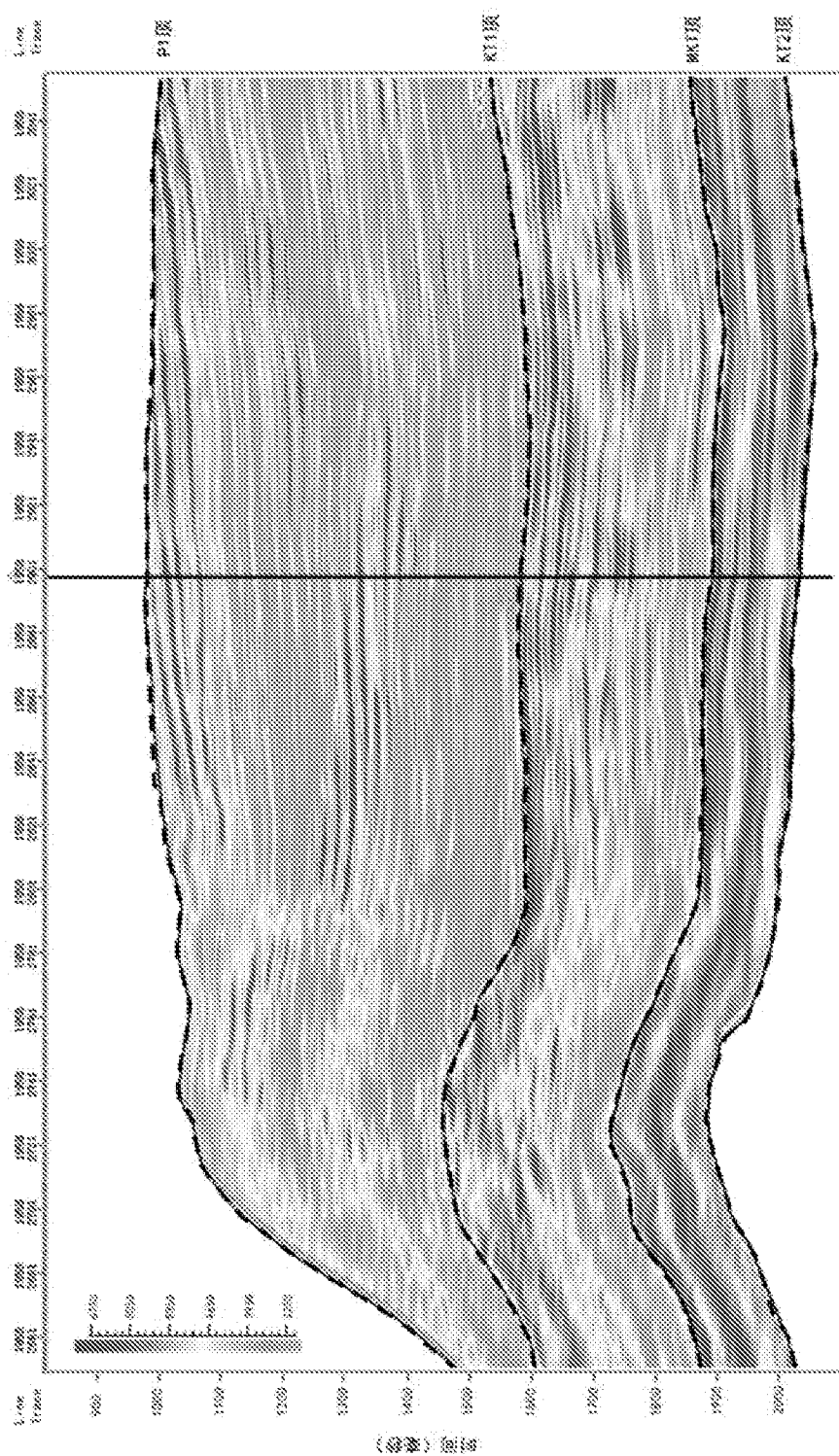


图 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142794

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01V 1/30(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC:G01V1/- Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNTXT, ENTXTC, WPABSC, ENTXT, DWPI, WPABS, CJFD, Web of Science: 速度, 多频, 不同频, 频段, 频率, 地震数据, 测井, 时深, 层位, 预选, 筛选, 克里金, 谱模拟, 波形, 反演, velocity, multi, different, frequency, seismic, logging, time depth, horizon, select+, screen+, invers+																	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>孙月成 等 (SUN, Yuecheng et al.). "三维数据体时深转换速度模型的精细构建方法 (Fine Velocity Modeling Method of the Time-Depth Conversion for 3D Data Volume)" 大庆石油地质与开发 (<i>Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing</i>), Vol. 37, No. 03, 01 June 2018 (2018-06-01), pages 145-152 ISSN: 1000-3754, text, section 2</td> <td>1-5, 15, 16</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103207409 A (CHINA NATIONAL OFFSHORE OIL CORP. et al.) 17 July 2013 (2013-07-17) description, paragraphs [0006]-[0023]</td> <td>1-5, 15, 16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106094052 A (CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (WUHAN)) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document</td> <td>1-16</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 109061764 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 21 December 2018 (2018-12-21) entire document</td> <td>1-16</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	孙月成 等 (SUN, Yuecheng et al.). "三维数据体时深转换速度模型的精细构建方法 (Fine Velocity Modeling Method of the Time-Depth Conversion for 3D Data Volume)" 大庆石油地质与开发 (<i>Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing</i>), Vol. 37, No. 03, 01 June 2018 (2018-06-01), pages 145-152 ISSN: 1000-3754, text, section 2	1-5, 15, 16	Y	CN 103207409 A (CHINA NATIONAL OFFSHORE OIL CORP. et al.) 17 July 2013 (2013-07-17) description, paragraphs [0006]-[0023]	1-5, 15, 16	A	CN 106094052 A (CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (WUHAN)) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-16	A	CN 109061764 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 21 December 2018 (2018-12-21) entire document	1-16
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
Y	孙月成 等 (SUN, Yuecheng et al.). "三维数据体时深转换速度模型的精细构建方法 (Fine Velocity Modeling Method of the Time-Depth Conversion for 3D Data Volume)" 大庆石油地质与开发 (<i>Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing</i>), Vol. 37, No. 03, 01 June 2018 (2018-06-01), pages 145-152 ISSN: 1000-3754, text, section 2	1-5, 15, 16															
Y	CN 103207409 A (CHINA NATIONAL OFFSHORE OIL CORP. et al.) 17 July 2013 (2013-07-17) description, paragraphs [0006]-[0023]	1-5, 15, 16															
A	CN 106094052 A (CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES (WUHAN)) 09 November 2016 (2016-11-09) entire document	1-16															
A	CN 109061764 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 21 December 2018 (2018-12-21) entire document	1-16															
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																	
Date of the actual completion of the international search 06 May 2024		Date of mailing of the international search report 09 May 2024															
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		Authorized officer Telephone No.															

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142794**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109931054 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 25 June 2019 (2019-06-25) entire document	1-16
A	CN 111948732 A (BEIJING NAYUTONGDA PETROLEUM TECHNOLOGY CO., LTD.) 17 November 2020 (2020-11-17) entire document	1-16
A	CN 115903050 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORP. et al.) 04 April 2023 (2023-04-04) entire document	1-16
A	WO 2020089670 A1 (ABU DHABI NATIONAL OIL CO. (ADNOC)) 07 May 2020 (2020-05-07) entire document	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142794

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103207409	A	17 July 2013	CN	103207409	B	06 January 2006
CN	106094052	A	09 November 2016	None			
CN	109061764	A	21 December 2018	CN	109061764	B	27 December 2019
CN	109931054	A	25 June 2019	None			
CN	111948732	A	17 November 2020	None			
CN	115903050	A	04 April 2023	None			
WO	2020089670	A1	07 May 2020	EP	3871017	A1	01 September 2021

A. 主题的分类

G01V 1/30(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G01V1/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT, ENTXTC, WPABSC, ENTXT, DWPI, WPABS, CJFD, Web of Science: 速度, 多频, 不同频, 频段, 频率, 地震数据, 测井, 时深, 层位, 预选, 筛选, 克里金, 谱模拟, 波形, 反演, velocity, multi, different, frequency, seismic, logging, time depth, horizon, select+, screen+, invers+

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	孙月成 等. "三维数据体时深转换速度模型的精细构建方法" 大庆石油地质与开发, 第37卷, 第03期, 2018年6月1日 (2018 - 06 - 01), 第145-152页 ISSN: 1000-3754, 正文第2节	1-5、15、16
Y	CN 103207409 A (中国海洋石油总公司 等) 2013年7月17日 (2013 - 07 - 17) 说明书第[0006]-[0023]段	1-5、15、16
A	CN 106094052 A (中国地质大学(武汉)) 2016年11月9日 (2016 - 11 - 09) 全文	1-16
A	CN 109061764 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2018年12月21日 (2018 - 12 - 21) 全文	1-16
A	CN 109931054 A (西南石油大学) 2019年6月25日 (2019 - 06 - 25) 全文	1-16
A	CN 111948732 A (北京纳宇通达石油技术有限公司) 2020年11月17日 (2020 - 11 - 17) 全文	1-16

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"D" 申请人在国际申请中引证的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年5月6日

国际检索报告邮寄日期

2024年5月9日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

杨晓林

电话号码 (+86) 010-53962460

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 115903050 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2023年4月4日 (2023 - 04 - 04) 全文	1-16
A	WO 2020089670 A1 (ABU DHABI NAT OIL COMPANY ADNOC) 2020年5月7日 (2020 - 05 - 07) 全文	1-16

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/142794

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	103207409	A	2013年7月17日	CN 103207409 B	2006年1月6日
CN	106094052	A	2016年11月9日	无	
CN	109061764	A	2018年12月21日	CN 109061764 B	2019年12月27日
CN	109931054	A	2019年6月25日	无	
CN	111948732	A	2020年11月17日	无	
CN	115903050	A	2023年4月4日	无	
WO	2020089670	A1	2020年5月7日	EP 3871017 A1	2021年9月1日