

(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
2024 年 4 月 4 日 (04.04.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/067458 A1

(51) 国际专利分类号:
G01V 1/30 (2006.01) **G01V 1/28** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/121000

(22) 国际申请日: 2023 年 9 月 25 日 (25.09.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202211216892.X 2022年9月30日 (30.09.2022) 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: 孙甲庆(SUN, Jiaqing); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。寇龙江(KOU, Longjiang); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。王靖(WANG, Jing); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。刘锦涛(LIU, Jintao); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。王小卫(WANG, Xiaowei); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。苏勤(SU, Qin); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。王孝(WANG, Xiao); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。徐兴荣(XU, Xingrong); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。金保中(JIN, Baozhong); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。

(54) Title: WHILE-DRILLING VSP WELL-DRIVEN SEISMIC IMAGING METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 随钻VSP井驱地震成像方法及装置

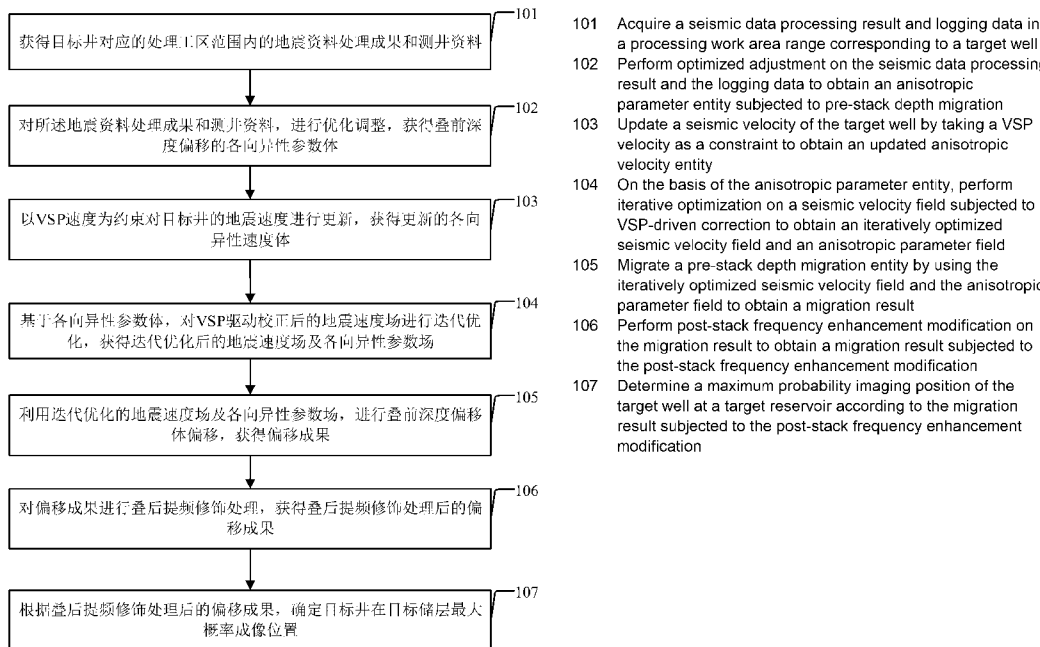


图1

(57) Abstract: A while-drilling VSP well-driven seismic imaging method, comprising: acquiring a seismic data processing result and logging data in a processing work area range corresponding to a target well; performing optimized adjustment on the seismic data processing result and the logging data to obtain an anisotropic parameter entity subjected to pre-stack depth migration; updating a seismic velocity of the target well by taking a VSP velocity as a constraint; on the basis of the anisotropic parameter entity, performing iterative optimization on a seismic velocity field subjected to VSP-driven correction to obtain an iteratively optimized seismic velocity field and

凌越(LING, Yue); 中国北京市西城区六铺炕街六号316室, Beijing 100724 (CN)。

(74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市西城区金融街35号国际企业大厦A座16层, Beijing 100033 (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。

(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))。

an anisotropic parameter field; migrating a pre-stack depth migration entity to obtain a migration result; performing post-stack frequency enhancement modification on the migration result to obtain a migration result subjected to the post-stack frequency enhancement modification; and determining a maximum probability imaging position of the target well at a target reservoir according to the migration result subjected to the post-stack frequency enhancement modification, so that while-drilling VSP well-driven seismic imaging can be implemented, and the timeliness is high. Further provided are a while-drilling VSP well-driven seismic imaging apparatus, a computer device, a computer readable storage medium, and a computer program product.

(57) 摘要: 一种随钻VSP井驱地震成像方法, 包括: 获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料; 对地震资料处理成果和测井资料, 进行优化调整, 获得叠前深度偏移的各向异性参数体; 以VSP速度为约束对目标井的地震速度进行更新; 基于各向异性参数体, 对VSP驱动校正后的地震速度场进行迭代优化, 获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场; 进行叠前深度偏移体偏移, 获得偏移成果; 对偏移成果进行叠后提频修饰处理, 获得叠后提频修饰处理后的偏移成果; 根据叠后提频修饰处理后的偏移成果, 确定目标井在目标储层最大概率成像位置, 可以实现随钻VSP井驱地震成像, 时效性强。还提供一种随钻VSP井驱地震成像装置、计算机设备、计算机可读存储介质和计算机程序产品。

随钻 VSP 井驱地震成像方法及装置

5 本申请要求 2022 年 9 月 30 日递交的申请号为 202211216892.X、发明名称为“随钻 VSP 井驱地震成像方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

10 本发明涉及地震随钻技术领域，尤其涉及一种随钻 VSP 井驱地震成像方法及装置。

背景技术

本部分旨在为权利要求书中陈述的本发明实施例提供背景或上下文。此处的描述不因为包括在本部分中就承认是现有技术。

15 石油钻井是一项高投入、高风险的地下工程，在钻井作业实施时对地下情况的认识是模糊的，这给钻井作业带来了极大的风险。因此，探测未钻地层的各种参数与储层、断裂位置的勘探技术是极为重要的。

随钻地震技术最早是一种用钻井钻头作为震源信号，在钻井过程中实时接收人工地震信息，以探测地下地质情况的方法。但是这种测量方法由于对钻头工艺要求很高，一直未能取得期望的应用效果。随钻 VSP（Vertical Seismic Profiling，垂直地震剖面法）
20 技术是将震源移到地面，井下钻具上安装检波器接收地面震源释放的能量。该技术巧妙地回避了钻头问题，但又保持了实时测量且不损失钻井时间等优点，但是这种测量方式需要用到专业的井下钻具，成本高昂，且在测量过程中对于仪器稳定性要求很高，不利于规模化推广应用。后续，开展了随钻 VSP（垂直地震剖面法）地震技术先导试验，为了回避高昂的仪器成本，在钻进至目的层前采用常规零井源距 VSP 获取最新的地下地质
25 信息，然后用常规地面地震资料预测未钻地层的各种参数与储层位置。这种方法一般被称为随钻 VSP 井驱地震技术，优点很好地利用了地面地震资料信息，实现了对目标体精确定位。另外，这种技术大幅度降低了采集成本，利于规模化应用。

单独的随钻资料仅能得到井点附近的信息，从目前的试验中可以发现，将地面地震资料与随钻资料相结合，共同预测未钻地层，可以得到更精确的结果。但是，钻井是一

项对时效性要求很高的工程，地面地震成像往往是很耗时的，这就相当于变相增加了勘探成本。

因此，目前缺乏一种高效的随钻 VSP 井驱地震成像方案。

5 发明内容

本发明实施例提供一种随钻 VSP 井驱地震成像方法，用以实现随钻 VSP 井驱地震成像，时效性强，精度高，该方法包括：

获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异

10 性参数体；

以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；

利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏

15 移成果；

对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；

根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

本发明实施例还提供一种随钻 VSP 井驱地震成像装置，用以实现随钻 VSP 井驱地震成像，时效性强，精度高，该装置包括：

20 资料获得模块，用于获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

优化调整模块，用于对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；

VSP 驱动校正模块，用于以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更

25 新的各向异性速度体；

迭代优化模块，用于基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；

偏移模块，用于利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；

叠后提频修饰处理模块，用于对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；

成像位置确定模块，用于根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

5 本发明实施例还提供一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在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时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

10 本发明实施例还提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

本发明实施例中，获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；
15 基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。与现有技术中将地面地震资料与随钻资料相结合的技术方案
20 相比，通过以 VSP 速度为约束，获得 VSP 驱动校正后的速度，基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置，
25 大大提高了地面地震成像的时效和精度，降低了随钻 VSP 地震技术的实施成本，对于随钻 VSP 地震技术充分发挥提高钻井成功率，降本增效的效用具有重要的作用。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本
30

发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。在附图中：

图 1 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像方法的流程图；

图 2 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像处理的资料收集范围平面示意图；

5 图 3 为本发明实施例中根据进行地震资料处理成果的检查的原理示意图；

图 4 为本发明实例中对地震资料处理成果进行优化调整前后成像示意图；

图 5 为本发明实例中 VSP 驱动前后的地震速度示意图；

图 6 为本发明实例中采用横向插值外推方法对更新的井点速度进行横向插值外推前后对比示意图；

10 图 7 为本发明实例中采用本发明方法建立的各向异性参数场中 Delta 值与地震资料处理成果中 Delta 值对比示意图；

图 8 为本发明实例中采用本发明提供的网格层析迭代方法对各向异性参数 Epsilon 更新前后对比示意图；

15 图 9 为本发明实例中采用本发明提供的特殊属性体速度更新迭代方法对火成岩速度进行更新前后对比示意图；

图 10 为本发明实例中采用 Kirchhoff 积分法对叠前深度偏移体偏成果进行处理前后对比示意图；

图 11 为本发明实例中采用靶点位置定量分析方法对目标储层成像位置进行分析示意图；

20 图 12 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像装置的示意图；

图 13 为本发明实施例中计算机设备的示意图。

具体实施方式

为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合附图对本发明
25 实施例做进一步详细说明。在此，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，但并不作为对本发明的限定。

图 1 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像方法的流程图，包括：

步骤 101，获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

30 步骤 102，对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；

步骤 103, 以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新, 获得更新的各向异性速度体;

步骤 104, 基于各向异性参数体, 对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化, 获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场;

5 步骤 105, 利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场, 进行叠前深度偏移体偏移, 获得偏移成果;

步骤 106, 对偏移成果进行叠后提频修饰处理, 获得叠后提频修饰处理后的偏移成果;

10 步骤 107, 根据叠后提频修饰处理后的偏移成果, 确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

本发明实施例提出的方法与现有技术中将地面地震资料与随钻资料相结合的技术方案相比, 通过以 VSP 速度为约束, 获得 VSP 驱动校正后的速度, 基于各向异性参数体, 对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化, 获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场; 利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场, 进行叠前深度偏移体偏移, 获得偏移成果; 对偏移成果进行叠后提频修饰处理, 获得叠后提频修饰处理后的偏移成果; 根据叠后提频修饰处理后的偏移成果, 确定目标井在目标储层最大概率成像位置, 大大提高了地面地震成像的时效和精度, 降低了随钻 VSP 地震技术的实施成本, 对于随钻 VSP 地震技术充分发挥提高钻井成功率, 降本增效的效用具有重要的作用。

20 也就是, 本发明实施例中, 利用 VSP 速度(随钻 VSP(垂直地震剖面)获得的精确深度、速度信息)作为先验信息, 驱动地震资料处理成果实现快速、精确成像, 以确定目标井在目标储层最大概率成像位置, 属于石油天然气勘探领域中在钻井过程中实时对地震资料进行处理解释, 从而优化钻井靶点的方法, 适用于石油地球物理勘探钻井过程中靶点优化调整阶段。

25 具体实施时, 根据目标井周围地质构造变化确定随钻 VSP 井驱地震成像处理的范围, 确定目标井对应的处理工区范围; 然后, 获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料。

在一实施例中, 所述地震资料处理成果包括 CMP 道集处理成果、叠前时间偏移成果、叠前深度偏移成果、叠前深度偏移速度体、叠前深度偏移各向异性参数体成果、叠前深度偏移各向同性参数体成果、叠前深度偏移构造参数体成果中的其中之一或任意组合;

30 合;

所述测井资料包括正钻井以及周边井的井头信息、井轨迹信息、井分层信息中的其中之一或任意组合。

需要指出的是，测井资料要获得当前最新的。

在一实施例中，在获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料之后，还包括：

检查 CMP 道集处理成果是否存在影响剖面成像的噪音，若否，确定 CMP 道集处理成果可靠，所述影响剖面成像的噪音包括异常振幅、多次波、偏移划弧、斜干扰中的其中一种或任意组合；

检查叠前深度偏移速度体，在叠前深度偏移速度体的速度拾取点合理、道集的动校拉平、速度剖面横向变化符合地质和地球物理学规律时，确定叠前深度偏移速度体可靠；

通过偏移剖面的频谱、振幅、相干切片、井周围目标线用收集到的 CMP 与偏移速度的验证性偏移（也就是，还原第一现场，对比偏移结果，判断收集资料的可靠性），检查叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果的可靠性，获得可靠性检查结果，并根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理。

在上述步骤中，根据不同的资料检查结果，选择可靠的基础资料进行前期优化处理，以更加符合 VSP 驱动处理的资料要求。

在一实施例中，根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，包括：

在叠前深度偏移各向异性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向异性参数体成果进行优化处理；

在叠前深度偏移各向异性参数体成果不可靠，且叠前深度偏移各向同性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，重新建立叠前深度偏移各向异性场，进行叠前深度偏移各向异性深度偏移；

若叠前深度偏移各向同性参数体成果仍然不可靠，评价叠前时间偏移成果，重新进行叠前深度偏移处理，重复执行以上步骤，直至获得可靠的叠前深度偏移各向同性参数体成果。

在步骤 102 中，对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；

由于地震速度存在多解性，利用地震资料得到的速度模型并不是唯一的。在油田的滚动开发过程中，可以不断获得新的测井资料和地质认识，这些资料与认识可能与地震资料处理时有所差异，需要以新的地质认识为导向，综合参考地震层位与地质层位，建立与新钻井信息相符合的新速度模型。

- 5 前期地面地震处理虽然不能提供精确的速度模型，但可以提供相对准确的成像速度信息，也就是说前期地震速度是真实速度的等效模型，因此速度更新可以省去重新叠前深度偏移的时间，根据新的速度模型（第二速度模型）与前期地震处理的速度模型（第一速度模型）的差异，采用基于射线追踪的剩余走时层析技术修正速度以及各向异性参数模型。基于射线追踪的剩余走时层析成像，或者说保时层析成像，主要是求解一系列
- 10 大型超定方程组，这些线性方程可以看作是一组线性约束。在保时层析成像中有两种类型的线性约束：（a）设定每一对追踪射线为零旅行时误差；（b）将模型误差设定为任一层深度和各向异性速度参数误差。解这个线性方程组可以得到一个同时满足两种类型的约束的各向异性参数模型，包含地震速度、Thomsen 参数及每一层的深度。

综合上述过程，对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整的步骤包括：

- 15 基于地震资料处理成果获得第一速度模型，并基于地震资料处理成果和当前的测井资料获得第二速度模型；

获得第一速度模型与第二速度模型每一地层的深度误差；

基于每一地层的深度误差，建立保时层析线性方程组；

解保时层析线性方程组得到优化的叠前深度偏移的各向异性参数体。

- 20 上述优化调整后地震速度及各向异性参数场直接用来做各向异性叠前深度偏移，目标偏移成像收敛程度与原各向异性叠前深度偏移成果相当，但是优化调整后各标志层位的成像深度与新测井信息对应更好。

在步骤 103 中，以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体，具体步骤包括：

- 25 （1）以 VSP 速度为约束对目标井的井底以上垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

首先对垂向地震速度的初始速度进行平滑，消除层速度间变化过大对偏移产生的影响，得到校正后的目标井底以上垂向地震速度，通过平滑前后垂向地震速度对比分析，发现还存在一定差异性，将两个垂向地震速度进行运算求取比例因子，并将比例因子应

用，产生新的 VSP 偏移地震速度场，即新的各向异性速度体，这种方法可以实现井旁地震速度与 VSP 速度的高效吻合，吻合率达到 95%以上。

具体实现步骤如下：

- A、求取校正后的目标井底以上垂向地震速度与井旁地震速度的比例因子；
- 5 B、用 VSP 速度为约束进行比例因子的插值与外推获得比例因子数据体；
- C、通过比例因子数据体获得新的各向异性速度体。

(2) 以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新后的各向异性速度体拼接形成更新的井点速度；

- VSP 测井采集深度有限，VSP 井底以下至目标靶点间存在速度盲区，为了提高 VSP 井底以下地震速度精度，减少深度误差，应参考周边井的 VSP 速度或声波速度作为参考速度对速度进行校正。

具体实现步骤如下：

- A、将目标井的周边井的 VSP 速度或声波速度作为参考速度；
- B、将参考速度的盲区长度拉伸或压缩至与目标井的 VSP 速度长度一致，也就是改变采样间隔；
- 15 C、将更新的井底以下地震速度与更新后的各向异性速度体拼接形成更新后的井点速度。

(3) 以地质导向为约束对更新的井点速度进行横向插值外推，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场。

- 20 以 VSP 速度为约束对目标井的井底以上垂向地震速度进行更新，以及以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，可以准确保证井点速度的纵向精度，井点速度横向变化可以通过地质层位约束的空间插值和外推，把 VSP 速度推展到速度建模的范围，提高整个工区速度精度。

具体实现步骤如下：

- 25 A、首先将井点处比例因子进行插值外推，形成比例因子数据体；
- 常规的插值方法都需要准确的地震层位进行约束，而地震层位的拾取是一项耗时费力的工作，为了提高插值效率，本发明采用地震导向速度插值技术进行插值外推，这种技术无需地震层位，采用地震成像数据体的相干振幅趋势进行横向约束，不仅提高了效率，而且对于难以用解释准确获得地震层位的数据更为适用，避免了地震层位解释带来的误差。
- 30 差。

B、对收集到的原始地震速度进行平滑；

C、根据比例因子数据体应用于平滑后的地震速度，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场。

在步骤 104 中，基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；利用 VSP 速度驱动对地震速度重新建模后，速度误差减小，更符合地下实际地质情况，但是该地震速度是垂向地震速度，需要和对应的各向异性参数体结合才能得到地震成像速度。

在一实施例中，基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场，包括：

10 (1) 基于各向异性参数体，建立初始各向异性参数场；

前述已经得到了各向异性参数体，但是当道集信噪比较低时，通过网格层析不能实现对各向异性参数体的快速更新，得到相对准确的地震成像，这里考虑对初始 Delta 参数场进行数学运算得到与 VSP 驱动速度更为匹配的各向异性参数，这样快速实现目标串珠的准确成像，降低网格层析及层控网格层析的迭代次数。运算公式为：

$$15 \quad \delta_{new} = \left[\frac{v_{old}^2 (1 + 2\delta_{old})}{v_{new}^2} - 1 \right] / 2 = \frac{1 + 2\delta_{old}}{2scal^2} - 0.5 \quad (2)$$

式中， δ_{old} 为初始 Delta 参数场， δ_{new} 为更新后 Delta 参数场， v_{old} 为初始速度场， v_{new} 为上一步骤更新后的速度场， $scal = \frac{v_{new}}{v_{old}}$ 为 VSP 驱动速度比例因子。

(2) 对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，获得迭代优化的地震速度场和各向异性参数场，具体步骤包括：

20 A、对 VSP 驱动校正后的地震速度场中井底以上地震速度，保持不变；

这是因为经过了 VSP 驱动地震速度校正，VSP 井底以上地震速度已经相对准确，因此对于 VSP 井底以上，在迭代过程中保持地震速度相对不变，通过迭代各向异性参数将每个深度偏移 CRP 道集的每个较强同相轴拉平，得到更准确的叠前深度偏移成像；根据弱各向异性的假设，取值范围一般在 -0.2~0.2 之间，且在同一地层中较为稳定，一般 1
25 轮迭代就能得到相对准确的浅层成像，满足 VSP 驱动处理对时效性的要求。

B、若工区处理范围内存在预设类型属性体，基于初始各向异性参数场，采用高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行刻画，进行迭代更新；

在这种情况下，预设类型属性体可以是火成岩等特殊岩性体，对这种特殊岩性体进行小网格迭代，以消除火成岩速度对下伏地层构造和成像的影响。VSP 速度对于火成岩速度有很好的反映，但是火成岩速度横向变化快，稀疏的井资料并不能完全控制火成岩速度的变化，需要进行高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行更好的刻画；

C、对 VSP 驱动校正后的地震速度场中 VSP 井底至靶点盲区的地震速度开展层控与速度扫描结合的方法进行迭代更新。

VSP 井底至靶点盲区通常存在一套横向连续性较好的标志层，利用周边井以及速度模型可以很好的控制标志层以上横向速度趋势，这时只需要对标志层进行沿层层析实现对速度场的迭代更新。对于标志层以下速度，采用速度扫描方法，确保目标靶点成像精度。

若 VSP 井底至靶点盲区不存在标志层，或周边井较少无法控制标志层以上横向速度趋势，则需要采用沿层层析方法自浅至深逐层更新 VSP 井底以上速度，避免速度面和反射面几何形态误差累计，提高速度横向精度。然后对 VSP 井底以下的盲区速度进行速度扫描，确保目标靶点成像精度。

各向异性参数场包括速度、delta、epsilon、dip、azimuth 等。

在步骤 105 中，利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；

近几年，基于波动方程的偏移方法得到了长足的发展，逆时偏移可以对波传播的任何方向进行成像，包括回折波和多次波成像，能够处理多路径问题，能够对倾覆构造成像，是双程波动方程偏移的典型方法，也是精度最高的偏移算法。但是 VSP 驱动处理不仅要考虑精度还要考虑时效性，在本发明实施例中，采用 Kirchhoff 积分法进行叠前深度偏移体偏移。Kirchhoff 积分法叠前深度偏移被认为是一种高效实用的叠前深度偏移方法，它具有高偏移角度、无频散、占用资源少和实现效率高的特点，并且积分法能够适应变化的观测系统和起伏的地表。因此，Kirchhoff 积分法是目前最适合 VSP 驱动处理的偏移方法。

在步骤 106 中，对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果，目前勘探目标大多成像信噪比较低，一般存在较重的伴随相位，导致储层成像难以辨别，需要进行适当的叠后处理。保幅性好的叠后处理方法通常是在叠前道集上进行，耗时较久，不能满足 VSP 驱动处理对于时效性的要求，需要在叠后剖面上探索快速

且保幅性好的提频修饰方法。在叠后剖面上提高地震资料的分辨率，补偿地下介质衰减性造成的地震波能量损失的方法主要有反 Q 滤波方法、时频分析吸收补偿等方法，但是这些方法的保幅性较差。为了解决保真性和时效性的问题，本发明实施例提出采用振幅因子保持技术对偏移成果进行叠后提频修饰处理。

5 振幅因子保持技术的实现步骤为：

A、从偏移成果的直接偏移剖面上提取振幅因子，此振幅因子保留了剖面的相对振幅关系，保幅性较好；

B、对于叠后偏移数据进行反 Q 滤波等提频修饰处理，得到提频后的叠后数据体；

C、将振幅因子还原到前一步骤得到的提频后的叠后数据体上，以保障数据保留直接偏移剖面的相对振幅关系。

采用振幅因子保持技术确保数据保幅性，在此基础上利用反 Q 滤波等方法提高目的层信噪比与分辨率，使目标成像得到较大的改善。

在步骤 107 中，根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。这一过程为靶点定量分析，其原理是对目标储层进行局部速度扫描，分析不同扫描结果目标储层成像位置进行量化分析，最终确定目标储层最大概率成像位置。

在一实施例中，根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置，包括：

对偏移成果中目标体周边速度进行常速填充，然后分别进行成像，获得第一成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度保持横向相对关系不变，进行百分比扫描（通常范围为 90%-110%，间隔为 1%），分别进行成像，获得第二成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度当前位置不变，进行横向相对关系扫描，分别进行成像，获得第三成像结果；本步骤扫描中，通常分四种情况：主测线方向正向速度变大、主测线方向反向速度变大、垂直主测线方向正向速度变大、垂直主测线方向反向速度变大，然后分别进行成像；

对第一成像结果、第二成像结果、第三成像结果进行绘图，通常有四种绘图方式：能量分布、最大能量位置分布、最大能量亮度分布；

根据绘图结果选择目标储层最大概率成像位置。

最后，可将最新的目标储层最大概率成像位置提供给钻井人员，及时进行井轨迹的调整，确保钻井钻遇目标储层，达到提高钻井成功率的目的。

下面给出一个具体实施例。实例中的地震数据来自某油田区块 A，依据前期完成的地面地震处理成果解释成果，某年在本区钻探风险井位一口 M1，钻探过程中发现实际
5 层位与预测层位相差达 100 米，依据原钻井轨迹很难钻探到既定目标储层，因此在四开中完时，对本井进行 VSP 测井，现场停钻等待新的地震资料处理成果，制定新的钻井轨迹调整方案。按照现有的处理技术，即使加急处理，地震资料处理成果的重新处理预估在十天以上，停钻时间预估超过半个月，将带来巨大的经济损失，但是应用本发明实施例提出的方法后，将处理时间压缩到 68 小时，停钻时间压缩到 3 天，节约了大量的时间
10 与人力、物力成本，最终本井顺利钻遇储层，试油高产。

本实施例具体按照如下步骤实现：

1、本工区地处沙漠区，浅表地层横向变化较小，速度具有很强的相关性，在原工区中选择井周围 256 平方公里建立工区处理范围，图 2 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像处理的资料收集范围平面示意图。

15 2、收集处理范围内的某年的地面地震资料及附近 3 口已钻井的测井资料；

3、采用本发明提供的方法进行地震资料处理成果的检查，最后选择叠前深度偏移速度体、叠前深度偏移各向异性参数体成果作为可靠的地震资料处理成果；图 3 为本发明实施例中根据进行地震资料处理成果的检查的原理示意图。其中，在各向异性深度偏移成果可靠时，直接对各向异性深度偏移成果进行优化处理，包括通过地质、测井新认
20 识，获得各向异性速度模型，再通过网络层析后进行 VSP 驱动处理。在各向异性深度偏移成果不可靠时，进行井震误差统计，保时层析，获得初始各向异性参数体，然后进行网络层析，获得各向异性深度偏移，获得各向异性深度偏移成果后，再按照上述步骤判断各向异性深度偏移成果是否有效。在各向同性深度偏移成果不可靠时，将时间域成果（即叠前时间偏移成果）进行处理，直至得到各向同性深度偏移成果，再判断各向同性
25 深度偏移成果是否可靠。图 4 为本发明实例中对地震资料处理成果进行优化调整后成像示意图（左侧为优化调整前，右侧为优化调整后），可见，经过优化调整后，成像效果更好。

4、建立第一速度模型和第二速度模型，建立保时层析线性方程组，并解析，得到叠前深度偏移的各向异性参数体；

5、以四开中完 VSP 测井资料处理得到的最新 VSP 速度、深度为约束对当前井点垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；图 5 为本发明实例中 VSP 驱动前后的地震速度示意图（左侧为 VSP 驱动前，右侧为 VSP 驱动后），可见，VSP 驱动后地震速度更加精确。

5 6、以 3 口已钻井 VSP 速度为约束对当前井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新的井点速度；

7、以地质导向为约束对更新的井点速度进行横向插值外推，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场，图 6 为本发明实例中采用横向插值外推方法对更新的井点速度进行横向插值外推前后对比示意图（左侧为横向插值外推前，右侧为横向插值外推后）。

10 8、基于各向异性参数体，建立初始各向异性参数场；图 7 为本发明实例中采用本发明方法建立各向异性参数场中 Delta 值与地震资料处理成果中 Delta 值对比示意图（左侧为采用本发明方法建立各向异性参数场中 Delta 值，右侧为地震资料处理成果中 Delta 值）；

9、对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，获得迭代优化的地震速度场和各向异性参数场，其中，本工区二叠系存在一套横向变化剧烈的火成岩，采用高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行刻画；其中，VSP 井底至靶点盲区的地震速度开展层控与速度扫描结合的方法进行迭代；图 8 为本发明实例中采用本发明提供的网格层析迭代方法对各向异性参数 Epsilon 更新前后对比示意图（左侧为更新前，右侧为更新后）。图 9 为本发明实例中采用本发明提供的特殊属性体速度更新迭代方法对火成岩速度进行更新前后对比示意图（左侧为更新前，右侧为更新后）。

10、利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；图 10 为本发明实例中采用 Kirchhoff 积分法对叠前深度偏移体偏成果进行处理前后对比示意图（左侧为处理前，右侧为处理后）。

25 11、采用振幅因子保持技术对偏移成果进行叠后提频修饰处理；

12、采用靶点位置定量分析方法确定目标井在目标储层最大概率成像位置；图 11 为本发明实例中采用靶点位置定量分析方法对目标储层成像位置进行分析示意图。

13、将最新的目标储层最大概率成像位置提供给钻井人员，及时进行井轨迹的调整，确保钻井钻遇目标储层，达到提高钻井成功率的目的。

30 综上所述，本发明实施例提出的方法达到了以下有益效果：

第一，提供了一套高效的随钻 VSP 井驱地震成像方法，大大提高了地面地震成像的时效和精度，降低了随钻 VSP 地震技术的实施成本，对于随钻 VSP 地震技术充分发挥提高钻井成功率，降本增效的效用具有重要的作用。

第二，建立了一套地震资料处理成果和测井资料的评价体系，对收集到的地震资料
5 处理成果和测井资料进行评价，可以有效、快速选择可靠的地震资料处理成果和测井资料，随钻 VSP 地震成像处理做好数据准备；

第三，建立了一种高效的随钻 VSP 地震速度建模方法，利用新的测井信息及 VSP 速度可以快速校正地震速度误差；

第四，建立了一种高效各向异性参数场求取方法，快速实现目标串珠的准确成像，
10 降低网格层析及层控网格层析的迭代次数。

第五，建立了一种振幅因子保持技术来进行叠后提频修饰处理，可以有效提高目的层信噪比与分辨率。

第六，建立了一种目标靶点定量分析方法，对目标储层进行局部速度扫描，分析不同扫描结果目标储层成像位置进行定量化分析，最终确定目标储层最大概率成像位置。

15 实际资料应用表明，本发明实施例提出的方法可以有效指导井轨迹优化调整，其中多口井轨迹调整超过 50 米，大大降低钻井工程风险，按照塔里木平均 1.1 亿元/万米进尺的成本计算，预计节约 6 亿元投资。

随钻 VSP 地震技术不仅适用于各类碳酸盐岩、碎屑岩等岩性油气藏，也适用于山前复杂构造带、复杂断裂带等构造类油气藏；同时适用于勘探阶段的重点探井、评价井，
20 开发阶段的开发井；在构造精细识别、提高勘探开发效率、降低勘探成本等方面具有独特优势，具有非常广阔的推广应用前景和潜力。

本发明实施例中还提供了一种随钻 VSP 井驱地震成像装置，如下面的实施例所述。由于该装置解决问题的原理与随钻 VSP 井驱地震成像方法相似，因此该装置的实施可以参见随钻 VSP 井驱地震成像方法的实施，重复之处不再赘述。

25 图 12 为本发明实施例中随钻 VSP 井驱地震成像装置的示意图，包括：

资料获得模块 1201，用于获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

优化调整模块 1202，用于对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；

VSP 驱动校正模块 1203，用于以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

迭代优化模块 1204，用于基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；

- 5 偏移模块 1205，用于利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；

叠后提频修饰处理模块 1206，用于对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；

- 10 成像位置确定模块 1207，用于根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

在一实施例中，所述装置还包括处理工区范围确定模块 1208，用于：

根据目标井周围地质构造变化确定随钻 VSP 井驱地震成像处理的范围，确定目标井对应的处理工区范围。

- 15 在一实施例中，所述地震资料处理成果包括 CMP 道集处理成果、叠前时间偏移成果、叠前深度偏移成果、叠前深度偏移速度体、叠前深度偏移各向异性参数体成果、叠前深度偏移各向同性参数体成果、叠前深度偏移构造参数体成果中的其中之一或任意组合；

所述测井资料包括正钻井以及周边井的井头信息、井轨迹信息、井分层信息中的其中之一或任意组合。

- 20 在一实施例中，所述装置还包括可靠性分析模块 1209，用于：

在获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料之后，检查 CMP 道集处理成果是否存在影响剖面成像的噪音，若否，确定 CMP 道集处理成果可靠，所述影响剖面成像的噪音包括异常振幅、多次波、偏移划弧、斜干扰中的其中一种或任意组合；

- 25 检查叠前深度偏移速度体，在叠前深度偏移速度体的速度拾取点合理、道集的动校拉平、速度剖面横向变化符合地质和地球物理学规律时，确定叠前深度偏移速度体可靠；

通过偏移剖面的频谱、振幅、相干切片、井周围目标线用收集到的 CMP 与偏移速度的验证性偏移，检查叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数

体成果的可靠性，获得可靠性检查结果，并根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理。

在一实施例中，可靠性分析模块具体用于：

在叠前深度偏移各向异性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向异性参数体成果
5 进行优化处理；

在叠前深度偏移各向异性参数体成果不可靠，且叠前深度偏移各向同性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，重新建立叠前深度偏移各向异性场，进行叠前深度偏移各向异性深度偏移；

若叠前深度偏移各向同性参数体成果仍然不可靠，评价叠前时间偏移成果，重新进行叠前深度偏移处理，重复执行以上步骤，直至获得可靠的叠前深度偏移各向同性参数体成果。
10

在一实施例中，优化调整模块具体用于：

基于地震资料处理成果获得第一速度模型，并基于地震资料处理成果和当前的测井资料获得第二速度模型；

15 获得第一速度模型与第二速度模型每一地层的深度误差；

基于每一地层的深度误差，建立保时层析线性方程组；

解保时层析线性方程组，得到叠前深度偏移的各向异性参数体。

在一实施例中，VSP 驱动校正模块具体用于：

以 VSP 速度为约束对目标井的井底以上垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；
20

以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新的井点速度；

以地质导向为约束对更新的井点速度进行横向插值外推，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场。

25 在一实施例中，VSP 驱动校正模块具体用于：

求取校正后的目标井底以上垂向地震速度与井旁地震速度的比例因子；

用 VSP 速度为约束进行比例因子的插值与外推获得比例因子数据体；

通过比例因子数据体获得新的各向异性速度体。

在一实施例中，VSP 驱动校正模块具体用于：

30 将目标井的周边井的 VSP 速度为参考速度；

将参考速度的盲区长度拉伸或压缩至与目标井的 VSP 速度长度一致；

将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新后的井点速度。

在一实施例中，迭代优化模块具体用于：

基于各向异性参数体，建立初始各向异性参数场；

- 5 对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，获得迭代优化的地震速度场和各向异性参数场；

在一实施例中，迭代优化模块具体用于：

若工区处理范围内存在预设类型属性体，基于初始各向异性参数场，采用高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行刻画，进行迭代更新；

- 10 对 VSP 驱动校正后的地震速度场中 VSP 井底至靶点盲区速度开展层控与速度扫描结合的方法进行迭代更新。

在一实施例中，叠后提频修饰处理模块具体用于：

采用振幅因子保持技术对偏移成果进行叠后提频修饰处理。

在一实施例中，成像位置确定模块具体用于：

- 15 对偏移成果中目标体周边速度进行常速填充，然后分别进行成像，获得第一成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度保持横向相对关系不变，进行百分比扫描，分别进行成像，获得第二成像结果；

- 20 对偏移成果中目标体周边速度当前位置不变，进行横向相对关系扫描，分别进行成像，获得第三成像结果；

对第一成像结果、第二成像结果、第三成像结果进行绘图；

根据绘图结果选择目标储层最大概率成像位置。

综上所述，本发明实施例提出的装置达到了以下有益效果：

- 25 第一，提供了一套高效的随钻 VSP 井驱地震成像方法，大大提高了地面地震成像的时效和精度，降低了随钻 VSP 地震技术的实施成本，对于随钻 VSP 地震技术充分发挥提高钻井成功率，降本增效的效用具有重要的作用。

第二，建立了一套地震资料处理成果和测井资料的评价体系，对收集到的地震资料处理成果和测井资料进行评价，可以有效、快速选择可靠的地震资料处理成果和测井资料，随钻 VSP 地震成像处理做好数据准备；

第三，建立了一种高效的随钻 VSP 地震速度建模方法，利用新的测井信息及 VSP 速度可以快速校正地震速度误差；

第四，建立了一种高效各向异性参数场求取方法，快速实现目标串珠的准确成像，降低网格层析及层控网格层析的迭代次数。

5 第五，建立了一种振幅因子保持技术来进行叠后提频修饰处理，可以有效提高目的层信噪比与分辨率。

第六，建立了一种目标靶点定量分析方法，对目标储层进行局部速度扫描，分析不同扫描结果目标储层成像位置进行量化分析，最终确定目标储层最大概率成像位置。

本发明实施例还提供一种计算机设备，图 13 为本发明实施例中计算机设备的示意图，所述计算机设备 1300 包括存储器 1310、处理器 1320 及存储在存储器 1310 上并可在处理器 1320 上运行的计算机程序 1330，所述处理器 1320 执行所述计算机程序 1330 时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

15 本发明实施例还提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述随钻 VSP 井驱地震成像方法。

本领域内的技术人员应明白，本发明的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本发明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，本发明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。

本发明是参照根据本发明实施例的方法、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。

25 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。

5 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。

10 以上所述的具体实施例，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施例而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种随钻 VSP 井驱地震成像方法，其特征在于，包括：

获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异

5 性参数体；

以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；

利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏

10 移成果；

对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；

根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：

根据目标井周围地质构造变化确定随钻 VSP 井驱地震成像处理的范围，确定目标井

15 对应的处理工区范围。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述地震资料处理成果包括 CMP 道集处理成果、叠前时间偏移成果、叠前深度偏移成果、叠前深度偏移速度体、叠前深度偏移各向异性参数体成果、叠前深度偏移各向同性参数体成果、叠前深度偏移构造参数体成果中的其中之一或任意组合；

20 所述测井资料包括正钻井以及周边井的井头信息、井轨迹信息、井分层信息中的其中之一或任意组合。

4. 如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，在获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料之后，还包括：

25 检查 CMP 道集处理成果是否存在影响剖面成像的噪音，若否，确定 CMP 道集处理成果可靠，所述影响剖面成像的噪音包括异常振幅、多次波、偏移划弧、斜干扰中的其中一种或任意组合；

检查叠前深度偏移速度体，在叠前深度偏移速度体的速度拾取点合理、道集的动校拉平、速度剖面横向变化符合地质和地球物理学规律时，确定叠前深度偏移速度体可靠；

通过偏移剖面的频谱、振幅、相干切片、井周围目标线用收集到的 CMP 与偏移速度的验证性偏移，检查叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果的可靠性，获得可靠性检查结果，并根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理。

- 5 5. 如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，包括：

在叠前深度偏移各向异性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向异性参数体成果进行优化处理；

- 10 在叠前深度偏移各向异性参数体成果不可靠，且叠前深度偏移各向同性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，重新建立叠前深度偏移各向异性场，进行叠前深度偏移各向异性深度偏移；

若叠前深度偏移各向同性参数体成果仍然不可靠，评价叠前时间偏移成果，重新进行叠前深度偏移处理，重复执行以上步骤，直至获得可靠的叠前深度偏移各向同性参数体成果。

- 15 6. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体，包括：

基于地震资料处理成果获得第一速度模型，并基于地震资料处理成果和当前的测井资料获得第二速度模型；

获得第一速度模型与第二速度模型每一地层的深度误差；

- 20 基于每一地层的深度误差，建立保时层析线性方程组；

解保时层析线性方程组，得到叠前深度偏移的各向异性参数体。

7. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体，包括：

- 25 以 VSP 速度为约束对目标井的井底以上垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新的井点速度；

以地质导向为约束对更新的井点速度进行横向插值外推，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场。

8. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，以 VSP 速度为约束对目标井底以上垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体，包括：

求取校正后的目标井底以上垂向地震速度与井旁地震速度的比例因子；

用 VSP 速度为约束进行比例因子的插值与外推获得比例因子数据体；

5 通过比例因子数据体获得新的各向异性速度体。

9. 如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新后的井点速度，包括：

将目标井的周边井的 VSP 速度或声波速度作为参考速度；

10 将参考速度的盲区长度拉伸或压缩至与目标井的 VSP 速度长度一致；

将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新后的井点速度。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场，包括：

15 基于各向异性参数体，建立初始各向异性参数场；

对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，获得迭代优化的地震速度场和各向异性参数场。

11. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，包括：

20 对 VSP 驱动校正后的地震速度场中井底以上地震速度，保持不变；

若工区处理范围内存在预设类型属性体，基于初始各向异性参数场，采用高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行刻画，进行迭代更新；

对 VSP 驱动校正后的地震速度场中 VSP 井底至靶点盲区的地震速度开展层控与速度扫描结合的方法进行迭代更新。

25 12. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对偏移成果进行叠后提频修饰处理，包括：

采用振幅因子保持技术对偏移成果进行叠后提频修饰处理。

13. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置，包括：

对偏移成果中目标体周边速度进行常速填充，然后分别进行成像，获得第一成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度保持横向相对关系不变，进行百分比扫描，分别进行成像，获得第二成像结果；

5 对偏移成果中目标体周边速度当前位置不变，进行横向相对关系扫描，分别进行成像，获得第三成像结果；

对第一成像结果、第二成像结果、第三成像结果进行绘图；

根据绘图结果选择目标储层最大概率成像位置。

14. 一种随钻 VSP 井驱地震成像装置，其特征在于，包括：

10 资料获得模块，用于获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料；

优化调整模块，用于对所述地震资料处理成果和测井资料，进行优化调整，获得叠前深度偏移的各向异性参数体；

15 VSP 驱动校正模块，用于以 VSP 速度为约束对目标井的地震速度进行更新，获得更新后的各向异性速度体；

迭代优化模块，用于基于各向异性参数体，对 VSP 驱动校正后的地震速度场进行迭代优化，获得迭代优化后的地震速度场及各向异性参数场；

偏移模块，用于利用迭代优化的地震速度场及各向异性参数场，进行叠前深度偏移体偏移，获得偏移成果；

20 叠后提频修饰处理模块，用于对偏移成果进行叠后提频修饰处理，获得叠后提频修饰处理后的偏移成果；

成像位置确定模块，用于根据叠后提频修饰处理后的偏移成果，确定目标井在目标储层最大概率成像位置。

25 15. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，还包括处理工区范围确定模块，用于：

根据目标井周围地质构造变化确定随钻 VSP 井驱地震成像处理的范围，确定目标井对应的处理工区范围。

16. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，所述地震资料处理成果包括 CMP 道集处理成果、叠前时间偏移成果、叠前深度偏移成果、叠前深度偏移速度体、叠前深度

偏移各向异性参数体成果、叠前深度偏移各向同性参数体成果、叠前深度偏移构造参数体成果中的其中之一或任意组合；

所述测井资料包括正钻井以及周边井的井头信息、井轨迹信息、井分层信息中的其中之一或任意组合。

5 17. 如权利要求 16 所述的装置，其特征在于，还包括可靠性分析模块，用于：

在获得目标井对应的处理工区范围内的地震资料处理成果和测井资料之后，检查 CMP 道集处理成果是否存在影响剖面成像的噪音，若否，确定 CMP 道集处理成果可靠，所述影响剖面成像的噪音包括异常振幅、多次波、偏移划弧、斜干扰中的其中一种或任意组合；

10 检查叠前深度偏移速度体，在叠前深度偏移速度体的速度拾取点合理、道集的动校拉平、速度剖面横向变化符合地质和地球物理学规律时，确定叠前深度偏移速度体可靠；

通过偏移剖面的频谱、振幅、相干切片、井周围目标线用收集到的 CMP 与偏移速度的验证性偏移，检查叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果的可靠性，获得可靠性检查结果，并根据可靠性检查结果，对叠前深度偏移各向异性参数体成果和叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理。

15 18. 如权利要求 17 所述的装置，其特征在于，可靠性分析模块具体用于：

在叠前深度偏移各向异性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向异性参数体成果进行优化处理；

20 在叠前深度偏移各向异性参数体成果不可靠，且叠前深度偏移各向同性参数体成果可靠时，对叠前深度偏移各向同性参数体成果进行优化处理，重新建立叠前深度偏移各向异性场，进行叠前深度偏移各向异性深度偏移；

若叠前深度偏移各向同性参数体成果仍然不可靠，评价叠前时间偏移成果，重新进行叠前深度偏移处理，重复执行以上步骤，直至获得可靠的叠前深度偏移各向同性参数体成果。

25 19. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，优化调整模块具体用于：

基于地震资料处理成果获得第一速度模型，并基于地震资料处理成果和当前的测井资料获得第二速度模型；

获得第一速度模型与第二速度模型每一地层的深度误差；

30 基于每一地层的深度误差，建立保时层析线性方程组；

解保时层析线性方程组，得到叠前深度偏移的各向异性参数体。

20. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，VSP 驱动校正模块具体用于：

以 VSP 速度为约束对目标井的井底以上垂向地震速度进行更新，获得更新的各向异性速度体；

5 以目标井的周边井的 VSP 速度为约束对目标井的井底以下地震速度进行更新，将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新的井点速度；

以地质导向为约束对更新的井点速度进行横向插值外推，获得 VSP 驱动校正后的地震速度场。

21. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，VSP 驱动校正模块具体用于：

10 求取校正后的目标井底以上垂向地震速度与井旁地震速度的比例因子；

用 VSP 速度为约束进行比例因子的插值与外推获得比例因子数据体；

通过比例因子数据体获得新的各向异性速度体。

22. 如权利要求 21 所述的装置，其特征在于，VSP 驱动校正模块具体用于：

将目标井的周边井的 VSP 速度为参考速度；

15 将参考速度的盲区长度拉伸或压缩至与目标井的 VSP 速度长度一致；

将更新的井底以下地震速度与更新的各向异性速度体拼接形成更新后的井点速度。

23. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，迭代优化模块具体用于：

基于各向异性参数体，建立初始各向异性参数场；

20 对 VSP 驱动校正后的地震速度场与初始各向异性参数场，通过网格层析迭代进行更新，获得迭代优化的地震速度场和各向异性参数场。

24. 如权利要求 23 所述的装置，其特征在于，迭代优化模块具体用于：

若工区处理范围内存在预设类型属性体，基于初始各向异性参数场，采用高分辨率网格层析，建立起火成岩段小尺度网格模型，对火成岩速度进行刻画，进行迭代更新；

25 对 VSP 驱动校正后的地震速度场中 VSP 井底至靶点盲区速度开展层控与速度扫描结合的方法进行迭代更新。

25. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，叠后提频修饰处理模块具体用于：

采用振幅因子保持技术对偏移成果进行叠后提频修饰处理。

26. 如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，成像位置确定模块具体用于：

30 对偏移成果中目标体周边速度进行常速填充，然后分别进行成像，获得第一成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度保持横向相对关系不变，进行百分比扫描，分别进行成像，获得第二成像结果；

对偏移成果中目标体周边速度当前位置不变，进行横向相对关系扫描，分别进行成像，获得第三成像结果；

- 5 对第一成像结果、第二成像结果、第三成像结果进行绘图；
根据绘图结果选择目标储层最大概率成像位置。

27. 一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 13 任一所述方法。

- 10 28. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 13 任一所述方法。

29. 一种计算机程序产品，其特征在于，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 13 任一所述方法。

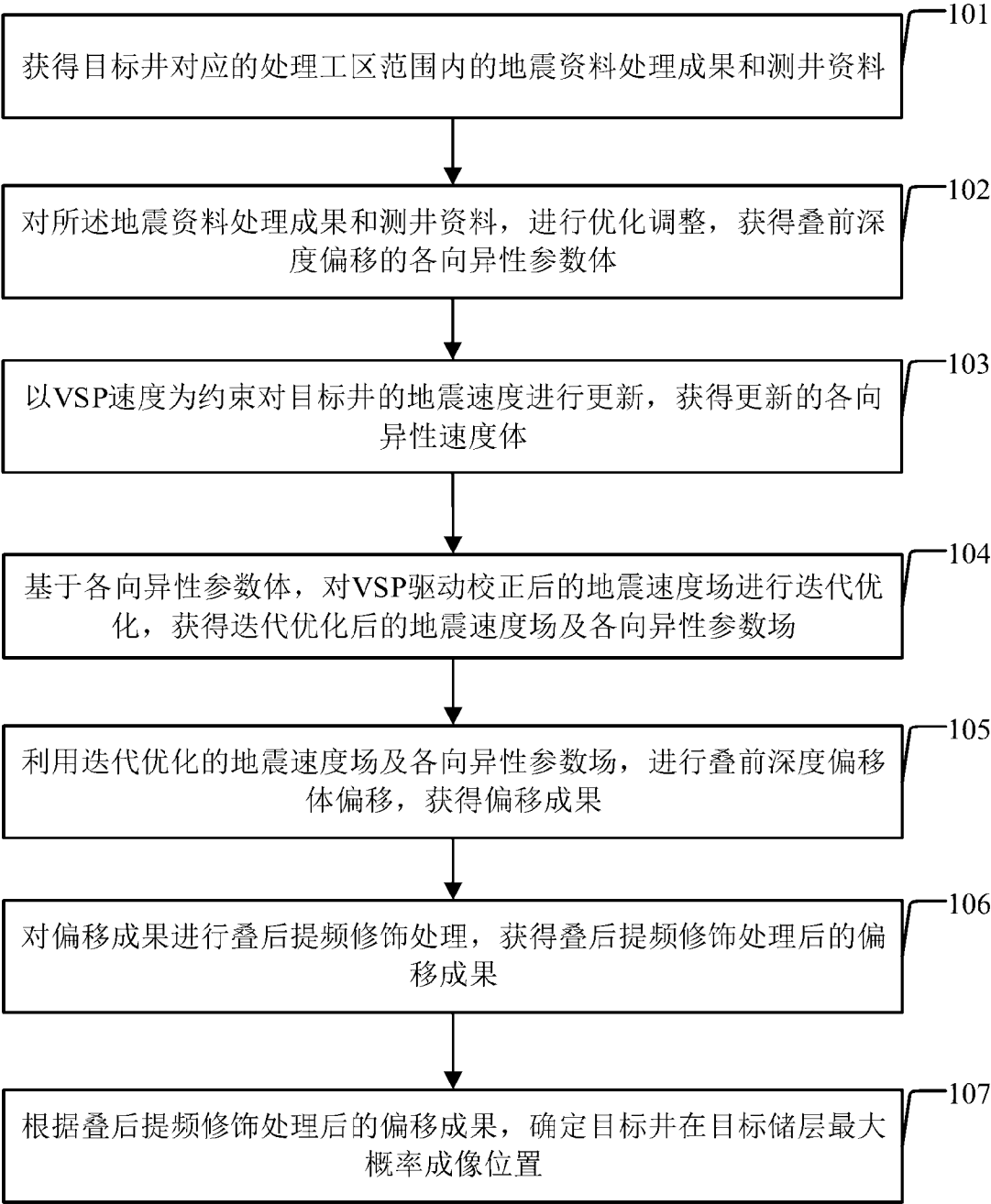


图1

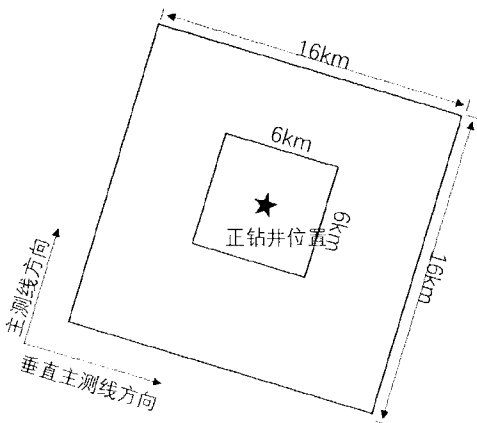


图2

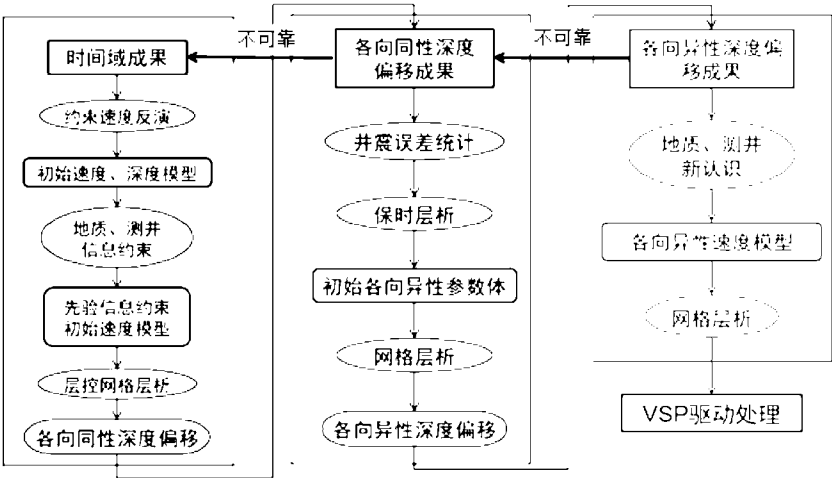


图3

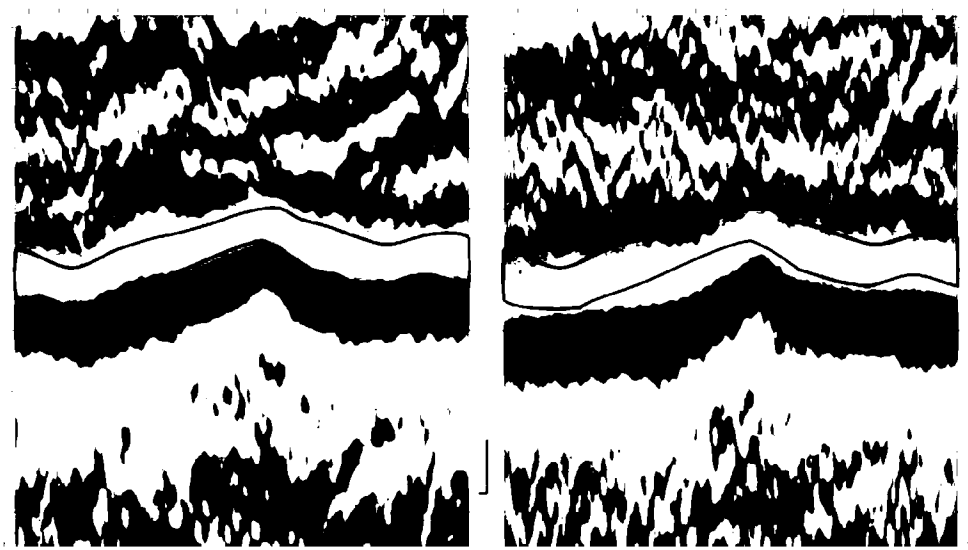


图4

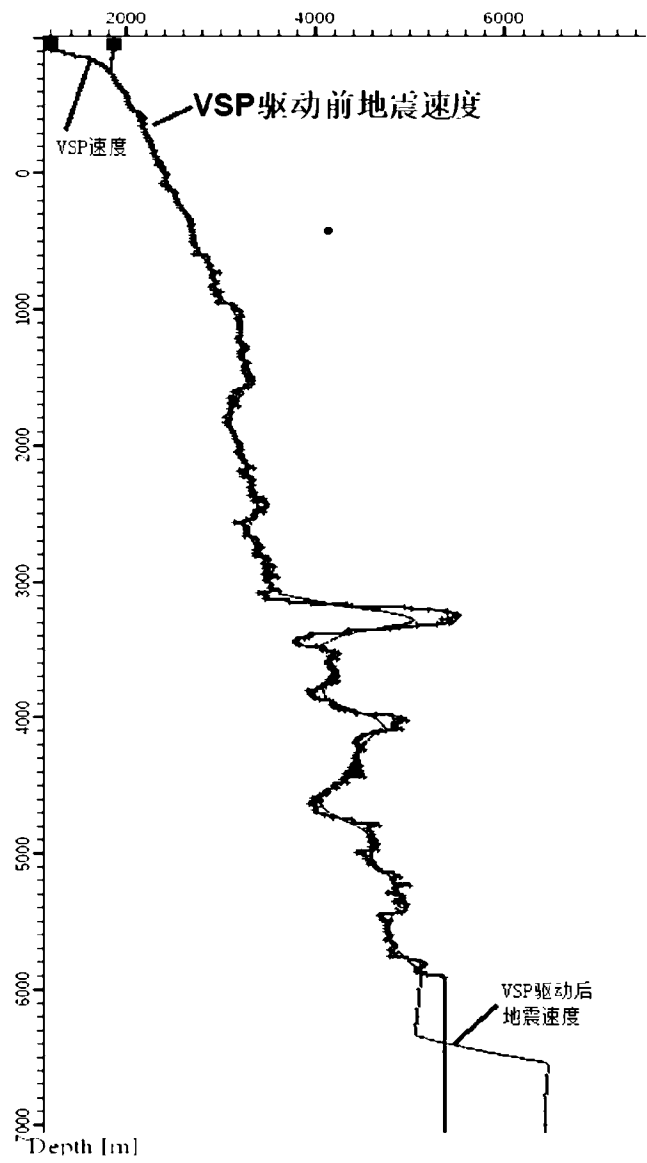


图5

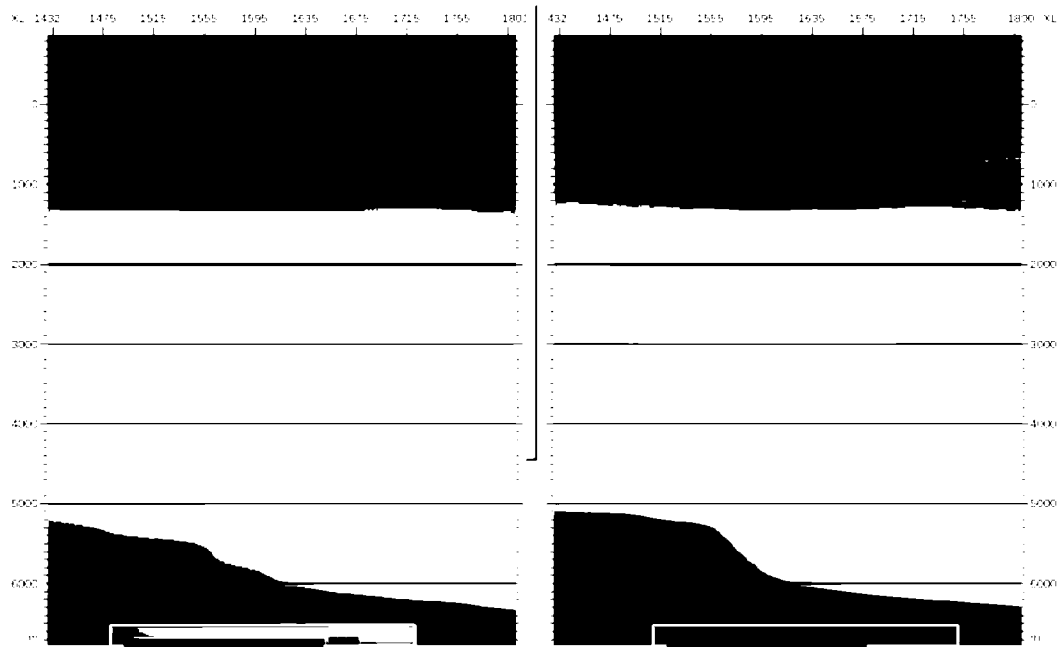


图6



图7

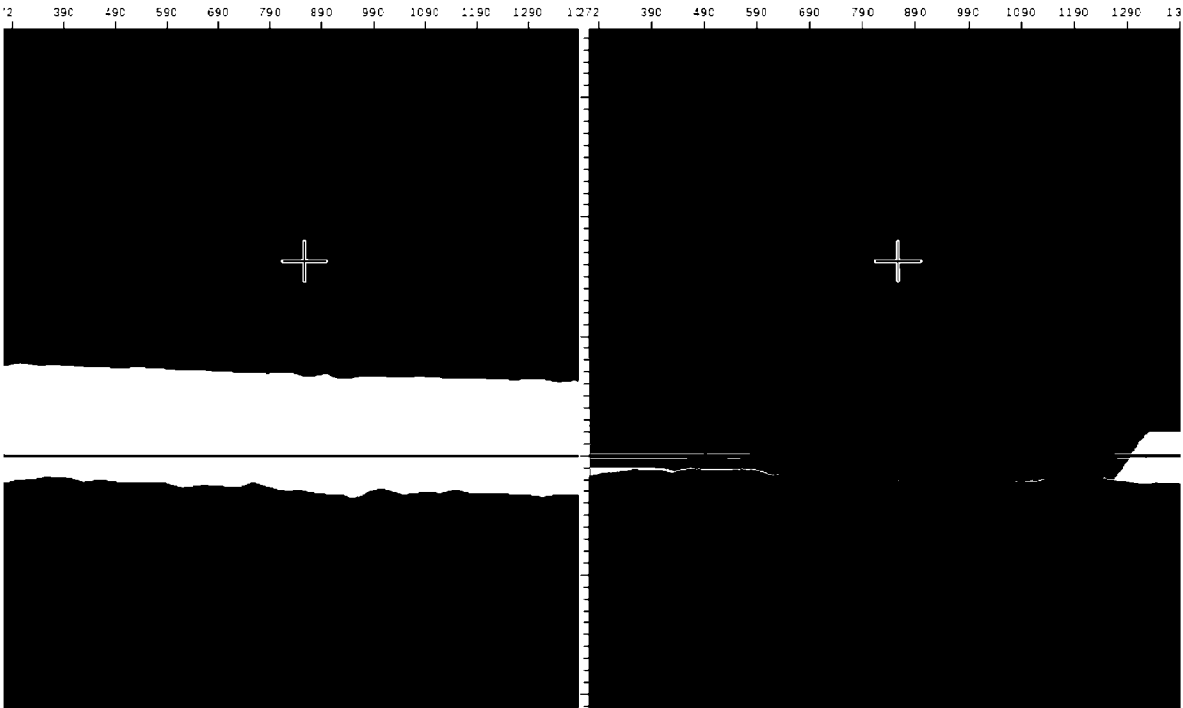


图8

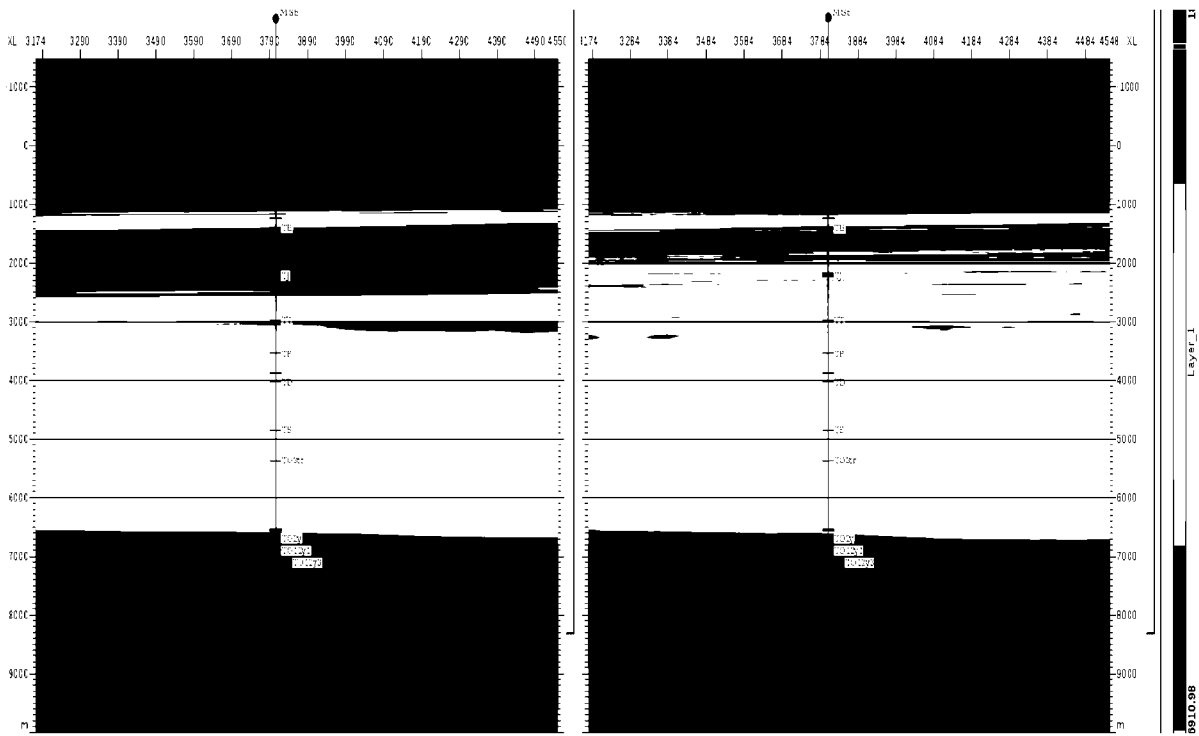


图9

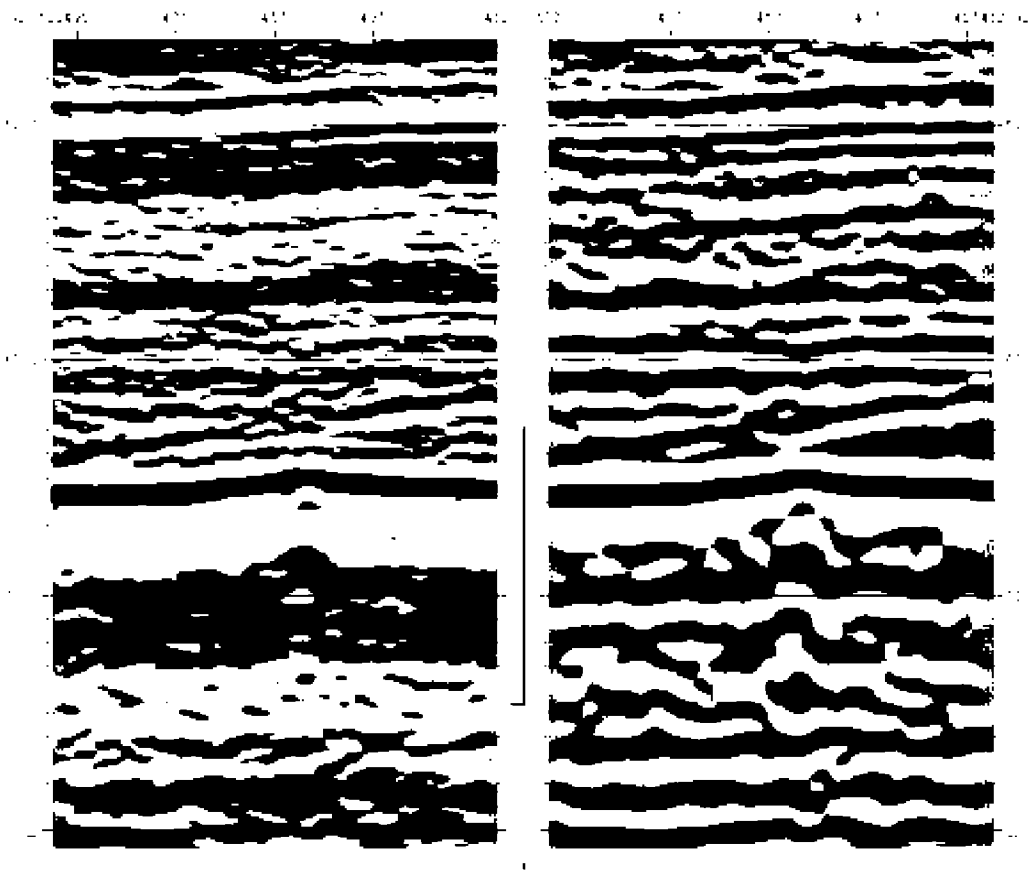


图10

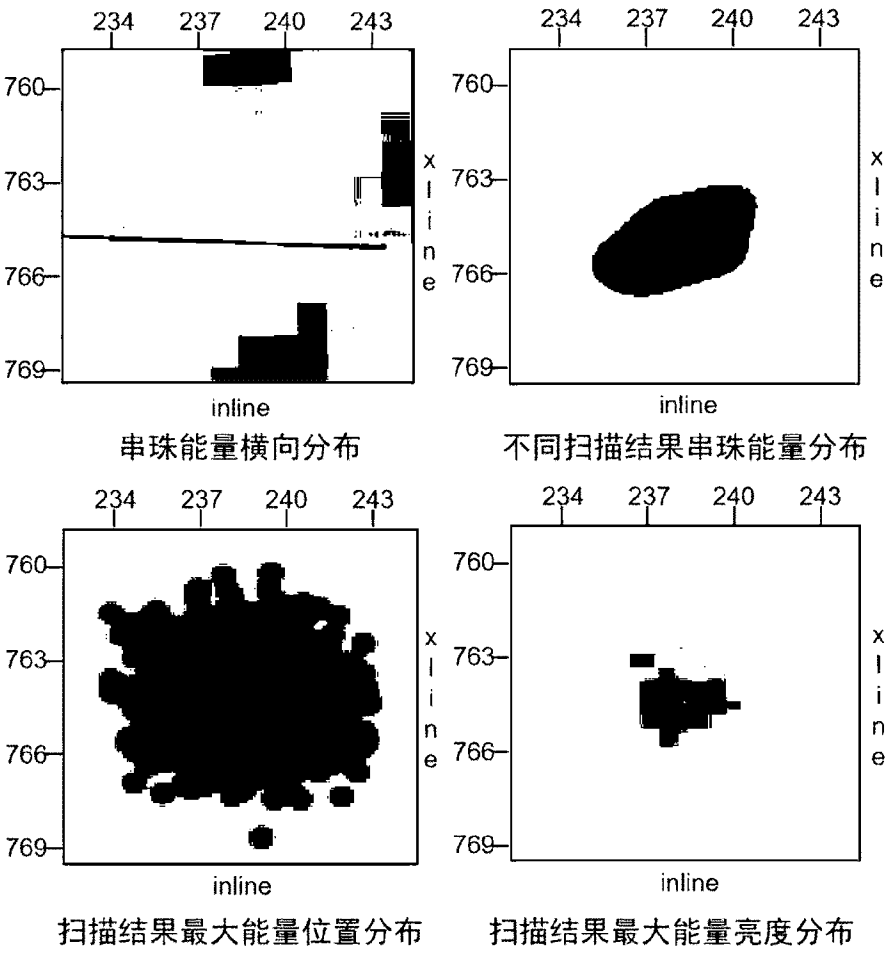


图11



图12

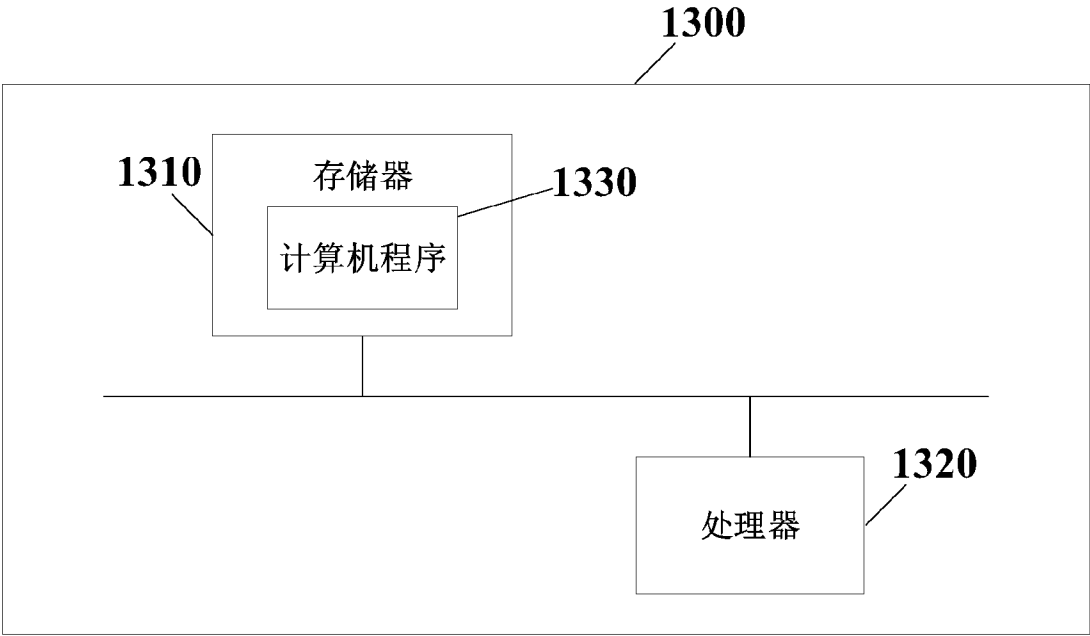


图13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/121000

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01V 1/30(2006.01)i; G01V 1/28(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, ENTXT, VEN, CNKI: 随钻, 地震, 成像, 测井, 叠前深度偏移, 各向异性, 速度, 叠后提频, 垂直地震剖面, VSP, vertical seismic profiling, seismic, well logging, imaging, anisotropy, prestack, afterstack, depth, migration, frequency raising

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116068625 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 05 May 2023 (2023-05-05) entire document	1-29
A	CN 111624662 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP. et al.) 04 September 2020 (2020-09-04) claim 1	1-29
A	CN 101630014 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP. et al.) 20 January 2010 (2010-01-20) entire document	1-29
A	CN 111060967 A (LANDOCEAN (BEIJING) ENERGY TECHNOLOGY INSTITUTE CO., LTD.) 24 April 2020 (2020-04-24) entire document	1-29
A	AU 2016202792 A1 (ABDEL HAMED MOHAMED MR) 16 November 2017 (2017-11-16) entire document	1-29



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

03 January 2024

Date of mailing of the international search report

08 January 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/CN2023/121000

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010133010 A1 (BAKER HUGHES INC.) 03 June 2010 (2010-06-03) entire document	1-29
A	US 2021208295 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.) 08 July 2021 (2021-07-08) entire document	1-29
A	US 6785612 B1 (PGS AMERICAS INC.) 31 August 2004 (2004-08-31) entire document	1-29

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/121000

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116068625	A	05 May 2023	None			
CN	111624662	A	04 September 2020	None			
CN	101630014	A	20 January 2010	None			
CN	111060967	A	24 April 2020	None			
AU	2016202792	A1	16 November 2017	None			
US	2010133010	A1	03 June 2010	US	8407007	B2	26 March 2013
				NO	20110799	A1	28 June 2011
				WO	2010065607	A2	10 June 2010
				WO	2010065607	A3	16 September 2010
				CA	2745254	A1	10 June 2010
				GB	201108363	D0	29 June 2011
				GB	2476783	A	06 July 2011
				GB	2476783	B	20 March 2013
US	2021208295	A1	08 July 2021	WO	2018063156	A1	05 April 2018
				WO	2018063156	A8	31 May 2018
				BR	112019004275	A2	04 June 2019
				EP	3488075	A1	29 May 2019
US	6785612	B1	31 August 2004	GB	0409489	D0	02 June 2004
				GB	2402214	A	01 December 2004
				GB	2402214	B	22 March 2006
				NO	20041644	L	30 November 2004

A. 主题的分类

G01V 1/30(2006.01)i; G01V 1/28(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,ENTXT,VEN,CNKI: 随钻, 地震, 成像, 测井, 叠前深度偏移, 各向异性, 速度, 叠后提频, 垂直地震剖面, VSP, vertical seismic profiling, seismic, well logging, imaging, anisotropy, prestack, afterstack, depth, migration, frequency raising

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
PX	CN 116068625 A (电子科技大学) 2023年5月5日 (2023 - 05 - 05) 全文	1-29
A	CN 111624662 A (中国石油天然气集团有限公司 等) 2020年9月4日 (2020 - 09 - 04) 权利要求1	1-29
A	CN 101630014 A (中国石油天然气集团公司 等) 2010年1月20日 (2010 - 01 - 20) 全文	1-29
A	CN 111060967 A (恒泰艾普(北京)能源科技研究院有限公司) 2020年4月24日 (2020 - 04 - 24) 全文	1-29
A	AU 2016202792 A1 (ABDEL HAMED MOHAMED MR) 2017年11月16日 (2017 - 11 - 16) 全文	1-29
A	US 2010133010 A1 (BAKER HUGHES INC) 2010年6月3日 (2010 - 06 - 03) 全文	1-29

☒ 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1月3日

国际检索报告邮寄日期

2024年1月8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

荣扬名

电话号码 (+86) 010-62085724

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	US 2021208295 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC) 2021年7月8日 (2021 - 07 - 08) 全文	1-29
A	US 6785612 B1 (PGS AMERICAS INC) 2004年8月31日 (2004 - 08 - 31) 全文	1-29

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/121000

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	116068625	A	2023年5月5日	无	
CN	111624662	A	2020年9月4日	无	
CN	101630014	A	2010年1月20日	无	
CN	111060967	A	2020年4月24日	无	
AU	2016202792	A1	2017年11月16日	无	
US	2010133010	A1	2010年6月3日	US 8407007 B2	2013年3月26日
				NO 20110799 A1	2011年6月28日
				WO 2010065607 A2	2010年6月10日
				WO 2010065607 A3	2010年9月16日
				CA 2745254 A1	2010年6月10日
				GB 201108363 D0	2011年6月29日
				GB 2476783 A	2011年7月6日
				GB 2476783 B	2013年3月20日
US	2021208295	A1	2021年7月8日	WO 2018063156 A1	2018年4月5日
				WO 2018063156 A8	2018年5月31日
				BR 112019004275 A2	2019年6月4日
				EP 3488075 A1	2019年5月29日
US	6785612	B1	2004年8月31日	GB 0409489 D0	2004年6月2日
				GB 2402214 A	2004年12月1日
				GB 2402214 B	2006年3月22日
				NO 20041644 L	2004年11月30日