



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111323817 A

(43)申请公布日 2020.06.23

(21)申请号 202010297491.6

(22)申请日 2020.04.15

(71)申请人 中国矿业大学(北京)

地址 100000 北京市海淀区学院路丁11号

(72)发明人 李冬 彭苏萍 郭银玲 卢勇旭

崔晓芹

(74)专利代理机构 北京超凡宏宇专利代理事务

所(特殊普通合伙) 11463

代理人 安卫静

(51) Int. Cl.

G01V 1/30(2006.01)

G01V 99/00(2009.01)

G06N 3/04(2006.01)

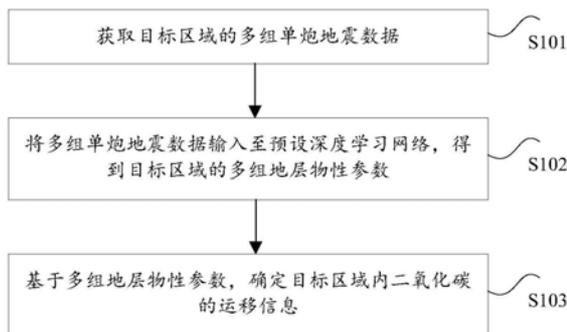
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置

(57)摘要

本发明提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置,涉及二氧化碳封存的技术领域,包括:先获取目标区域的多组单炮地震数据;然后将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到目标区域的多组地层物性参数;最后基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息。本实施例中的预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。



1. 一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法,其特征在于,包括:

获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,所述目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;

将所述多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到所述目标区域的多组地层物性参数;其中,所述预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;

基于所述多组地层物性参数,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,所述运移信息包括:运移范围和/或运移状态。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,基于所述多组地层物性参数,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息包括:

获取所述目标区域内二氧化碳的注入位置信息;

对所述多组地层物性参数进行减法运算,得到地层物性参数的时移信息;

基于所述地层物性参数的时移信息和所述注入位置信息,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息之后,还包括:

基于所述运移信息对所述目标区域进行安全性评价,得到安全性评价结果;其中,所述安全性评价结果用于表征所述目标区域封存二氧化碳的能力。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

随机建立多个地质模型;其中:所述地质模型具有以下至少之一的地质模型特征:地层数量,地层厚度,地层物性参数,地层起伏形态,二氧化碳的注入位置,二氧化碳的运移信息;

对每个所述地质模型进行正演,得到与所述地质模型对应的单炮地震数据;

基于所述单炮地震数据和所述地质模型的地层物性参数对初始深度学习网络进行训练,得到预设深度学习网络。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述地层起伏形态根据如下函数变换得到:

$$\text{Shift}_Z = \frac{\lambda z}{z_{\max}} \sum_{i=1}^N a_i e^{\frac{-(x-b_i)^2 - (y-c_i)^2}{2d_i^2}}$$

其中,Shift\_Z表示所述地层起伏形态, $\frac{\lambda z}{z_{\max}}$ 是一个线性算子,z为地层深度, $z_{\max}$ 为所有地层厚度之和, $\lambda$ 是一个常数,a,b,c,d为控制所述地层起伏形态的随机参数,由随机函数生成,i表示第i个地层,N为所述地层数量。

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述地层物性参数包括:地层纵波速度,地层横波速度和地层密度,所述地层纵波速度包括注入二氧化碳之后的地层纵波速度:

$$V_p = V_{p0} + N_g \times G$$

其中, $V_p$ 为所述注入二氧化碳之后的地层纵波速度, $V_{p0}$ 为注入二氧化碳之前的地层纵

波速度,Ng为影响值,G为注入二氧化碳的影响范围,所述影响范围由下式进行确定:

$$G = \exp(-x^2 - y^2 - z^2)$$

其中,(x,y,z)为二氧化碳的注入位置信息。

7. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,对每个所述地质模型进行正演,得到与所述地质模型对应的单炮地震数据包括:

利用交错网络有限差分方法对所述地质模型进行正演,得到第一正演结果;

利用交错网络有限差分方法对所述地质模型首层的地层物性参数进行正演,得到第二正演结果;

将所述第一正演结果和第二正演结果进行减法运算,得到去除直达波的单炮地震数据。

8. 一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置,其特征在于,包括:

获取单元,用于获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,所述目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;

输入单元,用于将所述多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到所述目标区域的多组地层物性参数;其中,所述预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;

确定单元,用于基于所述多组地层物性参数,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,所述运移信息包括:运移范围和/或运移状态。

9. 一种电子设备,包括存储器、处理器,所述存储器中存储有可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,处理器执行计算机程序时实现如权利要求1至7任一项所述的方法。

10. 一种具有处理器可执行的非易失的程序代码的计算机可读介质,其特征在于,所述程序代码使所述处理器执行如权利要求1至7任一项所述的方法。

## 基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及二氧化碳封存技术领域,尤其是涉及一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置。

### 背景技术

[0002] 目前地球物理技术是监测二氧化碳CO<sub>2</sub>运移规律的主要技术,该技术包括:时移地震,可控源大地音频电磁法,瞬变电磁法等。由于CO<sub>2</sub>在注入地下之后,对注入区域的地层物性参数(地震波传播速度、地层密度等)的改变很小,因此上述传统的监测方法对地层物性参数无法进行有效分辨,分辨率有限,只能在一定程度上定性监测CO<sub>2</sub>的运移规律。全波形反演作为目前人们认为精度最高的储层参数预测方法,受计算时间及低频缺失等原因,在实际应用中并不理想。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置,以缓解现有技术中存在的传统监测方法受计算时间及低频缺失影响,对地层物性参数无法进行有效分辨,分辨率有限,只能在一定程度上定性监测CO<sub>2</sub>的运移规律的技术问题。

[0004] 第一方面,本发明实施例提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法,其中,包括:获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,所述目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;将所述多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到所述目标区域的多组地层物性参数;其中,所述预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;基于所述多组地层物性参数,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,所述运移信息包括:运移范围和/或运移状态。

[0005] 进一步的,基于所述多组地层物性参数,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息包括:获取所述目标区域内二氧化碳的注入位置信息;对所述多组地层物性参数进行减法运算,得到地层物性参数的时移信息;基于所述地层物性参数的时移信息和所述注入位置信息,确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息。

[0006] 进一步的,在确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息之后,还包括:基于所述运移信息对所述目标区域进行安全性评价,得到安全性评价结果;其中,所述安全性评价结果用于表征所述目标区域封存二氧化碳的能力。

[0007] 进一步的,所述方法还包括:随机建立多个地质模型;其中:所述地质模型具有以下至少之一的地质模型特征:地层数量,地层厚度,地层物性参数,地层起伏形态,二氧化碳的注入位置,二氧化碳的运移信息;对每个所述地质模型进行正演,得到与所述地质模型对应的单炮地震数据;基于所述单炮地震数据和所述地质模型的地层物性参数对初始深度学习网络进行训练,得到预设深度学习网络。

[0008] 进一步的,所述地层起伏形态根据如下函数变换得到:

$$[0009] \quad Shift\_Z = \frac{\lambda z}{z_{max}} \sum_{i=1}^N a_i e^{\frac{-(x-b_i)^2 - (y-c_i)^2}{2d_i^2}}$$

[0010] 其中, Shift\_Z表示所述地层起伏形态,  $\frac{\lambda z}{z_{max}}$ 是一个线性算子, z为地层深度,  $z_{max}$ 为所有地层厚度之和,  $\lambda$ 是一个常数, a, b, c, d为控制所述地层起伏形态的随机参数, 由随机函数生成, i表示第i个地层, N为所述地层数量。

[0011] 进一步的, 所述地层物性参数包括: 地层纵波速度, 地层横波速度和地层密度, 所述地层纵波速度包括注入二氧化碳之后的地层纵波速度:

$$[0012] \quad V_p = V_{p0} + N_g \times G$$

[0013] 其中,  $V_p$ 为所述注入二氧化碳之后的地层纵波速度,  $V_{p0}$ 为注入二氧化碳之前的地层纵波速度,  $N_g$ 为影响值, G为注入二氧化碳的影响范围, 所述影响范围由下式进行确定:

$$[0014] \quad G = \exp(-x^2 - y^2 - z^2)$$

[0015] 其中, (x, y, z)为二氧化碳的注入位置信息。

[0016] 进一步的, 对每个所述地质模型进行正演, 得到与所述地质模型对应的单炮地震数据包括: 利用交错网络有限差分方法对所述地质模型进行正演, 得到第一正演结果; 利用交错网络有限差分方法对所述地质模型首层的地层物性参数进行正演, 得到第二正演结果; 将所述第一正演结果和第二正演结果进行减法运算, 得到去除直达波的单炮地震数据。

[0017] 第二方面, 本发明实施例提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置, 其中, 包括: 获取单元, 用于获取目标区域的多组单炮地震数据; 其中, 所述目标区域内包含二氧化碳封存区域, 不同单炮地震数据对应不同的采集时间点; 输入单元, 用于将所述多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络, 得到所述目标区域的多组地层物性参数; 其中, 所述预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系, 不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同; 确定单元, 用于基于所述多组地层物性参数, 确定所述目标区域内二氧化碳的运移信息; 其中, 所述运移信息包括: 运移范围和/或运移状态。

[0018] 第三方面, 本发明实施例提供了一种电子设备, 包括存储器、处理器, 所述存储器中存储有可在所述处理器上运行的计算机程序, 其中, 所述处理器执行所述计算机程序时实现如上述第一方面任一项所述的方法。

[0019] 第四方面, 本发明实施例提供了一种具有处理器可执行的非易失的程序代码的计算机可读介质, 其中, 所述程序代码使所述处理器执行如上述第一方面任一项所述的方法。

[0020] 本发明提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置, 先获取目标区域的多组单炮地震数据; 其中, 目标区域内包含二氧化碳封存区域, 不同单炮地震数据对应不同的采集时间点; 然后将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络, 得到目标区域的多组地层物性参数; 其中, 预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系, 不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同; 最后基于多组地层物性参数, 确定目标区域内二氧化碳的运移信息; 其中, 运移信息包括: 运移范围和/或运移状态。

[0021] 本实施例中的预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系, 通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的

方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。

[0022] 本发明的其他特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本发明而了解。本发明的目的和其他优点在说明书、权利要求书以及附图中所特别指出的结构来实现和获得。

[0023] 为使本发明的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

### 附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式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,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,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。

[0025] 图1为本发明实施例提供的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的流程图;

[0026] 图2为图1中步骤S103的流程图;

[0027] 图3为本发明实施例提供的第二种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的流程图;

[0028] 图4为本发明实施例提供的第三种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的流程图;

[0029] 图5为地质模型的结构示意图;

[0030] 图6为注入二氧化碳之后的地层纵波速度的3D模型结构示意图;

[0031] 图7为地层纵波速度的2D模型结构示意图;

[0032] 图8为本发明实施例提供的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置的结构示意图。

[0033] 图标:

[0034] 11-获取单元;12-输入单元;13-确定单元。

### 具体实施方式

[0035] 下面将结合实施例对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0036] CO<sub>2</sub>捕集与封存(CCS)技术被全球公认为减小CO<sub>2</sub>浓度的快速、有效技术手段之一。其中,CO<sub>2</sub>驱油、驱气技术不仅可以实现CO<sub>2</sub>的封存,还可以提高油气采收率。但是如何确保注入地下的CO<sub>2</sub>安全地、无泄漏地被封存在地下,是目前面临的一个难题。即如何确保CO<sub>2</sub>没有泄漏到储层附近的盐水层、近地表的饮用水层及地面。因此,CO<sub>2</sub>运移信息的监测是确保CO<sub>2</sub>安全封存的重要技术保障。

[0037] 地球物理技术是监测CO<sub>2</sub>运移信息的有效手段,主要包括时移地震、时移VSP、可控

源大地音频电磁法、瞬变电磁法等技术。具体的,Alnes基于重力监测资料,预测了CO<sub>2</sub>扩散晕密度和温度的分布特征;Park利用可控源大地音频电磁法分析了CO<sub>2</sub>运移监测的灵敏性研究;Cavanagh在四维地震监测资料的基础上,研究了CO<sub>2</sub>的运移规律;Ghosh利用地震联合反演和岩石物理学模型,开展了CO<sub>2</sub>运移信息的定量预测;也有许多学者采用时移VSP全波形反演方法对CO<sub>2</sub>气驱前缘位置进行了监测。上述这些方法在一定程度上定性监测了CO<sub>2</sub>的运移状态,但是分辨率有限,即CO<sub>2</sub>注入地下后,对地层物性参数(地震波传播速度、地层密度等)的改变/影响较小,通过一些技术手段来监测/预测此变化必须要求高精度的方法,目前无有效技术手段。而全波形反演作为目前人们认为精度最高的储层参数预测方法,受计算时间及低频缺失等原因,在实际应用中并不理想。

[0038] 基于此,本发明实施例提供一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法及装置,通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。

[0039] 为便于对本实施例进行理解,首先对本发明实施例所公开的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法可进行描述。

[0040] 实施例1:

[0041] 根据本发明实施例,提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的实施例,需要说明的是,在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行,并且,虽然在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0042] 图1是根据本发明实施例的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的流程图,如图1所示,该方法包括如下步骤:

[0043] 步骤S101,获取目标区域的多组单炮地震数据;

[0044] 在本发明实施例中,目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点。多组单炮地震数据是指在野外实际采集到的同一目标区域的不同采集时间点的单炮地震数据。

[0045] 步骤S102,将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到目标区域的多组地层物性参数;

[0046] 在本发明实施例中,预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同。

[0047] 例如,2015年采集到了目标区域的第一组单炮地震数据,第一组单炮地震数据中包含几百至上千个单炮地震数据;同理,2016年采集到了目标区域的第二组单炮地震数据,第二组单炮地震数据中也包含几百至上千个单炮地震数据;2018年采集到了目标区域的第三组单炮地震数据,第三组单炮地震数据中同样也包含几百至上千个单炮地震数据。上述三组单炮地震数据分别输入至预设深度学习网络,得到第一组地层物性参数,第二组地层物性参数和第三组地层物性参数,基于2015年、2016年和2018年三组地层物性参数,可以确定地层物性参数的变化情况。

[0048] 步骤S103,基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息;

[0049] 在本发明实施例中,运移信息包括:运移范围和/或运移状态。运移状态可以理解

为CO<sub>2</sub>从注入位置运移了有多远,采用的是哪种运移方式,其中运移方式包括但不限于:沿着一条线扩散的方式,沿着球心向四周扩散的方式。

[0050] 本发明实施例可以确定地层物性参数的变化情况,进而可以确定目标区域内二氧化碳的运移信息。

[0051] 本发明实施例提供一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法,先获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;然后将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到目标区域的多组地层物性参数;其中,预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;最后基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,运移信息包括:运移范围和/或运移状态。本实施例中的预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。

[0052] 在一个可选的实施例中,如图2所示,步骤S103,基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息包括以下步骤:

[0053] 步骤S201,获取目标区域内二氧化碳的注入位置信息;

[0054] 步骤S202,对多组地层物性参数进行减法运算,得到地层物性参数的时移信息;

[0055] 步骤S203,基于地层物性参数的时移信息和注入位置信息,确定目标区域内二氧化碳的运移信息。

[0056] 在本发明实施例中,步骤S201中获取到的二氧化碳的注入位置信息可以看作是一个具有体积的三维区域。在目标区域足够大时,该区域的体积可以忽略不计,也就是说,还可以将二氧化碳的注入位置信息看作是一个点。步骤S202将每两个相邻时间的地层物性参数做减法运算,可以得到多个差值,将上述多个差值进行整合,可以得到地层物性参数的时移信息。步骤S203基于地层物性参数的时移信息和注入位置信息,可以确定目标区域内二氧化碳的运移范围和/或运移状态。

[0057] 由于本申请确定目标区域内二氧化碳的运移信息仅需要得知多组地层物性参数和二氧化碳的注入位置信息两种信息,而二氧化碳的注入位置信息是人为设定好注入位置之后才将二氧化碳注入地下的,因此二氧化碳的注入位置信息可以从二氧化碳封存资料中直接获取,另外,多组地层物性参数经预设深度学习网络得到,因此很容易得知这两种信息,进而可以快速确定目标区域内二氧化碳的运移范围和/或运移状态。

[0058] 在一个可选的实施例中,如图3所示,在确定目标区域内二氧化碳的运移信息之后,方法还包括:

[0059] 步骤S104,基于运移信息对目标区域进行安全性评价,得到安全性评价结果;

[0060] 在本发明实施例中,得到CO<sub>2</sub>的运移信息之后,可以分析CO<sub>2</sub>的运移方式是否符合预期,目标区域是否发生地质裂缝或断层以使CO<sub>2</sub>运移的情况。因此,安全性评价结果可以用于表征目标区域封存二氧化碳的能力。

[0061] 在一个可选的实施例中,参照图4,方法还包括:

[0062] 步骤S401,随机建立多个地质模型;

[0063] 在本发明实施例中,地质模型具有以下至少之一的地质模型特征:地层数量,地层厚度,地层物性参数,地层起伏形态,二氧化碳的注入位置,二氧化碳的运移信息。

[0064] 参照图5,地质模型为实际的地下地层,且每一层的地层物性参数均不相同。

[0065] 根据实际地质情况,随机建立无数个(成千上万个)尽可能满足实际地质模型特征的地质模型,其中,地质模型特征包括以下随机参数:随机的地层数量、随机的地层厚度,随机的地层物性参数、随机的地层起伏形态、随机的CO<sub>2</sub>注入位置和CO<sub>2</sub>运移信息。上述这些随机参数在一定约束条件下由随机函数生成,例如:地层数量可以设置在[10-20]之间由第一随机函数生成,地层厚度可以设置在[1-100]之间由第二随机函数生成。第一随机函数可以与第二随机函数为同一随机函数,也可以指不同的随机函数,本发明实施例对随机函数的选择不作具体限定。随机建立的地质模型的结构如图5所示。

[0066] 上述实际地质特征可以是指根据地质常识,专业人士的经验等确定的各个参数的大致范围,也可以根据该目标区域的已知地质资料获得。该实际地质特征的目的是对上述各个参数的取值范围的限定,由于这些参数是采用随机函数随机生成的,因此可以限定在一定范围内随机生成各个参数,避免生成不符合实际的参数数值。

[0067] 步骤S402,对每个地质模型进行正演,得到与地质模型对应的单炮地震数据;

[0068] 步骤S403,基于单炮地震数据和地质模型的地层物性参数对初始深度学习网络进行训练,得到预设深度学习网络。

[0069] 在上述步骤S402中一个地质模型可以经过正演得到一批的单炮地震数据,再一个模型经过正演又可以得到另一批单炮地震数据,因此成千上万个地质模型可以得到成千上万批单炮地震数据。

[0070] 训练初始深度学习网络,是指利用步骤S401中生成的成千上万个地质模型和步骤S402中每个模型对应的单炮地震数据进行训练,得到预设深度学习网络。在训练过程中要不断测试、不断调整初始深度学习网络的训练参数,进而可以建立一个敏感的预设深度学习网络。预设深度学习网络应用大数据,可以自动寻找单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系。

[0071] 因此本发明实施例所使用的预设深度学习网络可以建立单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,具有高效、高精度确定地层物性参数的优势,根据确定的地层物性参数进而可以实现CO<sub>2</sub>的封存监测。

[0072] 上述地质模型特征中包含的地层起伏形态,可以指地层的折叠构造,用于表示地层的垂向起伏高差。而地层数量可以指折叠构造的个数。

[0073] 在一个可选的实施例中,地层起伏形态根据如下函数变换得到:

$$[0074] \quad Shift\_Z = \frac{\lambda z}{z_{max}} \sum_{i=1}^N a_i e^{-\frac{(x-b_i)^2 - (y-c_i)^2}{2d_i^2}}$$

[0075] 其中,Shift\_Z表示地层起伏形态, $\frac{\lambda z}{z_{max}}$ 是一个线性算子,z为地层深度,z<sub>max</sub>为所有地层厚度之和,λ是一个常数,a,b,c,d为控制地层起伏形态的随机参数,由随机函数生成,i

表示第*i*个地层,*N*为地层数量。线性算子 $\frac{\lambda z}{z_{max}}$ ,用于控制地层在深度方向的起伏程度,即随着深度的增加,垂向剪切(垂向起伏高差)增大。

[0076] 在一个可选的实施例中,地层物性参数包括:地层纵波速度(如图6和图7所示),地层横波速度和地层密度,地层纵波速度包括注入二氧化碳之后的地层纵波速度:

$$[0077] \quad V_p = V_{p0} + N_g \times G$$

[0078] 其中, $V_p$ 为注入二氧化碳之后的地层纵波速度, $V_{p0}$ 为注入二氧化碳之前的地层纵波速度, $N_g$ 为影响值, $G$ 为注入二氧化碳的影响范围,影响范围由下式进行确定:

$$[0079] \quad G = \exp^{(-x^2 - y^2 - z^2)}$$

[0080] 其中, $(x, y, z)$ 为二氧化碳的注入位置信息。

[0081] 地层物性参数包括的以下三个参数:地层纵波速度,地层横波速度和地层密度都是分析二氧化碳的运移信息时必须用到的数据。因此在训练预设深度学习网络的过程中,本发明实施例可以根据实际的地下地层情况,利用随机函数在一定数值范围内随机生成这些参数。

[0082] 针对步骤S401中建立的每个地质模型,其二氧化碳的运移信息( $CO_2$ 运移情况)通过高斯函数、影响值 $N_g$ 和地层约束来控制,该高斯函数是假定 $CO_2$ 呈现球状向外扩散的方式,利用高斯函数来生成这个球形且球心位置 $CO_2$ 浓度最高,向外减弱。上述影响值 $N_g$ 需要结合研究区域的地质情况进行选择,上述地层约束是指 $CO_2$ 要求封存在同一地层,且只能在同一地层中进行运移,不能出现“穿层”现象。

[0083] 坐标 $(x, y, z)$ 用于控制 $CO_2$ 的扩散范围,扩散方式类似一个球体,将此球体放入三维地层中,存在球体跨越两个地层的可能。为了防止球体跨越两个地层,使 $CO_2$ 在同一个地层内扩散,本发明实施例通过控制坐标 $(x, y, z)$ 的方式对地层纵波速度进行约束,进而实现对地层物性参数的约束。

[0084] 在一个可选的实施例中,步骤S402,对每个地质模型进行正演,得到与地质模型对应的单炮地震数据包括以下步骤:

[0085] 步骤1,利用交错网络有限差分方法对地质模型进行正演,得到第一正演结果;

[0086] 步骤2,利用交错网络有限差分方法对地质模型首层的地层物性参数进行正演,得到第二正演结果;

[0087] 步骤3,将第一正演结果和第二正演结果进行减法运算,得到去除直达波的单炮地震数据。

[0088] 在本发明实施例中,交错网络有限差分方法可以指3D有限差分方法。本发明实施例可以依据地质模型的大小及正演中的参数设置得到不同数量的单炮记录(单炮地震数据)。为了使单炮记录中的反射波特征清晰,本发明实施例去除了单炮记录中的直达波。去除方法为用地质模型的第一个地层的地层物性参数制作均匀的地质模型,这里的“第一个地层”是指多个地层中最上面的一层,地层数量可以人为设置。然后将第一正演结果和第二正演结果进行减法运算,得到去除直达波的单炮地震数据。

[0089] 本发明实施例提供一种基于深度学习的二氧化碳封存监测方法,包括:建立随机地质模型,对地质模型进行正演,利用正演得到的单炮地震数据和地质模型的地层物性

参数对深度学习网络进行训练,得到预设深度学习网络,预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,因此本发明实施例通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。

[0090] 实施例2:

[0091] 在前述实施例的基础上,本发明实施例还提供了一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置,该一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置主要用于执行本发明实施例上述内容所提供的基于深度学习的二氧化碳封存监测方法,以下对本发明实施例提供的基于深度学习的二氧化碳封存监测装置做具体介绍。

[0092] 图8为本发明实施例提供的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置的结构示意图。如图8所示,该基于深度学习的二氧化碳封存监测装置主要包括:获取单元11,输入单元12和确定单元13,其中:

[0093] 获取单元11,用于获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;

[0094] 输入单元12,用于将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到目标区域的多组地层物性参数;其中,预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;

[0095] 确定单元13,用于基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,运移信息包括:运移范围和/或运移状态。

[0096] 本发明实施例提供的一种基于深度学习的二氧化碳封存监测装置,先利用获取单元11获取目标区域的多组单炮地震数据;其中,目标区域内包含二氧化碳封存区域,不同单炮地震数据对应不同的采集时间点;然后利用输入单元12将多组单炮地震数据输入至预设深度学习网络,得到目标区域的多组地层物性参数;其中,预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,不同单炮地震数据对应的地层物性参数不同;最后利用确定单元13基于多组地层物性参数,确定目标区域内二氧化碳的运移信息;其中,运移信息包括:运移范围和/或运移状态。本实施例中的预设深度学习网络包含单炮地震数据与地层物性参数之间的非线性映射关系,通过将获取到的目标区域的多组单炮地震数据输入至该预设深度学习网络的方式,即可快速得到目标区域的多组地层物性参数,进而有效监测所述目标区域内二氧化碳的运移信息,此过程不受计算时间和低频的影响,因此具有高效、高精度的技术效果。

[0097] 进一步的,确定单元13包括:

[0098] 获取模块,用于获取目标区域内二氧化碳的注入位置信息;

[0099] 减法运算模块,用于对多组地层物性参数进行减法运算,得到地层物性参数的时移信息;

[0100] 确定模块,用于基于地层物性参数的时移信息和注入位置信息,确定目标区域内二氧化碳的运移信息。

[0101] 进一步的,该基于深度学习的二氧化碳封存监测装置还包括安全性评价单元,其中:

[0102] 安全性评价单元,用于基于运移信息对目标区域进行安全性评价,得到安全性评价结果;其中,安全性评价结果用于表征目标区域封存二氧化碳的能力。

[0103] 进一步的,该基于深度学习的二氧化碳封存监测装置还包括以下单元:

[0104] 建立单元,用于随机建立多个地质模型;其中:地质模型具有以下至少之一的地质模型特征:地层数量,地层厚度,地层物性参数,地层起伏形态,二氧化碳的注入位置,二氧化碳的运移信息;

[0105] 正演单元,用于对每个地质模型进行正演,得到与地质模型对应的单炮地震数据;

[0106] 训练单元,用于基于单炮地震数据和地质模型的地层物性参数对初始深度学习网络进行训练,得到预设深度学习网络。

[0107] 进一步的,地层起伏形态根据如下函数变换得到:

$$[0108] \quad Shift\_Z = \frac{\lambda z}{z_{max}} \sum_{i=1}^N a_i e^{-\frac{(x-b_i)^2 - (y-c_i)^2}{2d_i^2}}$$

[0109] 其中,Shift\_Z表示地层起伏形态, $\frac{\lambda z}{z_{max}}$ 是一个线性算子,z为地层深度, $z_{max}$ 为所有地层厚度之和, $\lambda$ 是一个常数,a,b,c,d为控制地层起伏形态的随机参数,由随机函数生成,i表示第i个地层,N为地层数量。

[0110] 进一步的,地层物性参数包括:地层纵波速度,地层横波速度和地层密度,地层纵波速度包括注入二氧化碳之后的地层纵波速度:

$$[0111] \quad V_p = V_{p0} + N_g \times G$$

[0112] 其中, $V_p$ 为注入二氧化碳之后的地层纵波速度, $V_{p0}$ 为注入二氧化碳之前的地层纵波速度, $N_g$ 为影响值,G为注入二氧化碳的影响范围,影响范围由下式进行确定:

$$[0113] \quad G = \exp(-x^2 - y^2 - z^2)$$

[0114] 其中,(x,y,z)为二氧化碳的注入位置信息。

[0115] 进一步的,正演单元包括:第一正演模块,第二正演模块和减法运算模块;

[0116] 第一正演模块,用于利用交错网络有限差分方法对地质模型进行正演,得到第一正演结果;

[0117] 第二正演模块,用于利用交错网络有限差分方法对地质模型首层的地层物性参数进行正演,得到第二正演结果;

[0118] 减法运算模块,用于将第一正演结果和第二正演结果进行减法运算,得到去除直达波的单炮地震数据。

[0119] 进一步地,本实施例还提供了一种电子设备,包括存储器、处理器,该存储器中存储有可在上述处理器上运行的计算机程序,其中,上述处理器执行计算机程序时执行前述方法实施例所提供的方法的步骤。

[0120] 进一步地,本实施例还提供了一种具有处理器可执行的非易失的程序代码的计算机可读介质,该程序代码使上述处理器执行前述方法实施例所提供的方法的步骤。

[0121] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的装置和单元的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0122] 本发明实施例所提供的基于深度学习的二氧化碳封存监测方法的计算机程序产品,包括存储了程序代码的计算机可读存储介质,所述程序代码包括的指令可用于执行方法实施例中所述的方法,具体实现可参见方法实施例,在此不再赘述。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0123] 在本实施例所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,又例如,多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些通信接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0124] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0125] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。

[0126] 所述功能如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个处理器可执行的非易失的计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本实施例的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0127] 最后应说明的是:以上所述实施例,仅为本发明的具体实施方式,用以说明本发明的技术方案,而非对其限制,本发明的保护范围并不局限于此,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改或可轻易想到变化,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改、变化或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例技术方案的精神和范围,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

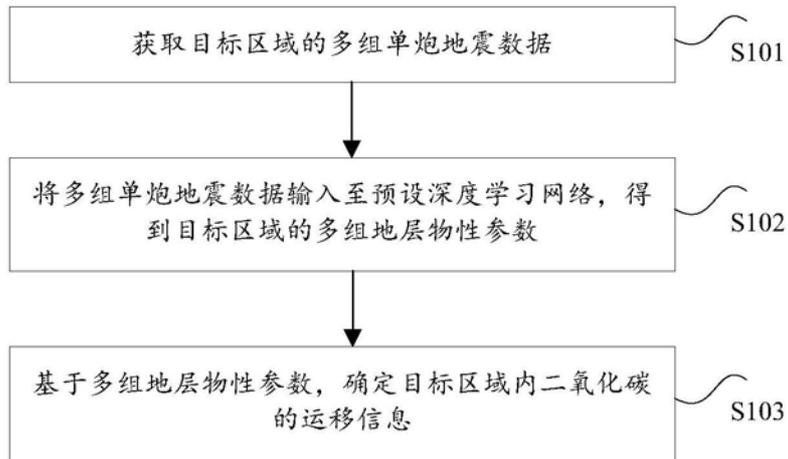


图1

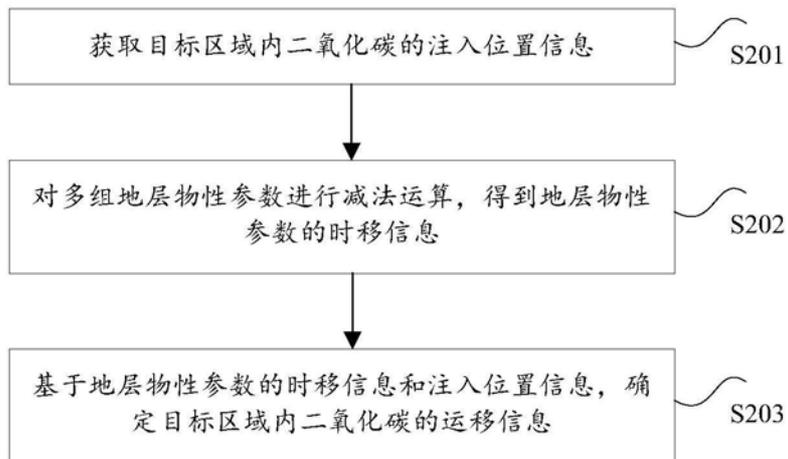


图2

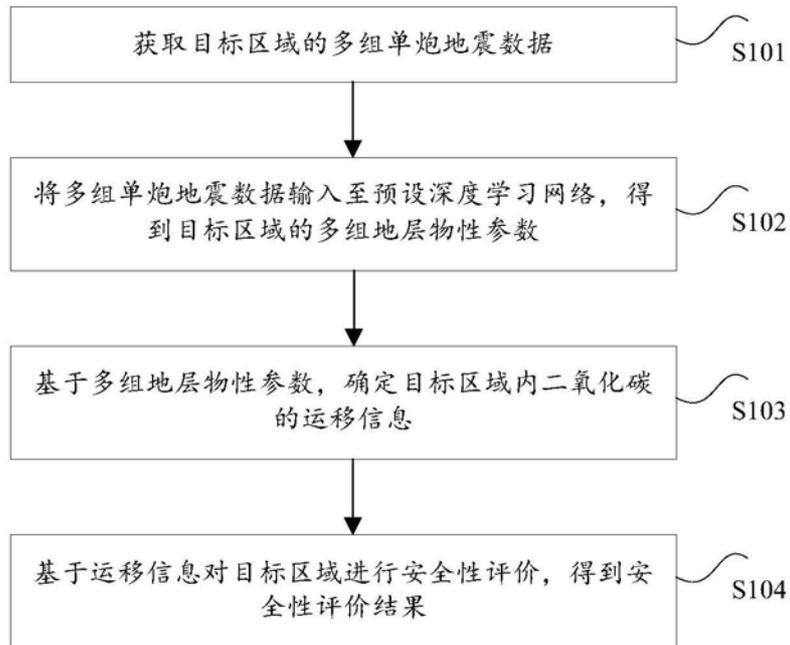


图3

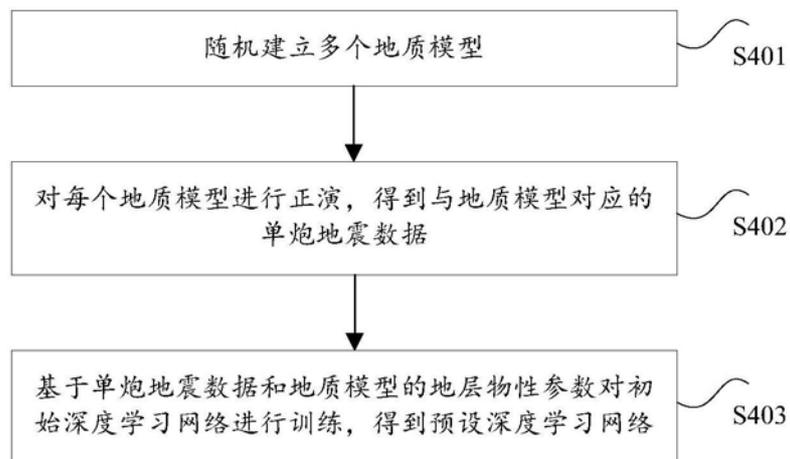


图4



图5

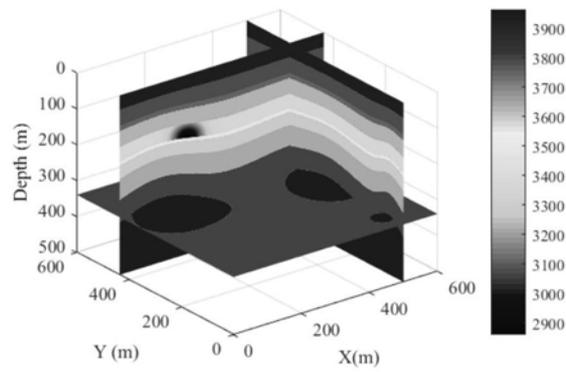


图6

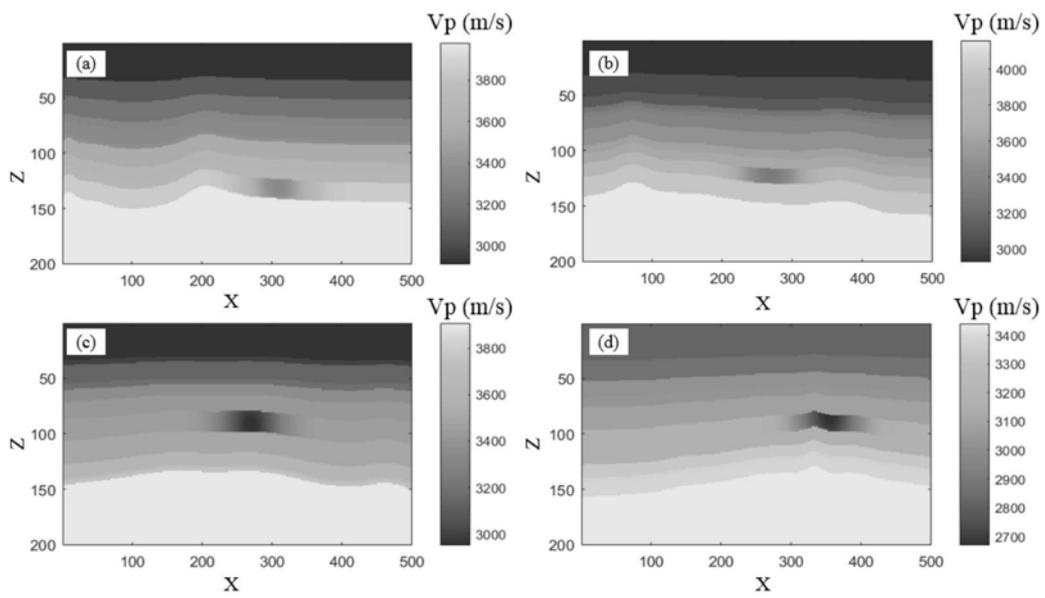


图7



图8