



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112147692 B

(45) 授权公告日 2022.08.05

(21) 申请号 201910579901.3

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2019.06.28

G01V 1/36 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112147692 A

(56) 对比文件

CN 104062683 A, 2014.09.24

(43) 申请公布日 2020.12.29

审查员 丁虎

(73) 专利权人 中国石油化工股份有限公司  
地址 100027 北京市朝阳区朝阳门北大街  
22号

专利权人 中国石油化工股份有限公司石油  
勘探开发研究院

(72) 发明人 赵艳平 高鸿 朱成宏 庞海玲  
陈世军 张改兰 姜大建

(74) 专利代理机构 北京思创毕升专利事务所  
11218

专利代理师 孙向民 廉莉莉

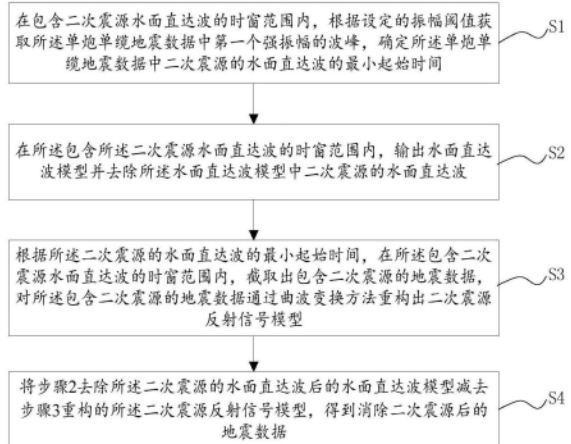
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

用于海洋地震资料的二次震源衰减方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法。包括：在包含二次震源水面直达波的时窗范围内，根据设定的振幅阈值获取单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰，确定单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间；输出水面直达波模型并去除水面直达波模型中二次震源的水面直达波；截取出包含二次震源的地震数据，通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型；将去除二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去重构的二次震源反射信号模型，得到消除二次震源后的地震数据。上述方法有效去除了下一炮形成的二次震源对当前单炮较深地层反射波能量的影响，进而恢复原始地震记录采集到的实际数据。



1. 一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,包括:

步骤1:在包含二次震源水面直达波的时窗范围内,根据设定的振幅阈值获取单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰,确定所述单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间;

步骤2:在所述包含所述二次震源水面直达波的时窗范围内,输出水面直达波模型并去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波;其中,所述输出水面直达波模型包括:利用水速动校正方法拉平所述单炮单缆地震数据中的水面直达波,通过多个相邻道叠加衰减随机噪声,然后输出所述水面直达波模型;

步骤3:根据所述二次震源的水面直达波的最小起始时间,在所述包含二次震源水面直达波的时窗范围内,截取出包含二次震源的地震数据,对所述包含二次震源的地震数据通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型;其中,所述通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型包括:对截取出的所述包含二次震源地震数据进行多尺度多方向二维曲波变换,得到曲波域系数;在曲波域采用局部阈值去噪方法,针对二维曲波变换后的每个尺度、每个方向的二次震源曲波系数分别选取一个阈值算子并进行阈值处理,得到每个尺度、每个方向下的曲波系数;分别针对每个尺度、每个方向下的所述曲波系数进行逆变换,重构出所述二次震源反射信号模型;

步骤4:将步骤2去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去步骤3重构的所述二次震源反射信号模型,得到消除二次震源后的地震数据。

2. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,所述根据设定的振幅阈值获取所述单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰包括:选取所述单炮单缆地震数据中距离炮点最近的地震道,给定所述包含二次震源水面直达波的时窗范围,通过测试设定所述振幅阈值,拾取所述第一个强振幅的波峰。

3. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,在所述步骤2中,利用自适应相减方法去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波。

4. 根据权利要求3所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,还包括:选择所述单炮单缆地震数据中近偏移距的地震道集并重复所述步骤2,直至所述近偏移距的地震道集的二次震源的水面直达波的能量被完全消除。

5. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,所述截取出包含二次震源的地震数据包括:从所述单炮单缆地震数据中截取出所述二次震源的水面直达波的最小起始时间以后的地震数据。

6. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,所述阈值处理包括:比较每个尺度、每个方向的所述二次震源曲波系数与所述阈值算子,去除小于所述阈值算子的所述二次震源曲波系数。

7. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,还包括:调整所述阈值算子的值,控制二次震源反射信号的去除量。

8. 根据权利要求1所述的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,其特征在于,所述步骤4包括:将重构的所述二次震源反射信号模型与去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型进行自适应匹配后,用去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去所述二次震源反射信号模型得到所述消除二次震源的地震数据。

## 用于海洋地震资料的二次震源衰减方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及球物理勘探地震资料处理领域,更具体地,涉及一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法。

### 背景技术

[0002] 海洋地震资料存在各种不规则干扰,如浪涌、水鸟干扰、海底多次波、海水鸣震、外部船只干扰等等。涌浪产生的干扰为低频干扰,在单炮记录上有的表现为线性干扰,有的表现为带状干扰;水鸟干扰,主要由水鸟挂上异物如鱼网或电缆平衡不好而造成的干扰波,表现为水鸟附近的地震道上出现一串低频干扰;外部干扰,主要由附近过往船只或崎岖不平的海底点源反射所造成,在地震记录上表现为双曲线,其位置随干扰源与震源位置的变化而变化;多次波干扰,是海洋地震勘探中最突出的问题之一,也是与陆上地震资料的不同之处。多次波的周期性和强能量造成记录的深部位有效反射能量被压制,降低了地震资料的信噪比。

[0003] 目前,随着海洋油气勘探逐步转向深部油气层,为适应新勘探形势下地震资料精确成像的要求,海洋地震采集原始记录长度也在逐渐增加。地震采集系统针对于深水作业或需要长记录时间数据有时会采用连续记录模式,这种记录模式和传统的触发记录方式不同,连续记录不需要导航系统的触发信号,比如记录长度8秒,5秒放炮间隔。地震记录系统首先以5秒记录长度在系统服务器中连续记录下有效长度为5秒的地震数据,每5s采集生成1个SEGD原始文件,然后采集系统根据接收到的导航头端信息提取SEGD原始文件,并对其进行处理,生成所需要的记录长度为8s的SEGD数据,这样所得的地震数据中除了会有前面提到的各种干扰,在大致5s附近还会重叠有能量强,分布范围极广的下一炮震源记录。虽然两炮间的距离、船速大致是一样的,但是由于水速等因素的影响,重叠的下个震源在本单炮记录上出现的时间是不完全相同的。并且这种二次震源噪音能量强、分布广,完全掩盖了当前单炮较深地层反射波的能量,对深层资料品质影响非常严重,给地震资料处理工作带来极大的难度,请参考图1。

[0004] 目前,地球物理工作者在利用曲波变换进行地震资料的噪声压制方面做了很多工作,将二维曲波变换分别应用于叠前地震资料、微地震资料的随机噪声压制以及面波压制中等。发表在2014年第4期《石油物探》上的《三维曲波变换在地震资料去噪处理中的应用研究》、2012年第6期《石油物探》上的《基于曲波变换的地面微地震资料去噪方法研究》和2010年《中国海上油气》上的《基于曲波变换的叠后三维地震资料去噪处理研究》;以及专利《基于曲波变换和聚类的地震数据去噪方法和装置》、《基于曲波变换和奇异值分解的联合去噪方法》(申请号CN201410318284.9)、《一种基于二维曲波变换的三维地震数据去噪方法》(申请号CN201610044425.1)全部都是采用曲波变换在曲波域通过阈值处理压制叠前或是叠后地震资料中的随机噪音,且都取得了较好的应用效果。

[0005] 针对上述这种较深层的反射信号叠加了下一炮较浅层的反射信号的重叠震源情况,不属于规则干扰的情况,也不完全具有随机噪音的特点,相当于地震记录中存在有二次

震源,两个单炮深层和浅层的信号重叠在了一起。在资料处理工作开始前,应该先去掉重叠震源的影响。在文献资料中没有查阅到有关重叠震源或二次震源的有效去除方法,目前还没有现成的方法技术可以直接应用。

[0006] 因此需要提出一种能够有效去除下一炮形成的二次震源对当前单炮较深地层反射波能量的影响,并恢复原始单炮真实记录的方法。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的是提出一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,实现有效去除下一炮形成的二次震源对当前单炮较深地层反射波能量的影响,并恢复原始单炮真实记录。

[0008] 为实现上述目的,本发明提出了一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,包括:

[0009] 步骤1:在包含二次震源水面直达波的时窗范围内,根据设定的振幅阈值获取所述单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰,确定所述单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间;

[0010] 步骤2:在所述包含所述二次震源水面直达波的时窗范围内,输出水面直达波模型并去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波;

[0011] 步骤3:根据所述二次震源的水面直达波的最小起始时间,在所述包含二次震源水面直达波的时窗范围内,截取出包含二次震源的地震数据,对所述包含二次震源的地震数据通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型;

[0012] 步骤4:将步骤2去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去步骤3重构的所述二次震源反射信号模型,得到消除二次震源后的地震数据。

[0013] 可选地,所述根据设定的振幅阈值获取所述单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰包括:选取所述单炮单缆地震数据中距离炮点最近的地震道,给定所述包含二次震源水面直达波的时窗范围,通过测试设定所述振幅阈值,拾取所述第一个强振幅的波峰。

[0014] 可选地,所述输出水面直达波模型包括:利用水速动校正方法拉平所述单炮单缆地震数据中的水面直达波,通过多个相邻道叠加衰减随机噪音,然后输出所述水面直达波模型。

[0015] 可选地,在所述步骤2中,利用自适应相减方法去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波。

[0016] 可选地,还包括:选择所述单炮单缆地震数据中近偏移距的地震道集并重复所述步骤2,直至所述近偏移距的地震道集的二次震源的水面直达波的能量被完全消除。

[0017] 可选地,所述截取出包含二次震源的地震数据包括:从所述单炮单缆地震数据中截取出所述二次震源的水面直达波的最小起始时间以后的地震数据。

[0018] 可选地,所述通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型包括:

[0019] 对截取出的所述包含二次震源地震数据进行多尺度多方向二维曲波变换,得到曲波域系数;

[0020] 在曲波域采用局部阈值去噪方法,针对二维曲波变换后的每个尺度、每个方向的二次震源曲波系数分别选取一个阈值算子并进行阈值处理,得到每个尺度、每个方向下的

曲波系数；

[0021] 分别针对每个尺度下的所述曲波系数进行逆变换，重构出所述二次震源反射信号模型。

[0022] 可选地，所述阈值处理包括：比较每个尺度、每个方向的所述二次震源曲波系数与所述阈值算子，去除小于所述阈值算子的所述二次震源曲波系数。

[0023] 可选地，还包括：调整所述阈值算子的值，控制二次震源反射信号的去除量。

[0024] 可选地，所述步骤4包括：将重构的所述二次震源反射信号模型与去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型进行自适应匹配后，用去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去所述二次震源反射信号模型得到所述消除二次震源的地震数据。

[0025] 本发明的有益效果在于：

[0026] 通过确定所述单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间，输出水面直达波模型并去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波，然后截取包含二次震源的地震数据，通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型，最后通过去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去重构的所述二次震源反射信号模型，得到消除二次震源后的地震数据，有效去除了下一炮形成的二次震源对当前单炮较深地层反射波能量的影响，并恢复原始单炮真实记录，进而恢复原始地震记录采集到的实际数据，提高单炮地震数据中深层地震记录的低信噪比，改善地震资料的品质。

[0027] 本发明的装置具有其它的特性和优点，这些特性和优点从并入本文中的附图和随后的具体实施方式中将是显而易见的，或者将在并入本文中的附图和随后的具体实施方式中进行详细陈述，这些附图和具体实施方式共同用于解释本发明的特定原理。

## 附图说明

[0028] 通过结合附图对本发明示例性实施例进行更详细的描述，本发明的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显，在本发明示例性实施例中，相同的参考标号通常代表相同部件。

[0029] 图1示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法的步骤图。

[0030] 图2示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法的步骤流程图。

[0031] 图3示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中曲波变换的流程图。

[0032] 图4示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中原始单炮单缆地震记录图。

[0033] 图5示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中单炮单缆地震记录中选出距离炮点最近道组成的剖面图。

[0034] 图6a示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源前的单炮单缆记录图。

[0035] 图6b示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源后的单炮单缆记录图。

[0036] 图7a示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中

去除二次震源前的剖面图。

[0037] 图7b示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源后的剖面图。

### 具体实施方式

[0038] 下面将参照附图更详细地描述本发明。虽然附图中显示了本发明的优选实施例，然而应该理解，可以以各种形式实现本发明而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了使本发明更加透彻和完整，并且能够将本发明的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0039] 在采用连续记录方式采集海洋地震资料过程中，每一炮的振动都会产生水面直达波、海底浅层反射波和海底深层反射波，其中，水面直达波、海底浅层反射波和海底深层反射波按照时间先后顺序依次传播到采集点或采集船只。因此在单炮单缆地震数据中会有后一炮产生的重叠震源（二次震源的水面直达波和反射波）的存在，导致其完全覆盖了当前单炮单缆数据中较深地层有效反射信号的能量，严重影响到单炮数据中深层地震记录的品质。如果不采用合适有效的去除方法，深层地震资料将失去采集的原本意义。

[0040] 为解决上述问题，本发明提供一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法。本发明首先通过给定时窗范围内利用振幅阈值确定每一单炮记录二次震源出现的具体起始时间，在时窗范围内再采用一系列相关方法的合理组合有效去掉叠加在单炮记录上二次震源的强能量，保留了记录深层能量的原始部分，提高了长时间记录数据的信噪比。

[0041] 以下结合附图和具体实施例对本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法作进一步详细说明。

[0042] 图1示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法的步骤的流程图，图2示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法的步骤流程图，如图1和图2所示，根据本发明的一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法，包括：

[0043] 步骤1：在包含二次震源水面直达波的时窗范围内，根据设定的振幅阈值获取所述单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰，确定所述单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间；

[0044] 步骤2：在所述包含所述二次震源水面直达波的时窗范围内，输出水面直达波模型并去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波；

[0045] 步骤3：根据所述二次震源的水面直达波的最小起始时间，在所述包含二次震源水面直达波的时窗范围内，截取出包含二次震源的地震数据，对所述包含二次震源的地震数据通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型；

[0046] 步骤4：将步骤2去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去步骤3重构的所述二次震源反射信号模型，得到消除二次震源后的地震数据。

[0047] 具体地，通过确定所述单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间，输出水面直达波模型并去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波，然后以二次震源的水面直达波的最小起始时间为基准截取出包含二次震源的地震数据；通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型，最后利用去除所述二次震源水面直达波后的水面直达波模型减去重构的所述二次震源反射信号模型，得到消除二次震源后的地震数据。

[0048] 在一个示例中,步骤1中所述根据设定的振幅阈值获取所述单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰包括:选取所述单炮单缆地震数据中距离炮点最近的地震道,给定所述包含二次震源水面直达波的时窗范围,通过测试设定所述振幅阈值,拾取所述第一个强振幅的波峰。

[0049] 具体地,下一炮形成的二次震源叠加在当前单炮单缆较深地层的反射记录上,当前单炮深层反射记录的能量已经很弱,而二次震源能量非常强。连续采集的多源多缆地震数据须分解成单炮单缆地震数据进行后续处理。首先选取单炮单缆记录中距离炮点最近的地震道,给定能包含二次震源足够长的时窗范围,利用二次震源能量和一次震源深层反射能量的巨大差异,通过测试设定一个合适的振幅阈值,然后拾取第一个强振幅的波峰,即为二次震源的水面直达波的最小起始时间,作为后续处理二次震源时窗的最小时间。

[0050] 在一个示例中,步骤2中所述输出水面直达波模型包括:利用水速动校正方法拉平所述单炮单缆地震数据中的水面直达波,通过多个相邻道叠加衰减随机噪音,然后输出所述水面直达波模型。利用自适应相减方法去除所述水面直达波模型中二次震源的水面直达波。

[0051] 具体地,在包含二次水面直达波的时窗范围内,利用水速动校正方法拉平时窗范围内的所有水面直达波,通过多个相邻地震道叠加,衰减随机噪音输出水面直达波模型,再利用自适应相减等方法去除二次震源的水面直达波。

[0052] 在一个示例中,还包括:选择所述单炮单缆地震数据中近偏移距的地震道集并重复所述步骤2,直至所述近偏移距的地震道集的二次震源的水面直达波的能量被完全消除。

[0053] 通常情况下,上述水速动校正、多个相邻地震道叠加、自适应相减的过程需要重复2-3次,第一次只会衰减掉较远偏移距的直达波,近偏移距(近地震道)的直达波的能量依然存在。然后选择这些近偏移距的地震道集,重新进行上述的水速动校正、多个相邻地震道叠加、自适应相减,再检查去除二次震源的水面直达波的效果,直至近偏移距中二次震源水面直达波的能量完全消除。需要说明的是,本发明中的近偏移距是本领域人员常用的一个相对概念,根据地震勘探的不同地质条件,所述近偏移距具有不同的距离定义范围,例如,陆地地震勘探中近偏移距可以为15米,海洋地震勘探中可以为20米等。

[0054] 在一个示例中,步骤2中,所述截取出包含二次震源的地震数据包括:从所述单炮单缆地震数据中截取出所述二次震源的水面直达波的最小起始时间以后的地震数据。

[0055] 具体地,在确定二次震源的水面直达波的最小起始时间后,由于二次震源的水面直达波最先被采集到,因此通过步骤1中确定的第一个强振幅的波峰即为二次震源的水面直达波的起始点,以此确定出二次震源的水面直达波的最小起始时间,在单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间之后的所有数据包括了二次震源的地震数据(二次震源的水面直达波和反射波),因此以所述二次震源的水面直达波的最小起始时间为起始进行二次震源数据的截取,例如单炮单缆地震数据的记录时长为8秒,第一个强振幅的波峰出现的时间为5.5秒,截取5.5秒之后的所有数据即为包含二次震源的地震数据。

[0056] 在一个示例中,步骤3中所述通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型包括:首先,对截取出的所述包含二次震源地震数据进行多尺度多方向二维曲波变换,得到曲波域系数;然后,在曲波域采用局部阈值去噪方法,针对二维曲波变换后的每个尺度、每个方向的二次震源曲波系数分别选取一个阈值算子并进行阈值处理,得到每个尺度、每个方



向下的曲波系数;最后,分别针对每个尺度下的所述曲波系数进行逆变换,重构出所述二次震源反射信号模型。

[0057] 图3示出了根据本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中曲波变换的流程图,参考图3,根据步骤2将含有二次震源的数据截取出来,对其进行多尺度多方向二维曲波变换得到曲波域系数(包含二次震源的地震数据曲波域),然后在曲波域采用局部阈值去噪方法,对曲波变换后的每个尺度、每个方向都选取一个阈值算子,通过阈值处理,得到各个尺度、各个方向下的重叠震源曲波系数(大于所述阈值算子的地震数据曲波系数),最后将提取出来的重叠震源曲波系数(大于所述阈值算子的曲波系数)进行逆变换重构出地震信号,这个信号就是想要去除的重叠震源(二次震源反射信号)。

[0058] 进一步地,在这个曲波变换和逆变换过程中,衰减掉的就是原地震记录中的一次震源反射记录,即一次震源反射记录被当作噪音去除了,重构出来的是二次震源反射信号的初始模型。

[0059] 在一个示例中,所述阈值处理包括:比较每个尺度、每个方向的所述二次震源曲波系数与所述阈值算子,去除小于所述阈值算子的所述二次震源曲波系数。

[0060] 在一个示例中,还包括:调整所述阈值算子的值,控制二次震源反射信号的去除量。

[0061] 具体地,在阈值处理过程中,阈值算子的选取非常关键,阈值大,一次原始信号去掉的多,重叠震源保留的少,即重构出来的二次震源只有大系数数据得到保留,反之,一次原始信号去的少,二次震源保留的多。本方案中优选能够保留大系数数据的阈值算子。

[0062] 在一个示例中,所述步骤4包括:将重构的所述二次震源反射信号模型与去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型进行自适应匹配后,用去除所述二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去所述二次震源反射信号模型得到所述消除二次震源的地震数据。

[0063] 具体地,将步骤3中重构的二次震源反射信号模型与步骤2中去除二次震源水面直达波后的数据进行自适应匹配后进行输出,通过调整阈值算子的值,质量控制重构的二次震源反射信号模型,然后用去除二次震源水面直达波后的地震数据减去重构的二次震源反射信号模型得到最终消除二次震源的地震数据。进一步地,检查二次震源的去除效果,若不理想,可以调整阈值算子的值,或是重复步骤3和步骤4,直至达到比较满意的二次震源去除效果。

[0064] 本发明的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法在具体实施过程中,可以基于本方案设计开发相关计算机软件,并集成相关的算法、技术等完成本发明的实施。本领域人员容易实现,此处不再赘述。

[0065] 实施例:

[0066] 以下为根据本发明的对某工区海洋地震资料去除二次震源的实施例。采用12.5米间隔距离交替放炮,记录长度8秒,针对于放炮时间短,记录长度长的要求,采用的是连续记录模式采集。

[0067] 图4示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中原始单炮单缆地震记录图,图5示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中单炮单缆地震记录中选出距离炮点最近道组成的剖面图,图6a示出了根据本



发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源前的单炮单缆记录图,图6b示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源后的单炮单缆记录图,图7a示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源前的剖面图,图7b示出了根据本发明一个实施例的用于海洋地震资料的二次震源衰减方法中去除二次震源后的剖面图。

[0068] 参考图4至图7b,一种用于海洋地震资料的二次震源衰减方法,包括:

[0069] 将采用连续记录模式采集的多源多缆地震记录分解成单炮单缆地震记录。在图4所示的单炮单缆记录中,黑色方框内是原始单炮单缆地震数据记录中较深层的反射信号中覆盖有下一单炮二次震源的地震记录,呈线性强能量显示的是下一炮记录的直达波,下方的强能量是下一炮记录产生的二次震源的反射波。

[0070] 步骤1:在单炮单缆地震数据包含二次震源水面直达波的时窗范围内,根据设定的振幅阈值获取单炮单缆地震数据中第一个强振幅的波峰(强振幅的波峰要明显高出单炮单缆地震数据中的一次震源的振幅波峰),确定单炮单缆地震数据中二次震源的水面直达波的最小起始时间。

[0071] 其中,获取第一个强振幅的波峰包括:选取单炮单缆地震数据中距离炮点最近的地震道,给定包含二次震源水面直达波的时窗范围,通过测试设定振幅阈值,从而拾取第一个强振幅的波峰。从图5可以看出,重叠震源(二次震源)和原始单炮单缆记录的能量级别相差很大。图上方的方框内包含二次震源直达波信息,图下方方框内包含二次震源的反射波信息。通过给定振幅阈值拾取强能量的波峰,能够确定每炮出现二次震源的最小起始时间和二次震源的分布范围。

[0072] 步骤2:在包含二次震源水面直达波的时窗范围内,输出水面直达波模型并去除水面直达波模型中二次震源的水面直达波;其中,输出水面直达波模型包括:利用水速动校正方法拉平单炮单缆地震数据中的水面直达波,通过多个相邻道叠加衰减随机噪音,然后输出水面直达波模型。利用自适应相减方法去除水面直达波模型中二次震源的水面直达波。其中,自适应相减方法为本领域现有常用的多次波自适应减去方法,本领域人员可自行选择或设计,此处不再赘述。

[0073] 还包括:选择单炮单缆地震数据中近偏移距的地震道集并重复步骤2,直至近偏移距的地震道集的二次震源的水面直达波的能量被完全消除。

[0074] 步骤3:根据二次震源的水面直达波的最小起始时间,在包含二次震源水面直达波的时窗范围内,截取出包含二次震源的地震数据,对包含二次震源的地震数据通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型;其中,截取出包含二次震源的地震数据包括:从单炮单缆地震数据中截取出二次震源的水面直达波的最小起始时间以后的地震数据。

[0075] 其中,通过曲波变换方法重构出二次震源反射信号模型包括:首先,对截取出的包含二次震源地震数据进行多尺度多方向二维曲波变换,得到曲波域系数;然后,在曲波域采用局部阈值去噪方法,针对二维曲波变换后的每个尺度、每个方向的二次震源曲波系数分别选取一个阈值算子并进行阈值处理,得到每个尺度、每个方向下的曲波系数;最后,分别针对每个尺度下的曲波系数进行逆变换,重构出二次震源反射信号模型。其中,阈值处理包括:比较每个尺度、每个方向的二次震源曲波系数与阈值算子,去除小于阈值算子的二次震源曲波系数。还包括:通过调整阈值算子的值,控制二次震源反射信号的去除量。

[0076] 步骤4:将步骤2去除二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去步骤3重构的二次震源反射信号模型,得到消除二次震源后的地震数据。将重构的二次震源反射信号模型与去除二次震源的水面直达波后的水面直达波模型进行自适应匹配后,用去除二次震源的水面直达波后的水面直达波模型减去二次震源反射信号模型得到消除二次震源的地震数据。

[0077] 如图6a、图6b示出了去除重叠震源前后的单炮对比,通常上述的去除的过程要重复2-3次,才可以将二次震源记录消除干净。

[0078] 如图7a、图7b示出了通过上述方法去除二次震源前后的剖面对比,去除前图中白色方框区域内由于受重叠的二次震源的影响,剖面信噪比低,尤其6.7s~7.1s处的剖面,完全被强能量覆盖,无法识别同相轴。去除后剖面信噪比明显改善,同相轴清晰可见,易于后期的资料解释工作。同时可以看出本发明的方法在某区含有重叠震源(二次)的海洋资料处理中取得了良好的应用效果。

[0079] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。

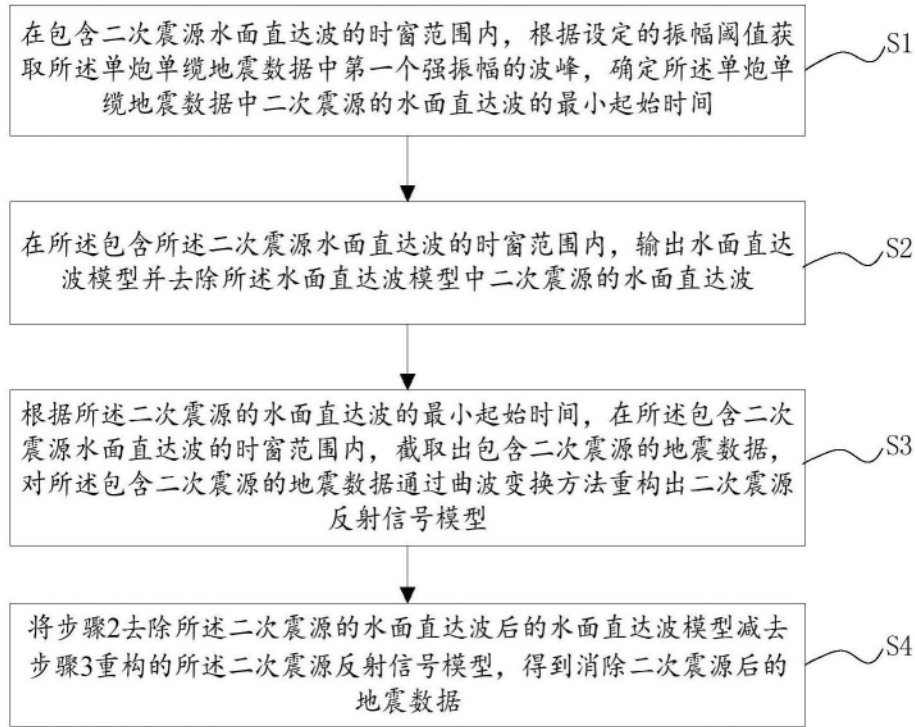


图1

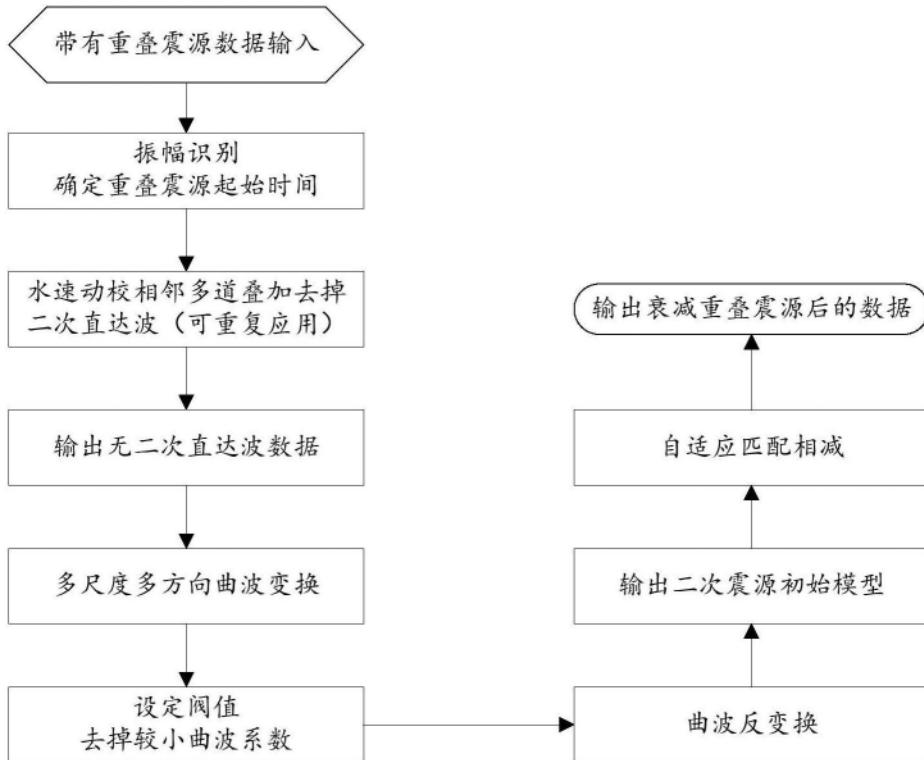


图2

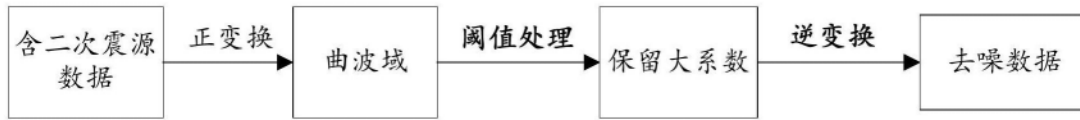


图3

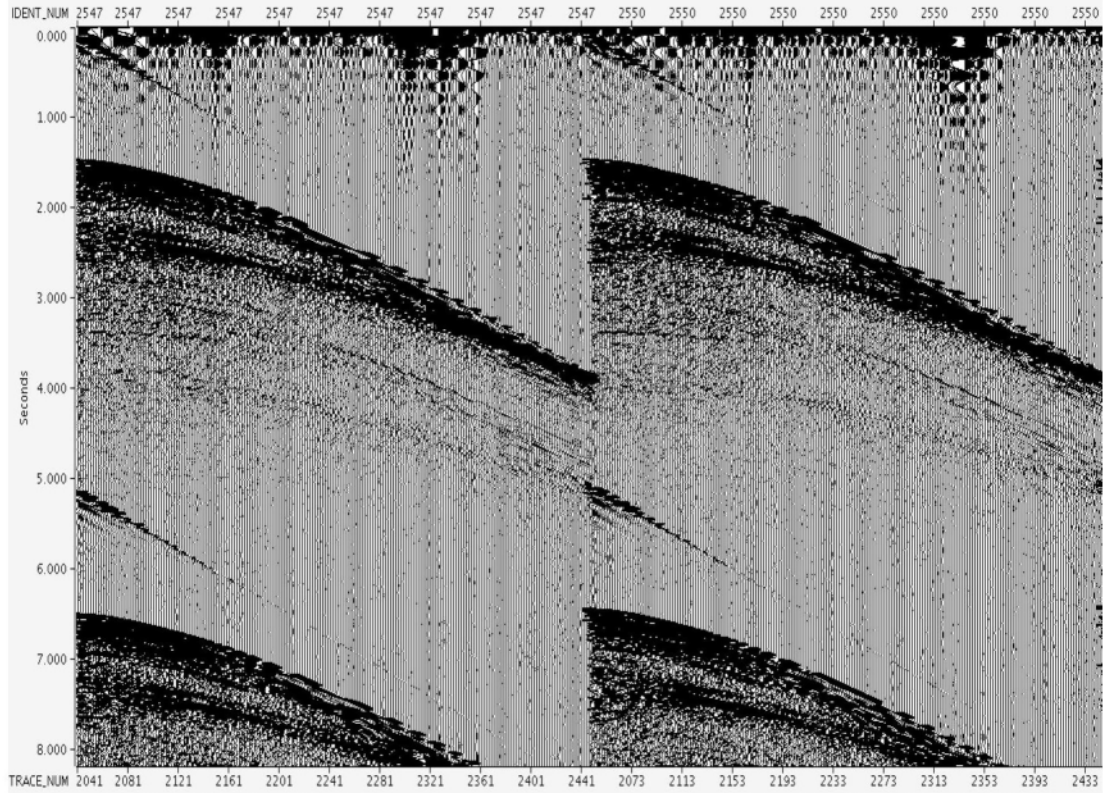


图4



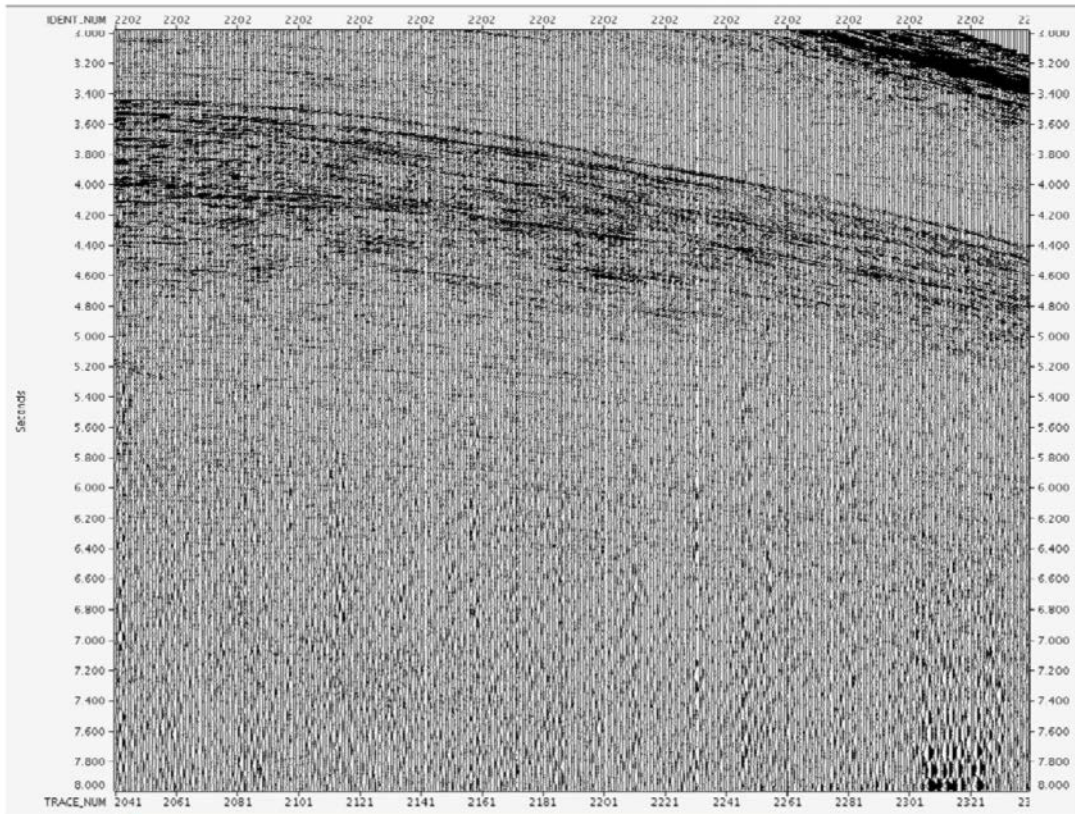


图6b



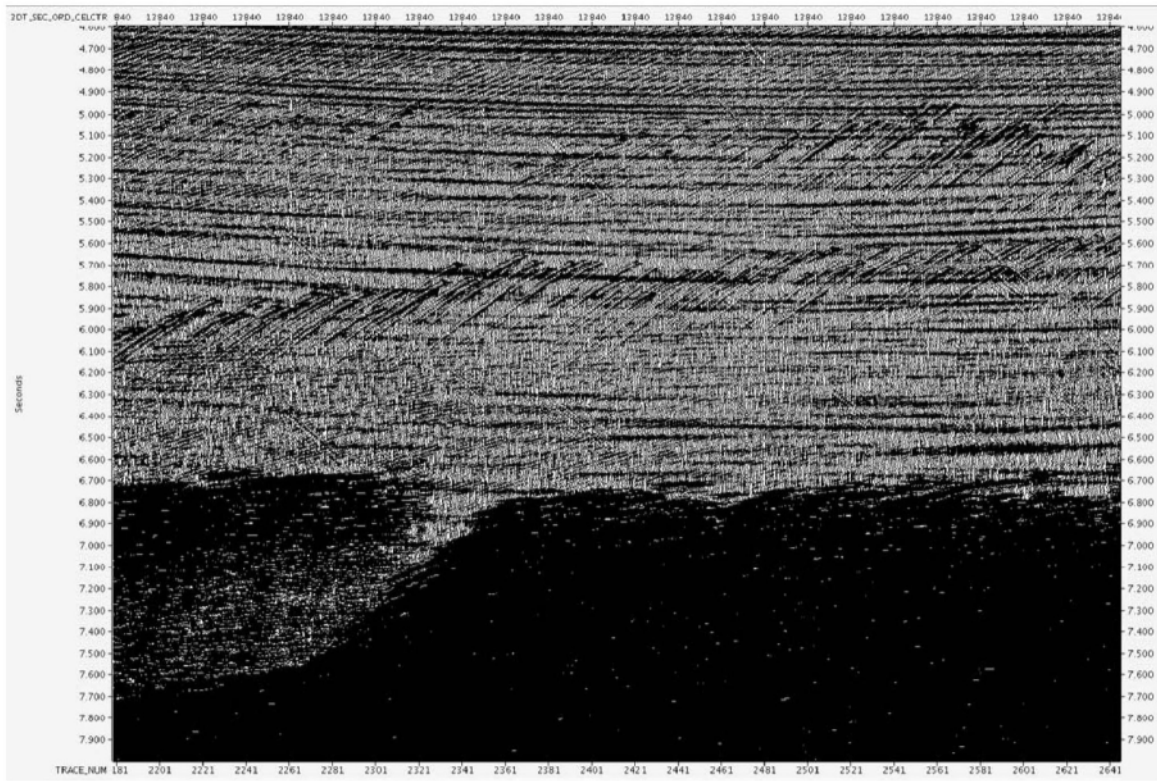


图7a

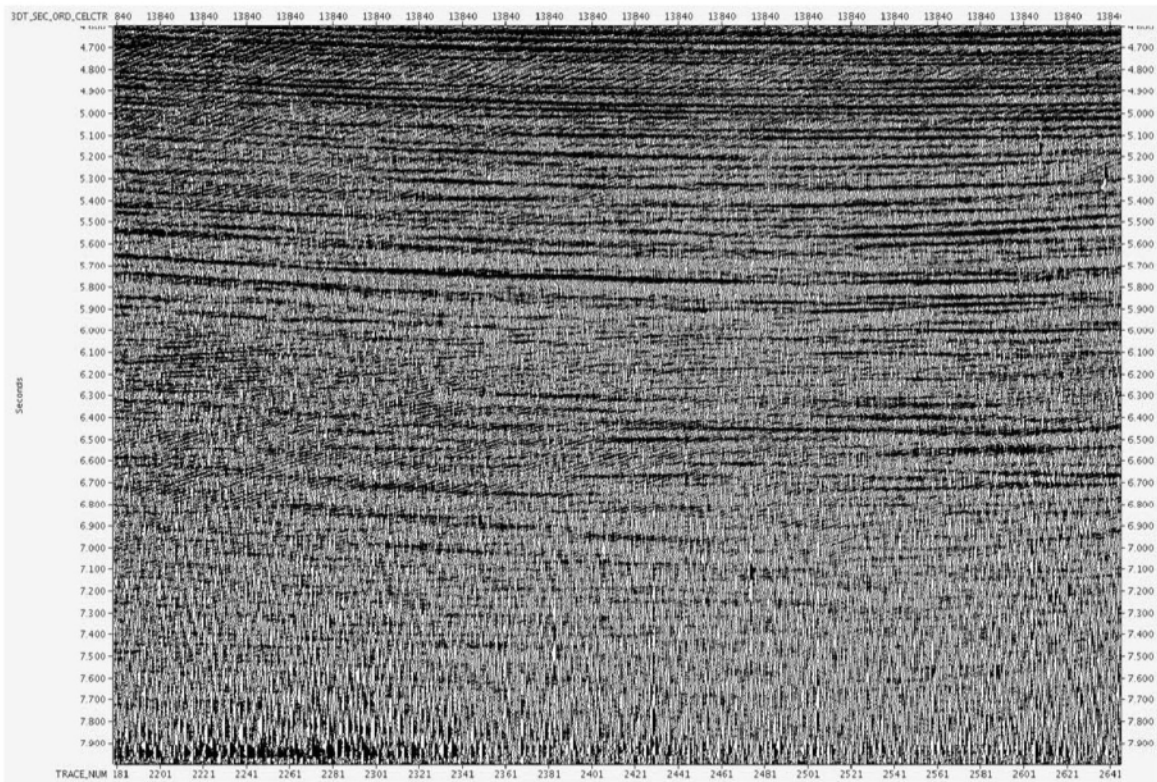


图7b