



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104483707 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 01

(21) 申请号 201410705333. 4

(22) 申请日 2014. 11. 26

(71) 申请人 中国科学院声学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 21 号

(72) 发明人 陈浩 宫昊 何晓 王秀明

(74) 专利代理机构 北京亿腾知识产权代理事务所 11309

代理人 陈霖

(51) Int. Cl.

G01V 1/40(2006. 01)

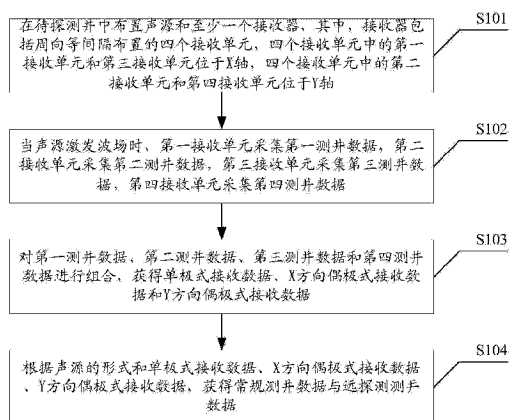
权利要求书2页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

测井方法和装置

(57) 摘要

本发明涉及一种测井方法和装置,包括:在待探测井中布置声源和至少一个接收器;当声源激发波场时,第一接收单元采集第一测井数据,第二接收单元采集第二测井数据,第三接收单元采集第三测井数据,第四接收单元采集第四测井数据;对第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据、X方向和Y方向偶极式接收数据;根据声源的形式和单极式接收数据,X方向偶极式接收数据,Y方向偶极式接收数据,获得常规测井数据与远探测测井数据。本发明实施例可以较大程度提高井外反射波相对于井中直达波的幅度,进而对井外地质构造进行精确和有效的成像。



1. 一种测井方法,其特征在于,所述方法包括:

在待探测井中布置声源和至少一个接收器,其中,所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元,所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于 X 轴,所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于 Y 轴;

当所述声源激发波场时,所述第一接收单元采集第一测井数据,第二接收单元采集第二测井数据,第三接收单元采集第三测井数据,第四接收单元采集第四测井数据;

对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据和 Y 方向偶极式接收数据;

根据所述声源的形式和所述单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据、Y 方向偶极式接收数据,获得常规测井数据与远探测测井数据。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述声源具体包括:单极子源或偶极子源。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据和 Y 方向偶极式接收数据具体包括:

对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据;

对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得 X 方向偶极式接收数据;

对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得 Y 方向偶极式接收数据。

4. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,当所述声源为单极子源时,所述单极式接收数据为常规测井数据,所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

5. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,当所述声源为偶极子源时,所述单极式接收数据为远探测测井数据,所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为常规测井数据。

6. 一种测井装置,其特征在于,所述装置包括:布置单元,采集单元,组合单元,生成单元;

所述布置单元,用于在待探测井中布置声源和至少一个接收器,其中,所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元,所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于 X 轴,所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于 Y 轴;

所述采集单元,用于当所述声源激发波场时,所述第一接收单元采集第一测井数据,第二接收单元采集第二测井数据,第三接收单元采集第三测井数据,第四接收单元采集第四测井数据;

所述组合单元,用于对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据和 Y 方向偶极式接收数据;

所述生成单元,用于根据所述声源的形式和所述单极式接收数据,X 方向偶极式接收数据,Y 方向偶极式接收数据,获得常规测井数据与远探测测井数据。

7. 根据权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述声源具体包括:单极子源或偶极子源。

8. 根据权利要求 6 所述的装置,其特征在于,所述组合单元具体用于,
对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据;

对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得 X 方向偶极式接收数据;

对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得 Y 方向偶极式接收数据。

9. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述生成单元具体用于,当所述声源为单极子源时,所述单极式接收数据为常规测井数据,所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

10. 根据权利要求 7 所述的装置,其特征在于,所述生成单元具体用于,当所述声源为偶极子源时,所述单极式接收数据为远探测测井数据,所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为常规测井数据。

测井方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及地球物理测井领域,尤其涉及一种基于单极偶极混合工作方式的测井方法和装置。

背景技术

[0002] 随着油气勘探开发的不断深入,人们对地球物理资料的分辨率与精度要求越来越高,虽然常规测井技术分辨率与精度都很高,但受探测范围与探测尺度的限制,常规测井技术无法探测井壁附近以外的地区。

[0003] 在井中通过声波测井对井周围数米到数十米范围内的地层构造及地质体进行反射波成像的技术称为远探测技术,它把常规测井技术的测量范围从距井壁一米左右提高到几十米。该远探测技术应用前景十分巨大,可以用来显示与井相交的地质界面;探测井旁的倾斜地层界面、裂缝、断层等;在水平井还可以用来追踪油储边界等。

[0004] 声波的远探测技术分单极纵波法和偶极横波法两种。单极纵波法利用井中单极子声源向井外辐射的纵波,并采用单极接收经井外反射体反射回井中的反射波,其中单极纵波的声源频率一般在 10kHz 左右,但是较高频率的波衰减造成单极纵波法的探测范围有限,约为数米到十数米的范围,且由于单极子声源辐射的无方向性,使得不能确定反射体的方位;偶极横波法是近年来发展起来的远探测技术,使用的频率约为 3-5kHz,甚至更低,由于频率较低,该方法有较深的探测距离,可达几十米的范围,此外,由于偶极子声源的指向性具有方向性,该方法不但能确定发射体的位置,还能确定其走向。

[0005] 然而,在井中进行声波远探测,无论是对于单极纵波法(单极激发单极接收),还是对新近发展的偶极横波法(偶极激发偶极接收),都存在很大的局限性,即相比井中模式波,反射信号一般很小,且常与井中模式波叠加在一起,在数字化时会受到抑制或者丢失细节,特别是如果反射波和直达波在到时上重叠时,较弱的反射波信号或许淹没在直达波中,因此目前的远探测工作模式在实际资料处理中往往不尽如人意,进而限制了现有声波远探测技术的广泛使用。

发明内容

[0006] 本发明的目的是解决现有的测井技术中,反射波信号一般很小,且常与井中模式波叠加在一起,在数字化时会抑制或者丢失,特别是如果反射波和直达波在到时上重叠时,较弱的反射波信号或许淹没在直达波中的问题。

[0007] 第一方面,本发明实施例提供了一种测井方法,所述方法包括:在待探测井中布置声源和至少一个接收器,其中,所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元,所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于 X 轴,所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于 Y 轴;

[0008] 当所述声源激发波场时,所述第一接收单元采集第一测井数据,第二接收单元采集第二测井数据,第三接收单元采集第三测井数据,第四接收单元采集第四测井数据;

[0009] 对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据,X方向偶极式接收数据和Y方向偶极式接收数据;

[0010] 根据所述声源的形式和所述单极式接收数据、X方向偶极式接收数据、Y方向偶极式接收数据,获得常规测井数据与远探测测井数据。

[0011] 优选地,所述声源具体包括:单极子源或偶极子源。

[0012] 优选地,所述对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据、X方向偶极式接收数据和Y方向偶极式接收数据具体包括:

[0013] 对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据;

[0014] 对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得X方向偶极式接收数据;

[0015] 对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得Y方向偶极式接收数据。

[0016] 优选地,当所述声源为单极子源时,所述单极式接收数据为常规测井数据,所述X方向偶极式接收数据和所述Y方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

[0017] 优选地,当所述声源为偶极子源时,所述单极式接收数据为远探测测井数据,所述X方向偶极式接收数据和所述Y方向偶极式接收数据为常规测井数据。

[0018] 第二方面,本发明实施例提供了一种测井装置,所述装置包括:布置单元,采集单元,组合单元,生成单元;

[0019] 所述布置单元,用于在待探测井中布置声源和至少一个接收器,其中,所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元,所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于X轴,所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于Y轴;

[0020] 所述采集单元,用于当所述声源激发波场时,所述第一接收单元采集第一测井数据,第二接收单元采集第二测井数据,第三接收单元采集第三测井数据,第四接收单元采集第四测井数据;

[0021] 所述组合单元,用于对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合,获得单极式接收数据,X方向偶极式接收数据和Y方向偶极式接收数据;

[0022] 所述生成单元,用于根据所述声源的形式和所述单极式接收数据、X方向偶极式接收数据、Y方向偶极式接收数据,获得常规测井数据与远探测测井数据。

[0023] 优选地,所述声源具体包括:单极子源或偶极子源。

[0024] 优选地,所述组合单元具体用于,对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据;

[0025] 对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得X方向偶极式接收数据;

[0026] 对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得Y方向偶极式接收数据。

[0027] 优选地,所述生成单元具体用于,当所述声源为单极子源时,所述单极式接收数据为常规测井数据,所述X方向偶极式接收数据和所述Y方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

[0028] 优选地,所述生成单元具体用于,当所述声源为偶极子源时,所述单极式接收数据为远探测测井数据,所述X方向偶极式接收数据和所述Y方向偶极式接收数据为常规测井数据。

[0029] 本发明通过引入一种新的数据采集模式（单极偶极混合工作），井外反射波相对于井中直达波的振幅有了增强，有利于反射波信号的提取与分离；另外，由于仪器增益没有受高振幅井中直达波的影响，反射波信号在井中可以被有效放大，提高了反射波的量化精度和对传输噪声的抑制，进一步提高了远探测技术的准确性和可靠性；第二，对于距离探测井较近的反射体，常规数据采集模式中，井中直达波与井外反射波重叠较严重，难以有效分离，进而不同的远探测仪器均存在一定的探测盲区，通过引入新的数据采集模式，对探测盲区内的反射体对应的反射信号也可以准确记录，提高了远探测对近井壁反射界面的识别能力；第三，目前的声波测井技术中，有时既需要进行完成常规测井任务（例如地层速度的测量），还需要对井外反射体进行成像。这种情况下，为了同时记录下井中直达波与井外反射波的信息，需要采取超长的测井记录长度，进而造成了较大的数据传输压力，相应的也影响了常规测井作业的速度。本发明通过引入单极偶极混合工作方式，将常规测井数据的采集与远探测数据的采集分离开来，互不影响，并行进行。这样可以根据测井作业的需求进行数据采集和传输；如果只需进行常规测井作业，则对所述接收数据（单极式或偶极式接收数据）中常规测井记录长度的部分进行数字化并实时传输到地面采集系统即可，保证了常规测井作业的速度。而如果需要同时采集常规测井数据和远探测测井数据，则远探测测井数据采用较长的采集窗口进行采集，并根据电缆传输速度选择实时传输或存储于仪器后集中传输；常规数据仍采用常规测井数据采集长度进行采集和传输。

附图说明

- [0030] 图 1 为本发明实施例提供的测井方法流程图；
- [0031] 图 2 为本发明实施例提供的接收器中各接收单元布置方式示意图；
- [0032] 图 3 是本发明实施例提供的各接收单元组合方式示意图；
- [0033] 图 4a 是本发明实施例提供的在单极子源时，单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据、Y 方向偶极式接收数据对应的测井类型；
- [0034] 图 4b 是本发明实施例提供的偶极子源时，单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据、Y 方向偶极式接收数据对应的测井类型；
- [0035] 图 5 是本发明实施例提供的远探测计算模型示意图；
- [0036] 图 6 是本发明实施例提供的单极子源时，常规测井波形；
- [0037] 图 7 是本发明实施例提供的单极子源时，远探测测井波形；
- [0038] 图 8 是本发明实施例提供的单极子源时，距离声源 4.5m 处接收单元 P1 和 P3 各自的波形与其相减所得到的波形；
- [0039] 图 9 是本发明实施例提供的偶极子源时，常规测井波形；
- [0040] 图 10 是本发明实施例提供的偶极子源时，远探测测井波形；
- [0041] 图 11 是本发明实施例提供的测井装置示意图。

具体实施方式

[0042] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中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。

[0043] 为便于对本发明实施例的理解，下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明，实施例并不构成对本发明实施例的限定。

[0044] 下面以图 1 为例详细说明本发明实施例提供的测井方法，图 1 为本发明实施例提供的测井方法流程图。如图 1 所示，该实施例具体包括以下步骤：

[0045] S101，在待探测井中布置声源和至少一个接收器，其中，所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元，所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于 X 轴，所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于 Y 轴；

[0046] 具体地，如图 2 所示，图 2 为本发明实施例提供的接收器中各接收单元布置方式示意图。在图 2 中，包括多个接收器，每一个接收器包括第一接收单元 P1、第二接收单元 P2、第三接收单元 P3 和第四接收单元 P4，该 4 个接收单元的位置关系如图所示，在以井轴为 Z 轴的探测井中，可以设定第一接收单元 P1 和第三接收单元 P3 位于 X 轴，设定第二接收单元 P2 和第四接收单元 P4 位于 Y 轴。

[0047] S102，当所述声源激发波场时，所述第一接收单元采集第一测井数据，第二接收单元采集第二测井数据，第三接收单元采集第三测井数据，第四接收单元采集第四测井数据；

[0048] 具体的，声源可以是单极子源或者偶极子源。

[0049] S103，对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合，获得单极式接收数据，X 方向偶极式接收数据和 Y 方向偶极式接收数据；

[0050] 具体地，如图 3 所示，对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据，对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得 X 方向偶极式接收数据，对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得 Y 方向偶极式接收数据。

[0051] S104，根据所述声源的形式和所述单极式接收数据，X 方向偶极式接收数据，Y 方向偶极式接收数据，获得常规测井数据与远探测测井数据。

[0052] 具体地，如图 4a 所示，当所述声源为单极子源时，所述单极式接收数据为常规测井数据，所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

[0053] 其中，对于单极子源，单极式接收数据记录的是常规测井数据，而 X 和 Y 方向的偶极式接收数据则是抑制了井中直达波的远探测测井数据。

[0054] 如图 4b 所示，当所述声源为偶极子源时，所述单极式接收数据为远探测测井数据，所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为常规测井数据。

[0055] 其中，对于偶极子源，单极式接收数据记录的是远探测测井数据，而 X 和 Y 方向的偶极式接收数据记录的则为常规的偶极子测井数据。

[0056] 以上表明，常规测井数据是通过目前声波测井技术中一般的工作模式采集得到的，即单极子源激发单极式接收，偶极子源激发偶极式接收。而远探测测井数据是通过单极偶极混合工作方式，即单极源激发偶极式接收，偶极源激发单极式接收采集得到的。本发明实施例中的单极偶极混合工作方式可通过实际测井作业的需求分别采集井中直达波与井外反射波，并行进行，互不干扰，这对各自信号的自适应放大和量化以及后续的数据处理十分有利。

[0057] S105,对常规测井数据与远探测测井数据分别进行数据传输与处理。

[0058] 具体地,对常规测井数据可以实时传输和现场处理,并应用常规测井处理软件进行评价。对远探测测井数据来说,如果数据传输速度满足要求,则进行实时传输,如果传输速度不能达到要求,则存储于仪器中,待全部测量完成后再集中读取,统一处理,并应用远探测测井处理软件进行评价。

[0059] 本发明实施例提供的测井方法通过引入一种新的数据采集模式(单极偶极混合工作),井外反射波相对于井中直达波的振幅有了增强,有利于反射波信号的提取与分离;另外,由于仪器增益没有受高振幅井中直达波的影响,反射波信号在井中可以被有效放大,提高井外反射波相对于井中直达波的幅度,提高了反射波的量化精度和对传输噪声的抑制,进而对井外地质构造进行精确和有效的成像,进一步提高了远探测技术的准确性和可靠性;第二,对于距离探测井较近的反射体,常规数据采集模式中,井中直达波与井外反射波重叠较严重,难以有效分离,进而不同的远探测仪器均存在一定的探测盲区,通过引入新的数据采集模式,对探测盲区内的反射体对应的反射信号也可以准确记录,提高了远探测对近井壁反射界面的识别能力;第三,目前的声波测井技术中,有时既需要进行完成常规测井任务(例如地层速度的测量),还需要对井外反射体进行成像。这种情况下,为了同时记录下井中直达波与井外反射波的信息,需要采取超长的测井记录长度,进而造成了较大的数据传输压力,相应的也影响了常规测井作业的速度。本发明通过引入单极偶极混合工作方式,将常规测井数据的采集与远探测测井数据的采集分离开来,互不影响,并行进行。这样可以根据测井作业的需求进行数据采集和传输:如果只需进行常规测井作业,则对所述接收数据(单极式或偶极式接收数据)中常规测井记录长度的部分进行数字化并实时传输到地面采集系统即可,保证了常规测井作业的速度。而如果需要同时采集常规测井数据和远探测测井数据,则远探测测井数据采用较长的采集窗口进行采集,并根据电缆传输速度选择实时传输或存储于仪器后集中传输;常规数据仍采用常规测井数据采集长度进行采集和传输。

[0060] 下面分别对声源为单极源和偶极源时,常规测井与远探测的波形进行说明。

[0061] 第一种情况:

[0062] 单极源的情况下,利用三维有限差分模拟计算了不同数据采集方式所得到的测井波形,模型如图5所示,图5是本发明实施例提供的远探测计算模型示意图,在图5中,模型的大小为 $x = 6.5\text{m}$ 、 $y = 3\text{m}$ 、 $z = 10.5\text{m}$,充液井孔半径为 0.1m ,井眼中心位于 $x = y = 1.5\text{m}$ 处,声源位于 $z = 0.5\text{m}$ 处。采用变网格有限差分,井孔附近网格为 0.01m ,井外较远处网格为 0.015m ,时间步长为 $1.0\mu\text{s}$ 。地质界面分布于测井仪器的右侧;测井仪器的单极发射器中心频率为 8kHz ,接收器阵列在声源的一侧,每个接收器均含图2中展示四个接收单元(P1, P2, P3, P4)。地层1的纵波速度为 3000m/s ,横波速度为 1800m/s ,密度为 2000kg/m^3 ;地层2的纵波速度与横波速度则分别是 4500m/s 和 2650m/s ,密度为 2400kg/m^3 ;井中流体的声速为 1500m/s ,密度为 1000kg/m^3 。

[0063] 在井中布置单极子源激发波场,各接收器对应的四个接收单元分别采集测井数据。对四个接收单元(P1, P2, P3, P4)接收的数据进行组合,分别得到三组数据:单极式接收数据,X方向偶极式接收数据,Y方向偶极式接收数据。

[0064] 单极式接收数据为常规数据采集模式下得到的数据,即常规测井数据;X方向与Y

方向偶极式接收数据为利用单极偶极混合工作方式得到的数据,即远探测测井数据。

[0065] 图 6 是本发明实施例提供的单极子源时,常规测井波形。图 6 中还显示了理论计算得到不同类型井中直达波的到时曲线,与模拟结果较好的对应。从图 6 中可以看到,常规偶极子波(即常规测井数据)中含有纵波、横波和斯通利波等井中直达波;而与井中直达波相比,来自井外的反射波振幅非常小,这主要由于快地层中井和地层之间的阻抗差较大,井中辐射到井外的声能量有限。而实际情况下,若考虑衰减,反射波的振幅将会更小。并且来自井外的反射波与井中斯通利波重叠在一起,因而给后续的反射波记录与提取造成了困难。由此看来,常规测井模式下采集的波形主要为井中直达波,可以用于传统声波测井作业,如地层速度的测量和地层参数(孔隙度、渗透率)的提取。

[0066] 图 7 是本发明实施例提供的单极子源时,远探测测井波形,在图 7 中,接收波形为第一接收单元 P1 与第三接收单元 P3 两个接收单元的差。求差的过程衰减了第一接收单元和第三接收单元上极性相同的信号(本例中主要为单极子源激发的井中直达波信号),因此原本湮没于幅度很强的斯通利波下的反射波得以显现。对应理论计算的到时曲线可以清晰识别出井外反射纵波与反射横波,反射信号经增益调节后,送入模数转换器进行量化,最后将量化后的数字化数据传播到地面采集系统。对该混合工作方式采集的包含地层反射波信号的数据进行分析处理,可以进一步得到地质反射界面的准确位置。

[0067] 为了进一步阐述本发明的工作原理,提取出了距离声源 4.5 米处接收器接收到的波形,如图 8 所示,图 8 是本发明实施例提供的单极子源时,距离声源 4.5m 处接收单元 P1 和 P3 各自的波形与其相减所得到的波形,在图 8 中,虚线表示单个接收单元(P1 或 P3)接收到的波形,实线为两个接收单元相减(P1-P3)得到的波形。从图 8 中可以看出,表示第一接收单元 P1 波形和第三接收单元 P3 波形的两条虚线几乎完全重合,这是由于:单极子源激发的波场中,位于同一深度,关于井轴对称的两个接收单元 P1 与 P3 接收到的井中直达波响应完全相同,而两接收单元接收到的直达波在波形中占主导地位(远大于反射波的振幅),因此第一接收单元 P1 与第三接收单元 P3 波形表现的几乎重合。而通过相减,第一接收单元 P1 与第三接收单元 P3 中极性相同的信号被削弱(这里主要是由单极子源激发的井中直达波),只剩下图 8 中实线所示的井外反射波。由此看来,通过单极子源激发、偶极接收的混合工作方式,井外反射波相对于井中直达波的振幅有了增强,有利于反射波信号的提取与分离。

[0068] 另外,对比图 6 中斯通利波的到时与图 7 中反射纵波的到时可知,对于距离井轴较近的反射体(本实施例中为 3 米),反射波与井中直达波在测井源距范围内混叠较严重,难以有效分离。通过单极子源激发、偶极接收的混合工作方式,对该反射体对应的反射信号也可以进行准确记录。

[0069] 第二种情况:

[0070] 偶极子源的情况下,计算模型如图 5 所示。采用变网格有限差分,井孔附近网格为 0.01m,井外较远处网格为 0.015m,时间步长为 $1.2 \mu s$ 。偶极源指向为 X 轴,中心频率为 3kHz。地层 1 的纵波速度为 2000m/s,横波速度为 600m/s,密度为 2000kg/m^3 ;地层 2 的纵波速度与横波速度则分别是 3800m/s 和 2000m/s,密度为 2150kg/m^3 ;井中流体的声速为 1500m/s,密度为 1000kg/m^3 。其他参数与单极子源情况时的参数相同。

[0071] 在井中布置偶极子源激发波场,各接收器对应的四个接收单元分别采集测井数

据。对四个接收单元 (P1, P2, P3, P4) 接收的数据进行组合, 分别得到三组数据: 单极式接收数据, X 方向偶极式接收数据, Y 方向偶极式接收数据。

[0072] 当声源为偶极子源时, 由 S103 可知: X 方向 Y 方向偶极式接收数据为常规数据采集模式下得到的数据, 即常规测井数据; 单极式接收数据为利用单极偶极混合工作方式得到的数据, 为远探测测井数据。

[0073] 图 9 是本发明实施例提供的偶极子源时, 常规测井波形。从图 9 中可以看到, 常规偶极子波列中含有纵波和弯曲波等井中直达波, 且弯曲波强度大于井外反射纵波, 常规测井模式下采集的偶极子波形可以用于常规偶极测井作业, 如地层横波速度及地层各向异性等参数的测量。本实施例中, 从常规测井波形中可以识别出井外反射纵波, 这是由于慢地层中井和地层之间阻抗较小, 因而反射波的强度要大于第一种情况中快地层的情况, 这也是远探测技术在慢地层中应用要好于快地层的一个原因。

[0074] 图 10 是本发明实施例提供的偶极子源时, 远探测测井波形。在图 10 中, 对四个接收单元的波形进行叠加, 削弱各接收单元中极性相反的信号 (本实施例中主要为偶极子源激发的井中直达波), 井中直达波得到有效的压制, 井外反射波相对于井中模式波的幅度有了较大程度的提高。

[0075] 图 11 是本发明实施例提供的测井装置示意图, 如图 11 所示, 本实施例中包括: 布置单元 1101, 采集单元 1102, 组合单元 1103, 生成单元 1104;

[0076] 所述布置单元 1101, 用于在待探测井中布置声源和至少一个接收器, 其中, 所述接收器包括周向等间隔布置的四个接收单元, 所述四个接收单元中的第一接收单元和第三接收单元位于 X 轴, 所述四个接收单元中的第二接收单元和第四接收单元位于 Y 轴;

[0077] 所述采集单元 1102, 用于当所述声源激发波场时, 所述第一接收单元采集第一测井数据, 第二接收单元采集第二测井数据, 第三接收单元采集第三测井数据, 第四接收单元采集第四测井数据;

[0078] 所述组合单元 1103, 用于对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据进行组合, 获得单极式接收数据、X 方向偶极式接收数据和 Y 方向偶极式接收数据;

[0079] 所述生成单元 1104, 用于根据所述声源的形式和所述单极式接收数据, X 方向偶极式接收数据, Y 方向偶极式接收数据, 获得常规测井数据与远探测测井数据。

[0080] 可选地, 所述声源具体包括: 单极子源或偶极子源。

[0081] 可选地, 所述组合单元 1103 具体用于,

[0082] 对所述第一测井数据、第二测井数据、第三测井数据和第四测井数据相加获得单极式接收数据;

[0083] 对所述第一测井数据和第三测井数据相减获得 X 方向偶极式接收数据;

[0084] 对所述第二测井数据和所述第四测井数据相减获得 Y 方向偶极式接收数据。

[0085] 可选地, 所述生成单元 1104 具体用于, 当所述声源为单极子源时, 所述单极式接收数据为常规测井数据, 所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为远探测测井数据。

[0086] 可选地, 所述生成单元 1104 具体用于, 当所述声源为偶极子源时, 所述单极式接收数据为远探测测井数据, 所述 X 方向偶极式接收数据和所述 Y 方向偶极式接收数据为常

规测井数据。

[0087] 专业人员应该还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0088] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0089] 以上所述的具体实施方式,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方式而已,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。

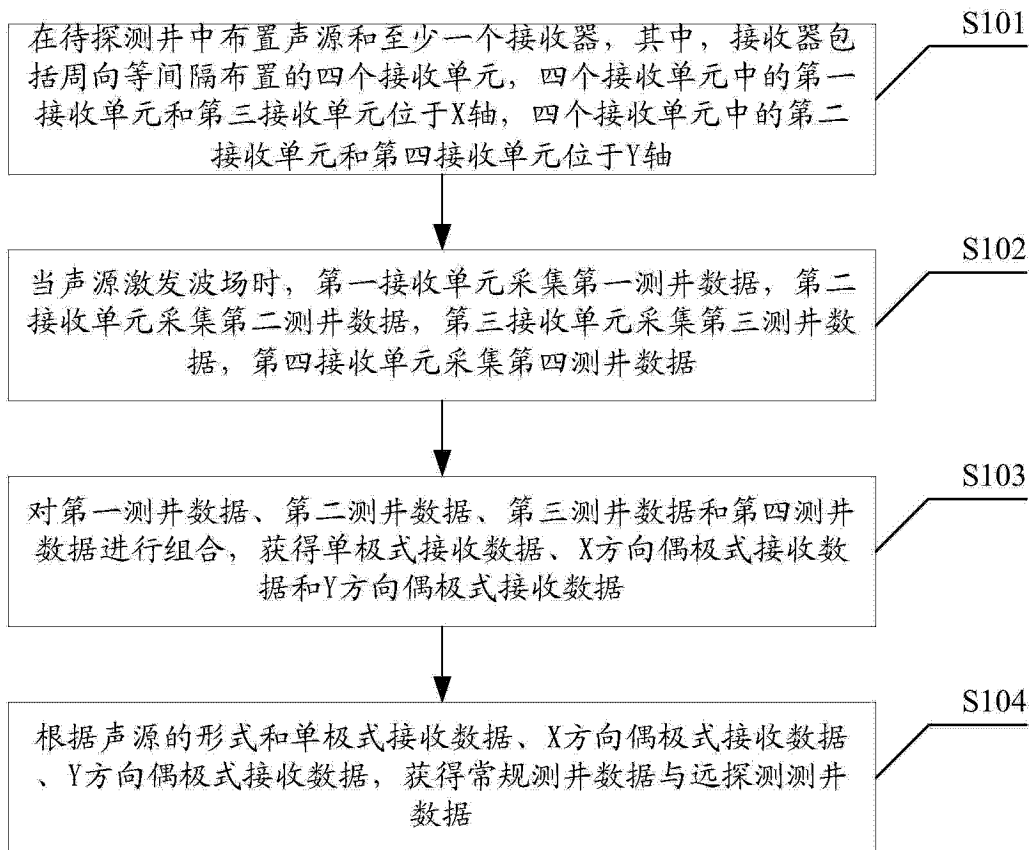


图 1

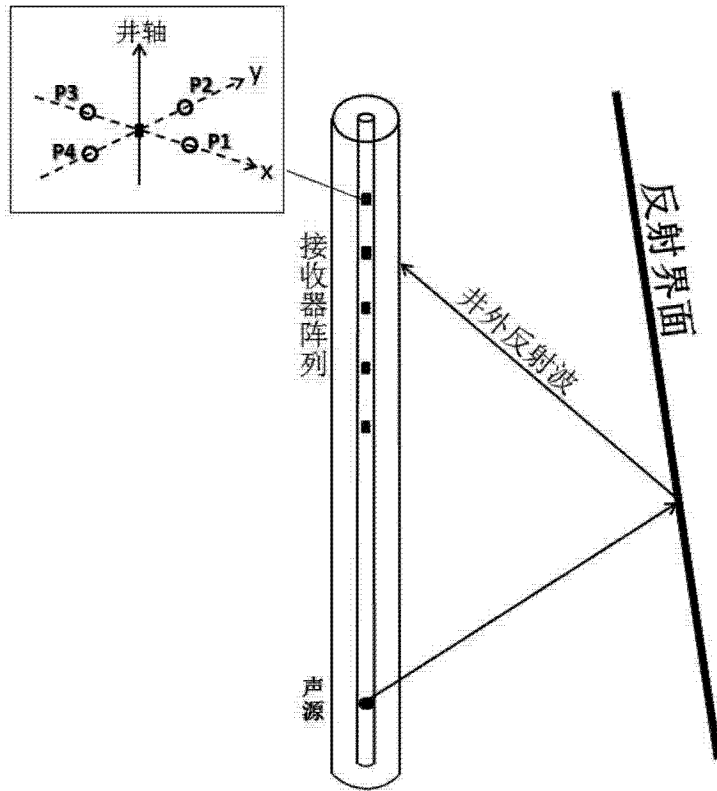


图 2

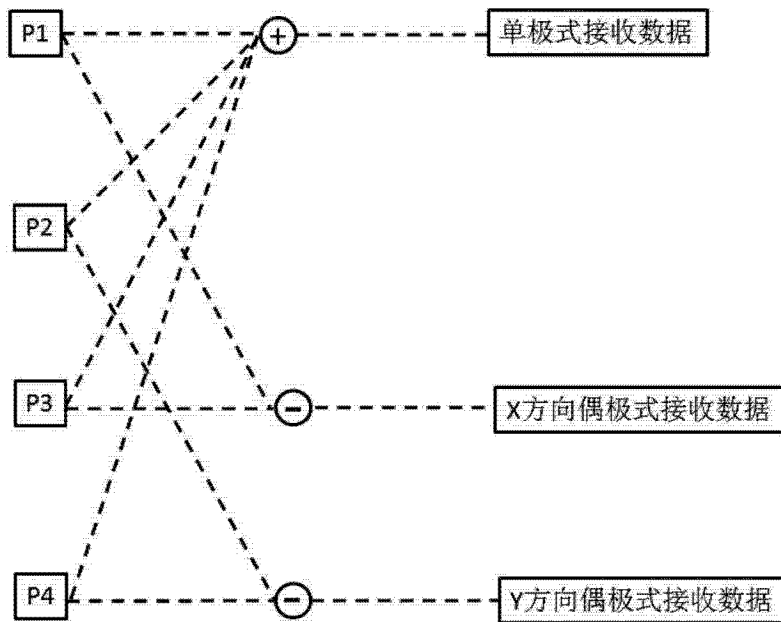


图 3

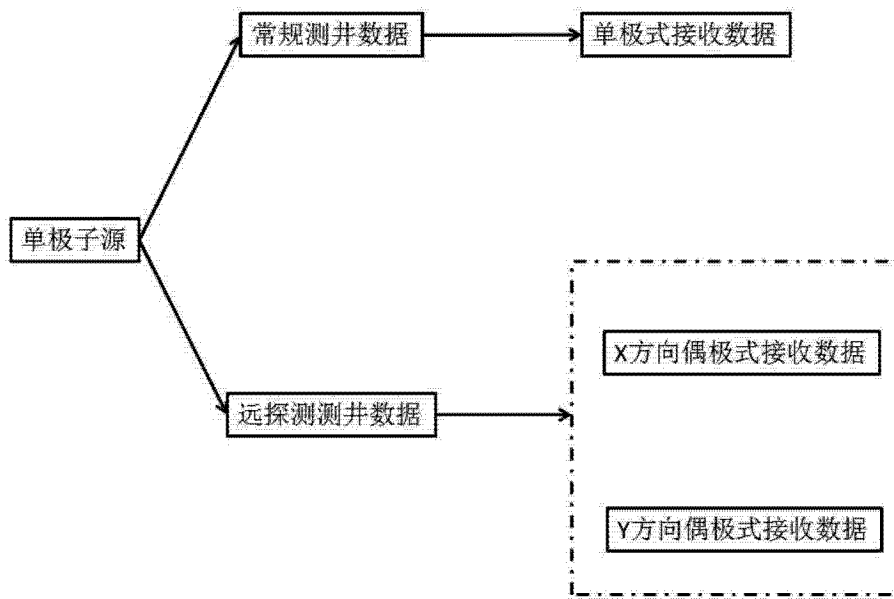


图 4a

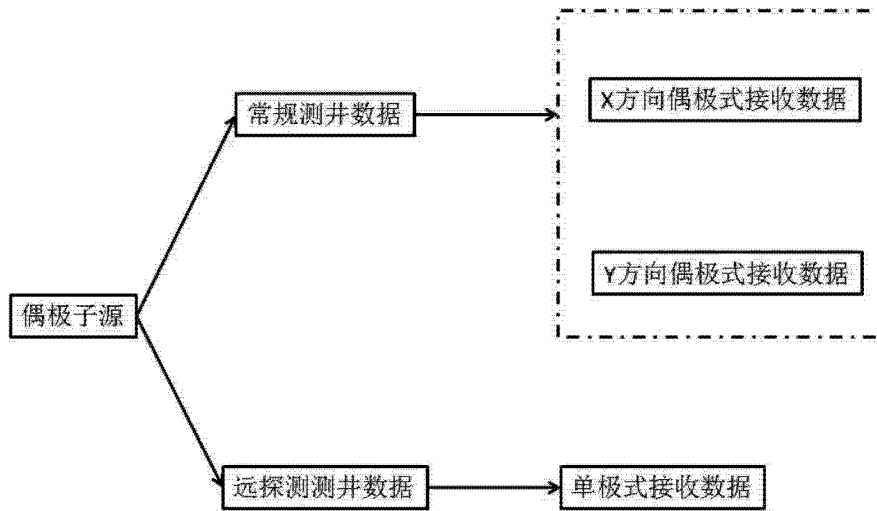


图 4b

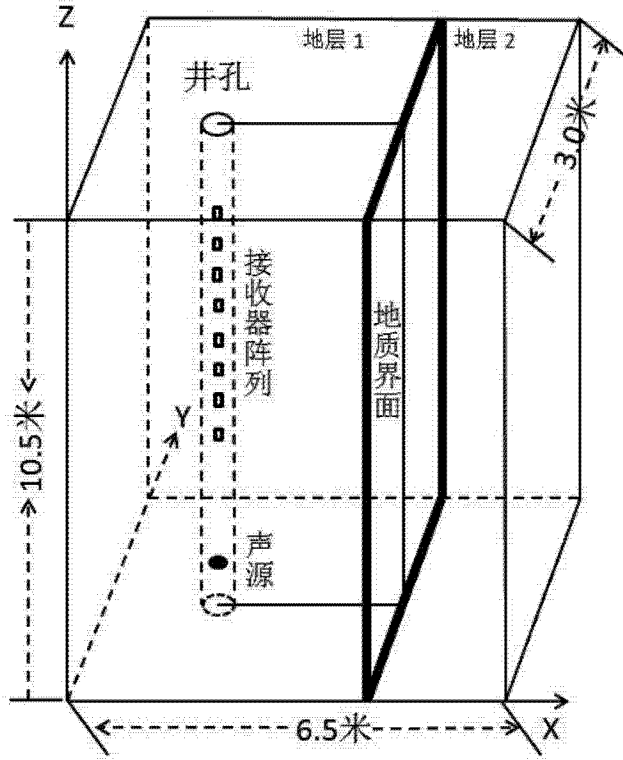


图 5

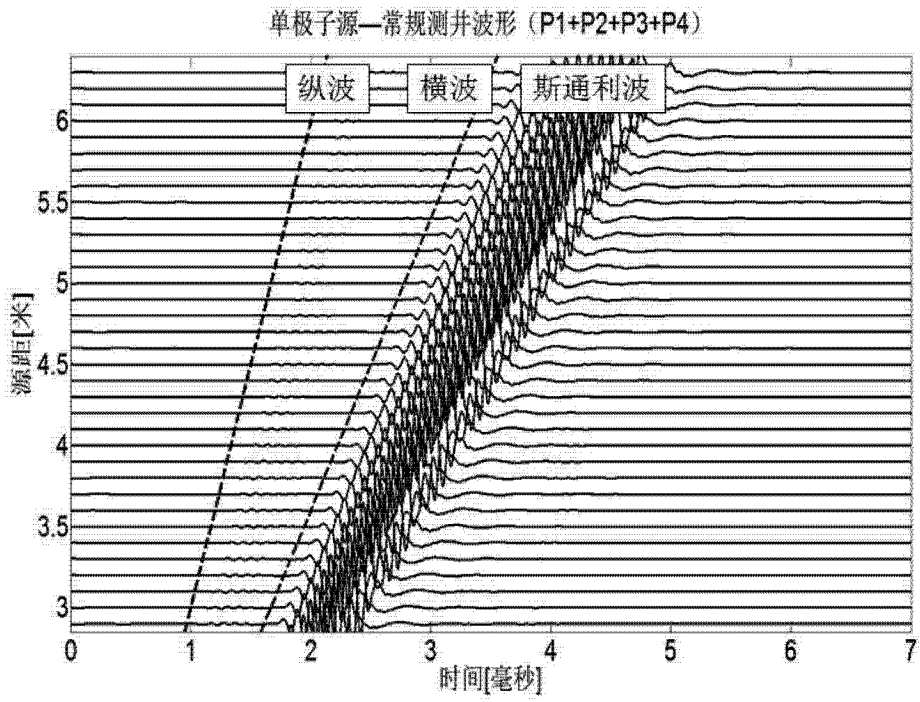


图 6

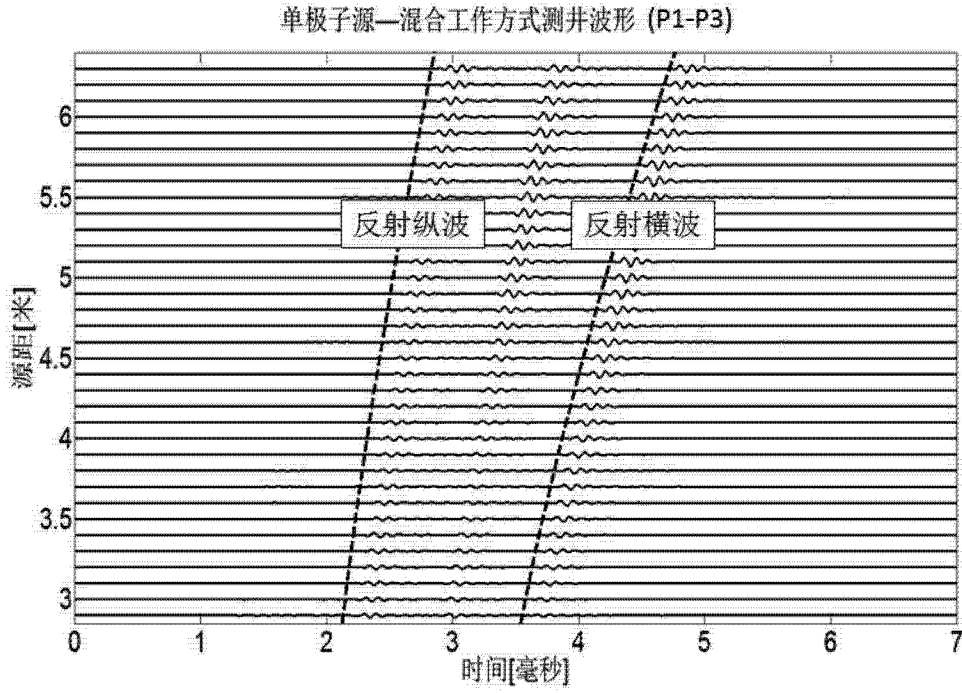


图 7

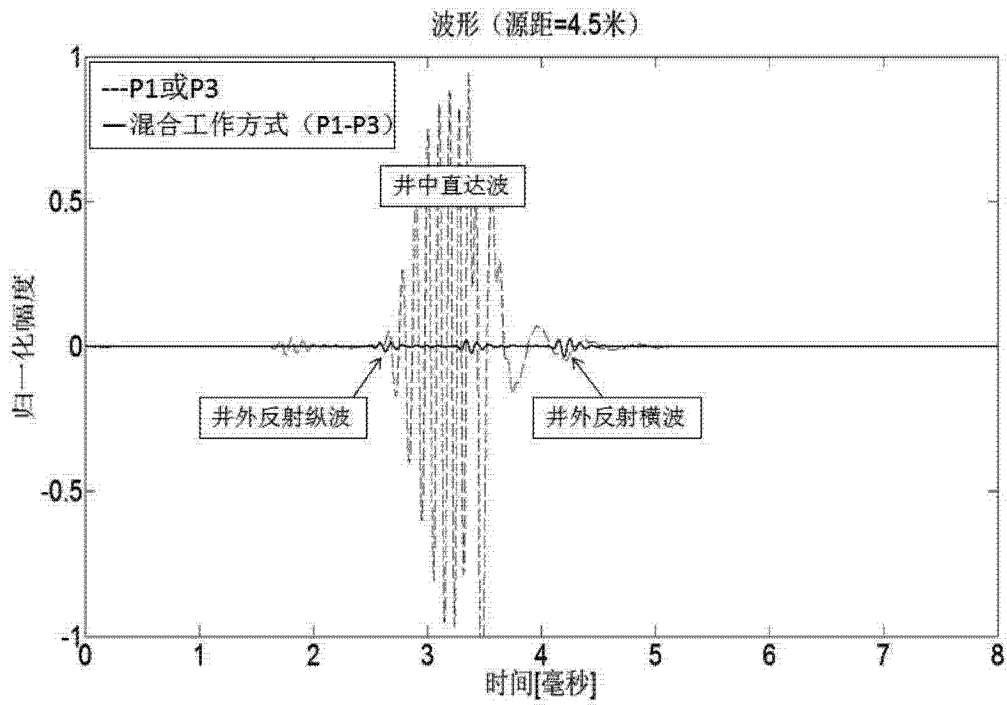


图 8

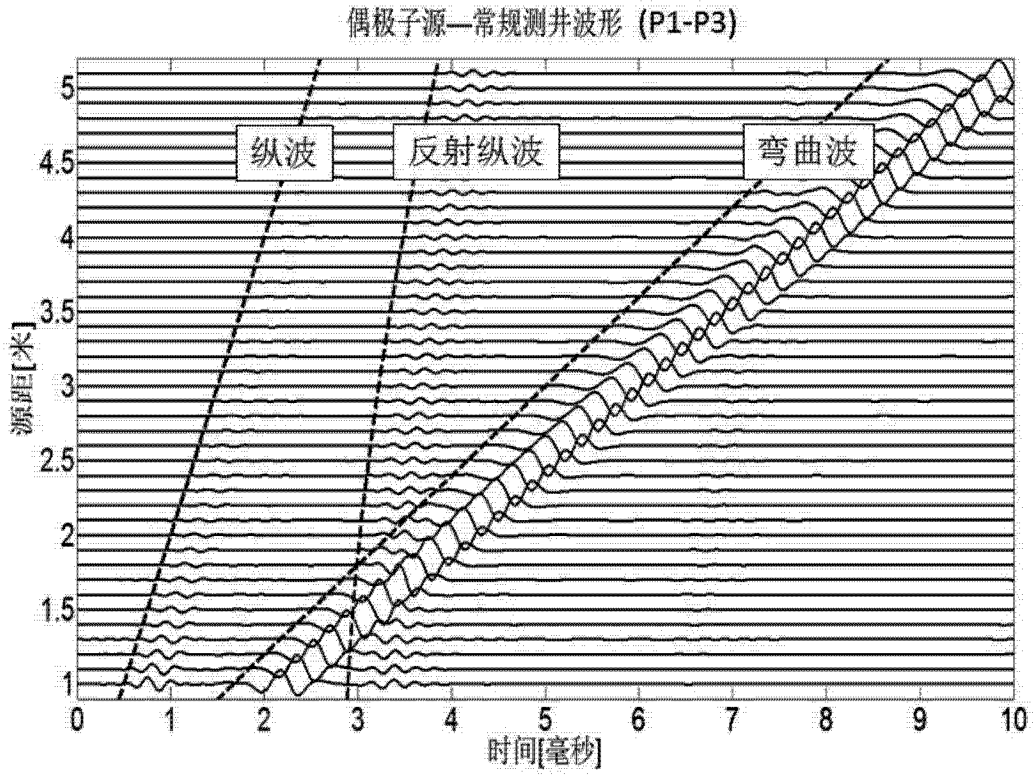


图 9

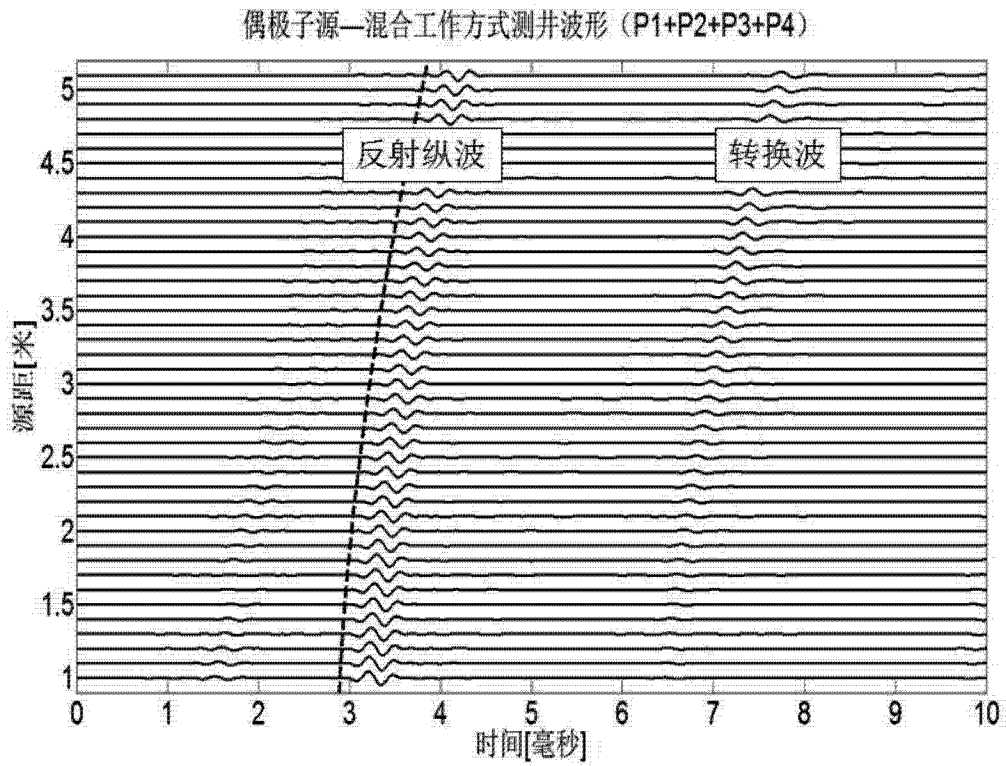


图 10

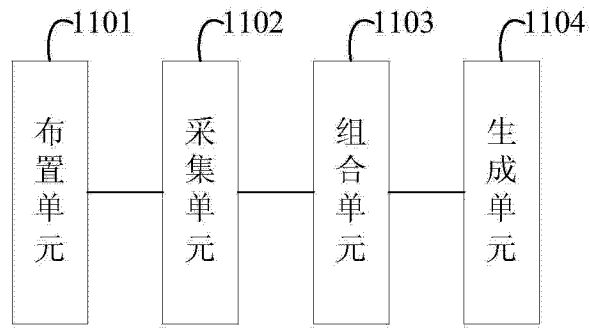


图 11