



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105143922 B

(45)授权公告日 2018.06.01

(21)申请号 201480007780.0

(22)申请日 2014.01.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105143922 A

(43)申请公布日 2015.12.09

(30)优先权数据
61/751,766 2013.01.11 US
13/829,210 2013.03.14 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.08.06

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/010472 2014.01.07

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/110024 EN 2014.07.17

(73)专利权人 费尔菲尔德工业公司
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 克利福德·H·雷 艾蒂尼·马克
詹姆士·纳尔逊·汤普森

(74)专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理
有限责任公司 11204

代理人 王达佐 刘铮

(51)Int.Cl.
G01V 1/38(2006.01)

(56)对比文件
CN 101057160 A,2007.10.17,
US 5548562 A,1996.08.20,
US 2004013037 A1,2004.01.22,
US 2005120796 A1,2005.06.09,
US 2006159524 A1,2006.07.20,
US 2010271904 A1,2010.10.28,
US 2011194378 A1,2011.08.11,
US 2012147699 A1,2012.06.14,
翟俊伟等.可控震源源驱动交替扫描高效
采集实践.《青海石油》.2011,第29卷(第4期),第
8-10页.

审查员 蒋健君

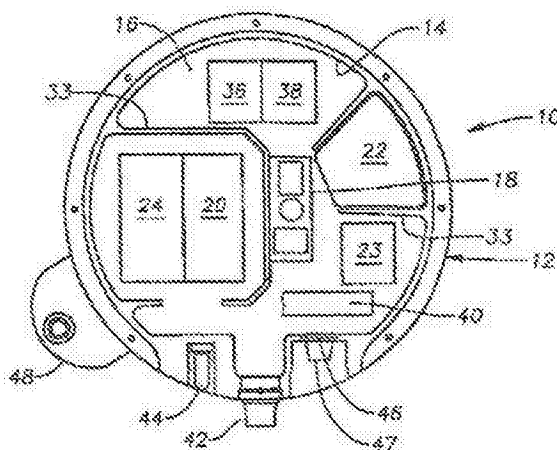
权利要求书2页 说明书24页 附图12页

(54)发明名称

同时爆破节点采集地震勘测方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于执行地震勘测的方法,所述方法包含:在勘测区域中的位置处部署节点地震传感器;激活多个震源;和使用所述节点地震传感器以记录响应于所述多个信号的所述激活产生的地震信号。地震勘探通常利用地震能量源以产生声信号,所述声信号传播到大地中且部分由地下地震反射物(即,特征在于不同弹性性质的地下岩性层或流体层之间的界面)反射。



1. 一种执行地震勘测的方法,其包括:

在勘测区域中的位置处部署节点地震传感器;

识别抖动时间与爆破间隔的比例为 $1/2$ 或更小,其中所述抖动时间指示来自多个震源中的两个不同震源的两次爆破之间的延迟,以及所述爆破间隔指示来自所述多个震源中的单个震源的两次爆破之间的延迟;

使用调制特征并基于所述抖动时间与爆破间隔的比例来激活与所述勘测区域对应的所述多个震源,其中所述调制特征配置为识别所述多个震源中的每个;

通过所述节点地震传感器来记录响应于激活所述多个震源的步骤而产生的地震信号;以及

基于所述比例,通过一个或多个计算机的一个或多个处理器,对通过所述节点地震传感器记录的所述地震信号去混合,以产生表示地下结构的数据,其中所述地下结构指示石油或天然气。

2. 根据权利要求1所述的方法,包括:通过所述节点地震传感器中的至少一些来记录混合的地震信号。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中

所述抖动时间包括可变抖动时间,以及

所述方法包括:在由所述可变抖动时间分隔开的时间处重复地激活所述多个震源中的至少两个。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述可变抖动时间随机或伪随机地改变。

5. 根据权利要求3所述的方法,包括:

通过所述节点地震传感器中的至少一些来连续地记录地震信号以在所述多个震源中的至少两个的重复激活期间产生地震数据。

6. 根据权利要求5所述的方法,其还包括:

取回在所述多个震源中的所述至少两个的重复激活期间连续记录的所述地震数据;和处理在所述多个震源中的所述至少两个的重复激活期间采集所述地震数据以产生指示至少一个共接收器道集的地震道集数据。

7. 根据权利要求6所述的方法,包括对所述地震道集数据去混合。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中对所述地震道集数据去混合包括增强对应于所述震源中的第一震源的激活的数据并同时减弱对应于所述震源中的另一震源的激活的数据。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中增强对应于所述震源中的所述第一震源的激活的数据包括使用来自所述多个传感器节点的至少一部分的相干数据相干地组合对应于所述震源中的所述第一震源的多次激活的数据。

10. 根据权利要求8所述的方法,其中减弱对应于所述震源中的第二震源的激活的数据包括使用来自所述节点地震传感器中的至少一些的不相干数据不相干地组合对应于所述震源中的所述第二震源的多次激活的数据。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一些包括海底传感器。

12. 根据权利要求11所述的方法,其包括使用远程操作交通工具部署所述海底传感器中的至少一些。

13. 根据权利要求11所述的方法,其包括使用绳上节点系统部署所述海底传感器中的至少一些。

14. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器在其被部署时同步到标准时间。

15. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器在其被恢复时同步到标准时间。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中所述节点地震传感器在其被部署时同步到标准时间。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一个包括GPS接收器,所述GPS接收器用于将所述至少一个节点地震传感器同步到所述标准时间。

18. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一些被部署在大于100m的深度处的海洋环境中。

19. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一些被部署在大于500m的深度处的海洋环境中。

20. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一些被部署在大于1000m的深度处的海洋环境中。

21. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一些连续记录部署期间的地震数据。

22. 根据权利要求1所述的方法,其中激活所述多个震源包括:

获得多艘海船,每一船被配置成运输所述多个震源中的至少一个;和
使用所述海船以激活多个选定位置处的所述震源。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中所述多个震源中的至少一个包括气枪。

24. 根据权利要求1所述的方法,其中所述节点地震传感器中的至少一个包括以下项中的至少一项:

外壳;

安置在所述外壳内的至少一个地震传感器;

安置在所述外壳内的时钟;

安置在所述外壳内的电源;和

安置在所述外壳内的地震数据记录器。

25. 根据权利要求24所述的方法,其中所述至少一个地震传感器包括地震检波器。

26. 根据权利要求25所述的方法,其中所述多个震源中的至少一个包括至少一把气枪。

27. 根据权利要求1所述的方法,其中所述多个震源中的至少一个包括以下项中的至少一项:落重装置;地震振动器装置;或爆炸源。

28. 根据权利要求1所述的方法,其中激活所述多个震源包括:

用指示所述震源的标识的相应调制特征来调制每一震源的输出。

29. 根据权利要求1所述的方法,其包括:

使用所述地震信号以产生指示勘测区域中的地下地质特征的勘测数据。

30. 根据权利要求1所述的方法,其包括:

输出勘测数据。

同时爆破节点采集地震勘测方法

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2013年3月14日提交的标题为“同时爆破节点采集地震勘测方法 (Simultaneous Shooting Nodal Acquisition Seismic Survey Methods)”的第13/829,210号美国专利申请的优先权益,且根据35U.S.C.§119(e)要求2013年1月11日提交的标题为“同时爆破节点采集地震勘测方法 (Simultaneous Shooting Nodal Acquisition Seismic Survey Methods)”的第61/751,766号美国临时专利申请的优先权权益,每一所述申请的全文是以引用方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本公开涉及利用地震能源以产生声信号的地震勘探。本公开的系统和方法能够使用节点地震传感器来记录声信号以便执行地震勘测。

背景技术

[0004] 地震勘探通常利用地震能源以产生声信号,所述声信号传播到大地中且部分由地下地震反射物(即,特征在于不同弹性性质的地下岩性层或流体层之间的界面)反射。所反射的信号(称作“地震反射”)是由位于地表处或附近的地震接收器检测并记录,从而产生地下的地震勘测。所记录的信号或地震能量数据然后可经处理以产生关于岩性地下地层的信息,从而将这些特征识别为例如岩性地下地层边界。

[0005] 通常,地震接收器被布局为阵列,其中地震接收器的阵列是由沿线路分布的单串接收器组成,以记录来自接收器线路以下的地震剖面的数据。对于较大区域内的数据和地层的三维表示,可并排布置多串接收器,使得形成接收器网格。通常,阵列内的接收器相互远离定位或分散开。在例如陆地地震勘测中,称作地震检波器的成百上千的接收器可以空间分集方式(诸如典型的网格配置,其中每一串接收器延伸达1600米使得检测器相隔50米且连续串接收器分开500米)部署。在海洋勘测中,为接收器所附接的拖缆(称作水检器)可在拖船后面拖曳多达12,000米。

[0006] 通常,几个接收器是以平行连续组合连接在单一双绞线对上以形成单一接收器组或通道。在数据收集程序期间,来自每一通道的输出加以数字化和记录以供后续分析之用。继而,所述组接收器通常连接到电缆,所述电缆用于与接收器通信并将所收集的数据传输到位于中心位置处的记录器。更具体地说,当在陆地上进行这些勘测时,数据传输的电缆遥测装置用于需要由电缆互连的检测器单元。其它系统使用数据传输的无线方法使得单个检测器单元并未彼此连接。又其它系统暂时地存储数据直到数据被提取为止。

[0007] 虽然用于检测和记录地震反射的基本程序在陆地上和海洋环境中是相同的,但是海洋环境面临由于水体覆盖地球表面产生的独特问题,最显著的是深水活动的高压力和咸水活动的腐蚀环境。另外,即使简单的部署和取回也会变得复杂,因为操作必须要离开地震勘测船的甲板来进行,其中诸如波作用、气候和有限空间的外部因素可显著影响所述操作。

[0008] 在一种常见海洋地震勘探方法中,地震操作是在水体表面处进行,海船拖曳其中

嵌入水检器的拖缆以检测通过水柱反射回来的能量。拖缆通常是由水检器串、其它电导体和用于提供接近中性浮力的材料组成。使拖缆在水面附近漂浮。相同或其它类似的海船拖曳声能源(诸如气枪)以释放能量脉冲,所述能量脉冲向下行进到水下的地下地质层中。

[0009] 放置在海底海床上的系统也已经使用许多年。这些装置通常称作“OBC”(海底电缆)或“OBS”(海底地震仪)系统。现有技术集中讨论了用于测量海床处的地震信号的三组主要的海底设备。第一种类型的设备是类似于拖缆的OBC系统,其是由含有地震检波器和/或水检器的电缆组成且铺设在海床上,其中检测器单元与电缆遥测装置互连。通常,地震船将会部署电缆使其离开船头或船尾且在船的相对端处取回电缆。诸如此的OBS系统可具有起因于电缆的物理配置的缺陷。例如,当采用三维地震检波器时,因为电缆和地震检波器没有牢牢地耦接到海床上的泥沙,所以除了由于泥沙引起的运动以外的水平运动(举例来说,诸如海底流)可引起错误信号。在此相同背景下,由于其细长结构,OBC系统趋向于在尝试记录剪切波数据时具有只沿电缆的主轴的满意耦接。另外,需要三艘船来进行这些操作,因为除了地震能源船以外,还需要经特殊装备的船来用于电缆部署且需要单独的船来用于记录。记录船通常固定地附接到电缆,而部署船通常沿部署和取回电缆的接收器线路进行恒定运动。因为记录船与电缆恒定物理接触,所以维持船的位置、波作用和海洋流需要的努力可在电缆内产生大的张力,从而增加电缆断裂或装备故障以及引入信号干扰到电缆中的可能性。最后,这些电缆系统具有高的资本投资且其操作通常是昂贵的。

[0010] 第二类型的记录系统是OBS系统,其中传感器封装和电子器件封装锚固到海床。所述装置将信号数字化且通常使用导线电缆以将数据传输到附接于锚固电缆且漂浮在水面上的无线电单元。漂浮的传输器单元然后将数据传输到其中记录地震数据的水面上的船。地震勘测中通常部署多个单元。

[0011] 第三类型的地震记录装置是称作海床地震记录器(SSR)的OBS系统。这些装置含有密封封装中的传感器和电子器件,且记录海床上的信号。数据是通过从海床取回装置而取回。这些装置通常是可再用的。本发明的集中点是在SSR类型的OBS系统上。

[0012] SSR类型的OBS系统通常包含一或多个地震检波器和/或水检器传感器、电源、地震数据记录器、晶体振荡器时钟、控制单元,且在使用万向架固定式地震检波器且记录剪切数据的实例中,所述系统包含指南针或万向架。除了经由电缆从外部电源供电以外,电源通常是电池封装。就现有技术OBS系统利用船载电池而言,与用于供电的外部电缆相比,现有技术电池是铅酸电池、碱性电池或不可再充电电池。现有技术的所有OBS系统通常要求打开单个单元来进行各种维护、质量控制和数据提取活动。例如,来自现有技术单元的数据提取要求所述单元被物理地打开或拆除以提取数据。同样地,所述单元必须被打开以更换废旧电池。

[0013] 关于OBS系统的计时功能,为了使震源事件与反射事件匹配,传感器数据的计时与地震能源或爆破的激发之间的同步是至关重要的。在过去,OBS系统中针对此功能已经使用各种晶体振荡器时钟。时钟相对便宜且精确。然而,这些现有技术时钟的一个缺陷是,对接晶体(dock crystals)遭受重力和温度影响。这些重力和温度影响可造成振荡器频率的频移,从而使地震数据产生错误。另外,因为晶体遭受重力影响,所以OBS系统的定向可影响时钟的操作。因为时钟通常固定在OBS封装内以便在OBS系统正确地定向在海床上时进行正确定向,所以海床上的OBS系统的任何错误定向可造成时钟不精确。最后,这些时钟的特征通

常在于由于温度变化和老化引起的漂移和时移,这又可造成记录的地震数据不精确。虽然可对数据进行数学修正以考虑温度老化和时移,但是不存在修正对晶体时钟的重力影响的现有技术装置。至多,现有技术只修正温度对晶体时钟的影响。

[0014] 更现代的OBS系统还可包含机械装置以修正倾角,即,万向架。万向架是允许一或多个方向上的自由角运动且用于确定海床上的OBS系统的定向的装置。由万向架产生的定向数据然后可用于调整由地震检波器记录的地震数据。就现有技术利用万向架而言,其最通常被合并为地震检波器自身的部分,称作“万向架固定式地震检波器”。现有技术的这些机械万向架的一个缺陷是由装置允许的角定向有限。例如,现有技术装置中的至少一个允许万向架 360° 滚动,但是万向架俯仰角被限于 30° 。对于此装置,为了使这些现有技术万向架正确地运作,OBS系统自身必须停留在海床上的基本上所需位置中。就OBS系统基本上至少没有水平定向(诸如停留在其侧上或倒置)而言,现有技术的机械万向架无法正确运作。机械本质的其它万向架固定式装置不受 30° 限制,然而,在这些机械万向架固定式装置中,装置中的机械阻尼可使记录信号的保真度变差。最后,地震检波器的万向架固定是昂贵的且需要的空间多于非万向架固定式地震检波器。对于利用多个地震检波器的OBS系统,由于大小和空间需求,对地震检波器进行万向架固定可能是不切实际的。

[0015] 关于定向,海床上的OBS系统的位置对于正确地解译由系统记录的地震数据是必要的。经处理数据的精确度部分取决于用于处理数据的位置信息的精确度。因为诸如GPS的常规定位装置将不会在水的环境中操作,所以用于建立海床上的OBS系统的位置的传统的现有技术方法包含声纳。例如,运用声纳系统,OBS装置可“发送回显信息”以确定其位置。无论如何,经处理数据的精确度直接取决于确定OBS系统的位置的精度。因此,非常希望利用将产生可相依位置信息的方法和装置。

[0016] 在此相同背景下,非常希望保证实现海床上的OBS装置的计划定位。

[0017] 关于前文提及的OBS系统的操作,现有技术系统通常需要某个外部产生的控制命令以起始并采集每一次爆破的数据。因此,地震接收器单元必须物理地连接到中央控制记录站或可由无线技术“连接”。如上文提及,所属领域技术人员将了解,某些环境可面临连接和控制检测器的常规方法的极端挑战,诸如堵塞或深海区域、崎岖的山区和丛林。在其中接收器阵列定期地移动以覆盖更大区域的实例中也可出现诸多困难。

[0018] 无论情况如何,每一类型的连接(无论是经由物理电缆或通过无线技术)具有其自身的缺陷。在电缆遥测装置系统中,大型阵列或长拖缆导致昂贵的且难以搬运、部署或另外难以操控的大量导电电缆。在其中使用海底电缆的实例中,腐蚀环境和高压力通常需要包胶在深达500英尺的水深处的昂贵电缆。此外,常规电缆还需要电缆与传感器单元之间进行物理连接。因为电缆上的硬线传感器通常不切实际,所以更多常规技术是使用电缆与传感器之间的外部连接将电缆附接到传感器。电缆与传感器之间的此连接点尤其在腐蚀、高压力海洋环境中特别容易损坏。当然,运用电缆物理地连接在一起的系统,更容易给传感器供电以使传感器与爆破时间同步且彼此同步,且以其它方式控制传感器。

[0019] 应注意,无论是对于电缆或无线系统,当需要外部电缆来连接装备的传感器封装与单元的记录和/或无线电遥测装置封装时,存在许多前述提及的缺陷。具体地说,现有技术的OBS系统是由安装在托架上的单独感测和记录/无线电遥测装置单元或封装组成。单独单元具有用电缆连接在一起的外部连接器,面临与来自水面上的中央控制的电缆相同的

许多问题。感测单元(即,地震检波器封装和电子器件的剩余部分)之间分离的主要原因是需要保证地震检波器有效地耦接到海床。

[0020] 在其中利用无线技术或传感器通过预编程进行操作的情况下,传感器的控制变得更加困难。例如,保证记录与爆破时间同步是至关重要的,因为单个传感器并未如上所述般接线在一起。因此,需要如上文提及的精确船载时钟。就此而言,在适当时间激活用于感测和记录的每一单元必须与爆破一致。保证所述单元充分供电迄今为止还一直是一个问题。许多现有技术专利集中在用于在数据采集和记录期间给传感器通电且在休眠周期期间给传感器断电的技术和机制。

[0021] 已作出各种尝试来解决一些上文提及的缺陷。例如,第5,189,642号美国专利中描述海床地震记录器。此专利公开了由垂直支脚部件连接的分隔开的水平环板形成的细长直立底架。每一支脚部件是由嵌套管形成,所述嵌套管可相对于彼此滑动且由夹持机构固定到彼此。压载水环可释放地附接到下板。地震检波器封装也附接到下板。泡沫浮标附接到上板。控制封装从上板向下延伸。控制封装容纳电源、地震数据记录器、指南针和控制单元。外部硬线电连接控制封装与地震检波器封装。系统并未对表面监测站利用任何硬接线通信链路,但是利用声构件或预编程构件来控制所述单元。当释放到水中时,压载水环被认为提供足够质量以维持系统直立且在停留时将地震检波器耦接到海床。为了最小化通过波或水流运动作用于浮标和控制封装产生的地震检波器噪声的可能性,一旦系统耦接到海底,释放每一支脚上的夹持机构,从而允许控制封装和浮标在嵌套支脚上向上滑动,隔离地震检波器与系统的其它部分。一旦地震记录完成,压载水环然后从底架释放,且系统在压载物的正浮力下上升到水面。声换能器、无线电信标和闪光灯经提供以允许定位并取回系统。

[0022] 第6,024,344号美国专利中讲授另一海洋地震数据记录系统。此专利讲授用于在深水中部署和定位地震数据记录器的方法。数据记录器从水面的船附接到部署到水中的半刚性导线。由于导线的刚性本质,其用于在记录器和导线沉到海床时定义记录器之间的固定间隔。导线还提供用于相邻记录器之间和记录器与船之间的电力或信号的电通信。一旦记录器在适当位置中,其便借助于预设时钟或通过利用传输通过水或通过导线的控制信号来激活。当完成数据搜集时,取回导线和记录器。部署是利用定位在水面上的船上的电缆引擎来完成。如'344专利的图1中示出,随着船沿远离导线和记录器的方向移动,船尾发生部署。此专利还讲授需要以循序方式存储记录器以促进部署和在数据收集期间跟踪OBS系统的海床位置。

[0023] GeoPro提供由430mm直径的玻璃球体组成的独立(即,无电缆)OBS系统,所述玻璃球体围封系统的所有电组件,包含电池、无线电信标、地震数据记录单元、声释放系统、深海水检器和安装有三个万向架的地震检波器。所述球体安装在加重滑轨上,所述加重滑轨抵消球体的浮力且将OBS系统锚固到海床。地震检波器定位在球体的底部中与滑轨相邻。为了在完成数据收集时回收OBS系统,声命令信号被传输到球体且由深海水检器检测。信号激活声释放系统,所述系统使球体与保留在海床上的加重滑轨分离。在球体的正浮力下,自由漂浮的系统上升到海洋表面,其中无线电信标传输信号以定位并取回球体。此特定设计的一个缺陷是,地震检波器没有直接耦接到海床。而是,由地震检波器记录的任何地震信号必须通过滑轨和球体的底部,且在这样做之后,遭受上文描述的噪声和其它失真。应注意,此封装设计表示现有技术中利用的许多气缸和球体形状,因为众所周知的是,这些形状更有效

地承受有可能在海洋环境中出现的高压力。

[0024] K.U.M和SEND提供无电缆OBS系统,其包括在顶部处具有杆且在底部处形成三脚架的框架。泡沫浮选装置附接到杆。锚固器固定到三脚架的下部并将框架固定到海床。安装在框架的三脚架部分上的压力气缸含有地震记录器、电池和释放系统。水检器附接到框架以从海洋表面接收命令信号并激活释放系统。枢转安装的起重臂也附接到框架,所述起重臂可释放地附接地震检波器单元。在部署期间,起重臂最初维持在垂直位置中使得地震检波器单元附接到臂的自由端。当框架接触海床时,起重臂从框架向外枢转且将地震检波器单元释放到海床上与框架系统相距大约1米。硬线允许地震检波器单元与记录器之间的电通信。地震检波器自身是直径为大约250mm的非对称圆盘,其一侧平坦且相对侧上呈拱形。地震检波器单元的平坦侧被开槽且当由起重臂释放时接触海床。当完成数据搜集时,声信号激活释放系统,所述释放系统使锚固器从框架系统拆除。泡沫浮选装置使框架系统和地震检波器上升到海洋表面,其中系统可使用无线电信标定位并被取回。

[0025] SeaBed Geophysical推出一种以CASE为名的无电缆OBS系统。此系统是由通过电缆彼此连接的控制单元(即,电子器件封装)和节点单元或地震检波器封装组成。控制单元和节点单元两者均被承载在长形框架上。控制单元是由管状主体组成,所述管状主体含有电池、时钟、记录单元和应答器/调制解调器以与水面进行水声通信。节点单元是由地震检波器、水检器、倾角计和可更换套罩组成,其中套罩在地震检波器单元下方形成向下敞开的气缸。节点单元可从长形框架和控制单元拆除,但是保持经由外部电缆与控制单元通信。诸如此单元的管状主体的使用对现有技术设计极具代表性,因为系统封装必须被设计成承受装置所暴露的高压力。在部署期间,整个单元下降到海床,其中(与OBS系统分离的)远程操作交通工具用于将节点单元从框架拆除,且将节点单元安置到海床中,从而将开放式套罩推到海床泥沙中。长形框架包含可为部署和取回电缆所附接的环。通信应答器和调制解调器用于控制系统并将地震数据传输到水面。

[0026] 所参考的现有技术装置中的每一个具体体现现有技术的缺陷中的一或多个。例如,第5,189,642号美国专利的OBS系统以及GeoPro和K.U.M./SEND的装置是各自具有相对较高垂直轮廓的直立系统。因而,由这些系统收集的地震数据遭受起因于水运动作用于装置的噪声。另外,已观察到由海床在此高轮廓的OBS系统下的运动引起的剪切运动可特别随着运动从单元底部转化到单元顶部而引起OBS系统的摇摆运动,这进一步使记录数据的保真度变差。此外,这些现有技术装置全部是非对称的,使得其可只定位在单一定向上。通常此是通过大幅加重OBS托架的一端来实现。然而,此装置有可能必须通过几百英尺的水并接触可散布有碎片的通常阻塞、不平坦的海床。当系统停留在海床时,所有这些因素可造成系统错误定向,从而影响系统的操作。例如,就此现有技术OBS系统停留在其侧上而言,地震检波器将完全不会与海床耦接,从而使装置不可使用。另外,错误定向可干扰系统的释放机制,从而危及系统的回收。

[0027] 这些现有技术系统的高轮廓也是不合需要的,因为这些单元会使其自身被钓鱼线、捕虾网、各种类型的电缆或可能存在于地震记录活动附近的其它碎片缠住。

[0028] 另一方面,具有较小轮廓的现有技术系统(诸如海底电缆)趋向于具有不良的耦接能力或需要利用诸如ROV的昂贵装备进行外部放置辅助。例如,海底电缆的长形形状造成“良好的”耦接只出现在单一定向上,即,沿电缆的主轴。此外,即使沿主轴,由于电缆与海床

之间的实际接触的面积小,耦接可由于阻塞的海底或海床上或海床附近的其它障碍物而受损。

[0029] 这些现有技术系统的另一缺陷是需要激活和停用用于记录和操作的单元。此通常需要来自水面的船的控制信号,所述控制信号通常以声形式传输或传输通过从水面延伸到所述单元的电缆。任何类型的外部控制是不合需要的,因为其需要信号传输和系统中的另外组件。虽然声传输可用于某种数据传输,但是用于同步目的由于行进路径变动未知而通常不可靠。当然,用于传输电信号的任何类型的控制信号电缆是不合需要的,因为其给单元的搬运和控制增加了复杂度且需要外部连接器或耦接件。这些电缆和连接器特别易受高压力的泄漏和故障、深海地震勘探的腐蚀环境影响。

[0030] 利用外部电接线以互连单元的分布式元件的单元存在类似问题,所述单元诸如第5,189,642号美国专利中讲授的装置和其中地震检波器封装与电子器件封装分离的类似装置。此外,就系统的电子器件呈分布式而言,系统的故障的可能性增加。

[0031] 许多现有技术系统还使用无线电遥测装置而非记录数据的船载单元来收集数据。当然,这些系统具有由无线电传输的特性强加的限制,诸如无线电频谱许可证限制、范围限制、视线障碍、天线限制、数据速率限制、电力限制等等。

[0032] 利用浮选装置用于取回的OBS单元是不合需要的,因为典型的解耦器装置给所述单元增加了另外的费用和复杂度,且为了释放系统到水面,通常必须被激活。另外,这些系统通常丢弃单元的部分,即,加重锚固器或套罩,从而使其作为碎片留在海床上。在部署期间,因为其是自由漂浮的,所以这些系统难以定位在海床上的所需位置上。尽管存在由于错误定向引起的上文提及的故障的可能性,但是在取回期间,尽管存在无线电信号和信标,自由浮动系统仍然通常难以定位且称作迷失在海洋中。同样地,在汹涌的大海中,所述单元证实为由于太重而不便在船上捕捉和上升,通常与吊杆或船体冲撞并潜在地破坏系统。

[0033] 在此相同背景下,已证实难以在部署和取回两者期间搬运单元。就利用刚性或半刚性电缆系统以固定距离并定位单个记录器单元而言,这些电缆不具柔性、极重且难以操控。这些电缆在部署期间并未对其自身进行修正。例如,如上文解释,所需网格布局识别单个单元沿某条线路的具体位置。如果部署船漂移或以其它方式使正被铺设的电缆定位成离开所需线路,那么水面的船必须进行再定位以使电缆重新回到线路上。然而,由于电缆的刚性本质,电缆的错误定位部分将造成电缆上的所有剩余单元沿所需线路错误定位。

[0034] 此外,现有技术中用于取回电缆的当前程序趋向于施加过度应力于电缆上。具体地说,用于从海床取回电缆线的广泛接受的方法是倒退越过线路或顺着线路驾驶船,在船头取回电缆。此是不合需要的,因为船速和电缆绞车的速度必须经仔细调节以免过度拉紧或拖曳电缆。此调节由于作用于船的各种外部因素(诸如风、波作用和水流)而通常难以进行。未能控制电缆的拉紧或拖曳将产生的影响是拖动线路的整个长度以及附接到线的单元,从而使整条线路和所有单元遭受破坏。此方法的另外缺陷是,如果船移动太快,那么其将造成电缆松弛且电缆将在船下方漂浮,其中电缆可被缠住在船的螺旋桨中。

[0035] 最后,现有技术未描述后甲板系统,其用于搬运上述OBS单元(而不论其是否是所述单元的存储装置)或部署并取回所述单元。随着深水地震记录器阵列的大小变得越来越大,使系统有效地存储、跟踪、服务于并搬运上千个记录器单元(包括此阵列)的需要变得更明显。另外的水面的船是昂贵的,因为必须有船员操控这些船。另外的船员和船的存在还尤

其在气候可快速恶化的外海环境中增加事故或受伤的可能性。

[0036] 因此,将希望提供一种地震数据收集系统,其无需来自水面或地震数据收集单元自身上的外部通信/电力电缆,也无需任何类型的外部控制信号来用于操作。换句话说,所述单元应基于“永免麻烦(drop and forget)”操作。同样地,装置应容易投入服务而无需打开装置来执行活动,诸如数据提取、质量控制和电力补充。装置还应被设计成承受深水海洋应用中常见的腐蚀、高压环境。所述单元应被配置成最小化起因于海洋流的噪声的影响,且最大化装置与海床之间的耦接。在此相同背景下,装置应被设计成对其自身进行正确定向以在装置接触海床时最大化耦接,且无需外部装备(诸如ROV)的辅助,且最小化错误定向的可能性。同样地,装置应较不容易受捕捉影响或较不容易被捕虾网、钓鱼线等等缠住。

[0037] 装置应包含不易受定向影响的计时机构。类似地,定向不应影响地震检波器的万向架固定。

[0038] 装置应可容易部署,而且还能够以高的置信度放置在某个位置处。同样地,装置应可容易取回而无需浮选装置或释放机构,也不应在取回期间在海洋中留下单元的部分。此外,应存在最小化潜在破坏电缆连接地震单元时的张力的装置和取回程序。

[0039] 还应提供用于容易地搬运包括用于部署在海洋环境中的阵列的成百上千个记录器单元的系统。此系统应能够部署、取回、跟踪、维护和存储单个记录器单元,同时最小化人力资源和对另外的水面的船的需要。系统应同样地最小化此活动期间对单个单元的潜在破坏。同样地,将希望在系统中包含安全装置以最小化对搬运记录器单元的船员的危害。

发明内容

[0040] 本发明提供一种用于通过部署多个连续操作的无线独立海底传感器单元或吊舱来收集海洋环境中的地震数据的系统,所述传感器单元或吊舱各自以对称、低轮廓套管和独特的外部减震器为特征以促进海底耦接且防止缠在渔网中。吊舱利用用于通过水控制吊舱的部署的柔性、非刚性、不导电电缆彼此附接。吊舱经部署并从海船的独特配置的甲板取回,其中甲板具有输送带系统和搬运系统以将单个吊舱与非刚性电缆附接和从非刚性电缆拆除单个吊舱。在一个实施例中,作为甲板配置的部分,单个吊舱随机地以大量存储盒(juke box)方式存储在开槽支架中。当就坐在支架的狭槽内时,先前由吊舱记录的地震数据可被取回且吊舱可被充电、测试、重新同步,且可在不需要打开吊舱的情况下重新起始操作。在另一实施例中,单个吊舱是存储在堆叠式旋转的圆盘传送带中,所述圆盘传送带允许取回先前由吊舱记录的地震数据且允许吊舱被充电、测试、重新同步,且可在不需要打开吊舱的情况下重新起始操作。在部署和取回期间,非刚性电缆和附接到其的吊舱经搬运以便最小化部署线路内借助于水面的船的运动产生张力的可能性。此包含独特配置的非刚性电缆系统,其被设计成当电缆中达到某个级别的张力时自动地剪切开。

[0041] 更具体地说,每一单个传感器单元是由圆盘形状的水密外壳组成,水密外壳是由绕其外围通过浅壁连结的两个平行圆板形成,从而形成关于板的轴对称且相对于板的直径具有极低高度轮廓的封装(更多为车轮形状)。在某些实施例中,板可形成为其它形状,诸如六边形或八边形,所述板还能够形成对称封装。所述外壳在内部被支撑以保护外壳的完整性使其不受外部压力影响且提供单元外壳与地震检波器之间的刚性机械耦接。在本发明的一个实施例中,单元经配置使得其将有效地与海床耦接且无论其停留在哪一块板上仍然收

集地震数据,从而消除了现有技术的许多定向问题。板可包含脊部、突出部或凹槽以增强与海床的耦接。

[0042] 在一个实施例中,在单元的浅壁周围安置减震器,其具有被设计成促使单元停留到封装的板侧中的一侧上的横截面形状,从而造成单元与海床之间的高度耦接。在至少一个实施例中,减震器经提供和设计以防止单元被捕虾网或钓鱼线缠住或捕捉。

[0043] 单元利用几个不同的装置来连接到电缆。在一个实施例中,每一单元包含偏心栓锁机构以允许单元附接到电缆。在另一实施例中,附接托架经定位在外壳的侧上偏离中心。在又一实施例中,附接托架居于形成外壳的单元的圆板中的一个上。

[0044] 单元是独立的使得所有电子器件安置在外壳内,电子器件包含多方向地震检波器封装、地震数据记录装置、电源和时钟。

[0045] 在本发明的一个实施例中,时钟是铷时钟。铷时钟较不易受温度或重力影响或海床上的单元的定向影响。

[0046] 在另一实施例中,单元包含晶体钟和倾角计。优选地利用倾角计数据对船载单元实时修正对晶体钟的重力影响。

[0047] 电源优选的是可在密封环境中操作的可再充电电池,诸如锂离子电池。

[0048] 合并倾角计的单元还可利用倾角计数据以执行除了晶体钟修正以外的各种功能。例如,本发明的一个方面利用倾角计数据以进行数学万向架固定。具体地说,在本发明中,地震检波器的万向架固定是使用倾角计数据以数学方式完成,且因而不会如数学万向架那样受单元的定向影响。

[0049] 当然,如同现有技术中普遍使用此数据一样,倾角计数据还可用于确定海床上的单元的位置。然而,不同于现有技术装置,本发明的一个方面是为了以时间连续方式获得并利用倾角计数据。现有技术单元通常在一旦地震记录开始时只确定单元的位置。然而已观察到,单元的位置可随着部署过程而变化,因为单元遭受外力,诸如水流、捕虾线等等。因此,在本发明中,倾角计是依据时间的变化而测量。此在操作期间执行多次使得必要时可修正地震数据。

[0050] 关于对可影响所收集的地震数据的精确度的倾角、计时或类似数据的修正,所有现有技术装置在处理中心处作出这些修正。当船载单元被部署或甚至在部署船的甲板上时,现有技术装置均不会对船载单元作出这些修正。因此,本发明的一种方法是当船载单元被部署时对船载单元作出这些修正。

[0051] 单元还可包含指南针、水检器、声位置换能器和/或一个或多个加速度计。指南针数据可用于相对于用于整体勘测的参考框架提供用于每个单个单元的参考数据的框架。在本发明的一个实施例中,诸如加速度计的传感器用于在单元通过水柱下降且停留在海床上时跟踪单元的位置。具体地说,当单元通过水柱时,这些传感器提供惯性导航数据并记录x、y和z位置信息。此位置信息连同初始位置和速度信息一起用于确定单元的最终位置。

[0052] 在本发明的另一方面,单元在地震船的甲板上时被激活且一旦从海洋拖曳便被停用,使得其从部署的时间之前到取回的时间之后连续采集数据。同样地,在一个实施例中,单元在部署于水中之前开始记录数据。已激活且在部署于水中之前开始记录的系统从而在希望进行信号检测的时间之前变稳定。此最小化电子器件操作中的转换状态将中断信号检测和记录的可能性。

[0053] 在本发明的另一方面,地震数据记录装置包含环绕式存储器且即使不在使用中时也会连续记录。此消除了对起始或开始指令的需要,保证单元在所需记录时间变稳定,且用于备份来自先前读数的数据直到先前数据被覆写的这个时间为止。只要时钟同步,此记录装置便准备好在任何时间进行部署。此外,可发生诸如数据收集、质量控制测试和电池充电的例行操作且不中断记录。在诸如此的连续记录单元的情况中,单元可在陆地上或海洋环境中使用。

[0054] 非刚性电缆的使用是本发明的另外方面。虽然绳索在极早期现有技术中可能已用作水面漂浮地震装置的拖绳,但是迄今为止,就OBS系统已彼此连接而言,现有技术只利用刚性或半刚性导线电缆。导线电缆为现有技术OBS技术所需的原因中的一个是需要电互连系统。然而,在本发明中,利用柔性、非刚性电缆,因为如上文描述的吊舱独立操作且不需要外部通信或连接。

[0055] 本发明的非刚性电缆优选的是由合成纤维材料(诸如聚酯)形成且被包在保护性包胶模具(诸如聚氨甲酸酯套管)中。在一个实施例中,非刚性电缆是由12条编织聚酯核心形成。包胶模具呈肋状或开槽以减小水中的拖动。

[0056] 本发明的非刚性电缆还有利于吊舱的独特部署方法。具体地说,非刚性电缆只具有稍微负浮力。当附接在各自具有远大于电缆的负浮力的两个吊舱之间时,随着两个连结的吊舱通过水柱下沉,非刚性电缆上的拖动远大于单元上的拖动且因此用作降落伞或制动器,从而减缓吊舱的下降且将吊舱维持在直立位置中。此在必须以特定定向放置的单元(诸如具有非对称减震器配置的单元)中特别需要,因为电缆在附接到顶板上的居中安装的连接器的用于在单元向下通过水柱且停留在海床上时维持单元的定向。此外,因为本发明的电缆是非刚性的,所以相邻吊舱之间的电缆存在松弛部分。船员可在部署吊舱时利用此松弛部分在下降位置中作出修正。

[0057] 同样地,非刚性电缆增强本发明的独特取回方法,其中电缆随着船“顺着电缆驾驶”在船尾取回。在这样做之后,电缆上由水产生的拖动促使电缆降落在船后面或在船后面翻腾,从而最小化电缆上的过量张力且保证电缆不太可能被船的螺旋桨缠住。

[0058] 在本发明的一个实施例中,在地震船的甲板上,存储系统包含具有多行和多列狭槽的支架,狭槽经安置以接纳单个单元。每一狭槽包含通信入口使得当单元坐落在狭槽内时,单元经由通信入口与主控制站建立连接。通过入口,可下载记录在单元上的信息、可对单元电池进行再充电、可对单元进行质量控制检查、可重新起始记录且可重新激活单元。在本发明的另一实施例中,存储系统包含堆叠式u形圆盘输送带。每一圆盘输送带包含辊筒以允许记录单元沿圆盘输送带的路径以输送带类型方式移动,直到单元定位在通信入口附近为止。无论利用哪一个存储系统,存储系统均可被配置成具有标准的8'x20'x8'船运集装箱的尺寸使得存储系统和存储在其中的任何地震单元可容易利用标准的集装箱船来运输。

[0059] 每一单元可包含独特的识别构件(诸如射频识别(RFID)标签或类似识别标记)以允许在甲板上搬运单元时跟踪单个单元。同样地,如上文描述,每一单元可包含声位置换能器或加速度计以确定海床上的单元位置。因为单个单元是独立的,所以位置信息结合识别标记允许单元被随机地插入到存储支架中,但是允许取回来自多个单元的数据并根据海床上的单元的先前位置对所述数据进行循序排序。因此,消除使单元保持循序次序的需要。可能在接收器线路上已经彼此相邻的单元在支架中无需存储为彼此邻近。

[0060] 另外,用于单元的整体部署和取回系统基本上在甲板上自动化。甲板配置包含在支架附近运行且延伸到甲板与水相邻的边沿的输送带系统。机器人臂经定位用于在存储支架与输送带之间移动单元。在一个实施例中,电缆引擎和电缆线轴/容器被定位成放出非刚性电缆以便在输送带系统附近运行且越过船的侧。随着单元安置在输送带系统上以附接到非刚性电缆,输送带的速度经调整以匹配电缆的速度,从而允许立即附接单元。此外,所属领域技术人员将了解,线的放出速度并不恒定,因为船通过水的移动并不恒定,即使在静海和低风条件下。

[0061] 在本发明的另一实施例中,输送带与由电缆引擎放出的电缆交叉。在交叉处,地震单元附接到电缆且附接单元随后被释放到水中。附接站下游的电缆爪钩用于在附接单元之前牢牢地夹持电缆,从而在单元到电缆的附接期间移除上游线张力。电缆爪钩可包含释放系统,其需要操作者使用两只手以便打开爪钩,从而在释放单元且在张力下再次放置上游电缆时最小化对操作者的危险。

[0062] 关于电缆中的张力,电缆被分段且电缆段利用经独特设计的脱落式连接器彼此连接。连接器是由嵌套到彼此之中的第一配件和第二配件组成。剪切销通过嵌套配件插入以将配件固定在一起。每一配件附接到电缆段的末端,使得当配件固定在一起时,电缆段形成电缆的较长长度。如果电缆中的张力变得大于剪切销的剪切限制,那么剪切销将脱落且电缆将分离。

[0063] 此外,虽然本发明的一个实施例利用允许单元直接夹持在电缆的长度上的夹持机构,但是本发明的另一实施例利用附接到电缆的套筒。夹持机构固定到以包覆模制的肩部为边界的套筒。本发明的套筒可被夹持或放置在电缆的长度周围且固定在适当位置而不切割电缆,而非如现有技术中所常见般将肩部附接在电缆的相邻长度之间。在实施例中,套筒是凭借在垂直于电缆的轴的x和y平面中插入销通过套筒和电缆而固定到电缆。肩部在每一套筒的末端处模制在销上。虽然套筒的相对端上的包覆模制可用于界定沿套筒的附接区域,但是套筒可包含进一步界定此附接区域的扩口端。

[0064] 一方面,公开一种执行地震勘测的方法,其包含:在勘测区域中的位置处部署节点地震传感器;激活多个震源;和使用所述节点地震传感器以记录响应于多个信号的激活产生的地震信号。

[0065] 在一些实施例中,节点地震传感器中的至少一些记录混合的地震信号。

[0066] 在一些实施例中,激活多个震源的步骤包含在由可变抖动时间分隔开的时间处重复地激活震源中的至少两个。

[0067] 在一些实施例中,抖动时间随机或伪随机地改变。

[0068] 在一些实施例中,节点中的至少一些被配置成连续地记录地震信号以在重复地激活震源中的至少两个的步骤期间产生地震数据。

[0069] 一些实施例包含取回重复地激活震源中的至少两个的步骤期间采集的连续记录的地震数据;和处理取回的数据以产生指示至少一个共接收器道集(common receiver gather)的地震道集数据。

[0070] 一些实施例包含对地震道集数据去混合。

[0071] 在一些实施例中,对地震道集数据去混合包含增强对应于震源中的第一震源的激活的数据并同时减弱对应于震源中的另一震源的激活的数据。

[0072] 在一些实施例中,增强对应于震源中的第一震源的激活的数据包含使用来自多个传感器节点的至少一部分的相干数据相干地组合对应于震源中的第一震源的多次激活的数据。

[0073] 在一些实施例中,减弱对应于震源中的第二震源的激活的数据包含使用来自多个传感器节点的至少一部分的不相干数据不相干地组合对应于震源中的第二震源的多次激活的数据。

[0074] 在一些实施例中,节点地震传感器的至少一部分包含海底传感器。

[0075] 一些实施例包含使用远程操作交通工具部署所述海底传感器中的至少一些。

[0076] 一些实施例包含使用绳上节点系统部署海底传感器中的至少一些。

[0077] 在一些实施例中,节点地震传感器在其被部署时同步到标准时间。

[0078] 在一些实施例中,节点地震传感器在其被恢复时同步到标准时间。

[0079] 在一些实施例中,节点地震传感器在其被部署时同步到标准时间。

[0080] 在一些实施例中,节点地震传感器中的至少一个包含GPS接收器,所述GPS接收器用于在部署传感器时将传感器同步到标准时间。

[0081] 在一些实施例中,节点地震传感器中的至少一些被部署在大于100m、500m、1000m的深度处的海洋环境中。

[0082] 在一些实施例中,节点地震传感器中的至少一些连续记录部署期间的地震数据。

[0083] 在一些实施例中,激活多个震源包含:获得多艘海船,每一船被配置成运输多个震源中的至少一个;和使用海船以激活多个选定位置处的震源。

[0084] 在一些实施例中,节点地震传感器中的至少一个包含:外壳;安置在外壳内的至少一个地震传感器;安置在所述外壳内的时钟;安置在外壳内的电源;和安置在外壳内的地震数据记录器。

[0085] 在一些实施例中,至少一个地震传感器包含地震检波器、水检器、加速度计或其组合。

[0086] 在一些实施例中,至少一个震源包含至少一把气枪。

[0087] 在一些实施例中,震源中的至少一个包含选自由以下项组成的列表的至少一个:落重装置;地震振动器装置;和爆炸源。

[0088] 在一些实施例中,激活多个震源的步骤包含用指示震源的标识的相应调制特征来调制每一震源的输出。

[0089] 一些实施例包含使用记录的地震信号以产生指示勘测区域中的地下地质特征的勘测数据。

[0090] 一些实施例包含输出勘测数据。

[0091] 各个实施例可单独或以任何适当的组合包含上文描述的元件中的任何一个。

附图说明

[0092] 图1是本发明的地震记录器单元的剖视俯视图。

[0093] 图2是图1的单元的正视图。

[0094] 图3是图1的单元的后视图。

[0095] 图4是图1的单元的俯视图。

- [0096] 图5是具有圆形减震器的横截面的单元的后视图。
- [0097] 图6是具有楔形减震器的横截面的单元的后视图。
- [0098] 图7是具有图6的楔形减震器的单元的俯视图。
- [0099] 图8是具有铰接鳍状物的单元的高视图。
- [0100] 图9说明越过船首 (over-the-stem) 吊舱取回方法。
- [0101] 图10说明部署期间附接到非刚性线的多个单元。
- [0102] 图11说明用于用以绳上节点 (node-on-a-rope) 部署技术为特征的多个震源进行地震勘测的系统。
- [0103] 图12说明用于用以基于ROV的部署技术为特征的多个震源进行地震勘测的系统。
- [0104] 图13是用于用多个震源进行地震勘测的方法的流程图。
- [0105] 图14是用于处理用多个震源进行的地震勘测中收集的数据的方法的流程图。
- [0106] 图15是示出收集作为用多个震源进行的地震勘测的部分的数据的实例的图表。
- [0107] 图16是示出对图15的数据去混合的结果的图表。
- [0108] 图17说明具有海底节点的共接收器道集。

具体实施方式

[0109] 在本发明的详述中,相似数字用于指定全文的相似部分,各项装备(诸如紧固件、配件等等)可被省略以简化描述。然而,所属领域技术人员将认识到,可按照需要采用此常规装备。

[0110] 参考图1,示出了本发明的地震数据收集系统或吊舱10。吊舱10是由具有界定内部水密室16的壁14的水密外壳12组成。室16内安置了至少一个地震检波器18、时钟20、电源22、控制机构23和地震数据记录器24。在实施例中,吊舱10是独立的使得电源22满足吊舱10的所有电力需求。同样地,控制机构23提供吊舱10的所有控制功能,从而消除对外部控制通信的需要。吊舱10经加重以具有负浮力使得其在部署于水柱中时朝海床下沉。

[0111] 所属领域技术人员将明白,吊舱10是独立的地震数据收集系统,其不需要外部通信或控制来记录地震信号。还将注意,地震检波器18在内部安装于吊舱10内且因此不需要外部接线或连接。已确定利用下文更详细描述的外壳设计,地震检波器18有效地耦接到海床使得通过吊舱10传输到地震检波器18的地震数据没有受到干扰的破坏。

[0112] 虽然上文描述了基本元件,但是吊舱10还可包含指南针36和倾角计38。此外,在优选实施例中,地震检波器18是由三个地震检波器组成以检测x、y和z轴中的每一个中的地震波的地震检波器封装。除非具体指示,否则对本发明中利用的地震检波器的所有参考均包含常规地震检波器以及用于检测地震波活动的其它已知装置,包括但不限于加速度计。

[0113] 在本发明的另一实施例中,已发现利用定位成四面体配置的四个地震检波器使得每一地震检波器测量多个平面中的数据是有利的。在标准的三维配置中,三个地震检波器定位成彼此分开 90° ,且每一地震检波器测量单一x、y或z平面上的信号。在四个地震检波器的配置中,地震检波器定向成垂直于四面体面的平面使得每一地震检波器测量x、y、z坐标系统中的多个平面的部分。例如,一个地震检波器可测量x平面和z平面中的地震数据。四个或四个以上地震检波器的地震检波器配置是所需的,因为其在特定平面中发生地震检波器故障时提供地震单元中的冗余度。现有技术OBS系统均未利用四个或四个以上地震检波器

来以所述方式检测地震数据。

[0114] 在本发明的一个重要方面,时钟20是铷时钟。迄今为止,铷时钟部分由于费用(与传统的晶体驱动时钟相比时)而没有在地震探测中使用。然而,因为本发明的吊舱10旨在以几个定向中的一个最有效地操作,所以必须利用不易受定向影响的时钟,定向影响可禁止传统的现有技术晶体时钟的操作。此外,铷时钟不太易受温度和重力影响的影响,温度和重力影响可禁止海洋环境中现有技术时钟的操作。

[0115] 电源22优选的是锂离子电池。就现有技术OBS系统利用船载电池而言,与用于供电的外部电缆相比,现有技术电池是铅酸电池、碱性电池或不可再充电电池。

[0116] 现有技术OBS系统均未利用锂离子电池。然而,由于本发明的吊舱的密封独立本质,希望利用不排出烟雾且可容易再充电的电池,诸如锂离子类型。

[0117] 在图2和3中,可明白吊舱10的独特特征中的一个,即,吊舱10的低轮廓配置。具体地说,外壳12包括第一板26和第二板28,其由壁14沿其外围连结在一起。在一个实施例中,板26和28是圆盘形状,使得外壳12的整体形状为车轮状。无论如何,如可明白,每一板26、28的特征在于宽度(W)且壁14的特征在于高度(H),其中板26、28的宽度W大于壁的高度。当然,就板26、28呈圆盘形状而言,那么对宽度W的任何参考应由直径D取代。然而,为了低轮廓描述的目的,无论外壳12是否为圆形形状且特征在于直径D或者否则特征在于高度H,低轮廓特性是相同的。虽然没有限制整体低轮廓,但是在一个实施例中,高度H不大于宽度W或直径D的50%。在一个非限制实例中,吊舱10的高度H是大约6.5英寸且吊舱10的宽度/直径是大约18.5英寸。

[0118] 如图中示出,吊舱10基本上关于其x和y轴在外部对称,使得当被部署时,吊舱10可停留在任一侧30、32上且仍然有效地耦接到海底。因此,吊舱10的定向令人担忧的程度远小于被设计成只停留在底部上的一个“直立”位置中的现有技术OBS系统。此外,由于吊舱10的窄轮廓,其平衡通常在边沿34上不稳定。因此,就吊舱10向下触及海底的边沿34上而言,吊舱10将倾覆且停留在两个面30、32中的一个上。

[0119] 由于吊舱10遭受海洋环境的高压力特性,吊舱10还包含用于支撑板26、28的内部肋状物33。肋状物33防止板26、28的任何“摇摆”或运动,所述摇摆或运动原本可干扰地震波检测。不同于现有技术,如本文中描述的吊舱10实际上是地震检波器的套管,使得地震波可不失真地通过吊舱的板而到达地震检波器18。就此而言,由于吊舱10的低轮廓和刚性本质,地震检波器18在外壳12内的附接点变得并不重要,且克服了与现有技术设计相关的问题。

[0120] 每一单元可包含独特的识别构件(诸如射频识别(RFID)标签40或类似识别标记)以允许当以下文描述的方式在甲板上搬运单个单元时跟踪所述单个单元。同样地,每一单元可包含声位置换能器42,其允许确定海床上的单元位置。

[0121] 图1还示出了用于允许测量压力的水检器44和用于允许在吊舱10在甲板上或以其它方式安置在如下文描述的支架中时与吊舱10通信的连接器46。连接器46可为标准的插销连接器或可为不需要硬接线来与吊舱10通信的红外线或类似连接器。经由连接器46,吊舱10可投入服务且无需移除板26、28中的一个或以其它方式打开外壳12。具体地说,连接器46允许运行质量控制测试、提取记录地震数据、同步时钟20和对电源22再充电,因为连接器46只在水上利用,所以还可提供水密抗压连接器盖47以保护连接器46。利用此连接器盖47,连接器46可为满足吊舱的所需功能的任何标准连接器。连接器46无需为遭受高压力腐蚀环境

的外部连接器通常所需的任何类型。

[0122] 最后,图1中示出了用于夹持或以其它方式抓取并操控吊舱10的可选附接支架48。支架48定位在外壳12上使得支架48与可从吊舱10延伸的任何硬件(诸如换能器42或水检器44)之间的径向角是钝角或锐角。在示出的实施例中,角度是锐角。具体地说,常见的是,当部署或取回诸如吊舱10的装置时,随着吊舱的操控,这些装置可撞击船或其它装备的侧,从而潜在地破坏从装置突出的硬件。通过将支架48定位在外壳12的外围上使得从外壳12的中心延伸通过支架48的径向轴与从外壳12的中心延伸通过换能器42的径向轴的分离小于 90° ,降低破坏此硬件的可能性。

[0123] 在本发明的一个实施例中,栓锁机构此外优选地在某个位置中附接到壁14以最小化对从吊舱10突出的装备的破坏,而非合并附接支架48。一个有效的栓锁机构是具有相对齿板的偏心栓锁机构,所述齿板可被打开和关闭以允许所述单元附接到电缆以进行部署。栓锁机构还可歪斜地附接到壁14,使得栓锁机构的主轴和吊舱10的z轴不交叉。此外,此定向还保护硬件以防从吊舱10突出。

[0124] 在图4中,说明板26、28中的一个或两个的外表面50。具体地说,表面50可具有突出部51(诸如脊部或凹槽)以增强吊舱10与海床之间的耦接。在示出的实施例中,突出部51在表面50上形成人字形图案。

[0125] 图4和5上还示出了附接支架54,其可经合并用于夹持或以其它方式抓取并操控吊舱10使得板26、28随着吊舱10由附接电缆的支架54下降通过水柱而保持基本上水平。因而,支架54可轴向地居于板26、28中的一个上或以其它方式定位在板26、28中的一个上且高于吊舱10的重心。

[0126] 参考图4到8,本发明的一个方面是合并吊舱10周围的减震器,其整体编号为减震器52。图4到8说明减震器52的三种不同配置,其中所述配置称作减震器52a、减震器52b和减震器52c。无论如何,减震器52具有几个功能。首先,其可塑形成当吊舱10向下触及海底的边沿34上时推动吊舱10到两个面30、32中的一个上。减震器52还用于保护吊舱10和可从外壳12突出的任何外部装置(诸如换能器42)。最后,减震器可具有禁止吊舱10被捕虾网和捕虾拖网或“鱼钩”链缠住的形状。无论如何,减震器52可提供一些或所有这些功能。

[0127] 如上文说明,减震器52可具有几种设计。在图5中,减震器52a以剖视图示出为安置在外壳12周围,而在图4中,减震器52a是以吊舱10的俯视图所见。具体地说,减震器52a被示为具有圆形或弯曲的横截面55。如示出,减震器52a包含肩部56,肩部56装配到绕外壳12外围界定的凹槽58中。减震器52a的一部分60延伸超出外壳12的外围,从而保护外壳12的边沿34。由于减震器52a的圆形本质,如果吊舱10开始停留在海床上使得板26、28与海床垂直,那么吊舱10将滚动或倾斜到板26、28的耦接表面上。此外,减震器52a将用于保护吊舱10以免震动并在吊舱10的搬运期间保护船员。

[0128] 图6和7中示出了替代减震器轮廓,其中减震器52b具有楔形横截面62。此外,减震器52b包含肩部56,肩部56装配到绕外壳12的外围界定的凹槽58中。减震器52b的一部分64延伸超出外壳12的外围,从而保护外壳12的板26、28和边沿34。图6和7中说明的减震器52b还包含腔66,腔66可作用于抓取并操控吊舱10的握柄。在52b的实施例中,可明白,希望将具有减震器52b的吊舱10定位在海床上使得减震器52b的楔子面朝下。因此,对于此实施例,板28被视为吊舱10的顶部且板26被视为吊舱10的底部。

[0129] 在图6和7的减震器52b实施例中,示出了安装在顶板28上的另外的减震器部分68,减震器部分68具有过渡为楔形横截面62的圆形横截面70。在一个实施例中,玻璃珠可经模制或以其它方式合并到减震器部分68中以增加减震器部分68的浮力。通过增加吊舱10的顶部处的浮力,此确保吊舱10将被正确地定向,即,使得随着吊舱10通过水柱并停留在海床上,楔形减震器52b面朝下。

[0130] 就当吊舱10耦接到海床时抵着吊舱10拖曳链或其它线而言,链将仅仅沿减震器52b的楔形表面滑动且向上滑动到吊舱10的顶部上方。减震器部分68还防止此链或线缠结或钩住可从吊舱10的面朝上板表面突出的任何装备。

[0131] 图8中说明减震器52的又一实施例,其中减震器52c是由具有窄端74和宽端76的鳍状物或楔状物72组成。宽端76被装配并铰接在附接到外壳12的壁14的两个支架78之间。优选地,支架78经塑形使得其外沿80与楔状物72的表面形成基本上光滑的过渡表面。在部署期间,吊舱10可停留在任一表面26、28上,且铰接楔状物72将抵着海床下垂,从而形成斜坡或套罩,当抵着吊舱10拖曳捕虾链或类似线时所述捕虾链或类似线将架在斜坡或套罩上方。以此方式,减震器52c将推动链到吊舱10的顶部上方,从而防止链缠结或钩住吊舱10。

[0132] 本发明的地震数据记录单元的一个功能是单元的连续操作。在本发明的此方面,在将单元定位在地面上之前起始数据采集。在一个优选实施例中,激活海洋地震单元且在部署于水中之前开始采集数据。被激活且在部署之前开始采集数据的系统从而在希望进行信号检测的时间之前变稳定。此最小化电子器件操作中的转换状态将中断信号检测的可能性。当然,在诸如此的连续数据采集单元的情况中,新意在于所述单元的“连续”本质,且无论是否在陆地上或海洋环境中,此功能均可适用。

[0133] 在类似实施例中,在沿接收器线路定位之前起始数据记录。例如,海洋地震数据记录单元被激活同时仍在部署船上,且在部署于水中之前开始采集数据。此外,此允许单元在希望进行时间信号记录之前变稳定。为此,系统稳定化的一个组件是时钟稳定化。关于系统的各个组件,众所周知的是,时钟变稳定通常消耗很长时间。因此,在本发明的一个实施例中,无论所述单元是否连续检测数据或连续记录数据,时钟总是保持继续。

[0134] 在前两种方法的任一种方法中,所述单元可在部署和取回的几个循环中利用而不中断单元的连续操作。因此,例如,在部署之前,起始记录。部署、取回和再部署装置,同时继续记录。只要存储器足够,便可维持部署和再部署的多个循环期间的此连续记录。

[0135] 就此而言,就地震数据单元包含环绕式存储器而言,所述存储器即使在地震检测中不在使用中也可连续记录地震数据。因此,除了上述优点以外,起始或开始指令变得没有必要。此外,利用环绕式存储器的连续记录用作从先前记录采集的数据备份,直到覆写先前数据的这个时间为止。另外的优点是,装置准备好在任何时间部署,前提是时钟同步。

[0136] 就在取回单元之后继续记录而言,可发生诸如数据收集、质量控制测试和电池充电的例行操作而不中断记录。此系统的一个好处是,当进行质量控制测试时,装置可用于记录质量控制测试数据而非地震数据。换句话说,数据输入从地震数据变为质量控制数据。一旦完成质量控制,装置便可恢复记录地震数据或其它所需数据,诸如与位置和时间有关的数据。

[0137] 在本发明的一个优选实施例中,海洋地震单元包含惯性导航系统以随着单元通过水柱并停留在海床上而测量单元的x、y和z位置信息。通常,此系统测量x、y和z维度中的每

一个上的运动以及绕每一x、y和z轴的角运动。换句话说,所述系统随着单元从船行进到海床而测量单元的六个自由度,且利用此测量信息来确定海床上的位置。在优选实施例中,可利用加速度计确定此x、y和z维度信息。可利用倾角计和指南针或其它定向装置(诸如陀螺仪)确定角定向,即,倾角和方向。在本发明的一个实施例中,利用三个加速度计和三个陀螺仪以产生用于确定单元的海床位置的惯性导航数据。

[0138] 无论如何,通过组合依据时间变化而变化的加速度计和倾角和方向信息与单元被排放到水柱中时单元的初始位置和速度,可确定单元通过水柱的行进路径。更重要的是,可确定单元在水柱的底部处的位置,即,单元在海床上的位置。时间采样将以适当间隔发生以产生所需精确度。各种测量组件之间的时间采样可发生改变。例如,来自用于测量方向的指南针和用于测量倾角的倾角计的数据的采样可更慢于来自加速度计的数据的采样。迄今为止,其它海洋地震单元均未利用一或多个加速度计来以此方式确定位置。就此而言,所述方法和系统取代了利用其它技术(诸如通过声位置换能器等等)确定海床位置的需要。

[0139] 尽管前述内容是如此,此位置确定方法搭配上述连续记录方法特别充分地发挥作用。因为单元已经随着其被排放到水柱的顶部中而记录数据,所以x、y和z位置信息容易记录在单元上且变为单元的完整数据记录的部分。

[0140] 本发明还提供用于附接到电缆302的OBS单元300的独特取回方法,如图9中说明。具体地说,已发现随着船306首先顺着电缆302沿电缆的方向移动前端30S(通常是船头),在船306的尾端304(通常是船尾)上方取回电缆,其最小化电缆在海床310上的拖动,因为电缆302被收起且防止现有技术取回技术中常见的电缆302的过度张力或“拖曳”。具体地说,在本发明方法中水对OBS单元和电缆的拖动促使电缆302利用水柱作为避震器且最小化过度张力而降落在船306后面或在船306后面翻腾,如312处示出。

[0141] 在此方法中,船306的速度的调节的重要性不及现有技术的船头上取回方法。此外,因为随着船沿与巨浪相反的方向移动,电缆302在船后面的水中翻腾(312),所以电缆不太可能如使用现有技术方法可能发生般被缠住在船的螺旋桨中。当然,所属领域技术人员将了解,在本发明的方法中,电缆可在船头或船尾被收起,前提是船在沿电缆的方向上移动且电缆被船的尾端收起。

[0142] 无论如何,浮选释放系统314还可通常在部署的电缆的一端或两端处附接到电缆,以促使电缆的至少一部分上升到水面(电缆可容易被缠结在水面)以利用上述方法取回。此系统在所属领域中是众所周知的,且可包含在取回的所需时间从海床附近释放的浮选装置或漂浮在水面上但是在被部署时仍保持附接到电缆的浮选装置。

[0143] 本发明的非刚性电缆还以用于吊舱的独特部署方法合并,如图10中说明。具体地说,至少两个OBS单元400是使用非刚性电缆402栓在一起。电缆402和单元400被部署到水柱404中。因为单元400的负浮力远大于非刚性电缆402,所以单元将趋向于通过水柱下沉到电缆前面,使得邻接两个单元的电缆段降落在所述两个单元之间,如406处示出,电缆顺着通过水柱的拖动用作制动器,从而减缓单元的下降且允许海床408上的单元放置更容易控制。具体地说,降落效果允许诸如装配有图6和7中说明的楔形减震器的单元的定向的控制。此外,非刚性电缆促使所述单元逐渐停留在海床上,从而允许单元持续耦接到海床。

[0144] 这是对现有技术方法的改进,因为现有技术方法利用刚性或半刚性电缆用于部署OBS单元。此电缆趋向于连同所述单元一起通过水柱快速下沉。换句话说,这些电缆不具有

与本发明的更轻重量的非刚性电缆相同的拖动特性。在利用此现有技术方法的电缆和OBS单元中,随着所述单元快速通过水柱,单个单元的定向极有可能不稳定,例如抖动偏离轨道或倾覆。

[0145] 本发明的部署方法的另一好处是,非刚性电缆允许在部署期间和一旦停留在海床上时在相邻单元之间形成松弛。实际上,已发现在诸如上述的一般部署操作期间,两个单元之间的非刚性电缆的长度将通常远大于一旦所述单元搁置在海床上时所述单元之间的实际间隔。换句话说,一旦停留在海床上,相邻单元之间的非刚性电缆中可存在大量松弛部分。出于此原因,本发明的非刚性电缆并未用于将单元彼此分隔开。无论如何,船员可利用形成于非刚性电缆中的松弛部分以促使在铺设接收器线时修正接收器线。具体地说,如果部署船漂移或以其它方式促使正在铺设的接收器线定位为偏离所需接收器线,那么水面的船可重新定位以促使非刚性电缆和附接单元的剩余部分开始停留回到所需接收器线上。电缆中由电缆的非刚性本质引起的松弛部分允许操作者返回到线上且使单个单元的剩余部分停留在其沿预期线的大约所需位置中,相比之下,如果这些单元附接到刚性或半刚性电缆,那么电缆将不会对松弛部分和单元的剩余部分进行任何调整,而如果可能沿所需接收器线定位,那么电缆将不会定位在沿接收器线的所需位置中。此外,一旦单元400在海床上的适当位置中,单元之间的电缆402是松弛的,如410处示出。此将单个单元彼此“解耦”且防止沿电缆涡振或传输非所需噪声。

[0146] 就时钟20是晶体时钟而言,来自倾角计38的信息可用于修正对时钟计时的重力影响。在现有技术中,倾角计信息只用于修正地震数据。除了考虑温度影响的晶体时钟修正以外,没有对这些时钟进行其它类型的晶体修正。因此,本发明的一个方面利用倾角计信息以修正起因于作用于晶体时钟的重力影响的时钟计时的不精确性。此时钟修正可在数据记录时或接近数据记录时在船载吊舱上实行,或一旦从吊舱提取数据便应用于所述数据。

[0147] 同样地,来自倾角计38的信息可用于应用数学万向架于地震数据。就现有技术中已修正地震数据以调整定向而言,已基于船载式地安装在现有技术OBS系统上的机械万向架进行此修正。然而,典型的机械万向架可由于万向架在其托架中的阻尼而使数据保真度变差。在本发明的一个方面,已确定在现有技术的万向架方法中,非万向架固定式的数学修正或“数学万向架”是所需的。因此,本发明利用倾角计信息以对地震数据进行数学调整以考虑吊舱的垂直定向。因此,数学万向架可在数据记录时或接近数据记录时在船载吊舱上实行,或一旦从吊舱提取数据便可应用于所述数据。

[0148] 另外,来自指南针36的信息可用于进一步改进数学万向架以考虑单元的旋转定向。具体地说,指南针数据可与倾角计数据合并并在数学万向架中以针对起因于吊舱的定向的影响更全面地修正地震数据。

[0149] 同时爆破和节点采集

[0150] 在一些实施例中,可使用例如本文中描述的类型的地震仪封装(“吊舱”、“节点”)执行地震勘测以记录响应于多个震源产生的地震信号。例如,如下文更详细地讨论,海底传感器节点可用于记录响应于多个震源(例如,由多艘船拖曳的气枪源)在选定时间和位置处的重复激活产生的地震信号。这些激活有时候称作“爆破”。海底传感器节点被部署在选定位置处,且可用于在多个震源的激活期间连续记录地震数据,其中节点随后被取回且提取地震数据进行处理。

[0151] 多个震源的使用可有利于例如允许如下勘测计划：在比使用单一震源将可能更短的时间内完成具有给出数量的爆破点。然而，多个震源的使用可造成数据处理复杂化。例如，给出的传感器节点可同时接收起源于多个源的地震能量，从而产生“混合”数据。因此，其中发生此情况的勘测可称作“同时爆破”勘测。注意，虽然术语“同时爆破”用于讨论此地震勘测方法，但是实际上爆破趋向于只是基本上是同时的，但是通常（例如，如下文更详细地描述）不一定是精确的同时。在此申请的背景中，来自不同震源且基本上同时的爆破在时间上足够紧密地一起发射，使得地震勘测中正在用于收集地震数据的至少一个节点将接收信号，所述信号在至少某个时间周期内表示由两次爆破引起的地震数据。此信号可称作“混合的地震信号”。

[0152] 在一些情况中，响应于混合的地震信号记录的混合数据在例如使用在单一震源的假设下产生的处理技术时可能并不合适（许多常规地震处理技术的情况也是如此）。

[0153] 因此，在一些实施例中，可以允许处理数据以将信号从多个震源中的每一个分离出来的方式进行地震勘测，处理通常称作“去混合”。例如，在一些实施例中，爆破之间的时间关系可（例如，随机地、伪随机地或随着选定时间函数）发生改变。此时间关系然后可用于对所记录的地震信号去混合。例如，如下文更详细地解释，当提供此类型的时间关系时，组合来自多次爆破的数据用于给出的接收器可造成来自一个震源的地震信号相干地组合（从而增强组合数据中来自此震源的信号），同时造成来自另一震源或多个震源的地震信号非相干地组合（从而减弱组合数据中来自此震源的信号）。在一些实施例中，来自其它震源的信号可减少例如50%、75%、90%、95%、99%或更多。在一些实施例中，此允许基本上或完全对数据去混合，从而允许数据经历使用针对非混合地震数据设计的技术的进一步处理。

[0154] 如上文提及，“同时爆破”可允许显著减小地震勘测的采集时间。在其中使用两个震源的情况中，执行勘测所需的时间可大幅减小，减小的数量级为所需时间的50%。如果使用两个以上的震源，那么甚至可进一步减小所需时间。类似地，当在设置时间量内执行地震勘测时，可对特定区域搜集更大的数据量，或由于使用多个震源实现的效率可勘测更大区域。

[0155] 上文描述的地震仪封装（“吊舱”、“节点”）中的任何一个可用作使用同时爆破执行的地震勘测的部分。例如，图11和12说明用于执行地震勘测的自发海底节点的示例性使用。这些实例和其它所有实例可用于执行运用同时爆破的地震勘测。虽然本文中讨论的节点和震源主要是在海洋环境中讨论，但是本文中讨论的原理也可在其它背景中采用，诸如基于陆地的震源和节点（例如，可控震源（Vibroseis source））。

[0156] 图11示出了其中自发海底传感器使用“绳上节点”技术往返于海船部署并取回的实施例。此部署程序基本上与上文例如参考图9和10描述的程序相同。示出了两艘震源船，其在部署节点之后实施同时爆破勘测。然而，应了解，在各个实施例中可使用更多或更少震源船。在一些实施例中，部署船也可用作震源船（例如，其中震源船装配有气枪）。

[0157] 图12示出了其中自发海底传感器使用远程操作交通工具（ROV）技术往返于海船部署并取回的实施例。如示出，使用运输工具以将传感器节点运输到海底以由ROV放置。有利的是，此方法减小或消除ROV到水面再装载节点的频繁回程的需要。此部署程序可基本上与上文描述的程序（如例如在2011年11月24日公开的第2011/0286900号美国专利公开中，其全文是以引用方式并入本文）相同。示出了两艘震源船，其在部署节点之后实施同时爆破勘

测。然而,应了解,在各个实施例中可使用更多或更少震源船。在一些实施例中,部署船也可用作震源船(例如,其中震源船装配有气枪)。

[0158] 在各个实施例中,可使用其它适当技术部署节点。例如,在一些实施例中,节点可从水面下降,且可包含允许节点“飞过”水面到选定位置的导向系统。

[0159] 如本文中描述的地震勘测可包含其中节点被部署成收集地震数据且然后被取回的一或多个阶段,以及其中从节点提取数据并处理数据的一或多个阶段。现在参考图13描述用于使用这些节点采集数据的示例性程序。在步骤1300处,对具体区域设计多源海底节点地震勘测。多源的使用可通过减小进行地震勘测所消耗的时间或通过增加密度或面积的数据量(与给出的时帧中可采集的密度或面积数据量相比)来使地震勘测获益。在步骤1310处,准备好部署节点。所述准备可包含校准节点,将节点同步到主时钟,且激活节点,例如用于连续记录。在一些实施方案中,同步可发生在例如部署节点、使用节点以收集数据且随后取回节点之后的后续时间。在此实施方案中,节点可在主时钟关闭之前同步到主时钟,且可基于记录特定数据的时间与同步节点时的时间之间的差追溯地确定记录数据的时间。在其它实施方案中,节点可在部署期间同步。例如,在基于陆地或浅水的勘测的情况中,节点能够接收信号,诸如可用于同步的全球定位系统信号。例如可在2012年11月2日提交的第61/722,024号美国专利申请、2009年7月14日授予的第7,561,493号美国专利和2009年11月26日公开的第2009/0290453号美国专利中找到基于陆地的节点的实例,所述专利的全文是以引用的方式并入本文。类似地,在一些实施例中,海底节点可在部署于海底时在勘测之前、之后或期间同步。在一些实施例中,此可使用节点与节点附近的ROV之间的水下通信链路(例如,光学链路、无线链路、无线电链路、感应链路等等)来完成。ROV可经由与部署船的栓式链路提供时间信号,部署船继而又可访问GPS或其它时间参考。

[0160] 在步骤1320处,部署自发海底节点。节点可根据地震勘测的设计考虑放置在海床上的预定位置处。在某些实施方案中,诸如在图11中示出的示例性实施方案中,节点可通过连续地脱离船来进行部署,所述节点中的每一个是由绳索、电缆等等连接到线性紧邻的前面节点和后面节点。如本文中使用的,节点在操作上具有自发性:绳索既不传输电力、也不传输数据或操作指令,所述绳索经严格设计以使节点保持物理连接,从而允许简化部署和收集。在其它实施方案中,诸如在图12中示出的示例性实施方案中,节点还可彼此物理地独立,且可由远程操作交通工具单个地部署。一或多个节点可从船(例如,在笼子或支架中)下降,且远程操作交通工具可每次从笼子或支架收集一个节点,且将所述节点分布到所需位置。在一些实施方案中,节点可放置在特别深的位置中,诸如深于海洋水面以下的1000米。然而,在各种应用中,可使用任何其它适当的部署深度,例如大于1米、10米、100米、200米、300米、500米、750米、1000米、2000米或更大的深度,例如在0米到2000米的范围中或在任何子范围中。

[0161] 在步骤1330处,基本上同时激活两个或两个以上震源(“爆破”)。爆破的时间可根据抖动策略稍微交错以减小信号假像并促进响应于不同爆破收集的信号的去混合。在一些实施方案中,可采用多艘炮艇,其各自具有至少一个震源。在其它实施方案中,可采用单一炮艇,其具有位于物理上分离位置中的多个震源。发射模式还可包含震源之间的循序交替。例如,四个震源可相对彼此定位使得其基本上在正方形的四个拐角处。在发射模式的第一次爆破中,可发射震源中的两个,且在发射模式的第二次爆破中,可发射剩余的两个震源。

在此实施方案中,可选择所述对震源使得正方形上任何两个相邻拐角不会一起发射。记录每一震源激活的精确时间和位置。震源激活的时间可由炮艇上已同步到主时钟的计算机来记录。源激活的位置可从诸如GPS数据的地理位置数据而得知。震源可经激活使得震源之间的时间关系或位置关系总是不断变化。基本上同时爆破之间的抖动时间或位置变化可为随机、伪随机或选定函数。

[0162] 在各个实施例中,部署节点可在地震勘测期间(例如使用一或多个地震传感器,诸如水听器、地震检波器、加速度计和其组合)连续检测、数字化并记录到达海底的地震波场(压力和质点运动)。节点还可定期地检测、数字化并记录向量运动传感器的空间(例如,倾角)中的定向。地震勘测可包含步骤1330的许多次重复以收集由发射整个勘测区域中的许多位置处的震源引起的数据。此数据然后可用于形成勘测区域中的地下结构的明细图和成像。震源如所述般在勘测期间重复地发射,同时炮艇缓慢地移动通过勘测区域以改变震源的物理位置。在一些实施方案中,炮艇可以平行于正方形区域的一侧的直线行进通过勘测区域,当到达区域末端时转弯180度,稍微重新定位到所述侧,且以平行于先前行进路径的线路返回。此运动图案可按照需要重复直到已覆盖整个勘测区域为止。在其它实施方案中,其它船路径几何形状也是可能的,包含螺旋和盘卷图案、蛇形波浪图案和任何其它已知的勘测图案。

[0163] 图17中示出了上文描述的步骤1330中的节点收集数据的实例。此图说明使用海底节点1701执行的共接收器道集。一系列爆破1702以规则或基本上规则间隔从海平面1703处的单独地理位置发射。声波1706行进朝向且通过海床1704,且从地层特征1705反射回来。声波1706然后朝海床1704返回,其中声波是由海底节点1701检测并收集。

[0164] 在一些实施例中,同时爆破之间的变化时间可通过使爆破随着震源沿勘测路径(例如以恒定速度)运动而以变化的空间间隔发生而提供。在其它实施例中,可使用规则的空间爆破间隔,但同时爆破的时间被控制成用如上文描述的时间抖动加以补偿。

[0165] 在各个实施例中,来自两个不同震源的爆破之间的时间抖动可短于单个震源的连续爆破之间的时间间隔。抖动时间(即,两次基本上同时爆破之间的延迟)与爆破间隔(即,来自单一震源的两次爆破之间的延迟)的示例性比例可为1/2、1/5、1/10、1/100、1/1000、1/10,000或更小。例如,在一些典型的实施例中,抖动时间可为100毫秒的数量级,而爆破间隔是一秒、几十秒、一分钟、几分钟或更大的数量级。

[0166] 在一些实施例中,有利的是,即使爆破并非勘测的产生数据的部分(例如,勘测线路之间的船转弯操作期间进行的爆破),仍然记录所有爆破的时间和位置。此允许从产生数据移除来自这些非产生爆破的任何混合。

[0167] 在步骤1340处,在激活所有计划位置处的所有计划震源之后从海底取回节点。在涉及诸如节点之间的绳索的物理连接的实施方案的情况中,可通过逐渐将线卷到船上而每次收集一个节点。在涉及物理上未连接的节点的实施方案的情况中,可由远程操作交通工具(ROV)或自发操作交通工具(AUV)收集节点。连续记录的数据然后可在每一节点被收集之后从每一节点取回。所测量的时间漂移还可用于同步来自所有节点的数据。替代地,交通工具可使用任何适当类型的通信链路(例如,水下光学数据传输链路)从节点提取数据,同时使节点留在海底适当位置处。

[0168] 现在参考图14描述用于处理所采集数据的示例性程序。在步骤1410处,接收从节

点取回的数据。在步骤1420处,对于每一震源,使用已知的震源激活时间以提取连续记录的片段并将所述片段组织到共接收器道集中。所提取的片段的时间长度可由关注的最大深度确定,所述最大深度对应于希望地震波到达关注的最大深度并返回到传感器将需要的最大时间量。定向数据还可用于将质点运动数据旋转成垂直和所需水平分量。每一共接收器道集(下文描述)中的相干地震信号可用于检测并应用震源和接收器位置的改进。

[0169] 在步骤1430处,对数据去混合。(根据任何适当技术)可对共接收器数据去混合以通过勘探所需信号是相干的且干扰信号不相干的性质来产生对单一震源实验中将记录的数据的逼近。共接收器道集展现出来自使用其激活时间提取数据的震源的相干信号,且其展现出来自以相同时间间隔发生激活的所有其它震源的不相干干扰。由第一震源展现出的信号时间片段之间的相干是由于以下事实引起:此震源的发射之间的时间间隔(在所述时间间隔期间,所述震源还在空间中稍微移位到勘测区域中的新位置)是规则的(例如,1分钟)。其它震源之间的不相干是上文提及的连续变化的随机抖动时间的结果。可针对产生用于其它震源的道集重复所述程序,从而提供对应于每一震源的去混合数据。

[0170] 图15是示出被收集作为运用多个震源的地震勘测的部分的数据的实例的图表。图16是示出对图15的数据去混合的结果的图表。在图15的图表中,双重峰值结构的外形是可辨别的,但是由于图表中不对应于明显的双重峰值结构的其它位置处的大量收集信号而模糊。此噪声大部分是由以下事实引起:多个震源同时从地理偏离位置活动。在图16的图表中,双重峰值结构更加清晰可见且图表中的噪声已显著降低。由于以下事实可通过去混合进行此噪声降低:第一震源是相干的且第二震源由于应用小的随机时间抖动而不相干。在此实例中,两个震源线路是平行的且分开大约500ft。在最接近点处,其分别进入到固定接收器的4000ft和4500ft内。每一线路上的爆破间的间隔在标称上是82.5ft(25m)。典型的船速~4.6kt(2.36m/s)在爆破之间产生~10600毫秒的标称时间。+/-1000毫秒的随机爆破时间抖动(对于两条线路)产生干扰的不相干性。

[0171] 注意虽然上文描述了去混合的一个实例,但是应了解,例如基于附录B中叙述的参考文献中描述的技术,可使用其它技术。在一些实施例中,去混合可使用所属领域中已知的其它类型的道集,诸如共中点道集,其中应用经适当调整的基于相干或降噪技术以对数据去混合。在各个实施例中,适当的去混合技术可包含FK滤波、tau-p滤波、时频降噪、FX预测、奇异值分解、相关技术和其组合。例如,一些实施例可使用以下文献中描述的去混合技术:Hennenfent,G.和F.J.Herrmann在2008年发表的“简单降噪:经由抖动的过疏采样进行波场重建(Simply denoise:wavefield reconstruction via jittered undersampling)”,*Geophysics*,73,第3版第19卷到第28卷和Herrmann,F.J.在2009年发表的“欠奈奎斯特采样和稀疏度:如何从更少样本得到更多信息(Sub-Nyquist sampling and sparsity:how to get more information from fewersamples)”,第79届国际年会SEG的扩展摘要28,第3410页到3413页,所述两个文献中的每一个的全文是以引用方式并入本文。

[0172] 可如同以单一震源执行数据采集一样进一步处理经去混合的数据。用于海底节点数据的示例性下游程序包含波场分离为上行分量和下行分量、空间插值和规则化、解卷积、多次波压制(demultiple)、速度分析和迁移。

[0173] 例如,在示出的实施例中,可选地在步骤1440处迁移数据。在迁移数据时,将经去混合的传感器数据转换为表示受勘测区域中的地下结构的空间和物理特性的数据。在步骤

1450处,对数据进行堆叠。在某些实施方案中,可在迁移之前对数据进行堆叠,而其它实施方案可只包含堆叠后迁移,其可选地在步骤21460处执行。数据的堆叠涉及组合多个数据源和产生合并出现在各种输入数据中的信息的新数据集。然后在步骤1470处变换数据以产生表示二维或三维的地下结构的映射和/或成像数据,诸如可适用于石油天然气勘探。

[0174] 虽然上文描述的实例集中于对计划的震源激活去混合,但是应了解,所述技术还可应用于对来自未计划的震源激活的信号去混合(例如,由于地质事件、勘测区域中或附近的第三方活动等等),前提是至少大致确定无计划激活的时间和空间位置。

[0175] 虽然本文已描述并说明了各种发明实施例,但是所属领域技术人员将容易设想出用于执行功能和/或获得结果和/或本文描述的优点中的一或多个的多种其它构件和/或结构,且这些变动和/或修改中的每一个被视为在本文描述的发明实施例的范围内。更一般地,所属领域技术人员将容易明白,本文描述的所有参数、尺寸、材料和配置旨在为示例性的,且实际参数、尺寸、材料和/或配置将取决于使用发明教学的具体应用。所属领域技术人员将认识到或能够仅仅使用例行实验确认本文描述的具体发明实施例的许多等效例。因此,应了解,前述实施例只借助于实例加以呈现,且在随附权利要求书和其等效物的范围内,可不同于具体描述和要求来实践发明实施例。本公开的发明实施例是针对本文描述的每一单个特征、系统、物件、材料、套件和/或方法。另外,两个或两个以上这样的特征、系统、物件、材料、套件和/或方法的任何组合在这些特征、系统、物件、材料、套件和/或方法不相互矛盾的情况下包含在本公开的发明范围内。

[0176] 上文描述的实施例可以许多方式中的任何一种来实施。例如,实施例可使用硬件、软件或其组合来实施。当在软件中实施时,可在任一适当的处理器或处理器集合上执行软件代码,而无关于是否提供在单一计算机中或分布在多个计算机之间。

[0177] 此外,计算机可具有一或多个输入和输出装置。这些装置可尤其用于呈现用户接口。可用于提供用户接口的输出装置的实例包含用于输出的视觉呈现的打印机或显示屏,和扬声器或用于输出的声音呈现的其它发声装置。可用于用户接口的输入装置的实例包含键盘和定点装置,诸如鼠标、触控板和数字面板。作为另一实例,计算机可通过语音辨识或以其它声音格式接收输入信息。

[0178] 这些计算机可由呈任何适当形式的一或多种网络(包含局域网或广域网,诸如企业网和智能网络(IN)或互联网)互连。这些网络可基于任何适当的技术,且可根据任何适当的协议操作,且可包含无线网络、有线网络或光纤网络。

[0179] 用于实施本文描述的功能的至少一部分的计算机可包括存储器、一或多个处理单元(在本文也简称为“处理器”)、一或多个通信接口、一或多个显示器单元和一或多个用户输入装置。存储器可包括任何计算机可读介质,且可存储用于实施本文描述的各种功能的计算机指令(在本文也称作“处理器可执行指令”)。处理单元可用于执行指令。通信接口可耦接到有线或无线网络、总线或其它通信构件,且可因此允许计算机传输通信到其它装置和/或从其它装置接收通信。显示器单元可经提供例如以允许用户结合指令的执行查看各种信息。用户输入装置可经提供例如以允许用户作出手动调整、作出选择、输入数据或各种其它信息,和以多种方式中的任何一种在指令的执行期间与处理器交互。

[0180] 本文概述的各种方法或程序可被编码为软件,所述软件可在采用多种操作系统或平台中的任何一个的一或多个处理器上执行。另外,此软件可使用多种适当的程序设计语

言和/或程序设计或脚本工具中的任何一个来写入,且还可被编译为在框架或虚拟机上执行的可执行机器语言代码或中间代码。

[0181] 在此方面,各种发明概念可具体体现为用一或多个程序编码的计算机可读存储介质(或多个计算机可读存储介质)(例如,计算机存储器、一或多个软盘、光盘、光碟、磁带、快闪存储器、现场可编程门阵列或其它半导体装置中的电路配置,或其它非暂时性介质或有形计算机存储介质),所述一或多个程序在一或多个计算机或其它处理器上执行时执行实施上文讨论的本发明的各个实施例的方法。计算机可读介质可为可运输的,使得存储在其上的程序可被加载到一或多个不同计算机或其它处理器上以实施如上文讨论的本发明的各个方面。

[0182] 术语“程序”或“软件”在本文以一般含义使用以指代可用于对计算机或其它处理器编程以实施如上文讨论的实施例的各方面的任何类型的计算机代码或任何计算机可执行指令集合。另外,应明白,根据一个方面,在执行时执行本发明的方法的一或多个计算机程序无需驻留在单一计算机或处理器上,但是可以模块化方式分布在多种不同计算机或处理器之间以实施本发明的各个方面。

[0183] 计算机可执行指令可呈许多形式,诸如由一或多个计算机或其它装置执行的程序模块。通常,程序模块包含执行特定任务或实施特定抽象数据类型的例行程序、程序、对象、组件、数据结构等等。通常,程序模块的功能可按照需要组合或分布在各个实施例中。

[0184] 此外,数据结构可以任何适当形式存储在计算机可读介质中。为了简化说明,数据结构可被示为具有通过数据结构中的位置相关的字段。这些关系同样可通过给字段的存储指派传达字段之间的关系的计算机可读介质中的位置来实现。然而,任何适当的机制可用于建立数据结构的字段中的信息之间的关系,包含通过使用指示器、标签或建立数据元素之间的关系的其他机制。

[0185] 此外,各种发明概念可被具体体现为已提供实例的一或多种方法。可以任何适当方式对被执行为所述方法的部分的动作进行排序。因此,可构造其中以不同于所说明的次序的次序执行动作的实施例,其可包含同时执行一些动作,即使被示为说明性实施例中的循序动作也是如此。本公开涉及附录A和附录B中列出的参考文献美国和国际申请中找到的主题,所述申请中的每一个的全文是以引用方式并入本文。如本文定义并使用的定义应被理解为对字典定义、通过引用并入的文件中的定义和/或所定义术语的普通含义的控制。

[0186] 除非明显说明相反情况,否则如本文在说明书中和权利要求书中使用的不定冠词“一(a和an)”应被理解为意指“至少一个”。

[0187] 如本文在说明书中和权利要求书中使用的短语“和/或”应被理解为意指经这样连接的元件(即,结合地存在于一些情况中且分离地存在于其它情况中的元件)中的“一个或两个”。以“和/或”列出的多个元件应以相同方式解释,即,经这样连接的元件中的“一或多个”。可选地存在除由“和/或”条款具体识别的元件以外的其它元件,无关于是否与具体识别的所述元件相关。因此,作为非限制实例,在一个实施例中,对“A和/或B”的参考在结合开放式语言(诸如“包括”)使用时可能是指只有A(可选地包含除B以外的元件);在另一实施例中,可能是指只有B(可选地包含除A以外的元件);在又一实施例中,A和B两者(可选地包含其它元件);等等。

[0188] 如本文在说明书和权利要求书中使用,“或”应被理解为具有与如上文定义的“和/或”相同的含义。例如,当分离列表中的项时,“或”或者“和/或”应被解释为包含性的,即,包含多个元件或元件列表中的至少一个,而且包含多个元件或元件列表中的一个以上,且可选地包含另外未列出的项。只有术语明确说明相反情况(诸如“只有……中的一个”或“确切地……中的一个”)或当在权利要求书中使用时,“由……组成”将指代包含多个元件或元件列表中的确切的一个元件。一般来说,如本文使用的术语“或”在前面具有排斥性术语(诸如“……中的任何一个”、“……中的一个”、“……中只有一个”或“……中确切的一个”)时应只被解释为指示排斥性替代者(即,“一个或另一个但是并非两者”)。“基本上由……组成”在权利要求书中使用时应具有其在专利法领域中使用的普通含义。

[0189] 如本文在说明书及权利要求书中使用,短语“至少一个”在提及一或多个元件的列表时应被理解为意指选自元件列表中的元件中的任一或多个的至少一个元件,但是不一定包含元件列表内具体列出的每一和每个元件中的至少一个且不排斥元件列表中的任何元件组合。此定义还允许可选地存在除为短语“至少一个”所指代的元件列表内具体识别的元件以外的元件(无关于是否与具体识别的所述元件有关)。因此,作为非限制实例,“A和B中的至少一个”(或等效地,“A或B中的至少一个”,或等效地,“A和/或B中的至少一个”)在一个实施例中可能指代至少一个(可选地包含一个以上)A,但是不存在B(且可选地包含除B以外的元件);在另一实施例中,可能指代至少一个(可选地包含一个以上)B,但是不存在A(且可选地包含除A以外的元件);在又一实施例中,可能指代至少一个(可选地包含一个以上)A和至少一个(可选地包含一个以上)B(且可选地包含其它元件);等等。

[0190] 在权利要求书中以及以上说明书中,诸如“包括”、“包含”、“携带”、“具有”、“含有”、“涉及”、“持有”、“由……构成”等等的过渡短语将被理解为开放式,即,意指包含但不限于。只有过渡短语“由……组成”和“基本上由……组成”应分别为如美国专利局专利审查程序手册(章节2111.03)中说明的封闭式或半封闭式过渡短语。

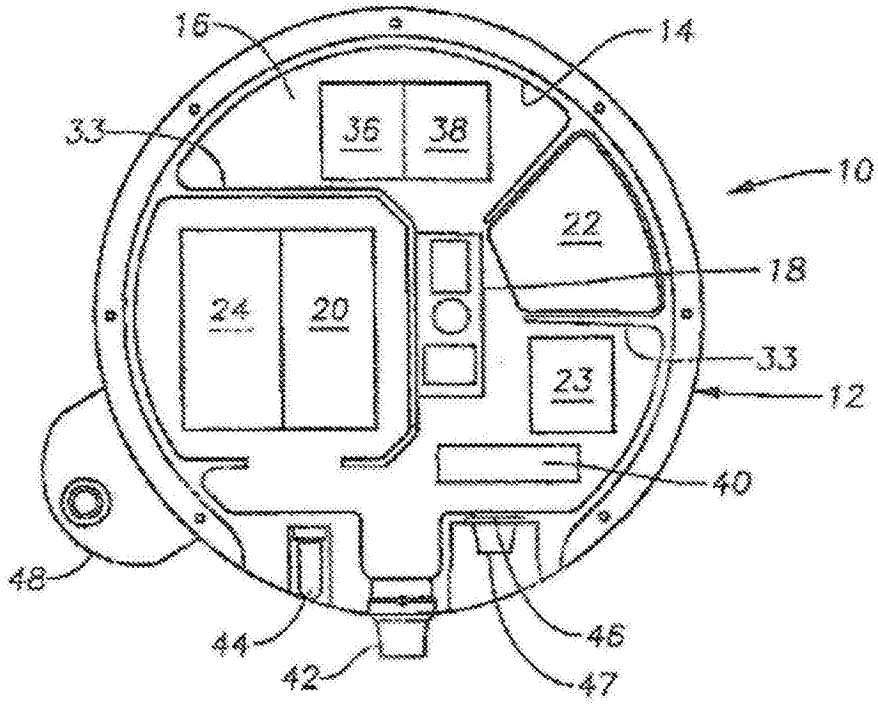


图1

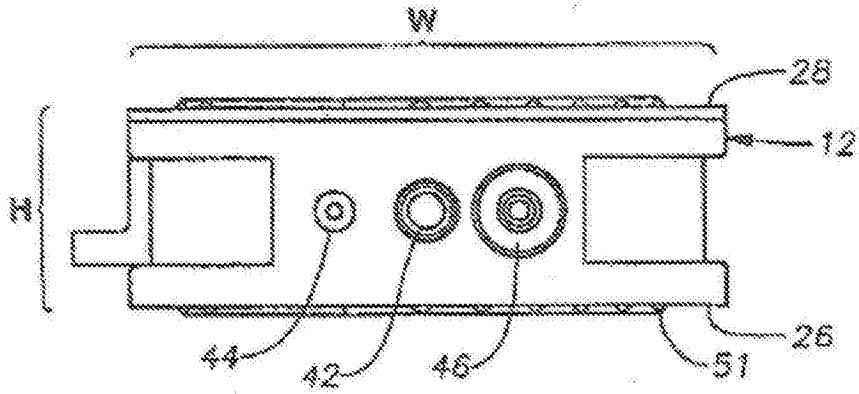


图2

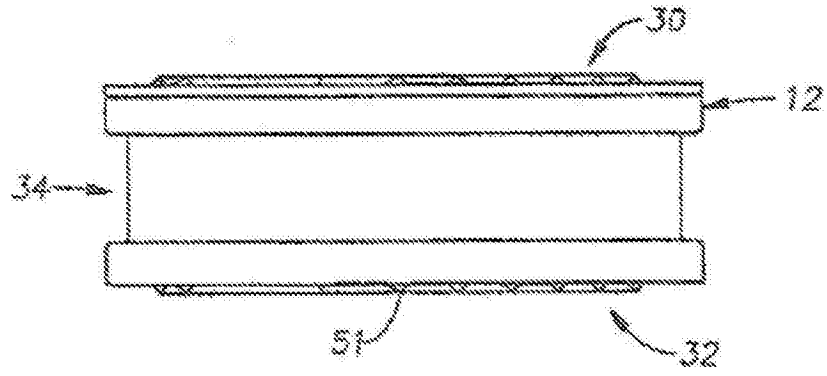


图3

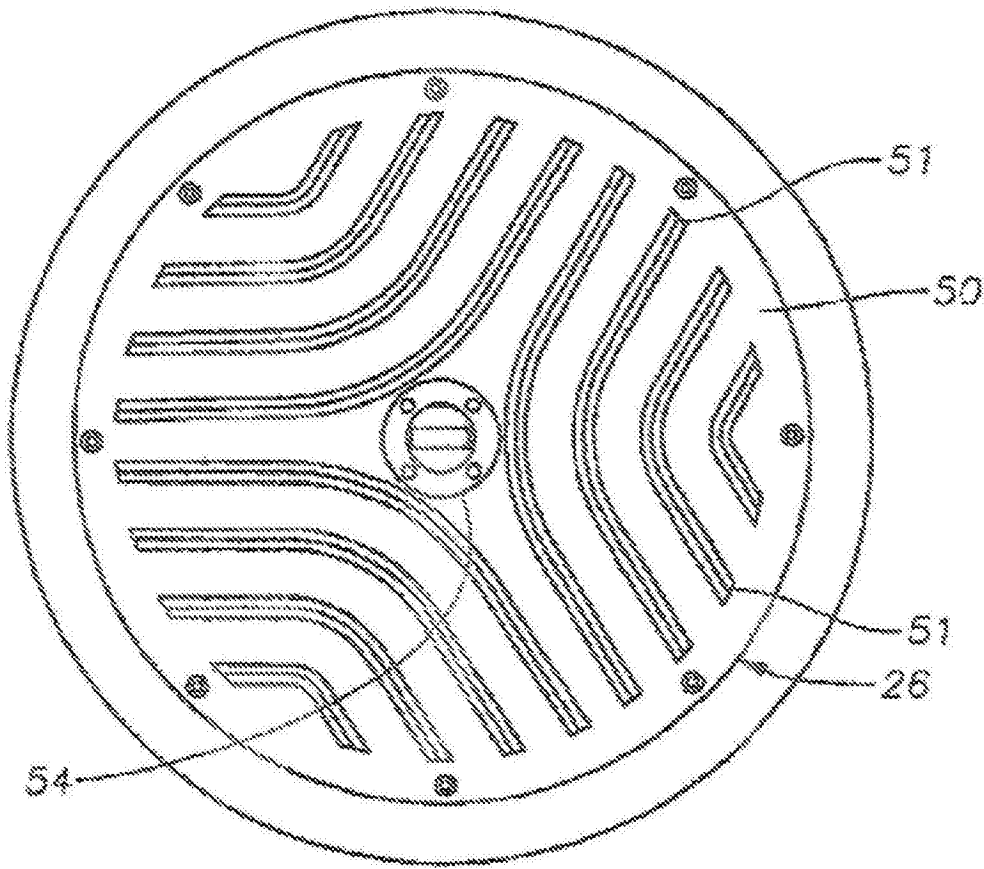


图4

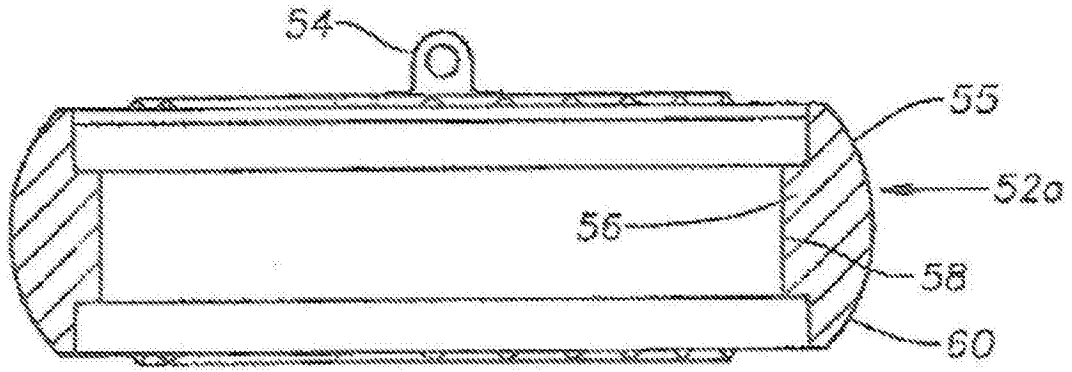


图5

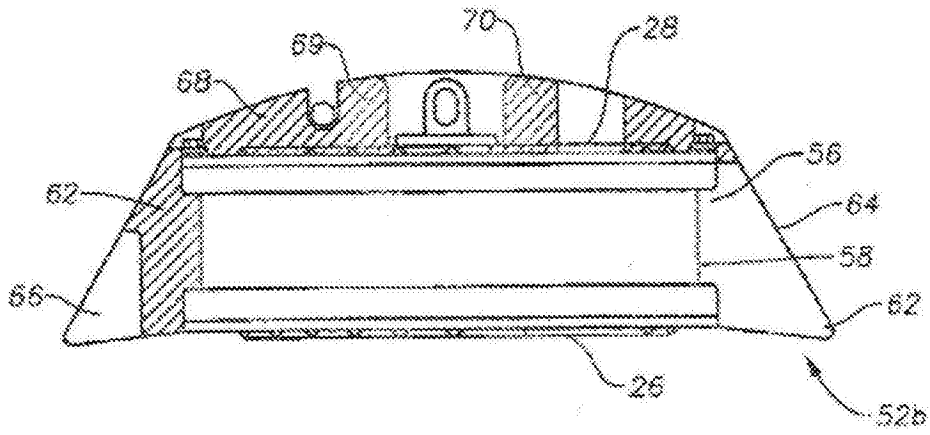


图6

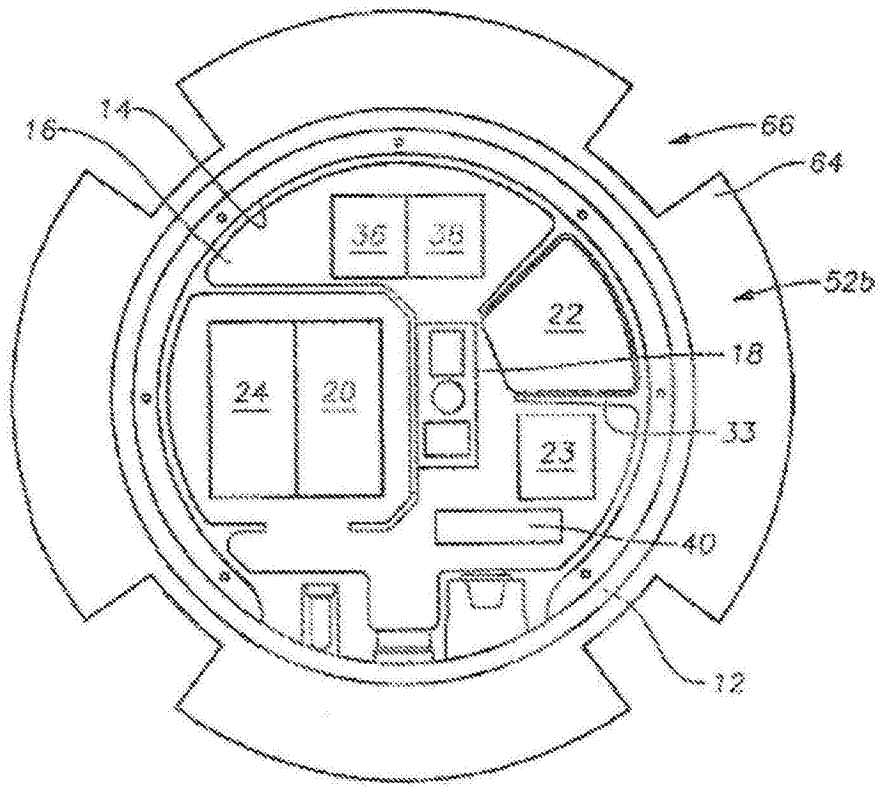


图7

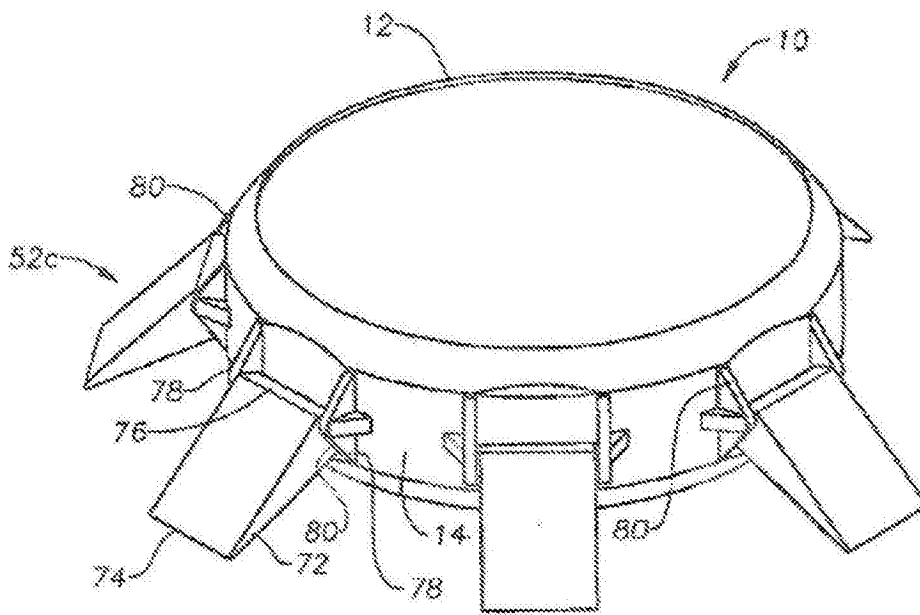


图8

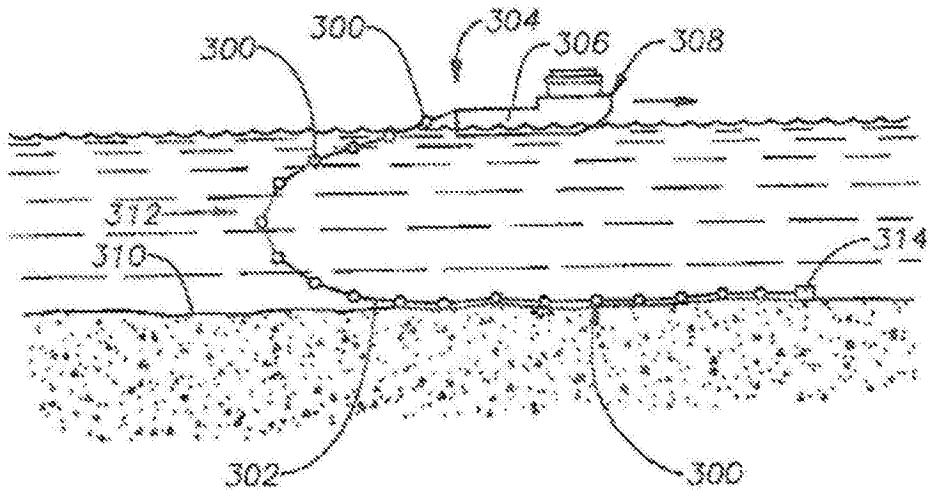


图9

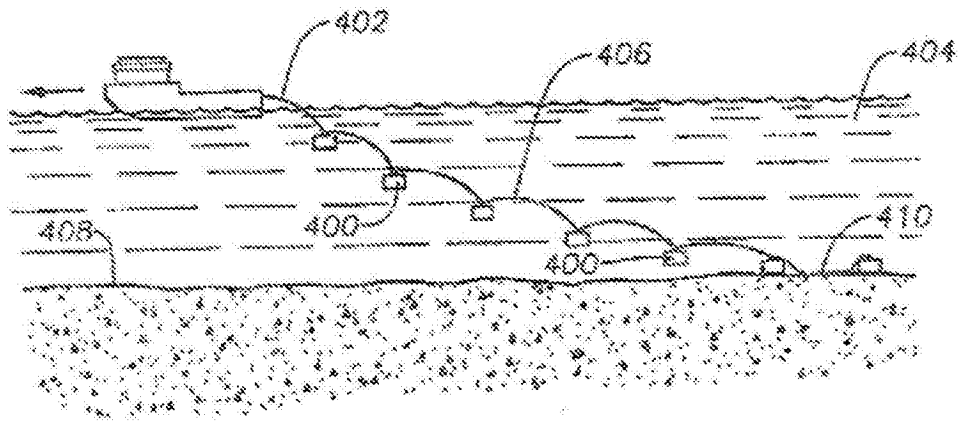


图10

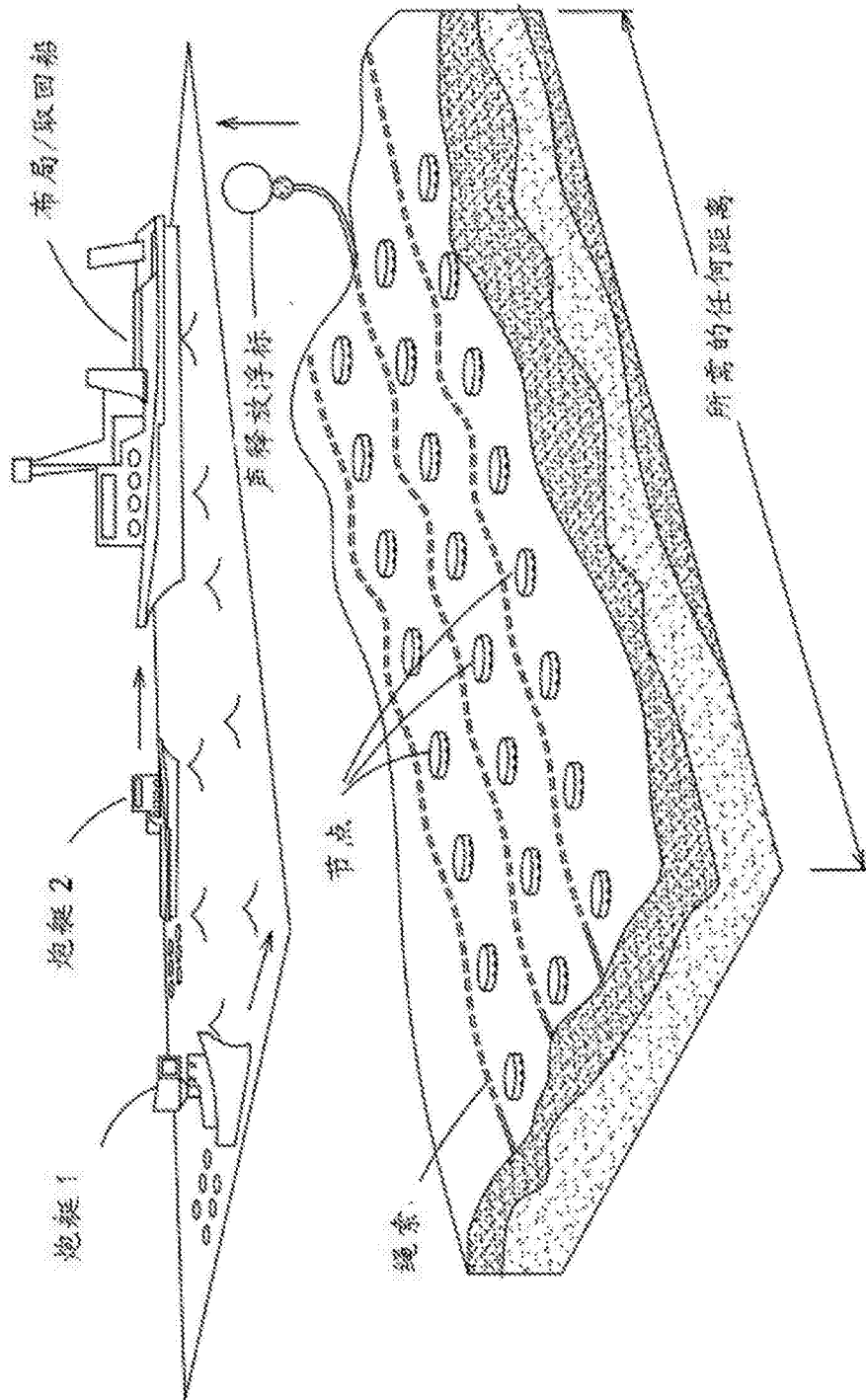


图11

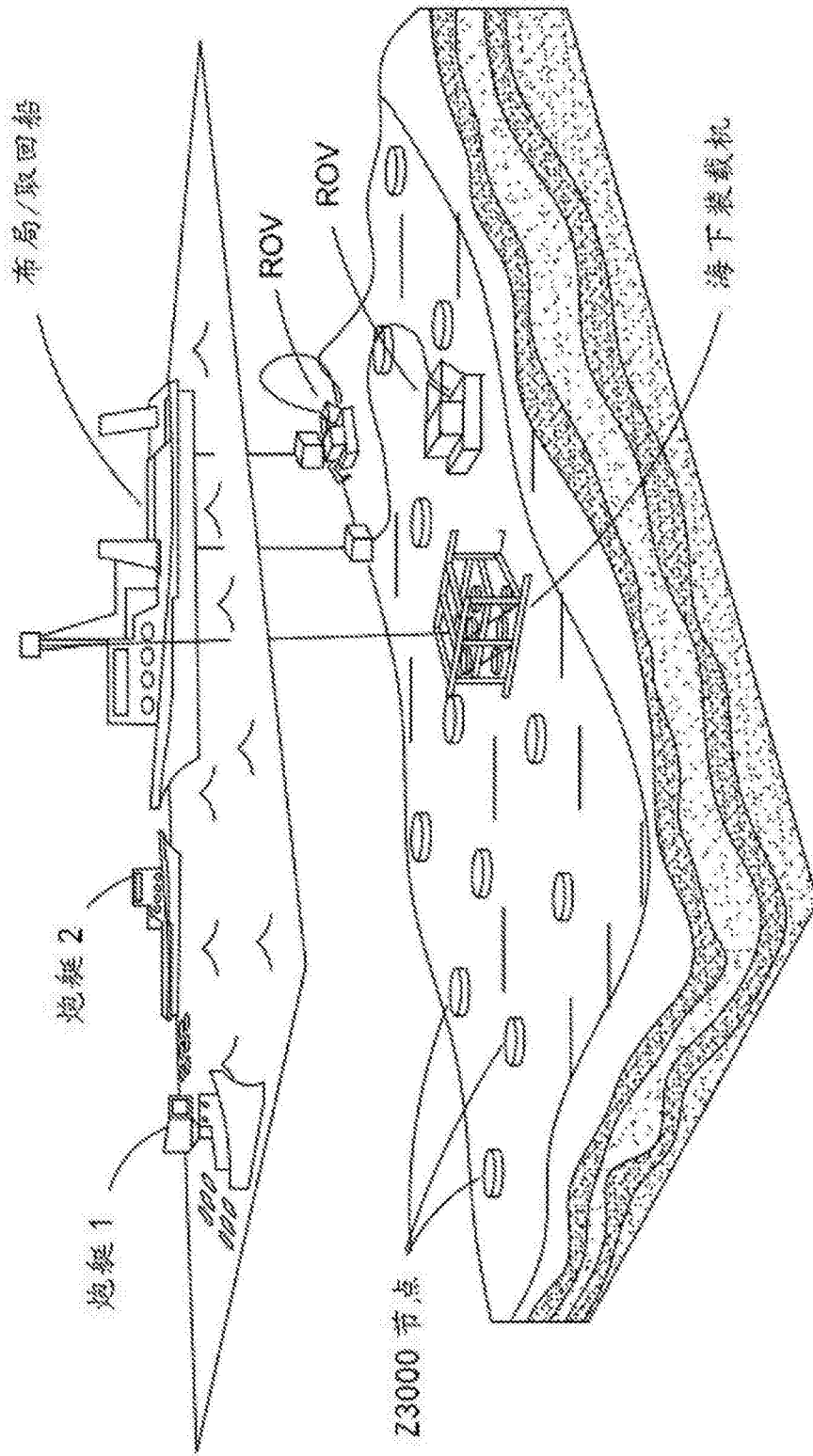


图12

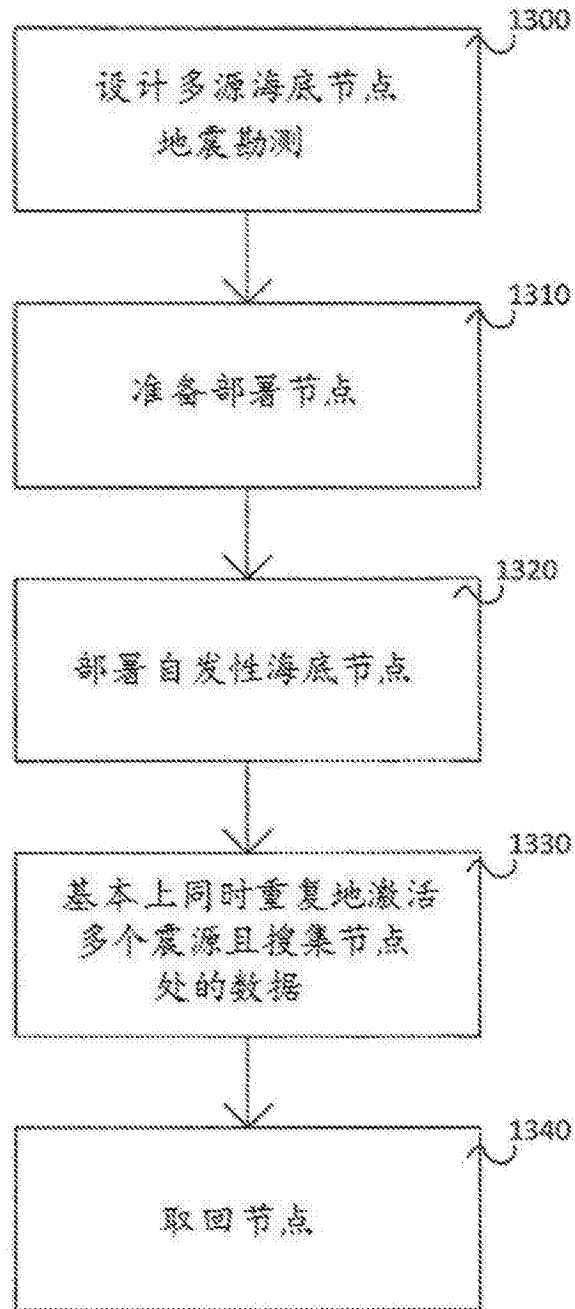


图13

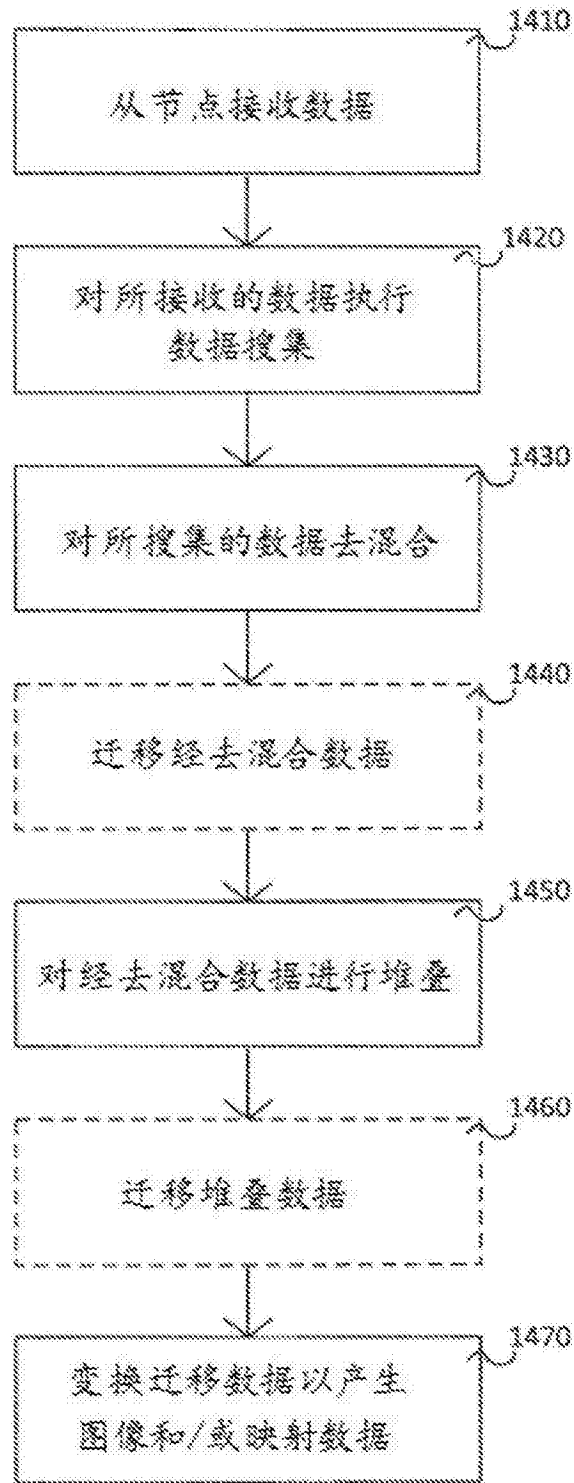


图14

两条间隔紧密的源线路
同时爆破到共网接收器中

去混合之前

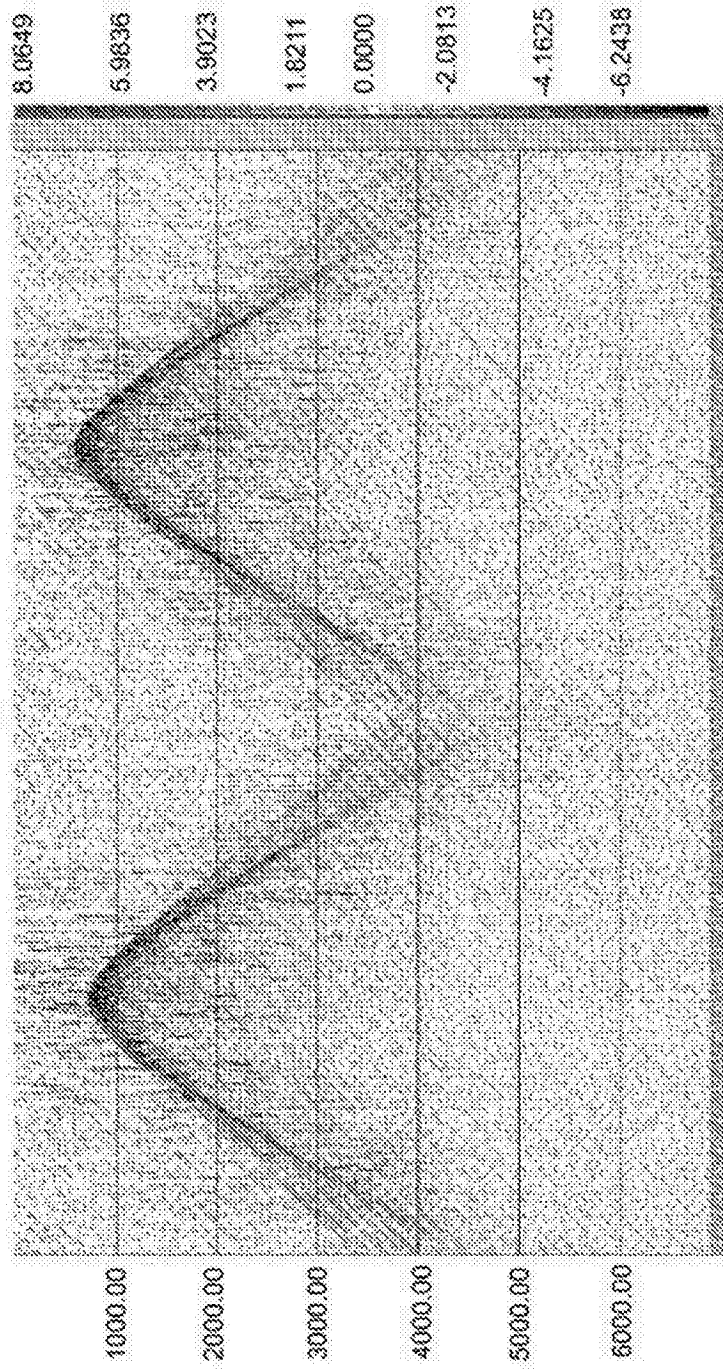


图15

两条隔离紧密的源线路
同时爆破到共相接放大器中
去混合之后

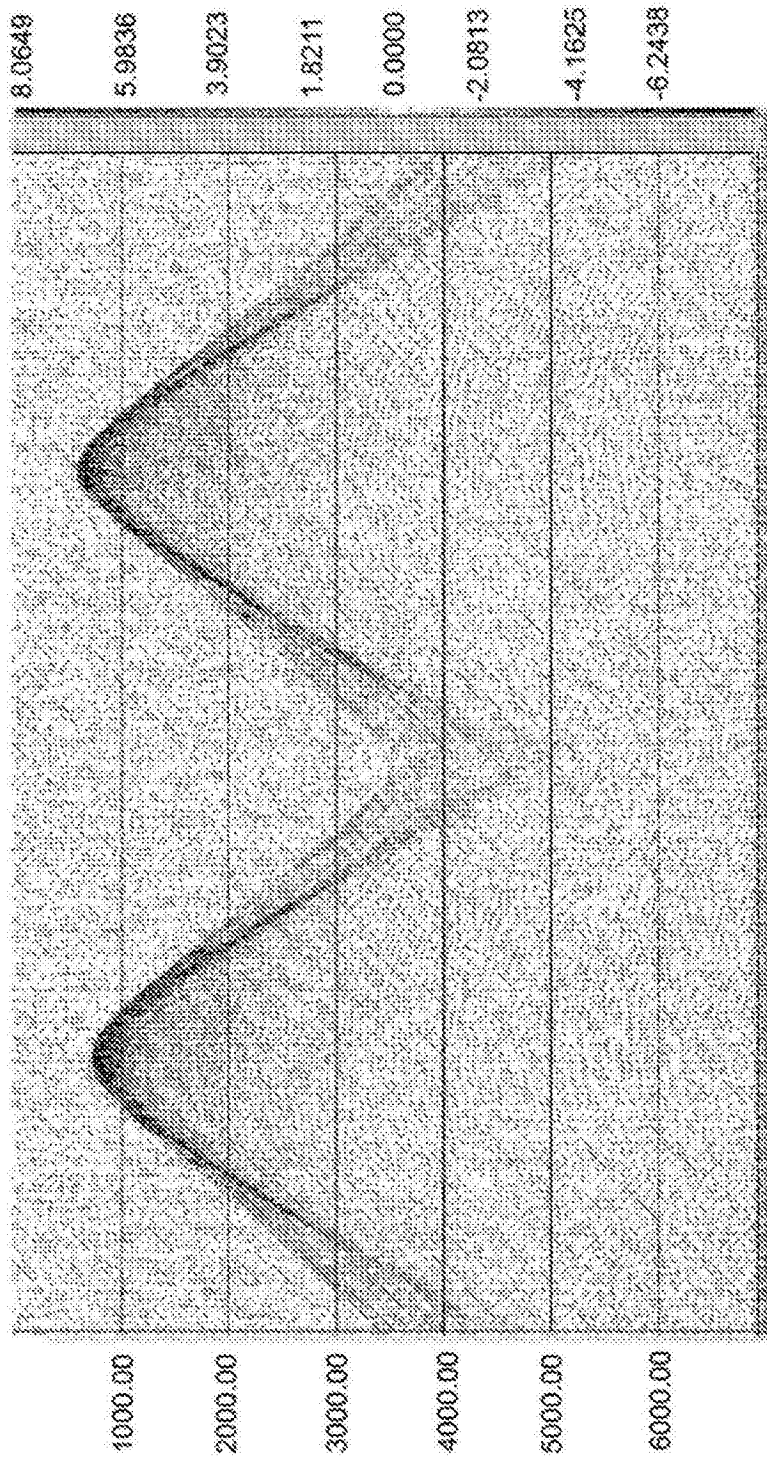


图16

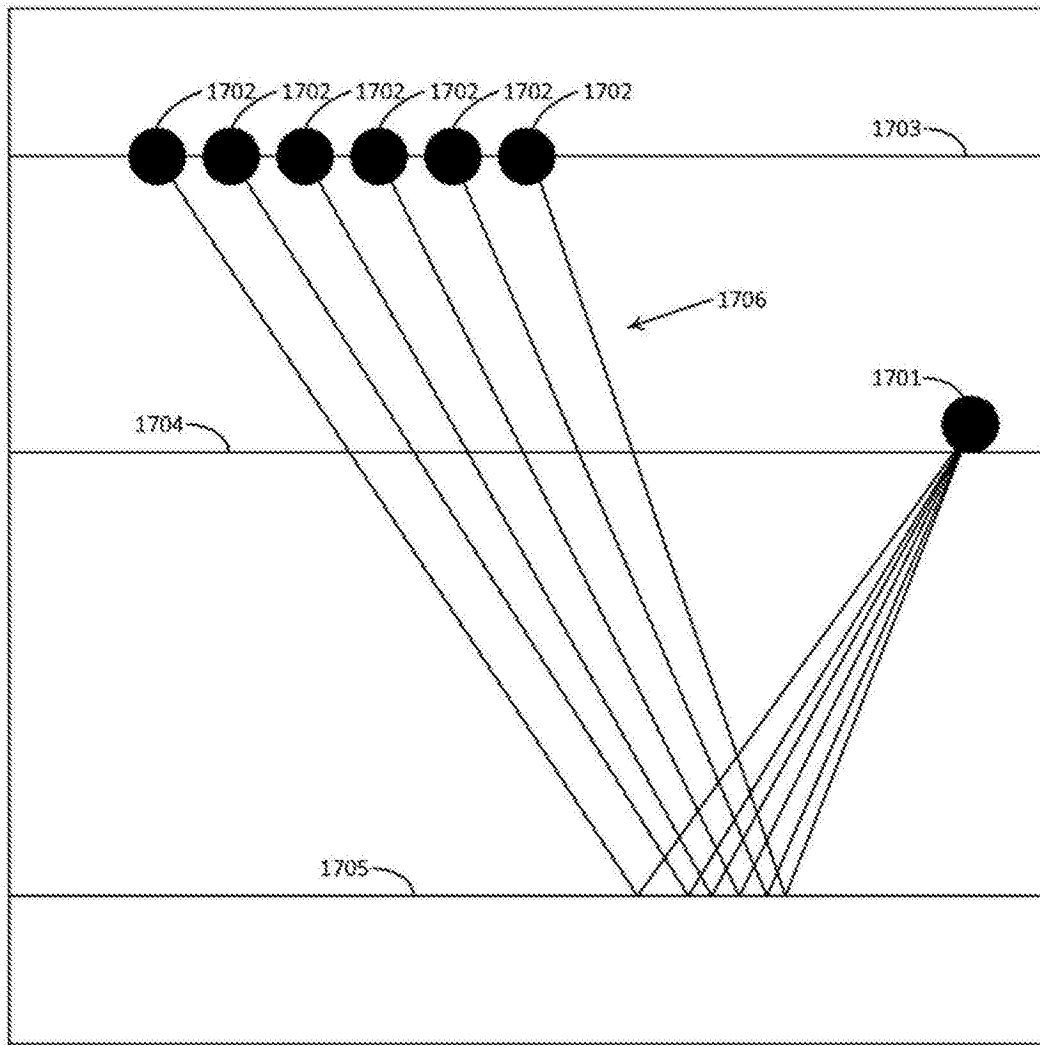


图17