



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103988089 B

(45)授权公告日 2017.12.05

(21)申请号 201280061525.5

(22)申请日 2012.12.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103988089 A

(43)申请公布日 2014.08.13

(30)优先权数据

61/576,192 2011.12.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.06.13

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/069464 2012.12.13

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/090544 EN 2013.06.20

(73)专利权人 国际壳牌研究有限公司

地址 荷兰海牙

(72)发明人 J·J·邓·波尔 A·A·马特瓦

J·G·皮尔瑟 J·J·梅斯塔耶尔

W·伯奇 J·L·洛佩兹

K·霍尔曼 B·N·库弗史诺夫

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 李向英

(51)Int.Cl.

G01H 9/00(2006.01)

(56)对比文件

EP 1299698 B1,2010.10.06,

EP 1299698 B1,2010.10.06,

US 2005/0115741 A1,2005.06.02,

US 2010/0254650 A1,2010.10.07,

US 6269198 B1,2001.07.31,

US 2006/0233482 A1,2006.10.19,

审查员 杨牧

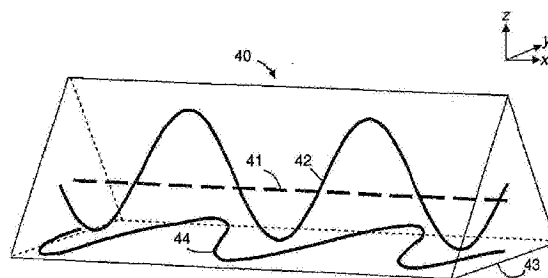
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54)发明名称

用光纤分布式声感测(DAS)组合检测横向声信号

(57)摘要

一种分布式光纤声感测系统包括具有外表面的延长体、在所述外表面上以第一预定缠绕角布置的光纤,以及光连接到所述光纤的光发射和接收装置。延长体可以包括至少一个基本上平的表面和/或围绕所述体的可膨胀弹性体层,以及/或者围绕所述弹性体层的弹性体外管。有至少一个传感器垫被布置在外层中,传感器垫包括硬衬以及附着其上或嵌入其中的至少一个纵向光纤。围绕所述管可以有保护材料体,所述保护材料体可以具有包括至少一个基本上平的表面的外表面和布置在所述体中的至少一个传感器垫。



1. 一种分布式光纤声感测系统,包括:
线缆,包括:具有外表面的延长体;以及在所述外表面上以第一预定缠绕角布置的第一光纤;
在所述延长体外部并覆盖所述延长体和所述第一光纤的第一铠装层;
以不同于第一预定缠绕角的第二预定缠绕角缠绕在第一铠装层外侧周围的至少第二光纤;
第二铠装层,位于第一铠装层外侧并且覆盖第一铠装层和第二光纤;以及
光连接到第一光纤和第二光纤的光发射和接收装置,用于分别把光信号发射到第一光纤和第二光纤中以及接收来自所述第一光纤和第二光纤的信号的反向散射分量。
2. 根据权利要求1的系统,其中,关于垂直于所述延长体的轴的平面测量所述缠绕角,并且其中所述第一预定缠绕角为 90° 而所述第二预定缠绕角小于 45° ,或者其中所述第二预定缠绕角为 90° 而所述第一预定缠绕角小于 45° 。
3. 根据权利要求2的系统,进一步包括在所述外表面上以 90° 与 45° 之间的第三缠绕角布置的第三光纤。
4. 根据权利要求2的系统,其中,所述光纤的至少一个包括布拉格光栅。
5. 根据权利要求1的系统,其中,所述延长体具有圆形横截面。
6. 根据权利要求1的系统,其中,所述延长体具有椭圆形横截面。
7. 根据权利要求1的系统,进一步包括围绕所述延长体的可膨胀弹性体层。
8. 根据权利要求1的系统,进一步包括在所述延长体中布置的感测杆并且包含至少一个附加光纤。
9. 根据权利要求8的系统,其中,所述至少一个附加光纤基本上是直的。
10. 根据权利要求8的系统,其中,所述至少一个附加光纤是螺旋形的。
11. 根据权利要求8的系统,其中,所述至少一个附加光纤是正弦曲线形的。
12. 根据权利要求8的系统,进一步包括在所述感测杆与所述延长体之间的可膨胀弹性体层。
13. 根据权利要求1的系统,其中,所述第一铠装层具有椭圆形外部横截面。
14. 根据权利要求1的系统,其中,所述延长体具有非圆形横截面,所述非圆形横截面具有长半轴,以及所述第一铠装层被配置为使得其长半轴垂直于所述延长体的长半轴。
15. 根据权利要求1的系统,其中,所述铠装层的至少一个包括聚酰胺。

用光纤分布式声感测 (DAS) 组合检测横向声信号

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2011年12月15日提交的美国申请序列号61/576,192的优先权,其内容在此引用作为参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及光纤器件,确切地说,涉及光纤分布式声感测 (DAS) 组合,它适于感测声信号,尤其是与所述器件成角度或基本上垂直行进的信号的幅度和方向。

背景技术

[0004] 为了提供在石油勘探、生产和监视的语境中的感测能力,已经作出了很多尝试,成功程度各有不同。近来,这些尝试已经包括使用光纤线缆检测声能。因为线缆典型情况下包括沿着纤维的长度包含多处反向散射不均匀的光导纤维,这样的系统通过测量从激光脉冲输入到光纤中的反向散射光允许沿着光纤进行光路长度变化的分布式测量。因为这样的系统允许分布式感测,所以它们可以被称为“分布式声感测”即“DAS”系统。DAS系统的一种用途是在地震应用中,其中在已知位置的地震源把声信号传送到地层中以及/或者被动地震源发射声能。这些信号在穿过和/或反射通过地层后在地震传感器接收。可以处理接收的信号以给出它们穿过的地层的有关信息。这种技术能够用于记录多种地震信息。另一种应用是在井中应用和流体声监视的领域中。

[0005] DAS系统典型情况下检测来自光纤中杂质或不均匀的短(1-10米)激光脉冲的反向散射。如果入射地震波使光纤变形,那么1) 杂质之间的距离改变以及2) 激光脉冲的速度改变。这两种结果都影响反向散射过程。通过观察反向散射信号中的变化有可能重建地震波振幅。以上结果的第一种只有在光纤被轴向拉伸或压缩时才显现。第二种结果在轴向以及径向光纤变形的情况下出现。不过第二种结果比第一种结果弱几倍。不仅如此,光纤的径向变形被光纤周围的材料显著地抑制。结果,具有直光纤的常规DAS系统主要对沿着线缆轴极化的地震波敏感,比如沿着线缆传播的压缩(P)波或者垂直于线缆传播的剪切(S)波。信号强度近似随 $\cos^2\theta$ 而变,其中 θ 是光纤轴与波传播方向(P波)之间的夹角。因此,虽然现有的各种各样已面市的DAS系统具有变化的灵敏度、动态范围、空间分辨率、线性度等,但是所有这些系统主要对轴向应变敏感。垂直于光纤轴行进的声信号往往被称为“横向”信号,并且对于P波导致对光纤的径向应变。因此,当声信号的行进方向与光纤轴之间的夹角逼近 90° 时,DAS线缆对信号的灵敏度变得低得多,甚至可能无法检测到它。

[0006] 因此,期望提供一种改进的线缆,对垂直于其轴向行进的信号更敏感,并且能够区分径向应变与轴向应变。对横向波的灵敏度对于线缆在地表或井下的地震或微地震应用尤其重要。除了横向灵敏度之外,也期望提供三分量(3C)感测,能够从中判断出感测信号的行进方向。

发明内容

[0007] 本发明提供用于分布式声感测的改进的光纤线缆系统,该光纤线缆系统对垂直于其轴向行进的信号更敏感,从而能够更好地区分对系统的径向应变与轴向应变。垂直于线缆轴行进的声信号往往被称为“横向”信号,并且导致对光纤的径向应变。本发明还提供了三分量(3C)感测,从中能够确定感测信号的行进方向。

[0008] 根据某些实施例,分布式光纤声感测系统包括具有外表面的延长体、在所述外表面上以第一预定缠绕角布置的光纤,以及光连接到所述光纤的光发射和接收装置,用于分别把光信号发射到所述光纤中和接收来自所述光纤的反向散射的信号分量。所述系统可以进一步包括在所述外表面上以第二预定缠绕角布置的第二光纤。可以关于垂直于所述体的轴的平面测量所述缠绕角,并且其中所述第一缠绕角可以为 90° 而所述第二缠绕角可以小于 45° 。

[0009] 所述系统可以进一步包括在所述外表面上以 90° 与 45° 之间的缠绕角布置的第三光纤。所述光纤的至少一个可以包括布拉格光栅。

[0010] 所述体可以具有圆形横截面或椭圆形横截面,并且可以包括围绕所述体的可膨胀弹性体层。

[0011] 感测杆可以布置在延长体中,并且可以含有至少一个附加光纤。所述附加光纤可以基本上是直的、螺旋形的或正弦曲线形的。

[0012] 所述系统可以进一步包括在所述感测杆与所述延长体之间的可膨胀弹性体层。作为补充或作为替代,所述系统可以包括在所述体外部并覆盖所述光纤的第一铠装层。所述第一铠装层可以具有椭圆形外部横截面。所述延长体可以具有非圆形横截面,所述非圆形横截面具有长半轴,并且所述第一铠装层可以被配置为使得其长半轴垂直于所述延长体的长半轴。

[0013] 所述系统可以包括缠绕在所述第一铠装层外部的第二光纤。所述第一光纤和所述第二光纤可以界定不同的缠绕角。所述系统可以包括在所述第一铠装层外部并覆盖所述第二光纤的第二铠装层。所述铠装层的至少一个优选情况下包括聚酰胺或具有类似弹性阻抗的材料。

[0014] 分布式光纤声感测系统的其他实施例包括具有包括至少一个基本上平的表面的外表面的延长体、在所述体中容纳的第一光纤以及光连接到所述光纤用于把光信号发射到所述光纤中和接收来自所述光纤的反向散射的信号分量的光发射和接收装置。所述体可以具有多边形或三角形横截面。所述第一光纤可以是正弦曲线形的并且所述系统可以包括正弦曲线形的第二光纤,界定的平面垂直于所述第一光纤的平面。所述系统可以包括第三光纤,它可以是基本上直的或螺旋形的,并且可以关于垂直于所述体的轴的平面界定缠绕角。所述缠绕角可以小于 45° 或小于 30° 。

[0015] 在优选实施例中,所述基本上平的表面可以具有与所述外表面的其余部分的外貌不同的视觉外貌。

[0016] 本发明的更多其他实施例包括分布式光纤声感测系统,包括内管、围绕所述内管的可膨胀弹性体层、围绕所述弹性体层并界定其中环形空间的可膨胀弹性体管以及在所述弹性体管中布置的至少一个传感器垫或条,每个传感器垫都包括硬衬以及附着其上或嵌入其中的至少一个纵向光纤。所述系统可以包括在所述弹性体管中布置的至少四个传感器垫。在所述内管中可以容纳至少一个光纤。

[0017] 所述内管可以包括钢管和所述弹性体层,并且所述弹性体管可以被配置为使得当其膨胀时使所述环形空间消失。所述弹性体层进一步被配置为使得当其不受约束地膨胀时,其直径超过选择为对应于地下井孔的内径的预定值。所述弹性体管可以进一步被配置为使得当其在井孔中膨胀时,使所述传感器垫被布置在所述弹性体管的外表面。在每个传感器垫中的所述纵向光纤可以是正弦曲线形的,并且/或者每个传感器垫都可以包括一条正弦曲线形的纵向光纤和一条直的纵向光纤。所述光纤的至少一个可以包含布拉格光栅。

[0018] 在地表使用的分布式光纤声感测系统的更多其他实施例包括容纳至少一个光纤的内管、围绕所述管的保护材料体,所述保护材料体具有包括至少一个基本上平的表面的外表面,以及在所述体中布置的至少一个传感器垫或条,所述传感器垫包括硬衬以及附着其上或嵌入其中的至少一个纵向光纤。所述至少一个传感器垫还可以包括附着其上或嵌入其中的至少一个正弦曲线形光纤。所述系统可以包括至少两个传感器垫,每个都包括附着其上或嵌入其中的至少一个正弦曲线形光纤,并且所述两个传感器垫可以相互垂直。至少一个传感器垫可以与所述平的表面相邻。

[0019] 所述内管还可以容纳至少一个输电线。所述系统可以进一步包括被配置为覆在所述体的上面并且包括至少一个臂的锚,所述臂用于把所述锚和体锚定到地表。所述臂可以是直的也可以是弯曲的。

[0020] 正如本文所用,短语“沿着光纤传播”和“垂直于光纤传播”用于指声信号时,应当理解为是指沿着其传播方向极化的P波。

附图说明

[0021] 为了更详细地理解本发明,请参考附图,其中:

[0022] 图1是根据本发明的一个实施例构建的线缆的示意侧面图;

[0023] 图2是图1中实施例的示意端面图;

[0024] 图3是根据本发明另一个实施例构建的线缆的示意横截面图;

[0025] 图4是根据本发明的光学感测系统在井孔中的示意轴向横截面图;

[0026] 图5是图3中系统在可膨胀层膨胀后的另一幅图;

[0027] 图6是图4中系统的另一幅图,显示了系统中感测杆的布置;

[0028] 图7是图5中系统在第二层可膨胀层膨胀后的另一幅图;

[0029] 图8是根据另一个实施例的光学感测系统的示意展示;

[0030] 图9是根据另一个实施例的光学感测系统的示意展示;

[0031] 图10是图9中系统的示意端面图;

[0032] 图11是根据另一个实施例的光学感测系统的轴向横截面;

[0033] 图12是沿着图11中线段12-12获取的横截面;

[0034] 图13是图11中系统在井孔中的示意轴向横截面图;

[0035] 图14显示了两层可膨胀层膨胀后图13的系统;

[0036] 图15是本发明实施例的示意轴向横截面,被配置为在地表上使用;

[0037] 图16和图17是与本发明一起使用的支持器件的替代实施例。

具体实施方式

[0038] 为改进的横向灵敏度具有螺旋缠绕光纤的 DAS 线缆

[0039] 本发明的一个方面包括DAS光纤,螺旋缠绕在线缆或心轴周围,以便提供改进的横向灵敏度。螺旋缠绕光纤将总是包括光纤与入射波形成相对小角度而不取决于入射角的若干部分。假设线缆和光纤理想地耦合到地层,人们便能够通过把波应变沿着光纤轴投影来确定光纤角灵敏度S。这给出:

$$[0040] \quad S = \cos^2 \theta \sin^2 \alpha + \frac{\sin^2 \theta \cos^2 \alpha}{2}$$

[0041] 其中 α 是缠绕角,即光纤与垂直于线缆或心轴的平面之间的夹角,而 θ 是关于线缆或心轴的入射角。

[0042] 图1和图2分别是光感测系统10的示意侧面图和端面图,包括光纤11,以缠绕角 α 围绕着具有轴14的线缆12螺旋缠绕。虽然本文没有详细地介绍,但是应当理解,以下公开的光感测系统与被连接到光纤用于将光信号发射到光纤中以及接收来自光纤的所发射信号的反向散射分量的光发射和接收装置一起使用。

[0043] 直光纤的情况对应于缠绕角 $\alpha=90^\circ$ 。如果缠绕角是大约 $\alpha=35^\circ$,那么光纤灵敏度将不依赖于角度 θ ,而将等于 $S=1/3$ 。可以想见,螺旋缠绕光纤不会改变系统的整体灵敏度,但是在三个空间方向上重新分配灵敏度。

[0044] 以上灵敏度S是指单位光纤长度。光纤的长度 L_f 等于 $L_f=L_c/\sin\alpha$,其中 L_c 是光纤沿着其缠绕的线缆的长度。每单位线缆长度的螺旋缠绕光纤的灵敏度因而比以上S值高 $(1/\sin\alpha)$ 倍。因此,通过使用螺旋缠绕光纤,有可能不仅提高系统的横向灵敏度,而且通过在相同长度中与直光纤相比包装更长的光纤而提高其整体灵敏度。作为替代,通过使用缠绕的光纤和缩短感测通道的线缆长度,能够提高空间分辨率同时保持与直光纤相同的灵敏度。

[0045] 本文介绍的概念能够使用具有不同缠绕角的一条、两条或三条光纤实施。感测系统的优选实施例包括以 90° 缠绕角即平行于线缆轴的至少一个光纤,以及具有小于 45° 缠绕角的一条光纤。更加优选的实施例包括缠绕角在 45° 与 90° 之间的第三条光纤。带有不同缠绕角的光纤具有不同的方向灵敏度,并且通过对比其响应人们能够确定波传播关于光纤轴的方向。

[0046] 另外,多条光纤能够以不同半径缠绕在单条线缆内部。作为替代,能够使用多条线缆,每条都具有单条螺旋缠绕的光纤。更进一步,虽然按照在圆柱体周围缠绕的光纤公开了某些实施例,但是应当理解,光纤不需要实际上包围所述体而是可以转而改变或反转方向,以便界定具有预定缠绕角的光纤分段,交替以弯曲或反转分段。

[0047] 因此,正如图3所示,特定的优选实施例包括内衬15、第一铠装层16和第二铠装层17。多条(三条,正如展示)光纤18缠绕着衬里15并由铠装层16覆盖。光纤18优选情况下以关于与线缆轴垂直的平面的第一缠绕角缠绕。同样,多条(又是三条,正如展示)光纤19优选情况下缠绕着衬里16并由铠装层17覆盖。光纤19优选情况下以第二缠绕角缠绕,它与光纤18的第一缠绕角不同。在一个优选实施例中,光纤18或19之一是直的,也就是具有 90° 的缠绕角而另一条以小缠绕角缠绕,即关于与线缆轴垂直的平面的小于 45° 的缠绕角。使用不同的缠绕角提供了不同的方向灵敏度,通过对比它们的响应,有可能从中确定波传播关于光纤轴的方向。应当理解,也能够包括具有其他缠绕角的其他光纤。

[0048] 仅仅举例而言,光感测系统可以包括第一条直的光纤、以关于与线缆轴垂直的平面的 30° 的缠绕角的第二条光纤以及缠绕角在 30° 与 90° 之间的第三条光纤。以 30° 缠绕的光纤给出了每1m轴长度正好为2m的光纤,所以第三条光纤允许对来自其他两条光纤的数据进行验证。

[0049] 在诸如图3的实施例中,铠装层可以由聚酰胺聚合体如尼龙12构成,或者其他适合的材料,其弹性阻抗与地层的阻抗没有显著的不同。光纤18和19可以是任何适合的紧包缓冲层的光纤,比如本领域公知的产品。衬里15的内部可以是空的也可以填充着流体,比如地下水、地层水、凝胶或其他适合的流体。

[0050] 在线缆与地层之间非理想耦合的情况下,光纤灵敏度具有以下形式:

$$[0051] \quad S = \cos^2\theta \sin^2\alpha + (A + B \sin^2\theta) \cos^2\alpha$$

[0052] 其中A和B是常数,其值取决于线缆和地层的材料性质。

[0053] 线缆材料的选择取决于DAS系统的实际目的。例如,杨氏模量为几GPa的相对硬的线缆提供了材料与地层的低反差,它对应于上面等式中 $A=0$ 和 $B=0.5$ 。这样的线缆比更柔软的线缆具有更好的方向灵敏度。在井孔环境中或者线缆被深埋在地下时使用这样的线缆可能更优越。在软线缆情况下,A的值可以比1大得多。来自这样的线缆的信号对波传播角度将不太依赖,但是这样的线缆将具有更高的整体灵敏度。对于接近地表布设的沟渠线缆这是重要的,此时入射波的压力非常低。

[0054] 量A和B取决于线缆构造和周围介质的声学性质(V_p 、 V_s 、密度)。在近地表处,这些介质性质由于季节改变、下雨等随着时间而变化。这些变化产生了误导的延时影响,趋于掩盖来自油气藏过程的真实延时信号。克服这个问题的一种方式是从头开始测量沿着线缆随入射角而变的地震信号,并且确定量A和B。这样的方式一般来说可能不切实际,但是在延时应用中可能切实可行,即仅仅确定A和B的变化,即,会对提高延时处理的保真度有用的信息。

[0055] 不过,在圆形柱面周围缠绕的光纤在来自不同方位角方向垂直于线缆轴传播的波之间不进行区分。通过使用允许检测入射波的全部三个分量的非圆形如椭圆缠绕形态的螺旋,可以增加方位角的灵敏度。

[0056] 带有内置线缆轨迹可视化(RTCM)功能的DAS线缆

[0057] 在某些实施例中,线缆可能包括分布式应变感测(DSS)光纤,类似于在实时压缩监视(RTCM)系统中使用的光纤。在RTC系统中,使用的光纤包含在管周围缠绕的数千个光纤布拉格光栅(FBG)。因为光纤是螺旋缠绕的,所以应变响应能够被分解成不同变形模式(弯曲、椭圆化、轴向应变),并且可以使用分解的输出产生管形的三维图像。

[0058] 同样的原理能够应用到在本发明中公开的线缆,以便从线缆应变测量井孔轨迹,在某些地震应用中了解该轨迹很重要。在这个实施例中,包含FBG的附加光纤能够嵌入到线缆中或者用于DAS的光纤之一能够包含其光栅波长与DAS系统的探测波长有足够差异的若干FBG。RTC探测单元在安装之后/期间将记录线缆上的应变以测量线缆形状和推断井孔的轨迹(方位角、深度等)。根据井孔轨迹,能够在空间中得出DAS通道相对于地表的地震源和地层的位置。

[0059] 此外,这种线缆可以用作现场地质力学的永久监视器。通过监视线缆形状随时间的变化,有可能测量由油气生产所导致的地表沉降量。这种信息与来自DAS的地震数据结合

时,能够改进对生产现场的油气藏动力学和岩石力学的理解。

[0060] 允许低噪声记录和可能的地震源的部署方法

[0061] 对于地表地震应用,加入了本发明原理的光感测线缆能够部署在地表或海床中的一条或多条沟渠中,或者在地下或海底压实地层中的小直径井孔即“数据孔”内部。后者的部署模式趋于以更高频率内容提供更高质量的数据,并且允许虚拟源的地震监视。它还降低了感测系统的环境脚印。

[0062] 使用低成本钻井技术,比如水平方向钻井(HDD)或水力喷射,能够钻取适合的小直径井孔。HDD和水力喷射钻井往往被用于安装基础设施,比如电信、电力线缆、煤气主干等。水平或偏离井孔可以推进在地表下几十或几百米并且可以是几百甚至几千米长。

[0063] 一旦已经钻取了数据孔,有几种方式安装光感测系统。一种方式是把包含光感测系统的管推入井孔中,从而使用钻井软管或硬管(如果它仍然在井孔中)作为把感测管放置在井孔内部的导引。在感测管就位后,钻井软管或硬管就可以从井孔中撤走。

[0064] 在更多其他实施例(未显示)中,光纤被集成在由钻井系统使用的高压软管或硬管的壁中。在这些实施例中,一旦已经钻取了数据孔,加入了感测系统的压力软管/硬管便被遗留在井孔中。

[0065] 在其他实施例中,数据孔可以包括地表出口。在这种情况下,从井孔起出钻柱时,可以把感测系统经由地表出口拖入井孔。

[0066] 在某些实施例中,包含光感测系统10的管可以具有外涂层,包括可膨胀弹性体20,正如图4所示。如图5展示,弹性体与地层水或其他预选的液体接触时膨胀,从而把感测管固定到井孔的内壁22并且确保与地层的良好力学和声学耦合。可膨胀弹性体在本领域公知。作为替代,感测管与地层之间的环形空间可以用流体、凝胶或水泥填充。

[0067] 现在参考图6,在已经把感测管放置就位后,可以在感测管10的内部安装分离的感测杆30。感测杆30可以包含多条直的、正弦曲线形的和/或缠绕的光纤32。如果光纤32是缠绕的(未显示),优选情况下具有大的斜度,即小缠绕角,如小于 45° 和更优选情况下小于 30° 。如果期望,杆30可以居中并利用一层可膨胀的橡胶、流体、凝胶、水泥等固定在感测管的内部,正如图7中在34所示。

[0068] 由于直的线缆仅仅在(沿着线缆)一个方向上敏感,它允许把在缠绕光纤上记录的信号简单地分割为沿着线缆和线缆横向分量,假设两条光纤(缠绕的和直的)都由同一材料制成并嵌入在同一介质中。如果它们属于不同材料或在线缆的不同部分(中心对外围),它们对外部地层应变的整体灵敏度可能不同——即在上面等式中它们可能具有不同的A和B系数。在这种情况下,直的线缆仍然可以有助于校准或者约束缠绕光纤信号的分割,但是校准将不是通过直接减去沿着线缆分量。

[0069] 线缆配置

[0070] 为了能够把信号分解为三个正交分量,必须使用至少三条光纤,其组合提供了在全部三个方向上的灵敏度。现在参考图8,具有三条光纤的光感测系统的替代构建包括具有三角形横截面的线缆40以及其中的至少两条正交的正弦曲线形光纤42、44和直光纤41。

[0071] 三角形横截面的优点是该线缆具有平的底面43,它能够关于如管的内壁或外壁固定地定向,它又方便了方位角感测。应当理解,虽然线缆40被显示为具有三角形横截面,但

是任何多边形都将适合。此外,如果不期望平的底面,线缆横截面可以是圆形、椭圆形、卵形或任何其他形状。为了方便具有已知朝向的线缆的安装,底面43或者其他表面之一的全部或一部分可以进行彩色编码或以其他方式在视觉上标注。没有这样的外部指标时,必须通过初至分析进行线缆方位角的确定。

[0072] 仍然参考图8,光纤42将对在主测线(x)和垂直(z)方向上具有分量的信号敏感。同样,光纤43将在主测线(x)和横测线(y)方向上敏感。光纤41具有主测线(x)方向上的灵敏度。假设这三条光纤一致地耦合到地层。所以,光纤41、42和44的响应组合能够把信号分解到x、y和z方向。在其他实施例(未显示)中,正弦曲线形光纤可以沿着具有多边形横截面的体的一个、两个、三个或更多表面部署。因此例如,可以部署三条正弦曲线形光纤,每条都对着具有三角形横截面的体的一面。来自这三条光纤的信号也能够被分解为三个正交集。这样的线缆可以易于制造。

[0073] 在另一个变种中,图9和图10所示的实施例包括线缆46,具有半圆形横截面和平的底面47。在线缆46中,一条光纤48以小的缠绕角螺旋缠绕,而第二条光纤49是正弦曲线形的。光纤48将在主测线(x)、横测线(y)和垂直(z)方向上敏感。

[0074] 在任何一种情况下,线缆中都能够包括附加的直光纤41(在图8和图9中以剖视图显示),正如以上讨论。直光纤41将对主测线方向(x)敏感。通过使用水平、垂直和直光纤的组合,优选情况下以相同条件记录,就有可能产生3C数据。

[0075] 多分量线缆的部署

[0076] 现在参考图11和图12,根据优选实施例的多分量线缆50包括内管51、围绕内管51的可扩展层52和围绕层52的可扩展管60。内管51优选情况下是基本上刚性的并且可以包括钢、聚酰胺等。内管51可以填充凝胶,比如本领域公知,也可以使用聚酰胺等制成实心的。层52优选情况下由遇水或油可膨胀的弹性体制成,比如本领域公知。管60优选情况下由可变形材料比如弹性体构成。

[0077] 延长的传感器垫或条62优选情况下在线缆的整个长度延伸。制作此管60的材料优选情况下是可弯曲的弹性体,所以使它能够对下面的可膨胀层52的膨胀进行响应。在优选实施例中,这些垫由尼龙11制作,优选情况下也用于封装光纤和液压控制线。尼龙11具有超过每平方英寸100吨的抗破碎性和极好的抗磨损性。在某些实施例中,传感器垫62界定多分量线缆50外表面的全部或大部分,使得管60没有或基本上没有暴露于井壁。在这些实施例中,多分量线缆50可以具有差不多正方形横截面。应当理解,在存在的各种各样的配置中,有可能把传感器垫和/或附加保护层涂布到管60的外表面或附近。

[0078] 管60的目的是在井孔中运行时保护所期望的感测光纤(以下介绍)并保持在适当位置。优选情况下此材料提供了机械支撑但是柔软到足以在安装期间(以下介绍)像气球一样被推向井壁。

[0079] 在线缆的安装期间,52与60之间的环形空间优选情况下是空的和密封的,或者用对可膨胀成分将不起作用的流填充体。

[0080] 在管51中容纳了一条或多条直的或基本上直的光纤54而在可膨胀管60内提供了一条或多条正弦曲线形光纤64。在优选实施例中,每条正弦曲线形光纤64都被嵌入或安装在延长的传感器垫或条62上,它具有相对高的杨氏模量,如500到5000MPa。在某些实施例中,可选的直光纤57(仅仅在图11中显示)与每条正弦曲线形光纤64被包括在一个或多个传

传感器垫62中或在其上。

[0081] 在某些优选实施例中,正如展示,有四个传感器垫62在管60周围按方位角均匀地隔开。这个实施例提供的两组光纤在两个垂直平面上敏感。例如当传感器垫62压向成形不佳井孔的不均匀井壁时万一扭曲,对每个朝向有两组光纤便提供了有用的冗余。作为选择,在一个垫中的正弦曲线形光纤64可以具有与对面垫不同的周期,类似于不同的“缠绕角”。因此,以上讨论的多缠绕角概念可以连同这种线缆设计使用。

[0082] 正弦曲线形光纤64和可选的直光纤57可以在挤压工艺中嵌入在传感器垫62中。传感器垫62可以包括任何适合的挤压材料,比如本领域公知的,包括聚酰胺聚合体、金属或陶瓷。

[0083] 现在转向图13和图14,多分量线缆50被显示为在地下70中已经钻进地或以其他方式提供的井孔即数据孔72中。多分量线缆50可以由任何适当装置推进或拉入到数据孔中。正如以上陈述,内管51与管60之间的环形空间在安装期间被保持密封以便防止对可膨胀材料起作用。

[0084] 一旦多分量线缆50就位,便能够通过经由层52与管60之间环形空间泵入适当流体(如水)而使层52的可膨胀材料膨胀。正如图14所示,膨胀完成时,层52和管60将占据内管51与井壁之间的整个空间。内管51将在井孔中基本上居中,而正弦曲线形光纤64将被放置在井壁附近。在优选实施例中,层52、管60和传感器垫62的配置使得膨胀完成时,传感器垫62被压向数据孔72的内壁。

[0085] 多分量线缆50提供了与地层具有良好声学耦合的3C操作能力。此外,由于能够用于小直径的数据孔中,所以多分量线缆50允许相对低成本的部署并极大减少了HSE影响区域。

[0086] 虽然图13和图14关于数据孔介绍了多分量线缆50,但是应当理解,线缆50对于地表应用同样有用。仅仅举例而言,图16所示的实施例包括被配置为用于地表的光感测系统80。如同多分量线缆50,光感测系统80包括内管51,它容纳一条或多条光纤54。此外,管51可以容纳一条或多条通讯或电力传输线55。作为替代,光纤和电线可以在分开的管(未显示)中。围绕管51的是延长体82,具有至少一个平的底面83和可以为圆形的顶表面84。同样如同多分量线缆50,光感测系统80包括至少一个而优选情况下为多个的传感器垫62,每个传感器垫都包括至少一个正弦曲线形光纤64。垫62优选情况下被安排为使得光纤64对与系统80的轴垂直的信号敏感。正如图15展示的实施例中,一个垫优选情况下被放置在底面83附近。在其他优选实施例中,至少一个垫基本上是垂直的。

[0087] 体82优选情况下由杨氏模量与传感器垫62的杨氏模量类似或更高的材料构建,或者与光纤和井下液压控制线所用的封装材料类似的材料构建,正如本领域公知,以便提供抗破碎性和抗磨损性。

[0088] 在优选实施例中,系统80在地表上使用以监视穿过地下的地震信号。因此,它可以连同比如图17所示的地锚90使用。优选情况下锚90包括臂92,适合的紧固件可以用于通过臂92锚定本系统。同样,如果期望把系统80固定到弯曲的表面,可以使臂92弯曲如图18所示。系统80可以连同锚和/或粘合剂或者其他固定装置用于井下或管道感测。

[0089] 除了以上陈述的多种应用之外,本文介绍的光感测系统也可以用作拖缆或海底部署线缆(OBC)。预计水下应用的DAS系统工作将优于陆上沟渠中线缆,因为在海底不存在面

波以及因为随着时间过去海底声学介质是稳定的并不受季节变化影响。

[0090] 本文介绍的实施例优选情况下能够单独使用也能够彼此以及/或者与其他光纤概念结合使用。本文介绍的方法和装置可以用于测量声信号尤其是横向声波的到达时间和波形。到达时间和波形给出了关于地层的信息并且能够用在多种地震技术中。

[0091] 在更多其他应用中,本文介绍的方法和装置可以用于检测微地震,而使用本发明收集的数据,包括横向波信号,能够在微地震定位中使用。在这些实施例中,数据被用于产生微地震的坐标。在更多其他应用中,本系统区别地检测横向波和轴向波的能力能够在多种DAS应用中使用,包括但不限于入侵者检测、交通、管道或其他环境监视,以及在井孔中多种条件的监视,包括流体流入。

[0092] 虽然已经公开和介绍了若干优选实施例,但是应当理解,可以对其作出多种修改而不脱离以下权利要求书阐述的本发明的范围。

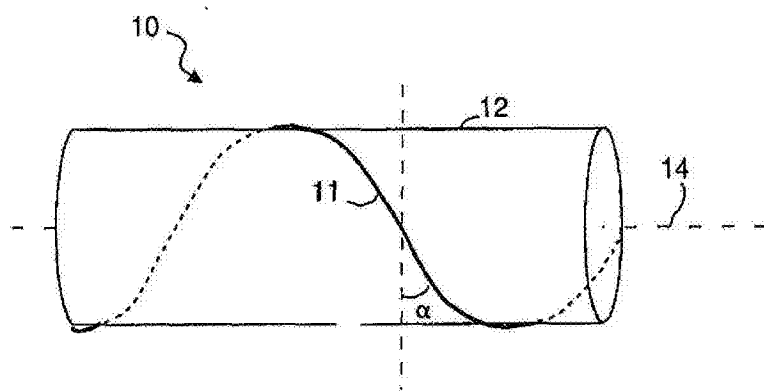


图1

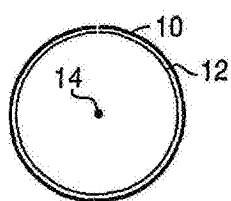


图2

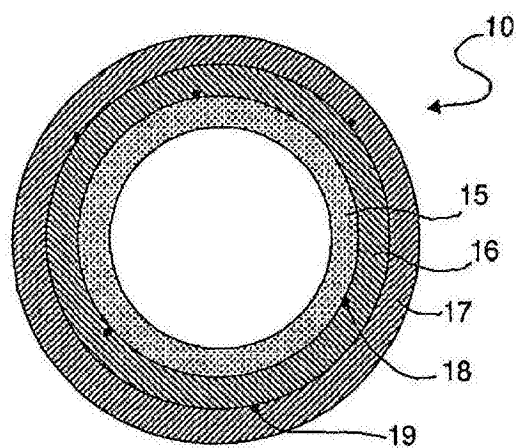


图3

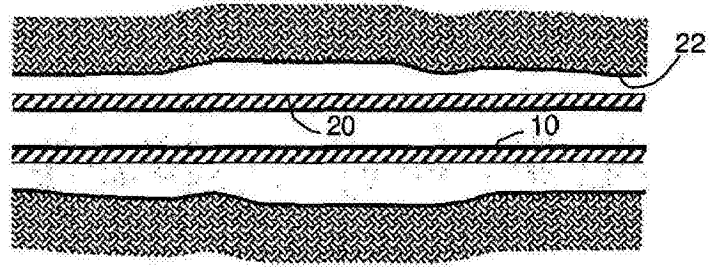


图4

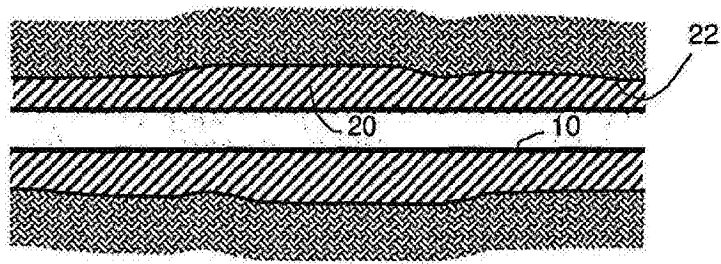


图5

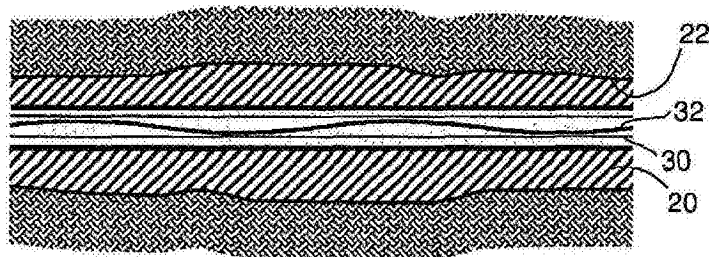


图6

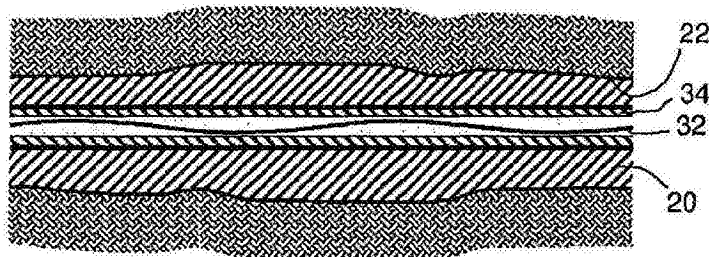


图7

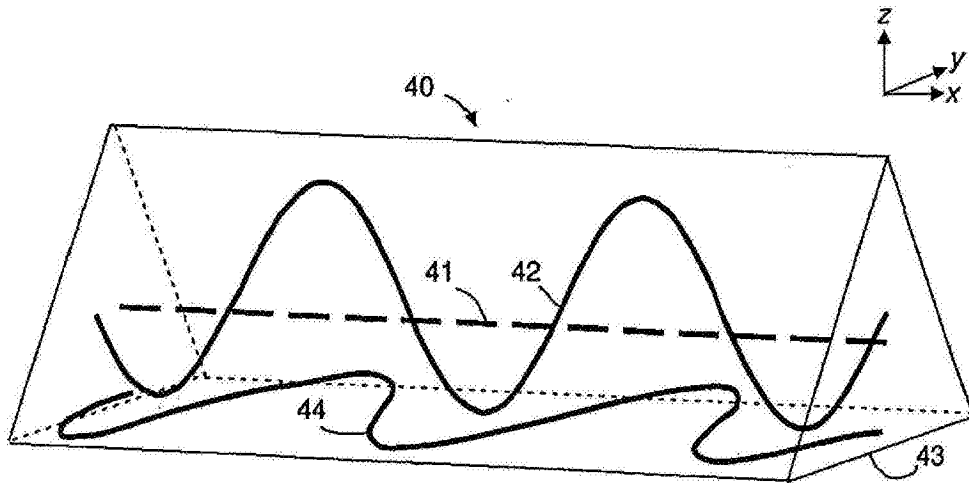


图8

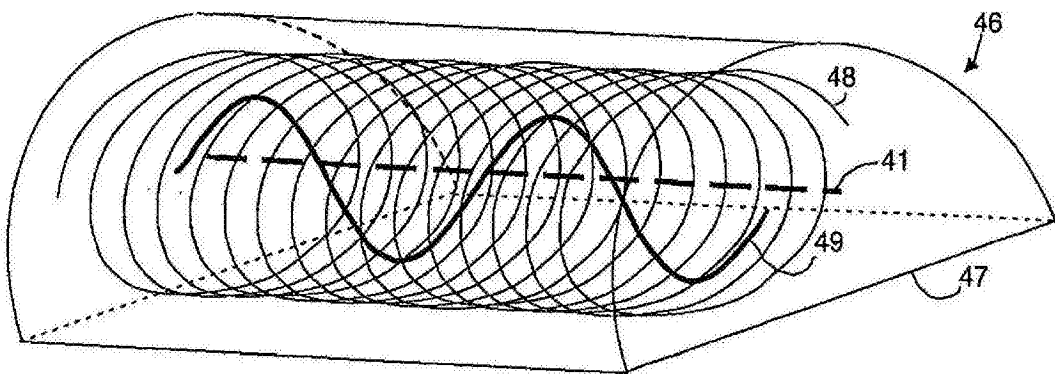


图9

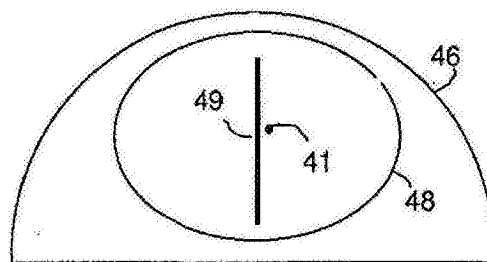


图10

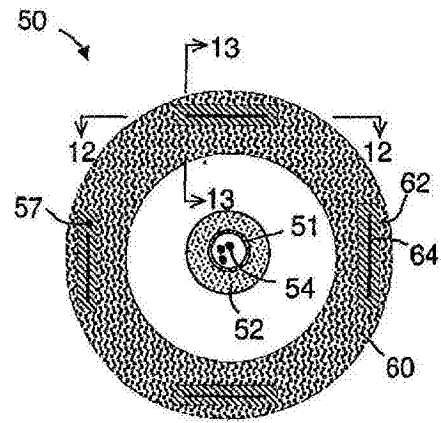


图11

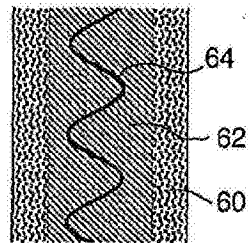


图12

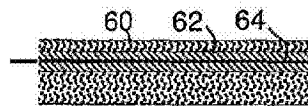


图13

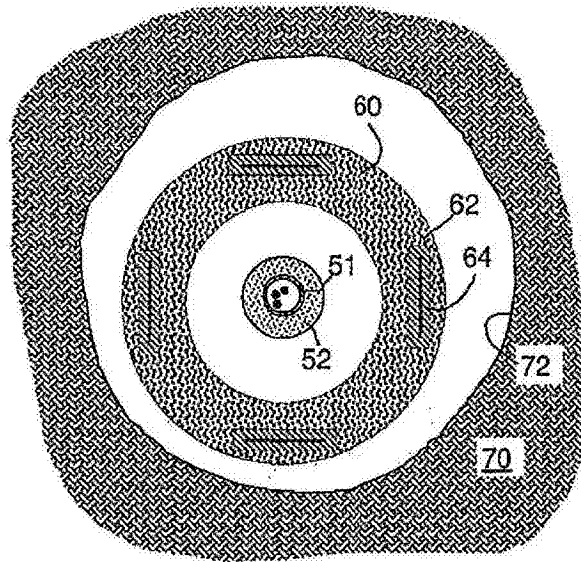


图14

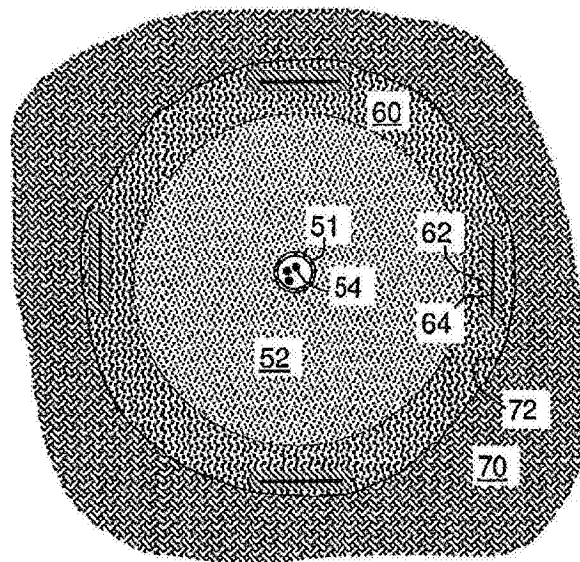


图15

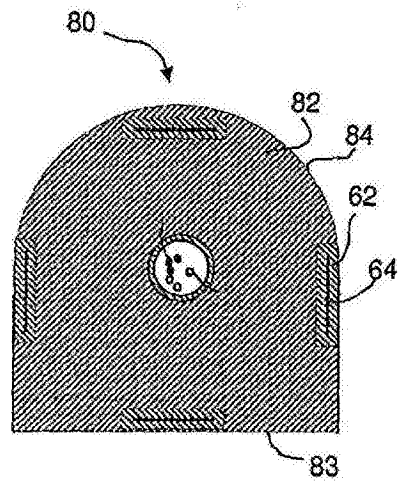


图16

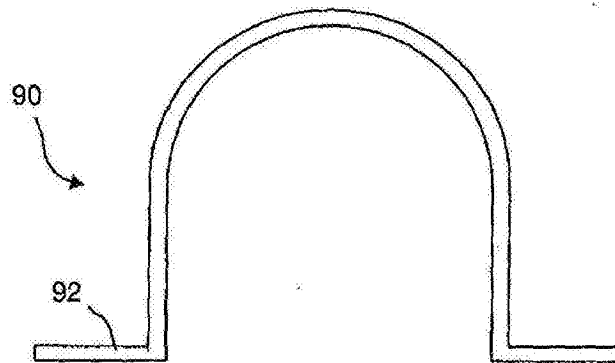


图17

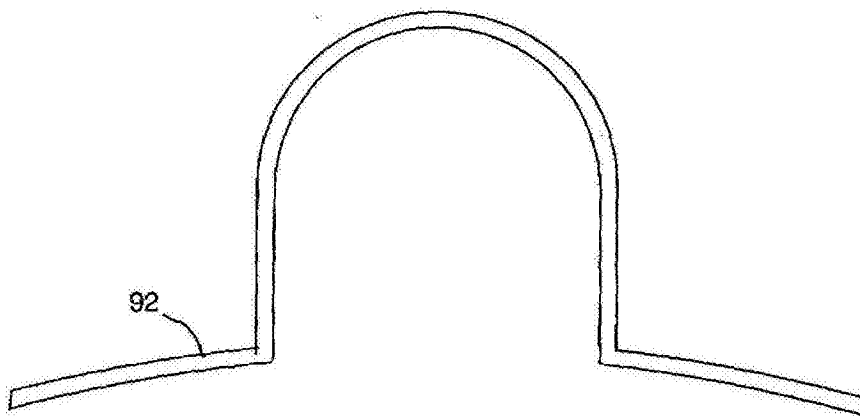


图18