



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105452805 B

(45)授权公告日 2017.12.15

(21)申请号 201480024296.9

(22)申请日 2014.05.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105452805 A

(43)申请公布日 2016.03.30

(30)优先权数据
2,815,199 2013.05.02 CA

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.10.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/CA2014/050414 2014.05.01

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/176698 EN 2014.11.06

(73)专利权人 059312 N.B.有限公司
地址 加拿大新不伦瑞克省

(72)发明人 李·艾伦·丹尼诗

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 瞿卫军 张晶

(51)Int.Cl.
G01C 9/00(2006.01)
G01C 15/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 1239884 C, 2006.02.01, 全文.
GB 2023293 A, 1979.12.28, 全文.
US 4542647 A, 1985.09.24, 全文.
US 7296363 B2, 2007.11.20, 全文.

审查员 周峰

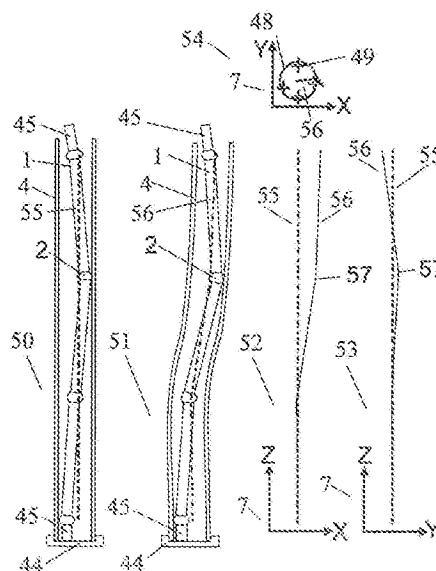
权利要求书3页 说明书27页 附图22页

(54)发明名称

周期性传感器阵列

(57)摘要

在重力场内的表面内并周期性地包围中轴的非直传感器阵列。所述传感器阵列由保持重力倾斜传感器的刚性体组成,所述刚性体由柔性接头连接。所述接头的柔韧性被约束至两个自由度。在至少二维中使用所述倾斜传感器数据和所述接头的几何约束测量路径的形状、表面和中轴。周期性几何形状准许同时测量在部署从轴向垂直变化为轴向水平中的横向变形和轴向变形,以及所述阵列与周围表面的改善的配合。使用的领域包括土壤和土木结构的岩土测量。



1. 一种在重力场内的非直传感器阵列,所述非直传感器阵列包括:
具有已知尺寸的刚性体,所述刚性体通过具有已知尺寸的接头分隔开,
所述接头具有柔韧性,所述柔韧性具有选自(1)无扭曲的两个弯曲以及(2)一个弯曲和一个扭曲中的两个自由度,
所述自由度中的每个在所述接头长度上是单调且恒定的,
所述刚性体和接头定义由在第一顶点相交的直线段组成传感器路径,
当所述阵列为直的时,所述直线段的长度等于在相邻接头之间的轴向中心至中心距离,
所述直线段在倾斜时与所述刚性体的倾斜可操作地相关联,
所述传感器路径在具有至少二维的表面内,
所述传感器路径周期性地包围具有至少二维的中轴,
沿所述中轴的第二顶点,所述第二顶点与所述第一顶点可操作地相关联以表示沿所述中轴的所述传感器路径的第一顶点的位置,
所述传感器路径沿所述中轴是可延伸且可压缩的而不改变所述传感器路径的路径长度,
在沿所述传感器路径的一定间隔处选择的刚性体组,以表示所述传感器路径的形状,
所述选择的刚性体组具有重力传感器,所述重力传感器用于在所述重力场中对每个选择的刚性体测量所述选择的刚性体的至少一个自由度的倾斜,
所述选择的刚性体中的至少一个在世界坐标系中具有已知位置和取向,
所述阵列适于测量所述表面的至少二维形状、所述中轴的至少二维形状,以及在所述重力场内来自每个选择的刚性体的所述取向的在所述世界坐标系中沿所述中轴的所述第二顶点的位置,
其中所述传感器阵列形成周期性围绕在圆柱形表面内的所述中轴的非直路径,所述刚性体通过具有柔韧性的所述接头分离。
2. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述路径大致为螺旋线,所述螺旋线在应用轴向压缩时随着其封闭而横向扩展以紧密配合所述圆柱形表面,其中所述螺旋线被轴向加载,并且其中保持所述传感器阵列与所述圆柱形表面之间的紧密接触。
3. 根据权利要求2所述的传感器阵列,其中所述螺旋线被配置为以下中的一种或多种:在抗扭曲的管的总体包封内的所述刚性体的段;在短的柔性接头中的所述刚性体的段,所述接头足够短以阻止形成S形曲线;在沿段的长度抗扭曲的总体包封内的所述刚性体的段,不管包含在内的所述阵列的机械性质如何。
4. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述路径为在所述表面内的波状或Z字形,所述表面大致为垂直的、非水平、平面的或弯曲的。
5. 根据权利要求1至权利要求4中任一项所述的传感器阵列,其中所述选择的刚性体组包括全部所述刚性体。
6. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述选择的刚性体组具有表示所述传感器路径的倾斜,并且任何剩余刚性体的倾斜对于那些相邻于所述剩余刚性体选择的刚性体是多余的。
7. 根据权利要求1至权利要求3中任一项所述的传感器阵列,其中附接到平面挠曲带状

物的所述刚性体能够在相邻刚性体之间以一个自由度弯曲并以一个自由度扭曲,并且不能够在所述带状物的所述平面内弯曲,其中所述带状物形成在刚性体之间的所述接头。

8. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列的所述接头固有地抗扭曲。

9. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列在能够剪切和压缩的介质中的圆柱形表面内形成螺旋线,所述圆柱形表面封闭所述中轴,并且所述中轴表示所述介质的形状,因为所述介质通过剪切而横向于所述中轴变形并且通过压缩而轴向于所述中轴变形。

10. 根据权利要求9所述的传感器阵列,其中所述螺旋线的所述间隔是大的,其中所述传感器阵列与所述圆柱形表面之间的紧密接触被最大化。

11. 根据权利要求9或权利要求10中任一项所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列的所述螺旋线在所述介质中的井孔或隧道中,并且所述阵列与沿所述阵列的长度的所述井孔或隧道的内表面重复接触。

12. 根据权利要求1所述的传感器阵列,进一步包括容纳管以容纳所述阵列,所述容纳管添加弯曲刚度,所述添加的刚度加强在套管或无套管井孔内的可预测形状。

13. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列在能够剪切和压缩的介质中的大致平面的表面中,所述表面的所述平面大致为非水平的,并且所述中轴表示所述表面的所述形状,因为所述表面通过剪切而横向于所述轴变形并且通过压缩而轴向于所述轴变形。

14. 根据权利要求12所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列遵循在所述表面内的周期性路径,所述表面大致为平面,所述传感器路径包括越过所述中轴的部分,并且所述部分由一个以上的非水平刚性体组成,所述刚性体提供在所述刚性体平面之外的所述形状的柔韧性。

15. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述刚性体的一部分是非垂直的,并且通过来自非水平刚性体的三维倾斜数据和来自非垂直刚性体的垂直平面倾斜数据以及对于其中数据可用的所述路径的所述形状的空间傅里叶分量的波长的组合来确定所述中轴的所述路径的横向分量。

16. 根据权利要求13所述的传感器阵列,其中所述大致平面的形状为具有至少一个自由度的曲率的表面。

17. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中至少一个接头具有未知量的扭曲,并且所述扭曲是基于具有至少二维的所述表面的几何约束、所述刚性体的所述倾斜和对于其中已知扭曲的所述接头而重新计算的。

18. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述中轴由所述路径的至少一个空间频率分量来确定。

19. 根据权利要求18所述的传感器阵列,其中所述至少一个空间频率分量通过傅里叶变换来确定。

20. 根据权利要求1所述的传感器阵列,进一步与细长容纳表面在大致接近所述第一顶点的接触点处接触,其中调整所述表面的横向尺寸以实现沿所述表面的接触点和沿所述中轴的所述第二顶点的期望空间分布。

21. 根据权利要求20所述的传感器阵列,其中所述传感器阵列为螺旋形状,所述表面为

圆柱,并且调整所述圆柱的直径以实现沿所述中轴的接触点的期望空间分布。

22. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述阵列包括安装在沟槽状倾斜仪套管中的就地倾斜仪,其中所述沟槽抗扭曲,并且所述套管具有预先形成的弯曲。

23. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器路径以螺旋线的形状周期性地包围第一中轴,并且所述螺旋线以容纳所述螺旋线的圆柱的中心的形状而周期性地包围第二中轴。

24. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器路径周期性地包围在大致圆柱形表面内为弧形的中轴,条带表面被定义在所述大致圆柱形表面内的包含所述传感器路径周期的极值的两个弧形之间,以用于表示接近所述传感器路径的所述大致圆柱形表面的至少二维形状,因为所述传感器路径是在至少二维中变形。

25. 根据权利要求24所述的传感器阵列,其中仅测量并描绘二维的变形,并且其中所述中轴用于表示所述大致圆柱形表面的所述形状和变形。

26. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述阵列处于在所述表面内形成所述传感器路径的容纳管中,所述表面包含所述中轴,其中所述容纳管在所述表面内是弯曲的,以保持所述传感器阵列与所述容纳管之间的紧密接触。

27. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述传感器为加速计,并且所述加速计用于测量倾斜和振动。

28. 根据权利要求1所述的传感器阵列,其中所述接头具有任意的抗扭刚度,所述传感器阵列在非垂直圆柱形表面内形成螺旋线,并且所述螺旋线被轴向加载,以用于保持所述传感器阵列与所述圆柱形表面之间的紧密接触同时采集关于所述刚性体的位置和取向的2D数据的目的。

周期性传感器阵列

技术领域

[0001] 本发明涉及传感器技术。具体来讲,本发明涉及用于测量土壤和土木结构的形状以及随时间推移的形状改变的工具或设备。本发明表示在以下专利中描述的发明的改善:美国专利No.6,127,672,2000年10月3日授予Lee Danisch (Danisch'672);美国专利No.6,563,107,2003年5月13日授予Lee Danisch等人 (Danisch'107) 和美国专利No.7,296,363,2007年11月20日授予Lee Danisch等人 (Danisch'363"),以及在现有技术的倾斜仪技术上的改善。

[0002] 除其它之外,在岩土感测领域中,优选用于监测滑坡和施工工地的运动的应用。

背景技术

[0003] 在岩土工程领域中,被称为倾斜仪的仪器可用于测量在垂直或水平井孔中的倾斜,以用于基于一个或两个自由度倾斜、倾斜仪的长度和倾斜仪关于其长轴的已知取向来计算井孔路径的目的,所述长轴通过在用作井孔衬壁的倾斜仪套管中的直沟槽来控制。倾斜仪或者沿套管移动并相隔一定空间距离停止以用于读取倾斜(横动倾斜仪),或者多个倾斜仪搁置在套管中并相隔一定时间间隔读取(就地倾斜仪)。横动倾斜仪和就地倾斜仪在这里将被称为“常规倾斜仪”。

[0004] 在就地倾斜仪上的改善已取得专利权 (Danisch'363)。所述就地倾斜仪是由配有倾斜传感器的刚性管(刚性体)组成的校准测量仪器,所述管通过抗扭曲的内置可弯曲接头分隔开,其可在无沟槽状套管的情况下直接用以测量路径形状和沿路径的振动。Danisch'363在下文中将被称为“SAA”,或ShapeAccelArray。SAA不需要套管中有沟槽以执行每个刚性体关于SAA的长轴的方位角对齐。抗扭曲接头保持方位角对齐。在制造过程结束时,通过使用在每个主体中的X倾斜传感器和Y倾斜传感器,以当SAA大致水平时测量每个主体的“滚动”角,来校准在制造过程中未进行物理控制的每个刚性体的方位角。在制造过程中,校准传感器的全部偏移和增益,以便可以在宽的温度范围并在全部角度上进行精确的倾斜测量。

[0005] 常规倾斜仪和SAA均依赖于倾斜的重力测量。测量倾斜等于确定在参考系中由弹簧支撑的质量块随参考系的轴倾斜而发生作用的重力矢量的一部分。在一些情况下,常规倾斜仪使用液体填充的弯管代替弹簧和质量块。在其它情况下,使用伺服控制的弹簧和质量块。

[0006] 类似于倾斜仪的另一种现有技术测量系统为“巴塞特收敛系统”。所述系统为在横截面平面中全部形成环绕隧道圆周的弧的臂(金属杆)的阵列。所述臂之间的角度用杠杆式倾斜传感器来测量,所述杠杆提供对运动的放大和对横截面的改变形状的适形能力。角度测量是针对一个自由度的。收敛是隧道壁朝向或远离隧道中心的运动。通过布置在成型为圆弧并附接到隧道内壁(其也在横截面平面中)的管内的SAA进行类似测量。所述弧的角变形是在一个自由度上进行测量的,并用于测量如在巴塞特收敛系统中的平面收敛。

[0007] 常规倾斜仪和SAA两者的不足均包括:

[0008] • 系统不能沿所述路径轴向地压缩或扩展,或者不能测量邻近仪器的介质的轴向变形,诸如沉降土壤的压缩,或膨胀土壤的扩张。这是因为路径通常是直的。例如,环绕倾斜仪套管的土壤压缩将不改变套管的长度或仪器内部的倾斜。在一些情况下,可伸缩套管用于使得套管能够随土壤压缩变化而缩短或延长,但保持倾斜不变;这即是目的。测量套管或土壤的压缩需要其它使用仪器。甚至可安装在非常柔性的套管中但被安装为平直的SAA将不受环绕套管的土壤压缩或延伸的影响,除非在非常大的横向变形(例如,由于滑坡)的情况下,这可导致由于在一个轴向位置处的大的横向剪切而造成的从路径的一端向另一端的位移的垂直分量上的一些改变。但甚至当发生横向变形时,轴向变形(如果有的话)不能与横向变形区别开。只有在已知首先发生横向变形并且然后已知随后发生仅轴向压缩或延伸的时候,所述使用仪器将能够测量完全可信的总轴向分量。然而,这种顺序的仅横向和轴向运动的发生是未知的,并且是假设的。即使它们确实发生了,仍将不提供在沿路径的不同标高处的轴向变形的细节。巴塞特收敛系统允许沿其弯曲弧的一些扩展,但不测量该扩展,隧道通常也不改变它们的圆周;它们通常改变形状同时保持恒定的弧长度。

[0009] • 当路径接近水平时不能测量路径的横向变形。这是因为重力仪器关于重力矢量的任何旋转不改变重力对仪器的影响。

[0010] • 不能用一台仪器测量表面的形状。大多数现有技术倾斜仪和SAA仪器测量初始直线的变形。将需要多台直线仪器以定义表面的形状。

[0011] • 不能测量在沿着路径或接近路径的不同位置处的轴向变形的细节。这是在不测量任何轴向变形或在以上引用的SAA首先经历仅横向变形随后经历仅轴向变形的假设情况下的结果,其中,将不存在沿路径的轴向变形的细节;仅对于一个横向变形特征(诸如在一个轴向位置处的剪切)的一个轴向变形数。

[0012] • 不能测量除在收敛测量的弓形路径(诸如在弧中的SAA或巴塞特收敛系统的弧)的垂直平面内的变形之外的变形。收敛测量受限于朝向或远离隧道中心的移动,其通过布置成弧形或圆形的倾斜传感器或角度传感器来执行。没有由在弧形或圆形的平面之外的方向上的变形构成的测量。

[0013] • 不能将测量仪器固定在套管或管内的。在井孔和其它窄通道中的仪器必须能够自由通过进入到通道中,当进行测量时还建立与通道壁的固定接触。对于SAA,上述是使用当在轴向压缩下时膨胀的接头来完成的,但膨胀的范围仅足以使接触部分地稳定。对于倾斜仪,弹簧加载的轮用于在套管中的沟槽中接合,但这些可以变得磨损并且制造费用昂贵且难以处理。其它紧固方法是可用的,诸如可膨胀囊,但这些是昂贵和复杂的。

[0014] 常规倾斜仪和SAA的现有技术描述限制于通常初始直的路径,并且不预期或允许计算由几何形状引起的延伸和压缩(或总体,或沿路径的详细情况)以及横向变形,所述几何形状导致在特意非直路径的端部之间的直线间距的改变。SAA和倾斜仪的现有技术也不考虑沿大致水平的中轴安装,其中提供在水平平面内的中轴的横向变形的测量。中轴是指与包含倾斜仪或SAA的路径的表面的最长尺寸轴向对齐的直线或曲线。它遵循路径的“中心”。对于直路径,则其就是所述路径。对于波状路径,中轴落在大致等份的起伏之间。稍后在本说明书中将更细致地定义中轴。

[0015] 现有技术SAA和倾斜仪的描述限于大致垂直、倾斜或水平的直路径的形状,其中不可以延伸或压缩路径,并且不可以测量在水平平面中的水平路径的横向变形。例外的是通

过在垂直平面中的一个自由度(1DOF)传感器的圆形或弧形执行的收敛测量。然而,这些弓形测量限于在平面内的运动,并且或者难以与表面(巴塞特收敛系统)物理地配合,或者是不完全的配合(在塑料管内SAA为弓形或圆形形状)。SAA的不完全配合稍后将在本说明书中进行说明。

[0016] 在现有技术中,通过将SAA置于直管中并致使接头在轴向压缩下膨胀以接触管的内表面来安装SAA。这帮助将SAA稳定在管内,但不足以阻止所有运动。接头必须足够短以减少扭曲,但该短小限制接头可在轴向载荷下膨胀的程度。在插入到管中或从管中取出的过程中膨胀必须减少,为此接头必须足够柔性,同时仍具有足够的刚度以在膨胀时保持管内的阵列稳定。结果是导致不完全固定的阵列的折衷。

[0017] 在岩土工程领域中,有必要测量表现出由于延伸或压缩造成的变形,在一些情况下还伴随由于一层或多层土壤的剪切(诸如在不稳定斜坡或滑坡中)造成的横向变形的土壤变形。土壤的压缩通常与可压缩介质(诸如土壤内的泥煤)的存在或空隙的存在相关联。延伸可以由膨胀粘土的存在或存在于土壤中的膨胀化合物引起,或由旨在使软土稳定的灰浆的注射引起。为措辞简单起见,除非另有定义,否则术语“延伸”(或“压缩”)将用于涵盖这两种情况,因为延伸或压缩可以是正向的或负向的(我们可以认为负向延伸是压缩)。延伸可以使用靠近井孔固定到土壤的磁铁和沿土壤中的井孔移动的磁性传感器来测量,但是该测量不提供横向变形数据,并需要手动地移动传感器。

[0018] 在岩土工程领域中,有必要测量在斜坡坡脚处的横向变形,其中上面的剪切作用可导致横向接近斜坡底(“坡脚”)的土壤的铺展。如果SAA或常规倾斜仪被水平安装在斜坡坡脚处,那么其将提供在垂直平面但非水平平面内的变形的测量。这是因为由于重力场关于垂直尺寸的对称性,导致感测不到重力设备在水平平面内的旋转。可以安装多个垂直SAA或常规倾斜仪以提供在水平平面内的变形数据,但这是昂贵的。

[0019] 在隧道和壁测量领域中,沿隧道或壁布置成大致水平路径的常规倾斜仪或SAA的安装将不测量横向变形,因为由于重力场关于垂直尺寸的对称性而造成感测不到重力设备在水平平面内的旋转。例如,如果壁凸出,或如果由于在附近挖掘或灌浆而造成隧道壁在水平平面内弯曲,那么在水平平面内凸出或弯曲的分量将不被上述水平放置的仪器测量。可以安装多个垂直的常规倾斜仪或SAA,各自从远低于隧道或壁的非移动土壤延伸,但该解决方案是昂贵的并且难以安装。

[0020] 另外在隧道测量领域中,已知的是将常规倾斜仪或SAA沿隧道的顶部、底部或壁放置于水平路径中,从而提供在垂直平面但从不在水平平面内的变形的测量。还已知的是将此类仪器置于环绕隧道的垂直横截面的圆周或圆周一部分的大致圆形路径中以用于测量收敛,所述收敛由隧道壁在垂直平面内的任何角度下朝向或远离隧道中心的运动组成。但不存在用于使用具有单路径且基于重力的单个仪器来测量隧道的三维(3D)形状的设备和方法,其中“三维”意味着垂直沉降、水平曲率和收敛。类比将测量蛇状物的所有运动,包括水平起伏和垂直起伏及其横截面形状。

[0021] 更具体地,在上面介绍的收敛测量领域中,在现有技术中的测量总是在仪器的弧形平面内。存在着对于单台仪器的需要,以提供不仅在平面内的数据,还有从平面延伸出来并且包括与沿隧道的轴向运动相关联的隧道的3D方面的数据。

[0022] 在岩土工程领域中,有必要使用排列在大致水平路径中的常规倾斜仪或SAA的安

装,来测量在垂直平面内的形变,其中,允许延伸、允许仪器的一部分在平面内向上或向下弯曲(例如起伏或沉降),并允许横向运动,并且测量所有参数。例如,期望邻接铁路轨道来安装倾斜仪或SAA,以检测支撑枕木和轨道的道渣的变化,或沿道路的路肩安装以检测路肩的侵蚀。水平直线仪器的局限性在于,如果道渣或路肩材料从路径下方移除,诸如通过侵蚀或沉降,仪器的路径可以保持不弯曲,因为该仪器是不可延伸的并且在沉降区域的两边缘处保持张力。因此,可以发生沉降而不测量沉降,或可以大的深度衰减来测量沉降。

[0023] 在岩土工程领域中,有必要固定倾斜仪或SAA,使得它们不在套管内移动,这导致在倾斜测量或振动测量中的误差。

[0024] 常规倾斜仪通常安装在沟槽状套管中,其中轮接合在沟槽中以提供倾斜仪主体与套管壁的方位角控制和一致配准。SAA通常安装在非沟槽状套管中。SAA具有抗扭转接头并且已被校准以提供沿SAA的一致方位角。套管的直径和倾斜仪或SAA的刚性体的长度和直径设定了套管在不干扰测量的情况下可以弯曲的量的上限。所述干扰可由刚性体的弯曲或在测量、安装或取出期间不能沿套管移动仪器而产生。当存在大的变形或用于安装在岩石中时这是严重的问题,在所述岩石中套管的弯曲可以是非常尖锐和生硬的。通常期望安装较大直径的套管,并且在此类情况下使用较短的刚性体,但这导致更大的花费和松动的仪器。在现有技术中未描述在不添加夹具且接头不膨胀的情况下使小直径仪器适形于大直径圆筒的内部的方法。

[0025] 现有技术的发明已包括非直传感器路径,但一直依赖于弯曲和扭曲传感器(“曲率”传感器)。例如Danisch'107(形绳)描述“测量设备,其用于以能够以至少一个自由度弯曲并沿中轴或平面延伸的柔性的、适形的、测量构件形式,提供对应于空间中几何构型的数据。所述构件具有分布在构件上的已知位置处的间隔开的挠曲传感器,并以已知传感器间距分开以提供指示存在于该位置处的挠曲的局部状态的挠曲信号。所述构件包括大量形成即成型光纤,这些光纤包括具提供挠曲传感器的传感部分的传感光纤,不同光纤的传感部分位于沿构件的不同距离处,以便位于传感器间距处,形成的光纤为相互支撑关系,如通过连续或重复互相接触。此类光纤可构成大部分或所有的构件。”

[0026] 使用在级联阵列中的挠曲传感器的设备经历严重的缺陷:当传感器中的一个存在误差时,以计算顺序经过该点的所有阵列的取向将共受误差的角度偏移,这将造成表示测量路径的整个数据集依照误差的角度而远离路径摆动。这可导致在路径末端处的巨大位移。

[0027] 进一步地,在Danisch'107中,光纤被预先形成并且为不适于被轴向压缩并从而横向膨胀以适形于封闭表面的相互支撑关系。事实上,Danisch'107认为将单独延伸传感器用于可以拉伸的形绳的弹性体形式。Danisch'107没有教导可以卷起到卷盘上的直阵列,所述卷盘可以被部署为直的,并且然后通过将其插入到井孔中并施加轴向压缩力而形成螺旋线。相反,Danisch'107需要大量光纤被预先形成成为固定尺寸的相互支撑的螺旋线,该构型并不适合于使用重力传感器测量倾斜。没有教导由柔性接头分离的刚性体,刚性体提供了参照重力沿区域均匀地采样倾斜的方法,而不是沿通过与物体接触容易扭曲的柔性构件采样弯曲。没有教导在刚性体之间提供抗扭刚度但允许弯曲的柔性接头。没有教导所有传感器参考重力,使得取向误差不能向上传播计算链。没有教导在刚性体中的传感器,使得取向可以通过重力传感器直接读取,而不是从弯曲和扭曲的测量来推断。有提出将光学纤维

或电容纤维阵列(其本身已经为螺旋绳形)形成为螺旋形式,但这没有更多区别于形成弹簧或构建螺旋梯现有技术。提出的是作为柔性构件内部周期性结构的结果通过该柔性构件可以采用的形式的描述。

[0028] 本发明将螺旋、波状和Z字形形式(周期性形式)结合到测量具体新参数的方法中,同时改善传感器阵列与被测量的那些;但那不是全部的配合。主要的发明步骤是利用MEMS(微机械机电系统)加速计来进行测量,虽然似乎不可以这样做,因为由于重力的方向性造成它们取向范围受限制。

[0029] 弯曲和扭曲传感器可以容易地测量绳状结构的3D挠曲,无论其总体取向可以是什么;然而如果总体取向是在约垂直的 $\pm 60^\circ$,那么静态加速计测量(“倾斜”测量或“重力”测量)只能预先用于进行3D测量。这是因为根本既不是X传感器、Y传感器,也不是Z传感器响应关于重力矢量的旋转,并且X传感器和Y传感器(当SAA是垂直的时对于倾斜最大响应的那些)下降以响应与垂直面的角度的余弦。在本发明之前,实现3D测量垂直平面的唯一方式是沿平面安装多个垂直SAA,每个SAA延伸到静止土壤中以用于参考,使得各自由固定参考提供3D数据。没有办法沿水平平面内的水平沟渠和捕捉运动延伸SAA或倾斜仪。也有人认为不可以将土壤沉降运动耦合到薄、直传感器阵列。一旦考虑SAA的螺旋形式,似乎仍不可将那种形式耦合到土壤沉降运动,直到认识到泊松比和螺旋线应变比之间的关系(该关系稍后在本说明书中详细说明)为止。现在,在传感器的小型化和用于接头的施工方法中的进步使得可以考虑匹配两个比率所必需的低螺距角。

[0030] 虽然3D测量可以用弯曲和扭曲传感器在全部球面范围上的取向进行,但对弯曲和扭曲传感器的精确度不包括它们用于监测岩土参数。几十年来,在几十米的阵列长度上,岩土测量必须精确到一或两毫米。事实上,低成本的弯曲和扭曲传感器(诸如在Danisch'107和'672的现有技术中所用的光学纤维曲率传感器)不能这么精确。它们能够约1cm每米每天,这是用于岩土测量的太差的数量级。

[0031] 周期性形式的适配与重力传感器一起使用以在点处测量,而不是在路径长度上积分曲率的光学或电容性传感器需要引入刚性体以容纳“点”传感器,与接头长度相比,刚性体足够长以适当地表示阵列的倾斜。实际感测装置还需要接头的设计,这样它们可以尽可能长,而不需要昂贵的机制。具有单调且恒定的弯曲和/或扭曲的长接头的概念实现长得多的接头,如果使用的话,那么可以保持恒定。

[0032] 改善的2D数据也可以用本发明来获得。水平贮存在沟渠中的直阵列可以错过沉降,诸如从阵列下面的所有材料的冲洗,因为它们是不可延伸的并且将简单地穿过冲洗而没有明显的下陷。波状阵列将允许延伸并进行测量,这是非常有用的,即使只用Z传感器仅进行2D测量。在其中在该圆形的平面内仅需要2D收敛测量的情况下,通过使阵列环绕其大致圆形路径为波状可以进行改善的收敛测量,所述路径环绕隧道的圆周。在该收敛情况下,改善来自更好地固定在波状套管内的阵列,并且对圆形路径添加可延伸性。铁路轨道的倾斜和扭曲的测量是通过周期性部署所赋予的改善的另一个2D(可以说是3D方面)示例,因为是在水平平面内用于测量水平表面的沉降剖面的阵列的其它波状。

[0033] 类似的情况关于Danisch'107应用于Danisch'672(形带)的那些,其描述

[0034] “以柔性基板的形式提供位置、取向、形状和运动测量工具,所述基板具有在已知的间隔处沿其表面分布的弯曲和扭曲传感器。优选带状类型的基板。基板的几何构型根据

相互参照而基于检测到的弯曲和扭曲值的传感器的位置和取向来计算。合适的应用包括对于人类的运动捕获用于在大的、无异点工作空间内的动画、输入到计算机的六个自由度、剖面测量和位置跟踪。”Danisch’672没有提出在刚性体中使用重力传感器用于直接测量刚性体的取向。相反，其提出测量沿带状基板的弯曲和扭曲。如果任何弯曲和扭曲测量沿计算路径是不正确的，那么路径的所有后续取向（如由数据所表示）将是不正确的。Danisch’672，与Danisch’107相似，没有提出可以卷起到卷盘上的直阵列，所述卷盘可以被部署为直的并且然后通过将其插入到井孔中并施加轴向压缩力形成为螺旋线。

[0035] Danisch’672和Danisch’107均未提出将传感器阵列以阵列的形式部署到表面中，传感器在刚性体中的取向旨在利用重力传感器的使用以从表面中获得3D。Danisch’672或Danisch’107也未提出根据阵列的形式计算可延伸/可压缩中轴，以便根据每个阵列的中轴来模仿在路径中的可延伸/可压缩虚拟阵列的形状。它们也未详细提出沿中轴的顶点信息的跟踪，以便可以详细知道沿所述轴的压缩和延伸。’672和’107均未提出借助于由阵列形式的轴向压缩引起的横向扩展而固定在表面内的阵列。

[0036] 现有技术重力阵列与Danisch’363 (SAA) 和传统就地倾斜仪相似的一个原因还没有被设计为可延伸螺旋或波状形式，并且已不包括根据近似水平的部署来测量横向变形，一直是Danisch 363的新颖性。在’363之前，没有认为可以在宽的角度范围内工作，即使依赖于重力传感器。因为倾斜仪必须安装在具有非常有限的弯曲能力的沟槽状套管中，所以不可以考虑除直或稍微弯曲的以外的形状。因为在岩土领域中的思考仅限于直路径的几何形状，使用被认为不可能从水平路径中测量横向变形，因为所测量的重力场不会对这样的旋转改变。Danisch’363类似地在范围上有限，仅公开在近似水平或近似垂直的直路径中安装。近似水平直路径将只产生2D测量。直到’363被部署在所述场中，并且由于其柔韧性和其传感器的宽角度范围已能够比可以用传统倾斜仪的那些测量大得多的变形，实现了’363可以被安装在内并且对于将实现新的、以前不可以的测量的有目的周期性格式进行优化。本发明描述了如何使用新形式的SAA实现多维测量，甚至涉及在垂直重力场内大致水平的横向变形的测量。本发明还包括描述使用仅配有重力传感器的刚性体的不可延伸阵列同时测量横向变形和大致垂直路径的轴向压缩。

[0037] 本发明在Danisch’363 (SAA) 上的其它改善包括由于利用螺旋和起伏而更好的固定在套管中的阵列。现有技术的Danisch’363使用了在轴心压缩下扩展但在安装后还保留约 ± 1 mm的可以运动的接头。螺旋配合允许使可变化的该范围降低为基本上零mm。对于任何半径的隧道，可以在收敛安装中通过波状SAA的路径随着其环绕隧道的圆周行进来实现类似紧配合。其它改善包括能够在一些安装使用更宽的刚性体分离，由于在所需传感器的数目上减少导致降低成本。

发明内容

[0038] 为了克服常规倾斜仪和SAA的不足，在本发明的一个方面，提供在重量场内的非直传感器阵列，其包括：

[0039] 具有已知尺寸的刚性体，其通过具有已知尺寸的接头分隔开，所述接头具有柔韧性，

[0040] 柔韧性具有选自以下的两个自由度：

- [0041] 无机械扭曲的两个弯曲,以及
- [0042] 一个弯曲和一个机械扭曲,
- [0043] 所述自由度中的每个在接头长度上是单调且恒定的,
- [0044] 所述刚性体和接头定义由在第一顶点相交的直线段组成的传感器路径,
- [0045] 当阵列为直的时,所述直线段的长度等于相邻接头之间的轴向中心至中心距离,
- [0046] 所述直线段在倾斜时与刚性体的倾斜可操作地相关联,
- [0047] 传感器路径在具有至少二维的平面内,
- [0048] 传感器路径周期性地包围具有至少二维的中轴,
- [0049] 沿中轴的第二顶点,所述第二顶点与所述第一顶点可操作地相关联以表示沿中轴的传感器路径的第一顶点的位置,
- [0050] 传感器路径沿中轴是可延伸且可压缩的而不改变传感器路径的路径长度,
- [0051] 在沿所述传感器路径的一定间隔处选择的所述刚性体组,以表示所述传感器路径的形状,
- [0052] 所述选择的刚性体组具有重力传感器,所述重力传感器用于在重力场中对每个选择的刚性体测量至少一个自由度的所述选择的刚性体的倾斜,
- [0053] 所述选择的刚性体中的至少一个在世界坐标系中具有已知位置和取向,
- [0054] 所述阵列适于测量所述表面的至少二维形状、中轴的至少二维形状,以及在重力场内来自每个选择的刚性体的取向的在世界坐标系中沿中轴的第二顶点的位置,
- [0055] 其中当使用不响应于关于重力方向的旋转的重力传感器时,在现有技术上的改善为:
- [0056] • 非直传感器阵列的可延伸性和可压缩性,
 - [0057] • 带有单一阵列的表面的形状的测量,
 - [0058] • 当中轴大致水平时,中轴的水平横向变形的测量,
 - [0059] • 对于收敛测量的改善的配合和增加的自由度,
 - [0060] • 阵列对大致圆柱形表面的适形能力,
 - [0061] • 在应用轴向压缩时,大致螺旋阵列的横向扩展以紧密地配合封闭圆柱形表面
 - [0062] • 刚性体在弯曲容纳管内的改善的配合,以及
 - [0063] • 来自外力的螺旋阵列的改善的保护。
- [0064] 在一个实施例中,选择的刚性体组包括全部刚性体。在另一个实施例中,选择的刚性体组具有表示传感器路径的倾斜,并且任何剩余刚性体的倾斜对于那些相邻于所述剩余刚性体选择的刚性体是多余的。在另一个实施例中,附接到平面挠曲带状物的刚性体能够在相邻刚性体之间以一个自由度弯曲并以一个自由度扭曲,并且不能够在带状物的平面内弯曲,其中带状物形成在刚性体之间的接头。
- [0065] 在另一个实施例中,传感器阵列的接头固有地抗扭曲。在另一个实施例中,传感器阵列在能够剪切和压缩的介质中的圆柱形表面内形成螺旋线,圆柱形表面封闭中轴,并且中轴表示介质的形状,因为所述介质通过剪切而横向于中轴变形并且通过压缩而轴向于中轴变形。
- [0066] 在另一个实施例中,传感器阵列在圆柱形表面内形成螺旋线,并且所述螺旋线被轴向加载,其中保持传感器阵列与圆柱形表面之间的紧密接触。在另一个实施例中,螺旋线

的间距是大的,其中传感器阵列与圆柱形表面之间的紧密接触被最大化。

[0067] 在另一个实施例中,传感器阵列的螺旋线在介质中的井孔或隧道中,并且阵列与沿阵列的长度的井孔或隧道的内表面重复接触。在另一个实施例中,传感器阵列进一步包括容纳管以容纳所述阵列,容纳管添加弯曲刚度,添加的刚度加强在带套管或无套管井孔内的可预测形状。

[0068] 在另一个实施例中,传感器阵列在能够剪切和压缩的介质中的大致平面的表面中,表面的平面大致为非水平的,并且中轴表示表面的形状,因为所述表面通过剪切而横向于轴变形并且通过压缩而轴向于所述轴变形。在另一个实施例中,传感器阵列遵循在所述表面内的周期性路径,所述表面为大致平面的,传感器路径包括越过中轴的部分,并且所述部分由一个以上的非水平刚性体组成,刚性体提供在其平面之外的形状的柔韧性。

[0069] 在另一个实施例中,刚性体的一部分是非垂直的,并且通过来自非水平刚性体的三维倾斜数据和来自非垂直刚性体的垂直平面倾斜数据以及对于其中数据可用的路径的形狀的空间傅里叶分量的波长的组合来确定中轴的路径的横向分量。在另一个实施例中,大致平面的形状为具有至少一个自由度的曲率的表面。

[0070] 在另一个实施例中,至少一个接头具有未知量的扭曲,并且扭曲是基于至少二维表面的几何约束、刚性体的倾斜和其中已知扭曲的接头重新计算的。在另一个实施例中,中轴由所述路径的至少一个空间频率分量来确定。在另一个实施例中,至少一个空间频率分量通过傅里叶变换来确定。

[0071] 在另一个实施例中,传感器阵列进一步与在接触点处大致接近所述第一顶点的细长容纳表面接触,其中调整表面的横向尺寸以实现沿表面的接触点和沿中轴的所述第二顶点的期望空间分布。在另一个实施例中,传感器阵列为螺旋形状,表面为圆柱形,并且调整圆柱形的直径以实现沿中轴的接触点的期望空间分布。

[0072] 在另一个实施例中,阵列包括安装在沟槽状倾斜仪套管中的就地倾斜仪,其中沟槽抗扭曲,并且套管具有预先形成的弯曲。在另一个实施例中,传感器路径以螺旋线的形状而周期性地包围第一中轴,并且螺旋线以容纳螺旋线的圆柱的中心的形状而周期性地包围第二中轴。在另一个实施例中,传感器路径周期性地包围在大致圆柱形的表面内为弧的中轴,条带表面被定义在大致圆柱形表面内包含传感器路径周期的极值的两个弧形之间,以用于表示接近传感器路径的大致圆柱形表面的至少二维形状,因为所述传感器路径在至少二维中变形。在另一个实施例中,仅测量并描绘二维的变形,并且其中中轴用于表示大致圆柱形表面的形状和变形。

[0073] 在另一个实施例中,阵列位于在所述表面内形成传感器路径的容纳管中,所述表面包含中轴,其中容纳管在所述表面内是弯曲的以保持传感器阵列与容纳管之间的紧密接触。在另一个实施例中,传感器为加速计并且加速计用于测量倾斜和振动。在另一个实施例中,接头具有任意的抗扭刚度,传感器阵列在非垂直圆柱形表面内形成螺旋线,并且螺旋线被轴向加载,以用于保持传感器阵列与圆柱形表面之间的紧密接触同时采集关于刚性体的位置和取向的2D数据的目的。

[0074] 在另一个方面,提供在介质中钻井孔的方法,井孔在横向尺寸中比大致直的传感器阵列大,井孔选自带衬壁的或不带衬壁的,所述方法包括:将大致直的阵列插入到井孔中;以及对阵列添加轴向压缩以形成与井孔的内表面或其衬壁紧密接触的螺旋线。

[0075] 在一个实施例中,大致直的传感器阵列包含在带有足够小的外径的容纳管内,以采用在井孔或其套管内的期望的周期性形式,所述容纳管带有弯曲刚度,所述弯曲刚度足以确保当经受轴向力(包括重力的轴向力)时所述容纳管的期望的周期性形式。在另一个实施例中,将轴向力(包括重力的轴向力)施加于大致直的传感器阵列,以在其容纳管内使其形成周期性路径,其中传感器阵列的顶点与容纳管的内壁接触,以使在所述容纳管内的段固定。

[0076] 在另一个实施例中,井孔为非水平的,并且由重力提供添加的压缩中的至少一些。在另一个实施例中,井孔为不带衬壁的,并且随后允许包围井孔的介质环绕阵列流入,从而填充井孔并支撑阵列。在另一个实施例中,井孔为不带衬壁的,并且随后用可压缩介质填充井孔。

[0077] 在另一个方面,提供形成阵列的沟渠的方法,所述方法包括:沿沟渠的底表面放置或形成凸起部分以形成锯齿或起伏;沿锯齿覆盖阵列,以在垂直平面中形成轴向可延伸形状;以及填充沟渠。

[0078] 在另一个方面,提供计算在平面中的波状、Z字形或螺旋形路径的空间频率分量的方法,路径形成沿第一笛卡尔轴的距离的函数,空间频率分量为相对于第一笛卡尔轴和正交于第一笛卡尔轴的第二笛卡尔轴,两个笛卡尔轴形成第一平面,所述方法包括:定义从沿第一空间频率分量的波形的第一位置到沿所述波形的第二位置的直线段,第一位置和所述第二位置相分离90度;定义所述线段的中点;对于沿第一空间频率分量的波形在一定间隔处的多个点,重复线段和中点的定义;定义包含中点的中轴;对于正交于第一笛卡尔平面并且包含第一轴的另一个笛卡尔平面的每个空间频率分量的波形,重复中轴的定义;在第一时间使用中轴作为表面的形状的测量;以及使用来自后续时间的中轴以测量对表面的形状的改变。

[0079] 在另一个方面,提供在圆柱形表面的至少一部分上使传感器阵列形成波状路径的方法,所述方法包括:将传感器阵列放置在容纳管中,当管为直的时,传感器阵列在容纳管内为松散的;将销或柱固定到圆柱形表面;在销之间编排容纳管以在圆柱形表面上形成起伏,波状容纳管的内表面接触在端部处并接近中间的阵列的所述段,在圆柱形表面内的容纳管的曲率小于或等于圆柱的曲率,以在安装期间设置传感器阵列与容纳管之间的紧密接触;以及从容纳管的一端向另一端施加压缩轴向力以保持容纳管、表面,和销或柱之间的紧密接触,从而将紧固硬件减到最少,使安装和拆卸加速,并提高数据的精确度。

附图说明

[0080] 为了更好地理解本发明以及其它方面及其进一步的特征结构,参考下面结合附图使用的描述。

[0081] 图1:回卷到井孔中的现有技术的SAA。

[0082] 图2:在边界框中的螺旋线的3D视图。

[0083] 图3:螺旋线的XZ正视图。

[0084] 图4:图3的螺旋线的YZ正视图。

[0085] 图5:生成用于螺旋线的三角形。

[0086] 图6:螺旋线的螺距比对螺距角的曲线图。

- [0087] 图7:螺旋线的螺旋线应变比对螺距角的曲线图。
- [0088] 图8:螺旋线的扭曲每3m对螺距角的曲线图。
- [0089] 图9:经历轴向压缩的螺旋线的正交正视图和平面图。
- [0090] 图10:带有段和接头的表示的正视图Z字形路径。
- [0091] 图11:来自周期性路径的空间数据的正弦波。
- [0092] 图12:示出正弦波的中轴的计算方法的曲线图。
- [0093] 图13:示出变形的正弦波的所计算中轴的曲线图。
- [0094] 图14:示出根据分段路径顶点的中轴的迭代计算的曲线图。
- [0095] 图15:根据边界多边形的中轴的另选计算。
- [0096] 图16:在水平圆柱形隧道上的圆带中的波状路径的3D视图。
- [0097] 图17:在垂直圆柱形轴上的圆带中的波状路径的3D视图。
- [0098] 图18:在波状套管中固定的段的平面图。
- [0099] 图19:在隧道的内表面上的螺旋阵列的3D视图。
- [0100] 图20:在缩减隧道(缩减扩大)后的图19螺旋阵列的3D视图。
- [0101] 图21:在大致非水平平面中的弯曲表面上的波状路径的3D视图。
- [0102] 图22:在大致非水平平面中的3D弯曲表面上的Z字形路径的3D视图。
- [0103] 图23:在非水平的大致平面的表面中的波状路径的正视图。
- [0104] 图24:在垂直平面内变形后的图23波状路径和表面的正视图。
- [0105] 图25:现有技术的桥接沉降区域的直路径。
- [0106] 图26:在非水平的大致平面的表面中的Z字形路径的正视图。
- [0107] 图27:在垂直平面内变形后的图26Z字形路径和表面的正视图。
- [0108] 图28:在水平平面内变形后的图26Z字形路径和表面的平面图。
- [0109] 图29:在铁路上的波状路径。
- [0110] 图30:在带状物上的传感器的3D视图。
- [0111] 图31:在波状带状物上的传感器的上边缘上3D视图。
- [0112] 图32:在带状物上的传感器的正视图,带状物为螺旋形状。
- [0113] 图33:在套管(直的和变形的)中的现有技术SAA的正视图,以及来自三个正交视图的数据的三个曲线图。
- [0114] 图34:在套管(套管为直的和变形的)中的非直传感器阵列的正视图,以及来自三个正交视图的数据的三个曲线图,包括中轴的描绘。
- [0115] 图35:示出XZ数据的在套管中大致为螺旋形的分段传感器阵列的曲线图。
- [0116] 图36:示出YZ数据的在套管中的图35大致螺旋形分段传感器阵列的曲线图。
- [0117] 图37:示出XY数据的在套管中的图35大致螺旋形分段传感器阵列的曲线图。
- [0118] 图38:在套管(套管为直的和变形的)中具有传感器和平滑曲线的紧密间隔的螺旋非直传感器阵列的正视图,以及来自三个正交视图的数据的三个曲线图,包括中轴的描绘。
- [0119] 图39:在套管(套管为直的和变形的)中具有长接头的非直传感器阵列的正视图,以及来自三个正交视图的数据的三个曲线图,包括中轴的描绘。
- [0120] 图40:在套管中的具有沿路径的恒定弯曲和扭曲的非直传感器阵列的正视图。
- [0121] 图41:在套管中的非直传感器阵列、大致螺旋形的长接头以及通过螺旋线的力和

力矩而就地锁定的刚性体的正视图。

[0122] 图42-图44:在螺旋形路径、中轴、螺旋形路径上的第一顶点和中轴上的第二个顶点的传感器阵列的正视图,其示出当套管较大时在图44中顶点间距缩减。

[0123] 图45:图42-图43和图44的套管的内表面的平面图。

[0124] 图46:在容纳管内的周期性路径中的传感器阵列的正视图,所述管在套管内的另一个周期性路径中。

具体实施方式

[0125] 如本文所用,术语“世界坐标系”或“WCS”意指参考地球或任何其它块状体的笛卡尔轴系。即便在刚性体阵列中的刚性体不具有对于WCS的位置和取向两者的已知参考,仍可以知道阵列的形状,但在重力场中的形状取向将仅部分已知(将不知道方位角),并且将不存在相对于重力源的位置信息。重力具有朝向质量块中心的方向。“重力矢量”是指该方向。“重力方向”也是如此,这是地球上被称为“垂直”的方向。

[0126] 以上描述将被视为包括用于阵列的路径,所述路径为:

[0127] • 在表面内的波状或Z字形,或

[0128] • 螺旋形,或

[0129] 由大致遵循以上路径选择中的一个的段组成。

[0130] 在以上任何情况下,中轴可以在从水平到垂直的任何角度处,或可以是弯曲的,诸如为圆形。平滑(非分段)螺旋线可以被认为是“3D起伏”。分段螺旋线可以被认为是“3D Z字形”。相反地,起伏可以被认为是“2D螺旋线”。所有这些路径“周期性地围绕”中轴:它们通常反复地在路径的2D视图中跨越中轴。所有此类路径可以被称为“周期性路径”。非直传感器阵列可以被称为“周期性阵列”以用于本发明的目的。“周期性”的严格定义包括“以定期间隔重复”。在本专利说明书中,周期性的广义定义旨在包括通常反复地跨越中轴但可具有在交叉处之间的接近或甚至严格的随机的间隔的路径。傅里叶理论提供总是找到任何路径的频谱分量,所述路径自身在严格意义上是周期性(它们是正弦波),所以不应关注“定期的间隔”。更重要的性质包括在待测量表面内的容积、使用路径数据来定义中轴的能力,以及延伸和压缩的性质。

[0131] 其中,将由具有大致水平中轴的路径提供在水平平面中的横向变形,在路径的非水平部分中的连续刚性体的数目必须足以允许该运动。例如,Z字形路径,其中每个腿部(腿部为“转折”或“转弯”)被限制于一个刚性体,并且其中接头不能机械扭曲,并且接头非常短,不能容易地在其平面外变形。但是,如果每个腿部允许两个或更多个刚性体,那么可以变形。通过延长接头也使得可以变形,这可以在不显著地折衷抗扭刚度的情况下完成。

[0132] 在本公开中所描述的形式必须是非直的且能够轴向延伸、压缩和横向变形。本公开排除遵循大致直的路径并且具有长度与路径大致相同的中轴的现有技术的SAA和倾斜仪的几何形状。在本公开中,中轴承担描述通常直的(非周期性)轴向可延伸且可压缩的阵列的“虚拟”或“虚构”路径的作用。

[0133] 在本说明书中,“带状物”是指具有合适宽度和低厚度的长的矩形固体,使得其将以1DOF弯曲并且以1DOF机械扭曲,但不能在其平面外弯曲。示例将为平坦的塑料尺。对于本发明,优选带状物将为柔性电路板,其带有安装到其表面和其层之间的传感器和辅助电路。

如果与MEMS加速计相似的刚性体被安装在电路板上,那么它们将在它们的位置处产生不连续的弯曲和扭曲,使得电路板基本上是由在主体之间的柔性接头连接的一组刚性体。

[0134] 如本文所提到,术语“倾斜”与“取向”同义。在本说明书中关注的倾斜是滚动、俯仰和偏转。垂直圆柱形刚性体可绕垂直(Z)轴滚动、在东西向(X)平面中俯仰并在南北向(Y)平面中偏转(这些方位角平面仅仅是举例;可以指定任何正交垂直平面)。

[0135] 一般而言,描述遵循非直路径并周期性地围绕中轴的刚性体的阵列。刚性体中的一些或全部配有传感器,以用于测量至少一个自由度(DOF)的倾斜。通常全部刚性体均将配有传感器,但在一些情况下,如果已知“空的”刚性体具有倾斜那么可以消除一些,所述倾斜可基于来自附近“填充的”刚性体的测量而根据安装的几何形状来预测。

[0136] 定义在刚性体之间的接头,使得它们可以被建模为总是绕点旋转的2DOF弯曲-弯曲铰链,或在带状接头的情况下(其中接头在以1DOF弯曲和以1DOF机械扭曲中是柔性的)为2DOF弯曲-扭曲“铰链”。因此,用于这些周期性阵列的数学模型是由在顶点处交叉的线段组成的多段线。简言之,其含义是不允许在期望的角度偏移范围内的在接头处的平移。该条件体现于接头具有单调(所有相同角度的指示或“方向”)且贯穿接头长度恒定的弯曲和/或扭曲的限制。这对最短柔性接头、同样更硬的更长接头,以及被约束为呈螺旋形状的甚至更长的接头适用。螺旋具有恒定弯曲和数学扭曲。对于非常大的角变形,铰链的假设将导致一些错误。这可以使用算法以随角度变化稍微移动铰链点来校正。

[0137] 本发明包括“中轴”,其为在描述“围绕”中轴的周期性路径时有用并且还帮助出于与来自线性仪表的数据比较的目的而将表面测量降至线性(“直的”,或非周期性的)测量的概念性曲线。存在与多边形有关的“中轴”的数学定义。这里的概念是类似的,但因为周期性路径不是多边形,所以用于本发明的定义不直接与用于多边形的定义相同。这里给出用于找到本发明的中轴的算法,但其不是唯一的。由于在这里中轴被描述为:方便的设备,所以可以使用其它方法。

[0138] 本发明的非直周期性路径允许沿中轴的延伸和压缩。如果柔性管用于容纳刚性体和接头,那么路径的曲率可提供将刚性体“紧贴于”或以其它方式固定于弯管内方法,阻止膨胀接头的使用。弯曲路径也允许将刚性体紧贴于或固定到一个带套管或无套管的井孔、隧道或轴的内表面,因为在轴向压缩下,周期性形状将横向扩展。

[0139] 用于本发明和用于现有技术SAA的倾斜传感器优选地为加速计。MEMS加速计由通过允许运动与重力成比例的弹簧悬架保持的质量块组成,所述加速计随着质量块运动的方向(通过弹簧悬架设置)和重力场的方向之间的“倾斜”角度的余弦而变化,所述重力场通常由垂直于地球表面的“重力矢量”来描绘。由于重力矢量与地球相关,因此测量的倾斜(也称为取向)是相对于WCS的。仅依赖于倾斜测量的传感器阵列需要沿其长度的至少一个点在WCS中具有已知位置,否则数据提供传感器阵列的正确形状和取向,但它的位置在WCS中是未知的。

[0140] MEMS加速计可用于凭借其弹簧悬置的质量块的惯性响应于静态倾斜并且同样响应于动态振动。因此,包含MEMS加速计的任何阵列可以适于测量振动以及形状。

[0141] MEMS加速计可作为在“封装”中的集成电路,其是包含至多三个正交加速计的刚性体,其中所述正交加速计各自沿轴(例如X、Y或Z)进行测量。在三轴加速计中(具有三个正交轴的那些),质量块可以由所述轴中的两个共用。在MEMS内通过携带电荷的相互交叉的指状

物测量质量块的位置。封装可直接用作刚性体,或牢固地安装在另一个刚性体诸如刚性管或盒内。多个单轴或双轴MEMS可以安装在刚性体内。在主体内的位置对于静态倾斜测量是不重要的,因为刚性体的所有部分的倾斜相同。MEMS加速计的典型尺寸为 $1\text{mm} \times 4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。

[0142] 因为MEMS加速计的余弦响应,所以对于特定的倾斜角度范围,每个加速计具有对倾斜的最大响应。响应或电压改变/倾斜度可以从余弦形输出的导数找到。响应是倾斜角的负正弦,所以当加速度计的响应曲线靠近余弦曲线的“零交点”时,幅值最大。在零交点的 $\pm 60^\circ$ 度处的响应衰减50%,并且对于超过 $\pm 60^\circ$ 度的角度迅速下降,在从零交点偏离 90° 度的位置处变得几乎无用。因此,如果带有各种轴的传感器在刚性体内是可用的,通常选择带有最大响应的传感器以提供所测量的倾斜值。对于沿长度经历宽的角度范围或者随时间变化经历宽的角度范围的周期性阵列,可在不同的时间或在沿阵列的不同位置处使用不同的加速计。在一些情况下,使用算法并对单个倾斜使用一个以上的传感器来获取倾斜的最佳值。如果所有三个轴(X、Y和Z)用MEMS加速计进行仪表化,那么带有这三个传感器的刚性体可提供在全球面范围内的精确的动态加速度,以及除了直接关于重力矢量的旋转之外在全球面范围内的静态(重力)加速度。

[0143] 根据现有技术得知从倾斜计算形状。一般来讲,通过柔性接头分离的刚性体的阵列可被描绘为多段线(在顶点处交叉的线段),它们的顶点表示接头中心。当阵列是直的时,线段的长度通常采用的是接头中心到接头中心的距离。对于在Z延伸并在X和Y弯曲的垂直阵列,X的倾斜传感器和Y的倾斜传感器足以感测刚性体的整体倾斜。Z的传感器仅需要记录阵列是否“倒置”。重要的是,约束接头以具有1DOF的弯曲和1DOF的机械扭曲,或2DOF的无扭曲弯曲,或者将不知道X传感器和Y传感器在WCS内的方位角。通过接头约束,可以解决X倾斜和Y倾斜,并且可以知道它们的方位角(指南针)方向,即使远离用于计算的参考端。倾斜仪系统的约束由倾斜仪套管中的沟槽提供。倾斜仪的刚性体具有装配到沟槽中的轮。对于SAA,建立接头以保持扭曲可以忽略但允许2DOF弯曲,或者对于带状形式的SAA,接头具有1DOF弯曲和1DOF扭曲。所述约束允许基于X倾斜和Y倾斜计算各段相对于前一段的2DOF取向。

[0144] 对于水平的现有技术直阵列的形狀的计算,其限制于在包含阵列路径的垂直平面内的形状。仅需要Z传感器。

[0145] 对于阵列的周期性路径的介绍允许许多测量可能性,因为传感器可以在更广泛的角度处,从而避免直线阵列的不足。例如,水平的直线阵列不能以重量分析方式测量仅关于重力矢量旋转的传感器的运动。在这里术语“旋转”被理解是指通常非常缓慢的旋转:任何类型的重力倾斜不依赖于动态加速度的时间积分以便进行位置测量。关于重力矢量的旋转不产生任何输出,因为重力关于其方向对称。这阻止了在水平平面内的水平直阵列的任何运动的测量。换言之,不能测量“偏转”。偏转问题保持距水平面至多约 30° ,因为由于偏转造成非常小的加速度改变,但如果采用极端措施,那么在低角度下,甚至下降到距水平面 10° 下,一些测量也是可以的。但在垂直平面内的周期性阵列的起伏提供在水平平面内测量运动的方法,如下面将示出。

[0146] 通过阵列的周期性路径实现的另一个测量示例是连同横向变形(在水平平面中剪切)一起的沉降(垂直压缩)或垂直扩展的同时测量。这是通过周期性路径轴向扩展或压缩并且通过倾斜测量而被完全定义的能力实现的。

[0147] 由于在轴向压缩时横向扩展,因此周期性路径也可产生将刚性体固定在容纳表面内的更好的方法。

[0148] 周期性路径还可以提供在容纳表面内的更大空间。例如,在圆柱形井孔或套管的内表面上的螺旋阵列仍可测量套管的形状。由于套管可以是较大而无需折衷牢固的配合,因此在套管内可以容纳大量空间,这也保持螺旋线。额外的空间可以用于调节由于岩石或其它坚硬物体的碰撞造成的容纳表面的突然变形。这可导致用于监测阵列的更长的使用寿命,并且实现在更久的使用寿命后提取阵列。

[0149] 图1示出回卷到井孔中的现有技术的SAA。其具有通过接头2连接的刚性体1。通常,卷盘3呈多边形形状,其被构建立以调节SAA的段长(刚性体长度)。在这种情况下,示出五边形卷盘。井孔4可以是在土壤中或钻入到土木结构诸如桩、混凝土或土坝中的任何带套管或无套管的孔眼。SAA也可以在沟渠中水平地安装到套管的直管段中。SAA也可以在隧道中呈大致圆弧,通常保持在塑料套管内。每段包含用于测量倾斜并且任选地可用于测量振动的三个加速计。

[0150] 现有技术的SAA是可以形成为没有任何附加结构的形状并且将提供表示该形状的数据的完全校准的测量仪器。由于使用阵列中微处理器和模数转换器,所以所有数据从单个数字电缆上的仪器输出。当段在约 $\pm 60^\circ$ 度内垂直时,可以根据测量的倾斜和刚性体的已知长度及刚性体之间的接头来确定3D形状。当段在 $\pm 60^\circ$ 度内近似水平时,由于在水平 $\pm 30^\circ$ 度内的X数据和Y数据的降级,软件用于仅提供在垂直平面中的2D数据。对于近似水平的感测,主要使用Z倾斜传感器(当段是水平的时,带有最大响应的那些)。标称3D和2D测量范围重叠,只是因为3D或2D模式中更方便离开软件。这两种模式在精确度上迅速下降超过它们的 $\pm 60^\circ$ 度范围。

[0151] 术语“非水平的”或“近似垂直的”在本文用于表示这样的段,所述段充分垂直以允许根据所述段来确定3D方向和位置数据。术语“非垂直的”或“近似水平的”在本文用于表示这样的段,所述段与其它段隔离,只允许2D测量。适于单独根据段进行2D测量的段仅需要使用其输出独立于这些近似水平刚性体的滚动角的Z倾斜传感器。适于3D测量的段(非水平段)需要关于阵列路径的刚性体的滚动角的已知对齐,以便使X传感器和Y传感器将关于阵列的路径对齐。

[0152] 术语“近似水平的”、“非垂直的”、“近似垂直的”和“非水平的”也在本说明书中用于在现有技术的对于在从垂直面 $\pm 60^\circ$ 度的宽范围内的3D感测和在从水平面 $\pm 60^\circ$ 度内的2D计算的SAA限制的背景下描述平面的倾斜。这些都不是硬限制,而是其中它们应被超过的精确度开始迅速下降(如角度的余弦)的限制。

[0153] 对于本发明,使用非直路径以同时调节延伸和横向变形的概念可以通常使用3D螺旋线的形式来说明。

[0154] 图2示出在边界框6内的3D视图的螺旋线5。“边界框”仅是为了帮助可视化。X、Y、Z轴系7定义了用于螺旋线的坐标系。图3是具有2D轴系7的螺旋线5和边界框6的XZ正视图。图4是具有不同的2D轴系7的相同的螺旋线5和边界框6的YZ正视图。

[0155] 图5示出三角形表面(“生成三角形”)8,其可以回卷成圆柱以形成螺旋线的一匝。三角形的高度9为 $2\pi c$ 。三角形的底10为 $2\pi r$ 。类似地,如此形成的螺旋线一匝的高度(“螺距”)将为 $2\pi c$ 。“c”为“螺距高度系数”。界定螺旋线的圆柱的圆周(圆柱未示出)为 $2\pi r$ 。

[0156] 用于螺旋线的参数方程为:

[0157] (1) $x = r \cos(p)$

[0158] (2) $y = r \sin(p)$

[0159] (3) $z = cp$;

[0160] 其中 r 为半径并且 p 从0变化为 2π 。两个正视图由方程(1)和方程(2)中的余弦函数和正弦函数产生。

[0161] 我们可以定义 α ,螺旋线的“螺距角”为:

[0162] (4) $\tan(\alpha) = c/r$ 。

[0163] 并且可以将 c/r 称为“螺距比”。

[0164] 螺旋线具有恒定曲率和扭曲数:

[0165] (5) $k = r / (r^2 + c^2)$

[0166] (6) $t = c / (r^2 + c^2)$,

[0167] 其中 k 为曲率并且 t 为扭曲数。

[0168] 螺旋线是具有沿其长度的恒定弯曲和扭曲的数学空间曲线。重要的是要注意空间曲线的数学扭曲不一定与由管状固体的扭转剪切引起的机械扭曲相同。空间曲线没有厚度,所以不能具有沿其长度的机械扭转(机械扭曲)。柔性圆柱固体,诸如橡胶杆,可以形成螺旋线,并且可具有显著的机械扭曲。直杆可具有机械扭曲,但从不具有数学扭曲,因为其中心轴线为直线。对于螺旋杆,机械扭曲的幅值和方向可以完全不同于对于杆的中心的路径(空间曲线)计算的数学扭曲。在本说明书中,当提到弯曲部分或接头不具有扭曲或不允许扭曲时,这是指机械扭曲。数学扭曲整体由形状(例如,给定直径和螺距的螺旋线的数学扭曲)来确定。机械扭曲由材料的抗扭刚度允许或不由其允许。抗扭刚度是当样品是直的时,样品的端部(诸如管的端部)对于在给定时刻应用的端到端而可以旋转的量。

[0169] 抗扭刚度(与任何材料的刚度相似)在施加的转矩范围内施加,在所述范围内,刚度大致为线性的,并且在其被去除后通过扭转生成的任何扭曲弹性地返回。当扭转刚性管(或杆、软管等)形成螺旋形状时,螺旋形式的数学扭曲(没有厚度的空间曲线)将导致对管施加扭力。在本说明书中,假设该扭力允许被施加并保持在管的扭转自由度的弹性极限内。对于每轴向长度具有几匝的螺旋线,扭力将非常低,并且将非常低限度地影响在螺旋线上的传感器的方位角对齐。例如,具有50mm半径和距垂直面10度螺距角的螺旋线将在每3m长度具有0.33度的扭曲,这是用于倾斜仪套管的典型规格。在实践方面,当形成螺旋线相当于在无限制或干扰的情况下形成螺旋线的时候允许管采用数学扭曲作为螺旋线时,保持阵列的机械扭曲为最小值。如果螺距角更水平以便存在更多的数学扭曲,那么更大的扭力将被施加于管。系统必须被设计成保持该扭力在管的弹性极限内。倾斜传感器可以用于读取扭曲的量,并且用于计算螺旋线形状的数学运算可以适当调整。随着刚性体变得更水平,通过传感器进行的扭曲读取变得更精确。这是在 $\arctan(ax/ay)$ (其是刚性体的“滚动”角)中的 ax 和 ay 两者均增加幅值的结果,并且当刚性体垂直时 ax 和 ay 是对倾斜最敏感的传感器的静态X和Y加速度。

[0170] 因此,当在本文中所述的弯曲部分或接头“不能扭曲”、“抗扭曲”时,是“无扭曲”、是“扭转刚性的”,或“不具有机械扭曲”,或是“抗扭转”,或具有“高抗扭刚度”,它是指该扭力在弹性极限内,并且扭曲可以忽略或者可以使用公知的几何形状和滚动角的测量进行校

正。优选地,数学扭曲保持可忽略,这通常可以通过选择用于阵列形状的有利几何形状来完成。

[0171] 沿螺旋线的路径长度(弧长)对应于生成三角形的斜边。对于螺旋线的单匝:

[0172]
$$(8) S = 2\pi \sqrt{r^2 + c^2},$$

[0173] 其中S为路径长度,并且sqrt为平方根算子。本说明书涉及具有恒定路径长度的螺旋,因为这些表示刚性体和接头的连接总是具有相同的端到端长度,即便当呈波状时。

[0174] 其次,如果是具有不变路径长度的经历压缩或延伸的物理主体(表现得像弹簧),那么可以考虑螺旋线的形状。因此,S是恒定的,如此

[0175]
$$(9) A = \sqrt{r^2 + c^2}$$

[0176] 也是恒定的。

[0177] 我们可求解作为螺旋线高度的函数的半径,保持螺旋线的匝数恒定,以便螺旋线的端部总是在围绕生成圆柱的圆周的相同方位角处:

[0178]
$$(10) r^2 = A^2 / (1 + (\tan(\alpha))^2),$$

[0179] 图6示出作为 α (由螺旋线的压缩引起的螺距角)的函数的螺距比 r/c 。该线的斜率是重要的。其涉及螺旋线在轴向压缩时将横向扩展多少。斜率可以被归一化,以示出在半径上的改变百分比除以在螺距高度系数上的改变百分比。在图7中示出该百分比改变的比率。

[0180] 在图7中的比率 $-dr(\%) / dc(\%)$ (“螺旋线应变比”)非常类似于用于定义泊松比的横向应变与轴向应变的比率。泊松比涉及固体材料的横向应变与轴向应变。例如,当螺旋形传感器阵列被部署到无套管井孔中时,螺旋线应变比是相关的,并且期望阵列随着土壤围绕井孔轴向压缩而移动。人们不期望周期性阵列的直径在轴向压缩时过度地扩大,因为井孔不能扩展超过泊松比的极限。图7的以上螺旋线应变比可以用于设计将允许随土壤运动的螺旋线的螺距。

[0181] 图7的螺旋线应变比也与将螺旋阵列固定在刚性圆柱(诸如井孔套管)内相关。可以看出,任何螺旋线的直径将在轴向压缩时(诸如由于重力而在垂直套管中压缩)扩大。所述扩大将通过套管阻止,但将导致螺旋阵列与套管之间的强烈接触。这也适用于在轴向压缩时波状或Z字形阵列的横向扩展的二维情况。在图7中,指示1.0的比率(虚线11),其发生在螺距角45度(虚线12)的时候。在该角度处,例如,通过100m长和100mm直径的螺旋线中的1m进行的轴向压缩将导致其直径扩大1mm。

[0182] 图8示出具有50mm半径的螺旋线中的3m的扭曲,其被相对螺距角绘出。在约80度的螺距角处,每3m的扭曲约与用于倾斜仪套管的典型规格相同:0.33度每3m套管长度(虚线13)。80度或以上将是长和高0.5m的刚性体节段的典型螺距角。例如,84度是1:10的斜率(趋向上升),这将表示500mm的刚性体从一端向另一端倾斜50mm,如果所述刚性体非常狭窄,那么这只能在狭窄的孔中实现。为了测量在无套管井孔中的沉降,需要约45度或更小的螺距角,这意味着对于3m井孔的5度-6度扭曲。这将影响倾斜读数的方位角至深孔中的显著程度,但可以被校正,因为螺旋线的螺距角将总是从刚性体的倾斜测量得知。增加孔的直径具有降低扭曲每匝的效果;曲线的形状保持不变。

[0183] 在图9中示出响应于轴向压缩的螺旋线的横向扩展,其包括XZ正视图和YZ正视图以及XY平面图(分别为项目13、14和15)。视图示出初始螺旋线16和轴向压缩的螺旋线17。XY平面图15最清晰地示出由于压缩造成的直径的增加。使用螺旋线方程(1)-螺旋线方程(9)

计算曲线。

[0184] 土壤的垂直沉降(在垂直轴上压缩)可以由安装在无套管井孔中的螺旋阵列进行测量。在一般情况下,随着沿井孔升高,垂直沉降不均匀。但根据在每个特定高程的沉降量,螺旋线具有其螺距可以沿其长度改变的足够的自由度。沉降的螺旋线的扩展(螺旋线的轴向压缩)将导致可以保持螺旋线固定到土壤的向外的力。至少,扩展应该匹配土壤的泊松比。在许多情况下,扩展可以比通过泊松比规定的大,因为在一定程度上刚性体将趋于压入到土壤中。对于非常小范围的沉降,如果填充被设计成匹配土壤的可压缩性,那么灌浆或可压缩的所述填充可以用于填充井孔中的剩余空间。对于膨胀土,螺旋应变比应该比泊松比大,以便在扩展过程中保持与井孔的接触。

[0185] 类似的条件可以对围绕中轴的非螺旋非直周期性传感器阵列进行设置。该更一般情况下,任何两段可具有类似于螺旋应变比的应变比,由此,这两段的横向范围与轴向范围相关,并且必须匹配土壤的泊松比。所以这里描述螺旋的情况,但也可以延伸到环绕中轴的非直传感器阵列的更一般的情况。

[0186] 中轴及其计算稍后将在本说明书中更详细地进行讨论。就目前而言,足以将其看作螺旋线的中心线(生成圆柱的中心线)。

[0187] 随着土壤沉降,螺旋线将(通常在不同的高程下按不同的量)垂直压缩。中轴将变短,并且沿中轴的“第二顶点”(表示周期性阵列的接头中心的“第一顶点”的突起)将根据在每个高程下的沉降而改变高程。

[0188] 螺旋线的横向变形将导致其计算的中轴以非常类似于在中轴位置处的实线性SAA的变形的的方式变形。因为除长度外,中轴不受垂直沉降(轴向压缩)的影响,所以轴向压缩和横向变形的测量结果都可以用相同的阵列进行,并提供相互独立的数据。

[0189] 图10示出Z字形路径,其用线段18表示刚性体的轴并用圆19表示实现路径连接的接头。路径由腿部20组成,其中在这种情况下,每个腿部具有两个刚性体(例如,腿部20在最靠近标签“20”标记为19的两个圆之间延伸)。一般来讲,如果接头为短的话,则具有非扭曲(扭转刚性)接头的Z字形的每个腿部(Z字形在平面中)应具有至少两个刚性体,或其可以不在其平面外自由弯曲。较长的接头可以实现各腿部中的单段。短接头的困难是由于接头的非扭曲性质,其与在路径边界处的尖锐接头角度结合。对于允许一个自由度(1DOF)的弯曲和1DOF的扭曲的带状物,其可以足以具有仅一个刚性体/腿部。

[0190] 图11示出空间数据的正弦波21。其不表示幅度对时间,而是X对Z或Y对Z:位置数据。通常任何路径(无论多么不规则)可以分解成一系列不同的频率、振幅和相位的正弦波。初始路径可以由该系列重建;即,过程是可逆的。该空间频率含量常常使用快速傅里叶变换(FFT)算法通常作为傅里叶级数来计算。

[0191] 图12示出可表示分段或平滑路径的空间频率分量或平滑路径自身的正弦波。其可表示在Z方向从螺旋线延伸的XZ或YZ数据。XZ或YZ数据可以被认为是来自不同正交“视图”诸如图9的视图13和视图14的数据。正弦波的中轴22可以通过各种操作找到。“中轴算法”的一个示例是绘制从路径的第一点23延伸到与第一点相位差90度的路径的第二点24的线段。第一点23和24用圆进行标记。这些段的中点25(正方形标记)可以用于绘制多段线(由直线段组成的曲线),所述多段线随着使用更紧密间隔的线段而在极限中变成平滑弯曲的中轴22。

[0192] 中轴通常将必须在端部处稍微延伸,以匹配其生成波形的全长。可以使用常用于推断连续平均数据的算法。在许多情况下,将足以基于波形的已知长度定义端线,并仅在其最外层的斜坡处继续端线中轴。

[0193] 图13示出通过添加倾斜的空间脉冲(点线26)而变形的正弦波21。变形的正弦波21表示已侧向(横向)于其长轴变形的路径的扭曲的空间频率分量。其也可表示已横向变形的螺旋线的一侧的正交视图。在图13中的中轴(虚线22)已使用上述图12中的中轴算法生成。例如,相分离90度的第一点23和24用于绘制带有中点25的线段。所有中点用于定义多段线(虚线22),其可以被用作中轴。在接近斜面“角落”的多段线22和26之间的差异可以通过使用更多的点23和24以生成中轴来减少。

[0194] 来自中轴的数据可以相同的方式用于检测并评估周期性路径(Z字形、波状、螺旋)的变形,所述方式为如果阵列遵循中轴那么将使用来自非周期性常规阵列(诸如SAA)的数据。

[0195] 图14示出分段路径,其中分别用线段18表示刚性体的轴并用圆19表示它们在第一顶点的交叉点。分段路径具有如正弦波21(有点的)所示的主空间频率分量,所述正弦波已用于形成“目标”中轴21,正弦波的“中线”。图12的中轴算法已经仅在第一顶点处施加,以确定第一中轴(正方形标记27)。可以看出,因为路径的分割,第一中轴存在从目标中轴21(直线)的一些偏差。然而,对第一中轴点27第二次应用中轴算法,再次只使用顶点(现在第一中轴的顶点)作为线段的端部,导致几乎完全直的第二中轴(“+”标记28)。这是迭代以在最终中轴上收敛的示例。

[0196] 中轴算法或与其类似的操作可以应用于在任何正交视图中的任何路径的单个空间频率分量,以在每个频率和每个视图中确定多个中轴。然后可以通过在点处平均或其它类似的操作将中轴组合成一个单一的3D中轴。

[0197] 对一些周期性路径确定中轴的另选方法是用边界多边形或曲线围绕波形,并且然后使用多边形中轴算法找到多边形的中轴。例如在2D中,平面曲线S的中轴是在两个或更多的点与曲线S相切的圆的中心轨迹,其中所有此类圆包含在S中。图15示出通过矩形多边形6界定的正弦波21。圆30的中心29与定义中轴22的多边形6相切。

[0198] 因此,对于任何形状的周期性路径,总是可以在至多三维中找到中轴。

[0199] 中轴便于描述路径的大致形状。其也描绘形状的“中心”,即便当周期性路径沿中轴的大致方向压缩或延伸时,诸如当用相同的螺旋形路径仪器测量沉降和横向变形时。然而,在其中沉降不是因素并且仅寻求变形测量(没有描绘起始形状)的安装中,可以不需要中轴作为数据集的一部分。在这些情况下,变形数据可以根据在与“起始螺旋线”相比的螺旋线的形状差异来计算。以图形的方式,起始螺旋线在变形图中将呈现为直线,并且变形将导致线的横向运动。这与现有技术的倾斜仪或SAA的变形图稍有不同,在现有技术的倾斜仪或SAA中第一形状总是描绘为直线,所述直线然后随时间变形,即使由于在钻孔和安装中的误差造成第一形状通常不是直线。

[0200] 沿周期性路径的图形表示的接头中心被表示为“第一顶点”。“第二顶点”是路径上的第一顶点在中轴上的投影。投影沿到中轴的垂线。垂线包含第一顶点和第二顶点。这些“间接”第二顶点然后可以同样的方式用作“直接”顶点,以在现有技术的倾斜仪或SAA仪器的图形表示上用于:作为接头中心沿仪器路径的位置的表示。

[0201] 弧的情况,诸如圆或圆的一部分,需要一些更多的讨论。弧在测量收敛中是重要的。通过在围绕圆柱形隧道的横截面的圆(或弧)中布置刚性体的阵列,可使用现有技术的弯曲传感器的阵列执行隧道的收敛。弯曲(或来源于倾斜传感器的弯曲)用于在变形后在由弧形或圆形定义的平面中找到圆或弧的形状。在这种情况下,人们可以倾向于使用圆形方程($x=r\cos(p)$ 和 $y=r\sin(P)$)以定义圆的中轴。但是,这不类似于定义螺旋线的中轴。螺旋线在z向延伸,所以螺旋的每个视图可以通过在z向延伸的正弦波来描绘。在圆的情况下,定义的正弦波和余弦波是在平面中,所以中轴将是点。在本发明的允许并测量弧在其平面外的运动的背景中,中轴仅变为线。在这种情况下,人们可以找到在z向延伸的阵列的非平面形状的空间频率分量,并且其可以被认为是螺旋线的分量。

[0202] 通过沿水平隧道的圆周(或垂直或倾斜轴)使另外的圆形路径呈波状前进(或锯齿形运动)可以获得比先前在收敛测量的现有技术中可用的更多的数据。在图16中示出水平隧道31的示例,并且在图17中示出垂直轴32的示例。在图16和图17两者中,通过两个圆形曲线33界定波状路径21。中轴算法可以应用于围绕隧道的圆周或轴布置的波状路径,导致弧形或圆形中轴22。通过圆形曲线33限定的带状表面包含路径,所述路径具有大致在条带中心的中轴。全部来源于在路径的刚性体中的倾斜传感器的新数据,可用于量化条带的扭曲和轴向于隧道或轴的变形,以及在中轴平面内中轴朝向和远离该平面中心运动的现有技术的数据。数据充分描述条带表面在3D中的变形。甚至可以通过为直径的函数的起伏的波长和振幅方面的改变,检测条带的均匀扩张或收缩,尽管不完全。不完全由近似水平的波状路径的一部分导致,诸如在水平隧道的顶部和底部。在那些部分中,关于重力矢量旋转的传感器存在很少或无倾斜改变。然而,在3D中感测到条带的其余部分,所以波长数据仍然是有用的。这尤其是因为如果大部分条带的波长发生改变并且没有发生其它变形,诸如发生顶部或底部的局部收敛,那么可以推断最可能发生条带的均匀扩张或收缩。而且,不完全不与非水平的轴相关。

[0203] 在隧道壁或井壁上的起伏的另一个益处是刚性体在包含刚性体的管内的改善的适配。现有技术的SAA通常安装在比形成刚性体的刚性管稍大的柔性导管中。在刚性体之间的接头被设计成在SAA的轴向压缩下膨胀;然而这几乎不使刚性体完全固定在容纳管中。如果柔性导管在具有正确曲率的弧中,那么刚性体将在它们的端部和中间接触,完全将它们固定。然而,该曲率仅很少是隧道表面或轴表面的曲率。起伏允许将刚性体固定在柔性管的另一自由度。刚性体的长度可以设计成实现在隧道曲率下的柔性导管中的松配合,但在带状表面内的波状中紧配合。可以在位点处调整起伏,以在带状表面内产生刚性体的紧密三点配合。仅需要制造有或没有膨胀接头的几个标准长度的刚性体,以实现此类系统。在图18中示出波状管道内的刚性体紧配合。在这种情况下,由在三点34、35和36处触摸的刚性体定义紧配合。紧配合是呈波状前进的充分理由,即使当不期望在弧形平面外测量时。

[0204] 其它路径在隧道和轴的测量中是有用的。在水平隧道中用SAA进行的大多数收敛测量是协同用水平SAA监测顶部或底板以监测在包含SAA的垂直平面中的SAA下陷或上升来完成的。关于多个收敛弧或圆和长的水平SAA的许多相同数据可以用在隧道的内表面上的螺旋线来获得,其中螺旋线的轴水平,如图19所示。可以调整螺旋线5的螺距以改变在隧道31的表面中沿轴线的数据点之间的间隔。垂直轴也可以用该方式进行测量,其中螺旋线的轴垂直。

[0205] 图20示出图19的隧道31和路径5,其示出隧道直径的缩减。隧道的缩减和螺旋线已在图中放大。由于螺旋线适形于新隧道形状,因此可以在小范围内感测到直径的缩减。然而,这可以通过起伏来改善。如果路径是波状的,如在图18的圆形带的情况下,那么可在更大范围内以改善的空间分辨率测量到缩减以及在圆形带的情况下测量的所有其它参数。

[0206] 隧道壁也可以用大致在垂直平面中的波状或Z字形周期性阵列来测量。在图21中示出一个相当一般的示例。在波状路径21中的周期性阵列是在大致垂直的表面37上。其可以表示任何垂直壁(诸如隧道壁)的测量。如果隧道的横截面为圆形,那么图21的表面也将围绕水平轴弯曲,成为完全的3D弯曲表面,如图22所示(在这种情况下,具有锯齿形阵列38)。轴7定义3D坐标系。

[0207] 具有起伏的垂直表面的测量可导致靠近起伏的峰和谷的点的一些丢失数据,其中如果这些部分弯曲使得刚性体关于重力方向(“重力矢量”)旋转,那么起伏的斜率非常低(接近水平)。然而,这些部分可以在局部平面内刚化(诸如,通过固定到背衬片),以便隧道变形完全转移到刚性体的周期性阵列的其它部分。在刚性体被安装在带状物上(约束至1DOF弯曲和1DOF扭曲)的情况下,由于带状物的机械约束,在峰和谷处的刚化通常将不是必要的。然而,由于带状物不能在其自身平面外弯曲,带状物可能不能非常好地遵循一些表面。一般来讲,带状物不能以两个DOF遵循弯曲表面;仅一个DOF的弯曲可以容易地调节。

[0208] 图23示出在垂直表面37中的周期性阵列的波状路径21。该路径能够垂直地变形,如图24所示。例如,如果具有路径21的周期性阵列被安装在铁路轨道旁边的沟渠中(当然沟渠将被填充),在沟渠下方的土壤或底座的侵蚀可导致地面下降,并且由于沿路径的倾斜的改变,将通过波状阵列在其自身平面37内弯曲来感测。与此相反,在图25中示出相同的表面,但用由虚线指示直的现有技术的SAA或倾斜仪38。因为现有技术的SAA和倾斜仪传感器是不可延伸的,所以SAA或倾斜仪将不能落入到大的局部凹陷(沉降)中,而是保持直的并且没有可用的底座故障警告。

[0209] 图26是示出其路径21在垂直平面表面37内的周期性阵列的另一个示例的正视图。其被示为锯齿形的,但也可以是波状的。线段18表示刚性体。圆19代表接头。在这种情况下,周期性阵列的平面的示例位于靠近斜坡坡脚(最低高程)的已填满沟渠中。所述平面位于XZ中,如通过轴7所示。坡脚土壤的沉降可导致平面内的弯曲,如图27的另一个正视图中所示,其中18、19、21和37是与图26中的物体相同的物体。这将通过周期性阵列来感测。如在滑坡时的斜坡运动可导致垂直平面37在其平面外的拱形变形,如图29所示,其为如通过XY轴7所示的平面图。路径21和表面37的该横向弯曲(在该视图中重合)也将被感测到。

[0210] 在垂直平面中呈波状或锯齿形的周期性阵列可以被认为是单单独子阵列的集合,其中每个都具有一些充分非水平的段(刚性体),以进行沿其长度位置的3D测量。每个子阵列在其端部处为任何相邻的物理连接的子阵列提供位置参考。因此,已知沿整个周期性阵列的位置。在图28的示例中,Z字形的所有腿部(例如,一个腿部由从附图左侧的第二至第四段18组成)成为弯曲的,并是充分非水平的以提供精确的3D数据。

[0211] 一般来讲,不充分垂直以提供3D位置数据的任何段将提供2D位置数据(来自在垂直平面内的倾斜)。因此,3D形状的数据可以是不完全的,但仍是有益的。

[0212] 周期性阵列的形状将随其部分中的一个的任何位置改变而改变。周期性阵列的形状的空间频率分量的波长提供关于周期性阵列的3D形状的附加信息,这可以用于改善上面

不完全已知的3D形状数据。例如,如果在垂直平面中的起伏经历如图28中的横向凸出,那么其波长将越来越大,如通过其所有段的越来越大的横向倾斜所表示。因此,连同更加非水平的段一起朝向水平面移动的近似水平段的任何少数部分均可具有合理的确定性,以证实相同的运动模式。要注意的是,仅波长不足以确定运动的方向,因为对于到线的右侧或左侧的突出可发生相同的波长。然而,波长连同来自非水平段的一些附加3D数据可以一起求解方向。

[0213] 在水平平面中呈波状或锯齿形的周期性阵列也是有用的。例如,如图29中在铁路的铁轨之间呈波状的周期性阵列21可以用于测量铁轨39的倾斜和扭曲以及下陷和上升。周期性阵列可以附接到在铁轨之间的枕轨40。以类似的方式,在土壤表面上呈波状的周期性阵列可以用于测量整个表面的垂直沉降(正向和负向),而不是沿线的沉降。波状阵列本身可以被认为是适合权利要求的“2DOF”弯曲情况,或适合具有轨道为权利要求的“1DOF弯曲/1DOF扭曲”情况的情况(“带状物”情况)的波状阵列组合。

[0214] 在水平平面内具有波状路径的构型可以在刚性体中以1DOF倾斜传感器来测量。当周期性阵列具有允许2DOF弯曲且无扭曲的接头时,此类传感器应当优选在水平时取向在它们最敏感的取向。当周期性阵列是在具有允许1DOF弯曲和1DOF扭曲的接头的带状物上时(以下更详细地讨论),这也是理想的布置,但如果使用两个传感器并且传感器在距带状物的轴45度处,那么测量也将是相当有用的。这可以实现为了各种目的而在带状物(包括在钢轨底座上的水平平面)上使用传感器的标准构型。来自具有1DOF传感器的带状物形式的数据必须小心处理,因为靠近钢轨底座的横向中心的传感器将不响应于带状物的扭曲,预期当轨道弯曲时。它们将仍响应于轨道的弯曲或扭曲。然而,在轨道附近的传感器(其中由于靠近铁轨的带状物的弯曲而导致不存在扭曲)将测量由于轨道弯曲造成的倾斜,因此有用的测量可用于在水平平面中的周期性阵列的所有情况,甚至具有1DOF感测。在这种情况下,靠近轨床的横向中心的传感器主要测量轨道的弯曲和扭曲,并且邻近轨道的传感器主要测量轨道的上升和下降(在垂直平面中的弯曲)。

[0215] 本发明在铁路轨道或其它水平表面上的其它优点包括可延伸性,其实现例如由于温度改变而随着轨道改变长度与轨道一起移动。另一个优点是使用只有单个自由度的传感器测量3D形状。

[0216] 图30示出在带状物41上的刚性体的周期性阵列,其能够以1DOF弯曲并以1DOF扭曲。包含倾斜传感器的刚性体通过在沿带状物的一定间隔处的交叉箭头来表示(描绘安装在刚性体中的倾斜传感器的轴42和轴43)。未示出刚性体,其尺寸可从包含MEMS加速计的集成电路的尺寸调整为允许在刚性体之间的足够弯曲和扭曲的长度的任何尺寸。间距进一步假设为使得在刚性体之间的柔性部分具有在重要测量角度范围内的弯曲和扭曲两者的恒定曲率。一般来讲,刚性体越短(轴向),所需传感器的数目越大。

[0217] 传感器的轴42和轴43被示出为正交的,虽然这不是严格必要的。它们仅需要是非共线的。正交轴42和正交轴43被示出为取向成在距带状物的长轴45度处。这导致传感器远离它们的最佳角度范围操作的最少情况。MEMS加速计包含可被视为沿线偏转的在弹簧悬架上的质量块。根据线与重力的角度的余弦偏转。因此,当角度为90度时,传感器输出最剧烈地改变,当角度为45度时传感器输出仅减少30%,并且在30度以下时非常迅速地降低。因此,如果带状物在与传感器成45度的竖直面内,如图所示,那么当带状物的长轴垂直或水平

时,从两个传感器获得适当的响应。当带状物在水平平面内时,一对的两个传感器都最佳地取向为用于最剧烈的输出。将这种情况与其中正交对中的一个传感器与带状物的轴对齐的情况相比较。当在垂直平面内垂直时,在平面外的倾斜将被不良地感测到,因为只有传感器响应将是具有垂直轴的响应,而这将在其余弦响应曲线的最不响应部分处。45度的安装是最佳折衷,但许多其它角度将在宽范围内工作。在一些情况下,可以使用具有正交于前两个轴的第三轴的另一个传感器。在这种情况下,通常将使用三轴MEMS加速计。

[0218] 图31示出在垂直平面内呈波状的图30带状物41,从稍高边缘到带状物来观察。在刚性体中的传感器的轴被示出为交叉箭头42和交叉箭头43并且一起表示刚性体本身,如对于图30描述。图31的构型可进行已对波状或锯齿形传感器讨论的许多测量。例如,可以在最一般情况中的一个情况下执行:波状路径周期性围绕隧道表面中的螺旋中轴,所述螺旋中轴继而周期性地围绕遵循隧道的中心轴的另一个中轴。

[0219] 图32示出螺旋形式的图30带状物41。图32中的物体与图30中那些相同。该周期性阵列将感测螺旋线沿其中心轴的延伸和压缩,以及螺旋线的横向(侧向)的变形。延伸或压缩将导致带状物的弯曲和扭曲改变。侧向变形将引起其它弯曲和扭曲。所述弯曲和扭曲完全限定周期性阵列的路径,因为它们完全限定所允许的自由度。

[0220] 在测量周期性阵列的所有情况下的原理是所有可能的允许自由度由倾斜传感器在期望的测量范围内进行测量,以得知路径的形状。路径的形状用于计算包含路径的表面并用于计算中轴的形状。中轴用于简化结果的解释,通常用于提供与直线传感器路径可比较的数据。

[0221] 图33示出SAA在井孔(未示出)中的垂直套管4内的现有技术安装。通过灰浆(未示出)将套管保持固定在井孔内。SAA由通过接头2连接的管式刚性体1组成,所述接头可以2DOF弯曲但不可以扭曲。图33中较短的刚性体45表示SAA对于视觉效果的延续,并且可以假设为静止的。所述套管在底部处具有盖44。这提供对从上方施加的轴向力的反应,并保持材料(例如水和泥浆)在套管外。

[0222] 已施加于SAA的轴向力导致接头膨胀并保持其在套管内收拢。第一视图51示出在任何变形之前的SAA和套管的XZ高程。第二XZ正视图52示出土壤已侧向变形后的系统。示出变形数据的两个曲线图52和53。52是XZ视图,53是在YZ视图。在每个曲线图中的虚线46示出在第一时间的SAA形状。在每个曲线图中的实线47示出在第二时间的变形。曲线图54是变形的XY视图。“+”标记49定位在变形前的SAA的轴。圆48表示套管的静止底部的内径。在曲线图54中的实线47分别是在XZ和YZ视图52和53中所示的实线的自顶向下平面图。在曲线图52、曲线图53和曲线图54中的轴7指示每个视图的坐标:分别为XZ、YZ和XY。

[0223] 图34是在比图33中的大的垂直套管4中的螺旋形路径中的SAA的描绘。另外,所述构型与图33相同(即,套管在用灰浆固定的井孔中,并应用于套管的变形是相同的)。SAA由通过接头2连接的管式刚性体1组成,所述接头可以2DOF弯曲但不可以扭曲。视图50和视图51分别是未变形套管和已变形套管的相同XZ正视图。曲线图54为XY视图,其示出用于在带有套管的SAA的接触点附近的SAA的中心线的“+”符号49,由于其关于从套管的底部到顶部的中心轴循环。在XY视图中的实线56表示在该“自顶而下”的视图中的中轴。曲线图52和曲线图53是XZ视图和YZ视图,示出与在图33中的“直”SAA的数据相同的数据。但在这种情况下,数据不是来自SAA的中心,而是来自中轴数据。在视图50-视图53中,数据分别由中轴55

和中轴56从未变形螺旋线和已变形螺旋线示出。可用从SAA的第一顶点2投影的在中轴上的第二顶点57,通过先前给定的算法中的任一种,找到螺旋线的中轴55和中轴56。(为简单起见,在视图52和视图53中仅示出一个顶点57,但多段线55或多段线56的每个顶点将亦如此投射)。所有其它标记的对象与图33中的相同。

[0224] 对于一系列刚度和长度的接头,当诸如通过在垂直套管中的重力或通过在水平套管中的弹簧力来施加轴向压缩时,由通过以2DOF弯曲的接头分离的刚性体组成的周期性阵列将自动采用在圆柱形套管(或无套管井孔)内的螺旋形状。当此类周期性阵列降低到垂直套管中时,低端将撞击套管的底盖,或井孔的底部,并且最低的刚性体将倾斜。下一个刚性体将倾斜,但将趋于使在第一刚性体的顶部处的顶点围绕套管的圆周行进。当每个刚性体“放置就位”时都发生该旋转。考虑由在套管的底部处的2DOF接头分离的两个刚性体。在非常低的轴向力下,两个主体可以在平分套管的平面中静止。然而,附加的力可容易地扰乱该形式并将其转变成螺旋线。如果在接头与套管之间存在小力和高摩擦力,那么仅可以维持平面形状。具有低摩擦力和高力,的平面形状是不稳定的,这里只有摩擦力以阻止中间顶点围绕圆周滑动。

[0225] 螺旋线的形成可以是顺时针或逆时针的。当其第一形式足以驱动其至两种状态中的一个时,可对螺旋线添加少量的扭矩。任一状态可以提供相同的中轴和形状的测量以及形状的变形。一旦其开始以特定的状态从底部朝向套管的顶部形成,通过周期性阵列形成的螺旋线具有在期望范围内的段长度、接头长度以及接头刚度,螺旋线不能逆转为其它状态。

[0226] 一旦螺旋线形成,其通过向外的扩展力固定到位,这是螺旋线方程的结果。套管(或井孔)的直径必须使力足以克服接头的摩擦力和刚度,但螺旋线可以用比刚性体仅多20%直径的套管容易地形成。如果摩擦力和刚度降低,那么该额外的空间可以减少。

[0227] 螺旋线形成的原理是相同的,无论刚性体是长的还是非常短的。如果非常短,那么周期性阵列将与套管或井孔的壁几乎恒定接触。

[0228] 下列条件有助于形成不从顺时针状态逆转为逆时针状态或反之亦然螺旋线:

[0229] 1. 在抗扭曲的管的总体包封内并且在接头诸如液压软管的距离内的不能形成S曲线的段。

[0230] 2. 具有短的柔性接头的段,所述接头足够短以便它们不形成S形曲线。

[0231] 3. 在抗扭曲的总体包封内并且在弯曲时足够硬以保持沿其长度的恒定弯曲和扭曲(无论包含在内的阵列的机械性质如何)段。

[0232] 第一情况的示例是包含在具有约19mm内径的液压软管内的28cm段,所述段以约20mm轴向分离。

[0233] 第二情况的示例是通过短接头分离的30cm或50cm的段,所述接头由具有约15mm外径的液压软管制成,接头的长度为约25mm。

[0234] 第三情况的示例是通过任意构造的短或长接头分离的30cm或50cm的段,其保持在具有21mm内径和约27mm外径的PVC管的容器内。

[0235] 根据第三情况的构造是形成具有顺时针方向或逆时针方向的螺旋线并包含各种阵列结构的简单且可靠的方法。PVC具有足以超过内部阵列的刚度的刚度,但其足够柔韧以形成具有不超过20kgf的轴向施加力的螺旋线。

[0236] 直径足够小以允许在实际井孔直径内使用的容纳管的添加可被用来形成特定的周期性形状诸如螺旋线或波状的形成,这些形状对于各种各样的阵列构造是可预测的。容纳管围绕传感器阵列。

[0237] 借助现有技术的膨胀接头和/或轴向力(包括重力的轴向力)的添加,传感器阵列可以被固定地保持在容纳管内,以向阵列赋予周期性形状,所述形状根据接头和段大小以及在弯曲时的接头刚度可以为Z字形、螺旋形或随机的方位角,但将具有与容纳管的内壁紧密接触的顶点。这是“嵌套式”周期性的示例,由此传感器阵列具有在其容纳管内的中轴,并且在包含的井孔内呈螺旋线或其它周期性形状的中轴限定井孔的整个中轴。

[0238] 具有倾斜传感器的刚性体的螺旋布置允许校正由已扭曲至超过其弹性极限的损坏接头产生的扭曲误差。任何此类接头将导致刚性体在具有垂直轴的螺旋线内的不正确的滚动角,其中所述滚动角是由在刚性体中的传感器读取的静态X加速度和Y加速度的比率的反正切,其对记录刚性体的顶部相对于底部的2DOF倾斜负责。如果螺旋线大体上水平,那么相同的两个X和Y传感器也将提供滚动角的测量。在垂直和水平两种情况下,螺旋线必须具有规律连续的滚动角,因为被安装在大体上直的直径均匀的管中。该螺旋线将具有一组可预测且恒定的滚动角和其它倾斜。来自传感器超过(按螺旋线的计算顺序)并包括不良接头的的数据可以通过施加与扭曲误差的负数相等的偏移来校正。如果传感器阵列安装在已知形状的任何表面中,那么可以使用类似的技术。在所有情况下,必须存在待校正的刚性体的一些倾斜,或者X加速度和Y加速度将相同(不管任何扭曲)。

[0239] 不形成螺旋线的传感器阵列仍可以周期性地围绕中轴。情况包括:

[0240] 1. 由于接头和段的刚度和长度,螺旋线以有规或无规间隔从逆时针逆转方向为顺时针或反之亦然。

[0241] 2. 阵列在垂直平面内的井孔内采用Z字形形状,其中相邻顶点在井孔的相对侧上。

[0242] 3. 顶点在随机或高度可变的方位角处的井孔的壁上停住。

[0243] 4. 一个或多个段紧靠井孔壁平放。

[0244] 在所有以上情况中,可以发现中轴表示井孔的形状。基于顶点可以不占据在井孔外的空间的知识,也可以执行至少许多扭曲误差的校正。即使顶点的位置随时间转移(诸如通过紧贴井孔壁的段移动,以便其顶点在井孔的相对侧上),中轴将仍表示井孔的形状。

[0245] 图35-图37示出具有线段1的周期性阵列的路径的XZ视图、YZ视图和XY视图,所述线段表示通过扭转刚性接头分离(圆形,2)的长的刚性体。虚线49示出界定周期性阵列的井孔或套管的内径。在图37的XY视图中,采用的虚线圆在套管的静止底部。可以看出,虽然正视图(图35和图36)中的每个看起来“不规则”,但接头通过在套管周围的规则方位角间隔处的横向扩展力而被固定到套管(或井孔),如在图37的平面图中可以看出。算法可以应用于每个视图以找到第一、第二或更多中轴以收敛到最终中轴上,在这种情况下所述最终中轴将是套管的中心线。另选地,可以在每个视图找到空间波形的傅里叶分量,并且对于所有这些找到中轴(无需迭代),并组合成最终中轴。两种类型的算法已在本说明书中详细解释。

[0246] 作为螺旋阵列的另一个示例,图38的视图50和视图51分别示出周期性阵列的相同XZ高程的未变形和已变形状态,所述阵列具有比图34的先前螺旋示例多的刚性体。刚性体1被描绘成小矩形。在物理上,它们可以是配有传感器的短管,在液压软管中紧密保持以形成接头。在该示例中,在每对刚性体之间的接头2由从刚性体延伸到刚性体的液压软管形成。

周期性阵列在套管4(其也可无套管井眼15)内形成接近平滑的螺旋曲线。在该示例中,套管配有端盖44。其提供对从上方施加的轴向力的反应,并保持水和土壤在套管外。

[0247] 在视图50-视图53中,来自周期性阵列的中轴的数据被示出为虚线55和虚线56,分别对应于未变形和变形状态。中轴类似于图34的先前示例的中轴,但更多数目的数据点产生更平滑的曲线。如果周期性阵列接头的刚度足以保持在具有传感器的主体之间的大致螺旋形状,那么可以减少具有传感器的刚性体的数目。为简单起见,未在视图50和视图51的上部中示出刚性体,但数据被示出,如同存在刚性体。

[0248] 对于本文所述的非直阵列中的任一个,可以填充具有传感器的刚性体中的仅一些(“一组”),其它刚性体未填充传感器。总是存在风险,即由于包含阵列的介质的形状的局部细节而造成未填充(“未激活”)的刚性体将倾斜,这些细节将被错过。但存在其中仅一组刚性体填充有传感器的有用的情况,并且几何形状或者特别是保持阵列的套管的弯曲刚度足以滤除此类局部干扰,并捕获具有保真度的整体形状。刚性套管可以被认为是用于形状的空间频率分量的滤波器,只有低空间频率分量通过到达刚性体。因为由于曲线具有恒定弯曲和扭曲而造成刚度增加,所以阵列和/或其柔性接头的螺旋形状可以帮助该空间滤波。

[0249] 在图38中,曲线图52和曲线图53是数据的XZ视图和YZ视图。曲线图54是XY视图。“+”标记57示出当螺旋阵列从套管的底部上升到顶部时的刚性体中心的位置。实线56是中轴56的自顶向下视图,现在比在图34中更平滑。如在类似的附图中,轴7标记在视图52-视图54中的坐标。

[0250] 图39示出具有通过由液压软管制成的长接头2分离的远距离间隔开的刚性体1的周期性阵列。所述刚性体可以是刚性管状物或管。间距和刚度使得接头材料和刚性体形成与套管几乎恒定接触的接近平滑的螺旋线。视图50和视图51是周期性阵列的相同XZ视图的高程。视图52-视图54是XZ视图、YZ视图和XY视图。在视图54中的加号标记58是当螺旋线从底部爬升到套管的顶部时的刚性体中心的位置。轴7指示视图52-视图54中的每个的坐标。在视图54中的圆48指示在静止底部处的套管的内周,端盖44位于所述底部。

[0251] 作为例证,在图39中的中轴55和中轴56在所有视图中已通过使用来自如在其它实例中的远距离间隔开的刚性体的倾斜计算出,但在这种情况下,使用它们作为沿连续平滑的螺旋空间曲线的倾斜的样品。这导致连续的中轴,而不是多段线中轴。为实现这种确定中轴的方法,倾斜的样品将被用作沿3D样条拟合空间曲线的控制点。然后,样条拟合曲线将以任何期望空间分辨率用于计算中轴。结果与图38的中轴非常类似。当然,用长接头将错过或部分错误更多的在刚性体之间的局部变形的机会。

[0252] 图40示出与上面图39的结构类似的结构,其在刚性体1之间具有甚至更长的间距。在刚性体之间的接头2由液压软管制成以抗扭曲并以2DOF弯曲。软管和刚性体形成螺旋线。柔性接头(虽然是长的)保持恒定的曲率和扭曲,如由螺旋线方程所规定。接头足够长,使得这是沿周期性阵列的长度(对于在一定程度上比在图39中的周期性阵列的长度甚至更大)“取样”倾斜的情况。但只要形状的改变不是突然的,便是有用的监测形状和形状的变形的的方法。周期性阵列在具有底盖44的套管4中。

[0253] 图41示出与上面图40的结构类似并且在刚性体之间也具有长间距的结构。刚性体旨在紧密地配合在套管中,不同于图40的那些,在刚性体端部处其被压靠在套管的内表面上,但并不全部围绕圆周而紧密地配合。长接头在其大部分长度上螺旋并保持与套管的近

似恒定的接触,并且近似恒定的弯曲和扭曲。螺旋线的弯曲力矩转移到刚性体,其中,如果刚性体与套管之间存在间隙,那么将锁定刚性体以在刚性体与套管之间设定恒定角度偏移,从而将其有效地就地固定就位。

[0254] 图42和图43在每个视图中以具有第一波长的第一螺旋线21的形状示出周期性阵列的XZ视图和YZ视图;螺旋线在具有第一直径的套管59(或无套管井孔)中。螺旋线具有中轴22。图44示出在较大直径的套管或井孔60中的第二螺旋线62中的相同的周期性阵列的XZ视图。套管60的较大直径已在XZ视图或YZ视图中导致第二较短波长(为简单起见,对第二螺旋线示出仅一个视图XZ)。第二螺旋线将具有在垂直尺寸的波状路径上的“第一顶点”的较短间距,和沿中轴63的深度的“第二顶点”的较短间距。

[0255] 示例顶点在每个视图的螺旋线和中轴上示出。在图42即XZ视图中,第一顶点64和第一顶点65被示出为在螺旋线上的90度间距处的加号标记。在中轴22上的圆形标记66和圆形标记67分别为对应于在螺旋线上的第一顶点64和第一顶点65的第二顶点。圆形标记66在视图中与加号标记64重合。在图43中,加号标记68和加号标记69,以及圆形标记70和圆形标记71为图42中的标记的伴随,但它们在YZ视图中。标记具有第一顶点间距71。

[0256] 在图44中,其为在较大套管中的相同周期性阵列的XZ视图,加号标记72和加号标记73为第一顶点,并且圆形标记74和圆形标记75为第二顶点。标记73和标记75重合。在较大直径的螺旋形状上的标记的间距为90度。垂直间距75小于垂直间距71。

[0257] 图45即XY视图示出第一套管的内圆周76,和第二套管的较大圆周77。在每个视图中的轴7指示每个视图的坐标。

[0258] 图42-图45示出通过在安装过程中选择不同的套管大小,可以在沿套管的不同间隔处将传感器分布在相同的周期性阵列中。套管的大小也控制螺旋线的螺距,这意味着调整在套管中的周期性阵列的配合或调整螺旋应变比以匹配在无套管井孔中的土壤的泊松比。

[0259] 当周期性传感器阵列在套管或井孔中的螺旋形式时,存在真空区,其提供抵抗外力的破碎或其它损坏的缓冲。如果它们局部移动阵列,那么外力可稍微使测量扭曲,但通常随破碎的进行将存活较长时间,并且将比其中将存在很少或没有真空区可用的将紧密配合的阵列保持提取较长时间。在倾斜仪安装中也存在真空区,但容纳倾斜仪的轮的沟槽将通过外力被扭曲的第一元件,所述外力通常使得倾斜仪安装在短期内无用。

[0260] 图46示出在容纳管80内的传感器阵列的段1,由于与传感器接头(未示出,但应理解为将各段连接至下一个段)相比在容纳管在弯曲时的刚度增加,因此添加所述段1以加强可预测的周期性形状。轴向力可以施加于容纳管,并且可以包括重力的轴向力,以将容纳管置于期望的周期性形状中,诸如在套管4内并与其接触或在无套管井孔内的螺旋线,而且可包括重力的另一个轴向力可以施加于段,以在容纳管内产生另一个周期性形状,以通过放置与容纳管的内表面接触的顶点(接头的中心)使段在其中固定。如在其它示例中,端盖44可用于保持土壤和水在套管外,并且用于提供对轴向力的反应。容纳管也可以单独地加盖(未示出)。在图46中的段可以另选地由显著长度的接头分离,并且关于在较早示例中的套管内的段和接头及其形式的所有说明可以应用于容纳管内的段和接头。图46是周期性路径的“嵌套式”组的示例,一组与在容纳管内的段有关;另一组与在套管或无套管井孔内的容纳管的路径有关。来源于段的顶点的第一中轴(未示出)将具有表示容纳管的路径的形状。

来源于第一中轴的路径的第二中轴(未示出)将具有表示井孔或其套管的路径的形状。

[0261] 前述已构成具体实施例的描述,所述实施例示出可以如何应用本发明并投入使用。这些实施例仅是示例性的。本发明在其最广泛和更具体的方面中,本发明的进一步描述和限定在现在下面的权利要求中。

[0262] 可以理解,这些权利要求以及在其中所用的语言依据已描述的本发明的变体。它们并不限制于此类变体,而是被理解为涵盖作为隐含在本发明和本文已提供的本公开内容中的本发明的全部范围。

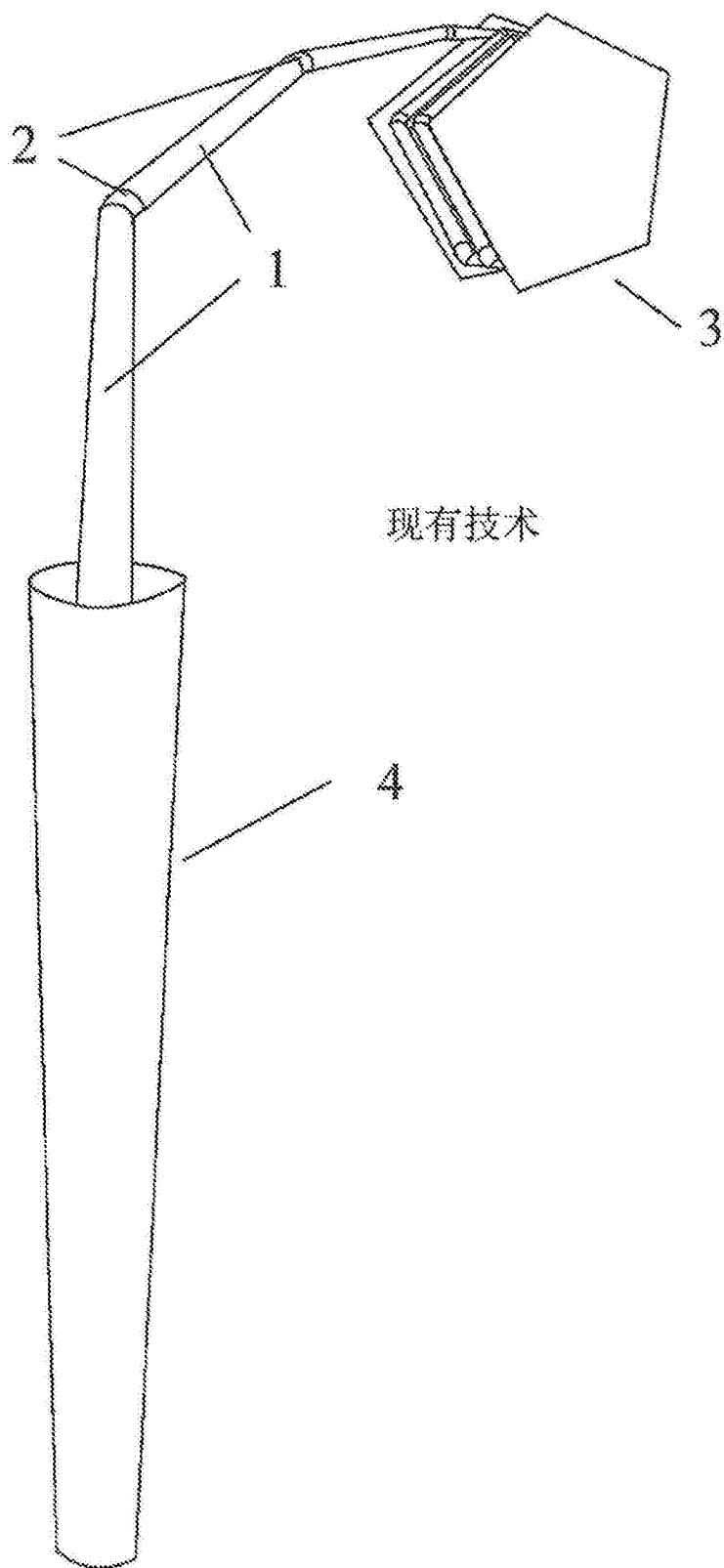


图1

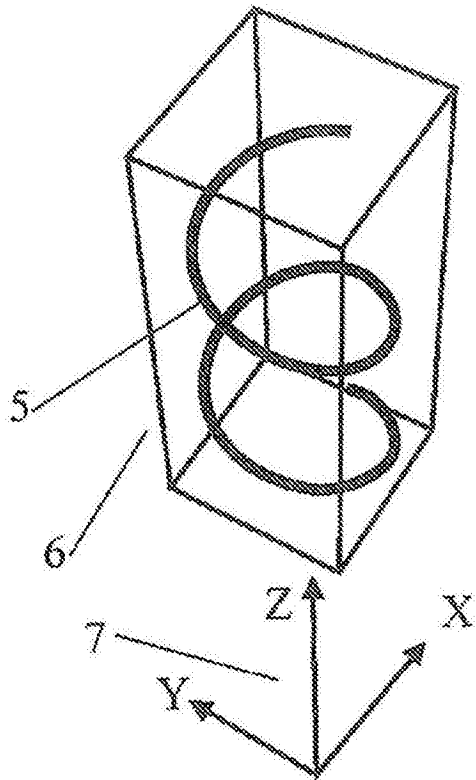


图2

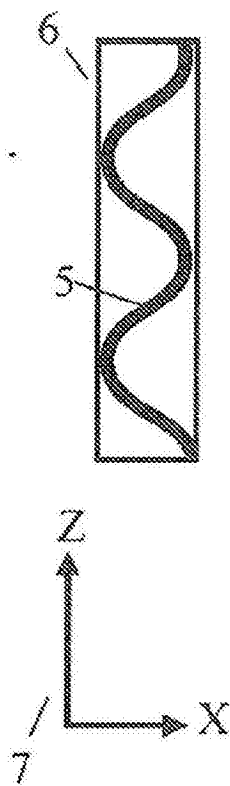


图3

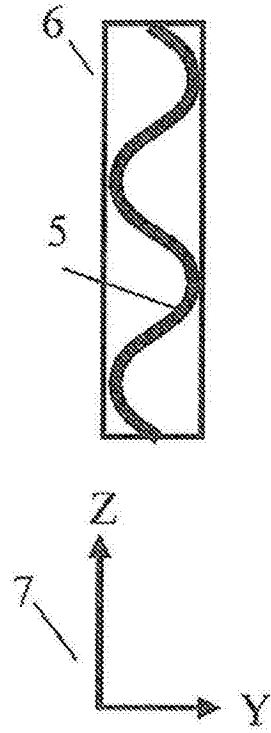


图4

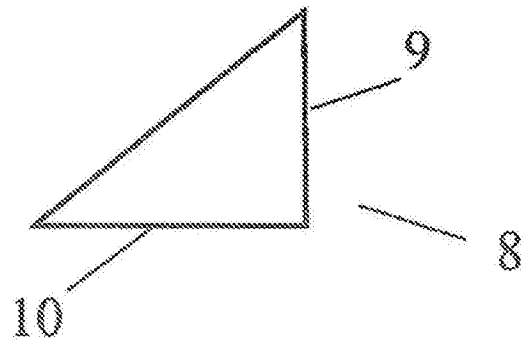


图5

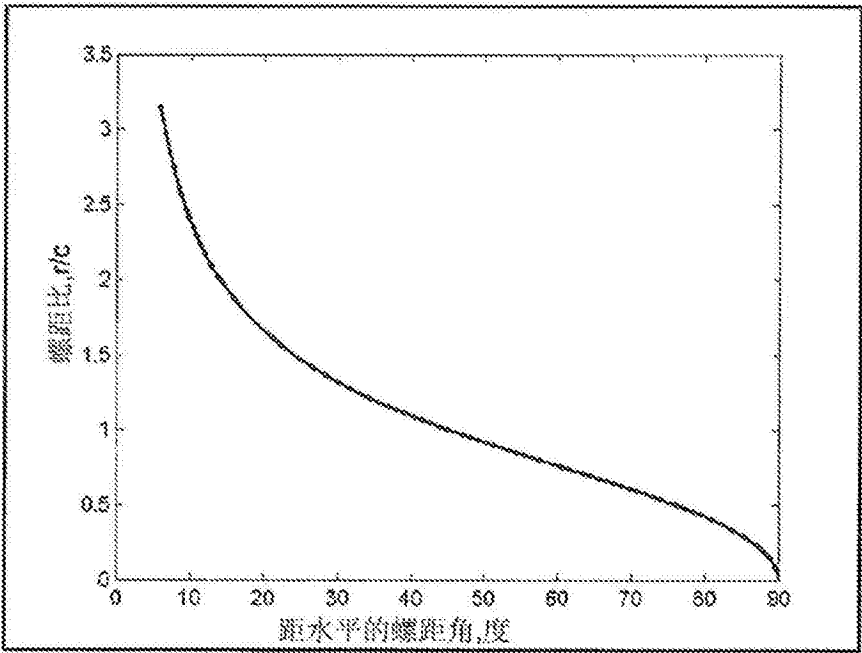


图6

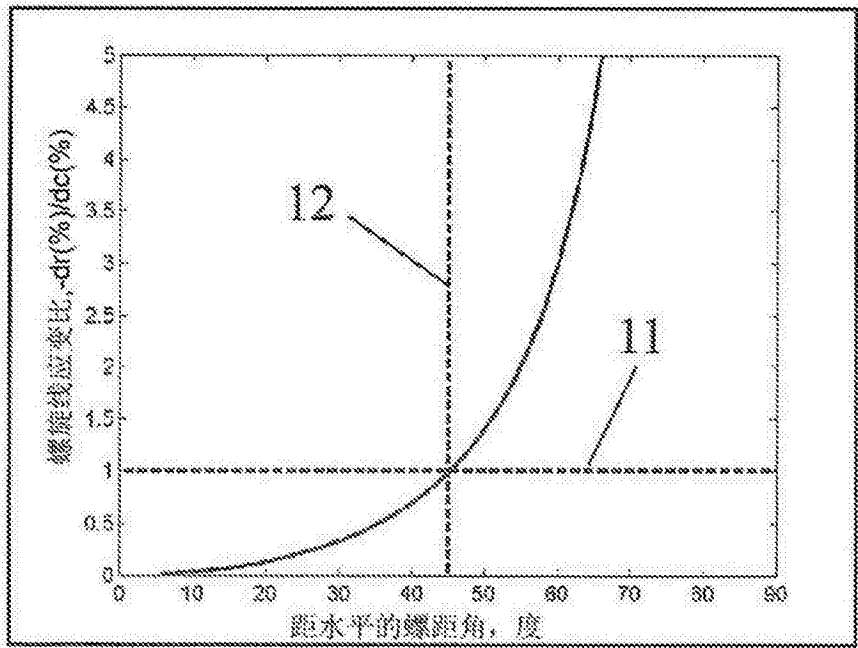


图7

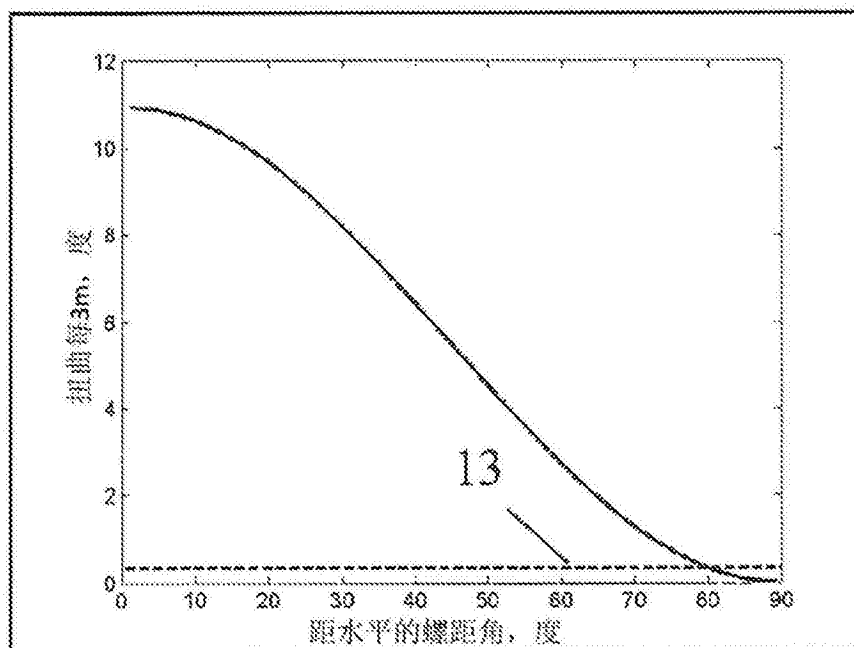


图8

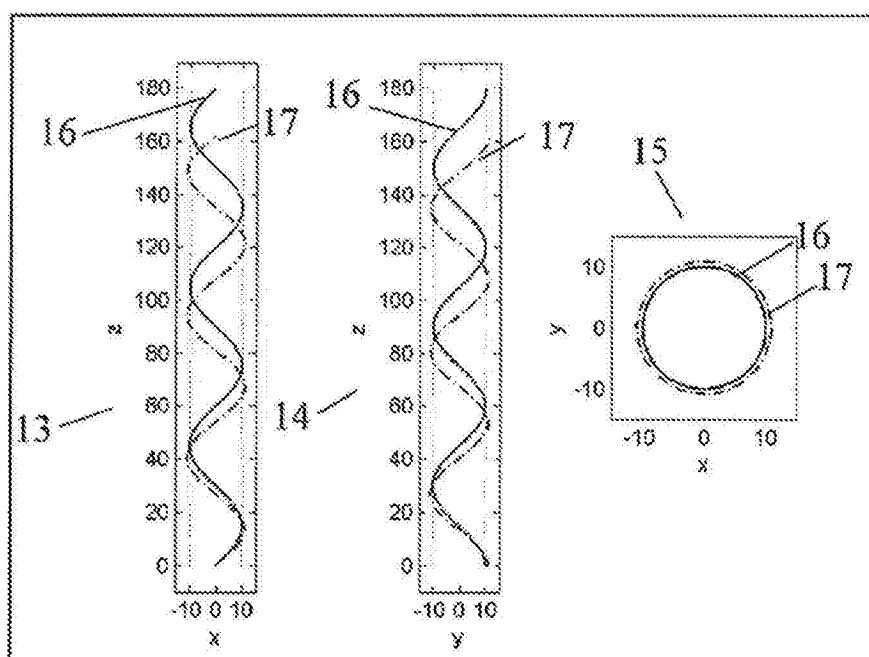


图9

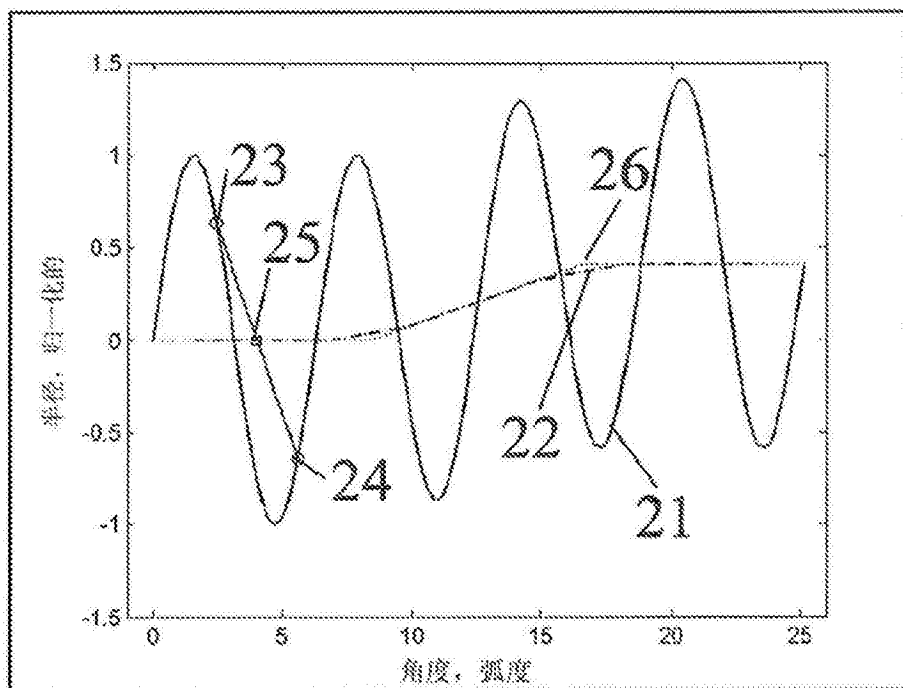


图13

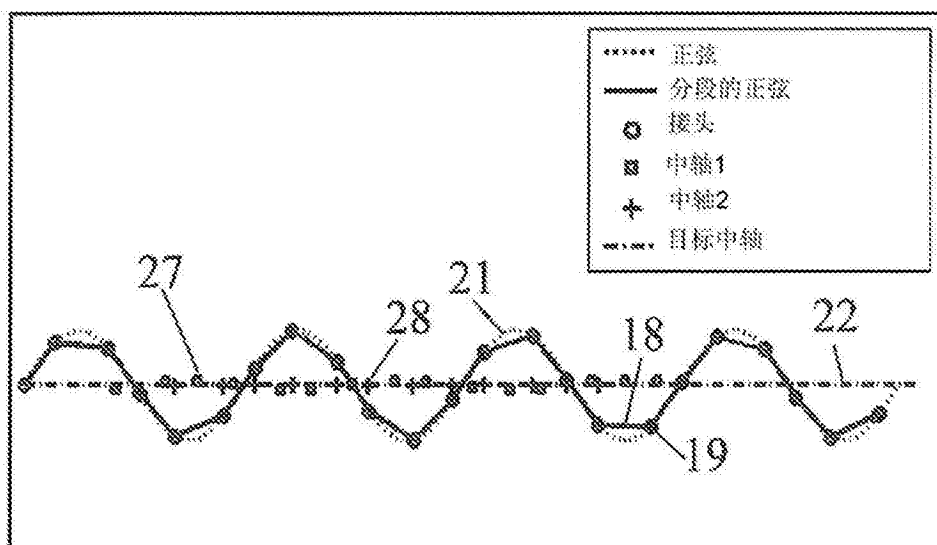


图14

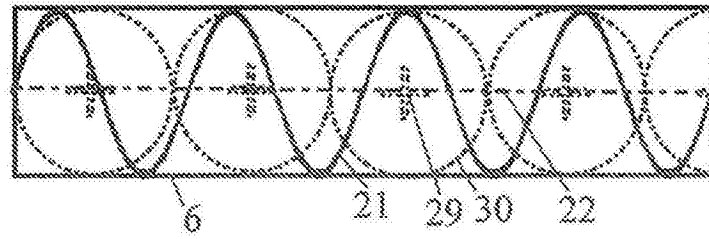


图15

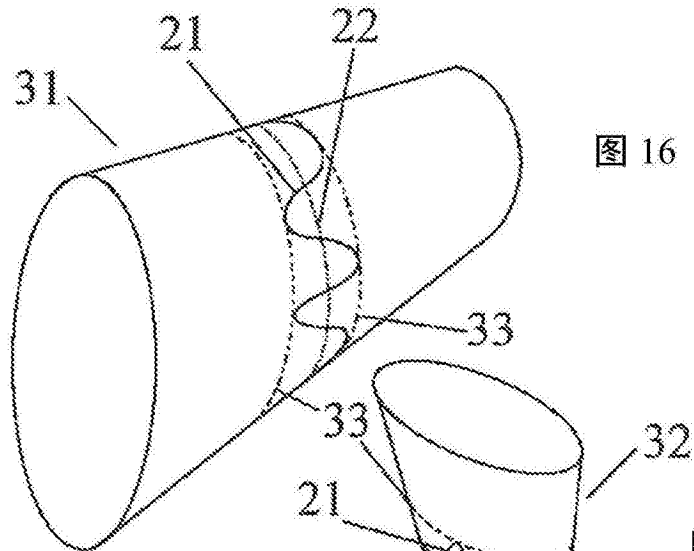


图 16

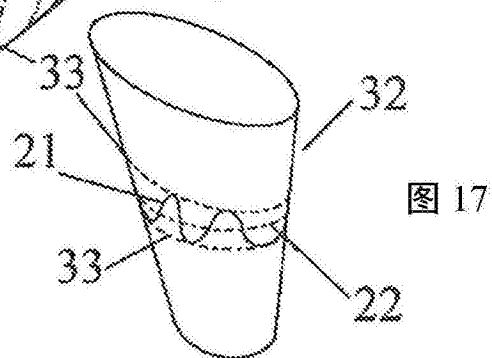


图 17

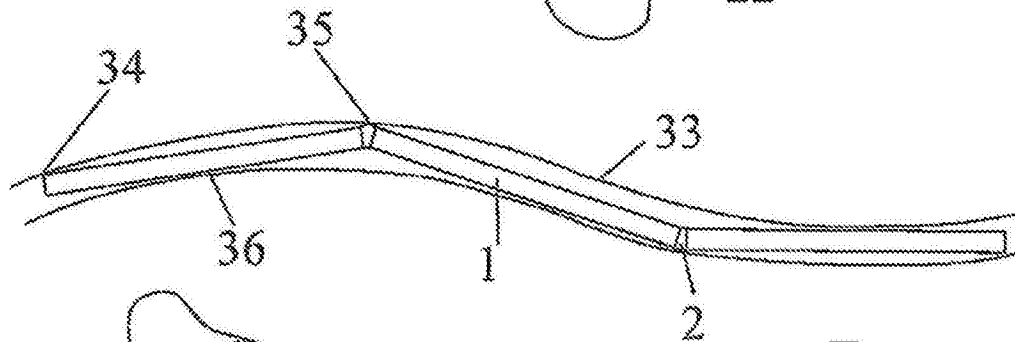


图 18

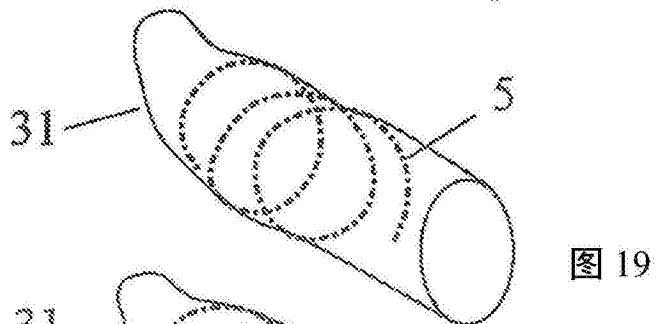


图 19



图 20

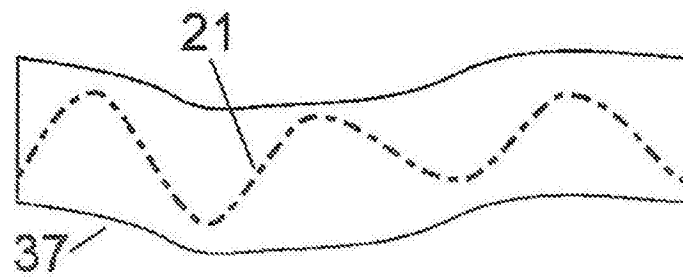
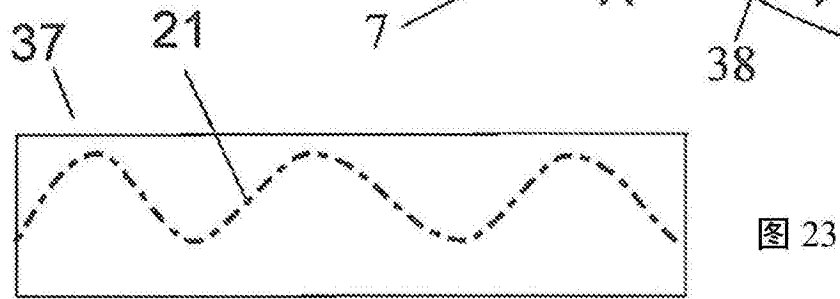
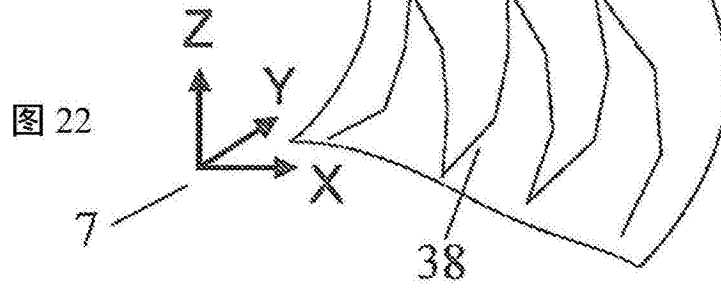
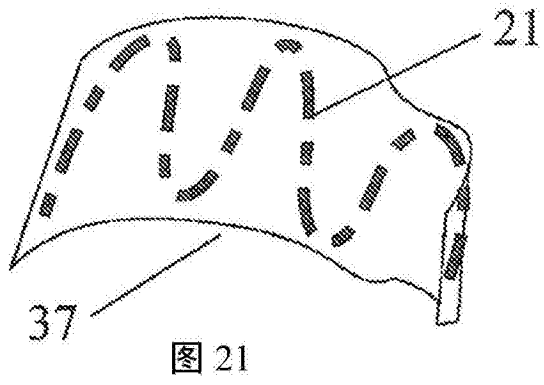


图24

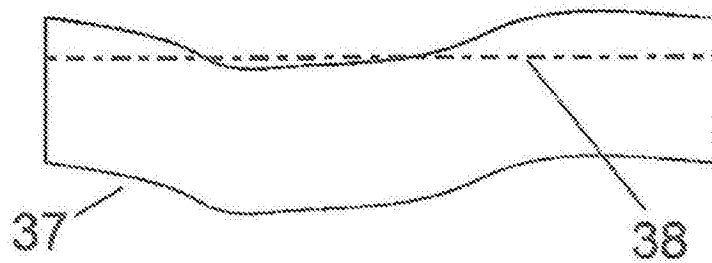


图25现有技术

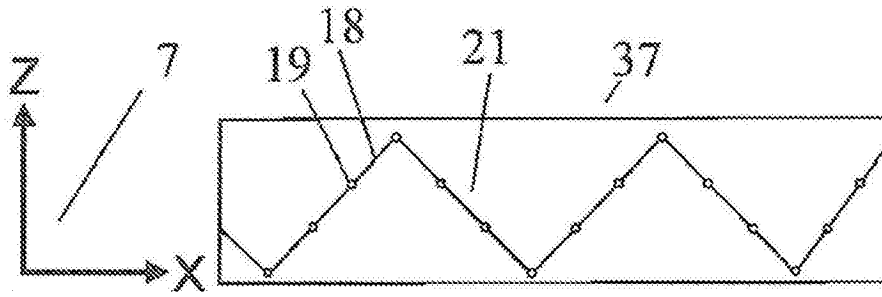


图26

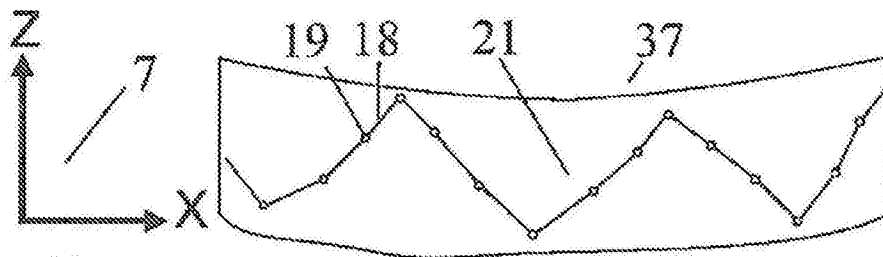


图 27

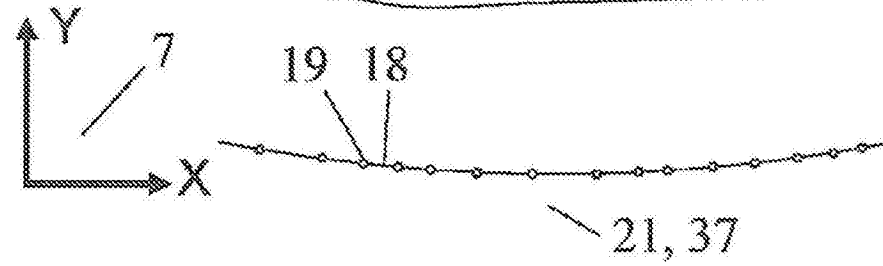


图 28

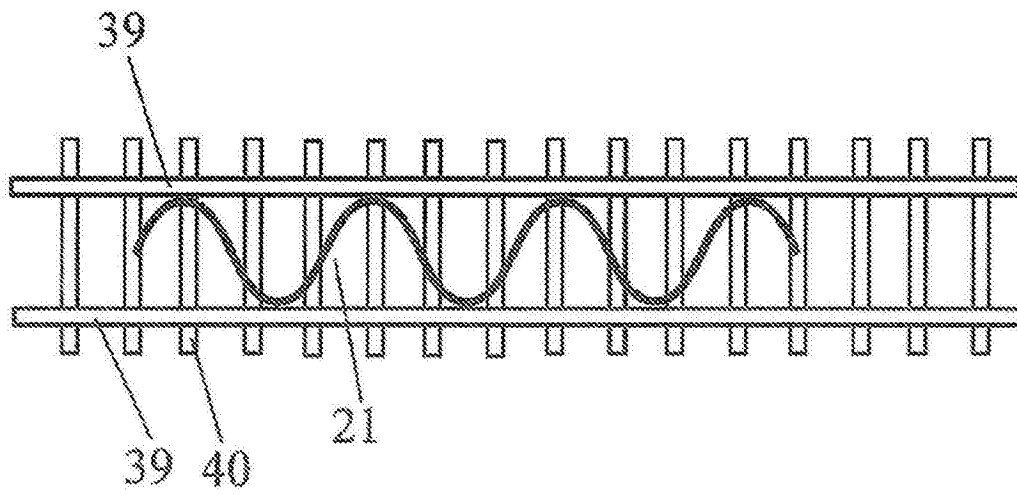


图29

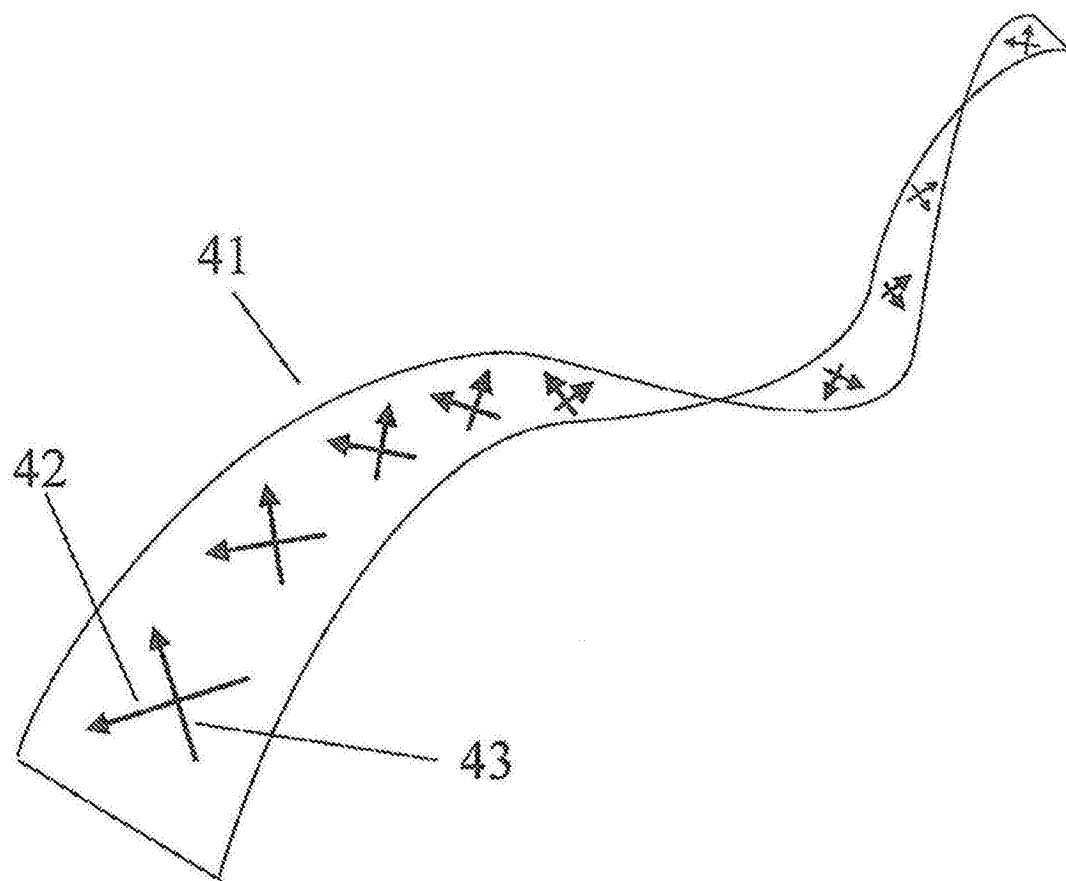


图30

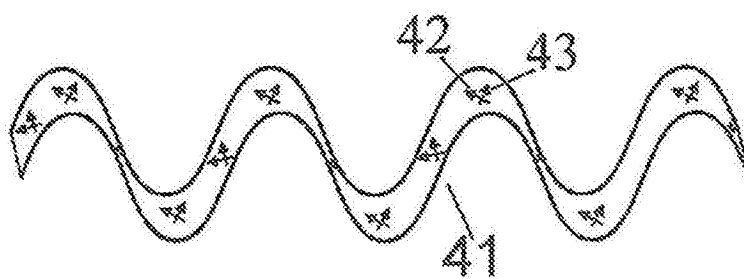


图31

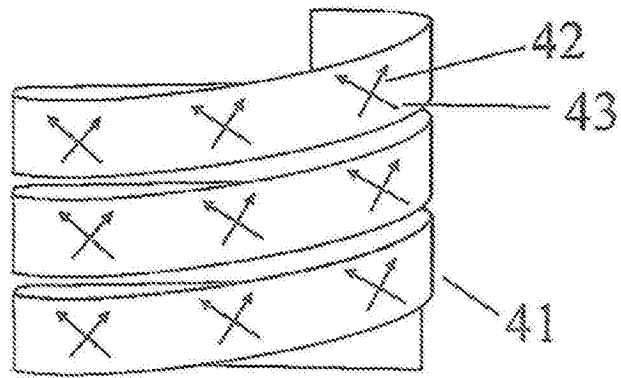


图32

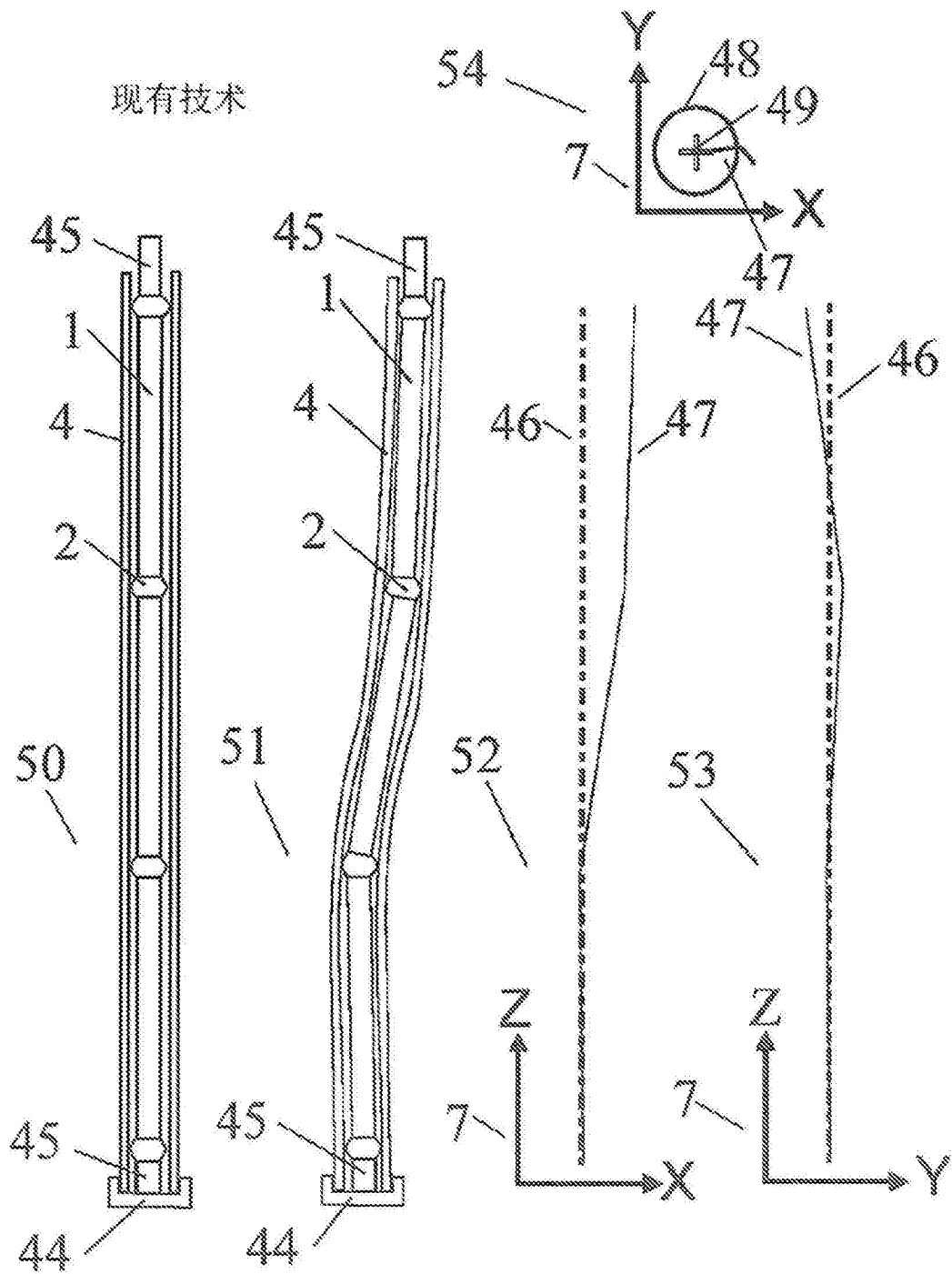


图33

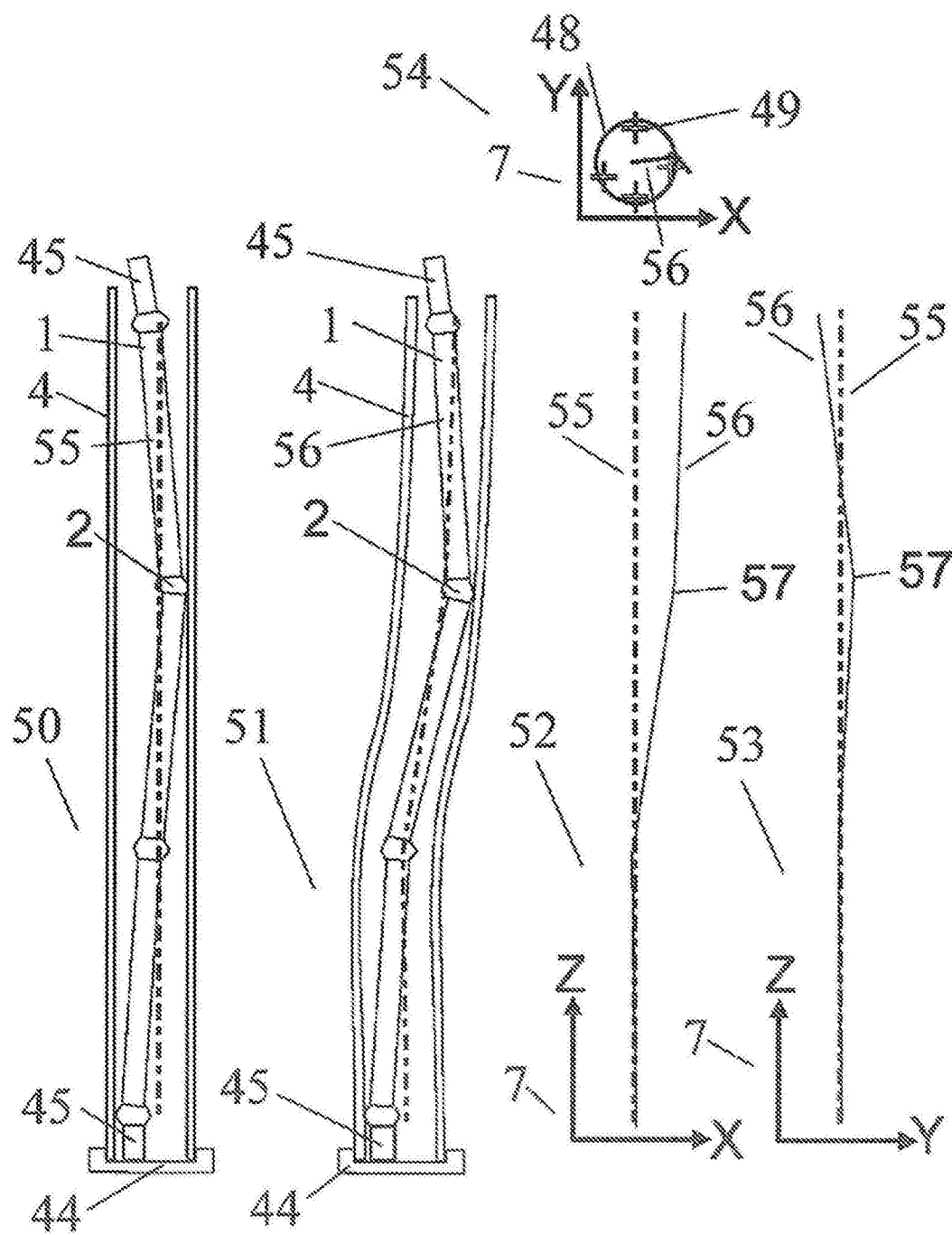


图34

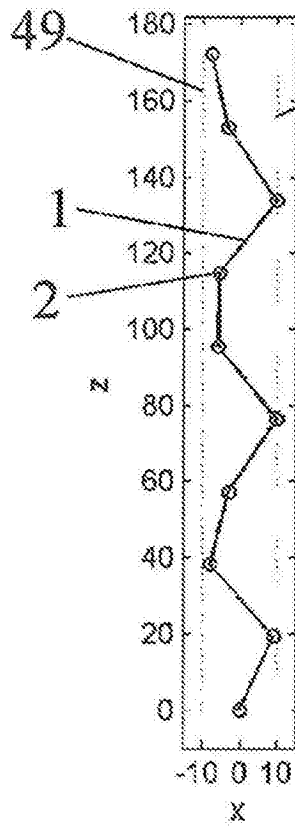


图 35

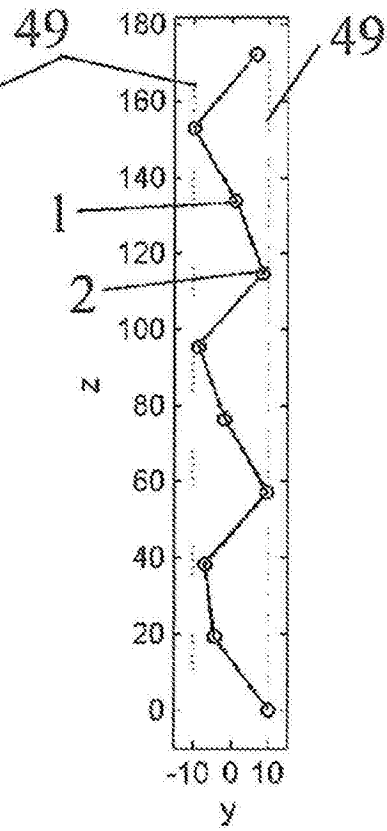


图 36

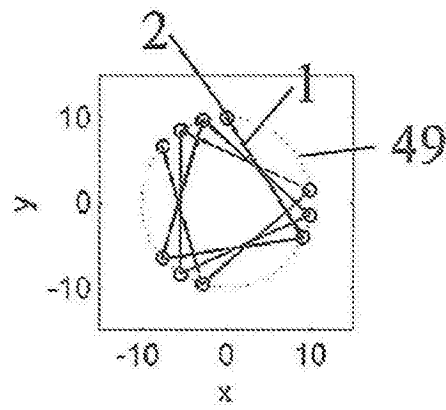


图37

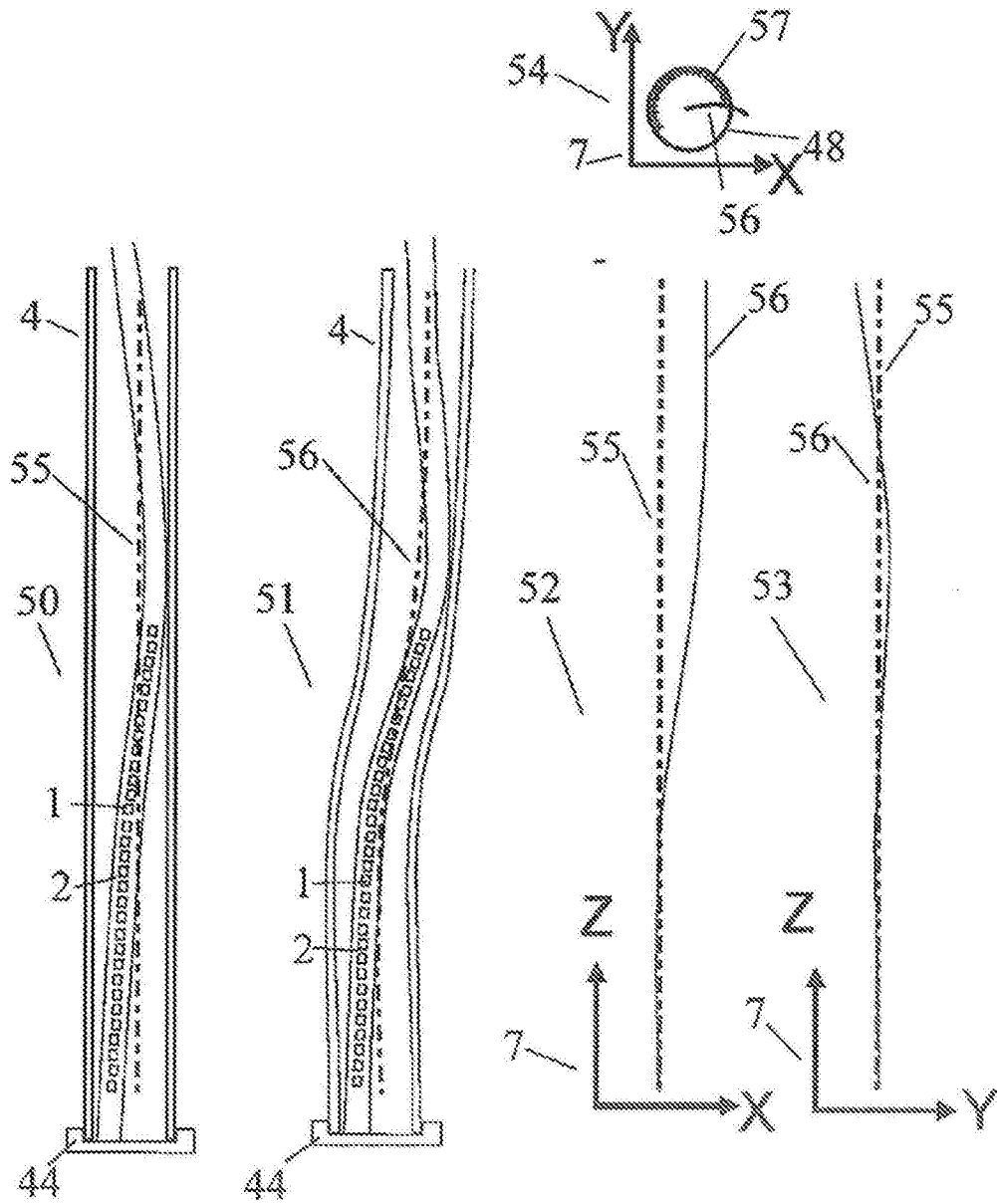


图38

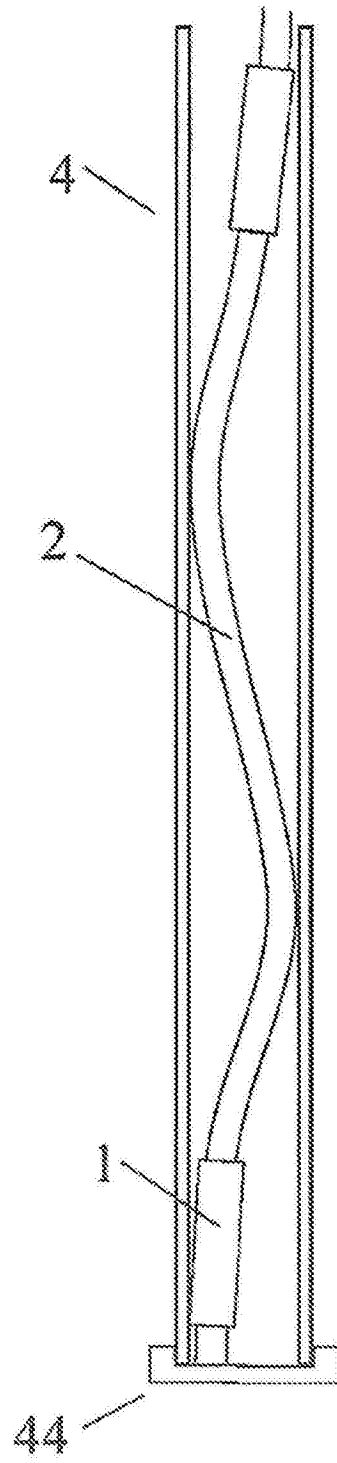


图40

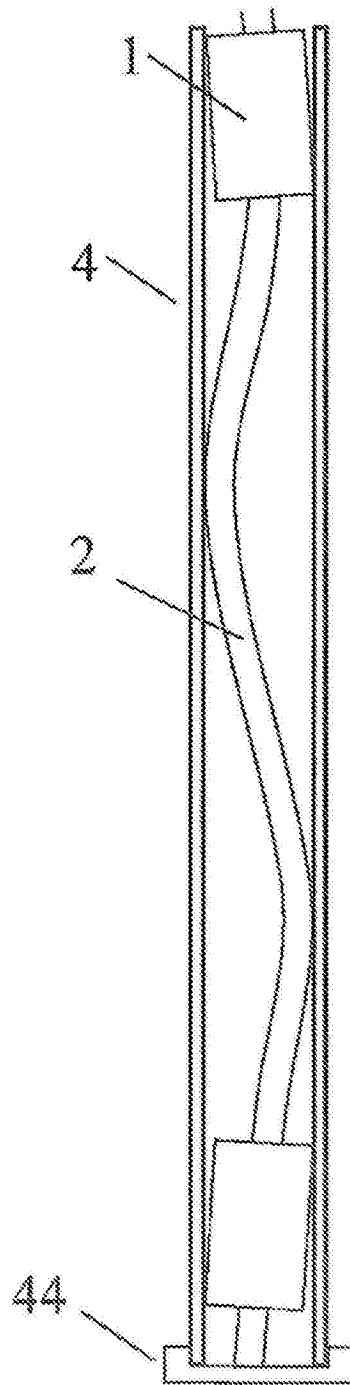


图41

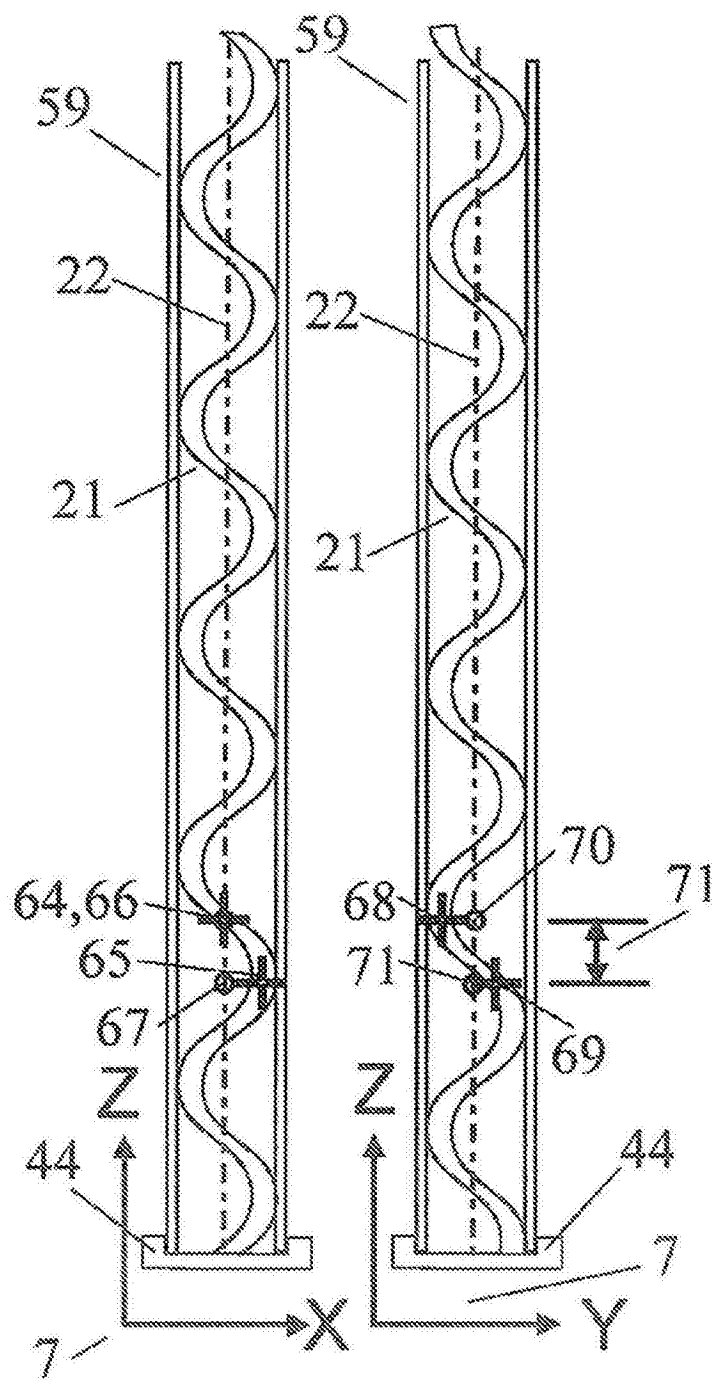


图 42

图 43

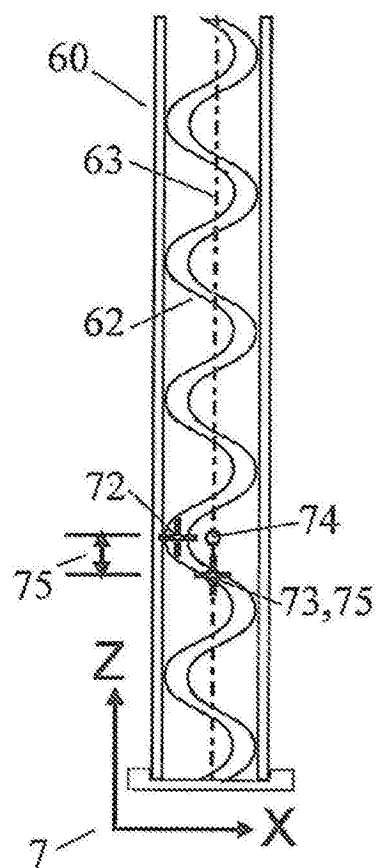


图44

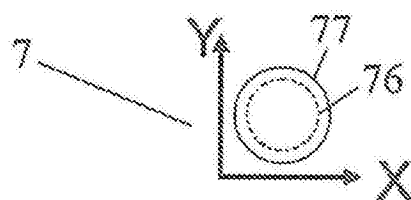


图45

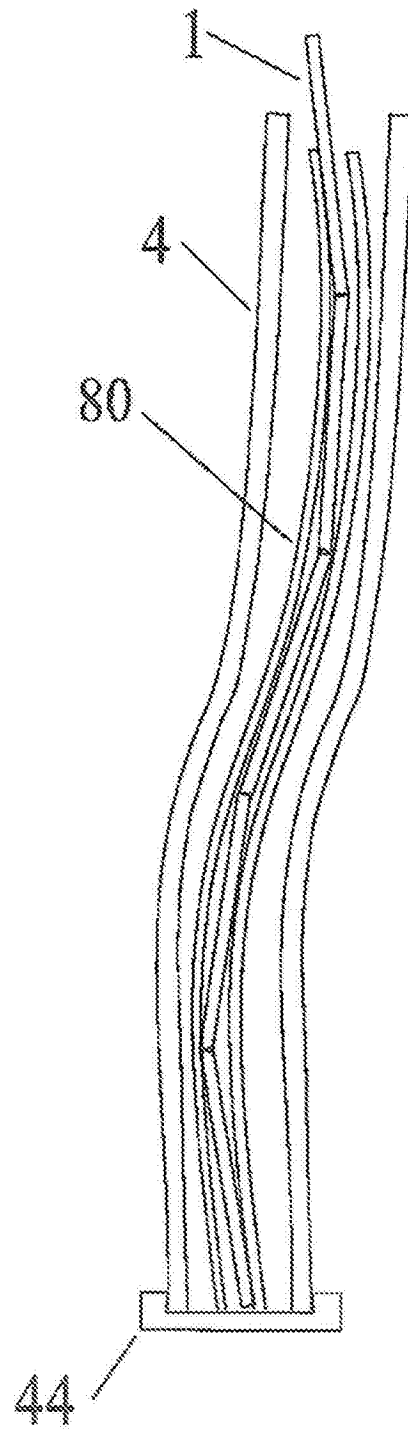


图46