



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107944100 A

(43)申请公布日 2018.04.20

(21)申请号 201711114589.8

(22)申请日 2017.11.13

(71)申请人 青岛汉缆股份有限公司

地址 266102 山东省青岛市九水东路628号

(72)发明人 徐显明 段伟喜 姬芬芬 王野  
张涛

(74)专利代理机构 青岛发思特专利商标代理有  
限公司 37212

代理人 巩同海

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

H01B 13/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

综合生产脐带缆的线型设计方法

(57)摘要

本发明涉及一种综合生产脐带缆的线型设计方法,属于综合生产脐带缆线型设计技术领域。采用分布式浮块提供浮力并且依靠浮块的数量以及间隔距离保证脐带缆的整体线型。该项技术有助于解决综合生产脐带缆中大口径钢管在运输石油等液体时产生的流动分离问题,降低由此产生的流动安全性隐患。此种线型设计方法可以减少浮块的数量,节约生产成本,同时新的脐带缆线型设计方法可以采用S型和J型两种铺设方式,降低了施工难度,保证了缆线在触地点处具有较优越的极限强度、张力和曲率。

1. 一种综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,包括以下步骤:

I) 计算综合生产脐带缆(2)的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度:根据综合生产脐带缆(2)结构图,建立综合生产脐带缆(2)的局部有限元模型,求得综合生产脐带缆(2)的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度;

II) 建立综合生产脐带缆(2)的整体有限元模型:基于综合生产脐带缆(2)作业海域的水文环境条件、与综合生产脐带缆(2)相连的储油船的参数、系固锚链(9)的参数以及步骤I)求得的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度,调试浮块(1)数量、大小、各浮块(1)的间距以及浮块段(4)距离海床(3)的位置,直到设定的浮块(1)的数量、大小、各浮块(1)间距以及浮块段(4)距离海床(3)的位置恰好满足线型设计的要求,以建立综合生产脐带缆(2)整体有限元模型。

2. 根据权利要求1所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述综合生产脐带缆的线型设计方法还包括步骤I)和II)之后的对比评估步骤III):

III) 对综合生产脐带缆(2)的整体有限元模型进行对比评估:基于综合生产脐带缆(2)的最大张力、曲率从而对其结构强度做出评估,并将评估结果与传统缓波型线型和简单钢悬链型线型做出对比,以验证新型综合生产脐带缆(2)线型设计方法未损失结构强度。

3. 根据权利要求1所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述步骤I)采用ABAQUS软件,包括以下小步:

a) 根据综合生产脐带缆(2)的结构图,建立综合生产脐带缆(2)各部件的局部有限元模型;

b) 查找综合生产脐带缆(2)各部件对应的材料参数,并为每个部件赋予各自对应的材料参数,包括密度、弹性模量和泊松比;

c) 将步骤a)建立的综合生产脐带缆(2)各部件的局部有限元模型进行组装,建立整个综合生产脐带缆(2)的局部有限元模型;

d) 设置分析步类型以及输出参数:设置分析步类型为动态显示分析,设置输出参数为位移、变形、应力;

e) 设置综合生产脐带缆(2)中各部件的相互接触属性:主要为法向接触和/或切向接触;

f) 设置综合生产脐带缆(2)的约束类型:一端为固定端约束,另一端不施加约束;

g) 为整个综合生产脐带缆(2)的局部有限元模型施加载荷,施加拉伸载荷得到拉伸刚度局部有限元模型,施加绕X轴的弯矩得到弯曲刚度局部有限元模型,施加绕Z轴的弯矩得到扭转刚度局部有限元模型;

h) 对综合生产脐带缆(2)中的各部件进行网格划分,提交作业;

i) 后处理,分别得到拉伸刚度局部有限元模型、弯曲刚度局部有限元模型和扭转刚度局部有限元模型各自对应的后处理数据,主要包括应力、位移和转角,最终计算出综合生产脐带缆(2)的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度。

4. 根据权利要求3所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述步骤II)采用OrcaFlex软件,建立综合生产脐带缆(2)整体有限元模型,包括以下小步:

j) 设置综合生产脐带缆(2)参数,主要包括:综合生产脐带缆(2)的长度、外径、两端的精确位置、拉伸刚度、弯曲刚度、扭转刚度、线型的类型、网格大小、浮块(1)数量,浮块(1)体

积和浮块(1)间距;

k) 设置该综合生产脐带缆(2)的水文环境条件参数,主要包括:水深、波浪高度、波浪周期、海流速度、风速、附加质量系数和拖曳力系数;

l) 设置与综合生产脐带缆(2)相连的储油船的参数,包括:储油船的结构尺寸、位置以及船体的response amplitude operator;

m) 设置系固锚链(9)的参数,包括:固定位置和长度;

n) 调试浮块(1)的数量、大小、各浮块(1)间距以及浮块段(4)距离海床(3)的位置,直到设定的浮块(1)的数量、大小、各浮块(1)间距以及浮块段(4)距离海床(3)的位置恰好满足线型设计的要求;

o) 设定整体有限元模型的分析时间和迭代步长,以完成整个综合生产脐带缆(2)整体有限元模型的建立。

5. 根据权利要求4所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述小步n)中选用静态模拟的方法进行调试。

6. 根据权利要求1所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述浮块(1)的材料为复合泡沫浮材和涂抹于泡沫浮材表面的防海生物材料。

7. 根据权利要求1所述的综合生产脐带缆的线型设计方法,其特征在于,所述浮块(1)还包括绑带凹槽、定位孔、定位销和夹具。

## 综合生产脐带缆的线型设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种综合生产脐带缆的线型设计方法,属于综合生产脐带缆设计领域,尤其适应深海综合生产脐带缆。

### 背景技术

[0002] 当前深海综合生产脐带缆的线型设计方法有钢悬链线型、缓S型、缓波型以及陡波型。钢悬链线型具有安装方便,制作成本低廉,无需顶张力补偿等优点,在综合生产脐带缆的线型设计中越来越受到人们的青睐与重视。但钢悬链线型在实际的应用中也存在一些不足:1)在触地区域通常会承受较大的弯曲载荷,导致触地段非常容易发生屈曲和疲劳损伤;2)钢悬链线型的动态响应变化受其顶部立管门廊垂向运动的影响较大。基于上述两种不足有必要对钢悬链线型的结构形状进行优化,以提高其在复杂载荷工况下的工作性能。

[0003] 传统缓波型线型设计方法是解决上述问题的一种可行方法。传统缓波型是指在简单钢悬链线型设计的基础上,在综合生产脐带缆的某一合适位置安装适量的浮块,通过浮块所提供的浮力,使该部分发生一定的弯曲,形成类似波浪的形状,如图1所示,由于浮块的浮力,使线型产生了高度为 $h$ 的高度逆差。缓波型立管通过安装浮块将综合生产脐带缆悬垂段的运动与触地点的运动进行隔离,达到改善立管触地点动力响应的目的。缓波型线型设计方法还可以极大地降低综合生产脐带缆顶端悬挂处的张力,减小浮体运动与波浪载荷对触地点的影响,从而极大地改善综合生产脐带缆触地点处的受力情况,进而提高综合生产脐带缆的疲劳寿命。

[0004] 尽管传统缓波型线型设计方法在改善综合生产脐带缆触地点极限强度响应时具有很大的优势,但也存在明显的不足,主要体现在:1)传统缓波型线型设计方法的浮块数量较多,安装和制造成本较高;2)使用较多的浮块导致综合生产脐带缆只能通过S型铺管方式铺设,增大了技术难度;3)由于综合生产脐带缆在浮块安装处存在高度逆差,使得综合生产脐带缆的中心钢管内部液体产生流动分离,引发流动安全性问题。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术存在的上述缺陷,本发明提出了一种新的综合生产脐带缆的线型设计方法。

[0006] 本发明是采用以下的技术方案实现的:

[0007] 一种综合生产脐带缆的线型设计方法,包括以下步骤:

[0008] I) 计算综合生产脐带缆的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度:根据综合生产脐带缆结构图,建立综合生产脐带缆的局部有限元模型,求得综合生产脐带缆的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度;

[0009] II) 建立综合生产脐带缆的整体有限元模型:基于综合生产脐带缆作业海域的水文环境条件、与综合生产脐带缆相连的储油船的参数、系固锚链的参数以及步骤I)求得的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度,调试浮块数量、大小、各浮块的间距以及浮块段距离海床

的位置,直到设定的浮块的数量、大小、各浮块间距以及浮块段距离海床的位置恰好满足线型设计的要求,以建立综合生产脐带缆整体有限元模型;

[0010] 通过调整浮块数量、大小、各浮块的间距以及浮块段距离海床的位置,使得综合生产脐带缆的整个线型在浮块段不再具有高度逆差,从而消除掉中心钢管内液体产生的分离问题,保证结构强度的可靠性。

[0011] 所述综合生产脐带缆的线型设计方法还包括步骤I)和II)之后的对比评估步骤III):

[0012] III)对综合生产脐带缆的整体有限元模型进行对比评估:基于综合生产脐带缆的最大张力、曲率从而对其结构强度做出评估,并将评估结果与传统缓波型线型和简单钢悬链型线型做出对比,以验证新型综合生产脐带缆线型设计方法未损失结构强度。

[0013] 本发明所述的综合生产脐带缆的线型设计方法可以使整个线型在浮块段不再具有高度逆差,可以解决流动安全性问题。通过步骤III)的评估步骤可以确认该线性设计方法对综合生产脐带缆的结构强度并无影响。说明该发明所述的线型是替代简单钢悬链线型和传统缓波型线型的更优方案。

[0014] 所述步骤I)采用ABAQUS软件,包括以下小步:

[0015] a)根据综合生产脐带缆的结构图,建立综合生产脐带缆各部件的局部有限元模型;

[0016] b)查找综合生产脐带缆各部件对应的材料参数,并为每个部件赋予各自对应的材料参数,包括密度、弹性模量和泊松比;

[0017] c)将步骤a)建立的综合生产脐带缆各部件的局部有限元模型进行组装,建立整个综合生产脐带缆的局部有限元模型;

[0018] d)设置分析步类型以及输出参数:设置分析步类型为动态显示分析,设置输出参数为位移、变形、应力;

[0019] e)设置综合生产脐带缆中各部件的相互接触属性:主要为法向接触和/或切向接触;

[0020] f)设置综合生产脐带缆的约束类型:一端为固定端约束,另一端不施加约束;

[0021] g)为整个综合生产脐带缆的局部有限元模型施加载荷,施加拉伸载荷得到拉伸刚度局部有限元模型,施加绕X轴的弯矩得到弯曲刚度局部有限元模型,施加绕Z轴的弯矩得到扭转刚度局部有限元模型;

[0022] h)对综合生产脐带缆中的各部件进行网格划分,提交作业;

[0023] i)后处理,分别得到拉伸刚度局部有限元模型、弯曲刚度局部有限元模型和扭转刚度局部有限元模型各自对应的后处理数据,主要包括应力、位移和转角,最终计算出综合生产脐带缆的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度。

[0024] 所述步骤II)采用OrcaFlex软件,建立综合生产脐带缆整体有限元模型,包括以下小步:

[0025] j)设置综合生产脐带缆参数,主要包括:综合生产脐带缆的长度、外径、两端的精确位置、拉伸刚度、弯曲刚度、扭转刚度、线型的类型、网格大小、浮块数量,浮块体积和浮块间距;

[0026] k)设置该综合生产脐带缆的水文环境条件参数,主要包括:水深、波浪高度、波浪

周期、海流速度、风速、附加质量系数和拖曳力系数；

[0027] 1) 设置与综合生产脐带缆相连的储油船的参数；主要包括：储油船的结构尺寸、位置以及船体Rao (response amplitude operator)；

[0028] m) 设置系固锚链的参数，包括：固定位置和长度；

[0029] n) 调试浮块的数量、大小、各浮块间距以及浮块段距离海床的位置，直到设定的浮块的数量、大小、各浮块间距以及浮块段距离海床的位置恰好满足线型设计的要求；

[0030] o) 设定整体有限元模型的分析时间和迭代步长，以完成整个综合生产脐带缆的整体有限元模型的建立。

[0031] 所述小步n) 选用静态模拟的方法进行调试。

[0032] 小步n) 中的浮块的体积、数量要根据不断的调试计算确定，每次调试采用静态模拟，可以极大地节约时间。

[0033] 所述浮块材料为复合泡沫浮材和涂抹于泡沫浮材表面的防海生物材料。

[0034] 所述浮块还包括绑带凹槽、定位孔、定位销和夹具。

[0035] 本发明的有益效果是：

[0036] 1. 综合生产脐带缆的整个线型在浮块段不再具有高度逆差，与传统的缓波型线型和简单钢悬链型线型设计方法相比，未损失其结构强度，却极大提高了流动安全性。

[0037] 2. 可以减少浮块的数量，降低安装和制造成本。

[0038] 3. 可以采用S型和J型两种铺设方式，降低了施工难度。

[0039] 4. 保证了缆线在触地点处具有较优越的极限强度、张力和曲率。

## 附图说明

[0040] 图1是传统缓波型综合生产脐带缆线型设计方法示意图。

[0041] 图2是本发明的综合生产脐带缆局部有限元模型示意图。

[0042] 图3是本发明与传统缓波型综合生产脐带缆线型设计方法对比示意图。

[0043] 图4是图3A处的局部放大图。

[0044] 图5是三种线型设计方法的最大有效张力对比图。

[0045] 图6是综合生产脐带缆整体有限元模型软件界面图。

[0046] 图中：1、浮块；2、综合生产脐带缆；3、海床；4、浮块段；5、电缆单元；6、铠装钢丝；7、大口径中心钢管；8、小口径钢管；9、系固锚链。

## 具体实施方式

[0047] 为了使本发明目的、技术方案更加清楚明白，下面结合附图，对本发明作进一步详细说明。

[0048] 实施例

[0049] 本发明涉及一种综合生产脐带缆的线型设计方法，以下是采用ABAQUS和OrcaFlex有限元软件确定综合生产脐带缆2线型的主要步骤：

[0050] 首先，利用ABAQUS软件，建立综合生产脐带缆2的局部有限元模型，求得综合生产脐带缆2的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度。

[0051] a) 利用ABAQUS中import功能，将综合生产脐带缆2的CAD截面图导入到ABAQUS的草

图,并在Sketch中对草图进行编辑、处理;然后基于二维草图结构,利用Part模块建立综合生产脐带缆2各个部件的局部有限元模型,如图2所示,包括电缆单元5、铠装钢丝6、大口径中心钢管7和小口径钢管8等,其中拉伸长度包含两个绞合节距,总共创建27个部件;

[0052] b) 查找综合生产脐带缆2各部件对应的材料参数,并为每个部件赋予各自对应的材料参数,包括密度、弹性模量和泊松比;

[0053] c) 利用ABAQUS中Assemble模块将步骤a)建立的综合生产脐带缆2各个部件的局部有限元模型进行组装,建立整个综合生产脐带缆2的局部有限元模型,组装过程中,钢丝、填充等部件直接通过阵列完成,装配体总共有59个实例,如图2所示;

[0054] d) 利用ABAQUS中的Step模块设置分析步类型以及输出要求,由于综合生产脐带缆2涉及到若干部件的相互接触,故选用Dynamic Explicit作为其分析步,设置主要输出参数为位移、变形、应力;

[0055] e) 利用ABAQUS中的Interaction模块设置综合生产脐带缆2中各个部件的相互接触属性,接触属性设为法向硬接触,切向无摩擦,接触类型为面面接触。

[0056] f) 利用ABAQUS中的Load模块建立综合生产脐带缆2的约束类型,综合生产脐带缆2的一端为固定端约束,另一端不施加约束,并且不施加约束端的端面与中心耦合点完全约束;

[0057] g) 为整个综合生产脐带缆2的局部有限元模型施加载荷,施加拉伸载荷得到拉伸刚度局部有限元模型,施加绕X轴的弯矩得到弯曲刚度局部有限元模型,施加绕Z轴的弯矩得到扭转刚度局部有限元模型;

[0058] h) 利用ABAQUS中的Mesh模块对综合生产脐带缆2中的各个部件进行网格划分,网格密度为1mm,类型为C3D8R,然后利用Job模块提交作业;

[0059] i) 利用ABAQUS中的Visualization模块进行后处理,分别得到拉伸刚度局部有限元模型、弯曲刚度局部有限元模型和扭转刚度局部有限元模型三个模型各自对应的后处理数据,主要包括应力、位移以及转角,最终计算出综合生产脐带缆2的拉伸刚度、弯曲刚度和扭转刚度。

[0060] 然后利用OrcaFlex软件,建立综合生产脐带缆2整体有限元模型:

[0061] j) 利用OrcaFlex中的Line模块设置综合生产脐带缆2的相关参数,在line type模块中设置综合生产脐带缆2的长度、外径、两端的精确位置、拉伸刚度、弯曲刚度、扭转刚度、线型的类型、网格大小、浮块1数量,浮块1体积和浮块1间距;

[0062] k) 利用OrcaFlex中的Environment模块设置该综合生产脐带缆2的水文环境条件参数,主要包括:水深、波浪高度、波浪周期、海流速度、风速、附加质量系数和拖曳力系数,其中在Wave和Current模块里设置波高、波浪周期、海流速度等参数;

[0063] l) 利用OrcaFlex中的FPS0模块确定与综合生产脐带缆2相连的储油船的结构尺寸、位置以及船体Rao(response amplitude operator);

[0064] m) 利用OrcaFlex中Line模块设定系固锚链9的固定位置和长度;

[0065] n) 利用OrcaFlex中Line模块中Attachment模块确定浮块1的数量、大小、间距以及距海床3的位置,不断调试浮块1的这几个参数,直到设定的浮块1数量、大小和间距以及距海床3的距离恰好满足线型设计的要求。将综合生产脐带缆2采用传统缓波型线型设计方法以及本发明的线型设计方法进行对比,前者采用的浮块1数量为39个,浮块1间的距离为

2.8m,浮块段4起始处距离顶端悬挂点的弧长是160m,图3中的C线型为传统缓波型线型;本发明设置的综合生产脐带缆2线型采用的浮块1数量为22个,间距为2.9m,浮块段4起始处距离顶端悬挂点的弧长是95m,图3中的B线型为本发明的线型,图4是图3中A处的局部放大图;

[0066] o) 利用OrcaFlex中General1模块设定整体有限元模型的分析时间、迭代步长,至此整个综合生产脐带缆2的整体分析模型已经建立完成,如图6所示;

[0067] 最后,对综合生产脐带缆2整体分析模型进行计算模拟,着重考察综合生产脐带缆2的最大张力、曲率从而对其结构强度做出评估,并将结果与传统缓波型线型和简单钢悬链型线型做出对比,对比结果见图5。进一步说明新型综合生产脐带缆2线型设计方法相比较之前的线型设计方法更具有流动安全性的同时并未损失其结构强度。

[0068] 以上即为深海综合生产脐带缆2用的线型设计方法的设计过程,与传统缓波型线型比较,该线型不存在高度逆差,在有效提高管内液体流动安全性的同时还可以保证综合生产脐带缆2的结构强度达到设计要求。在工程实践中,若考虑到浮块1的制造成本、铺管难度以及管内液体流动,可优先采用本专利提出的线型设计方法。

[0069] 其中,浮块1还包括绑带凹槽、定位孔、定位销和夹具。浮块1的材料为复合泡沫浮材和涂抹于泡沫浮材表面的防海生物材料。

[0070] 本发明可广泛运用于综合生产脐带缆线型设计技术领域。



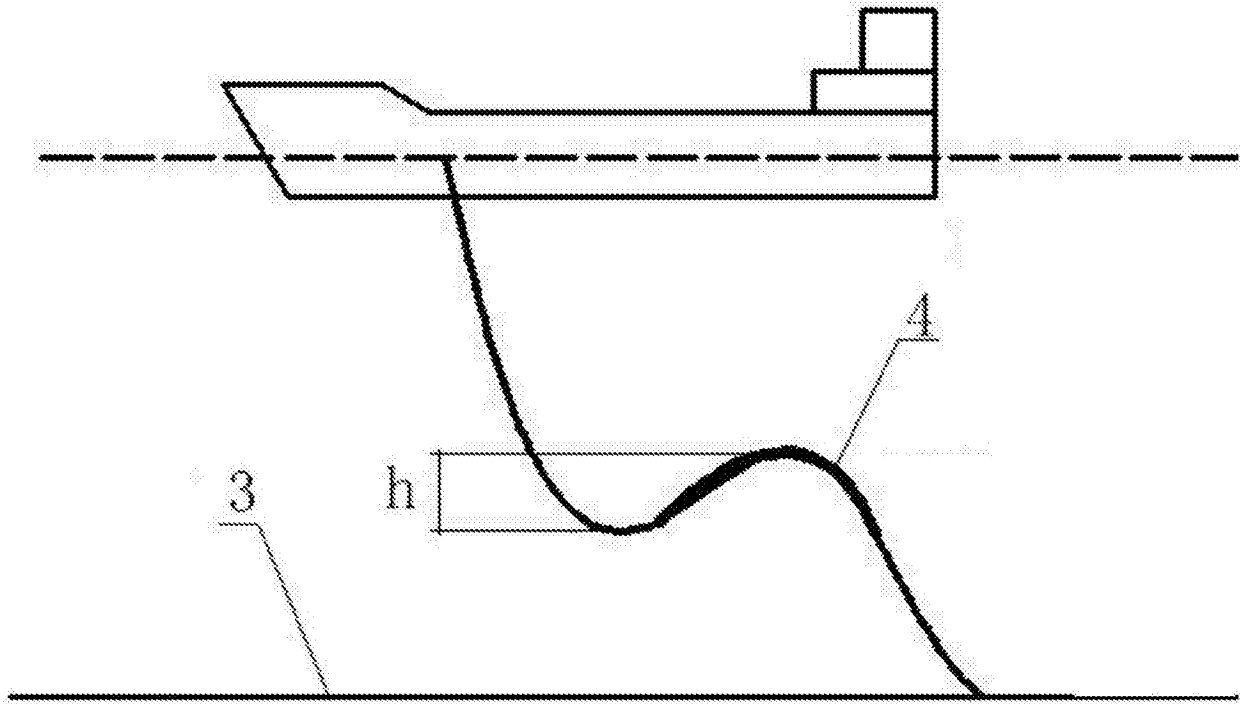


图1

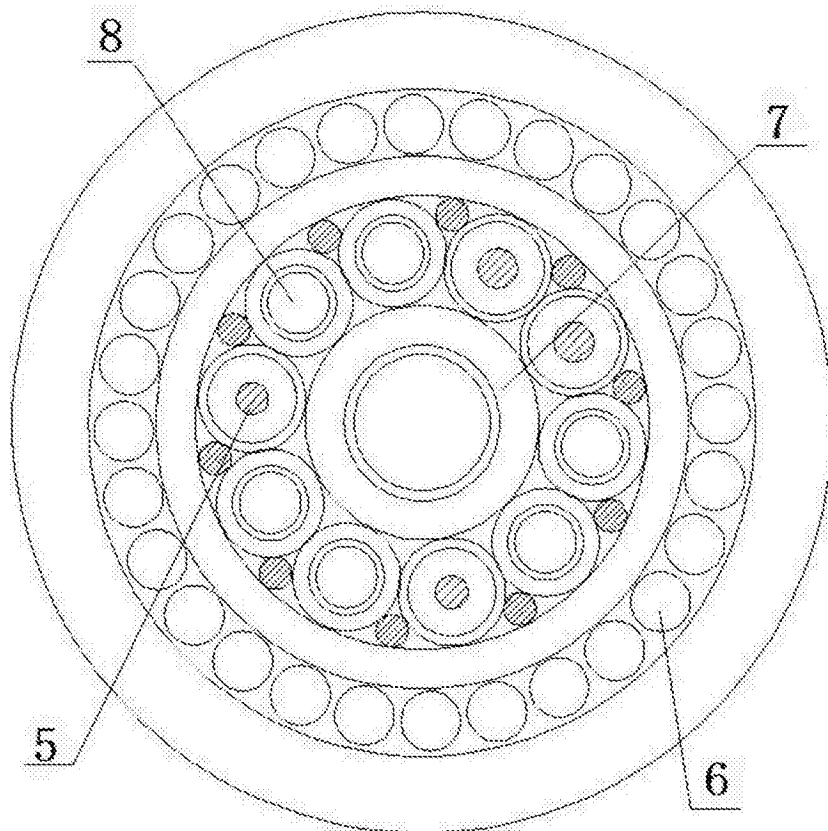


图2

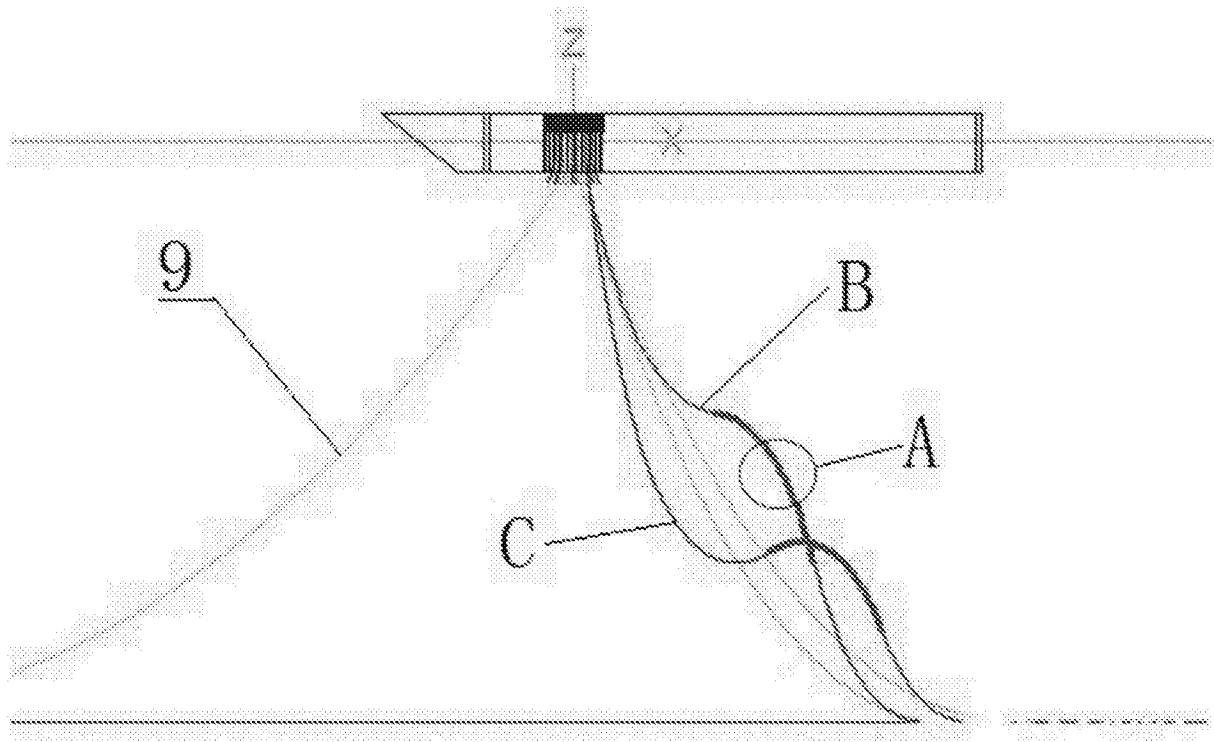


图3

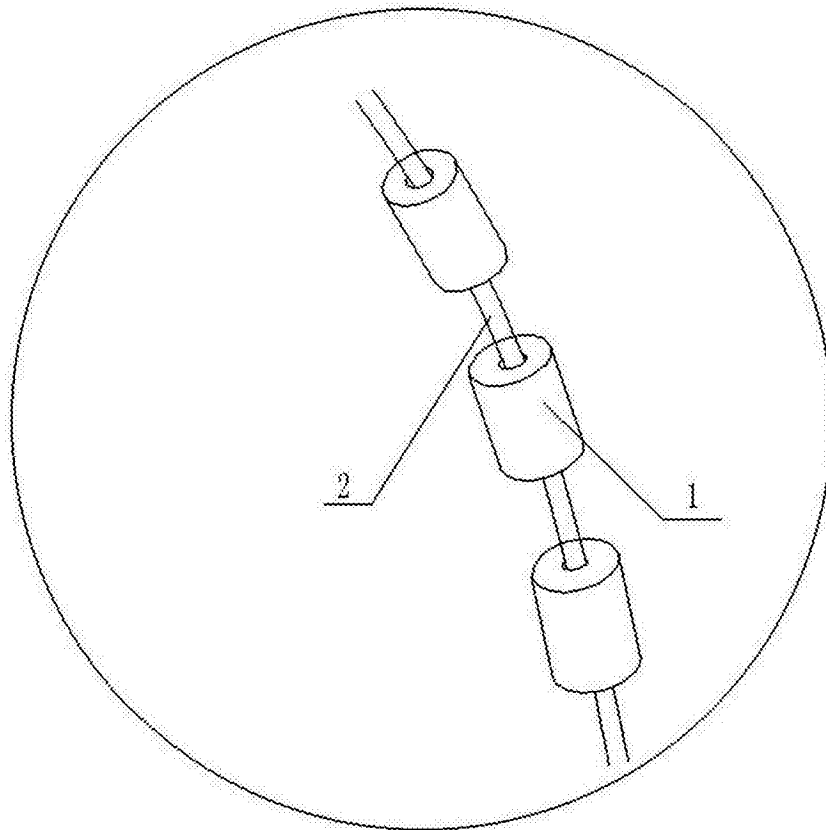


图4

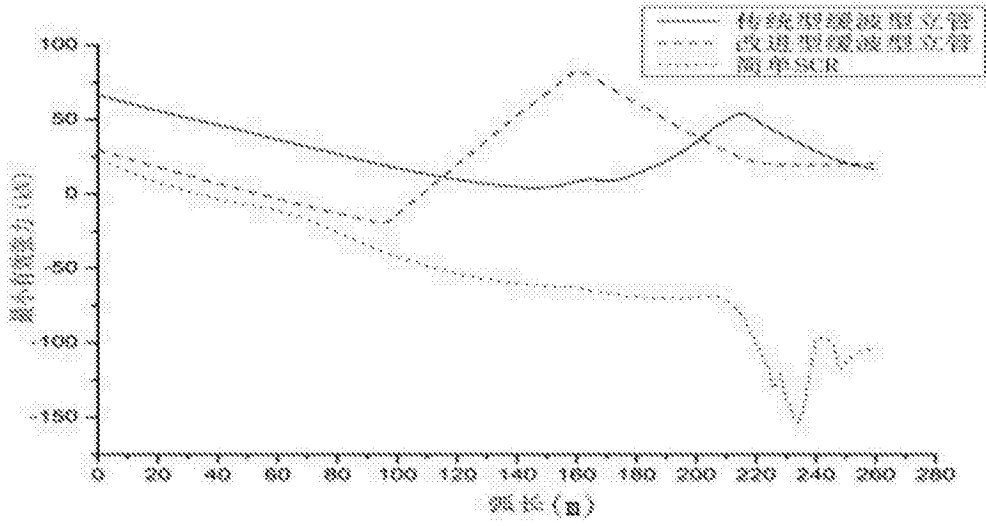


图5

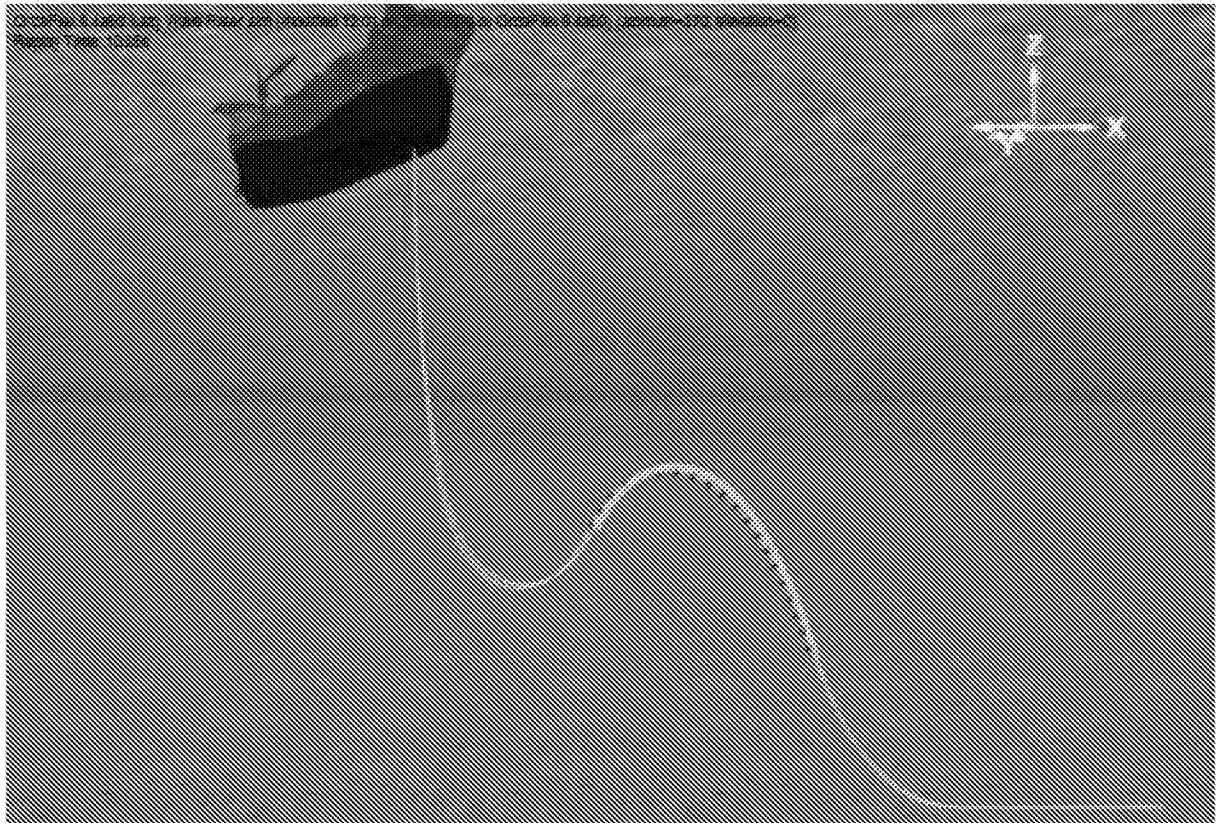


图6