(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105823398 A
(43)申请公布日 2016.08.03

(21)申请号 201610308839.0

(22)申请日 2016.05.10

(71)申请人 大连理工大学
地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工路2号

(72)发明人 杨钰城 杨志勋 阎军 卢青针 尹原超 岳前进 陈金龙 吴尚华

(74)专利代理机构 大连东方专利代理有限责任公司 21212
代理人 赵淑梅 李洪福

(51)Int.Cl.
G01B 5/20(2006.01)

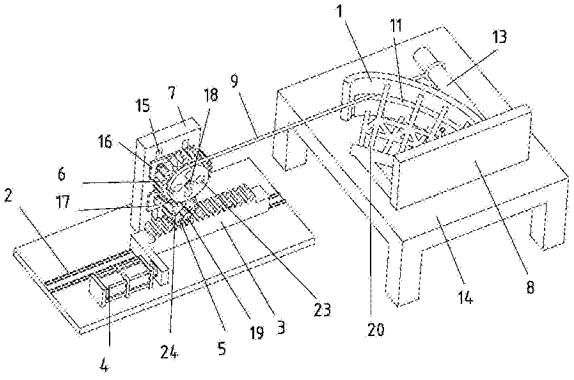
权利要求书2页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置，包括砧座，水平滑轨，位于所述水平滑轨上的齿条，推动所述齿条沿所述水平滑轨运动的作动器，与所述齿条配合的小齿轮，与所述小齿轮配合的大齿轮，固定所述大齿轮和所述小齿轮的齿轮固定架以及绳索，所述砧座包括弧板、固定所述弧板的管缆弯曲支撑板及支撑桁架结构。本发明还公开了一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试方法。本发明实现加载的过程中管缆由较大的曲率半径逐渐连续过渡到较小的半径，直到管缆铠装钢丝达到屈服状态。从而，确保试验可精确得到管缆的最小弯曲半径。



CN 105823398 A

1.一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置，其特征在于：包括砧座，水平滑轨，位于所述水平滑轨上的齿条，推动所述齿条沿所述水平滑轨运动的作动器，与所述齿条配合的小齿轮，与所述小齿轮配合的大齿轮，固定所述大齿轮和所述小齿轮的齿轮固定架以及绳索，

所述砧座包括弧板、固定所述弧板的管缆弯曲支撑板及支撑桁架结构，

所述大齿轮一侧的齿轮端面具有与所述大齿轮同轴的圆柱形缠绕部，所述绳索的一端固定在所述圆柱形缠绕部的侧壁上，

所述弧板的水平截面的外沿的曲率半径呈线性变化，所述弧板的曲率半径大的一端与所述管缆弯曲支撑板固定连接，所述弧板上设有沿所述弧板弯曲方向延伸的水平通孔，所述水平通孔延伸至所述管缆弯曲支撑板，所述管缆弯曲支撑板靠近所述弧板外沿的一侧设有接头固定装置，

工作状态下，非加载力时，所述管缆的一端通过管缆接头与所述接头固定装置垂直连接，所述绳索的另一端穿过所述水平通孔与所述管缆的自由端连接，所述绳索的中心线与所述管缆的中心线位于同一水平面内，所述管缆在未弯曲时，所述管缆的固定端与所述水平通孔的开口处相切，

加载力时，所述作动器推动所述齿条，所述齿条带动所述小齿轮，所述小齿轮带动所述大齿轮，所述大齿轮旋转使得所述绳索缠绕在所述圆柱形缠绕部的侧壁上，所述绳索拉动所述管缆向所述水平通孔弯曲。

2.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述弧板的水平截面的外沿上某点处的曲率半径满足以下公式：

$\rho=-1.5x+4$，

在所述弧板的水平截面所在水平面内建立直角坐标系x0y，其中，所述弧板的水平截面的外沿与所述管缆弯曲支撑板相交处为坐标原点0，垂直于所述管缆弯曲支撑板且指向所述弧板延伸方向为x轴的正方向，平行于所述管缆弯曲支撑板且指向所述弧板弯曲方向为y轴正方向，ρ为所述弧板的水平截面的外沿上某点处的曲率半径，x为所述弧板的水平截面的外沿上某点在x轴上所对应的值，$0\leq x\leq 2$。

3.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述齿轮固定架上设有两条竖直设置的通槽，所述两条通槽分别通过螺栓螺母与固定板Ⅰ和固定板Ⅱ连接，所述固定板Ⅰ通过齿轮轴Ⅰ与所述大齿轮连接，所述固定板Ⅱ通过齿轮轴Ⅱ与所述小齿轮连接。

4.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述弧板位于所述水平通孔下方的板面上设有多个沿所述弧板弯曲方向排列的管缆支撑杆连接孔，所述管缆支撑杆连接孔上设有支撑所述管缆保持水平的管缆支撑杆，所述管缆支撑杆通过螺栓螺母与所述管缆支撑杆连接孔连接。

5.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述大齿轮设有多个以所述大齿轮的轴线为轴均匀分布的孔Ⅰ，所述孔Ⅰ贯穿所述大齿轮的齿轮端面和所述圆柱形缠绕部的端面，

所述小齿轮设有多个以所述小齿轮的轴线为轴均匀分布的孔Ⅱ，所述孔Ⅱ贯穿所述小齿轮的齿轮端面。

6.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述检测装置还包括支撑台，所述支

撑台上设有所述管缆弯曲支撑板和所述弧板。

7.根据权利要求1所述的测试装置，其特征在于：所述弧板的上沿设有曲率半径值。

8.一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试方法，其特征在于具有如下步骤：

S1、设计如权利要求1-7任一权利要求所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置；

S2、将所述管缆的一端通过管缆接头与所述接头固定装置垂直连接，所述管缆的自由端与所述绳索连接，所述绳索穿过所述水平通孔，并缠绕在所述圆柱形缠绕部的侧壁上；

S3、在距离所述弧板最远的所述管缆的母线上开取多个密集排列的、能将所述管缆内部的铠装钢丝漏出、并能容纳应变片的开口，通过胶水将所述应变片粘结于所述铠装钢丝上，同时用胶带将连接于所述应变片的排线一端固定于所述管缆上，所述排线另一端与采集系统连接，实现应力应变数据实时传输；

S4、通过对所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置调整使得所述绳索的中心线与所述管缆的中心线位于同一水平面内，同时，使所述绳索始终处于张紧状态；

S5、通过所述作动器驱动对所述管缆进行小幅度加载，分析采集的应变随时间变化的曲线，完成对整个测试系统进行初步的调试，待达到测试要求后，分组开展实验；

S6、设定所述作动器的推进速度，通过齿轮传动驱动实现对所述管缆的准静态加载，随着荷载的不断增大，所述管缆逐渐向所述水平通孔弯曲，并逐渐紧贴所述弧板弯曲变形，当所述铠装钢丝上某一所述应变片的应变达到屈服应变时，记录此时所述管缆与所述弧板的切合点对应的弯曲半径；

S7、重复步骤S6，对多次测试得到的弯曲半径进行统计及误差分析，得到所述管缆的最小弯曲半径。

9.根据权利要求8所述的方法，其特征在于：所述步骤S1中，所述弧板的高度为0.8m，所述弧板的厚度为0.1m，所述水平通孔的中位线距离所述弧板下沿0.4m，所述水平通孔的宽为0.08m。

10.根据权利要求8所述的方法，其特征在于：所述步骤S1中，所述小齿轮和所述大齿轮通过常见管缆弯曲刚度进行换算选定，并减小单个齿的尺寸来满足拉力施加时连续变化的要求。

一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测试装置和方法，具体地说是一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置及方法。

背景技术

[0002] 我国海洋油气资源储量丰富，且大多数分布于南海等深水海域。而海缆、脐带缆以及柔性管道等是深海油气开采中不可或缺的装备之一。这类装备可统称为海洋柔顺性管缆，其结构通常由相应的功能构件及加强构件如铠装钢丝等组成。针对不同的工程需求，应选用相应功能的管缆；海缆主要负责为海底采油设备提供电能，脐带缆主要提供水上浮体与海底装备之间电力、信号传输等相关功能，柔性管道主要负责装备之间的油气输送。海洋柔顺性管缆在存储运输、安装铺设和在位运行等工况时，由于受到工作荷载、浮体运动和复杂海洋环境等因素影响，容易造成多种力学行为失效。其中，当荷载作用下的管缆的弯曲半径小于其最小弯曲半径时，管缆的内部功能及承力构件将发生破坏，影响管缆功能的正常运行。因此，海洋工程管缆最小弯曲半径是重要的设计参数之一。为了验证管缆产品最小弯曲半径是否达到设计要求，从而降低使用过程中发生弯曲破坏的概率，管缆服役前在实验室内需要对其最小弯曲半径进行测试认证。测量结果将作为重要的力学性能指标。

[0003] 由于管缆结构复杂且种类繁多，不同种类的管缆其最小弯曲半径相差很大，其变化范围通常为1m～4m。目前实验室现有的实验装置主要针对特定半径变化范围(管缆最小弯曲半径附近)进行验证性实验，并非适用于每种管缆，而且不能实现连续准确地测量。根据市场调研发现，至今仍未有厂商生产该类试验机。因此，多数管缆生产厂家或研究机构根据测试对象采用自制的实验装置来进行最小弯曲半径测试。

[0004] 依据实际工程需求，最小弯曲半径常用于模拟海洋工程柔性管缆储存于卷盘或卷筒的状态。因此最小弯曲半径测试设备装置需要包含模拟卷筒的设备，以及可以施加弯矩使其发生弯曲变形的设备。除此以外，实验过程需要配置测量设备，如应变片或传感器等以便提取管缆弯曲过程相关参数指标(中间或直接物理量)。管缆最小弯曲半径测试实验流程通常按如下步骤：取样、固定、布片、加载、测量和后处理模式展开。实验开始前要制定相应测试方案并对管缆样品进行选取，然后将待测试的管缆固定于试验架上，根据实验要求在测试位置进行应变片布置，并将其连接于数据采集设备。确保上述操作无误后启动加载设备，同时实时采集相关数据。最后，对所得数据进行分析处理并形成完善的实验报告。

[0005] 已有技术存在的缺陷或问题

[0006] 目前实验室内采用半圆形砧座开展管缆最小弯曲半径测试(图1)，主要通过以下步骤实现：

[0007] 1、理论估算待试验管缆1`的最小弯曲半径，或者参考成型产品最小弯曲半径设计值；

[0008] 2、将理论估算值(或设计值)与砧座2`(图2-图4)上现有的弯曲半径进行比较，选

择与其最接近的砧座2`所能提供的较大弯曲半径进行测试，然后在相应的孔洞穿插铁棒并通过螺栓固定；

[0009] 3、将管缆1`放置于选定半径的砧座2`上，在其相应位置处布置应变片等并进行调试；

[0010] 4、通过手拉葫芦3`及传动装置将砧座2`提起，同时将待试验管缆1`两端通过链条牵引固定。随着砧座2`的逐渐升高，管缆1`逐渐与砧座2`贴合，直至完全贴合，记录此时应变值；

[0011] 5、将该应变值与构件的许用应变比较，通常情况下该值小于许用应变，然后，将砧座2`的弯曲半径调整到临近较小值，继续试验直到应变值大于许用应变。从而最终估计管缆1`的最小弯曲半径取值范围。

[0012] 该种实验装置存在诸多缺点：

[0013] 1、砧座能够测量的管缆最小弯曲半径具有小范围跳跃性的缺点，只适用于某些管缆最小弯曲半径的测量，且测量结果不精确；

[0014] 2、依靠手拉葫芦的加载方式，人工只能间歇式的施力；因而不能很好的控制加载速度。同时，由于手拉葫芦的结构特点，每次施力后将会产生一定的回弹，其对后期数据处理带来了较大的不便；

[0015] 3、由于管缆两端接头采用链条牵引式固定，加载过程中会发生一定幅度的摆动，稳定性差，增大了实验的误差；

[0016] 4、整个试验操作需要多人协作才能完成，耗时、费力；

[0017] 5、由于管缆试件需要跨过整个砧座，因此，需要较长的试件才能方便加载与操作，造成实验样品的浪费。

发明内容

[0018] 针对以上问题，提出一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置及方法。所述测试装置设计了具有曲率半径线性变化的弧板，同时采用作动器代替手拉葫芦的方式进行加载。该测试装置的设计能够满足绝大多数管缆最小弯曲半径的测量。本发明采用的技术手段如下：

[0019] 一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置，包括砧座，水平滑轨，位于所述水平滑轨上的齿条，推动所述齿条沿所述水平滑轨运动的作动器，与所述齿条配合的小齿轮，与所述小齿轮配合的大齿轮，固定所述大齿轮和所述小齿轮的齿轮固定架以及绳索，

[0020] 所述砧座包括弧板、固定所述弧板的管缆弯曲支撑板及支撑桁架结构，

[0021] 所述大齿轮一侧的齿轮端面具有与所述大齿轮同轴的圆柱形缠绕部，所述绳索的一端固定在所述圆柱形缠绕部的侧壁上，

[0022] 所述弧板的水平截面的外沿的曲率半径呈线性变化，所述弧板的曲率半径大的一端与所述管缆弯曲支撑板固定连接，所述弧板上设有沿所述弧板弯曲方向延伸的水平通孔，所述水平通孔延伸至所述管缆弯曲支撑板，所述管缆弯曲支撑板靠近所述弧板外沿的一侧设有接头固定装置，

[0023] 工作状态下，非加载力时，所述管缆的一端通过管缆接头与所述接头固定装置垂

直连接，所述绳索的另一端穿过所述水平通孔与所述管缆的自由端连接，所述绳索的中心线与所述管缆的中心线位于同一水平面内(即保证加载面始终保持在同一平面)，所述管缆在未弯曲时，所述管缆的固定端与所述水平通孔的开口处相切，

[0024] 加载力时，所述作动器推动所述齿条，所述齿条带动所述小齿轮，所述小齿轮带动所述大齿轮，所述大齿轮旋转使得所述绳索缠绕在所述圆柱形缠绕部的侧壁上，所述绳索拉动所述管缆向所述水平通孔弯曲。

[0025] 所述弧板的水平截面的外沿上某点处的曲率半径满足以下公式：

[0026] $\rho=-1.5x+4$，

[0027] 在所述弧板的水平截面所在水平面内建立直角坐标系x0y，其中，所述弧板的水平截面的外沿与所述管缆弯曲支撑板相交处为坐标原点0，垂直于所述管缆弯曲支撑板且指向所述弧板延伸方向为x轴的正方向，平行于所述管缆弯曲支撑板且指向所述弧板弯曲方向为y轴正方向，ρ为所述弧板的水平截面的外沿上某点处的曲率半径，x为所述弧板的水平截面的外沿上某点在x轴上所对应的值，$0\le x\le 2$，x的范围为本发明所建议的使用范围。

[0028] 其中，$\rho=\frac{1}{K}$，$K=\left|\frac{y''}{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}\right|$，则$\frac{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''}=-1.5x+4$，假定初始条件y(0)＝0，y′(0)＝0，利用MAPLE求解该微分方程，得到解析解为：

[0029]

$$y(x)=\int_0^x\left[-2\sqrt{-\frac{1}{4(3\ln 2+i\pi)^2-8(3\ln 2+i\pi)\ln(3t-8)+4\ln(3t-8)^2-9}}(\ln(3t-8)-3\ln 2-i\pi)\right]dt$$

[0030] 其中，i为虚数，t为积分变量，上述方程y(x)为所述弧板的水平截面的外沿的曲线方程，所述弧板的水平截面的外沿根据上述方程y(x)得到的曲线进行加工。

[0031] 所述齿轮固定架上设有两条竖直设置的通槽，所述两条通槽分别通过螺栓螺母与固定板Ⅰ和固定板Ⅱ连接，所述固定板Ⅰ通过齿轮轴Ⅰ与所述大齿轮连接，所述固定板Ⅱ通过齿轮轴Ⅱ与所述小齿轮连接。

[0032] 所述弧板位于所述水平通孔下方的板面上设有多个沿所述弧板弯曲方向排列的管缆支撑杆连接孔，所述管缆支撑杆连接孔上设有支撑所述管缆保持水平的管缆支撑杆，所述管缆支撑杆通过螺栓螺母与所述管缆支撑杆连接孔连接。

[0033] 为方便对多种管径的管缆的测试，所述管缆支撑杆连接孔为竖直延伸的孔，方便所述管缆支撑杆调整与所述管缆支撑杆连接孔的连接位置，进而调整所述管缆支撑杆上沿的位置，实现对不同管径的管缆的支撑。

[0034] 所述大齿轮设有多个以所述大齿轮的轴线为轴均匀分布的孔Ⅰ，所述孔Ⅰ贯穿所述大齿轮的齿轮端面和所述圆柱形缠绕部的端面，

[0035] 所述小齿轮设有多个以所述小齿轮的轴线为轴均匀分布的孔Ⅱ，所述孔Ⅱ贯穿所述小齿轮的齿轮端面。

[0036] 所述检测装置还包括支撑台，所述支撑台上设有所述管缆弯曲支撑板和所述弧板。

[0037] 所述弧板的上沿设有曲率半径值。

[0038] 本发明还公开了一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试方法，其特征

在于具有如下步骤：

[0039] S1、设计如上述所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置；

[0040] S2、将所述管缆的一端通过管缆接头与所述接头固定装置垂直连接，所述管缆的自由端与所述绳索连接，所述绳索穿过所述水平通孔，并缠绕在所述圆柱形缠绕部的侧壁上；

[0041] S3、在距离所述弧板最远的所述管缆的母线上开取多个密集排列的、能将所述管缆内部的铠装钢丝漏出、并能容纳应变片的开口，通过胶水将所述应变片粘结于所述铠装钢丝上，同时用胶带将连接于所述应变片的排线一端固定于所述管缆上，防止测试过程中由于所述排线晃动引起测试数据的波动，所述排线另一端与采集系统连接，实现应力应变数据实时传输；

[0042] S4、通过对所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置调整使得所述绳索的中心线与所述管缆的中心线位于同一水平面内，防止所述绳索拉伸过程中测得的应变值非最大应变值，产生测量误差，同时，使所述绳索始终处于张紧状态，确保所述测试装置在实验过程中可平稳运行；

[0043] S5、通过所述作动器驱动对所述管缆进行小幅度加载，分析采集的应变随时间变化的曲线，完成对整个测试系统进行初步的调试，待达到测试要求后，分组开展实验；

[0044] S6、设定所述作动器的推进速度，通过齿轮传动驱动实现对所述管缆的准静态加载，随着荷载的不断增大，所述管缆逐渐向所述水平通孔弯曲，并逐渐紧贴所述弧板弯曲变形，当所述铠装钢丝上某一所述应变片的应变达到屈服应变时，记录此时所述管缆与所述弧板的切合点对应的弯曲半径；

[0045] S7、重复步骤S6，对多次测试得到的弯曲半径进行统计及误差分析，得到所述管缆的最小弯曲半径。

[0046] 所述步骤S1中，所述弧板的高度为0.8m，所述弧板的厚度为0.1m，所述水平通孔的中位线距离所述弧板下沿0.4m，所述水平通孔的宽为0.08m，一方面保证实验过程中所述绳索能从所述水平通孔中穿过且不与所述弧板发生摩擦，另一方面尽量使所述水平通孔宽度足够小，减小开孔对实验测量结果的影响，同时可减小实验过程中与所述水平通孔接触的所述管缆的应力集中。所述水平通孔的靠近所述管缆的一侧开口处具有倒圆角，以进一步避免应力集中现象。

[0047] 所述步骤S1中，所述小齿轮和所述大齿轮通过常见管缆弯曲刚度进行换算选定，并减小单个齿的尺寸来满足拉力施加时连续变化的要求。

[0048] 本发明具有以下优点：

[0049] 1、相比于原弯曲半径间隙跳跃的砧座，本发明通过设计一具有曲率半径线性变化的弧板代替现有砧座，实现加载的过程中管缆由较大的曲率半径逐渐连续过渡到较小的半径，直到管缆铠装钢丝达到屈服状态。从而，确保试验可精确得到管缆的最小弯曲半径。

[0050] 2、弧板内沿设置桁架，保证了弧板自身结构强度及刚度要求，实现大口径管缆的加载测试需求。

[0051] 3、弧板上设有沿弧板弯曲方向延伸的水平通孔，绳索从中穿过并对管缆加载，使加载更加灵活、方便，且保证加载面始终保持同一平面。

[0052] 4、相比于手拉葫芦加载，本发明通过作动器驱动齿条来完成大、小齿轮的旋转进

而通过绳索牵动管缆的自由端实现弯矩的加载，这种加载方式更加方便、省力且便于控制。

[0053] 5、相比半圆形砧座测试方法，本发明仅需要原来管缆试件长度的一半便可满足测量要求，节省了样品消耗。

[0054] 6、通过大、小齿轮(两级齿轮)放大作动器行程，从而实现管缆自由端产生较大的位移，实现较大范围的弯曲曲率半径变化从而准确确定最小弯曲半径值。

[0055] 7、对齿轮的加工时，可以对齿宽、齿厚等一系列参数进行选择设计，从而使管缆最小弯曲半径测试实现准静态加载，保证实验测量的精度。

[0056] 8、通过孔Ⅰ和孔Ⅱ的设置，节省材料同时也保证了大、小齿轮结构强度。

[0057] 9、相比原实验装置，极大的减少了人员安排，实验成本更加低廉。

[0058] 基于上述理由本发明可在性能测试等领域广泛推广。

附图说明

[0059] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0060] 图1是现有试验装置的结构示意图。

[0061] 图2是现有试验装置的砧座的主视图。

[0062] 图3是图2的左视图。

[0063] 图4是图2的俯视图。

[0064] 图5是本发明的具体实施方式中一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置的空间结构示意图。

[0065] 图6是本发明的具体实施方式中一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置的主视图。

[0066] 图7是图6的左视图。

[0067] 图8是图6的俯视图。

[0068] 图9是本发明的具体实施方式中大齿轮的主视图。

[0069] 图10是图9的左视图。

[0070] 图11是图10的俯视图。

[0071] 图12是本发明的具体实施方式中砧座的示意图。

[0072] 图13是图12的左视图。

[0073] 图14是图12的俯视图。

具体实施方式

[0074] 实施例1

[0075] 如图5-图14所示，一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置，

[0076] 包括砧座，水平滑轨2，位于所述水平滑轨2上的齿条3，推动所述齿条3沿所述水平滑轨2运动的作动器4，与所述齿条3配合的小齿轮5，与所述小齿轮5配合的大齿轮6，固定所述大齿轮6和所述小齿轮5的齿轮固定架7以及绳索9，

[0077] 所述砧座包括弧板1、固定所述弧板1的管缆弯曲支撑板8及支撑桁架结构20，

[0078] 所述大齿轮6一侧的齿轮端面具有与所述大齿轮6同轴的圆柱形缠绕部10，所述绳索9的一端固定在所述圆柱形缠绕部10的侧壁上，

[0079] 所述弧板1的水平截面的外沿的曲率半径呈线性变化，所述弧板1的曲率半径大的一端与所述管缆弯曲支撑板8固定连接，所述弧板1上设有沿所述弧板1弯曲方向延伸的水平通孔11，所述水平通孔11延伸至所述管缆弯曲支撑板8，所述管缆弯曲支撑板8靠近所述弧板1外沿的一侧设有接头固定装置12，

[0080] 工作状态下，非加载力时，所述管缆13的一端通过管缆接头与所述接头固定装置12垂直连接，所述绳索9的另一端穿过所述水平通孔11与所述管缆13的自由端连接，所述绳索9的中心线与所述管缆13的中心线位于同一水平面内，所述管缆13在未弯曲时，所述管缆13的固定端与所述水平通孔11的开口处相切，

[0081] 加载力时，所述作动器4推动所述齿条3，所述齿条3带动所述小齿轮5，所述小齿轮5带动所述大齿轮6，所述大齿轮6旋转使得所述绳索9缠绕在所述圆柱形缠绕部10的侧壁上，所述绳索9拉动所述管缆13向所述水平通孔11弯曲。

[0082] 所述弧板1的水平截面的外沿上某点处的曲率半径满足以下公式：

[0083] $\rho=-1.5x+4$，

[0084] 在所述弧板1的水平截面所在水平面内建立直角坐标系x0y，其中，所述弧板1的水平截面的外沿与所述管缆弯曲支撑板8相交处为坐标原点0，垂直于所述管缆弯曲支撑板8且指向所述弧板1延伸方向为x轴的正方向，平行于所述管缆弯曲支撑板8且指向所述弧板1弯曲方向为y轴正方向，ρ为所述弧板1的水平截面的外沿上某点处的曲率半径，x为所述弧板1的水平截面的外沿上某点在x轴上所对应的值，$0\leq x\leq 2$。

[0085] 所述齿轮固定架7上设有两条竖直设置的通槽15，所述两条通槽15分别通过螺栓螺母与固定板Ⅰ16和固定板Ⅱ17连接，所述固定板Ⅰ16通过齿轮轴Ⅰ18与所述大齿轮6连接，所述固定板Ⅱ17通过齿轮轴Ⅱ19与所述小齿轮5连接。

[0086] 所述弧板1位于所述水平通孔11下方的板面上设有多个沿所述弧板1弯曲方向排列的管缆支撑杆连接孔21，所述管缆支撑杆连接孔21上设有支撑所述管缆13保持水平的管缆支撑杆22，所述管缆支撑杆22通过螺栓螺母与所述管缆支撑杆连接孔21连接。

[0087] 所述大齿轮6设有多个以所述大齿轮6的轴线为轴均匀分布的孔Ⅰ23，所述孔Ⅰ23贯穿所述大齿轮6的齿轮端面和所述圆柱形缠绕部10的端面，

[0088] 所述小齿轮5设有多个以所述小齿轮5的轴线为轴均匀分布的孔Ⅱ24，所述孔Ⅱ24贯穿所述小齿轮5的齿轮端面。

[0089] 所述检测装置还包括支撑台14，所述支撑台14上设有所述管缆弯曲支撑板8和所述弧板1。

[0090] 所述弧板1的上沿设有曲率半径值。

[0091] 实施例2

[0092] 一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试方法，具有如下步骤：

[0093] S1、设计如实施例1所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置；

[0094] S2、将所述管缆13的一端通过管缆接头与所述接头固定装置12垂直连接，所述管缆13的自由端与所述绳索9连接，所述绳索9穿过所述水平通孔11，并缠绕在所述圆柱形缠绕部10的侧壁上；

[0095] S3、在距离所述弧板1最远的所述管缆13的母线上开取多个密集排列的、能将所述

管缆13内部的铠装钢丝漏出、并能容纳应变片的开口，通过胶水将所述应变片粘结于所述铠装钢丝上，同时用胶带将连接于所述应变片的排线一端固定于所述管缆13上，所述排线另一端与采集系统连接，实现应力应变数据实时传输；

[0096] S4、通过对所述的一种新型的海洋工程柔顺性管缆最小弯曲半径测试装置调整使得所述绳索9的中心线与所述管缆13的中心线位于同一水平面内，同时，使所述绳索9始终处于张紧状态；

[0097] S5、通过所述作动器4驱动对所述管缆13进行小幅度加载，分析采集的应变随时间变化的曲线，完成对整个测试系统进行初步的调试，待达到测试要求后，分组开展实验；

[0098] S6、设定所述作动器4的推进速度，通过齿轮传动驱动实现对所述管缆13的准静态加载，随着荷载的不断增大，所述管缆13逐渐向所述水平通孔11弯曲，并逐渐紧贴所述弧板1弯曲变形，当所述铠装钢丝上某一所述应变片的应变达到屈服应变时，记录此时所述管缆13与所述弧板1的切合点对应的弯曲半径；

[0099] S7、重复步骤S6，对多次测试得到的弯曲半径进行统计及误差分析，得到所述管缆13的最小弯曲半径。

[0100] 所述步骤S1中，所述弧板1的高度为0.8m，所述弧板1的厚度为0.1m，所述水平通孔11的中位线距离所述弧板1下沿0.4m，所述水平通孔11的宽为0.08m。

[0101] 所述步骤S1中，所述小齿轮5和所述大齿轮6通过常见管缆弯曲刚度进行换算选定，并减小单个齿的尺寸来满足拉力施加时连续变化的要求。

[0102] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

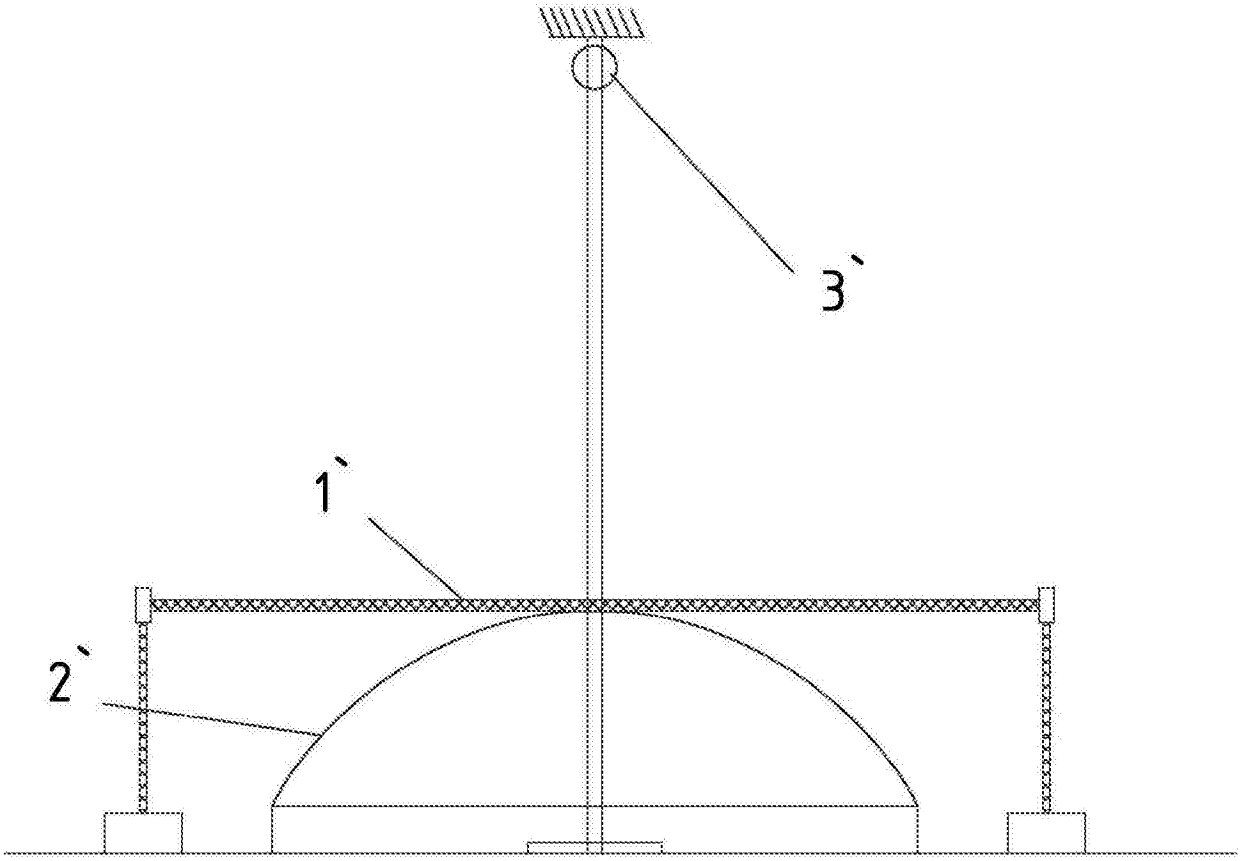


图1

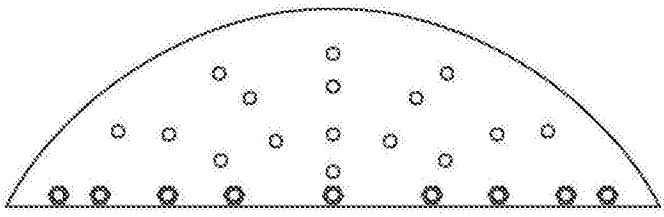


图2

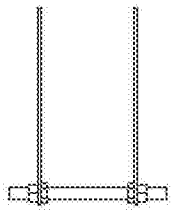


图3

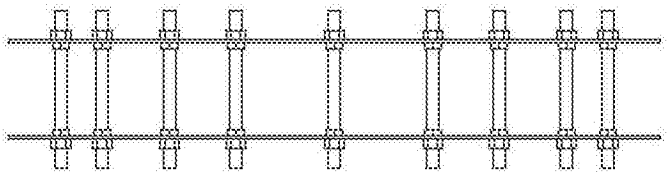


图4

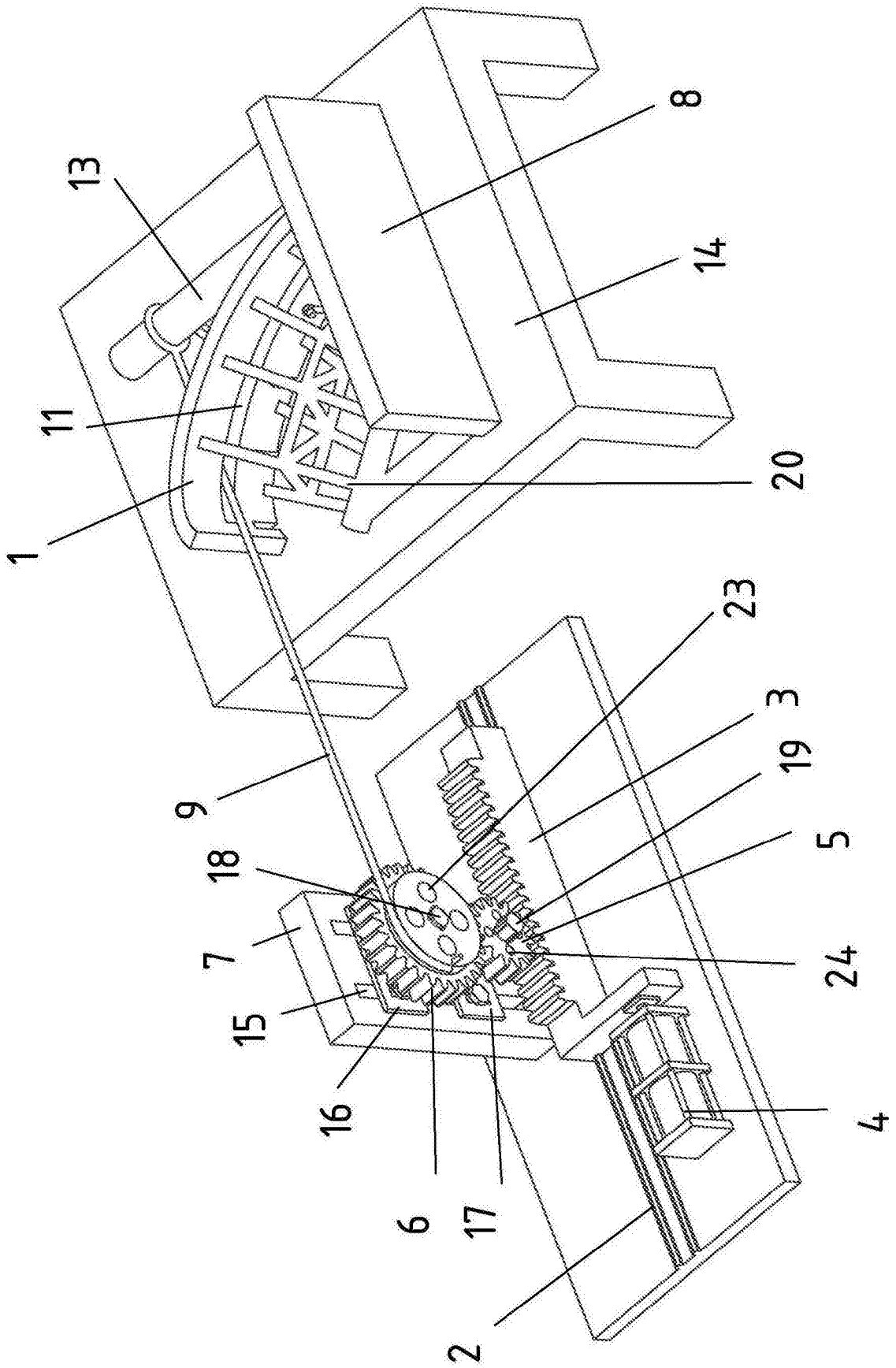


图5

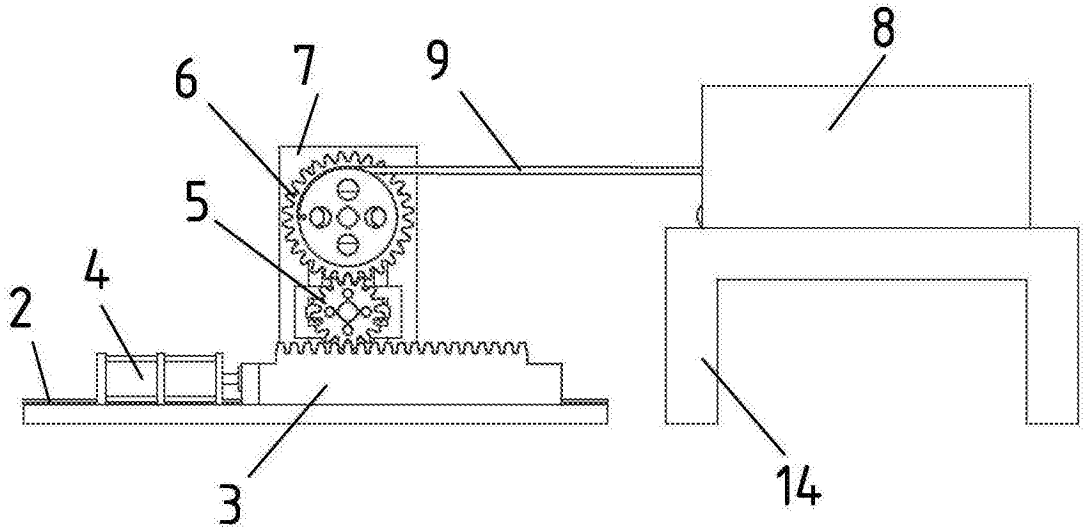


图6

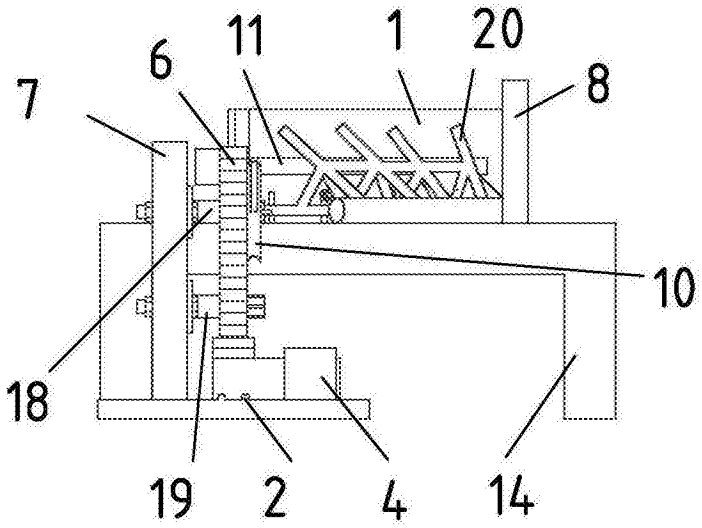


图7

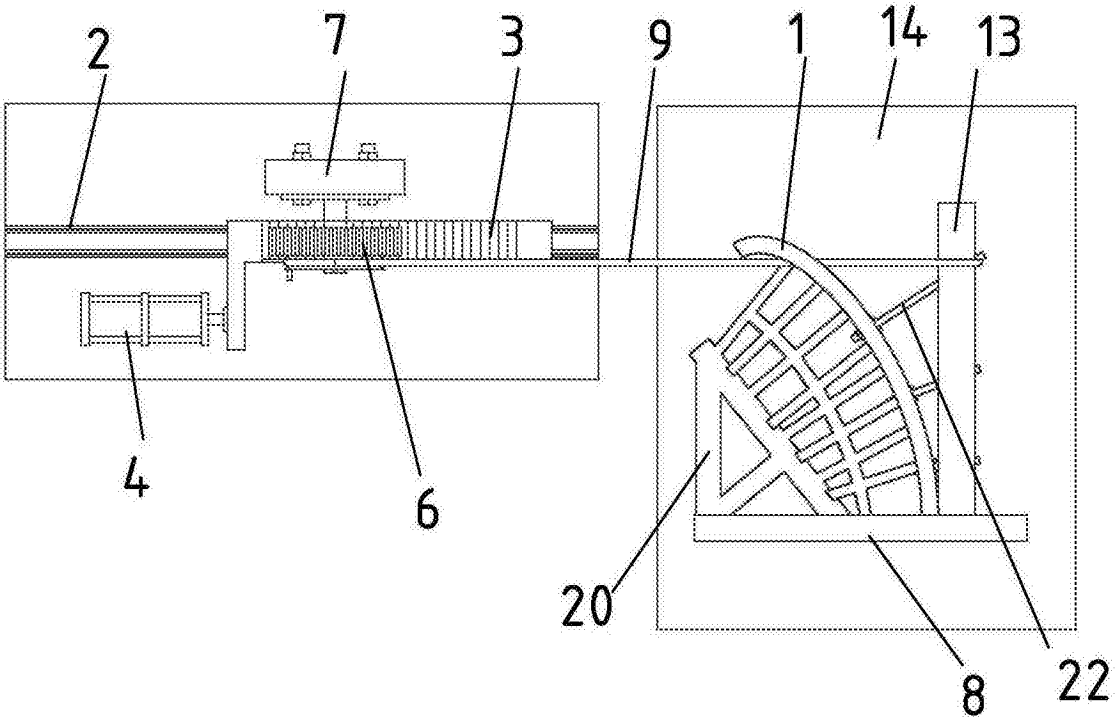


图8

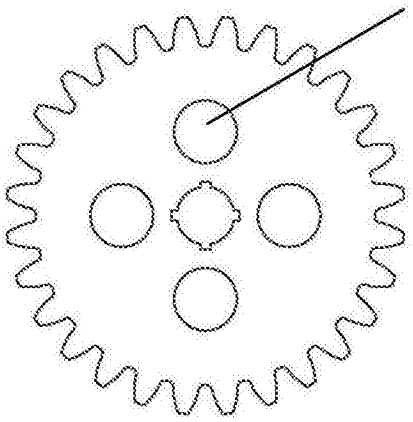


图9

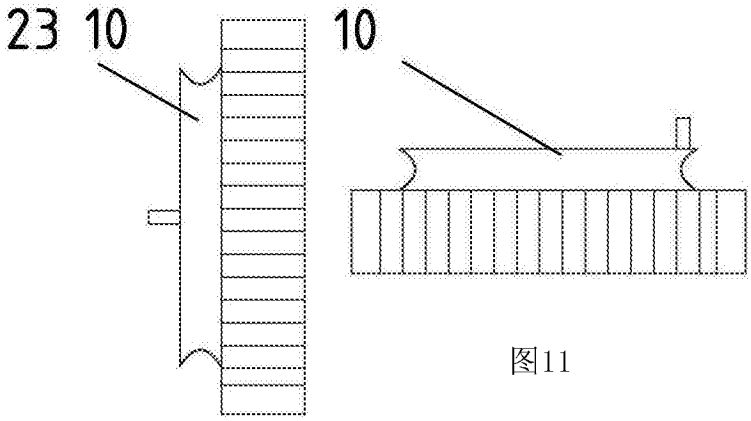


图10

图11

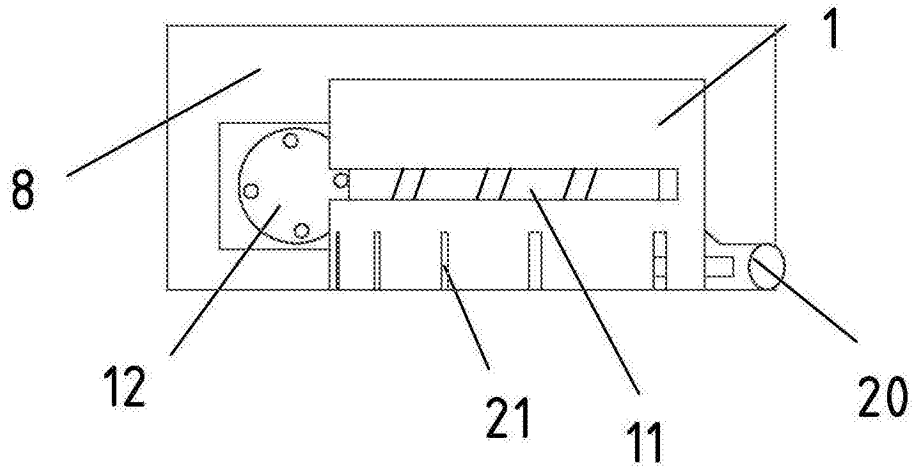


图12

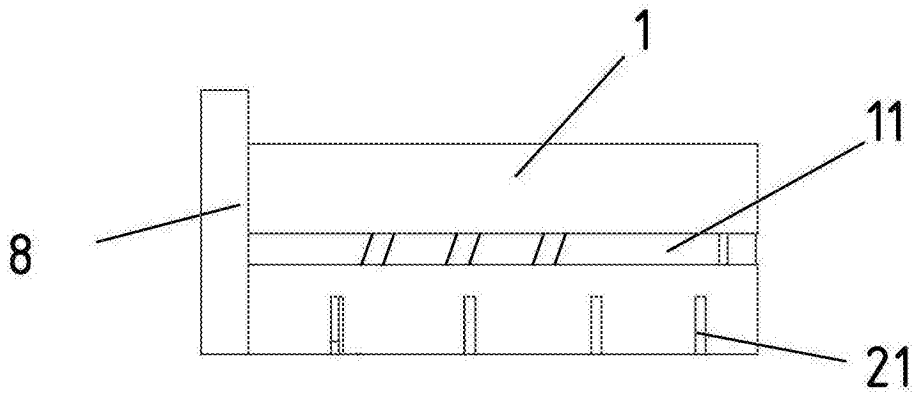


图13

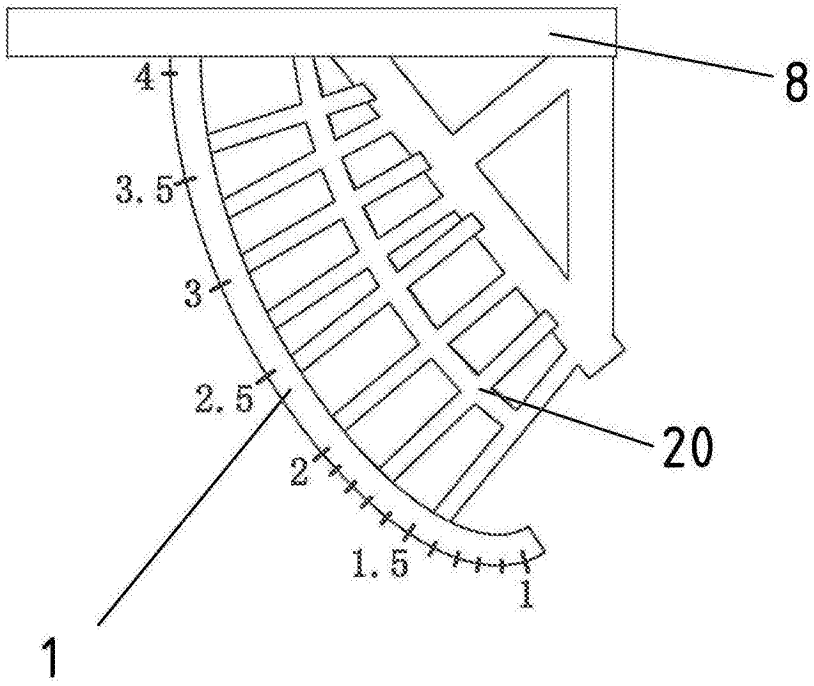


图14