(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113640104 B
(45)授权公告日 2021.12.17

(21)申请号 202111201790.6
(22)申请日 2021.10.15
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113640104 A
(43)申请公布日 2021.11.12
(73)专利权人 成都理工大学
地址 610000 四川省成都市二仙桥东三路1号
(72)发明人 冯文凯 易小宇 万柯 姜杰 李谦 韩靖楠
(74)专利代理机构 成都其知创新专利代理事务所(普通合伙) 51326
代理人 房立普
(51)Int.Cl.
*G01N 3/02*(2006.01)
*G01N 3/24*(2006.01)
(56)对比文件
CN 102980809 A,2013.03.20
CN 111366468 A,2020.07.03
CN 110887741 A,2020.03.17
CN 105865940 A,2016.08.17
CN 1575426 A,2005.02.02
CN 104458445 A,2015.03.25
CN 103543066 A,2014.01.29
CN 104596852 A,2015.05.06
CN 101173882 A,2008.05.07
CN 104614256 A,2015.05.13
US 6000284 A,1999.12.14
冯文凯.原位钻孔剪切试验及其在残坡积土中的应用.《科学技术与工程》.2017,第17卷(第34期),
冯文凯.岩石的微观结构特征与其力学行为启示.《水土保持研究》.2009,第16卷(第6期),
Jessica.Subsoiling and mechanical hole-drilling tillage effects on soil physicalproperties and initial growth of eucalyptus after eucalyptus on steeplands.《soil trillage research》.2020,第207卷
审查员 程丹

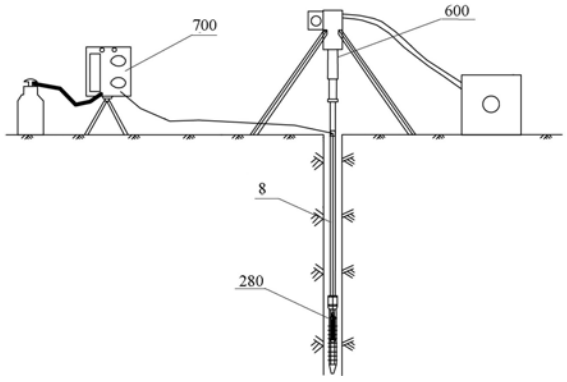
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置及试验方法

(57)摘要

本发明公开了用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置及试验方法,包括剪切头和用于控制和测量剪切头的运动控制装置;剪切头包括第一锥头和设置在其下方与其连接的第二锥头;第一锥头上部连接上拔组件;第二锥头中部表面设置有沿其周向阵列式分布的多个剪切片;剪切探头表面设置有沿其径向从其上部延伸到底面的N个开口位;同一组中的剪切片沿第二锥头径向交错分布;第二锥头远离第一锥头一端底面设置有膨胀限制装置;第一锥头与上拔组件之间设置有用于测量提拉力的传感器;本发明装置可同时进行旁压试验和剪切试验,剪切片通过优化设计使其受力性能良好。




CN 113640104 B

1.一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,其特征在于,包括剪切头(280)和用于控制和测量剪切头(280)的运动控制装置(600);

剪切头(280)包括第一锥头(281)和设置在其下方与其连接的第二锥头(282);第一锥头(281)上部连接运动控制装置(600);还包括穿过第一锥头(281)内伸入第二锥头(282)内的膨胀管(9);膨胀管(9)连接用于控制和测量膨胀管压力大小及膨胀管(9)内液体体积的压力和体积控制装置(700);第二锥头(282)中部表面设置有沿其周向阵列式分布的多个剪切片(283);剪切探头表面设置有沿其径向从其上部延伸到底面的N个开口位;开口位将剪切探头表面分为N个竖向表面;位于同一竖向表面上的剪切片(283)为一组,同一组中的剪切片(283)沿第二锥头(282)径向交错分布;第二锥头(282)远离第一锥头(281)一端底面设置有膨胀限制装置(300)。

2.根据权利要求1所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,其特征在于,所述压力和体积控制装置(700)包括设置有减压阀(720)的气瓶(710);还包括连接膨胀管(9)的用于盛装和测量液体体积的量筒(730);量筒(730)和膨胀管(9)之间设置有液阀(760),量筒和气瓶(710)之间设置有气阀(750);还包括用于测量膨胀管(9)内压力的气压表(740)。

3.根据权利要求2所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,其特征在于,所述运动控制装置(600)包括支架(610)、设置在支架(610)上的液压千斤顶(620);液压千斤顶(620)的输出端连接剪切头(280);液压千斤顶(620)通过液压管(640)连接液压油泵(650);还包括用于测量剪切头(280)位移的位移传感器(630)。

4.根据权利要求1所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,其特征在于,所述膨胀限制装置(300)包括圆环形的限位环(320)和N个固定座(310);N个固定座(310)分别设置在竖向表面对应位置;固定座(310)上设置有滑槽,限位环(320)沿滑槽滑动。

5.根据权利要求1所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,其特征在于,所述运动控制装置(600)包括用于支撑装置的安装组件(100)和与剪切头(280)可拆卸连接的上拔组件(200);上拔组件(200)包括第一电机(210)、第一传动部(220)、第二传动部(250);第一传动部(220)的两端分别转动连接有第一丝杆(230)和第二丝杆(240)的一端;第一丝杆(230)和第二丝杆(240)的另一端分别连接于第二传动部(250)的两端;第一电机(210)通过第一传动部(220)带动第一丝杆(230)和第二丝杆(240)转动;第二传动部(250)可沿第一丝杆(230)和第二丝杆(240)滑动;第二传动部(250)上设置有安装板(260),第一锥头(281)与安装板(260)可拆卸连接;

安装组件(100)包括底座(110)、设置在底座(110)上的安装箱(120);安装箱(120) 上设置有保护壳(130);第一电机(210)和第一传动部(220)设置在安装箱(120)内;第一传动部(220)包括第一齿轮(221),第一齿轮(221)与第一电机(210)的输出轴连接;还包括均与第一齿轮(221)传动连接的第二齿轮(222)和第三齿轮(223);第二齿轮(222)与第一丝杆(230)一端连接,第三齿轮(223)与第二丝杆(240)一端连接;

第一丝杆(230)、第二丝杆(240)和第二传动部(250)设置在保护壳(130)内;第二传动部(250)包括传动块(251),传动块(251)的两端分别传动连接于第一丝杆(230)和第二丝杆(240)的另一端;传动块(251)的两端侧面分别连接有两个连接块(252),两个连接块(252)

上均连接有对应的连接块(252)；连接块(252)上连接有滑块(253)，滑块(253)沿保护壳(130)上的限位槽(131)滑动。

6.根据权利要求5所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置，其特征在于，还包括钻孔组件(400)，钻孔组件(400)包括第二电机(410)，与第二电机(410)输出轴连接的转盘(420)；转盘(420)上设置有卡盘(431)，卡盘(431)连接钻杆(430)；第二电机(410)与安装板(260)可拆卸连接；第一锥头(281)与安装板(260)通过连接部(270)连接；连接部(270)包括与安装板(260)连接的固定螺栓(271)、转动环(272)和与第一锥头(281)连接的夹持板(273)；转动环(272)和夹持板(273)上设置有与固定螺栓(271)相配合的内螺纹(274)，转动环(272)设置在固定螺栓(271)和夹持板(273)之间。

7.根据权利要求5所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置，其特征在于，还包括调节组件(500)，调节组件(500)包括与第一锥头(281)上部连接的支撑板(510)，支撑板(510)上设置有第三电机(520)；第三电机(52 0)的输出轴连接第三丝杆(530)的一端，第三丝杆(530)另一端穿过第一锥头(281)伸入第二锥头(282)内；第三丝杆(530)上设置有多个第一固定盘(540)，第一固定盘(540)的数量与同一组中剪切片(283)的数量对应；第一固定盘(540)上设置有多个滑轨(541)，滑轨(541)的数量与位于同一高度沿第二锥头(282)周向的剪切片(283)数量对应；每个滑轨(541)内均对应设置有一个可在其内部滑动的转块(550)；转块(550)下端固定设置在位于第一固定盘(540)下方的第二固定盘(580)上；第二固定盘(580)上设置有与多个位于同一高度的剪切片(283)位置一一对应的调节装置；调节装置包括设置在第二固定盘(580)上的固定板(590)，固定板(590)上设置有可沿其滑动的推动块(570)；推动块(570)的一端通过连接柱(560)与转块(550)连接，另一端与设置在对应剪切片(283)的位置。

8.根据权利要求1所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置，其特征在于，所述剪切片(283)包括剪切部和与第二锥头(282)连接的连接端；连接端与第二锥头(282)连接处外表面为弧形结构；同一组中的剪切片(283)竖向相邻的两个剪切片之间在竖直方向的投影中具有重合，重合宽度为5mm。

9.根据权利要求1所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置，其特征在于，同一组中的剪切片(283)从下到上，沿垂直于第二锥头(282)表面方向的高度逐渐增大；所述第一锥头(281)与第二锥头(282)连接端为圆台结构，从第一锥头(281)到第二锥头(282)方向上其直径逐渐减小；第二锥头(282)下部为圆台结构，从上到下其直径逐渐减小；开口位从第一锥头(281)下部圆台结构延伸到第二锥头(282)底面。

10.如权利要求3所述的一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置的试验方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤1：钻孔、检查仪器并标定，得到膨胀管(9)内注水量V和标准压力P之间的关系$P_i=f(V)$；

步骤2：将剪切头(280)放入钻孔中预定试验位置z，打开压力和体积控制装置(700)中的液阀(760)，此时剪切单元内产生静水压力$P_w$，记录量筒(730)中的水位下降值，直至膨胀管(9)被水注满，量筒的读数为$V_1$，此时水位下降值为膨胀管(9)固有体积$V_c$；

步骤3：打开气阀(750)，通过减压阀(720)进行逐级加压；每级压力下读取相应压力值，得到膨胀管(9)内水压的增量Δp，记录对应设定压力下量筒(730)中水位变化高度，即膨胀

管(9)内体积增量ΔV;记录起始时刻量筒(730)的值$V_2$和终止时刻量筒(730)的值$V_3$;

步骤4:通过运动控制装置(600)提拉嵌入土体的剪切头(280),运动控制装置(600)提供提拉力F,使剪切头(280)在法向压力P下向上剪切土体;记录运动控制装置(600)提拉力的变化,当上拔力突变时,停止剪切,记录此时提拉力的读数;

步骤5:计算岩土体旁压模量$G_M$:

$$G_M=(V_c+V_m)\frac{\Delta p}{\Delta V}$$

式中:$V_c$为剪切单元膨胀管(9)固有体积,$V_m$为剪切单元膨胀管(9)平均体积,$V_0$为步骤3中起始时刻膨胀管(9)体积,$V_f$为步骤3中终止时刻膨胀管(9)体积;

步骤6:计算土体剪切面法向应力$\sigma_i$:

$\sigma_i=p=p_m+p_w-p_i$

式中:p为校正后的压力,$p_m$为剪切单元旋转时压力表读数,$p_w$为静水压力,$p_i$为弹性膜约束力;

静水压力计算方法如下:

无地下水时:$P_w=(h_0+z)\gamma_w$

有地下水时:$P_w=(h_0+h_w)\gamma_w$

其中,$P_w$为静水压力,kPa,$h_0$为量管水面离孔口的高度,m,z为地面至旁压试验点的深度,m,$h_w$为地下水位到孔口的埋深,m,$\gamma_w$为水的重度,$kN/m^3$;

步骤7:计算与法向应力$\sigma_i$对应的剪切应力$\tau_i$:

$$\tau_i=\frac{F-G}{A}=\frac{F-G}{\pi Dh}$$

式中:F为达到抗剪强度时的拉拔力,G为剪切头(280)和连接杆(8)的总重;D为剪切头(280)剪切面的直径,h为剪切头高度;

步骤8:在相同土层不同位置重复步骤2～7过程4～6次,根据试验获得的土体剪切面法向应力和剪切应力,采用最小二乘法即可计算得到土体的内摩擦角和内聚力;

步骤9:试验结束,关闭装置,清洗,即可完成试验。

# 用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置及试验方法

## 技术领域

[0001] 本发明涉及钻孔剪切试验装置,具体涉及一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置。

## 背景技术

[0002] 岩土体的抗剪强度参数是直接关系到工程的经济与安全重要的力学指标。其指标的测定可采室内试验或原位试验方法。传统的室内试验包括直剪实验,三轴试验等手段,但室内试验的试样尺寸具有局限性,且由于运输过程中已受扰动和严格的限定了边界条件而使其代表性较差;而原位试验虽然无需采样,能在原始应力环境直接测定岩土体的抗剪强度指标,但也有许多限制因素,例如现场的大型直剪试验,其测得的结果比较精确,但是实验时间长,成本高;十字板剪切实验对于不均匀土层,特别是夹有薄层粉细砂或粉土的软粘土,会有较大误差;由标贯实验和静力触探实验得到的土体强度参数的准确性难以保证;钻孔剪切试验的周期短,成本相对较低,但是目前常用的设备均来自国外,购买成本较高,且其在均质土中的实验效果较好,在非均质土中的实验效果较差。

[0003] 钻孔剪切实验(RBST)是野外调查的各种原位测试方法中的一种,它提供了岩土体抗剪强度参数的直接测量方法。其实验原理是通过将孔下设备中的剪切刀头压入孔壁土体中,该压力即为法向应力,将其视为有效正应力,再通对剪切刀头提供上拔力,从而实现对土体的剪切。改变岩土体的法向应力可以得到不同法向应力所对应的土体发生剪切破坏所对应的剪应力,根据摩尔-库伦强度准则可得到特定深度处岩土体的抗剪强度指标。目前所用的钻孔剪切仪是法国APAGEO公司开发的Phicometre钻孔剪切仪,其需在小直径(60～66mm)的开钻孔中工作,但我国常见的开孔孔径在90mm以上,为了满足国外这款钻孔剪切仪的工作条件,往往需要额外开孔,增加了成本;该钻孔剪切仪只能测试土体的抗剪强度参数,而不能获取弹性变形参数等其他参数;该仪器在均质土体和软岩中的测试效果较好,碎石土等条件复杂的土体中测试时的效果很差。

[0004] 十字板剪切试验(VST)是用插人土中的标准十字板探头,以一定速率扭转,量测土破坏时的抵抗力矩,测定土的不排水剪的抗剪强度和残余抗剪强度。十字板剪切试验可用于测定饱和软黏性土($\phi \approx 0$)的不排水抗剪强度和灵敏度。所测得的抗剪强度值,相当于试验深度处天然土层在原位压力下固结的不排水抗剪强度。十字板剪切试验不需要采取土样,避免了土样扰动及天然应力状态的改变,是一种有效的现场测定土的不排水强度试验方法。目前十字板剪切试验中需使十字板匀速剪切土体才能获取相对准确的土体抗剪强度数值,因此还需在地表人为匀速转动旋转转盘,其试验结果的精度受主观和操作因素的影响较大;由于十字板参与剪切时自身设计的限制,其在均质土中进行试验得到的结果才相对准确。

## 发明内容

[0005] 本发明提供一种可以同时进行旁压试验和剪切试验的用于钻孔剪切试验的孔壁

侧胀提拉剪切装置及试验方法。

[0006] 本发明采用的技术方案是:一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,包括剪切头和用于控制和测量剪切头的运动控制装置;

[0007] 剪切头包括第一锥头和设置在其下方与其连接的第二锥头;第一锥头上部连接运动控制装置;还包括穿过第一锥头内伸入第二锥头内的膨胀管;膨胀管连接用于控制和测量膨胀管压力大小及膨胀管内液体体积的压力和体积控制装置;第二锥头中部表面设置有沿其周向阵列式分布的多个剪切片;剪切头表面设置有沿其径向从其上部延伸到底面的N个开口位;开口位将剪切头表面分为N个竖向表面;位于同一竖向表面上的剪切片为一组,同一组中的剪切片沿第二锥头径向交错分布;第二锥头远离第一锥头一端底面设置有膨胀限制装置。

[0008] 进一步的,所述压力和体积控制装置包括设置有减压阀的气瓶;还包括连接膨胀管的用于盛装和测量液体体积的量筒;量筒和膨胀管之间设置有液阀,量筒和气瓶之间设置有气阀;还包括用于测量膨胀管内压力的气压表。

[0009] 进一步的,所述运动控制装置包括支架、设置在支架上的液压千斤顶;液压千斤顶的输出端连接剪切头;液压千斤顶通过液压管连接液压油泵;还包括用于测量剪切头位移的位移传感器。

[0010] 进一步的,所述膨胀限制装置包括圆环形的限位环和N个固定座;N个固定座分别设置在竖向表面对应位置;固定座上设置有滑槽,限位环沿滑槽滑动。

[0011] 进一步的,所述运动控制装置包括用于支撑装置的安装组件和与剪切头可拆卸连接的上拔组件;上拔组件包括第一电机、第一传动部、第二传动部;第一传动部的两端分别转动连接有第一丝杆和第二丝杆的一端;第一丝杆和第二丝杆的另一端分别连接于第二传动部的两端;第一电机通过第一传动部带动第一丝杆和第二丝杆转动;第二传动部可沿第一丝杆和第二丝杆滑动;第二传动部上设置有安装板,第一锥头与安装板可拆卸连接;

[0012] 安装组件包括底座、设置在底座上的安装箱;安装箱上设置有保护壳;第一电机和第一传动部设置在安装箱内;第一传动部包括第一齿轮,第一齿轮与第一电机的输出轴连接;还包括均与第一齿轮传动连接的第二齿轮和第三齿轮;第二齿轮与第一丝杆一端连接,第三齿轮与第二丝杆一端连接;

[0013] 第一丝杆、第二丝杆和第二传动部设置在保护壳内;第二传动部包括传动块,传动块的两端分别传动连接于第一丝杆和第二丝杆的另一端;传动块的两端侧面分别连接有两个连接块,两个连接块上均连接有对应的连接块;连接块上连接有滑块,滑块沿保护壳上的限位槽滑动。

[0014] 进一步的,还包括钻孔组件,钻孔组件包括第二电机,与第二电机输出轴连接的转盘;转盘上设置有卡盘,卡盘连接钻杆;第二电机与安装板可拆卸连接;第一锥头与安装板通过连接部连接;连接部包括与安装板连接的固定螺栓、转动环和与第一锥头连接的夹持板;转动环和夹持板上设置有与固定螺栓相配合的内螺纹,转动环设置在固定螺栓和夹持板之间。

[0015] 进一步的,还包括调节组件,调节组件包括与第一锥头上部连接的支撑板,支撑板上设置有第三电机;第三电机的输出轴连接第三丝杆的一端,第三丝杆另一端穿过第一锥头伸入第二锥头内;第三丝杆上设置有多个第一固定盘,第一固定盘的数量与同一组中剪

切片的数量对应;第一固定盘上设置有多个滑轨,滑轨的数量与位于同一高度沿第二锥头周向的剪切片数量对应;每个滑轨内均对应设置有一个可在其内部滑动的转块;转块下端固定设置在位于第一固定盘下方的第二固定盘上;第二固定盘上设置有与多个位于同一高度的剪切片位置一一对应的调节装置;调节装置包括设置在第二固定盘上的固定板,固定板上设置有可沿其滑动的推动块;推动块的一端通过连接柱与转块连接,另一端与设置在对应剪切片的位置。

[0016] 进一步的,所述剪切片包括剪切部和与第二锥头连接的连接部;连接部与第二锥头连接处外表面为弧形结构;同一组中的剪切片竖向相邻的两个剪切片之间在竖直方向的投影中具有重合,重合宽度为5mm。

[0017] 进一步的,同一组中的剪切片从下到上,沿垂直于第二锥头表面方向的高度逐渐增大;所述第一锥头与第二锥头连接端为圆台结构,从第一锥头到第二锥头方向上其直径逐渐减小;第二锥头下部为圆台结构,从上到下其直径逐渐减小;开口位从第一锥头下部圆台结构延伸到第二锥头底面。

[0018] 一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置的试验方法,包括以下步骤:

[0019] 步骤1:钻孔、检查仪器并标定,得到膨胀管内注水量$V$和标准压力$P$之间的关系$P_i=f(V)$;

[0020] 步骤2:将剪切头放入钻孔中预定试验位置$z$,打开压力和体积控制装置中的液阀,此时剪切单元内产生静水压力$P_w$,记录量筒中的水位下降值,直至膨胀管被水注满,量筒的读数为$V_1$,此时水位下降值为膨胀管固有体积$V_c$;

[0021] 步骤3:打开气阀,通过减压阀进行逐级加压;每级压力下读取相应压力值,得到膨胀管内水压的增量$\Delta p$,记录对应设定压力下量筒中水位变化高度,即膨胀管内体积增量$\Delta V$;记录起始时刻量筒的值$V_2$和终止时刻量筒的值$V_3$;

[0022] 步骤4:通过运动控制装置提拉嵌入土体的剪切头,运动控制装置提供提拉力$F$,使剪切头在法向压力$P$下向上剪切土体;记录运动控制装置提拉力的变化,当上拔力突变时,停止剪切,记录此时提拉力的读数;

[0023] 步骤5:计算岩土体旁压模量$G_M$:

[0024] $$G_M=(V_c+V_m)\frac{\Delta p}{\Delta V}$$

[0025] 式中:$V_c$为剪切单元膨胀管固有体积,$V_m$为剪切单元膨胀管平均体积,$V_0$为步骤3中起始时刻膨胀管体积,$V_f$为步骤3中终止时刻膨胀管体积;

[0026] 步骤6:计算土体剪切面法向应力$\sigma_i$:

[0027] $$\sigma_i=p=p_m+p_w-p_i$$

[0028] 式中:$p$为校正后的压力,$p_m$为剪切单元旋转时压力表读数,$p_w$为静水压力,$p_i$为弹性膜约束力;

[0029] 静水压力计算方法如下:

[0030] 无地下水时:$P_w=(h_0+z)\gamma_w$

[0031] 有地下水时:$P_w=(h_0+h_w)\gamma_w$

[0032] 其中，$P_w$为静水压力，kPa，$h_0$为量管水面离孔口的高度，m，$z$为地面至旁压试验点的深度，m，$H_w$为地下水位到孔口的埋深，m，$\gamma_w$为水的重度，kN/m$^3$；

[0033] 步骤7：计算与法向应力$\sigma_i$对应的剪切应力$\tau_i$：

[0034] $$\tau_i=\frac{F-G}{A}=\frac{F-G}{\pi Dh}$$

[0035] 式中：$F$为达到抗剪强度时的拉拔力，$G$为剪切头(280)和连接杆(8)的总重；$D$为剪切头(280)剪切面的直径，$h$为剪切头高度；

[0036] 步骤8：在相同土层不同位置重复步骤2～7过程4～6次，根据试验获得的土体剪切面法向应力和剪切应力，采用最小二乘法即可计算得到土体的内摩擦角和内聚力；

[0037] 步骤9：试验结束，关闭装置，清洗，即可完成试验。

[0038] 本发明的有益效果是：

[0039] (1)本发明通过压力与体积控制装置将剪切片压入土中，使土体发生径向变形，通过采集这一过程的数据可实现剪切仪周围土体弹性参数的测试；将剪切片压入土体后，将剪切头向上提拉，采集这一过程的数据可实现钻孔土体剪切强度和剪切模量的测试；

[0040] (2)本发明通过设置膨胀限制装置，防止剪切头过度膨胀或膨胀管从底部掉出，控制剪切头底部向外膨胀的最大程度；

[0041] (3)本发明设置有钻孔组件，可同时实现钻孔和试验的测试；剪切头和和钻孔组件均与上拔组件为可拆卸连接，方便快速拆装；

[0042] (4)本发明设置有调节组件，通过调节组件可改变剪切片的外伸距离调节，使得其在剪切试验中性能更好；剪切片从下部向上外伸的长度逐渐增大，保证剪切时，处于不同深度的剪切片嵌入土体的程度接近；

[0043] (5)本发明中剪切头的结构可以使得剪切片能在膨胀管的作用下充分嵌入土体，并且第一锥头和第二锥头的设计可以使得其连接处的受力性能更佳。

## 附图说明

[0044] 图1为本发明整体结构示意图。

[0045] 图2为本发明中压力和体积控制装置结构示意图。

[0046] 图3为本发明一实施例的运动控制结构示意图。

[0047] 图4为本发明一实施例的结构示意图。

[0048] 图5为本发明一实施例的整体结构示意图。

[0049] 图6为本发明一实施例的上拔组件的结构示意图。

[0050] 图7为本发明一实施例的剪切头和安装板连接结构示意图。

[0051] 图8为本发明中图7中A处的放大结构示意图。

[0052] 图9为本发明中剪切头的结构示意图。

[0053] 图10为本发明中膨胀限制装置的结构示意图。

[0054] 图11为本发明一实施例中钻孔组件的结构示意图。

[0055] 图12为本发明一实施例中调节组件的结构示意图。

[0056] 图13为发明一实施例中调节组件的爆炸结构示意图。

[0057] 图14为本发明中剪切片的排布结构示意图。

[0058] 图15为本发明中剪切片放大结构示意图。

[0059] 图16为本发明中剪切头的俯视图。

[0060] 图中:100-安装组件,110-底座,120-安装箱,130-保护壳,131-限位槽,200-上拔组件,210-第一电机,220-第一传动部,221-第一齿轮,222-第二齿轮,223-第三齿轮,230-第一丝杆,240-第二丝杆,250-第二传动部,251-传动块,252-连接块,253-滑块,260-安装板,261-安装口,270-连接部,271-固定螺栓,272-转动环,273-夹持板,274-内螺纹,280-剪切头,281-第一锥头,282-第二锥头,283-剪切片,290-传感器,300-膨胀限制装置,310-固定座,320-限位环,400-钻孔组件,410-第二电机,420-转盘,430-钻杆,431-卡盘,500-调节组件,510-支撑板,520-第三电机,530-第三丝杆,540-第一固定盘,541-滑轨,550-转块,560-连接柱,570-推动块,580-第二固定盘,590-固定板,600-运动控制装置,610-支架,620-液压千斤顶,630-位移传感器,640-液压管,650-液压油泵,700-压力和体积控制装置,710-气瓶,720-减压阀,730-量筒,740-气压表,750-气阀,760-液阀,770-注水管,8-连接杆,9-膨胀管。

## 具体实施方式

[0061] 下面结合附图和具体实施例对本发明做进一步说明。

[0062] 如图1所示,一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置,包括剪切头280和用于控制和测量剪切头280的运动控制装置600;

[0063] 剪切头280包括第一锥头281和设置在其下方与其连接的第二锥头282;第一锥头281上部连接运动控制装置600;还包括穿过第一锥头281内伸入第二锥头282内的膨胀管;膨胀管连接用于控制和测量膨胀管压力大小及膨胀管内液体体积的压力和体积控制装置700;第二锥头282中部表面设置有沿其周向阵列式分布的多个剪切片283;剪切头280表面设置有沿其径向从其上部延伸到底面的N个开口位;开口位将剪切头280表面分为N个竖向表面;位于同一竖向表面上的剪切片283为一组,同一组中的剪切片283沿第二锥头282径向交错分布;第二锥头282远离第一锥头281一端底面设置有膨胀限制装置300。

[0064] 膨胀限制装置300包括圆环形的限位环320和N个固定座310;N个固定座310分别设置在竖向表面对应位置;固定座310上设置有滑槽,限位环320沿滑槽滑动。膨胀限制装置300可以防止剪切头280过度膨胀或膨胀管从底部掉出;在保护仪器的同时,还能控制剪切头280底部向外膨胀的最大程度。限位环320在竖向上也有1.5mm的空间移动,能保证在底部膨胀时,限位环不会被卡死。

[0065] 如图2所示,压力和体积控制装置700包括设置有减压阀720的气瓶710;还包括连接膨胀管的用于盛装和测量液体体积的量筒730;量筒730和膨胀管之间设置有液阀760,量筒和气瓶710之间设置有气阀750;还包括用于测量膨胀管内压力的气压表740。该装置主要参与使剪切单元切入土体的这一过程,试验开始时,打开液阀760,使量筒730中的水顺着注水管770流入膨胀管,使膨胀管被水注满,此时量筒730和膨胀管内未产生压差,此时膨胀管并未产生挤压剪切单元的力。然后打开气阀750,再打开气瓶710上的减压阀720,对量筒730施加气压,将量筒730中的水通过注水管770“挤”入膨胀管内。使膨胀管逐渐膨胀,并使剪切片对应处膨胀,直至切入土体。提拉剪切土体后,关闭减压阀720停止提供气压,关闭气阀750,完全卸压施加在剪切头上的法向力。在大气压的作用下,膨胀管内的水会顺着注水管

770返回量筒730。稳定后关闭液阀760，将剪切单元提拉至地面后，取出膨胀管，即可完成试验。

[0066] 如图3所示，运动控制装置600包括支架610、设置在支架610上的液压千斤顶620；液压千斤顶620的输出端连接剪切头280；液压千斤顶620通过液压管640连接液压油泵650；还包括用于测量剪切头280位移和提拉速度的位移传感器630；采用位移传感器630即可实时监测提拉速度和位移，结合试验时间记录即可完成对提拉位移S的记录。

[0067] 使用时需要在液压千斤顶620上设置压力表，用于测量和监控拉拔力F。位移传感器630采用MPS-S-500-V1型拉线位移传感器。该部分用于将剪切头280上的剪切片切入土体后的提拉剪切土体过程和试验结束后将剪切头280“提”出孔内的过程。

[0068] 试验结束后，可以通过连接杆8对剪切头280施加向上的提拉力，将连接杆8一节一节的提上来。提杆的过程和工程里钻进程控后提钻杆的过程类似。其中液压千斤顶620通过设置在液压油泵650上的阀门控制。上述运动控制装置600仅仅是实现本发明目的的一种方式，也可以采用其他的方式。

[0069] 如图4～图13所示，运动控制装置600包括用于支撑装置的安装组件100和与剪切头280可拆卸连接的上拔组件200。上拔组件200包括第一电机210、第一传动部220、第二传动部250；第一传动部220的两端分别转动连接有第一丝杆230和第二丝杆240的一端；第一丝杆230和第二丝杆240的另一端分别连接于第二传动部250的两端；第一电机210通过第一传动部220带动第一丝杆230和第二丝杆240转动；第二传动部250可沿第一丝杆230和第二丝杆240滑动；第二传动部250上设置有安装板260，第一锥头281与安装板260可拆卸连接；第一锥头281与上拔组件200之间设置有用于测量提拉力的传感器290。

[0070] 安装组件100包括底座110、设置在底座110上的安装箱120；安装箱120上设置有保护壳130；第一电机210和第一传动部220设置在安装箱120内；第一传动部220包括第一齿轮221，第一齿轮221与第一电机210的输出轴连接；还包括均与第一齿轮221传动连接的第二齿轮222和第三齿轮223；第二齿轮222与第一丝杆230一端连接，第三齿轮223与第二丝杆240一端连接。

[0071] 第一丝杆230、第二丝杆240和第二传动部250设置在保护壳130内；第二传动部250包括传动块251，传动块251的两端分别传动连接于第一丝杆230和第二丝杆240的另一端；传动块251的两端侧面分别连接有两个连接块252，两个连接块252上均连接有对应的连接块252；连接块252上连接有滑块253，滑块253沿保护壳130上的限位槽131滑动。

[0072] 还包括钻孔组件400，钻孔组件400包括第二电机410，与第二电机410输出轴连接的转盘420；转盘420上设置有卡盘431，卡盘431连接钻杆430；第二电机410与安装板260可拆卸连接。第二电机410通过螺栓固定安装于安装板260上，安装板260上设置有安装口261，转盘420通过键固定安装于第二电机410；转盘420能够容置于安装口261，能够沿着安装口261滑动。钻杆430上端与卡盘431焊接固定，卡盘431通过螺栓与转盘420固定，实现钻孔功能。现有的大部分剪切装置的剪切头为固定一体的结构，在实际操作中，将剪切头放入事先钻好的孔中，然后通过提拉施加竖向剪切力使土体发生剪切破坏，记录竖直变化即剪应力。由于钻孔孔壁收到扰动，因此测试结果较为离散，数据较为不准确。

[0073] 还包括调节组件500，调节组件500包括与第一锥头281上部连接的支撑板510，支撑板510上设置有第三电机520；第三电机520的输出轴连接第三丝杆530的一端，第三丝杆

530另一端穿过第一锥头281伸入第二锥头282内;第三丝杆530上设置有多个第一固定盘540,第一固定盘540的数量与同一组中剪切片283的数量对应;第一固定盘540上设置有多个滑轨541,滑轨541的数量与位于同一高度沿第二锥头282周向的剪切片283数量对应;每个滑轨541内均对应设置有一个可在其内部滑动的转块550;转块550下端固定设置在位于第一固定盘540下方的第二固定盘580上;第二固定盘580上设置有与多个位于同一高度的剪切片283位置一一对应的调节装置;调节装置包括设置在第二固定盘580上的固定板590,固定板590上设置有可沿其滑动的推动块570;推动块570的一端通过连接柱560与转块550连接,另一端与设置在对应剪切片283的位置。第三丝杆530通过键与第三电机520的输出轴连接;第一固定盘540通过螺栓与第三丝杆530固定;转块550能沿着滑轨541转动。连接柱560的上端通过焊接与转块550连接。第二固定盘580通过焊接与第二锥头282固定。通过调节组件500可以实现剪切片283外伸距离的调节。在实际使用过程中可以将剪切头280进行一体化成型,剪切片的长度在制备过程中预先将其设计好。为了精确的控制剪切片的外伸长度,也可以采用上述调节组件进行调节。

[0074] 第一锥头281与安装板260通过连接部270连接;连接部270包括与安装板260连接的固定螺栓271、转动环272和与第一锥头281连接的夹持板273;转动环272和夹持板273上设置有与固定螺栓271相配合的内螺纹274,转动环272设置在固定螺栓271和夹持板273之间。通过连接部270可实现快速拆装功能。

[0075] 如图14所示,剪切片283包括剪切部和与第二锥头282连接的连接端;连接端与第二锥头282连接处外表面为弧形结构;同一组中的剪切片283竖向相邻的两个剪切片之间在竖直方向的投影中具有重合,重合宽度为5mm。同一组中的剪切片283从下到上,沿垂直于第二锥头282表面方向的高度逐渐增大。同一组中的剪切片283从下到上,沿垂直于第二锥头282表面方向的高度逐渐增大。同一组剪切片283具有8个,同一组剪切片283中径向上相邻两个剪切片283之间的竖向距离为25mm;同一组剪切片283最底部的剪切片283沿垂直于第二锥头2表面方向高度为8mm,从下到上相邻剪切片3以0.25mm递增。

[0076] 如图15和图16所示,为了能够使剪切片在膨胀管作用下充分嵌入土体,对剪切片的形状、外伸长度和分布进行了设计。剪切片283类似于“承台”形状,使得剪切片283在剪切土体时受力性能更好,剪切片自身更难以被损坏。剪切片283从下到上,外伸长度逐渐递增。这种排布方式能测钻孔底部的碎石土,测出的值更贴近于土体的真实值。最底部的剪切片283外伸长度为8mm,以0.25mm递增,每组剪切片283具有8个。最上部的剪切片283外伸长度为9.75mm。剪切片283的排布为阵列式排布,在竖直方向的投影中,竖向相邻的剪切片283间重合5mm,这样有利于剪切过程的进行,剪切片283整体的力学性能较好。

[0077] 第一锥头281与第二锥头282连接端为圆台结构,从第一锥头281到第二锥头282方向上其直径逐渐减小;第一锥头281和第二锥头282为中空圆柱形结构,第一锥头281外部直径为90mm,其底面外部直径为77.6mm;第一锥头281内部直径为66mm,底面内部直径为53.5mm。中间的中空结构能够让膨胀管从顶部放入第二锥头282内。

[0078] 第二锥头282下部为圆台结构,从上到下其直径逐渐减小;开口位从第一锥头281下部圆台结构延伸到第二锥头282底面。开口位宽度为3mm,厚度为12mm;开口位为5个。第一锥头281下部即连接处即出现开口位,在开始出现竖向开口处极易发生应力集中,因此将连接处设计为渐变式。有利于该处的受力性能。竖向的开口位将剪切头主体分为了5个等大的

竖向曲片，竖向开口能保证曲片在膨胀管的作用下向外膨胀。竖向的开口位上至第一锥头281下部，向下一直延伸到第二锥头282的底面。

[0079] 本结构中，使用时，首先将钻孔组件400与安装板260固定，启动第二电机410，第二电机410带动转盘420旋转；进而转盘420带动卡盘431旋转，卡盘431带动钻杆430旋转，实现土体的钻孔。

[0080] 然后将钻孔组件400拆卸，通过连接部270，将剪切头280与安装板260连接。将剪切头280放入已经钻好的钻孔内。启动第三电机520，进而第三电机520带动第三丝杆530旋转。第三丝杆530带动第一固定盘540旋转，第一固定盘540带动转块550旋转，转块550带动连接柱560转动。连接柱560带动推动块570在固定板590上滑动，控制剪切片283的外伸长度。

[0081] 启动第一电机210，第一电机210带动第一齿轮221旋转，第一齿轮221与第二齿轮222传动连接。第一齿轮221与第三齿轮223传动连接，进而第一齿轮221带动第二齿轮222旋转，第一齿轮221带动第三齿轮223旋转。第二齿轮222带动第一丝杆230旋转，第三齿轮223带动第二丝杆240旋转。第一丝杆230和第二丝杆240带动传动块251上下移动，进而传动块251带动连接块252上下移动。连接块252带动滑块253沿限位槽131上下移动，滑块253带动安装板260上下移动。安装板260带动连接部270，进而带动剪切头280上下移动。当向上提拉时，通过传感器290即可测量得出力学参数的变化。

[0082] 一种用于钻孔剪切试验的孔壁侧胀提拉剪切装置的试验方法，包括以下步骤：

[0083] 步骤1：钻孔、检查仪器并标定，得到膨胀管内注水量$V$和标准压力$P$之间的关系$P_i=f(V)$；检查时检查仪表、水管是否连接正确。

[0084] 步骤2：将剪切头280放入钻孔中预定试验位置$z$，打开压力和体积控制装置700中的液阀760，此时剪切单元内产生静水压力$p_w$，记录量筒730中的水位下降值，直至膨胀管被水注满，量筒的读数为$V_1$，此时水位下降值为膨胀管固有体积$V_c$；

[0085] 步骤3：打开气阀750，通过减压阀720进行逐级加压；每级压力下读取相应压力值，得到膨胀管内水压的增量$\Delta p$，记录对应设定压力下量筒730中水位变化高度，即膨胀管内体积增量$\Delta V$；记录起始时刻量筒730的值$V_2$和终止时刻量筒730的值$V_3$；

[0086] 加压过程如下：

[0087] 该过程需控制每级压力下的稳定时间，保证剪切片283能完全切入土体，并被切土体有足够的时间固结。对软岩、风化岩和碎石土等宜采用1min，对非饱和黏性土、粉土、砂土等宜采用2min。对于碎石土当采用1min 的相对稳定时间标准时，在每级压力下，测读15s、30s、60s的量管水位下讲值，并在60s读数完后即施加下一级压力，直到剪切片283完全切入土体终止。当采用2min的相对稳定时间标准时，在每级压力下，测读15s、30s、60s、120s的量管水位下降值，并在2min的读数完后即施加下一级压力，直到剪切片283完全切入土体终止。

[0088] 步骤4：通过运动控制装置600提拉嵌入土体的剪切头280，运动控制装置600提供提拉力$F$，使剪切头280在法向压力$P$下向上剪切土体；记录运动控制装置600提拉力的变化，当上拔力突变时，停止剪切，记录此时提拉力的读数；

[0089] 步骤5：计算岩土体旁压模量$G_M$：

[0090] $$G_M=(V_c+V_m)\frac{\Delta p}{\Delta V}$$

[0091] 式中：$V_c$为剪切单元膨胀管固有体积，$V_m$为剪切单元膨胀管平均体积，$V_0$为步骤3中起始时刻膨胀管体积，$V_f$为步骤3中终止时刻膨胀管体积；

[0092] 步骤6：计算土体剪切面法向应力$\sigma_i$：

[0093] $$\sigma_i = p = p_m + p_w - p_i$$

[0094] 式中：$p$为校正后的压力，$p_m$为剪切单元旋转时压力表读数，$p_w$为静水压力，$p_i$为弹性膜约束力；

[0095] 静水压力计算方法如下：

[0096] 无地下水时：$P_w = (h_0 + z)\gamma_w$

[0097] 有地下水时：$P_w = (h_0 + h_w)\gamma_w$

[0098] 其中，$P_w$为静水压力，kPa，$h_0$为量管水面离孔口的高度，m，$z$为地面至旁压试验点的深度，m，$H_w$为地下水位到孔口的埋深，m，$\gamma_w$为水的重度，kN/m$^3$；

[0099] 步骤7：计算与法向应力$\sigma_i$对应的剪切应力$\tau_i$：

[0100] $$\tau_i = \frac{F - G}{A} = \frac{F - G}{\pi D h}$$

[0101] 式中：$F$为达到抗剪强度时的拉拔力，$G$为剪切头280和连接杆8的总重；$D$为剪切头280剪切面的直径，$h$为剪切头高度；

[0102] 其中$F$的计算过程如下：

[0103] $$F = p_1 A_1 - p_2 A_2$$

[0104] 式中：$p_1$为液压千斤顶620上缸压力值，$p_2$为液压千斤顶620下缸压力值，$A_1$为液压千斤顶620的上腔截面积，$A_2$为液压千斤顶620的下腔截面积。

[0105] 步骤8：在相同土层不同位置重复步骤2～7过程4～6次，根据试验获得的土体剪切面法向应力和剪切应力，采用最小二乘法即可计算得到土体的内摩擦角和内聚力；

[0106] 步骤9：试验结束，关闭装置，清洗，即可完成试验。

[0107] 本发明中的连接杆8可以采用多节，多节连接杆之间以螺纹连接，能加长连接杆8的长度，直至待测深度。且其内部为中空，能保证注水管770连接膨胀管。剪切头280是钻孔剪切装置的核心部件。压力和体积控制装置700通过控制剪切头内的膨胀管内的压力向其提供法向力。通过膨胀管将剪切头压入土中，然后通过运动控制装置600带动向上提拉剪切土体；同时拉线位移传感器可以实时记录提拉速度。剪切头280压入土体中后，土体发生径向变形，可以通过传感器测量这一过程中的数据实现钻孔土体弹性模量测试。连接杆8从与剪切头280连接部分至地表接线口处为中空，是为了使压力和体积控制装置700的注水管770连接至剪切头280内的膨胀管。下放剪切头280至待测深度前，在地表需先将膨胀管放置于剪切头内。然后沿着已成钻孔(或者采用本发明中的钻孔装置进行钻孔)，逐节加连接杆8。至待测深度后将顶部的连接杆8与运动控制装置600连接。此时通过压力和体积控制装置700为剪切头280提供法向压力使剪切片283切入土体，再通过运动控制装置600中的液压千斤顶620提供提拉剪切土体的动力。试验结束后，先将加载于剪切头280上的法向力和提拉压力完全卸压，再通过液压千斤顶620逐节将连接杆8提起。

[0108] 本发明设置膨胀限制装置，可以防止剪切头过度膨胀或膨胀管从底部掉出，控制

剪切头底部向外膨胀的最大程度。剪切片从下部向上外伸的长度逐渐增大，保证剪切时，处于不同深度的剪切片嵌入土体的程度接近。可以通过调节组件500控制剪切片外伸长度。同一组剪切片在竖直方向上间隔为25mm，竖向相邻的剪切片间重合5mm宽度，有利于剪切过程的进行，剪切片整体的力学性能较好。剪切头的结构可以使得剪切片能在膨胀管的作用下充分嵌入土体，并且第一锥头和第二锥头的设计可以使得其连接处的受力性能更佳。

[0109] 本发明能在我国常见钻孔孔径在90mm～95mm的钻孔内工作，降低了开孔的成本。除了能测后计算得土体的抗剪强度参数，还能获得土体的旁压模量。剪切头部分经过设计能在粗粒土中进行试验，尤其是在碎石土中，且充分考虑了仪器可能出现卡住，剪切不动等情况。该装置的自动化程度较高，尤其是可以通过运动控制装置中的液压千斤顶和拉线位移传感器，实时监测提拉力和位移速度的变化。相对于现今的钻孔剪切仪，剪切片的分布更接近于仪器的底部，以便于测量在钻孔底部附近的岩土体，能够使得所测的岩土体扰动程度更小，相应获得测量精度更高的岩土参数。

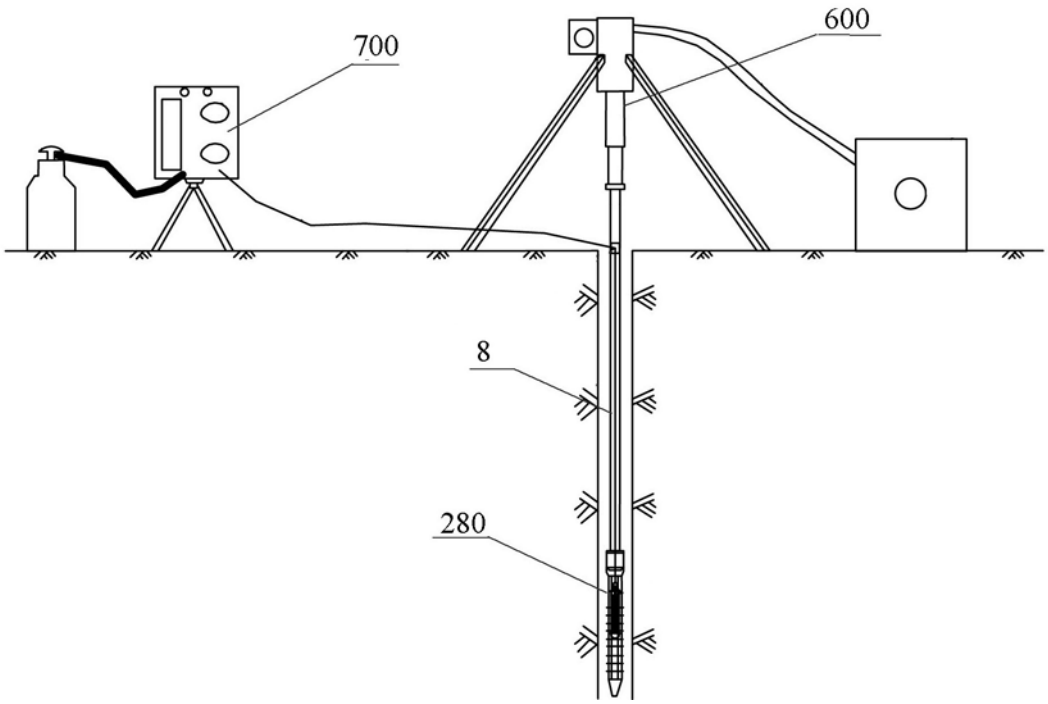



图1

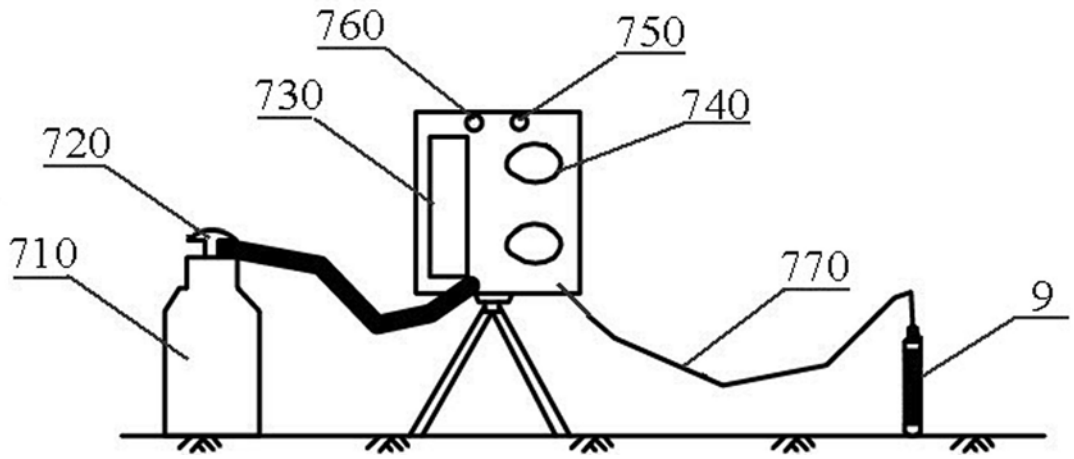



图2

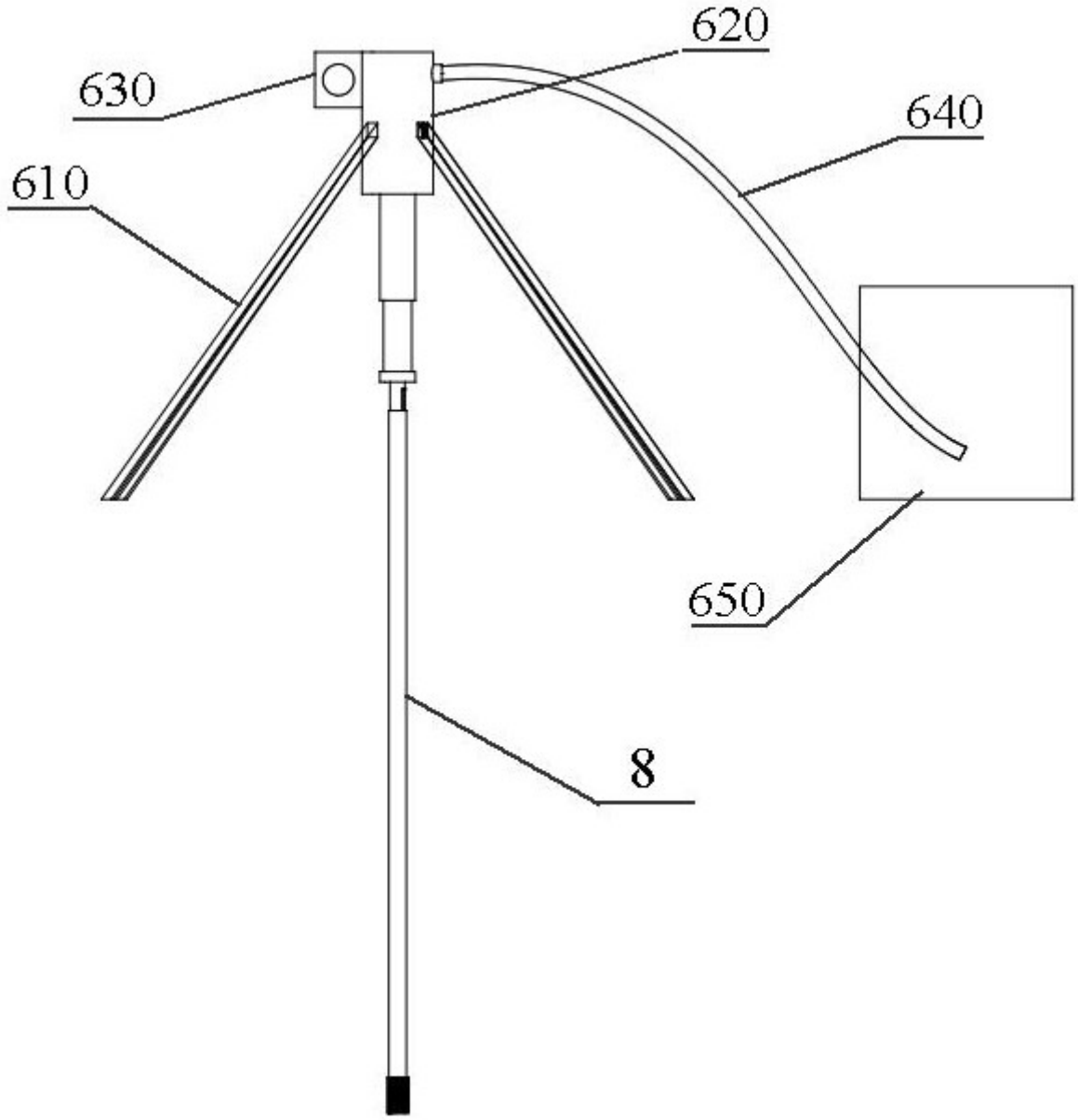



图3

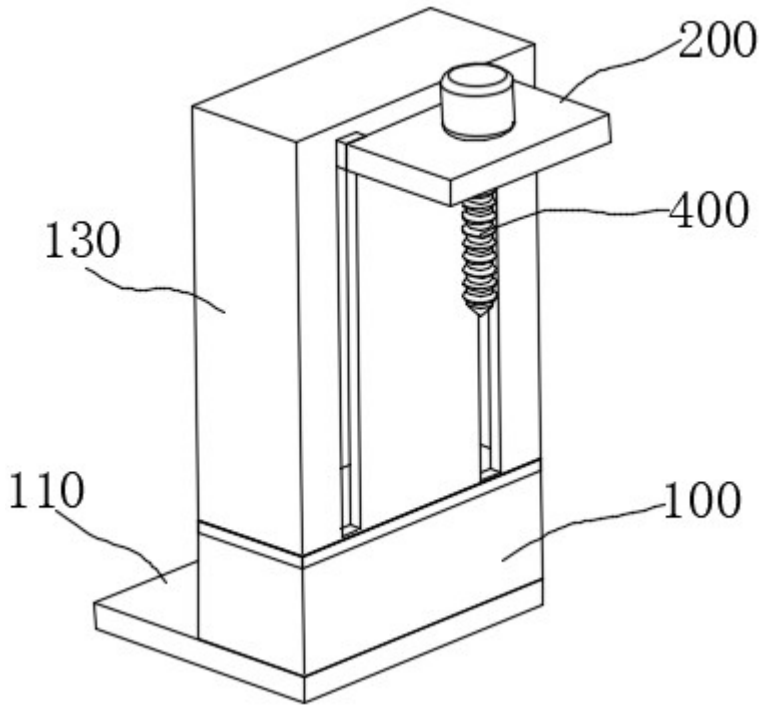



图4

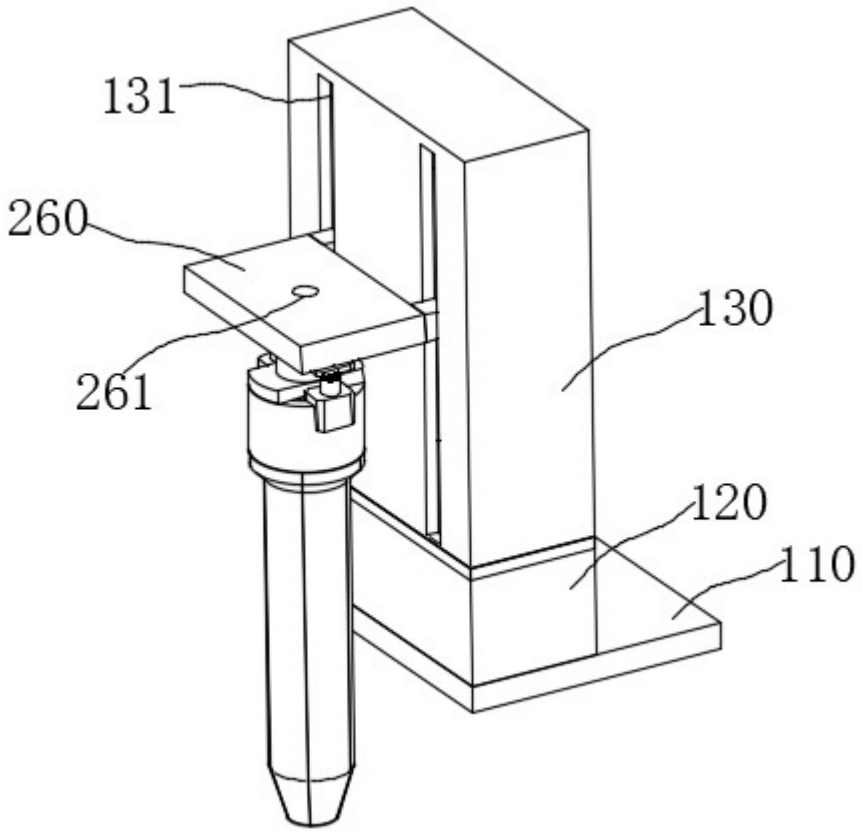



图5

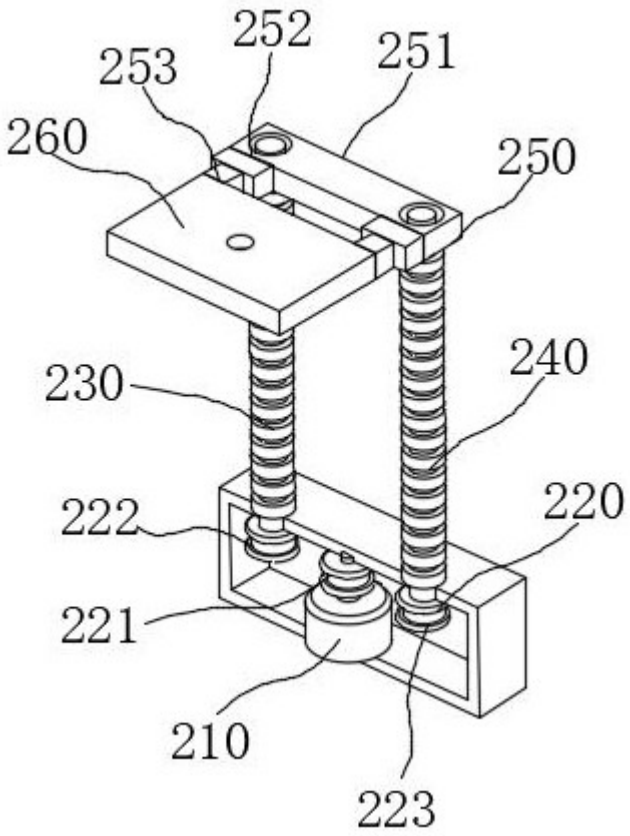



图6

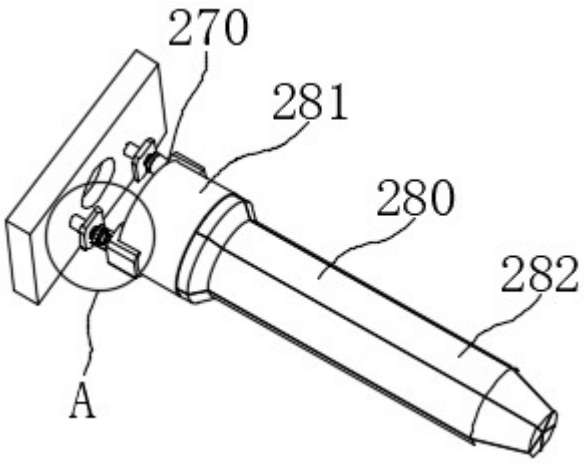



图7

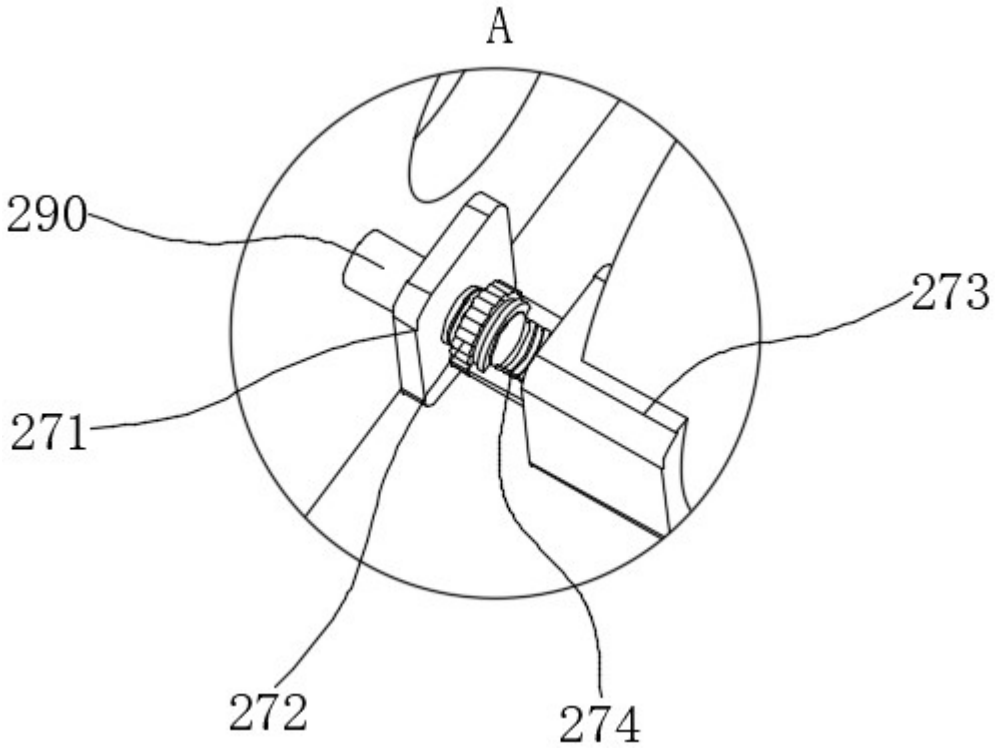



图8

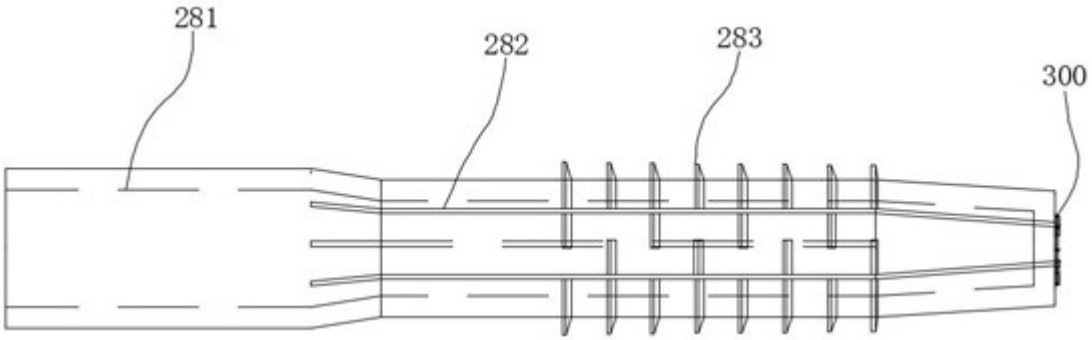



图9

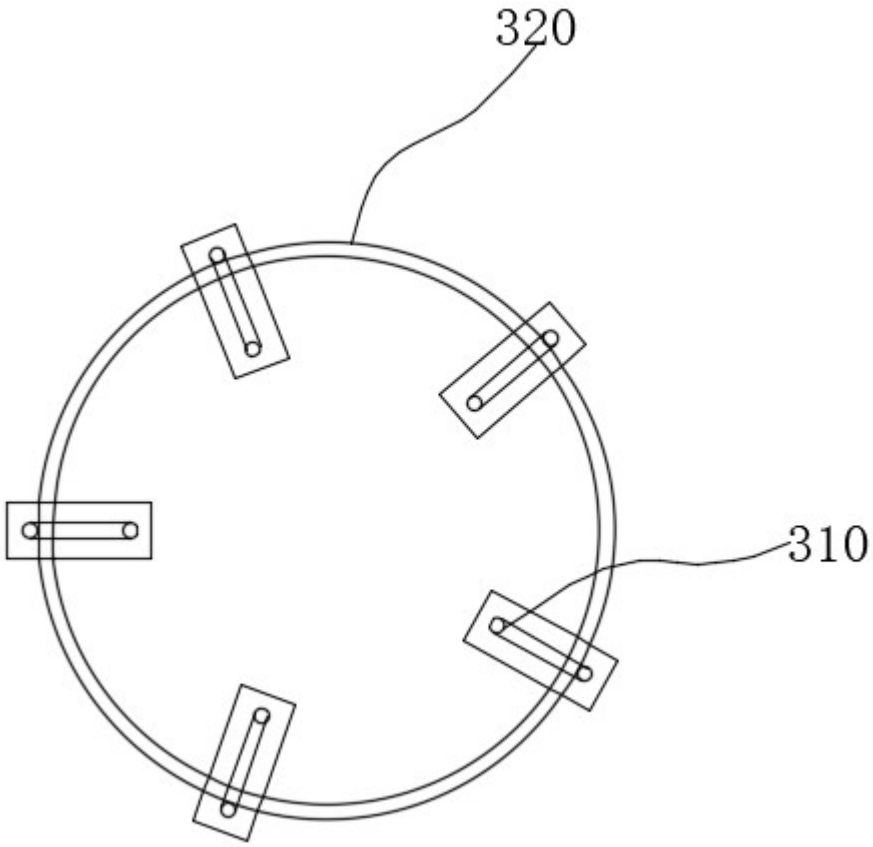



图10

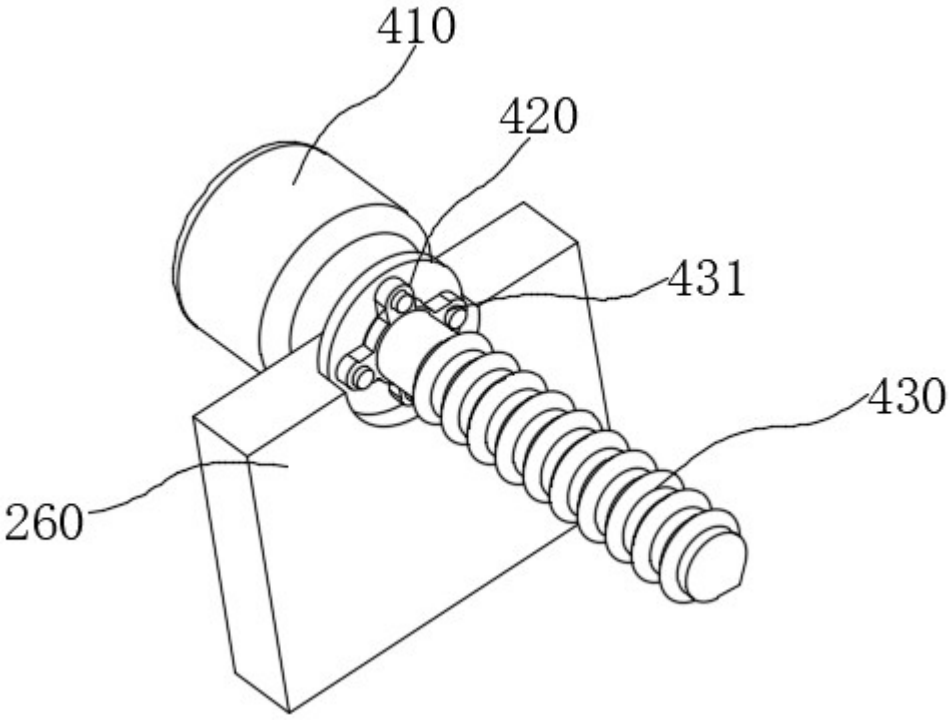



图11

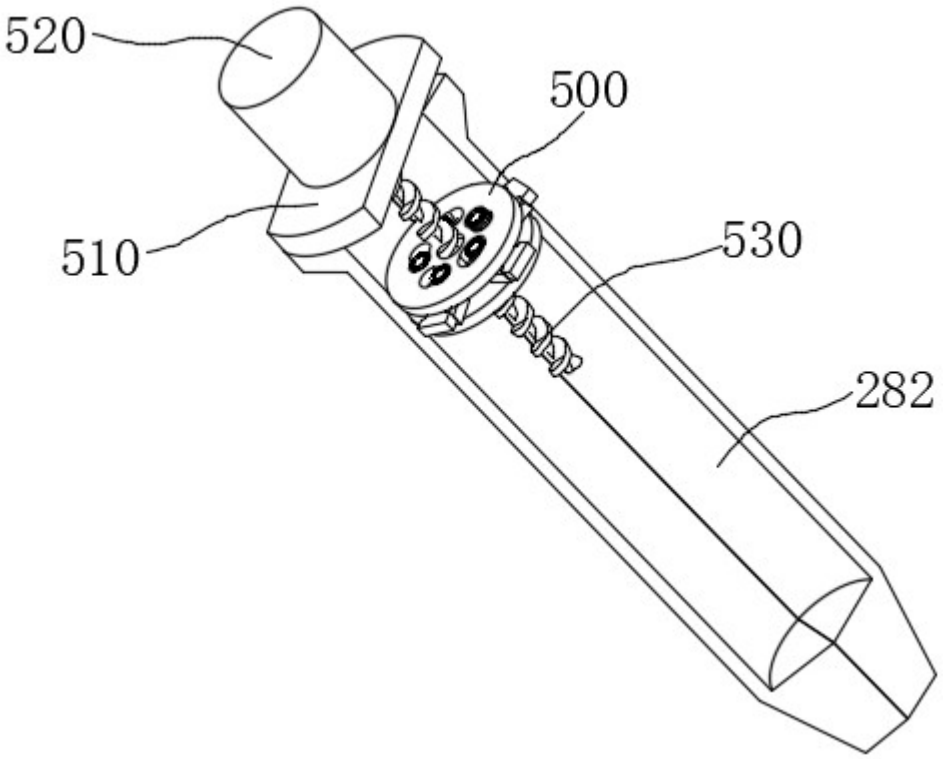



图12

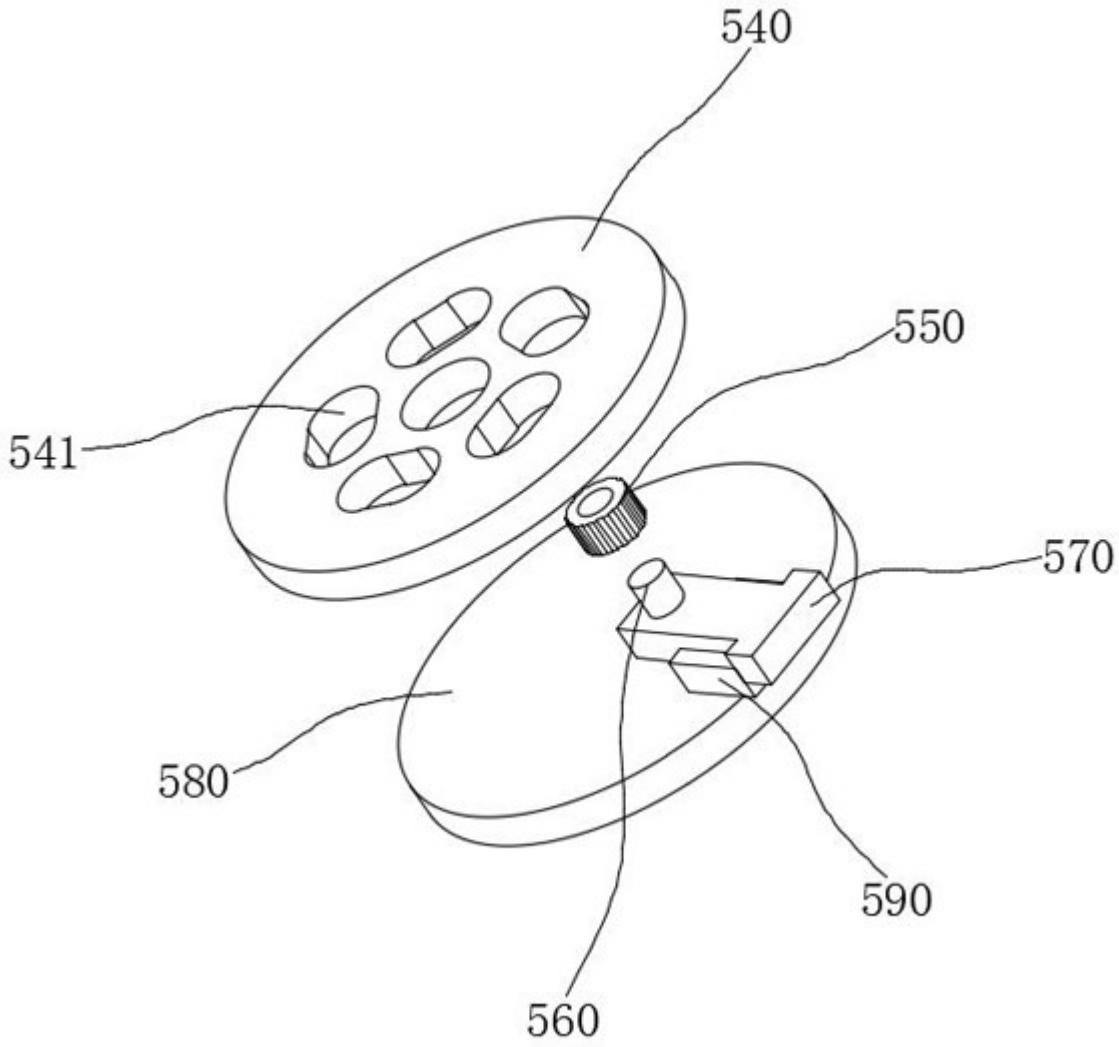



图13

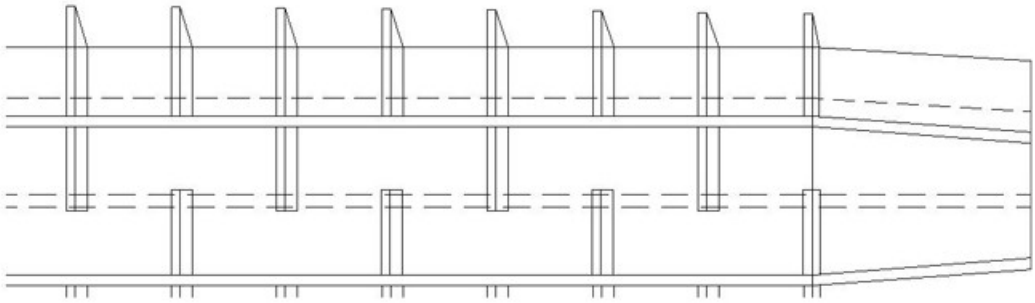


图14

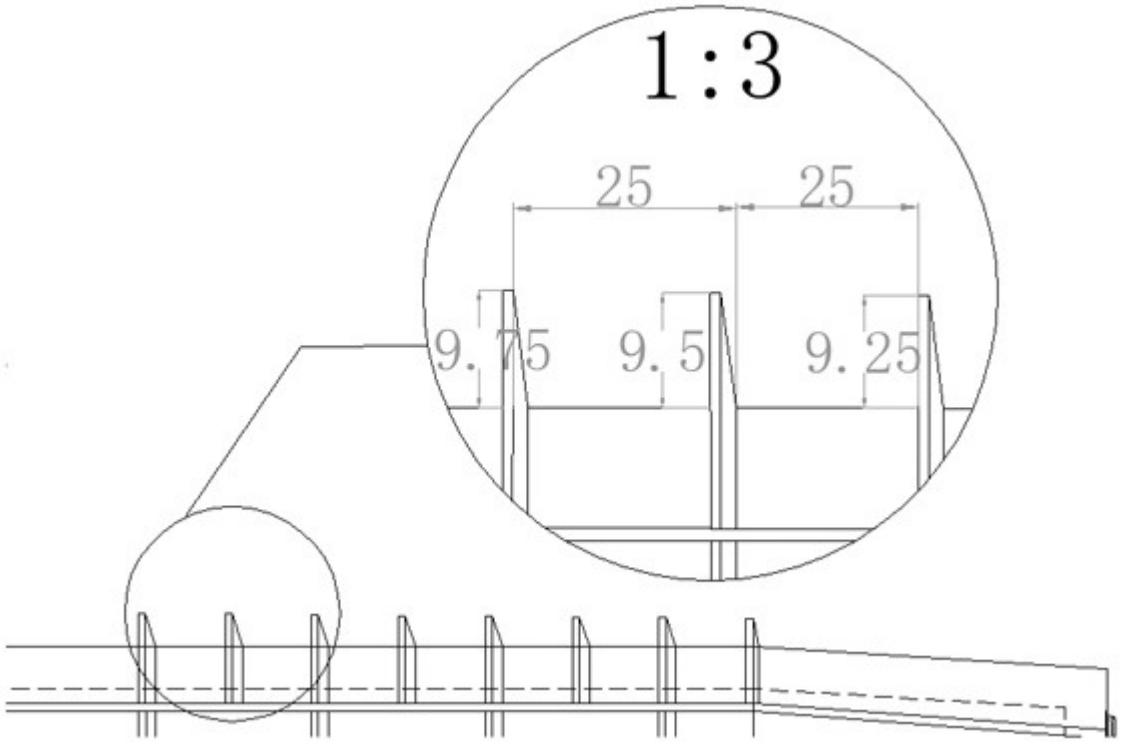



图15

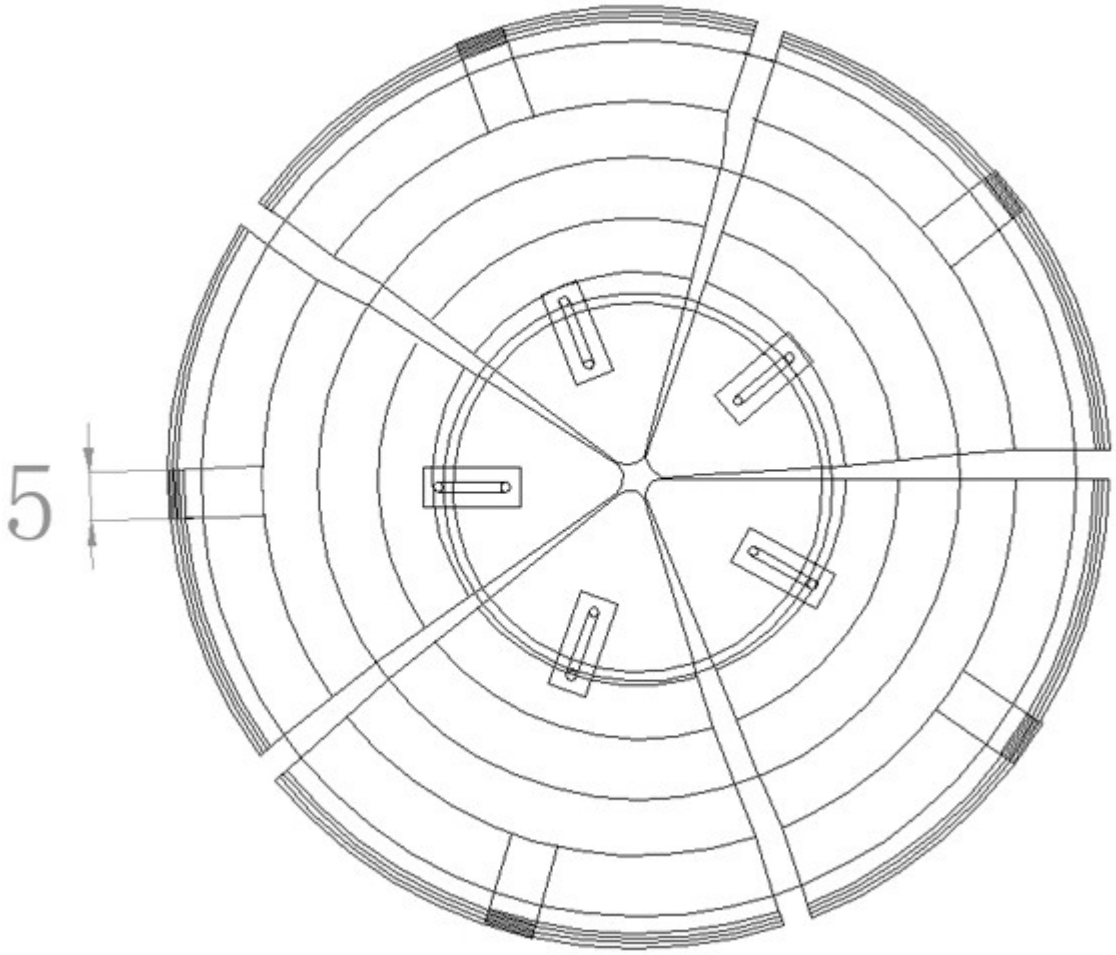



图16