



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111948373 A

(43) 申请公布日 2020.11.17

(21) 申请号 202010811973.9

(22) 申请日 2020.08.13

(71) 申请人 重庆大学

地址 400044 重庆市沙坪坝区沙坪坝正街  
174号

(72) 发明人 钟祖良 高国富 王南云 刘新荣  
徐雅薇 李皓

(74) 专利代理机构 北京权智天下知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11638

代理人 王新爱

(51) Int.Cl.

G01N 33/24 (2006.01)

G01N 19/00 (2006.01)

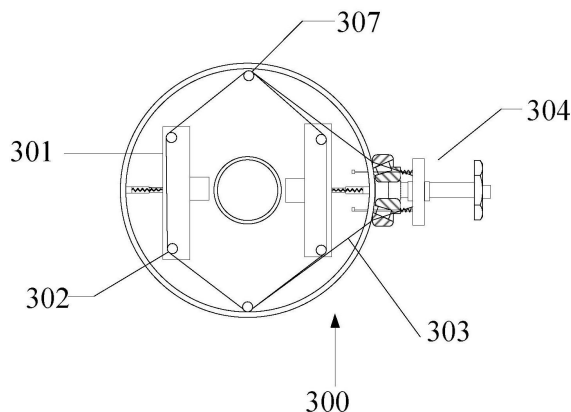
权利要求书2页 说明书13页 附图11页

### (54) 发明名称

一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法

### (57) 摘要

本申请公开了尤其涉及一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法;属于土木工程试验设备技术领域;其技术要点:包括若干个变刚度模拟装置以及试验模型箱,所述试验模型箱用于放置上覆模型,所述试验模型箱的下部通过所述若干个变刚度模拟装置支撑;变刚度模拟装置支撑,包括:套管组件、多个弹簧端部调节组件;其中,多个弹簧端部调节组件沿着外壳套管的竖向方向设置;其中,每个弹簧端部调节组件均包括:刚度调节组件、弹簧紧固组件。本申请旨在提供一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法;其能够模拟施工开挖产生的刚度变化。



1. 一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,包括若干个变刚度模拟装置以及试验模型箱,所述试验模型箱用于放置上覆模型,所述试验模型箱的下部通过所述若干个变刚度模拟装置支撑;

变刚度模拟装置支撑,包括:套管组件、多个弹簧端部调节组件;

其中,多个弹簧端部调节组件沿着外壳套管的竖向方向设置;

其中,每个弹簧端部调节组件均包括:刚度调节组件、弹簧紧固组件。

2. 根据权利要求1所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,所述套管组件包括:底座、底部套管、加载套管、外壳套管、外壳套管环状盘、外壳套管升降组件、刚性板;其中,所述底部套管的底端与底座的顶面固定连接;其中,所述外壳套管插入到底部套管中,所述外壳套管的外表面与底部套管的内表面适配;所述外壳套管的下端区域固定有外壳套管环状盘,外壳套管升降组件的底部固定端固定底座上,外壳套管升降组件的顶部活动端与外壳套管环状盘连接,通过调节外壳套管升降组件,能够调节外壳套管的高度,所述外壳套管升降组件包括若干个气压伸缩杆,其沿着外壳套管的周向均匀布置。

3. 根据权利要求2所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,所述刚性板设置在外壳套管的内部;所述加载套管伸入到外壳套管中,加载套管底部固定在刚性板的上表面。

4. 根据权利要求3所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,刚度调节组件包括:螺旋弹簧、钢筒、钢筒水平杆、钢筒升降组件;所述螺旋弹簧在水平面的投影为圆形;钢筒通过钢筒升降组件、钢筒水平杆来上下移动;螺旋钢筋固定连接在刚性板与外壳套管顶板之间。

5. 根据权利要求4所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,螺旋弹簧的节距 $>10 \times$ 弹簧丝直径;夹头板宽度 $>$ 弹簧的外径;夹头板厚度为螺旋弹簧的节距 $1/10 \sim 1/4$ 。

6. 根据权利要求5所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,夹头板的宽度小于弹簧的直径,取为弹簧直径的 $1/4 \sim 1/8$ ;且2个对应的夹头板通过弹簧的中心轴线。

7. 根据权利要求6所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,夹头板的前侧与螺旋弹簧的空间位置适配,即在夹头板的前侧也设置有与螺栓弹簧适配的一小段螺旋凸起,以防止压直弹簧,更好的保护弹簧。

8. 根据权利要求1所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,其特征在於,变刚度模拟装置的弹簧端部调节组件的数量为至少3个。

9. 一种厚矿层分层充填开采试验方法,其特征在於,使用如权利要求1至8任意一项所述的一种厚矿层分层充填开采试验装置,包括如下步骤:

S1:确定模型尺寸,配制相似模型材料:根据试验需要设置模型相似比,确定试验模型尺寸,设计仪器布置位置与个数,并根据相似比配制矿体上覆岩层相似模型材料;

S2:确定各阶段的弹簧刚度系数:

S2-1先通过现场试验、荷载板试验、室内三轴试验或室内固结试验分别得到原始地层、部分充填和完全充填时的地基基床系数 $K_{\text{矿层}}$ 、 $K_{\text{部分充填}}$ 和 $K_{\text{充填}}$ ;

S2-2,然后根据下列公式计算所需要的未开采状态下地层弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ 、部分充填时的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ ,完全充填开采后(即原矿层全部被充填物替代)的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-充填}}$ ;

则可得: $K_{\text{弹簧-矿层}}, K_{\text{弹簧-充填}}, K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 为:

$$K_{\text{弹簧-矿层}} = \frac{K_{\text{矿层}} \times A}{n}$$

$$K_{\text{弹簧-充填}} = \frac{K_{\text{充填}} \times A}{n}$$

$$K_{\text{弹簧-部分充填}} = \frac{K_{\text{部分充填}} \times A}{n}$$

A(单位: $\text{m}^2$ )为沿模型厚度方向一排顶部盖板上覆模型面积(即模型厚度与顶部盖板宽度的积), $K_{\text{地基}}$ (单位: $\text{kN/m}^3$ )为地基基床系数,n为沿模型厚度方向的仪器个数;

S3:拼装、调试仪器:根据第一步设计的仪器布置方式拼装仪器,连接采集仪,数据清零,通过各个变刚度模拟装置的调节钢筒的高度以及旋紧夹紧旋钮的位置,将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数初步调节到计算所得的 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ ,然后通过观察采集仪读数精确调节弹簧刚度系数,断开与采集仪的连接;

S4:浇筑模型:分层浇筑上覆模型,并按照配制的模型材料设计要求养护,直到满足试验需要的强度要求;

S5:模拟施工开采与充填:将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数按照预设的顺序进行调节,即模拟开采厚度逐渐变化时的情形;

S6:提取数据:当所有开挖步结束以后,结束数据采集,提取仪器变形数据,分析矿层受力变形情况。

10.根据权利要求9所述的一种厚矿层分层充填开采试验方法,其特征在于,当无充填开采上分层后的矿层地基基床系数 $K_{\text{部分充填}}$ ,则 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 通过下式估算:

$$K_{\text{弹簧-部分充填}} = h_{\text{总}} \times \frac{K_{\text{弹簧-充填}} \times K_{\text{弹簧-矿层}}}{h_{\text{开采}} K_{\text{弹簧-矿层}} + (h_{\text{总}} - h_{\text{开采}}) K_{\text{弹簧-充填}}}$$

其中 $h_{\text{总}}$ 为矿层总厚度, $h_{\text{开采}}$ 为矿层上分层开采厚度。

## 一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法

### 技术领域

[0001] 本申请属于土木工程试验设备技术领域,更具体的,涉及一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法。

### 背景技术

[0002] 在研究下伏矿层开采引起顶板岩层裂隙开展、离层分布状态及移动规律时,大型物理模型试验因其直观、可靠的优点而经常被采用。在试验中,底部基座和矿层通常按照相似比制作相似模型材料或者采用可拆除的刚性支撑来模拟矿层开采。

[0003] 但这两种方案均有不足,当采用相似模型材料时,制作相似模型材料工序复杂,开采时难以控制开采扰动;当采用刚性支撑开采时,不能有效模拟开采引起的应力重分布导致的基座变形,这样就不能真实反映煤层开采以后的地基变形情况及其对上部岩体的影响。但在岩层控制的相关理论中,常将基座认为符合Winkler弹性地基假设,故可采用弹性地基试验装置解决开挖扰动及基座变形问题。

[0004] 针对上述问题,同日申请“一种变刚度模拟装置、工作方法、应用”,提出了一种通用型的变刚度模拟装置。但是,该设备确实能够方便研究:不同地质性状下的研究。

[0005] 但是,其无法在试验过程中实现变刚度的功能,即研究开挖时(即试验开始后刚度再变化)的情形。

### 发明内容

[0006] 本申请的目的在于针对上述现有技术的不足,提供一种厚矿层分层充填开采试验装置以及试验方法。

[0007] 一种厚矿层分层充填开采试验装置,包括若干个变刚度模拟装置以及试验模型箱,所述试验模型箱用于放置上覆模型,所述试验模型箱的下部通过所述若干个变刚度模拟装置支撑;

[0008] 变刚度模拟装置支撑,包括:套管组件、多个弹簧端部调节组件;

[0009] 其中,多个弹簧端部调节组件沿着外壳套管的竖向方向设置;

[0010] 其中,每个弹簧端部调节组件均包括:刚度调节组件、弹簧紧固组件。

[0011] 进一步,所述套管组件包括:底座、底部套管、加载套管、外壳套管、外壳套管环状盘、外壳套管升降组件、刚性板;其中,所述底部套管的底端与底座的顶面固定连接;其中,所述外壳套管插入到底部套管中,所述外壳套管的外表面与底部套管的内表面适配;所述外壳套管的下端区域固定有外壳套管环状盘,外壳套管升降组件的底部固定端固定底座上,外壳套管升降组件的顶部活动端与外壳套管环状盘连接,通过调节外壳套管升降组件,能够调节外壳套管的高度,所述外壳套管升降组件包括若干个气压伸缩杆,其沿着外壳套管的周向均匀布置。

[0012] 进一步,所述刚性板设置在外壳套管的内部;所述加载套管伸入到外壳套管中,加载套管底部固定在刚性板的上表面;

[0013] 进一步,刚度调节组件包括:弹簧、钢筒、钢筒水平杆、钢筒升降组件;其中,弹簧为螺旋弹簧,所述螺旋弹簧在水平面的投影为圆形;其中,所述钢筒在加载套管的内部,即钢筒的外径小于加载套管的内径;所述加载套管的中间区域设置间隔设置有4个沿着竖向方向延伸的第一竖向开口;在外壳套管沿着全长或者部分高度对称设置有2个第二竖向开口;其中,钢筒的外部设置有钢筒水平杆,所述钢筒水平杆依次通过第一竖向开口、第二竖向开口延伸到外壳套管的外部;其中,钢筒水平杆的数量为至少2个,钢筒升降组件包括多个动力伸缩杆,动力伸缩杆与钢筒水平杆对应设置;其中,钢筒升降组件的底部固定端固定底座上,钢筒升降组件的顶部活动端与钢筒水平杆连接;通过调节钢筒升降组件的高度,进而调节钢筒的高度;在外壳套管的内表面对称设置有2组竖向导槽组件,所述钢筒的外侧设置有导向杆组件,导向杆组件的端头形状插入到竖向导槽组件中。

[0014] 进一步,弹簧紧固组件包括:2个对应的伸缩夹头组件、第一型滑轮、第二型滑轮、绳、弹簧拉紧装置;其中,伸缩夹头组件包括:水平套筒、弹性伸缩杆;所述水平套筒的一端与钢筒的内表面刚接,所述水平套筒的另一端设置有开口;所述弹性伸缩杆从水平套筒的开口插入到水平套筒的内部且所述弹性伸缩杆的一端固定连接在水平套筒的内部;所述弹性伸缩杆的另一端固定连接在夹头板,在夹头板的外表面设置有摩擦纹;在每个夹头板的顶部设置有2个第一型滑轮;在钢筒的内部还设置有2个第二型滑轮;通过2个夹头板来夹住同一高度的弹簧;所述2个第二型滑轮的中心点的连线通过弹簧的圆心;其中,所述弹簧拉紧装置包括:固定器、限位装置、绳端部固定组件、连接杆、夹紧旋钮;所述连接杆的一端固定连接在夹紧旋钮,所述连接杆的另一端端部设置有螺纹;所述连接杆穿过第二竖向开口,所述夹紧旋钮设置在外壳套管的外侧;固定器的左端部固定在钢筒的外侧,固定器的内部设置有螺纹孔,所述连接杆的螺纹与固定器的螺纹适配;所述连接杆的中部固定设置有2个间隔一定距离的限位装置;所述绳端部固定组件设置在2个限位装置之间;2个伸缩夹头组件的水平套筒1、以及连接杆处于同一竖向平面,也即2个伸缩夹头组件的水平套筒通过钢筒的圆心。

[0015] 进一步,所述绳分为11段:第1段为从绳端部固定组件出发到前侧的第二型滑轮;第2段为前侧的第二型滑轮到左侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮;第3段为左侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮;第4段为左侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;第5段为后侧的第二型滑轮到右侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮;第6段为右侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮到右侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮;第7段为右侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮到前侧的第二型滑轮;第8段为前侧的第二型滑轮到左侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮;第9段为左侧的伸缩夹头组件的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮;第10段为左侧的伸缩夹头组件的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;第11段为后侧的第二型滑轮到绳端部固定组件。

[0016] 进一步,在外壳套管的顶端固定设置有外壳套管顶板;所述弹簧的一端与所述外壳套管顶板连接,另一端与刚性板连接;所述外壳套管顶板设置有4个弧形孔,以便加载套管通过,所述加载套管竖向延伸到外壳套管顶板的顶部,所述加载套管的顶部用于承担竖向荷载,即试验荷载;即加载套管承受竖向荷载时,加载套管压着刚性板向下移动,弹簧处于受拉状态;加载套管的顶部和底部为整体式套管,中部区域为分离的4段弧形构件;底部

套管、加载套管外壳套管、钢筒、弹簧的中心线共线。

[0017] 进一步,所述钢筒和/或固定器设置有供绳通过的通孔。

[0018] 进一步,所述绳端部固定组件的左侧固定设置有多导向杆,在固定器和/或外壳套管上设置有多导向孔,所述绳端部固定组件左侧固定设置的导向杆插入到所述导向孔中;在固定器的右侧与绳端部固定组件的左侧还设置有第二弹簧,所述第二弹簧缠绕在所述导向杆上;所述限位装置面向绳端部固定组件的一侧设置滚珠,以减少限位装置与绳端部固定组件304-3的摩擦;

[0019] 进一步,第一型滑轮与夹头板表面的距离大于弹簧构成的圆的直径。

[0020] 进一步,所述导向杆组件的端头为“T”型,通过导向杆组件、竖向导槽组件,能够保证钢筒始终保持竖向运动。

[0021] 进一步,螺旋弹簧的节距 $>10 \times$ 弹簧丝直径;夹头板宽度 $>$ 弹簧的外径;夹头板厚度为螺旋弹簧的节距 $1/10 \sim 1/4$ 。

[0022] 进一步,夹头板的宽度小于弹簧的直径,取为弹簧直径的 $1/4 \sim 1/8$ ;且2个对应的夹头板通过弹簧的中心轴线。

[0023] 进一步,夹头板的前侧与螺旋弹簧的空间位置适配,即在夹头板的前侧也设置有与螺栓弹簧适配的一小段螺旋凸起,以防止压直弹簧,更好的保护弹簧。

[0024] 进一步,变刚度模拟装置的弹簧端部调节组件的数量为至少3个。

[0025] 一种厚矿层分层充填开采试验方法,包括如下步骤:

[0026] S1:确定模型尺寸,配制相似模型材料:根据试验需要设置模型相似比,确定试验模型尺寸,设计仪器布置位置与个数,并根据相似比配制矿体上覆岩层相似模型材料;

[0027] S2:确定各阶段的弹簧刚度系数:

[0028] S2-1先通过现场试验、荷载板试验、室内三轴试验或室内固结试验分别得到原始地层、部分充填和完全充填时的地基基床系数 $K_{\text{矿层}}$ 、 $K_{\text{部分充填}}$ 和 $K_{\text{充填}}$ ;

[0029] S2-2,然后根据下列公式计算所需要的未开采状态下地层弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ 、部分充填时的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ ,完全充填开采后(即原矿层全部被充填物替代)的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-充填}}$ ;

[0030] 则可得: $K_{\text{弹簧-矿层}}$ , $K_{\text{弹簧-充填}}$ , $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 为:

$$[0031] \quad K_{\text{弹簧-矿层}} = \frac{K_{\text{矿层}} \times A}{n}$$

$$[0032] \quad K_{\text{弹簧-充填}} = \frac{K_{\text{充填}} \times A}{n}$$

$$[0033] \quad K_{\text{弹簧-部分充填}} = \frac{K_{\text{部分充填}} \times A}{n}$$

[0034] A(单位: $\text{m}^2$ )为沿模型厚度方向一排顶部盖板上覆模型面积(即模型厚度与顶部盖板宽度的积), $K_{\text{地基}}$ (单位: $\text{kN/m}^3$ )为地基基床系数,n为沿模型厚度方向的仪器个数。

[0035] S3:拼装、调试仪器:根据第一步设计的仪器布置方式拼装仪器,连接采集仪,数据清零,通过各个变刚度模拟装置的调节钢筒的高度以及旋紧夹紧旋钮的位置,将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数初步调节到计算所得的 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ ,然后通过观察采集仪读数精确调节弹簧刚度系数,断开与采集仪的连接。

[0036] S4:浇筑模型:分层浇筑上覆模型,并按照配制的模型材料设计要求养护,直到满足试验需要的强度要求。

[0037] S5:模拟施工开采与充填:将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数按照预设的顺序进行调节,即模拟开采厚度逐渐变化时的情形。

[0038] S6:提取数据:当所有开挖步结束以后,结束数据采集,提取仪器变形数据,分析矿层受力变形情况。

[0039] 进一步,当无充填开采上分层后的矿层地基基床系数 $K_{\text{部分充填}}$ ,则 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 通过下式估算:

$$[0040] \quad K_{\text{弹簧-部分充填}} = h_{\text{总}} \times \frac{K_{\text{弹簧-充填}} \times K_{\text{弹簧-矿层}}}{h_{\text{开采}} K_{\text{弹簧-矿层}} + (h_{\text{总}} - h_{\text{开采}}) K_{\text{弹簧-充填}}}$$

[0041] 其中 $h_{\text{总}}$ (单位:m)为矿层总厚度, $h_{\text{开采}}$ (单位:m)为矿层上分层开采厚度。

[0042] 一种变刚度模拟装置的工作方法是:

[0043] 第一,调节外壳套管的高度:通过外壳套管升降组件伸长或缩短,来调节外壳套管的高度;

[0044] 第二,调节钢筒的高度:通过调节钢筒升降组件伸长或缩短,来调节钢筒的高度;

[0045] 第三,转动夹紧旋钮:当转动夹紧旋钮时,连接杆会沿着固定器远离钢筒,进而带动绳端部固定组件远离钢筒;

[0046] 具体而言,在绳端部固定组件远离钢筒时,2个伸缩夹头组件的距离缩短,通过绳能够使得2个伸缩夹头组件的夹头板之间的位移缩短,直至2个夹头板夹住弹簧的一个位置;

[0047] 其实际运动过程为:

[0048] 第一阶段,绳端部固定组件远离钢筒时,2个夹头板均相向移动;

[0049] 第二阶段,随着绳端部固定组件的继续远离,2个夹头板其中的一个夹头板碰触到弹簧后,由于弹簧的阻挡,其不再移动;

[0050] 第三阶段,随着绳端部固定组件的继续远离,另一个夹头板移动,直至2个夹头板将弹簧夹住;

[0051] 按照上述第二步-第三步,依次调节各个弹簧端部调节组件的钢筒的高度以及转动各个弹簧端部调节组件的夹紧旋钮,进而实现变刚度调节。

[0052] 本申请的优点在于:

[0053] (1)本申请的第一个发明构思在于(由于单一性的问题,该方案已另案申请):载套管其主要是受压,正常而言,改变弹簧的刚度,是改变受压弹簧的有效长度。发明人团队在研发时,也是秉承了上述研发思路,然而,其存在一个核心问题,受压时,螺旋弹簧不能仅仅是固定一点的竖向位移;由于弹簧受压时,会压缩,因此,受压时,还需要提供弹簧一圈的受力点。

[0054] 因此,本申请在研发时,一直在“受压时,还需要提供弹簧一圈的受力点”这一技术问题的基础上开展研究。然而,上述技术路线实质上非常难以解决。

[0055] 为了解决上述问题,本申请克服了技术偏见,地基、岩石等基础结构虽然是受压状态,本申请也想研究的是土弹簧、岩石弹簧(均处于受压状态)的变化对于上部结构的影响。通过本申请的设计,改变了技术偏见。

[0056] 加载套管的下部设置刚性板,刚性板与外部套管的外壳套管顶板108设置弹簧201,加载套管在受压时,刚性板下移,同时通过弹簧紧固组件300来夹紧弹簧的一端;也即,刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板作为弹簧受力的两端,通过调节刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板的距离,来实现弹簧有效长度的变化。

[0057] 上述能够实施的基本条件是,加载套管在受压时,调节刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板之间的弹簧是处于受拉状态(这是需要克服技术偏见的,实际土弹簧也好、岩石弹簧也好,其均是处于受压状态,即土、岩石发生沉降;而本申请巧妙的采用弹簧受拉来模拟上述过程),即本申请的试验设备并非显而易见。

[0058] 由于弹簧处于受拉状态,不需要在考虑“受压时,还需要提供弹簧一圈的受力点”这一问题。

[0059] (2) 本申请的第二个问题是(也是第二个发明构思):如何夹紧弹簧,以形成弹簧的固定端;同时,绳子不与弹簧发生交叉。

[0060] 所述绳303分为11段:

[0061] 第1段为从绳端部固定组件304-3出发到前侧的第二型滑轮307;

[0062] 第2段为前侧的第二型滑轮307到左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0063] 第3段为左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0064] 第4段为左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;

[0065] 第5段为后侧的第二型滑轮到右侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0066] 第6段为右侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到右侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0067] 第7段为右侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到前侧的第二型滑轮307;

[0068] 第8段为前侧的第二型滑轮307到左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0069] 第9段为左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0070] 第10段为左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;

[0071] 第11段为后侧的第二型滑轮到绳端部固定组件304-3。

[0072] 第一型滑轮与夹头板的距离大于弹簧构成的圆的直径。

[0073] 上述特征均是解决该问题的必要技术特征,如果没有第二型滑轮的话,绳子会在弹簧的范围内,无法上下移动;

[0074] 采用上述设计,不论何时,绳子均不会进入到弹簧中(即绳子的水平投影与弹簧的水平投影无交点)。

[0075] (3) 本申请的第三个发明构思:如何改进装置,以便在试验过程中能够模拟刚度的变化(对应矿层开挖充填,即本申请)。实施例1的设备在试验过程中不能实现刚度的变化,其无法满足矿物充填开采试验的要求。为此进行如下改进:实施例1的“刚度调节组件200、弹簧紧固组件300”构成1个弹簧端部调节组件;如图13所示,在装置沿着外壳套管的竖向方向设置多个弹簧端部调节组件;在刚性板107与最下方的钢筒水平杆203设置有微型拉杆式位移传感器500,或者,在底座的底部设置有刚性板位移传感器(例如:超声测距传感器、红外线测距传感器)来监测刚性板的位移。其工作方法如下:首先,多个弹簧端部调节组件



在不同的高度全部夹紧对应的弹簧高度;其次,按照需要,按照从下往上的顺序,依次松开对应的弹簧端部调节组件的弹簧紧固组件300的夹头板;对应的,实现弹簧的刚度逐渐减小的目的。

### 附图说明

[0076] 下面结合附图中的实施例对本申请作进一步的详细说明,但并不构成对本申请的任何限制。

[0077] 为了使本发明的目的、技术方案和有益效果更加清楚,本发明提供如下附图进行说明:

[0078] 图1为实施例1的一种变刚度模拟装置的竖向结构示意图。

[0079] 图2为实施例1的套管组件100的竖向设计图。

[0080] 图3为实施例1的刚度调节组件200的竖向设计图。

[0081] 图4为实施例1的一种变刚度模拟装置在另一方向的竖向结构示意图。

[0082] 图5为实施例1外壳套管顶板108的水平投影设计图。

[0083] 图6为图1的A-A剖面图(未示意右侧的钢筒水平杆203)。

[0084] 图7为实施例1的弹簧紧固组件300的水平投影示意图。

[0085] 图8为实施例1的伸缩夹头组件301、第一型滑轮302的水平投影示意图。

[0086] 图9为实施例1的弹簧拉紧装置304的水平投影示意图。

[0087] 图10为实施例1的弹簧拉紧装置304分解后的水平投影示意图。

[0088] 图11为实施例1的模型试验正面结构图。

[0089] 图12为实施例1在的模型试验侧面结构图。

[0090] 图13是实施例2的一种变刚度模拟装置的竖向结构示意图。

[0091] 图14是实施例3的弹簧紧固组件300的水平投影示意图。

[0092] 图15是实施例3的弹簧紧固组件300的在夹紧弹簧时的一个状态图。

[0093] 图16是实施例3的弹簧紧固组件300的在夹紧弹簧时的另外一个状态图。

[0094] 附图标记:

[0095] 套管组件100包括:底座101、底部套管102、加载套管103、外壳套管104、外壳套管环状盘105、外壳套管升降组件106、刚性板107、外壳套管顶板108;

[0096] 第一竖向开口103-2、竖向导槽组件104-1、第二竖向开口104-2;

[0097] 刚度调节组件200包括:弹簧201、钢筒202、钢筒水平杆203、钢筒升降组件204、导向杆组件205;

[0098] 弹簧紧固组件300、伸缩夹头组件301、第一型滑轮302、绳303、弹簧拉紧装置304、固定器304-1、限位装置304-2、绳端部固定组件304-3、连接杆304-4、夹紧旋钮304-5;

[0099] 夹箍持力装置400;

[0100] 微型拉杆式位移传感器500;

[0101] 拼接组件600、第一连接件600-1、第二连接件600-2、顶部盖板600-3;

[0102] 导线700;

[0103] 试验模型箱800。

## 具体实施方式

[0104] 实施例1:

[0105] 如图1所示,一种变刚度模拟装置,包括:套管组件100、刚度调节组件200、弹簧紧固组件300、夹箍持力装置400、微型拉杆式位移传感器500;

[0106] 所述套管组件100包括:底座101、底部套管102、加载套管103、外壳套管104、外壳套管环状盘105、外壳套管升降组件106、刚性板107;

[0107] 其中,所述底部套管102的底端与底座101的顶面固定连接;

[0108] 其中,所述外壳套管104插入到底部套管102中,所述外壳套管104的外表面与底部套管102的内表面适配,底部套管102的设置是用于保证外壳套管处于垂直状态;所述外壳套管104的下端区域固定有外壳套管环状盘105,外壳套管升降组件106的底部固定端固定底座101上,外壳套管升降组件106的顶部活动端与外壳套管环状盘105连接,通过调节外壳套管升降组件106,能够调节外壳套管104的高度(必然的,外壳套管升降组件106如果长度不变,外壳套管104的高度也不变),所述外壳套管升降组件106包括若干个气压伸缩杆,其沿着外壳套管的周向均匀布置;

[0109] 所述刚性板107设置在外壳套管104的内部(刚性板107与外壳套管104不固定,能够在外壳套管104内部上下移动);

[0110] 所述加载套管103伸入到外壳套管104中,加载套管103底部固定在刚性板107的上表面。

[0111] 刚度调节组件200包括:弹簧201、钢筒202、钢筒水平杆203、钢筒升降组件204;

[0112] 其中,弹簧201为螺旋弹簧,所述螺旋弹簧在水平面的投影为圆形;

[0113] 其中,所述钢筒202在加载套管103的内部,即钢筒202的外径小于加载套管103的内径;所述加载套管103的中间区域设置间隔设置有4个沿着竖向方向延伸的第一竖向开口103-2;在外壳套管104沿着全长或者部分高度对称设置有2个第二竖向开口104-2;

[0114] 其中,钢筒202的外部设置有钢筒水平杆203,所述钢筒水平杆203依次通过第一竖向开口103-2、第二竖向开口104-2延伸到外壳套管104的外部(也即,加载套管103上至少有2个与外壳套管104的第二竖向开口相对应的第一竖向开口);

[0115] 其中,钢筒水平杆203的数量为至少2个,钢筒升降组件204包括多个气压伸缩杆,气压伸缩杆与钢筒水平杆对应设置;

[0116] 其中,钢筒升降组件204的底部固定端固定底座101上,钢筒升降组件204的顶部活动端与钢筒水平杆203连接;

[0117] 在外壳套管104的内表面对称设置有2组竖向导槽组件104-1,所述钢筒202的外侧设置有导向杆组件205,导向杆组件205的端头形状插入到竖向导槽组件104-1中(两者形状适配),所述导向杆组件205的端头为“T”型,通过导向杆组件205、竖向导槽组件104-1,能够保证钢筒202始终保持竖向运动;且能够保持钢筒202的水平方向上的位置;

[0118] 即通过调节钢筒升降组件204的高度,进而来调节钢筒202的高度。

[0119] 弹簧紧固组件300包括:2个对应的伸缩夹头组件301(即2个对应的伸缩夹头组件301的对应角为180度)、第一型滑轮302、第二型滑轮307、绳303(例如:钢绳、钢丝)、弹簧拉紧装置304;

[0120] 其中,伸缩夹头组件301包括:水平套筒301-1、弹性伸缩杆301-2;所述水平套筒的

一端与钢筒202的内表面刚接,所述水平套筒的另一端设置有开口;所述弹性伸缩杆301-2从水平套筒的开口插入到水平套筒的内部且所述弹性伸缩杆301-2的一端固定连接在水平套筒的内部;所述弹性伸缩杆301-2的另一端固定连接在夹头板301-3,在夹头板301-3的外表面设置有摩擦纹;在每个夹头板301-3的顶部设置有2个第一型滑轮302;在钢筒202的内部还设置有2个第二型滑轮307;

[0121] 通过2个夹头板来夹住同一高度的弹簧(夹头板的高度不超过弹簧节距的高度);

[0122] 所述2个第二型滑轮307的中心点的连线通过弹簧的圆心;

[0123] 弹簧201在水平面的投影为圆形,直径为 $d$ ;夹头板301-3的宽度大于 $d$ 。

[0124] 其中,所述弹簧拉紧装置304包括:固定器304-1、限位装置304-2、绳端部固定组件304-3、连接杆304-4、夹紧旋钮304-5;所述连接杆304-4的一端固定连接在夹紧旋钮304-5,所述连接杆304-4的另一端端部设置有螺纹(连接杆304-4的轴向方向通过钢筒202的中心);所述连接杆304-4穿过第二竖向开口104-2,所述夹紧旋钮304-5设置在外壳套管104的外侧;固定器304-1的左端部固定在钢筒202的外侧,固定器304-1的内部设置有螺纹孔,所述连接杆304-4的螺纹与固定器304-1的螺纹适配;所述连接杆304-4的中部固定设置有2个间隔一定距离的限位装置304-2;所述绳端部固定组件304-3设置在2个限位装置304-2之间;所述绳端部固定组件304-3的左侧固定设置有多个导向杆,在固定器304-1和/或外壳套管104上设置有多个导向孔,所述绳端部固定组件304-3左侧固定设置的导向杆插入到所述导向孔中;在固定器304-1的右侧与绳端部固定组件304-3的左侧还设置有第二弹簧,所述第二弹簧缠绕在所述导向杆上;所述限位装置304-2面向绳端部固定组件304-3的一侧设置滚珠,以减少限位装置304-2与绳端部固定组件304-3的摩擦;(固定器304-1穿过第一竖向开口103-2,即要求:固定器304-1的宽度小于第一竖向开口103-2的宽度;)

[0125] 2个伸缩夹头组件301的水平套筒301-1、以及连接杆304-4处于同一竖向平面,也即2个伸缩夹头组件301的水平套筒301-1通过钢筒202的圆心;

[0126] 所述绳303分为11段:

[0127] 第1段为从绳端部固定组件304-3出发到前侧的第二型滑轮307;

[0128] 第2段为前侧的第二型滑轮307到左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0129] 第3段为左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0130] 第4段为左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;

[0131] 第5段为后侧的第二型滑轮到右侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0132] 第6段为右侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到右侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0133] 第7段为右侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到前侧的第二型滑轮307;

[0134] 第8段为前侧的第二型滑轮307到左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮;

[0135] 第9段为左侧的伸缩夹头组件301的前侧的第一型滑轮到左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮;

[0136] 第10段为左侧的伸缩夹头组件301的后侧的第一型滑轮到后侧的第二型滑轮;

[0137] 第11段为后侧的第二型滑轮到绳端部固定组件304-3。

[0138] 特别需要说明的是:第一型滑轮与夹头板的距离大于弹簧构成的圆的直径。

- [0139] 套管组件100与刚度调节组件200之间的联系在于：
- [0140] 在外壳套管104的顶端固定设置有外壳套管顶板108；
- [0141] 所述弹簧201的一端与所述外壳套管顶板108连接，另一端与刚性板107连接；
- [0142] 如图5所示，所述外壳套管顶板108设置有4个弧形孔，以便加载套管103通过，所述加载套管103竖向延伸到外壳套管顶板108的顶部，所述加载套管103的顶部用于承担竖向荷载，即试验荷载；即加载套管承受竖向荷载时，加载套管压着刚性板107向下移动，弹簧201处于受拉状态。
- [0143] 特别的，加载套管103的顶部和底部为整体式套管，中部区域为分离的4段弧形构件。
- [0144] 特别的，加载套管103的顶部设置有夹箍持力装置400（即管卡箍），夹箍持力装置400通过多根高强螺栓夹紧加载套管103，进一步提高加载套管顶部的刚度，保证其受力。
- [0145] 底部套管102、加载套管103、外壳套管104、钢筒202的中心线共线（即底部套管102、加载套管103、外壳套管104、钢筒202、弹簧201的水平截面均为圆形，且上述圆形为同心圆）。
- [0146] 刚度调节组件200与弹簧紧固组件300之间的联系在于：
- [0147] 所述钢筒202和/或固定器304-1设置有供绳303通过的通孔（上述技术特征并不是必要技术特征，因为，绳可从钢筒202的上部进入到钢筒）。
- [0148] 本申请的工作方法是：
- [0149] 第一，调节外壳套管104的高度：通过外壳套管升降组件106伸长或缩短，来调节外壳套管104的高度；
- [0150] 第二，调节钢筒202的高度：通过调节钢筒升降组件204伸长或缩短，来调节钢筒202的高度；
- [0151] 第三，转动夹紧旋钮304-5，实现变刚度调节：当转动夹紧旋钮304-5时，连接杆会沿着固定器304-1远离钢筒202，进而带动绳端部固定组件304-3远离钢筒202；
- [0152] 具体而言，在绳端部固定组件304-3远离钢筒202时，2个伸缩夹头组件301的距离缩短，通过绳303，2个伸缩夹头组件301的夹头板301-3之间的位移缩短，直至2个夹头板301-3夹住弹簧的一个位置；
- [0153] 其实际运动过程为：
- [0154] 第一阶段，绳端部固定组件304-3远离钢筒202时，2个夹头板均相向移动；
- [0155] 第二阶段，随着绳端部固定组件304-3的继续远离，2个夹头板其中的一个夹头板碰触到弹簧后，由于弹簧的阻挡，其不再移动；
- [0156] 第三阶段，随着绳端部固定组件304-3的继续远离，另一个夹头板移动，直至2个夹头板将弹簧夹住。
- [0157] 特别需要说明的是，螺旋弹簧的侧向刚度要大于弹性伸缩杆301-2的刚度。
- [0158] 本申请在研发上的难点在于：
- [0159] 加载套管其主要是受压，正常而言，改变弹簧的刚度，是改变受压弹簧的有效长度。
- [0160] 发明人团队在研发时，也是秉承了上述研发思路，然而，其存在一个核心问题，受压时，螺旋弹簧不能仅仅是固定一点的竖向位移；由于弹簧受压时，会压缩，因此，受压时，

还需要提供弹簧一圈的受力点。

[0161] 因此,本申请在研发时,一直在“受压时,还需要提供弹簧一圈的受力点”这一技术问题的基础上开展研究。然而,上述技术路线实质上非常难以解决。

[0162] 为了解决上述问题,本申请克服了技术偏见,地基、岩石等基础结构虽然是受压状态,本申请也想研究的是土弹簧、岩石弹簧(均处于受压状态)的变化对于上部结构的影响。通过本申请的设计,改变了技术偏见。

[0163] 加载套管的下部设置刚性板,刚性板与外部套管的外壳套管顶板108设置弹簧201,加载套管在受压时,刚性板下移,同时通过弹簧紧固组件300来夹紧弹簧的一端;也即,刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板作为弹簧受力的两端,通过调节刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板的距离,来实现弹簧有效长度的变化。

[0164] 上述能够实施的基本条件是,加载套管在受压时,调节刚性板与弹簧紧固组件300的夹头板之间的弹簧是处于受拉状态(这是需要克服技术偏见的,实际土弹簧也好、岩石弹簧也好,其均是处于受压状态,即土、岩石发生沉降;而本申请巧妙的采用弹簧受拉来模拟上述过程),即本申请的试验设备并非显而易见。

[0165] 由于弹簧处于受拉状态,不需要在考虑“受压时,还需要提供弹簧一圈的受力点”这一问题。

[0166] 进一步,还需要说明的是:在刚性板107与钢筒水平杆203之间连接有竖向设置的微型拉杆式位移传感器500,以便监测刚性板的竖向位移。

[0167] 进一步,还需要说明的是:还包括:拼接组件600,包括:顶部盖板600-3和第一连接件600-1、第二连接件600-2,所述顶部盖板600-3位于加载套管103顶部,第一连接件600-1、第二连接件600-2位于顶部盖板600-3四周;

[0168] 所述顶部盖板用于承担上部试验箱或者上部试验模型,所述第一连接件600-1、第二连接件600-2用于与上部试验箱或者上部试验模型连接。

[0169] 其中,所述微型拉杆式位移传感器500通过导线700与数据采集仪连接。

[0170] 其他需要说明的是:

[0171] 弹簧的刚度系数 $K_{\text{弹簧}}$ 先通过计算地基基床系数 $K_{\text{地基}}$ 与顶部盖板上所占模型面积 $A$ 之积;其中,地基基床系数通过现场试验、室内试验或经验取值:

[0172]  $K_{\text{弹簧}}$ 为:

$$[0173] \quad K_{\text{弹簧}} = \frac{K_{\text{地基}} \times A}{n}$$

[0174] 其中 $K_{\text{弹簧}}$ (单位:kN/m)为弹簧刚度系数, $A$ (单位: $\text{m}^2$ )为沿模型厚度方向一排顶部盖板上覆模型面积(即模型厚度与顶部盖板宽度的积), $K_{\text{地基}}$ (单位:kN/ $\text{m}^3$ )为地基基床系数, $n$ 为沿模型厚度方向的仪器个数。

[0175] 外壳套管的表面设置弹簧刚度刻度线,用于观察此位置处的弹簧刚度。外壳套管的表面设置弹簧刚度刻度线所代表刚度 $K$ (单位:kN/m)可由下面公式计算并标出:

$$[0176] \quad K = K_z \times \frac{L_z}{(L_z - L)}$$

[0177] 其中 $K_z$ (单位:kN/m)为弹簧原长刚度, $L_z$ (单位:mm)为弹簧原长, $L$ (单位:mm)为该刻度线到外壳套管顶部的距离。

[0178] 如图11-12所示,一种试验装置,包括若干个实施例1的变刚度模拟装置;还包括:试验模型箱800,所述试验模型箱用于添加上部荷载。

[0179] 一种试验方法,其用于研究建筑结构下方不同性状土带来的影响(一侧是岩石,一侧为回填土),包括步骤:

[0180] S1:确定模型尺寸;

[0181] S2:确定弹簧刚度K:

[0182] S2-1,先通过现场试验、荷载板试验、室内三轴试验或室内固结试验分别得到不同位置的地基基床系数 $K_{\text{地基}}$ ;

[0183] S2-2,然后根据上述不同位置的地基基床系数 $K_{\text{地基}}$ ,确定不同的变刚度模拟装置的弹簧刚度;

[0184] S3:拼装、调试仪器:根据S1设计的仪器布置方式拼装仪器,连接采集仪,数据清零,通过各个变刚度模拟装置的调节钢筒202的高度以及旋紧夹紧旋钮的位置,调节各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度;。

[0185] S4:分层浇筑模型:在上述模型箱中分层添加土体或者其他材料,以模拟上部荷载的施工;(模型箱的下底板可以采用同一整板(对应于整体式基础,例如筏基),也可以采用分块式板(对应于非整体式基础));

[0186] S5:通过采集仪,得到不同荷载P-位移s曲线。

[0187] 实施例2:实施例2的目的是为了研究一种矿物充填开采试验装置。其最大的特点是,试验过程中刚度需要变化。

[0188] 实施例1的设备在试验过程中不能实现刚度的变化,其无法满足矿物充填开采试验的要求。

[0189] 为此进行如下改进:

[0190] 实施例1的“刚度调节组件200、弹簧紧固组件300”构成1个弹簧端部调节组件;如图13所示,在装置沿着外壳套管的竖向方向设置有多组弹簧端部调节组件;在刚性板107与最下方的钢筒水平杆203设置有微型拉杆式位移传感器500,或者,在底座的底部设置有刚性板位移传感器(例如:超声测距传感器、红外线测距传感器)来监测刚性板的位移。

[0191] 其工作方法如下:

[0192] 首先,多个弹簧端部调节组件在不同的高度全部夹紧对应的弹簧高度;

[0193] 其次,按照需要,按照从下往上的顺序,依次松开对应的弹簧端部调节组件的弹簧紧固组件300的夹头板;对应的,实现弹簧的刚度逐渐减小的目的。

[0194] 当然,本申请的设计也可以实现刚度逐渐增大的目的,即上述首先,多个弹簧端部调节组件在不同的高度全部夹紧对应的弹簧高度;

[0195] 其次,按照需要,按照从上往下的顺序,依次松开对应的弹簧端部调节组件的弹簧紧固组件300的夹头板;对应的,实现弹簧的刚度逐渐增大的目的。

[0196] 一种厚矿层分层充填开采试验装置,包括若干个实施例2的变刚度模拟装置;还包括:试验模型箱800,所述试验模型箱用于添加上部荷载。

[0197] 一种厚矿层分层充填开采试验方法,包括步骤:

[0198] S1:确定模型尺寸,配制相似模型材料:根据试验需要设置模型相似比,确定试验模型尺寸,设计仪器布置位置与个数,并根据相似比配制矿体上覆岩层相似模型材料;

[0199] S2:确定各阶段的弹簧刚度系数:

[0200] S2-1先通过现场试验、荷载板试验、室内三轴试验或室内固结试验分别得到原始地层、部分充填和完全充填时的地基基床系数 $K_{\text{矿层}}$ 、 $K_{\text{部分充填}}$ 和 $K_{\text{充填}}$ ;

[0201] S2-2,然后根据下列公式计算所需要的未开采状态下地层弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ 、部分充填时的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ ,完全充填开采后(即原矿层全部被充填物替代)的地基弹簧刚度系数 $K_{\text{弹簧-充填}}$ ;

[0202] 则可得: $K_{\text{弹簧-矿层}}$ ,  $K_{\text{弹簧-充填}}$ ,  $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 为:

$$[0203] \quad K_{\text{弹簧-矿层}} = \frac{K_{\text{矿层}} \times A}{n}$$

$$[0204] \quad K_{\text{弹簧-充填}} = \frac{K_{\text{充填}} \times A}{n}$$

$$[0205] \quad K_{\text{弹簧-部分充填}} = \frac{K_{\text{部分充填}} \times A}{n}$$

[0206] A(单位: $\text{m}^2$ )为沿模型厚度方向一排顶部盖板上覆模型面积(即模型厚度与顶部盖板宽度的积),  $K_{\text{地基}}$ (单位: $\text{kN}/\text{m}^3$ )为地基基床系数,  $n$ 为沿模型厚度方向的仪器个数。

[0207] 当无充填开采上分层后的矿层地基基床系数 $K_{\text{部分充填}}$ , 则 $K_{\text{弹簧-部分充填}}$ 可以通过下式估算:

$$[0208] \quad K_{\text{弹簧-部分充填}} = h_{\text{总}} \times \frac{K_{\text{弹簧-充填}} \times K_{\text{弹簧-矿层}}}{h_{\text{开采}} K_{\text{弹簧-矿层}} + (h_{\text{总}} - h_{\text{开采}}) K_{\text{弹簧-充填}}}$$

[0209] 其中 $h_{\text{总}}$ (单位:m)为矿层总厚度,  $h_{\text{开采}}$ (单位:m)为矿层上分层开采厚度。

[0210] S3:拼装、调试仪器:根据第一步设计的仪器布置方式拼装仪器,连接采集仪,数据清零,通过各个变刚度模拟装置的调节钢筒202的高度以及旋紧夹紧旋钮的位置,将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数初步调节到计算所得的 $K_{\text{弹簧-矿层}}$ ,然后通过观察采集仪读数精确调节弹簧刚度系数,断开与采集仪的连接。

[0211] S4:浇筑模型:分层浇筑上覆模型,并按照配制的模型材料设计要求养护,直到满足试验需要的强度要求。

[0212] S5:模拟施工开采与充填:将各个变刚度模拟装置的弹簧的刚度系数按照预设的顺序进行调节,即模拟开采厚度逐渐变化时的情形( $K_{\text{弹簧-矿层}}$ 到 $K_{\text{弹簧-充填}}$ 刚度逐渐减小)。

[0213] S6:提取数据:当所有开挖步结束以后,结束数据采集,提取仪器变形数据,分析矿层受力变形情况。

[0214] 需要说明的是:本申请适用于以下螺旋弹簧:

[0215] 螺旋弹簧的节距 $>10 \times$ 弹簧丝直径;

[0216] 夹头板宽度 $>$ 弹簧的外径;

[0217] 夹头板厚度为螺旋弹簧的节距 $1/10 \sim 1/4$ 。

[0218] 上述的设计要求,才能保证:夹头板夹住弹簧的一个部分,并且最大限度的保证夹头板松开后,能恢复原状(即防止被压直)。

[0219] 实施例3:如图14所示,夹头板的宽度小于弹簧的直径,取为弹簧直径的 $1/4 \sim 1/8$ ;且2个对应的夹头板通过弹簧的中心轴线;

[0220] 也即,实施例3给出了本申请的使用方式,其在模拟变刚度时,模拟的刚度是些“散点”(钢筒的高度也是一些特定值),而非连续型刚度,即如图15-16所示,只有两种状态图(有1个夹头板能够从螺旋弹簧的节距中穿过)。

[0221] 实施例3的设计在使用时更加贴合实际。

[0222] 进一步,夹头板的前侧与螺旋弹簧的空间位置适配,即在夹头板的前侧也设置一小段螺旋凸起(利用凸起来压紧弹簧,使得压紧的部位成为受力端),以防止压直弹簧,更好的保护弹簧。

[0223] 需要说明的是,实施例3的设计可用于实施例1以及实施例2的设计。

[0224] 以上所举实施例为本申请的较佳实施方式,仅用来方便说明本申请,并非对本申请作任何形式上的限制,任何所属技术领域中具有通常知识者,若在不脱离本申请所提技术特征的范围,利用本申请所揭示技术内容所作出局部更动或修饰的等效实施例,并且未脱离本申请的技术特征内容,均仍属于本申请技术特征的范围。



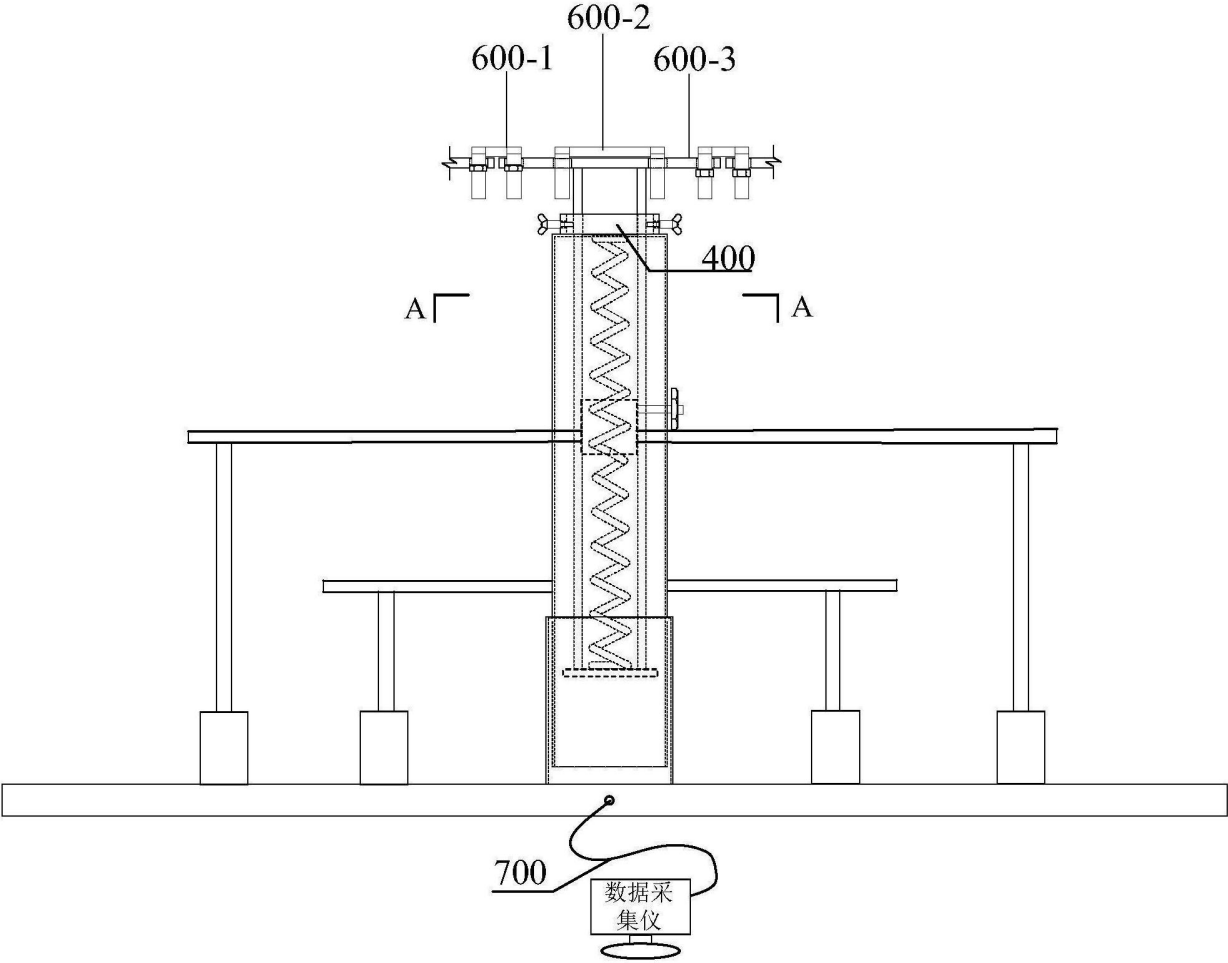


图1

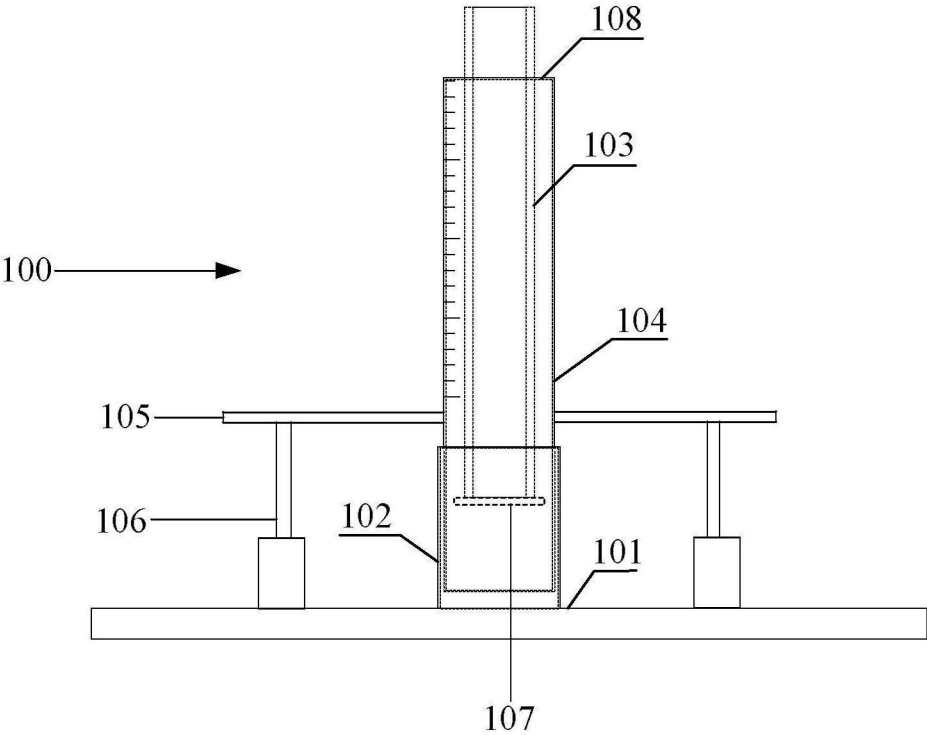


图2

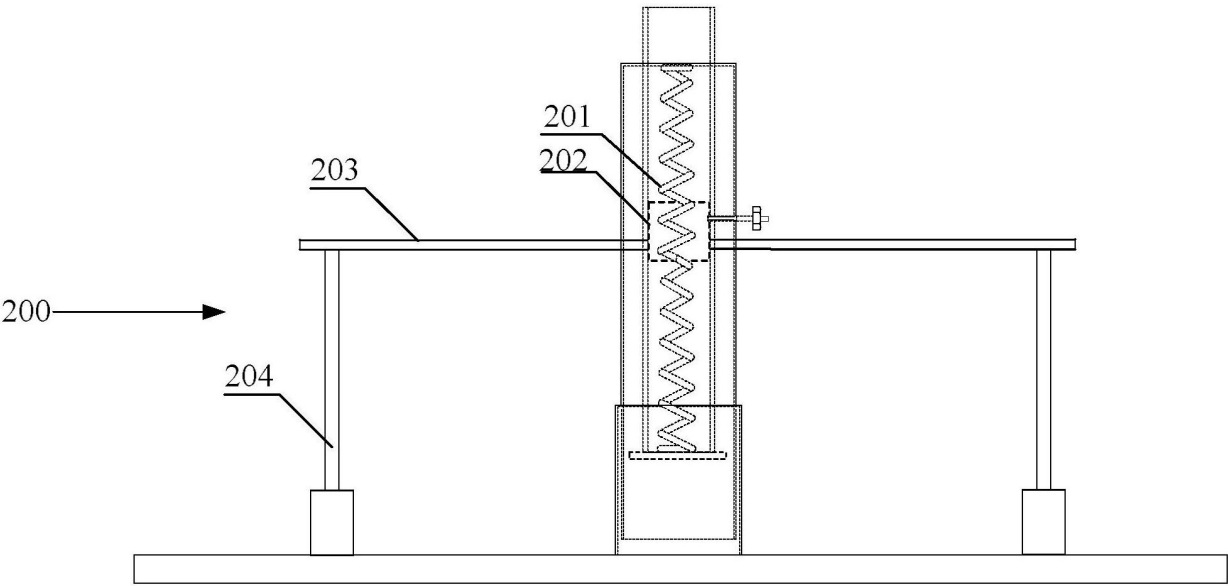


图3

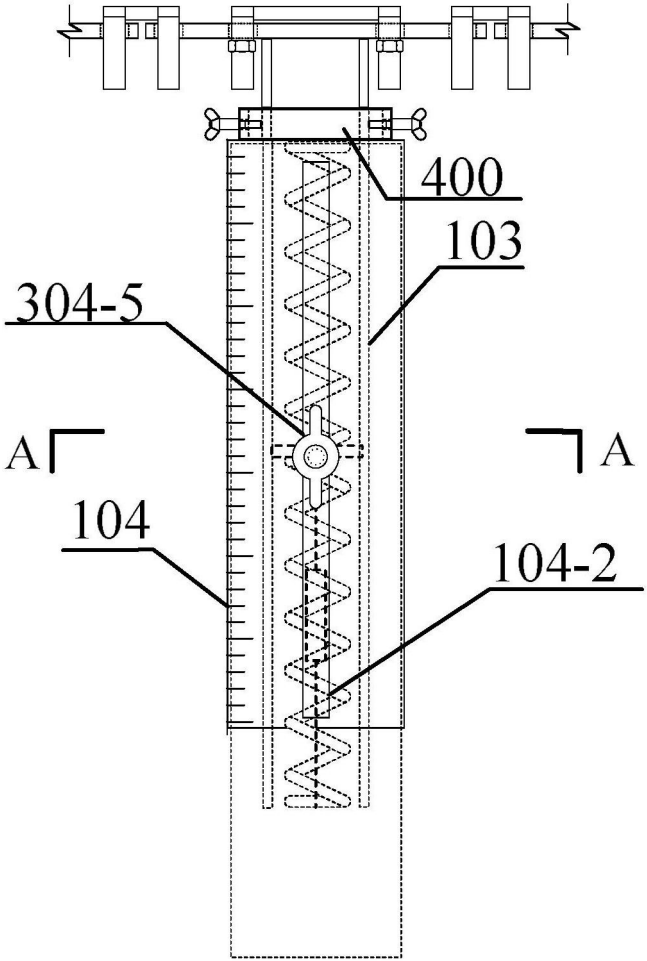


图4

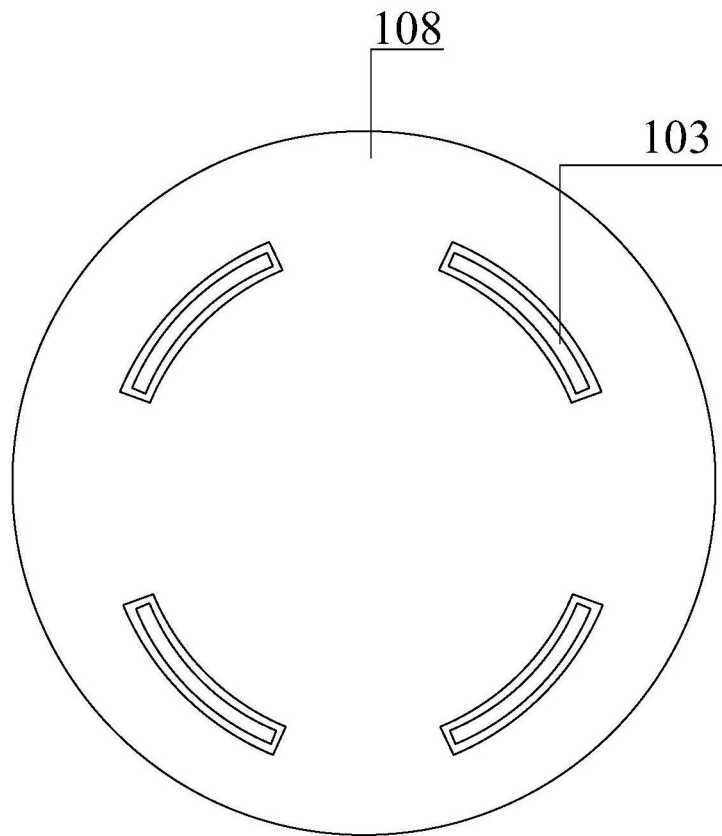


图5

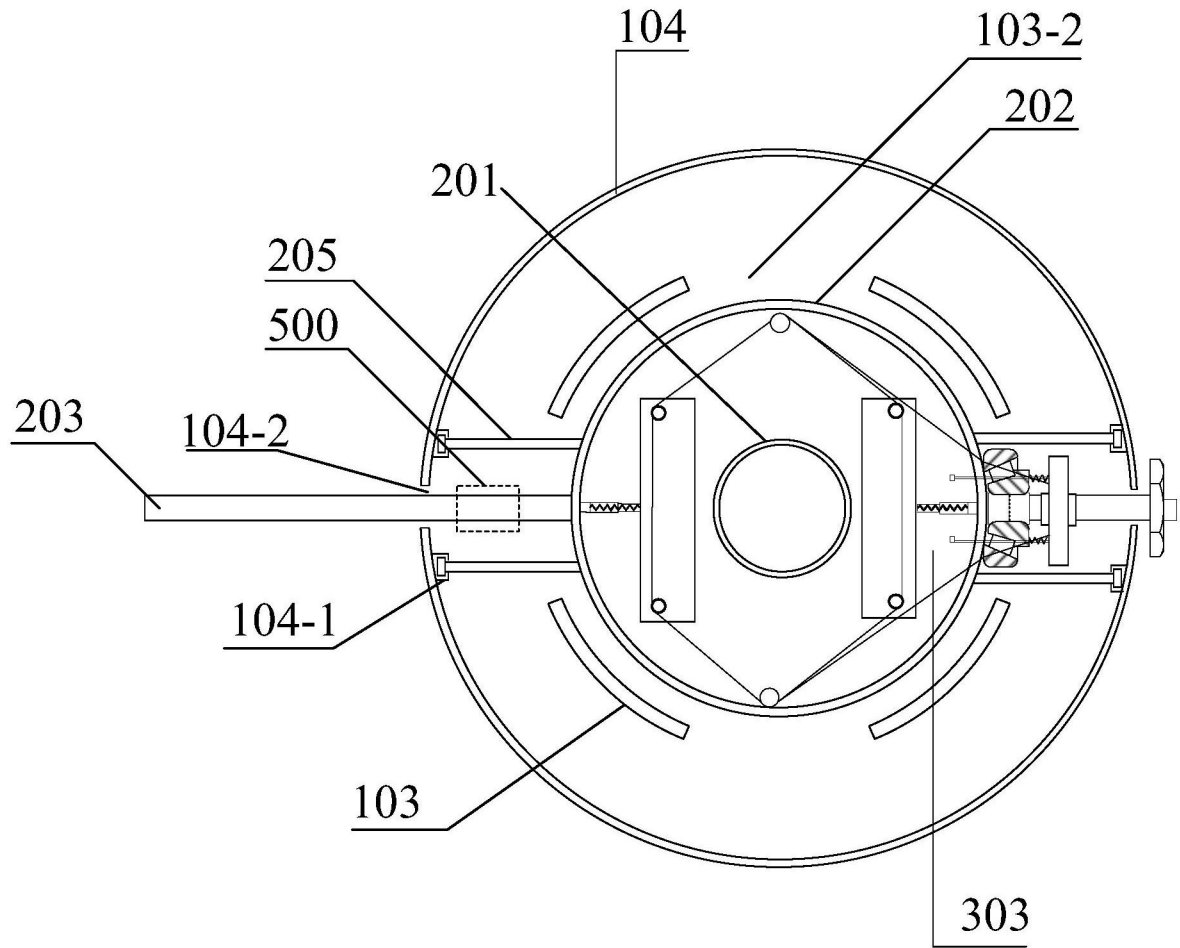


图6

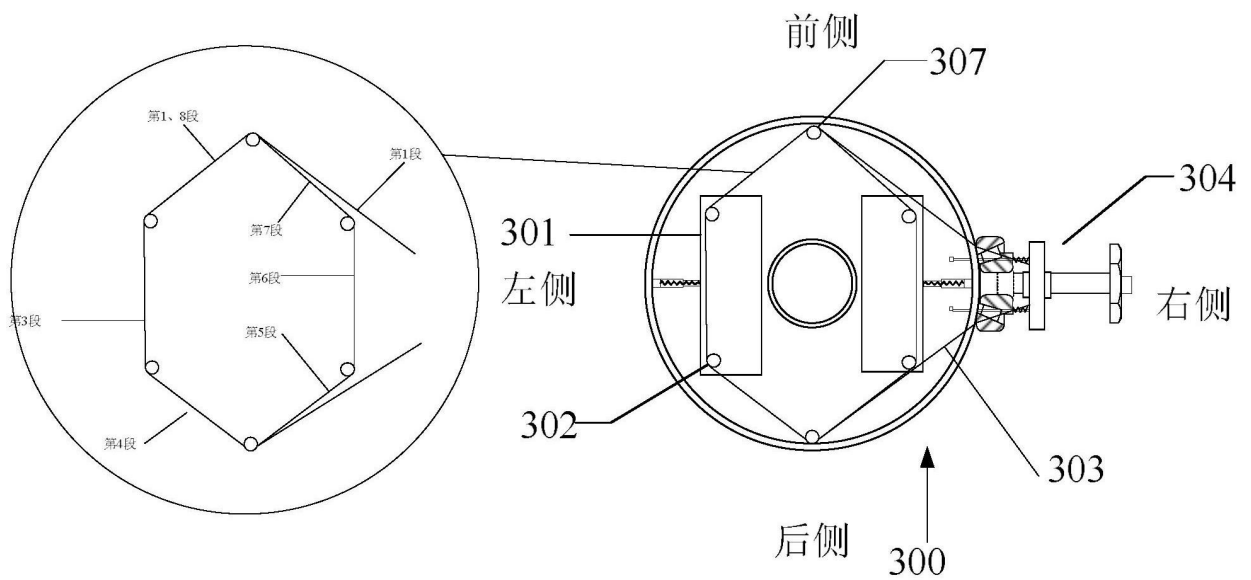


图7

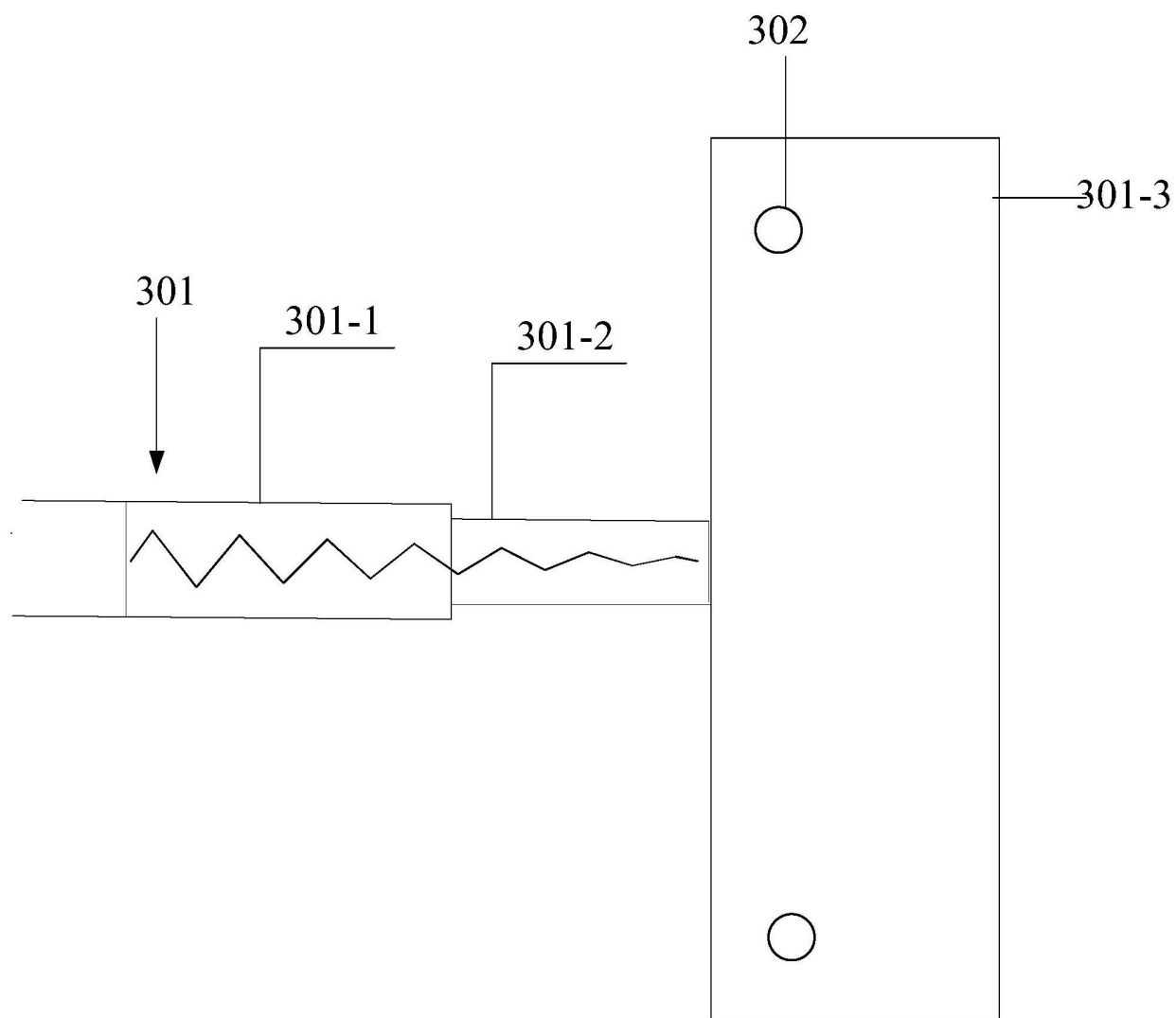


图8

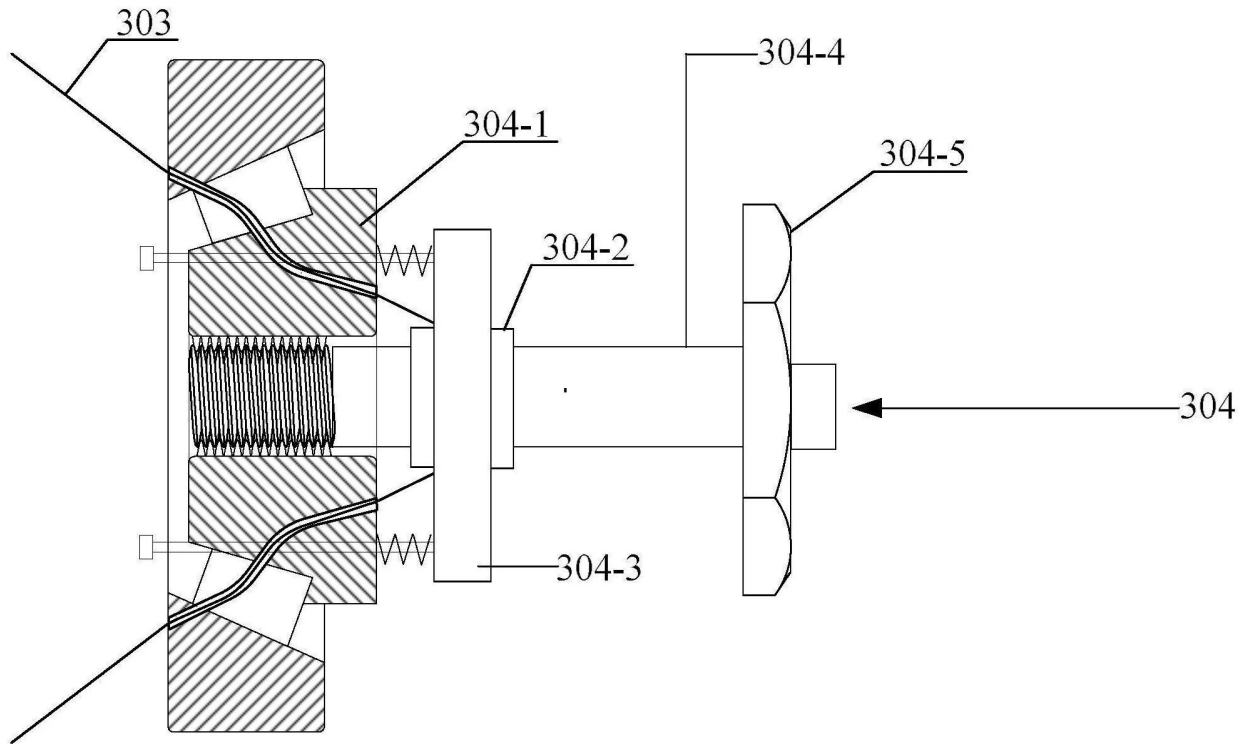


图9

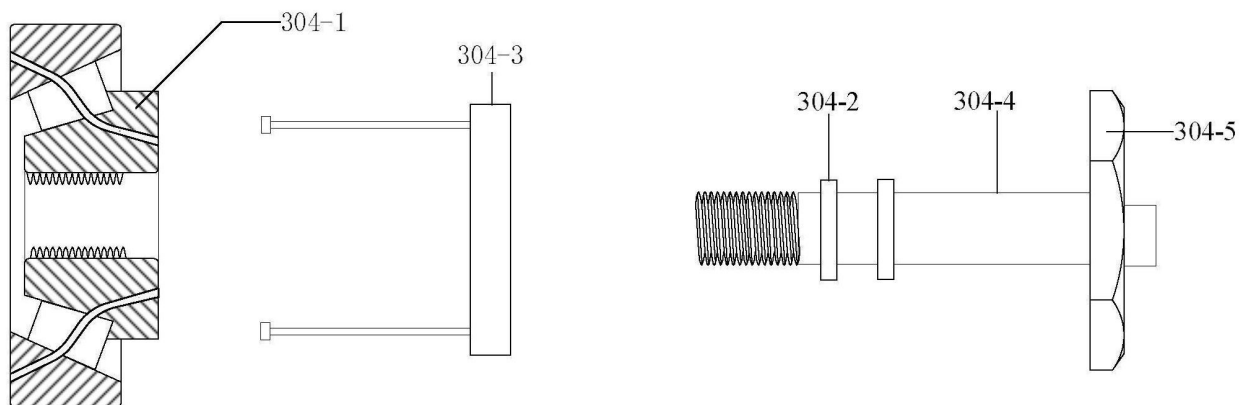


图10

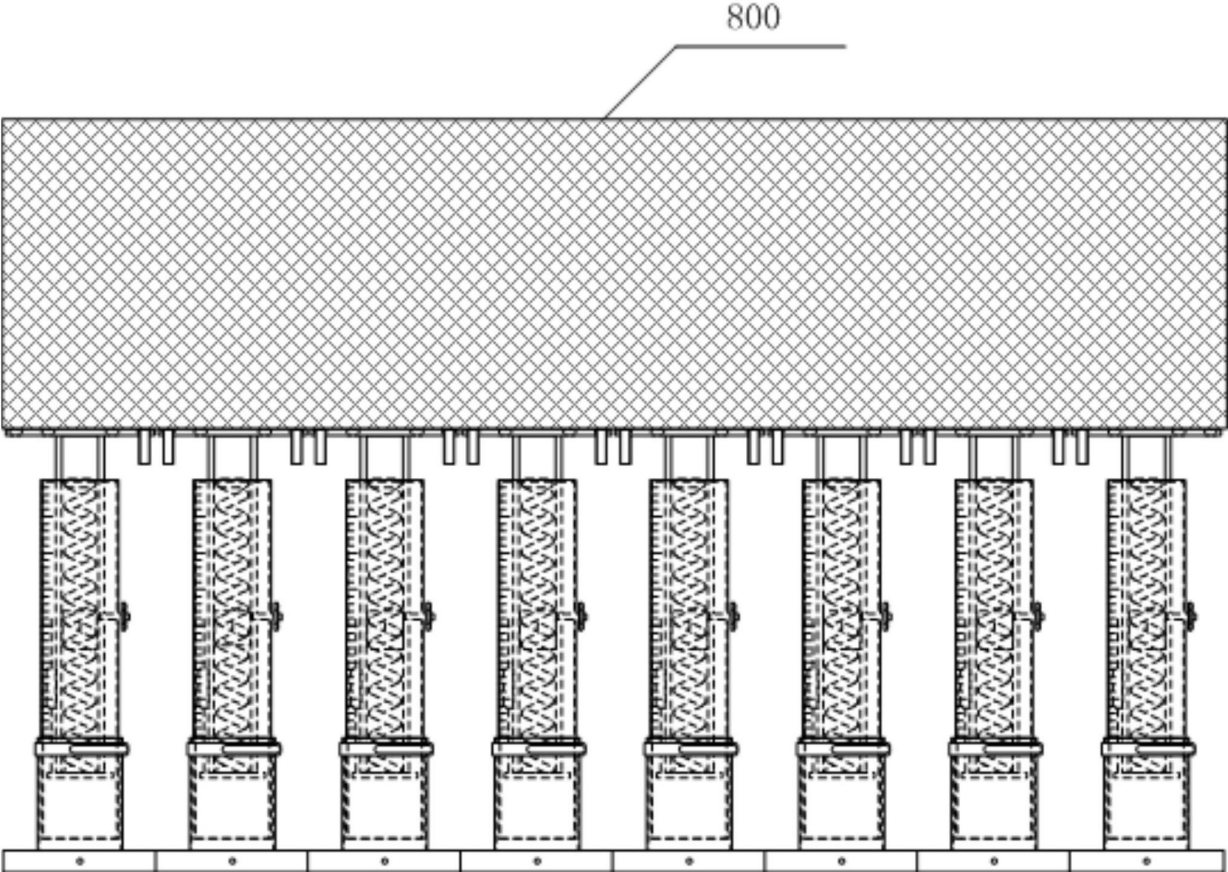


图11

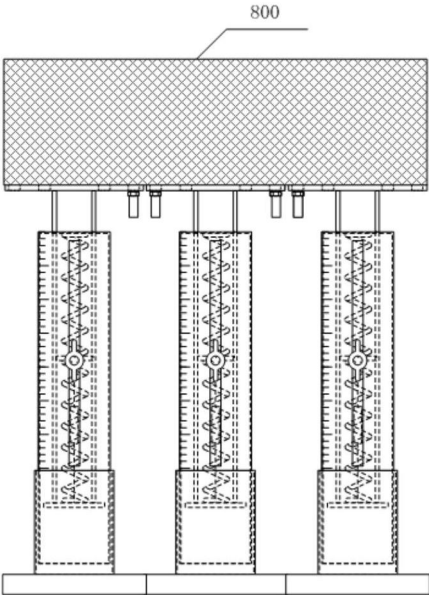


图12



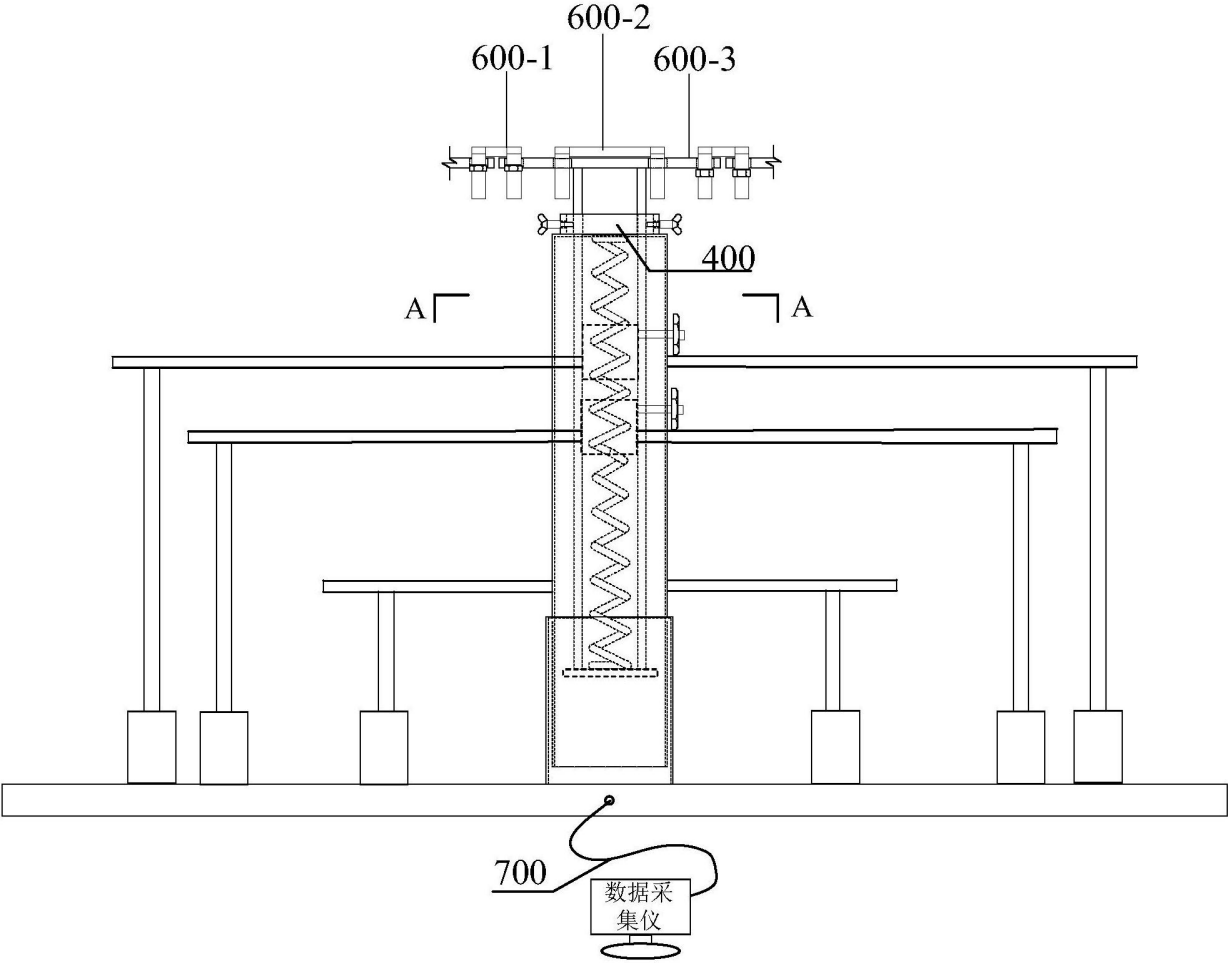


图13

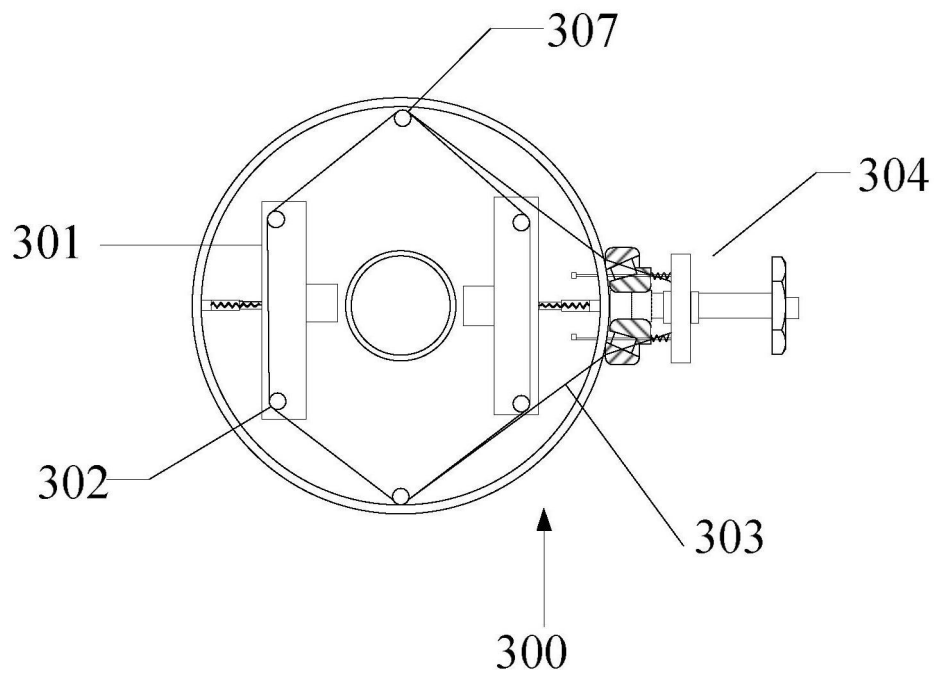


图14

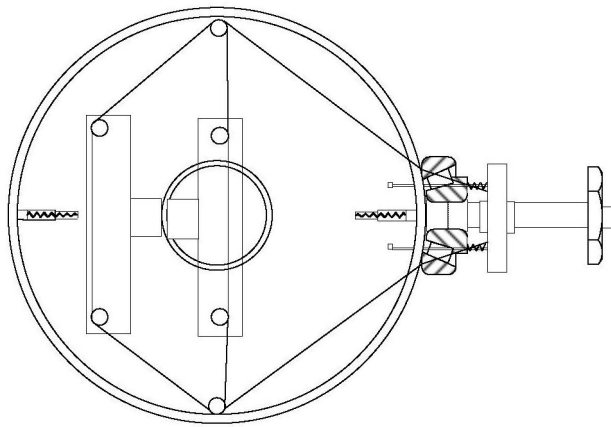


图15

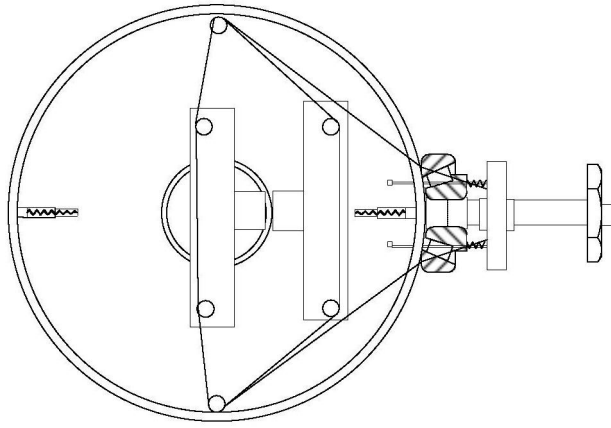


图16