



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114019145 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 08

(21) 申请号 202111366495.6

(22) 申请日 2021.11.18

(71) 申请人 中国地质大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路29号中  
国地质大学(北京)工程技术学院探工  
楼503

申请人 中国地质大学(北京)郑州研究院

(72) 发明人 唐云龙 孔意 岳文 杨义勇  
康嘉杰 付志强 田斌

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006.01)

G01D 21/02 (2006.01)

G05B 11/42 (2006.01)

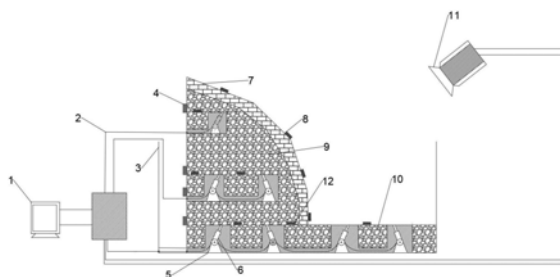
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种地质滑坡灾害的实验系统及模拟方法

(57) 摘要

本发明涉及一种地质滑坡灾害的实验系统及模拟方法。首先,采用分层式的壳体装置,壳体装置放置土壤以及石头材料;其次,在壳体装置内装入液压装置,模拟地震效果。第三,箱体顶部和下部无封口,直接露出壳体分离装置,将液压装置与顶部土层壳体隔离装置连接在一起,下部固定;第四,壳体装置采用箱体包裹,下部利用土层以及石块填充作为山体底部平原;第五,利用PID控制系统控制液压装置加载;第六,在搭建的山体部分设置防护墙,墙上设置应力传感器和应变传感器;第七,通过搭建可视化系统,采集整个模拟地质滑坡过程。该试验系统装置,利用模拟地质灾害滑坡探究地层运动对滑坡的影响,优化防护措施,提前预测地质滑坡灾害。



1. 一种模拟地质灾害滑坡的实验系统,其特征在於,该系统装置包括,箱体,液压装置,壳体装置,控制系统,防护墙,位移传感器,应力传感器,测力传感器、应变传感器、数据采集设备;液压装置布置在壳体装置每层,传感器紧贴每层材料及防护墙,通过数据采集设备收集并分析数据。

2. 根据权利要求1所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统,其特征在於,所述的壳体装置采用分层结构,壳体装置分层处采用软质材料,每层根据模拟山体层的尺寸设置不同长度,壳体装置每层留有空间,放置材料。

3. 根据权利要求1所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统,其特征在於,所述的液压装置放置在山体层,液压装置上部位连接上方壳体层,下部固定在下方山体层表面,采用支座固定方式,利用铰链式约束。

4. 根据权利要求1所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统,其特征在於,所述的箱体放置模拟装置。

5. 根据权利要求1所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统,其特征在於,所述的PID控制装置连接至多个液压装置,控制液压装置进行加载;

PID控制器是一种线性控制器,它根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成控制偏差:

$$error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$$

PID的控制规律为:

$$u(t) = k_p(error(t) + \frac{1}{T_1} \int_0^t error(t) dt + \frac{T_D derror(t)}{dt})$$

或写成传递函数的形式

$$G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_1 s} + T_D s)$$

式中,  $k_p$ ——比例系数;  $T_1$ ——积分时间常数;  $T_D$ ——微分时间常数;

$$PID = K_p * (S_v - X_k) + K_i * \sum_{i=1} (S_v - X_i) + K_d * (E_k - E_{k-1})$$

其中 $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分时间常量, $T_d$ 为微分时间常量。

6. 根据权利要求1所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统装置,其特征在於,所述的防护墙是建立在壳体装置表面,防护墙外表面布置应力、应变传感器,测力传感器安装在液压加载装置和山体层接触处。

7. 一种模拟地质灾害滑坡的实验系统的模拟方法,其特征在於,具体步骤为:

首先,布置壳体装置,壳体装置内放置液压加载装置,每层根据位置需求放置多个液压装置,同时填充材料;壳体装置包含山体隔离层和平原隔离层,壳体装置采用连体式的软质材料,山体层采用以石块为主,泥土为辅的材料,山体层下方为平原层以土壤为主,石块为辅的材料填充;

其次,液压装置底部采用支座约束,上部连接至上层山体层,同时放置测力传感器,传感器与数据采集设备连接;

第三,安装PID控制装置系统,PID利用线路和液压装置连接;

第四,设置山体防护墙,墙体上布置大量应力传感器和应变传感器,同时山体内部受载荷处也放置应力、应变传感器,传感器与数据采集设备连接;

第五,设置位移传感器,位移传感器与数据采集设备连接;

第六,安装可视化系统监测装置,监测装置视野覆盖整个实验模拟系统。

8.根据权利要求7所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统的模拟方法,其特征在于,壳体装置的形状按照山体坡度设置,连接至平原层,壳体装置采用整体材料,壳体装置内材料填充须密闭、紧实。

9.根据权利要求7所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统的模拟方法,其特征在于,控制系统通过控制液压装置进行对山体加载,控制系统可以控制多个液压装置,根据需要进行选择液压加载装置。

10.根据权利要求7所述的一种模拟地质灾害滑坡的实验系统的模拟方法,其特征在于,可视化系统是利用监测装置对整个模拟过程进行监测,监测装置视野覆盖整个实验模拟系统。

## 一种地质滑坡灾害的实验系统及模拟方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及了一种模拟地质滑坡灾害的实验系统装置及模拟方法。

### 背景技术

[0002] 我国幅员辽阔,地势高低起伏,是地质灾害最为严重的国家之一,滑坡、崩塌等灾害频繁发生。随着国家的发展与进步,国家人口不断增长,居民生活空间不断扩大,一些易发生地质灾害的山地地区也居住着大量人口,人口的不断扩展,导致居民居住逐渐向山体附近靠近,同时随着全球变暖引起的极端天气增多,尤其是大型的地质滑坡和地质活动等灾害频率越来越高,给人们带来了巨大的伤害冲击,同时也会给经济等各个方面带来影响,保护居民生命,预防地质灾害,是一项重要任务。

[0003] 现如今,我国地质灾害防护措施众多,通过各种防护墙、防护网等来预防地质滑坡,但是只是单纯的预防并不能减少伤亡率,没有通过实验模拟来进行探究其地层活动来揭示其滑坡机理,无法对其滑坡防护措施进行优化以及更好的预测,导致滑坡灾害发生时,伤及居民姓名,影响道路的正常运输,增加防护及灾害后维修成本。

[0004] 然而实际工程中滑坡实验相对较少,以及实验模拟不充分的状况,这种情况使得滑坡灾害无法准时监测,准时预防,导致了滑坡灾害发生时人员疏散不及时,伤亡惨重,这也促使滑坡实验装置的开发十分必要,针对山体地区居住区居民利用滑坡实验装置,去更好预防灾害,及时疏散,减轻伤亡;同时滑坡实验装置的开发,使得对滑坡实验研究的进一步提高,推进我国在滑坡实验的研究进展。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种地质滑坡灾害的实验系统的模拟方法,通过该实验装置和模拟方法对地质滑坡灾害的过程进行模拟,探究其滑坡机理,在模拟的基础上通过应力传感器和位移传感器记录防护墙被破坏前的应力、应变数值,以及山体层位移数值;通过控制系统控制的液压装置在一定范围内加载模拟地震,展示出地层运动的效果,进一步完成整个滑坡的模拟过程,通过该方式了解滑坡的机理,优化防护措施,为达到准确预测提供模拟基础。

[0006] 本发明提供一种地质滑坡灾害的实验系统及模拟方法,具体如下:

优选的,采用分层式的壳体装置,壳体装置根据所需模拟的山体层及平原层,壳体装置分界面采用软质材料,保证不影响加载时的土层晃动。

[0007] 优选的,在壳体装置内放入液压装置,每层放置多个液压装置,根据模拟地层活动的需要,采用特定位置的液压装置加载;放入液压装置后填充材料至壳体装置中,山体层采用以石块为主,泥土为辅的材料形式,平原层以土壤为主,石块为辅的材料形式。

[0008] 优选的,PID控制装置通过线路连接液压装置,通过PID控制装置控制液压装置加载方向。

[0009] 优选的,采用的位移传感器放入壳体装置内液压装置的上方,测量液压装置加载

后的山体层位移变换量,同时将采集数据汇总到采集设备中。

[0010] 优选的,防护墙放置在山体层外层,采用水泥等采用防护材质,对山体进行防护。

[0011] 优选的,应力、应变传感器放置在防护墙外侧,记录防护墙和山体内部在山体滑坡时变形所生的应力、应变,应力、应变数值传入采集设备。

[0012] 优选的,箱体采用硬质材料,用来放置能够保证承担山体滑坡后的落石对箱体的冲击。

[0013] 优选的,采用可视化系统监测山体滑坡模拟整个过程,监测装置视野覆盖整个实验模拟装置,通过安装监测装置,利用视频数据对应相同时间段收集到的位移、应力应变、以及载荷数据,进一步分析滑坡机理。

[0014] 根据所述的壳体装置,壳体装置是由一定长度的方体箱构成,根据模拟的山体尺寸,设置不同的尺寸,壳体装置之间会留有放置土壤及石块的空间,通过壳体装置的大小设置,角度调整,可以模拟不同状况下的地质滑坡;在壳体装置采用分层结构,分层处采用软质材料,保证不影响加载时涂层产生的晃动;壳体装置每层留有空间,各层用来放置液压装置及填充材料,整个壳体装置可根据模拟地形的需要更换材料。

[0015] 根据所述的液压装置,液压装置放置在山体层,液压装置底部采用支座约束,支座采用金属材料,支座放置在下部山体层上,采用铰链固定方式,顶部连接山体层,液压装置顶部可向各个方位摆动,保证能够向上方较广的方向产生加载,模拟山体运动,产生滑坡现象。

[0016] 根据所述的PID控制装置,在放入材料之前,将各个液压装置利用线路与PID控制装置连接,通过PID控制装置控制液压装置的加载方向;同时整个控制系统并入传感器采集设备,接收传感器数据信息。

[0017] PID控制器是一种线性控制器,它根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成控制偏差:

$$error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$$

PID的控制规律为:

$$u(t) = k_p(error(t) + \frac{1}{T_1} \int_0^t error(t) dt + \frac{T_D derror(t)}{dt})$$

或写成传递函数的形式

$$G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_1 s} + T_D s)$$

式中,  $k_p$ ——比例系数;  $T_1$ ——积分时间常数;  $T_D$ ——微分时间常数。

简单来说,PID控制器各校正环节的作用如下:

(1) 比例环节:成比例地反映控制系统的偏差信号 $error(t)$ ,偏差一旦产生,控制器立即产生作用,以减少偏差。

[0018] (2) 积分环节:主要用于消除静差,提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 $T_1$ , $T_1$ 越大,积分作用越弱,反之则越强。

[0019] (3) 微分环节:反应偏差信号的变换趋势(变化速率),并能在偏差信号变得太大之前,在系统中引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减少调节时间。

[0020] PID算法计算公式如下

$$PID = K_p * (S_v - X_k) + K_i * \sum_{i=1} (S_v - X_i) + K_d * (E_k - E_{k-1})$$

其中 $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分时间常量, $T_d$ 为微分时间常量。

[0021] 根据所述的防护墙,防护墙采用水泥等常用材料,粘附在山体层表面,防护墙用来模拟实际环境中山体滑坡时的防护装置,并在山体产生滑坡时,测试防护墙破坏前的应力、应变,获得较为准确的变形数据,能够进一步了解优化防护墙的设置与安放。

[0022] 根据所述的传感器,传感器采用应力、应变传感器以及位移传感器以及侧力传感器,应力应变传感器放置在防护墙和山体内层,用来测量应力、应变数值,准确了解山体变形程度;位移传感器放置在液压装置上方的山体层中,测量山体层位移变化;测力传感器放置在液压装置和山体层交界处,测量载荷大小。

[0023] 根据所述的数据采集设备,数据采集设备接受传感器信号,并记录数值,后续即可分析,根据数据值制定更好的防护措施与优化措施。

[0024] 一种模拟地质灾害滑坡的实验系统的模拟方法,其特征在于,具体步骤为:

首先,将所需的壳体装置放置在箱体内,壳体装置按照山体坡度进行设置,在壳体装置分层界面处采用软质材料,保证不影响加载时土层的晃动;在壳体装置各层中放置液压加载装置;对壳体装置进行填充材料,整个装置分为平原层和山体层,液压加压装置与填充材料分隔开,保证液压加压装置有足够的调整空间。

[0025] 其次,液压加压装置采用支座铰链约束在下部山体处,顶部与上层山体层接触,在每个山体层和液压加载装置结合处安装测力传感器;用来测量加载力。

[0026] 第三,液压装置采用PID控制,液压装置与PID控制系统之间采用线路连接,PID控制装置可操控多个液压装置进行加载;

PID控制器是一种线性控制器,它根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成控制偏差:

$$error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$$

PID的控制规律为:

$$u(t) = k_p(error(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t error(t) dt + \frac{T_D derror(t)}{dt})$$

或写成传递函数的形式

$$G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s)$$

式中, $k_p$ ——比例系数; $T_i$ ——积分时间常数; $T_D$ ——微分时间常数;

简单来说,PID控制器各校正环节的作用如下:

(1) 比例环节:成比例地反映控制系统的偏差信号 $error(t)$ ,偏差一旦产生,控制器立即产生作用,以减少偏差;

(2) 积分环节:主要用于消除静差,提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 $T_i$ , $T_i$ 越大,积分作用越弱,反之则越强;

(3) 微分环节:反应偏差信号的变换趋势(变化速率),并能在偏差信号变得太大之

前,在系统中引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减少调节时间;

PID算法计算公式如下

$$PID = K_p * (S_v - X_k) + K_i * \sum_{i=1} (S_v - X_i) + K_d * (E_k - E_{k-1})$$

其中 $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分时间常量, $T_d$ 为微分时间常量。

[0027] 第四,在搭建好的山体外部设置防护墙,粘附在山体层外表面,在防护墙和山体内部受载荷处设置大量的应力传感器和应变传感器,测量山体防护墙及内部发生震动时所产生的的应力和应变数值。

[0028] 第五,位移传感器布置在山体层分层处,在分层处放置可记录山体层的活动位移,了解山体内部的活动情况。

[0029] 第六,在整个实验系统中添加可视化系统装置,可视化系统主要包括监测装置、数据传输线路等,监测装置视野覆盖整个实验模拟系统,监测装置记录实验模拟过程。

[0030] 根据所述的实验模拟方法,控制系统控制的液压装置,可根据所需设置加载压力,压力加载不可一次性过大,采用小加载、循环加载的方式,满足模拟地层活动的需要。

[0031] 根据所述的可视化系统,是利用监测装置采取视频数据,监测装置视频数据保存至数据采集设备中,监测过程对比同时间段传感器获得的应力、应变、位移以及载荷数据,探究机理,做出最优防护措施。

[0032] 本发明的优点

本发明通过模拟地质灾害的实验系统装置对地质灾害中由地震引起的滑坡灾害进行模拟,目的是为了揭示滑坡灾害发生的机理,通过对滑坡灾害机理的探究,优化防护措施,提高保护措施。本发明的优势主要包括以下几点:

第一,采用液压装置进行加载,模拟地层运动,液压装置的使用可以满足各种加载条件,针对山体加载,采用多个液压装置加载,能够更好地模拟滑坡的产生,也使得模拟过程更能贴近实际滑坡现象。

[0033] 第二,PID算法控制加载,能够方便进行对液压加载装置的控制,在滑坡实验中更简单的去模拟需要的结果,操作简便。

[0034] 第三,通过传感器测量应力、位移变形,以及载荷变换,利用传感器记录数据准确且收集数据较为容易,能够实时观测滑坡时产生的各种参数,通过数据记录能够方便后续的机理分析及措施优化提供较好的研究基础。

## 附图说明

[0035] 图1:装置安装顺序流程图。

[0036] 图2:装置填充材料前示意图。

[0037] 图3:模拟地质灾害滑坡示意图。

[0038] 图4:俯装置分布俯视示意图。

[0039] 图5:液压装置示意图(一)。

[0040] 图6:液压装置示意图(二)。

[0041] 图7:PID工作实验流程图。

## 具体实施方式

[0042] 一种地质滑坡灾害的实验系统主要包括箱体,壳体装置,液压装置,支座,防护墙,土壤及石块材料,应力传感器,位移传感器,测力传感器、应变传感器,数据采集设备,可视化系统;箱体采用硬质材料,能够保证抵挡住模拟滑坡过程中落石的冲击,壳体装置采用软质材料,按所需位置放入液压装置及线路连接;填充材料,放置防护层,在山体层左边放置位移传感器,防护墙放置应力传感器,利用PID控制装置控制液压装置加载,最后利用数据采集设备接受传感器数据,了解其应力、应变、加载力的数值以及山体层位移变化值。

[0043] 一种地质滑坡灾害的实验系统的模拟方法,包括以下步骤:

首先,将壳体装置放置在箱体3内,在壳体装置分为山体层9和平原层10,参见图2;每层留出隔层空间用于放置液压装置6和材料,壳体装置分层处采用软质材料,不影响整个山体层的活动,可根据模拟的山体大小,适当的选择壳体装置的尺寸,用来满足不同场合的需求;后期进行实验模拟时,可根据模拟地形的需要更换壳体装置中的材料。

[0044] 其次,放入液压装置,液压装置参见图5和6,液压装置下部采用支座5固定,参见图2,采用铰链式约束,底部约束在下方山体层表面;液压装置顶部为可活动加载件,与上方山体层接触,可在上方较大范围内转动进行加载,模拟不同山体活动的工况,同时液压装置采用小加载、循环加载的方式对山体层底部进行加载,保证能够真实的模拟出山体滑坡的动态过程;放置液压装置后,连接线路2,参见图3,线路延伸至箱体外,用来传递加载数据。

[0045] 第三,填充土壤及石块等材料,逐层填充,材料填充时避开对液压装置的影响,采用硬质分隔层将液压装置与土层隔离开,留出液压装置加载所需的空间,参见图3;材料填充需密闭、紧实,能够在液压装置加压时产生良好的地层活动,贴近模拟的真实情况;放置防护墙7,防护墙粘附在山体一侧,用来阻挡山体滑坡和应力、应变测试,防护墙采用水泥材质,参见图3。

[0046] 第四,放置传感器,传感器分为测力传感器,应力、应变传感器8和位移传感器4;测力传感器12放置在液压装置和加载面的结合处,测量载荷,通过载荷结合应力和变形数值,了解滑坡机理;应力、应变传感器放置在防护墙以及山体内层,通过应力、应变传感器测试山体层活动时的防护墙所产生的应力和应变数值,直至极限应力、应变数值;通过应力、应变传感器可以了解防护墙的极限应力,变形状态,优化防护,做出更好的防护措施;位移传感器放置在山体层左侧,它用来记录在山体活动前后以及变化过程中山体层位移的大小,通过位移传感器探究地层活动,同时与应力传感器结合探究滑坡机理。

[0047] 第五,布置PID控制装置及数据采集设备1,参见图3,;PID控制装置接入线路用来控制液压装置的加载载荷及加载方向,控制系统通过控制液压装置进行对山体加载,通过控制装置与液压装置相互配合模拟出各种山体层活动的情况,根据所需要模拟的山体活动的位置选择合适位置的液压装置进行加载;数据采集设备1接收应力、应变传感器、位移传感器和测力传感器数据后保存,用作后续探究;

PID控制器是一种线性控制器,它根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成控制偏差:

$$error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$$

PID的控制规律为:



$$u(t) = k_p(\text{error}(t) + \frac{1}{T_1} \int_0^t \text{error}(t) dt + \frac{T_D d\text{error}(t)}{dt})$$

或写成传递函数的形式

$$G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_1 s} + T_D s)$$

式中,  $k_p$ ——比例系数;  $T_1$ ——积分时间常数;  $T_D$ ——微分时间常数,

简单来说,PID控制器各校正环节的作用如下:

(1)比例环节:成比例地反映控制系统的偏差信号 $\text{error}(t)$ ,偏差一旦产生,控制器立即产生作用,以减少偏差;

(2)积分环节:主要用于消除静差,提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 $T_1$ , $T_1$ 越大,积分作用越弱,反之则越强;

(3)微分环节:反应偏差信号的变换趋势(变化速率),并能在偏差信号变得太大之前,在系统中引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减少调节时间;

PID算法计算公式如下

$$PID = K_p * (S_v - X_k) + K_i * \sum_{i=1} (S_v - X_i) + K_d * (E_k - E_{k-1})$$

其中 $K_p$ 为比例系数, $T_i$ 为积分时间常量, $T_d$ 为微分时间常量。

[0048] 第六,安装可视化系统11,利用监测装置采集模拟山体滑坡时的视频数据,监测装置视野要覆盖整个实验模拟装置,保证能够将实验模拟的动态过程完全采集,监测装置视频数据保存至数据采集设备中,取同时间段内监测的动态过程与传感器所测量的应力、应变、位移以及载荷大小进行对比,了解山体滑坡的极限应力、应变数值,以及产生滑坡前的位移数值,通过分析所获得的数据,进一步探究山体滑坡机理,优化山体滑坡的防护措施,保证山体周围居民安全。

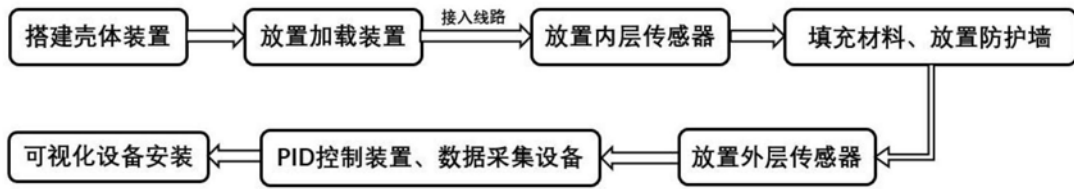


图1

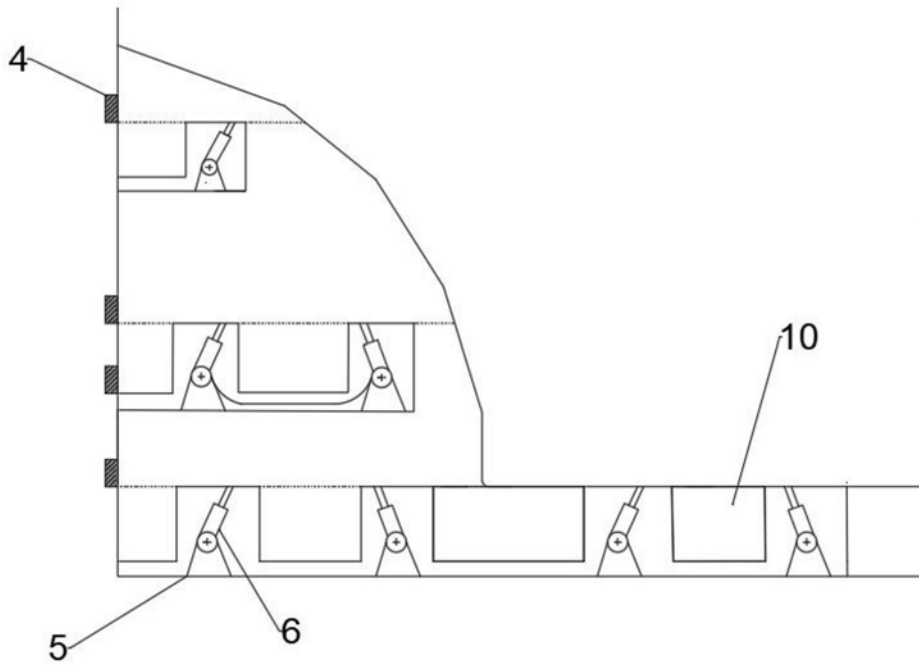


图2

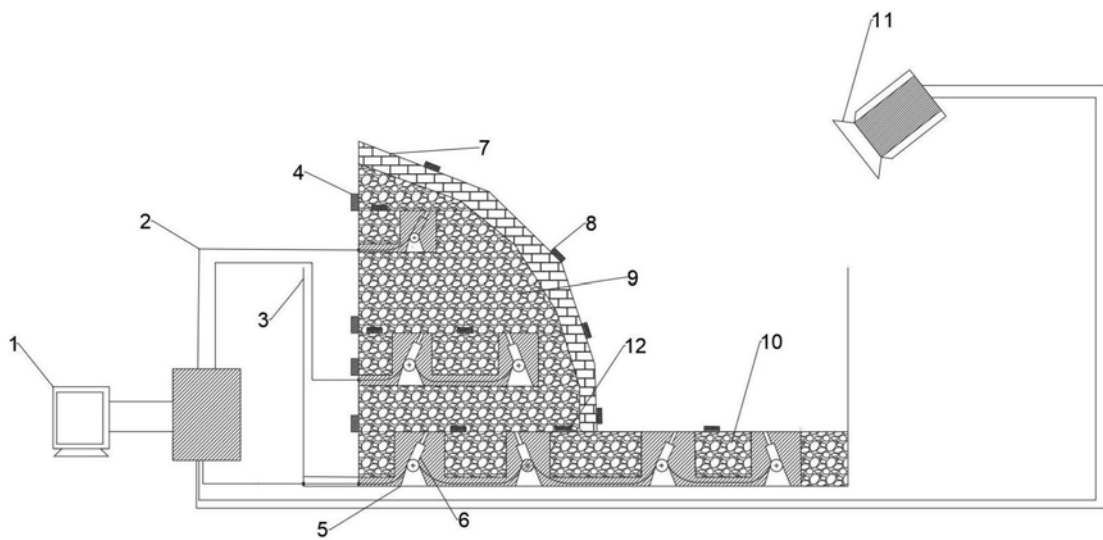


图3

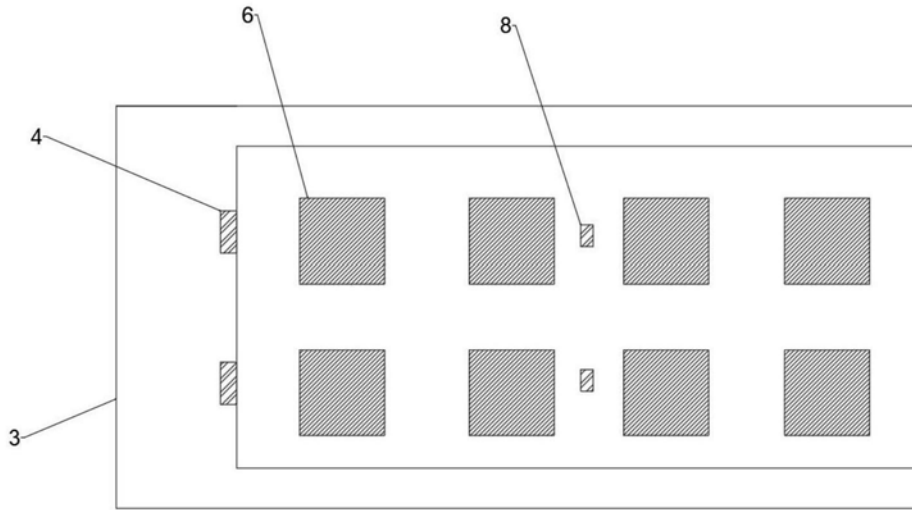


图4

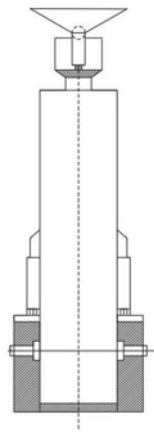


图5

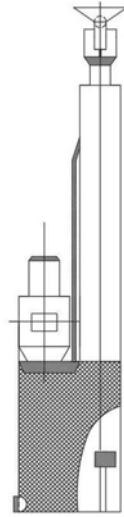


图6

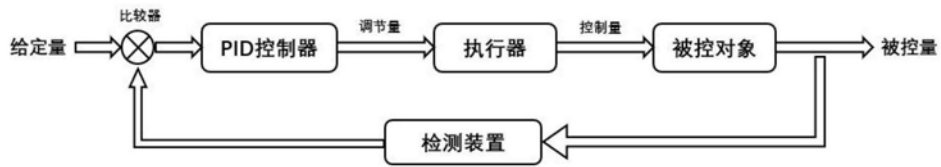


图7