



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117723238 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 19

(21) 申请号 202311513960.3

(22) 申请日 2023.11.14

(71) 申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72) 发明人 陈之毅 郭远鹏 李立群 黄雨

(74) 专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

专利代理师 廖程

(51) Int. Cl.

G01M 7/02 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

G01N 21/01 (2006.01)

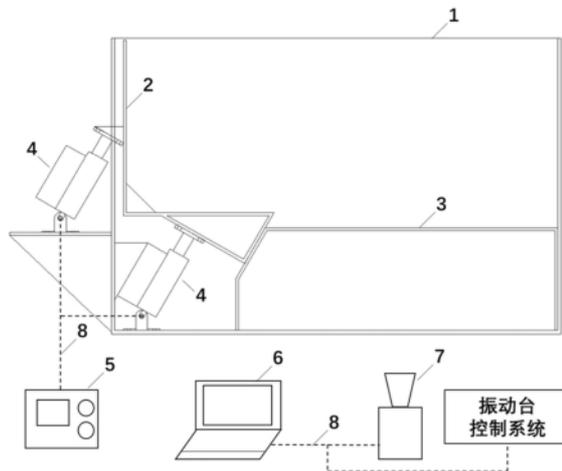
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统及其方法

(57) 摘要

本发明涉及一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统及其方法,该系统包括模型箱组件、监测组件和加载组件,其中,模型箱组件用于容纳试验器材并可视化模拟多角度断层工况、断层位错工况、地震动工况、断层位错和地震动共同作用工况;监测组件用于实时拍摄试验过程图像并进行图像处理分析;加载组件用于施加动力给模型箱组件以实现断层位错工况的模拟。与现有技术相比,本发明在较小体积下实现非接触的全场可视化监测,在传统监测手段的基础上,能够直观地进行变形传递机制的研究,整合了断层区地下结构模型试验的多种试验需求,实现了同一个试验装置模拟多种断层倾角工况下断层位错和地震动共同作用的功能,具有工况灵活的优点。



1. 一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征在于,包括模型箱组件、监测组件和加载组件,所述模型箱组件用于容纳试验器材并可视化模拟多角度断层工况、断层位错工况、地震动工况、断层位错和地震动共同作用工况;

所述监测组件用于实时拍摄试验过程图像并进行图像处理分析;

所述加载组件用于施加动力给模型箱组件以实现断层位错工况的模拟。

2. 根据权利要求1所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述模型箱组件包括外箱体(1),所述外箱体(1)内可拆卸地安装有活动块(2)和静止块(3),用于模拟断层不同断层倾角的上盘和下盘。

3. 根据权利要求2所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述外箱体(1)的顶部开口,所述外箱体(1)包括相对间隔设置的两块透明观察面板(101),所述两块透明观察面板(101)的两端分别通过第一端板(102)、第二端板(103)相连接,所述两块透明观察面板(101)的底部通过底板(104)相连接,所述第一端板(102)用于穿设安装静止块(3),所述第二端板(103)用于穿设安装活动块(2)。

4. 根据权利要求3所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述透明观察面板(101)由PMMA材料制成。

5. 根据权利要求3所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述底板(104)上开设有多个螺栓孔,用于将外箱体(1)固定安装在振动台上。

6. 根据权利要求3所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述活动块(2)包括第一侧板(201)、上盘底板(202)(104)、上盘接触板(203)、上盘支撑板(204)、用于连接加载组件的连接板(205)和用于加固的三角板(206),所述第一侧板(201)、上盘底板(202)(104)、三角板(206)和透明观察面板(101)一起构成容纳断层上盘一侧土体的空间,所述上盘支撑板(204)起支撑作用,以提升整个活动块(2)的刚度。

7. 根据权利要求6所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述静止块(3)包括第二左侧板(301)、下盘接触板(302)、下盘底板(303)(104)、开孔的第二右侧板(304)、侧面板(305)和十字形支撑板(306/307),所述下盘接触板(302)与上盘接触板(203)相对设置,用于降低模拟断层错动时接触面的摩擦,所述十字形支撑板(306/307)起支撑作用,以提升整个静止块(3)的刚度。

8. 根据权利要求1所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述监测组件包括工业摄像机(7)及其连接的计算机(6),所述工业摄像机(7)在计算机(6)控制下拍摄模型箱组件的实验过程图像,并将拍摄的图像传输至计算机(6)进行分析处理。

9. 根据权利要求2所述的一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,其特征不在于,所述加载组件包括电动推杆(4)及其连接的无级调速器(5),所述电动推杆(4)与活动块(2)相连接,并在无极调速器的驱动下推拉活动块(2)实现断层位错。

10. 一种应用如权利要求9所述多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统的多角度断层粘滑错动可视化振动试验方法,其特征不在于,包括:

模拟多角度断层工况——根据角度设置需求,在外箱体内更换安装对应倾角的活动块和静止块;

模拟断层位错工况——根据错动位移、错动速率和错动方向,由无级调速器驱动电动推杆推动或拉动活动块进行运动,以分别对应逆断层工况和正断层工况;

模拟地震工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作振动台控制系统,实现地震动从模型箱组件底部水平输入;

模拟断层位错和地震动共同作用工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作无级调速器控制电动推杆模拟断层位错,然后启动振动台控制系统输入地震动,实现对断层位错和地震动共同作用的模拟;

在上述各工况试验过程中,由工业摄像机捕捉上覆土层在断层错动作用下破裂以及与结构相互作用的全过程高清图像,并将其输入至计算机进行后处理,获得上覆土层的全场变形、速度和加速度分布图像。

一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及地震动响应模拟试验技术领域,尤其是涉及一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统及其方法。

背景技术

[0002] 据统计,我国境内至少存在近500条断裂带,其中多个大中城市的城区范围内均已发现活动断层存在的迹象,这些位于城市的断层大都被沉积物覆盖,潜伏在地表以下,一旦发生粘滑错动,将对城市的地面和地下结构造成巨大破坏,这也使得位于断层分布区的城市基础设施面临着断层粘滑错动的巨大潜在威胁。

[0003] 基于相似设计的模型试验能在确保安全的前提下,以最低的成本最大程度地再现原型的破坏全过程,克服了现场观测危险性高、难以重复的缺点,并且也免去了数值模拟计算量巨大的困难。因此,开展粘滑错动作用下的自由场、地面结构和地下结构的模型试验研究,对断层分布区的城市地下基础设施的防灾减灾具有重要作用。

[0004] 断层的粘滑错动主要包括断层位错和地震动两部分,两者的共同作用会加剧地下结构的破坏,目前开发的断层位错试验装置大多通过启动安装在装置外部的液压推进装置,以实现模拟断层错动的目的,若要研究断层的粘滑错动,还需要在试验装置中额外引入地震动。另外,现有关于断层区结构破坏机理的模型试验研究对象大多为岩质场地,试验装置的体积较大且无法观察模型箱内部情况,仅能在模型上布置各种接触式监测设备来获取试验数据。

[0005] 综上所述,当前的常规断层错动试验装置还存在以下不足:常规断层错动试验装置仅能模拟断层粘滑错动过程中的断层位错,不能模拟断层位错和地震动的共同作用;常规断层错动试验装置的体积通常很大,在操作和运维上存在困难;为了确保装置自身的承载能力,此类装置的制作材料大多十分厚重,虽然满足了模拟岩质场地的需求,但增加了装置自身的重量;此类装置由于大多由钢材制作而成,因此也牺牲了可视化观测的能力,试验数据的采集几乎全部依靠布置在模型箱内的接触式监测仪器,严重限制了测点的数量,不利于观察断层位错作用下上覆土层和结构的相互作用机制。

发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统及其方法,能够在较小体积下实现非接触的全场可视化监测,在传统监测手段的基础上,能够直观地进行变形传递机制的研究。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,包括模型箱组件、监测组件和加载组件,所述模型箱组件用于容纳试验器材并可视化模拟多角度断层工况、断层位错工况、地震动工况、断层位错和地震动共同作用工况;

[0008] 所述监测组件用于实时拍摄试验过程图像并进行图像处理分析;

- [0009] 所述加载组件用于施加动力给模型箱组件以实现断层位错工况的模拟。
- [0010] 进一步地,所述模型箱组件包括外箱体,所述外箱体内可拆卸地安装有活动块和静止块,用于模拟断层不同断层倾角的上盘和下盘。
- [0011] 进一步地,所述外箱体的顶部开口,所述外箱体包括相对间隔设置的两块透明观察面板,所述两块透明观察面板的两端分别通过第一端板、第二端板相连接,所述两块透明观察面板的底部通过底板相连接,所述第一端板用于穿设安装静止块,所述第二端板用于穿设安装活动块。
- [0012] 进一步地,所述透明观察面板由PMMA(polymethyl methacrylate,聚甲基丙烯酸甲酯)材料制成。
- [0013] 进一步地,所述底板上开设有多个螺栓孔,用于将外箱体固定安装在振动台上。
- [0014] 进一步地,所述活动块包括第一侧板、上盘底板、上盘接触板、上盘支撑板、用于连接加载组件的连接板和用于加固的三角板,所述第一侧板、上盘底板、三角板和透明观察面板一起构成容纳断层上盘一侧土体的空间,所述上盘支撑板起支撑作用,以提升整个活动块的刚度。
- [0015] 进一步地,所述静止块包括第二左侧板、下盘接触板、下盘底板、开孔的第二右侧板、侧面板和十字形支撑板,所述下盘接触板与上盘接触板相对设置,用于降低模拟断层错动时接触面的摩擦,所述十字形支撑板起支撑作用,以提升整个静止块的刚度。
- [0016] 进一步地,所述监测组件包括工业摄像机及其连接的计算机,所述工业摄像机在计算机控制下拍摄模型箱组件的实验过程图像,并将拍摄的图像传输至计算机进行分析处理。
- [0017] 进一步地,所述加载组件包括电动推杆及其连接的无级调速器,所述电动推杆与活动块相连接,并在无极调速器的驱动下推拉活动块实现断层位错。
- [0018] 一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验方法,包括:
- [0019] 模拟多角度断层工况——根据角度设置需求,在外箱体内更换安装对应倾角的活动块和静止块;
- [0020] 模拟断层位错工况——根据错动位移、错动速率和错动方向,由无级调速器驱动电动推杆推动或拉动活动块进行运动,以分别对应逆断层工况和正断层工况;
- [0021] 模拟地震动工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作振动台控制系统,实现地震动从模型箱组件底部水平输入;
- [0022] 模拟断层位错和地震动共同作用工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作无级调速器控制电动推杆模拟断层位错,然后启动振动台控制系统输入地震动,实现对断层位错和地震动共同作用的模拟;
- [0023] 在上述各工况试验过程中,由工业摄像机捕捉上覆土层在断层错动作用下破裂以及与结构相互作用的全过程高清图像,并将其输入至计算机进行后处理,获得上覆土层的全场变形、速度和加速度分布图像。
- [0024] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:
- [0025] 本发明设置模型箱组件、监测组件和加载组件,利用模型箱组件容纳试验器材并可视化模拟多角度断层工况、断层位错工况、地震动工况、断层位错和地震动共同作用工况;利用监测组件实时拍摄试验过程图像并进行图像处理分析;利用加载组件施加动力给

模型箱组件以实现断层位错工况的模拟。由此实现轻量化设计,能够在较小体积下实现非接触的全场可视化监测,整合了断层区地下结构模型试验的多种试验需求,实现了同一个试验装置模拟多种断层倾角工况下断层位错和地震动共同作用的功能、工况灵活。

[0026] 本发明设计模型箱组件包括外箱体,在外箱体内可拆卸地安装有活动块和静止块,用于模拟断层不同断层倾角的上盘和下盘,外箱体设置有透明观察面板,能够在试验过程中清晰观察到模型箱内部情况。

[0027] 本发明设计加载组件包括电动推杆及连接的无级调速器,以推动或拉动活动块进行运动,从而模拟出断层位错工况,再结合振动台输入地震动,从而有效实现对断层位错和地震动共同作用的模拟。

附图说明

[0028] 图1为本发明的系统结构示意图;

[0029] 图2为本发明中模型箱组件的结构示意图;

[0030] 图3为本发明中活动块的结构示意图;

[0031] 图4为本发明中静止块的结构示意图;

[0032] 图中标记说明:

[0033] 1、外箱体,2、活动块,3、静止块,4、电动推杆,5、无级调速器,6、计算机,7、工业摄像机,8、连接线缆,101、透明观察面板,102、第一端板,103、第二端板,104、底板,201、第一侧板,202、上盘底板,203、上盘接触板,204、上盘支撑板,205、连接板,206、三角板,301、第二左侧板,302、下盘接触板,303、下盘底板,304、第二右侧板,305、侧面板,306/307、十字形支撑板。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0035] 实施例

[0036] 如图1所示,一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验系统,包括模型箱组件、监测组件和加载组件,模型箱组件用于容纳试验器材并可视化模拟多角度断层工况、断层位错工况、地震动工况、断层位错和地震动共同作用工况;

[0037] 监测组件用于实时拍摄试验过程图像并进行图像处理分析;

[0038] 加载组件用于施加动力给模型箱组件以实现断层位错工况的模拟。

[0039] 其中,模型箱组件包括外箱体1,外箱体内可拆卸地安装有活动块2和静止块3,用于模拟断层不同断层倾角的上盘和下盘;

[0040] 监测组件包括工业摄像机7及其连接的计算机6,工业摄像机7在计算机6控制下拍摄模型箱组件的实验过程图像,并将拍摄的图像传输至计算机6进行分析处理。

[0041] 加载组件包括电动推杆4及其连接的无级调速器5,电动推杆4与活动块2相连接,并在无级调速器5的驱动下推拉活动块2实现断层位错。

[0042] 具体的,如图2所示,外箱体1的顶部开口,外箱体1包括相对间隔设置的两块透明观察面板101,两块透明观察面板101的两端分别通过第一端板102、第二端板103相连接,两块透明观察面板101的底部通过底板104相连接,第一端板102用于穿设安装静止块3,第二

端板103用于穿设安装活动块2,底板104上开设有多个螺栓孔,用于将外箱体1固定安装在振动台上。

[0043] 如图3所示,活动块2包括第一侧板201、上盘底板202、上盘接触板203、上盘支撑板204、用于连接加载组件的连接板205和用于加固的三角板206,第一侧板201、上盘底板202、三角板206和透明观察面板101一起构成容纳断层上盘一侧土体的空间,上盘支撑板204起支撑作用,以提升整个活动块2的刚度。

[0044] 如图4所示,静止块3包括第二左侧板301、下盘接触板302、下盘底板303、开孔的第二右侧板304、侧面板305和十字形支撑板306/307,下盘接触板302与上盘接触板203相对设置,用于降低模拟断层错动时接触面的摩擦,十字形支撑板306/307起支撑作用,以提升整个静止块3的刚度。

[0045] 基于上述系统,实现一种多角度断层粘滑错动可视化振动试验方法,包括:

[0046] 模拟多角度断层工况——根据角度设置需求,在外箱体1内更换安装对应倾角的活动块2和静止块3;

[0047] 模拟断层位错工况——根据错动位移、错动速率和错动方向,由无级调速器5驱动电动推杆4推动或拉动活动块2进行运动,以分别对应逆断层工况和正断层工况;

[0048] 模拟地震动工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作振动台控制系统,实现地震动从模型箱组件底部水平输入;

[0049] 模拟断层位错和地震动共同作用工况——将模型箱组件安装在振动台面上,操作无级调速器5控制电动推杆4模拟断层位错,然后启动振动台控制系统输入地震动,实现对断层位错和地震动共同作用的模拟;

[0050] 在上述各工况试验过程中,由工业摄像机7捕捉上覆土层在断层错动作用下破裂以及与结构相互作用的全过程高清图像,并将其输入至计算机6进行后处理,获得上覆土层的全场变形、速度和加速度分布图像。

[0051] 本实施例中,搭建用于模拟多角度断层粘滑错动的可视化振动台试验系统,主要包括外箱体1、活动块(装配可更换)2、静止块(装配可更换)3、电动推杆4、无级调速器5、监测用计算机6、工业摄像机7和连接线缆8。外箱体1为一个上部开口的箱体,由两块完整透明的PMMA制成的透明观察面板101、底部开口的第一端板102、中间挖空的第二端板103和开螺栓孔的底板104榫卯连接而成。活动块2由第一侧板201、上盘底板202、聚四氟乙烯制成的上盘接触板203、上盘支撑板204、连接推杆4的连接板205和用于加固的三角板206,各构件通过榫卯连接。静止块3由第二左侧板301、聚四氟乙烯制成的下盘接触板302、下盘底板303、开孔的第二右侧板304、侧面板305和十字形支撑板306/307构成,各构件通过榫卯连接。

[0052] 上述装置系统分为模型箱组件、监测组件和加载组件三部分,模型箱组件由外箱体1、活动块2和静止块3组成,监测组件由监测用计算机6、连接线缆8和工业摄像机7组成,加载组件由电动推杆4和无级调速器5组成。

[0053] 外箱体1、活动块2和静止块3:组成模型箱的主要部件,外箱体1用于将试验装置固定在振动台上并容纳所有的试验器材,模块化设计的活动块2和静止块3用于模拟断层不同断层倾角的上盘和下盘。

[0054] 电动推杆4:推动活动块2实现断层位错。

[0055] 无级调速器5:可按试验需求对电动推杆输出的速率进行无极调节。

- [0056] 监测用计算机6:控制工业摄像机7进行拍摄并记录数据。
- [0057] 工业摄像机7:对试验对象的全场变形进行实时记录。
- [0058] 连接线缆8:连接试验装置中的各个设备。
- [0059] 透明观察面板101:采用完整透明的PMMA材料制成,具有高透光性能,可在试验过程中观察到模型箱内部情况。
- [0060] 第一端板102和第二端板103:构成外箱体1的主要部分,板面开口用于进行器材的安装和设备的操作。
- [0061] 底板104:构成外箱体1的主要部分,板上开有螺栓孔用于将外箱体1固定在振动台上。
- [0062] 第一侧板201、上盘底板202和三角板206:和透明观察面板101一起构成容纳断层上盘一侧土体的空间。
- [0063] 上盘接触板203和下盘接触板302:用于降低装置模拟断层错动时接触面的摩擦。
- [0064] 上盘支撑板204:起支撑作用,提升活动块2的刚度。
- [0065] 连接板205:连接电动推杆4和活动块2。
- [0066] 第二左侧板301、下盘底板303、第二右侧板304、侧面板305:静止块3的主要组成部分,第二右侧板304留有开孔方便在内部空间进行操作。
- [0067] 十字形支撑306/307:起支撑作用,提升静止块3的刚度。
- [0068] 本方案通过对开展断层错动模型箱试验的研究目的进行调查发现,相关研究主要针对上覆土层破裂、地表影响范围和地下结构破坏等展开。因此除了在模型上布置传感器监测土压力和结构内力等响应外,获取上覆土层的变形场分布也尤为重要。本方案通过轻量化设计,在较小体积下实现了非接触的全场可视化监测,在传统监测手段的基础上,可更直观地进行变形传递机制的研究。
- [0069] 在模拟多角度断层粘滑错动时,通过安装对应倾角的装配可更换活动块2和静止块3,可以模拟不同角度的断层工况;在模拟断层位错时,将计划输入的错动位移、错动速率和错动方向通过无级调速器5转换成电动推杆4能接收的信号,电动推杆4接收到信号后即按试验方案要求推进或拉伸活动块2进行运动,分别对应逆断层工况和正断层工况;在模拟地震动时,将整套试验装置通过底板104与振动台台面栓接,操作振动台控制系统,实现地震动从模型底部水平输入;在模拟断层位错和地震动共同作用时,将整套试验装置通过底板104与振动台台面栓接,操作无级调速器5控制电动推杆4模拟断层位错,然后启动振动台输入地震动,实现对断层位错和地震动共同作用的模拟。
- [0070] 在试验过程中,工业摄像机7通过连接线缆8与监测用计算机6连接,工业摄像机7可以捕捉上覆土层在断层错动作用下破裂和与结构相互作用的全过程高清图像,并将其输入至监测用计算机6进行后处理,获得上覆土层的全场变形、速度和加速度分布图像。
- [0071] 试验结束后,由于本试验装置采用轻量化的PMMA材料制作,同时采用榫卯连接设计,后续可以方便快速的进行拆除和保存。
- [0072] 综上所述,本方案立足现有技术的发展情况,从模拟断层粘滑错动的科研需求出发,以实现不同倾角断层的断层位错和地震动共同作用并实现可视化监测为目标,采用轻量化的高透光材料PMMA(透光率达到92%)打造试验装置,并配套现有的振动台和DIC监测系统,打造了一种模拟可更换多角度断层粘滑错动的可视化振动台试验系统,所设计的装

置易于加工且耐腐蚀性强,在确保试验装置能实现模拟断层粘滑错动的前提下,也能实现非接触式的全场监测,能最大程度地满足多角度断层粘滑错动作用下地下结构破坏机理的研究需要,具有以下优点:

[0073] (1) 可模拟多角度断层粘滑错动:整合了断层区地下结构模型试验的多种试验需求,实现了同一个试验装置模拟多种断层倾角工况下断层位错和地震动共同作用的功能,工况灵活。通过安装模块化的活动块和静止块实现对模型断层倾角的调节;将装置安装在振动台上,先后启动电动推杆与振动台控制系统,实现对断层位错和地震动共同作用的模拟。大大提升了单个试验装置的应用场景。

[0074] (2) 装置内部可视化:当前的试验装置大多针对岩质场地,对试验装置的刚度要求较高,且这些装置设计之初就仅考虑了接触式监测的需求,无法采用DIC等非接触式的可视化监测手段。本方案基于研究隐伏断层错动作用下上覆土层和结构变形传递的需求出发,设置了PMMA制的高透明观测窗,不仅可以进行接触式监测,还可以进行非接触式的DIC监测,大大拓宽了试验装置应用场景。

[0075] (3) 试验后的快速整备:当前的试验装置大多由钢材焊接制作,在体积和质量上都不便于搬运和整备,需要一个长期固定的场地进行存放。本方案的试验装置采用轻量化的PMMA材料制作,大大降低了装置的自重。同时装置采用了榫卯设计,拆卸方便,在试验结束后可轻松进行整备,大大降低了使用和维护装置的场地成本。

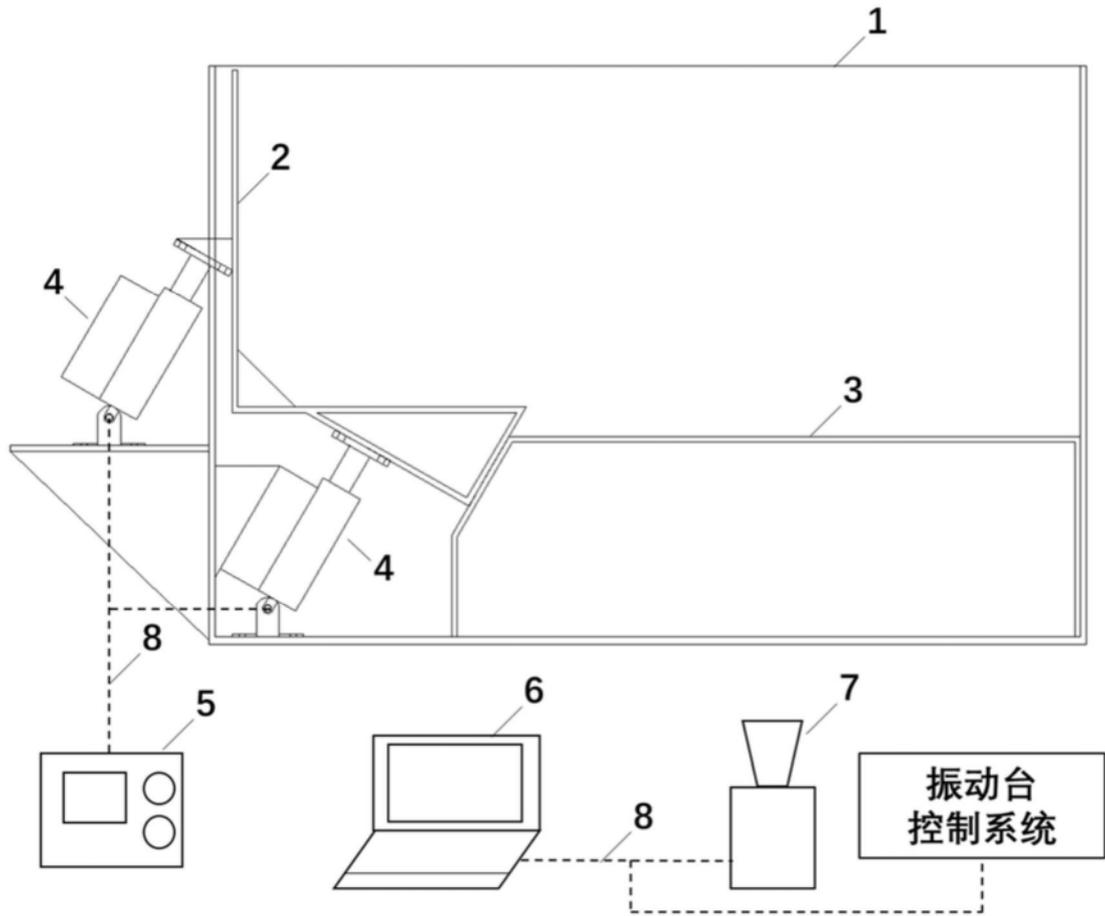


图1

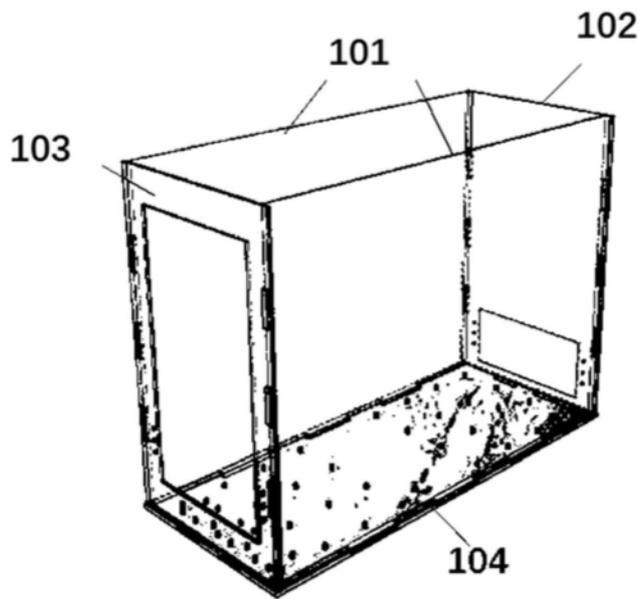


图2

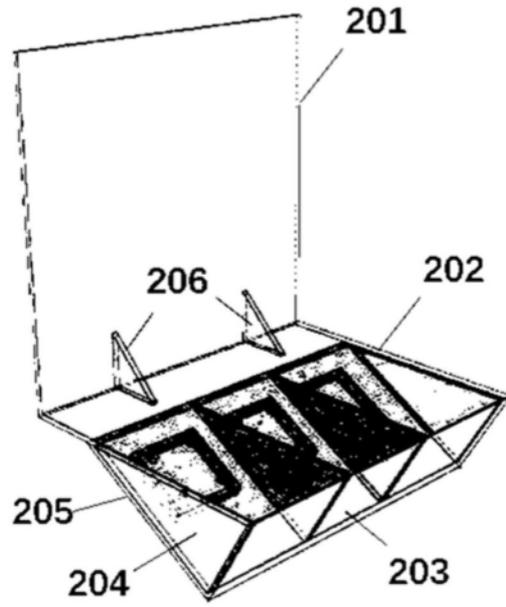


图3

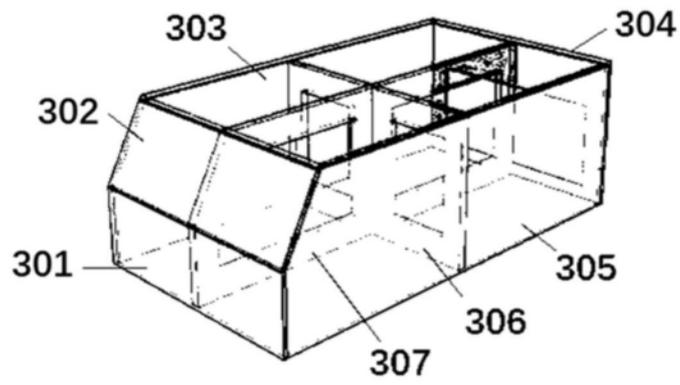


图4