



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116718541 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 31

(21) 申请号 202310952742.3

G01N 23/046 (2018.01)

(22) 申请日 2023.08.01

G01N 33/24 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116718541 A

(56) 对比文件

CN 111398067 A, 2020.07.10

CN 111796072 A, 2020.10.20

(43) 申请公布日 2023.09.08

CN 113552317 A, 2021.10.26

(73) 专利权人 中国地质科学院地质力学研究所

CN 115963244 A, 2023.04.14

地址 100081 北京市海淀区民族学院南路
11号

CN 116046307 A, 2023.05.02

CN 116296191 A, 2023.06.23

(72) 发明人 高少华 李滨 高杨 万佳威

CN 116429592 A, 2023.07.14

李军 张田田 高浩源 李浩文

US 11585802 B1, 2023.02.21

US 2015068319 A1, 2015.03.12

(74) 专利代理机构 北京安瑞克专利代理事务所

(特殊普通合伙) 11902

US 2019250291 A1, 2019.08.15

专利代理师 郭红梅

刘汉香; 许强; 徐鸿彪; 邹威. 斜坡动力变形破坏特征的振动台模型试验研究. 岩土力学. 2011, (第S2期), 全文.

(51) Int. Cl.

G01N 19/00 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

审查员 刘少帅

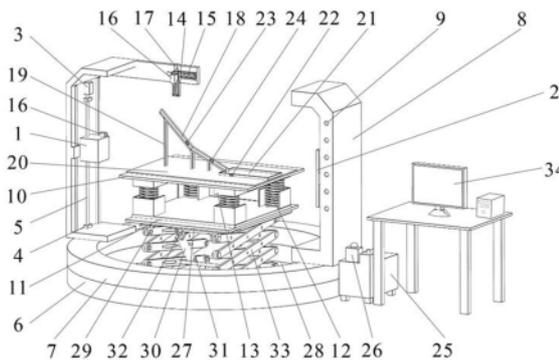
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法,所述系统包括:扫描重建系统,振动测试系统,图像采集系统,模拟实验系统,油压传动系统以及智能数控系统,同时公开了试验操作步骤。本发明可以模拟地震荷载或不同波形动态扰动下高位滑坡变形及运动全过程,通过振动测试系统和油压传动系统,实现对模拟实验系统的振动应力扰动。通过图像采集系统获得高位滑坡失稳启滑-运动-停积过程全时序高清图像,通过扫描重建系统和智能数控系统实现动力扰动下滑坡失稳运动全过程实时透明化和数字化表征,试验结果可为地震扰动作用下高位远程滑坡运动及动力学研究提供依据。



1. 一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统,其特征在于,包括:扫描重建系统,振动测试系统,图像采集系统,模拟实验系统,油压传动系统以及智能数控系统,其中

所述模拟实验系统,用于模拟高位崩滑体启动、滑移、抛射、碰撞、停积运动及动力学过程;

所述扫描重建系统,用于对所述模拟实验系统进行实时CT扫描重建,通过对高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程崩滑体中冰岩土体及滑槽下伏边界层进行实时CT扫描成像,得到地震扰动下高位滑坡崩滑体中冰岩土体内部结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数;

所述振动测试系统,用于测试和记录高频振动数据的设备组合,通过调节振动参数,进行模拟地震动触发高位滑坡工况;

所述图像采集系统,用于采集试验过程中模拟实验系统的动态变化图像;

所述油压传动系统,用于为振动测试系统和扫描重建系统提供动力来源;

所述智能数控系统,用于发送指令,控制协调各系统工作,以及三维重建高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程;

其中,所述扫描重建系统包括:X射线源、平板探测器、驱动电机、限位传感器、传动杆、环形导轨、旋转圆台及垂直立架,其中,所述旋转圆台安装于环形导轨上部,垂直立架装配于旋转圆台两侧,X射线源与平板探测器分别位于两侧传动杆上且工作状态下处于同一水平位置,两侧传动杆安装在两侧垂直立架中央,传动杆上方连接驱动电机,下方连接限位传感器;

其中,所述图像采集系统固定在所述扫描重建系统的垂直立架上,包括:移动机架、滑轨、高速摄像机及伺服电机,其中,所述高速摄像机安装于移动立架上,通过伺服电机驱动进而实现在滑轨上移动;

其中,所述振动测试系统包括:振动载台、振动台基座、激振弹簧及振动垫,其中,所述激振弹簧下方与振动台基座直接相连,激振弹簧上方通过振动垫与振动载台连接;

其中,所述模拟实验系统位于振动载台上方,包括:滑槽、支撑柱、试验平台及停积平台,其中,所述试验平台固定在振动载台上方,停积平台固定于试验平台上方,滑槽下端与停积平台连接,支撑柱两端分别连接滑槽与试验平台,用于支撑滑槽;

其中,所述模拟实验系统还包括:微震传感器、位移传感器和孔隙水压力传感器,所述位移传感器和孔隙水压力传感器安装于滑槽两侧,微震传感器安装于停积平台上。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述油压传动系统包括:油源、动力控制器、升降台顶板、升降台底板、固定铰座、液压缸、液压缸盖、液压缸活塞、剪叉臂,其中,所述升降台顶板、升降台底板、固定铰座、液压缸、液压缸盖、液压缸活塞、剪叉臂组成升降台,升降台顶板位于振动台基座下方,剪叉臂上方通过固定铰座与升降台顶板连接,下方与升降台底板连接,动力控制器安装于油源上,油源通过管线与升降台、旋转圆台、振动台连接,液压缸盖位于振动缸端部,液压缸、液压缸活塞、液压缸盖相互连接形成一个整体。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述环形导轨、旋转圆台、升降台顶板、升降台底板、振动载台、振动台基座及试验平台各中心在同一铅垂线上。

4. 一种应用权利要求1~3任一系统进行模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化的方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1: 确定试验参数, 所述试验参数包括: 试验所需滑源区高位崩滑体物源颗粒粒径、颗粒材料、滑动距离、启动高度、试验模型与原型的几何相似比以及力学参数;

S2: 依据相似理论对试验参数进行量纲分析, 选择崩滑体材料和滑槽基底材料, 按材料相似比制备高位崩滑体模型, 其中崩滑体材料主要由冰岩土体组成;

S3: 在各系统部件上电并调整到预设位置后, 启动X射线源, X射线源出束, 平板探测器接收, 旋转圆台在环形导轨上转动, 实现对初始崩滑体内部结构的扫描重建, 同时高速摄像机进行工作, 捕捉记录高位滑坡前冰岩土体宏观形态特征;

S4: 根据输入的振动波形参数, 开启激振弹簧推动振动载台做增幅、减幅振动;

S5: 旋转圆台持续在环形导轨上转动扫描, 扫描重建系统将收集反射回来的X射线转换为电子信号, 发送到计算机, 实时获取地震扰动下崩滑体中冰岩土体结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数;

S6: 记录试验数据;

调整试验参数, 重复上述步骤S1-S6, 开展多组试验;

S7: 对扫描重建系统的扫描数据进行处理, 获取三维体数据;

S8: 对获取的三维体数据进行处理分析, 获得不同试验参数下崩滑体失稳启滑-运动-停积全演化过程, 实现透明化精细展示。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其特征在于, 所述调整试验参数包括:

改变地震波形、颗粒级配、粒径结构、含冰量、滑槽高度和/或滑槽坡度。

模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于地质灾害研究领域,具体涉及一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法。

背景技术

[0002] 地震是人类面临的主要自然灾害之一,其突发性强、影响面广、危害性大。地震不仅本身危害巨大,其引发的一系列次生灾害同样对工程建设及人类活动造成严重影响。地震滑坡就是其中一种次生地质灾害,它是地震动条件下山坡突然崩塌和滑动的结果。在高原及周边,由地震触发的滑坡灾害与中低海拔地区明显不同,具有“高位远程”等特点,表现出超常规的动力学特性,严重威胁人类生命财产安全。

[0003] 高位远程滑坡动力学理论及机理一直是国际灾害领域研究的难点及热点。目前许多学者通过沉积学、地貌学、流体力学、颗粒流力学等多学科融合,运用现场考察、物理实验、理论分析、数值模拟等多手段协同,提出了空气润滑、剪切液化、摩擦生热、侵蚀裹挟、颗粒流、振动悬浮等理论假说,但均没有一种理论或假说得到广泛推广,数值模拟也不能完全反应真实情况。

[0004] 地震诱发的高位滑坡危害巨大,目前开展的研究多局限于观察地质体的表观破坏形态。其中,关于高位崩滑体在地震扰动作用下冰岩土体的互馈致灾规律、冰岩土体颗粒结构形态变化、颗粒运动过程中边界层铲刮机理研究非常薄弱。因此,针对此类灾害亟需进一步深入探讨研究。

发明内容

[0005] 为解决上述技术问题,本发明实施例提供了一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化方法及系统,以解决现有技术提出的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本发明实施例采用如下技术方案:

[0007] 本发明实施例提供一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统,包括:扫描重建系统,振动测试系统,图像采集系统,模拟实验系统,油压传动系统以及智能数控系统,其中

[0008] 所述模拟实验系统,用于模拟高位崩滑体启动、滑移、抛射、碰撞、停积运动及动力学过程;

[0009] 所述扫描重建系统,用于对所述模拟试验系统进行实时CT扫描重建,通过对高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程崩滑体中冰岩土体及滑槽下伏边界层进行实时CT扫描成像,得到地震扰动下高位滑坡崩滑体中冰岩土体内部结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数;

[0010] 所述振动测试系统,用于测试和记录高频振动数据的设备组合,通过调节振动参数,进行模拟地震动触发高位滑坡工况;

[0011] 所述图像采集系统,用于采集试验过程中模拟实验系统的动态变化图像;

[0012] 所述油压传动系统,用于为振动测试系统和扫描重建系统提供动力来源;

[0013] 所述智能数控系统,用于发送指令,控制协调各系统工作,以及三维重建高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程。

[0014] 其中,所述扫描重建系统包括:X射线源、平板探测器、驱动电机、限位传感器、传动杆、环形导轨、旋转圆台及垂直立架,其中,所述旋转圆台安装于环形导轨上部,垂直立架装配于旋转圆台两侧,X射线源与平板探测器分别位于两侧传动杆上且工作状态下处于同一水平位置,两侧传动杆安装在两侧垂直立架中央,传动杆上方连接驱动电机,下方连接限位传感器。

[0015] 其中,所述图像采集系统固定在所述扫描重建系统的垂直立架上,包括:移动机架、滑轨、高速摄像机及伺服电机,其中,所述高速摄像机安装于移动立架上,通过伺服电机驱动进而实现在滑轨上移动。

[0016] 其中,所述振动测试系统包括:振动载台、振动台基座、激振弹簧及振动垫,其中,所述激振弹簧下方与振动台基座直接相连,激振弹簧上方通过振动垫与振动载台连接。

[0017] 其中,所述模拟实验系统位于振动载台上方,包括:滑槽、支撑柱、试验平台及停积平台,其中,所述试验平台固定在振动载台上方,停积平台固定于试验平台上方,滑槽下端与停积平台连接,支撑柱两端分别连接滑槽与试验平台,用于支撑滑槽。

[0018] 其中,所述模拟实验系统还包括:微震传感器、位移传感器和孔隙水压力传感器,所述位移传感器和孔隙水压力传感器安装于滑槽两侧,微震传感器安装于停积平台上。

[0019] 其中,所述油压传动系统包括:油源、动力控制器、升降台顶板、升降台底板、固定铰座、液压缸、液压缸盖、液压缸活塞、剪叉臂,其中,所述升降台顶板、升降台底板、固定铰座、液压缸、液压缸盖、液压缸活塞、剪叉臂组成升降台,升降台顶板位于振动台基座下方,剪叉臂上方通过固定铰座与升降台顶板连接,下方与升降台底板连接,动力控制器安装于油源上,油源通过管线与升降台、旋转圆台、振动台连接,液压缸盖位于振动缸端部,液压缸、液压缸活塞、液压缸盖相互连接形成一个整体。

[0020] 其中,所述环形导轨、旋转圆台、升降台顶板、升降台底板、振动载台、振动台基座及试验平台各中心在同一铅垂线上。

[0021] 本发明另一实施例还提供一种应用上述任一系统进行模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化的方法,包括如下步骤:

[0022] S1:确定试验参数,所述试验参数包括:试验所需滑源区高位崩滑体物源颗粒粒径、滑动距离、试验模型与原型的几何相似比以及力学参数;

[0023] S2:依据相似理论对试验参数进行量纲分析,选择崩滑体材料和滑槽基底材料,按材料相似比制备高位崩滑体模型,其中崩滑体材料主要由冰岩土体组成;

[0024] S3:在各系统部件上电并调整到预设位置后,启动X射线源,X射线源出束,平板探测器接收,旋转圆台在环形导轨上转动,实现对初始崩滑体内部结构的扫描重建,同时高速摄像机进行工作,捕捉记录高位滑坡前冰岩土体宏观形态特征;

[0025] S4:根据输入的振动波形参数,开启激振弹簧推动振动载台做增幅、减幅振动;

[0026] S5:旋转圆台持续在环形导轨上转动扫描,扫描重建系统将收集反射回来的X射线转换为电子信号,发送到计算机,实时获取地震扰动下崩滑体中冰岩土体结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数;

- [0027] S6:记录试验数据;
- [0028] 调整试验参数,重复上述步骤S1-S6,开展多组试验;
- [0029] S7:对扫描重建系统的扫描数据进行处理,获取三维体数据;
- [0030] S8:对获取的三维体数据进行处理分析,获得不同试验参数下崩滑体失稳启滑-运动-停积全演化过程,实现透明化精细展示。
- [0031] 其中,所述调整试验参数包括:
- [0032] 改变地震波形、颗粒级配、粒径结构、含冰量、滑槽高度和/或滑槽坡度。
- [0033] 本发明实施例具有如下有益效果:
- [0034] 本发明实施例提供的模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法可以模拟地震荷载或不同波形动态扰动下滑坡变形及运动全过程,结合CT扫描技术和图像采集技术,观察冰体-岩体-土体内部及与边界层相互作用情况,实现动力扰动下滑坡失稳运动全过程实时数字化和可视化表征。
- [0035] 当然,实施本发明的任一产品或方法并不一定需要同时达到以上所述的所有优点。

附图说明

[0036] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来说,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他附图。

- [0037] 图1为本发明实施例地震扰动下高位滑坡三维动态可视化模拟系统结构示意图;
- [0038] 图2为本发明实施例的扫描重建系统结构示意图;
- [0039] 图3为本发明实施例的振动测试系统结构示意图;
- [0040] 图4为本发明实施例的图像采集系统结构示意图;
- [0041] 图5为本发明实施例的模型试验系统结构示意图;
- [0042] 图6为本发明实施例的升降台结构示意图;
- [0043] 图7为本发明实施例地震扰动下高位滑坡三维动态可视化模拟方法流程图;
- [0044] 其中,图中各标号所表示的部件明细如下:
- [0045] 1-X射线源;2-平板探测器;3-驱动电机;4-限位传感器;5-传动杆;6-环形导轨;7-旋转圆台;8-垂直立架;9-散热孔;10-振动载台;11-振动台基座;12-激振弹簧;13-振动垫;14-移动机架;15-滑轨;16-高速摄像机;17-伺服电机;18-滑槽;19-支撑柱;20-试验平台;21-停积平台;22-微震传感器;23-位移传感器;24-孔隙水压力传感器;25-油源;26-动力控制器;27-升降台顶板;28-升降台底板;29-固定铰座;30-液压缸;31-液压缸盖;32-液压缸活塞;33-剪叉臂;34-计算机。

具体实施方式

[0046] 下面结合附图及具体的实施例对本发明进行进一步介绍。显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。需要说明的是,在不冲突的情况

下,本发明中的实施例及实施例中的特征也可以相互组合。

[0047] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。在本发明的描述中,术语“第一”、“第二”、“第三”、“第四”等仅用于区分描述,而不能理解为只是或暗示相对重要性。

[0048] 本发明实施例提供一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统,该系统用于实现震动扰动作用下高位崩滑体失稳启滑-运动-停积全过程的透明化和数字化。如图1中所示为所述系统结构示意图,该系统主要包括:扫描重建系统、振动测试系统、图像采集系统、模型试验系统、油压传动系统以及智能数控系统。

[0049] 其中,所述扫描重建系统用于对所述模拟试验系统进行实时CT扫描重建,通过对高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程崩滑体中冰岩土体及滑槽下伏边界层进行实时CT扫描成像,得到地震扰动下高位滑坡崩滑体中冰岩土体内部结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数;

[0050] 所述振动测试系统,用于测试和记录高频振动数据的设备组合,通过调节振动参数进行模拟地震动触发高位滑坡工况,具有高性能、高稳定性、高可靠性特征;所述振动参数包括:振动方向、振幅、频率等。

[0051] 所述图像采集系统用于采集试验全过程中模拟实验系统的动态变化图像,包括采集记录高位滑坡失稳启滑、高速运动、远程堆积全过程图像,具有360°全角度采集、高精度、高分辨率等特征。

[0052] 所述模拟实验系统,用于模拟高位崩滑体启动、滑移、抛射、碰撞、停积运动及动力学过程,通过物理模型试验方法,揭示高位滑坡在不同岩体结构、不同物质组成、不同边界条件下的边界层效应及碎屑流化机理。具有可重复性强、直观性好等特点;

[0053] 所述油压传动系统,用于提供整个装置的动力来源,包括为振动测试系统和扫描重建系统提供动力来源,将机械能转换为液体压力能,实现动力驱动和传递。

[0054] 所述智能数控系统用于发送指令,控制协调各系统工作,以及三维重建高位滑坡失稳启滑-运动-停积全过程,实现应力波扰动作用下高位滑坡破坏过程的透明化、数字化和信息化表征。

[0055] 如图2中所示,为本发明一个实施例所述扫描重建系统结构示意图,所述扫描重建系统包括:X射线源1、平板探测器2、驱动电机3、限位传感器4、传动杆5、环形导轨6、旋转圆台7、垂直立架8及散热孔9。所述旋转圆台7安装于环形导轨6上部,垂直立架8装配于旋转圆台7两侧,散热孔9竖向分布排列在垂直立架8上,X射线源1与平板探测器2分别位于两侧的传动杆5上,工作运行状态下两者处于同一水平位置,两侧传动杆5安装在两侧垂直立架8中央,传动杆5上方连接驱动电机3,下方连接限位传感器4。

[0056] 所述旋转圆台7与环形导轨6之间可以采用稳定磁悬浮技术,可进行360°全方位旋转扫描,无需电缆线连接的磁驱输送控制系统,避免了布线杂乱和线路缠绕问题。所述X射线源采用高亮度液态靶X射线源,可获得更高X射线通量,产生超高质量焦斑,发射稳定性及空间稳定性好。所述平板探测器采2用超导纳米光子计数探测器,在光子水平上对X射线能量进行识别与计数,具有高图像对比度与高空间分辨率。通过CT扫描重建对高位滑坡失稳启滑到堆积过程冰岩土体进行高分辨率、无损、4D、量化、精细化地成像,得到其内部组构

空间演化信息。所述传动杆5采用精研高精度、低摩擦丝杠,通过交流电机驱动,实现X射线源1及平板探测器2在传动杆5上快速、平稳的升降。传动杆5下方设置限位传感器4,确保X射线源及平板探测器2高精度安全升降。

[0057] 如图3所述,为本发明一个实施例所述振动测试系统结构示意图,该系统包括:振动载台10、振动台基座11、激振弹簧12、振动垫13,激振弹簧12下方与振动台基座11直接相连,激振弹簧12上方通过振动垫11与振动载台10连接。所述激振弹簧12可实现多方向、多自由度调节控制,既具有传动作用,又能够减震缓冲,满足不同频率与振幅需要。激振弹簧12与振动载台10通过振动垫13连接,以增加激振弹簧12与振动载台10接触面积,使得地震波更加均匀传递。本发明采用振动测试系统,通过地震波的加载,模拟振动扰动环境,提高试验结果在地震频发高发地区的应用价值。

[0058] 如图4所述,为本发明一个实施例所述图像采集系统结构示意图,所述图像采集系统固定在一侧的垂直立架8上,该系统包括:移动机架14、滑轨15、高速摄像机16、伺服电机17。高速摄像机16安装于移动立架14上,通过伺服电机17驱动进而在滑轨15上横向移动。在伺服电机17驱动下高速摄像机16可沿滑轨15横向移动同时在移动机架14上上下下运动,进行实时无压缩目标捕捉,具有图像快速记录、即时回放、图像直观清晰、系统独立工作等特点,将崩滑体高速运动发生、发展和运动规律进行清晰成像。

[0059] 如图5所述,为本发明一个实施例所述模型试验系统结构示意图,该系统位于振动载台10上方,包括滑槽18、支撑柱19、试验平台20、停积平台21,试验平台20固定在振动载台10上方,停积平台21固定于试验平台20上方,滑槽18下端与停积平台21连接,支撑柱19两端分别连接滑槽18与试验平台20,用于支撑滑槽18。

[0060] 所述模型试验系统还可以包括:微震传感器22、位移传感器23、孔隙水压力传感器24,用于检测崩滑体碎屑流参数变化,记录物理力学演化特征。其中,所述位移传感器23和孔隙水压力传感器24安装于滑槽18两侧,微震传感器22安装于停积平台21上。其中,滑槽18采用“U”型或“V”型设计,滑槽18采用高性能特种透明装甲板,通过冷加工及特种热加工方式制作,具有光学透明、无视觉偏角及光学畸变、超高强韧度、超高强度、超高抗蠕变及抗冲击性等特点,机械性能及物理性能突出,较金属材料既能满足可视化等基本实验要求,也能很好的减少X射线能量强衰减情况。如图5中所示,所述滑槽18采用“两段式”组合设计,可自由变换滑槽坡度,开展不同坡体坡度的物理模型试验,更加贴近真实地形环境。

[0061] 所述油压传动系统包括油源25、动力控制器26、升降台顶板27、升降台底板28、固定铰座29、液压缸30、液压缸盖31、液压缸活塞32、剪叉臂33。其中升降台顶板27、升降台底板28、固定铰座29、液压缸30、液压缸盖31、液压缸活塞32、剪叉臂33组成升降台。如图6所示为本发明一个实施例所述升降台结构示意图,其中的升降台顶板27位于振动台基座11下方,剪叉臂33上方通过固定铰座29与升降台顶板27连接,下方与升降台底板28连接。动力控制器26安装于油源25上,油源25通过管线与升降台、旋转圆台7、振动载台10连接。液压缸盖31位于液压缸30端部,液压缸30、液压缸活塞32、液压缸盖31相互连接形成一个整体,液压缸30是油压传动系统执行元件,将液压能转换为机械能,实现升降台顶板27的升降运行。

[0062] 所述智能数控系统包括计算机34,该计算机34可以为台式机,也可以为笔记本电脑等其他智能设备,本发明对此不做限制。

[0063] 在实验过程中,所述环形导轨6、旋转圆台7、升降台顶板27、升降台底板28、振动载

台10、振动台基座11、试验平台20各中心保持在同一铅垂线上,避免试验装置因自身位移而造成伪像,降低试验误差,提高了系统的稳定性、可靠性、准确性。

[0064] 进行实验时,首先计算机34启动,油源25阀门打开,扫描重建系统、振动测试系统、图像采集系统上电预热。按照实验需求调节支撑柱19高度以及滑槽18坡度。调整升降台顶板27、X射线源1、平板探测器2、高速摄像机16位置,便于数据采集,将预制崩滑体物源置于滑槽18顶部。启动扫描重建系统,旋转圆台7带动垂直立架8在环形导轨6上转动,X射线源1发射X射线,X射线穿过实验模型被平板探测器2接收,实现对滑前冰岩土体扫描重建。通过计算机34接收地震波波形并启动振动测试系统,旋转圆台7继续高速旋转,实现高位滑坡模型边振动边扫描。同时,高速摄像机16连续工作,对高位崩滑体破坏前及破坏后全过程进行记录。实验结束后,对数据整理分析,三维重建高位滑坡启滑-运动-停积全过程,实现全链条的透明化和数字化。

[0065] 利用本发明实施例所述地震扰动下高位滑坡三维动态可视化模拟系统,可以实现全数字控制技术,对高位滑坡体进行了三维定量表征,对崩滑体不同组分进行数量统计分析和空间展布分析,实现堆积体各类组分占有率和占有体积、分形维数等各类数据的量化,提供了堆积体物性参数。

[0066] 本发明实施例还提供一种应用上文所述系统进行地震扰动下高位滑坡三维动态可视化模拟的方法,如图7所示为所述方法流程图,该方法包括如下步骤:

[0067] S1:确定试验参数,所述试验参数包括:试验所需滑源区高位崩滑体颗粒粒径、颗粒材料、滑动距离、启动高度、试验模型与原型的几何相似比以及力学参数;

[0068] S2:依据相似理论对试验参数进行量纲分析,选择崩滑体材料和滑槽基底材料,按材料相似比制备高位崩滑体模型,其中崩滑体材料主要由冰岩土体组成;

[0069] S3:在各系统部件上电并调整到预设位置后,启动X射线源,X射线源出束,平板探测器接收,旋转圆台在环形导轨上转动,实现对初始崩滑体内部结构的扫描重建,同时高速摄像机进行工作,捕捉记录滑坡前高位冰岩土体宏观形态特征;

[0070] 所述各系统部件上电并调整到预设位置的操作包括:安装传感器并将模型试验系统整体置于振动载台上,高位崩滑体模型根据设计高度及滑程安装在滑槽顶部。闭合配电柜总电源,各系统依次上电,检查设备运转是否正常等。

[0071] S4:根据振动波形参数,开启激振弹簧推动振动载台做增幅、减幅振动;也就是在计算机接收到振动波形参数后,合上振动开关,振动载台开始工作。所述振动波形参数可以通过计算机接收。

[0072] S5:旋转圆台持续在环形导轨上转动扫描,扫描重建系统将收集反射回来的X射线转换为电子信号,发送到计算机,实时获取地震扰动下冰岩土体内部结构变化数据及冰岩土体与边界层相互作用过程参数,包括获取:冰岩土体内部结构破裂、颗粒运动对边界层铲刮过程、堆积体内部垂向及滑向层序等投影数据;

[0073] S6:记录试验数据;所述试验数据包括但不限于:地震动方向、振幅、频率、持续时间、材料粒径结构、滑槽边界摩擦系数等参数。

[0074] 上述步骤S1-S6为一次震动扰动下高位滑坡CT扫描测试过程,通过调整试验参数,重复上述步骤S1-S6,进行多次试验,可以获得多组试验数据;例如,需调整的试验参数包括:地震波形、颗粒级配、粒径结构、含冰量、滑槽高度、坡度等。所述试验次数可以根据需要

确定,在完成预设次数试验后停止试验。

[0075] S7:对扫描重建系统扫描数据精细化处理,获取三维体数据;

[0076] 例如,可以利用重建软件将扫描数据进行反投影计算,去除噪声、滤波,减少环形伪影,对高位滑坡失稳全过程三维数字化重构。

[0077] S8:对获取的三维体数据进行处理分析,获得试验参数下崩滑体失稳启滑停积过程,实现透明化精细展示。

[0078] 具体的,可以获取到不同振动等级、不同滑体材料、不同地形参数条件下崩滑体失稳停积演化过程,从而数字化展示高位滑坡失稳运动过程中内部冰岩体结构变化及颗粒与边界层侵蚀铲刮过程。

[0079] 通过对高位冰岩土体失稳启滑-运动-停积全过程量化分析,实现高位滑坡失稳运动过程可视化监测。

[0080] 上述各试验结束后,关闭各系统电源,并清理滑槽及试验平台。

[0081] 本发明实施例所述的一种模拟地震扰动下高位滑坡三维动态可视化系统及方法,用于模拟振动效应对高位物源失稳启滑、远程运动、停止堆积的影响。基于超导纳米光子计数探测器新型高能扫描重建系统,结合高速成像与X射线CT技术,不仅能够记录监测高位冰岩土体对地震扰动的宏观响应特性,同时能够实时获取失稳及运动过程中崩滑体结构形态演化、崩滑体与滑槽下伏边界层作用过程、高位滑坡停止堆积后堆积体内部粒序排列情况的高清CT图像,进而对启滑-运动-停积全过程进行三维重构,实现全链条可视化和数字化表征,有助于揭示地震作用下,高位滑坡运动过程冰岩土体各颗粒之间的摩擦、碰撞、挤压及颗粒与复杂运动路径的相互作用规律,三维追踪监测冰岩土体解体破碎过程中粒径的演化过程,探究水-土-冰-岩耦合过程对崩滑体流态相变的影响机制,厘清颗粒流传播及能量耗散机理,揭示高位滑坡高流动性特征的物理力学过程,实现动态失稳演变全过程的透明化、数字化、可视化表征。

[0082] 以上描述仅为本发明的较佳实施例以及对所运用技术原理的说明,并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的优选实施例。本领域技术人员应当理解,本发明中所涉及的发明范围,并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案,同时也应涵盖在不脱离所述发明构思的情况下,由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。基于本发明的实施例,本领域技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

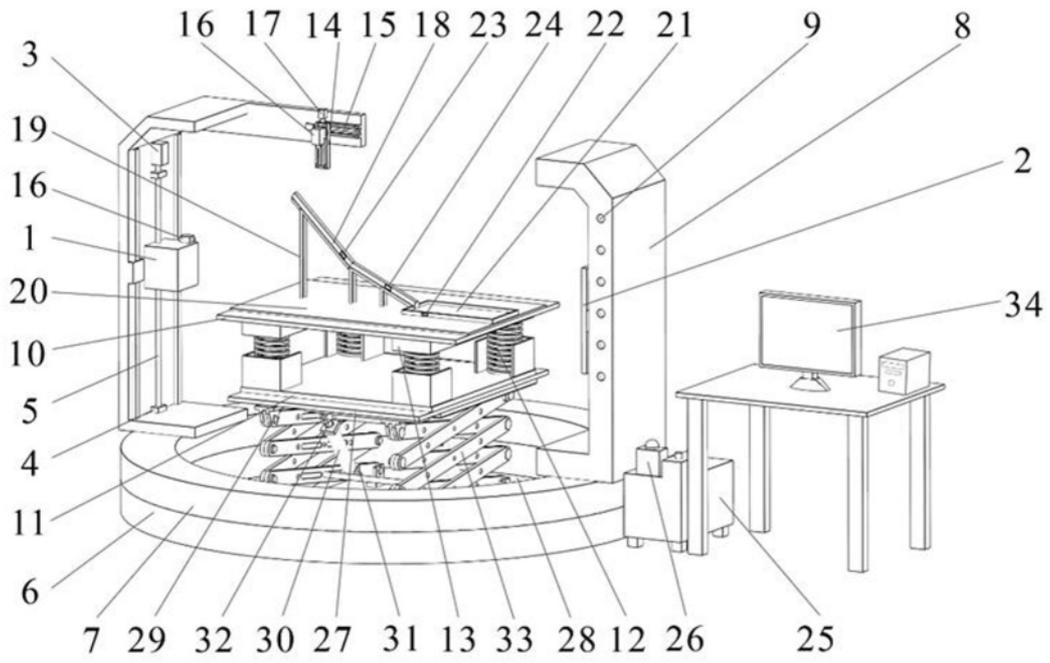


图1

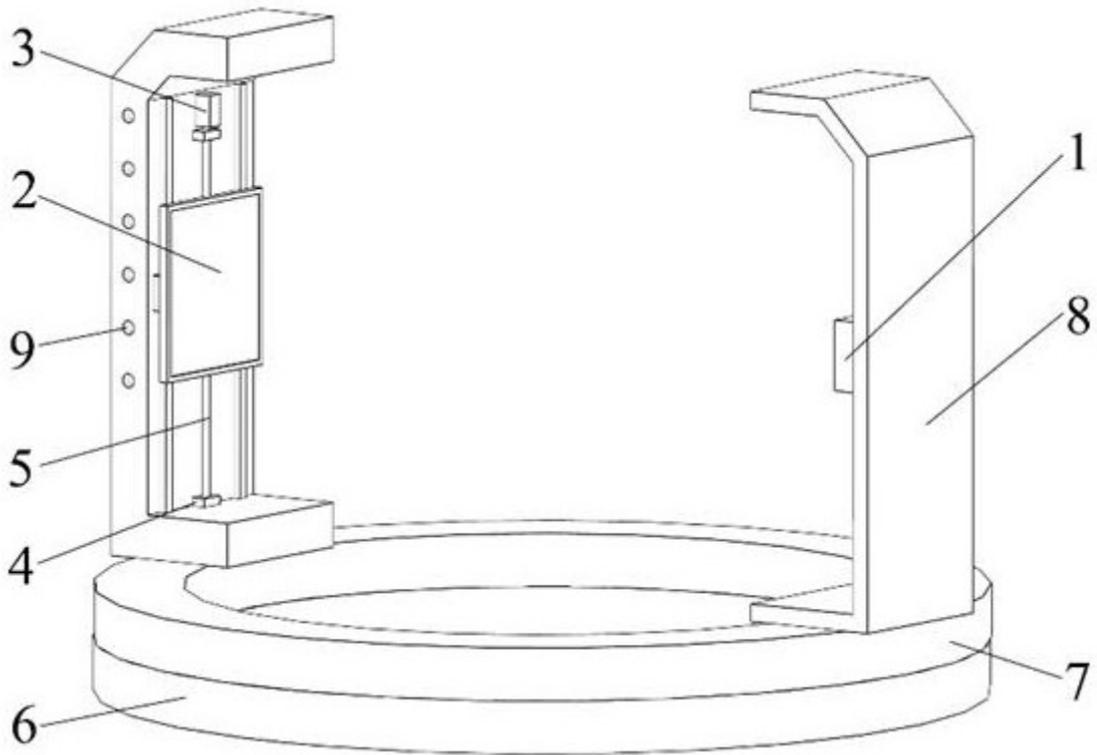


图2

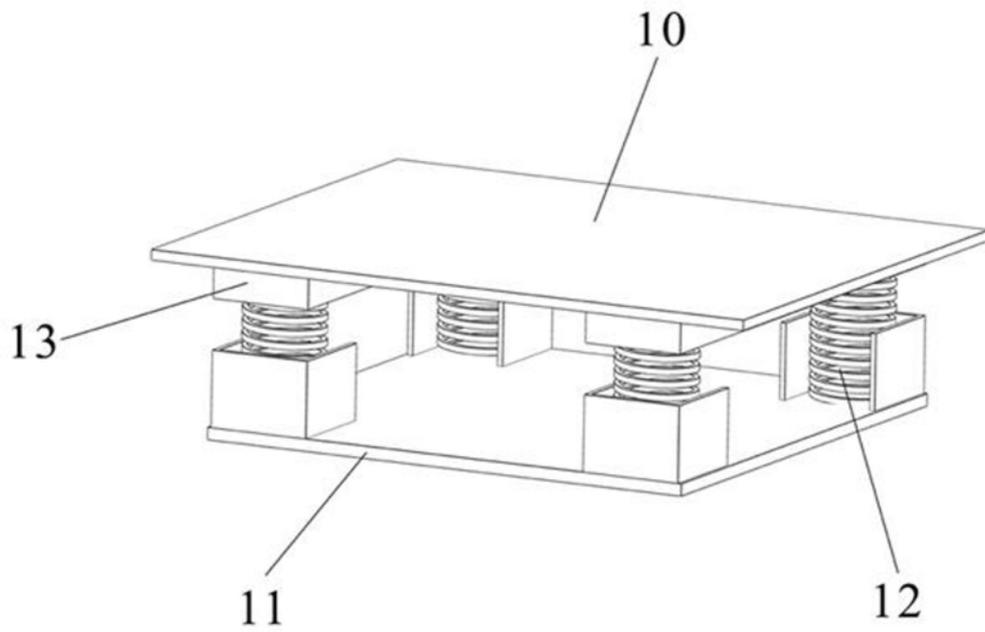


图3

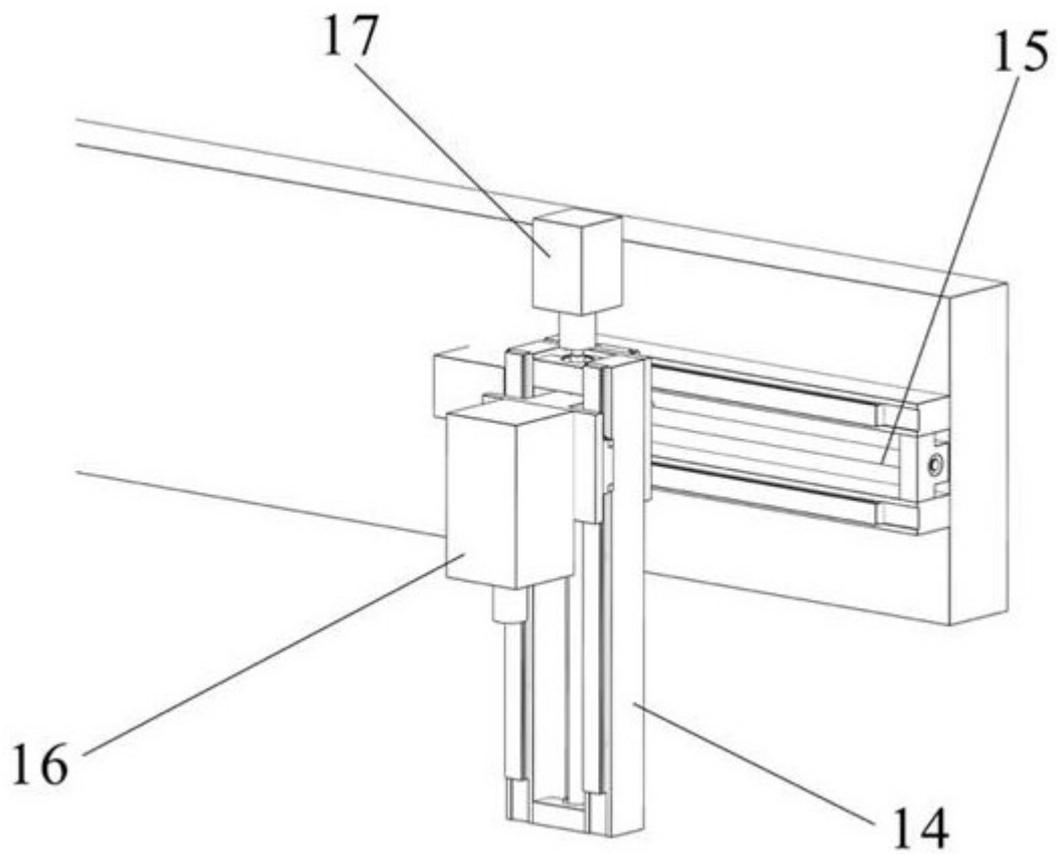


图4

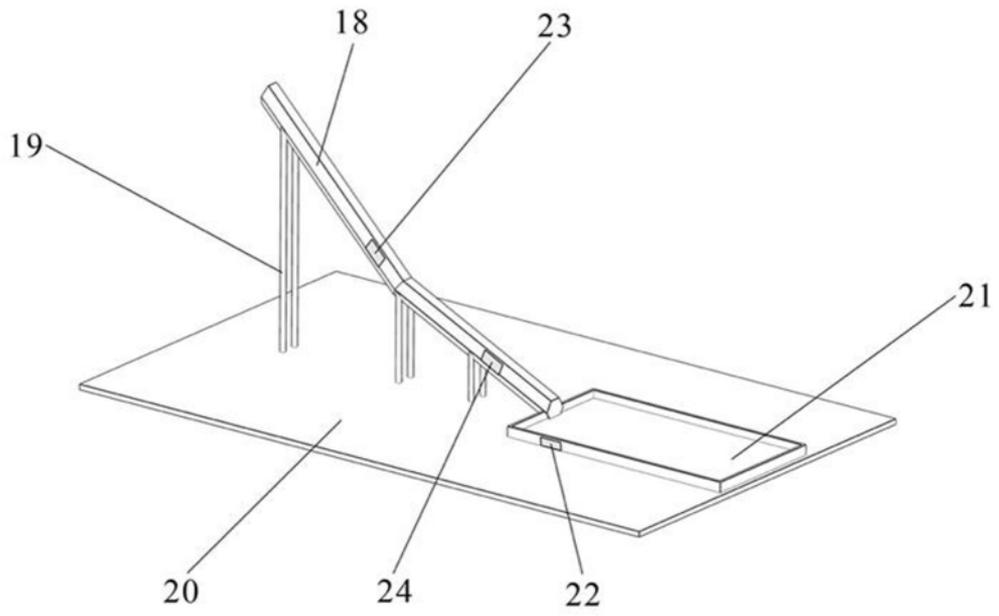


图5

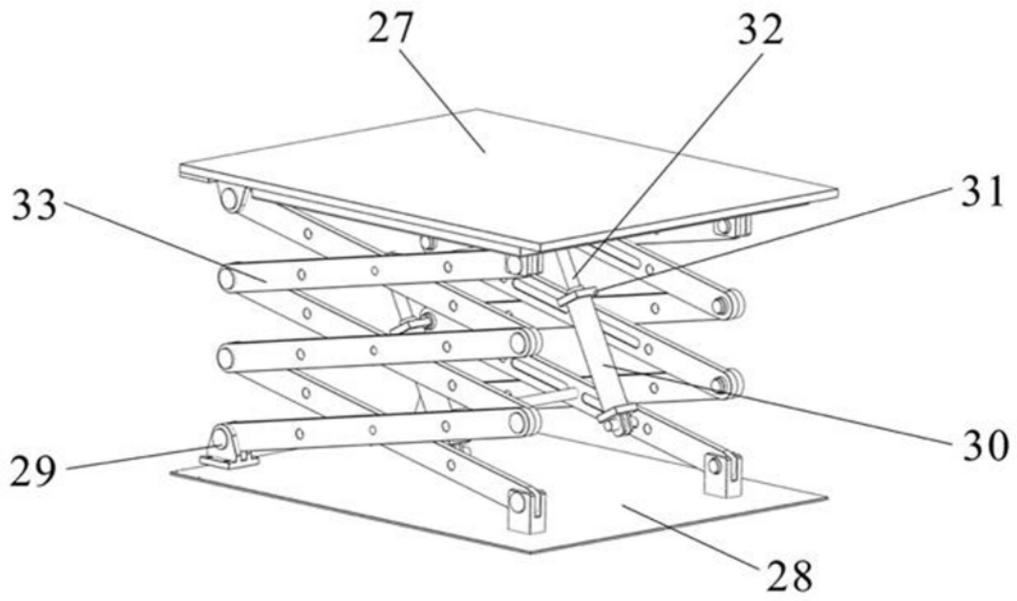


图6

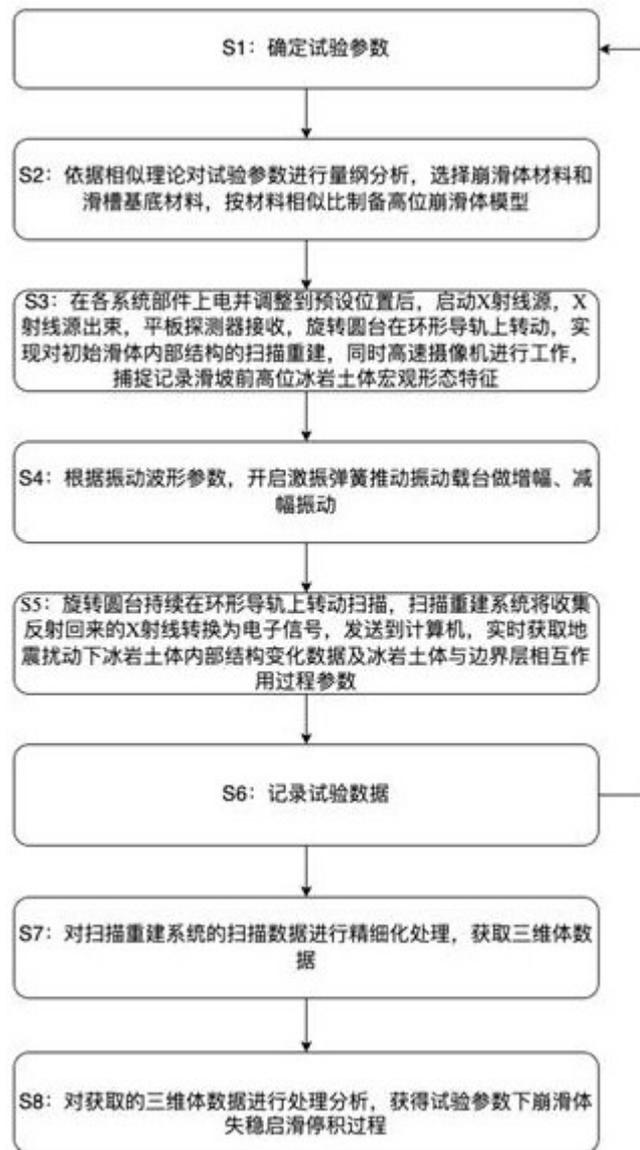


图7