



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108061687 B

(45)授权公告日 2020.02.14

(21)申请号 201711275247.4

G01N 33/38(2006.01)

(22)申请日 2017.12.06

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108061687 A

吴剑等.边坡物理模型倾斜加载方式的研究.《岩土力学》.2012,第33卷(第3期),第713-718页.

(43)申请公布日 2018.05.22

胡毅夫等.微型抗滑桩组合结构模型试验与结构影响分析.《铁道科学与工程学报》.2012,第9卷(第5期),第54-58页.

(73)专利权人 中南大学  
地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

胡毅夫等.含水量对砂性土边坡稳定性的影响试验研究.《武汉理工大学学报》.2013,第35卷(第8期),第83-88页.

(72)发明人 马莉 胡毅夫 乌青松

审查员 蒋佳春

(74)专利代理机构 长沙市融智专利事务所(普通合伙) 43114

代理人 颜勇

(51)Int.Cl.

G01N 3/10(2006.01)

G01N 33/24(2006.01)

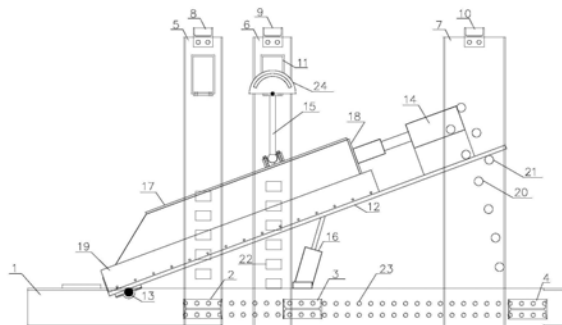
权利要求书2页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台

(57)摘要

本发明提出一种岩土工程模拟试验平台,包括模拟模型系统、加载系统、雨水模拟系统和数据采集系统。模拟模型系统采用各种岩土相似模拟材料堆砌或浇筑岩土工程模型;岩土工程模型内可植入加固构件模拟治理工程;也可植入观测仪器,结合外部观测设备测量构成模型变形数据采集系统。雨水模拟系统可以模拟岩土软化、溶蚀,观测岩土工程稳定性。加载系统可模拟地质应力场假三轴加载。因而,本系统具有可实现地质应力场模拟、大比尺模拟、水土耦合模拟、数据自动采集的多功能,可塑性强、制作简单、操作方便,可以模拟有潜在破坏面的各类岩土工程在雨水作用下发生浸蚀、溶蚀等软化现象,通过三维模拟试验再现地质灾害破坏过程和工程加固治理效果。



1. 一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,所述试验装置包括模拟模型系统、加载系统、雨水模拟系统及数据采集系统,其特征在于:

模拟模型系统包括模型基座和模型平面板,所述模型平面板的一端与所述模型基座活动连接,模型平面板与模型基座之间的夹角可调;在所述模型平面板上设置有岩土工程模型;

模型基座包括相互平行的2根水平行走轨道,模型平面板一端与2根水平行走轨道铰接,在水平行走轨道与模型平面板之间还设有一模型平面板举升装置;

在水平行走轨道上安装有至少两组立柱;第一组立柱设置在模型平面板与轨道铰接点的相对端的轨道上;第二组立柱设置在第一组立柱与所述铰接点之间的轨道上;第一组立柱用于模型平面板高度定位;第二组立柱用于垂直加载装置和侧向加载装置的安装、定位;

模型平面板举升装置为液压千斤顶,所述液压千斤顶一端安装在水平行走轨道上,另一端与模型平面板底面连接;

岩土工程模型与拟研究岩土工程原型几何相似;岩土工程模型与岩土工程原型的比例为1:3-1:15;构筑岩土工程模型时,按照岩土工程模型的空间产状以关键弱面产状为基准建模,岩土工程模型中潜在弱面与岩土工程原型弱面按照力学或水力学性质相似建模;

所述加载系统包括垂直加载装置、侧向加载装置、后端加载装置,所述垂直加载装置、侧向加载装置、后端加载装置分别对岩土工程模型的上表面、侧表面、后端面施加载荷;

所述雨水模拟系统包括大气降水模拟系统,地下水渗流模拟系统;大气降水模拟系统对岩土工程模型表面施喷淋水;地下水渗流模拟系统对岩土工程模型体内实施注水;

数据采集系统采集施加在岩土工程模型的载荷数据,岩土工程模型的受力、变形和位移数据,岩土工程模型的水力学数据。

2. 根据权利要求1所述的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,其特征在于:垂直加载装置包括反力横梁、螺杆施力杆、弧形定位座,上传力板,所述弧形定位座安装在第二立柱上,通过定位销调整弧形定位座与第二立柱轴线之间的相对角度;所述螺杆施力杆一端与安装在弧形定位座之间的反力横梁连接,另一端通过万向节与设于岩土工程模型上表面的上传力板连接,对岩土工程模型上表面施加载荷;通过弧形滑槽与万向节的匹配,调整螺杆施力杆对上传力板施加载荷的方向,以适应模型平面板与模型基座之间的夹角变化;通过旋转螺杆施力杆,调整对上传力板施加载荷的大小。

3. 根据权利要求1所述的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,其特征在于:侧向加载装置包括侧传力板、侧向施力装置,所述侧传力板为2块,分别与岩土工程模型的两侧面接触,侧向施力装置为液压千斤顶,通过设于第二立柱上的通孔对侧传力板施加载荷;所述通孔沿第二立柱轴向分布,以适应模型大小和施力点位置的变化。

4. 根据权利要求1所述的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,其特征在于:后端加载装置包括液压施力装置、后传力板,所述液压施力装置安装在模型平面板上,对设于工程模型后端面的后传力板施加载荷;所述第一组立柱上设置有弧形分布的通孔,通孔中插装有横向托梁托举模型平面板,通过调整横向托梁插装的通孔位置,适应模型平面板与模型基座之间的夹角变化后的定位。

5. 根据权利要求1-4任意一项所述的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,其特征在于:雨水模拟系统中,大气降水模拟系统包括水箱、水压阀、喷淋头,收水堰、水

土分离装置,所述水箱、水量水压阀、喷淋头用管道依次连接,喷淋头置于模拟模型上方,在模拟模型下端设有收水堰,收水堰接收到的水土混合物进入水土分离装置;地下水渗流模拟系统包括水箱、水量水压阀、注水管、地下水位观测装置,所述注水管一端通过水压阀与水箱连通,另一端延伸至岩土工程模型体内;在岩土工程模型体内还设有数量与注水管相同的地下水位观测装置;所述地下水位观测装置为U型玻管,U型玻管的一端插入岩土工程模型体内,另一端延伸至模型平面板外侧。

6. 根据权利要求5所述的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,其特征在于:数据采集系统包括力学传感器、水力学仪器、模型表面测量系统;所述力学传感器包括土压力计、结构应力计、岩土应变计;所述水力学仪器包括水压计、水位计;所述模型表面测量系统包含三维光学摄影机或二维高速摄影机或钢弦定位位移计。

## 一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种岩土工程模拟试验平台,具体涉及有潜在破坏面的岩土工程破坏过程与加固效果的岩土工程物理模拟试验平台,属于土木建筑类和地质灾害治理技术领域。

### 背景技术

[0002] 公路、铁路、采矿、水利、城市建设的地面地下岩土工程研究重点集中于岩土体的稳定性评判和加固效果两个方面。岩土工程稳定性评判在理论解析法计算和数值模拟试验过程中,数学计算方法都要采用抽象化假设条件,许多岩土力学参数都采用平均值和力学换算,其结果是研究对象的工程环境过于简单和理想,脱离现实甚远。工程界转向工程试验寻求稳定性评判和预测效果,这必然存在工程浪费和不能重复试验验证结果。

[0003] 在室内试验平台采用相似理论可以很大程度地折减工程原型尺寸、材料参数,减少材料用量和工作量。截至目前的国内报道,边坡模拟试验大多针对特定的工程填筑固体实体模型,在滑体上码砌重物施加重力造成潜在滑体滑移;但是,不可能模拟工程实体以外的地质构造应力场对滑体的实际作用,也不能观察地下水对软弱结构面和滑面的作用,更不能对同一个工程改变弱面和边界条件进行重复试验以探寻实际不可知的弱面形状。另一个应用市场---地下工程模拟试验多是 $x, h$ 二维的平面试验,注重于地质构造应力场对硐室围岩的作用;但是,二维的平面固体模型的尺寸效应不能形成地下水流场,也就不能模拟地下水对地质构造弱面的软化、溶蚀作用,更不能模拟岩体在地质构造应力作用下的地下水渗流网的形成和变化;特别是二维模型破坏后不能对其加固修复,所以也不能预测同一个模型加固修复后的效果。

[0004] 地质构造面或地质体弱面是岩土工程的力学弱面,而且大多是地下水通道,正是弱面控制着岩土体稳固性。研究和控制潜在弱面作用下的工程模型破坏过程可以得到岩土工程的破坏规律;对同一个研究工程实体的重复研究是验证试验结果的唯一方法;在不改变工程条件的同一个实体上进行加固试验是预测加固效果的最好方法。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是克服现有室内岩土工程相似材料物理模拟二维模型试验存在的技术缺点与不足,提供一种建模周期短,可模拟三轴加载、液固耦合,主控因素多水平重复试验的岩土工程模拟试验平台。

[0006] 本发明采用三维模型和假三轴加载代替二维模型的平面应力平面应变试验,较好的复原了岩土工程单元的实际工程条件和力学边界条件;液固耦合的模型和三维受力条件下的地下水渗流场可模拟岩土体在水作用下的局部软化现象,解决了目前整体弱化岩土体力学性质的建模方法;利用改变潜在破坏面的倾角,实现同一个模型的主控因素多水平的重复试验,解决了破坏面产状不稳定导致结果失效问题,也减小了试验模型工程量和降低了试验成本,缩短了模拟模型成型的工期。

[0007] 本发明一种岩土工程模拟试验平台的技术方案为：

[0008] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，包括模拟模型系统、加载系统、雨水模拟系统及数据采集系统；

[0009] 模拟模型系统包括模型基座和模型平面板，所述模型平面板的一端与所述模型基座活动铰接，模型平面板与模型基座之间的夹角可调；在所述模型平面板上设置有岩土工程模型；

[0010] 所述加载系统包括垂直加载装置、侧向加载装置、后端加载装置，所述加载装置分别对岩土工程模型的上表面、两侧表面、后端面施加载荷；

[0011] 所述雨水模拟系统包括大气降水模拟系统，地下水渗流模拟系统；大气降水模拟系统对岩土工程模型表面施加喷淋水；地下水渗流模拟系统对岩土工程模型体内实施注水；

[0012] 数据采集系统采集施加于岩土工程模型的外载荷数据，岩土工程模型内的岩土体和结构体的受力、变形和位移数据，岩土工程模型的水力学数据；

[0013] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，所述模拟模型系统中，模型基座包括相互平行的2根水平行走轨道，模型平面板一端与2根水平行走轨道铰接，在水平行走轨道与模型平面板之间还设有一模型平面板举升装置；

[0014] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，模型平面板举升装置为液压千斤顶，所述液压千斤顶一端安装在水平行走轨道上，另一端与模型平面板底面连接；

[0015] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，岩土工程模型与拟研究岩土工程原型几何相似；岩土工程模型与岩土工程原型的几何相似比为1:3-1:15；构筑岩土工程模型时，按照岩土工程原型中的关键弱面与模型平面板平行为准构筑模型，岩土工程模型的空间产状以关键弱面产状为准建模，岩土工程模型中潜在弱面与岩土工程原型弱面按照力学或水力学性质相似建模；

[0016] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，在水平行走轨道上安装有至少两组立柱；第一组立柱设置在模型平面板与轨道铰接点的相对端的轨道上；第二组立柱设置在第一组立柱与所述铰接点之间的轨道上；第一组立柱用于模型平面板高度定位；第二组立柱用于垂直加载装置和侧向加载装置的安装、定位；

[0017] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，垂直加载装置包括反力横梁、螺杆施力杆、弧形定位座，上传力板，所述弧形定位座安装在反力横梁上，通过第二立柱上的定位销调整弧形定位座与第二立柱轴线之间的相对角度；所述螺杆施力杆一端与安装在弧形定位座之间的反力横梁连接，另一端通过万向节与设于岩土工程模型上表面的上传力板连接，对岩土工程模型上表面施加载荷；通过弧形滑槽与万向节的匹配，调整螺杆施力杆对上传力板施加载荷的方向，以适应模型平面板与模型基座之间的夹角变化；通过旋转螺杆施力杆，调整对上传力板施加载荷的大小；

[0018] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台，侧向加载装置包括侧传力板、侧向施力装置，所述侧传力板为2块，分别与岩土工程模型的两侧面接触，侧向施力装置为液压千斤顶，通过设于第二立柱上的通孔对侧传力板施加载荷；所述通孔沿第二立柱轴向分布，以适应模型大小和施力点位置的变化；

[0019] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,后端加载装置包括液压施力装置、后传力板,所述液压施力装置安装在模型平板上,对设于工程模型后端面的后传力板施加载荷;所述第一立柱上设置有承弧形分布的通孔,通孔中插装有横向托梁托举模型平板,通过调整横向托梁插装的通孔位置,适应模型平板与模型基座之间的夹角变化后的承重与定位;

[0020] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,雨水模拟系统中,大气降水模拟系统包括水箱、水量水压阀、喷淋头,收水堰、水土分离装置,所述水箱、水量水压阀、喷淋头用管道依次连接,喷淋头置于岩土工程模型上方,在岩土工程模型下端,设有收水堰,收水堰接收到的水土混合物进入水土分离装置;地下水渗流模拟系统包括水箱、水量水压阀、注水管、地下水位观测装置,所述注水管一端通过水压阀与水箱连通,另一端延伸至岩土工程模型体内;在岩土工程模型体内还设有数量与注水管相同的地下水位观测装置;所述地下水位观测装置为U型玻管,U型玻管的一端插入岩土工程模型体内,另一端延伸至模型平板外侧;

[0021] 本发明的一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台,数据采集系统包括力学传感器、水力学仪器、模型表面测量系统;所述力学传感器包括土压力计、结构应力计、岩土应变计;所述水力学仪器包括水压计、水位计;所述模型表面测量系统包含三维光学摄影机或二维高速摄影机或钢弦定位位移计。

[0022] 本发明通过模拟模型系统、假三轴加载系统、雨水模拟系统和数据采集系统,构建一种有潜在破坏面的岩土工程破坏过程与加固效果物理模拟试验装置;

[0023] 模拟模型系统包括模型基座和模型平板,型钢行走轨道和前地梁、中地梁、后地梁固定构成模型基座,三组垂直槽钢立柱和柱顶连系梁构成垂直框架。利用钢轨上预设的两排定位孔实现三组立柱的固定和水平移位。在实施边坡模型试验过程中,分散固定立柱;在实施地下工程试验时合拢三组立柱并将其设置在行走框架尾部(第一组立柱位置)。

[0024] 模型平板可承载按照物理模拟相似比堆砌或浇筑的相似材料模拟模型。模拟模型首先按照原型的弱面平行模型基础平板定位,然后根据弱面产状与原型工程的空间关系在基础平板上构建和固定模型的潜在滑床或洞室基础,第三步构建弱面以上的岩土体和岩土工程模型,其岩土产状、模型几何形状,均以潜在弱面产状为基准沿平板走向、倾向构成几何关系。

[0025] 模型平板与水平行走轨道在前端设置转轴铰接,在伸缩油泵作用下绕转轴在 $0\sim 30$ 度范围内以等间隔角度转动,后端横向托梁承托模型平板并固定在后立柱的定位孔内。定位孔呈弧形布置。模型基础平板的转角在 $0\sim 30$ 度范围模拟潜在弱面倾角,满足模型结构与滑床的相对几何关系要求,减少了破坏面以下的模型材料和制作工程量;通过转角变换,还可以对同一个模型改变弱面主参数完成重复试验。

[0026] 模拟试验装置加载系统由后加载装置、垂直加载装置、侧向加载装置组成假三轴加载系统。本发明专利模拟岩土工程原型的三向地质应力场。后端加载装置固定在模型平板后端,利用模型平板形成反力自稳结构,包括两套液压施力装置、后传力板装置。垂直加载装置安装在前和/或中立柱(第二组立柱)上,包括螺杆施力装置、反力横梁、弧形定位座,设置万向节的上传力板。侧向加载装置固定在前立柱和/或中立柱(第二组立柱)上,包括在模型平板支承的侧立挡板,活动挡板,侧向液压施力装置,通孔。

[0027] 根据相似材料模型特性和发明者经验,单个后加载装置施力50kN以下,伸缩量30cm以上;单个垂直加载装置最大伸缩量10cm,最大载荷10kN;侧向加载装置最大伸缩量10cm,最大载荷10kN。

[0028] 模拟试验装置雨水模拟系统由大气降雨系统和地下水渗流系统组成。常用的二维模型三个方向尺寸不等,和模型内三个方向的水阻不均等,不能形成地下渗流场。本发明专利采用高位水箱和高位水管,调制水压水量的水量水压阀,注水管以及观测地下水位的U型玻管构成地下水渗流系统,利用高压注射形成地下水流场形态。考虑研究土质边坡浸蚀的需要,设置了可控喷水模式的喷淋头,收水堰和水土分离装置,形成大气降雨系统。地表的降雨系统和地下水流系统与研究固体模型建立了流固耦合关系,使地下渗流场对坡体浅表和地下工程围岩的软化、溶蚀等影响效果再现。

[0029] 模拟试验装置的数据采集系统包括各类力学传感器和水力学仪器,相应的数据采集仪和表面移位测量仪器组成。力学传感器有加载装置的压力计,模型内的土压力盒、应力计、应变计和表面的位移计,以及洞室的收敛计,加固结构体的应力计和应变计。水力学仪器有高位水箱的水位观测标,供水管道水压表,收水槽的流量计,地下水位U型观测管和水压表;

[0030] 数据采集仪采用计算机控制自动采集振弦式频率记录仪,电阻式应力应变记录仪,核磁共振流量记录仪和水压波谱记录仪。

[0031] 根据研究内容可以在模型内不同平面和高度的多点位按需要分别布设微型力学传感器和水力学仪器,以及模型表面测量系统。所述力学传感器包含模型内土压力计、岩土应变计类装置和监测对象结构的应变花类装置;所述水力学仪器包括测量岩土含水层水作用力的渗透水压计类装置,安装在地下注水管旁的观测水流流向的颜色水喷射装置,地下水位观测装置;所述地下水位观测装置为U型玻管,U型玻管的一端插入边坡工程模型体内,U型底部延伸至模型面板底面之外。所述模型表面测量系统用于观测岩土边坡工程表面和/或地下洞室围岩表面的变形位移,包含三维光学摄影机、二维高速摄影机,钢弦定位位移计。周期性测量多次加载受力变形后的三维关键点,数据拼合得到变形点的变形位移量、变形方向所组成的空间元素变形数据。

[0032] 本发明人研制的有潜在破坏面的岩土工程破坏过程与加固效果物理模拟试验平台,克服了国内现有二维模拟试验平台的平面应力和平面应变缺陷,改用三维模型试验在较大尺寸内建立了潜在破坏面与岩土工程的各种不同的几何关系,还可以对三维模型破坏后修复加固,完成加固效果预测;根据软弱面是岩土工程破坏突破口的观点,把试验观测重点放在潜在破坏面的破坏过程;实现的液固耦合模型复原了水理软化、溶蚀造成的破坏过程;对三维模型假三轴加载方式能模拟较真实的岩土工程所在的地质构造应力场。本系统通过以上四个技术改进,使室内岩土三维模型在三向应力场作用下达到流固耦合状态,实现了破坏过程复原和修复加固效果预测的统一。这种潜在破坏面岩土工程多功能模拟试验平台在国内是唯一的,达到了国内领先水平。

[0033] 本发明具有以下突出的实质性特点和显著的技术进步:

[0034] 1.可进行大尺度的三维模拟模型试验。本试验系统依据相似模拟理论确定模拟平台尺寸,可进行大比尺模拟试验。以潜在破坏面为基准,能够把工程结构、大的地质结构按照实际几何关系建筑在试验平台上。边坡 $1.0 \times 1.3 \times 0.5\text{m}^3$ ,地下工程 $1.0 \times 1.0 \times 0.3 \sim$

1.0m<sup>3</sup>的三维立体模型比较二维平面模型更能反映工程岩体的破坏规律。

[0035] 2.对岩土工程具有很强的通用性。本试验不仅可以模拟地面自然边坡水毁灾害、工程边坡卸载松弛破坏、各种边坡沿软弱结构面渗水的溶蚀破坏,而且可以模拟地下工程在地质应力场50MPa以下的工程岩体破坏。

[0036] 3.对试验模型具有良好的可拓展性。在本试验平台模拟模型破坏的基础上,不用重建模型,可以对边坡增加锚固、抗滑桩等加固工程,对地下洞室采取衬砌、锚固、修复的治理措施,再现破坏工程治理的后期效果。

[0037] 在边坡降雨条件下结合其他测试装置或设备来拓展应用范围,例如增加相应的地下水系统和降雨装置,研究降雨条件下边坡稳定性和排水工程研究。

[0038] 4.对试验模拟模型的破坏方式具有研究方法的专一性。因为岩土工程的破坏都是从软弱面开始,试验平台的主要关注点是潜在弱面的周围岩土破坏,主要加载方向和观测目标都是潜在破坏面。

[0039] 5.试验平台的科学性突出和鲜明。目前的试验平台都是注意单一因素作用,如压力,降雨,地下水。本试验平台注入高压水解决了模型渗流场的形成困难问题;模型基础平板的升降解决了工程岩体的无关体量问题;破坏面倾角变化范围控制在0~30度,满足了边坡一般滑移倾角范围;当后加载系统随试验平台起降改变力方向后,垂直加载可以调整施力方向和施力大小,保持前后试验的滑移面力场的稳定等等。本试验采用液压加载装置,加载方式灵活性强。

[0040] 6.本试验平台引进和采用成熟的变形观测技术,直观可靠。采用国际先进的采集仪器,完全实现了多点自动化采集,并由计算机直接分析输出观测数据结果,操作使用方便,特别适用于边坡稳定性评判和岩土加固结构设计,地下空间稳定性预测和加固方式选择等问题的研究。

## 附图说明

[0041] 附图1为本发明模拟试验装置的主视图。

[0042] 附图2为附图1的俯视图。

[0043] 附图3为本发明中垂直加载系统和侧向加载系统结构示意图。

[0044] 附图4为本发明中雨水系统和渗水模拟系统结构示意图。

[0045] 附图5为本发明试验数据采集系统流程框图。

[0046] 附图6为实施例2中监测仪器布设示意图。

[0047] 附图7为实施例3中抗滑桩加固边坡物理模型。

[0048] 图中:1行走轨道;2前地梁;3中地梁;4后地梁;5前立柱;6中立柱;7后立柱;8前连系梁;9中连系梁;10后连系梁;11反力横梁;12模型平板;13转轴;14液压后施力装置;15螺杆施力装置;16液压举升千斤顶;17上传力板;18后传力板装置;19侧立挡板;20托梁定位孔;21横向托梁;22侧向加载预留孔;23立柱定位孔;24弧形定位座;25侧向液压施力装置;26导轨;27液压泵;28注水管;29液压分流阀;30垂直加载压力计;31地下岩土工程;32软弱夹层;33收水堰;34水土分离装置;35U型玻管;36阻水坎;37分注水管;38地表岩土工程模型;39高位水箱;40水位观测标;41水量水压阀;42高位水管;43雨水喷淋装置;44后加载传感器;45滑体;46渗水层;47渗透水压计;48坡体位移计;49滑面;50滑床;51层理面;52坡面;



53桩体。

## 具体实施方式

### [0049] 实施例1

[0050] 参见附图1、2、3、4、5,本发明一种研究有潜在破坏面的岩土工程模拟试验平台;通过模拟试验平台系统、假三轴加载系统、雨水模拟系统和数据采集系统,构建一种有潜在破坏面的岩土工程破坏过程与加固效果物理模拟试验装置;

[0051] 模拟模型系统包括模型基座和模型平面板,型钢行走轨道1和前地梁2、中地梁3、后地梁4固定构成模型基座,三对垂直槽钢组成的前立柱5、中立柱6(5和6构成第二组立柱)、后立柱7(第一组立柱)和柱顶的前连系梁8、中连系梁9、后连系梁10构成垂直框架。利用行走轨道1上预设的两排立柱定位孔23实现三组立柱的固定和水平移位。

[0052] 模型平面板12可承载按照物理模拟相似比堆砌或浇筑的相似材料模拟模型。首先按照模型后端加载装置的施力方向为原型的第一主应力方向定位,然后根据原型弱面产状与地下工程的空间关系构建模型和模型平板的关系,并固定在模型平板上作为潜在滑床或洞室基础。最后浇筑弱面以上的岩土体。

[0053] 模型平面板12与行走轨道1在前端设置转轴13铰接,在液压举升千斤顶16作用下绕转轴13在0~30度范围内以等间隔角度转动,后端横向托梁21承托模型平面板12并固定在后立柱9的托梁定位孔20内。定位孔孔位呈弧形布置。模型平板的转角在0~30度范围模拟潜在弱面倾角,满足模型结构与滑床的相对几何关系要求,减少了破坏面以下的模型材料和制作工程量;通过转角变换,还可以对同一个模型改变主参数完成重复试验。

[0054] 模拟试验装置加载系统由后加载装置、垂直加载装置、侧向加载装置组成假三轴加载系统。本发明专利模拟岩土工程原型的三向地质应力场。后端加载装置固定在模型平面板12后端,对岩土模型加载时利用模型平面板形成反力自稳结构,包括两套液压后施力装置14、后传力板装置18以及后加载传感器44。垂直加载装置安装在前和/或中立柱(第二组立柱)上,包括螺杆施力装置15、反力横梁11、弧形定位座24,设置万向节的上传力板17。侧向加载装置固定在前立柱和/或中立柱(第二组立柱)上,包括安装在模型平面板12两侧的侧立挡板19,导轨26,侧向液压施力装置25,侧向加载预留孔22。

[0055] 根据相似材料模型特性和发明者经验,单个后加载装置施力50kN以下,伸缩量30cm以上;单个垂直加载装置最大伸缩量10cm,最大载荷10kN。螺杆施力装置15通过垂直加载压力计30向地下岩土工程31或地表岩土工程模型38施加压力,岩土工程模型内设置有软弱夹层32;侧向加载装置25最大伸缩量10cm,最大载荷10kN。

[0056] 模拟试验装置雨水模拟系统由大气降雨系统和地下水渗流系统组成。本发明专利考虑研究土质边坡浸蚀的需要,采用高位水箱39和调制水压水量的水力控制阀41,高位水管42,雨水喷淋装置43,收水堰33、水土分离装置34,形成大气降雨系统。高位水箱39和调制水压水量的水量水压阀41,阻水坎36,液压泵27,液压分流阀29,注水管28和分注水管37以及观测地下水位的U型玻管35构成地下水渗流系统,利用高压注射形成地下水流场形态。地表的降雨系统和地下水渗流系统与研究固体模型建立了流固耦合关系,使地下渗流场对坡体浅表和地下工程围岩的软化、溶蚀等影响效果再现。

[0057] 模拟试验装置的数据采集系统包括各类力学传感器和水力学仪器,相应的数据采

集仪和表面位移测量仪器组成。力学传感器有加载装置的压力计,模型内的土压力盒、应力计、应变计和表面的位移计,以及洞室的收敛计,加固结构体的应力计和应变计。水力学仪器有高位水箱的水位观测标40,供水管道水压表,收水槽的流量计,地下水位U型玻管35和渗透压力计47;

[0058] 数据采集仪采用计算机控制自动采集振弦式频率记录仪,电阻式应力应变记录仪,核磁共振流量记录仪和水压波谱记录仪。

[0059] 根据研究内容可以在模型内不同平面和高度的多点位按需要分别布设微型力学传感器和水力学仪器,以及模型表面测量系统。所述力学传感器包含模型内土压力计、岩土应变计类装置和监测对象结构的应变花类装置;所述水力学仪器包括测量岩土含水层水作用力的渗透压力计类装置,安装在地下注水管旁的观测水流流向的颜色水喷射装置,地下水位观测装置;所述地下水位观测装置为U型玻管,U型玻管的一端插入边坡工程模型体内,U型底部延伸至模型平面板底面之外。所述模型表面测量系统用于观测岩土边坡工程表面和/或地下洞室围岩表面的变形位移,包含三维光学摄影机、二维高速摄影机和工程结构表面的定位色素布点,钢弦定位位移计,洞室表面收敛仪等。周期性测量多次加载受力变形后的三维关键点,数据拼合得到变形点的变形位移量、变形方向所组成的空间元素变形数据。

[0060] 实施例2边坡弱面夹层软化和排水加固方法物理模型试验

[0061] 试验目的:

[0062] 软弱夹层渗水的渗流动压力,渗流静压力会对边坡稳定性产生不利的影 响,坡面降雨会对岩土坡面产生冲刷。本试验研究坡体内部软弱夹层的渗流场变化对边坡稳定性的影响程度。

[0063] 试验过程:

[0064] 利用量纲分析原理,按照1:5相似比缩小原型边坡尺寸构筑室内试验边坡模型;采用低标号水泥碎石模拟软弱夹层以下的隔水岩层,采用石灰红砂岩碎石模拟渗水层46上覆的强风化砂岩层,并利用干裂法产生上部岩层的断层和节理。模型中部铺筑60cm宽软弱夹层模拟渗水层,渗水层上方布置滑体45,边缘宽度20cm用黏土封闭。渗水层采用现场采集的风化红砂岩沙砾经过筛分,按照孔隙率相似比1:5配比渗水层填料,并掺入蒙脱石调整其强度。边坡坡体分为上中下三部分,沿坡面下覆隔水岩层埋设三根 $\phi 10\text{mm}$ 的横向注水管,管出水口旁布置U型水位观测管和颜料注射器。坡体前沿收水堰33和水土分离装置34收集和沉淀分离排出的水体泥沙。在渗流层埋设LY-350型应变式渗压计47测量渗水层孔隙水压力,DH3816应变采集仪采集渗压;伸缩式位移计48测量坡体位移,如图6所示为监测仪器布设示意图。

[0065] 先在坡面上方喷淋雨水,观测坡面冲刷和表面岩土层渗透过程。待坡面渗流层稳定后,改用模型内注水方式,满足原型的坡面渗透压力条件,监测坡顶水箱的给水量、坡脚泄水量、坡面位移量,排水携带的泥土质量。当坡脚出水量稳定后视为夹层达到渗流平衡,开始三向加载施压模拟边坡高度增加的下滑力,与分级加载同步记录加载荷载、坡面位移量。

[0066] 试验结果分析:

[0067] 本次试验根据降雨模拟试验、地下渗水试验、饱水加载模拟试验三个阶段的实测数据可以得到不同工况条件下的边坡稳定判断结论。

[0068] 根据降雨强度和降雨历时的序列数据,可以推断雨强、降雨历时对边坡的冲刷规律,求得潜水流场形成规律;求取渗流场不同水位对坡面排泄与坡体管涌等水文参数的关系;求得地下水渗透压对边坡强风化层稳定性的判断。

[0069] 根据模型内注水形成的地下三部分流场,比较坡体排水含土质量和粒级分析,分析渗流层的水位水压变化过程,求取弱面夹层水体浮力对坡体稳定性的影响规律。

[0070] 根据坡体后推力和地下水压以及坡体上下位移量,可以求得边坡稳定的极限高度等判别指标和地下水对边坡稳定性的影响规律。

[0071] 改变模型平板倾角后重复试验过程,可以求取同一地区同一类岩体边坡的安全极限倾角,得到危险边坡的划分依据。

[0072] 实施例3微型桩加固岩体边坡稳定性研究试验

[0073] 试验目的:

[0074] 在边坡相似模型中埋设抗滑桩,研究边坡中的抗滑桩破坏和加固失效规律。

[0075] 试验模型:

[0076] 本试验模型采用几何尺寸相似比1:10,滑床采用中风化岩体相似材料浇筑在平台上,采用黄油细砂模拟滑面断层泥,上部滑体采用块体堆载与滑面相同或不相同产状的岩层,根据边坡工程环境条件,垂直载荷和后端载荷构造成边坡下滑力;根据原型下滑力设计抗滑桩,在边坡产生滑移后插入桩孔,如图7所示为抗滑桩加固边坡物理模型,包括49滑面;50滑床;51层理;52坡面;53桩体。

[0077] 试验过程:

[0078] 1) 浇筑边坡模型的同时预制抗滑桩。边坡模型在预定层位埋设土压力盒;预制抗滑桩埋设钢筋应力计;待抗滑桩风干后,在桩体的前后侧贴上电阻应变片。

[0079] 2) 在混凝土养护期满后,调整好滑面倾角的试验平台,后端加载推动滑体。根据测量数据计算出滑面力学参数。

[0080] 3) 在桩孔槽安装抗滑桩,在抗滑桩前后不同层位放入微型土压力计,并用岩土体相似材料浇筑嵌固抗滑桩。

[0081] 4) 试验模型三向逐级加载,记录每次加载时的桩体钢筋应变值、桩体混凝土应变值、坡体不同层位土压力值,桩顶和坡面观测点的位移值、三向施力装置的加载值和垂直加载的方向。如果考虑滑面水作用,还要向滑面层注水并记录水力参数。

[0082] 试验结果分析:

[0083] 通过观测边坡滑体位移和三向加载的数据分析,可以对边坡进行稳定性评判。通过桩体后侧土压力的数据分析,可以求得滑体下滑力沿桩体轴向(深度)土压力分布规律;根据桩体钢筋纵向受力和桩体前后侧混凝土应变数据得到桩体内力分布和变形规律,可以评判桩体的安全性和设计的合理性。根据桩体变形数据和坡体移动数据可以分析抗滑桩抗滑效果和边坡稳定性。如果改变模型平板倾角,可以重复试验过程,探寻最危险的滑面倾角。

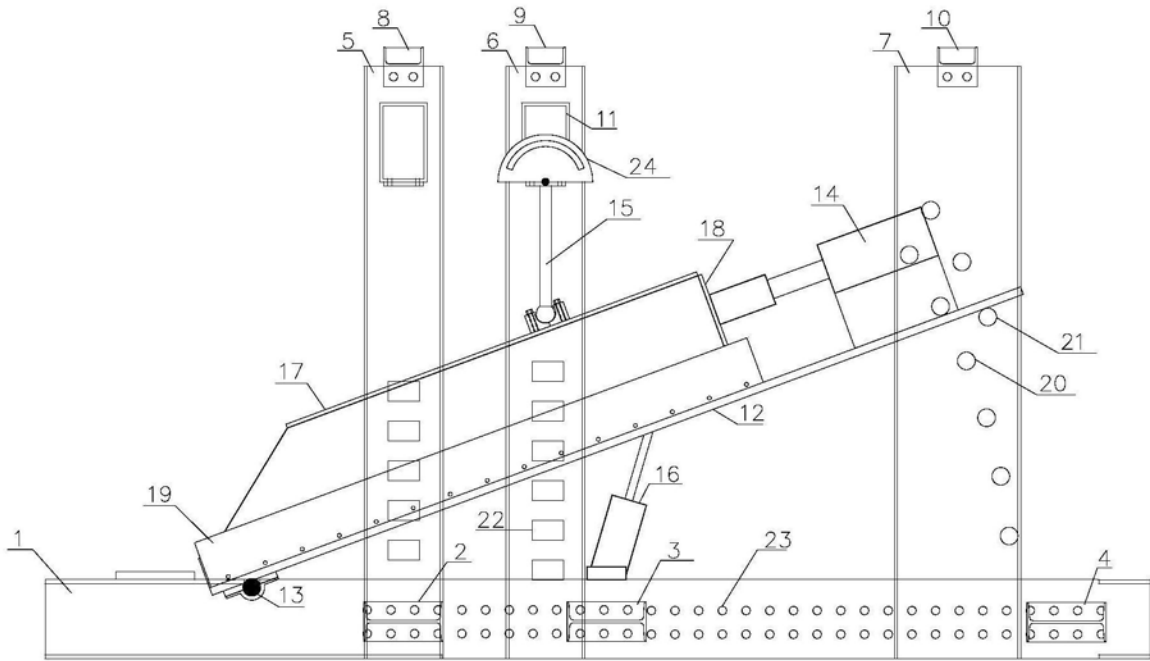


图1

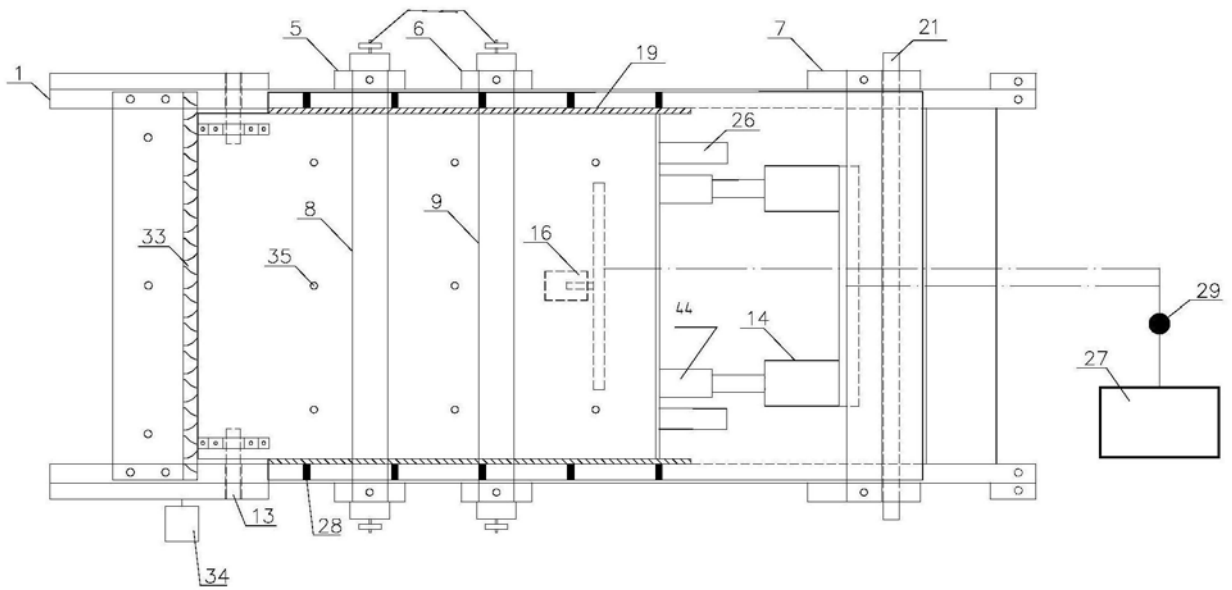


图2

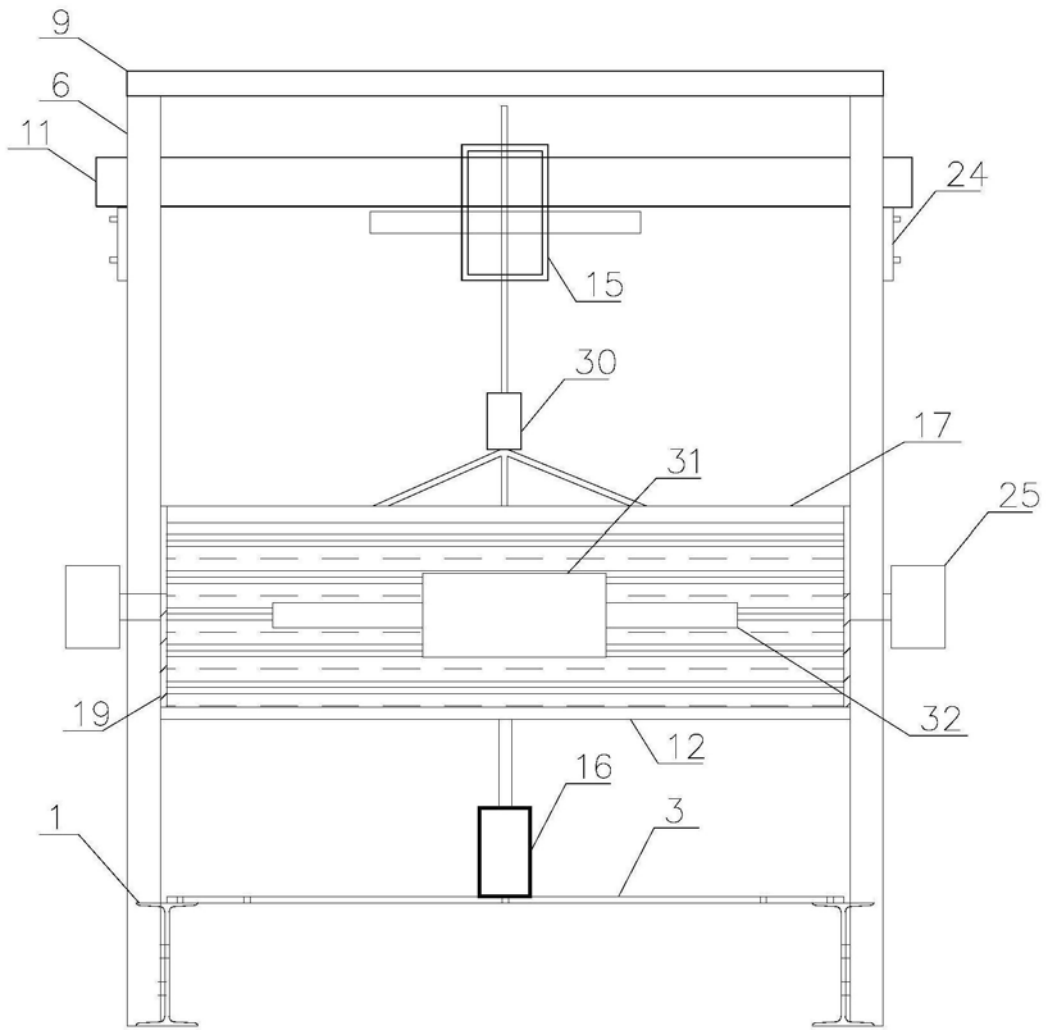


图3

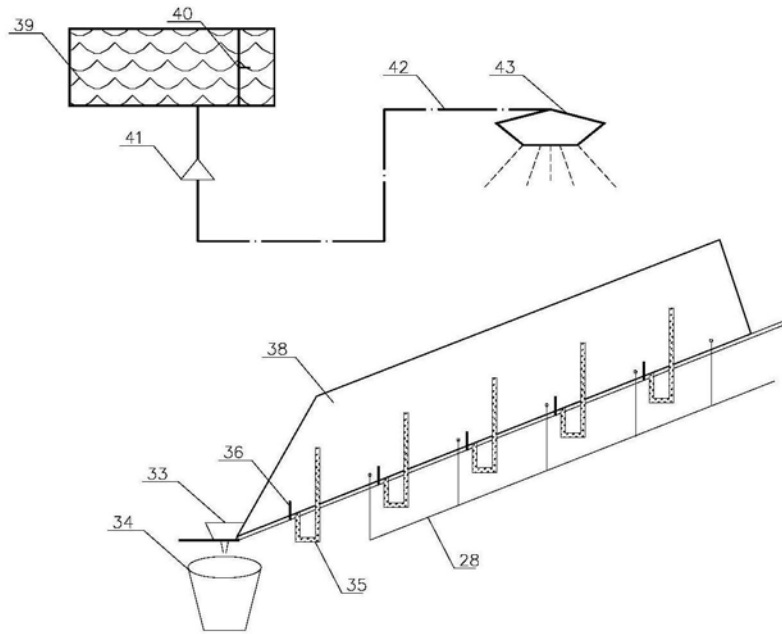


图4

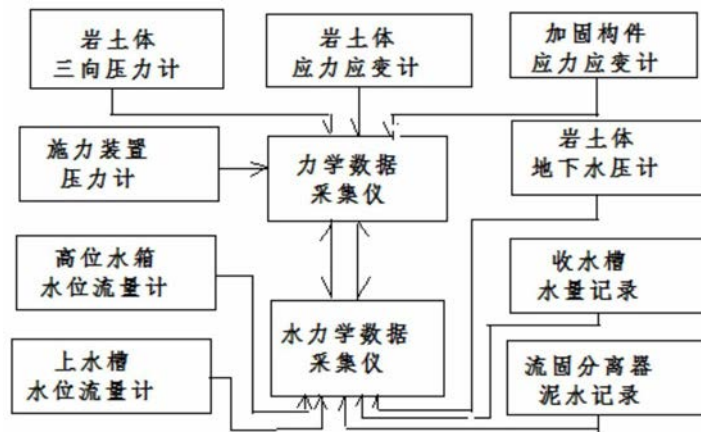


图5

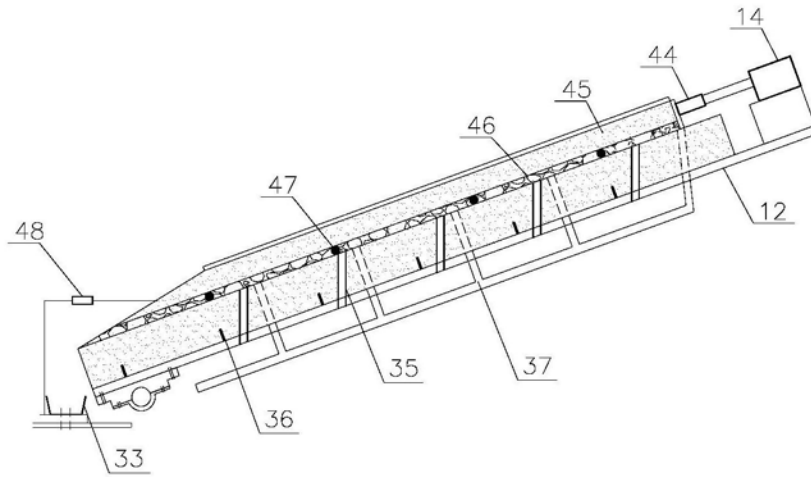


图6

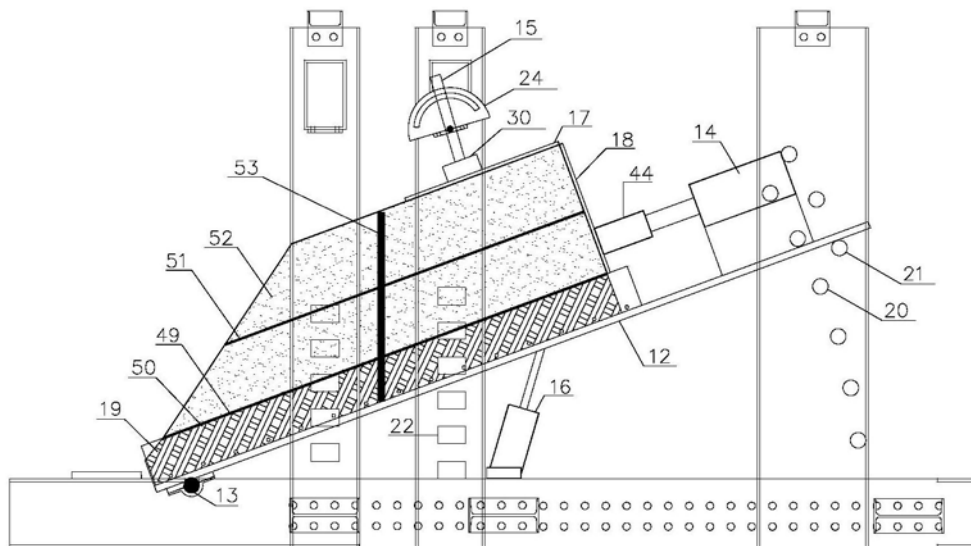


图7