



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102331489 A

(43) 申请公布日 2012.01.25

(21) 申请号 201110200855.5

(22) 申请日 2011.07.19

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15
号

(72) 发明人 范永波 李世海 侯岳峰 刘晓宇
赵颖 孟达

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉 王艺

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

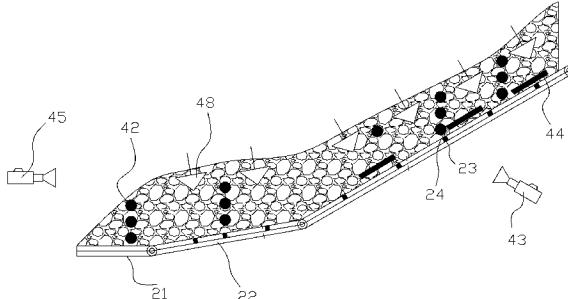
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统

(57) 摘要

本发明公开了一种多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统，包括：库水位涨落模拟单元、滑坡实验槽段、人工降雨模拟单元和测量单元；滑坡实验槽段包括水平槽段和斜坡槽段，水平槽段和斜坡槽段上均铺设由沙土混合物组成的坡体，水平槽段的后端和斜坡槽段的前端相铰接连接；斜坡槽段为2段以上依次首尾铰接连接的槽段，每一个槽段底部均设置有可调整槽段倾角的举升单元；在斜坡槽段的后端设置有马氏管后缘补水单元；测量单元包括用于测量坡体变形过程的变形测量部、用于测量坡体孔隙水压力及含水量的应力测量部。本发明能够准确把握滑坡不同发展阶段，各可测物理量的变化规律，为更好地开展滑坡演化不同阶段的关键参量研究提供可能。



1. 一种多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统,其特征在于,包括:库水位涨落模拟单元、滑坡实验槽段、人工降雨模拟单元和测量单元;所述滑坡实验槽段包括水平槽段和斜坡槽段,水平槽段和斜坡槽段上均铺设有由沙土混合物组成的坡体,水平槽段的后端和斜坡槽段的前端相铰接连接;所述斜坡槽段为2段以上依次首尾铰接连接的槽段,每一个槽段底部均设置有可调整该槽段倾角的举升单元;所述库水位涨落模拟单元设置在所述水平槽段的前端,所述人工降雨模拟单元设置在所述滑坡实验槽段的上部;在所述斜坡槽段的后端设置有马氏管后缘补水单元;所述测量单元包括用于测量坡体变形过程的变形测量部、用于测量坡体孔隙水压力及含水量的应力测量部。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,在所述斜坡槽段上开设有3个以上的承压水孔洞,每个承压水孔洞上均铺设有一层承压水膜,所述每个承压水孔洞通过水管与水箱连接,通过水箱向每个承压水孔洞供水,并通过所述承压水膜对所述沙土混合物施加压力。

3. 如权利要求2所述的系统,其特征在于,所述水管上还设置有用于实时监测承压水压力的压力传感器和控制承压水水压力的控制阀。

4. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,在所述滑坡试验段的上部还设置有可沿所述滑坡试验段长度方向来回移动的并向所述滑坡试验段添加沙土混合物的料斗。

5. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述库水位涨落模拟单元包括库水容水池、水压力传感器、进出水管和变频伺服流量计,水压力传感器固定于库水容水池底部,所述变频伺服流量计连接进出水管,进出水管延伸至所述库水容水池底部。

6. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述变形测量部包括:

位移传感器设置在坡体内部,用于测量看不见的坡体内部变形;

数码摄像机用于拍摄所述坡体变形过程的图像信息。

7. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述应力测量部包括:

孔隙水压力传感器,该孔隙水压力传感器为4根以上,设置在坡体内部,用于测量用于测量孔隙水压力;

含水率传感器,用于测量坡体的土体含水量及浸润线位置。

多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种考虑降雨、库水位升降、承压水因素的滑坡发展全过程物理模型实验装置,用于进行不同雨强、不同库水位升降速度、不同承压水头下的滑坡不同破坏阶段模拟实验研究,同时研究滑坡不同发展阶段的可测物理量及相应的测试设备。

背景技术

[0002] 在滑坡物理模型实验研究方面,台湾学者 Huang Ching-Chuan (2007) 开展了滑坡模型实验,实验装置主要包括直板式滑坡实验槽、人工降雨系统,高速摄像系统、测试系统等,通过模型实验,给出了滑坡体不同位置点临界体积含水量、孔隙水压力与滑坡整体稳定性之间的关系;Sergio D. N. Lourenco (2006) 通过模型实验,开展了渗透率对边坡稳定性的影响,主要研究了不同渗透方向产生的超孔隙水压力的影响;Wang Gonghui (2006) 开展了不同初始密度、不同颗粒直径的土质边坡在孔隙水压力作用下破坏全过程研究。

[0003] 自 20 世纪 90 年代以来,我国在滑坡物理模型实验研究方面上取得了显著的成就。其中具有代表性实验平台简介如下。

[0004] 国内学者中国科学院力学研究所李世海等人 (2004) 开展了水诱发滑坡模型实验,该实验装置主要包括试验台、试验箱、供水系统和设置在试验箱上的滑坡体。该装置能对滑坡失稳时的临界孔隙水压力、滑坡体失稳与承压水面积之间的关系等开展了相关研究。

[0005] 国内学者中国科学院力学研究所张均峰等人 (2004) 开展了水诱发滑坡模型实验,该实验装置主要包括箱体、透水板、挡网、插板和滑坡体。该装置可针对引起滑坡的多种水工况进行综合研究,也可分别对单一工况进行实验,提高了模拟的针对性和准确性。

[0006] 国内学者三峡大学罗先启等人 (2006) 开展滑坡物理模型实验,主要研究了雨水及库水位作用下土体滑坡变形破坏机制。该实验系统主要包括平台起降控制系统、人工降雨系统、库水位升降系统、多物理量测试系统、非接触式位移测试系统、 γ 射线透射法土壤水分测试系统,同时进行了相似材料设计等相关工作。

[0007] 国内学者重庆大学刘东燕等人 (2010) 开展了滑坡模拟实验,该实验装置主要包括敞口实验箱、水平支架、实验箱驱动装置、自动测角仪。该实验装置能够根据不同宽度边坡模型的需要调节实验箱的宽度,同时还可以自动测量坡角,通过摄像机和照相机对实验过程的全程记录。

[0008] 然而,上述滑坡模型实验装置虽在一定程度上促进了该类装置的发展,但均存在一定程度的局限或缺陷:

[0009] (1) 滑床形态单一,多为直板一段式,而实际的滑床面多为一凹形面,故几何边界条件有较大误差;

[0010] (2) 传统实验设备操作精度不够,且机械传动部分多数为手工操作,造成实验误差较大,故多局限于定性化,定量化研究程度不够;

[0011] (3) 传统模型实验考虑因素单一,难以开展多因素滑坡致灾机理研究。

发明内容

[0012] 针对现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种可真实模拟水动力诱发因素下滑坡灾害链全过程破坏演化的多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统。

[0013] 本发明提供的一种多因素作用下的大型滑坡物理模型实验系统包括:库水位涨落模拟单元、滑坡实验槽段、人工降雨模拟单元和测量单元;所述滑坡实验槽段包括水平槽段和斜坡槽段,水平槽段和斜坡槽段上均铺设有由沙土混合物组成的坡体,水平槽段的后端和斜坡槽段的前端相铰接连接;所述斜坡槽段为2段以上依次首尾铰接连接的槽段,每一个槽段底部均设置有可调整该槽段倾角的举升单元;所述库水位涨落模拟单元设置在所述水平槽段的前端,所述人工降雨模拟单元设置在所述滑坡实验槽段的上部;在所述斜坡槽段的后端设置有马氏管后缘补水单元;所述测量单元包括用于测量坡体变形过程的变形测量部、用于测量坡体孔隙水压力及含水量的应力测量部。

[0014] 优选地,在所述斜坡槽段上开设有3个以上的承压水孔洞,每个承压水孔洞上均铺设有一层承压水膜,所述每个承压水孔洞通过水管与水箱连接,通过水箱向每个承压水孔洞供水,并通过所述承压水膜对所述沙土混合物施加压力。

[0015] 优选地,所述水管上还设置有用于实时监测承压水压力的压力传感器和控制承压水水压力的控制阀。

[0016] 优选地,在所述滑坡试验段的上部还设置有可沿所述滑坡试验段长度方向来回移动的并向所述滑坡试验段添加沙土混合物的料斗。

[0017] 优选地,所述库水位涨落模拟单元包括库水容水池、水压力传感器、进出水管和变频伺服流量计,水压力传感器固定于库水容水池底部,所述变频伺服流量计连接进出水管,进出水管延伸至所述库水容水池底部。

[0018] 优选地,所述变形测量部包括:

[0019] 位移传感器设置在坡体内部,用于测量看不见的坡体内部变形;

[0020] 数码摄像机用于拍摄所述坡体变形过程的图像信息。

[0021] 优选地,所述应力测量部包括:

[0022] 孔隙水压力传感器,该孔隙水压力传感器为4根以上,设置在坡体内部,用于测量用于测量孔隙水压力;

[0023] 含水率传感器,用于测量坡体的土体含水量及浸润线位置。

[0024] 本发明具有如下优点:

[0025] 1、本发明模型实验平台具有大尺寸、高精度、可调节、分段式特点,采用分段式滑槽模拟滑床,其角度可任意调节,可对不同地貌形态的边坡进行相似模型实验;

[0026] 2、考虑了多种水动力耦合作用,可实现库水位升降、人工降雨及承压水施加三种水力边界条件,可研究多种水动力耦合作用下边坡的破坏规律;

[0027] 3、多种测试手段相结合,能够准确把握滑坡不同发展阶段,各可测物理量的变化规律,为更好地开展滑坡演化不同阶段的关键参量研究提供可能。

附图说明

[0028] 图1为滑坡模拟实验平台示意图;

[0029] 图 2 为图 1 坡体放大示意图。

具体实施方式

[0030] 如图 1、2 所示,本发明包括:库水位涨落模拟单元 1、滑坡实验槽段 2、人工降雨模拟单元 3 和测量单元 4。滑坡实验槽段 2 进一步包括水平槽段 21 和斜坡槽段 22,水平槽段 21 和斜坡槽段 22 上均铺设有由沙土混合物组成的坡体 8,水平槽段 21 的后端和斜坡槽段 22 的前端相铰接连接。斜坡槽段 22 为 2 段以上依次首尾铰接连接的槽段,每一个槽段底部均设置有可调整该槽段倾角的举升单元 5;库水位涨落模拟单元 1 设置在水平槽段 21 的前端,人工降雨模拟单元 3 设置在滑坡实验槽段 2 的上部。在斜坡槽段 22 的后端设置有马氏管后缘补水单元 6。测量单元 4 包括用于测量坡体变形过程的变形测量部、用于测量坡体孔隙水压力和土体压力及含水量的应力测量部。在滑坡试验段 2 的上部还设置有可沿滑坡试验段 2 长度方向来回移动的并向滑坡试验段 2 添加沙土混合物的料斗 7。

[0031] 下面进一步描述各个单元。

[0032] 如图 1 所示,在本发明实施例中,滑坡实验槽段 2 包括水平槽段 21 和斜坡槽段 22,斜坡槽段 22 为 2 段,在斜坡槽段 22 后部还设置有平台 29,水平槽段 21、两段斜坡槽段 22 和平台 29 的投影长度分别为 $L_1 = 1m$ 、 $L_2 = 3m$ 、 $L_3 = 6m$ 、 $L_4 = 1m$;各段的宽度均为 3m。其中两个斜坡槽段 22 通过铰接连接能满足绕轴转动,两个斜坡槽段 22 在转动的过程中实现无极限位。平台 29 斜坡槽段 22 搭接,平台 29 是分开独立存在,平台 29 上也可以堆积与斜坡槽段 22 一样的沙土混合物,用于与斜坡槽段 22 进行比较。通过转动两个斜坡槽段 22,可以实现可对不同地貌形态的边坡进行相似的模型实验。

[0033] 另外,举升单元 5 采用丝杠抬升系统,是为了达到两个斜坡槽段 22 的转动就位:丝杠 51 通过万向球轴连接在两个斜坡槽段 22 下,使用两台电机 52,并通过与丝杠 51 连接的齿轮旋转实现丝杠 51 的转动,从而实现丝杠 51 直线抬升的目的。两个斜坡槽段 22 的抬升需要两个传动电机 52 相互配合共同完成。在水平槽段 21 和两个斜坡槽段 22 就位后,在通过滑轨铲车将平台 29 抬升至指定需要的高度,再将平台 29 水平移动到斜坡槽段 22 处,并且与平台 29 搭接。

[0034] 如图 1、2 在斜坡槽段 22 上开设有 3 个以上的承压水孔洞 23,每个承压水孔洞 23 上均铺设有一层承压水膜 24,每个承压水孔洞 23 通过水管 25 与水箱 26 连接,通过水箱 26 向每个承压水孔洞 23 供水,并通过承压水膜 24 对沙土混合物的坡体 8 施加压力。在本发明实施例中,承压水孔洞 23 为 9 个,均布在斜坡槽段 22 上,承压水孔洞 23 在斜坡槽段 22 上是通孔,在斜坡槽段 22 的底部各个承压水孔洞 23 通过水管 25 与水箱 26 连接,承压水水箱 26 为方形水箱,分为 9 个隔室,每隔室不间断供水,水箱 29 的高度可以调节,在每个联通水管的中部都通过三通控制阀 28 连接有压力传感器 27,用于实时监测承压水压力,从而实现对承压水水压力的控制。

[0035] 另外,马氏管后缘补水单元 6 通过在滑坡模型后缘使用小管对后缘的边坡层面进行滴渗补水,配合补充承压水系统使用,可以模拟实际情况下的强降雨入渗土体后形成的水体在层面短暂停留的情况。

[0036] 另外,库水位涨落模拟单元 1 包括库水容水池 11、水压力传感器 12、进出水管 13 和变频伺服流量计 14,水压力传感器 12 固定于库水容水池 11 底部,变频伺服流量计 14 连

接进出水管 13, 进出水管 13 延伸至库水容水池 11 底部。通过变频伺服流量计 14 实现库水位上升及下降速度控制, 又通过水压力传感器 12 对其进行校核更正。

[0037] 人工降雨模拟单元 3 采用一种喷射型模拟仿真自然降雨设备, 该单元安装在实验模型的顶部, 系统采用闭环控制法, 即在降雨区布设的雨量计可实时监测降雨强度大小, 并将数据传输至控制台, 与设定的雨强值进行逼近式对比分析, 再通过自动调节流量调节阀、调压阀等组件, 改变供水水压及流量, 从而准确地模拟不同雨强的自然降雨。

[0038] 测量单元 4 的变形测量部包括: 位移传感器 44 和数码摄像机 43、45; 位移传感器 44 设置在坡体 8 内部, 用于测量看不见的坡体内部变形; 数码摄像机 43、45 用于拍摄坡体 8 变形过程的图像信息, 通过后期的图像分析, 还可以获得斜坡槽段 22 倾斜角变化的信息。

[0039] 此外, 测量单元 4 的应力测量部包括: 孔隙水压力传感器 42 和含水率传感器 48; 孔隙水压力传感器 42 为 4 根以上, 设置在坡体 8 内部, 用于测量孔隙水压力; 含水率传感器 48 用于测量坡体 8 的土体含水量及浸润线位置。另外, 根据情况, 还可以设置土压力传感器(未图示出), 土压力传感器为 6 根以上, 埋设在坡体 8 内部, 用于测量坡体 8 的土压力。

[0040] 表面位移测量主要是数码摄像机 43、45 和系统软件以及坡体 8 表面的布设监测点完成。在坡体 8 表面布置网格, 并在相应的网格交叉点处放置白色的三角形标志点, 用数码摄像机 43、45 对整个实验过程进行定点跟踪拍摄, 记录下随着边坡的变形、位移情况, 之后通过单帧取像, 并量取每个标志点的位移, 最后, 绘出坡面上监测点的个数与位移之间的直方图。数码摄像机 43、45 拍摄到的边坡破坏过程中则给出了滑坡标志点的位移与达到相应位移区间的点数之间的关系, 利用这种直方图能够反映边坡失稳的演化过程。

[0041] 深部位移测量主要是由位移传感器 44 配合传感器探头滑移块组合而成, 激光位移传感器 44 固定安装在承压水膜的压条上, 在激光位移传感器 44 的杆头上安装丝扣连接的小型滑移块, 可以随模型深部的土体滑移, 从而测量出深部滑移量。

[0042] 土壤水分测量采用 TDR 时域反射技术测量土壤的介电常数, 介电常数又与土壤水分含量的多少有着密切的关系, 因此土壤的含水量即可以通过模拟电压输出被读数系统计算并显示出来。试样准备完毕后将土体含水率传感器 48 的探针从滑坡模型的表面插入, 根据测量的深度, 将探针插入指定深度即可。

[0043] 本发明使用时, 采用如下步骤:

[0044] 1、制作土样, 通过本发明测定滑坡模型实验土样物理力学基本参数;

[0045] 2、滑床角度就位, 根据实验模拟相似比的要求, 通过举升单元 5 斜坡槽段 22 抬升旋转就位到预定的倾角;

[0046] 3 通过液压传动将平台 29 抬升到指定高度, 通过滑轨将平台 29 与斜坡槽段 22 搭接;

[0047] 4、安装线位移传感器 44 和孔隙水压力传感器 42;

[0048] 5、铺设土层, 通过夯实器分层压制土样至设定密度, 保证土样的均匀性;

[0049] 6、土层铺设完毕后坡体表面布置网格, 并在相应的网格交叉点处放置白色的三角形标志点;

[0050] 7、实验过程中, 通过在指定位置布设含水率传感器 48, 对滑坡体不同部位土体含水量进行测量, 对土体含水量与边坡失稳破坏之间的关联性规律进行研究;

[0051] 8、开启库水位涨落模拟单元 1, 通过变频流量计 14 和高精度水压力传感器 12, 可

对库水位液面上升、下降速度进行伺服控制,达到模拟水库涨落的目的;

[0052] 9、开启人工降雨模拟单元3,通过流量计、伺服装置,通过对雨强和持时的调节,对降雨强度进行总体控制;配合降雨开启承压水和马氏管,通过控制调整供水水箱26与第三段底板(远离水平槽段21的那个斜坡槽段22)的相对高差,进行承压水大小的控制;

[0053] 10、在滑坡实验平台的斜上方布设数码摄像机45,后方布设数码摄像机43,捕捉各指定工况下表层土体上的白色的三角形标志点,从而得出位移图像,通过对所得图像进行像素分析,进行滑坡不同发展阶段不同高程土体的位移矢量场演化规律研究;

[0054] 11、通过PLC转化将各个采集传感器的数据在PC机器上显示,并且保存各个传感器测量装置的有效数据;

[0055] 12、整理分析实验数据。

[0056] 这样,就可以实现在多因素作用下的滑坡物理模拟实验。

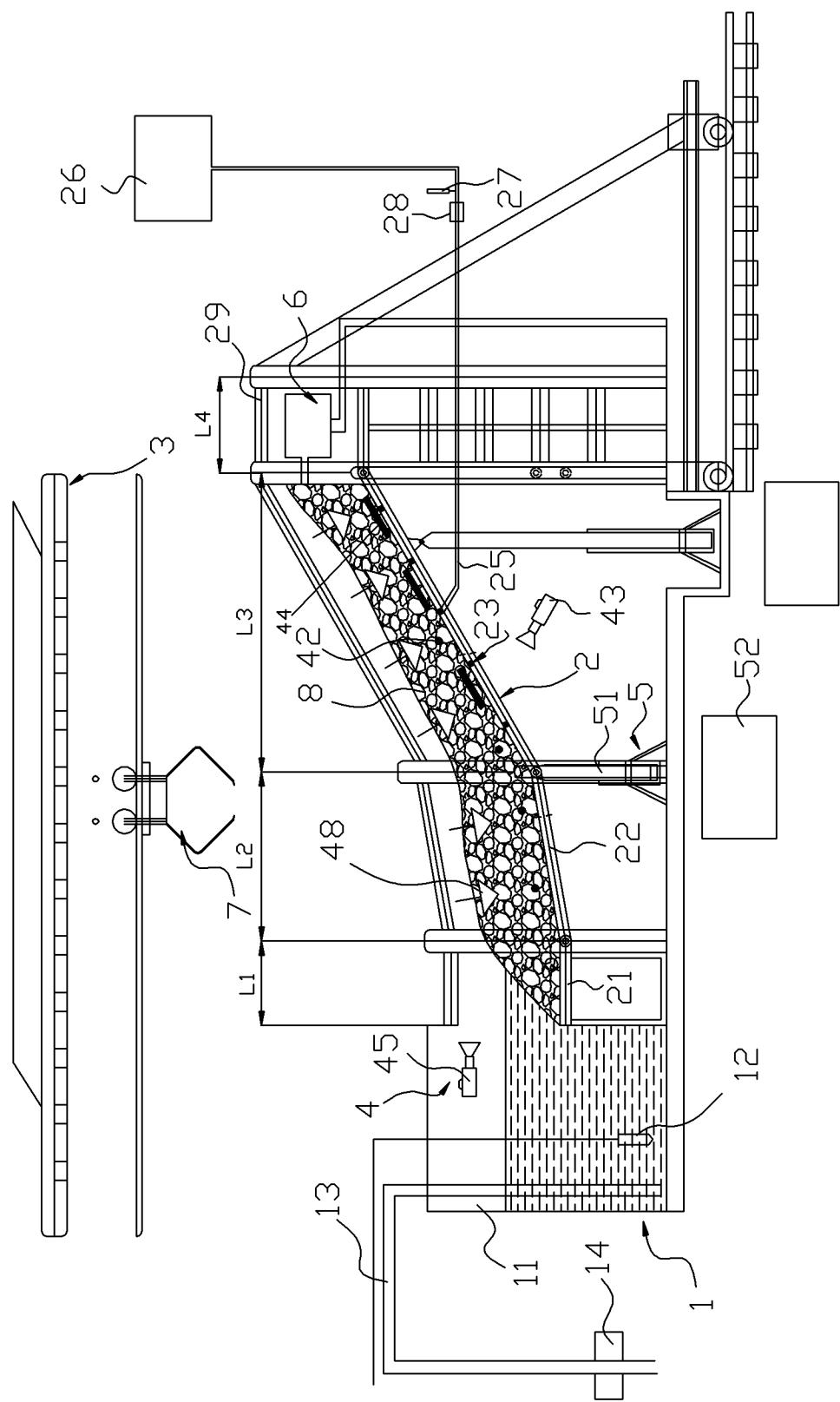


图 1

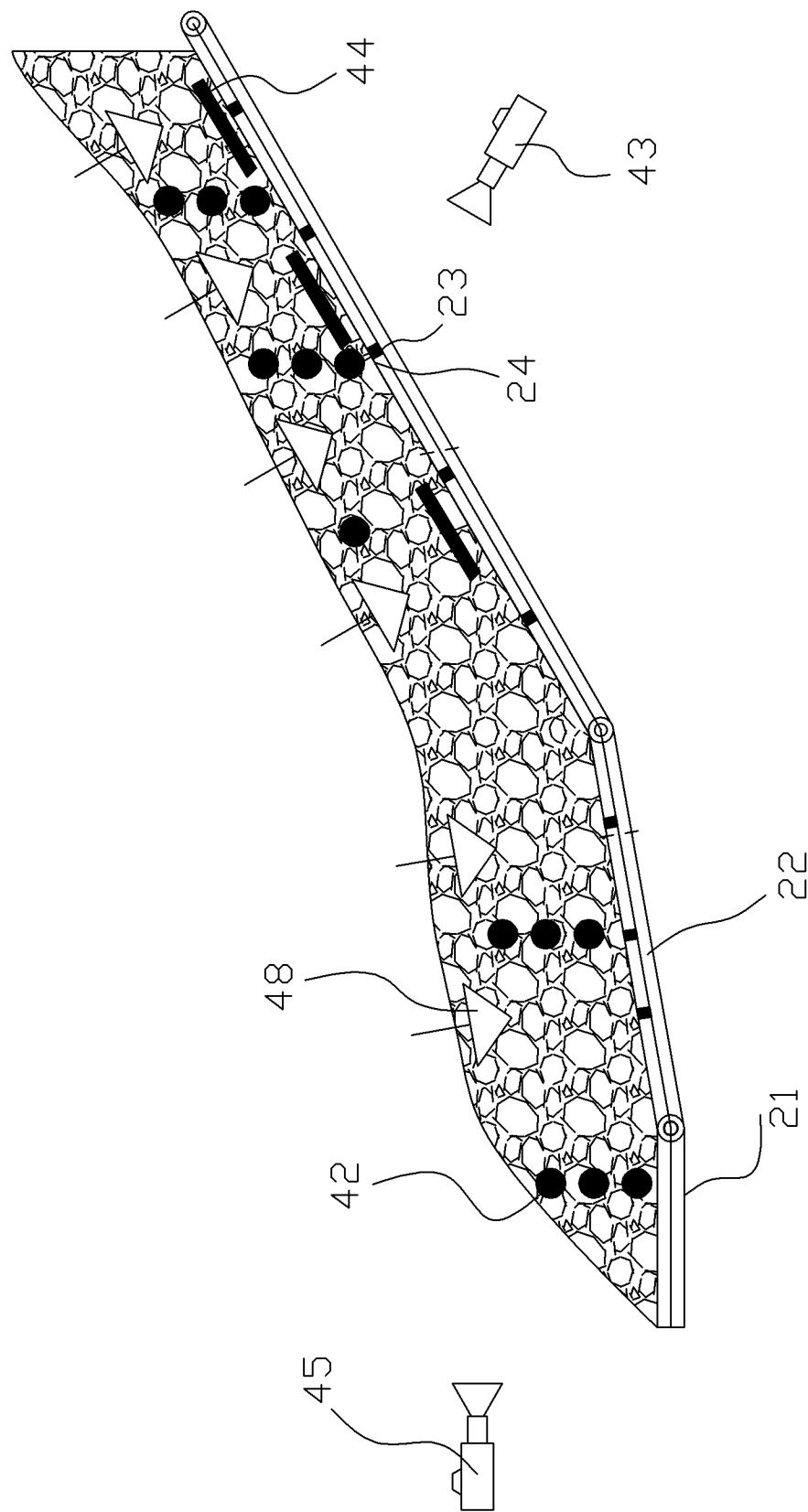


图 2