



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109540935 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 21

(21) 申请号 201811627388.2

(22) 申请日 2018.12.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109540935 A

(43) 申请公布日 2019.03.29

(73) 专利权人 长安大学
地址 710064 陕西省西安市碑林区南二环路中段

(72) 发明人 李鑫 张晓周 卢阳春 郭雯
卢玉东 杨亚慧 郑策 范文

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200
专利代理师 徐文权

(51) Int. Cl.
G01N 23/046 (2018.01)
G01N 15/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108037055 A, 2018.05.15

CN 106018746 A, 2016.10.12

CN 108169453 A, 2018.06.15

US 5297420 A, 1994.03.29

CN 209372722 U, 2019.09.10

Sacha J. Mooney et al..A

morphological approach to understanding preferential flow using image analysis with dye tracers and X-ray Computed Tomography. Catena. 2008, 73第204-211页.

潘网生 等. 基于非均匀性和分形维数的黄土优先流特征定量分析. 农业工程学报. 2017, 33(03), 第140-147页.

方辉煌 等. 基于微米焦点CT技术的煤岩数字岩石物理分析方法——以沁水盆地伯方3号煤为例. 煤田地质与勘探. 2018, 46(05), 第167-174, 181页.

审查员 张佳宁

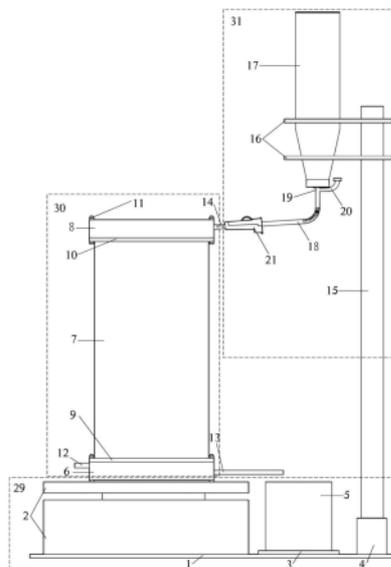
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置及使用方法

(57) 摘要

本发明公开了用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置及使用方法, 该装置可视化的容器内存放黄土, 持续加液装置持续的向渗流腔内提供液体, 黄土逐渐渗流的过程中, CT能够清晰扫描黄土内的孔隙变化情况与液体的渗流路径等相关参数; 该装置结构简单, 安装与拆卸方便, 自动化程度高. 该装置的使用方法采用先进的X射线CT无损检测技术, 对持续加湿条件下原状土可视化渗流装置中原状黄土样品进行动态CT扫描, 利用AVIZO三维可视化重建平台, 对干湿条件下的CT扫描结果进行图像处理、三维可视化重建与孔裂隙特征分析、优先流渗流路径提取, 获取孔裂隙优先渗流通道及优先流动态发育规律.



1. 用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,

用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置包括基底(29)、原状土可视化渗流装置(30)和持续加液装置(31);基底(29)包括底板(1),底板(1)上依次固定设置有实时计重秤(2)和集液烧杯(5);

原状土可视化渗流装置(30)设置在实时计重秤(2)上,包括渗流腔(7),渗流腔(7)的上端固定连接渗流顶盖(8),下端固定连接渗流底盖(6);渗流顶盖(8)内开设有进水储水区(26),进水储水区(26)的下部固定设置有上透水石(25);渗流顶盖(8)内设置有进水管(14),进水管(14)的一端连通至进水储水区(26),另一端连通至持续加液装置(31);渗流底盖(6)内开设有出水集水区(23),出水集水区(23)的上部固定设置有下透水石(22),渗流底盖(6)内设置有排水管(13),排水管(13)的一端和出水集水区(23)连通,另一端在集液烧杯(5)的上方;

持续加液装置(31)包括支撑杆(15)和加液瓶(17),支撑杆(15)固定设置在底板(1)上,加液瓶(17)通过支固板(16)固定设置在支撑杆(15)上;加液瓶(17)的下端连通有导流管(18),导流管(18)的另一端和进水管(14)连通;

CT扫描原状黄土优先流时,黄土样品(28)安装在渗流腔(7)内;渗流腔(7)选用有机玻璃材质;

所述用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法包括以下步骤:

步骤1,将原状黄土块体加工成柱状样;分别在柱状样的顶部和底部加工回形凹槽,清理加工的柱状样,在柱状样上回形凹槽以外的区域涂刷AB胶,刷完胶后放置柱状样至AB胶完全凝固,制备出黄土样品(28);

步骤2,将黄土样品(28)放入渗流腔(7)中,关闭持续加液装置(31),在加液瓶(17)中装入碘化钾造影剂溶液;设置实时计重秤(2)为自动连续读数模式;

步骤3,CT扫描干燥的黄土样品(28);对扫描得到的连续切片利用AVIZO进行图像处理与三维可视化重建,获取干燥的黄土样品(28)的空隙结构量化参数;

步骤4,打开实时计重秤(2)和持续加液装置(31),加液瓶(17)开始向渗流腔(7)中输入碘化钾造影剂溶液;同时进行CT扫描,对扫描得到的连续切片利用AVIZO进行图像处理与三维可视化重建,获取加液过程中各个时刻黄土样品(28)的空隙结构量化参数,并提取出液体渗流路径和湿润锋行进特征;

步骤5,对比分析步骤3和步骤4获得的渗流前后黄土样品(28)的空隙结构量化参数,得出加湿作用下黄土孔隙裂隙结构的损伤演化与拓展发育规律;

步骤6,利用AVIZO软件对步骤4中各时刻液体渗流路径体积进行计算,将其与对应时刻渗流所用液体体积进行对比分析,得到优先流渗流量随时间的变化特征;

步骤7,更换黄土样品(28),重复步骤1-步骤6,进行试验;

步骤8,总结步骤7进行的多次试验结果,得到黄土孔裂隙尺度优先流渗流规律。

2. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,步骤1中,AB胶由环氧树脂和聚酰胺树脂按1:1比例配置而成,刷胶时间 $\leq 30\text{min}$;步骤2中,碘化钾造影剂溶液的浓度为 60g/L ;实时计重秤(2)的自动连续读数模式中,读数频率为 10次/秒 。

3. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特

征在于,步骤6中,结合优先流渗流量随时间的变化特征、步骤4中的优先流湿润锋行进特征及步骤5中黄土空隙结构定量化参数的变化规律,获得优先流发育过程中孔隙度与时间的关系、孔隙度与含水率关系、优先流通道迂曲度与含水率的关系、优先流湿润峰分形维数与含水率的关系。

4. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,渗流顶盖(8)的下表面开设有阶梯型圆形凹槽,下部的圆形凹槽直径大于上部的圆形凹槽直径,两个圆形凹槽同圆心;下部的圆形凹槽用于放置上透水石(25),上部的圆形凹槽为进水储水区(26)。

5. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,渗流底盖(6)的上表面开设有阶梯型圆形凹槽,下部的圆形凹槽直径小于上部的圆形凹槽直径,下部的圆形凹槽为出水集水区(23);上部的圆形凹槽装有以下透水石(22)。

6. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,支固板(16)为上、下两块平行的支固板(16);两块支固板(16)的一侧和支撑杆(15)固定连接,另一侧均开设有圆孔,两个圆孔的圆心同轴;下部的支固板(16)圆孔的直径小于上部的支固板(16)的圆孔的直径;加液瓶(17)架装在两个同心的圆孔内。

7. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,导流管(18)的一端固定连接有针管头(19),针管头(19)插入在加液瓶(17)底部的瓶盖中;针管头(19)与导流管(18)连接处连通有进气管(20);导流管(18)上设置有流量调节器(21)。

8. 根据权利要求1所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,渗流腔(7)的顶部设置有上连接板(10),渗流腔(7)的底部设置有下连接板(9);渗流腔(7)通过上连接板(10)和渗流顶盖(8)固定连接,渗流腔(7)通过下连接板(9)和渗流底盖(6)固定连接;渗流腔(7)和上连接板(10)及下连接板(9)组装时,上连接板(10)和渗流顶盖(8)内的顶盖密封圈(27)接触,下连接板(9)和渗流底盖(6)内的底盖密封圈(24)接触。

9. 根据权利要求1-8任一项所述的用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,其特征在于,底板(1)上设置有环状皿(3)和筒状固定端(4),集液烧杯(5)设置在环状皿(3)上,支撑杆(15)的一端固定设置在筒状固定端(4)内;渗流底盖(6)内设置有排气管(12),排气管(12)的一端和大气相通,另一端连通至下透水石(22)的侧壁。

用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置及使用方法

【技术领域】

[0001] 本发明属于土体渗流实验技术领域,涉及一种用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置及使用方法。

【背景技术】

[0002] 黄土是干旱半干旱地区的风成沉积物,质地疏松,具有明显的柱状节理和孔洞,这使得黄土成为一种特殊的结构性地质材料,这种结构性直接影响着黄土的力学性质和水力特性。此外,由于黄土形成过程中动植物活动、冻融循环、干湿交替、水化学溶蚀、物理潜蚀等外界因素的作用下,使得黄土中普遍发育大孔隙。

[0003] 大孔隙的存在,使水分在下渗过程中将首先沿其入渗而绕过大部分基质颗粒,以优先流的形式在短时间内到达土体深层。黄土中优先流的研究对于解释黄土斜坡水分渗流机理、渗流场与应力场分布规律、优先流促滑效应等具有重要的作用。

[0004] 目前在黄土优先流研究方面已有不少成果,斜坡尺度上主要是利用探地雷达、电阻率层析成像、高密度电法、地震模拟法等无损探测手段进行优势渗流通道探测,然而该类手段只能在表面现象的层面揭示优先流的渗流路径,往往受限于分辨率的影响,难以揭示优先流渗流的细节及本质;渗流小区尺度主要是在染色示踪的基础上,进行剖面开挖和拍照,通过图像处理进一步揭示优先流渗流特征,然而该方法具有破坏性,难以重复,并且费时费力。

[0005] 众所周知,黄土是一种具有特殊结构的土体,具有较强的孔隙性和各向异性,黄土的微观孔隙裂隙尺度的结构性决定着宏观水土力学性质与工程地质性质,孔裂隙尺度的优先流研究对揭示宏观渗流规律具有重要的作用,然而传统手段一方面对土体具有破坏性,另一方面难以揭示土体内部三维渗流情况;

[0006] 随着CT被引进到工业领域,经过多年的发展,现已在石油、地质、机械、材料等多个领域得到广泛应用。虽然CT在土体优先流方面已有不少研究,但多是在静态黄土结构定量化的基础上,利用数值模拟的方法模拟优先流渗流,其容易忽略渗流过程中由于渗透压变化导致的土体结构破坏或孔隙裂隙的拓展发育等信息,从而导致优先流在孔裂隙结构中的真实渗流情况不能被揭示。同时,在对于具有特殊性黄土孔隙裂隙尺度优先流的动态渗流研究较为欠缺。

【发明内容】

[0007] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点,提供一种用于CT扫描的原状黄土优先流动态观测装置及使用方法;能够精确观测动态渗流条件下,黄土孔隙裂隙结构的损伤演化与拓展发育规律及孔裂隙优势通道中优先流渗流特征。

[0008] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案予以实现:

[0009] 用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置,包括基底、原状土可视化渗流装置和持续加液装置;基底包括底板,底板上依次固定设置有实时计重秤和集液烧杯;

[0010] 原状土可视化渗流装置设置在实时计重秤上,包括渗流腔,渗流腔的上端固定连接渗流顶盖,下端固定连接渗流底盖;渗流顶盖内开设有进水储水区,进水储水区的下部固定设置有上透水石;渗流顶盖内设置有进水管,进水管的一端连通至进水储水区,另一端连通至持续加液装置;渗流底盖内开设有出水集水区,出水集水区上部固定设置有下透水石,渗流底盖内设置有排水管,排水管的一端和出水集水区连通,另一端在集液烧杯的上方;

[0011] 持续加液装置包括支撑杆和加液瓶,支撑杆固定设置在底板上,加液瓶通过支固板固定设置在支撑杆上;加液瓶的下端连通有导流管,导流管的另一端和进水管连通;

[0012] CT扫描原状黄土优先流时,黄土样品安装在渗流腔内;渗流腔选用有机玻璃材质。

[0013] 本发明的进一步改进在于:

[0014] 优选的,渗流顶盖的下表面开设有阶梯型圆形凹槽,下部的圆形凹槽直径大于上部的圆形凹槽直径,两个圆形凹槽同圆心;下部的圆形凹槽用于放置上透水石,上部的圆形凹槽为进水储水区。

[0015] 优选的,渗流底盖的上表面开设有阶梯型圆形凹槽,下部的圆形凹槽直径小于上部的圆形凹槽直径,下部的圆形凹槽为出水集水区;上部的圆形凹槽装下透水石。

[0016] 优选的,支固板为上、下两块平行的支固板;两块支固板的一侧和支撑杆固定连接,另一侧均开设有圆孔,两个圆孔的圆心同轴;下部的支固板圆孔的直径小于上部的支固板的圆孔的直径;加液瓶架装在两个同心的圆孔内。

[0017] 优选的,导流管的一端固定连接针管头,针管头插入在加液瓶底部的瓶盖中;针管头与导流管连接处连通有进气管;导流管上设置有流量调节器。

[0018] 优选的,渗流腔的顶部设置上连接板,渗流腔的底部设置下连接板;渗流腔通过上连接板和渗流顶盖固定连接,渗流腔通过下连接板和渗流底盖固定连接;渗流腔和上连接板及下连接板组装时,上连接板和渗流顶盖内的顶盖密封圈接触,下连接板和渗流底盖内的底盖密封圈接触。

[0019] 优选的,底板上设置有环状皿和筒状固定端,集液烧杯设置在环状皿上,支撑杆的一端固定设置在筒状固定端内;渗流底盖内设置有排气管,排气管的一端和大气相通,另一端连通至下透水石的侧壁。

[0020] 上述用于CT扫描原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,包括以下步骤:

[0021] 步骤1,将原状黄土块体加工成柱状样;分别在柱状样的顶部和底部加工回形凹槽,清理加工的柱状样,在柱状样上回形凹槽以外的区域涂刷AB胶,刷完胶后放置柱状样至AB胶完全凝固,制备出黄土样品;

[0022] 步骤2,将黄土样品放入渗流腔中,关闭持续加液装置,在加液瓶中装入碘化钾造影剂溶液;设置实时计重秤为自动连续读数模式;

[0023] 步骤3,CT扫描干燥的黄土样品;对扫描得到的连续切片利用AVIZO进行图像处理与三维可视化重建,获取干燥的黄土样品的空隙结构量化参数;

[0024] 步骤4,打开实时计重秤和持续加液装置,加液瓶开始向渗流腔中输入碘化钾造影剂溶液;同时进行CT扫描,对扫描得到的连续切片利用AVIZO进行图像处理与三维可视化重建,获取加液过程中各个时刻黄土样品的空隙结构量化参数,并提取出液体渗流路径和湿润锋行进特征;

[0025] 步骤5,对比分析步骤3和步骤4获得的渗流前后黄土样品的空隙结构定量化参数,得出加湿作用下黄土孔隙裂隙结构的损伤演化与拓展发育规律;

[0026] 步骤6,利用AVIZO软件对步骤4中各时刻液体渗流路径体积进行计算,将其与对应时刻渗流所用液体体积进行对比分析,得到优先流渗流量随时间的变化特征;

[0027] 步骤7,更换黄土样品,重复步骤1-步骤6,进行试验;

[0028] 步骤8,总结步骤7进行的多次试验结果,得到黄土孔裂隙尺度优先流渗流规律。

[0029] 优选的,步骤1中,AB胶由环氧树脂和聚酰胺树脂按1:1比例配置而成,刷胶时间 $\leq 30\text{min}$;步骤2中,碘化钾造影剂溶液的浓度为 60g/L ;实时计重秤2的自动连续读数模式中,读数频率为10次/秒。

[0030] 优选的,步骤6中,结合优先流渗流量随时间的变化特征、步骤4中的优先流湿润锋行进特征及步骤5中黄土空隙结构定量化参数的变化规律,获得优先流发育过程中孔隙度与时间的关系、孔隙度与含水率关系、优先流通道迂曲度与含水率的关系、优先流湿润峰分形维数与含水率的关系。

[0031] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0032] 本发明公开了一种用于CT扫描的原状黄土优先流动态观测装置,该装置可视化的容器存放黄土,持续加液装置持续的向渗流腔内提供液体,黄土逐渐渗流的过程中,CT能够清晰无损地扫描黄土内的孔隙变化情况与液体的渗流路径等相关参数;该装置结构简单,安装与拆卸方便,自动化程度高。渗流腔选用有机玻璃,利用有机玻璃对X射线较小的衰减性,确保更大的X射线能量穿过黄土样品,从而获得更好的扫描效果。

[0033] 进一步的,渗流顶盖开设有阶梯型的圆形凹槽,上下两个凹槽的直径不同,一个用于储水,另一个用于放置透水石,使得渗入腔体内黄土的水为缓慢渗入,符合实际情况。

[0034] 进一步的,渗流底盖开设有阶梯型的圆形凹槽,上下两个凹槽的直径不同,一个用于储水,另一个用于放置透水石,使得从黄土流出的水缓慢流出,不会因为无法流出装置而浸泡黄土,符合实际情况。

[0035] 进一步的,支固板开设有两个同心圆孔,两个圆孔的直径不同,使得加液瓶能够架装在两个同心圆孔内。

[0036] 进一步的,针管头便于导流管插入加液瓶中,进气管能够平衡液体导流的压强;流量调节器能够控制进入渗流腔的液体流速。

[0037] 进一步的,渗流腔通过上、下连接板和渗流顶盖与渗流底盖连接,渗流顶盖和渗流底盖内均设置有密封圈;通过连接板将渗流腔与渗流底盖、顶盖连接起来,且三者连接固定,确保渗流装置整体的密封性。

[0038] 本发明还公开了一种用于CT扫描的原状黄土优先流动态观测装置的使用方法,该方法采用先进的X射线CT无损检测技术,对持续加湿条件下原状土可视化渗流装置中原状黄土样品进行动态CT扫描,利用AVIZO三维可视化重建平台,对干湿条件下的CT扫描结果进行图像处理、三维可视化重建与孔裂隙特征分析、优先流渗流路径提取,获取孔裂隙优先渗流通道及优先流动态发育规律,获取优先流的相关特征参数,可以为今后建立适用于黄土优先流模拟的渗流模型提供必要的参数;对揭示黄土斜坡优先流促滑致灾机理研究提供一定的理论基础。

[0039] 使用过程中,原状黄土样品在前期制样时,加工为长方体柱,土柱表面刷上AB胶,

保证液体完全在土样中下渗而不外流,同时将柱体顶底端均凿成回形凹槽,顶端凹槽用来收集透水石渗下来的液体,底端凹槽为了阻断扫描过程中黄土样品底部与液体接触而产生毛细上升现象;利用碘化钾相对于纯水或空气较大的X射线衰减性,在CT扫描加液时起到增强显示的作用。

【附图说明】

[0040] 图1为本发明的结构示意图;

[0041] 图2为本发明的原状土可视化渗流装置的线框结构示意图;

[0042] 图3为本发明的渗流底盖的俯视线框结构图;

[0043] 图4为本发明的渗流底盖的侧视线框结构图;

[0044] 图5为本发明的渗流顶盖的俯视线框结构图;

[0045] 图6为本发明的渗流顶盖的侧视线框结构图;

[0046] 其中:1-底板;2-实时计重秤;3-环状皿;4-筒状固定端;5-集液烧杯;6-渗流底盖;7-渗流腔;8-渗流顶盖;9-下连接板;10-上连接板;11-螺丝;12-排气管;13-排水管;14-进水管;15-支撑杆;16-支固板;17-加液瓶;18-导流管;19-针管头;20-进气管;21-流量调节器;22-下透水石;23-出水集水区;24-底盖密封圈;25-上透水石;26-进水储水区;27-顶盖密封圈;28-黄土样品;29-基底;30-原状土可视化渗流装置;31-持续加液装置。

【具体实施方式】

[0047] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0048] 参见图1,本发明公开了一种用于CT扫描的原状黄土优先流动态观测装置及观测方法,所述观测装置包括基底29、原状土可视化渗流装置30和持续加液装置31;原状土可视化渗流装置30设置在基底29上部,持续加液装置31在基底29上方。

[0049] 基底29包括底板1、实时计重秤2、环状皿3、筒状固定端4和集液烧杯5;底板1上依次固定设置有实时计重秤2、环状皿3和筒状固定端4,集液烧杯5放置在环状皿3上;实时计重秤2、环状皿3和筒状固定端4在水平方向不接触,环状皿3和筒状固定端4均通过粘接剂固定在底板1上;实时计重秤2具有蓝牙无线传输功能,加液过程中,实时称重数据可传输到便携式计算机上,进行自动记录;实时计重秤2上放置有原状土可视化渗流装置30,筒状固定端4上固定安装有持续加液装置31;本实施例中,做出的实物模型中,底板1尺寸为500mm×300mm×7mm(长×宽×厚)的有机玻璃板,筒状固定端4尺寸为内径Φ30mm、高50mm的有机玻璃筒,实时计重秤2高度为100mm,实时计重秤2的底盘尺寸为300mm×280mm(长×宽)、托盘尺寸为280mm×200mm(长×宽),集液烧杯5的容积为250mL。

[0050] 参见图1和图2,原状土可视化渗流装置30包括渗流底盖6、渗流腔7、渗流顶盖8;渗流底盖6的上表面开设有阶梯型圆形凹槽,下部的圆形凹槽直径小于上部的圆形凹槽直径,下部的圆形凹槽为出水集水区23;上部的圆形凹槽装有下列透水石22、下透水石22为圆饼状透水石,其直径略小于上部的圆形凹槽的直径;渗流底盖6远离集液杯5的一侧下部设有排气管12直通下透水石22侧壁、靠近集液杯5的一侧下部设有排水管13,排水管13的一端直接和出水集水区23连通,另一端在集液烧杯5的上方,将出水集水区23的液体导出至集液烧杯5;渗流腔7在上、下两端分别设置有上连接板10和下连接板9,下连接板9的形状和尺寸和渗

流底盖6的尺寸和形状相同；下连接板9上开设有圆形通孔，圆形通孔与下透水石22的直径相同；下连接板9下表面开设有圆环形凹槽，圆环形凹槽用来封装底盖密封圈24，使得渗流腔7和渗流底盖6无缝弥合。

[0051] 渗流顶盖8的下表面开设有阶梯型圆形凹槽，下部的圆形凹槽直径大于上部的圆形凹槽直径，两个圆形凹槽同圆心；下部的圆形凹槽用于放置上透水石25，上部的圆形凹槽为进水储水区26；渗流顶盖8靠近持续加液装置31的一侧设有进水管14，进水管14的一端连通至进水储水区26，为渗流腔7内原状黄土样品28加液，另一端和持续加液装置31的导流管18连通；上连接板10上开设有圆形通孔，圆形通孔与上透水石25的直径相同；上连接板10上表面开设有圆环形凹槽，圆环形凹槽用来封装顶盖密封圈27，使得渗流腔7和渗流顶盖8无缝弥合。

[0052] 上连接板10和渗流顶盖8及下连接板9和渗流底盖6均通过螺丝11固定连接，确保渗流装置整体的密封性；做出的实物模型中，渗流底盖6尺寸为边长170mm、厚30mm，内设尺寸为 $\Phi 80\text{mm}$ 、高10mm的出水集水区23和尺寸为 $\Phi 112\text{mm}$ 、高10mm透水石放置区，下透水石22尺寸为 $\Phi 110\text{mm}$ 、高10mm，排气管12和排水管13内外径分别为 $\Phi 5\text{mm}$ 和 $\Phi 6\text{mm}$ ，渗流底盖6上表面设置有密封圈，其外径为 $\Phi 134\text{mm}$ ，内径为 $\Phi 126\text{mm}$ ，线径4mm；渗流腔7内尺寸为底边120mm、高170mm，两端连接板与渗流腔7通过玻璃胶粘接，连接板尺寸为边长170mm、厚5mm，中间开设有 $\Phi 110\text{mm}$ 圆形通孔，封装密封圈的圆环形凹槽其外径为 $\Phi 134\text{mm}$ ，内径为 $\Phi 126\text{mm}$ ，线径4mm，深2mm；渗流顶盖8尺寸为边长170mm、厚30mm，内设尺寸为 $\Phi 80\text{mm}$ 、高10mm的进水储水区26和尺寸为 $\Phi 112\text{mm}$ 、高10mm透水石放置区，透水石尺寸为 $\Phi 110\text{mm}$ 、高10mm，进水管14内外径分别为 $\Phi 5\text{mm}$ 和 $\Phi 6\text{mm}$ ，渗流顶盖8下表面设置有密封圈，其外径为 $\Phi 134\text{mm}$ ，内径为 $\Phi 126\text{mm}$ ，线径4mm；

[0053] 需要说明的是，上述尺寸设定只是本实施例中模型尺寸，所有结构件的尺寸均能够根据实际需求，在符合相应比例的前提下进行修改。

[0054] 持续性加液装置包括支撑杆15、平行的支固板16、加液瓶17、导流管18；支撑杆15固定插在筒状固定端4中，并且支撑杆15可以随时拆卸。平行的支固板16包括上下两块在左侧开设有不等径同心圆孔（下部支固板16上的圆孔直径小于上部支固板16上的圆孔直径）、右侧设有与支撑杆15等径的同心圆孔，平行支固板16为有机玻璃板，由右侧同心圆孔固定在支撑杆15上端，平行支固板16不等径的同心圆孔处装有倒置的加液瓶17，加液瓶17的底部设有导流管18，导流管18与原状土可视化渗流装置30的进水管14相连，为原状土可视化渗流装置30持续供水；导流管18的一端设有针管头19，针管头19穿过瓶盖插入加液瓶17中，针管头19与导流管18连接处设有进气管20，以平衡液体导流的压强；导流管18上设置有流量调节器21，控制进入渗流腔7的液体流速；持续加液装置31中支撑杆15尺寸为外径 $\Phi 30\text{mm}$ 、高600mm的空心有机玻璃管，上下两块平行支固板16上均开设有左右两个圆孔，右侧圆孔尺寸相同为 $\Phi 30\text{mm}$ ，和支撑杆15相匹配，左侧圆孔上板尺寸为 $\Phi 65\text{mm}$ 、下板为 $\Phi 45\text{mm}$ ；加液瓶17容积为500mL，导流管18内外径分别为 $\Phi 4.8\text{mm}$ 和 $\Phi 5\text{mm}$ 。

[0055] 相应地，本发明给出了一种用于CT扫描的原状黄土优先流动态观测方法，包括下述步骤：

[0056] (1) 黄土样品制备

[0057] 将野外采集的原状黄土块体加工成柱状样，优选地，加工尺寸为底边100mm、高

150mm的长方体柱,并将柱体顶底端均凿成回形凹槽,顶端凹槽为内边长50mm、深10mm的回形凹陷,底端凹槽为内边长50mm、深5mm的回形凹陷,顶端凹槽用来汇集透水石25渗下来的液体,底端凹槽为了阻断扫描过程中黄土样品28底部与液体接触而产生毛细上升现象;

[0058] 用毛刷子和洗耳球清理土柱表面黄土粉末,在土样表面(除回形区的部位)均匀涂刷AB胶,刷胶的目的是为样品提供一个外部不透水边界,使得水分均在土体内部进行渗流;优选地,所用AB胶由环氧树脂和固化剂聚酰胺树脂按1:1比例配置而成;刷胶的过程中,要尽量在30min内完成,时间过长,AB胶会凝固变稠;涂刷时要尽量均匀,以免凝固后开裂;刷完胶的样品需要放置24h,使胶完全凝固,以备实验使用。

[0059] (2) 设备安装与调试

[0060] 首先,将制备好的黄土样品28装入渗流腔7中,用螺丝11固定密封上连接板10和渗流顶盖8,以及下连接板9和渗流底盖6;其次,将持续加液装置31安装在底板1上的筒状固定端4,给加液瓶17中装入碘化钾造影剂溶液,利用导流管18和进水管14将加液瓶17与原状土可视化渗流装置30相连,该过程中,流量调节器21关闭;优选地,碘化钾溶液浓度配置为60g/L,该浓度下CT扫描增强显示效果较好,有利于后期提取优先流渗流路径。最后,设置实时计重秤2称重模式,优选地,将计重模式设置为自动连续读数,具体地设置为10次/秒的数据传输频次,以保证连续加液时足够的含水率捕捉精度;计重开始前首先在计算机上设置好可以自动排序和记录时间的EXCEL表格,以便加液过程中土样重量数据自动储存到EXCEL中,计重秤精度为0.1g;

[0061] (3) 干土样CT扫描

[0062] 在流量调节器21关闭的情况下,首先将干燥的黄土样品28进行CT扫描,CT扫描设备可选用医用的CT扫描仪或工业用CT扫描仪,对扫描得到的连续切片进行图像处理与三维可视化重建,获取干燥的原状土样的空隙结构定量化参数,以备后续加液情况下进行对比;

[0063] (4) 动态加液CT扫描

[0064] 加液扫描时,不要挪动装置,使得扫描位置与干样扫描时一致,以便精确比对;在开始扫描之前,打开实时计重秤2,利用第(2)步调好的计重模式进行自动称重,开启流量调节器21到合适的流速(0.035mL/s),同时开展动态加液可视化CT扫描,即在持续向黄土样品28内注入液体的同时,持续进行CT扫描;因CT扫描特点,使得扫描过程中可获得大量(约为200-300张)清晰地切片,这些切片清晰地反映了黄土样品28内渗流的过程;同样的,对扫描得到的连续切片进行图像处理与三维可视化重建,获取加液过程中各特定时刻土样的空隙结构定量化参数(具体地,体现在孔隙度、有效孔隙度、等效直径、迂曲度、形状因子、配位数、孔隙数目、孔隙长度、线密度、连通性等量的量值上),并提取出液体渗流路径和湿润锋行进特征,湿润锋行进特征包括湿润锋行进速度、湿润锋形状和分形维数。

[0065] (5) 加液前后土样空隙特征与渗流分析

[0066] 通过对加液过程中系列时刻土样CT扫描和数据处理的得到的空隙结构定量化参数(孔隙度、有效孔隙度、等效直径、迂曲度、形状因子、配位数、孔隙数目、孔隙长度、线密度、连通性等)与原状干土样的结果进行对比分析,可以获取黄土细观孔隙裂隙结构的损伤演化与拓展发育规律及孔裂隙优势通道中优先流渗流特征;

[0067] (6) 优先流动态发育规律分析

[0068] 利用AVIZO软件对步骤4中各时刻液体渗流路径体积进行计算,将其与对应时刻渗

流所用液体体积进行对比分析,得到优先流渗流量随时间的变化规律,结合优先流渗流量随时间的变化特征、步骤4中的优先流湿润锋行进特征及步骤5中黄土孔隙裂隙结构参数的变化规律,可绘制优先流孔隙度与时间的关系,优先流通道孔隙度与含水率关系,优先流发育程度与含水率的关系,优先流通道迂曲度与优先流发育程度的关系,优先流湿润峰分形维数与含水率的关系等,全面的分析在加湿过程中,原状黄土优先流的动态发育规律。

[0069] (7) 更换不同的黄土样品28,重复步骤(1)~(6),进行试验;

[0070] (8) 通过大量试验总结黄土孔裂隙尺度优先流渗流规律,提炼今后建立适用于黄土优先流模拟的渗流模型提供必要的参数。

[0071] CT扫描过程中的该装置工作过程:

[0072] 上述步骤中,从第(4)步开始,打开实时计重秤2,调整好计重模式进行自动称重,开启流量调节器21,在CT扫描的过程中,加液瓶17持续的向渗流腔7内注入造影剂溶液;注入的过程中,造影剂溶液首先进入进水储水区26,经过上透水石25缓慢的渗入至黄土样品28中,随着时间的推移,造影液逐渐入渗至黄土样品28的底部,从下透水石22渗出至出水集水区,最终通过排水管导流至集液烧杯5中;整个过程中,从黄土样品28逐步渗出的气体通过排气管12排出。

[0073] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

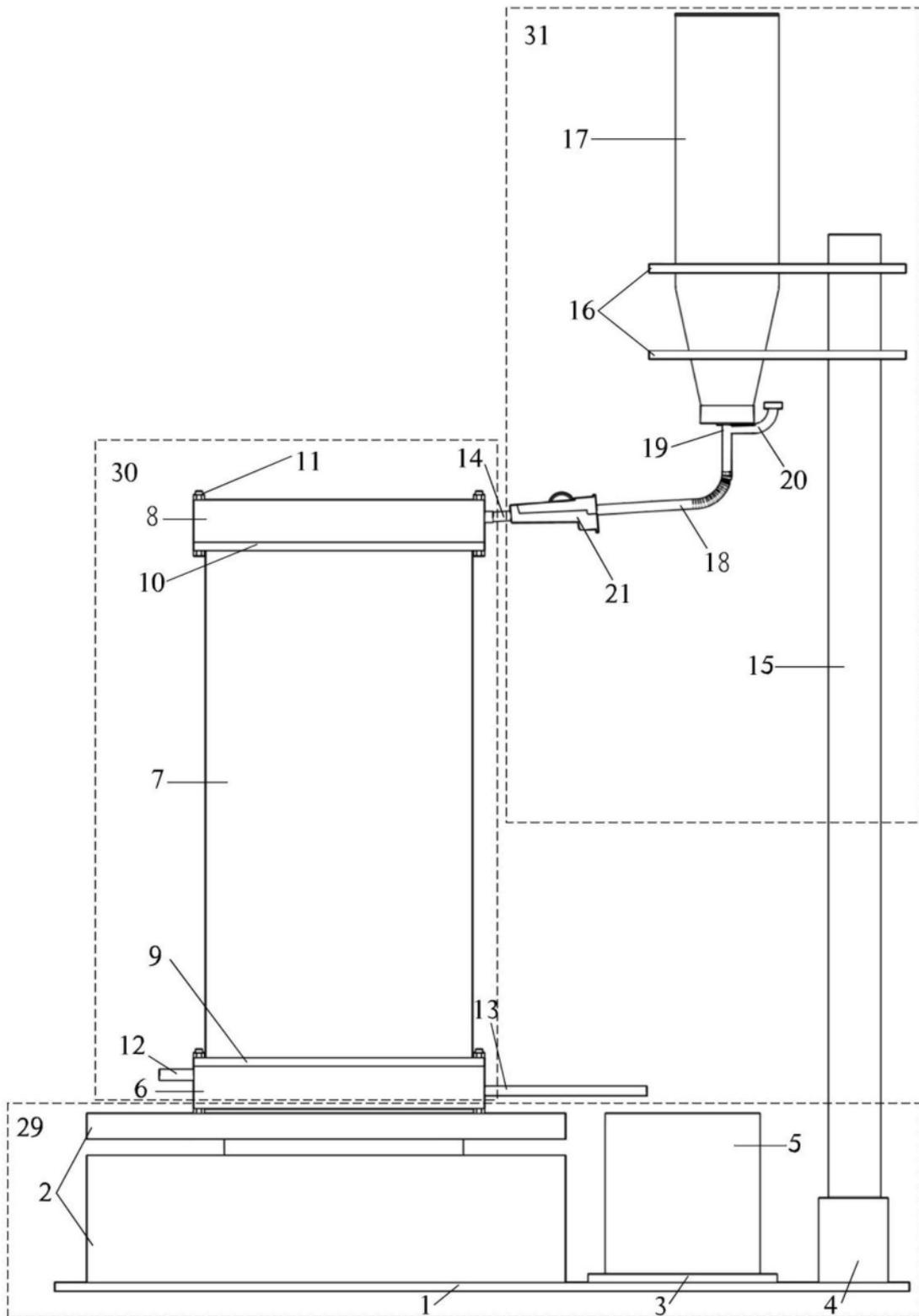


图1

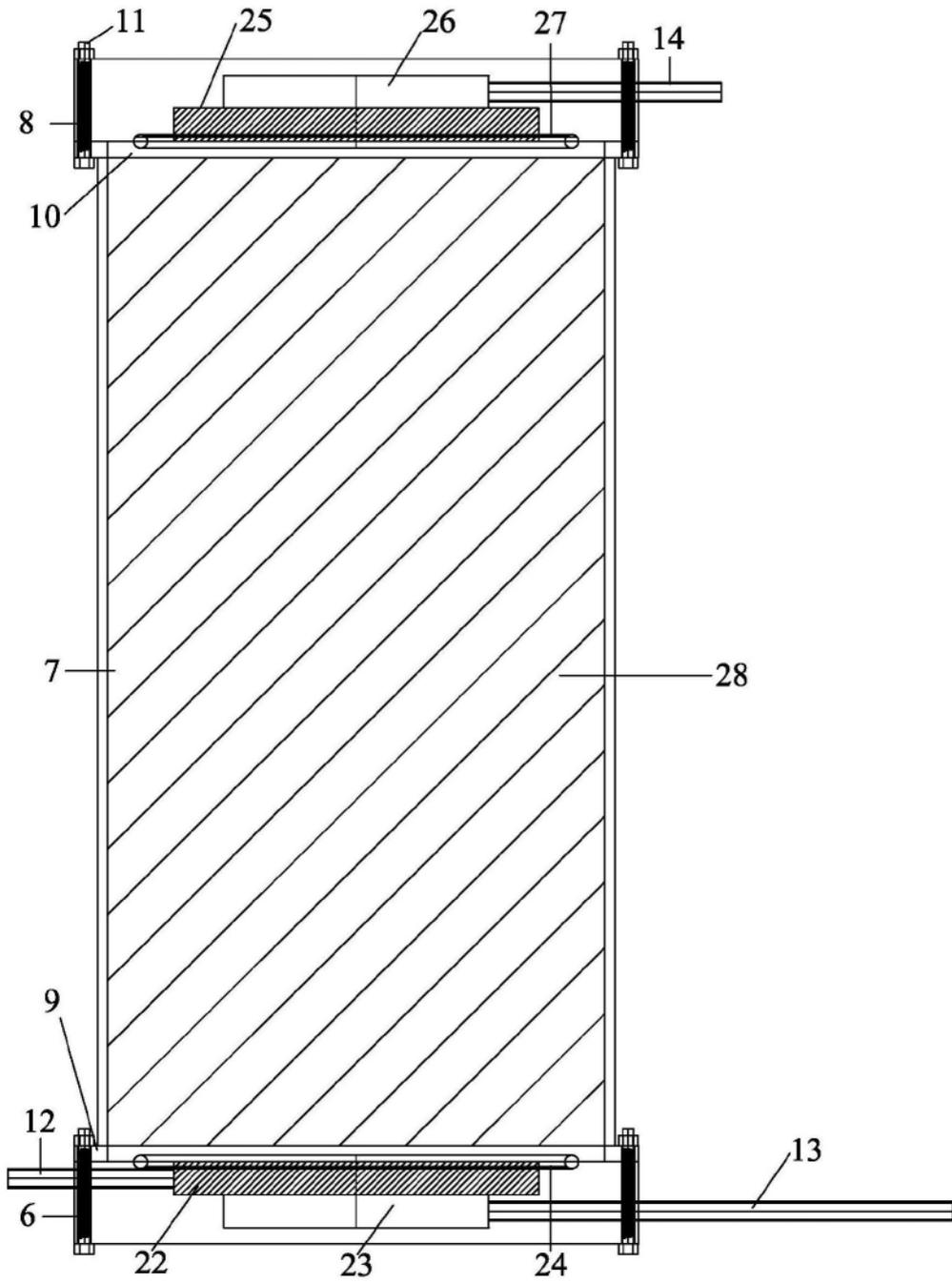


图2

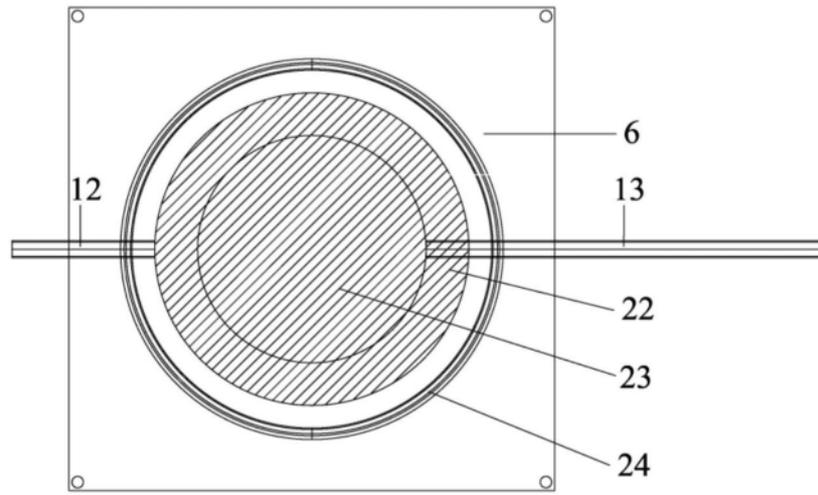


图3

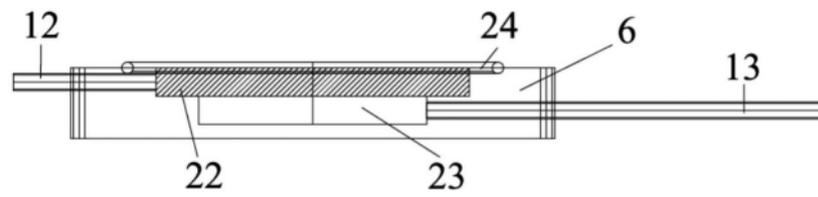


图4

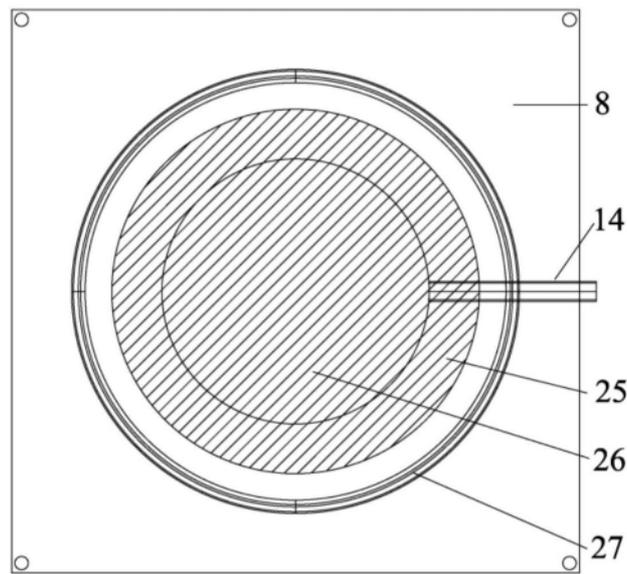


图5

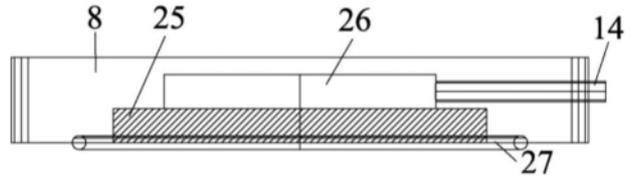


图6