



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110220834 B

(45)授权公告日 2020.05.29

(21)申请号 201910461877.3

审查员 蒋佳春

(22)申请日 2019.05.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110220834 A

(43)申请公布日 2019.09.10

(73)专利权人 河海大学

地址 211100 江苏省南京市江宁开发区佛城西路8号

(72)发明人 牛子豪 刘承 朱珍德

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 石艳红

(51)Int.Cl.

G01N 15/08(2006.01)

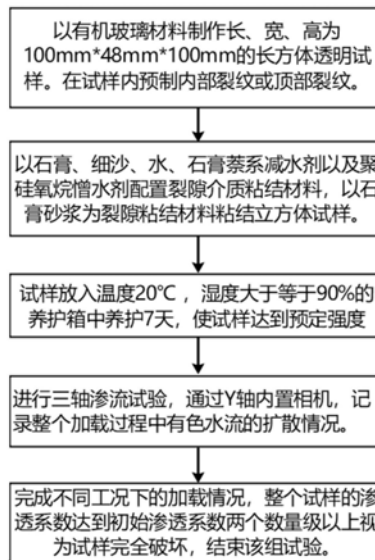
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法

(57)摘要

本发明公开了一种可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,包括步骤1,透明岩石基质试样制作;步骤2,裂隙及预制裂纹制作;步骤3,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样制作;步骤4,标准石膏试样制作;步骤5,初始渗透系数确定;步骤6,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与真三轴仪装夹;步骤7,真三轴渗流试验;步骤8,对比渗流试验。本发明能够制备可视化的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样,能对全试验过程进行跟踪记录,可以准确地描述单裂隙试样在应力-渗流耦合条件下裂纹的开展过程以及对应的渗透系数变化。



1. 可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法, 其特征在于: 包括如下步骤:

步骤1, 透明岩石基质试样制作: 以改性有机玻璃为材料, 切割形成两块长、宽、高均为 $a\text{ mm} \times b\text{ mm} \times a\text{ mm}$ 的长方体透明岩石基质试样; 其中,  $a > 2b$ ; 每块透明岩石基质试样中, 面积最大的两个侧面均为透明观察侧面;

步骤2, 裂隙及预制裂纹制作: 将步骤1制作的两块透明岩石基质试样平行摆放且位置固定, 形成边长为 $a\text{ mm}$ 的立方体, 两块透明岩石基质试样的透明观察侧面之间形成厚度为 $c\text{ mm}$ 的裂隙; 其中,  $c = a - 2b$ ; 在裂隙中预制裂纹处预设有至少一块设定角度的冰片, 冰片的两端与两侧的透明岩石基质试样的透明观察侧面压紧接触;

步骤3, 单裂隙岩石应力-渗流耦合试样制作, 包括如下步骤:

步骤31, 裂隙介质填充腔形成: 在步骤2形成的裂隙的两侧开口处采用密封胶进行密封, 形成裂隙介质填充腔;

步骤32, 裂隙介质填充: 将搅拌均匀的石膏砂浆填充在裂隙介质填充腔中, 由于石膏水化反应产生热量, 故石膏砂浆与两块透明岩石基质试样的透明观察侧面快速粘接形成一个边长为 $a\text{ mm}$ 的立方整体试样; 同时, 步骤2中预设的冰片融化, 形成预设裂纹;

步骤33, 试样养护: 将立方整体试样放入温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 湿度 $\geq 90\%$ 的恒温养护箱中养护不少于7天, 养护完成的立方整体试样即为制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样;

步骤4, 标准石膏试样制作: 采用步骤32中的石膏砂浆, 制作边长为 $a\text{ mm}$ 的标准石膏试样, 并按照步骤33的方法进行养护; 其中, 标准石膏试样中具有与单裂隙岩石应力-渗流耦合试样相同的预制裂纹;

步骤5, 初始渗透系数确定: 将步骤4制作的标准石膏试样装夹在真三轴仪中, 进行设定渗透条件下的渗透试验, 测定得到的标准石膏试样的渗透系数即为初始渗透系数;

步骤6, 单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与真三轴仪装夹: 将步骤3制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样装夹在真三轴仪的试样安放腔中, 使单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的每个侧面均安装一个加载装置, 进而能对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样实现X向、Y向和Z向的轴压加载; 其中, 与透明观察侧面接触安装的一或两个加载装置中内置有摄像头; 与裂隙顶部相接触的加载装置为Z向渗透压加载头, Z向渗透压加载头与真三轴仪的高压渗透水箱相连接, 高压渗透水箱中的水体中加入有高分子有机染料;

步骤7, 真三轴渗流试验: 步骤6中的真三轴仪按照与步骤5相同的设定条件, 对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样进行渗透试验; 摄像头将实时拍摄渗透试验过程中的渗流路径图像并传送给计算机, 计算机还对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数进行实时采集, 当单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数达到步骤6确定的初始渗透系数的两个数量级以上时, 视为单裂隙岩石应力-渗流耦合试样完全破坏, 结束该组真三轴渗流试验。

2. 根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法, 其特征在于: 还包括步骤8, 对比渗流试验: 更换设定渗透条件, 重复步骤1至步骤7, 对比分析不同设定渗透条件下的裂隙岩体裂纹的扩展以及渗透系数的影响情况; 其中, 不同设定渗透条件为不同预制裂纹倾角、渗透水压力、轴向压力或侧向压力的任一种或组合。

3. 根据权利要求1或2所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方

法,其特征在于:步骤32中,石膏砂浆的组成成分为石膏、细沙、水、石膏萘系减水剂和聚硅氧烷憎水剂,组成成分的重量比例为1:1:0.5:0.02:0.05。

4.根据权利要求2所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:步骤8中,预制裂纹的倾角为 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 或 $135^{\circ}$ 。

5.根据权利要求2所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:步骤8中,渗透水压力呈梯度增加,渗透水压力梯度为0.5MP、1MP、2MP和4MP。

6.根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:步骤2中,在裂隙中预制裂纹处预设有两块相互平行的冰片,冰片与水平面呈设定角度。

7.根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:通过改变透明岩石基质试样的宽度b值,进而调整裂隙的厚度值。

8.根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:步骤6中,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与顶部和底部的加载装置之间均设置有阻水装置,阻水装置包括阻水钢板和橡胶垫圈;阻水钢板中部开设有由若干个透水孔形成的透水区域,透水区域位于裂隙的顶部或底部,橡胶垫圈嵌套在位于透水区域的外周。

9.根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:摄像头为高速动态捕捉微型摄像头。

10.根据权利要求1所述的可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,其特征在于:改性有机玻璃为含7%甲基丙烯酸钡的有机玻璃。

## 可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩石力学与岩石力学试验领域,特别是一种可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法。

### 背景技术

[0002] 岩石是一种产自自然界的天然渗流介质,由岩石基质和各类缺陷构成的一种各向异性多相体。缺陷主要由断层、节理、裂隙、孔隙等。岩体应力场的改变加速了岩体内赋存的裂隙扩展,反过来影响岩体的渗透性,加速岩体的破坏,这种相互影响就定义为渗流和应力的耦合作用。近年来,随着三峡大坝、白鹤滩水电站等一系列大型水电工程的建成投产使用,使得岩体在高围压以及高渗透水压力应力-渗流耦合研究成了目前岩石力学研究领域的重点研究课题,岩体内部裂隙的开裂到贯通的细观过程变得极其重要。

[0003] 国内外学者对岩体内裂隙在应力-渗流耦合条件下渗流特性以及裂纹的开裂进行了初步研究,得到了一定的研究成果,但对岩体内裂隙的扩展依旧停留在理论推导阶段和数值模拟阶段,没有可视化的试验结果对照。

[0004] 在试验仪器方面,公告号为CN 109253962 A的中国发明专利,公开了“岩石三轴力学渗透特性测试仪及测试方法”。

[0005] 公告号CN 208334085 U的中国实用新型专利,公开了“一种三轴渗流试验装置”。

[0006] 上述两专利均提出了岩石试样的应力渗流耦合仪器以及相应的试验方法,虽然可以得到相应条件下的岩石试样的渗透系数,然而却存在以下不足:

[0007] 1、圆柱形试样仅能在四周添加等大的围压,不能很好地反应周向应力不同的工况。

[0008] 2、上述的试验方法均在试样密闭条件下进行应力-渗流耦合试验,可视性较差,试样内部裂纹的开展情况无法得知,仅能得到试样最终的破坏形式,因此后期数值模拟的破坏过程无法对照验证。

[0009] 3、岩石试样内的渗流路径无法准确得到,仅能得到岩石试样的渗透系数变化规律。

[0010] 因此,一种具备高可视化程度的岩体渗流试样制备和试验方法成了目前岩石渗流力学领域亟待解决的问题。

### 发明内容

[0011] 本发明要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,而提供一种可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,该可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法能够制备可视化的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样,能对全试验过程进行跟踪记录,可以准确地描述单裂隙试样在应力-渗流耦合条件下裂纹的开展过程以及对应的渗透系数变化。

[0012] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

- [0013] 一种可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,包括如下步骤。
- [0014] 步骤1,透明岩石基质试样制作:以改性有机玻璃为材料,切割形成两块长、宽、高均为 $a\text{ mm} \times b\text{ mm} \times a\text{ mm}$ 的长方体透明岩石基质试样;其中, $a > 2b$ ;每块透明岩石基质试样中,面积最大的两个侧面均为透明观察侧面。
- [0015] 步骤2,裂隙及预制裂纹制作:将步骤1制作的两块透明岩石基质试样平行摆放且位置固定,形成边长为 $a\text{ mm}$ 的立方体,两块透明岩石基质试样的透明观察侧面之间形成厚度为 $c\text{ mm}$ 的裂隙;其中, $c = a - 2b$ ;在裂隙中预制裂纹处预设有至少一块设定角度的冰片,冰片的两端与两侧的透明观察侧面压紧接触。
- [0016] 步骤3,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样制作,包括如下步骤。
- [0017] 步骤31,裂隙介质填充腔形成:在步骤2形成的裂隙的两侧开口处采用密封胶进行密封,形成裂隙介质填充腔。
- [0018] 步骤32,裂隙介质填充:将搅拌均匀的石膏砂浆填充在裂隙介质填充腔中,由于石膏水化反应产生热量,故石膏砂浆与两块透明岩石基质试样的透明观察侧面快速粘接形成一个边长为 $a\text{ mm}$ 的立方整体试样;同时,步骤2中预设的冰片融化,形成预设裂纹。
- [0019] 步骤33,试样养护:将立方整体试样放入温度为 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ,湿度 $\geq 90\%$ 的恒温养护箱中养护不少于7天,养护完成的立方整体试样即为制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样。
- [0020] 步骤4,标准石膏试样制作:采用步骤32中的石膏砂浆,制作边长为 $a\text{ mm}$ 的标准石膏试样,并按照步骤33的方法进行养护;其中,标准石膏试样中具有与单裂隙岩石应力-渗流耦合试样相同的预制裂纹。
- [0021] 步骤5,初始渗透系数确定:将步骤4制作的标准石膏试样装夹在真三轴仪中,进行设定渗透条件下的渗透试验,测定得到的标准石膏试样的渗透系数即为初始渗透系数。
- [0022] 步骤6,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与真三轴仪装夹:将步骤3制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样装夹在真三轴仪的试样安放腔中,使单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的每个侧面均安装一个加载装置,进而能对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样实现X向、Y向和Z向的轴压加载;其中,与透明观察侧面接触安装的一或两个加载装置中内置有摄像头;与裂隙顶部相接触的加载装置为Z向渗透压加载头,Z向渗透压加载头与真三轴仪的高压渗透水箱相连接,高压渗透水箱中的水体中加入有高分子有机染料。
- [0023] 步骤7,真三轴渗流试验:步骤6中的真三轴仪按照与步骤5相同的设定条件,对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样进行渗透试验;摄像头将实时拍摄渗透试验过程中的渗流路径图像并传送给计算机,计算机还对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数进行实时采集,当单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数达到步骤6确定的初始渗透系数的两个数量级以上时,视为单裂隙岩石应力-渗流耦合试样完全破坏,结束该组真三轴渗流试验。
- [0024] 还包括步骤8,对比渗流试验:更换设定渗透条件,重复步骤1至步骤7,对比分析不同设定渗透条件下的裂隙岩体裂纹的扩展以及渗透系数的影响情况;其中,不同设定渗透条件为不同预制裂纹倾角、渗透水压力、轴向压力或侧向压力的任一种或组合。
- [0025] 步骤32中,石膏砂浆的组成成分为石膏、细沙、水、石膏萘系减水剂和聚硅氧烷憎水剂,组成成分的重量比例为 $1:1:0.5:0.02:0.05$ 。
- [0026] 步骤8中,预制裂纹的倾角为 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 或 $135^\circ$ 。

- [0027] 步骤8中,渗透水压力呈梯度增加,渗透水压力梯度为0.5MP、1MP、2MP和4MP。
- [0028] 步骤2中,在裂隙中预制裂纹处预设有两块相互平行的冰片,冰片与水平面呈设定角度。
- [0029] 通过改变透明岩石基质试样的宽度b值,进而调整裂隙的厚度值。
- [0030] 步骤6中,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与顶部和底部的加载装置之间均设置有阻水装置,阻水装置包括阻水钢板和橡胶垫圈;阻水钢板中部开设有由若干个透水孔形成的透水区域,透水区域位于裂隙的顶部或底部,橡胶垫圈嵌套在位于透水区域的外周。
- [0031] 摄像头为高速动态捕捉微型摄像头。
- [0032] 改性有机玻璃为含7%甲基丙烯酸钡的有机玻璃。
- [0033] 本发明具有如下有益效果:
- [0034] 1、本发明能够制备可视化的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样,且呈立方体,能够模拟在水压力以及X、Y、Z三向轴压力不同的工况下,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的破裂过程以及渗透系数变化过程,同时解决了圆柱形应力-渗流耦合试样侧向应力相同的问题。
- [0035] 2、本发明不需在单裂隙岩石应力-渗流耦合试样外包裹不透水膜,通过上下渗水面安装阻水装置,可以控制水流路径在单裂隙内,辅助以有色示踪剂(也即高分子有机染料)以及内置于加载装置内的摄像头对全试验过程进行跟踪记录,可以准确地描述单裂隙试样在应力-渗流耦合条件下裂纹的开展过程以及对应的渗透系数变化,克服了传统声发射法误差大的问题。
- [0036] 3、本发明中预制裂纹的添加方式可以最大限度地减少对试样的影响,较好的保证试样的物理力学性质。
- [0037] 4、本发明极大丰富了真三轴渗流试样领域的可视化程度。

## 附图说明

- [0038] 图1是本发明可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法的流程图。
- [0039] 图2显示了两块平行放置的透明岩石基质试样的示意图。
- [0040] 图3显示了裂隙介质填充后的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的结构图。
- [0041] 图4显示了几种不同预制裂纹倾角的设定角度示意图。
- [0042] 图5显示了单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与真三轴仪装夹示意图。
- [0043] 图6显示了Y轴加载装置的结构示意图。
- [0044] 图7显示了阻水装置的结构示意图。
- [0045] 图8显示了PFC2D数值模拟图。
- [0046] 其中有:1. 透明岩石基质试样;2. 冰片;3. 法兰盘;4. Y轴加载装置;5. X轴加载装置;6. Z轴加载装置;7. 试样安放腔;8. 数据传输线;9. 法兰盘;10. 加压钢接头;11. 摄像头;12. 透明封口板;13. 透水孔;14. 橡胶垫圈;15. 阻水钢板。

## 具体实施方式

- [0047] 下面结合附图和具体较佳实施方式对本发明作进一步详细的说明。
- [0048] 本发明的描述中,需要理解的是,术语“左侧”、“右侧”、“上部”、“下部”等指示的方

位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,“第一”、“第二”等并不表示零部件的重要程度,因此不能理解为对本发明的限制。本实施例中采用的具体尺寸只是为了举例说明技术方案,并不限制本发明的保护范围。

[0049] 如图1所示,一种可视化单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的三轴渗流试验方法,包括如下步骤。

[0050] 步骤1,透明岩石基质试样制作:以改性有机玻璃为材料,切割形成两块长、宽、高均为 $a \text{ mm} * b \text{ mm} * a \text{ mm}$ 的长方体透明岩石基质试样;其中, $a > 2b$ 。本发明中,以 $a=100\text{mm}$ , $b=48\text{mm}$ 为例进行说明。

[0051] 聚甲基丙烯酸甲酯俗称有机玻璃,是目前塑料中透光度透光率大于92%最好的品种,广泛地应用于建筑、文教、航海、航空和日常生活等方面。有机玻璃不仅具有优异的光学性能,而且还有良好的耐候性、耐酸碱性、尺寸稳定性、绝缘性和机械强度。因为有机玻璃的良好物理力学性能,因此能应用在岩石渗流领域。本文应用的改性有机玻璃通过采用离子交联改性方法制得,各项参数与岩石相近。本文通过有改性机玻璃模拟不透水岩石基质,石膏砂浆模拟透水裂隙,开拓了目前相似材料试验的试样方法。

[0052] 有机玻璃改性的方法主要是通过共聚、交联和定向拉伸来提高有机玻璃的耐热性和韧性引入强极性基团或形成氢键以增强聚合物分子间的作用力,而达到提高聚合物热稳定性和某些强度的目的。与化学交联相比,物理交联既能提高聚合物的某些物理性能,又能保持线型结构,不影响其成型加工性。本文采用的改性有机玻璃为徐文英等制得含7%甲基丙烯酸钡的有机玻璃,可见光透光率为85%,玻璃化温度为 $200^{\circ}\text{C}$ ,表面硬度比普通有机玻璃提高44%,并具有较强的防辐射性及耐溶剂性。

[0053] 本发明的改性有机玻璃与弱风化玄武岩的物理力学性质对比见下表:

[0054] 改性有机玻璃与岩石物理力学性质对比表

材料名称	容重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	吸水率 %	干抗压强度 Mpa	湿抗压强度 Mpa
弱风化玄武岩	2.8	0.22	128.2	115
改性有机玻璃	1.2	0.19	132	122

[0055] 由上表可以看出,改性有机玻璃材料与弱风化玄武岩,在物理力学性质上有很大相似点。同时与岩石介质相同,改性有机玻璃也是黏弹塑性材料,应力-应变曲线符合黏弹塑性规律,且具备很强的可视化程度。

[0056] 上述每块透明岩石基质试样中,面积最大的两个侧面均为透明观察侧面。透明观察侧面优选通过抛光机机械抛光,提高透明岩石基质试样的透明度。

[0057] 步骤2,裂隙及预制裂纹制作。

[0058] 将步骤1制作的两块透明岩石基质试样平行摆放在地面或平台上且位置固定,形成边长为 $a \text{ mm}$ 的立方体,两块透明岩石基质试样的透明观察侧面之间形成如图2所示的厚度为 $c \text{ mm}$ 的裂隙;其中, $c=a-2b$ ,本发明中 $c$ 优选为 $4\text{mm}$ 。裂隙厚度值可以根据需要进行调整。

具体调整方法为:通过改变透明岩石基质试样的宽度b值,进而调整裂隙的厚度值。

[0060] 在裂隙中预制裂纹处预设有至少一块设定角度的冰片,冰片的两端与两侧的透明观察侧面压紧接触。

[0061] 如图4所示,在裂隙中预制裂纹处预设有两块相互平行的冰片,冰片与水平面呈设定角度。图4中的a、b、c、d图分别表示冰片与水平面呈 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 和 $135^{\circ}$ 。

[0062] 上述冰片的厚度优选为5mm,按照设计角度(如 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $135^{\circ}$ )放于预留位置(也即预制裂纹处)内,用金属夹具固定两侧的透明岩石基质试样,金属夹力不宜过大,以防损坏预制的冰片。

[0063] 步骤3,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样制作,包括如下步骤。

[0064] 步骤31,裂隙介质填充腔形成:在步骤2形成的裂隙的两侧开口处采用密封胶(如止水胶)进行密封,形成裂隙介质填充腔。

[0065] 步骤32,裂隙介质填充:将搅拌均匀的石膏砂浆填充在裂隙介质填充腔中,由于石膏水化反应产生热量,故石膏砂浆与两块透明岩石基质试样的透明观察侧面快速粘接形成一个如图3所示的边长为a mm的立方整体试样。

[0066] 上述石膏砂浆的组成成分优选为石膏、细沙、水、石膏萘系减水剂和聚硅氧烷憎水剂,组成成分的重量比例为1:1:0.5:0.02:0.05。配置方法优选为:宜先将石膏、细沙、减水剂以及聚硅氧烷憎水剂搅拌均匀,缓慢加水至标准要求,待石膏砂浆无结块且流动性较高时停止搅拌。

[0067] 由于上述石膏水化反应产生大量热量,且凝固较快,可在冰块融化时具备一定强度。冰块融化,形成预设裂纹,融化后的水体随着孔隙渗出,预制裂纹的单裂隙试样具有良好物理性质,形状不会改变。

[0068] 步骤33,试样养护:将立方整体试样放入温度为 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,湿度 $\geq 90\%$ 的恒温养护箱中养护不少于7天,养护完成的立方整体试样即为制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样。

[0069] 步骤4,标准石膏试样制作:采用步骤32中的石膏砂浆,制作边长为 $a=100\text{mm}$ 的标准石膏试样,并按照步骤33的方法进行养护;其中,标准石膏试样中具有与单裂隙岩石应力-渗流耦合试样相同的预制裂纹。

[0070] 步骤5,初始渗透系数确定:将步骤4制作的标准石膏试样装夹在真三轴仪中,进行设定渗透条件下的渗透试验,测定得到的标准石膏试样的渗透系数即为初始渗透系数。

[0071] 步骤6,单裂隙岩石应力-渗流耦合试样与真三轴仪装夹。

[0072] 如图5所示,将步骤3制作完成的单裂隙岩石应力-渗流耦合试样装夹在真三轴仪的试样安放腔7中,使单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的六个侧面各安装一个加载装置,进而能对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样实现X向、Y向和Z向的轴压加载。每个加载装置的压力范围均可在 $0.5\text{MP}\sim 20\text{MP}$ 内进行调节。

[0073] 图5中,与透明观察侧面(也称左右侧面)接触安装的两个加载装置称为Y轴加载装置4,与前后侧面接触安装的两个加载装置称为X轴加载装置5,与上下两侧面接触安装的两个加载装置称为Z轴加载装置6。

[0074] 如图6所示,Y轴加载装置包括加压钢接头10,加压钢接头朝向透明观察侧面的中心部位内置有摄像头11或相机,摄像头优选为高速动态捕捉微型摄像头。摄像头的外侧优



选设置有透明封口板12,透明封口板可避免加载过程中对摄像头的损坏。

[0075] 加压钢接头优选通过法兰盘9连接千斤顶,千斤顶中油压的控制以及摄像头中的摄像文件均优选通过数据传输线8与控制终端(计算机)连接,实现对真三轴仪中三向压力、渗流压力、试验数据和试验动态进展视频的集成处理。

[0076] 加载时,Y轴加载装置的加载方式优选选用梯度卸荷加载,研究单裂隙预制裂纹试样在弹性、弹塑性以及塑性三个不同阶段的裂纹扩展和渗透系数变化情况。

[0077] 位于单裂隙岩石应力-渗流耦合试样顶部的Z轴加载装置连接渗透压加载头,故而也称Z向渗透压加载头,提供Z方向渗透压加压,渗透压范围同压力加载范围可调。

[0078] Z向渗透压加载头与真三轴仪的高压渗透水箱相连接,高压渗透水箱中的水体中加入有高分子有机染料。

[0079] 上述高分子有机染料分子粒径较大,不易通过石膏内致密孔隙,可以通过加压产生的裂纹渗出,可以示踪整个试样内裂纹的扩展过程,且避免了整个石膏裂隙面整个染色的情况。

[0080] 如图7所示,在单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的上下底面与Z轴加载装置间分别设有阻水装置,阻水装置优选包括阻水钢板15和橡胶垫圈14;阻水钢板中部开设有由若干个透水孔13形成的透水区域,透水区域位于裂隙的顶部或底部,橡胶垫圈嵌套在位于透水区域的外周。上述阻水钢板的平面面积优选单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的顶面面积相同,橡胶垫圈厚度大于阻水钢板上预留的圆形卡槽,在施加轴向应力后,橡胶垫圈被挤压压实,确保Z向的渗透水压通过透水孔进入试样裂隙内,与围压共同实现裂隙内裂纹的开展贯通,避免了高压水的渗漏。同时摄像头记录有色水流的扩展过程,记录整个裂纹的细观贯通过程。

[0081] 步骤7,真三轴渗流试验:步骤6中的真三轴仪按照与步骤5相同的设定条件,对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样进行渗透试验;摄像头将实时拍摄渗透试验过程中的渗流路径图像并传送给计算机,计算机还对单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数进行实时采集,当单裂隙岩石应力-渗流耦合试样的渗透系数达到步骤6确定的初始渗透系数的两个数量级(也即100倍)以上时,视为单裂隙岩石应力-渗流耦合试样完全破坏,结束该组真三轴渗流试验。

[0082] 步骤8,对比渗流试验:更换设定渗透条件,重复步骤1至步骤7,对比分析不同设定渗透条件下的裂隙岩体裂纹的扩展以及渗透系数的影响情况;其中,不同设定渗透条件为不同预制裂纹倾角、渗透水压力、轴向压力或侧向压力的任一种或组合。其中,预制裂纹的倾角为 $0^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 或 $135^{\circ}$ 等。渗透水压力呈梯度增加,渗透水压力梯度为0.5MP、1MP、2MP和4MP等。

[0083] 在试验结束后,通过颗粒流软件PFC2D进行数值模拟,建模如图8所示,黑色区域模拟裂隙介质粘结材料,灰色区域为预制平行裂纹,将此模型在PFC软件内进行三轴压缩模拟。根据不同的试验工况,设定不同的模拟方案,最终将模拟结果与高清摄像机拍摄的图像进行对比,验证试验得到的不同条件下裂纹的扩展过程结果的准确性高。

[0084] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种等同变换,这些等同变换均属于本发明的保护范围。

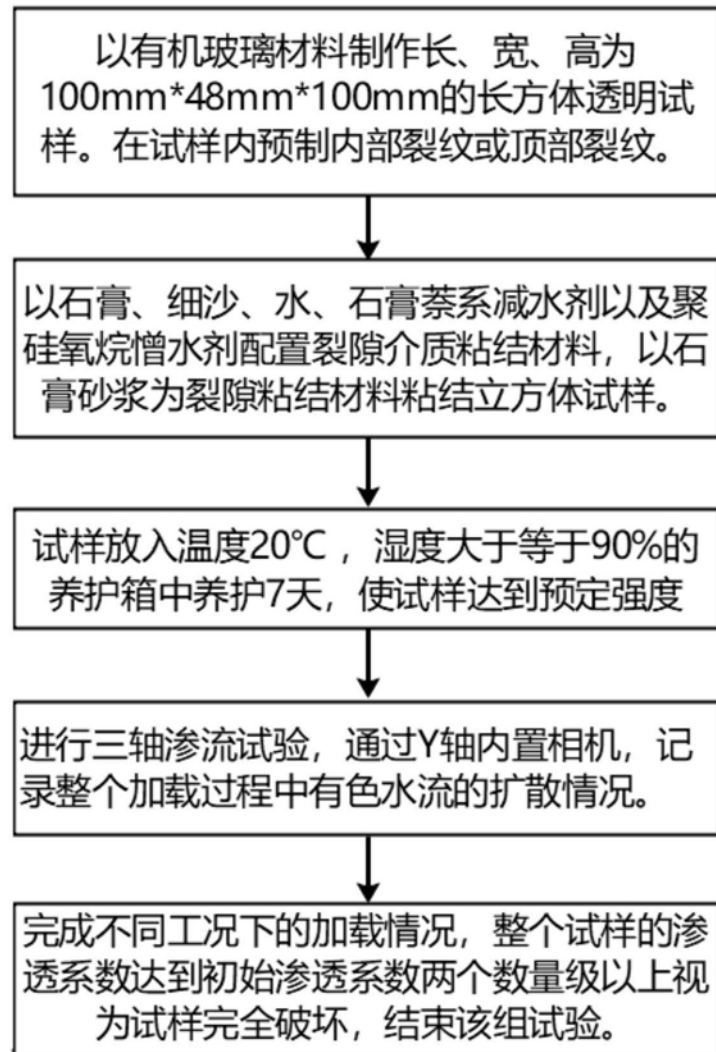


图1



图2



图3

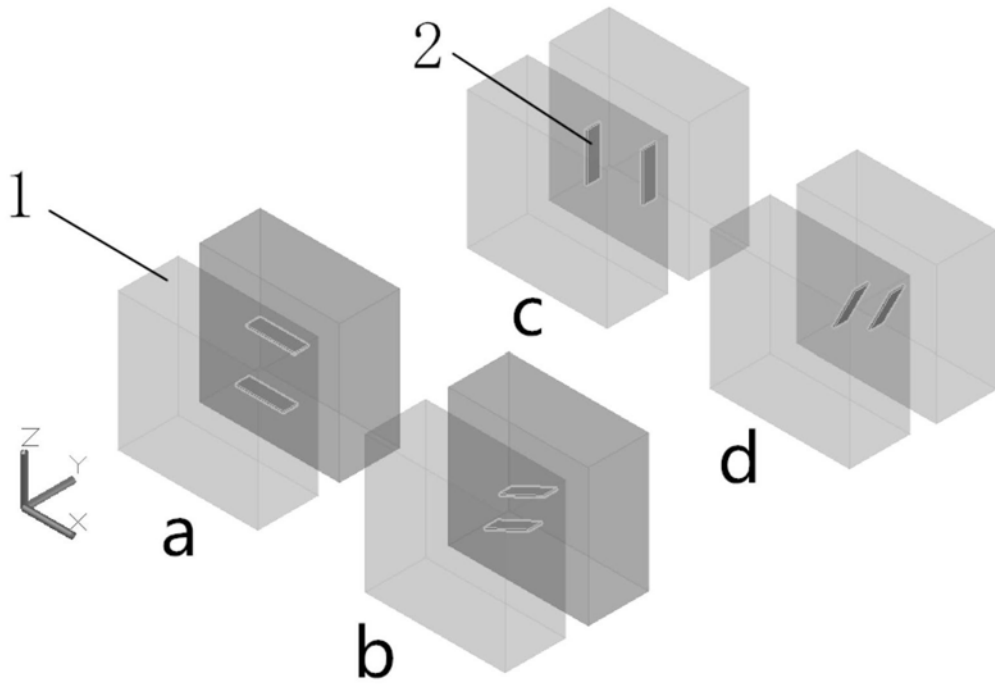


图4

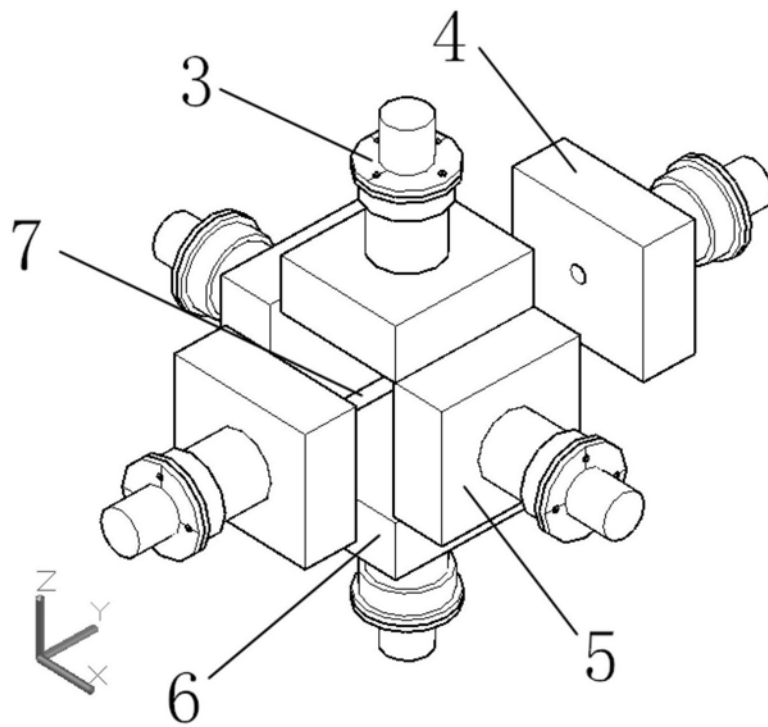


图5

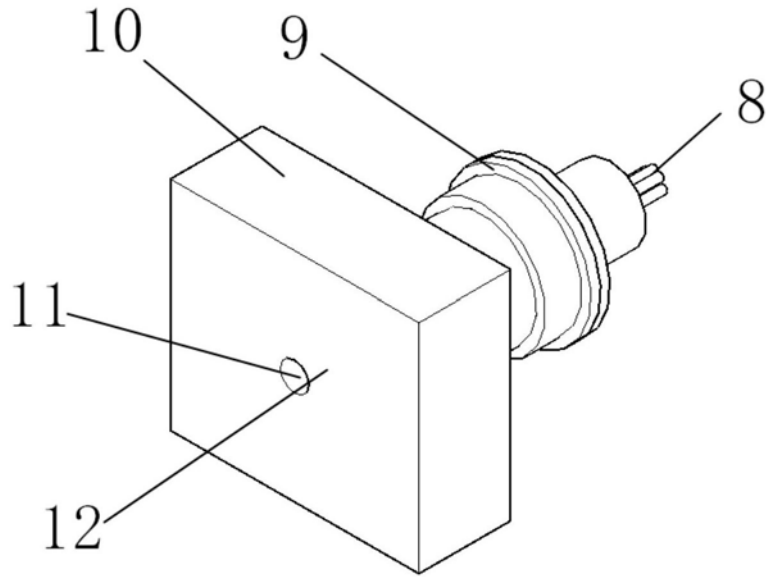


图6

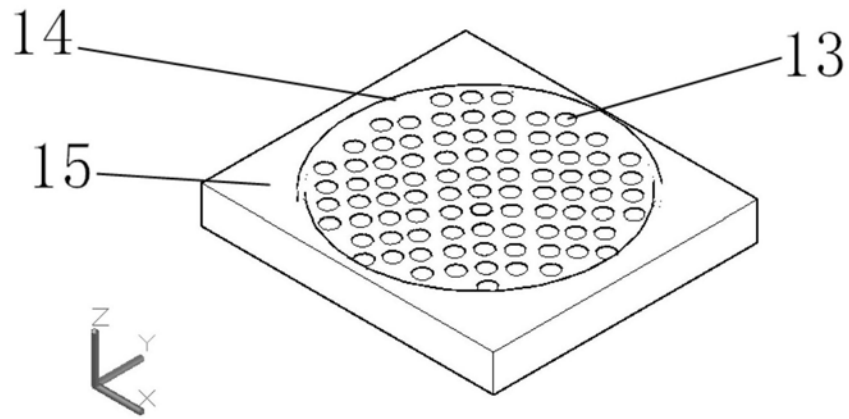


图7

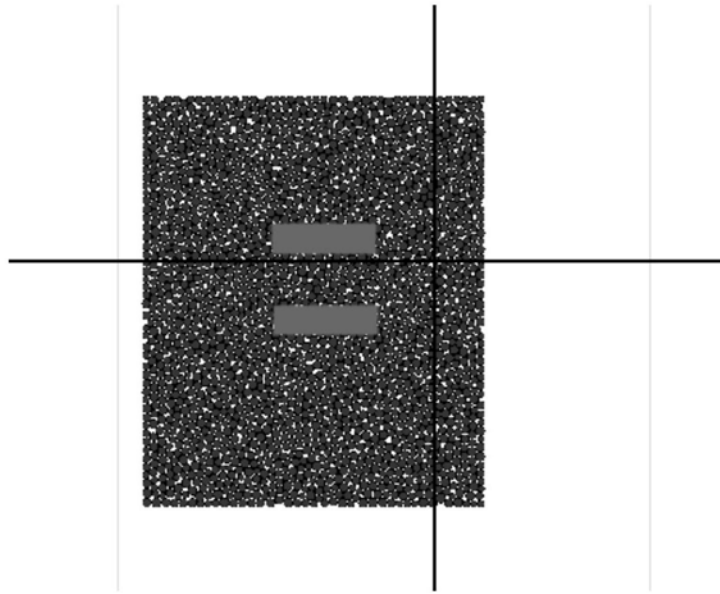


图8