



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110988299 A

(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201911070825.X

(22)申请日 2019.11.05

(71)申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 陈永贵 董欣欣 李昶颀 刘杨
叶为民

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司
31002

代理人 吴林松

(51) Int. Cl.

G01N 33/24(2006.01)

G01L 5/00(2006.01)

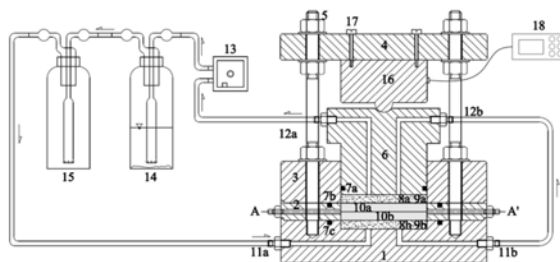
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置

(57)摘要

一种用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,包括恒体积实验装置、吸力控制装置、膨胀力量测装置、压样辅助装置四个部分。恒体积实验装置提供制样、试样组合以及变形限制等功能。吸力控制装置采用气相法控制试样所达到的目标吸力。膨胀力量测装置提供目标吸力作用下的膨胀力测量与记录等功能。压样辅助装置提供制样和试样组合过程所需的封堵和检查等功能。本发明实现了高压实膨润土组合体非饱和膨胀力的自动化测试,以及组合体界面自愈合条件的探究。本发明方法容易,自动化取样数据多,可靠易行,成果可为深地质处置库工程屏障系统的设计、施工及安全评估提供基础依据,具有重要的工程意义和实践价值。



1. 一种用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:
包括恒体积实验装置、吸力控制装置、膨胀力量测装置、压样辅助装置四个部分;
所述的恒体积实验装置提供制样、试样组合以及变形限制功能;
所述的吸力控制装置采用气相法控制试样所达到的目标吸力;
所述的膨胀力量测装置提供目标吸力下的膨胀力测量与记录等功能;
所述的压样辅助装置提供制样和试样组合过程所需的封堵和检查等功能;

所述压样辅助装置分别在恒体积实验装置的左、右两侧以嵌入式安装;所述吸力控制装置采用管路连接在恒体积实验装置的左侧;所述膨胀力量测装置采用活动联接结构安装在恒体积实验装置顶部。

2. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:

所述的恒体积实验装置包括底座(1)、下试样环(2)、上试样环(3)、顶盖(4)、螺柱(5)、活塞(6)、第一密封圈(7a)、第二密封圈(7b)、第三密封圈(7c)、第一滤纸(8a)、第二滤纸(8b)、第一透水石(9a)、第二透水石(9b)、上试样(10a)、下试样(10b);

下试样环(2)、上试样环(3)、顶盖(4)分别设置四个通孔,采用四根螺柱(5)与底座(1)连接,其中下试样环(2)、上试样环(3)采用螺母固定在底座(1)上;顶盖(4)采用螺母固定在螺柱(5)顶端;下试样环(2)在高度中间位置设置一组沿轴线对称的水平通孔;底座(1)内部设置连通通道,通道两端分别设置第一底座气动快插接头(11a)、第二底座气动快插接头(11b);活塞(6)内部设置连通通道,通道两端分别设置第一活塞气动快插接头(12a)、第二活塞气动快插接头(12b);试样位于下试样环(2)内部,由上试样(10a)和下试样(10b)两部分紧密拼接而成;上试样(10a)上部、下试样(10b)下部分别依次放置第一滤纸(8a)、第二滤纸(8b)和第一透水石(9a)、第二透水石(9b);活塞(6)嵌入在上试样环(3)内部,压在第一透水石(9a)之上;上试样环(3)与活塞(6)之间、上试样环(3)与下试样环(2)之间、下试样环(2)与底座(1)之间分别设置环形密封槽,安装第一密封圈(7a)、第二密封圈(7b)、第三密封圈(7c)。

3. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:

所述的吸力控制装置包括隔膜气泵(13)、饱和盐溶液瓶(14)、蒸汽净化瓶(15);隔膜气泵(13)通过导管与活塞(6)上的第一活塞气动快插接头(12a)连接,蒸汽净化瓶(15)通过导管与底座(1)上的第一底座气动快插接头(11a)连接,隔膜气泵(13)、饱和盐溶液瓶(14)、蒸汽净化瓶(15)之间依次通过导管连接;底座(1)上的第二底座气动快插接头(11b)与活塞(6)上的第二活塞气动快插接头(12b)采用导管连接;饱和盐溶液瓶(14)用于放置饱和盐溶液,隔膜气泵(13)鼓动饱和盐溶液,产生对应湿度/吸力值的蒸汽进入蒸汽净化瓶(15),蒸汽净化瓶(15)过滤可能进入管路的液体;蒸气经底座(1)上的第一底座气动快插接头(11a)进入恒体积实验装置,再经活塞(6)上的第二活塞气动快插接头(12a)返回隔膜气泵(13),形成蒸汽循环路径,最终使试样的吸力与饱和盐溶液控制的吸力达到相同。

4. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:

所述的膨胀力量测装置包括压力传感器(16)、传感器螺钉(17)、无纸记录仪(18);压力

传感器(16)采用四个传感器螺钉(17)固定在顶盖(4)下部、活塞(6)上部;压力传感器(16)的探头嵌入活塞(6)顶端的凹槽内;无纸记录仪(18)通过线缆连接压力传感器(16),自动记录、存储膨胀力数据。

5. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:

所述的压样辅助装置包括柱塞(19)、连接片(20)、连接片螺钉(21);柱塞(19)可插入、封堵下试样环(2)上的两个水平通孔;柱塞(19)外端通过螺纹与连接片(20)的中间连接;连接片(20)两端采用连接片螺钉(21)水平固定在下试样环(2)上。

6. 根据权利要求2所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:能够分别在下试样环(2)和上试样环(3)内压制下部试样(10b)和上部试样(10a),将上试样环(3)内的上部试样(10a)推入下试样环(2)内,完成与下部试样(10b)的紧密拼接,形成高压实膨润土组合体。

7. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:采用所述吸力控制装置和气相法进行吸力控制,吸力控制范围达3~309MPa。

8. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:采用压力传感器量测高压实膨润土组合体的非饱和膨胀力、无纸记录仪实时显示和存储膨胀力数据。

9. 根据权利要求2所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:采用压样辅助装置封堵下试样环(2)的水平通孔,在下试样环(2)内压制下部试样(10b)。

10. 根据权利要求1所述的用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,其特征在于:既可以进行单级吸力控制的膨胀力实验,也可以进行多级吸力控制的膨胀力实验;或者,既可以用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测定,也可以用于组合体界面自愈合吸力条件的探究。

用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置

技术领域

[0001] 本发明属于土木工程(岩土)及地质工程技术领域,涉及用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置。

背景技术

[0002] 高放废物具有放射性强、半衰期长的特点,而深地质处置法被公认为是一种有效、可行的高放废物处置手段。该方法是将高放废物固化体封存在深部岩层中,采用多重屏障(包括工程屏障和自然屏障)阻滞核素向外部环境迁移。工程屏障中的缓冲回填材料应具备维持结构稳定、阻滞地下水渗流、阻滞核素迁移等关键功能。经过比选研究,压实膨润土由于具有强膨胀、低渗透和强吸附等性质,被各国优选作为缓冲回填材料。

[0003] 深地质处置概念中,工程屏障通常采用高压实膨润土块体拼接而成。从而,在工程屏障中将形成三类界面:废物罐-压实膨润土间界面、压实膨润土组合体界面、压实膨润土-围岩间界面。这三类界面对工程屏障的物理力学完整性起到决定作用,最终影响其化学-水力-力学缓冲性能。在处置孔封闭后,工程屏障中的压实膨润土将不断从周围环境吸湿、水化,产生膨胀力。研究表明,膨胀力大小对废物罐稳定性、生物化学抑制性等起到关键作用。另外,在压力(膨胀力)和湿度(吸力)作用下,高压实膨润土组合体界面将逐渐胶结、愈合,该过程对增强水力学屏障能力起到积极作用。因此,需要研究高压实膨润土组合体膨胀力随湿度(吸力)的演化过程以及产生界面愈合的吸力条件,进而评估工程屏障系统的水力和力学缓冲性能。

[0004] 针对工程屏障中的界面问题,既有研究主要为开展室内实验,探究了废物罐-压实膨润土界面、压实膨润土-围岩界面的膨胀力和饱和渗透性质。然而,这两类界面之间不存在材料间的愈合作用,与压实膨润土间界面愈合导致的膨胀力变化存在区别。目前,尚未针对高压实膨润土组合体的非饱和膨胀力开展相关研究。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,开展室内试验研究,为深地质处置库研究工作提供科学依据。进一步而言,针对深地质处置库中的缓冲回填材料,分析吸力控制条件下高压实膨润土组合体的膨胀力演化及界面愈合条件,为研究工程屏障系统的水力学状态演化提供依据。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0007] 一种用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,包括恒体积实验装置、吸力控制装置、膨胀力量测装置、压样辅助装置四个部分:

[0008] 恒体积实验装置提供制样、试样组合以及变形限制等功能;

[0009] 吸力控制装置采用气相法控制试样所达到的目标吸力;

[0010] 膨胀力量测装置提供目标吸力下的膨胀力测量与记录等功能;

[0011] 压样辅助装置提供制样和试样组合过程所需的封堵和检查等功能;

[0012] 恒体积实验装置为该测试装置的主体部分,在整个测试阶段使用;压样辅助装置在压样阶段使用,分别在恒体积实验装置的左、右两侧以嵌入式安装;吸力控制装置在实验阶段使用,采用管路连接在恒体积实验装置的左侧。膨胀力量测装置在实验阶段使用,采用螺钉安装在恒体积实验装置顶部。所述各组成部分按照需要安装使用。

[0013] 进一步:

[0014] 1) 所述的恒体积实验装置包括底座、下试样环、上试样环、顶盖、螺柱、活塞、密封圈、滤纸、透水石、试样。底座、下试样环、上试样环、顶盖、螺柱、活塞均采用不锈钢材质。下试样环、上试样环、顶盖分别设置四个通孔,采用四根螺柱与底座连接,其中上试样环、下试样环采用螺母固定在底座上。顶盖采用螺母固定在螺柱顶端。下试样环在高度中间位置设置一组沿轴线对称的水平通孔。底座内部设置连通通道,通道左、右两端分别设置第一、第二底座气动快插接头。活塞内部设置连通通道,通道左、右两端分别设置第一、第二活塞气动快插接头。试样位于下试样环内部,由上、下两部分紧密拼接而成。上试样上部、下试样下部分别依次放置滤纸和透水石。活塞嵌入在上试样环内部,压在上部透水石之上。上试样环与活塞之间、上试样环与下试样环之间、下试样环与底座之间分别设置环形密封槽,安装密封圈。

[0015] 2) 所述的吸力控制装置包括隔膜气泵、饱和盐溶液瓶、蒸汽净化瓶。隔膜气泵通过导管与活塞上的第一活塞气动快插接头连接,蒸汽净化瓶通过导管与底座上的第一底座气动快插接头连接,隔膜气泵、饱和盐溶液瓶、蒸汽净化瓶之间依次通过导管连接。底座上的第二底座气动快插接头与活塞上的第二活塞气动快插接头采用导管连接。饱和盐溶液瓶用于放置饱和盐溶液,隔膜气泵鼓动饱和盐溶液,产生对应湿度(吸力值)的蒸汽进入蒸汽净化瓶,蒸汽净化瓶过滤进入管路的液体。蒸气经底座上的第一底座气动快插接头进入恒体积实验装置,再经活塞上的第二活塞气动快插接头返回隔膜气泵,形成蒸汽循环路径,最终使试样的吸力与饱和盐溶液控制的吸力达到相同。

[0016] 3) 所述的膨胀力量测装置包括压力传感器、传感器螺钉、无纸记录仪。压力传感器采用四个螺钉固定在顶盖下部、活塞上部。压力传感器的探头嵌入活塞顶端的凹槽内。无纸记录仪通过线缆连接压力传感器,自动记录、存储膨胀力数据。

[0017] 4) 所述的压样辅助装置包括柱塞、连接片、连接片螺钉。柱塞可插入、封堵下试样环上的两个水平通孔。柱塞外端通过螺纹与连接片的中间连接。连接片两端采用连接片螺钉水平固定在下试样环上。

[0018] 本发明能够分别在下试样环和上试样环内压制下部试样和上部试样,将上试样环内的上部试样推入下试样环内,完成与下部试样的紧密拼接,形成高压实膨润土组合体。

[0019] 采用吸力控制装置(包括隔膜气泵、饱和盐溶液瓶、蒸汽净化瓶)和气相法进行吸力控制,吸力控制范围可达3~309MPa。

[0020] 采用压力传感器量测高压实膨润土组合体的非饱和膨胀力、无纸记录仪实时显示和存储膨胀力数据。

[0021] 采用压样辅助装置(柱塞、连接片、连接片螺钉)封堵下试样环的水平通孔,在下试样环内压制下部试样。

[0022] 本发明既可以进行单级吸力控制的膨胀力实验,也可以进行多级吸力控制的膨胀力实验。

[0023] 本发明既可以用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测定,也可以用于组合体界面自愈合吸力条件的探究。

[0024] 由于采用了上述技术方案,本发明获得的有益效果包括:

[0025] 1) 本发明实现了高压实膨润土组合体的分离式压制和紧密拼接;

[0026] 2) 本发明实现了恒体积、单级或多级吸力控制条件下高压实膨润土组合体非饱和膨胀力的自动化测试;

[0027] 3) 本发明实现了通过恒体积、多级吸力控制条件下的非饱和膨胀力演化,确定高压实膨润土组合体界面产生愈合作用的吸力条件;

[0028] 4) 本发明的测试方法容易,试验装置价格低廉,自动化程度较高,总体可靠易行。

附图说明

[0029] 图1为本发明测试装置实施例结构示意图。

[0030] 图2为图1所示实施例中的A-A' 断面图。

[0031] 图3为本发明实施例的压样辅助装置的结构示意图。

[0032] 其中:1底座;2下试样环;3上试样环;4顶盖;5螺柱;6活塞;7a第一密封圈;7b第二密封圈;7c第三密封圈;8a第一滤纸;8b第二滤纸;9a第一透水石;9b第二透水石;10a上试样,10b下试样;11a第一底座气动快插接头;11b第二底座气动快插接头;12a第一活塞气动快插接头;12b第二活塞气动快插接头;13隔膜气泵;14饱和盐溶液瓶;15空气净化瓶;16压力传感器;17传感器螺钉;18无纸记录仪;19螺柱;20连接片;21连接片螺钉。

具体实施方式

[0033] 以下结合附图及实施例对本发明作进一步的说明。

[0034] 如图1至图3所示,本发明提供了一种用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置,包括恒体积实验装置、吸力控制装置、膨胀力量测装置、压样辅助装置四个部分:

[0035] 1) 所述的恒体积实验装置包括底座1、下试样环2、上试样环3、顶盖4、螺柱5、活塞6、第一密封圈7a、第二密封圈7b、第三密封圈7c、第一滤纸8a、第二滤纸8b、第一透水石9a、第二透水石9b、上试样10a、下试样10b。

[0036] 下试样环2、上试样环3、顶盖4分别设置四个通孔,采用四根螺柱5与底座1连接,其中下试样环2、上试样环3采用螺母固定在底座1上。顶盖4采用螺母固定在螺柱5顶端。下试样环2在高度中间位置设置一组沿轴线对称的水平通孔。底座1内部设置连通通道,通道左、右两端分别设置第一底座气动快插接头11a、第二底座气动快插接头11b。活塞6内部设置连通通道,通道左、右两端分别设置第一活塞气动快插接头12a、第二活塞气动快插接头12b。试样位于下试样环2内部,由上试样10a和下试样10b两部分紧密拼接而成。上试样10a上部、下试样10b下部分别依次放置第一滤纸8a、第二滤纸8b和第一透水石9a、第二透水石9b。活塞6嵌入在上试样环3内部,压在第一透水石9a之上。上试样环3与活塞6之间、上试样环3与下试样环2之间、下试样环2与底座1之间分别设置环形密封槽,安装第一密封圈7a、第二密封圈7b、第三密封圈7c。

[0037] 2) 所述的吸力控制装置包括隔膜气泵13、饱和盐溶液瓶14、蒸汽净化瓶15。隔膜气泵13通过导管与活塞6上的第一活塞气动快插接头12a连接,蒸汽净化瓶15通过导管与底座

1上的第一底座气动快插接头11a连接,隔膜气泵13、饱和盐溶液瓶14、蒸汽净化瓶15之间依次通过导管连接。底座1上的第二底座气动快插接头11b与活塞6上的第二活塞气动快插接头12b采用导管连接。饱和盐溶液瓶14用于放置饱和盐溶液,隔膜气泵13鼓动饱和盐溶液,产生对应湿度(吸力值)的蒸汽进入蒸汽净化瓶15,蒸汽净化瓶15过滤可能进入管路的液体。蒸汽经底座1上的第一底座气动快插接头11a进入恒体积实验装置,再经活塞6上的第二活塞气动快插接头12a返回隔膜气泵13,形成蒸汽循环路径,最终使试样的吸力与饱和盐溶液控制的吸力达到相同。

[0038] 3) 所述的膨胀力量测装置包括压力传感器16、传感器螺钉17、无纸记录仪18。压力传感器16采用四个传感器螺钉17固定在顶盖4下部、活塞6上部。压力传感器16的探头嵌入活塞6顶端的凹槽内。无纸记录仪18通过线缆连接压力传感器16,自动记录、存储膨胀力数据。

[0039] 4) 所述的压样辅助装置包括柱塞19、连接片20、连接片螺钉21。柱塞19可插入、封堵下试样环2上的两个水平通孔。柱塞19外端通过螺纹与连接片20的中间连接。连接片20两端采用连接片螺钉21水平固定在下试样环2上。

[0040] 本发明用于高压实膨润土组合体非饱和膨胀力测试的装置的工作方式如下:

[0041] 1) 下部试样准备:下部试样尺寸为直径50mm、高度10mm,干密度 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。根据干密度和膨润土粉末的含水率计算所需膨润土粉末的质量。首先,将测试装置拆解,仅使用下试样环和上试样环进行压样和试样组合。采用压样辅助装置(柱塞、连接片和连接片螺钉)封堵下试样环两侧的水平通孔,调整、固定柱塞的位置。然后,将下试样环与上试样环组合,将膨润土粉末倒入其中、放入压杆,采用电子万能试验机以 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 的加载速率压至预设位置;静置一小时后,以 $20\text{kN}/\text{min}$ 的速率卸载压力,取出压样杆,清理下部试样表面。

[0042] 2) 上部试样准备:上部试样尺寸为直径50mm、高度10mm,干密度 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。下部试样压制完成后,将上试样环与下试样环分离。上部试样在上试样环内压制。称取与下部试样相同质量的膨润土粉末,倒入上试样环内、放入压杆,采用相同的加载速率、静置时间和卸载速率,完成上部试样的压制,并清理上部试样表面。

[0043] 3) 上部试样与下部试样组合:将包含下部试样的下试样环与包含上部试样的上试样环组合,拆除下试样环两侧的压样辅助装置。放入压杆、采用电子万能试验机以 $0.2\text{mm}/\text{min}$ 的速率向下推动上部试样、与下部试样进行组合。向下推样组合过程中,记录稳定的推样阻力,并通过下试样环上的水平通孔检查界面的通气情况。等待界面接触、承压约 0.2MPa ,且界面不再透气时,认为上部试样已推入到下试样环内、与下部试样拼接形成组合体。

[0044] 4) 组合体非饱和膨胀力实验:试样组合完成后,将各部分部件按照图1所示的结构连接,施加 0.2MPa 的初始压力。启动隔膜气泵,逐次采用不同的饱和盐溶液、逐级进行吸湿路径下的吸力控制。每级吸力下的膨胀力达到稳定后,方可进行下一级吸力控制。此外也可进行单级吸力完成低吸力控制。多级吸力控制完成后,根据膨胀力的演化,对组合体界面开始产生愈合的吸力值进行判断。

[0045] 综上所述,本发明方法容易,自动化取样数据多,可靠易行,成果可为深地质处置库工程屏障系统的设计、施工及安全评估提供基础依据,具有重要的工程意义和实践价值。

[0046] 上述对实施例的描述是方便该技术领域的普通技术人员理解和应用本发明。熟悉

本领域的技术人员可以对这些实施例做出适当调整,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于在此描述的实施例。本领域的技术人员根据本发明的揭示,不脱离发明范畴所作出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

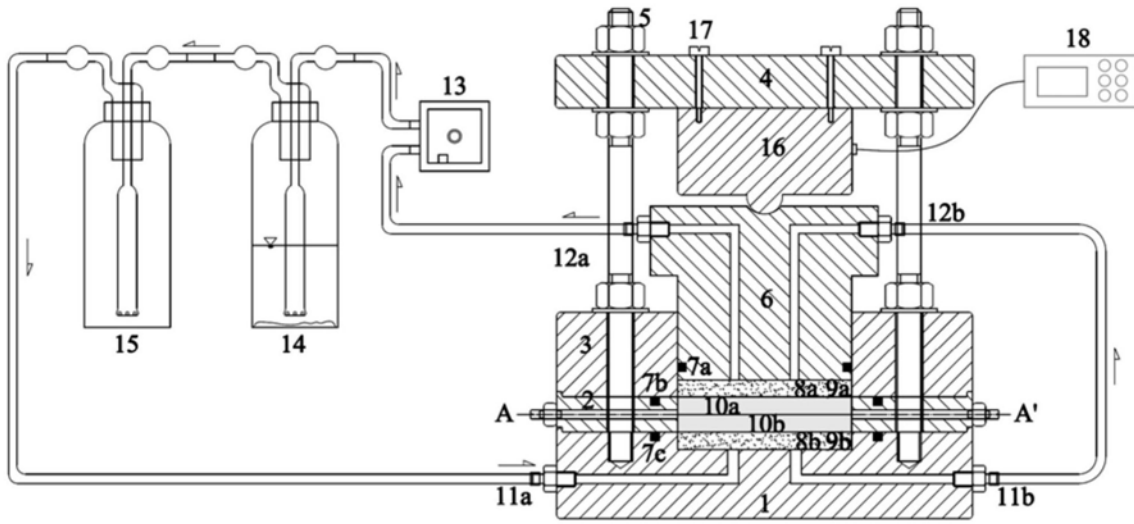


图1

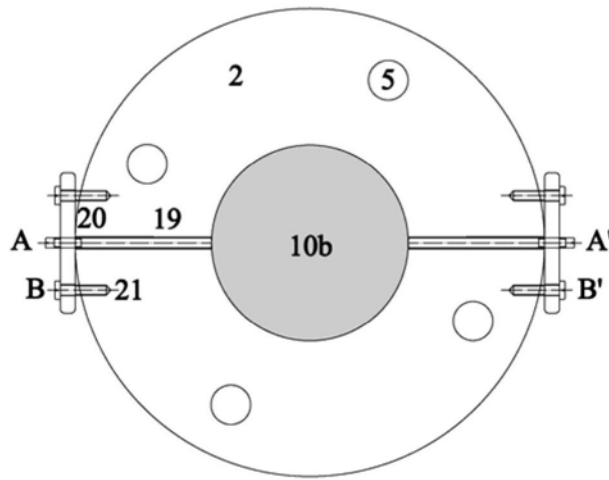


图2

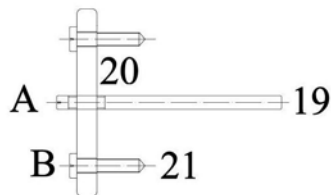


图3