



[12] 实用新型专利说明书

[21] ZL 专利号 03272866.2

[45] 授权公告日 2004 年 8 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 2636222Y

[22] 申请日 2003.7.14 [21] 申请号 03272866.2

[73] 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100080 北京市海淀区北四环西路 15 号

[72] 设计人 孟祥跃 李世海 张均锋

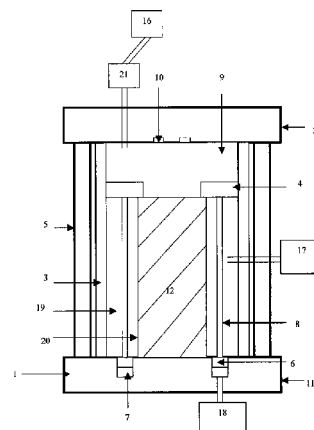
[74] 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理有限公司
代理人 王凤华

权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

[54] 实用新型名称 破碎岩土压缩试验中用的柔性边界加载实验机

[57] 摘要

本实用新型涉及一种柔性边界加载实验机，包括：试验机框架、三个位于试验机框架外的加压装置和压力室缸体，还包括至少一个固定在上盖板的下表面处的超声波位移测量装置，侧面包裹有乳胶膜的试样位于压力室缸体内，其侧面与压力室缸体内壁之间形成一围压压力室，该围压压力室内充满液体或气体；所述轴压活塞环放置在试样上，其外径与压力室缸体的内径相等；所述轴压加载胶囊位于轴压活塞环与上盖板之间，所述的位于试验机框架的下盖板内的平衡压活塞环通过平衡压传力杆与轴压活塞环固定连接在一起，其下方还设置一平衡压加载胶囊；所述三个加压装置分别连通轴压加载胶囊、平衡压加载胶囊及围压压力室中的液体或气体。



1、一种柔性边界加载实验机，包括：实验机框架（1）、三个位于实验机框架（1）外的加压装置（16、17、18）和压力室缸体（3），所述实验机框架（1）的上盖板（2）和下盖板（11）通过至少三根以上的立柱（5）固定而成，与立柱（5）等高的压力室缸体（3）安装在上盖板（2）和下盖板（11）的中央，其特征在于：还包括至少一个固定在上盖板（2）的下表面处的超声波位移测量装置（10）、密封有液体或气体的乳胶膜制成的加载胶囊（7、9）、两个活塞环（4、6）和平衡压传力杆（8）；其中，侧面包裹有乳胶膜（20）的试样（12）位于压力室缸体（3）内，其侧面与压力室缸体（3）内壁之间形成一围压压力室（19），该围压压力室（19）内充满液体或气体；所述轴压活塞环（4）放置在试样（12）上，其外径与压力室缸体（3）的内径相等；所述轴压加载胶囊（9）位于轴压活塞环（4）与上盖板（2）之间，所述的位于实验机框架（1）的下盖板（11）内的平衡压活塞环（6）通过平衡压传力杆（8）与轴压活塞环（4）固定连接在一起，其下方还设置一平衡压加载胶囊（7），该胶囊位于实验机框架（1）的下盖板（11）内；所述三个加压装置（16、17、18）分别连通轴压加载胶囊（9）、平衡压加载胶囊（7）及围压压力室（19）中的液体或气体。

2、按权利要求1所述的一种柔性边界加载实验机，其特征在于：所述的压力室缸体（3）为有机玻璃筒或钢筒。

3、按权利要求1所述的一种柔性边界加载实验机，其特征在于：所述的加压装置（16、17、18）同为高压气瓶或伺服加载控制系统。

4、按权利要求1所述的一种柔性边界加载实验机，其特征在于：所述的轴压加载胶囊（9）采用高压液体胶囊。

5、按权利要求3所述的一种柔性边界加载实验机，其特征在于：所述的伺服加载控制系统内充装液体油介质，并通过一钢管经一耐压软管与加载胶囊（7、9）相连通，所述钢管内设置有油压活塞。

6、按权利要求4所述的一种柔性边界加载实验机，其特征在于：所述的轴压加载胶囊（9）的上方还设置一密闭的气液容器（21）。

破碎岩土压缩试验中用的柔性边界加载实验机

技术领域

本实用新型涉及一种测量材料力学参数的实验设备，特别涉及一种进行破碎岩体或土石混合体的压缩试验的柔性边界加载实验机。

背景技术

目前，在土力学中最常用的测定土的抗剪强度的仪器就是三轴压缩实验机，如图1所示，它由压力室、轴向加压系统、围压加压系统和空隙水压力测量系统构成，如武汉工业大学出版社2000年版赵明华著的《土力学与基础工程》一书中所述的，三轴压缩实验机的核心部分是压力室，它是由一个活塞15、上垫块13、下垫块14、上盖板2、下盖板11和透明有机玻璃筒3组成的密闭容器；轴向加压系统用以对试样施加轴向压力，并可控制轴向应变的速率，在一定的围压条件下，逐渐增加轴向压力，试样中各点将产生剪应力，若某点的剪应力达到其抗剪强度，在剪切面的两侧将产生相对位移而产生滑动破坏；随着轴向荷载的继续增加，试样中的剪应力达到抗剪强度的区域愈来愈大，最后各滑动面连成整体，试样将发生整体剪切破坏而丧失稳定性。

普通的三轴压缩实验机的轴向加载边界是刚性的，即给定的是位移边界加载条件，对于均匀材料，该实验机所测出的均匀材料的本构关系和破坏强度基本上可以代表材料中任一点的应力状态，如对于金属材料，该实验机可以给出令人满意的测量结果。

但是，对于像含结构面岩体或土石混合体这类非均匀、非连续的介质，采用刚性边界加载方式，会导致边界上作用力的分布不均匀和不确定，再者，非均匀、非连续的介质在外力作用下其内部应力的分布也不均匀，某些区域块体或颗粒之间的作用力很大，而另外的区域受力很小甚至不受力，力的不均匀性就会反映在边界上，导致边界条件的不确定性，因此，这种给定位移边界条件的实验机在进行破碎岩体或土石混合体的压缩试验时不能很好地反映客观实际状况。

发明内容

本实用新型的目的在于：克服普通三轴压缩实验机的轴向加载边界是刚性的局限性，以及其导致的在进行破碎岩体或土石混合体的压缩试验时，刚性的轴向加载边界不能很好地反映客观实际状况的缺陷，从而提供一种柔性边界加载实验机。

本实用新型的目的是这样实现的：本实用新型的一种柔性边界加载实验机，包括：试验机框架、三个位于试验机框架外的加压装置和压力室缸体，所述试验机框架的上盖板和下盖板通过至少三根以上的立柱固定而成，与立柱等高的压力室缸体安装在上盖板和下盖板的中央，其特征在于：还包括至少一个固定在上盖板的下表面处的超声波位移测量装置、密封有液体或气体的乳胶膜制成的加载胶囊、两个活塞环和平衡压传力杆；其中，侧面包裹有乳胶膜的试样位于压力室缸体内，其侧面与压力室缸体内壁之间形成一围压压力室，该围压压力室内充满液体或气体；所述轴压活塞环放置在试样上，其外径与压力室缸体的内径相等；所述轴压加载胶囊位于轴压活塞环与上盖板之间，所述的位于试验机框架的下盖板内的平衡压活塞环通过平衡压传力杆与轴压活塞环固定连接在一起，其下方还设置一平衡压加载胶囊，该胶囊位于试验机框架的下盖板内；所述三个加压装置分别连通轴压加载胶囊、平衡压加载胶囊以及围压压力室中的液体或气体。

所述的压力室缸体为有机玻璃筒或钢筒。

所述的加压装置可为高压气瓶或伺服加载控制系统。所述的伺服加载控制系统内充装液体油介质，并通过一钢管经一耐压软管与加载胶囊相连通，所述钢管内设置有油压活塞。

所述的轴压加载胶囊采用高压液体胶囊，其上方还设置一密闭的气液容器。

采用高压液体胶囊可以实现轴向的柔性加载，因为静态流体内部压力处处相等，因此作用在试样表面上的力是均匀的，即可实现等应力边界条件。这样，如果破碎岩体或土石混合体试样内有一定的不均匀性以及非连续性等特点，就会导致试样表面上各点的位移不相等，这样就可以从均匀加载的角度更好地研究非均匀、非连续介质的变形及破坏规律。

加载液体的压力可以通过对密闭的气液容器加压来实现，因为对一定容量的气体而言，固体变形引起的体积变化对气体的压力变化影响可以忽略，这样就可以保证试样在变形和破坏过程中的压力保持不变。

如果在测量试样的变形破坏过程中，轴向柔性边界加载系统中的胶囊内的传压

介质全部采用液体，不包含气体，那么，在试样发生变形和破坏过程中，液体传压介质的压缩变形与试样的变形相比可以忽略，轴压就会下降，从而可以记录下试样发生变形和破坏的全过程。

围压的施加与普通三轴压缩试验机相同，即围压采用液体或气体作为传压介质，保持围压为某一常数进行试验。

本实用新型的优点在于：本实用新型的一种柔性边界加载实验机，由于采用了两个与加压装置连通的充装有液体或气体的胶囊，外部的加压装置通过胶囊对试样施加压力，保证试样上表面上每一点的应力都相等，实现了柔性轴向加载，即等应力边界条件，这样在进行破碎岩体或土石混合体的压缩试验时，就能很好地反映客观实际情况。

本实用新型的目的、特征及优点将通过优选的实施例结合附图加以说明。

图面说明

图 1 是现有技术普通三轴压缩试验机的剖面示意图

图 2 是本实用新型柔性边界加载实验机的一实施例的剖面示意图

图 3 是本实用新型柔性边界加载实验机的又一实施例的剖面示意图

图 4 是本实用新型柔性边界加载实验机主体部分实物图

附图标示

实验机框架 1	上盖板 2	压力室缸体 3
轴压活塞环 4	立柱 5	平衡压活塞环 6
平衡压加载胶囊 7	平衡压传力杆 8	轴压加载胶囊 9
超声波位移测量装置 10	下盖板 11	试样 12
上垫块 13	下垫块 14	活塞 15
轴压加压装置 16	围压加压装置 17	平衡压加压装置 18
围压压力室 19	乳胶膜 20	气液容器 21

具体实施方式

参照附图，将详细叙述本实用新型的具体实施方案。

实施例 1

制作一采用高压气瓶加压的柔性边界加载实验机，如图 2 所示，该实验机包括实验机框架 1 和压力室缸体 3，压力室缸体 3 密封位于实验机框架 1 的上盖板 2 和下

盖板 11 之间，当所施加的轴向压力和围压比较小时，压力室缸体 3 采用有机玻璃筒，当所施加的轴向压力和围压比较大时，压力室缸体 3 采用钢筒，本实施例中采用的是钢筒；实验机框架 1 的上盖板 2 和下盖板 11 通过四根钢制的立柱 5 固定而成；超声波位移测量装置 10 采用超声波传感器，内置于上盖板 2 的下表面处，轴向加压活塞环 4 为一钢环，套装在压力室缸体 3 内，其下表面的内圆部分放在试样 12 上表面的外圆部分上，其外侧壁与压力室缸体 3 内壁密封接触，在轴压活塞环 4 和试样 12 的上表面、压力室缸体 3 内壁和上盖板 2 围成的空间里放置一轴压加载胶囊 9；平衡压活塞环 6 通过平衡压传力杆 8 与轴向加压活塞环 4 固定连接在一起；平衡压活塞环 6 位于实验机框架 1 的下盖板 11 内，其下方还设置一平衡压加载胶囊 7，该平衡压加载胶囊 7 也位于实验机框架 1 的下盖板 11 内；压力室缸体 3 与试样 12 之间形成围压压力室 19，其中充满液体，试样 12 的外侧面包裹一层乳胶膜 20。

本例中，三个加压装置均采用高压气瓶；通过高压气瓶 17 对围压压力室 19 施加压力，轴向压力是利用高压气瓶 16 通过气液容器 21 对轴压加载胶囊 9 施加压力而实现的，轴压加载胶囊 9 紧贴着实验机框架上盖板 2 的下表面、压力室缸体 3 内壁、轴压活塞环 4 的上表面以及试样 12 的上表面，在施加轴压的过程中，轴压活塞环 4 就随试样 12 上表面一起运动；而通过高压气瓶 18 对平衡压加载胶囊 7 施加压力推动平衡压活塞环 6 向上运动，并通过平衡压传力杆 8 把力传到轴压活塞环 4 上。

由于轴向加载采用了柔性加载，轴向加压液体具有可流动性，因此，必须用刚性的东西把轴压压力室与围压压力室隔开，设计中我们采用一个轴压活塞环 4，该环内径向外的一小部分压在试样上表面的外边缘上，从而把轴压和围压的压力室隔开。

由于轴向压力大于围压，作用在试样上表面的外边缘上的应力大于作用在试样上表面中间部分的应力，因此，必须有一个压力平衡系统来抵消掉轴向压力作用在轴向加压活塞环上力的一部分，使得作用在试样上表面的外边缘上的应力等于作用在试样上表面中间部分的压力。我们设计了这样一个平衡压加载系统，并通过平衡压加载胶囊、平衡压活塞环以及平衡压传力杆，来抵消掉轴向压力作用在轴向加压活塞环上的部分力。假设轴压为 P_z ，围压为 P_w ，平衡压为 P_p ；轴向加压活塞环面积与压在试样上环的面积之差是 S_{zh} ，平衡压活塞环的面积是 S_{ph} ，平衡压传力杆的面积是 S_g ，为了使得作用在试样上表面的外边缘上的应力等于作用在试样上表面中间部分的压力，必须满足以下条件：

$$P_p * S_{ph} - P_w (S_{ph} - S_g) + P_w (S_{zh} - S_g) = P_z * S_{zh}$$

$$\frac{P_z - P_w}{P_p - P_w} = \frac{S_{ph}}{S_{zh}}$$

或者写成

$$P_p = P_w + (P_z - P_w) \frac{S_{zh}}{S_{ph}}$$

在 S_{ph} 与 S_{zh} 一定的条件下，轴压 P_z ，围压 P_w ，与平衡压 P_p 之间满足上面的关系式，就可以使试样上表面上每一点的应力都相等，在试验的过程中，围压 P_w 为某一常数值， S_{ph} 与 S_{zh} 也是固定不变的。因此，随着轴压 P_z 的增加，平衡压 P_p 按照上面的关系式增加，就可满足必要的压力平衡条件，从而测出试样的力学参数。

实施例 2

制作另一采用伺服加载控制系统加压的柔性边界加载实验机，如图 3 所示，在实施例 1 的基础上，该实验机用一轴压伺服加载控制系统 16、一围压伺服加载控制系统 17 和一平衡压伺服加载控制系统 18 替代三个高压气瓶，上述三个伺服加载控制系统位于柔性边界加载实验机框架主体的外部，并通过钢管和耐压软管与胶囊相连通；钢管内有一油压活塞。其中，轴压伺服加载系统 16 通过液体油介质对油压活塞施加压力，该压力就会通过轴压加载胶囊 9 传递到试样 12 的上表面上，从而实现试样上表面的轴向加载；围压伺服加载系统 17 通过液体油介质对油压活塞施加压力，该压力就会通过围压压力室 19 内的传压介质传递到试样的侧表面上，从而实现试样施加围压；平衡压伺服加载系统 18 通过液体油介质对油压活塞施加压力，该压力就会通过平衡压加载胶囊 7 传递到平衡压活塞环 6 上，再通过平衡压传力杆 8 把力传递到轴压活塞环 4 上，从而可以实现轴压 P_z ，围压 P_w ，与平衡压 P_p 之间的相互协调，并满足上面列出的它们之间的平衡协调关系式。

在本实施例中，轴压加载胶囊 9 改用高压液体胶囊，其上方还可设置一密闭的气液容器。

下面对本装置的原理作进一步的解释：

(1) 轴压伺服加载控制系统 16，这是柔性边界加载试验机实现柔性加载的关键部分，它通过轴压加载胶囊 9 中的轴向加压液体对试样进行加载，由于流体内部压力处处相等，因此作用在试样表面上的力是均匀相等的，但试样表面上各点的位移可以不相等。根据需要，既可实现等应力加载，也可实现等位移加载。

(2) 围压伺服加载控制系统 17，这一部分所实现的功能与普通的三轴试验机相

同，即通过围压加载胶囊 19 内的气体或液体，对试样周围施加某一固定不变的围压。

(3) 平衡压力伺服加载控制系统，这一部分控制系统是普通三轴试验机上没有的。

(4) 超声波位移测量装置。在普通的三轴试验机上，由于试样上表面的加载是刚性的，为位移边界条件，因此，每一点的位移都是一样，试样的轴向位移测量比较简单。而在我们的柔性边界加载试验机上，试样上表面的加载是柔性的，为应力边界条件，每一点的位移都可能不一样，需要测量出上表面的位移分布，在设计中，我们采用了超声波的方法来测量位移，其基本原理就是，波在某种介质（例如水）中的传播速度相等，通过发出和接收信号的时间差即可计算出距离。由于超声波的波长非常短，因此距离的测量精度比较高，目前超声测厚仪已被广泛地应用于各个领域。在柔性边界加载试验机上，超声波传感器被布置在试样上方的试验机框架上盖板下表面上，试验的过程中，超声波传感器与试样之间的水层厚度不断变化（增加），超声波传感器就可以测量出这一厚度的变化过程，该厚度变化就是位移的变化量。对于岩体或者土石混合体，由于有一定的不均匀性和非连续性，各点的位移变化是不相同的，布置多个超声波传感器，就可以测量出不同点上位移变化的分布，使测量出的力学参数更符合实际。

比较本实用新型和普通的现有技术，从图 1 和图 2、图 3、图 4 中可以看出，柔性边界加载试验机与普通三轴压缩试验机最本质的区别就是轴向加载。普通三轴压缩试验机的轴向加载是刚性的，为位移边界加载条件，而柔性边界加载试验机的轴向加载是柔性的，为应力边界条件；结果表明，本实用新型柔性边界加载试验机采用柔性轴向加载，即应力边界条件，在进行破碎岩体或土石混合体的压缩试验时，能很好地反映客观实际状况。

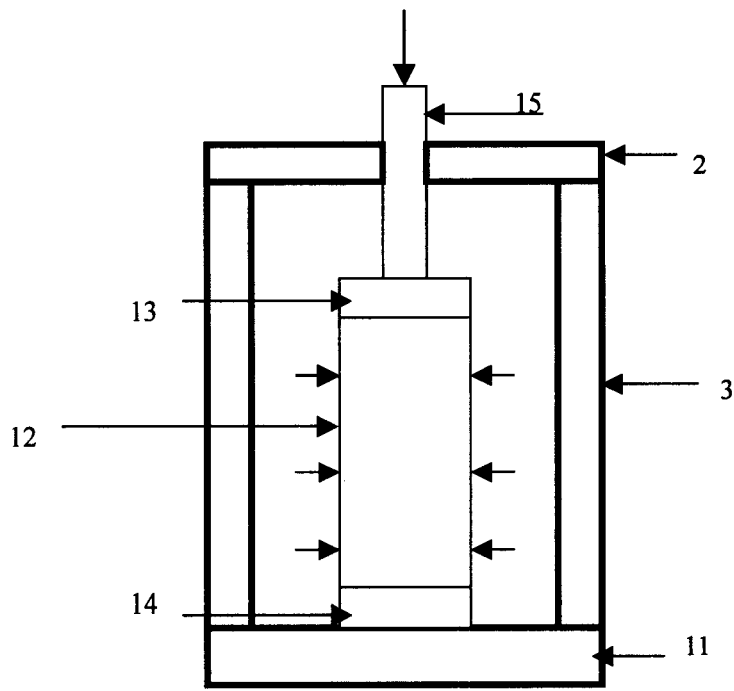


图 1

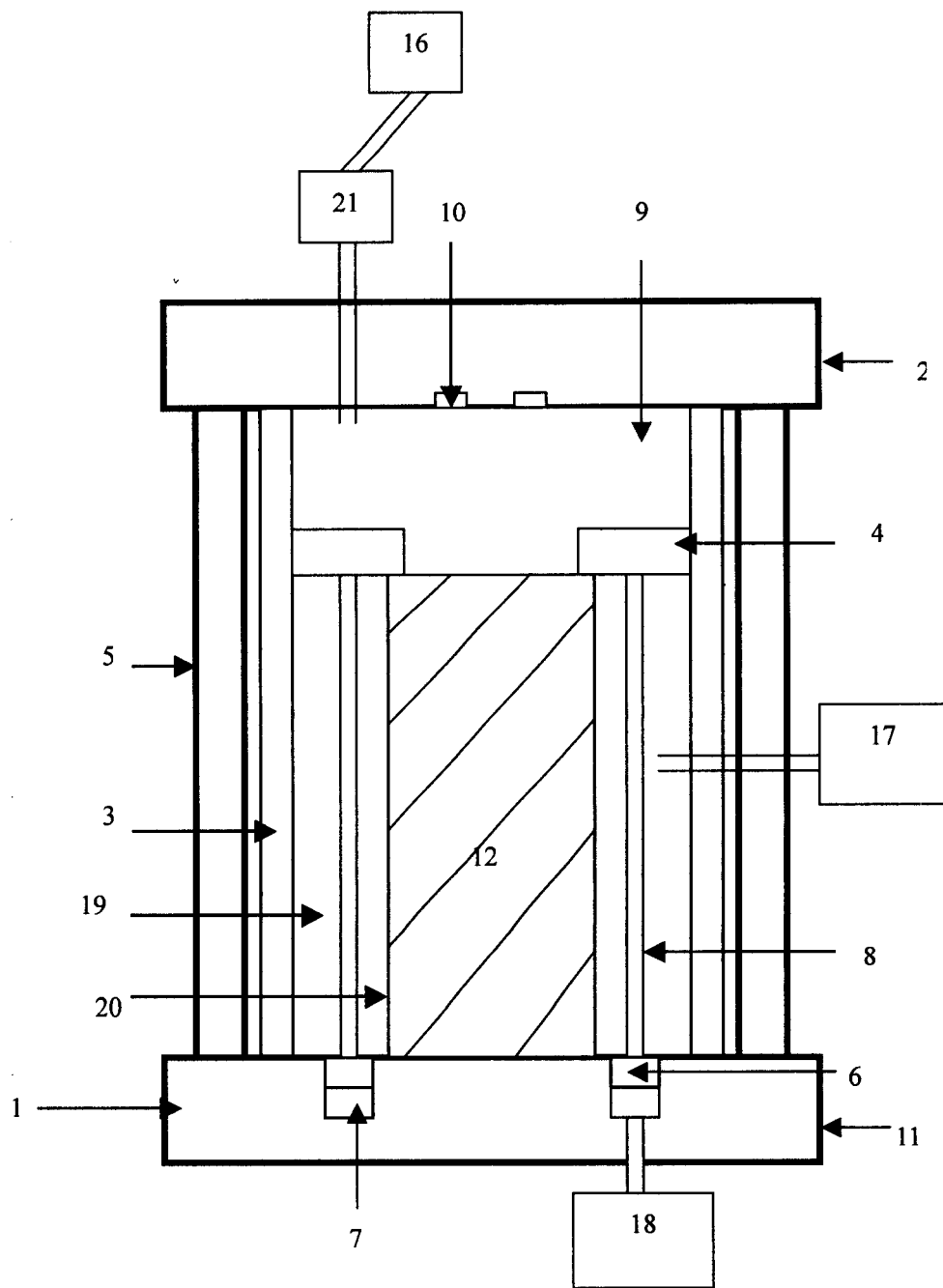


图 2

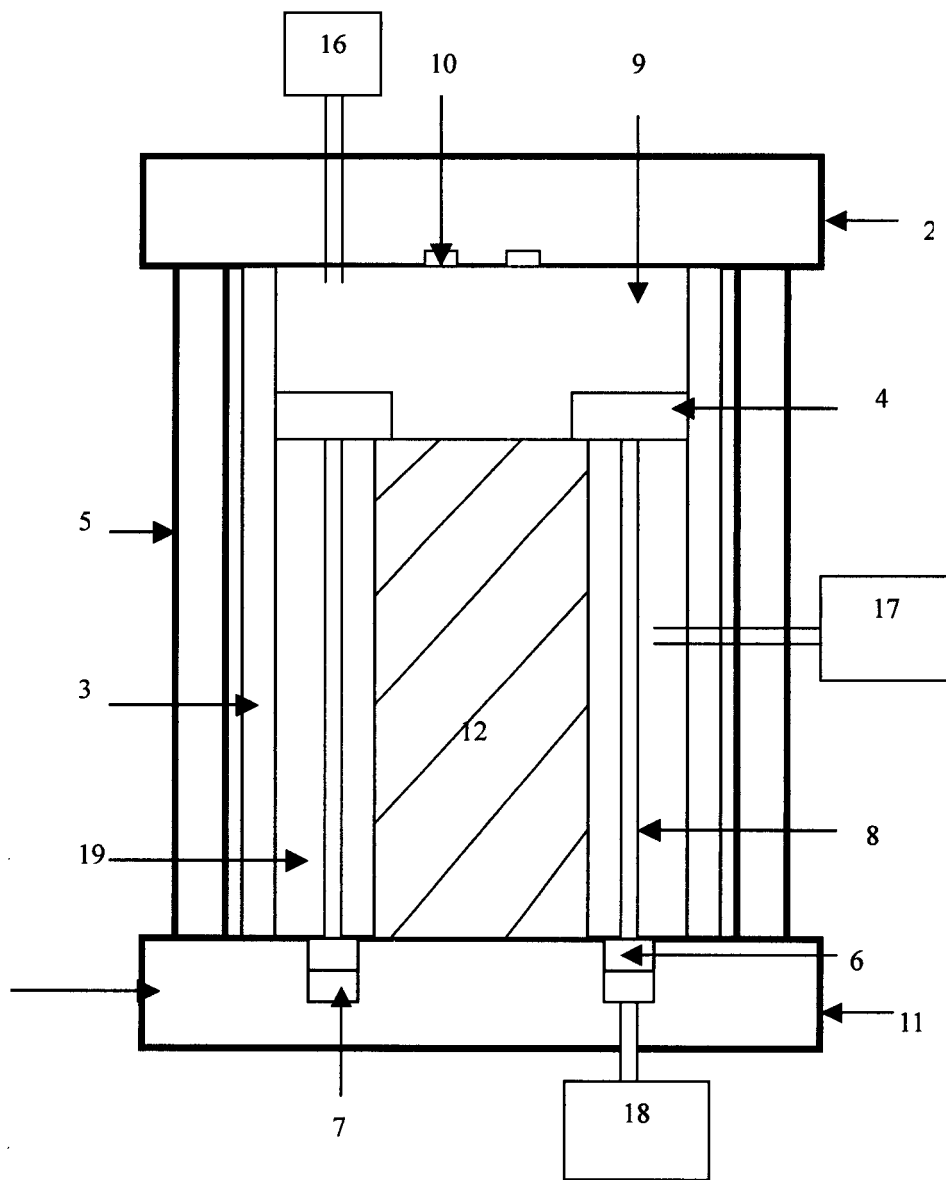


图 3

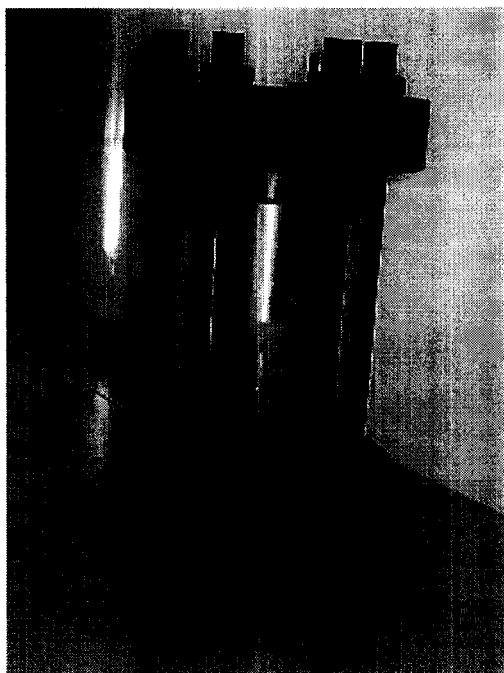


图 4