



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203376239 U

(45) 授权公告日 2014. 01. 01

(21) 申请号 201320336643. 4

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2013. 06. 09

(73) 专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

(72) 发明人 陈益峰 胡少华 魏凯 胡冉 周创兵

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务所 (特殊普通合伙) 42222

代理人 鲁力

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006. 01)

G01N 3/12 (2006. 01)

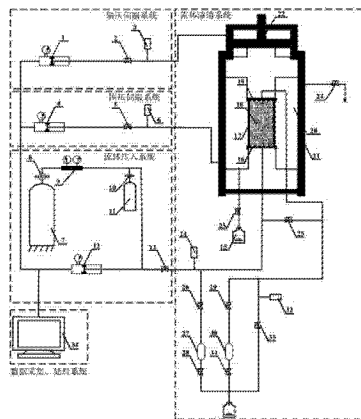
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 实用新型名称

一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置

(57) 摘要

本实用新型涉及一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置。本实用新型涉及的装置包括轴压伺服系统、围压伺服系统、水(气)压伺服系统、数据采集系统及数据处理系统,可开展静水压缩、三轴压缩全过程及加卸载循环下的应力-渗流耦合试验。通过数据采集系统实时测量记录岩石试样当前围压、偏压值,轴向、环向以及体积应变值,进、出口端压力值;数据处理系统绘制出相应的应力-应变曲线,进、出口端压力-时程曲线,试样变形与孔隙水(气)压曲线,然后自动计算出岩石试样的渗透率、孔隙率、轴向及侧向 Biot 系数,并进行存储及显示。该测量装置可完成岩石材料特别是低渗岩石在复杂应力路径下应力-渗流耦合试验,试验结果可靠,并可直观显示。



1. 一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置,其特征在于,包括轴压伺服系统、围压伺服系统、流体注入系统、流体渗透系统,以及与所述系统相连的数据采集、处理装置;

所述轴压伺服系统包括轴压伺服高精度液压泵(1)、与之相连的第一液压阀门(2),紧接第一液压阀门(2)后的轴压传感器(3);所述轴压伺服高精度液压泵(1)还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器(3)还与气体渗透系统连接;

所述围压伺服系统包括围压伺服高精度液压泵(4)、与之相连的第二液压阀门(5),紧接第一液压阀门(5)后的围压传感器(6);所述围压伺服高精度液压泵(4)还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器(6)还与气体渗透系统连接;

所述流体注入系统包括依此相连的高压氮气(7)、气阀(8)、气体减压阀(9),水瓶(11)及与水瓶(11)相连的水阀(10),水/气压伺服高精度液压泵(12)以及第三液压阀门(13)相连,所述第三液压阀门(13)前与水气压高精度液压泵(12)相连后与上述水阀(10)连接,再与气体渗透系统相连;

所述流体渗透系统包括进口端、试样及试样密封系统、三轴压力室及支撑传力装置、出口端;其中进口端包括进口端压力传感器(14)、第四液压阀门(26)、进口端钢瓶(27)、第五液压阀门(28);所述第四液压阀门(26)前与进口端压力传感器(14),后与进口端钢瓶(27)、第五液压阀门(28)依次相连;所述试样(18)两端放置渗透活塞(19),橡皮套(17)将试样(18)和渗透活塞(19)包裹,封气箍(16)紧箍在橡皮套(17)两端将试样(18)密封;所述三轴压力室及支撑传力装置包括三轴压力室(20)、支架(21)、千斤顶(22)、置于压力室(20)底端并与一个流体回收容器(15)相连的第六液压阀门(23),置于压力室(20)上连通大气的第七液压阀门(24);出口端包括出口端压力传感器(32),第八液压阀门(29)以及顺次相连的出口端钢瓶(30)、第九液压阀门(31),第十液压阀门(33),其中出口端压力传感器(32)分别与第八液压阀门(29)、第十液压阀门(33)相连;进口端与出口端由第十一液压阀门(25)相连通。

2. 根据权利要求1所述的一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置,其特征在于,所述数据采集、处理装置包括计算机采集及处理系统(34)。

## 一种岩石水气渗流 - 应力耦合试验装置

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种耦合装置,尤其是涉及一种岩石水气渗流 - 应力耦合试验装置。

### 背景技术

[0002] 岩石在复杂应力环境下的变形特性与渗透特性研究是大型水利水电、深部资源开采、油 / 气能源地下储存、地下空间利用等领域重大工程建设迫切需要解决的关键问题。由于岩石赋存环境的复杂性,在各种工程荷载的作用下,岩石初始地应力场受到改造,应力场分布发生变化,岩石产生变形和细观结构的演化,从而导致岩石的渗透特性发生变化;相应地,岩石渗透特性的变化将导致渗流场的分布发生改变,从而又进一步改造岩石应力场。岩石渗流场和应力场的这种相互作用和相互影响称为岩石渗流 - 应力耦合作用,岩石应力 - 渗流耦合试验是开展岩石应力场和渗流场耦合机理研究的关键。然而,常规的现场试验方法很难获取岩石变形过程中渗透特性的变化规律,采用岩石室内三轴压缩过程中的渗透试验可以揭示其应力 - 应变全过程中渗透率的演化规律。

[0003] 自上世纪 50 年代以来,岩石三轴压缩过程中的渗透特性研究受到了学术界和工程界的重视。然而,国内外许多学者的大部分渗透性试验主要针对渗透系数比较高渗透率在  $10^{-12} \sim 10^{-16} \text{m}^2$  量级的岩样,三轴压缩过程中低渗岩石渗透率在  $10^{-16} \sim 10^{-22} \text{m}^2$  量级的渗透性试验成果并不多见。已有研究成果表明,岩石在三轴压缩过程中的全应力 - 应变曲线可划分为初始压密阶段、弹性变形阶段、局部损伤阶段、剧烈损伤阶段及峰后破坏阶段,在此过程中岩石的渗透特性相应地表现为初始下降、弹性稳定、峰前稳定增大、峰值附近剧烈增大及峰后下降等特征。

[0004] 当前,岩石(尤其是低渗岩石)在三轴压缩过程中的渗透性试验研究已成为国际岩石力学领域的研究热点,试验手段多采用瞬态压力脉冲法,渗透流体多采用水或气体如氮气、氦气。然而,由于岩石三轴压缩过程中渗透特性试验的特殊性和复杂性,国内目前尚未研发出功能完善的岩石三轴压缩 - 水(气)耦合装置。

### 实用新型内容

[0005] 本实用新型的上述技术问题主要是通过下述技术方案得以解决的:

[0006] 一种岩石水气渗流 - 应力耦合试验装置,其特征在于,包括轴压伺服系统、围压伺服系统、流体注入系统、流体渗透系统,以及与所述系统相连的数据采集、处理装置。

[0007] 在上述的一种岩石水气渗流 - 应力耦合试验装置,所述轴压伺服系统包括轴压伺服高精度液压泵、与之相连的第一液压阀门,紧接第一液压阀门后的轴压传感器;所述轴压伺服高精度液压泵还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器还与气体渗透系统连接。

[0008] 在上述的一种岩石水气渗流 - 应力耦合试验装置,所述围压伺服系统包括围压伺服高精度液压泵、与之相连的第二液压阀门,紧接第一液压阀门后的围压传感器;所述围压伺服高精度液压泵还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器还与气体渗透系统连接。

[0009] 在上述的一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置,所述流体注入系统包括依此相连的高压氮气、气阀、气体减压阀,水瓶及与水瓶相连的水阀,水/气压伺服高精度液压泵以及第三液压阀门相连,所述第三液压阀门前与水(气)压高精度液压泵相连后与上述水阀连接,再与气体渗透系统相连。

[0010] 在上述的一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置,所述流体渗透系统包括进口端、试样及试样密封系统、三轴压力室及支撑传力装置、出口端;其中进口端包括进口端压力传感器、第四液压阀门、进口端钢瓶、第五液压阀门;所述第四液压阀门前与进口端压力传感器,后与进口端钢瓶、第五液压阀门依次相连;所述试样两端放置渗透活塞,橡皮套将试样和渗透活塞包裹,封气箍紧箍在橡皮套两端将试样密封;所述三轴压力室及支撑传力装置包括三轴压力室、支架、千斤顶、置于压力室底端并与一个流体回收容器相连的第六液压阀门,置于压力室上连通大气的第七液压阀门;出口端包括出口端压力传感器,第八液压阀门以及顺次相连的出口端钢瓶、第九液压阀门,第十液压阀门,其中出口端压力传感器分别与第八液压阀门、第十液压阀门相连;进口端与出口端由第十一液压阀门相连通。

[0011] 在上述的一种岩石水气渗流-应力耦合试验装置,所述数据采集、处理装置包括计算机采集及处理系统。

[0012] 本实用新型涉及到的三个过程如下:

[0013] 力学过程:轴压、围压伺服系统可实现静水压缩、三轴压缩全过程及加卸载循环等复杂应力路径过程,操作方便、自动化程度高,加压过程完全在计算机控制下进行;轴压、围压伺服系统可以在岩石试样轴向施加 $0 \sim 375\text{MPa}$ 偏压,侧向施加 $0 \sim 60\text{MPa}$ 围压,施压控制精度为 $0.01\text{MPa}$ ,可在两个月内保持稳定,误差不超过 $1\%$ ;轴向偏压加载可以选用位移、轴向应变率、常压力梯度和变应力梯度四种方式控制,侧向围压加载可以选用环向应变率、常压力和变应力三种方式控制。

[0014] 渗流过程:通过水/气压伺服系统可在岩石试样进、出口端施加孔隙水(气)压,水/气压伺服系统由流体注入系统和流体渗透系统组成;流体注入系统可提供 $0 \sim 40\text{MP}$ 的孔隙水压或者 $0.1 \sim 10\text{MPa}$ 的高纯氮气,施压控制精度为 $0.01\text{MPa}$ ,误差不超过 $1\%$ ;流体渗透系统可进行管道回路和钢瓶回路两个不同量程的水(气)渗透试验。管道回路可进行 $10^{-16} \sim 10^{-22}\text{m}^2$ 量程的流体渗透试验,由进口管道、试样、出口管道组成,进口管道与出口管道由液压阀连接;钢瓶回路可进行 $10^{-12} \sim 10^{-18}\text{m}^2$ 量程的流体渗透试验,由进口管道、进口钢瓶、试样、出口钢瓶、出口管道组成。

[0015] 耦合过程:通过轴压、围压伺服系统,施加至预设的围压、偏压值并保持稳定,在岩石试样进、出口端通过水/气压伺服系统施加孔隙水(气)压进行耦合试验。通过数据采集系统实时测量记录岩石试样当前围压、偏压值,轴向、环向以及体积应变值,进、出口端压力值;数据处理系统绘制出相应的应力-应变曲线,进、出口端压力-时程曲线,试样变形与孔隙水(气)压曲线,然后自动计算出岩石试样的渗透率、孔隙率、轴向及侧向 Biot 系数,并进行存储及显示。

[0016] 因此,本实用新型具有如下优点:能够完成岩石材料特别是低渗岩石在复杂应力路径下应力-渗流耦合试验,试验结果可靠,并可直观显示。

附图说明

- [0017] 附图 1 为岩石三轴压缩-水(气)耦合装置示意图。
- [0018] 附图 2 为轴压、围压伺服系统示意图。
- [0019] 附图 3a 为静水压缩示意图。
- [0020] 附图 3b 为三轴压缩全应力-应变示意图。
- [0021] 附图 3c 为加卸载循环示意图。
- [0022] 附图 4 为流体注入系统示意图。
- [0023] 附图 5 为流体渗透系统示意图。

### 具体实施方式

[0024] 下面通过实施例,并结合附图,对本实用新型的技术方案作进一步具体的说明。附图中:轴压伺服高精度液压泵 1、第一液压阀门 2、轴压传感器 3、围压伺服高精度液压泵 4、第二液压阀门 5、围压传感器 6、高压氮气 7、气阀 8、气体减压阀 9、水瓶 10、水阀 11、水/气压伺服高精度液压泵 12、第三液压阀门 13、进口端压力传感器 14、流体回收容器 15、封气箍 16、橡皮套 17、试样 18、渗透活塞 19、三轴压力室 20、支架 21、千斤顶 22、第六液压阀门 23、第七液压阀门 24、第十一液压阀门 25、第四液压阀门 26、进口端钢瓶 27、第五液压阀门 28、第八液压阀门 29、出口端钢瓶 30、第九液压阀门 31、出口端压力传感器 32、第十液压阀门 33、计算机采集及处理系统 34。

[0025] 实施例:

[0026] 本实用新型包括轴压伺服系统、围压伺服系统、流体注入系统、流体渗透系统,以及与所述系统相连的数据采集、处理装置。

[0027] 其中,轴压伺服系统包括轴压伺服高精度液压泵 1、与之相连的第一液压阀门 2,紧接第一液压阀门 2 后的轴压传感器 3;所述轴压伺服高精度液压泵 1 还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器 3 还与气体渗透系统连接。

[0028] 围压伺服系统包括围压伺服高精度液压泵 4、与之相连的第二液压阀门 5,紧接第一液压阀门 5 后的围压传感器 6;所述围压伺服高精度液压泵 4 还与数据采集、处理装置连接;所述轴压传感器 6 还与气体渗透系统连接。

[0029] 流体注入系统包括依此相连的高压氮气 7、气阀 8、气体减压阀 9,水瓶 11 及与水瓶 11 相连的水阀 10,水/气压伺服高精度液压泵 12 以及第三液压阀门 13 相连,所述第三液压阀门 13 前与水(气)压高精度液压泵 12 相连后与上述水阀 10 连接,再与气体渗透系统相连。

[0030] 流体渗透系统包括进口端、试样及试样密封系统、三轴压力室及支撑传力装置、出口端;其中进口端包括进口端压力传感器 14、第四液压阀门 26、进口端钢瓶 27、第五液压阀门 28;所述第四液压阀门 26 前与进口端压力传感器 14,后与进口端钢瓶 27、第五液压阀门 28 依次相连;所述试样 18 两端放置渗透活塞 19,橡皮套 17 将试样 18 和渗透活塞 19 包裹,封气箍 16 紧箍在橡皮套 17 两端将试样 18 密封;所述三轴压力室及支撑传力装置包括三轴压力室 20、支架 21、千斤顶 22、置于压力室 20 底端并与一个流体回收容器 15 相连的第六液压阀门 23,置于压力室 20 上连通大气的第七液压阀门 24;出口端包括出口端压力传感器 32,第八液压阀门 29 以及顺次相连的出口端钢瓶 30、第九液压阀门 31,第十液压阀门 33,其中出口端压力传感器 32 分别与第八液压阀门 29、第十液压阀门 33 相连;进口端与出口端

由第十一液压阀门 25 相连通。

[0031] 数据采集、处理装置包括计算机采集及处理系统 34。

[0032] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本实用新型精神作举例说明。本实用新型所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本实用新型的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

[0033] 尽管本文较多地使用了轴压伺服高精度液压泵 1、第一液压阀门 2、轴压传感器 3、围压伺服高精度液压泵 4、第二液压阀门 5、围压传感器 6、高压氮气 7、气阀 8、气体减压阀 9、水瓶 10、水阀 11、水 / 气压伺服高精度液压泵 12、第三液压阀门 13、进口端压力传感器 14、流体回收容器 15、封气箍 16、橡皮套 17、试样 18、渗透活塞 19、三轴压力室 20、支架 21、千斤顶 22、第六液压阀门 23、第七液压阀门 24、第十一液压阀门 25、第四液压阀门 26、进口端钢瓶 27、第五液压阀门 28、第八液压阀门 29、出口端钢瓶 30、第九液压阀门 31、出口端压力传感器 32、第十液压阀门 33、计算机采集及处理系统 34 等术语,但并不排除使用其它术语的可能性。使用这些术语仅仅是为了更方便地描述和解释本实用新型的本质;把它们解释成任何一种附加的限制都是与本实用新型精神相违背的。

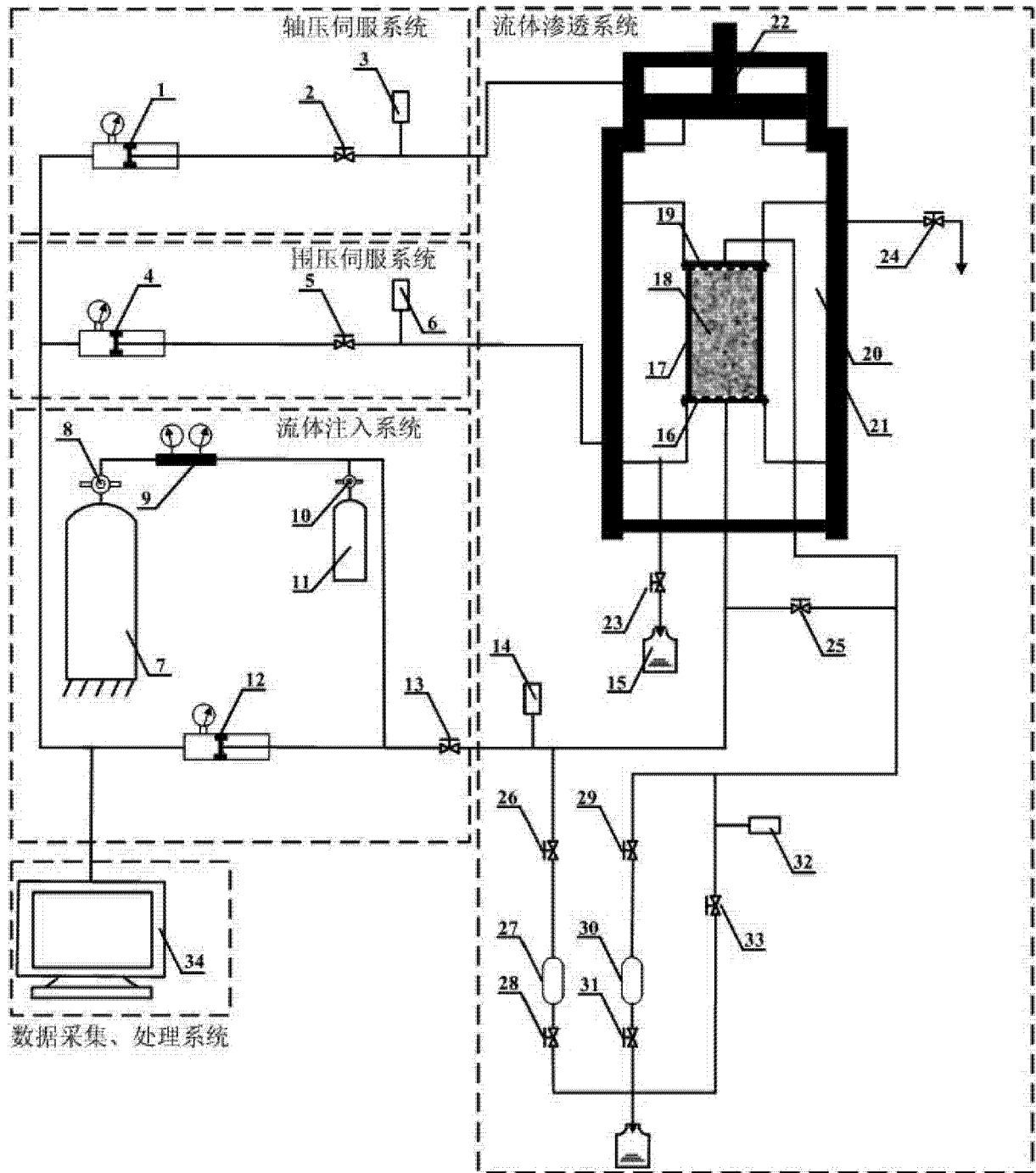


图 1

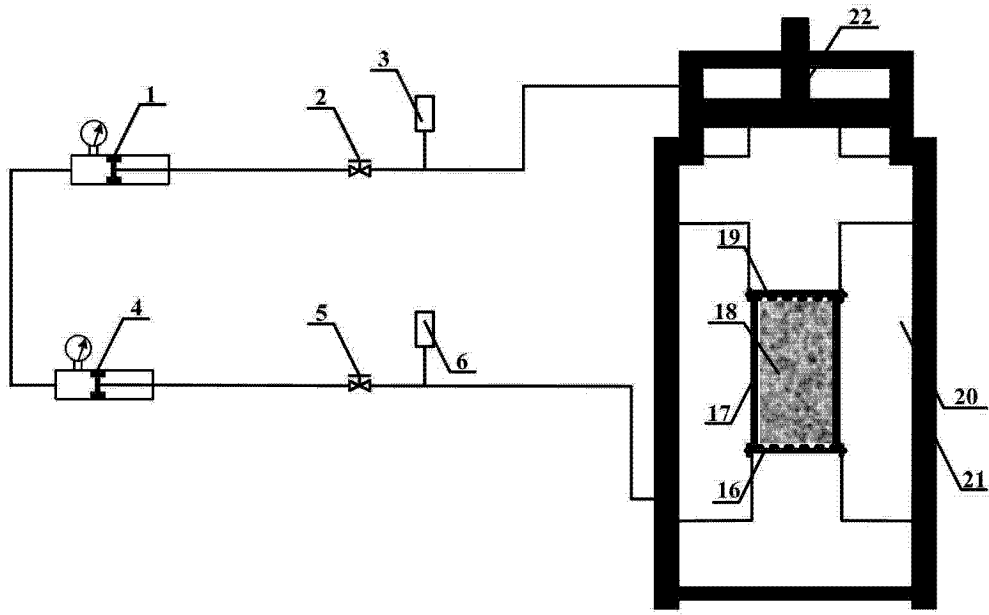


图 2

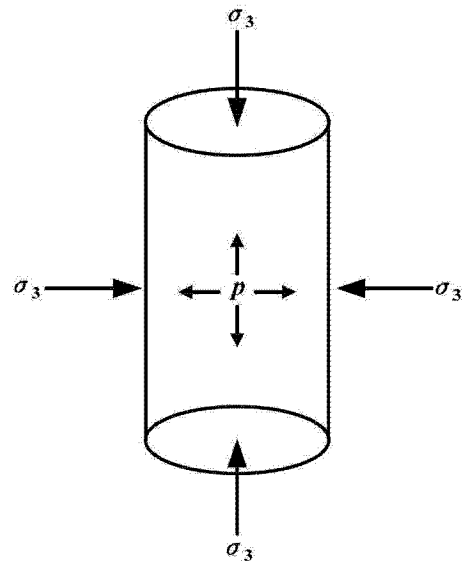
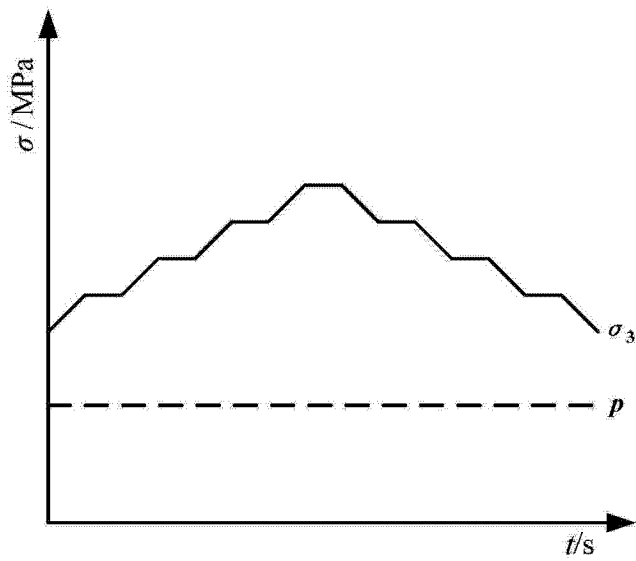


图 3a



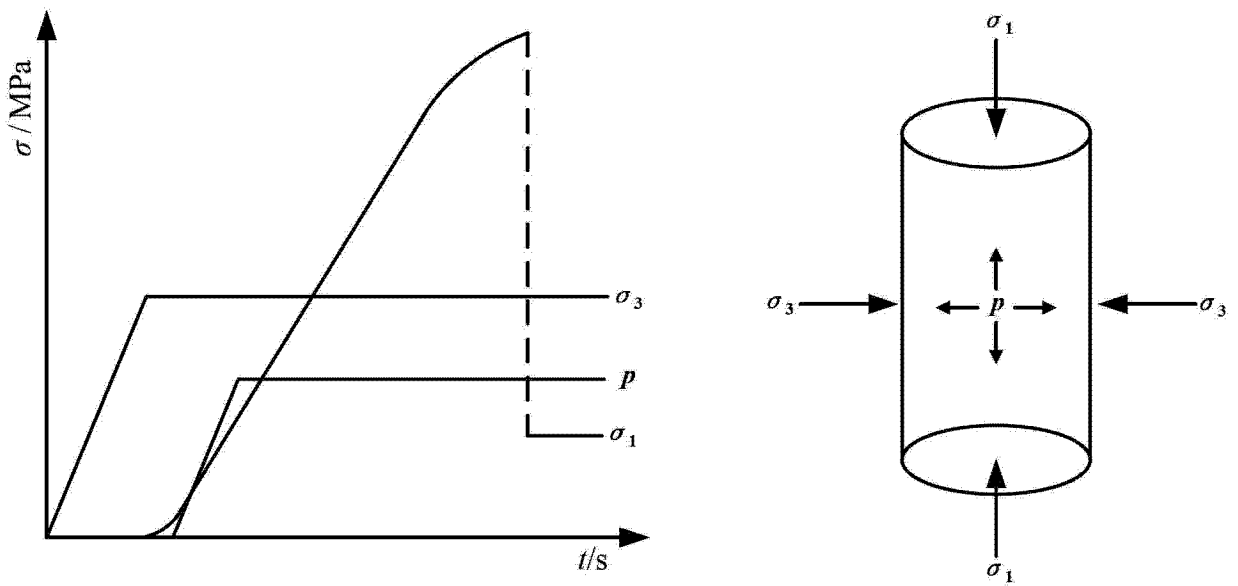


图 3b

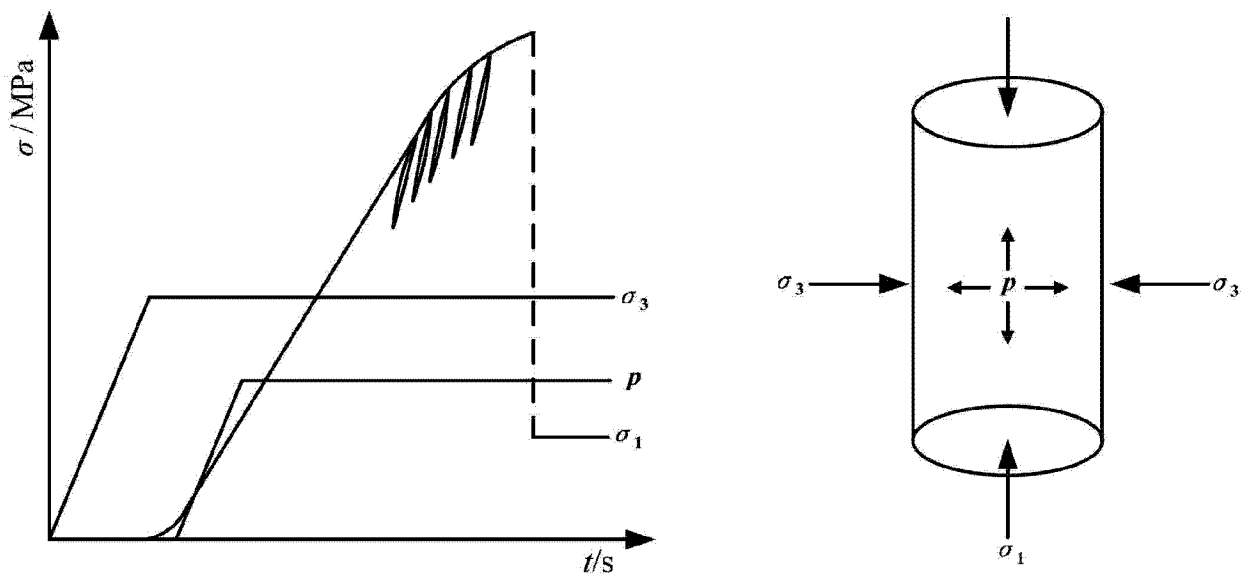


图 3c

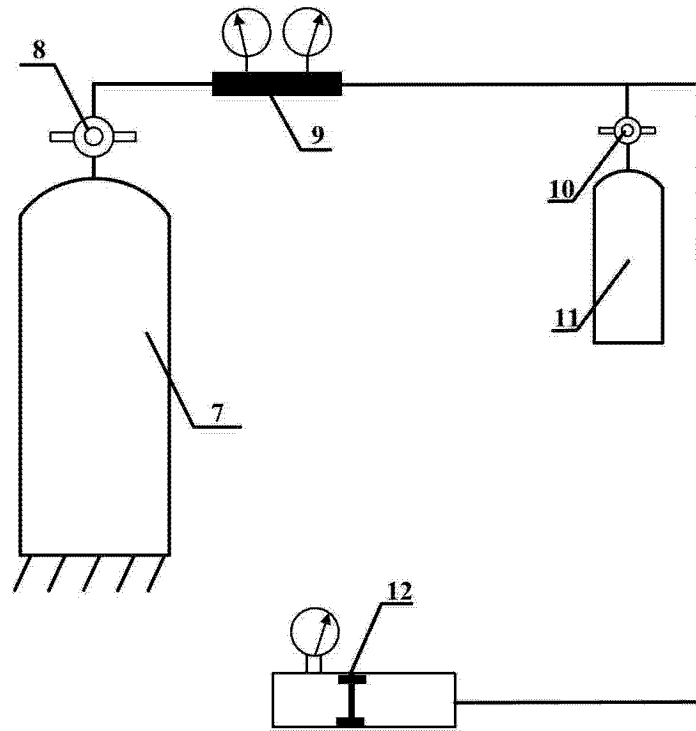


图 4

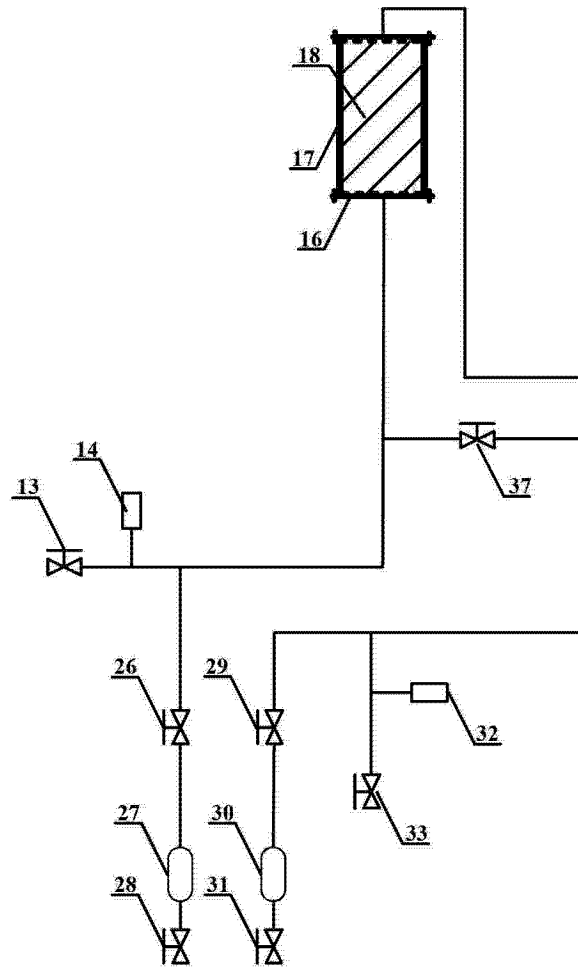


图 5