



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102419303 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 18

(21) 申请号 201110232394. X

(22) 申请日 2011. 08. 15

(71) 申请人 山东科技大学

地址 266510 山东省青岛市经济技术开发区  
前湾港路 579 号

(72) 发明人 王刚 蒋宇静 刘锋珍 吴学震  
刘传正

(74) 专利代理机构 济南舜源专利事务所有限公  
司 37205

代理人 王连君

(51) Int. Cl.

G01N 21/00 (2006. 01)

G01N 13/04 (2006. 01)

E02D 33/00 (2006. 01)

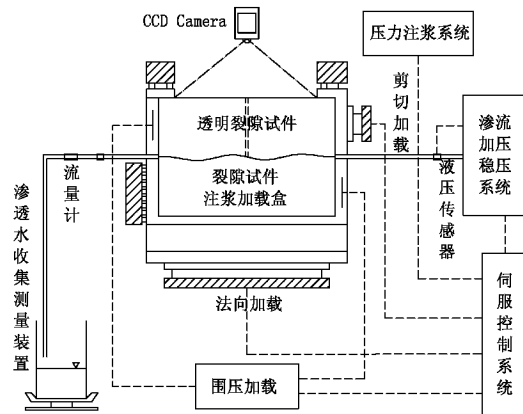
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置

(57) 摘要

一种复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置, 包括实验用实验机框架、裂隙试件注浆加载盒、轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构、水压加载机构、压力注浆系统、流动水收集测量装置、可视化系统。



1. 一种复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置,其特征在于:包括实验用实验机框架、裂隙试件注浆加载盒、轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构、水压加载机构、压力注浆系统、流动水收集测量装置、可视化系统;

所述实验机框架采用整体式浇注;

所述裂隙试件注浆加载盒用于放置试样,包括上剪切盒和下剪切盒,上剪切盒包括上密封套,下剪切盒包括下密封套;上、下密封套由聚氨脂材料浇注模压成型,分别具有中空腔,当上、下剪切盒产生相对移动时,上密封圈和下密封圈的接触面在可以滑动状态下保持压缩密封,上密封盒上设置有方形观察孔、进水孔和排气孔;下密封盒上设置有出水孔;

所述轴向加载机构用于给试样加载轴向力,包括轴向加载框架、轴向加载油缸和伺服油源,所述轴向加载框架包括上横梁、下横梁和立柱,轴向加载油缸固定在下横梁上,轴向加载油缸中的活塞通过伺服油源可对裂隙辐射流模拟试验盒中的试样施加轴向力;

所述切向加载机构用于给试样加载剪切力,包括切向加载框架、切向加载油缸、力传感器、位移传感器,切向加载框架用于承载切向加载油缸,切向加载油缸中的活塞可对裂隙辐射流模拟试验盒中的试样施加剪切力;

所述围压加载机构用于给试样加载围压以模拟地层的围压作用,包括交流伺服电机及交流伺服电机控制器、减速机、滚珠丝杠、加压水缸,伺服电机通过减速机、滚珠丝杠连接加压水缸的活塞,加压水缸的活塞腔连接上、下密封圈的中空腔,通过控制伺服电机的转动控制上、下密封圈的中空腔的压力,以此得到所需要的试样围压;

所述水压加载机构用于给试样裂隙提供动水压力,包括交流伺服电机及交流伺服电机控制器、减速机、滚珠丝杠、加压水缸,伺服电机通过减速机、滚珠丝杠连接加压水缸的活塞,加压水缸的活塞腔连接所述剪切渗流耦合试验盒,通过控制伺服电机的转动控制所述裂隙辐射流模拟试验盒的水压,产生试样试验所需的水压和所需的流量;

所述压力注浆系统包括浆液加压设备、浆液注入设备和测量控制设备,所述浆液加压设备包括浆液容器、加压油泵和稳压罐,所述浆液注入设备包括浆液混合器、注浆管路和阀门,所述测量控制设备包括压力表和液压传感器,所述浆液容器用于配置和盛放浆液,所述加压油泵设置在浆液容器上,用于将配置好的浆液压入稳压罐,所述稳压罐用于保持浆液压力的稳定,避免加压油泵给注浆带来的压力波动,所述稳压罐连接浆液混合器,经稳压后的浆液流入浆液混合器中,浆液混合器依次连接注浆管路和阀门,浆液经注浆管路由阀门控制进行注浆,所述压力表和液压传感器设置在注浆管路上,用于注浆压力;

所述动水收集测量分析装置包括储水箱、流量计,储水箱与裂隙试件注浆加载盒下剪切盒出水口相连,用于收集从裂隙试件渗透流过的动水,流量计连接在所述裂隙试件注浆加载盒下剪切盒出水口上用于对动水水量进行检测;

所述可视化系统包括数码摄像机和与之相连的计算机,所述裂隙辐射流模拟试验盒上设置有方形观测孔,所述数码摄像机设置在观测孔的上方,所述计算机用于对数码摄像机的观测结果进行分析和记录。

2. 如权利要求1所述的裂隙注浆可视化试验装置,其中还包括伺服控制系统,所述伺服控制系统包括荷载和位移测控单元、渗流系统测控单元、全数字伺服控制系统单元、注浆加载测控单元;所述荷载和位移测控单元包括设置在加载盒上的应力传感器和LVDT变位计,用于测量试样的垂直位移和剪切位移,并根据垂直位移和剪切位移得出垂直载荷和前

切载荷；所述渗流系统测控单元包括设置于裂隙试件注浆加载盒的进水口和出水口的水压力计，用来测量进水水流和出水水流之间的渗透压力；所述注浆加载测控单元用来测量注浆压力；所述全数字伺服控制系统单元包括 5 个独立的数控单元，根据所述荷载和位移测控单元、所述渗流系统测控单元、所述全数字伺服控制系统单元和所述注浆加载测控单元的测量结果分别控制垂直荷载、剪切荷载、渗透压力和注浆压力。

## 复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种岩石裂隙注浆模拟试验的试验装置及试验方法,尤其涉及一种复杂应力状态下考虑裂隙错动影响的裂隙径向辐射流可视化实验装置。

### 背景技术

[0002] 在矿山开采、水利水电、隧道、边坡加固等岩土工程中,节理裂隙对岩体工程的稳定性有着重要影响。一方面岩体裂隙是导致地下工程水害的重要原因之一,另一方面裂隙的存在也大大降低了岩体强度。通过注浆充填裂隙,不仅可以有效防治工程水害,而且提高了围岩的整体性,对破碎岩体的加固效果十分明显。在注浆的过程中,浆液在裂隙中的扩散规律对堵水和围岩加固效果具有决定性的重要影响。

[0003] 因此,本领域非常需要对浆液在裂隙中的扩散形态及影响因素进行研究,而进行复杂条件下的裂隙注浆模拟试验,并以此为基础建立裂隙注浆径向扩散模型是一种有效的研究手段。建立裂隙注浆径向扩散模型应考虑以下几方面的因素:裂隙的受力状态、裂隙变形及相对剪切位移、裂隙面接触面积、浆液黏度、裂隙开度、注浆压力、裂隙粗糙度、裂隙连通性、裂隙地下水压力和流动、裂隙面是否张开等和各种施工因素等。其关键技术是试验边界条件的实现,即荷载、位移边界条件和渗流边界条件。由于试验条件的限制,特别是在围压加载、裂隙可控错动、渗透密封手段、及可视化的实现方面,国内关于在复杂条件下的岩石裂隙注浆扩散试验及试验方法的研究还存在局限性,相关实验设备还比较缺乏。

[0004] 在现有技术中,“注浆扩散测试装置”公开了一种注浆模拟实验装置,对裂隙注浆扩散测试方法进行了相关阐述,但其没有考虑裂隙的受力状态、裂隙变形和相对位移、裂隙接触面粗糙度等因素的影响。相关实验装置没有轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构,无法模拟复杂条件(包括裂隙三向受力状态、裂隙变形、裂隙面相对位移等)下的裂隙注浆,水压加载机构可提供的水压力较小,且不能对高压流动水情况下裂隙注浆封堵情况进行模拟研究,不能实现两裂隙面可控相对错动,没有实现实验过程的可视化及计算机自动化控制,对现场实际注浆情况的模拟效果不够理想。

### 发明内容

[0005] 为解决上述问题,本发明提出的一种新的复杂条件下的裂隙注浆试验装置及试验方法,可以实现在复杂条件(包括裂隙体三向应力状态、裂隙变形、裂隙面相对剪切位移、高压流动水等)下进行岩石粗糙裂隙注浆模拟试验与分析,试验装置考虑了复杂应力作用下两裂隙面相对错动,以及裂隙接触面粗糙度和裂隙水流动状态对浆液扩散的影响,并实现了实验过程的可视化,直观的观察浆液在裂隙中扩散状态及运动路径,并通过与计算机控制系统的连接实现了实验过程的自动化控制和量测。

[0006] 本发明所述的复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置及试验方法的具体技术方案为:

[0007] 一种复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置,包括实验用实验机框架、裂隙试件

注浆加载盒、轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构、水压加载机构、压力注浆系统、流动水收集测量装置、可视化系统；

[0008] 所述实验机框架采用整体式浇注；

[0009] 所述裂隙试件注浆加载盒用于放置试样，包括上剪切盒和下剪切盒，上剪切盒包括上密封套，下剪切盒包括下密封套；上、下密封套由聚氨脂材料浇注模压成型，分别具有中空腔，当上、下剪切盒产生相对移动时，上密封圈和下密封圈的接触面在可以滑动状态下保持压缩密封，上密封盒上设置有方形观察孔、进水孔和排气孔；下密封盒上设置有出水孔；

[0010] 所述轴向加载机构用于给试样加载轴向力，包括轴向加载框架、轴向加载油缸和伺服油源，所述轴向加载框架包括上横梁、下横梁和立柱，轴向加载油缸固定在下横梁上，轴向加载油缸中的活塞通过伺服油源可对裂隙辐射流模拟试验盒中的试样施加轴向力；

[0011] 所述切向加载机构用于给试样加载剪切力，包括切向加载框架、切向加载油缸、力传感器、位移传感器，切向加载框架用于承载切向加载油缸，切向加载油缸中的活塞可对裂隙辐射流模拟试验盒中的试样施加剪切力；

[0012] 所述围压加载机构用于给试样加载围压以模拟地层的围压作用，包括交流伺服电机及交流伺服电机控制器、减速机、滚珠丝杠、加压水缸，伺服电机通过减速机、滚珠丝杠连接加压水缸的活塞，加压水缸的活塞腔连接上、下密封圈的中空腔，通过控制伺服电机的转动控制上、下密封圈的中空腔的压力，以此得到所需要的试样围压；

[0013] 所述水压加载机构用于给试样裂隙提供动水压力，包括交流伺服电机及交流伺服电机控制器、减速机、滚珠丝杠、加压水缸，伺服电机通过减速机、滚珠丝杠连接加压水缸的活塞，加压水缸的活塞腔连接所述剪切渗流耦合试验盒，通过控制伺服电机的转动控制所述裂隙辐射流模拟试验盒的水压，产生试样试验所需的水压和所需的流量；

[0014] 所述压力注浆系统包括浆液加压设备、浆液注入设备和测量控制设备，所述浆液加压设备包括浆液容器、加压油泵和稳压罐，所述浆液注入设备包括浆液混合器、注浆管路和阀门，所述测量控制设备包括压力表和液压传感器，所述浆液容器用于配置和盛放浆液，所述加压油泵设置在浆液容器上，用于将配置好的浆液压入稳压罐，所述稳压罐用于保持浆液压力的稳定，避免加压油泵给注浆带来的压力波动，所述稳压罐连接浆液混合器，经稳压后的浆液流入浆液混合器中，浆液混合起依次连接注浆管路和阀门，浆液经注浆管路由阀门控制进行注浆，所述压力表和液压传感器设置在注浆管路上，用于注浆压力；

[0015] 所述动水收集测量分析装置包括储水箱、流量计，储水箱与裂隙试件注浆加载盒下剪切盒出水口相连，用于收集从裂隙试件渗透流过的动水，流量计连接在所述裂隙试件注浆加载盒下剪切盒出水口上用于对动水水量进行检测；

[0016] 所述可视化系统包括数码摄像机和与之相连的计算机，所述裂隙辐射流模拟试验盒上设置有方形观测孔，所述数码摄像机设置在观测孔的上方，所述计算机用于对数码摄像机的观测结果进行分析和记录。

[0017] 其中还包括伺服控制系统，所述伺服控制系统包括荷载和位移测控单元、渗流系统测控单元、全数字伺服控制系统单元、注浆加载测控单元；所述荷载和位移测控单元包括设置在加载盒上的应力传感器和 LVDT 变位计，用于测量试样的垂直位移和剪切位移，并根据垂直位移和剪切位移得出垂直载荷和前切载荷；所述渗流系统测控单元包括设置于裂隙

试件注浆加载盒的进水口和出水口的水压力计,用来测量进水水流和出水水流之间的渗透压力;所述注浆加载测控单元用来测量注浆压力;所述全数字伺服控制系统单元包括5个独立的数控单元,根据所述荷载和位移测控单元、所述渗流系统测控单元、所述全数字伺服控制系统单元和所述注浆加载测控单元的测量结果分别控制垂直荷载、剪切荷载、渗透压力和注浆压力。

[0018] 试件加工方法可以采用室内岩石试件的劈裂和张拉法,以及工程实践中现场拓取粗糙裂隙面的方法获取裂隙试件。试验设计方法包括选用适当的透明类材料复制粗糙裂隙试件的上半部分来代替原型试块,并在试件上部中心向下钻孔贯穿作为注浆孔,裂隙试件下半部分仍使用原形试块。通过该试件加工和试验设计方法可以实现注浆中浆液在裂隙内扩散过程的可视化。试验过程中先加压注水使裂隙试件内充水,然后施加注浆。应用此类方法,可以应用类岩石材料复制数组完整裂隙试件,变换不同试验条件,对比分析,可以分别研究裂隙应力状态、裂隙水水流速度、裂隙开度、浆液黏度等对浆液扩散和注浆效果的影响。

### 附图说明

- [0019] 附图1为试验装置整体结构图;  
[0020] 附图2为裂隙试件注浆加载盒结构图;  
[0021] 附图3为裂隙注浆可视化试验装置工作原理图;  
[0022] 附图4为伺服控制系统框图;  
[0023] 附图5为压力注浆系统的原理图。  
[0024] 附图标记如下:  
[0025] 1-上剪切盒;2-上密封套;3-下剪切盒;4-下密封套。

### 具体实施方式

[0026] 下面参照附图对本发明所述的一种复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置及试验方法做进一步详细的说明。

[0027] 参见附图1、3,一种复杂条件下的裂隙注浆可视化试验装置,可模拟前切力、围压、水压等多种复杂条件。包括实验用实验机框架、裂隙试件注浆加载盒、轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构、水压加载机构、压力注浆系统、流动水收集测量装置、可视化系统等。

[0028] 实验过程中通过裂隙试件注浆加载盒、轴向加载机构、切向加载机构、围压加载机构使裂隙试件处于复杂应力状态下,通过水压加载机构给裂隙试样提供动水压力,通过压力注浆系统将浆液以一定的压力或流量从裂隙试件注浆孔注入到预制的岩石裂隙中,在此过程中通过调整实验条件可以研究裂隙的受力状态、裂隙变形及相对剪切位移、裂隙地下水压力和流动、裂隙面接触面积、裂隙开度、注浆压力、裂隙粗糙度、裂隙连通性、浆液黏度等因素对裂隙中浆液扩散情况的影响,并通过可视化系统实时监测浆液扩散和着色水渗流及其流动状态,通过浆液收集装置收集从裂隙试件渗透流过的水量,并通过进一步测量与分析得到水的流速和浆液的扩散状态。

[0029] 参见附图2,裂隙试件注浆加载盒内部尺寸为300mm×300mm×200mm(高度)。注

浆加载盒由上下剪切盒组成,上剪切盒包括上密封套,下剪切盒包括下密封套,上密封套和下密封套形状结构对称;上、下密封套分别具有中空腔。密封套由弹性及硬度适中的聚氨脂制成液体橡胶,浇注模压成型。聚氨脂橡胶具有既软又硬,摩擦小等特点。在工作时,试样放置在密封套中间,当试样装好之后,中空腔内将注入一定压力的液体,上密封套在压力下紧紧贴到试样上半部的四周,而下密封套在压力下紧紧贴到试样下半部的四周,从而实现了有效的密封。同时上密封套和下密封套的接触面也受到了压力紧密接触,实现了密封。当上下剪切盒产生相对移动时,上密封套和下密封套的接触面在滑动状态下仍然保持压缩密封,直到密封圈脱离接触。上剪切盒有一个进水孔用以向岩样剪切面渗水,另有一孔作为排气孔;下剪切盒有一个出水孔用以排出渗入岩样剪切面中的水。试验中围压加载采用螺旋加载的方式,并由伺服电机和控制器及测控器来控制,可实现多级可控的恒定渗透围压控制。围压系统是由上下胶套组合,交流伺服电机及交流伺服电机控制器、减速机、滚珠丝杠、传动系统、加压油水缸等;伺服电机按设置的控制参数进行转动,通过减速机、滚珠丝杠、传动系统移动水缸的活塞,使油水产生所需的油压。最高油压可达 40MPa 以上。

[0030] 参见附图 3,其显示了本发明中裂隙注浆可视化试验装置工作原理图。如图中所示,上剪切盒中心留有方形观测孔,试验中选用适当的透明类材料预制具有自然断裂节理表面特征的裂隙试件的上半部分,以实现着色水渗流和浆液扩散及其运动状态的可视化。借助材料的透明性,浆液在裂隙内的流动影像可通过上部试件的加载盒观察孔观测到。通过在加载盒的顶部安装数码摄像设备来记录其扩散过程并联接计算机,可实现浆液在裂隙试件内扩散过程的可视化与自动化测量,为试验研究提供详实可贵的数据。

[0031] 参见附图 4,压力注浆系统包括浆液的配制与盛放容器,加压油泵、稳压罐等浆液加压设备,浆液混合器、注浆管路和阀门等注入设备,压力表、液压传感器等测量控制装置。压力表和传感器等测量控制装置与计算机控制系统相连,利用加压设备和注入设备为浆液创造一定的动力条件,使浆液以一定的压力或流量稳定的注入裂隙面。

[0032] 参见附图 4,装置还可以包括伺服控制系统,其包括数控系统,主要部件包括有全数字多通道闭环测控仪、荷载传感器、位移传感器组成和水压力计,其构成多个功能单元,包括荷载和位移测控单元、渗流系统测控单元、全数字伺服控制系统单元、注浆加载测控单元。荷载和位移测控单元包括应力传感器和 LVDT 变位计,垂直位移由设置于加载盒上的 LVDT 变位计进行综合测定;剪切位移由沿剪切方向设置的 LVDT 变位计来测定;渗流系统测控单元由设置于裂隙试件注浆加载盒的进水口和出水口的渗透水压力计来测定水流的压力差;围压加载单元测控单元用于控制试验围压的接卸载控制;注浆加载测控单元来控制注浆压力等参数。全数字伺服控制系统单元包括 5 个独立的数控单元,由闭回路通过微机控制垂直荷载、剪切荷载、渗透压力、注浆压力。本装置使用 32 位的 AD/DA/DIO 转换板,可以提供更快的运行速度,缩短伺服的反馈时间,提高测控精度。

[0033] 以上所述,仅为本发明专利较佳的具体实施方式,但本发明专利的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明专利揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明专利的保护范围之内。

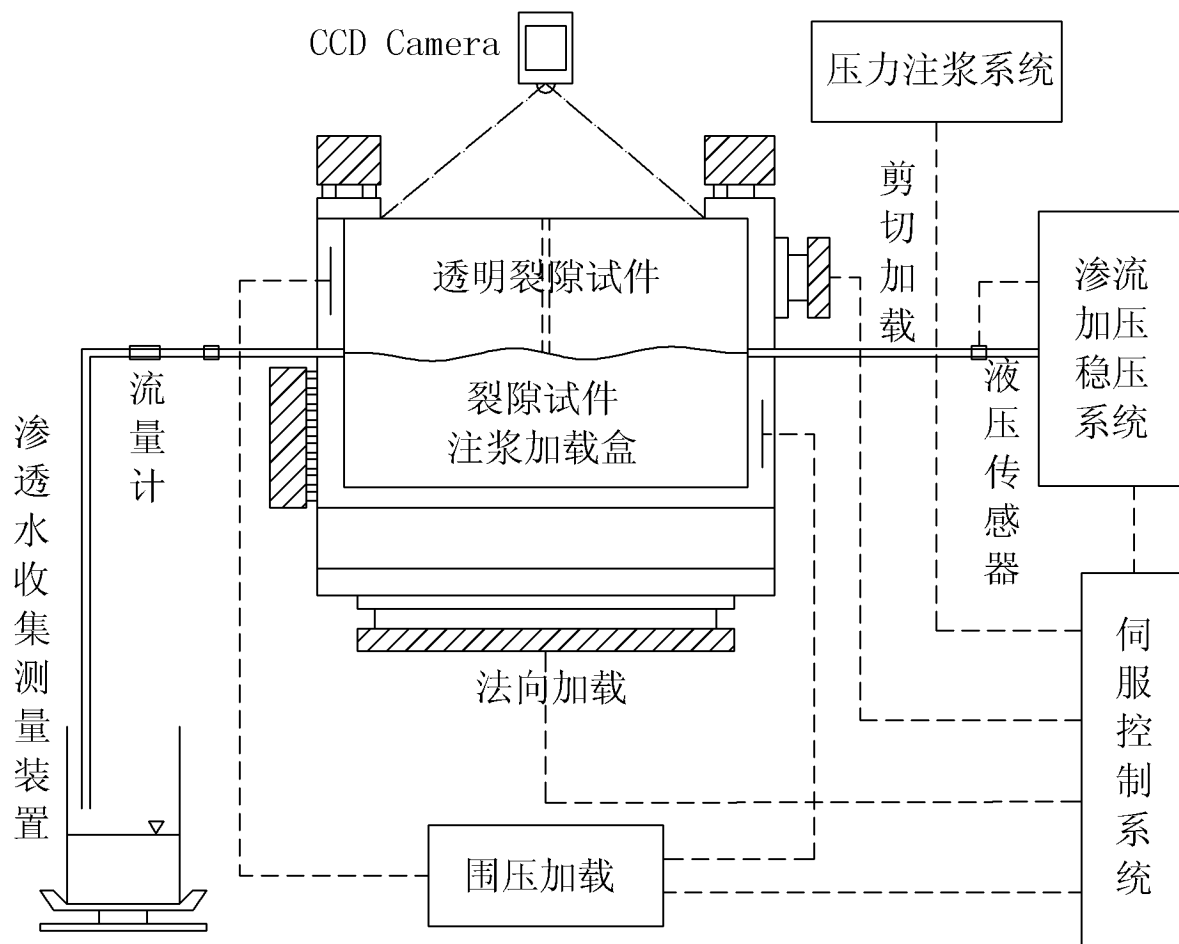


图 1

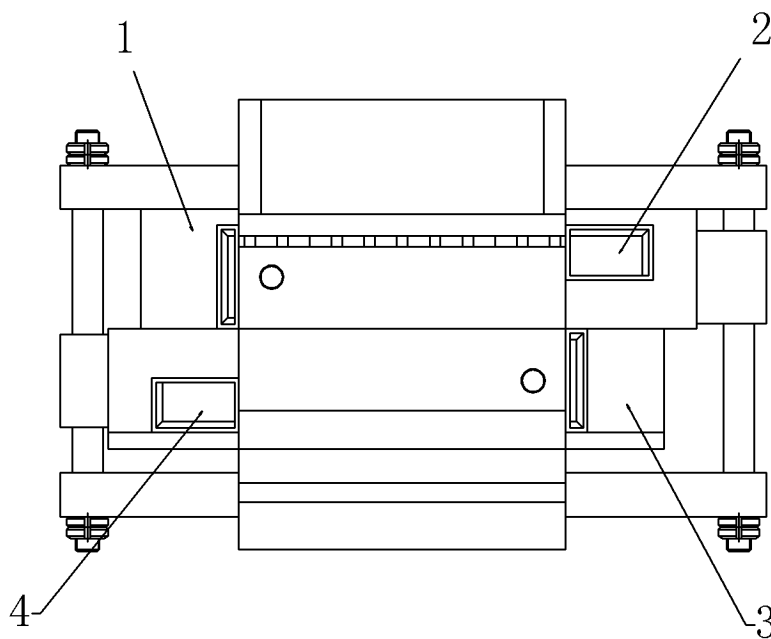


图 2



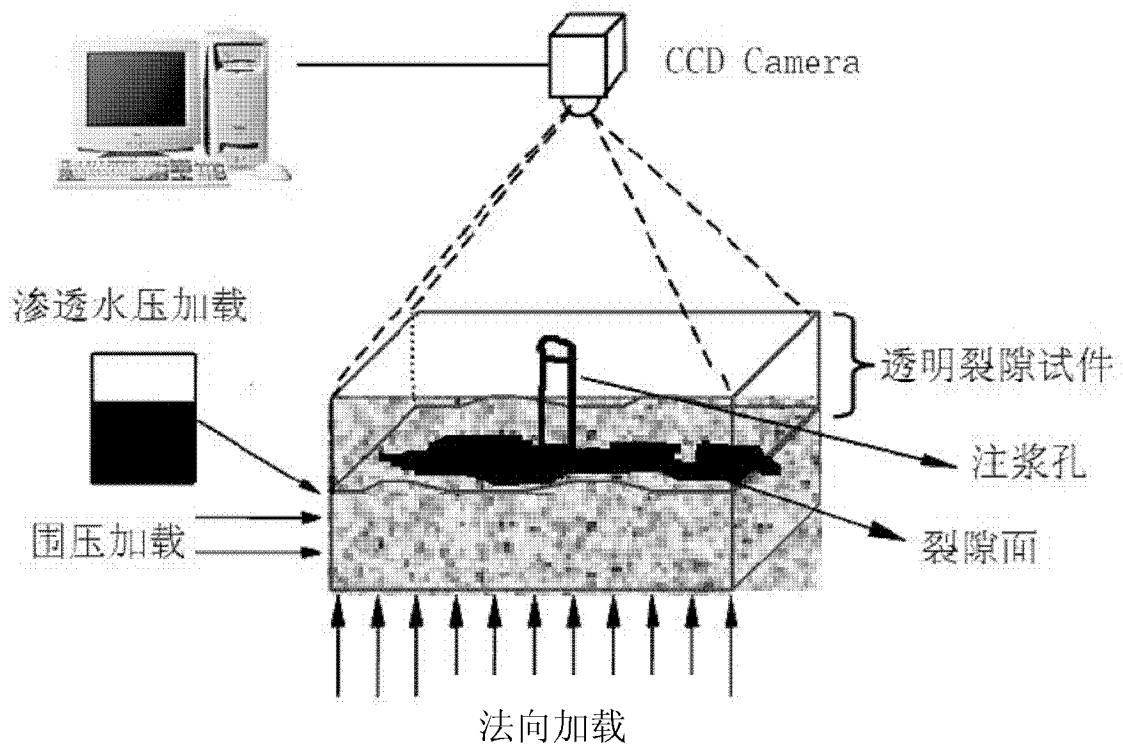


图 3

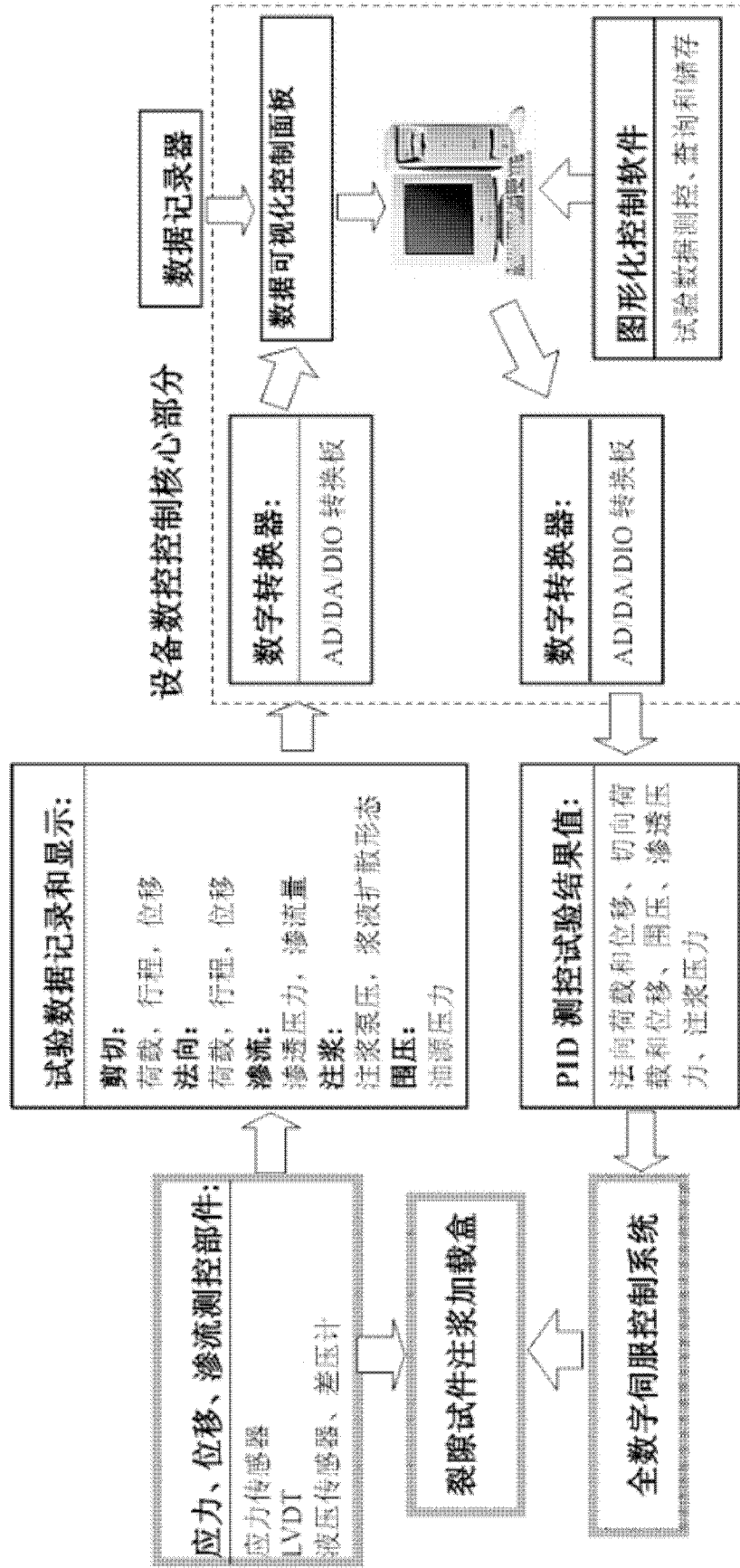


图 4

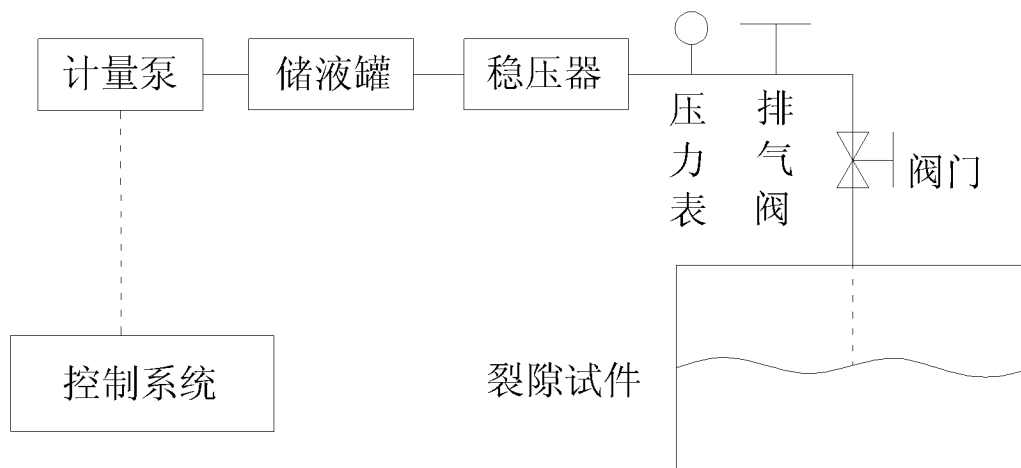


图 5