



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110132733 B

(45) 授权公告日 2020.12.01

(21) 申请号 201910496480.8

(22) 申请日 2019.06.10

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110132733 A

(43) 申请公布日 2019.08.16

(73) 专利权人 中国科学院武汉岩土力学研究所  
地址 430071 湖北省武汉市武昌区水果湖  
街小洪山2号

(72) 发明人 胡大伟 丁长栋 周辉 张传庆  
邵建富 卢景景 马东东 张杨  
谭现锋 吴金桥

(74) 专利代理机构 北京众达德权知识产权代理  
有限公司 11570  
代理人 刘杰

(51) Int.Cl.

G01N 3/06 (2006.01)

G01N 3/12 (2006.01)

审查员 梁翠

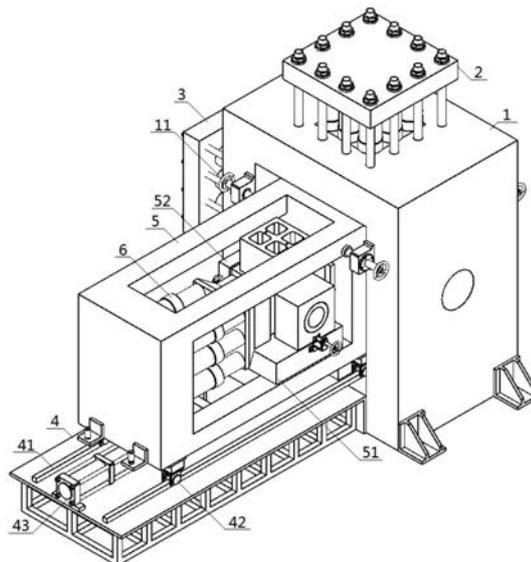
权利要求书2页 说明书7页 附图10页

(54) 发明名称

一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统

(57) 摘要

本发明属于压裂试验技术领域,公开了一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,包括:三维高应力加载子系统、压裂子系统以及超声相控阵成像子系统;所述三维高应力加载子系统包括:主反力框架、第一、第二以及第三施力装置、支撑框架、移动反力框架以及试样载台;第一施力装置与第三施力装置固定在主反力框架上;支撑框架设置在主反力框架一侧,移动反力框架可滑动地固定在支撑框架上;第二施力装置固定在移动反力框架内,且第二施力装置的施力行程的方向与移动反力框架的移动行程的方向一致;试样载台固定在移动反力框架内;压裂子系统的压裂介质输出接口设置在三维高应力加载子系统内;超声相控阵成像子系统的超声波相控阵列布置在试样载台上。



1. 一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,包括:三维高应力加载子系统、压裂子系统以及超声相控阵成像子系统;

所述三维高应力加载子系统包括:主反力框架、第一施力装置、第三施力装置、支撑框架、移动反力框架、第二施力装置以及试样载台;

所述第一施力装置与所述第三施力装置固定在所述主反力框架上;

所述支撑框架设置在所述主反力框架一侧,所述移动反力框架可滑动地固定在所述支撑框架上;

所述第二施力装置固定在所述移动反力框架内,且所述第二施力装置的施力行程的方向与所述移动反力框架的移动行程的方向一致,移动反力框架可根据试样的变形而在导向轨道上进行相应的滑动,以使得其他维度的施力结构的施力作用面的中心点与试样对应面的中心相匹配,以显著改善三维全刚性加载框架中试样的对中问题;

所述试样载台固定在所述移动反力框架内,用于承载试样;

所述压裂子系统的压裂介质输出接口设置在所述三维高应力加载子系统内,用于向试样内注入压裂介质;

所述超声相控阵成像子系统的超声波相控阵列布置在所述试样载台上,在试样周边六个面形成6组超声波相控阵列三维超声相控阵列圈,可以增强透射信号、避免多个水力裂缝之间声波成像的干扰,对具有三维空间形态的水力裂缝进行高效和精细成像,实时持续监测试样内的水力裂缝扩展过程;

所述第二施力装置包括:第二液压缸阵列基座、第二液压缸阵列以及第二压头;

所述第二液压缸阵列基座固定在所述移动反力框架内,所述第二液压缸阵列的缸体固定在所述第二液压缸阵列基座上;

所述第二液压缸阵列的动作端固定在所述第二压头上;

其中,所述第二液压缸阵列包括:多个均匀布置的液压缸;

所述第二压头包括:转接部以及压头部;

所述转接部与所述第二液压缸阵列的动作端固定相连;

在施力方向上,所述压头部的截面积小于所述转接部的截面积。

2. 如权利要求1所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述主反力框架包括:主反力框架主体;

所述主反力框架主体包括:底座、顶梁以及对称设置的第一支柱和第二支柱;

所述第一支柱的第一端和所述第二支柱的第一端固定在所述底座上,所述第一支柱的第二端和所述第二支柱的第二端固定在所述顶梁上;

所述第一施力装置固定在所述顶梁上,施力方向朝向所述底座;

所述第三施力装置固定在所述第二支柱上,施力方向朝向所述第二支柱;

所述支撑框架与所述底座固定相连,用于所述移动反力框架在所述支撑框架和所述底座上移动。

3. 如权利要求2所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述底座上固定有承压底座,用于承载移动反力框架并提供反作用力。

4. 如权利要求2所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述第一支柱上和所述第二支柱上均设置有压紧机构,用于压紧所述移动反力框架。

5. 如权利要求4所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述压紧机构包括:压紧基座、螺母、螺纹丝杆以及调节手柄;

所述压紧基座固定在所述第一支柱和第二支柱上,所述螺母固定在所述压紧基座上,所述螺纹丝杆螺接在所述螺母内,所述调节手柄固定在所述螺纹丝杆上;

其中,所述螺纹丝杆设置在所述移动反力框架的移动行程两侧。

6. 如权利要求1所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述支撑框架包括:支撑框架主体以及布置在所述支撑框架主体上的导向轨道;

所述移动反力框架包括:移动反力框架主体以及固定在所述移动反力框架主体底部的可升降导轮;

所述可升降导轮包括:导轮、导轮支座以及升降支架;

所述导轮可转动地固定在所述导轮支座内,且所述导轮可滑动地设置在所述导向轨道上;

所述升降支架固定在所述导轮支座与所述移动反力框架之间,用于调整支撑高度。

7. 如权利要求6所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述支撑框架还包括:驱动液压缸;

所述驱动液压缸的缸体固定在所述支撑框架主体上,所述驱动液压缸的活塞杆与所述移动反力框架主体相连。

8. 如权利要求1所述的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,其特征在于,所述试样载台包括:载台主体以及布置在其上的承压板;

所述承压板上开设有超声波探头容置槽,用于容置所述超声相控阵成像子系统的超声波探头,并与试样表面直接接触。

## 一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水力压裂试验技术领域,特别涉及一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统。

### 背景技术

[0002] 在大尺寸试样的水力压裂物理模拟试验中,多采用声发射定位、压裂液中添加示踪剂、压裂后CT扫描等方法监测或描述储层岩石的破裂演化过程。但是,声发射定位方法无法成像,仅能大致获取水力裂缝的起裂和扩展过程;压裂液中添加示踪剂、压裂后CT扫描等方法多具有滞后性,也都是静态监测,导致定位精度较差,同时仅能得到最终的裂缝扩展形态,无法获得裂缝扩展的全过程信息;CT扫描尚存在穿透能力不足的问题,尚不能较好地对裂缝动态扩展过程进行实时监测。同时,现有的水力压裂模拟中需要严格模拟受力状态,一般通过三轴施力结构实现;但是,随着试验进行对试样的三轴施力作用随意性较大,随着受力试样形变,施力作用面的中心点会出现偏移,导致三轴施力效果并不稳定,严重影响了水力压裂试验结果的可靠性。

### 发明内容

[0003] 本发明提供一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,解决现有技术中水力压裂试验裂缝扩展信息完整性差,三轴施力效果稳定性差,导致试验结论可靠性差的技术问题。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,包括:三维高应力加载子系统、压裂子系统以及超声相控阵成像子系统;

[0005] 所述三维高应力加载子系统包括:主反力框架、第一施力装置、第三施力装置、支撑框架、移动反力框架、第二施力装置以及试样载台;

[0006] 所述第一施力装置与所述第三施力装置固定在所述主反力框架上;

[0007] 所述支撑框架设置在所述主反力框架一侧,所述移动反力框架可滑动地固定在所述支撑框架上;

[0008] 所述第二施力装置固定在所述移动反力框架内,且所述第二施力装置的施力行程的方向与所述移动反力框架的移动行程的方向一致;

[0009] 所述试样载台固定在所述移动反力框架内,用于承载试样;

[0010] 所述压裂子系统的压裂介质输出接口设置在所述三维高应力加载子系统内,用于向试样内注入压裂介质;

[0011] 所述超声相控阵成像子系统的超声波相控阵列布置在所述试样载台上,用于实时持续监测试样内的水力裂缝扩展过程。

[0012] 进一步地,所述主反力框架包括:主反力框架主体;

[0013] 所述主反力框架主体包括:底座、顶梁以及对称设置的第一支柱和第二支柱;

[0014] 所述第一支柱的第一端和所述第二支柱的第一端固定在所述底座上,所述第一支

柱的第二端和所述第二支柱的第二端固定在所述顶梁上；

[0015] 所述第一施力装置固定在所述顶梁上,施力方向朝向所述底座；

[0016] 所述第三施力装置固定在所述第二支柱上,施力方向朝向所述第二支柱；

[0017] 所述支撑框架与所述底座固定相连,用于所述移动反力框架在所述支撑框架和所述底座上移动。

[0018] 进一步地,所述底座上固定有承压底座,用于承载移动反力框架并提供反作用力。

[0019] 进一步地,所述第一支柱上和所述第二支柱上均设置有压紧机构,用于压紧所述移动反力框架。

[0020] 进一步地,所述压紧机构包括:压紧基座、螺母、螺纹丝杆以及调节手柄；

[0021] 所述压紧基座固定在所述第一支柱和第二支柱上,所述螺母固定在所述压紧基座上,所述螺纹丝杆螺接在所述螺母内,所述调节手柄固定在所述螺纹丝杆上；

[0022] 其中,所述螺纹丝杆设置在所述移动反力框架的移动行程两侧。

[0023] 进一步地,所述支撑框架包括:支撑框架主体以及布置在所述支撑框架主体上的导向轨道；

[0024] 所述移动反力框架包括:移动反力框架主体以及固定在所述移动反力框架主体底部的可升降导轮；

[0025] 所述可升降导轮包括:导轮、导轮支座以及升降支架；

[0026] 所述导轮可转动地固定在所述导轮支座内,且所述导轮可滑动地设置在所述导向轨道上；

[0027] 所述升降支架固定在所述导轮支座与所述移动反力框架之间,用于调整支撑高度。

[0028] 进一步地,所述支撑框架还包括:驱动液压缸；

[0029] 所述驱动液压缸的缸体固定在所述支撑框架主体上,所述驱动液压缸的活塞杆与所述移动反力框架主体相连。

[0030] 进一步地,所述试样载台包括:载台主体以及布置在其上的承压板；

[0031] 所述承压板上开设有超声波探头容置槽,用于容置所述超声相控阵成像子系统的超声波探头,并与试样表面直接接触。

[0032] 进一步地,所述第二施力装置包括:第二液压缸阵列基座、第二液压缸阵列以及第二压头；

[0033] 所述第二液压缸阵列基座固定在所述移动反力框架内,所述第二液压缸阵列的缸体固定在所述第二液压缸阵列基座上；

[0034] 所述第二液压缸阵列的动作端固定在所述第二压头上；

[0035] 其中,所述第二液压缸阵列包括:多个均匀布置的液压缸。

[0036] 进一步地,所述第二压头包括:转接部以及压头部；

[0037] 所述转接部与所述第二液压缸阵列的动作端固定相连；

[0038] 在施力方向上,所述压头部的截面积小于所述转接部的截面积。

[0039] 本申请实施例中提供的一个或多个技术方案,至少具有如下技术效果或优点：

[0040] 本申请实施例中提供的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,通过三维高应力加载子系统实现三轴施力,并通过设置移动反力框架结构调节试样的位置,以

使得其他维度施力结构的施力作用面的中心点与试样对应面的中心相匹配从而能够简便且最大程度的保证试样的受力状态始终稳定的处于中心受力状态,保证三轴施力的可靠性。而后在压裂子系统的配合下实现水力压裂试验。另一方面,通过超声相控阵成像子系统实现实时精细成像,监测试样从受力开始到逐步破坏的水力裂缝动态扩展过程,获取完整的水力压裂试验数据,相对于现有技术来说,本方案利用超声波在固体材料中具有良好传播能力的特点,通过超声相控阵成像技术可方便地对固体材料进行实时可视化检测,获得的信息时序性,完整性和动态过程更为可靠,质量更高。

### 附图说明

- [0041] 图1为本发明提供的三维高应力加载子系统的结构示意图;
- [0042] 图2为图1的俯视图;
- [0043] 图3为图1的左视图;
- [0044] 图4为图1的主视图;
- [0045] 图5为图1的右视图;
- [0046] 图6为图1的后视图;
- [0047] 图7为本发明提供的承压板结构示意图;
- [0048] 图8为本发明提供的超声波探头的布置示意图;
- [0049] 图9为本发明提供的第二施力装置结构示意图;
- [0050] 图10为本发明提供的压裂子系统的增压系统示意图;
- [0051] 图11为本发明提供的超声相控阵成像系统内部结构示意图。

### 具体实施方式

[0052] 本申请实施例通过提供一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,解决现有技术中水力压裂试验裂缝扩展信息完整性差,三轴施力效果稳定性差,导致试验结论可靠性差的技术问题。

[0053] 为了更好的理解上述技术方案,下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案进行详细说明,应当理解本发明实施例以及实施例中的具体特征是对本申请技术方案的详细的说明,而不是对本申请技术方案的限定,在不冲突的情况下,本申请实施例以及实施例中的技术特征可以相互组合。

[0054] 一种实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,包括:三维高应力加载子系统、压裂子系统以及超声相控阵成像子系统;其中,三维高应力加载子系统用于施加三轴作用力,更重要的是,能够随着试样三轴施力后试样形变,调整试样的位置,尽量保证三轴施力作用面的中心点位于与试样的对应面的中心位置或者附近,从而保证三轴施力的均匀性和可靠性,真实模拟实际的受力状态,避免其影响水力压裂试验过程,从而大幅提升试验的可靠性。

[0055] 下面将具体描述上述结构。

[0056] 参见图1和图2,所述三维高应力加载子系统包括:主反力框架1、第一施力装置2、第三施力装置3、支撑框架4、移动反力框架5、第二施力装置6以及试样载台51。

[0057] 所述第一施力装置2与所述第三施力装置3固定在所述主反力框架1上;本实施例

中采用典型反力框架,所述第一施力装置2与所述第三施力装置3固定在其上,且施力方向朝向框架内;一般来说,试样采用规则形状,施力作用面的中心点处于试样对应面的中心位置;本实施例中,试样采用规则正方体,那么所述第一施力装置2与所述第三施力装置3分别正对两个相邻面的中心位置,并且是垂直抵靠在对应面上。

[0058] 参见图1、图2、图3、图4和图5,所述支撑框架4设置在所述主反力框架1一侧,所述移动反力框架5可滑动地固定在所述支撑框架4上;也就是说,所述移动反力框架5可相对于所述主反力框架1移动,靠近或者远离所述主反力框架1。本实施例中,主反力框架1为经典框架结构,所述移动反力框架5可以移动至框架内部,从而使得所述第一施力装置2与所述第三施力装置3可作用到位于所述移动反力框架5内的试样上。

[0059] 所述第二施力装置6固定在所述移动反力框架5内,且所述第二施力装置6的施力行程的方向与所述移动反力框架5的移动行程的方向一致;所述试样载台固定在所述移动反力框架5内,用于承载试样;也就是说,所述第二施力装置6以所述移动反力框架5为施力支点进行施压操作,相应的,这个施力结构压迫试样产生压缩形变,也就是沿着所述移动反力框架5上产生压缩形变,这将导致所述第一施力装置2与所述第三施力装置3的施力作用面的中心位置产生偏移,这将影响其对应面的施力均匀性,将导致不均匀,不可控的形变,不利于实际受力的模拟,严重影响水力压裂试验的可靠性。鉴于此,通过移动反力框架5沿第二施力装置6的施力方向移动,调整其他两维的施力作用点,从而使得由于试样形变导致的偏心问题得到调整。

[0060] 参见图8,所述压裂子系统的压裂介质输出接口设置在所述三维高应力加载子系统内,用于向试样内注入压裂介质;相应的,所述试样7上开设一个进水接口71。

[0061] 所述超声相控阵成像子系统的超声波相控阵列布置在所述试样载台51上,用于实时持续监测试样内的水力裂缝扩展过程。也就是说,多个超声波探头82构成的阵列均匀布置在试样7的各面上,组成三维超声相控阵列圈。

[0062] 进一步地,所述主反力框架1包括:主反力框架主体;所述主反力框架主体为典型门式框架,包括:底座、顶梁以及对称设置的第一支柱和第二支柱。

[0063] 所述第一支柱的第一端和所述第二支柱的第一端固定在所述底座上,所述第一支柱的第二端和所述第二支柱的第二端固定在所述顶梁上;围成一个完整的反力框架,从而能够实现施力与反力的作用效果。

[0064] 所述第一施力装置2固定在所述顶梁上,施力方向朝向所述底座;所述第三施力装置3固定在所述第二支柱上,施力方向朝向所述第二支柱;也就实现两个维度的施力结构,值得注意的是,本实施例中,采用正方体的试样7,那么所述第一施力装置2和所述第三施力装置3相互垂直布置。

[0065] 所述支撑框架4与所述底座固定相连,用于所述移动反力框架5在所述支撑框架4和所述底座上移动。也就是说,本实施例中,所述支撑框架4和底座等高,所述移动反力框架5能够顺畅的在两者上移动。

[0066] 参见图2和图3,进一步地,所述底座上固定有承压底座12,用于承载移动反力框架5并提供反作用力。也就是说,在施加三轴作用力,确切地说,是所述第一施力装置2向底座施力时,通过承压底座12支撑所述移动反力框架5,而后承受所述第一施力装置2的压力。

[0067] 参见图1,进一步地,所述第一支柱上和所述第二支柱上均设置有压紧机构11,用于压

紧所述移动反力框架5。也就是说,由于移动反力框架5的可活动特性,为了保证试验时移动反力框架5不随意晃动,通过压紧机构11迫使所述移动反力框架5相对于主反力框架1静止。

[0068] 具体来说,所述压紧机构11包括:压紧基座、螺母、螺纹丝杆以及调节手柄;所述压紧基座固定在所述第一支柱和第二支柱上,所述螺母固定在所述压紧基座上,所述螺纹丝杆螺接在所述螺母内,所述调节手柄固定在所述螺纹丝杆上;从而通过调节手柄转动螺纹丝杆实现轴向移动,压紧移动反力框架5。

[0069] 本实施例中,所述螺纹丝杆设置在所述移动反力框架5的移动行程两侧。

[0070] 进一步地,所述支撑框架4包括:支撑框架主体以及布置在所述支撑框架主体上的导向轨道41;一般来说,所述导向轨道41一直延伸至承压底座12上,实现稳定顺畅的移动结构。

[0071] 所述移动反力框架5包括:移动反力框架主体以及固定在所述移动反力框架主体底部的可升降导轮42;也即是能够在支撑方向上升降,从而能够保证所述移动反力框架5通过所述承压底座12,并当到位后,下降将所述移动反力框架下放,搁置到承压底座12上,从而保证刚性的反力结构。

[0072] 具体来说,所述可升降导轮42包括:导轮、导轮支座以及升降支架;所述导轮可转动地固定在所述导轮支座内,且所述导轮可滑动地设置在所述导向轨道41上;所述升降支架固定在所述导轮支座与所述移动反力框架之间,用于调整支撑高度。

[0073] 进一步地,所述支撑框架4还包括:驱动液压缸43;所述驱动液压缸43的缸体固定在所述支撑框架主体上,所述驱动液压缸43的活塞杆与所述移动反力框架主体相连;从而实现便捷的驱动操作。

[0074] 进一步地,所述试样载台51包括:载台主体以及布置在其上的承压板8。

[0075] 参见图7,所述承压板8上开设有超声波探头容置槽81,用于容置所述超声相控阵成像子系统的超声波探头82。也就是说,在试验时,超声波探头82直接抵靠在压头和试样之间,实现可靠成像监测。

[0076] 参见图9,所述第二施力装置6包括:第二液压缸阵列基座61、第二液压缸阵列62以及第二压头53。

[0077] 所述第二液压缸阵列基座61固定在所述移动反力框架5内,所述第二液压缸阵列62的缸体固定在所述第二液压缸阵列基座61上;所述第二液压缸阵列62的动作端固定在所述第二压头53上;其中,所述第二液压缸阵列62包括:多个均匀布置的液压缸。

[0078] 也就是说,通过多个液压缸的合力提供压力作用到试样上。值得注意的是,这样能够通过合理的调整液压缸的启闭与否实现灵活的施力调节,使得三维应力差值得到精确控制,也就是能够精确可靠的调整三维应力差。更重要的是,组合液压缸的方式能够可靠的抑制现有的单缸施力结构的配合间隙对施力精度的影响。

[0079] 值得说明的是,本实施例中,第一施力装置2、第三施力装置3以及第二施力装置6的结构相同,相应的,第一施力装置2通过第一过渡块54作用到试样顶端的高强承压板上,第三施力装置3通过第三过渡块54作用到试样侧面的高强承压板上,起到均匀传递荷载的作用。试验前将高分子材料润滑油填充在承压板和试样表面之间,起到减小摩擦的作用。

[0080] 所述三维高应力加载子系统采用大流量伺服阀与微流量伺服泵组合控制方式,实现前期快速施加高应力以及试验过程中长时高精度控制主应力差值。

[0081] 为了保证压头的顺畅移动,所述第二压头53包括:转接部以及压头部;所述转接部与所述第二液压缸阵列的动作端固定相连;在施力方向上,所述压头部的截面积小于所述转接部的截面积,也就是说所述转接部具备较大的固定面积,从而能够承载多个液压缸,所述压头部仅仅作用在试样上,并不需要较大的面积;从而能够保证直接作用到试样上的部分具备较小的体积,便于装配。

[0082] 参见图10,提供了一种液压增压结构,主要包括液压站91、伺服阀92、增压装置93和高压管路94,该系统以稳定流量向试样内部注入压裂液,可以模拟现场高压、大排量水力压裂过程。

[0083] 一般来说,压裂液包括水、超临界CO<sub>2</sub>、滑溜水等。所述增压装置具备耐腐蚀和气密性功能,适应不同类型的压裂液,可以向试样内部注入高压压裂液。

[0084] 参见图11,所述超声相控阵成像系统,主要包括三维超声相控阵列圈、发射与接收电路、数字信号处理电路和数据处理与控制模块,用于多通道可控超声激励信号的产生、接收及放大回波信号、大规模数字采集处理等。所述三维超声相控阵列圈主要由试样6个表面的超声波相控阵列组成。所述超声波相控阵列内嵌在承压板上,6组超声波相控阵列在试样周边形成三维超声相控阵列圈,可以增强透射信号、避免多个水力裂缝之间声波成像的干扰,对具有三维空间形态的水力裂缝进行高效和精细成像。所述发射与接收电路包括相控发射激励产生模块和回波接收模块,用于传递激励信号给超声波传感器阵列,并接收回波信号。所述数字信号处理电路包括回波信号调理模块、A/D转换模块、高精度相控发射模块、电子扫描切换模块以及数字声束形成模块,用来产生聚焦规则,一方面控制电子扫描切换,实现声束的偏转和动态聚焦,另一方面该聚焦规则可以用来实现三维空间的多角度多方位查扫。所述数据处理与控制模块用来开发仪器的应用软件以及三维数据处理软件,考虑到岩石材料声阻抗差异较大、信号衰减大的特点,综合运用全矩阵捕捉、断层扫描、合成孔径聚焦以及全聚焦三维成像等手段,对三维水力裂缝进行实时精细成像。将获得的三维裂缝图像进行数字化处理,采用统计学的方法,对不同时刻水力裂缝(包括角度、迹长等)进行测量和分析,定量描述水力裂缝起裂、扩展和贯通过程,进一步揭示水力裂缝的形成机理。

[0085] 下面将提供一种具体的实施方案。

[0086] 所述三维高应力加载子系统适用于多尺寸试样,试样尺寸为500×500×500mm或300×300×300mm。采用所述三维高应力加载系统,能够根据试样规格调整液压缸阵列中的闭缸数量,避免由于不同尺寸试样的面积放大效应造成的应力差值过大的问题。当试样尺寸为300×300×300mm时,对称的选取50%的液压油缸进行加载,其余50%油缸“闭缸”,不施加力,从而保证了主应力差值的精确控制。

[0087] a. 将岩样加工成500×500×500mm或300×300×300mm的立方体试样,并在试样任一表面中心处钻孔,钻孔深度约为试样边长的1/2,作为压裂液注入孔;

[0088] b. 在试样表面涂抹高分子材料润滑油,放入大吨位三维反力框架内,将高强承压板放置在试样表面与压头之间,起到均匀传递荷载的作用;

[0089] c. 按照实际储层应力环境,三个方向同时施加荷载。若试样尺寸为300×300×300mm,对称的选取50%的液压油缸进行加载,其余50%油缸“闭缸”。

[0090] 开始加载时,先采用大流量伺服阀快速施加高应力,然后通过微流量伺服泵长时精细控制应力值大小,配合高频响应和长时精细耦合伺服控制软件,实现超高应力精细长

时控制。加载过程中,第二主应力方向上的移动反力框架可根据试样的变形而在导向轨道上进行相应的滑动,以使得其他维度的施力结构的施力作用面的中心点与试样对应面的中心相匹配,此结构可以显著改善三维全刚性加载框架中试样的对中问题。

[0091] d. 将试样恢复至储层应力环境后,将压裂伺服增压系统的高压管路连接到试样压裂液注入孔内,并用环氧树脂胶密封管路与注入孔之间的空隙;

[0092] e. 向试样内部注入压裂液的同时,开启超声相控阵成像系统。采用基于FPGA的液压加载伺服控制和超声相控阵控制硬件平台,进行相控阵中高压电晶片的可编程数字式延时脉冲激励以及接收信号的控制,并同步进行压裂液压力信号数字闭环伺服加载控制,实现同一硬件平台同步进行超声相控阵控制和液压加载伺服控制,达到时间同步的目的。

[0093] f. 超声相控阵成像系统中的相控发射激励产生模块首先传递激励信号给超声波相控阵列,超声波传感器将激励信号转化为声波信号传递给试样;试样接收到声波信号后产生回波信号,并传递给回波接收模块;将采集到的原始回波信号按照相控阵聚焦规则进行处理,从而得到所需的成像数据,如图4所示。

[0094] g. 压裂伺服增压系统以稳定流量向试样内部注入压裂液,随着压裂液注入压力逐渐升高,水力裂缝开始萌生、扩展,超声相控阵成像系统实时更新裂缝的三维数字信息并成像,然后对图像进行处理,精确对所有水力裂缝的三维空间形态特征(包括角度、迹长等)进行定量表征。

[0095] h. 待压裂液压力突然降低并趋于稳定,水力裂缝完全贯通,试样破坏,此时压裂伺服增压系统和超声相控阵成像系统应同时停止工作,试验结束。

[0096] 本申请实施例中提供的一个或多个技术方案,至少具有如下技术效果或优点:

[0097] 本申请实施例中提供的实时成像的三维高应力水力压裂物理模拟试验系统,通过三维高应力加载子系统实现三轴施力,并通过设置移动反力框架结构调节试样的位置,以使得其他维度的施力结构的施力作用面的中心点与试样对应面的中心相匹配从而能够简便且最大程度的保证试样的受力状态始终稳定的处于中心受力状态,保证三轴施力的可靠性。而后在压裂子系统的配合下进行水力压裂试验。另一方面,通过超声相控阵成像子系统实现实时精细成像,监测试样从受力开始到逐步破坏的水力裂缝动态扩展过程,获取完整的水力压裂试验数据,相对于现有技术来说,获得的信息时序性,完整性和动态过程更为可靠,质量更高。

[0098] 最后所应说明的是,以上具体实施方式仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照实例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

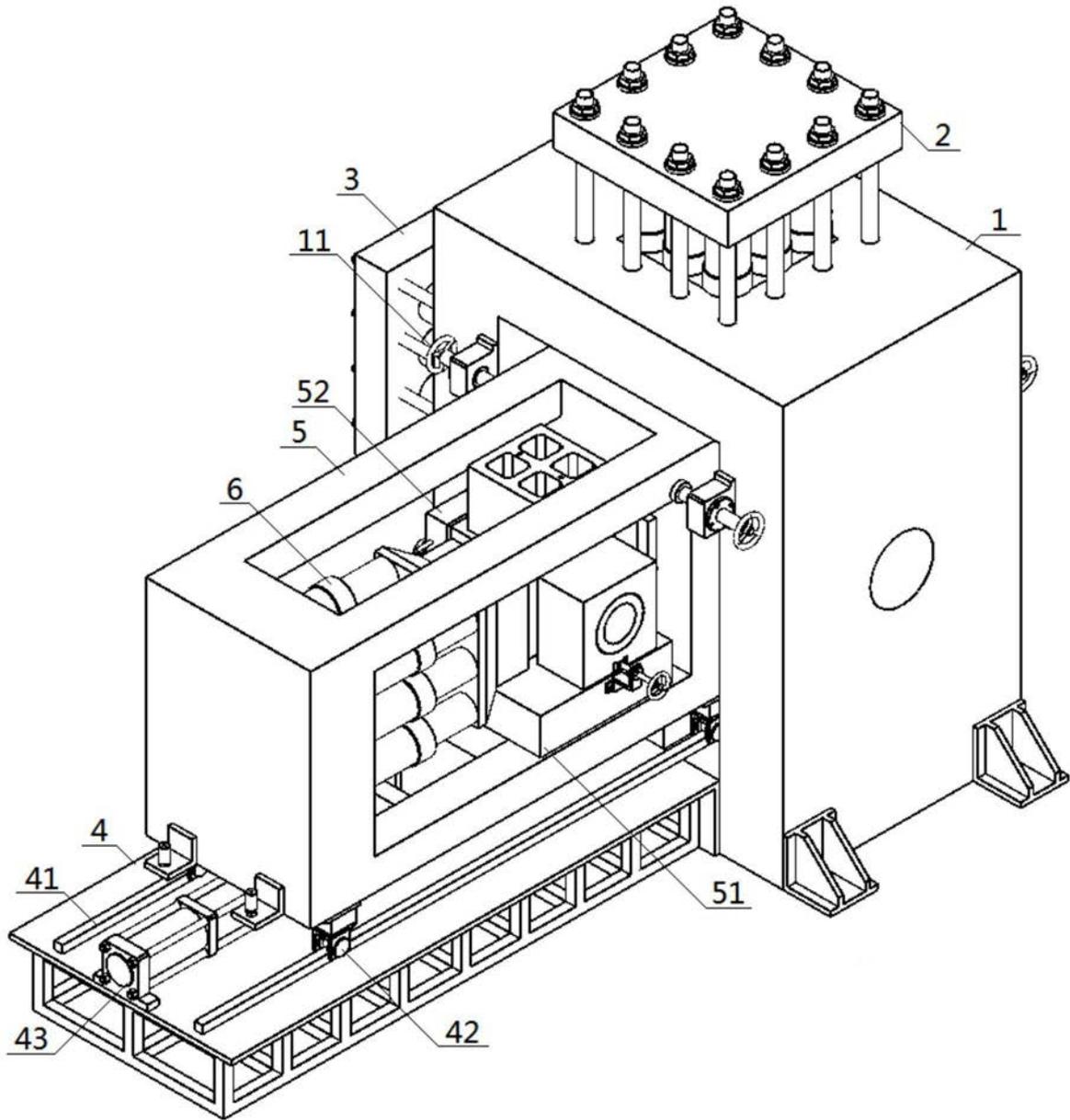


图1

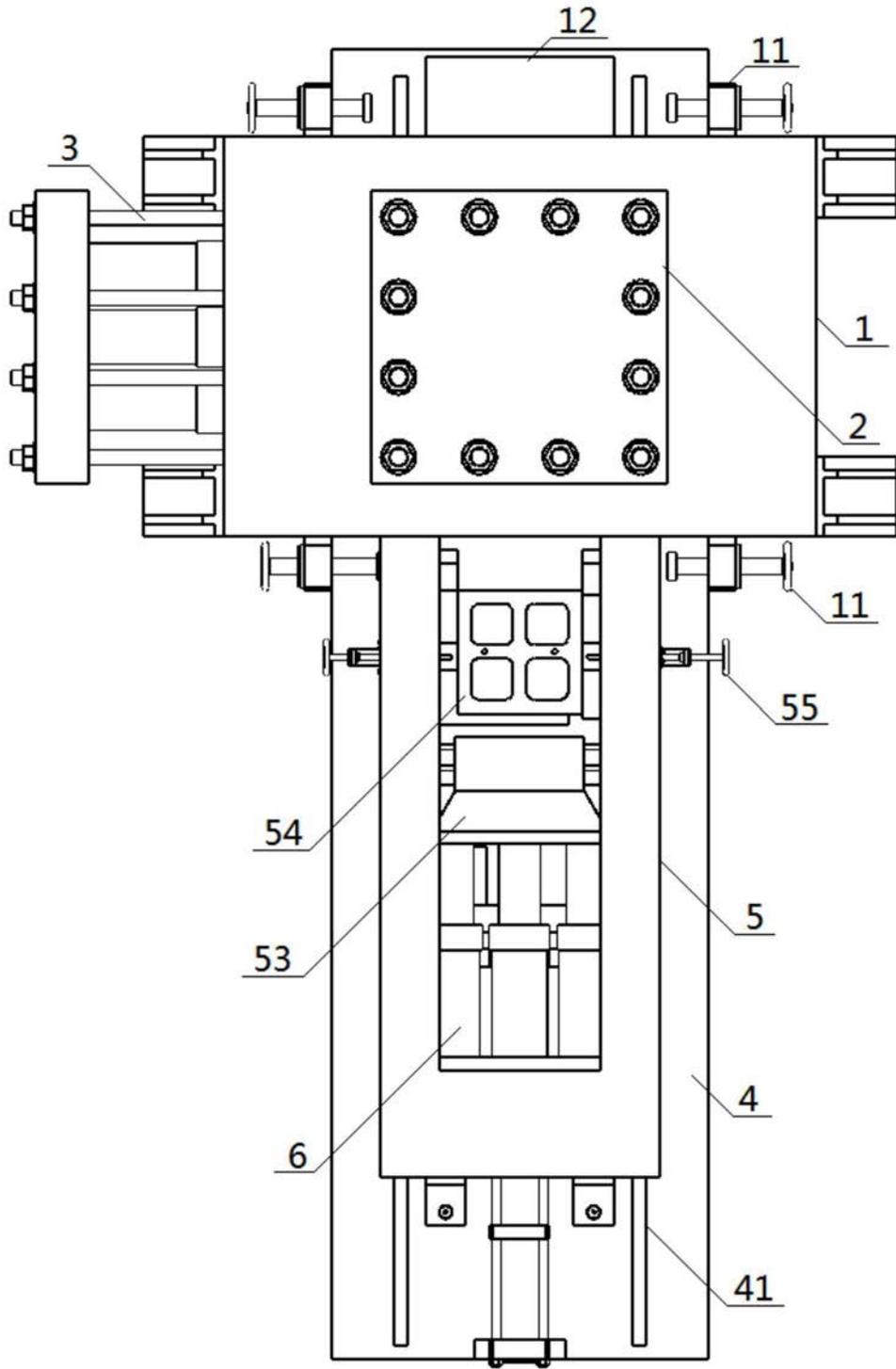


图2

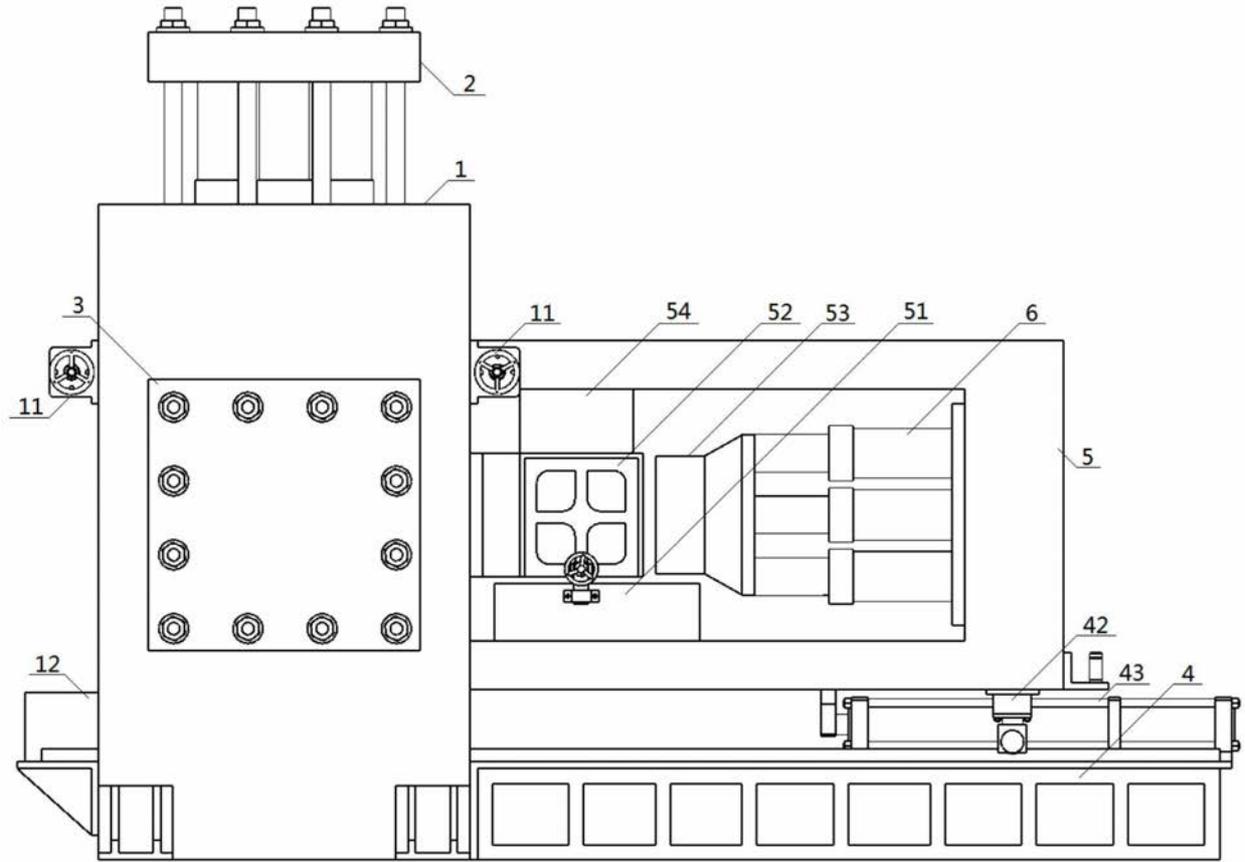


图3

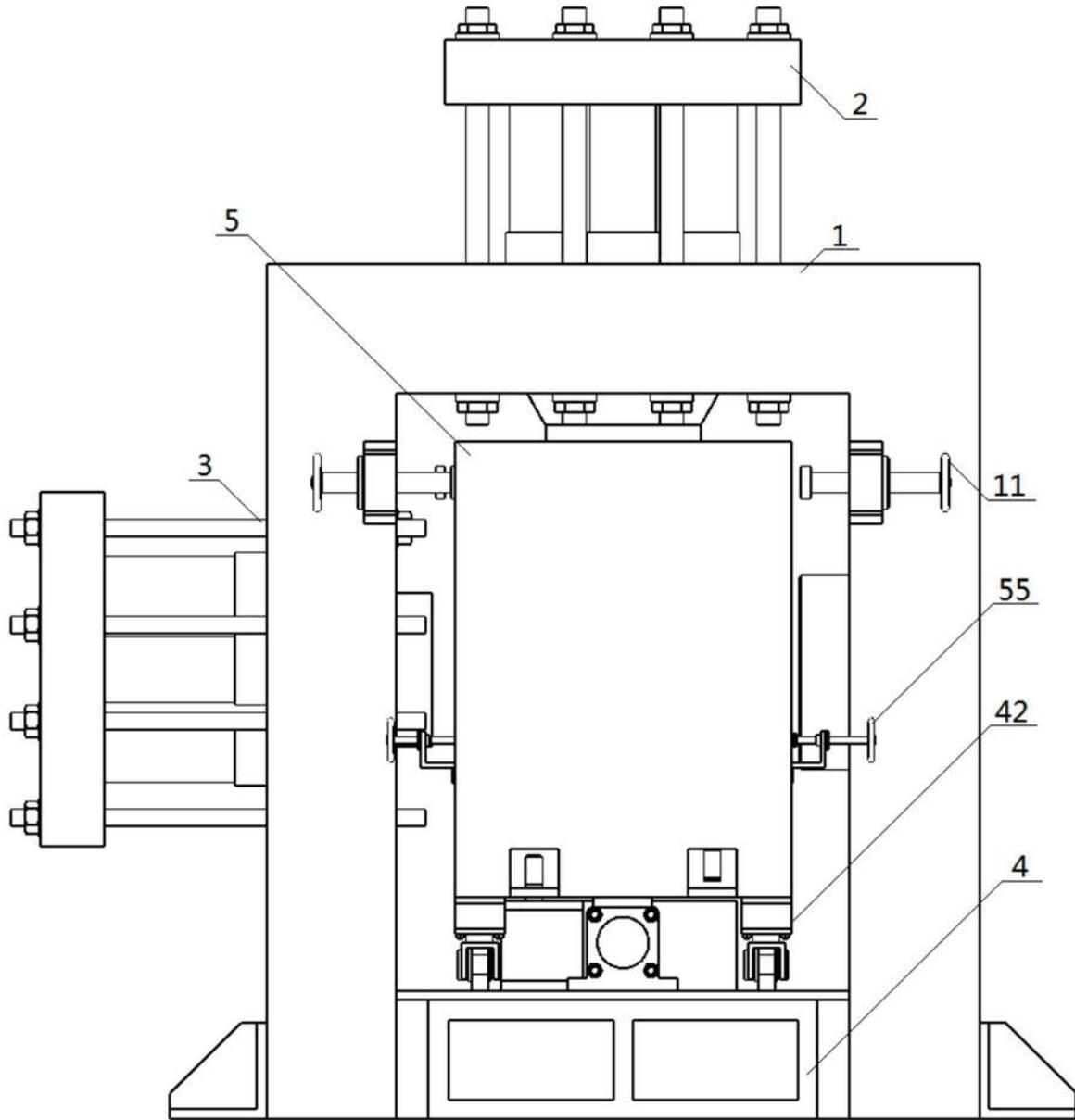


图4

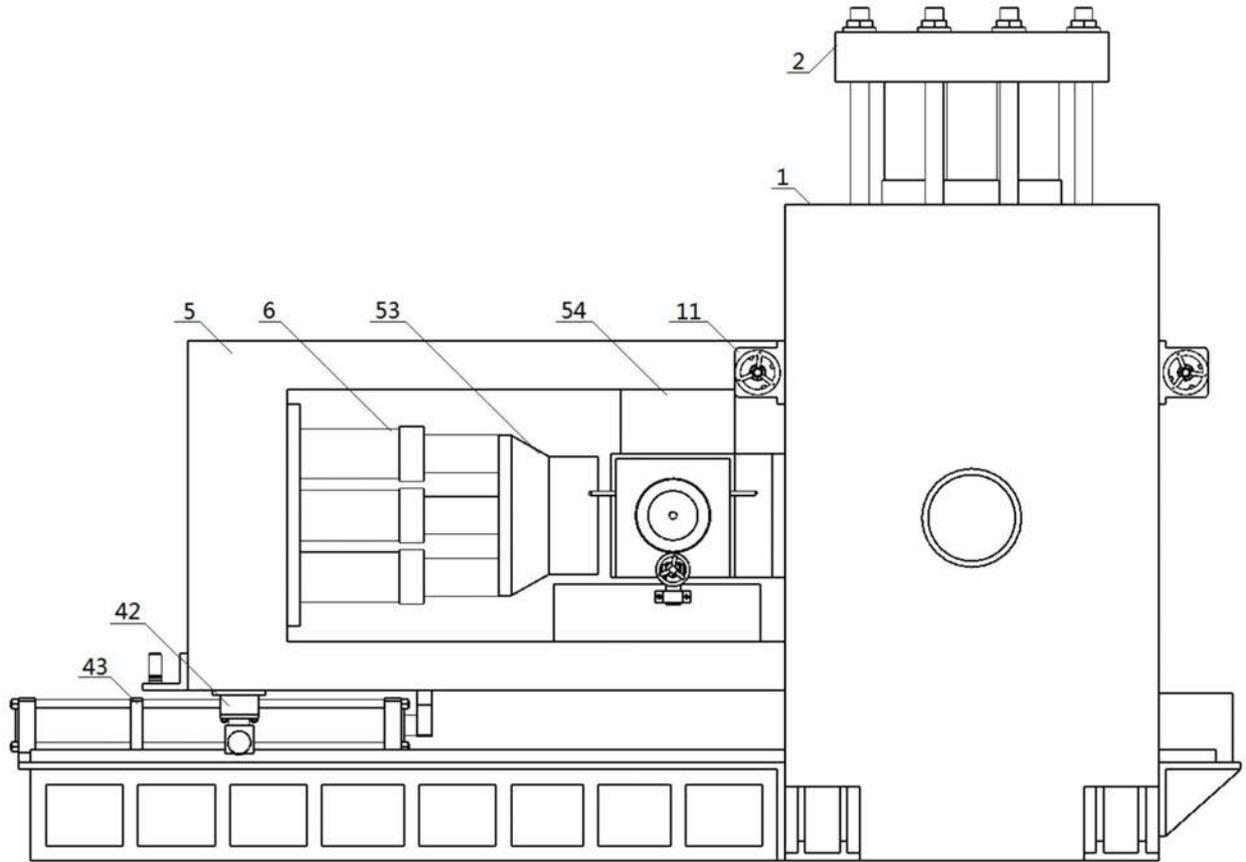


图5

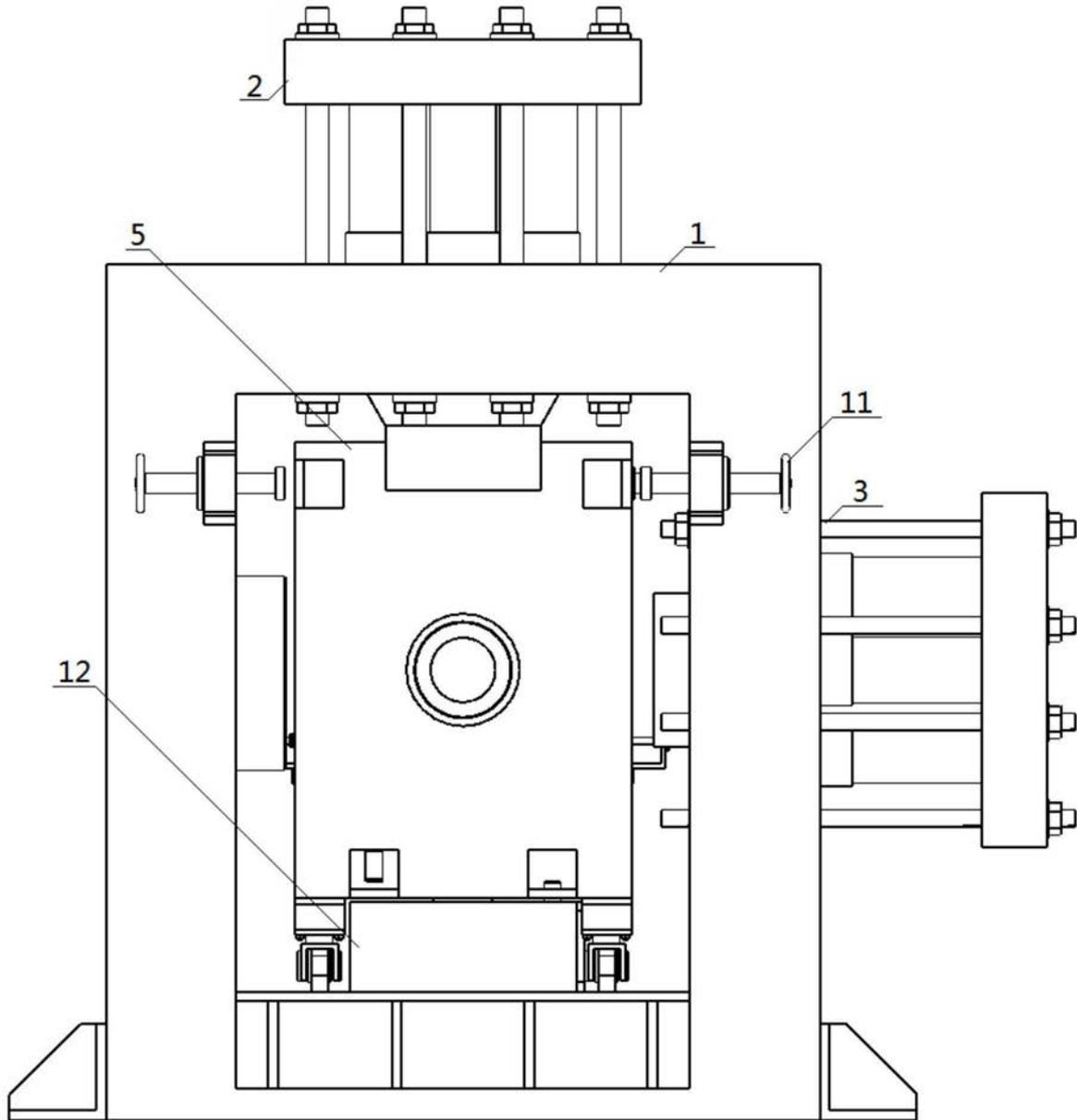


图6

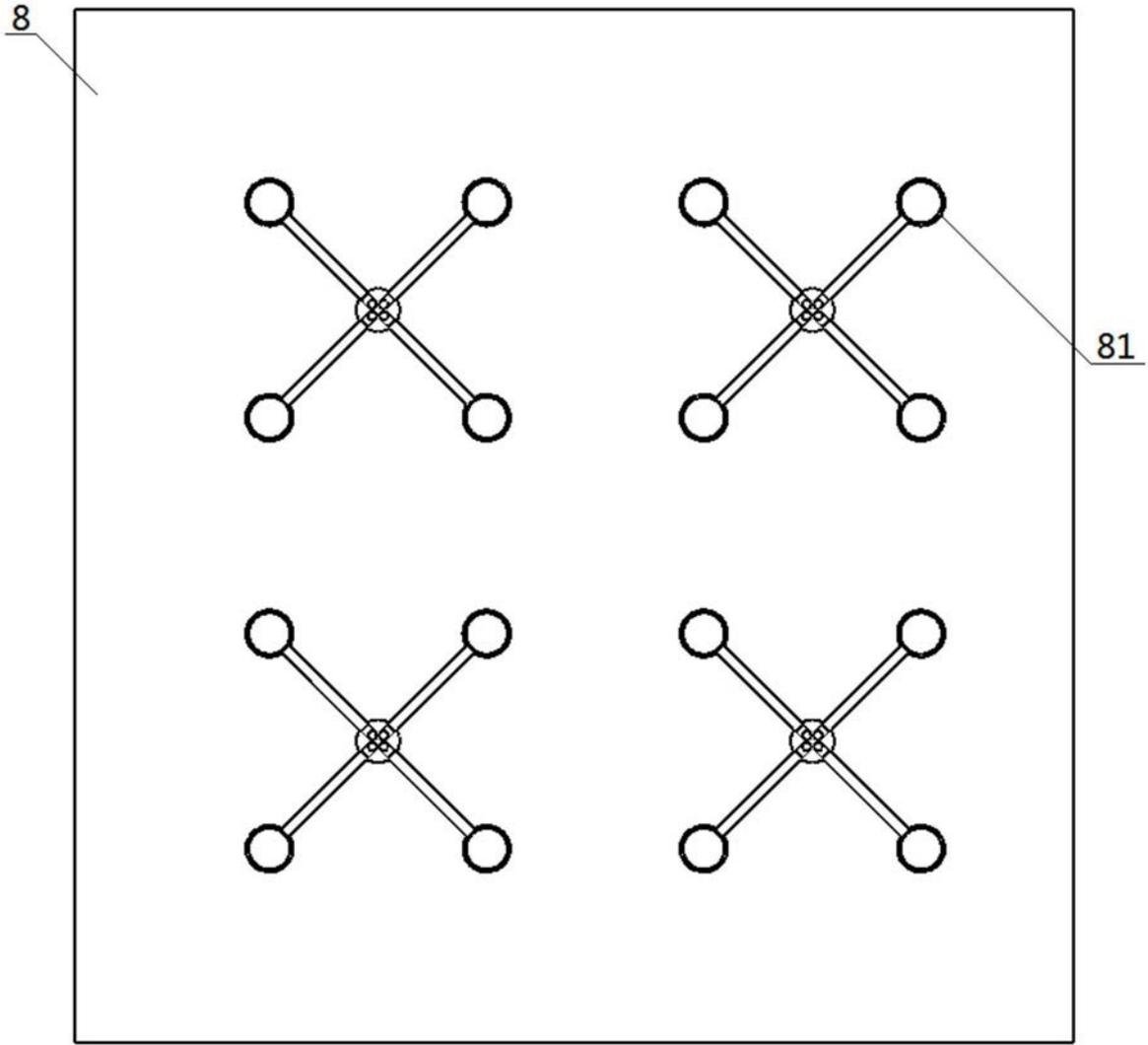


图7

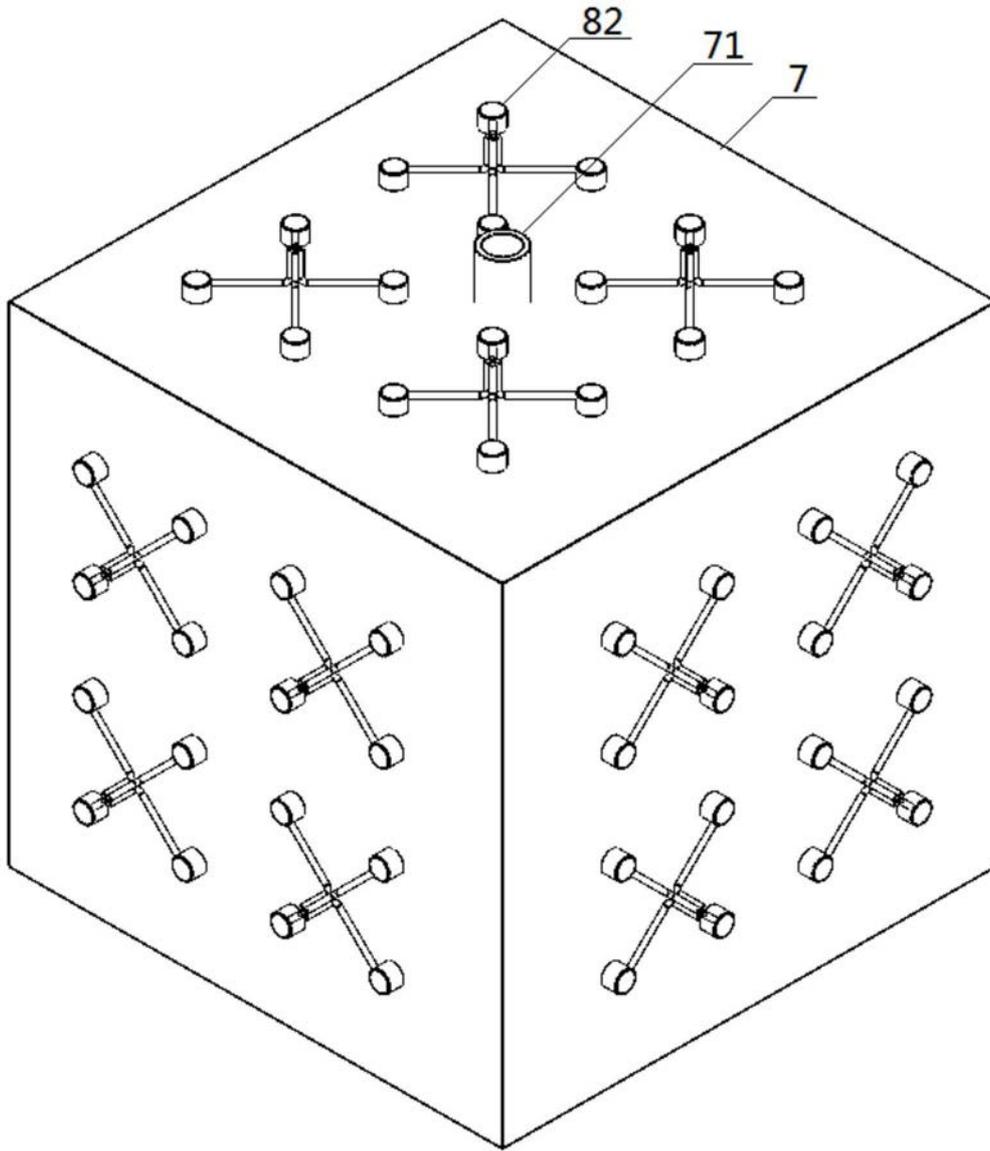


图8

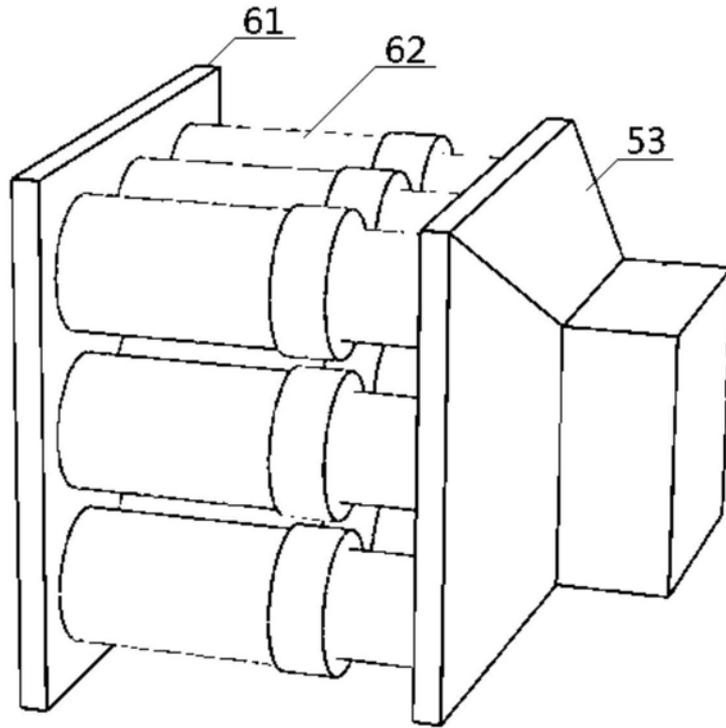


图9

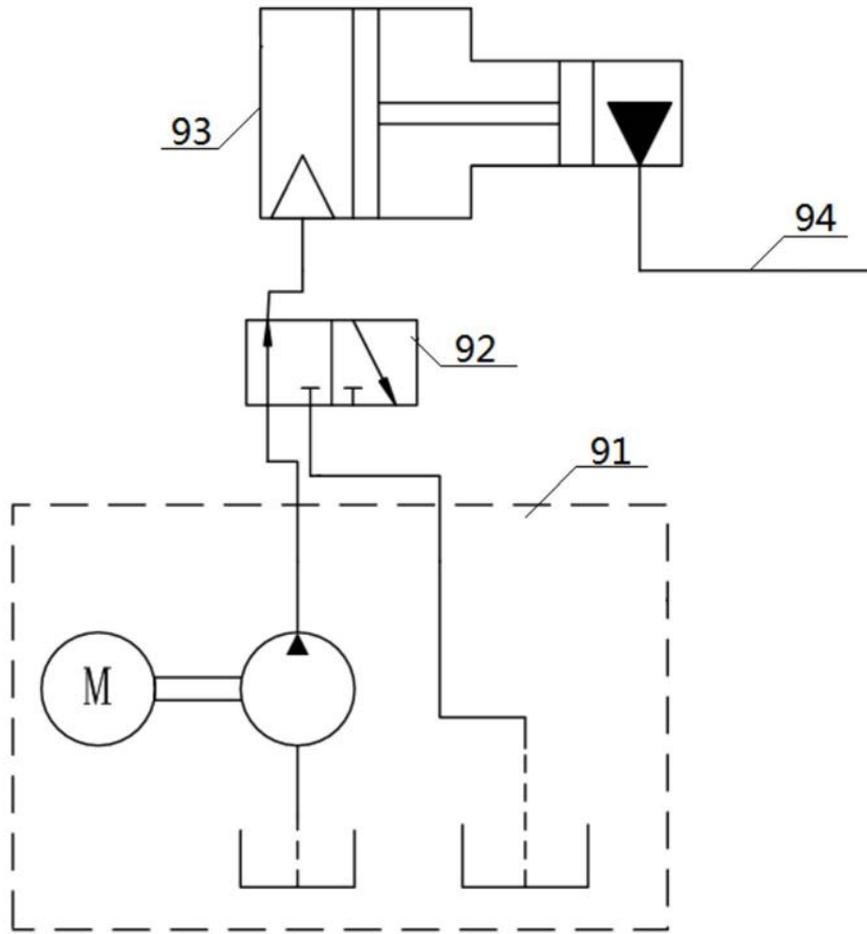


图10

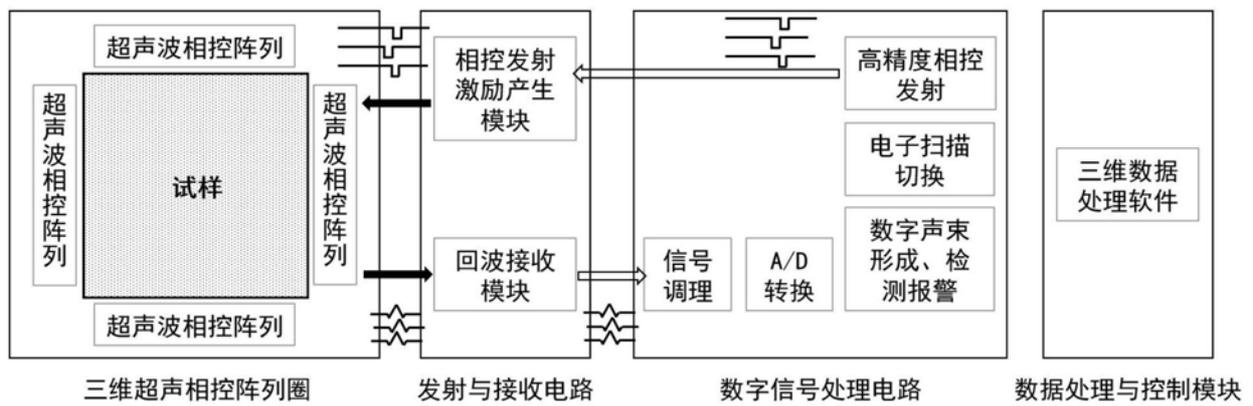


图11