



(21) 申请号 202010997913.0

(22) 申请日 2020.09.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112129488 A

(43) 申请公布日 2020.12.25

(73) 专利权人 南华大学
地址 421009 湖南省衡阳市学院路1号

(72) 发明人 白鑫 王艳

(74) 专利代理机构 重庆天成卓越专利代理事务
所(普通合伙) 50240
专利代理师 谭小容

(51) Int. Cl.
G01M 10/00 (2006.01)

审查员 云鹏

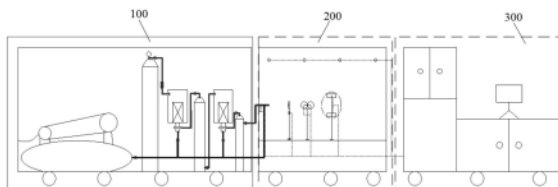
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统

(57) 摘要

本发明公开了一种液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,包括二氧化碳增压液化系统、液态二氧化碳相变射流及其监测系统、远程控制及数据采集系统;液态二氧化碳相变射流及其监测系统包括恒温恒湿箱体、液态二氧化碳相变射流装置、液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置、液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置和箱体环境测试装置;箱体环境测试装置包括湿度传感器和第二温度传感器,用于测试恒温箱体内部的环境温度及湿度变化规律。不需要借助于动静荷加载装置和煤岩试样,能进行二氧化碳相变射流过程中的流体形态、射流压力、打击目标体压力等冲击动力学参数、影响因素及其影响规律的研究,促进技术基础理论及应用技术的发展。



1. 一种液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:包括二氧化碳增压液化系统(100)、液态二氧化碳相变射流及其监测系统(200)、远程控制及数据采集系统(300);

所述二氧化碳增压液化系统(100)用于对二氧化碳液化增压形成能进行相变射流的高压液态二氧化碳;

所述液态二氧化碳相变射流及其监测系统(200)包括恒温恒湿箱体(13),以及设置在恒温恒湿箱体(13)内的液态二氧化碳相变射流装置(400)、液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置(500)、液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置(600)和箱体环境测试装置(700);

所述液态二氧化碳相变射流装置(400)包括压力传感器(14)、第一温度传感器(15)、气动阀(16)和射流喷嘴(17),所述射流喷嘴(17)通过空压管(11)与位于恒温恒湿箱体(13)外的二氧化碳增压液化系统(100)的高压液态二氧化碳出口相连,并结合气动阀(16)用于实现高压液态二氧化碳的瞬间释放,由射流喷嘴(17)形成液态二氧化碳相变射流,压力传感器(14)、第一温度传感器(15)用于实时监测射流喷嘴(17)处的流体压力及温度变化参数;

所述液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置(500)包括导轨(18)、冲击应力传感器(19)、旋转角度传感器(21)和激光测距传感器(22),所述冲击应力传感器(19)、激光测距传感器(22)通过同一传感器支架(23)可转动调节地安装在转动座(20)上,所述传感器支架(23)通过转动座(20)可滑动调节地安装在导轨(18)上,所述冲击应力传感器(19)用于测试液态二氧化碳相变射流冲击应力大小,激光测距传感器(22)用于测定冲击应力传感器(19)到射流喷嘴(17)的距离,所述旋转角度传感器(21)安装在传感器支架(23)底部用于测试冲击应力传感器(19)与射流喷嘴(17)之间的角度;

所述液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置(600)包括高速摄像机(25)、红外摄像机(24)、粒子图像速度场测试仪(10),所述高速摄像机(25)、红外摄像机(24)、粒子图像速度场测试仪(10)分别由安装支架(12)可滑动调节地安装在导轨(18)上;

所述箱体环境测试装置(700)包括湿度传感器和第二温度传感器,用于测试恒温恒湿箱体(13)内的环境温度及湿度变化规律;

所述远程控制及数据采集系统(300)包括计算机、控制系统和数据采集系统,用于采集、显示及储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验过程中的各种数据和测试结果。

2. 根据权利要求1所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述二氧化碳增压液化系统(100)包括空压机(1)、二氧化碳钢瓶(2)、二氧化碳气体液化泵(3)、低压二氧化碳储罐(4)、液态二氧化碳增压泵(5)和高压液态二氧化碳储罐(6),所述空压机(1)用于产生压缩空气,通过阀门控制既能用于驱动二氧化碳气体液化泵(3)对二氧化碳钢瓶(2)内的二氧化碳进行增压,并储存至低压二氧化碳储罐(4)内,又能用于驱动液态二氧化碳增压泵(5)对低压二氧化碳储罐(4)内的液态二氧化碳增压至实验预定压力,并储存至高压液态二氧化碳储罐(6)内备用。

3. 根据权利要求2所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述空压机(1)产生的压缩空气的最大压力为0.8MPa,二氧化碳气体液化泵(3)的输入输出压力比为1:10,用于将二氧化碳钢瓶(2)内的二氧化碳最大增压至8MPa;液态二氧化碳增压泵(5)的输入输出压力比为1:100,用于将低压二氧化碳储罐(4)内的液态二氧化碳最大增压

至80MPa,所述实验预定压力为8—60MPa。

4.根据权利要求2或3所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述二氧化碳钢瓶(2)与二氧化碳气体液化泵(3)之间的管路上设置有气水分离器(7),且二氧化碳增压液化系统(100)集成安装在同一箱体内,且该箱体的底部、恒温恒湿箱体(13)的底部均带有滚轮。

5.根据权利要求1所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述气动阀(16)与所述远程控制及数据采集系统(300)电连接,用于实现远程控制。

6.根据权利要求1所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述高速摄像机(25)、红外摄像机(24)共用同一安装支架(12)。

7.根据权利要求1所述的液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,其特征在于:所述湿度传感器和第二温度传感器采用一体集成的温湿度传感器(9),所述温湿度传感器(9)设置在恒温恒湿箱体(13)顶部。

液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统

技术领域

[0001] 本发明属于煤岩体二氧化碳相变致裂技术领域,尤其涉及一种液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统。

背景技术

[0002] 液态二氧化碳相变致裂技术作为一种有效的煤岩破碎技术,广泛地应用于岩体破碎、低渗煤岩储层致裂增透。该技术原理为:将二氧化碳加压液化储存至密封容器,采用瞬间加热或瞬间卸压形式,产生高压气体射流作用于目标煤岩体,在高压气体作用下煤岩体产生结构损伤破坏。目前该技术在现场应用及技术装备等方面已取得较大的进展,但对于液态二氧化碳相变射流模拟实验还需要借助于动静荷加载装置和煤岩试样,而对于二氧化碳相变射流过程中的流体形态、射流压力、打击目标体压力等冲击动力学参数、影响因素及其影响规律的研究还处于初级阶段,在一定程度上影响了该技术基础理论及应用技术的发展。

发明内容

[0003] 本发明旨在提供一种专用于研究液态二氧化碳相变射流冲击动力学的实验系统,不需要借助于动静荷加载装置和煤岩试样,能进行二氧化碳相变射流过程中的流体形态、射流压力、打击目标体压力等冲击动力学参数、影响因素及其影响规律的研究,促进技术基础理论及应用技术的发展。

[0004] 为此,本发明所采用的技术方案为:一种液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,包括二氧化碳增压液化系统、液态二氧化碳相变射流及其监测系统、远程控制及数据采集系统;

[0005] 所述二氧化碳增压液化系统用于对二氧化碳液化增压形成能进行相变射流的高压液态二氧化碳;

[0006] 所述液态二氧化碳相变射流及其监测系统包括恒温恒湿箱体,以及设置在恒温恒湿箱体内部的液态二氧化碳相变射流装置、液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置、液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置和箱体环境测试装置;

[0007] 所述液态二氧化碳相变射流装置包括压力传感器、第一温度传感器、气动阀和射流喷嘴,所述射流喷嘴通过空压管与位于恒温恒湿箱体外的二氧化碳增压液化系统的高压液态二氧化碳出口相连,并结合气动阀用于实现高压液态二氧化碳的瞬间释放,由射流喷嘴形成液态二氧化碳相变射流,压力传感器、第一温度传感器用于实时监测射流喷嘴处的流体压力及温度变化参数;

[0008] 所述液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置包括导轨、冲击应力传感器、旋转角度传感器和激光测距传感器,所述冲击应力传感器、激光测距传感器通过同一传感器支架可转动调节地安装在转动座上,所述传感器支架通过转动座可滑动调节地安装在导轨上,所述冲击应力传感器用于测试液态二氧化碳相变射流冲击应力大小,激光测距传感器

用于测定冲击应力传感器到射流喷嘴的距离,所述旋转角度传感器安装在传感器支架底部用于测试冲击应力传感器与射流喷嘴之间的角度;

[0009] 所述液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置包括高速摄像机、红外摄像机、粒子图像速度场测试仪,所述高速摄像机、红外摄像机、粒子图像速度场测试仪分别由安装支架可滑动调节地安装在导轨上;

[0010] 所述箱体环境测试装置包括湿度传感器和第二温度传感器,用于测试恒温箱体内部的环境温度及湿度变化规律;

[0011] 所述远程控制及数据采集系统包括计算机、控制系统和数据采集系统,用于采集、显示及储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验过程中的各种数据和测试结果。

[0012] 作为上述方案的优选,所述二氧化碳增压液化系统包括空压机、二氧化碳钢瓶、二氧化碳气体液化泵、低压二氧化碳储罐、液态二氧化碳增压泵和高压液态二氧化碳储罐,所述空压机用于产生压缩空气,通过阀门控制既能用于驱动二氧化碳气体液化泵对二氧化碳钢瓶内的二氧化碳进行增压,并储存至低压二氧化碳储罐内,又能用于驱动液态二氧化碳增压泵对低压二氧化碳储罐内的液态二氧化碳增压至实验预定压力,并储存至高压液态二氧化碳储罐内备用。采用高低压双泵增压液化方式进行二氧化碳液化增压,提高增压效率,减小二氧化碳气体损失。

[0013] 进一步优选为,所述空压机产生的压缩空气的最大压力为0.8MPa,二氧化碳气体液化泵的输入输出压力比为1:10,用于将二氧化碳钢瓶内的二氧化碳最大增压至8MPa;液态二氧化碳增压泵的输入输出压力比为1:100,用于将低压二氧化碳储罐内的液态二氧化碳最大增压至80MPa,所述实验预定压力为8—60MPa。

[0014] 进一步优选为,所述二氧化碳钢瓶与二氧化碳气体液化泵之间的管路上设置有气水分离器,且二氧化碳增压液化系统集成安装在同一箱体内,且该箱体的底部、恒温恒湿箱体的底部均带有滚轮;系统集成度高,方便挪移。

[0015] 进一步优选为,所述气动阀与所述远程控制及数据采集系统电连接,用于实现远程控制,实现全自动化控制。

[0016] 进一步优选为,所述高速摄像机、红外摄像机共用同一安装支架,简化结构。

[0017] 进一步优选为,所述湿度传感器和第二温度传感器采用一体集成的温湿度传感器,所述温湿度传感器设置在恒温恒湿箱体顶部。

[0018] 本发明的有益效果:

[0019] (1) 液态二氧化碳相变射流及其监测系统作为本实验系统的核心部分,主要作用为创造恒温、恒湿环境,产生液态二氧化碳相变射流,对射流过程温度、湿度、流体形态、流场速度分布、射流冲击压力等参数进行测试;

[0020] 恒温恒湿箱体可保证实验测试前液态二氧化碳相变射流环境温度及湿度恒定,减小由于环境温度及湿度变化引起的实验误差;箱体环境测试装置可实时监测液态二氧化碳相变射流过程中环境温度及湿度变化,为后期相关理论研究提供数据支持;液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置,可以进行不同距离、不同角度条件下二氧化碳相变射流打击目标体应力变化规律研究,避免人为测试角度、人为测试距离造成的误差;液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置可实时监测液态二氧化碳相变射流过程中流体形态变化特征、流场速度分布特征研究。

[0021] (2) 传统的实验系统直接在空气中发生并监测,但由于二氧化碳相变射流流体形态、压力等冲击动力学参数受温度、湿度等影响较大,因此不能保证每次实验研究中环境温度、湿度恒定。液态二氧化碳相变射流实验在恒温恒湿箱体内进行,并结合设置在射流喷嘴内的压力传感器、第一温度传感器,用于实时监测射流喷嘴处的流体压力及温度变化参数,能确保实验状态稳定,确保实验分析结果的准确和一致性。

[0022] (3) 传统的实验系统不能进行不同距离、不同角度条件下二氧化碳相变射流打击目标体应力变化规律研究,而这方面研究对于确定二氧化碳相变致裂钻孔尺寸、致裂器出口角度等具有重要影响;本实验装置采用液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置,可以进行不同距离、不同角度条件下二氧化碳相变射流打击目标体应力变化规律研究,避免人为测试角度、人为测试距离造成的误差,对确定二氧化碳相变致裂钻孔尺寸、致裂器出口角度等具有重要作用。

[0023] (4) 不需要借助于动静荷加载装置和煤岩试样,能进行二氧化碳相变射流过程中的流体形态、射流压力、打击目标体压力等冲击动力学参数、影响因素及其影响规律的研究,对于促进技术基础理论及应用技术的发展具有重要意义。

附图说明

[0024] 图1为本发明的结构示意图。

[0025] 图2为二氧化碳增压液化系统的结构示意图。

[0026] 图3为液态二氧化碳相变射流及其监测系统的组成示意图。

[0027] 图4为液态二氧化碳相变射流及其监测系统的结构示意图。

具体实施方式

[0028] 下面通过实施例并结合附图,对本发明作进一步说明:

[0029] 如图1所示,一种液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统,主要由二氧化碳增压液化系统100、液态二氧化碳相变射流及其监测系统200、远程控制及数据采集系统300三部分组成。

[0030] 二氧化碳增压液化系统100用于对二氧化碳液化增压形成能进行相变射流的高压液态二氧化碳。如图2所示,二氧化碳增压液化系统100最好采用二级增压液化系统,主要由空压机1、二氧化碳钢瓶2、二氧化碳气体液化泵3、低压二氧化碳储罐4、液态二氧化碳增压泵5、高压液态二氧化碳储罐6和若干管线组成。

[0031] 空压机1用于产生压缩空气,通过阀门控制进行切换,使压缩空气既能用于驱动二氧化碳气体液化泵3对二氧化碳钢瓶2内的二氧化碳进行增压,并储存至低压二氧化碳储罐4内,又能用于驱动液态二氧化碳增压泵5对低压二氧化碳储罐4内的液态二氧化碳增压至实验预定压力,并储存至高压液态二氧化碳储罐6内备用。

[0032] 空压机1产生的压缩空气的最大压力为0.8MPa,二氧化碳气体液化泵3的输入输出压力比为1:10,用于将二氧化碳钢瓶2内的二氧化碳最大增压至8MPa;液态二氧化碳增压泵5的输入输出压力比为1:100,用于将低压二氧化碳储罐4内的液态二氧化碳最大增压至80MPa,实验预定压力为8—60MPa。

[0033] 最好是,二氧化碳钢瓶2与二氧化碳气体液化泵3之间的管路上设置有气水分离器

7,且二氧化碳增压液化系统100集成安装在同一箱体内,且该箱体的底部带有滚轮,便于挪移。

[0034] 二氧化碳增压液化系统100采用二氧化碳气体液化泵3、液态二氧化碳增压泵5形成高低压双泵增压液化系统进行二氧化碳液化增压,二氧化碳气体液化泵3对二氧化碳钢瓶2内的二氧化碳进行增压,液态二氧化碳增压泵5对液化后的二氧化碳进行再次加压,从而提高了二氧化碳增压效率,避免了单泵增压过程中增压效率低、二氧化碳损耗大的不足。

[0035] 二氧化碳增压液化系统100制备高压液态二氧化碳的具体实施如下:关闭低压二氧化碳储罐4底部的5#阀门,打开空压机1、二氧化碳钢瓶2、二氧化碳气体液化泵3、低压二氧化碳储罐4处的1#、2#、3#、4#阀门,启动空压机1电源,对二氧化碳钢瓶2内二氧化碳进行增压灌装至低压二氧化碳储罐4,直至低压二氧化碳储罐4内压力达到8MPa,关闭二氧化碳气体液化泵3、高压液态二氧化碳储罐6处3#、7#阀门,打开低压二氧化碳储罐4、液态二氧化碳增压泵5处5#、6#阀门,对低压二氧化碳储罐4内液态二氧化碳进行再次增压,灌装至高压液态二氧化碳储罐6内,直至达到设定的CO₂初始压力,关闭6#阀门、打开8#阀门。

[0036] 如图3所示,液态二氧化碳相变射流及其监测系统200包括恒温恒湿箱体13,以及设置在恒温恒湿箱体13内的液态二氧化碳相变射流装置400、液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置500、液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置600和箱体环境测试装置700。

[0037] 恒温恒湿箱体13主要作用为保持液态二氧化碳相变射流环境温度及湿度恒定,不受外界天气影响,为该实验系统进行二氧化碳初始压力、环境温度/湿度等不同条件下的液态二氧化碳相变射流冲击动力学参数测试提供有利条件。恒温恒湿箱体13的底部最好带有滚轮,便于挪移。实验开始前,调整恒温恒湿箱体13的温度及湿度,满足条件后关闭恒温恒湿箱体13电源。

[0038] 结合图3、图4所示,液态二氧化碳相变射流装置400主要由压力传感器14、第一温度传感器15、气动阀16和射流喷嘴17组成。射流喷嘴17通过空压管11与位于恒温恒湿箱体13外的二氧化碳增压液化系统100的高压液态二氧化碳出口相连,并结合气动阀16用于实现高压液态二氧化碳的瞬间释放,由射流喷嘴17形成液态二氧化碳相变射流。压力传感器14、第一温度传感器15安装在射流喷嘴17内,用于实时监测射流喷嘴17处的流体压力及温度变化参数。工作过程为:由远程控制及数据采集系统300远程控制气动阀16进行高压液态二氧化碳的瞬间释放,由射流喷嘴17形成液态二氧化碳相变射流,压力传感器14、温度传感器15可实时监测射流喷嘴17内压力及温度变化参数。液态二氧化碳相变射流装置400的主要作用为形成液态二氧化碳相变射流,并监测其射流喷嘴处流体压力及温度变化规律。

[0039] 液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置500主要由导轨18、冲击应力传感器19、转动座20、旋转角度传感器21、激光测距传感器22和传感器支架23组成。冲击应力传感器19、激光测距传感器22通过同一传感器支架23可转动调节地安装在转动座20上,传感器支架23通过转动座20可滑动调节地安装在导轨18上。冲击应力传感器19用于测试液态二氧化碳相变射流冲击应力大小,激光测距传感器22用于测定冲击应力传感器19到射流喷嘴17的距离,旋转角度传感器21安装在传感器支架23底部用于测试冲击应力传感器19与射流喷嘴17之间的角度。传感器支架23转动调节到适当的角度后通过螺栓紧固在转动座20上,转动座20滑动到适当的位置后通过螺栓紧固在导轨18上,从而实现转动及滑动的可调节安装。

[0040] 液态二氧化碳相变射流冲击应力测试装置500可实现不同距离、不同角度液态二

氧化碳相变射流冲击应力大小的监测,为后期进行液态二氧化碳相变射流冲击应力影响因素及变化规律研究提供支持。

[0041] 液态二氧化碳相变射流流体形态测试装置600主要由高速摄像机25、红外摄像机24、粒子图像速度场测试仪10组成。高速摄像机25、红外摄像机24、粒子图像速度场测试仪10分别由安装支架12可滑动调节地安装在导轨18上。高速摄像机25、红外摄像机24最好共用同一安装支架12。安装支架12滑动到适当的位置后通过螺栓紧固在导轨18上,从而实现滑动调节安装。高速摄像机25主要测试液态二氧化碳相变射流过程流体形态变化规律,获得流体流动视频数据;红外摄像机24主要通过监测温度变化,获得液态二氧化碳相变射流过程流体形态特征;粒子图像速度场测试仪10,采用成像技术和图像分析技术,得到瞬时的全流场的各种参数,可测量液态二氧化碳相变射流流体速度场、射流尺寸与核心区长度、射流角度等参数。

[0042] 箱体环境测试装置700主要由湿度传感器和第二温度传感器组成,用于测试恒温箱体13内的环境温度及湿度变化规律,为液态二氧化碳相变射流冲击动力学理论研究提供基础参数。最好是,湿度传感器和第二温度传感器采用一体集成的温湿度传感器9,温湿度传感器9设置在恒温恒湿箱体13顶部。

[0043] 远程控制及数据采集系统300包括计算机、控制系统和数据采集系统,用于采集、显示及储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验过程中的各种数据和测试结果。各传感器与远程控制及数据采集系统300采用数据采集线8连接。最好是,气动阀16与远程控制及数据采集系统300电连接,用于实现远程控制。

[0044] 远程控制及数据采集系统300的主要作用包括:①远程控制液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统中气动阀的关闭与开启;②采集、显示并储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统中压力传感器、第一温度传感器数据;采集、显示并储存箱体环境测试装置内第二温度传感器、湿度传感器数据;采集、显示并储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统中激光测距传感器、旋转角度传感器、冲击应力传感器数据;采集、显示并储存液态二氧化碳相变射流冲击动力学实验系统中高速摄像机、红外摄像机、粒子图像速度场测试仪的测试结果。

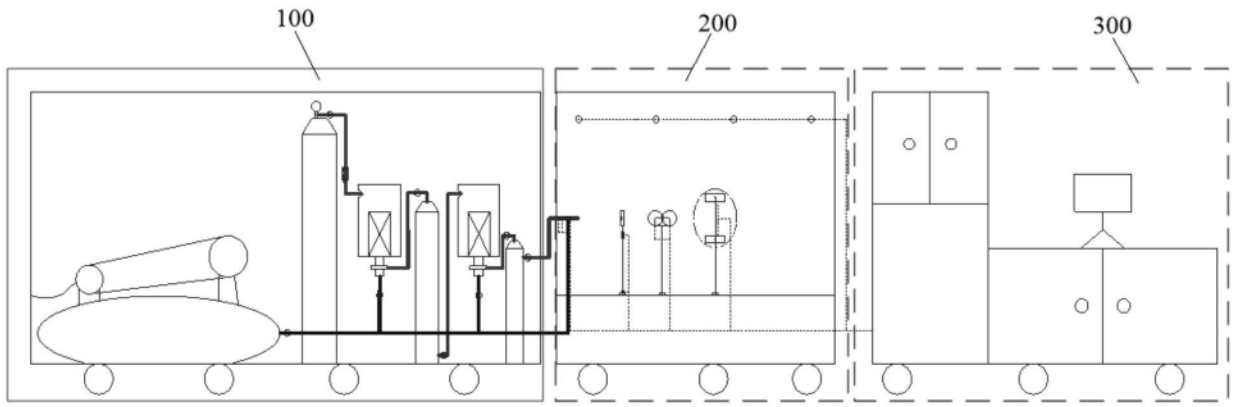


图1

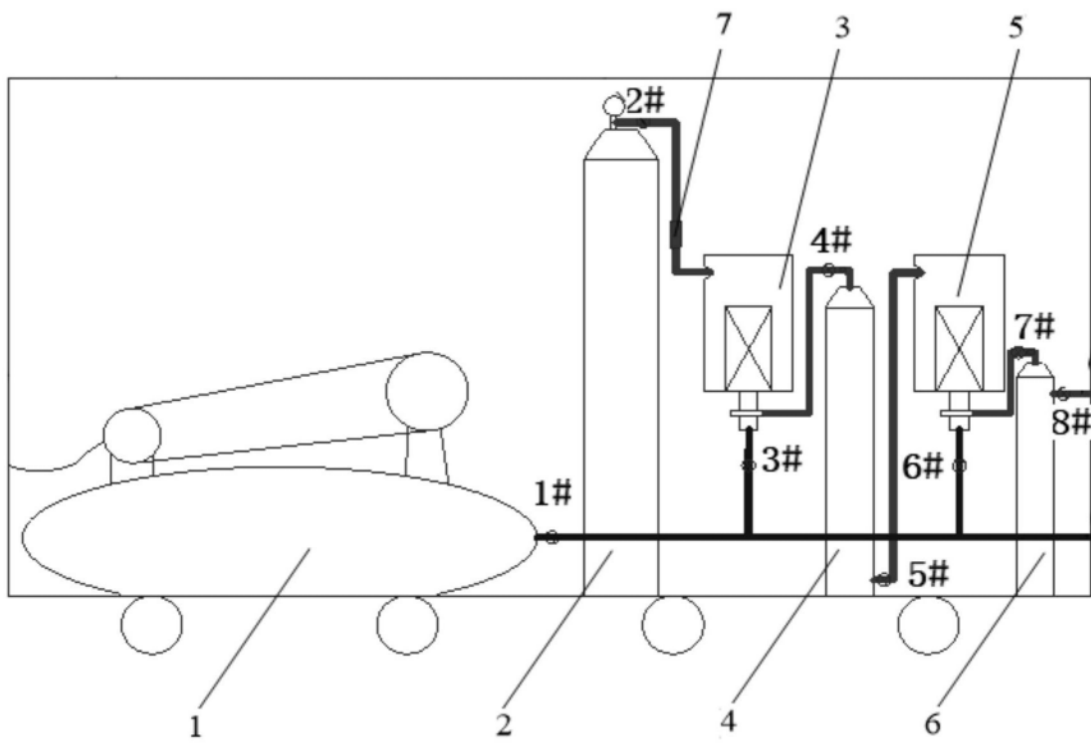


图2

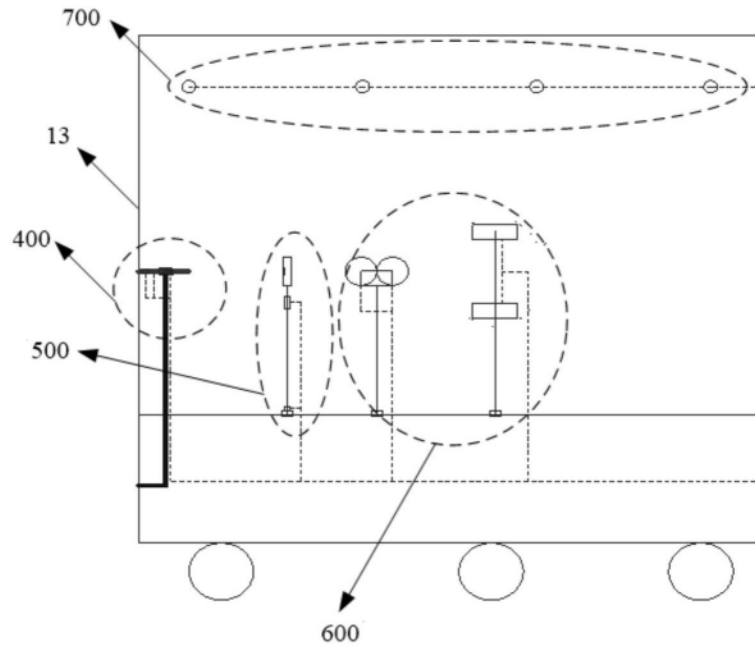


图3

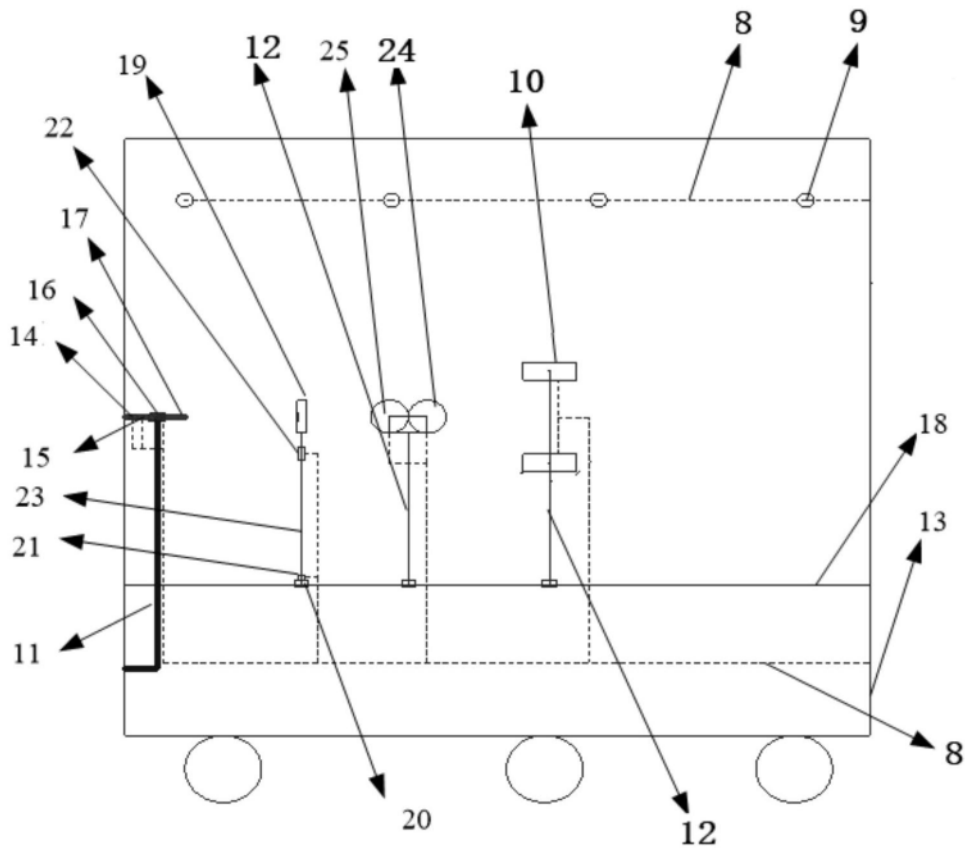


图4