



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105277335 B

(45)授权公告日 2017.12.12

(21)申请号 201510700401.2

(22)申请日 2015.10.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105277335 A

(43)申请公布日 2016.01.27

(73)专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 曾晓辉 张良 史民 周济福

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390  
代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.  
G01M 10/00(2006.01)  
G01M 9/00(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开2003-314611 A,2003.11.06,  
CN 103454054 A,2013.12.18,  
CN 103196652 A,2013.07.10,  
CN 202033164 U,2011.11.09,  
CN 102072275 A,2011.05.25,  
CN 103743535 A,2014.04.23,  
杨平等.新型气-液耦合减振器的抗冲击动  
态特性试验与建模研究.《中国机械工程》.2001,  
第12卷(第9期),第980-982、1024页.

审查员 周小林

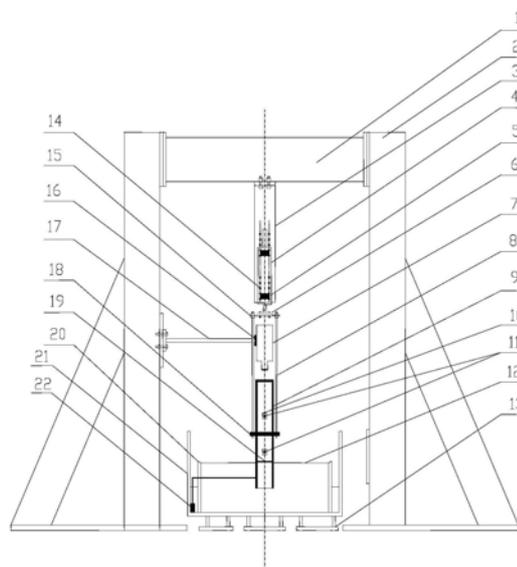
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

液气相互作用的振动实验装置

(57)摘要

本发明公开一种液气相互作用振动实验装置,具备试验单元、测量单元和数据记录分析单元;试验单元,包括依次连接的固定支架、加载器、液柱-气体相互作用系统及储液槽;储液槽中盛有液体;液柱-气体相互作用系统底部敞口端插入储液槽液体中,在加载器的作用下上下动作;测量单元包括力传感器、测量仪和气压传感器;数据记录分析单元包括数据采集器和数据分析模块;数据采集器输入端连接测量仪及气压传感器,输出端连接数据分析模块。可同步测量振荡液柱运动、气体压力变化等参数,可用于液柱-气体相互作用系统的减振效果、控制参数影响规律、运动抑制装置整体性能优化等方面的实验研究。



1. 一种液气相互作用振动实验装置,其特征在于,具备:

试验单元,包括固定支架、加载器、液柱-气体相互作用系统及储液槽;其中所述加载器固定端与所述固定支架连接,作动端与所述液柱-气体相互作用系统连接;所述储液槽中盛有液体;所述液柱-气体相互作用系统包括柱形容器,所述柱形容器其中一端敞口,所述敞口端插入所述储液槽的液体中,所述柱形容器内部形成至少一个气室;所述柱形容器在所述加载器的作用下上下动作;

测量单元,包括用于测量加载器施加到所述液柱-气体相互作用系统上荷载的力传感器、用于测量所述柱形容器中液柱运动响应的测量仪和用于测量所述气室内气体压力变化的气压传感器;

数据记录分析单元,包括数据采集器和用于对所述数据采集器采集的数据进行分析和处理获得对所述液柱-气体相互作用系统的动力响应、减振效果、影响规律进行综合测量和评估的数据分析模块;所述数据采集器输入端分别连接所述测量仪及气压传感器,所述数据采集器输出端连接所述数据分析模块;

消波单元,所述消波单元包括收集槽和用于将收集槽内的液体抽入所述储液槽中的液体抽取装置,所述储液槽位于所述收集槽内,所述储液槽内的液面与所述储液槽边缘平齐。

2. 根据权利要求1所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,测量所述柱形容器中液柱运动响应的所述测量仪是激光测振仪。

3. 根据权利要求2所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述力传感器通过至少四根连杆连接在连接板上,所述激光测振仪位于所述柱形容器与所述连接板之间,并通过固定连杆安装在所述固定支架上。

4. 根据权利要求3所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述气室内在液体表面上设置有可浮于液面上的用于防止液面晃荡的激光反射板。

5. 根据权利要求2所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述力传感器通过至少四根连杆连接在连接板上,所述激光测振仪设置在能在竖直方向上调节高度的三脚架上,所述连接板底部设置有用于将所述激光测振仪的光束反射到所述柱形容器内液柱上的激光反射装置。

6. 根据权利要求5所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述激光反射装置通过用于调节所述激光反射装置角度的连杆调节器设置在所述加载器固定装置上。

7. 根据权利要求6所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述加载器上设置有电磁固定支座,所述连杆调节器设置在所述电磁固定支座上。

8. 根据权利要求7所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述激光反射装置包括与水平面呈45度角设置的反射镜面。

9. 根据权利要求1-8任一所述的液气相互作用振动实验装置,其特征在于,所述的柱形容器由两个以上部分连接构成,连接处之间设置有将所述柱形容器内部空间进行分割的节流孔板,形成两个以上所述气室;所述节流孔板上开设有用于连通所述气室的孔。

## 液气相互作用的振动实验装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种液气相互作用的振动实验装置。

### 背景技术

[0002] 经济和社会发展使陆上资源越来越难以满足需要,走向海洋进行资源和能源开发已经成为一种发展趋势。海洋平台、海上开采设备等工程结构物是进行海洋开发的基础装备。近些年深海资源开发是海洋开发的主要增长点(例如,新增海洋油气产量主要在深海),而用于深海开发的主力装备是各种浮式平台(张力腿平台、半潜式平台、SPAR、FPSO等),因此如何高效地提高这些浮式结构物的安全性和对环境的适应性以拓展作业范围和延长服役时间是工业界和学术界共同关注的重要问题。

[0003] 海洋浮式平台在波浪、海流、风等环境载荷作用下会发生整体往复运动和局部振动。在某些不利条件下(如激励频率与平台某种固有频率接近等情况),浮式平台的动力响应会变得更加明显,从而有可能危及平台安全性或使其发生严重的疲劳破坏。为减小平台的动力响应,提高其安全性和可靠性,在不改变平台外形的情况下,通常做法是从增加结构强度和刚度等方面着手采取改进措施。然而这种做法可能会导致结构本身质量增大,影响减小平台响应目标的实现;更不利的是会降低承载能力,并会使平台制造和运行成本上升。因此有必要采用在平台上安装运动抑制装置等其他方法对深海采油平台进行整体运动抑制。

[0004] 目前有学术界和工业界的专家提出了一些针对海洋浮式平台等水面浮体的运动抑制装置(减振装置)的概念。这些运动抑制装置的主要工作介质是液体和气体,通过液体运动与气体相互作用达到抑制浮体运动响应的目的。其中有一类运动抑制装置是通过振荡液柱和气体相互作用来实现浮体运动抑制,这类液柱—气体相互作用系统中气体和振荡液柱是相互耦合、互相影响的。例如,当这种液柱—气体相互作用系统工作时,外界施加的位移或加速度等激励会使可振荡液体运动从而压缩或膨胀气体,使气体压力等物理量发生变化;而气体的这些变化也会反过来作用于振荡液体上,使振荡液体的运动发生改变。显然,气体和液柱是相互作用的,这就导致气体压力变化以及液柱运动与外界激励并不一致,在实验研究时难以通过测量外界激励来直接获得气体和振荡液柱的动态特性。有鉴于此,为了达成通过实验手段来研究液柱—气体相互作用系统动力特性的目标,需要研发一种能够同步测量气体和振荡液柱动力特性的振动试验装置,从而可以据此对液柱—气体相互作用系统的减振效果、控制参数影响规律、运动抑制装置整体性能优化等进行实验研究。

[0005] 现在还缺少一种通用方便、成本低廉,可以同步测量气体和振荡液柱动力特性,并对上述这类液柱—气体相互作用系统的减振效果、控制参数影响规律、运动抑制装置整体性能优化等方面进行实验研究的振动试验装置。上述实验研究工作目前还只能通过大型海洋工程水池实验来完成。

[0006] 海洋工程水池等大型专用实验装备造价高昂、数量稀少,实验和测量费用也十分昂贵,无法得到普及应用。这就会影响研发过程中便捷地通过实验来发现液柱—气体相互

作用系统中可能出现的新物理现象或验证力学机制,也不便于通过反复实验来获得重要参数变化的影响规律和开展优化设计。因而目前迫切需要发明一种通用方便、成本低廉,能够有效地对这种液柱-气体相互作用系统的动力性能进行综合测量和评估的实验装置。

### 发明内容

[0007] 本发明提供一种液气相互作用振动实验装置用于克服现有技术中的缺陷,通用方便、制造和使用成本低、占地面积小、安装和拆卸都很便捷。

[0008] 本发明提供一种液气相互作用振动实验装置,具备:

[0009] 试验单元,包括固定支架、加载器、液柱-气体相互作用系统及储液槽;其中所述加载器固定端与所述固定支架连接,作动端与所述液柱-气体相互作用系统连接;所述储液槽中盛有液体;所述液柱-气体相互作用系统包括柱形容器,所述柱形容器一端封闭,另一端敞口,所述柱形容器的敞口端插入所述储液槽的液体中,所述柱形容器内部形成至少一个气室;所述柱形容器在所述加载器的作用下上下动作;

[0010] 测量单元,包括用于测量加载器施加到所述液柱-气体相互作用系统上荷载的力传感器、用于测量所述柱形容器中液柱运动响应的测量仪和用于测量所述气室内气体压力变化的气压传感器;

[0011] 数据记录分析单元,包括数据采集器和用于对所述数据采集器采集的数据进行分析和处理获得对所述液柱-气体相互作用系统的动力响应、减振效果、影响规律进行综合测量和评估的数据分析模块;所述数据采集器输入端分别连接所述测量仪及气压传感器,所述数据采集器输出端连接所述数据分析模块。

[0012] 本发明提供的液气相互作用振动实验装置,该装置可以同步测量振荡液柱运动、气体压力变化等关键参数,可用于液柱-气体相互作用系统的减振效果、控制参数影响规律、运动抑制装置整体性能优化等方面的实验研究,也可以用于海洋工程结构物及相关其他工业结构系统的减振和运动抑制性能、动力响应特性、流固耦合现象的实验研究;该装置通用方便、制造和使用成本低廉、占地面积小、安装和拆卸都很便捷。

### 附图说明

[0013] 图1是本发明实施例一提供的振动实验装置的主视图;

[0014] 图2是图1的俯视图;

[0015] 图3是本发明实施例二提供的振动实验装置的主视图;

[0016] 图4是图3的俯视图;

[0017] 图5是图3中激光测量仪测量原理图;

[0018] 图6是液柱-气体相互作用系统中法兰连接端结构示意图。

### 具体实施方式

[0019] 实施例一

[0020] 参见图1、图2,本发明提供一种液气相互作用振动实验装置,包括试验单元、测量单元和数据记录分析单元;

[0021] 试验单元,包括固定支架、加载器4、液柱-气体相互作用系统9及储液槽20;固定支

架包括门式钢架横梁1和两个门式钢架立柱2组成,共同形成门式钢架;门式钢架固定在地轨上,能够为实验设备的固定提供保障。加载器固定装置3通过高强螺栓固定在门式钢架横梁1上,在加载器固定装置3上预留有螺孔14,这些螺孔14用来固定加载器4,并可以实现对加载器4位置的调节,配合调节加载器4的动作平衡位置,以此来考察吃水变化对液柱-气体相互作用系统性能参数的影响。

[0022] 液柱-气体相互作用系统9包括柱形容器,柱形容器由上下两部分连接构成,连接处之间设置有将柱形容器内部空间进行分割的节流孔板18,节流孔板18上开有小孔,用于连通上部分与下部分柱形容器,容器内气体可以通过小孔在上、下两部分柱形容器内流通;上部分柱形容器顶端封闭,下部分柱形容器的敞口端插入储液槽20的液体12中,上部分柱形容器封闭端与节流孔板18之间形成上气室,下部分柱形容器内部液面与节流孔板18之间形成下气室;柱形容器在加载器4的作用下上下动作;上述结构的液柱-气体相互作用系统9称为双气室垂向液柱-气体相互作用系统;

[0023] 本发明实施例中以双气室形式的液柱-气体相互作用系统为例来说明本发明实验装置。但要指出的是,本发明的液柱-气体相互作用系统振动试验装置同样适用于其他气室情况,例如:液柱-气体相互作用系统的气室可以多于两个,各个气室之间的位置和连通方式可以采用各种形式;气室可以是封闭的,也可以局部开孔通到大气;气室横截面的形状,可以是圆形、椭圆形,或正方形、矩形等形状;气室节流孔板的开孔形状、位置和数量均可以不同。

[0024] 液柱-气体相互作用系统9由上下两个气室组成(如前所述,此处仅以两气室的情况为例说明本发明),两个气室中间夹有气室节流孔板18,这三者通过螺栓连接成为一体,通过加载器4实施同步的位移控制加载。

[0025] 在上下气室的法兰端连接处,为了防止气室内气体溢出,保证气体的总量不变。在法兰端设置凹槽,在凹槽中安装弹性密封橡胶垫30(如图6所示),以此来保证实验过程中,液柱-气体相互作用系统内的气体总量恒定。

[0026] 设置于上下气室法兰端中间的节流孔板18,一般采取在板中间开孔的做法,通过改变开孔大小来调节通气量,或者通过改变开孔的数量和形状,分析对液柱-气体相互作用系统9整体性能的影响规律。

[0027] 为了模拟液柱-气体相互作用系统9的工作环境,将液柱-气体相互作用系统9放置于一个较大的储液槽20中,该储液槽20中盛有大量液体12(可采用油、水或其他液体),并且通过储液槽底座13放置在地轨上。

[0028] 储液槽20采用大体积的圆柱体形状(大于液柱-气体相互作用系统9的柱形容器直径10倍),能有效降低边壁对于液柱-气体相互作用系统气室内起伏液面的影响。此外,为了彻底的消除壁面的波浪反射,本发明设计了专门的消波单元。储液槽20的边缘与液体12的高度齐平,这样水面的起伏运动会使一部分液体流到收集槽21中,在收集槽21中安装有微型伺服泵22,这样可以保证将储液槽20中流到收集槽21的液体在合适的时间,自动供给到储液槽20中,保证储液槽20中液体的总量不变。

[0029] 测量单元,包括用于测量加载器4施加到液柱-气体相互作用系统上荷载的力传感器6、用于测量柱形容器中液柱运动响应的测量仪(本实施例中采用激光测振仪7,当然也可采用其他适用于测量液体振动响应的测量仪,例如,波高仪等)和用于测量气室内气体压力

变化的气压传感器11；

[0030] 加载器4通过加载器固定端5固定在加载器固定装置3上。在加载器4的下端连接有高灵敏度的力传感器6,可以实时记录加载器4施加到液柱-气体相互作用系统9上的荷载。连接板15上预留了安装螺孔,上边与高灵敏度的力传感器6相连接,下边通过四根连接螺杆8与双气室垂向液柱-气体相互作用系统9相连接。

[0031] 为了检测上下气室内气压的变化,在上下气室壁上设计了气压传感器固定加固装置10,并在气压传感器固定加固装置10上分别安装高灵敏度气压传感器11。

[0032] 加载器4的运动可以传递到液柱-气体相互作用系统9,这样就会引起气室内的气体变化,进而引起下气室内液柱的运动,对于该液柱的运动幅值,采用激光测振仪7,该设备具有极高的精度,可直接测量出液面的起伏变化,通过软件可以实现信号的实时采集和存储。

[0033] 某些特殊激励频率可能会引起液面晃荡的固有模态振动,若需在这种情况下测得液柱活塞模态运动,可通过采用浮于液面上的轻质材料所制激光反射板19,对液面表面波高程进行均化处理(但允许液柱活塞运动),这样就能较准确地测量出液柱活塞运动变化幅值。

[0034] 激光测振仪固定端16通过激光测振仪固定连杆17固定到门式钢架立柱2上。

[0035] 数据记录分析单元包括数据采集器和用于对数据采集器采集的数据进行分析和处理获得对液柱-气体相互作用系统的动力响应、减振效果、影响规律进行综合测量和评估的数据分析模块;数据采集器输入端分别连接力传感器6、测量仪即激光测振仪7及气压传感器11,数据采集器输出端连接数据分析模块。

[0036] 该实验中的高灵敏度的力传感器6、激光测振仪7的信号以及多个高灵敏度的气压传感器11的信号,通过电荷放大器或者恒流适配器进行信号处理与转换,连接到数据采集分析软件的数据采集器上,可以实现多个传感器数据的实时同步采集。该系统还可以通过设置较高的采样频率,从而保证对实验数据进行密集采集,保证数据的准确性。

[0037] 通过加载器4向液柱-气体相互作用系统9施加竖直方向载荷,液柱-气体相互作用系统9随连杆8及连接板15一起上下移动,在上下移动过程中,气室的气压发生振荡变化,储液槽20内的液体12向外溢出,进入收集槽21中,加载器4施加的载荷参数(即波形)是已知的,并且可控的,施加到液柱-气体相互作用系统9上的力通过力传感器6可获得,下气室内的液柱变化状况可通过激光测振仪测得。上气室、下气室内的气压可通过气压传感器11获得。

[0038] 加载器4可采用液压伺服加载系统,可以实现大振幅的位移控制加载,可满足±75mm的行程幅值,精度较高;加载系统还可以采用电磁伺服加载系统,可以实现较高频率的位移或者加速度控制,可实现的频域范围也较宽。这可为液柱-气体相互作用系统较高频率范围的实验研究提供保障。

[0039] 储液槽20采用大体积的圆柱体形状(大于液柱-气体相互作用系统9中柱形容器直径10倍),能有效减小边壁对于液柱-气体相互作用系统气室内起伏液面的影响,配合消波单元可以消除波浪反射,能够更真实的模拟液柱-气体相互作用系统9的实际应用环境,

[0040] 为了彻底的消除壁面的波浪反射,本发明设计了专门的消波单元。储液槽的边缘与液体的高度齐平,这样水面的起伏运动会使一部分液体流到收集槽中,在收集槽中安装

有微型伺服泵,这样可以保证将储液槽中流出的液体在合适时间,自动返还到储液槽中,保证储液槽中液体的总量不变。

[0041] 加载固定装置3为可移动式设计。加载器4在该装置上的位置,可以根据实验要求进行调节,从而实现改变液柱-气体相互作用系统9在储液槽20中吃水深度的目的,从而可以研究吃水深度对于液柱-气体相互作用系统性能的影响。另外本发明还可以通过调节加载器作动平衡位置来实现吃水变化,也可以将上述这两种调节方法配合使用。

[0042] 本发明装置对于水面变化的测量基于高性能非接触式的激光测振仪,该设备具有极高的精度,可直接测量出液面的起伏变化,通过数据采集软件可以实现信号的实时采集和存储。

[0043] 采用激光反射板,因而在需要的情况下对液体表面波高程进行有效的均化。例如,某些特殊激励频率可能会引起液面晃荡的固有模态振动,若需在这种情况下测得液柱活塞模态运动,可通过采用浮于液面上的轻质材料所制激光反射板,对液面表面波高程进行均化处理,这样就能较准确地测量出液柱活塞运动变化幅值。

[0044] 本发明采用气压传感器来同步测量气室内气压变化的。气室内的气体可以是空气,也可以是其他的单一气体或者多种成分的混合气体。

[0045] 本发明的实验装置可以适用于多种气室液柱-气体相互作用系统:气室可以是封闭的,也可以局部开孔通到大气,或者采用连通的多个气室;气室横截面的形状,可以是圆形、椭圆形,或正方形、矩形等形状。

[0046] 该实验装置操作简便、适用性强、易于拆装、便于根据不同研究需要灵活改装。实验装置主要是以标准工字型钢、厚钢板、有机玻璃和钢化高强塑料为原料。在造价上,该装置是远远低于传统大型实验装置(如海洋工程水池)的,试验的运行成本与其相比也相当低廉。

[0047] 实施例二

[0048] 参见图3-5,与实施例一的不同之处在于激光测振仪不再通过激光测振仪固定连杆17固定在门式钢架立柱上,而是固定在远离门式钢架一侧的能在竖直方向上调节高度的三脚架26上,这样激光测振仪的位置和高度可以通过三脚架26调节。

[0049] 和实施例一相比,本实施例的试验单元的结构可以减少测量仪器对加载器4和液柱-气体相互作用系统9之间空间的占用,可以为考察更多变气室的实验提供空间保障。

[0050] 利用光学系统原理,通过改变激光反射装置的布置角度和位置,对激光测振仪的信号光路进行改变,从而能够满足各种位置和角度物体运动的测量。

[0051] 参见图5,在加载器固定装置3上设置电磁固定支座23,通过连杆调节器27,设计出激光反射装置24的固定体系。激光反射装置24在空间上与水平面呈45度角布置,这样可以将激光测振仪射来的水平激光25转为垂向激光。通过调节连杆调节器27可以保证激光反射装置24的空间位置调节。连杆调节器27由三根连杆首尾连接形成,连杆之间可通过铰链或球铰链连接。电磁固定支座23便于激光反射装置24的位置调整,打开电源开关,电磁固定支座23底部呈现磁性,可吸附在加载器固定装置底部的钢板上,断开电源开关,电磁固定支座23底部磁性消失,脱离加载器固定装置底部的钢板。

[0052] 本发明设计了激光测振反射光路子系统,利用光学系统原理,通过设计电磁固定支座23、激光反射装置24以及连杆调节器27,通过改变激光反射装置24的布置角度和位置,

对激光测振仪的信号光路进行改变,从而能够满足各种位置和角度物体运动的测量。

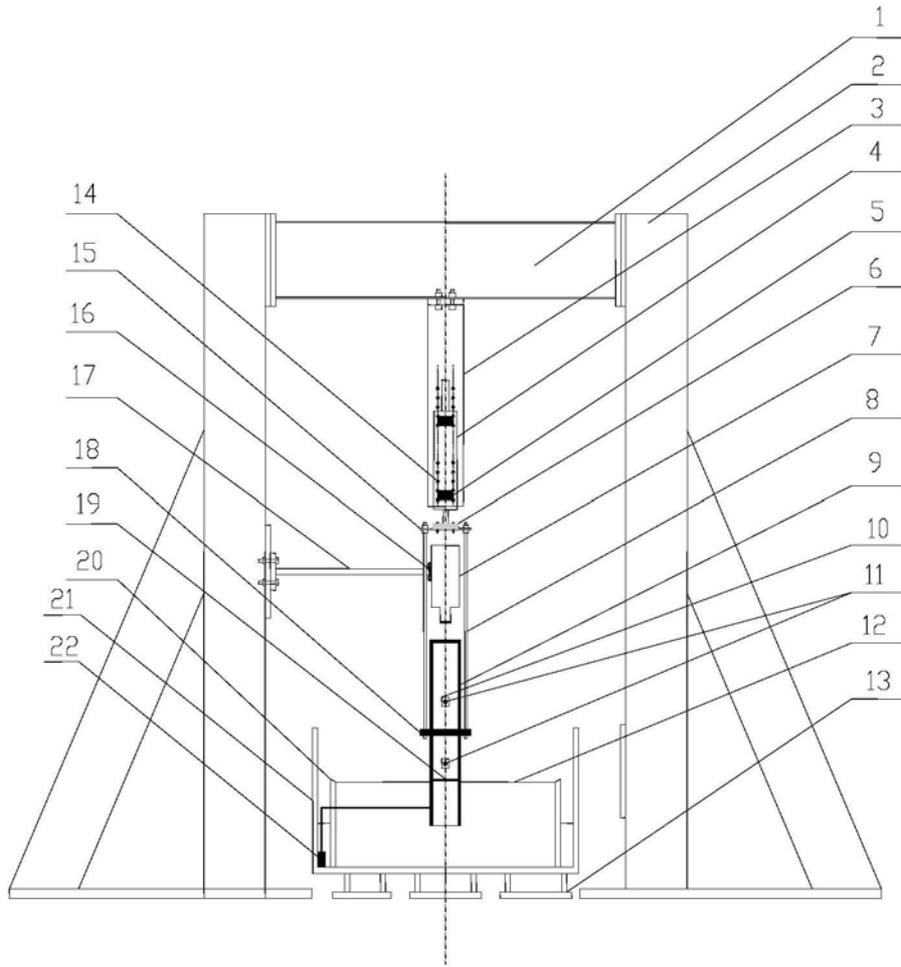


图1

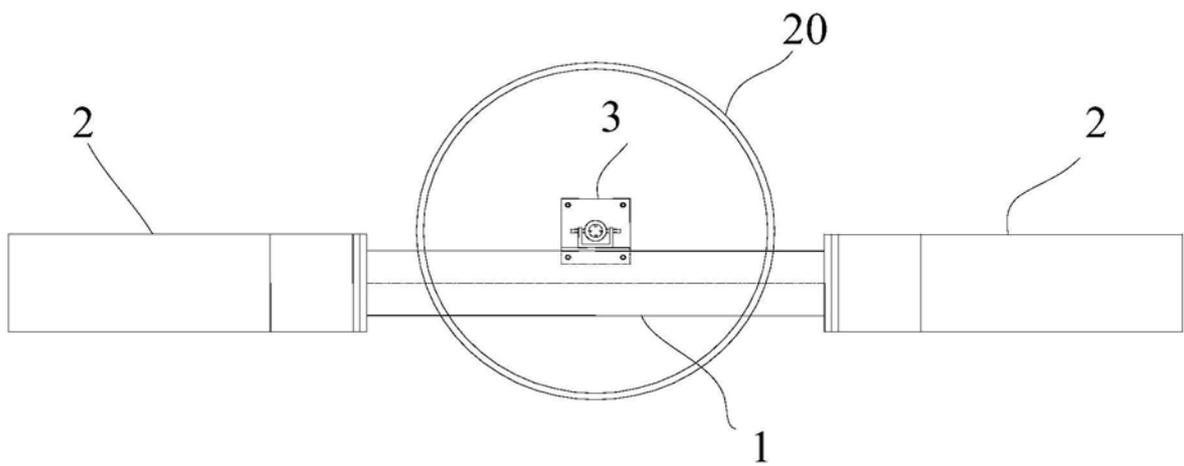


图2

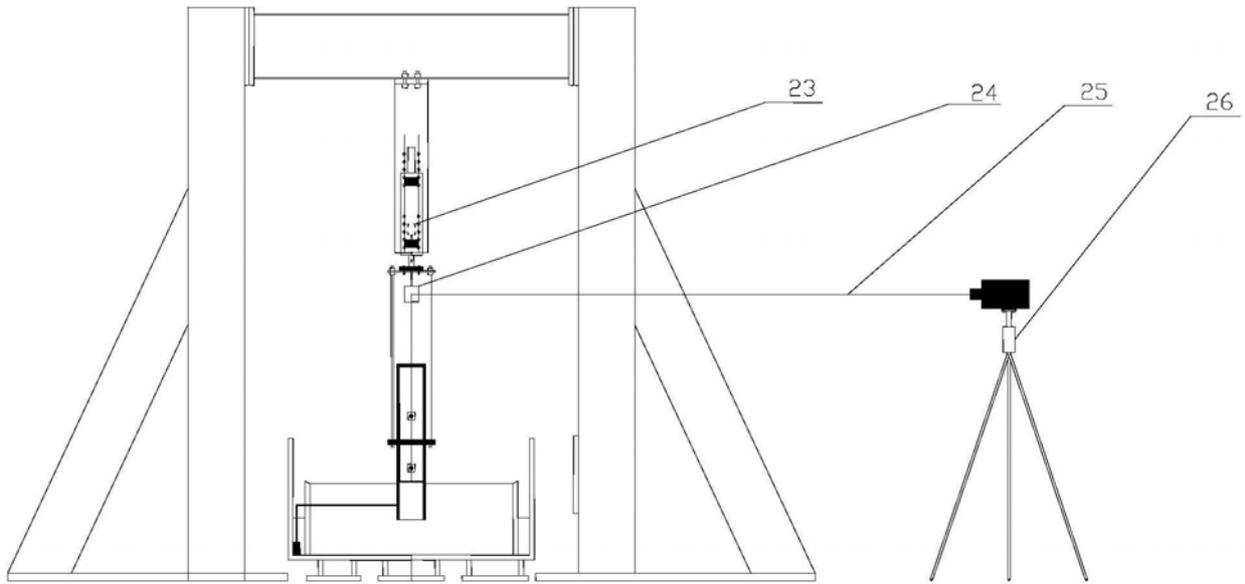


图3

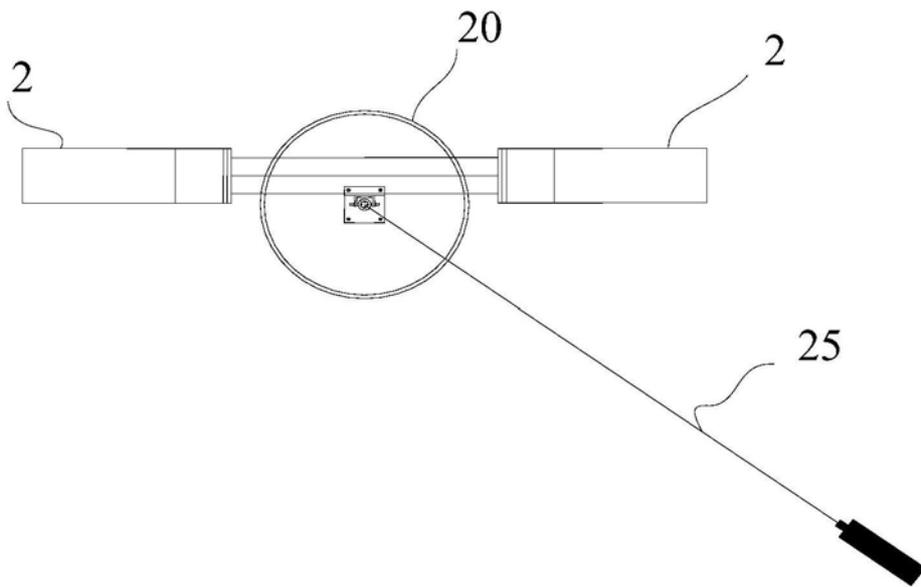


图4

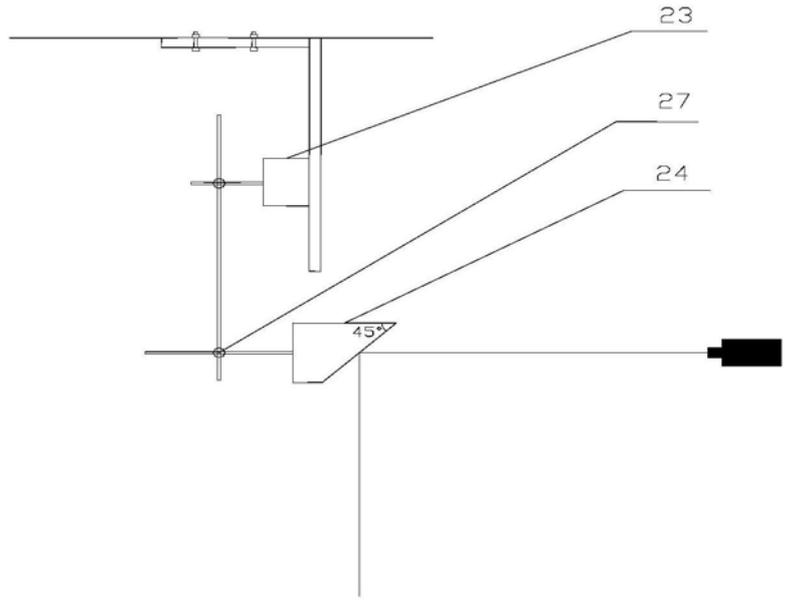


图5

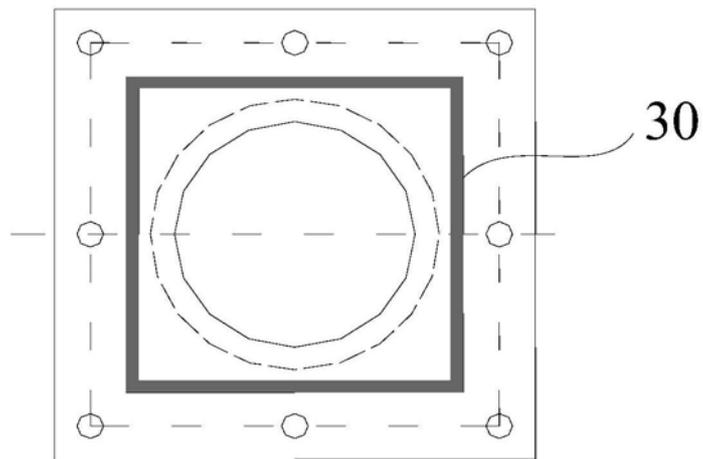


图6