



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103743535 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 23

(21) 申请号 201310688863. 8

(22) 申请日 2013. 12. 16

(71) 申请人 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 余杨 周济福 刘青泉

(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 7/06 (2006. 01)

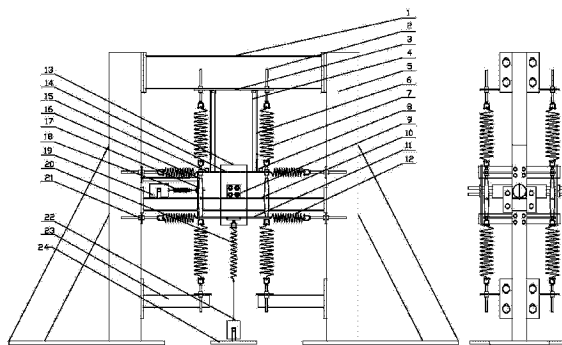
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

力和力矩控制加载的大振幅平动转动耦合振动实验装置

(57) 摘要

本发明公开了一种力和力矩控制加载的大振幅平动转动多自由度耦合振动实验装置,包括:门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减振器的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台;振动结构板,包括上部振动结构板和下部振动结构板;加载弹簧,包括水平加载弹簧和垂向加载弹簧;三向加速度传感器,设置在所述上部振动结构板上;位移传感器,设置在所述上部振动结构板和顶部横梁之间。本发明实验装置适用性强、操作简单;适用于各种海洋工程结构物、舰船潜艇、高速铁路列车、超大跨度建筑结构、军民飞机、航天器等实验模拟。



1. 一种力和力矩控制加载的大振幅平动转动多自由度耦合振动实验装置,其特征在于,包括:

门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减振器的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台,承载平台中间安装有限制纵向运动的可调装置,承载平台左侧还安装有水平加载装置;

振动结构板,包括上部振动结构板和下部振动结构板,上部振动结构板通过垂向结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述顶部横梁和承载平台之间;下部振动结构板通过垂向结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述承载平台和底部横梁之间,上部振动结构板与下部振动结构板通过四个可调节式花篮螺丝连接件连接,形成一个整体结构,在该整体结构的左侧,安装有水平加载连接件;

加载弹簧,包括水平加载弹簧和垂向加载弹簧,水平加载弹簧一端与水平加载连接件相连,另一端连接水平加载装置,垂向加载弹簧一端与所述下部振动结构板相连,另一端与安装于垂向振动加载台上的垂向加载装置连接;

三向加速度传感器,设置在所述上部振动结构板上;

位移传感器,设置在所述上部振动结构板和顶部横梁之间,同样设置在左边立柱和水平加载连接件之间。

2. 根据权利要求1所述的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,其特征在于:所述垂向结构弹簧为8根,包括4根设置在所述上部振动结构板和顶部横梁之间的上垂向结构弹簧,及另外4根设置在下部振动结构板和底部横梁之间的下垂向结构弹簧。

3. 根据权利要求2所述的顶部横梁,其特征在于:所述顶部横梁上安装有垂向结构弹簧固定结构,所述上垂向结构弹簧通过上垂向结构弹簧可调节连接端固定在垂向结构弹簧固定结构上。

4. 根据权利要求2所述的底部横梁,其特征在于:所述底部横梁上安装有以下垂向结构弹簧固定结构,所述下垂向结构弹簧通过下垂向结构弹簧可调节连接端固定在下垂向结构弹簧固定结构上。

5. 根据权利要求1所述的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,其特征在于:所述水平结构弹簧也为8根,每4根分别设置在上下两个振动结构板两侧与门式钢架支撑立柱之间。

6. 根据权利要求1所述的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,其特征在于:所述上下两个振动结构板前后两侧分别安装布置两个球形滚珠,这8个球形滚珠夹在上下振动结构板和纵向运动限制板中间,通过调节限制纵向运动的可调装置,可以设置球形滚珠的与纵向运动限制板的间隙。在上下振动结构板的左侧安装有水平加载连接件,用以布置水平加载弹簧、力传感器及连接件。

7. 根据权利要求1所述的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,其特征在于:所述垂向加载弹簧为1根或者多根,设置在所述下部振动结构板和垂向振动加载台之间。

8. 根据权利要求1所述的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,其特征在于:在所述上部振动板结构和顶部横梁之间设置有可调节阻尼装置,同样设置在左边立柱和水平加载连接件之间。

力和力矩控制加载的大振幅平动转动耦合振动实验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种力和力矩控制加载的大振幅平动转动耦合振动实验装置。

背景技术

[0002] 多数实际工程结构系统,如各种海洋工程结构物、舰船潜艇、高速铁路列车、超大跨度建筑结构、军民用飞机、航天器等,在外载荷作用下会发生振动。无论是对现有系统进行优化分析,还是开展创新概念研究和设计,均需进行振动实验模拟。某些工况条件下,这些工程系统在受到外载荷(力和力矩)作用后,会发生较大振幅的、平动和转动多个自由度相互耦合的振动。为此很需要一种能够模拟这种载荷控制加载的大振幅耦合振动通用实验装置,以便能够用较低成本开展有效的实验研究,为各行业工业设计和创新研究提供技术支持。

[0003] 这种通用实验装置将可以应用于多种大型工程结构系统的平动转动耦合动力响应实验模拟。例如:目前石油开采正向海洋发展,各种浮式海洋平台等海工结构物得到更多应用,但浮式结构物在恶劣海况下会产生较大振幅的往复平移和摇摆运动,影响正常作业甚至会威胁平台安全;水面舰船在大风浪中航行时也会发生大幅纵摇、垂荡等平动和转动的耦合运动;高速列车在运行过程中会受到非定常气动载荷和不平顺轨道的激励,引起横摆、侧滚耦合振动及动力失稳问题,影响列车安全运行,给乘客安全带来隐患;其他大型结构也会发生类似有害的耦合振动响应。为避免上述振动影响工程结构物的正常作业功能、危害人员生命安全,在开展成品设计或进行新产品研发时,一般均需开展相关振动实验。

[0004] 目前还缺少一种能够同时实现载荷(力和力矩)控制加载、可大幅运动、平动和转动耦合的通用振动实验装置。常规的实验装置或者只能进行加速度加载、或者只能允许小幅度运动、或者无法实现平动和转动的耦合,因而不能满足实际需求。大型工业结构物在确定最终设计方案之前,有时采用昂贵的专用实验装备(如海洋工程水池)来进行最终的实验校核。但诸如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。这不便于在探索性研发过程中随时通过实验来发现新现象、开展原理性实验;而且由于无法反复进行大量实验,也不便于探寻某些敏感参数的变化规律和开展优化设计。因此,迫切需要发明一种通用方便、成本低廉,能够在力和力矩等外荷载作用下实现大振幅运动的、平动和转动多自由度耦合的振动实验装置。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是提供一种力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置,该装置能够实现工程振动系统在力和力矩控制加载条件下发生大振幅平动和转动多自由度耦合振动的实验模拟和准确测量,该装置能够实现多种形式的力和力矩加载控制,既可实现规则正弦加载,也可以实现非规则的随机加载。该装置通用方便、成本低廉。

[0006] 本发明的力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置包括:

[0007] 门式钢架,该门式钢架包括两个支撑立柱、顶部横梁、底部横梁和用于固定减振器

的位于所述顶部横梁和底部横梁之间的承载平台,承载平台中间安装有限制纵向运动的可调装置,承载平台左侧还安装有水平加载装置;

[0008] 振动结构板,包括上部振动结构板和下部振动结构板,上部振动结构板通过垂向结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述顶部横梁和承载平台之间;下部振动结构板通过垂向结构弹簧可弹性垂直上下振动地设置在所述承载平台和底部横梁之间,上部振动结构板与下部振动结构板通过四个可调节式花篮螺丝连接件连接,形成一个整体结构,在该整体结构的左侧,安装有水平加载连接件;

[0009] 加载弹簧,包括水平加载弹簧和垂向加载弹簧,水平加载弹簧一端与水平加载连接件相连,另一端连接水平加载装置,垂向加载弹簧一端与所述下部振动结构板相连,另一端与安装于垂向振动加载台上的垂向加载装置连接;

[0010] 三向加速度传感器,设置在所述上部振动结构板上;

[0011] 位移传感器,设置在所述上部振动结构板和顶部横梁之间,同样设置在左边立柱和水平加载连接件之间。

[0012] 优选地,所述垂向结构弹簧为8根,包括4根设置在所述上部振动结构板和顶部横梁之间的上垂向结构弹簧,及另外4根设置在下部振动结构板和底部横梁之间的下垂向结构弹簧。

[0013] 优选地,所述顶部横梁上安装有垂向结构弹簧固定结构,所述上垂向结构弹簧通过上垂向结构弹簧可调节连接端固定在上垂向结构弹簧固定结构上。优选地,所述底部横梁上安装有以下垂向结构弹簧固定结构,所述下垂向结构弹簧通过下垂向结构弹簧可调节连接端固定在下垂向结构弹簧固定结构上。优选地,所述水平结构弹簧也为8根,每4根分别设置在上下两个振动结构板两侧与门式钢架支撑立柱之间。

[0014] 优选地,所述上下两个振动结构板前后两侧分别安装布置两个球形滚珠,这8个球形滚珠夹在上下振动结构板和纵向运动限制板中间,通过调限制纵向运动的可调装置,可以设置球形滚珠的与纵向运动限制板的间隙。在上下振动结构板的左侧安装有水平加载连接件,用以布置水平加载弹簧、力传感器及连接件。

[0015] 优选地,所述垂向加载弹簧为1根或者多根,设置在所述下部振动结构板和垂向振动加载台之间。

[0016] 优选地,在所述上部振动板结构和顶部横梁之间设置有可调节阻尼装置,同样设置在左边立柱和水平加载连接件之间。

[0017] 本发明通过专门设计的针对特殊减振装置的承载平台,可调式承力装置(包括固定弹簧结构和可调螺杆)、可调节阻尼装置、弹簧设备(包括加载弹簧和结构弹簧)、固定钢架以及专用连接件等部件。将上述各种组件通过加载弹簧与电磁加载装置进行灵活组合,就形成一种可在较宽频率范围内,在力和力矩控制加载条件下发生大振幅平动和转动多自由度耦合振动的通用实验装置。本实验装置易于拆装、可根据不同研究需要灵活可变调节,配合常用传感器,本装置可实现工程振动系统在力和力矩控制加载条件下发生大振幅平动和转动多自由度耦合振动的准确测量。

[0018] 本发明实验装置适用性强、操作简单;适用于各种海洋工程结构物、舰船潜艇、高速铁路列车、超大跨度建筑结构、军民飞机、航天器等实验模拟。

[0019] 本发明由于采取以上技术方案,还具有以下优点:

[0020] 1) 该实验装置可以进行力控制加载和力矩控制加载。关于力矩控制加载,本发明提出三种不同方法,均可实现对于结构的力和力矩加载。该装置可实现多个频率外荷载同时激励(也可以实现同频率激励),还可以根据实验要求,通过调节加载弹簧的刚度,来调节加载力的大小;通过调节加载弹簧的位置,对结构的偏心加载,实现对作用力矩的调节控制,从而更准确地来模拟真实荷载情况。

[0021] 2) 该装置可模拟结构平动、转动等多个自由度耦合响应,可以模拟任意荷载作用下,结构的动力响应,并设计了针对特殊减振装置的承载平台,用于固定减振器,研究平台结构减振效果。

[0022] 3) 该实验装置可以在较宽的载荷频率范围内开展振动实验,电磁加载装置的可调频率范围为:2—2500Hz,能够满足大部分的模拟实验要求。

[0023] 4) 该实验装置通过专门设计的可调式承力装置(包括弹簧固定结构和可调螺杆)、可调节阻尼装置、固定钢架以及专用连接件等部件,并通过弹簧与振动结构平台相连,使得振动结构平台作为被试验对象,从而可以模拟任意给定外部荷载作用下,以不同频率进行较大幅值的运动响应。

[0024] 5) 该实验装置克服了普通振动试验台缺少自身刚度的不足。利用与门式钢架连接的拉伸弹簧为振动结构提供自身刚度;弹簧通过螺杆与支架相连,弹簧悬挂点随时可调,以保证各弹簧拉力大小相等。在各弹簧都保持拉伸状态下,振动平台可以做较大振幅的往复运动。本实验装置在调节刚度上容易、简便,只需通过更换不同刚度的弹簧,即可达到改变刚度的目的。

[0025] 6) 使用该实验装置后,垂向振动试验可以在原模型与实验模型满足相似原理下进行实验。除了(5)中所述的平台刚度调节方式,振动结构平台重量可以通过增加质量块随时调节。结构的阻尼可以通过调节安装在结构上的阻尼装置来实现与实际结构的阻尼相似。

[0026] 7) 加载设备可以根据实验需要进行更换,实验装置可以模拟在任意给定外部荷载作用下,以不同频率、不同振幅做大幅度运动的工程振动系统。对于不同加载装置的高度以及位置上的差异,我们可以利用固定钢架上的滑槽和螺杆将加载装置、弹簧以及振动试验结构三者对中并调节到竖直。

[0027] 8) 该实验装置适用性强、易于拆装、便于根据不同研究需要灵活改装,可实现多种布置。装置上带有位移传感器、力传感器以及三向加速度传感器,对于结构运动系统中某些性能进行优化、评估时,本套装置相比于传统模拟装置更易于操作。

[0028] 9) 实验装置主要是以标准工字型钢和厚钢板为原料。在试验装置造价上,本振动试验台及其实验装置是远远低于大型专用实验装备(如海洋工程水池)的,试验的运行成本与其相比也相当低廉。

附图说明

[0029] 图 1 是力和力矩控制加载的多自由度耦合振动实验装置的装配图;

[0030] 图 2 是三种不同形式实现力矩加载原理的示意图;

[0031] 图中标号说明:

[0032] 1 门式钢架顶部横梁;2 结构弹簧可调连接端;3 垂向结构弹簧固定结构;4 位移传感器;5 门式钢架支撑立柱;6 可调节阻尼器;7 垂向结构弹簧;8 三向加速度传感器;9 限制

纵向运动的可调装置 ;10 承载平台 ;11 下部振动结构板 ;12 水平结构弹簧 ;13 纵向运动限制板 ;14 球形滚珠,固定弹簧底部结构 ;15 上部振动结构板 ;16 可调节的花篮螺丝连接件 ;17 水平加载连接件 ;18 水平加载弹簧、力传感器及连接件 ;19 水平加载装置 ;20 垂向加载弹簧、力传感器及连接件 ;21 水平结构弹簧固定结构 ;22 垂向加载装置 ;23 底部横梁 ;24 垂向振动加载台。

具体实施方式

[0033] 实验装置若要能较好的满足多种实验要求,需要满足以下六点:一、可实现多个频率外荷载同时激励,结构平动、转动等多个自由度耦合响应;二、可以实现任意给定荷载的力和力矩控制加载方案,能在较宽频域内开展振动实验;三、该装置可使实验对象在承受任意给定外荷载作用下进行较大振幅的往复运动(平动、转动等多个自由度耦合);四、该装置的刚度大小可以调节、实验对象的初始位置可以调节;五、振动系统的阻尼可以在较大范围内调节;六、振动系统的质量可以按需要调节。以上这几点均可通过此实验装置完成。

[0034] 下面结合附图和实施例对本发明的进行详细的描述。

[0035] 如图 1 所示,本发明包括:

[0036] 一个固定门式钢架主体结构由两个竖向的支撑立柱 5 以及三段横梁螺钉连接而成,材料采用标准工字型钢(25b)和钢板。在门式钢架顶部横梁 1 上安装垂向结构弹簧固定结构 3,并在其上预留用于固定安装结构弹簧可调连接端 2 的安装孔,在门式钢架的底部安装了两个悬臂梁 23,并在其上与其垂直方向安装结构钢板,在钢板上也预留了用于固定安装结构弹簧可调连接端 2 的安装孔。在门式钢架立柱 5 上安装水平结构弹簧固定结构 21,并在其上预留用于固定安装水平结构弹簧可调连接端的安装孔。这些弹簧可调连接端便于实验时对于垂向结构弹簧 7 和水平结构弹簧 12 的调节,使弹簧两两之间的间距满足规定伸长量,以此来保证弹簧刚度值为指定大小。

[0037] 在门式钢架的中部安装针对特殊减振装置的承载平台 10,用于固定减振器,研究平台结构振动减振效果。在承载平台 10 中间安装有限制纵向运动的可调装置 9 和水平加载装置 19。

[0038] 通过可调节式花篮螺丝连接件 16 将上部振动结构板 15 与下部振动结构板 11 连接起来,形成一个整体结构。在两个振动结构板前后两侧分别安装布置两个球形滚珠 14,球形滚珠 14 被夹在振动结构板 11、15 和纵向运动限制板 13 中间,通过调节限制纵向运动的可调装置,可以设置球形滚珠 14 的与纵向运动限制板 13 的间隙。在上下振动结构板 15、11 的左侧安装有水平加载连接件 17,用以布置水平加载弹簧、力传感器及连接件 18。

[0039] 上部振动结构板 15 上安装有位移传感器 4、可调节阻尼器 6、三向加速度传感器 8,下部振动结构板 11 上安装有垂向加载弹簧、力传感器及连接件 20,在振动结构板 11、15 上还预留了许多螺孔,用于安装固定其他实验装置。

[0040] 垂向加载装置 22 通过连接垂向加载弹簧、力传感器及连接件 20,可以实现对结构进行垂向力加载。通过调节加载点,可以实现对结构进行力矩加载。水平加载装置 19 通过连接水平加载弹簧、力传感器及连接件 18,可以实现对结构进行水平力加载。通过调节加载点,也可以实现对结构进行力矩加载。

[0041] 下面结合附图说明该水平振动试验台附加装置实施过程:

[0042] 对该装置进行生产时,首选强度较高的工字钢与钢板并保证焊接后各面平整度较高,整套实验装置所有配件的加工精度都要达到 0.5mm 以上,附加装置上所打螺孔位置要保证 0.1mm 的高精度。

[0043] 安装实验装置之前将垂向结构固定结构 3 与顶部横梁 1 连接好,并使用红外水平仪,与底部的结构实现垂直对中。然后先安装上部的四根垂向结构弹簧,调节螺杆使其处于相同的垂向位置。然后悬挂已经固定了上部振动结构板 15 和下部振动结构板 11 的花篮螺丝连接件 16,要保证固定的牢靠性,以及位置的同一性。调节花篮螺丝中间套筒,使两端的螺杆释放出来,便于给弹簧施加预张力。下一步安装下部四根结构弹簧,并通过调节中间套筒,使四组结构弹簧都处于相同的拉伸状态。最后安装力加载弹簧和所有的传感器。

[0044] 在支撑立柱 5 上安装水平结构弹簧固定结构 21 和结构弹簧可调连接端 2,并用红外水平仪,调节他们的高度,保证八个水平结构弹簧可调连接端 2 与振动结构板 11、15 上的八个连接端分别保持水平。然后分别对称悬挂八根水平结构弹簧,通过调节可调连接端 2 的螺杆,使八根弹簧处于相同的拉伸状态。

[0045] 将八个球形滚珠 14 对称固定在振动结构板 11、15 的两侧,保证纵向运动限制板 13 表面平整,在运动的过程中球形滚珠 14 可以在其上自由转动。根据结构的阻尼需要,可以通过调节限制纵向运动的可调装置,来控制球形滚珠 14 和纵向运动限制板 13 之间的间隙,以此达到控制结构阻尼的效果。

[0046] 实验装置工作时最好将六个传感器都与信号接收器相连,通过对力信号、位移信号以及加速度信号的综合分析可得到较理想的实验结果。平台结构阻尼不符合要求时,还可以通过调节阻尼器来准确的模拟实际结构。

[0047] 如图 2 所示,本发明包括:

[0048] 本发明提出三种力和力矩加载方法(均可以实现规则波加载和随机波加载):

[0049] a) 使用一根加载弹簧,通过连接加载装置,可实现力加载控制;通过调节作用点的位置,通过偏心加载,实现对结构的力矩加载控制。

[0050] b) 使用两根不同刚度加载弹簧,弹簧的两端分别固定在下部振动结构板和垂向加载平板上,垂向加载平板下部连接加载装置;通过调节两根弹簧的刚度和、加载器的加载波形可以提供力加载控制,调节两根弹簧的刚度差、以及加载器的加载波形可以提供力矩加载控制。与 c) 不同之处在于,b) 采用一个加载装置,更便于调节、精度更高。例如,对于规则波情况,本方法在进行单一频率加载时精度比 c) 高,使用也更方便。

[0051] c) 使用两根不同刚度加载弹簧,弹簧的两端分别固定在下部振动结构板和两个独立的加载装置上;通过调节两根弹簧的刚度和、以及加载器的加载波形可以提供力加载控制,调节两根弹簧的刚度差、以及加载器的加载波形可以提供力矩加载控制。与 b) 不同之处在于,c) 有两个独立的加载装置,适用性更好。例如,对于规则波情况,本方法可以提供一种双频率异相位加载方式。

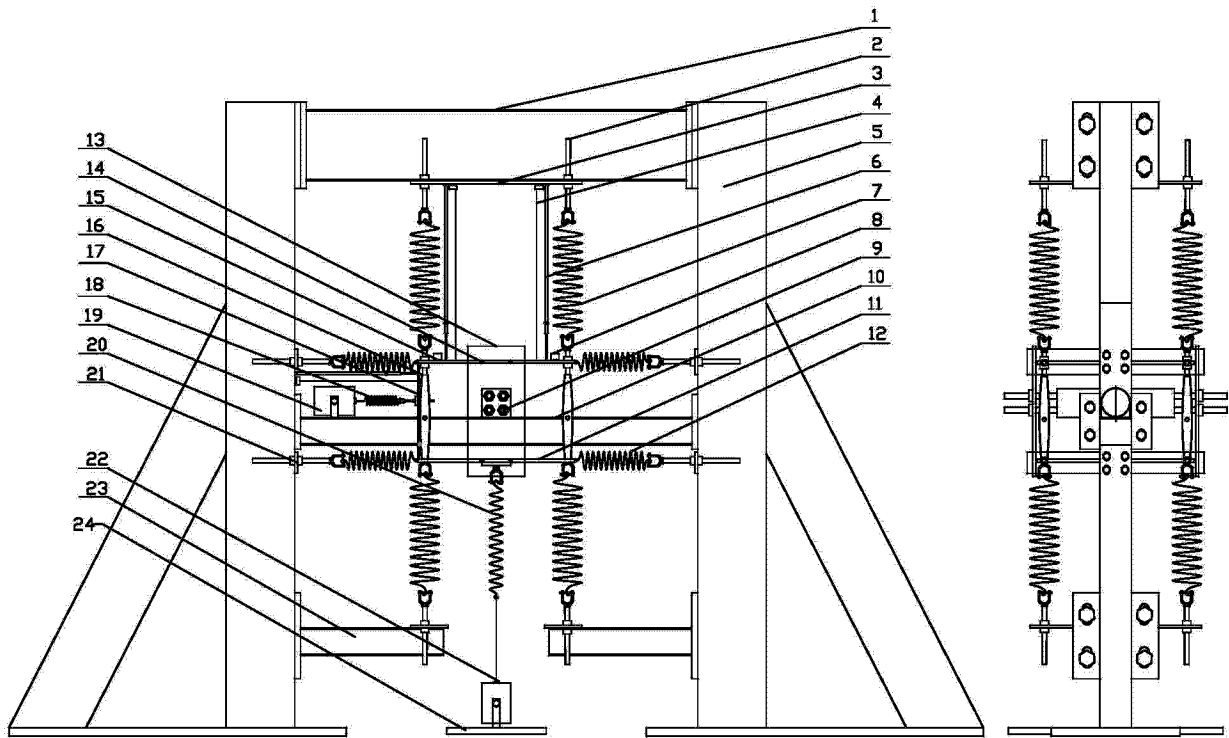


图 1

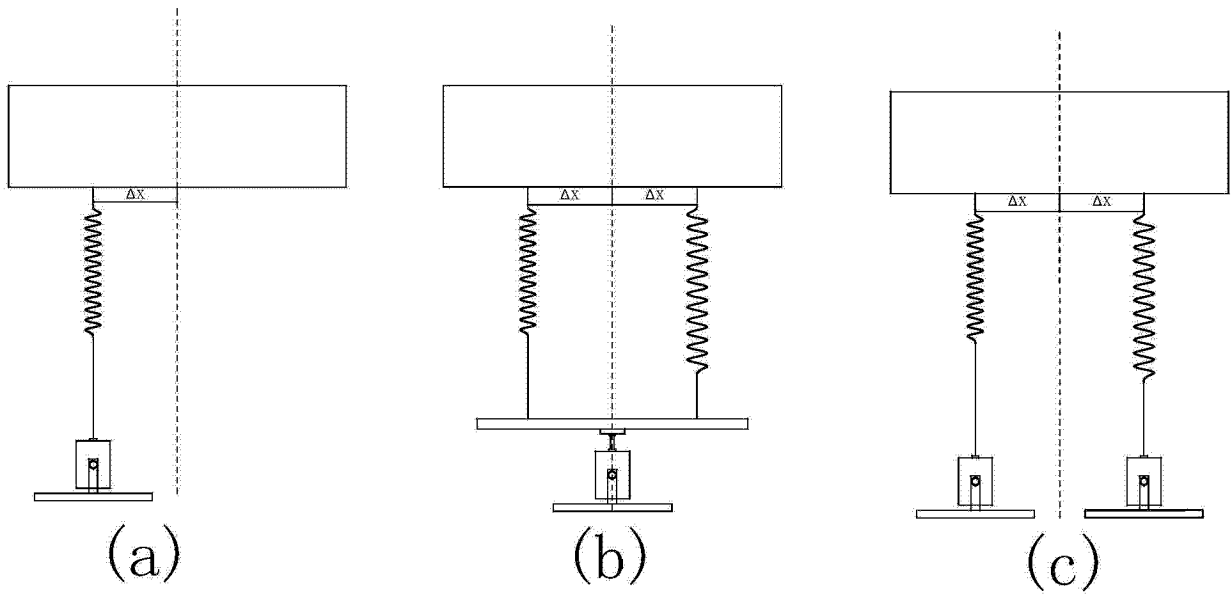


图 2