



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109883735 B

(45)授权公告日 2020.06.05

(21)申请号 201910179160.X

(22)申请日 2019.03.11

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109883735 A

(43)申请公布日 2019.06.14

(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 吴晗 曾晓辉 史禾慕

(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 17/08(2006.01)
G01M 7/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 106441953 A,2017.02.22,说明书第
[0020]-[0032]段,图1-3.

CN 101995322 A,2011.03.30,参见该对比
文件的说明书第[0019]-[0027]段,图1-2.

CN 204389188 U,2015.06.10,全文.

CN 105539052 A,2016.05.04,全文.

审查员 徐欣歌

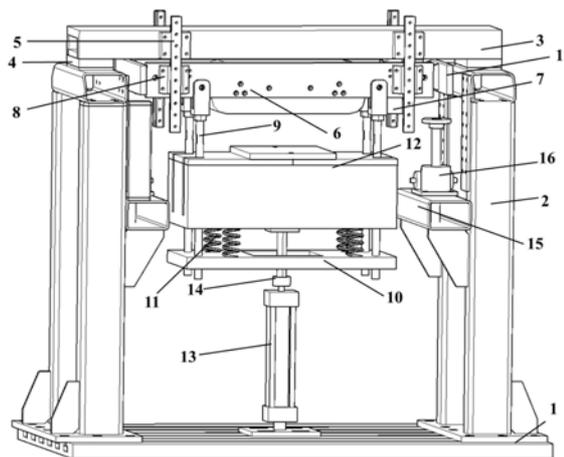
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的
试验装置

(57)摘要

本发明公开了一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,包括安装基座和支撑立柱,支撑立柱的上端通过橡胶弹簧连接有轨道,轨道两端的前后两侧面上均设有直线轨道,并且直线滑轨上还通过滑动块体设有可做竖直上下运动的电磁铁,电磁铁一端安装有悬浮传感器,电磁铁的四角通过吊杆固定连接有负载承托,负载承托的上表面通过若干负载支撑弹簧连接有负载砝码,安装基座上设有油压作动器,其作动端与负载砝码的连接处设有压力传感器,油压作动器根据压力传感器的信号调整激励载荷,从而模拟气动力对磁浮车辆的作用。本方案排除了其他干扰因素的干扰,克服了当前线路测试无法区分气动载荷和其他载荷的难题,简化了结构复杂程度,降低试验成本。



1. 一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:包括安装基座(1),以及设置在安装基座(1)四个角上的支撑立柱(2),所述支撑立柱(2)的上端设有轨道(3),并且所述轨道(3)两端与支撑立柱(2)上端之间分别设有橡胶弹簧(4),所述轨道(3)两侧面分别安装有直线滑轨(5),所述轨道(3)的正下方设有与轨道(3)平行的电磁铁(6),所述电磁铁一端设有悬浮传感器(7),并且所述电磁铁(6)两侧面设有卡套在直线滑轨(5)上的滑动块体(8),所述电磁铁(6)下方四角通过吊杆(9)固定连接有负载承托(10),所述负载承托(10)的上表面通过若干负载支撑弹簧(11)连接有负载砝码(12);

所述安装基座(1)上设有用于模拟气动载荷的油压作动器(13),所述负载承托(10)的中心位置设有开孔,所述油压作动器(13)的作用杆穿过负载承托(10)的开孔并施加载荷于负载砝码(12)上,所述油压作动器(13)上还设有用于实时测量车体载荷的压力传感器(14);

所述油压作动器(13)对负载砝码(12)的激励用以模拟磁悬浮车体受到的气动力,压力传感器(14)实时测量作用于所述负载砝码(12)的载荷,并传输给油压作动器(13)的控制器实现反馈控制,调整油压作动器(13)激励,实现期望的载荷。

2. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述电磁铁(6)的一端安装有用于实时测量电磁铁(6)与轨道(3)之间的间隙以及电磁铁(6)加速度的悬浮传感器(7)。

3. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述直线滑轨(5)垂直于轨道(3)竖向分布,所述电磁铁(6)通过滑动块体(8)与直线滑轨(5)的限位作用实现竖直上下运动。

4. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:两个同侧所述支撑立柱(2)的内表面之间均设有将支撑立柱(2)连接的挡块(15),所述挡块(15)上均安装有机械涡轮蜗杆顶升机构(16),所述电磁铁(6)的两端设有不导磁的支撑块体(17)。

5. 根据权利要求4所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述电磁铁(6)通过支撑块体(17)坐落在机械涡轮蜗杆顶升机构(16)的作用端上方,所述机械涡轮蜗杆顶升机构(16)通过推动支撑块体(17)竖向直线移位来调节电磁铁(6)与轨道(3)的初始间隙。

6. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述负载支撑弹簧(11)关于负载承托(10)的中心轴线对称分布,所述负载支撑弹簧(11)的刚度和数量,以及所述负载砝码(12)的个数根据模拟不同的二系悬挂刚度和车体质量来更改。

7. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述橡胶弹簧(4)的刚度通过增加或减少数量,以及更换不同材料属性的橡胶来调节。

8. 根据权利要求1所述的一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,其特征在于:所述轨道(3)的单位长度质量通过更换不同厚度轨道来调节。

一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及磁悬浮车辆振动试验领域,具体为一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置。

背景技术

[0002] 磁悬浮列车近几年来在国内外受到足够重视,其非接触特性使其相对于轮轨列车具有很多优势,但仍有一些问题未开展研究。随着车速的提高,气动载荷作用下的磁浮列车的悬浮稳定性及振动响应就是当前磁浮系统中亟需研究的问题。EMS型高速磁浮车辆是依靠受控垂向电磁力实现稳定悬浮的,相比于侧向力,垂向气动力(即气动升力)对动力稳定性的影响将是最直接的。气动升力定常分量会引起平衡位置变化减弱控制效果,甚至会导致悬浮失稳;除定常分量外,空气动力存在明显的非定常特性,非定常气动力在某种程度上可以视为周期扰动,可能引起磁浮车的共振、超谐共振、亚谐共振,甚至会出现拟周期和混沌现象,造成磁浮系统失稳。以上现象是磁悬浮系统设计中所必须避免的,一旦出现将降低乘坐舒适性,甚至危及列车安全。

[0003] 当前研究对考虑气动升力之后的磁浮车辆动力稳定性和车轨耦合振动问题研究不足。具体来说,对气动升力对磁浮车辆系统动力稳定性的作用机理和影响规律研究不足,缺乏气动升力扰动频率、幅值特征与车辆振动特征之间的关系研究,对考虑气动升力之后的磁浮车辆可能出现主谐共振、超谐和亚谐共振、组合共振、分岔、拟周期振动甚至混沌现象均未开展研究。

[0004] 目前国内外有一些磁悬浮试验装置和测试线路,很难满足气动作用下的磁浮车辆动力学稳定性与响应研究,主要有两点:在线路上测试,车辆运行时,无法有效地区别气动载荷和其他载荷(如轨道激励等),也就无法开展气动作用下磁浮振动试验研究。因此,当前技术条件下,采用风洞实验或计算流体力学的方法得到磁浮车的气动力特性,进而利用加载设备对磁悬浮实验装置进行加载,以此模拟气动载荷作用是一个有效的方法。而目前的磁浮实验装置结构是固定的,不能轻易改动结构参数,很难通过修改结构设计来安装加载设备施加载荷来模拟气动作用。故而,以上提到的气动升力作用下的磁浮车辆失稳机理无法开展实验研究与验证。

[0005] 因此如何能够有效模拟气动升力作用下的磁悬浮系统的特性,对考虑气动升力的磁浮车辆的失稳机理进行实验,进而提出相关的控制策略提高系统的稳定性,从而提高磁悬浮列车运行的安全性和舒适性成为本领域技术人员亟待解决的问题。

发明内容

[0006] 为了克服现有技术方案的不足,本发明提供了一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置,排除了其它激励因素的干扰,克服了当前线路测试无法区分气动载荷和其他载荷的难题,简化了结构复杂程度,降低试验成本,能有效的解决背景技术提出的问题。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

[0008] 一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置，包括安装基座，以及设置在安装基座四个角上的支撑立柱，所述支撑立柱的上端设有轨道，并且所述轨道两端与支撑立柱上端之间分别设有橡胶弹簧，所述轨道两侧面分别安装有直线滑轨，所述轨道的正下方设有与轨道平行的电磁铁，所述电磁铁一端设有悬浮传感器，并且所述电磁铁两侧面设有卡套在直线滑轨上的滑动块体，所述电磁铁下方四角通过吊杆固定连接有负载承托，所述负载承托的上表面通过若干负载支撑弹簧连接有负载砝码；

[0009] 所述安装基座上设有用于模拟气动载荷的油压作动器，所述负载承托的中心位置设有开孔，所述油压作动器的作用杆穿过负载承托的开孔并施加载荷于负载砝码上，所述油压作动器上还设有用于实时测量车体载荷的压力传感器。

[0010] 进一步地，所述电磁铁的一端安装有用于实时测量电磁铁与轨道之间的间隙以及电磁铁加速度的悬浮传感器。

[0011] 进一步地，所述直线滑轨垂直于轨道竖向分布，所述电磁铁通过滑动块体与直线滑轨的限位作用实现竖直上下运动。

[0012] 进一步地，两个同侧所述支撑立柱的内表面之间均设有将支撑立柱连接的挡块，所述挡块上均安装有机械涡轮蜗杆顶升机构，所述电磁铁的两端设有不导磁的支撑块体。

[0013] 进一步地，所述支撑块体坐落在所述机械涡轮蜗杆顶升机构的作用端，所述机械涡轮蜗杆顶升机构通过推动支撑块体竖向直线移位来调节电磁铁与轨道的初始间隙。

[0014] 进一步地，所述负载支撑弹簧关于负载承托的中心轴线对称分布，所述负载支撑弹簧的刚度和数量，以及所述负载砝码的个数根据模拟不同的二系悬挂刚度和车体质量来更改。

[0015] 进一步地，所述橡胶弹簧的刚度通过增加或减少数量，以及更换不同材料属性的橡胶来调节。

[0016] 进一步地，所述轨道的单位长度质量通过更换不同厚度轨道来调节。

[0017] 进一步地，所述油压作动器对负载砝码的激励用以模拟磁悬车体受到的气动力，压力传感器实时测量作用于负载砝码的载荷，并传输给油压作动器的控制器实现反馈控制，调整油压作动器的激励，实现期望的载荷。

[0018] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0019] (1) 本发明实现了实验室内模拟气动力对磁浮车辆的作用，排除了轨道不平顺等其他激励因素的干扰，克服了当前线路测试无法区分气动载荷和其他载荷的难题；另外，通过专门的结构设计使得作动器非常方便地对悬浮体进行加载，也克服了同类磁浮实验装置结构固定，很难通过修改结构来安装加载设备施加载荷来模拟气动作用的难题；

[0020] (2) 本发明是基于磁悬浮列车的一个悬浮单元开展的结构设计，足以反映磁浮车辆在气动激励下的悬浮振动特性，在满足实验要求的前提下最大程度地简化了结构复杂程度，无需线路测试和风动实验即可开展气动条件下的磁浮稳定性研究，降低了实验成本，提高了实验效率。

附图说明

[0021] 图1为本发明的整体结构示意图；

[0022] 图2为本发明的侧视结构示意图。

[0023] 图中标号：

[0024] 1-安装基座；2-支撑立柱；3-轨道；4-橡胶弹簧；5-直线滑轨；6-电磁铁；7-悬浮传感器；8-滑动块体；9-吊杆；10-负载承托；11-负载支撑弹簧；12-负载砝码；13-油压作动器；14-压力传感器；15-挡块；16-机械涡轮蜗杆顶升机构；17-支撑块体。

具体实施方式

[0025] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明的技术方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0026] 如图1至图2所示，本发明提供了一种可模拟气动力条件下磁悬浮车辆振动的试验装置，包括安装基座1，以及设置在安装基座1四个角上的支撑立柱2，位于左右同侧的所述支撑立柱2上端分别通过橡胶弹簧4安装有轨道3，所述轨道3的下方设有电磁铁6。

[0027] 所述电磁铁6下方通过四根吊杆9连接负载承托10，负载承托10上表面通过支撑弹簧11还设有负载砝码12，支撑弹簧11用于模拟磁浮车辆的二系悬挂刚度，负载砝码12用于模拟磁浮车厢重量，负载砝码12、支撑弹簧11、负载承托10、吊杆9、电磁铁6和轨道3共同组成磁悬浮车辆的悬浮单元，模拟磁浮车辆的悬浮特性。

[0028] 所述安装基座1上设有用于模拟气动载荷的油压作动器13，所述负载承托10的中心位置设有开孔，所述油压作动器13的作用杆穿过负载承托10的开孔槽，并施加载荷于负载砝码12上，所述油压作动器13对负载砝码12的作用力用以模拟磁悬车体受到的垂向气动力。

[0029] 所述油压作动器13在工作时，带动负载砝码12上下振动，负载砝码12的振动通过负载支撑弹簧11、吊杆9传递给电磁铁6，从而引起电磁铁6与轨道3之间的悬浮间隙发生波动，此过程模拟了气动载荷对磁悬浮车辆耦合系统的影响。本装置基于这一过程来模拟和研究垂向气动力对磁悬浮车辆悬浮稳定性的影响。

[0030] 油压作动器13具体为电液伺服作动器，是一液压执行机构，能把来自液压源的液压能转换为机械能，优选地，所述油压作动器13上还设有用于实时测量载荷的压力传感器14，所述油压作动器13根据压力传感器14的信号调整工作激励至期望载荷，所述期望载荷为预先通过数值仿真或实验测试得到的车体所受气动载荷。油压作动器13可以根据气动力特性施加激励，模拟磁浮车体即负载承托10受到的定常和非定常气动载荷。

[0031] 优选的是，所述电磁铁6的一端安装有用于实时测量电磁铁6与轨道3之间的间隙以及电磁铁6竖向振动加速度的悬浮传感器7，在气动力作用下，电磁铁6与轨道3的悬浮间隙发生改变，悬浮传感器7将测量信号传输给悬浮控制系统，悬浮控制系统根据设定好的控制策略对信号进行运算处理，并输出控制信号，调整电磁铁6的电流，进而改变电磁力使悬浮间隙保持稳定。

[0032] 优选地，所述橡胶弹簧4的弹性可以更调整，轨道3的质量可以调整。

[0033] 优选地，所述负载支撑弹簧11的刚度系数和数量可以更改，所述负载砝码12的个

数可以更改,用以模拟不同的二系悬挂刚度和车体质量。

[0034] 本发明针对于垂向气动力条件下的磁悬浮车辆竖向振动试验研究,为避免其他外力导致电磁铁6相对于轨道3发生水平方向的运动,所述轨道3的两侧设有四个竖向分布的直线滑轨5,所述电磁铁6两侧设有四个滑动块体8,滑动块体8卡套在直线滑轨5上,并沿着直线滑轨5竖直上下运动,实现限位卡定,对电磁铁6位置施加约束,以此保证电磁铁6沿直线滑轨5竖向运动,防止在其他方向产生运动,进一步提高模拟磁浮车体受到垂向气动力作用时的准确性。

[0035] 两个同侧所述支撑立柱2的内表面之间均设有将支撑立柱2连接的挡块15,所述挡块15上均安装有机械涡轮蜗杆顶升机构16,所述电磁铁6的两端设有不导磁的支撑块体17,所述电磁铁6通过支撑块体17坐落在机械涡轮蜗杆顶升机构16的作用端上方,所述机械涡轮蜗杆顶升机构16通过推动支撑块体17竖向直线移位来调节电磁铁6与轨道3的初始间隙。

[0036] 需要说明的是,机械涡轮蜗杆顶升机构16的作用端与支撑块体17之间不是固定连接的,机械涡轮蜗杆顶升机构16仅仅是起到支撑作用,当电磁铁6吸引上方的轨道向上运动时,与电磁铁6连接的支撑块体17将会离开机械涡轮蜗杆顶升机构16。

[0037] 电磁铁6不通电时,电磁铁6落在机械涡轮蜗杆顶升机构16上,电磁铁6、吊杆9、负载承托10和负载砝码12的重量通过涡轮蜗杆顶升机构16传递到支撑立柱2上。

[0038] 根据上述实验装置的结构说明和工作过程的细述,本实施方式的技术手段实现了实验室内模拟气动力对磁浮车辆的作用,排除了其他激扰因素的干扰,克服了当前线路测试无法区分气动载荷和其他载荷(如轨道激扰)的难题。

[0039] 另外,通过专门的结构设计使得油压作动器13非常方便地对悬浮体进行加载,也克服了同类磁浮实验装置结构固定,很难通过修改结构来安装加载设备施加载荷来模拟气动作用的难题。

[0040] 此外,本发明是基于磁悬浮列车的一个悬浮单元开展的结构设计,足以反映磁浮车辆在气动激扰下的悬浮振动特性。在满足实验要求的前提下最大程度地简化了结构复杂程度,无需线路测试和风动实验即可开展气动条件下的磁浮稳定性研究,降低了实验成本,提高了实验效率。

[0041] 对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

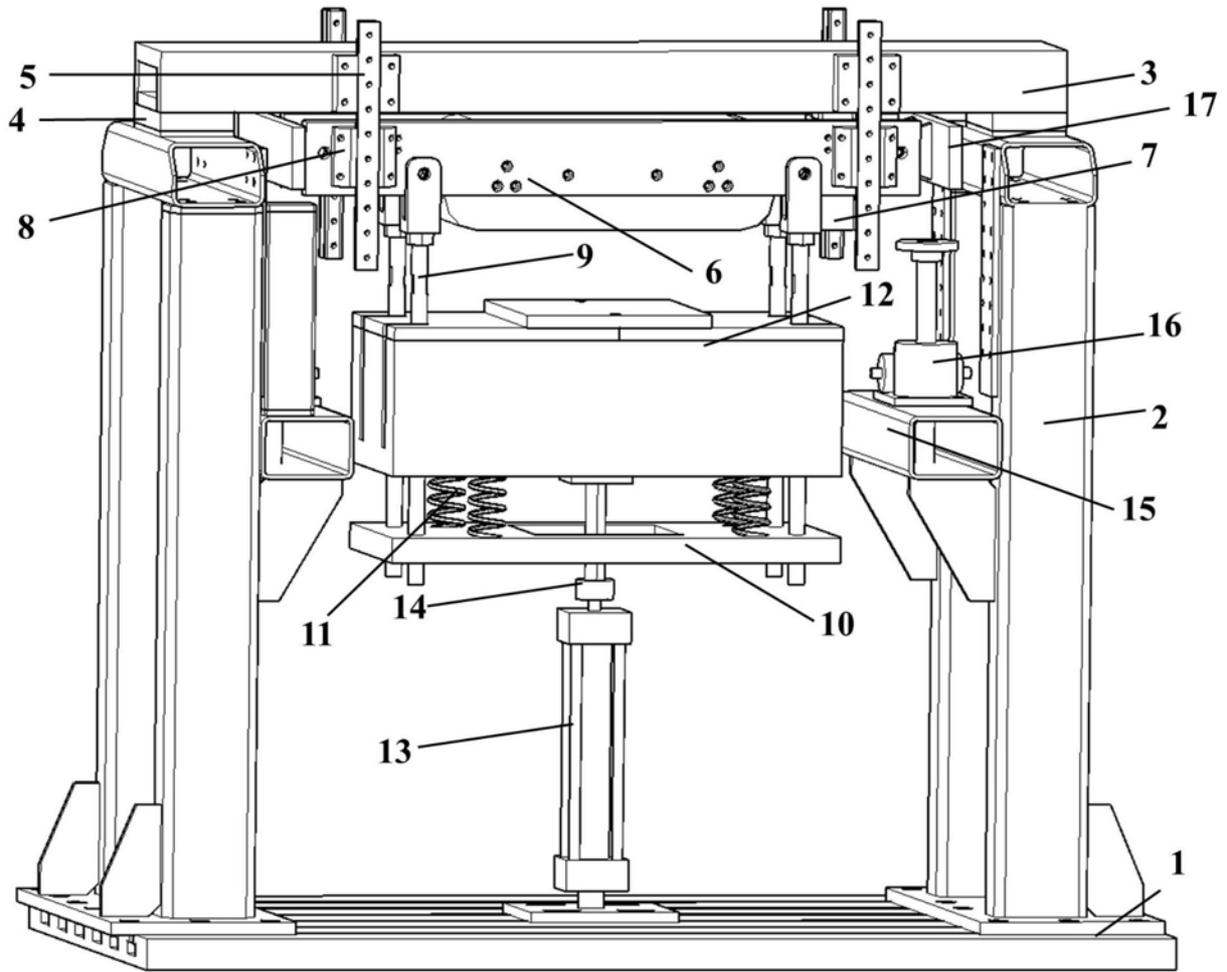


图1

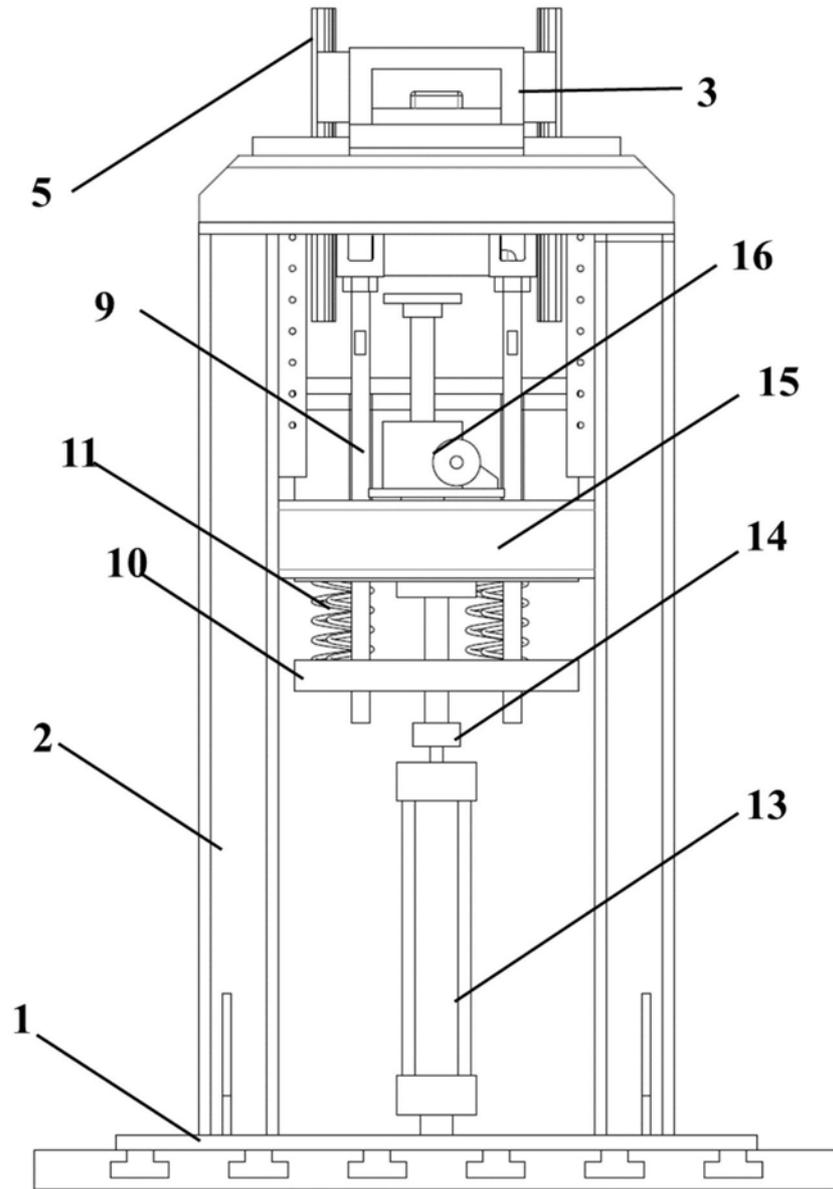


图2