



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117048862 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 14

(21) 申请号 202311316224.9

(22) 申请日 2023.10.12

(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 王育人 王俊表 范志杰

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

专利代理师 金怡

(51) Int. Cl.

B64G 7/00 (2006.01)

B66C 5/00 (2006.01)

B66C 13/22 (2006.01)

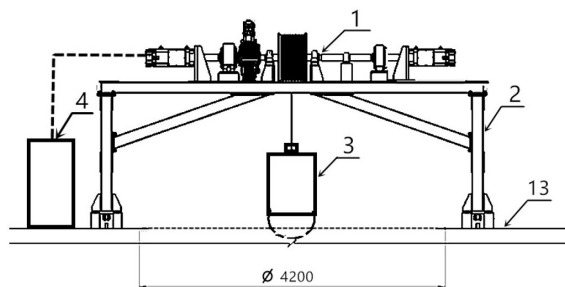
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

一种低重力落塔实验平台及方法

(57) 摘要

本发明公开一种低重力落塔实验平台及方法,属于航天领域,用于模拟月球、火星等近地星球表面的低重力(分数重力)环境,主要包括轴系系统、可移动龙门架、实验落舱、现场控制台等。平台利用微重力落塔的实验通道,让实验落舱在自身重力的作用下反向施加恒阻尼制动下落。同时设计制造一种可变加速度控制调节装置,对实验落舱下落的加速度进行实时调节和反馈控制,在实验落舱内达到低重力实验条件。本发明能够为相关领域的科学家及科研人员提供相应的低重力实验环境。



1. 一种低重力落塔实验平台,其特征在于,包括轴系系统、可移动龙门架、实验落舱和现场控制台;所述轴系系统安装在可移动龙门架的横梁上,所述实验落舱通过吊索悬吊在轴系系统的辊筒上,所述可移动龙门架安装在落塔69米层的楼板平台处;所述现场控制台安装在落塔69米层的楼板平台处,并通过控制线缆与轴系系统的设备连接;所述实验落舱以自身重力驱动所述轴系系统的主轴转动,所述轴系系统的恒阻尼制动器为主轴提供所需的恒定阻尼扭矩,实现主轴和辊筒以恒定的角加速度转动,实验落舱以恒定的低重力加速度下落,达到实验落舱内的低重力实验条件;

所述轴系系统包括主轴和与主轴连接在一起的升降电机、电磁离合器、恒阻尼制动器、辊筒、电液制动器、测速器、伺服电机;所述辊筒缠绕吊索通过导索轮悬吊所述实验落舱;所述升降电机与所述电磁离合器相连,所述升降电机通过所述电磁离合器驱动所述主轴和辊筒升降所述实验落舱;所述恒阻尼制动器输出主轴所需的恒定阻尼扭矩,为所述实验落舱在下落时提供恒定阻力;所述电液制动器用于制动主轴不发生转动;所述测速器检测主轴的转速;所述伺服电机设定并反馈控制调整所述主轴转动的角加速度值。

2. 根据权利要求1所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,当实验落舱稳定悬停后,电液制动器松开,断开电磁离合器,升降电机与主轴分离,实验落舱在重力作用下下落,恒阻尼制动器为主轴提供恒定阻尼扭矩,伺服电机输出所需扭矩,实验落舱以设定的低重力加速度下落,伺服电机通过测速器实时检测速度反馈信号,再微调控制主轴的转速以达到所需的低重力条件。

3. 根据权利要求2所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,实验落舱落入回收网时,伺服电机输出制动扭矩,同时恒阻尼制动器输出刹车扭矩共同制动主轴,由回收网承受大部分冲击载荷,回收实验落舱。

4. 根据权利要求2所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,伺服电机在实验落舱下落过程中给主轴提供所需扭矩,设定并控制调节主轴转动的角加速度,在实验落舱入网后提供制动扭矩。

5. 根据权利要求2所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,所述升降电机在落塔实验通道-8米到69米之间升降实验落舱;升降到位后,利用电磁离合器实现与主轴的接合/分离。

6. 根据权利要求2所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,所述电液制动器用于制动主轴,保证轴系系统安全平稳;实验落舱下落时电液制动器松开;实验落舱升降过程中检测到意外滑落时及时制动,并与升降电机建立互锁。

7. 根据权利要求1所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,所述可移动龙门架包括导轨、可移动支座、横梁架和导索轮;其在低重力实验时将所述轴系系统移动到落塔实验通道洞口内,在低重力实验结束后将所述轴系系统移动到落塔实验通道洞口外,以便为落塔83米层的微重力实验让开实验通道。

8. 根据权利要求1所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,所述实验落舱包括实验落舱舱体、吸振装置、无线收发器和舱内测控箱;所述实验落舱舱体与吸振装置相连,吸振装置与吊索相连,无线收发器安装在所述实验落舱舱顶,舱内测控箱安装在所述实验落舱内。

9. 根据权利要求1所述的一种低重力落塔实验平台,其特征在于,所述现场控制台4包

括升降控制单元、伺服控制单元、恒阻尼制动器单元、电液制动器单元,并通过交换机与低重力实验平台中央控制室的主控机相联。

10. 根据权利要求1-9之一所述的一种低重力落塔实验平台的实验方法,其特征在于,包括:在落塔的69米层平台处设置轴系系统,轴系系统的一端的升降电机吸合电磁离合器驱动辊筒转动,辊筒上缠绕吊索,吊索通过可移动龙门架下端的导索轮悬吊实验落舱,起吊实验落舱至落塔69米层平台处,电液制动器制动主轴;当实验落舱稳定悬停后,电液制动器松开,断开电磁离合器,升降电机与主轴脱离,实验落舱在重力作用下下落,恒阻尼制动器为主轴提供恒定阻尼扭矩,伺服电机输出所需扭矩并控制调节主轴以设定的角加速度转动,实验落舱以设定的低重力加速度下落,伺服电机实时检测主轴的速度反馈信号,再微调控制主轴的转速,让实验落舱达到所需的低重力条件。

一种低重力落塔实验平台及方法

技术领域

[0001] 本发明属于航天领域,具体涉及一种低重力落塔实验平台及方法,适用于空间探索地基模拟实验环境,用于月球、火星表面低重力环境地基模拟实验平台。

背景技术

[0002] 低重力环境是介于空间微重力环境(失重)和地球表面重力环境之间的一种重力环境状态。比如空间站属于微重力环境,而在月球表面和火星表面的重力加速度分别约为 $1/6g$ 和 $1/3g$,属于低重力环境。当今空间科技已成为世界科技领域的热点之一,越来越多的科学家和研究机构开始关注微重力环境和低重力环境下的实验研究。进入21世纪,月球、火星探测的竞争更是如火如荼。目前的研究旨在通过探测器等空间技术手段,进一步了解月球和火星的环境、资源和未知信息。总体来说,月球和火星探测仍然面临着许多挑战和风险。本发明作为一种可模拟月球、火星表面低重力环境的重要地基实验设施,因此具有广阔的应用前景。

[0003] 目前,模拟空间微重力环境的实验手段比较多,如地基的微重力落塔,抛物线失重飞机,微重力实验火箭,微重力实验卫星,空间站等,都是让物体处于完全失重的环境中;而如何让物体部分失重,目前现有技术中还没有成熟的可模拟低重力环境的大型地基实验装置;对于一个自由下落的苹果,它在自身重力的作用下下落加速度是重力加速度 g ,如果给苹果施加一个与重力方向相反的较小的恒定阻力,那么苹果的下落加速度就是低重力加速度;但是如何给苹果施加一个恒定的阻力,就是目前模拟低重力环境需要解决的问题。

发明内容

[0004] 为解决上述技术问题,通过系统设计,在中国科学院力学研究所微重力落塔实验平台装置(以下简称北京落塔)基础上,本发明提供一种低重力落塔实验平台及方法,依托微重力落塔,实现低重力实验条件;本发明能够为相关领域的科学家及科研人员提供相应的低重力实验平台。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案;

一种低重力落塔实验平台,包括轴系系统、可移动龙门架、实验落舱和控制系统;所述轴系系统安装在可移动龙门架的横梁上,所述实验落舱通过吊索悬吊在轴系系统的辊筒上,所述可移动龙门架安装在落塔69米层的楼板平台处;所述控制系统安装在落塔69米层的楼板平台处,并通过控制线缆与轴系系统的相关设备连接;所述实验落舱以自身重力驱动所述轴系系统的主轴转动,所述轴系系统的恒阻尼制动器为主轴提供所需的恒定阻尼扭矩,实现主轴和辊筒以恒定的角加速度转动,实验落舱以恒定的低重力加速度下落,达到实验落舱内的低重力实验条件;

所述轴系系统包括主轴、升降电机、电磁离合器、恒阻尼制动器、辊筒、电液制动器、测速器、伺服电机;所述主轴与升降电机、电磁离合器、恒阻尼制动器、辊筒、电液制动器、测速器、伺服电机连接在一起;所述辊筒通过联轴器与所述主轴连接,所述辊筒缠绕吊

索通过导索轮悬吊所述实验落舱；所述升降电机与所述电磁离合器相连，所述电磁离合器通过联轴器与主轴相连，所述升降电机通过所述电磁离合器驱动所述主轴和辊筒升降所述实验落舱；所述恒阻尼制动器安装在所述主轴上，输出主轴所需恒定阻尼扭矩，为所述实验落舱在下落时提供恒定阻力；所述电液制动器通过联轴器与所述主轴相连，制动主轴不发生转动；所述测速器安装在所述主轴上，检测主轴转速；所述伺服电机通过联轴器与所述主轴相连，设定并调整所述主轴转动角加速度值。

[0006] 本发明还提供一种低重力落塔实验平台的实验方法，包括：在落塔的69米层平台处设置轴系系统，轴系系统的一端的升降电机吸合电磁离合器驱动辊筒转动，辊筒上缠绕吊索，吊索通过可移动龙门架下端的导索轮悬吊实验落舱，起吊实验落舱至落塔69米层平台处，电液制动器制动主轴；当实验落舱稳定悬停后，电液制动器松开，断开电磁离合器，升降电机与主轴脱离，实验落舱在重力作用下下落，恒阻尼制动器为主轴提供恒定阻尼扭矩，伺服电机输出所需扭矩并控制调节主轴以设定的角加速度转动，实验落舱以设定的低重力加速度下落，伺服电机实时检测主轴的速度反馈信号，再微调控制主轴的转速，让实验落舱达到所需的低重力条件。

[0007] 有益效果：

本发明提供的一种恒定阻力制动方法，此方法可以让自由落体状态的实验落舱以低重力加速度下落；

本发明提供的一种低重力落塔实验平台，可以为相关领域的科学家和科研人员提供低重力条件下流体物理、火焰燃烧、沸腾传热等的科学实验研究，并获取完整影像及进行科研数据采集；填补了我国地基低重力实验装置的空白。

[0008] 本发明提供的一种低重力落塔实验平台及方法，在北京落塔经验证实施，可以部分模拟月球\火星等近地星球表面的低重力环境，在一定范围内实现低重力实验条件，实验快捷方便且成本低廉。

附图说明

[0009] 图1为本发明的低重力落塔实验平台的系统组成示意图；

图2为轴系系统示意图；

图3为辊筒功能描述图；

图4为升降电机功能描述图；

图5为伺服电机功能描述图；

图6为恒阻尼制动器功能描述图；

图7为恒阻尼制动器的扭矩特性图；其中，a为激磁电流与输出转矩的关系图，b为滑差转速与输出转矩的关系图；

图8为电液制动器功能描述图；

图9为实验落舱示意图；

图10为现场控制台功能描述图；

图11为本实验平台测得的实验落舱内低重力环境实验数据图；

图12为本实验平台测得的实验落舱内低重力环境实验数据图；

图13为本实验平台测得的实验落舱内低重力环境实验数据图。

具体实施方式

[0010] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0011] 为了模拟月球、火星等星球表面的低重力环境(约 $g/6$ 、 $g/3$),本发明设计制造一套实验落舱,利用北京落塔的微重力实验通道,让实验落舱在自身重力作用下以低于地表重力加速度 g 下落(对应月球约 $5g/6$ 或对应火星约 $2g/3$),实现实验落舱内实验载荷获得相应低重力加速度环境(对应月球约 $g/6$ 或对应火星约 $g/3$);为了让实验落舱以设定的低重力加速度下落,本发明提供一种恒阻尼制动器,在实验落舱下落的过程中提供恒定的反向阻力,以实现实验落舱按照设定的低重力加速度下落,在实验落舱内即可实现低重力实验条件。

[0012] 如图1,图2所示,本发明的一种低重力落塔实验平台包括轴系系统1、可移动龙门架2、实验落舱3和现场控制台4;所述轴系系统1安装在可移动龙门架2的横梁上,所述实验落舱3通过吊索悬吊在轴系系统1的辊筒8上,所述可移动龙门架2安装在落塔69米层的楼板平台13处,所述现场控制台4安装在落塔69米层的楼板平台13处,并通过控制线缆与轴系系统1的相关设备连接。

[0013] 所述轴系系统1的一端的升降电机5吸合电磁离合器6驱动主轴11及辊筒8转动,辊筒8上缠绕吊索,吊索通过可移动龙门架2下端的导索轮悬吊实验落舱3。起吊实验落舱3至落塔69米层的楼板平台13处,电液制动器9制动主轴11。

[0014] 当实验落舱3稳定悬停后,断开电磁离合器6,升降电机5与主轴11分离,电液制动器9松开,实验落舱3在重力作用下下落,恒阻尼制动器7为主轴11提供恒定阻尼扭矩,伺服电机12输出所需扭矩并控制调节主轴11以设定的角加速度转动,实验落舱3以设定的低重力加速度下落,伺服电机12通过测速器10实时检测速度反馈信号,再微调控制主轴11的转速以达到实验落舱3所需的低重力条件。

[0015] 在此下落过程中,实验落舱3内的实验载荷处于所需要的低重力实验环境,实现低重力实验的目的;实验落舱3入网时,伺服电机12输出制动扭矩,同时恒阻尼制动器7输出刹车扭矩共同制动主轴11,由落塔22m处的回收网承受大部分冲击载荷回收实验落舱3。

[0016] 如图3所示,所述主轴11与辊筒8相连,辊筒8上缠绕吊索经导索轮悬吊实验落舱3,实验落舱3内安装实验载荷和舱内测控箱,舱内测控箱负责管理实验载荷装置所需的科学实验功能,并通过实验落舱上端的无线收发器与中央控制室进行数据通讯和图像传输;

如图4所示,所述升降电机5驱动轴系主轴11转动,在落塔实验通道-8米到69米之间升降实验落舱3。实验落舱在落塔0米实验大厅装载实验载荷后,转运到落塔实验通道0米处,与所述辊筒8上缠绕的吊索对接,69米层的现场控制台4的升降控制单元启动所述升降电机5吊升实验落舱3;吊升到位前,当实验落舱3触发落塔68米处的红外开关时转为慢速提升,当触发落塔69米处的到位开关时停止提升,表示实验落舱3吊升到位;升降/制动联锁单元发出升降电机停止信号,同时启动电液制动器9制动主轴11,稳定悬停实验落舱3;吊升过程中当测速器10检测到速度信号异常时则停止吊升,同时升降/制动联锁单元启动电液制动器9制动主轴11,防止实验落舱3掉落;当低重力实验结束后,升降电机5驱动主轴11及辊

筒8转动,将实验落舱3从落塔实验通道的-8米处吊升至0米平台处进行回收;

如图5所示,所述伺服电机12与主轴11相连,设定并控制调节主轴11转动的角加速度;实验落舱3在下落过程中,现场控制台4通过伺服控制单元和测速器10实时检测主轴11的转速,当主轴11的转速偏离设定值时,伺服电机12给主轴11提供所需扭矩,反馈控制调节主轴11的转速保持在设定的角加速度值,从而实时保证实验落舱3以恒定的低重力加速度下落;当实验落舱3入网后,伺服电机12输出制动扭矩,同时恒阻尼制动器7输出刹车扭矩共同制动主轴11,配合22m处的回收网回收实验落舱3。

[0017] 如图6所示,所述恒阻尼制动器7与主轴11相连,现场控制台4通过恒阻尼制动器单元设定恒定阻尼制动器的恒定阻尼扭矩值,在实验落舱3下落过程中给主轴11提供恒定阻尼扭矩以实现实验落舱3以低重力加速度下落,在实验落舱3入网后,给主轴11提供刹车扭矩制动主轴11;通过触摸屏可手动设定恒阻尼制动器7的扭矩的大小。

[0018] 恒阻尼制动器7是根据电磁原理,利用磁粉在定子和转子之间传递扭矩;恒阻尼制动器7的激磁电流和传递扭矩基本成线性关系,通过调节激磁电流的大小可以控制输出扭矩的大小,如图7的a所示,且响应速度快、无噪音、无冲击振动;恒阻尼制动器输出的扭矩与滑差转速无关,激磁电流不变时,在允许的滑差转速范围内扭矩不受转速高低变化的影响,保持定值,且静力矩和动力矩没有差别,如图7的b所示;考虑到本发明的实验过程是在5s内完成,恒阻尼制动器可以短时超滑差功率使用,不会产生过热现象。

[0019] 当实验落舱以低重力加速度 g_1 下落时,驱动主轴以 α 角加速度转动, $\alpha=g_1/r$,式中 r 为轴系辊筒的半径;根据转动定律,刚体定轴转动的角加速度 α 与它所受的合外力矩 M 成正比,与刚体的转动惯量 J 成反比,即 $M=J*\alpha$;转动惯量 $J=\sum_j(m_j r_j^2)$,其中 m_j 表示转动的刚体上某个质元的质量, r_j 表示该质元到转轴的垂直距离;由于直接计算轴系系统的转动惯量 J 比较困难,可以以实验的方式得到 J 的值,再计算得到 M 的值。

[0020] 根据 $m*g_1*r=m*g*r-M_0-M$,其中 m 为实验落舱的质量, g 为重力加速度, g_1 为低重力加速度, r 为轴系辊筒的半径, M_0 为恒阻尼制动器输出的恒定扭矩;得到 $M_0=m*g*r-m*g_1*r-M$;

通过触摸屏调节恒阻尼制动器7的激磁电流,使得恒阻尼制动器7输出扭矩值为 M_0 的恒定扭矩,实验落舱3在重力的作用下驱动主轴转动,恒阻尼制动器7给主轴11提供恒定阻尼扭矩,即可实现主轴11以设定的角加速度 α 转动,实验落舱3以设定的低重力加速度 g_1 下落。

[0021] 如图8所示,所述电液制动器9与所述主轴11相连,用于制动轴系主轴11,保证轴系系统1安全平稳;现场控制台通过电液制动器单元控制电液制动器9的松开与制动;实验落舱3下落时电液制动器9松开,实验落舱3提升过程中检测到意外滑落时及时制动;考虑到安全性,电液制动器9设置自动和手动两种模式,当实验落舱3处于升降状态时,电液制动器9设置为自动模式,并通过升降/制动联锁单元与升降电机5建立互锁;当实验落舱3处于正常实验下落状态时,电液制动器9设置为手动模式并锁定在松开状态,防止实验落舱3下落过程中意外制动锁死主轴。

[0022] 如图1所示,所述可移动龙门架2为所述轴系系统提供安装载体,并满足系统刚性指标要求;在工作状态时,所述可移动龙门架2移动到落塔实验通道洞口中间(落塔实验通道洞口直径 $\Phi 4200\text{mm}$),在不工作时,所述可移动龙门架2移动到洞口边缘,为微重力实验让开实验通道;可移动龙门架2由导轨、可移动支座、横梁架、导索轮组成,可移动支座配有升降导轮,使可移动支座整体升降,完成在导轨上移动行走的要求。优选的,可移动龙门架2的高度为1765mm,占地宽度为1400mm,长度为5600mm。

[0023] 如图9所示,所述实验落舱3为低重力实验载荷提供实验载体;实验落舱3的舱体顶端采用法兰盘连接方式与吸振装置相连,吸振装置与吊索相连,实验落舱内包括舱内测控箱和舱内电源模块,实验落舱舱顶安装无线收发器。

[0024] 如图10所示,所述现场控制台4包括升降控制单元、伺服控制单元、恒阻尼制动器单元、电液制动器单元,并通过交换机与低重力实验平台中央控制室的主控机相联。

[0025] 经在北京落塔实验验证实施,本发明可以在一定范围内实现较为理想的低重力实验条件,以下是部分实验数据。其中M1,M2,M3分别表示恒阻尼制动器设定输出的恒定阻尼扭矩值M0的三种不同扭矩,其数值可以根据实验落舱需要的低重力加速度值经计算后确定。

[0026] (1) 实验落舱3在M1 Nm恒定阻尼扭矩条件下下落,即设定M0=M1时实验落舱的下落加速度值约为0.60g,在实验落舱内用加速度计测得的对应低重力环境值约为0.40g,如图11所示。

[0027] (2) 实验落舱3在M2 Nm恒定阻尼扭矩条件下下落,即设定M0=M2时实验落舱的下落加速度值约为0.45g,在实验落舱内用加速度计测得的对应低重力环境值约为0.55g,如图12所示。

[0028] (3) 实验落舱3在M3 Nm恒定阻尼扭矩条件下下落,即设定M0=M3时实验落舱的下落加速度值约为0.30g,在实验落舱内用加速度计测得的对应低重力环境值约为0.70g,如图13所示。

[0029] 本发明的一种低重力落塔实验平台的现场控制台4通过对实验过程中可能出现的危险事故进行分析,并做出安全控制决策:

(1) 提升过程中,电磁离合器6故障,测速器检测到主轴11逆向转动,升降/控制联锁单元控制电液制动器9断电立即制动,只要电液制动器9不故障,就不会出现实验落舱3坠落后事故,同时让恒阻尼制动器7提供刹车扭矩。

[0030] (2) 突然停电,电液制动器9因断电制动,实验落舱3悬挂半空,就可全部断电,等待恢复供电。

[0031] (3) 实验落舱3提升到顶端悬停时,只要电磁离合器6与电液制动器9不是同时故障,就不会出现坠落事故。

[0032] (4) 下落过程中,电磁离合器6断电不会出现吸合情况,电液制动器9用手动手柄锁定,禁止意外断电制动,不会出现下落途中突然制动的事故。

[0033] (5) 在下落过程中,突然断电,伺服电机12失去使能,恒阻尼制动器7在UPS电源的支持下提供最大刹车扭矩,保证实验落舱3安全入网。

[0034] 本发明经过设计实施和实验结果验证,可以在一定范围内实现实验落舱内的低重力环境。

[0035] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

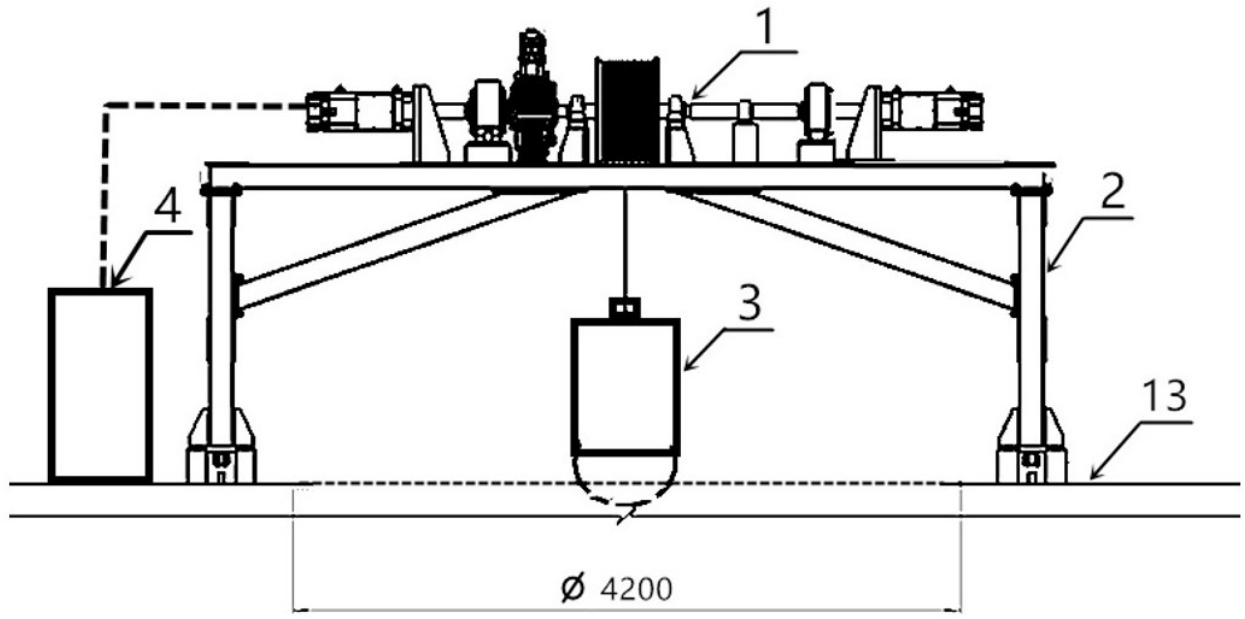


图 1

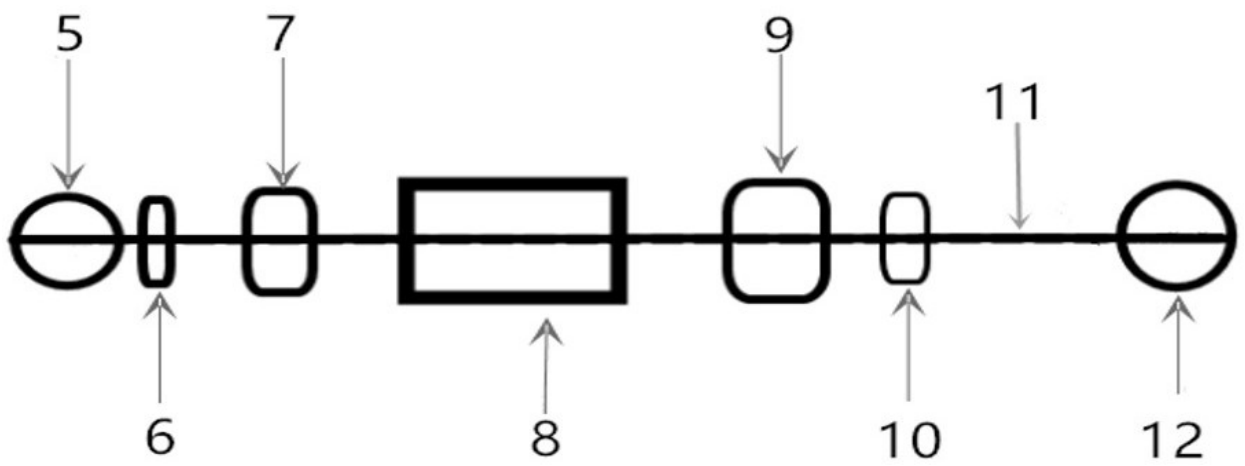


图 2

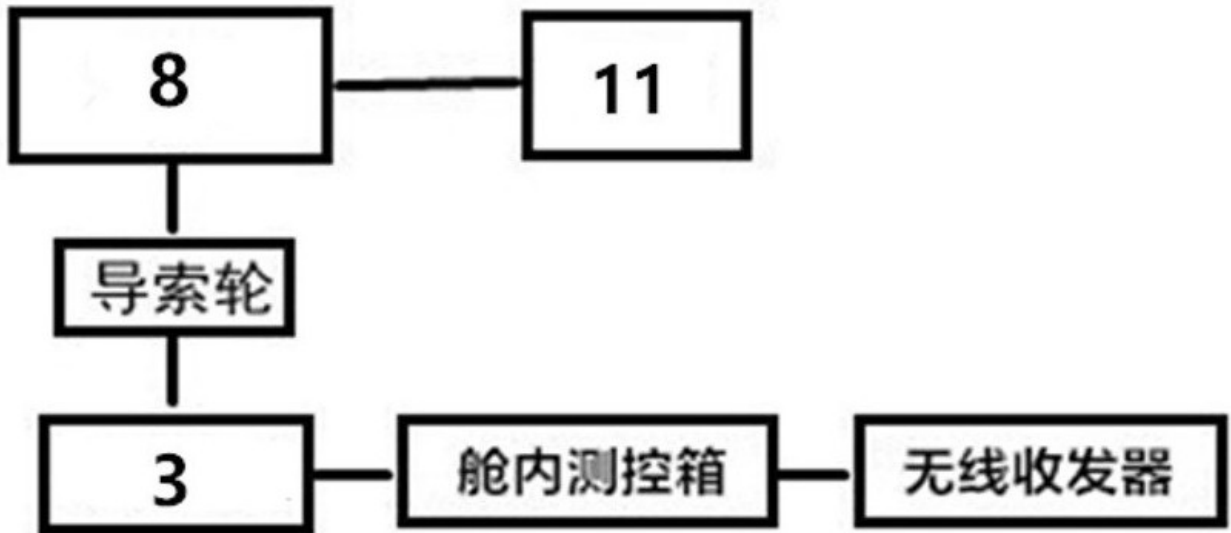


图 3

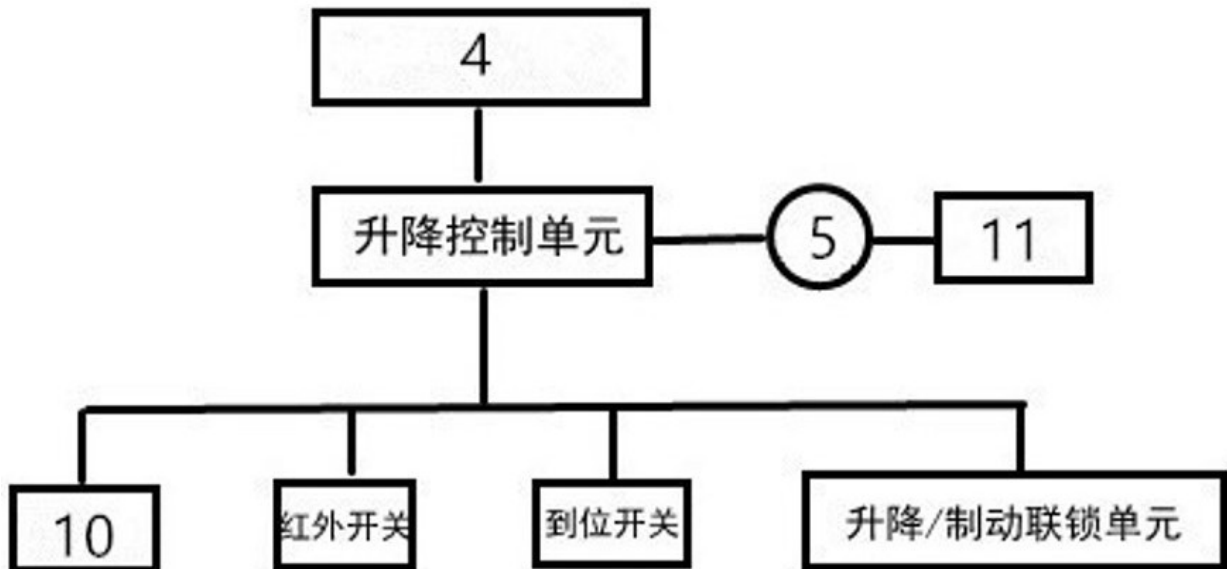


图 4



图 5

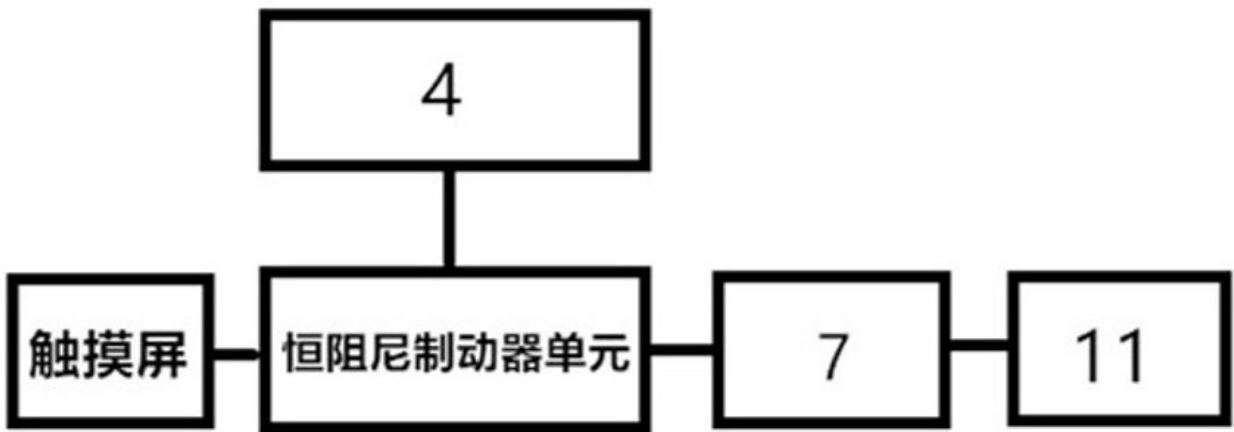


图 6

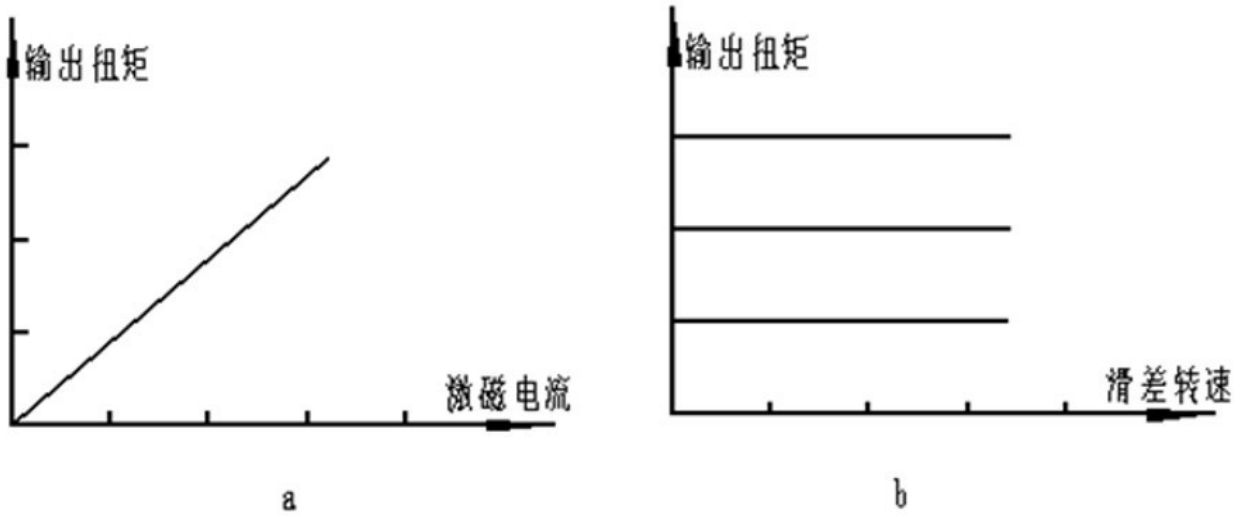


图 7

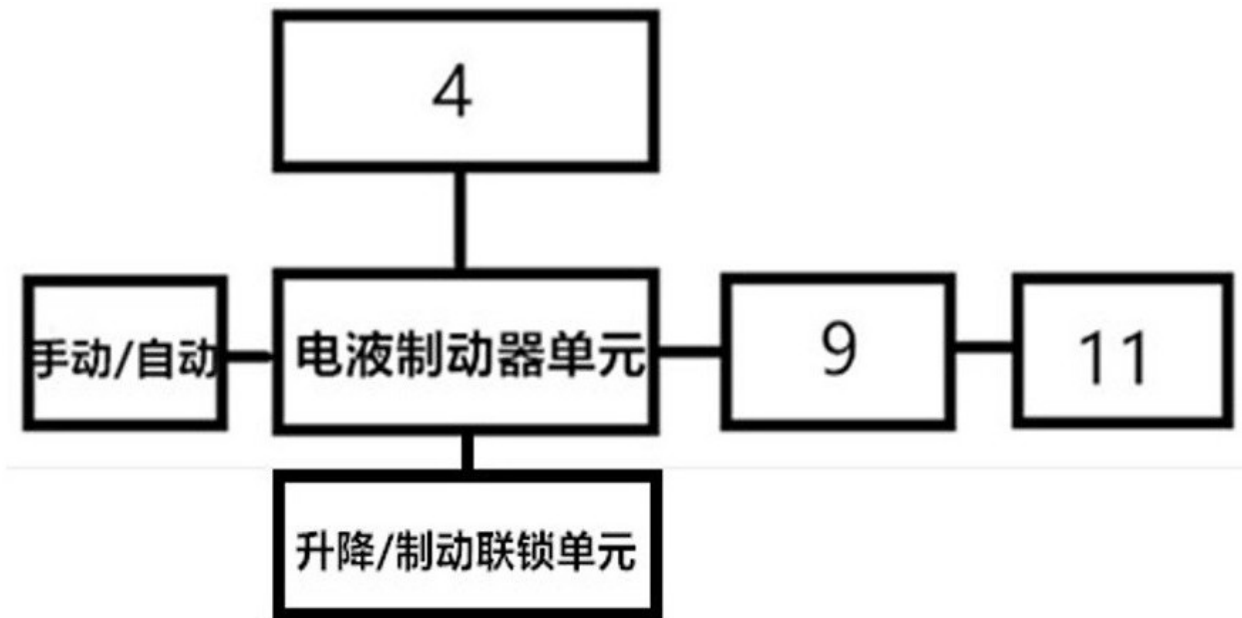


图 8



图 9

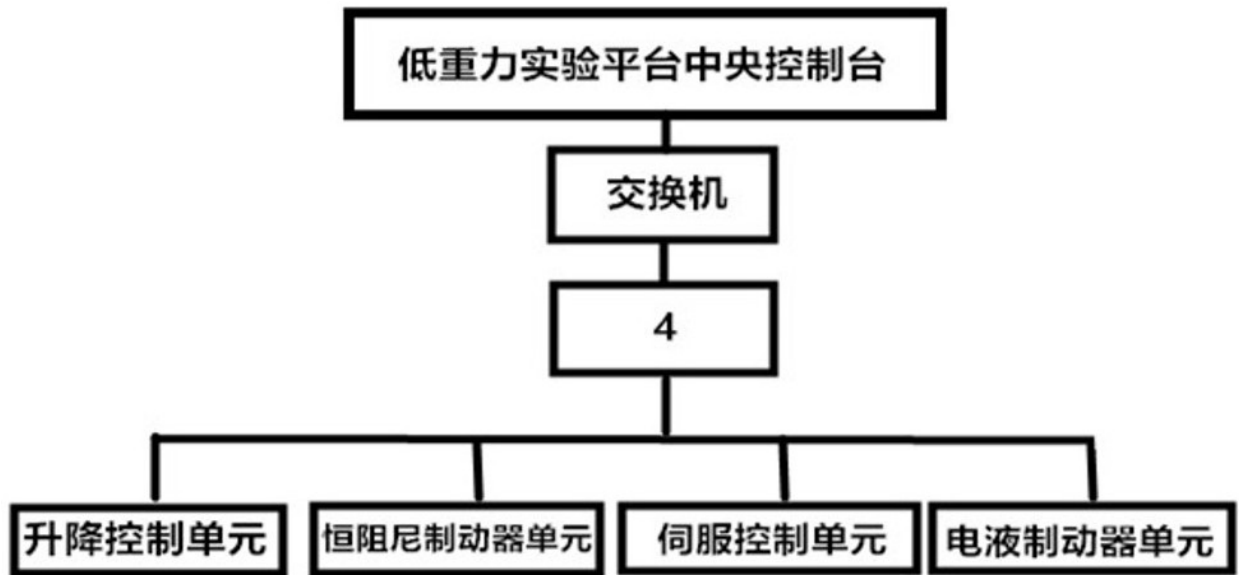


图 10

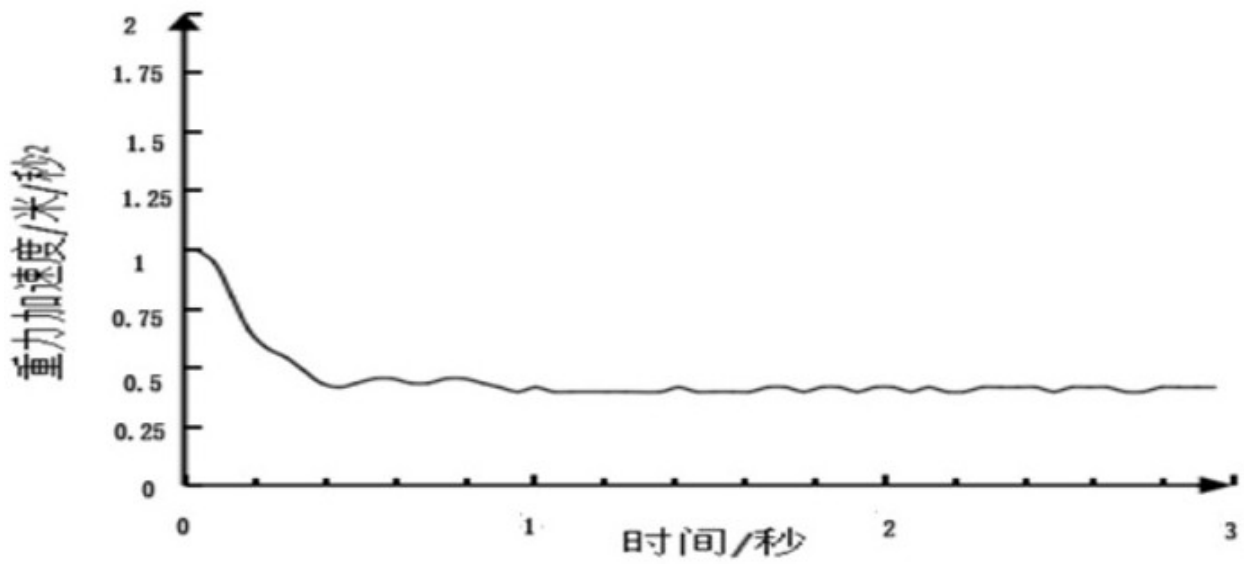


图 11

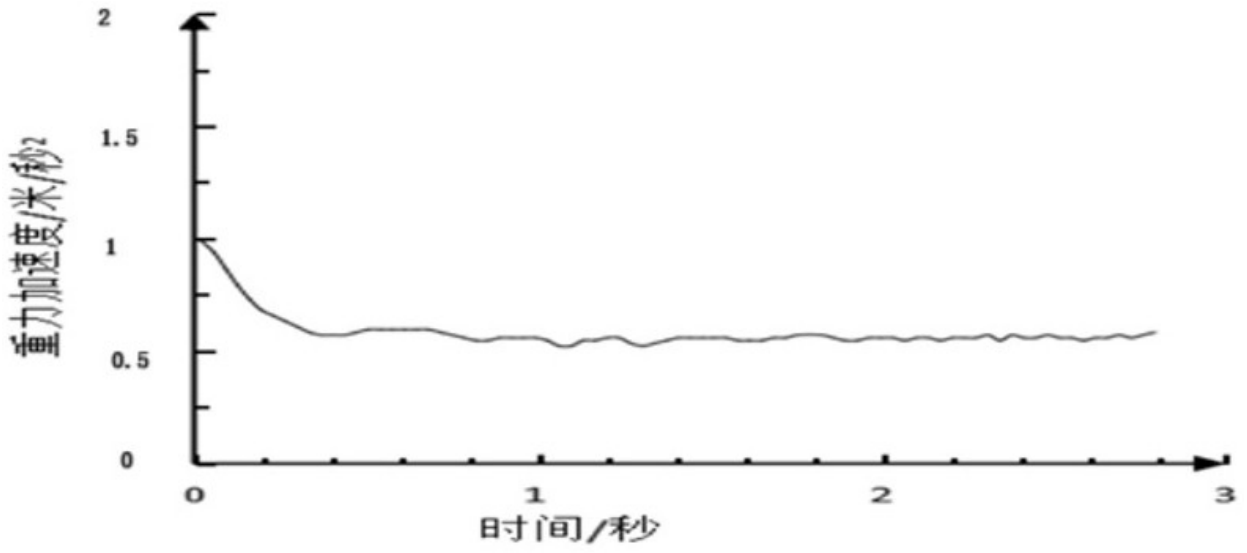


图 12

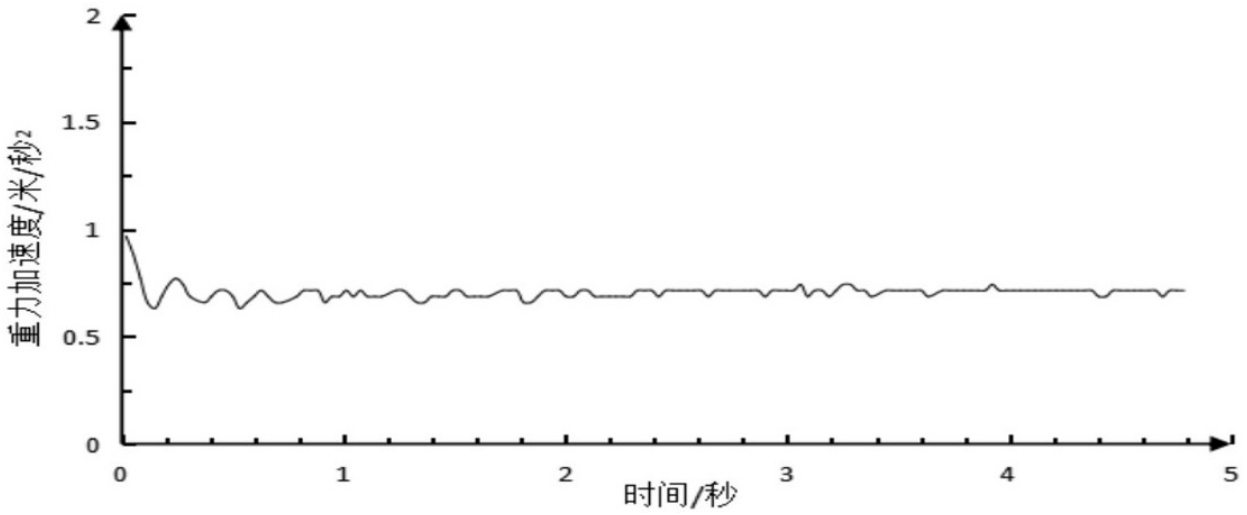


图 13