



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114965028 B

(45) 授权公告日 2025.02.11

(21) 申请号 202210546563.5

G01B 11/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.05.18

G01B 11/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G01J 5/48 (2006.01)

申请公布号 CN 114965028 A

G01L 5/00 (2006.01)

G01P 15/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.08.30

(56) 对比文件

(73) 专利权人 中国矿业大学(北京)

CN 106153281 A, 2016.11.23

地址 100083 北京市海淀区学院路丁11号

CN 107941447 A, 2018.04.20

(72) 发明人 潘永泰

审查员 杨艺

(74) 专利代理机构 北京京万通知识产权代理有限公司 11440

专利代理师 万学堂

(51) Int. Cl.

G01N 3/06 (2006.01)

G01N 3/303 (2006.01)

G01N 3/38 (2006.01)

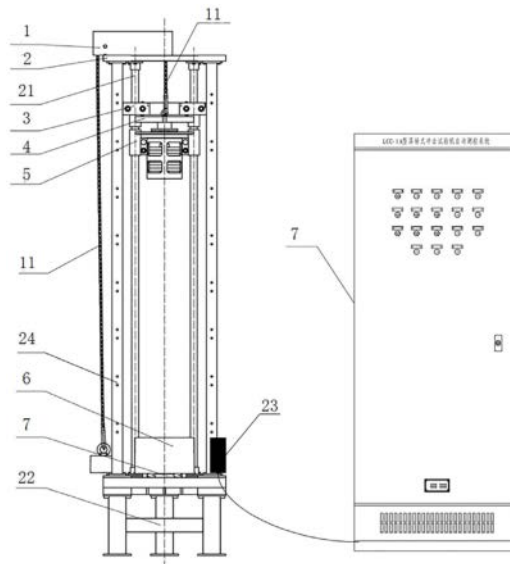
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统

(57) 摘要

一种物料破碎过程高速动态测定试验装置及系统,包括提升装置(1)、机架(2)、定位架(3)、磁铁架(4)、锤体(5)、振动台(6)、砧板(7)和控制柜(8),机架(2)通过立柱(24)固定在底座(22)上,光滑导轨(21)位于机架(2)中间,定位架(3)固定安装在光滑导轨(21)上部位置;在提升装置(1)固定安装在机架(2)的顶部,提升装置(1)由链轮链条组和调速电机组成,提升装置(1)的链条(11)的另一端系有与锤体(5)质量相等的铅块;振动台(6)设在底座(22)上,所述链条(11)的一端穿过定位架(3)和定位架(3)下面的磁铁架(4)连接,所述的锤体(5)吸附于磁铁架(4)上,链条(11)上下移动时,带动磁铁架(4)上下移动。该系统可以对物料冲击振动作用下的破碎情况进行实时和准确的监测。



1. 一种物料破碎过程高速动态测定试验装置,包括提升装置(1)、机架(2)、定位架(3)、磁铁架(4)、锤体(5)、振动台(6)、砧板(7)和控制柜(8),机架(2)通过立柱(24)固定在底座(22)上,光滑导轨(21)位于机架(2)中间,定位架(3)固定安装在光滑导轨(21)上部位置;在提升装置(1)固定安装在机架(2)的顶部,提升装置(1)由链轮链条组和调速电机组成,提升装置(1)的链条(11)的另一端系有与锤体(5)质量相等的铅块;振动台(6)设在底座(22)上,磁铁架(4),其特征在于:

所述链条(11)的一端穿过定位架(3)和定位架(3)下面的磁铁架(4)连接,所述的锤体(5)吸附于磁铁架(4)上,链条(11)上下移动时,带动磁铁架(4)上下移动;

所述的锤体(5),所述锤体(5)安装有加速度传感器,通过添加配重块改变重量,底部安装不同形状锤头,用于实现加载速率与方式的调节,锤体底部加工三个螺纹孔,使用一字螺塞(58)堵住,锤头为设计平头、圆锥头锤头;

采集单元,用于通过高速摄影机、红外热像仪、激光位移传感器记录试验过程中颗粒飞溅的运动状态与温度变化过程,所述采集单元对物料在冲击破碎过程中的力、加速度、位移以及温度变化进行实时测定,通过加速度传感器、力传感器、激光位移传感器多传感器组、高速摄影以及红外热像相互验证;

计算单元,用于对处理加速度传感器、力传感器、激光位移传感器的信号,分析高速摄影与红外热像视频,研究物料破碎过程中不同加载速率与方式下的运动状态、力、能量、粒度组成因素的相互关系,所述计算单元针对加速度传感器处理物料破碎过程中加速度信号,求得速度与位移信号;力传感器测定破碎过程中力的变化与接触时间;激光位移传感器测定物料垂直方向位移情况,与加速度传感器计算值相验证;高速摄影追踪物料运动状态并记录破碎过程,与传感器数值互相验证;红外热像仪记录物料破碎飞溅情况与表面温度。

2. 根据权利要求1所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

所述的磁铁架(4)由定位架(3)确定位置,通过直线轴承(517)与光滑导轨(21)连接,磁铁架(4)与光滑导轨(21)依靠直线轴承(517)滑动连接,锤体(5)吸附于磁铁架(4)上,受到提升装置(1)牵拉,并受到磁铁架(4)上方定位架(3)的限位。

3. 根据权利要求1所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

所述的光滑导轨(21)的粗糙度为1.6。

4. 根据权利要求1所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

该配重块(56)内部有螺纹,托盘柱(33)表面有螺纹,两部件螺纹连接,并通过锁紧螺母(55)进行固定,通过改变锤体重量来改变落锤重力,进而调节试验过程中输入的冲击力大小。

5. 根据权利要求1所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

所述的锤体(5),六角头螺杆带孔加强杆螺栓(52)正反对称安装;锤体架(51)为对称设计,保证该部分重心通过对称轴;锤身(53)的圆柱底面进行阶梯状加工,使后半圆柱厚度减去前半圆柱的质量与锤体正面锤体面质量相同,保证整体重心在竖直轴线上。

6. 根据权利要求1所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

所述振动台(6)包括振动台(6)包括振动平台(63)、振动电机(64)、弹簧(65)与砧板(7),所述砧板(7)内置力传感器(74);所述控制柜(8)控制调速装置、振动台与电磁铁吸附;所述振动平台(63),由振动电机(64)提供激振力。

7. 根据权利要求1至6任意一项所述的物料破碎过程高速动态测定试验装置,其特征在于:

所述振动台(6)设计,根据振动理论,偏心块回转时,每个偏心块所产生的离心力在Y轴的投影为:

$F_1 = mw^2r \sin wt$ 式中: F_1 —一个偏心块产生的离心力,N; m —偏心块的质量,kg; r —偏心块的质心回转半径; w —偏心块的回转角速度,rad/s;

所用偏心块的离心力在Y-Y方向上的合力为: $F = \sum mw^2r \sin wt$;坐标系Y的方向向上,激振力方向向上;振动台(6)加振动电机(64)的质量为M,弹簧的刚度为K,阻尼系数为C,质体向上运动的位移、速度和加速度分别为 y, \dot{y}, \ddot{y} ;根据牛顿第二定律,列出质体运动方程:

$M\ddot{y} = \sum mw^2r \sin wt - C\dot{y} - ky$ 求解上式方程可得:

$$A = \frac{\sum mr}{M} \frac{z_0^2}{\sqrt{\{(1-z_0^2)^2 + (2\xi z_0)^2\}}} \text{ 其中, } A \text{—振幅; } z_0 \text{—频率比; 当 } z_0 > 3 \text{ 时, } MA = \sum mr。$$

一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统

技术领域

[0001] 本发明涉及物料破碎技术领域,具体涉及一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统,该试验装置与系统用于物料破碎过程中各物理参数,包括运动状态、力、能量等的实时在线测定。

背景技术

[0002] 在物料破碎过程中,需要消耗大量的能量,考虑到该能量利用效率低的客观实际,P.R.Rittinger的新表面说^[1]、G.Kick的相似说^[2]和F.C.Bond的裂纹说^[3]等传统的破碎理论应运而生,用于研究破碎输入能量与破碎前后矿物特征参数之间关系。但该理论只考虑破碎前后两个时间点,无法对破碎过程中物料的各动态参数进行实时测定,缺少对不同加载速率与方式下破碎物料的能量耗散规律的深入研究,导致现有试验结果无法与生产实际相结合,用以指导破碎的相关理论以及设计方法也缺乏科学性和普适性。

[0003] 作为研究材料和结构冲击性能的常用试验设备,传统的落锤试验机主要由三大系统组成:机械结构系统、测量与数据处理系统和控制系统。机械结构系统包括支撑结构、落锤结构、提升与释放机构;测量与数据处理系统包括信号测量系统、数据采集系统、数据处理系统;控制系统包括电控柜、计算机等。^[7-11]本试验系统以电磁铁和自由落体的形式对锤体进行吸附与释放;锤体设计配重调节重量,设计不同形状锤头改变加载方式;运用加速度传感器、声压传感器、激光位移传感器、力传感器、红外热像仪和高速摄像机对整个试验过程多角度实时监测;设计振动台研究冲击与振动共同作用下的物料破碎表征;增加电控柜以及智能化信号处理与分析系统,采用深度学习等方法建立能量耗散实时测定系统。另外,在矿业领域,落锤试验机主要研究矿物在冲击作用下的破碎特性^[4, 5]与粒度分布^[6],对煤等矿物的破碎生产进行一定的指导。但是,这种理论指导目前停留在定性研究上,对冲击破碎动态过程未进行进一步的分析,缺乏实时、准确的数据监测与测定系统。虽然目前有许多对落锤试验过程中能量的测定与研究^[12-15],但大多考虑破碎前后两个节点、或只关注落锤下落动能变化,无法对破碎过程中落锤对物料作用的动态参数进行实时测定,缺少对不同加载速率与方式下物料能量耗散演化规律的研究。因此,本发明在常见落锤试验机机械设计与控制系统的基础上^[16-20],进行创新性改进,增加可调节的锤体以及振动台,并对整个冲击振动耦合破碎过程在线实时进行监测、对试验过程采集数据结合深度学习进行训练,分析与预测试验过程。以准脆性物料(如煤、石膏、混凝土等)为研究对象,通过调节下落高度、锤体配重与锤头形式调节加载速率与方式,以锤体重力做功为输入能量,研究不同加载速率与方式下物料在冲击破碎动态过程中的物理状态的变化过程,并实时、准确测定破碎物料的能量耗散演化规律,用以指导准脆性物料相关破碎设备的设计、加工与制造。

[0004] 克服现有技术的难点:在结构设计方面,关于落锤锤体配重、形状可调的设计,关于振动台工作参数的确定,以及信号采集装置安装位置与相互作用的方式的布置,都是需要克服的技术难点;在信号实时采集方面,采用高速摄影与各类传感器动态追踪物料运动状态并记录破碎过程,利用红外热像仪记录物料破碎飞溅情况与表面温度,需要实现时间

和空间的一致性,以达到相互对照作用;在信号处理方面,以各测量数据为基础,建立深度学习神经网络进行训练,应用计算机视觉领域三维重建、动态目标追踪技术,对测定指标进行判别、比较、分类与计算,建立物料破碎过程中不同加载速率与方式下各参数间的关系模型,来完成一个多参数输入、可互相验证的物料破碎动态过程实时测定系统。

[0005] 克服现有技术意义:克服现有传统破碎理论的缺陷以及落锤试验机试验范围的局限性,提供一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统;发明可调节锤体与振动台零部件,可用于改变试验设备加载速率与方式、研究冲击振动-耦合作用下物料的破碎效果;利用多传感器、高速摄像机和红外热像仪,实时、准确地测定不同加载速率与方式下、物料在冲击破碎过程中各物理参数的演化规律与耗散能量,结合深度学习对试验数据进行训练,对整体过程进行分析与预测,解决当前破碎理论未对破碎过程的耗散能量进行深入研究的问题。

发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明的一个目的是提供一种物料破碎过程高速动态测定试验装置,该装置克服现有传统破碎理论的缺陷以及落锤试验机试验范围的局限性,提供一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统,能够实时、准确地研究不同加载速率与方式下物料在冲击破碎过程中各物理参数的演化规律与耗散能量,解决当前破碎理论未对破碎过程的耗散能量进行深入研究的问题。

[0007] 为解决上述问题,本发明是采用以下技术方案实现的:

[0008] 一种物料破碎过程高速动态测定试验装置,包括提升装置1、机架2、定位架3、磁铁架4、锤体5、振动台6、砧板7和控制柜8,机架2通过立柱24固定在底座22上,光滑导轨21位于机架2中间,定位架3固定安装在光滑导轨21上部位置;在提升装置1固定安装在机架2的顶部,提升装置1由链轮链条组和调速电机组成,提升装置1的链条11的另一端系有与锤体5质量相等的铅块;振动台6设在底座22上,磁铁架4其特征在于:

[0009] 所述链条11的一端穿过定位架3和下面的磁铁架4连接,所述的锤体5吸附于磁铁架4上,链条11上下移动时,带动磁铁架4上下移动。

[0010] 进一步,所述的磁铁架4由定位架3确定位置,通过直线轴承517与光滑导轨21连接,磁铁架4与光滑导轨21依靠直线轴承517滑动连接,锤体5吸附于磁铁架4上,受到提升装置1牵拉,并受到磁铁架4上方定位架3的限位。

[0011] 进一步,所述的光滑导轨21的粗糙度为1.6。

[0012] 进一步,所述的锤体5,所述锤体5安装有加速度传感器59,可以通过添加配重改变重量,底部可安装不同形状锤头,用于实现加载速率与方式的调节,锤体5底部加工三个螺纹孔,使用一字螺塞58堵住,锤头为设计平头、圆锥头锤头。

[0013] 进一步,该配重块56内部有螺纹,托盘柱57表面有螺纹,两部件螺纹连接,并通过锁紧螺母55进行固定,通过改变锤体重量来改变落锤重力,进而调节试验过程中输入的冲击力大小。

[0014] 进一步,所述的锤体5,六角头螺杆带孔加强杆螺栓52正反对称安装;锤体架51为对称设计,保证该部分重心通过对称轴;锤身53的圆柱底面进行阶梯状加工,使后半圆柱厚度减去前半圆柱的质量与锤体正面锤体面质量相同,保证整体重心在竖直轴线上。

[0015] 进一步,所述振动台6包括保护罩61、侧板62、振动平台63、振动电机64、弹簧65与凸台66;所述砧板7,在砧板上座71与砧板下座72之间,内置力传感器74;所述控制柜8可以控制电机调速、振动台6振动频率以及电磁铁吸附锤体的释放;所述振动平台63,由振动电机64提供激振力。

[0016] 进一步,所述的砧板7内部安装的力传感器74,用于实时测定试验过程中物料受力情况。

[0017] 本发明的另一个目的是提供一种物料破碎过程高速动态测定试验系统,该系统包括:物料破碎过程高速动态测定试验装置、试验单元、采集单元以及计算单元。

[0018] 所述试验单元,用于试验在高速动态测定试验机下不同加载速率与方式的物料破碎各状态参数表征。

[0019] 所述采集单元,用于通过高速摄影机、红外热像仪、加速度传感器、力传感器、激光位移传感器等记录试验过程中颗粒飞溅的运动状态与温度变化过程。

[0020] 所述计算单元,用于对处理加速度传感器、力传感器、激光位移传感器的信号,分析高速摄影与红外热像视频,结合深度学习,研究物料破碎过程中不同加载速率与方式下的运动状态、力、能量、粒度组成等因素的相互关系。

[0021] 进一步,所述采集单元,对物料在冲击破碎过程中的力、加速度、位移以及温度变化进行实时测定,通过加速度传感器、力传感器、激光位移传感器等多传感器组、高速摄影以及红外热像相互验证,保证测定数据的实时性和准确性,为本发明创新之处。

[0022] 进一步,所述计算单元,针对加速度传感器处理物料破碎过程中加速度信号,求得速度与位移信号;力传感器测定破碎过程中力的变化与接触时间;激光位移传感器测定物料垂直方向位移情况,与加速度传感器计算值相验证;高速摄影追踪物料运动状态并记录破碎过程,与传感器数值互相验证;红外热像仪记录物料破碎飞溅情况与表面温度。在以上数据基础上建立神经网络进行训练,对测定指标进行判别、比较与分类,建立物料破碎过程中不同加载速率与方式同各参数之间的关系模型,建立一个多参数输入、可互相验证的物料破碎过程各参数实时测定系统,为本发明创新之处。

[0023] 本方面的工作原理:试验机工作部件为锤体,锤体由提升装置牵拉,被电磁铁吸附;当电磁铁释放时,沿光滑导轨自由落体,对砧板上物料进行冲击破碎,或对振动台上物料进行冲击-振动耦合破碎。通过改变锤体的下落高度、重量以及锤头形式,研究不同加载速率与方式下的冲击破碎试验;通过多传感器系统、高速摄影机和红外热像仪监测与记录破碎过程中物料运动状态、受力以及温度的变化。将采集数据导入计算机系统,利用神经网络深度学习训练,构建不同加载速率与方式下物料在冲击破碎,或冲击-振动耦合破碎过程中各物理参数的演化规律模型,对破碎过程中耗散能量进行测定。

[0024] 本发明的有益效果是:

[0025] (1) 该系统还包括试验单元、采集单元和计算单元,可以对物料冲击振动作用下的破碎情况进行实时和准确的监测。

[0026] 本发明在落锤试验机基础上,改进设计了光滑导轨、可调节锤头、振动台等零部件,针对冲击与振动耦合作用下的物料动态破碎过程,实时、准确测定物料各物理参数,研究不同加载速率与方式下物料在冲击与振动耦合作用下破碎的各项参数指标(如力、粒度组成、能量等)的变化规律,实时、准确、误差小。

[0027] (2)与现有设备相比,本装置增加振动台研究冲击与振动耦合作用下物料破碎表征,更贴近于实际生产需求;

[0028] (3)传统的落锤试验机多用于研究材料的冲击特性或是矿物破碎前后的状态与粒度分布,未对冲击破碎动态过程进行深入研究,未关注物料破碎的动态特性;本发明的设备可以对冲击破碎动态过程进行研究。

[0029] (4)传统矿物破碎理论多为破碎前后定性描述,以理论分析为主,缺乏破碎过程中实时、准确的数据测定方法研究,无法以科学普适的破碎理论指导破碎设备的设计与加工。本发明公开的是一种物料破碎过程高速动态测定试验装置与系统,通过高速动态测定试验机、采集系统以及计算系统,研究不同加载速率与方式下物料在冲击破碎(或冲击-振动耦合破碎)过程中各物理参数的演化规律模型,从而实时、精确地得到物料破碎的耗散能量,指导破碎设备的设计、加工与制造。

附图说明

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步描述:

[0031] 图1为本发明的主体结构示意图;

[0032] 图2A为本发明的锤体结构示意图;

[0033] 图2B为本发明的锤体架结构示意图;

[0034] 图2C为本发明的锤身结构示意图;

[0035] 图2D为本发明的锤体安装位置图;

[0036] 图3A为本发明的振动台结构示意图

[0037] 图3B为本发明的振动台原理图;

[0038] 图3C为本发明的振动台安装位置图;

[0039] 图4为本发明的砧板结构示意图;

[0040] 图5为本发明的电控柜控制按钮示意图;

[0041] 图6为本发明的系统布置示意图;

[0042] 图7为本发明采集振动与力信号数据的波形图。

[0043] 附图中,各附图标记指代的零部件说明:

[0044]

1	提升装置	11	链条
2	机架	21	光滑导轨
22	底座	23	激光位移传感器
24	立柱		
3	定位架		
4	磁铁架		
5	锤体	51	锤体架
511	套筒	512	圆钢板
513	纵板	514	U型筋板
515	横板	516	前焊接版
517	直线轴承	52	六角头螺杆带孔加强杆螺栓
53	锤身	531	后焊接板

532	托盘面	533	托盘底
54	I型六角螺母	55	锁紧螺母
56	配重块	57	托盘柱
58	一字螺塞	59	加速度传感器
6	振动台	61	保护罩
62	侧板	63	振动平台
64	振动电机	65	弹簧
66	凸台		
7	砧板(物料台)	71	砧板上座
72	砧板下座	73	实验样品(物料)
74	力传感器(石英力传感器)	75	自制内六角铰制沉头螺钉
8	控制柜		

具体实施方案

[0045] 下面结合说明书附图,通过具体实施例对本发明做出进一步的说明。

[0046] 如图1,本发明公开了一种物料破碎过程高速动态测定试验装置,包括提升装置1、机架2、光滑导轨21、定位架3、磁铁架4、锤体5、振动台6、砧板7和控制柜8、机架2通过立柱24固定在底座22上,光滑导轨21位于机架2中间,光滑导轨21上设有激光位移传感器23。其中,提升装置1固定安装在机架2的顶部;锤体5吸附于磁铁架4上,由提升装置1牵引,受控制柜8的控制启停,由通过螺栓调节、可以在光滑导轨21上上下活动的定位架3确定位置;磁铁架4与光滑导轨21依靠直线轴承517滑动连接;振动台6与砧板7都固定在底座22上部,以螺栓连接。砧板7也是物料台,用于放置拟测试的物料,即实验样品73。

[0047] 进一步,提升装置1由链轮链条组和调速电机组成,链轮链条组和调速电机为现有传动结构,链轮和调速电机未标示。定位架3可以上下调节高度,并使用两侧螺栓限位。提升装置1的链条11的一端连接定位架3与下面的磁铁架4连接,磁铁架4与下面的锤体5磁力连接。链条11的另一端系有与锤体5质量相等的铅块,用于减小链条受力,提升装置1的链轮链条组和调速电机安装在机架2上部;提升装置1受控制柜8以及安装在定位架3和砧板7上部的两个行程开关控制启停。

[0048] 进一步,光滑导轨21要求粗糙度为1.6,减少锤体下落时摩擦阻力;所述光滑导轨21与磁铁架4、锤体5零件的直线轴承517滑动接触,减小工作过程中零部件之间产生的阻力。

[0049] 进一步,磁铁架4用于吸附锤体5,受控制柜8控制,完成启停动作。

[0050] 如图2A所示,为锤体5主要外观。锤体5由锤体架51,六角头螺杆带孔加强杆螺栓52,锤身53,I型六角螺母54,锁紧螺母55,配重块56,托盘柱57,一字螺塞58组成。如图2D所示,锤体5可以通过锤体架51沿光滑导轨21上下移动,两零部件之间由套筒511内部的直线轴承517连接;同时,锤体5吸附于磁铁架4上,受到提升装置1牵拉,并受到磁铁架4上方定位架3的限位。两个U型筋板514对称焊接在纵板513两侧,组成的零部件上平面焊接圆钢板512,组成的焊接件左右两侧再焊接套筒511,组成的焊接件在将两个前焊接板516焊接套筒511上,最后组成锤体架51;后焊接板531焊接在托盘面532上,托盘面532底部焊接在阶梯状

圆柱的托盘底533上,三者组成锤身53零部件。

[0051] 锤体5整体外观经创新设计,其自身净重为20 kg,可增加5 kg/个的配重块66,锤体5最大重量可达到80 kg。

[0052] 进一步,如图2A所示,锤体5经设计与加工调整,六角头螺杆带孔加强杆螺栓52正反对称安装;如图2B所示,锤体架51为对称设计,保证该部分重心通过对称轴;如图2C所示,锤身53的圆柱底面进行阶梯状加工,使后半圆柱厚度减去前半圆柱的质量与锤体正面锤体面质量相同,保证整体重心在竖直轴线上,令下落过程锤体5不发生前后、左右的剧烈摆动;

[0053] 进一步,图2A所示,配重块56内部有螺纹,托盘柱57表面有螺纹,两部件螺纹连接,并通过锁紧螺母55进行固定,通过改变锤体重量来改变落锤重力,进而调节试验过程中输入的冲击力大小。

[0054] 进一步,如图2C所示,托盘底533底部加工三个螺纹孔,使用一字螺塞58堵住,可以设计平头、圆锥头锤头。如图2D所示,通过螺栓连接设计不同形状的锤头安装到原锤身53底部,可以通过改变加载锤体形状来调节试验变量中的加载方式。

[0055] 锤体5处设计为本发明一项创新之处,与传统设备相比,加载部件可以进行自身质量与形状的调整,从而改变冲击试验的加载速率与方式。

[0056] 如图1、图3A所示为振动台6整体结构。振动台6由保护罩61、侧板62、振动平台63、振动电机64、弹簧65与凸台66组成,通过底部凸台66上的螺纹孔与机架底座22上表面进行连接,如图3C所示。所述振动台6,由两个对称排布的振动电机64提供激振力,振动电机64与安装在振动平台63两侧的侧板62螺栓连接,底部不与机架底座22产生接触,振动台6与机架2仅通过4个凸台66接触,通过安装在凸台66上的弹簧65传递振动。振动台6总质量为154.07 kg,平均分布在4只金属弹簧65上,弹簧材料65Mn,强度极限为980 MPa,为一类弹簧,振动台6的振幅为1.17 mm,振动电机64的振动频率为2850 r/min,质量为33 kg,最大激振力为8000 N。

[0057] 所述振动平台63,为本发明创新之处,在以往试验机基础上增加振动部件,由振动电机64提供激振力,并研究物料(实验样品)73在冲击-振动耦合作用下的破碎表征。

[0058] 进一步,所述振动台6设计,如图3B所示,根据振动理论,偏心块回转时,每个偏心块所产生的离心力在Y轴的投影为:

$$[0059] \quad F_1 = mw^2r \sin wt$$

[0060] 式中: F_1 —一个偏心块产生的离心力,N; m —偏心块的质量,kg; r —偏心块的质心回转半径,m; w —偏心块的回转角速度,rad/s

[0061] 所用偏心块的离心力在Y-Y方向上的合力为: $F = \sum mw^2r \sin wt$ 。坐标系Y的方向向上,激振力方向向上。振动台6加振动电机64的质量为M,弹簧的刚度为K,阻尼系数为C,质体向上运动的位移、速度和加速度分别为 y, \dot{y}, \ddot{y} 。根据牛顿第二定律,列出质体运动方程:

$$[0062] \quad M\ddot{y} = \sum mw^2r \sin wt - C\dot{y} - ky$$

[0063] 求解上式方程可得:

$$[0064] \quad A = \frac{\sum mr}{M} \frac{z_0^2}{\sqrt{\{(1-z_0^2)^2 + (2\xi z_0)^2\}}}$$

[0065] 当 $z_0 > 3$ 时, $MA = \sum mr$ 。

[0066] 振动台6总质量为154.07kg,平均分布在4只金属弹簧65上,弹簧材料65Mn,强度极限为 $\sigma_b=980\text{MPa}$,为一类弹簧, $[\tau]_1=471\text{MPa}$,振动台6的振幅为1.17 mm,振动电机64的振动频率为2850 r/min,质量为33 kg,最大激振力为8000 N。

[0067] 其中,激振频率为: $w = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \times 3.14 \times 2850}{60} = 298.3(1/s)$

$$F = Mw^2 A$$

[0068] 根据公式计算振幅为: $A = \frac{F}{Mw^2} = \frac{16000}{154.07 \times 298.30^2} = 1.17\text{mm}$

[0069] 初步设计弹簧参数如下,钢丝直径为 $d=14\text{mm}$,弹簧的中径 $D=86\text{mm}$,有效圈数 $n=5$,总圈数 $n_1=6.5$,节距 $p=21\text{mm}$,则计算可知

[0070] 自由高度: $H_0 = np + d = 5 \times 21 + 14 = 119\text{mm}$;

[0071] 压并高度: $H_p = (n+1)d = 6 \times 14 = 84\text{mm}$;

[0072] 弹簧的刚度: $k_d = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{78500 \times 14^4}{8 \times 86^3 \times 5} = 118.53\text{N/mm}$;

[0073] 弹簧静压缩量: $\delta = \frac{Mg}{4k_d} = \frac{167.38 \times 9.80}{4 \times 118.53} = 3.46\text{mm}$;

[0074] 弹簧的固有频率: $w_1 = \sqrt{\frac{g}{\delta}} = \sqrt{\frac{9.8}{3.14 \times 10^{-3}}} = 55.87(1/s)$;

[0075] 频率比: $z_0 = \frac{w}{w_1} = \frac{298.30}{55.87} = 5.34$;

[0076] 共振时弹簧压缩量: $\delta_j = \delta + 5A = 3.46 + 5 \times 1.17 = 9.31\text{mm}$;

[0077] 极限载荷: $F_j = k_d \delta_j = 118.53 \times 9.31 = 1103.52\text{MPa}$;

[0078] 正常工作时最小变形和最小载荷:

$$\delta_1 = \delta - A = 3.46 - 1.17 = 2.29\text{mm}, F_1 = k_d \delta_1 = 118.53 \times 2.29 = 271.43\text{N};$$

[0079] 正常工作时的最大变形和最大载荷:

$$\delta_2 = \delta + A = 3.46 + 1.17 = 4.63\text{mm}, F_2 = k_d \delta_2 = 118.53 \times 4.63 = 548.79\text{N};$$

[0080] 旋绕比: $C = \frac{D}{d} = \frac{86}{14} = 6.14$;

[0081] 曲度系数: $k = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = 1.25$;

[0082] 极限剪切应力: $\tau_j = \frac{8kD}{\pi d^3} F_j = 108.77\text{MPa} < [\tau_j] = 1.67[\tau]_1 = 1.67 \times 471 = 786.6\text{MPa}$;

[0083] 最小剪切应力: $\tau_{\min} = \frac{8kD}{\pi d^3} F_1 = \frac{8 \times 1.25 \times 86}{3.14 \times 14^3} \times 271.43 = 27.09\text{MPa}$;

[0084] 最大剪切应力: $\tau_{\max} = \frac{8kD}{\pi d^3} F_2 = \frac{8 \times 1.25 \times 86}{3.14 \times 14^3} \times 548.79 = 54.78\text{MPa}$;

[0085] τ_0 按变载荷作用次数为 10^7 选取, $\tau_0 = 0.3\sigma_b = 294\text{MPa}$;

[0086] 疲劳安全系数为 $s = \frac{\tau_0 + 0.75\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = \frac{294 + 0.75 \times 27.09}{54.78} = 5.74 \geq [s] = 2.2$;

[0087] 稳定性的验算为 $b = \frac{H_0}{D} = \frac{119}{86} = 1.38 < 5.3$, 则可使用弹簧两端固定。

[0088] 如图1、图4所示, 砧板7包括砧板上座71、砧板下座72和力传感器74, 被测试的实验样品(物料)73放置在砧板7上, 在砧板上座71和砧板下座72之间安装力传感器74, 本实施例中, 力传感器74为石英力传感器, 用于测定试验过程中实验样品(物料)73受力情况。

[0089] 如图1、图5所示, 控制柜8分为自动与手动模式, 可以控制提升装置1以及磁铁架4上电磁铁、以及振动台6中振动电机64的启停, 同时控制信号采集设备采集试验过程中传感器数据, 并有与计算机通信的接口, 方便数据处理。

[0090] 进一步, 电控柜8各控制按钮功能如下: “电机上升”与“电机下降”按钮控制提升装置1的减速电机正反转, 用以提升与下放锤体5; “电机调速”按钮为调整提升与下方的速度; “电机停止”按钮为停止减速电机, 减速电机的抱死结构使锤体5在特定位置保持高度不变; “上升限位”与“下降限位”为为试验机上的行程开关的指示, 用以分别控制锤体5最高高度和最低高度, 防止对发生零部件之间的碰撞; “磁铁启动”与“磁铁停止”用以控制电磁铁通断电; “振动启动”与“振动停止”按钮用以同时控制两台振动电机64的启停; “振动调速”按钮用以调节振动电机64振动频率; “紧急停车”按钮用于在发生安全事故时及时断电; “电机故障”用于指示设备电路故障; “一键启动”为自动模式下的操作, 具体见后文介绍; “手动/自动”按钮用以调整设备控制模式。

[0091] 进一步, 所述电控柜8控制试验装置分为两种模式: 主体电控模式、振动电机电控模式。

[0092] 所述主体电控模式, 操作步骤如下: ①试验准备结束后, 打开电源, 减速电机通电正转可调节转速, 驱动提升装置1控制磁铁架4下降与锤体5接触, 减速电机停止; ②打开电磁铁电源, 吸合锤体5; ③减速电机通电反转可调节转速, 上升到定位架3位置时, 通过行程开关控制减速电机断电; ④断开电磁铁电源, 释放锤体6; 各监测设备如激光位移传感器23、加速度传感器59、力传感器74、红外热像仪与高速摄影机记录破碎过程数据; ⑤重复①~④步骤。

[0093] 所述振动电机64电控模式, 操作步骤如下: ①通电, 振动电机64同步运动, 可调节振动频率; ②试验结束后, 断电。控制柜8的操作属于现有技术, 此处不再详细赘述。

[0094] 一种物料破碎过程高速动态测定试验系统, 包括物料破碎过程高速动态测定的试验单元、采集单元以及计算单元。

[0095] 图6为本发明的系统布置示意图, 显示本发明的物料破碎过程高速动态测定试验装置多种传感器、红外热像仪、高速摄影机以及数据处理计算机组成的物料破碎过程高速动态测定试验系统, 如图6所示, 所述试验单元, 即本发明的物料破碎过程高速动态测定试验装置, 用于试验在高速动态测定试验机下不同加载速率与方式的物料破碎各状态参数表征。

[0096] 所述采集单元, 用于通过高速摄影机、红外热像仪、激光位移传感器23、加速度传感器59与力传感器74等记录试验过程中颗粒飞溅的运动状态与温度变化过程; 如图7所示, 为本发明采集振动与力信号数据的波形图, 其中通道1式加速度传感器采集数据, 当锤体下落时产生加速度变化波形, 由此可计算锤体下落最大加速度、相应速度以及下落位移; 通道2为力传感器收集到的冲击力数据, 可以记录受力过程与持续时间, 进而判断物料受冲击力

作用后的具体破碎特性。

[0097] 所述计算单元,用于对处理加速度传感器59、力传感器74、激光位移传感器23的信号,分析高速摄影与红外热像视频,研究物料破碎过程中不同加载速率与方式下的运动状态、力、能量、粒度组成等因素的相互关系。

[0098] 进一步,所述采集单元,试验过程的实物图,通过普通摄像机进行记录;力传感器74与加速度传感器59在试验过程中实时采集的数据图像,通过数据采集仪导入计算机设计程序中,图中尖峰处即为接触并破碎物料的全过程;试验过程中拍摄的高速摄影截图,高速摄影输出端与电脑相连,可从计算机上实时观测;试验过程中拍摄的红外热像截图,红外热像使用专用软件进行记录,输出至计算机。通过加速度传感器59、力传感器74、激光位移传感器23等多传感器组、高速摄影以及红外热像相互验证,可对物料在冲击破碎过程中的力、加速度、位移以及温度变化进行实时测定。如图7所示,所述力传感器74,量程为300kN,灵敏度为4pc/N;所述加速度传感器59频率范围是0.5-12000Hz,灵敏度100mV/g,量程50g;所述激光位移传感器23测量距离为 $\pm 39\text{mm}$,最小显示单元为0.01 μm ;所述高速摄像机,帧率1000帧/秒,分辨率为 1280×1024 ,像素尺寸为 $12\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$;所述红外热像仪,测量范围为 $-20^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$,分辨率为 320×240 ,精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。所述采集单元,为本发明创新之处,在以往设备传感器数据监测基础上,使用多传感器与高速摄影与红外热像的协同作用,可采集更多、更准确的实时破碎数据,不同设备之间结果相互印证,提高测定数据的科学性和准确性。

[0099] 进一步,所述计算单元,针对加速度传感器59处理物料破碎过程中加速度信号,求得速度与位移信号;力传感器74测定破碎过程中力的变化与接触时间;激光位移传感器23测定物料垂直方向位移情况,与加速度传感器59计算值相验证;高速摄影追踪物料运动状态并记录破碎过程,与传感器数值互相验证;红外热像仪记录物料破碎飞溅情况与表面温度。在以上数据基础上建立神经网络进行训练,对测定指标进行判别、比较与分类,建立物料破碎过程中不同加载速率与方式同各参数之间的关系模型,建立一个多参数输入、可互相验证的物料破碎过程各参数实时测定系统,可以实现在试验过程中实时获知物料各物理参数的动态变化过程,并对结果进行预测,为本发明创新之处。

[0100] 本发明的工作过程是这样实现的:试验机工作部件为锤体5,锤体5由提升装置1牵拉,被磁铁架4上电磁铁吸附;当电磁铁释放时,沿光滑导轨21自由落体,对砧板7上物料73进行冲击破碎或对振动台6)上物料进行冲击-振动耦合破碎。通过改变锤体5的下落高度、重量以及锤头形式,研究不同加载速率与方式下的冲击破碎试验;通过多传感器系统(包括激光位移传感器23、加速度传感器59和力传感器74)、高速摄影机和红外热像仪监测与记录破碎过程中物料运动状态、受力以及温度的变化。将采集数据导入计算机系统,利用神经网络深度学习训练,构建不同加载速率与方式下物料在冲击破碎(或冲击-振动耦合破碎)过程中各物理参数的演化规律模型,对破碎过程中耗散能量进行测定。本发明通过高速动态测定试验系统、采集系统以及计算系统,研究不同加载速率与方式下物料在冲击破碎(或冲击-振动耦合破碎)过程中各物理参数的演化规律模型,从而实时、精确地得到物料破碎的耗散能量,指导破碎设备的设计、加工与制造。

[0101] 最后说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技

术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的宗旨和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

[0102] 参考文献

[0103] [1] Kent R, Rittinger P. Lehrbuch der Aufbereitungskunde in ihrer neuesten Entwicklung und Ausbindung systematisch dargestellt, [M]. Berlin: Ernst&Kern, 1867: 595.

[0104] [2] F K. Das Gesetz der proportionalen Widerstände und seine Anwendungen: Nebst Versuchen über das Verhalten verschiedener Materialien bei gleichen Formänderungen sowohl unter der Presse als dem Schlagwerk [M]. A. Felix, 1885.

[0105] [3] F. C. B. The Third Theory of Comminution [J]. Mining engineering, 1952 (4): 484.

[0106] [4] 赵洪宝, 王中伟, 胡桂林. 动力冲击对煤岩内部微结构影响的NMR定量表征 [J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35 (8): 9.

[0107] [5] 温彦凯. 蓄能落锤式冲击试验台研制及煤岩动静组合加载试验研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2017.

[0108] [6] 周强, 潘永泰, 郭庆, 等. 分级破碎过程的断裂动力学分析和试验研究 [J]. 矿业科学学报, 2019, 4 (5): 7.

[0109] [7] 邓永红, 庞国栋. JLW-800型屏显式落锤冲击试验机的设计 [J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2012, 25 (6): 4.

[0110] [8] 谢鹏, 史珠丽, 徐元生. 一种落锤冲击试验机: 2011-11-30.

[0111] [9] 杨体绍, 高秋江, 曾强国. 落锤试验机的研制及应用 [J]. 冶金分析, 2004 (z2): 2.

[0112] [10] 黄宝清, 王印宝. LC-450型落锤式冲击试验机的设计及应用 [J]. 橡胶工业, 2000, 000 (010): 623.

[0113] [11] 吴健华, 王威德. XJL-98落锤试验机的研制 [J]. 试验机与材料试验, 1987 (4).

[0114] [12] 吴迪, 刘煜程, 王颂. 一种能够精确测定落锤冲击能量的冲击落锤试验机: 2015-01-21.

[0115] [13] 孟一, 张挣鑫. 一种落锤试验机位移测量装置: 2014-06-25.

[0116] [14] 唐俐. 基于虚拟仪器的落锤式材料试验机冲击能量测控系统 [D]. 四川大学, 2004.

[0117] [15] 王军, 王祎玮, 李代生, 等. 落锤材料试验机冲击能量测控系统: 中国工程物理研究院科技年报 (2001), 2001 [C].

[0118] [16] 李贵花, 曹卫东, 孙方道, 等. 落锤试验机: 2021-08-06.

[0119] [17] 胡玲玲, 赵昕, 陈圣儒, 等. 一种落锤试验机: 2021-10-19.

[0120] [18] 陆奇峰, 戈伟文. 一种落锤冲击试验机: 2019-09-03.

[0121] [19] 王多智, 张荣, 支旭东. 用于落锤试验机的测试平台: 2018-02-23.

[0122] [20] 王多智, 张荣, 支旭东. 用于落锤试验机的测试平台以及落锤试验方法:

2017-12-12.

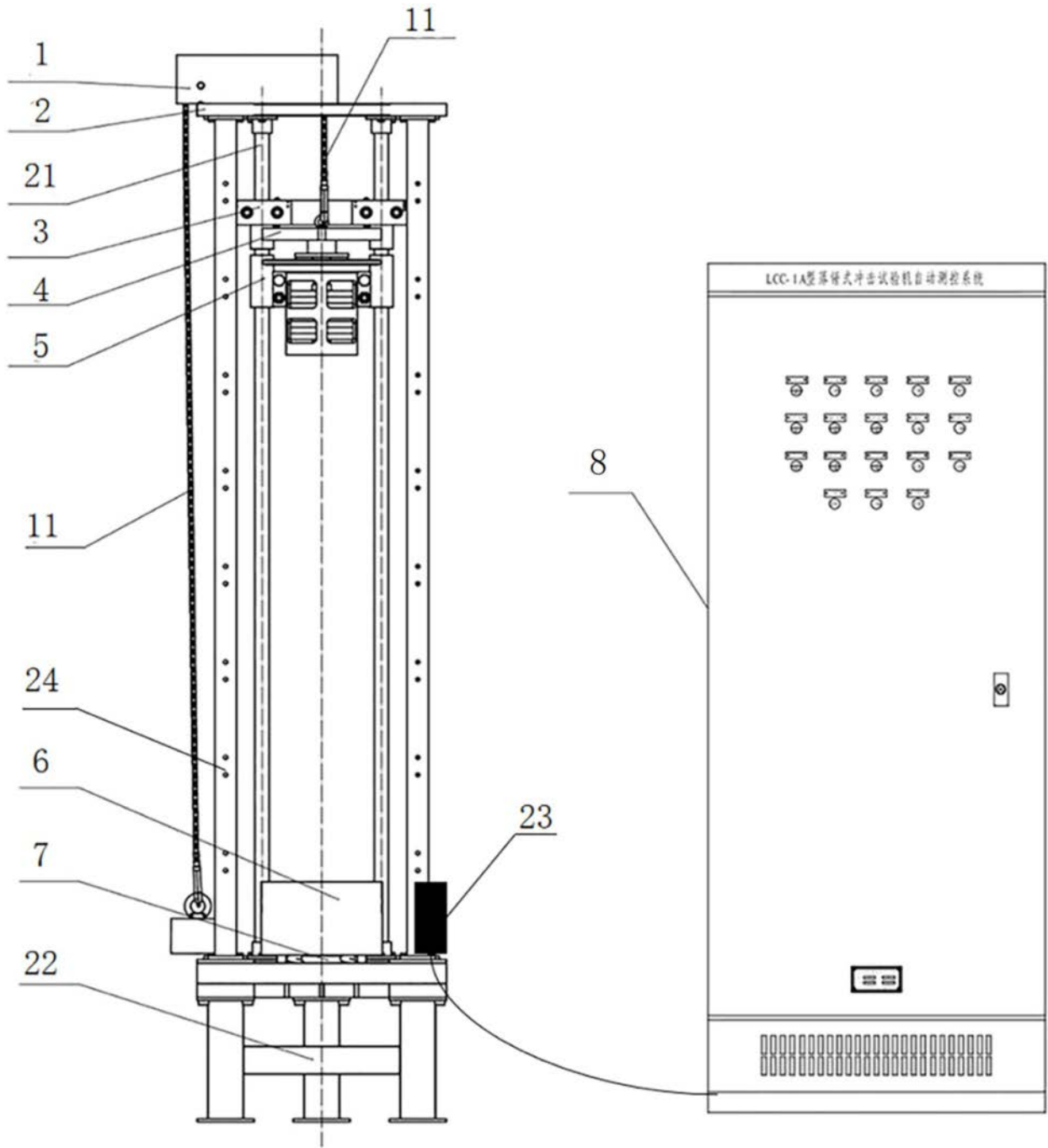


图1

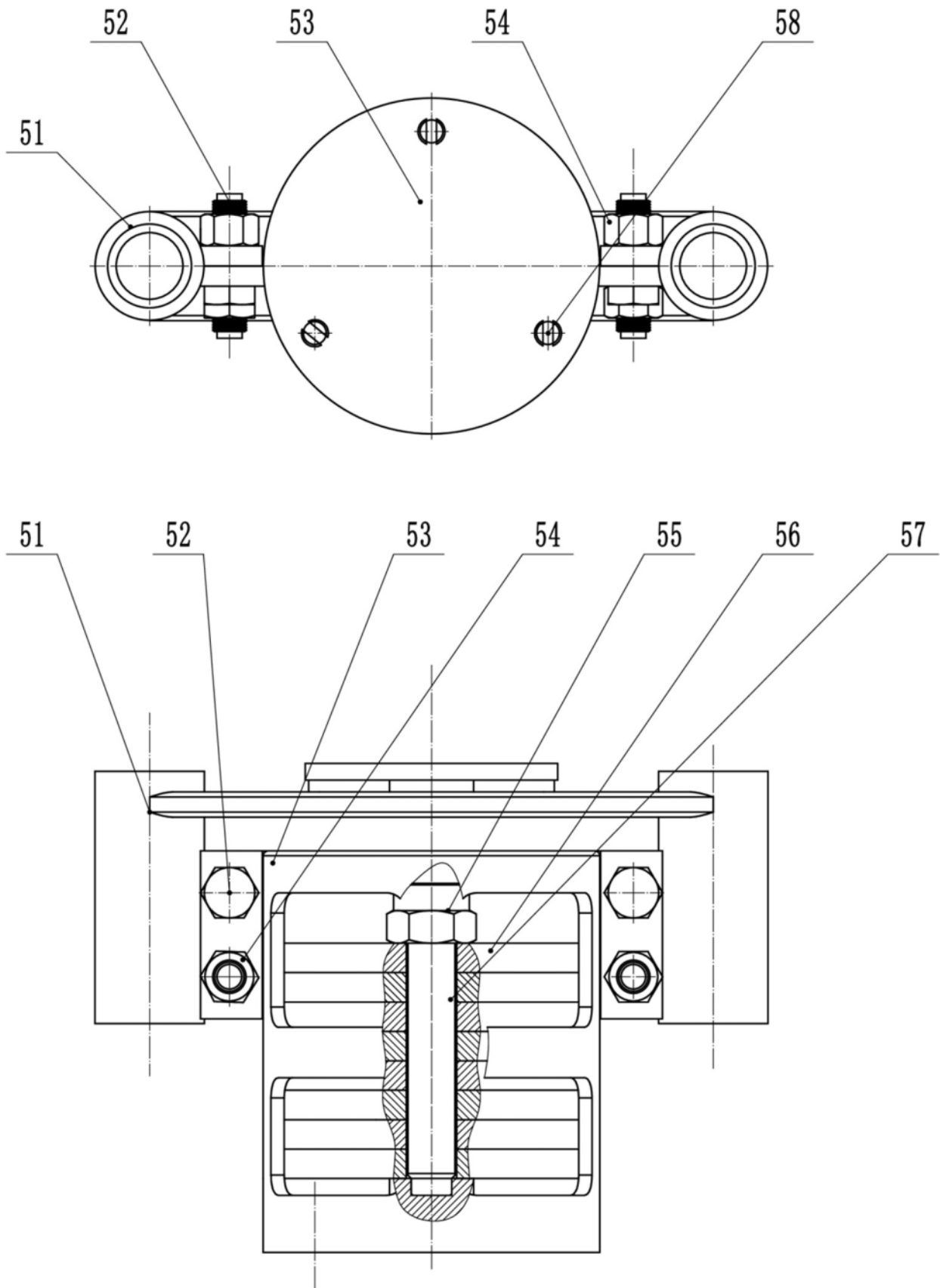


图2A

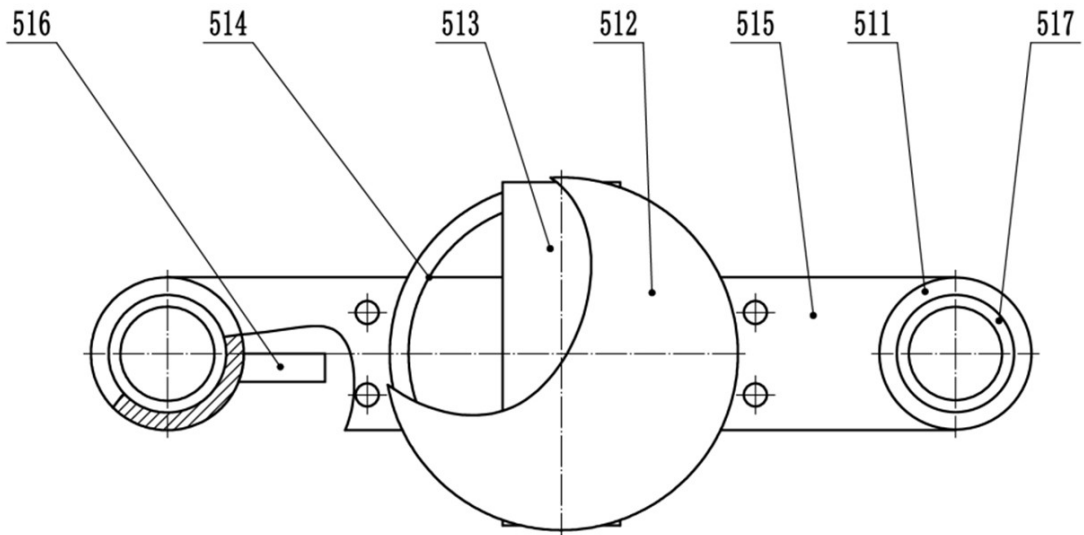
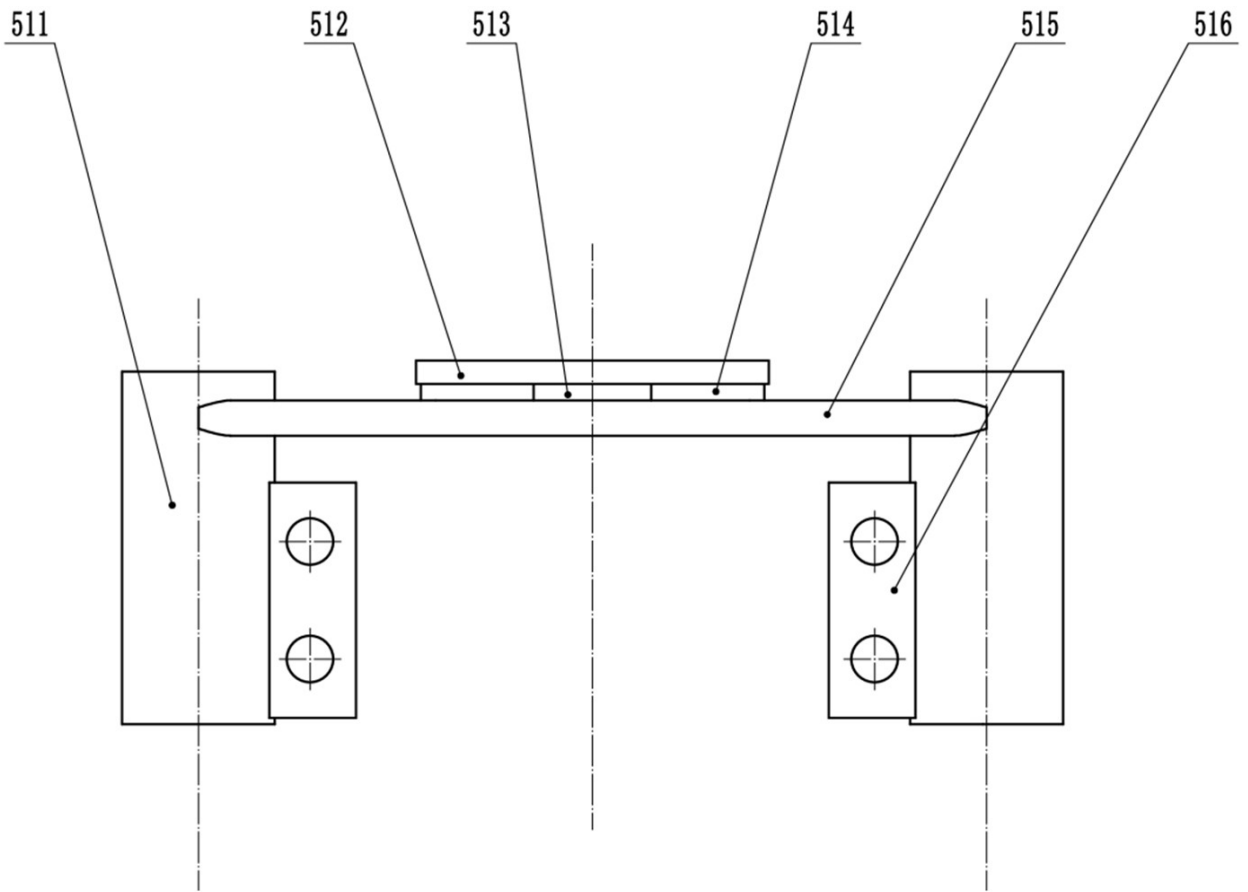


图2B

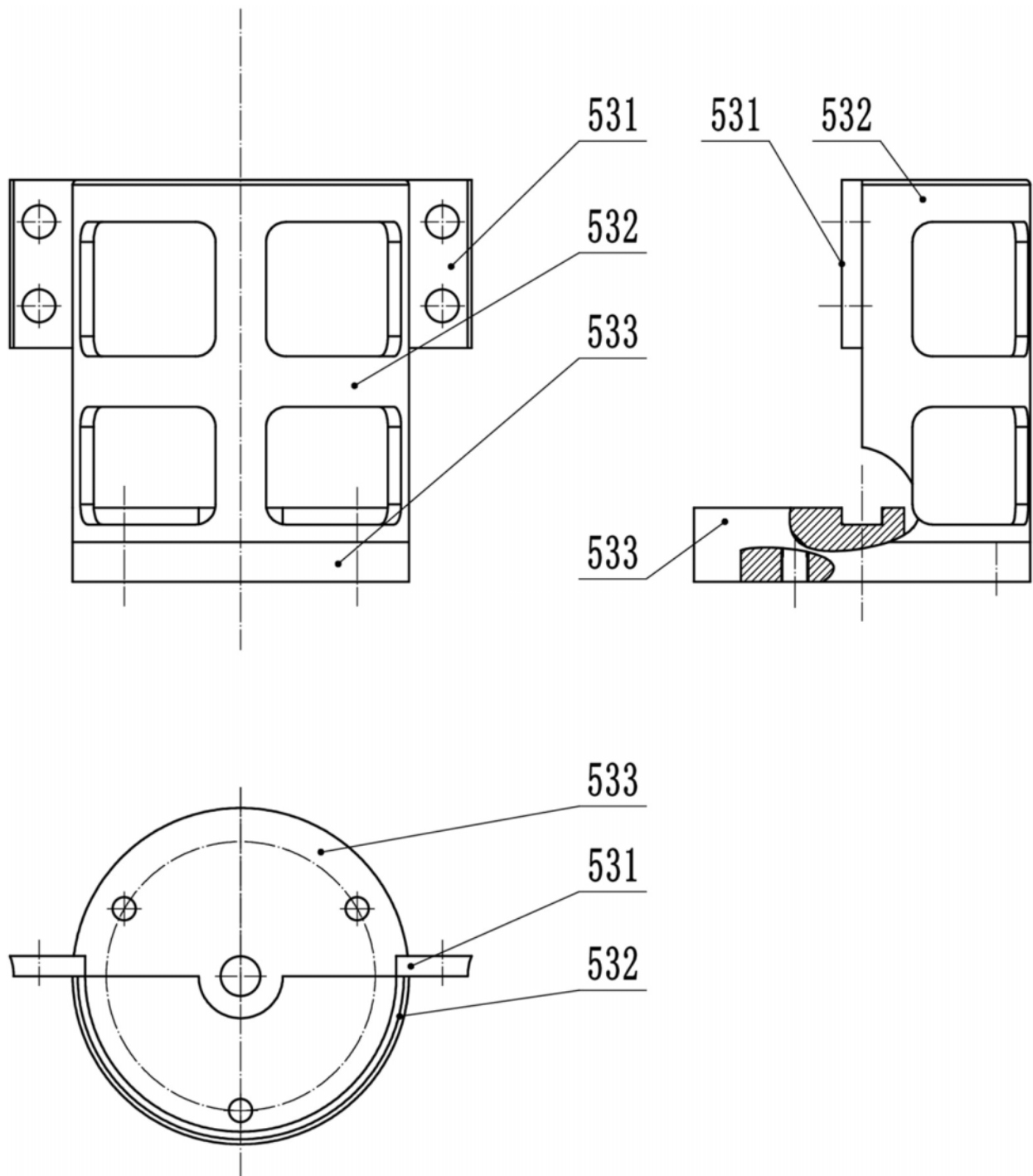


图2C

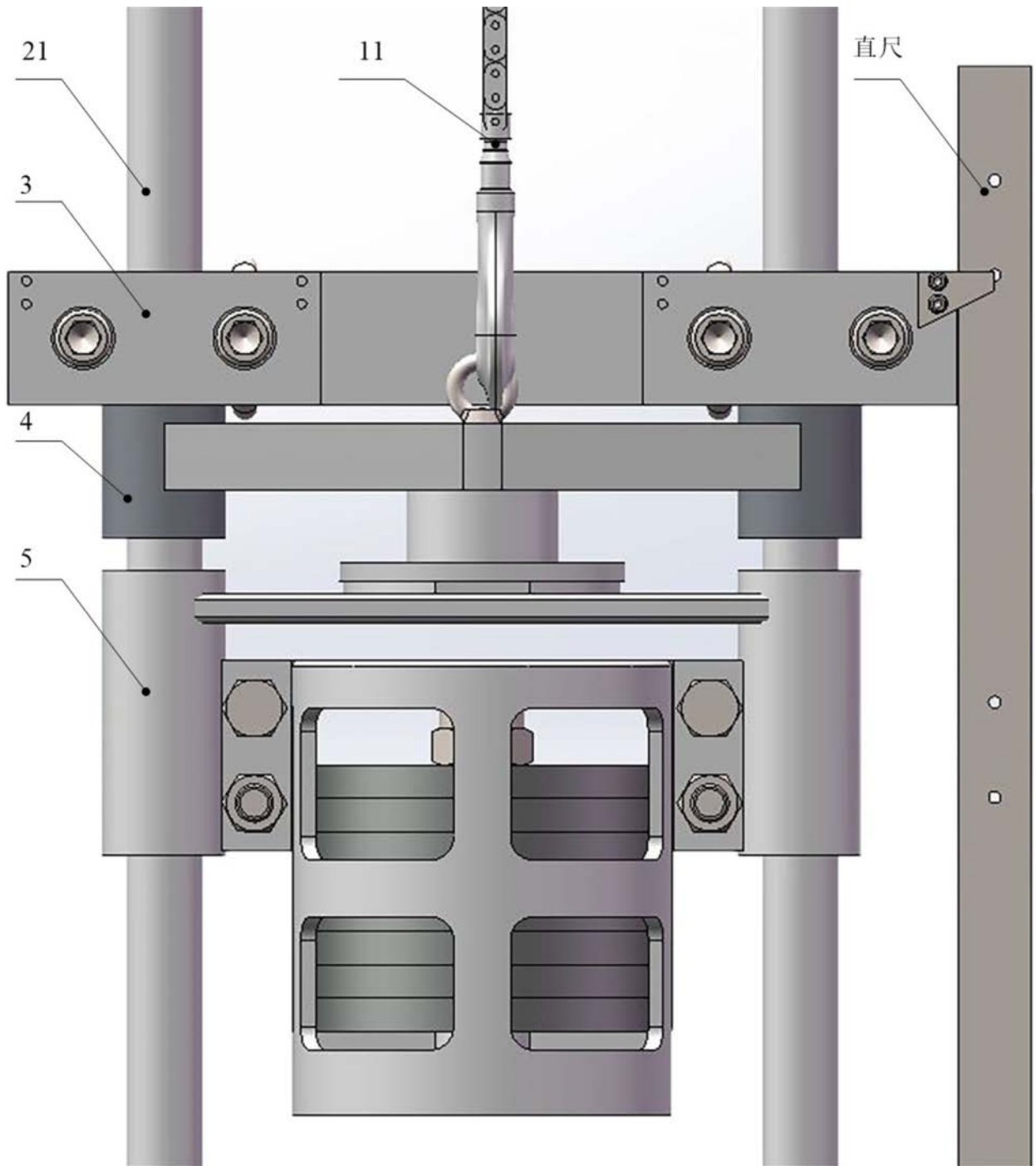


图2D

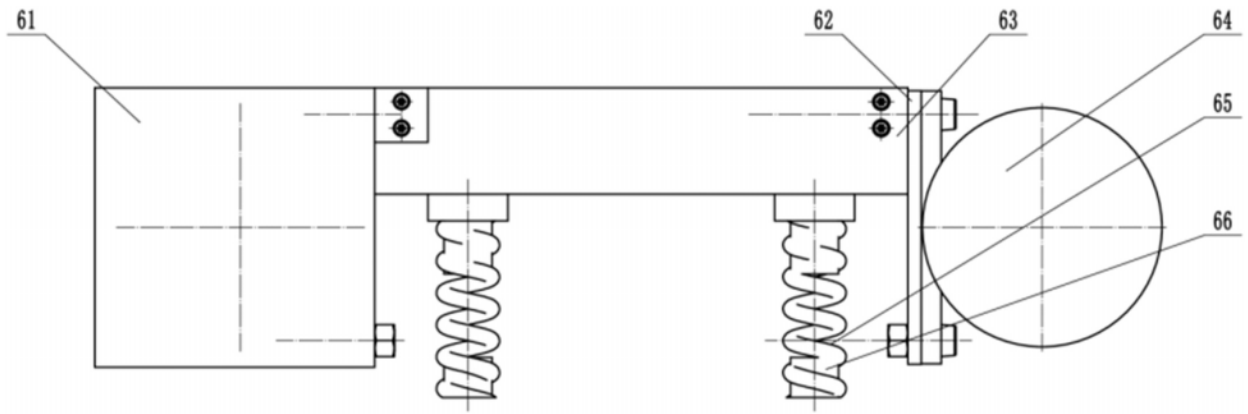


图3A

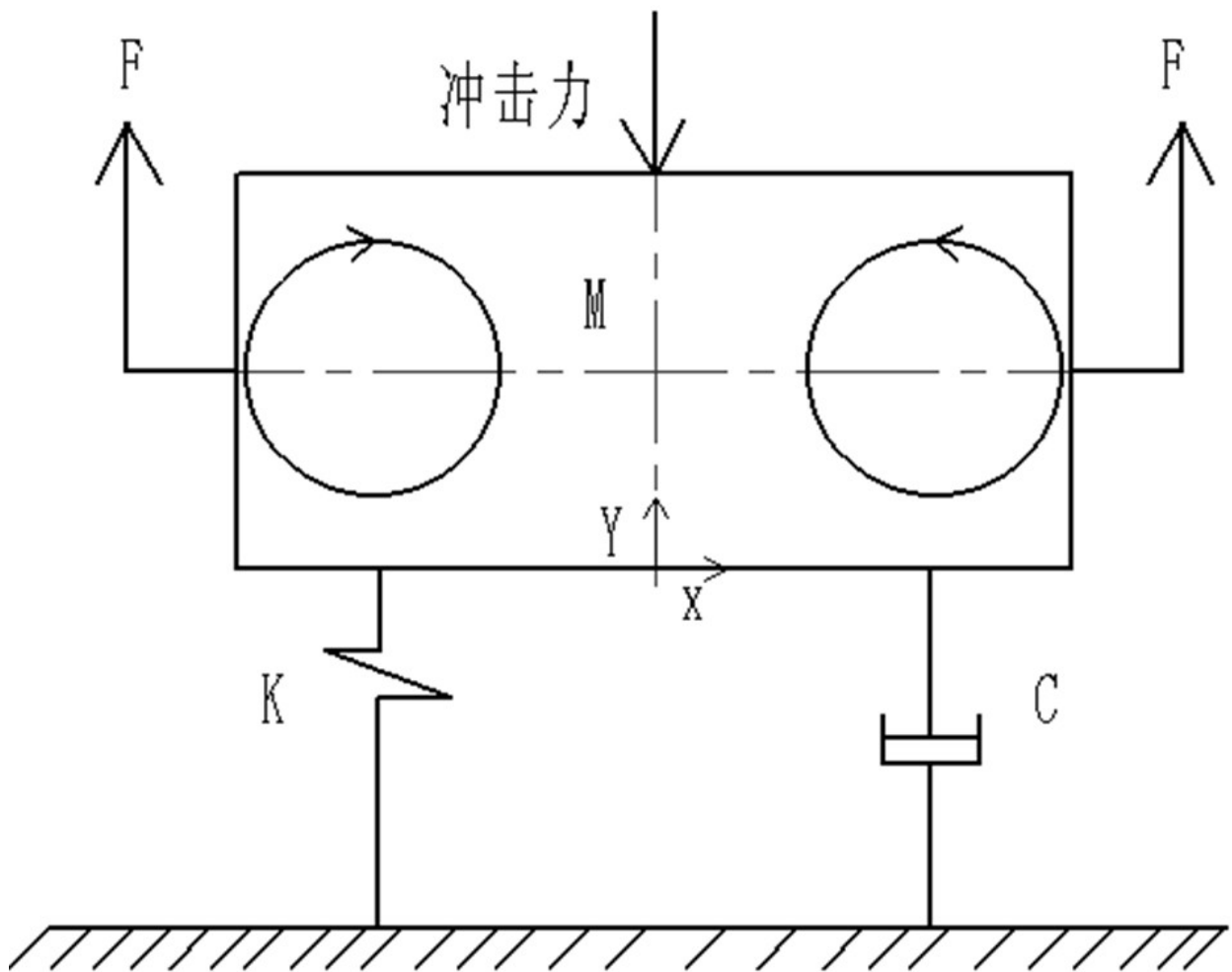


图3B

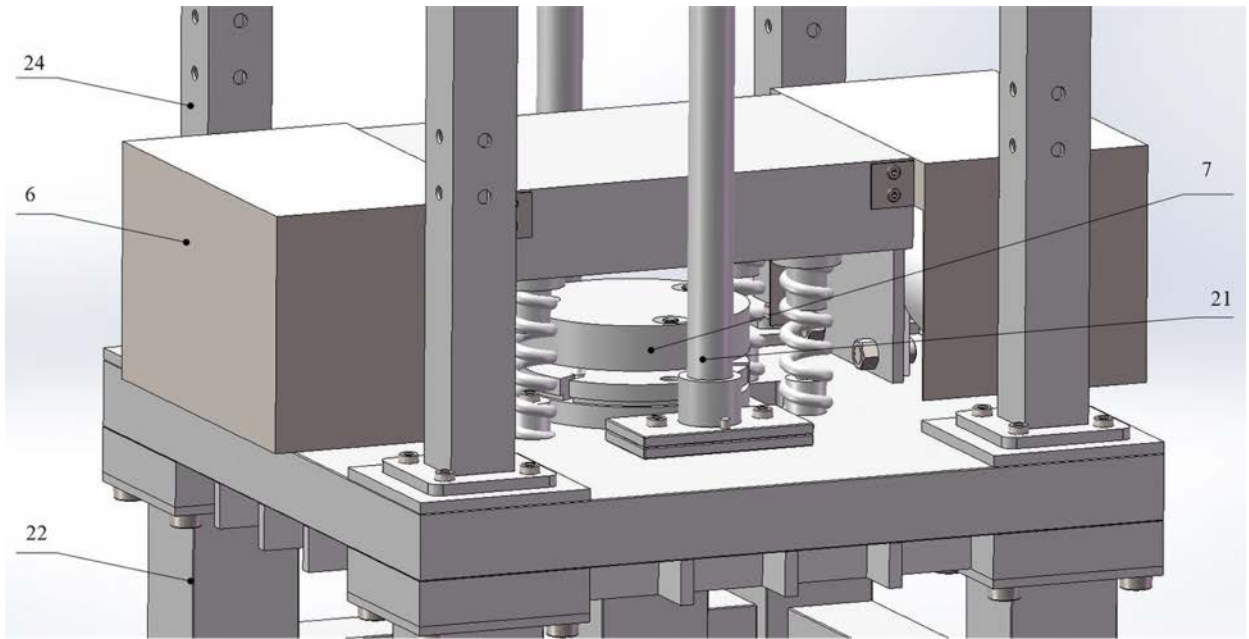


图3C

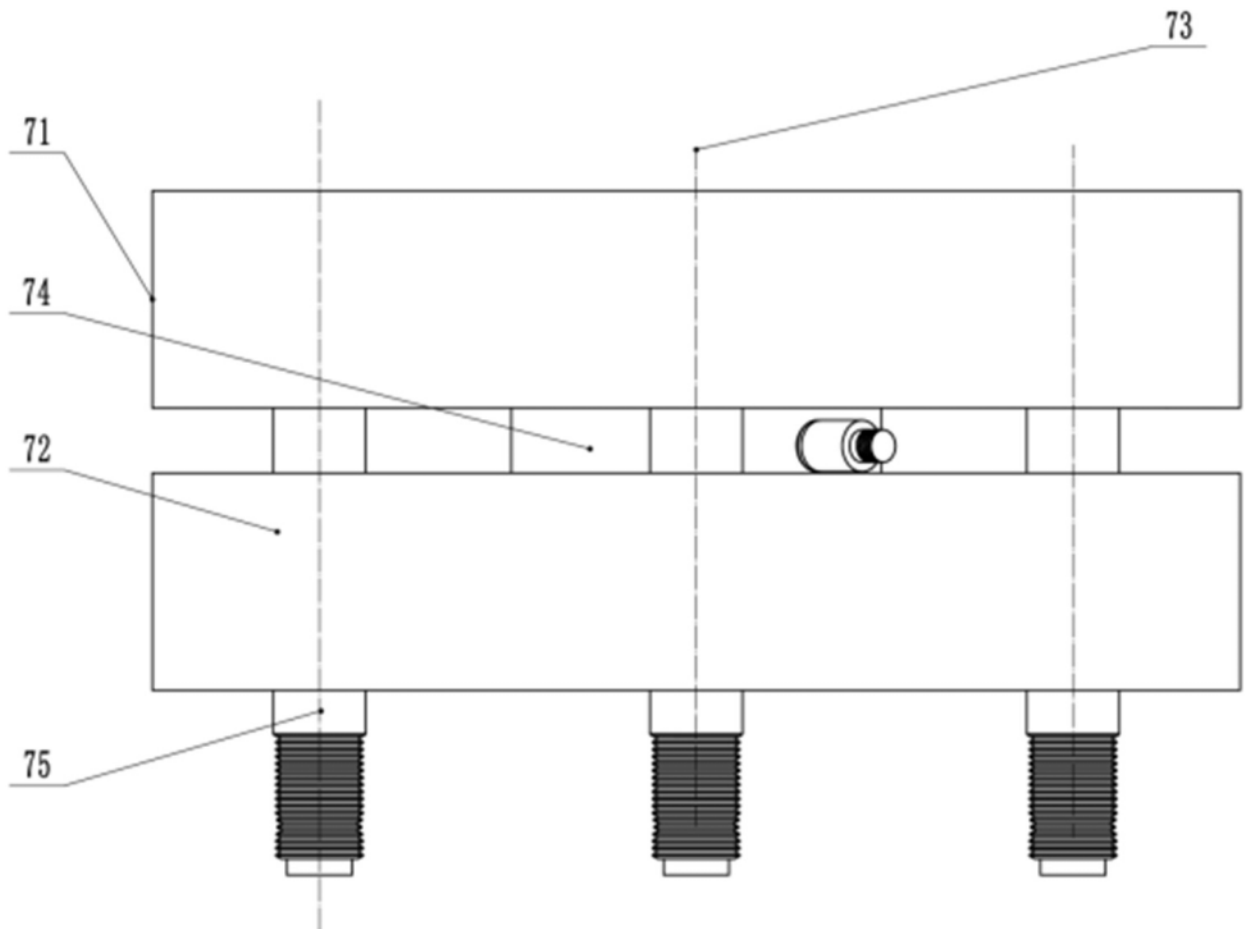


图4

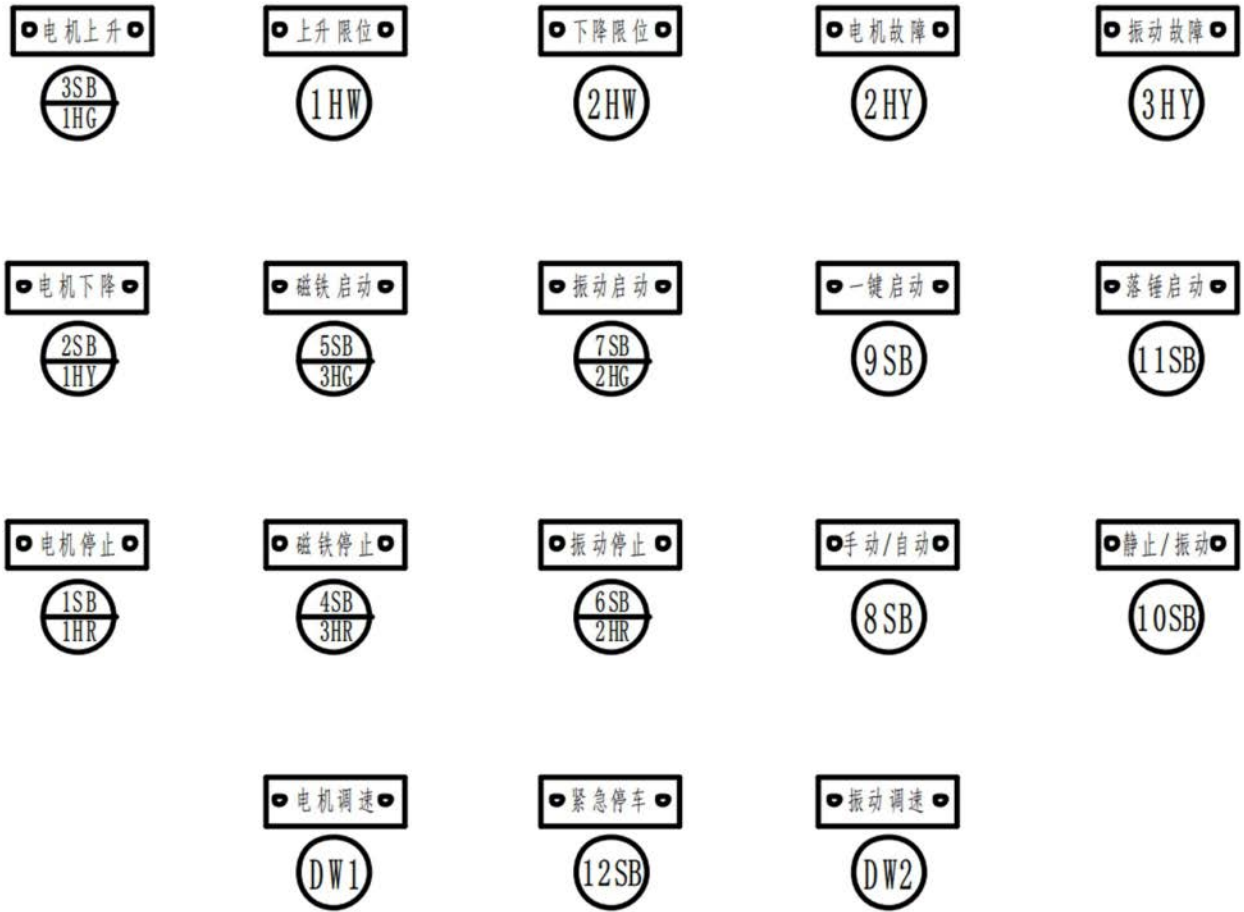


图5

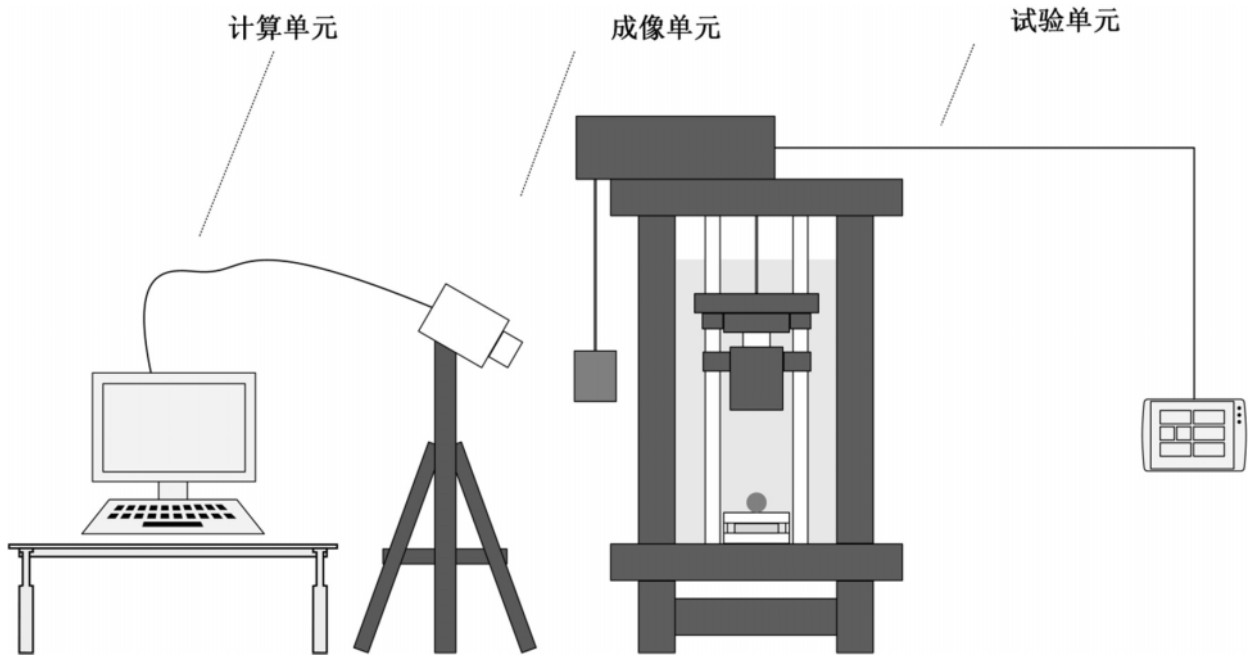


图6

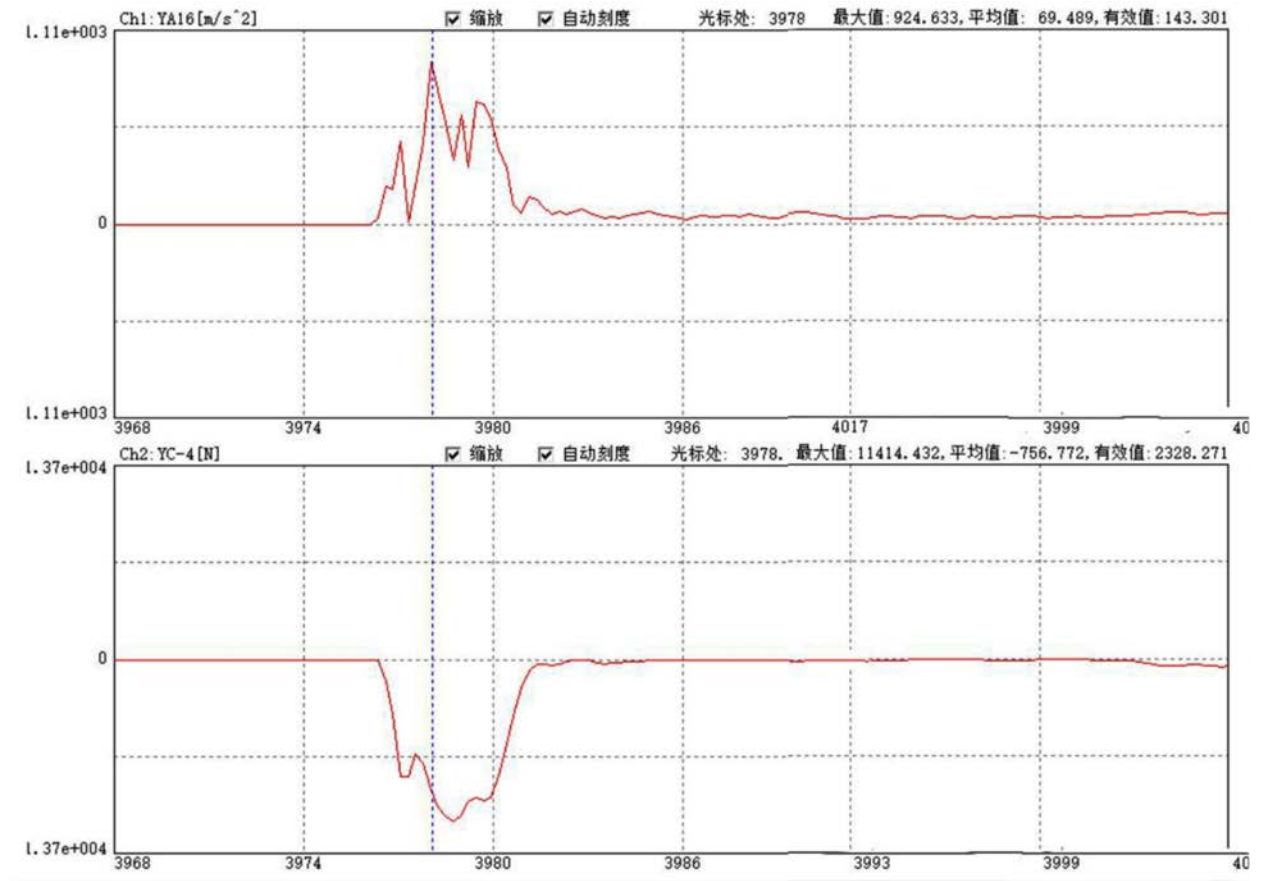


图7