

# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102095562 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 07

(21) 申请号 201010617228. 7

CN 201037803 Y, 2008. 03. 19, 全文.

(22) 申请日 2010. 12. 31

杨家华等. 平面结合面参数识别的研究.

(73) 专利权人 北京工业大学

《北京工业大学学报》. 2000, 第 26 卷 (第 3 期), 20-23.

地址 100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

审查员 林婷

(72) 发明人 伍良生 王泽林 肖毅川 马建峰  
晁慧泉

(74) 专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 楼艮基

(51) Int. Cl.

G01M 7/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201926548 U, 2011. 08. 10, 权利要求 1-4.

JP 特开平 10-61664 A, 1998. 03. 06, 全文.

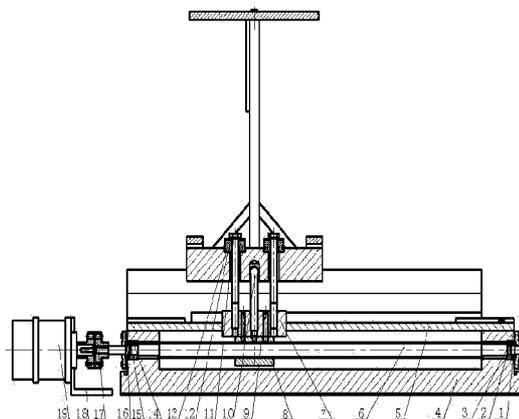
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 9 页

(54) 发明名称

滑动结合面动态特性测试装置及测试方法

(57) 摘要

本发明公开了一种滑动结合面动态特性测试装置和测试方法,包括运行装置和实验装置的数据采集分析处理系统;运行装置由单一电机驱动桥板及激振器支架同步运动,在移动过程中进行激振测试;包括基座、桥板导轨副、激振器同步运动装置、法向加压装置、切向加压装置、驱动执行装置,实验装置的数据采集分析处理系统,包括信号采集模块、信号通道模块、信号分析处理模块。实现在运动过程中进行激振实验。电机速度可调;所加压力可以在要求范围内变化,实现不同压力状态下结合面参数识别;切向导向块为可换件,能够测试钢、铸铁不同材料及多种表面粗糙度情况下的结合部的特性参数。高速、高效的数据采集分析处理系统为结合面实验的识别精度提供了有力保证。



1. 一种滑动结合面动态特性测试装置,包括运行装置和数据采集分析处理系统;其特征在于:所述的运行装置由单一电机驱动桥板及激振器支架同步运动,在移动过程中进行激振测试;

所述的运行装置包括基座、桥板导轨副、激振器同步运动装置、法向加压装置、切向加压装置、驱动执行装置,其中:

所述的基座包括工作台(4)、安装于工作台(4)两端的端盖(1)和调整垫圈(3)、深沟球轴承(2)以及用于承受丝杠的轴向载荷的面对面安装的一对角接触球轴承(15);所述的桥板导轨副包括滑动导轨(24)、桥板(25)、导向块(23);在工作台中心对称安装数个滑动导轨(24)和导向块(23),滑动导轨定位安装在工作台凸起部分;

所述的激振器同步运动装置包括由滚动导轨(22)和滑块(29)组成的支架运动导轨副,在桥板两侧对称分布的支架拉动杆(28)以及激振器支架;滚动导轨固定在工作台(4)上;左支架(21)、右支架(27)以及横梁(20)用螺栓连接组成激振器支架,左、右支架与滑块紧固连接;拉动杆底部与桥板(25)紧固连接,前端伸出部分穿过左、右支架的预留孔;桥板与支架拉动杆沿滑动导轨方向运动,支架拉动杆拖动激振器支架及滑块在滚动导轨上同步滑动;

所述的法向加压装置包括法向加力螺栓(11),特制垫圈(12),环形橡胶弹簧块(13)和螺母盖板(5);法向加力螺栓(11)穿过桥板(25)的通孔与螺母槽中的推杆基座(7)螺纹连接,螺母盖板(5)固定于工作台(4)上;

所述切向加压装置包括切向加力螺栓(30),矩形橡胶弹簧块(31)和切向加压板(26);切向加压板(26)通过螺纹连接与激振器支架固连,切向加压板两侧部分加工有螺纹孔;

所述驱动执行装置包括带有减速器的直流电机(19)、弹性柱销联轴器(17)、滑动丝杠(6)、传动螺母(8)、推杆基座(7)、推杆(10);直流电机(19)减速器的输出轴通过联轴器(17)与滑动丝杠(6)连接,将动力传递到滑动丝杠(6);滑动丝杠(6)和传动螺母(8)配合将电机动力转化为平移动力;传动螺母(8)与推杆基座(7)通过连接螺柱(9)固连,推杆(10)底部有螺纹,拧进推杆基座(7)上的螺纹孔中;通过以上三处的螺纹紧固连接将传动螺母、推杆基座和推杆连接为联动的整体,推杆的顶部为球形结构,设置在桥板的中心孔中;

所述的数据采集分析处理系统,包括信号采集模块、信号通道模块、信号分析处理模块;

其中,采集处于激振状态的结合面相关数据的信号采集模块包括激振器(A4)、阻抗头(A1)和拾振点加速度传感器(A2、A3),阻抗头包含力传感器和加速度传感器;拾振点加速度传感器在桥板上表面及对应点的滑动导轨侧面,并沿滑动导轨方向均匀分布;阻抗头位置为桥板重心位置的上表面;

信号通道模块包括电荷放大器(A7)、功率放大器(A5)和数据传送线路;信号通道模块将信号采集模块得到的信号经过电荷放大器处理,送到信号分析处理模块,同时将信号分析处理模块发出的激励信号传送至功率放大器,经调理后作用到激振器产生相应的激励;

信号分析处理模块包括数据采集卡(A6)、计算机(A8);数据采集卡接收信号通道模块传送的数据,转换为计算机内虚拟机程序要求的电信号。

2. 根据权利要求1所述的滑动结合面动态特性测试装置,其特征在于:所述的滑动导轨(24)用沉头螺栓紧固在工作台上,安装面四周设有防止润滑油外溢的油槽,滑动导轨的

表面进行贴塑处理。

3. 根据权利要求1所述的滑动结合面动态特性测试装置,其特征在于:所述的支架运动导轨副包括滚动导轨(22)两个、在滚动导轨上自由滑动的滑块(29)四个,滑块在两滚动导轨上各有两个,对称布置。

4. 根据权利要求1所述的滑动结合面动态特性测试装置,其特征在于:所述的左、右支架通过螺栓与滑块紧固连接。

5. 一种滑动结合面动态特性测试方法,其特征在于包括以下步骤:

5.1. 调平工作台(4),将工作台固定于试验台上;安装驱动执行装置,将导向块(23)、桥板(25)、矩形滑动导轨(24)和激振器同步运动装置安装于工作台上;滑动导轨的侧面预留传感器位置,沿矩形滑动导轨方向均匀布置加速度传感器A3,桥板上表面对应布置加速度传感器A2,各传感器与磁力座连接,通过磁力座吸附在矩形滑动导轨和桥板上;用柔性绳将激振器悬挂在横梁上,阻抗头(A1)固定在桥板上表面中心位置,调整激振器位置,使激振杆对正阻抗头;

5.2. 调整法向加力螺栓(11)或切向加力螺栓(30)的预紧力到指定大小,螺栓压紧环形橡胶弹簧块(13)或者矩形橡胶弹簧快(31),间接对矩形滑动导轨结合部施加法向载荷;调整电机输出转速,驱动桥板在矩形滑动导轨上以一定的速度移动,并拖动激振器支架和自由悬挂状态的激振器同步平稳运动,实现在运动中对矩形滑动导轨进行激振;

5.3. 计算机虚拟机程序(A8)发出激励信号,经功率放大器(A5)调理后作用到激振器上,激振器根据激励信号发出相应的激励;阻抗头(A1)上的力传感器测得法向或切向激振力 $f$ ,桥板上均匀分布的加速度传感器A2测得的信号经处理得到位移信号 $x(t)$ ,矩形滑动导轨上均布的加速度传感器A3测得的信号经处理得到位移信号 $x_s(t)$ ;

5.4. 信号分析处理模块根据等效单自由度原理对数据进行处理,绘制出需要的频响函数曲线;建立结合部的等效单自由度系统模型,将结合部等效为弹簧和阻尼器的动力学模型,建立该等效系统的运动方程:

$$m\ddot{x}(t) + C_e(\dot{x}(t) - \dot{x}_s(t)) + K_e(x(t) - x_s(t)) = f(t)$$

式中: $m$ 为系统的主振质量, $K_e$ 、 $C_e$ 为结合面的等效刚度与阻尼系数,将力传感器、加速度传感器A2、加速度传感器A3测得的各信号数据转换到频域内分别表示为 $F(\omega)$ 、 $X(\omega)$ 、 $X_s(\omega)$ ;在频域内表达此方程并做适当变换之后,可得:

$$\frac{1}{-M\omega^2 + j\omega C_e + K_e} = H_e(\omega) = \frac{H_{X-X_s}(\omega)}{1 - m\omega^2(kH_{X-X_s}(\omega) - H_X(\omega))} \quad \textcircled{1}$$

即将结合面系统等效为一个具有等效质量 $M_e$ 、等效阻尼 $C_e$ 、等效刚度 $K_e$ 的单自由度系统, $H_e(\omega)$ 即为该等效单自由度系统的频响函数;

阻抗头采集的力信号、加速度传感器A2采集的加速度信号、加速度传感器A3采集的加速度信号,经过电荷放大器调理之后经数据采集卡传递给计算机虚拟机程序进行频谱分析,得到滑动导轨副的相对位移频响函数 $H_{X-X_s}(\omega)$ 、桥板重心处的频响函数 $H_X(\omega)$ ,原理如公式②、③,

$$H_{X-X_s}(\omega) = \frac{X(\omega) - X_s(\omega)}{F(\omega)} \textcircled{2}$$

$$H_X(\omega) = X(\omega) / F(\omega) \textcircled{3}$$

将得到的频响函数根据公式①的计算原理,继续对数据进行处理,调节系数 k 并绘制出该等效系统的频响函数曲线;

先用随机激励信号进行粗扫,完成 5. 1-5. 4 所述的测试过程,确定系统固有频率的频率带宽,然后在选择的频带宽度范围内使用快速正弦扫频信号进行精扫,重复 5. 1-5. 4 所述的测试过程;

5. 5. 根据得到的等效单自由度系统频响函数曲线,用峰值共振法识别系统的固有频率  $f_n$ ,并按公式  $K_e = M_e (2 \pi f_n)^2 = km (2 \pi f_n)^2$  识别等效刚度;用半功率带宽法识别阻尼比  $\zeta$ ,其计算公式如下:

$$\zeta = \frac{\Delta f}{2 f_n}$$

其中  $\Delta f$  为半功率带宽,并按公式  $C_e = 4 \pi \zeta M_e f_n = 2 \pi km \Delta f$  识别等效阻尼;其中 k 为调节系数。

## 滑动结合面动态特性测试装置及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明为一种获取滑动状态结合面基础特性数据的测试系统及测试方法,用于测试处于滑动状态下结合部的动态特性参数。

### 背景技术

[0002] 机床制造业是机械制造业的心脏,是装备的“母机”,高速、高效率、高精密化、高可靠性的数控机床拥有量及性能水平已经成为衡量一个国家机械制造工业水平的重要标志。数控机床是要求非常高的精密、高效、柔性化、自动化加工设备,机械结构非常复杂,是由各种零件按照一定的具体要求组合起来的,零件之间存在着各种各样的结合面,结合面刚度是其机械结构整体刚度的重要组成部分,有时甚至成为整体刚度的薄弱环节。许多研究表明:机床的静刚度中 30% -50% 决定于结合面的刚度特性。结合面对机械结构阻尼的影响则更为明显,对于像机床等由刚性零件组成的结构,其阻尼值的 90% 以上来源于结合面的阻尼。传统的机床设计方法由于不能建立精确的机床结构动力学模型,严重阻碍了机床结构的动态优化设计,而不能建立精确模型的重要原因之一是无法对机床结合面特征参数进行精确识别。结合面特征参数的精确识别已经成为能否进行结构创新、性能分析,提高 CAD/CAM 一体化、复合化,进行快速优化设计的关键因素。

[0003] 滑动导轨在机床上的应用可谓够久远,具有结构简单、制造方便、刚度好、抗振性能高等优点,而且滑动导轨接触面积大,承受冲击的能力较强,有助于减少、减轻因冲撞造成导轨副的损坏,在现场条件下修复的可能性也较之滚动导轨更容易些。在要求机床有高刚性、高阻尼特性和高金属去除率的场合,滑动导轨一直得到广泛的使用。滑动结合面特性研究对机床整体特性具有重要意义。

[0004] 目前为止,广大学者一致认可结合部等效为若干弹簧和阻尼器的动力学模型,提取结合部刚度和阻尼的基础特性数据,成为了精密数控机床动态解析和结构优化的重要技术。高速数据采集系统以及振动传感器、激励器等电子测试技术的发展使得试验模态分析技术得到了很大的进步,以双通道跟踪滤波技术为基础的“机械阻抗测试仪”和以数字相关技术为基础的“频率特性分析仪”,以及虚拟仪器技术的发展,使得稳态正弦激励的机械阻抗测试成为可能,为精确测试结合部动态特性参数提供了有利条件。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种测试识别滑动状态结合面动态特性参数的系统,得到精确的结合面基础特性数据,为机床整机有限元分析提供重要参数,建立真正实用的结合面特征参数库,为设计现代高抗振性机械设备提供理论参考。能够测试在不同载荷、运动速度、贴塑状态以及导轨材料等多种情况下的滑动结合面的刚度、阻尼参数。

[0006] 为实现上述目的,本发明采用了以下技术手段。

[0007] 一种滑动结合面动态特性测试装置,包括运行装置和实验装置的数据采集分析处理系统;运行装置由单一电机驱动桥板及激振器支架同步运动,在移动过程中进行激振测

试 ;包括基座、桥板导轨副、激振器同步运动装置、法向加压装置、切向加压装置、驱动执行装置六部分,其中 :

[0008] 基座包括工作台、数个安装于工作台两端的端盖和调整垫圈、深沟球轴承以及用于承受丝杠轴向载荷的面对面安装的一对角接触球轴承 ;桥板导轨副包括滑动导轨、桥板、导向块 ;在工作台中心对称安装数个滑动导轨和导向块,滑动导轨定位安装在工作台凸起部分。

[0009] 激振器同步运动装置包括由滚动导轨和滑块组成的支架运动导轨副,在桥板两侧对称分布的支架拉动杆以及激振器支架 ;滚动导轨固定在工作台上 ;左支架、右支架以及横梁用螺栓连接组成激振器支架,左、右支架与滑块紧固连接 ;拉动杆底部与桥板紧固连接,前端伸出部分穿过左、右支架的预留孔 ;桥板与支架拉动杆沿导轨方向运动,支架拉动杆拖动激振器支架及滑块在滚动导轨副上同步滑动。

[0010] 法向加压装置包括法向加力螺栓、特制垫圈、环形橡胶弹簧块、螺母盖板 ;法向加力螺栓穿过桥板的通孔与螺母槽中的推杆基座螺纹连接,螺母盖板固定于工作台上。

[0011] 切向加压装置包括切向加力螺栓、矩形橡胶弹簧块、切向加压板 ;切向加压板通过螺纹连接与激振器支架固连,切向加压板两侧部分加工有螺纹孔。

[0012] 驱动执行装置包括带有减速器的直流电机、弹性柱销联轴器、滑动丝杠、传动螺母、推杆基座、推杆 ;直流电机减速器的输出轴通过联轴器与滑动丝杠连接,将动力传递到滑动丝杠 ;滑动丝杠和传动螺母配合将电机动力转化为平移动力 ;传动螺母与推杆基座通过连接螺柱固连,推杆底部有螺纹,拧进推杆基座上的螺纹孔中 ;通过以上三处的螺纹紧固连接将传动螺母、推杆基座和推杆连接为联动的整体,推杆的顶部为球形结构,设置在桥板的中心孔中。

[0013] 实验装置的数据采集分析处理系统,包括信号采集模块、信号通道模块、信号分析处理模块。

[0014] 其中,采集处于激振状态的结合面相关数据的信号采集模块包括激振器、阻抗头和拾振点加速度传感器,阻抗头包含力传感器、加速度传感器 ;拾振点加速度传感器在桥板上表面及对应点的矩形导轨侧面,并沿导轨方向均匀分布 ;阻抗头位置为桥板重心位置的上表面。

[0015] 信号通道模块包括电荷放大器、功率放大器和数据传送线路 ;信号通道模块将信号采集模块得到的信号经过电荷放大器处理,送到信号分析处理模块,同时将信号分析处理模块发出的激励信号传送至功率放大器,经调理后作用到激振器产生相应的激励。

[0016] 信号分析处理模块包括数据采集卡、计算机 ;数据采集卡接收信号通道模块传送的数据,转换为计算机内虚拟机程序要求的电信号。

[0017] 前述的滑动导轨用沉头螺栓紧固在工作台上,安装面四周设有防止润滑油外溢的油槽,滑动导轨的表面进行贴塑处理。

[0018] 前述的支架运动导轨副包括滚动导轨两个、在滚动导轨上自由滑动的滑块四个,滑块在两滚动导轨上各有两个,对称布置。

[0019] 前述的左、右支架通过螺栓与滑块紧固连接。

[0020] 一种滑动结合面动态特性测试方法,包括以下步骤 :

[0021] 1. 调平工作台,将工作台固定于试验台上 ;安装驱动执行装置,将导向块、桥板、

滑动导轨和激振器同步运动装置安装于工作台上；滑动导轨的侧面预留传感器位置，沿导轨方向均匀布置加速度传感器，桥板上表面对应布置加速度传感器，各传感器与磁力座连接，通过磁力座吸附在导轨及桥板上；用柔性绳将激振器悬挂在横梁上，阻抗头固定在桥板上表面中心位置，调整激振器位置，使激振杆对正阻抗头。

[0022] 2. 调整法向加力螺栓或切向加力螺栓的预紧力到指定大小，螺栓压紧环形橡胶弹簧块或者矩形橡胶弹簧快，间接对桥板导轨结合部施加法向载荷；调整电机输出转速，驱动桥板在滑动导轨上以一定的速度移动，并拖动激振器支架和自由悬挂状态的激振器同步平稳运动，实现在运动中对桥板导轨副进行激振。

[0023] 3. 计算机虚拟机程序发出激励信号，经功率放大器调理后作用到激振器上，激振器根据激励信号发出相应的激励；阻抗头上的力传感器测得法向或切向激振力  $f$ ，桥板上均匀分布的加速度传感器测得的信号经处理得到位移信号  $x(t)$ ，导轨上均布的传感器测得的信号经处理得到位移信号  $x_s(t)$ 。

[0024] 4. 信号分析处理模块根据等效单自由度原理对数据进行处理，绘制需要的频响函数曲线；建立结合部的等效单自由度系统模型，将结合部等效为弹簧和阻尼器的动力学模型，建立该等效系统的运动方程：

$$[0025] \quad m\ddot{x}(t) + C_e(\dot{x}(t) - \dot{x}_s(t)) + K_e(x(t) - x_s(t)) = f(t)$$

[0026] 式中： $m$  为系统的主振质量， $K_e$ 、 $C_e$  为结合面的等效刚度与阻尼系数，将传感器测得各信号数据转换到频域内分别表示为  $F(\omega)$ 、 $X(\omega)$ 、 $X_s(\omega)$ ；在频域内表达此方程并做适当变换之后，可得：

$$[0027] \quad \frac{1}{-M\omega^2 + j\omega C_e + K_e} = H_e(\omega) = \frac{H_{X-X_s}(\omega)}{1 - m\omega^2(k \square H_{X-X_s}(\omega) - H_X(\omega))} \textcircled{1}$$

[0028] 即将结合面系统等效为一个具有等效质量  $M_e$ 、等效阻尼  $C_e$ 、等效刚度  $K_e$  的单自由度系统， $H_e(\omega)$  即为该等效单自由度系统的频响函数；

[0029] 阻抗头以及拾振点传感器采集信号，经过电荷放大器调理之后经数据采集卡传递给计算机虚拟机程序进行频谱分析，得到滑动导轨副的相对位移频响函数  $H_{X-X_s}(\omega)$ 、桥板重心处的频响函数  $H_X(\omega)$ ，原理如公式②、③，

$$[0030] \quad H_{X-X_s}(\omega) = \frac{X(\omega) - X_s(\omega)}{F(\omega)} \textcircled{2}$$

$$[0031] \quad H_X(\omega) = X(\omega)/F(\omega) \textcircled{3}$$

[0032] 将得到的频响函数根据公式①的计算原理，继续对数据进行处理，调节系数  $k$  并绘制出该等效系统的频响函数曲线；

[0033] 先用随机激励信号进行粗扫，完成步骤 1-4，确定系统固有频率的频率带宽，然后在选择的频带宽度范围内使用快速正弦扫频信号进行精扫，重复步骤 1-4。

[0034] 5. 根据得到的等效单自由度系统频响函数曲线，用峰值共振法识别系统的固有频率  $f_n$ ，并按公式  $K_e = M_e(2\pi f_n)^2 = k_m(2\pi f_n)^2$  识别等效刚度；用半功率带宽法识别阻尼比  $\zeta$ ，其计算公式如下：

$$[0035] \quad \zeta = \frac{\Delta f}{2 f_n}$$

[0036] 其中  $\Delta f$  为半功率带宽,并按公式  $C_e = 4 \pi \zeta M_e f_n = 2 \pi k m \Delta f$  识别等效阻尼;其中  $k$  为调节系数。

[0037] 与现有测试结合面动态特性的技术相比,本发明具有以下优点:

[0038] (1) 实验装置解决了运动状态下无法进行结合面激振实验的问题,通过激振器同步运动装置,既实现了激振器与滑动导轨副运动同步,同时排除了激振器支架结构对滑动结合面的刚度、阻尼等动态特性参数的影响,形成了较完备的测试滑动结合面动态特性实验方案。

[0039] (2) 试验装置将多自由度模型系统转化成等效的单自由度系统,这给试验处理带来了极大的方便。首先,这是一个单自由度系统,与多自由度系统的测试识别相比,影响识别精度的干扰因素在单自由度系统中更容易排除;其次,通过调节系数  $k$  能更好地排除偶然干扰因素,一般情况下总能调节出很符合理论上的单自由度波形,这为高精度识别提供了保证。

[0040] (3) 利用多通道信号分析处理技术,同时测得多点数据拟合重心点的数据,并通过时序控制,随着导轨副桥板的移动,采用不同位置的传感器数据拟合基础位移数据,减少了实验误差,提高了结合面实验的识别精度。

[0041] (4) 装置中的导向块为可换件;加力装置可以加载不同大小的法向、切向载荷;驱动电机可在指定范围内任意调速;可以在一套实验装置上做多种情况下的结合面实验,并预留了润滑管接头孔,为进一步研究润滑状态对结合面的影响做了准备,大大降低了实验成本。

#### 附图说明

[0042] 图 1 为装配图主视图;

[0043] 图 2 为装配图左视图;

[0044] 图 3 为端盖主视图;

[0045] 图 4 为端盖俯视图;

[0046] 图 5 为工作台主视图;

[0047] 图 6 为工作台俯视图;

[0048] 图 7 为工作台左视图;

[0049] 图 8 为滑动丝杠主视图;

[0050] 图 9 为传动螺母主视图;

[0051] 图 10 为传动螺母左视图;

[0052] 图 11 为导向块组件主视图;

[0053] 图 12 为导向块组件俯视图;

[0054] 图 13 为测试导轨俯视图;

[0055] 图 14 为桥板主视图;

[0056] 图 15 为桥板俯视图;

[0057] 图 16 为切向加压板主视图;

[0058] 图 17 为滑块左视图；

[0059] 图 18 为数据采集分析处理系统框图；

[0060] 图 19 为等效单自由度系统原理图。

[0061] 图中：1、端盖，2、深沟球轴承，3、调整垫圈，4、工作台，5、螺母盖板，6、滑动丝杠，7、推杆基座，8、传动螺母，9、连接螺柱，10、推杆，11、法向加力螺栓，12、特制垫圈，13、环形橡胶弹簧块，14、挡圈，15、角接触球轴承，16、锁紧螺母，17、联轴器，18、电机安装板，19、电机，20、横梁，21、左支架，22、滚动导轨，23、导向块，24、滑动导轨，25、桥板，26、切向加压板，27、右支架，28、支架拉动杆，29、滚动导轨滑块，30、切向加力螺栓，31、矩形橡胶弹簧快，A1、阻抗头，A2、A3、拾振点传感器，A4、激振器，A5、功率放大器，A6、数据采集卡，A7、电荷放大器，A8、计算机。

### 具体实施方式

[0062] 下面结合附图 1～图 19 对本发明的具体实施例作进一步详细描述。

[0063] 本发明主要包括滑动结合面动态特性测试实验装置和数据分析处理系统两部分。

[0064] （一）滑动结合面动态特性测试实验装置

[0065] 图 1、图 2 分别为实验装置装配图主视图和左视图。本实验装置包括基座、桥板导轨副、激振器同步运动装置、法向加压装置、切向加压装置、驱动执行装置六部分。

[0066] 基座包括工作台 4、端盖 1、由橡胶材料制成的调整垫圈 3、角接触球轴承 15、深沟球轴承 2。端盖 1 和调整垫圈 3 各有两个，安装于工作台 4 两端，配合可以对丝杠的轴向位置进行微调；角接触球轴承为一对，面对面安装，用于承受丝杠的轴向载荷；工作台滑动导轨安装面四周加工有油槽，防止润滑油溢流到工作台外部，图 3 为为端盖主视图，图 4 为端盖俯视图。工作台结构如图 5、图 6、图 7 所示。

[0067] 结合图 11、图 12、图 13、图 14、图 15 所示，桥板导轨副包括滑动导轨 24、桥板 25、导向块 23。滑动导轨 24 和导向块 23 各两个，相对于工作台中心对称安装，滑动导轨用沉头螺栓紧固在工作台上，工作台凸起部分作为滑动导轨的安装定位面；滑动导轨上表面进行贴塑处理，贴塑面宽度及厚度通过后续加工可改变，实现几组不同宽度贴塑表面的参数测试；导向块通过沉头螺栓固定在桥板 25 上，为可换件，做有几组钢和铸铁两种材料以及不同表面粗糙度的导向块，可做多组测试。

[0068] 结合图 16、图 19 所示，激振器同步运动装置包括支架运动导轨副、支架拉动杆 28、激振器支架三部分。其中支架运动导轨副包括滚动导轨 22 两个、滑块 29 四个，滑块在两滚动导轨上各有两个，对称布置，可在滚动导轨上自由滑动，滚动导轨固定在工作台 4 上；左支架 21、右支架 27 以及横梁 20 用螺栓连接组成激振器支架，左、右支架通过六角头螺栓与滑块紧固连接；支架拉动杆 28 共有两个，于桥板两侧对称分布，拉动杆底部与桥板 25 紧固连接，前端伸出部分穿过左、右支架的预留孔；测试过程中，桥板与支架拉动杆沿着导轨方向运动，支架拉动杆拖动激振器支架及滑块在滚动导轨副上同步滑动。

[0069] 法向加压装置包括法向加力螺栓 11、特制垫圈 12、环形橡胶弹簧块 13、螺母盖板 5。法向加力螺栓 11 穿过桥板 25 的通孔与螺母槽中的推杆基座 7 螺纹连接，螺母盖板 5 用六角头螺栓固定于工作台 4 上，当调整法向加力螺栓预紧力时，螺栓压紧环形橡胶弹簧块 13，间接对桥板导轨副法向滑动结合部施加载荷，推杆基座受法向拉力，由于推杆基座法

向位置被螺母盖极限位,最终螺母盖板和法向加力螺栓配合给桥板导轨结合部施加法向载荷;推杆基座与螺母盖板接触表面润滑处理,以减小水平方向摩擦阻力。

[0070] 切向加压装置包括切向加力螺栓 30、矩形橡胶弹簧块 31、切向加压板 26。请参阅图 16,切向加压板 26 通过螺纹连接与激振器支架固连,切向加压板 26 两侧部分加工有螺纹孔,切向加力螺栓 30 穿过加压板侧向的螺纹孔,用扭力扳手对加力螺栓施加扭矩,螺栓压紧矩形橡胶弹簧块 31 将压力作用到桥板上,给桥板导轨副切向滑动结合部施加载荷。

[0071] 请参阅图 8、图 9、图 10,驱动执行装置包括直流电机 19、电机安装板 18、弹性柱销联轴器 17、滑动丝杠 6、传动螺母 8、推杆基座 7、连接螺柱 9、推杆 10。直流电机 19 附带有减速器,减速器输出轴通过联轴器 17 与滑动丝杠 6 连接,将动力传递到丝杆;滑动丝杠 6 和传动螺母 8 配合将电机动力转化为平移动力;传动螺母 8 与推杆基座 7 通过连接螺柱 9 固连,推杆 10 底部有螺纹,拧进推杆基座 7 上的螺纹孔中;通过以上三处的螺纹紧固连接将传动螺母、推杆基座和推杆连接为整体,实现联动,推杆的顶部为球形结构,进入桥板的中心孔中,桥板结构如图 14、图 15,最终将电机的转动动力转化为推杆处的水平推力,给桥板整体提供沿矩形滑动导轨滑动的水平推力。

[0072] 通过以上结构,滑动结合面动态特性测试实验装置实现了由单一电机驱动桥板及激振器支架同步运动。

[0073] (二) 数据采集分析处理系统

[0074] 图 18 为数据采集分析处理系统框图,包括信号采集模块、信号通道模块、信号分析处理模块三部分。

[0075] 信号采集模块包括激振器 A4、阻抗头 A1(包含力传感器、加速度传感器)和拾振点加速度传感器 A2、A3。拾振点加速度传感器在桥板上表面及对应点的滑动导轨侧面,并沿导轨方向均匀布置;阻抗头位置为桥板重心位置的上表面。信号采集模块负责处于激振状态的结合面相关数据的采集。

[0076] 信号通道模块包括电荷放大器 A7、功率放大器 A5 和数据传送线路。信号通道模块将信号采集模块得到的信号经过电荷放大器处理,送到信号分析处理模块,同时将信号分析处理模块发出的激励信号传送至功率放大器,经调理后作用到激振器产生相应的激励。

[0077] 信号分析处理模块包括数据采集卡 A6、计算机 A8。数据采集卡接收信号通道模块传送的数据,转换为计算机内虚拟机程序要求的电信号。信号分析处理模块负责数据信号的实时分析处理,得出我们需要的结果。

[0078] 该滑动结合面动态特性测试识别方法是按照以下步骤进行的:

[0079] 1. 放置工作台 4 于试验台上调平,工作台两侧的通孔与试验台的 T 型槽一一对齐,用螺栓螺母将工作台固定于试验台上;安装驱动执行装置,将导向块 23、桥板 25、滑动导轨 24 和激振器同步运动装置按要求安装于工作台上;滑动导轨的侧面预留有传感器位置,沿导轨方向均匀布置加速度传感器 A3,桥板上表面对应布置加速度传感器 A2,各传感器与磁力座连接,通过磁力座吸附在导轨及桥板上;用柔性绳将激振器自由悬挂在横梁上,阻抗头 A1 固定在桥板上表面中心位置,调整激振器位置,使激振杆对正阻抗头;

[0080] 2. 用扭力扳手调整法向加力螺栓 11(或切向加力螺栓 30)预紧力到指定大小,螺栓压紧环形橡胶弹簧块 13,间接对桥板导轨结合部施加法向载荷;调好电机输出转速,驱动桥板在滑动导轨上以一定的速度移动,并拖动激振器支架和自由悬挂状态的激振器同步

平稳运动；

[0081] 3. 计算机虚拟机程序 A8 发出激励信号,经功率放大器 A5 调理后作用到激振器上,在移动过程中对桥板进行激振。阻抗头 A1 上的力传感器测得法向或切向激振力  $f$ ,桥板上均匀分布的加速度传感器 A2 测得的信号经处理得到位移信号  $x(t)$ ,导轨上均布的传感器 A3 测得的信号经处理得到位移信号为  $x_s(t)$ ；

[0082] 4. 信号分析处理模块根据等效单自由度原理对数据进行处理,并绘制出我们需要的频响函数曲线。首先建立结合部的等效单自由度系统模型,原理如图 19 所示。将结合部等效为弹簧和阻尼器的动力学模型,建立该等效系统的运动方程：

$$[0083] \quad m\ddot{x}(t) + C_e(\dot{x}(t) - \dot{x}_s(t)) + K_e(x(t) - x_s(t)) = f(t)$$

[0084] 式中： $m$  为系统的主振质量, $K_e$ 、 $C_e$  为结合面的等效刚度与阻尼系数,首先将传感器测得各信号数据转换到频域内分别表示为  $F(\omega)$ 、 $X(\omega)$ 、 $X_s(\omega)$ ；在频域内表达此方程并做适当变换之后,可得：

[0085]

$$\frac{1}{-M\omega^2 + j\omega C_e + K_e} = H_e(\omega) = \frac{H_{X-X_s}(\omega)}{1 - m\omega^2(k \square H_{X-X_s}(\omega) - H_X(\omega))}$$

[0086] 即将结合面系统等效为一个具有等效质量  $M_e$ 、等效阻尼  $C_e$ 、等效刚度  $K_e$  的单自由度系统, $H_e(\omega)$  即为该等效单自由度系统的频响函数。

[0087] 根据等效单自由度理论,信号分析处理模块的频谱分析处理过程如下:阻抗头以及拾振点传感器采集信号,经过电荷放大器调理之后经数据采集卡传递给计算机虚拟机程序进行频谱分析,原理如公式②、③,得到滑动导轨副的相对位移频响函数  $H_{X-X_s}(\omega)$ 、桥板重心处的频响函数  $H_X(\omega)$ ；将得到的频响函数根据公式①的计算原理,继续对数据进行处理,调节系数  $k$ ,并绘制出该等效系统的频响函数曲线；

[0088] 实验过程中,先用随机激励信号进行粗扫,完成步骤 1-4,确定系统固有频率的频带宽度,然后在选择的频带宽度范围内使用快速正弦扫频信号进行精扫,重复步骤 1-4；

[0089] 5. 根据得到的等效单自由度系统频响函数曲线,用峰值共振法识别系统的固有频率  $f_n$ ,并按公式  $K_e = M_e(2\pi f_n)^2 = km(2\pi f_n)^2$  识别等效刚度；用半功率带宽法识别阻尼比  $\zeta$ ,计算公式如下：

$$[0090] \quad \zeta = \frac{\Delta f}{2 f_n}$$

[0091] 其中  $\Delta f$  为半功率带宽,并按公式  $C_e = 4\pi \zeta M_e f_n = 2\pi km \Delta f$  识别等效阻尼；其中  $k$  为调节系数。

[0092] 以上所述仅为本发明的一个实例,我们还可对实验装置进行一些变换,以应用于其它滑动导轨,比如山形、燕尾形导轨的滑动结合部动态特性识别。只要其动态特性识别装置的机械结构设计思想以及整体测试原理同本发明所叙述的一致,均应视为本发明所包括的范围。

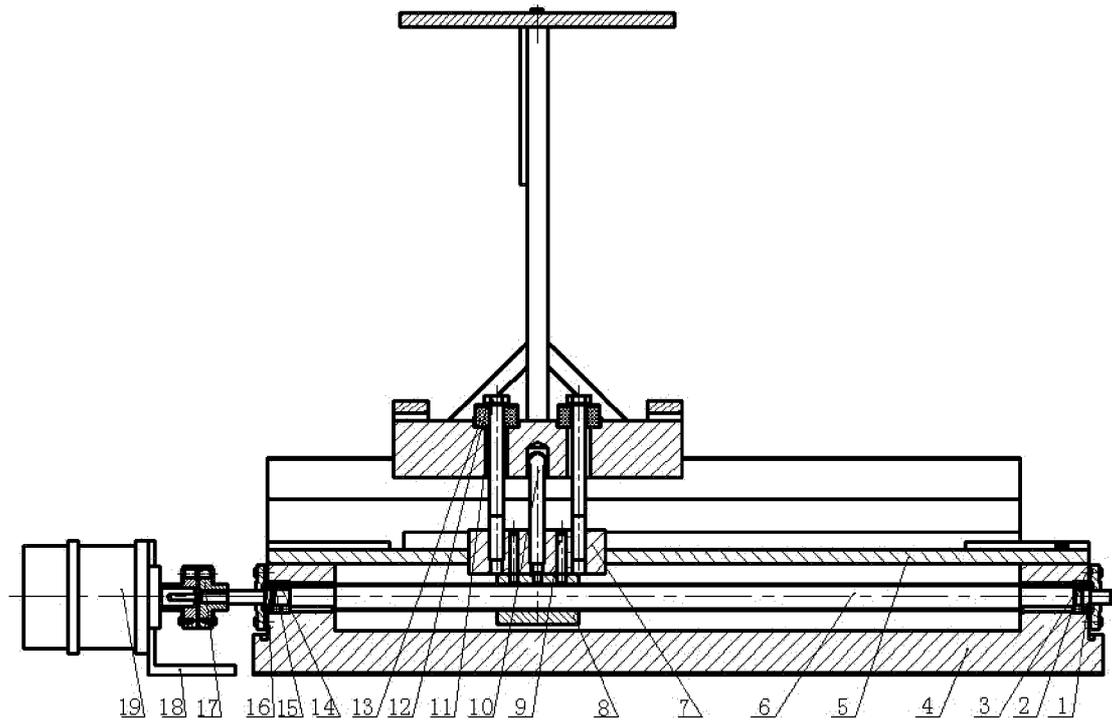


图 1

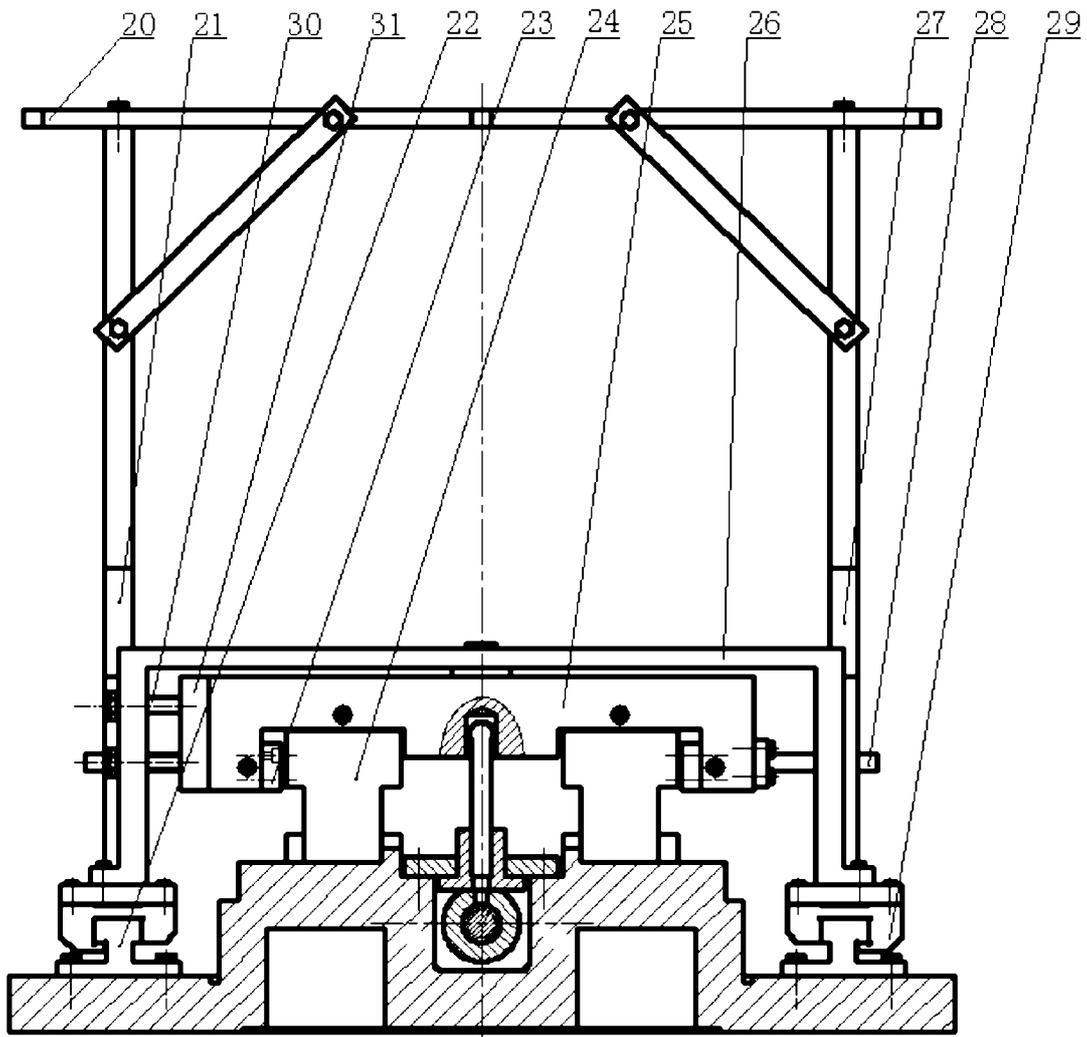


图 2

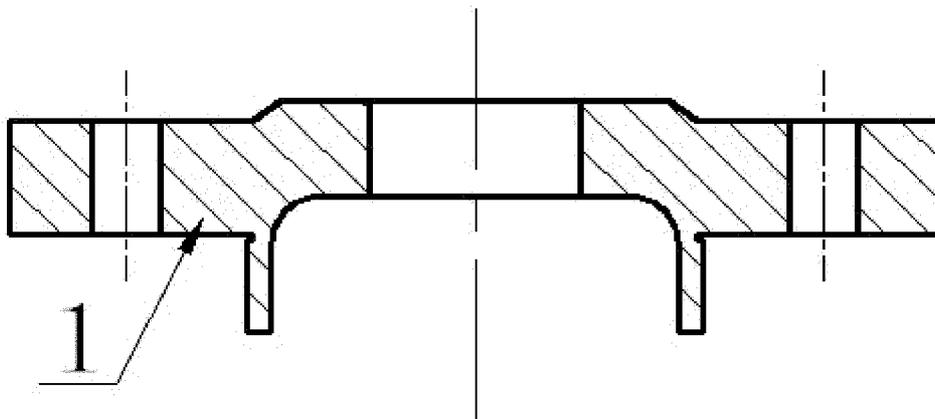


图 3

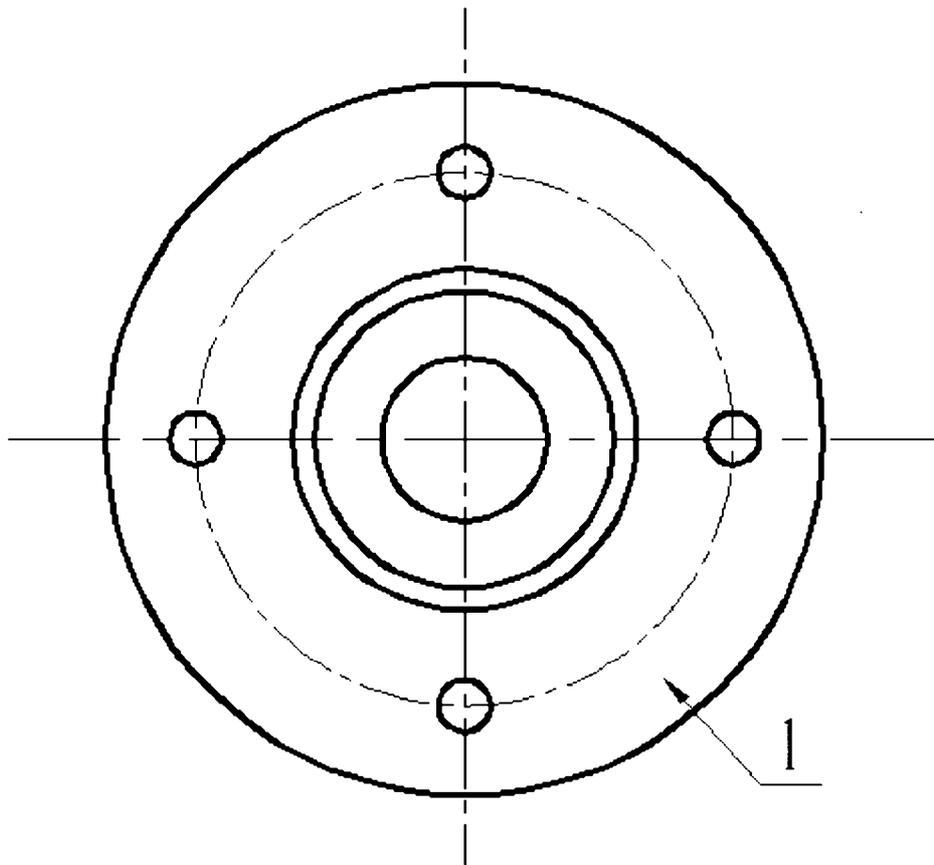


图 4

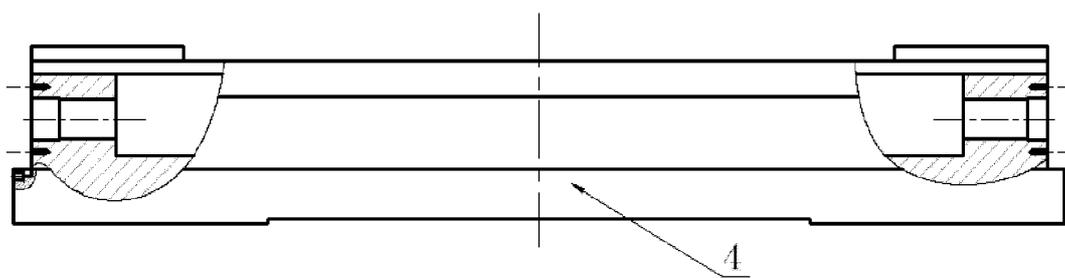


图 5

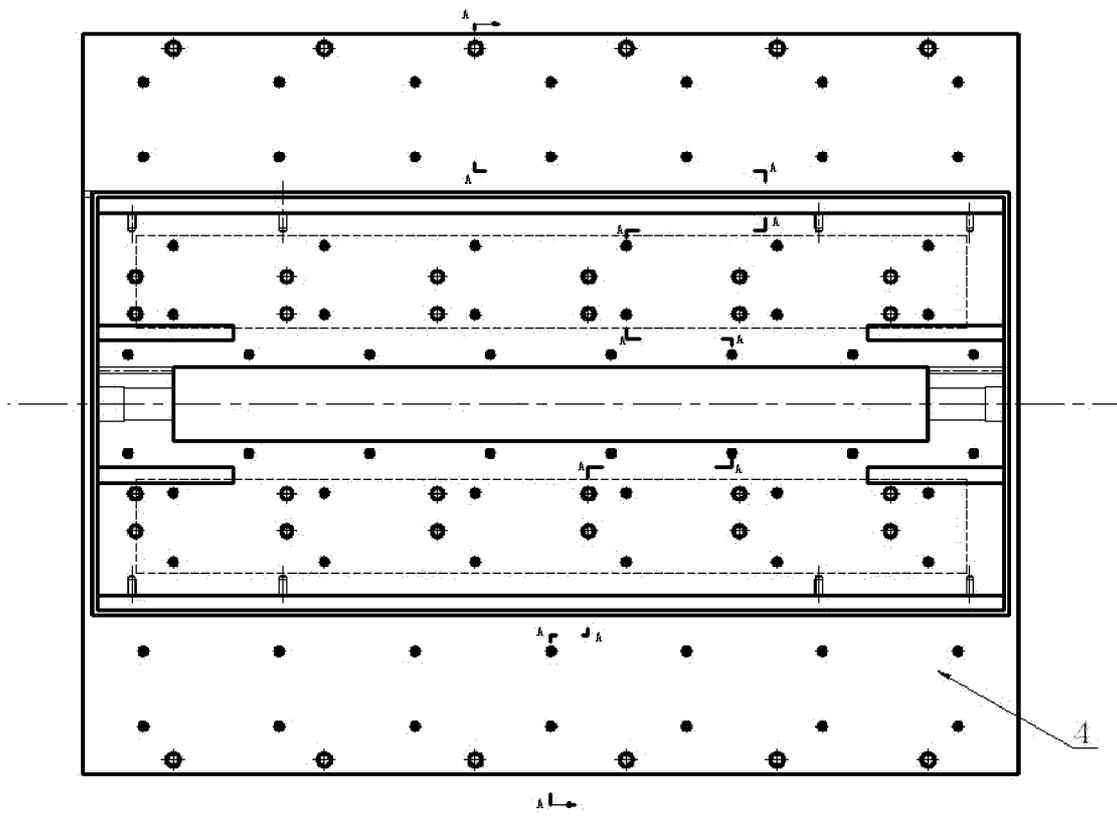


图 6

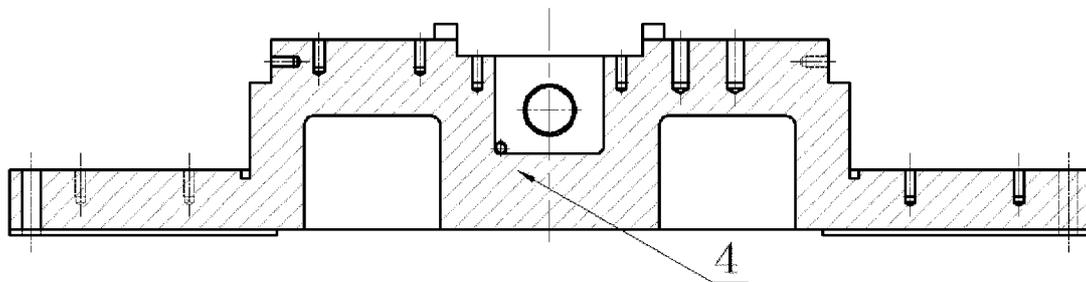


图 7

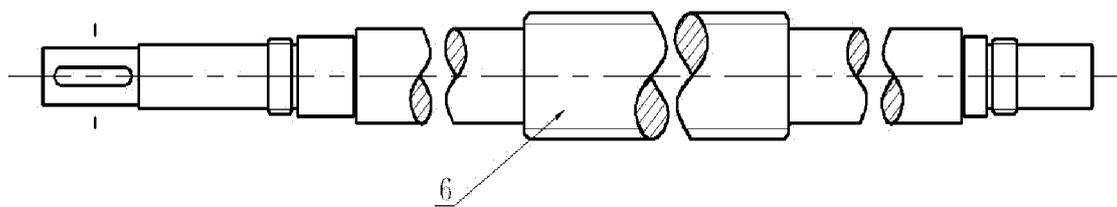


图 8

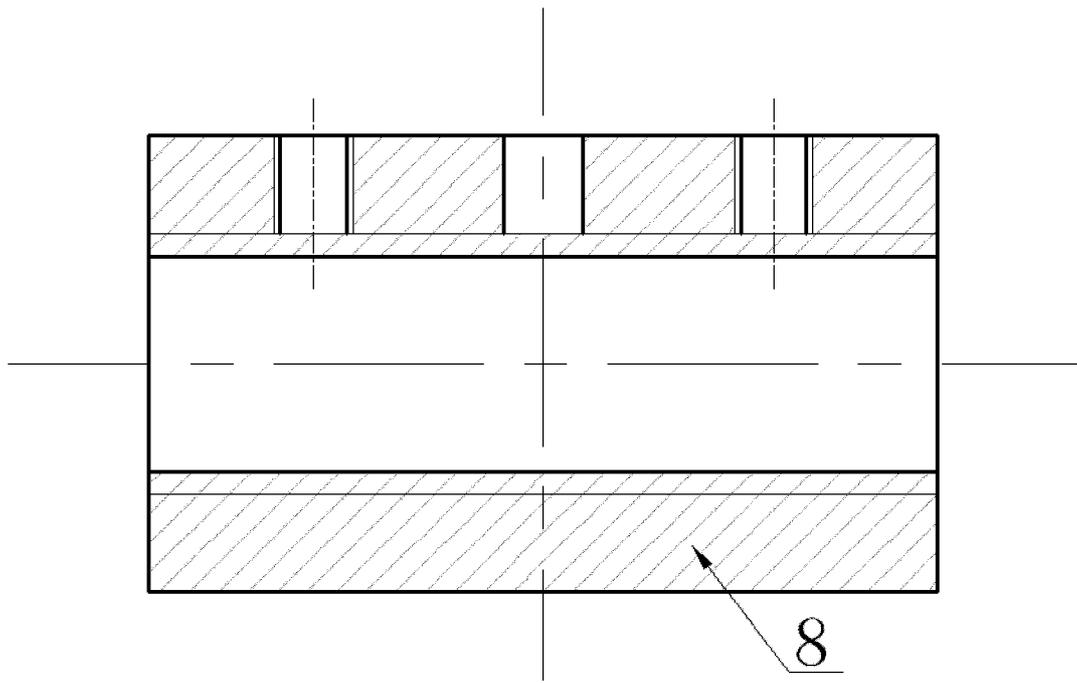


图 9

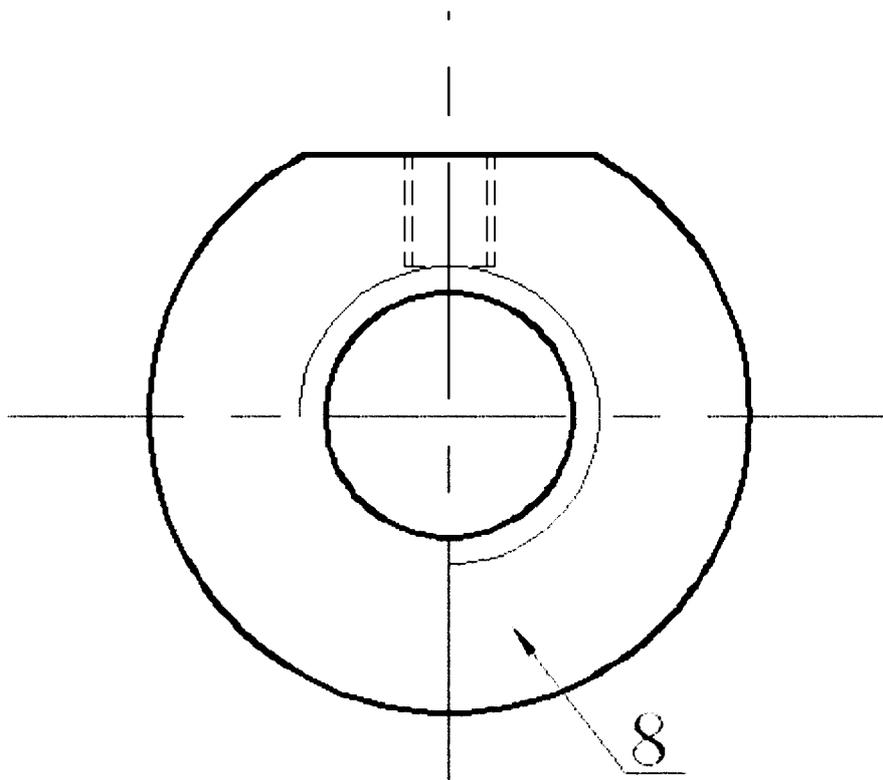


图 10

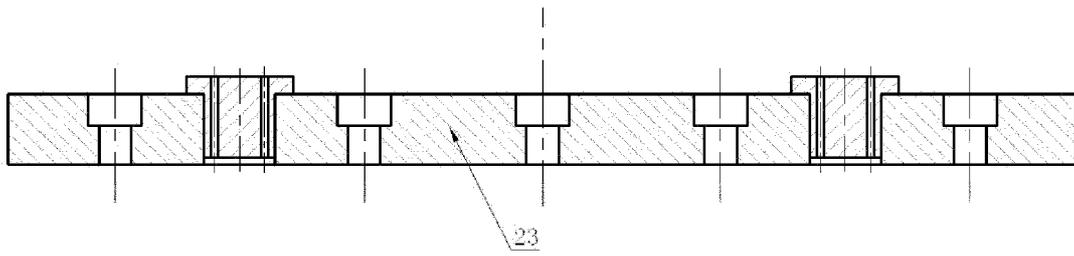


图 11

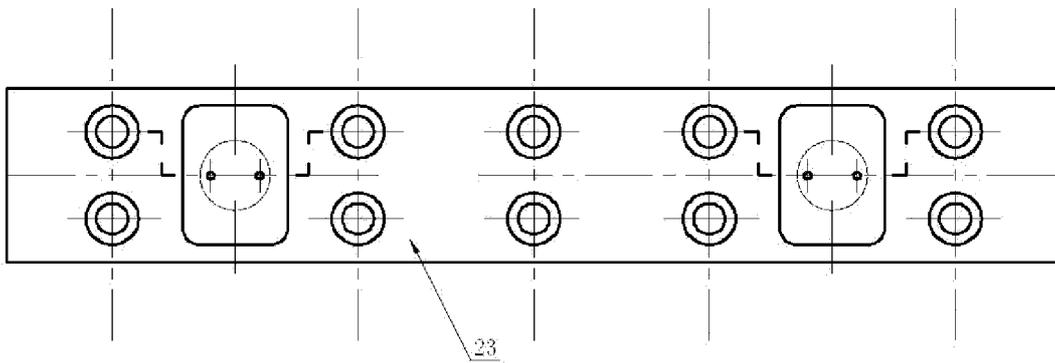


图 12

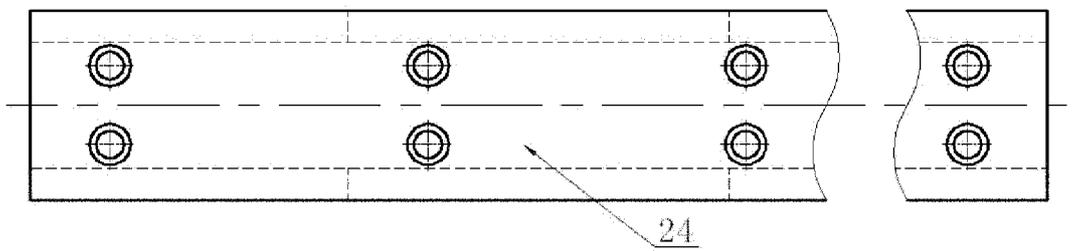


图 13

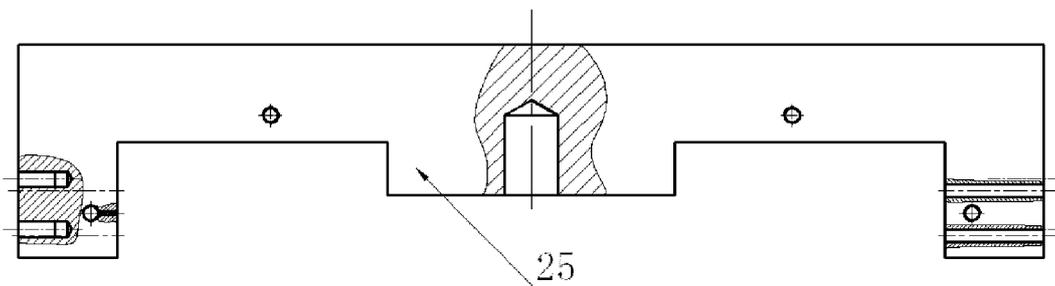


图 14

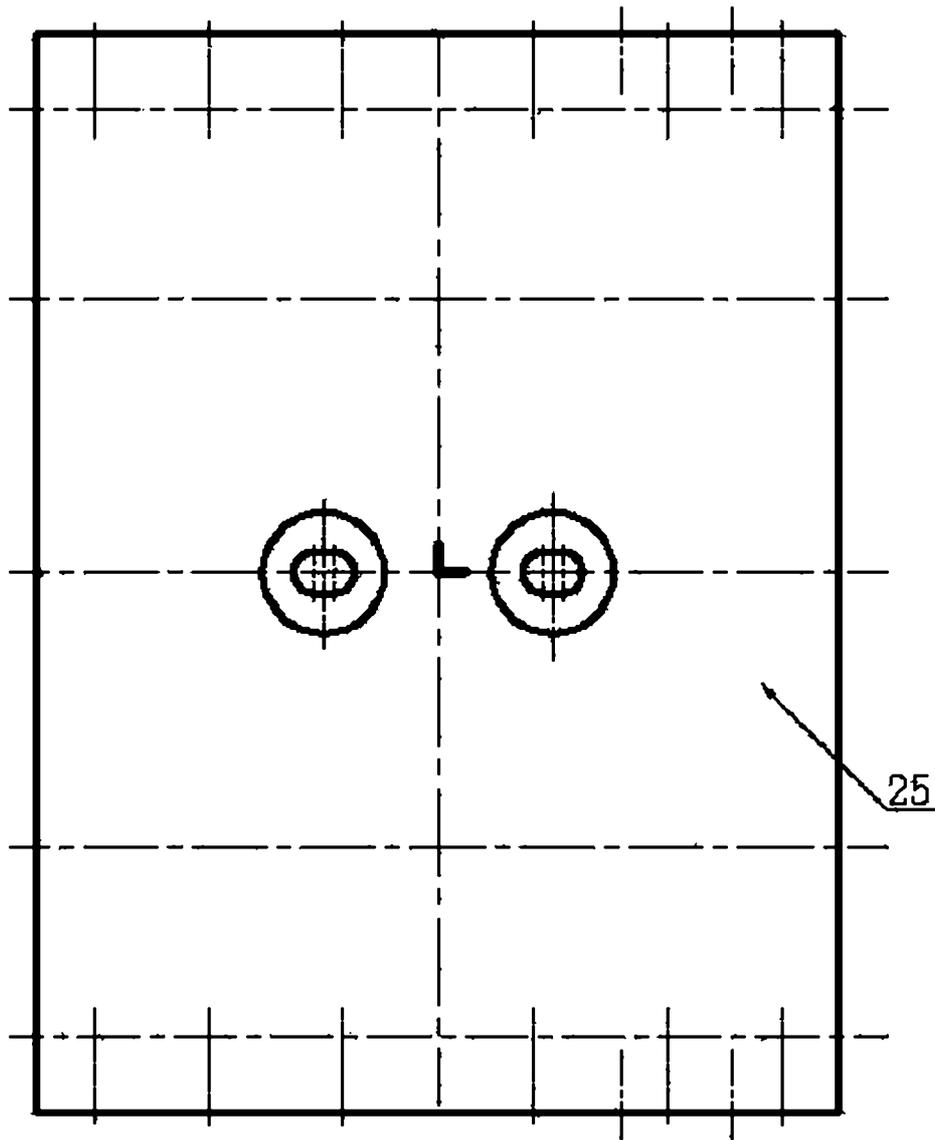


图 15

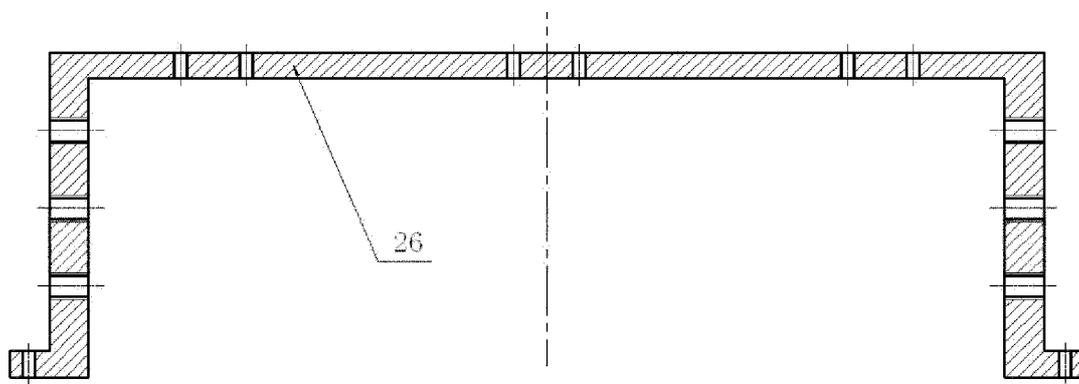


图 16

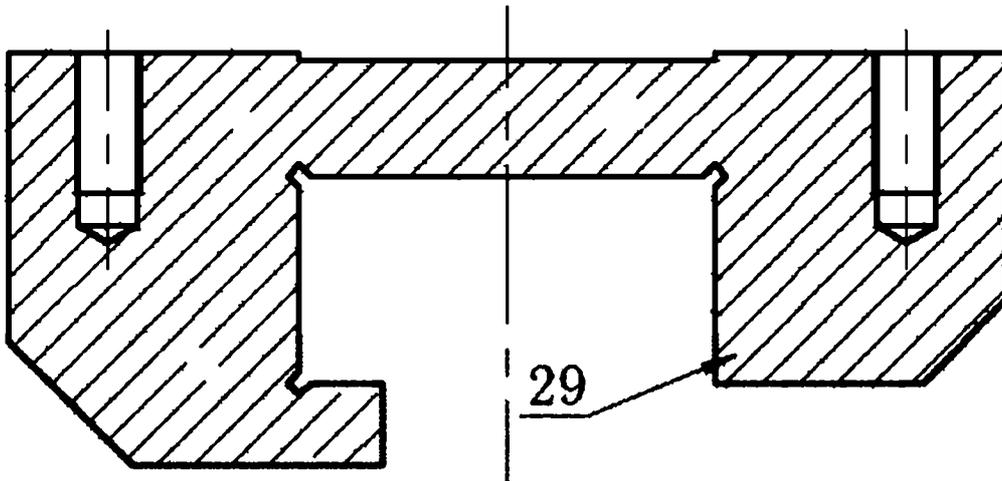


图 17

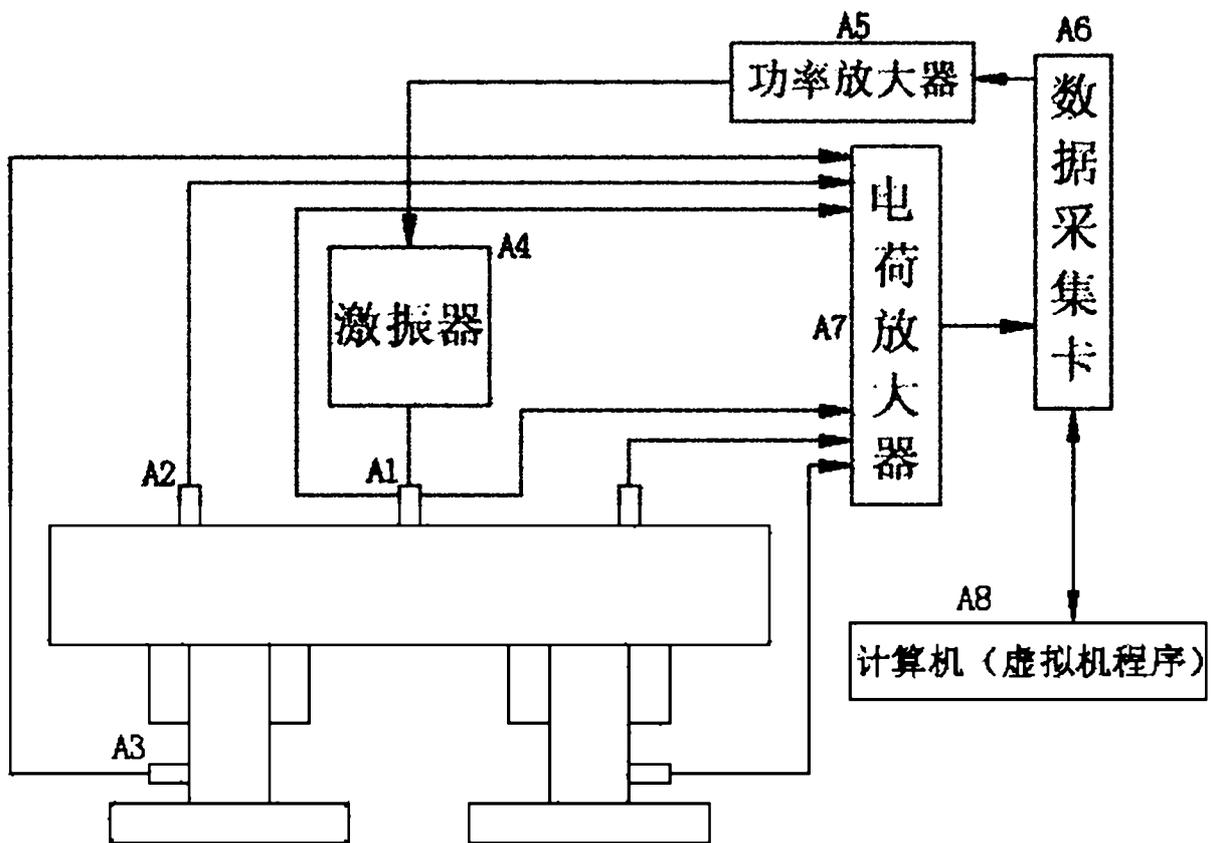


图 18

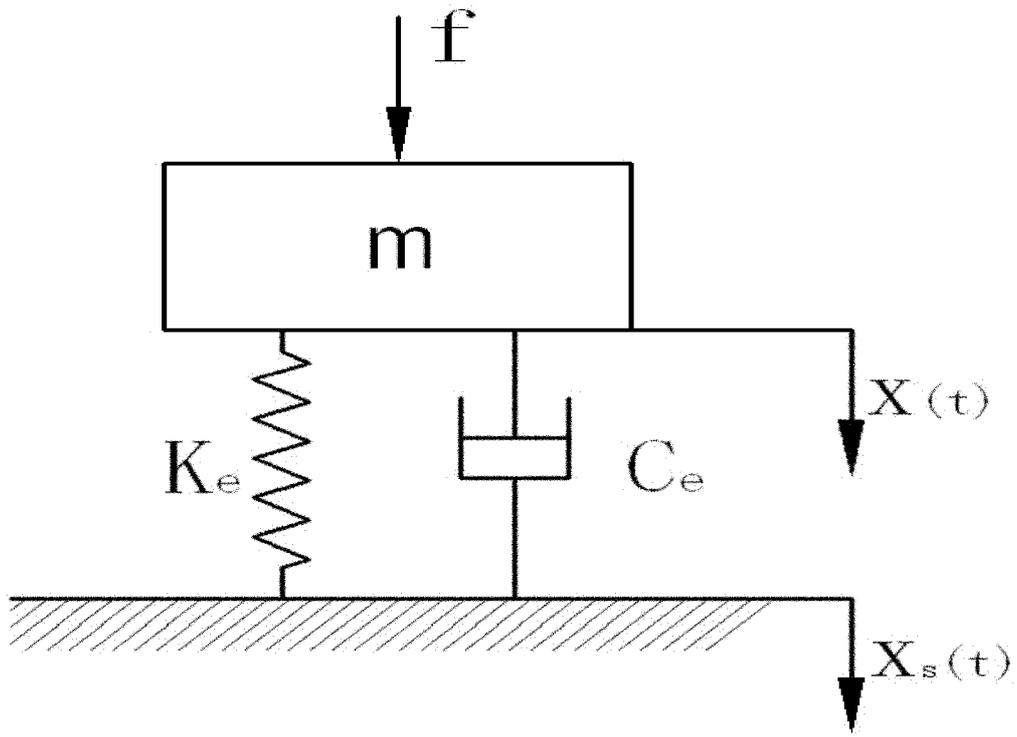


图 19