



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107121271 B

(45)授权公告日 2019.12.13

(21)申请号 201710329957.4

(22)申请日 2017.05.11

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107121271 A

(43)申请公布日 2017.09.01

(73)专利权人 北京工业大学  
地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 刘志峰 程江丽 仲康成 李奇伟  
周阳

(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 沈波

(51)Int.Cl.

G01M 13/00(2019.01)

(56)对比文件

CN 102506986 A,2012.06.20,

CN 106197910 A,2016.12.07,

CN 105865735 A,2016.08.17,

CN 101158623 A,2008.04.09,

审查员 聂林

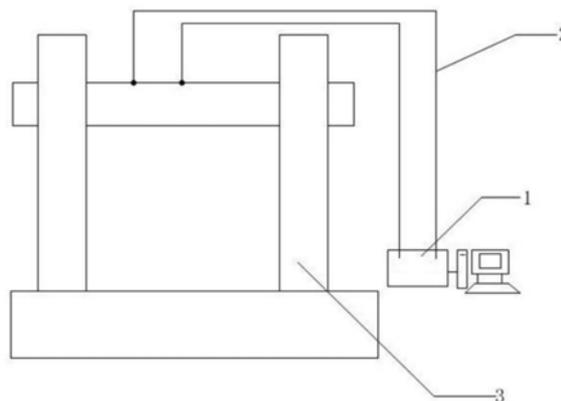
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法

(57)摘要

本发明公开了一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法,属于重型机床地基基础实验技术领域该方法包括选择实验设备,传感器选型,确定传感器布置方案,确定算法原理,数据采集与分析。通过现场地脉动测试实验,得出重型机床地基基础频谱图。本发明合理高效,操作简洁,效率高,实验结果准确。



1. 一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法,其特征在于:该方法包括选择实验设备,选择传感器类型,确定传感器布置方案,进行数据采集与分析;

具体而言,各步骤实施过程如下;

#### 1) 选择实验设备

实验设备的采集系统选用INV信号采集分析系统(1),INV信号采集分析系统(1)与传感器(2)相配合,实现振动加速度、振动速度、振动位移的测试和分析;

#### 2) 选择传感器类型

传感器(2)选用超低频测振仪,用于超低频或低频振动测量的多功能仪器;超低频测振仪用于地面和结构物的脉动测量,结构物的工业振动测量,高柔结构物的超低频大幅度测量和微弱振动测量;传感器(2)采用无源闭环伺服技术,以获得良好的超低频特性;传感器(2)设有加速度、小速度、中速度、大速度四档;传感器(2)直接与INV信号采集分析系统(1)配接,达到阻抗匹配性能,适用于结构振动测试;

#### 3) 传感器布置方案

超低频测振仪的布置应尽量远离磁场,避免信号受到干扰;

前期准备时,将同方向测量用传感器(2)放置在一起,观察每通道电压信号的波形形状、大小的相似程度,因为所有同方向的传感器(2)放置在同一位置,振动量相似,而且放大倍数相同,因此每通道采集的振动信号应该极为相似,如果发现某一通道的信号和其他通道相差较远,检查传感器档位、放大器档位、导线连接是否存在问题;

将传感器(2)的安装位置标出,将表面的尘土、油污清扫干净,传感器(2)使用磁性座安装到机床(3)上,确保安装后的传感器(2)和机床(3)紧密结合;传感器(2)和机床(3)之间的粘合通过凡士林加强;

对传感器(2)的信号进行检查,检查每个通道的信号是否正常:

(1) 信号的幅值:相邻测点,位置相近,幅值应该很接近;

(2) 信号的频谱:相邻测点,位置相近,频谱应该很接近;

(3) 是否过量程:确保在振动较大时,信号也允许的幅值以内,没有发生过量程削波的现象;

(4) 信号是否放大倍数不够:采集仪的本底噪声为1mV,因此测量信号的幅值远大于1mV,才能得到较好的信噪比,降低噪声干扰的影响,信号的最大幅值在1000mV以上

(5) 滤波频率的设置:根据机床(3)的结构尺寸,并结合有限元计算结果、以往测试经验设定采样频率,机床模态实验在300Hz以内进行,所出现的峰值对应的频率就是机床的自振频率;

经过有限元分析,对比实验现场的实验条件,确定传感器布置方案如下:将传感器置于连接梁(1)上端水平竖直三个方向上的三个测试点位上;

#### 4) 方法原理

采用互补校正法,由自功率谱给出峰值频率区间,在该区间内,由互功率谱的相位确定在该区间内的固有频率及振型;首先从自功率谱密度中找出某阶频率对应最高峰值的频率值 $f$ ,根据频率值确定一个频率带,称为峰值频带,其中, $df$ 为频率分辨率, $a$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $a$ 个 $df$ , $b$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $b$ 个 $df$ ,定出峰值频带的下限和上限,得出 $Df$ 有 $(a+b+1)$ 个频率点,将这些频率点所对应的互功率谱密度值用一张表表示出来,选取振型最接近实振

型的频率点作为第 $r$ 阶频率,利用互功率谱密度计算对应的振型;

#### 5) 数据采集分析

5.1数据采集选在深夜进行,避免外界太多的振动干扰,根据所需频率范围设置低频滤波频率和采样频率,在同一测点不同时间观测足够的次数和时长,以排除主振源因素;

5.2机床(3)处于停机状态,将传感器(2)安装在指定测量点,沿坐标系三向布置;在采集系统中设置传感器参数,根据传感器选择正确的“输入方式”和“灵敏度”,“量程”的选择根据实际信号大小而定,柱状图实时对应当前通道信号大小,当柱状图颜色变红时表示过载,需将量程放大;进入测量界面,点击采集开始数据采集,采集时长不低于30分钟;记录仪采用频谱布局显示界面;

5.3采集完毕进入分析界面,窗类型选择矩形窗,谱线数选择800,在界面显示出频谱图;测得前几阶频率与仿真分析对比;根据算法原理,得出频率和振型。

## 一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于重型机床地基基础实验技术领域,特别涉及一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法。

### 背景技术

[0002] 重型机床在我国的国防、船舶制造、能源机械等领域应用广泛,是我国装备制造业代表性产品,是机械装备的工作母机。重型数控机床具有大尺寸、大载荷的特点,使用传统的模态实验方法,往往需要巨大的激励才能采集到有效地响应信号,大大增加了实验的成本和难度,同时,大激振力的方式对重型机床本身和基础会产生破坏,影响系统的动态特性,为此,引入一种非破坏性的环境激振法动态特性检测方法,即地脉动激振动态特性检测方法。

[0003] 目前的地脉动实验主要针对建筑物和桥梁,而很少有针对重型机床的实验,由于重型机床质量和惯量大,精度要求高,结构在动力作用下的反应与结构本身的特性密切相关,结构本身的特性是时变的参数,随时间及外界激励的影响而使其抗震性能降低,因此对重型机床地基基础模态参数的识别是非常有必要的。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法,该方法克服了现有的锤击激励存在的不足。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案为一种识别重型机床地基基础模态参数的实验方法,该方法包括选择实验设备,选择传感器类型,确定传感器布置方案,进行数据采集与分析。

[0006] 具体而言,各步骤实施过程如下。

[0007] 1) 选择实验设备

[0008] 实验设备的采集系统选用INV信号采集分析系统1,INV信号采集分析系统1与传感器2相配合,实现振动加速度、振动速度、振动位移的测试和分析。

[0009] 2) 选择传感器类型

[0010] 传感器2选用超低频测振仪,用于超低频或低频振动测量的多功能仪器。超低频测振仪用于地面和结构物的脉动测量,结构物的工业振动测量,高柔结构物的超低频大幅度测量和微弱振动测量。传感器2采用无源闭环伺服技术,以获得良好的超低频特性。传感器2设有加速度、小速度、中速度、大速度四档。传感器2直接与INV信号采集分析系统1配接,达到阻抗匹配性能,适用于结构振动测试。

[0011] 3) 传感器布置方案

[0012] 超低频测振仪的布置应尽量远离磁场,避免信号受到干扰。

[0013] 前期准备时,将同方向测量用传感器2放置在一起,观察每通道电压信号的波形形状、大小的相似程度,因为所有同方向的传感器2放置在同一位置,振动量相似,而且放大倍

数相同,因此每通道采集的振动信号应该极为相似,如果发现某一通道的信号和其他通道相差较远,检查传感器档位、放大器档位、导线连接是否存在问题。

[0014] 将传感器2的安装位置标出,将表面的尘土、油污清扫干净,传感器2使用磁性座安装到机床3上,确保安装后的传感器2和机床3紧密结合。传感器2和机床3之间的粘合通过凡士林加强。

[0015] 对传感器2的信号进行检查,检查每个通道的信号是否正常:

[0016] (1) 信号的幅值:相邻测点,位置相近,幅值应该很接近。

[0017] (2) 信号的频谱:相邻测点,位置相近,频谱应该很接近。

[0018] (3) 是否过量程:确保在振动较大时,信号也允许的幅值以内,没有发生过量程削波的现象。

[0019] (4) 信号是否放大倍数不够:采集仪的本底噪声为1mV,因此测量信号的幅值远大于1mV,才能得到较好的信噪比,降低噪声干扰的影响,信号的最大幅值在1000mV以上

[0020] (5) 滤波频率的设置:根据机床3的结构尺寸,并结合有限元计算结果、以往测试经验设定采样频率,机床模态实验在300Hz以内进行,所出现的峰值对应的频率就是机床的自振频率。

[0021] 经过有限元分析,对比实验现场的实验条件,确定传感器布置方案如下:第一步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上,第二步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上,第三步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上。

[0022] 4) 方法原理

[0023] 采用互补校正法,由自功率谱给出峰值频率区间,在该区间内,由互功率谱的相位确定在该区间内的固有频率及振型。首先从自功率谱密度中找出某阶频率对应最高峰值的频率值 $f$ ,根据频率值确定一个频率带,称为峰值频带,其中, $df$ 为频率分辨率, $a$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $a$ 个 $df$ , $b$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $b$ 个 $df$ ,定出峰值频带的下限和上限,得出 $Df$ 有 $(a+b+1)$ 个频率点,将这些频率点所对应的互功率谱密度值用一张表表示出来,选取振型最接近实振型的频率点作为第 $r$ 阶频率,利用互功率谱密度计算对应的振型。

[0024] 5) 数据采集分析

[0025] 5.1数据采集选在深夜进行,避免外界太多的振动干扰,根据所需频率范围设置低频通滤波频率和采样频率,在同一测点不同时间观测足够的次数和时长,以排除主振源因素。

[0026] 5.2机床3处于停机状态,将传感器2安装在指定测量点,沿坐标系三向布置。在采集系统中设置传感器参数,根据传感器选择正确的“输入方式”和“灵敏度”,“量程”的选择根据实际信号大小而定,柱状图实时对应当前通道信号大小,当柱状图颜色变红时表示过载,需将量程放大。进入测量界面,点击采集开始数据采集,采集时长不低于30分钟。记录仪采用频谱布局显示界面。

[0027] 5.3采集完毕进入分析界面,窗类型选择矩形窗,谱线数选择800,在界面显示出频谱图。测得前几阶频率与仿真分析对比。根据算法原理,得出频率和振型。

[0028] 与现有技术相比,本发明有如下有益效果。

[0029] 本实验方案具有完善的实验设备,方案基于成熟的重型机床—地基基础相互作用

系统的动力特性和工程应用环境,具有成本低,对测试物无损,实验能够准确反映实际情况。

### 附图说明

[0030] 图1为整个机床系统布置图。

[0031] 图2为传感器布置图。

[0032] 图中:1为INV信号采集分析系统,2为传感器,3为机床

### 具体实施方式

[0033] 1. 选择实验设备

[0034] INV信号采集分析系统1,应用范围广,可完成应变、振动(加速度、速度、位移)、冲击、声学、温度(各种类型热电偶、铂电阻)、压力、流量、力、扭矩、电压、电流等各种物理量的测试和分析。可配合IEPE (ICP) 压电式传感器,实现振动加速度、振动速度、振动位移(模拟二次积分可选)的测试和分析;配合压电式传感器,实现振动加速度、振动速度、振动位移(模拟二次积分可选)及压力、自由场的测试和分析。实现多通道并行同步高速长时间连续采样(多通道并行工作时,256kHz/通道);高度集成:模块化设计的硬件,每个模块有16、32或64通道机箱形式;每台计算机可控制多通道以上同步并行采样,满足多通道、高精度、高速动态信号的测量需求;每通道独立电压放大器,24位A/D转换器,低通滤波器,抗混滤波器,消除通道间串扰影响,提高系统的抗干扰能力;运行于Win XP/7/8操作系统,用户界面友好、操作简便灵活;计算机通过USB3.0接口与仪器通讯,对采集器进行参数设置(量程、传感器灵敏度、采样速率等)、清零、采样、停止等操作,并实时传送采样数据。

[0035] 2. 传感器选型

[0036] 941B传感器2是一种超低频测振仪,用于超低频或低频振动测量的多功能仪器。主要用于地面和结构物的脉动测量,一般结构物的工业振动测量,高柔结构物的超低频大幅度测量和微弱振动测量。941B型传感器2采用无源闭环伺服技术,以获得良好的超低频特性。设有加速度、小速度、中速度、大速度四档。用户可根据需要选取相应的档位,可提供测点的加速度、速度或位移参量。具有体积小、重量轻、使用方便,分辨率高、动态范围大及一机多用的特点。可直接与数据采集系统配接,可达到很好的阻抗匹配性能,大量被用于结构振动测试。

[0037] 3. 传感器布置方案

[0038] 传感器2的布置应尽量远离磁场,避免信号受到干扰。

[0039] 前期准备时,将同方向测量用941B传感器2放置在一起,观察每通道电压信号的波形形状、大小的相似程度,因为所有同方向的传感器放置在同一位置,振动量相似;而且放大倍数相同,因此每通道采集的振动信号应该极为相似,如果发现某一通道的信号和其他通道相差较远,检查传感器档位、放大器档位、导线连接是否存在问题。

[0040] 将传感器2的安装位置标出,将表面的尘土、油污等清扫干净,传感器2使用磁性座安装到机床上,确保安装后的传感器2和机床3紧密结合。(可用凡士林加强传感器2和机床3的粘合)

[0041] 对传感器的信号进行检查,检查每个通道的信号是否正常:

[0042] (1) 信号的幅值:相邻测点,位置相近,幅值应该很接近。

[0043] (2) 信号的频谱:相邻测点,位置相近,频谱应该很接近。

[0044] (3) 是否过量程:确保在振动较大时,信号也允许的幅值以内,没有发生过量程削波的现象。

[0045] (4) 信号是否放大倍数不够:306U系列采集仪的本底噪声约1mV,因此测量信号的幅值应该远大于1mV,才能得到较好的信噪比,降低噪声干扰的影响,信号的最大幅值最好在1000mV以上

[0046] (5) 滤波频率的设置:根据机床3的结构尺寸,并结合有限元计算结果、以往测试经验设定采样频率,机床模态实验一般在300Hz以内进行,所出现的峰值对应的频率就是机床的自振频率。

[0047] 经过有限元分析,对比实验现场的实验条件,确定传感器布置方案如下:第一步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上,第二步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上,第三步将传感器置于连接梁1上端水平(东西、南北)竖直三个方向上的三个测试点位上。

[0048] 4. 方法原理

[0049] 采用互补校正法,由自功率谱给出峰值频率区间,在该区间内,由互功率谱的相位确定在该区间内的固有频率及振型。首先从自功率谱密度中找出某阶频率对应最高峰值的频率值 $f$ ,根据频率值确定一个频率带,称为峰值频带; $df$ 为频率分辨率, $a$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $a$ 个 $df$ , $b$ 表示峰值 $f$ 左或右移 $b$ 个 $df$ ,定出峰值频带的下限和上限,得出 $Df$ 有 $(a+b+1)$ 个频率点,将这些频率点所对应的互功率谱密度值用一张表表示出来,选取振型最接近实振型的频率点作为第 $r$ 阶频率,利用互功率谱密度计算对应的振型。

[0050] 5数据收集分析

[0051] 5.1数据收集避免外界的振动干扰,根据所需频率范围设置低频通滤波频率和采样频率,在同一测点不同时间观测足够的次数和时长,以排除主振源因素。

[0052] 5.2机床3处于停机状态,将传感器2安装在指定测量点,沿坐标系三向布置。在采集系统中设置传感器参数,根据传感器选择正确的“输入方式”和“灵敏度”,“量程“的选择根据实际信号大小而定,下方的柱状图可实时观察当前通道信号大小,当柱状图颜色变红时表示过载,需将量程放大。进入测量界面,点击采集开始数据采集,采集时长不低于30分钟。记录仪采用频谱布局显示界面。

[0053] 5.3采集完毕进入分析界面,窗类型选择矩形窗,谱线数选择800,在界面显示出频谱图。测得前几阶频率与仿真分析对比。根据算法原理,得出频率和振型。

[0054] 与现有技术相比,本发明有如下有益效果。

[0055] 本实验方案以北一机床实例为基础,具有完善的实验设备,方案基于成熟的重型机床—地基基础相互作用系统的动力特性和工程应用环境,具有成本低,对测试物无损,实验能够准确反映实际情况。

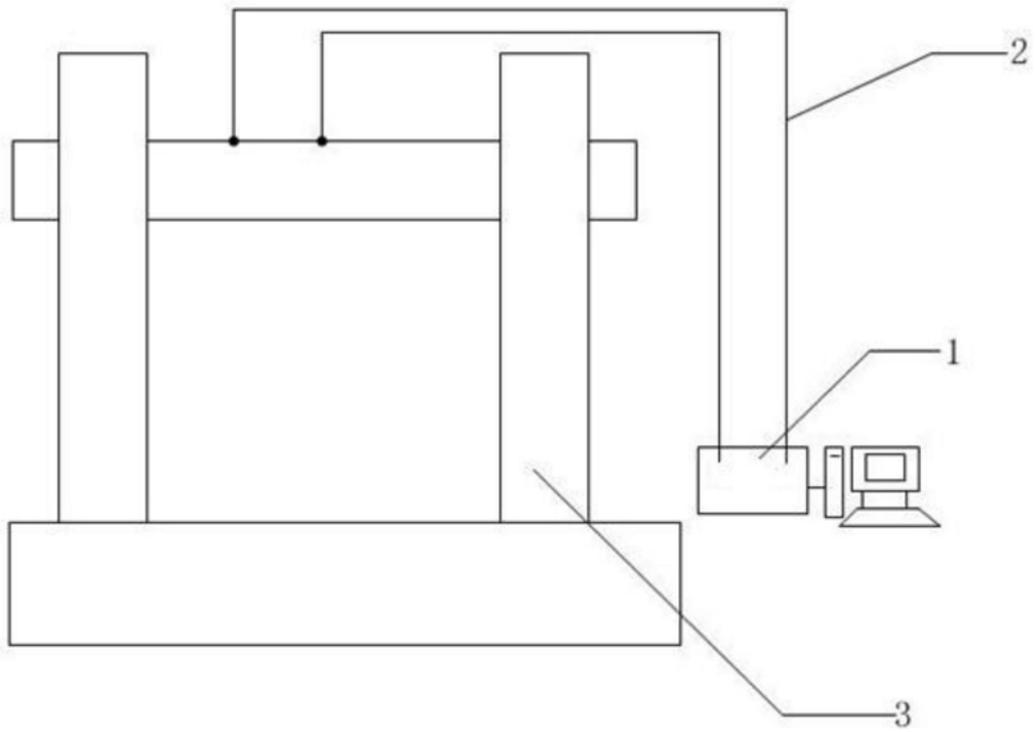


图1

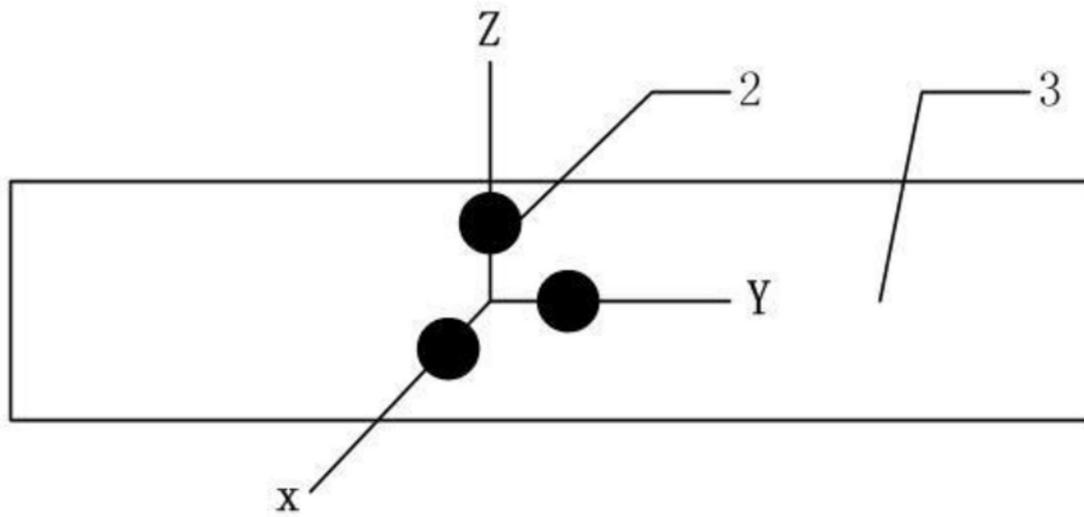


图2