



(21) 申请号 201310453338. 8

(22) 申请日 2013. 09. 27

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38 号

(72) 发明人 罗银淼 杭平平

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限
公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

G01M 7/02 (2006. 01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种动力特性快速测定的随机激励方法

(57) 摘要

本发明公开了一种动力特性快速测定的随机激励方法,包括以下步骤:1) 提供储有高压气体的储气罐,该储气罐上接驳高压喷枪;2) 在被测试对象的结构上安装振动传感器,振动传感器与数据采集系统相连;3) 打开高压喷枪,高压气流冲击到被测试对象的表面的激励点上;4) 通过数据采集系统记录被测试对象的振动信号并对所采集的振动信号进行数字信号处理,获得被测试对象的动力特性。通过连接有储气罐的高压喷枪对被测试对象的激励点进行气流冲击,由于湍流作用,冲击气流频谱丰富,且作用力大小调节方便,试验时间很短,不损伤被测对象的结构与表面;结合现有的系统的振动测试方法,能快速获得被测对象的动力特性以及安装质量。



1. 一种动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,包括以下步骤:
 - 1) 提供储有高压气体的储气罐,该储气罐上通过压力软管接驳高压喷枪,且压力软管中接驳电磁开关;
 - 2) 在被测试对象的结构上安装振动传感器,振动传感器与数据采集系统相连;
 - 3) 启动电磁开关,打开高压喷枪,高压气流冲击到被测试对象的表面的激励点上;
 - 4) 通过数据采集系统记录被测试对象的振动信号并对所采集的振动信号进行数字信号处理,获得被测试对象的动力特性。
2. 根据权利要求1所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述储气罐内充有高压空气。
3. 根据权利要求2所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述储气罐通过管路与空气压缩机连接。
4. 根据权利要求3所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述高压喷枪上设有第一压力流量指示器。
5. 根据权利要求3或4所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述空气压缩机的压力为0.5~3.0MPa,流量为0.5~3m³/min,且空气压缩机上设有第二压力流量指示器。
6. 根据权利要求1所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述振动传感器为激光位移传感器或加速度传感器。
7. 根据权利要求1所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述数据采集系统采样时间为30~60s。
8. 根据权利要求1所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述高压喷枪固定在可移动支架上,高压喷枪的枪口与被测试对象表面的距离为10~20cm。
9. 根据权利要求8所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,所述压力软管接有多个高压喷枪,各激励点上方均设置有一个高压喷枪。
10. 根据权利要求9所述的动力特性快速测定的随机激励方法,其特征在于,各激励点上方设置的高压喷枪保持同一角度喷射于被测试对象的表面。

一种动力特性快速测定的随机激励方法

技术领域

[0001] 本发明涉及结构振动领域,具体涉及一种动力特性快速测定的随机激励方法,适用于飞行器系统、车辆系统、风力发电等具有板壳结构的振动激励。

背景技术

[0002] 在工程实际中,将单个部件从系统中分离出来进行单独的动力特性试验往往不能正确反映安装位置及其安装工艺下的动力特性。如某型高速无人机的舵机系统是一个有间隙、有摩擦力的机构,驱动副翼完成无人机的姿态控制,是一个较为复杂的机电耦合的位置伺服系统,其动特性会随系统的运行状态和外载荷发生变化。实际使用发现该类无人机的舵机安装工艺严重影响副翼的控制效率与效果,必须进行舵机驱动副翼系统的动力特性普查,以了解此类系统的刚度差异。

[0003] 结构动力特性试验在普查时一般采用锤击方法,该方法具有快速便捷的优势。如申请公布号为 CN102564561A 的专利文献公布了一种整体叶盘叶片固有频率的测试方法,具体的测试过程由固定阶段、阻尼阶段、节点划分、激振测试、数据校验五部分构成。固定阶段:使用夹具将整体叶盘固定在振动台上;阻尼阶段:使用高吸收性物质将整体叶盘叶片中非检测的叶片进行阻尼;节点划分:将被测叶片平均划分为 4~8 份,得到 8~16 个节点;激振测试:使用力锤对各个节点进行敲击,通过力锤上的传感器和被测试叶片上的传感器将振动信号传送到放大器中进行放大,然后使用数采系统进行采集,最终传送到计算机中进行数据分析;数据校验:将计算机最终输出数据分析结果进行相干性分析、真假信号的识别、模态试验结果分析和模态置信度检验,最后对测得的叶盘叶片频率进行修正。

[0004] 但是该方法对被测试对象的材料有要求,当被测试对象的材料强度较弱时,锤击容易使得被测试对象的表层损伤。如某型高速无人机的副翼采用复合材料结构,实践发现锤击容易使得复合材料表层损伤;且无人机的舵机系统的阻尼值很高,锤击激励激发出周围部件如机翼的响应完全掩盖了副翼的振动信号,很难通过一般的信号处理方法获得舵机副翼系统的固有频率。

[0005] 结构动力特性试验在普查时除了采用锤击方法还经常使用激振器激励法进行检测。但是采用激振器激励时,因为需要安装激振器以及调试激振器,检测的周期较长,无法实现快速普查,特别在大范围的普查时,效率很低;同时激励顶杆的安装对被测试对象有一定影响,激励顶杆对测试系统有一定的附加刚度效应;且当被测试对象强度较低,如复合材料时,激励顶杆会对其造成一定的损伤。

发明内容

[0006] 针对上述问题,本发明提供了一种方便快捷,不会对被测试对象表面材料造成损伤的动力特性快速测定的随机激励方法。

[0007] 本发明采取的技术方案如下:

[0008] 一种动力特性快速测定的随机激励方法,包括以下步骤:

[0009] 1) 提供储有高压气体的储气罐,该储气罐上通过压力软管接驳高压喷枪,且压力软管中接驳电磁开关;

[0010] 2) 在被测试对象的结构上安装振动传感器,振动传感器与数据采集系统相连;

[0011] 3) 启动电磁开关,打开高压喷枪,高压气流冲击到被测试对象的表面的激励点上;

[0012] 4) 通过数据采集系统记录被测试对象的振动信号并对所采集的振动信号进行数字信号处理,获得被测试对象的动力特性。

[0013] 所述被测试对象固定在悬挂系统上。

[0014] 为了提高测试精度,作为优选,所述悬挂系统的频率为被测试对象的结构最低频率的 $1/6 \sim 1/2$ 。

[0015] 更为优选,所述悬挂系统的频率为被测试对象的结构最低频率的 $1/5 \sim 1/3$ 。

[0016] 作为优选,所述储气罐内充有高压空气。

[0017] 作为优选,所述储气罐通过管路与空气压缩机连接。使用空气进行激励,方便快捷且成本低,通过空气压缩机能产生源源不断的高压空气,实现大面积、长时间的振动测试。

[0018] 作为优选,所述高压喷枪上设有第一压力流量指示器。通过高压喷枪上设有的压力流量指示器能够对喷出的气流进行监测,并通过控制电磁开关或者高压喷枪的开关进行控制,从而实现提供稳定的气流的作用。

[0019] 作为优选,所述空气压缩机的压力为 $0.5 \sim 3.0\text{MPa}$,流量为 $0.5 \sim 3\text{m}^3/\text{min}$,且空气压缩机上设有第二压力流量指示器。选择一个合适的压力和流量,能够得到较好的测试效果,为了便于使用和维护,可以采用市场上的空气压缩机对空气进行压缩。

[0020] 振动传感器的种类有多重,选用的类型根据测试要求确定,作为优选,所述振动传感器为激光位移传感器或加速度传感器。激光传感器比较精确,适合结构振动位移较小的精确测量,且激光传感器结构质量较轻,用来采集位移信号;加速度传感器,使用广泛,使用频带较宽,采集加速度信号。

[0021] 作为优选,数据采集系统采样时间为 $30 \sim 60\text{s}$ 。

[0022] 作为优选,所述高压喷枪固定在可移动支架上,高压喷枪的枪口与被测试对象表面的距离为 $10 \sim 20\text{cm}$ 。高压喷枪的枪口与被测试对象表面的距离为喷口直径的 $5 \sim 25$ 倍,距离太近不能形成湍流,激励效果不好,距离太远因为空气阻力的原因使得气流冲击力变小,激励效果不理想。

[0023] 所述被测试对象的表面具有多个激励点,且各激励点不具有相关性。通过对多个激励点进行激励,能对面积或体积较大的被测对象进行测试,增大了本发明的适用范围。

[0024] 所述压力软管接有多个高压喷枪,各激励点上方均设置有一个高压喷枪。通过多个高压喷枪能同时对多个激励点进行激励。

[0025] 作为优选,各激励点上方设置的高压喷枪保持同一角度喷射于被测试对象的表面。保持同一角度能保证测试的有效性,使得测试得到的数据更加可靠。

[0026] 作为优选,各高压喷枪垂直喷射于被测试对象的表面。高压喷枪垂直喷射于被测试对象的表面能充分利用高速喷射的气体。

[0027] 高压喷枪喷出的气体对被测试对象的激励力是随机平稳的。由于湍流作用,冲击气流频谱丰富,对于被测试对象的激励时随机的,同时通过对压力和流量控制能保证激励

的平稳性。通过随机平稳的激励能得到比较好的测试数据。

[0028] 本发明的有益效果是：本发明通过连接有储气罐的高压喷枪对被测试对象的激励点进行气流冲击，由于湍流作用，冲击气流频谱丰富，且作用力大小调节方便，试验时间很短，不损伤被测对象的结构与表面；结合现有的系统的振动测试方法，能快速获得被测对象的动力特性以及安装质量。

附图说明

[0029] 图 1 是本发明激励装置的原理图；

[0030] 图 2 是经典锤击激励获得的传感器 1 和传感器 3 的互功率谱；

[0031] 图 3 是本发明一种动力特性快速测定的随机激励方法获得的传感器 1 和传感器 3 的互功率谱。

具体实施方式

[0032] 实施例 1

[0033] 本实施例是利用本发明一种动力特性快速测定的随机激励方法对一悬臂梁进行了验证，悬臂梁长度为 410mm，宽度为 40mm，厚度为 1mm，基频很低，属于柔性梁。具体步骤如下：

[0034] (1) 提供与空气压缩机连接能储存高压空气的储气罐，该储气罐上通过压力软管接驳高压喷枪，且压力软管中接驳电磁开关，高压喷枪固定在可移动支架上。

[0035] 如图 1 所示，该图为本发明激励装置的原理图，空气压缩机与储气罐通过管路相连接，压缩空气至储气罐中，且空气压缩机上设有第二压力和流量指示器，本实施例空气压缩机的压力为 1MPa，流量为 1m³/min；储气罐上通过压力软管连接有高压喷枪，且储气罐和高压喷枪之间设有电磁开关；高压喷枪固定在可移动支架上，通过可移动支架控制高压喷枪的运动，同时为了保证高压喷枪喷射出去的气流稳定可靠，在高压喷枪上装有第一压力流量指示器，通过压力流量指示器的监测可以保证测试的可靠性，且能通过压力流量指示器的数据调节电磁开关或者高压喷枪的开关，从而得到合适压力和流量的气体。

[0036] (2) 将悬臂梁固定在悬挂系统上，且悬臂梁上按照一定间距依次布置有 3 只 PCB 系列加速度传感器，分别为传感器 1、传感器 2、传感器 3，他们通过导线与数据采集系统相连。

[0037] 振动传感器的种类有多重，选用的类型根据测试要求确定，激光传感器比较精确，适合结构振动位移较小的精确测量，且激光传感器结构质量较轻，用来采集位移信号；加速度传感器，使用广泛，使用频带较宽，采集加速度信号。

[0038] (3) 通过可移动支架，使得高压喷枪的枪口距被测试对象表面的距离为 15cm，启动电磁开关，打开高压喷枪，高压气流冲击到被测试对象的表面的激励点上。

[0039] 激励点的确定与采用其他激励方法如锤击方法或激振器激励法的激励点的确定方式相同。激励点可以采用经验法或通过有限元建模来确定。高压喷枪的枪口与被测试对象表面的距离一般为 10 ~ 20cm，距离太近不能形成湍流，激励效果不好，距离太远因为空气阻力的原因使得气流冲击力变小，激励效果不理想。

[0040] 本实施例采用的是单点激励，除了单点激励，还可以为多点激励。多点激励时，压力软管连接有多个高压喷枪，通过多个高压喷枪同时对多个激励点进行激励可以得到被测

试对象的模态图。

[0041] (4) 通过 COINV Dasp 数据采集系统记录悬臂梁的振动信号,采集系统的采样时间为 60s,采样频率为 4000Hz。采集完悬臂梁的振动信号后再对所采集的振动信号进行数字信号处理,获得被测试对象的动力特性。

[0042] 如图 3 所示,该图为悬臂梁通过本发明激励方法获得的传感器 1 和传感器 3 的互功率谱图。

[0043] 对于上面试验的悬臂梁,继续采用经典锤击激励的方法进行测试,为了保证两种激励方式测试结果对比的真实性,传感器的选用和安置位置、信号采集系统、采集时间、采集频率以及激励点的选择等均与采用本发明一种动力特性快速测定的随机激励方法一样,试验的区别点只是激励方式的不同。如图 2 所示,该图为悬臂梁通过经典锤击激励获得的传感器 1 和传感器 3 的互功率谱图。由于本发明采用气流冲击进行激励,激励的能量频谱范围广泛,并且能够较长时间内采样,因此激发出的响应频率更为丰富,甚至包括悬臂梁的扭振频率。对比图 2 和图 3 可以发现,采用本发明的激励方法,其各固定频率点的峰值明显,功率谱峰值的信噪比很好,易于识别,且相邻频率易于识别。

[0044] 如表 1 所示,为上面两种激励方法下测得的悬臂梁的固有频率对比测试结果表。

[0045] 表 1 固有频率对比测试结果(单位:Hz)

[0046]

测点 / 模态阶数	锤击激励	本发明激励方法
1/1	6.34	6.34
1/2	41.01	41.01
1/3	115.60	115.60
2/1	6.40	6.40
2/2	41.23	41.23
2/3	115.89	115.89
3/1	6.36	6.36
3/2	41.22	41.22
3/3	115.91	115.91

[0047] 从表 1 中可以看出,本发明的激励方法与传统力锤激励方法测得的悬臂梁的固有频率一致。本发明通过连接有储气罐的高压喷枪对被测试对象的激励点进行气流冲击,由于湍流作用,冲击气流频谱丰富,且作用力大小调节方便,试验时间很短,不损伤被测对象的结构与表面;结合现有系统的振动测试方法,能快速获得被测对象的动力特性以及安装质量。

[0048] 实施例 2

[0049] 本实施例是利用本发明一种动力特性快速测定的随机激励方法对一无人机的舵机系统进行测试,具体步骤如下:

[0050] (1) 提供与空气压缩机连接能储存高压空气的储气罐,该储气罐上通过压力软管接驳 3 个高压喷枪,且压力软管中接驳电磁开关,高压喷枪固定在可移动支架上。

[0051] (2) 将无人机的舵机系统固定在悬挂系统上,在机翼上安装 5 个振动传感器并回避模态节点,振动传感器通过导线将传感器与数据采集系统相连。

[0052] 为了提高测试精度,测试所使用的悬挂系统的频率为无人机的舵机系统的结构最低频率的 $1/5 \sim 1/3$ 。判别悬挂系统是否满足要求,可以采用现有的测试方法测得悬挂系统的频率和无人机的舵机系统的结构最低频率,也可以采用经验判断法,也可从采用本发明激励方法大略的测得他们的频率,以此确定悬挂系统是否合适,如不合适就替换悬挂系统,并再次进行判别。

[0053] (3) 通过现有的方法确定 3 个激励点的位置,移动可移动支架,使得 3 个高压喷枪的枪口距各自对应的那个激励点的距离均为 15cm,启动电磁开关,打开高压喷枪。为了使得测试得到的数据更加可靠,各高压喷枪保持同一喷射角度。

[0054] (4) 通过 COINV Dasp 数据采集系统记录悬臂梁的振动信号,采集系统的采样时间为 60s,采样频率为 300Hz,采集完悬臂梁的振动信号后再对所采集的振动信号进行数字信号处理,获得被测试对象的动力特性。通过现有的技术和方法,分析各试验段的互功率谱函数与相干系数、相位,根据试验模态技术甄别模态可靠性,获得个部件的固有频率。



图 1

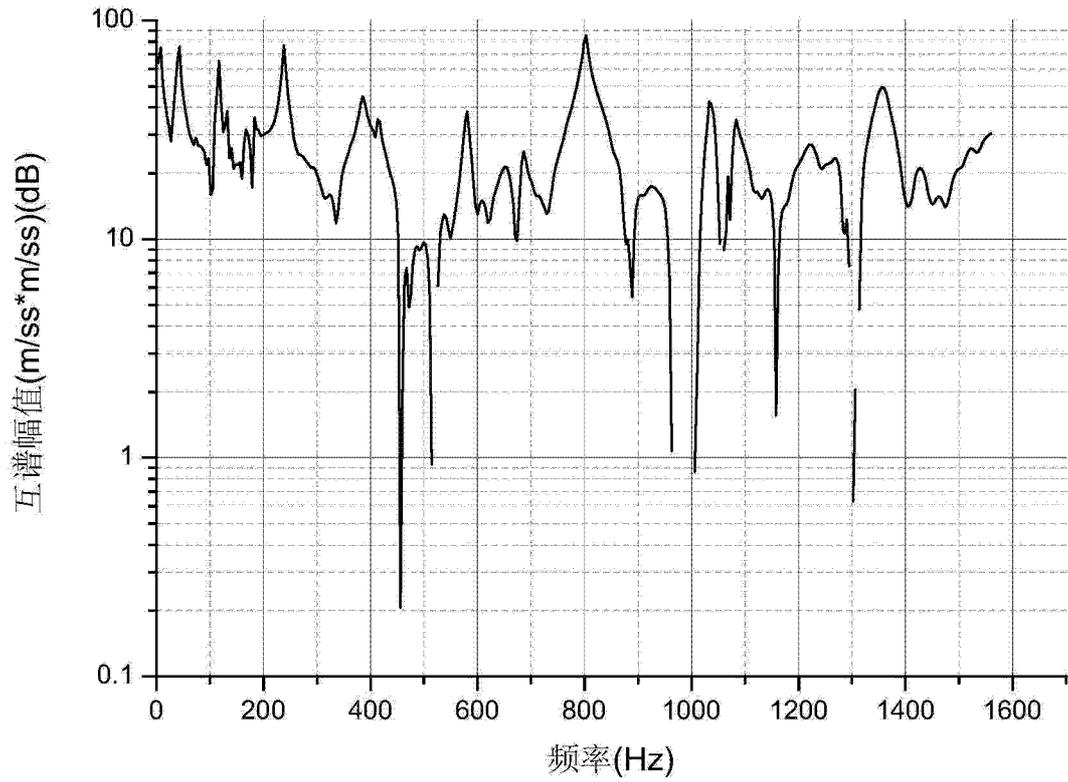


图 2

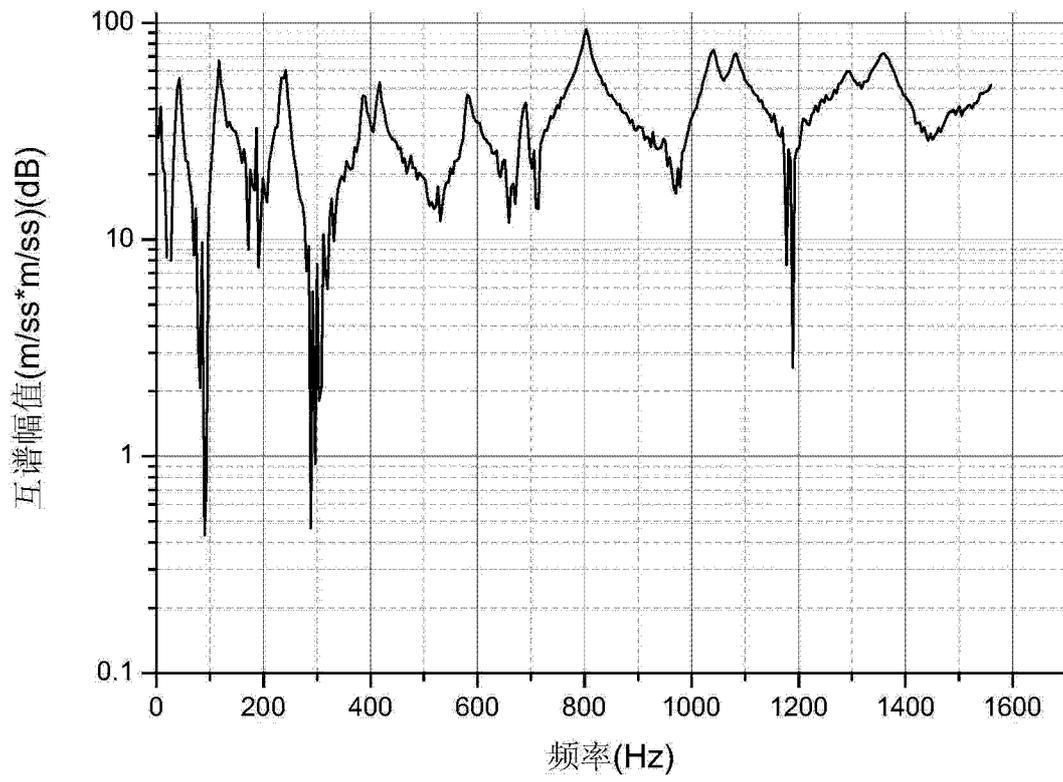


图 3