

正弦振动试验中的共振利用

陈励

(佛吉亚排气控制技术中心, 上海 201106)

摘要: 实验室通常采用电动振动进行正弦振动试验来考验部件的疲劳特性, 然而电动式振动台有其局限性。为了实现电动式振动台高加速度正弦试验, 利用共振原理设计了振动台共振板夹具。通过试验验证, 说明了方法的实用性和有效性。

关键词: 共振; 共振板; 正弦振动; 电动式振动台; 高加速度

中图分类号: V216.2⁺1 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)02-0048-04

Application of Resonance in Sine Vibration Test

CHEN Li

(Faurecia Emissions Control Technologies Center, Shanghai 201106, China)

Abstract: Sine vibration test was usually run with electric shaker in test lab to validate endurance character of parts. But electric shaker has certain limitation. In order to get high acceleration in sine vibration test with electric shaker, a resonance board jig was designed using resonance principle. The practicability and effectiveness of the approach was verified through experiment.

Key words: resonance; resonance board; sine vibration; electric shaker; high acceleration

振动试验的目的是在实验室中做一连串可控制的振动模拟, 包括自然或人为环境所产生的振动, 测试产品于有效寿命周期中, 是否能承受运送或使用时的振动环境考验, 确定产品设计及功能的要求标准。振动试验的价值, 在于确认产品的可靠度及有效性, 将不良品在出厂前筛检出来, 避免到货损坏发生; 评估其不良品的失效, 获得高水准、高可靠度的产品。进行持续性疲劳振动试验, 更有助于了解一般环境下产品处于振动下所反映出来的情形, 避免产品长时间处于某种振动频率下造成无法预知的损

坏。

目前产品实验室中进行振动试验的形式最常用的是正弦振动和随机振动, 尤以正弦振动试验最为常见。

正弦振动试验一般做法是找出结构件共振频率或直接定义其振动频率, 在此频率进行耐共振试验。结构件在共振状态下局部会产生大位移, 引起局部弯折形变, 进而产生疲劳损坏。这样能迅速评估试件的结构强度、结构缺陷, 甚至评定出试件的动态特性。

收稿日期: 2012-10-24

作者简介: 陈励(1982—), 男, 上海人, 工程师, 主要研究方向为零部件振动试验。

实验室通常采用振动台来实施此类试验,振动台主要分电动式、液压式和机械式3种。电动式振动台由于其频率高、波形好、振幅小、控制方便等特点被广泛用于零部件振动疲劳试验中,但由于电动式振动台有其设备能力的限制,高加速度正弦试验不能实施。

文中介绍一种利用共振原理在振动台上加装共振板夹具的方法,用以实施正弦高加速度振动试验,此方法用于零部件振动试验在国内基本还处于空白阶段。

1 设备及传统方法的局限性

常规电动式振动台特性曲线如图1所示,图中 m 为振动台上附加的总质量,如夹具、样件、水平滑台等的质量。振动台推力公式的简化见式(1)。

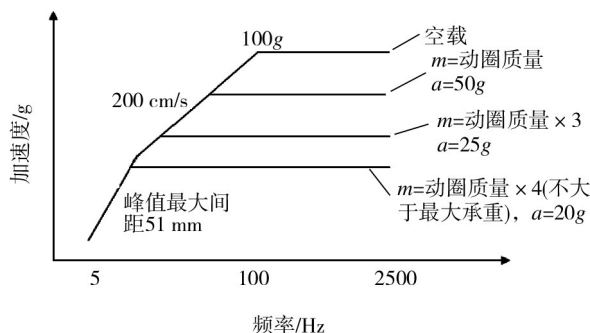


图1 振动台特性曲线

Fig. 1 Shaker performance curve

$$F = (m_{\text{动}} + m) \times a \quad (1)$$

式中： F 为振动台推力； $m_{\text{动}}$ 为动圈质量； m 为振动台附加质量； a 为产生的加速度。

当标准中要求进行正弦加速度值较高的振动试验时,电动式振动台就难以满足要求。传统方法考虑振动台最大推力及动圈质量是固定的,附加质量减小则加速度增加,故采用减少夹具总体质量,将夹具某部分厚度变薄或以轻质材料如铝合金等替代的方法。然而此类方法通常降低了夹具的刚度,使夹具更容易在振动疲劳下断裂,造成试验的失败。

2 共振原理

共振是指机械系统所受激励的频率与该系统的

某阶固有频率相接近时,系统振幅显著增大的现象。共振时,激励输入机械系统的能量最大,系统出现明显振型。在机械振动中,常见的激励有直接作用的交变力、支承或地基的振动、旋转件的不平衡惯性力等。

共振时的激励频率称为共振频率,近似等于机械系统的固有频率。对于单自由度系统,共振频率只有一个。当对单自由度线性系统做频率扫描激励试验时,其幅频响应(如图2所示)上出现一个共振峰。对于多自由度线性系统,有多个共振频率,激励试验时相应出现多个共振峰。对于非线性系统,共振区出现振幅跳跃现象,共振峰发生明显变形,可能出现超谐波共振和次谐波共振。

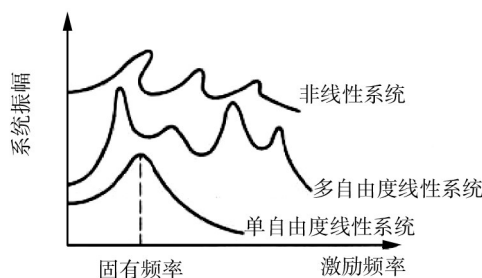


图2 幅频响应

Fig. 2 Amplitude-frequency response

在一般情况下共振是有害的,会引起机械和结构较大的变形和动应力,甚至造成破坏性事故,工程史上不乏实例。防共振措施包括改进机械的结构或改变激励,使机械的固有频率避开激励频率;采用减振装置;机械起动或停车过程中快速通过共振区。共振状态包含机械系统的固有频率、最大响应、阻尼和振型等信息。在振动测试中常人为地再现共振状态,以进行机械的振动试验和动态分析。

利用共振原理的振动机械,可用较小的功率完成某些工艺过程,如共振筛及文中介绍的共振板等。采用共振板的方法就是通过利用共振这一物理特性,电动式振动台架(包括夹具及水平滑台等)可以视为多自由度线性系统,对共振板施加一定共振频率范围内的低加速度载荷,在共振板中心得到高加速度并传导于试验样件,达到试验目的。

3 共振板设计

根据正弦振动试验频率的要求,设计相应频率

范围内适用的共振板。简单的共振板如图3所示。

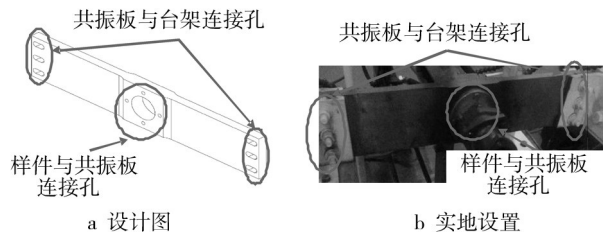


图3 共振板

Fig. 3 General view of the resonance board

对共振板两端施加一定振幅的振动,共振板中心一般会出现振幅放大的现象(特殊频率如反共振频率除外)。频率一定时加速度与振幅是正比关系,所以加速度也变大。根据共振理论,在共振频率下振幅呈几何倍数的增大。将样件安装在共振板中心处就可以达到更高的加速度,从而达到试验要求。

共振板根据振动试验条件的频率设计,其刚度越大则共振频率越高,反之则越低,但共振板一般不适用于100 Hz以下的振动,否则容易引起其它共振。

通过选用不同特性的材料,设计不同形状的共振板,改变板上安装孔位置,都可以改变共振板刚度。改变刚度意味着改变共振板的共振频率,必须根据试验频率范围要求来调节其刚度。

4 共振板试验验证

某产品一阶共振频率范围在150~190 Hz之间。设计要求共振板共振频率在150~190 Hz范围内,共振板所用材料牌号为35NCD16,属于合金结构钢中的工具钢。实测该共振板的一阶共振频率在165 Hz左右,达到设计要求。

试验标准中提到正弦定频试验,要求试验条件为频率190 Hz、加速度50g和75g。由于电动式振动台附加质量包括水平滑台和夹具等,约有动圈质量的3倍,根据图1特性曲线所示,用电动式振动台进行该试验时加速度理论上最大只能达到25g,不能达到试验要求。采用共振板来进行这一试验,共振板及样件安装如图4所示。

4.1 低量级扫频试验

在试验频率范围进行低量级即低加速度的扫

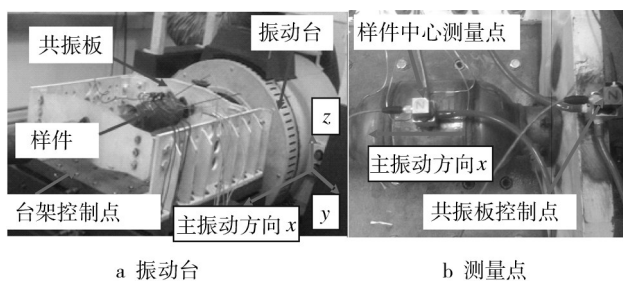


图4 试验台架设置

Fig. 4 Test-bench setup

频试验,用三轴加速度传感器测量样件中心得到的加速度。观察振动台输入的加速度和样件中心加速度在相同频率下的比值,如振动台控制加速度值为1g,共振板上样件中心实际测得的加速度为4g,可估算在该频率下振动加速度放大倍数为4;振动台在此频率下可达到的最大加速度若为20g,可理论上估算样件中心达到的最大加速度为80g。样件中心测得的实际扫频试验结果如图5所示,可知190 Hz频率时放大倍数约为20倍,振动台的最大加速度为20g,故用共振板后能够轻易达到试验标准中加速度的要求。

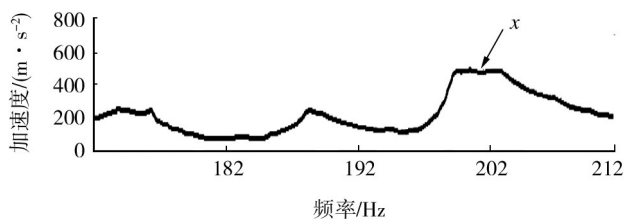


图5 扫频曲线

Fig. 5 Frequency sweep curve

4.2 高量级定频试验

进一步进行试验,将振动台控制加速度传感器在控制软件上设置共振板为控制点,输入正弦试验的频率及高量级加速度,如正弦振动频率为190 Hz,加速度为50g。为了保护设备,建议将振动台控制点加速度传感器设置振动台为加速度监测点,作为设备的报警及停机控制。在振动控制软件上设置加速度超限报警功能(一般设置为振动台最大加速度的60%以下),即振动台监测点传感器检测到高于此限值的加速度值后,设备立即报警并停机。建议从较

低加速度开始进行试验,然后逐步将加速度增至目标值,同时观察电动式振动台功放的电流、电压变化,根据最大允许电流、电压值估计设备能力。

试验开始后用数据采集设备测量样件中心实际情况,试验的主振动方向为 x 方向, y 方向及 z 方向为侧向振动。侧向振动虽然无法避免,但应尽可能减少,建议不能超过主振动方向的20%。观察其它频率是否出现杂峰,较多且峰值较高的杂峰会对试验造成影响。

如图6所示,此次试验频率上的峰值加速度达到了试验要求。其它非振动激励频率上杂峰较少,且峰值也较低,对试验几乎没有影响,可以忽略。

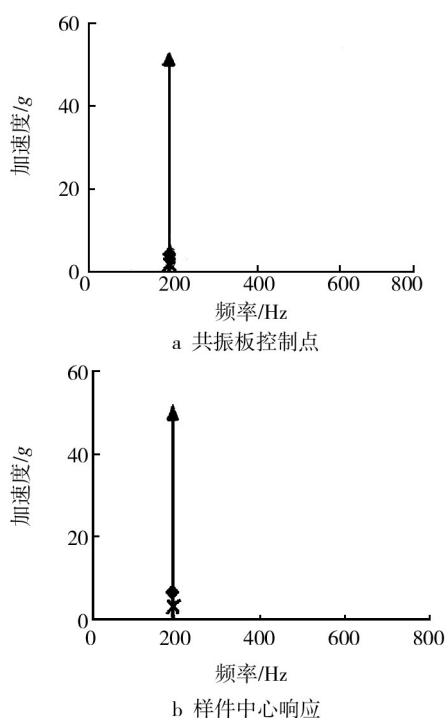


图6 振动测量结果

Fig. 6 Vibration measuring data

试验结果见表1,可见样件中心响应点侧向(y 方向及 z 方向)加速度远远小于主振动方向加速度,对试验影响较小。

4.3 高量级扫频试验

150~195 Hz 频率范围正弦扫频试验结果如图7所示。控制共振板加速度为50g。振动控制较平稳,样件中心点加速度响应几乎一致。在150~195 Hz 频率范围中均可以进行定频或扫频加速度为50g的振

表1 试验结果统计

Table 1 Statistics of test result

		共振板控制点		样件中心响应点	
		加速度/g	频率/Hz	加速度/g	频率/Hz
50g	x	52.26	190	51.08	190
	y	5.47	190	8.19	190
	z	1.66	190	4.08	190
75g	x	78.04	190	76.37	190
	y	8.31	190	12.63	190
	z	2	190	5.92	190

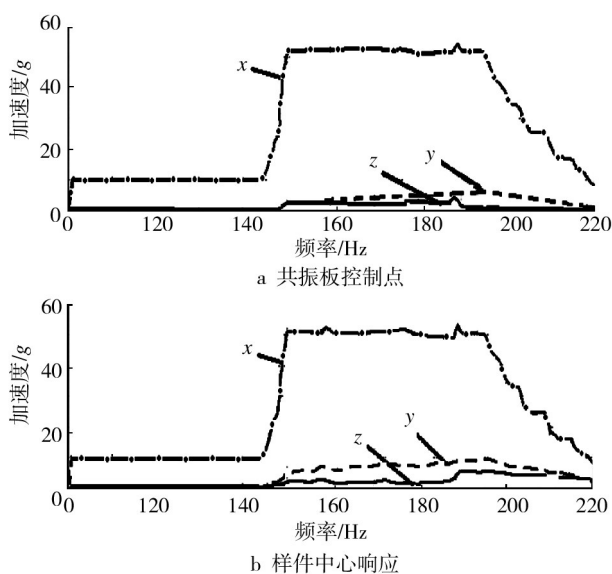


图7 控制加速度50g扫频曲线

Fig. 7 Acceleration curve under 50g control frequency sweep

动试验。

5 结论

通过试验验证,充分证明了利用共振板实施正弦高加速度试验方法有效可行。方法实施后大幅降低了振动设备自身的振动量级,提高了效率,节约了运行成本,加深了对振动设备控制工作的认识,具有一定的工程运用价值。适用于各种类型加速度较高的正弦定频及扫频试验。如果需要不同频率的振动试验则可通过更换不同共振板来实现,具有较高的灵活性。

(下转第61页)

方向振动基本不变,40 km/h行驶时的谐振现象主要由 x, y 两方向的振动激励引起。

4) 文中提出的平顺性试验研究方法,为车载精密光电探测设备的结构优化设计与研制定型提供了参考。

参考文献:

- [1] 何照才. 光学测量系统[M]. 北京:国防工业出版社,2002:15—26.
- [2] 高数新,汪立民. 军用战术车辆平顺性评价方法及指标极限值的研究[J]. 汽车技术,2008(7):27—30.

- [3] GB 4970—1996,汽车平顺性随机输入行驶试验方法[S].
- [4] ISO 16750—2003,道路车辆电气和电子设备的环境条件与试验[S].
- [5] 叶盛祥. 光电仪器精密测量技术[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003:1—4.
- [6] 李根成. 武器装备环境例行试验的有效性研究[J]. 强度与环境,2006,33(3):11—16.
- [7] 康兴无. 武器装备运输环境适应性评估研究[J]. 装备环境工程,2006,3(4):16—19.

(上接第47页)

邻的若干类别对该类别聚类中心的影响问题和灰类区间长度不一样的问题。通过实例验证,得到的计算结果是科学有效的。

参考文献:

- [1] 徐宗昌. 保障性工程[M]. 北京:兵器工业出版社,2002:

45—48.

- [2] 赵经成,祝华远,王文秀. 航空装备技术保障运筹分析[M]. 北京:国防工业出版社,2010:28—29.
- [3] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1999:80—92.
- [4] 庄德慧,李孝全. 基于网络计划技术的某发射装置维修管理研究[J]. 维修管理,2007,11(5):23—26.

(上接第51页)

方法使用时需注意以下几点。

1) 只对正弦定频试验及特定频率范围内正弦扫频试验有效,不适用于随机振动试验。

2) 样件体积和质量不应过大,否则容易造成非主振动方向的侧向振动。

3) 振动控制时会产生一定的频率及加速度偏差(频率偏差 $\leq \pm 1$ Hz,加速度偏差 $\leq \pm 1g \sim 2g$)。

4) 共振频率不仅取决于共振板的特性,还取决于样件的质量及形状。每次试验均应先进行扫频试

验,观察样件中心的响应。

参考文献:

- [1] 吴瑞轩. 振动夹具的测试方法研究[J]. 装备环境工程,2010,7(6):252—255.
- [2] 马玉真,王新华,宋波. 简谐振动测试系统的设计[J]. 试验技术与试验机,2001(3):21—22.
- [3] 黄华. 随机振动与正弦振动的等效[J]. 航空标准化与质量,1980(2):87—92.
- [4] 刘道标,宦海祥. 振动试验方法的研究及发展趋势[J]. 环境技术,2006(3):21—25.