

# 加速度计在振动试验中的应用

章新瑞

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

**摘要:** 加速度计是一种产生与加速度成正比输出的传感器,也是振动试验系统中必不可少的组成部分。介绍了加速度计的基本原理和选型,对其在振动试验中的使用进行了讨论,并着重介绍了加速度计在综合环境下的应用。

**关键词:** IEPE加速度计; 电荷型加速度计; 振动试验; 综合环境

**中图分类号:** TB934; V216.2<sup>+</sup>1      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2013)02-0089-04

## Application of Accelerometers in Vibration Test

ZHANG Xin-rui

(China Aero Polytechny Establishment, Beijing 100028, China)

**Abstract:** Accelerometer is a sensor, whose output signal is proportional to acceleration, which is an essential component of vibration test system. The basic principles and accelerometer selection was introduced. The application of accelerometer in vibration test was discussed, especially the application of accelerometer in integrated environment.

**Key words:** IEPE accelerometer; piezoelectric accelerometer; vibration test; integrated environment

加速度计是一种产生与加速度成正比输出的传感器。随着产品可靠性要求的日益提高,加速度计也越来越多地应用于产品的研制、测试和验证试验领域,特别是运动环境测试领域,包括各种振动测试和振动试验。由于试验人员对加速度计的基本原理不了解,在实际应用中并不能正确使用加速度计,使得试验结果不准确或不正确。从应用加速度计的技术基础入手,介绍了加速度计在振动试验的选型,并着重讨论了其在振动试验中的各种实际应用问题。

## 1 加速度计的技术基础<sup>[1]</sup>

目前,在加速度测量领域,有3种仪器应用较为广泛,分别是压电式加速度计、压阻式加速度计和可变电容式加速度计,其中压电式加速度计应用最为广泛。

### 1.1 压电式加速度计

压电式加速度计是一种自生器件,其特点是平

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 章新瑞(1977—),男,江西进贤人,高级工程师,主要研究方向为环境可靠性工程技术。

坦频率响应范围大,并具有多种灵敏度、质量、大小和形状可供选择。该传感器采用压电材料作为敏感元件,可用于振动和冲击测试。压电材料输出的电信号与作用在材料上的压力成正比。压电式加速度计的基本结构如图1所示。

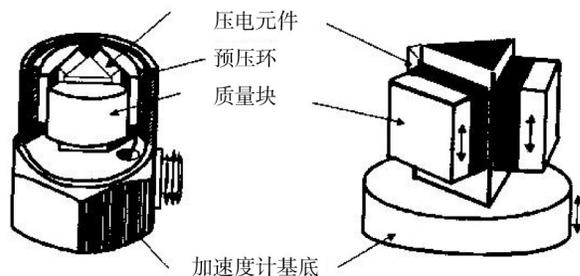


图1 压电式加速度计的基本结构

Fig. 1 The basic structure of piezoelectric accelerometer

压电式加速度计的质量在0.14~200 g之间。通常加速度计质量越大,灵敏度越高,共振频率也越低,可用频率范围越小。加速度计的技术参数主要有灵敏度、测量范围、工作频率范围、共振频率和使用温度范围。压电式加速度计有3种结构形式:剪切型、弯曲型和压缩型。

根据工作模式不同,压电式加速度计可分为IEPE加速度计和电荷型加速度计。

### 1.1.1 IEPE加速度计

IEPE加速度计包含一个内部集成的信号调理电路,它将压电敏感元件产生的高阻抗电荷信号转换成可用的低阻抗电压信号,该电压信号可通过简单的双绞线或同轴电缆传输到电压类记录仪中。IEPE加速度计内部集成的电子线路需要一个电流恒定的直流电源进行激励。

### 1.1.2 电荷型加速度计

电荷型传感器输出一个由压电敏感元件直接产生的高阻抗电荷信号,该信号对环境的影响和电缆的噪声非常敏感,所以需要专门的低噪声电缆进行信号传输。同时为精确测量,需要在信号输入到记录仪或控制器之前,将它调整成一个低阻抗的电压信号,为此电荷型传感器需要一个电荷型放大器。

### 1.1.3 压电敏感材料

在加速度计的设计中,主要有两类压电材料:石英和多晶陶瓷。

石英是一种天然压电材料,在所有压电材料中最稳定,所以石英加速度计具有长期稳定性和重复性。多晶陶瓷是人造的,通过一个极化过程获得压电特性,主要应用在特定用途的加速度计中,如高电压灵敏度的陶瓷可用于具有内部集成电压放大电路的加速度计;高电荷灵敏度的陶瓷可用于高温(250℃)电荷型加速度计;高温型压电陶瓷,可用于超高温(537℃以上)电荷型加速度计。

## 1.2 压阻式加速度计

压阻式加速度计与压电式加速度计不同之处在于它不是自发型器件,多使用硅作为应变敏感材料,硅的电阻率变化与所施加的应力或应变成正比。压阻式加速度计通常灵敏度较低,比较适用于冲击测试和运输碰撞测试,而较少应用在振动测试中。

## 1.3 可变电容器式加速度计

可变电容器式加速度计通过使用半桥路可变电容器微传感器来实现对加速度的敏感,能够测量低量值的加速度(2g~100g),同时可承受高量值的冲击(5000g~20 000g)。

## 2 加速度计在振动试验中的应用

加速度计是振动试验系统中测量振动加速度的部件,其应用好坏直接影响到试验的质量。

### 2.1 加速度计的选择

在振动试验中选择加速度计需考虑的因素有灵敏度、测量范围、使用的温度范围、频率范围。振动加速度计的灵敏度通常用毫伏/重力加速度(mV/g)或皮库仑/重力加速度(pC/g)的形式来表征。该指标与可测最大幅值成反比,所以高灵敏度的加速度计最大测量峰值较低。加速度计的温度范围也是一个选择因素,在高低温综合环境下要注意温度范围的选择,如需要在-55~70℃范围下进行可靠性试验,必须选择温度范围宽于-55~70℃的加速度计。

试验必须考虑加速度计的尺寸和质量。大而笨重的加速度计不适宜安装在小或轻质的结构中,这样将影响测量精度并使数据产生偏差。

试验必须考虑加速度计所处的工作环境。在潮

湿的环境中,应使用带密封设计的加速度计;根据加速度计安装的空间,可选择顶端或侧面连接电缆的加速度计。

在振动试验中,一般选择电荷型加速度计,主要原因如下。

1) 可使用电荷型加速度计所配用的电荷放大器进行放大倍数调节,如在电荷放大器中设置加速度计的灵敏度(pC/g)后,可根据试验量值的大小选择放大倍数(mV/g),大量值可设置为10甚至更少,小量值设为100或更大;IEPE加速度计不使用电荷放大器只有满量值设置,如IEPE加速度计的灵敏度为10 mV/g,只能在振动控制系统中设置10 mV/g,在进行小量值振动时(如量值为0.5g,控制计算机读数为5 mV)容易受到噪声干扰,需要选用大灵敏度的加速度计,故加速度计使用范围受到限制,不如电荷型加速度计使用灵活。

2) IEPE加速度计需要配备电流恒定的直流电源进行激励,而目前的振动控制系统一般不具备该类型恒流源。

3) IEPE加速度计的放大电路在传感器内部,与被测物承受一样的环境,而电荷型加速度计测试系统中的加速度计和被测物在一起,进行放大的电荷放大器可远离被测物。在长期试验后,IEPE加速度计相比电荷型加速度计更易损坏。

## 2.2 加速度计的安装方法和接地隔离

加速度计的安装方法会影响频率响应的范围和精度。加速度计的安装形式有螺栓安装、粘合剂安装、磁性安装、探针。在振动试验中,推荐使用螺栓安装、粘合剂安装。

如图2所示,归纳了几种不同安装方法的典型传感器频率响应变化情况。

在导电表面直接安装加速度计时,由于大地电噪声的拾取而产生一个电压,来自其它电气设备(通过大地与设备相连,如电机、水泵等)的噪声会通过加速度计的基底进入测量信号的大地路径。当该传感器以一个不同于信号调理和分析设备的电压接地时,就会产生接地回路,导致信号线路工频波动、潜在的数据发生错误以及信号漂移。为此,一般需将加速度计与被测物进行电气隔离。目前,加速度计可使用隔离安装螺栓、隔离基底、安装块等进行大地

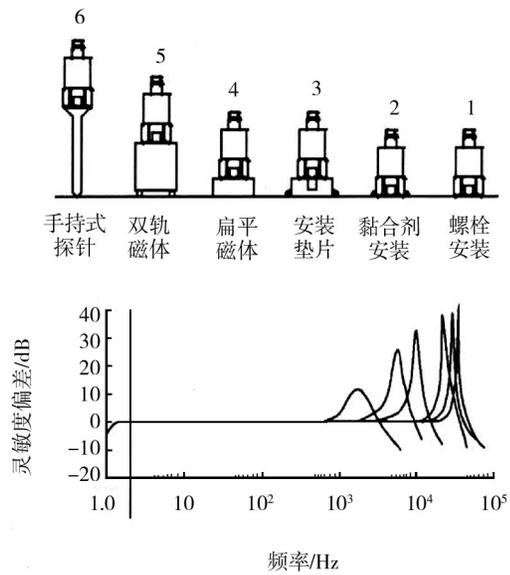


图2 不同加速度计安装方法的相对频率响应

Fig. 2 The relative frequency response vs. various installation methods of accelerometer

隔离(如图3所示)。



图3 各种形式的安装块和隔离螺栓

Fig. 3 Various mounting blocks and isolation studs

加速度计的安装不仅影响测量系统的动态性能,若加速度计与被测物没有紧密接触,还可能产生测量误差。在进行加速度计安装前应仔细检查加速度计基底或安装块的表面,其表面必须平整、光滑而且干净,必要时可测量表面的平整度和粗糙度。采用隔离安装螺栓固定加速度计时,应按照制造商推荐的安装扭转力进行安装,以免安装时用力过大损坏加速度计。当采用快干胶(如502胶)固定加速度计时,应根据试验量值的大小评估粘合的强度,在10g以上量值的试验中不推荐使用快干胶固定加速度计。

## 2.3 加速度计的电缆及连接

由于电荷型加速度计产生的输出信号具有高阻抗性,故应采用专门的低噪声电缆,在使用时注意电缆运动中产生的噪声。在振动试验中,电缆应通过夹具、胶带或其他粘合剂等可靠地固定到安装结构上(如图4所示),以尽量减少电缆移动和连接器应变。电缆移动将引入噪声,特别是在高阻抗信号路径上,此现象称为摩电效应。另外,电缆与传感器电气连接处的电缆应变也可能导致间歇性信号中断或永久性断路,从而导致数据丢失。

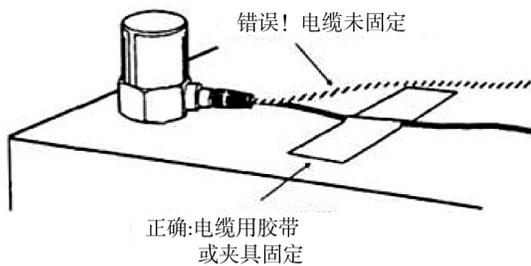


图4 减小加速度计的电缆应变

Fig. 4 Reduce strain of accelerometer cable

## 3 综合环境下的加速度计选择和应用

在综合环境试验中,振动应力和温度、湿度应力是同时施加的,在选取加速度计时应考虑其受环境影响的程度,如温度范围、温度快速变化、高湿度等因素对加速度计灵敏度的影响,选择不当会给试验控制带来误差。目前国内生产的加速度计尚未给出灵敏度与温度关系变化曲线,也未提及温度快速变化引入低频噪声的大小。在此选用了丹麦BK公司中的某型剪切式加速度计,其使用温度范围为 $-74\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该型传感器灵敏度在温度变化下的偏差曲线如图5<sup>[9]</sup>所示。可以看出在常用的综合环境温度范围 $-55\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,电荷灵敏度变化幅度在 $-6.2\%\sim 0.6\%$ 之间,低温下振动控制最大误差在 $-6\%$ 左右,有欠试验之嫌,这在常温下的振动试验中是不会发生的。解决该问题的方法有两种:1)根据传感器灵敏度在温度变化下的偏差曲线,低温下调整电荷放大器中的灵敏度;2)使用带自动温度补偿的加速度计。

在温度快速变化时,由于压电元件的热电效应

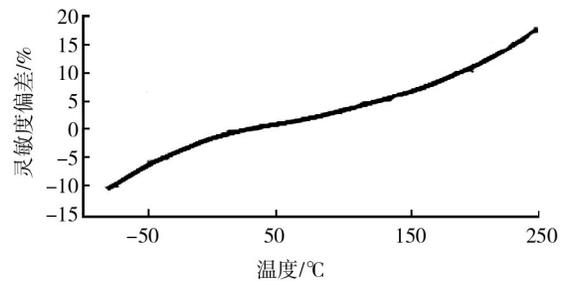


图5 某型传感器灵敏度偏差与温度曲线

Fig. 5 Sensitivity deviation of an accelerometer vs. temperature

和不均匀膨胀使加速度计产生一个低频噪声信号,此时应尽量选择剪切型的加速度计,而不应使用压缩型加速度计<sup>[9]</sup>,这是由于两者内部结构设计不同所导致的。

对加速度计在综合环境下的安装和使用,综合起来有3点建议。1)尽量采用隔离螺栓安装,保证加速度计的有用频率大于最高试验频率,加速度计应与台面或夹具绝缘。若采用螺栓安装有困难,可采用AB胶进行固定安装。AB胶具有较宽的频率响应范围和温度范围,可在 $-60\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 使用。2)用有机硅密封胶对低噪声电缆与加速度计接头进行完全密封,使加速度测量系统有效地与湿气隔离,保证测量的精度。3)在安装加速度计及电缆后,要对加速度计的电缆进行固定和捆扎,避免电缆的剧烈弯曲和摩擦,消除摩电效应带来的电噪声。

## 4 结语

讨论了加速度计在振动试验中的选型和各种应用问题,针对如何在综合环境下正确地使用加速度计给出了建议,可以保证各种环境下振动试验和测试的准确性和精度要求。

### 参考文献:

- [1] WILSON Jon S. 传感器技术手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:112—128.
- [2] 丹麦BK公司. Calibration Chart for Charge Accelerometer Type 4371V[K]. 奈鲁姆:丹麦BK公司,2004.
- [3] SERRIDGE Mark, LICHT Torben R. 压电加速度计和振动前置放大器理论和应用手册[K]. 奈鲁姆:丹麦BK公司,1986:79—10.