

# 某冲击响应谱试验超差现象及其原因分析

牛宝良, 程家军

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** SRS冲击试验是一种应用较广的冲击试验方式,但是控制超差现象时有发生。以某次冲击试验实测波形数据为研究对象,建立了夹具处加速度激励与产品上制控点加速度响应之间的传递函数,将预测的冲击响应时域波形与实测时域波形对比分析,发现了SRS冲击试验存在显著的非线性,这种非线性是导致SRS冲击试验超差的主要因素。

**关键词:** 冲击环境试验; 时域仿真; 传递函数

**中图分类号:** O327; TJ06      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2013)01-0026-03

## Out of Tolerance Phenomena and Cause Analysis of a SRS Shock Test

NIU Bao-liang, CHENG Jia-jun

(Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** As a kind of shock environment test, SRS test is widely used. However, unexpected out of tolerance occurs in practice at times. Data of a certain SRS test were studied, and an acceleration transfer function of excitation in fixture and response in product control point was established. By means of comparing the predicted and practical shock response time-domain waves, remarkable non-linear property of SRS test was found, which was concluded to be the major factor of out of tolerance.

**Key words:** shock environment test; time-domain simulation; transfer function

冲击响应谱(SRS)试验是考核产品耐受冲击环境的一种方式,因其激励频率丰富,且以产品上的响应为控制目标,因而被认为是较好的冲击环境试验方式,应用比较普遍。近年来承担的SRS冲击试验,特别是量级较高、产品结构复杂的冲击试验,超差现象时有发生。

## 1 试验简述

某部件在整体级冲击试验中出现故障,为分析该部件的耐冲击性能,查找故障原因,开展了一系列的研究性试验。这里仅就试验中的非线性现象进行

收稿日期: 2012-09-01

作者简介: 牛宝良(1963—),男,陕西眉县人,研究员,主要研究方向为力学环境试验、振动试验设备研发。

分析讨论。

为提高抗振动、抗冲击能力,在部件设计中采用隔振层进行减振缓冲。冲击试验在电动振动台上进行,部件与铝质夹具连接后装配在振动台上。试件及夹具安装如图1所示。试验项目包括4g正弦扫频试验、-12~+6 dB多次冲击试验。

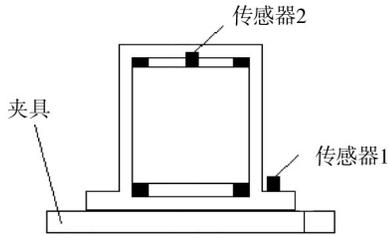


图1 试件及夹具

Fig. 1 Test piece and fixture

## 2 传递函数辨识及仿真

### 2.1 传递函数辨识与拟合

在夹具和产品的特征位置上安装加速度传感器,进行频率范围10~2000 Hz、加速度幅值4g的正弦扫频试验,获得了夹具测点和产品测点的加速度响应数据,分析得出夹具与产品之间的传递函数,如图2所示。这是一组频率响应数据,为了用于仿真,

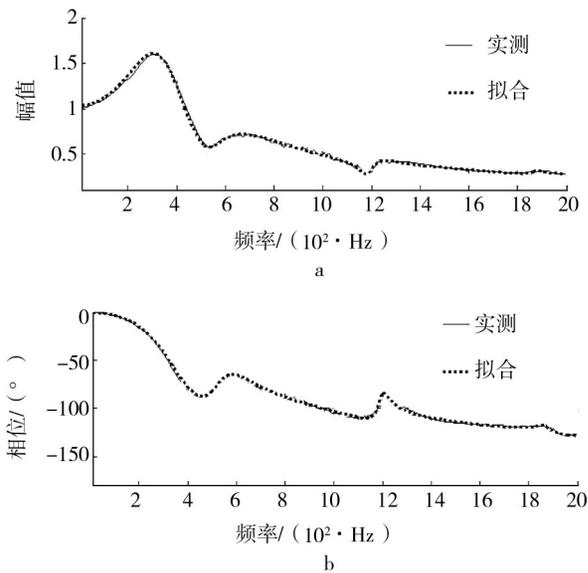


图2 辨识的传递函数

Fig. 2 Identified transfer function

利用 Matlab 的 invfreqz 函数进行拟合,见式(1)。拟合出的传递函数与实测分析的传递函数频率特性非常接近。

$$H(z^{-1}) = \sum b_i \times z^{-i} / \sum a_i \times z^{-i} \quad (1)$$

式(1)为Z传递函数,阶次为8,采样频率为10 240 Hz,  $b_i$ 和  $a_i$ 取值见表1。

表1 传递函数系数

Table 1 Coefficient of transfer function

$b_i$	$a_i$
-0.034 451 998 920 31	1.000 000 000 000 00
0.461 704 177 769 29	-5.754 091 963 352 33
-1.825 707 051 292 80	15.678 839 272 177 99
3.906 666 675 371 69	-26.437 744 640 739 61
-5.335 916 063 155 65	30.160 058 342 712 79
4.904 668 025 252 52	-23.800 018 275 816 72
-3.002 260 187 835 06	12.651 540 386 113 67
1.124 862 540 586 88	-4.121 784 476 775 16
-0.196 560 647 287 63	0.626 119 244 424 87

### 2.2 测试结果与仿真结果对比分析

试验中进行了-12~+6 dB的SRS冲击试验,获得了相应的时域波形。利用拟合的传递函数进行仿真,得到了一组响应点的加速度时域波形。将其中4个量级的数据绘图比对,如图3所示。

### 2.3 试验现象及控制超差原因分析

从图3可以看出,实测加速度与仿真得到的加速度之间的差异随着试验量级增加而显著增加。在-12 dB时,两者一致性较好,时域幅值差异最大为6g,约占冲击波形峰值的14%;在-6 dB时,两者之间的差异达到35g,约占冲击波形峰值的44%;在6 dB时,两者差异与冲击波形量级相当,约为90%。产品上的隔振垫是比较薄的橡胶垫,由于厚度薄,其线性工作范围有限,当冲击导致的位移过大而进入刚度非线性区时,就会导致产品上测点的冲击响应在大加速度时呈现出显著的非线性。

本次冲击试验从低量级到高质量再到低量级依次进行,通过试验发现,尽管在高质量时冲击加速度呈现非线性,但是再进入低量级小加速度冲击时,两者依然有很好的 consistency,此现象使得这种非线性呈

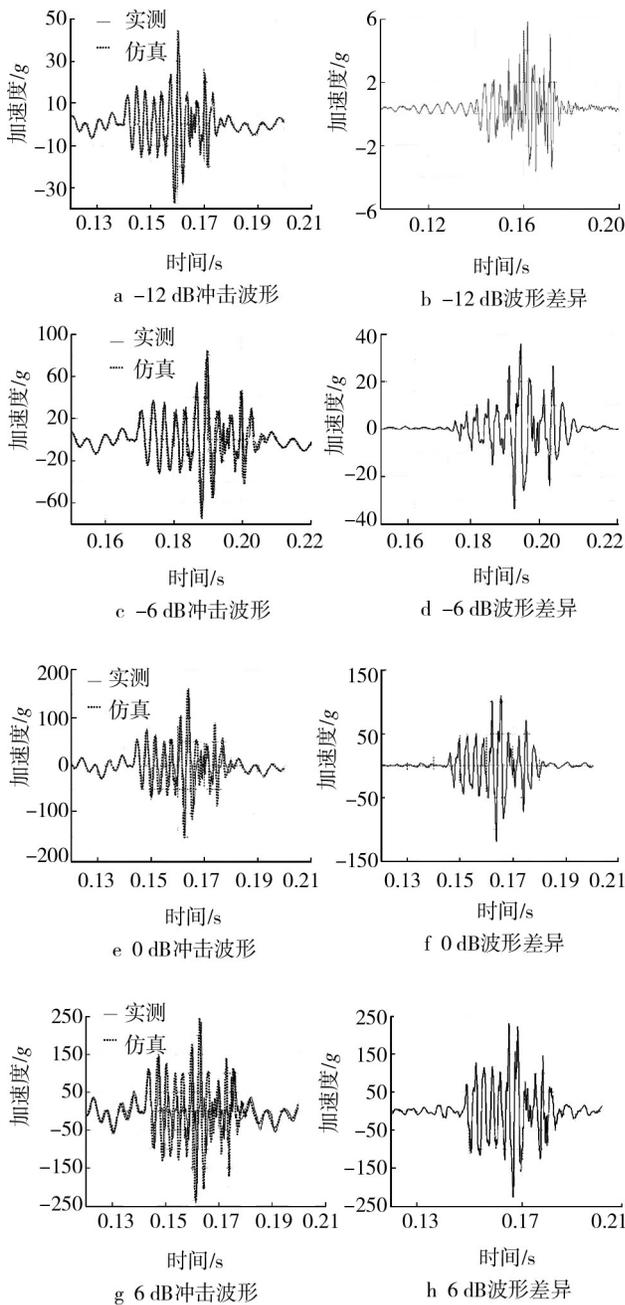


图3 仿真加速度与实测加速度波形比较

Fig. 3 Comparison of simulated acceleration and actual acceleration

现出时变特性,即低量级线性—高量级非线性—低量级线性。

SRS冲击试验控制时,不论是基于波形复现还是基于子波修正,都要进行传递函数辨识。传递函数辨识一般是基于一次冲击全时程的数据辨识,这里存在两种非线性,一种是一次冲击过程的时变非

线性响应特性,一种是不同量级之间的非线性。时变非线性使这一次的辨识无法准确进行,不同量级之间的非线性使得根据上次传递函数计算的本次驱动不能得到预期响应,这两种非线性都会导致控制超差。

对于整体级产品的冲击试验,其中如果包含类似这样的非线性部件,由于是一个相互影响的力学系统,也必然会导致整体冲击响应呈现出一定程度的非线性。螺栓连接刚度弱、螺栓预紧力不足以产生足够的摩擦力来传递振动推力,也会导致大加速度时呈现出时变非线性现象,一旦出现这样的非线性响应,必然导致控制误差增加甚至超差。

### 3 结论

通过实测时域波形数据以及仿真,揭示了SRS试验的非线性是导致超差的主要因素,并对造成这种非线性的原因进行了初步分析。后续研究可对这种非线性控制对象建立更好的控制算法,提高SRS冲击试验的精度和可靠性。

### 参考文献:

- [1] 薛定宇,陈阳泉. 基于 MATLAB&Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 都军民,戴宗妙. 冲击响应谱在冲击试验中的应用研究[J]. 舰船科学技术,2007,29(增刊1):1—2,12.
- [3] 周斌兴. 冲击响应谱分析的实现方法[J]. 江南学院学报,1998,13(4):38—45.
- [4] 徐伟民. 基于 Matlab 激励下振动系统冲击响应谱的数值解[J]. 矿山机械,2004(6):62.
- [5] 刘洪英,马爱军,冯雪梅. 冲击响应谱控制系统仿真研究[J]. 计算机仿真,2003,20(7):23—27.
- [6] 陈塑寰. 结构振动分析的数值方法[M]. 吉林:吉林科学技术出版社,1996:62—65.