



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 2423.57—2008/IEC 60068-2-81:2003

## 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ei:冲击 冲击响应谱合成

Environmental testing for electric and electronic products—  
Part 2: Tests—Test Ei: Shock—Shock response spectrum synthesis

(IEC 60068-2-81: 2003, IDT)



2008-05-19 发布

2009-01-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

中华人民共和国  
国家标准  
电工电子产品环境试验  
第2部分:试验方法  
试验E1:冲击 冲击响应谱合成  
GB/T 2423.57—2008/IEC 60068-2-81:2003

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 44 千字

2008年9月第一版 2008年9月第一次印刷

书号:155066·1-32687 定价 22.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

## 前 言

GB/T 2423《电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法》按试验方法分为若干部分。

本部分为 GB/T 2423 的第 57 部分。

本部分等同采用 IEC 60068-2-81:2003(Ed.1.0)《环境试验 第2部分：试验方法 试验 E<sub>i</sub>：冲击冲击响应谱合成》。

为便于使用，本部分做了下列编辑性修改：

a) “IEC 60068 的本部分”一词改为“GB/T 2423 的本部分”或“本部分”；

b) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“，”；

c) 删除国际标准的前言；

d) 为了与现有 GB/T 2423 其他各部分的名称一致而将本部分改为当前名称。

本部分引用的规范性文件中有一部分目前尚未转化为等同采用的国家标准，在引用这些规范性文件时仍以 IEC/ISO 的编号列出。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本部分由 中国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会(SAC/TC 8)提出并归口。

本部分起草单位：上海市质量监督检验技术研究院、信息产业部电子五所、中元微型仪器公司、上海工业自动化仪表研究所、广州大学、北京航空航天大学、上海航天精密机械研究所、上海航天 808 所。

本部分主要起草人：卢兆明、解禾、王永强、史晓雯、徐忠根、李传日、胡伟欣、阳川、曹雪峰、王群健。

## 引 言

GB/T 2423 的本部分适用于合成的冲击响应谱(SRS)试验,为需要进行复杂性瞬态响应模拟的元件、设备和其他产品(后文称“样品”)提供了通用的试验方法。试验方法的重点在于 SRS 及其相关技术的应用。

试验的目的是验证受试样承受规定瞬态激励的能力,不发生功能和/或结构特性无法接受的降低。当在工作环境中可获得测量数据时,对冲击响应进行剪裁非常有用。然而,在试验设备能力所及的范围内,冲击响应谱试验适用于所有的瞬态激励。

本试验方法主要采用基于计算机的控制系统和电动的或液压的振动台组成的冲击试验系统。

只要满足本部分的要求,其他冲击试验设备也可使用。

需要强调的是,SRS 合成试验总会需要一定程度的工程判断。供需双方都应充分考虑到这一因素。有关规范的编写者应选择与样品使用情况相适应的试验程序及严酷等级。

# 电工电子产品环境试验

## 第2部分:试验方法

### 试验Ei:冲击 冲击响应谱合成

#### 1 范围

GB/T 2423的本部分规定了合成冲击响应谱(SRS)试验,适用于需要模拟复杂特性瞬态激励的样品。

#### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过GB/T 2423的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注明日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 2421—1999 电工电子产品环境试验 总则(idt IEC 60068-1:1988)

GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)(IEC 60068-2-6:1995, IDT)

GB/T 2423.5—1995 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击(idt IEC 60068-2-27:1987)

GB/T 2423.43—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 振动、冲击和类似动态试验样品的安装(IEC 60068-2-47:1999, IDT)

GB/T 2423.56—2006 电工电子产品环境试验规程 第2部分:试验方法 试验Fh:宽频带随机振动(数控)和导则(IEC 60068-2-64:1993, IDT)

IEC 60068-2-57:1999 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ff:振动 时间历程法

ISO 256:1997 声学 优选频率

ISO 2041:1990 振动和冲击 词汇

#### 3 术语和定义

在ISO 2041:1990,GB/T 2421—1999,GB/T 2423.10—2008,GB/T 2423.5—1995和GB/T 2423.56—2006中给出的术语和定义,与以下定义一起使用。

##### 3.1

**-3 dB 带宽** -3 dB bandwidth

在频率响应函数中对应于一个共振峰值的最大响应0.707倍的两点间的频带宽度。

##### 3.2

**临界阻尼** critical damping

在可能的最短时间内允许位移系统返回其起始位置并且不产生振荡的最小粘性阻尼。

##### 3.3

**危险频率** critical frequency

下列情况下的频率:

- 由于振动,样品呈现出功能失效和/或性能降低,和/或
- 机械共振和/或其他响应效应,如颤动。

3.4

阻尼 damping

一般的术语解释为在一个系统中的能量耗散的许多机械作用。在实际应用中,阻尼取决于许多参数,诸如结构类型、振型、应变、外加力、速率、材料、连接滑移等。

3.5

阻尼比 damping ratio

在具有粘滞阻尼的系统中,实际阻尼和临界阻尼的比值。

3.6

分贝 decibel

dB

以对数形式表达的数值关系:

$$L = 20 \lg \left( \frac{X}{X_0} \right) \quad (\text{dB})$$

式中:

L——以 dB 为单位的对数值;

X/X<sub>0</sub>——X 与 X<sub>0</sub> 间的比值。

3.7

固定点 fixing point

样品与夹具或振动台面接触的部分,在使用中通常是固定样品的点。

注:如果是实际结构的一部分作夹具使用,则应取安装结构 and 振动台面接触的部分作固定点,而不应取样品和振动台面接触的部分作固定点。

3.8

g<sub>s</sub>

由地球引力产生的标准加速度,它是随海拔高度和地理纬度而变化的。

注:本部分为了方便使用,将 g<sub>s</sub> 值圆整到 10 m/s<sup>2</sup> 的整数值。

3.9

汉宁窗 Hanning window

时间历程的权函数,在选定的时间窗里迫使时间历程的起始和终止值为零,其形状为余弦钟。

注:详细定义见 ISO 18431-2。

3.10

高频渐近线 high-frequency asymptote,HEA

SRS 曲线的高频渐近线值(见图 3)。

注 1: SRS 高频渐近线由于表示了激励时间历程的最大峰值,因此非常重要。不要与 SRS 中的峰值混淆。

注 2: SRS 高频渐近线的另一个名称是零周期加速度(ZPA)。

3.11

测量点 measuring points

试验中采集数据的一些特定点。具有 3 种类型,定义如下。

3.11.1

检测点 check point

位于夹具、振动台面或样品上的尽可能接近于固定点的点,检测点在任何情况下都要和样品刚性

连接。

注1:检测点的数量应满足试验的要求。

注2:如果存在4个或4个以下的固定点,则每个都用作检测点。如果存在4个以上的固定点,则有关规范应规定4个具有代表性的固定点作检测点用。

注3:在特殊情况下,例如对大型或复杂的样品,如果要求检测点在其他地方(不紧靠固定点),则应在有关规范中规定。

注4:当大量小样品安装在一个夹具中时,或当一个小样品具有许多固定点时,为了导出控制信号,可选用单个检测点(即参考点)。该信号与夹具相关而不是与样品的固定点相关,这种情况只有在夹具装上样品等负载后的最低共振频率充分高于试验频率的上限时才是可行的。

### 3.11.2

**参考点 reference point**

从检测点中选定的点,为了满足本部分的要求,该点上的信号用于控制试验。

### 3.11.3

**响应点 response point**

样品上在振动响应检查或试验中用于测量的点。该点不是检测点或参考点。

注:可以有多个响应点。

### 3.12

**固有频率 natural frequency**

由自身物理特性(质量、刚度和阻尼)决定的有阻尼或无阻尼自由振动频率。

### 3.13

**响应时间历程的高峰值个数 number of high peaks of the response time-history**

时间历程中超过规定阈值的高峰值个数,时间历程可以由响应点测量得到,或者由受到激励的单一自由度系统(振荡器)计算响应得到(见图1)。

注1:由于在瞬态激励中确定完整的响应周期是困难的,应用中以响应时间历程的峰值为参考。

注2:峰值是指两个连续的过零点(见图2)间偏离零线的最大正值或负值。

注3:由于并不一定能从响应时间历程中获得测量峰,在本部分中,首选计算峰值替代测量峰值。

### 3.14

**振荡器 oscillator**

用于产生或能够维持机械振荡的单一自由度系统。

### 3.15

**间隔时间 pause**

两个连续的时间历程之间的间隔。

注:时间间隔应使样品的运动响应避免明显的重叠,可按下式计算:

$$T > \frac{1}{f} \times \frac{100}{d}$$

式中:

T—间隔时间,单位为秒(s);

f—最低无阻尼自然频率,单位为赫兹(Hz);

d—最低自然频率阻尼比,‰。

### 3.16

**优先试验轴向 preferred testing axes**

样品最易受损的三个互相垂直的轴向。

## 3.17

品质因子 *Q*-factor*Q*值因子

用于衡量共振峰的陡度或单自由度机械振荡系统频率选择性的量值。品质因子等于阻尼比倒数的二分之一。

## 3.18

冲击响应谱规定值(SRS规定值) required SRS

有关规范规定的 SRS (见图 3)。

注:对于某一试验,有关规范可包含多个对应不同 *Q* 值的 SRS。

## 3.19

冲击响应谱 shock response spectrum

SRS

基于受到规定运动激励的一系列单自由度系统中最大响应(位移、速度或加速度),作为这些单自由度系统的无阻尼自然频率和特定 *Q* 值的函数的曲线。

注 1:除非另有规定,为了计算,可假定系统为固定在基础上、线性的、具有粘滞阻尼的单自由度系统。

注 2:对于某一试验,有关规范可包含多个对应不同 *Q* 值的 SRS,应按受试样品的品质因子选择规定的 SRS 值。

## 3.20

采样频率 sampling frequency

用数字形式记录或表述时间历程时,每秒钟内获取的离散值的个数。

## 3.21

信号容差 signal tolerance

用百分比表示的信号容差 *S*, 定义为

$$S_i = \left( \frac{NF}{F} - 1 \right) \times 100\%$$

式中:

*NF*——未经滤波信号的 r. m. s. 值;*F*——经滤波的信号 r. m. s. 值。

注 1:此参数适用于所有试验的所有信号,如加速度、速度或位移。

注 2:此参数仅用于正弦波激励。

## 3.22

时间历程的强部 strong part of the time-history

时间历程曲线中第一次达到最大值的 25% 到最后回落到最大值的 25% 时之间的部分。

## 3.23

合成时间历程 synthesized time-history

人为产生的时间历程,其 SRS 包络了 SRS 的规定值。

## 3.24

试验频率范围 test frequency range

试验频率范围的选择取决于 SRS 规定值的合成和加载样品后试验设备的能力。试验频率的下限频率( $f_1$ )和上限频率( $f_2$ )分别对应于可能用到的最低和最高小波的频率。

注: SRS 的频率范围大于试验频率范围并延伸到无限(见 3.10)。

## 3.25

试验 SRS test SRS

由振动台参考点上实际运动导出的 SRS,既可以通过解析方式计算得到,也可以使用 SRS 分析设备得到(见图 3)。



## 3.26

**时间历程 time-history**

作为时间函数记录的加速度、速度或位移值。

注：ISO 2041 给出了数学名词“时间历程”的定义，将其表述为用时间的函数表达的一个量值。

## 3.27

**时间窗 time window**

包含所有小波的合成的试验时间历程的持续时间。

注：对某些试验控制系统，时间窗的长度为双倍的持续时间，合成的时间历程位于新的时间窗的中间。

## 3.28

**小波 wavelet**

单一频率的时间历程，是 SRS 试验合成时间历程的一个分量。

注：本部分使用的术语“小波”不应与小波理论和小波分析相混淆。

## 4 试验设备的要求

对于性能的要求适用于完整的试验设备，就电动振动试验系统而言，包括控制系统、功率放大器、振动机、夹具和试验中装载的样品。液压伺服系统的组成与此类似。

4.1至4.3对试验设备的要求，应通过正弦激励的方法验证。

## 4.1 基本运动

验证过程中的基本运动应为时间的正弦函数，样品的各固定点应基本上同相位并沿平行直线运动，并符合4.2和4.3限定的要求。

## 4.2 横向运动

在检测点上与规定轴垂直的每个轴向上的加速度或位移的最大振幅，在1 000 Hz以下不应超过基本运动的50%，在1 000 Hz以上允许到100%。测量仪需覆盖规定的频率范围。在特殊情况下（如小样品），若有关规范有规定，最大允许横向运动可限于25%。

当振动台的旋转运动比较重要时，有关规范应规定一个容差范围。并记录在试验报告中。

在某些情况下，例如大尺寸或高质心样品，或在某些频率下，很难满足上述要求。此时，有关规范应说明适用下列哪条：

- 在试验报告中指出并记录超过上述要求的横向运动；或
- 已知横向运动无害于样品，不需监测。

## 4.3 信号容差

除非有关规范另有规定，应对加速度容差进行测量。测量应在参考点进行，其频率应达到5 000 Hz或试验上限频率 $f_1$ 的5倍，取较小者。有关规范若有规定，此最高分析频率可以达到或超过上限试验频率。除非有关规范另有规定，信号容差应不超过5%。

若样品较大、较复杂，在一些频率段内不满足信号容差要求时，则应在试验报告中说明。

## 4.4 测量系统

测量系统的性能应能保证在参考点规定轴向上测得的时间历程信号满足试验的容差要求。

对包括传感器、信号调理器和数据采集和处理装置在内的整个测量系统，其频率响应应对测量精度的影响不可忽略。

测量系统的频率范围至少应从试验频率范围内最低小波频率 $f_1$ 的0.67倍，延伸至最高小波频率 $f_2$ 的1.5倍。（见GB/T 2423.5—1995）。在此频率范围内，测量系统的频率响应应平坦，并在±5%以内。

## 5 试验要求

## 5.1 试验控制

试验的时间历程应是包括在规定时间窗口内的小波组成的一个合成时间历程。按9.3中所述的过

程可获得与规定的 SRS 相应的时间历程。

除非有关规范另有规定,应采用 5%(品质因子为 10)的阻尼比。通过振动响应检查(见 9.2)可以获得可供选择的值。如果有关规范中指定了若干个 SRS(对应不同的品质因子),通过振动响应检查也可以选择相应的品质因子。

小波的频率间隔应根据下述试验采用的 Q 值因子选择:

- 当品质因子小于或等于 5 时,选择 1/3 oct 带宽;
- 当品质因子在 5~25 之间时,选择 1/6 oct 带宽;
- 当品质因子大于或等于 25 时,选择 1/12 oct 带宽;

注:ISO 266 给出了倍频程带宽的首选频率。

## 5.2 SRS 的容差

在参考点测量试验 SRS,应在 SRS 规定值的 $\pm 1.5$  dB 内(见图 3)。

如果试验 SRS 的一小部分,即在小于整个频率范围 20%的频段内,处于 $\pm 3$  dB 的容差带内,只要这些点不与试验频率范围内样品的共振频率重合,试验仍是可以接受的。在试验报告中应记录相对于 SRS 规定值的偏离值。

至少应按 5.1 根据品质因子选取同样的频率间隔检查试验 SRS。

## 5.3 试验 SRS 的计算

为了使计算试验 SRS 误差最小,应特别注意参考点信号的采样和滤波。

如果在后续的 SRS 计算中不采用插值算法,用于响应计算的时间历程的采样频率建议至少应是或高于试验上限频率  $f_2$  的 10 倍。

注 1:按照上述做法,最高频率  $f_2$  振荡器响应时间历程的幅值计算误差将小于 5%。如果按照常规频率分析那样,采用  $2.56f_2$  的采样频率,则得到的最高频率  $f_2$  振荡器的最大相应误差可能超过 60%。

如果 SRS 计算中使用插值算法,则采样频率最低可为上限频率  $f_2$  的 4 倍。

为了防止混淆误差,在对于被分析的时间历程进行数字化之前,总要使用低通滤波器。推荐抗混淆滤波器的半功率截止频率为  $1.5f_2$ 。衰减率至少为  $-60$  dB/oct。使用这些推荐值以确保获得最高频率  $f_2$  振荡器的完整响应。由抗混淆滤波器引入的相位改变而导致的最高频率振荡器处的误差,也须抑制。滤波器的相位与频率之间应具有线性关系。

如果低频误差或直流偏移影响试验,应使用高通滤波器。进行响应计算时推荐使用的滤波器的半功率截止频率不高于频率下限  $f_1$  的 0.1 倍或 2 Hz,取较高者。

若被分析的时间历程或是振荡器响应时间历程在用于计算的时间窗内未衰减,则会产生截断误差。这一点对于小阻尼振荡器计算特别关键。可以用较长的时间窗避免截断误差。

注 2:问题的基本原理可见 GB/T 2423.5—1995 附录 B,其中给出了“初始”和“剩余”SRS 的定义。在计算试验 SRS 值时,应计算绝对最大 SRS。

## 5.4 SRS 算法

SRS 有多种算法,不同的算法可以产生不同的结果,尤其在低频和高频时。因此重要的是采用一个至少可以在试验频率范围内正确地计算 SRS 的算法。

## 5.5 试验频率范围

试验频率范围的选择取决于要模拟的冲击环境的最高频率分量和加载样品后试验设备实际能够产生的频率范围。

## 5.6 安装

样品应按 GB/T 2423.43—2008 的要求进行安装。

有关规范应规定试验过程中样品的安装方向和方式,作为判定样品是否符合标准要求的唯一条件,除非能给出合理且充分的解释(如,表明样品特性不受重力影响)。

如果一个样品通常安装减震器,但是进行试验时又必须去掉减震器,则应考虑修改规定的激励量级(见 GB/T 2423.43—2008)。

当安装样品时,应考虑连接、电缆、管线等的影响。

## 6 严酷等级

试验的严酷等级由下列参数组合而成:

### a) 必选参数

——SRS 规定值,包括品质因子;

——试验轴和方向;

——合成时间历程的持续时间;

——重复次数;

——试验频率范围。

### b) 可选参数

——SRS 规定值的高频渐近值;

——合成时间历程的强部持续时间;

——响应时间历程的高峰值个数;

——傅立叶谱;

——能量谱密度;

——合成时间历程的时域均方根(见 B.2);

——合成时间历程的频域均方根(见 B.4)。

注:所列可选参数并不完全,见附录 B。

有关规范应按 6.1~6.5 的推荐给出每个参数的数值。

如果样品受试不仅是为了检查在规定响应下生存能力,也为了检查低周疲劳(重复响应)下生存能力时,需要确定可选参数。

### 6.1 规定 SRS

有关规范应为每个试验规定 SRS 的量值和形状,包括品质因子、容差和可选的 SRS 高频渐近值(HFA)。SRS 应按最大绝对谱定义。当各轴线情况不同时,有关规范也应规定样品每个轴线和方向上所用的谱。

注:有关规范可以为某些试验情况规定多个不同品质因子的 SRS。

### 6.2 合成时间历程的持续时间

有关规范应规定时间历程的持续时间值,以 $\dots 1; 2; 3; 5; 10 \dots$ 序列数以毫秒表示。

注:合成时间历程的持续时间选择取决于 SRS 合成的采样频率和时间窗口。因此并不一定总与上面的序列数吻合。

在某些情况下,有关规范可能需要给出时间历程的强部占持续时间的百分比。除 6.5 的要求外,应按下列数值选择强部占持续时间的百分比:25%、50%、75%。

选择的值应记录在报告中。

### 6.3 重复次数

有关规范应按样品的有关轴线和方向规定时间历程的重复次数。

除非另有规定,根据试验情况按样品的每个试验轴线和方向规定时间历程的重复次数应按下列系数选择:1,2,5,10,20,50 $\dots$

当使用的时间历程量值多于一个时,试验总是从最低者开始,接着使用较高量值。每个时间历程后应有一个时间间隔。

#### 6.4 试验频率范围

有关规范应给出试验的频率范围,频率限值应尽可能按下列系数选择:1,2,5,10,20,50…。频率下限( $f_1$ )最低值应从0.1 Hz起,频率上限( $f_2$ )最高值不应超过5 000 Hz。

注:频率范围值取决于SRS合成的采样频率和时间窗口,因此并不一定总与上面的序列数吻合。

#### 6.5 单自由度系统计算响应时间历程的高峰值个数

有关规范可以说明在计算的一个单自由度系统的响应时间历程中值大于规定阈值的高峰值个数。响应时间历程的高峰值个数是可选严酷等级,更适用于低周疲劳试验。

响应高峰值个数的计算应根据由合成时间历程激励的特定的单自由度系统的完整的时间响应历程进行的。无阻尼自然频率和系统的品质因子应选自振动响应检查的结果或对这些参数的估计。

响应时间历程的峰值应表示为在对试验样品有影响的固有频率上所要求的SRS规定值的百分数。

除非有关规范另有规定,对应70%阈值、2%~10%阻尼比(品质因子5~25),响应时间历程的高峰值个数应在3~20之间。交替出现的正、负峰值应大致为均匀分布。

#### 7 预处理

有关规范应要求预处理,并规定条件。

#### 8 初始测量

有关规范应要求对样品进行外观,尺寸和功能检查以及规范规定的其他检查。

除非有关规范另有规定,应进行初始响应检查见(9.2)。

#### 9 试验

##### 9.1 总则

除非有关规范另有规定,试验样品应在首选的三个轴线上经受激励。除非有关规范另有规定,轴线的试验顺序不重要。

用于激励样品的振动台的运动应满足规定SRS的要求。几乎所有电动振动台控制系统都可以采用专用软件提供相应的驱动信号。

##### 9.2 振动响应检查

除非有关规范另有规定,必须检查样品的动力学特性。

响应检查应采用正弦或随机激励,检查的频率范围为试验频率范围,或至少5倍于一阶无阻尼固有频率,两者中取较小者,量级按照有关规范选取。

可以参考GB/T 2423.10—2008 正弦振动和GB/T 2423.56—2006 随机振动的有关内容。

进行响应检查时,所用的量级应该使样品的响应小于SRS试验,但又足够高以便找出危险频率。

响应检查时,正弦对数扫频激励的速率不应高于1 oct/min,如果需要更精确的确定响应特性,可降低扫描速率。但应避免不应有的驻留。

用随机振动进行响应检查时,试验时间应足够长以减小响应中的随机变化。频率分辨率应足够高以确定响应的峰值(-3 dB带宽最窄的峰值)。建议在最窄的-3 dB带宽内应至少包含5条谱线。

如果有关规范有规定,样品在检查期间应工作。如果样品在工作时无法进行响应检查,则样品在检查期间可以不工作。为了确定危险频率应对样品进行检查,并记录在试验报告中。

除非有关规范另有规定,在SRS试验后应附加响应检查,以对比SRS试验前后危险频率的变化。两次振动响应检查的方法和试验量级应该相同。

应在试验报告中记录试验前后的危险频率。

有关规范应规定当危险频率发生变化时应采取的措施。

### 9.3 时间历程试验的合成

合成试验时间历程的各个步骤归纳如下(见附录 C)。

需按如下步骤并选择合适的参数,为每一项 SRS 试验合成一个试验时间历程:

a) 用小波合成时间历程的试验

有几种小波类型可供选择。最常见的有:

- 1) 指数衰减正弦波;
- 2) 等幅正弦波;
- 3) 带汉宁(Hanning)窗的猝发正弦波。

b) 试验频率范围

选择试验频率范围,要考虑到可供使用的采样频率(见 5.3、5.5 和 6.4)。

c) 时间窗口

选择时间窗口时需将步骤 b) 的因素考虑在内。

d) 小波的频率间隔

按 5.1 选择小波的频率间隔。

e) 品质因子

根据有关规范或振动响应检查的结果选择品质因子(见 5.1 和 9.2)。

f) 小波的持续时间

按 6.2 调整小波的持续时间。

g) SRS 规定值

按 SRS 规定值设置每个小波的峰值。

h) 合成试验时间历程其他参数的初始值,如:

- 延时(小波的起始时间);
- 极性(小波起始的正或负极性);
- 半周期数(对 a)中 2) 和 3) 类的小波)。

i) 控制系统中的时间历程合成

控制系统合成一个初始的时间历程,该时间历程不用于激励振动台;

j) 将初始的试验 SRS 和 SRS 规定值进行比较

应按有关规范中的公差和参数进行比较(见 5.2 和第 6 章);

k) 参数的调整

如有需要在步骤 f) 中调整时间历程的参数,并重复步骤 g) 和 h) 直至合成的时间历程满足 SRS 规定值的公差和参数,并符合振动台有关力、位移、速度和加速度的限制条件。

l) 保存合成的时间历程

按 9.4 保存合成的时间历程并开始试验。在此阶段重复进行时间历程试验。

m) 其他的激励轴线和方向

如果在各轴线和方向上的严酷等级不同,沿其他轴线和方向上重复上述步骤。轴线和方向改为轴和方向。

注:此步骤也可以在某些轴向测量级试验后进行(见 9.4 步骤 e)。

### 9.4 用合成时间历程进行试验

用合成时间历程进行试验的各个步骤如下(见图 5 和附录 C):

a) 试验样品或模拟负载的安装

按相关的激励轴线和方向,在振动台上安装样品(或动态特性相同的模拟负载)。

## b) -18 dB 低试验量级激励样品

用 9.3 l) 项的合成时间历程的试验信号,以 -18 dB 的量级激励样品。试验系统至多可重复 6 次,直至 SRS 规定值的形状和参数在相应的低量级试验上得到满足。保存驱动信号。

注 1: 在有些场合下,也可采用步骤 c) 的 -12 dB 为开始的试验量级。

## c) -12 dB 低试验量级激励样品

使用在 -18 dB 试验阶段(9.4, 步骤 a) 和 b)) 保存的驱动信号,以 -12 dB 的低量级激励样品。可令控制系统重复做最多达 6 次,至使 SRS 规定值的形状和参数在相应的低量级试验上得到满足。保存驱动信号。

注 2: 在有些场合下,也可作为开始的试验量级。

## d) 增加试验量级

首先按 6 dB, 然后按 3 dB 增加试验量级。每个量级至少重复做两次激励,直至达到满量级,在每个量级均保存驱动信号。每次激励后,试验系统都要进行叠代计算,将试验控制在 SRS 规定值的容差范围之内。

注 3: 如果需要从 -12 dB 至满量级,可按 1 dB 的步长增加。在这种情况下,激励次数应减至 1 次。

## e) 满量级试验

在满量级试验时,在同一轴线和方向上重复相关规范规定的次数。由试验系统叠代控制 SRS。两次连续的时间历程间应留有足够的时间间隔,以保证样品的运动响应,无显著的重叠。

## f) 下一试验轴线

按照有关规范参照 9.3 步骤 m) 所作出的规定,重复步骤 a) 至步骤 e), 进行下一试验轴向上的试验。

注 4: 由试验的操作者确定是以步骤 b) 还是步骤 c) 开始新的轴线上的试验。

## g) 试验记录

对于满量级试验,应记录 SRS 和其他有用的参数。如果重复次数在 1 和 10 之间,每次激励都应记录;如果次数大于 10,每三次激励记录一次。有关规范可以规定不同的要求。

## 10 中间检测

如果有规范有规定,在规定的数量的 SRS 试验期间样品应工作并应检查其性能。

## 11 恢复

有关规范若有规定,有时应在样品在试验结束后和最终测量前有一段的时间以使样品恢复到与初始测量相同的条件,如温度条件。

## 12 最终测量

若有关规范没有规定,应进行最终响应检查(见 9.2)。

有关规范应规定对样品进行外观、尺寸和功能检查以及其他规定的检查。

有关规范应规定接收或者拒收样品的判据。

## 13 有关规范应输出的信息

当有关规范采用本试验时,只要适用,规范的编写者就应提供下列资料。要特别注意有星号(\*)标记的项目,因为该项资料是必需的。

## 条款

## a) 横向运动

4.2

b) 信号容差	4.3
c) SRS 规定值容差*	5.2
d) 试验频率范围*	5.5, 6.4
e) 样品的安装*	5.6
f) SRS 规定值*	5.1, 6.1
g) 试验轴线和方向*	6.1, 9.1
h) 试验时间历程持续时间*	6.2
i) 试验时间历程的强部持续时间	6.2
j) 重复次数*	6.3
k) 计算响应时间历程的峰值个数	6.5
l) 预处理	第7章
m) 初始测量*	第8章
n) 振动响应检查	第9.2章
o) 中间测量	第10章
p) 恢复	第11章
q) 最终测量	第12章

#### 14 在试验报告应给出的信息

试验报告至少应给出如下信息:

- 客户(名称和地址)
- 试验室名称和地址
- 试验日期
- 试验类型(SRS 合成试验, 振动等)
- 试验目的(开发试验, 验证试验等)
- 试验标准/版本(有关试验的程序)
- 样品描述(唯一标识号, 图片, 照片, 数量等)
- 样品的安装(夹具, 图片, 照片等)
- 试验设备的性能(信号容差, 横向运动等)
- 测量系统, 传感器数量(描述, 图片, 照片等)
- 测量系统不确定度(校准数据, 上次日期和下次日期)
- 初始, 中间或最终测量
- 严酷等级(来自试验规范)
- 试验文件(检测点, 试验谱等)
- 试验情况记录
- 试验摘要
- 发送(报告分送清单)

注: 试验应做记录, 内容应包括如带试验参数的试验运行记录的时间列表, 试验期间观察及实施情况和测量数据表。试验记录可作为试验报告的一部分。

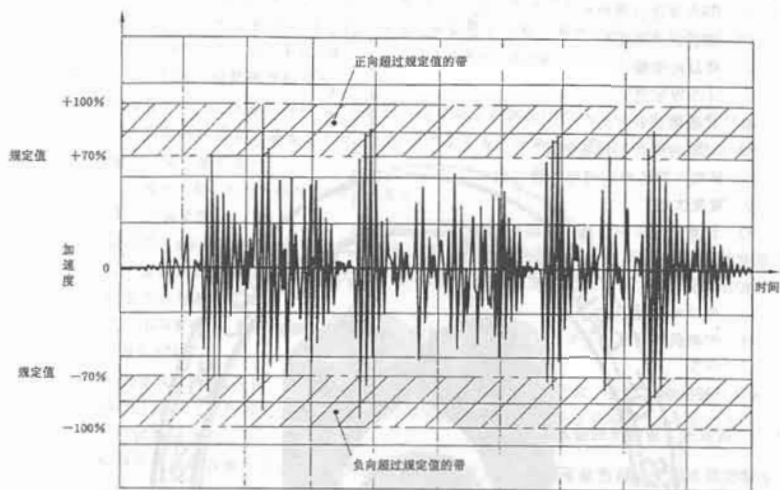


图 1 典型的由特定时间历程激励的响应示例(规定阈值 70%)

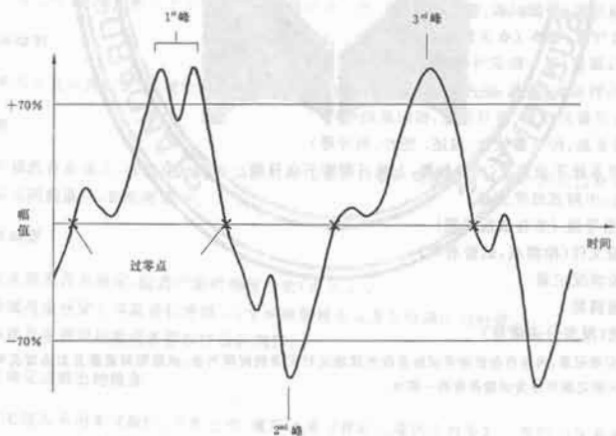


图 2 高于规定阈值(70%)峰识别的示例



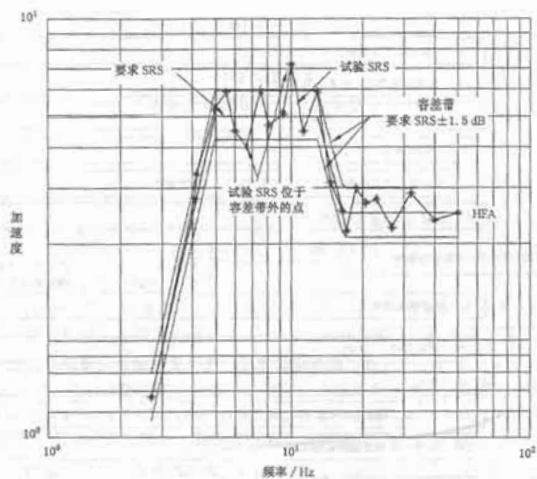


图 3 要求响应谱的典型对数图

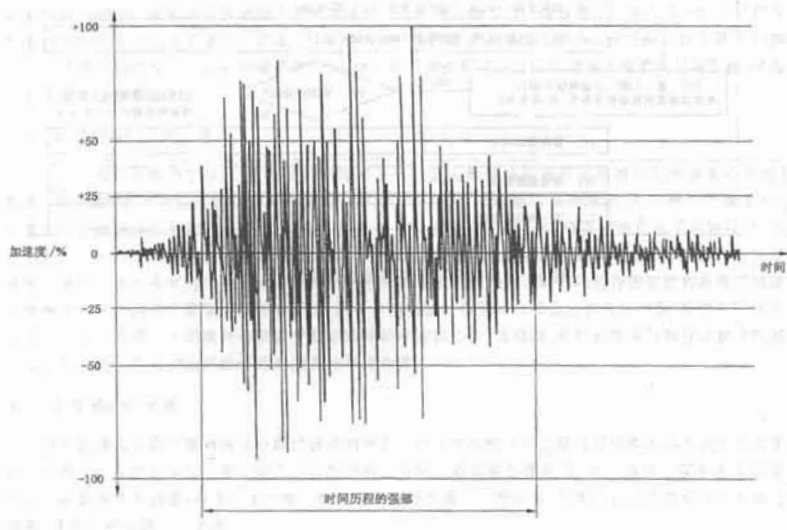


图 4 典型时间历程



图 5 合成时间历程试验的流程图(9.4)

## 附录 A

## (资料性附录)

## 试验时间历程——一般背景资料

## A.1 概述

从 SRS 到试验时间历程的推导不是数学上精确的或唯一的过程。由单一的 SRS 可以导出多个时间历程。此外,实际受试验设备极限的约束通常意味着 SRS 不能严格匹配。因此单由 SRS 方式定义的特定冲击时程的再现性不太可能可靠的重复再现。因此推荐,每一个导出的试验时间历程,总应该得到该试验规范(方案)制定者的认可。

根据 SRS 导出试验时间历程有多种方法。通常用不同方法产生的试验时间历程具有不同的特性,对实际试验设备极限的限制的处理方式也不同。此外,不同计算机的不同实施方法都可能都有其自身的限制和假定。往往这些限制和假定是为了使导出的试验时间历程达到一定的可靠性和重复性。

选择从 SRS 导出试验时间历程的合适的方法的第一个准则是考虑所要求时间历程的特性。通常,要根据用于导出相关规范中 SRS 的原始时间历程的特性进行选择。然而,由于不大可能再现原始时间历程的全部特性,须对于需要在试验中再现的某些特性进行识别。通常,原始时间历程特性取决于引起冲击的工作条件和样品相对于冲击源的位置。在许多情况下,试验时间历程再现冲击的关键也取决于试验样品的敏感性。

选择从 SRS 导出试验时间历程的合适的方法的第二个准则是考虑试验设备实际能力的限制。用于电动振动台或液压振动台的冲击时间历程,开始的和最终的加速度和速度必须为零。同样,对于任何试验设备,加速度、速度和位移最大值必须在试验设备的额定能力内。所有这些因素都是将时间历程实际施加到振动台上的重要制约。通常,当尝试再现冲击源或近冲击源处的冲击时,振动台是最大的制约。当再现受结构响应支配的时间历程时,一般在离开冲击源有一定距离的地方测量的时间历程,可能不会受振动台显著制约。

## A.2 再现经典的时间历程

由于试验设备能力的制约,用振动台再现半正弦波或后峰锯齿波等经典的时间历程通常有困难。然而,用经典冲击脉冲波形的 SRS 合成的试验时间历程进行试验通常是合理的、可信的和可重复的。这是因为经典脉冲波形的 SRS 在很大范围内有唯一性,倘若要求的 SRS 值很好地代表了原始脉冲,则导出的试验时间历程应与原始脉冲等效。可以通过引用更多的信息,如峰值、典型持续时间等,进一步提高再现性。把经典时间历程作用于振动台的主要困难是需要确保试验时间历程的初始和最终的加速度和速度为零。这通常需要附加脉冲补偿,即一个典型的补偿脉冲为峰值比名义脉冲低、持续时间比名义脉冲长的负脉冲。补偿脉冲通常置于规定脉冲的前面和后面,其峰值、形状和持续时间应设置成能够保证试验时间历程的初始和最终的加速度和速度为零。

## A.3 正弦响应的衰减

很少有样品会经历到经典脉冲那样波形的冲击。许多样品经历的是经过受结构的动力学特性改变的冲击效应。这些响应以振荡和瞬态的时间历程为特征。最简单的情况是,响应为单一频率的衰减正弦波。而更为常见的是,响应由多个单一响应成分混合而成。一般而言,时间历程振荡器和混合的成分越多,越易于在振动台上实现。

衰减正弦是冲击源附近设备经历的典型响应。一个单频率衰减正弦波的 SRS 是原始时间历程的一个特点鲜明的描述,且由该 SRS 导出的试验时间历程与原始时间历程很好地等效。然而,当响应包



## 附录 B

(资料性附录)

## 合成试验时间历程所使用的参数

## B.1 概述

受试样品的环境要求来自下列数据:

- 样品现场在测量得到的数据中反映的问题;
- 根据类似应用已有的现场数据, 预估的冲击环境;
- 计算的冲击环境。

由于在测量中通常需要宽广的动态范围, 所以在对冲击环境现场数据的测量和分析时应特别注意。在测量中通常需要大的动态范围。参考书目[1]给出了有价值的帮助和介绍。

前面提到的要求, 从试验的要求由来, 应从上还来推导出。这些要求包含了一应包括一些描述冲击试验环境特定参数, 这些参数包括:

- 冲击的持续时间;
- 冲击的峰值;
- 冲击的中心频率成分;
- 冲击响应的...

试验所需的参数, 取决于试验的目的。一些参数对幅值试验很重要, 但另一些对低周期疲劳试验也是有用的。

## B.2 参数与冲击持续时间联系相关的参数

下列参数可用于描述冲击持续时间:

- 时间历程的强部;
- 有效冲击/瞬态振动持续时间。

时间历程的强部应定义为信号达到最大值 25% 延续到信号最后下降到 2% 经历的时间历程。

时间历程的频率范围必须仔细规定, 因为其对于时间历程的特性, 即最大值和强部有相当大的影响。也应规定与频率范围有关的采样频率以及滤波器在频率范围低端和高端的衰减。

有效冲击/瞬态振动有效持续时间定义如下 (MIL-STD-810F, 试验方法 516.5):

- 最小持续时间应至少包括 90% 以上幅值超过有关冲击的时间历程均方根值曲线 (也是时间历程) 的峰值 10% 的部分。

此方法对尖峰状噪音不敏感, 但对频率范围和其他参数必须作如上规定, 用于计算时间历程均方根值曲线的参数也应规定。

## B.3 参数与冲击峰值的联系相关的参数

下列参数可用于描述冲击峰值:

- 时间历程的最大值和最小值;
- 时间历程的概率密度;
- 时间历程的峰值 (正的和负的) 等级评定;
- 时间历程的流量计数。

时间历程的频率范围和其他参数必须按如上述规定定义, 因为它对的时间历程具有重要影响的特性及最大值和最小值有显著影响。

所有方法给出时间历程的最大值和最小值，最大值和最小值应等于 SRS 的高频渐近值(HFA)。

当使用第二和第三种方法时，时间历程的对称性是最好的。后两种方法则是疲劳效应的最好指标，且可用于用“响应的高峰值”研究响应时间历程，见下文。

峰值等级评定的一个替代方法是水平交叉计算。

#### B.4 参数与冲击结果的频率要素的联系相关的参数

下列参数可用于描述冲击结果的频率要素：

- 频率范围；
- 傅立叶谱(FS)；
- 能量谱密度(ESD)；
- 由 FS 或 ESD 计算出的多重累积均方根值。

为了获得良好的试验再现性，必须规定时间历程的频率范围。因此，同样重要的是，规定试验需要的频率范围相关的时间历程采样频率和滤波器特性。

FS 和 ESD 描述了时间历程的频率分量并且指出了突出的频率分量。ESD 同时规范了用于时间历程的频率分辨率和持续时间。分析的统计误差可以通过在频谱上相邻频率分量的平均的方法减小。

FS 或 ESD 的累积均方根值以累计的方式反映了谱的频率分量，并提供了直观的数值说明。

#### B.5 SRS 的参数

下列参数可用于描述 SRS 要素：

- SRS 计算的品质因子；
- SRS 的强部；
- SRS 峰的类型。

最常见的 SRS 是绝对最大加速度 SRS。一个替代的形式为绝对最大伪速度响应谱或相对位移响应谱。

计算 SRS 的算法也应以规定。

在根据测量或计算得到的数据计算 SRS 时，建议使用多个 Q 值因子，例如，5、10 和 25(阻尼比为 10%、5% 和 2%)。这些曲线由取决于试验样品内部谐振频率和阻尼确定的可能的内部响应。

SRS 的强部定义(IEC 60068-2-57)为谱的响应加速度高于 SRS 带通 -3 dB 部分(见图 B.1)。

SRS 峰值的特性可以通过冲击不同 Q 值因子的响应谱的比较来描述。这一比较可以表明冲击的类型是属于脉冲型的还是偏向于振荡型的。可定义如下因子：

$$A = (\text{峰值 SRS})_{Q=10} / (\text{峰值 SRS})_{Q=15}$$

$$B = \text{峰值 SRS} / \text{HFA}$$

这些因子数值低时，表示冲击为脉冲类型(例如，半正弦波)；这些因子数值高时，表示冲击为带极限值的连续正弦振动的振荡冲击。

#### B.6 描述冲击特性的其他参数

可用于描述冲击特性的其他参数如下：

- 在所选定的自然频率而上算出的 SRS 的响应时间历程的峰值个数；
- 概率分布的矩，如偏度、峰度。

可以在 SRS 选定的 Q 值因子的频率范围内选定的自然频率内上算出 SRS 响应时间历程的峰值个数，以选择 SRS 的 Q 值因子。

Q 值因子是最具代表性的试验参数。Q 值因子的默认值是 10。

峰值个数定义为通过计算得到、受到时间历程激励的一个单自由度系统(振荡器)超过规定阈的响



附录 C  
(资料性附录)  
试验时间历程的合成

### C.1 引言

几乎所有电动振动台控制系统的供应商都提供专用的 SRS 试验软件。用这一工具,操作者能够产生一个随时间变化的瞬态电压信号,驱动振动台的功率放大器。

在经过若干次迭代以后,振动台台面上的试验 SRS 将与 SRS 规定值匹配。驱动信号是一个规定时间窗内的不同形状、频率和长度的小波混合而成的。这样就必须考虑振动台系统的能力限制因素。

### C.2 振动试验设备的制约

许多情况下,有关规范将 SRS 规定值的频率规定得很高。经常出现这样的情况,是因为 SRS 的频率没有限制、可延伸到无穷高。SRS 将接近相应时间历程在高频的最大峰值。

参考有关规范,试验设备的最大制约是频率范围、功率放大器的输出功率和表现为最大允许峰值加速度的振动台动圈的机械强度。制约参数因振动台和功率放大器的不同而异。以一个 96 kVA 驱动的 80 kN 推力的标准电动振动台为例,其最高频率限制为 2 500 Hz~3 000 Hz,最大响应在 350  $g_s$ ~400  $g_s$  之间。特殊设计的电动振动台,可以达到更高的值。

### C.3 SRS 控制软件的特性

当合成 SRS 时间历程时,大部分控制软件可以选择下列参数:

a) 小波的类型(最常用的)

- 1) 指数衰减的正弦波;
- 2) 等幅值的猝发正弦波(矩形窗中的正弦波);
- 3) 变幅值的猝发正弦波(汉宁窗中的正弦波)。

操作者必须决定选择哪一种小波。由于每一种小波类型都可能在一定程度上符合所需要的 SRS,故本规范不能推荐具体采用哪一种类型。不同类型的小波不能混合使用。

b) 时间窗

所有小波在时间窗中混合,并限制合成试验时间历程的持续时间。

c) 小波的频率间隔

从 SRS 的最低频率开始,每个小波的频率将按照  $1/n$  倍频程间隔自动确定。这里“ $n$ ”是变量,每个时间历程都应选定此参数。

d) 每个小波的持续时间

- 类型 1): 不选择持续时间,但需要选择小波阻尼因子;
- 类型 2): 选择一个偶数为半周期个数;
- 类型 3): 选择一个非平均数偶数为在汉宁窗中小波的半周期个数。

e) 每个小波的开始时间

必须规定小波相对于时间窗起始点的延迟时间,使小波的整个持续时间处于规定时间窗内的某个位置。

f) 阻尼因子系数

仅用于类型 1) 小波。

g) 起始极性



每个子波可以由正或负两个方向起始。

#### C.4 如何产生冲击瞬变

有关规范应规定 SRS 及 Q 值因子和其他可用的参数。作为相关规范中 SRS 基础的原始时间历程,并不一定是已知的。如有可能,将此时间历程与合成的时间历程进行比较,对于操作者是有意义的。合成时间历程的合理步骤概述并说明如下:

##### a) 小波的类型

每一种类型的小波都能在一定程度上得到想要的结果。

小波起始为高量值的指数衰减正弦(类型 1),在模拟爆炸冲击时非常有用,但经常会导致合成时间历程产生极高的加速度峰值。

当使用等幅值正弦猝发(类型 2)的小波时,每个小波最容易对合成信号产生影响。

变幅值正弦猝发(类型 3)的小波总是以随着汉宁窗的形状平滑增加的方式开始,并在时间窗的中间达到最大值。

使用类型 2)或类型 3)的小波,最容易控制合成时间历程的持续时间。

##### b) 频率范围

选择试验频率范围要考虑可用的采样频率。试验频率范围的选择取决于要模拟的冲击环境的最高频率成分和安装样品后的试验设备实际能产生的频率。

##### c) 时间窗

时间窗的持续时间应覆盖要合成的时间历程持续时间,决定持续时间的其他因素还有选定的频率范围和采样频率。

在一些试验控制系统中,时间窗的持续时间被加倍,合成时间历程的中心在新的时间窗的中间位置。

##### d) 小波的频率的间隔

在整个频率范围内,选择的频率间隔是固定的。选择最低频率以满足 SRS 的增加部分。后续小波的频率间隔数值不应小于 1/3 倍频程。对于这样的间隔,SRS(相邻两个小波间的间隔)的精度可以达到 -2.5 dB。对于 1/6 倍频程的间隔,精确度超过 -0.5 dB。要处理的小波越多,调整起来就越复杂。

##### e) 小波的持续时间

除衰减的正弦波以外,小波的持续时间由其周期数或半周期数决定。那些频率成分为低频的小波,其持续时间受到选定的合成时间历程的时间窗限制。

每个小波的周期数应在 3~10 间选择。

当 Q 值因子为 10 时,一个 3 个周期的小波在 SRS 上的实际放大倍数为 60%。5 个周期小波放大倍数为 81%,12 个周期小波放大倍数为 97%。然而,还有另外一个效应。两个相邻频率(1/3 倍频程)会相互作用,当小波为 10 个周期时,总放大倍数已经达到 10。若频率间隔为 1/6 倍频程时,7 个周期的放大倍数就可以达到 10。

##### f) 小波的峰值

在瞬态信号生成阶段,每个小波的加速度的峰值可以设置为 SRS 规定值的 1/Q。在迭代过程中,这些峰值将通过控制软件自动进行调整。

##### g) 小波的起始时间

在选定的时间窗内,每个小波的起始时间(延迟)可以单独选择。在实践中,由于持续时间较长,频率在最低的 2 个倍频程内的小波的延迟应从零或接近零开始。具有最大峰值的小波应被一个接一个无重叠地排列在时间窗的前半部分。这样做可以避免在合成的时间历程中有过高的峰值,并获得一个衰减形状的时间历程。所有其余的小波应置于时间窗内,以避免长

的重叠区段。

在试验时,了解不同小波在时间窗内所处的位置很有用,因为有时需要改变它们的位置。出现这种情况,可能是因为小波混合后产生了高加速度峰值,或者其他对于试验设备而言过高的参数值。

h) 小波的起始极性

小波的起始极性可选择为正的或负的,规定小波的第一个峰的试验方向为正的或为负的。推荐最初所有小波使用同一极性,为了避免合成时间历程出现极端的峰时单独加以调整。

i) 小波的阻尼

只有当使用指数正弦小波类型(类型1)时,才有必要进行这项选择。当使用衰减正弦时,正弦的阻尼比推荐在2%~10%范围内选择。

### C.5 进行试验

由于SRS试验是一个开环过程,而且首次合成的时间历程并没有将振动台包括加载的样品的动力学传递函数计算在内,均衡迭代过程的试验量级应在最终合成量级的-12 dB开始。

典型的试验要求是每条轴线试验一次。因此,在此阶段,推荐使振动台处于“空夹具”状态,或更好的是夹具上装载一个“动力特性等效的模拟负载”。

在均衡迭代过程中,逐步增加试验量级,开始3 dB,接近满试验量级时,每次1 dB。然后,用真实样品替换“模拟负载”,再按合成时间历程的最终参数进行一次试验。如果达到了试验设备的极限,可能有必要重新排列小波的位置或修改他们的特性。若这样做了以后,必须重新进行均衡迭代过程。在激励轴线改变以后,也应重复这个过程。

附 录 D  
(资料性附录)  
试验 SRS 的推荐频率范围

常见不同应用的试验频率范围示例如表 D.1。

表 D.1 试验频率范围示例

应用类型	频率范围/Hz
地震(地面或安装在楼板的设备)	1~35
注: 这种情况的自然频率低于 1 Hz, 建议频率范围 0.1 Hz~35 Hz	
运输	1~100
	10~100
	10~150
	10~500
飞机	10~500
	10~2 000
空间	100~5 000