

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13625—2018  
代替 GB/T 13625—1992

## 核电厂安全级电气设备抗震鉴定

Seismic qualification of safety class electrical equipment for nuclear power plants

2018-05-14 发布

2018-12-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

# 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 地震环境和设备反应概论 .....	4
5 抗震鉴定方法 .....	5
6 阻尼 .....	6
7 分析 .....	8
8 试验 .....	11
9 分析和试验相结合 .....	24
10 经验 .....	27
11 文件 .....	27
附录 A (资料性附录) 抗震分析中典型电气设备阻尼比推荐值 .....	30
附录 B (资料性附录) 统计上独立的运动 .....	32
附录 C (资料性附录) 试验持续时间和循环次数 .....	33
附录 D (资料性附录) 易损度试验 .....	35
附录 E (资料性附录) 零周期加速度的测量 .....	36
附录 F (资料性附录) 频率成分和稳定性 .....	37
附录 G (资料性附录) 参考经验数据进行抗震鉴定的方法 .....	38

订购单号: 0100241225147676 防伪编号: 2024-1225-0445-4286-3612 购买单位: 青岛消防股份有限公司

青岛消防股份有限公司

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 13625—1992《核电厂安全系统电气设备抗震鉴定》，与 GB/T 13625—1992 相比，主要技术变化如下：

- 增加了阻尼相关内容(见第 6 章和附录 A)；
- 修改了 TRS 低频段的要求,使试验装置低频位移不会过大(见 8.6.3.2)；
- 增加了功率谱密度包络的相关内容(见 8.6.3.2.1)；
- 增加了分析和试验相结合的抗震鉴定方法(见第 9 章)；
- 增加了通过参考设备抗震经验数据进行抗震鉴定的导则(见附录 G)。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由全国核仪器仪表标准化技术委员会(SAC/TC 30)归口。

本标准起草单位:上海核工程研究设计院。

本标准主要起草人:马渊睿、刘刚、谢永诚、杨仁安、毕道伟。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 13625—1992。

青岛消防股份有限公司 专用

订单号: 0100241225147676 防伪编号: 2024-1225-0445-4286-3612 购买单位: 青岛消防股份有限公司

青岛消防股份有限公司 专用

# 核电厂安全级电气设备抗震鉴定

## 1 范围

本标准规定了为验证安全级电气设备在发生地震期间和(或)地震后能执行其安全功能而进行的抗震鉴定的实施方法及其文件要求。

本标准适用于核电厂安全级电气设备的抗震鉴定,包括其故障会对安全系统的性能产生有害影响的任何接口部件或设备。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 12727 核电厂安全级电气设备鉴定

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**宽频带反应谱 broadband response spectrum**

描述在宽频范围内产生放大反应运动的反应谱。

### 3.2

**相干函数 coherence function**

表征两个时程在频域上的相互关系。相干函数给出了两个运动统计上的相关程度,为频率的函数。其数值范围从 $0\sim+1.0$ ,其中完全不相关运动为 $0$ ,完全相关运动为 $+1.0$ 。

### 3.3

**相关系数函数 correlation coefficient function**

表征两个时程在时域上的相互关系。相关系数函数给出两个运动统计上的相关程度,是以时间延迟为自变量的函数。其数值范围从 $0\sim+1.0$ ,其中完全不相关运动为 $0$ ,完全相关运动为 $+1.0$ 。

### 3.4

**关键抗震特性 critical seismic characteristics**

能够确保设备在地震载荷作用下执行要求功能的设计、材料和性能特性。

### 3.5

**截止频率 cutoff frequency**

反应谱中零周期加速度渐近线开始处的频率。单自由度振子的频率在超过该频率后将不再放大输入运动,这是所分析波形的频率上限。

### 3.6

**阻尼 damping**

一种在共振区域中减少放大量和拓宽振动反应的能量耗散机理。阻尼通常以临界阻尼的百分数来表示。临界阻尼定义为单自由度系统在初始扰动后未经振荡回复到其原来位置的最小黏性阻尼值。

3.7

**地震经验谱 earthquake experience spectrum; EES**

根据地震经验数据来确定表征参考设备抗震能力的反应谱。

3.8

**柔性设备 flexible equipment**

最低共振频率小于反应谱截止频率的设备、构筑物和部件。

3.9

**范围规则 inclusion rules**

根据经验数据已证明为耐震设备的物理特性、动态特性和功能的可接受范围来确定参考设备组的规则。

3.10

**独立物项 independent items**

具有不同的物理特性或经受不同的地震运动特性[例如,不同的地震、不同的厂址、不同的构筑物,或同一构筑物的不同方向和(或)位置]的部件和设备。

3.11

**窄频带反应谱 narrowband response spectrum**

描述一个有限(窄带)频率范围内产生放大反应运动的反应谱。

3.12

**自振频率 natural frequency**

物体在特定的方向上受到变形然后释放时,由于其自身的物理特性(质量和刚度)使物体发生振动的频率。

3.13

**运行基准地震 operating basis earthquake; OBE**

结合地区和当地的地质和地震情况以及当地地层材料的具体特性,在电厂正常运行寿期内可合理预期在厂址会发生的地震。

注:对于该地震产生的地震动,那些需继续运行而不对公众的健康与安全产生过度风险的核电厂设施可以保持其功能。

3.14

**功率谱密度 power spectral density; PSD**

一个波形每单位频率的均方幅值,用  $g^2/\text{Hz}$  与频率的关系表示。

3.15

**禁止特征 prohibited features**

在规定抗震能力的地震或试验激励下,会导致设备发生结构完整性及功能失效或异常的详细设计、材料、结构特征或安装特性。

3.16

**鉴定寿命 qualified life**

证明设备在设计基准事件(DBE)之前对于规定的使用工况能满足设计要求的时间期限。

3.17

**参考设备 reference equipment**

用于建立参考设备组的设备。

3.18

**参考设备组 reference equipment class**

由范围规则和禁止特征确定的一组具有相同属性的设备。

## 3.19

**参考厂址 reference site**

具有确定参考设备组设备或物项的厂址。

## 3.20

**要求反应谱 required response spectrum; RRS**

由用户或其委托人在鉴定技术要求文件中规定的反应谱,或人工生成能够覆盖将来应用的反应谱。

## 3.21

**共振频率 resonant frequency**

受到强迫振动的系统中出现反应峰值处的频率。该频率下,反应相对于激励有相位差。

## 3.22

**反应谱 response spectrum**

一组单自由度(SDOF)有阻尼振子在受相同基础激励情况下最大反应与振子频率的关系曲线。

## 3.23

**刚性设备 rigid equipment**

最低共振频率大于反应谱截止频率的设备、构筑物 and 部件。

## 3.24

**安全停堆地震 safe shutdown earthquake; SSE**

结合地区和当地的地质和地震情况以及当地地层材料的具体特性,对可能的最大地震作出评估后确定的一个地震。

注:在该地震产生的最大地震动下一些特定的构筑物、系统和部件需保持其功能。这些构筑物、系统和部件对保证下列要求是必需的:

- a) 反应堆冷却剂压力边界的完整性;
- b) 使反应堆停堆并维持反应堆在安全停堆状态的能力;
- c) 防止或减轻厂外辐照事故后果的能力。

## 3.25

**抗震能力 seismic capacity**

经过验证的设备所能经受的最大地震水平。

## 3.26

**正弦拍波 sine beats**

幅值受较低频率正弦波调制的某一频率的连续正弦波。

## 3.27

**稳定性 stationarity**

波形是稳定时,其幅值分布、频率成分和其他特征参数不随时间而变化。

## 3.28

**试验经验谱 test experience spectra; TES**

确定参考设备组抗震能力的、基于试验的反应谱。

## 3.29

**试验反应谱 test response spectrum; TRS**

由地震台面运动的实际时程得到的反应谱。

## 3.30

**传递函数 transfer function**

一个用来确定常数系数线性系统动态特性的复频响应函数。

注:对于一个理想系统,传递函数为输出与给定输入的傅里叶变换之比。



需要指出的是反应谱不能提供下列信息：

- a) 产生反应谱的激励波形或时程；
- b) 运动持续时间(这应在相应的鉴定技术要求文件中规定)；
- c) 任何特定设备的动态反应。

#### 4.4.3 时程

地震引起的运动(通常为加速度)随时间变化的函数即为时程。抗震鉴定试验时所模拟的运动来自实际或人工产生的地震记录。对任一楼面,所生成的时程包括了构筑物和其他中间支承结构的动态滤波和放大效应。

#### 4.4.4 功率谱密度函数

功率谱密度表征某一运动参数单位频率内振动幅值的均方值,它是频率的函数。

注:尽管反应谱和功率谱密度函数不能确定确切的激励波形或持续时间,它们依然是有用的工具,能从一根曲线上得到运动的重要频率特性。功率谱密度直接给出了关于激励的信息,但并未像反应谱那样考虑激励对一组单自由度振子的作用。因此,利用线性系统的传递函数理论,可以根据功率谱密度确定激励和反应之间的关系。

#### 4.5 支承结构和相互作用

设备抗震鉴定需考虑安装特性,如:

- a) 支承结构(支承组件、结构、锚固件、楼面、墙或基础)抗震适用性;
- b) 有害的地震相互作用可能性(如上部部件的跌落、邻近的撞击、不同的位移、喷淋、水淹或火灾)。

### 5 抗震鉴定方法

#### 5.1 概述

设备的抗震鉴定应证明在承受由一个安全停堆地震产生的作用力期间和(或)之后设备执行其安全功能的能力。另外,在承受安全停堆地震之前,设备应承受若干运行基准地震的作用。

#### 5.2 抗震鉴定技术条件

抗震鉴定需明确规定被鉴定设备的技术条件,具体详见第 11 章。

应明确规定抗震要求的技术条件至少包括:持续时间、频率范围和加速度值。提供这些数据信息的可以是:

- a) 以功率谱密度(频率的函数)表示的振动运动;
- b) 地震强震部分的持续时间;
- c) 设备安装点上的要求反应谱,要求反应谱必需包括主水平轴和垂直轴的数据,以及不同阻尼比(如 2%、5%和 7%)的数据;
- d) 设备安装点(楼板或构筑物)上的最大加速度与重要频率的关系曲线或时程曲线。

对于运行基准地震(OBE)和安全停堆地震(SSE),其反应谱的形状和幅值均可能不同。故为了对试验件进行鉴定,应知道这些地震水平所相应的加速度谱。技术条件应说明所用反应谱的合理性。

### 5.3 常用抗震鉴定方法

常用的抗震鉴定方法通常有四种：

- a) 通过分析来预测设备性能；
- b) 在模拟地震条件下对设备进行试验；
- c) 采用试验和分析相结合的方法来鉴定设备；
- d) 通过使用经验数据来鉴定设备。

上述每一种方法,或其他证明合理的方法均适用于验证设备的抗震性能。选择适用的鉴定方法至少需考虑以下因素：

- a) 设备结构的类型、尺寸、形状和复杂程度；
- b) 是通过(设备)可操作性,还是仅仅通过结构完整性验证安全功能；
- c) 结论的可靠性。

被鉴定的设备应能够证明在地震期间和(或)之后能执行其安全功能。要求的安全功能不仅取决于设备本身,还取决于设备在系统和电厂中的作用。地震期间的安全功能可能与地震之后所要求的安全功能相同,也可能不同。例如,可能要求某一电气设备在地震期间不误动作,或在地震期间和之后都能执行能动功能,或可能要求它在地震期间保持完好而在地震之后要求执行能动功能,或是上面这些要求的任意组合。而对另一设备,可能只要求在地震期间和之后保持结构完整性。这些给定要求应是明确的,并且对安全功能的定义应作为设备鉴定技术要求文件的一部分给出。验证所选用的鉴定方法符合要求是用户和(或)委托方的职责。

当设备安全功能要求证实设备在地震期间的可运行性时,应在鉴定模拟的强震运动持续部分进行。

作为总的鉴定大纲的一部分,抗震试验应按 GB/T 12727 或其他适用标准指明的顺序进行,并注意按相关标准中所讨论的试验裕度来确定和考虑显著的老化机理。在这些导则中,应证明设备在其整个鉴定寿期中能执行其安全功能,包括在鉴定寿期末发生安全停堆地震期间和(或)之后的功能可运行性。

## 6 阻尼

### 6.1 概述

阻尼是系统中多种能量耗散机理的统称。实际上,阻尼取决于许多参数,如结构系统、振型、应变、法向力、速度、材料、连接方式和滑动量。按线性振动理论,简化假设为阻尼是纯黏性的,或与运动部件的相对速度成正比。因此,当涉及一个实际系统的阻尼值时,通常假定它是等效于黏性或是线性的。通常这是采用线性分析理论方法来描述具有某种程度非线性的实际硬件性能的一种简化方法。

对于由许多部件组成的设备,阻尼常常不是单一值,阻尼与设备的每一个部件都有关系,从螺栓连接或焊接结构到材料性质。在确定设备阻尼值时,通常给出典型值的范围。由于在多数情况下,设备、构筑物、部件各振型的阻尼值是不同的,因此在分析中常常在所研究的频率范围内采用一个综合的阻尼值。

### 6.2 阻尼测量

#### 6.2.1 概述

线性振动理论表明有许多测量阻尼的方法。应特别注意实际系统与理论模型之间的对应关系。例如,几乎不可能找出设备中与模型集中质量单元严格一致的精确位置。一些计算模态阻尼的方法,如 Q

值法,完全依赖于单自由度的假设。

注:  $Q$  值是单自由度振子传递函数幅值的峰值,与阻尼比存在如下关系:  $Q=0.5\xi^{-1}$ 。通过测量半功率带宽可确定  $Q=f_n/\Delta f$ ,其中  $f_n$  为共振频率,  $\Delta f$  为半功率带宽。

由于设备中各点的反应通常由振型向量和每个振型的参与因子确定,所以直接由在设备中任何点上测得的最大共振反应峰值和正弦扫描输入激励幅值计算阻尼通常是不可接受的。为估计阻尼,常用下列方法,但也可采用其他证明是合理的方法。这些方法假设在设备中能激励起单一振型,且运动传感器安装在非零运动位置上。任何情况下都应仔细考虑,针对不同的反应幅值是否存在明显的阻尼非线性。

### 6.2.2 通过测量衰减来确定阻尼

等效黏性阻尼可通过记录特定振型的衰减率进行计算。这个方法通常称作对数衰减法。

### 6.2.3 通过测量半功率带宽确定阻尼

以慢速正弦扫描激励设备,测量设备中任意要求位置的反应并绘制成频率函数的曲线。从这些反应曲线上,与每个振型有关的阻尼可通过测量其半功率点处相应共振峰的宽度进行计算。这个方法常称为半功率带宽法。

### 6.2.4 通过曲线拟合法确定阻尼

用正弦扫描、随机或瞬态激励对设备进行激振,并通过反应获得相应的传递函数。利用数学模型对实际频率反应数据(传递函数)进行拟合,即能得到各阶频率下的模态阻尼。这种曲线拟合通过平滑处理能去除噪声或小的实验误差。

## 6.3 阻尼的应用

### 6.3.1 分析中阻尼的应用

分析中,为预计设备对地震运动的反应建立设备的数学模型,该模型中所用的阻尼值需对应于设备中实际的能量耗散,以便能精确地预估反应。另一个方法是用一个保守的线性阻尼值来得到保守的反应。在任何情况下,都需要知道具体设备的阻尼范围和非线性的性质及它们对反应的影响。合适的阻尼值可从试验或其他经证明是合理的来源获得。

实际阻尼本质上是非线性的。在大多数设备中,由于如材料内摩擦或部件之间连接处的内摩擦,或库仑型滑动摩擦等因素,实际阻尼是反应幅值的函数。对分析而言,可采用线性阻尼进行近似,但需注意阻尼实际上是随反应增加而变化的。

一般来说,对结构系统的主要处理方法是假定阻尼是黏性的。然而,某些机柜或壳体可能表现出非黏性阻尼的特征,分析中对此需加以关注。

除非另有规定,分析中典型的电气设备阻尼比推荐值可参见附录 A。

### 6.3.2 试验中阻尼的应用

试验中,可使设备经受由要求反应谱(RRS)所确定的人工模拟地震运动时程来鉴定设备。反应谱通过一组单自由度有阻尼振子的峰值反应来确定地震运动。由于振子是假设的,在用于试验的要求反应谱中可采用任何可行的阻尼值,例如 5%,并且不需要与设备的实际阻尼相一致(注意与分析中使用的要求反应谱的区别,分析时采用的阻尼值应与实际设备相对应)。在 8.6.1 中给出了在选择可接受的

试验运动中要求反应谱(RRS)和试验反应谱(TRS)的应用。对于反应谱中的阻尼值,有下列关系:

- a) 在比较要求反应谱和试验反应谱时,两个反应谱的阻尼应相同;
- b) 在不同阻尼下比较要求反应谱和试验反应谱时,则需考虑以下情况:
  - 1) 当试验反应谱的阻尼大于要求反应谱且满足 8.6.1 中的准则时,这种情况是保守的,鉴定结果可以接受;
  - 2) 当试验反应谱的阻尼小于要求反应谱的阻尼时,则应进行进一步的评估。一种可能性是对试验运动进行重新分析以产生一个可接受阻尼值的试验反应谱,并应用 a) 或 b) 的 1) 中给出的准则。

## 7 分析<sup>1)</sup>

### 7.1 概述

本章中介绍的方法可用于通过对多个运行基准地震后发生安全停堆地震进行分析来对设备进行抗震鉴定。这里描述两种抗震分析方法,一种方法是基于动态分析,另一种则基于静态系数分析。这两种方法是最常用的,但也可使用其他能证明是合理的方法。图 1 是推荐的分析过程的流程图。一般分析过程是:

- a) 确定设备的动态特性;
- b) 用 7.2~7.7 描述的方法确定反应,如应力和位移;
- c) 将计算的反应和设计要求的反应进行比较。

应考虑设备的复杂性和分析方法的适用性,并明确哪种方法能最准确地表明地震工况下设备的性能,以正确预计在受地震激励时设备的安全功能。应根据预计的设备强度的裕度,在动态分析法(见 7.2)和静力系数法(见 7.3)之间进行选择,这是因为虽然静力系数法实现起来更容易和快捷,但总的来说更为保守。

动态分析或试验可表明设备是刚性或柔性的。刚性设备可用静态方法和与安装位置有关的地震加速度进行分析。柔性设备可用静力系数法(见 7.3),或采用从反应谱、时程或其他分析方法得到的动态反应来进行分析。

用于分析的数学模型可依据计算得到的结构参数或试验确定的结构参数,或两者结合的方法建立。若所建立的数学模型很复杂且完全依赖于计算得到的结构参数,则推荐使用验证性试验对其进行验证(见第 9 章)。分析中采用的阻尼应有参考依据,即此值应在安全分析报告或技术规格书中规定,或经试验确定。当阻尼值没有规定时,无论采用何种方法确定,均需在鉴定报告中论证其合理性。

可用计算得出的动态反应(应力和应变)对设备机械强度进行评定,在可能的情况下也可对设备功能进行评定。为检查结构间有无相互干扰,应计算部件安装后的最大位移。地震应力应与设备运行应力进行组合,以确定设备的强度是否满足要求。

1) 对不能建模预估其反应的复杂设备,不推荐使用本章描述的分析方法。如果仅仅依靠结构完整性就能保证达到预期设计功能,则可以采用分析的方法。

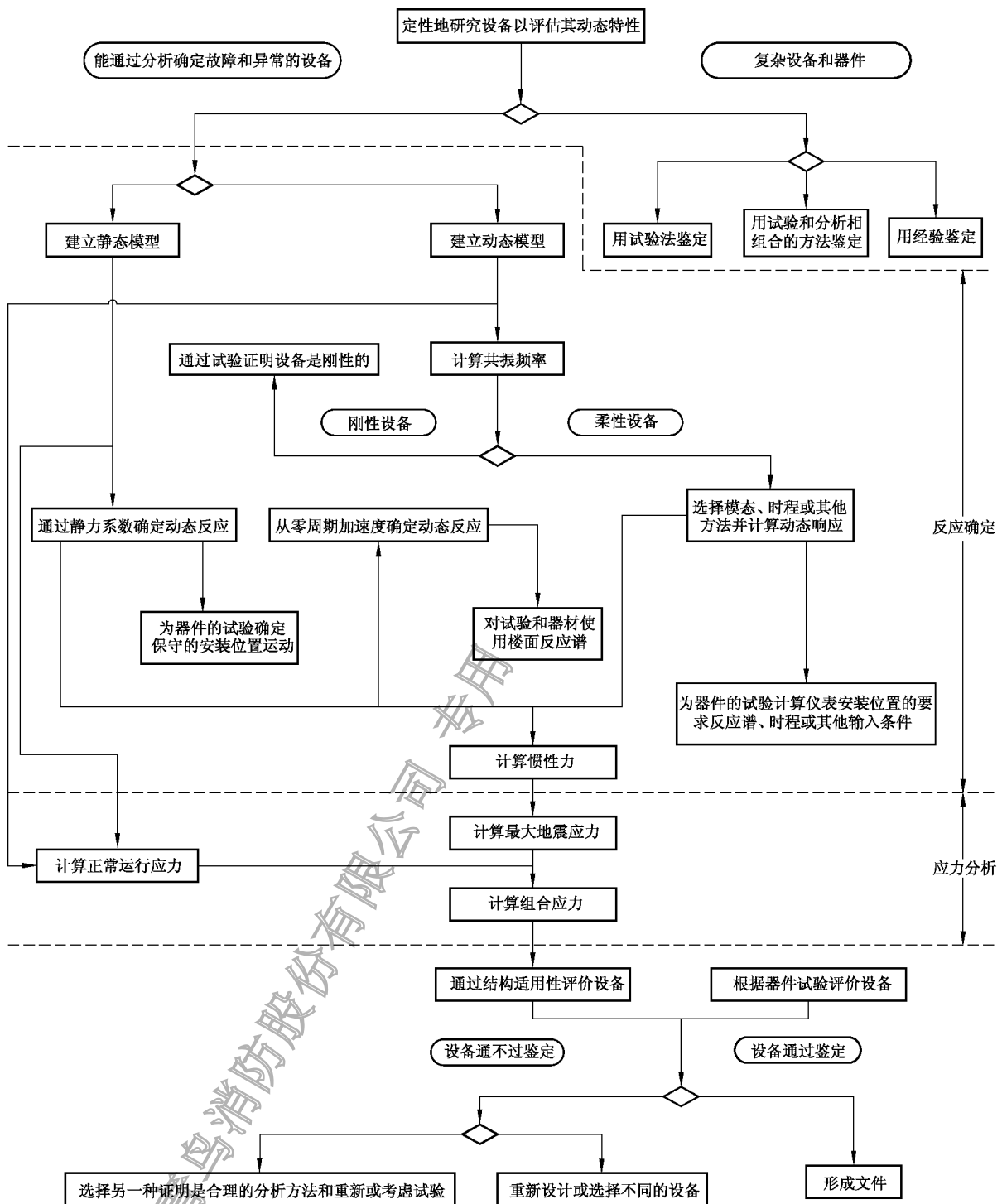


图 1 抗震分析流程图

## 7.2 动态分析

设备及其二次结构支承应通过建模以正确地反映其质量分布和刚度特性。对该模型进行模态(特征值)分析以确定设备是刚性还是柔性的。

当模型在要求反应谱截止频率以下无共振时,可认为此设备是刚性的,可采用静态方法进行分析。静态分析时作用在每个设备部件上的地震力通过分布质量乘以合适的楼面零周期加速度(ZPA)进行

计算。

对柔性设备,可使用反应谱或时程分析法对模型进行分析。使用反应谱分析时要考虑到所有重要振型的每个模态反应的组合来确定地震反应,如挠度、应力或加速度。分析应包括足够的振型(模态质量)以充分地表征设备的动态反应和支承上的约束力,其判断准则为引入剩余振型后不会使反应的增加超过 10%。除密集模态外,反应可通过对每个模态反应平方和的平方根(SRSS)的方法进行组合来确定。密集模态为其频率与下一个较低频率差 10%(或更小)的模态,在反应评定中应对密集模态作适当的考虑。采用三个地震分量分别进行分析时,在最后一步应将两个水平和一个垂直分量输入产生的反应(加速度、位移、作用力、力矩)采用平方和平方根(SRSS)的方法进行组合。在时程分析中,当在统计上相互独立的三个时程同时输入时,可在每一时间步长上对反应进行代数组合。为了保证统计上独立,当用至少 12 个数据样本进行计算时,人工时程应有小于 0.5 的相干系数。另外,对所有时间延迟可采用小于 0.3 的相关系数绝对值(参见附录 B)。

### 7.3 静力系数分析

这是另一种更简单但也更保守的分析方法,不需要确定自振频率。此时设备的加速度反应采用在保守和合理的阻尼值下要求反应谱放大部分的最大峰值。根据经验,对于线性框架结构(如与梁和柱类类似的构件)这种可用一个简单模型描述的结构,考虑多频激励和多振型反应影响,可取静力系数为 1.5。当较小的静力系数能给出保守的结果时,也可使用较小的静力系数。在静力系数分析中,设备每一个部件上的地震力通过将质量值乘以要求反应谱的最大峰值再乘以静力系数获得,计算得到的力应以其质量分布成正比的方式在部件上分布。在设备中任何点上的应力可通过对该点每个方向地震载荷引起的应力采用平方和平方根(SRSS)的方法组合来确定。

### 7.4 非线性设备反应

除与阻尼有关的非线性外,还存在其他的非线性。这些非线性可能是几何因素引起的,例如间隙闭合、接点动作和部件颤振;或是来源于材料,例如发生局部屈服。这些影响会导致刚度随着载荷增加而改变。由于频率也是刚度的函数,故在载荷增加的情况下频率也会改变。如果系统表现出明显的非线性特性,为准确地预计系统反应,应识别该特性并在随后的分析中予以考虑。如不能对非线性特性进行合适的建模,应考虑采用第 8 章、第 9 章和第 10 章中所述的其他鉴定方法。

设备结构的局部振动也会导致非线性反应。没有牢固地固定在位置上的电气柜门的高频颤振就是一个例子。当存在这种状况并且认为安装的器件的可运行性对这类设备的非线性特性很敏感时,分析应考虑这种特性,并且应通过适当的方式加以证明。

### 7.5 其他动态载荷

7.3 和 7.4 中描述的地震载荷的分析方法同样适用于其他动态荷载,如流体动力荷载。关于流体动力荷载的进一步指南见 8.1.7.2。

### 7.6 运行基准地震(OBE)和安全停堆地震(SSE)分析

应使用前面所述方法之一,在假设运行基准地震事件数量(数量应不少于一个并应证明对于特定厂址是适用的,否则应采用 5 次运行基准地震)的情况下进行分析。每个运行基准地震应包含与设备安装处地震反应运动类似的潜在疲劳效应。对于楼层激励,应通过证明每个激励波形会产生包括至少 10 个等效的最大峰值应力循环的反应来对其进行近似处理。对于地面激励,等效峰值应力循环数是不同的(参见附录 C)。运行基准地震的数量和每次运行基准地震引起疲劳的可能性仅对低周疲劳敏感的设备是重要的。分析应确定在运行基准地震期间与其他适用的载荷组合后能保持设备的结构完整性。分析应表明在运行基准地震事件后发生安全停堆地震不会导致设备不能执行其安全功能。对于复杂的电气

设备,要证明这点是非常困难的,在这种情况下应考虑使用第 8 章、第 9 章、第 10 章中的其他试验方法。

## 7.7 分析文件

鉴定工作应通过文件加以记录,包括设备使用要求或技术规格书、鉴定结果和所使用的方法能证明设备可执行其安全功能(见第 11 章)的证据。

## 8 试验

### 8.1 通用要求

#### 8.1.1 概述

本章中阐述的方法适用于通过试验对设备进行抗震鉴定。设备应保守地承受模拟地震期间设备安装处的假设地震运动来进行抗震试验。这里给出的试验步骤是目前较为常用的方法,但不排除采用其他经证明是合理的方法。在确定设备鉴定所用的试验方法时,要解决的一个实际问题就是地震环境的选择,而这应考虑许多因素,其中涉及到设备的位置、设备的性质、预期地震的性质和其他因素,还要考虑设备是用于一个电厂还是多个电厂。在设备仅用于一个电厂时,可按规定的地震运动进行鉴定试验以满足技术规格书的要求(验证试验)。当设备用于多个电厂时,设备鉴定试验应考虑未来尚未确定的使用情况(通用试验)。验证试验和通用试验在 8.2 中作进一步讨论,用来确定设备能力限制的易损度(脆弱性)试验<sup>2)</sup>在 8.3 中讨论。另外需要考虑的因素是地震的多方向性。设备试验应保守地考虑这些多方向的影响,这些将在 8.6.6 中作详细讨论。

在进行器件(如继电器、电动机、传感器等)和复杂组件(如控制盘)的试验中会产生另一个实际问题。针对前者,可以认为在模拟运行工况和监测其性能的条件下对器件进行抗震试验是可行的;然而对复杂设备,如控制盘,这可能是不现实的。这些控制盘上通常布置有许多器件,这些器件可能分属于多个系统,而这些系统的其他控制盘则可能布置在电厂的多个不同位置。在运行工况下对这些控制盘进行试验是不切实际的,在这种情况下推荐采用的替代方法是:在控制盘上安装实际器件但器件不投入运行,或者是对器件的动态特性进行模拟,并在上述情况下给控制盘施加适当的地震输入(要求反应谱)。测量在器件位置上的动态反应,并作为在运行工况下对器件进行独立鉴定的输入。安装不投入运行器件的目的是为了使控制盘具有实际的动态特性。

需要注意的是,一般而言在地震台上试验过的设备不得再安装在电厂中,除非能证明设备已经历的累积应力循环不会降低其执行安全功能的能力。

不论器件或组件是进行验证试验、易损度试验或通用试验,相关的共性要求在 8.1.2~8.1.6 中给出。

#### 8.1.2 安装

待试验设备应模拟电厂实际安装的方式安装在地震台上。设备安装方法应与实际现场所采用的方法相同,并且使用推荐的螺栓尺寸、型号、拧紧力矩、布置以及焊接方式和类型等。在选择安装方法时,除非能证明其他做法是合理的,否则应考虑并包括电气接线、导管、传感器接线和其他接口的影响。试验期间,设备的安装方向应有文件记录,并且是设备作过鉴定的唯一方向,除非有充分的证据才能将鉴定扩展到其他方向上。设备安装到地震台上的方法应有文件记录并且应提供紧固装置和联接的说明。中间紧固装置应不会对输入运动产生滤波作用或改变任何频率。当中间紧固装置和联接仅在鉴定期间使用而在实际安装中不用的时候,应加以评估并在报告中列明。

2) 易损度(脆弱性)试验是用于确定设备抗震极限能力的试验。下文统称易损度试验。

### 8.1.3 监测

在振动试验期间,应监测安全级设备的功能和地震反应参数。

试验应使用足够的仪表进行监测以评价振动试验前、中、后设备的功能,相应的细节应在具体设备的文件中加以描述。

试验应使用足够的仪表监测振动反应,以确定所施加的地震水平。建议使用振动反应仪表对设备结构沿三个正交输入轴的反应进行布点监测,布设的这些监测点的反应应与结构完整性和设备功能有关。这些数据可用于结构设计分析、功能故障分析及未来设计变更或器件更换,以及用于确定结构内部的反应谱和其他应用。振动传感器和功能监测系统的位置应通过文件加以记录。

### 8.1.4 整修

#### 8.1.4.1 概述

实施抗震试验期间,对设备进行的任何整修应根据其程度分为维护或修理。维护工作包括设备(如继电器)校准和硬件重新拧紧等。修理包括设备某些部位的焊接或重焊、更换损坏的部件(如断裂的螺栓)和重新拧紧松动的电气端子等。

#### 8.1.4.2 维护

当需要维护时,应确定问题的严重程度并记录在试验报告中。如在运行基准地震试验期间进行了维护,则可作为设备地震后现场维护检查和维护工作的一部分。

#### 8.1.4.3 修理

除非证明有合理的原因,通常设备在运行基准地震试验期间、安全停堆地震试验期间或之后需要进行修理时,修理后应重新进行试验。当安全停堆地震试验期间要求修理的情况不影响其间或其后设备安全功能时,且安全停堆地震也显示没有因其他试验而产生累积效应,并且不会在随后的鉴定试验[如失水事故(LOCA)试验]中对设备性能产生不可接受的影响,则试验可以继续。除非有合适的理由,当修理造成设计变更时,应对设备重新进行试验。在进行修理时,修理情况应详细记录在试验报告中。

### 8.1.5 探查试验

#### 8.1.5.1 概述

振动探查试验通常不是抗震鉴定要求的一部分,但它有助于确定合适的鉴定试验方法或确定设备的动态特性。通常这些低输入水平振动试验称为共振搜索,试验一般在输入远低于抗震鉴定要求的振动水平下进行。探查试验中一般可获得激励和反应位置间的传递函数以及有关相位关系。

常用的探查实验方法是用单轴向输入的慢扫描正弦振动试验来进行共振搜索,在两轴或三轴方向测量设备反应以确定共振和相互耦合作用。第二种方法是在结构关键点上以受控的方式对设备进行敲击,分析敲击和反应数据。第三种方法是使用宽带随机输入信号进行激励,同时测量所研究位置上的反应。

#### 8.1.5.2 用基础激励法共振搜索

这种方法的优点在于可用与鉴定试验相同的振动设备进行探查试验。因为采集的信息对鉴定试验有帮助,共振搜索通常在抗震鉴定试验之前进行。试验时通过在振动输入位置和希望得到结构反应的位置安装加速度传感器的方式确定共振。一般来说,应采用慢扫描低水平的正弦振动,扫描速率应为每分钟两倍频程或更低速率,以保证产生共振。通常采用  $0.2 g$  ( $1.96 m/s^2$ ) 峰值输入水平,也可采用更低

一点的输入水平以免造成设备不必要的损伤,当需要考虑非线性影响时可适当提高输入。进行共振搜索的频率要超过反应谱的截止频率,一般为 1.5 倍截止频率,以获得关于设备动态特性的数据。

如果要进行共振搜索的设备不是安装在其工作的基础上,则所使用的安装基础的质量和刚度对结果会产生明显的影响。当大设备在地震台上试验时,应注意可能存在的地震台和设备的耦合模式。

结构共振通常通过试验对象对输入运动的放大作用进行探测,正弦输入信号和测点上的结构反应之间的相位关系也有助于确定共振频率。综合信号放大和相位数据可获得较高置信度的共振。类似的结果可以使用低水平宽带随机基础激励获得。在这种情况下,传递函数和相位数据用激励和反应时程的快速傅里叶变换(FFT)获得。数据样本数量和带宽分辨率应保证与要求的传递函数精度相对应。

### 8.1.5.3 用阻抗法共振搜索

用阻抗法共振搜索通常可采用小型便携式激振器对结构进行激振或通过敲击试验来完成,这种条件下引起的振动通常具有小振幅特性。当把此试验结果应用于大振幅地震反应时,应需特别小心。详见 9.2。

## 8.1.6 振动老化

### 8.1.6.1 概述

对于要求在安全停堆地震期间和(或)之后能够可靠保持其性能的设备,在进行抗震鉴定试验之前,应进行振动老化试验。这些试验应能模拟厂址所规定的与运行基准地震次数等效的疲劳效应,以及电厂正常和瞬态运行工况引起的厂内振动等效的疲劳效应。如果可能,建议模拟电厂寿期的等效条件。如做不到,则至少应达到与设备鉴定寿命相一致的等效疲劳效应。

振动老化的目的是要表明,与电厂运行有关的较低水平的正常和瞬态振动以及发生概率较大的较低烈度地震既不会对设备安全功能产生有害影响,也不存在安全停堆地震期间这些功能失效的情况。这些试验也是 GB/T 12727 中老化要求的一部分。非地震振动条件下的老化试验应在运行基准地震和安全停堆地震试验之前进行。

### 8.1.6.2 非地震振动条件下的老化

GB/T 12727 要求对正常和瞬态电厂运行工况和厂内振动引起的非地震有关振动进行老化模拟,而抗震试验可以部分满足上述要求。抗震试验应证明除去要求的地震低周疲劳作用外的等效幅值反应循环次数超过了非地震振动载荷所要求的幅值反应循环次数(关于等效循环次数的讨论见 8.6.5 和附录 C)。安全停堆地震前做的试验都是用于实现上述目的。然而,当非地震振动载荷,如安全释放阀(SRV)的泄压,包含大于截止频率的重要频率成分,或当所施加的非地震力函数与在 8.2~8.5 中讨论的试验中所模拟的基础激励运动获得的作用力函数明显不同时,需特别关注等效载荷的有效性。

### 8.1.6.3 地震老化(运行基准地震)

设备的抗震鉴定试验应包括安全停堆地震之前进行的运行基准地震试验,这些试验为每个规定的地震事件产生多个等效最大峰值循环(至少如 8.6.5 中给出的)。对每一个厂址都应证明运行基准地震的数量是合理的或应产生与 5 次运行基准地震等效的效应。

## 8.1.7 运行载荷

### 8.1.7.1 概述

安全级设备的抗震鉴定试验应在设备处于正常运行工况(电气负载、机械载荷、热载荷、压力等)和其他会对安全功能产生不利影响的电厂工况下进行。应证明这些载荷的模拟是合理和可接受的。如试

验中没有这些载荷,则应说明未加这些载荷是合理的。

### 8.1.7.2 流体动力载荷

核电厂中有些设备要承受流体动力载荷引起的振动,典型的包括与安全释放阀排放和失水事故(LOCA)有关的载荷。流体动力载荷会影响老化(见 8.1.6)和抗震试验要求。

由于对部件的结构完整性和可运行性应在地震和其他振动载荷同时作用下进行评价,因而要求反应谱为一个组合谱,即要将运行基准地震或安全停堆地震与振动载荷进行组合。试验用的要求反应谱可通过将各个谱适当组合(如用平方和开方或绝对值相加)得到。

## 8.2 验证试验和通用试验

验证试验用来鉴定设备满足某一特定要求。验证试验要求设备进行 8.6 所述试验中的一个。设备应承受设备安装位置特定的反应谱、时程或其他载荷,不需要探查设备的损坏阈值。因此,验证试验需要制定一份详细的技术规格书,技术规格书通常由最终用户或其代理方作为应用要求提出。对设备进行试验是按规定的性能要求,而不是按其极限能力。通用试验可认为是验证试验的特殊情况。通常,所制定的技术规格书包括大多数或全部已知的要求,目的是通过一次试验给出多种应用场合的鉴定结果,得到的通用要求反应谱一般包括有较高加速度水平的宽带谱。需要注意的是,各种要求的包络可能产生一个过于严酷的试验输入。

## 8.3 易损度试验

易损度试验用以确定设备的极限能力,试验数据可用以证明相关设备对于给定的抗震要求或应用的适用性。

易损度试验应以给出设备能力数据的方式进行,这些数据与各种安装条件和管理机构的不同要求有关。

根据不同的要求,设备的能力可通过它对正弦拍波(或瞬态)型激励反应的情况来确定,也可通过它对连续正弦激励反应的情况来确定。还有一些设备的能力可通过它们对多频波形反应的情况来确定。特定运动激励下的设备易损度构成了设备在受到该运动时执行其要求的安全功能的极限能力。

地震环境的变化已证明对设备或系统的易损度有影响,其中的一种变化就是激励的方向性。另外,环境还具有冲击、瞬态或稳态振动的特点。可用 8.6 中概述的试验并遵循其导则来确定易损度数据(有关易损度试验的补充导则参见附录 D)。

## 8.4 器件试验

器件应在模拟运行工况下按预期使用要求或它们的极限能力进行试验。器件应以一定方式安装到地震台上,这种安装方式应能动态模拟要求的安装条件。当器件要安装在控制盘面上时,在试验中安装时应包括控制盘,或在组件试验时(见 8.5)已监测获得器件安装位置的反应,此时可将器件直接安装到地震台上以模拟在役激励。

某些类型的设备(如带插销门的机柜或控制盘)会产生撞击、颤振、震颤或碰撞,这些撞击会传导到整个设备并导致在比地震台初始输入频率高得多的频率处的加速度水平增加,从而使低频输入产生对安装在设备中的器件造成不利影响的高频反应,这种现象在器件鉴定中应加以重视。当发生这种情况时,应优先考虑进行组件试验,或对组件试验中获得的器件安装位置的要求反应谱应通过把运动时程分析到足够高的频率来考虑时程中撞击的影响,然后使用 8.6 中描述的方法,或任何其他经证明是合理的方法进行器件试验。当存在这样的撞击时,还应采用其他措施以证明用于器件试验的时程在持续时间、幅值和频率成分方面是保守的。证明有合适频率成分的方法包括将试验反应谱或功率谱密度曲线绘制到更高的频率处。

## 8.5 组件试验

最好在模拟运行工况下对大型复杂组件进行试验,并对其功能进行监测。然而,对于诸如作为许多系统一部分的控制盘,同时模拟所有工况往往不太现实。因此,在不运行的状态下对这些装有实际或模拟器件(包括非安全有关器件)的设备进行试验是可以接受的。试验应通过在满载激励时直接测量,或通过确定从组件安装点到器件安装点的传递函数来确定器件所在位置的振动反应。器件在组件中所在位置产生的振动应小于器件鉴定时的振动。不论哪种情况,8.6中的试验方法或其他经证明是合理的方法都可使用。试验之后应对组件进行检查以验证其完整性。任何未经试验或监测的安全相关部件是否可接受应另行通过独立的鉴定进行验证。

注:当对装有模拟器件的组件进行试验时,由于组件的过载,试验器件位置上的试验反应谱可能较大,这是因为台面运动实际上并不总是能够做到紧密地包络所有的要求反应谱。

## 8.6 试验方法

### 8.6.1 总体要求

#### 8.6.1.1 概述

目前的试验方法一般分为三大类,它们为验证试验、通用试验(见 8.2)和易损度试验(见 8.3),而能很好地模拟假想地震环境的运动有两类:单频和多频。选择的方法将取决于预期振动环境的特性,一定程度上也取决于设备的特性。对具体应用而言,选择合适的试验方法和技术要求是至关重要的。

一般来说,验证试验或通用试验的地震模拟波形,或上述两者应满足如下要求:

- 根据要求用单频或多频输入,生成能够紧密地包络要求反应谱的试验反应谱,从而保守地(但不过分保守)提供地震试验台运动;
- 有一个等于或大于要求反应谱零周期加速度的峰值加速度;
- 不包括超过要求反应谱零周期加速度渐近线频率的频率成分;
- 有一个符合 8.6.5 要求的持续时间。

还应考虑到按 8.6.6 所述选择单轴或多轴试验及按 GB/T 12727 的规定确定裕度。

#### 8.6.1.2 人工拓宽反应谱

对楼面运动,单一的结构共振可能在要求反应谱中起主导作用。对这种情况,通常将要求反应谱拓宽以涵盖建筑结构频率的不确定性。这就人为地使要求反应谱增加了保守性,因为反应峰值仅在特定频率下发生,不可能在整个拓宽的频带内都发生。

在这种情况下,可接受的试验方法如下:

当拓宽区域的中心频率是  $f_c$  时,试验可在这个频率下进行,另外还要在  $f_c \pm \Delta f_c$ ,  $f_c \pm 2\Delta f_c$ , ...,  $f_c \pm n\Delta f_c$  频率下进行,其中  $\Delta f_c$  对应于 1/6 倍~1/3 倍频程间隔以包络整个频率拓宽区域。在每个单独试验期间产生的试验反应谱应与原来的窄频带反应谱有相同的形状和宽度。技术规格书应清楚地说明存在这种情况,以避免与由真正的更宽的频率运动要求产生的要求反应谱发生混淆。

#### 8.6.1.3 试验反应谱分析

应使用经证明是合理的分析方法或反应谱分析设备对试验反应谱进行计算,且计算应覆盖所研究的整个频率范围。推荐采用 1/6 倍频程或更窄的频率带宽计算试验反应谱。任何在分析频率范围内对加速度信号进行的滤波应加以明确。

#### 8.6.1.4 阻尼选择

通常在几种阻尼水平下计算要求反应谱。在可行的情况下,推荐在试验中选用5%阻尼的要求反应谱。试验中阻尼的应用如6.3.2中所述。

#### 8.6.2 单频试验

##### 8.6.2.1 概述

当地震地面运动被某一主要结构模态滤波时,最终的楼面运动是由一个主要频率组成的。在这种情况下,一个持续时间很短的稳态振动对设备来说就可能是一个保守的输入激励。此外,单频试验还可用来确定(或验证)设备的共振频率和阻尼。如果能表明设备没有共振,或仅有一个共振频率,或共振间隔很宽并且没有相互干扰,或能用其他方法证明单频试验的合理性,则单频试验可用于设备试验。

单频试验的试验反应谱由单个频率试验得到,除非必要,它不应由几个独立的单频试验反应谱进行组合。

##### 8.6.2.2 试验输入运动的生成

###### 8.6.2.2.1 概述

对于所采用的任何波形,地震台运动在试验频率下产生的试验反应谱加速度至少等于要求反应谱所给的值。除了低频区低于零周期加速度(ZPA)的要求反应谱(RRS)值需满足外,输入加速度峰值应至少等于要求反应谱的零周期加速度。有关试验要求的输入轴数量的导则见8.6.6。对于多于一个主要频率的柔性设备且当要求反应谱具有多频宽频带反应谱特性时,要满足8.6.2中的条件可能会很困难,尤其是试图证明何种振型不发生相互作用从而减少设备的地震破坏是不现实的。当发生这种情况时,可按照8.6.2.2.3,在用于确定设备抗震鉴定的振动条件下,根据设备的预期性能或损坏情况而采用单频试验。

###### 8.6.2.2.2 只用结构完整性评价的设备性能

当设备的性能可仅由结构完整性进行评价时(例如,在结构和静止式电气器件或非能动器件中的应力和应变),设备中的最大反应起决定作用,而不用考虑激励的确切振动特性或频率成分。地震台的运动应在试验频率处产生一个等于规定的要求反应谱峰值1.5倍的试验反应谱值(除非有理由证明可采用更小的值),这就保守地考虑了多振型组合的反应。上述因子的选择取决于要求反应谱的形状,对于宽带要求反应谱,可选用最大值(1.5)。此时,试验反应谱不需要完全包络要求反应谱。另一个选项是,当试验能确定地激发设备所有的共振反应时,可采用单频试验,只要其反应谱能在设备共振点包络要求反应谱就够了。

###### 8.6.2.2.3 用于结构完整性和可运行性评价的设备性能

当设备的性能应由结构完整性和可运行性进行综合评价时(例如,在电气机械器件中的继电器或仪表),需由确切的激励振动特性和频率成分导致的设备反应来决定设备抗震能力。应提供证明证实,1.5的因子(见8.6.2.2.2)对考虑多振型组合反应和产生一个能模拟多频运动对设备性能产生影响的振动运动是足够的。因子的选择取决于设备的性质和要求反应谱的形状。对于宽带要求反应谱,可采用最大值(可能要求大于1.5的因子)。此时,只要能给出合适的证明,试验反应谱不需要完全包络要求反应谱。试验应在设备所有共振点上和以不超过1/3倍频程的间隔,一直到截止频率为止的频率下进行,除

非其他做法经证明是合理的。另一个选项是,当试验能确定地激发设备的所有共振反应时,可采用单频试验,只要其反应谱能在设备共振点包络要求反应谱就够了。

### 8.6.2.3 连续正弦波试验

在任何频率下的试验应由在所关注的频率和幅值下施加连续正弦运动组成,其总持续时间及在任何频率下可能产生的低周疲劳至少达到 8.6.5 给出的值。试验频率为被试验设备共振点的频率和其他如 8.6.2.2 给出的频率。最大加速度对应于设备进行鉴定的加速度,并且应至少产生如 8.6.2.2 中给出的最大反应加速度。

### 8.6.2.4 正弦拍波试验

在任何频率下的试验应由一系列至少 5 个正弦拍波组成,拍波之间有足够的时间间隔,使设备不发生反应运动的明显叠加。如图 2 所示,正弦拍波由所关注频率和幅值下的正弦波组成。每个正弦拍波应用若干个运动循环(通常为 5 个或 10 个)组成,以产生符合 8.6.2.2 所给准则的试验反应谱加速度。试验频率为被试验设备共振点的频率和其他如 8.6.2.2 给出的频率。试验总持续时间和在任何频率下可能产生的低周波疲劳应至少为 8.6.5 给出的值。

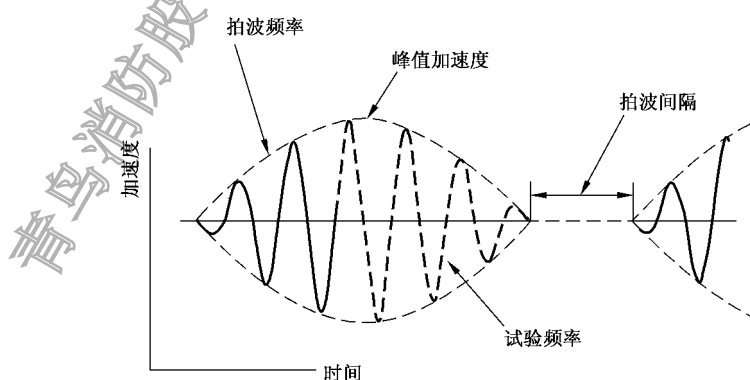


图 2 正弦拍波

对一个给定的拍波峰值,试验的保守程度将随每拍循环数的增加而增加,直到保守性接近 8.6.2.3 正弦波的保守性为止。

注 1: 在本标准中,正弦波的幅值代表了加速度,而被调制的频率代表了所施加地震激励的频率。

注 2: 拍波通常认为是在频率上稍有差别的两个正弦波相加的结果,拍中频率是两个正弦频率的平均值,拍频为两个正弦频率差的一半。尽管如此,在本标准中应用时,正弦拍波为在拍波间有间歇的调幅正弦波。

### 8.6.2.5 衰减正弦试验

在任何频率下的试验应由在所研究的频率和幅值下施加至少 5 个衰减正弦波组成,正弦波之间有足够的时间间隔,使得不发生设备反应运动明显的叠加。试验总持续时间和在任何频率下可能产生的低周疲劳应至少为 8.6.5 给出的值。衰减正弦波由一个幅值是指数衰减的单频组成,如图 3 所示。所研究的试验频率为被试验设备共振点的频率和其他如 8.6.2.2 给出的频率。正弦波的峰值加速度对应于设备进行鉴定时的加速度,并且应至少产生如 8.6.2.2 给出的最大反应加速度。对于给定的幅值,保守程度随衰减率的减小而增加,直至保守性趋于 8.6.2.3 正弦波的保守性为止。

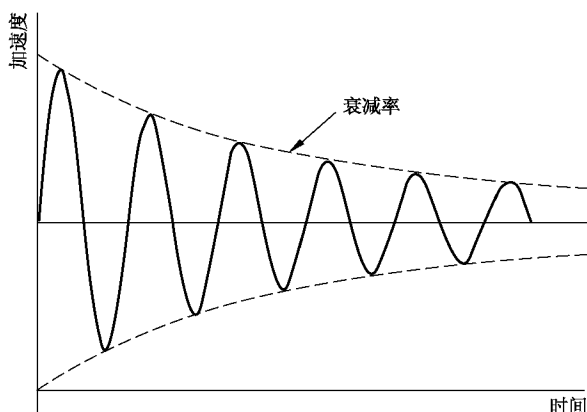


图3 衰减正弦波

### 8.6.2.6 正弦扫描试验

在这个试验中,对设备施加一个连续变频的正弦输入,频带应覆盖设备鉴定的范围,包括设备共振点和如 8.6.2.2 中给出的其他频率。就产生的最大反应而言,其保守性非常接近连续正弦波试验。所得到的稳态共振反应的百分比取决于扫描速率和设备阻尼,对每分钟两倍频程或更低的扫描速率以及典型的设备阻尼,该百分比超过 90%。在试验范围内的每个频率上分别获得最大反应。因此,这个试验对所有的共振频率进行了最全面的搜寻,故它常采用如  $0.2g$  ( $1.96 \text{ m/s}^2$ ) 的低输入水平进行探查试验。

为了鉴定设备,正弦扫描试验总的持续时间和在任一频率下的等效最大峰值循环应至少为 8.6.5 给出的值。最大加速度对应于要鉴定设备的加速度,并应至少产生 8.6.2.2 给出的最大反应加速度。试验反应谱不是整个频率扫描的合成,而应是中心为任一个单频的反应谱。

### 8.6.3 多频试验

#### 8.6.3.1 概述

已知地震地面运动包含了直到截止频率的多频能量成分,典型的截止频率大约为 33 Hz,具体取决于厂址条件,对于部分区域可能达到 100 Hz。当这个频带较宽的地面运动没有被建筑物或土壤,或两者强滤波后,对设备起作用的最终楼面运动仍将保留原有的宽带特性。而且,即使存在强滤波作用,但它是两个或多个不同的建筑物振型引起的,故楼面运动仍是主要频率为建筑物或土壤各个自振频率(或两者)的复合波形。在这些情况下,多频试验用于抗震鉴定。规定的地震台激励包括随机或复合时程,这取决于需模拟的要求楼面运动的频率分布。其目的是产生一个地震台运动,以合理地模拟特定地震下假设在设备安装处产生的地震运动。

多频试验用来提供宽频带试验运动,它特别适用于使多自由度系统所有模态同步产生反应。多频试验可以更真实地模拟地震运动,而不会产生过度的保守性。

有许多适用的波形可作为试验运动来模拟设备安装处的地震激励,使用这些不同波形的几种多频试验见 8.6.3.3~8.6.3.5。一般来说,8.6.3.2 所述试验输入运动形成的准则可用来论证试验的适用性。

#### 8.6.3.2 试验输入运动的生成

##### 8.6.3.2.1 对试验输出运动的通用要求

对于采用的任一波形,应调节地震台运动使其:

- a) 试验反应谱在所设计的特定试验频率范围内包络要求反应谱；
- b) 为了对试验反应谱和要求反应谱进行比较,使用在 6.3.2 和 8.6.1.4 给出的适当阻尼值计算试验反应谱(此阻尼值应等于或大于要求反应谱的阻尼值)；
- c) 地震台的最大峰值加速度至少等于要求反应谱的零周期加速度(有关零周期加速度测量的建议参见附录 E)；
- d) 总试验持续时间和可能产生的低周疲劳如 8.6.5 所述；
- e) 时程至少具有与要求反应谱放大区域频率带宽一样的频率成分；
- f) 时程波形是稳定的,即统计参数(例如频率成分和幅值概率分布)在整个试验中不发生明显的变化。

为了满足上述 a)~f) 各项要求,应表明试验波形的频率成分至少与要求反应谱放大区域的频率成分一样宽[低频端可除外,见 8.6.3.2.2 a)和 d)]。有几种方法可证明这一点,例如:

- a) 试验反应谱以相似的谱形状包络要求反应谱,使得在放大区域重要的谱峰值上产生相同的放大；
- b) 试验波形傅里叶变换的频率成分与要求反应谱的放大段一致；
- c) 试验波形功率谱密度的频率成分与要求反应谱的放大段一致。

还要求在试验波形的强震运动段具有稳定性,这可通过表明波形的频率成分/幅值随时间的变化在统计上恒定来证明(频率成分和稳定性的进一步解释参见附录 F)。

此外,可以采用适当频率范围内由人工加速度时程计算出的功率谱密度包络目标功率谱 80% 的方法进行检查,以验证试验反应谱具有合适的频率成分。

#### 8.6.3.2.2 对试验反应谱无法完全包络要求反应谱的特别说明

要求反应谱偶尔要求在最低频率处有高的加速度水平,这要求试验台面有很大的位移特性。试验反应谱包络要求反应谱的要求除下列情况外都需要满足:

- a) 共振搜索表明 5 Hz 以下不存在共振反应现象的情况下,只要求在 3.5 Hz 频率以上包络要求反应谱。但在 1 Hz~3.5 Hz 的范围内,应尽试验装置的能力维持激励。
- b) 在 5 Hz 以下存在共振现象时,要求在最低共振频率 70% 以上范围包络要求反应谱。或采用等效激励的方法,如正弦拍波进行等效试验,以包络该低频段的要求反应谱。
- c) 当不能证明在 5 Hz 以下没有共振反应现象或异常时,应满足低频包络到 1 Hz 的要求。
- d) 在任何情况下,3.5 Hz 或 3.5 Hz 以上不能包络要求反应谱都应加以论证。

在执行试验大纲时,试验反应谱可能偶尔不能全部包络要求反应谱。如果满足下列准则,可不考虑重新试验:

- a) 只要相邻的 1/6 倍频程处的点至少等于要求反应谱,并且相邻的 1/3 倍频程处的点至少高于要求反应谱 10%,试验反应谱的点可低于要求反应谱 10% 以内；
- b) 只要试验反应谱低于要求反应谱的点之间至少有一倍频程间隔,则最多可有 5 个如上一项那样的 1/6 倍频程间隔内的分析点小于要求反应谱 10% 以内。

#### 8.6.3.3 时程试验

可通过对设备施加一个模拟地震输入并经合成的规定时程进行试验。应证明地震台的实际运动与要求的运动一样严酷(或更严酷),可利用示波器或记录曲线,通过将台面运动时程与规定的运动直接比较,也可进一步通过将要求运动反应谱与台面运动的反应谱进行比较。采用反应谱比较时,用第 6 章给出的阻尼值先求出规定运动的反应谱(即要求反应谱),然后求得其试验反应谱能按 8.6.3.2 的准则包络

要求反应谱的台面运动。

需要注意的是,不同比较方法的敏感度有明显差别,因而对于不同的试验结果有不同的适用性。例如,当低频重要时,采用位移时程比较更合适;如果中频至高频(至截止频率)重要,则加速度比较或反应谱计算更为有用。

#### 8.6.3.4 随机运动试验

可通过对设备施加一个随机激励进行试验,其幅值在多频带内用手动或自动的方式进行调整,使用的单个频带的确切带宽由试验责任人确定。采用较宽的频带适用于地面层运动未被滤波的某些情况下。此外,当输入运动经建筑物滤波时,应采用很窄(即 1/6 倍频程)的频带。任何情况下都会涉及采用多个窄带信号的集合作为地震台的输入,调节这些信号的每一个频带,直到试验反应谱按 8.6.3.2 给出的准则包络要求反应谱为止。对模拟信号合成系统,多频带频率源可以是一个随机噪声发生器和多通道滤波器的组合,或是记录在模拟磁带记录仪各个通道上的多路信号,或是能计算地震台系统传递函数反函数及能用于产生试验台预期运动时程的计算机程序。

#### 8.6.3.5 复合运动试验

##### 8.6.3.5.1 概述

在许多情况下,要求的运动表现为地面运动被一个或多个建筑物或土壤反应(或两者)明显的滤波,相应的要求反应谱为在宽频范围内从中等到低的放大量,并具有与每个建筑物共振有关的高放大的窄带。对这些情况,使用随机运动试验(与各个窄带分辨率相同)可能要求一个不合理的高输入最大峰值来满足与建筑物共振有关的较高的放大量。允许通过合成得到一个复合信号,这信号由叠加在较低水平宽频带随机运动上的几个不同类型的各个窄带分量之和组成。这种方法提供了在不引入过大的零周期加速度水平的情况下,产生一个其试验反应谱按照 8.6.3.2 准则包络要求反应谱的试验台面运动的较大可能性。8.6.3.5.2~8.6.3.5.6 中描述了合成复合信号的几种典型方法,这些试验方法的每一种都应满足 8.6.3.2 的准则。

##### 8.6.3.5.2 带有正弦驻波的随机运动

为满足中等高峰值随机激励要求反应谱的需要,可能要求有一个不合理的高输入峰值。在这种情况下,首先合成一类似于 8.6.3.3 所述的宽带随机运动。对各个频带的水平进行调整,直到要求反应谱的大部分(或较低水平带宽段)被输入加速度峰值至少等于但不过分大于要求反应谱零周期加速度的试验反应谱包络为止。然后,在相应于要求反应谱尖峰的每个频率处加上正弦驻波,直到试验反应谱按照 8.6.3.2 给出的准则包络要求反应谱为止。正弦驻波的持续时间等于整个试验持续时间。当要求一个以上的正弦驻波频率时,所有频率应同时开始并且在整个试验进行的持续时间内保持连续(在人工拓宽谱的情况下,可应用 8.6.1.2 的准则,此时,可进行每次有不同正弦驻波频率的一系列试验,以覆盖频率拓宽的区域)。这种方法一般可为给定的窄带要求反应谱提供最大的放大量。

##### 8.6.3.5.3 具有正弦拍波的随机运动

除了用正弦拍波代替正弦驻波外,这个运动与 8.6.3.5.2 的类似。运动合成、试验持续时间和正弦拍波同时开始的相同准则均适用于这种类型的试验(对于人工拓宽谱的情况,可应用 8.6.1.2 的准则,此时,可进行每次有不同正弦拍波频率的一系列试验,以覆盖频率拓宽区域,见图 4)。在整个试验持续时间内对每个要求的频率都施加间隔的多个正弦拍波。每个拍波的周波数为可调整的参数,能将拍波调整到满足 8.6.3.2 包络准则的最好结果。每个拍波的最佳周波数可由图 5 确定,该图给出了每个拍波不

同周波数和阻尼下的共振放大倍数。

#### 8.6.3.5.4 多个正弦波的组合

这个运动由包括从设备共振频率到截止频率的不同频率的多个正弦波的和组成。典型的正弦波频率间隔为  $1/3$  倍频程或更密,以满足 8.6.3.2 的包络准则。所有正弦波应同时开始,并在试验持续时间内连续。每个频率应有单独的幅值和相位控制。当用许多不同频率的正弦波组合时,其结果接近宽带随机运动。

#### 8.6.3.5.5 多个正弦拍波的组合

除了在每个不同频率上使用一系列的正弦拍波代替正弦波外,这个运动与 8.6.3.5.4 的运动相类似。8.6.3.5.4 对试验频率、倍频程间隔、正弦拍波同时开始以及连续重复和试验持续时间的准则都同样适用于这种试验。如 8.6.3.5.3 所述一样,可对每个拍波的周波数进行调节以获得满足 8.6.3.2 包络准则的最佳结果。如多个正弦波进行组合的情况一样,如果用许多不同频率的正弦拍波进行组合,其结果接近宽带随机运动。

#### 8.6.3.5.6 衰减正弦波的组合

由多个衰减正弦波组合而成的复杂波形有时能用来产生一个有适当低的零周期加速度的中等带宽试验反应谱。信号分量的频率典型地应间隔  $1/3$  倍频程或更窄,以满足 8.6.3.2 的包络准则。衰减正弦波应在从  $0.5\% \sim 10\%$  的阻尼范围内有独立的衰减率控制,每个频率应有单独的幅值和相位控制。所有频率的信号应在整个试验持续时间内同时开始和连续再启动。应通过改变每个频率的衰减率和幅值使试验反应谱与要求反应谱的匹配最优化。合成的运动应能代表安全停堆地震的强震段。

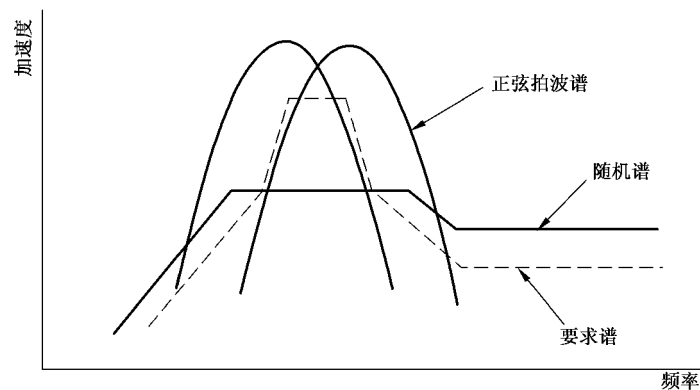


图 4 叠加正弦拍波的随机谱

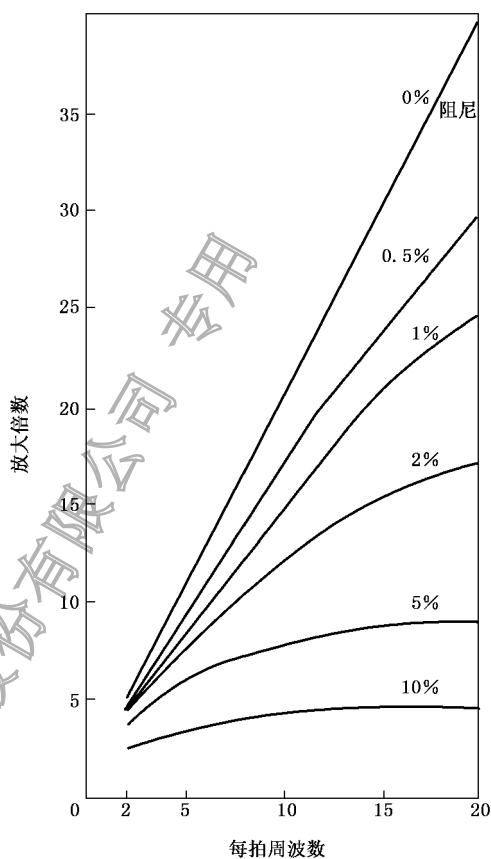


图 5 共振放大与每拍周波数的关系曲线

#### 8.6.4 其他试验

除了在 8.6.2 和 8.6.3 所描述的振动试验外,当其他振动试验同样能证明是合理且保守地模拟预期的地震环境时,这些试验可用来替代前面的试验。

应考虑下列因素以证明鉴定设备所采用的试验方法的合理性:

- a) 要求反应谱的带宽与试验反应谱的带宽,设备特性及其响应;
- b) 试验持续时间;
- c) 试验输入的峰值加速度和观测到的放大效应,也就是输入的频率分布;
- d) 设备的固有振型和振动频率;
- e) 设备的典型阻尼;
- f) 抗震能力水平;
- g) 低周疲劳可能性;
- h) 在任何情况下,试验反应谱应按 8.6.3.2 包络要求反应谱。

#### 8.6.5 试验持续时间和低周疲劳可能性

为了考虑振动积累作用和低周疲劳效应,应规定输入试验波形的持续时间和引起疲劳的特性。

多频试验中,对试验稳定段的要求规定了所采用多频波形的强震运动段的时间(至少为 15 s)。对于单频试验,持续时间为所有不同单频试验各个持续时间(不包括拍波之间的间歇)的总和。

注:在任一单频下的单独试验持续时间宜足以产生一个符合 8.6.3.2 准则的试验反应谱加速度。

试验波形引起疲劳的可能性应至少等效于设备安装处地震反应运动强震运动段可能引起的疲劳。多频试验的等效性可通过表明试验波形与地震反应运动波形有相同的稳定性,或当激励一个给定结构的共振频率时试验波形产生相同的等效最大峰值应力循环次数来保证。

对试验持续时间和最大峰值应力循环等效次数的进一步讨论参见附录 C。

## 8.6.6 多轴试验

### 8.6.6.1 概述

地震地面运动以随机方式在各个方向上同时发生。尽管如此,根据试验目的,允许采用单轴、双轴和三轴试验。如果用单轴或双轴试验来模拟三维环境,考虑到此时在其他正交轴方向上没有输入运动,它们应采用保守的方法。要考虑的一个因素是输入运动的三维特性,其他因素是设备的动态特性、柔性或刚性以及空间相互耦合反应的程度。进行单轴和双轴试验应对有明显相互耦合作用的设备施加合适的地震激励,而对相互耦合作用不明显的设备尽量降低附加的试验水平。为了暴露可能的故障模式,应按 8.6.6.2 和 8.6.6.3 所述的几个方向进行单轴和双轴试验。

### 8.6.6.2 单轴试验

单轴试验应保守地反映出在设备安装位置上的地震激励,并考虑在其他正交方向上没有运动的情况。当能表明输入运动主要是单方向时,或能表明要进行试验的设备在三个正交轴的每一根轴上的反应都相互独立时,可采用单轴试验。当器件正常安装在放大一个方向上运动的控制盘上时,或器件受约束只在一个方向上产生运动时,或其一个方向上产生应力的位置不同于其他任何一个正交方向所产生的应力时,就属于前者的情况。当设备所有轴之间相互耦合很小或能给出其他证据时,属于后者情况。

对单轴试验,允许按顺序在每一轴向进行要求的运行基准地震试验,随后进行安全停堆地震试验,或采用任何其他经证明适当地考虑了运行基准地震的老化效应的合理方法。

### 8.6.6.3 双轴试验

双轴试验应保守地模拟设备安装位置的地震激励。双轴试验应考虑对两正交轴上有独立的输入运动、在另一正交方向上没有运动的情况,或如果使用非独立输入运动,但在两个正交方向上没有运动的情况。要考虑的因素包括输入运动的方向特性和设备的相互耦合。双轴试验应在水平轴和垂直轴方向同时输入的情况下进行,水平轴的选择可包括主轴或为通过在设备最脆弱方向上进行试验以暴露可能的故障模式所选择的其他方向。

优先选用相互独立的随机输入,且试验应分两步进行,在第二步中将设备绕垂直轴旋转  $90^\circ$ 。为了提供统计上相互独立的模拟运动,台面时程的相干系数应采用至少 12 个数据样本进行计算且小于 0.5,或对所有时间延迟,可使用绝对值小于 0.3 的相关系数(详细可参见附录 B)。允许第一步先进行要求的运行基准地震,随后进行安全停堆地震试验,第二步按同样顺序进行,或采用任何其他能证明适当地考虑了运行基准地震老化效应的合理方法。

在不使用相互独立的随机输入时,应进行四次试验:

- a) 同相输入;
- b)  $180^\circ$  反相输入;
- c) 设备绕垂直轴旋转  $90^\circ$ , 同相输入;
- d) 设备方向与 c) 项相同,  $180^\circ$  反相输入。

允许按 a) 进行要求的运行基准地震试验,随后进行安全停堆地震试验,再按 b)、c) 和 d) 以同样的顺序进行试验,或采用任何其他能证明适当地考虑了运行基准地震老化效应的合理方法。

#### 8.6.6.4 三轴试验

在进行三轴试验时,应使用能在所有三个正交方向上提供相互独立运动的试验模拟装置来完成。为了提供统计上相互独立的模拟运动,台面时程的相干系数应采用至少 12 个数据样本进行计算且小于 0.5,或对所有时间延迟,可使用绝对值小于 0.3 的相关系数(详细可参见附录 B)。

#### 8.6.7 管线安装设备

对有可运行性要求的管道支承物项(如仪表和控制部件、器件、采暖、通风和空调调节风门驱动装置、阀门执行机构及其附加功能组件)的抗震鉴定需要特殊考虑。在为这些设备确定抗震鉴定大纲时,应认识到对于安装在管道上的部件,最苛刻的地震载荷条件是由部件所处管道或风管的反应引起的。这最苛刻的条件为部件提供了一个单频为主的输入运动,此频率即部件附近管道系统的自振频率。

下述试验方法用于包络电厂管线安装设备安全停堆地震的抗震鉴定要求。

管线安装设备应在设备共振频率和从 2 Hz~32 Hz(或 64 Hz,或如果需考虑流体动力载荷时的其他截止频率)频率范围内,以 1/3 倍频程增量经受一系列的单频试验。在每个试验频率下,输入幅值应对应于管道系统设计人员规定的水平。如需考虑高于 32 Hz 的频率,则应以 1/6 倍频程增量进行单频试验。该幅值可与方向无关,因此,应以相同的频率和加速度,在三个正交轴的每一个轴向分别施加运动。应表明试验的幅值仅取决于所研究的频率,能采用的典型方法包括使用带通或示踪滤波器。在每个频率下的试验持续时间应等于确定完整的设备可运行性所需要的时间或 15 s,取两者中较长的值。

试验规程应包含对加在设备上的接管载荷进行评定。

### 8.7 试验文件

试验文件要求见第 11 章。

## 9 分析和试验相结合

### 9.1 概述

某些类型的设备尺寸较大、结构复杂,无法单独通过分析或试验进行鉴定。诸如电动机、发电机和多联设备机架和控制台等大型设备,由于振动试验装置的限制,实际上不可能进行整体或整机试验。

### 9.2 模态试验

#### 9.2.1 概述

模态试验和分析可用于对不能用第 8 章的方法进行鉴定的大型和复杂系统的鉴定。模态试验是一种确定共振频率、振型的有效方法,并且通常能得到模态阻尼的下限。模态试验作为复杂结构模型验证的一部分,可用于将分析中确定的频率和振型与复杂系统测得的结果进行比较。现在通常使用两种不同的模态试验方法,主振型法和传递函数法。主振型法将激振器装在结构上,每一次对结构激励出一个振型。传递函数法是在一个特定带宽内同时激励出所有的结构振型,计算激振点和反应点之间的传递函数,采用专用模态分析软件确定该带宽内的共振频率、阻尼和振型。

#### 9.2.2 主振型法

用模拟实际使用安装条件的设备,将便携式激振器联接到事先由分析确定的结构最佳激振位置上,结构上应安装具有足够带宽的加速度传感器、位移传感器或其他运动传感器以确定结构反应。然后用覆盖所研究频率范围的慢扫描正弦信号激励结构。

### 9.2.3 传递函数法

传递函数法是一种基于数字信号处理技术和快速傅里叶变换算法获得结构输入和反应位置之间的传递函数进行模态试验的方法。传递函数用脉冲、正弦扫描或主振型方法中使用的激振器产生的随机振动对结构进行激励,通过测量输入和相应的反应,并将反应的傅里叶变换除以输入的傅里叶变换获得。通过计算每个节点上的传递函数,拟合后进行模态参数识别,从而获得结构的频率、振型等模态参数。

### 9.2.4 利用试验数据的分析方法

利用试验数据可获得结构的动态特性参数,如共振频率、振型和振幅,并用于验证前述设备分析模型的计算值。测得的振型还可直接用于反应谱或时程分析中,尤其是所测到的参与振型各点之间的变形能按比例换算到规定反应谱中的模态变形。最后,数学方法可用于从测量数据中求出模型参数,如能通过一系列公式由试验数据求出质量和刚度矩阵。上述质量和刚度矩阵确定了可再现所测特征反应数据的结构数学模型。

如果结构反应与激励水平相关,即呈现明显的非线性,则在使用低水平激励试验获得的测量结果时应注意其适用范围。

### 9.2.5 鉴定

分析和试验相结合的方法能较好对安全级设备进行鉴定。这些方法可用于确定部件所在位置的输入反应,部件的鉴定通过等于或大于设备整体试验所确定的部件所在位置的反应进行。

## 9.3 对相似设备的外推

### 9.3.1 概述

没有正当理由时不推荐仅通过分析对复杂设备进行鉴定,这是因为建立精确的复杂设备模型并获得适用的模型参数(见第7章)往往是很困难的。但如果存在与做过鉴定的设备类型相似的设备,仅在尺寸上或在组件和结构中有一些不同的特定器件,对已鉴定的组件或结构的每一个变化都进行试验既不切合实际,也不必要。对此可以采用试验和/或分析的方法对相似设备进行鉴定。对于相似设备使用经验法进行外推可参见第10章和附录G。

### 9.3.2 试验方法

设备实施如8.6所述完整的抗震试验和8.1.5所述探查(共振搜寻)试验,都应测量并记录整个设备的模态频率、阻尼和反应数据。

### 9.3.3 分析

当能表明在所研究的频率范围内没有共振时,可按刚性设备进行分析(见7.3)。另外,应确保对原设备的变更不会产生以前没有的共振。

当设备不是刚性的时,应用7.2的方法或其他合理的手段分析变更的影响。

试验结果结合前面的分析便可对相似设备的模型进行调整,以考虑受影响的参量和对相似设备模态频率的分析进行修改。最后可得到能用于鉴定相似设备的经过验证的分析模型。

### 9.3.4 设备相似性

#### 9.3.4.1 激励

激励的相似构成了相对于设备安装处运动的参数相似,如谱特性、持续时间、激励轴方向和测量反

应的位置。理想情况下,这些参数应与实际激励相同或比已确定相似性的激励更保守。

#### 9.3.4.2 结构系统

对设备组件,或器件,或两者,或子组件(包括安装)应根据要鉴定新设备的构造确定设备的相似性。对成套组件,相似性可通过制造、型号和系列号比较以及动态特性和结构进行论证。

由于通过相似性方法进行鉴定的最终目的包括对预期动态反应的考虑,故可使用合理的方法通过设备系统机械结构参数的研究确定结构动态特性的相似性,这可通过主要共振频率和振型的比较来完成。这些动态特性取决于下列参数,如:

- a) 设备的结构尺寸;
- b) 设备重量、重量的分布和重心;
- c) 设备结构载荷传递特性和抗震刚度;
- d) 确保结构完整性和边界条件的设备基础锚固强度和刚度;
- e) 设备与邻近物项或联接件(如电缆和导管)的接口。

上述所列机械结构参数的相对差异需要加以限制,以保证设备组件之间的相似性。应保证设备与以前已鉴定设备的差异不会改变用作相似性比较的已鉴定物项的动态反应特性,且不产生新的机械故障。同时,保证已鉴定设备的约束和限制对需鉴定设备同样适用。

对于能通过表明单个安全器件在地震期间能正常工作来论证抗震鉴定的设备,可考虑采用器件或部件相似性评定的方法。机械结构系统的相似性应由各个器件的相似性来确定。在这种情况下,相似性判断在于对动态特性、锚固件和机械或电气运行原理(或两者)的详细比较。已鉴定设备和所研究设备之间具有相似的设备性能应根据机构结构参数的相似性才能证明。而当复杂器件存在明显的差异时,要通过分析来证明相似性是不可能的。此时,试验是优先选用的方法。

#### 9.3.4.3 安全功能

被鉴定设备应在地震期间和(或)震后能执行其安全功能。地震期间的安全功能与震后功能可以相同,也可以不同。因此,每次鉴定中对地震期间和(或)震后的安全功能都应明确。应在文件中提供鉴定数据,以对每次试验中的安全功能论证给予支持。当地震期间要求有能动功能或不误动作时,应提供鉴定数据作为鉴定设备执行其功能的可靠证据。

### 9.4 冲击波试验

按照相关标准要求,在实验室进行的冲击波试验使设备承受强脉冲冲击载荷(加速度)。没有附加振动试验的冲击试验不是合适的地震模拟试验,除非这些加速度具有足够高的幅值(远高于地震水平)和足够的持续时间。由于试验的首要目的是验证设备的抗震性能,使用冲击数据仅提供被试设备抗震性能的近似情况,这是因为冲击试验和抗震试验在频率成分和持续时间上有较大的差别。

### 9.5 多联机柜组件的外推

在许多情况下,由于试验装置尺寸上的限制,对相似机柜构成的多联机柜组件进行试验是不现实的。不经过适当论证,单一机柜或少量相联机柜的鉴定不一定能外推到互相联结成一列的机柜阵的鉴定。这是因为:

- a) 在一列中的单个机柜可能有不同的惯性载荷或质量分布,或不同的结构刚度,或两者皆有;
- b) 相联机柜可能表现出不同的动态反应,例如与原来鉴定过的少量相联柜相比有不同的扭转振型;
- c) 不同安装位置部件的反应可能受到影响。

9.3 中给出的方法可用于论证通过单一机柜或少量相联机柜的试验进行外推来鉴定一组机柜阵。

## 9.6 其他试验和(或)分析

除 9.2~9.5 外,分析还可用于:

- a) 解释试验期间未预期的性能;
- b) 获得对设备动态性能更好的理解,以便能确定合理的试验方法;
- c) 在试验之前获得预期反应的大小。

## 10 经验

通过与已经历地震或抗震试验的参考设备的经验数据进行比较(必要时补充分析)的方法可进行设备抗震鉴定。使用经验鉴定并不适用于所有情况,运用经验数据进行抗震鉴定有相应的限制条件。附录 G 提供了利用参考设备经验数据进行抗震鉴定的两种方法的导则及其限制条件。

需要指出的是,地震经验数据得到的设备抗震能力会明显低于通过抗震试验得到的抗震能力。这是因为根据附录 G 确定的地震地面运动比地震台试验得到的地震加速度要小得多。

## 11 文件

### 11.1 概述

设备的抗震鉴定文件应包括鉴定大纲/规程和鉴定报告,分别见 11.3 和 11.4。该文件应证明设备在经要求的地震运动时能执行其安全功能。

注:确定为参考文件的产权数据文件宜可备查。

### 11.2 技术条件

抗震鉴定需明确规定被鉴定设备的技术条件。这些技术条件应包括:

- a) 设备结构清晰的描述、型号、图号和出厂号、技术规格等;
- b) 被鉴定设备的边界和范围,例如:包括哪些输入、输出连接件,包括或不包括哪些安装件等;
- c) 规定的运行条件(载荷);
- d) 老化条件。

### 11.3 鉴定大纲或规程要求

设备鉴定大纲或规程应提供如下信息:

- a) 设备结构描述;
- b) 安全有关器件和电路的标识及安全停堆地震期间和(或)之后它们的安全功能;
- c) 可调整器件的典型运行整定值(或范围);
- d) 所有接口连接的设备安装详图;
- e) 水平和垂直的要求反应谱,包括合适的阻尼值并标明人为拓宽的区域(见第 6 章和 8.6.1.2);包含不同位置要求反应谱的通用技术规格书应标明哪些部分适用于给定设备;
- f) 在没有给出要求反应谱时,提供要求功率谱密度或时程;
- g) 要求的强震运动持续时间;
- h) 要求的运行基准地震和安全停堆地震的次数和幅值;
- i) 设备执行其安全功能时所处的环境;
- j) 适用的载荷和接口要求;
- k) 设备鉴定及其装配和安装的验收准则;

- l) 变形要求(如有);
- m) 试验、分析、或基于经验方法的特殊要求;
- n) 裕度要求(见 GB/T 12727)。

一旦规定了这些要求,就可以确定鉴定将通过分析、试验、经验或其组合中的哪种方法来实现。

## 11.4 抗震鉴定报告

### 11.4.1 格式要求

抗震鉴定报告应提供下列信息:

- a) 鉴定设备的标识。对复杂设备,标识每一个安全级部件,并且规定部件的功能要求。如果采用不同的鉴定方法,鉴定文件包应包括或注明参考原始的试验、分析、或基于经验或其组合的各类报告。文件应包括便于审查所需要参考的所有图纸、材料清单、说明书等。
- b) 要求反应谱水平。
- c) 所用鉴定试验、分析方法、使用的经验数据和结果(包括异常及其处理结果)的详细汇总情况。当设备部件或组件分开进行鉴定时,也应概述其程序和步骤。
- d) 鉴定技术要求文件与鉴定结果的比较以及结论。
- e) 报告批准人的签字和日期。

根据鉴定方法的不同,报告应提供 11.4.2~11.4.5 要求的补充信息。

### 11.4.2 分析

在进行分析时,所使用的方法和数据及所考虑的故障模式应按熟悉该分析的人员便于核查的方式给出。应清楚地规定边界条件,包括锚固和任何其他接口。报告中应包括或注明支持性能能力描述所需的输入/输出数据和所进行的任何对数学模型的验证试验,也应包括接口连接处的支承结构反力。

应有计算机程序在所装硬件环境下能有效运行的证明,并指明使用的计算机程序、选用的功能模块、版本号、日期和操作系统。

### 11.4.3 试验

如果鉴定采用试验的方法,抗震鉴定报告应包括下列内容:

- a) 对要鉴定的设备:
  - 1) 被试设备的标识(包括器件);
  - 2) 被试设备的功能要求;
  - 3) 被试设备的整定值和限制条件(视具体情况而定)。
- b) 试验装置的信息包括:
  - 1) 位置;
  - 2) 试验设备和标定。
- c) 试验方法和程序,包括对可运行性的监测和验收准则。
- d) 设备安装详图,包括所有接口连接。
- e) 试验数据(包括性能验证、试验反应谱曲线、时程、功率谱密度或傅里叶分析、必要时的相干性检查、运行基准地震和安全停堆地震次数、持续时间等)、使用的多频试验类型和对应于试验反应谱的输入运动加速度时程。一次试验至少应提供三个激励方向各自安全停堆地震时的试验台运动时程。
- f) 试验结果和结论,包括任何异常的说明。

设备可运行性的评定应依据预先规定的验收准则进行。当试验失败,或试验中观察到异常情况时,

为使试验满足要求而采取的任何对准则的修改或调整以代替重新试验的行为,在没有正当理由时都是不可接受的。试验期间一旦出现异常,均应在报告中加以记录。当设备没有因为异常而采取改进措施时,则继续使用该设备应论证其合理性,并且论证应和设备鉴定报告一起归档。在试验期间进行的任何设备整修应在试验报告中详细记录,并论证一致性。对于设备维持要求的抗震鉴定性能而言,该数据是设备震后现场维修检查和程序的一部分。

#### 11.4.4 分析和试验相结合的方法

如果通过分析和试验或通过从相似设备外推来进行性能验证,抗震鉴定报告应包含以下内容:

- a) 参照的分析和试验相结合具体方法;
- b) 有关设备的说明;
- c) 分析数据;
- d) 试验数据;
- e) 结果合理性论证。

当由相似设备进行数据外推时,需要有关设备之间差异的说明。说明时应包括这些差异不会使抗震性能降低到验收准则以下(可能需要一些补充的分析或试验)的证明和补充的支持性数据。

#### 11.4.5 经验

##### 11.4.5.1 参考数据

基于经验鉴定的参考数据文件应满足第 10 章的要求并参见附录 G,包括如下内容:

- a) 经验运动特性(可参见 G.1.2 和 G.2.2);
- b) 地震经验谱(EES)或试验经验谱(TES)的生成(可参见 G.1.3 和 G.2.3);
- c) 参考设备组的特性。

参考数据可为被鉴定设备特有的,也可以是参考设备所包络的通用数据。

地震经验数据的文件记录应包括审查、检查结果,或地震发生后的即时口头记录,以证明在地震发生过程中和发生后,在对设备进行任何修理和调整前,参考设备能执行其安全功能。

为确定文件的可靠性和可应用性,对从过去地震得到的设备文件应特别的注意,因为这些文件可能是在经历地震事件后很长一段时间才成文的。这些数据的使用和验收基准应在鉴定报告中清楚地注明。

试验经验数据文件应包括抗震鉴定试验报告的审查结论,该报告应包括但不仅限于设备类型标识、加工和型号、试验输入运动、安全停堆地震反应谱、运行基准地震反应谱和安全功能等所需要的数据。

文件应包括材料、零件、部件的标识以及对参考设备特性的修改。

文件应记录故障的影响,且鉴别已找出的禁止特征的影响。文件应包括参考设备的故障、修理和运行状态的记录。

##### 11.4.5.2 待鉴定设备的鉴定

待鉴定设备的抗震鉴定文件,应遵循抗震鉴定报告的要求,并包括如下内容:

- a) 用于待鉴定设备抗震鉴定的 11.4.5.1 的参考数据的参考文件;
- b) 用于证明待鉴定设备满足要求(可参见 G.1.5 或 G.2.5)的鉴定文件。

文件应证明待鉴定设备符合参考设备组的范围规则和禁止特征,并明确参考设备和待鉴定设备之间的差别。为证明这些差别不会使抗震能力降低到验收准则以下,可能需要补充分析或试验。文件应证明参考设备能在等于或严于待鉴定设备的条件下执行其要求的功能。

## 附录 A (资料性附录)

### 抗震分析中典型电气设备阻尼比推荐值

#### A.1 概述

电气设备是由多个部件组成的复杂设备,其阻尼值与设备的每一个部件都有关系,在确定设备阻尼值时存在诸多不确定因素,因此在分析中常常在所研究的频率范围内采用一个综合的阻尼值。长久以来,核工业界一直致力于不同形式的研究和测试,结合既有的数据、专家判断以及其他可用信息,以预估常用设备类别的典型阻尼值。过去 30 年间,核工业界在众多专业会议和许可项审评过程中予以讨论,形成了如下应用在抗震分析中所推荐的典型设备阻尼值。需要特别注意的是,以下推荐值仅适用于抗震分析中阻尼值的选取,对于采用抗震试验进行鉴定的设备没有特别的参考价值。

#### A.2 布线系统阻尼值

表 A.1 提供了用于电缆桥架和配管系统的运行基准地震(OBE)和安全停堆地震(SSE)分析(如有必要)常用阻尼值,适用于反应谱和等效静力系数分析。表 A.1 指定的阻尼值适用于所有类型支撑,包括焊接支撑。

表 A.1 电气布线系统阻尼值

分类	阻尼值	
	SSE	OBE(>SSE/3)
电缆桥架系统		
最大填充率 <sup>a</sup>	10%	7%
空载 <sup>b</sup>	7%	5%
电缆自由移动受到约束 <sup>c</sup>	7%	5%
配管系统		
最大填充率 <sup>a</sup>	7%	5%
空载 <sup>b</sup>	5%	3%

<sup>a</sup> 依照核电厂设计细则,最大填充率与相应的阻尼值一起使用。  
<sup>b</sup> 备用的电缆桥架和配管(初始状态为空载)分析时使用空载工况对应的阻尼值。当采用备用的电缆桥架和配管进行电缆敷设时,重新分析计算。  
<sup>c</sup> 电缆桥架内的电缆自由移动受到约束时系统阻尼值宜减小。

#### A.3 电气设备阻尼值

表 A.2 提供了用于电气设备安全停堆地震(SSE)和运行基准地震(OBE)(如有必要)分析的常用阻尼值,用于能够通过分析进行抗震鉴定的非能动设备或仅需验证结构完整性的能动设备。

表 A.2 电气设备阻尼值

设备类型	阻尼值	
	SSE	OBE(>SSE/3)
电动机	3%	2%
焊接型仪表托架(结构支撑)	3%	2%
电气开关柜、配电盘、控制屏等(保护、结构支撑)	3%	2%

青鸟消防股份有限公司 专用

**附录 B**  
(资料性附录)  
**统计上独立的运动**

当在离开震中一段距离处进行测量时,可知三个正交地震运动分量(两个水平和一个垂直)在统计上是近似相互独立的。因此,用于多轴向运动分析或试验模拟的人工时程应具有类似的统计独立性。这可用相干函数或相关系数函数进行验证。

相干函数定义为两个时程的互功率谱密度幅值平方与这两个时程自功率谱密度的乘积之比。因此,它是以频率为变量的函数,对完全独立的信号,其值为零;对完全相关的信号,其值为+1。两个同时给定的运动记录之间的相干函数可通过将它们分成多个时段(数据样本),计算每个分段相应的相干性,并对结果进行平均获得。最后得到的相干函数估计值在很大程度上取决于所使用的独立时段数量和持续时间。一个模拟地震事件要求至少 15 s 的强震运动,可方便地分成至少 12 个这样的时段。对在统计上足够独立的情况,相干函数最大值宜小于 0.5。

对于平均值为零的时程曲线,相关系数函数定义为两个信号的互相关函数与这两个信号均方根(RMS)值的乘积之比。因此,它是以两个信号之间延时(或时间延迟)的函数,对于完全独立的信号,其值为零;对相关信号,其值趋向于+1.0。相关系数函数的计算通常要求进行到直至强震运动结束时的时间延迟。对在统计上足够独立的情况,其绝对值宜小于 0.3。

构筑物楼面运动的正交分量可能是、也可能不是统计上相互独立的,这取决于是否发生构筑物间的相互耦合。此时,运动的独立性程度可随频率变化而改变。

## 附录 C

(资料性附录)

## 试验持续时间和循环次数

仅有试验持续时间并不足以反映设备的低周疲劳能力。当结构中的应变范围倍增时,疲劳效应会按指数增加,例如增加到 6 倍。对低周疲劳敏感的应变范围为大约 100 或更少循环次数内发生的失效。因此,除了适当的持续时间外,一次保守的地震试验还要求地震输入能在设备中产生足够数量的强震运动反应循环。按照 8.6.5 的要求,输入波形宜在设备中任意点上产生反应,该反应所引起的总疲劳次数至少等效于设备安装处地震输入运动产生的总疲劳次数。在一个经滤波(例如构筑物楼面、机柜、管道等)的反应时程中强震运动循环取决于几个因素,例如共振(土壤、构筑物、设备)放大、阻尼及设备在构筑物中的位置。

典型的经滤波的反应会包含一个或多个最大峰值循环加上一系列较小的不同峰值循环,较小的峰值循环可用图 C.1(根据指数为 2.5 的 S/N 疲劳曲线)转换为等效的最大峰值循环。这个图绘制了为获得一个等效最大峰值循环次数所需要的较小峰值循环次数与最大峰值百分数的函数关系。可使用较小峰值循环次数和幅值的任意组合。例如为获得 5 个等效最大峰值循环,下列组合的任何一个都是合适的:

- a) 15 个 65%最大峰值循环;
- b) 10 个 75%最大峰值循环;
- c) 4 个 70%加上 10 个 65%峰值循环。

这样,通过确定给定滤波后反应波形中峰值的分布并使用图 C.1,就能确定总的等效最大峰值循环数。

对强震运动典型的滤波反应能通过由瑞利分布给出的峰值概率分布的窄带随机波形进行近似。滤波后运动的这个特性,加上中心频率和持续时间便可利用图 C.1 确定等效峰值应力循环次数。等效最大峰值循环和平稳随机运动的滤波中心频率之间的关系在图 C.2 中分三个不同的强震运动持续时间给出。从而,任何由平稳随机运动产生的设备反应均近似于这些结果。

对地面激励,模拟包括直到截止频率的多频成分,并且从图 C.2 能直接确定直到截止频率的任何设备共振的等效疲劳循环次数。

对由结构楼面运动激励的设备,仅需要考虑整个起主导作用的构筑物频率范围内的共振,这是因为超出该范围的构筑物反应可以忽略。在起主导作用的构筑物频率为 5 Hz 的情况下,对于 15 s 持续时间至少使用平均 10 个等效应力循环数。

对一些试验输入波形,如正弦驻波或正弦拍波,所产生的经过滤波的结构反应波形的峰值分布类似于输入本身的峰值分布。因此,可能的峰值应力循环可直接由输入波形确定,根据 7.6 该输入波形至少包含 10 个等效的最大峰值循环。对单频正弦拍波试验,任何频率下试验的循环总数按 8.6.2.4 由拍波数和拍波内运动的循环次数确定,对任何频率下的试验,这将保证至少 5 个最大峰值(零周期加速度)循环和若干其他较小峰值(小于零周期加速度)循环。应用图 C.1 可将较小峰值循环次数转换成较少的等效最大峰值循环次数。例如,在每个拍波具有 10 个运动循环的 5 个正弦拍波中,所有小于峰值的循环近似地等效于 17 个最大峰值循环;每个拍波具有 5 个运动循环的 5 个正弦拍波中,所有小于峰值的循环近似地等效于 6 个最大峰值循环。

因此,对于这些运动,可分别获得总数为 22 个和 11 个等效最大峰值循环。对反应波形类似于激励波形的其他类型试验运动,可使用图 C.1 进行类似等效峰值循环的计算。

对于由近似平稳随机合成激励产生的窄带反应波形,其峰值分布已知为瑞利分布。因此,图 C.2 可直接用来对一个给定滤波频率和持续时间确定等效峰值应力循环次数。但是,在这种类型的激励波形



**附录 D**  
(资料性附录)  
**易损度试验**

### D.1 激励运动

易损度试验可通过使用 8.6 所述的任一种激励波形进行。例如,为确定对单频瞬态激励的易损度,可对设备施加任何单频激励,如正弦拍波运动。正弦拍波可在 1 Hz 到截止频率的频率范围内施加,依次按共振搜索试验确定的设备的每一个自振频率施加正弦拍波运动。然而在没有很好确定设备共振频率的情况下,为保守起见,试验之间的频率间隔可窄到 1/2 倍频程或更小。此外,当由于设备中的非线性效应而发生宽带共振反应时,可加大频率间隔,以避免产生不应有的疲劳效应。每个频率点上的幅值可逐步增加,直到发生异常为止。每个拍波的振荡数在 5 次~10 次的范围之内,拍波数取决于试验频率和要模拟的地震的持续时间。通过这个数据,可给出输入水平与频率的关系曲线。另外,由单频输入数据可给出要求阻尼值下的易损度反应谱。

用与正弦拍波类似的方式且相同的频率下,可对设备进行连续正弦激励。可使用附加频率以更完整地确定输入激励易损度曲线的低频点。此外,用稳态连续正弦波数据可绘制出要求阻尼值下的一系列易损度反应谱。这样所得到的反应谱就是以试验频率为中心的典型共振曲线。

采用随机激励对设备在多频激励下的易损度能力进行验证,同时宜对总的谱水平和形状进行调整,以确定易损度反应谱。

当存在多模态反应附加效应时,易损度反应谱低于由单频激励确定的谱。

### D.2 结果的应用

易损度数据应用的通用导则如下:

- a) 当要求反应谱是宽带时,则有适当阻尼的多频易损度曲线应包络要求反应谱并且经证明它高于要求的谱;
- b) 当要求允许单频试验时,可允许使用从单频试验数据获得的易损度谱包络要求反应谱;
- c) 当要求反应谱由一个高窄峰值(例如由于一个起主导作用的构筑物水平共振产生的峰值)组成时,则有适当阻尼的单频易损度反应谱宜包络要求反应谱并且经证明它高于要求的谱;
- d) 当要求反应谱由 a)、b)和 c)组合而成时,则易损度数据的组合可最好地证明设备的能力,并可在适当验证下使用。

易损度反应谱可进一步用作包括被试验设备的系统概率风险评价研究的输入。此时,易损度反应谱首先变换成概率易损度函数,该函数给出作为激励幅值函数的被试验设备的损坏频度。

## 附录 E

(资料性附录)

## 零周期加速度的测量

零周期加速度(ZPA)是表明试验反应谱(TRS)完全包络要求反应谱的参数之一。在仅考虑试验台面运动时程中处于要求反应谱放大区域以内的频率成分时,试验反应谱的零周期加速度也宜包络要求反应谱的零周期加速度。为防止与下文混淆,将该值称为试验反应谱的理想零周期加速度。

零周期加速度是对高于运动时程频率成分分析得到的反应谱值。典型试验台面时程通常包含高于要求反应谱放大区域的频率。原因如下:

- a) 来自液压激振器的波形畸变;
- b) 试验台面、夹具和试验物项之间的松动和碰击;
- c) 试验物项本身内部的松动和碰击。

即使分析范围达到 100 Hz 或 200 Hz,这些影响仍会妨碍真正的或实际的零周期加速度的精度。另外,即使当分析频率足够高并获得了试验反应谱真正的零周期加速度,在不作进一步分析的情况下,还是没有直观的方法知道何时真正的零周期加速度幅值等于试验反应谱的理想零周期加速度。下列方法可用于获得真正和理想的零周期加速度。

试验反应谱的计算宜采用与要求反应谱相同的阻尼值,并对测点的整个时程波形进行。当试验反应谱的形状与要求反应谱的形状相似时,可以从试验反应谱高频渐近线上获得零周期加速度相当精确的测量。当试验反应谱在高频区趋于增加时,可补充明显不同阻尼下的分析。两条不同阻尼值试验反应谱曲线重合的高频段即表示了真正的零周期加速度。当两条曲线不相交时,则真正的零周期加速度只有通过一个更高频率进行分析才能找到。

当试验反应谱真正的零周期加速度能够表明,在时程中没有包含超过要求反应谱放大区的高频时,则它也是理想的零周期加速度。

当试验反应谱真正的零周期加速度表明存在高频时,可用低通滤波器滤去要求反应谱截止频率和超过此频率的信号,然后对波形进行补充分析。其结果表明理想零周期加速度的值等于或大于要求反应谱的零周期加速度值。

对于数字分析系统,存在与分块大小、采样率和保真滤波器有关的硬件或软件约束条件。建议分析只到所研究要求反应谱的最大频率。此时零周期加速度如下确定:

- a) 经设定在截止频率处的保真滤波器滤波的数字化时程给出的峰值加速度;
- b) 分析在截止频率处滤波过的带状图时程。

避免选择使用的高频部分超出条带记录仪的响应范围,或使用具有更高响应频率的示波仪代替条带记录仪。

有时通过测量反应点数据来获得要求反应谱,并用于后续部件或器件试验,对于这种情况也可使用这些分析方法。此时,建议首先使用滤波后的要求反应谱波生成时程,再根据要求添加高频成分,以获取整个要求反应谱。或可使用功率谱密度保证时程波形具有合适的频率成分。

**附录 F**  
(资料性附录)  
**频率成分和稳定性**

本附录包括频率成分和频率成分的稳定性两部分内容。两方面所关注的目的都是产生一个能很好地模拟要求地震激励的输入波形。即使在试验反应谱包络要求反应谱的情况下,当试验反应谱形状与要求反应谱的形状发生偏离时,波形的频率成分亦会发生变化。尽管这通常意味着在某些频率下会发生很大的超载,但对于其他频率可能并不总是保守的。有以下几种方法可用来说明波形的频率成分是合适的:

- a) 以类似的谱形状得到包络要求反应谱的试验反应谱,以便在谱放大区的重要谱峰值处产生类似的放大;
- b) 试验波形傅里叶变换的频率成分与要求反应谱的放大区的频率相一致;
- c) 试验波形功率谱密度的频率成分与要求反应谱的放大区的频率相一致。

除表明合适的频率成分外,还需要表明在合理的容差范围内,频率成分在统计上不随时间而变。

为了满足稳定性要求,在多频波形中所有要求的频率宜在强震运动段的统计上存在。证明这点的一种方法是采用时间间隔试验反应谱,其定义如下:

时间间隔反应谱与常规反应谱分析的不同处在于将单自由度振子的反应峰值作为时间间隔的函数,例如,30 s持续时间可分为5个6 s的间隔,每个时间间隔生成一个反应谱。

注:输入时程在整个时间段上是连续的,即实际上没有这些时间间隔。实际上,最小时间间隔需是最低频率对应周期的几倍。比较的基准可由有代表性的实际地震时程的类似分析建立。

另一个能说明频率稳定性的方法是采用时间间隔功率谱密度。将试验台面加速度时程的强震运动段分成几个间隔,并对每个间隔进行功率谱密度的计算。几段间隔的功率谱密度的比较宜表明每一个时间间隔的所有频率统计上存在相似度。比较的基准可由有代表性的实际地震时程的类似分析建立。

还有一种说明频率稳定性的方法是给出试验输入波形分量的时程。这可通过把波形分成窄带(例如1/3倍频程)分量和给出每个分量的时程来实现。每个频率分量在试验持续时间期间应统计上连续,这样,每个1/3倍频程波形的峰值概率密度是瑞利(Rayleigh)分布。稳定性可采用任何经过证明是合理的方法。

每次试验波形的合成方法只要进行一次稳定性证明。

附录 G  
(资料性附录)

参考经验数据进行抗震鉴定的方法

G.1 地震经验数据

G.1.1 概述

地震经验数据可由电厂中经历过地震的设备获得。基于地震经验数据的抗震鉴定包含如下五个步骤：

- a) 建立参考设备经受的地震运动特性(参见 G.1.2)；
- b) 建立参考设备组基于地震经验的抗震能力(参见 G.1.3)；
- c) 建立地震经验参考设备组的特性(参见 G.1.4)；
- d) 比较待鉴定设备和地震经验参考设备(参见 G.1.5)；
- e) 建立鉴定过程的文件(见第 11 章)。

G.1.2 地震经验运动特性

选择作为参考设备组基准的地震具备如下特征：

- a) 至少四个有参考设备的地震参考厂址得到的地面运动记录或保守的估计,用来建立一个地震参考设备组。这四个参考厂址需要从至少四次地震中选择。
- b) 每个参考厂址的自由场地面运动由厂址构筑物两倍直径范围以内的记录数据确定。记录位置具有参考厂址构筑物位置相同的地质或土工条件。两倍构筑物直径的测量从设备的地基边缘量起。当参考厂址没有周边数据记录或记录位置超过两倍构筑物直径范围时,只要估算是保守而正确的,则可作为自由场运动。为了做这两种情况的地面运动估计,使用根据相似大地构造环境、地壳性质、地震参数的强震运动记录而确定的多种衰减关系。研究衰减关系的参数范围包括参考厂址和地震条件。考虑适当的保守度,取按衰减关系得到的 5% 临界阻尼反应谱估计值的平均值。
- c) 参考厂址的地面反应谱宜是 5% 临界阻尼反应谱的两个正交水平分量的平均值。垂直方向地震的影响隐性地包含在使用的地震经验数据中。假想地震期间的核电厂地震运动垂直分量相对于水平分量来说影响较小,因此在基于地震经验的方法中只考虑地震运动的水平分量。关于垂直分量的限制可参见 G.3 g)。
- d) 宜将自由场地面运动作为评估参考厂址的所有参考设备的激励。

G.1.3 地震经验谱(EES)

地震经验谱(EES)是确定参考设备组抗震能力的反应谱。地震经验谱宜是参考厂址地面反应谱的加权平均值。式(G.1)给出的加权因子,是每个参考厂址中独立物项数与所有参考厂址独立物项的总数之比。

$$A_{EES,i} = \frac{\sum_{n=1}^m N_n A_{n,i}}{\sum_{n=1}^m N_n} \dots\dots\dots (G.1)$$

青鸟消防股份有限公司 购买单位：青鸟消防股份有限公司 防伪编号：2024-1225-0445-4286-3612 订单号：0100241225147676

式中：

$A_{\text{EES},i}$  —— 5%临界阻尼和频率  $i$  时的地震经验谱(EES)加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m}/\text{s}^2$ );

$A_{n,i}$  —— 在 5%临界阻尼,参考厂址  $n$  和频率  $i$  时的谱加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m}/\text{s}^2$ );

$m$  —— 参考厂址数[最小数参见 G.1.2 a)];

$N_n$  —— 参考厂址  $n$  的独立设备数。

## G.1.4 参考设备组特性

### G.1.4.1 概述

参考设备组是一组有类似实体、功能和动态特性的设备,且其在地震时的性能已经确认。确定参考设备组的参考设备相似性宜根据 9.3.4.2 和 9.3.4.3 相似性原理推广。G.1.4.2~G.1.4.4 规定了设备组属性、设备组中独立设备的数量和地震时设备的功能。

### G.1.4.2 设备组属性

指定为地震经验参考设备组的设备属性规定为:确保设备抗震重要的性能,并且地震抗震能力可从所选设备中确定或排除。地震经验参考设备组的耐震性和易损度特征通过下列范围规则和禁止特征进行规定:

- a) 准则规定了包含在参考设备组内的设备范围。这些规则规定了设备机械特性、详细设计、动态特性和已由地震经验数据证明的耐震功能的可接受范围。当制定范围规则时宜考虑和评估下列因素:设备型号、制造商、重量、机械和结构详细设计(包括内部部件和结构)、尺寸和形状、年代、功能、额定功率、包括支架在内的载荷路径、鉴定涉及的工业标准、材料、自振频率、可拆卸部件、附件以及为获得规定的抗震能力所必需的修改。本节的目的是要确保关键抗震特性通过经验数据得到确认和验证。在范围规则中宜描述参考设备组的性能差异。在差异受限时,参考设备组宜限于参考设备中的特定性能。在研究工艺系统中管线部件(如管道上的电磁阀)的参考设备组时,如果超过半数物项断定为没有经受工艺系统放大(即管道上部件位于非常接近工艺系统的抗震约束支撑),宜使用范围规则中的限制条件。
- b) 禁止特征包括:详细设计、材料、结构特征或安装特性,这些特性已经引起规定地震激励下设备完整性和规定功能的失效。其他来源得到的失效数据(例如非参考厂址和试验结果)也在确定禁止特征时进行审查和确认。禁止特征包含对数个运行基准地震(OBE)与安全停堆地震(SSE)组合的低周波疲劳的失效。关于低周波疲劳的讨论详细参见附录 C。

### G.1.4.3 独立物项数量

参考设备组包含能可靠地执行功能的独立物项的最小数量。独立物项包括:

- a) 有不同物理特性;
- b) 经受不同地震运动特性,例如不同的地震、厂址、构筑物或同一建筑物的不同方向/位置的部件和设备。例如两个相邻设备在地震中视为一个单独的独立物项。

对于地震经验参考设备组,最少独立物项数量为 30 个。当少于 30 个独立物项,地震经验谱(EES)宜乘以表 G.1 所示折减系数,来达到 30 个独立物项参考设备组相同的统计置信度。除非有合理理由,否则独立物项不能少于 15 个。

表 G.1 依据独立物项数确定的 EES 折减系数

独立物项数量	EES 折减系数
30	1.0
25	0.9
20	0.8
15	0.7

#### G.1.4.4 参考设备组功能

宜规定地震时和(或)地震后参考设备执行的功能。在规定参考设备组时宜对执行这些功能作相应的论证(见第 5 章)。论证时需证明如下内容之一:

- 参考设备组的所有设备在地震时和(或)震后能执行所要求的功能;
- 参考设备组的所有设备具有震后功能,必要时,宜根据设备所要求的运行经验和妨碍设备运行的可信的地震失效模式来确定地震时功能的定量评价。类似设备的分析或试验数据(如第 7 章、第 8 章或第 9 章得到的数据)可用于功能的定量评价。

#### G.1.5 待鉴定设备的鉴定

用地震经验数据进行鉴定的设备满足下列要求:

- 要求反应谱(RRS)应在研究的频率范围(典型的为 1 Hz 到截止频率)被参考设备组的地震经验谱(EES)包络,如地震经验谱(EES)不能包络要求反应谱(RRS)则进行论证。对于管线安装设备,与地震经验谱(EES)作比较的要求反应谱(RRS)是工艺系统支承处的结构反应谱。

注:如果参考设备安装在管线上,而不在工艺系统支承处[参见 G.1.4.2 a)],则这个方法只考虑管线中的放大。

- 用来与地震经验谱(EES)比较的最小要求反应谱(RRS)宜为 5% 临界阻尼时水平结构形心反应谱。在鉴定技术要求中规定的要求反应谱(RRS)应为安全停堆地震(SSE)谱。在采用 G.1 中的方法用单个包络要求反应谱(RRS)进行评价时,认为已完成了小于要求反应谱的多次地震事件(如 5 次 OBE)的设备鉴定,这是因为设备在考虑规定地震循环时已表明没有确定的低周波疲劳失效模式[参见 G.1.4.2 b)]。
- 确认待鉴定设备在参考设备组的范围规则中[参见 G.1.4.2 a)]。
- 确认待鉴定设备无参考设备组的禁止特征[参见 G.1.4.2 b)]。
- 通过参考设备组证明(参见 G.1.4.4)待鉴定设备(包括附件或附属器件或子组件)在地震时和(或)震后的安全性能(如适用)。
- 待鉴定设备(包括附件或附属器件或子组件)的安装按鉴定技术要求进行评定。
- 由于设备性能可能会随使用年限改变,所以比参考设备组更新或更老的待鉴定设备宜充分考虑设计、材料和制造的任何一个可能导致相对于参考设备组抗震能力降低的重大变化。
- 待鉴定设备的鉴定宜按第 11 章要求编制文件。

## G.2 试验经验数据

### G.2.1 概述

试验经验数据可取自先前的鉴定试验结果。试验经验数据用于按五个或更多单独物项的试验结果对参考设备组作抗震鉴定。

基于试验经验数据的鉴定包含如下五个步骤：

- a) 建立参考设备经受的试验运动特性(参见 G.2.2)；
- b) 根据参考设备组抗震能力确定试验经验(参见 G.2.3)；
- c) 建立试验经验参考设备组的特性(参见 G.2.4)；
- d) 比较待鉴定设备与试验经验参考设备组(参见 G.2.5)；
- e) 鉴定过程的文件(参见第 11 章)。

### G.2.2 试验经验输入运动的特性

用作参考设备组依据的试验输入运动具有如下特征：

- a) 试验输入运动是多频的并满足 8.6 有关要求；
- b) 试验输入运动包括前后、左右、垂直的试验反应谱；
- c) 试验输入运动是设备安装位置处的；
- d) 试验输入运动是有一倍频程或更大的放大区域的宽频带反应谱，如果试验反应谱(TRS)是窄带的，则窄带区的峰值谱加速度宜乘上 0.7 的衰减因子；
- e) 试验输入运动是双向或三向的，如果设备对横向耦合影响敏感，则双向 TRS 宜考虑乘上衰减因子 0.7。

### G.2.3 试验经验谱(TES)

试验经验谱(TES)规定了参考设备组前后、左右、垂直三个方向上的安全停堆地震(SSE)抗震能力。试验经验谱(TES)是无故障成功试验时各频率反应谱的均值。试验经验谱(TES)宜低于产生失效的试验反应谱的下包络。然而有时候失效试验反应谱的放大范围较小，但这不影响失效模式。因此，根据具体情况，试验经验谱(TES)可大于失效数据下包络的某一部分。注意，试验经验谱(TES)并不一定表示为已鉴定参考设备的宽频带反应谱，而是可认为是相当于符合 G.2.5 b)要求的峰值拓宽的窄带 RRS。

由于设备已经承受 8.1.6 要求的运行基准地震(OBE)试验，所以如果运行基准地震(OBE)不超过安全停堆地震(SSE)一半，则没有必要再研究运行基准地震(OBE)的试验经验谱(TES)。如果运行基准地震(OBE)超过 SSE 一半，需要运行基准地震(OBE)的试验经验谱(TES)，除非低周波疲劳的敏感性已按 G.2.4.2 b)要求的禁止特征作了验证和确定。

### G.2.4 参考设备组特性

#### G.2.4.1 概述

参考设备组是一组类似的设备，这些设备共有一定范围的机械、功能和动态特性且其功能已经试验验证。规定设备组中参考设备的相似性宜通过拓展 9.3.4.2 和 9.3.4.3 的相似性原理予以确定。当所有物项以相同方法(包括相同的基本子部件)制造且有相同动态反应时，参考设备组可包括几个制造商或产品系列。例如参考设备重要固有频率通常在 1/3 倍频程之内。G.2.4.2~G.2.4.4 规定了设备组属性、设备组中独立设备的数量和试验时设备的功能。

#### G.2.4.2 设备组属性

构成试验参考设备组的设备属性宜规定：确保抗震重要的性能、识别地震敏感性并从待鉴定设备中排除。试验参考设备组的设备耐用性和敏感性用下列范围规则和禁止特征规定：

- a) 范围规则规定了包含在参考设备组内的设备范围。这些规则规定已有试验经验数据证明其耐震性能的设备机械特性、设计细节、动态特性和功能的可接受范围。在考虑范围规则时宜评估

如下因素:设备型号、制造商、重量、包括内部部件和结构在内的机械和结构设计细节、形状和尺寸、使用年限、功能、额定功率、包括支架在内的载荷路径、鉴定涉及的工业标准、材料、自振频率、可动部件、附件或部件以及为满足抗震条件所做的必要的修改。对具体设备组,这些因素不一定都适用或重要。本条的目的是为了确保用经验数据能够确定并证明设备的关键抗震特性。范围规则的一个例子就是该设备组只适用于参考设备的制造商。

- b) 禁止特征是地震导致结构完整性失效和设备地震激励下无法执行其规定功能(包括规定的抗震能力)时的设计细节、材料、结构特性或安装特性。在制定禁止特征时宜制定判断异常情况的依据。其他来源(如地震经验数据)得到的失效数据也在确立禁止特征时加以评估和考虑。
- c) 禁止特征也宜包含数个运行基准地震(OBE)和安全停堆地震(SSE)组合的低周疲劳失效的影响特征,关于低周期疲劳的讨论详细参见附录 C。注意用于确定试验参考设备组的数据包含运行基准地震(OBE)试验数据,这些数据可用于确定参考设备是否包含对低周波疲劳敏感的特性。涉及低周疲劳敏感特性的另一种方法是采用 G.2.3 建立安全停堆地震(SSE)试验经验谱相同的方法确定运行基准地震(OBE)的试验经验谱(TES)。

#### G.2.4.3 独立物项数量

参考设备组包含最少 5 个能可靠地执行功能的独立物项。独立物项是指:

- a) 有不同物理特性;
- b) 经受不同地震运动特性的部件和设备。

两个或两个以上承受相同输入运动的相同设备视为一个独立物项。独立物项的数量宜确保能够证明规定设备组的整个动态反应参数范围在试验中均已经历。

#### G.2.4.4 参考设备组功能

宜规定参考设备组试验中或试验后要执行的功能。参考设备组的定义中宜有能够实施其功能的论证。

#### G.2.5 待鉴定设备的鉴定

用试验经验数据鉴定待鉴定设备的要求如下:

- a) 在所研究频率范围(典型地为 1 Hz 到截止频率)的要求反应谱(RRS)被参考设备组 TES 包络,如不能包络应有合理理由。
- b) 用于和试验经验谱(TES)比较的要求反应谱(RRS)为待鉴定设备安装位置的结构反应谱,在鉴定技术要求文件中规定的要求反应谱(RRS)为安全停堆地震(SSE)谱。如果要求反应谱(RRS)因考虑不确定性和位置变化作了峰值拓宽,则论证在安装位置的实际反应谱为窄带的(参见 G.2.3)。
- c) 用于和试验经验谱(TES)比较的要求反应谱(RRS)宜按试验经验谱(TES)的相同阻尼值来计算。当要求反应谱(RRS)和试验经验谱(TES)的阻尼值不同时,可用 6.3.2 的补充导则进行比较。
- d) 证实待鉴定设备包含在参考设备组范围规则中[参见 G.2.4.2 a)]。
- e) 证实待鉴定设备无参考设备组的禁止特征[参见 G.2.4.2 b)]。
- f) 待鉴定设备(包括附件或附属仪表或部件)在地震时和(或)地震后的安全功能(如适用)由参考设备组证明(参见 G.2.4)。
- g) 待鉴定设备的安装按鉴定技术要求进行评价。
- h) 由于设备性能可能会随使用年限改变,所以比参考设备组更新或更老的待鉴定设备宜充分考虑设计、材料和制造的任何一个可能导致相对于参考设备组抗震能力降低的重大变化。

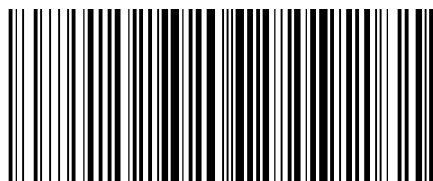


## ⚠ 版权声明

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!



购买者: 青鸟消防股份有限公司  
时 间: 2024-12-25  
定 价: 76元



GB/T 13625-2018

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
核电厂安全级电气设备抗震鉴定  
GB/T 13625—2018

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2018年5月第一版

\*

书号: 155066·1-59917

版权专有 侵权必究