

前 言

本标准等同采用国际电工委员会标准 IEC 68-3-3:1991《环境试验 第 3 部分:试验导则 设备地震试验方法》(第一版)制定的。

本标准详细叙述了如核电站设备、建筑设备和电工电子产品的地震试验方法,因为这些设备和电工电子产品(下文称样品)在其使用期间可能会经受到短持续时间的非平稳随机形式的动态力的作用,其典型的例子是由于地震在样品中所产生的应力。

这些应力的特性和样品的阻尼使样品的振动响应达不到稳态条件。

当相关规范规定设备鉴定要做地震试验时,本标准提供了一系列能用来鉴定其性能的试验方法。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准由中华人民共和国信息产业部提出。

本标准由全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:信息产业部电子第五研究所。

本标准主要起草人:张友兰、阳川、纪春阳、王树荣、徐忠根。

IEC 前言

- 1) 国际电工委员会(IEC)关于技术问题的正式决议或协议,是由所有对该问题特别关注的国家委员会派代表参加的技术委员会制定的,它们尽可能表达了国际上对所涉及问题的一致意见。
- 2) 这些决议或协议以推荐标准的形式供国际上使用,在这种意义上为各国家委员会所接受。
- 3) 为了促进国际上的统一,国际电工委员会希望所有国家委员会在制定国家标准时,只要国家具体条件许可,应采用国际电工委员会的推荐标准内容来制定他们自己的国家标准,国际电工委员会的推荐标准和国家标准之间的任何不同之处应尽可能在国家标准中明确地指出。
- 本标准是由国际电工委员会第 50 技术委员会(环境试验)50A 分技术委员会(冲击、振动与其他动力学试验)制定的。

本标准内容以下列文件为基础:

六月法文件	表决报告
50A(CO)179	50A(CO)182

本标准表决通过的详细资料可在上表指明的表决报告中查到。

中华人民共和国国家标准

电工电子产品环境试验

第3部分:试验导则

地震试验方法

GB/T 2424.25—2000
idt IEC 68-3-3:1991

Environmental testing for electric and electronic products

Part 3: Test guidance

Seismic test methods

引言

本标准规定了两类三种试验方法,导则包括在每一种试验方法中,本标准的导则可直接用于选择合适的试验方法,并在地震试验中应用。

本标准结合 GB/T 2421 一起使用。

引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2298—1991 机械振动与冲击 术语(neq ISO 2041:1990)

GB/T 2421—1999 电工电子产品环境试验 第1部分:总则(idt IEC 68-1:1988)

GB/T 2423.10—1995 电工电子产品环境试验 第二部分 试验方法 试验 Fc 和导则:振动(正弦)(idt IEC 68-2-6:1982)

GB/T 2423.43—1995 电工电子产品环境试验 第二部分:试验方法 元件、设备和其他产品在冲击(Ea)、碰撞(Eb)、振动(Fc 和 Fd)和稳态加速度(Ga)等动力学试验中的安装要求和导则(idt IEC 68-2-47:1982)

GB/T 2423.48—1997 电工电子产品环境试验 第2部分 试验方法 试验 Ff:振动——时间历程法(idt IEC 68-2-57:1989)

GB/T 2423.49—1997 电工电子产品环境试验 第2部分 试验方法 试验 Fe:振动——正弦拍频法(idt IEC 68-2-59:1990)

第一篇 概述

1 目的

本标准主要适用于电工电子产品,也可用于其他设备和部件。

设备地震试验的目的是证明设备经受地震产生的应力和位移时,或经受此应力和位移后完成其要求所需要功能的能力。

可采用分析法或试验分析综合法验证设备性能,但它超出本标准讨论范围;本标准只限于完全以动力学试验数据为基础的验证。

国家质量技术监督局 2000-10-17 批准

2001-06-01 实施

本标准只讨论能在振动台上进行试验的全尺寸设备的地震试验。

当有关规范规定以地震试验为鉴定目标时,本标准提供试验方法的分级。

注:超出本标准范围的,通常所说的脆性试验不考虑,因为本标准只给出地震试验的一般应用指南,主要是给出 GB/T 2423 系列标准试验方法的使用指南。

可根据本标准的原则,选择试验方法,并且这些试验方法本身是以 GB/T 2423 系列标准为基础的。本标准可供生产厂家用来证实设备性能,或供用户评估和验证设备的性能。

2 一般说明

地震试验通常分两个震级:一般震级和特定震级。不能认为哪一震级比另一震级更需要。两个震级之间的差别在于确定地震环境特征的有效性和(或)准确性。对用于特定环境的高可靠安全设备,譬如核电站的安全设备,应采用特定震级,而不是一般震级。附录 A 给出选择试验类型(一般震级或特定震级)的流程图和本标准讨论的四个独立试验流程图(A1~A4)。要从本标准中得到最大助益,建议先彻底研究这些流程图。

2.1 一般震级

一般震级适用于不专门考虑地区特征、支承结构或建筑特征影响的地震运动的设备。

就承受这一震级的设备而言,地震运动一般用地面峰值加速度这样一个数据来表征。从有关地域的地震资料中可得到这一峰值加速度。

当设备不安装在地面时,应考虑建筑物和(或)支承结构的传递率。

2.2 特定震级

这一震级适用于专门考虑地区特征、支承结构或建筑特征影响的地震运动的设备。对承受这一震级的设备而言,地震运动由响应谱(可由不同阻尼比计算)或时间历程确定。

3 定义

本标准术语的定义见 GB/T 2298、GB/T 2421、GB/T 2423.10、GB/T 2423.48、GB/T 2423.49。这些标准中没有的定义或不同于这些标准定义的,在此处给出。

3.1 组件 assembly

指有同一安装或共同支承结构的两个或两个以上的元器件。

3.2 3 分贝通带 bandpass at 3 dB

由大于或等于特性曲线最大值的 $\sqrt{2}/2$ 倍的点所确定的频率区间(见图 1)。

3.3 基本响应谱 basic response spectrum

由建筑物特性及其地板、阻尼比等确定的不变响应谱,并可从特定的地面运动中获得(见图 1)。

注:地板的基本响应谱一般是窄带型。

3.4 宽带响应谱 broad-band response spectrum

描绘存在许多互相作用的频率而又必须作为整体对待的运动的响应谱(见图 2c)。

注:带宽一般大于一个倍频程。

3.5 危险频率 critical frequency(技术上等效于 GB/T 2423.10—1995 的 8.1)

样品出现故障和(或)性能下降的振动频率,或产生机械共振和(或)其他效应(如颤震)的振动频率。

3.6 交越频率 crossover frequency(技术上等效于 GB/T 2298)

振动特征量从一种关系变为另一种关系的频率。

注:例如,交越频率可以是这样的频率,在这一频率上,振动幅值从随频率等位移变为随频率等加速度值。

3.7 阻尼 damping(不同于 GB/T 2298)

阻尼是表征系统中许多能量耗散推理的通用术语。实际上,阻尼取决于许多参数,诸如结构、振型、应变、作用力、速度、材料、连接滑移等。

3.7.1 临界阻尼 critical damping

允许一个有位移的系统无振荡地回到初始位置的最小粘性阻尼。

3.7.2 阻尼比 damping ratio

在一个粘性阻尼系统中,实际阻尼与临界阻尼之比。

3.8 方向系数 direction factor

指地震产生的地平面水平加速度和垂直加速度之间,通常存在的数值差别系数。

3.9 地板加速度 floor acceleration

由已知地震的地面运动导致的特定建筑物地板(或安装地板)上的加速度。

注:实际上,地板加速度可分解为水平和垂直分量。

3.10 几何系数 geometric factor

单轴试验中需要考虑多轴同时输入振动设备的不同轴线之间相互作用的系数。

3.11 重力加速度 “ g_n ”

由地球重力而引起的标准加速度,它随海拔高度和地球纬度的不同而变化。

注:在本标准中, g_n 值取整数为 10 m/s^2 。

3.12 地面加速度 ground acceleration

由已知地震运动产生的地面加速度。

注:实际上地面加速度可分解为水平和垂直分量。

3.13 横向频率 lateral frequency

根据整体共振频率按 -3 dB 响应确定的两个频率(见图1)。

3.14 故障 malfunction

设备启动能力或维持所需功能的丧失,或对安全性产生有害结果的误动作。

注:故障将由有关规范确定。

3.15 窄带响应谱 narrow-band response spectrum

单频激振占优势的响应谱(见图2a))。

注

1 带宽一般等于或小于 $1/3$ 倍频程频带。

2 当存在几个界限分明宽间隔的频率时,如果认为合适,它们的每一响应可分别处理为窄带响应谱(见图2b))。

3.16 固有频率 natural frequency

只取决于结构本身物理特性(质量、刚度和阻尼)的自由振动频率。

3.17 整体共振频率 overall response

指整个结构增强激励运动的共振频率。

注:在 $1 \text{ Hz} \sim 35 \text{ Hz}$ 频率范围内,整体共振一般对应于一阶振动模态。当整体共振频率在要求响应谱强部之内时,考虑整体共振频率是重要的(见3.27)。

3.18 间歇 pause

相邻两试验波之间的时间间隔(如正弦拍频)。

注:间歇不应导致样品响应运动的有效叠加。

3.19 优选试验轴线 preferred testing axes

相应于样品最易损坏的轴线的三条正交轴线。

3.20 所需响应谱 required response spectrum

用户规定的响应谱(见图1、图2、图3)。

3.21 共振频率 response frequency

共振频率是这样的频率,以其作受迫振荡时,激励频率的变化会降低系统的响应。

注

1 共振频率取决于被测变量。对于给定的模态、位移、速度和加速度的共振频率将依次增加,对于通常的阻尼比,这

些共振频率之间的差别并不大。

2 在地震试验中,通常假定响应传递率大于 2 时,共振频率才有意义。

3.22 响应谱 response spectrum(不同于 GB/T 2298)

一系列有一定阻尼比的单自由度系统对规定输入运动的最大响应曲线(见图 1、图 2、图 3)。

3.23 S1 地震 S1-earthquake

设备运行寿命期间可能出现的地震,为此,有关安全的设备要设计成能无故障连续工作。

注: S1 地震相当于核电站中的运行基础地震(OBE)。

3.24 S2 地震 S2-earthquake

对 S2 地震,某些结构、系统和元件要设计成产生最大地面振动的地震时能从根本上保证总系统的正常功能、结构完整和安全。

注: S2 地震相当于核电站中的安全停堆地震(SSE)。

3.25 正弦拍频 sine beat

由一较低频率正弦波调制的单频连续正弦波。一个正弦拍频的持续时间是其调制频率的半周期。

注: 本标准中,把正弦拍频视为单频波。

3.26 时间历程强部 strong part of time-history

从时间历程曲线最初达到 25% 最大值起至最后降低到 25% 最大值为止的时间历程部分(见图 5)。

3.27 响应谱强部 strong part of the response spectrum

响应谱的响应加速度高于所需响应谱-3 dB 通带的部分(见图 1)。

注: 响应谱强部一般位于 1/3 频带内。

3.28 超高系数 superelevation factor

考虑建筑及结构传递率引起对地板加速度变化的系数。

3.29 合成时间历程 synthesized time-history

人工产生的时间历程,其响应谱包含所需响应谱。

3.30 试验量值 test level

试验波形的最大峰值。

注: 地震试验中,加速度是常用参数。

3.31 试验频率 test frequency

由有关规范规定的危险频率和预定频率。

3.32 试验响应谱 test response spectrum

从振动台的实际运动中通过分析得出的或用频谱分析设备导出的响应谱(见图 1、图 2c)、图 2d))。

3.33 时间历程 time-history(不同于 GB/T 2298)

由某一运动产生的加速度,位移或速度等的时间变化函数记录。

3.34 零周期加速度 zero period acceleration

响应谱加速度的高频渐近值(示例见图 1)。

注: 零周期加速度具有实际意义,因为在一个时间历程中,它代表最大的峰值加速度,这种零周期加速度不可与响应谱的峰值加速度相混淆。

4 鉴定需考虑的事项

相关规范应包含 4.1、4.2 和 4.3 中论及问题的有关数据资料。

4.1 使用条件

样品试验时应尽可能重现实际使用条件,尤其是试验应力综合作用而影响设备的工作或完整性的那些(电、机械及热压力等的)使用条件。试验中不考虑这些使用条件时,应说明其忽略的正当理由。

4.2 故障判据

已知或已选定使用条件和使用功能时,相关规范要规定验收和(或)故障判据。

注：当设备的最终使用条件或受试样品的使用条件未知时，不能准确确定故障判据，因而在没有正当理由情况下进行假定，例如，在缺少更合适的资料时，通常假定电路故障持续时间为 5 ms。

4.3 鉴定标准

可采用如下鉴别等级，特定设备允许标明鉴别等级符号。

0 级：地震试验中或地震试验后未出现故障的设备。

1 级：地震试验中出现故障而试验后恢复其正常状态的设备。

2 级：地震试验中出现故障而完成试验后需要复位或调整但无需更换元件或修理的设备。

5 试验程序

一般震级试验根据第 6 章～第 10 章，特定震级试验根据第 11 章～第 15 章进行。

5.1 安装

应按照 GB/T 2423.43 中的规定安装样品。

注：通常对于带隔振器使用的样品，其更详细指南见 GB/T 2423.10—1995 第 A5 章。

安装样品时应考虑接线、电缆、管道等的影响。地震试验也应包括样品正常使用的安装结构，除非说明正当理由。

应规定样品试验时的方位和安装，这是样品合格鉴定的唯一条件，除非有正当理由按免试条件鉴定（例如，如果能证明重力不影响样品的工作性能）。

5.2 测量

应根据 GB/T 2423.10、GB/T 2423.48 和 GB/T 2423.49 的规定进行测量。

5.2.1 振动台上的振动测量

应在振动台上进行振动测量，以保证在需要测量的位置上施加正确的振动等级。

应规定持久记录的参数（位移、速度、加速度）、使用的设备和每个传感器的功能（基准、测量）。

5.2.2 在样品上进行振动测量

除振动台测量外，可在样品上进行振动测量，以进一步提供试验中的样品性能资料。这些测量不属于振动试验的要求部分。

5.2.3 在样品上进行功能监测

对需要进行功能评价的样品，应监测其在试验前、试验中和试验后的性能。

设备的相关规范应给出需持久记录的性能。

5.3 频率范围

地震时主频率一般在 1 Hz～35 Hz。这一频率范围足以确定样品的危险频率并进行试验。在某些情况下，根据存在的危险频率，1 Hz～35 Hz 的试验频率范围可扩大或缩小，但应说明其正当理由。

第二篇 一般震级

本篇介绍适用于一般震级样品的推荐的地震试验方法，对这些样品而言，不知道或不准确知道其地震环境。

6 状态

6.1 试验类型的选择

要证明样品经受地震的能力，表 1 中几种类型的试验可供考虑。

一般震级中，优先选择单轴正弦拍频试验或单轴正弦扫描试验，其理由如下：

a) 正弦拍频，其波形相似于呈现单一共振波形的简单结构地板的水平地震波形；

b) 正弦扫描，容易实现，但比之实际地板地震波其仿真性较差。

虽然一般不推荐多轴试验，但当样品三个优选试验轴之间有显著耦合或不希望使用几何校正系数

时,可用多轴(双轴或三轴)试验。若用多轴试验,应谨慎使用单频波,如正弦拍频、正弦扫描和定频正弦,因为不同轴的地震加速度峰值通常是不同相的。因此应该用像时间历程那样的复频波。

表 1 试验类型选择

试验波	试验类型	
	单轴试验	多轴试验
正弦扫描	a	c
正弦拍频	a	c
时间历程	b	a
定频正弦	b	c

注: a: 推荐; b: 合适; c: 一般不推荐。

6.2 试验方法选择

有两种试验方法:

a) 标准幅值常规试验:

用于设备使用条件未知的情况(见第 7 章);

b) 计算幅值试验:

用于已知设备使用条件足以确定其不同试验参数的情况(见第 8 章)。

7 标准幅值常规试验方法

7.1 应用

常规试验有三个性能等级,常称为鉴定等级(见表 2),设备使用条件未知时,推荐用此常规试验。样品用户应确定样品已经试验的鉴定等级是否适合应用。设备达到某一规定鉴定等级后,倘若满足所有其他要求,可要求对设备进行高于或等于该等级的鉴定。

表 2 性能等级

性能等级*	地板加速度 a_f	
	水平分量 m/s^2	垂直分量 m/s^2
I	6	3
II	9	4.5
III	15	7.5

* 交越频率高于 1.6 Hz 时,可用这些等级。1.6 Hz 至 0.8 Hz,用速度幅值。低于 0.8 Hz,用位移幅值,见图 7a)。

7.2 试验条件

标准幅值常规试验方法只用于单轴试验。不同轴线可一个一个地施加激振。试验加速度可根据性能等级(见 7.2.1)、波形系数(见 9.2.1)、几何系数(见 9.2.2)确定。

7.2.1 性能等级(标准幅值常规试验)

标准幅值常规试验方法中,地板加速度(a_f)直接从表 2 给出的性能等级中选取。

7.2.2 试验波形

推荐试验波形是 5 周正弦拍频或正弦扫描。但若有充足理由,允许用其他波形。选择等级的激励加速度最大值时应用波形系数(见 9.2.1)和几何系数(见 9.2.2)修正。

8 计算幅值试验方法

8.1 应用

如有足够可用的样品特性和安装场地资料,则推荐采用计算幅值试验方法,因为与标准幅值常规试

验方法(见第7章)比较,它能更准确地估算试验等级。

8.2 试验条件

原则上,这是单轴试验,试验中,不同轴线可一个一个地施加激励。例如,该试验方法适合于不同轴线间相互作用小或相互作用能用几何系数考虑的情况。

8.2.1 性能等级(计算幅值试验)

试验严酷等级由下列参数值确定,设备的相关规范应规定如下参数:

- a) 试验波形(见8.2.2);
- b) 样品阻尼(见8.2.3);
- c) 超高系数(见8.2.5);
- d) 方向系数(见8.2.6);
- e) 试验持续时间(见9.1);
- f) 试验波幅值(见9.2)。

8.2.2 试验波形选择

当样品阻尼值与5%(见图6)相差较大时,即使使用波形系数,所选择的试验波形对样品的影响仍会是显著的。

8.2.3 阻尼比

当样品的临界阻尼在2%~10%之间时,推荐阻尼比为5%。若阻尼比在这范围之外,建议用样品实际振动性能的代表值去确定所用的波形系数。更详细的叙述,见9.2.1和图6。

8.2.4 地面加速度(a_g)

地面加速度(a_g)取决于样品安装场地的地震情况。知道安装场地地震情况时,相关规范应规定地面加速度。否则应从表3给出的数据中选取推荐值。

表3 地面加速度等级

地面加速度符号	地震情况说明				
	概况	a_g m/s ²	仅作参考		
			里氏等级	统一建筑代码区 ¹⁾	地震烈度 MSK ²⁾
AG2	轻至中强地震	2	<5.5	I ~ II	<Ⅷ
AG3	中强至强地震	3	5.5~7.0	III	Ⅷ~Ⅸ
AG5	强至强强地震	5	>7.0	IV	>Ⅸ
1) 近似统一建筑代码区(国际建筑学会)。					
2) MSK(相对于修正麦氏烈度表)。					
注:从图7b)能看到与速度等幅的交越频率在1.6 Hz,与位移等幅的交越频率在0.8 Hz。					

8.2.5 超高系数(K)

由建筑物和结构的振动特性产生的地面加速度放大系数可用超高系数 K 来计算。

表4中给出了推荐值,但如果知道场地情况,相关规范可规定其他值。

表4 推荐超高系数 K

系数 K	应 用
1.0	安装在刚度基础或刚性结构上的样品
1.5	与建筑物刚性连接的装置
2.0	与建筑物刚性连接的硬结构上的装置
3.0	与建筑物连接的低刚性结构上的装置

8.2.6 方向系数(D)

两个水平轴线的地震运动一般都大于垂直轴线的地震运动。如果规定了样品安装状况,应根据优选的水平试验轴 x 和 y 用 100% 试验值,而垂直轴 z 只用 50% 试验值来进行试验。

未定安装位置的试样,在所有三个优选试验轴都要进行全值试验,除非相关规范另有说明。

方向系数列于表 5。

表 5 方向系数(D)

振动轴	系数 D	限制说明
水平轴线 D_x	$D_x=1$	—
水平轴线 D_y	$D_y=1$	—
垂直轴线 D_z	$D_z=0.5$	只用于规定的垂直位置
垂直轴线 D_z	$D_z=1$	安装位置未规定时*
* 安装位置未规定和重力效应不影响样品性能时,须进行三次试验。样品三个主轴线中的每一个轴线依次在垂直平面上进行试验。每一试验情况的方向系数为: $D_x=1, D_y=1, D_z=0.5$ 。		

8.2.7 地板加速度(a_f)

计算幅值试验方法中,优点是利用更多的数据资料,地面加速度(a_g)已知或已由相关规范规定。因此地板加速度(a_f)可由下述公式确定:

$$a_f = a_g \cdot K \cdot D$$

式中: a_g ——地面加速度(见 8.2.4);

K ——超高系数(见 8.2.5);

D ——方向系数(见 8.2.6)。

9 试验参数

9.1 试验持续时间

地震试验持续时间应相当于地震时间历程强部的持续时间(见图 5)。

按 10.2.1 用正弦拍频波进行试验,其试验持续时间取决于规定的试验频率、拍频数和间歇。按 10.2.2 用正弦扫描时,其试验持续时间取决于所需频率范围、扫描速率、扫描循环次数和所包含的试验方向数目。

对定频正弦试验,其试验持续时间至少应足以达到 5 周波最大加速度幅值(见图 9)。

9.2 试验加速度(a_t)

试验波幅值可规定为加速度、速度或位移波的最大值,只有加速度是参照地震的特性。标准幅值常规试验法(见 7.2.1)或计算幅值试验法(见 8.2.7)的试验加速度(a_t)用地板加速度(a_f)确定。然后按使用的试验波和安装位置轴线间任何相互作用来调整地板加速度(a_f)。

用波形系数(α)和几何系数(G)来调整地板加速度(a_f)。因此 a_t 值就代表要施加到样品的加速度量级,并由以下公式计算:

$$a_t = a_f \cdot \alpha \cdot G$$

式中: a_f ——地板加速度(见 7.2.1 及 8.2.7);

α ——波形系数(见 9.2.1);

G ——几何系数(见 9.2.2)。

9.2.1 波形系数(α)

不同类型试验波形的产生,取决于设备阻尼的不同严酷等级。用波形放大系数考虑这一效应,对 5 周正弦拍频波形其值为 1.5 周正弦拍频试验波形相似于经插入结构滤波后的实际地震的地板波形。

其他试验波的波形系数 α 值通常由 5% 的阻尼比来确定。表 6 给出不同阻尼比的连续正弦或正弦扫描的波形系数 α 值。这些值可由图 6 计算求得,图 6 也可用来求取每拍不同周波数正弦拍频和阻尼比的波形系数。在 14.4 中的表 7 给出了设备阻尼值的实例。

表 6 波形系数

设备阻尼(临界阻尼的百分比%)	5 周/正弦拍频	连续正弦和正弦扫描(1 oct/min)
$\zeta \leq 2\%$	1	0.3
$2\% < \zeta \leq 10\%$	1	0.55
$\zeta > 10\%$	1	0.8

9.2.2 几何系数(G)

如果关于样品安装场地的激励情况资料不足,几何系数 G 取为:

- 1——与其他轴线无相互作用的单轴激励;
- 1.5——与其他轴线有相互作用的单轴激励。

10 试验程序

10.1 振动响应检查试验

振动响应检查试验提供危险频率数据。它也能用来提供阻尼比和能进行单轴或多轴试验选择的数据。

此试验常用单轴正弦激励,在 1 Hz~35 Hz 频率范围内进行一个循环对数扫描,上下扫描速率低到足以显示危险频率,但不超过 1 oct/min。

振动响应检查试验过程中施加的振动幅值不应大到产生与试验本身效应可相比拟的程度。但试验振幅应该大到足以考虑取决于振幅的危险频率和阻尼的非线性。

注:常用 2 m/s^2 的振动幅值,在剧烈共振的情况下,此值可降至 1 m/s^2 或更低些。

应该注意到由于实际情况的复杂性或接触关键部件(如封装继电器等)的限制,这些振动响应检查试验不能揭示出所有危险频率。也由于非线性,高量级共振响应的频率和阻尼可不同于低量级共振响应的频率和阻尼,某些共振低激励时可能不明显。因此,低量级检查试验的结果不可能总是提供关于设备动力学的完整数据资料。

10.2 试验类型

10.2.1 正弦拍频试验

如果有关规范无另外规定,根据 GB/T 2423.49(见图 4 和附录 A),试验是单轴型,试验波由一系列五个正弦拍频组成。

施加到振动台的加速度由 7.2.1 或 8.2.1 中性能等级确定。

试验在 5.3 中所规定的频率范围内进行。

a) 无危险频率的设备

以不大于 $1/2 \text{ oct}$ 为步进级,施加试验频率必须是 5.3 所规定的频率范围,还必须施加未包括在内的任何预定试验频率。少用这些频率进行的试验应该说明理由。

b) 有危险频率的设备

试验频率应是相关规范规定的危险频率和预定试验频率。少用这些频率进行的试验则应说明理由。

10.2.2 正弦扫描试验

本试验为单轴型。施加到振动台的加速度由 7.2.1 或 8.2.1 中的性能等级确定。推荐对数扫描速率为 1 oct/min ,频率范围按 5.3 中的规定。

10.2.3 其他试验波形

如用其他波形,譬如用时间历程,应该说明相关的试验程序是合理的。

第三篇 特 定 震 级

11 状态

当如下参数确定且适用时,建议样品按特定震级所述程序进行试验:

- a) 所需响应谱和地震持续时间(适用时);或
- b) 所需时间历程。

对这种震级,通常应指明要模拟效应的 S1 和 S2 地震次数以及要考虑的负荷条件(而不是地震条件)。

对特定震级试验,根据标准推荐如下试验波形:

正弦扫描(主要用于振动响应检查,GB/T 2423.10)

正弦拍频(GB/T 2423.49)

时间历程(GB/T 2423.48)

定频正弦(在 GB/T 2423.10 固定频率上的持续时间)

12 试验波形的选择

本章内容应与第 14 章结合起来理解。试验波形的选择应考虑样品处于安装位置时和在规定的地震影响下的预期特征。无论采用哪种波形,测量的试验响应谱应包含所需响应谱,总的试验持续时间至少应等于地震强部的持续时间(见第 11 章)。

对本标准来说,试验波型分为两类:

- a) 复频波:
 - 1) 时间历程(自然波、综合波或随机波);
 - 2) 其他波(要说明理由);
- b) 单频波:
 - 3) 正弦扫描;
 - 4) 正弦拍频;
 - 5) 定频正弦(图 9);
 - 6) 其他波(要说明理由)。

12.1 复频波

振动谱是宽带时,试验波一般应该是复频波。但若有正当理由(见 12.2),允许某些例外。

12.2 单频波

在特定震级试验中一般不采用正弦扫描试验。

如果地面振动经其中一个结构模态滤波,则产生的地板运动可显示为主频。这相当于窄带所需响应谱,在这种情况下,单频振动可以是满意的激振。

单频试验响应谱不应误认为是每一试验频率得到试验响应谱的包络。相当于每一试验频率的试验响应谱应大于或等于基本响应谱(见图 1)的强部(3 dB 通带)。

对应每一试验频率的试验响应谱的包络应大于或等于所需响应谱(见 13.2)。

通常只有用人为地加宽响应谱的方法去考虑诸如场地变化、结构轴或设计的不定因素。在这种情况下,而且又无地板地震运动是窄带响应谱的其他证据,根据这加宽响应谱,应该假定激振是复频的。

单频试验可用来鉴定如下情况的设备:

- a) 无相互作用的共振频率(间隔大于 $1/4$ oct 时,可认为属于这种情况);
- b) 设备的共振频率在所需响应谱强部之外;
- c) 有正当理由的特殊情况。

13 试验波形

13.1 概述

13.1.1 试验波形的技术要求

使用的试验波应该是：

- a) 产生的试验响应谱大于或等于所需响应谱；
- b) 具有的最大峰值加速度至少等于零周期加速度；
- c) 有安全余度地再现所需地震的效应(13.1.2)；

d) 理论上不包括大于 35 Hz 的任何频率，但如果试验波中存在这样的频率，在评价试验响应谱时不应考虑它们。

13.1.2 具有安全余度的地震效应模拟

在评估特定场地的地震风险时，需要考虑设备安装寿命期间估计可能经受的 S1 和 S2 地震的次数。一般假定 S1 地震五次和 S2 地震一次，除非认为其他次数是合理的。但是，为了有较大的安全余度，设备可经受相当于 S2 地震级的两次试验。

S1 试验后至少应该有一次 S2 试验。每一试验的持续时间至少应等于用来确定所需响应谱的时间历程强部的持续时间(见 14.5)。换句话说，试验至少应模拟样品经受 S1 地震和 S2 地震时的疲劳强度。

因此，每一试验都应以相同安全余度来模拟地震效应。由于应力强度的增加，抗疲劳强度就降低，因此，若选择的次数合理，S1 试验可由产生相同的总的疲劳累计损伤效应的 S2 试验来代替。

为了提供按相关规范规定的功能检查，施加到设备上的 S1 和 S2 试验的持续时间和次数可以超过要求值。在这种情况下，施加的试验波与需要的一样多，但疲劳失效的可能性却增加了。

模拟 S1 和 S2 地震的试验波可作为“波列”来施加(见图 4)。在这种情况下，各试验波之间必须有足够的间隔(至少 2s)，以避免它们的效应在设备上叠加。

13.2 复频试验

应根据 13.1 中的推荐进行复频波试验。尤其应该通过合适的分析进行检查，以证明试验响应谱包含所需响应谱。进行适当分析的推荐值是：阻尼为 2%~10% 时至少用 1/6 oct，阻尼为 2% 或更低时则用 1/12 oct。如果阻尼大于或等于 10%，合适的分析值用 1/3 oct 是足够的。

13.2.1 时间历程试验

对样品施加一时间历程(见 3.33)进行试验以模拟样品可能受到的激振。应该证明试验响应谱等于或大于所需响应谱(见图 2c))。

试验波的持续时间至少应等于地震强部的持续时间。这个值一般在 5 s~10 s 之间。

13.2.2 叠加正弦拍频的时间历程试验

为得到合适的试验响应谱而又不用不合理的高峰值输入，其他波形，譬如正弦拍频可以加到时间历程上。因此，不必用实际上大于所需响应谱零周期加速度的输入，而调整输入去满足所需响应谱是允许的。

为了提供大于或等于包括样品共振频率上至 35 Hz 频率范围内的全部所需响应谱的试验响应谱，输入应叠加一个或更多的正弦拍频(见图 2a)、2b)、2c)、2d)和图 3)。

如果频谱带宽需要不只一个频率的正弦拍频，它们可以同时引进。但是，如果所需响应谱已人为地加宽来考虑建筑物响应或设备方向等不定因素，正弦拍频可按顺序施加或按 13.3.2 的方法施加。这些试验技术上的改变应该有正当的理由。

13.3 单频试验

以一个频率和幅值施加单频波致使试验响应谱大于或等于基本响应谱(见图 1)的最大部分。如果试验响应谱不覆盖 -3 dB 通带，要说明理由。

具有相似幅值的基本响应谱一般将表现不同的频率，这取决于土质，建筑物高度或设备位置的差

别。在这种情况下,施加单频波的频率是出现频谱强部的设备危险频率和任何预先规定的频率,除非说明理由(见 12.2)。以不大于 $1/2$ oct 为一级逐级施加频率(见图 2d),试验频率在 5.3 所规定的频率范围内。这可预防通常用正弦扫描进行的振动响应检查时漏检某些危险频率的可能性。如若适用,试验应以横向频率及样品的整体共振频率进行。

考虑试验波的放大和阻尼比 5% 时基本响应谱的特性曲线,计算施加到振动台的输入量。该试验波的最大值至少应该等于所需响应谱的零周期加速度。当设备具有低于 2% 或高于 10% 阻尼比的频谱强部的危险频率时,输入量要参考与设备阻尼比相符的基本响应谱特性曲线来确定。沿样品每一轴线的试验完成后,要注意样品机械特性的变化。在这种情况下,应证明通过重复振动响应检查试验所记录到的新的危险频率是保持在初始横向频率确定的频率区间内。

13.3.1 正弦扫描试验

在等于或大于设备鉴定的频率范围上,以不超过 1 oct/min 的速度,用连续低量级对数频率扫描循环进行正弦扫描试验。必须用升高和降低频率来完成扫描周期。

13.3.2 正弦拍频试验

调整每拍的周波数以使试验响应谱包含基本响应谱的 -3 dB 通带(见图 1)。拍的加速度峰值至少应该等于所需响应谱的零周期加速度的峰值(低频时所需响应谱变为低于零周期加速度的情况除外,见图 2a))。

对给定正弦拍频加速度峰值,试验的安全余度随周波数增加。对大于或等于基本响应谱 -3 dB 通带的试验响应谱,每一正弦拍频常用 5~10 周波。这些正弦拍频响应谱的包络应该包含所需响应谱。

应该用 5.3 规定频率范围内的试验频率和以不大于 $1/2$ oct 为一级逐级施加一系列五个正弦拍频(或定频正弦)。试验幅值应该和对应于 S1 地震零周期加速度量级相当,随后的正弦拍频如上述由对应于 S2 地震的零周期加速度量级来确定。正弦拍频响应谱的包络应该包含所需响应谱。

13.3.3 定频正弦试验

对每一试验频率,定频正弦运动施加到样品时,要使其试验响应谱至少在规定频率范围内(基本响应谱 -3 dB 通带)(见图 1)包络所需的响应谱,具有量级至少等于所需响应谱的零周期加速度。输入信号应该有足够的持续时间,使相当于零周期加速度的最大幅值有五周波(见图 9)。

13.4 其他试验波形

根据 13.1 的建议,如说明正当理由,就能采用其他波形。

14 试验条件

14.1 引言

本章指出的程序推荐用于设计能经受地震的样品试验。通过使样品以某一安全余度经受模拟地震运动的振动来进行地震试验,安全余度由所需响应谱或时间历程来确定。这种试验程序的理论基础不属于本标准范围,但能容易地从有关技术文献中查得。

如第 12 章所述,着手确定样品鉴定试验时的一个困难问题是选择合适的试验波。许多因素应该考虑,譬如样品的类型、样品的位置、预期地震的特性。更进一步还需要确定样品是否为特定应用或通用。前一种情况下,地震运动可能要作严密规定,然后根据这些规定条件选择试验。而后一种情况下,试验的设计是针对未来的应用对设备样品进行鉴定,对其未来的应用所规定的是更一般的所需响应谱。

在编写相关规范时,通常要给出所需响应谱。一般是加宽最大增幅面积以包括未知或变化因素的效应,未知或变化因素是指诸如不准确知道建筑物结构的固有频率和设备在建筑物内的位置。这加宽最大增幅面积的响应谱称为宽带所需响应谱(见图 1),它由相关规范规定响应谱加宽的程度。

要考虑的另一因素是地震的多向性。样品试验要考虑这些效应,在第 15 章中阐述这一问题。

要考虑分离元件(继电器、电动机、传感器等)或如控制柜这样复杂组件进行试验时会出现的困难。前一情况中,保证元件经受实际地震试验,即施加或模拟其工作条件,在试验期间检查它的功能。但是,

在第二种情况下,即复杂样品的情况中,要这样做是不实际的,因为复杂样品可由几个系统部件的许多元件组成,而且包括连接到结构内许多位置上的其他设备的许多元件。

如果不可能试验处于工作状态的样品,可以采用下列替换方法:

第一种方法,每一元件分别试验,模拟它的工作条件,以确定设备性能允许的最大加速度值。然后装上元件而不工作,或不装元件而用模拟其动态特性的器件代替,将样品经受振动试验,以证明每一元件位置的加速度谱等于或小于专用元件已经鉴定的加速度谱。

第二种方法是把相当于所需响应谱的输入振动施加到元件不工作或其元件具有模拟动态特性的设备。然后测量元件安装位置的加速度,并将这加速度作为单独鉴定工作状态元件的输入加速度。

安装不工作元件的目的是保证样品具有正常运行时一样的动态特性。例如,只要有可能,控制柜可当作完整设备处理,而它的元件可分别单独试验。

14.2 振动响应检查试验

振动响应检查试验提供危险试验频率数据。它也能用来提供阻尼比和做单轴或多轴试验选择的数据。

振动响应检查通常采用单轴正弦激励试验,在 1 Hz~35 Hz 频率范围内进行一周对数扫描循环,上下扫描速率低到足以显示危险频率,但不超过 1 oct/min。

振动响应检查试验过程中施加的振动幅值不应大到产生与试验本身效应可相比拟的程度。但试验振幅应该大到足以考虑取决于振幅的危险频率和阻尼的非线性。

注:常用 2 m/s^2 的振动幅值。在剧烈共振的情况下,此值可降至 1 m/s^2 或更低些。

应该注意到由于实际情况的复杂性或接触关键部件(如密封继电器等)的限制,这些振动响应检查试验不能检测出所有危险频率。也由于非线性,高量级共振响应的频率和阻尼可不同于低共振响应的频率和阻尼,某些共振低激励时可能不明显。因此,低量级检查试验的结果不可能总是提供关于样品动态特性的完整数据资料。为此,若未发现危险频率,试验应根据 14.3.1 的推荐进行。

14.3 试验方法

14.3.1 无危险频率的样品试验方法

在 14.2 中已指出,即使振动响应检查试验没有检查出危险频率,也不保证在高量级激励时就不出现危险频率。这可能是由于下列原因引起的:

a) 结构的非线性(特别是超过一定的量级发生冲击时);

b) 试验时,在关键位置上没有测量,例如:未励磁的继电器中的电接触点的振动,用简单的方法测量是不可能的。而当振动量级达到某个域值时,这些接触点易产生微关或微开从而损害样品的正常工作;

c) 激励量级太弱,只能容许发现某些危险频率。

完成 14.2 指出的振动响应检查并在 35 Hz 以下未发现危险频率之后,样品应根据第 15 章和下述任选一项进行试验:

d) 用分别与 S1 和 S2 地震相应的所需零周期加速度量级,以 1 oct/min~2 oct/min 进行对数扫描循环(1 Hz~35 Hz~1 Hz 为一个循环);

e) 应以 5.3 所规定的频率范围内的试验频率和以不大于 1/2 oct 为一级逐级施加一系列五个正弦拍频振荡(或定频正弦)。试验振幅应相当于 S1 地震的零周期加速度量级,然后施加的一个正弦拍频的试验幅值相当于 S2 地震的零周期加速度量级;

f) 其他波形(例如,时间历程)产生的试验响应谱,至少应等于与 S1 和 S2 地震相应的所需响应谱。

14.3.2 有危险频率的样品试验方法

发现有危险频率的样品,应按第 12 章和第 15 章进行试验。

14.4 阻尼的选择

通常所需响应谱按不同的阻尼比规定。虽然大多数样品具有多个振动模态和不相同的阻尼比,但

是,一般应选择具有某一阻尼值的单一曲线,该阻尼值代表检查样品的主要项目。一般来说,对于接近大多数材料的屈服点应力,具有5%阻尼值的所需响应谱被认为是合适的。

应检测相应的试验响应谱是否超过所需响应谱。如有必要,可以参考具有阻尼值与样品测量阻尼值一致的所需响应谱,或参考表7中的选择值。

表7 典型的阻尼比(临界百分比)

项目	应 力		
	1/4 屈服点	1/2 屈服点 ¹⁾	屈服点 ²⁾
焊接钢结构	0.5~1	2	4
螺栓连接钢结构	0.5~1	4	7
钢筋混凝土结构	0.5~1	4	7
箱和板	0.5~1	2	5
组件	0.5~1	2	7
大型设备和直径大于300 mm的钢管	0.5~1	2	3
直径小于或等于300 mm的钢管	0.5~1	1	2
1) 常用于S1地震。 2) 常用于S2地震。			

所需响应谱曲线参考阻尼为:

若样品阻尼小于或等于2%,采用2%;

若样品阻尼在2%~10%之间,采用5%;

若样品阻尼大于或等于10%,采用10%。

14.5 S1和S2地震试验

S1和S2量级主要是根据核电站设备要求来选定的,与此相当的等级可作为其他用途设备的等级振动量级。

当地震试验规范包括一个(或更多)S1和S2地震的影响时,与S1地震相应的试验数目应对各个场合都是适合的。在缺少更精确数据的情况下,通常认为五个S1和一个S2试验是合理的。

多次S1试验的目的是要证明出现概率最高的低强度地震不损害样品的工作安全性和技术性能。另外,存在的未被检测出来的疲劳或疲劳累计损伤情况,在接着进行的S2地震试验期间,它不会产生疲劳或疲劳累计损伤或会导致出现性能缺陷。

以下各条指出的全部试验可以用来确定S1地震试验的样品性能。当要求的样品工作检查的数量较大时,可能需要进行比规定数更多的S2试验,以便对样品一部分一部分地进行检查。

S1和S2两个地震量级的频谱形状和数值会有差别。因此,需要知道与每一个地震量级相应的频谱。通常,假定S2与S1的频谱有相同的形状,但其量级要大一倍。

14.6 特殊应用试验

这类试验的目的,是用来验证有特殊用途的样品在规定的位上能否经得起所规定的地震震级。与核电站设备有关的安全试验中,这类试验叫做“地震鉴定”。

14.7 组件试验

本试验通常是模拟最危险的使用条件来对大型而复杂的组件进行试验。但是,要同时模拟全部使用条件不总是可能的。例如,控制板上包括属于不同线路的元件就属于这种情况。在这种情况下,在组件试验期间,用真实的或模拟的元件装配样品,进行不运转的试验是可以接受的。

本试验可用直接测量,或用传递函数的方法测定每一元件安装点的振动响应。对于每个模拟元件,这种响应应低于已被鉴定的单独元件的振动响应。

在组件试验中,可使用第 12 章和第 13 章中的试验波形或其他任何合适的波形。试验后,应检测组件并且检查全部元件(比如电缆线路)的牢固性。

14.8 元件试验

每一个元件应经受模拟其使用条件的试验。除元件安装点的响应如 14.7 所述的那样,在组件试验中重现外,在确保要求的安装动态模拟条件下,亦把元件安装在振动台上。元件可以用第 12 章和第 13 章中的试验波形或者其他任何合适的波形进行试验。

15 单轴和多轴试验

由地震引起的地面运动可同时在各个方向上发生,并且是随机的。但是,这种情况并不排除单轴或双轴试验。

15.1 单轴试验

在下述两种情况下,对试验样品的三个优选试验轴逐次进行单轴试验是正确的:

- 由于安装条件的原因,试验样品仅受到单轴激励时,或
- 在样品成对使用的三个优选轴之间只有很小或没有耦合时。

例如:如果元件正常安装在单向有放大运动的设备中,或者如果元件的结构和/或安装限制它朝一个方向运动,则单轴试验可以满足。如果试验不在所有三个轴上进行,则应说明理由。

15.2 双轴试验

当样品的两个优选试验轴之间存在显著的耦合时,双轴试验是必需的。试验类型的选择取决于耦合面。

15.2.1 两个水平轴试验

根据所用的试验设备类型,可能遇到下述两种情况:

a) 双轴试验设备

试验设备可用各自独立的波形同时进行激励,沿着样品的两个优选试验轴施加振动,每一个轴的试验响应谱至少等于所需响应谱。如果振动波形不独立,则由于激励峰值同时沿两个轴线出现,试验可能是保守的。

然后,样品绕垂直轴旋转 90° ,重复上述试验。

b) 单轴试验设备

当只有单轴试验设备可使用时,设备仍然可以使用下述单一的波形沿两个水平轴进行激励。设备应如此安装,使它的激励轴与两个优选试验轴成 45° 角,然后,使沿着激励轴的振动量级增加到两个试验轴的 $\sqrt{2}$ 倍。由于振动峰值沿优选试验轴同时产生,试验是从严的。

然后,样品绕着垂直轴旋转 90° ,重复上述试验。

15.2.2 一个水平轴和一个垂直轴

如 15.2.1 所述,根据可使用的试验设备类型,可能遇到下列两种情况:

a) 双轴试验设备

应沿着样品的两个优选轴施加各自独立的、同时激励的波形进行试验,并检查每一个轴都应达到所需响应谱。如果激励波形不是独立的,由于激励峰值沿两个轴同时出现,试验可能是从严的。

然后,样品绕垂直轴旋转 90° ,重复上述试验。

b) 单轴试验设备

如果没有可用的双轴试验设备,沿着一个斜面运动的试验台是可以接受的。这种设备的安装平面应保持水平。样品应如此安装在振动台上,使它的两个水平优选试验轴中的一个与激励方向成一规定的角度(见图 8)。

在此情况下,沿两个方向的运动不是独立的。为了测试同相和反相的影响,应进行四种试验。样品按下面指出的位置,安装在振动台上:

位置 1: 按规定的位置;

位置 2: 绕垂直轴旋转 180° ;

位置 3: 绕相对于位置 1 的垂直轴旋转 90° ;

位置 4: 绕相对于位置 3 的垂直轴旋转 180° 。

用这种试验得到的频谱, 对样品三个优选试验轴都具有相同的形状, 但是, 水平与垂直轴量级之间的关系, 由台面的倾斜度确定。如果台面的倾斜度能调节, 就能调到所需的水平与垂直的零周期加速度量级之间的比率。零周期加速度激励量级等于:

$$\text{激励量级} = [(\text{零周期加速度})_{\text{水平}}^2 + (\text{零周期加速度})_{\text{垂直}}^2]^{1/2}$$

这样, 沿样品的两个优选轴中的每一个轴的零周期加速度分量, 至少等于相应轴所需的响应谱。由于激励峰值同时沿两个轴出现, 这种试验可能是从严的。

当振动台面需要的倾斜度不能得到时, 输入量级应增加到所需响应谱最大的零周期加速度量级。

15.3 三轴试验

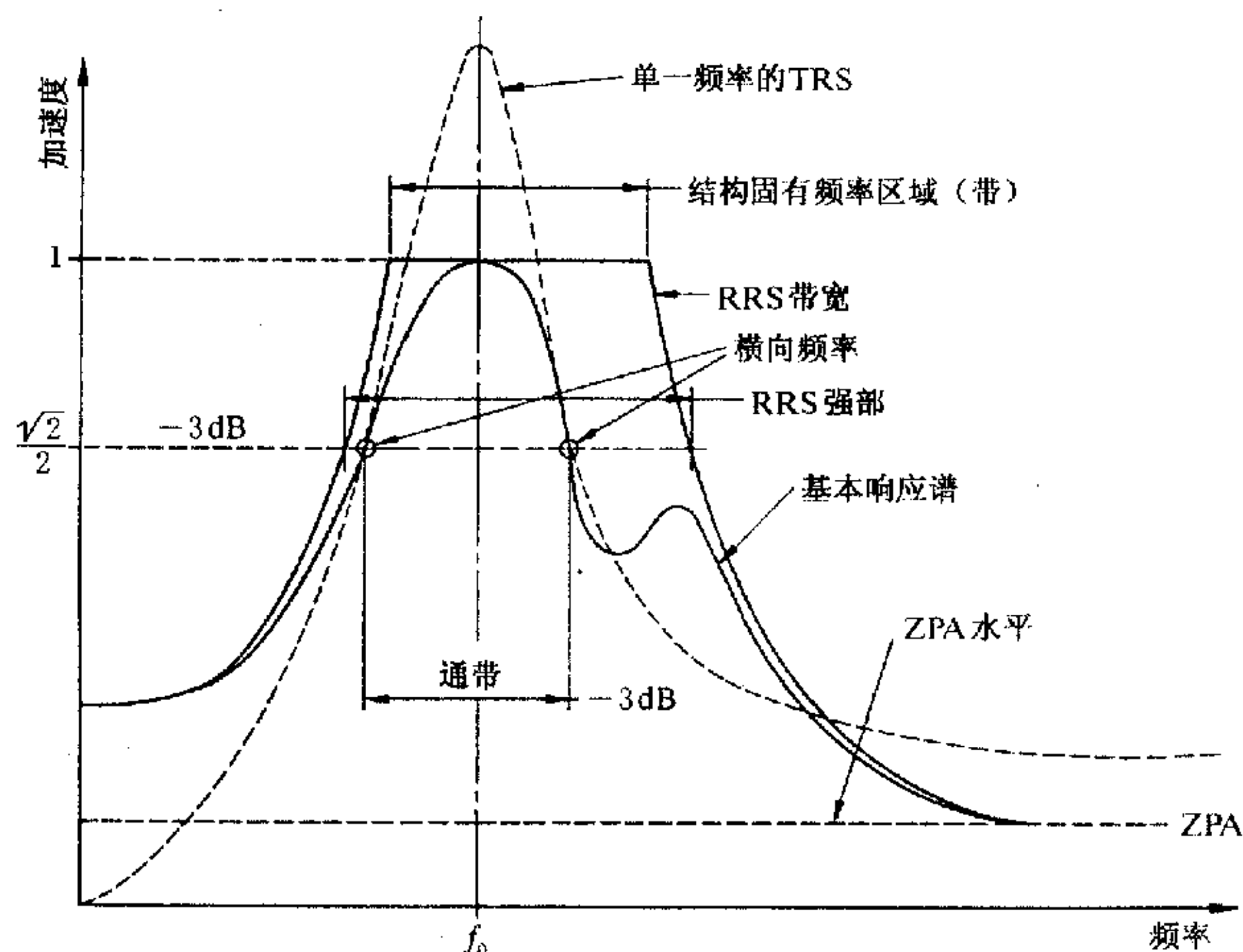
在样品所有的三个优选试验轴之间同时存在显著的耦合时, 需要做三轴试验。

15.3.1 三轴试验设备

试验应在三个优选试验轴上同时进行, 但应独立地输入激励量级。沿三个优选试验轴的每一个轴都应产生所需的响应谱。

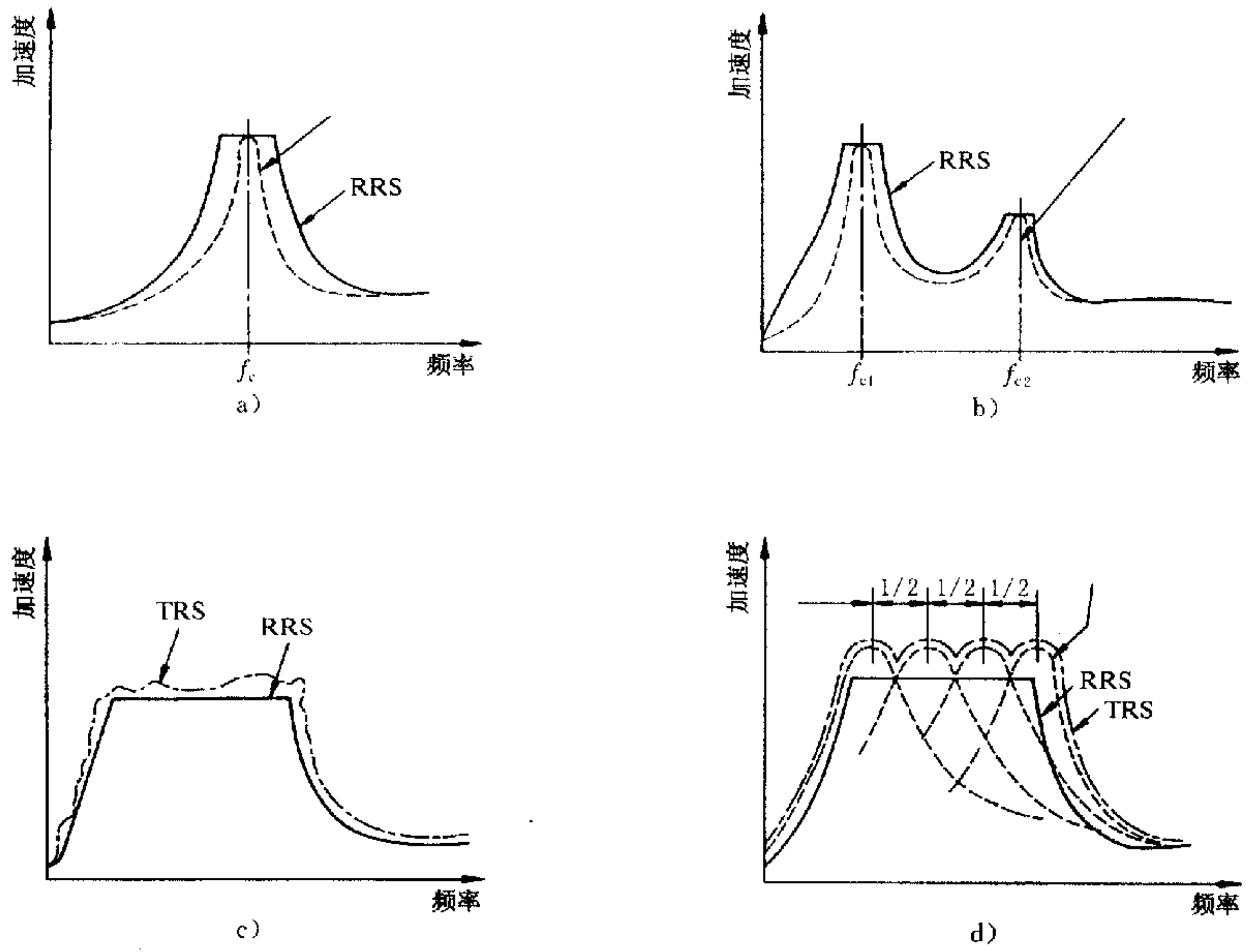
15.3.2 双轴试验设备(一个水平轴、一个垂直轴)

垂直和水平的激励波形是独立的, 可以利用激励样品的双轴台面的水平轴与设备的优选试验的水平轴成 45° 角的方法进行。这种方法与 12.2.2a) 所述的相同, 即用沿着样品每一个优选试验轴的试验响应谱调节到至少等于相应的所需响应谱来规定水平方向的激励量级。



TRS—试验响应谱; RRS—所需响应谱; ZPA—零周期加速度

图 1 典型响应谱包络



TRS—试验响应谱;RRS·所需响应谱

图 2 典型响应谱包络

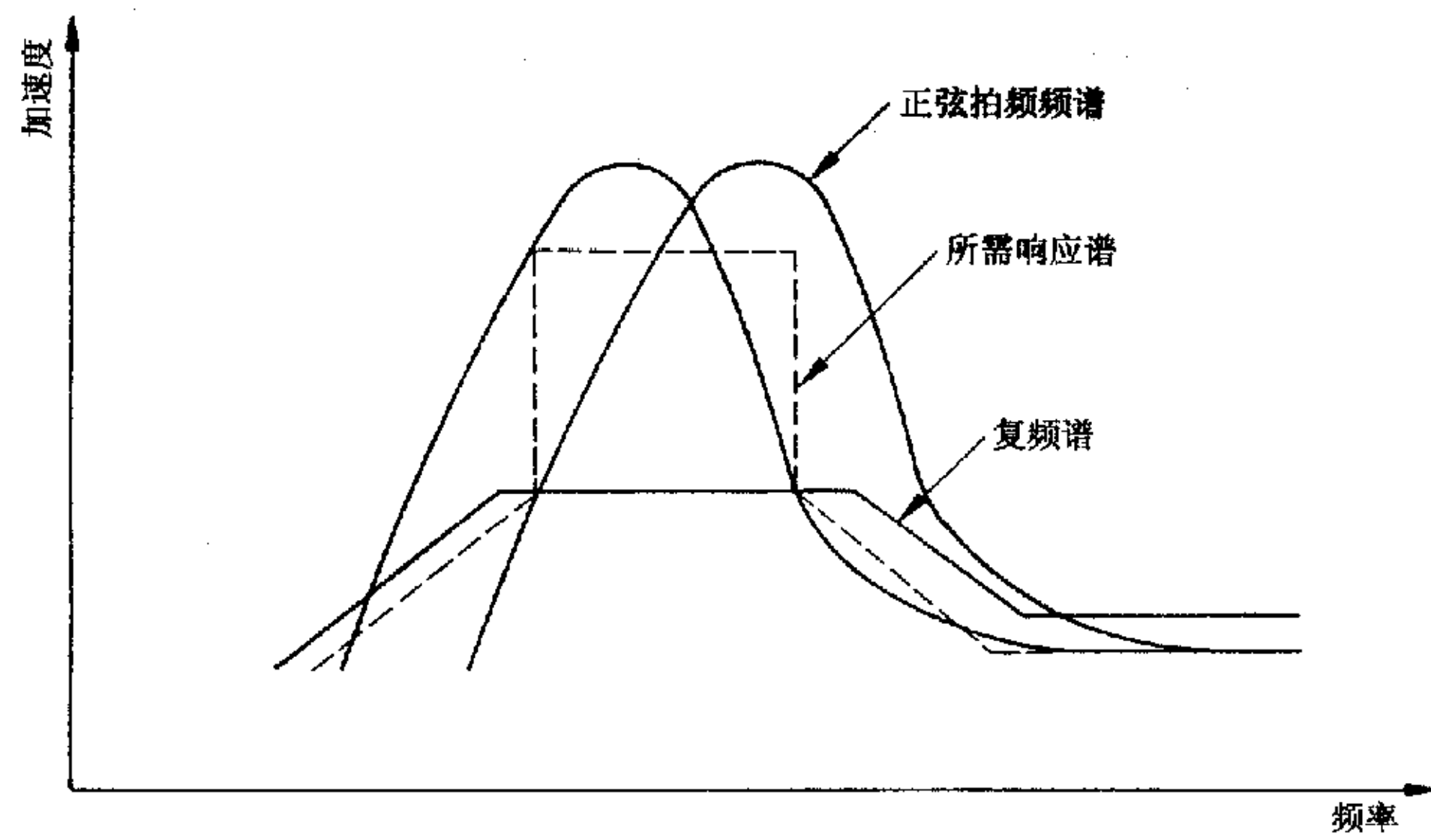


图 3 迭加正弦拍频复频谱

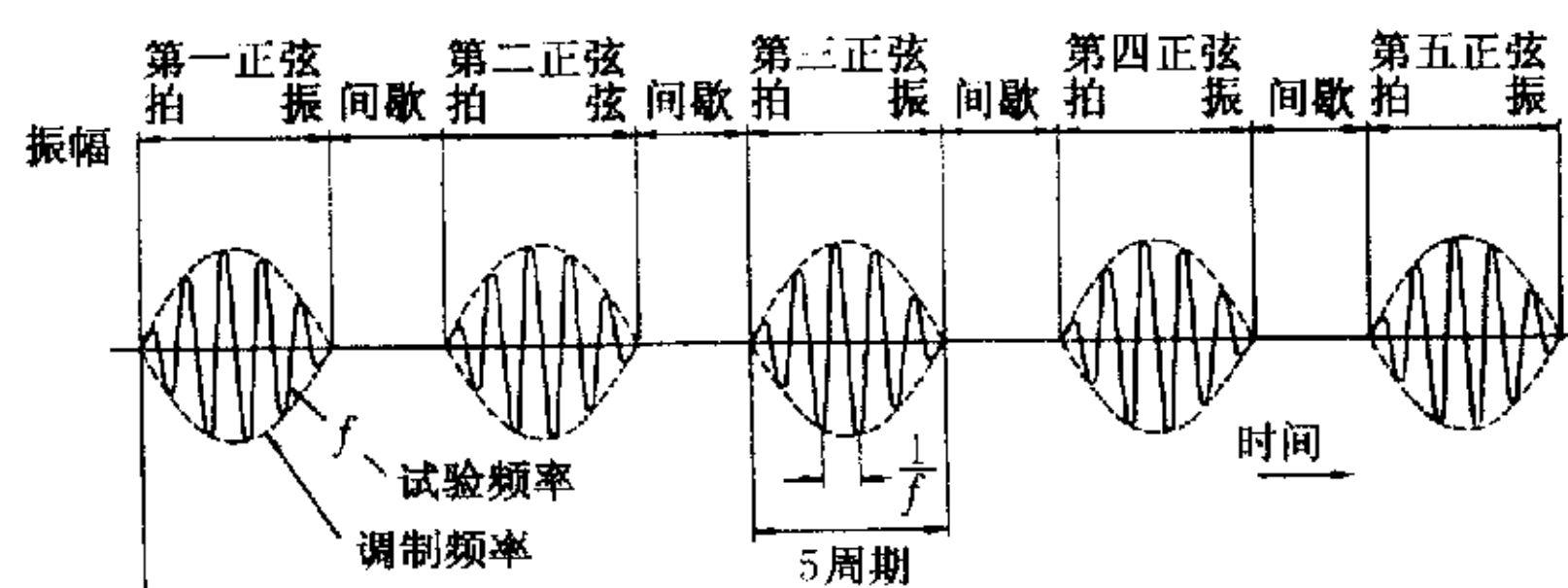


图 4 5 周期的五个正弦拍频的序列

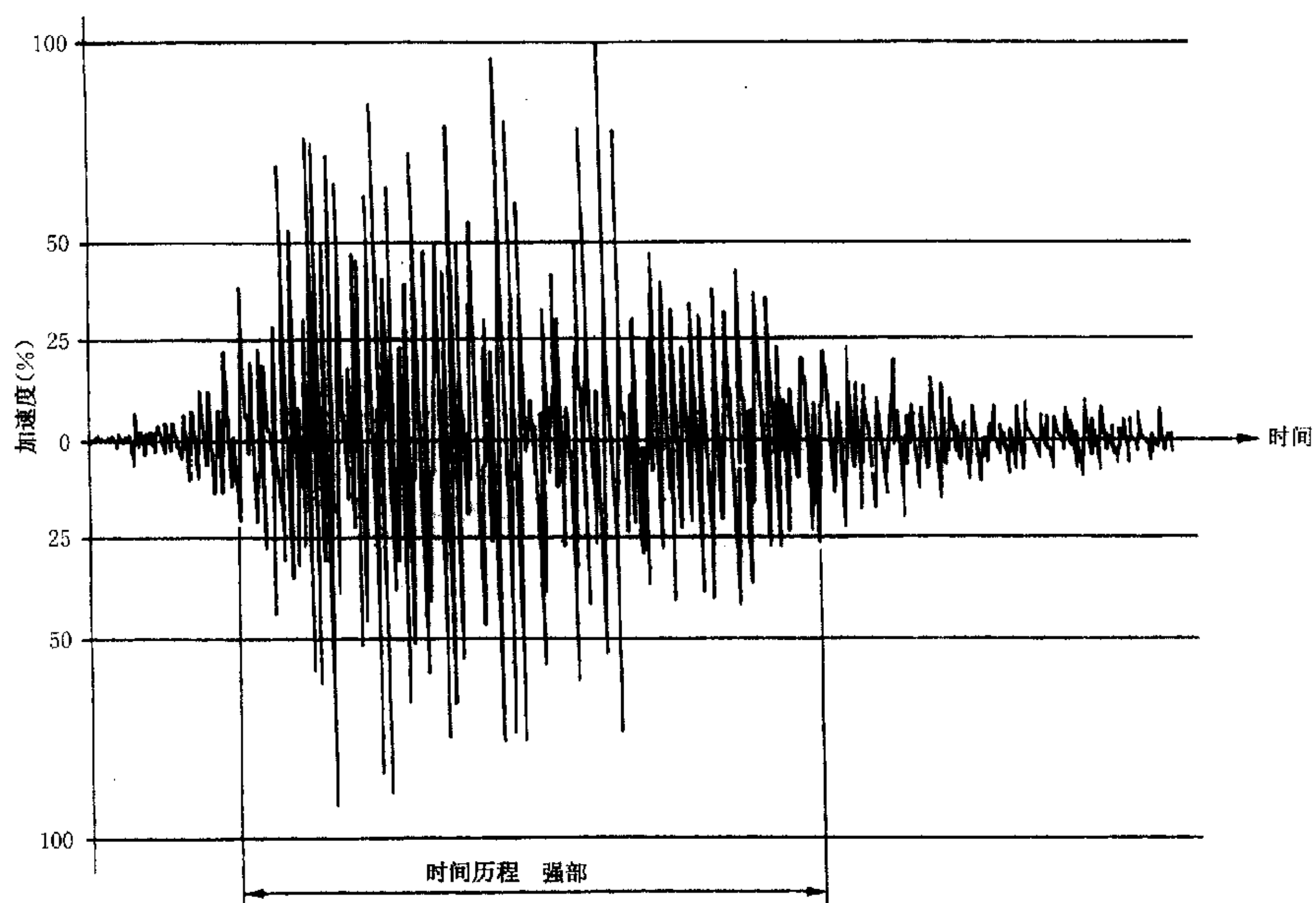


图 5 典型的时间历程

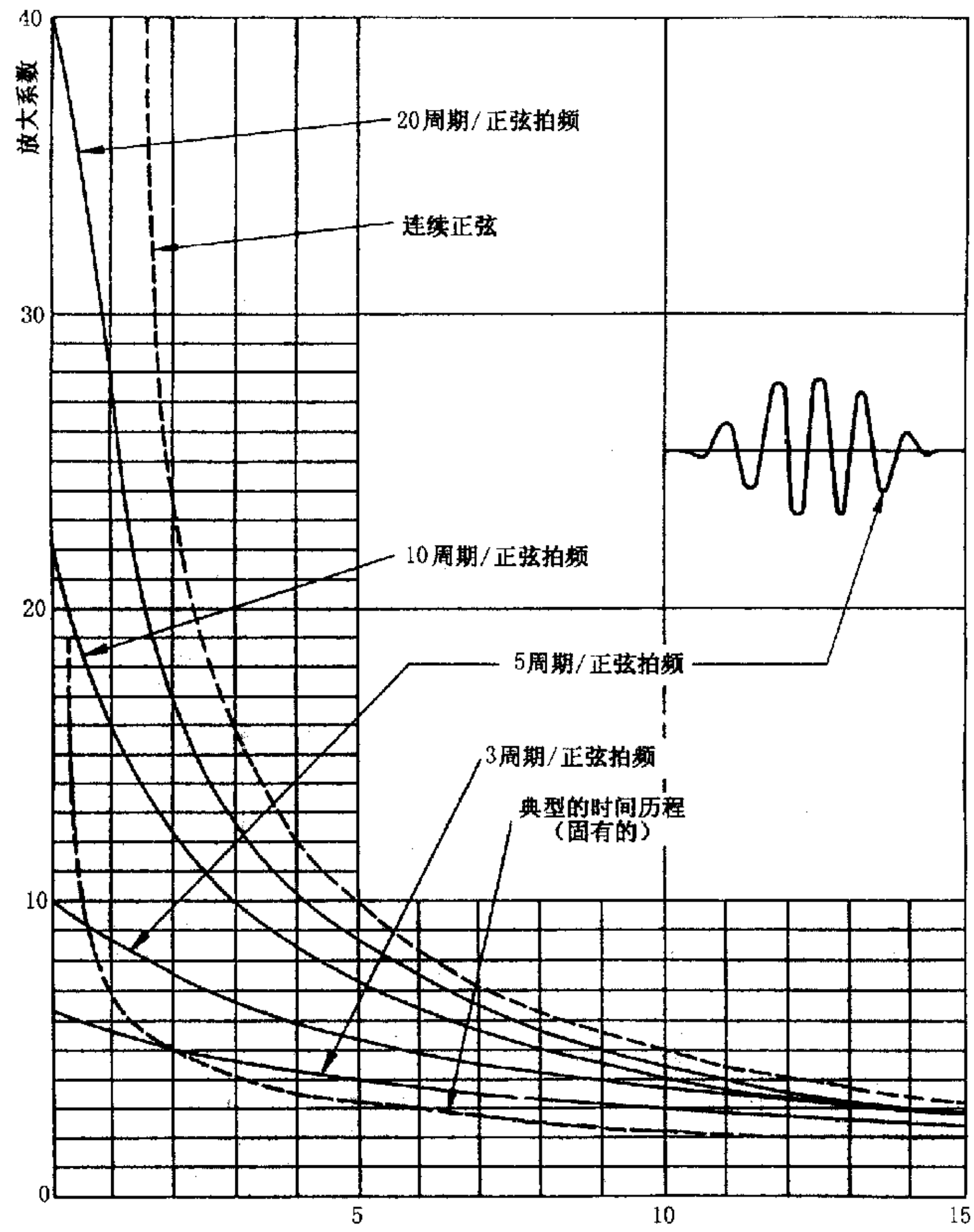


图 6 波形放大系数

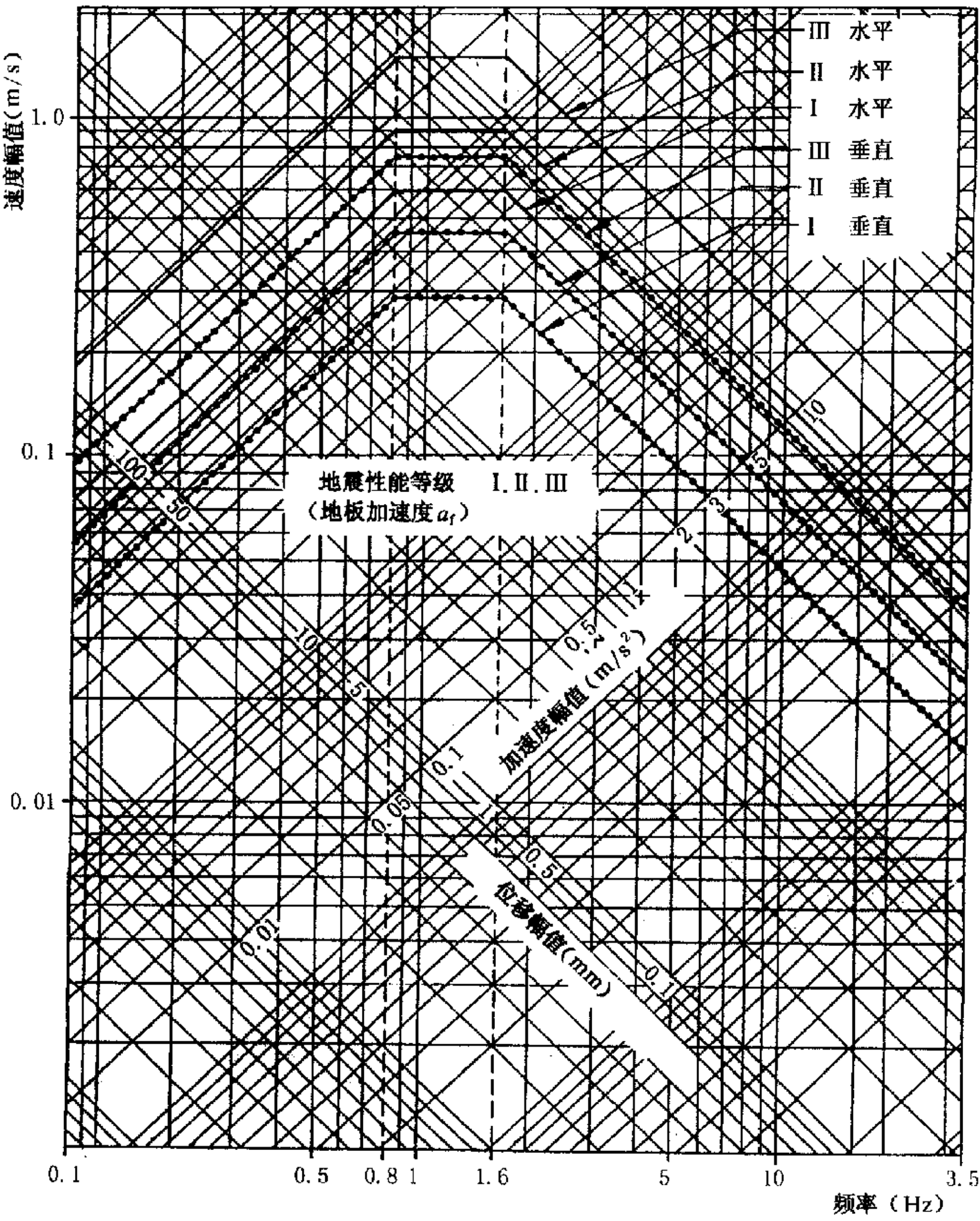


图 7a) 有 0.8 Hz 和 1.6 Hz 交越频率的地震性能等级振幅(地板加速度 a_f)

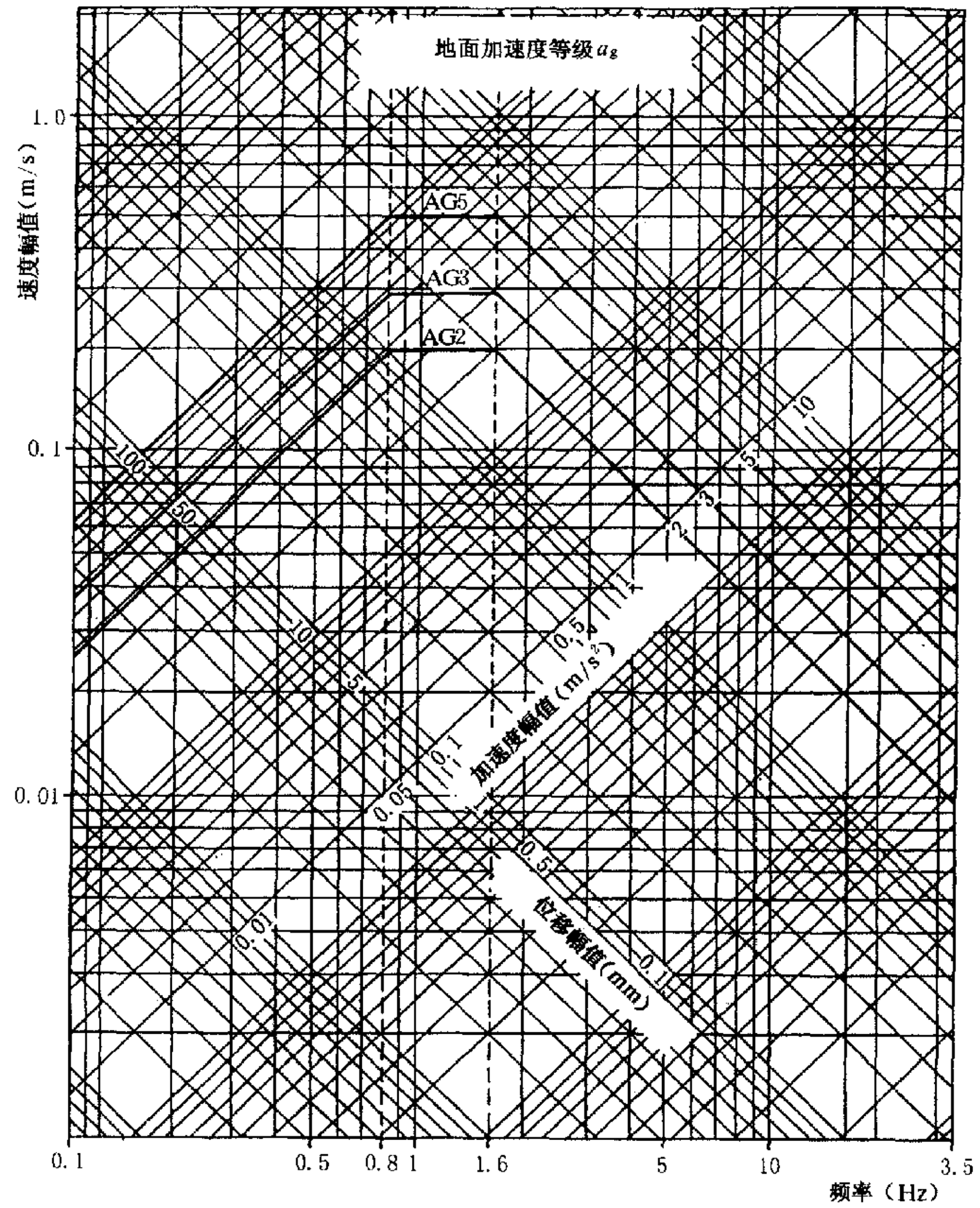


图 7b) 有 0.8 Hz 和 1.6 Hz 交越频率的地面加速度(a_g)振幅

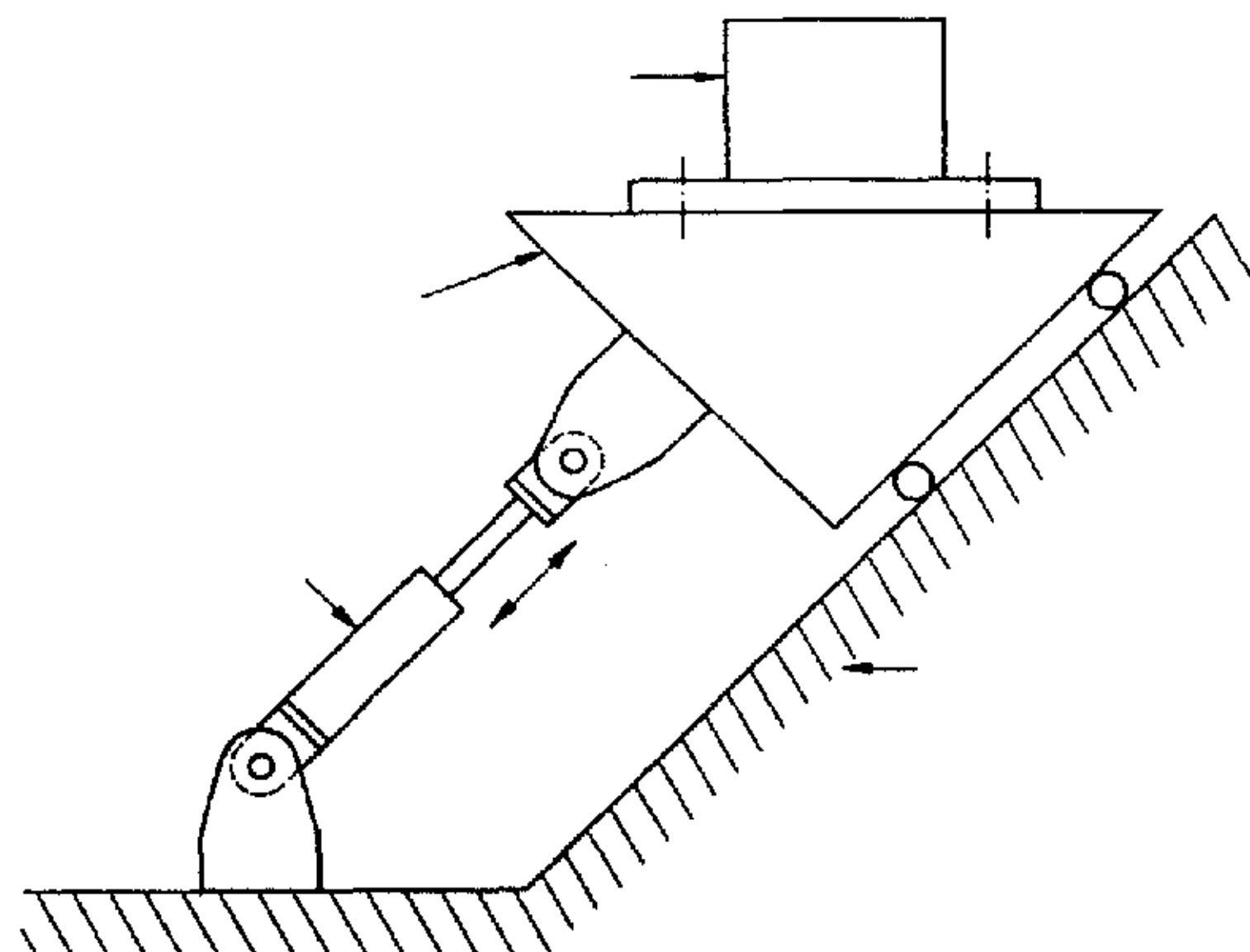


图 8 斜面双轴台

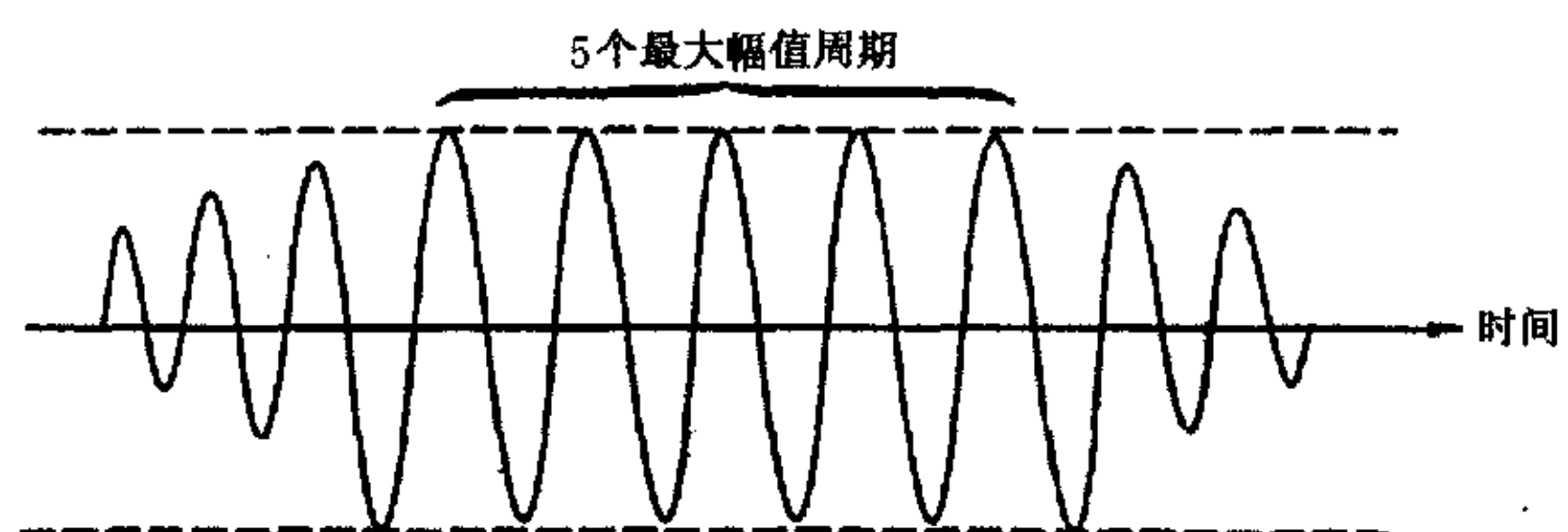
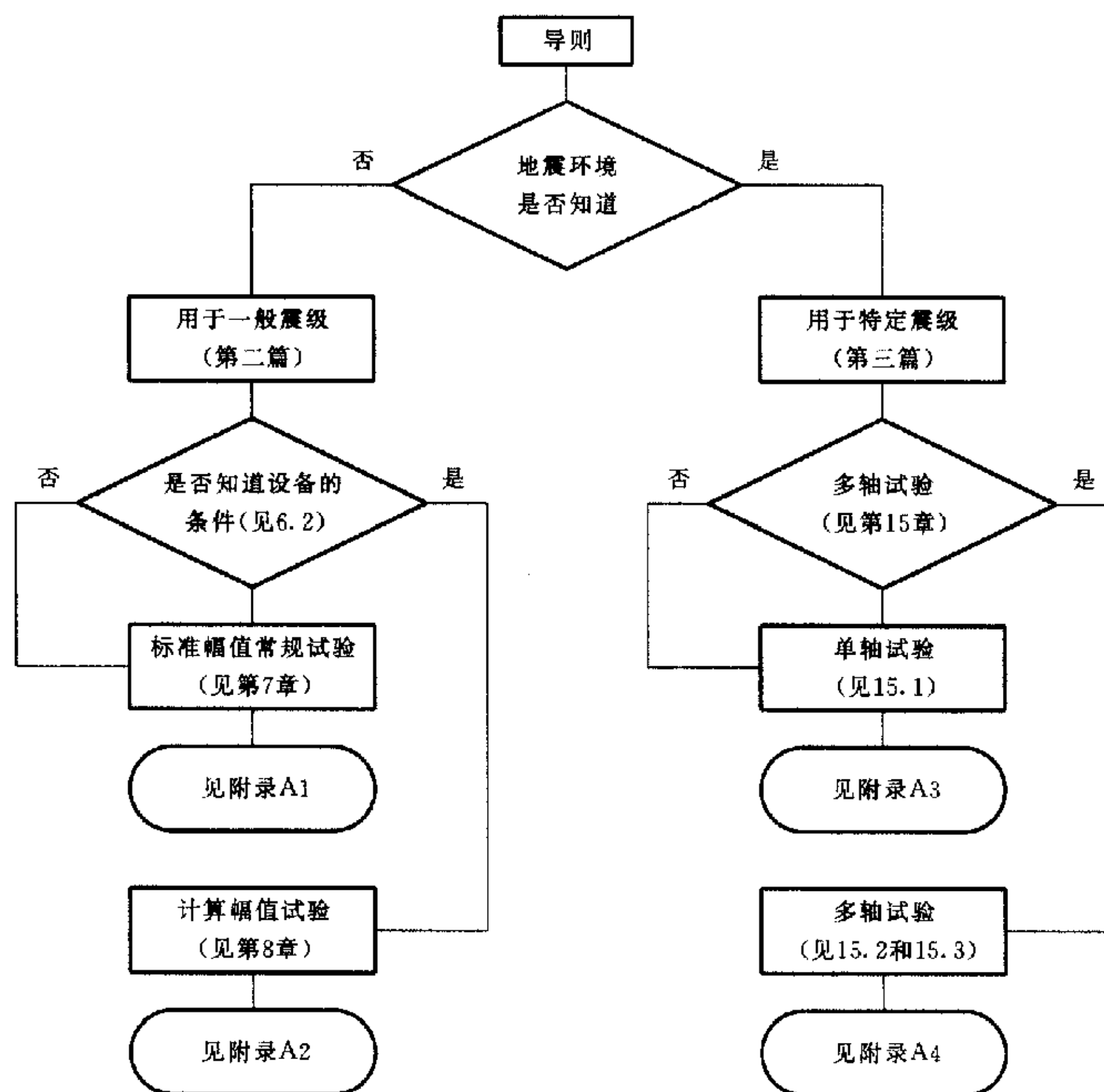


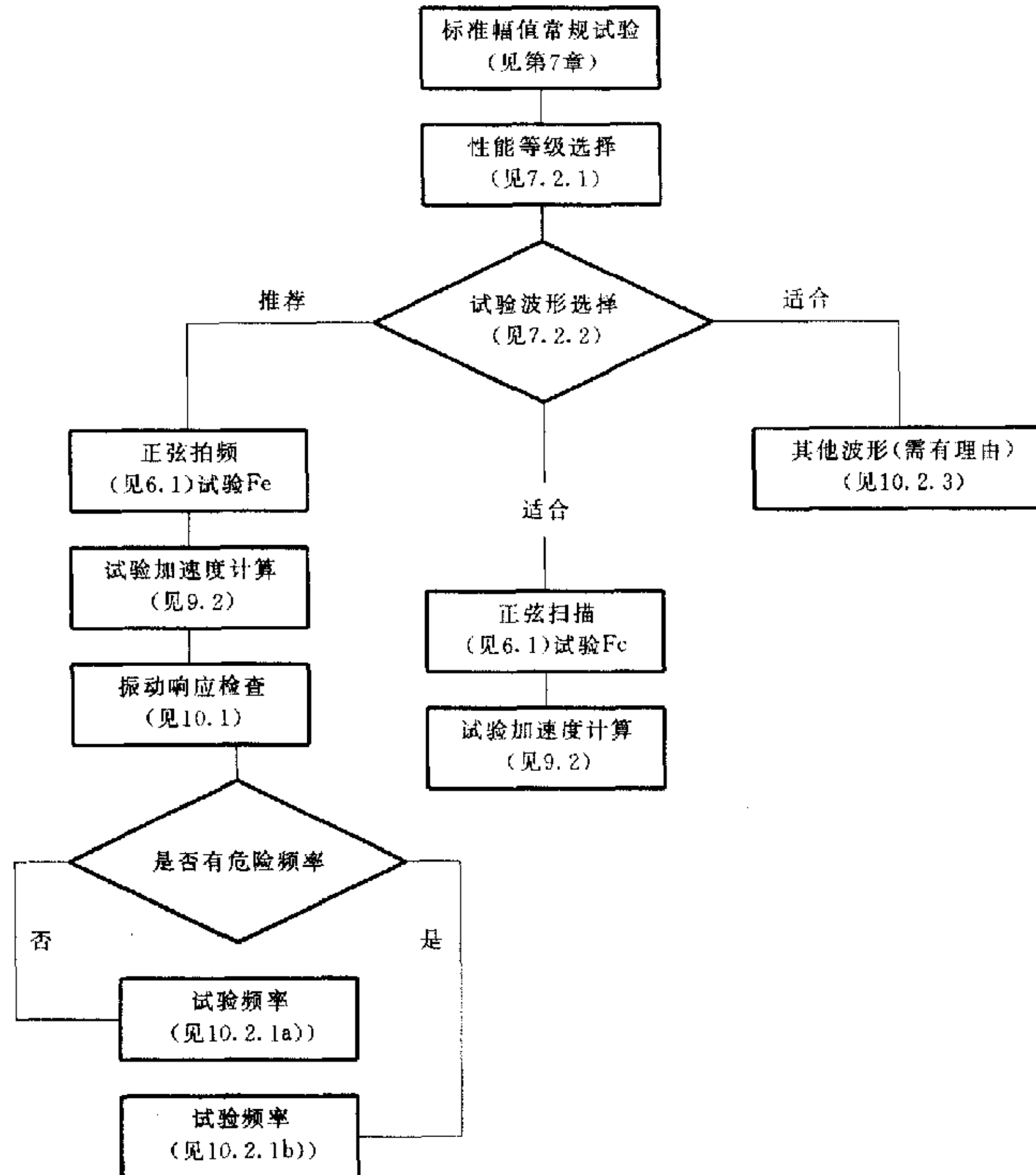
图 9 连续正弦波

附录 A
(标准的附录)
试验选择流程图

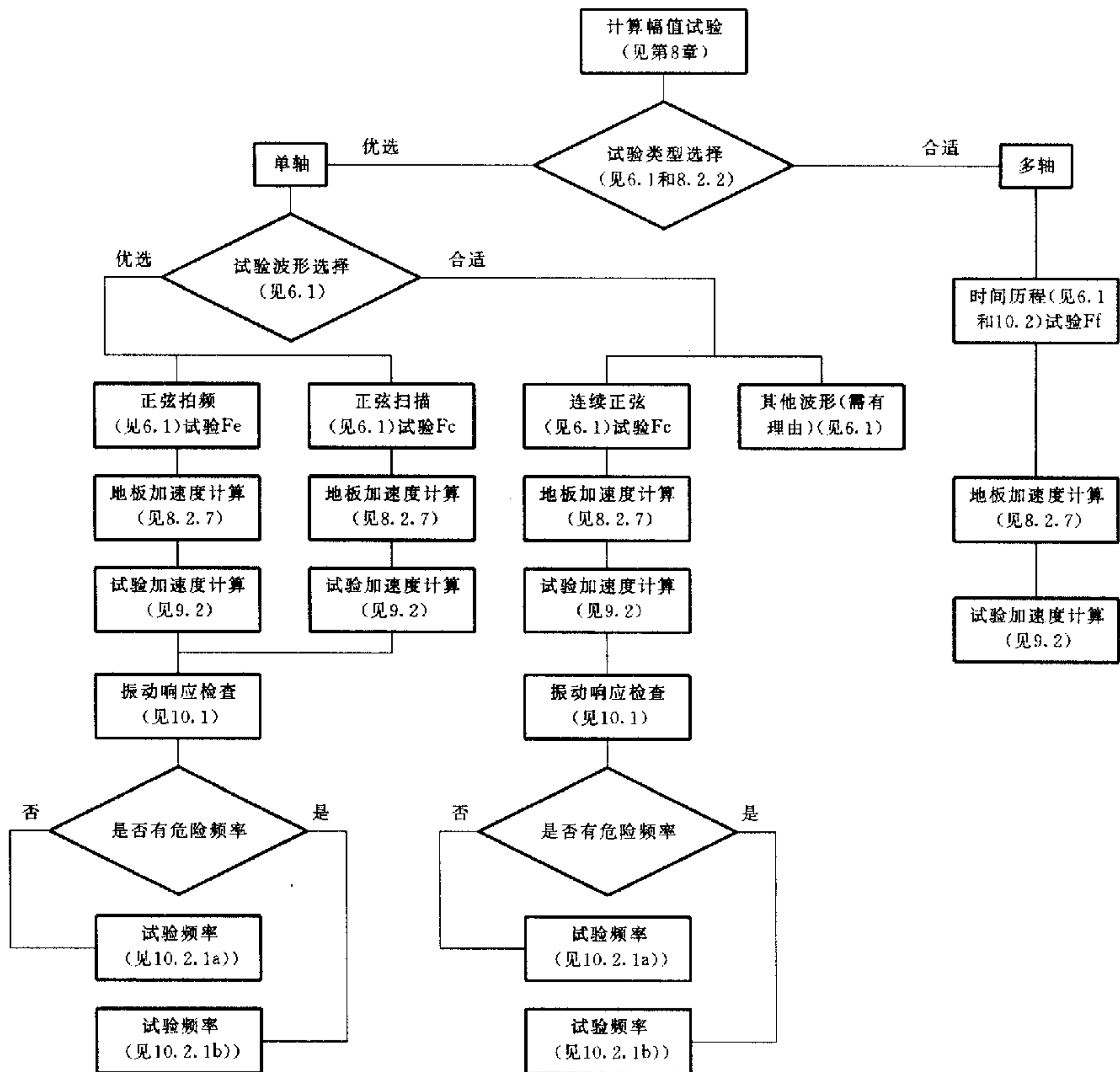
本附录包括下列试验类型选择的流程图和四种单独试验的流程图(A1、A2、A3、A4)。



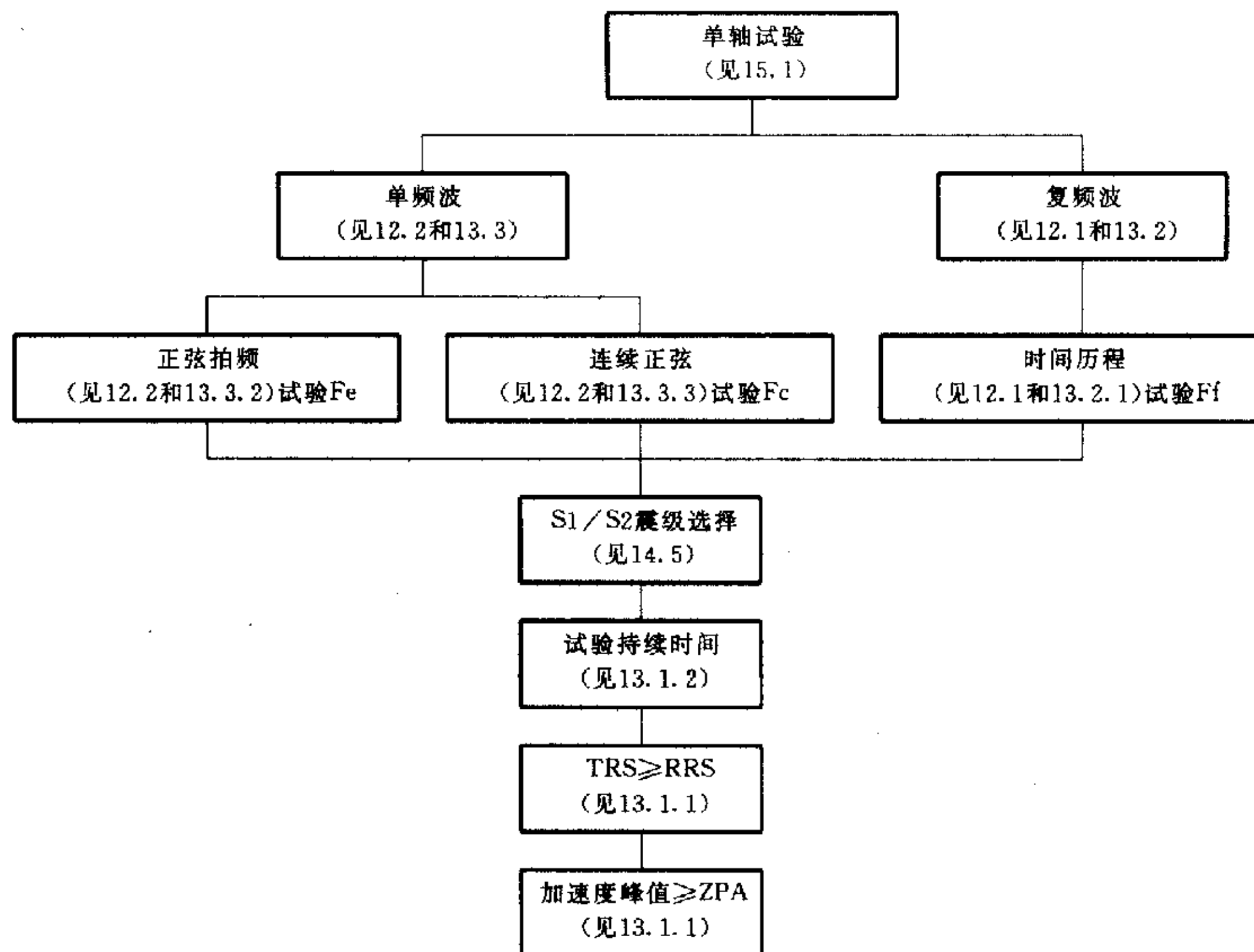
A1 一般震级——标准幅值常规试验



A2 一般震级——计算幅值试验

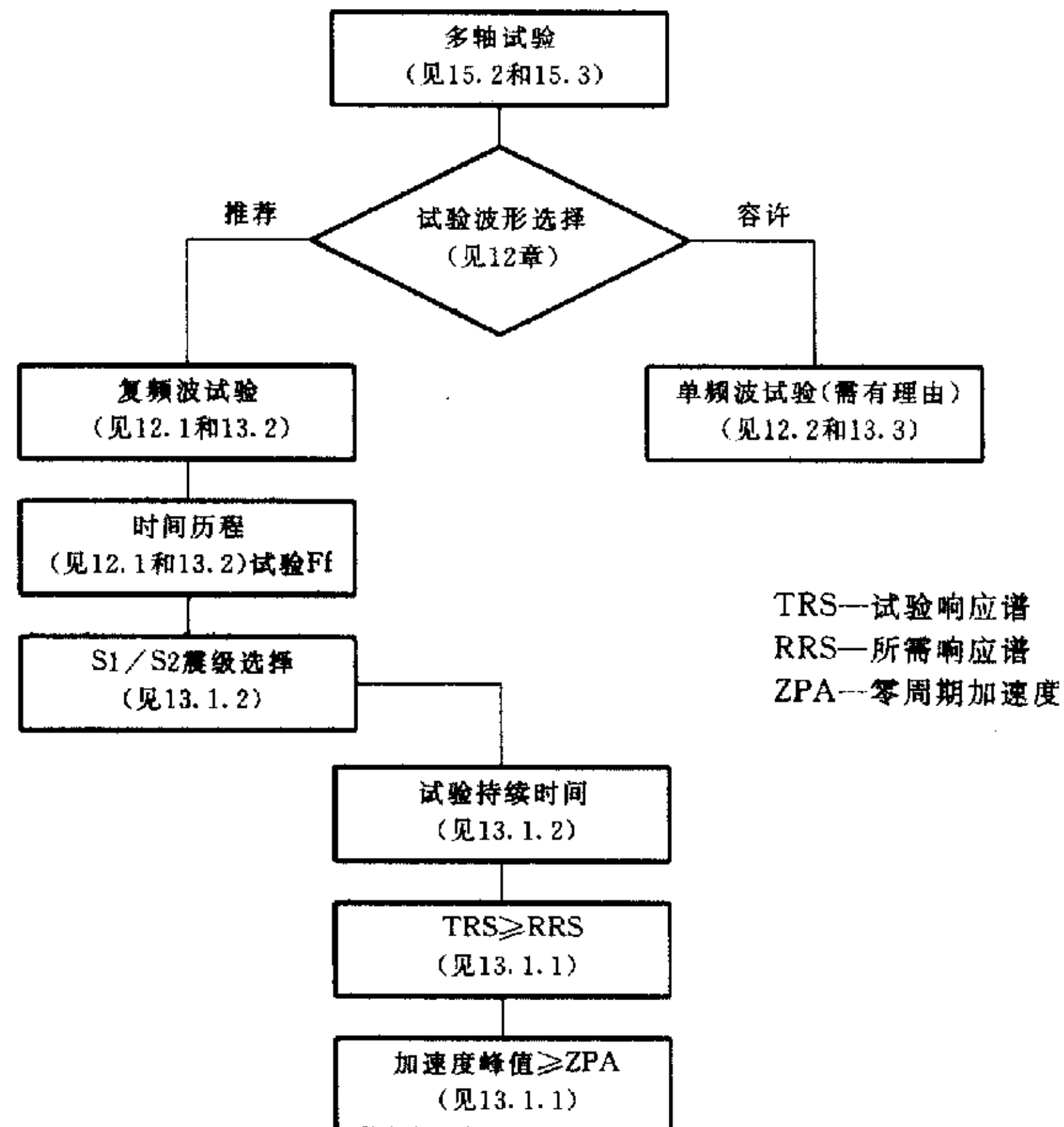


A3 特定震级——单轴试验



TRS—试验响应谱;RRS—所需响应谱;ZPA—零周期加速度

A4 特定震级——多轴试验



TRS—试验响应谱;RRS—所需响应谱;ZPA—零周期加速度