

中华人民共和国国家军用标准

军用设备环境试验方法 振动试验

GJB 150.16—86

Environmental test methods for military equipments

Vibration test

本标准规定了军用设备振动试验方法,是制订军用设备技术条件或产品标准等技术文件相应部分的基础和选用依据。

GJB150.1—86《军用设备环境试验方法 总则》的规定适用于本标准。

振动试验可以在试验过程中的任何时刻进行。当想要评价振动对其它环境的累积影响时,应首先进行振动试验。

如果需要和条件许可,建议做振动和其它环境的综合试验,如振动—温度综合试验。

1 试验目的

振动试验用于评定设备在其预期的运输和使用环境中的抗振能力。

2 试验条件

2.1 振动环境分类

振动环境分类见表1。

2.2 试验程序及条件的选择

根据振动环境来选择试验程序和条件。

一个试验样品可能会有多种环境。例如装在喷气式飞机上的设备涉及第1类(基本运输)和第5类(喷气式飞机),可按两种环境试验。

若试验样品遇到多类振动环境,则要对环境进行比较。如果它们具有类似的应力水平和类似的带宽,应使用最严酷的一类作为代表。

如果运输振动量值比由使用引起的振动量值高,如一些陆地上和舰船设备经常会遇到这种情况,那么,运输和使用振动试验两者都应做。这是因为运输试验时设备不工作而进行使用振动试验时要求设备工作的缘故。

如果使用振动量值比运输振动量值大,则要看两种环境对其疲劳寿命的影响如何,若使用振动的影响更严重,则运输试验可以不做。

表1 振动环境分类表*

划分	分 类	说 明	试验程序	试验条件
运输引起的振动	第1类 基本运输	作为固紧货物的设备。	I	2.3.1款
	第2类 大型组合件的运输	用来代替振动台试验的大型掩体车、货运车和拖车系统。	III	2.3.2款
	第3类 散装件的运输	作为松散的货物装在地面运输车上的设备。	II	2.3.3款
使用引起的振动	第4类 螺旋桨式飞机	装在有人驾驶和无人驾驶的螺旋桨式飞机上的设备,以及直接安装在各类发动机上的设备。	I	2.3.4款
	第5类 喷气式飞机战术导弹	安装在有人和无人驾驶的喷气式飞机上以及自由飞阶段的战术导弹上的设备。	I	2.3.5款
	第6类 直升机	安装在直升飞机上的设备。	I	2.3.6款
	第7A类 外挂	喷气式飞机携带的组合式外挂(包括挂飞的导弹)。	IV	2.3.7款
	第7B类 外挂	安装在喷气式飞机携带的外挂上的设备。	I	2.3.8款
	第7C类 外挂	直升飞机携带的组合外挂。	I	2.3.9款
	第8类 陆地机动	安装在轮车、拖车和履带车上的设备。	I	2.3.10款
	第9类 舰船	安装在舰船上的设备。	I	2.3.11款
	第10类 低限完整性试验	a. 所有其它情况,如便携式设备。 b. 带减震的设备。	I	2.3.12款

* 也可作为设备分类参考。

2.3 试验条件的确定

若有可用的实测数据,可由实测数据来确定试验条件,或采用下列各款提供的试验条件。

2.3.1 第1类—基本运输

作为固紧货物的设备通过陆地、海上或空中运输时都将遇到这种环境。陆上运输环境比海

上或空中更为严重,而且所有海上或空中运输的前后都将包括有陆上运输,因此以陆上运输来作为基本运输环境。

陆上运输环境包括公路运输和铁路运输,而公路运输比铁路运输更为严重,因此,以公路运输来作为运输环境。

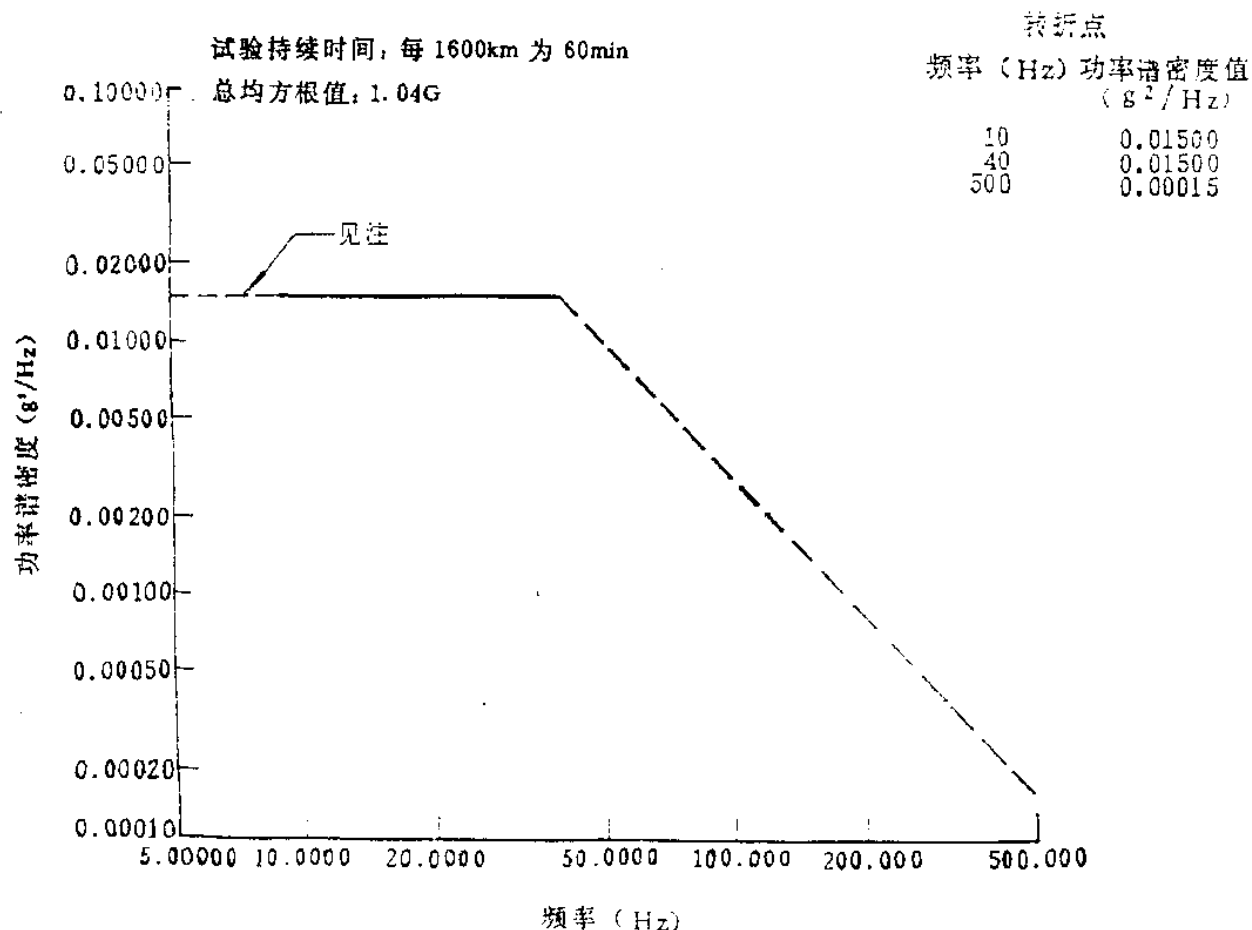
公路运输的环境是一种宽带振动,它是由于车体的支承、结构与路面平度的综合作用产生的。设备的运输一般是指从制造厂到用户以及用户之间所经受的典型环境。这些运输可分为两个阶段,公路运输和野战任务运输。

由制造厂到我国各地仓库或使用单位,这种运输通常是由大卡车和(或)由牵引车加拖车完成,这种运输的里程范围一般为 1600~2400km。

野战任务运输通常是由双轮拖车、2.5~10t 的卡车、半拖车和(或)履带车来完成,典型距离是 500km,路面条件差,在战斗环境下将经历恶劣的路面和原始地形。

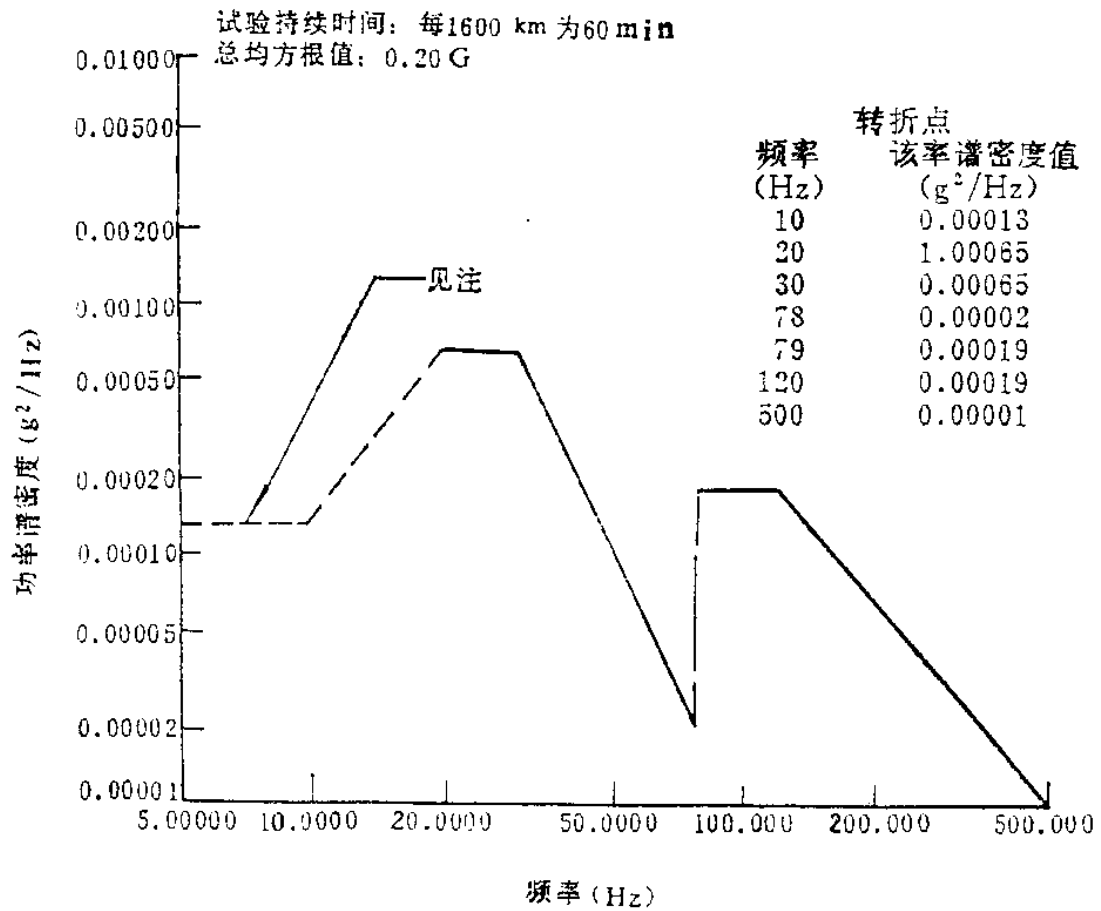
2.3.1.1 试验量值

图 1~图 3 为公路运输环境;



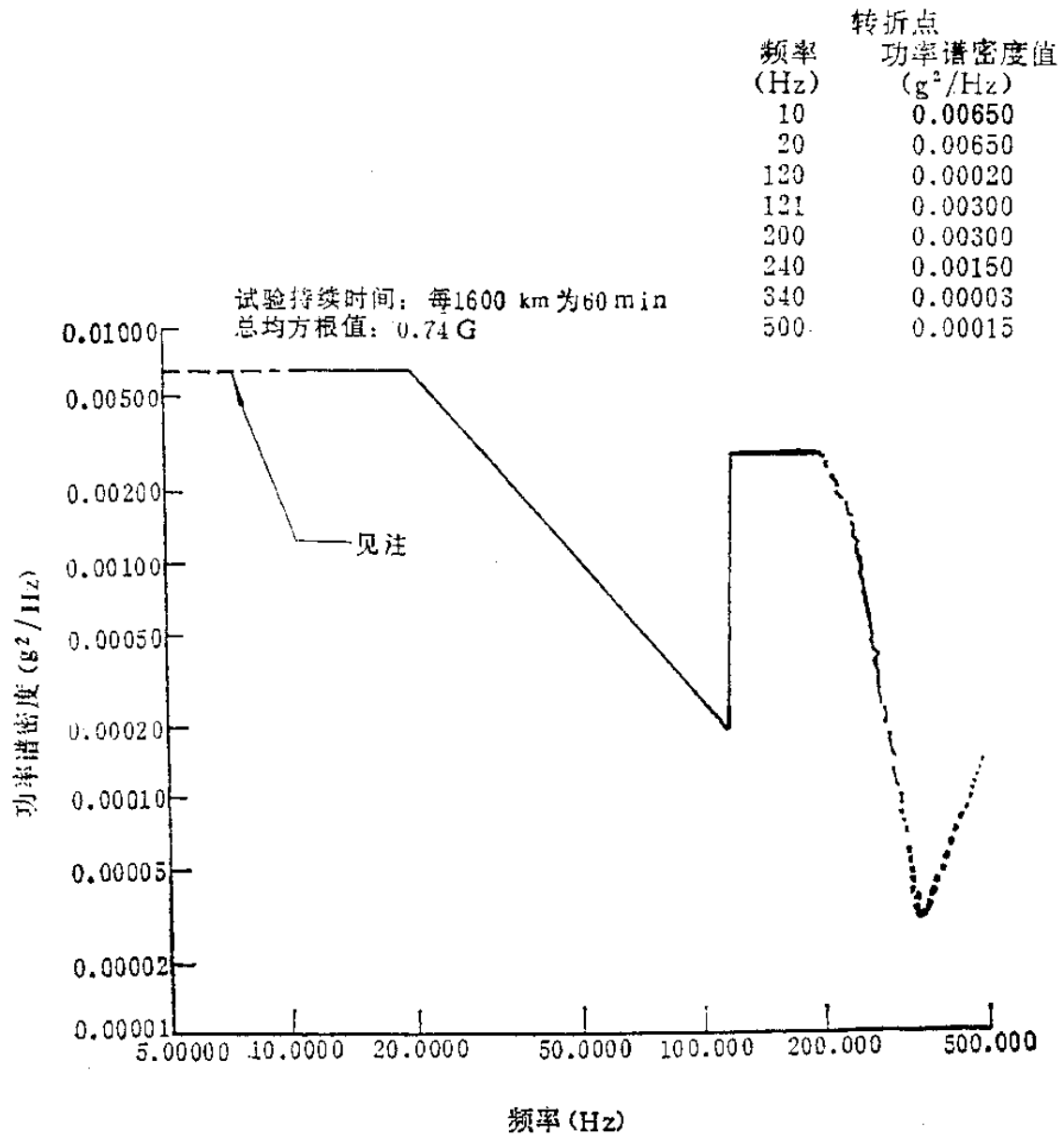
图注: 如果已知激励预期在 10Hz 以下, 曲线可以在现有数据基础上延伸而构成。

图 1 公路运输环境 垂直轴



图注: 如果已知激励预期在 10Hz 以下, 曲线可以在现有数据基础上延伸而构成。

图 2 公路运输环境 横侧轴



图注: 如果已知激励预期在 10Hz 以下, 曲线可以在现有数据基础上延伸而构成。

图 3 公路运输环境 纵向轴

图 4~图 6 为两轮拖车底板上的运输环境;

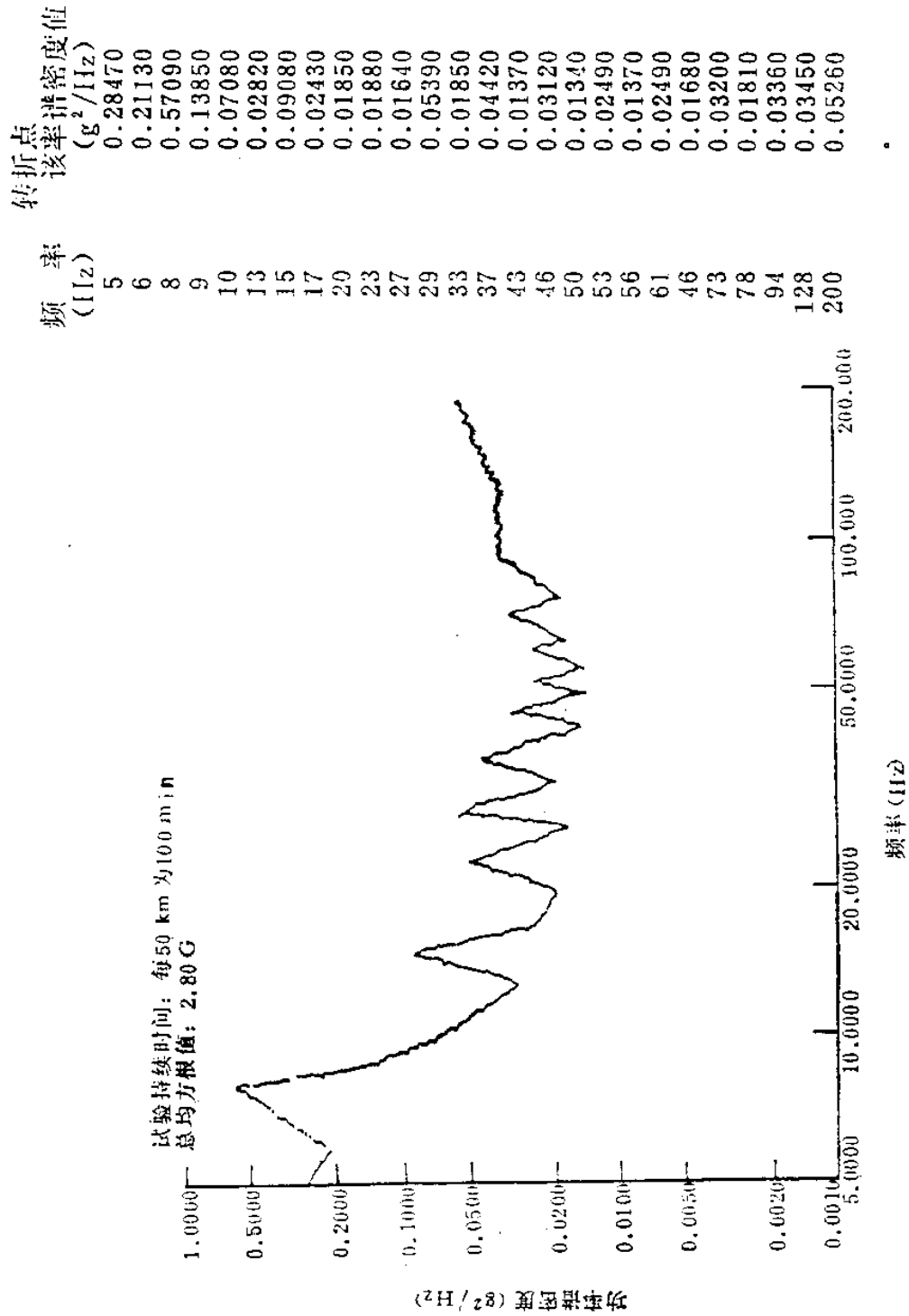


图 4 两轮拖车环境 垂直轴

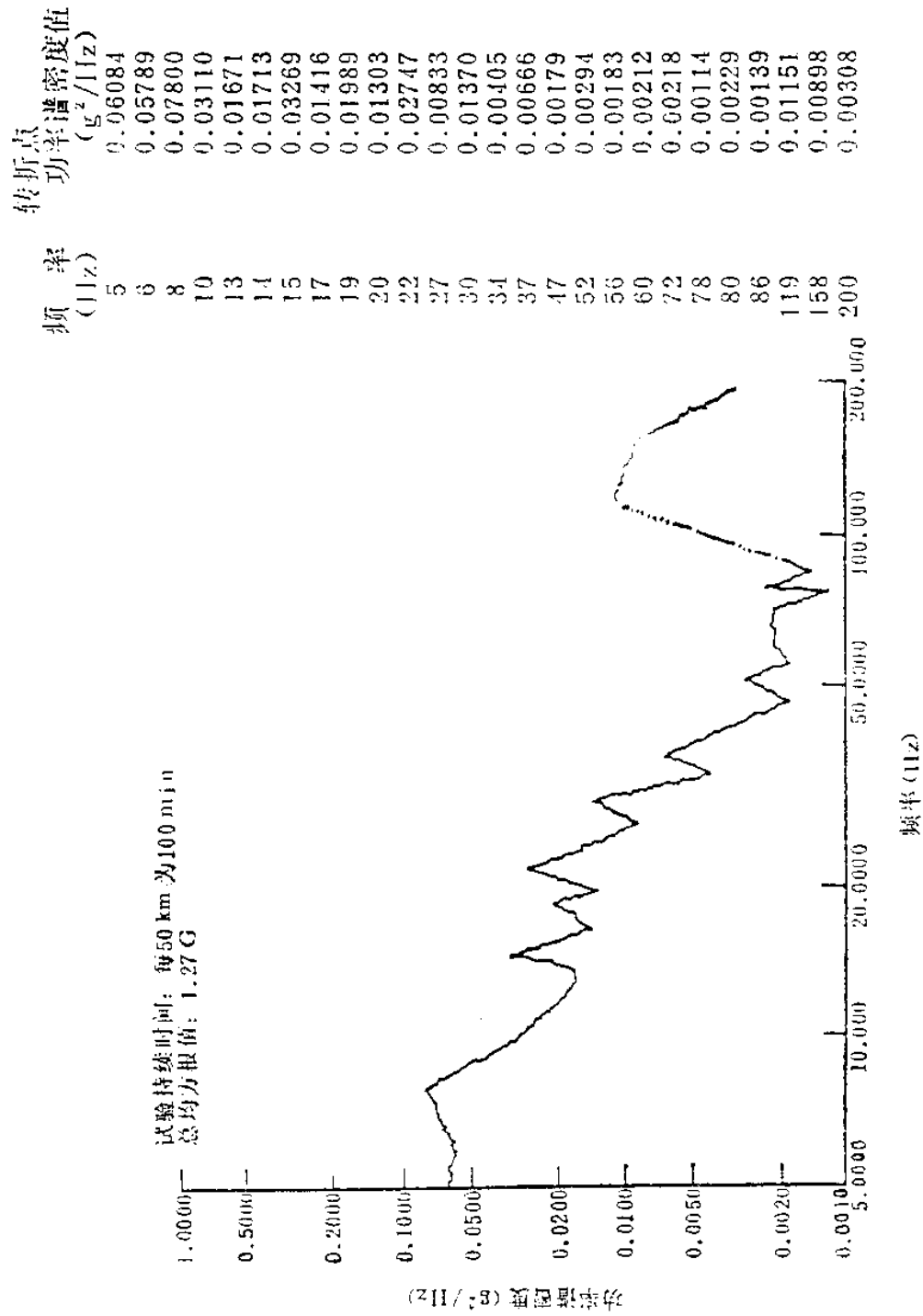


图5 两轮拖车环境 横侧轴

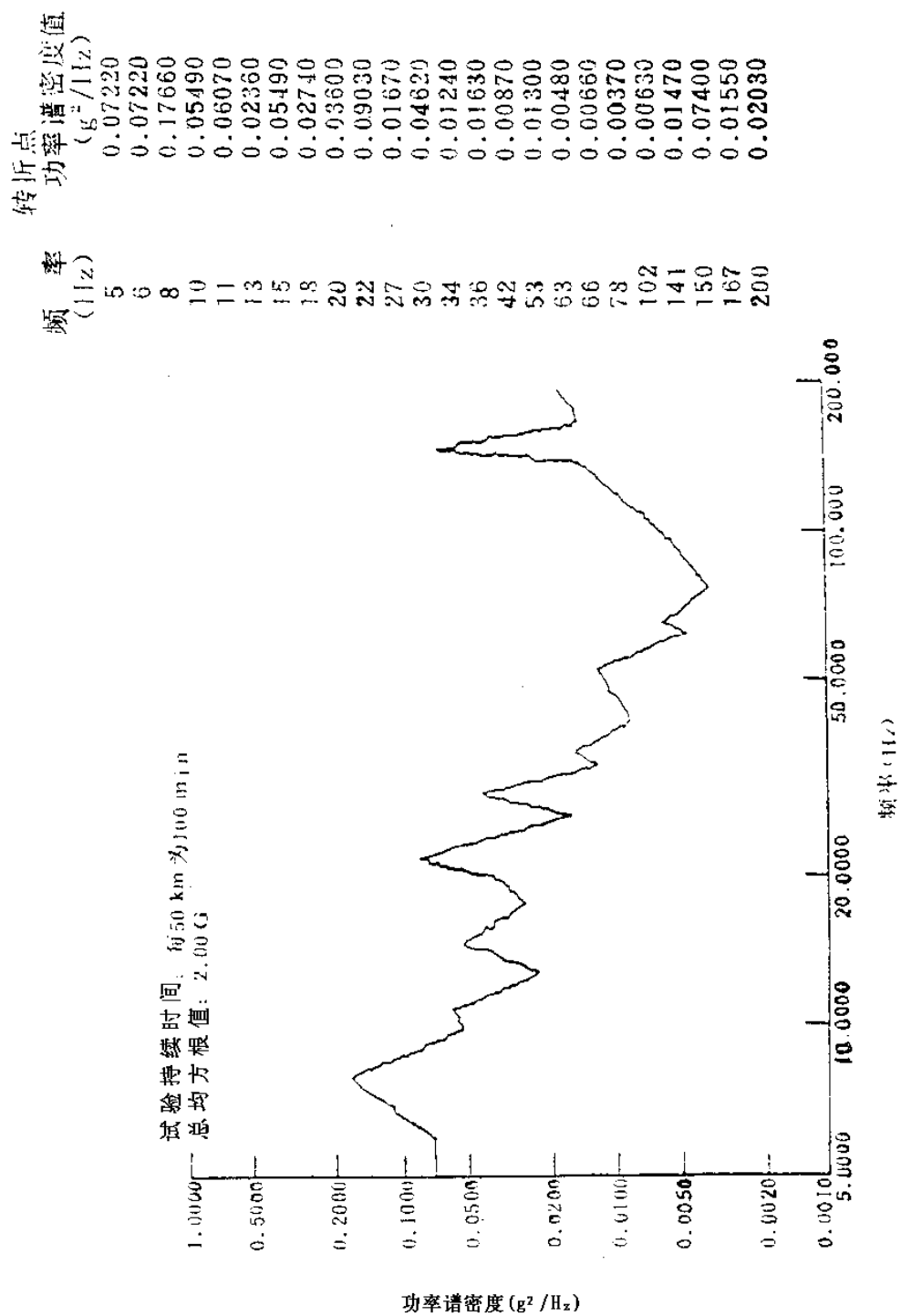


图 6 双轮拖车环境 纵向轴

图 6 双轮拖车环境 纵向轴

图 7~图 9 为轮式战斗车、5t 卡车和 12t 的半拖车组合货架的运输环境；

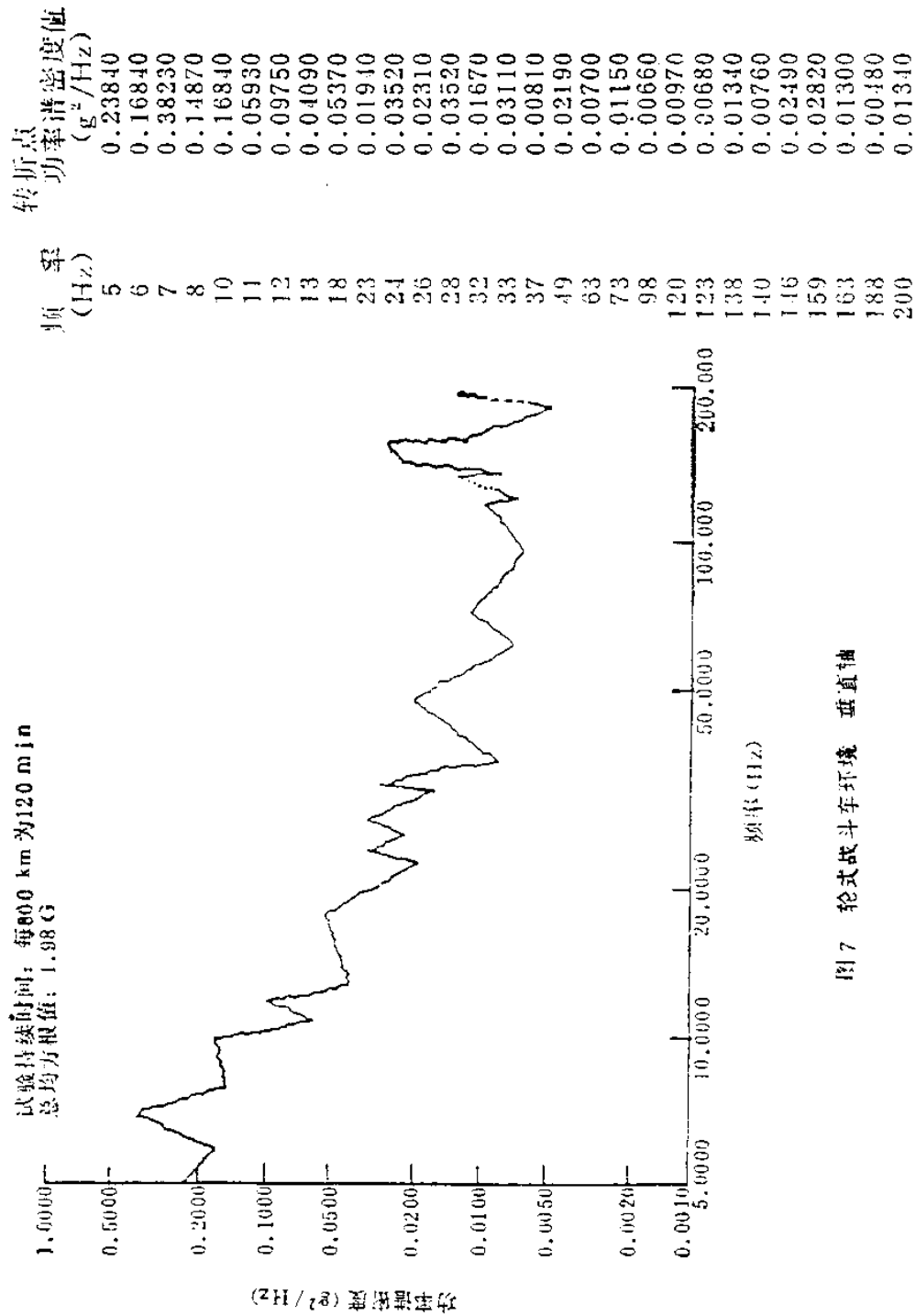


图 7 轮式战斗车环境 垂直轴

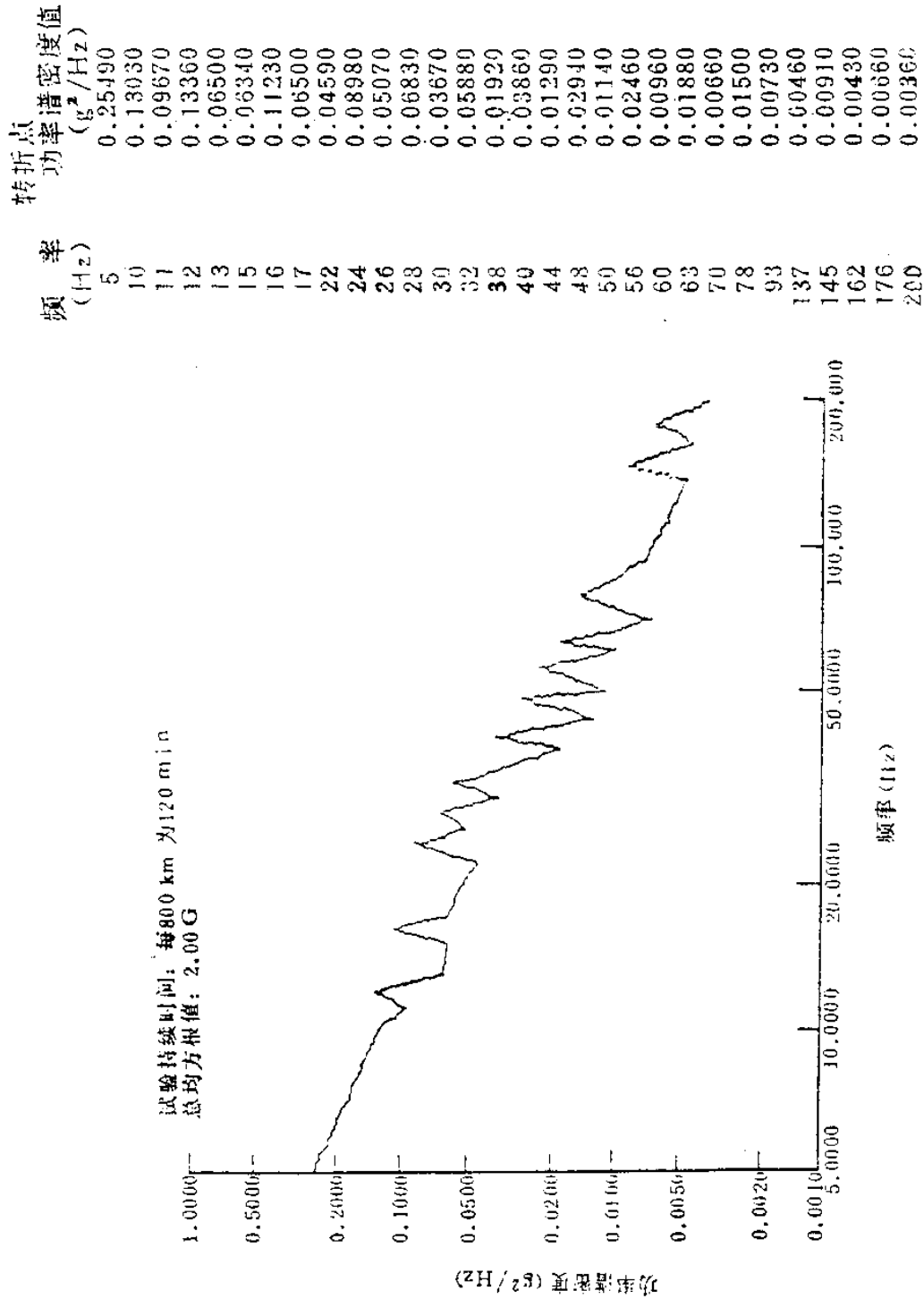


图 8 轮式战车环境 横侧轴

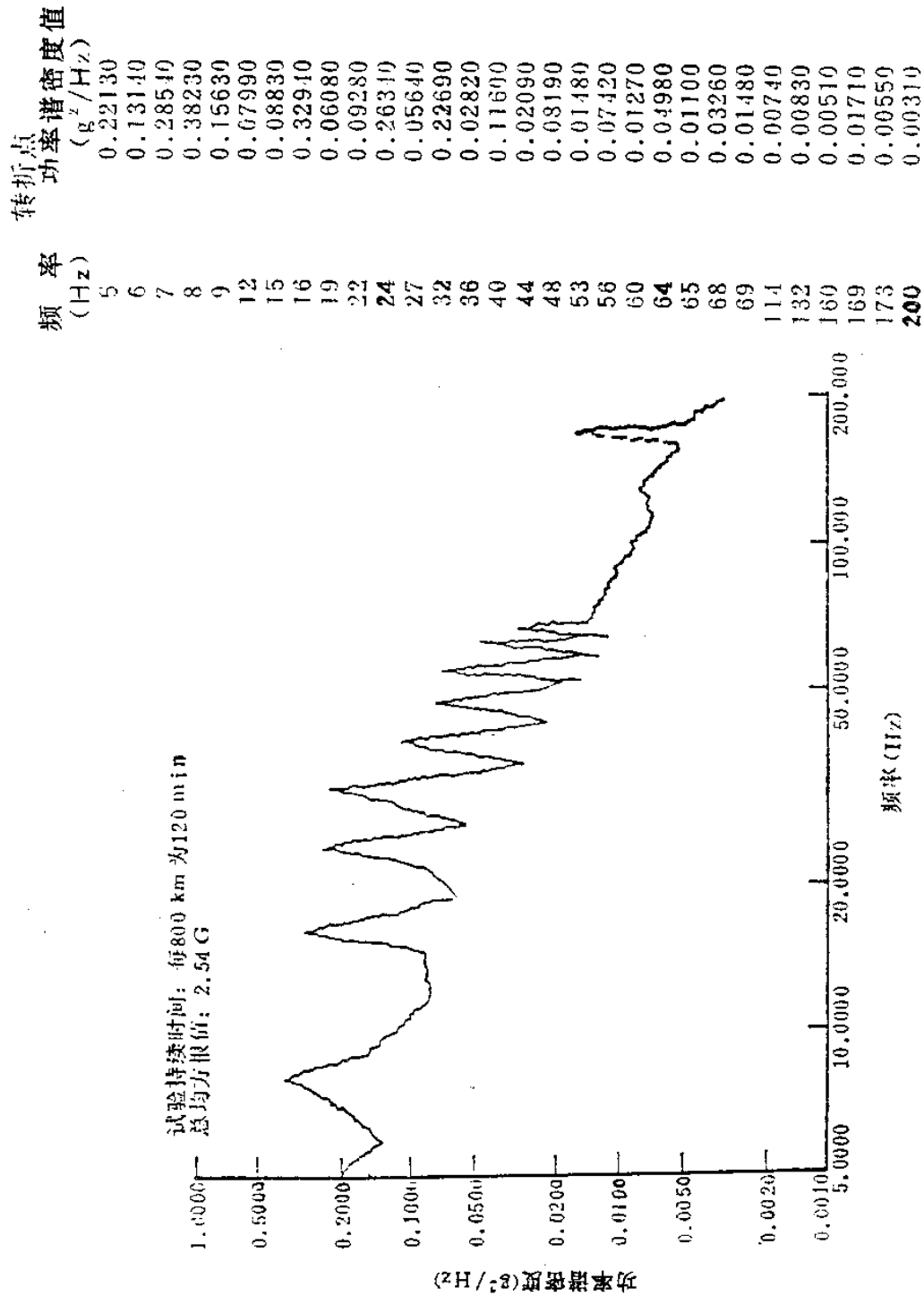


图9 轮式战斗车环境 纵向轴

图 10~图 22 为履带车(美国 M548 型履带车)底板上的运输环境。

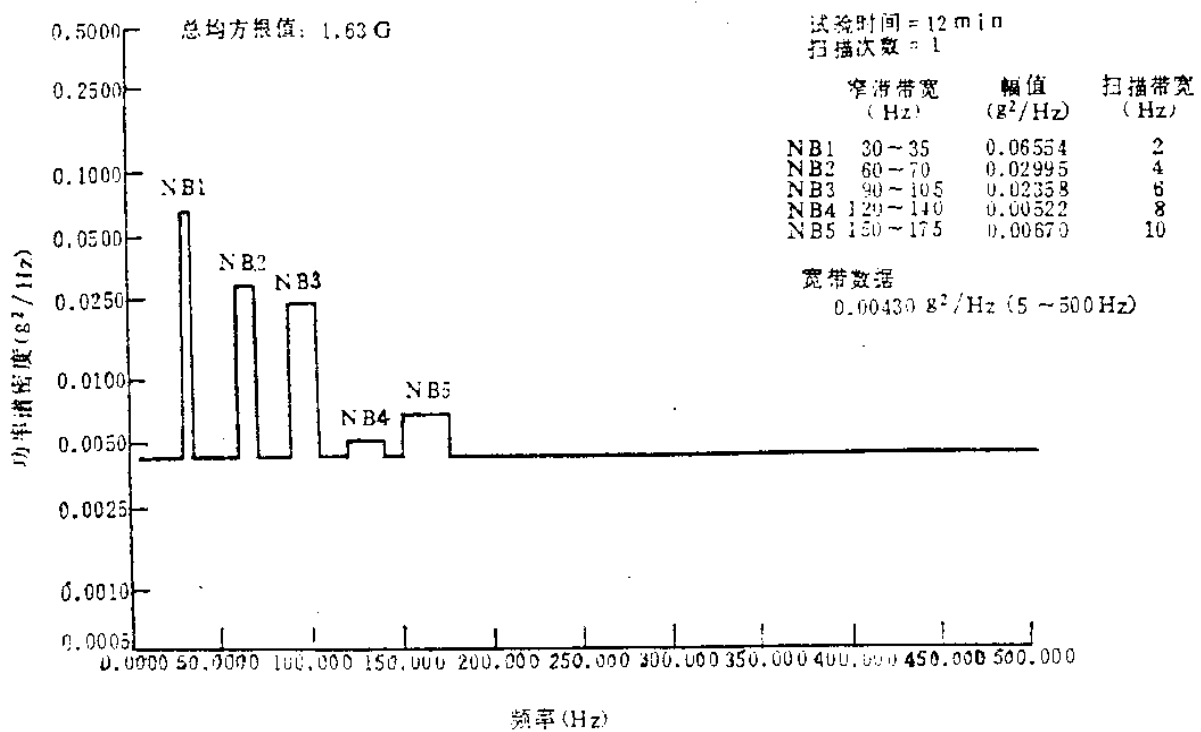


图 10 履带车环境 垂直轴 第 1 阶段试验

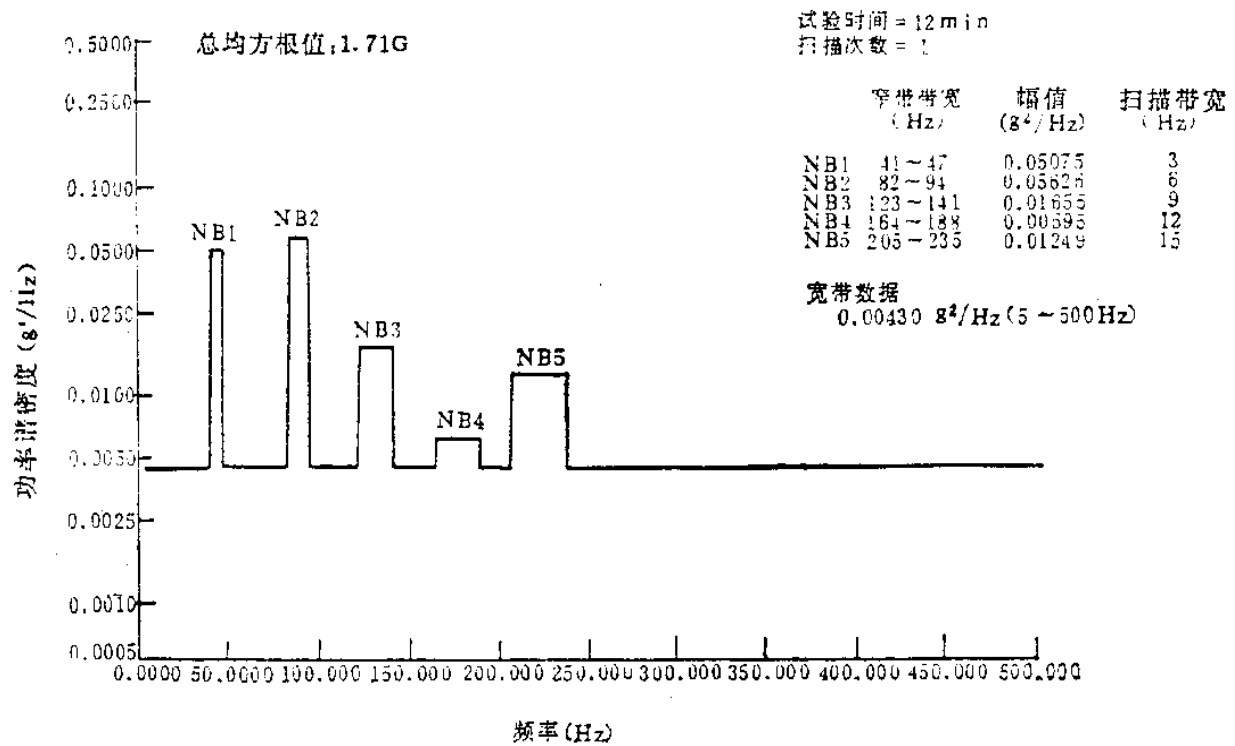


图 11 履带车环境 垂直轴 第 2 阶段试验

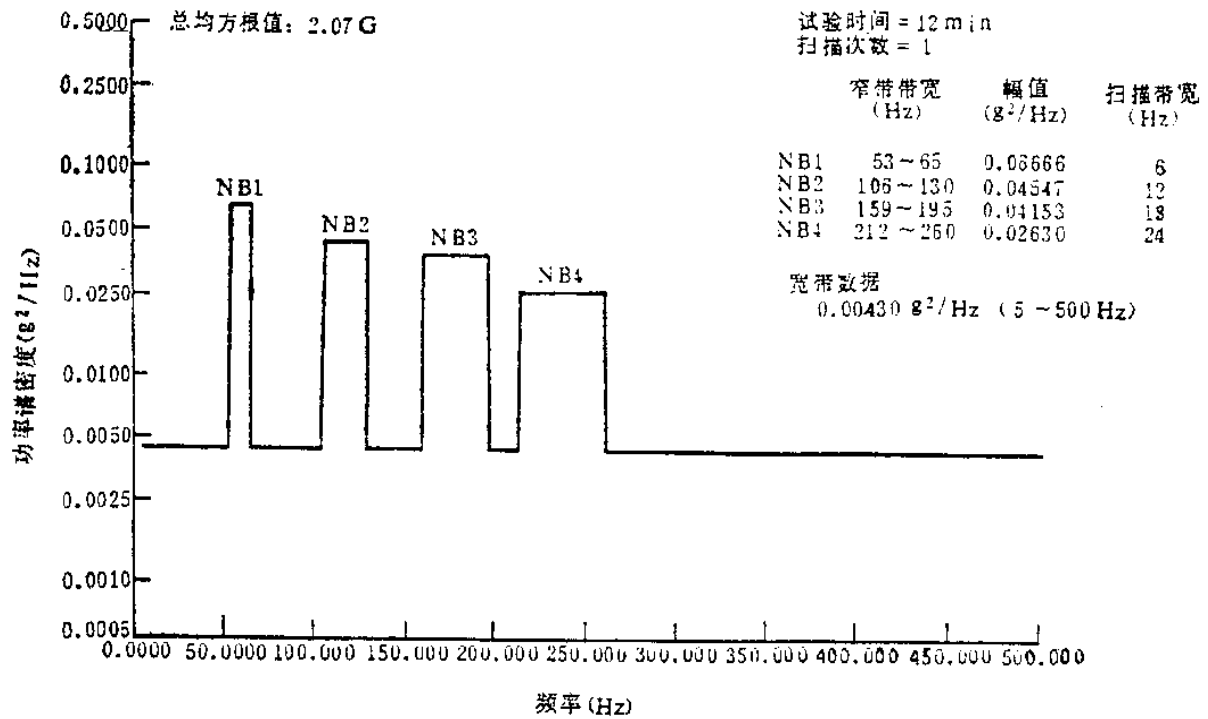


图 12 履带车环境 垂直轴 第 3 阶段试验

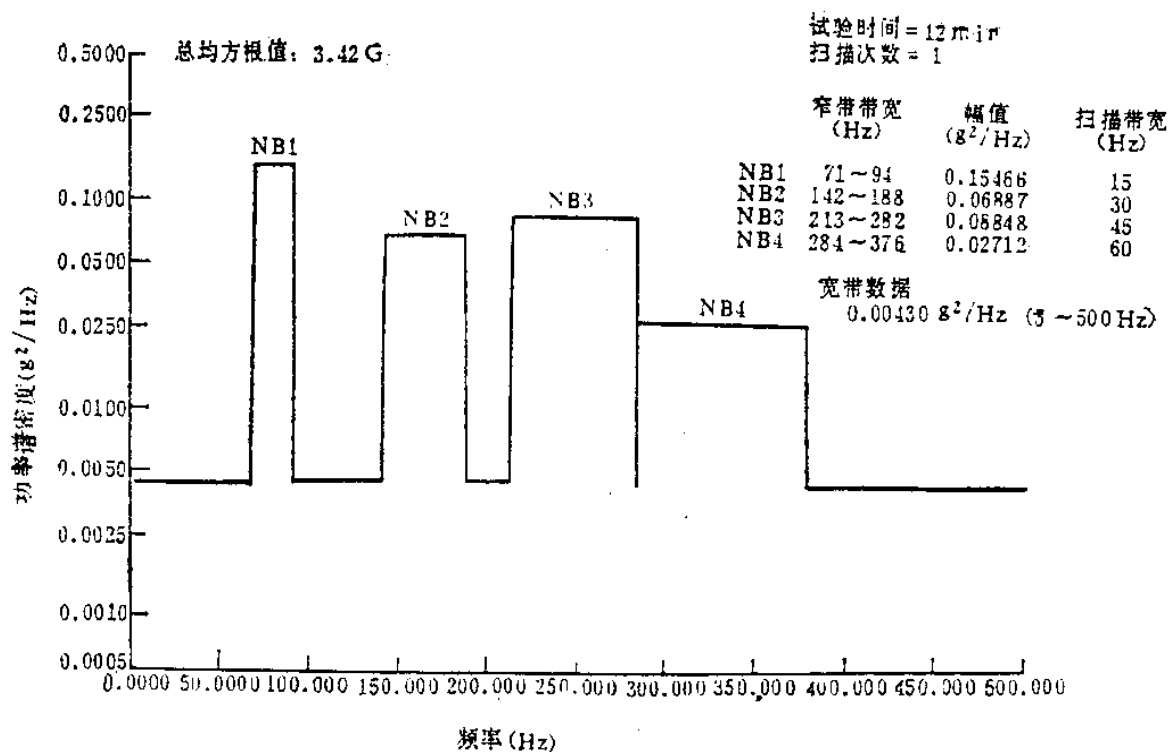


图 13 履带车环境 垂直轴 第 4 阶段试验

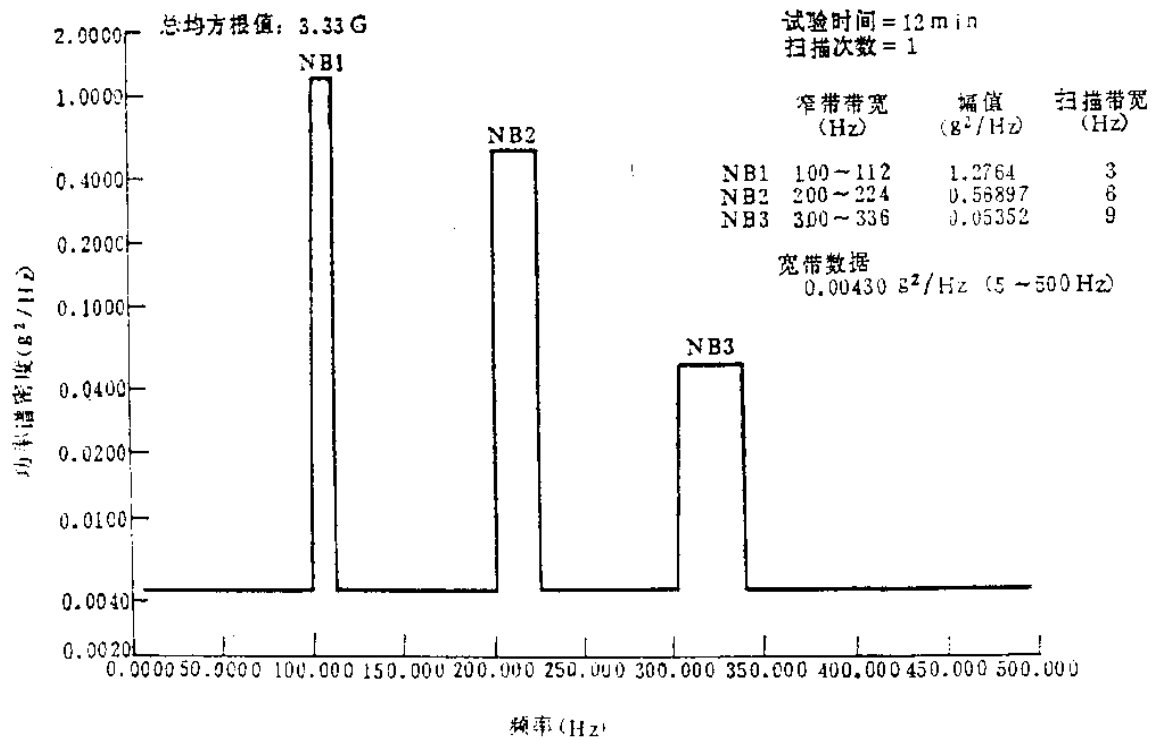


图 14 履带车环境 垂直轴 第 5 阶段试验

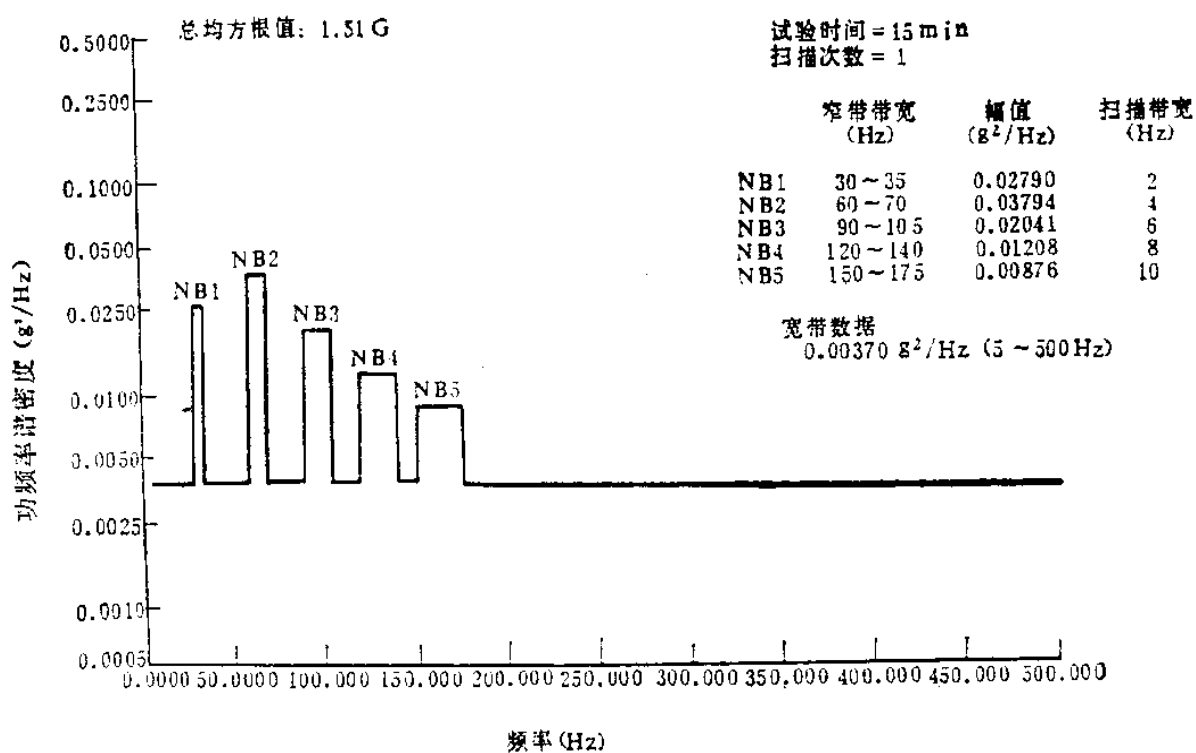


图 15 履带车环境 横侧轴 第 1 阶段试验

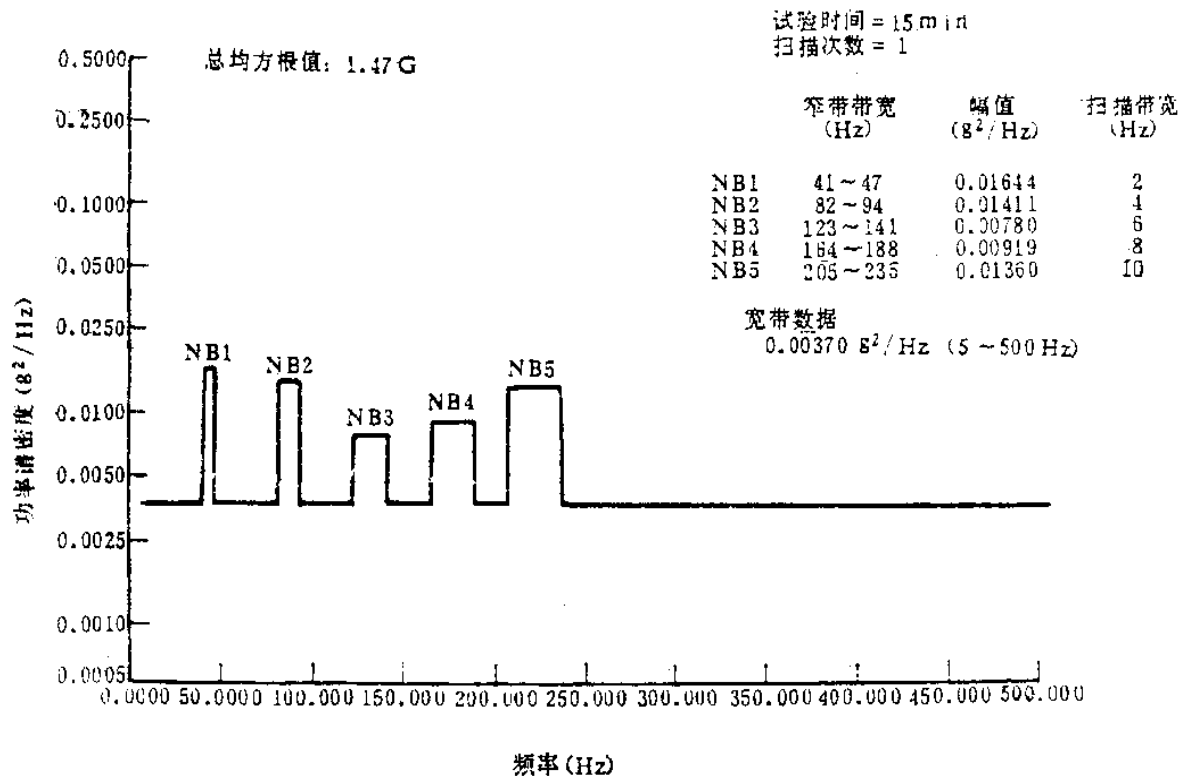


图 16 履带车环境 横侧轴 第 2 阶段试验

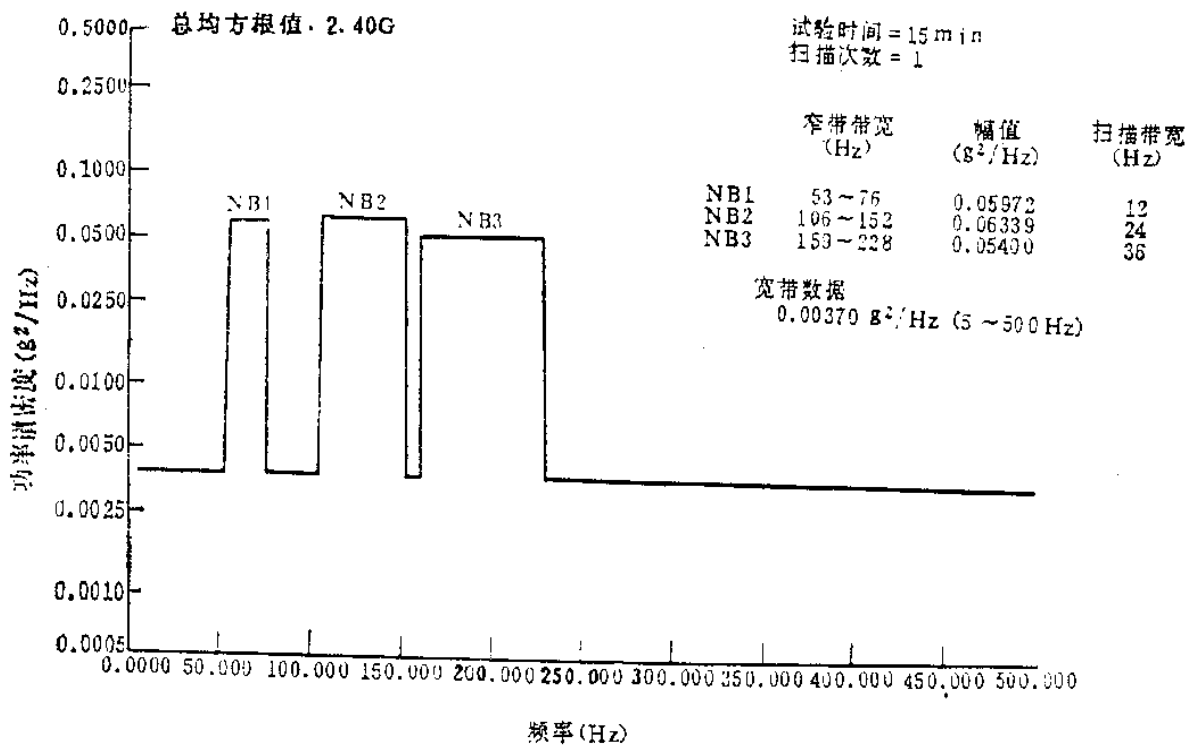


图 17 履带车环境 横侧轴 第 3 阶段试验

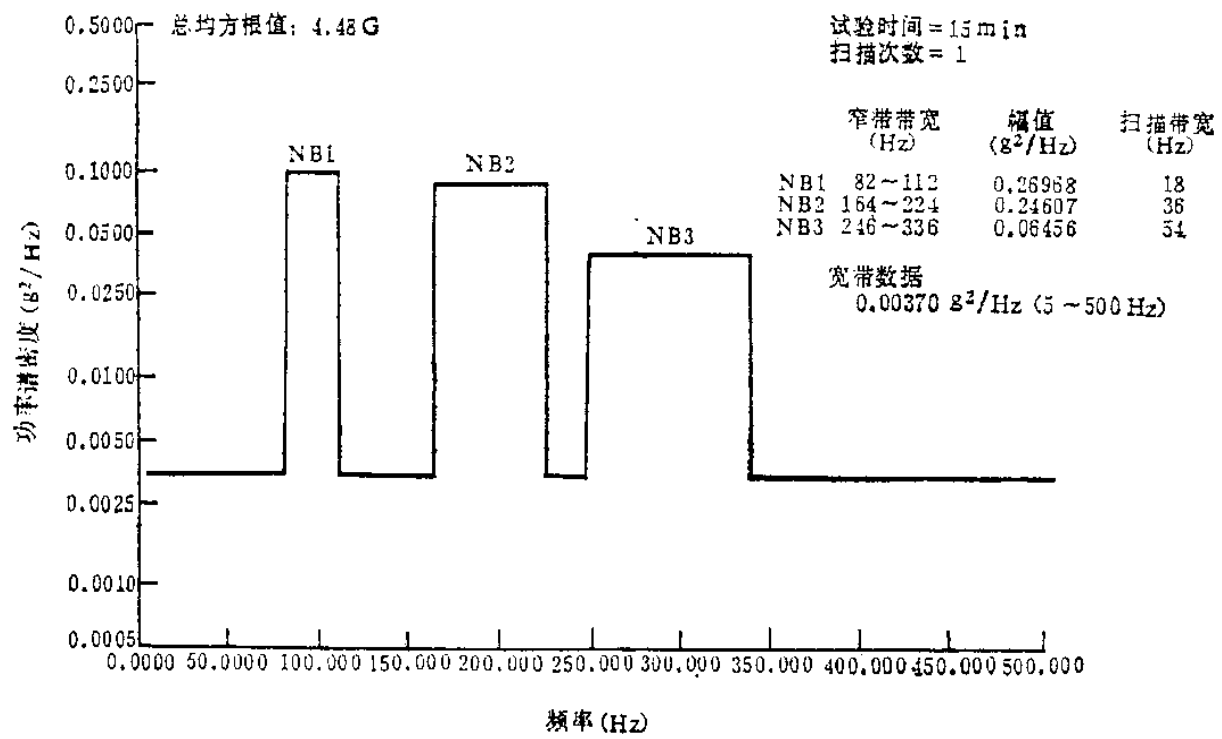


图 18 履带车环境 横侧轴 第 4 阶段试验

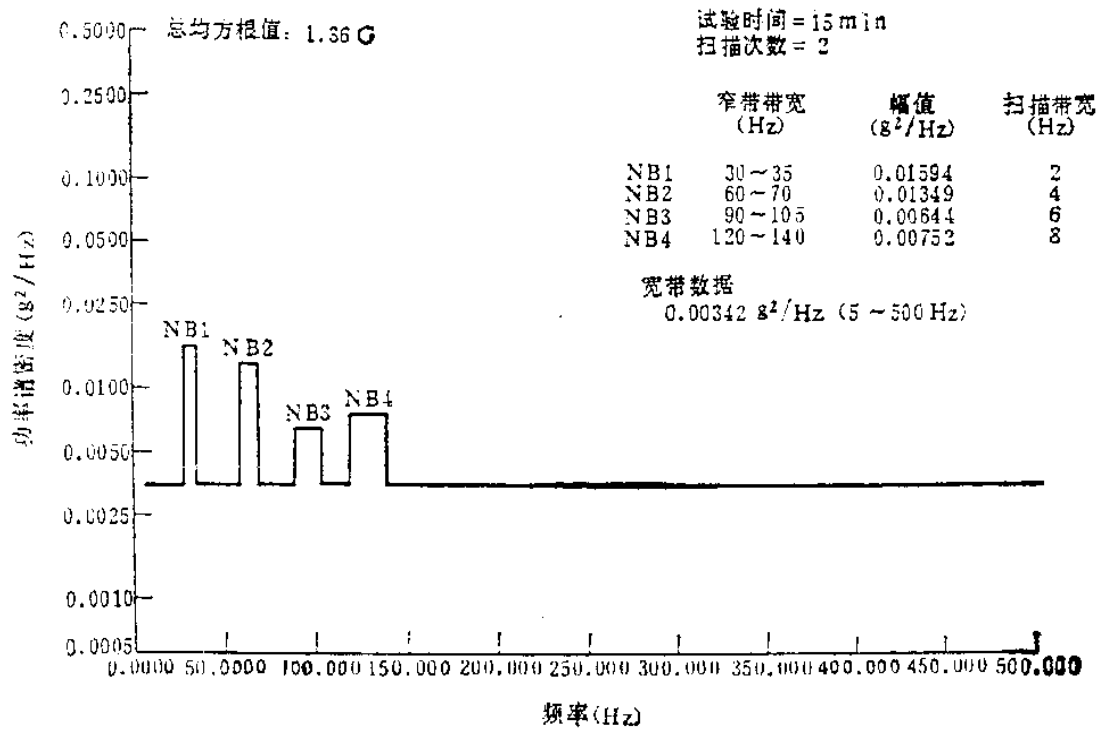


图 19 履带车环境 纵向轴 第 1 阶段试验

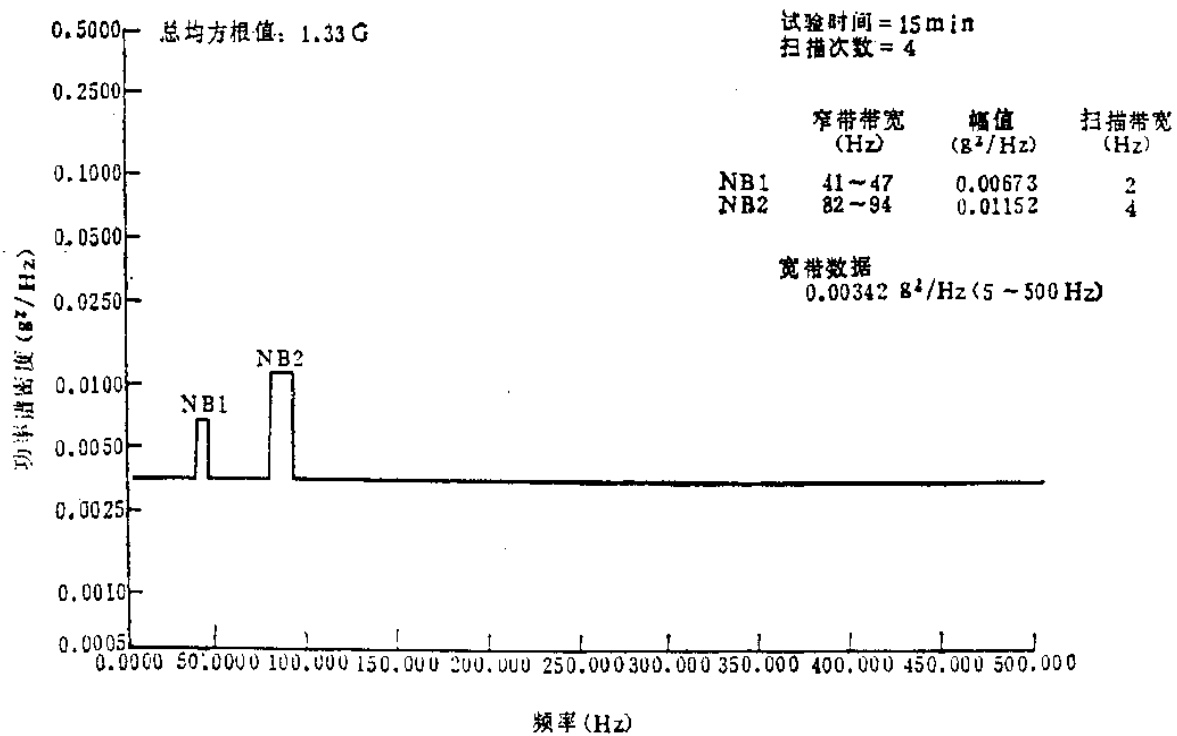


图 20 履带车环境 纵向轴 第 2 阶段试验

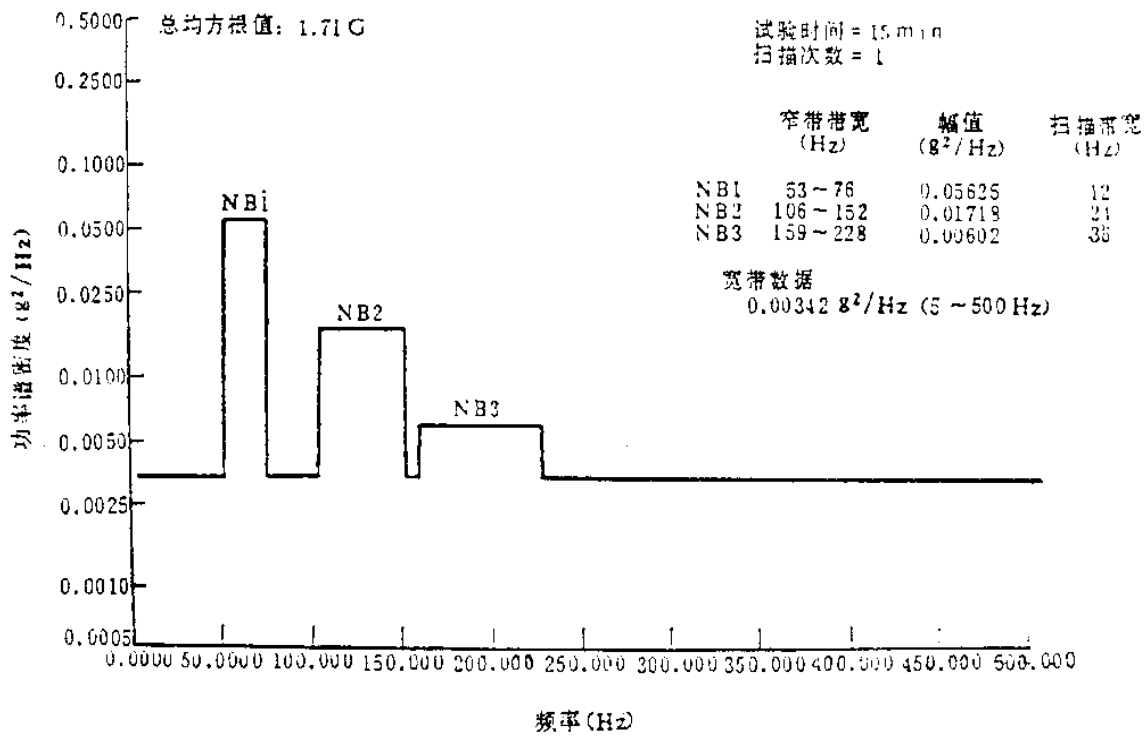


图 21 履带车环境 纵向轴 第 3 阶段试验

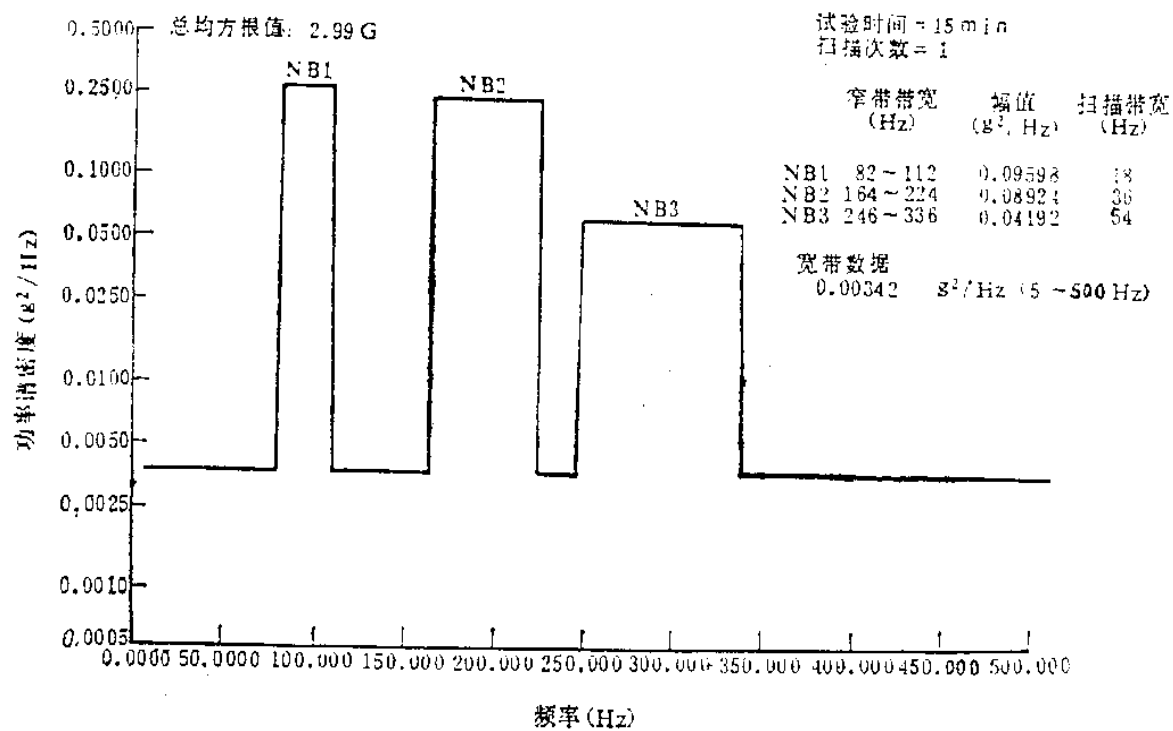


图 22 履带车环境 纵向轴 第 4 阶段试验

在选用这些图时要分析具体情况,例如拍打频率以及试验样品经受哪种环境,是公路运输还是野战任务运输,还是两者兼有等。公路运输,可从图 1~图 3 上确定试验量值,野战运输,可从图 4~图 22 上去选定。若试验样品经受两种环境,则按严重的做。履带车的拍打基频可按下式计算:

$$f = V/P \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: f —拍打基频, Hz;

V —履带车速度, m/s;

P —履带节距, m。

2.3.1.2 试验持续时间

基本运输的试验持续时间是根据预期的运输总里程来确定的,图 1~图 9 给出了每个轴向的试验持续时间。对履带车,试验时间每 25km 为 60min,它由每个轴向的各个阶段(每个阶段的试验持续时间给出在相应的图上)试验组成,根据里程数来调节窄带随机扫描的总次数。

典型的野战运输情况见图 23。

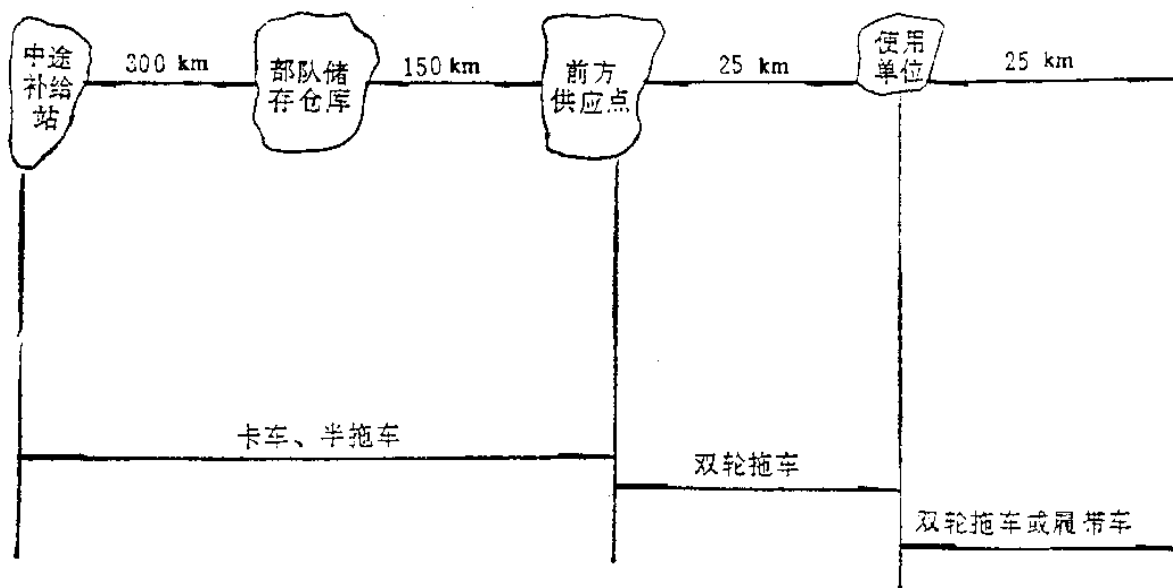


图 23 典型的野战任务运输情况

2.3.1.3 试验安装及激励

按实际运输时使用的典型约束和系紧固定方式将试验样品固定在振动夹具或振动台面上,并且在每个典型轴向施加激励。试验样品在试验期间不工作。

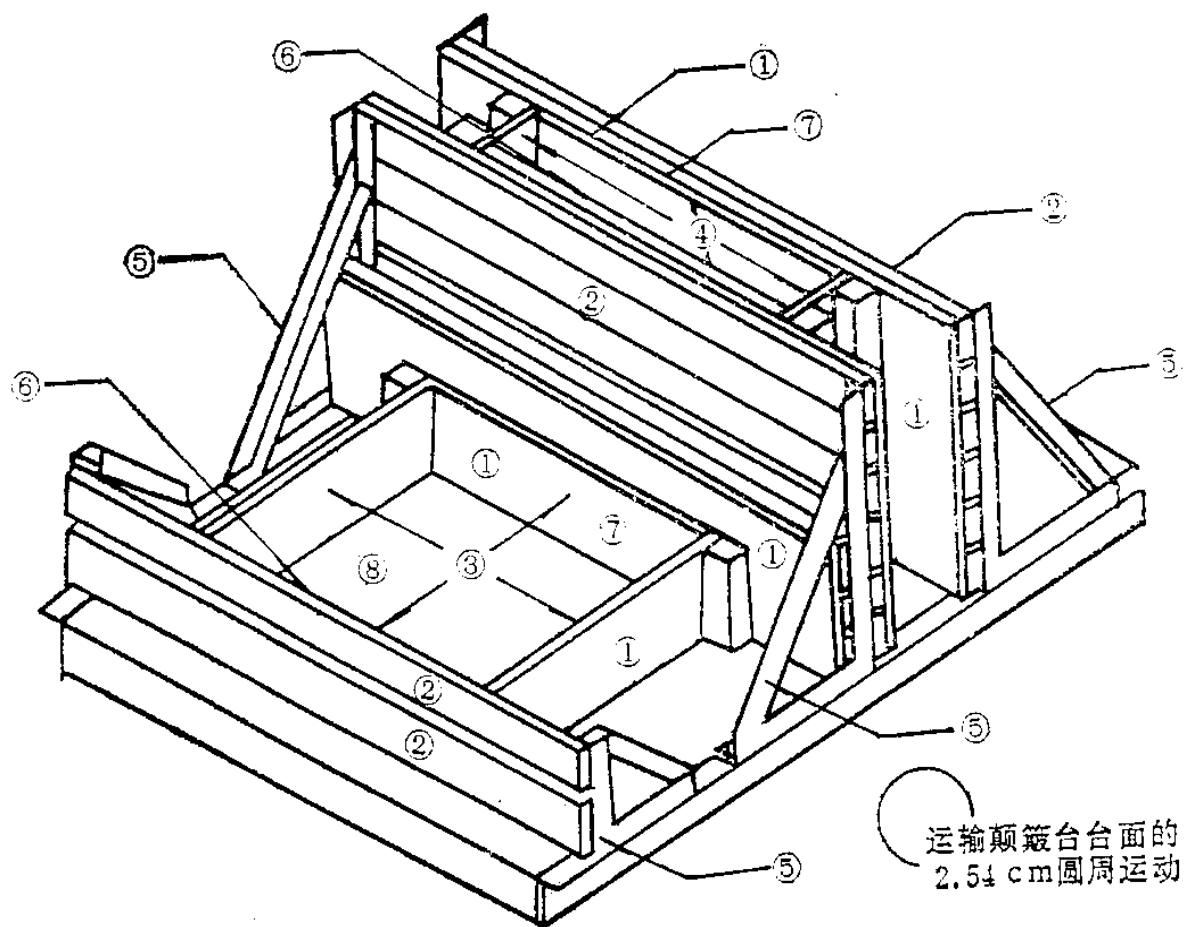
2.3.2 第 2 类—大型组合件的运输

对于大型集装箱或系统(统称为组合件)在振动台上试验往往难以实现,即使能实现经济上也是不合算的。在这种情况下,可用真实运输车来进行试验。运输车通过选定的试验路面使试验样品经受振动,直到试验样品在预期典型使用情况下得到充分考验为止。

2.3.2.1 试验量值

试验量值取决于选定的路面和程序 III 所确定的车速。

2.3.2.2 试验持续时间



- ① 2.54cm 厚的层板
- ② 5.08cm×15.24cm 松木
- ③ 放置试验样品的围栏
- ④ 放置试验样品的围栏
- ⑤ 角铁构成的支架
- ⑥ 前挡板
- ⑦ 后挡板
- ⑧ 运输颠簸台的底板

图 24 典型的运输颠簸台

试验持续时间按有关标准规定。

2.3.2.3 试验装置和安装方式

试验装置由程序 III 规定。组合件应按它的实际运输情况安装在运输车上。

需要时,可允许集装箱底板上或其它有关部位安装传感器进行加速度时间历程测量。

2.3.3 第3类—散装件的运输

散装件运输是指包装和未包装的货物在车辆上未加固紧的运输,货物与货物或与车厢边之间会产生自由弹跳、摩擦或碰撞。这个环境可由运输颠簸台来模拟。

2.3.3.1 试验量值

安置试验样品的运输颠簸台底板上的基本运动是在垂直于台面平面内的圆周运动,频率 5Hz,振幅 12.7mm。

2.3.3.2 试验持续时间

a. 第一种方式:将若干个试验样品放在钢质颠簸台底板上,除颠簸台围栏限制试验样品运动外,还允许试验样品相互碰撞,这种情况下试验时间为 30min。

b. 第二种方式:将单件试验样品安放在胶合板底板的颠簸台上,试验样品可与颠簸台围栏相碰,试验时间为 3h。

2.3.3.3 试验装置和安装方式

试验装置(见图 24)。

a. 第一种方式:对持续时间为 30min 的试验,试验样品在颠簸台底板上不固定,颠簸台四周有栏板。可将若干试验样品安放在覆盖有 5~10mm 厚冷轧钢板的颠簸台底板上,每个试验样品四周是自由空间,相邻试验样品之间最小距离为 50mm。应以实际装载方式(平放或立放等等)在颠簸台上安放。

b. 第二种方式:持续时间为 3h 的试验,围栏是木结构的,颠簸台底板为 13mm 厚的胶合板,只放一个试验样品,围栏的安装应使试验样品在水平方向运动限制在 50mm 范围以内。

不管哪一种,试验样品在试验期间不工作。

2.3.4 第4类—螺旋桨式飞机

安装在螺旋桨式飞机上的设备其振动环境由宽带随机谱上迭加窄带尖峰所组成。宽带谱来源于各种随机振源以及各种非纯正弦的周期性分量,周期性分量是由和涡轮螺旋桨发动机有关的旋转部件(发动机、齿轮箱、转轴等)引起的,窄带尖峰是由于螺旋桨叶所带动的旋转压力场引起的。这些峰值的中心频率位于螺旋桨桨叶通过频率(桨叶数乘以螺旋桨每分钟转速除以 60)及其谐波的比较窄的频带内。

直接安装在各类发动机(包括喷气式飞机发动机及直升飞机发动机)上的设备的振动谱形,除转子转速的主要尖峰信号频率外,与螺旋桨式飞机的谱形相类似。

2.3.4.1 试验量值

用表 2 及图 25 的频谱作为功能试验量值。

表 2 螺旋式飞机设备的功能试验量值

设 备 位 置	$L_1(g^2/Hz)$
在螺旋桨前的机身或机翼内	0.1
在螺旋桨后的机身或机翼内	0.3
在发动机吊舱内	0.6
直接安装在飞机发动机上的设备	1.0

注：① F_1 —桨叶通过频率，Hz。

$$F_2 = 2F_1, F_3 = 3F_1, F_4 = 4F_1。$$

②当安装在减振仪表板或支架上的设备在试验时不能利用仪表板或支架时，或者当设备试验将减振器去掉时，对于“螺旋桨前的机身或机翼内”的最值要衰减 4dB。

③对安装在螺旋桨旋转平面内一个螺旋桨叶半径范围内的机身或机翼蒙皮上的设备，试验量值应增加 6dB。对其他所有安装在蒙皮上的设备量值应增加 3dB。

④对桨叶转速恒定的飞机，振动带宽等于围绕每个频率 $F_1 \sim F_4$ 的 $\pm 5\%$ 。

2.3.4.2 试验持续时间

功能试验持续时间为每个轴向 1h。当设备寿命为 500 飞行小时，试验量值为 1.6 倍的功能试验量值时，耐久试验持续时间为每轴向 1h。

2.3.4.3 安装方式

试验样品安装应模拟实际安装状态(包括是否带有减震装置)。

2.3.5 第 5 类—喷气式飞机和战术导弹

安装在喷气式飞机和战术导弹上(发动机上除外)的设备的振动环境主要来自四个方面：

- 发动机噪声对飞行器结构的激励；
- 沿飞行器结构外部的气动扰流；
- 由于炮击重复脉冲压力的激励；
- 由于飞行器的机动飞行、气动抖振、着陆、滑行等引起的机体结构的振动。

本款只给出第 a、b 两种振动量值，c 见炮击振动标准，d 不能包括在通用标准中。

发动机噪声引起的振动一般在飞行器以较小动压飞行时占优势，如低空的亚音速和高空的跨音速飞行。气动扰流引起的振动一般在飞行器作低空跨音速和各种高度的超音速飞机时起主要作用。

当设备用于各种环境时，振动标准应是各种环境的包络，并且试验标准应按最严重情况综合。

2.3.5.1 试验量值

发动机噪声和气动扰流引起振动的功能试验量值可由公式(2)、(3)和图 26、图 27 给出。

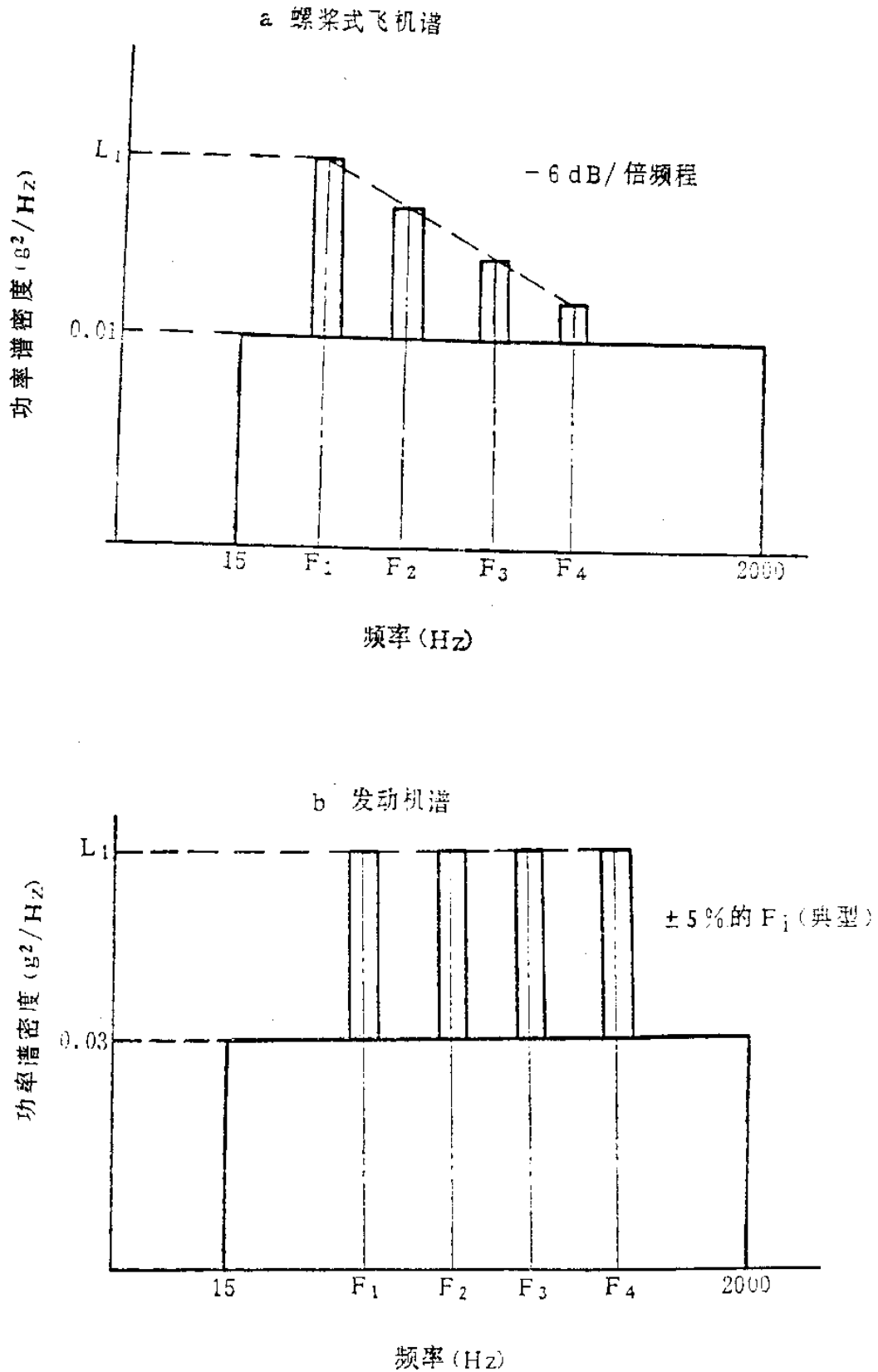


图 25 安装在螺旋式飞机和发动机上设备的振动谱

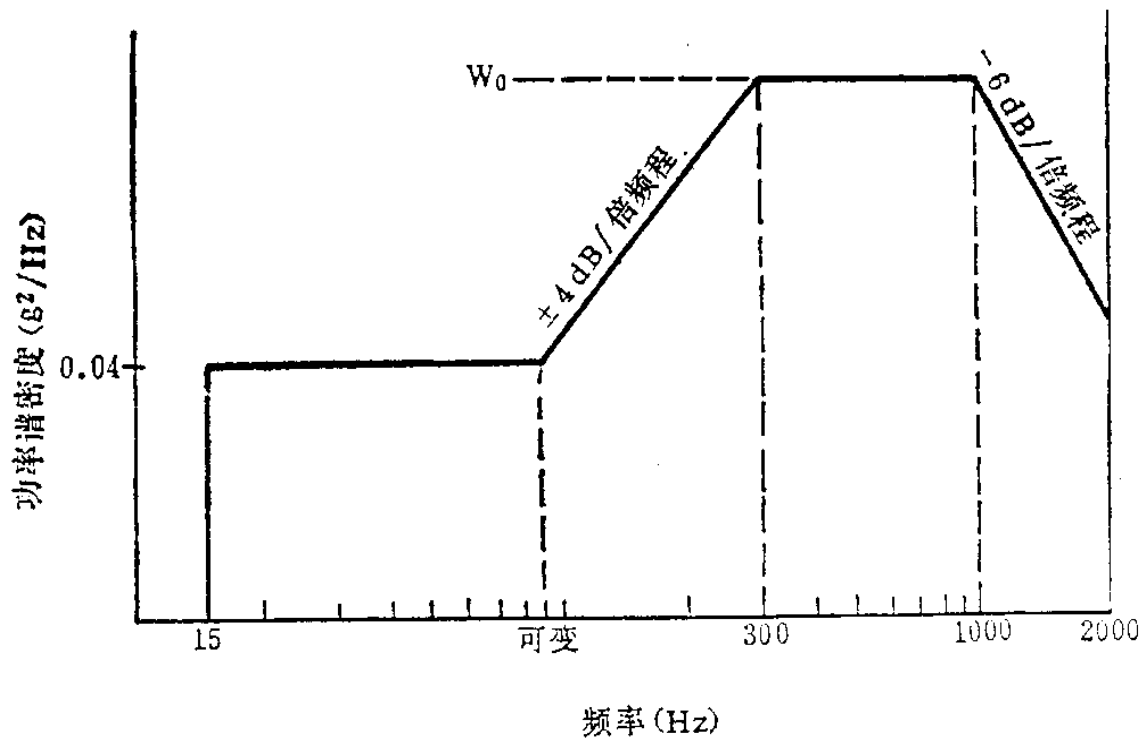


图 26 安装在喷气式飞机上设备的振动谱

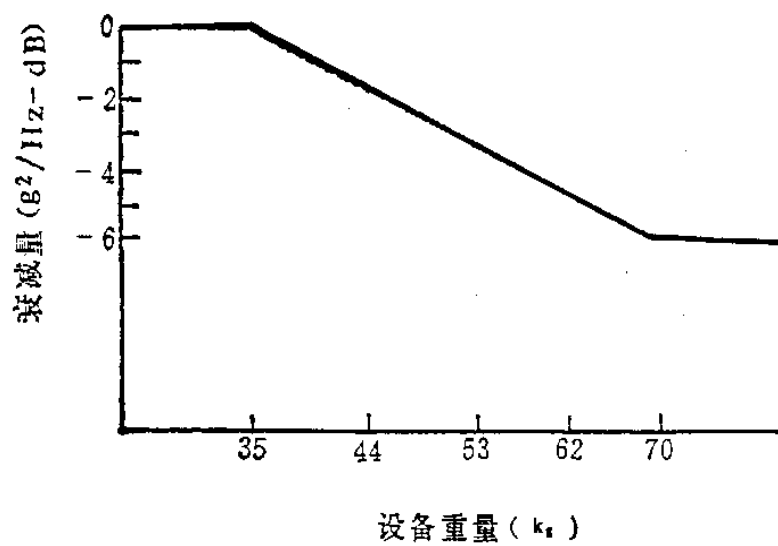


图 27 重量衰减因子

气动扰流引起的振动(图 26),功能试验量值为:

$$W_0 = K(q)^2 \dots\dots\dots (2)$$

喷气发动机噪声引起的振动(图 26),功能试验量值为:

$$W_0 = (0.48 \cos^2 \theta / R) [D_c (V_c / 564)^3 + D_f (V_f / 564)^3] \dots\dots\dots (3)$$

式中: $K=1.18 \times 10^{-11}$,适用于座舱仪表板设备和装在短舱结构上靠近光滑的、没有突变的外表面处的设备。

$K=6.11 \times 10^{-11}$,适用于装在短舱结构直接靠近具有突变的外表面的部分(进气道、进气口、鞭状天线、减速板等)和在机翼、吊舱、安定面、机身后部扰流区、翼根处的设备。

$q=57456\text{Pa}$,或飞机最大的动压 q ,取较小者。

D_c —中心发动机排气直径(对无风扇的发动机,使用最大排气直径),m。

D_f —风扇发动机排气直径,m。

R —发动机尾喷口中心到安装设备重心处的最小距离,m。

V_c —中心发动机的喷流速度(对无风扇的发动机,用不带加力的最大喷流速度),m/s。

V_f —风扇发动机的排气速度,m/s。

θ — R 方向和发动机喷流轴之间的夹角,度。逆航向。

计算时应注意下列几点:

- a. 试验量值取气动扰流引起的和发动机噪声引起的振动包络。
- b. 若发动机多于 1 台, W_0 应该是每台发动机分别计算值之和。
- c. 对重量大于 36kg 的设备,振动试验量值可以按图 27 衰减。
- d. 对 $70^\circ < \theta < 180^\circ$,用 $\theta=70^\circ$ 来计算 W_0 。
- e. 对带有加力燃烧室的发动机,所使用的 W_0 应为不带加力燃烧室用最大的 V_c 和 V_f 计算的 W_0 的 4 倍。
- f. 对安装在仪表板上的设备,做功能试验时,图 26 的值 $0.04\text{g}^2/\text{Hz}$ 要衰减 3dB,所计算的 W_0 值要衰减 6dB。做耐久试验时是 $0.04\text{g}^2/\text{Hz}$ 。

2.3.5.2 试验持续时间

对喷气式战斗机:

对能试验持续时间为每个轴向 1h。当设备寿命为 500 飞行小时,试验量值为 1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每轴向 2.5h。

对喷气式运输机、轰炸机:

功能试验持续时间为每个轴向 1h。当设备寿命为 500 飞行小时,试验量值为 1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每轴向 1h。

对战术导弹:

功能试验持续时间为每个轴向 5min,耐久试验量值为 2 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每个轴向 5min。

2.3.5.3 试验装置

见本标准第 3 章。

2.3.6 第 6 类—直升飞机

直升飞机振动环境的特点是在宽带随机上迭加了很强的振动峰值,如图 28 所示。这些峰值是由直升飞机上的旋转部件产生的。如主旋翼和尾桨,发动机和变速箱(齿轮箱)。这些部件在飞行状态下运转速度基本上是恒定的,仅有约 5% 的变化。

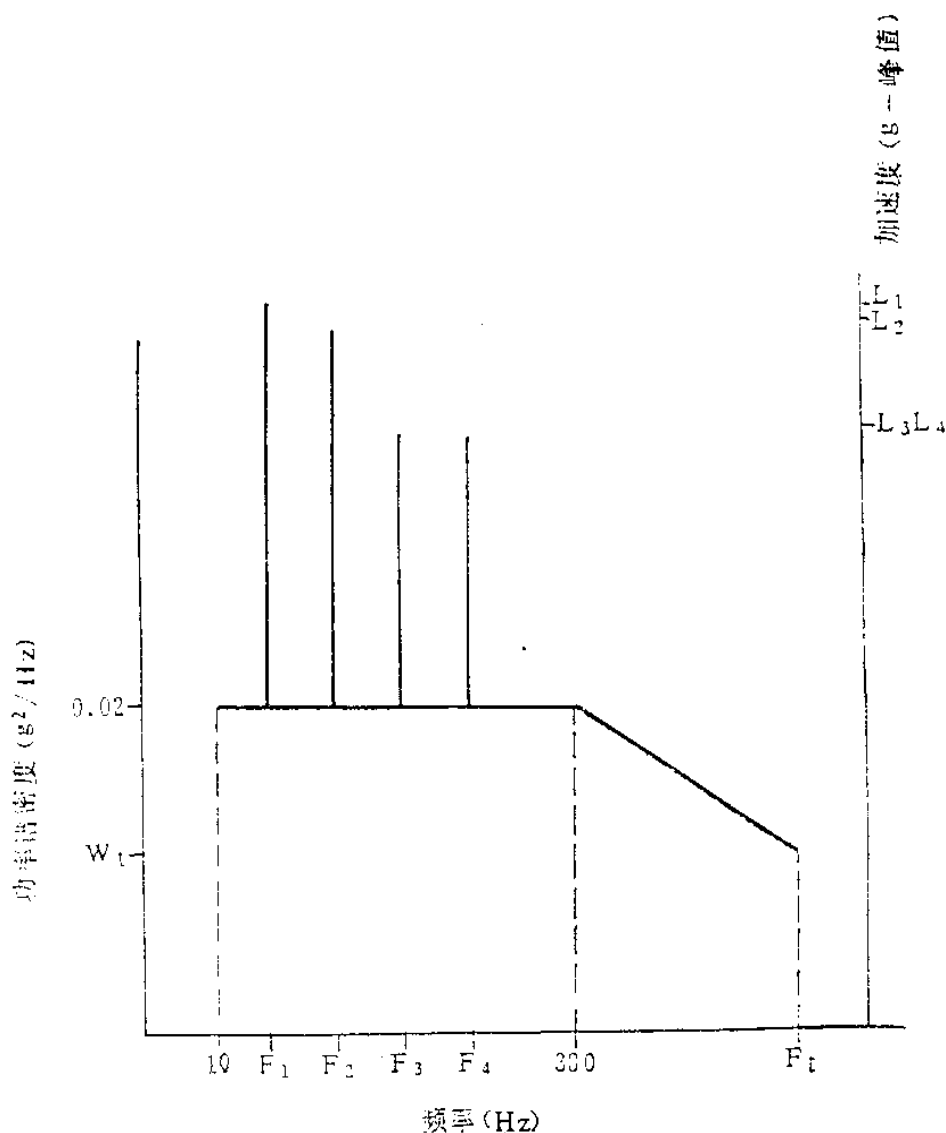


图 28 安装在直升飞机上设备的振动谱

对直升飞机上的设备的设计要求是应使设备的固有频率尽量避免与设备安装处的激励频率接近或相等。在直升飞机的振动谱中主要的振动峰值通常和主旋翼有关,在试验时一般选择 4 个频率,见表 3 注。

对安装在发动机上的设备参见 2.3.4 款,对经受炮击振动的设备,参见炮击振动标准。

2.3.6.1 试验量值

试验量值见表 3,试验谱见图 28。

表 3 直升飞机设备的功能试验量值

设备位置	振源频率 F_i (Hz)	W_i 和 F_i 的值 (g^2/Hz) (Hz)	在 F_i 处的振动峰值 L_i (g)
一般区域*	5~25	$W_i=0.002$ $F_i=500$	$0.5+0.1(F_i-5)$
	25~40		2.5
	40~50		$2.5-0.1(F_i-40)$
	50~500		1.5
安装在仪表板上*		$0.7 \times$ 一般区域的量值	
外挂*		$1.5 \times$ 一般区域的量值	
靠近或安装在传动系统部件上**	5~50	$W_i=0.02$	$0.5+0.1(F_i-5)$
	50~2000	$F_i=2000$	$5.0+0.01(F_i)$

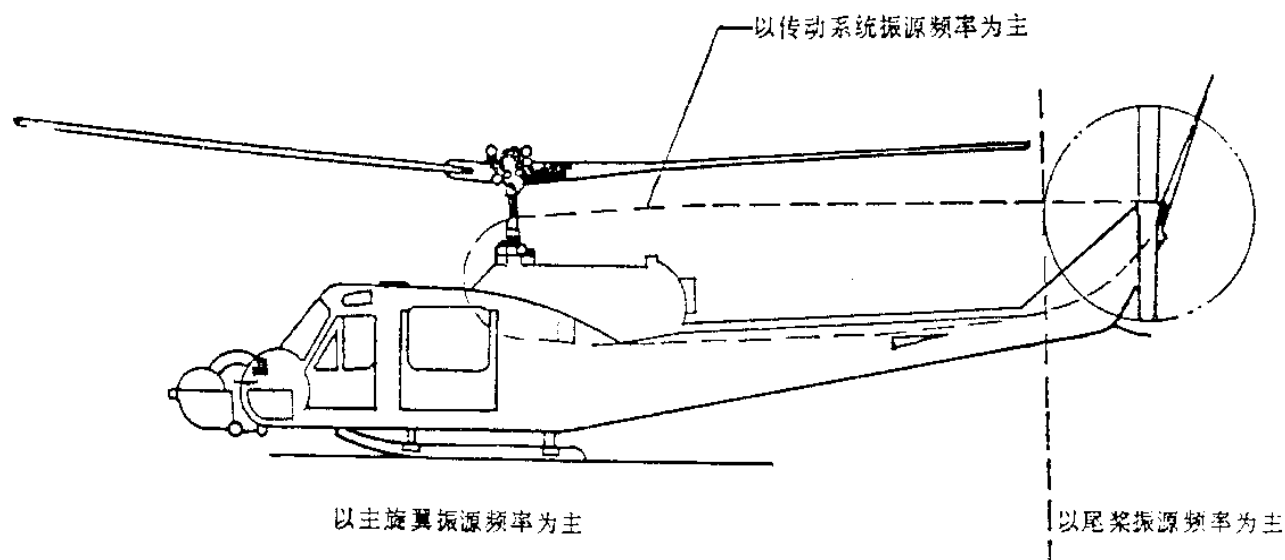
* $F_i, i=1, 2, 3, 4$, $F_2=2F_1, F_3=3F_1, F_4=4F_1$, F_1 从图 26 和表 4 中选取。** $F_i, i=1, 2, 3, 4$, $F_1 \sim F_4$ 应根据传动系统振源频率选取。

图 29 旋翼飞机(直升飞机)的分区

所有安装在主旋翼的垂直投影面上的设备应使用主旋翼振源频率,在频率 F_1, F_2, F_3, F_4 处使用 L_1, L_2, L_3, L_4 值。对位于尾桨水平投影面上的设备应使用尾桨振源频率对应的 L_1, L_2, L_3 和 L_4 值。一些直升飞机的主旋翼和尾桨的基本振源频率 F_i 给出在表 4 中。所有位于传动系统部件和齿轮箱和传动轴处的设备应该使用传动系统部件的振源频率(即齿轮啮合频率,轴的转速)。

2.3.6.2 试验持续时间

功能试验持续时间为每个轴向 1h。当设备寿命为 500 飞行小时,试验量值为 1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每轴向 2.5h。

表 4 标称的旋翼基本振源频率

直 升 飞 机	主旋翼 F_1^* (Hz)	尾桨 F_2^{**} (Hz)
直五	12.0	50.0
直八	20.7~21.2	82.4
直九	23.3~24.0	
米八	16.0~17.3	51.4
小羚羊(法国 As-342M)	18.90	
云雀(法国 SA-318C)	18.25	68.4
美洲豹(法国 SA-315)	17.66	96.9
超美洲豹(法国 SA-330)	17.66	106.6
贝尔-214ST	10.00	53.4

* 主旋翼叶片数乘以旋翼转速(r/min)除以 60

** 尾桨片数乘以尾桨转速(r/min)除以 60

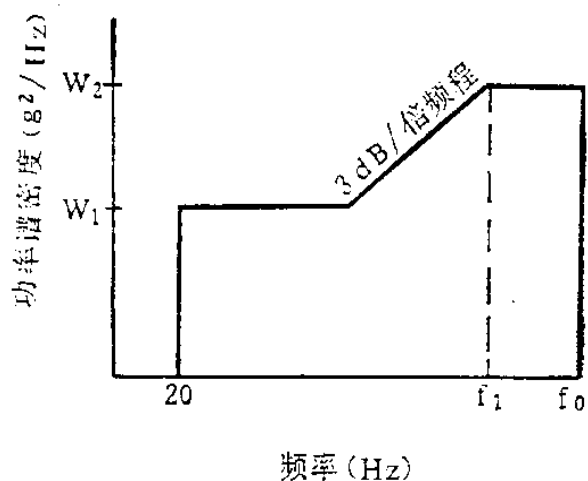


图 30 喷气式飞机组合式外挂的最低限度响应谱

2.3.6.3 试验装置

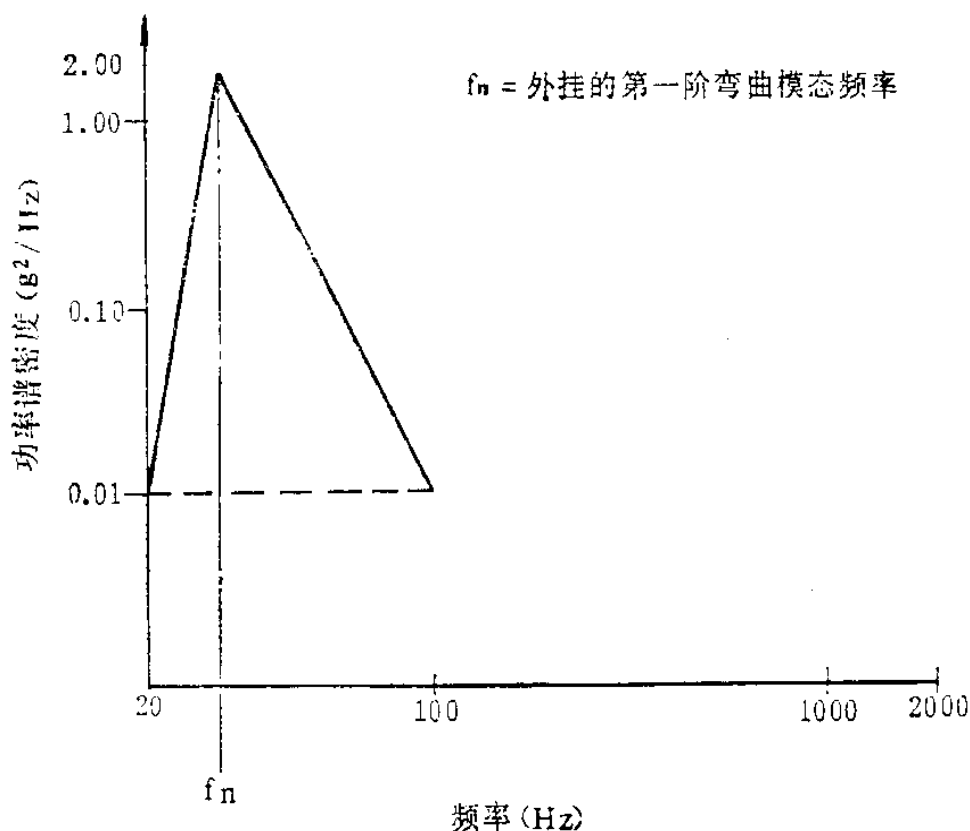
见本标准第3章。

2.3.7 第7A类—喷气式飞机的组合式外挂

喷气式飞机的组合式外挂将遇到三种不同的振动环境：挂飞，机动飞行和自由飞。

挂飞振动主要是在飞机携带下经受的振动，振动谱见图30。

机动飞行振动主要是指飞机作高性能机动飞行时在外挂上引起的振动。虽然机动飞行时振动量值很高，但持续的时间很短。机动飞行的振动谱（见图31）。



试验时间—10min

图31 机动飞行振动响应谱

自由飞是对于有些要从飞机上分离的外挂而言，如导弹和炸弹。当自由飞振动幅值大于挂飞量值时应做自由飞功能试验。若自由飞的动压大于挂飞的动压，则认为其振动量值也将较高。在这种情况下，可将表5中的因子 A_1 和 A_2 调整为1.0， q 值应该是在自由飞期间可能达到的最大值。这种功能试验的持续时间，每个轴向应等于预期在最严重振动量值下最长的自由飞时间。

2.3.7.1 试验量值

挂飞的试验量值根据公式(4)，(5)，(6)，(8)，表5，表6和图30确定。

$$W_1 = (5)(10^{-3})(A_1)(B_1)(C_1)(D_1)(E_1), g^2/Hz \quad (4)$$

$$W_2 = (53.8)(10^{-5})(q/\rho)^2(A_2)(B_2)(C_2)(D_2)(E_2), g^2/Hz \quad (5)$$

$$f_1 = 2.54 \times 10^5 (t/R^2), \text{Hz} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$f_2 = f_1 + 1000, \text{Hz} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$f_0 = 2.54 (t/R^2) \times 10^5 + 1000, \text{Hz} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中: q —挂飞最大动压, Pa;

ρ —外挂平均重量密度(总重量除以总体积), N/m^3 ;

t — R 处的外挂蒙皮平均厚度, cm;

R —对随圆形横剖面, 为长轴和短轴平均值的 $1/2$, cm(对圆柱体横剖面用该处几何尺寸; 对圆锥体横剖面使用在离设备安装点 30cm 内的几何形状来计算最小的 f_1 ; 对不规则形状横剖面, R 应是最长内接弦长的一半; 对硬壳式结构的不规则横剖面, $f_1 = 300\text{Hz}$)。计算时应注意下列几点:

- a. 对耐久试验, $q = 57456\text{Pa}$, 或取最大 q 值, 选其中较小者;
- b. 具有尾翼的自由落体外挂, 使用 $f_1 = 125\text{Hz}$; $f_2 = 2.54 \times 10^5 (t/R^2) + 1000\text{Hz}$;
- c. 对用于几种外挂的通用引信, 使用 $W_1 = 0.04\text{g}^2/\text{Hz}$; $W_2 = 0.3\text{g}^2/\text{Hz}$; $f_1 = 100\text{Hz}$; $f_2 = 1000\text{Hz}$;
- d. 参数值的许用范围:
 $0.6284 \leq \rho \leq 2.3563$
 $0.0003937 \leq t/R^2 \leq 0.007874$ 。

如果计算值落在这些极限值外边, 则使用这些极限值。

- e. 对圆形和椭圆形剖面, f_0 按公式(8)。
- f. 对所有其它剖面, f_0 为 500Hz 。
- g. 如果 f_0 的计算值大于等于 1200Hz , 则用 2000Hz 。

表 5 计算参数表

位置、外形和特定系数	因 子	
	A_1	A_2
	1	2
三联弹射挂架	1	2
复式弹射挂架	2	4
单 台	1	1
	B_1	B_2
	1	4
	1	2
	1	1
空中发射导弹的后半部	1	4
所有其它外挂的后半部	1	2
所有外挂的前半部	1	1

续表 5

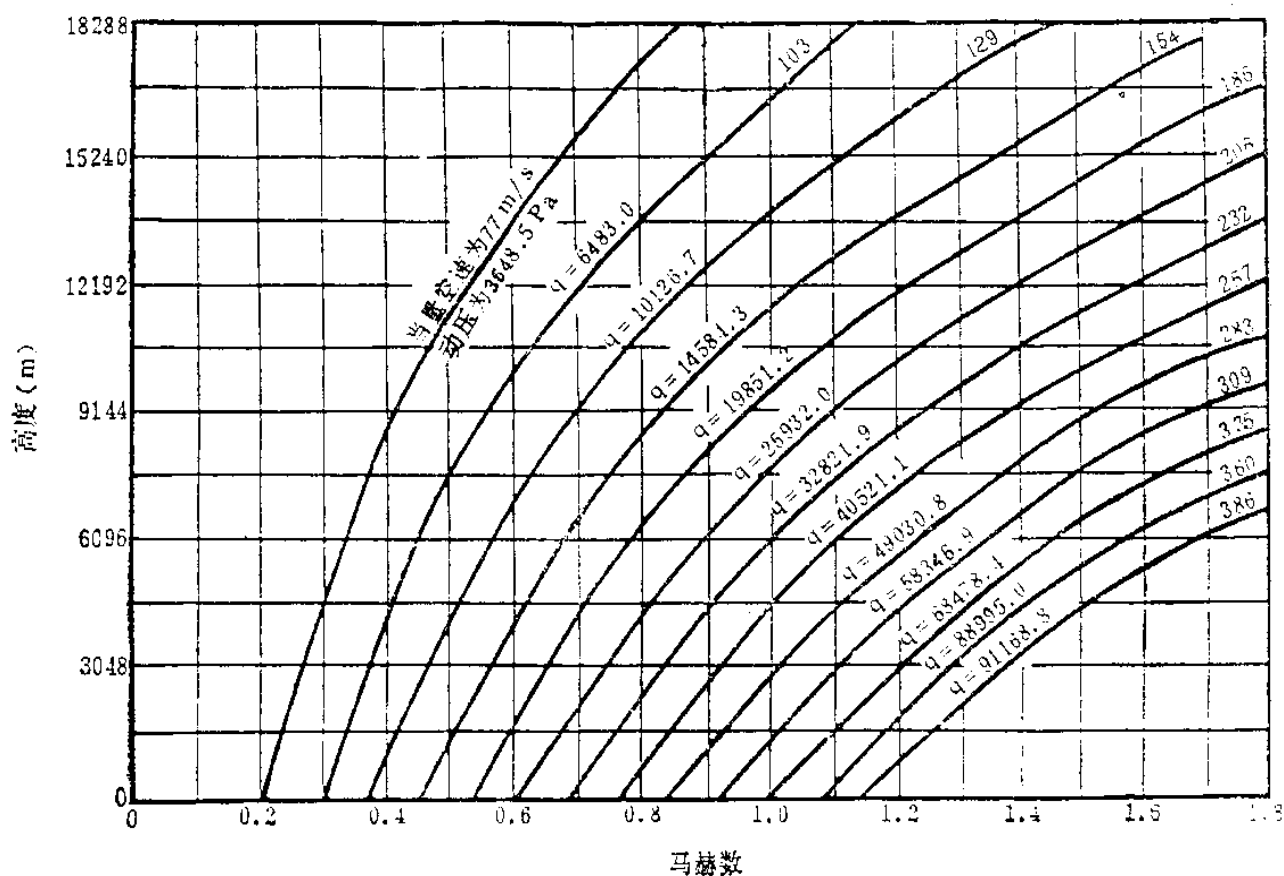
位置、外形和特定系数		
	C_1	C_2
纯头外挂物,单台和三联弹射挂架	2	4
纯头外挂物,复式弹射挂架	1	2
所有其它外挂	1	1
	D_1	D_2
无完整薄金属尾锥安定面的自由落体的外挂	8	16
空中发射的导弹	1	1
所有其它外挂	4	4
	E_1	E_2
燃烧弹(充满燃烧)	1/2	1/4
所有其它情况	1	1

表 6 当没有确定的参数可用时,用于挂飞的典型参数值

外挂类型	$q(\text{Pa})$	$\rho(\text{N/m}^3)$	$f_1(\text{Hz})$	$f_2(\text{Hz})$
空对地导弹	76608	1.5709	500	1500
空对空导弹	76608	1.5709	500	1500
仪 器 舱	86184	0.7854	500	1500
发射架(可重复使用)	57456	0.7854	200	1200
爆 破 弹	57456	1.8805	125	2000
燃 烧 弹	57456	0.6284	100	1100

机动飞行的试验量值根据图 31 确定。

自由飞的试验量值根据公式(4),(5),(6),(8),表 5、表 6 和图 32 以及 2.3.7 款的有关说明确定。

图 32 动压(q)与马赫数(M)和高度的函数关系曲线

2.3.7.2 试验持续时间

对于挂飞,功能试验持续时间为每个轴向 1h。当挂飞寿命为 150 飞行小时,试验量值为 1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每个轴向 46min。

对于机动飞行,当挂飞寿命为 150 飞行小时,试验量值如图 31 所示时,试验持续时间为每个轴向 10min。

对于自由飞,如导弹和炸弹,试验持续时间为每个轴向不少于 30S,但应能满足测量记录所需的最少时间。

如果根据 2.3.7 款计算得到的自由飞振动量值小于挂飞功能试验量值,则自由飞功能试验可以不做。

2.3.7.3 安装方式及调试

用模拟工作状态安装的吊钩耳片和支撑以正常的安装方式支持外挂。试验装置应使外挂、挂架、支持所组成的系统其刚体模态(平动和转动)频率在 5~15Hz 之间。通过拉杆或其它合适的连接装置将激振器的振动加到外挂表面较刚硬结构的支持点上去。

另一种方式,可用它正常使用的耳片和相应的夹具将外挂直接刚性连接到振动台上。安装

夹具的刚度应使其共振频率尽可能的高且不低于试验上限频率的三分之一。

对以上两种方式,当要用发射架时,发射架均应作为试验装置的一部分。

监控外挂振动响应的加速度计应安装在两个相对刚硬的点上或外挂的框上,一个在头部,一个在尾部。对于象炸弹那样没有完整尾锥的外挂,后部安装点应该是在外挂主体后部的最大截面处在每个安装加速度计的点或框上,应安装两个加速度计,一个在垂直平面内(纵向沿外挂的轴向,垂直方向定义为垂直于纵轴且在通过安装耳片的平面内),另一个在侧向平面内。

用 2.3.7 款给出的位于外挂前部加速度计的响应谱作为输入谱形对外挂施加宽带,振动输入的量值应该比前部加速度计计算的响应量值低 6dB。把激励方向上的响应值超过激励值 6dB 的频率识别出来(这种频率在前、后加速度计上测值可能是不同的),在这些频率上对输入谱进行峰、谷均衡,然后增加幅值,使激励方向上的加速度计测得的在前面识别的各自频率上的响应值等于 2.3.7 款要求的试验量值。

可以移动激振器与外挂的连接点,以使两端更好地达到所要求的量值。应该检查与激励方向成 90° 角安装的加速度计的响应。它的响应值可能在一些频率上超过激励方向的响应值,建议对这些频率进行下述工作:计算激励方向每个加速度计处要求值与观测值之比,并计算那些与激励方向成 90° 角安装的加速度计(它们的响应值超过激励方向加速度计的响应值)的要求值与观测值之比,并求得每个频率上这两种比值的平均值。然后调整输入谱,使其平均值等于 1。

2.3.8 第 7B 类—安装在飞机外挂上的设备

安装在外挂内的设备主要经受外挂挂飞响应的宽带振动谱,它可从图 33 和公式(4)、(5)、(6)、(7),表 5、表 6 中导出。但应注意,安装在外挂内设备的试验量值和组合式外挂试验量值的响应值是一样的。外挂的响应就是安装在外挂内设备的输入振动。如果外挂有机动飞行和自由飞的工作状态,那么装在外挂上的设备也应有相应的振动试验谱。

2.3.8.1 试验量值

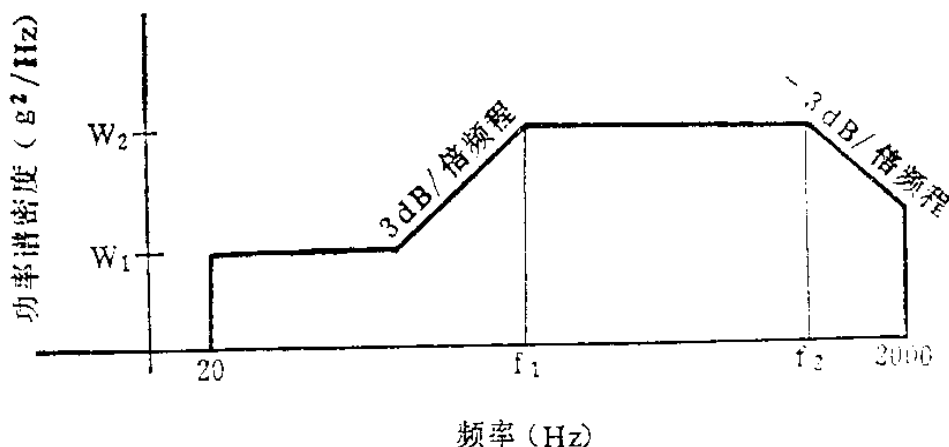


图 33 安装在喷气式飞机外挂上设备的振动谱

由图 33 和 2.3.7 款导出。应按输入控制方式做振动试验。

2.3.8.2 试验持续时间

对于挂飞,功能试验持续时间为每个轴向 1h。当挂飞寿命为 150 飞行小时,试验量值为

1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每轴向 46min。

对于飞动飞行,当挂飞寿命为 150 飞行小时,试验量值如图 31 所示,试验持续时间为每轴向 10min。

对于自由飞,如导弹和炸弹,试验持续时间为每个轴向不小于 30s。但应能满足测量记录所需的最少时间。

如果根据 2.3.7 款导出的自由飞振动量值小于挂飞功能试验量值,则自由飞功能试验可以不做。

2.3.8.3 试验装置

见本标准第 3 章。

2.3.9 第 7C 类—直升飞机的组合式外挂

在直升飞机上携带的组合式外挂所经受的使用振动环境具有复合周期波的特点。这种环境可通过使样品经受一个低量值的宽带随机谱加上直升飞机主旋翼前三阶基频的离散振动峰值来模拟。

2.3.9.1 试验量值

按表 3 和图 28 确定。

2.3.9.2 试验持续时间

功能试验持续时间为每个轴向 1h。当挂飞寿命为 150 飞行小时,试验量值为 1.6 倍功能试验量值时,耐久试验持续时间为每轴向 46min。

2.3.9.3 安装方式

试验样品和夹具应以常规的方式相连,如有可能,最好用实际飞机零部件来做振动夹具上有关的试验连接件。

2.3.10 第 8 类—陆地机动

陆地机动环境主要由车体的支承和结构同路面平度作用而引起的宽带随机振动组成。地形特点、车速、车体的动力特性以及装载都会影响振动响应。一般来说,轮车和拖车的振动谱具有突出的随机性,在各种离散频率外还有很多峰和谷。这种环境可以有两种模拟方法,一种是用类似于图 34 的谱;另一种是图 1~图 9 的谱。履带车的环境其特点是履带拍打的影响很大,车体的运动,支承系统及路面平度都能产生宽带随机激励,在此基础上又进一步补充拍打路面的频率。这种环境可用图 10 到图 22 来模拟。

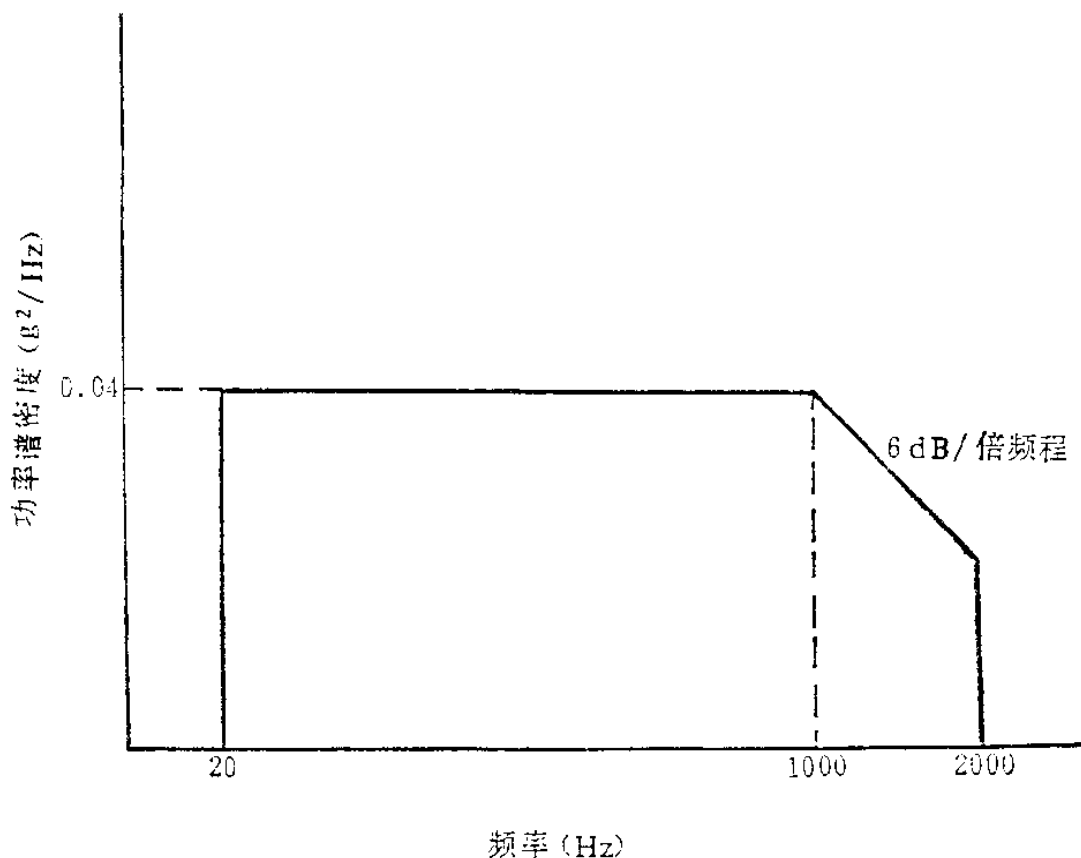


图 34 低限完整性试验——飞机/外挂的设备

2.3.10.1 试验值量

对轮车和拖车,或按图 1~图 9 的谱,或用类似于图 34 的频谱。

对履带车,按图 10~图 22 的频谱。

2.3.10.2 试验持续时间

若用类似于图 34 的谱,试验持续时间按每个轴向 1h。

用图 1~图 22 的频谱,按 2.3.1 款的有关规定。

2.3.10.3 安装方式

试验样品应通过夹具或直接地和振动台连接并且用常规的连接方式可靠地固定。夹具应尽可能体现真实使用结构特点以至使试验期间无用的响应减至最小,试验样品的各种连接,如电缆、电管、导线等等,它们的约束和质量分布应尽量和设备处于真实工作状态的配置安装一样。

2.3.11 第 9 类——舰船振动

舰船上存在周期振动和随机振动。周期振动是由螺旋桨叶片的扰动和螺旋桨轴系的不平衡力等引起的,而随机振动则由舰船航速、航向、各种操纵和海情等的变化所引起的。本条暂不考虑随机振动。

舰船上不合理的结构布置会使振幅增大,因此有些设备可能要承受比本标准所规定的更

加强烈的振动。

2.3.11.1 试验量值

根据设备所安装的舰船类型和部位从表9中选取。

表9 安装在舰船上设备的振动试验量值

分 类	分 区	试 验 参 数		
		频 率 Hz	位 移 mm	加速度 m/s ²
水 面 舰 船 和 潜 艇	主 体 区	1—16 16—60	1.0	10
		10—35 35—160	0.5	25
高 速 柴 油 机 快 艇				
各 类 舰 船	桅 杆 区	2—10	2.5	10
		10—16	1.0	
		16—50		
	往 复 机 上	2—25 25—100	1.6	40

注：1)桅杆区是指桅杆等部位；主体区是指桅杆区、往复机上以外的其它各部位。

2)如果已知设备仅安装在特定的舰船上，则试验的上限频率一般为该舰船最高桨叶频率(螺旋桨每分钟最高转速×螺旋桨叶片数÷60)；若有特殊要求，由有关标准、规范或订货合同规定。

2.3.11.2 试验持续时间

对功能试验，应在选定的试验频率范围内，以每分钟一个倍频程的速率进行10次扫频循环。

对耐振试验，应在危险频率上，若没有危险频率则在上限频率上，每个轴向试验总的持续时间至少2h。

注：所谓危险频率是指出现下列现象的频率：

A. 由于振动而出现试验样品的工作失灵、性能超差或损伤；

B. 机械共振及其它响应现象，例如出现颤振。

2.3.11.3 安装方式

设备应采用同船上相同的安装状态牢固地固定在振动台上。当设备在舰船上有数种安装状态时，应选取最不利的安装状态。

安装夹具应具有足够的刚度，以保证试验样品与振动台台面的运动基本相同。试验样品的各种连接，如电缆、导管和导线等的约束和质量分布应与实际工作状态的配置一致。

2.3.11.4 试验装置

2.3.11.4.1 振动台装上试验样品(包括夹具)进行试验时,振动台所产生的振动除满足本标准第三章试验设备要求外,还应满足下列条件。

2.3.11.4.2 基本运动为时间的正弦函数,试验样品各固定点应基本上同相、平行和直线运动。

2.3.11.4.3 垂直于主振方向任何轴向检测点上的最大振幅,一般应不大于主振方向上所规定振幅的 25%,对有些高、大型试验样品要达到上述要求可能是困难的,在这些情况下,应将超过规定的横向运动记录在试验报告中。

2.3.11.4.4 加速度波形失真的测量应在控制点上进行,对于电动式振动台其谐波分量应包括到 5000Hz;对于机械或液压振动台,可包含到振动台本身最高频率的 5 倍。加速度波形失真应不超过 25%。在某些情况下,例如大的和复杂的试验样品,可能很难达到此要求,此时应征得订货部门的同意,并将失真值记录在试验报告中。

2.3.11.4.5 扫频应是连续的,其频率随时间应按指数规律进行变化。扫频速率应为每分钟一个倍频程,其容差为 $\pm 10\%$ 。

2.3.11.4.6 振动台应满足试验参数的要求。如果振动台下限频率不能达到 1Hz 时,只要试验样品的固有频率不低于该振动台的最低频率,仍可采用该振动台进行试验,但下限频率不得高于 5Hz。

2.3.12 第 10 类—低限完整性试验

本款适用于不属于表 1 前 9 类所列的振动环境的试验样品(如便携式设备等)以及有减震装置的试验样品,还包括 2.3.1 款中所述的固紧货物的补充试验,即若固紧货物经受 2.3.1 款试验仍然不能保证使用时有满意的性能,那么可按图 34、图 35 做补充试验,这类补充试验用于安装在直升飞机以及飞机和(或)外挂上的设备。

直升飞机上这些试验仅适用于装在直升飞机上其一阶固有频率大于 100Hz、重量小于 35kg 的电子设备。

2.3.12.1 试验量值

根据试验样品具体要求来给出低限试验量值曲线,如给不出,可参考图 34 和图 35 的试验曲线。

2.3.12.2 试验持续时间

试验持续时间在表 7 中表示。

表 7 安装在直升飞机、飞机、外挂上设备的试验持续时间

谱 图	试 验 持 续 时 间
图 34	每轴向为 1h
图 35	每轴向为小于或等于 3h。对数扫描 5~500Hz,为 30min

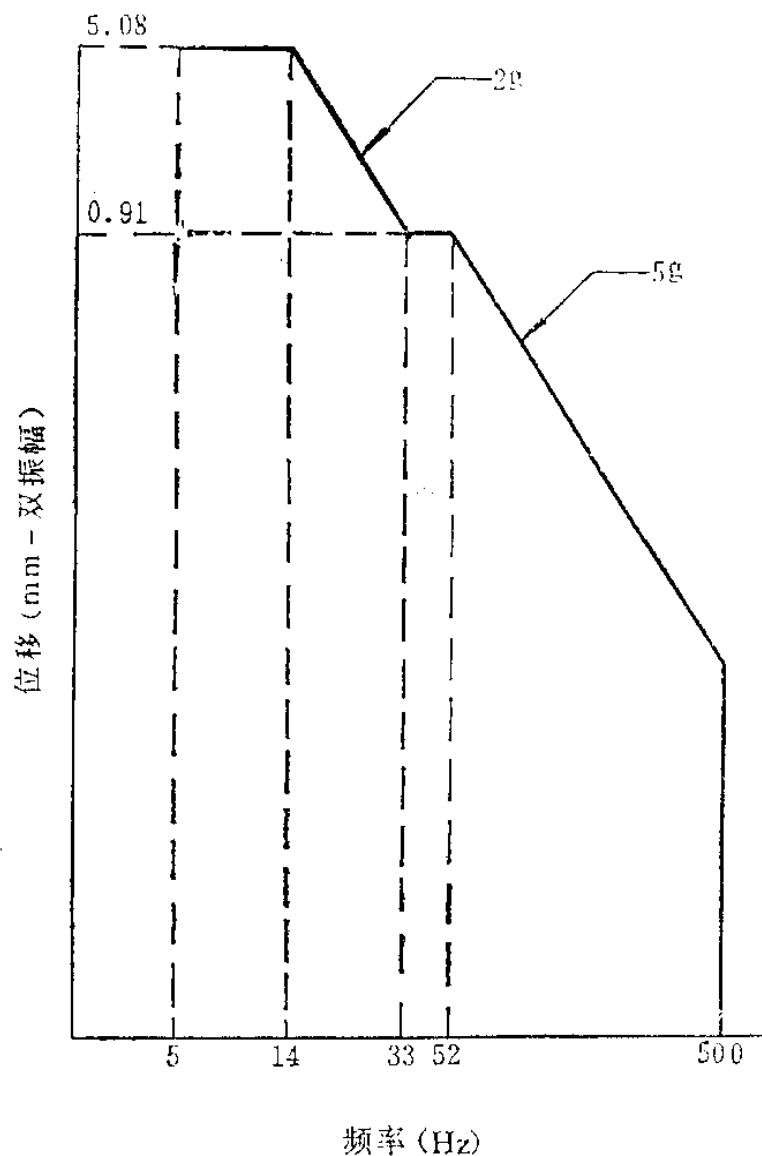


图 35 低限完整性试验——直升飞机

2.3.12.3 试验方法

固紧货物的运输试验按 2.3.1 款所述。它的补充试验将试验样品固定在夹具、振动台上进行。

装有减震器的设备在试验时应将减震器去掉。试验样品应在三个互相垂直轴的每个轴向进行试验。

3 试验设备

3.1 试验装置

任何能满足试验条件的振动装置都可采用。

3.2 振动参数容差

3.2.1 随机激励 当用窄带分析仪测量激励功率谱密度时,控制点(见 3.3.3 款)的测量功率谱密度与规定的功率谱密度相差不得超过 $\pm 3\text{dB}$ 。在 $500\sim 2000\text{Hz}$ 范围内,允许容差为 -6dB ,但累计带宽不得大于试验频率范围的 5% ,如图 36 所示。

功率谱密度的测量应满足 BT 大于 50。 B 、 T 分别为分析系统的带宽和平均时间。对各种分析仪的具体规定如下:

10~200Hz 之间最大带宽 $B=25\text{Hz}$;

200~1000Hz 之间最大带宽 $B=50\text{Hz}$;

1000~2000Hz 之间最大带宽 $B=100\text{Hz}$ 。

此外,当分析带宽比最大带宽窄得多时,允许个别点超出规定容差。但当确认该点为欠试验时,则应在相应频带内补做。

当分析尖峰信号时,要求分析带宽小于 10Hz 。

3.2.2 正弦激励 整个频率范围内在控制点上测得的振动量值容差为:

振动振幅 $\pm 10\%$;

振动频率 $\pm 2\%$,低于 25Hz 的为 $\pm 0.5\text{Hz}$;

共振频率 $\pm 0.5\%$ 或 $\pm 0.5\text{Hz}$,取二者中的大者。

在进行宽带正弦扫描时,允许个别点超出规定容差;但当确认该点为欠试验时,则在相应频带内应补做。

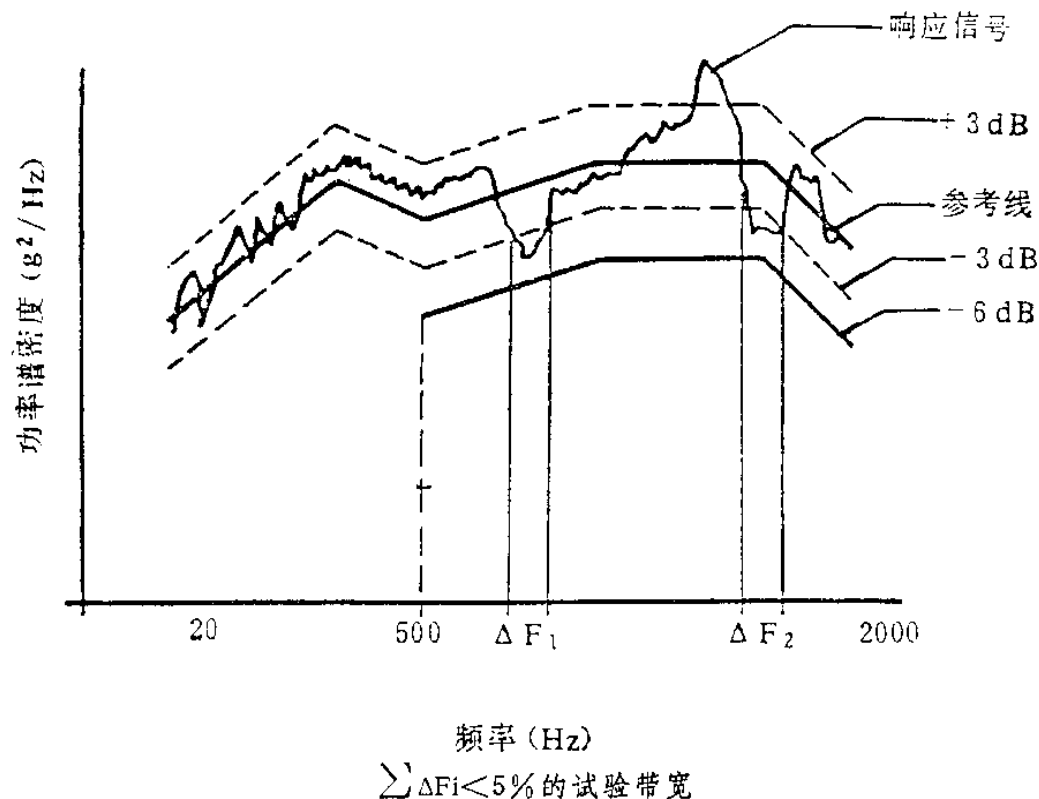


图 36 在容差范围内允许的信号特性示例

3.3 通用试验技术

3.3.1 试验样品的安装

3.3.1.1 试验样品应按正常的安装方式直接或借助于夹具紧固于振动台台面上。并尽量避免其它附加的紧固或捆扎。所有连接件(如电缆、导管、导线管)对试验样品的限制也必须和正常固定时的限制相似。如果试验必须使用某种专用接头,这些接头不应使试验有明显的影

3.3.1.2 使用中带有减震装置的设备,一般应带上减震装置进行试验。如果难以做到这一点,则可以不带减震装置进行试验。其振动量值如果本标准有规定,则取用之;如无规定,则由供需双方协商处理。

3.3.1.3 用于测量和控制的传感器应刚性牢固地安装于试验样品与台面或夹具的固定点上,或尽量靠近它,或其它规定的位置上。

在试验样品上也可安装传感器以测量共振频率及品质因数 Q 。安装位置应是可能发生共振的部位,包括主要结构、部件、组件等。应使传感器对动力特性测量的影响减到最小。

3.3.1.4 有关标准应说明重力影响是否重要。如果重要,试验样品安装应保证重力作用方向与使用状态相一致。

3.3.1.5 如果有必要,有关标准还需说明试验中试验样品受磁干扰的最大许可值。

3.3.2 安装夹具

3.3.2.1 安装夹具应能保证试验样品在规定的轴向上进行振动。

3.3.2.2 安装夹具应模拟实际安装情况。如不能做到,则应有足够的刚度,以保证振动台的运动正确地传递给试验样品。

3.3.2.3 安装夹具的设计应尽量使夹具同试验样品一起在质量分布上是对称的,以使不平衡载荷减到最小。

3.3.3 控制点的选择

当夹具较刚硬,试验样品较小时,通常可用台面中心作为控制点;当夹具刚性对控制值影响较大时,可选择试验样品与夹具或振动台台面的连接点作为控制点;当试验样品较大,或用上述点控制不合适时,则可采用样品预期的或在使用中测得典型响应值的部位作为控制点;有时,也可将台面、夹具、试验样品上各部位综合考虑作为控制点。控制点要根据试验不同的要求作具体的适当的选择。

3.3.4 扫描方法

在规定频率范围内,由低限频率扫描至高限频率,再由高限频率反回至低限频率称为一次扫描,反之亦可。

扫描方式可为对数连续扫描或线性连续扫描。通常采用对数连续扫描,扫描率应小于或等于每分钟一个倍频程。

在共振检查时,可以降低试验量值和扫描率,特别是对于低频小阻尼系统更应如此。应避免在共振频率上停留时间过长,以免引起过大的疲劳损伤。

3.3.5 试验轴向

若无另行规定,试验样品应沿互相垂直的三个轴向激励。激励应沿每个轴进行,每次一个轴向,或同时沿两个或三个轴向施加。

3.3.6 试验持续时间

试验持续时间已在 2.3.1 款到 2.3.12 款中具体规定。

使用环境引起的振动,除第 8、10 类有具体规定以外,第 4、5、6 类综合的是两种试验持续时间,一种是功能试验时间,为每轴向 1h;另一种是以 500 飞行小时确定的耐久试验时间。如果设备寿命不是 500 飞行小时,则可按比例增、减试验时间。

对 7A、7B、7C 类,除功能试验外,挂飞寿命给的是 150 飞行小时。如果挂飞寿命不是 150 飞行小时,亦可按比例增、减试验时间。

3.3.7 鉴定试验

鉴定试验是用来验证设备在给定的使用寿命期内能否在使用环境下满意地工作。

鉴定试验包括两部分内容,一部分是振动功能试验,另一部分是耐久试验。做鉴定试验的顺序是先做一半功能试验,再做耐久性试验,最后做后一半的功能试验。

功能试验是为了验证设备在使用环境下的功能是否令人满意。功能试验量值一般情况下是设备全功能正常工作时所预期的最大量值。

耐久试验的实施是为了保证设备在给定的使用寿命期内能可靠地工作。做耐久试验时,不要求设备满足所有性能指标,但当耐久试验结束后,试验样品性能应能满足设计要求,进行工作时不允许有破坏或功能降低。

功能试验和耐久试验时间见 3.3.6 款。

如果该设备的运输环境比较严重,那么鉴定试验中除要做使用环境下的功能和耐久试验以外,还应包括运输振动试验,具体可参见 2.3.1~2.3.3 款以及 2.3.12 款。

3.3.9 通用试验方法

3.3.9.1 正弦定频试验

在选定的频率上(可以是共振频率,特定频率或危险频率)按规定的量值进行正弦振动试验,并达到规定要求的时间。

3.3.9.2 正弦扫描试验

在规定的频率范围内,通常按规定的量值以小于或等于 1 倍频程/分钟的扫描速率由低频到高频,再由高频到低频作为一次扫频,直到所规定的总次数为止。

3.3.9.3 窄带随机扫描试验

在规定的频率范围内,用某一中心频率上某一带宽的窄带随机信号作由低频到高频,再由高频到低频的扫描,并达到规定要求的时间。

3.3.9.4 宽带随机振动试验

在规定的频率范围内,按规定的谱形状和总均方根值(gr. m. s)作宽带随机振动,并达到规定要求的时间。

3.3.9.5 宽带随机迭加正弦振动试验

在规定的频率范围内,在随机振动基础上迭加有若干个频率的正弦振动,按规定量值、规定时间完成试验。

当试验装置能力达不到时,可把宽带随机和正弦定频分开做,试验持续时间都与迭加试验的时间相同。

3.3.9.6 宽带随机迭加窄带随机扫描振动试验

在规定的频率范围内,在宽带随机振动基础上迭加有若干个窄带随机峰值,按规定量值、规定时间完成试验。

如果试验装置能力达不到,可以把宽带随机和窄带随机扫描分开做,试验持续时间都与迭加试验的时间相同。

也可以按宽带随机迭加窄带随机谱进行试验。时样,分开做也行。

3.3.9.7 运输颠簸台上的运输振动试验

在运输颠簸台上实施,主要模拟散装件的运输环境。

3.3.9.8 跑车试验

在选定的路面上,将试验样品装在运输车上,以一定的速度行驶若干次,用来模拟在不同路面上的振动情况。这一类试验适用于大型组合件的运输。

4 试验程序

4.1 一般准备

- a. 根据环境类别确定试验方法、试验条件及程序。
- b. 选取合适的试验设备、数据采集和分析仪器。
- c. 按《总则》和试验要求准备试验样品,如制点、测量点位置的确定、传感器的安装等。
- d. 按有关规定对试验样品进行外观、结构等检查,作出试验样品是否符合要求的结论。
- e. 按有关规定对试验样品进行性能检查,作出试验样品是否符合要求的结论。
- f. 如果没有发现什么问题,则可进行所要求的试验程序。若有问题,则应进行修理,并重新从 d 开始。

4.2 程序 I

本程序适用于除第“2”、“3”、“7A”类振动环境外的其它各类振动环境试验项目。

- a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。
- b. 按照 2.3 条中相应类别中的规定,把试验样品安装在振动设备上。
- c. 检查试验样品的外观及结构,确定试前的物理状态。
- d. 检查试验样品的性能。
- e. 试验样品承受由 2.3 条中相应类别所确定的试验量值和持续时间。
- f. 如果试验样品在使用期间处于工作状态,则在 e 项期间亦应工作,并对性能进行检查。如试验样品不工作,则转至 g 项。
- g. 检查试验样品的外观及结构并与 c 项的数据及物理状态进行比较。检查试验样品性能并与 d 项进行比较。记录这些结果。
- h. 对每个轴向,重复 b 项至 g 项。
- i. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

4.4.3 程序 II

本程序适用于散装件的运输试验。

- a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。
- b. 检查试验样品(如带包装则包括包装)的外观及结构,确定试前的物理状态。

c. 检查试验样品的性能。

d. 按照 2.3.3.3 项的规定准备好颠簸台。

e. 将试验样品放置在准备好的颠簸台上。

f. 开动颠簸台,试验样品承受按 2.3.3 项规定的试验量值。2.3.3 款规定的试验持续时间由试验样品试验时的面数(通常是六面)来均分。

g. 检查试验样品的外观及结构并与 b 项的数据及物理状态进行比较。检查试验样品的性能并与 c 项的数据进行比较。记录这些结果。

h. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

4.4 程序 III

本程序适用于大型组合件的运输试验。

a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。

b. 检查试验样品的外观及结构,确定试前的物理状态。

c. 检查试验样品的性能。

d. 将样品按实际运输情况下的配置方式放在运输车上。按实际使用时的紧固方式牢固地装在运输车上。

e. 根据有关文件,在试验样品的底板或其它部位安装测量传感器,测量加速度时间历程。

f. 在选定的路线段上,开动拖车和大型组合件运输车。按表 8 规定的车速行驶一定的距离,距离长短由产品的专用技术条件规定。

g. 检查试验样品的外观及结构并与 b 项的数据及物理状态进行比较。检查试验样品的性能并和 c 项的数据进行比较。记录这些结果。

表 8 路面类型和车速

路 面 类 型	车速 (m/s)
粗糙的搓板路(相隔 180cm 有 15cm 高的波棱)	2.22
“比利时”石块路	8.89
幅射状的搓板路(波高 5~10cm)	6.67
波高 5cm 的搓板路	4.44
间隔为 7.5cm 的颠簸路	8.89

h. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

4.5 程序 IV

本程序适用于喷气式飞机携带的组合式外挂试验。

a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。

b. 检查试验样品的外观和结构,确定试前的物理状态。

c. 检查试验样品的性能。

d. 按 2.3.7.3 项规定的要求,将试验样品与激振设备连接好,并进行调试。

e. 试验样品承受由 2.3.7.1 项确定的功能试验量值,试验持续时间为功能试验持续时间的一半。试验样品处于工作状态,象使用时那样操作试验样品,测量样品的性能。完成前一半功能试验。

f. 试验样品承受由 2.3.7 款确定的耐久试验量值和持续时间。此时试验样品不工作。

g. 重复 e 项,完成后一半功能试验。

h. 如果试验样品没有自由飞阶段或按 2.3.7 款计算得的振动量值小于挂飞功能试验量值,则转至“k”。

i. 自由飞条件试验试验样品承受按 2.3.7 款确定的试验量值和持续时间。

j. 试验期间试验样品处于工作状态,测量试验样品的性能。

k. 如果寿命分析表明外挂不需要经受机动飞行振动试验,则转至 m 项。

l. 机动飞行条件试验样品承受按 2.3.7 款确定的试验量值和持续时间(挂飞寿命 150h 时,持续时间为 10min)。试验期间试验样品不工作。

m. 检查试验样品的外观及结构并和 b 项的数据及物理状态进行比较。检查试验样品的性能并和 c 项的数据进行比较。

n. 对每个试验轴向重复 b 项至 m 项。

p. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

5 引用本标准时,应规定的细则

5.1 规定试验记录的要求

- a. 试验样品试验前的履历;
- b. 检查试验程序,包括检查要求、检验标准、仪器设备、数据要求、合格判据等;
- c. 列出所有的试验设备,包括激振设备、分析设备、固定装置及夹具;
- d. 试验样品的定向,包括施加振动的轴向;
- e. 用于控制和测量振动的加速度计的位置;
- f. 共振频率,以及选定的试验频率;
- g. 减震器特性,包括摆动的振幅和以频率为函数的传递特性;
- h. 施加的试验量值、持续时间和频率范围;
- i. 所有性能测量的结果,包括整个试验的结果;
- j. 各种破坏的分析以及提出的改进措施;
- k. 分析带宽。

5.2 合格判据

5.3 试验程序及条件的选择

5.4 其它的特殊要求、如漏磁、重力影响等。

附录 A

正弦振动试验方法

(补充件)

本标准正文部分除个别分类外,大部分采用随机振动试验,这是推荐的方法。但如果试验设备受到限制,亦可采用本附录的试验方法。本附录只给出安装在螺旋桨式飞机和直接安装在发动机上的设备、安装在直升飞机的设备、直升飞机上的外挂、安装在地面车辆上的设备以及作为货物运输的设备等五种类别的振动试验量值和时间,并简述一下试验程序。

A.1 试验条件

A.1.1 安装在螺旋桨式飞机和直接安装在发动机上的设备

A.1.1.1 试验量值

见图 A1,曲线选择见表 A1。

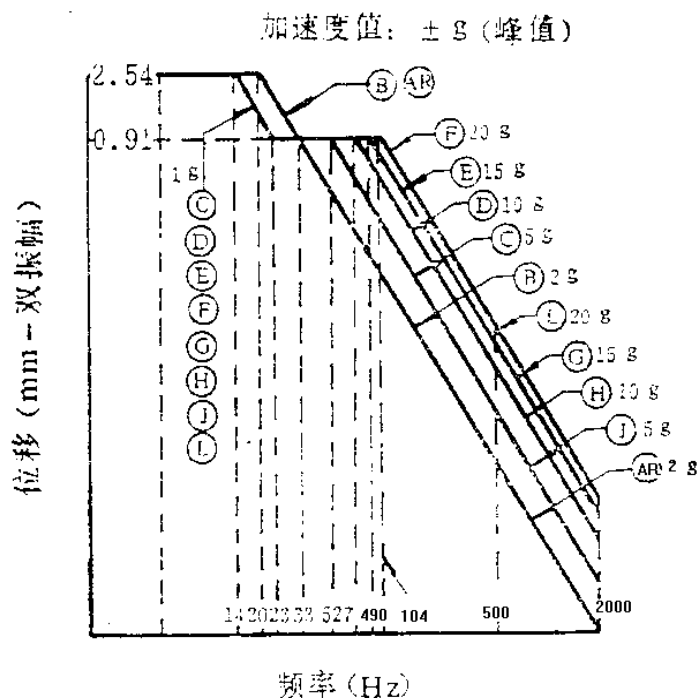


图 A1 安装在飞机上(不包括直升机)和发动机上的设备振动试验曲线

表 A1 安装在螺旋桨式飞机和直接安装在发动机上设备的曲线选择表

选 择 标 准	频 率 到 500Hz	对喷气式发动机 频率到 2000Hz
安装在减震仪表板或支架上的设备,当试验时不能用仪表板或支架时,或者当设备试验时将减震去掉,按相应的程序所规定的进行。	B	AR
发动机在后机身时安装在机身前半部的设备或机翼区的设备。	C	J
在后机身上的设备或在机翼上装有发动机的机翼上的设备或位于发动机而在有关发动机其它曲线中未提到的其它设备。	D	H
位于发动机舱或飞机的发动机短舱设备。	E	G
直接安装在飞机发动机上的设备。	F	L

A.1.1.2 试验持续时间

见表 A2。

表 A2 安装在螺旋桨式飞机和直接安装在发动机上设备的试验时间表

设 备 安 装 位 置	试验时间安排(每个轴向)				图 A1 曲线
	各共振点 定频时间 min	正弦扫描 时间	一次扫描时间 min		
			5~500 ~5Hz	5~500 ~5Hz	
无减震器	30	3h 减去定频 试验时间	15	20	C、D、E、F、 G、J、H 或 L
有减震器	30	3h 减去定频 试验时间	15	20	C、D、E、F、 G、J、H 或 L
	10	30min	15	20	B、AR
正常使用时有 减震器但试验 时无减震器	30	3h 减去定频 试验时间	15	20	B、AR

注:①对安装在飞机上的重量大于 35kg 的做正弦定频和扫描试验的试验样品,重量超过 35kg 后,每增加 9kg 振动,加速度应减少 1g,加速度的衰减仅适用于所选试验曲线的最高试验水平部分,因此,振动加速度决不能小于所规定的曲线水平的 50%。

②正常使用时具有减震器的设备的试验样品首先应试验带减震器的,然后将减震器去掉,刚性安装,再按所规定的试验水平进行。

A.1.1.3 试验方法

见程序 A-1。

A.1.2 安装在直升机上的设备

A.1.2.1 试验量值

见图 A2,曲线选择见表 A3。

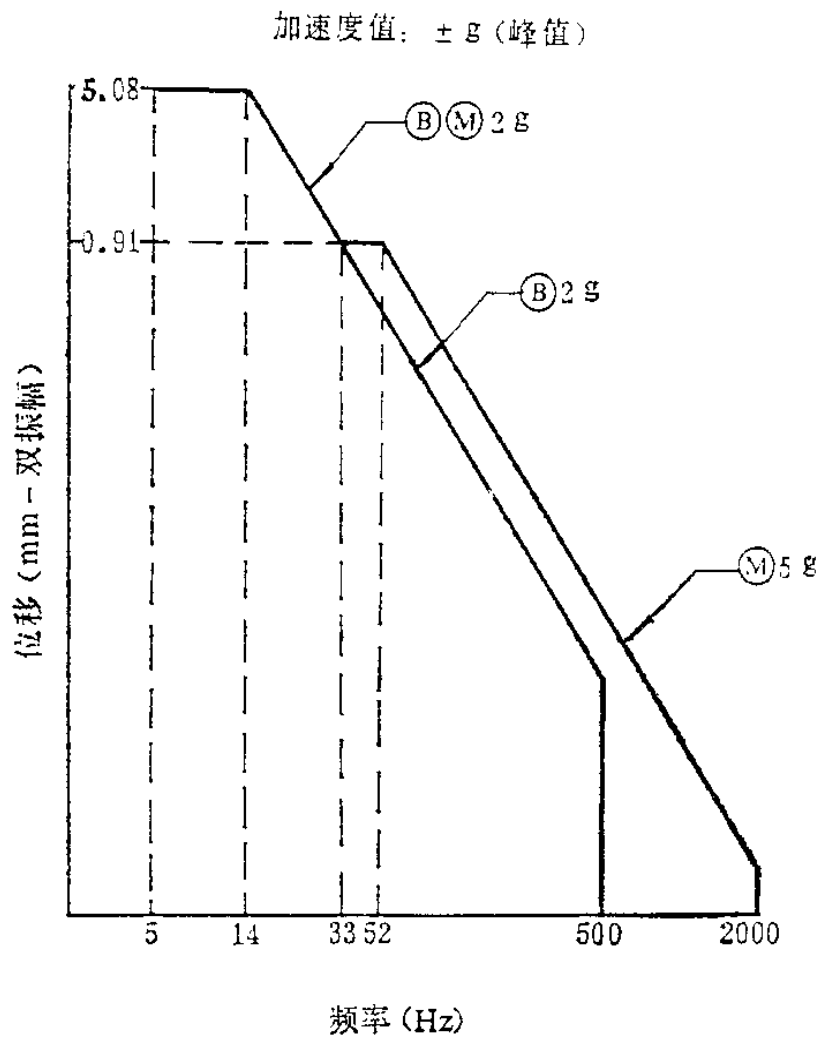


图 A2 安装在直升机上的设备振动试验曲线

表 A3 安装在直升飞机上设备的试验曲线选择表

选 择 标 准	图 A2 曲线
对不装减震器的设备	M
安装在减震仪表板或支架上的设备当试验时不能利用仪表板或支架时,或者当设备试验时按相应程序所规定的将减震器去掉时。	B

A.1.2.2 试验持续时间

见表 A4。

表 A4 安装在直升飞机上设备的试验时间表

设备安装位置	试验时间安排(每一轴向)		图 A2 曲线
	正弦扫描	一次扫描时间 min	
无减震器	3h	36	M
有减震器	3h	36	M
	30min	30	B
正常使用时有减震器 但试验时无减震器	30min	30	B

注:①对安装在直升飞机上的重量大于 35kg 的做正弦扫描试验的试验样品,重量超过 35kg 后每增加 9kg 振动加速度应减少 1g,加速度的衰减仅适用于试验曲线的最高试验水平部分,因此,振动加速度决不能小于所规定的曲线水平的 50%。

②正常使用具有减震器的设备的试验样品,首先应试验带减震器的。

③对曲线 M,扫描为 5~2000~5Hz;对曲线 B,扫描为 5~500~5Hz。

A.1.2.3 试验方法

见程 A-2。

A.1.3 直升飞机上的外挂

A.1.3.1 试验量值

见图 A3,图 A4,图 A5,图 A6。

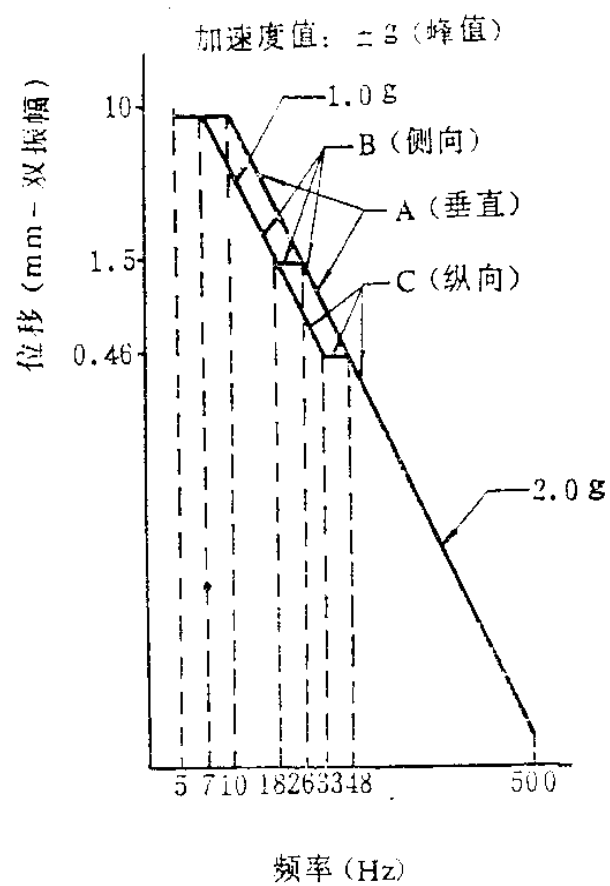


图 A3 直升飞机外挂的扫描振动试验曲线

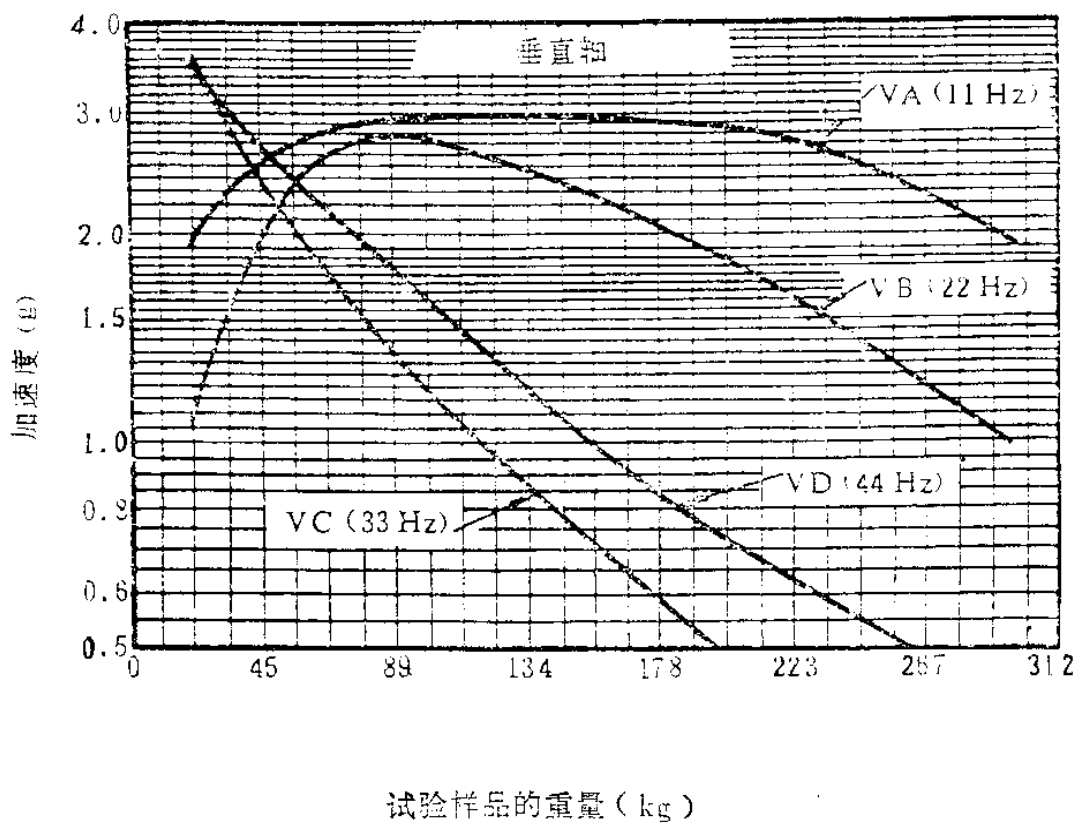


图 A4 直升飞机外挂的垂直轴正弦定频振动试验曲线

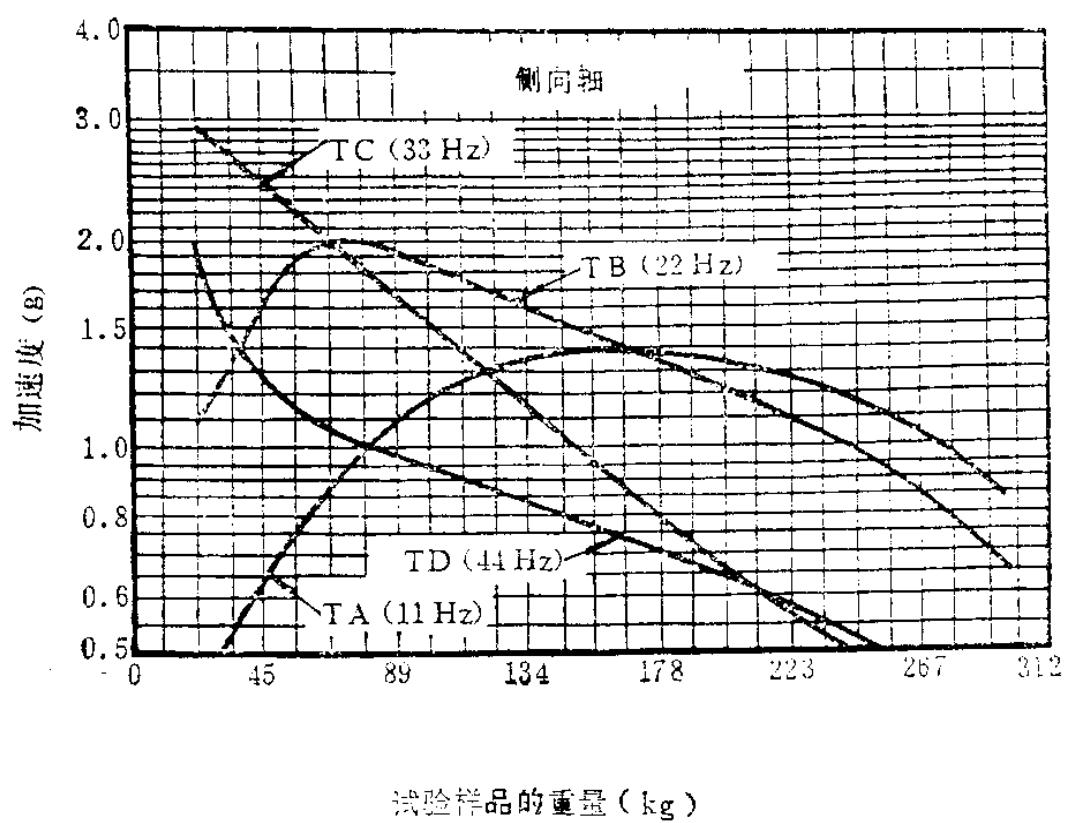


图 A5 直升机外挂的侧向轴正弦定频试验曲线

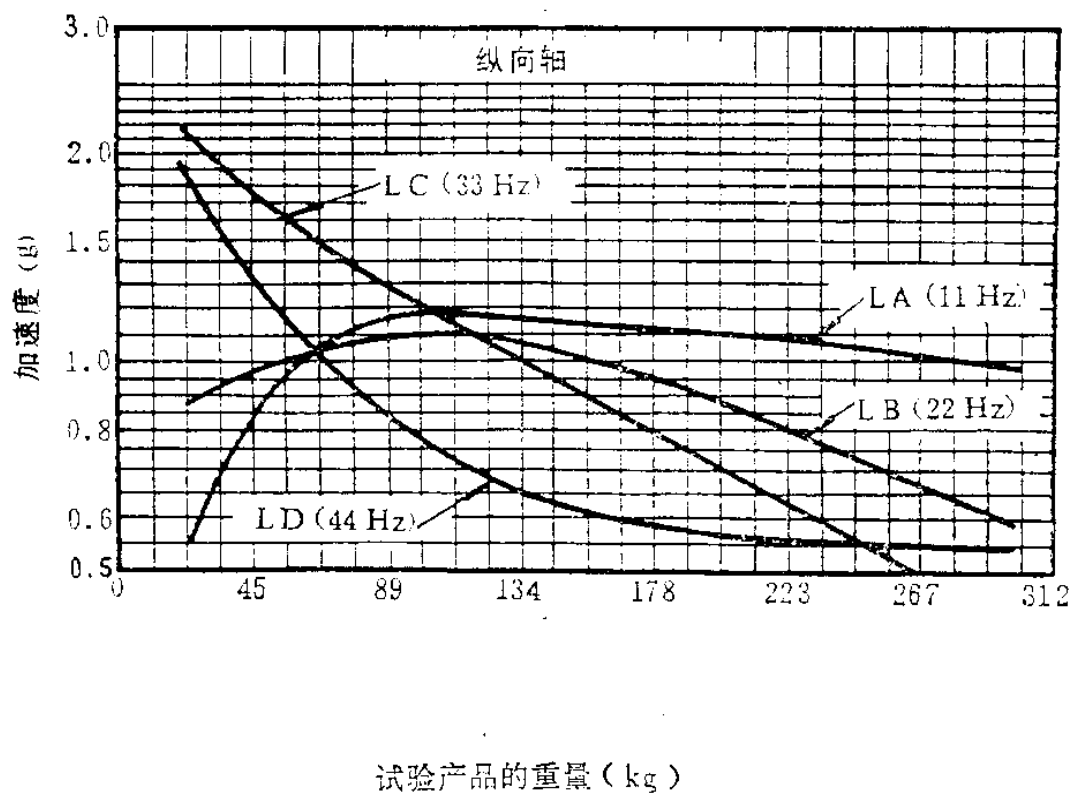


图 A6 直升机外挂的纵向轴正弦定频试验曲线

A.1.3.2 试验持续时间

见表 A5, 表 A6, 图 A7。

表 A5 直升机外挂的试验曲线和时间安排表

激振 轴向	正弦扫描(见程序 A-3)			正弦定频(见程序 A-3)				
	试验时间		曲线 (见图 A3)	每一个停留点 的试验时间	试验量值曲线			
	一次扫描时间 5~500~5Hz	整个试验时间			11Hz	22Hz	33Hz	44Hz
垂直	15min	见表 A6	A	见图 A7	见图 A4			
					VA	VB	VC	VB
侧向	15min	见表 A6	B	见图 A7	见图 A5			
					TA	TB	TC	TD
纵向	15min	见表 A6	C	见图 A7	见图 A6			
					LA	LB	LC	LD

表 A6 正弦扫描试验时间

飞 行 起 落 数	每轴扫描试验时间(min)
0~50	30
50~100	60
101~∞	90

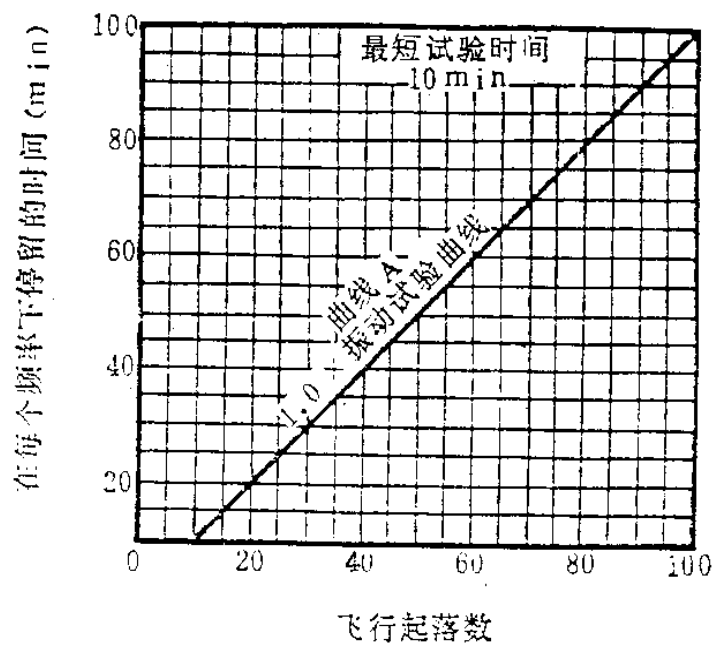


图 A7 直升机外挂的正弦定频试验的时间

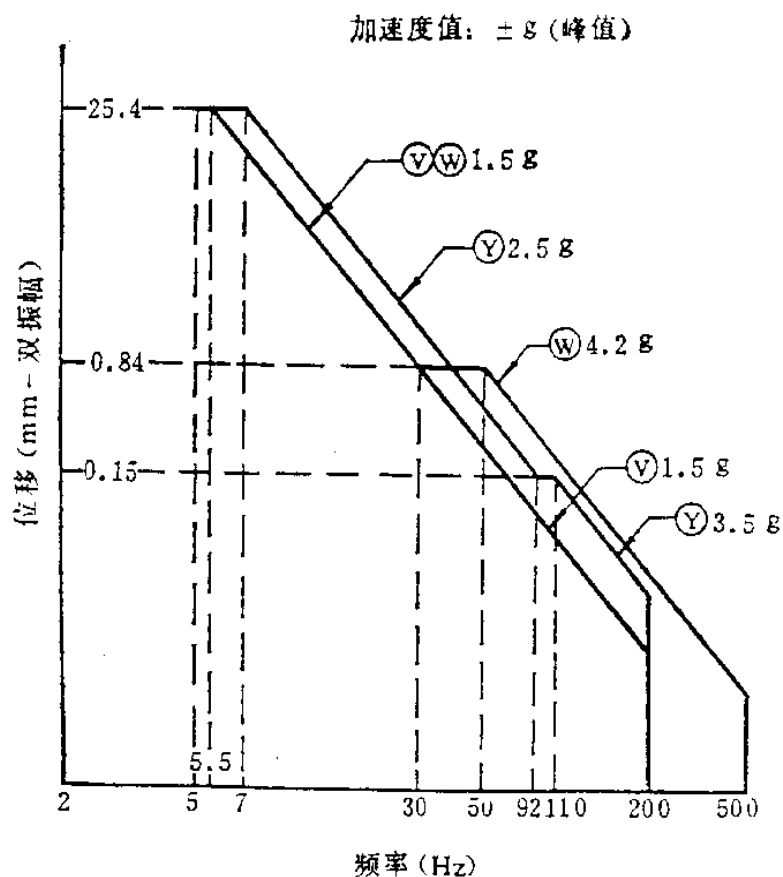
A.1.3.3 试验方法

见程序 A-3。

A.1.4 安装在地面车辆上的设备

A.1.4.1 试验量值

见图 A8。



注:当试验样品频响要求在 5Hz 以下,所有曲线扩展到 2Hz

图 A8 安装在地面车辆上的设备振动试验曲线

A.1.4.2 试验持续时间

见表 A7。

表 A7 安装在地面车辆上设备的试验时间安排表

设备状态	试验时间安排(每轴)			曲线
	正弦扫描时间	最大扫描时间	一次扫描时间	
履带车辆	时 间 表 1			
	30min/1600km	3.0h	15min,5~500~5Hz	W
	时 间 表 2			
卡 车	30min/1600km	5.5h	12min,5~200~5Hz	V 或 Y
车辆里程未知		3.0h	15min,5~500~5Hz	W

注:①如果试验频率到 2Hz,则扫描时间增加 3min。

②扫描时间按 30min/1600km 或者设备规范所规定的值。不超过表 A7 给出的最大值时按规定值。

③曲线 V 是对安装在卡车上的设备,双轮拖车除外。曲线 Y 是安装在双轮拖车上的设备。

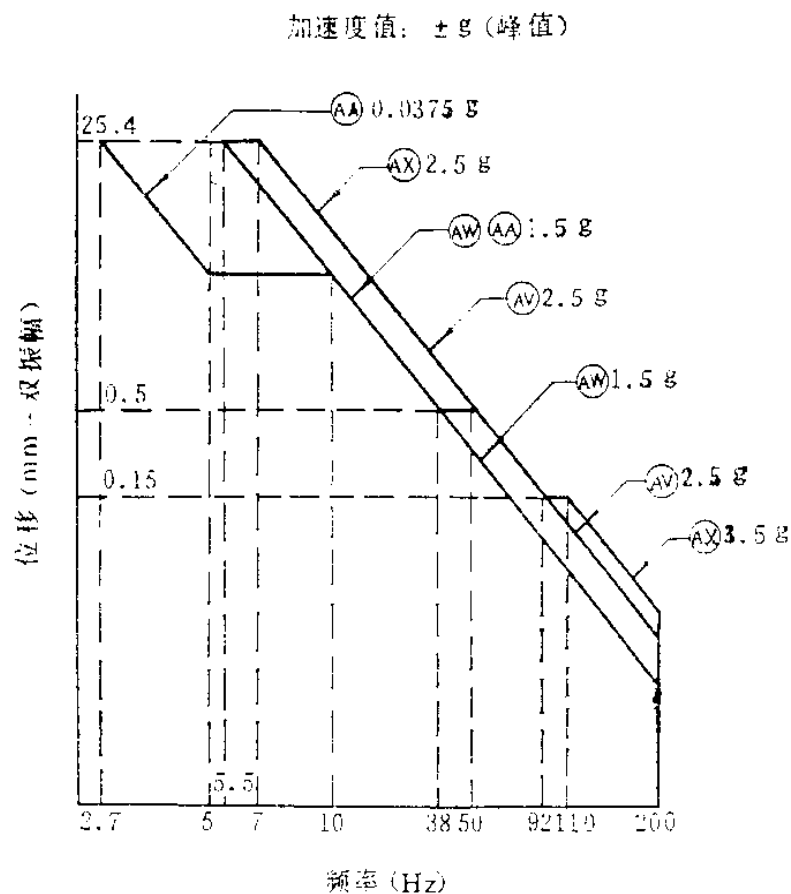
A.1.4.3 试验方法

见程序 A-4。

A.1.5 作为货物运输的设备

A.1.5.1 试验量值

见图 A9。



注:当试验样品频响要求在 5Hz 以下,所有曲线扩展到 2Hz

图 A9 以集装箱形式的设备运输振动试验曲线

A.1.5.2 试验持续时间

见表 A8。

表 A8 货物运输试验时间安排表

运输方式	图 A9 曲线	适用的试验	一次扫描时间
铁路、空中、海洋、卡车或拖车	AW	每轴正弦扫描 84min	12min, 5~200~5Hz
上述任何一种加上履带车上的运输	AV	每轴正弦扫描 84min	12min, 5~200~5Hz
上述任何一种加上双轮拖车上的运输	AX	每轴正弦扫描 84min	12min, 5~200~5Hz

注:①在正常情况下以集装箱的形式在铺设的公路上运输。

②以集装箱的形式运输,包括在铺设的公路上及恶劣路面和乡村土路。

③如果要求到 2Hz,一次扫描时间应为 15min。

④对减震的产品,曲线 AA 用于低频范围(低于 13Hz),同时也适用于高频的运输形式。

A.1.5.3 试验方法

见程序 A—5。

A.2 试验程序

A.2.1 程序 A—1

本程序适用于 A.1.1 条的试验方法。

a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。

b. 对试验样品进行共振检查,记录共振频率。

c. 按图 A1 选定的振动量值对试验样品进行正弦定频试验。若在任何轴向找到的共振频率多于 4 个,那么选其中最严重的 4 个共振频率作为试验频率。在试验期间共振频率发生变化,则应记下产生的时间并立即调节频率使其保持共振状态。记下最后的共振频率。试验持续时间见表 A2。

d. 按图 A1 和表 A2 选定的振动量值和频率范围对试验样品进行正弦扫描试验,试验持续时间见表 A2。

e. 对每个轴向,重复 b 项至 d 项。

f. 按正文 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

A.2.2 程序 A—2

本程序适用于 A.1.2 条的试验方法。

a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。

b. 按图 A2 选定的振动量值和频率范围对试验样品进行正弦扫描试验,试验持续时间见表 A4。

c. 对每个轴向,重复 b 项。

d. 按正文 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

A.2.3 程序 A—3

本程序适用于 A.1.3 条的试验方法。

- a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。
- b. 按图 A3 选定的振动量值和频率范围对试验样品进行正弦扫描试验,试验持续时间见表 A5 和表 A6。
- c. 对每个轴向,重复 b 项。
- d. 对外挂垂直轴向,按图 A4,根据试验样品重量选取试验量值,按表 A5 规定的频率,按图 A7 确定的时间进行正弦定频试验。
- e. 对外挂侧向轴向,按图 A5,根据试验样品重量选取试验量值,按表 A5 规定的频率,按图 A7 确定的时间进行正弦定频试验。
- f. 对外挂纵向轴向,按图 A6,根据试验样品重量选取试验量值,按表 A5 规定的频率,按图 A7 确定的时间进行正弦定频试验。
- g. 按正文 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

A.2.4 程序 A—4

本程序适用于 A.1.4 条的试验方法。

- a. 完成 4.1 条中的 a 项至 f 项。
- b. 对履带车和卡车上的设备,按图 A8 选定的振动量值和频率范围对试验样品进行正弦扫描试验,试验持续时间见表 A7。
- c. 对每个轴向,重复 b 项。
- d. 对大型汽车和蓬车上的设备,可按正文 4.4 条的 d 项至 g 项进行。
- e. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

A.2.5 程序 A—5

本程序适用于 A.1.5 条的试验方法。

- a. 完成正文中 4.1 条中的 a 项至 f 项。
- b. 对作为货物运输的设备,不包括固定在振动台上,按图 A9 选定的振动量值的频率范围对试验样品进行正弦扫描试验。试验持续时间见表 A8。
- c. 对每个轴向,重复 b 项。
- d. 对散装件,可按 4.3 条的 b 项至 g 项进行。
- e. 按 5.1 条的要求记录试验的有关资料。

附 录 B
制定试验室振动试验条件指南
(参考件)

从试验样品的实际使用状态测得的环境来制定振动试验条件比本标准给出的试验条件更真实。但当原型机的数据不能利用,规定的使用状态不全或测得的环境数据有限时,可以采用本标准的规定。

在制定试验室试验条件时,程序中的每一步对所有其它步骤均有影响。因此,必须对制定的程序的每一步作仔细安排。必须加以考虑的因素有成本、样本大小、试验装置、试验实施以及通过或失效判据等等。对程序中的假设、近似方法以及证实其合理性的依据都应提供完整的资料。精度要求应和试验条件的制定、试验方法以及结果的评价始终协调一致。尽管技术分析是一种重要手段,但是正常的判断还要基于试验质量。

B.1 一般程序

制定一个试验室试验条件的程序可以概括如下:

- B.1.1 按试验样品实际工作状态确定使用情况。
- B.1.2 取得典型的现场环境数据。
- B.1.3 估计试验样品在使用状态下损坏的可能性,此条可用于:
 - a. 重新评价所进行试验的合理性;
 - b. 确定试验条件的精度要求;
 - c. 预测危险频率并对这些频率分级。
- B.1.4 提出一种破坏模式,以用于试验室试验的时间换算。
- B.1.5 对数据进行分类(周期、随机、瞬态)以便用不同的技术进行处理。
- B.1.6 删去一些可以忽略不计的应力值,将类似的数据向测量的最大使用量值合并,从而确定等效情况和等效持续时间。
- B.1.7 为了考虑一些尚未估计到的因素,可以采用储备系数(附加严酷度)来解决这个问题,可用系数 1.2 作为基础,它根据下列原则确定:
 - a. 试验者所规定的使用状态的可信程度;
 - b. 要求的精度(通过一个坏试验样品的后果和损坏一个好试验样品的后果之比较)。
- B.1.8 进行试验室试验。
- B.1.9 对整个试验条件的制定进行评价。

B.2 典型的振动试验条件的制定

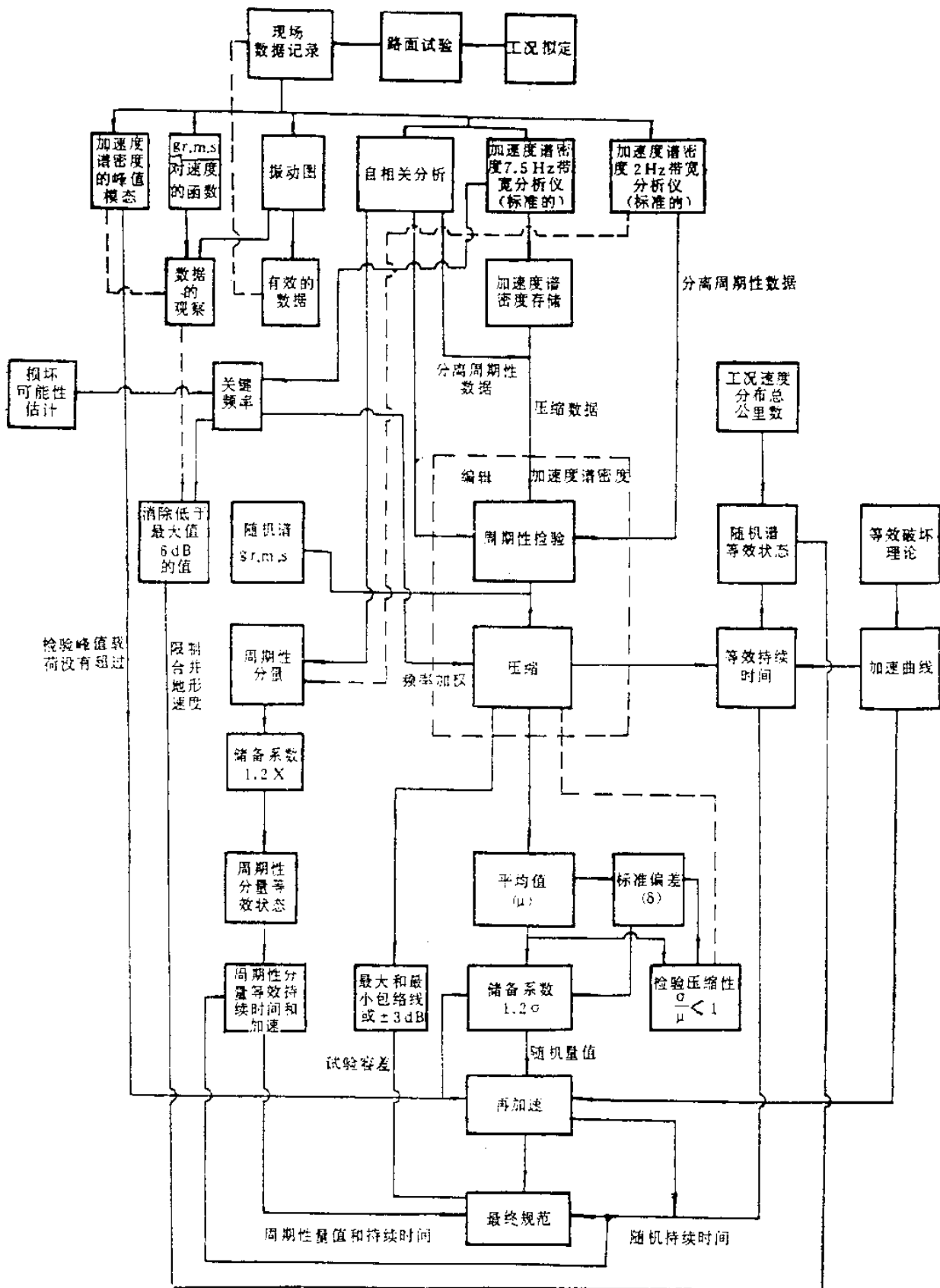
本章叙述了履带车试验室试验条件的制定。本例仅作为一个指南,用于其它场合时可以进行适当修改。

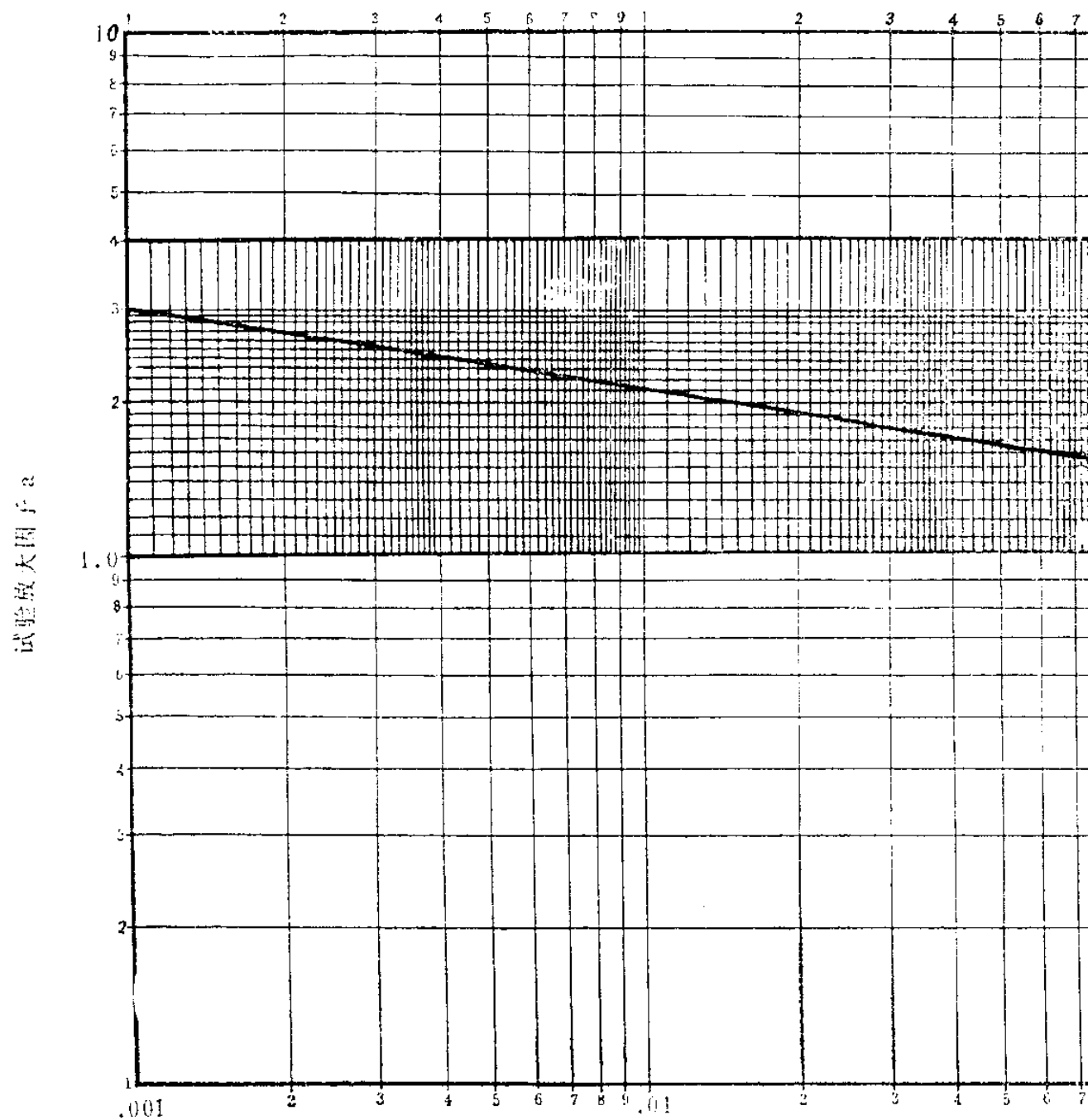
B.2.1 要求的工况 确定设备使用者的要求和使用情况。所要求的工况规定为道路、速度、里程分配以及任务次数和试验样品的配置。根据要求的这些工况制定试验条件。

B.2.2 外场数据要求 在试验期间测量使用状态下的振动环境。为了取得各种使用情况的典型数据,应规定路面试验数据要求。这些要求包括测试设备、测量位置、频率响应、各种路面、多种速度和验证实测数据的措施。

B.2.3 数据处理和条件判定

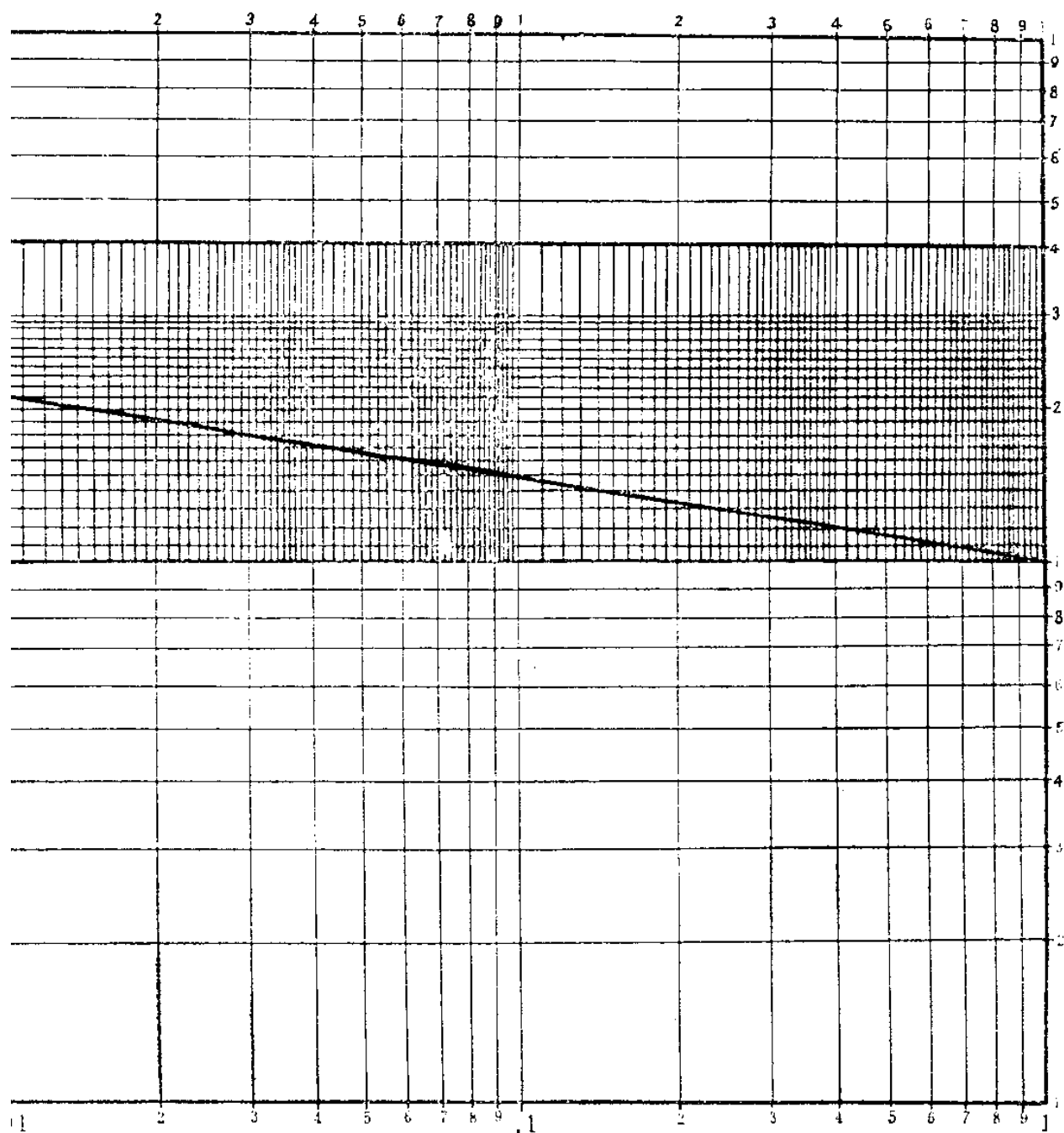
B.2.3.1 数据处理 数据处理及条件制订见图 B1。





试验持续时间因子

图 B2 加速试验曲线



试验持续时间因子2

图 B2 加速试验曲线

最终的振动条件将是随机谱迭加上履带拍打响应的周期分量。制订试验条件的某些关键细节如下。

B.2.3.2 等效损伤理论 它规定了一种破坏机理的模型。假设破坏机理为疲劳破坏(其它可能的破坏形式还有断裂、磨损、松动、操作方面的和有关热方面的破坏等)。疲劳破坏可利用加速试验曲线提高应力水平来缩短试验时间。制订试验条件可使用加速试验曲线(图 B2)。

B.2.3.3 等效状态 可通过自相关和加速度自谱密度函数的分析将随机和周期分量分开,并且将 B.2.1 条要求的状态简化成用数据形式表示的等效状态。这一过程包括将产生同类数据的各种路面状态进行综合,并且删去低于最大量值 6dB 的状态。从疲劳观点看,这些量值可以忽略不计。等效状态可以代替所要求的状态。

B.2.3.4 等效持续时间 为了减少试验时间,将加速度自谱密度值压缩(正规化)到所测量的最高使用量值。表 B1 给出了这一过程的实例。表 B1 表明,利用加速试验曲线并用最大的测量使用量值作试验,一个大约为 50h 的使用时间可缩短到大约为 6h 的等效持续时间。如有必要,可再次使用加速试验曲线,进一步缩短等效试验持续时间。但这样做必须小心,避免短时作用的量值超过试验允许的峰值。

B.2.3.5 储备系数 储备系数(附加的严酷度)是加在随机谱和周期性分量上的。周期性分量储备系数用 1.2;对随机谱,将作为频率函数的 1.2σ 加在每个频率对应的幅值均值上,一些频率处使用量值变化较小则附加较小的储备系数(即较低的 σ),反之,使用量值变化较大时,要附加较大的储备系数。考虑到试验样品的下列情况也要使用储备系数:

表 B1 等效持续时间(例题)

速度 m/s	距离 km	时间 h	试验放大因子 α	试验持续时间因子 λ	等效持续时间 h
3.58	238.0	18.5	2.0	0.012	0.22
5.36	238.0	12.3	2.0	0.012	0.15
7.14	156.0	6.1	1.5	0.073	0.45
8.94	164.0	5.1	1.5	0.073	0.37
10.72	156.0	4.0	1.0	1.0	4.00
12.53	80.0	1.8	1.2	0.31	0.56
14.31	80.0	1.6	1.2	0.31	0.50
16.08	6.4	0.1	1.2	0.31	0.03
17.61	6.4	0.1	1.2	0.31	0.03
	—	—			—
	1124.8	49.6			6.31

- 尚未取得数据的其它地形和车辆;
- 车辆的磨损、牵引力、温度等的影响;
- 现有的最大使用数据可能不一定是真正的最大值;
- 现场使用量值和试验室量值相比有较大的差异;

e. 在正常质量控制要求范围内试验样品之间的差异。

B. 2. 3. 6 试验容差 为了取得随机谱的实际测量容差,使用压缩后的加速度功率谱密度的最大和最小包络线或 $\pm 3\text{dB}$ (取较大者)。

B. 2. 3. 7 试验室试验的实施 利用制定的试验条件进行试验室振动试验。试验装置应尽可能复现真实情况,试验装置所包括的平台结构应和真实的一样。

要求的总均方根值应保持在容差范围内。控制数据的采样带宽和样本平均数要和制订试验条件时所采用的相一致。

B. 2. 3. 8 制订试验条件时应作下列假设:

a. 试验样品沿非灵敏轴向的响应可忽略不计,也可以不接受这一假设而在试验期间予以评价。由于对危险频率的特殊考虑,试验持续时间可相应地减少。

b. 实际使用时的机械阻抗和试验室试验安装的机械阻抗之间的差别是允许的。可利用实际的和试验室的频响函数的比较对这种差别做出估计。如果确定这是一个不正确的假设,则可考虑用平均值控制、极值控制和(或)响应控制来尽量减小机械阻抗的差异,这对于笨重试验样品来说特别重要。

c. 试验样品的响应不随温度变化,换言之,进行试验时的温度可以和获得使用数据时的温度不同。

附加说明:

本标准由国防科学技术工业委员会综合计划部提出。

本标准由国防科学技术工业委员会军用标准化中心研究室主办。

本标准由航空工业部六〇一研究所负责起草、中船总公司七院标准室、航天工业部七〇二所、电子工业部七〇九厂参加起草。

本标准主要起草人:施荣明、顾志雄、李宪珊、潘晓阳。