

# 随机振动试验的几个工程问题\*

常 研

(南京电子技术研究所, 江苏 南京 210013)

**摘 要:** 论述了机载雷达在进行宽带随机振动工程试验中必须面临的几个技术问题及处理方法。

**关键词:** 振动; 夹具; 加速度; 均方根

中图分类号: TH113.1; TN95 文献标识码: A 文章编号: 1008-5300(2002)02-0046-03

## Some Engineering Problems about Random Vibration Test

Chang Yan

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

**Abstract:** Several engineering problems during airborne radar random vibration test are discussed and solving methods are provided.

**Key Words:** Vibration; Jig; Acceleration; Root-mean-square

### 1 概 述

振动环境是机载雷达在制造、运输、维修及工作期间所必须承受的诸多外部环境之一。为验证雷达在寿命期内能否承受振动环境并在此环境下正常完成它的功能,作为一项技术措施和技术保证,在雷达设备研制过程中及出厂前,都要进行振动试验。结构的减振、抗振设计固然是设备能否经受振动试验考核的主要关键所在,但在试验过程中一些技术问题的处理不当,同样可造成试验失败。

### 2 几个工程问题

#### 2.1 适当的试验条件和方法

在进行任何一次试验前,必须按照不同雷达产品所装备载机的振动环境试验条件制定详细的试验方法,一个合适的产品振动环境条件和试验方法是至关重要的。在可能的情况下,最好采用雷达设备的实际工作环境和使用设备实际寿命周期持续时间,如某些产品的研制周期决定了暂时得不到实际工作环境而必须采用通用标准时,应对标准进行合

理剪裁。因为通用标准是所有相同系列飞机可能出现的最恶劣的条件的包络,是真实环境偏保守的简化。对标准不加剪裁地引用将加大产品的研制难度,增加产品不必要的重量(这对于机载设备来说是一项非常重要的指标),提高产品的研制成本。2000年美国国防部正式颁布并替代 MIL-STD-810E 的 MIL-STD-810F,对 810E 进行了重大修改,强调的重点就是:针对装备整个使用寿命期将遇到的环境条件来对环境设计要求和对环境试验要求等进行剪裁,确定能复现装备环境效应的试验方法,确保装备在其使用寿命期间预期遇到的特定环境方面不会出现过设计和欠设计,过试验和欠试验。直接从真实环境数据中取得设计和试验用的环境量值是多数设计师很容易考虑到的一个方面,但根据强迫作用与平台环境的相互作用产生的转换数据来确定设计和试验用的环境量值更应引起设计师的重视。

对标准的剪裁包含了选择合适的振动试验方法,选择合适的振动试验程序及选择合适的振动试验量级等。

#### 2.2 设备与安装平台之间的相互作用

通常所说的振动环境试验条件即为设备的振动

输入,而设备对于振动激励源(安装平台、振动台)来说通常被看作是一个刚性体,且设备的安装与否不改变平台连接点的振动特性。但一般来说事实并非如此,只当设备相对于安装平台相对较小,没有给平台带来明显的质量和刚度变化时,可以认为这是一个可以被接受的简化,对于较大的设备,设备和安装平台是作为一个柔性系统共同进行振动的。

对于大尺寸、大刚度的设备,与平台结构结合后不仅成为平台的负载,还将成为平台的结构组成,增加平台的刚度,显著改变平台的振动模态和频率。这样的改变可能带来正面影响,也可能带来负面影响。而大质量的设备安装于平台后,会使系统的固有频率降低,起到类似减振器的作用。MIL-STD-810F 的振动试验方法中,对于喷气式飞机的振动试验谱(见图 1),给出了设备相对于支撑结构较大情况的平台/装备相互作用因子(质量因子),正是基于平台与设备之间动态相互作用因素的考虑。

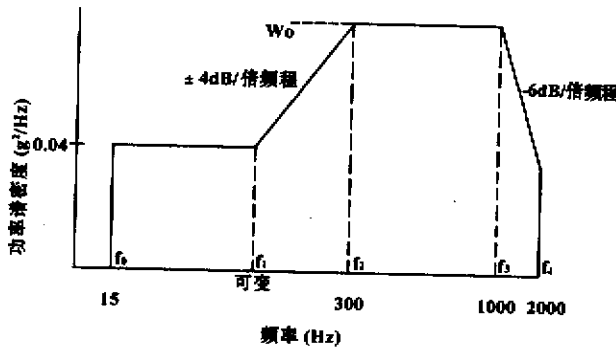


图 1 建议用于喷气式飞机上设备的振动频谱

图中:

$$W_o = a \times b \times c \times q^2 + \{ [0.48 \times a \times d \times \cos^2 \theta / R] \times [D \times (V_f / V_r)^3 + D_f \times (V_f / V_r)^3] \}$$

式中的  $a$  为平台/装备相互作用因子。

$a = 1$  对于安装在减振器上或质量小于 36kg 的设备。

$a = 1 \times 10^{(0.6 - W/60)}$  对于质量在 36kg ~ 72.12kg 之间的设备( $W =$  质量 kg)。

$a = 0.25$  对于质量大于或等于 72.12kg 的设备。  
万方数据

### 2.3 振动试验控制

在被试设备上产生所需要的满足一定精度要求的振动,控制方法是一个很关键的因素。传统的控制方法是加速度输入控制法。即将控制加速度计安放在振动试验夹具上紧靠与设备的连接点附近。对于尺寸较大的设备,如:雷达整机的试验,最好采用多点控制,控制信号取多个加速度传感器信号的平均值。因为对于大型试验夹具,很难设计得十分完美以保证其上各点振动输入的一致性。加速度控制点的合理布置也是弥补夹具设计缺陷的一种较有效手段。除加速度输入控制法外,振动试验控制法还有推力限制法和加速度响应控制法等多种方法。

### 2.4 振动台推力核算

在进行随机振动试验前,应核算振动台的推力,用途有两个:一个是振动台已确定,核算出最大允许的被试设备的总重量,其中包括限制试验夹具的重量,避免夹具设计过重使得试验无法进行;另一个是设备和夹具已确定时,选择合适的振动台。

振动台推力的计算公式为:

$$F = W \times G \quad (\text{kg}) \quad (1)$$

其中: $F$ —振动台的推力 (kg);

$W$ —振动总重量,包括振动台动圈、夹具及被试设备的重量 (kg);

$G$ —总加速度均方根值与重力加速度之比。

### 2.5 振动试验夹具设计

振动试验夹具设计是一门很专业的技术,夹具设计的成功与否直接关系到试验的成功与否。对夹具的要求概括为一句话:将振动激励不失真地传递给被试设备。为了做到不失真,理论上说夹具应在试验频带范围内无谐振峰,但这是不现实的。机载雷达的振动环境是宽带随机振动环境,如图 1 所示。因此,要尽可能提高夹具的阻尼,降低谐振峰,便于控制。根据经验,在夹具的设计过程中一般注意以下几点:

a. 首先根据振动台推力和被试设备的重量,按式(1)核算夹具的允许重量。

b. 根据被试设备的结构安装形式、台面安装孔

位置、试验条件(加速度幅值、试验方向等)确定夹具的结构形式,如:L型、T型、盒式等,确保被试设备和夹具的组合重心与台面重心重合。

c. 选择合适的制造方法。螺接夹具只适合小夹具。焊接夹具成本低,生产周期短,是一种中小型夹具较常用的夹具形式,但阻尼较低,不太适用于较大型的、用于宽带随机振动试验的夹具。铸造夹具具有较多的优点:比刚度大,易于提高结构的谐振频率,阻尼大,可以降低谐振时的振动传递率,利于试验时的自动增益控制;避免了螺接夹具的螺钉连接刚强度、紧固力、受力方向等一系列的麻烦;易于实现较复杂形状的结构,是中大型夹具的优选制造方法。

d. 夹具方案确定后,最好进行计算分析。可采用估算法(见参考文献1)或有限元法,找出引起低频阶频率的薄弱环节,在生产之前予以改进。现在CAE软件已较普及,夹具结构一般不复杂,而纯结构的固有频率计算在力学分析中属较简单且有较好精度的项目。设计投产前的分析可以避免夹具成品不满足要求而带来的修改麻烦,且通过分析可以在较短的时间内找出夹具的最佳结构形式,起到事半功倍的效果。

### 2.6 总加速度均方根值计算

进行随机振动试验前测算振动台推力时用到了总加速度均方根值这一参数,但往往试验规范中只是给出了功率谱密度曲线,并未给出总加速度均方根值,这就需要通过计算来得到。由随机振动理论可以知道,总加速度均方根值等于加速度功率谱密度曲线在其规定的试验频率区间的曲线下面积的平方根。

对于水平直线谱,如图1中的 $f_2 \sim f_3$ 频段间,功率谱密度曲线下的面积为矩形面积,在频率 $f_2$ 和 $f_3$ 区间的总加速度均方根值计算公式为式(2)。

$$g_{rms} = \sqrt{W(f_3 - f_2)} = \sqrt{WB} \quad (g) \quad (2)$$

其中:W—功率谱密度( $g^2/Hz$ );

B—带宽。

万方数据

对于机载雷达来说,典型的功率谱密度曲线如图1所示,但这是在双对数坐标下的曲线形状。在线性坐标下,功率谱密度曲线如图2,其中的升谱和降谱由原来的直线变为指数曲线,因此曲线下的面积不能简单地用梯形面积公式计算,它们所对应的计算公式分别为式(3)和式(4)。

$$g_{rms} = \sqrt{\frac{W_0 f_2}{m+1} \left[ 1 - \left( \frac{f_1}{f_2} \right)^{m+1} \right]} \quad (3)$$

$$g_{rms} = \sqrt{\frac{W_0 f_3}{m-1} \left[ 1 - \left( \frac{f_3}{f_4} \right)^{m-1} \right]} \quad (4)$$

式中: $m=N/3$ ,N为升谱和降谱每倍频程升降的分贝数。

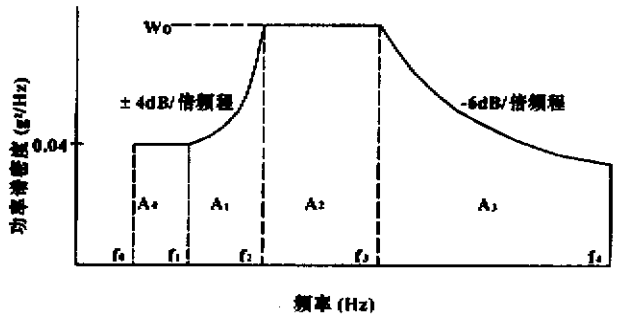


图2 线性坐标下的功率谱密度曲线

对于图2所示的折线谱,分别计算出每段曲线下的面积 $A_0、A_1、A_2、A_3$ 后,总加速度均方根值为:

$$g_{rms} = \sqrt{A_0 + A_1 + A_2 + A_3} \quad (5)$$

### 参考文献

- 1 MIL-STD-810F. 环境工程考虑和实验室试验
- 2 振动、冲击试验夹具设计. 强度与环境编辑组出版, 1979.3

作者简介:常研,女,高工,从事雷达结构总体工作。