



中华人民共和国国家标准

GB 10593.3—90

电工电子产品环境参数测量方法 振动数据处理和归纳

Methods of measuring environmental
parameters for electric and electronic products
Treatment and induction for the vibration data



1990-03-27 发布

1990-10-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

电工电子产品环境参数测量方法 振动数据处理和归纳

GB 10593.3—90

Methods of measuring environmental
parameters for electric and electronic products
Treatment and induction for the vibration data

1 主题内容与适用范围

本标准规定了电工电子产品环境振动数据的处理方法和分析数据的归纳方法。

本标准适用于电工电子产品环境振动测量数据的处理与归纳。本标准的方法仅适用于周期性振动数据、准周期性振动数据和满足各态历经和正态分布假设的平稳随机振动数据。

2 引用标准

GB 2298 机械振动、冲击名词术语

GB 10593.1 电工电子产品环境参数测量方法 振动测量

3 符号

$A(f)$ 正弦振动峰值

A_q 等效正弦分量峰值

A_r 正弦分量均方根值

$A_i(f)$ 叠加后的正弦振动峰值

B 分析带宽

B_e 等效噪声带宽

f 振动频率

f_{\max} 分析时所设置的最高频率

f_{Lc} 低通滤波器截止频率

f_u, f_l 分别为随机平谱分量的上下频限

f_n 进行等效转换的振动频率

f_c 等百分比带宽分析仪的中心频率

$G(f)$ 随机分量的自谱密度值

$G_q(f)$ 等效的随机振动自谱密度值

g_p 加速度峰值

g_{rms} 加速度有效值

$G_i(f)$ 叠加后的总谱密度值

$H_1(f)$ 传感器频率响应特性

$H_2(f)$ 放大器与磁记录器的频率响应特性

- K 材料常数
 k 同一状态同一测量点重复测量的次数
 K_1 传感器灵敏度
 K_2 放大器与磁带记录器的传递系数
 K_T 传感器灵敏度温度修正系数
 K_e 等效于 RC 的时间常数
 N 方差检验时样本分段数
 p, n 分别为表示试件安装区域的下标和安装区域数
 $Q(f)$ 产品的品质因数
 q, l 分别为表示归纳状态的下标记号和归纳状态个数
 \bar{S} 测量数据的平均值
 S_p^y 归纳所得的振动量值
 S_{pq}^y 区域 p , 频段 y 内状态 q 的振动量值
 $S_{p\max}^y$ 区域 p , 频段 y 内所有状态中的最高振动量值
 SR 扫描率
 T 平均时间
 T_p 周期数据的基本周期
 T_s 带环长度
 V_p 电压峰值
 V_{rms} 电压有效值
 y, n 分别为表示频段的上标和频段数
 α 显著水平
 β 等效因子, 取 $\beta = 2.1$
 γ 等百分比带宽的百分数
 σ^2 振动数据的总均方值

4 环境振动数据的处理方法

4.1 数据准备

所提供的原始振动测量数据应符合国家标准 GB 10593.1 及有关技术文件的规定。

数据处理前应做好 4.1.1~4.1.3 所规定的准备工作。

4.1.1 校核原始测量资料, 其中包括:

- 测量任务名称、代号、试验对象的型号、测量状态、测量次数及测量时间等;
- 测点位置、代号、磁带记录器通道号;
- 传感器的标定数据, 包括灵敏度 K_1 、温度修正系数 K_T (如有必要), 频响特性 $H_1(f)$ 及线性度标定数据等;
- 测量放大器与磁记录器的有关资料, 包括传递系数 K_2 、频响特性 $H_2(f)$ 等。

4.1.2 根据数据处理任务书要求预选出需进行数据处理的采样段。目测检查振动测量数据时间历程图, 所选的采样段中不应有由严重的噪声干扰、电源干扰、电缆接头松脱、传感器失灵等原因造成的虚假信号存在。记录预选采样段的截取时间。

4.1.3 对模拟分析方法事先应准备好磁带环, 并将分析信号转录到环上。

4.2 数据检验

数据分析前应对振动数据的周期性、平稳性、各态历经性和正态性进行检验。如分析数据的数量很大, 可只检验典型状态的数据。

4.2.1 周期性检验

4.2.1.1 须对每一个谱峰单独进行检验,可任选以下一种或几种检验方法:

a. 物理检验

分析与谱峰相应的频率处是否有已知的周期振源存在。

b. 目视检验

观察数据的时间历程判断是否具有周期性。

c. 概率密度分析或自相关分析

对数据作概率密度分析或自相关分析,若分析所得的曲线形状符合或接近正弦振动(随机振动)的典型特征,即为正弦振动数据(随机振动数据)。

d. 自谱密度分析

试作自谱密度分析,若谱峰密度值随分析带宽的减小而正比地增加,且带宽内的均方根值基本保持不变,即为正弦振动数据。随机谱峰则不具备以上两个特点。

e. 方差检验

统一规定样本分段数 $N < 0.1BT$,显著水平 α 为 0.05。

4.2.1.2 通过周期性检验可把谱峰所对应的振动数据分为三类:

a. 正弦振动数据;

b. 随机振动数据;

c. 随机叠加正弦振动数据。

4.2.2 平稳性检验

平稳性检验可用如下几种方法的一种或数种:

a. 物理检验

直接根据产生该振动数据的振源及其物理特性进行判断。如:若决定振动量值大小的物理因素随时间基本不变,则认为数据是平稳的。也可以根据以往检验的经验进行判断。

b. 目视定性检验

凭实践经验观察数据的时间历程进行判断。平稳随机振动数据的特征是振动平均值的波动很小,且振动的峰谷变化比较均匀。

c. 均方根值检验

根据振动信号的均方根值随时间变化的大小来判断。若其均方根值波动很小,则认为是平稳的;反之,则不平稳。

d. 实时分析检验

将振动数据输至实时分析设备,观察荧光屏上频谱随时间变化,若频谱沿频率分布的形状产生突变,或从某一时间开始频谱值突然明显增大或减小,则为不平稳。

e. 轮次检验

根据数据每个等间隔区间的标准差序列相对中值的轮次分布表(见附录 A)中的相应期望数区间的比较结果进行判断。如轮次数在该期望区间内,则接受平稳性假设,规定显著水平 α 为 0.05。

f. 方差检验

根据振动数据的标准化均方误差的变化规律进行检验。统一规定样本分段数 $N < 0.1BT$,显著水平 α 为 0.05。

4.2.3 各态历经检验

随机振动数据的各态历经检验,应根据产生该振动数据的振源及其物理特性进行判断。

4.2.4 正态性检验

可任选以下一种或几种方法:

a. 应用概率密度函数分析;

- b. 应用卡埃平方拟合优度检验法;
- c. 应用偏态峰态检验法。

4.3 数据分析的方法

4.3.1 周期性振动、准周期性振动数据应采用频谱分析方法。

4.3.2 平稳随机振动数据应采用自谱密度函数分析方法。

4.4 正弦振动分量与随机振动分量的分离

若在振动数据的同一频带内同时包含有正弦分量和随机分量,且两者均不能忽略不计时,则应将它们分离开来。分离的方法有:

a. 计算法

分别用两个足够小的分析带宽 B_1 和 B_2 对数据进行自谱分析,得到分析带宽内总均方值分别为 σ_1^2 和 σ_2^2 ,那么,分离所得随机分量的自谱密度值 $G(f)$ 和正弦分量 A_r 由式(1)、(2)算得:

$$G(f) = (\sigma_2^2 - \sigma_1^2) / (B_2 - B_1) \dots\dots\dots (1)$$

$$A_r^2 = (B_2 \sigma_1^2 - B_1 \sigma_2^2) / (B_2 - B_1) \dots\dots\dots (2)$$

b. 截取法

选用足够小的分析带宽,直到在谱图上正弦谱峰十分突出,而随机分量可近似看成为局部白噪声,这样就可以从中将正弦分量截取出来。

4.5 数据分析设备

4.5.1 数据分析设备的分类

我国目前所使用的数据分析设备可分为以下三类:

a. 模拟式分析仪,可分为:

并联滤波器组式分析仪;

中心频率可变的扫描滤波器式分析仪。

b. 数字式分析仪,可分为:

以通用数字计算机为中心的综合分析系统;

以 FFT 硬件为中心的分析系统。

c. 模数混合式-时间压缩分析仪:

按分析仪的分析带宽的特性,数据分析设备又可分为等带宽分析仪和等百分比带宽分析仪两种。

4.5.2 优先选用顺序

优先推荐使用数字式分析设备。

4.6 数据分析标定

一般采用正弦电压信号作为标定信号,由此换算出频谱或自谱密度的标定值。标定时应遵循以下几条规定:

a. 传感器灵敏度单位应统一用峰值(或有效值)表示,如 V_p/g_p (或 V_{rms}/g_{rms}) 等。

b. 频谱分析的标定,传感器灵敏度应用峰值表示。

c. 自谱密度分析的标定,传感器灵敏度应用有效值表示,如 V_{rms}/g_{rms} 等。

d. 标定时各分析系数,如频段范围、分析带宽、谱窗等均应与分析时所设置的相同。

4.7 参数选择

4.7.1 数字分析

4.7.1.1 自谱密度分析

a. 分析频率范围

根据需要由有关技术文件规定。

b. 采样率

数字采样率不得小于 $2.5 f_{\max}$ 。如数据先经抗混叠滤波器滤波,则取 $f_{\text{ic}} = f_{\max}$ 。

c. 分析带宽

对于等带宽分析,最大分析带宽不应大于 10 Hz;对于等百分比带宽分析,应满足式(3)要求:

$$B = \gamma f, \gamma \leq 0.1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

d. 统计误差

规定一般应满足统计误差 $\varepsilon < 0.14$, 特殊情况下统计误差可适当放宽,但不得超过 0.2。

若一次测量数据的分析结果不能满足统计误差的要求,允许将多次重复测量数据分析结果进行总体平滑,使平均后的统计误差值满足上述要求。

e. 平均时间

对于等带宽分析, $T \geq 1 \text{ s}$; 对于等百分比带宽分析, $T > 50/\gamma f_c (\text{s})$ 。

f. 窗函数

推荐使用海宁(Hanning)窗。如因需要采用其他谱窗,应加以说明。

g. 谱密度

统一使用单边自谱密度。

4.7.1.2 频谱分析

a. 分析频率范围

根据需要按有关技术文件规定。

b. 采样率

同 4.7.1.1b。

c. 分析带宽

应足以将所有相邻的频率分量区别开来,故应满足

$$B < \frac{2}{3} (1/T_p) \quad \dots\dots\dots (4)$$

4.7.2 模拟分析

4.7.2.1 自谱密度分析

a. 分析频率范围

根据需要按有关技术文件规定。

b. 分析带宽

同 4.7.1.1c。

c. 统计误差

同 4.7.1.1d。

d. 平均时间

$$T \geq (1/B_e - \varepsilon^2) \quad \dots\dots\dots (5)$$

e. 采样记录长度(带环长度)

$$T_s \geq T \quad \dots\dots\dots (6)$$

f. 扫描率

对于等带宽分析

如是理想平均:

$$SR \leq B/T \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$SR < B^2/4 \quad \dots\dots\dots (8)$$

最大扫描率不应大于(7)、(8)两式规定值的较小者。

如是 RC 平均:

$$SR \leq B/4K_e \dots\dots\dots (9)$$

$$SR < B^2/4 \dots\dots\dots (10)$$

最大扫描率不应大于(9)、(10)两式规定值的较小者。

对于等百分比带宽分析

如是理想平均：

$$SR \leq \gamma f/T \dots\dots\dots (11)$$

$$SR < (\gamma f)^2/4 \dots\dots\dots (12)$$

最大扫描率不应大于(11)、(12)两式规定值的较小者。

如是 RC 平均：

$$SR \leq \gamma f/4K_e \dots\dots\dots (13)$$

$$SR < (\gamma f)^2/4 \dots\dots\dots (14)$$

最大扫描率不应大于(13)、(14)两式规定值的较小者。

g. 谱密度

统一使用单边自谱密度。

4.7.2.2 频谱分析

a. 分析频率范围

根据需要按有关技术文件规定。

b. 分析带宽

同 4.7.1.2c。

c. 平均时间

$T > T_p$

d. 采样记录长度(带环长度)

$$T_s \geq 10T_p \dots\dots\dots (15)$$

e. 扫描率

同 4.7.2.1f。

5 环境振动数据的归纳方法

5.1 数据准备

所有用于归纳的环境振动数据应符合国家标准 GB 10593.1 和本标准第 4 章的规定。

5.2 数据转换

环境振动数据中若同时含有正弦和随机两种振动分量、且两者均不能忽略不计，则归纳结果应同时包含这两种振动分量。一种可以宽带随机叠加正弦的形式给出；为便于试验的实施，也可归纳成单一形式的振动量值。此时，首先应判断环境振动数据中的主要分量是随机分量还是正弦分量，然后将非主要分量等效转换成主要分量，再进行叠加。数据转换的方法按 5.2.1 和 5.2.2。

5.2.1 随机分量转换为正弦分量

5.2.1.1 有限带宽平谱值转换为正弦分量

$$A_q(f) = \beta \sqrt{\frac{\pi f G(f)}{2Q(f)}} \quad (f_1 \leq f \leq f_2) \dots\dots\dots (16)$$

$$\beta = \sqrt{2} \left[\gamma \left(\frac{K}{2} + 1 \right)^{\frac{1}{K}} \right] \dots\dots\dots (17)$$

式中: f_u ——被转换的随机平谱的上限频率;

f_l ——被转换的随机平谱的下限频率;

$G(f)$ ——随机平谱的自谱密度值;

$A_q(f)$ ——等效正弦分量峰值;

$Q(f)^{1)}$ ——产品的品质因数;

γ ——伽玛函数;

K ——常参数值;

β ——等效因子,一般取 $\beta = 2.1(K = 8)$ 。

注: 1) $Q(f)$ 取值按有关技术文件规定。

5.2.1.2 数据叠加

按同频率叠加,计算公式为:

$$A_i(f) = \sqrt{A_q^2(f) + A^2(f)} \dots\dots\dots (18)$$

5.2.2 正弦分量转换为随机分量

转换公式为:

$$G_q(f) = \frac{2A^2(f_n)Q(f_n)}{\beta^2 \cdot \pi \cdot f_n} \dots\dots\dots (19)$$

$$f_n - \frac{\pi \cdot f_n}{4Q(f_n)} < f < f_n + \frac{\pi \cdot f_n}{4Q(f_n)} \dots\dots\dots (20)$$

式中: β 值取为 1.8($K = 5$)。

叠加公式为:

$$G_i(f) = G_q(f) + G(f) \dots\dots\dots (21)$$

5.3 归纳状态的选择原则

所选择的归纳状态既应保证其对应的数据满足平稳随机假设(对随机振动数据而言),同时所选状态的总体又能比较真实全面地反映出实际振动环境的主要特征。在此前提下,归纳状态数应尽可能减少。

应根据设备载体的技术要求、任务剖面 and 振源的特点来选择状态,并遵循以下两个细则:

a. 允许将任务剖面中任务性质相似、与振动量值大小密切相关的参数值也相近的各个状态合并,从中选取一个最常用、最典型的状态作为这类状态的归纳状态。

b. 归纳状态中应包括:

产生最高振动量值的状态;

经常使用的状态;

振动量值与频率分布有显著变化的状态。

5.4 设备载体的类型与区域的划分原则

a. 根据激励振源的特点划分,如鉴于飞机、船、车辆上的振源特性的不同,应分别归于不同的类型;又如发动机及发动机附近的区域主要受发动机喷气噪声和转子不平衡所引起的振动的激励,应单独划为发动机区和发动机附近区域。

b. 根据电工电子产品安装支架的刚度大小划分。如可划分为刚性安装、无减震支架安装、有减震支架安装等。

c. 可参照国内外现有振动标准的习惯划分。

5.5 频段的划分

频段的划分需根据数据点沿频率轴的分布情况来确定。划分的频段不宜过多,一般以二至四段为宜。对于同一类设备载体的同一区域,各测点数据所划分的频段数及交越频率都必须相同。

5.6 归纳原则

5.6.1 不同测量方向的数据归纳

振动数据是否需要按测量方向分别归纳,依具体要求和情况而定。

5.6.2 同一归纳状态下同一测点多次测量数据的归纳

若某一测量点共进行了 k 次测量,在相同频率(或频段)上其量值分别为 S_1, S_2, \dots, S_k , 则归纳结果一般应取其平均值,为:

$$\bar{S} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k S_i \quad \dots\dots\dots (22)$$

特殊情况按有关标准另行规定。

5.6.3 同一归纳状态下同一区域内多个测量点的数据归纳

将同一归纳状态下同一区域内各个测点的振动数据(已由 5.6.2 给出)置于同一张振动量值-频率图上,然后按照 5.5 条的要求划分频段,连出包络绝大部分数据而只摒弃少数孤立的突出数据点的包线,作为其归纳的结果。

对随机数据,取包络线时应该做到:

- a. 相邻频段的包络线在交越频率处的量值应该相同;
- b. 如用斜谱(升谱或降谱)线包络,则应做到同一类型、同一区域内各个状态的同一频段的包络线斜率保持一致。

对正弦数据,取包络值时应做到:

- a. 相邻频段的包络线在交越频率处的量值应该相同;
- b. 包络线应归纳成等加速度、等速度、等位移线或由它们的组合。

5.6.4 同一类型同一区域或同一频段内所有归纳状态的数据归纳

若在区域 p 、频段 y 内所有归纳状态包线值 S_{pq}^y 中,归纳状态 D 对应的包线值 S_{pD}^y 为最大,则取:

$$S_p^y = S_{pD}^y = \max[S_{pq}^y, q = 1, 2, \dots, l] \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中的 S_p^y ($p = 1, 2, \dots, l; y = 1, 2, \dots, m$),即为归纳所得的结果。

附录 A
轮次分布表
(补充件)

表 A1 轮次分布表

$n = N/2$	$1 - \alpha$			α		
	$1 - \alpha_1$	$1 - \alpha_2$	$1 - \alpha_3$	α_3	α_2	α_1
	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01
	期望数区间下限 (γ_* ; $1 - \alpha/2$)			期望数区间上限 (γ_* ; $\alpha/2$)		
5	2	2	3	8	9	9
6	2	3	3	10	10	11
7	3	3	4	11	12	12
8	4	4	5	12	13	13
9	4	5	6	13	14	15
10	5	6	6	15	15	16
11	6	7	7	16	16	17
12	7	7	8	17	18	18
13	7	8	9	18	19	20
14	8	9	10	19	20	21
15	9	10	11	20	21	22
16	10	11	11	22	22	23
18	11	12	13	24	25	26
20	13	14	15	26	27	28
25	17	18	19	32	33	34
30	21	22	24	37	39	40
35	25	27	28	43	44	46
40	30	31	33	48	50	51
45	34	36	37	54	55	57
50	38	40	42	59	61	63
55	43	45	46	65	66	68
60	47	49	51	70	72	74
65	52	54	56	75	77	79
70	56	58	60	81	83	85
75	61	63	65	86	88	90
80	65	68	70	91	93	96
85	70	72	74	97	99	101
90	74	77	79	102	104	107
95	79	82	84	107	109	112
100	84	86	88	113	115	117

附加说明：

本标准由全国电工电子产品环境技术标准化技术委员会提出并归口。

本标准由航空航天部标准化研究所、南昌飞机制造公司、机械电子工业部广州电器科学研究所等单位负责起草。

本标准主要起草人龚庆祥、杨汉祥、施荣明、尹浩夫、黄书富、徐京华、刘忠来。