

本标准参照采用国际标准 ISO 2631/1—1985《人体全身振动暴露的评价——第一部分：通用要求》。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了在作业现场或实验室内监测和研究人体全身振动环境的通用要求和准则，是评价和比较振动环境对人体的影响应当遵循的基础规范。

本标准适用于通过支撑人体的接触面作用于人体的周期振动、随机振动或具有分布频谱的非周期性振动。作用于人体的其他振动环境(如瞬态振动、连续冲击型振动)也可参照使用。

2 引用标准

GB 2298 机械振动冲击名词术语

GB 3240 声学测量中的常用频率

GB 3241 声和振动分析用的 1/1 和 1/3 倍频程滤波器

3 术语

3.1 全身振动

传输到整个身体的机械振动。

3.2 全身振动环境

通过支撑身体的接触面作用于整个身体的振动条件。

3.3 连续冲击型振动

一系列重复的瞬态振动。

3.4 多轴向振动

同时作用于身体的多于一个方向的机械振动。

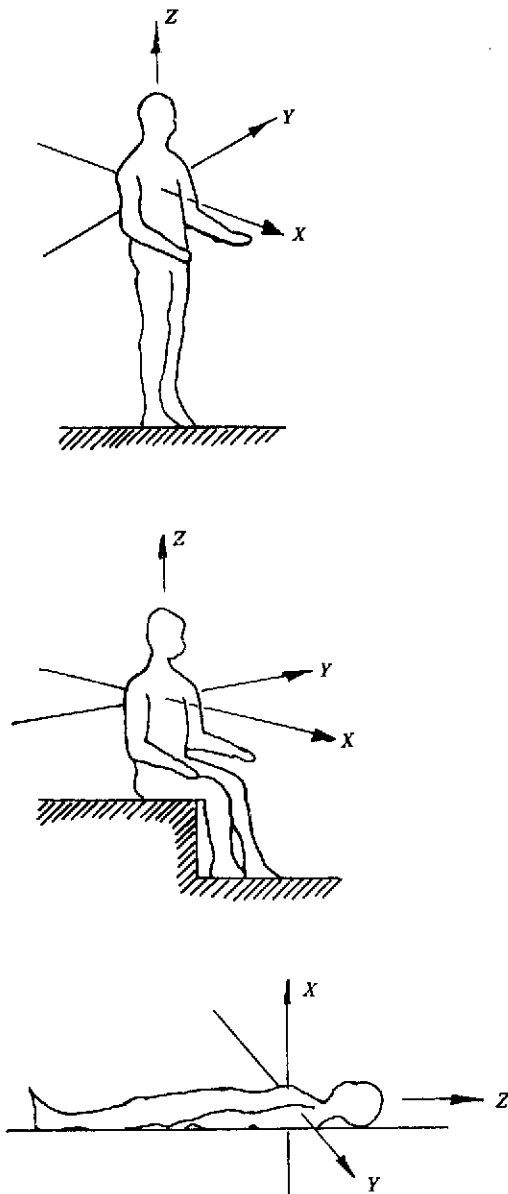
3.5 暴露时间

机械振动作用于身体的持续时间。

4 人体全身振动环境的特征描述

4.1 体轴坐标系

以心脏为原点的直角坐标系是相对于人体解剖轴的。按人体解剖学的规定，互相垂直的三个轴为：人体的背—胸轴为 X 轴，右侧—左侧轴为 Y 轴，脚—头轴为 Z 轴。体轴坐标系见下图。



描述人体振动效应的体轴坐标系

 a_x, a_y, a_z 为 X、Y、Z 轴向的加速度

X 轴为背至胸

Y 轴为右侧至左侧

Z 轴为脚(或臀)至头

4.2 振动作用方向

根据第 4.1 条的规定,振动作用方向分别为 X 轴向、Y 轴向和 Z 轴向。人体承受振动时,沿着 X 轴向的加速度表示为 a_x ,沿着 Y 轴向的加速度表示为 a_y ,沿着 Z 轴向的加速度表示为 a_z 。

围绕各轴的旋转振动称为角振动。绕X轴的角振动称为滚转,绕Y轴的角振动称为俯仰,绕Z轴的角振动称为偏转。

4.3 测量的量

4.3.1 加速度是描述人体全身振动环境强度的基本量,以 m/s^2 为单位。

注:在生理学中,振动强度常习惯以 g 为单位表示加速度,当涉及本标准时应当用国际标准重力加速度值 $g_n (g_n = 9.806\,65 \text{ m/s}^2)$ 进行单位换算。

4.3.2 振动的量值大小,以均方根值(r. m. s)表示。

均方根值(r. m. s)的一般表达式为:

$$a_{\text{r.m.s}} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

式中: $a(t)$ ——某时刻 t 的加速度值, m/s^2 ;

T ——积分时间, s 。

4.3.3 振动的量级(简称振级)可用分贝(d B)表示。

振动量级(L)的一般表达式为:

$$L = 20 \log_{10} \frac{a_{\text{r.m.s}}}{a_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中: a_0 ——参考加速度,等于 10^{-6} m/s^2 。

4.3.4 对含有离散频率成分的振动或随机振动应当进行频率分析。频率分析的带宽分割应当不大于 $1/3$ 倍频程。分析结果表示为各 $1/3$ 倍频带的均方根值。

4.3.5 为了用一个单值表示不同轴向的人体全身振动环境,可进行振动量值的频率计权分析。分析可由具有计权特性网络的分析仪完成,亦可在 $1/3$ 倍频程分析的基础上按以下公式计算。分析结果可表示为均方根值或分贝值。

计算计权加速度均方根值(a_{we}):

$$a_{\text{we}} = \left[\sum_{j=1}^n (W_j \cdot a_j)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

式中: W_j ——第 j 个 $1/3$ 倍频带的计权系数;

a_j ——第 j 个 $1/3$ 倍频带的加速度均方根值, m/s^2 。

计算计权振级(L_w):

$$\begin{aligned} L_w &= 20 \log_{10} \left\{ \left[\sum_{j=1}^n (W_j \cdot a_j)^2 \right]^{1/2} / a_0 \right\} \\ &= 10 \log_{10} \left[\sum_{j=1}^n (W_j \cdot 10^{0.05 L_j})^2 \right] \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

式中: L_j ——第 j 个 $1/3$ 倍频带的振级, dB 。

4.3.6 等效连续均方根值的算法

4.3.6.1 等效连续均方根值(a_{eq}),指在某一时间 T 内的平均振动量值。其一般表达式为:

$$a_{eq} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_e^2(t) dt \right]^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

式中: $a_e(t)$ ——某时间 t 的加速度均方根值, m/s^2 。

4.3.6.2 对于离散测量,其等效连续均方根值可表达为:

$$a_{eq} = \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot t_i \right]^{1/2} \dots\dots\dots (6)$$

式中: a_i —— t_i 时间内测得的加速度均方根值, m/s^2 ;

t_i ——序号 i 对应的时间, s ;

n ——最高序号。

若 t_i 固定, $T = n \cdot t_i$, 则

$$a_{eq} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

t_i 一般为 $8s$, n 应不小于 8 , 以保证有效测量时间不小于 $1min$ 。

4.3.6.3 频率计权测量

以上计算方法适用于频率计权测量。但是 $a(t)$ 应为某时刻 t 的计权加速度 $[a_w(t)]$ 。 $a_e(t)$ 应为 $[a_{we}(t)]$, 即某时间 t 的计权加速度均方根值。对于离散测量, a_i 应为 t_i 时间内测得的计权加速度均方根值 (a_{wei}) 。

4.3.7 等效连续振级的计算法

4.3.7.1 等效连续振级 (L_{eq}), 指在某一时间 T 内的平均振级。其一般表达式为:

$$L_{eq} = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{a_e(t)}{a_0} \right)^2 dt \right]^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

4.3.7.2 对于离散测量,其等效连续振级可表达为:

$$L_{eq} = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \cdot t_i \right]^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

式中: L_i —— t_i 时间内测得的振级, dB ;

t_i ——序号 i 对应的时间, s 。

若 t_i 固定, $T = n \cdot t_i$, 则

$$\begin{aligned} L_{eq} &= 20 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right]^{1/2} \\ &= 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i} \right] \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

t_i 一般为 $8s$, n 应不小于 8 , 以保证有效测量时间不小于 $1min$ 。

4.3.7.3 频率计权测量

以上计算方法适用于频率计权测量。但是, L_i 应为 t_i 时间内测得的计权振级 (L_{wi})。

4.3.8 为了描述振动信号的波形特征,应当测定峰值因数。

4.3.8.1 峰值因数的一般表达式

$$\text{峰值因数} = \frac{\text{峰值}(P)}{\text{均方根值(r. m. s)}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

4.3.8.2 从加速度信号计算峰值因数

$$\text{峰值因数} = \frac{\text{加速度时间历程中的最大峰值}(a_P)}{\text{等效连续均方根值}(a_{eq})} \quad \dots\dots\dots(12)$$

4.3.8.3 从频率计权信号计算峰值因数

$$\text{峰值因数} = \frac{\text{计权信号的峰值}}{\text{计权信号的均方根值}} = 10^{0.05(L_P - L_{eq})} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中: L_P ——计权信号的峰值振级;

L_{eq} ——计权信号的等效连续振级。

4.3.8.4 求取峰值因数的振动信号,其持续时间不得小于1 min。

4.4 暴露时间

4.4.1 当工作日人体间断地暴露于量值稳定的重复振动时,其有效总暴露时间等于各段暴露时间之和。

4.4.2 工作日由不同振动量值 A_i 的若干段暴露时间 t_i 组成时,应当计算等效总暴露时间 T' 。

4.4.3 等效总暴露时间 T' 的计算方法

4.4.3.1 在 A_i 值的范围内选择一个方便的名义值 A' , 然后根据相应的人体全身振动允许界限标准,找出与 A' 相应的允许暴露时间 τ 。用同样的方法,对应每一个 A_i 均可找出相应的 τ_i 。

4.4.3.2 相对于名义值 A' , 每一个 A_i 的等效暴露时间为:

$$t'_i = t_i \times \frac{\tau'}{\tau_i} \quad \dots\dots\dots(14)$$

即 t'_i 等效于不同加速度 A_i 的实际时间 t_i 。

4.4.3.3 对应于名义值 A' 的等效总暴露时间 T' , 等于 t'_i 之和。即

$$T' = \sum_i t'_i = \tau' \sum_i \frac{t_i}{\tau_i} \quad \dots\dots\dots(15)$$

4.4.3.4 比值 (τ'/T') 是判断“等效总暴露时间”是否超过人体全身振动可允许时间的决定因素。这一比值不得小于1, 即 $\sum_i \frac{t_i}{\tau_i}$ 不得大于1。

4.4.4 多轴向振动同时发生时,应当分别描述各个轴向的等效总暴露时间。

4.4.5 计算有效总暴露时间或等效总暴露时间时,其暴露期间,不论是连续的,还是间断的,以24 h为限。

5 测量位置

5.1 测量位置应当在振动传递给人体并与人体接触的支撑界面上,而不是支撑结构的其他部位上。测

点应当是该接触面上最靠近中心的点。

5.2 根据人体不同体位(坐、立、卧),在确定测量位置时,首先必须确定主要支撑面(如:坐姿人的座位上),同时必须注意辅助支撑面(如:座椅的靠背)。不论主支撑面或辅支撑面,布设的测点距离人体接触区域的中心均不应大于 10 cm。

5.3 如果支撑面是刚性的,即具有硬接触面,测量可在此刚性面上进行。若支撑面是弹性的,例如在人体与振动结构之间存在座垫、靠垫等,即具有软接触面时,允许在人体与支撑面之间放置一定形式的刚性托板(如:一块形状适当的金属片),但不能因此而影响通过支撑面传递给人体的振动或产生本来不存在的转动。报告中必须注明该装置的材料名称、性质和有关的物理特性。

5.4 如果支撑面上的测量不可能实现时,可测支撑装置上相应的刚性结构点。但必须测定该点与支撑面之间的传递特性,并在计算传递给人体的实际振动时予以计入。报告中应当详细说明该传递系统的特性。

6 测量仪器

6.1 测量仪器一般由传感器、放大器、指示器或记录器及附属装置(如:频率分析、计权网络)组成。可配置合适的记录设备(如磁带记录仪)以采集信号供进一步分析。

6.2 根据被测部位的实际情况,选择适当的传感器(灵敏度、量程范围)。传感器的安装固定应符合本标准第 4.1 条和第 5 章的有关规定。传感器灵敏轴与坐标方向轴之间的偏差应不大于 10° 。可采用附录 A (参考件)所示的用以固定传感器的垫盘。

6.3 测量仪器的频率范围应当不小于 0.1~200 Hz。在此频率范围内应有足够的幅值动态范围。

6.4 $1/3$ 倍频带的中心频率、边界频率以及滤波器的性能应当符合 GB 3240 和 GB 3241 的规定。

6.5 计权网络的特性:对 1~80 Hz 的振动信号计权,其频率响应特性应与各轴向人体暴露允许界限的特性相对应,即计权网络的插入损失应当符合下表的规定。下表为相对于人体最敏感频率范围的计权系数。网络特性在两个指定的频率(a_z 为 6.3 Hz 和 31.5 Hz, a_x 、 a_y 为 1.25 Hz 和 31.5 Hz)上的允差应当不大于 ± 1 dB,在其他频率范围内应当不大于 ± 2 dB。

相对于人体敏感频率范围的计权系数

序号 j	频 率 ($1/3$ 倍频带中心频率) Hz	计权系数 W_j	
		a_z dB	a_x, a_y dB
01	1.0	0.50(-6)	1.00(0)
02	1.25	0.56(-5)	1.00(0)
03	1.60	0.63(-4)	1.00(0)
04	2.0	0.71(-3)	1.00(0)
05	2.5	0.80(-2)	0.80(-2)
06	3.15	0.90(-1)	0.63(-4)
07	4.0	1.00(0)	0.5(-6)
08	5.0	1.00(0)	0.4(-8)
09	6.3	1.00(0)	0.315(-10)
10	8.0	1.00(0)	0.25(-12)

续表

序号 j	频 率 (1/3 倍频带中心频率) Hz	计权系数 W_j	
		a_z dB	a_x, a_y dB
11	10.0	0.80(-2)	0.2(-14)
12	12.5	0.63(-4)	0.16(-16)
13	16.0	0.50(-6)	0.125(-18)
14	20.0	0.40(-8)	0.1(-20)
15	25.0	0.315(-10)	0.08(-22)
16	31.5	0.25(-12)	0.063(-24)
17	40.0	0.20(-14)	0.05(-26)
18	50.0	0.16(-16)	0.04(-28)
19	63.0	0.125(-18)	0.0315(-30)
20	80.0	0.10(-20)	0.025(-32)

注：人体最敏感频率范围：

a_z 振动：4~8 Hz； a_x, a_y 振动：1~2 Hz。

6.6 仪器的指示部分应具有指示峰值和均方根值的功能。时间计权的时间常数应不小于 1 s。积分时间应不小于 60 s。

6.7 仪器的校准

实施测量之前，测量系统及加速度计校准系统均应处于检定的有效期之内，并进行正确地校准（灵敏度、频率响应特性、幅值线性度）。加速度计校准系统的误差应不大于 ±3%。

7 测量条件

7.1 根据被测系统的运行条件（如：运载器的运行速度、机器的转速），界面环境条件（如：路面、水面、高度）和载荷情况（设备和人员的负荷），首先应当选择常规工作状态，即系统的常规工况条件进行测量，在需要和可能的情况下，在高负荷和低负荷两极端工作状态及其与常规状态之间的过渡状态下进行测量。

7.2 支撑面上人体的体位姿势和动作、约束条件，应当取人们通常工作活动的自然状态。

7.3 根据测量仪器的使用条件，应当注意其他环境条件（温度、湿度、声场、磁场和电源等）对测量的影响。

8 测量方法

8.1 测点数目

根据实际情况布设测点，但是在主支撑面的规定范围内必须设点。多点布设时应当同步测量。

8.2 测点方向

根据具体条件考虑测点方向。一般应进行同一测点或规定范围内测点的 X、Y、Z 三向测量。

8.3 测量时间

在测量条件相对稳定状态下，测量时间一般不得少于 2 min。

8.4 取值方法

测量可以使用模拟式仪表取值,也可使用数字式仪器显示、打印。

8.4.1 峰值

在测量的时间内读取峰值的最大值。若仪器具有峰值保持功能,则可直接取值。

8.4.2 均方根值和振级

指示器为指针显示时,观测时间 8 s。若指针稳定,可直接读取指示量值;若指针不稳定,可读指针摆动的中间值。记为 a_i (不同序号的均方根值) 或 L_i (不同序号的振级),分别按照第 4.3.6 条和 4.3.7 条计算等效连续均方根值和等效连续振级。若仪器具有测定等效连续均方根值(a_{eq})或等效连续振级(L_{eq})的功能,则可直接取值。

9 测量报告

测量报告应包括以下内容:

- a. 测量场所(飞机、舰船、轮式车辆、履带车辆、工程机械、锻造、铸造、冲压机、抛砂机、落沙机等);
- b. 测量部位和具体位置(座舱、驾驶舱、指挥室、操作控制室、轮机室、乘员室、甲板等部位的具体位置);
- c. 测点布设情况(数目、方向、被测界面情况、传感器安装固定方式);
- d. 测量条件
运行条件:行驶速度、机器转速,
界面条件:路面、水面、高度,
载荷情况:设备、人员,
被测部位人体的体位姿势和活动状态,
其他环境条件:温度、湿度、声场等;
- e. 可能的振动来源(发动机、动力装置、机械间隙或不平衡);
- f. 测量仪器(名称、主要性能指标)
主要性能指标:频率响应特性、动态特性、(时间常数)、动态范围、分辨率、均方根检波器的精度、频率分析和计权分析的方法和精度、计权网络特性;
- g. 校准仪器(名称、性能);
- h. 测量和分析结果(峰值、均方根值或等效连续均方根值、计权振级或等效连续振级);
- i. 测量持续时间和人体暴露时间;
- j. 测量过程中可能影响结果的情况说明;
- k. 测量日期、地点;
- l. 测量操作者及其技术状况。

附录 A
固定传感器的垫盘结构图
(参考件)

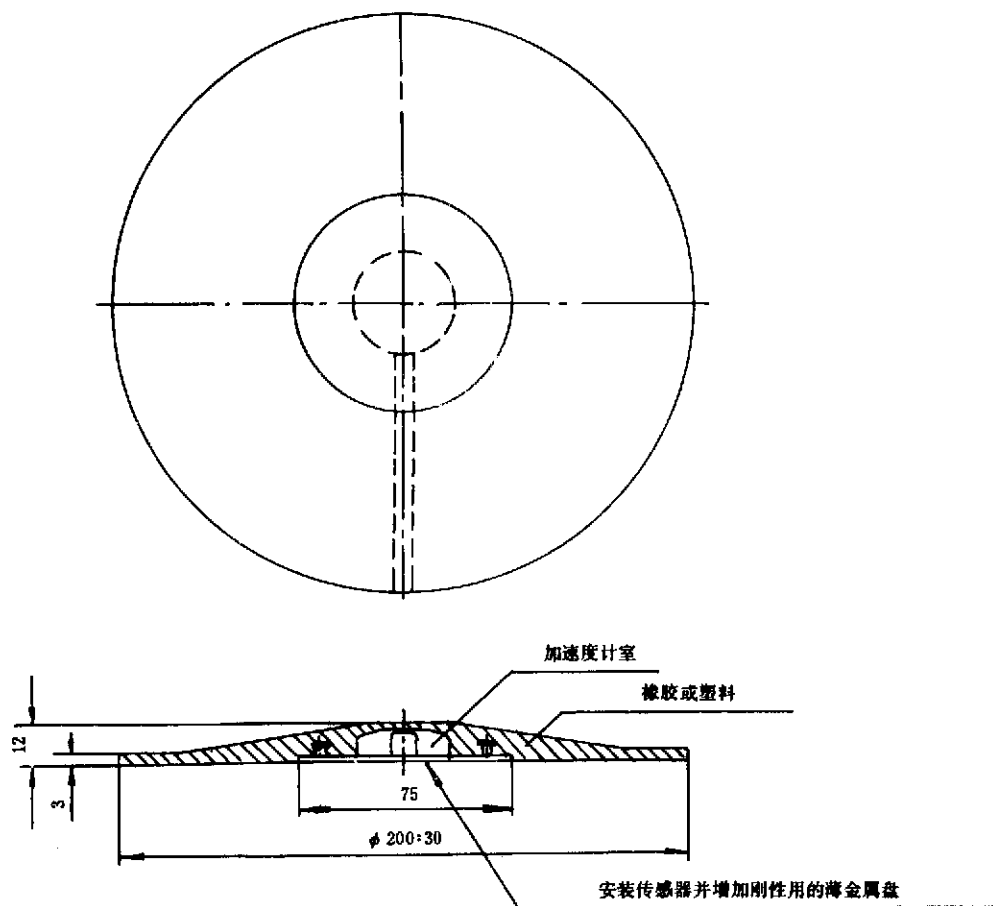


图 A1 用以固定传感器的垫盘结构图

附加说明:

本标准由全国机械振动和冲击标准化技术委员会提出。

本标准由全国机械振动和冲击标准化技术委员会归口。

本标准由航天医学工程研究所负责起草。

本标准主要起草人刘建忠。