

中华人民共和国国家标准

GB/T 23717.1—2009/ISO/TS 10811-1:2000

机械振动与冲击 装有敏感设备建筑物内的振动与冲击 第1部分:测量与评价

Mechanical vibration and shock—
Vibration and shock in buildings with sensitive equipment—
Part 1: Measurement and evaluation

(ISO/TS 10811-1:2000, IDT)

2009-04-24 发布

2009-12-01 实施

数码防伪

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 振动波类型	2
4 测量与分析	2
5 测试报告	3
附录 A (资料性附录) 等效峰值速度响应谱的定义	5
附录 B (资料性附录) 滤波算法	9
参考文献	11

前 言

GB/T 23717《机械振动与冲击 装有敏感设备建筑物内的振动与冲击》由下面两部分组成：

——第1部分：测量与评价；

——第2部分：分级。

本部分为 GB/T 23717 的第1部分。

本部分等同采用 ISO/TS 10811-1:2000《机械振动与冲击 装有敏感设备建筑物内的振动与冲击 第1部分：测量与评价》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO/TS 10811-1:2000。

为便于使用，本部分作了如下编辑性的修改：

——用“本部分”代替“ISO/TS 10811-1”；

——删除了 ISO/TS 10811-1:2000 的前言，重新编写了本部分的前言；

——用小数点符号“.”代替作为小数点的“，”；

——对 ISO/TS 10811-1:2000 引用的其他国际标准，有被等同采用为我国标准的用我国标准代替对应的国际标准，未被等同采用为我国标准的直接引用国际标准。

本部分的附录 A 和附录 B 是资料性附录。

本部分由全国机械振动、冲击与状态监测标准化技术委员会(SAC/TC 53)提出并归口。

本部分起草单位：大连理工大学、同济大学、清华大学。

本部分主要起草人：朱彤、施卫星、王宗纲。

引 言

本部分提出了一种规定和评价装有敏感设备建筑物内的振动与冲击的建筑物性态的新方法,目的是鼓励敏感设备的用户和制造商用这种新方法收集资料以便于信息交换和评估这种方法的实用性。

机械振动与冲击

装有敏感设备建筑物内的振动与冲击

第1部分:测量与评价

1 范围

GB/T 23717 的本部分定义了内部含有对振动与冲击敏感设备的建筑物的测量、分析计算以及振动与冲击资料数据报告的编写方法,该方法适用于将要建造的建筑物的量化研究和已有建筑物的评价。

当评价的振动涉及到制造商采用的标准和通用振动标准时,获得准确的振动数据、分析方法和采用统一的报告编写方法是必要的。预期的振动水平可查阅 IEC 60721,设备的检测过程可查阅 IEC 60068。

注:从测量手段出发按照本部分建立的环境振动条件分级体系,可以作为设计人员、振动与冲击敏感设备的制造商和用户以及建筑开发商的使用指南(见 GB/T 23717.2)。

考虑的振动与冲击类型包括从地板、桌子、墙壁、天花板或孤立的系统传递到设备部件的作用,没有明确地考虑部件里面的单个机械或电子零件的冲击与振动响应。

精密设备的类型包括(并不仅限于以下类型):

- a) 静止的计算机系统,包括外围设备;
- b) 静止的通讯设备;
- c) 静止的试验设备,如电子显微镜、利用扫描探测技术的设备、应用生物仪器、质谱仪等;
- d) 高精度机械仪器(工具),如微电子生产设备;
- e) 高精度光学仪器,再成像系统;
- f) 轨道交通控制中心的机电系统;
- g) (火灾侵入时的)安全设备,通道控制设备。

本部分所考虑的振动与冲击类型由下列因素引起:

——外部振源,例如交通(公路、铁路或航空)或是建筑物的建造和施工活动(爆破、打桩和振动密实),还包括天气原因引起的振动以及声音轰鸣和声学激励引起的振动响应;

——户内使用的设备,如冲床、锻造锤、旋转设备(空气压缩机、空调系统等)和在建筑物内运输或运行的重型设备;

——与维修和操作设备相关的人员活动,例如人的走动,尤其是在垫起的地板上。

本部分在测量和评价振动与冲击对建筑物内精密仪器的影响时,并没有直接考虑人工操作者在观察、操作和维护仪器时的影响。关于人员活动的振动影响见 GB/T 13441。

通常所关注的频率范围为 2 Hz~200 Hz。一般的特征频率均小于 100 Hz,因为它表现的是建筑物内各要素的响应。当有特殊目的时,可选取其他频率范围,同时相应地改变频率范围的数值。

振幅和持续时间主要依赖于振源与精密仪器之间的距离和建筑物内各要素(包括精密仪器)的响应。当体现为振动速度时,考虑的范围在 0.001 mm/s 和 10 mm/s 之间。

本部分仅涉及最大振动幅值的概念,不涉及振动的其他量化概念(如疲劳寿命的估计等)。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 23717 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成

协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 14412 机械振动与冲击 加速度计的机械安装(GB/T 14412—2005, ISO 5348:1998, IDT)

3 振动波类型

能够对建筑物内精密仪器产生影响的振动波类型可以是任何形式:正弦波、随机波或瞬态波。因此,对振动进行有效的测量和分析应针对以上三种类型的所有运动。对于不同波型的典型振源可举例如下:

- a) 旋转机械产生的正弦振动;
- b) 公路上大量交通工具产生的随机振动;
- c) 单个交通工具、打桩、冲击和爆炸产生的瞬态振动。

振动的频率不仅由振源决定,同时也受建筑物的动力特性影响。

本部分的主要目的是制定可以用于任何类型振动波的测量和分析方法。

4 测量与分析

4.1 一般规定

为了确定可能有设备暴露的振动与冲击状态,应在此区域进行精确和全面的测量。

振动测量的测点布置应尽可能靠近设备或其支座与地面或墙壁的接触点。对于大型设备,可能需要布置多个测点。

应当对三个正交方向上的振动时程进行记录和分析(一般应选取一个铅垂方向和两个彼此正交的水平方向)。

实际中的振动测量应该在对振动与冲击敏感的设备所在的地点进行,或者在与该设备具有相同质量和近似动力特性的模型上进行(在垫起的地板或桌子上的设备的有效质量将显著改变响应的大小和频率。在这些设备的共振频率处,将会像动力消振器一样,使振动响应减小)。

建议在对精密设备(包括轴对称系统)进行测量的时候,应该同时对其运行和非运行状态进行检测,从而区别不同的可能振源。

4.2 测试仪器要求

可以采用速度或加速度传感器。由于振动的幅值通常较小,因此采用的传感器应该具有较高的灵敏度。

根据不同的应用,传感器灵敏度需达到 $100 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$ (对于加速度传感器)和 $25 \text{ mV}/(\text{mm/s})$ (对于速度传感器)。传感器的安放需要依据 GB/T 14412 的规定执行。

任何情况下,在 $2 \text{ Hz} \sim 200 \text{ Hz}$ 范围内的测量噪声(包括电磁干扰)的均方根应小于测量振动峰值的 5%。因此,为了避免电源电缆干扰,推荐采用以电池供电的测量仪器。

测试系统的频率范围应该在 $1 \text{ Hz} \sim 315 \text{ Hz}$ (各 -3 dB)之间,两端外各有每倍频程 12 dB 的衰减。这可用在低端采用一个截止频率为 1 Hz 的二阶高通巴特沃斯滤波器和在高端采用一个截止频率为 315 Hz 的二阶低通巴特沃斯滤波器来实现。对于数字化系统,建议的采样频率至少为 2000 Hz ,同时配以适当截止频率的抗混滤波器。

4.3 分析

时间历程应该采用与响应峰值速度等效的一套滤波器进行分析,该方法的基本原理和滤波器的描述见附录 A。每一个滤波器与一个具有确定共振频率和 Q 值的单自由度系统的虚拟速度响应标准化的 Q 值相对应。此方法给出与所研究的振动有相同的最大相对位移响应的正弦波幅值,分析结果以速度峰值与共振频率的关系曲线来描述。

滤波器组的(共振)频率数目在每十倍频对数坐标单位下应该是 40 个。可能的话,适当的 Q 值应该从仪器制造厂商处获得。如果缺乏这样的信息,建议取以下三个 Q 值进行分析:5、10 和 20。如果只使用一个 Q 值,建议采用 10。

滤波时程的数值算法在附录 B 中给出。

注:如果将时程信号输入滤波器的话,在开始的时候将产生一个瞬态响应。建议计算最大响应时,应在初始瞬态响应消失后进行。

4.4 与其他分析方法的比较

4.4.1 功率谱密度

本方法的思想是根据加速度谱密度,用给定的功率谱密度计算随机信号的等效速度峰值响应。以 f_n 为共振频率和 Q 值的等效速度峰值响应滤波器的噪声频带宽为:

$$\frac{1}{4Q \cdot 2\pi f_n} \dots\dots\dots (1)$$

如果在频率 f_n 点的功率谱密度为 $P(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$,以该谱密度馈给滤波器的随机振动速度均方根值为:

$$\sqrt{\frac{P}{4Q \cdot 2\pi f_n}} \dots\dots\dots (2)$$

计算期望最大值,需要估计测试时间(或者试验时间)。指定 C 为峰值因数(即最大值与均方根值之比),均值 C 的期望可表示为:

$$C = C_1 + \frac{0.577}{C_1} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$$C_1 = \sqrt{2 \ln(f_n \cdot T)}$$

f_n ——共振频率,单位为赫兹(Hz);

T ——测试时间,单位为秒(s)。

对关心的每个频率都要计算其 C 值。

4.4.2 三分之一倍频带谱

如果谱以均方根值给定(平均值而非峰值),在 4.4.1 中给出的速度均方根值中的最大值的估计可以应用于该谱的每一个频率。如果是周期性振动,系数可为 1.4,计算结果用振动速度表示。

4.5 统计分析

根据 4.3,任一振动事件(例如由列车通过、爆破、打桩、或者旋转机械等振动得到的记录)将产生一个等效峰值速度响应谱。进行分析的事件样本数应该满足声学工程判定的要求。建议对完整的事件循环(例如以一日间和一夜间为一个循环周期)进行处理,然后,根据由谱分析得到的每阶频率的最大谱值计算出最后结果。

4.6 校准与准确度

所有的仪器在购买时或者至少是每年定期地进行可溯源的校准。推荐进行有效期衔接的校准,即传感器必须接收已知(简谐)振动并按 4.3 中的方法对结果进行分析。

另外,在开始试验程序之前,最好先行馈给传感器一个已知或者参考振动以确定整个测试系统的准确度。无论何时,在仪器受到冲击或掉落后,建议要重新校准仪器。

对于整个系统,在 2 Hz~200 Hz 频率范围内响应不平滑度应该限制在±10%以内。

5 测试报告

报告中数据和信息如下:

a) 敏感设备安装的描述,包括:

- 场地位置；
 - 建筑物结构,楼层,房间尺寸和布置；
 - 设备的制造和型号；
 - 设备的安装；
 - 隔振器(如果有)。
- b) 设备失效和故障的定义。
 - c) 结构的活动性、交通和其他振动与冲击源的情况描述。
 - d) 测试仪器的振动与冲击的描述,包括仪器的型号和生产厂商、校准设备、传感器、放大器、记录仪和分析仪。
 - e) 传感器的安放位置和拾振轴向。
 - f) 分析结果。

附录 A

(资料性附录)

等效峰值速度响应谱的定义

考虑对单自由度机械系统(图 A.1)的基础加速度响应 a_1 , 系统的参数定义如下:

m ——质量, kg(也可表示为 Ns^2/m);

c ——阻尼系数, Ns/m ;

k ——弹簧刚度系数, N/m 。

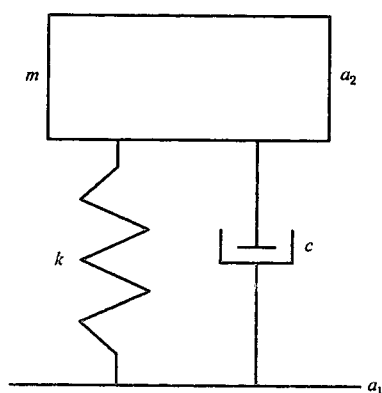


图 A.1 单自由度系统

如果在质点测得的响应加速度为 a_2 , 则传递函数为:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{cs + k}{ms^2 + cs + k} \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

式中:

s ——拉普拉斯变量(复频率), 单位为弧度每秒(rad/s)。

单自由度系统通常用共振频率 f_0 和共振增益因子 Q 表示其特征:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

$$Q = \sqrt{\frac{km}{c}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

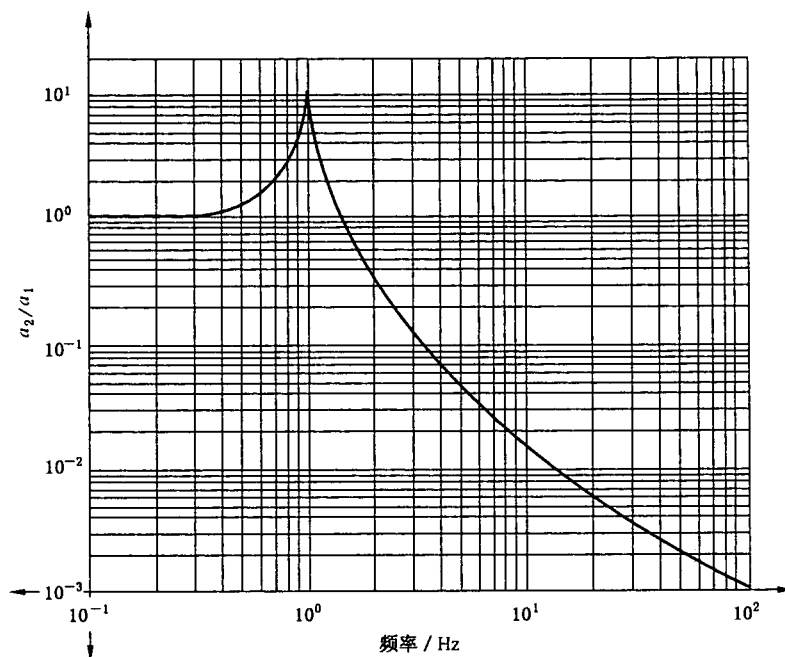
传递函数可以改写为:

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) / \left(s^2 + \frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

式中:

$\omega_0 = 2\pi f_0$ 是共振角频率, 单位为弧度每秒(rad/s)。

图 A.2 给出了频率传递函数的曲线, 其中以共振频率为 1 Hz , $Q=10$ 为例。注意 Q 在共振时的增益。

图 A.2 单自由度系统的传递函数($f_0=1$ Hz, $Q=10$)

对于运动敏感设备,最好采用相对位移误差来评估机械故障的危险。一个机械系统可能有许多共振点,但是通常使用单自由度模型,每次只考虑单个振型。为了阐明外界共振的严重性,需要在几种不同的共振频率下计算模型基础和质点之间的相对位移。

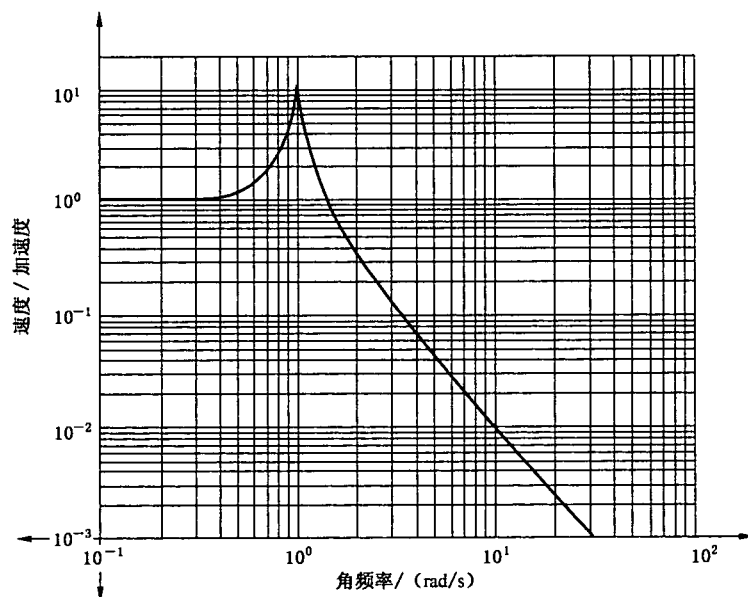
如果响应用相对位移 $d_2 - d_1$ 来计算,并给出基础加速度 a_1 ,则可以按下式计算传递函数:

$$\frac{d_2 - d_1}{a_1} = -1 / \left(s^2 + \frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) \quad \text{..... (A.5)}$$

如果相对位移传递函数乘以 ω_0 ,结果就变成拟速度传递函数:

$$\frac{d_2 - d_1}{a_1} \times \omega_0 = -\omega_0 / \left(s^2 + \frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) \quad \text{..... (A.6)}$$

图 A.3 给出了拟速度传递函数(滤波函数)随频率变化的曲线。共振时增益仍然为 Q 。

图 A.3 具有加速度输入的拟速度传递函数($f_0=1$ Hz, $Q=10$)

为了得到最大响应等于 1 的滤波函数,用拟速度反应函数除以增益 Q ,具有加速度 $H_a(s, \omega_0, Q)$ 输入的传递函数结果变成:

$$H_a(s, \omega_0, Q) = \frac{-\omega_0}{Q} \left/ \left(s^2 + \frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) \right. \dots\dots\dots (A.7)$$

图 A.4 给出了归一化滤波函数。

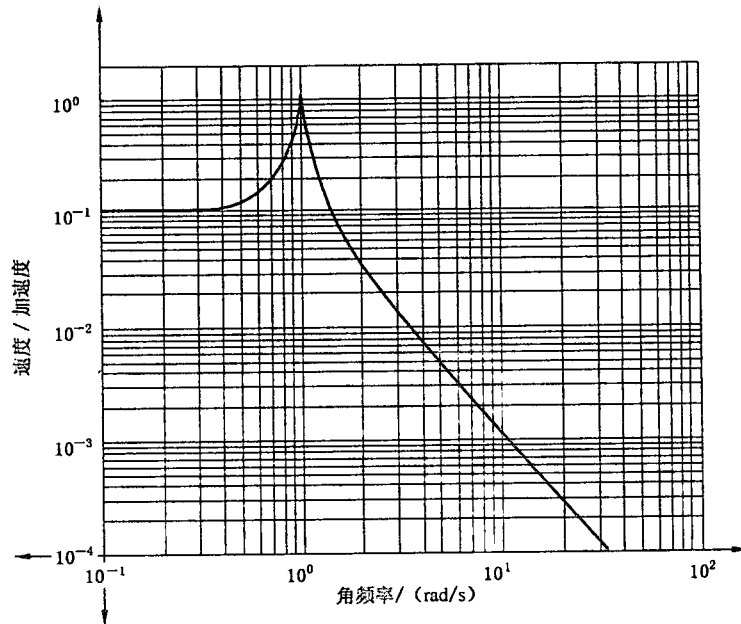


图 A.4 加速度输入的归一化拟速度传递函数($f_0 = 1$ Hz)

由于归一化滤波函数的增益为 1,当采用具有峰值速度 v_{\max} 的正弦振动(频率等于共振频率)作为激励时,滤波器 v_{\max} 对于提供的激励的最大响应将与激励相同,这是使用这种方法的基本原理,和采用峰值速度响应等效值的理由。

为了分析给定的基础加速度,将时间历程输入到以上定义的一套滤波器组中,每个滤波器产生一个最大响应(响应的最大绝对值)。滤波器组的(共振)频率数目在以十倍频率单位内应该是 40 个,并且在 2 Hz~200 Hz 之间呈对数分布,此时表现为每十倍频为一组,即每组中应该有 40 个(共振)频率。由图 A.4 可以看出,最大响应与共振频率曲线就是等效峰值速度响应谱。

根据设计,结果谱的详细论述如下。如果一条具有谱给定频率函数的缓慢扫频正弦峰值速度的振动波作用于任一单自由度系统,其最大响应将与振动分析的结果相同。如果初振采用速度来度量,滤波器必须作出相应的改变。那么以速度输入的等效峰值速度响应的传递函数为:

$$H_v(s, \omega_0, Q) = \frac{-s\omega_0}{Q} \left/ \left(s^2 + \frac{\omega_0 s}{Q} + \omega_0^2 \right) \right. \dots\dots\dots (A.8)$$

图 A.5 给出了归一化拟速度传递函数。

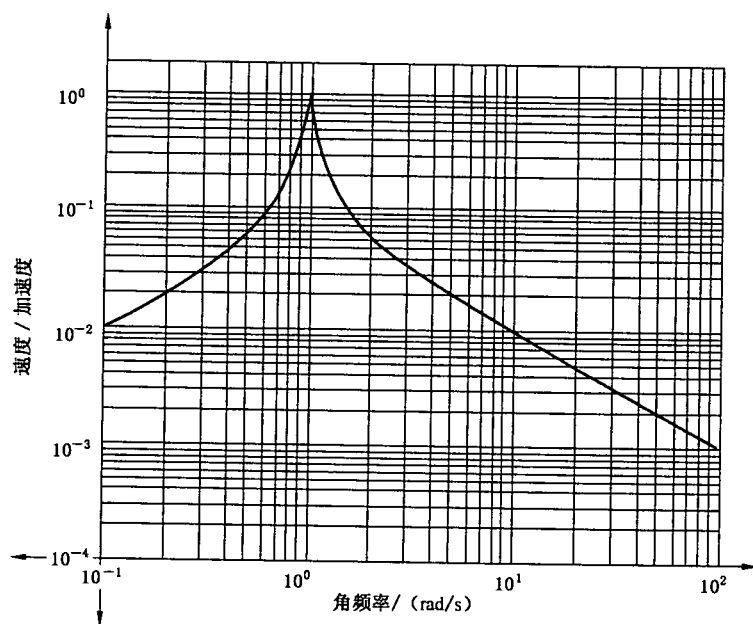


图 A.5 速度输入的归一化拟速度传递函数($f_0=1$ Hz)

再以 20 Hz 的振动谱的计算举例,速度幅值设定为 1 mm/s 或者加速度幅值设定为 125.7 mm/s²。产生的等效峰值速度响应谱如图 A.6 所示。

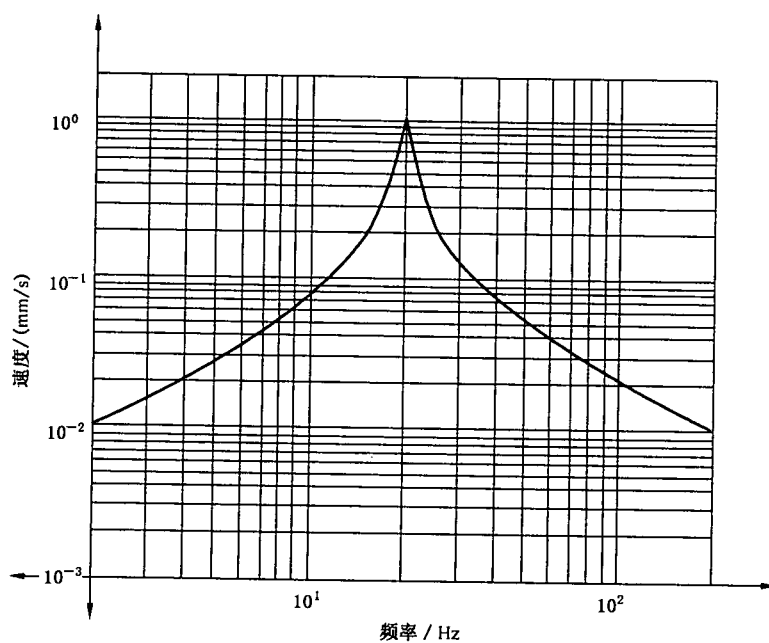


图 A.6 速度幅值为 1 mm/s, 频率为 20 Hz 的正弦波等效峰值速度响应谱

附录 B

(资料性附录)

滤波算法

B.1 概述

现有的很多方法可以将模拟滤波转换为数字滤波,这里给出基于双线性变换的简单表达式。关于另一种广泛应用的变换——斜率不变量变换,参见参考文献[9]。

所有的方法都有它的局限性,因此推荐对所采用的方法和算法的准确度进行结果对结果的校准检验。

B.2 输入加速度算法

由输入加速度时间序列 x_n 引起的响应时间序列 y_n 可通过如下差分方程计算:

$$y_n = b_0 \cdot x_n + b_1 \cdot x_{n-1} + b_2 \cdot x_{n-2} - a_1 \cdot y_{n-1} - a_2 \cdot y_{n-2} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

各系数定义如下:

$$b_0 = \frac{A}{2Q \cdot B \cdot f_s};$$

$$b_1 = 2b_0;$$

$$b_2 = b_0;$$

$$a_1 = \frac{2A^2 - 2}{B};$$

$$a_2 = \left(1 - \frac{A}{Q} + A^2\right) / B。$$

其中:

$$A = \tan\left(\pi \times \frac{f_0}{f_s}\right);$$

$$B = 1 + \frac{A}{Q} + A^2;$$

f_0 ——为共振频率,单位为赫兹(Hz);

f_s ——为采样频率,单位为赫兹(Hz);

Q ——为共振增益(Q因子)。

B.3 输入速度算法

由输入速度时间序列 x_n 引起的响应时间序列 y_n 可通过如下差分方程计算:

$$y_n = b_0 \cdot v_n + b_1 \cdot v_{n-1} + b_2 \cdot v_{n-2} - a_1 \cdot y_{n-1} - a_2 \cdot y_{n-2} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

各系数定义如下:

$$b_0 = \frac{A}{Q \cdot B};$$

$$b_1 = 0;$$

$$b_2 = -b_0;$$

$$a_1 = \frac{2A^2 - 2}{B};$$

$$a_2 = \left(1 - \frac{A}{Q} + A^2\right) / B。$$

其中：

$$A = \tan\left(\pi \times \frac{f_0}{f_s}\right)；$$

$$B = 1 + \frac{A}{Q} + A^2；$$

f_0 ——为共振频率，单位为赫兹(Hz)；

f_s ——为采样频率，单位为赫兹(Hz)；

Q ——为共振增益(Q 因子)。

参 考 文 献

- [1] ISO 2041 Vibration and shock—Vocabulary(GB/T 2298).
 - [2] ISO 2631(all parts) Mechanical vibration and shock—Evaluation of Human exposure to whole-body vibration[GB/T 13441(所有部分)].
 - [3] ISO 4866 Mechanical vibration and shock—Vibration of buildings—Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings. (GB/T 14124).
 - [4] ISO 8569 Mechanical vibration and shock—Measurement and evaluation of shock and vibration effects on sensitive equipment in buildings(GB/T 14125).
 - [5] GB/T 23717.2 机械振动与冲击 装有敏感仪器的建筑物中的振动与冲击 第2部分: 分级.
 - [6] ISO 14964 Mechanical vibration and shock—Vibration of stationary structures—Specific requirements for quality management in measurement and evaluation of vibration. (GB/T 19875).
 - [7] IEC 60068 (all parts) Environmental testing.
 - [8] IEC 60721 (all parts) Classification of environmental conditions.
 - [9] SMALLWOOD, D. O. An Improved Recursive Formula for Calculating Shock Response Spectra. 51st Shock and Vibration Bulletin, 1980.
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
机械振动与冲击
装有敏感设备建筑物内的振动与冲击
第 1 部分:测量与评价
GB/T 23717.1—2009/ISO/TS 10811-1:2000

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

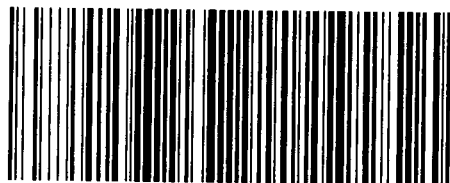
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 25 千字
2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月第一次印刷

*

书号:155066·1-38062 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 23717.1-2009