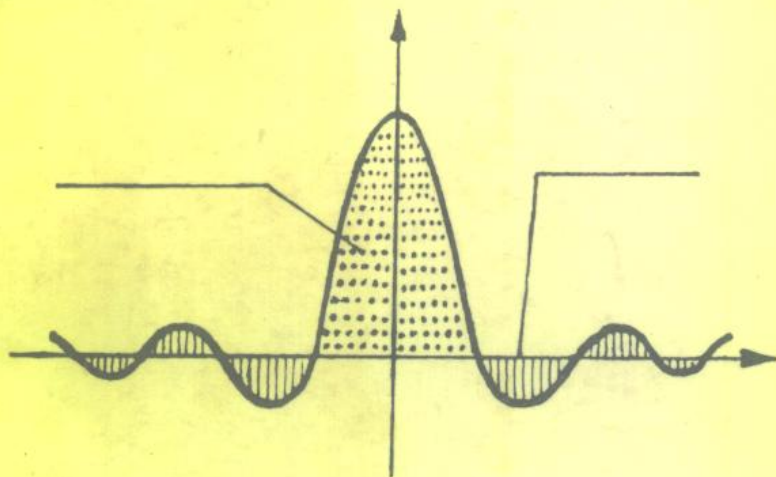


振动冲击及噪声测试技术

高品贤 编著



西南交通大学出版社

TB52

338162

G21

振动、冲击及噪声测试技术

高品贤 编著

西南交通大学出版社

新登字(川)018号

内 容 简 介

本书介绍了机械振动、冲击及噪声测试的基本理论、测试仪器和测试技术。主要内容有测试仪器的动、静态特性；传感器、放大器、滤波器、声级计和频率计等仪器的基本结构和使用方法；振动、冲击、噪声各种参量的测量方法和频谱分析；还叙述了机械阻抗和模态分析的基本理论和测试方法。该书将测试技术、电子技术、信号分析和微机应用等融合为一体，反映了现代测试技术的水平和发展方向。是大学机械类专业学生、研究生的必修课，也可供有关教师和工程技术人员参考。

DY18/3528

振动、冲击及噪声测试技术

高.品.贤 编著

西南交通大学出版社出版发行

(四川 成都九里堤)

西南交通大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.125

字数: 270千字 印数: 1—3000册

1992年4月第1版 1992年4月第1次印刷

ISBN 7—81022—247—0/T·076

定价: 5.40元

序

振动、冲击及噪声测试技术是在振动及噪声理论的基础上，结合近代电子学、计算技术、测量分析技术等综合发展起来的学科。随着现代工业的高速发展，大量的工程振动问题及噪声问题不断涌现，使这一学科深为工程技术部门所共同关心。

对于运行中的重要设备，不仅要在设计中预测振动、控制振动，而且要在使用期间随时进行状态监测和故障诊断，以防患于未然。振动、冲击和噪声测试技术在机器运行监控和故障诊断学科中得到了广泛应用。

由于振动、冲击和噪声问题的复杂性，理论研究和实验研究工作必须紧密结合，而且在很多情况下，实际测试工作有其特殊的重要性；有些问题甚至主要依靠测试的方法进行研究。

当前我国铁路运输中的重载列车，在起动及制动时列车纵向振动及冲动显得比较严重，甚至影响行车安全，有赖于理论研究和对振动、冲击的实际测量相结合来加以解决。正在开发中的准高速及高速旅客列车的振动问题、噪声问题、舒适性问题等，都是非常重要的研究课题。要解决这些问题，也离不开振动、冲击及噪声测试技术。

鉴于振动、冲击及噪声测试在机械工程中的重要性，我校硕士研究生机车车辆专业、工程力学专业确定“振动、冲击及噪声测试技术”为学位课程，机械类其它专业和一般力学专业确定为必修课程。高品贤同志承担该课程的讲授任务，深感没有合适的教学用书，决心自己编写。八年来，根据教学经验，对本书初稿不断加以修订补充，并结合自己多年来丰富的科研实践经验，完成了本书的编著任务，以应教学急需。本书的特色是在阐述振动、冲击和噪声测试技术基本原理和方法的同时，突出新理论、新技术的应用，反映了当代国内外本学科的科学先进技术先进水平。而且注意加强理论与实际的联系，内容的取舍也都经过仔细的推敲，以适合作为教学用书。

相信本书作为机械类硕士研究生教学用书及本科高年级学生的参考书，一定会得到读者的欢迎；对从事振动、冲击及噪声测试工作者，也会提供很多有用的参考资料。

面对内容丰富的本书原稿，我钦佩作者坚韧不拔的努力，并预祝本书出版成功。

鲍维千

1991年

前 言

振动、冲击和噪声是自然界和工程中普遍存在的运动现象，特别是机械振动和工业噪声，一直为科学技术人员所关注。随着现代工业的飞速发展，振动的危害性和噪声污染问题已越来越突出，为了提高机械设备的使用寿命和可靠性；为了给人们提供一个安宁、舒适的工作环境，对振动和噪声的研究与控制已受到工程界的广泛重视。

实际的振动系统或噪声源往往是十分复杂的，仅从事纯理论研究是不够的，要了解工程结构和机械设备的振动特性和噪声源，需要对振动和噪声进行直接的测试。同时，近年来迅速发展起来的机械设备运行情况监测和故障诊断技术，在很大程度上依赖于振动和噪声测试技术的发展。工、矿企业的减振、隔振和降低噪声的工作也需要对振动和噪声进行大量的测试与分析，才能采取有效的措施。因此，振动、冲击和噪声测试技术，已成为科学研究和工程测试中的重要课题。

近年来，由于电子技术和数字计算技术的迅速发展，特别是快速傅立叶变换技术的发展，使振动、冲击和噪声的测试技术有了飞跃的进步。特别是在如下几个方面：

1. 测量传感器和前置放大器出现了许多新的类型，其灵敏度、可测频率范围和动态范围大大提高。
2. 记录仪器和分析仪器向数字化方向发展，并微机化、智能化，分析内容越来越丰富，分析速度越来越快，能进行实时分析。
3. 在结构振动测量和试验中发展了多点激振技术，随机减量技术，出现了许多快速试验方法，并能进行在线测试。
4. 模态综合技术的应用，为复杂结构和机械系统的振动测试与分析工作开辟了新的途径。
5. 机械信号分析理论的发展和应用，使振动、冲击和噪声的测试工作在机器运行监控和故障诊断学科中得到了广泛应用。

本书根据上述振动、冲击和噪声测试技术的发展动向，以机械振动测试为主，阐述了振动、冲击和噪声测试技术的基本原理和方法。作者力图在介绍基本理论和方法的同时，突出新理论、新技术的应用，特别是新型分析仪器的应用。全书共分9章，内容包括：基本知识，振动、噪声测量仪器的主要特性，振动、噪声测量传感器，振动、噪声测量系统，确定性振动及冲击测量方法，随机振动测量方法，噪声测量方法，振动、冲击及噪声数字信号分析，机械阻抗测量及模态分析等。

本书是作为高等学校研究生和高年级本科生的教学用书来编写的，讲授学时数为68学时。同时该书也是从事振动、冲击和噪声测试工作者的一本较新的参考书。

本书是作者根据多年的教学和实践经验编写的，由于作者水平所限，书中错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

本书在编写过程中得到了鲍维千教授的热情支持，并在百忙中为本书写了序。王成照副编审对本书全文作了仔细审阅，林建辉老师为本书进行了细心校对。在此对他们表示衷心的感谢。

作者

1991年

目 录

第一章 基本知识

§ 1—1 机械振动过程.....	1
§ 1—2 冲击过程.....	5
§ 1—3 声学噪声.....	6

第二章 振动、噪声测量仪器的主要特性

§ 2—1 测量仪器的静态特性.....	9
§ 2—2 测量仪器的动态特性.....	10
§ 2—3 振动传感器的静态特性.....	13
§ 2—4 传感器的动态特性.....	15
§ 2—5 传声器灵敏度和频响特性.....	18
§ 2—6 传感器的误差及信噪比.....	20

第三章 振动、噪声测量传感器

§ 3—1 惯性式传感器.....	22
§ 3—2 电测传感器.....	24
§ 3—3 压电晶体式传感器.....	30
§ 3—4 电容传声器.....	39
§ 3—5 传感器的智能化.....	40

第四章 振动、噪声测量系统

§ 4—1 测量系统中的微、积分电路.....	42
§ 4—2 前置放大器.....	49
§ 4—3 有效值、峰值检测器.....	57
§ 4—4 模拟滤波器.....	60
§ 4—5 声级计.....	74
§ 4—6 频率计.....	78

第五章 确定性振动及冲击测量方法

§ 5—1 振动、冲击时间的测定.....	81
§ 5—2 复杂周期振动的频谱分析法.....	85
§ 5—3 实时频谱分析.....	89

§ 5—4 冲击谱分析.....	94
------------------	----

第六章 随机振动测量

§ 6—1 随机振动的基本特性	100
§ 6—2 均值、均方值和功率谱密度测量	103
§ 6—3 概率密度测定	111
§ 6—4 自相关函数测定	112
§ 6—5 随机振动的联合特性及测定	113
§ 6—6 随机振动信号的特性检验	114

第七章 噪声的测量方法

§ 7—1 噪声级的测量方法	121
§ 7—2 声压级频谱分析	126
§ 7—3 声功率测量	127
§ 7—4 声强测量	128

第八章 振动、冲击及噪声数字信号分析

§ 8—1 基本知识	131
§ 8—2 数字滤波器原理	142
§ 8—3 快速傅立叶变换	148
§ 8—4 振动、噪声数字信号的统计分析	153
§ 8—5 振动、噪声数字信号的谱分析	155
§ 8—6 冲击响应函数及冲击响应谱的数字分析	160
§ 8—7 数字信号分析仪的应用	162

第九章 机械阻抗测量及模态分析原理

§ 9—1 基本知识	165
§ 9—2 机械阻抗测量	168
§ 9—3 模态分析的基本原理	170
§ 9—4 模态参数识别	173

主要参考文献	186
--------------	-----

第一章 基本知识

§ 1—1 机械振动过程

任何一个可以用时间的周期函数来描述的物理量，都称之为振动。或者更确切说，与某个坐标系有关的、围绕其平均值或基准值从大变小，又从小变大，如此交替重复变化的量，称为振动(Oscillation, Vibration)。机械振动(Mechanical vibration)是最常见的一种振动形式，在这种运动过程中，机械系统围绕着平衡位置作往复运动。

描述振动的量有：位移、速度和加速度，激振力和振动频率等。按照描述振动数据的特点，可将振动分为确定性振动和随机振动两大类，其中确定性振动又分简谐振动、复杂周期性振动和准周期性振动。

一、简谐振动

位移、速度和加速度为时间的谐和函数的振动称为简谐振动(Simple harmonic motion)，这是一种最简单最基本的振动形式。

$$\text{位 移} \quad x(t) = A \sin(\omega t) = A \sin(2\pi f t)$$

$$\text{速 度} \quad v(t) = \omega A \cos(\omega t) = \omega A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (1-1)$$

$$\text{加速度} \quad a(t) = -\omega^2 A \sin(\omega t) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi)$$

式中 A ——位移幅值 (cm 或 mm);

ω ——振动圆频率 (1/s);

f ——振动频率 (Hz)。

$x(t)$ 、 $v(t)$ 和 $a(t)$ 三者间的相位依次相差 $\pi/2$ ，如图1—1所示。

若令：速度幅值 $V = \omega A$ ，加速度幅值 $a_0 = \omega^2 A$ ，则有

$$a_0 = \omega V = \omega^2 A = (2\pi f)^2 A \quad (1-2)$$

可见，位移幅值 A 和频率 ω (或 f)是两个十分重要的量，速度和加速度的幅值 v 和 a_0 可以直接由位移幅值 A 和频率 f 导出。在测量中，振动参数的大小常用其峰值、均值和有效值来表示，所谓峰值是指振动量在给定区间内的最大值，均值是振动量在一个周期内的平均，有效值即均方根值，它们从不同的角度反映了振动信号的强度和能量。在测量仪表上，峰值一般用Peak—peak(峰—峰)表示，而有效值则用RMS(Root mean square)表示。均值 μ_x 的表达式为

$$\mu_x = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (1-3)$$

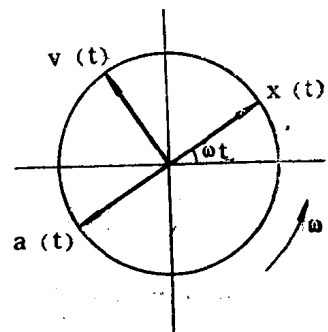


图 1—1 振动矢量图

均值亦常用 \bar{x} 来表示。位移有效值定义为

$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (1-4)$$

对于简谐振动，其位移峰值 x_{peak} 就是它的幅值 A ，而位移的有效值为

$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T A^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} A \quad (1-5)$$

峰值与有效值之比，称为峰值因素或峰值指标(Crest-Factor)，简谐振动的峰值因素为

$$F_c = \frac{A}{x_{\text{RMS}}} = \sqrt{2} = 1.414 \quad (= 3 \text{ dB}) \quad (1-6)$$

有效值与均值之比，称为波形因素(Form-Factor)，对于简谐振动，其波形因素为

$$F_f = \frac{x_{\text{RMS}}}{\mu_x} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11 \quad (\approx 1 \text{ dB}) \quad (1-7)$$

峰值因素 F_c 和波形因素 F_f 反映了振动波形的特征，是机械故障诊断中常用来作为判据的两个重要指标。

二、复杂周期振动

复杂周期振动由一系列频比 f_n/f_m (或 ω_n/ω_m) 为有理数的简谐振动叠加而成，当自变量增加到某一定值时，其函数值又恢复到同一个值的振动，所以又简称为周期振动 (Periodic vibration)，用周期性函数表示

$$x(t) = x(t \pm nT) = x\left(t \pm n \frac{1}{f_1}\right) \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-8)$$

式中， T 为周期； f_1 称为基频。复杂周期振动可以按如下公式展开为傅立叶级数

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t) \\ &= \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_1 t - \theta_n) \end{aligned} \quad (1-9)$$

其中 $c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$

$$\theta_n = \arccos \frac{a_n}{c_n} = \arcsin \frac{b_n}{c_n}$$

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos n\omega_1 t dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \cos n2\pi f_1 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin n\omega_1 t dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t) \sin n2\pi f_1 t dt$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

其中, c_n 为第 n 次谐波分量的幅值, θ_n 为相位差; A_0 为均值; a_n 为余弦分量; b_n 为正弦分量; ω_1 (或 f_1) 称为基频, 与基频对应的分量称为基波, 其余均为高频波。

以频率为横坐标, 幅值 c_n 或相位差 θ_n 为纵坐标, 绘制成的曲线图称为频谱图(幅频谱或相频谱)。复杂周期振动的频谱为离散谱, 如图 1-2 所示。频谱图是研究复杂周期振动的重要特性曲线。图 1-2(a) 表示一矩形周期振动曲线的时间历程, (b) 是它的幅频谱图, 基频为 f_1 的矩形周期振动的高次谐波的幅值随频率增高而迅速减小。复杂周期振动不一定包含全部谐波成分, 有时只有几个分量, 有时其基频分量也可以没有。

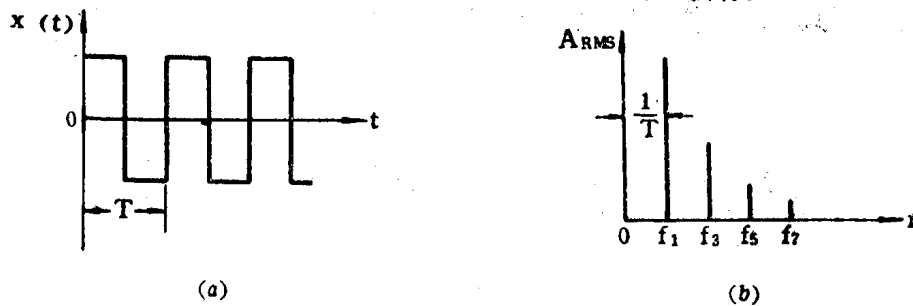


图 1-2 复杂周期振动及其幅频谱

三、准周期振动

两个或两个以上的无关联的周期性振动的混合, 会产生一种与周期性振动略有不同的振动, 称准周期性振动(Quasi-periodic vibration), 其特点是各频率之比不为有理数。其表达式为

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(\omega_n t - \theta_n) \quad (1-10)$$

式中, ω_n/ω_m 不为有理数, 例如:

$$x(t) = x_1 \sin(2t + \theta_1) + x_2 \sin(3t + \theta_2) + x_3 \sin(\sqrt{50}t + \theta_3) \quad (1-11)$$

该式虽由三个简谐振动叠加而成, 但不是周期性函数, 因为 $2/\sqrt{50}$ 和 $3/\sqrt{50}$ 不是有理数(基本周期无限长), 但频谱仍然为离散谱。

四、随机振动

任何一给定时刻的振动瞬时值不能预先确定的振动称为随机振动(Random vibration)。工程中许多振动问题都属于该类型。由于它不能用一个确定的时间函数来描述, 所以只能用数理统计的方法来加以研究。由测量所得的随机振动的单个时间历程(一个数据), 只代表许多可能产生的结果之一, 称为样本函数。在有限时间区间内测得的一时间序列(某一样本函数的有限时间历程), 称为样本记录, 可以理解为随机振动过程的一个物理现实。振动系统可能产生的全部样本函数的集合, 称为随机振动过程, 如图 1-3 所示。

描述随机振动基本特性的主要统计参数有: 均值与均方值(或均方根值), 概率密度函数, 相关函数及功率谱密度函数等。均值与均方值分别定义为

$$\text{均值} \quad \bar{\mu}_x = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) p(x, t) dx = E[x(t)] \quad (1-12)$$

$$\text{均方值} \quad \overline{\psi_x^2(t)} = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) p(x, t) dx = E[x^2(t)] \quad (1-13)$$

均方差 $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - \mu_x]^2 p(x, t) dx = E[(x(t) - \mu_x)^2]$ (1-14)

式中, $p(x, t)$ 为概率密度函数, $E[x(t)]$ 为数学期望。在一般情况下, 均值不等于算术平均值, 只有各态历经的随机振动, 其均值才等于算术平均值。

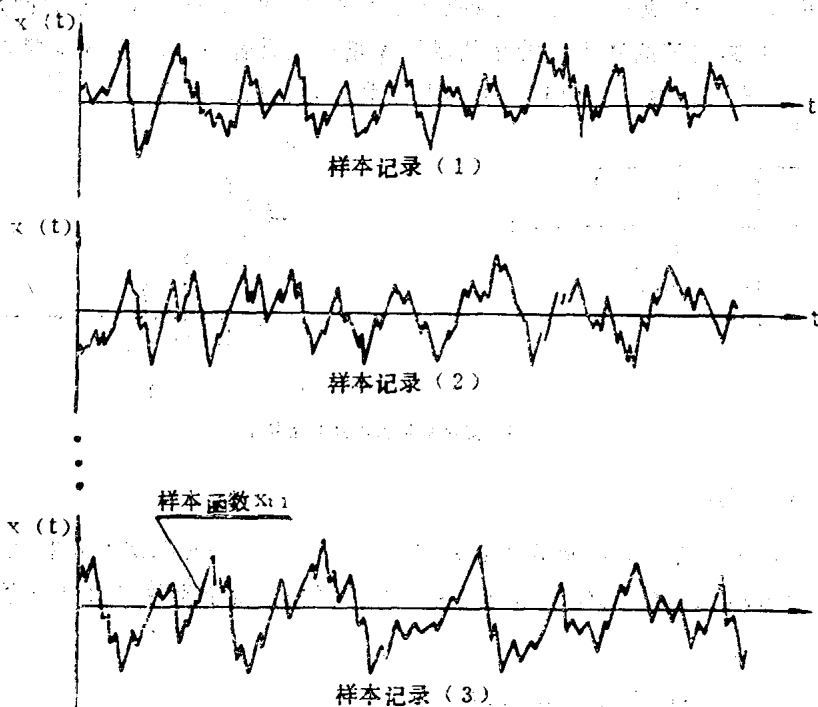


图 1-3 随机振动过程

五、振动测量中的对数量纲

在振动测量中, 为了分析方便, 除了用线性单位表示速度和加速度外, 在分析仪中还常用“dB” (分贝) 数来表示, 称为振动级, 这种量纲是以对数为基础的, 规定

加速度 $a_{dB} = 20 \log \frac{a_1}{a_2}$ dB (1-15)

速度 $v_{dB} = 20 \log \frac{v_1}{v_2}$ dB (1-16)

式中 a_1 —— 测量而得的加速度均方值或峰值 (mm/s^2);

a_2 —— 参考电平, 一般取 $a_2 = 10^{-2} \text{ mm/s}^2$, 或取为 1;

v_1 —— 测量而得的速度均方根值或峰值 (mm/s);

v_2 —— 测考电平, 一般取 $v_2 = 10^{-5} \text{ mm/s}$, 或取为 1。

用分贝值表示加速度和速度时, 可以方便地对二者进行换算, 其换算公式为

$$v_{dB} = a_{dB} + (44.034 - 20 \log_{10} f) \quad (1-17)$$

采用对数量纲时, 前述简谐振动的峰值因素 F_p 和波形因素 F_f 可表示为

$$F_p = 20 \log \sqrt{2} = 3 \quad \text{dB}$$

$$F_r = 20 \log \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1 \quad \text{dB}$$

§ 1—2 冲击过程

由于力、位置、速度或加速度等的突然变化，引起系统的瞬态动变化过程称为冲击 (Shock, Mechanical shock)。在力学上，冲击是一种过渡现象，属于非周期运动范畴。所以又将冲击运动称为非周期性运动 (Aperiodic motion)。

冲击过程可能是单次的、多次的或复合的，但每次持续时间是比较短暂的(突变)。表征冲击过程的基本物理量有速度、加速度、位移(或变形)和冲击持续时间，其表达式分别为

$$\begin{aligned} \text{加速度} \quad a(t) &= \begin{cases} 0 & t < 0 \\ a(t) & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & t > \tau \end{cases} \\ \text{速度} \quad v(t) &= \begin{cases} v_0 & t < 0 \\ v_0 + \int_0^t a(t) dt & 0 \leq t \leq \tau \\ v_0 + \int_0^{\tau} a(t) dt & t > \tau \end{cases} \\ \text{位移} \quad x(t) &= \begin{cases} x_0 & t < 0 \\ x_0 + \int_0^t v(t) dt & 0 \leq t \leq \tau \\ x_0 + \int_0^{\tau} v(t) dt & t > \tau \end{cases} \end{aligned} \quad (1-18)$$

式中， τ 为冲击激励函数的持续时间。

冲击的谱分析是冲击测量中的主要分析内容，包括冲击激励函数的谱分析(冲击谱)和冲击响应谱分析。前者是分析激励，后者是分析响应。

1. 冲击响应谱

冲击响应谱的定义为：均匀阻尼单自由度振动系统，在冲击激励函数作用下的最大响应值与系统的固有频率或者固有周期间的关系，定义为冲击激励函数的冲击响应谱。冲击响应谱可分成三种：

(1) **最大冲击响应谱** $S_{m, \tau}$ ——在冲击激励函数作用下，单自由度振动系统的响应时间历程中的最大值与系统的固有频率之间的关系。

(2) **冲击初始谱** S_0 ——在冲击激励函数作用下，单自由度振动系统的响应时间历程，在冲击激励函数的持续时间内出现的最大值与系统的固有频率之间的关系。

(3) **冲击余谱** S_r ——在冲击激励函数作用之后，单自由度振动系统的响应时间历程出现的最大值与系统的固有频率之间的关系。

在实际测量中，最常用的是最大冲击响应谱。

2. 冲击谱

冲击信号的冲击谱是冲击激励函数的傅立叶变换，所以又称冲击傅立叶频谱，有幅频谱

和相频谱(或实频谱和虚频谱)。其表达式为

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1-19)$$

冲击响应谱与冲击傅立叶频谱是完全不同的概念,二者之间没有直接的联系。不同的冲击激励函数可得到相同的冲击响应谱。因此,冲击响应谱是不可逆的。在测量中一般用数字分析仪来求得。

冲击傅立叶频谱和冲击响应谱均为连续谱,这点与前述的准周期振动是不同的。

例 1 实验中常用的锯齿波冲击信号(图 1-4a)为

$$x(t) = \begin{cases} \frac{A}{\tau}t & 0 \leq t \leq \tau \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

其冲击傅立叶频谱(图 1-4b),即冲击谱为

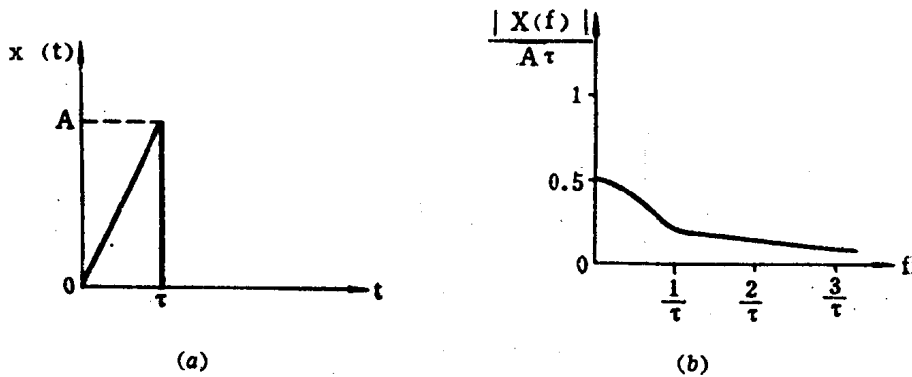


图 1-4 锯齿波冲击信号及傅立叶频谱

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_0^{\tau} \frac{A}{\tau}te^{-j2\pi ft} dt = \frac{A}{\tau} \left[\frac{e^{-j2\pi ft}}{(-j2\pi f)^2} (-j2\pi ft - 1) \right]_0^{\tau} \\ &= \frac{A}{\tau} \left[\frac{\tau e^{-j2\pi f\tau}}{-j2\pi f} - \frac{1}{(2\pi f)^2} (e^{-j2\pi f\tau} - 1) \right] \\ &= \frac{A}{\tau(2\pi f)^2} [(2\pi f\tau \sin 2\pi f\tau + \cos 2\pi f\tau - 1) \\ &\quad + j(2\pi f\tau \cos 2\pi f\tau - \sin 2\pi f\tau)] \end{aligned}$$

则频谱幅值为

$$|X(f)| = \frac{A}{2\pi f} \sqrt{1 - \frac{1}{\pi f\tau} \sin 2\pi f\tau + \left(\frac{1}{\pi f\tau} \sin \pi f\tau\right)^2}$$

§ 1-3 声学噪声

声学噪声是一种随机过程(Random noise),不包括纯音(正弦函数)和由多个纯音迭加而成的乐音。这与从生理学观点来定义的噪声(Noise)有一定的区别。噪声的主要参数有:频率、声压、声强、声功率和方向系数等。但在实际测量中常采用这些参量的相对值,如:声强级、声压级和声功率级等。

1. 声 压

当介质中有声波传播时与无声波时相比，介质内最大的压力变化称为声压，一般测量声压的均方根值，即

$$P_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt} \quad \text{Pa} \quad (1-20)$$

式中， T 为积分时间(平均时间)， P 为介质内压力变化值(Pa)。

人能在 2×10^{-5} Pa 的声压下听到频率为 1 000 Hz 的纯音(按正弦规律变化的声音)，故把该频率下的声压选为参考值，称为听阈声压或可闻阈声压；而把不致使听觉机构本身(耳)发生机理性损害的最大声压称为痛阈声压，其值为 20 Pa。

2. 声 强

声强是在垂直于声波传播方向的单位面积上、单位时间内通过的能量，它与声压的关系为

$$I = \frac{P_{\text{RMS}}^2}{\rho c} \quad \text{W/m}^2 \quad (1-21)$$

式中 ρ ——介质密度(kg/m³)；

c ——声音在介质中传播的速度(m/s)。

乘积 ρc 称为声阻抗率。与听阈声压、痛阈声压相对应的听阈声强为： 10^{-12} W/m²，痛阈声强为： 1 W/m²。

3. 声功率

声功率是声源在单位时间内辐射的总声能量。声功率用 W 表示，单位为瓦。定义为

$$W = \oint I dS \quad \text{W} \quad (1-22)$$

式中， I 为声强； S 是围绕声源的传播面积。

4. 声级和分贝

人们对声音的感觉(主观量)和声音的客观物理量之间不是线性关系，而是一种对数关系。当声强以 10、100、1000 倍的规律变化时，人耳听起来好象是按 1、2、3 倍的规律变化，符合对数规律，从而引出了声级的概念，声级是一种相对量，其单位用 dB 表示，这是最主要的测量参数。其定义为

$$\begin{aligned} \text{声强级} \quad L_I &= 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{dB} \\ \text{声压级} \quad L_P &= 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad \text{dB} \\ \text{声功率级} \quad L_W &= 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad \text{dB} \end{aligned} \quad (1-23)$$

式中， I_0 、 P_0 、 W_0 为参考值，一般取相应的听阈值，即： $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa， $I_0 = 10^{-12}$ W/m²， $W_0 = 10^{-12}$ W。人的听阈声压级为 0 dB，痛阈声压级为 120 dB。

5. 方向系数

由于大多数噪声源在不同方向上的发射强度是不同的，所以需要测量方向系数，表达式为

$$K_H = 20 \log_{10} \frac{P_i}{P_0} - 20 \log_{10} \frac{P_m}{P_0} \quad (1-24)$$

式中 P_i —— i 方向上的声压；

P_m —— 被测声压的平均值。

为了使噪声测量值既能反映频率分布特性，又反映人们的心理效应，在噪声测量中普遍引入了计权滤波器，其频率特性分别用 A 、 B 、 C 和 D 表示， A 计权反映人们的主观感受， C 计权接近客观物理量， B 计权居中。

噪声对人的影响是一个很复杂的问题，不仅与噪声的物理性质有关，而且与人的心理和生理状态有关，所以从声学噪声来考虑对人的影响是不全面的。从生理学观点来看，噪声的含义已超出了上述声学噪声的范围。而把那些令人厌烦的声音（包括纯音和乐音）统称为噪声。控制噪声是环境保护的一个重要方面，国家和有关部门对机械噪声、车辆噪声和环境噪声等制定了一系列控制标准，如表 1-1，表 1-2 所示。

新老企业噪声标准

表 1-1

噪声暴露时间	8 小时	4 小时	2 小时	1 小时	30 分	15 分
老企业允许噪声 dB_A	90	93	96	99	102	105
新企业允许噪声 dB_A	85	88	91	94	97	100

各种机动车辆噪声标准 (GB 1495-79)

表 1-2

车辆种类		标准 I dB_A	标准 II dB_A
载重车	8—15 吨	92	89
	3.5—8 吨	90	86
	<3.5 吨	89	84
公共汽车	4 吨以上	89	86
	4 吨以下	88	83
轿车		84	82
摩托车		90	84
轮式拖拉机		91	86

注：1985 年 1 月 1 日前生产的车采用标准 I，以后生产的车采用标准 II。

第二章 振动、噪声测量仪器的主要特性

振动、噪声测量仪器分两大类，一是测量过程中用来检出信号的1次变换器，称为传感器(Transducer)；二是对检出信号进行放大、分析和处理的2~n变换器，如放大器、模/数转换器(A/D)、滤波器等。一般将放大器称为2次仪表。测量仪器的性能指标很多，除一些通用性的指标外，各自还有其特定的性能指标，特别是传感器。振动、噪声测量仪器的特性参数概括起来可分为两大类，一是静态特性，二是动态特性。一台仪器的测量技术性能是通过它的静态和动态特性及测量(或变换)精度来描述的。

§ 2—1 测量仪器的静态特性

测量仪器的静态特性主要是指灵敏度(静态灵敏度)。所谓灵敏度是指仪器输入信号的变化量与输出信号的变化量的比值，也就是仪器在工作点上的微商，即

$$E = \frac{dy}{dx} \quad (2-1)$$

仪器的静态特性曲线如图2—1(a)所示。当测量仪器的输入和输出信号为同种量时，灵敏度是一无量纲的纯数字量，如一个放大器的输入和输出都为电压。如果不是这种情况，灵敏度将具有量纲，例如传声器的灵敏度，输入信号为声压(Pa)，输出信号为电压(V)，灵敏度单位为V/Pa。若仪器的静态特性曲线是一条直线，则该仪器在所有工作点上的灵敏度为一常量 k ，一般称 k 为比例系数或传递系数。此时，仪器输出与输入之间成线性关系，如图2—1(b)所示，即

$$y = E \cdot x = k \cdot x \quad (2-2)$$

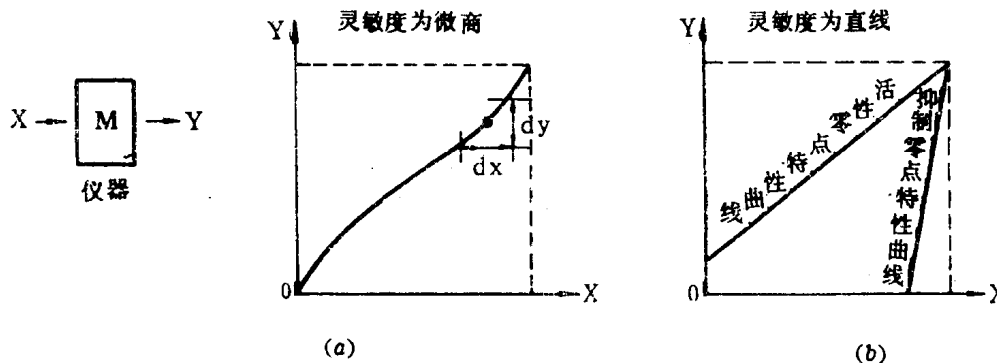


图 2—1 测量仪器的静态特性曲线

这将给测量工作者带来很多方便之处。但大多数仪器的特性曲线都如图2—1(a)曲线一样，只有在一定的测量范围和一定的精度要求下，特性曲线才可以用其切线来近似地代替，即认