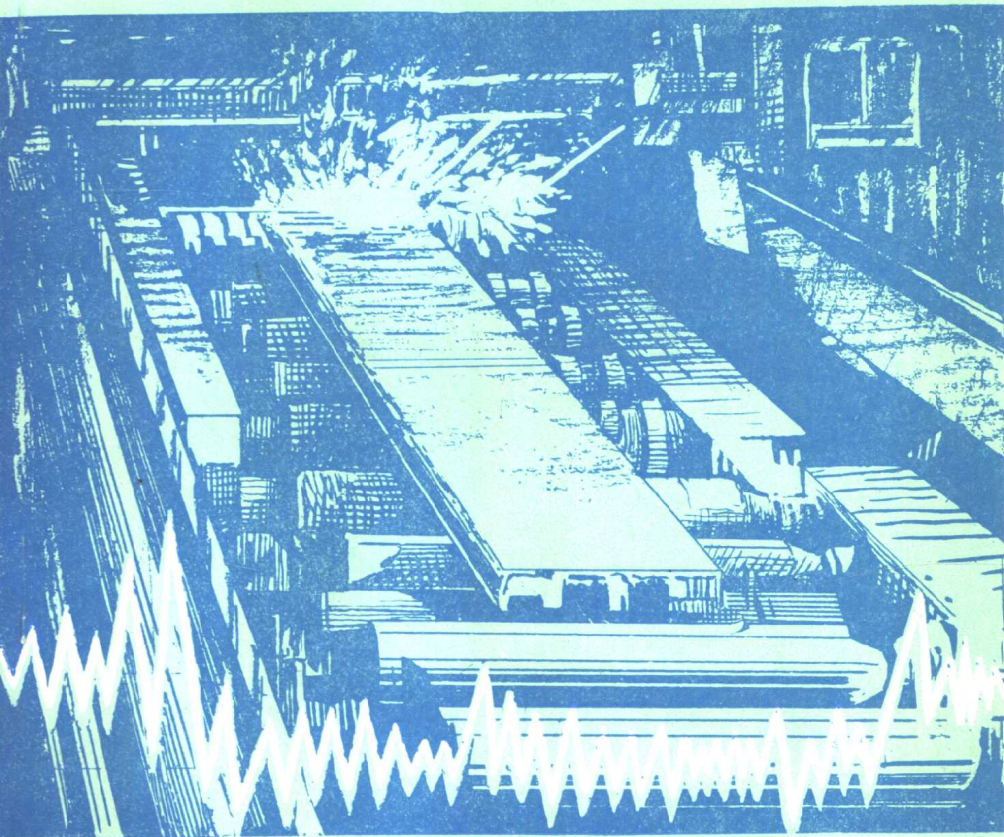


设备诊断技术丛书 (一)

振动测量的应用

夏侯淳 盛德恩 洪莲洁 编译



中国环境科学出版社

设备诊断技术丛书(一)

振动测量的应用

夏侯淳 盛德恩 洪莲洁 编译

中国环境科学出版社

1986

内 容 简 介

本书介绍用振动测量方法去诊断设备故障，是设备诊断技术丛书之一。它是根据丹麦 B&K 公司的有关资料，结合我国具体情况编译而写成。内容包括振动测量的基本知识、技术、仪器、在机械维修中的作用以及振动测量在电力、采矿、石油、冶金、汽车、船舶、航空、铁道、建筑、机械制造等工业中的应用实例。

本书可供各工业部门的设备设计、运行和检修的技术人员阅读和参考。

设备诊断技术丛书(一)

振 动 测 量 的 应 用

夏侯淳 盛德恩 洪莲洁 编译

责任编辑 周永平

*

中国煤炭工业出版社 出版

北京右安门大街201号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/3

1986年7月第一次印刷 印张: 2 9/16

印数: 00,001—30,000 字数: 55千字

统一书号: 13239·0052

定价: 0.60元

编译者的话

设备诊断技术是一门用于设备管理与维修方面的先进技术。在工业发达的国家内，它已广泛地应用于生产实践。为了使人们能够对它有更多的了解，我们准备编辑一套设备诊断技术丛书。

本书为这套丛书的第一册，是根据丹麦B & K公司(Brueel & Kjaer)的一套普及讲义，经过编译而写成的。B & K公司每年都要用这套讲义对来自世界各国的初学者进行培训。

考虑到全书的系统性，我们对原讲义个别地方作了调整和删节。本书的第一、二、三章由盛德恩译，夏侯淳校；第四、五章参考施乃平、仲贻飞两同志的译稿，并由夏侯淳核对。全书由冶金工业部北京冶金设备研究所夏侯淳、盛德恩、洪莲洁整理定稿。在此谨向施乃平、仲贻飞同志以及对本书出版工作给予帮助的其他同志表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，书中难免有错，敬请读者指正。

1986年3月

目 录

第一章 振动测量基础.....	(1)
第一节 基本概念.....	(1)
第二节 振动的描述.....	(4)
第二章 振动测量实践.....	(8)
第一节 传感器.....	(8)
第二节 测量仪器.....	(20)
第三节 记录仪器.....	(24)
第四节 分析仪器.....	(25)
第三章 振动测量与分析在机械维修中的作用.....	(31)
第一节 基本原理.....	(31)
第二节 三种维修方式及振动测量的应用.....	(32)
第三节 预知维修方式的构成.....	(36)
第四节 预知维修的经济性.....	(41)
第五节 振动测量的几个问题.....	(43)
第四章 振动测量应用实例——在一般工业中的应用.....	(49)
第一节 滑动轴承的振动测量.....	(49)
第二节 滚动轴承的振动测量.....	(51)
第三节 旋转机械的现场动平衡.....	(53)
第四节 建筑结构的振动测量.....	(56)
第五节 管道的检漏.....	(58)
第六节 其他应用.....	(61)

第五章	振动测量应用实例——在某些工业中的特殊应用.....	(64)
第一节	在电力工业中的应用.....	(64)
第二节	在采矿工业中的应用.....	(68)
第三节	在石油工业中的应用.....	(70)
第四节	在冶金工业中的应用.....	(70)
第五节	在交通运输业中的应用.....	(71)
第六节	在机器制造业中的应用.....	(75)

第一章 振动测量基础

本章介绍机械振动的基本概念及对振动的描述方法。

工程实际中存在着大量的振动问题。机械设备因原始制造误差、运动部件之间的间隙、零件间的滚动或摩擦、回转与往复件的不平衡力等都会引起振动，而且微小的振动有时能引起其它部件产生共振，使之被放大成为主要的振动和噪声源。振动不但产生损害人体健康的噪声，而且它还具有能量，这种能量对机器本身也是十分有害的。

但是，人们也可以利用振动来完成一些有用的工作。例如在振动筛、混凝土捣实棒、超声波清洗池、凿岩机以及打桩机等设备中就是人为地产生振动。振动试验台也是这样，它以一定的振级去激励被试验的产品或系统，以检验它们的物理性能或抗振性。

就所有与振动有关的工作来说，无论是设计利用振动进行工作的机器，还是制造和维护平稳运转的设备，一项最基本的要求就是通过测量和分析能获得对振动的精确描述。下面先介绍振动的基本概念。

第一节 基本概念

1. 振 动

物体围绕平衡位置作往复运动就称为振动。振动量随时

间的变化过程可用曲线表示，图 1-1 为音叉的振动在时间域内的波形，这是一种最简单的正弦波。振动波形有两个基本的特征量，即振幅和频率。

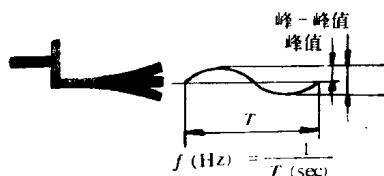


图1-1

振幅：指振动物体偏离静平衡位置的最大距离，工程上也常把它称为振动峰值。

频率：振动物体往复运动一次所需的时间 T 称为周期，其单位为秒。振动物体在一秒钟内往复的次数称为频率，其单位为赫兹(Hz)，常用符号 f 表示。由上述定义可知，周期和频率互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-1)$$

2. 频谱分析及频谱图

机械设备的振动很少是简单的正弦波形。图 1-2 是内燃机活塞周期振动的波形图，其时域波形是规则的，但它是由两个正弦波叠加而成的，见图 1-3 左边的图。其中振幅较大的正弦波的周期 T_1 是振幅较小的正弦波周期 T_2 的两倍，这一点在图 1-2 中就不能明显地看出。

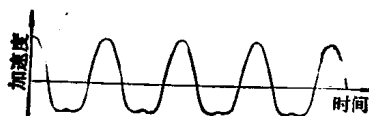


图1-2

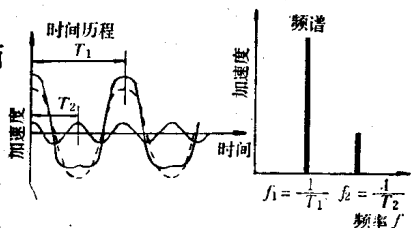


图1-3

把复杂的振动信号分解成一系列单一频率的正弦波的过程称为频谱分析，它是运用振动测量进行故障诊断的基础。表示各个频率成分及其幅值的图形称为频谱图，从图1-3右边的图可以清楚地看到，这个复杂的周期波形包含两个频率成分。但是，实际测量时得到的频谱图往往要复杂得多，图1-4是对一套齿轮传动机构进行频谱分析的结果。这个频谱图由五个明显突起的高峰和一些低幅值的频率成分组合而成，前者对应于不同零件的周期性振动，后者是由一些不规则的随机振动产生的。由于一台机器中各个零件都具有确定的振动频率，因此作出频谱图对于寻找振源和进行故障诊断是非常有用的。

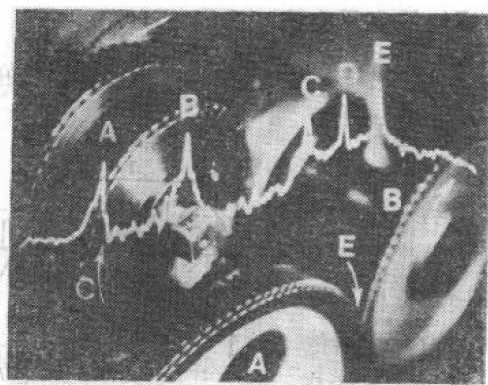


图1-4

3. 随机振动

随机振动是一种非确定性的振动，其运动周期是不规则的，它在时间域内的波形不能精确地重复再现，如图1-5所示。紊流、气蚀、摩擦和敲击等所产生的振动是自然界中典

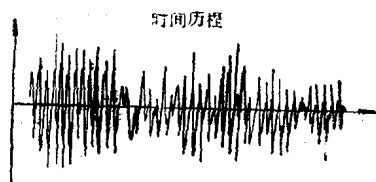


图1-5

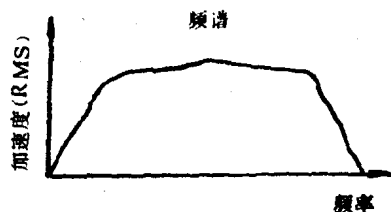


图1-6

型的随机振动。宽频带随机振动的频谱图见图1-6,它包括振动物体频率响应范围内的全部频率成分。

第二节 振动的描述

1. 振动幅值的表示方法

振动幅值是用来描述振动强度的。根据不同的需要,可以有不同的表示方法,见图1-7。

峰-峰值能够表明波形的最大偏移量,当机器零件允许的振动位移量由零件的最大应力和机器的间隙决定时,峰-峰值就是一个很有用的量。

峰值可用于指明瞬时冲击的幅值,但它只能指出已出现的最大值,不能表明波形的时间历程。

平均值是对振动量

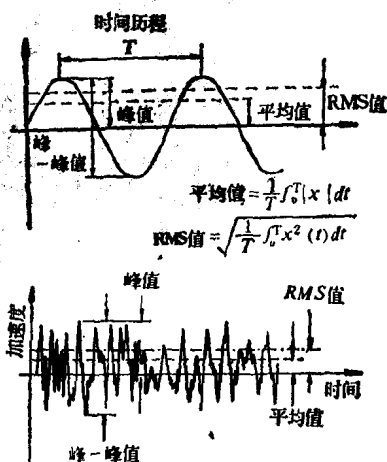


图1-7

$x(t)$ 进行时间积分，它考虑了波形的时间历程，但是它与任何有用的物理量之间都无直接的关系，因此没有多大的实际意义。

均方根值 (RMS) 是对幅值最适当的度量，它既考虑了波形的时间历程，又给出了一个与能量直接有关的量值，因此它代表了振动的破坏能力。

2. 三种不同的振动参数

我们观察音叉振动的时候，是以音叉端部相对于静止位置的位移量作为振动参数的。除了位移以外，还可以用音叉端部的运动速度或加速度来描述其振动，见图1-8。无论是用位移、速度或加速度来描述，振动的形式和周期都不变，只是时域波形的相位相差 90° 。

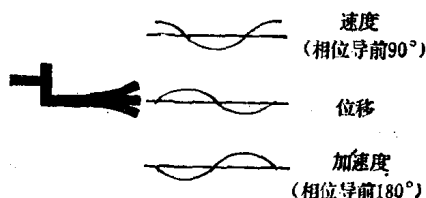


图1-8

对于正弦信号来说，位移、速度和加速度的幅值之间具有确定的数学关系，见图1-9。如果忽略相位的话，比如进行时间平均测量时，就可

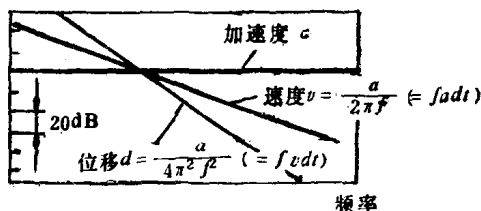


图1-9

用加速度除以一个正比于频率的系数而得到速度，用加速度除以一个正比于频率平方的系数得到位移。由图1-9还可以看到，对于同一个振

动信号来说，加速度频谱的高频成分最强，而位移频谱的低频成分最强。

习惯上认为位移是最直接的测量参数，对于低速运动的机械来说，其振动位移可用肉眼观察并测量。但是对于现代化的高速机械及其产生的高频振动来说，若用肉眼能测量其位移时，则其振动能量就要大到具有破坏性的程度了。电子技术的进步首先提供了速度传感器，目前加速度传感器也已问世，因此较高频率的振动也能精确地测量了。

按照国际标准的要求，振动参数应用公制单位来度量。位移的单位是 m 、 mm 、 μm ；速度的单位是 m/s 、 mm/s 、 $\mu m/s$ ；加速度的单位是 m/s^2 。除此之外，还广泛地应用重力加速度“ g ”作为加速度的单位，其值为 $9.8 m/s^2$ ，但近似地取为 $10 m/s^2$ ，二者仅相差2%，故可不考虑其误差。

3. 几种不同刻度的频谱图

我们在作频谱图时经常采用对数刻度的频率坐标轴，见图1-10。其效果是低频部分被放大而高频部分被压缩，这样在整个频率范围内可以给出恒百分比带宽的分辨率，并使整个图面尺寸具有合理的比例。有时也使用线性刻度的频率坐标轴，这种刻度对于分辨谐波成分是很有用的。如用对数刻度，这些谐波成分就被压缩到一起了。

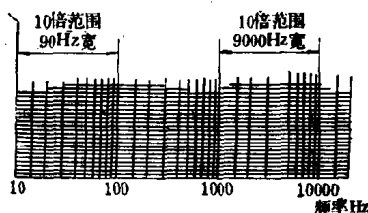


图1-10

同样也可以使用对数刻度来表示振幅，这样就能用分贝

(dB)数来比较振动量。分贝的定义式为:

$$N(\text{dB}) = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{a_{\text{ref}}} \right) \quad (1-2)$$

式中: $N(\text{dB})$ ——分贝数;

a ——测量值;

a_{ref} ——参考值;

分贝是无量纲的,当需要知道绝对振动值时,就必须给定参考值。

在振动测量中一般不使用标准的dB参考值。表1-1给出了声音和振动测量时推荐使用的dB参考值。其中声压dB参考值 p_0 和振动速度dB参考值 v_0 有着广泛的应用。

表 1-1

被 测 量	定 义 式	公 制 参 考 值
声 压	$L_p = 20 \log_{10} (p/p_0) \text{ dB}$	$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$
振动加速度	$L_a = 20 \log_{10} (a/a_0) \text{ dB}$	$a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2$
振动速度	$L_v = 20 \log_{10} (v/v_0) \text{ dB}$	$v_0 = 10^{-9} \text{ m/s}$
振动位移	$L_d = 20 \log_{10} (d/d_0) \text{ dB}$	$d_0 = 10^{-12} \text{ m}$
振 动 力	$L_F = 20 \log_{10} (F/F_0) \text{ dB}$	$F_0 = 10^{-6} \text{ N}$

第二章 振动测量实践

本章介绍振动测量和分析仪器以及测量与分析中的一些实际问题。

典型的测量与分析系统由四个基本部分组成,即传感器、测量仪器、记录仪器和分析仪器。下面逐一介绍。

第一节 传 感 器

1. 基本要求

传感器的作用是把振动量转换成相应的电信号。为能准确地进行测量,对它有如下的基本要求:

(1) 具有较宽的动态范围,即对非常低和非常高的振动都能精确地响应。

(2) 具有较宽的频率响应范围。

(3) 在其频率响应范围内具有良好的线性度。

(4) 对环境干扰具有最低的灵敏度。

(5) 结构坚固,工作可靠,能够长时间保持稳定的特性。

根据测量参数的不同,可将传感器分为位移传感器、速度传感器和加速度传感器。根据工作方式的不同,又可分为接触式传感器和非接触式传感器。此外还有一些其它的分类方法。目前使用最广泛的是压电式加速度传感器,也称为压电式加速度计。它除了能满足上述基本要求外,还具有以下

优点：无需电源供电，自身便可产生电信号；没有运动件，不致被磨损；体积小，价格便宜；而且它输出的加速度信号能够通过积分电路很容易地转换成速度或位移信号。下面对它进行较详细的介绍。

2. 压电式加速度计的结构

压电式加速度计的核心是一片压电晶体材料，它通常是人工极化的铁电陶瓷。当受到应力作用时，无论是拉伸、压缩、还是剪切，在它两个极板上就会出现与所加应力成正比的电荷，见图 2-1。

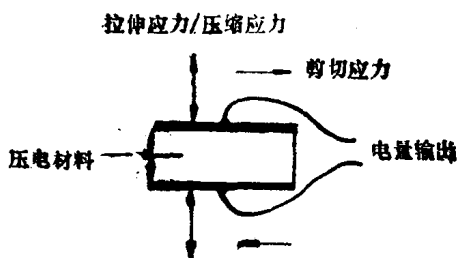


图2-1

在加速度计中，压电晶体是这样安装的，即当整个加速度计受到振动时，其内部质量块的惯性力就作用在压电晶体上。由牛顿第二定律可知，质量一定时，惯性力与加速度成正比，因此加速度计输出信号的大小与它所受到的振动加速度成正比。

图2-2和图 2-3 是常见的两种加速度计结构型式。图2-2是压缩型，即质量块对压电晶体施加压力。图2-3是剪切型，即质量块对压电晶体施加剪切力。

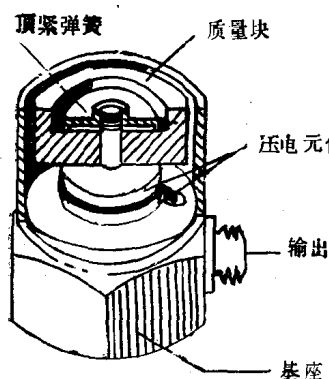


图2-2

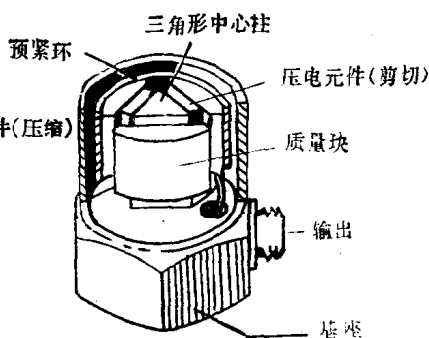


图2-3

3. 加速度计的类型

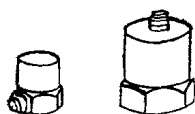
图 2-4 是几种不同类型的加速度计。

(1) 通用型：它具有良好的综合特性，能满足大多数测量的需要。它备有顶面或侧面输出的两种连接形式。灵敏度范围为 $10-100 \text{ mV/g}$ 或 pC/g ，重量为 $10-50\text{g}$ 。

(2) 微型：其尺寸小，灵敏度低，适于测量高振级、高频率的振动，及用在轻型结构和薄板上。这种加速度计的重量在 $0.4-2\text{g}$ 之间。

(3) 特殊型：三向型，用于测量三个互相垂直平面内的振动；加固型，能承受 400°C 的高温，更适合于透平机、发电机、反应堆及普通工业设备的永久性监测；低振级型，具有较高的灵敏度，特别适合于测量建筑物及大型结构的低振级振动；小型加固型，用于测量高振级的冲击；标准型，用于校准其它加速度计。

通用型



灵敏度: $1 - 10 \text{ pC ms}^{-2}$

重量: $10 - 50 \text{ g}$

频率范围: $0 - 12000 \text{ Hz}$

微型

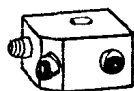


灵敏度: $0.05 - 0.3 \text{ pC/ms}^{-2}$

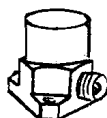
重量: $0.4 - 2 \text{ g}$

频率范围: $1 - 25000 \text{ Hz}$

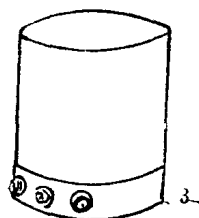
其他型



1



2



3



4



5

1. 用於三轴向測量

2. 用於永久監測

用於高溫

3 用於建筑物和其它結構件振動測量

4. 用於標定和參考

5. 用於甚高振級的沖擊測量

$1000 \text{ km/s}^2 (100000 \text{ g})$

图2-4

4. 加速度计的特性及选用原则

灵敏度是第一个需要考虑的指标。我们希望加速度计具有较高的输出电平，但是由于高灵敏度往往需要较大的压电