



中华人民共和国国家标准

GB/T 19873.2—2009/ISO 13373-2:2005

机器状态监测与诊断 振动状态监测 第2部分:振动数据处理、分析与描述

Condition monitoring and diagnostics of machines—
Vibration condition monitoring—
Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data

(ISO 13373-2:2005, IDT)

2009-04-24 发布

2009-12-01 实施



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

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

机器状态监测与诊断 振动状态监测
第2部分:振动数据处理、分析与描述

GB/T 19873.2—2009/ISO 13373-2:2005

*

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 2.25 字数 59 千字

2009年7月第一版 2009年7月第一次印刷

*

书号:155066·1-38064 定价 33.00 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 19873.2-2009

前 言

GB/T 19873《机器状态监测与诊断 振动状态监测》由以下部分组成:

- 第1部分:总则;
- 第2部分:振动数据处理、分析与描述;
- 第3部分:诊断基本技术。

本部分是 GB/T 19873 的第2部分。

本部分等同采用 ISO 13373-2:2005《机器状态监测与诊断 振动状态监测 第2部分:振动数据的处理、分析与描述》(英文版)。

本部分等同翻译 ISO 13373-2:2005。

为了便于使用,本部分做了下列编辑性修改:

- 用“本部分”代替“ISO 13373 的本部分”;
- 删除了国际标准前言,重新编写了本部分的前言;
- 对 ISO 13373-2:2005 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:郑州机械研究所、西安热工研究院有限公司、东南大学、中国石油化工股份有限公司九江分公司。

本部分主要起草人:韩国明、张学延、傅行军、李海英、张刚、王义翠。

引 言

本部分涵盖机器振动状态监测领域,其目的是为得到监测机器的动态性能,对安装在选定位置上的振动传感器获得信号和数据,进行处理和分析时提供推荐的方法和程序。

宽带振动测量提供机器振动烈度的概况,当机器出现反常时能被观察到并预警使用机器的用户。按照本部分规定的程序进一步处理和分析振动信号,为用户提供诊断机器问题的一个或多个原因的途径,它可用于更集中的连续的状态监测。

这一监测程序的优点是:不但使机器操作人员认识到机器在某一时刻可能失效,并能在失效之前安排维修计划,而且提供关于如何安排维修计划和执行的有价值的信息。振动是诸如不对中、不平衡、磨损加速、流体和润滑等问题的现象或症状。

GB/T 19873.1 包含了机器振动状态监测的指南。本部分包含了对测得的振动数据处理、分析和描述的指南,这些采集的数据可以用于诊断确定问题内在原因或根本原因。

用于振动状态监测的信号处理、分析与诊断程序可能会随着监测的过程、期望的准确度和可用资源等而变化。一个完善而有效的状态监测程序应考虑多种因素,如系统的过程优先次序、关键性和复杂性、成本效益、各种失效机理的可能性和初期失效指示的识别。

一个正确的过程分析需要指定用于监测机器状态期望的数据类型。

振动分析师需要积累尽可能多的关于被监测机器的相关信息。比如,从设计和分析的信息中得知共振频率和激振频率,将提供有关预期振动频率和随后的被监测的频率范围。同样,了解机器的初始状态、机器的运行历史和运行状态也能为分析师提供其他附加的信息。

这种预试验计划过程的其他优点是:能够就选择需要什么类型的传感器、最优的安装位置、需要哪种信号调理设备、可能最适宜的分析类型和相关的准则提供指南。

更多的关于机器状态监测与诊断的标准正在起草中。这些标准旨在通过包括振动、油纯度、热成像和性能参数等要素的监测,为机器“健康”的综合监测提供指南。一些基础的诊断技术将在GB/T 19873的其余部分描述,这些标准目前正在制定中。

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 信号调理	1
3.1 总则	1
3.2 模拟系统和数字系统	3
3.3 信号调理器	4
3.4 滤波	5
4 数据处理和分析	6
4.1 总则	6
4.2 时域分析	6
4.3 频域分析	14
4.4 运行变化的结果显示	20
4.5 实时分析和实时带宽	24
4.6 阶比跟踪(模拟和数字)	25
4.7 倍频程和分数倍频程分析	25
4.8 倒频谱分析	25
5 其他技术	26
参考文献	28

机器状态监测与诊断 振动状态监测

第2部分:振动数据处理、分析与描述

1 范围

GB/T 19873 的本部分为正确监测旋转机械振动状态和实施诊断,推荐了处理和描述振动数据以及分析振动信号的方法。描述了不同应用场合的不同技术。包括研究个别机器动态现象的信号增强技术和分析方法。这些技术中的许多方法也可以应用到其他的机器类型,包括往复式机器。本部分提供了为评价和诊断机器状态绘制的通用参数的格式。

当分析振动信号时,本部分主要分为两个基本方法:时域法和频域法。本部分也包含了通过改变运行工况细化诊断结果的一些方法。

本部分仅包括了用于机器振动状态监测、分析和诊断的最通用的技术。有许多其他技术用深入的振动分析和诊断研究来确定机器的状态,这些技术超出了机器状态正常的连续监测范围。这些技术详细的描述不属于本部分的范围。但是这些更加先进的用于特定目的的技术在第5章作为补充信息列出。

对于特定的机器类型和尺寸,GB/T 11348 和 GB/T 6075 系列标准为应用宽带振动幅值进行状态监测提供了指南。其他的文件,如 VDI 3839 和 VDI 3841,提供了指导振动诊断时能被探测到的有关具体机器的问题的附加信息。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 19873 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。

ISO 1683 声学 声级的首选参考量

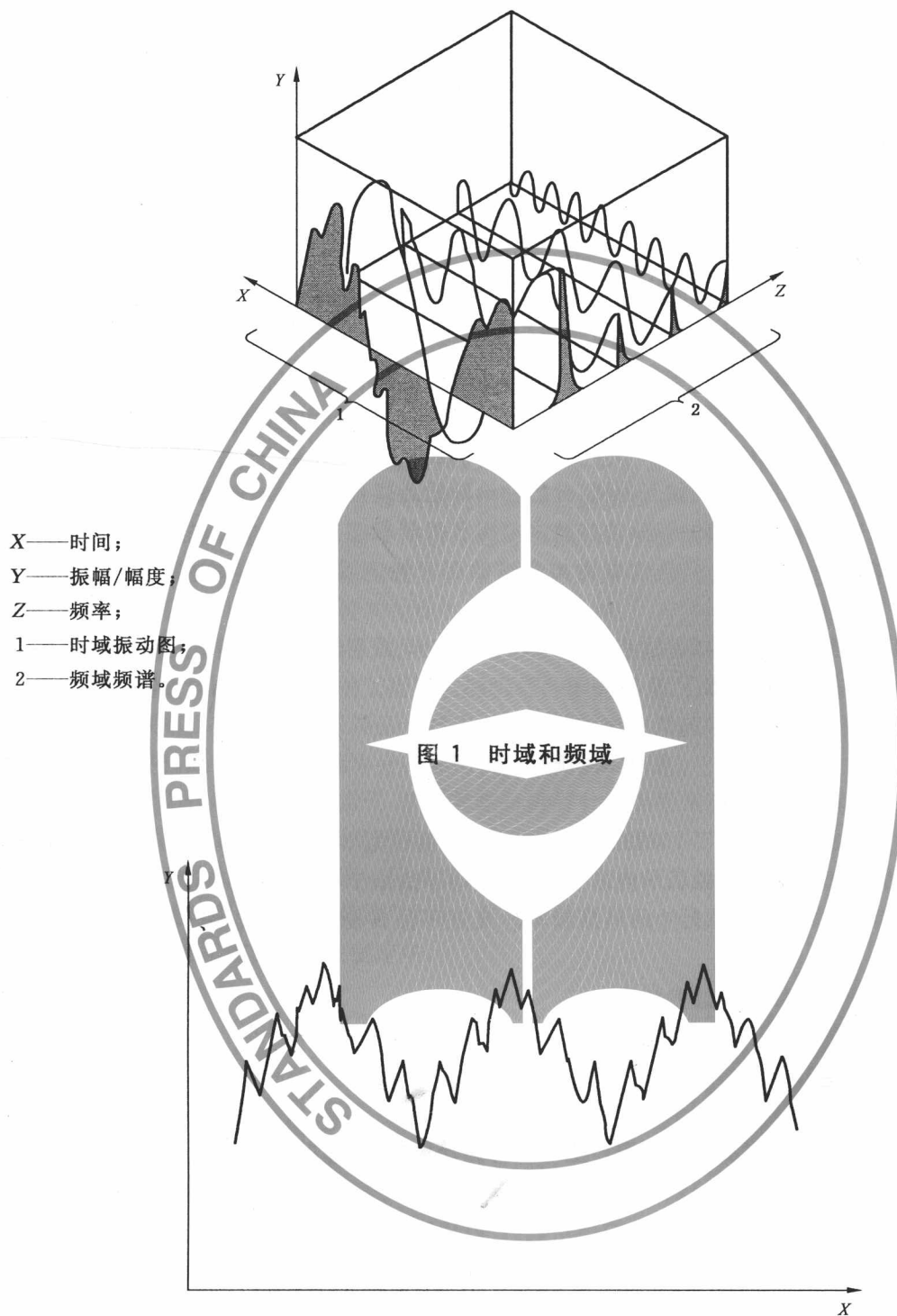
3 信号调理

3.1 总则

所有的振动测量都是通过测量传感器产生一个与振动加速度、速度和位移的瞬时值成比例的模拟电信号得到的。这个信号可以被记录在动态分析仪上,供后来分析或显示,比如在示波器上显示。为了得到实际的振动幅值,输出电压乘上一个校准系数,它由传感器的灵敏度以及放大器和记录仪的增益决定。大部分振动分析在频域进行,但也有一些包括振动时间历程的有用的工具。

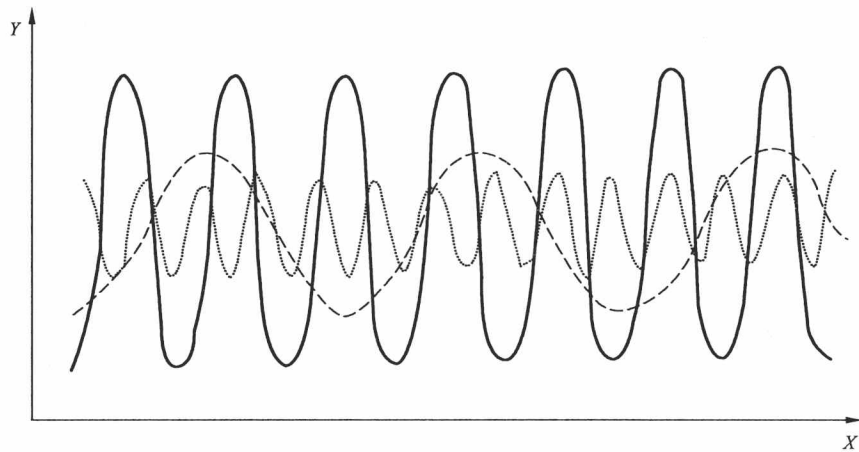
图1表示了在时域和频域中振动信号之间的关系。在图中,四个重叠的信号组合成了分析仪显示器中显示的复合轨迹(黑色轨迹)。通过傅里叶处理,分析仪将这个合成信号转换为四个离散的频率分量。

图2是在分析仪屏幕上看到的单一的传感器信号的复合轨迹的简单的示例。在这个例子中,仅有三个重叠的信号,如图3所示,它的离散的频率示于图4中。



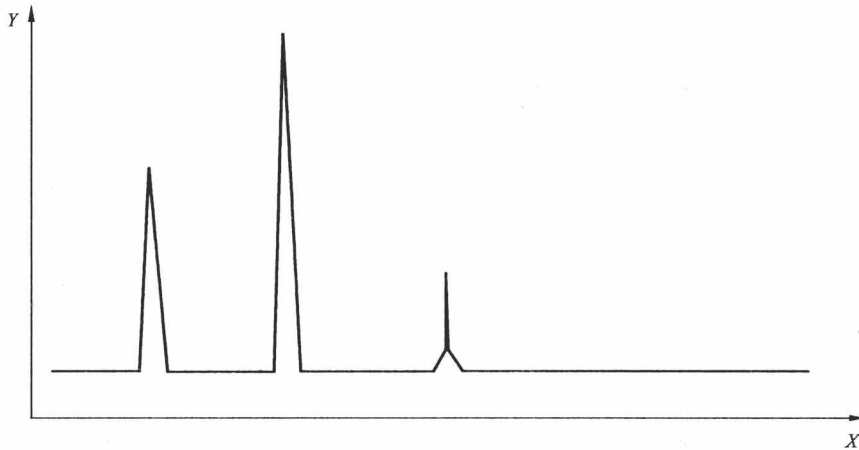
X—时间;
Y—幅值。

图 2 基本的谱线合成信号



X——时间;
Y——幅值。

图3 重叠信号



X——频率;
Y——幅值。

图4 离散的频率

对许多研究而言,结构上不同点处的振动或不同振动方向之间的关系与单独的振动数据本身一样重要。基于这个原因,带内置两通道分析特征的多通道信号分析仪是适用的。当用这一技术检查信号时,振动信号的幅值和相位关系都很重要。

3.2 模拟系统和数字系统

3.2.1 总则

来自传感器的模拟信号可以用模拟或数字系统处理。传统上,模拟系统包括滤波器、放大器、记录仪、积分器和其他可以改进但不改变模拟特性的元件。最近,数字化信号的优点越来越明显。一个模数转换器重复地采集模拟信号并将之转换为数值序列。计算机的数学程序可以用来滤波、积分、求频谱(见4.3.2)、建直方图或任何要求的工作。当然,数字化的信号也可以被描绘成时间的函数。在正确选择采样频率的前提下,模拟信号和数字信号包含有相同的信息。

当使用模拟方法或数字方法时,知道被测信号的灵敏度是很重要的。灵敏度是信号实际输出电压值与实际测量的参数大小的比率。为了得到足够的精确度,所关注的信号应该显著地大于环境噪声,但不能大到使信号失真(如致使信号峰值被削平)。

3.2.2 数字化技术

在数字化处理中最重要参数是采样率和分辨率。确保分析的频率不大于采样率的一半是重要

的。否则,时间历程将失真,或者快速傅里叶变换(FFT)出现实际并不存在的混叠成分(关于混叠的更多的信息见 4.3.7)。采样率取决于将要完成的分析类型和期望的信号频率范围。如果需要振动时域图,建议采样率应是关注的信号中最高频率的 10 倍左右。然而,如果要求频谱,FFT 计算要求采样率要大于被测量的关注的信号的最高频率的 2 倍。抗混滤波器用于去除任何高频噪声或其他超过 1/2 采样率的高频成分。数字化时,每一个样本的长度应当满足要求的精度。

3.3 信号调理器

3.3.1 总则

为了得到适合记录的电压等级或去除噪声或其他不需要的分量,来自传感器的振动信号一般在记录前要进行某种信号调理。信号调理设备包括传感器电源、前置放大器、放大器、积分器和多种滤波器等。滤波器将在 3.4 中进一步讨论。

3.3.2 积分和微分

振动记录数据可以是位移、速度或加速度。通常由关注的频率范围(当用位移时,低频信号比较敏感,用加速度时,高频信号比较敏感)或适用准则选用这些参数之一。振动信号可以通过积分或微分转换为不同量。加速度对时间积分转换为速度,速度对时间积分转换为位移,加速度两次积分直接转换为位移。微分是积分的逆运算。

对简谐运动,数学上有如下的关系式:

$$\text{位移 } x = \int v dt = \iint (a dt) dt = -\frac{1}{\omega^2} a \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{速度 } v = \frac{dx}{dt} = \int a dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{加速度 } a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

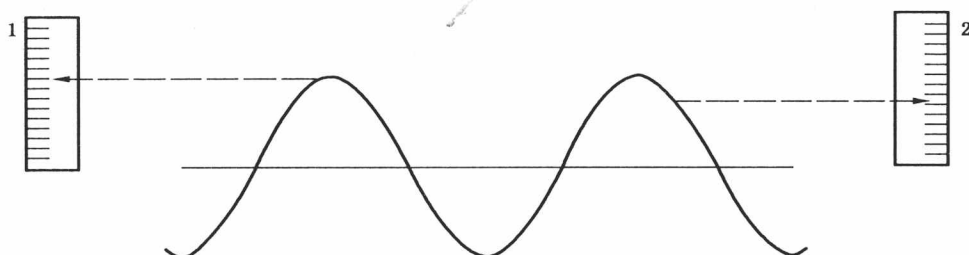
ω ——简谐振动的角频率, $\omega = 2\pi f$ 。

注:见 4.3.12。

一般的振动传感器是加速度计,所以积分比微分更加常用。因为信号的微分比积分困难得多,但在低频时积分应特别小心。在积分前,宜用高通滤波器去除比关注的频率低的频率信号。

3.3.3 均方根振动值

振动信号的均方根值(r. m. s.)通常用于振动评价标准中。准则通常应用在一定频率范围内的均方根值。这是在给定的时间周期内使用最多的振动量。当有许多频率分量或有调制情况时,振动信号的其他测量可能会造成混乱。可是均方根值在任何信号都可以建立的数学量,而且大部分仪器都可测量该量(见图 5)。也可以用频谱分析仪在关注的高低频段内积分得到均方根值。



a) 正弦信号的均方根值等于峰值的 0.707 倍

图 5 均方根值



b) 非正弦信号

- 1——峰值;
2——均方根值。

图 5 (续)

如果在一个短周期内,读数变化不显著的话,振动信号可以按照要求滤波并显示在均方根值标尺上。如果读数变化明显,则应取某一较长时间周期内的平均值。这时,可能需要用有较长时间常数的仪器。

3.3.4 动态范围

动态范围是分析仪能容纳的最大信号和最小信号的比。信号的大小与传感器的输出电压成比例,通常是毫伏级。

模拟系统中的动态范围通常受电噪声限制。一般关注的不是传感器本身,而是滤波器、放大器、记录仪等的动态范围。所有这些均会增加噪声级别,并且结果可能会高得惊人。

数字系统的动态范围依赖于采样精度,采样率相对关注的信号频率应该足够高。用于采集模拟信号的位数 N 和动态范围 D (如果用位数表示符号) 的关系如下:

$$6(N-1) = D(\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

因此,有 16 位分辨率的动态信号分析仪(DSA)将有 90 dB 的动态范围,但任何不准确性将减小动态范围。

3.3.5 校准

在参考文献(例如 ISO 16063-21)中包含有单个传感器的校准,一般在现场应用之前在实验室内进行传感器的校准。推荐在任何现场安装时都要进行现场校准检验。现场校准检验不包括传感器的校准,但包括其他的测量和记录系统,如放大器、积分器、记录仪等。最常用的方法是将一个已知信号输入到系统中测量输出结果。根据测量的类型,这个信号可以是直流阶跃信号、正弦信号或随机噪声。

有些传感器,如位移传感器、接近式探头等是提前安装的,校准应在现场与被测量的表面一起进行。因为接近式探头对转轴材料和表面状态比较敏感,这些探头的校准应在距轴毫米级的地方进行,并且注意每个输出。

当在现场校准惯性式传感器时,需要一个振动台。

应变计在现场安装后通常也需要校准。最理想的校准是用一个已知的载荷施加在被测部件上。如果这样做不实际,可以做并联校准。把一个校准电阻与应变计平行连接,这样,用一个已知量改变应变计的视在电阻,该量等于用应变计因子确定的某个应变变量。

3.4 滤波

有三种基本的滤波用于信号调理与分析:

- 低通;
- 高通;
- 带通。

低通滤波器,顾名思义是只对信号中的低频成分是导通的,而阻断高于滤波器限制频率(截止频率)的高频成分。一个应用实例是抗混滤波器(见 4.3.7)或某些特殊研究时排除不希望的高频分量(如动平衡时齿轮的啮合频率分量)的滤波器。

高通滤波器主要用于去除传感器的低频噪声(如热噪声),或在分析之前一些来自信号的多余的频率成分。这一点可能很重要,尽管不关心这些成分,但它会显著地减少测量设备的有用的动态范围。

带通滤波器,用于隔离特定的频带。比较通用的带通滤波器有倍频程滤波器和 $1/n$ 倍频程滤波器,专用于与噪声测量有关的振动测量。

分析大动态范围的信号时滤波器特别重要。如果在一个频谱中,高幅度和低幅度的频率分量同时存在,由于分析仪的动态范围的限制,通常不能在同一精度等级分析。这时可能有必要滤掉高幅度的频率分量,以便更精密地检测低幅度分量。

滤波器对分离信号与干扰(如电子噪声在高频段,地震波在一个非常低频率段)特别重要。

用滤波器隔离特定的频率分量来分析波形时,应注意确保滤波器足以排除关注的频率以外的任何频率分量。简单的滤波器(模拟和数字的)特性很差。

例如:一个特定的滤波器每倍频程斜率为24 dB,将通过2倍频率分量的大约15%,1.5倍截止频率分量的大约45%。为了提高滤波器的抑制特性,几个简单的滤波器可以叠加,或者用高阶滤波器代替。

4 数据处理和分析

4.1 总则

数据处理包括原始数据采集、滤除噪声或其他无关的信号,按进一步诊断需要格式化测量的信号是有效诊断的重要步骤。采集装置在幅值和时间上应有足够的分辨率。如果使用数字化数据采集,幅值分辨率应满足应用需要。分辨率较高的数据提供更高精度和灵敏度,但需要更加昂贵的硬件和更强的处理能力。

一旦信号被采集,下一步就是处理,并用各种有用的格式输出,以便使用户诊断更加方便。这些格式有奈奎斯特(Nyquist)图、极坐标图、坎贝尔图、级联图、瀑布图、幅度衰减图。这一章主要介绍这些不同的表示方法,更好的确定机器的状态。

4.2 时域分析

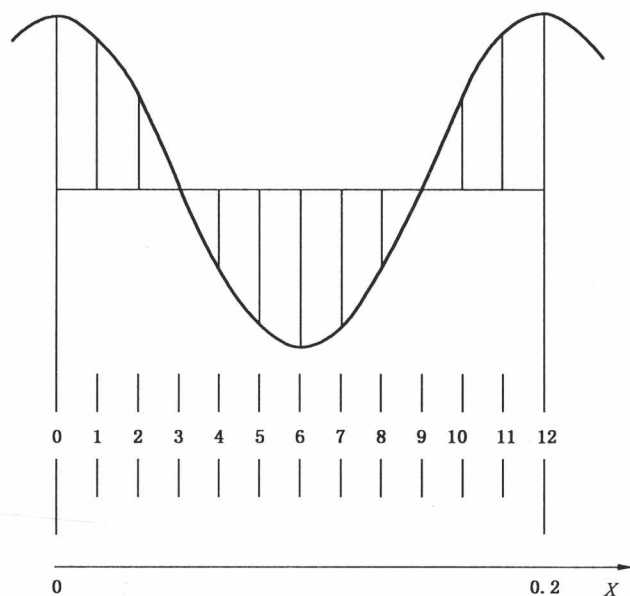
4.2.1 时域波形

波形分析是振动分析的基本方法。一个瞬时振动时域波形或通常用示波器绘图分析,并记录宽带峰值。使用这些宽带技术时,一些基本技术是有帮助的。比如,通过观察位移传感器的波形数据,可以发现划伤的轴颈,带有削顶或削底的波形显示有摩擦、机械松动等现象。

尽管这些时域波形可以提供机器振动现象的基本信息,但4.3中更深入的频率分析技术也是必需的。

波形分析基于任何周期性的记录可以表示成正弦信号的叠加的原理,这些正弦信号的频率是波形频率的整数倍。图6~图9显示了波形的几个例子。

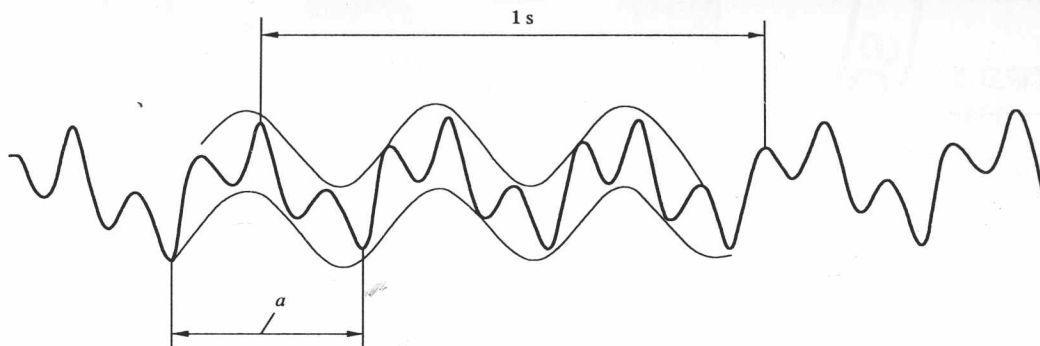
图6基本上是恒定幅值的一个循环的正弦波。振动的峰峰值可以通过测量波形的峰峰值与系统的灵敏度相乘得到,系统的灵敏度在校准时给出。频率可以在已知时间周期内通过计算循环数确定。示波器上的时间通过一个时间基线显示或简单地通过纸速知道。对显示的轨迹,每秒钟有60条记时线。12条线显示一个基本周期 T 是0.2 s,因此频率 $f=1/T$ 是5 Hz,若使用一较长的记录段内的循环数,则可以提高精度。



X——时间,单位为秒(s)。

图6 波形特性

图7所示是两个正弦波的叠加,这两个信号有最低频率的三个循环。这些分量可以通过所示的所有波峰和波谷的正弦包络线分离出来。低频分量的幅值和频率就是合成包络线的幅值和频率。包络线的垂直距离表示高频成分的峰峰值,高频频率一般可以数出。在这个例子中,能发现高低频相差3倍。当两个叠加正弦波的频率比较高时,它们可以如图所示被分离开。在其他情况下,傅里叶分析更有用。

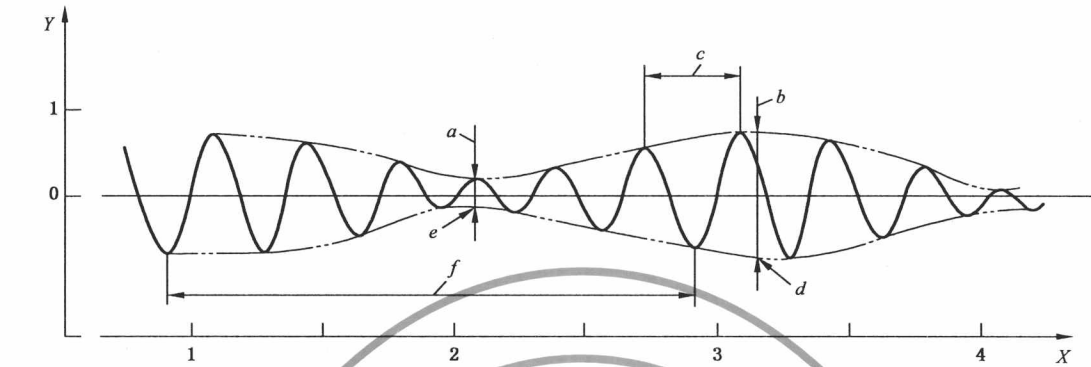


a——循环。

图7 叠加波

4.2.2 拍

信号经常有如图8所示的轨迹,包络线不规则,形成凸凹不平的波形。这样的信号是由两个频率和幅值都比较接近的分量构成的,这称之为拍,它是叠加的特殊情况。拍的一个实例是双桨驱动船只的两个叶轮频率相叠加的结果。两个信号的峰值交替地相加和相减。拍的其他特征还有拍的长度大致相同,在腹部的峰值之间的距离不同于在腰部的距离。在腹部和腰部的包络线的距离分别代表了两个成分的峰峰值的和与差。另一个例子是由异步电机驱动的两个耦合(压缩机或其他)机器产生的振动。



X——时间,单位为秒(s);

Y——幅值;

a——在腰部的峰峰值:0.2;

b——在腹部的峰峰值:0.7;

c——腰部;

d——腹部;

e——振动循环:0.33 s,对应于3 Hz;

f——拍循环 2 s 对应于 0.5 Hz。

图 8 拍的示例

例:若 X_m 表示分量幅值的较大值, X_n 表示较小值,测量显示 $X_m + X_n = 0.7$, 并且 $X_m - X_n = 0.2$, 解是 $X_m = 0.45$, $X_n = 0.25$ 。这些记录的幅值必须乘上系统的灵敏度才能得到实际的幅值。主分量的频率可以通过前面描述的计算峰值数的方法得到(在图 8 中是 3 Hz)。这个频率也是拍频的整数倍,在本例中是 6 倍。次分量的频率是比拍频大(7 倍)或小(5 倍)的频率。在腰部的峰值间距显示出分量中的一个,因为它反映了主分量。在图 8 中,间距比较窄,因而主分量有比较高的频率。在图 8 中,拍频是 0.5 Hz,次分量的频率是拍频的 5 倍,即 2.5 Hz。

应注意,拍频是两个分量之间的频率差,但是平均峰值频率等于两者和的一半。计算频率的一个简单的规则是:

$$f_b = f_m - f_n \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

f_b ——拍频;

f_m ——主分量的频率;

f_n ——次分量的频率。

在图 8 的例子中,数波峰,在 2 s 内有 6 个峰,即 $f_m = 3$ Hz。拍循环是指在相同时间周期(即 2 s)内的一个循环。意思是拍频 $f_b = 1/2 = 0.5$ Hz。倒置式(5),变为 $f_n = f_m - f_b$, 得到次分量的频率 $f_n = 3 - 0.5 = 2.5$ Hz。

4.2.3 调制

图 9 示出了一个被调制的振动信号的轨迹。它看起来与拍相似,事实上它只有一个分量,其幅值随时间变化(调制)。与拍明显不同的是峰的间距在腹部和腰部是相同的。但腹部的长度可能不同。齿轮故障经常会导致在齿轮转动频率上调制齿轮的啮合频率。

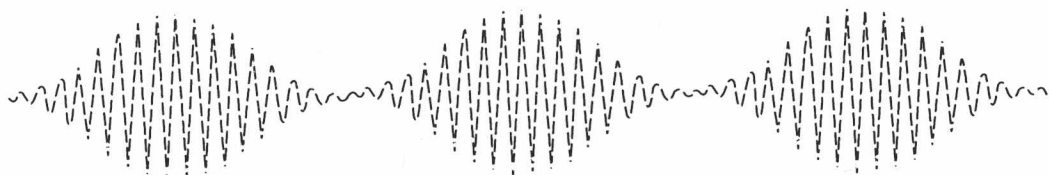


图 9 调制

通常振动记录包含两个以上的分量,并且可能涉及到调制,也可能还有拍。这样的记录特别难以分析。但分析者可以找到一个记录段,在这个段里,一个分量暂时性地占主导地位,并可得到在那样一段内该分量的频率和幅值。

4.2.4 包络分析

包络分析是在一个窄频带内低量级分量的解调过程,此时低量级分量被高量级的宽带振动(脉冲激励的自由振动、齿轮啮合振动和其他)遮蔽。包络检测为更早并可可靠地认知缺陷提供了手段。它的最普遍的应用是齿轮和滚动轴承的分析,在这里一个低频、一般是低幅值的重复事件(如一个有缺陷的齿进入啮合,一个剥落的球或滚柱与保持架碰撞)就会激发高频共振,结果高频被缺陷频率调制。一个包络轨迹的例子在图 10 中显示出来。

应注意被调制的成分需要用窄带滤波器预先分离出来。

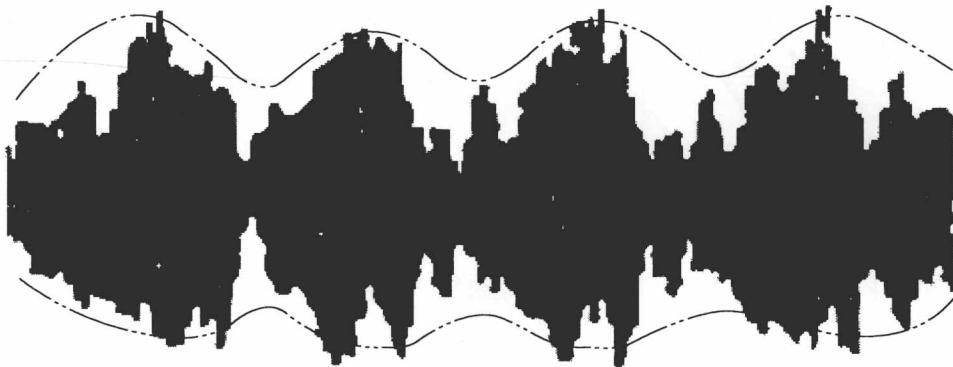


图 10 包络分析

4.2.5 窄带频谱包络的监测

监测窄带频谱包络可以发现围绕参考频谱的任何包络突破点通常都是报警界限。恒定带宽的包络一般用于恒定转速的机器,它的频率差在高、低频段谱线是相同的。

恒定百分比带宽的包络与被监测分量之间的频率差(偏移)的增加正比于频率的增加。这种方法有优势,因为所有的谐波分量在小的速度变化范围内将保持相同的频带。

单个频率分量的幅值限有两种类型。恒定百分比偏置是最通用的,因为它计算最简单,只需要一个单参考谱。

一个比较有代表性的方法是为包络线上每一段计算一个统计平均值,然后设定报警限在平均值之上 2.5~2.8 标准偏差。统计计算需要 4 或 5 个高分辨率谱,并自动计算通常观察得到的机器谱线幅值变化的正常差。

4.2.6 轴心轨迹

在同一径向位置上相隔 90° 安装了两个位移传感器的任何机器都可以进行轴心轨迹分析。对于带有套筒轴承的大型旋转机器,用轴心轨迹分析确定轴在轴承间隙空间内的运动是适用的。但是,应注意确保轴心轨迹不能因轴机械的或电气的偏摆而引起不必要的失真。正确的解读轨迹可以判断施加力的性质。确定转轴的正向(旋转方向)或反向(逆旋转方向)涡动也是有可能的。轴心轨迹可以是未滤波的或是已滤过波的。典型的宽带(未滤波的)和单一频率(已滤波的)轴心轨迹图示于图 11 中。

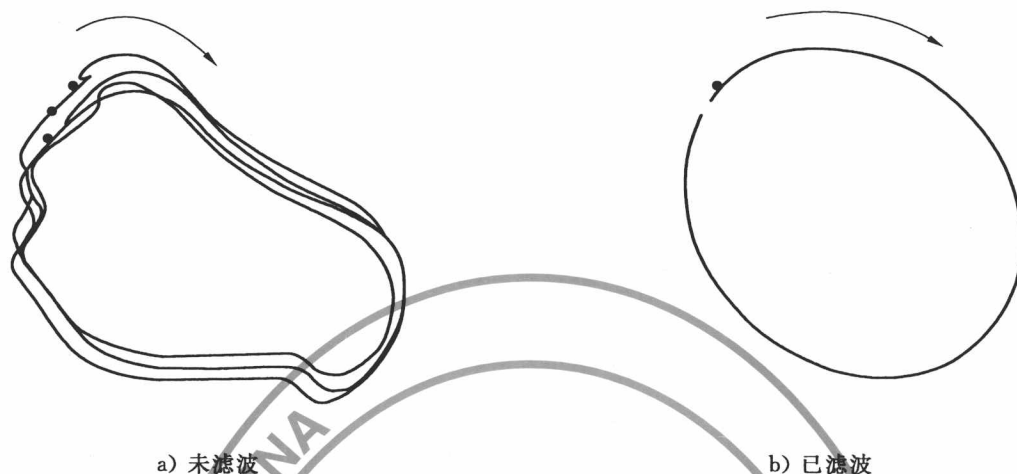


图 11 轴心轨迹

滤波后的同步分量(1X)显示是通用的;然而,为了更深入的描述和解决问题,其他谐波或次同步频率也可显示在轨迹图上。轨迹图上提供的轴键相信号(如每转一次的信号)标记(点或亮点等)给出了关于振动频率和旋转频率关系的信息。

轴心轨迹图代表了在测量平面上旋转轴中心的动态运动。有时称轴心轨迹图为李沙育(Lissajous)图。用于轴心轨迹测量的传感器应该是同一类型并且正交安装(相隔 90°)。如果传感器未正交安装,轨迹图就会歪斜。在轴心轨迹有切口的情况下,惯例是采用“空白一亮”表示。空白指示切口开始,亮指示切口结束。因此,在图 11 中,涡动方向是顺时针的。

轴旋转的方向是顺时针或逆时针取决于视图方向。如果涡动方向与旋转方向相同,就认为是正向涡动,反向涡动就是指涡动方向与旋转方向相反。在图 11 中,由于旋转方向和涡动方向都是顺时针的,是正向涡动。

4.2.7 轴心平均位置

为了确定轴心平均位置,位移传感器经常用偏心率表示套筒轴承的相对载荷。由测量信号的直流部分(即间隙)测出的轴颈在轴承中的姿态在监测大型机器时是非常有用的。轴心平均位置可以确定合适的轴承抬高量以及正确的轴位置。但是,需要注意的是,应避免由于长时间的直流信号的漂移造成的误描述。

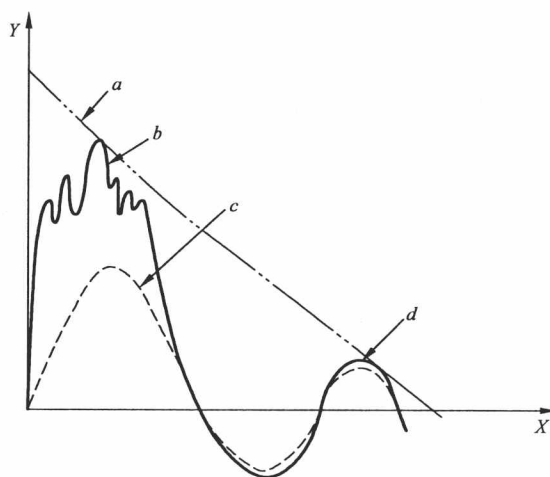
4.2.8 瞬态振动

变速瞬态振动通常是描述机组在开机和停机期间得到的振动信息。振动数据通常显示成如级联图(瀑布图)、波德图、极坐标图(奈奎斯特图)、坎贝尔图等格式。

结构的瞬态振动发生在被一瞬时力激励(该力可能是单个脉冲或一个短时振荡激励),当激励停止时,结构趋向于它的固有频率振动,系统中的阻尼导致它按指数衰减。

因此,在激励力停止后结构响应的时间历程是一衰减的正弦波集合。图 12 给出一个衰减正弦波示例。由于系统的固有模态叠加的复合波形是被瞬时强迫力同时激起的,一般而言,比较高的频率分量衰减较迅速,较高的频率的模态很快被衰减掉,合成波形逐渐地退化为一最低频率模态的有阻尼正弦响应。

滚动轴承的故障通常可以检测到由于球或轴承圈的缺陷引起的重复的高频瞬态响应。



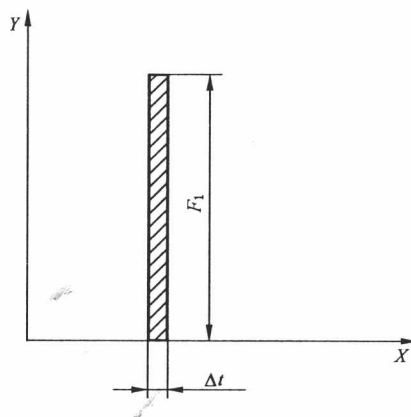
- X——时间;
 Y——振幅;
 a——峰值振幅包络的指数衰减;
 b——复合波形;
 c——最低频模态的波形;
 d——退化的波形。

图 12 结构瞬态振动

4.2.9 脉冲

脉冲响应是机械系统对一冲量的振动响应的时间历程,此冲量可以表示为 $F_1 \cdot dt$ 从 t 到 $(t+\Delta t)$ 内的积分,力 F_1 作用在一个非常短的时间周期 Δt 内,见图 13。

在许多情况下,脉冲响应用于识别固定结构的共振频率。

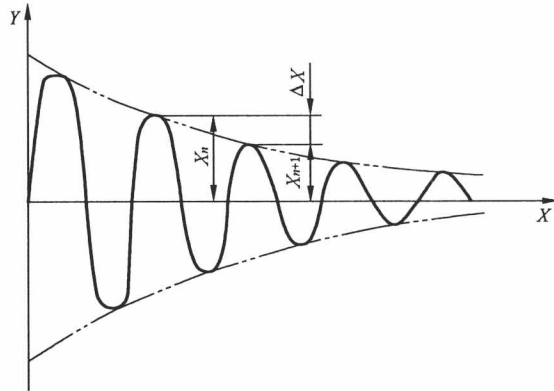


- X——时间;
 Y——力。

图 13 脉冲激励

4.2.10 阻尼

阻尼是指通过它振动运动被转化为其他形式的能量(通常是热),导致振动的幅值衰减的作用。阻尼的大小 c ,一般与振动速度成比例,即使不是这样的关系,为了数学分析方便,它常被假设为这样的关系。系统有一个临界阻尼 c_c ,它是系统不振荡地恢复到它的平衡位置所要求有的最小的阻尼。如果系统的阻尼小于临界阻尼,系统将作衰减振荡(见图 14 和 ISO 2041)。对多自由度系统,一些模态可能小于临界阻尼,也有些可能大于临界阻尼。



X——时间；
Y——振幅。

图 14 有阻尼的衰减振幅

如果一个特定模态的衰减振动的幅值 X , 对时间作图, 对数衰减率 d 可以表示为:

$$d = 1/n \cdot \ln(X_1/X_{n+1}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

n ——振幅由 X_1 衰减到 X_{n+1} 的循环数。

损耗因数是系统相对阻尼的普通量度。对数衰减率 d 与损耗因数 h 有关, 即 $h = d/\pi$ 。

注 1: 典型地, 以前表示损耗因数的符号有 h, z, η 。这样表示的对数衰减率包括 α 和 Λ 。

损耗因数也可通过衰减率 X' (每秒分贝) 求出如下:

$$h = X'/(27.3f_n) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

f_n ——固有频率, 单位为赫兹(Hz)。

系统中阻尼的大小 c 可以用 Q 表示, Q 值是在无阻尼固有频率时的品质因数。品质因数是频率的函数, 是系统动态位移幅值与系统的静态位移 (假如系统被施加一相同量值的恒定的力时) 幅值的比。假如在模态之间没有明显的相互作用, 对于一个特定模态, Q 可以由下式得到:

$$Q = 1/(2c/c_c) \quad \dots\dots\dots (8)$$

从测量的响应曲线, 在每一个曲线的两侧, 对一个特定的模态 Q 值可能接近于共振频率 f_r 与半功率点 (0.707 倍最大幅值) 两处的频率差的比值。

$$Q = f_r/\Delta f \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

f_r ——共振频率;

$\Delta f = f_2 - f_1$ —— f_1 和 f_2 是半功率点处的频率。

品质因数与对数衰减率是通过以下近似关系联系在一起的。

$$Q \approx \pi/d \quad \dots\dots\dots (10)$$

注 2: 如果阻尼很小, $Q=1/h$ 。

作为例子, 图 15 显示了一个从波德图推导 Q 因数的典型的表示方法。相似的结果可以通过极坐标图得到。