

设备故障的 振动识别方法 与实例

牛明忠
王保华 编著
王桂亮

SHEBEI
GUZHANG DE
ZHENDONG
SHIBIE
FANGFA YU
SHILI

冶金工业出版社

设备故障的振动识别方法与实例

牛明忠 王保华 王桂亮 编著

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

设备故障的振动识别方法与实例/牛明忠等编著. —北京:冶金工业出版社, 1995. 1 (1995. 10 重印)

ISBN 7-5024-1656-0

I. 设… II. 牛… III. ①设备—故障诊断—振动分析方法②振动分析器 IV. ①TB4②TH825

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13221 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

三河市双峰印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 1 月第 1 版, 1995 年 10 月第 2 次印刷

787mm×1092mm 1/32; 3.625 印张; 75 千字; 106 页; 1501-3000 册

5.00

前 言

振动分析是设备故障诊断最重要最常用的方法。但在设备现场的实际工作中,常常遇到的最困难的也是最关键的问题是,在使用简易诊断仪器(如振动计)已经发现设备存在故障的情况下,如何根据各种振动分析仪(频谱分析仪)提供的振动波形和频谱,诊断出设备的故障类型、部位及严重程度,以便据此采取相应的措施。为满足从事设备管理、状态监测、故障诊断和设备维修工作的工程技术人员这方面的需要,我们编写了这本小册子。

本书紧紧围绕设备故障的识别问题,介绍了故障诊断的一般方法和步骤;为了方便查阅,按照故障类型,分别详细地列出了其波形和频谱特征及诊断要点,说明了如何区分不同故障的方法;引用的大量工程实例与方法介绍相互印证,以求具有更大的参考价值。

本书承蒙北京航天工程学院研究员袁宏义先生审阅,在此特致谢意。由于作者水平所限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

作 者

1994年5月

目 录

前言

1 振动信号的波形和频谱	(1)
1.1 孤立的谱峰——单一频率信号	(1)
1.2 谐波——一般周期信号	(1)
1.3 边频——调制的单频信号	(2)
1.3.1 调幅	(2)
1.3.2 调频	(4)
1.4 宽带频谱——脉冲信号、瞬态信号、随机信号	(6)
1.4.1 孤立脉冲	(6)
1.4.2 周期性重复脉冲	(7)
1.4.3 瞬态信号	(7)
1.4.4 随机信号	(9)
2 识别故障的一般方法和步骤	(13)
2.1 搜集和掌握有关的知识和资料	(13)
2.2 振动数据采集	(13)
2.2.1 仪器配置	(13)
2.2.2 参数设置	(14)
2.2.3 辅助测试	(16)
2.3 故障分析与诊断	(17)
2.3.1 注意发展和变化	(17)
2.3.2 分析振动的频率成分	(17)
2.3.3 分析振动的方向性和幅值稳定性	(19)
2.3.4 分析各频率成分的相位	(19)

2.3.5	边频分析	(20)
2.3.6	分析波形变化	(22)
2.3.7	分析轴心轨迹	(24)
2.3.8	全息谱分析	(28)
2.3.9	观察随转速的变化	(30)
3	常见故障的识别及实例	(33)
3.1	不平衡	(33)
	实例 1 离心压缩机不平衡	(35)
	实例 2 压缩机不平衡	(41)
3.2	不对中	(42)
	实例 1 压缩机组对中不良	(44)
	实例 2 电机—发电机组对中故障	(46)
3.3	机械松动	(49)
	实例 1 电机不平衡及支承松动	(51)
	实例 2 发电机组汽轮机支承松动	(53)
3.4	转子或轴裂纹	(54)
	实验 裂纹转子的振动特性及诊断	(55)
	实例 合成气压缩机轴裂纹	(57)
3.5	滚动轴承	(59)
	实例 1 压缩机轴承损伤	(62)
	实例 2 煤气排送机故障	(65)
	实例 3 挖土机滚动轴承损坏	(67)
3.6	滑动轴承	(68)
	实例 1 离心压缩机油膜振荡	(74)
	实例 2 二氧化碳压缩机停车事故	(77)
3.7	齿轮箱	(81)
	实例 1 JCF-500 齿轮箱的边频分析	(85)
	实例 2 大型水泥磨齿轮箱故障	(87)
	实例 3 立式车床变速箱故障	(88)

3.8 传动皮带	(91)
3.9 叶轮、叶片和旋翼	(92)
实例 叶片断裂故障	(93)
3.10 电机	(95)
实例 冷凝液泵驱动电机故障	(99)
3.11 共振	(101)
实例 变速风机的共振故障	(104)
参考文献	(106)

1 振动信号的波形和频谱

不同的振动信号具有不同的波形和频谱。诊断设备故障时,为了根据已知的频谱和波形确定未知的振动类型和特点,需要掌握常见的几种波形、频谱与振动之间的对应关系。

1.1 孤立的谱峰——单一频率信号

频谱中只有一个孤立的峰(图 1-1),表明这是纯正弦式振动。它具有单一的频率分量,即峰值所在处的频率分量,是最简单的周期性振动。

频谱中除了一个主峰外,若还有其他孤立的峰,表明这已不是纯正弦振动,而是由几个频率分量合成的振动,每个峰代表一个频率分量。若其他峰比主峰幅度小很多,则可近似地看作是正弦振动。这种以单一频率为主的振动是处于不平衡状态下一台简单机器的振动,它的频谱在轴转速处($1 \times \text{RPM}$ ①)出现一个主峰。

有时振动信号中包含直流分量,可以通过交流耦合输入方式(AC 方式)将直流成分滤掉。直流成分在频谱分析中并不重要,一般不予考虑。

1.2 谐波——一般周期信号

机器产生的振动基本上都是周期性振动,即波形为无限重复的形式。一般周期性振动信号的频谱由一系列彼此有关

① RPM 代表转速。

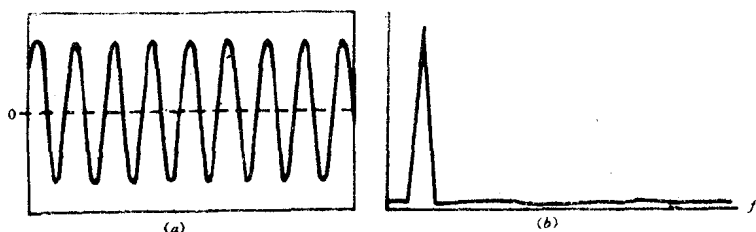


图 1-1 纯正弦式振动的波形和频谱

a—波形, b—频谱

的峰组成, 每个峰代表一个频率分量。代表信号中最长的波形重复率的称为基频或基波, 其他各峰位于基频的整数倍处, 依次称为二次谐波、三次谐波等等。上节讨论过的单一频率的振动是最简单的周期性振动, 其二次以上的谐波为零。

周期信号的一个例子是方波(图 1-2)。方波的基频是波形中基本方形的重复频率, 理想方波的频谱只包含奇次谐波(一、三、五等次谐波)。如果方波不完全理想, 也可能包含一些较小的偶次谐波。奇次谐波的幅值与谐波次数成反比, 即三次谐波幅值是一次谐波幅值的 $1/3$, 五次谐波幅值是一次谐波幅值的 $1/5$ 等等。

1.3 边频——调制的单频信号

1.3.1 调幅

一个单一频率的振动, 其幅值随时间周期性地变化, 称为调幅。其单一频率的振动信号为载波信号。而幅值随时间变化的信号为调制信号。所以, 调幅就是由调制信号对载波信号进行幅值调制。

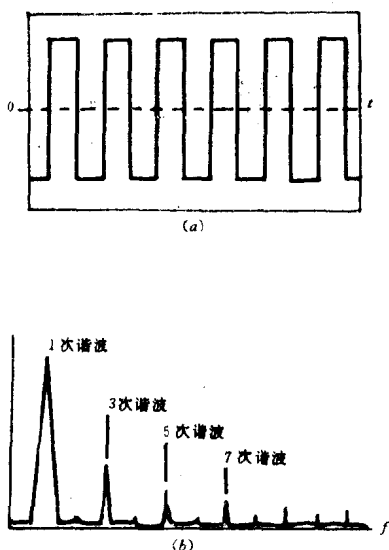


图 1-2 方波的波形和频谱

a—波形；b—频谱

最简单的情况是，调制信号是直流信号加上一个单一频率的信号，其频率与载波信号频率不同。这种调幅信号的频谱在载波峰两侧各有一个幅值相同的峰，此即边频（图 1-3）。设载波频率为 f_c ，调制频率为 f ，则边频的频率为 $f_c \pm f$ 。其中， $f_c + f$ 为上边频， $f_c - f$ 为下边频，它们与载波峰的频率间隔都是 f 。

如果调制信号是一般的周期信号，它包含多个谐波分量，则每个谐波分量对载波信号调制的结果都在载波峰两侧产生一对边频，最终组成边频族。最靠近载波峰的一对边频由调制

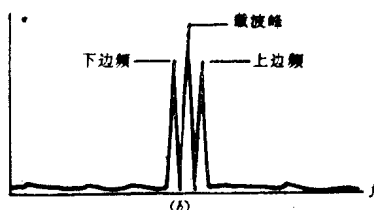
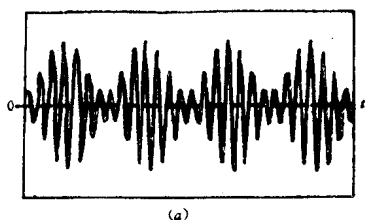


图 1-3 调幅信号的波形和频谱

a—波形; b—频谱

信号的基频产生,再往外一对由调制信号的二次谐波产生,如此等等。相邻边频的间距等于调制信号频率,各边频幅值比例与调制信号各次谐波幅值比例相同。

在调制信号中不含直流分量的特殊情况下,载波峰幅值可能为零,也就是说,只剩上边频和下边频。

1.3.2 调频

一个单一频率信号的幅值保持不变,但是频率随时间周期性地变化,称为调频(频率调制)。最简单的情况是调制信号为单一频率的正弦信号(图 1-4),但即使这种最简单的情况,频谱也十分复杂。载波峰两边等间隔地分布着边频族,相邻边

频的间距等于调制频率。

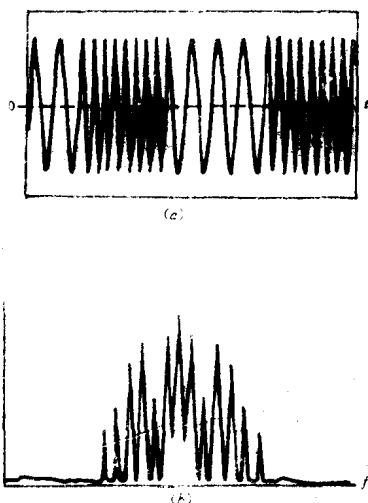


图 1-4 调频信号波形和频谱

a—调频信号的波形；b—调频信号的频谱

只有频率调制而不存在幅值调制时，载波峰两侧左右对称。但实际上两种调制往往同时存在，使载波峰两侧一般不对称、不规则，而且载波峰和某些边频的幅值有可能很小，甚至为零，这使得在某些情况下难于确认究竟哪个是载波峰。若调制信号不是单一频率，而是一般周期信号，则频谱更加复杂。但是，相邻边频的间距仍然等于调制信号的基本频率。

例如，齿轮齿距的改变、载荷波动、局部缺陷以及连成片的缺陷都会对啮合频率产生调制作用(图 1-5)。其中，齿轮局部缺陷激发的是窄脉冲，其频谱在较宽的频率范围内具有相

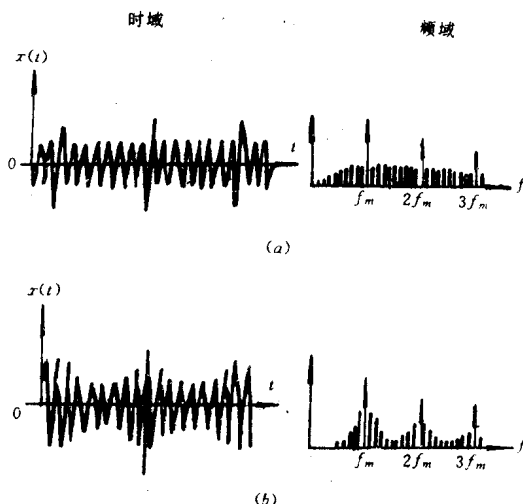


图 1-5 齿轮有缺陷时的波形和频谱

a—局部缺陷；b—连续缺陷； f_m —啮合频率

等而较小的幅值。连成片的缺陷激发的脉冲较宽，其频谱的频率范围窄，幅值衰减较快。由上述两种缺陷的调制作用而形成的边带也不同：局部缺陷情况下，边带范围宽，幅值小，变化平缓；连成片的缺陷情况下，边带范围窄，集中于载波峰附近，幅值较大，衰减较快。

1.4 宽带频谱——脉冲信号、瞬态信号、随机信号

1.4.1 孤立脉冲

机器运转中常有冲击现象，冲击产生脉冲信号。一个单独的脉冲通常持续很短的时间，波形很尖的常称为窄脉冲。窄脉

冲有频带很宽的连续频谱,没有明显的峰值(图 1-6)。

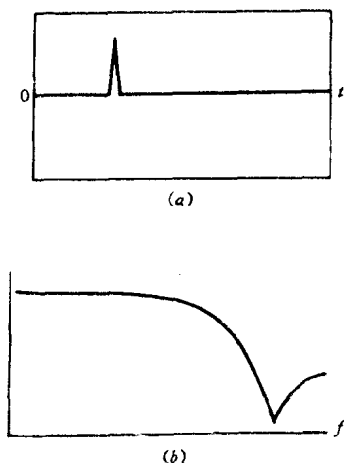


图 1-6 窄脉冲的波形和频谱

a —窄脉冲的波形; b —窄脉冲的频谱

每个实际脉冲的频谱,其幅度随频率的增加而减小,脉冲越窄,减小得越慢(图 1-7)。所以,从频谱幅值减小的快慢可估计出脉冲的宽窄。第一个凹陷处的频率等于脉冲宽度的倒数,在此频率的整数倍处还有第二、第三凹陷。

1.4.2 周期性重复脉冲

若脉冲信号以一定的周期重复,波形和幅值不变,则这是周期信号(图 1-8)。它的频谱中有一系列等间距的峰,基频与相邻谐波的间距等于脉冲重复频率。谐波峰幅度随频率的增加而减小,整个频谱的形状类似于单个脉冲的频谱形状。

1.4.3 瞬态信号

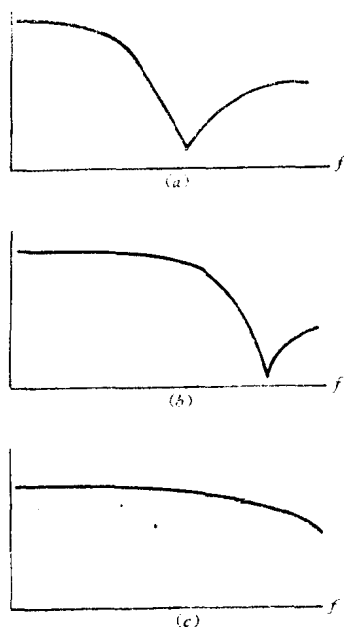


图 1-7 不同脉冲频谱比较

a—一般脉冲；b—窄脉冲；c—很窄的脉冲

瞬态信号与脉冲信号类似之处在于，它们都是突然间开始的，不同之处是，瞬态信号并不突然停止，而是在一段时间内逐步衰减(图 1-9)。一台机器或一个构件突然受到一次冲击后的振动即是这种瞬态信号，它是对一个脉冲信号的响应。

象孤立脉冲一样，瞬态信号的频谱也是宽带连续的。频谱的特点是有有一个明显的峰，称为共振峰，其频率为结构的共振频率。共振频率决定于结构的物理特性，尤其是结构的刚度和质量。刚度越大，质量越小，其共振频率越高。共振峰的宽度

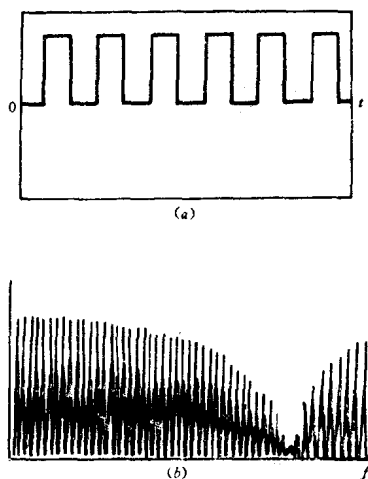


图 1-8 周期性脉冲的波形和频谱

a—重复脉冲的波形；b—重复脉冲的频谱

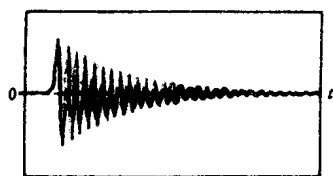
决定于结构阻尼大小(即振动能量消耗的快慢)。

对周期性重复脉冲的响应是另一种周期信号，其频谱是一系列重复频率的谐波。各次谐波的幅值等于单个瞬态响应信号对应频谱的幅值。

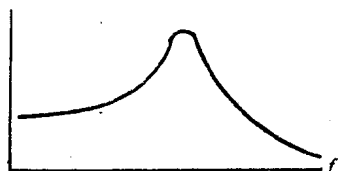
1.4.4 随机信号

宽带频谱中还有随机信号。随机信号是一种非确定性的信号，这种不确定性是指对每单个信号的不可预测性和不重复性。例如，由于各种激励和影响因素的复杂和多变，摩擦产生的振动便是一种随机振动。但是，大量的随机信号存在着统计规律性，即存在着稳定的平均性质。

随机信号的频谱是宽带连续的(图 1-10)，它不象周期信



(a)



(b)

图 1-9 瞬态信号的波形和频谱

a—瞬态信号的波形；b—瞬态信号的频谱

号那样有孤立峰，而是能量分布在很宽的频率范围内。在频谱中可能有峰，但通常与系统共振有关，而不一定代表系统中存在周期性故障激励信号，峰的宽度决定于结构共振频率和阻尼。

实际工作中测量的信号常常是上述各种信号组成的组合信号，其频谱也不象上述每一种信号的频谱那么单纯，而是由叠加而成的复杂频谱（图 1-11）。但是，在许多情况下，为主的是一种或两种信号，频谱中可以明显地找出它们的特征。有时还可通过滤波等方法消除掉次要成分，然后利用上述关于波形和频谱的知识，将主要信号（故障信号）鉴别出来。

现将常见波形和频谱总结列表如下：