

文章编号:1006-1355(2006)01-0071-03

倒频谱在压缩机故障诊断中的应用

汤武初¹,杨彦利¹,伧大俚²,赵亮¹

(1. 大连交通大学, 辽宁大连 116028; 2. 大连圣力来监测技术有限公司, 辽宁大连 116033)

摘 要:针对压缩机故障的特点,利用在线检测系统对在工业运行中的压缩机进行检测,对测得的振动信号进行了频谱分析,结合谱图,详细介绍了倒频谱在故障诊断中的应用。实践证明,倒频谱在检测周期信号和识别边频上具有独特的功能。

关键词:振动与波;倒频谱;故障诊断;压缩机;在线检测

中图分类号:TH165+.3 **文献标识码:**A

The Application of Cepstrum in Compressor Fault Diagnosis

TANG Wu-chu¹, YANG Yan-li¹, KANG Da-li², ZHAO Liang¹

(1. Dalian Jiaotong University, Dalian Liaoning 116028, China;

2. Dalian ShengLilai Monitoring Technology Limited Corporation, Dalian Liaoning 116033, China)

Abstract: The application of cepstrum in compressor fault diagnosis was introduced in detail, which based on the character of compressor faults and the online-test system which was used to test the running compressor. We did spectrum analysis to the vibration signals. The special functions of cepstrum in testing cycle signal and side-band identification were fully proved by application.

Key words: vibration and wave; cepstrum; fault diagnosis; compressor; on-line monitoring

压缩机是一种依靠压缩气体而为系统提供动力的旋转机械,其用途广泛、品种繁多。它已在冶金、矿山、建材、航天等行业得到广泛应用,尤其在石油、化工等工业中,已成为不可少的关键设备。一旦它发生故障,会导致整个生产线停工,造成很大的财产损失,甚至危害人身安全。因此,对压缩机设备的运行状况进行在线检测,及时发现和排除故障,以保证生产的顺利进行。

利用振动信号对压缩机进行状态监测时,其振动信号是振源信号经传递系统到测点的输出信号,即输出信号是振源信号和传递系统动态特性的卷积,造成在频谱图上很难区分源信号和系统的响应。倒频谱可以将卷积转换为简单的叠加,从而将振源信号分离出来。另一方面因压缩机结构的复杂性,导致振动信号中易存在边频信号,倒频谱正是提取边频信号的有利工具。

1 倒频谱

1.1 物理意义

倒频谱分析也称二次频谱分析,是近代信号处理科学中的一项新技术^[1]。它可以提供 FFT 谱图难以捕捉的信息,如 FFT 谱上的周期性分量,系统周围环境的干扰及边带信息,当机械故障信号的频

谱图出现难以识别的多族调制边频时,倒频谱可以分解和识别故障频率,分析和诊断故障产生的原因。倒频谱分为功率倒频谱和复倒频谱。

1.2 功率倒频谱

功率倒频谱定义为对数功率谱的频谱。设信号 $x(t)$ 单边功率谱为 $S_x(f)$, 则

$$c_p(q) = |F\{\log S_x(f)\}|^2 \quad (1)$$

q —倒频率, q 值大者为高倒频率,表示倒频谱上快速波动和密集谱频,反之, q 值小者为低倒频率,表示倒频谱上缓慢波动和稀疏谱频。

工程上常用(1)的平方根,即幅值倒频谱

$$c_a(q) = \sqrt{c_p(q)} = |F\{\log S_x(f)\}| \quad (2)$$

由于 $S_x(f)$ 是偶函数, (2) 可写成

$$c_a(q) = |F^{-1}\{\log S_x(f)\}| \quad (3)$$

从(3)式可以看出功率倒频谱与自相关函数的不同在于对数加权,对数加权的目的是:扩大频率的动态范围,提高再变换的精度;对数加权后具有解卷积的作用,便于提取和分离目标信号。

1.3 复倒频谱

信号的相位信息在功率倒频谱上不能反映,复倒频谱就是为弥补这一不足而设计的。

设时间信号 $x(t)$ 的傅里叶变换为 $X(f)$, 即

$$X(f) = X_R(f) + jX_L(f)$$

则复倒谱为

$$C_a(q) = F^{-1}[\ln X(f)]$$

收稿日期:2005-04-11

作者简介:汤武初(1973-),男,江西永新人,硕士研究生,主要从事机电一体化、计算机控制方面的研究。

复倒频谱计算上不如幅值倒频谱简单,且相位信息已在 FFT 的相位图上有所反映,故在压缩机故障诊断中采用了幅值倒频谱。

2 故障诊断

2.1 在线检测

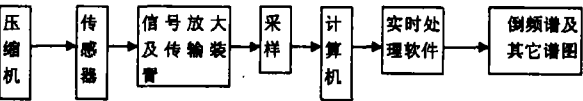


图 1 在线检测系统

为了能实时跟踪设备的运行状态,采用在线检测系统,其系统如图 1 所示。

传感器将采集到的微弱振动信号经放大、调制等预处理后传输,通过采样处理将其变为数字信号输入计算机,在计算机中利用软件技术对数字信号进行相应处理,做出倒频谱图、频谱图及其它一些相关谱图。将设备的故障信息以直观的形式反映在多种谱图上。

2.2 故障诊断

压缩机常见的故障有:转子不平衡,半速涡动及油膜振荡、转子不对中、共振、部件松动、转子与定子摩擦、转子结构缺陷与裂纹、轴承缺陷等。这些故障都反映在振动信号谱图的相应频率分量上,即都有其特殊的故障征兆。这些征兆有 1/3 倍频、1/2 倍频、工频、2 倍频、3 倍频等。

3 倒频谱分析

利用大连圣力来监测技术有限公司的在线检测系统对某公司的压缩机运行状况进行监测,绘得谱图。

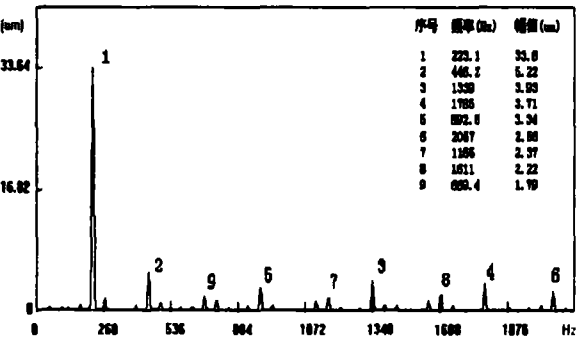


图 2 振动信号幅值谱图

3.1 提取周期信号

倒频谱利用对数将卷积变为简单代数相加,从而提取周期信号,如图 4 中 1 点的倒频率为 $q = 4.43\text{ms}$,反映的是自功率谱图上频率为

$$\Delta f = 1000 \times 1/q = 225.7\text{Hz}$$

一周周期信号,从自功率图 3 上,可以看到工频及其高次谐波存在,因此,2 点的倒频率正是工频及其谐频的反映。据此可以分析设备的故障。



图 3 振动信号自功率谱图

3.2 检测系统信号

图 4 是平稳运行时的倒频谱图,工频是 223.1Hz,转速为 13386r/min,图 5 是停机过程中的倒频谱图,转速为 6624r/min。图 4 中 3 点处有倒频率 $q = 18\text{ms}$ 的一峰值,而在图 5 中 2 点处有倒频率 $q = 18.2\text{ms}$ 的一峰值,这说明在转速下降过程中总有一频率为 55Hz 的周期信号,此周期信号的频率不随转速的变化而变化,即可认定此周期信号与转子系无关,它可能是系统的响应。

3.3 识别边频信号

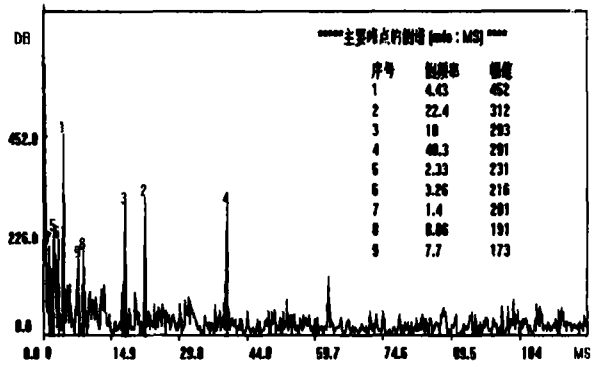


图 4 振动信号倒频谱图

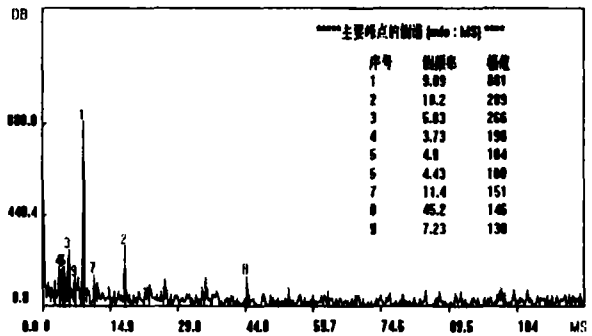


图 5 停机过程振动信号倒频谱图

(下转第 76 页)

不随转速的增加而成比例增加。由于浮环轴承含有两层油膜非线性程度较高,内油膜涡动的能量又较高,故产生了 2 次谐波,即略大于基频的振动分量。低频分量的幅值在转子隐含故障后没有大的变化,可知浮环轴承的稳定性很好。在过临界转速时没产生过大的振动,也没有因为其他的故障原因引起过大的涡动或发生油膜振荡。

众所周知,旋转机械的基频振动主要是由转子中的不平衡量在旋转过程中产生的离心力造成的。任何转子都不可能达到绝对的平衡,特别是工作在临界转速以上的柔性转子,即使在某一转速下达到平衡,随着转速的变化,转子挠曲变形的不同,也会产生新的不平衡。因此,正常运转的转子也会产生小量的基频振动。转子 1 在转速为 90 000r/min 时基频分量的幅值均低于 2g。

转子 2 振动信号中基频幅值甚至超过转子 1 基频幅值的 10 多倍,由此断定转子 2 必含有较大的不平衡量。另外,转子 2 的谱图中 2、3 倍频幅值均很大,特别是垂直方向均超过基频幅值。结合该转子的具体结构进行分析,由于转子系统中轴承位于中间,两侧轮盘悬臂布置,这种结构在高速旋转时,由于陀螺力矩的存在,易发生“圆锥形涡动”,从总体上来看转子在轴承内倾斜着旋转,即为不对中旋转。根据资料^[4]这种涡动所产生的转子跨外弯曲的振动特性为产生较高幅值的 3 倍频分量。其幅值往往超过 2 倍频。这种特征与图 5 的现象是完全符合的,由此推知 3 倍频分量的产生原因为转子的跨外弯曲。正常情况下,浮动轴承有较强的自动定心的能力,可抑制转子不对中运转及跨外弯曲现象的发

生,但当不平衡量较大时,离心力过大,超过了浮环轴承自我调节的能力,则不对中故障、跨外转子弯曲故障也就相继产生。从而导致转子的振动幅值进一步增加。由以上分析可知,转子不平衡是导致振动过大的根本原因。

5 结语

通过对某型涡轮增压器的振动进行测试、分析,确定了转子正常运转时的频谱特征,并通过比较,找出了转子发生故障的主要原因。

1. 该转子正常运转时的振动主要包括微量不平衡导致的基频振动和内、外油膜涡动产生的两个低频分量。

2. 稳定运转后,内油膜涡动频率为基频的 0.55~0.57 倍。内、外油膜涡动频率的比值略高于 2。

3. 浮环轴承的稳定性很好,是一种很好的用于高速轻型转子的轴承结构。

4. 该转子的一阶临界转速在 54 000、58 000r/min 之间,转子为柔性转子。

5. 故障转子产生振动过大与油膜涡动无关,主要是由转子不平衡引起较大的基频振动,以及由此引发的较大幅值的 2 倍频和 3 倍频振动。

参考文献:

- [1] 王宜. 设备振动简易诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
- [2] 李伟. 动静压浮环径向-推力联合轴承理论研究及其应用(径向部分)[D]. 郑州工业大学硕士学位论文,1996.5.
- [3] 朱大鑫. 涡轮增压与涡轮增压器[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [4] 虞和济,韩庆大,原培新. 振动诊断的工程应用(实例汇编)[M]. 北京:冶金工业出版社,1992.

(上接第 72 页)

在倒频谱图 4 中 2 点处有一突出谱线,即 $q=22.4\text{ms}$,其对应 $\Delta f=44.6\text{Hz}$,为齿轮箱的一个边频信号。经计算这一边频信号在停机过程变为倒频谱图 5 中的 8 点 $q=45.2\text{ms}$,对应 $\Delta f=22.1\text{Hz}$ 的调制信号。而这些信息在幅值谱图 2 及自功率谱图 3 的上几乎没有反映。

这样结合齿轮箱故障特点,就可以判断导致边频的原因,从而找出齿轮箱的故障原因。

3.4 与频谱配合应用

倒频谱能将功率谱中的周期分量以离散谱的形式展现出来,其谱线高度就反映了功率谱中周期分量大小。如图 4 上的 1 点谱线高度反映了周期分量为 225.7Hz 的信号较大,而图 3 中周期为 448Hz 的周期信号反映在图 4 中其谱线高度就很小。倒频谱还能把幅值谱的低频部分加以拓展,这样就容易识

别调制信号。

4 结语

倒频谱对周期信号的分离功能及对边频的鉴别能力,使得它不仅在压缩机的在线故障诊断中具有特殊的应用价值,而且在其它的旋转机械中也得到了广泛应用。从上面的分析中可以看出,在故障诊断中若能将倒频谱、幅值谱及其它谱图对应起来综合考虑,则更能准确的反映故障信息。实践证明,倒频谱在配合其它谱图分析设备故障是十分有效的。

参考文献:

- [1] 徐敏,等. 设备故障诊断手册[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.10.
- [2] 王江萍. 机械设备故障诊断技术及应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.8.
- [3] 史习智. 信号处理与软件计算[M]. 北京:高教出版社,2003.10.
- [4] 牛立勇,关惠玲. 细化和倒谱分析在坦克齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版),2003.24(3):95-97.