



往复式压缩机故障诊断的小波分析方法

■文/李旭朋 戴凌汉 李庆

摘要: 往复式压缩机振动源多, 特征向量不易提取, 本文介绍采用小波包分解和重构来构造能量特征向量的方法, 提取往复式压缩机气阀的故障特征, 该方法可有效地诊断往复压缩机的故障。

关键词: 往复式压缩机 故障诊断 气阀 小波分析

前言

往复式压缩机在石化企业中应用十分广泛, 气阀是往复式压缩机的关键部件, 据统计, 往复式压缩机有60%以上的故障发生在气阀上, 能够及时发现气阀故障对往复式压缩机故障诊断有相当重要的实际工程意义。反映气阀运行状态的参数主要有阀隙的气体压力、温度、流速和气阀的振动。而气体的压力、温度和流速虽然是气阀重要的运行参数, 但不易进行测量, 所以本文以气阀振动信号作为气阀故障分析的载体。

由于压缩机结构复杂, 振动源较多, 在通频带上大量的能量分布, 在频谱上找不出相应的故障特征频率, 因此利用传统的傅立叶变换对其故障做出准确判断较为困难。小波分析是一种信号的时频分析方法, 小波分析是把信号分解成低频和高频部分, 把信号在不同频率带下分离出来。本文采用“能量故障”的方法, 直接采集压缩机气阀的振动信号并对采集数据进行小波分析, 得到系统的故障模型。利用这一特征可以建立起振动信号各频带能量与往复式压缩机各

故障状态间的映射关系, 通过各频率成分能量的变化来达到故障诊断目的。

气阀振动信号的采集

实验用压缩机为Wz-1.5/5-A立式单缸双作用无油润滑空气压缩机, 电机转速为750转/分, 实验时的排气压力为0.2MPa。测量气阀振动的传感器型号为

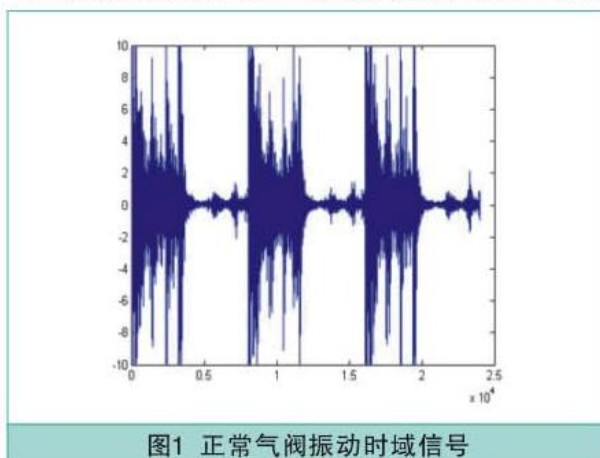


图1 正常气阀振动时域信号

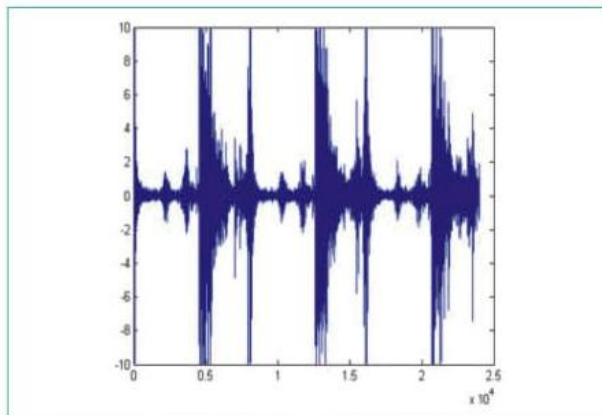


图2 故障气阀振动时域信号

KD1002LC的加速度传感器，采样频率是10KHz，采样长度是5S。以下是实测正常工作下和故障工作下压缩机气阀的振动信号的时域信号波形图，从图1、图2中可看出正常信号和故障信号的时域波形图无明显区别。所以本文采用“能量故障”方法，来实现压缩机振动信号的故障特征提取。

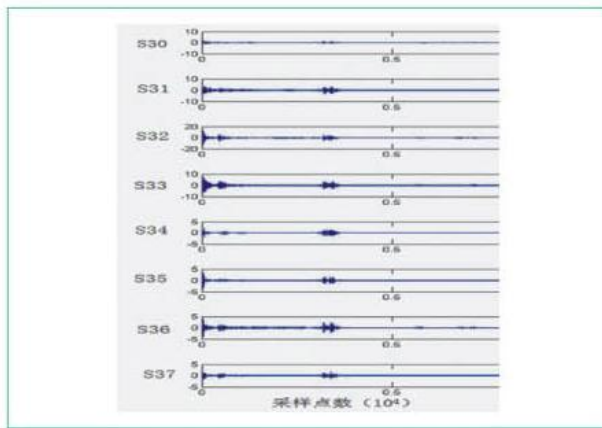


图3 正常信号小波包变换子频带图

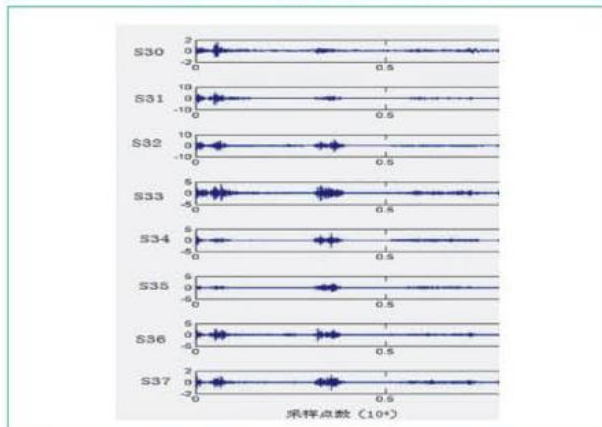


图4 故障信号小波包变换子频带图

用“能量——故障”法对振动信号处理

在故障特征提取过程中，要适当选择小波包分解的层数，如分解层数过少，就不能有效提取故障特征，如分解层数过多，则特征向量的维数大，会影响诊断速度。根据往复压缩机的故障特征，本文采用三层小波包分解构成8维特征向量来提取往复压缩机的故障特征。分别对正常和故障信号做三层小波包变换，变换函数为 $t=wpdec(x, 3, 'db20', 'shannon')$ ；选取第三层从低频到高频8个子频带的小波包分解系数 (X30, X31, X32, X33, X34, X35, X36, X37)，应用函数 $S=wprcoef(t, N)$ ，得到从低频到高频的八个重构信号如图3、4 (只取其中一个周期)。虽然图3、4可以区分故障和正常信号，但在故障比较多的情况下，无法判断各个故障的具体失效形式，为此，本文对各个频带的能量作了分析，频带信号 S_{3j} ($j=0, 1, \dots, 7$) 对应的能量 E_{3j} ($j=0, 1, \dots, 7$) 可由公式 $E_{3j} = \int |S_{3j}(t)|^2 dt = \sum_{k=1}^n |x_{jk}|^2$ 求得，其中， x_{jk} ($j=0, 1, \dots, 7, k=1, 2, \dots, n$) 表示重构信号 S_{3j} 的离散点的幅值。气阀故障将对各频带内信号的时域分析参数

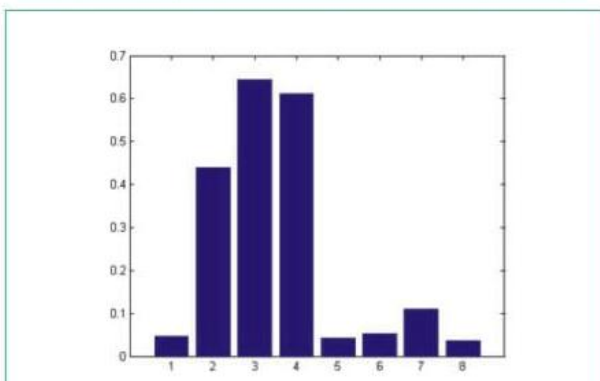


图5 正常信号的特征向量图

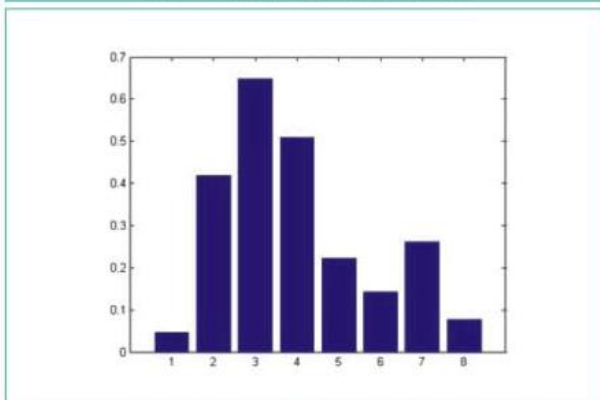


图6 气阀内圈弹簧损坏的特征向量图

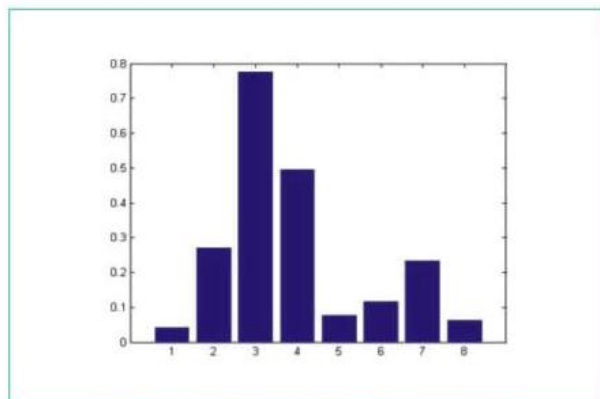


图7 气阀外圈弹簧损坏的特征向量图

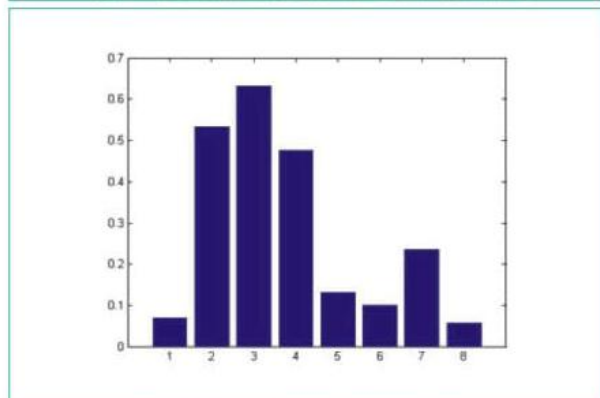


图8 气阀阀片损坏的特征向量图

产生较大的影响，通过这些参数可构造特征向量： $T=[E_{30}, E_{31}, E_{32}, E_{33}, E_{34}, E_{35}, E_{36}, E_{37}]$ 。当能量数值较大时，应对特征向量进行归一化处理，令 $E = \left(\sum_{i=1}^8 |E_{3i}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ ，得到 $T' = [E_{30}/E, E_{31}/E, E_{32}/E, E_{33}/E, E_{34}/E, E_{35}/E, E_{36}/E, E_{37}/E]$ 。归一化处理后特征向量图如图5、6、7、8所示，利用特征向量图就能够分辨出故障信号。

故障机理分析

在引起气阀振动的诸多因素中，气流脉动、气阀开启关闭时造成阀片对阀座和升程限制器的碰撞以及机器本身的运转对气阀的振动影响最大，其它因素可以忽略不计。在以上因素中，由阀片撞击阀座和升程限制器产生的振动为高频振动^[1]；由压缩机运转、气流脉动冲击引起的振动为低频振动。

图5、6、7、8中，横坐标表示振动信号经小波包变换后，从低频到高频的八个子频带，1、2……8分别

对应信号频段S30、S31……S37；纵坐标为各个频带的特征向量值。图中第一个信号频段S30表示由压缩机自身运转产生的能量，S31、S32、S33低频部分表示由气流脉动产生的能量，S34、S35、S36、S37高频部分表示由阀片对阀座和升程限制器的碰撞产生的能量。

对比正常信号特征向量图5和几个故障特征向量图6、7、8可以看出，由压缩机自身运转产生的能量没有明显的变化。当气阀内圈弹簧出现故障时（故障选取内圈弹簧断裂），如图6，气阀开启和关闭时间延长，使得气流脉动趋势平缓，低频部分能量减弱，对阀座和升程限制器的振动作用明显加强，使得高频部分能量有显著增加；当气阀外圈弹簧出现故障时（故障选取外圈弹簧断裂），气阀开启和关闭时间延长，使得气流脉动趋势平缓，低频部分能量下降，对阀座和升程限制器的振动作用也有所加强，但不太明显；当阀片产生故障时（断裂），对气流脉动作用影响不明显，而振动部分能量有明显增加。从以上分析可以看出，气阀不同部位产生故障时，从气阀振动信号的特征向量上可以明显的体现出来，从而为工程实际中的故障诊断提供依据。

结论

从本文的实验分析可以看出，小波包变换可以有效提取信号的特征向量，小波分析对于压缩机的故障分析研究有着非常重要的作用，小波分析方法可以为压缩机进一步的故障诊断提供理论依据。

参考文献：

- [1] 吴广宇，等，往复压缩机气阀的振动测试分析[J].压缩机技术，2007（5）：23-25.
- [2] 姚利斌，等，基于小波包分析的往复压缩机故障诊断[M].状态监测与诊断技术，2006（2）：48-49.