对称差分能量算子增压风机轴承故障诊断*

吴永刚,李 军

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章针对烧结脱硫增压风机滚动轴承振动信号非线性、非平稳性,导致其故障特征难提取、难识别的问题,提出了融合自相关降噪与小波包分解的对称差分能量算子的解调方法,结果表明所提方法为增压风机滚动轴承的故障诊断提供一条新途径。

关键词: 自相关降噪; 对称能量算子; 轴承故障诊断

中图分类号: TH133.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)04-0068-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.04.024

Bearing Fault Diagnosis for Booster Fan with Differential-based Empirical Mode Decomposition

Wu Yong-gang, Li Jun

(*Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the demodulation method with differential-based empirical mode decomposition combining with the autocorrelation noise reduction and wavelet packet decomposition is proposed aiming at the problems that the nonlinearity and nonstationarity of vibration signal for rolling bearing of booster fan for desulfurization of sintering cause the fault features are difficult to be extracted and identified, which provides a new approach for fault diagnosis for rolling bearing of booster fan.

Key words: autocorrelation noise reduction; symmetric energy operator; bearing fault diagnosis

脱硫增压风机作为烧结机脱硫系统的关键设备,将烧结废气引入脱硫系统。轴承作为增压风机的重要零部件之一,起到支撑转轴运转,维系风机正常运作的作用。采用一定的技术手段对风机轴承故障进行诊断确定风机故障性质、程度、类别和部位意义重大,这有利于实现传统的“事后维修”、“定期维修”到“预知维修”的转变,降低维修成本,防止意外事故发生和非计划性停机,保证机组安全性和可靠性,确保脱硫工艺的正常实现,减少废气排放和环境污染。包钢某车间的1#增压风机运行过程中发生过几次故障,大多数故障由轴承故障引起,故障较严重,维修费用昂贵。

1 自相关降噪原理

自相关降噪是应用信号周期性和噪声随机性的特点,通过自相关运算达到去除噪声的目的。信号

* 收稿日期: 2018-05-30

作者简介: 吴永刚(1985-),男,内蒙古丰镇市人,硕士,工程师,主要从事设备管理工作。

和噪声是相互独立的过程，信号与信号自身相关，而噪声与噪声之间不相关；因此，可以通过信号的自相关方法提高信号的信噪比[1]。

对于两个不同时刻的信号 $x(t)$ 和 $x(t+)$，其自相关函数定义如下[2]：

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T}\lim_{T\to\infty}\int_0^T x(t)\,x(t+\tau\times dt) \tag{1}$$

在处理实际采集到的信号时，需要进行离散化

$$R_x(n) = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M-n} x(i)\,x(i+n) \tag{2}$$

式中，T 为采样长度；M 为采样点数；n 为采样数据间隔。

自相关具有如下性质：噪声的自相关函数其幅值相对于原始信号会大幅度衰减，周期信号的自相关函数仍是不衰减的周期信号。

2　对称差分能量算子解调

解调算法是旋转机械故障诊断中一种广泛应用的方法，常用 Hilbert 变换的包络解调方法有误差偏大等问题[3]，Teager 提出的能量算子解调法有着比较高的解调精度。但能量算子仅适用在单个分量的调幅调频信号中，大部分的旋转机械振动信号不是单分量的调幅调频信号，包含着复杂的调幅调频信息，采用对称差分能量算子(Differential - based Empirical Mode Decomposition，DEMD)算法对原始振动信号进行处理，求出若干个单分量的信号，再利用对称差分能量算子解调对每个单分量信号做进一步的处理，求出每个单分量信号的瞬时频率及幅值，并计算包络谱，有效提取信号频率特征，得到每个单分量信号的瞬时幅值与瞬时频率，计算包络谱值，有效提取信号频率特征。方法理论如下。

定义信号的 $x(n)$ 的差分序列如下[4]：

$$y(x) = \frac{(x(n+1)-x(n))+(x(n)-x(n-1))}{2} = \frac{x(n+1)-x(n-1)}{2} \tag{3}$$

定义的差分序列就是为了提高信号的光滑性和解调频率的准确性。则 $y(n)$ 的差分序列为

$$\tilde{y}(n) = \frac{x(n+1)-2x(n)+x(n-2)}{4} \tag{4}$$

由公式(3)和(4)代入能量算子中得到改进后的算子：

$$\tilde{\gamma}(x(n)) = \frac{\gamma(x(n+1))+2\gamma(x(n))+\gamma(x(n-1))}{4} \tag{5}$$

使用传递函数 $H(z) = z(1+2z_1+z_2)$ 求解新的能量算子 $\tilde{\gamma}(x(n))$，得到信号 $x(n)$ 新的幅值和频率估计值：

$$a(n) \approx \frac{2\gamma(x(n))}{\sqrt{\gamma(x(n+1)-x(n-1))}} \tag{6}$$

$$w(n) = \frac{1}{2}\arccos\left(1-\frac{\gamma(x(n+1)-x(n-1))}{4\gamma(x(n))}\right) \tag{7}$$

以上的信号处理方法为对称差分能量算子解调[2]。

3　故障诊断流程

利用 Telesen－8833 采集仪定期对炼铁厂增压风机进行振动数据采集，运用包钢设备检测诊断信息管理系统对采集数据时域统计指标进行时域分析，判断增压风机轴承劣化情况。当时域指标超限时预警，利用频谱分析确定设备存在的缺陷，即用自相关降噪、小波包分解及对称差分能量算子解调方法通过 MATLAB 编程对采集到的信号进行处理最终确定设备存在的缺陷。信号采集、分析流程如图 1所示。

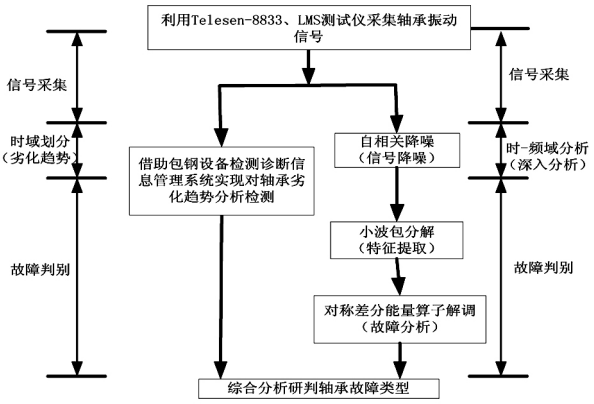


图 1　信号采集、诊断流程

4　数据分析

表 1 是包钢设备检测诊断信息管理系统对增压风机 7 ~ 10 月(检测 4 次)各测点振速检测数据。从表 1 可以看出：风机两端速度有效值从 2016 年 7 月份开始振动值快速增长，到 9 月份振动值严重超标，10 月份出现极速恶化的状态。初步判断增压风机轴承存在问题。

表1 风机各测点振速数据表 mm/s

序号	驱动端垂直	驱动端水平	驱动端轴向	自由端垂直	自由端水平	自由端轴向
1	1.47	1.87	2.38	0.57	1.09	1.55
2	1.76	2.63	2.36	0.64	1.88	1.17
3	4.29	7.36	4.54	2.18	3.06	2.67
4	8.64	12.80	10.30	3.69	4.72	4.61

为进一步分析包钢脱硫增压风机故障产生的部位，采用LMS测试仪和PCB加速度传感器对电机型号为1200kW－8P－50Hz，转速为742 r/min，风机轴承型号为SKF22244CC－W33/C3的两端轴承座外壳上的两个测点的振动信号进行采集，采集垂直方向振动信号。采样频率为2 560 Hz，分析数据使用的采样点数为4 096个点。图2是风机轴承内圈出现故障时采集的振动信号部分时域波形。从时域波形上可以看出轴承信号受噪声干扰严重，故障冲击成分不明显，无法判断故障类型和程度。

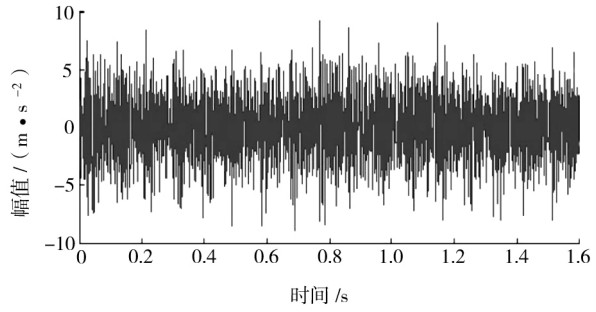


图2 轴承内圈故障信号

对图2中的时域信号用自相关分析方法对其进行降噪，降噪后的结果如图3所示。从图3中可以清晰地看出信号具有一定的周期成分，冲击周期近似于轴承转频，说明自相关降噪方法保留了原始信号的有用成分，使噪声得到一定程度的抑制。由此可见自相关分析具有一定的可行性。

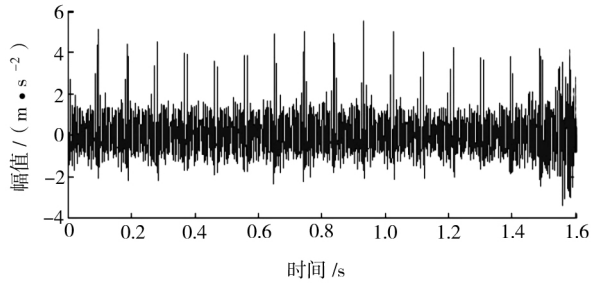


图3 自相关降噪后信号

因采集到的振动信号含有复杂的振动信息，信号可能由多个来源或含有许多与信号特征无关的噪声。对这种含有噪声的信号分析，首先要将信号的噪声部分剔除，使特征信号更加明显。传统的降噪一般采用傅里叶分析进行高通、低通或带通滤波，但滤波参数不能随信号变化，不能得出信号在某个时间点上的具体变化，在时间轴上任意一个信号突变都会对整个谱图有影响。小波变换则克服了这种缺点，具有自动变焦功能，可以同时在时域和频域对信号进行分析，能有效地把信号的突变部分和噪声部分区分开来，起到良好的降噪效果。

采用db2小波基函数对自相关降噪后信号做3层小波包分解，得到的小波包分解后的各个不同频段信号。选择小波包分解后节点为(3,0)频段的信号进行对称差分能量算子解调，解调谱如图4所示，图中可以清晰地找到近似轴承外圈的故障特征频率121 Hz。图5是原始信号的包络解调谱，图中也可以找到轴承故障特征频率，但周围边频带成分淹没了故障特征，受到噪声干扰及其严重，而在故障特征频率周围出现了更高幅值的频率成分，容易造成误判。本文提出的方法具有一定的应用价值。

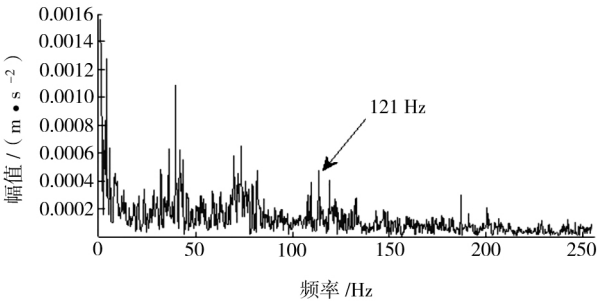


图4 对称差分能量算子解调谱

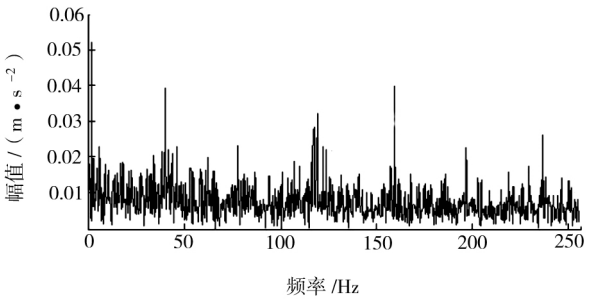


图5 原始信号包络谱

5　结束语

上述实验结果表明，自相关分析方法对脱硫增压风机轴承振动的故障信号降噪，噪声得到一定程度的抑制，抗噪性能良好，经小波包分解的对称差分能量算子解调后更易于提取故障特征，更便于滚动轴承故障诊断，为增压风机滚动轴承故障诊断提供新的途径。

参　考　文　献

[1] 胡劲松，杨世锡. 基于自相关的旋转机械振动信号 EMD 分解方法研究 [J]. 机械强度，2007，29 (3)：376 – 379.

[2] 雷衍斌，李舜酩，门秀花，等. 基于自相关降噪的混叠转子振动信号分离 [J]. 振动与冲击，2011，30(1)：218 – 222.

[3] 任达千，杨世锡，吴昭同，等. 信号瞬时频率直接计算法与 Hilbert 变换 Teager 能量法比较 [J]. 机械工程学报，2013，49(9)：42 – 48.

[4] 孟宗，季艳. 基于 DEMD 和对称差分能量算子解调的滚动轴承故障诊断 [J]. 中国机械工程，2015，26(12)：1 658 – 1 664.

信息

鞍钢以 635.28 亿元品牌价值再登中国 500 最具价值品牌排行榜

6 月 20 日，由世界品牌实验室(World Brand Lab) 主办的第十五届“世界品牌大会”在北京举行，鞍钢品牌以 635.28 亿元的品牌价值荣登 2018 年中国 500 最具价值品牌排行榜第 55 位，品牌价值比去年增加 64.73 亿元，提升了 11.3% 。

品牌是企业核心竞争力的重要体现。习近平总书记指出，要“推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变”。2017 年 4 月国务院批准，从 2017 年起，将每年 5 月 10 日设立为“中国品牌日”，将品牌上升到前所未有的高度，体现了国家实施品牌战略的坚定决心。

近几年来，鞍钢不断强化品牌工作。2017 年，面对严峻的市场形势，鞍钢集团深入学习贯彻党的十九大精神，全面落实习近平总书记“三个推进”要求，着力推进供给侧结构性改革，调整发展布局、产业结构和产品结构，推进企业改革发展，实施创新驱动发展战略，推进干部作风转变，生产经营实现重大突破，全集团实现利润 15 亿元，同比增利 110 亿元，进入央企效益增量排名前列，一举结束连续五年亏损历史，使鞍钢的品牌形象得到明显改善。

2018 年以来，鞍钢集团把品牌建设作为事关企业高质量发展的一项重要工作，提出了擦亮鞍钢品牌第一系列品牌建设目标。坚持稳中求进的工作总基调，以推进质量变革、效率变革、动力变革为主线，把着力点放在提高全要素生产率上，把突破点放在深化改革上，把关键点放在激发创新活力上，企业盈利能力不断提升; 调整产品品种、提高产品质量、降低产品成本，主要经营指标不断向好，量价齐升的发展态势提升了企业市场竞争力，推动了鞍钢产品不断向鞍钢品牌转变; 强化市场调研开拓、做好销售服务，持续提高用户满意度、忠诚度; 强化品牌传播进一步提高品牌的知名度、美举度，鞍钢品牌价值稳步提升。

作为全球三大品牌价值评估机构之一，世界品牌实验室每年组织评选、发布《中国 500 最具价值品牌》，已被众多国内著名公司、新闻媒体作为反映品牌竞争现状的重要指标。本届“世界品牌大会”发布了 2018 年《中国 500 最具价值品牌》分析报告。在这份基于财务数据、品牌强度和消费者行为分析的年度报告中，鞍钢品牌价值为 635.28 亿元，比上年增加 64.73 亿元，提升了 11.3% 。

[摘自《世界金属导报》]