基于快速谱峭度和1.5维谱的齿轮箱故障诊断*

朱雨亮[1,2]，关丽坤[1]

（1. 内蒙古科技大学机械工程学院，内蒙古 包头 014010；
2. 包钢集团电气有限公司，内蒙古 包头 014010）

摘 要： 针对齿轮箱早期故障难以识别的问题，提出了一种快速谱峭度和1.5维谱相结合的齿轮箱故障诊断新方法。该方法首先运用快速谱峭度筛选原始信号的最大峭度频带，然后对筛选的频带进行1.5维谱分析，最后通过分析谱图中突出成分以确定齿轮箱故障部位，以提前做好预防措施。通过工程案例对该方法进行分析验证，充分证明该方法能够有效提取故障信息，对工程应用有一定指导作用。

关键词： 齿轮箱；快速谱峭度；1.5维谱；故障分析诊断

中图分类号： TH165+.3 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009-5438(2019)05-0067-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.01.019

Fault Diagnosis for Gearbox Based on Kurtosis of Fast Spectrum and 1.5 Dimension Spectrum

Zhu Yu-liang[1,2], *Guan Li-kun*[1]

(1. *School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Electric Co., Ltd. of Baotou Iron & Steel (Group) Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, a new fault diagnosis method for gearbox combining with the kurtosis of fast spectrum and 1.5 dimension spectrum is proposed aiming at the problem that the initial failure of gearbox is difficult to be recognized. Firstly, the maximum frequency band of kurtosis for original signal is filtrated with kurtosis of fast spectrum, and then the filtrated frequency band is analyzed with 1.5 dimension spectrum. Finally, the positions of faults for gearbox are determined by analyzing prominent components in the spectrogram so as to take precautions in advance. The method is with the analysis validation by project cases, it is fully proved that the fault information could be effectively extracted with this method, which plays a certain guiding role in engineering applications.

Key words: gearbox; kurtosis of fast spectrum; 1.5 dimension spectrum; fault analysis and diagnosis

齿轮箱在冶金行业发挥着举足轻重的作用，由于受到长时间运行、重载及恶劣运行环境的影响，齿轮箱十分容易发生故障。齿轮箱故障采用振动分析法进行诊断十分有效，结合相应的信号处理方法能够抑制或减少噪声的干扰，对故障分析十分有利[1]。

* 收稿日期：2019-04-22

作者简介：朱雨亮(1985-)，男，内蒙古土左旗人，硕士，工程师，现从事电机维修工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 理论方法介绍

1.1 快速谱峭度

快速谱峭度是被 Antoni [2] 提出的，一种基于 FIR 带通滤波器的谱峭度算法，其算法采用在全频带内 1/3 和二叉树结构设计的带通滤波器分析信号。

构造一个截止频率 $f_h = 1/8 + \varepsilon$ 的低通滤波器 $h(n)$，$\varepsilon > 0$。低通滤波器的截止频率增大 ε 时为了消除过渡带的影响。并基于 $h(n)$ 构造准解析低通滤波器 $h_0(n)$ 和准解析高通滤波器 $h_1(n)$，其分析频带分别问 [0,1/4]、[1/4,1/2]，即

$$\begin{cases} h_0(n) = h(n)\, e^{j\pi n/4} \\ h_1(n) = h(n)\, e^{j3\pi n/4} \end{cases} \tag{1}$$

分别以 $h_0(n)$ 和 $h_1(n)$ 低通和高通滤波，对滤波结果做 2 倍降采样，如此迭代进行，可以获得相应的滤波结果。其中 $c_k^i(n)$ 表示第 k 层第 i 个滤波器产生的滤波结果，其中 i 取值为 0 到 $2^k - 1$；同时 $c_k^i(n)$ 也是信号中心频带和带宽 BW_i 的复包络，2 倍降采样的目的是保证滤波器每一层中的数据长度和原始数据相同。

对每一个滤波器结果，按照式 2 计算峭度：

$$k = \frac{E(|c_k^i(n)|^4)}{[E(|c_k^i(n)|^2)]^2} - 2 \tag{2}$$

最后将所有谱峭度进行汇总，从而得到“快速谱峭度图”。

1.2 1.5 维谱

$c(\tau,\tau)$ 是 $y(t)$ 的三阶累积量 $c(\tau_1,\tau_2)$ 的对角切片，1.5 维谱 [2] 是该对角切片的 Fourier 变换，即

$$c(\omega_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} y(t)\, y^2(t+\tau)\, \mathrm{d}t\right] e^{j\omega_0\tau \mathrm{d}\tau} = Y^*(\omega_0)\,[Y(\omega_0) \times Y(\omega_0)] \tag{3}$$

1.5 维谱可以增加基频分量，抑制高斯白噪声，对于处在许多干扰的环境中进行故障诊断十分有用，特将其运用到齿轮箱故障诊断之中。

设振动信号 $x(t)$ 是均值为零的 m 次谐波信号，其基频为 ω_0，相位为零，当幅值一样，$\omega_i < \omega_j$ 时，则：

$$B(\omega_i) = B(\omega_j) \tag{4}$$

表明该方法的基频分量加强性质。

若 $n(t)$ 为零均值高斯白噪声，则有：

$$B(\omega_0) = 0 \tag{5}$$

表明该方法可以有效抑制高斯白噪声。

1.3 齿轮箱故障诊断方法

首先运用快速谱峭度筛选原始信号的最大峭度的频带，然后对筛选的频带进行 1.5 维谱分析，最后通过分析谱图中突出成分以确定齿轮箱故障部位。具体方法如下：

(1) 采集齿轮箱加速度振动信号；

(2) 用快速谱峭度处理采集到的信号，得出峭度最大的频带的中心频率与带宽；

(3) 提取峭度最大的频带信号；

(4) 运用 1.5 维谱方法对信号进行处理，得到提取信号的 1.5 维谱；

(5) 分析信号的 1.5 维谱以获得齿轮箱的故障位置；

(6) 制定合理的维修方案。

2 工程案例分析

数据采集时设置采样频率 12 000 Hz，采集 10 s，取其中 5 s 进行分析，当时检测到输入轴的转速为 113 r/min，对应的转频为 1.83 Hz，见表 1。图 1为齿轮箱传动图，其中Ⅰ轴为输入轴。

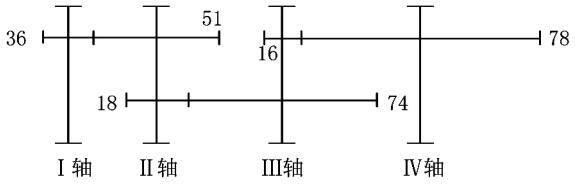


图 1 齿轮箱传动简图

表 1 特征频率 Hz

Ⅰ轴	Ⅱ轴	Ⅲ轴	Ⅳ轴
1.83	1.29	0.31	0.06

图 2 为采集到的振动加速度振动信号，图中并未出现十分明显的故障冲击成分，运行比较平稳，无法对齿轮箱的故障做出判断。

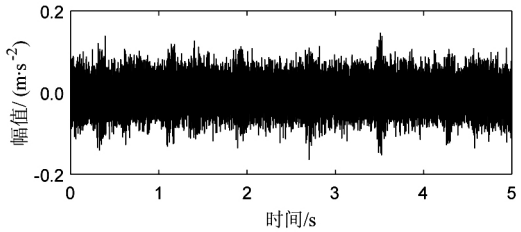


图 2 时域波形

图 3 为采集振动信号的频谱图，图中信号比较混乱，无法对故障作出分析。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

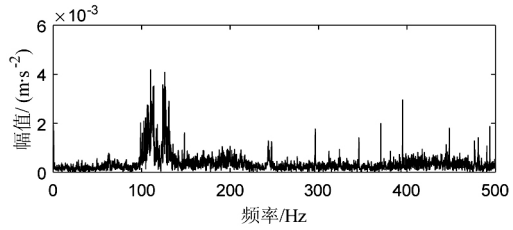


图 3　频谱图

对采集的信号进行快速谱峭度分析，如图 4 所示为快速峭度图，得到最大的峭度所在的频带为中心频率为 1 125 Hz，带宽为 750 Hz 的频带，提取出来如图 5 所示的时域波形，图中周期性冲击比较明显。

为了更好的观察故障特征，对信号进行 1.5 维谱处理，得到如图 6 的 1.5 维谱，谱图中清晰显示 1.2 Hz 及其倍频成分，十分的清晰。1.2 Hz 与表 1 中Ⅱ轴的故障特征频率接近，可被认为Ⅱ轴故障。

制定维修计划，提前加工好备品Ⅱ轴，应尽快停机更换Ⅱ轴。

图 7 为打开箱盖拍摄到Ⅱ轴齿轮出现断齿故障，验证了诊断结果的准确性。

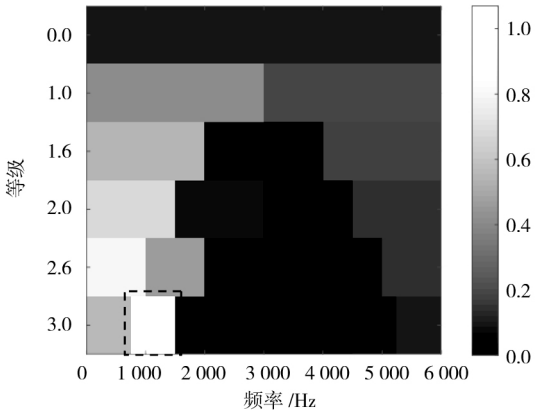


图 4　快速谱峭度

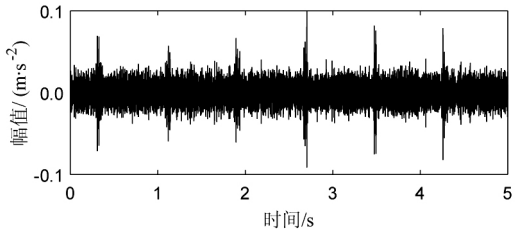


图 5　提取信号

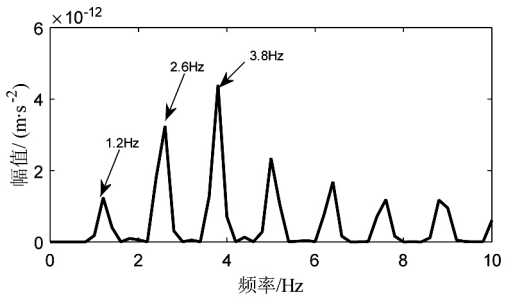


图 6　1.5 维谱



图 7　断齿故障

3　结束语

本文提出了一种快速谱峭度和 1.5 维谱相结合的齿轮箱故障诊断新方法，通过工程案例分析证明方法的有效性。峭度作为衡量周期性冲击的一项重要指标，应用于快速谱峭度，准确提取出故障信息所包含的频带；1.5 维谱具有的抑制噪声以及增强基频分量的性质十分适合提取复杂信号中的周期性冲击成分，以显示在频谱中；结合快速谱峭度与 1.5 维谱的优势，新方法能够有效提取包含在复杂信号中的周期性冲击信号，以获得齿轮箱故障信息，达到故障诊断的目的，为工程实际提供了一种新方法。

参　考　文　献

[1]　刘俊峰，赵铁英. 浅析钢铁冶炼机械设备的故障诊断及处理措施[J]. 包钢科技，2018，44(03)：70－72.

[2]　唐贵基，王晓龙，TANGGui－ji，等. 最大相关峭度解卷积结合 1.5 维谱的滚动轴承早期故障特征提取方法[J]. 振动与冲击，2015，34(12)：79－84.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net