

doi: 10.7690/bgzd.2023.09.013

基于 LabVIEW 与 Matlab 的滚动轴承故障诊断

罗建, 安会平, 李宁

(中国工程物理研究院动力部, 四川 绵阳 621999)

摘要: 针对滚动轴承故障在线监测问题, 将 LabVIEW 与 Matlab 2 种编程方式相结合进行故障诊断。论述滚动轴承故障信号特征, 介绍峭度分析法和共振解调法分析方法, 并采用 LabVIEW 和 Matlab 联合编程进行算法实现。借助典型轴承故障实验数据对分析方法进行验证, 结果表明: 该系统能有效分析并识别轴承的特征故障, 可用于轴承故障监测。

关键词: 滚动轴承; 故障诊断; Matlab; LabVIEW

中图分类号: TP274⁺.2 **文献标志码:** A

Fault Diagnosis of Rolling Bearing Based on LabVIEW and Matlab

Luo Jian, An Huiping, Li Ning

(Department of Power, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, China)

Abstract: Aiming at the problem of rolling bearing fault on-line monitoring, the fault diagnosis is carried out by combining LabVIEW and Matlab programming methods. This paper discusses the fault signal characteristics of rolling bearings, introduces the kurtosis analysis method and resonance demodulation method, and realizes the algorithm by using LabVIEW and Matlab joint programming. The analysis method is verified by the experimental data of typical bearing faults, and the results show that the system can effectively analyze and identify the characteristic faults of bearings, and can be used for bearing fault monitoring.

Keywords: rolling bearing; fault diagnosis; Matlab; LabVIEW

0 引言

滚动轴承是机械设备中使用量最多的零件之一, 也是最易损坏的零件, 旋转机械的故障约有 30% 因滚动轴承引起。在实际测量工作中, 滚动轴承有着表面光滑、尺寸精密的滚道, 因而早期故障的振动信号非常微弱, 常常淹没在振动信号中。由于轴承滚动元件的不圆度、粗糙度和波纹度而引起的随机振动, 不能直接利用频谱分析其特征频率; 因此, 找出并识别其故障特征就成为滚动轴承故障诊断的主要任务。

LabVIEW 拥有强大数据采集以及良好的人机交互能力, 但其非周期信号的处理能力相对较弱。Matlab 拥有强大信号分析处理能力, 可运用不同的方式对振动信号进行分析并提取其特征信号, 但缺乏实时数据采集能力和人机交互界面。笔者将 2 种编程方式的优势结合, 针对滚动轴承故障的诊断与测试, 开发了一套用于滚动轴承故障监测的系统。

1 滚动轴承的振动

滚动轴承通常是由内圈、外圈、滚动体、保持

架 4 部分构成^[1]。当轴承出现内部缺陷时, 滚动体在内圈和外圈转动时会产生周期的冲击力。这种冲击力给轴承带来的振动是复杂的, 既有非周期信号, 同时还包含以轴承特征频率为主的周期信号。

每种轴承都有其特定的故障频率, 具体经验公式为:

$$\text{内圈特征频率: } \text{BPFI} = \frac{r}{60} * \frac{1}{2} * n * (1 + \frac{d}{D} * \cos \alpha); \quad (1)$$

$$\text{外圈特征频率: } \text{BPFO} = \frac{r}{60} * \frac{1}{2} * n * (1 - \frac{d}{D} * \cos \alpha); \quad (2)$$

$$\text{滚动体特征频率: } \text{BSF} = \frac{r}{60} * \frac{1}{2} * \frac{D}{d} * (1 - (\frac{d}{D} * \cos \alpha)^2); \quad (3)$$

$$\text{保持架特征频率: } \text{FTF} = \frac{r}{60} * \frac{1}{2} * (1 - \frac{d}{D} * \cos \alpha)。 \quad (4)$$

式中: d 为滚动体直径; D 为轴承节径; α 为滚动体接触角; n 为滚珠个数; r 为轴承转速, r/min ^[2]。

2 滚动轴承故障分析方法

2.1 峭度指标法

峭度指标 C_q 反映振动信号中的冲击特征, 有:

收稿日期: 2023-05-08; 修回日期: 2023-06-06

作者简介: 罗建(1988—), 男, 四川人, 硕士。

$$C_q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|x_i| - \bar{x})^4 / \delta^4 \quad (5)$$

峭度指标 C_q 正常情况下其值应该在 3 左右。当系统存在冲击性振动，这个值将接近 4 或超过 4^[3]。

当轴承出现初期故障时，振动有效值变化不大，而峭度指标变化则非常明显，能够提供早期的故障预报。当轴承故障进入晚期，由于剥落斑点充满整个滚道，峭度指标反而下降，也就是对晚期故障不适应^[4]。

2.2 共振解调法

当故障所产生的低频冲击脉冲，频率为数千赫兹以内，信号很微弱，激起了传感器电路的高频共振，频率数十倍于冲击频率，信号大大加强，用滤波器去除低频的信号，对高频信号进行绝对值检波、包络解调。最后获得的信号称为共振解调信号。

对一个时间序列数据先进行经验模态分解 (empirical mode decomposition, EMD)，然后对各个分量做希尔伯特变换的信号处理方法是美国国家宇航局的 Norden E. Huang 于 1998 年提出，称之为希尔伯特黄变换 (hilbert-huang transform, HHT)^[5]。该方法适用于非线性、非平稳信号。为使用希尔伯特变换，必须将非线性平稳信号转换为平稳信号；因此，必须使用 EMD 进行模态分解，再对分解得到的 IMF 进行希尔伯特变换，求得信号以进行下一步分析。

EMD 流程如图 1 所示。

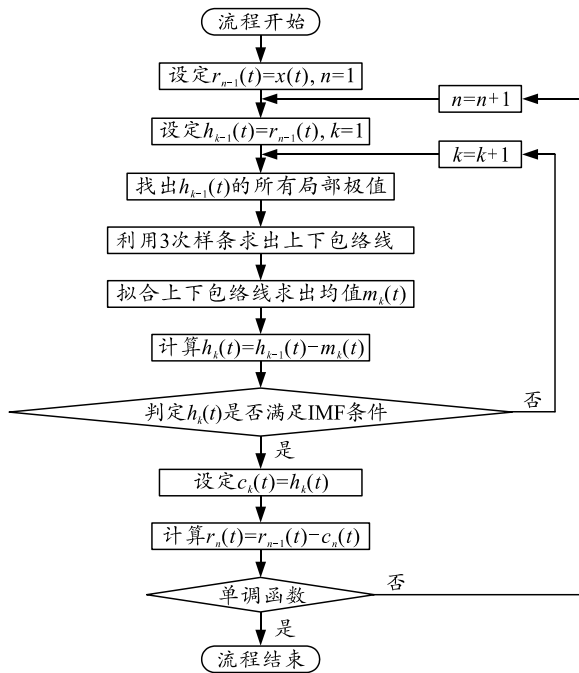


图 1 经验模态分解流程

2.3 算法实现

首先对初始信号进行小波降噪后，进行 EMD 得到本征函数，对本征函数组进行 Hilbert 包络谱分析^[5]，诊断流程如图 2 所示。

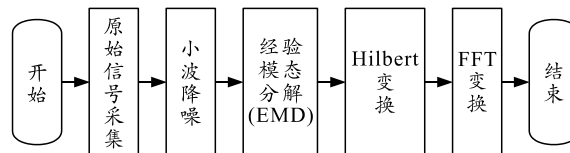


图 2 信号诊断流程

2.3.1 基于 Matlab 的小波降噪实现程序

小波降噪程序实现为：

```
z=load('G:\data\西储大学轴承数据中心网站\105.mat');
x1=z.X105_DE_time(1:4096);
N=4096;
fs=12000;
n=0:N-1;
t=n/fs;
f=n*fs/N;
[thr, sorh, keepapp]=ddencmp('den', 'wv', x1); /
小波降噪
```

```
xd=wdencomp('gbl', x1, 'db3', 2, thr, sorh, keepapp);
```

2.3.2 基于 LabVIEW 的 EMD 算法实现

1) 构造包络子 VI：利用原始数据的局部极大值和极小值，用 3 次样条曲线进行插值连接，分别得到极大值包络和极小值包络^[6]。具体实现如图 3 所示。

2) 局部均值计算：对每个时刻的局部极大值和极限值进行平均得到局部均值。

3) 本周模态函数计算：将原始数据减去局部均值得到 $h(t)$ ， $h(t)$ 是本征模态函数必须满足 2 个条件^[7]：

① 极值点和过零点的个数相等或相差不超过 1 个；

② 上下包络线平局值为 0。

4) 计算本征多项式：将原始数据分解为各本征模态函数和残差量之和^[8]。

5) 残差判定：小于预定的误差或者函数单调。

3 实验验证

为验证算法，实验借用了美国西储大学故障轴承实验数据^[9]。用电火花分别对轴承内圈、外圈进行单点损伤处理，可得到正常轴承、外圈缺陷、内圈缺陷 3 组振动信号数据。实验使用的轴承型号是

SKF 6205—2RS 深沟球轴承^[10]。

实验转速为 1 797 r/min，滚动体数量为 9 个，并在内、外圈上人为的制造了一个直径 0.177 8 mm，

深度 0.279 4 mm 的凹坑，以表征内圈或外圈故障。实验数据是在采样频率为 12 k，零负载情况下取得数据。轴承参数如表 1 所示。

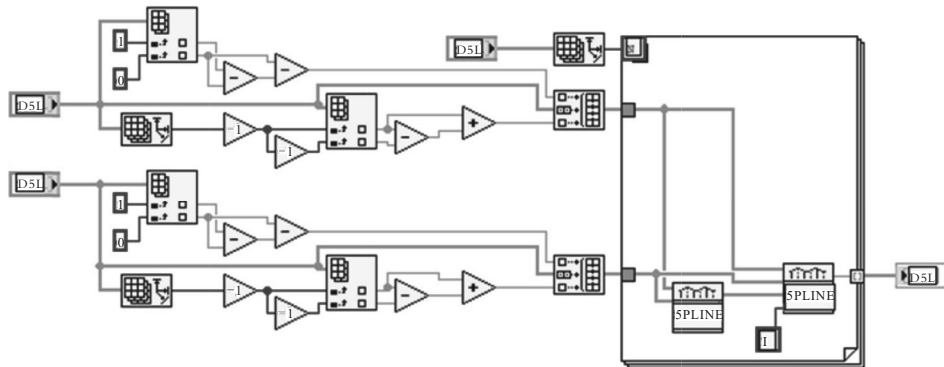


图 3 包络构造程序

表 1 6205—2RS JEM SKF 型轴承数据

内径/ mm	外径/ mm	滚动体 直径/mm	节径/ mm	接触角/ (°)	厚度/ mm
25	52	7.94	39.04	0	15

根据式(1)–(3)可计算出该轴承的故障频率如表 2 所示。

表 2 6205—2RS JEM SKF 型轴承故障频率 Hz

内圈	外圈	滚动体	保持架
162.2	107.4	141.2	15.5

1) 峭度指标分析。

分别对 3 组数据进行峭度指标计算，可得出图 4 数据，当轴承正常时，峭度指标小于 4；当轴承出现内圈或外圈故障时，峭度指标大于 4。利用峭度指标参数可对轴承进行定性分析，但无法判断故障点。

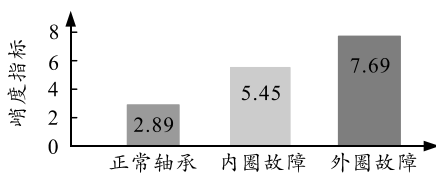


图 4 峭度指标计算结果

2) 共振解调分析。

正常轴承振动信号特征：从图 5、6 可以看出，正常状态下的波形没有冲击信号，主要频率分量集中在基频分量。

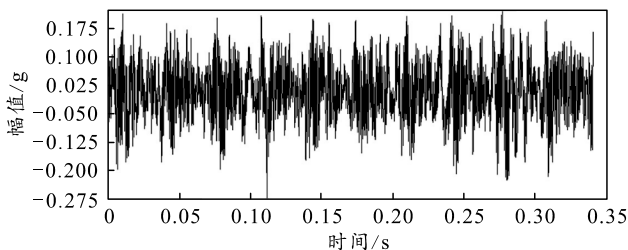


图 5 正常时域波形

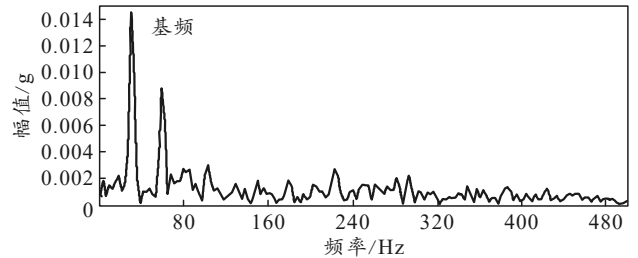


图 6 正常频域波形

故障轴承振动信号特征：从时域波形可以看出，故障状态下的滚动轴承，信号中存在大量的冲击信号。从图 7 和 8 中可以看出，故障轴承信号包含频率分量较多，特征频率分量较高。从图 9 和 10 中可以看出，在 107 和 162 Hz 处有明显的峰值，与表 2 轴承外圈故障频率 107.4 Hz 和内圈故障频率 162.2 Hz 十分接近，在允许误差范围内，该算法可有效提取轴承特征故障。

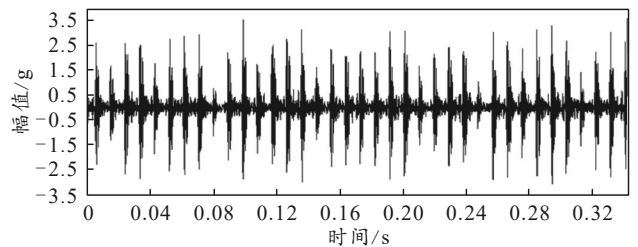


图 7 外圈故障时域波形

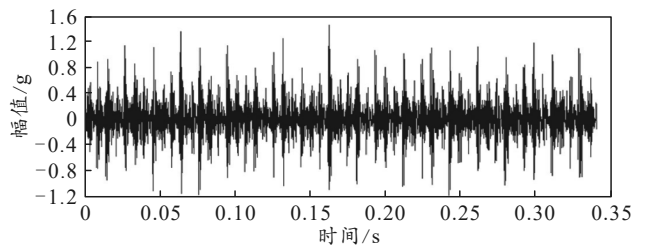


图 8 内圈故障时域波形