



文章编号:1671-251X(2013)10-0024-04

DOI:

马海龙,李臻,朱益军,等.基于差分振子的带式输送机故障诊断方法[J].工矿自动化,2013,39(10):24-27.

# 基于差分振子的带式输送机故障诊断方法

马海龙, 李臻, 朱益军, 陈思安

(天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

**摘要:**针对带式输送机运行状态信号微弱而不易提取故障特征的问题,提出了一种基于差分振子的带式输送机故障诊断方法。该方法采用 Hilbert 对信号进行解调,揭示隐含在信号中的设备故障特征,然后利用差分振子相图的变化实现对故障特征的提取。若信号中含有故障特征,则差分振子相图收敛于极环状态,反之则收敛于极点状态。应用结果验证了该方法的有效性。

**关键词:**带式输送机;故障诊断;差分振子;Hilbert 解调

中图分类号:TD528

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Fault diagnosis method of belt conveyor based on differential resonator

MA Hai-long, LI Zhen, ZHU Yi-jun, CHEN Si-an

(Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

**Abstract:** In view of problem that running state signal of belt conveyor is too weak to extract fault feature, a fault diagnosis method of belt conveyor based on differential resonator was proposed. The method uses Hilbert to demodulate the signal, so as to reveal equipment fault feature of the signal, then uses phase diagram of differential resonator to extract the fault feature. If the signal contains the fault feature, the phase diagram of differential resonator converges to a ring. On the contrary, the phase diagram converges to a pole. The application result verifies effectiveness of the method.

**Key words:** belt conveyor; fault diagnosis; differential resonator; Hilbert demodulation

## 0 引言

带式输送机状态监测与故障诊断的难点在于带式输送机运转时噪声大、载荷重、转速低,反映其运行状态的信号相对微弱,不易提取。差分振子方法是微弱信号特征提取方法之一,是一种可视化的检测方法,相图变化易于识别,理论水平要求低,易于被广大现场技术人员及工人掌握。目前,该方法已应用在电动机的匝间短路检测、连轧机在线监测与故障诊断等领域中。带式输送机的振动信号信噪比较低,即使在解调后依然不能清晰地表征出设备故

障特征。本文将差分振子方法与 Hilbert 解调方法有机结合,利用 Hilbert 解调对信号做预处理,然后应用差分振子对信号进行检测,通过差分振子相图状态的变化实现故障特征的提取。通过对带式输送机减速机的故障分析,验证了该方法的有效性。

## 1 差分振子基本原理

差分振子检测是一种可视化、图形化的检测方法,以差分方程为基础,输出相图的变化来反映设备的运行状态。差分振子检测系统的数学模型以二维离散系统来构造,其检测器的构造<sup>[1]</sup>如下:

收稿日期:2013-07-16。

基金项目:天地科技技术创新基金项目(KJ-2012-TDZC-01);天地(常州)自动化股份有限公司科研合作项目(2012M156)。

作者简介:马海龙(1981—),男,辽宁鞍山人,工程师,硕士,主要从事旋转机械设备故障诊断方面的工作,E-mail:mhl-dragon@163.com。

$$x_{k+1} = ax_k + by_k \quad (1)$$

$$y_{k+1} = cx_k + dy_k + p \cos\left(2\pi f_c k + \frac{2\pi f_d k}{f_s}\right) T(k) \quad (2)$$

式中:  $a, b, c, d$  为差分振子的系统参数;  $p$  为放大倍数;  $f_c$  为系统激励频率;  $f_d$  为待检测频率;  $f_s$  为输入信号的采样频率;  $T(k)$  为输入信号序列,  $k = 1, 2, \dots, N, N$  为输入信号长度。

系统的固有频率为<sup>[2]</sup>

$$\omega_0 = \arccos\left[-\frac{\alpha(1+\beta)}{4\beta}\right] \quad (3)$$

且满足

$$\left|\frac{\alpha(1+\beta)}{4\beta}\right| < 1 \quad (4)$$

式中:  $\alpha = -(a+d)$ ;  $\beta = ad - bc$ ,  $\beta > 0$ 。

差分振子检测利用图形的变化来对信号进行特征提取。将待检测信号输入差分振子中, 观察差分振子相图的变化, 如果差分振子相图收敛于极环状态, 则表明待检测信号中含有故障特征频率。若差分振子相图收敛于极点状态, 则表明待检测信号中不含有故障特征频率, 说明设备运行状态正常<sup>[3]</sup>。利用差分振子检测现场采集到的一个信号, 在信号中含有 50 Hz 的频率成分及噪声, 其时域波形如图 1 所示。

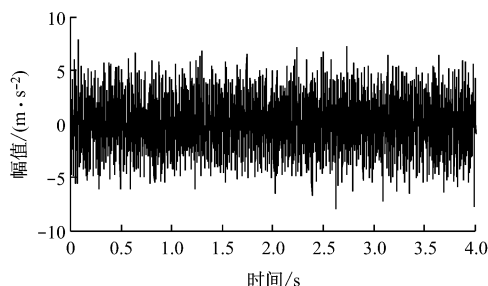


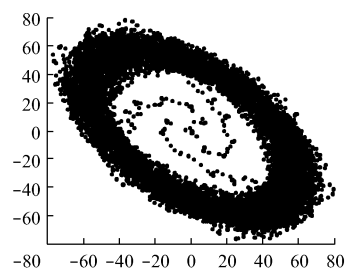
图 1 现场实测信号时域波形

利用差分振子对采集到的信号进行检测。若检测频率为 50 Hz, 则差分振子相图收敛于极环状态, 如图 2(a) 所示; 若检测频率不是 50 Hz (如检测频率为 55 Hz), 则差分振子相图收敛于极点状态, 如图 2(b) 所示。

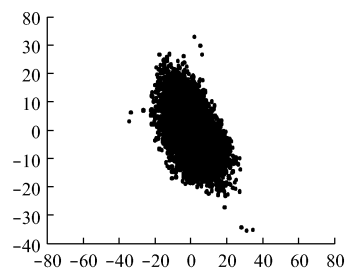
从图 2 可看出, 利用差分振子输出相图的变化可有效检测出信号中所含的故障特征频率。

## 2 Hilbert 解调基本原理

带式输送机在运行时, 引起其振动的激励是多方面的, 如胶带对滚筒产生的拍打现象, 滚筒支撑轴承的缺陷所引起的振动, 不对中所引起的振动等。



(a) 差分振子相图收敛于极环状态



(b) 差分振子相图收敛于极点状态

图 2 不同状态下的差分振子相图

这些激励相互影响, 形成复杂的调制现象。因此, 当带式输送机出现故障时, 其故障特征是被调制的。Hilbert 解调是提取调制信号故障特征的有效工具, 可有效识别出信号中的冲击特征, 从而找到冲击振动的振源, 进而确定设备的故障部位<sup>[4]</sup>。Hilbert 解调的基本原理<sup>[5-6]</sup>如下所述。

首先, 令一个实信号  $x(t)$  产生一个  $90^\circ$  的相移, 从而与原信号构成一个解析信号。  $x(t)$  的 Hilbert 解调定义为

$$x_h(t) = H[x(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (5)$$

则解析信号  $g(t)$  的表达式为

$$g(t) = x(t) + jx_h(t) = A(t) \exp(j\Phi(t)) \quad (6)$$

解析信号  $g(t)$  的幅值  $A(t)$  与相位  $\Phi(t)$  分别为

$$A(t) = \sqrt{x^2(t) + x_h^2(t)} \quad (7)$$

$$\Phi(t) = \arctan \frac{x_h(t)}{x(t)} \quad (8)$$

对  $A(t)$  进行傅里叶变换就可以得到信号解调后的频谱。

## 3 差分振子在带式输送机故障诊断中的应用

2012 年 6 月, 某矿带式输送机在线监测与故障诊断系统监测到主井带式输送机的一次二号减速机的多个测点的历史趋势出现了不同程度的跃变, 振动值超标报警, 但是该系统并没有给出设备故障部位和故障类型等相关信息。因此, 笔者对该减速机进行了全面的健康状态分析。该减速机共布置 5 个振动传感器, 如图 3 所示。

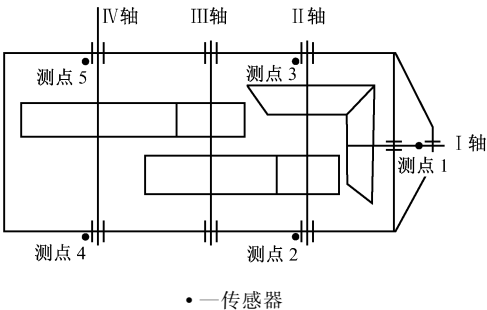


图 3 一次二号减速机传感器分布

因测点 1、测点 2、测点 3、测点 5 出现不同程度的振动值超标报警现象,对以上测点所采集到的数据进行分析,其时域波形如图 4 所示。

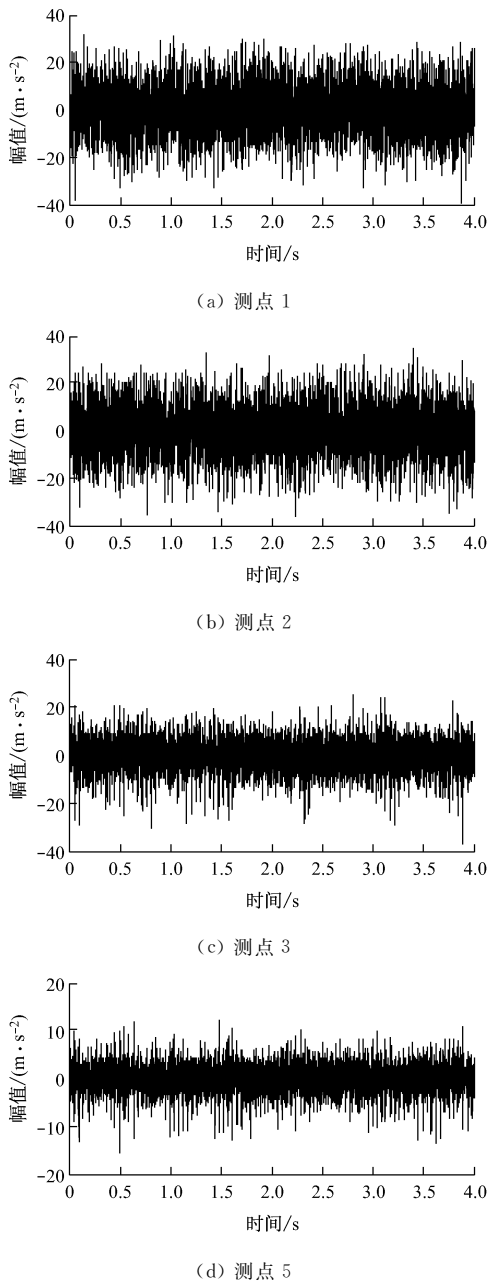


图 4 不同测点的时域波形

通过时域特征指标进一步检测该减速机健康状态。测点 1、测点 2、测点 3、测点 5 的时域特征指标见表 1。

| 表 1 测点相关数据的时域特征指标 |          |         |          |          |
|-------------------|----------|---------|----------|----------|
| 时域特征指标            | 测点 1     | 测点 2    | 测点 3     | 测点 5     |
| 峭度                | 3.044 7  | 3.094 9 | 4.065 3  | 3.146 9  |
| 歪度                | -0.039 2 | 0.068 1 | -0.323 1 | -0.091 9 |
| 均方根               | 9.750 5  | 6.173 5 | 6.353 4  | 4.378 5  |
| 峰度                | 3.293 0  | 3.849 3 | 4.045 6  | 3.411 6  |

从图 4 可看出,测点 1、测点 2、测点 3 的振动幅值较测点 5 偏大;从表 1 可看出,测点 3 的峭度、歪度及峰度指标均超出了正常值的范围(设备正常运行,峭度值一般小于 3.5,歪度值的绝对值一般小于 0.1),说明测点 3 处出现了明显的轴承或齿轮故障征兆,具体的故障部位及故障类型通过频域特征分析可以确定。而测点 1 和测点 2 时域指标均在正常值范围内,说明测点 1 和测点 2 在时域中无故障特征表现。

限于篇幅,仅对测点 3 的数据进行分析。主斜井带式输送机的胶带速度为 3.5 m/s;齿轮传动比为 25.48,Ⅲ轴的支撑轴承内圈故障特征频率为 22 Hz,外圈故障频率为 14 Hz,滚动体故障特征频率为 6 Hz;Ⅱ轴、Ⅲ轴的齿轮啮合频率为 170 Hz,Ⅲ轴的转频为 2.47 Hz。应用 Hilbert 解调与差分振子相结合的方法对测点 3 的数据进行分析,其差分振子相图如图 5 所示。

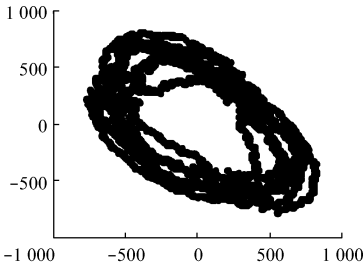


图 5 测点 3 信号的差分振子相图

差分振子的检测频率为 22 Hz 时,差分振子输出相图呈现极环状态,与Ⅲ轴的支撑轴承内圈故障频率相符,说明该轴承内圈出现缺陷,并引起了减速机振动值的增大。2012 年 7 月 6 日更换了该减速机,事后确认为Ⅲ轴的支撑轴承内圈故障,验证了差分振子检测方法的有效性。

4 结语

带式输送机的振动是由多种激励源相互作用而

产生的调制信号。基于差分振子的带式输送机故障诊断方法采用 Hilbert 对信号进行解调预处理,揭示隐含在信号中的设备故障特征,然后利用差分振子相图的变化实现对设备故障特征的提取。通过对带式输送机减速机的故障分析,成功地诊断出该减速机Ⅲ轴的支撑轴承内圈故障,验证了该方法的有效性。

参考文献:

[1] 胥永刚,马海龙,付胜,等. 机电设备早期故障微弱信号的非线性检测方法及工程应用[J]. 振动工程学报, 2011,24(5):529-538.

[2] 马海龙. 复杂机电设备微弱特征提取与早期故障诊断方法研究[D]. 北京:北京工业大学,2011.

[3] 胥永刚,马海龙,冯明时,等. 基于差分振子的轴承早期故障可视化检测[J]. 北京工业大学学报:2012,38(7): 980-987.

[4] 王聪. 基于 Hilbert 解调及倒谱的齿轮箱点蚀故障诊断研究[J]. 电力科学与工程,2011,27(3):36-40.

[5] 马波,魏强,徐春林,等. 基于 Hilbert 变换的包络分析及其在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 北京化工大学学报,2004,31(6):95-97.

[6] 孔亚林. 基于振动信号的滚动和承故障诊断方法研究[D]. 大连:大连理工大学,2005.