

基于振动信号分析的乳化器故障诊断系统

王越胜, 刘建凡, 吕德衍

(杭州电子科技大学 自动化研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为了提高对乳化器故障的及时而准确的诊断, 首次提出了基于小波包分析理论处理振动信号的乳化器故障诊断系统。根据粉状乳化炸药生产线上乳化器的结构特征, 并分析当其发生不同故障时所产生的不同振动频率特征, 基于小波包分析理论, 设计了由工业控制计算机 (IPC)、可编程控制器 (PLC)、信号调理器及振动传感器等组成的乳化器故障诊断系统。并结合 SQL Server、VB 和 Matlab 等开发工具实现该故障诊断系统。测试结果表明, 该系统具有可靠的诊断功能和可观的经济价值。

关键词: 乳化器; 故障诊断系统; 振动信号分析; 小波包分析

中图分类号: TH825; TD235. 21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)10-0051-04

Emulsifier fault diagnostic system based on vibration signal analyzing

WANG Yue-sheng, LIU Jian-fan, LV De-yan

(Academy of Automatization, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at improving the accurate and timeliness of emulsifier fault diagnosis, at first a fault diagnosis system of emulsifier based on vibration signal analyzing by wavelet packet analyzing was proposed. According to the structure character of emulsifier in the production line of powdered emulsion explosives, an emulsifier fault diagnostic system has been designed which including industrial personal computer (IPC), programmable logic controller (PLC), signal conditioning instruments and transducers of vibration signal. And with the utilization of development tools like SQL Serve, VB, and Matlab, an emulsifier fault diagnostic system was realized finally. The test results indicate that the system has a reliable diagnosis and considerable economic value.

Key words: emulsifier; fault diagnostic system; vibration signal analyzing; wavelet packet analyzing

0 引 言

在粉状乳化炸药生产过程中, 乳化器是一个严重的危险源。若乳化器发生故障且不能及时处理, 将严重影响乳胶基质的质量, 同时极有可能因机械设备之间剧烈摩擦而产生高温、挤压、碰撞, 从而导致爆炸, 造成重大安全事故。近年来共发生了 10 起(粉状)乳化炸药生产车间爆炸事故, 其中乳化器爆炸 7 起, 螺杆泵引起爆炸 2 起, 人为破坏 1 起, 从 1996 年至今所发生的 5 起爆炸事故, 全部为连续乳化器的爆炸^[1]。对乳化器进行故障诊断, 并找出预防措施, 这对乳化炸药的安全生产有着重要意义。随着数学理论的发展、分析方法的发展和工程应用方面的发展, 机械结构的振动

信号分析的新理论、新技术、新方法不断出现, 为机械设备状态监测与故障诊断提供了一种崭新的解决方案^[2]。大量的生产实践经验表明, 机械设备的振动与其运动状态之间有着密切的关系, 这为振动技术用于设备的故障诊断提供了可能性。

本设计基于小波包分析理论, 通过对振动信号的分析及应用, 设计粉状乳化炸药生产线上乳化器故障诊断系统。

1 乳化器故障特征研究及分析方法选择

1.1 乳化器的故障特征

本设计中粉状乳化炸药生产线所采用的是上海化

工装备研究所民爆器材研究部提供的 SRF200-2WS 型号的卧式乳化机。其主要技术参数如表 1 所示。

表 1 SRF200-2WS 型号乳化器主要技术参数

电机功率	18.5 kW	转速	960 ~ 1 470 r · min ⁻¹ (可调)
线速度	9.3 ~ 15 m · s ⁻¹	通过流量	2 ~ 7 t · h ⁻¹
有效容积	≤ 5 L	夹套工作压力	≤ 0.3 MPa
轴向间隙	3 mm	单边径向间隙	6.5 mm

针对乳化器的结构,重点研究了转子不平衡故障、转子不对中故障及轴承故障的特征。转子不平衡故障主要引起轴承或转子的径向振动,其转速频率成分具有突出的峰值,且具有较低的轴向振动。转子不对中故障主要引起径向振动,振幅大的方向就是原始不对中方向。角度不对中主要引起轴向振动,对于刚性联轴节,轴向振幅要大于径向振幅。其幅值相位谱中 2 倍频所占比例大,相位是基频的 2 倍,轴向振动的幅值和相位相对稳定^[3]。轴承的振动幅值随转子负荷的增大而增高。滚动轴承不同类型的故障会引起轴承系统不同性质的特征振动,按照振动信号的不同,滚动轴承故障可以划分为以下形式^[4-7],如表 2 所示。

表 2 滚动轴承异常振动特征

故障原因	特征频率
轴承元件的变力变形引起的振动	zf_c
滚动体直径不一致引起的振动	$nf_c \pm f_r$
旋转轴弯曲引起的振动	$zf_c \pm f_r$
外环有缺陷时的振动	nf_i
滚动体有缺陷时的振动	nf_b
外环波纹引发的振动	nf_c

其中的参数为:主轴频率 f_r ,滚动体频率 f_b ,外圈频率 f_i ,内圈频率 f_c , Z 为滚动体数目。

1.2 振动信号分析方法选择

时域波形分析通常是最直观的诊断方法,对于某些有明显特征的故障,可以利用时域波形作初步和直观的判断。频域分析是目前故障诊断应用中最广泛的一种信号分析方法,它可以分析幅值随频率的分布和信号能量,根据这些分布的情况,就可知道齿轮、滚动轴承哪一部分出现了故障。但若直接对包含故障冲击的振动信号进行时域、频域分析来诊断轴承故障,就可能出现虽已发生故障,但时域、频域谱图上反映不出来的现象,共振解调技术和小波分析技术可以弥补时域、频域分析技术的不足,很好的诊断出早期齿轮、滚动轴承等设备的微弱故障信号^[8-9]。

小波包分析^[10-12]是从小波分析延伸出来的一种对信号进行更加细致的分析与重构的方法。它可以得到信号在任何一个频率段上的成分,而通常的滤波方法,在滤波器系数选定所能获得的频率成分是固定的,

即只能得到信号在某一频率段上的成分。而且小波包分解时正交分解,对信号的分解和重构即无冗余,又无泄漏。信号的信息量是完整的,而常规的滤波方法,所得到的信号信息量通常是不完整的。

小波包分析能够为信号提供一种更加精细的分析方法,它将频带进行多层次划分,对多分辨分析没有细分的高频部分进一步分解,并能够根据被分析信号的特征,自适应地选择相应频带,使之与信号频谱相匹配,从而提高了时-频分辨率,因此小波包分析具有更广泛的应用价值。三层分解的小波包分解树结构如图 1 所示,在图中, A 表示低频, D 表示高频,末尾的序号数表示小波包分解的层数(即尺度数),分解的关系为:

$$S = AAA_3 + DAA_3 + ADA_3 + DDA_3 + AAD_3 + DAD_3 + ADD_3 + DDD_3$$

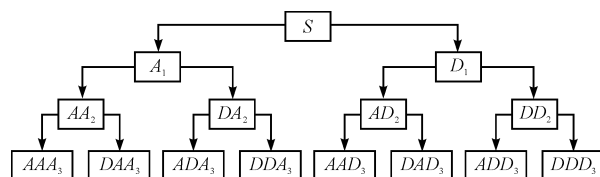


图 1 小波包分解树结构

基于小波包分析在乳化器故障诊断中的优越性,本研究最终选用小波包算法对乳化器故障的振动信号进行分解重构以找出故障点。

2 振动故障诊断系统硬件设计

2.1 振动故障诊断系统结构设计

本设计的基本思路为:用振动传感器采集乳化器的振动幅值信号,经信号调理器进行信号调理,通过 PLC 信号处理输入到工控机组态软件中,并通过 DDE 数据动态交换,将振动信号导入到故障诊断系统中,在虚拟仪器平台开发的软件中对乳化器的振动信号进行分析处理,以达到在线监测和故障诊断的目的。系统结构示意图如图 2 所示。

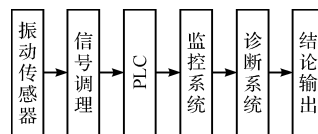


图 2 系统结构示意图

2.2 硬件的选型

(1) 传感器的选择:本设计选择 S2300 型号的防腐蚀电涡流振动位移传感器。它具有灵敏度高、频响范围宽、测量范围大、抗干扰能力强、不受介质影响等优点。

(2) 调理器的选择:本设计选择了 LC02 系列信号调理器,具有偏置电压调零,增益,高、低通滤波,灵敏度适调,积分等功能。抗干扰性强,噪声小,精度高,价格低。

(3) 上位机设备选型:本系统为实时、在线振动监测的故障诊断系统,上位机选用研华工控机,安装有监控软件(Kingview 6.5)。

(4) 下位机设备选型:根据对乳化器 I/O 点数的统计分析,结合系统以后某些生产工艺局部变动的需要,PLC 选择三菱 FX2N-32MR 及 FX2N-4AD 模块。它们主要负责整个监测部分的任务,一方面对乳化器的振动信号进行采集,另一方面对采集的信号用数字信号处理技术进行变换,最后上传到上位机中。

3 乳化器故障诊断系统的实现

本系统结合 VB 和 Matlab 各自的优点,对 VB 和 Matlab 进行混合编程,在 VB 下通过 ActiveX 自动化接口可将 Matlab 作为 Visual Basic 语言的一个 ActiveX 部件调用,利用 VB 提取系统的故障征兆转化为小波分析的输入,在后台启动 Matlab 进程,通过引擎 API 函数与其进行交互,并调用 Matlab 小波分析工具箱函数来进行小波包仿真,利用 VB 完成系统界面的开发,并结合 SQL Server2000 在 Window xp 操作系统下开发实现故障诊断的系统。系统的主界面如图 3 所示。

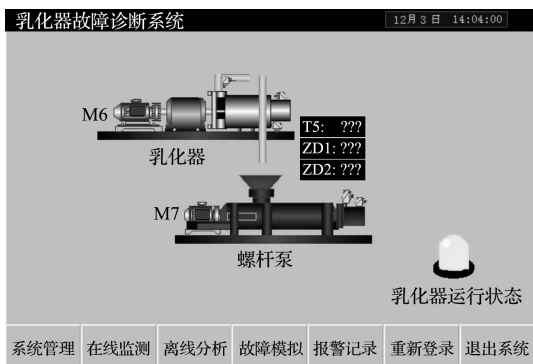


图 3 故障诊断系统主界面

要实现对乳化器的故障诊断,必须采集乳化器的实时状态数据,考虑到生产线监控系统上位机监控软件组态王已经建立了与 PLC 和传感器的实时通讯,所以只要把组态王中的实时数据共享,让故障诊断系统访问到它们即可。而“组态王”支持动态数据交换(DDE),能够和其他支持动态数据交换的应用程序方便地交换数据,实现数据的共享。整个乳化器故障诊断系统诊断过程如图 4 所示。

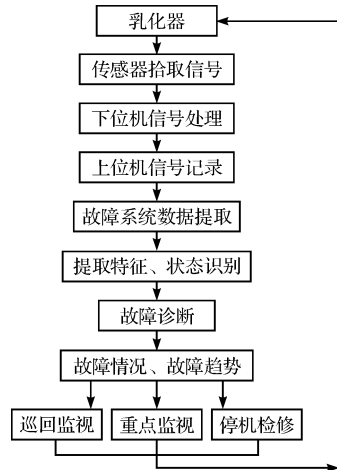


图 4 乳化器故障诊断流程图

4 故障诊断功能测试

以径向振动信号分析为例,点击离线分析按钮进入离线分析状态,如图 5 所示。

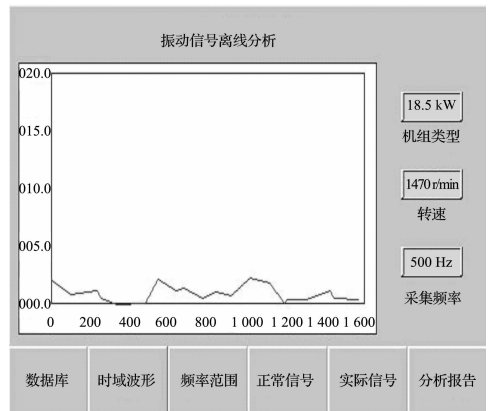


图 5 离线分析界面

第一步:点击数据库按钮选择数据采样点数量,本系统中提取 1 600 个数据点用于振动信号分析。

第二步:点击时域波形按钮,选择径向振动或轴向振动,绘制振动信号时域波形图。乳化器径向振动时域波形如图 6 所示。

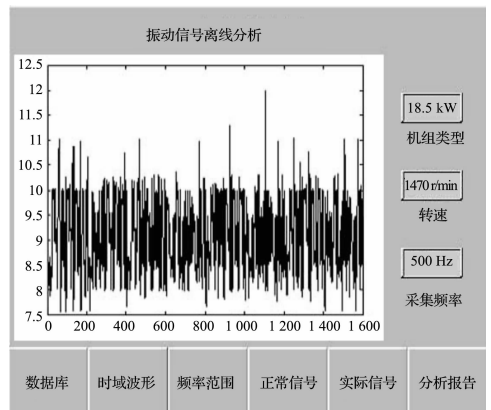


图 6 径向时域波形图

第三步:点击频率范围按钮进行频率分解。由于诊断对象乳化器 SRF200-2WS 的转速为 960 ~ 1 470 r/min (变频调速),根据公式 $f = n/60$,得出它的工作频率为 16 ~ 24.5 Hz (f 为主轴频率)。本系统中,乳化器振动信号采集的频率为 500 Hz。现用小波包对振动信号进行 4 层分解。根据小波包分解原理,频率段分为 [0,31.25]、[31.25,62.5]、[62.5,93.75]、[93.75,125]、[125,156.25]、[156.25,187.5]、[187.5,218.5]、[218.5,250]、[250,281.25]、[281.25,312.5]、[312.5,343.75]、[343.75,375]、[375,406.5]、[406.5,437.5]、[437.5,468.75]、[468.75,500] (单位:Hz,共 16 个频率段)。在波形分析时,首先选择频率段,进行相应分析,根据前面对乳化器不同故障对应不同特征频率的分析,通过对比即可找出对应频率段故障情况。如图 7 所示选取 [218.5,250] 频率段。



图 7 频率段选择对话框

第四步:正常信号按钮是用于显示乳化器正常运行波形情况,用来与乳化器异常情况下运行曲线对比,使工作人员能够比较直观的观察乳化器运行状态。实际信号按钮是用来显示当前乳化器实际运行波形情况。在乳化器故障诊断系统中,当乳化器振动不超过 11.5 mm/s 时是正常情况,当乳化器振动连续超过 11.5 mm/s 一定时间时,系统在报警的同时停止乳化器运行,同时分析故障原因,找出故障点。

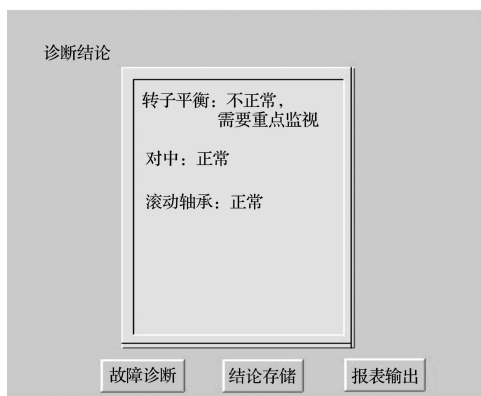


图 8 诊断结论界面

第五步:故障诊断,给出诊断结论。根据振幅峰值及波动范围对比来判断故障并分析故障发展趋势。诊断结论如图 8 所示。

5 结束语

本设计以振动信号监测故障诊断技术为研究主题,以乳化器为研究对象,是浙江某化工有限公司与杭州电子科技大学的横向合作项目“粉状乳化炸药生产线控制系统设计”的重要内容之一。该设计通过调研生产线乳化器振动的频率特征,开发了基于振动信号分析的故障诊断系统。测试结果表明,基于振动信号分析的乳化器故障诊断系统具有较强的故障诊断能力,可有效防止重大事故的发生,为将来乳化器安全监测和故障诊断的发展方向提供了较为实用的参考价值。本设计的下一步工作是,进一步对故障诊断系统的信号采集、实时性及标准性进行研究,以提高诊断系统的整体性能。

参考文献 (References):

- [1] 杨 桐. 从乳化炸药六起事故中吸取教训[J]. 爆破器材, 1995, 24(4): 23 - 26.
- [2] HUANG N E. A new view of nonlinear waves; the Hilbert spectrum[J]. **Annual Review of Fluid Mechanics**, 1999 (31): 417 - 457.
- [3] 褚福磊, 李贵三, 张正松. 旋转机械常见故障的振动三维谱特征及其识别[J]. 清华大学学报, 1996, 36(3): 89 - 92.
- [4] MECHEFSKE C K. Objective machinery fault diagnosis using fuzzy logic[J]. **Mechanical Systems and Signal Processing**, 1998, 12(6): 855 - 862.
- [5] 郁有文, 常 健, 程继红. 传感器原理及工程应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- [6] 高永强. 旋转机械故障机理的研究[J]. 机床与液压, 2007, 35(8): 237 - 239.
- [7] 张建中. 旋转机械常见典型故障机理与特征分析[J]. 广西轻工业, 2008, 23(7): 32 - 34.
- [8] 孔亚林. 基于振动信号的滚动轴承故障诊断的方法研究[D]. 大连: 大连理工大学机械工程学院, 2005.
- [9] HUANG N E. A new view of nonlinear waves; the Hilbert spectrum[J]. **Annual Review of Fluid Mechanics**, 1999, 31(5): 417 - 457.
- [10] 赵 婷. 基于小波分析的机械振动故障分析[D]. 沈阳: 沈阳工业大学机械工程学院, 2008.
- [11] 刘欣平, 张杏娟, 杨艳霞. 提外小波变换在振动信号去噪中的应用[J]. 机械, 2009, 36(1): 8 - 10.
- [12] 赵协广, 戴 炬. 基于小波包能量法的冲击脉冲信号检测[J]. 机电工程技术, 2009, 38(5): 24 - 25.