

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.05.017

带锯床锯切负载检测系统研制

倪 敬¹, 汤海天¹, 刘湘琪², 刘晓晨¹

(1. 杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:针对金属带锯床对锯切高精度、高效率等方面提出的要求,设计了一种带锯床锯切负载检测系统,提出了一种基于粗糙集数据分析方法(RSDA)的专家系统智能识别策略。该系统实时采集带锯锯切振动信号,经信号处理模块提取特征值,专家系统将提取的特征值暂存于数据库,经过诊断模型的对比分析,对锯切负载进行识别。研究表明,该锯切负载检测系统具有识别准确率高、响应速度快等特点,其检测精度可以达到负载检测量程的 1‰,可以较好地满足带锯床锯切负载在线识别的需要。

关键词:粗糙集数据分析;带锯床;锯切负载;专家系统

中图分类号:TH39;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)05-0620-04

Design of band saw cutting load testing system

NI Jing¹, TANG Hai-tian¹, LIU Xiang-qi², LIU Xiao-chen¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hanzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Mechanical Engineering and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the requirement of cutting precision and efficiency of metal band sawing machine, a sawing load detection system of band sawing machine was designed, a expert system intelligent recognition strategy based on rough set data analysis(RSDA) was proposed. Cutting vibration signal was real-time collected by this system, the eigenvalue which was extracted by signal processing part was stored in database of expert system, cutting load was recognized through the comparative analysis of diagnostic model. The results indicate that, the cutting load detection system has characteristics of high recognition rate and fast response, the detection precision can reach one thousandth of load testing range. This system can meet the needs of on-line identification of band saw cutting load.

Key words: rough set data analysis(RSDA); band sawing machine; sawing load; expert system

0 引 言

金属带锯床是一种下料工序主要设备,以其锯切精度高、锯缝小,具有高效节能等特点,被广泛应用于钢铁、机械、汽车、船舶、石油和航空航天等行业^[1]。在实际锯切加工生产中,随着加工工件截面积无序变化、加工工件材质硬度突变、锯齿齿刃磨损等复杂工况的出现,金属带锯条锯切负载参数会相应产生变化^[2],对后续工艺的加工精度、加工效率有着较大的影响。

目前,针对机床在线检测开展了相关研究,如某专利(专利号为 CN101135899)公开了一种精密数控机床在线检测系统,该系统采用点对多点无线串口通讯

方式,可实时检测数控机床工作状态,能在一定程度上对数控机床进行误差补偿,提高机床工作精度^[3]。但该系统缺乏连续分析大量颤振信号的能力,无法应用于复杂工况的工作环境,无法对工作状况进行智能决策及分析,因此,并不适用于基于金属带锯条颤振特性的锯切负载检测要求。针对注水机组振动状态开展的相关研究,如某专利(专利号为 CN201010102851.9)公开了一种注水机组振动状态的点检方法及检测装置。该装置可以较为全面地针对机床运行过程中的状况进行比对分析,基于数据库信号管理处理也提高了检测系统的自适应能力^[4]。但这种装置成本较高,且采用声学信号进行比对,主观判断成分较大,不利于客观分析。

收稿日期:2013-12-03

作者简介:倪 敬(1979-),男,浙江金华人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事电液伺服控制技术、带锯锯切技术方面的研究。E-mail:nj2000@hdu.edu.cn

因此,针对以上不足,本研究根据金属带锯床锯切的高精度、高效率等要求设计带锯床锯切负载检测系统。

1 工艺原理分析与性能指标

1.1 系统工作原理

带锯床锯切负载检测系统如图1所示。它主要由电涡流传感器模块、信号采集模块、信号处理模块、智能决策模块组成。其中,电涡流传感器模块由电涡流传感器和安装支架组成,该模块的作用是测定带锯工作时工件两侧锯切产生的带锯颤振偏移量;信号采集模块由前置放大器、转换板、数据采集卡组成,它采用转换板及采集卡,包含了高速 A/D 转换、数字输入输出等功能;信号处理模块及智能决策模块均通过 C++ Builder 编程集成于工控机内,可以对采集卡所采集的带锯颤振偏移量信号进行信号处理,并基于故障诊断学中的专家系统理论,参考基于知识库的诊断模型,对处理结果进行基于粗糙集的逻辑推理,实时检测金属带锯床锯切负载变化。

带锯床锯切负载检测系统工作原理为:由电涡流传感器采集的带锯锯切的振动信号,经过前置放大器进行信号放大,放大后的信号经转换板及数据采集卡进行 A/D 转换,转换后的数据通过 PCI 接口传输至工控机内进行数字信号处理提取特征值,并通过专家系统对锯切负载进行智能识别。

1.2 主要性能指标和参数

主要性能指标和参数如下:

- (1) 振动测量精度为 $< \pm 2 \text{ mm}$;
- (2) 负载检测识别范围为 $200 \text{ N} \sim 2\,000 \text{ N}$;
- (3) 振动采集频率范围为 $0 \sim 1\,000 \text{ Hz}$;
- (4) 锯切进给速度为 0.2 mm/s 。

2 机械系统设计

根据带锯床锯切性能和工作要求,本研究设计的带锯切负载检测的机械部分如图1所示。主要包括传感器安装支架和固定螺栓。该机械装置与带锯床机构装配简单,对实际的锯切加工影响较小。

如图1所示,电涡流传感器的探头固定安装在支架上,安装支架通过螺栓固定于金属带锯床的导向装置上。在进行锯切检测时,系统调节传感器安装支架的伸展姿态,使得电涡流传感器的探头垂直正对于金属带锯条的锯带部分。当带锯工作时,带锯条会产生基于平衡位置的横向颤振偏移,其偏移值的大小经由电涡流传感器转换为电流信号变化量,提供系统进一步分析处理。

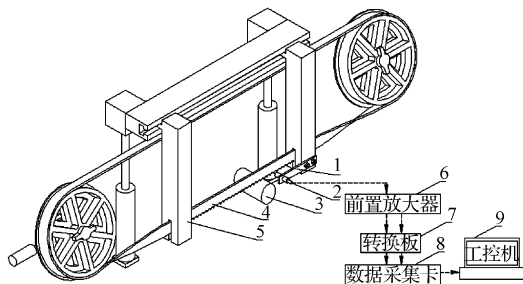


图1 带锯切负载检测系统示意图

1—传感器安装支架;2—电涡流传感器;3—工件;4—带锯条;5—导向装置;6—前置放大器;7—转换板;8—数据采集卡;9—工控机

3 电气系统设计

3.1 电气系统原理介绍

电气系统原理如图2所示,主要包括模拟量输入模块、信号放大模块、A/D 转换模块、高速计数器模块及 FIFO 模块。电涡流传感器检测带锯条颤振偏移后,输出模拟(电流)信号至前置放大器的信号输入端口,前置放大器的信号输出端口与转换板模块的模拟量输入端口相连,具体连接方式为单端连接。输入转换板模块的模拟信号通过外接电缆直接传输至采集卡,进行模拟信号的高速 A/D 转换,转换后的数据通过 PCI 接口传输至工控机内。

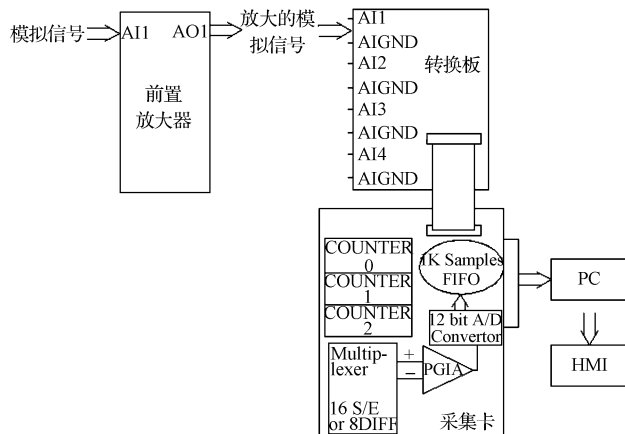


图2 电气系统原理图

3.2 硬件选型与设计

本研究选取电气元件如下:

- (1) 数据采集卡设计与选型数据采集卡采用研华 PCI-1716L,并选择 PCLD-8710 接线端子模块。
- (2) 监控计算机设计与选型工控机采用研华 IPC-610MB-L。
- (3) 传感器设计与选型传感器采用 TR81 系列电涡流传感器。

3.3 电控软件系统设计

3.3.1 原理介绍

带锯锯切负载检测软件的具体工作原理如图 3 所示,经信号采集模块 A/D 转换后,输出数字信号值 $x(t)$ 至信号处理模块,为了便于分析计算,将转换采样后信号的时间序列截取有限长的一段进行计算,其余部分视为零不予分析,即采用窗函数 $w(t)$ 去乘采样信号(时间序列), $x(t) \cdot w(t)$,其频谱函数为 $[X(f) \cdot W(f)]$ 。然后采用快速傅里叶变换算法(FFT),将离散的时间序列 $x(t) \cdot w(t)$ 变换成离散频率序列,输出结果 $X(f)_p = [X(f) \cdot W(f)] \cdot D(f)$ [5]。随后应用相关性分析提取带锯振动特征值,即应用自相关函数区别周期函数,衰减宽带随机噪声,并可确定周期因素的频率,由此测得带锯同一点的固定频率随时间及工况变化而发生的相应关系。

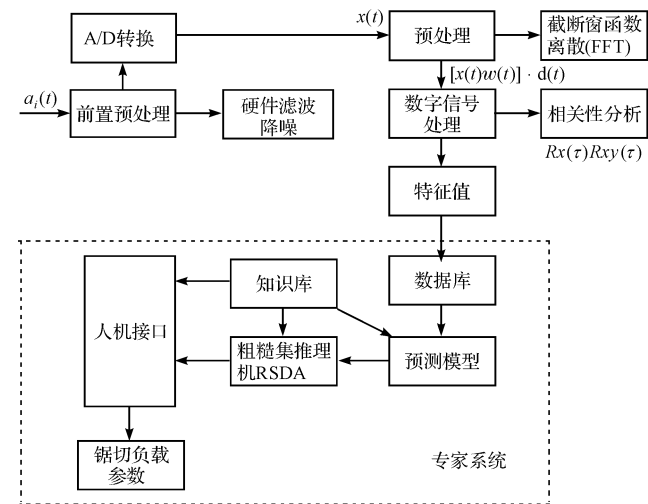


图 3 锯切负载识别原理图

本研究提取的带锯振动特征值输入到专家系统中,经过专家系统进行智能识别,能够对锯切工况进行在线智能决策。专家系统由数据库、知识库、粗糙集推理机、人机接口及预测模型组成。知识库是专家系统中的专家知识、经验与书本知识、常识的存储器^[6],可以通过软件的专家系统知识库模块,将带锯的运行颤振曲线簇及相关频谱分析信息作为专家知识导入知识库;数据库是专家系统中用于存放反映系统当前状态的事实数据的场所,经数字信号处理提取的特征值作为系统的输入信息,暂存于数据库中;预测模型能够根据当前数据库的数据,利用知识库中的知识,按一定的推理策略进行对比分析,提出问题的分类。此时系统提出的问题分类是比较繁杂的,有一些只是存在于理论情况中。因此,基于实际系统,需要经过粗糙集(RSDA)对问题分类进行约简。

粗糙集推理机工作原理图如图 4 所示,粗糙集(RSDA)是一种分析数据之间相关性和依赖性的一种符号方法,利用 RSDA 从数据中提取规则、寻找关键属性和属性值,进行预测和决策^[7-10]。由于规则的产生完全从数据驱动,基于粗糙集推理机的专家系统具有自学习、自诊断的功能。

粗糙集推理机主要实现过程如下:

- (1)数据的离散化处理。即对连续的输入变量进行适当的区间划分。
- (2)基于粗糙集的数据分析。采用二值化数据方法^[11]对数据进行过滤,并得到简化的规则和重要的属性值。
- (3)模糊变量辨识和优化划分。
- (4)综合决策。对经过一系列处理的输入变量进行综合决策,输出综合决策结果。

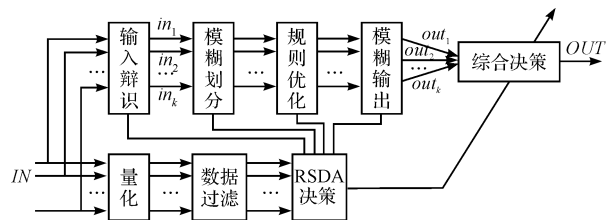


图 4 粗糙集推理机工作原理图

经过专家系统的诊断和决策,最终通过软件的锯切监控模块,输出带锯锯切的参数及当前的锯切工况,并通过锯切负载曲线模块,将当前的锯切负载值以曲线的形式实时显示出来。

3.3.2 具体软件设计

带锯锯切负载检测系统的软件采用 Borland C++ Builder 6.0 编写,主要完成对带锯锯切负载系统进行信号处理及智能识别工作,其主要界面如图 5 所示,主要包括以下几个模块:

- (1)专家系统知识库。能够导入导出带锯锯切的运行颤振曲线簇及相关频谱分析信息。
- (2)历史数据模块。能够保存和读取带锯锯切的历史数据。
- (3)锯切监控模块。监控锯切过程的参数变化,显示当前的锯切工况。
- (4)锯切负载曲线模块。实时显示锯切负载曲线变化。
- (5)系统报警模块。当系统检测识别出锯切异常时,系统将会报警。

4 系统实验

为了增强实验的可靠性,验证带锯床锯切负载检



图5 系统软件界面

测系统的识别准确率及响应速度,本研究随机选取3个工况条件进行分析,具体取值如下:

- (1) 工况一,进给速度 40 mm/s,锯切速度100 mm/s;
- (2) 工况二,进给速度 50 mm/s,锯切速度120 mm/s;
- (3) 工况三,进给速度 60 mm/s,锯切速度140 mm/s。

经过近 10 次实际测试,本研究得到了在 3 种不同工况下系统的响应速度及检测准确率。系统响应速度曲线如图 6 所示,系统在 3 种不同工况下的响应速度均小于 0.07 s,系统识别准确率如图 7 所示,系统在 3 种不同工况下检测的准确率分别为 96%、97%、95%,实验结果表明,带锯床锯切负载检测系统在不同工况下均具有较好的响应速度及识别准确率,可以较好地满足带锯床锯切负载在线识别监控的需要。

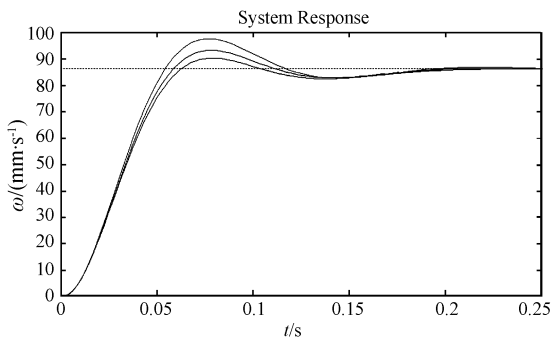


图6 系统响应曲线

5 结束语

针对金属带锯床锯切的高精度、高效率等要求,基于机械、电气及软件系统设计,本研究研制了带锯床锯切负载检测系统,该系统主要由电涡流传感器模块、信

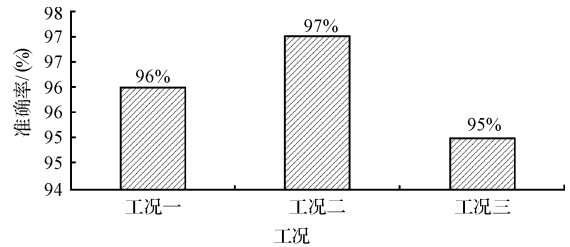


图7 系统识别准确率

号采集模块、信号处理模块、智能决策模块组成。

实际研究结果表明,该锯切负载检测系统在不同的工况下均具有识别准确率高、响应速度快等特点,其检测精度可以达到负载检测量程的 1‰,可以较好地满足带锯床锯切负载在线识别监控的需要,改善带锯床锯切的精度,提高锯切的效率。

参考文献(References):

- [1] 曾云. 卧式金属带锯床进给系统设计与研究[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2006.
- [2] WOJNAROWSKJ J, LWONA A W. Application of the rigid finite element method to modeling of free vibrations of a band saw frame[J]. *Mechanism and Machine Theory*,2005,40(2):241-242.
- [3] 郭隐彪,黄浩,郭江. 一种精密数控机床在线检测系统:中国,101135899[P]. 2008-03-05.
- [4] 吴国新,谷玉海,王少红,等. 一种注水机组振动状态的点检方法及检测装置:中国,201010102851.9[P]. 2010-07-07.
- [5] 赵文礼. 测试技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [6] 钟秉林,黄仁. 机械故障诊断学[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [7] 黎明. 基于模糊集和粗糙集理论的非线性系统建模与控制方法研究[D]. 沈阳:东北大学信息科学与工程学院,2003.
- [8] 侯超伟,马波,申大鹏,等. 基于粗糙理论的往复压缩机规则提取方法研究[J]. *机电工程技术*,2013,42(10):71-76.
- [9] 黎明,张化光,何希勒. 基于粗糙集的模糊模型辨识方法[J]. *东北大学学报:自然科学报*,2000,21(5):480-483.
- [10] 王珏. 关于 Rough Set 理论与应用的综述[J]. *模式识别与人工智能*,1996,9(4):337-344.
- [11] DUNTSCHE I, GEDIGA G. Simple data filtering in rough set systems[J]. *International Journal of Approximate Reasoning*,1998,18(1):93.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

倪敬,汤海天,刘湘琪,等. 带锯床锯切负载检测系统研制[J]. *机电工程*,2014,31(5):620-623.

NI Jing, TANG Hai-tian, LIU Xiang-qi, et al. Design of band saw cutting load testing system[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014,31(5):620-623.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>