

文章编号:1671-6833(2012)04-0050-05

# 基于虚拟仪器技术的齿轮箱状态诊断实验平台

肖友刚<sup>1</sup>, 黄德娟<sup>1</sup>, 邓和莲<sup>2</sup>

(1. 中南大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410075; 2. 娄底职业技术学院, 湖南 娄底 41700)

**摘要:** 利用虚拟仪器技术, 研制了多方法、多参量综合应用的齿轮箱状态诊断创新实验教学平台. 利用 LabVIEW 的 Datasocket 技术, 实现了服务器与客户机之间的数据交互. 在该平台上, 可通过模式识别技术将齿轮箱的振动信号进行融合, 对齿轮箱状态进行智能诊断. 该实验平台有利于激发学生参与创新性实验的积极性, 更好地培养学生的创新意识、动手能力以及勇于探索的创新精神. 通过服务器和客户机的通讯, 形成了以学生为主体、教师与学生间进行良性互动的良好机制.

**关键词:** 齿轮箱; 状态诊断; 创新实验; 教学平台

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2012.04.012

## 0 引言

齿轮箱作为一种用来连接和传递机械设备动力的通用零部件, 在制造业中用得非常广泛, 一旦发生故障, 将给企业带来巨大经济损失, 对其运行状态进行监测和诊断非常重要. 齿轮箱状态诊断实验教学是培养学生诊断齿轮箱故障能力的重要途径. 笔者在探讨齿轮箱状态监测与诊断方法的基础上, 利用虚拟仪器技术软、硬件集成化、模块化的特点, 依托计算机强大的动力支持, 研制了多方法、多参量综合应用的齿轮箱状态诊断创新实验教学平台, 该平台采用 Datasocket 技术, 实现了服务器与客户机之间的数据交互. 在该平台上, 可实现齿轮箱信号的数据分析、数据存储、数据显示等过程, 也可实现信号的时域分析、频谱分析、时频分析、功率谱分析、倒谱分析、解调分析、小波分析等多种信号处理方法, 还可将处理得到的关键特征信号作为故障的主要征兆, 通过模式识别技术将齿轮箱的振动信号进行融合, 实现齿轮箱故障智能诊断. 该平台通过网络接收服务器传来的数据, 进行数据保存及分析处理, 实现测量数据的共享, 不仅节省了实验成本, 而且提高了实验效率.

## 1 平台总体设计

齿轮箱主要由箱体、齿轮、滚动轴承和传动轴

等零件组成, 这些零件的失效是齿轮箱故障的主要表现形式. 振动信号是齿轮箱故障特征的载体, 若其发生故障, 则振动信号的能量分布将发生变化. 通过检测齿轮箱振动信号, 并提取其特征, 可以对齿轮箱的运行品质及故障状态进行诊断<sup>[1-3]</sup>.

齿轮箱状态诊断创新实验平台采取服务器/客户机设计模式, 服务器由教师进行维护和管理, 客户机在服务器的授权下, 完成齿轮箱状态诊断及诊断实验, 总体结构如图 1 所示. 服务器采用联想万全 T260 G3 塔式服务器, CPU 为至强四核 E5606, 4 G 内存, 1 TB 热插拔硬盘, 使用 Windows servers 2008 操作系统.

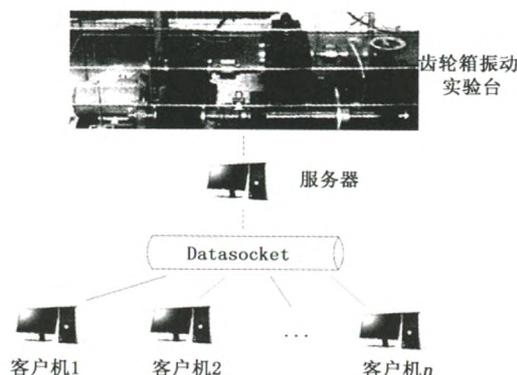


图 1 创新实验平台总体结构

Fig. 1 Overall structure of innovative experimental platform

收稿日期:2012-01-01; 修订日期:2012-03-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975289); 中国博士后科学基金特别资助(20114482)

作者简介:肖友刚(1970-), 男, 中南大学教授, 博士后, 研究方向为设备状态监测与故障诊断.

为构建基于服务器/客户机的齿轮箱状态诊断平台,使用 LabVIEW 提供的 Datasocket (DS) 技术、Web 服务器和 TCP、UDP 协议<sup>[4]</sup>. Datasocket 建立在 TCP/IP 协议的基础上,但却不用进行复杂的底层 TCP 编程,DS 函数与 DS 服务器的通讯采用 DSTP 传输协议,使用这个协议时用统一资源定位符 UR 去连接数据资源,这些数据资源可以是位于 DS、HTTP 和 FTP 服务器中的数据文件,或是本机的数据文件.

系统对客户机的性能和容量没特别要求,只要能上网的 PC 机均能够作为客户机.当访问服务器的客户机小于 256 台时,系统都能够正常运行;当客户机达到 256 台时,在新进网络的客户机上将弹出超限报警页面.客户机经过服务器授权后,可对齿轮箱状态进行在线诊断或选择服务器上的故障样本记录,对该样本对应的齿轮箱状态进行离线诊断,并将诊断结果向服务器提交,服务器对诊断结果进行评价,并向客户机返回评价.为了防止抄袭,服务器上的数据不提供下载功能,所有的实验均以服务器为平台进行.借助该平台,学生在宿舍、实验室的 PC 机上及机房都能够对齿轮箱进行状态诊断,极大地提高了实验的灵活性,也增强了学生的主动性,有利于学生创新能力的培养.

## 2 创新实验平台服务器端的硬件构架

齿轮箱状态诊断系统的硬件是以计算机为核心的可编程数据采集系统.由齿轮箱振动试验台、压电加速度传感器、光电传感器、电荷放大器、信号调理器、数据采集卡组成.齿轮箱振动实验台由 ZQ-250 型圆柱齿轮减速机、J0241 型交流异步驱动电机、变频调速器和抱闸、圆盘、力簧等部件组成.齿轮箱的额定功率为 1.5 kW,传动比为 12.64,齿轮齿面为软齿面,1~4 齿轮的齿数依次为 26, 73, 18 和 81.减速机驱动电机均固定在基座上.减速机 I、II 轴两端轴承均为 406 型单列向心球轴承,III 轴两端采用 412 型单列向心球轴承.减速机各传动部件之间采用油池飞溅润滑.变频调速器可调整电机转速在 100~1 500 r/min 范围内运转.抱闸系统为齿轮箱提供转矩负载,其大小可由系统中的力簧调整.

在齿轮箱上安装的传感器应能够拾取更多包含有故障信息的振动信号,同时又要尽可能得到更多位置、方向的振动信息.齿轮箱输入轴、输出轴的轴承座底部、输出轴的轴颈是对故障振动

较敏感的位置,因此在齿轮箱输入轴、输出轴的轴承座底部及输出轴的轴颈,安排 5 个振动测点,利用 10 个压电加速度传感器,测量齿轮箱垂向和横向的振动.为了给振动信号提供转速和相位信息,在联轴器上贴反光纸作为相位起始标志,在正对反光纸的地方,安装非接触式的光电转速传感器,采集 I 轴的转速和相位信息.由压电加速度传感器测得的箱体振动信号经电荷放大器,送入信号调理器进行信号调理和放大处理.放大后的模拟信号由同步数据采集卡转换成数字信号,并送到服务器进行处理.数据采集卡采用 PCI 总线,有 16 通道可供选择,系统可设置成单通道或者多通道.每个通道使用独立的 16 位 A/D 转换芯片,由触发卡为所有测量通道提供时钟信号,作为每个采集通道的 A/D 转换时钟,以确保各通道之间严格同步采集,每通道采样速率最高可达 1.25 MS/s,同步采样时可达 1 MS/s.各通道采用独立程控放大器及 8 极点 Butterworth 抗混叠滤波器.每个信号输入通道采用 ICP 恒流源供电,直接与内置放大器的 ICP 型压电传感器连接.信号调理放大器的增益、抗混叠滤波器的截止频率和 A/D 转换器的采样速率等均可由计算机程控实现.图 2 为服务器端的硬件功能框图.

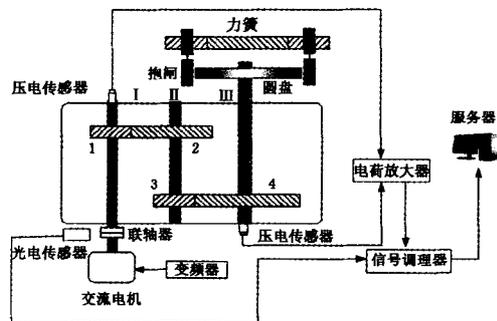


图 2 创新实验平台服务器端的硬件构架

Fig. 2 Sever structure of innovative experimental platform

对比正常齿轮箱和故障齿轮箱的振动信号,提取其典型特征,是齿轮箱故障诊断的关键.齿轮箱故障主要是齿轮和轴承故障,由齿轮和轴承引起的故障所占比例分别为 60% 和 19%.在齿轮故障中 90% 的故障为裂纹、崩齿、齿面破损等局部故障.在轴承故障中 90% 的故障发生在内环、外环及滚动体上.为了模拟这些故障,利用电火花对齿轮切割齿根部,得到裂纹故障;利用锉刀磨锉齿顶,得到崩齿故障;利用不同直径的电锤冲击齿面形成凹坑,形成齿面破损故障;利用机械冲击轴承

的内、外环及滚动体,形成划痕故障;利用化学药品腐蚀轴承的内、外环及滚动体表面,形成点蚀故障,点蚀形状近似圆形.轴不对中故障比较常见也较易模拟,在轴承座与轴承之间塞入不同直径的铁丝,形成轴不对中故障.模拟的故障类型如表1所示.

表1 齿轮箱故障模拟  
Tab.1 Gearbox fault simulation

编号	故障类型	故障位置	故障大小
1	无	无	无
2	裂纹1	齿轮4第21齿齿根	$h = 1 \text{ mm}$ , $w = 1 \text{ mm}$
3	裂纹2	齿轮4第21齿齿根	$h = 2 \text{ mm}$ , $w = 1 \text{ mm}$
4	裂纹3	齿轮4第21齿齿根	$h = 3 \text{ mm}$ , $w = 1 \text{ mm}$
5	崩齿1	齿轮4第21齿齿顶	$h = 1 \text{ mm}$ , $w = 2 \text{ mm}$
6	崩齿2	齿轮4第21齿齿顶	$h = 1 \text{ mm}$ , $w = 3 \text{ mm}$
7	崩齿3	齿轮4第21齿齿顶	$h = 2 \text{ mm}$ , $w = 2 \text{ mm}$
8	齿面破损1	齿轮4第21齿节线处	凹坑直径 1 mm
9	齿面破损2	齿轮4第21齿节线处	凹坑直径 2 mm
10	齿面破损3	齿轮4第21齿节线处	凹坑直径 3 mm
11	轴承划痕1	内环	$l = w = 3 \text{ mm}$ , $h = 1 \text{ mm}$
12	轴承划痕2	外环	$l = w = 3 \text{ mm}$ , $h = 1 \text{ mm}$
13	轴承划痕3	滚珠	$l = w = 3 \text{ mm}$ , $h = 1 \text{ mm}$
14	轴承点蚀1	内环	点蚀圆直径 4 mm
15	轴承点蚀2	外环	点蚀圆直径 4 mm
16	轴承点蚀3	滚珠	点蚀圆直径 4 mm
17	轴不对中1	轴1和轴2 不对中	中心偏离 0.6 mm
18	轴不对中2	轴1和轴2 不对中	中心偏离 0.8 mm
19	轴不对中3	轴1和轴2 不对中	中心偏离 1 mm
20	轴不对中4	轴1和轴2 不对中	中心偏离 1.2 mm

注: $w$ 为故障宽度; $h$ 为故障深度; $l$ 为故障长度.

为了方便更换不同故障类型的齿轮或轴承,

将实验用的齿轮箱设计为可以拆卸的形式.

### 3 齿轮箱状态诊断平台的软件组成

与齿轮箱状态有关的特征信息,是齿轮箱状态诊断的核心问题.当齿轮箱发生早期故障时,其振动信号往往表现为强噪声背景下的微弱特征信号,具有非平稳性.由于齿轮运转的周期性,齿轮系统的动态参数变化是周期性的,故障引起的非平稳振动信号变化也表现出一定的周期性.处理故障引起的非平稳振动信号,需要应用时域波形分析、数字滤波、自相关分析等方法对齿轮箱振动信号进行预处理,然后应用统计分析、功率谱分析、倒谱分析、解调分析等信号特征提取方法,提取齿轮箱振动信号的特征值<sup>[5-7]</sup>.针对齿轮箱中非平稳信号的时频特征,可以采用Wigner分布、小波分析等方法来提取<sup>[8-9]</sup>.图3为齿轮箱状态诊断创新实验平台的软件结构.

为了使齿轮箱的状态诊断实验不受时间和空间的限制,将齿轮箱状态诊断系统分为在线诊断和离线诊断两部分.在线诊断时,要先运行服务器进行数据采集,然后运行客户机,否则,客户机上将没有数据显示.离线诊断时,客户机调用存放在服务器数据库中的样本记录.目前,数据库中可提供的原始样本记录共20种,这20种样本记录对应的齿轮箱故障如表1所示.样本库可以根据需要进行扩展.

服务器及客户机软件均采用模块化设计模式,该模式下各软件模块相互独立,各模块间的输入输出数据通过全局变量进行交互.服务器和客户机通过DS技术进行通讯,服务器上设置了本机的IP地址及网络标识名,客户机可以通过IP地址及网络标识名查找到服务器.在客户机的主界面上,输入服务器的URL,客户机就可选择诊断方式.在线诊断方式下,客户机可以适时地得到服务器上多通道采集卡采集的齿轮箱振动数据,同时还可以看到服务器上其它的参数,如采样率、采样数、缓存区大小和当前的采样时间.通过对这些数据进行分析处理,客户机可对齿轮箱的运行状态作出评判.在客户机的评价完成后,向服务器提出申请进行提交,服务器将标准结果和客户机的处理结果进行对比,评判客户机的评价准确度,并指出客户机的不足和需要改进的方向.服务器可向客户机在线演示处理流程,指导客户机操作.在离线方式下,客户机可以对样本进行分析、处理和诊断,在得出诊断结果后向服务器提交,提交后

可申请查看该样本所对应的故障类型,标准的信号处理方法及所对应的故障特征,以便学生找出差距,明确努力的方向.

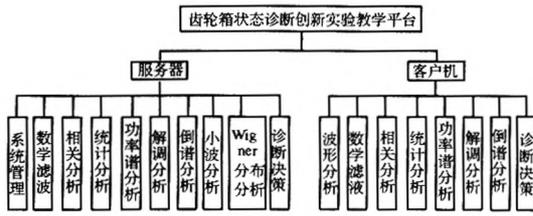


图 3 齿轮箱状态诊断创新实验平台的软件结构

Fig.3 Software structure of innovative experimental platform of gearbox state diagnosis

服务器包括系统管理、数字滤波、统计分析、功率谱分析、倒谱分析、解调分析、Wigner 分布、小波分析、诊断决策等软件模块. 系统管理模块允许被授权的操作员输入、修改系统信息,设置系统参数,响应客户机提出的请求. 服务器所包含的数据处理及特征提取方法可根据需要进行任意组合,这些方法的参数也可根据需要进行调整. 譬如,将相关分析和解调分析相结合,可得到时延相关解调法,该法具有良好的降噪效果;在解调分析的带通滤波器设计中,采用小波变换来代替带通滤波器,可以得到原始振动信号在不同频率段的振动特性. 通过这些方法,可将原始测量信号中较分散的信息凝聚在最敏感的特征量向量上. 利用敏感特征向量,通过模式识别技术对齿轮箱的健康状况进行智能诊断,并作出相应的维护决策. 图 4 为服务器的前面板.

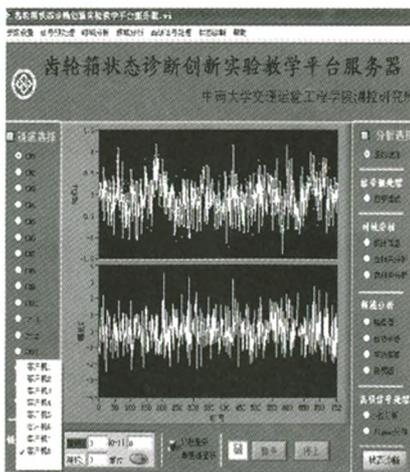


图 4 创新实验平台服务器的前面板

Fig.4 Sever interface of innovative experimental platform

客户机端的模块化软件包括参数设置、数字滤波、时域分析、相关分析、统计分析、功率谱分

析、倒谱分析、解调分析、诊断决策. 通过客户机,学生可以对滤波器型号、滤波器的截止频率、烈度阈值、分辨率等系统参数进行设置. 在客户机的前面板上,可以显示时域波形. 观察时域波形,可以得到信号频率成分的复杂性、振动信号幅值的变化性和信号中有无明显的冲击和调制成分. 观察时域波形,可较好地识别幅值变化和周期性冲击引起的故障. 由于时域波形中常常混有强烈的噪声干扰,弱小的早期故障信号往往被淹没而不能显示其特征,因而时域波形分析一般只能对故障作初步判断和定性分析.

波形指标、峰值指标、脉冲指标、峭度指标和裕度指标可直接反映振动冲击信号的尖锐程度,且对于故障和缺陷比较敏感. 通过统计分析,可在时域取 5 个特征值作为诊断参量.

除参数设置和波形分析外,客户机所有数据处理模块只提供相应的链接,通过链接进入后,需要学生自己编写相应的子 vi,系统会提示各子 vi 的功能及编写规则,并已事先定义好输入输出变量. 子 vi 编写完成后,会自动嵌入到系统中. 在编写子 vi 时,系统会进行相应提示,并可链接服务器,取得帮助.

学生在调试子 vi 时若碰到困难,可通过客户机向服务器提出申请,经服务器授权后,客户机可以将子 vi 提交给服务器,由服务器提出修改建议并反馈给客户机.

客户机的诊断结果可以和服务器的诊断结果进行对比,通过对比,学生可以看出自己的不足,明确需要努力改善的方向. 图 5 为客户机的前面板.

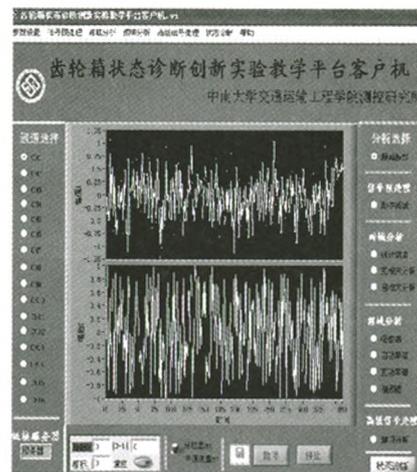


图 5 创新实验平台客户机的前面板

Fig.5 Client interface of innovative experimental platform

#### 4 结论

通过图形编程语言 LabVIEW 与现有的硬件设备相结合,创建了基于服务器/客户机的齿轮箱状态诊断创新实验教学平台.该平台可同时容纳 256 人进行实验,完全满足本专业同学同时进行实验的需要,同一实验不用再分批次进行,大大提高了实验教师的工作效率.通过该平台,学生在校内网及 Internet 网内任何一台联网的计算上,可以随时随地进行实验,而不必受实验教师、场地、经费等诸多条件的约束,并将大部分时间花在实验工作的执行上,而非搭建实验系统.同时,该平台还给学生留出了充足的创造性思维空间,激发了学生参与创新性实验的积极性,更好地培养了学生的创新意识、动手能力以及勇于探索的创新精神.通过服务器和客户机的通讯,学生与教师间可以在线或离线方式就实验中遇到的问题进行交流,并提出更完善的实验方案,形成了以学生为主体、教师与学生间进行良性互动的良好局面.

#### 参考文献:

- [1] 丁康,李巍华,朱小勇. 齿轮及齿轮箱故障诊断实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [2] 徐跃进. 齿轮箱中齿轮故障的振动分析与诊断[J]. 机械设计, 2009, 26(12): 68-71.
- [3] 何理瑞. 振动诊断在机械设备齿轮故障诊断中的应用[J]. 煤矿机械, 2009, 5(3): 210-212.
- [4] 陈锡辉,张银鸿. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社,2007.
- [5] 薛松. 时频分析方法在齿轮箱故障特征提取中的研究应用[D]. 太原:太原机械工程学院机械工程学院, 2008.
- [6] 康海英,栾军英,张志斌,等. 基于时频和频谱分析的齿轮箱故障诊断[J]. 军械工程学院学报, 2004, 16(3): 10-13.
- [7] 姚志斌,沈玉娣. 基于 Hilbert 解调技术的齿轮箱故障诊断[J]. 机械传动, 2004, 28(2): 37-39.
- [8] 何正嘉,管艳阳,孟庆丰,等. 机械设备非平稳信号的故障诊断原理及应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [9] 成琼. 基于小波分析的齿轮故障诊断研究[D]. 长沙:湖南大学机械工程学院,2001.

### Gearbox Condition Diagnostics for Innovative Experimental Teaching Platform Based on Virtual Instrument Technology

XIAO You-gang<sup>1</sup>, HUANG De-juan<sup>1</sup>, DENG He-lian<sup>2</sup>

(1. College of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China; 2. Loudi Vocational Technical College, Loudi 417000, China)

**Abstract:** Based on virtual instrument technology, the gearbox condition diagnostics platform was developed with multi-method, multi-parameter comprehensive application for innovative experimental teaching. Using LabVIEW's Datasocket technology, data exchange can be realized between server and client. On the platform, gearbox vibration signals can be integrated using pattern recognition technology, which are useful for the intelligent diagnosis of gearbox state. The experimental platform is helpful to stimulate students to participate in innovative experimental consciously and to develop innovation idea, innovative ability and innovative spirit. Through the communication between server and clients, a good interaction mechanism will be formed between students and teachers.

**Key words:** gearbox; condition diagnostics; innovative experiment; teaching platform