

基于 LabVIEW 和声卡的齿轮故障分析系统

马伟顺,魏 燕

(山东省莱芜市职业技术学院,莱芜 271100)

摘要:基于 LabVIEW7.1 开发平台,用声卡代替商用数据采集卡,开发了一套齿轮故障分析系统。该系统能实现噪声信号采集、功率谱分析以及齿轮啮合频率的计算等功能,能迅速、直观地找出引起齿轮的故障,对于齿轮制造企业及大多数机械设备有较高的实用价值。

关键词:齿轮;故障分析;声卡;LabVIEW 软件

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2009)03-0198-03

Gear Fault Analysis System Based on LabVIEW and Sound Card

MA Wei-Shun, WEI Yan

(Laiwu Vocational College Shandong, Laiwu 271100, China)

Abstract: Based on LabVIEW and the sound card instead of the commercial data acquisition card, a set of gear fault analysis system was developed. This system was able to realize noise signal gathering, power spectrum analysis as well as gear meshing frequency functions and so on computations, and to discover the causes of gear break down intuitively and rapidly. The system might have very high application value regarding the gear Manufacturing firm and the majority of mechanical devices.

Keywords: Gear; Breakdown analysis; Sound card; Software LabVIEW

齿轮在运转过程中,常常由于制造不良和操作维护不善,产生各种形式的失效。具体的失效形式和齿轮材料、热处理和运转状态等因素有关。常见的齿轮失效形式有四种,即齿面磨损、齿面胶合、齿面疲劳和轮齿折断。LabVIEW 是美国国家仪器公司(简称 NI 公司)开发的具有革命性的图形化虚拟仪器开发环境,是业界领先的测试、测量和控制系统的开发工具。

笔者利用计算机的多媒体声卡代替价格昂贵的商用数据采集卡,在保证齿轮噪声信号采集完整性与实时性的同时,大大降低了开发成本,并且以 LabVIEW 为软件开发平台,开发了一套基于频谱分析技术的齿轮断齿故障识别虚拟仪器。

收稿日期:2008-03-25

基金项目:山东省国内访问学者项目资金资助

作者简介:马伟顺(1970—),男,硕士,研究方向为自动控制和故障诊断系统。

1 齿轮断齿机理

断齿是齿轮发生故障最主要也是最严重的损伤形式^[1]。齿轮及齿轮箱的振动系统是一个复杂的非线形系统。齿轮的制造、安装和轮齿刚度都会受到一定条件的限制,一对新齿轮在啮合运动中也会产生振动。因此,有必要从齿轮振动模型和动力学方程分析齿轮断齿激励源,并进一步作断齿分析。齿轮副传动作为一个振动系统,其简化物理模型如图 1 所示。

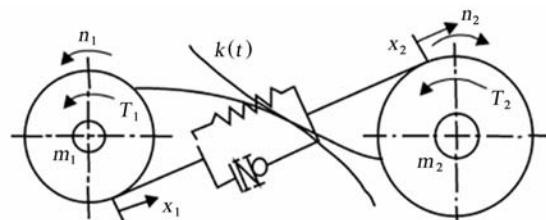


图 1 齿轮传动物理模型示意图

根据振动理论^[2],齿轮啮合物理模型的动力学方程为:

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + k(t)x = F(t) \quad (1)$$

式中 x —啮合线上齿轮相对位移;

C —齿轮啮合阻尼;

$k(t)$ —啮合刚度;

M —当量质量;

$$M = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2};$$

$F(t)$ —外界激励。

施加在齿轮上的动载荷 $F(t)$,包含齿轮一切故障所产生的激励,它的变化受轮齿刚度和传动误差变化的影响,同时还与齿面摩擦力方向的变化有关。齿轮副的故障都与该动载荷 $F(t)$ 有关。齿轮副在啮合传递运动和负荷时,主动轮的作用力和从动轮的反作用力都通过接触点分别作用在对方轮齿上,当接触点某一瞬间位于轮齿的顶部,此时轮齿如同一个悬臂梁,受载后齿根处产生的弯曲应力最大。若 $F(t)$ 突然变化(过载或冲击),很容易在齿根处产生过载断裂。即使不存在 $F(t)$ 突变,当轮齿重复受载后,由于齿根处应力集中,也常会产生疲劳裂纹,并逐步扩展,发展到最终使该处齿轮无法再承受动载荷 $F(t)$ 而导致断齿。断齿时其振动信号冲击能量也达到最大。

2 信号特征^[3]

(1) 正常齿轮的频域特征 正常齿轮的信号反映在功率谱上,有啮合频率 f_m 及其谐波分量,即有 nf_m ($n=1, 2, \dots$),且以啮合频率成分为主,其高次谐波依次减小。同时,在低频处有齿轮轴旋转频率 f_z 及其高次谐波 mf_z ($m=1, 2, \dots$)。

(2) 均匀磨损齿轮的频域特征 均匀磨损时,啮合频率及其谐波分量保持不变,但其幅值大小改变,且高次谐波幅值相对增大较多。分析时,至少要分析三个以上谐波的变化,才能从谱上检测出这种磨损。另外,随着磨损的加剧,还可能产生 $1/k$ ($k=2, 3, 4, \dots$) 的分数谐波,有时在升降速时,还会出现非线性振动特点的跳跃现象。

(3) 局部异常齿轮的频率特征 齿轮局部异常含义很广,包括齿根部有较大裂纹,局部齿面磨损,轮齿折断,局部齿形误差等。具有局部异常的齿轮,由于裂纹、折断或齿形误差的影响,将以旋转频率为主要的频率特征,即 mf_z ($m=1, 2, \dots$)。

(4) 齿轮点蚀的频率特征 在啮合过程中齿轮每转到点蚀部分接触时,由于摩擦力突然加大,会产

生一次或几次冲击现象,啮合振动受到调制,其频域表现为信号谱中出现一系列等间隔的频率簇,尤其是在高频的啮合频率两侧,还经常分布一系列以旋转频率为间隔的边频带,这就是发生点蚀的故障特征。

3 系统组建

3.1 硬件组成

在硬件方面必须用到数据采集卡,而对声音信号进行采集时对数据采集卡的要求主要有两个方面:一是采样频率,即每秒采集声音样本的数量。采样频率越高,记录的声音波形就越准确,保真度就越高。二是采样位数,即声音从模拟信号转换为数字信号的二进制位数。位数越高,在一定的范围内能表示的声波振幅的数目就越多,越有利于对信号进行分析。

专用的数据采集卡价格普遍较高,考虑到计算机的声卡本身就是一块不错的数据采集卡,特别是在对声音信号采集方面基本上达到了专用数据采集卡的水平。通常齿轮的啮合频率不会高于 10 kHz,而声卡的最高采样频率可达 44.1 kHz,根据采样定律其最高可采集的信号频率为 22.05 kHz,所以声卡完全满足噪声信号的采样精度要求;多数数据采集卡的采样位数为 12~16 位,声卡的采样位数为 16 位,同样满足采样位数的要求。笔者选用集成在电脑主板上的创新 AC'97 声卡作为声音信号数据采集卡。其它的硬件有声音传感器(选用普通麦克风即可满足要求)和个人电脑^[4]。

3.2 软件组成

根据系统要实现的功能,编制的软件包括以下几个子程序:① 基于声卡的车床噪声信号采集程序。② 噪声信号功率谱分析程序。③ 传动齿轮啮合频率计算程序。④ Word 报表生成程序。

(1) 噪声信号采集程序 子程序框图见图 2。由于该系统要实现齿轮噪声信号的数据采集,所以使用时先需要根据实际情况对声卡参数进行选择:① 音质采用 mono(单通道)或 stereo(立体声)。② 采样频率为 11 025, 22 050 或 44 100 kHz。③ 采样位数为 8 或 16 bit。系统采用的默认设置为 mono(单通道)、22 050 kHz 和 16 bit。SICconfig 节点和 SI Start 节点放在循环的外部,设置声卡参数和数字声音格式,并驱动声卡开始采集数据。SIClear 节点也放在循环外部,并由数据流程控制,在程序停止时释放声卡占用的资源。数据采集后,用 SITop

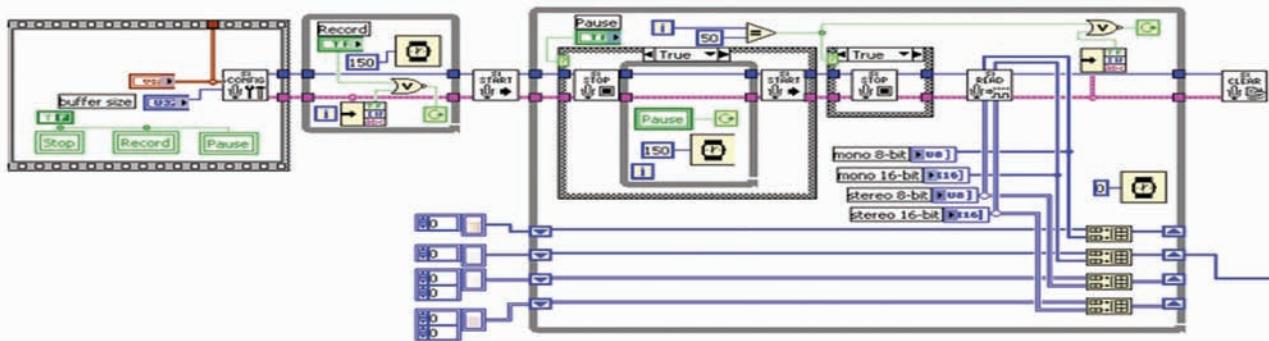


图 2 噪声信号采集子程序框图

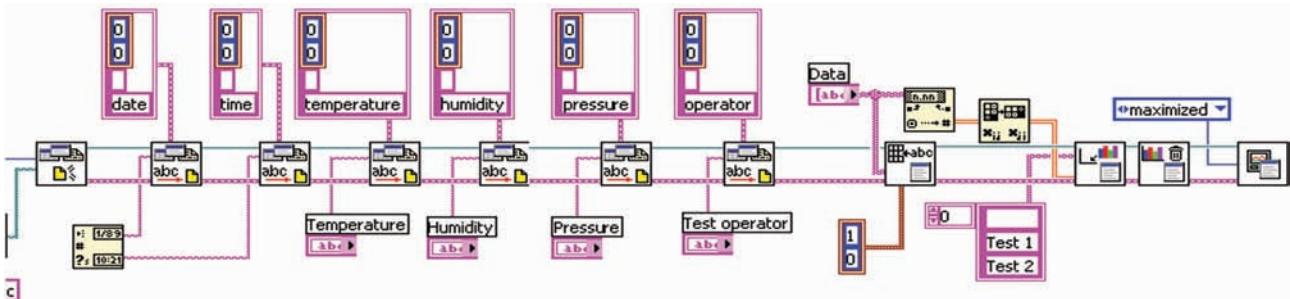


图 3 Word 报表生成子程序框图

节点停止数据采集,进入功率谱分析程序,数据处理完成以后,继续数据采集循环,用 SI Start 节点重新驱动声卡采集数据。需要注意的是,声卡每次读取的数据点数为 8 192,即 SI Read 节点读取的数组维数为 8 192 行,程序运行以后,数据采集处理循环进行,直至用户认为分析完成,当用户确认不再进行数据采集分析,程序自动生成结果的 Word 报表。

(2) 功率谱分析程序 该程序调用了 NI 公司的声音振动工具包(Sound and Vibration Toolkit4.0)中的部分功能模块,主要功能包括:①最大声压级(dB)峰值及对应峰值频率的自动显示(即具有自动寻峰功能)。②通过选择“dB”按钮的 ON/OFF 可以实现功率[Pa² rms]-频率(Hz)图或声压级(dB)-频率(Hz)图的切换。③通过运行状态指示灯可以了解程序的运行状态。

(3) Word 报表程序 子程序框图见图 3。为了便于测量结果的长期保存,设置了报表生成程序。该程序调用了 NI 公司的 LabVIEW Report Generation Toolkit 工具包,在测试设备信息设置中输入相关信息,这些信息会自动加载到 Word 文件。

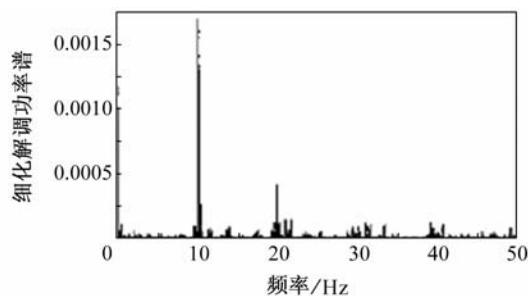
4 实例

对某一汽车变速器进行振动测试分析,测试时变速器以 2 档运行,输入端啮合齿轮传动比为 38/

26,输出端为 20/41。测得输入轴转速为 1 800 转/min,计算得到各特征频率如表 1 所示。取 360~460 kHz(输出端啮合频率附近)为分析带宽,对输出轴轴承座附近径向振动速度信号(采样频率为 5 000 kHz)作细化解调分析得到细化解调功率谱(图 4),细化倍数为 50 倍。由图可以清楚看出输出轴转频及其倍频成分,这说明振动信号中出现了明显的以输出轴转频为调制频率,以啮合频率为载波的调制现象,由此可判断输出轴端齿轮出现故障。经解体后,发现输出轴端齿轮有明显剥落现象。

表 1 变速器 600 转/min 时 5 档特征频率 Hz

输入端 啮合频率	输出端 啮合频率	输入轴 转频	中间轴 转频	输出轴 转频
780	410.53	30	20.53	10.01

图 4 某汽车变速器解调功率谱
(下转第 205 页)

$$u_r(r) = |U_r(r)| \sin(\omega t) \\ 3 \text{ mm} \leq r \leq 4 \text{ mm} \quad (3)$$

$$u_\theta(r) = |U_\theta(r)| \sin(\omega t - 90^\circ) \\ 3 \text{ mm} \leq r < 3.953 \text{ mm} \quad (4)$$

$$u_\theta(r) = |U_\theta(r)| \sin(\omega t + 90^\circ) \\ 3.953 \text{ mm} < r \leq 4 \text{ mm} \quad (5)$$

从式(3)~(5)可看出,质点的合成位移轨迹是椭圆。在 $r=3.953 \text{ mm}$ 处,椭圆的旋转方向发生反转,且这种导波能量主要集中在管材外壁,随深度增加衰减很快。这与试验观测结果吻合,如从试验中观测到内部缺陷回波幅值比外部缺陷低约 16.4 dB;在管外壁超声传播路径上涂以油,或用蘸油的手指按压,会引起回波(包括 SC 回波和内外缺陷回波)幅值降低 90%以上,而在内壁涂油或灌满水,引起的回波幅值降低不超过 10%;管材外表面的粗糙明显降低回波幅值。理论分析和试验观测结果均表明,1 阶模态周向导波的振动与传播特性在许多方面与瑞利波相似,例如位移分布、质点的运动轨迹以及没有明显的频散等,因此认为这是一种准瑞利波^[6]。

需要说明的是内表面位移幅值虽然很低,但内壁处缺陷却仍然可以检测到,这与导波在缺陷处的反射与散射有关。内壁缺陷的存在破坏了该模式导波的形态,从而产生了该模式的反射波。但是目前关于导波反射和散射的理论尚不完善,无法与试验结果进行定量的比较。

3 结论

(1) 对小口径薄壁管管壁中传播的一种周向导波进行了试验观测和理论分析,指出了该导波是 1

(上接第 200 页)

5 结论

围绕齿轮的故障分析,研究了利用齿轮噪声功率谱进行噪声源判断的技术手段,同时以编程语言 LabVIEW 为平台,开发了一套界面简洁、直观、操作方便的齿轮故障识别系统。应用该系统对某企业生产的齿轮箱进行了实地测试、分析,对产品进行质量检测,为企业节省了很多人力、物力,产生了良好的经济效益。

阶模态周向导波,能量主要集中在管材外表面附近。

(2) 在试验中观察到了 SC 回波现象。提出了 SC 回波产生的机理,并从试验予以证实。这种回波在保证探伤的可靠性方面具有较高的价值。

(3) 利用这种导波检测小口径薄壁管,可以同时检测管材内外壁的纵向缺陷,其检测灵敏度能与水浸聚焦法相媲美,并有较大的操作灵活性,可进行原位探伤,弥补了水浸聚焦法不适用于原位检测的不足。与此同时,这种导波检测方法与其它类型导波检测技术一样,存在不能区分内外壁缺陷的缺点。

参考文献:

- [1] Cheong Y M, Lee D H, Jung H K. Ultrasonic guided waves parameters for detection of axial cracks in feeder pipes of PHWR nuclear power plants[J]. Ultrasonics, 2004, (42):883—888.
- [2] Cheong Y M, Lee D H. Analysis of the circumferential guided wave for axial crack detection in a feeder pipe[J]. Key Engineering Materials, 2004, (270—273):422—427.
- [3] 李隆涛,何存富,吴斌.周向超声导波对管道纵向缺陷检测的研究[J].声学学报,2005,30(4):111—116.
- [4] Viktorov I A. Rayleigh and lamb waves[M]. New York: Plenum Press, 1967.
- [5] Qu J M, Berthelot Y, Li Z B. Dispersion of guided circumferential waves in a circular annulus[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 1996, (15):169—176.
- [6] Liu G L, Qu J M. Guided circumferential waves in a circular annulus[J]. Transactions of the ASME, 1998, (65):424—430.

参考文献:

- [1] 廖伯瑜.机械故障诊断基础[M].北京:冶金工业出版社,2003.
- [2] 周向东,杨勇军,石敏超.基于混沌特征分析的齿轮故障诊断[J].机床与液压,2007,35(9):246.
- [3] 李佳,礼宾,王梦卿.基于神经网络的齿轮故障诊断专家系统[J].机械传动,2007,31(5):81.
- [4] 金建新,梁军鹏.基于 LabVIEW 和声卡的车床噪声源识别虚拟仪器设计[J].机床与液压,2007,35(6):160.