



# 基于虚拟仪器的两挡齿轮箱故障 模拟实验系统研制

李 磊, 廖文俊, 吴 涛

(西华大学 汽车工程国家级实验教学示范中心, 成都 610039)

**摘要:** 为能够方便设置和复现齿轮箱故障, 设计了一款具备二级传动的齿轮箱故障模拟装置, 并基于 LabVIEW 软件开发了信号采集与处理系统。故障模拟实验系统可以在不同速度下模拟直齿或斜齿啮合故障、轴承故障。通过实验系统实际测量了齿轮不对中故障和滚针轴承断裂故障的振动加速度波形, 结果表明, 故障模拟实验系统能够测量、采集和处理振动信号, 可作为故障诊断技术实践教学和研究平台。

**关键词:** 故障模拟; 齿轮箱; 振动; LabVIEW

中图分类号: TP75

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230058

## Development Two-speed Gear Box Fault Simulation Experimental System Based on Virtual Instrument

LI Lei, LIAO Wenjun, WU Tao

(National Experiment Teaching Demonstration Center of Automotive Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** In order to facilitate the setting up and reproduction of gearbox faults, a gearbox fault simulation device with a secondary drive has been designed and a signal acquisition and processing system has been developed based on LabVIEW software. The fault simulation system can simulate straight or helical tooth meshing faults and coupled gear and bearing faults at different speeds and ratios. The results show that the fault simulation experimental system is capable of measuring, acquiring and processing vibration signals, which can be used as a practical teaching and research platform for the fault diagnosis technology.

**Key words:** fault simulation; gearbox; vibrations; LabVIEW

机械故障诊断类课程, 是一门综合计算机软硬件、传感器与检测技术、信号分析与数据处理、振动工程和机械工程等学科专业知识的交叉课程。故障信号的采集、处理等知识较为抽象, 需配合实验教学环节来加深学生的理解<sup>[1]</sup>。

齿轮和轴承是最常见的旋转机械。齿轮和轴承的振动可以反映运转状态, 为判别故障的性质、范围提供依据。研究齿轮及轴承振动的产生机理, 分析其振动信号的频率成分, 对齿轮及齿轮箱的故障诊断具有重要意义<sup>[2-3]</sup>。

文献 [4-11] 提出了使用虚拟仪器技术构建齿轮箱故障诊断平台, 文献 [12-15] 设计了故障模拟功能的实验装置方案。本文设计的两挡齿轮箱故障模拟实验装置, 可以模拟直齿、斜齿、轴承故障, 并给出了设置齿轮和轴承故障的中间轴齿轮总成方案, 以及合理布置中间轴齿轮总成位置。解决了在实验教学过程中, 缺少测试对象的问题。配合装置开发的数据采集和处理软件, 学生可以观察和存储不同故障模式的波形特征, 以加深对各类故障诊断信号的理解。

收稿日期: 2023-02-07; 修回日期: 2023-05-21

基金项目: 四川省科技厅国际合作项目(2023YFH0065); 西华大学教学改革研究项目(xjjg2021033, xjjg2019069); 西华大学教学团队建设项目(RC1900008969); 四川省实验教学示范中心项目(SYJXSFX0702); 新工科背景下省级一流课程建设的研究与实践(JG2021-299)。

作者简介: 李磊(1982-), 男, 硕士, 实验师, 主要从事汽车零部件设计和试验方面的工作。E-mail: lilei2015@163.com

### 1 两挡齿轮箱故障实验装置设计

齿轮箱故障模拟实验装置如图 1 所示，测试系统由电磁调速器、驱动电机、两挡齿轮箱、制动器等组成；采集与处理系统由加速度传感器、转速传感器、精密恒流源、多通道采集卡、实时采集程序等组成。

为了方便更换不同故障模式的齿轮、轴承，被试齿轮和轴承集中设计在一个总成中。红色框内的中间轴齿轮总成如图 2 所示：一侧为直齿轮；另一侧为斜齿轮。两侧齿轮都可以设置齿轮故障，如齿面剥落故障、齿轮偏心故障等。中间轴齿轮总成的中心孔可根据实验要求，设计多种

尺寸，配合不同的轴承和中间轴，形成多种测试组合。

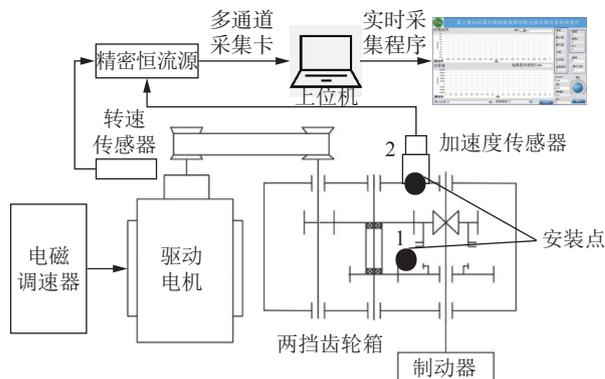


图 1 实验系统示意简图

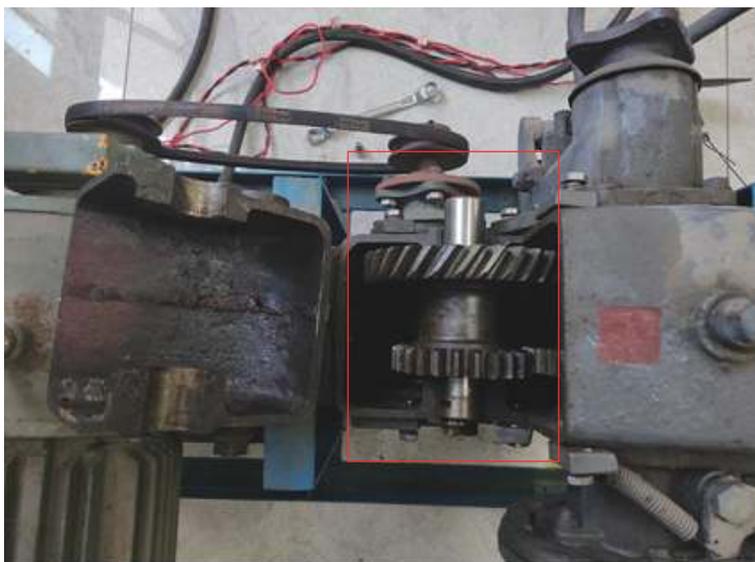


图 2 实验装置实物

将齿轮箱设计为三轴传动，其中被试总成设计为中间轴。为进一步简化更换难度，被试齿轮总成位于三轴齿轮实验装置的最上端，即如图 3 所示的中间轴位置。

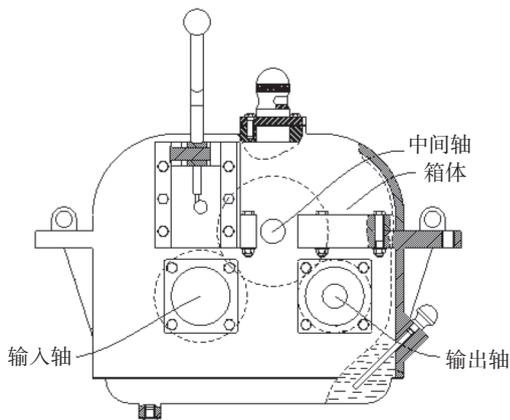


图 3 两挡齿轮箱实验装置

### 2 采集与处理系统设计

采集系统主要由 4 通道数据采集卡、ICP 加速度传感器、光电转速传感器、8 通道精密恒流源和上位机组成。信号经由精密恒流源转发至数据采集卡，再由采集卡将模拟量转换数字量传至上位机，由程序实现数据处理和存储。系统主要采集转速和振动信号两类信号。

1) 转速信号通过 HJ-Z56 光电转速传感器获取，光电传感器响应频率为 0.1 Hz~20 kHz。

2) 振动信号通过 SD14N18 加速度传感器获取，灵敏度 500 mV/g，量程 10 g，频率范围为 0.1~3 000 Hz。SD14N18 加速度传感器是一种 ICP 加速度传感器。

3) 4 通道采集卡，输入信号幅度范围小于等于 ±10 V，每通道最高采样率为 200 kS/s，A/D 分

辨率为 16 bit, 与上位机通过 USB 进行通信, 采集量程可由程序控制切换。

处理系统主要是通过 LabVIEW 软件开发上位机实现的。信号采集分析系统主要包括信号获取

模块、信号处理模块、信号分析模块、结果显示模块等, 界面如图 4 所示。具有信号分析功能, 主要包括通道选择、时域分析、功率谱、幅度谱、自相关等, 主程序如图 5 所示。

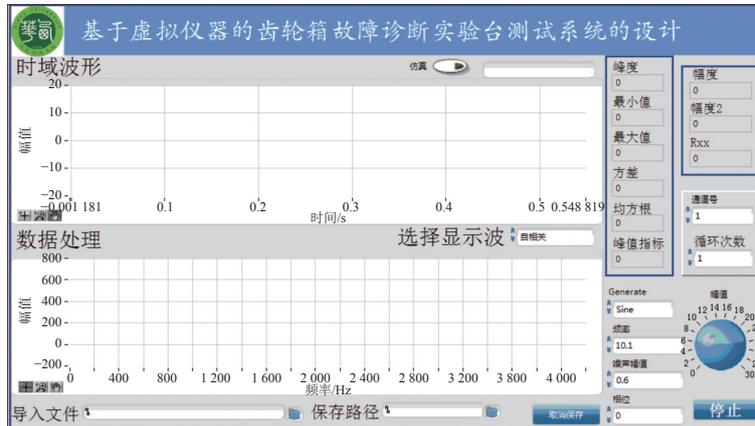


图 4 信号实时采集和离线分析程序界面

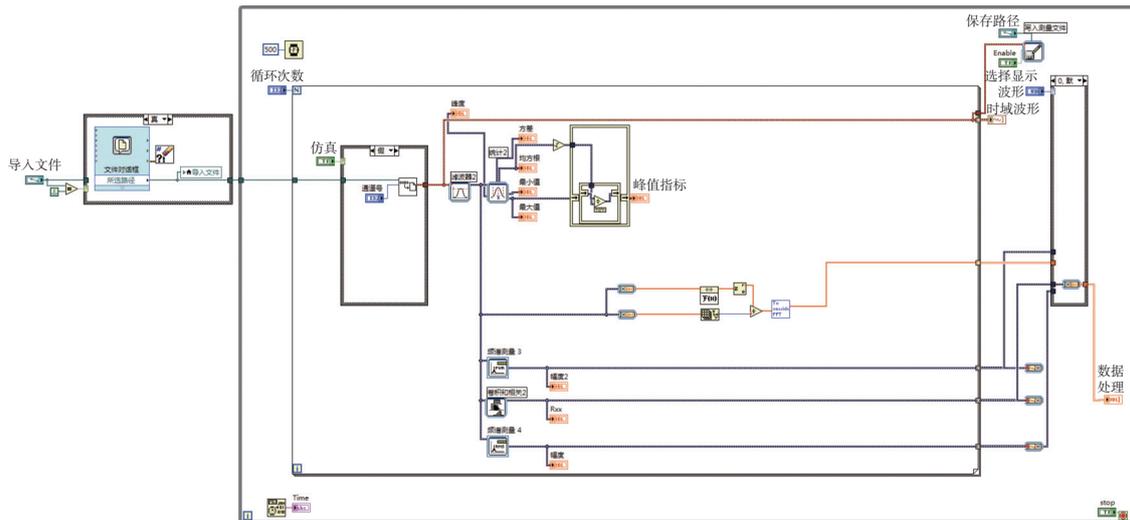


图 5 信号实时采集和离线分析部分程序

### 3 振动数据采集实验设计

实验装置的转速由电磁调速器控制, 为判断故障原因, 对测试装置进行多点振动测量。文中选择状态特征较明显的通道 2 数据进行展示。通道 2 测取的是中间轴齿轮总成的径向方向加速度。文中数据均是挂低速挡实验时测取的振动数据。

#### 3.1 正常运行实验

在中间轴齿轮总成的齿轮和轴承均是完好状态时, 运转实验装置进行振动信号采集。

时域数据波形如图 6 所示, 并未发现数据存在明显的周期性冲击现象。频率数据波形如图 7 所示, 功率谱数据波形如图 8 所示。峰位出现在 135 Hz 附近。

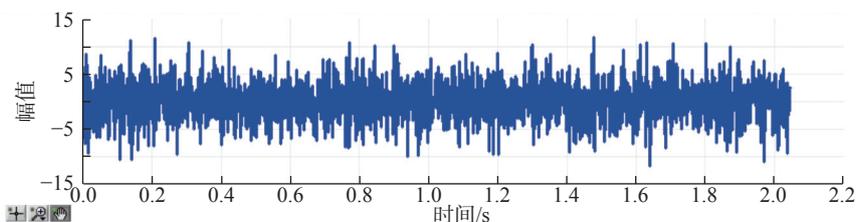


图 6 通道 2 的时域波形图

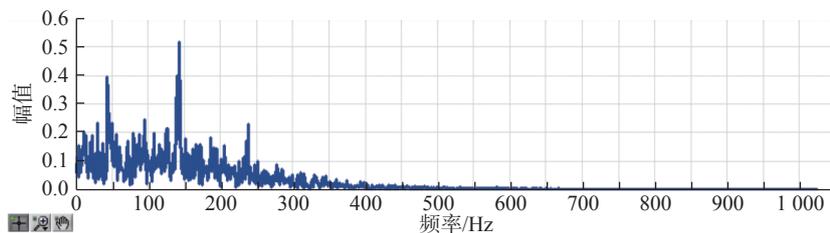


图 7 通道 2 的频域波形图

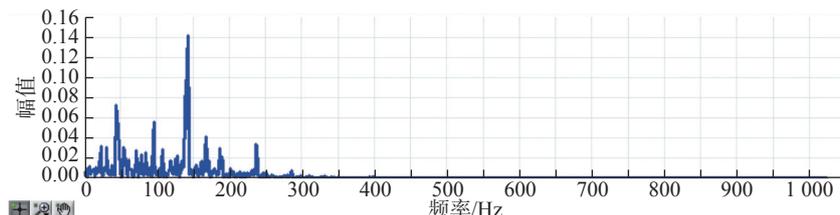


图 8 通道 2 的功率谱波形图

### 3.2 齿轮不对中故障实验

将有不对中故障的中间轴安装在齿轮总成中，运转实验装置进行振动信号采集。不对中故障会使齿轮产生局部接触，导致部分齿轮承受较大的负荷<sup>[13]</sup>。

通道 2 的时域数据波形如图 9 所示。相较图 6，

幅值大小在一个量级，但出现调制现象。

频域数据波形如图 10 所示，向低频方向集中。功率谱数据波形如图 11 所示。分别在转频 45 Hz、倍频 90 Hz、三倍频 135 Hz 附近出现了调制频率的峰值。其中 100 Hz 处的幅值升高最为突出，边带的数量和幅值也增加了。

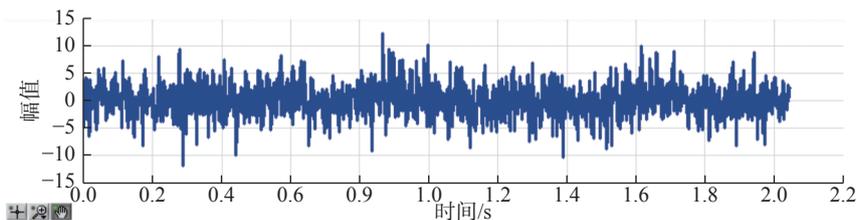


图 9 通道 2 的齿轮偏心故障时域波形

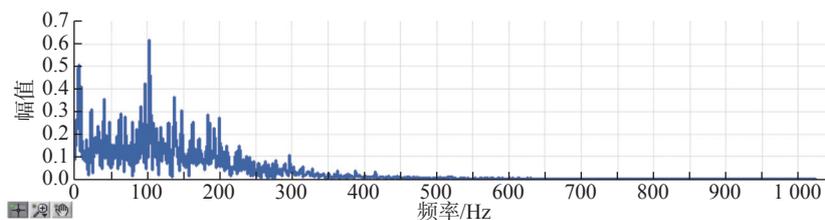


图 10 通道 2 的齿轮偏心故障频域波形

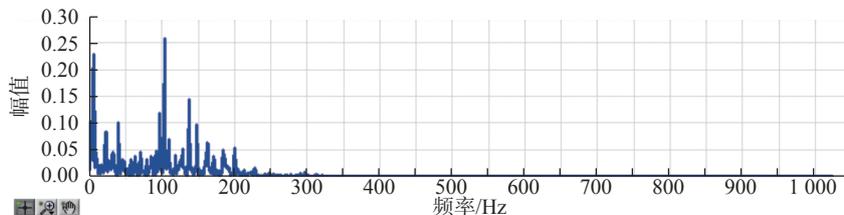


图 11 通道 2 的齿轮偏心故障功率谱波形

### 3.3 滚针轴承断裂故障实验

将断裂的滚针安装到中间轴齿轮总成，运转实验装置进行振动信号采集。滚针断裂，相当于

滚动体故障引起轴承振动，根据滚针轴承几何参数，得到滚动体通过频率的理论值为 24.9 Hz。

通道 2 的时域数据波形如图 12 所示，振动幅

值大小与图6相比,仍在一个量级。并未发现数据存在明显的周期性冲击现象。

频域数据波形如图13所示,振动频率进一步

向低频集中。功率谱数据波形如图14所示,最大的幅值出现的25 Hz,转频45 Hz附近也出现了峰值。

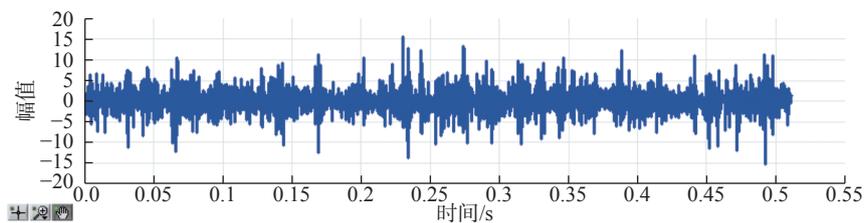


图12 通道2的滚针轴承故障时域波形

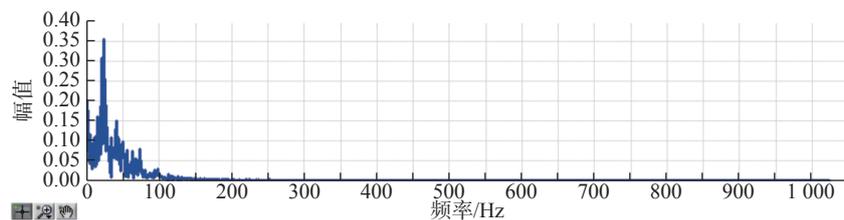


图13 通道2的滚针轴承故障频域波形

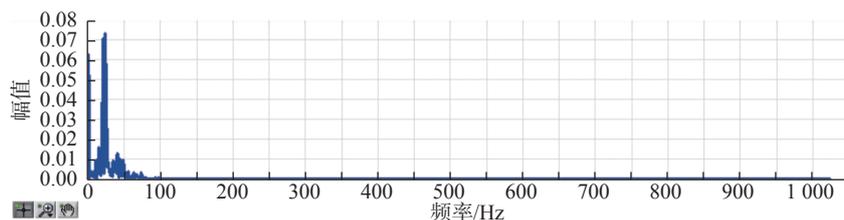


图14 通道2的滚针轴承故障功率谱波形图

## 4 结束语

通过上述实验所得到的时域、频域、功率谱波形表明,基于LabVIEW软件开发的振动信号数据采集、信号处理、分析的功能正常。两挡齿轮箱故障模拟实验系统的故障模拟功能,可用来验证多种齿轮、轴承故障,可作为后续开展教学和研究的实验平台。

## 参考文献

[1] 时钺主编,王广斌,蒋玲莉,文泽军副主编.机械故障诊断技术与应用[M].北京:国防工业出版社,2014.

[2] 张伟杰,韩红利.普通高等教育十四五规划教材 煤矿机械故障诊断与维修[M].北京:冶金工业出版社,2021.

[3] 慕丽.机械工程中检测技术基础与实践教程[M].北京:北京理工大学出版社,2018.

[4] 张晓光,赵志科,陈莹莹.基于齿轮减速器的振动实验装置研制[J].实验技术与管理,2014,31(1):55-59.

[5] 王伟功,钱晓琦,何中原.基于LabVIEW的齿轮箱振动信号采集与分析[J].农业装备与车辆工程,2020,

58(5):123-126.

[6] 李峥,秦朝辉,王天杨,等.直齿齿轮教学试验台研制与应用[J].实验技术与管理,2020,37(6):104-106.

[7] 冯海生,肖永强,吴保国,等.齿轮-转子-轴承系统复合故障振动特性研究[J].机械传动,2022,46(7):7-16.

[8] 陈仕琦.齿轮箱振动仿真及故障诊断研究[D].南京:南京农业大学,2014.

[9] 魏巍宏,刘同冈,马萧萧.机械振动故障综合模拟实验台的研制[J].实验技术与管理,2018,35(9):141-144.

[10] 葛爽.基于虚拟仪器的齿轮箱故障诊断的试验平台开发[D].广州:华南理工大学,2013.

[11] 代鹏.故障直齿轮传动系统动力学建模及振动响应分析[D].芜湖:安徽工程大学,2022.

[12] 严卫忠.一种多故障耦合齿轮箱模拟实验台:200810017578.2[P].2022-05-03.

[13] 沈玉娣,谢凌然,邹今春.轴承-齿轮多故障耦合模拟实验台:200910022782.8[P].2009-11-11.

[14] 苏勋文,曹双倩,刘紫,等.一种齿轮非线性振动故障诊断实验平台:201410083034.1[P].2014-06-04.

[15] 崔颖,赵军,孔明,等.旋转机械故障模拟实验系统:201210519811.3[P].2015-07-08.

编辑 张俊