

引文格式: 李伟, 谭文龙, 刘璐瑶, 等. 基于LabVIEW的精密机床状态监测系统的开发[J]. 航空制造技术, 2025, 68(23/24): 14-24.

LI Wei, TAN Wenlong, LIU Luyao, et al. Development of condition monitoring system for precision machine tool based on LabVIEW[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2025, 68(23/24): 14-24.

基于LabVIEW的精密机床状态监测系统的开发*

李伟, 谭文龙, 刘璐瑶, 刘嘉晨

(湖南大学机械与运载工程学院, 长沙 410082)

[摘要] 针对精密机床加工过程的高精度、高可靠性的需要, 设计开发一套精密机床的状态监测系统。系统以不同的硬件模块构建数据采集平台, 以 LabVIEW 作为软件开发的编程环境, 实现了对机床运行过程中温度、振动、声发射和转速的数据采集、实时存储及信号的分析处理。同时, 利用数据库技术管理大量存储数据。现场试验结果表明, 该系统运行稳定, 各项功能正常, 能够满足使用要求。

关键词: 精密机床; 状态监测; 数据采集; LabVIEW; 数据库

中图分类号: V268; TG58

文献标志码: A

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2025.23/24.014



李伟

教授, 研究方向为智能制造控制系统与高端机床装备开发、半导体晶圆与强光元器件超精密加工技术研发、应急救援工程装备智能化集成设计开发。

精密机床作为现代制造领域的关键制造装备, 可以实现重要零部件的高精度加工, 在航空航天、国防军事及汽车电子等领域发挥着日益重要的作用。随着对制造精度和加工质量的要求不断提高, 机床加工过程中刀具磨损、热变形、振动等问题对加工精度和可靠性的影响难以忽视^[1-2]。因此, 开展精密机床状态监测技术的研究变得至关重要。通过对机床一些关键信号参量的综合监测, 可以获取到机床的状态信息, 及时发现异常和故障情况, 从而有效保障机床运行的可靠性和稳定性。

国外率先开展相关技术方面的研究, 开发出了较为成熟的商业化仪器并进行推广, 例如, 德国西门子的 LMS SCADAS 数据采集系统和丹麦 BK 公司开发的振动与噪声监测系统。虽然这些商业化传统仪器可以应用于机床的状态监测, 但这些仪器设备不仅价格昂贵, 而且系统的

兼容性差, 难以根据实际需求进行系统的功能扩展, 系统开发的灵活性大大受限。为此, 许多学者倾向于自主研发适应特定应用场景的监测系统。Mostaghimi 等^[3]利用电流传感器和加速度计监测主轴的状态信号, 有效预测了机床铣削加工过程中的切削力。Hassan 等^[4]对加工过程中的振动信号进行监测, 并从振动信号中提取特征, 提出了一种广义混合信号融合的方法用于机床的状态监测。Tsai 等^[5]设计了一种 MEMS 加速度计, 实现了机床的振动状态监测。Li 等^[6]对高速电主轴的温度和热位移进行监测, 建立了热误差预测模型。刘成颖等^[7]建立了基于声发射的刀具磨损监测系统, 提出最小二乘支持向量机的方法, 实现了刀具磨损状态的识别。郭宏等^[8]构建了基于 WiFi 技术的振动信号无线采集系统, 并训练了支持向量机回归刀具磨损预测模型, 实现了刀具的磨损监测。黄颖旭等^[9]提出

* 基金项目: 国家科技重大专项(2024ZD0702701, 2025ZD0718401); 湖南省长沙市岳麓山大科城揭榜挂帅项目(43010200)。

了基于主轴电流的铣削力监测方法,建立了主轴电流与铣削力的理论数学模型,该模型得到了试验验证。乔石等^[10]开发了基于功率信息的刀具状态监测系统,实现航空发动机叶片铣削刀具剩余寿命的预测。尽管这些研究为机床状态监测提供了重要经验,但大多数研究往往只关注单个部件或单一信号类型,难以全面反映机床的实际工作状态。多信号融合监测是未来机床状态监测的重要发展方向,也是提升机床智能化水平的关键环节。为精密机床构建出多信号综合监测系统,可以更全面感知机床的运行状态,提高机床故障诊断的准确性,实现机床的预测性维护。

基于此,本文提出一种模块化设计的精密机床状态监测方案,通过高性能硬件模块搭建多通道数据采集硬件系统,实现对温度、振动、声发射和转速信号的综合监测。基于LabVIEW开发软件系统,实现数据的实时采集与显示,采用数据库技术对历史数据进行分类管理,并实现了信号时域、频域和时频域分析的功能。该系统开发成本低、操作简便、易于维护和升级,适用于多种信号类型的集成监测。

1 整体结构方案

监测系统分为硬件层和软件层两部分,其组成结构如图1所示。系统的硬件层由传感器模块、信号调理模块和数据采集模块构成,主要负责将物理量信号转换为计算机可处理的数字量信号。软件层则是通过USB总线与数据采集模块通信,实现数据实时显示、存储及进一步的分析处理。

根据实际应用情况,选取机床的振动、声发射、温度和主轴转速信号作为重点监测对象。后续工作将基于现有的模块化架构进行系统的升级与拓展,以适应新的应用场景。

(1) 振动。精密机床在加工过

程中容易产生振动,这将直接影响工件的加工质量,甚至可能会造成设备的故障。在主要的振源位置安装加速度传感器,对加工过程的振动进行监测,提取信号的特征进行分析,可以有效地获取机床的故障和异常状况^[11]。

(2) 声发射。材料的塑性变形,裂纹、扩展和断裂,摩擦磨损都会伴随着大量的声发射现象^[12]。在测点通过声发射传感器对信号进行监测,可以从获取的数据中提取出有用的机床状态信息。

(3) 温度。在内外热源的影响下,精密机床各部分的温度分布不均,导致热变形,影响运动精度和加工质量^[13]。采用多个热电阻温度传感器对温度信号进行全面监测,实时获取加工过程的温度场变化,能够为热误差补偿模型的建立提供数据支撑。

(4) 主轴转速。机床加工过程中,主轴的转速信号与振动、温度等信号具有较大的相关性^[14-15]。对主轴转速与其他信号进行联合分析,可以为后续的工艺参数优化提供重要参考。采用光电转速传感器,能够对

主轴的转速进行非接触式测量。

2 硬件系统设计

2.1 传感器类型的选型

对于温度测量,采用Pt100热电阻传感器,该传感器测量精度高,线性度高;声发射传感器选用PAC公司的P-R15a,该传感器是一种高灵敏度的窄带谐振传感器,能够有效抑制低频噪声;振动传感器选用PCB公司的加速度传感器333B30,该传感器属于IEPE型传感器,内置信号调理电路;转速传感器采用东华测试公司的光电转速传感器DH5640,该传感器根据反射激光输出脉冲信号,可以实现对旋转设备的非接触式测量。传感器类型及关键参数如表1所示。

2.2 信号调理及采集模块的选型

采用思迈科华公司的M2111温度采集远程IO模块采集Pt100热电阻的温度信号,该模块基于Modbus RTU标准协议与计算机通信,并采用型号为SDS1001串口转换器使M2111的RS485接口转换为USB接口与计算机连接;振动信号的采集利

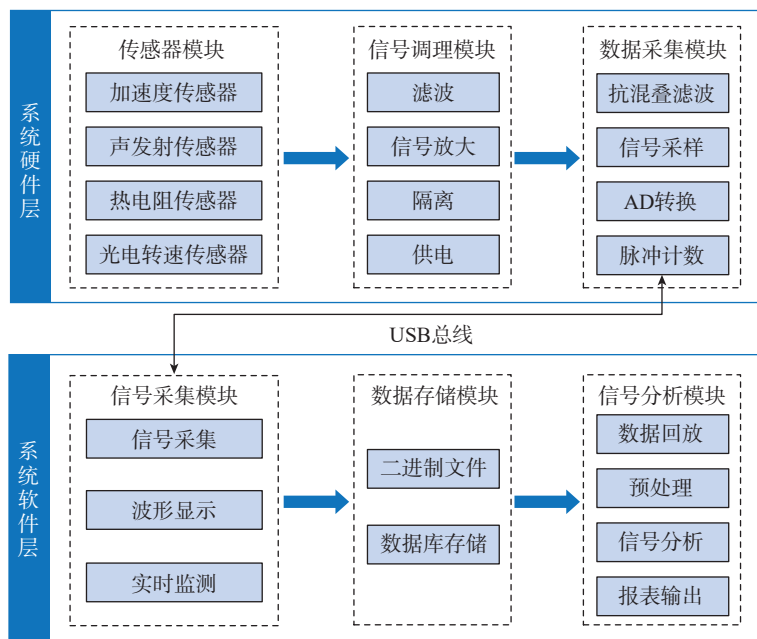


图1 系统的整体结构

Fig.1 Overall structure of the system

用美国NI公司的USB-4432采集卡,该采集卡可以为加速度传感器提供正常工作所需的2.1 mA的恒流激励,最高采样率102.4 kHz,24位分辨率;由于声发射传感器输出的信号属于毫伏级别的微弱电压信号,故采用PAC公司2/4/6C放大器进行信号放大,该放大器有20/40/60 dB三档可调放大增益,放大后的信号用NI公司的USB-6366高速采集卡进行采集,该采集卡最高采样率达2 MHz,满足采样率需求;光电转速传感器输出的脉冲方波直接接入USB-6366的计数器端口,通过软件解析可计算出实际转速值。硬件系统的结构组成如图2所示。为了硬件系统的便捷性,将信号调理模块和数据采集模块集成于定制的机箱中,机箱对外预留出各个传感器的通道接口,如图3(a)所示,其内部硬件结构如图3(b)所示。

3 软件系统设计

系统的软件开发以LabVIEW为编程环境。LabVIEW作为图形化编程环境,主要应用于测试、测量和自动化领域^[16],其模块化的编程架构利于复杂系统的开发。软件系统的功能结构如图4所示,主要实现数据采集、数据存储管理、数据分析处理3大部分的功能,在此基础上再对功能模块作具体的划分。软件系统的开发采用DQMH(Delacor queued message handler)框架,该框架基于事件的消息处理和脚本工具在NI的QMH(Queued message handler)框架的基础上得到了拓展,非常适合多模块并行运行的应用场景。每个模块拥有独立的消息队列,用于接收和发送消息,模块之间通过事件请求和事件广播的方式实现高效通信。这种开发架构有效降低了模块之间的耦合性,提高了软件程序的可靠性和可维护性。

3.1 数据采集与显示

运行软件首先会进入登录界面,

表1 所选传感器及其具体参数

Table 1 Selected sensors and their specific parameters

传感器类型	型号	数量	关键参数
热电阻传感器	Pt100	12	测温范围-50~200℃,精度为±0.1℃
声发射传感器	P-R15a	1	频响范围50~400 kHz,中心频率150 kHz
振动传感器	333B30	3	量程为±50 g,频响范围0.5~3 kHz,灵敏度100 mV/g
光电转速传感器	DH5640	1	量程范围0~20000 r/min,监测距离70 mm

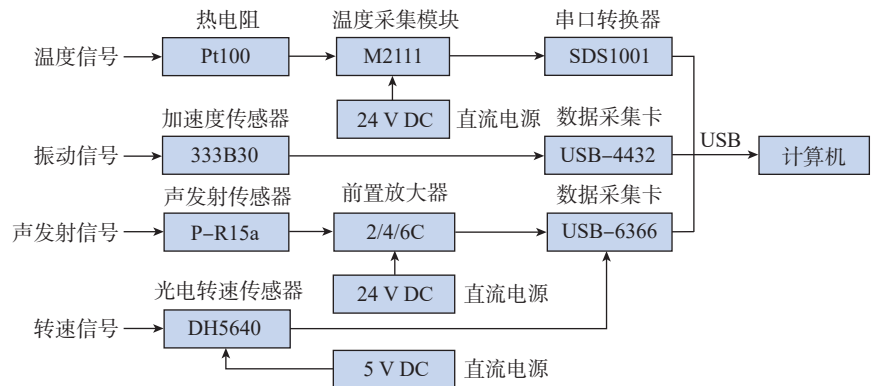
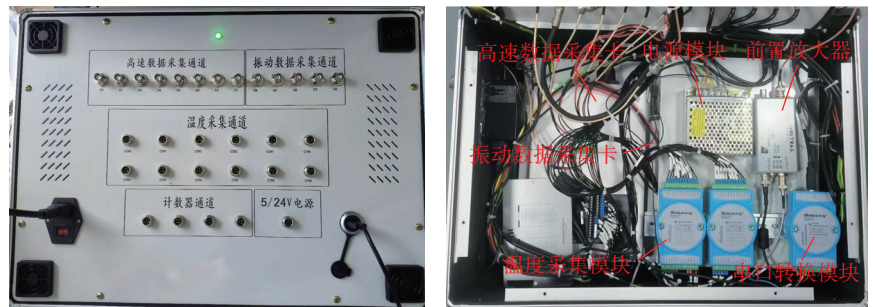


图2 硬件系统的结构组成

Fig.2 Structure composition of the hardware system



(a) 机箱对外传感器接口

(b) 机箱内部硬件结构

图3 数据采集机箱

Fig.3 Data acquisition chassis

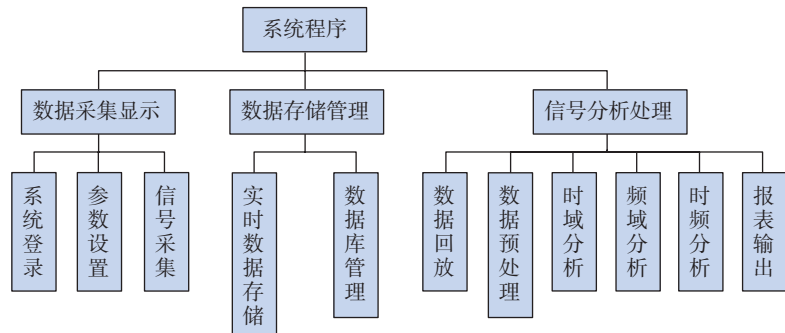


图4 软件功能结构

Fig.4 Software function structure

程序对用户的输入信息与数据库中的人员信息表进行比较,身份验证成功后可进入到软件的主界面。软件的主界面作为系统的主要操作界面,可以进行采样参数的设置、采集任务的控制和波形数据的实时显示等一系列操作,软件界面如图 5 所示。为简化参数配置过程,所有信号采集模块的配置参数均以配置文件的形式保存,并在开始采集任务前统一设定。当执行信号采集时,主界面模块调用并启动各信号采集子模块,同时基于 DQMH 框架以事件驱动的方式实现数据传输。主界面模块通过事件请求的方式向多个信号采集子模块传递控制指令,从而实现采集任务启停的同时控制。信号采集子模块通过事件广播的方式将数据回传至主界面模块,并且通过子面板技术实现数据的实时显示和更新。

温度信号采集子模块基于 Modbus RTU 协议经串口与温度采集远程 IO 模块进行通信。当进行温度值读取时,上位机软件作为主机将通过串口向对应设备地址的从机发送数据帧,从机接收到数据帧并且 CRC 校验无误后将向主机返回存储于输入寄存器中的温度值。

振动、声发射以及转速信号的采集依赖于 NI 公司的数据采集卡。NI 公司在 LabVIEW 中提供了 DAQmx 驱动程序,用于 NI 采集卡的编程控制。针对不同类型的信号,使用 DAQmx 库中的函数来编写相应的采集程序。整个数据采集流程包括创建采集任务、配置采样参数、启动采集、读取数据、显示及存储等步骤,流程如图 6 所示。

3.2 数据存储管理

为满足实时数据存储的需求,系统采用了两种存储方式:数据库存储与 TDMS (Technical data management streaming) 文件存储。这两种方式可在软件的参数设置界面中进行配置。数据库存储具有较高的安全性,

并支持复杂查询和其他操作,便于后续大批量数据管理。然而,数据库写入效率不高,对于高采样率数据(如声发射信号)的实时存储,可能会因为数据存储速率无法跟上采样速率而导致数据的丢失。TDMS 文件格式是由 NI 公司开发的二进制文件格式,具有较高的写入和读取速度,能够应对高采样率数据的实时数据存储情况。因此,在数据量较大的情况下,可以采用 TDMS 文件存储方式,后续可将这些数据再导入至数据库

中。数据存储程序如图 7 所示。

为了进行数据库的高效管理,将数据分为历史数据、用户信息、设备信息分别存储于数据库中,数据存储结构如图 8 所示。其中,用户信息和设备信息的数据表的创建是静态的,数据表创建后只需要对表中的数据信息进行更新而无需重新建表。用户信息表用于登录验证,包括用户名、密码及权限等字段;设备信息表则记录了系统的硬件模块及其型号和关键参数。针对历史数据,若所有数据

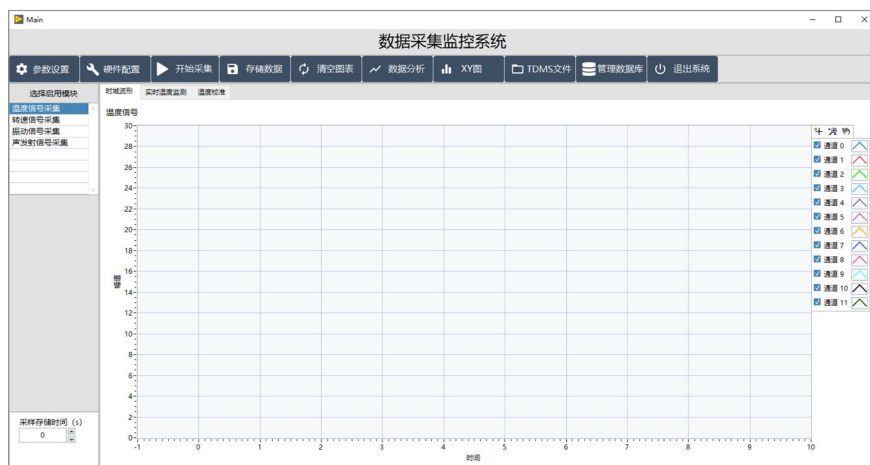


图 5 软件系统的主界面

Fig.5 Main interface of the software system

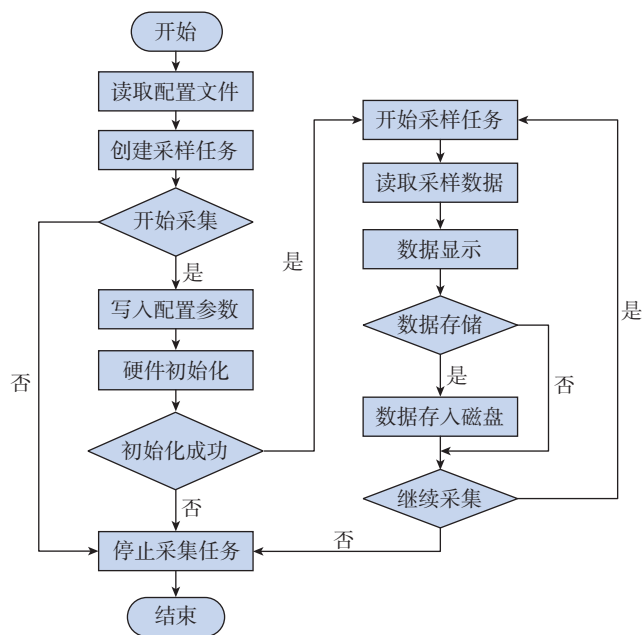


图 6 数据采集流程

Fig.6 Data acquisition process

集存储于单一表格中,随着数据量增长,查询性能会下降。为此,程序会根据数据类型和日期动态创建数据表,当日采集的数据将存入对应的表中,次日则新建一个数据表以保证良好的数据管理性能。

数据库管理模块可以进行数据的查询、添加、修改和删除。因为该模块涉及对重要数据的读写操作,所以用户的访问权限必须为管理员。数据库管理模块的软件界面如图9所示。在历史数据库部分,可以根据数据类型查询对应日期的数据,查询的数据在界面右侧的表格中显示,也能够对所选的数据表进行删除;用户管理库部分,可以添加新用户,删除旧用户,对用户的用户名和密码进行修改;设备信息库部分,能够查询硬件设备信息并可以对其进行更改。

3.3 信号预处理及分析

信号预处理部分旨在对采集到的数据进行初步处理,以提高后续分析的准确性和有效性。

该模块实现了数据截取、信号重采样、滤波去噪等功能,软件界面如图10所示。为处理不同类型的信号,该模块集成了多种滤波去噪的方法,如有限脉冲响应(FIR)滤波、中值滤波、滑动平均滤波、梳状滤波、小波去噪。在程序中调用MATLAB节点,通过MATLAB中的函数来实现滤波器的设计,图11为FIR滤波器程序框图。

信号分析模块通过对预处理后的信号进行分析处理,提取信号的基本特征和有用信息。根据不同类型的信号特性,该模块实现了时域分析、频域分析以及时频分析功能。

(1)时域分析模块。时域分析模块可以计算信号的均值、方差、有效值、最大值、最小值、峰峰值等统计参数,并支持自相关和互相关分析。自相关是指一个信号与其自身在不同时间延迟下的相似性测量,信号的自相关函数会在周期性延迟处出现

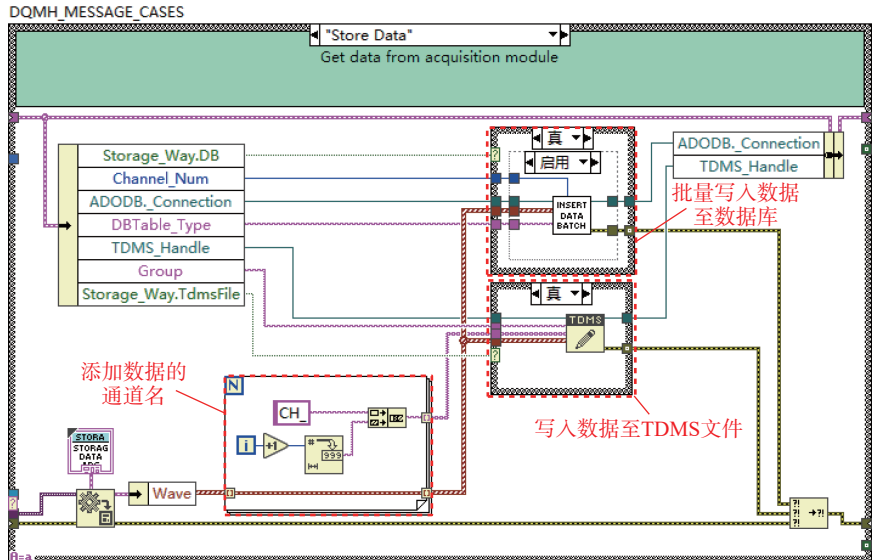


图7 实时数据存储程序

Fig.7 Real-time data storage program

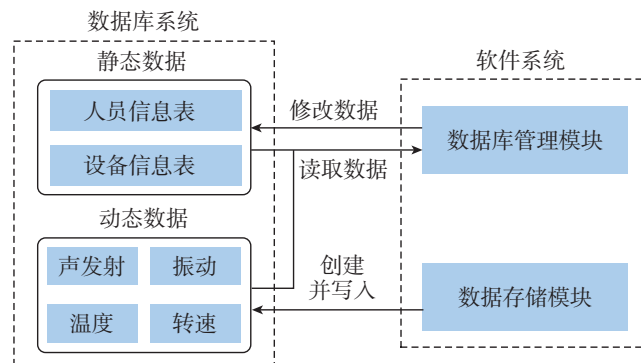


图8 数据库中的数据存储结构

Fig.8 Data storage structure in a database

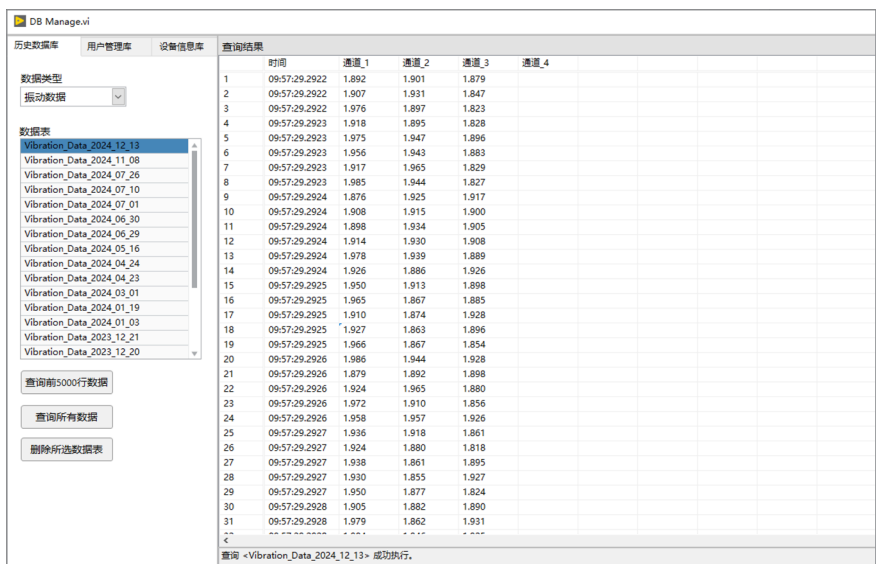


图9 数据库管理模块

Fig.9 Database management module

峰值,利用这一特性可以估计信号的基本频率;互相关分析则评估两个信号在不同时延下的相关程度,通过互相关函数的峰值位置确定两者之间的时间延迟。互相关分析的程序

框图如图 12 所示。

(2)频域分析模块。频域分析模块基于傅里叶变换将信号从时域转换到频域,通过频谱分析信号特性。图 13 为信号频谱分析程序,为

减少因时域截断导致的频谱泄露现象,可选择为信号加入不同的窗函数。软件中提供了幅值谱和功率谱两种方式来展示信号频谱,其中幅值谱反映信号各频率分量的强度,而功

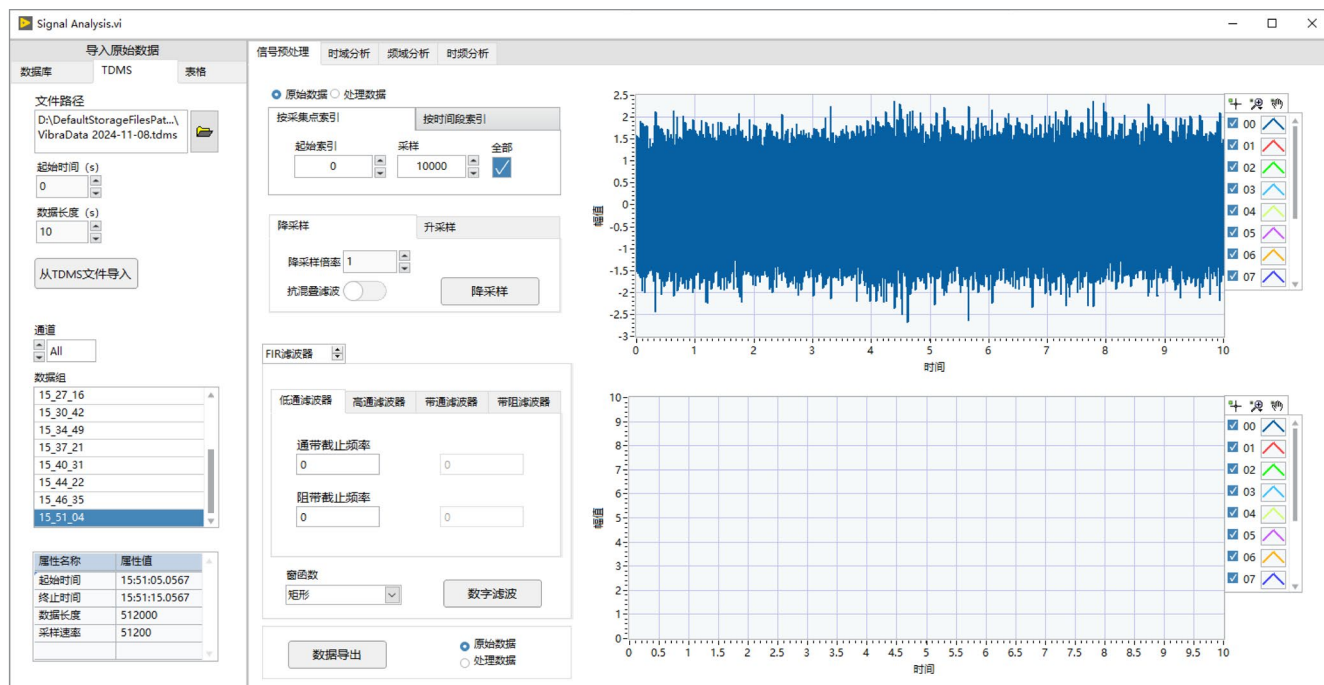


图 10 信号预处理软件界面

Fig.10 Signal preprocessing software interface

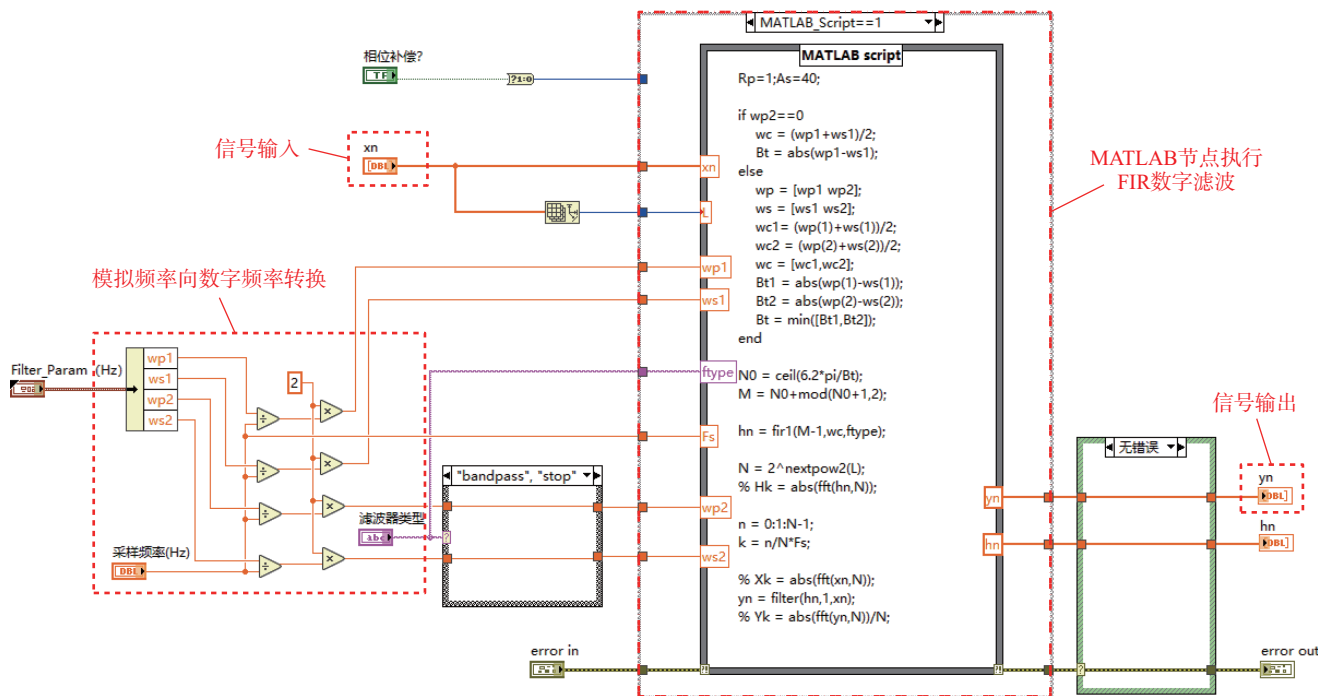


图 11 FIR 滤波器程序

Fig.11 FIR filter program

率谱表示信号能量或功率在各个频率上的分布。

(3)时频分析模块。对于频率特性随时间变化的非稳态信号,基于傅里叶变换的频域分析会使信号丢

失时间信息,仅保留频率信息,故频域分析方法不再适用,此时需要进行时频联合分析。软件程序中采用短时傅里叶变换(STFT)进行时频分析,通过设置时间步长、窗函数、窗长

度等参数,可以在时间和频率分辨率之间取得平衡,从而得到信号的时频分析结果。图14为信号的时频分析程序。

报表输出模块将信号的处理分

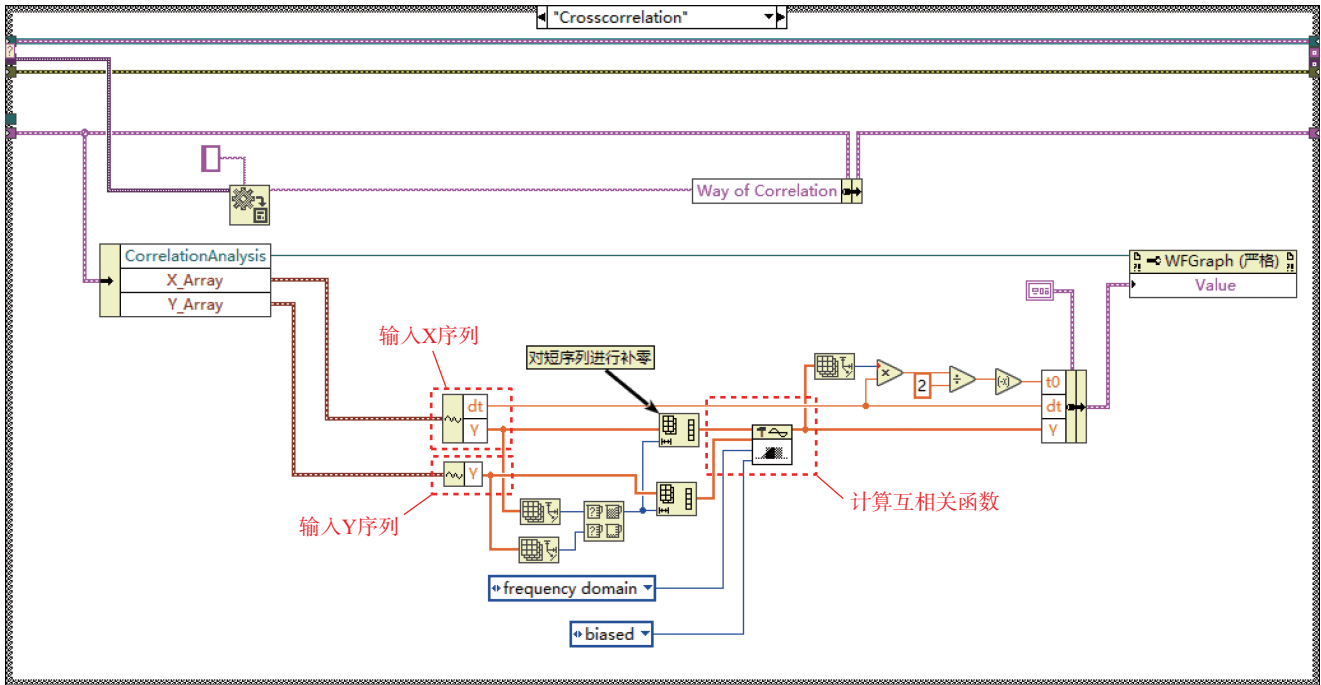


图12 信号互相关分析
Fig.12 Signal cross-correlation analysis

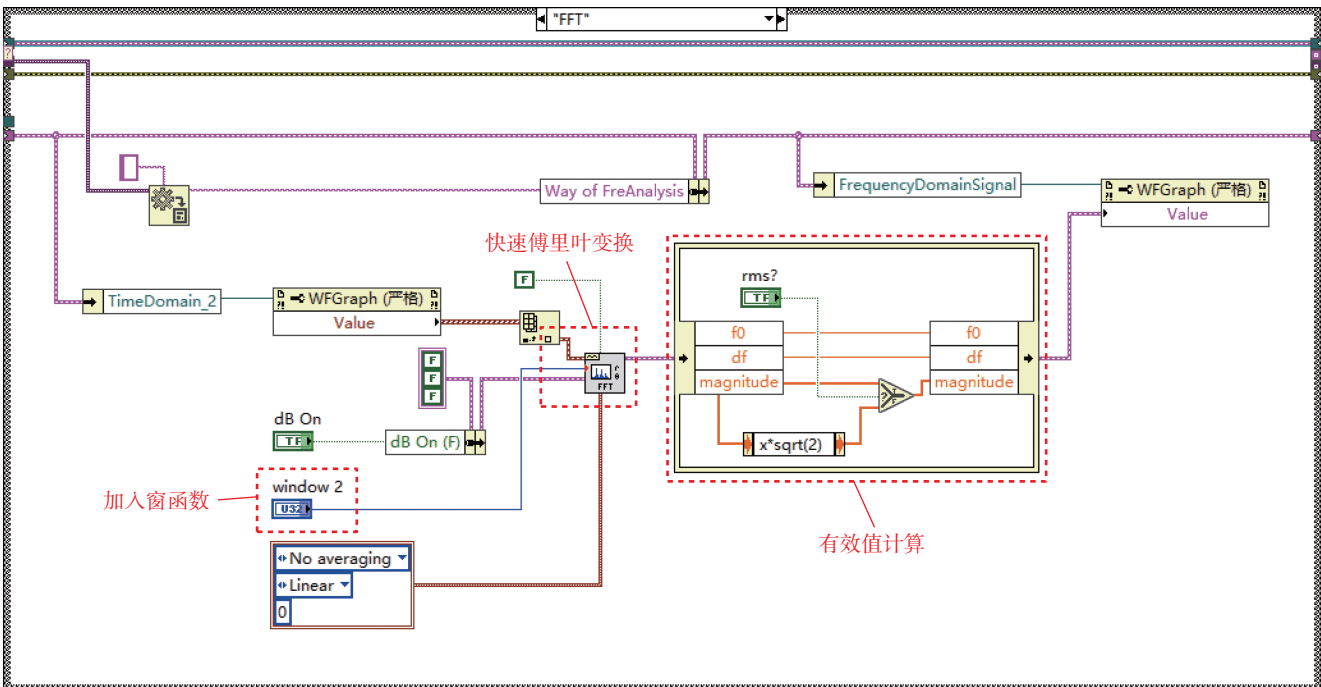


图13 信号的频谱分析
Fig.13 Frequency spectrum analysis of the signal

析结果导出至 Excel 表格。该部分程序采用 Report Generation 工具包中的相关函数编写,程序根据预先创建好的 Excel 报表模板,将需要输出的数据写入表格中。数据导出程序如图 15 所示,导出的 Excel 表格在工作表

的第 1 页记录数据的基本属性,如采样起止时间、数据长度、采样率等,工作表的第 2 页记录数据的具体数值。

4 系统试验验证

为了验证系统的各项功能,开展

精密机床的砂轮磨削工件试验、机床主轴的回转升温试验和主轴振动测试试验,采集试验过程中的声发射、温度、主轴转速和振动信号。硬件实物及系统连接如图 16 所示。

在 450CNC 数控精密平面磨床

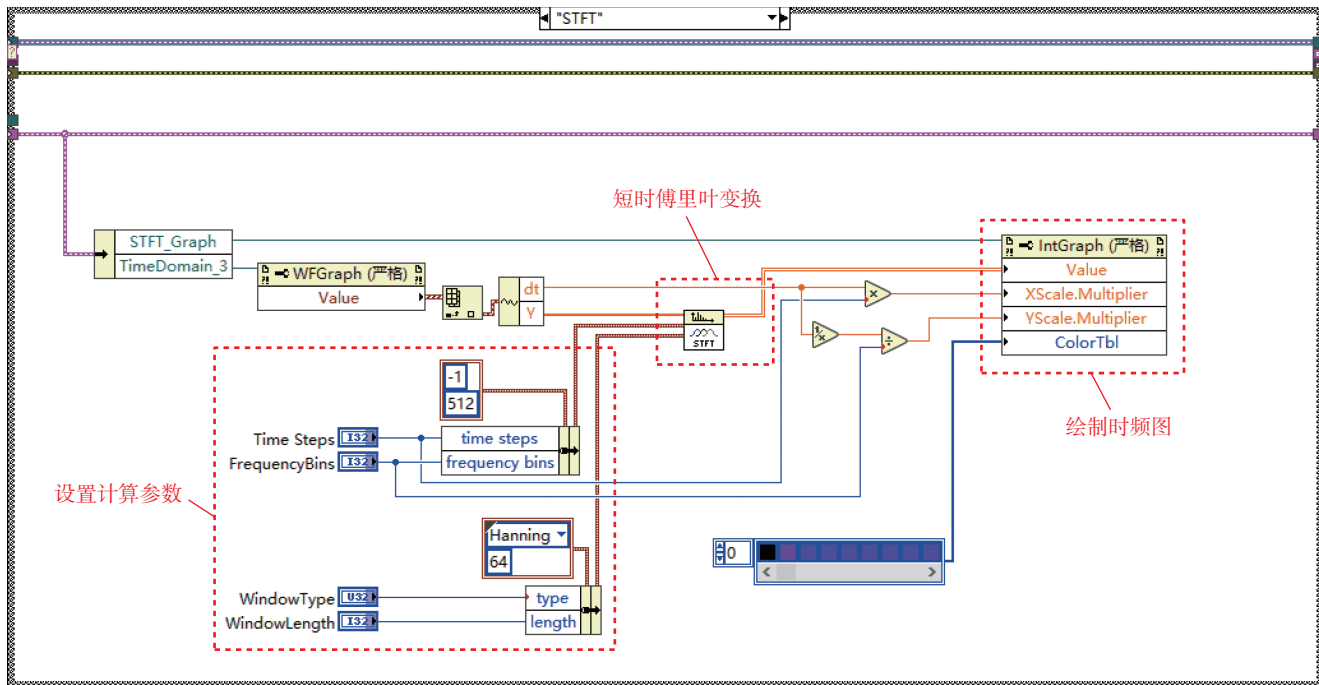


图 14 信号的时频分析

Fig.14 Time-frequency analysis of signals

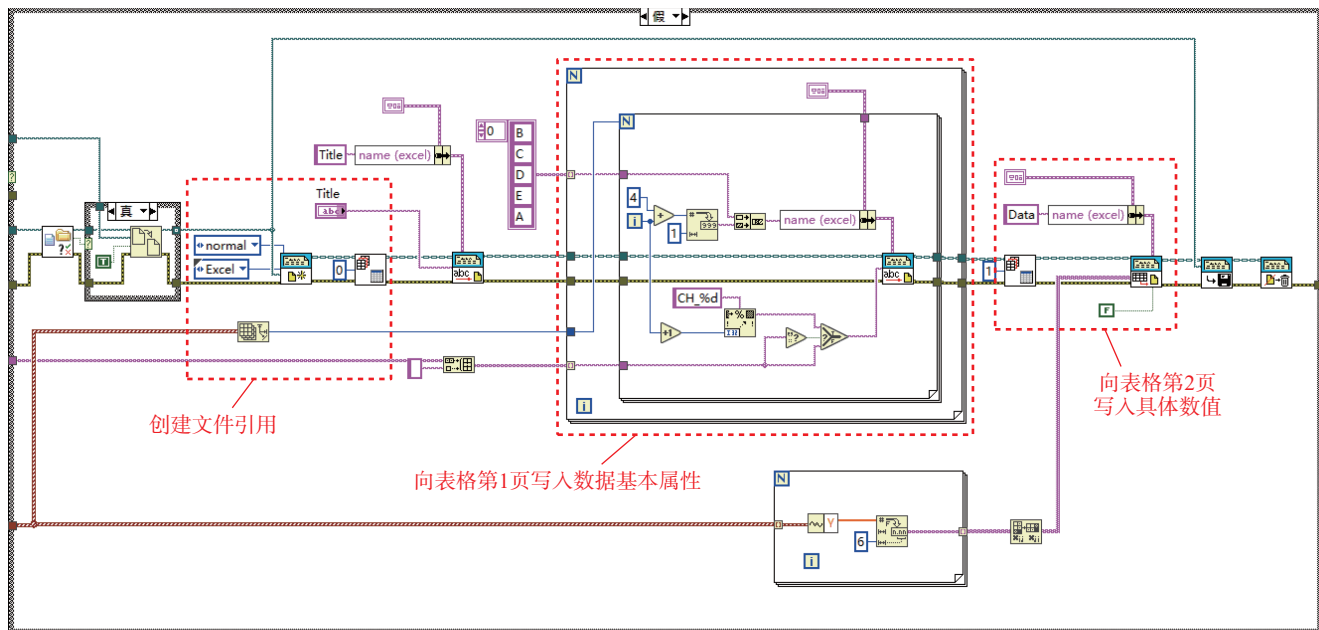


图 15 数据导出程序

Fig.15 Data export program

上进行砂轮磨削工件试验,声发射传感器布置在工作台上,试验现场如图17所示。机床主轴转速 2000 r/min,工作台进给速度 6000 mm/min,磨削深度 0.1 mm,声发射信号的采样频率为 2 MHz。图 18 为砂轮处于不同磨损阶段的声发射信号,对比不同磨损阶段的信号频谱图,可以看到声发射信号的能量主要在 150 kHz 频率范围内。砂轮处于初期磨损时,在 35 kHz 处有一个幅值较大的尖峰;砂轮继续磨损,当处于中度磨损时,35 kHz 处的尖峰的幅值减小,135 kHz 处频率幅值增大;当砂轮经过多次磨削后处于严重磨损阶段时,在 16 kHz 频率附近的幅值增大,同时在高频部分的幅值有所增加,130 kHz 和 145 kHz 处都出现幅值较大的尖峰。分析表明,在不同磨损阶段,声发射信号的频率特性有所不同,这有助于评估砂轮的磨损状态。

在主轴的回转升温试验中,主轴的前后两端轴承处分别布置 Pt100 热电阻温度传感器,同时固定光电转速

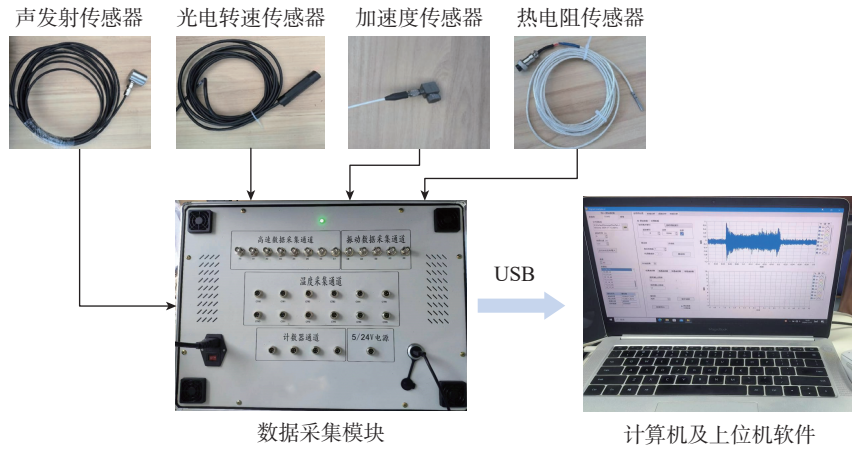


图 16 硬件实物及系统连接
Fig.16 Hardware and system connection

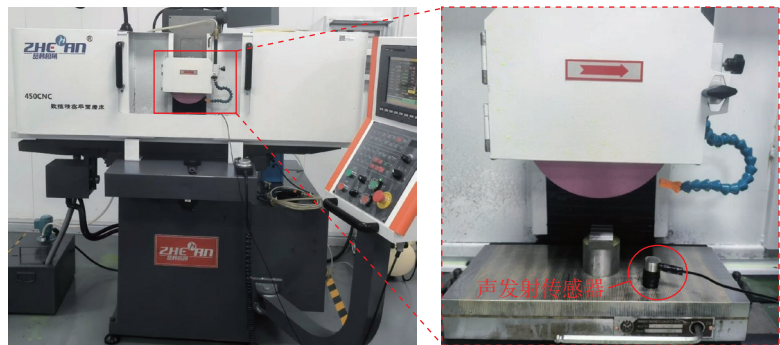


图 17 数控精密平面磨床及声发射监测
Fig.17 CNC precision surface grinding machine and acoustic emission monitoring

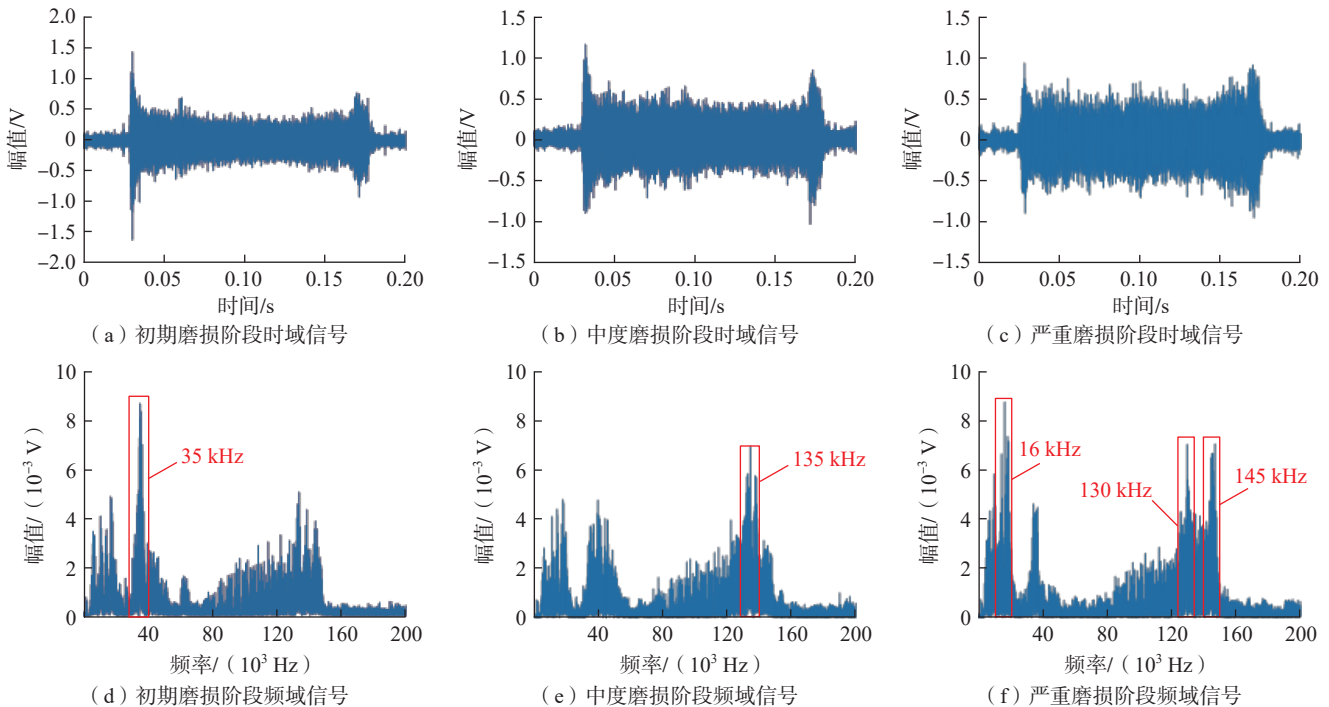


图 18 砂轮不同磨损阶段的声发射信号

Fig.18 Acoustic emission signal of grinding wheel at different wear stages

传感器以实时测量主轴的转速。软件中设置温度和转速的采样率为 1 Hz,持续采集和实时存储数据,直至温度趋于稳定。图 19 展示了主轴转速由 1000 r/min 升至 2000 r/min 后的温度变化趋势。在 1000 r/min 下,后端、前端轴承温度通道分别稳定在 25.7 °C 和 26.1 °C,在主轴转速升至 2000 r/min 后,两通道的温度缓慢上升,在 25 min 后趋于稳定,温度分别为 26.1 °C 和 27 °C。图 20 为试验过程中采集到的转速信号,可以看到主轴的转速非常稳定,一直保持在 2000

r/min 左右,最大误差仅有 0.05%。在主轴的振动测试试验中,通过磁座将加速度传感器固定在主轴外壳上。设定采样率为 51200 Hz,采样时间为 20 s。图 21 为主轴转速在 1000 r/min、2000 r/min 和 3000 r/min 下的振动信号及其频谱。从信号的时域来看,振动信号的幅值随主轴转速的增大而增大。观察信号在 0~550 Hz 带宽范围内的频谱,可以看到不同转速下的振动信号在其基频 (RPM) 和一些倍频 $k \times \text{RPM}$ 处都出现了特征峰值,这些频率特征为主轴的故障诊断分析提

供了重要参考。

5 结论

(1) 根据实际应用需求,采用高性能硬件模块构建了多通道数据采集硬件平台,各采集模块集成于定制的机箱内,并通过 USB 总线与软件平台进行通信,实现了对振动、声发射、温度和转速信号的实时采集。

(2) 基于 LabVIEW 图形化编程环境,开发出一套多信号集成的状态监测系统,实现了对加工过程中的多类型信号的实时采集与显示,采用了 TDMS 文件和数据库的方式进行数据的存储和管理,并且实现了对历史数据的信号预处理和信号特征的分析处理。

(3) 开展了现场测试试验,试验结果表明,所开发的状态监测系统各项功能正常,运行稳定可靠,能够有效监控精密机床的工作状态,为进一步提升精密机床的加工质量、优化工艺参数提供了强有力的技术支撑。

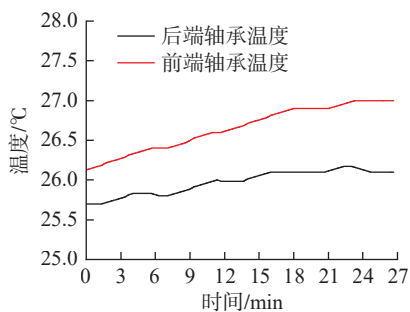


图 19 主轴在 2000 r/min 下温升情况
Fig.19 Temperature rise of the spindle at 2000 r/min

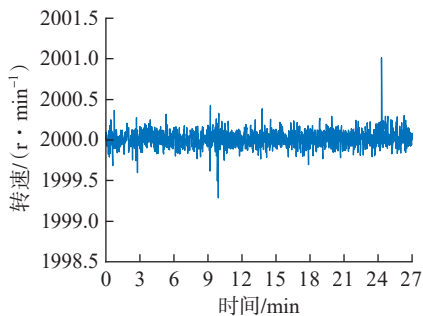
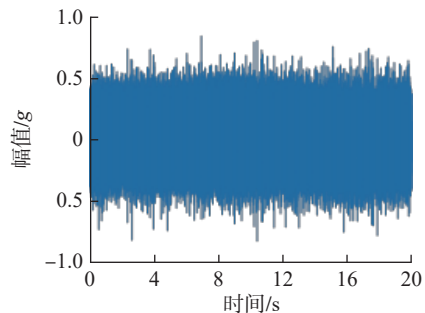


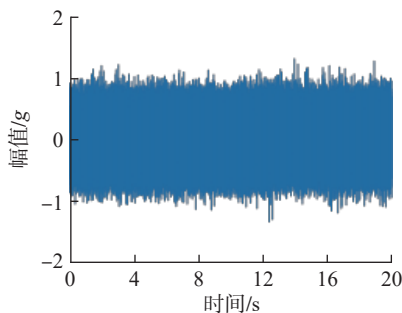
图 20 温升过程中采集的转速信号
Fig.20 Speed signal collected during temperature rise

参考文献

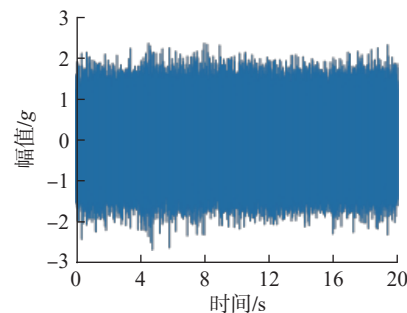
[1] 毕果, 汤期林, 王振忠, 等. 精密磨削



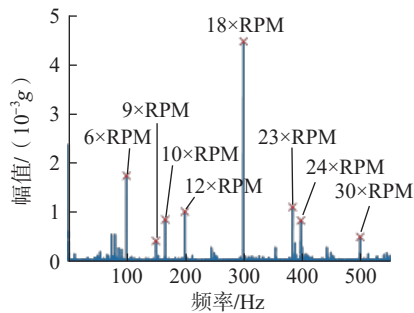
(a) 1000 r/min 下的时域信号



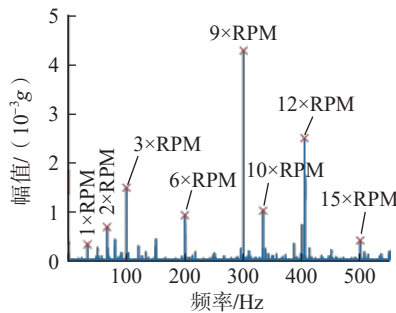
(b) 2000 r/min 下的时域信号



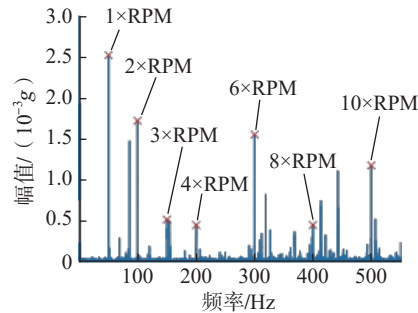
(c) 3000 r/min 下的时域信号



(d) 1000 r/min 下的频域信号



(e) 2000 r/min 下的频域信号



(f) 3000 r/min 下的频域信号

图 21 主轴在不同转速下的振动信号

Fig.21 Vibration signal of spindle under different rotational speeds

机床智能监测系统开发与应用[J]. 航空制造技术, 2019, 62(6): 32–40.

BI Guo, TANG Qilin, WANG Zhenzhong, et al. Development and application of intelligent monitoring system for precision grinding machine tool[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2019, 62(6): 32–40.

[2] 苏史博, 毕果, 彭云峰, 等. 基于LabVIEW的超精密磨床嵌入式监控系统[J]. 航空制造技术, 2020, 63(11): 88–93.

Su Shibo, BI Guo, PENG Yunfeng, et al. Embedded monitoring system of ultra-precision grinding machine based on LabVIEW[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2020, 63(11): 88–93.

[3] MOSTAGHIMI H, PARK C I, KANG G, et al. Reconstruction of cutting forces through fusion of accelerometer and spindle current signals[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2021, 68: 990–1003.

[4] HASSAN M, SADEK A, ATTIA M H. Novel sensor-based tool wear monitoring approach for seamless implementation in high speed milling applications[J]. CIRP Annals, 2021, 70(1): 87–90.

[5] TSAI J M, SUN I C, CHEN K S. Realization and performance evaluation of a machine tool vibration monitoring module by multiple MEMS accelerometer integrations[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021, 114(1): 465–479.

[6] LI Z L, ZHU W M, ZHU B, et al. Thermal error modeling of electric spindle based on particle swarm optimization-SVM neural network[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022, 121(11): 7215–

7227.

[7] 刘成颖, 吴昊, 王立平, 等. 基于PSO优化LS-SVM的刀具磨损状态识别[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2017, 57(9): 975–979.

LIU Chengying, WU Hao, WANG Liping, et al. Tool wear state recognition based on PSO optimized LS-SVM[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2017, 57(9): 975–979.

[8] 郭宏, 胡孔耀, 闫献国, 等. 振动自感知刀具磨损无线监测[J]. 西安交通大学学报, 2022, 56(11): 1–10.

GUO Hong, HU Kongyao, YAN Xianguo, et al. Wireless vibration self-sensing tool wear monitoring[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2022, 56(11): 1–10.

[9] 黄颖旭, 李波, 田锡天. 基于主轴电流的铣削力间接监测方法[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(01): 93–101.

HUANG Yingxu, LI Bo, TIAN Xitian. Indirect monitoring method of milling force based on spindle current[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2022, 28(01): 93–101.

[10] 乔石, 刘阔, 都书博, 等. 基于功率信息的航空发动机叶片铣削刀具监测试验研究[J]. 航空制造技术, 2021, 64(16): 87–92, 110.

QIAO Shi, LIU Kuo, DU Shubo, et al. Research on monitoring test of milling tool for aero-engine blade based on power information[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2021, 64(16): 87–92, 110.

[11] POPESCU T D, AIORDACHIOAIE D, CULEA-FLORESCU A. Basic tools for vibration analysis with applications to predictive maintenance of rotating machines: An overview[J].

The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022, 118(9): 2883–2899.

[12] LIU J H, JIANG C, YANG X, et al. Review of the application of acoustic emission technology in green manufacturing[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2024, 11(3): 995–1016.

[13] SHI H, MA C, YANG J, et al. Investigation into effect of thermal expansion on thermally induced error of ball screw feed drive system of precision machine tools[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2015, 97: 60–71.

[14] 郭锐, 张印浩, 牛雯雯, 等. 基于GLCT及CPA-SVM的变转速齿轮泵健康状态分类研究[J]. 机械工程学报, 2023, 59(14): 310–319.

GUO Rui, ZHANG Yin hao, NIU Wenwen, et al. Research on health status classification of variable speed gear pump based on GLCT and CPA-SVM[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2023, 59(14): 310–319.

[15] 徐荣飞, 范开国. 基于数字孪生的电主轴热特性研究[J]. 中国机械工程, 2022, 33(16): 1965–1971.

XU Rongfei, FAN Kaiguo. Research on thermal characteristics of electric spindle based on digital twin[J]. China Mechanical Engineering, 2022, 33(16): 1965–1971.

[16] SIVARANJANI S, VELMURUGAN S, KATHIRESAN K, et al. Visualization of virtual environment through LabVIEW platform[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 45: 2306–2312.

Development of Condition Monitoring System for Precision Machine Tool Based on LabVIEW

LI Wei, TAN Wenlong, LIU Luyao, LIU Jiachen

(College of Mechanical and Vehicle Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

[ABSTRACT] Aiming at the need of high precision and high reliability in the machining process of precision machine tools, a condition monitoring system of precision machine tools is designed and developed. The system builds a data acquisition platform with different hardware modules, and uses LabVIEW as the programming environment for software development to realize data acquisition, real-time storage and signal analysis and processing of temperature, vibration, acoustic emission and rotational speed during machine tool operation. At the same time, a database technology is used to manage a large number of stored data. Field test results show that the system runs stably, all functions are normal, and can meet the requirements of use.

Keywords: Precision machine tool; Condition monitoring; Data acquisition; LabVIEW; Database

(责编 青燕)