

# 煤矿机电设备智能化检测仪器研制方案

李曼 何仙利 杨茂林 郑思雨 段雍

**煤**矿机械及电子类设备作为煤矿生产中的主要设备，在机械化、自动化、智能化开采中起着重要作用，其性能的优劣直接影响着煤矿生产效率和工作人员的生命安全。煤炭生产受客观自然条件及设备恶劣的工作条件影响，其故障与事故率远高于其他工业设备；对煤矿机电设备在制造、使用、维修等各环节进行有效地检测和评价，及时发现安全隐患，并进行改进和及时维修是确保设备安全、可靠运行的重要手段。为保证煤矿机电设备的安全性和运行的可靠性，专门制定出台了《煤矿安全规程》以及煤矿在用设备安全检测检验规范等一系列章程和标准，对各类设备主要性能参数和运行参数的检测提出了要求。

目前，我国煤矿机电设备检测还存在着以下3点问题：

1) 检测参数不全面，测试方法不够科学，无法获得全面、准确的信息。

2) 检测仪器较落后，通用性差，综合评判能力弱，智能化程度低。

3) 行业和企业对检测方法、技术和设备的研发重视不够，从事相关研究的人员少，资金投入不足。

上述问题导致了煤矿机电设备检测技术和装置整体水平偏低，成为制约煤炭工业和装备技术发展的主要因素之一。我国煤矿机电设备的检测工作主要由有资质的国家级煤矿设备质量监督检验中心、省级煤矿安全装备检测中心和各国有大型煤矿企业建立的技术检测机构来完成。国家级检验中心主要承担着煤炭行业各种机电设备机械性能和安全性能的检测检验，包括国家质量监督抽查检验、安全标志检验、生产许可证检验、鉴定检验、质量认证检验等；各省煤矿设备安全检测中心，主要开展现

场在用设备的安全检测检验工作；此外，煤炭行业自己建立的检测机构，主要以解决自身技术问题及设备生产、维修过程的性能检测与评价为目的。2019年5月发布的《安全评价检测检验机构管理办法》提出了煤矿设备检测机构资质新的管理办法，取消了安全生产检测检验资质甲、乙分级设置，资质交由省级相关部门审批；同时，取消了检测机构从业地域限制和检测机构计划性数量限制。

煤矿机械设备种类繁多，主要有开采、掘进、运输、通风、排水等设备，这些设备在研制、生产和维修等过程中都需要进行性能检测。根据国家安全监管总局、国家矿山安全监察局印发的《煤矿在用安全设备检测检验目录》，提升、通风、排水、空气压缩、输送带运输等设备还需按煤矿在用设备安全检测检验规范，由有资质的检测部门进行现场检测。随着煤矿生产自动化、智能化程度的不断提高，各类检测仪器仪表、传感设备、监测设备、通信设备、控制设备、电源等电子类产品使用数量大幅增加，相应的检测需求也日益增加。在煤矿机电设备的检测中，检测仪器的检测水平至关重要。国家级检验中心技术水平较高，拥有相对较先进的仪器装备，但这些仪器主要适用于实验室条件；各省煤矿设备安全检测中心和煤矿企业自己建立的检测机构，所用的检测设备多以分离仪器和针对单个设备的综合检测仪器为主，仪器设备整体的检测水平不高，技术较落后，智能化程度较低。

笔者针对目前所存在的问题，基于先进的现代检测技术、计算机技术和智能仪器技术，提出了煤矿在用机械设备及电子类设备性能测试仪器硬件构建和软件设计方法，可实现煤矿机电设备性能准确、有效地检测和评价，为满足现代化煤矿安全生

产的需要提供新手段。

## 煤矿机电设备智能化检测仪器硬件构建方案

### 基于 USB 总线的便携式集成化仪器构建方案

根据煤矿在用设备安全检测检验规范和实际需求,提升、通风、排水、空气压缩、输送带运输等各设备需要检测的参数如下:

1) 提升设备。提升速度、提升力、制动力矩、制动闸液压系统油压、油温、空动时间、闸瓦间隙、制动盘偏摆度、电机功率等。

2) 通风设备。空气密度(通过测量空气温度、湿度、大气压力计算获得)、风量、全压、静压、转速、轴功率、温度(轴承和电动机温升)、振动等。

3) 排水设备。流量、扬程(通过测量水泵入口压力和出口压力获得)、转速、轴功率、振动等。

4) 空气压缩设备。压力(大气压力、一级吸气压力、一级排气压力、二级排气压力、风包压力、润滑油压力等)、温度(大气温度、一级吸排气温度、二级吸排气温度、风包温度、润滑油温度、冷却水进、出口温度)、排气量、电机转速和功率等。

5) 带式输送机。带速及启动/制动加速度、电动机功率及转速、温度(制动部件表面温度、液压油油温、带式输送机工作环境温度)、噪声、制动盘偏摆量、闸瓦间隙、液压油压力等。

根据上述各设备所需测试参数的异同,可将参数划分为以下8类:温度、压力、位移、功率、振动、速度、流量、其他。通过对8类参数的测量及相应的分析与计算,可直接或间接获得各设备的性能参数。根据煤矿在用设备的检测需求和实际应用场景,检测仪器采用集成化设计思想,集多个设备检测功能于一体,同时考虑到其便于移动和携带的需求,检测仪器采用USB总线结构形式。USB总线结构具有总线供电、成本低、即插即用、热插拔、方便快捷等特点。检测仪器硬件主要由传感器模块、信号调理模块、采集卡和测试主机部分组成。集成虚拟检测仪器硬件组成如图1所示。

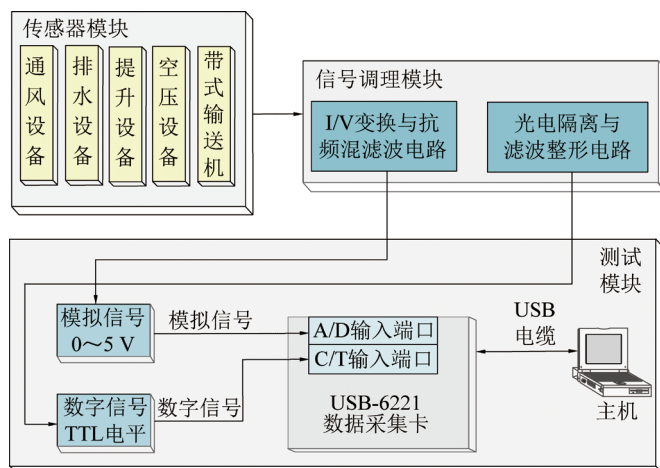


图1 集成虚拟检测仪器硬件组成

检测仪器的传感器部分分别由获取提升、通风、排水、空气压缩、输送带运输设备相应参数的5个传感器组组成,5组传感器分时复用后续硬件电路。为了便于后续电路设计,根据所测参数将传感器分为模拟传感器和数字传感器2类:模拟类传感器输出信号采用4~20 mA电流信号;数字类传感器信号输出采用TTL电平。通过信号调理电路完成模拟信号的I/V变换和抗频混滤波,以完成数字信号的光电隔离和滤波整形;采集卡选用NI公司M系列,基于USB总线的NI USB-6221多功能采集卡。

### 基于 PXI 的电子类设备测试平台构建方案

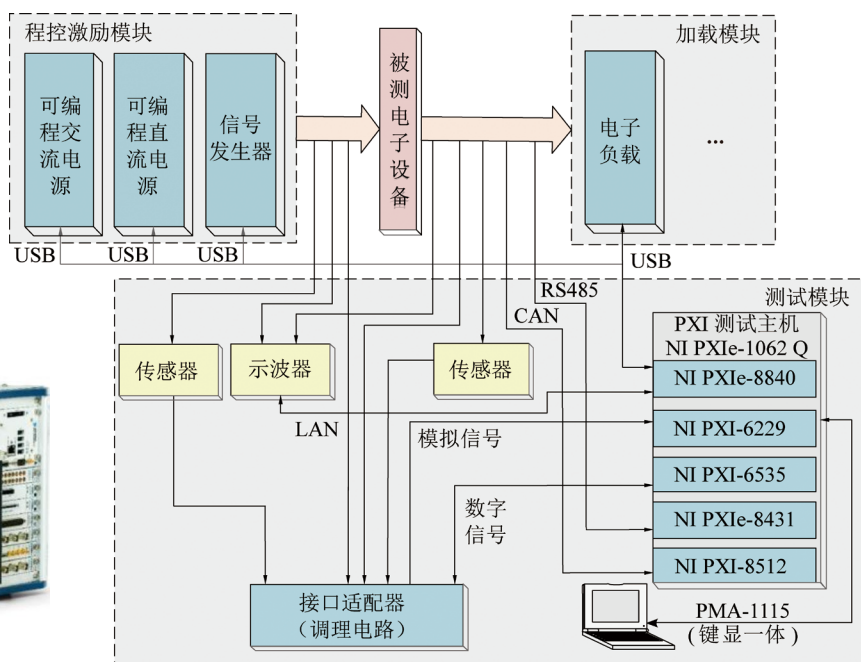
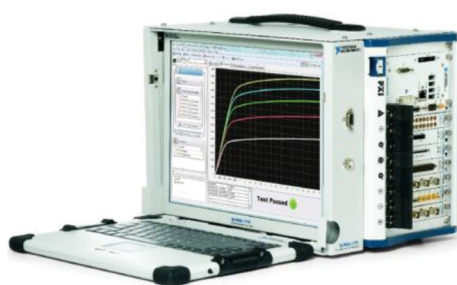
煤矿电子设备供电电源主要有直流24、18、12、5 V等,设备信号主要有TTL电平的数字信号、RS485协议信号、CAN协议信号、0~10 V等电压型模拟信号、4~20 mA电流型模拟信号等。测试系统采用PXI总线结构,主要包括信号激励、测量和加载3大部分。PXI总线结构是一种专为工业数据采集与自动化应用量身定制的模块化仪器平台,具备机械、电气与软件等多方面的专业特性,便于功能扩展,适合工业环境下振动、撞击、温度与湿度的极限条件。测试系统主机以NI PXIe-1062Q机箱、NI PXIe-8840零槽控制器为核心,根据所测信号类型配置模拟信号采集卡NI PXI-6229、数字I/O卡NI PXI-6535、串口通信卡NI



3 | 2

图2 基于PXI的电子类设备测试平台组成

图3 煤矿机电设备智能化检测仪器主机



PXIe-8431和CAN通信卡NI PXI-8512。零槽控制器和各板卡安装于NI PXIe-1062Q机箱，构成PXI测试主机，人机交互采用带触摸功能的PMA-1115显示器和键盘一体装置；主机可支持模拟、数字、RS485和CAN多模式信号的测量，以及示波器等外部通用仪器测量的信号读取。激励模块由可编程交流、直流电源和可编程信号发生器组成。加载模块由可编程电子负载组成，实现对电子设备的拉载和卸载。主机与激励电源、信号发生器、示波器、电子负载等外部通用仪器设备采用LAN或USB总线方式进行通信，实现对外部仪器的控制和测试数据的读取。基于PXI的电子类设备测试平台组成如图2所示，煤矿机电设备智能化检测仪器主机如图3所示。

### 煤矿机电设备智能化检测仪器软件设计方案

以计算机为核心的虚拟仪器，其软件设计至关重要。煤矿机械及电子类设备种类繁多，测试仪器所完成的功能也多；针对不同任务、不同规模的自动测试系统程序，选择合适的设计方案和程序架构，可简化测试项目的开发过程，缩短系统开发调试的周期，同时提高软件的可扩展性、可移植性及可维护性。在煤矿设备性能检测软件开发中，

选用LabVIEW开发工具，根据实现功能的不同，采用面向过程、对象、组件3种程序设计方案。LabVIEW是一种基于图形化、数据流、多线程的编程语言，是自动测试系统软件开发的主要工具；以LabVIEW为平台开发自动测试系统程序时，面向过程的程序设计方案适用于任务简单、被测试参数较少的程序开发，其编程工作量少，软件结构简单易读；面向对象的程序设计方案适用于复杂测试任务和多参数集测试程序开发，其编程重复工作少，灵活性、可扩展性强，方便修改和维护；此外，对完成多个复杂测试任务，且测试任务具有一定共性的程序时，面向组件的程序设计方案是最佳选择，其重用性和可移植性好的优点可得到充分发挥。

软件设计采用3层递进结构，程序由主VI、二级主VI和多级子VI调用实现各测试功能。第1层为主控程序层，作为用户界面和测试执行状态机，采用While循环嵌套Case、EVENT事件框结构；第2层为测试分析层，由主控程序层驱动，根据测试要求，该层由多个独立的测量子VI和分析处理子VI、验算子VI、报表生成子VI、数据管理子VI等组成，以满足主程序层在不同功能中的调用；最底层为驱动层，负责与外部仪器、NI板卡及其他应用程序之间的通信。煤矿机电设备安全检测集成虚



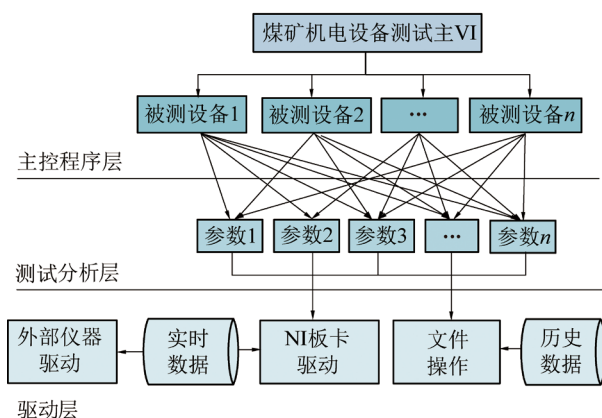


图4 煤矿机电设备安全检测集成虚拟仪器软件结构

拟仪器软件结构如图4所示。

以在用机械设备性能检测软件为例，第1层主控制程序层，完成5个不同测试仪器的选择和登录；第2层由5个不同设备测试VI组成，分别完成提升、通风、排水、压风、输送带运输5种设备性能检测所需的各项工作；主控制程序采用控件触发事件方式进入设备程序层，以此来选择进入5个不同仪器的界面。各仪器共有参数设置、参数测试、数据分析、数据管理、报告生成及操作/帮助6个一级菜单。设备程序层VI以菜单和对话框触发事件的方式进入功能程序层，调用不同功能的子VI。煤矿机电设备安全检测集成虚拟仪器软件组成如图5所示。

在功能程序层中的参数测试模块，按照煤矿设备性能检测仪器硬件构建方案中所划分的8类参数，设计了相应的测量子VI，其目的有2个：一是实现测量数据的采集转换，二是根据不同的测试方法对采集数据进行计算处理获得目标值。同时提供信号分析功能，如频谱分析、相关分析、全息谱分析等通用分析子VI；另外，根据检测检验标准要求，设计相应的验算分析子VI。在数据管理模块中，设计测试数据管理和数据库管理子VI，完成数据库创建，数据存储、读取、传送等工作。在报告生成模块中，应用report generation toolkit工具包，通过调用各设备检验报告的Word模板，根据测试数据，可自动生成所需的检测检验报告。

电子类设备性能检测软件与在用机械设备性能

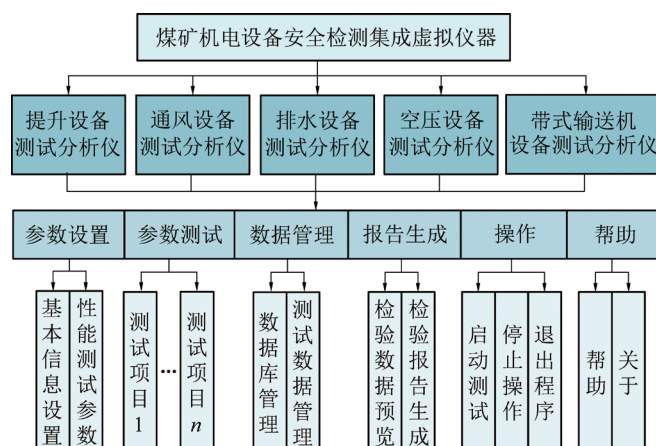


图5 煤矿机电设备安全检测集成虚拟仪器软件组成

检测软件不同之处，主要在第2层设备测试VI部分增加了外部仪器管理VI，实现对激励设备、测量设备、加载设备的管理与控制。PXI主机与外部仪器通过LAN口、USB口连接，程序通过LabVIEW中VISA模块的I/O控制功能实现与外部仪器的通信和驱动程序的调用，通过SCPI指令语句实现对外部仪器的操作和控制。

## 结 语

利用先进的现代检测技术和计算机技术，针对煤矿机械及电子类设备性能检测的实际要求，研究探讨了基于虚拟仪器技术的煤矿机电设备智能化检测仪器硬件构建和软件设计方案。与传统仪器相比，该检测仪器集多种仪器功能于一体，集成化、智能化程度更高，功能更强；由软件代替硬件电路，在降低硬件成本的同时也减少了由硬件电路造成的干扰。通过软件实现测试数据处理、分析和管理工作，提升检测工作信息化水平，降低工作人员劳动强度。

■ 助理编辑：李艾稣

### 作者简介：

第一作者：李曼，教授，硕士。

Email: 442952448@qq.com

作者单位：西安科技大学机械工程学院；

陕西省矿山机电装备智能监测重点实验室