

NATIONAL INSTRUMENTS

# 图形化系统设计应用方案——2011年优秀论文合订本



# 目录

自动化测试与验证成就奖 基于J1939 协议和NI PXI平台的CAN 总线通讯平台开发	1
前沿应用成就奖 基于NI CompactRIO 平台的发动机连杆疲劳试验系统研究	7
产线自动化成就奖 NI CompactRIO平台在油泵功能自动化测试线中的应用	21
最佳工业应用成就奖 基于NI CompactRIO的在线数据监测及远程故障诊断平台	29
前沿应用成就奖 基于NI PXI和CompactRIO建设大型物理实验数据测量和控制系统	39
院校教学与研究成就奖 基于NI myDAQ的传感器实验原型卡设计与实现	49
LabVIEW特别奖 基于LabVIEW和LEGO® MINDSTORMS 9797®套件 开发魔方还原机器人	55
LabVIEW特别奖 基于NI LabVIEW和CompactRIO的变压器振动监测系统开发	59
创意之星奖（该奖项由上海聚星仪器有限公司赞助） 基于NI Single-Board RIO实现对于镍氢电池储能系统的监控	67
网络人气奖 基于虚拟仪器的工程机械检测车计算机诊断系统	79
网络人气奖 基于CompactRIO的微型旋翼飞行器地面控制系统	89
网络人气奖 基于NI PXI的水力测试系统	91

## 基于 J1939 协议和 NI PXI 平台的 CAN 总线通讯平台开发

周跃钢

东风汽车有限公司东风商用车技术中心

**应用领域：**商用车 CAN 总线通讯

**挑战：**CAN2.0B 规范的工业总线通讯、报文标识符和数据帧定义没有形成统一的标准，参数定义随意性很大。商用车 CAN 总线通讯标准，遵循建立在 CAN2.0B 基础上的 SAE J1939 协议。报文标识符 ID，按照 SAE 标准制定的车速、发动机转速、扭矩、温度、压力、燃油消耗量等参数的物理定义，报文数据帧格式对应协议数据单元相应数据内容的封装。面临的挑战是将 J1939 协议融会贯通于 CAN 总线通讯平台的设计之中。

**应用方案：**使用 NI LabVIEW 软件开发平台和 PXI 模块化仪器系统中的 CAN 通讯模块，创建过滤识别 J1939 协议报文标识符 ID 及多帧报文按协议格式解析接收和封装发送的设计方法，并据此方法构建 CAN 通讯平台；完成整车电环境半实物仿真、发动机台架试验 CAN 总线信息的收发、存贮及实时计算显示。

**使用的产品：**

LabVIEW 2009

NI PXI-1045 机箱

NI PXI-8108 嵌入式控制器

NI PXI-8464/2 CAN 通讯模块

**正文：**

### 概述

进入21世纪以来，商用车CAN总线网络的应用得到了异常迅猛的发展。现今市面上满足国3~国5排放标准的商用车，无一例外均应用CAN总线网络，进行整车VECU、发动机EECU、自动变速箱ECU、汽车组合仪表ECU、车轮防抱死制动ECU之间的数据通讯。基于J1939协议的商用车CAN总线，针对单片机微控制器MCU节点的MCU + CAN 控制器 + CAN 收发器的CAN通讯接口，在车载网络控制系统中得到了大量应用；而对整车道路试验、发动机台架试验、整车电环境半实物仿真测试的上位机节点的PC机或笔记本电脑 + CAN 通讯模块，大都使用价格昂贵的Vector CANoe 模块。

存在的问题：

1) PXI 测控装置无基于J1939协议的CAN通讯功能，不能满足试验工况对CAN总线报文信息分析的功能需求。

2) CANoe 模块时序不受PXI仪器时钟速率控制，无法与PXI时序的其它测量参数同步触发测量。

基于LabVIEW和J1939协议的CAN总线通讯技术方法，在国内汽车行业PXI测控装置的应用属于空白，难点是如何将LabVIEW软件开发平台与复杂的J1939协议有效结合，实现报文信息的过滤接收、合成重组及封装发送。

针对商用车CAN 总线通讯网络的特点，构建基于LabVIEW 和J1939 协议的CAN 总线通讯平台，嵌入在NI PXI 模块化接口的测控装置中，用于发动机台架试验、整车电环境半实物仿真测试。

J1939 协议

J1939 协议以CAN2.0B 规范为基础制定，对CAN2.0B 扩展帧29 位标识符ID 定义形成J1939 的编码系统，包括优先级P、预留位R、数据页DP、协议数据单元PF、扩展单元PS、源地址SA 和数据字节Data，如图1 所示。这七部分在开放式系统互联参考模型（OSI）应用层，通过协议数据单元PDU（Protocol Data Unit）被封装成一个或多个CAN 数据帧，通过物理层发送给总线网络其它设备节点。

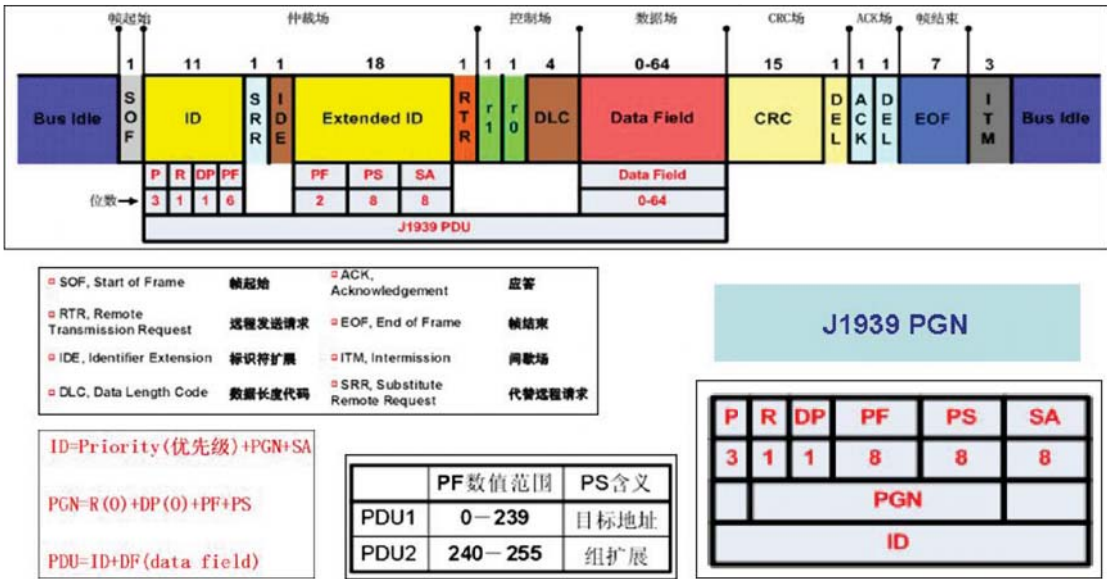


图1 J1939 数据帧格式

PDU 定义了数据帧中与J1939 协议相关的信息，由标识符ID 和数据场组成。

PDU1 格式报文PF 在0~239 之间，报文为点对点向目标地址发送，PS：报文接收的目标地址，SA：报文发送的源地址，在目标地址中填入255，为全局地址发送。

PDU2 格式报文PF 在240~255 之间，报文向全局地址发送，PS：参数组扩展值，J1939 协议大部分报文为PDU2 格式。

PDU 数据场包含参数组中数据内容，参数组编号PGN（Parameter Group Number）用于唯一标识参数组的号码，由一个或几个参数构成一帧或多帧报文，而参数组是应用层中定义的与某个ECU 相关的若干参数（例如发动机水温、燃油温度等）的组合。

J1939 协议与CAN2.0B 标准区别

**标识符ID：**CAN2.0B 不同功能的报文信息可以使用相同的ID，根据制造商特定的协议使用CAN 设备，在集成时会产生ID 不能识别或识别不一致问题。J1939 每帧报文的标识符唯一，且每帧报文都有自己的PGN，为每个节点规定唯一的源地址，并将源地址映射到CAN 标识符中，避免多个节点使用相同的标识符，例如ID：0CF00400 代表发动机转速、扭矩报文。

**OSI 模型：**CAN2.0 规范定义了七层OSI 参考模型的物理层和数据链路层，是底层标准，如图2所示，CAN 总线产品的兼容性、互换性和可集成性差。J1939 是面向OSI 参考模型应用层的高层协议，在应用

层定义了针对车辆应用的信号（参数）和报文（参数组）。通过参数描述信号，并给每个参数分配了一个编号SPN（Suspect Parameter Number），参数定义了PDU 数据场中字节的物理意义，例如SPN190 代表发动机转速。一个PGN 中可能有几个SPN，PGN61444 包含了SPN190 发动机转速和SPN513 发动机扭矩等参数。

**多帧报文：**CAN2.0B 规范定义只能使用单帧报文传输，J1939 协议除单帧报文传输外，还使用对话式、广播式多帧报文传输，并按多帧数据传输协议进行打包封装发送和接收合成重组处理，其中对话式多帧报文发送接收节点需要握手协议，广播式多帧报文面向全局地址发送。

### ● 底层标准



### ● 高层协议



图2 开放式系统互联参考模型（OSI）

## 模块接口

PXI-8464/2 双通道CAN2.0B 通讯接口模块，内含SJA1000T CAN 控制器和TJA1041T 高速CAN收发器及TJA1054AT 低速CAN 收发器。J1939 数据链路层通过PDU 格式实现报文的打包封装，通过CAN 控制器发送CAN 数据帧必须具有的同步、顺序控制、错误控制和流控制，自动产生CRC 校验位和ACK 应答位插入数据帧中。

J1939 物理层协议规定了每个网段最多30 个ECU，CAN 总线通讯速率250 kBits/s，总线电平显性、隐性，差分电压3.5V/1.5V，差分传输双绞线线缆颜色CAN-H 黄色、CAN-L 绿色，CAN 收发器完成MCU 至CAN 总线之间收发电平的匹配转换。

## 软件设计

基于J1939 协议的CAN 总线报文收发多任务处理流程，如图3 所示，采用生产者/消费者循环数据结构。生产者循环使用“元素入队列”函数向报文簇队列中添加数据，消费者循环使用“元素出队列”函数从报文簇队列中移出数据。循环间采用队列的方式进行通信，避免多任务处理竞争状态，当生产数据比消费处理数据的速度快时，队列的缓冲作用保证报文数据不丢失。



图3 基于LabVIEW 和J1939 协议的CAN 总线通讯报文收发多任务处理

建立接收报文ID 解析过滤的识别方法。确定报文标识符ID 的枚举型状态变量识别报文，根据状态变量条件结构过滤报文。

PDU1、PDU2 格式单帧报文全部入队列，数据场大于8 字节的对话式、广播式多帧报文按J1939协议多帧数据合成重组后入队列，其它无数据场的报文帧舍去，处理完的接收报文簇分解后出队列计算、存贮和显示。

广播帧报文接收合成，首先进行TP.CM-BAM 命令帧解析，提取EECU 发送报文的PGN 和帧数，其次对接收的TP.DT-BAM 数据帧组报文删除帧序号，通过替换数组子集对接收报文合成重组，还原PGN 标识的数据长度大于8 字节的广播帧报文。

建立发送报文ID 解析封装的识别方法。报文解析首先确定帧类型状态变量，其次根据状态变量的条件判断，进行报文格式的封装定义。

数据场小于或等于8 字节的PDU1、PDU2 单帧发送报文直接入队列，数据场大于8 字节的对话式、广播式多帧报文按J1939 协议多帧数据处理打包封装簇合成后入队列，处理完的J1939 发送报文簇分解后出队列并写入CAN 口。

广播帧报文发送封装，ID 解析将发送报文的PGN 封装在广播报文命令帧标识符ID-TP.CM 中，报文数组解析进行字节数和帧数计算，创建帧序号加报文字集的8 字节多帧数组，与数据帧标识符ID-TP.DT 打包封装簇合成TP.DT-BAM，TP.CM-BAM 与TP.DT-BAM 组成广播帧格式报文。

## 应用效果

在整车电环境的半实物仿真报文接收测试试验中，应用图4 所示的基于LabVIEW 和J1939 协议的CAN 总线通讯平台，与Vector CANoe 模块在同一时间段比对测试，接收的某型号发动机稳态工况EECU 报文如图5 所示，一秒内接收EECU 发出的526 帧报文，比对测试接收的报文无丢失现象。

发动机燃油消耗量报文，实时反映了发动机燃油经济性，在商用车J1939 协议CAN 总线网络中，分别被车辆VECU 接收，作为换挡控制策略控制自动变速箱汽车；组合仪表ECU 接收并实时显示，提示驾驶员形成良好的驾驶习惯，操纵汽车达到最佳燃油经济性的路况行驶。为使发动机获得最佳的动力性、经济性和兼顾排放达标，需要对发动机电控单元EECU 进行标定匹配，获得最佳喷油脉宽的标定参数。标定之后做比对试验，验证EECU 的标定效果。

发动机稳态工况试验，能够反映车辆的等速工况；而发动机变工况瞬态试验，能够模拟实际道路循环中发动机状态。通过将实时报文油耗和实际测量瞬态油耗的对比，研究两者之间的对应吻合关系，判断发动机EECU 的控制效果。



(a) 整车电环境的半实物仿真 (b) 发动机台架试验

图4 基于LabVIEW 和J1939 协议的CAN 总线通讯平台应用

时间	报文	接收次数	ID	时间	报文	接收次数	ID
11:08:17	1 25 82 9D 1 0 0 0	39208	18FF1002	11:08:18	FF 4E 17 FF FF FF FF FF	39726	18FF2000
11:08:17	0 0 1 9D 1 28 0 0	39209	18FF1000	11:08:18	FF FF FF FF A0 F FF 77	39727	18FF3023
11:08:18	F1 C0 C0 48 32 0 F3 C0	39210	CF00400	11:08:18	38 3 0 0 FF FF FF FF	39728	18FF200
11:08:18	FF 4D 17 FF FF FF FF FF	39211	18FF2000	11:08:18	0 0 1 9D 1 28 0 0	39729	18FF1000
11:08:18	FF FF FF FF A0 F FF 77	39212	18FF3023	11:08:18	1 25 82 9D 1 0 0 0	39730	18FF1002
11:08:18	0 0 1 9E 1 28 0 0	39213	18FF1000	11:08:18	F1 C0 C0 40 32 0 F3 C0	39731	CF00400
11:08:18	1 25 82 9D 1 0 0 0	39214	18FF1002	11:08:18	C0 86 3B FF FF FF FF FF	39732	CF00300
11:08:18	F1 C0 C0 58 32 0 F3 C0	39215	CF00400	11:08:18	FF 4C 17 FF FF FF FF FF	39733	18FF2000
11:08:18	FF FF FF C FF FF FF 0	39216	18FEF00	11:08:18	FF FF FF FF A0 F FF 77	39734	18FF3023
11:08:18	FF 4C 17 FF FF FF FF FF	39217	18FF2000	11:08:18	0 0 1 9E 1 28 0 0	39735	18FF1000
11:08:18	FF FF FF FF A0 F FF 77	39218	18FF3023	11:08:19	F1 C0 C0 48 32 0 F3 C0	39736	CF00400
11:08:18	0 0 1 9D 1 28 0 0	39219	18FF1000	11:08:19	FF 4C 17 FF FF FF FF FF	39737	18FF2000

注：一秒内接收报文 39736 - 39210 = 526

图5 发动机稳态工况EECU 报文

ID	发送周期	字节	技术参数	信息
18FEF200	100ms	Byte1~byte2	Factor:0.05L/h Offset:0	油耗 (L)

时间	报文	油耗 (kg/h)	接收次数	ID
15:01:02	B0 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1310	18FEF200

时间	报文	油耗 (kg/h)	接收次数	ID
15:01:01	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1310	18FEF200
15:01:01	81 5 0 0 FF FF FF FF	60.54	1311	18FEF200
15:01:02	AE 5 0 0 FF FF FF FF	60.41	1312	18FEF200
15:01:02	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1313	18FEF200
15:01:02	AE 5 0 0 FF FF FF FF	60.41	1314	18FEF200
15:01:02	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1315	18FEF200
15:01:02	AF 5 0 0 FF FF FF FF	60.46	1316	18FEF200
15:01:02	AF 5 0 0 FF FF FF FF	60.46	1317	18FEF200
15:01:02	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1318	18FEF200
15:01:02	81 5 0 0 FF FF FF FF	60.54	1319	18FEF200
15:01:02	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1320	18FEF200
15:01:02	80 5 0 0 FF FF FF FF	60.50	1321	18FEF200
15:01:03	AC 5 0 0 FF FF FF FF	60.33	1322	18FEF200
15:01:03	AD 5 0 0 FF FF FF FF	60.37	1323	18FEF200

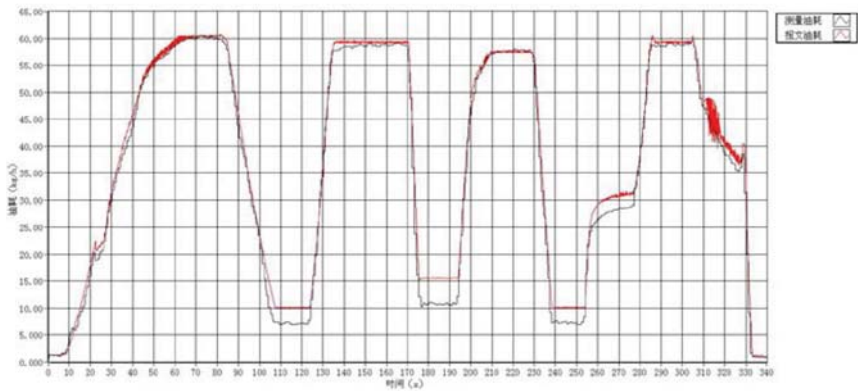


图6 发动机变工况台架试验油耗比对测量

某型号发动机十工况台架试验瞬态油耗比对测量曲线见图6 所示，从J1939 协议CAN 总线接收并解析的EECU 油耗报文数据，与台架油耗仪实测数据在发动机低负荷时存在差异，即发动机低负荷时实际喷油量较小，设定喷油量与实际喷油量的差异值较大。这个差异是因为发动机低负荷共轨轨压波动较大，导

致喷油量波动变化而客观存在。两条曲线总体吻合一致，通过CAN 总线接收的发动机喷油目标值，与实际测量值接近，且变化趋势和时序同步，反映了发动机EECU 标定匹配获得了最佳喷油脉宽的目标值。

## 总结

基于J1939 协议和NI PXI 平台的CAN 总线通讯平台的开发，建立了NI CAN 模块在商用车CAN 总线通讯的应用基础，项目具有推广和商品应用前景。在发动机台架试验、整车电环境半实物仿真分析中，实现对CAN 总线报文信息的过滤识别、合成接收、封装发送、存贮、解析计算及实时显示。

应用LabVIEW 软件平台强大的数学分析运算及队列处理能力，以及适应整车苛刻测试环境的NI PXI 仪器及CAN 接口模块，满足试验工况对CAN 总线报文信息解析的功能需求，同时实现对报文数据与NI PXI 仪器其它测量参数同步采样，试验数据比对分析处理具有实时性和真实性。

## 基于 NI CompactRIO 平台的发动机连杆疲劳试验系统研究

刘宏瑞 刘震涛

浙江大学能源学系车辆研究所

**应用领域：**液压系统控制、信号采集、试验状态监测、数据处理

**挑战：**连杆是发动机的关键部件之一，其可靠性对整机寿命具有至关重要的作用。为了研究发动机连杆在拉压载荷下的疲劳特性，所研制的发动机连杆试验台基于美国 NI 公司的 LabVIEW 开发环境和 CompactRIO 嵌入式控制器，采用液压伺服的加载方式对连杆进行拉压加载。如何根据发动机及连杆的参数确定加载载荷和加载频率，如何控制液压系统按照设定的加载载荷和频率进行加载，如何实时监测试验状态，判断连杆发生疲劳破坏，如何采集、存储、分析相关数据得出相应的试验结果，这是整套试验系统的关键所在。

**应用方案：**CompactRIO 包含一个实时控制器与可重配置的现场可编程门阵列（FPGA）芯片，并且包含 8 个热插拔工业 I/O 插槽，具有非常好的可靠性和实时性；NI 提供了针对各种类型信号的输入输出板卡与 CompactRIO 相匹配，组成完善的硬件系统；NI LabVIEW 包含强大的控制、采集、监控、分析等方面的函数，为整个试验系统提供完备的软件设计平台。

### 使用的产品：

LabVIEW 2009

LabVIEW RT 9.0

LabVIEW FPGA 9.0

LabVIEW PID Control Toolkit 9.0.0

NI cRIO-9014 可重新配置嵌入式机箱

NI cRIO-9014 嵌入式控制器

NI cRIO-9237 应变信号采集模块

NI cRIO-9205 电压信号采集模块

NI cRIO-9263 电压信号输出模块

NI cRIO-9401 DIO 模块

NI cRIO-9485 SSR 模块

### 正文：

#### 1 引言

强度、刚度和疲劳寿命是衡量工程机械机构和零件可靠性的主要参数，疲劳破坏是机械机构和零件失效的主要原因之一（据统计，连杆 60%到 90%的破坏都是疲劳破坏），而引起疲劳破坏的主要原因是动态交变载荷。

连杆是往复式内燃机的核心部件，也是内燃机中承受较大交变载荷的主要部件之一，其可靠性直接影响内燃机运行的安全。

目前开展连杆疲劳可靠性研究的主要手段包括仿真计算、实机试验和模拟疲劳试验。

仿真计算方便、快捷、成本低，针对连杆的仿真计算很多，但只能对疲劳可靠性进行趋势性的分析和验证，并且边界条件不确定；实机试验可以反映连杆的真实工况，但试验周期长、成本较高，并且不能进行强化试验；模拟疲劳试验可以用较短的周期较高的效率来进行试验，并可以对疲劳试验进行强化，更全面的检验连杆的疲劳特性。

目前，国内多为国外引进设备，尚未有自主研发的连杆拉压模拟疲劳试验台。因此，研制发动机连杆拉压模拟疲劳试验台具有较大的意义。在试验台的开发上，美国 NI 公司的 LabVIEW 开发环境和 CompactRIO 嵌入式控制器及其配套板卡为我们提供强有力的工具。

## 2 系统背景和设计原则

### 2.1 连杆受力情况

如图 1 所示，在发动机运行过程中，连杆的运动状态比较复杂，小头作往复运动，大头作旋转运动，杆身作平面运动。同时，连杆的受力情况也十分复杂，连杆在实际工况中的受力可分为两部分：一部分是工作中产生的气体爆发压力和活塞组件的往复惯性力；另一部分是连杆运动时本身产生的惯性力，包括往复惯性力，摆动离心力和横向弯矩（横向弯矩相对较小，并且其极值不与其他力一同出现，因此忽略不计）。

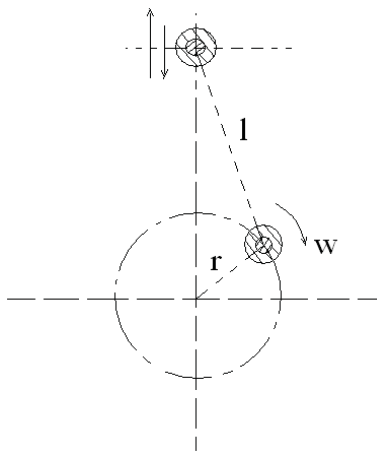


图 1 发动机连杆机构示意图

在以上各力的作用下每一个截面上都会有弯矩、剪力和法向力。但弯矩和剪力与法向力相比都不大，连杆主要承受的是交变的拉压载荷。

### 2.2 试验原理

试验台的设计主要考虑连杆在实际运行中的拉伸压缩载荷，忽略弯矩与剪力，对连杆进行拉压加载。这种设计虽然不能完全模拟连杆得实际工况，但基本上可以比较准确的反映连杆的拉压疲劳特性，达到台架模拟试验的目的。

本试验台架可对连杆试件进行静载试验和动态疲劳试验。静载试验时，只对连杆试件缓慢施加拉力或者压力以考察连杆静态材料特性；动态疲劳试验时，对连杆试件施加交变拉压载荷，由于在发动机实际运行工况下连杆承受的最大压缩载荷要大于最大拉伸载荷，试验台采用非对称的加载方式，即负荷比不为-1。完成试验后，试验系统都会保存所有试验数据，包括应变信号、拉压载荷信号、循环次数、疲劳破坏状态等。通过对试验数据的统计分析，实现对连杆疲劳寿命的评估及其可靠性设计。

整个试验系统的控制通过美国 NI 公司的 LabVIEW 开发环境和 CompactRIO 嵌入式控制器来实现，主要包括液压加载控制，数据采集、存储、分析，试验系统的监控和安全控制等工作。

### 3 试验系统总体方案设计

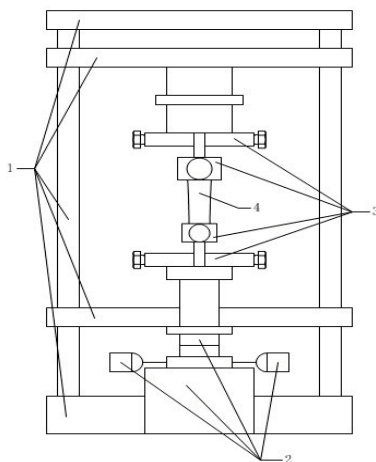
整个试验系统的设计可分为硬件和软件两个部分。

#### 3.1 硬件设计

本试验台的硬件主要包括机械台体、液压加载系统和控制系统。

##### 3.1.1 机械台体

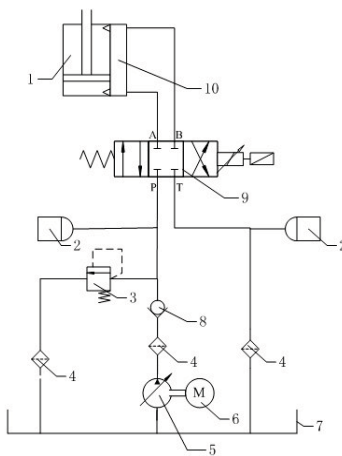
如图 2 所示机械台体采用四立柱的结构，主要功能是固定连杆试件，支撑其他机构进行试验。主要包括连杆试件固定夹具、移动导轨、移动面、支撑面。



1 试验台框架 2 液压加载系统 3 固定夹具 4 连杆试件

图 2 试验台机械结构示意图

##### 3.1.2 液压加载系统



1 液压缸 2 蓄压器 3 溢流阀 4 滤油器 5 液压泵站

6 电动机 7 油箱 8 单向阀 9 伺服电磁阀 10 液压放大器

图 3 液压加载系统结构示意图

液压加载系统主要功能是为模拟疲劳试验提供预先设定的加载载荷。其结构如图 3 所示，主要包括液压伺服电磁阀、液压放大器、液压油缸、液压泵站和蓄压器，同时还包括滤油器、单向阀、溢流阀等辅助液压器件。

液压伺服电磁阀采用德国 Rexroth 公司的三位四通阀，其中 P 为高压油路、T 为回油油路、A 与 B 为工作油路；液压放大器用于对液压压力的放大，以提供更大的加载载荷；液压油缸为单杆双作用活塞液压缸，用于执行对连杆试件的加载；蓄压器用于保持试验系统压力稳定，两个蓄压器分别位于回油油路和高压油路；滤油器用于过滤液压油；单向阀用于防止压力油回流到液压泵站；溢流阀用于防止压力过高，使系统压力保持在规定值以下。

液压伺服阀通过改变 P、T 与 A、B 的通断状态使液压缸上下运动进而实现对连杆的拉伸加载和压缩加载。

3.1.3 控制系统

控制系统是与 LabVIEW 开发环境相结合的 NI 硬件，主要包括嵌入式控制器 CompactRIO 9014，NI 9237AD 模块，NI 9205AD 模块，NI 9263DA 模块，NI 9401DI/O 模块，NI 9485SSR 模块。

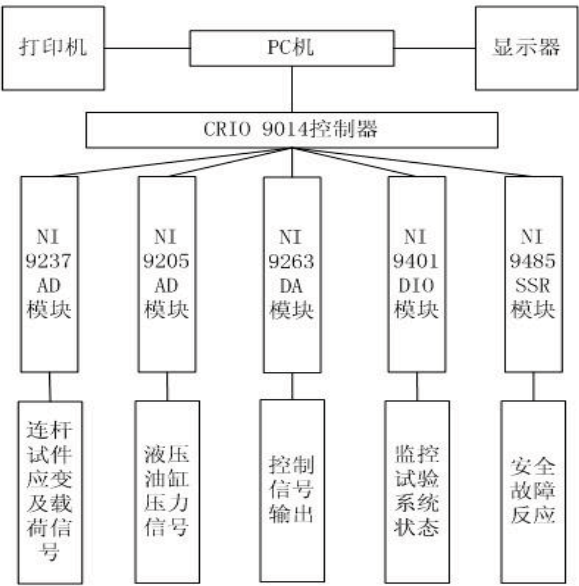


图 4 上下位机结构框图

如图 4 所示 NI CompactRIO 嵌入式测控系统与 PC 机组成整个试验系统的上下位机结构。其中 CompactRIO 9014 具有较好的可靠性和实时性,可容易实现对应变、拉压负荷等信号的测量和伺服电磁阀的控制输出，各模块工作情况如下：

- 1) NI 9237AD 模块用于采集应变信号和连杆拉压载荷信号，其中应变片贴在连杆试件采集位置，应变信号经过应变仪直接连接到 NI 9237AD 模块；拉压载荷由 Interface 拉压传感器接入 NI 9237 模块。
- 2) NI 9205AD 模块用于采集活塞缸上下两缸压力信号，上下两缸压力信号由 KISTLER 压力传感器采集。
- 3) NI 9263DA 模块输出设定压力信号控制液压伺服阀，实现系统的非对称加载。
- 4) NI 9401DI/O 模块监控试验系统状态信息，包括液压系统电源开关信号，控制柜电源开关信号，液压泵站油压、温度、泄漏、液位信号，相应信号发生故障后指示灯报警。
- 5) NI 9485SSR 模块用于发现故障后切断相应部分的开关确保试验安全。

### 3.2 软件设计

本试验系统的软件程序是基于 LabVIEW 图形化编程语言的开发环境，结合 CompactRIO 嵌入式控制器开发完成。主要实现了液压加载的控制，试验状态的监控，数据的处理。试验系统软件功能结构图如图 5 所示。

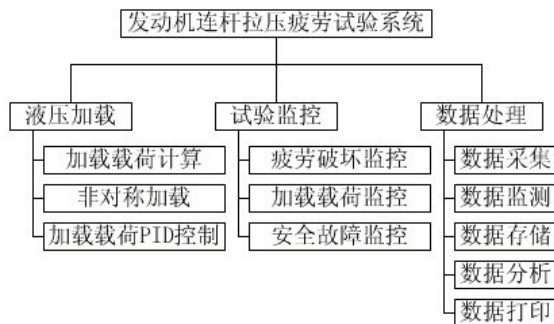


图 5 试验系统软件功能结构示意图

#### 3.2.1 液压加载的控制

试验系统的加载控制主要实现三个内容：自动计算连杆载荷、实现非对称正弦波加载、加载载荷的 PID 控制。

##### 3.2.1.1 加载载荷的计算

载荷的计算主要是确定连杆所受的最大压力和最大拉力，以确定非对称正弦波的正负幅值。基于 2.1 中对连杆受力情况的分析和连杆拉压载荷的推导计算（此处从略），可将连杆划分为小头、杆身、大头三部分计算其最大拉压载荷，代替对所有的截面的计算。简化后的计算方法如下：

（1）最大拉伸载荷下：

$$\text{小头端: } F_{La} = m_p r \omega^2 (1 + \lambda), N$$

$$\text{大头端: } F_{Lb} = (m_p + m_{L1}) r \omega^2 (1 + \lambda) + (m_L - m_{L1}) r \omega^2, N$$

$$\text{杆身: } F_{Lc} = (m_p + m_{L1}) r \omega^2 (1 + \lambda), N$$

（2）最大压缩载荷下：

$$\text{小头端: } F_{Ya} = p_g \frac{\pi}{4} D^2 - m_p r \omega^2 (1 + \lambda), N$$

$$\text{大头端: } F_{Yb} = p_g \frac{\pi}{4} D^2 - (m_p + m_{L1}) r \omega^2 (1 + \lambda) - (m_L - m_{L1}) r \omega^2, N$$

$$\text{杆身: } F_{Yc} = p_g \frac{\pi}{4} D^2 - (m_p + m_{L1}) r \omega^2 (1 + \lambda), N$$

式中  $p_g$  ——爆发压力，Pa

$\varphi$  ——曲柄转角

$\lambda$  ——连杆比  $\lambda = r/l$

$r$  ——曲柄回转半径, m

$l$  ——连杆大小头中心距, m

$m_p$  ——活塞组质量 (活塞、活塞环组、活塞销、活塞销卡环总质量), kg

$A_0$  ——活塞顶投影面积,  $m^2$

$\omega$  ——曲柄运动角速度, rad/s

$m_{L1}$  ——计算截面截取至小头端质量, kg

$l_1$  ——计算截面所截小头端质心到小头孔中心距, m

$m_L$  ——连杆质量, kg

$D$  ——缸径, m (此处为近似, 当知道活塞顶直径时, 用活塞顶直径更加准确)

在选择发动机计算工况时, 以发动机最高转速工况作为连杆受力计算工况, 同时以发动机最大扭矩的最大爆发压力代替最高转速下的最大爆发压力, 会得到比较保守的试验结果。

计算完以上数据后就可以计算平均载荷、载荷幅值和负荷比。

平均载荷: 
$$F_m = \frac{F_Y - F_L}{2}, N$$

载荷幅值: 
$$F_A = \frac{F_L + F_Y}{2}, N$$

负荷比: 
$$R = -\frac{F_Y}{F_L}, N$$

通过以上各数值的比较, 尤其是平均载荷的比较, 选择大头端、小头端和杆身载荷较大的作为加载载荷。对于确定的加载载荷, 可以设定载荷强化系数进行相应的载荷强化。强化后的载荷作为强化试验的加载载荷。

根据以上计算原理, 软件采用 LabVIEW 中的公式节点, 实现以上计算。提取该部分程序以某型号的连杆为模型进行计算调试, 结果如图 6 所示。

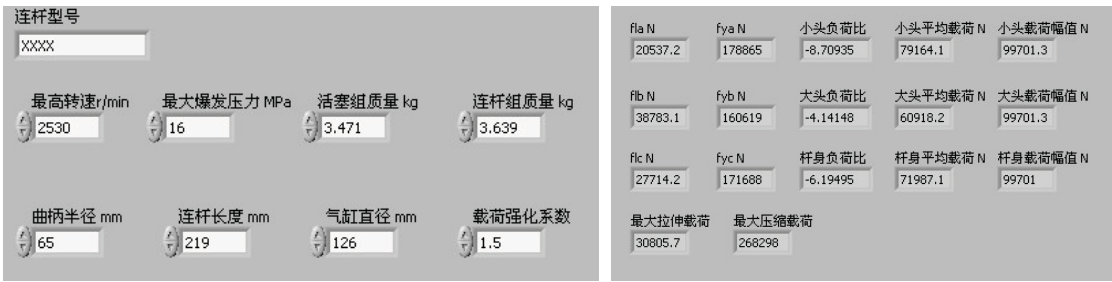


图 6 某型号连杆试件拉压载荷计算

### 3.2.1.2 非对称正弦波加载的实现

非对称加载主要通过 CompactRIO 9014 FPGA 模块的 FPGA Memory 及 CompactRIO 9263 模块实现。FPGA Memory 可以记录设定点数的数值，并按照顺序记录每个数值的地址，索引 FPGA Memory 的地址便得到相应的数值；CompactRIO 9263 则输出相应电压控制波形对伺服阀进行控制，电压正负控制产生拉伸或者压缩载荷，电压大小控制伺服阀开度进而改变拉伸或者压缩载荷的大小。

具体方法为：

- 1) 制作一个周期幅值为 1 的标准正弦模拟波形，由 1024 点组成
- 2) 将模拟波形转换为常量导入 FPGA Memory
- 3) 将赋值好的 FPGA Memory 正负值分别设置正负放大系数
- 4) 把数值输入 CompactRIO 9263 模块，产生非对称正弦控制波形

以上一节计算的连杆为例，生成非对称波形为：

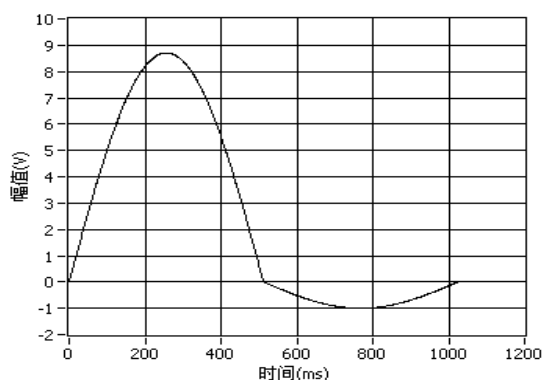


图 7 输出控制波形

当为静载试验时，只控制液压缸向一个方向运动，拉伸加载时负半轴都为 0；压缩加载时正半轴都为 0。

### 3.2.1.3 加载载荷 PID 控制

PID 主要针对动态疲劳试验而言，本试验系统采用常规的 PID 控制方法。加载载荷为循环非对称拉压载荷，要保证加载载荷达到所设定最大拉伸和压缩载荷值，则最大拉伸载荷和最大压缩载荷即为 PID 控制的目标值；同时系统采集连杆试件承受拉压载荷信号，并将最大值最为 PID 控制的反馈量。控制原理如图 8 所示。

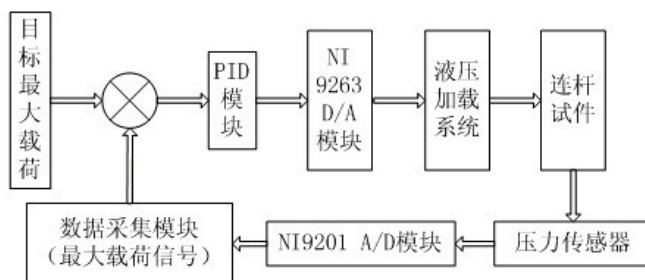


图 8 加载载荷 PID 控制原理图

图 9 为 LabVIEW 中的 FPGA PID 控制模块部分程序图，该模块大大简化了控制过程。只需要设定好各个接口参数，然后将反馈信号连入 process variable 端口，就能得到相应的输出。

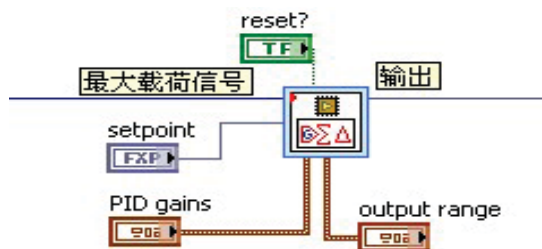


图 9 FPGA PID 模块部分程序图

加载载荷 PID 控制仿真如图 10 和 11 所示。图 10 列出对该 PID 控制模块各参数的设定（PID 参数调试过程此处从略）。设定完毕后，将 PID 模块的 Setpoint 由 0 变为 14.3，得到响应特性如图 11 所示。时间单位为每刻度 50ms，在，Setpoint（红色）较大变化的情况下，Process Variable（蓝色）在 3s 内达到 Setpoint 并保持稳定。

仿真结果说明加载载荷 PID 控制满足试验系统的要求。同时，响应特性可以通过改变 PID 参数进行调节。

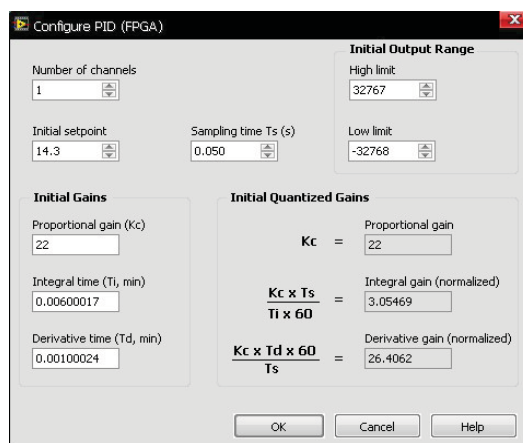


图 10 FPGA PID 模块参数设置

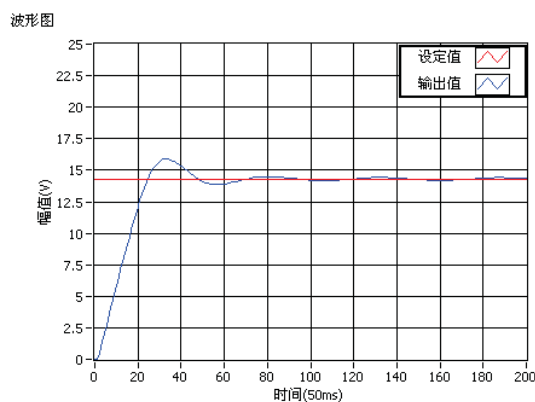


图 11 液压加载系统 PID 控制响应图

### 3.2.2 试验状态的监控

试验状态的监控主要包括疲劳破坏、加载载荷和安全故障三个部分。

#### 3.2.2.1 疲劳破坏的监控

疲劳破坏的监控，主要根据 CompactRIO 9237 模块采集连杆试件相应位置的应变，在监控面板上实时显示应变波形和峰谷值。当超出设定范围并超出设定范围次数达到设定值时，判定连杆发生破坏，试验自动暂停，试验人员进行检查。

#### 3.2.2.2 加载载荷的监控

加载载荷监控包括三个方面：连杆拉压载荷监控、液压缸上油腔压力监控、液压缸下油腔压力监控，三个载荷都通过 CompactRIO 9201 模块采集，在监控界面上实时显示波形图。其中拉连杆压载荷的测量通过 Interface 拉压力传感器，两个液压缸油腔的压力测量通过 KISTLER 压力传感器。

#### 3.2.2.3 安全故障的监控

保证试验安全是重中之重，本试验系统针对存在安全隐患的部分进行监控，在发现故障后进行相应的处理。这部分是软件通过 CompactRIO 9401DI/O 模块和 CompactRIO 9485SSR 模块实现的：CompactRIO 9401DI/O 模块实时监视液压系统电源开关信号，控制柜电源开关信号，液压泵站油压、温度、泄漏、液位信号状态，当状态不正常时，由 CompactRIO 9485SSR 模块切断相应部分的开关，确保试验安全。

### 3.2.3 数据的处理

如图 4 所示，试验系统针对每种信号都有相应的 NI 硬件进行采集。CompactRIO 9014 的 RT 和 FPGA 模块保障了数据采集、监视、存储的实时性和可靠性，LabVIEW 的公式节点和 XY 波形图可对数据进行较好的分析。针对疲劳试验时间长、数据量大的特点，数据的处理采用 LabVIEW 中的 TDMS 数据流。

## 4 试验系统现场成果

### 4.1 硬件现场效果

#### 4.1.1 系统功能

- (1) 用于发动机连杆拉压疲劳试验，并对试验结果作出相应评估；
- (2) 可作为发动机零部件静载试验的加载系统；
- (3) 使用静态应变仪可以测试被试件的应力、应变状态。

#### 4.1.2 性能指标

- (1) 加载形式：拉力压力可连续单独调节，可达到任意负荷比；
- (2) 压力范围：0~28Mpa，手动调压；
- (3) 脉冲频率：≤22HZ，连续可调；
- (4) 加载波形：非对称正弦波；
- (5) 控制精度：拉压载荷≤4%，加载频率≤2%。

#### 4.1.3 组成结构



图 12 机械台体实物图

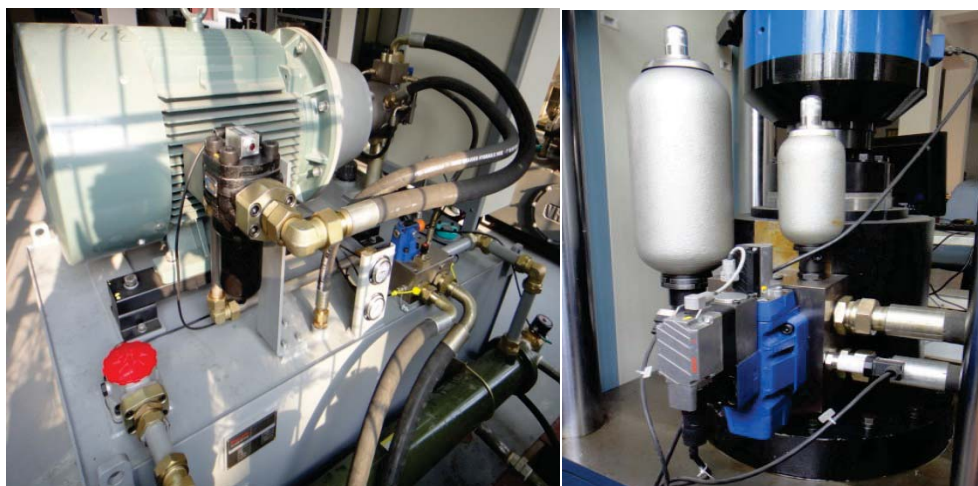


图 13 液压加载系统实物图

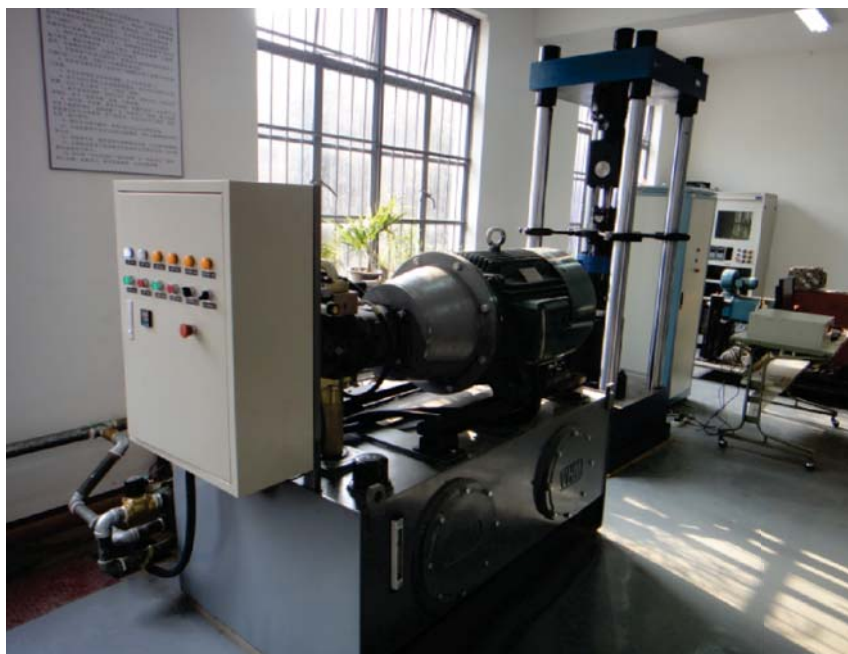
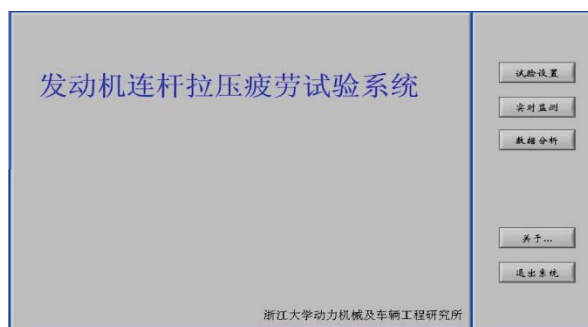


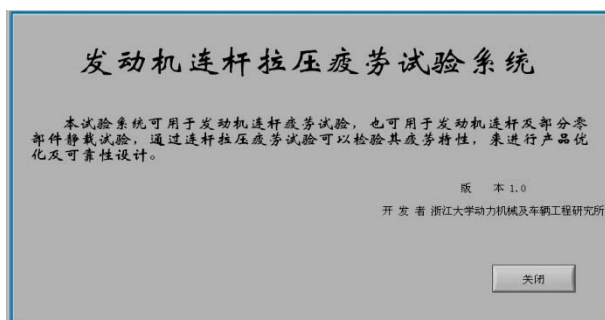
图 14 试验系统整体效果图

#### 4.2 软件效果

打开程序后，进入了程序主界面，主界面将程序分为三个主要模块：试验设置、实时监测和数据分析。同时还有关于部分介绍试验系统相关信息以及退出系统按钮。



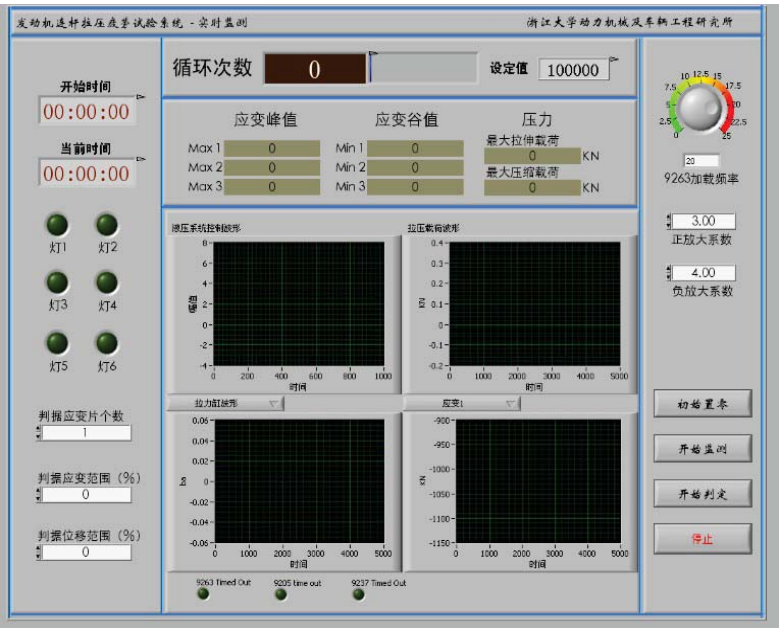
点击“关于”按钮后，出现介绍整个试验系统基本信息界面。



点击“试验设置”按钮后，进入试验设置界面。



试验设置主要分为三个部分：试验基本信息、试验系统参数和连杆试件参数。设置参数可以手动输入，也可以载入历史记录。选择不同的试验类型（拉伸静载试验、压缩静载试验、小头动态疲劳试验和大头动态疲劳试验）时，与之相应的参数会显示出来进行设置。



点击“实时监控”按钮时，会出现监测界面。试验监测时，有以下信息：

(1) 四个波形图显示控制波形、加载载荷、拉伸压缩载荷（可选择显示）、应变波形（可选择显示）；

(2) 六个指示灯显示液压系统电源开关信号，控制柜电源开关信号，液压泵站油压、温度、泄漏、液位信号状态；

(3) 时间显示以及循环次数显示都是实时显示疲劳试验进行程度；

(4) 位移判定范围、应变判定个数及范围都是实时设定监测连杆试件疲劳状态方式；

(5) 初始置零消除各传感器无信号时干扰，循环置零使循环数清零；

(6) 频率和伺服阀控制信号（正负放大系数）实时可调以调整试验状态；

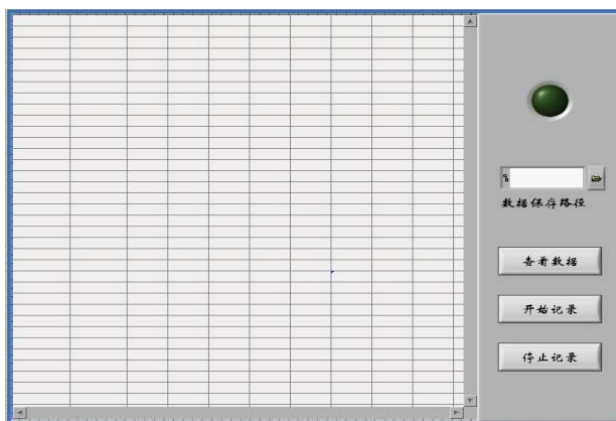
(7) 三路应变的峰值谷值实时显示；

(8) 系统拉伸压缩载荷极值显示目前可达到的载荷极值；

(9) 连杆所受最大拉伸和压缩载荷实时显示；

(10) NI 9263、NI 9205、NI 9237 超时指示灯显示三个板卡超时状态。

点击“数据分析”时，进入数据分析界面，主要有查看数据、开始记录、停止记录和输入数据保存路径。试验时，可以查看数据，根据数据情况控制开始或者停止记录，记录数据时指示灯亮。



在数据分析方面，LabVIEW 公式节点和 XY 波形图，实现对数据的疲劳可靠性分析，可得出相应数据的 P-S-N 双对数直线，如图 10 所示。

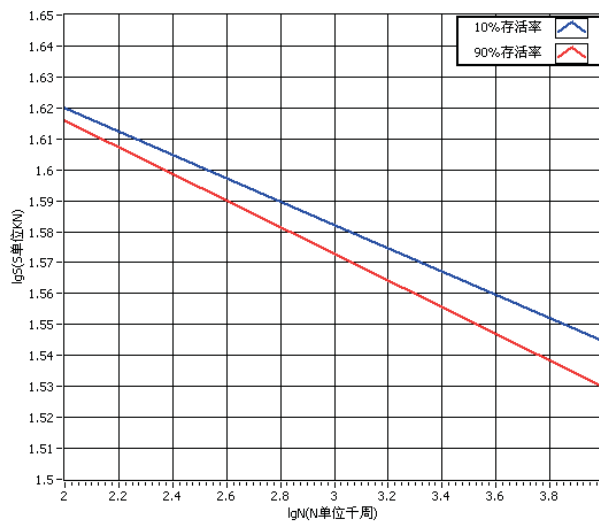


图 15 P-S-N 双对数拟合直线

基于以上的设计，整个试验系统的试验流程如图 16 所示。

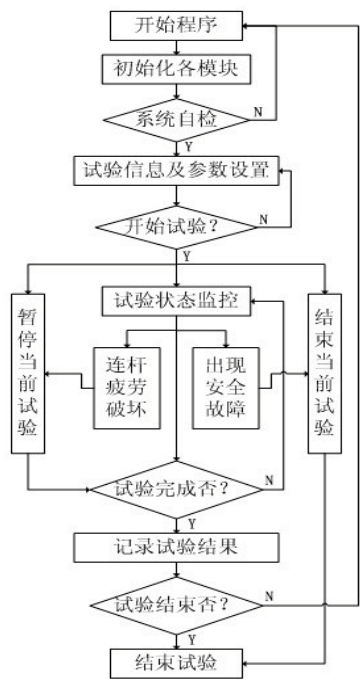


图 16 试验程序框图

5 总结

- 1. 所研制的发动机连杆拉压模拟疲劳试验台是国内首个自主研发，拥有自主知识产权的专用试验台。
- 2. 本试验台基于连杆主要承受拉压载荷的试验原理，采用 NI CompactRIO 嵌入式控制器和液压加载系统的硬件设计使试验系统具有较高的可靠性、准确性和实用性；结合 LabVIEW 开发环境进行软件编程，使试验系统开发周期短，扩展性强。
- 3. 本试验台采用非对称加载方式，实现了对连杆实际工况的模拟；液压加载的 PID 控制实现了载荷的精确控制；同时与实机试验相比，可以实现强化试验，既缩短了试验周期、提高了试验效率，又可以更全面的检验连杆的疲劳性能，对连杆新产品的设计和已有产品的优化有较大的意义。

## NI CompactRIO 平台在油泵功能自动化测试线中的应用

代华斌

联合汽车电子有限公司

**应用领域：**汽车电子测试

**挑战：**油泵功能测试需要对油泵支架的各项性能进行测试，要求测试系统具备良好的可靠性与实时性。测试的过程不仅包括多种仪器的控制还包括数据采集及运动控制的内容。因此，需要建立一套可进行多功能测试开发的系统，并且系统必须具备良好的可靠性与实时性。

**应用方案：**油泵支架功能测试台主要用于油泵支架各项性能的测试，主要包括液位阻值（TSG 电阻）、油泵启动电流、CO 电阻、DRV 电阻、油泵转动极性和系统条码等一系列关键参数。其测试结果的准确性将直接影响油泵支架系统的出厂指标及质量。这些参数的测试，不但需要测试系统具有高精度与高实时性，而且需要其设备具有高可靠性与现场抗干扰的能力。

CompactRIO 测试系统是一种基于 FPGA 的底层开放的高可靠性、高精度的测试系统，它是由美国国家仪器（NI）公司针对工业场合复杂环境条件下测试要求而推出的。该系统特别适用于工业现场相对环境差，而测试可靠性与实时高的场合。与传统 PLC 系统相比，具有响应速度快、采集及控制更为灵活等一系列优点。可以预见，基于 FPGA 的 CompactRIO 测试技术必将给工业测试场合带来一种全新的测试理论,而对工业测试技术带来重要而深远的影响。

### 使用的产品：

LabVIEW 2009

LabVIEW RT

LabVIEW FPGA

NI cRIO-9074

NI 9205

NI 9411

NI 9401

NI9476

NI 9425

NI 9870

### 正文：

#### 1 概述 \*

XML2线功能测试台主要承担对油泵支架总成各项性能的检测。主要针对通用公司以及福特公司的12种配套车型的油泵支架系统进行测试。其主要测试参数包括：油体浮子液位阻值（TSG电阻），油泵启动电流，CO接地电阻，DRV接地电阻，油泵转动极性以及产品条码扫描等一系列关键参数。其测试结果直接关系到油泵支架系统的出厂指标以及产品质量，其功能测试台处于整条生产线最终检测环节而显得异常重要。

针对以上测试要求，若采用传统的基于PCI数据采集的测试系统进行开发，受到上位机操作系统以及测试环境的影响较大。而基于PLC进行开发又会受到采集速度等条件的限制。所以本文采用美国国家仪器公司（以下简称NI公司）近年来最新推出的CompactRIO测试技术进行开发，它是一种基于底层FPGA进行编程的技术，包含一个实时控制器与可重新配置的FPGA芯片，底层硬件资源对用户开放，避免了受到软件操作系统以及固有采集模式的限制，具备良好的灵活性与可靠性。

## 2 测试系统功能及硬件构架

油泵支架功能测试台如图1所示。

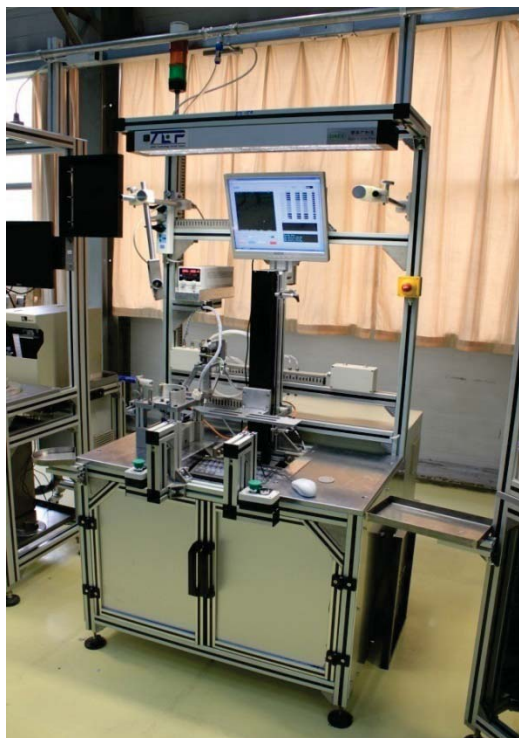


图1 油泵支架功能测试台

测试台的测试功能可以分为3个基本部分

### 1) 设备仪器控制

包括TSG电阻测试驱动伺服电机控制、扫码仪控制以及极性探测器的控制。

其中TSG电阻测试要求控制测试电机处在恒速条件下，整个过程分为三个阶段，如图2所示。

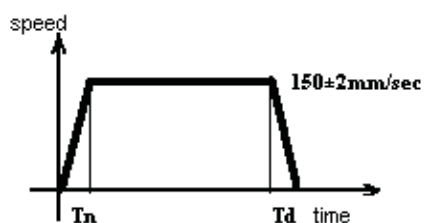


图2 TSG阻值测试过程

2) 模拟信号采集

包括对TSG电阻、CO电阻以及DRV值的测量。

3) I/O控制

包括对负压吸紧气缸、CO探针气缸、DRV上推气缸，DRV探针气缸以及多个继电器进行信号输出控制，同时对工件识别光电开关、高度上下限接近开关，零位接近开关、安全继电器以及双手控制器进行输入信号捕捉。

测试系统的构架：

由于本系统功能测试类型较多，单一的数据采集设备或I/O控制设备都难以满足要求。经过多次比较与选型，本测试系统采用NI公司最新推出的CompactRIO测试技术，基于低层FPGA编程的NI cRIO-9074进行系统构架。该系统构架结构如表1所示。

NI 9205	loop	DMA	Data sync& process	queue	VI
NI 9411 NI 9401	f.t.p.com				
NI 9476 NI 9425					
NI9870					
FPGA（9074）		RT Controller（9074）			

其系统硬件如图3所示：



图3 cRIO-9074测试系统

其中各模块功能以及采集量分析如表2所示：

控制及采集类型	输出类型	信号类型	测试范围	测试精度	使用CompactRIO模块
伺服脉冲驱动	8位数字I/O	脉冲	0-1000HZ	1HZ	NI 9401
伺服脉冲反馈	8位数字I/O	脉冲	0-100000HZ	1HZ	NI 9411
TSG测试电阻电压	16位模拟I/O	电压信号	0-5V	0.01V	NI 9205
DRV测试电阻电压	16位模拟I/O	电压信号	0-5V	0.01V	

CO测试电阻电压	16位模拟I/O	电压信号	0-5V	0.01V	
极性传感器	1位数字I/O	开关量输入	--	--	NI 9476
扫描条码仪	RS232	RS232	±1	--	NI 9870
气缸电磁阀	1位数字I/O	开关量输出	--	---	NI 9425

系统接线实物电气图如图4所示：

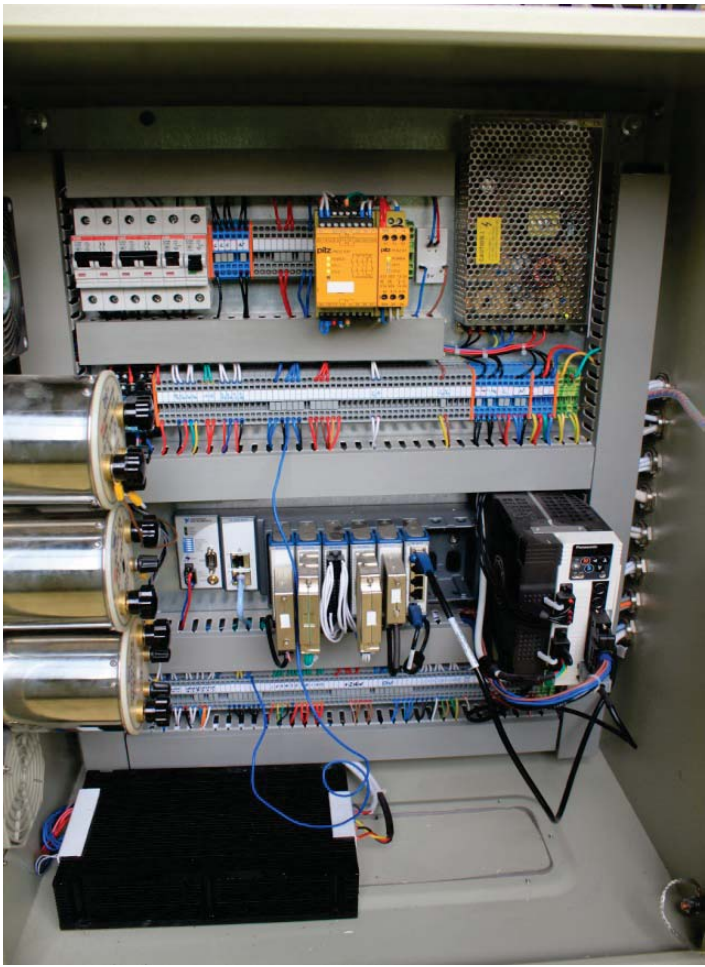


图4 系统接线实物图

3 测试系统软件组成

系统的软件界面如图5所示。

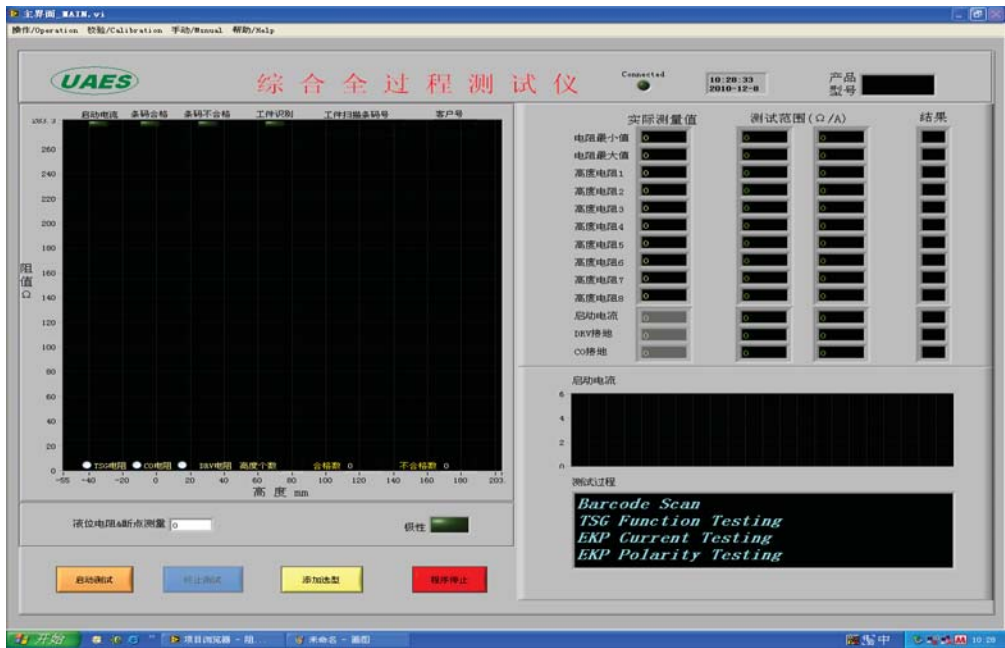


图5 测试系统软件测试界面

其操作功能如图6所示。

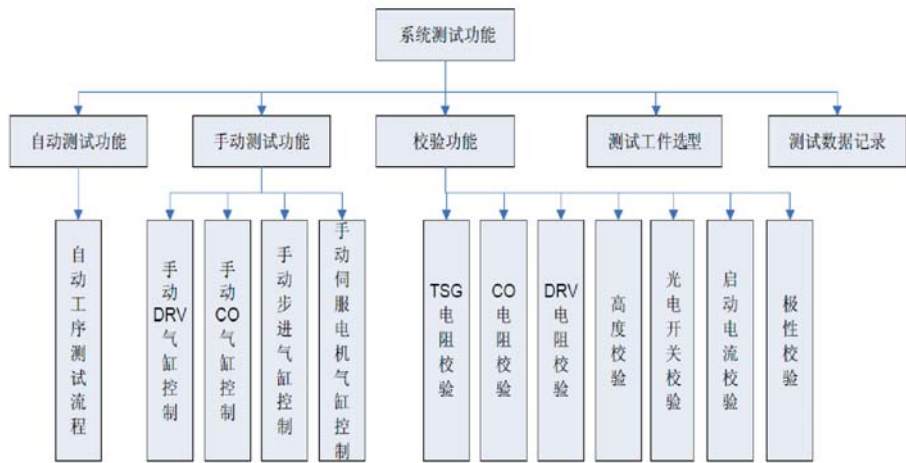


图6 系统测试功能

3.1 自动测试功能。系统具备自动测试功能，其详细测试工艺如4所述。

3.2 手动测试功能。如图7所示，系统具备对测试运动控制部件进行手动控制功能，可进行所有运动控制的手动调整，方便系统调试。



图7 手动功能测试界面

3.3 校验功能。由于本测试系统长期运行于生产线，测试的稳定性与准确性非常重要。本测试系统软件设计了光电开关校验，高度校验，TSG阻值校验，DRV阻值校验，CO阻值校验，启动电流校验，极性校验。通过相应操作界面定期对系统进行校验，可保证系统长期测试的可靠性。

3.4 测试工件参数选型。本系统内部设置各种生产线测试工件类型，通过测试工件选型，测试参数将自动加载入测试界面。

3.5 测试数据记录。在工件测试结束后，测试过程中的数据将自动记录并保存。

4 系统自动测试工艺过程

系统自动测试工艺过程如图8所示。

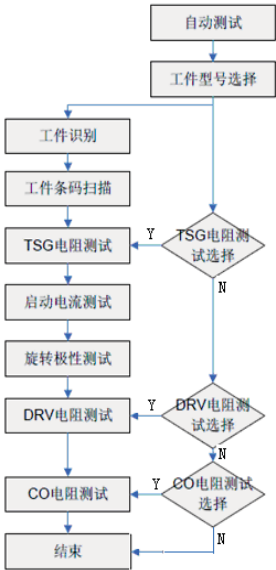


图8 系统自动测试工艺

1) 工件识别。当工件被正常装入测试夹具后，系统将对工件进行自动识别并判断是否合格，如果工件识别正确，则进行下一个工序测试。如果没有工件放入，或工件放置位置错误，则系统自动提示工件识别错误报警并停止测试。需手动复位，并重新开始测试。

2) 扫描条码识别。当工件被识别后，扫描条码器自动打开对测试工件进行条码扫描。如果扫描编码与预设扫描客户编码一致，系统自动判断扫描条码合格，关闭扫描条码器，并进行下一道工序测试。如果扫描编码与预设扫描客户编码不一致，则系统自动提示扫描条码错误报警并停止测试。需手动复位，并重新开始测试。

3) TSG电阻值测试。当工件条码扫描合格后，系统将根据型号选择，确定是否进行TSG电阻测试。如果TSG电阻测试被选中，系统将自动进行TSG电阻测试。否则，系统将跳过本道测试工序，进行下一道工序的测试。

在进行TSG电阻测试过程中，系统将控制电机测试丝杆带动被测工件的浮子进行TSG电阻测试，并将整个测试过程以高度为横坐标，以测试阻值为纵坐标的测试特性曲线记录下来，同预先设置好的检验范围进行对比。如图9所示。

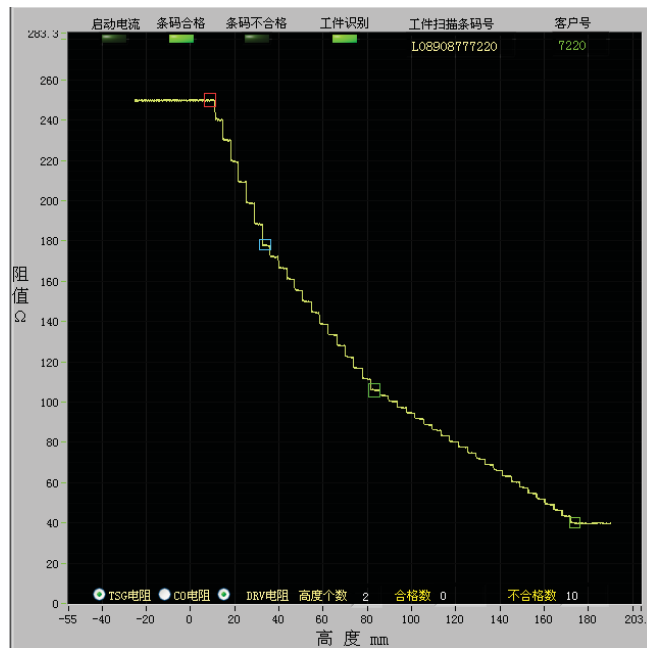


图9 TSG测试曲线与检验范围窗

如果测试点测试结果均在检验范围内，则判定TSG电阻测试合格，进行下一道工序测试。如果其中一个或多个测试数据超过检验范围，则系统自动提示TSG电阻测试错误报警并停止测试。需手动复位，并重新开始测试。

4) 启动电流测试。当工件TSG电阻测试合格后（如果系统选择进行TSG电阻测试），系统将自动开启测试电源，进行工件启动电流测试，并求取启动电流的最大值与预先设置的允许最大启动电流进行对比。如果测试结果小于预设值，则判定启动电流测试合格，系统自动进行下一工序测试，否则系统自动提示启动电流错误报警。需手动复位，并重新开始测试。

5) 极性测试。当启动电流测试合格后系统将打开极性传感器，在工件加电工作条件下进行极性测试。如果工件工作正常，则极性测试合格，系统自动进行下一工序测试，否则系统自动提示极性错误报警。需手动复位，并重新开始测试。

6) DRV电阻测试。当极性测试合格后,系统将根据型号选择,确定是否进行DRV电阻测试。如果DRV电阻测试被选中,系统将自动进行DRV电阻测试。否则,系统将跳过本道测试工序,进行下一道工序的测试。

在进行DRV电阻测试过程中,系统将控制DRV上推气缸前进至DRV电阻待测位置,并推动DRV测试气针接触到DRV电阻测试位置。然后自动测试工件DRV电阻,并同预先设置好的检测范围进行对比,如果测试结果在预设的检测范围以内,则判定DRV电阻测试合格,系统自动进行下一工序测试,否则系统自动提示DRV电阻测试错误报警。需手动复位,并重新开始测试。

7) CO电阻测试。CO电阻的测试工艺与DRV电阻的测试工艺基本相似。即当DRV电阻测试合格后,系统将根据型号选择,确定是否进行CO电阻测试。如果CO电阻测试被选中,系统将自动进行CO电阻测试,否则系统将结束测试。并提示操作人员工件所有测试参数合格,请取走工件,并开始下一工件的参数测试。

在进行CO电阻测试过程中,系统将CO测试气针接触到CO电阻测试位置后,自动测试工件CO电阻。在测试完成后,自动同预先设置好的检测范围进行对比。如果测试结果在预设的检测范围以内,则CO电阻测试合格,并结束整个测试。否则系统自动提示CO电阻测试错误报警。需手动复位,并重新开始测试。

## 5 总结

本油泵支架测试台是联合汽车电子有限公司西安厂针对油泵支架专门开发的参数测试系统。该系统采用NI公司CompactRIO测试系统进行开发,目前已经投入生产线运行,测试结果稳定,达到预期的设计功能。

## 基于 NI CompactRIO 的在线数据监测及远程故障诊断平台

辛磊

上海鸣志自动控制设备有限公司

**应用领域：** 旋转机械、设备状态评估、远程故障诊断、在线监测

**挑战：** 如何客观正确的评价设备状态好坏，既要控制维护维修费用，又要保证生产，既要防止过度维修，又要避免维护不足，要在这之间找出一个最佳平衡点，以维持如今较低的设备维护维修费用，甚至降低费用，保证安全生产。现有各个厂级监测系统经过长时间积累了大量数据，但是如何从海量的数据中提取有效数据，如何通过这些数据判定设备状态，了解设备状态趋势，指导设备维护和检修还没有形成一个关键数据提取、数据分析、设备状态判断、检修建议这一设备状态评估体系。

**应用方案：** 基于 CompactRIO 强大丰富的信号采集模块，结合 NI LabVIEW FPGA 平台提供的软硬件环境，可以方便迅速的搭建设备信号采集系统及数据分析系统，通过建立企业、公司、设备技术中心三级设备在线监测及诊断平台，完善设备在线监测数据采集系统，为设备远程诊断平台提供丰富数据支持。积累现场设备的各种数据、进行数据深度挖掘，找出数据的相关性和关键指标，建立模型，分析判断设备故障，发挥专家资源优势，结合公司及外部专家构建专家诊断平台，进行设备状态远程评价系统。通过设备在线监测诊断平台使企业、公司、设备技术中心及时了解设备状态，通过设备状态评估，根据公司设备维护检修标准，给出检修意见、判定检修周期，降低设备维护维修成本，逐步达到设备状态检修的目标。

### 使用的产品：

LabVIEW 8.2

LabVIEW FPGA 8.2

NI cRIO-9113 数采模块控制接口盒

NI cRIO-9052 数采模块控制器

NI 9205 32 通道振动信号采集模块

NI 9215 4 通道同步振动信号采集模块

NI 9401 8 通道 TTL 信号采集模块

### 正文：

#### 1 引言

现代企业不断地向集约化、大型化，设备的复杂化，产品的多样化、生产的连续化方向发展，这种发展成为了当今世界的一种潮流。这种发展必然对生产设备和生产过程控制的要求越来越高。一次设备事故，有可能造成生产物流的混乱，甚至停产，带来巨大的经济损失。有些设备故障是由于综合性因素造成的，常规的分析手段，现有的分析数据，难以及时、正确地做出判断，及时消除故障。如何有效地、及时地预报设备故障。通过使用 NI CompactRIO 平台软硬件资源搭建“在线数据监测及远程故障诊断平台”来完成设备信号采集、分析、预防设备重大故障，使其在应用领域产生巨大效益。

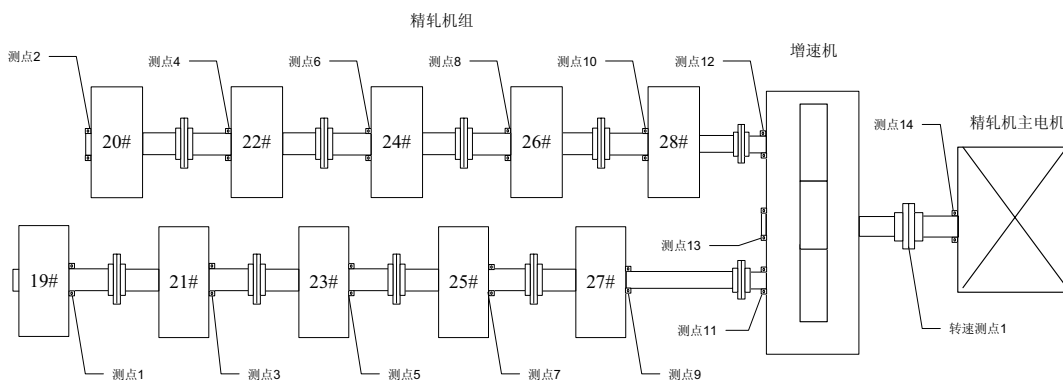
## 2 在线数据监测及远程故障诊断平台设计背景

由于企业的连续化生产、重要设备关系到企业的生产效益及安全，对于企业重点设备实施在线数据连续监测显得至关重要；当设备出现状态不良时，找出设备问题部件、分析设备故障原因对于设备维护及检修都具有重要指导意义，通过网络化远程故障诊断平台可以将故障分析诊断领域专家方便快捷的联系起来共同会诊，为准确、及时进行故障判断提供了技术平台

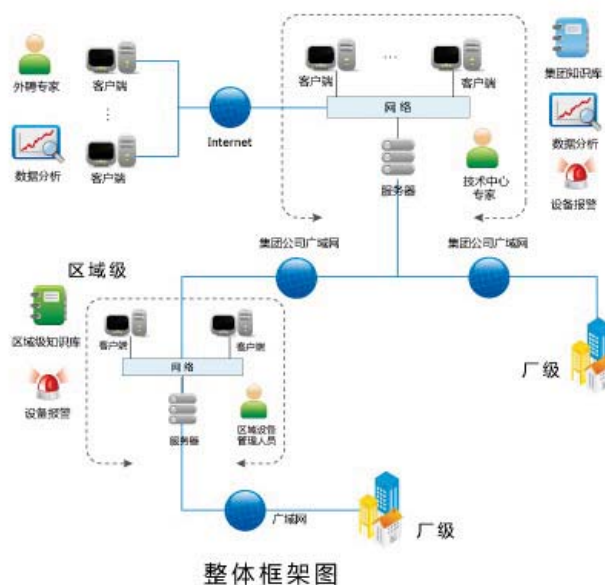


监测对象及测点如下：

监测对象：精轧机组



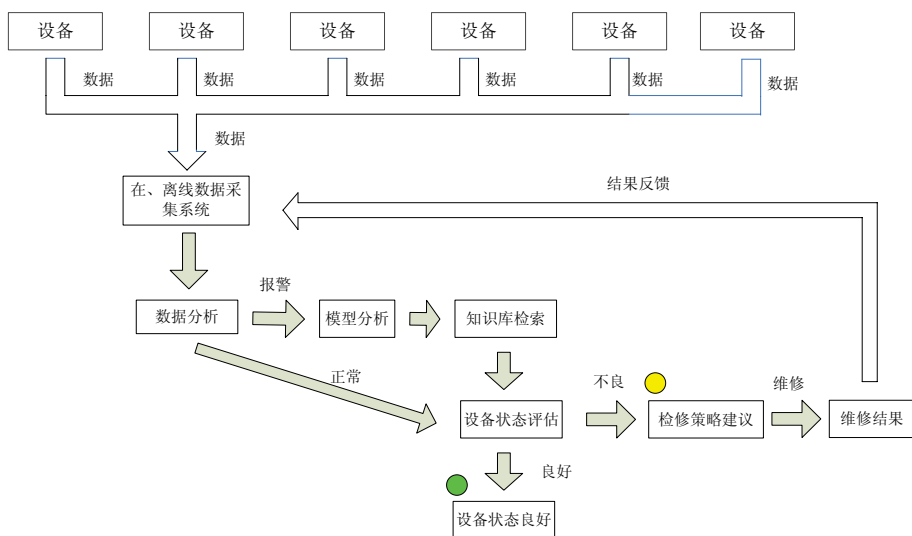
### 3 在线数据监测及远程故障诊断平台总体设计



构架说明：

- 公司：整合上报的设备管理信息系统数据，建立、专家设备诊断系统，实现对远程设备状态、评价和全过程管理；收集、整理、分类各种上传的事故处理方案、经验总结，及时汇总到远程设备管理系统内，不断丰富公司知识库系统。
- 区域公司：开发区域专家诊断系统知识库实现对设备状态远程诊断的支持功能；处理下属厂上报数据；管理下属企业设备状况；通过平台与公司交换设备信息。
- 知识库：通过公司、区域、厂级三方不断完善充实知识库、积累经验，以便在整个公司共享将同类型机组、同类型故障来进行比较分析，快速排除设备问题。

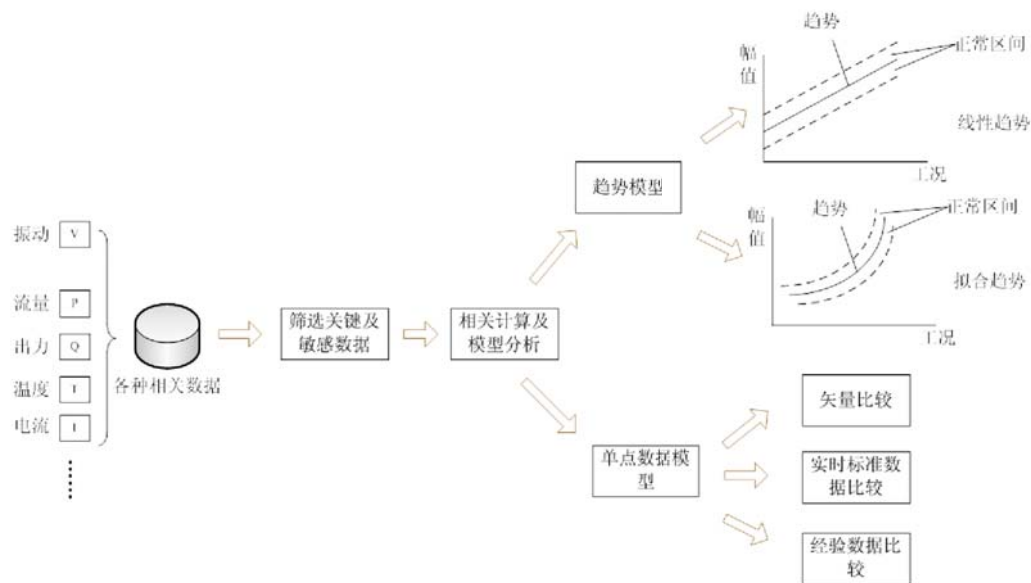
### 4 数据流程框架



## 框架说明：

- **数据：** 各类设备数据—在线监测数据（振动、温度、流量、压力、电流等等）及相关参数（例如：设备工况、设备负载等）传递给系统平台
- **数据分析：** 根据 CompactRIO 采集系统传回来的数据，进行数据分析。根据设备工况状态，结合系统自学习功能，抽取历史数据及敏感数据，进行最优阈值自动计算，设定设备最佳报警阈值。
- **模型分析：** 如果设备出现报警，将报警数据送入数据模型分析系统，系统根据设备的类型及工况状态，自动匹配经验数据模型，进行数据分析，找出敏感经验数据参数，并将数据送入知识库。
- **知识库检索：** 知识库根据敏感经验数据，到知识库匹配检索故障，找出相应故障
- **设备状态评估：** 根据故障库检索出的故障数量、类型、种类、权重等参数，给设备做出总体状态评价
- **检修策略建议：** 根据设备状态评估给出的评价，结合公司的检修策略，评定检修等级（A 类检修、B 类检修、C 类检修）给出检修建议
- **维修结果反馈：** 将维修结果反馈给设备在线检测评估系统

## 5 模型分析流程框架

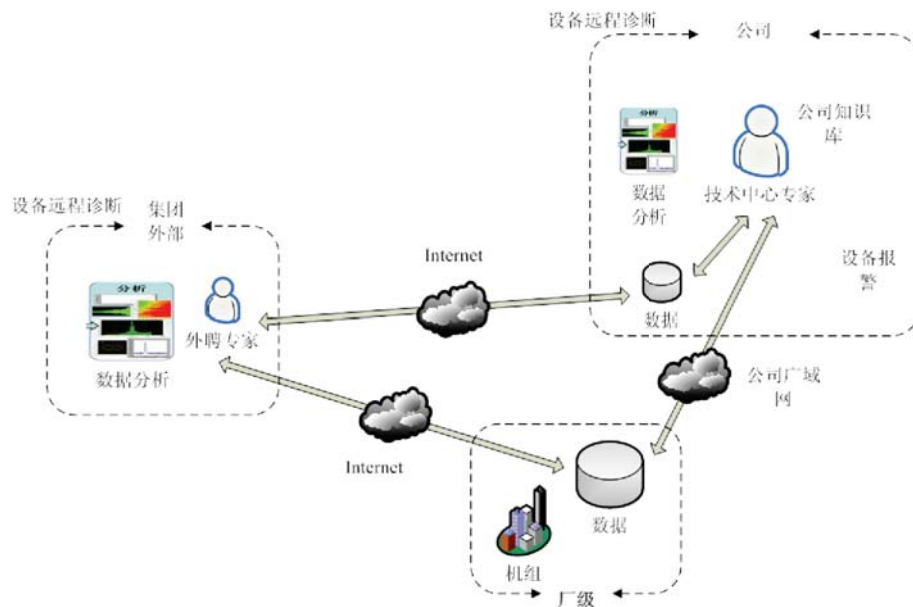


## 框架说明：

- **各种相关数据：** 从采集系统（在、离线采集设备）获得的相关数据及报警数据，包括：振动、流量、出力、温度、电流、压差等
- **筛选关键及敏感数据：** 根据用户设置，或者根据系统模型（例如：针对风机的关键参数、针对汽机的关键参数等）组合的参数模型，筛选关键及敏感数据数据
- **相关计算及模型分析：** 根据关键及敏感数据，产生出数据分析模型，例如：趋势模型及单点数据模型

- **趋势模型：**抽取一定时间范围内的关键及敏感数据，通过历史数据的模型，计算趋势模型并预测趋势，划定参考正常区间。根据参数的相关性分为：线性趋势及拟合趋势，通过趋势模型来评估设备状态。
- **单点数据模型：**对单点数据（例如：一个振动数据），进行矢量比较分析、实时标准数据比较分析、经验数据比较分析。
- **矢量比较：**是指将一个数据（例如：振动数据）的各个分量进行矢量比较
- **实时标准数据比较：**标准数据是指设备良好运行状态保存的基准数据，实时和在线数据进行比较
- **经验数据比较：**用户上传的经验样本数据或者是数据模型根据历史数据计算出的样本数据进行比较。用户上传的经验数据可以使各个类型故障的样本数据，也可能是各个正常工矿的基准数据
- **模型基础算法依据：**决策树、神经网络、权重加权等

## 6 设备远程故障诊断



说明：

**厂级：**通过企业广域网与公司进行数据交换。收集设备数据、向公司上传异常数据或报警数据

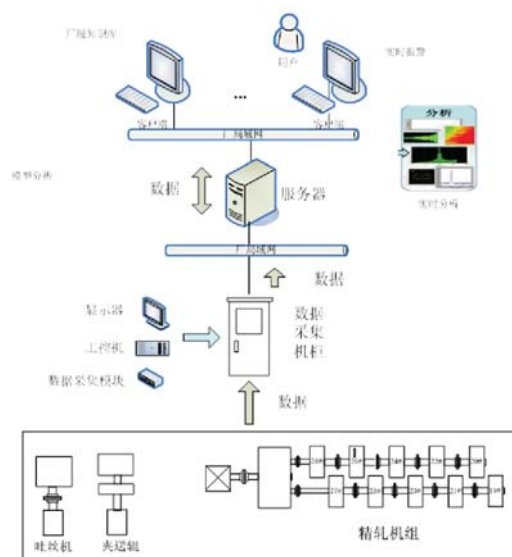
**公司：**通过企业广域网与厂进行数据交换。接受异常数据及设备异常报告，查看设备报警状态，构建公司知识库，进行数据分析

**公司外部：**外聘专家通过 Internet 网与公司或厂进行连接，查看公司或厂数据、进行数据分析

**技术中心专家：**对厂上报数据或报警数据进行诊断分析，指导厂进行设备维护。如果上报的异常数据或报警数据不完整，技术中心专家还可以通过企业广域网，直接访问厂设备的所有历史数据。

**外聘专家：**如果设备出现较复杂问题，技术中心专家可以要求公司外部专家进校故障会诊。外聘专家可以通过 Internet 访问公司数据库中的设备异常数据进行诊断分析；如果上报的异常数据或报警数据不完整，外聘专家还可以通过 Internet 直接访问厂设备的所有历史数据。

## 7 精轧机组在线监测构架

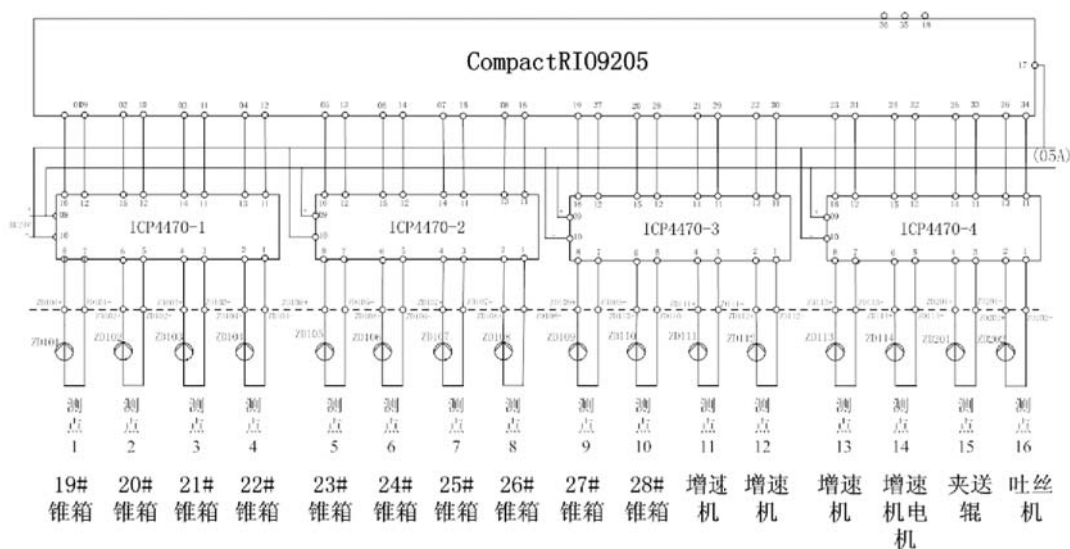


## 构架说明:

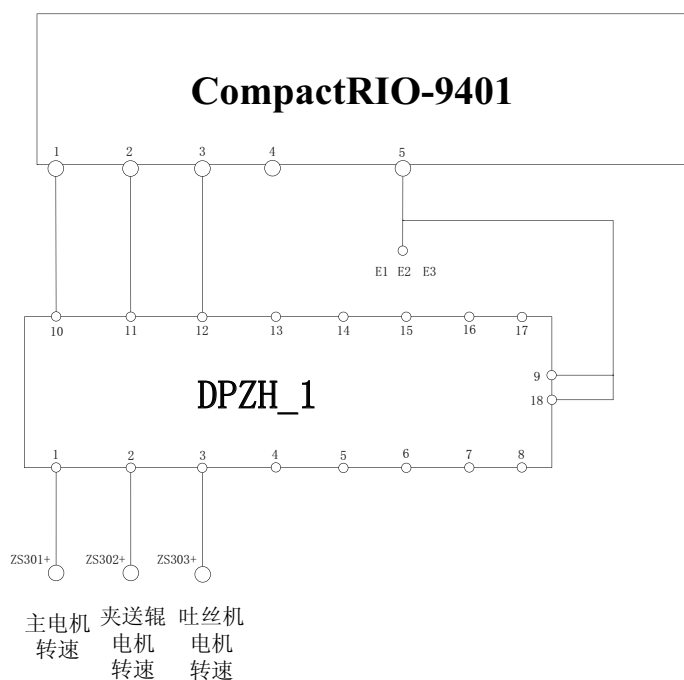
- **数据采集:** 通过传感器将精轧机组各个测点的数据传输到 NI cRIO-9205 振动通道采集模块
- **数据处理:** NI cRIO-9052、9113 将采集到的数据进行数据处理, 并将处理好的数据传输给采集计算机
- **采集计算机:** 采集计算机负责计算实时报警, 并将现场实时数据通过局域网传送给数据/web 服务器
- **服务器:** 厂局域网用户可以通过浏览器进行远程监测精轧机组在线数据, 并进行设备故障诊断和数据分析

## 10 采集模块信号接入示意图

## 1) 振动数据采集



## 2) 转速数据采集



## 11 现场部署实物

CompactRIO-  
9113/9052/9205/9401

数采模块  
电气连接  
安装区域

液晶显示器

键盘、鼠标

工业计算机

观察视窗 (钢化玻璃)

信号地接地排

保护地接地排

空气对流孔

机柜底座

产品	详细说明及指标
NI cRIO-9113 NI cRIO-9052	4 插槽采集控制器 带有信号预调理功能，以及高速 FPGA 芯片进行信号预计算 PCI 总线高速数据传输
NI 9205（1 个）	32 路单端或 16 路差分模拟输入 16 位分辨率 250 KS/s 总采样速率 ±200 mV、±1 V、±5 V 和 ±10 V 可编程输入范围 -40~70℃的操作温度范围 热插拔操作；过压保护；隔离 NIST 校准 弹簧端子或 D-Sub 连接
NI 9401（1 个）	5V TTL 8 通道
传感器连接	单层屏蔽信号电缆（2x1.5），信号转接口
传感器恒流源	1 通道、4 通道、8 通道加速度传感器恒流源
辅助器件	现场信号接线板，网络集线器以及网线等

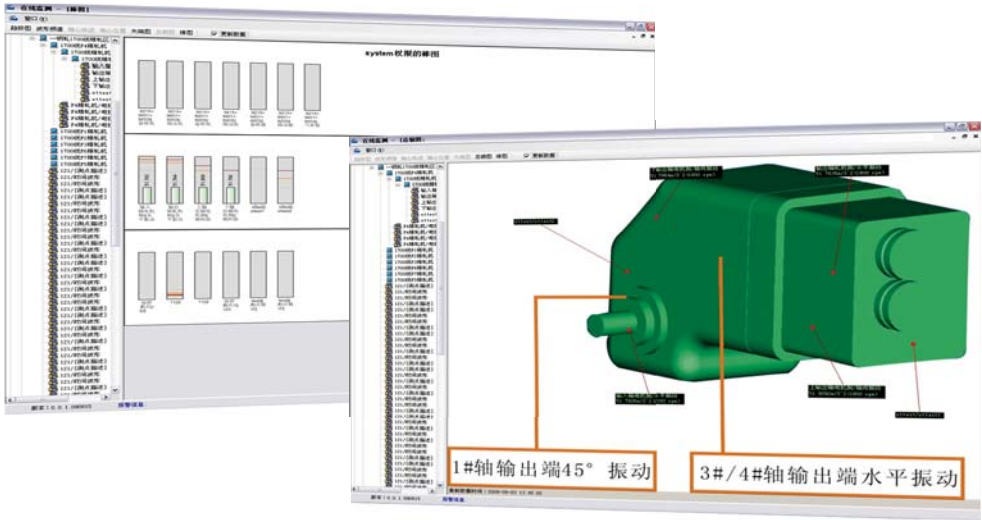
振动传感器

选用 PCB 加速度传感器，它具有可靠性高、适应能力强等优点。

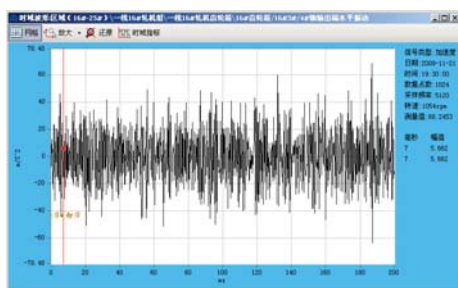
型号	603C61
量程范围	±50g pk
灵敏度	100mV/g
工作温度	-54℃~+121℃
ICP 激励电流	2-20mA
分辨率（1~10kHz）	350μg
频响	0.43~10KHz

12 软件实现

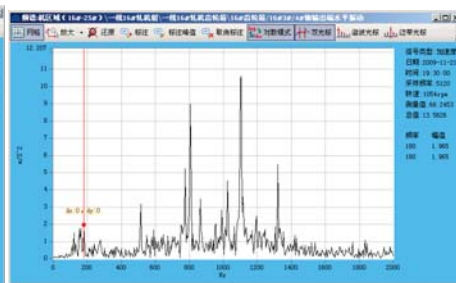
通过 NI 的 LabVIEW 软件平台开发符合企业的“在线数据监测及远程故障诊断系统”，通过监测系统掌握设备状态避免设备非正常停机，为企业赢得巨大效益。



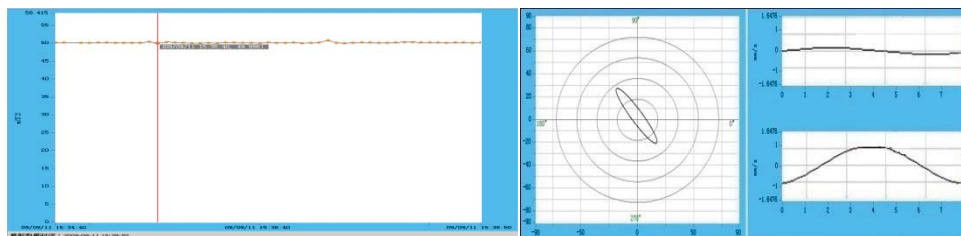
监测概览：包括整机监测和棒图监测



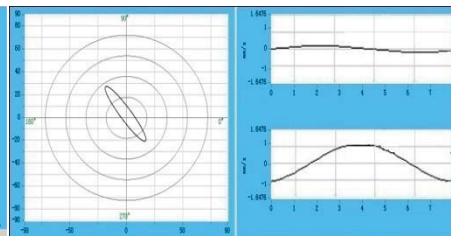
波形监测



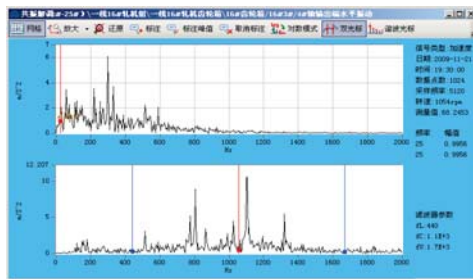
频谱监测



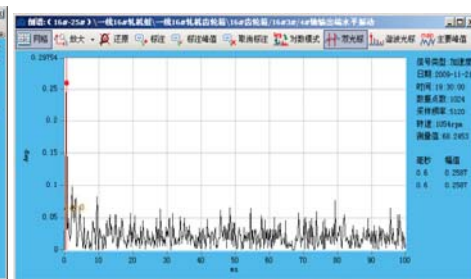
趋势监测



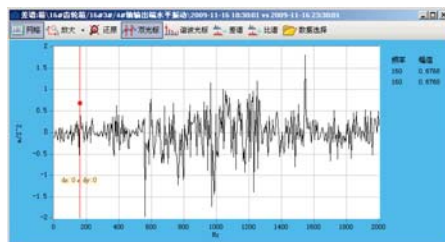
轴心轨迹



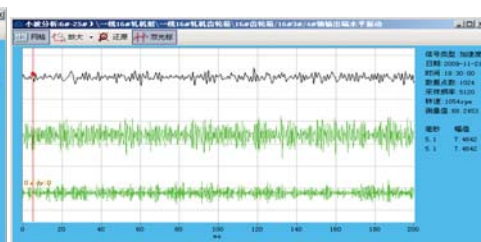
共振解调分析



倒谱分析



差谱分析

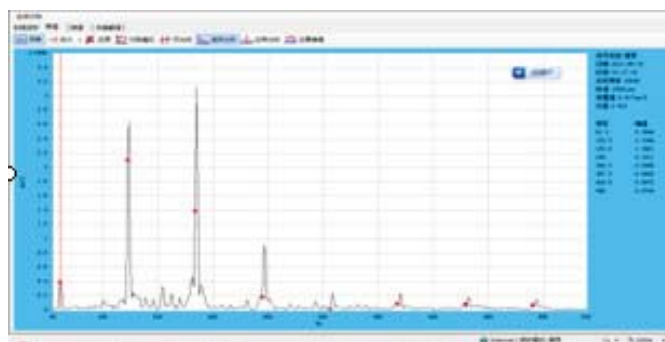


小波分析

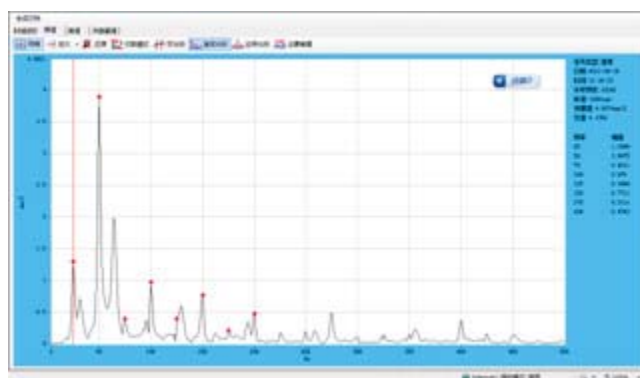
### 13 结论

通过使用NI的CompactRIO硬件及软件环境,快捷、高效、安全的解决了企业现场对于重点设备进行在线监控及远程故障诊断的实际应用问题,为企业建立起可靠、高效的设备状态评估及故障诊断平台奠定了技术基础;通过设备状态评估及及时发现和排除设备故障,也为企业赢得了巨大的经济效益。

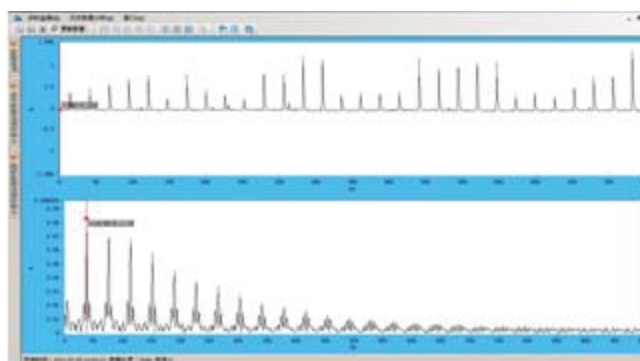
发现并解决现场设备故障:



1 精轧机松动故障



2 精轧机主电机轴不对中故障



3 辊箱轴承外环故障

# 基于 NI PXI 和 CompactRIO 建设大型物理实验数据测量和控制系统

赵丽 罗萃文 陈燎原

西南物理研究院

**应用领域：** 时序与同步，分布式数据采集，物理实验中央控制

**挑战：** HL-2A 是一个庞大的物理实验系统，包括一个中央控制和多达上百个分布式子系统。采用 CompactRIO 建立新的统一中央时序控制，基于 PXI Express 和 PXI 总线构建一系列数据测控平台用于物理诊断，以其稳定高效的性能，保障每年两轮的物理实验顺利开展并取得持续的实验进展。

**应用方案：** 基于 CompactRIO 重新架构中央时序系统并建设精准的时钟同步网、触发同步网、中央控制网。为实验系统内的各种测试仪器提供统一的、时间确定的多样化同步时钟，提供触发信号，用于驱动系统产生预定的联动效应；定时系统采用现代的嵌入式系统设计，给出严格高精度的同步时间数据，保证工作在复杂的电磁环境下的各子系统在工作中发生的各种事件和异常可以进行记录和追踪。同时分布在实验现场的 NI PXI Express 和 PXI 设备服务于实验现场，在 LabVIEW 环境下搭建大规模分布式的测控平台，建成一个更加智能型、稳定性能优越、可视化程度极高的大型物理实验数据系统。

## 使用的产品：

LabVIEW 2010

LabVIEW RT 2010

LabVIEW FPGA 2010

NI cRIO-9114 嵌入式机箱

NI cRIO-9022 实时嵌入式控制模块

NI 9401 8 通道，100 ns 高速双向数字 I/O 模块

NI 9402 4 通道，55 ns 高速数字 I/O 模块

NI 9485 8 通道继电器

NI PXIe-1075 Chassis 机箱

NI PXIe-8133 控制器

NI PXIe-6356 多功能数据采集模块

NI PXI-1045 机箱

NI PXI-8109 控制器

NI PXI-6143 多功能数据采集模块

## 正文：

### 1 引言

数据系统是 HL-2A 物理实验重要的组成部分，实验数据系统采用分布式体系结构，包括实验网络、各类数据采集子系统、图文显示系统、大量交互式数据分析处理终端，实验数据管理子系统，系统集成管理平台和高性能计算系统等组成。通过越来越广泛的参与 ITER 国际项目合作，以及随着国内实验的深入

开展，科学家对控制品质、信号同步和数据精度等要求越来越高。许多先进的测控新技术，以及大批高质量的系统设备引进到 HL-2A 实验系统，提高整机系统稳定可靠性能，保障实验的正常运行。

## 2 系统背景和设计原则

半个世纪以来，科学家们展开了受控聚变实验研究并取得了巨大进展。HL-2A 托卡马克实验装置于 2002 年在西南物理研究院正式完成工程建设并投入实验运行。

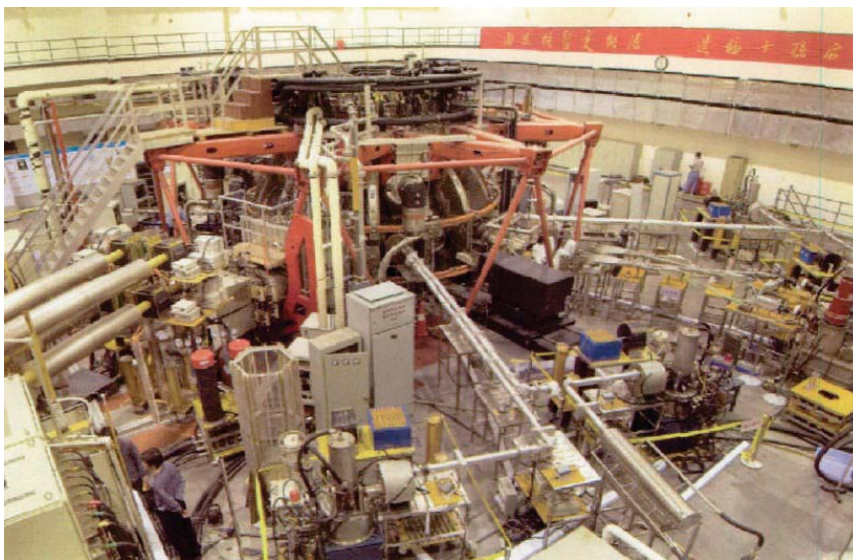


图 1 HL-2A 托卡马克实验装置

以往整个实验系统通过控制网内的 TCP/IP socket 通讯实现放电通讯，放电时序控制则由中央控制系统和硬件定时系统完成。各个子系统通过内部时钟来启动工作。

现在 NI CompactRIO 嵌入式测控平台为聚变实验测量与控制应用提供高性能、高可靠性以及自定义灵活开放的嵌入式架构，通过内置的嵌入式控制器、实时操作系统、可编程 FPGA 以及一系列可热插拔的数字 I/O 模块，搭建中央控制网、时钟同步网，同步触发网，并和分布在实验现场的测量系统，实现全方位立体的高性能聚变实验数据测量控制系统建设。

## 3 聚变物理实验数据测量和控制系统总体设计

项目整体包括中央时序控制和分布在实验现场的测量子系统。主要由以下子系统组成：

- 1) 中控时序系统，其中包括中央定时，时序控制，触发同步。
- 2) 物理诊断测量系统，目前采用 NI PXI Express 和 PXI 的测量系统包括：
  - 电探针高速数据采集系统；
  - 电子温度测量系统；
  - 软 X 射线测量系统及其他诊断系统；
- 3) 整个数据系统还包括：
  - 参数配置管理系统；
  - 大型物理实验数据库；
  - 远程用户操作界面子系统

以上系统整体结构示意图如图 2 所示:

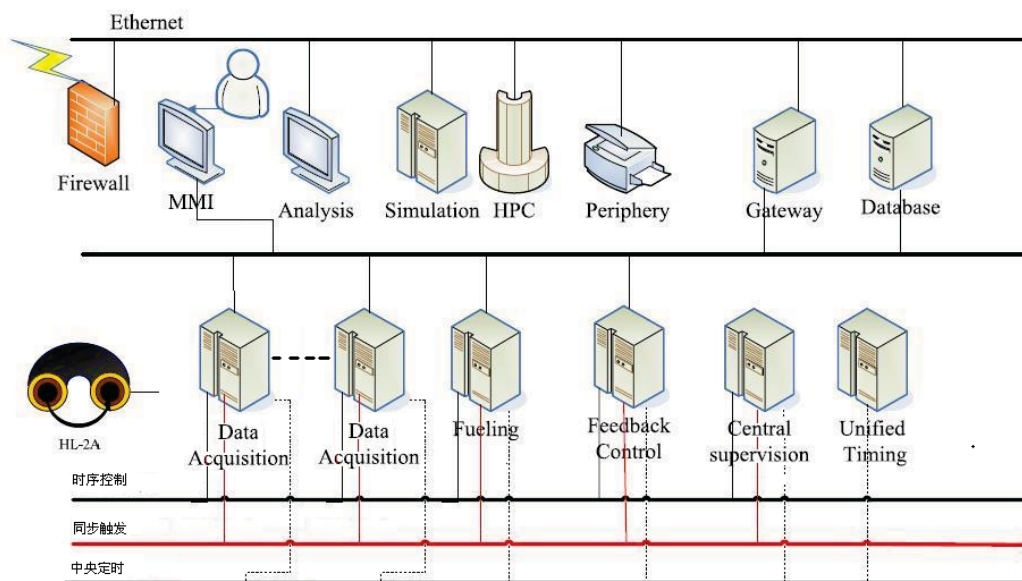


图 2 实验数据系统组成

### 1. 中控时序控制设计方案

在大型物理实验系统内,测量仪器分布在实验现场,它们的功能有多样要求,为了获得最佳的测量精度和功能效果,需要为实验系统内的各种测试仪器提供统一的,时间确定的多样化同步时钟,用于各个仪器的工作时钟基准信号,确保最终获得的测量数据是具有精确时间序列关系的有效实验数据。

对于来自现场的标志信号或者仪器之间需要传递的事件消息,还需要有一个逻辑和时序处理器,通过可编程的设置,为仪器和系统内执行机构产生符合实验系统需要的触发信号,用于驱动系统产生预定的联动效应,实现实验所需时序和功能。HL-2A 物理实验时序流程和控制逻辑如图 3 图 4 所示:

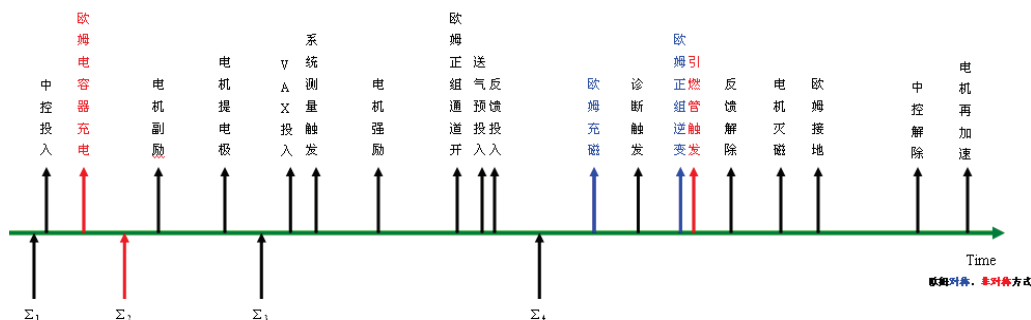


图 3 中控时序系统流程图

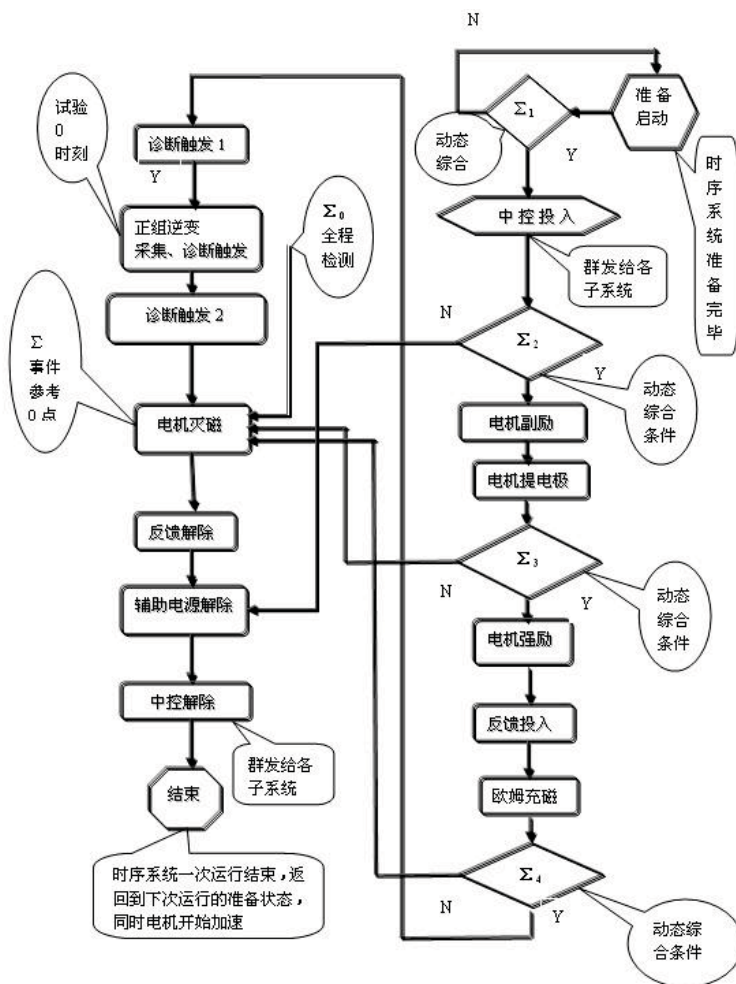


图 4 HL-2A 时序控制逻辑图

这些仪器工作在高强度的复杂电磁环境下，运行过程中会遇到各种状况。各级设备在系统工作状态下自检，以及维护系统时的需要。中控采用现代的嵌入式系统设计，为每个子系统提供精确同步的日历时钟信息，用来为系统日志功能给出严格高精度的同步时间数据，从而对系统工作中发生的各种事件和异常可以进行记录和追踪。

在这个项目中，选用 NI cRIO-9114 嵌入式机箱作为载体，装载 NI cRIO-9022 嵌入式实时控制器，作为高性能 CompactRIO 可编程自动化控制器件，具有 533 MHz Freescale MPC8347 的工业实时处理器，实现确定可靠的实时应用，同时 256 MB 的 DDR2 RAM 与 2 GB 的非易失性存储介质，用以实现程序存储与数据记录。采用双向数字输入模块，灵活配置各条数字线的方向。使用 NI LabVIEW FPGA 对数字 I/O 模块进行编程，根据 HL-2A 控制时序定义信号脉冲生成，并通过分频设备，将信号传递到各个子系统。

建设成功的中央时序控制系统具备三项基本功能：

提供精确的时钟信号，确保各子系统以相同的时钟基准工作

提供精确的触发时序信号，控制各子系统投入实验的时序

提供事件触发功能，若能检测到特定信号，实时触发相应处理机制

## 2. 诊断数据测量系统

实验放电过程中，托克马克装置内部等离子体状况是无法直观反映的，需要采用各种技术手段对高温等离子体进行测量，犹如中医里“望、闻、问、切”，这在聚变实验中称为诊断系统。在 HL-2A 物理实验主机大厅和各个实验现场分布着各种诊断设备，各个子系统的诊断信号都需要进行采集和存储并供物理实验人员和工程调试人员处理、分析使用并提供共享。这些数据对放电后进行的物理分析十分重要，是进行物理性质分析的重要的资料。

数据采集系统遵循 HL-2A 主控时序，完成整个运行流程。首先从远程数据库服务器中获取采集参数配置，在本地形成任务配置、模块配置、通道配置模块，并配置到采集设备。与主控系统及其他子系统保持即时通讯。采集系统随时监听来自主控系统的指令，根据指令进行下一步操作。数据完全按照《HL-2A 实验数据存储格式规范》的要求进行存储。实验数据按需要存贮本地硬盘，并传送至数据存储服务器进行存储和共享。

诊断数据对精度和同步的要求很高。项目选用 NI PXIe-1075 Chassis 机箱，加载 NI PXIe-8133 控制器，选用 NI PXIe-6356 多功能数据采集模块。系统架构采用通用型设计，易于复制和扩展。这套架构在 HL-2A 数据测量系统中共两套，主要用于电探针测量和电子温度测量。

另外，选用 NI PXI-1045 机箱、PXI-8109 控制器以及 PXI-6143 多功能数据采集模块完成数据采集系统用于软 X 射线测量系统和其他诊断项目。

基于虚拟仪器技术搭建的数据采集系统，解决了采数通道众多，数据采集量大，高速并行以及与各子系统的协调等必须面临的技术问题，具有很强的实用性。软件采用系统模块化的设计、开放性和扩展性为 HL-2A 装置组建其他要求的测试系统提供了极大的方便。

## 4 软件实现和现场成果

### 1. 中控时序方案

#### 1) 中央时序方案组成

中央时序方案如图 5 所示：其中 LabVIEW 利用图形化编程语言，创建框图形式的应用程序，完成数据采集和仪器控制软件；LabVIEW RT 模块延伸至运行实时操作系统的 NI 硬件，实时平台为应用程序提供了一个确定性强的运行架构，可靠性高。LabVIEW FPGA 模块，图形化开发拓展至 NI RIO 硬件上，可以创建并自定义配置测量和控制硬件，保证输出精准同步时钟、同步触发信号以及根据实验流程自定义的时序。

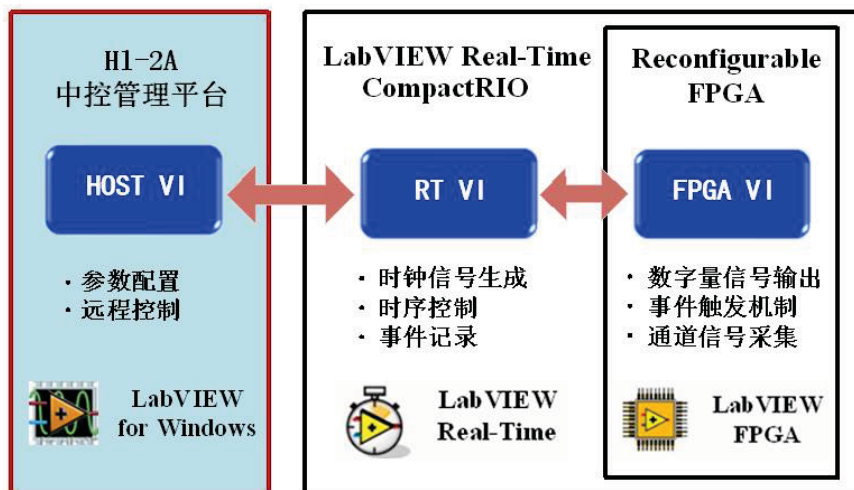


图 5 基于 CompactRIO 中央时序系统构架图

## 2) 基于 EPICS 通讯实现

一方面, 测控系统由中央时序系统提供统一的外部时钟, 同时监听中控指令并响应, 接收中控触发, 启动设备运行工作。另一方面, 随着 Experimental Physics and Industrial Control System (EPICS) 平台在 HL-2A 物理实验中的推广, 所有测控系统需要一个 EPICS 的数据接口, 完成测控子系统应用程序和控制系统之间的数据交换。

EPICS 系统通过 Channel Access (简称 CA) 机制, 提供包括动态通道定位, 数据读写, 访问监控, 连接监控和自动重接等服务, 这样实验网内的测控系统之间以及与中央控制系统之间便无须依靠巡回检测来监控系统, 极大地减轻网络负荷, 并实现最优化的全域范围无缝连接。

LabVIEW 图形化编程语言提供 EPICS 的接口模块, 这在很大程度上帮助我们非常灵活且便捷的将测控系统的状态信息以及实时监测的抽点数据直接共享到中央控制和实时显示系统。

## 2. 大数据量数据采集实现

### 1) 程序结构

在 HL-2A 实验中, 许多重要的诊断系统使用了基于 LabVIEW 和 PXI Express 搭建的数据采集系统。在数据系统和研发过程中采用实时多线程处理技术、多板卡同步技术、优化存储策略等多种技术方案解决了研发中出现的相应技术难点。同时功能化模块的调用, 使系统具有极高的可复制性, 如果有实验有新的需求, 可以在很短时间完成系统建设和集成, 安装到位保证数据采集系统能准确无误实现消息通讯以及实验数据的完整获取。

### 2) 电探针大数量存储实现

电探针的采集要求为每通道采样频率 1.25 MS/s, 一共需要 NI PXIe-6356 采集模块 17 共计 126 个采集通道。考虑到每一次放电达到几个 G 的数据量, 我们选用 NI PXIe-8133 嵌入式控制器, 它的标准配置有 2GB 的 DDR3-1333 MHz RAM。根据系统需要, 选择升级至 6GB RAM 和 Windows 7 64 位操作系统。

除了在硬件和操作系统上为完成大数据量采样做好准备, 在程序架构上, 我们也做了设计。采集数据和存储到硬盘的应用与消费者和生产者模式是相符的, 另外还涉及到生产者 (控制部分) 向消费者 (执行部分) 的数据传输。程序使用的队列型的生产者和消费者模式, 从采集模块读取数据的同时, 通过队列传递并同步写入硬盘。这样的结构保证数据不掉点, 完成数据 8 秒时长采样及数据保存。程序结构如下图所示:

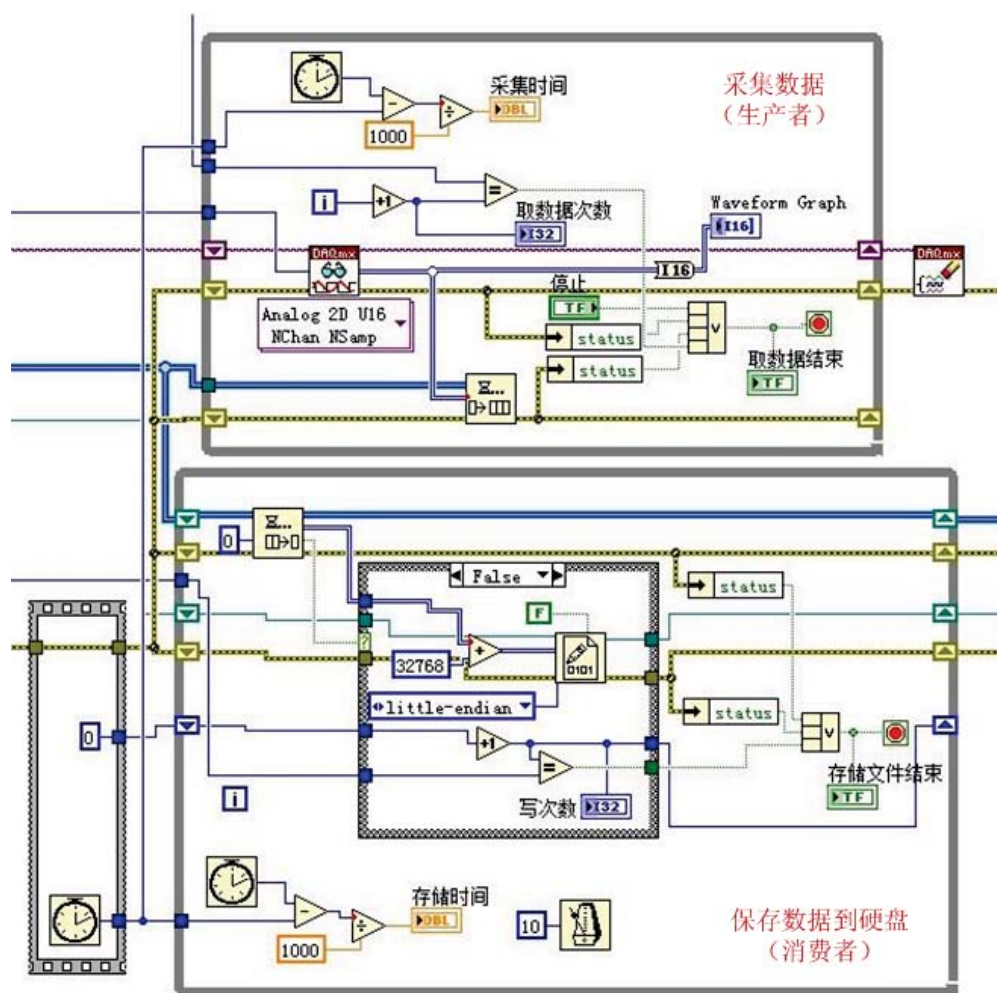


图 6 大数据量采集存储程序结构

### 3. 现场成果

#### 1) 现场布置与集成

基于 CompactRIO 建设的中央控制时序系统配合时钟分配器，将信号按需求分频并送到各个子系统；同时，触发分配器也按自定义驱动事件完成相应工作。测控系统因为涉及多个不同的诊断项目，分别位于实验装置大厅里不同方位，在统一时钟和同步触发下，并行工作。



图 7 时序控制器和一系列分配器



图 8 2011 年新增数据诊断测控系统安装在装置大厅一角

## 2) 测控软件控制界面与可视化

实验现场分布着几十套基于虚拟仪器的构建的测控系统，它们丰富的界面，标准的数据接口，多样化的扩展设置，为实验人员提供直观方便的可视化监控界面。

这些测控设备界面如下图所示：

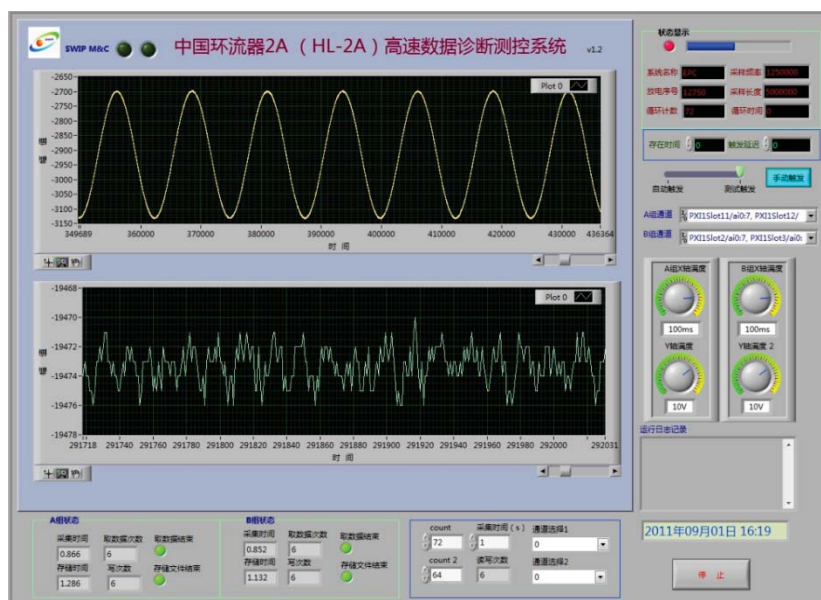


图 9 高速数据诊断测控系统显示控制界面

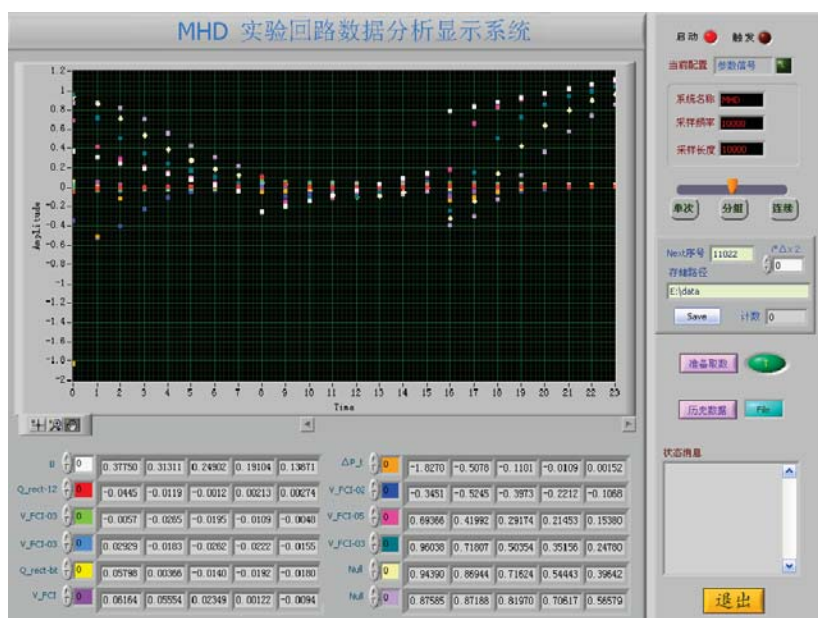


图 10 实验回路数据分析显示系统界面

## 5 结论

NI CompactRIO 的使用，给 HL-2A 物理实验中时序设计带来新的理念和令人惊喜的结果。LabVIEW 图形化直观的开发环境和完善的驱动例程帮助用户很快建立系统控制和数据采集应用，大大节约研发周期，能在很短时间内完成系统集成并参与联调。

从 2004 年开始，HL-2A 物理装置就逐渐引进 NI 分布式数据采集设备，我们使用 LabVIEW，基于 NI 测控设备和 CompactRIO 系列建设起一系列中央时序、测控和可视化平台。这些系统工作在装置大厅以

及实验现场。在放电实验过程中，周围会产生高强度杂散磁场，这对电子设备抗干扰能力提出极高的要求。这些设备以其精巧而坚固的设计，完美的稳定工作性能，满足苛刻的工业级指标，在实验中采回大量第一手珍贵数据资料，并为物理实验顺利开展保驾护航。

这套实验数据测量和控制系统的成功组建和顺利运行也为我们承接的 ITER 国内采购包 R&D 工作提供实验环境。我们在这套平台上进行测控方案验证以及系统可行性测试。这些经验和成果将在 ITER 诊断系统采购包实施过程中提供参考和组建示范。

## 基于 NI myDAQ 的传感器实验原型卡设计与实现

唐赣

华东交通大学

**应用领域：**院校/教育

**挑战：**针对多种传感器在课程设计、电子竞赛、课外实验中的大量应用，在便携式的 DAQ 硬件上，开发一套具备无限传感器扩展支持能力的传感器原型实验板卡，具备原型原理图虚拟与现实对比设计的能力，为院校/教育领域提供最大程度的传感器测试测量电路原型支持。

**应用方案：**采用 NI Multisim 电路原理图仿真设计软件和 NI Ultiboard 印刷电路板设计软件实现传感器原型板卡的原理图和 PCB 设计，并借助 myDAQ 的软面板仪器以及 LabVIEW 综合编写测试测量原型程序。

**使用的产品：**

NI LabVIEW 2010

NI Multisim 11.0

NI Ultiboard 11.0

NI myDAQ

**正文：**

### 1 引言

随着传感器测试测量项目及其相关应用在课程设计、毕业论文、电子竞赛中大量的体现，对完成题目的周期、效率有着严格的限定，且要求项目作品日益小型化。为了应对此种趋势，使传感器测试测量原型应用得以高效的开发、实现，急需在院校/教育领域设计一个具有通用兼容性的传感器原型设计平台，并要求该平台并具备开放式的无限传感器功能的扩展支持。

myDAQ 传感器实验原型卡（以下简称 mySensor）即是满足以上需求的，是专门为 NI myDAQ 设计的 mini system。它基于 NI 的虚拟仪器技术，同时也支持用于传感器原型测试测量电路的 Spice 电路仿真技术。

### 2 myDAQ 传感器原型实验卡设计思路

mySensor 是基于 NI myDAQ 虚拟仪器平台的 mini system。依据通用的传感器测试测量流程进行，如图 1 所示。



图 1 mySensor 工作流程

众所周知，大多数的传感器在感受物理信号（声音、光照、磁场、温度等）后输出的电信号是非常微弱的，此类信号需经过信号调理模块放大、滤波或整形等调理步骤。调理至适合采集卡通道最佳的电压范围，再送至 myDAQ 采集，最后由 LabVIEW 编写程序读取相应的数据并进行数据处理。

根据以上设计思路,并且为了适应 myDAQ 的使用场合的需求。(即:学生课外、除实验室以外的开展创新应用的任何场地)由此确定 mySensor 板卡的尺寸不能过大,规定 PCB 最大尺寸为 5950mil×3075mil。在 mySensor 设计过程中,将各传感器模块、调理模块尽量做到优化配置,模块确定的基本原则是多重复用原则。各独立模块的尺寸规定为 1425mil×1025mil,模块支持通过叠插的方式扩展、更换。

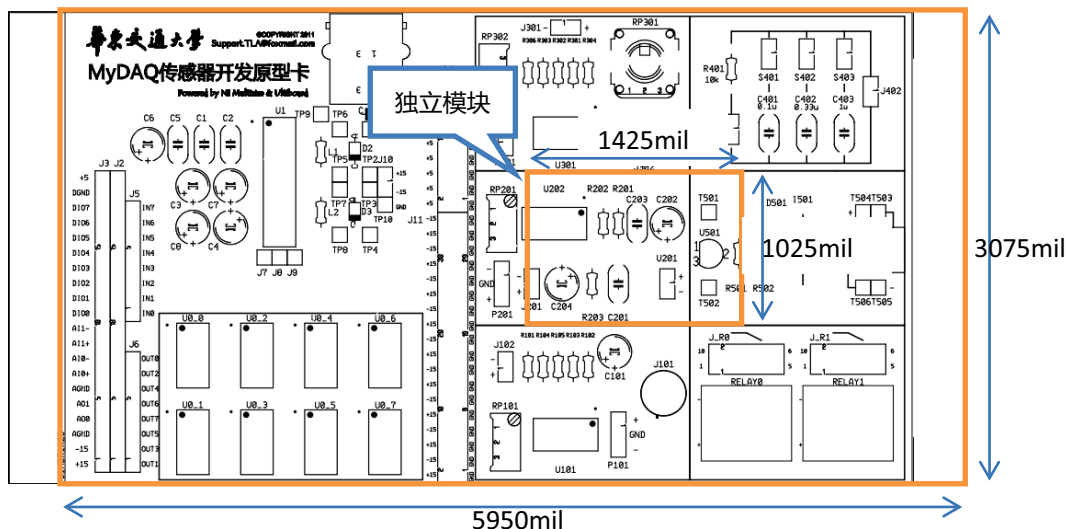


图 2 mySensor 尺寸与独立模块布局

由于 mySensor 包含需供电的调理模块, mySensor 增加了一组由 USB +5V 至 DC-DC 转换而来的调理模块所需的+15v、-15v 电源,无需使用大型的稳压电源为其供电,便于从 PC 机的 USB 处取电进行实验。

### 3 mySensor 原理图和 PCB 设计

mySensor 的原理图设计是采用 NI Multisim 11.0 实现的,利用该工具与 NI Ultiboard 11.0 无缝整合,完成从原理图到印刷电路板的全流程衔接。在 Multisim 11 中设计 mySensor 的原理图,可详细分为如图 3 所示的 7 个步骤,在 Ultiboard 11 中设计 mySensor 印刷电路板,可详细展开为如图 4 所示的 7 个步骤。

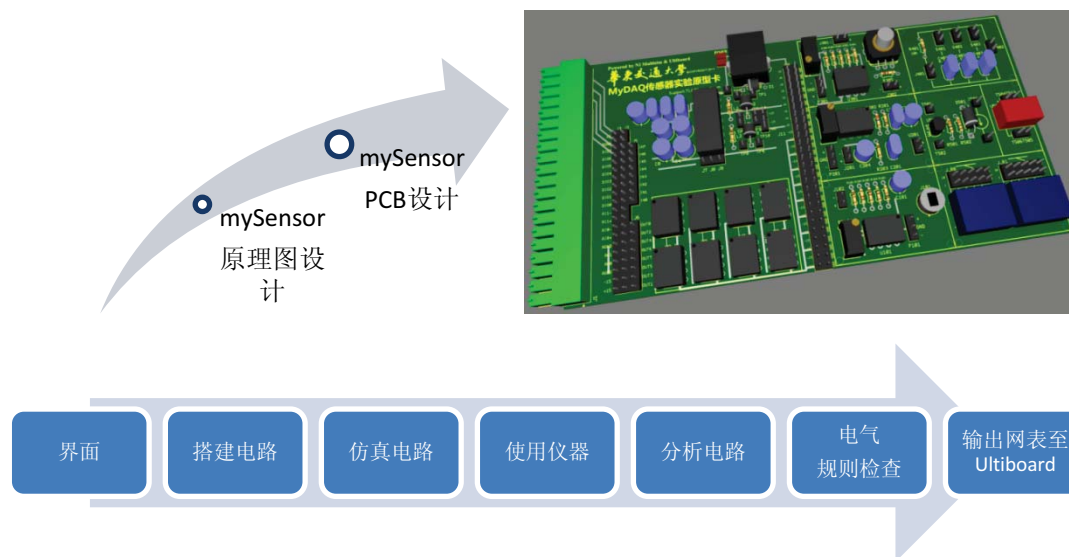


图 3 使用 Multisim 设计 mySensor 原理图的工作流程



图 4 使用 Ultiboard 设计 mySensor PCB 的工作流程

如图 5 所示为差分放大器模块在 Multisim 中搭建的原理图，加载了函数信号发生器、双通道示波器。利用 Multisim 交互式仿真的特性，运行电路仿真并实时调整增益电位器滑竿，交互式的观察电路的输出信号、失真情况、放大倍数范围。此外，还可加载波特仪，测试该放大器模块的幅频特性。利用 ELVISmx 仪器中的 simulate data 和 real data 可以对比仿真原理图和真实电路原理图的电路运行差别，用于改善电路设计，获得最佳电路设计参数。

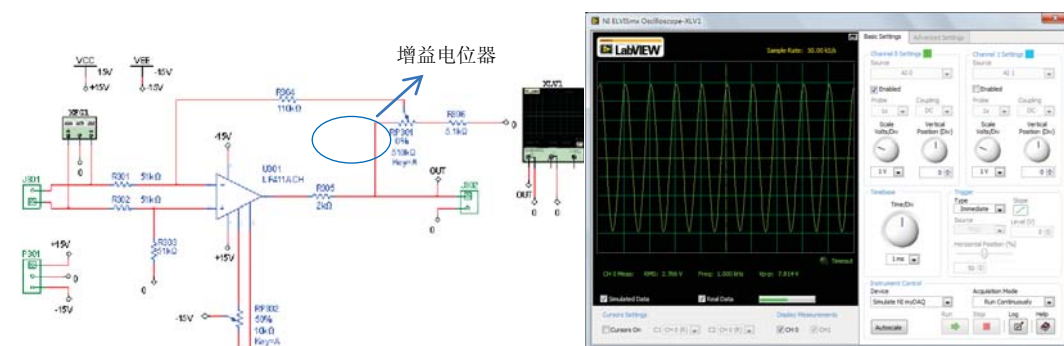


图 5 差分放大器模块原理图

如图 6 所示，在 Ultiboard 中设计 mySensor 的 PCB 布局。首先需满足板卡尺寸要求，其次需满足模块布局的合理性，传感器驳接方便。我们将 6 个可叠插的独立模块放置在板卡右侧，便于扩展；板卡左侧为与 myDAQ 插接的连接器；上侧为 USB 接口，用于取电。利用 Ultiboard 的 3D 场景功能，可以真实再现 mySensor 安装元件后的效果，如图 7 所示。

经过 Multisim 原理图设计和 Ultiboard PCB 设计阶段后，根据生成的 Gerber 交付 PCB 工厂加工生产即可完成 mySensor 的印刷电路板设计。

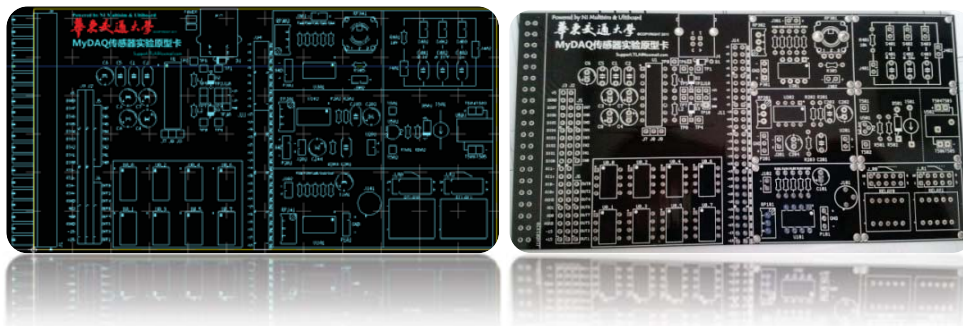


图 6 Ultiboard 设计 mySensor 的布局与 PCB 实物

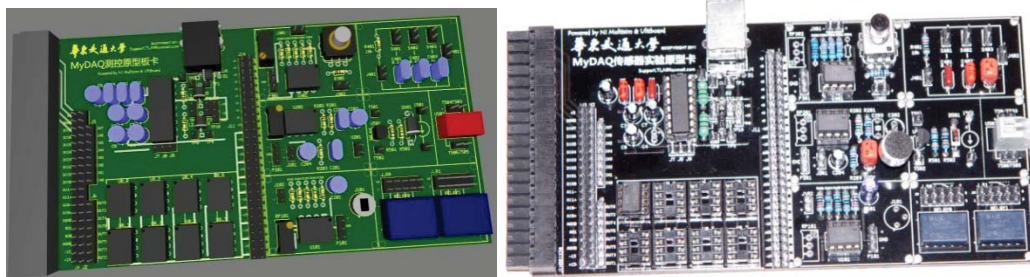


图 7 Ultiboard 3D 再现 mySensor 与实物对比

#### 4 mySensor 配套实验程序

mySensor 的所有传感器测试测量应用都可以使用 myDAQ 提供的 ELVISmx 软面板仪器，DMM（数字万用表）、Scope（示波器）、FGEN（函数信号发生器）、Bode（波特仪）、DSA（动态信号分析仪）、ARB（任意波形发生器）、Digin（数字读取）、DigOut（数字输出），如图 8 所示。

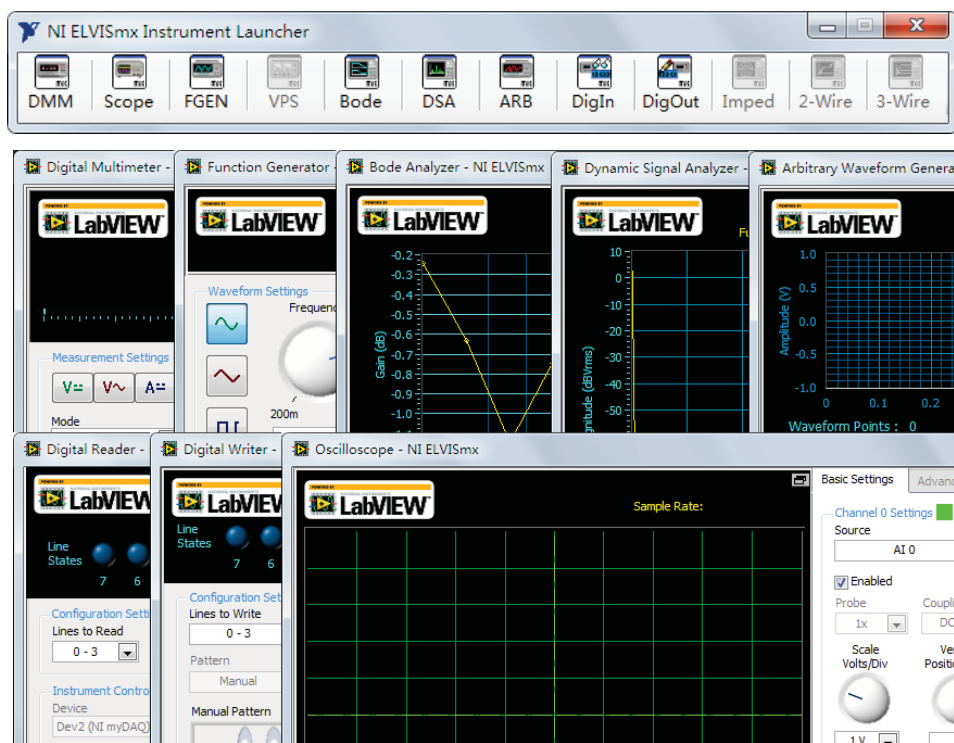
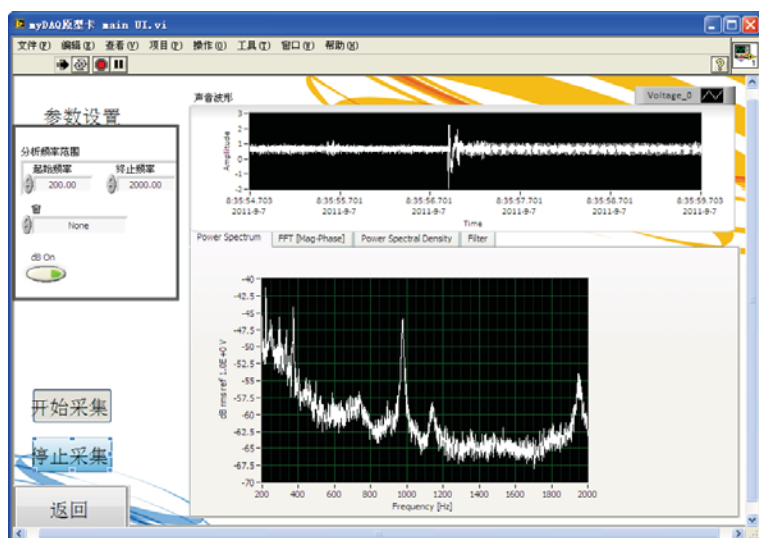
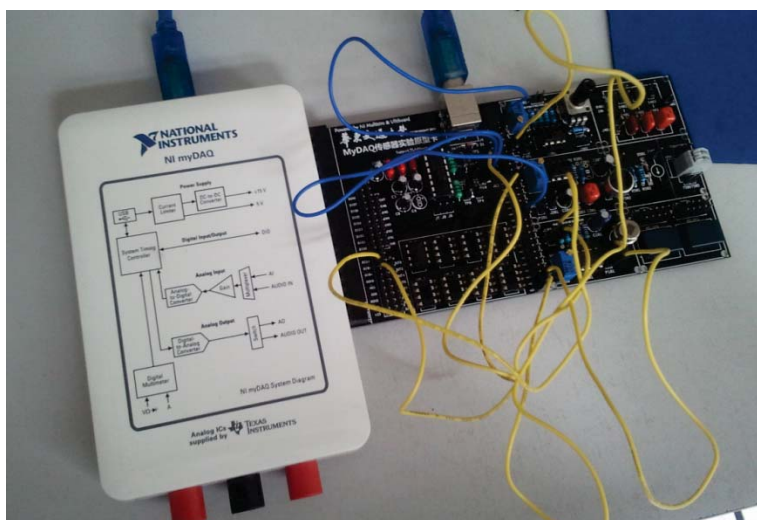


图 8 myDAQ 的 8 种软面板仪器

除了使用 ELVISmx 软面板的仪器外，还可以利用 LabVIEW 对其编程，对每个传感器测试测量应用做专门的测试程序，如图 9 所示。



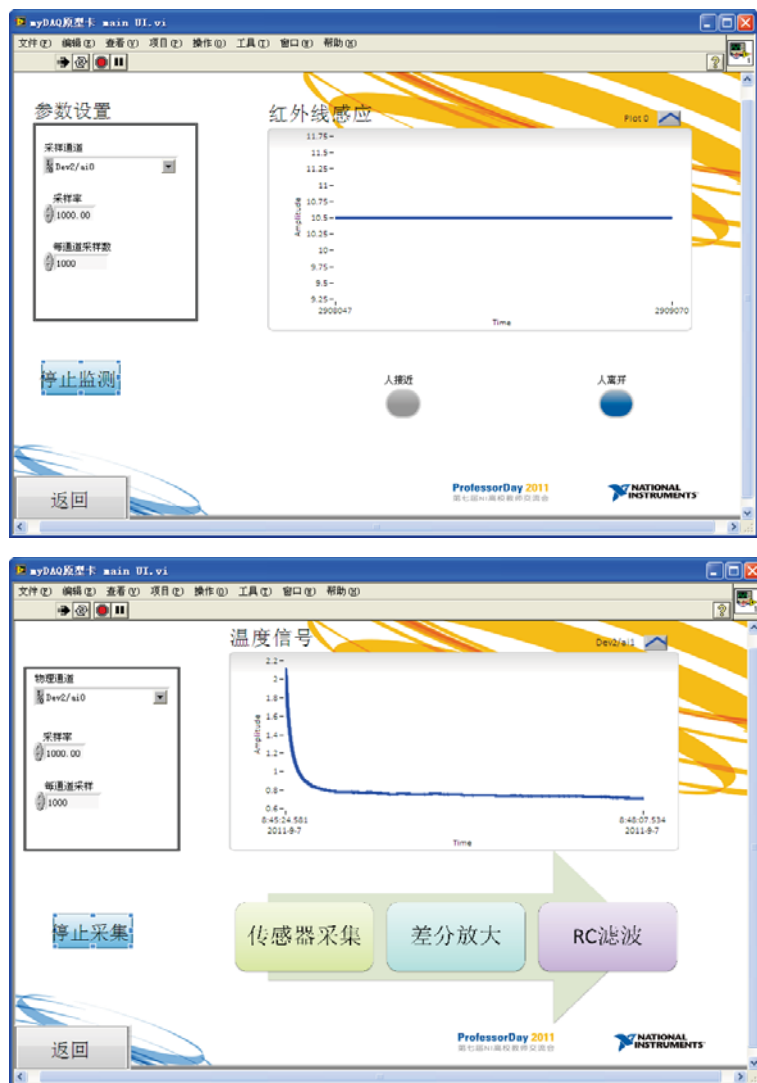


图 9 程序主界面、热式红外线传感器、PT100、语音采集 DEMO 程序

## 5 结论

经过为期 3 天的设计，7 天工厂的生产周期后进行装配调试，mySensor 的测试数据符合预期设计要求。由此，我们完全相信使用 NI 提供的原理图与 PCB 设计解决方案，能够实现从原理图到印刷电路板的设计，并能最大程度的降低开发风险。

配合 NI myDAQ 和 NI LabVIEW 可以快速的实现基于 myDAQ 的 mini System——mySensor 测试测量项目的原型开发，从而最大程度的加强院校/教育领域中传感器测试测量电路原型支持。

## 基于 LabVIEW 和 LEGO® MINDSTORMS 9797® 套件 开发魔方还原机器人

方 丁

华南理工大学机汽学院

**应用领域：** 自动控制 机器视觉

**挑战：** 要实现机器人自行还原魔方，首先必须能正确识别魔方 54 个色块的初始状态，对魔方初始状态进行编码，传递给魔方还原解法软件 Cube Explore，最后读取 Cube Explore 的还原步骤，由 LabVIEW 解码该还原步骤，进而驱动 LEGO 伺服电机实现魔方的还原。

**应用方案：** 分为 3 大部分，首先 LabVIEW 驱动摄像头获得魔方 54 个面的 RGB 值并对获得的 RGB 值进行分析确定魔方的初始状态；其次将魔方初始数据通过 LabVIEW 传递给 Cube Explore 进而获得最优解法（二阶段算法）并返还给 LabVIEW，利用所获得的最优解法生成相应的还原步骤。最后将还原步骤发送给 lego nxt 控制器驱动硬件机构进行魔方还原。（如图 1）

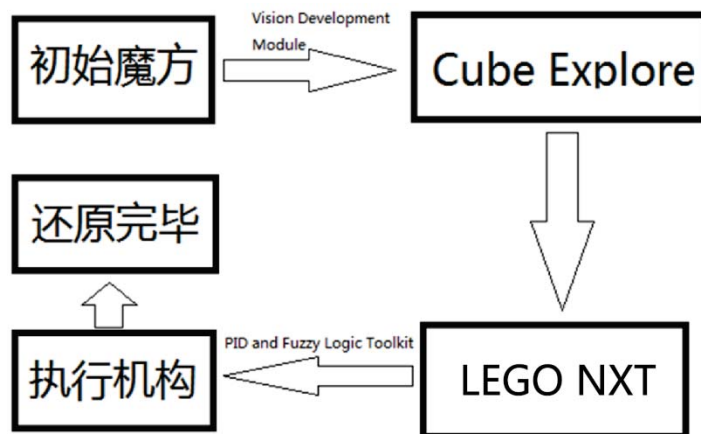


图 1

**使用的产品：**

LabVIEW 2009

Vision Development Module

PID and Fuzzy Logic Toolkit

**正文：**

### 1 引言

目前基于 Lego 硬件的魔方还原机器人方案有很多，搭建的方式主要是瑞士 Hans Andersson 的“萝卜头”，编程语言采用的都是 C，C++或者 java，而用 LabVIEW 的几乎没有。LabVIEW 作为一个图形化语言，不但简洁易用而且含有丰富的功能组件，在机器视觉处理以及自动控制方面具有巨大的优势，而这些优势给魔方还原机器人程序的编写带来极大的方便。

## 2 硬件搭建

该魔方还原机器人使用 LEGO MINDSTORMS 9797 套装搭建，内含 3 个伺服电机、NXT 控制器、光学、声音、距离传感器以及若干 LEGO 积木，采用塔式翻转结构。由 3 个伺服电机分别实现魔方的扭转，翻转和上下 3 个基本动作（如图 2）。伺服电机使用 NXT 控制器进行控制，其中 A 和 B 的驱动由 PID and Fuzzy Logic Toolkit 模块编写，从而达到更为精准的转动控制。

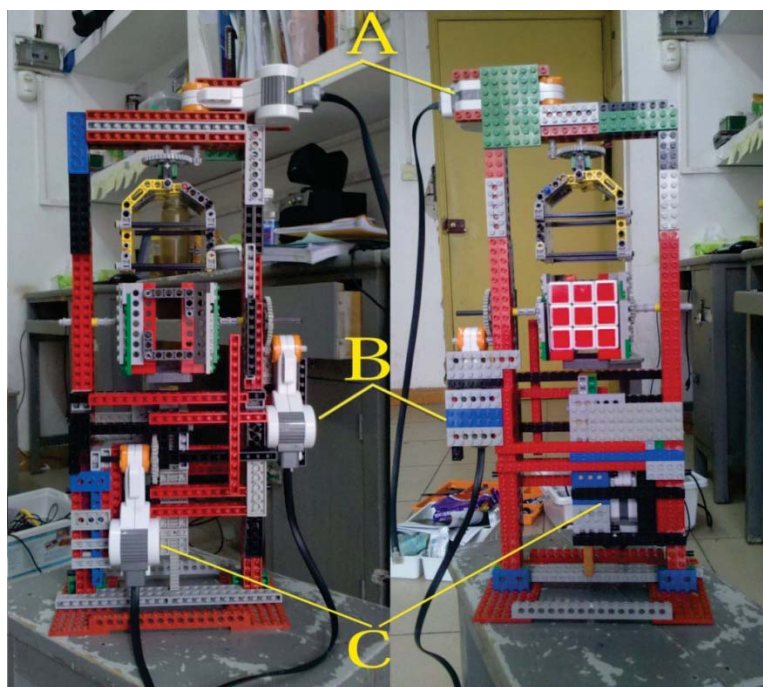


图 2

## 3 软件环境

1. **Cube Explore:** 该软件并不像其他软件一样仅能对魔方进行模拟，或者采用冗长的策略对打乱的魔方进行还原，它能够运行一种精妙而又强大的算法（二阶段算法）。这种算法通常能在短时间里提供出一组平均步数在 19 步之内的解决方案，仅比实际最少的步数多了一步到两步。**Cube Explorer** 同时还能执行另外一个算法，用于寻找最小步解法——无法进一步优化的解法。

2. **LabVIEW:** LabVIEW 是 NI 推出的虚拟仪器开发平台软件，它采用图形化编程语言 G(Graphic)语言，产生的程序是框图的形式，易学易用，特别适合硬件工程师、实验室技术人员、生产线工艺技术人员的学习和使用，可在很短的时间内掌握并应用到实践中去。像 C 或 C++ 等其它计算机高级语言一样，LabVIEW 也是一种通用编程系统，具有各种各样、功能强大的函数库，包括数据采集、VXI、GPIB、串行口仪器控制、数据分析、数据显示及数据存储。

在该试验中，我们用到 LabVIEW 基本模块，以及 VDM、PID 等模块。

VDM 是专为开发机器视觉和科学成像应用的工程师及科学家而设计，该模块包括 NI Vision Builder 和 IMAQ Vision 两部分。NI Vision Builder 是一个交互式开发环境，开发人员无需编程，即能快速完成视觉应用系统的模型建立；IMAQ 是一套包含各种图像处理函数的功能库，它将 400 多种函数集成到 LabVIEW 和 Measurement Studio, LabWindows/CVI, Visual C++ 及 Visual Basic 开发环境中，为图像处理提供了完整的开发功能。IMAQ Vision 软件包在 LabVIEW、BddgeVIEW、LabWindows/CVI、

Component Works 以及其它支持 ActiveX 的应用程序中加入了计算机视觉和图像处理的功能。IMAQ Vision 中包含一套丰富的为 MMX 而优化的函数，可用来完成灰度、彩色以及二值图像的显示、处理(统计、滤波和几何变换)、模型匹配、斑点分析、计算等。最终用户、系统集成商和原始设备制造商都可以使用 IMAQ Vision 加快工业视觉和科学图像应用软件的开发。IMAQ Vision 可用于工厂和实验室等需要可靠性、高速的自动化视觉系统的开发中。极大地缩短开发程序的费用和时间。

PID 控制模块包含 PID 和模糊逻辑控制以及其它先进控制函数。利用 NI 的基于 LabVIEW 的 PID 工具包(PID Toolkit)，不但可以在 LabVIEW 环境下通过友好的人机交互界面直观方便地进行控制器的设计，还能充分利用 LabVIEW 的各种强大功能，特别是同数据采集板卡等硬件的良好结合，迅速地搭建所需的自动控制系统，进行仿真及实际应用。

## 4 还原实现

要对一个打乱的魔方进行还原，最基本需要 3 个步骤，首先需要准确识别魔方的初始状态，其次确定魔方的还原步骤，最后进行实物还原。

1. 状态识别：魔方有 6 个基本面组成，每个面又由 9 个小色块组成（包含 6 种颜色红、橙、蓝、绿、黄、白）。不论魔方如何转动，其每个基本面的中心色块相对位置是不会变换的。为了便于程序对魔方进行编码，现将 6 个基本面用字符加以表示。（红—F、黄—U、白—D、蓝—L、绿—R、橙—B）

在魔方初始状态识别过程中，使用 IMAQ 组件驱动笔记本摄像头采集 6 个基本面的图像，在采集过程中摄像头与魔方的相对位置是固定的，因此在采集到的 6 个基本面的图像中每个色块的相对位置也是不变的，所以我们可以对 9 个色块设置 9 个 RGB 值采集点利用 IMAQ 中的 GetColorPixelValue 控件对采集点的 RGB 值进行分析。上述空间输出值是一个包含 Blue Green Red Alpha 四个值的簇，利用解除簇捆绑空间分别获得 Blue Green Red 三个的值，再对该三个值进行交叉对比从而最终确定该基本面 9 个色块的相对位置（如图 3）。按照 URFDLB 的顺序对 6 个基本面进行分析，最终得到一个由 FUDLRB 组成的含有 54 个字符的魔方初始编码字符串。

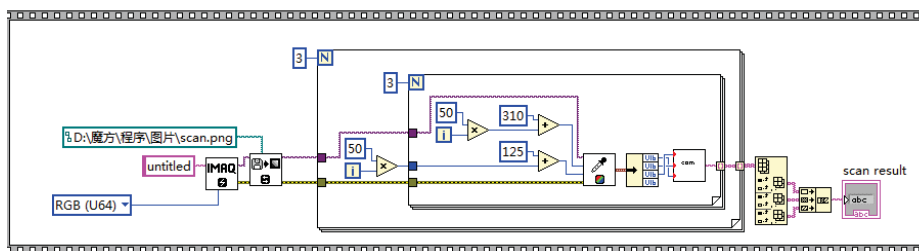


图 3

2. 还原步骤：Cube Explore 不单具有强大的二阶段魔方还原算法，并且还能与其他魔方还原设备进行网络通讯。通过在任意端口上开启 Cube Explore 的网络服务，可以向这个端口传输一个经过加密的包含魔方 54 个色块位置信息的字符串，通过自己编写的软件或是一般的浏览器进行字符串的传输。下面就是一个使用 8081 端口向本地传输的例子：

<http://127.0.0.1:8081/?bdrfuululululrddrubbfbbfbbfdrdbdurlrudlffurfrdfblbfll>

在本程序中我们先启动 Cube Explore，然后通过对 WebBrowser 属性节点的调用将魔方的初始状态字符串传送给 Cube Explore，由 Cube Explore 对获得的字符串进行识别，得出魔方还原的近似最优步骤（如图 4）。

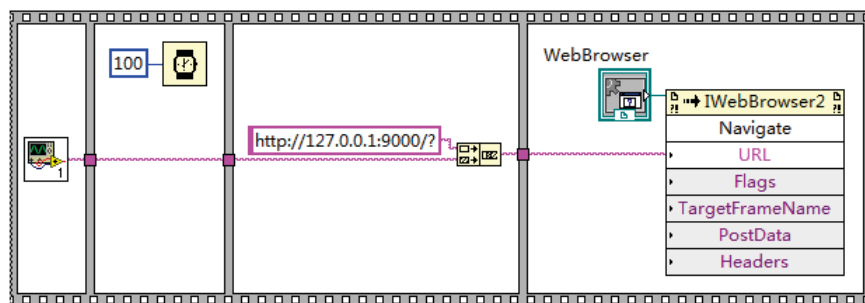


图 4

Cube Explore 在得出还原步骤后会自动将相应的代码存放在其根目录 webserv\_ans.txt 文件中，最后由 LabVIEW 的读取文本文件控件读取该文本中的还原代码，进而翻译成 Lego NXT 的控制器能识别的信号。

3. 魔方还原：不论一个魔方的初始状态如何复杂，其还原步骤是由 18 个子步骤组成的，即 6 个基本面的顺时针 90 度、逆时针 90 度、180 度旋转。我们用 F、F'、F2 来表示 F 面的这 3 个基本旋转动作，其他面一次类推。

在该魔方还原机器人中，我们采用的是塔式结构，其能对魔方执行的操作是上下，扭转以及翻转。因此对应于每一个基本面的旋转都可以将它分解为魔方还原机构的这 3 个操作。由于魔方的还原是由许多基本面的旋转组成的，为了便于程序的编写，将每一个基本旋转作为一个子程序，在对 Cube Explore 的还原代码进行解码的过程中，又程序执行想对应的子程序，最终实现魔方的还原。

在还原过程中,重点和难点都是对扭转和翻转执行机构(如图 5)角度的精确控制。最简单有效的控制方式就是 PID 控制,作为最终用户自己编写 PID 控制算法比较浪费开发时间。然而 LabVIEW 为我们提供了功能完善的 PID 模块,极大的提高了系统开发的效率。PID AutoTuning 控件具有自诊断的功能,能够根据预先设定的系统的稳定性、快速性、准确性得出合适的比例、积分和微分参数(图 6)。

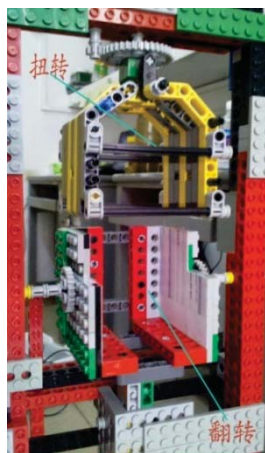


图 5

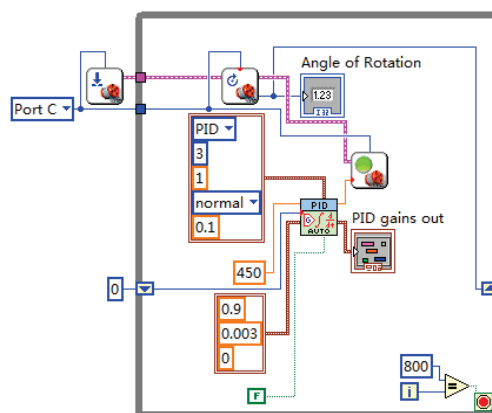


图 6

## 5 结论

LabVIEW 开发环境以及相应的模块能使用户轻松的通过图形化界面实现图像处理，电机精确控制等一系列功能，大大降低的魔方还原程序的编写难度，为魔方还原提供了极大的方便。LEGO NXT 模块与 LEGO 9797 系统能够实现紧密的结合。

在 LabVIEW 极其相关模块的支持下, 该模仿机器人能够准确的还原打乱的任意魔方。但是由于硬件所限, 采用的是塔式执行机构, 势必造成还原过程较复杂, 效率不是很高。对此可以采用 4 纬度的转动机构, 由 4 个机械臂分别操纵魔方的 6 个基本面, 优化 LabVIEW 程序, 将会使还原更加的快捷有效。

## 基于 NI LabVIEW 和 CompactRIO 的变压器振动监测系统开发

任宏达

上海交通大学电子与电气工程学院

**应用领域：**电力设备在线监测

**挑战：**变压器作为电力系统中的重要设备，是能够安全可靠运行直接关系到电网的稳定。对变压器的状态进行及时的评估和故障诊断能够有效地解决隐藏的问题，并制定出合理的变压器检修安排，既节省了人力又提高了系统的可靠性。然而，可靠的分析要求采集变压器的多路振动信号，并能够给出实时的分析。此外，当突发故障时，例如变压器的突然短路故障时，能够及时记录波形，用来分析短路冲击之后，变压器的状态是否完好。同时，要求采集设备有足够的抗电磁干扰能力保证数据的可靠性与准确性。

**应用方案：**采用 NI 的 LabVIEW 和 CompactRIO 搭建变压器在线监测平台，利用 FPGA 对各个通道灵活设置和修改，以及实时控制器上对数据流的处理和传输。利用 LabVIEW 中的多样处理函数和高级信号分析方法对数据进行实时显示与分析。利用多种存储格式对数据进行流盘，并对数据的格式进行灵活修改，也可以为 MATLAB 提供数据分析源进行二次分析。为电气设备在线监测长期研究提供试验平台也可完善为实际解决方案。

### 使用的产品：

LabVIEW 2010

LabVIEW Real-Time 2010

LabVIEW FPGA 2010

NI cRIO-9023 实时控制器

NI cRIO-9116 8 槽可重配置机箱

NI 9206 16 通道差分模拟输入

NI 9474 8 通道数字输出

NI 9423 8 通道数字输入

NI 9234 4 通道 IEPE 模拟输入

NI 9802 SD 卡存储模块

### 正文：

#### 1 引言

随着智能电网的提出，其自愈性要求对电网进行连续不断的在线监测以预测可能出现的问题，发现已经存在的或正在发展的问题，并立即采取措施加以控制或纠正。自愈电网确保了电网的可靠性、安全性、电能质量和效率。自愈电网将尽量减少供电服务中断，充分应用数据获取技术，执行决策支持算法，避免或限制电力供应的中断，迅速恢复供电服务。然而，变压器作为电力传输过程中的重要设备，能否正常工作直接关系到电网的可靠运行，如果变压器出现严重故障，可能直接导致下一级电网断电，影响客户端的正常工作和生产，造成巨大的经济损失甚至生命危险。变压器振动监测系统可以为运行人员提供可靠的状态分析，以便及时发现问题，防止故障进一步发展，因此，可靠，高效的监测系统开发十分必要。

## 2 变压器振动监测系统设计与振动法监测的理论

### 1). 变压器振动监测系统的设计原则

对于变压器的在线监测，要求监测系统不影响其正常运行，而且能够准确判断其状态。此外，在变压器周围的电磁环境复杂和温度变化大，要求监测系统能够经受住一定的电磁干扰和温度变化的考验。要对变压器的状态做出准确可靠的判断最为基本的要求就是有足够的通道和准确可靠的数据。还有，要求状态的实时监测与分析，以便及时直观地发现问题。

采用 NI LabVIEW 和 CompactRIO 进行在监测系统开发，其 CompactRIO 模块化系统均有 EMC 认证 (欧盟 2004/108/EC)，符合测量、控制和实验室电磁兼容要求均为 A 级（工业抗扰度标准），工作温度范围在 -40~70℃ 能够满足户外工作的条件。在数据分析与显示上，基本可以达到实时性要求，实验人员可以通过实验数据和实时分析显示的结果对设备状态进行判断，而不是等离线结果出来后再做出判断。CompactRIO 不仅能够完全满足上述的设计要求和原则，而且软件和硬件在功能上都有很强的拓展性，短期开发就可以迅速实现功能，也适合长期研究不断完善监测系统。

### 2). 振动法监测变压器绕组和铁芯状态的理论基础

要通过变压器振动信号来监测变压器运行状态，首先得了解变压器振动与变压器绕组和铁芯状态的联系。变压器振动主要有三个来源：（1）硅钢片磁致伸缩产生的铁芯振动；（2）硅钢片之间的电磁吸力；（3）负载电流与其产生的漏磁。变压器振动与绕组与铁芯的压紧，绕组的位移和形变密切相关。这些振动信号都反映绕组与铁芯的状态，通过对振动信号的分析来判断绕组是否有形变和铁芯是否有故障。然而振动信号还与其他因素有关，如电压、电流、温度、变压器结构和测点布置的位置等等。

### 3). 主要监测量

待检测对象主要有变压器的电压，电流信号，振动信号，可继续扩展的信号有温度信号。这些信号都是与变压器状态密切相关的信号。这些信号的价值在于建立之间的联系，这就要求采集同步性。通过共享两个采集模块的时钟信号来完成这些信号的同步，即以一个模块时钟为基准，其他模块以其为基准。这样就可以实现信号采集的同步。

## 3 变压器振动监测系统的总体设计

根据系统设计原则，设计的总体结构如下图所示：

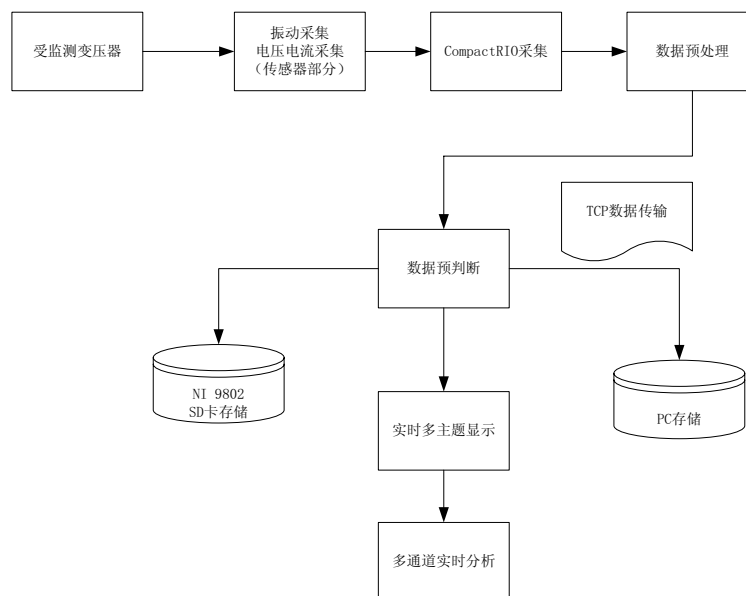


图 1 采集系统的主要流程构架

### 1). 硬件部分：传感器选择、采集设备硬件

根据采集信号的性质，振动信号主要频率低于 1000Hz。因此，选用的加速度传感器的频率范围 1~5000Hz，量程  $500\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  能够满足采集要求。

NI cRIO-9023            实时控制器

NI cRIO-9116            8 槽可重配置机箱

NI 9206            提供 16 通道差分模拟输入，ADC 分辨率 16 位，DNL（微分非线性）保证了传输函数的单调性，没有丢码，INL(积分非线性)用于描述传输函数背离直线的程度。

NI 9474            8 通道数字输出，提供控制信号输出。

NI 9423            8 通道数字输入，提供数字控制和状态信号的输入

NI 9234            4 通道 IEPE 模拟输入，振动加速度信号采集模块，提供 2mA 的直流用于激励加速传感器。提供 24 位 ADC，且自带模拟预滤波。采用内部时钟最小采样率为 1.653kS/s，最大可以达到 51.2kS/s。采用高精度 Delta-Sigma ADC，且无混叠带宽为  $0.45 f_s$ 。减少高频信号的干扰。小于 1kHz 信号输入的共模抑制比 CMRR 可达 47dB，过采样率可达到  $64 \cdot f_s$ 。

NI 9802            SD 卡存储模块，提供两槽的 2GB 的 SD 卡存储，可以通过控制器将实验的数据写在 SD 卡上，这样 CompactRIO 也可以脱离计算机单独运行。

### 2). 软件部分：采集设备软件编写、界面结构

本文主要用到的软件如下：LabVIEW 2010, FPGA Module, Real-Time Module, NI-RIO 3.5。

主要程序的结构可以分为三层：

(1) FPGA 上的 VI：该 VI 主要用于设置板卡的采集模式，采样率设置，对于采集核心 NI9234 板卡则需要共享出时钟信号，来保证同步。设置中断，与上层 VI 保证同步。这在调试过程中，需要恰当安排参数设置和采集的顺序，即中断所放置的位置，这样才能将采集到的数据完整的送入 DMA FIFO。防止采集过程中的丢点，即防止 FIFO 溢出而导致数据丢失。对于物理端口的设置可以实时修改，FPGA 的程序可以通过仿真模式先运行，查找错误，然后完成后再下载到 FPGA 硬件上。这样可以节约不少编译的时间。

(2) RT 上的 VI：该部分主要用于设置中断，建立 TCP 连接，接收读取 FIFO 中的数据，数据处理，根据判断条件决定写入 SD 卡还是上传到 PC。设置中断用来与 FPGA 上的初始化工作作为同步，防止丢失数据。TCP 连接则是与 PC 进行数据传输做准备。此过程中本来采用“生产者—消费者”循环来实现数据的采集、保存、调试用显示和 TCP 传输之间的不同速率之间协调。防止由于处理速率不匹配而导致数据丢失。后来通过对各个过程计时分析，发现直接用顺序连接可以满足要求，避免数据丢失同时也提高了程序在控制器上运行效率。在这段程序调试过程中，可以使用中断来配合，修改 FIFO 的大小和调节后续程序和 FPGA 程序上传数据的速度，保证程序的稳定高效，确保数据可靠传输，不丢失数据。

(3) PC 上的 VI：主要负责接收数据，同时对数据进行解捆绑和分配数据，将数据送到不同的模块继续分析显示。功能主要有：参数设置，模式选择，显示波形和相关分析结果，数据存储。

模式选择提供不同实验的不同显示方案，覆盖基本的变压器常规实验。

显示波形灵活，可以根据实验要求选择感兴趣的信号对比。对八个通道的振动信号选择显示，对电压电流信号对比显示来查看状态。在显示波形控件旁就有实际测量的相关参数。

存储的触发也有两种，一是根据预设条件进行触发存储；二是在试验观测下的手动触发存储。存储的文件名包括采集数据的时间与采样率来加以区别。

存储可以选择文件的长度和存储模式，可以长时间连续记录波形，并将波形写入多个文件。这样可以大大方便对数据长度的控制和解决单个过大存储文件。数据存储是以高速流盘的 TDMS 格式与文本格式同时存储，存储位置和文件长度可设置。

PC 上 VI 的具体功能分布结构如下图：

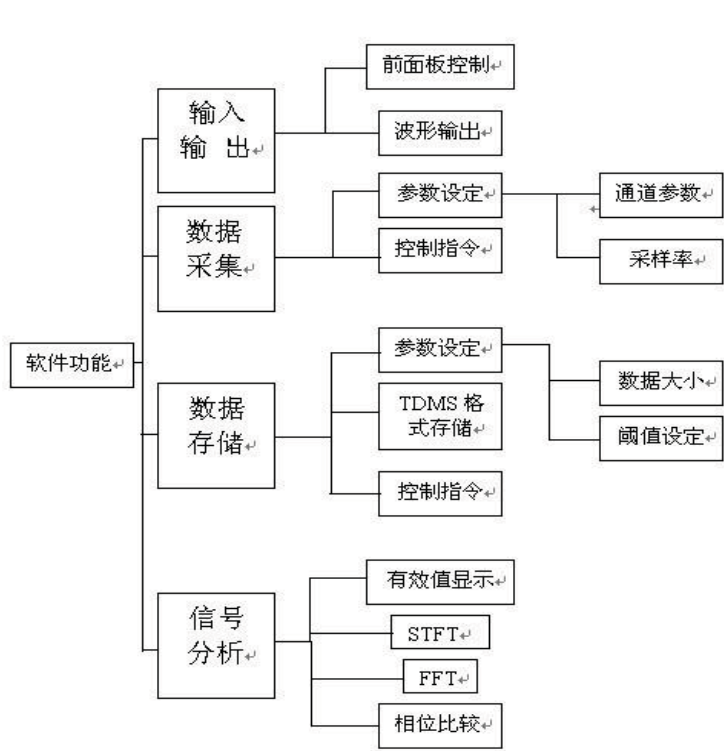


图 2 监测系统软件结构

3). 程序的扩展性

程序保留了两种数据流格式，可以提供在线离线数据分析，可以拓展多种算法进行分析对比，在 Matlab 中的程序算法也可用函数节点加入 LabVIEW 平台中，这样可以集成多种算法。此外，由于电网中变压器数量众多，可以将多个监测工作站（以单个 CompactRIO 为单位）联络成网，通过 LabVIEW web builder 建立监测网络，可以在网络上查看某一片区域电网的所有变压器的运行状态，将电气接线与地理接线相对应，当故障发生时，可就近调动人员进行维修或维护。这可以满足智能电网中的可视性要求。

4 变压器振动监测系统的实现

根据变压器振动试验要求，我们搭建了变压器振动监测平台，在实验室条件下对变压器振动进行研究，这套监测系统在实验平台中为实验的分析提供很大的便利，例如，突然事件如短路冲击发生时，准确及时记录实验数据；稳态运行时实时的 FFT 分析就可以帮助迅速找出合适的振动传感器布点；相位分析可以直接观察有载调压分接头对运行回路的影响和调整负载控制相位；实时 STFT 时频分析提供能量在不同频段中时间否分布，判断故障发展等等。

多通道的振动与电压电流同步信号精确可靠的采集更能帮助观察相关量的变化趋势。大数据量的可靠传输（约 1.5M/s）并进行实时显示与处理，直观地呈现原始数据和分析结果。工具包中的多种分析工具，轻松完成实时分析，既可以对下一步实验或检修工作提供参考，又可以对长期研究数据分类提供标志，例如直接用电压电流有效值和时间对数据进行命名。

同一平台下多个实验选择，多种高级信号处理函数 VI 可以避免重复开发，保证所开发的监测系统的避免冗余和节约开发时间与成本。



图 3 参照范例所设计的采集界面

### 1). 变压器短路的数据记录

对于变压器遭受短路冲击，振动信号判断后直接存储 5s 的数据，并能把波前和波尾数据完整记录。短路冲击振动完整波形记录有助于后续对其分析后对绕组和铁心状态进行判断很有帮助。系统能够准确记录突发事件（例如，突发变压器突然短路）时设备的振动信号变化。图中纵轴对应的是电压（V），横轴对应的是时间(s)。通过传感器的灵敏度可以换算为以  $\text{m/s}^2$  为单位的振动量。

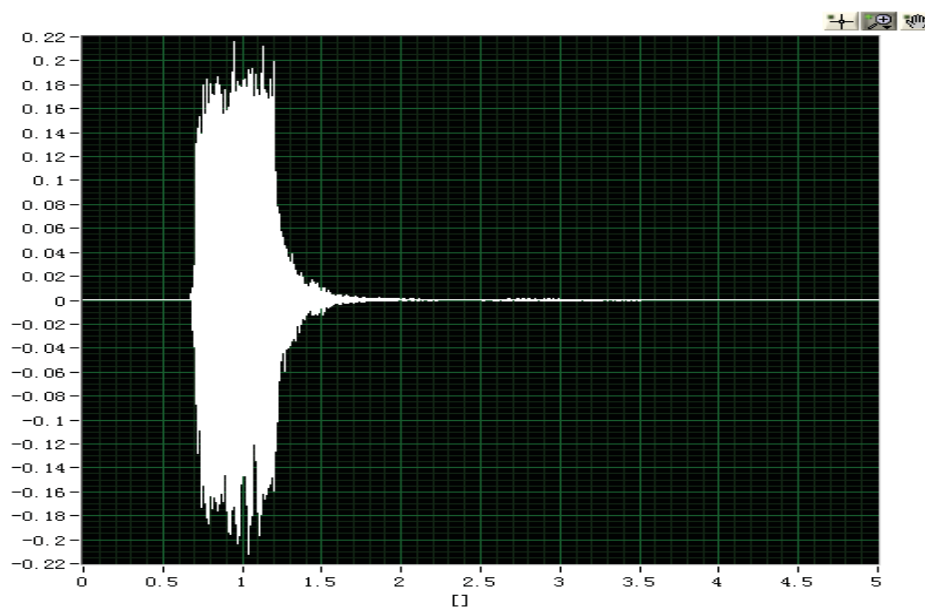


图 4 变压器暂态短路冲击时保存的振动信号

### 2). 变压器稳态运行时的实时显示与分析

变压器稳态运行条件下，电压、电流和振动信号同时显示，且这些信号都是同时对应，就是说，在该电压电流情况下该测点振动信号显示。其中的信号都已转换为实际的电压、电流和振动大小。提供电压电流信号的有效值，便于直观观察监测量的变化。

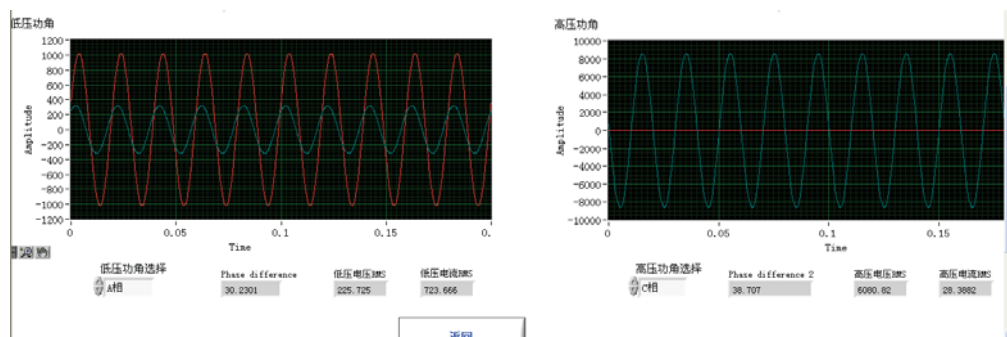


图 5 稳态电压、电流信号显示与实时相位分析

监测中会有常会将所有振动通道同时显示，这样不容易观察某两个或多个通道信号直接关系，程序设计为可以选择感兴趣的一个或多个通道进行对比。同时，程序中提供可选择各个通道信号的 FFT 变换，直接可以对比不同通道的频谱来初步判断不同测点的状态。

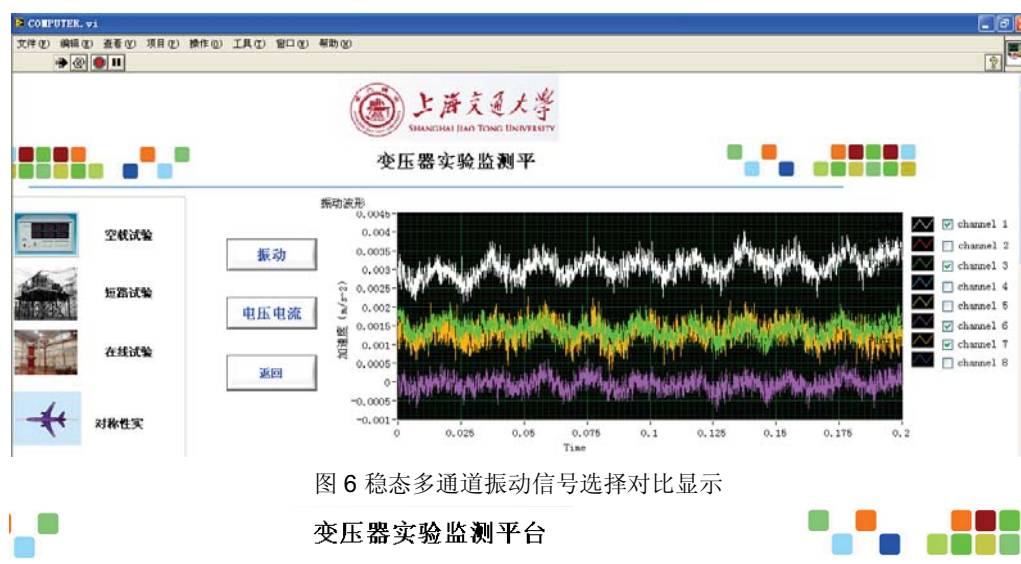


图 6 稳态多通道振动信号选择对比显示

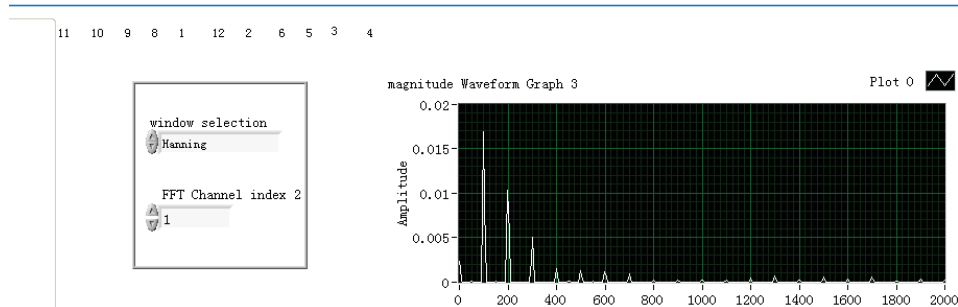


图 7 多通道和窗口选择下 FFT 分析

除了提供实时的 FFT 分析来反映不同测点的振动情况外，还有关于 STFT 对振动信号进行时频分析，这样可以看出在时间上振动能量在不同频段的分布。下图是额定电压容性负载下变压器同一通道振动信号的 FFT 与 STFT 分析对比。

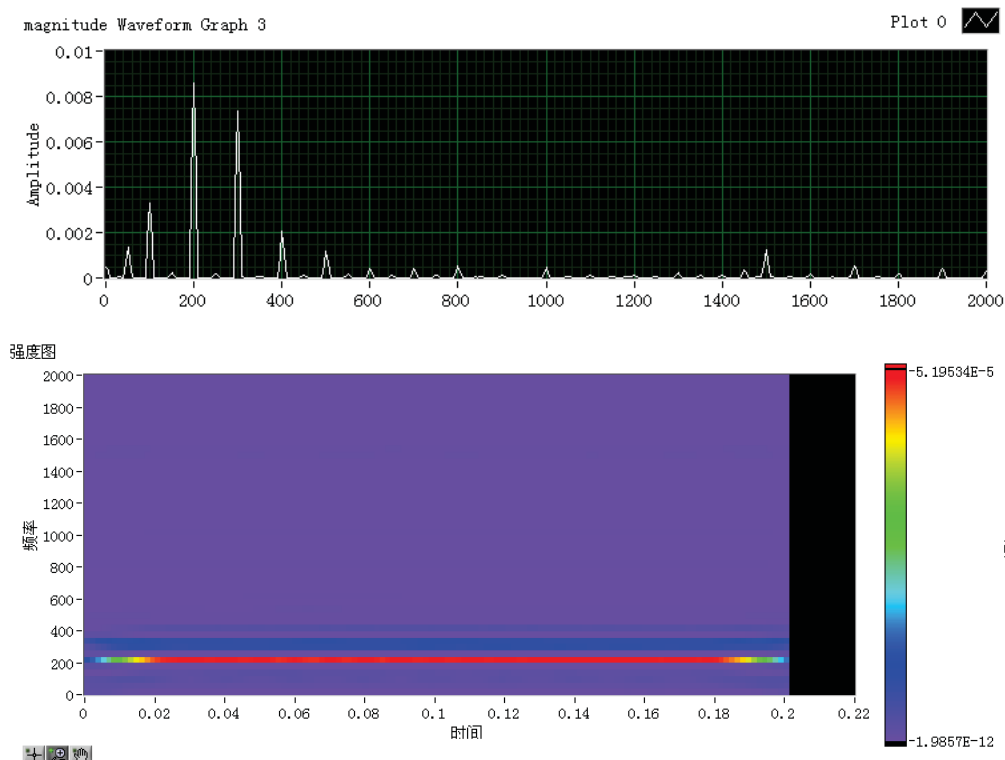


图 8 对同一振动信号 FFT 分析与 STFT 实时分析对比

### 3). 现场工作状态

变压器在线监测系统中核心部分 CompactRIO 如下图所示, 和振动实验控制台一起配合进行实验。系统通过网线与计算机连接, 放置位置灵活, 在计算机上可以通过网线对 CompactRIO 进行控制。其工业级的抗电磁干扰和高精度的数据采集足够满足后续高要求分析。



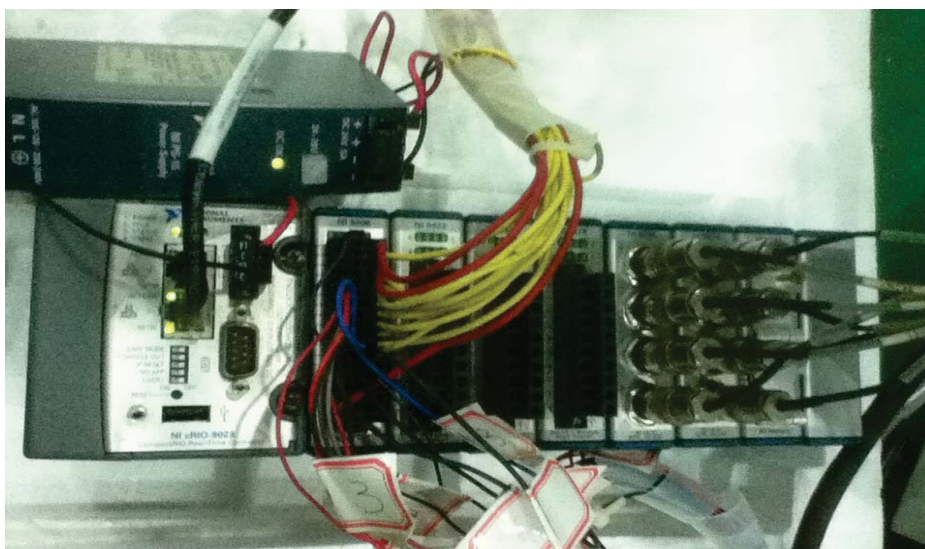


图 9 CompactRIO 工作图片

## 5 结论

NI 公司的 CompactRIO 硬件与 LabVIEW 软件直接配合使得采集分析工作变得十分简便，实时向操作人员提供直观数据和分析结果，对于进一步研究与得出准确结论提供可靠依据。此外，CompactRIO 的工业级设计使其能够克服在变压器这种大型室外设备周围恶劣的天气（如温度）和复杂的电磁环境的干扰。系统功能可以由程序改变完成来满足实验和测试要求，CompactRIO 的机箱的 FPGA 可以重复写入，这样可以在研究过程中不断对硬件设备进行修改，只需购买所需的功能板卡就可以轻松实现其他采集功能而无需重新购买成套新设备。还有功能拓展也可以直接通过软件加载实现，如实现相角监测和阈值监测，有效值显示等。LabVIEW 平台的强大功能拓展，开放式的开发平台，可根据实验和研究的进展对软件和硬件进行更新就很快完善功能，也就是所说的“软件就是仪器”。节约了继续开发和其他功能实现的成本。

## 基于 NI Single-Board RIO 实现对于镍氢电池储能系统的监控

白纪军

上海瑞莉自动化成套设备有限公司

### 一、[项目应用背景]

本设计旨在用 NI sbRIO-9631 数据采集硬件和 LabVIEW 2011 软件开发工具实现对储能系统进行监控和分析。

本设计以上海漕溪能源转换基地内的镍氢电池储能系统为原型。通过对该系统三路电压信号和三路电流信号的采集，实现对电能质量相关量的测量：如电压偏差、频率偏差、功率因数、电压谐波、电流谐波、电压不平衡度、充放电切换时间等。

镍氢电池储能系统由 6 组镍氢电池和一套 PCS 系统。

### 二、[项目创新点]

通过对该数据采集系统的研究，力争将这一监控系统移植到储能监控系统平台，并在这基础上深入研究储能系统对电网产生的影响，如电压偏差、频率偏差、功率因数、电压谐波、电流谐波、电压不平衡度、充放电切换时间等。

### 三、[作品功能简介及图片说明（系统工作照片、框图等）]

#### （一）、系统架构

##### （1）系统结构测量点

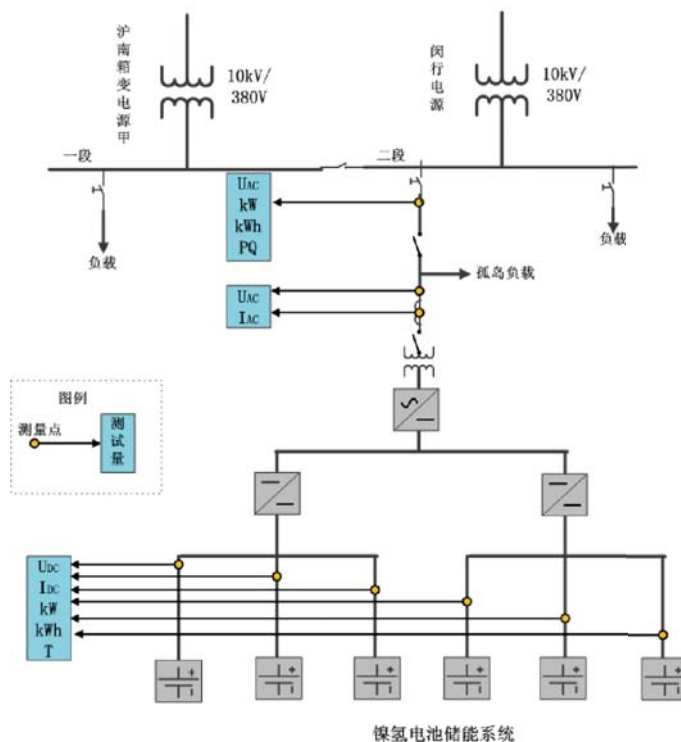
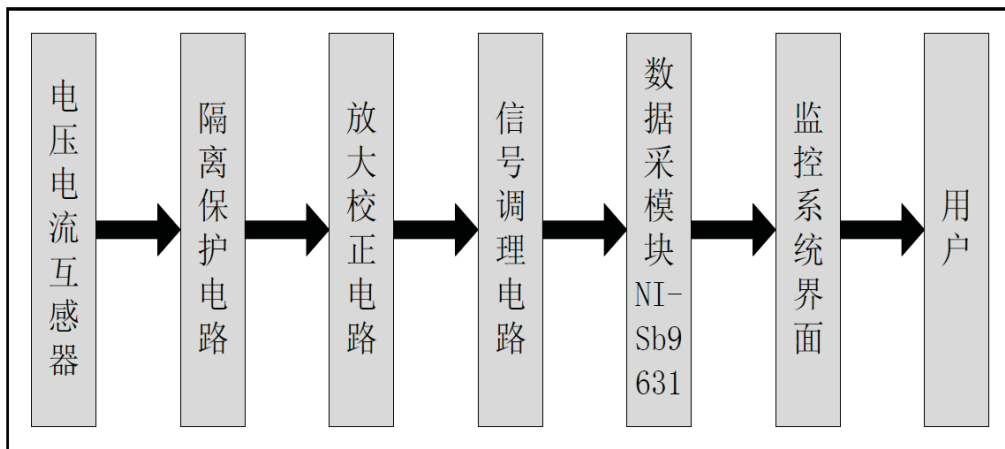


图 1 储能系统接线图及测量点分布

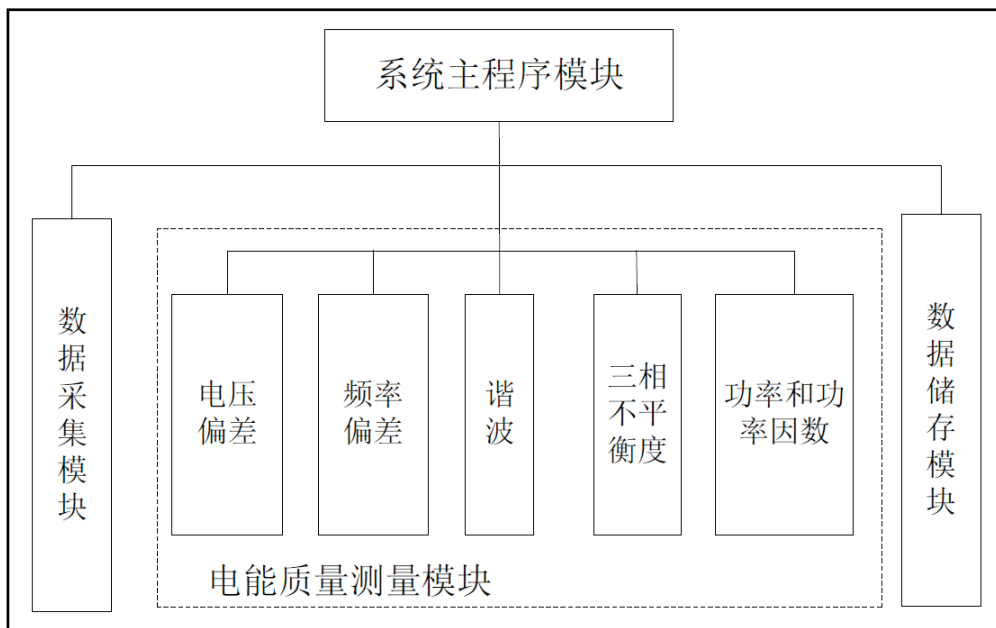
- a) 储能系统：由 6 组储能电池组，是储能系统的能量储存单元。
- b) 电网接入装置（PCS）：实现电网交流电和电池直流电的转换，充电时把电网的交流电转换成直流电充入电池，放电时把电池的直流电变成交流电释放到电网。
- c) 信号采集模块：采用 NI sbRIO-9631 采集交流侧电压、电流信号，在 LabVIEW 2011 下开发的软件程序及 FPGA 模块程序。

注：本次测试限于硬件设备的原因，仅对交流侧的电压、电流信号进行了采集和分析，在后续的开发中，会增加对直流侧电压、电流信号的采集分析功能。

### (2) 系统总体结构图



### (3) 软件设计总体模块



(二)、系统功能

该系统可实现以下功能

(1) 对电压、电流信号的录波功能

NI sbRIO-9631 的采样率最高可以达到 250kS/s，考虑到实现应用的需求，本系统中采用的采样率为 10kS/s，工作频率为 50Hz 的交流电，周期为 20ms,这样一个周期内就可以达到 200 个采样点。通过对电流波型的分析，可以确定储能系统在工作状态转换时的响应时间，分析 PCS 的性能及到电网的影响。

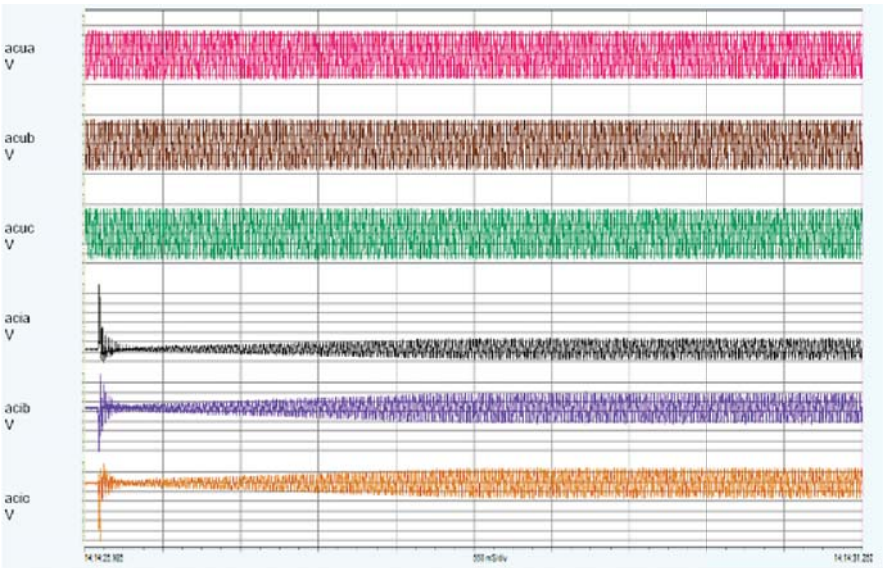


图 2 交流电压、电流波形

(2) 对交流电压、电流的采集，是所有其他计算量的基础，可以计算出各种量，实现对系统电能质量分析。

测评项目	A 相	B 相	C 相	备注
电压平均值 (V)	215.16	219.84	217.73	—
电压偏差 (%)	±2.20	-0.07	-1.03	—
频率偏差 (Hz)	0.00	0.00	0.00	—
三相电压不平衡度 (%)	0.92			—
电压短时闪变 Pst	0.74	0.83	0.62	—
电压谐波 (%)	A 相	B 相	C 相	谐波次数
	0.24	0.18	0.20	2
	2.06	1.51	1.43	3
	0.07	0.09	0.10	4
	0.73	0.98	0.97	5
	0.09	0.08	0.09	6
	0.61	0.60	0.32	7
	0.09	0.12	0.13	8
	0.60	0.64	0.54	9
	0.12	0.17	0.24	10

**a) 电压偏差**

供电系统总负荷或其部分负荷正常改变, 将导致供电电压有效值 (简称电压) 逐渐偏离标称电压有效值。电压偏差是指实际电压相对于标称电压的偏离程度。即

$$\text{电压偏差}(\%) = \frac{\text{实际电压} - \text{标称电压}}{\text{标称电压}} \times 100\%$$

GB12325—90《电能质量—供电电压允许偏差》中规定: 35kV 及以上供电电压正负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%; 10kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的±7%; 220V 单相供电电压允许偏差为额定电压的+7%~10%。

**检测方法**

平均值法的检测原理就是利用平均值 AC/DC 转换器获得电压或电流, 在根据正弦波有效值和平均值的确定关系, 得到被测信号的有效值  $X_{\text{RMS}}$ 。AC/DC 转换器首先对交流信号进行半波整流或取绝对值, 然后完成模拟信号至数字信号的转换。 $K_f$  定义为正弦波的波形因数, 它代表了信号是一个完好的正弦波时, 平均值和有效值之间的恒定关系, 即  $K_f = X_{\text{RMS}}/X_{\text{AVG}} = 1.111$ 。

真有效值, 就是指从信号的有效值的定义出发所检测到的有效值。只是为了区别于平均值法所检测出的有效值。其定义为

$$X_{\text{TRMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k)^2}$$

式中  $N$ ——一个周期采样次数

$x(k)$ ——采样序列中的第  $k$  个采样值

空间矢量法, 利用三相对称正弦波的空间瞬时矢量值与有效值之间存在的固定比例关系来得到有效值。假设任意三相电压的在三相坐标系  $abc$  中的瞬时电压矢量表示为  $u_{abc} = [u_a, u_b, u_c]^T$ , 经过  $D_{31}$  正交变换后在  $dq0$  坐标系中的瞬时电压分量分别表示为  $u_{dq0} = [u_d, u_q, u_0]^T$ , 得

$$U = \frac{1}{\sqrt{3}} D_{31} u_{abc}$$

**电压偏差造成的危害**

对用电设备的危害。用电设备电压偏离额定值时, 其性能和效率都会降低, 甚至会减少其使用寿命。电压偏差过大时会引起设备的损坏。

对电网造成影响。当系统电压降低时, 发电机定子电流因其功率角的增大而增大, 致使发电机定子绕组过热, 产生安全隐患。甚至出现“电压崩溃”现象, 导致系统瓦解的事故。

**b) 频率偏差**

根据电工学理论, 正弦信号在单位时间内交变的次数为频率, 用  $f$  表示, 单位为赫兹 (Hz)。

交变 (正负半波的变化) 一次所需的时间称为周期, 用  $T$  表示, 频率和周期互为倒数。

频率偏差: 系统频率的实际值和标称值之差, 即

$$\Delta f = f - f_b$$

式中  $f$ ——实际频率

$f_b$ ——标称频率

我国电力系统的标称频率为 50Hz，GB / T15945-1995《电能质量—电力系统频率允许偏差》中规定：电力系统正常频率偏差允许值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，当系统容量较小时，偏差值可放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

#### 检测方法

周期法（或称零交法）通过检测信号波形相继过零点的时间宽度来计算频率。用计数的方法检测两个过零点之间的记零个数。由于硬件电路容易受干扰，使零点产生偏移，造成检测发生误差。

标准信号法是通过电子计数器的计算来计算频率。将被测的频率信号加到计数器输入端上，让计数器在标准时间  $T_{s1}$  内进行计数，所得计数值  $N_1$  与被测信号的频率  $f_{x1}$  有如下关系

$$f_{x1} = \frac{N_1}{T_{s1}}$$

解析法对信号模型进行数学建模和分析，将待测频率  $f$  表示为样本值的显函数来估计。解析法检测频率涉及复杂的数学推导，在干扰下，精度总体不高。

傅里叶变换算法具有较高检测精度，有很强抗干扰能力，计算简单快速，检测范围大且便于实现，但存在两个基波以上的延时，实时性较差。在工业及其其他电磁环境恶劣的场合，或对检测可靠性要求较高的领域，一般采用傅里叶变换算法。

正交去调制法将采集到的信号  $x(t)$  乘以一个去调制复载波  $e^{j2\pi f_d t}$  得到  $x'(t) = x(t) e^{j2\pi f_d t}$ ，在信号  $x'(t)$  的基础上检测原信号的频率。

误差最小化原理算法，主要包括最小二乘算法、最小绝对值近似法、牛顿算法、离散卡尔曼滤波算法等。这些算法最大优点是能较好地抑制具有白噪声动态的干扰，但计算量大。

频差倍增法将被测频率  $f_x$  与参考频率  $f_r$  之间的差值  $\Delta f$  通过多次倍频、混频及滤波，将其频率不稳定值  $\Delta f$  扩大，再用通用计数器或数字频率计进行检测，并借助于计数器的闸门控制采样时间。

#### 频率偏差造成的危害

电力系统运行频率过低，会给电力负荷带来不利影响，即使偏离标称值较少，持续时间不长，也会对设备带来累积损伤，降低生产效率，影响产品质量。电力系统的高频率运行，是电力电源出力高于负荷标称频率下消耗的一种异常工作情况。如果遏制不及时，会导致机组损坏、系统瓦解、电厂全停。

#### c) 公用电网谐波电压

谐波是一个周期电气量的正弦波分量，其频率为基波频率的整倍数。电流电压波形基本不变。谐波主要由电力系统中大容量电力设备和用电整流设备以及其它非线性负荷造成。

第  $h$  次谐波电压含有率  $HRU_h$

$$HRU_h = \frac{U_h}{U_1} \times 100\%$$

式中： $U_h$ ——第  $h$  次谐波电压（方均根值）；

$U_1$ ——基波电压（方均根值）。

谐波电压含量  $U_H$

$$U_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (U_h)^2}$$

电压总谐波畸变率  $THD_U$

$$THD_U = \frac{U_H}{U_1} \times 100\%$$

GB / T14549--93《电能质量-公用电网谐波》中规定：6~220kV 各级公用电网电压(相电压)总谐波畸变率是 0.38kV 为 5.0%，6~10kV 为 4.0%，35~66kV 为 3.0%，110kV 为 2.0%；用户注入电网的谐波电流允许值应保证各级电网谐波电压在限值范围内，所以国标规定各级电网谐波源产生的电压总谐波畸变率是：0.38kV 为 2.6%，6~10kV 为 2.2%，35~66kV 为 1.9%，110kV 为 1.5%。对 220kV 电网及其供电的电力用户参照本标准 110kV 执行。

#### 检测方法

频域测量法，使用模拟滤波器将输入信号的各次谐波分量分离出来，滤波器的输出实际上是输入信号和滤波器脉冲响应的卷积，在频域中它相当于两个频率响应的乘积，因此从滤波器得到的信号为频谱。

时域测量方法，对信号进行离散化处理后变成数量序列，由离散傅里叶变换或快速傅里叶计算各次谐波的幅值及相位等参数。

#### 电网谐波造成的危害

对旋转电机（发电机和电动机）产生附加功率损耗和发热、产生脉动转矩和噪声；对无功补偿电容器组引起谐振或谐波电流的放大，从而导致电容器因过负荷或过电压而损坏；影响断路器和熔断器的容量造成快速重合闸后的再燃；对电力电缆造成击穿等。

谐波对各种电力设备通信设备以及线路都会产生有害的影响。严重时会造成设备损坏和电力系统事故。

#### d) 三相不平衡度

在理想的三相交流电力系统中，三相向量大小相等、频率相同且彼此的相位差等于  $2\pi/3$  时，称为三相平衡系统，否则称为三相不平衡系统。三相不平衡系统的功率瞬时值与时间有关。

只要知道三相电压有效值  $a, b, c$  就能确定三相不平衡。可以根据公式

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6L}}{1 + \sqrt{3 + 6L}}}$$

式中  $L = (a^4 + b^4 + c^4) / (a^2 + b^2 + c^2)$

GB / T15543-1995《电能质量-三相电压允许不平衡度》中规定：电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为 2%，短时不得超过 4%。标准还规定对每个用户电压不平衡度的一般限值为 1.3%。

#### 检测方法

相位检测的过零点法，通过计算两个或多个同频信号过零时间差，再将时间差转换为相位差。判断两个信号过零点时刻的间隔时间  $\Delta t$ ，可以将时间转化为相位差，信号采样周期为  $\tau$ ， $n$  为两信号过零点时刻采样点数，信号周期为  $T$ 。相位差的计算公式

$$\theta = 2\pi \Delta t / T = 2\pi \tau n / T$$

相位检测的相关法，利用两同频率正弦信号的互相关函数零时刻值与其相位差的余弦成正比的原理得到相位差。由于噪声信号与有效信号的相关性很小，因此该方法有很好的噪声抑制能力。

相位检测的波形变换法，对由电压电流互感器而来的电压电流信号需要进行滤波，以使其采样信号接近正弦波。然后通过波形变换成为矩形波，其相差的角度为

$$\theta = N_0 T_c (360/T)$$

式中  $N_0$ ——单片机（计数器）的定时计数值；

$T_c$ ——单片机的指令周期（ $\mu s$ ）；

$T$ ——工频电源周期

### 三相不平衡度造成的危害

由于三相变压器的绕组结构是按三相对称负荷运行条件设计的，变压器投入运行，其一相的最大负荷不能超过该相得额定电流。所以一旦出现不平衡运行时，变压器的利用率就会下降，同时会使负荷较大的一组绕组过热而减少使用寿命；由于负序电流的作用，使电动机轴上输出的合成转矩减小，同时负序电流又要消耗功率，使电动机发热从而无法达到额定输出，引起电动机效率下降；三相不平衡还会使电力线路损耗增加，使用户对功率需求量加大，增加用户用电量等。

### e) 电压波动与闪变

随着工业技术的发展，大功率的变动负荷使电力负荷急速变动，从而引起电压波动和闪变，使在电网中运行的各种电气设备受到影响。电压波动是指电压幅值在一定范围内有规律的或随机的变化。电压波动值为电压有效值的两个极值  $U_{\max}$  和  $U_{\min}$  之差  $\Delta U$ ，常以其标准电压  $U_N$  的百分数表示其相对电压波动

$$d = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\%$$

闪变是电压波动在一段时间内的累计效果，它通过灯光照度不稳定造成的视感来反映，主要由短时间内闪变  $P_{st}$  和长时间闪变值  $P_{lt}$  来衡量。短时间闪变值  $P_{st}$  是 10 分钟内的闪变，其计算方法

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

式中  $P_{0.1}$ 、 $P_1$ 、 $P_3$ 、 $P_{10}$ 、 $P_{50}$  分别为 10 分钟内超过 0.1%、1%、3%、10%、50% 时间比的概率分布水平

长时间闪变值是 2 小时内的闪变，长时间闪变  $P_{lt}=1$  由测量时间段内包含的短时间闪变值  $P_{st}$  计算获得：

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} (P_{stj})^3}$$

式中： $P_{stj}$ ——2h 内第  $j$  个短时间闪变值。

GB12326--2008 如《电能质量—电压允许波动和闪变》中规定：在公共供电点的电压波动允许值：10kV 及以下为 2.5%，35~110kV 为 2%，220kV 及以上为 1.6%。各级电压的闪变限制为：1kV 及以下为  $P_{st}=1$ ， $P_{lt}=0.8$ ，1kV~35kV 为  $P_{st}=0.9$ ， $P_{lt}=0.7$ ，35kV~220kV 为  $P_{st}=0.8$ ， $P_{lt}=0.6$

检测方法

电压波动检测方法		特点	
		衰减系数	实现方法
平方解调法	将 $u(t)$ 平方，利用解调带通滤波器检测出调幅波	不含	数字化
有效值法和半波有效值法	利用 RMS/DC 变换器将交流电压变为脉动直流电压，再经过解调带通滤波器后取得波动信号	含	模拟电路
全波整流解调法	将 $u(t)$ 全波整流在经过解调带通滤波器后取得波动信号	不含	模拟电路
小波变换法	先让信号和载波的单位幅值同步信号相乘然后对新的信号进行小波变换	含	数字化
希尔伯特变换法	负频率成分进行正 $90^\circ$ 相移、正频率成分进行负 $90^\circ$ 相移	不含	数字化
傅里叶变换法	在采样频率一定时，增加原始信号的截取长度，再进行傅里叶变换	不含	数字化
神经网络法	模仿人类大脑实现对系统的控制，通过对当前滤波电压对当前跟踪误差的采集	不含	数字化

电压波动与闪变造成的危害

由于波动负荷在运行过程中频繁的从配电系统取用快速变动电能，易出现冲击性功率变化，造成公共连接点电压在短时间里急剧变动，使伺服电机运行不正常；大地波动会使设备产生谐振，给设备造成严重损伤，严重的会引起电机反转。

（三）系统运行界面及测试数据

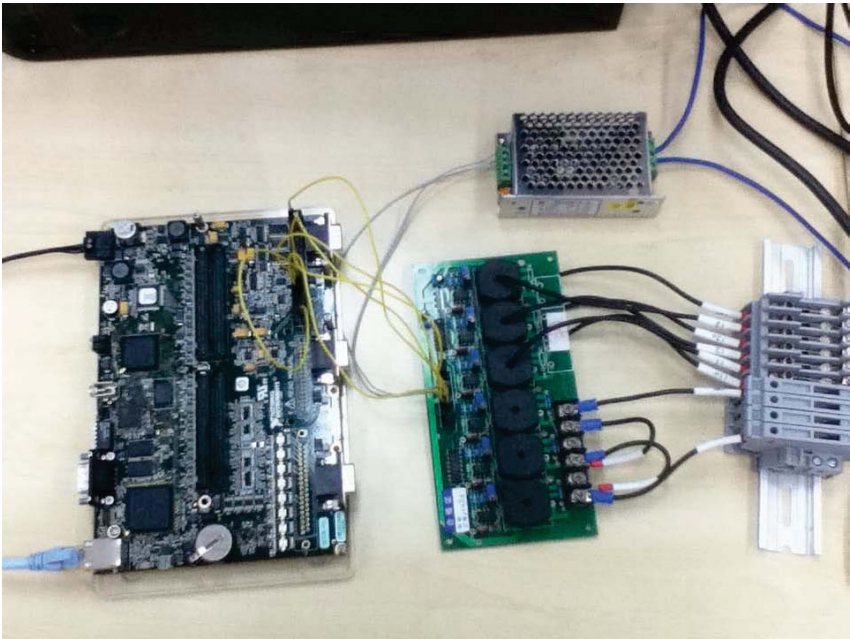


图 3 系统实物图 1

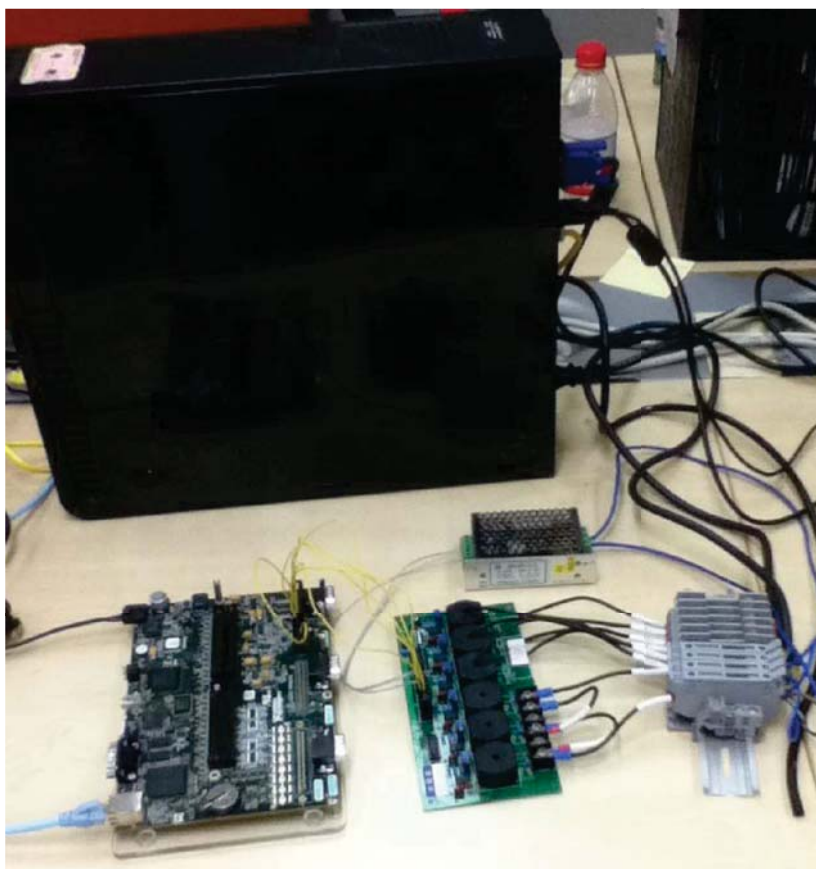


图 4 系统实物图

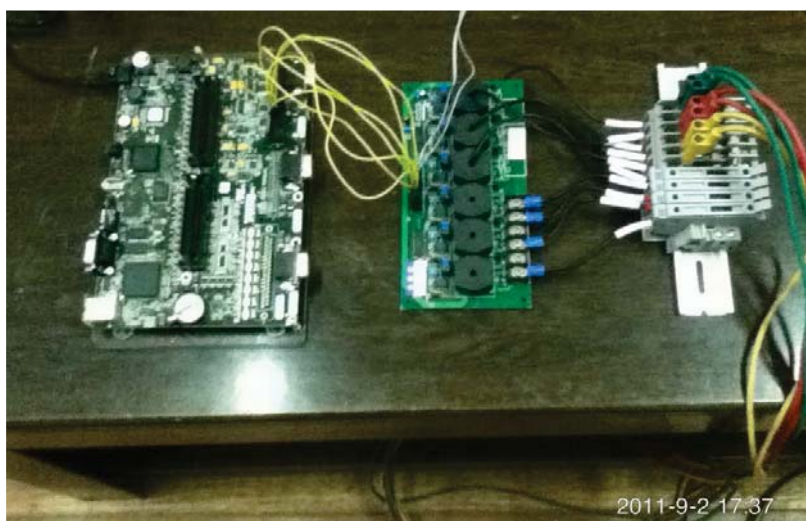


图 5 系统实物图

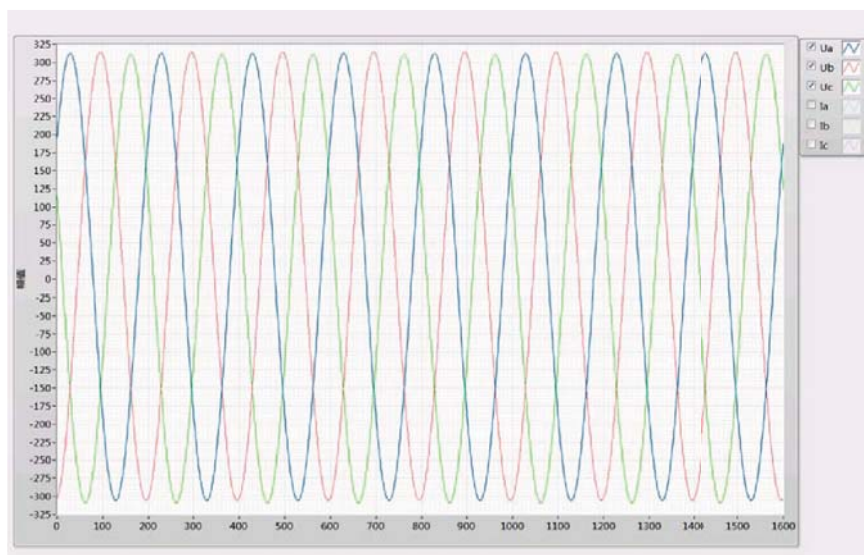


图 6 三相电压波形

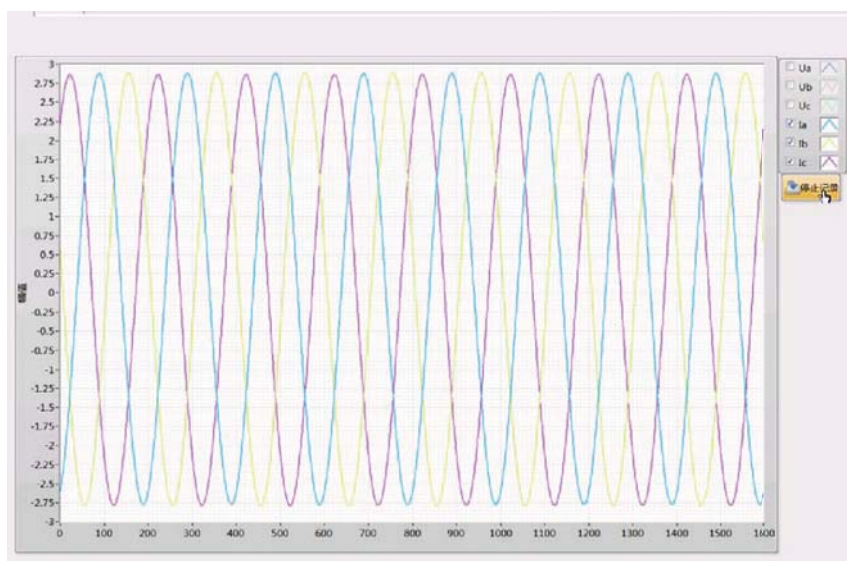


图 7 三相电流波

本界面可以显示三相电压和三相电流的波形，通过复选框可以隐藏/显示各通道的数据，因为电压值和电流值相差较大，所以在同一时刻最好只显示一组量。纵坐标为幅值，横坐标为采集的点数，本界面一次可显示 8 个周期的波型，即 1600 个采样点的数据。

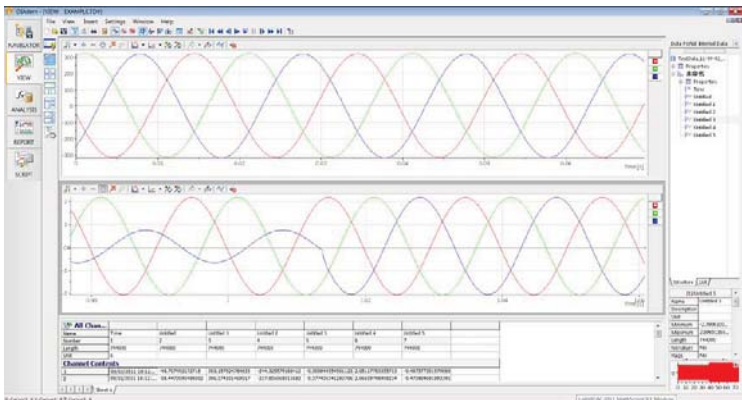


图 8 历史数据浏览

测试数据保存为 TDMS 格式，这样可以方便的在 DIAdem 中浏览历史数据，并可实现对采集数据的后期处理以及报表生成等处理分析工作。



图 9 电压、电流、功率

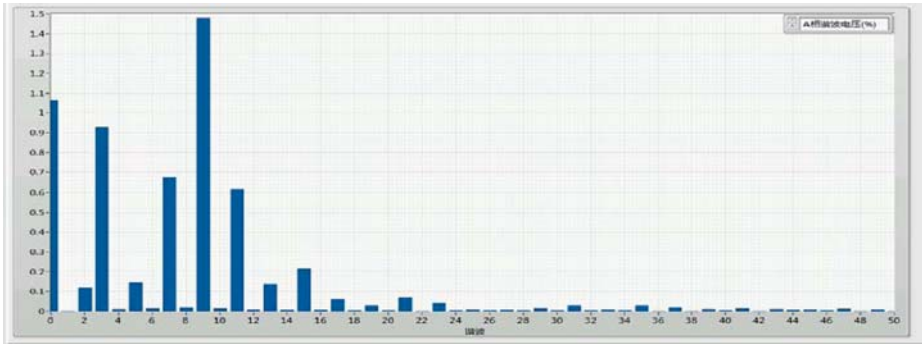


图 10 50 谐波电压 (%)

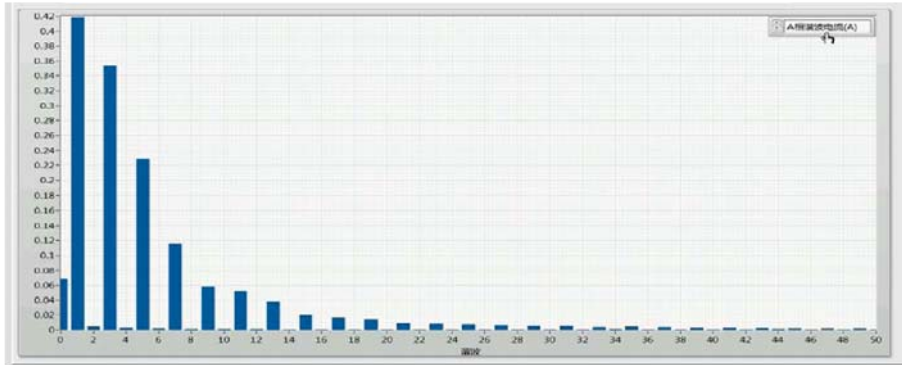


图 11 50 谐波电流 (A)

#### 四、[ 与 NI 平台的结合为系统/系统开发带来的优势 ]

(1) 在 NI LabVIEW 平台下, 在不到两个月的时间里, 完成了储能系统及电网侧的电压电流的监测、以及在 FPGA 环境下的控制算法。缩短了开发周期, 提高了开发效率。

(2) 本设计的储能系统监测, 具有高测量精度、抗干扰性强等优点, NI sbRIO-9631 模块的可拓展性便于将来系统的升级。

(3) 存在的不足:

- a) 由于时间短和硬件资源的限制, 未对直流信号进行采集和分析。
- b) 程序中还有需进一步优化的地方。
- c) 硬件成本较高, 对系统的推广有影响。

## 基于虚拟仪器的工程机械检测车计算机诊断系统

马怀祥

石家庄铁道大学机械工程学院

**应用领域：**现场诊断

**挑战：**利用虚拟仪器开发的诊断系统，综合管理工程机械检测车上配置的各种传统仪器和基于虚拟仪器的振动测试系统，统一管理检测数据、诊断报告、检测档案，能够高效、准确地指出工程机械的故障部位及原因，避免不必要的损失。

**应用方案：**工程机械工作环境恶劣，常常会有非计划停机，并且造成不必要的经济损失，对其进行状态维修是很重要的措施。工程机械检测车可以随时到达施工现场，应用传统仪器铁谱仪、液压系统分析仪等对工程机械的发动机、液压系统和传动系统等进行检测，并对数据进行处理，通过与判据库标准进行对比给出诊断结论，系统可以跟踪同一台机器的历史数据，进行查询和趋势分析。同时，利用虚拟仪器技术开发了振动测试仪，通过 NI CompactDAQ 平台和现代信号处理方法对振动信号进行有效的采集分析，对动力之源发动机的状态做出更好的评估。还包括集数据采集、分析、存储、报告生成、档案管理、判据管理、检索、资料管理、等多功能并且各模块数据相互关联的检测诊断管理系统。

**使用的产品：**

LabVIEW 8.6

Report Generation Toolkit

NI cDAQ-9174 4 槽 USB 机箱

NI 9205

NI 9234

**正文：**

### 1 工程机械检测车总体介绍

工程机械检测车是移动式工程机械检测站，利用油液检测和振动检测法，对液压系统、传动系统的油液进行分析，对发动机和传动系统进行振动检测，从得到的数据分析设备的运行状态。便于到各种环境对工程机械进行状态检测，工程机械检测车配置了：液压分析仪、直读铁谱仪、分析式铁谱仪、快速油液分析仪、粘度计、水分分析仪，传感器、信号调理与数据采集设备、个人计算机等。通过数据采集卡、信号调理板，选择适用的传感器，构成虚拟测试诊断平台，通过现场实测数据，对工程机械故障做出判断，并且自动生成诊断报告，实现与打印机直接连接并打印。同时开发了基于 LabVIEW 的计算机管理系统系统，对检测的数据分析、保存，为研究工程机械储备宝贵的资料。通过硬件和软件的相互补充，达到信息融合的目的，做到准确快速的判定设备的故障并及时的维修，避免大的损失。



图 1 工程机械检测车



图 2 工程机械检测车工作照

工程机械诊断车完成的工作：

(1) 发动机的故障诊断。采集振动信号，并进行时频域分析，实时监测发动机振动情况，并可以根据 GB 10397-89，由得出的振动烈度值对发动机进行振动评级。

(2) 利用油液监测技术对工程机械的各种油液油质进行分析处理。合理运用铁谱技术，根据得到的大磨粒读数 DL、小磨粒读数 DS、磨损烈度指数 IS 以及铁谱图片等提供的信息判断工程机械的磨损程度、磨损部位和磨损形式。

(3) 计算机联机，把检测车配置的各种仪器的检测数据采集到软件系统，管理系统实现自动存档、自动生成报表、档案查询、信息资料等，便于工作人员操作使用。

(4) 建立诊断数据库，把每次检测的工程机械设备的各种测试数据及设备相关档案、诊断报告等存储到数据库，并能进行检测数据的曲线绘制、趋势分析等。

## 2 工程机械检测车配置的数据采集系统

工程机械检测车配置的数据采集系统主要包括：传感器、信号调理与数据采集设备、个人计算机等。

图 3 为工程机械检测车计算机诊断系统的硬件组成。

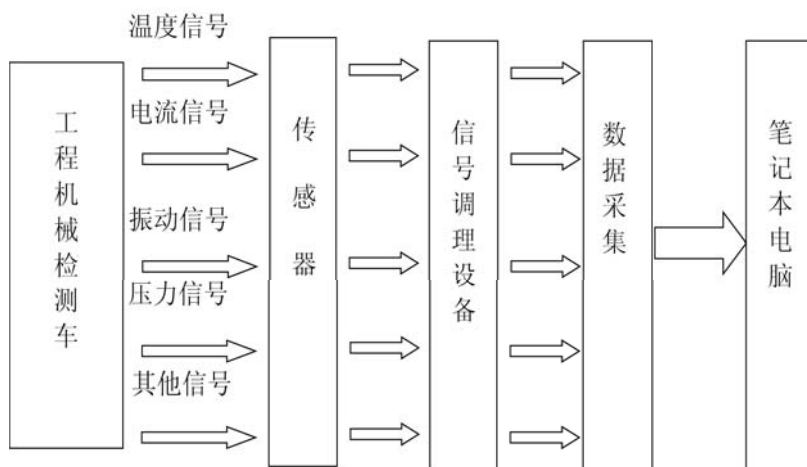


图 3 工程机械检测车计算机诊断系统的硬件组成

### 1). 传感器

振动检测用加速度传感器及速度传感器。选用的加速度传感器型号是 SD14N14，内装集成电路加速度传感器，是内装微型 IC—集成电路放大器的压电加速度传感器，速度传感器选用的是 TT-3 型振动速度传感器。其他检测用检测车配置的各种仪器通过采集系统直接采集到诊断系统。

### 2). 信号调理与数据采集系统

本课题使用的信号调理与数据采集系统是美国国家仪器（NI）公司的 NI CompactDAQ 机箱——cDAQ-9174，如图 4 所示。可在不同速度下实现混合传感器测试；2 个内置的，外部 BNC 触发器；以及四个高级计数器。同时，NI CompactDAQ 内含了可应用于 NI LabVIEW 图形化编程和开发环境的 NI-DAQmx 驱动和测试服务软件，更适用于混合信号数据采集系统。

系统中使用的主要模块有 32 通道模拟电压输入模块 NI9205，24 位 IEPE 模拟输入模块 NI9234。NI 9234 是 4 通道， $\pm 5V$ ，24 位软件可选 IEPE 和 AC/DC 模拟输入模块，如图 5 所示。NI 9234 共有四个 BNC 连接器，可提供四路同步采样模拟输入通道的连接。每个通道均带有一个可连接信号源的 BNC 连接器，用户也可启用通道激励电流，以连接 IEPE 传感器。连接器中央的引脚 AI+ 提供直流激励和正输入信号连接（启用时）。连接器的外壳 AI- 提供激励返回回路和信号参考地。NI 9205 是 32 通道， $\pm 200mV$  至  $\pm 10V$ ，16 位模拟输入模块，可提供 32 个模拟输入通道、1 个数字输入通道、1 个数字输出通道、COM 以及 AI SENSE 的连接。



图 4 CDAQ-9174



图 5 NI9234 模块



图 6 NI 9205 模块

3 工程机械检测车计算机诊断系统软件设计

1). 软件总体功能概述

工程机械检测车计算机诊断系统由 15 个功能模块组成，如图 7 所示：1、现场调研记录， 2、液压测试， 3、铁谱分析，4、振动测试，5、诊断记录，6、诊断报告，7、数据分析，8、诊断记录查询，9、铁谱历史曲线，10、铁谱三线值分析，11、趋势分析，12、判据修改，13、资料，14、辅助工具，15、帮助。

2). 典型子系统简介

(1) 现场调研记录

现场调研记录主要记录了待检测的机械的基本信息，并且对其进行诊断编号，方便后期进行数据查询。其诊断编号构成是“XSC+机型号+出厂编号+日期+两位流水号”，并且只由英文和数字组成，例如“XSCWA3803DZ108272010111801”。

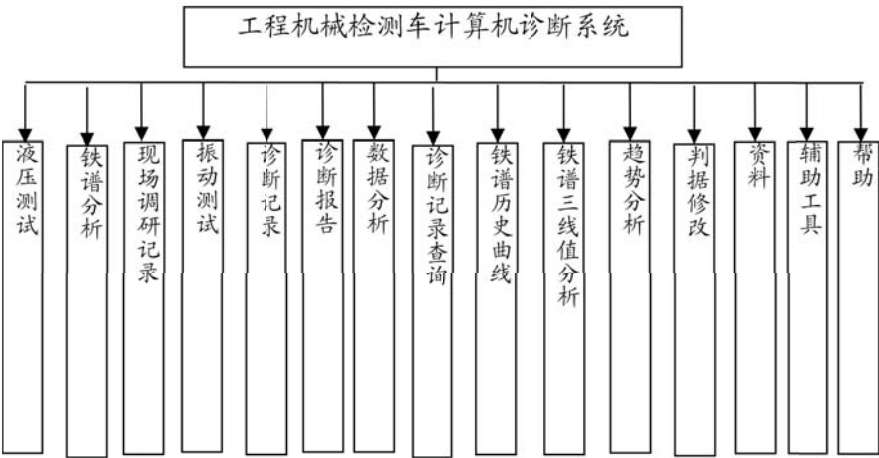


图 7 工程机械检测车计算机诊断系统



图 8 现场调研表

## (2) 振动测试系统

包括振动速度和振动加速度的测试与分析。各系统均有参数设置、数据采集、信号波形显示、数据存储、信号处理、数据查询六大功能模块以及虚拟和实测两种工作模式。其结构框图如图9所示。

① 工作模式切换：虚拟和实测两种工作模式的唯一区别在于信号的来源不同，虚拟模式的信号来源于虚拟信号发生器，是根据实际情况仿真的信号；而实测模式的信号来源于传感器。虚拟模式可帮助使用者在不接传感器的情况下模拟真实检测环境，熟悉系统使用方法，理解检测原理。

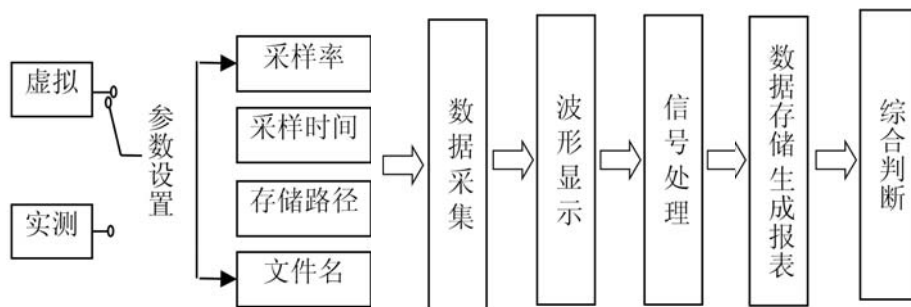


图9 工程机械检测车计算机诊断系统振动结构图

② 参数设置：参数设置模块负责对采集模块和存储模块的各种参数进行设置，包括采样点数、采样率、存储路径、存储文件名以及虚拟模式中信号发生器等设置。

③ 信号显示：系统涉及到的信号多种多样，所以信号的显示方式也各不相同。在本振动系统中采用波形图的形式，直观的显示实时的波形变化，从而反映振动情况。取代了传统示波器。

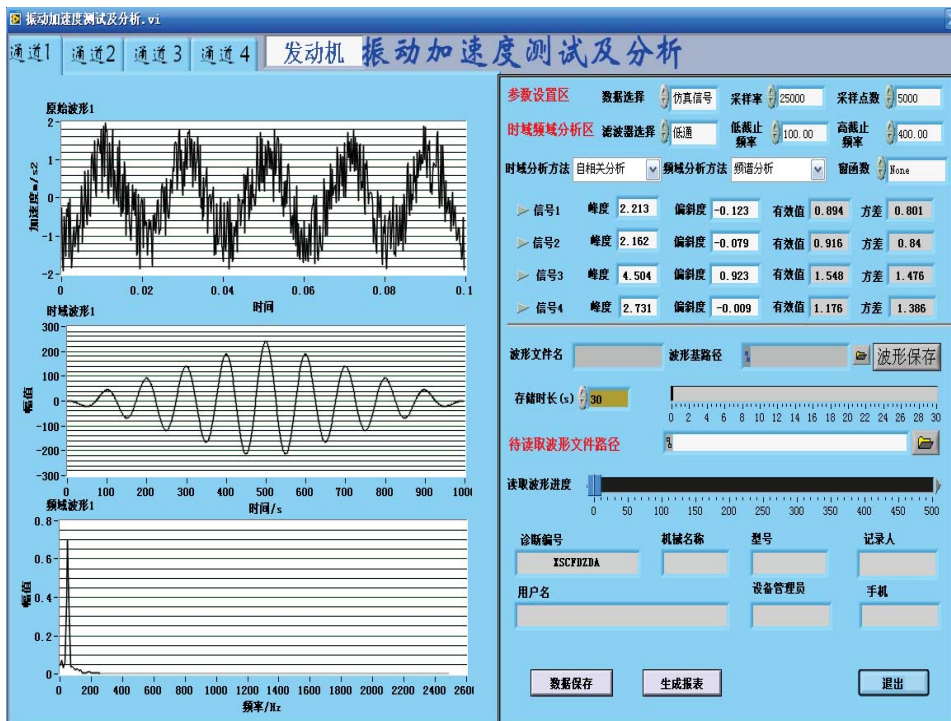


图10 振动加速度测试界面

④ 信号处理：为了从检测到的信号中提取有用信息，必须对信号进行各种处理，如对振动信号进行时域分析和频域分析，时域分析包括自相关分析和互相关分析；频域分析包括频谱分析、倒频谱分析、自功率谱分析和互功率谱分析。

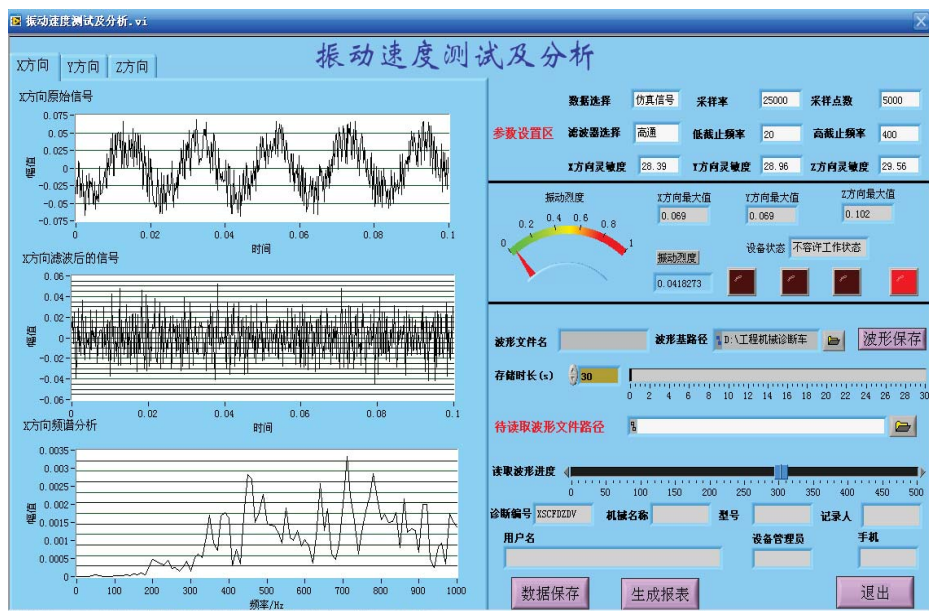


图 11 振动速度测试界面

⑤ 数据存储：主要包括数据保存和波形保存，数据保存是对振动信号的峭度、偏斜度、有效值、方差计算值，保存到 **Microsoft Access** 中去。波形保存是针对振动原始波形进行保存，可以在以后对该波形进一步的分析。

### (3) 诊断记录系统

包括发动机、液压系统、传动系统、电控系统四部分诊断记录。主要记录了检测的各种参数，其中有些参数有判定标准，系统会根据输入值，与标准值进行对比，并能将对比结果显示出来，提醒用户注意。诊断记录系统有“生成报表”功能系统将诊断数据分别存到 **excel** 表格中，并可以打印。

以发动机为例，如图 12 所示，“调取直读铁谱数据”，选择发动机机油的直读铁谱数据。在发动机功率（KW）一栏里填写测的功率数值，系统会自动根据以上两个值的判定结果判断是否进行漏气检测，如需进行检测漏气量，先选择发动机型号，输入测得的漏气量。

### (4) 数据查询功能

所谓的状态监测是从机械出厂到报废的过程中，对其进行跟踪式的检测，发动机、液压系统、传动系统的历史检测数据都以数据表的形式存放到 **Microsoft Access** 中。数据查询功能主要查询这些检测数据的信息，便于看出其各个参数的变化趋势，对工作状态做出相对准确的判断，所有关于该项参数的历史数据都在同一个数据表中，表名与该机械的型号和出厂编号有关，按照表名输入检索的关键词就能够显示与此对应的数据库信息，选择需要查看的数据表，点击查询就能够显示数据库的数据信息，如图 13 所示。



图 12 发动机诊断



图 13 数据库查询

在程序的前面板能实现对数据的四种查询方法，升序倒序可以实现数据库数据的重新排列，按要求查询输入“字段名”和“输入查询条件”可以检索到具体的数据信息。

(5) 诊断记录查询

在进行了多次的检测之后生成了数量较多的诊断报告， 诊断记录查询功能可以检索已检测设备的历史诊断报告。如图 14 所示的软件界面，首先确定报告文件所在的文件夹，然后按要求输入检索字，在完成点击“现松搜索一下”显示符合检索条件的文件。

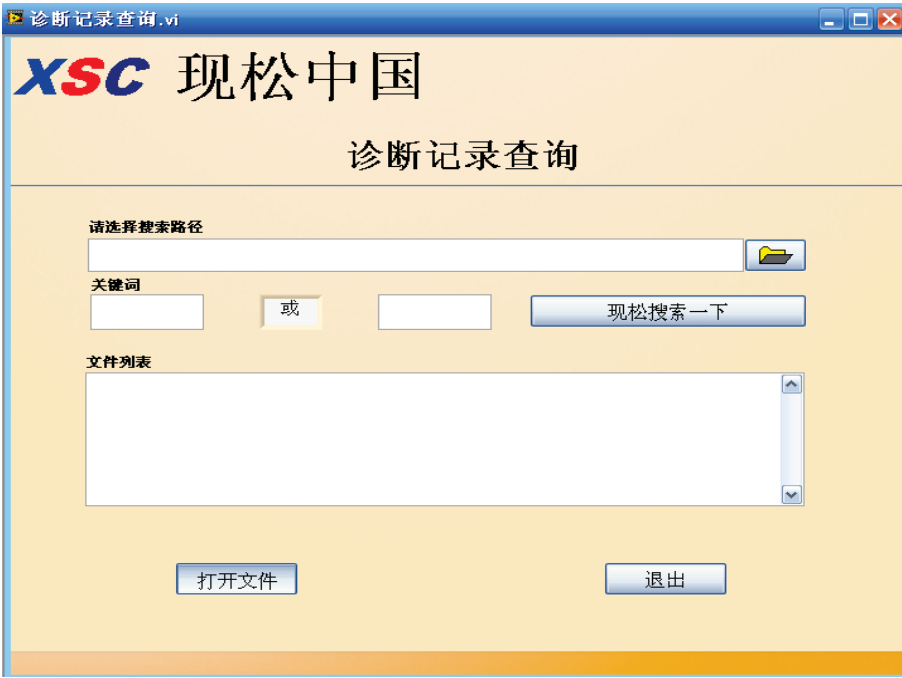


图 14 诊断记录查询

(6) 铁谱历史曲线

铁谱检测在工程机械的诊断中占有重要的地位，因此在软件设计时将铁谱的历史曲线单独分析。输入相关的检索词，如需要查询型号为 PC200-6 的数据，输入相关的检索词显示此型号存储的数据信息。按照软件前面板的信息选择“用户基本信息”点击“生成报表”能够将当前的铁谱历史曲线生成文本文件。

(7) 铁谱三线值分析

铁谱分析数值随时间的变化处于平缓阶段，通过分析大量样本的计算平均，可得出设备运转正常的磨损基线值，从而定出三条控制线来把握设备的磨损状态，所以依据 M 值的趋势预测设备的使用时间。

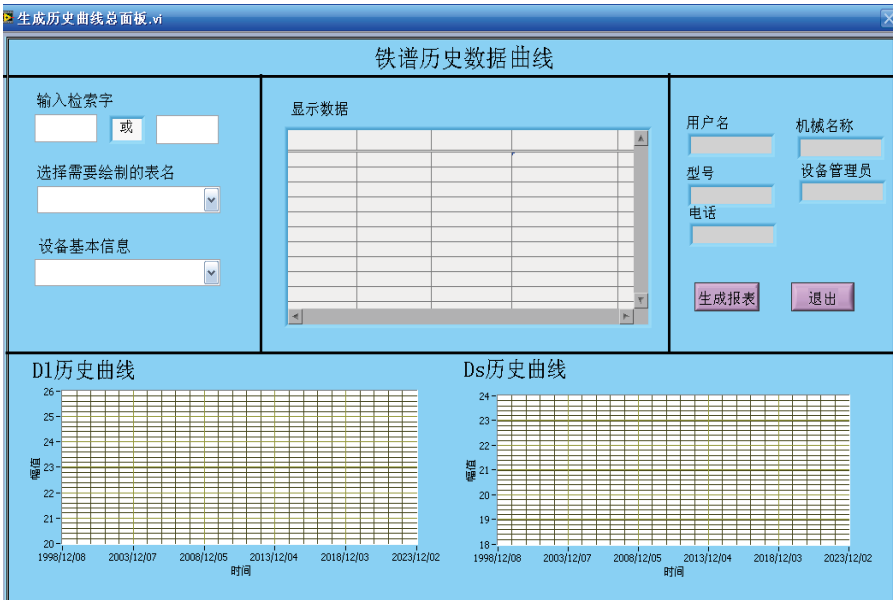


图 15 铁谱历史数据曲线

(8) 趋势分析

在积累了大量的数据之后，数据趋势图直观的反应所测参数的发展趋势，为工程技术人员提供有力的参考。数据库的数据资源繁多，用户先根据自己的需要将数据库缩小在较小的范围以便查询，如需要查询型号为 PC200-6 的数据，输入相关的检索词显示此型号存储的数据信息。

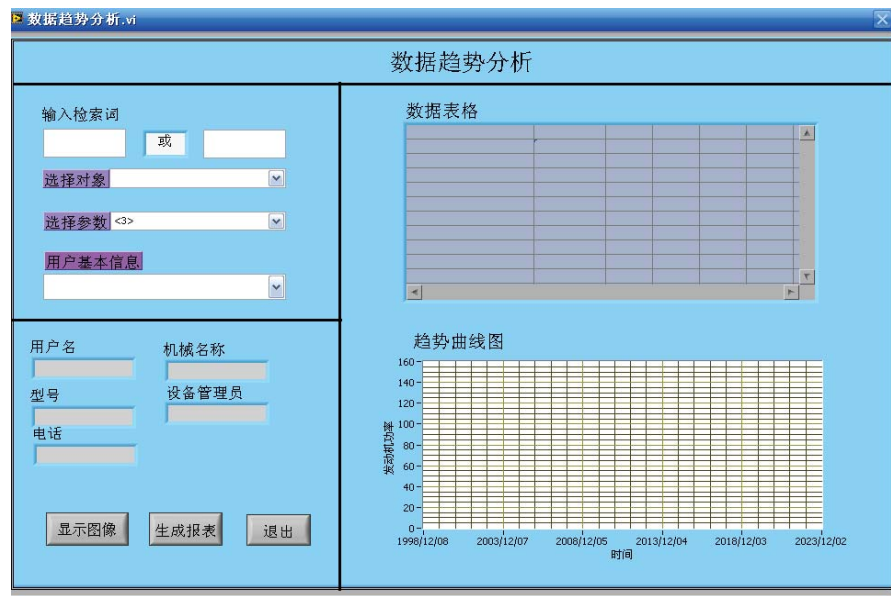


图 16 数据趋势分析

(9) 判据修改

随着检测过的工程机械的增多，诊断判据会不断完善，有必要对判据进行修改，单击“判据修改”按钮弹出如图 17 所示的对话框。

首先创建管理员用户，保证特定的人员才具有修改判据的权限。创建管理员用户后就能够进入登陆界面，输入相对应的信息即能对判据进行修改。

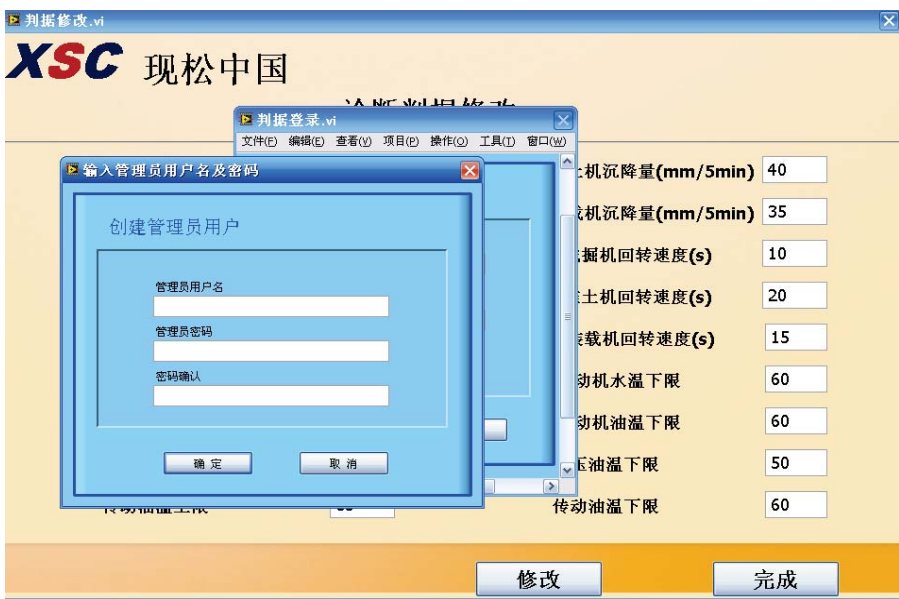


图 17 判据修改

(10) 相关资料

该菜单下包括故障码查询、工程机械液压电气图、工程机械的发动机、液压系统、传动系统的状态检测与故障诊断技术等资料，用户可根据不同需要选择浏览相关的文本资料。



图 18 查询资料

如点击“工程机械状态检测与故障诊断技术”进入资料查询界面，然后点击“显示文件”能够显示相关的文本信息，读者可以根据自己的工作需要浏览文章。

4 结论

利用 NI 的 LabVIEW 开发平台及相关硬件开发的工程机械检测车计算机诊断系统，既包括用虚拟仪器开发的振动检测系统、取代了传统复杂的振动测试设备；又能采集处理各种检测仪器的测试数据；还包括集数据采集、分析、存储、报告生成、档案管理、判据管理、检索、资料管理、等多功能并且各模块数据相互关联的检测诊断管理系统。该系统已应用到我们与安徽现松工程机械服务有限公司联合开发的工程机械检测车上，该检测车已检测诊断各类工程机械几十台，取得了良好的效果。

## 基于 CompactRIO 的微型旋翼飞行器地面控制系统

张春雷

上海聚星仪器有限公司

**应用领域：** 航空航天

**挑战：** 开发一个微型旋翼飞行器地面控制平台，控制自主设计的单旋翼+四气动面微型嵌入飞行器系统，使其稳定悬停。

**应用方案：** 使用 NI LabVIEW 和 CompactRIO 平台作为控制系统编写整个控制系统管理飞行数据采集以及控制飞行。此控制平台的目的是测试飞行器的飞行特性，为进一步开发飞行器打好基础。由于旋翼飞行器的垂直起降、可悬停等特点，可在地震、飓风等自然灾害中实现灾难现场的勘察和记录等任务。此类飞行器在将来会有很大的发展。

**使用的产品：**

LabVIEW

LabVIEW FPGA

NI cRIO-9074 集体化

NI 9401 高速双向数字 模块

NI 9474 八通道 12 位数字输出模块

**正文：**

### 1 原理介绍

本飞行器是单旋翼四气动面轴对称非常规布局的微型旋翼飞行器，直径约为 30cm，高度约为 20cm，飞行器的飞行原理是单旋翼提供升力驱动力，定子（Stator）用来抵消部分电机的反扭力矩，旋翼高速旋转产生的气流通过四个气动舵面的偏转来产生反扭力矩并且控制飞行器姿态的飞行。

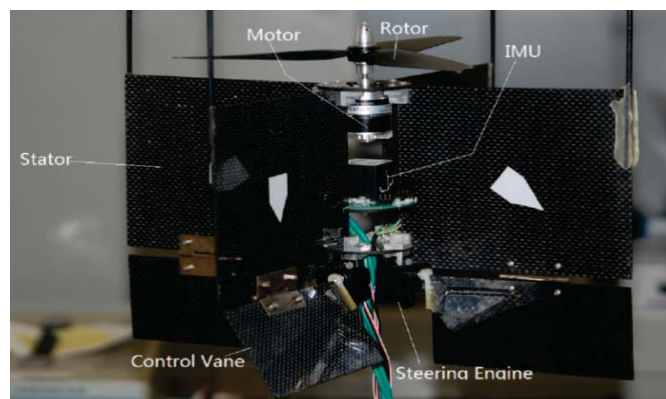


图 1

### 2 硬件和系统结构

如果自主开发此控制系统硬件，首先开发周期长，包括硬件设计、原型建造、软件设计和编程、软件测试、系统测试等将会花费掉大量的时间和金钱，而如果选用 NI CompactRIO 作为系统架构，将会省掉

整个硬件设计和调试周期，使我们把大部分精力放在软件调试和系统验证上，大大缩短了开发周期，所以，我们选用了 NI 的 CompactRIO 平台。

此地面控制系统是由信号采集模块和实时控制模块组成。信号采集模块由 NI 9401 来完成，通过配置 NI 9401 的 I/O 口，通过 CompactRIO FPGA 与 SPI 协议将飞行器上 IMU（惯性测量元件）的姿态信号采集到 CompactRIO 实时控制器上，CompactRIO 实时控制器接收由 FPGA 传送来的传感器信息并且记录所有飞行数据。CompactRIO FPGA 通过 NI-9401 数字输入输出模块接收信号，通过 NI-9474 和 NI-9401 模块产生 PWM 激励信号，激励舵机和电机的偏转。具体的数据流和系统构造见图 2。

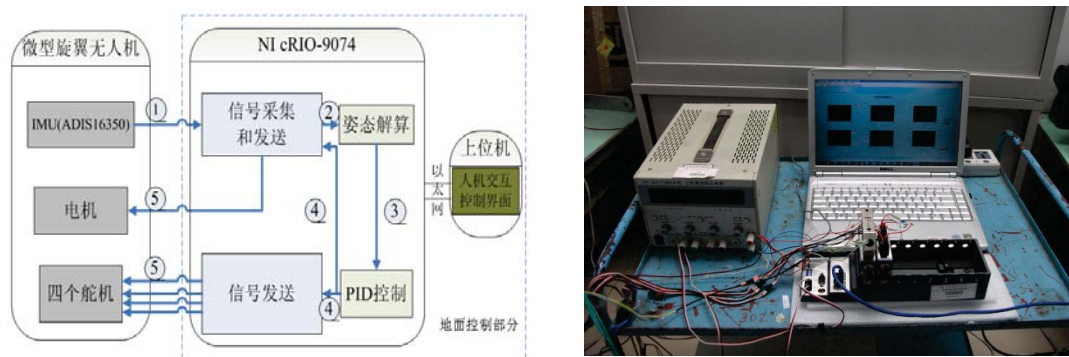


图2

### 3 使用软件

旋翼飞行器系统具有典型的 CompactRIO 应用设计结构。其中 FPGA 代码控制 SPI 协议的传输和 5 路任意占空比 PWM 波的生成。我们使用 NI LabVIEW Real-Time 开发模块将通过 FPGA 读取的飞行数据存储在嵌入式控制器上，利用 PID 控制算法得到实时的控制信号发送给电机和舵机。利用 MAX 软件开发 CompactRIO 设备与 PC 机得以以太网通信。在地面控制台，我们使用笔记本电脑用 LabVIEW 开发了友好的人机交互界面来实时显示飞行器的飞行信息。

### 4 成果

微型旋翼飞行器在基于 CompactRIO 平台的控制下，成功实现了 6s 悬停，如图 3。



图 3

### 5 结论

NI 的 CompactRIO 在这个项目的开发中起了核心的作用，它的易用性，可靠性以及可编程性对旋翼飞行器的控制已经足够。它大大的缩短了飞行器的开发周期，是测试飞行器飞行特性系统的理想选择。以后，我们要用更多的传感器，更充分的发挥 CompactRIO 的强大功能，最终实现智能飞行。

## 基于 NI PXI 的水力测试系统

李德友 王洪杰 刘世勋 陈金霞

哈尔滨工业大学

**应用领域：**水力机械测试、测量、数据处理

**挑战：**设计一个的大型数据采集与分析系统，能够实现模拟压力、流量计、角位移等传感器率定，效率、空化等各种试验的采集以及各个试验的分析、绘画相应曲线的后处理功能，为水力机械的流动机理分析、模型试验和产品设计提供精确合理的数据，通用有效的样机测试平台，并能作为其他试验和科研工作的有利平台。

**应用方案：**基于 NI PXI 操作平台，采用 NI LabVIEW 软件，来满足水力机械通用试验装置的高参数、高精度的需求，实现完善的数据处理和分析手段，用 PXI-6281 以多路复用的方式控制 SCXI-1001 信号调理箱中 7 块 SCXI-1125 实现各个传感器的电压信号测量，PXI-6143 同步的方式控制 SCXI-1001 信号调理箱中 SCXI-1520 实现应变信号的测量，两块 PXI-4472B 实现动压信号的测量，PXI-6602 实现转速、脉冲宽度的测量，PXI-8431/2 对流量数字信号的测量，整个系统实现各个传感器的率定、各种试验的采集以及后处理性功能，并保证测试系统的任务实时性、互操作性、可维护性和可拓展性。

### 使用的产品：

LabVIEW 2010

NI PXI-1042Q 八槽机箱

NI PXI-8336 控制器

NI PXI-6281

NI PXI-6143

NI PXI-6602

NI PXI-4472B

NI PXI-8431/2

SCXI-1001 十二槽信号调理机箱

SCXI-1125

SCXI-1520

### 正文：

#### 1 引言

随着我国水电事业的发展，大型机组的投产，各种容量的机组不断增多，如何保证水电机组的运行稳定是人们关心的重要问题。目前在行业中，通常是通过对水轮机模型做验收试验。由于模型机组尺寸小、重量轻、拆装方便、测量精度高、试验费用低、工况更简单易行，且不受生产和自然条件的限制，因此水利机组的设计，制造和科研部门都广泛采用模型试验。其目的就在于：解决真机在测量和试验过程中的困难，通过对模型水轮机水力特性的实验，来预测真机的水力特性，验收真机。

水轮机模型试验是保证水轮机顺利销售的必经阶段，是确保整个水轮机组高效运行的重要环节，同时水轮机模型试验还是水轮机水力特性研究不可缺少的手段，同时它还为修改水轮机过流部件的尺寸及完善理论计算方法提供可靠的依据。在高精度的模型试验台上进行相关的试验，并在保证水轮机过流表面几何相似的条件下，通过模拟换算公式，把模型试验的结果换算到真机上去，通过实践证明这是一种高效经济的方法。所以，一直以来，国内外都在进行着大量的理论研究和实际应用研究。

在总结国内外水轮机模型试验的基础上，选用测试技术和计算机技术深层次结合的产物-虚拟仪器 LabVIEW 进行上位机的软件编制，在基于 PXI 平台的基础上，完成对水轮机试验台数据采集、数据管理、曲线拟合及绘制、生成报表、信号分析及数据处理的全过程；意在使本系统适用于各类型水电站水轮机组的在线监测，并具有数据采集精度高，人机界面友好，稳定性强等优点。

## 2 水力机械系统背景与设计原则

为了提高水力机械通用试验台的测试精度，对水力试验中的各项参数进行数据的采集和处理，需要建立以计算机为中心的高可靠性、高精度的测试系统，主要应包括信号调理，数据采集及分析和视频监控等功能，以适应现代电子技术日新月异的飞速发展，更好地为水力设计服务，因此对水力机械通用试验台的高精度测试是至关重要的，水力试验台如图 1 所示。



图 1 水力试验台

系统整体设计实现功能如下：

- 1) 传感器率定：主要分为对水头、流量、力矩、尾水、压力等各类型的传感器进行率定，不同种类的传感器采用不同的率定方法。传感器的信号输出也不尽相同：水头传感器、尾水传感器、力矩、轴向力、蜗壳压差、径向力、喷嘴的压力传感器、角位移传感器等是电压信号输出；有些传感器以脉冲信号输出；而有些同时以脉冲和电压两种方式输出，如电磁流量计，率定方式有称重法和容积法两种。因此对每个传感器用单独的程序实现率定。对同一传感器，有不同率定方式的，采用不同的程序实现；
- 2) 试验采集：主要有效率试验、飞逸试验、空化试验、压力脉动试验、补气试验、变空化压力脉动试验、力矩波动试验、轴向力试验、径向力试验、蜗壳压差试验、导叶水力矩试验、叶片应力试验、顶盖取水试验、圆筒阀试验和成像观测试验。

3) 试验后处理：效率试验、飞逸试验、空化试验、压力脉动试验、补气试验、变空化压力脉动试验、力矩波动试验、轴向力试验、径向力试验、蜗壳压差试验、导叶水力矩试验、叶片应力试验、顶盖取水试验、圆筒阀试验和成像观测试验等后处理系统。

3 水力机械系统的总体设计

根据系统的功能要求本系统包括以下几个子系统：

- 1) 传感器率定系统，其中包括以下几大模块：  
实时监测、采集、复位、采集点、保存数据、数据对比、数据校验、生成报表以及删除恢复；
  - 2) 数据采集系统，其中包括以下几大模块：  
实时监测、采集、复位、采集点、算例、调取历史数据、删除；
  - 3) 数据后处理系统  
将各个实验采集的数据进行处理分析，画出相应曲线。
- 其系统结构示意图，如图 2 所示

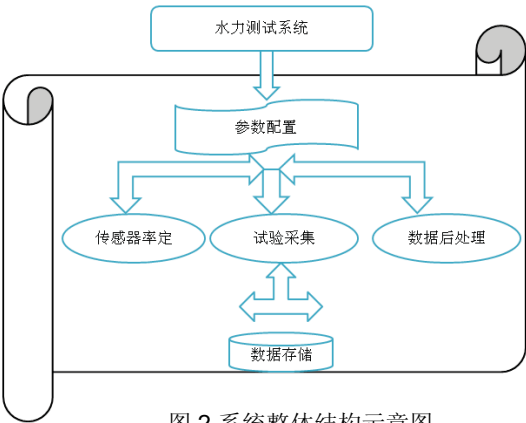


图 2 系统整体结构示意图

采集包括压力传感器、温度传感器等模拟信号，流量计数字信号，压力脉动传感器等动态信号，导叶水力矩等应变信号，以及脉宽、测功机的频率的测量，系统硬件结构图，如图 3 所示。

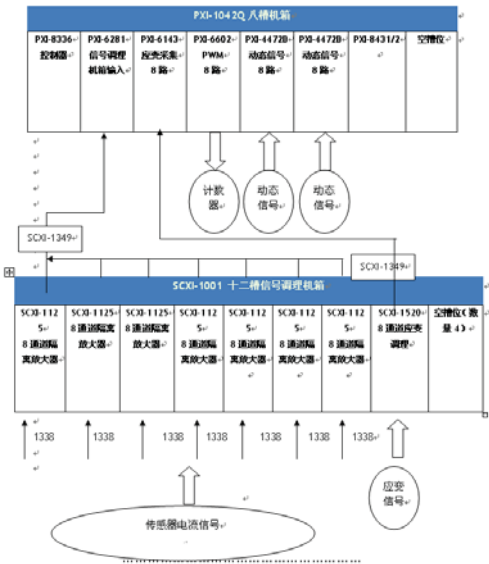


图 3 系统硬件配置图

PXI 继承了 PCI 的电气信号,使得 PXI 拥有 PCI 的极高传输数据能力,继承用户原本就已熟悉的软件平台,可以利用 PXI 所提供的触发信号来完成更精密的同步功能。

此 PXI 平台具有嵌入式实时控制器和机箱,选配多种功能的信号采集卡,完成工业的需求设计。

采用的 PXI-8336 为 PXI 操作平台控制器。

采用的 PXI-1042Q 为 PXI 操作平台八槽机箱;操作温度范围扩展到 0-55℃,仅 43dBA 的低噪声(PXI-1042Q),可拆卸的高性能交流电源。

采用的两块 PXI-4472B8 通道动态信号实现 12 路压力脉动传感器信号测量。

PXI-6602 实现圆筒阀行程、测功机转速、测功机频率、触发信号脉宽的测量。

PXI-8431 通过串口采集流量计数字信号。

PXI-6281 通过多路复用的方式控制 SCXI-1001 机箱 7 块 1125 卡实现了导叶开度个角位移传感器,1#、2#水头、管道压力、1#喷嘴率定等 8 个压差传感器、1#和 2#流量计 2 个电磁流量传感器,主力矩、摩擦力矩 2 个力传感器,尾水、径向力、圆筒阀等 26 个压力传感器,试验台进出口温度、室温等 5 个温度传感器,以及两个称重传感器的测量。

PXI-6143 通过并行的方式控制 SCXI-1001 机箱的 1520 实行同步测量导叶水力矩的应变传感器的测量。

#### 4 软件实现与实际应用

##### 1). 系统软件的实现

整体软件采用项目管理如图 4 所示。

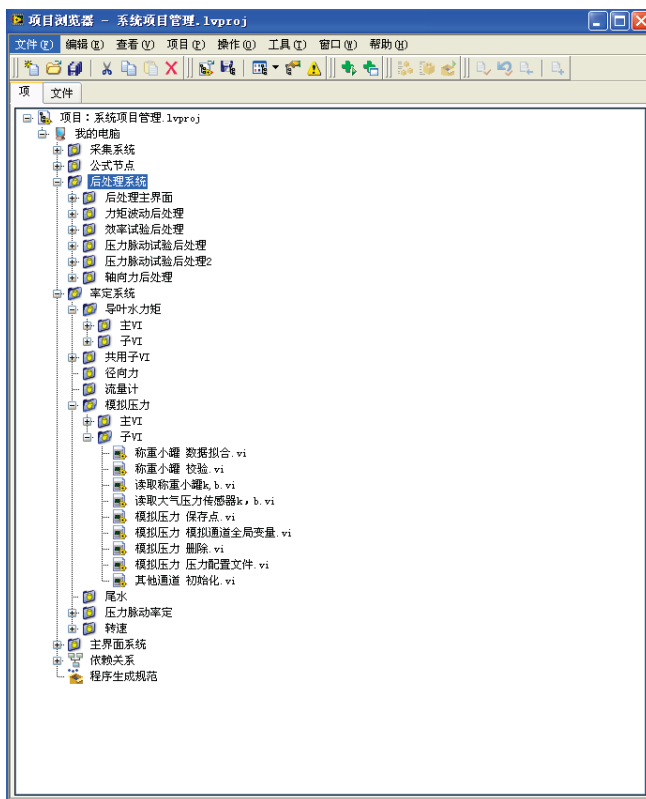


图 4 系统管理

整体项目又采用库管理，所以可以在内存中同时打开两个同名的 VI，也可以对文件夹的属性进行保护设置。对很好的维护整个系统。

系统软件的架构采用多循环应用程序框架，主要分为响应前面板循环、用户事件循环、DAQ 采集循环以及错误处理循环，此外框架中包含多个结构，用于初始化、配置、应用控制、错误处理、文件管理等；其内置特点很多，从而得到良好的灵活性、可扩展性；整体架构示意图如图 5 所示。

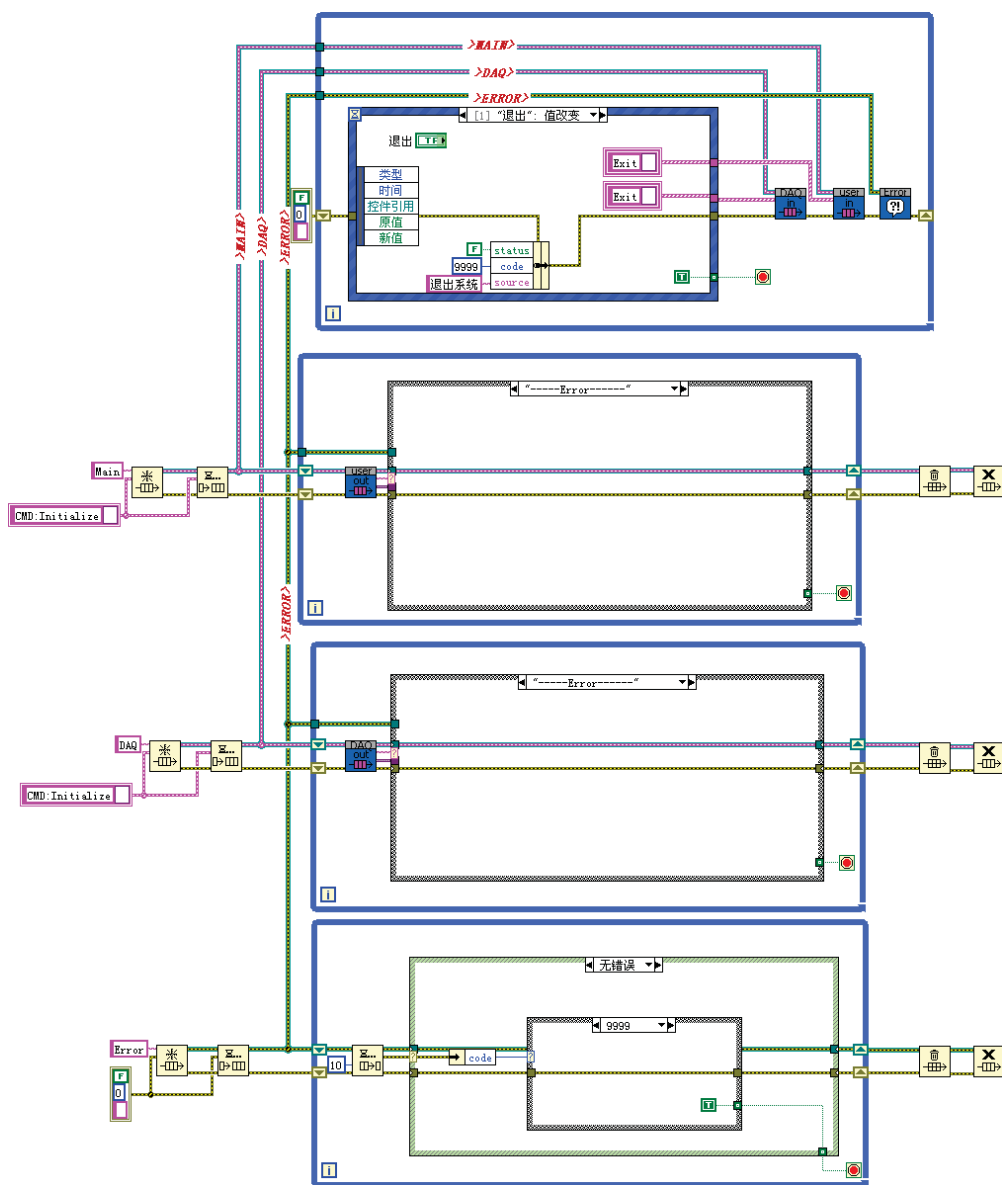


图 5 系统架构

在图中，队列的元素类型定义为字符串和变体的组合，字符串用来传递命令，就是消费者循环的条件分支的命令；在传递命令的同时传递数据，数据的类型为变体，就更加具有通用性。

(2. 参数配置

配置文件中主要内容就是项目输入参数，参数的录入可以根据情况，采用人工输入，亦可用程序自动写入。各参数根据内容分类存储在不同的单元格区域，数据内容同其描述内容放置在相邻单元格内，以便管理和修改。输入参数亦可分块如下：

装置参数：项目名称，转轮型号，肘管型号，蜗壳型号，及锥管型号等；

模型机参数：模型公称直径，进出口断面面积，叶片数，固定导叶数，活动导叶数，导叶高度，模型装机高程，高压侧断面高度，低压侧断面高度，活动导叶分布圆直径，漏水量，圆筒阀厚度，圆筒阀半径，圆筒阀的高度等。

原型机参数：原型机公称直径，额定转速，电站重力加速度，最大水头，最小水头，额定水头，加权平均水头，电站水温，额定出力，电站吸出高度，电站装机高程，电站水密度等；

效率修正参数:试验台重力加速度，测功机力臂，率定罐高度等试验台参数；损失分布系数，参考雷诺数，模型最优点雷诺数等，如图 6。

日期					时间			
参数选择	混流式	导叶开度			模型公称直径D2m	2#流量计(模拟)		
	两步法				莫迪修正系数			
效率修正方式	损失分布系数	0.7			参考雷诺数	7000000		
装置参数	项目名称	白山			肘管型号			
	转轮型号	A1029			扩散段			
试验台参数	试验台重力加速度	9.80647			测功机力臂	1.210196		
	原型机公称直径D1	2.8			原型机公称直径D2	2.8		
原型机参数	最大水头	200			额定水头	200		
	电站水温	22			额定出力	500		
	电站水密度	1000			水头修正系数			
	模型公称直径D1	0.3273			模型公称直径	0.3273		
模型参数	叶片数Z0	11			固定导叶数	5		
	模型装机高程	7.2095			高压侧断面高度	7.200		
	漏水量	0			圆筒阀厚度			
最优工况点	单位转速				单位流量			
传感器输出形式	传感器	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	传感器	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>
	导叶开口	2	3	3	导叶开度	0	1	0
	1#流量	0	1	0	2#流量	0	1	0
	1#尾水P <sub>tw1</sub>	0	50.99407	-50.7401	称重传感器(大罐)	0	-133102.1	173488.7204
	1#蜗壳压差	0	1	0	2#蜗壳压差	0	1	0
	3#轴向水推力	0	1	0	4#轴向水推力	0	1	0
	1#径向力	0	1	0	2#径向力	0	1	0
传感器率定结果(模拟)	5#径向力	0	1	0	6#径向力	0	1	0
	3#圆筒阀	0	1	0	4#圆筒阀	0	1	0
	2#管道压力	0	1	0	1#顶盖取水	0	1	0
	试验台进口水温	0	1	0	试验台出口水温	0	1	0
	室温	0	1	0	氧气浓度	0	1	0
	当前大气压力	0	5.9991	80.004	1#校验仪	0	1	0

图 6 配置文件

3). 传感器率定部分

(1) 率定文件管理

为方便统一管理和修改，各传感器率定结果也放置在配置文件中。率定结果能通过人为设定本次试验所需各传感器率定结果，同时也能由程序保存的结果。率定结果分为二次项、一次项（斜率），零次项（截距），本地及满量程误差。率定结果文件中的参数直接参与程序的运算。

(2) 率定方式

传感器率定软件部分对水头、流量、力矩、尾水、压力等各类型的传感器进行率定，不种类型的传感器采用不同的率定方法。传感器的信号输出也不尽相同：水头传感器、尾水传感器、力矩、轴向力、蜗壳压差、径向力、喷嘴的压力传感器、角位移传感器等是电压信号输出；有些传感器以脉冲信号输出；而有些同时以脉冲和电压两种方式输出，如电磁流量计，率定方式有称重法和容积法两种。因此对每个传感器用单独的程序实现率定。对同一传感器，有不同率定方式的，也采用不同的程序实现。

测试系统软件可对水头差压传感器、尾水绝压传感器、力矩、轴向力、蜗壳压差、径向力、喷嘴的压力传感器、角位移传感器等各种以电压信号输出的传感器率定的传感器进行正反行程率定。

对于流量传感器，采用称重法进行率定。由控制命令启动流量测试系统，自动测量水池放水时间，同步测量校正池质量的变化，实时计算瞬时流量，流量切换时间，脉冲累计数，进行拟合与计算，动态的计算率定误差，对个别系统波动引起的超差可自动中止率定。长颈喷嘴也采用称重法进行率定。

转速传感器的率定是利用采集卡计数器的计数功能，可对转过的齿盘齿数进行累加技术，对齿数进行校验，检验转速计在低速到高速的速度变化过程中是否在测量转速的过程中有缺齿的现象。

### (3) 率定算法

测试系统软件采用最小二乘法对数据进行线性拟合，同时也能选择二次拟合、分段拟合等拟合方式。自动求出传感器特性参数（斜率、截距等）、绝对误差、相对误差（即本地误差）及满量程误差等，并在图中显示出来。

### (4) 率定程序说明

以水头传感器为例，常规传感器率定系统主界面见图 7、8 所示



图 7 程序主界面

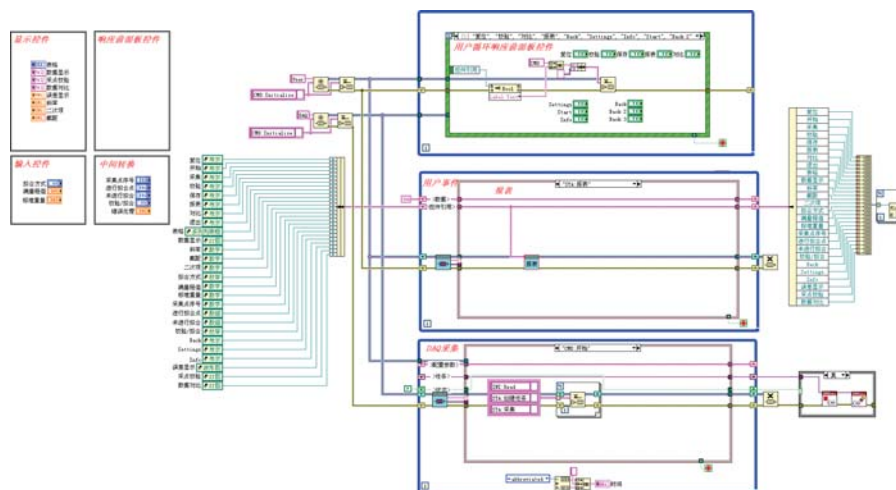


图 8 程序框图

## 4). 试验采集部分

试验数据采集与分析系统主界面见图 9(轴向力试验)、图 10(压力脉动试验)。系统界面由 5 部分组成, 分别是图形显示区、模拟量显示区、电量显示区、操作区与表格显示区。在图形显示区中显示各参数数据点, 并将属于同一转速下的参数值练成一条曲线, X-Y 图的横纵坐标均为可选项; 在模拟量显示区显示当前试验参数数值, 如水头、效率、扬程等; 电量显示区则显示当前传感器所采集到的电压值, 如水头传感器、流量传感器等; 表格显示区显示试验过程中所采集到的各工况下的试验数据; 操作区中则是本操作系统的各个功能按键。



图 9 轴向力试验界面

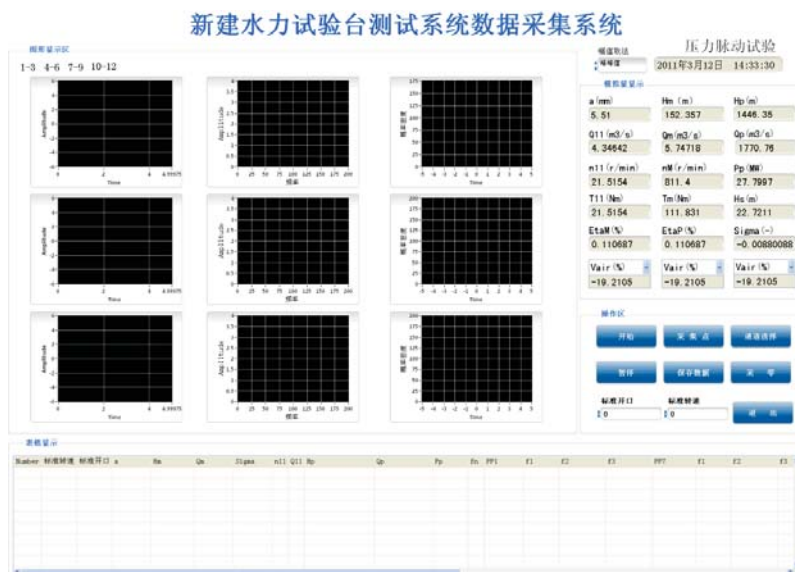


图 10 压力脉动试验界面

## 5). 试验后处理部分

试验后处理部分以轴向力后处理为例，主要是完成两类工作：采集试验数据对比、试验数据再调整。数据对比主要是为了观察预实验数据与真机试验数据的差别；数据再调整则是通过观察曲线之间的差别，适当调整试验数据。后处理系统主界面见图 11。

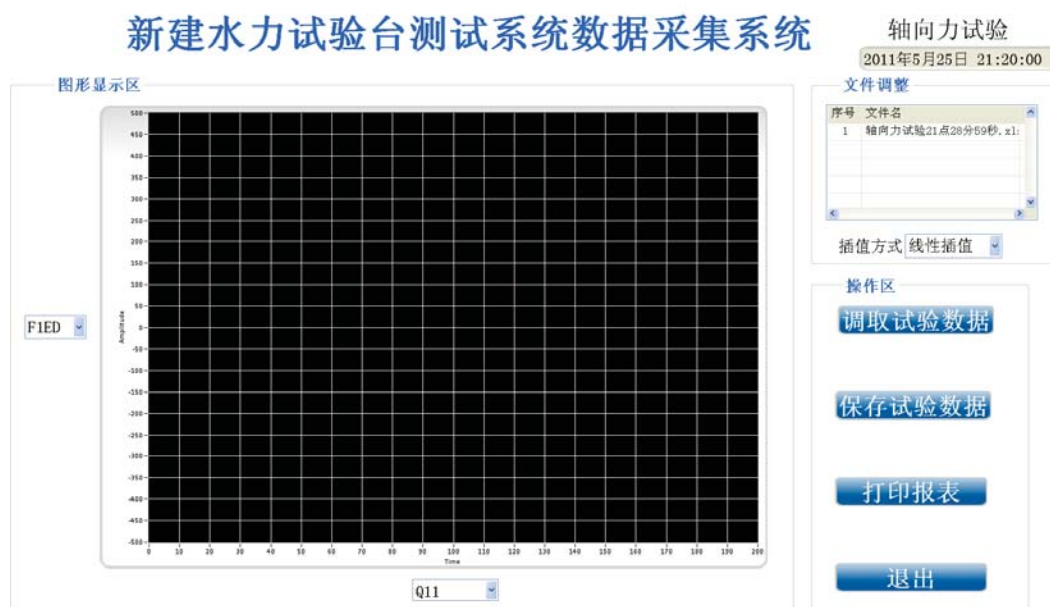


图 11 轴向力后处理界面

## 6). 实际应用

安装在现场的工作机箱一共两个，主要完成传感器的数据采集、信号调理与传输；在 PXI 平台上，通过用 PXI-6281 以多路复用的方式控制 SCXI-1001 信号调理箱中 7 块 SCXI-1125 实现各个传感器的电压信号测量，通过用 PXI-6143 以同步的方式控制 SCXI-1001 信号调理箱中 SCXI-1520 实现应变信号的测量，信号调理机箱对采集的信号进行隔离放大，两块 PXI-4472B 对压力脉动传感器的动压信号进行测量，PXI-6602 实现转速、脉冲宽度的测量，PXI-8431/2 对流量数字信号的测量，采集后的数据通过工业以太网传输到数据与控制计算机上，安装如图 12 所示。



图 12 硬件机箱

目前传感器率定部分，已完成调试，试验部分正在调试。

## 5 结论

1. 本文在 NI PXI 硬件平台以及 NI LabVIEW 软件平台上开发出了一套来满足水力机械通用试验装置的高参数、高精度的需求以及完善的数据处理水力系统；

2. 完成了模拟电压信号传感器率定、电磁流量计的率定、动态信号（PCB）传感器率定、脉冲信号传感器以及喷嘴率定系统；

3. 完成效率试验、飞逸试验、空化试验、补气试验等试验的数据采集和处理系统，满足了测试过程中提出的各个要求，提供了一个完善的错误处理机制，可以应对模型试验过程中可能出现的各种问题，保证试验的正常进行；

4. 提高了水力机械通用试验台的测试精度，适应现代电子技术日新月异的飞速发展，更好地为水力设计服务，因此对水力机械通用试验台的高精度测试是至关重要的。



***ni.com/china • 免费咨询电话: 800 820 3622 • china.info@ni.com***

**NI上海 中国区总部**

电话: (021) 5050 9800

传真: (021) 6555 6244

E-mail: china.info@ni.com

**NI北京**

电话: (010) 8262 5966

传真: (010) 8286 2099

**NI广州**

电话: (020) 2201 6899

传真: (020) 2201 6898

**NI香港**

电话: (852) 2645 3186

传真: (852) 2686 8505

E-mail: general@nihk.com.hk

**NI代理 北京中科泛华测控技术有限公司**

电话: (010) 8260 0055

传真: (010) 6262 8056

E-mail: mail@pansino.com.cn

