

NATIONAL INSTRUMENTS

NI汽车行业应用与选型指南





体验NI的与众不同

从1976年开始，National Instruments为众多行业的工程师提供当前最先进的测试、测量、控制、设计与仿真技术。在汽车领域，工程师使用灵活、高性能的NI产品，开发各类系统，从碰撞安全记录到ECU开发仿真，从汽车Telematics测试到混合动力开发，NI不断通过最新技术来保证工程师们实现高效、可靠的汽车解决方案。

如今，几乎所有的汽车厂商与供应商均采用National Instruments平台实现各种汽车行业应用，通过统一而通用的平台，有效节省了在汽车研发生产过程中各个阶段耗费的时间和成本。

NI平台在汽车行业中的应用 2

发动机系统

| | |
|---------------------------------------|----|
| 发动机电控单元开发与仿真 | |
| 恒润科技：发动机控制器硬件回路（HIL）测试系统 | 6 |
| 一汽油泵油嘴研究所：高压共轨柴油机ECU测试系统开发 | 12 |
| MicroNova：将LabVIEW FPGA应用于全面、精准的发动机仿真 | 16 |
| 华南理工：汽车/CNG两用燃料发动机ECU在环仿真 | 18 |
| Drivven：开发引擎控制器系统原型 | 23 |
| 点火系统测试 | |
| 满足六西格玛可重复标准的汽车火花塞检验 | 25 |
| 汽油发动机点火提前角测试系统 | 27 |
| 应用NI CompactRIO开发启动发电机测试系统 | 30 |
| 发动机台架测试 | |
| 比亚迪：发动机试验台架系统 | 32 |
| 机体疲劳试验台架自动控制系统 | 35 |
| 混合动力与燃料电池 | |
| 福特：电池电子控制设备开发，引领创新潮流 | 39 |
| ControlWorks：为电池管理系统开发一套HIL仿真器 | 42 |
| 为电动超级赛车设计控制系统 | 45 |
| 同济汽车电子研究所：燃料电池发动机智能测试平台 | 47 |

底盘系统

| | |
|--------------------------|----|
| 传动系统 | |
| 离合器从动盘产品测试 | 50 |
| 转向系统 | |
| Delphi：开发转向反作用力仿真系统 | 53 |
| 丰田TRW汽车转向泵测试系统开发 | 55 |
| 制动与电子稳定系统 | |
| 液压制动系统EHB驾驶员在回路仿真实验平台 | 58 |
| NI视觉技术开发刹车自动检测系统 | 63 |
| 清华：电子稳定系统（ESP）硬件在环仿真平台开发 | 65 |
| 吉林大学：电子稳定系统（ESP）性能测试平台 | 70 |
| Wineman：ABS模块耐久性智能监测 | 73 |

汽车电子测试

| | |
|------------------------------------|----|
| 信息娱乐与智能通信 | |
| 德国IAV：无线电与GPS信号测试解决方案 | 76 |
| 江森自控：使用TestStand与PXI开发汽车多媒体设备的测试系统 | 78 |

| | |
|-----------------------------------------|-----|
| DGE：车载信息系统控制单元（TCU）的测试开发 | 81 |
| 为车载仪表控制单元开发自动化测试系统 | 83 |
| Sony：蓝光播放器的自动化音视频测试 | 86 |
| 传感器与电子系统测试 | |
| 中国汽研中心：汽车数字仪表测控系统设计 | 88 |
| 联创汽车：车身控制器功能测试系统 | 92 |
| 李尔公司（Lear）使用NI HIL平台减少嵌入式软件问题 | 96 |
| 车辆尾气排放分析的车载故障诊断数据提取系统 | 99 |
| 克莱斯勒智能电源模块终端测试系统 | 102 |
| 总线测试 | |
| Global Inventive：为车辆的传感器盒创建自动化CAN通信测试系统 | 104 |
| 东风汽车：基于J1939 协议和PXI平台的CAN 总线通讯平台开发 | 107 |

整车与车身系统

| | |
|-------------------------------|-----|
| 碰撞与安全 | |
| Autoliv：基于DIAdem软件加速碰撞测试分析 | 111 |
| 使用DIAdem测试行人头部与车辆引擎盖的碰撞 | 113 |
| NVH测试 | |
| 发动机系统爆震分析 | 116 |
| UFSC：NI平台应用于车辆通过噪声测试的波束成形 | 118 |
| 台架测试 | |
| Innosive：开发最先进的测控机控制系统 | 120 |
| 西南研究院：开发重型履带式汽车的双测功机道路负载仿真器 | 123 |
| 华普汽车：混合动力轿车整车标定系统的开发 | 125 |
| 零部件终端测试 | |
| 联合汽车电子：CompactRIO在油泵功能测试线中的应用 | 128 |
| 汽车座椅调节电机生产线终端噪声测试 | 132 |
| 大众宝来轿车雨刮电机生产测试应用 | 135 |

NI汽车行业应用相关产品

| | |
|-------------------------|-----|
| NI PXI高性能硬件平台系列 | 138 |
| NI CompactRIO嵌入式硬件平台系列 | 165 |
| NI LabVIEW软件及模块 | 171 |
| NI VeriStand实时测试与仿真软件 | 176 |
| NI TestStand测试管理软件 | 177 |
| NI DIAdem数据管理、分析与报表生成软件 | 178 |



“NI Veristand 在确保产品达到预期的质量和可靠性标准要求方面扮演了重要角色，帮助我们赢得更多的汽车行业业务。”

——Jason G. Bauman,
Lear Corporation

National Instruments产品在汽车行业中的应用

由于工程师们需要不断应用最新的技术来持续创新，使得汽车行业内的技术挑战越来越艰巨。市场上激烈的竞争迫使工程师们只有使用更加高效、可靠的解决方案，才能有足够的灵活性，不断满足未来需求。

如今，几乎所有的汽车OEM厂商与供应商均采用National Instruments平台实现各种汽车行业应用。并通过为控制、仿真、设计和测试提供统一而通用平台，有效节省了在汽车研发生产过程中各个阶段耗费的时间和成本。

通过组件的重用实现不同阶段间的连贯性测试

在从原型概念构思到实物碰撞试验的整个过程中，National Instruments平台是您在不同应用阶段进行快速设计、原型开发以及部署解决方案等阶段所需的理想工具。实际上，NI平台已经被应用在全球范围内众多汽车应用中，在这些应用中，基于NI平台解决方案都显著地缩短了产品上市时间、提高灵活性并最大化长期投资收益。

在汽车开发的过程中，工程师们需要进行实时的任务处理。例如，在设计阶段需要使用模型在环（MIL, Model-in-loop）测试，通过使用一定模式的激励或者测试脚本来仿真系统，并分析其响应。当一个算法到了开发原型的阶段时，工程师们将原型控制器带到实验室或者试验场中进行功能评估。当算法设计结束后，准备将软件部署至产品硬件之前，需要在另一个仿真环境中对软件代码进行测试，以确保从控制模型到产品软件代码的转换过程中没有引入任何错误。

显然，在这一过程中的每一项任务都包含一些相同的核心组件，包括用户界面、激励模式或测试脚本、模型、分析处理、报表生成以及特定的需求文档等。使用National Instruments模块化硬件和高效软件工具，您可以借助测试组件的重用机制，改进产品质量、提高开发效率。一般而言，我们会在整个过程中通过重用模型，以实现每个阶段的系统级测试。同样的，我们可以通过重用测试组件，在整个开发过程中实现一致连贯的系统级测试、结果分析以及报表生成。



综合功能测试系统

一个成功的综合功能测试系统，特别是汽车电子制造中的产线终检测试需要能够仿真、测量和验证汽车ECU、电子组件、机械零件、以及完整系统的功能。在这其中，重要的指标参数包括较高的测试吞吐量、测试完整性程度，以及相对较低的系统搭建和升级成本。同时，这类应用中通常还拥有一些共同的需求，如：CAN、LIN以及FlexRay总线通信能力；较短的产品上市周期；与机器视觉、运动控制、工业总线以及其它测试系统能充分兼容等等。高度集成的NI硬件和软件产品可以提供有效的工具，用于开发灵活的、自动化的、可靠的产品综合工程测试系统，同时减少系统的开发时间和成本。

车载信息娱乐系统测试

由于汽车上的电子系统越来越复杂，您需要精密的信息娱乐系统测试方法，以进行音频、视频和无线射频装置的测试。NI能提供先进的测试系统，帮助您实现灵活地自动化测试，缩短产品上市时间，同时确保最佳的产品质量。无论是针对车载摄像机或者抬头显示器的视频测试、或针对FM接收机或者声控系统的音频测试，还是针对车载GPS记录和回放的射频测试，NI硬件和软件产品都可以帮助您简化开发流程、提高代码重用性和效率，显著减少产品上市时间。

硬件在环测试与仿真

为满足缩短产品上市时间和提高可靠性的要求，以及应对产品复杂性日趋增加的挑战，工程师迫切需要一个灵活的、可扩展的并能够采用最新技术的硬件在环(HIL)测试平台。NI硬件在环测试平台具有开放的软硬件技术架构，可以减少您的开发时间、成本和风险。在支持第三方硬件和软件建模工具的同时，NI还提供一系列高性能模拟和数字I/O设备，CAN、LIN和FlexRay总线接口，故障注入硬件等硬件，让您高效实现应用。

台架测试中的测量与控制

台架测试的范围可以从传动系统台架延伸至完整的整车四驱测功机。台架测试将工业机器和精度控制以及实验室级别的测量质量结合在一起，以复现真实环境，用于对汽车零件、系统和整车进行测试。许多系统都借助测功机和（或）伺服液压系统为目标零部件模拟各种载荷条件，以仿真真实的环境，甚至是极端的工况。NI平台与工业台架设备和车辆系统互联，能够为汽车台架测试应用提供更高水平的集成性能。

快速控制原型

由于嵌入式软件在ECU设计过程中的作用日益重要，因此越来越需要一个成熟的快速控制原型（Rapid Control Prototyping, RCP）开发工具，以能够快速地测试用于真实世界I/O和车内网络的控制模型。National Instruments RCP平台可以帮助您快速地连接至广泛的I/O和车辆通信总线、导入控制软件，并与系统和软件进行连接与交互。您可以在多种不同的嵌入式电子设备应用中使用NI RCP平台，包括用于车辆动态性能、驾驶员辅助系统、发动机、混合动力和电动动力总成系统的ECU原型开发。

车载测试和数据记录

使用模块化和紧凑的NI C系列硬件的车载数据记录仪，可以很灵活地进行无线或有线的（USB或以太网）道路跟踪测试。这些模块经过严苛的环境评级，其中包括50g的冲击和3g的振动评级，适用于最极端工况下的车载测试试验。通过使用可互换的模块化测量工具和软件，您可以轻松地配置实现或者进行高级编程，以针对您当前的和未来的需求设计测试系统。借助于模块化平台所提供的同步性能，声音、振动、CAN总线、温度及电压等海量数据的离线处理将变得比以往更加容易。

电动汽车测试

车辆电动化是汽车行业中一个令人兴奋的趋势。然而，这同时却给电机和整车的测试和仿真过程带来了严峻的挑战。传统的方法和工具已经无法满足这些电动车应用中所有的要求。因此，选择合适的工具对于保持行业领先优势至关重要。信号级测试：NI拥有全面的解决方案供您选择，实现信号级的测试和仿真，可以重用来自多种建模工具所生成的电机模型，包括与高精度的JMAG-RT模型以及基于FPGA的模型。此外，NI享有高性能的FPGA及I/O模块，充分满足电机仿真对速率的要求，借助NI高效的软件工具快速实现应用。功率级测试：NI的合作伙伴针对NI平台提供一系列的电机模拟器（Electric motor emulators, EME），用于在完全电动的条件下分析和验证电机控制单元和变频器。EME对于低功率和高功率系统来说均是理想平台，能够与许多NI硬件平台共同工作。机械级测试：NI及合作伙伴已经为用户开发了机械级测试以及测功机解决方案。许多NI的合作伙伴都能提供针对测功机测试实验室的全系列解决方案，并提供各种测功机的交钥匙级的测试实验室集成和升级服务。

恒润科技：发动机控制器硬件回路（HIL）测试系统

作者：张富丽 北京经纬恒润科技有限公司

“ 系统方案结合了NI平台和恒润科技的软硬件设备，借助灵活开放的NI虚拟仪器，以及恒润科技在汽车行业的丰富经验，使系统更好的满足汽车行业HIL测试的实际需求，在保证测试系统的稳定性、可靠性的同时，大大缩短了HIL测试系统的开发周期。 ”

挑战：

构建发动机控制器（EMS）硬件在回路（HIL）测试系统，需要在仿真整车运行环境的前提下，监测EMS在各种工况下的工作状态，并且能够通过测试工具实现系统的自动化测试。因此，EMS HIL测试系统最为关键的内容包括：准确模拟整车和发动机的各种运行工况，模拟EMS所需的各种传感器信号，采集EMS的控制信号，模拟整车网络中的其它控制节点，并且编写可自动运行的测试用例程序。

解决方案：

本文主要介绍用于四缸高压共轨柴油机EMS测试的HIL测试系统。

- 本系统的车辆仿真模型运行在PXI嵌入式实时控制器中，通过NI VeriStand软件，对车辆仿真模型进行在线调试和标定，最终达到车辆模型与实验数据，近似的效果。
- 用信号调理模块与NI FPGA板卡、DAQ板卡配合的方式，准确模拟各种传感器信号，采集EMS输出信号。
- 采用NI CAN卡模拟整车网络中的其它节点。
- 采用NI TestStand软件搭建自动测试序列，生成测试报告。

简介：EMS HIL测试系统是由车辆模型、HIL硬件、试验管理软件和EMS控制器四部分组成。

- 车辆模型：本系统使用由北京经纬恒润科技有限公司（以下简称：“恒润科技”）开发的车辆模型，将其运行在PXI嵌入式实时控制器中，通过NI VeriStand软件进行在线修改和监测车辆模型参数。
- HIL硬件：采用NI FPGA板卡、DAQ板卡和CAN通讯板卡，结合恒润科技开发的信号调理模块和故障注入模块，进行模拟各种传感器的运行，采集EMS信号。
- 试验管理软件：采用NI VeriStand软件，在线调试车辆模

型。同时，恒润科技对该软件的控制部分进行了重新开发，使其更贴近汽车行业HIL测试系统的实际需求。

- EMS控制器：四缸高压共轨柴油发动机控制器。

EMS HIL测试系统搭建了一个完整的“虚拟车辆”测试环境，能够在方案设计阶段对EMS产品技术方案进行验证，并且利用NI TestStand软件实现EMS的自动化测试。本系统有如下优点：测试环境配置灵活、测试成本较低、人力投入较少、测试周期较短等。

一、HIL测试系统方案概述

1、HIL测试系统方案优势

随着科技日益创新，汽车技术的革新主要来自汽车电子技术的迅速发展，汽车电子电气系统相关产品和技术的越来越多的应用到实际的量产车型中。同时，从市场反馈来看，汽车故障较多发生在电子电气系统相关器件（如图1.1所示），而解决这些故障的根本手段除了在设计阶段制定科学合理的电子电气系统设计方案外，必须对系统方案进行验证测试，因此对系统方案进行硬件在回路（HIL）测试成为系统方案验证阶段的必要工作。



图1.1 汽车故障分布图

HIL 测试系统方案的优势特点：

- 可实现自动化测试、并生成测试报告，重复性强；
- 集成动态模型，可进行闭环实时控制；
- 可测量所有电气信号，包括总线信号：CAN和LIN总线；
- 可分阶段进行系统测试，对未开发完毕的ECU进行总线仿真；
- 减少测试时间，降低测试成本：
 - 可在多个平台中进行切换
 - 多个ECU不同组合的测试
 - 同一个ECU不同型号的测试
- 可通过自动化测试，减少测试时间，降低人员投入
- 具备丰富的测试功能：
 - 可测试单个控制器的控制功能
 - 可对整车网络进行测试
 - 可模拟车辆的复杂工况
 - 可模拟各种类型的电气故障
- 测试功能易于扩展
- 可方便连接测试工具：如标定和诊断工具等

2、EMS HIL测试系统原理

如下图1.2基于四缸高压共轨柴油机EMS HIL测试系统工作

原理图所示，试验管理软件运行在PC机环境下，车辆仿真模型运行在HIL系统硬件实时控制器上，通过I/O模型直接控制I/O接口，I/O接口与信号调理、故障仿真板卡在硬件平台上集成，最终实现与EMS相连。I/O接口与信号调理硬件配合，能够仿真各种传感器和执行器，监测执行器工作状态并回传给车辆模型，同时也能够模拟各种硬件故障。从而，HIL测试系统与被测EMS组成一个虚拟的整车试验环境，通过自动测试工具控制整套系统实现各种工况的测试，生成测试报告。

EMS开发者可基于此平台分析、评估、优化EMS控制策略，并对优化后的EMS进行重新测试。

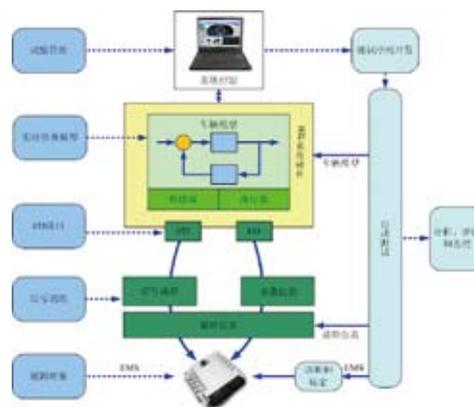


图1.2 EMS HIL测试系统工作原理图

二、EMS HIL测试系统设计与实现

如下图2.1 EMS HIL测试系统结构图所示，EMS HIL测试系统是由车辆模型、HIL硬件、试验管理软件和EMS控制器四部分组成，以此搭建了一个完整的“虚拟车辆”测试环境。在此测试环境下，对EMS设计方案在其设计阶段进行验证，并且利用TestStand软件实现自动化测试。



图2.1 EMS HIL测试系统结构图

搭建本测试系统需要完成以下四部分工作：硬件平台设计、模型设计、系统闭环测试和系统自动测试。下文将针对各部分工作进行详细介绍：

1、硬件平台设计

EMS HIL测试系统硬件仿真平台主要功能：提供车辆模型的实时运行环境，模拟EMS所需的各种传感器信号，采集并监测控制器和执行器信号，模拟CAN网络中的其它节点，对EMS和NI设备信号提供驱动、放大、滤波、保护、特殊信号的处理等功能。

如图2.2 HIL测试系统硬件平台示意图所示，硬件组成主要包括：PXI机箱和板卡、信号调理模块、故障注入板卡、内置的断线测试盒、真实负载箱、电源切换板和电流采集模块、车载电源模拟器、电源管理模块和机柜等。

1.1、NI PXI机箱和板卡

PXI机箱和板卡主要包括：PXI机箱、PXI嵌入式实时控制器、R系列FPGA板卡、FlexRIO系列FPGA板卡、DAQ板卡和CAN卡。

PXI机箱用于放置PXI嵌入式实时控制器和PXI板卡，其中PXI嵌入式实时控制器用于运行车辆放置模型和控制PXI板卡，而PXI板卡主要功能包括：数字I/O、模拟I/O、PWM I/O、输出电阻控制协议、模拟曲轴、凸轮轴等特殊传感器、采集喷油参数、收发CAN报文等。

PXI机箱、嵌入式实时控制器和板卡组成一个实时硬件系统，通过PXI板卡的I/O接口接收经过调理的EMS信号，并将信号传输给车辆模型，在车辆模型运算后再由PXI板卡的I/O输出各种传感器信号，信号经过调理和故障仿真后传输给EMS，从而形成一个闭环的实时系统。



图2.2 HIL测试系统硬件平台示意图

1.2、信号调理模块

信号调理模块主要功能：

- 通过适配板和信号调理载板，实现对PXI板卡硬件资源的分配，把资源按照信号类型进行分类；
- 通过信号调理载板上的跳线选择、配置地线，对地线进行集中管理，方便接线抑制干扰；
- 通过信号调理载板，配置需要调理的通道，在信号调理模块上对信号进行调理，实现信号驱动、放大、滤波、保护等功能；
- 特殊信号处理，如，电流型轮速信号输出调理、电阻模拟等；

1.3、故障注入板

根据EMS的实际需求，对故障注入模块中的通道数量进行分配，每个通道可以模拟对电源短路、对地短路、开路故障状态、任意两管脚间短路等故障。

板卡由恒润科技开发的软件控制，该软件操作简单，支持自动化测试，通过RS232发送指令到板卡上的单片机（MCU），MCU根据指令控制继电器动作，执行相应的故障模式。

1.4、内置断线测试盒

断线测试盒主要功能：测量EMS和HIL设备之间的所有信号、手动制造EMS故障等。

1.5、真实负载箱

真实负载箱采用抽拉式结构，内置连接EMS的EDAC端子台和喷油器等客户所指定的真实负载。

1.6、电源切换板和电流采集模块

电源切换板：仿真EMS的上电过程。

电流采集板：将电流信号（例如高压共轨发动机喷油器的驱动信号）转换成电压信号便于NI板卡采集。

1.7、车载电源模拟器

车载电源模拟器与电源切换板结合使用，给EMS供电，并且可以根据EMS功率消耗选取相应的程控电源。此外，通过HIL测试系统可以对其中程控电源的输出电压和输出电流的限值进行控制和监测。

1.8、电源管理模块

电源管理模块：主要实现对HIL硬件平台的电源进行控制、分配、保护等。

1.9、机柜

机柜：分层存放各类硬件模块。

2、模型设计

为了满足对EMS控制器的HIL测试需求，需要根据客户提供的车辆参数搭建车辆模型，并进行参数化，增加I/O模型、CAN报文集成等工作。因此，本方案模型开发的工作包括：搭建模型并对模型进行参数化、I/O模型设计、CAN报文的I/O模型设计。

2.1、车辆模型设计

本方案使用四缸高压共轨柴油机模型，包含以下子系统：

- 气路模块：中冷器、气路模型、增压器
- 油路模块：油轨、高压泵、压力控制阀、喷油器、油箱
- 冷却模块：催化器
- 排气系统
- 气缸：扭矩输出、摩擦扭矩
- 环境模块：驾驶员、测功机模型
- 软件ECU：发动机ECU

该模型使用Matlab/Simulink进行开发，包含了详细的气路、油路和气缸等子系统模型，满足与发动机控制器的I/O接口要求。

2.2、I/O模型设计

模型I/O的主要功能：数字I/O、模拟I/O、PWM I/O、电阻控制协议、模拟曲轴、凸轮轴等特殊传感器、采集喷油参数等。

在EMS HIL测试系统中，需要对I/O模型（除模拟I/O外）进行重新开发，在开发过程中，需要先在NI FPGA上进行功能开发，在开环验证功能满足客户的需求后，将I/O模型添加到Matlab/Simulink模型中，最后通过NI VeriStand导入模型，并将FPGA与I/O模型关联。

I/O模型设计最为核心的内容是，基于NI FPGA进行功能开发。分为两部分内容：针对NI FlexRIO板卡的适配板卡的硬件开发，以及FPGA程序的开发。其中，硬件开发主要是针对NI FlexRIO板卡的IO接口扩展高速的A/D、D/A和数字I/O。FPGA程序主要实现的是特殊传感器模拟、喷油参数采集和其他I/O模型的功能。

如图2.3所示是基于NI FPGA的程序开发流程。由图可



图2.3 基于NI FPGA的程序开发流程

知，I/O模型的开发流程为：首先，在NI VeriStand FPGA Interface模板中编程，程序包含FPGA函数和vhdl程序代码等；其次，通过FPGA编译器编译此程序，生成二进制文件；再次，在文本编辑器中，编辑针对二进制文件的配置文件；再在NI VeriStand中添加RIO设备，调用二进制文件的配置文件；最后，通过运行VeriStand工程将程序下载到FPGA中。

采用在NI VeriStand FPGA Interface中开发FPGA程序的开发方式，不仅能够实现程序的离线仿真，而且能够达到FPGA与车辆模型传递数据的目的。

上述模型开发模式不仅能够保证系统的灵活性和稳定性，借助开放的NI VeriStand架构也可以大幅降低时间成本和人力成本。

2.3、CAN报文I/O模型设计

基于EMS的CAN通讯协议（CAN的数据库dbc文件），对CAN通道进行相应的配置，正确发送EMS所需的CAN信号，监测EMS发出的CAN信号，并将CAN的发送和接收的信号引入模型。

3、系统闭环测试

在完成上述设计工作后，即可对HIL测试系统进行闭环调试，系统闭环测试的工作内容包括：VeriStand工程搭建和系统闭环调试。

VeriStand作为试验管理软件，是HIL系统闭环调试必不可少的工具。在搭建“虚拟车辆”测试环境的过程中，主要功能是：集成车辆模型、加载CAN通道、加载DAQ设备、加载FPGA设备、将I/O模型的接口与硬件通道关联、下载集成好的模型、监测I/O接口和CAN信息、监测EMS信号、实现模型的在线参数修改等。

VeriStand灵活、开放且高兼容的架构，使得我们能以更高效的方式搭建复杂的系统测试环境，尤其适合对于实时性强、且自定义设计要求比较高的应用情况。

3.1、VeriStand工程搭建

VeriStand工程搭建内容：系统定义文件的配置、界面的搭建。其中，系统定义文件的配置主要包括：模型集成、DAQ集成、RIO集成、CAN集成、I/O模型与硬件和CAN通道关联。

为了更好的满足汽车HIL测试的实际需求，恒润科技对VeriStand界面中的控件进行了重新开发，增加汽车仪表、档位控制、点火钥匙等控件，并优化重组了其它控件。界面的搭建主要包含：EMS功能测试界面（如图2.4所示）、CAN和I/O监测界面。



图2.4 EMS功能测试界面

3.2、系统闭环调试

在VeriStand工程搭建好之后，将PC机通过网线跟PXI嵌入式实时控制器连接，运行VeriStand工程即可将车辆仿真模型下载到PXI实时控制器中。此时，HIL硬件平台与EMS组成一个“虚拟车辆”的运行环境，通过VeriStand界面进行“虚拟车辆”的控制、车辆仿真模型的校准等工作，直到达到EMS动态控制模型的扭矩、转速、轨压等参数与台架上的实验数据近似（近似的程度根据客户需求而定）。

4、HIL测试系统自动化测试

自动化测试优点：更方便的实施重复性测试和回归测试；可以执行一些手工测试困难或不可能进行的测试；能够保证测试结果的一致性，并可反复多次测试；能够在一定程度上避免失误或误操作等。

在完成模型的闭环调试后，使用NI TestStand搭建自动测试用例。由于测试序列的自定义要求很高，一方面可以导入已有的测试用例，提高效率；同时又需根据不同工况和具体需求，加入各种新的自定义测试。为此，恒润科技借助TestStand的基础上专门开发了针对汽车行业HIL系统测试的自动化测试用例库。如图2.5恒润科技自动化测试用例库所示，TestBaseLib为自动测试基础库，EFILib为故障注入的自动测试包（该测试包只有系统中引入故障注入功能时才会使用）。

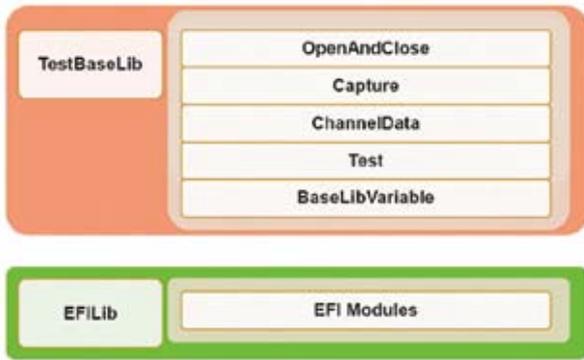


图2.5 恒润科技自动化测试用例库

最后，在执行自定义的测试序列之后，NI TestStand会自动生成完整的测试报告。

三、方案总结

本系统是以NI的软件和硬件设备为基础，结合恒润科技开发的信号调理模块、故障注入模块和车辆仿真模型，搭建的一套针对四缸高压共轨柴油机EMS的HIL测试系统，它能够模拟EMS所需的各种传感器信号，采集EMS的控制信号，模拟CAN网络中的其它节点。具备以下技术优势：

- 支持自动化测试、测试报告生成，测试用例可重复性强；
- 集成了动态模型，可进行闭环实时控制；
- 可测量EMS所有的电气信号；
- 可分阶段进行系统测试，对未开发完毕的ECU进行总线仿真；

- 能在不同ECU变型结构之间快速切换；
- 减少测试时间、降低测试成本；
- 具有丰富的测试功能。

NI硬件平台的稳定性以及VeriStand、TestStand软件系统的开放灵活性提高了HIL系统开发的效率，同时NI长期专业的技术支持也帮助汽车背景的工程师在开发HIL等复杂电子电气系统时游刃有余，只需专注于汽车领域技术，简化系统开发。

因此，基于NI平台的HIL测试系统解决方案不仅能够缩短EMS控制器的产品开发周期，而且更能够在设计阶段对EMS的功能进行全面的测试和验证，在汽车行业众多整车厂、零部件商的车型和产品研发过程中得到的广泛应用。

推荐配置

- LabVIEW 2011
- VeriStand 2011
- TestStand 2010 SP1
- PXI-1045 PXI机箱
- PXI-8110 PXI嵌入式实时控制器
- PXI-78XX R系列板卡
- PXI-79XX FlexRIO系列板卡
- PXI-851X CAN通信板卡
- PXI-6723 模拟输出板卡
- PXI-6224 模拟输入板卡

一汽油泵油嘴研究所：高压共轨柴油机 ECU测试系统开发

作者：杭勇 杨明 陆娟 一汽无锡油泵油嘴研究所

挑战：

为电控高压共轨系统控制单元的开发提供灵活、完整的硬件在回路（Hardware-in-the-Loop）仿真调试平台，并建立产品ECU功能检测设备。

解决方案：

利用National Instruments公司的软硬件平台，开发出了满足电控高压共轨系统控制单元开发的高实时的软件调试平台，并在此基础上应用TestStand建立了一套ECU功能检测设备，从而在整个开发流程中提供了一个从灵活的软件调试工具、软件功能测试到硬件电路检测的完整解决方案。

介绍

发动机电控单元的开发面临着开发效率和开发质量的双重压力，如何在产品开发过程中快速地测试控制系统的功能性、可靠性，在保证开发质量的前提下，提高系统开发效率，是所有开发人员面前的难题。利用NI公司的软硬件产品，开发人员可以快速高效地搭建出电子控制系统测试平台。其灵活的硬件配置、图形化的编程方法，使用户可以方便地开发出从简单的子系统测试到复杂的整个系统测试方案。

软件调试平台建立

高压共轨控制系统的软件开发要求建立起一套硬件在回路仿真测试平台，要求该平台能提供高速的相位准确的发动机曲轴和凸轮轴信号，以及其他传感器输入信号，如共轨油压、踏板开度、冷却水温度、机油压力、燃油温度、增压压力等，对输出到执行器，诸如各缸的预喷、主喷以及泵油信号的宽度和相位也要求能准确捕捉，以反映出控制系统真实的控制功能。同时，要求测试系统具有故障发生模块，方便调试电控单元的诊断功能。这样在控制软件的设计过程中，通

过硬件在回路的仿真调试，可以快速地确认算法的功能，尽早地发现和纠正软件功能错误，降低开发成本，提高开发效率和开发质量。

基于NI公司软硬件产品，根据高压共轨控制器的输入信号相位要求、输出信号高速采样要求和故障发生原理，利用PXI-7831R FPGA板卡高速发生和采集关键信号，利用PXI-6512和继电器组合实现了各种故障的发生。搭建出的测试系统在实际ECU功能测试中的应用表明，该系统能够高速模拟发生发动机在不同工况下不同相位关系的曲轴和凸轮信号，结合其他如共轨压力、油门踏板和温度信号的发生，通过对喷油脉宽和相位、泵油脉宽和相位的捕捉，实现了对控制器在不同工况下硬件电路、软件功能的测试，进而为控制器的研发和调试提供了很好的手段。

利用两块NI的现场可编程门阵列（FPGA）板卡PXI-7831R，一块用来发生转速和捕捉同步信号，实现了高速、相位准确的发动机曲轴和凸轮轴信号的发生，一块用来捕捉喷油和泵油信号。转速信号采用“While Loop”循环和“Flat Sequence”模块建立，第一个序列中为一计数可调

的计时器，用来控制第二个序列信号点输出的速度，进而改变转速信号的频率，该板卡上的另外5路A/O用于发生轨压信号、油门开度及其他温度信号，如图1所示。

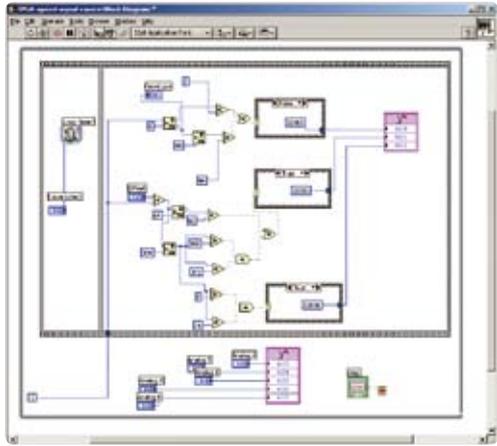


图1 LabVIEW FPGA中转速信号发生程序

程序中“While Loop”中的循环计数用来控制当前循环各模拟出口电平的高低，其逻辑根据所需信号的种类而定，本文中的曲轴信号为每转48齿缺3齿，凸轮轴信号为每两转6齿加1齿。另外，为了实现喷油和泵油信号捕捉处理时与转速信号相位的同步，在每两圈曲轴信号第一齿上升沿位置产生一捕捉同步信号，实际发生的发动机1500转信号如图2。

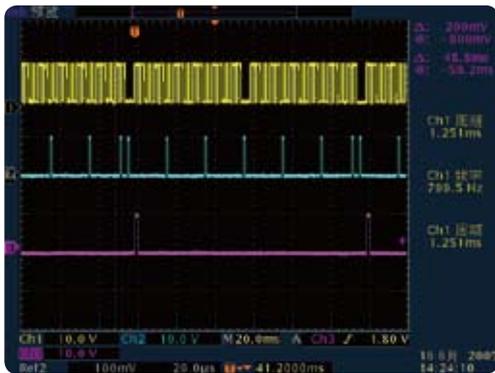


图2 实际发生的转速与捕捉同步信号

喷油信号和泵油信号的捕捉是测试中的关键，直接反映软件的控制输出，设计中是通过测量驱动电路中电流波形来获得，选用Honeywell的电流传感器。对喷油信号需精确获取喷油脉宽和喷油相位，对泵油信号主要是获取精确的相位，对脉宽宽度测量精度要求不高。

图3为LabVIEW FPGA中的程序，显示了一路喷油器控制信号和一路泵油信号的测量流程。在测试程序中，首先利用速度信号发生模块中的捕捉同步信号来触发测试开始，确保测

试开始点与发动机工作相位的严格同步，进而保证结果中喷油和泵油信号相位的准确性。

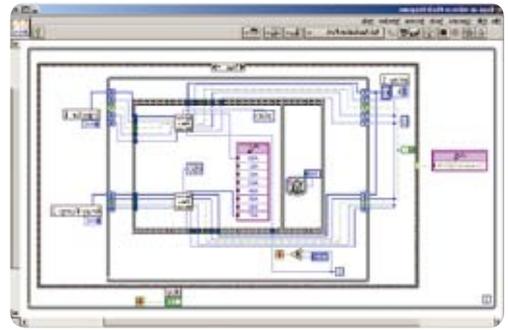


图3 LabVIEW FPGA中信号测量程序

图4所示为电流信号测量的原理图，以喷油器电流信号为例。首先针对信号幅值确定两个阈值，分别为电流上升阈值 up 和下降阈值 $down$ 。在测试中，测试程序一经触发，以恒定的采样时间间隔 t 对电流波形进行采样，首先寻找上升沿，当在第 $n1$ 个循环找到后，把 $n1$ 值写入预设数组第一行，程序转入寻找下降沿 $n2$ ，写入数组第二行，接着是后一个脉冲的 $n3$ 、 $n4$ ， $(n2-n1) * t$ 和 $(n4-n3) * t$ 则为主预喷射的喷油脉宽。

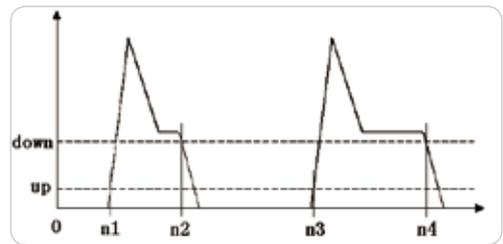


图4 电流信号测量原理图

找到每一缸喷油信号的上述时间，再考虑各缸相位和当前转速，则可以最终计算出喷油信号相对于该缸上止点的提前角。实际测量中，FPGA板卡对各通道能实现的最小采样时间间隔 t 为0.006ms，相当于发动机转速3000转时的 $0.108^\circ CA$ 。

在ECU控制功能中，对故障的识别和处理非常重要，必须给予详细的功能测试。但在实际的发动机台架试验中，人为地产生故障是非常危险的，可能会对控制器、发动机、台架设备或试验人员造成伤害。因此，用测试设备模拟发生各种故障信号组合，可以快速地对ECU进行该项功能的全面测试，节约台架时间，降低测试风险。方案中采用NI PXI-6512数字量输出板卡和继电器组合，在图5的故障发生控制面板通过对下拉式菜单的选择，实现了各种输入输出信号断路、短路、对地短路或对电源短路等故障。



图5 LabVIEW中故障发生控制面板

另外，结合软件中CAN J1939协议开发的需要，我们利用PXI-8464 CAN卡在LabVIEW中方便地开发出灵活的、满足J1939协议的收发单元，与ECU节点进行联调，测试和监控ECU节点单元对协议的满足情况。

图6所示为我们在标准的19寸控制柜中安装的PXI控制器，控制器上部安装有监视器，下部则安装有键盘鼠标、接口电路板卡及负载，图7为在LabVIEW中编制的主控制界面。



图6 19寸控制柜中的PXI控制器及NI板卡

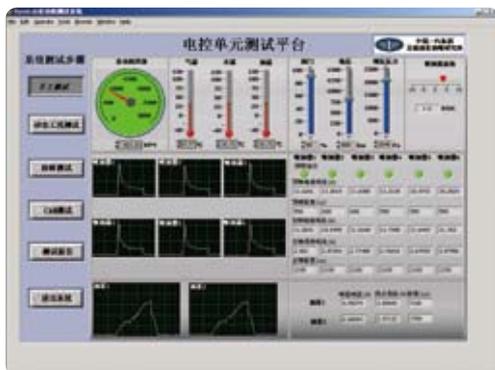


图7 LabVIEW中的主控制界面

ECU功能检测设备开发

在ECU软件调试设备开发成功后，公司提出了开发一套产品

ECU功能检测仪的需求，用于出厂前ECU质量控制。我们在软件调试设备开发的原理基础上，考虑到成本，选用MXI-4接口的PXI-PCI-8331板卡，直接用PC机控制NI硬件。硬件板卡中选用PXI-6229输出转速信号，PXI-6723输出模拟量信号，PXI-6512发生数字量信号，其余DO结合继电器产生故障，PXI-8464实现CAN通讯，并利用TestStand软件进行测试项管理和报告生成，根据需要增加了相关的产品功能测试项，如ECU上电检测、内存检测、输入输出端口功能检测、驱动电路功能检测等。测试数据主要通过电流传感器和CAN通讯数据获得，为此定义了简单的CAN通讯协议，通过测试设备的请求，ECU回复相应的数据。图8所示为开发完成的检测设备图，图9为TestStand中调用的主要测试步骤。



图8 电控单元功能检测仪

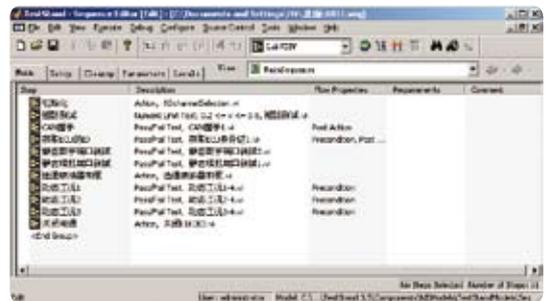


图9 TestStand中ECU测试步骤

主要测试步骤的测试内容如下：

初始化：

该步骤主要完成测试流程的配置，包括哪些测试步骤需要进行，各步骤中的具体测试参数的设置等。

短路测试：

该步骤完成ECU上电时电源模块测试，通过对上电过程中供电电流的监测，确定供电电路中有无短路、断路故障，确保ECU测试的安全。

CAN握手：

完成测试设备与ECU之间的CAN通讯测试，并建立连接，为后续测试的数据获取做准备。

获取ECU ID：

测试设备按照协议发出CAN请求，ECU回复软件中的ECU编号。该编号将作为测试报告的文件名，方便报告管理。

静态数字端口、模拟端口测试：

测试设备不发生转速信号，只按照设计的时序依次改变数字端口、模拟端口的电平。在测试设备发出CAN请求帧后，ECU采集信号，并将测试结果打包通过CAN发送给测试设备，测试设备通过比较发出与收到的数据，进行判别。该测试步骤覆盖了ECU所有数字、模拟端口通道的功能测试。

动态工况测试1、2、3：

在该步骤中，测试设备发生曲轴和凸轮信号，ECU驱动执行器动作。通过预设的3个特定工况的运行，对驱动电流的峰值大小、脉宽宽度、信号相位进行监测，检测ECU功率驱动电路的功能和软件算法的正确性。同时，对ECU发出的基于J1939协议的CAN报文进行监测。

测试完成后，生成报告，显示测试通过与否，不通过项在报告中高亮显示，方便检修人员定位。测试报告自动以ECU编号存盘，为后续的质量跟踪服务。

上述流程已经在实际ECU检测中得到了应用，能够准确有效

地发现新制ECU存在的软硬件问题，为生产线上产品ECU的质量控制提供了有效的工具。

结论

美国国家仪器公司拥有丰富的软件、硬件系列产品，其强大的软硬件功能，灵活方便的LabVIEW编程工具，帮助我们在很短的时间内，快速方便地建立起满足高要求、高灵活性要求的一套电控高压共轨控制单元开发平台和一套产品功能测试平台。

基于开放工业标准的计算机技术为基础的虚拟仪器技术，其灵活性和可扩展性是传统仪器所无法比拟的，相比国际上专用的汽车电子测试设备，NI方案具有很好的价格优势和极大的灵活性，相信在我们后续的汽车电控产品开发和生产过程中，NI公司的软硬件产品将会得到更大的应用。

推荐配置

PXI-6229 M系列多功能数据采集卡
PXI-7831R可重新配置的多功能I/O卡
PXI-6512低价位工业数字输出卡
PXI-8464/2单口软件可选PXI-CAN接口
PXI-6723静态和波形模拟输出板卡
LabVIEW
LabVIEW FPGA
TestStand

MicroNova：将LabVIEW FPGA应用于全面、精准的发动机仿真

作者：Orazio Ragonesi MicroNova AG

“系统所具有的紧凑的架构非常适合汽车测试。LabVIEW为我们带来了许多额外的优势，因为它使我们能在一个更小的空间里整合更多的函数和接口，具有更高的精度，而且也为未来的高性能应用要求提供了扩展空间。”

挑战：

开发一款紧凑、高精度的仿真板用于发动机硬件在环（Hardware-in-the-loop, HIL）测试。

解决方案：

利用NI LabVIEW FPGA模块完成一个完整的HIL发动机测试环境建模，仿真多达12缸发动机的运行数据。

在MicroNova，我们为汽车行业的测试平台（HIL仿真）提供交钥匙的完整信息系统，包括车身配件、信息娱乐系统、底盘以及动力传动系统电子控制单元（ECU）的测试系统。

世界上第一款12缸燃油喷射仿真器

我们最近开发了一种创新、灵活、可编程的发动机HIL仿真板，它代表了汽车仿真领域HIL仿真器的最新进展。使用NI LabVIEW FPGA模块和PXI-7831R可重配置I/O模块，我们开发的这块HIL板卡模拟了多达12缸的直接喷油装置。这是这样的仿真第一次得以实现。系统所具有的紧凑的架构非常适合汽车测试。LabVIEW为我们带来了许多额外的优势，因为它使我们能在一个更小的空间里整合更多的函数和接口，具有更高的精度，而且也为未来的高性能应用要求提供了扩展空间。

开发一款灵活、多功能的发动机仿真器

发动机HIL仿真板是一个完整发动机HIL仿真器的基础。对发动机信号的高速捕获是个非常复杂的过程，所以我们需要一个专门针对该任务的电路板。在信号捕获环节之后，我们还会将这个过程获得的发动机数据进行调整，以用于进一步的逻辑处理。然后，利用为每种发动机特制的软件模型，我们将直接在板上对信号进行评估，以确保模拟该种发动机所必须的控制调节参数可用。

我们可以触发CPU和系统中其它I/O板卡，并同时测量曲轴角度，并与系统的总线背板信号同步。我们还可以利用这些信号来控制外部仪器（例如示波器）。

尽管该仿真板的紧凑型架构（标准欧洲板的大小）体积

并不大，它却满足了快速仿真12缸发动机信号的所有需求。我们能够生成和重新测量所有必要的发动机信号，而且仅通过调整配置就可以将该仿真板卡用于不同气缸数的发动机。所以，可以在同一块仿真板卡上实现不同时间不同配置。

我们的仿真板产生了曲轴输入信号和多达四个任意参数的独立凸轮轴输入信号，包括在仿真输出“回转”信号的基础上实现可变凸轮轴控制，以及根据控制器位置信号实现“凸轮轴调整”。

发动机的HIL仿真板能够与曲轴的转角同步记录其燃油喷射总次数和点火角度，并把它们作为HIL CPU的仿真输入。它通过模拟、数字和脉冲宽度调制（Pulse-width modulator, PWM）接口获取输入信号，并通过相同数量接口类型输出变量。爆震信号的仿真则是由一个用户定义的包含六路独立传感器变量的爆震函数决定的。该函数的输出与转速也有关系。

我们的发动机HIL仿真板的优势不仅表现在它紧凑的结构，同时也体现在它高度的准确性上。在没有多路复用的情况下，模拟I/O通道的数字模拟转换器（Digital-to-analog converter, DAC）将信号独立地转换为16位的数据，因而保证了在各通道独立情况下实现高质量的信号。输入输出转换周期短也为未来的高性能应用提供了扩展空间。

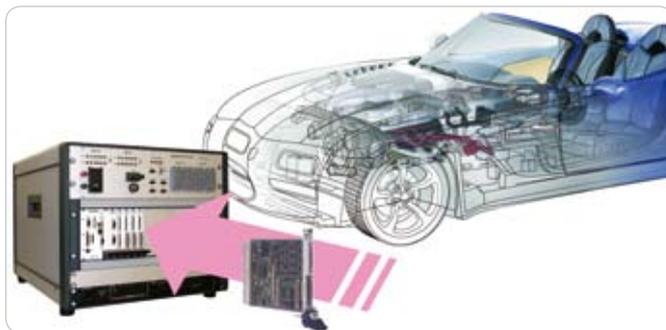
该HIL仿真板可能的应用领域包括种类繁多的各种等级发动机，例如：

- 12缸V型发动机，拥有非限定操作所需的多种气阀驱动和

可调凸轮轴，限定操作所需的两个节流阀、六个爆震传感器，以及直接燃油喷射装置

- 6缸直列发动机，拥有非限定操作所需的多种气阀驱动和可调凸轮轴，遏制操作所需的一个节流阀、三个爆震传感器，以及直接燃油喷射装置
- 4缸共轨柴油直列发动机，拥有涡轮增压器、增压空气冷却器以及一个节流阀
- 2缸V型发动机，拥有进气管喷射器、两个爆震传感器，和两个节流阀（摩托车）。

我们使用LabVIEW开发的这款发动机HIL仿真板为高集成度设计，在发动机HIL仿真接口方面性能优异。通过配置，我们可以一种灵活无误的方式最大精度地捕获发动机的大多数高速信号。因此，使用这个系统高效运行测试，发动机控制器测试的质量显著提高。



该款发动机HIL仿真器适用于很多集成的HIL仿真板

推荐配置

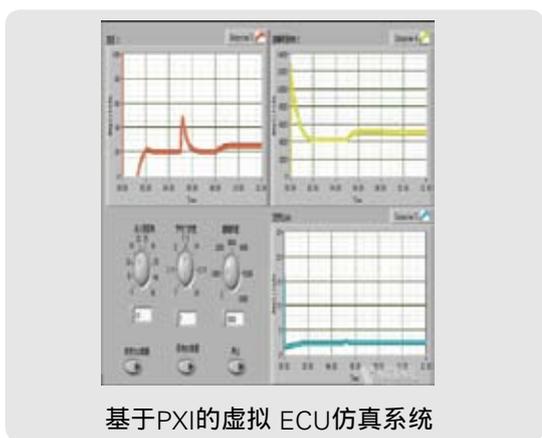
NI LabVIEW FPGA模块

PXI-7831R 可重配置I/O模块

华南理工：汽车/CNG两用燃料发动机ECU在环仿真

作者：吴伟斌 华南理工大学 李礼夫 华南理工大学 洪添胜 华南农业大学

“ 针对两用燃料发动机，利用虚拟仪器技术构建了基于PXI的发动机ECU硬件在环仿真系统，系统相对误差小于 3.9%；快速构建虚拟发动机ECU，实现基于 Simulink模型在CRIO上的运行，并进行了系统误差分析。 ”



挑战：

ECU快速模型构建及硬件在环仿真的研究对国内自主品牌车及新能源汽车研究具有重大意义。

解决方案：

将Simulink与LabVIEW结合，发挥前者算法易实现的优势和后者强大编程功能，大大缩短ECU开发周期；基于CRIO和PXI的ECU快速原型和在环仿真降低设计和试验成本。

介绍

以某品牌两用燃料四缸汽油机电控系统为研究对象，用 Simulink构建了以平均值模型为基础的发动机电控系统模型。

构建了基于PXI的发动机ECU快速原型和在环仿真系统。系统能输出温度等模拟信号、采集电压等模拟信号，输出或测量开关等数字信号，喷油脉宽、点火脉冲等PWM信号采集，以及曲轴、凸轮轴位置等定时脉冲信号的输出。设计了标定实验，联合万能表、示波器对系统进行误差对比分析，进行了基于CompactRIO（简称CRIO）的ECU快速原型和真实ECU在环测试。

快速构建发动机ECU原型。实现基于Simulink的算法模型在

CRIO上的运行，实现接收包括曲轴转速和以及节气门位置等信号，输出控制发动机的信号和传动系参数。测试结果包括发动机点火提前角和喷油MAP图，为真实ECU构建提供了参考。

研究目的和意义

针对能源和环境压力问题以及越来越严格的汽车排放标准，发动机技术的发展主要有两条主线：一是改善发动机结构，提高发动机控制技术；二是寻找可替代清洁燃料。两用燃料发动机适合国情的环保节能方案之一。利用硬件在环（Hardware in Loop,HIL）仿真可以预先逐步检验控制系统设计的合理性和可靠性，从而大大提高控制系统的研制质量，减小研制风险和提高了设计成功率，是开发研制发动机电控系统理想工具。因此，近年来硬件在环仿真技术在系统开

发和测试实验中得到了广泛的应用，但是，目前的解决方案普遍面临成本高的不足，难以在极限条件下实时测试，另外，对汽车ABS或ESP的硬件在环ECU研究较多，对多输入多输出的发动机ECU硬件在环仿真的案例较少。

综合考虑性能、价格、开发时间、通用性、可扩展性的特点等，本文最终选定了NI公司的PXI和CompactRIO方案完成平台构建，研制开发了一套基于PXI的CNG/汽油两用燃料发动机ECU在环仿真系统，进行了发动机ECU在环仿真试验。

技术路线

技术路线如图1所示，先根据各个子模型的控制策略，建立发动机ECU模型，获得初始的点火提前角MAP图，然后进行多目标优化模型和蚁群算法策略，得出新MAP图，并将其写入燃气ECU，进行验证。利用两用燃料汽车在瞬态工况下进行的底盘测功排放实验数据，建立发动机扭矩、三种有害排放物与点火提前角（或空燃比）的单目标函数；建立多目标优化的综合目标函数；在Matlab环境下进行基于智能算法（多目标蚁群遗传算法）的优化；获得新的MAP图，并将其写入发动机ECU，进行验证。

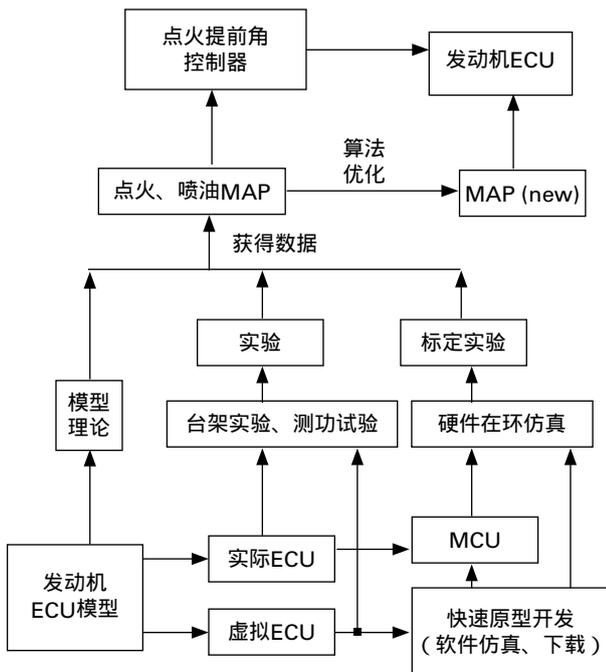


图1 技术路线

发动机模型和软件仿真

发动机平均值建模的概念最早由Rasmussen提出，经过Powell等人的发展，最后由Hendricks进行系统化的归纳和

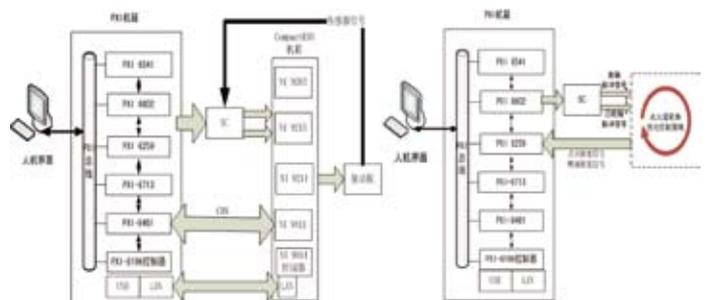
提炼给出了模型结构和通用表达形式。它采用数个发动机循环中变量的平均值来描述发动机的动态过程，均值模型也由此得名。现在最为常见和通用的均值模型由三个子系统模型构成，即进气歧管空气流量子模型、燃油蒸发与流动子模型和动力输出子模型。

以某品牌两用燃料四缸汽油机电控系统为研究对象，用Simulink构建了以平均值模型为基础的发动机电控系统模型，主要是发动机ECU综合仿真模型和发动机标定系统模型，包括了进气模块、燃油模块、曲轴模块，传感器模块以及空燃比控制、点火提前角控制模块、测功器模块（负载调节器模块）和排放模块等。其中，排放模块是根据广东某检测站在用汽车瞬态工况法底盘测功检测实验基础上，构建的空燃比、点火提前角与排放回归关系的模型。

系统原理

基于PXI的ECU快速原型系统结构如图2（a）所示，CompactRIO构成的ECU快速原型为被测模型，PXI则是测试系统。将ECU控制器模型[11]下载到实时硬件平台—— CompactRIO以后，CompactRIO就相当于一台虚拟ECU，通过I/O口连接至PXI系统。PXI系统可以仿真温度传感器、曲轴传感器、节气门开度等信号，并测量虚拟ECU输出的数据。

基于PXI的真实ECU在环仿真结构如图2（b）所示，真实ECU模型在通过快速原型环节验证之后，将该模型生成的代码下载到ECU，并对所产生的目标代码进行测试。由PXI系统数字采集卡输出高速可调脉冲作为ECU的曲轴脉冲和凸轮轴脉冲输入，ECU经过优化策略的计算输出点火脉宽信号和喷油脉宽信号给PXI系统。



(a) ECU快速原型

(b) 真实ECU在环仿真

图2 基于PXI的ECU在环仿真系统原理结构

系统硬件环境的构建

基于PXI的ECU快速原型系统硬件

本实验系统连接图如图3(a)所示。例如，PXI系统为ECU快速原型中AI MOD1/TC0提供热电偶温度（发动机水温、油温、环境温度等）和采集AO MOD3/AO0转速信号。

ECU快速原型由CompactRIO系统构建并且使用NI RIO技术，可以利用FPGA芯片和LabVIEW来定制测量硬件电路，可利用可重新配置的FPGA技术来自动合成高度优化的电路，从而实现输入/输出，通信和控制应用。把发动机的ECU模型编译成动态链接库文件后再下载到CompactRIO的FPGA，CompactRIO则为一台虚拟ECU。

基于PXI的真实ECU在环仿真系统硬件

基于PXI的真实ECU的仿真实验硬件连接如图3(b)所示。由PXI 6602输出高速可调脉冲作为ECU的曲轴脉冲和凸轮轴脉冲输入，ECU经过优化策略的计算输出点火脉宽信号和喷油脉宽信号，由PXI 6259来采集，通过LabVIEW界面的显示控件把波形显示出来，以便判断该目标硬件是否达到要求。



(a) ECU快速原型

(b) 真实ECU在环仿真

图3 基于PXI的ECU在环仿真系统硬件连接

系统软件环境的构建

基于PXI的ECU的快速原型系统软件设计

给ECU快速原型搭建仿真环境，在CompactRIO的AI口接上PXI数据采集卡的输出端，提供节气门开度值、点火提前角等仿真信号；再给AO口接上PXI的输入端，使用LabVIEW设计的软件界面，使用控制制件调节输出电压，在显示控件上观察CompactRIO的输出波形。如图4所示为基于PXI的ECU快速原型系统的软件界面。

在整个快速原型的实现和实验中，LabVIEW Real-Time模块是用于LabVIEW开发系统的附加组件。该软件为特

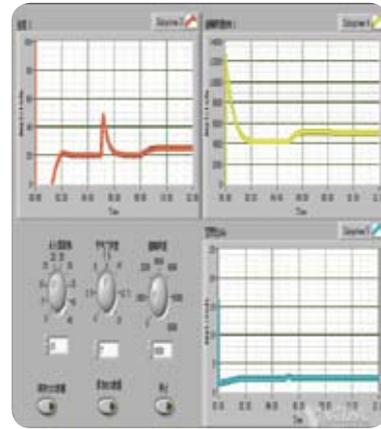


图4 基于PXI的虚拟 ECU仿真系统

定的实时目标编译和优化LabVIEW图形化代码；借助NI LabVIEW FPGA和可重新配置I/O（RIO）硬件，可创建自定义的I/O和控制硬件，而无需预先了解传统的HDL语言或硬件板卡设计。

ECU快速原型流程如下：

- 1) 用Matlab Simulink生成ECU模型的DLL文件，以便编译进CompactRIO。
- 2) 用LabVIEW生成CompactRIO的lvbit文件，对CompactRIO的I/O口进行初始化。
- 3) 连通LabVIEW及CompactRIO，并把ECU模型的DLL下载到CompactRIO中。
- 4) 在SIT管理器中调用CompactRIO的lvbit文件，并设置好与模型相关的输入输出口。
- 5) 用函数发生器对CompactRIO的AI口进行输入，并用示波器观察CompactRIO的输出口。
- 6) 用PXI系统和示波器、电压表对CompactRIO的AI口输入及测试AO口输出，记录波形和数据

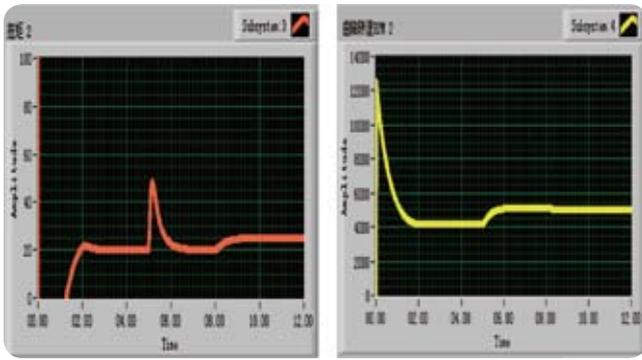
基于PXI的真实ECU在环仿真系统软件设计

使用LabVIEW的DAQ助手和仿真信号模块创建模拟信号输入输出程序。采样设置设为连续采样，采样数为15000，采样率10kHz。仿真节气门开度的电压信号，选用直流输出。

实验与分析

基于PXI的ECU快速原型测试

按照PXI与虚拟ECU的连接方法连好硬件，点火提前角设为 15° ，节气门开度为 7° ，设定转速为4500 r/min，点击RUN开始测试。扭矩、曲轴转速变化如图5(a)(b)所示。点击保存数据即可保存CSV格式的数据。



(a) 扭矩变化曲线 (b) 转速变化曲线
图5 虚拟ECU的输出信号图

基于PXI的真实ECU在环测试

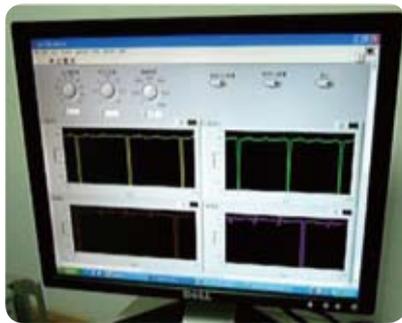


图6 真实ECU喷油和点火信

曲轴转速设为1000 r/min时点击RUN开始运行，如图6分别显示了硬件ECU输出的1-4缸点火信号、2-3缸点火信号、1缸喷油和2缸喷油信号。

硬件在环仿真系统的应用反映了以下特点：

- 1) 系统用户界面友好、直观易用，可自定义界面。
- 2) PXI系统满足ECU开发准确度要求，可以重复配置，扩展模块方便，适合ECU的低风险、低成本、短周期开发。
- 3) 测试数据可存取为CSV格式，方便后续数据处理。

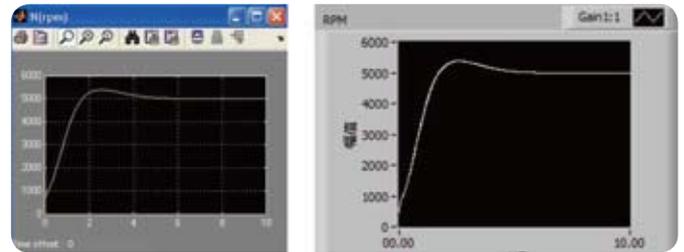
进行了实验误差分析，系统相对误差 $<3.9\%$ ，满足ECU测试的要求。最后，进行了基于PXI的ECU快速原型和基于PXI的真实ECU在环测试。

瞬态试验

基于PXI的CompactRIO虚拟ECU标定系统在转速 n 为5000 r.min⁻¹，节气门开度Throttle为17，P_m为43kPa，点火提前角为9°下的输出信号波形，包括曲轴转速 n 、进气压力P_m、喷油量信号Mass Fuel、氧传感器O₂、扭矩T、HC排放、CO排放、NO_x排放、空燃比AFR和功

率PO。当Simulink中的ECU模型编译到CompactRIO虚拟ECU上运行，由PXI系统对ECU快速原型提供所需要的输入信号及测试其输出信号，输出信号波形及数据由LabVIEW的示波器模块及数据保存模块所得。

以转速 n 为5000r.min⁻¹，P_m为43kPa，点火提前角为9°下为例，Simulink系统仿真结果输出波形与虚拟ECU标定系统实际输出的波形相似，误差较小。图7为参数转速的比较图，其中图7(a)为Simulink输出，图7(b)为虚拟ECU输出。



(a) Simulink仿真输出 (b) 虚拟ECU输出

图7 曲轴转速波形比较

稳态测试数据分析与讨论

表1为发动机转速为5000 r.min⁻¹，进气压力P_m为39kPa的稳态工况数据（以参数转速为例），进行10种点火提前角下的标定，然后与Simulink软件在环仿真数据比较的误差分析。

在发动机转速为5000 r.min⁻¹，进气压力P_m分别为39 kPa、43 kPa、48 kPa和54 kPa下的稳态工况，进行10种点火提前角下的标定，得到点火提前角的MAP图，以Simulink系统仿真结果为基准，各参数相对误差平均 $<0.5\%$ 。

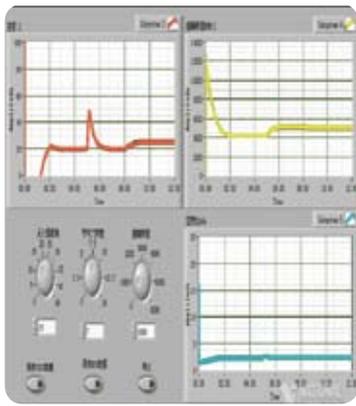
表2是10个参数误差绝对值之和的平均A和相对误差平均B的综合分析。

表1 转速误差分析表

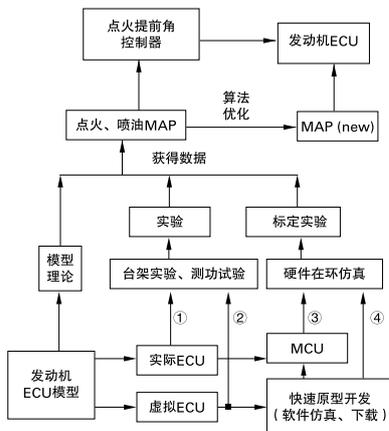
| 设定 n /rmin ⁻¹ | Throttle | P _m /kPa | θ /° | Simulink n /rmin ⁻¹ | 虚拟 ECU n /rmin ⁻¹ | 绝对误差 n /rmin ⁻¹ | 相对误差 /% |
|-------------------------------|----------|------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|
| 5000 | 16 | 39 | 6 | 4999.418 | 4998.518 | 0.9 | 0.018002 |
| | | | 9 | 4998.477 | 5000.065 | 1.588562 | 0.031781 |
| | | | 12 | 4998.298 | 5000.13 | 1.831963 | 0.036652 |
| | | | 15 | 4999.269 | 5000.196 | 0.926296 | 0.018529 |
| | | | 18 | 4998.204 | 5000.287 | 2.083171 | 0.041678 |
| | | | 21 | 4999.482 | 5000.384 | 0.902359 | 0.018049 |
| | | | 24 | 4998.294 | 5000.482 | 2.187348 | 0.043762 |
| | | | 27 | 4999.787 | 5000.58 | 0.79332 | 0.015867 |
| | | | 30 | 4999.969 | 5000.682 | 0.713122 | 0.014263 |
| | | | 33 | 5000.187 | 5000.789 | 0.602469 | 0.012049 |

表2 Simulink仿真与虚拟ECU标定系统测试误差平均分析总表

| | 绝对误差绝对值平均 | 相对误差平均 /% |
|---------------------------------|------------|------------|
| n/ rmin^{-1} | 1.415789 | 0.028327 |
| AFR | 0.0000608 | 0.00006213 |
| Mass Fuel/ g s^{-1} | 0.00004495 | 0.002276 |
| O_2/ V | 0.0000807 | 0.001613 |
| P_o/ kW | 0.01596897 | 0.201788 |
| T/ Nm | 0.03307386 | 0.165263 |
| $\text{CO}/ \text{g kW}^{-1}$ | 0.00066256 | 0.00074779 |
| $\text{HC}/ \text{g kW}^{-1}$ | 0.00014038 | 0.0072521 |
| $\text{NO}_x/ \text{g kW}^{-1}$ | 0.00001255 | 0.00013267 |



基于PXI的虚拟ECU仿真系统



技术路线图

结论

ECU快速模型开发的研究对国内自主品牌车发动机及新能源汽车研究具有重大意义，以某品牌两用燃料四缸汽油机电控系统为研究对象，构建了以平均值模型为基础的Simulink发动机电控系统模型，包括发动机ECU综合仿真模型和发动机标定系统模型。

针对两用燃料发动机，利用虚拟仪器技术构建了基于PXI的发动机ECU硬件在环仿真系统，系统相对误差小于3.9%；快速构建虚拟发动机ECU，实现基于Simulink模型在CRIO上的运行，并进行了系统误差分析。

推荐配置

硬件：

- PXI-1042 PXI机箱
- PXI-8196 嵌入式控制器
- PXI-6713 高速模拟输出模块
- PXI-6259 M系列数据采集卡
- PXI-6602 数字定时模块
- PXI-6541 数字波形发生器

- NI 9103 CRIO机箱
- NI 9014 嵌入式控制器
- NI 9215 模拟输入模块
- NI 9263 模拟输出模块

软件：

- LabVIEW
- LabVIEW RT, FPGA, 仿真模块
- NI RIO模块
- SIT仿真接口工具包

Drivven：开发引擎控制器系统原型^{*}

作者：Carroll G. Dase Drivven

“ 在过去的项目中，我们至少花了2年和500,000美元.....在这个项目中，设备成本（包括摩托车和CompactRIO）为15,000美元。此外，这个项目中仅用了3个月就完成了。 ”



最后成品的 2004 Yamaha YZF-R6 摩托车

挑战：

为高性能摩托车引擎构造基于FPGA的全权引擎控制系统。

解决方案：

使用National Instruments（美国国家仪器公司，简称NI）的CompactRIO和LabVIEW环境将重点直接放在引擎控制软件和I/O板卡开发上。

构造高可靠性、高性能的系统

针对汽车控制和数据采集解决方案的供应商Drivven需要高可靠性、高性能的硬件为2004 Yamaha YZF-R6摩托车开发引擎控制系统的原型。引擎控制系统要求毫秒级的确定性循环时间，以及微秒级的精确喷油和点火时机。此外，被控对象引擎转速高达每分钟15,500转。在这个转速下，曲轴每转一圈不到4ms，系统必须在小于1度的角度内精确控制喷油和点火事件。

我们致力于为基于FPGA开发的传动系控制器提供一条从原型到生产的无缝整合之路，由于其中包括早期的原型开发，其灵活性和计算能力至关重要。我们庞大的IP库容纳了一系列核心技术，如从一系列定位传感器跟踪曲轴角坐标的技术；精确角度的喷油及发出精确点火的技术。在这个项目中，出于灵活性、体积小、稳定坚固的形体考虑，我们选择了一款四槽的NI

CompactRIO嵌入式系统。一方面可以方便地增加传感器和执行器，并且快速、简单地显示数据。另一方面，也可以把控制器安装在超级运动摩托车极其有限的可用空间内。

整个项目由以下三个主要阶段构成

阶段一：定制I/O模块开发

我们开发了三个定制的CompactRIO I/O模块。第一个模块提供22个单端12位模拟输入，2个可变磁阻（VR）传感器输入以及2个霍尔效应传感器输入，并实现了低通模拟滤波器和所有输入的过压/欠压保护。第二个模块为驱动低阻抗点式喷油嘴提供了四个通道，并为驱动通用螺线管提供了四个低侧感性负载开关。

每个通道可以在几乎没有CPU干预下检测开路、闭路或禁

^{*}注：在2010年NI公司收购Drivven公司后，作为NI的全资子公司，文中提到的多款Drivven CompactRIO模块，均可通过NI购买。

用。第三个模块为点火线圈提供八个低侧感性驱动器。

为使开发面向生产的控制系统原型，我们使用低成本的电路来设计每个模块。因此，开发者可以在原型开发和生产阶段采用同样的电路。

阶段二：标定厂家ECU（电控单元）

我们使用CompactRIO接入关键的摩托车传感器和执行器，并以200Hz的频率将它们的信号和事件进行记录，包括进气气压和温度、大气气压、冷却水温度、节气门位置、曲轴位置、凸轮轴位置、喷油初始角和脉冲宽度以及点火提前。基于FPGA的引擎管理VI用来记录曲轴的位置（分辨率达到0.3度）以及捕获喷油和点火事件对角度的时机。映射实验在一条交通负荷很少的长直道路上进行，而不需要将引擎从摩托车上拆下安装在测功机上。

为了完全标定厂家ECU的行为，需要在许多不同的节气门位置和引擎转速的组合下（近700个工作点）驾驶摩托车，同时，ECU数据被记录到多个文件中。跟踪车内的工程师周期地用无线网络将CompactRIO上的数据文件传送到笔记本电脑上，并立即使用LabVIEW程序分析它们对工作点的覆盖情况。应用程序会过滤掉瞬态数据，并将数据快速排列成转速/负荷工作点表。对每一个工作点都会计算出平均值和标准差。在2小时内，这个团队采集到了90%的摩托车工作点数据，达到完全认识厂家ECU标定所需的覆盖率。此后，工程师们在实验室中使用LabVIEW再次处理数据，提供三维和二维的可视化显示，并在图像上修改原始数据以填入缺少的工作点。

阶段三：引擎控制

在最后的阶段中，CompactRIO作为一个面向研究的ECU开发原型，提供了进行未来控制算法研究和开发的可能。使用CompactRIO，我们实现了多个引擎管理FPGA核心模块，这些核心模块可以被直接移植到基于FPGA的成品控制器上。

使用LabVIEW实时模块，我们实现了在高性能赛车应用中常见的转速密度方法和alpha-N引擎控制组合策略。转速密度引擎控制方法监视进气气压和温度，以计算在每个气缸循环中进入燃烧室空气的理论质量（密度）。但是，由于进气和排气通道的调节效应，引擎的转速会影响实际进入燃烧室的



空气质量。用户可以用一个容积效率（ V_e ）对应引擎转速的一维查询表描述这种行为。然后根据燃料油的化学计量（对汽油而言，约14.7份空气配1份汽油）计算喷油质量。许多客车引擎控制器使用开环控制的转速密度方法，直至喷油子系统在闭环控制中可直接投入运行。Alpha-N引擎控制方法比较简单，它根据每一个节气门角度（ α ）和引擎转速（ N ）工作点查找空气质量的经验值，构成一张包含几百个点的二维查询表。我们采用这两种控制策略的组合方式，在进气气压有最大可变性的低转速、低负荷工作点采用转速密度方法。在其余工作点映射采用alpha-N方法。

使用CompactRIO和LabVIEW节省时间和资金

在过去的项目中，我们至少花了2年和500,000美元在定制设计硬件的基础上开发相似的ECU原型系统。在这个项目中，设备成本（包括摩托车和CompactRIO）为15,000美元。此外，这个项目中仅用了3个月就完成了。CompactRIO和LabVIEW实时工具提供了所需的可靠性和精确定时的资源，而且系统坚固，能够承受高温和高振动的工作环境。

推荐配置

硬件：

NI CompactRIO Drivven发动机控制模块套件

软件：

LabVIEW

FPGA模块

满足六西格玛可重复标准的汽车火花塞检验

挑战：

开发健壮的、可靠的用于汽车火花塞的自动化光学检验系统，并达到六西格玛测量仪可重复性与再现性、精度和节省占地空间的苛刻要求。

解决方案：

基于National Instruments（美国国家仪器公司，简称NI）CVS-1454、Sony IEEE 1394数码相机以及开发于NI LabVIEW Real-Time 和NI Vision Development Module平台的灵活的模块化软件，构建一个坚固的、可靠的、低成本的车间作业检验解决方案。

火花塞测试系统要求

在汽车火花塞生产中，合适的点火距离是非常关键的。我们的客户是一家领先的印度火花塞制造商，它们确认了两个影响火花塞功能性能的重要尺寸参数：一个是外层壳体 and 内层电极之间的偏心率，另一个是接地电极和内层中心电极的偏心距。

客户过去使用人工过程来测量偏心率和偏心距，他们通过找出每个圆形部件中三个点的位置，并用这些数据拟合圆形方程。这些点中只要有一个点的测量误差都会使计算得到的偏心率和偏心距出现严重偏差。这种方法由于精度较低，迫使客户减小公差带，这导致了减产。为了确保可靠的质量控制，更快的检验以及快速投资回报，客户请我们为火花塞生产线构建一个基于机器视觉的尺寸系统。

客户有如下系统要求：

- 以六西格玛可重复性确保在优于10%公差值的范围内测量偏心率和偏心距，精度要求0.01mm。
- 确保系统功能与火花塞材质件、型号间的内在变化无关。
- 在抵抗恶劣生产环境的同时要最小化占地面积，减少检验时间以最大化生产力。

- 与线上PLC连接，无需人工干预，使测量过程快捷、客观以及可重复。
- 存储结果记录，以供日后对过程、产量分析和改进。

我们选用了1280 x 960像素的Sony火线数码相机，它带有本次应用所需的诸多可编程特性。我们使用LabVIEW Real-Time编写应用程序软件，提供给用户许多好的特性，还包括用TCP/IP配置系统的灵活性，用校准对象周期性校准系统以及通过FTP协议传送结果数据。考虑到实时性能、坚固性、小体积以及我们使用NI技术提供世界级机器视觉系统解决方案的经验，我们选用了Compact Vision System（CVS）作为软件运行的平台。正如我们所想，最后建立了一个零人工干预的系统，并在小于10%公差带的范围内满足测量仪可重复性与再现性。

硬件和软件系统

检验站包括一个IEEE 1394 Sony数码相机、一个Nikon镜头和一个Advanced Illumination环形灯用于沿轴向照亮火花塞的顶部。我们将图像流传入NI CVS的火线接口。火花塞以每秒一个的速度到达传送装置。CVS的数字接口与线上PLC和筛选继电器相连。CVS与工厂网络相连，因此我们使用一台

运行Window的标准PC来远程配置设置参数以及存储结果数据。我们构建了一个主校准目标以帮助系统校准。

由于应用需要两个像素有可重复性，因此设计算法非常重要，以使整定参数落在一个相对较宽的公差带中间。这确保因数码相机和图像可重复性产生的图像变化不会影响算法结果。正是在算法原型开发的这个阶段，NI Vision Assistant工具被证明是很有帮助的。循环检测许多存储的火花塞图像，并可能使用批量处理特性来制表处理中间结果，因此参数整定变得系统化、面向目标而不是反复试验。Vision Assistant在原型开发中十分有用，而且应用程序也需要NI在CVS中提供的LabVIEW的多样性。

NI CVS-1454模块在圆形探测算法这个特定领域中很有价值。NI圆形边缘探测使用大量点来拟合圆形。而且，这个算法能够识别并忽略轻微偏离主导圆形的边缘，以此改善了圆形拟合。另一个所有NI边缘探测算法共有的有用特性是通过控制亚取样范围来权衡精度和处理时间。

NI机器视觉技术连同LabVIEW作为软件平台的统一特性为我们提供坚固、可靠、实时的Compact Vision System的性能优势。由于NI技术可提供验证、增强以及将创新、有效的思路转化为可用于生产的应用程序，一名机器视觉系统工程师的工作正逐渐从编写、调试数千行代码演变为构建创造性和高效的思路来解决图像处理问题。这意味着开发时间和成本的减少。这个系统仅耗费了我们8周就完成开发和验证。

系统优点

| 比较参数 | 早期人工检验过程 | 基于NI的自动化机器视觉系统 |
|----------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 客观性与可重复性 | 主观、不可重复 | 测量过程可重复且客观。可重复性优于六西格玛标准。 |
| 紧凑性与坚固性 | 不紧凑、有限的坚固程度 | 解决方案的核心是一个比砖块还小的坚固盒子。 |
| 过程控制 | 任务繁重，因为数据需要人工跟踪、采集。 | 以轮班或批为单位，因为数据采集是自动的，我们可以得到统计信息并用于改进生产过程。 |
| 产量 | 由于精度有限，公差带被迫减小。生产过程会丢弃一些实际可接受的边界部件，以至于降低了产量。 | 有了更高的精度，客户可以放宽公差，从而增加产量。有了更高的精度，客户可以放宽公差，从而增加产量。 |

使用CVS和LabVIEW的可靠性和可重复性

一款成功的测量应用程序的显著特点是它的可靠性和可重复性，在一个基于机器视觉的应用中这个目标显得更为困难。我们的火花塞检验系统却实现了这些目标，证实了无论是个别的硬件部件还是把它们合为一体的软件都有可靠性以及可重复性。用坚固的Compact Vision System构成应用的核心，同时灵活的、有良好原型的、经彻底测试的基于LabVIEW的应用程序可提供精确而可重复的结果。

最后的结果是一个低成本的、快速开发而形成的检验系统，并提供最高的质量保证。虚拟仪器帮助将这个检验系统无缝集成到工厂的生产线中。

推荐配置

CVS-1454 针对IEEE 1394a摄像头的实时NI Compact视觉系统

IEEE 1394数码相机

LabVIEW

NI LabVIEW Real-Time

NI Vision Development Module

汽油发动机点火提前角测试系统

作者：吴伟斌 洪添胜 李震 华南农业大学工程学院

挑战：

为适应现代汽车汽油发动机点火系统发展的要求，需要在尽可能短的开发周期内建立一个高效实时的测量和监控发动机点火提前角的系统，突破传统测量方法中的不足，包括正时灯测量人工读数、无法夹在高压线、长时间连续使用容易坏等。

解决方案：

应用NI公司的虚拟仪器软件开发平台LabVIEW及PCI-6602 32位80MHz定时/计数卡，构建了功能强大的测量汽油发动机点火提前角的PC机系统，突破了传统测量的局限。

介绍：

汽油发动机点火提前角的超前或滞后都将影响发动机的性能、寿命和排放^[1,2]。因此，发动机无论是出厂时，还是经过修理后，其点火提前角都需要测试、调整和校准。

采用NI公司的软、硬件，构建了一个能兼容新、旧发动机点火系统的点火提前角测试系统。该系统同时显示、存储多缸信号，界面友好直观、操作方便，通过对无分电器、有分电器的点火系统提前角的测量验证了该方案具有响应快、稳定性高、扩展容易的优点，是传统仪器无法比拟的。

1 系统原理及特性分析

1.1 系统原理

从点火提前角^[3]定义可知，点火信号和曲轴参照位置信号是必不可少的。

点火信号可以从高压缸位线通过磁感应线圈获得，该方法被绝大多数正时灯采用，但局限于有高压线的点火系统；本系统的点火信号通过点火初级线圈负极及ECU发出的点火信号获得，因为它们均存在于所有的点火系统中。其中，本系统主要利用ECU发出的信号，因为该信号调理成本较低，而点火初级线圈负极的点火信号用于辅助测试，如驱动闪光灯装置等。

曲轴参照位置信号可通过原装发动机位置传感器（上止点TDC传感器/缸位信号CYP传感器/凸轮轴位置CMP传感器）获得。其测量的原理是：测量曲轴位置传感器信号与点火信号各自相应边沿之间的时间间隔 t 以及通过TDC或IG的周期 T ，获得发动机的转动周期，进而经过计算得到点火提前角，如1图所示。根据原理，制作出有缸位判别功能以及兼容各类点火系统的点火提前角测试系统。

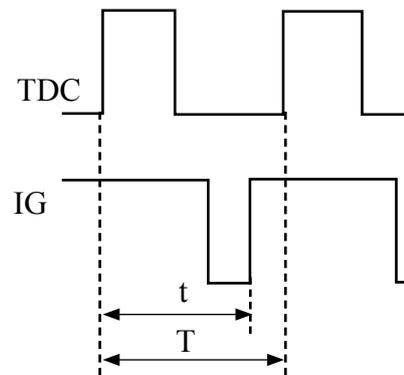


图1 测试原理示意图

1.2 系统特性分析

系统由传感器、汽车发动机、信号调理模块、数据采集

卡、个人计算机（PC机）、闪光装置组成。系统结构图如图2所示。

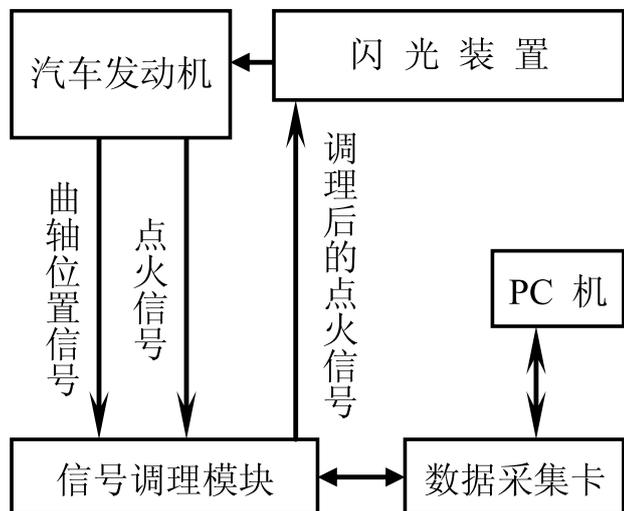


图2 测试系统结构图

CYP传感器为磁感应传感器，信号输出为正弦波；TDC传感器类型有磁感应、光电、霍尔传感器，输出为正弦波和方波；CMP为霍尔传感器，输出为方波。点火信号传感器为自行设计的屏蔽连接头和钳式拾波器，输出为脉冲。

信号调理模块是自行设计的，包括比较器LM393、施密特触发器CD40106等电路组成。实现传感器输出信号如各种类型的点火信号和曲轴位置信号的增益或衰减、滤波、整形等功能，以满足NI数据采集卡的测量范围和数据要求。

数据采集卡为PCI型计数/定时卡PCI-6602，含8个32位晶振80 MHz的计数/定时器，晶振稳定性为50 ppm。该卡比一般的计数/定时器卡多了一种辅助触发功能，能直接测量两个不同触发源之间的时间差。

数据由PC机处理，PC机主频为1.7 GHz。其结果显示在PC机的显示器上并存入硬盘。

闪光装置属于可选择的扩展功能，用于正时时刻的辅助参考，便于现场观测发动机的运转状态是否稳定。闪光装置是自行设计的，由变压器、触发线圈、可控硅、闪光管等组成。触发信号为调理后的点火信号。

2 系统软件设计

2.1 编程思想

软件编写的目的是实现任意点火系统不同车型的点火提前角

测量。首先选择车型、点火系统类型、缸数、缸位顺序、传感器类型、点火信号输入方式等参数，凭密码输入登陆，然后运行主程序，实现数据采集、处理、显示。

2.2 软件编程实现

利用简易、图形化的虚拟仪器软件LabVIEW编写操作界面。操作界面分为控制和显示两个区，实现对数据采集的控制和显示。显示部分包括曲轴转速、点火提前角等显示，超过极限亮灯显示并且发出鸣叫声音（声音类型可选），变化趋势显示，日期时间显示等；控制部分包括控制开关、存储数据频率、极限值、初始值等设置，主操作界面见图3所示。

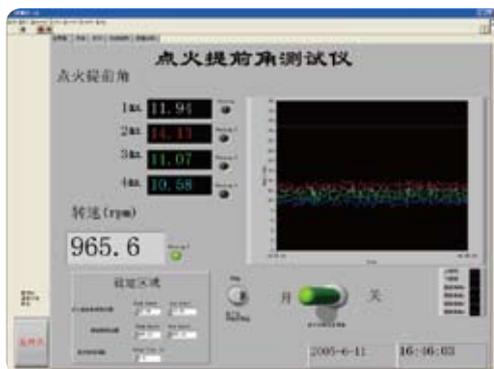


图3 主操作界面

主程序按功能分为主操作

界面模块、数据储存模块、报表显示打印模块、历史回访模块、重要参数修改模块（需要输入密码才可见参数值）、数据统计分析模块（显示最大值、最小值和平均值等）。

功能模块分页显示，每个模块可独立使用，测试单个内容。当信号采集完成后，可以进行数据保存（直接存入EXCEL，格式为日期、时间、转速、各缸点火提前角）、图表打印（当没有连接打印机时，图表打印到.mdi文档中）等操作。监控参数出现异常时，实现报警。

序最后生成.EXE的文件，脱离LabVIEW运行，此时用户将看不见程序界面，有利于安全操作。

3 试验分析和应用

试验用发动机为无分电器、独立点火系统的本田雅阁2.4i发动机试验台架，使用本田专业诊断系统（Honda Diagnostic System, HDS）、本田正时灯系统；而试验有分电器和分缸高压线的本田风神蓝鸟EQ7200 - 轿车（发动机型号为NISSAN SR20DE），则使用博世MOT-240发动机分析仪、元征X431ME解码器为参照进行对比。

3.1 无分电器的点火系统

实验在广州东风本田发动机有限公司进行，对象为本田2.4i发动机试验台。室内环境为26.3℃、相对湿度45.1%、大气压 1.015×10^5 Pa。HDS及经过标定的本田正时灯系统的点火提前角测量误差分别为 $\pm 0.5^\circ$ 和 $\pm 1^\circ$ 。

实验步骤如下：启动发动机，怠速运转，让冷却水温上升到85℃后，用电涡流测功机控制转速（绝对精度为 ± 2 r·min⁻¹），加速到1400 r·min⁻¹，以100 r·min⁻¹为增量，增加到2000 r·min⁻¹，进行实验。

本测试系统与HDS测量比较，速度绝对误差为 ± 5 r·min⁻¹，相对误差为 $\pm 0.5\%$ ；点火提前角的绝对误差绝对值平均为 0.3° ，相对误差绝对值平均为1.2%。本田正时灯系统与HDS测量比较，点火提前角的绝对误差绝对值平均为 0.9° ，相对误差绝对值平均为3.2%。本测试系统各测量值（包括平均值）精度均高于本田正时灯系统。由于本田正时灯系统绝对精度为 $\pm 1^\circ$ ，可以推断本测试系统绝对精度高于 $\pm 1^\circ$ 。

3.2 有分电器的点火系统

实验在华南农业大学汽车实验室内进行，室内环境为27℃、相对湿度50%、大气压 1.01×10^5 Pa。

实验步骤如下：启动发动机，怠速运转，让冷却水温上升到85℃后，加速到2000 r·min⁻¹，运行2 min，之后，回到怠速，然后才开始实验。

试验对象是风神蓝鸟2.0iSLA整车。系统与博世MOT-240发动机分析仪测量（转速分辨率为10 r·min⁻¹，正时灯分辨率为 0.1° ）比较，转速的绝对误差平均值8.1 r·min⁻¹、相对误差平均值0.5%；点火提前角的绝对误差平均值为 0.4° 、相对误差平均值3.1%。与元征X431ME解码器比较，转速的绝对误差绝对值平均为8.0 r·min⁻¹、相对误差绝对值平均值为0.4%；点火提前角的绝对误差绝对值平均为 0.5° 、相对

误差绝对值平均为3.2%。

以上试验说明，基于虚拟仪器技术开发的该测试系统能够很好的满足汽油发动机点火提前角测量的要求。

4 结论

系统可直接测量的参数有曲轴转速、点火提前角。系统能兼容独立点火及有分电器的发动机点火系统，且同时显示、存储多缸信号。

PC机系统在本田雅阁2.4i发动机机架上试验，与已标定的HDS、本田正时灯系统测量比较，提前角测量绝对误差为 $\pm 1^\circ$ ，转速绝对误差为 ± 5 r·min⁻¹；在风神蓝鸟EQ7200-轿车上试验，与博世MOT-240发动机分析仪、元征X431ME解码器为参照，点火提前角的绝对误差绝对值平均为 0.5° ，相对误差绝对值平均为3.2%。

系统开发时间为一个月，进行连续近一个月的试验，运行情况良好。系统应用反映了系统操作界面友好直观方便，响应快、稳定性高，数据直接读入EXCEL，硬盘储存。

系统扩展容易，可同时测量3~4台发动机。在调试程序时，能进行多通道比较、监控，反映了系统的灵活性。系统性价比高，数据采集卡为专用计数/定时卡，没有多余的模拟量输入输出。

参考文献

- [1] 肖江，俞国胜，贺永珍等. 汽油发动机正时分析仪的研制. 北京林业大学学报，1997，19(3):52~55
- [2] 邵千钧，何文华. 电控LPG发动机点火提前角标定与优化的研究. 农业机械学报，2004，35(3):34~37
- [3] 陈家瑞. 汽车构造. 北京：人民交通出版社，2000.
- [4] 吴伟斌，洪添胜. 基于虚拟仪器技术的柴油发动机测控系统. 电子技术应用，2005，31(5):36~39

应用NI CompactRIO开发启动发电机测试系统

作者：Vijay Jayabalan-Captronic Systems Anu Kalidas-Captronic Systems PVT. LTD.大学

“ 在模拟信号处理和图形用户界面方面，基于LabVIEW的系统比基于PLC的系统更有优势。 ”

挑战：

开发一套灵活、耐用和经济的自动化测试系统，以测试启动发电机在不同负载条件下的性能。

解决方案：

应用NI CompactRIO平台和NI LabVIEW图形化编程环境，开发一个自动化启动发电机测试系统

本质上，启动发电机能带动涡轮发动机快速旋转以点燃燃料，而在飞机启动之后，发动机就作为发电机来为电气系统提供直流供电。

启动发电机是在发电机和起动机两种不同模式下进行测试，以检测在不同负载条件下的性能。两种模式均有普通控制台和数据采集系统（Data acquisition system, DAS），用来控制、检测和存储所需参数。

发电机模式

在该模式下，所使用设备包括变频驱动的交流电机、交流电机驱动器、步进齿轮箱、扭矩传感器、花键轴和冷却风机。交流电机和步进齿轮箱是安装在一块低碳钢底板上。该装置安装在一个底座/应力释放的低碳钢结构上。齿轮箱输出至花键轴是与发电机相配合的。

在操作过程中，发电机是由交流电机以及相连的1：10的步进齿轮箱所驱动的。发电机法兰安装了空心轴扭矩传感器，

然后扭矩传感器安装在步进齿轮箱上。交流电机转速是通过一个闭环磁通矢量驱动器控制的。在每一步加载开始时，利用每步电阻负载组合和0.3s的瞬间负载，发电机可在每一步以不同速度的完成加载。

起动机模式

在该模式下，所使用设备包括粉末测功机、转接板、安装垫片和花键轴。粉末测功机安装在低碳钢底板上。启动发电机安装在反应式空心轴扭矩传感器上。启动发电机的供电来自一个最大电流为4000A和最大电压为24V的直流电源。另外有一个30V/20A的独立现场供电电源用于磁场线圈激励。

启动发电机能在手动或自动模式下进行检测。自动模式中，CompactRIO数据采集和控制系统掌控整个测试过程。在手动模式中，用户能按顺序在控制台上可用输入端执行适当操作控制测试。控制台用于获取所有操作指令。测试输入量如发电机速度、负载和起动机扭矩是从个人电脑输入的。控制盘由电位器、选择开关、照明按钮、急停

和复位按钮等能获取操作指令的部件组成。

发电机模式中的自动模式操作

在发电机模式中，自动模式有用户可编程项，可以对发电机速度、负载/空载时间和产生电压等功能进行设置。该系统建立了包括驱动器上的开关、风机马达、润滑油泵的试验条件。一旦建立初始条件，发电机的转速是通过磁通矢量驱动器产生适当的模拟输出电压来完成设置的。该系统通过励磁和数字PI控制器调节发电机的电压。

比例积分(Proportional integral, PI)控制器是在FPGA上实现的。由于存在生成电压和负载的非线性现象，必须要建立工作点附近的分段线性系统。该系统在适当负载下采用增益调度，实现发电机的电压控制。一旦发电机达到额定电压，发电机将通过辅助接触器加载。发电机将进行6次载荷的动态加载，每次持续60s。每次包括在每步开始时持续300ms的超负荷应用。利用CompactRIO实时控制器，我们能提供精确可控的持续加载时间。

LabVIEW和CompactRIO帮助我们解决时间和经济效益上的问题。该发电机在测试模式下使用250kW的再生向量驱动器为交流电机供电，这将产生几米远的EMC噪声。即使正确屏蔽和接地信号电缆也不能阻止噪声对信号电缆的干扰。整车的电磁屏蔽太过昂贵，购买和实施起来也费时。

幸亏有了LabVIEW，软件中的中值滤波可以解决EMC噪声问题。中值滤波有很大优势，因为它没改变系统从终端到终端的传输功能，这对任何动态测试而言是至关重要的。

起动机模式中的自动模式操作

在起动机模式中，自动模式测试完成五个起动机指令。起动机用一系列电机启动指令来测试。系统通过与测功机通信

设置所需的扭矩，使用CompactRIO模拟输出模块在远程供电电源上设置适当的电压。系统建立起需要的初始环境条件(例如测功机的供水和起动机冷却供风等)之后开始实际的测试。

用户可在任何执行点通过紧急停止按钮中止测试。用户可通过按复位按钮将系统恢复至最初状态。整个系统处理三个数字PID控制器，一个用来控制发电机电压、一个用来控制发电机设备的电机转速、最后一个是用来控制起动机设备的扭矩。控制器需调整为略小于临界阻尼响应。

手动模式操作

在手动模式中，操作人员通过选择开关、按钮和电位器执行所有指令。用户在手动模式中能持续加载发电机。软件能读入所有模拟和数字输入，并且能够根据用户输入（按按钮和拨选择开关）和联动来更新数字和模拟输出。测试序列和操作联动，均可在软件中实现。该实施可避免使用外部继电器逻辑控制。

结论

利用CompactRIO和LabVIEW，我们开发了一个灵活、耐用、经济的自动化起动机测试系统。基于LabVIEW的系统，在模拟信号处理和图形用户界面方面，比基于PLC的系统更有优势。

推荐配置

硬件：

NI cRIO-9082 RT CompactRIO实时控制器

NI cRIO-9263 CompactRIO模拟输出模块

软件：

NI LabVIEW

比亚迪：发动机试验台架系统

作者：张海勃 电子工程师 上海比亚迪有限公司

挑战：

在较短的时间内开发一套高性价比的发动机试验台架系统，实现多个物理量的高精度控制，并对数据自动记录，处理，存储，完成在多工况下对发动机各项性能的试验；同时提供良好的人机界面。为开发出优秀的发动机提供支持。

解决方案：

使用National Instruments公司的LabVIEW和高精度数据采集卡，并以之为核心选配伺服电机，可控整流逆变系统，温度控制系统，信号采集仪等来开发一套基于PC机的经济可靠的发动机试验测控系统。

介绍

在这个试验台架中，要完成4个闭环控制，同时要完成大量的数据采集，工作中要处理的数据量是非常巨大的，因此我们采用了两块PCI6221卡；在软件方面，通过软件总体结构的合理布局，利用多线程技术，充分实现资源的高效利用，完成了多个实时控制任务，同时实现多通道数据采集处理，并提供了良好的人机界面。

1. 系统概述

1.1 任务的提出

发动机是汽车动力的来源，汽车的动力性，经济性，可靠性和环保等性能指标都直接与发动机相关，可以说发动机是汽车中最重要的部分，发动机的开发在整辆车的开发中占有很大的比重，发动机试验台架正是其开发过程中必不可少的设备。目前，国内使用的台架大部分都是国外进口的，然而价格非常昂贵，那么对国内企业来讲，开发属于自己的台架对企业的发展将产生深远的意义。

1.2 系统的工作原理

本系统在同轴方向上主要有3部分，分别是位于两端的发动机和测功机，以及在中间起连接和测量扭矩作用的扭矩传感器。工作原理是：通过油门执行器控制节气门开度，通过测功机控制整个系统的转速，根据国标要求实现不同的工况，并实时监测速度，扭矩，功率，油耗，进气压力，冷却水温等参数，综合分析评价其动力性，经济性，可靠性和环保等性能指标，在为其匹配合适的电控单元的工作中提供准确的数据支持，并为发动机自身的改进提供方向。

1.3 构成方案

我们根据控制系统响应速度，精度等技术指标的要求确定了系统的硬件构成方案。系统包括交流变频调速系统，伺服定位系统，冷却系统，加热系统，气动系统等多个子系统。为提高控制速度和精度，合理利用资源，将速度要求稍低的冷却系统，加热系统，气动系统从主机PC中分离出去，由单片机系统控制完成，二者以CAN通讯方式交换信息；实时性要求高的交流变频调速系统，伺服定位系统和实时的监测采集任务由卡完成，数据处理存储，人机界面都由PC主机完成。系统结构如图1所示。

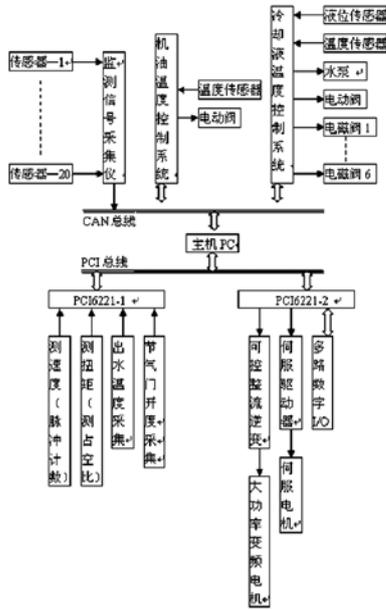


图1 系统结构示意图

2. 系统的采集测量任务

2.1 实时类数据采集

速度和扭矩的准确测量是保证台架控制精度的第一步。速度由高精度的编码器产生数字信号，其测量采用脉冲计数的方式；扭矩是正弦信号经数字化处理得到的，其测量采用测占空比的方式。由于实时性要求较高，所以第一块卡的计数口全部用于此处。

2.2 非实时类数据采集

进气压力，节气门开度等虽不是实时类数据，但应用于反馈中；爆震信号，凸轮轴信号以及ECU信号虽也不是实时类数据，但处理过程较复杂，在LabVIEW中更易实现；基于此，这些信号全部由卡采集。除此以外，还有20路监测量信号，全部交由采集仪完成，通过CAN通讯向PC机发送。

3. 系统的控制任务

3.1 速度控制系统

速度控制是本系统的核心问题之一，目的是在不同的外部条件下提供稳定的速度点，以便于对各参数采样。具体实现方法是根据负荷的改变，通过控制变频器输出的电压和频率控制电机转速恒定。由于发动机受外部条件影响的因素较多，速度波动较大，一般的算法效果平平，复杂的算法实现也复杂，好在LabVIEW提供了PID模块，采用神经网络自适应控制算法，较好的解决了这一位问题。

3.2 油门开度控制系统

油门开度控制是本系统的又一个核心，通过控制伺服电机拉动节气门，工艺上要求单步越小越好，动作时间越快越好。驱动器内部有以编码器位置为反馈信号的内部PID控制环，软件上以节气门位置传感器的实际位置作反馈信号，再形成一个外部控制环，这样大大提高了控制精度。我们采用了一个脉冲输出口和一个数字输出口分别控制伺服电机的位置和方向；用一个数字输入口作为位置零点的采集通道；其他诸如伺服使能，报警清除，脉冲禁止等功能均由数字输出口加驱动电路实现。这部分使用的数字通道较多，卡上丰富的数字I/O口，计数口为系统的设计提供了方便。

3.3 冷却液和机油温度控制系统

冷却液和机油温度控制主要是为发动机提供适宜的工作环境，最大限度地实现其正常使用寿命。在实时性方面对这两个控制系统的要求不是特别高，为了合理利用资源，把这项任务交由单片机完成。

4. 电磁干扰问题

4.1 模拟信号的处理

扭矩传感器输出的原始信号是两路正弦信号，其相位差代表了扭矩的大小。原始信号在传输过程中易受干扰，且处理过程较复杂，为此我们从硬件方面对模拟信号进行了数字化处理，以处理后的占空比表示相位差，这样既防止了传输过程中的干扰和衰减，又避免了模拟采集的误差。

4.2 系统接地的问题

由于本系统中两个核心的控制部分都使用了变频装置，电磁干扰问题是比较严重的，开始采用了导线屏蔽和系统接地的处理方式，但效果并不理想，较大的毛刺导致信号无法准确测量。为此我们多次试验，发现变频系统在采用大面积充分接地时，信号质量大大提高，已经不再影响测量了，于是放弃原来的线缆接地，改用大面积充分接地，通过布局和工装的调整，保持了系统的整洁美观。

5. 系统的软件

5.1 PC机软件

PC机软件是整个系统的灵魂，从应用角度讲它应包括两大部分：人机界面和测控软件。

人机界面要求美观，操作简便，LabVIEW的图形化编程功能为实现这一要求提供了简洁的途径。

运行程序首先弹出的是导航界面，从这可进入各大功能模块，如图2所示。为了加强系统安全保护，设置了用户管理模块，其实质是一个安全信息数据库，利用它对各功能模块和操作人员的安全级和密码等信息进行管理。在各功能模块的入口处安排关卡，对用户的安全级和密码进行两级验证，当用户的安全级高于模块安全级并且密码验证也通过时才能进行操作，如图3所示。用户管理模块界面如图4所示。

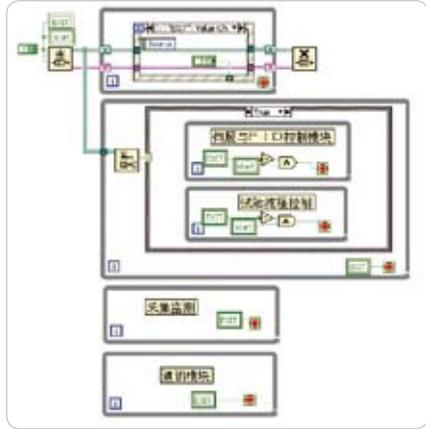


图5 测控软件结构 采集监测和通讯模块在进入测控程序后就开始工作，硬件控制以及试验流程控制在得到“开始”的命令后工作，“开始”“停止”的命令由队列结构传送。



图2 导航界面



图3 安全验证入口 要进入各模块，在入口处都要进行验证，系统根据用户名取出相关信息，在后台完成验证工作



图4 系统用户管理模块的界面，从系统和用户两个方面进行管理

测控软件包括了实时采集控制，试验流程控制，测量通讯，状态报警等四大功能，这部分功能众多，更要求实用，可读性可维护性强。我们通过软件结构的合理布局，利用多线程技术充分实现了资源的高效利用。每类功能在一个While循环框中实现，其中试验流程控制采用了LabVIEW提供的状态机。对于有顺序控制要求且步骤很多的问题来说，状态机是最有效的方法。测控软件结构如图5所示；测控软件界面效果如图6所示。

当试验要求或条件有变化时，可在试验参数模块作相应的输入；还可以在校准模块作系统标定，这些数据系统会自动保存；在数据分析模块可以调出试验数据，进行管理和分析。

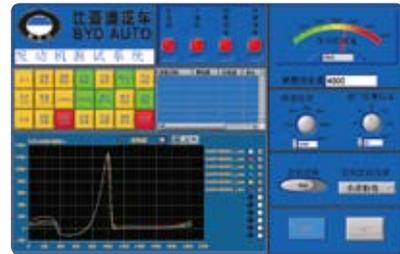


图6 测控软件人机界面

5.2 单片机软件

单片机软件是系统的另一个组成部分，主要实现冷却液和机油的温度采集控制以及一些监测量采集并要完成和PC机之间的信息交换。

6. 总结

系统的软硬件结构合理，使多个控制任务能够良好的协调运行，精度和速度都满足了设计要求，操控性能良好。建设周期8个月，比国外建设同类产品缩短了约2个月，价格约为国外产品的三分之一，市场可推广度较高。为了使性能得到进一步的优化，持续的研究开发一直在进行。

推荐配置

硬件：

M系列多功能数据采集卡

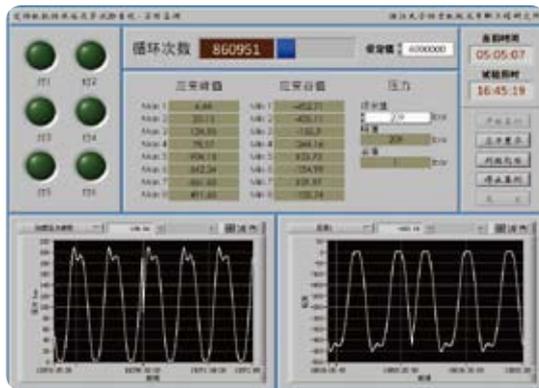
软件：

LabVIEW

机体疲劳试验台架自动控制系统

作者：刘震涛 浙江大学动力机械及车辆工程研究所

“采用NI公司的cRIO平台开发的机体疲劳液压模拟试验台架可进行发动机机体的液压疲劳试验，并且通过监测应变信号的变化实现了机体破坏的自动判别，该试验系统技术水平居于国内领先地位。”



机体疲劳试验监控界面

挑战：

发动机机体的疲劳寿命模拟试验设备多采用液压伺服方式进行，试验过程中如何判断机体是否破损是一个难点，利用NI公司的cRIO平台及其应变采集等模块，采用应变值的变化作为机体破坏的判据，从而实现试验过程真正意义的自动化。

解决方案：

使用NI公司的cRIO平台和硬件模块，进行发动机机体疲劳试验中信号的产生、采集和处理，并对试验过程进行控制，使用NI的图形化编程软件LabVIEW进行测试过程的控制、数据的分析判断和用户界面的编写，实现疲劳试验的自动测控。

1. 概述

对于柴油机而言，在燃油耗低和排放达标的同时，具有优良的扭矩和功率特性就必须达到更高的最高爆发压力。而更高的爆发压力则意味着更高的机械载荷，这也意味着对柴油机更高的强度要求。作为柴油机的主要零部件——机体，面临着同样的问题。

为了提高机体的强度及可靠性，国内外学者进行了大量的研究工作。研究手段主要有理论研究和试验研究两种。理论方面主要以有限元计算为主；试验方面则有实机试验和模拟试

验两种，实机试验虽然直接考核发动机机体的强度，但是一则试验周期长，二则不能模拟机体承受较高爆发压力更高的压力载荷时的受力情况；而模拟试验则可以通过控制加载载荷的大小，来模拟发动机机体承受不同载荷时的受力情况，结合疲劳可靠性理论，可对机体的疲劳寿命，以及安全系数给出定量的评价。综上所述，机体模拟疲劳试验是机体强度及疲劳寿命评价的有效手段。

国外针对上述工作的研究开展较早，特别是模拟试验技术，AVL公司、Ricardo公司、Schenck公司等都有较为成熟的产品和技术，其加载方式都采用液压加载的方式。由于模拟试

验台架的技术要求较高，在国内，针对机体强度的研究主要以有限元计算为主，实机考核试验为次，而模拟试验技术则鲜见报道。据了解，中国北方发动机研究所在上个世纪八十年代，从德国Schenck公司引进了一套液压伺服模拟试验装置，可进行发动机活塞、连杆、机体等零部件的模拟试验，山东渤海活塞有限公司在本世纪初从Schenck公司引进了一套用于活塞及销座的液压模拟试验系统。但是在机体破坏的判据方面一般采用经过一定的试验周期后停机，通过肉眼观测的方法，如果出现裂纹则认为机体破坏，无则继续试验。该方法存在着一定的缺陷：1) 试验过程需要人工参与；2) 机体裂纹产生的准确时间不能确定。

针对上述问题，2007年作者开发研制了一套基于美国国家仪器公司(NI)cRIO平台的机体液压疲劳试验系统，提出了采用应变信号变化作为机体破坏判据的试验方法，并应用该试验系统对某型号机体进行疲劳强度考核试验。

2. 试验系统工作原理

所研制的机体液压疲劳试验系统采用单缸工作模式，即试验过程中只对一个气缸进行试验。机体液压疲劳试验中，采用虚拟的活塞、连杆和曲轴(直轴)与气缸体、曲轴箱进行装配。虚拟曲轴包括一个直的轴件、两对轴瓦等部件。轴件两端具有主轴颈直径，而在中间减小到曲柄销直径。这一方法的优点是不需要原型曲轴，而且试验气缸的数目和位置可以自由选择。

在虚拟活塞顶部，放入一个加载活塞以在试验过程中最大程度地减小需要液压油压缩的体积。虚拟活塞的顶部有一个特殊的密封圈防止液压油损失。密封位置必须尽可能高以便使由于液压压力作用在气缸壁上的力达到最小，从而避免试验过程中产生不相关的气缸壁裂纹。主轴承盖(或底板)螺栓必须按照技术规范拧紧。缸盖用一钢板代替并用原型缸盖垫片和缸盖螺栓安装，并按照技术要求拧紧。钢板上用于提供和排泄液压油以及温度和压力传感器的连接。加载机构的示意图如图1所示。

试验过程中，通过cRIO的NI9263模块控制液压伺服电磁阀动作，产生正弦波的液压脉冲信号，液压压力通过加载机构作用于虚拟活塞，并通过机械机构传递至机体上，使机体的气缸壁面承受交变的拉压载荷。从而模拟发动机机体在实际运行过程中承受的交变载荷，所加载的液压载荷的大小可通过发动机的实际爆发压力和机体设计安全系数确定。

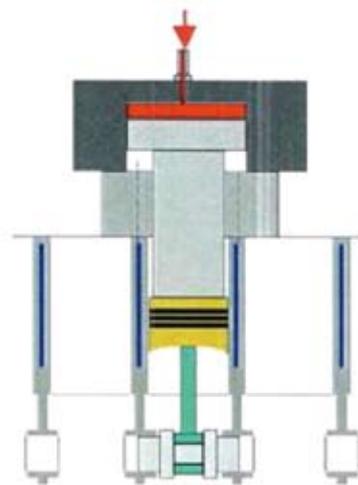


图1 液压加载机构示意图

通过cRIO的NI9237应变采集模块采集贴在机体主轴承螺栓根部(机体易破坏处)的应变片的输出信号，当监测到应变值变化超过设定值，一般以应变变化50%为机体破坏的判据(此时应变片所贴位置处产生肉眼可见裂纹)，则cRIO控制器发出信号，终止试验，并给出机体破损提示。

试验过程中，通过cRIO的NI9263模块控制液压伺服电磁阀动作，产生正弦波的液压脉冲信号，液压压力通过加载机构作用于虚拟活塞，并通过机械机构传递至机体上，使机体的气缸壁面承受交变的拉压载荷。从而模拟发动机机体在实际运行过程中承受的交变载荷，所加载的液压载荷的大小可通过发动机的实际爆发压力和机体设计安全系数确定。

通过cRIO的NI9237应变采集模块采集贴在机体主轴承螺栓根部(机体易破坏处)的应变片的输出信号，当监测到应变值变化超过设定值，一般以应变变化50%为机体破坏的判据(此时应变片所贴位置处产生肉眼可见裂纹)，则cRIO控制器发出信号，终止试验，并给出机体破损提示。

3. 控制系统设计

3.1 cRIO嵌入式控制器简介

cRIO平台是NI公司生产的Compact Reconfigurable I/O控制器的缩写，该控制器包含一个实时控制器与可重新配置的现场可编程门阵列(FPGA)芯片，适用于可靠的独立嵌入式或分布式应用系统，还包含热插拔工业I/O模块，内置可直接和传感器/调节器连接的信号调理电路。cRIO适应的温度范围是-40到70，抗50g的冲击以及适应危险或可能爆炸的环境。大部分I/O模块可以承受2300Vrms的瞬时

电压，可以持续接收250Vrms的电压。具有可靠性高实时性好的特点。

3.2 控制系统硬件设计

试验系统功能框图如图2所示。由于试验过程以较高的频率进行（一般为10~30HZ，视具体试验对象而定），同时试验过程中需要对加载信号的波形和幅值进行严格控制。要实现这一目的，必须对液压伺服电磁阀采用闭环控制。同时由于所进行试验为疲劳试验，试验周期较长（400万~1000万次循环周期），并且工作环境恶劣，液压泵站距离试验台架较近（2~3米）。为提高整个试验系统的可靠性，其控制系统采用上下位机结构。传统方案中下位控制器一般采用可编程控制器或单片机构成，前者可靠性高但实时性差，后者实时性高但可靠性差。为兼顾二者优点，本试验系统的开发中，主控单元硬件采用美国国家仪器（NI）公司生产的cRIO嵌入式控制器，共轨压力、蓄能器压力、加载油腔压力等信号采集由8通道AD采集模块NI9201完成，应变信号采集由两块NI9237模块完成，液压伺服电磁阀的驱动由NI9263完成，NI9401、NI9485主要用于试验系统开关量信号的显示与控制。

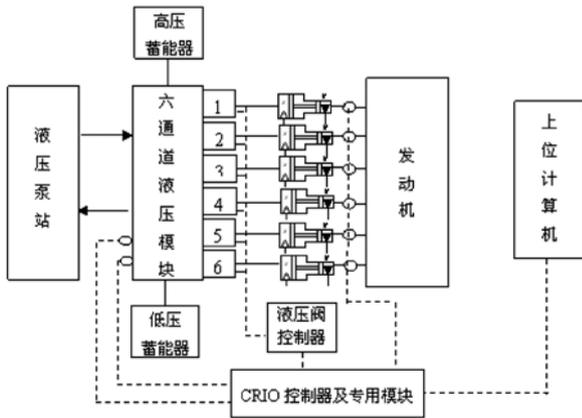


图2 试验系统功能框图

3.3 控制系统软件开发

为了加快试验系统的开发周期，控制系统的软件开发采用LabVIEW8.2开发环境，以及Real-time和FPGA工具包，并利用PID工具包实现对液压伺服电磁阀实现闭环控制。软件采用三层结构，FPGA程序，HOST程序和上位PC程序，其功能框图如图3所示。

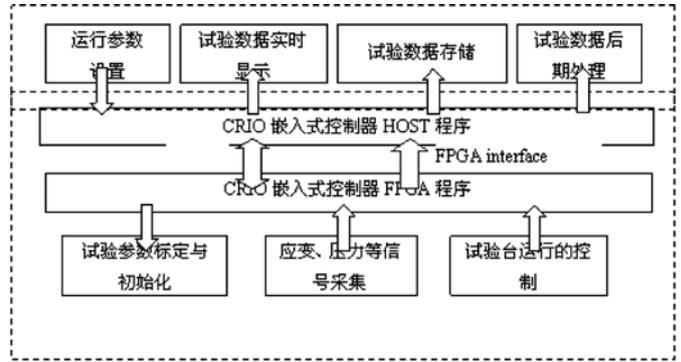


图3 控制系统软件功能框图

4. 控制系统的应用

试验系统开发完成，以某型号发动机机体为试验对象，进行机体疲劳模拟试验。试验系统的总体结构及其控制系统如图4所示。试验过程的机体裂纹判据设定为应变值变化超过50%（一般认为此时可以产生肉眼可见裂纹），试验频率采用16HZ，试验过程的数据信号采集及监控界面如图5所示。

试验过程中，试验循环次数，试验压力信号波动，以及试验过程中的应变信号值自动记录到数据库中。经过176万次循环试验，试验系统自动停机，并给出机体破损提示，检测存储的应变信号数值，发现在所试验气缸体的左后侧应变片数值发生变化，这表明该处机体壁面出现裂纹。拆卸加载机构后，经操作人员检测，在试验数据提示处，发现肉眼可见裂纹，如图6所示。表明采用监测机体上应变信号的变化作为机体破坏的判据是切实可行的。

5. 结论

- 1) 采用NI公司的cRIO平台开发的机体疲劳液压模拟试验台架可进行发动机机体的液压疲劳试验，并且通过监测应变信号的变化实现了机体破坏的自动判别，该试验系统技术水平居于国内领先地位。
- 2) 采用cRIO平台及相关模块完成试验台架的控制系统硬件开发，与传统方案相比（一般采用工业控制计算机加动态应变仪的方案），具有系统可靠性高、整体结构简单等优点。
- 3) LabVIEW开发环境的应用，与采用VC编程相比，开发周期仅为原开发周期的一半。



图4 试验系统及其控制器示意图

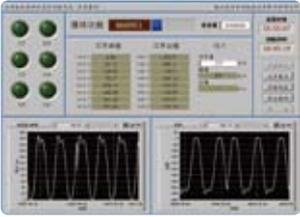


图5 机体疲劳试验监控界面



图6 试验结果示意图

推荐配置

硬件：

NI9263 4通道100 kS/s同步更新模拟输出模块

NI9237 同步的电桥模块

NI9201 500 kS/s采样率，8通道模拟输入的C系列模块

NI9401 8通道100 ns双向数字输入模块

NI9485 8通道固态继电器源极或漏极数字输出模块

软件：

LabVIEW

Real-time和FPGA工具包

PID工具包

福特：电池电子控制设备开发，引领创新潮流

作者：Kurt D. Osborne Ford Motor Company

“福特和美国国家仪器有很长的合作历史，我们使用LabVIEW对我们生产的每一款燃料电池电动车的方方面面进行了开发，并且成功为汽车燃料电池系统设计、开发了实时嵌入式控制系统。”



我们专注于对燃料电池系统(FCS)的研究，并由此催生了一系列车辆，如全球第一辆全性能燃料电池汽车（P2000）和全球第一辆燃料电池充电式油电混合动力车（带HySeries驱动系统的Ford Edge车）。

挑战：

为汽车燃料电池系统开发一个电子控制设备（ECU），显著改善燃料电池系统使其较之于传统的基于内燃机的传动系统更具竞争力，同时在商业上切实可行——是我们面临的主要挑战。

解决方案：

使用NI LabVIEW Real-Time、LabVIEW FPGA模块及NI CompactRIO控制器为汽车燃料电池系统开发一个实时嵌入式控制系统，并使用LabVIEW和一个实时PXI机箱硬件在环（HIL）系统进行系统验证。

屹立创新前沿

自1992年以来，Ford Motor公司就开始专注于研发燃料电池系统。虽然燃料电池系统较之传统的基于内燃机的传动系统更具竞争力，但在我们取得重大进展的同时，依然存在一些缺陷妨碍了燃料电池系统成为商业可行的技术。因此，我们不断在系统寿命、防冻起动等方面进行重大改进，尝试消除这些不足。

在开发突破性的燃料电池系统的同时，我们还使用快速原型开发了新型控制系统。在开发过程中，设计团队不断通过系



统工程V模型验证、改良设计。设计上的改变往往会影响子系统部件之间的接口，如空气压缩机控制模块和燃料电池控制模块之间的接口。尽管在车辆生产方面ECU已经取得了广泛的成功，但仍然存在更好的快速原型控制系统实现方法。我们使用CompactRIO进行燃料电池控制设备（FCU）的快速原型开发，而不是更改产品ECU I/O电路以适应接口变化。使用CompactRIO，我们快速地适应了设计上的改变，

并使用用于新型设计方案的新传感器和制动器进行了实验。

我们开发了硬件在环系统（HIL），它由一个在NI PXI-1010混合PXI/SCXI机箱中的NI PXI- 8186控制器以及一些相关的PXI和SCXI I/O卡组成，其中包括一个控制器区域网络（CAN）板卡，用于对CompactRIO控制器中嵌入的控制策略功能性进行验证。这个使用LabVIEW Real-Time实现的硬件在环系统具有图形化用户界面（GUI），可向ECU提供手动和自动输入以验证控制策略的执行，同时在硬件在环监视器上显示CompactRIO I/O反馈。硬件在环系统的验证是成功的，在CompactRIO开始控制实际的燃料电池系统设备后，我们只需要对策略进行镜像更改即可。

性能优良，如你所需

汽车动力传动控制需要能够实时。为达到实时所需的确定性，LabVIEW Real-Time Module（实时模块）为所选控制器提供了商业化的实时操作系统（RTOS）。当我们为提升性能从使用NI cRIO-9002转为使用NI cRIO- 9012嵌入式实时控制器时，LabVIEW Real-Time模块会自动从Pharlap实时操作系统（RTOS）转为VxWorks实时操作系统（RTOS）。通过使用美国国家仪器产品实现RTOS，我们的团队得以集中精力到燃料电池控制系统，而无需为实时操作系统这一细节分心。

燃料电池系统控制器从车辆中的传感器、制动器、其他控制器及系统中接受不同类型的输入。现在，汽车设计普遍采用CAN总线设备，用来传送、接收燃料电池系统内外大多数的I/O信号。在实验室测试时，我们通过一个基于LabVIEW的扩展测试平台模拟了主车辆控制器，它通过CAN总线与燃料电池系统从控制器进行通信。出于这些考虑，对于汽车燃料电池系统应用来说，CompactRIO CAN的支持至关重要。为了支持CAN总线，美国国家仪器迅速开发了支持快速、基于VxWorks的平台（如cRIO- 9012）上的CAN总线的新方法。除了能够应用CAN通道API外，新的CAN架构通道转换库也比以前更快，从而缩短了我们的开发时间。

美国国家仪器的产品一直以来都以支持一个开放式系统架构而备受赞誉。使用NI Measurement & Automation Explorer (MAX)软件可以方便导入使用其他CAN生产商的工具开发的CAN信息数据库。这使得我们可以交换数据库，而无需转化或记录CAN信息数据库。

技术无缝集成

对于这个项目来说，我们使用LabVIEW Professional Development System开发系统和两个附加模块实现了控制策略。首先，我们使用了LabVIEW Real-Time模块，对实时控制器编写了实时控制软件。其次，我们使用LabVIEW FPGA模块，通过基于FPGA的软件传输包括CAN在内的所有I/O。这两个附加LabVIEW模块都可以无缝集成到LabVIEW开发环境中，其中，图形化差分是我们所使用的主要的LabVIEW特性之一。

另外，NI Real-Time Execution Trace Toolkit工具包在需要解决精密计时问题时会是一个重要的工具。使用此款工具包，我们可以发现那些没有预期执行功能的实时嵌入式代码区域，然后对代码进行优化以确保的实时性能。如果没有像NI Real-Time Execution Trace Toolkit工具包这样的产品，我们将必须依靠诸如在线仿真器和逻辑分析仪这样的昂贵的外部测试设备。

开发者经常会在版本控制方面遇到困难，而LabVIEW和Microsoft Visual SourceSafe版本控制程序能够完美集成，我们在软件开发中充分利用此种特点，成功并无缝地集成了版本控制。只需在LabVIEW项目窗口中的源VI图标上简单右击，就可显示诸如文件check-in或check-out等功能列表。对于版本管理软件，易于使用对于获取开发者的支持至关重要。

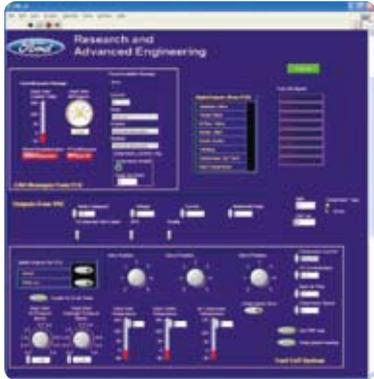
LabVIEW无处不在——我们使用LabVIEW的动力

我们使用LabVIEW来开发首个内部设计燃料电池系统还有几个其他原因。首先，我们之前的标准软件开发过程需要的开发者数量超过了我们的现有资源。然而，因为一些工程师已有使用LabVIEW的经验，还有一些也已经进行过培训，因此通过使用LabVIEW，我们相当于获得了更多的资源。其次，为快速原型控制器开发的软件与我们之前使用LabVIEW开发的测试平台之间本来就可以相互配合，VI可以被共享，开发环境、硬件亦是如此。

第三，由于模块化LabVIEW VI为向后兼容，我们可以重用10年前开发的VI作为硬件在环（HIL）系统的基础。另外，我们基于NI硬件和LabVIEW的实验室测试系统，可以很容易地使用技术数据管理流（TDMS）文件格式储存测试数



我们使用CompactRIO来控制突破性的燃料电池系统设计。



在系统框图中，实时CompactRIO FCS控制器与实现软件验证的实时硬件在环（HIL）系统相连接。



一个简单清晰的图形 用户界面将HIL系 统的实时VI封装了起来。

据，以备NI DIAdem数据管理软件进行分析。与普通的数据可视化方案一样，我们使用DIAdem快速并自动地搜索多个数据文件，找出性能异常并使用注解将它们图形化。而且，NI技术支持一直以来都是业界最好的，这也是成功的关键因素。

福特和美国国家仪器有很长的合作历史，我们使用abVIEW对我们生产的每一款燃料电池电动车的方方面面进行了开发，并且成功为汽车燃料电池系统设导入了实时嵌入式控制系统。

推荐配置

硬件：

NI PXI-1010混合PXI/SCXI机箱

NI PXI-8186控制器

NI PXI-8513单端口、软件可选的控制器局域网络（CAN）

PXI接口

NI cRIO-9012嵌入式实时控制器

软件：

NI LabVIEW Real-Time

LabVIEW FPGA模块

NI CompactRIO

NI DIAdem数据管理软件

ControlWorks：为电池管理系统 开发一套HIL仿真器

作者：Sung-Up Hwang ControlWorks

“ 我们选择NI软硬件开发系统来缩短系统开发时间、保证系统可靠性、简化自动化测试方案的实施以及维护和维修。 ”

挑战：

用高压电池的电压副本、仿真的高电压电流传感器和温度传感器以及仿真的高电压电池故障，为电池管理系统（BMS）外部连接装置（ECU）创建一个用于质量诊断的硬件在环仿真环境。

解决方案：

使用NI LabVIEW软件，更易于实现图形化用户界面、支持多样化的函数功能，并基于LabVIEW仿真接口工具包来调用在MathWorks公司仿真软件中创建的电池模型。

我们使用HIL仿真来测试我们复杂的实时系统。这项技术能提供一个平台，有效地检查需要动态模型的测试主机的控制状态。

系统概述

我们使用BMS HIL系统来仿真用于电动或混合动力汽车的高压电池，以评估BMS的控制逻辑和故障诊断功能。我们使用Simulink创建了一个电池模型，然后利用LabVIEW仿真接口工具包将电池模型应用到开发平台。我们也使用NI PXI系统，以确保系统高效及可靠的运行。

该BMS HIL仿真系统能在各种测试案例中完成质量诊断。通过编写自动测试方案，我们针对电池系统重现了所有可能的测试案例，并使用NI TestStand来组织和管理各个案例方案。

我们使用LabVIEW实现系统的快速部署，使用NI PXI快速产生和采集信号，精确重现电池组电压的变化，包括BMS中的电流和温度变化。

另外，通过使用NI TestStand，我们利用BMS性能评估测试实例来实现简化的自动测试方案。

使用NI产品的优势

我们选择NI软硬件开发平台来缩短系统开发时间、保证系统可靠性、精简自动化测试方案的实施，简化系统维护和维修过程。NI产品也跟Simulink兼容。

系统硬件配置

BMS HIL仿真系统硬件包括安装有通过LabVIEW控制整个

系统的计算机、采集和提供信号输出的实时PXI仿真器、模拟电池组的电池组电压生成器和一组信号信号调理单元。它也包括模拟各种测试错误的错误模拟装置、为BMS ECU供电的电源和连接HIL仿真系统和ECU的接口箱。

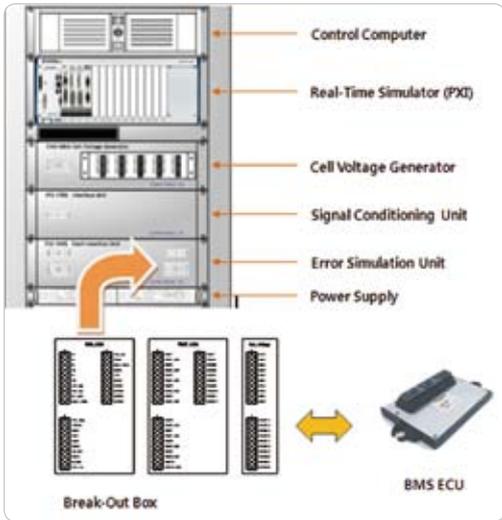


图1 电池管理系统硬件在环仿真系统硬件配置

系统软件配置

BMS HIL仿真系统软件主要分成两个不同的子系统。我们利用第一个子系统手动地生成错误和多种设置配置来检查ECU性能；另外一个自动系统，使用NI TestStand预先设定各种错误，然后自动检查ECU性能。

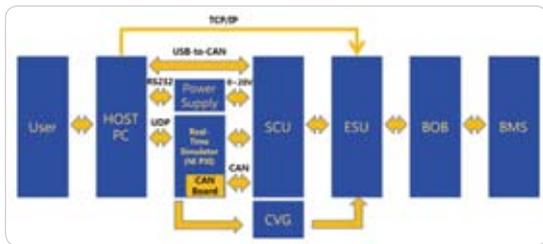


图2 BMS系统信号流程图

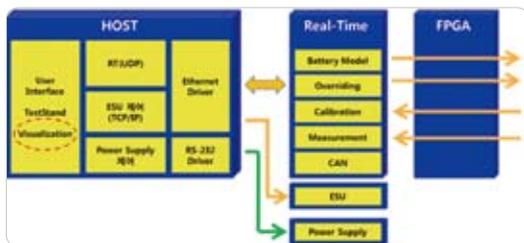


图3 BMS HIL仿真系统软件配置图

当主计算机接收到用户发出的控制指令请求时，PXI实时仿真器指定实时信号采集或输出的规则。借助现场可编程门阵列（FPGA），这些分散的规则能实时完成指定的任务。



图4 BMS HIL仿真器用户界面配置

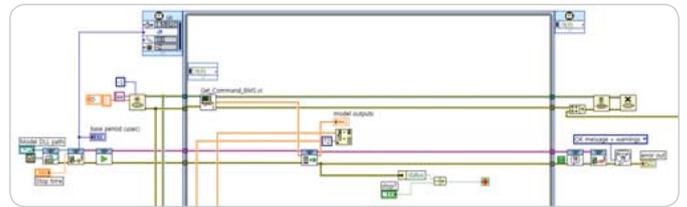


图5 应用LabVIEW仿真接口工具包的电池模型

电池槽电压、电池温度和从电池模型中产生的电池组电流，均可利用FPGA来仿真实现。因为FPGA能够提供高速的性能，我们能提高从每个电池组生成的电流的反应速度。

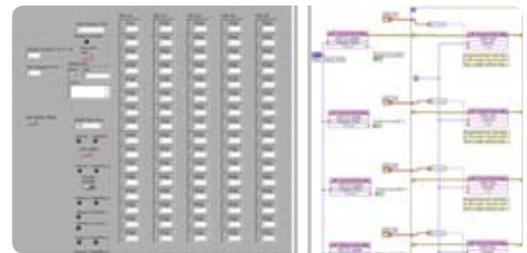


图6 使用FPGA生成源自电池模型的电池槽电压输出

测试方案实施

通过使用NI TestStand（见图7），我们能依次布置各种发生于电池系统的错误情况和相应的配置，从而简化自动测试方案。

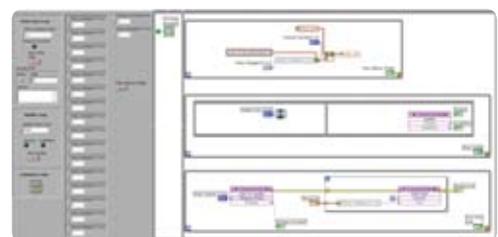


图7 使用FPGA生成指定温度和电流输出

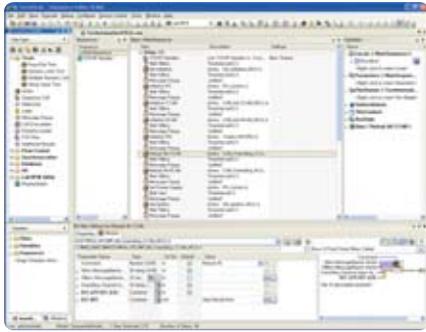


图8 应用NI TestStand执行自动测试方案

结论

使用我们的BMS HIL仿真器开发系统可以减少电动车或混合动力车电池测试相关的费用和风险。该系统也提供测试环境，包括电池槽电压、电流和温度，这些很难共同设置。另

外，应用NI产品可以提高硬件可靠性并减少系统开发时间。通过应用LabVIEW和LabVIEW仿真接口工具包，我们快速实现了用户界面和使用了Simulink中的应用电池模型。通过NI TestStand，我们能配置许多测试案例，从而得出具有可读性的BMS性能评估和简化的自动测试方案。

推荐配置

硬件：

PXIe 6366数据采集PXI板卡

软件：

NI LabVIEW

LabVIEW Simulation Interface Toolkit

NI TestStand

为电动超级赛车设计控制系统

作者：Robert Repas Racing Green Endurance

“ CompactRIO可以让电动赛车像普通汽车一样运行。 ”



SRZero纯电动赛车完成了长达16,000英里的旅程——从费尔班克斯、阿拉斯加到阿根廷。

人们一般认为，电动车行驶速度较低，且无法远距离行驶。环保持久赛车（Racing Green Endurance）团队想要推翻这个观点。因此他们创造了最新款的赛车Radical SRZero。他们希望在推动电动车技术发展的同时，这款赛车能成为世界上最具驾驶乐趣的可替代能源汽车。

Radical SRZero是在Radical Sportscars SR8底盘的基础上改进的大功率电动车。它的后轮上的轮毂马达可以为更多电池腾出空间，并且能够减少机械损耗。两个140-千瓦（200制动马力）马达可以为赛车提供总共400制动马力的功率。由电量为54-千瓦时的磷酸锂铁电池组为两个马达以及赛车的其余部分提供电力。

环保持久赛车（RGE）团队把这辆电动超级赛车称之为SRZero，它重2,400磅，最高速度为124英里/小时（200公

挑战：

人们一般认为，电动车行驶速度较低，且无法远距离行驶。环保持久赛车（Racing Green Endurance）团队创造了最新款的赛车Radical SRZero。他们希望在推动电动车技术发展的同时，这款赛车能成为世界上最具驾驶乐趣的可替代能源汽车。

解决方案：

Radical SRZero是在Radical Sportscars SR8底盘的基础上改进的大功率电动车。它的后轮上的轮毂马达可以为更多电池腾出空间，并且能够减少机械损耗。两个140-千瓦（200制动马力）马达可以为赛车提供总共400制动马力的功率。

里/小时）。它在7秒时间内可以从0英里/小时加速至62英里/小时（100公里/小时），并且电池充满电后可以行驶248英里（400公里）。

直轮驱动不需要传动系统、变速箱和机械差动装置。但是，机械差动装置仍需要用于赛车操作和减少轮胎磨损。设计团队通过在赛车转弯时，加快外轮马达的转速并且降低内轮马达的转速，创造出电气差动系统。控制系统必须处理整个赛车（例如油门踏板和刹车）上安装的传感器发出的模拟信号，并且适当控制逆变器、电池管理系统和高压系统，避免损坏部件。

根据制造单座方程式赛车参加设计竞赛的以往经验，团队选择美国国家仪器公司(NI)生产的CompactRIO作为控制系统。他们知道CompactRIO会绝对可靠地运行事先写入的

FPGA的代码。这可以使其及时、安全地运行关键性任务并且通过实时控制器为赛车的操作系统提供文件输入/输出。

CompactRIO可以让电动赛车像普通汽车一样运行。例如，在司机转动点火钥匙时，赛车会正常启动并且准备行驶。司机不会感觉到启动-行驶过程（包括检查和检验是否所有系统和传感器都正常运行）的复杂。

CompactRIO在正常行驶情况下会分别控制每个组件。例如，FPGA上独立的软件程序段可以监控电池管理、逆变器控制、热管理、车辆稳定性和充电器管理。另外，可以记录赛车的一般状态，例如是否正在充电、行驶或者处于调试状态。在MathScript RT Module运行高级的、依赖非线性状态的Ricatti方程式算法进行车辆稳定性控制的同时，NI LabVIEW Real-Time会记录所有数据，以供进一步研究。

CompactRIO上的其他算法设法使操作可用性最大化。例

如，转矩减少算法在探测到运行的部件接近极限值（例如马达过热或者电池组电压太低）时，会降低马达的转矩。

FPGA还被用于安全功能。在探测到任何异常情况时，它一般会使得赛车停止运行，以避免事故发生并且保护机电系统。

现在，这款赛车已经从阿拉斯加州的费尔班克斯市沿着泛美（Pan-American）高速公路行驶到位于世界最南端的城市—阿根廷乌斯怀亚市，总共行驶了16 000多英里（26 000公里）。CompactRIO成为赛车上安装的最可靠的组件之一，未出现过任何故障。

推荐配置

CompactRIO

NI LabVIEW Real-Time

同济汽车电子研究所： 燃料电池发动机智能测试平台

作者：马天才 研发工程师 同济大学汽车电子研究所

挑战：

建立100KW级智能型质子交换燃料电池发动机测试平台,为燃料电池发动机提供各种工况环境，采样其各种重要参数，评价燃料电池发动机的动态特性，并且为燃料电池发动机匹配以及控制提供一个完整的试验环境。

解决方案：

使用NI开发套件的可视化界面以及其强大的图形处理功能建立燃料电池测试平台的用户接口；利用NI软硬件系统的高度集成性，在后台直接完成数据采集、通信、控制等功能；利用NI开发套件的数据处理工具包完成数据在线分析处理，测试完成后生成测试报告；考虑到燃料电池测试的安全性，利用NI开发套件自带的远程操作的功能，为远程计算机操作提供了完整的接口方案，从而建立一个燃料电池智能化测试平台。

介绍

本文建立了基于NI集成软硬件环境燃料电池发动机测试平台。该平台可以实现燃料电池发动机及其辅助系统的测试与控制、燃料电池发动机系统参数测量、为燃料电池发动机提供多种工况环境，甚至系统控制策略的评价的功能。利用NI开发套件建立了一个内嵌专家系统的智能软件平台，不仅确保了测试平台的工作安全性，同时也可以对系统的潜在故障进行诊断。此外，由于该测试平台的高速采样，使得燃料电池发动机动态特性参数的准确性得到保证，本系统利用这些参数自动生成包括燃料电池发动机动态模型的测试报告。

测试平台功能要求

燃料电池发动机的本质是一个电化学反应堆，能够对外输出电能，如图1所示。燃料电池可分为4个部分：空气系统、氢气系统、循环水系统和燃料电池堆。

对燃料电池进行测试主要是有三个目的，功率输出特性，不

同工况工作规律，建立或者验证其数学模型或控制模型。根据测试目的，燃料电池测试平台应具有控制、数据采集、数据处理以及生成报表的功能

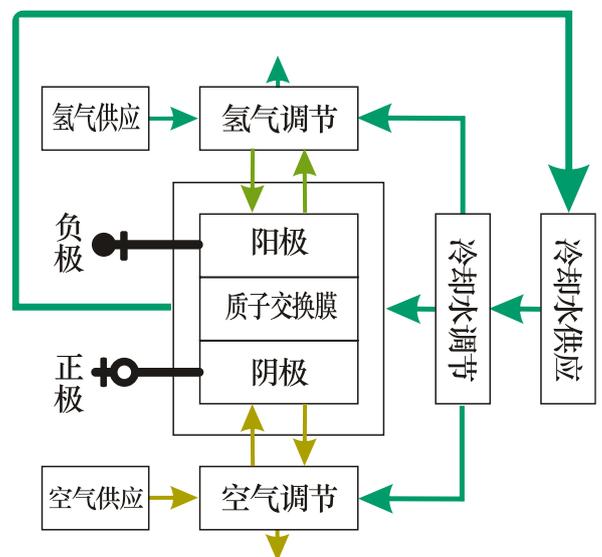


图1 燃料电池工作原理示意图

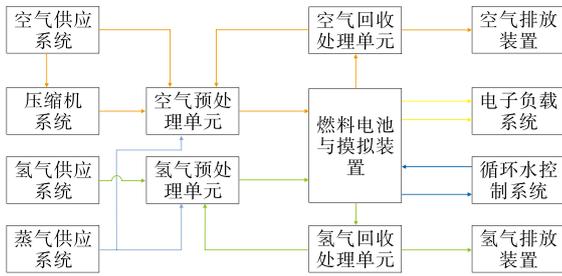


图2 系统结构

基于上述的功能要求，本文建立了智能化的燃料电池发动机测试平台。如图2所示的系统的结构框图。

按照工作性质整个平台的可分为执行、测控以及数据处理三个部分：

1. 执行部分

该部分主要为了满足系统功能的需要配置的各种制冷、加热、加湿、水处理等大型设备，由冷冻机、换热器、蒸汽锅炉、循环水泵、阀门等组成。

2. 测量与控制

该部分主要为了测量和控制平台的特性参数和燃料电池的工作状态。主要由数据采集装置、调节装置、信号调理放大等部分组成。

为了实现平台的功能，需要测量的量共计86个，类型各有不同，并且信号类型众多，显然快速、精确、可靠的测量是一个繁琐的工作。在参数测量的同时，系统需要完成控制功能，由于控制对象的复杂性，要达到良好的控制效果一直都是燃料电池测试平台开发的难点。

3. 数据处理

在测试的过程中，系统需要为用户提供相关的瞬时测试信息；测试结束后，系统必须为用户生成完整的测试报告，以评价燃料电池发动机的性能。

由于系统中执行部分主要利用化工工业和制冷技术等方面的成熟的产品，该部分的内容在本文中不属于本文的重点，故本文主要就系统的测量、控制和数据处理方面的内容进行介绍。

为了实现平台的功能，需要测量的量共计86个，类型各有不同，并且信号类型众多，显然快速、精确、可靠的测量是

一个繁琐的工作。在参数测量的同时，系统需要完成控制功能，由于控制对象的复杂性，要达到良好的控制效果一直都是燃料电池测试平台开发的难点。

开发环境选择

如测试平台构成部分所述，系统中传感器信号和控制信号类型众多，同时对于数据采样速率要求很高，因而选用了NI公司的测试环境，之所以选择该开发环境主要是因为：

1. NI公司的硬件环境和软件环境操作简便，图形化的编程界面及其优异的图形控件使得测试平台的编程过程变得简单，尤其是其软硬件系统的无缝结合，极大提高了编程效率与可靠性；
2. 数据测试系统配置方便，可靠性高。数据采集结构的开放性，使得数据采集系统的使用只是简单的外围传感器信号配置，同时PXI总线的优越性能使得数据采集的信号多样性、速度和精度要求高等难题变得微不足道；
3. 功能强大。NI开发套件工具包配置齐全，使得测试平台开发中的控制算法的实现、数据的图形显示、数据采集工作的实现、在线数据处理、测试报告的生成以及远程协作控制等变得只是工具包的调用和系统参数的配置。

测试平台硬件系统构建

本系统硬件采用了NI公司的DAQ系统来实现温度、湿度、压力和流量等数据的采集；利用模拟量输出单元来控制相应的调节设备；利用继电器输出单元来控制重要的开关器件；利用RS485和GPIB通信端口和外设装置进行通信；利用工控机箱的RS232端口和PLC通信，控制次要的设备和读取相关设备的故障信息；如图3所示系统的硬件结构。

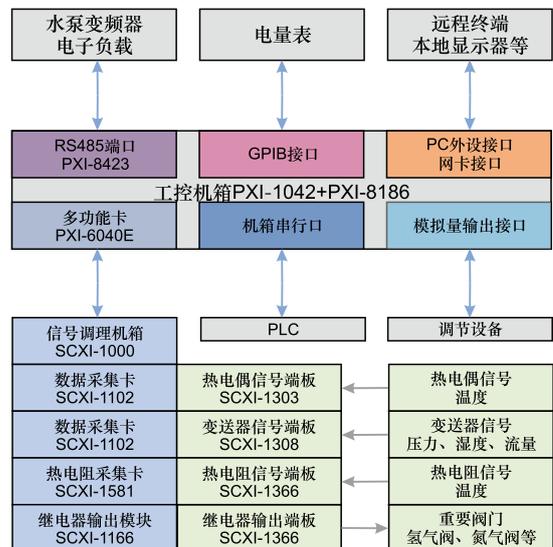


图3 系统硬件结构

利用以上的硬件可以方便的对测试平台中的各种信号进行测量，避免了硬件设计的繁重工作，尤其是NI内嵌式的DAQ系统提供了自由的硬件配置以及测量数据校正的功能，大大简化了系统的设计，给了用户更多的自由空间，使得用户可以将更多的精力投入到软件设计的工作中。

测试平台软件设计

由于该平台可以提供多种功能，要充分利用其各种功能，为系统设计和理论分析提供更多的帮助，则主要依赖于软件系统的开发。

本系统利用该开发环境提供的多线程技术，将系统的数据采集、数据处理、设备控制以及用户接口等四方面的工作并行的处理，通过调用NI开发套件的控制工具包，为用户提供了PID、模糊等多种控制算法。并且通过图形显示各相关参数的变化趋势。使用NI公司的LabVIEW开发平台，非常方便的实现多线程的程序架构以及良好的用户界面。系统的软件功能主要包括：压缩机测试、电堆性能测试、辅助系统匹配测试、历史数据分析、电堆性能仿真以及辅助系统仿真等功能。软件系统中嵌入了专家系统，根据用户执行不同的操作分配系统的任务，同时对于测试过程中的相关结果进行了分类处理，供用户备用。

在用户界面中，系统提供了各执行部件的操作按钮以及开关程度的设定，显示各种测量参数的数值与图形显示。通过用户界面，用户不仅可以选择测试平台的不同测试功能，同时可以自由选择控制算法，调整控制参数。如图4所示。

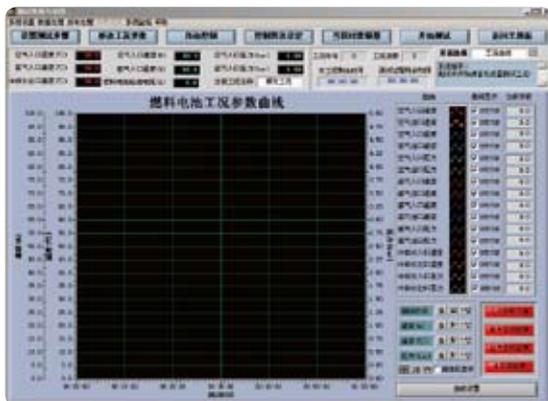


图4 用户界面

控制系统的功能是本系统最有特点模块，不仅允许用户对控制参数进行在线调整，同时可以自动的对系统的模型进行在线辨识，对系统的工作状态进行预测，在手动控制的条件下为用户做出在线提示。

结论

燃料电池发动机是车载发动机的研发的重点。本文结合同济大学所承担的国家863燃料电池轿车重大专项的研发工作，使用了NI的软硬件产品，成功的建立了一个综合测试环境下智能化的100KW级燃料电池测试平台，不仅可以实现对燃料电池发动机的电堆和各辅助部件进行测试，同时还可以对燃料电池发动机的性能、控制算法等进行综合评价，为燃料电池的研究提供了充分的支持，同时也为其它类型燃料电池测试平台的设计提供了一种简洁、高效、相对低成本的设计方法。

推荐配置

- NI Developer Suite NI开发套件；
- PXI-1042 + PXI-8186 PXI工控机箱和控制器；
- PXI-6040E 12位500KS/s 多功能数据采集卡
- PXI-6704 16位32通道电压电流模拟输出卡
- PXI-8423/4 4通道隔离RS485接口卡
- SCXI-1000信号调理机箱
- SCXI-1102 + SCXI-1303热电偶采集模块
- SCXI-1102 + SCXI-1308变送器信号采集模块
- SCXI-1581 + SCXI-1300铂电阻信号采集模块
- SCXI-1166 + SCXI-1366继电器输出模块

离合器从动盘产品测试

作者：Paul Riley Computer Controlled Solutions Limited

“ 作为NI的合作伙伴，我们具有两个经过认证的LabVIEW开发人员，我们的开发经验和基于NI硬件提供高级的LabVIEW解决方案的能力，被证明是我们公司极大的财富。 ”



典型的离合器从动盘

挑战：

创建一个下线测试系统，为离合器从动盘从动盘提供一个可追溯记录的质量标准，从而为汽车行业供应原始设备(OE)零件做好准备。

解决方案：

使用LabVIEW软件和NI硬件，包括NI CompactRIO扩展机箱和相关模块，在实际生产环境里配置和部署具有精确性、可重复性、高吞吐量和可靠性的测试系统。

Magal Engineering，一家总部位于英国的公司，是全球汽车行业的OE供应商。其AP Driverline科技有限公司分部为轿车、商用车、越野车和高性能车等OE汽车和零部件制造商设计、开发和制造汽车离合器。Computer Controlled Solutions公司，作为NI系统联盟商，已经为业界生产了很多复杂的测试、控制和数据采集系统，并且在此之前为Magal Engineering公司提供了成功的测试系统。这次Magal and AP Driveline公司委托我们为其开发一个离合器从动盘测试的解决方案。

典型的离合器从动盘组件将扭矩从发动机传递到驱动轴，该组件由一个摩擦片组成，摩擦片连接在具有变刚度弹簧的中心花键上。弹簧吸收了扭转振动，为动力传动系统解决了噪声、振动和声振粗糙度(NVH)的问题。

为了保证该组件按指定的方式工作，技术人员必须通过相对于固定的摩擦片旋转中心花键并分析弹簧的刚度和迟滞特性的最小公差，对每一个组件进行测试。

我们客户最初的“迟滞机器”，大约生产于20年前，是一个非常大型的、昂贵的液压系统，缺乏符合规格的精度和吞吐量。对于我们的解决方案，我们采用了最新的电子器件和无刷电机技术，系统成本只占以前系统的一小部分，同时也提高了系统的精度，并增加了测试吞吐量。

系统硬件概述

我们的系统基于一个高扭矩夹具(800Nm)和一个低扭矩夹具(50Nm)，它们放置在落地式机柜的两侧。每一个夹具采用

气动执行器来夹紧从动盘，与伺服电机相结合，提供一个可以控制的角度偏转。我们使用扭矩传感器和编码器来获取迟滞数据。

中心的机柜包含以下控制和数据采集电子器件：

- Intel奔腾双核3.2GHz处理器
- NI 7811R现场可编程门阵列(FPGA)数据采集设备
- NI CompactRIO扩展机箱
- NI 四通道应变计模块
- NI 32通道数字输出(sourcing)模块
- NI 32通道数字输入(sinking)模块
- Baldor伺服驱动器

夹具包含以下硬件：

- Baldor伺服无刷电动机
- Alpha 220:1变速箱
- 夹紧零件的气动执行器
- 应用扭矩传感器

我们需要使用基于CompactRIO的硬件，才可以在预算内开发高精度的机器。这提供了扭矩传感器读数的采集加上高达24位分辨率的无噪声数字采集，角度控制达到0.0004度分辨率。

软件设计

我们利用LabVIEW和LabVIEW FPGA模块编写整个软件。由于该软件是用于一台生产设备，所以我们的设计中包含了多种功能。例如，操作员只需要最低限度地对计算机进行操作，可以简单地装载零件，在系统供电后只需按下启动按钮。另外，因为我们的系统使用编码器并且不需要角度校准，所以我们将扭矩校准构建到软件和硬件中，这样我们可以与第三方力传感器和显示器件相比较来检查扭矩的读数。这样我们就可以将这些单元送到实验室进行校准。

随着简单的测试积累，管理者可以创建或编辑一个测试方案，从而提供了一个包含不同从动盘的测试库。此外，我们将所有的结果数据以良好的结构形式和可搜索的NI DIAdem TDMS格式保存，并且使用基于XML的参数头使其具有高速的搜索能力，这样一天可以在一个文件中完成800个测试。

另外，我们设计的运行界面包括各个测量参数的历史记录，这样操作员或管理者可以发现任何检测结果的变化趋势，以预测潜在的故障。我们也使用FPGA硬件采集数据，它能够采集随角度变化而不是随时间变化的数据，提供了一个无噪声、高分辨率、无冗余数据的数据采集系统。

使用LabVIEW和相关硬件来进行高效开发

对于本套系统的顺利开发，LabVIEW的几个特点是非常关键的。在LabVIEW 8.0的项目管理环境下，我们可以在一个位置包含所有的PC代码、子程序和输入/输出关系，也可以把所有与FPGA相关的代码、项目文件、数据表和说明书集成到一个环境中，这样就使得售后服务和维修更容易。

此外，CompactRIO数字输入和输出模块降低了中间接线的难度。通常我们需要将计算机信号转换到24V(或从24V转换为计算机信号)以便操作不同的电磁阀和读取通过夹式固态继电器或者中间信号的输入。但在该系统中，由于我们使用的是以24V为标准的CompactRIO模块，所以除去了这部分的所有接线。

使用CompactRIO应变计模块，我们可以完成扭矩传感器与采集硬件的直接连接，这样就减少了连线和减小了噪声干扰。在软件中，提供了传感器的简单校准，通过自检补偿修正，分辨率达到100fV以下。

使用FPGA架构，我们可以独立并行地从每一个装置中采集数据。这在基于PC的架构中通常是很难实现的，并且可能导致第二台PC产生的额外费用或减缓零件的同步测试吞吐量。

此外，我们使用FPGA进行固件高速行程监测。FPGA以很高的速率监测扭矩的大小，当扭矩达到额定扭矩95%以上时直接切断电源，这样就保护了外部的模拟硬件，这种响应的确定性在PC机上是无法达到的。

结论

迅速构建和完善本系统后，我们必须立即将其投入生产线。

从那以后，我们的系统以每天16小时的周期对下线的每一个离合器从动盘组件进行了测试，并继续完美地运行。

由于该系统的测试结果非常精确，它可以鉴别出从动盘的原始设计中没有发现的关键特征。我们也用它为下一代从动盘的设计阶段提供数据和指出材料制造商需要检查的区域。

作为NI的合作伙伴，我们具有两个经过认证的LabVIEW开发人员，我们的开发经验和基于NI硬件提供高级的LabVIEW解决方案的能力，被证明是我们公司极大的财富。

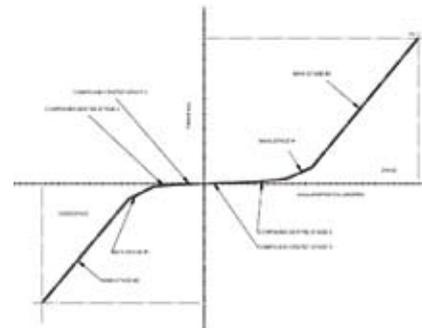
NI系统联盟商是独立于NI的商业实体，与NI没有代理、合伙或合资关系。

推荐配置

- NI 7811R现场可编程门阵列(FPGA)数据采集设备
- NI 9148 CompactRIO扩展机箱
- NI 9235四通道应变计模块
- NI 9476 32通道数字输出(sourcing)模块
- NI 9425 32通道数字输入(sinking)模块



设计系统简图



变刚度弹簧下的典型迟滞图

Delphi：开发转向反作用力仿真系统

作者：Kim Eung-Soo 韩国Delphi汽车公司

“我们在短短两个月时间里就利用NI CompactRIO硬件和NI LabVIEW软件开发了一套基于一个复杂算法的转向反作用力仿真系统。”

挑战：

开发一个转向反作用力仿真系统，可以从不同传感器采集数据，进行计算、匹配地图信息、并产生输出，能够可靠地执行一系列需要快速响应的实时任务。

解决方案：

使用NI CompactRIO硬件和NI LabVIEW软件在短短两个月内开发一个基于复杂算法的转向反作用力仿真系统。

对驾驶过程中转向反作用力的仿真一直是动态变化的，因为它取决于车速、转向角度以及道路状况。另外，对于产生反作用力的部件，此仿真系统还必须具备快速响应时间。

在车速、转向角度、转向角加速度数据的基础上我们得到了转向力矩数据图，并根据此图计算出最终的反作用力。然后，我们把这些值传给一个液压系统来仿真实现最终的反作用力。我们设计系统逻辑，从不同传感器获得数据、计算数据、匹配地图数据，产生输出，并可靠、快速地执行一系列实时任务。

系统概述

我们选择LabVIEW和CompactRIO来创建我们的系统。我们选择了可扩展的8槽NI cRIO-9116机箱。它有一个Xilinx Virtex-5现场可编程门阵列（FPGA），以帮助实现控制逻辑，并保证快速响应时间。我们还选择了NI的一款配备了实时操作系统（VxWorks）的cRIO-9024实时控制器。

cRIO-9024控制器具有4GB的存储空间，512MB DRAM和800MHz的CPU，这将有助于快速采集、记录和处理大量数据。此外，借助两个以太网端口和一个RS232接口，系统很容易便可与外部设备相连。USB端口可以很容易地用于扩展外部存储器介质。

我们使用两个4通道NI9215模拟输入模块处理8路模拟传感器信号。使用一个2端口NI9853控制器区域网络（CAN）模块来与正在开发的电子稳定程序（ESP）电子控制单元（ECU）进行CAN通信。

我们使用NI9474模块产生8路数字输出作为脉冲宽度调制（PWM）信号，仿真车辆速度。然后将此PWM信号发送到EPS ECU来虚拟一个车辆。这个信号会使用通道间相互隔离的NI9269模块来进行模拟信号输出，从而消除了信号之间的干扰，以确保用于液压系统的模拟输出足够精确。

除了精确控制数字和模拟输出，CompactRIO的配置还可以

仿真车辆中的动态变化的传感器信号和CAN信号（一种车辆通信信号）。我们利用FPGA和实时操作系统创建了一个快速并且高度可靠的车辆仿真系统。

我们为什么选择NI产品

考虑到该系统对于处理时间的精确性要求严格，我们需要通过FPGA实现高速数据采集、处理，并保证精确的数字和模拟控制信号输出。我们还需要实时、动态控制，以真实地仿真车辆行驶工况，快速计算出整车转向反作用力矩的数据，并构建出一个不受PC限制的嵌入式系统。LabVIEW减少了我们的软件开发时间，并提供了一个强大的函数库帮助我们开发算法。

系统配置

如图1所示，8路传感器信号（NI9215）和CAN通信数据（NI9853）各自从它们的输入对象接收信号。FPGA以100 μ s的采样周期从EPS ECU采集信号，并使用PWM波（0 km/h~250km/h: 1.41Hz~353Hz，占空比50%）提供车速信号（NI9269），并最终传输给EPS ECU。

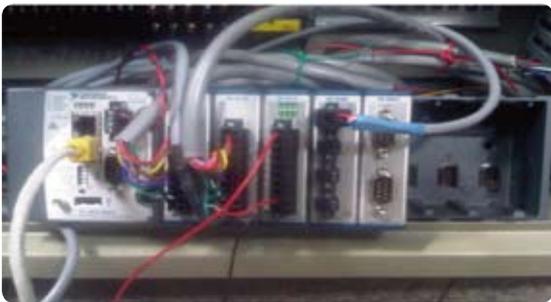


图1 系统配置

通过先入先出（FIFO）的模式，所收集的数据将通过实时处理器（cRIO-9024）进行分析和逻辑处理，并转化为有效值。然后，在实时处理器中，系统使用一种快速映射算法（对应于标准地图数据存储的反作用力值）由地图数据计算出最后的控制量，并将它通过一个FPGA算法产生模拟输出量。NI 9269模块则提供 ± 10 V的范围内的控制信号至液压执行器。

输入的传感器信号和最终的液压系统控制值控制了液压系统。他们同时还保存在队列中，然后通过TCP / IP通信发送

到PC主机。这种配置使得PC主机可以监控反作用力仿真器的性能和状态。此外，该系统在保证动态控制的同时还提供给用户多个信号的控制权利。

结论

我们有4个月的时间来开发这个应用程序，但实际仅使用了短短两个月内就完成了。我们使用LabVIEW编程完成了FPGA程序的快速功能实现和调试，而这往往需要大量时间和经验。在部署FPGA逻辑的同时，我们还实现了快速的数据采集。

该实时操作系统通过运用一个已获验证的操作系统（VxWorks），保证了高度安全、可靠的数据处理。因为目标控制的总循环时间为50毫秒，这就使得一个高效的控制效果成为了可能。这比为液压执行器提供所需的响应更快。

软件开发完毕后，将被下载至CompactRIO中独立运行，在没有PC控制下，平滑地控制反作用力仿真器。在整车级别的反作用力力矩地图数据中，我们可以在cRIO-9024存储器中更新不同驾驶条件下的数据，用于更准确的实现实验室级的仿真环境。因为机箱插槽的可扩展性，我们只要再添加一个模块，就可以添加出更多样化的车辆行驶工况。这意味着我们可以使用最初的CompactRIO系统设计来轻松、经济、高效地适应新变化。

使用LabVIEW和CompactRIO作为解决方案的最大优势是，只要使用简单的组合或者简单的变量变化，它就能帮助我们快速、方便、准确地建立复杂的算法。

推荐配置

硬件：

cRIO-9116可重新配置嵌入式机箱

cRIO-9024嵌入式实时控制器

NI 9215同步采样模拟输入模块

NI 9853双端口高速CAN模块

NI 9474源极数字输出模块

NI 9269 10V模拟输出模块

软件：

NI LabVIEW

丰田TRW汽车转向泵测试系统开发

作者：Mathew Eurich Wineman Technology Ed Sekel Wineman Technology

“ 使用LabVIEW实时系统，我们简化了系统设计，降低了成本，提供的测试系统不仅具有性能试验台的功能，同时还能完成耐久性试验台的任务。 ”

挑战：

为新的动力转向泵耐久性试验台开发一个创新的数据采集和控制系统，消除传统系统的复杂性。传统系统包括用于控制的独立的PLC、伺服电机的模拟控制器、用于特殊测试的黑箱和独立的数据采集系统。

解决方案：

使用一个基于NI LabVIEW的系统，控制两台PXI实时系统和多台联网的计算机来增强传统系统的功能。

确立设计目标

一家OEM厂商与Wineman科技公司签订了合同，为其新的动力转向泵耐久性试验台提供一个先进的数据采集和控制系统，用于丰田TRW汽车转向泵的测试。在该项目开始时，我们确立了如下设计目标：

- 可以仅使用一个可靠的控制系统完成多个系统的独立的、高确定性的控制；
- 集成的控制和数据采集功能；
- 集成的动态信号采集和分析功能；
- 可同时运行不同的测试；
- 可配置自定义的测试序列，用户可以保存、导入和编辑；
- 实时数据显示，并可以从任何远程终端操作整个系统；
- 在测试运行时重现、分析和打印采集到的数据；
- 一个非常先进的、易于使用的和可靠的系统。

机械设计部分包括一个双工作站系统，每一个试验台能够独立配置和控制。我们提供通用的夹具，这样TRW可以

在试验台上按实车的位置安装各种转向泵。我们控制转速从0到10000RPM变化，压力从0到20MPa变化，流量从0到60LPM变化。在这些范围内的精确控制需要几个自定义组件和与主要供应商的广泛合作。

控制两台泵测试

我们集成了NI PXI实时嵌入式控制器，通过多计算机接口系统来准确地控制两台泵试验台。我们使用自定义的客户端服务器应用程序，通过TCP协议来发送和接收高优先级的配置数据以完成每个系统之间的通信。UDP数据协议给所有远程终端提供实时数据更新。PXI嵌入式控制器工作站完成两个泵测试单元的压力、温度、扭矩、皮带张力、转速和流量的确定性闭环控制。它还通过一个RS-232接口来控制温控箱内的温度调节，并采集所有的低速数据信号。PXI高速数据采集系统通过具有抗混叠滤波器和同步采样功能的PXI-4472卡来采集所有的高速信号，如动态扩音器、加速度计和压力脉动信号。

集成灵活的软件设计

我们开发的软件包括三个独立的LabVIEW应用程序：一个用于实时高速系统，第二个用于实时低速控制系统，第三个用于远程终端接口。我们设计远程终端在多台计算机上完成部署，同时可以与两个实时系统进行交互。正因为如此，操作人员可以在每一个远程工作站上自定义他们需要的功能。它还实现了真正的冗余，因为用户可以配置任何工作站来控制任一测试单元。

远程工作站只需要以太网就可以连接到系统，这就为今后部署到丰田TRW工厂中的任何地方提供了一个灵活的解决方案。

我们继续使用单一应用程序的概念，开发了一个通用的远程接口来实现系统与实时嵌入式控制器进行交互。此接口为操作人员提供了手动控制和自动测试控制。使用手动控制屏幕，操作人员可以完成上一代转向泵测试系统上所有的操作，包括手动设置速度、压力、液压回路和循环泵。

此外，操作人员可以方便地观看所有采集到的低速控制和高速FFT信号的实时数据显示，包括最大值、最小值和当前值的跟踪。手动控制屏还提供了暂停数据显示、记录数据文件和查看所有数字输入的能力。

自动测试控制屏幕包括与手动控制屏幕一样的数据显示和跟踪功能，并具有运行预定义的测试序列和监测所有警报情况的能力。操作人员既可以使用手动控制屏幕也可以使用自动控制屏幕来控制任意一台泵测试单元。在一个测试工作站上，操作人员就可以单独控制一个单元或共同控制两个单元，或完全作为一个数据观察者。对操作人员唯一的限制是每次只能用一个远程终端来控制泵试验台。但是，如果另一个终端已经控制了此单元，那么该单元的实时数据仍对所有的远程终端都可用。操作人员可以随时从一个远程终端转移控制权到另一个终端，实时系统能够继续以可靠的确定性完成系统的控制和数据采集。

生成大量的测试序列

该系统需要运行16个标准的自动化测试，并要有生成自定义测试的能力。为了达到该目标，我们开发了一个模块化的测试序列编辑器，不仅可以创建自定义测试，而且可以创建标准测试。使用该测试序列编辑器，用户可以使用基本子序列

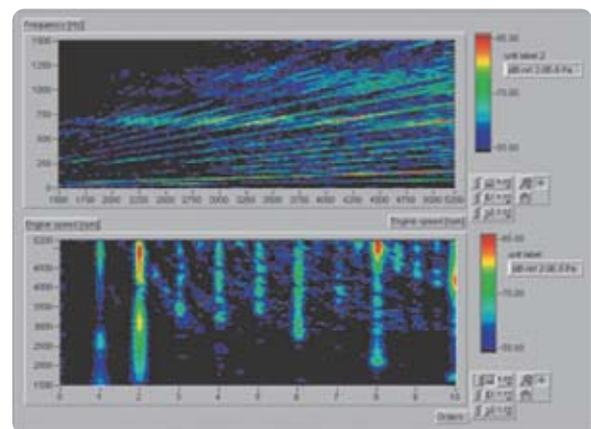
来组装一个更大的序列，这些子序列包括控制数据记录、转速、压力、温度、液压回路数据采集和操作员干涉等模块。通过编译基本子序列，用户可以生成大量的测试序列，这些测试序列可以创建更大的性能或耐久性测试序列。

正因为如此，操作人员可以构建运行时间为几秒、几分钟、几小时、几天、几个月或几年的测试。操作人员可以保存、装载和编辑测试来创建新的测试。

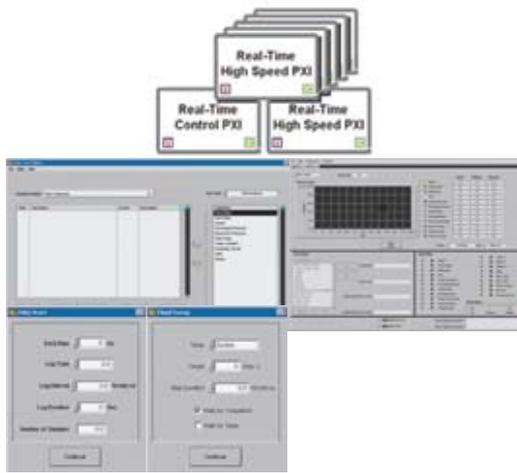
从采集过程中到采集完成后，系统要进行一系列的分析，包括上下限值警报和系统故障监测、所有采集通道的数据显示、实时FFT分析、高速信号的阶次分析、阶次提取和声压级计算。

提供一个强大和灵活的测试系统

这个模块中的一些功能，如果没有通过我们的设计方法实现的高度集成，是不可能实现的。NI软硬件组件的标准化提供了技术支持，并使得我们可以使用一种编程语言来完成所有的开发和调试。使用LabVIEW实时系统，我们简化了系统设计、降低了成本，并提供了一个结合了性能试验台功能和耐久性试验台功能的测试系统。由于我们没有受到PLC或黑箱设备中的通信协议标准的限制，我们的系统配置、同步性能和通信功能都成功地满足了该应用的要求，而且已经被证明在开发测试序列生成器方面是极其有价值的。我们的测试系统，使得丰田TRW能够利用一些功能，如阶次分析和将高速和低速数据合并到报告中的能力。有了测试序列编辑器模块的性能和灵活性，丰田TRW几乎可以创建并执行无数的测试。



显示信号值跟踪的实时数据显示



使用测试序列编辑器，用户可以使用基本子序列来构建一个更大的序列，这些基本子序列包括控制数据记录、转速、压力、温度、液压回路数据采集和操作员干涉等。

推荐配置

硬件：

NI PXIe 8133 实时嵌入式控制器

PXI-4472 动态信号采集卡

软件：

LabVIEW Real-time

NI Teststand

液压制动系统EHB驾驶员在回路仿真实验平台

作者：He Huang Hefei University of Technology

“ 利用LabVIEW和PXI，我们成功开发了混合仿真平台，并缩短了开发周期和应用程序开发成本。 ”



测试系统

挑战：

研发EHB控制器的关键点在于通过大量测试实验掌握执行元件的工作性能，在模拟环境下有效地进行参数仿真、软件仿真，减少实际路面测试带来的困难，并开发基于虚拟现实技术的混合仿真平台，在不同虚拟环境下由驾驶员产生的实际操纵动作对EHB快速原型的控制器进行功能验证和逼真的产品性能演示。

解决方案：

利用LabVIEW构建轮缸压力测控系统，在大量测试试验的基础上选择合适的PWM载波频率和占空比控制EHB系统的高速开关电磁阀，满足对轮缸压力控制的要求；通过NI PXI-8464CAN总线接口卡以及NI PXI-6289数据采集卡完成硬件在环实验中方向盘、电子油门、制动踏板、轮缸压力等数据采集和通讯；由NI PXI-7851R FPGA板卡完成控制器的快速原型，满足严格的实时性需要；在Veristand软件平台上，联合在DYNAware软件中生成的实时车辆模型，大大缩短了混合仿真系统的开发周期和应用程序开发成本。

在过去的二十年里，电子设备在汽车工业得到广泛应用，今天的汽车已经进入了电子技术的时代。随着人们对汽车制动性能的要求越来越高，线控制动系统（brake-by-wire）应运而生，电子液压制动EHB可以借鉴ESP系统的成熟经验，对原有的液压系统不做大的改变，由电子系统提供柔性控制，液压系统提供动力，是机电液一体化的高新技术产品，受到

了广泛的关注。作为开放的线控控制系统，配备了传统ESP系统中没有的轮缸压力传感器，可以实现精确的压力控制，在高压蓄能器的作用下满足四通道独立控制的要求，因此提升了ABS、ASR、ESP的工作性能。为了加速包括硬件和软件在内的控制系统的开发设计，一些成熟的仿真测试、快速原型方法和工具是必不可少的。围绕EHB液压系统的新型特

点，结合先进的车辆动力学仿真软件DYNAware，在NI公司提供的一系列产品的帮助下通过硬件在环(HIL)测试进行深入的控制研究，减小了时间和经费的的开销，为今后的产品实现提供坚实的研究基础。

基于LabVIEW的轮缸压力测试系统

受高速开关阀电磁铁的响应能力及阀芯运动时间的影响，实际的阀芯响应不能完全跟随脉宽信号的变化，脉冲调制周期和占空比对其影响很大。因此需要搭建如图1所示的测试平台，在不同的载波频率下得到不同的增减压力曲线。综合考虑控制的快速性和有效的占空比调节范围选择合适的载波频率。

数据采集(DAQ)的输出电压为5V电压，通过驱动电路放大为12V的PWM信号控制电磁阀。液压控制单元里的轮缸压力传感器信号通过放大电路转换为0~5电压信号供数据采集卡采集。图2为载波频率为100HZ下的增压特性曲线，当占空比小于15或大于89时由于电磁阀的死区和饱和效应电磁阀无动作。LabVIEW帮助我们在短时间内搭建这样的测试系统，确定PWM信号合适的载波频率。

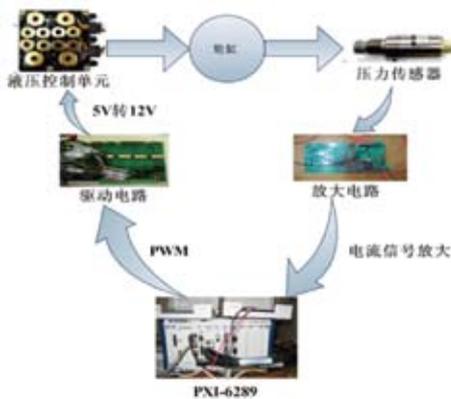


图1 系统组成

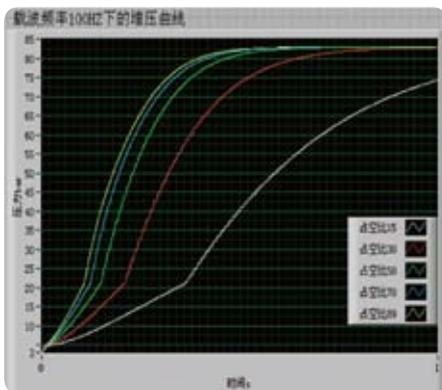


图2 增压特性曲线

驾驶员混合仿真实验平台总体构造

硬件结构如图3所示，在原博世ESP8.0 HCU基础上增加高压蓄能器、高压泵电机等元件，改造成EHB液压控制单元。混合仿真平台存在两个回路。一个是信号的回路，NI PXI-8464接受转角传感器的CAN总线信号，NI PXI-6289采集踏板行程传感器、改造的液压控制单元中四个轮缸压力传感器信号和高压蓄能器中的压力传感器信号。上述信号传送给PXI-8196中实时运行的车辆模型。实时模型给出的控制信息通过DMA方式传送给NI PXI-7851R，根据自定义的I/O接口控制HCU单元中的电磁阀、泵电机，完成闭环。另一路是驾驶员的回路，即驾驶员观察显示器中车辆的三维动画通过驾驶员操纵单元中的方向盘和油门、刹车踏板控制车辆。NI公司的一系列硬件产品为搭建这样一个混合仿真实验提供了强有力的保证。

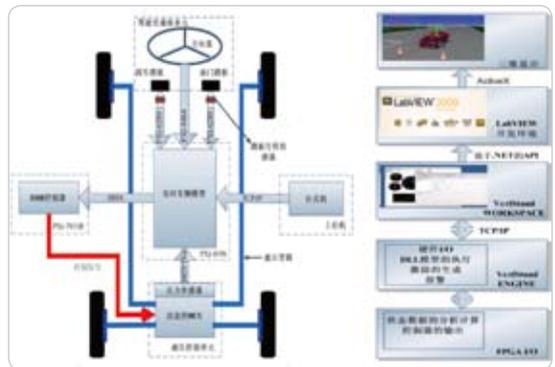


图3 混合仿真平台组成——硬件（左）和软件架构（右）

基于LabVIEW和NI VeriStand开放式的开发环境的软件架构如上图所示。LabVIEW作为客户端调用DYNAanimation车辆三维动画显示软件的ActiveX控件实现显示功能。通过VeriStand VI中Workspace VI实现Workspace与LabVIEW的数据交换。

VeriStand兼容用户自定义的FPGA I/O接口，利用FPGA灵活高效的特点在无需改变硬件配置的情况下完成控制器的快速原型。

车辆实时模型的建立

Tesis DYNAware的车辆模型

NI VeriStand支持第三方软件DYNAware生成的模型文件。DYNAware是Tesis公司开发的一款全面高效的车辆动力学仿真软件，从电脑上的汽车概念设计，到汽车动力学控制器与硬件结合的硬件在环试验环境，都可以通过其达到很好的效果，仿真结果可以通过DYNAanimation软件在显示器上实时

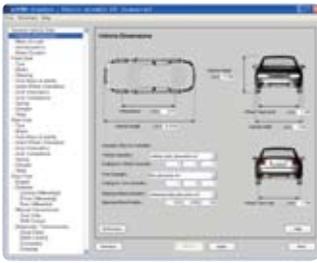


图4 车辆总体尺寸建模

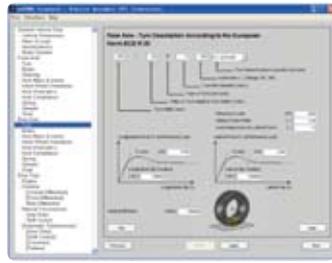


图5 轮胎特性建模

显示。在德国几乎所有的汽车制造商都在使用DYNAware的产品，世界范围内也非常流行，基于不同的需求为生产厂家和零部件供应商提供了适当的仿真软件包。通过在图形化界面中设置参数，简洁直观地完成建模。建模对象包括整车尺寸、轮胎、前后轴、悬架、发动机、传动系、空气动力学等模型，可以建立多达几十个自由度的车辆动力学模型，很好地反应车辆在各种工况条件下的动力学特性。

EHB控制器模型

EHB控制器模型首先接受车辆模型传来的纵向加速度和车速，估计参考车速。同时接受方向盘转角，横摆角速度、侧向加速度，利用估计的参考车速估计质心侧偏角。汽车稳定行驶时，目标制动力矩与制动踏板位移成比例关系。汽车失稳时，EHB系统主要的控制对象是汽车的横摆角速度和质心侧偏角。其中横摆角速度控制模块采用PD控制方法，控制实际横摆角与理想二自由度横摆角之间的偏差，输出为目标制动力矩。质心侧偏角控制采用门限值控制方法，根据超出门限的程度施加制动力矩。根据车辆运动状态协调上述三种模式下的输出量得到目标制动力矩。调用制动力矩—轮缸压力模块，计算出目标轮缸压力，再转入开关电磁阀数字PID控制模块，输出电磁阀的占空比。此外，根据高压蓄能器设定压力及HCU的工作状态输出泵电机的占空比，控制框图如图6所示：

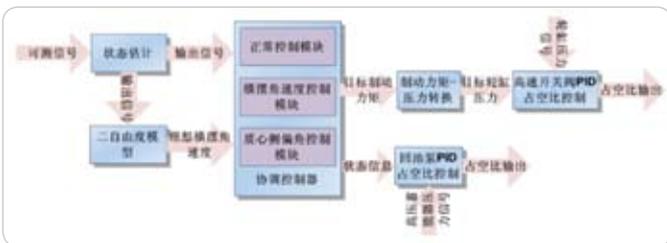


图6 EHB控制器模型

EHB控制器模型在Simulink/Stateflow环境下建模，与上述DYNAware中模型实现无缝集成。模型采用固定步长常微分方程求解器，通过Real-Time Workshop转化为VeriStand支持的dll动态链接库文件。

配置VeriStand

在System Explorer Window中导入模型文件，对Primary Control Loop的实时仿真速度进行调整，设置周期为100 μ sec，则Model Execution Loop的周期为1ms，满足车辆实时仿真的需要。通过分配处理器资源，VeriStand能充分发挥双核处理器的并行处理性能，提高实时运行速度。横摆角速度是判断汽车失稳的重要标志，当理想横摆角速度与实际横摆角速度之差超过上下门限值时，通过报警设置以报警音的方式提示驾驶员。

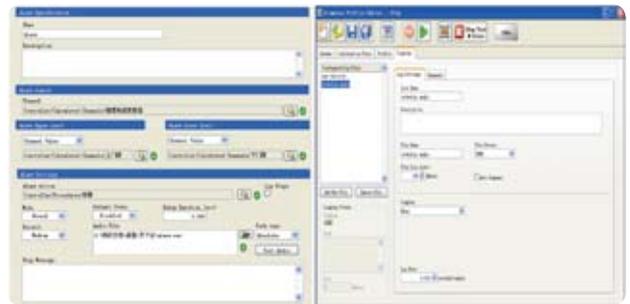


图7 VeriStand的配置

通过菜单界面完成对NI-CAN、NI-DAQ的通道设置，大大减小了程序的开发工作量，提高了开发效率。在Stimulus Profile Editor中设置Logging file，可以对横摆角速度、质心侧偏角、轮缸压力等进行保存。TDMS文件格式读取快速，作为一种测试测量领域的通用数据文件格式，非常适合车辆状态参数的保存。

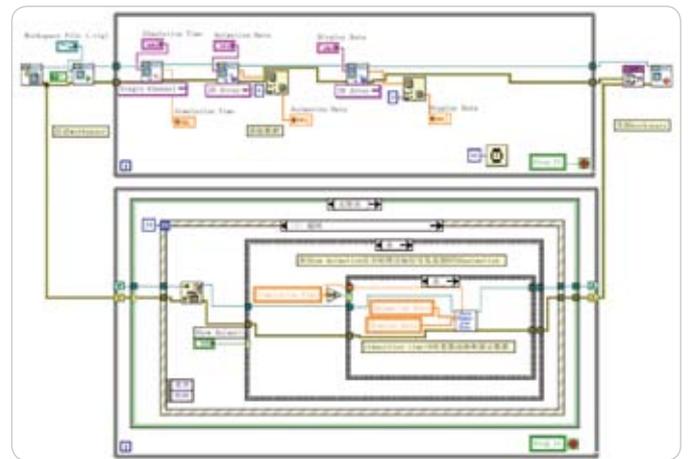


图8 VeriStand与DYNAanimation的连接

上面的循环通过Workspace VI启动VeriStand，获取通道数据包括Simulation Time、Animation Data、Display Data。下方的循环利用ActiveX控件将动画和显示数据传送给DYNAanimation。

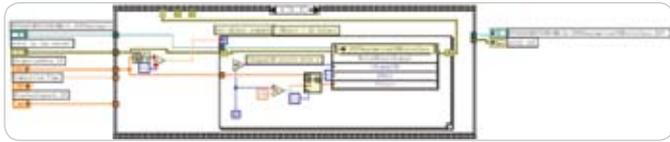


图9 通过ActiveX方法控制DYNAAanimation

DYNAAanimation将实时仿真结果在虚拟现实的环境中直接现实出来。其中，Animation Data数组中每十二个元素代表一个运动物体（如车身、轮胎）相对于大地坐标系的位置参数。Display Data用于界面的数据显示，比如车速表、转速表等。



图10 FPGA I/O示意图

液压控制单元在改装博世ESP的基础上得到，四个轮缸各由两个高速开关阀控制，一个控制从高压蓄能器增压，一个控制向低压蓄能器减压，需8路PWM信号。2路PWM输出负责对泵电机的控制。VeriStand中默认的PXI-7851R的通道资源拥有8路PWM输出，而这里需要10路PWM输出。通过自定义FPGA VI，修改VeriStand配置文件夹中7851R的fpgaconfig文件，新增2路数字输入输出接口为PWM输出，满足应用的需要。可见基于VeriStand的自定义FPGA I/O功能使混合仿真平台具有灵活方便的扩展性能。

仿真平台的功能演示

驾驶员在环麋鹿测试

在DYNAAanimation环境下建立三维图像文件，包括道路、标识线、车身模型、轮胎、路障等，进行驾驶员在环的“麋鹿”测试。在车速为80km/h时对比打开稳定性控制与关闭稳定性控制车辆的操纵响应。在实时仿真结束，保存录像并进行对比。如图11所示，在打开稳定性控制时，驾驶员可以平稳地实现车辆的变线，车辆的运动轨迹符合驾驶员的预期，当关闭稳定性控制时，车辆失控跑出跑道。基于VeriStand构建的驾驶员在环测试平台可以实现逼真的产品演示。

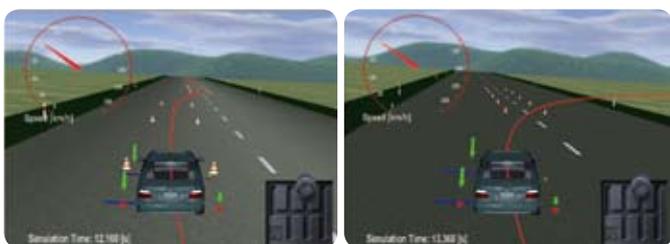


图11 开启、关闭稳定性控制

利用激励进行正弦延迟测试

正弦延迟测试是美国国家高速安全局（NHTSA）规定的126号法规，用于检测车辆的侧向稳定性能。不同于麋鹿测试，现实实验中需要通过转向机器人完成。VeriStand的配置实时激励功能很好地帮助我们完成该项测试。试验在干燥、平直附着系数为0.9的道路上进行，方向盘转角进行后半周期带有延迟的正弦输入，频率为0.7HZ，第二次波峰出现后有400ms的延迟。方向盘转角及实验流程如图12，其中A为80km/h下车辆侧向加速度达到0.3g时方向盘的转角。

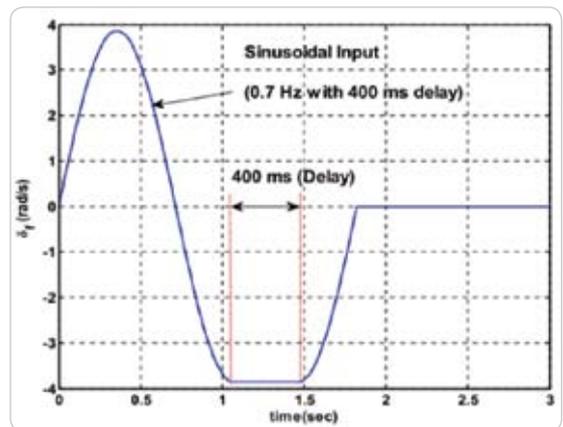


图12 正弦延时输入

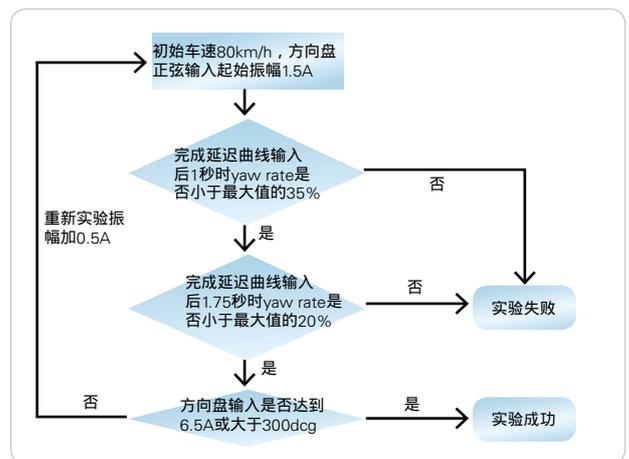


图13 试验流程

通过实时激励功能里的正弦函数、延时函数编制激励文件，通过记录功能保存横摆角速度的变化曲线。VeriStand大大降低了编程的复杂性，减少测试系统的开发时间。

总结

利用VeriStand我们在短时间内搭建起一个功能丰富的混合仿真平台，使我们有更多的精力投入到控制策略的研究上来；VeriStand Engine将实时测试系统的任务

和功能在内部进行实施与优化，帮助实时测试系统以更快的速度运行，大大降低了应用6/6 www.ni.com程序开发和维护成本；基于FPGA的自定义I/O设置提高了系统硬件的可扩展性，通过FPGA虚拟传感器可扩展为基于单片机控制器的硬件在环测试平台；总之，NI公司一系列软件和硬件产品帮助我们灵活、高效、直观地实现EHB混合仿真测试平台，为产品的研制奠定了坚实的基础。

推荐配置

硬件：

PXI-8464CAN 总线接口卡

PXI-6289 数据采集卡

PXI-7851R FPGA

软件：

LabVIEW

Veristand

NI视觉技术开发刹车自动检测系统

作者：A. Ashok Kumar Soliton Automation Private Limited

“我们在十周之内利用最新的虚拟仪器和机器视觉技术，开发了一个刹车全自动检测系统。每次设计新算法或修改已有算法，我们不得不在数百个刹车图片上验证，以确保算法在整个样本集里是可靠的。带批处理能力的NI Vision Builder，是完成此项任务不可或缺的工具。”



十周之内利用最新虚拟仪器和机器视觉技术，开发一个刹车全自动检测系统。

挑战：

开发一个稳定可靠的机器视觉系统，用于刹车鼓装置的自动检测，能区别出零件材质、光泽、颜色和形状，以及装配偏差。

解决方案：

使用NI的技术开发核心的图像处理算法，在大量样本集验证已开发算法，克服各种挑战，实现一个高度可靠的机器视觉系统。

我们的客户是拥有印度国内外顾客的汽车刹车鼓一级零部件供应商。在过去，他们曾尝试用很多不同视觉系统检测刹车鼓装置，但成功案例甚少。先前系统的主要问题在于依赖模式匹配，这后来被证明在处理多变复杂的装置时是不合适的。

客户所需的检测要求包括：

各种零件是否都存在；弹簧恢复；零件正确固定或衔接；齿轮零件装配方向；弹片角度定位；刹车片位置；某些零件是否已有螺纹；字符是否已经标识好；测量直径、长度和厚度。

我们的客户正在寻找满足以下要求且具有成本效益的测

试系统：

- 灵活性 - 能够测试不同刹车鼓模型的
- 可靠性 - 测试结果可靠且具有一致性
- 网络化 - 测试结果可接入局域网
- 交付 - 整个检测系统争取在10周内交付使用
- 紧凑封装 - 有效地利用宝贵的生产车间空间

我们选择1280x960像素索尼FireWire数码相机，它具有可编程功能，可在应用软件中设置的参数超过12个，包括：快门速度和过滤器等。同时安装NI-IMAQ 1394驱动软件，可实现与相机接口相连。

从最开始，我们的客户就非常清楚他们需要一个十分灵活的

视觉系统。基于以前经验，他们明白标准的可配置视觉系统是不合适的。而NI视觉开发模块（Vision Development Module）的演示让他们完全相信这就是适合他们的应用的产品。

软硬件结合，确保准确性和可靠性

刹车检测站包含安装夹具的旋转工作台，每个类型的刹车装置都有对应夹具。在夹具上手动装夹刹车装置后，气动夹钳固定住装置，并对中机械装置，确保成像前刹车片在中心位置上。

我们使用IEEE1394高分辨率相机和对应的视频采集板卡。针对不同刹车模型，软件控制的自动变焦镜头能让我们的客户能够充分利用相机的分辨率。

旋转工作台保证刹车装置的四个象限均能独自成像，以提高有效的分辨率。采集后的图片被传至电脑进行分析。定制软件利用不同的算法分析图片，并根据刹车鼓是否合格来驱动装置。

应用软件对于该系统的成功起到至关重要的作用。比如，零件上一些可见的差异对于“汽车”来说有可能是正常的。另外，后台零件的存在、不存在或位置改变都会影响零件的检测。刹车片位置的改变，虽然在对中机构的调整下不会太大，但依然是个挑战。

对于上述状况，模式匹配算法是无法达到可靠的效果，因此我们建立自定义算法。例如，我们设计一个算法检测弹簧恢复。每次设计新算法或修改已有算法，我们不得不在数个刹车图片上验证，以确保算法在整个样本集中是可靠的。带批

处理能力的NI Vision Builder，是完成此项任务不可或缺的工具。

就算不能利用该方法开发并核实新算法，我们意识到，对于之前所提的各种条件变化，它们也不是百分之百可靠的。为确保该系统顺利工作，我们采用自适应技术反复改变算法中的某个参数，如临界值，直到找到合适的值为止。如果在迭代的最后仍未能找到该特征，我们可以判定该特征并不存在。根据样本集中的图片，我们能确定一个可用的取值范围用来迭代，从而减少所需处理时间。

适合多变零件的全自动系统

我们在十周之内利用最新虚拟仪器和机器视觉技术，开发一个刹车全自动检测系统。虽然零件的情况复杂多变，我们依然能够利用自定义的自适应算法以确保测试的可靠性。基于NI产品的系统能让客户在选择检测特征和检测标准上拥有灵活性。因此能很方便的从一个检测模型换成另外一个。

鉴于缺陷分析对其它可配置机器视觉系统来说是不可能的，利用我们的系统，客户能使用各种缺陷的统计数据从源头的原材料和上游加工处遏制问题。最后，我们的系统还可通过网络访问来制作定制化的报告。

在此应用中，虚拟仪器软件的力量是显而易见的。NI LabVIEW开发平台和NI视觉开发工具的可编程性能对系统的成功来说至关重要。

推荐配置

PCI8252视频采集板卡
NI视觉开发模块

清华：电子稳定系统（ESP）硬件在环仿真平台开发

作者：李红志 清华大学

“ 依托NI公司的强大的图形化编程语言LabVIEW，结合先进的PXI和cRIO硬件平台，我们在很短的时间内快速搭建完成了可靠的ESP硬件在环仿真平台。 ”



ESP混合仿真试验台外观

挑战：

电子稳定程序（Electronic Stability Program, 以下简称ESP）是最新一代汽车主动安全类产品，在国外中高档轿车上已广泛安装，但在国内尚处研发初期。测试ESP控制算法的实车试验不仅具有相当的危险性，而且对场地要求十分苛刻。因此，急需搭建ESP硬件在环仿真平台完成算法的验证任务。该仿真平台的快速成功搭建，将极大地缩减ESP控制算法的开发周期。

解决方案：

使用NI公司的PXI和cRIO硬件平台结合NI的图形化编程软件LabVIEW快速并成功地搭建了ESP硬件在环仿真平台。其中，PXI平台运行LabVIEW编写的整车动力学模型算法模拟整车运动，cRIO平台运行LabVIEW编写的ESP控制算法实时监控车辆状态并依此执行反馈控制，上位机通过使用LabVIEW提供的网络共享变量等技术实时地监控整个仿真过程并保存、分析和显示监控数据，三个设备间通过网络相连交互数据。特别是由NI的仿真模块搭建的整车动力学模型具有15个自由度，状态更新速度达到1ms，能有效地对车辆运动状态进行仿真。

1、项目背景

汽车电子稳定程序（ESP）是提高汽车行驶稳定性和安全性的重要装置。它集成了制动防抱死系统（ABS）、牵引力控制系统（TCS）以及主动横摆力矩控制系统（AYC），能有

效地改善汽车在制动、驱动和转向等工况下的行驶稳定性和安全性。在汽车行驶过程中，ESP控制器不断检测汽车运动状态，一旦发现危险，迅速由控制器发出指令给制动系统和发动机，通过干预化解危险。在全球范围，ESP有望成为汽

车法定配置，美国高速公路交通管理局规定在2011年以前4.5吨以下的新车必须安装ESP。ESP技术一直被国外几家大公司所垄断，目前国内虽然有一些单位做了相关的研究工作，但是大多处于分析计算和纯软件仿真的阶段。

汽车安全与节能国家重点实验室的汽车动力学与控制课题组从事汽车动力学与控制方面的研究近20年，在汽车主动安全领域积累了大量试验数据、控制方法、试验设备、专业人才。课题组与沈阳华晨公司、武汉元丰汽车电控系统有限公司三方签订了中华尊驰轿车ESP研发项目合同，本文介绍的ESP硬件在环仿真平台即应用于该研发项目。

构建平台前通过深入调研比较了XPC、PXI、dSpace三种方式的硬件在环实现设备。XPC方式费用较低，但是使用不够方便，dSpace方式价格远远高于PXI方式，然而两者性能差别不是很大。综合考虑性能、价格、易实现性等各因素，本项目最终选定了NI公司的PXI和cRIO方案完成平台构建。最终构建成型的ESP硬件在环仿真平台作为离线仿真到原型测试的中间环节，提高了仿真精度，能够实现如下功能：

- 1) 精确地反映整车在线性及非线性范围内的运动状态；
- 2) 通过硬件在环仿真对原型控制器和控制算法进行测试；
- 3) 基于实验实测数据逆变产生相应的模拟信号，对控制器中的算法进行测试；
- 4) 方便地进行数据存储、分析处理和显示。

ESP硬件在环仿真平台的搭建，加快了ESP的开发进程，降低了开发成本。

2、ESP硬件在环仿真平台构架

ESP硬件在环仿真平台由上位机、下位机、控制器、执行器、传感器五部分构成。

- 1) 上位机：为PC机，用于监控仿真过程，保存、分析和显示仿真结果。
- 2) 下位机：在PXI平台上实现，为实时操作系统，运行整车动力学模型，目前采用的是15自由度整车模型，能很好地模拟整车在制动、驱动、高速转向以及联合工况下的响应。
- 3) 控制器：先由运行着ESP控制算法的cRIO平台作为快速原型，算法被验证合格后再将程序移植到单片机中。控制器上运行ESP控制算法，执行对车辆的反馈控制。
- 4) 执行器：为液压控制单元、制动管路以及制动器，用于实现对轮缸的增减压。

- 5) 传感器：为压力传感器，获取各个轮缸以及主缸的压力值，并将压力信号传给控制器和下位机。

此外，上位机、下位机和控制器三者通过网络互连交互数据，上位机对仿真过程的状态监控通过使用LabVIEW提供的网络共享变量技术实现，其它信号通过信号线在硬件平台间传递。ESP仿真平台结构简图见图1。

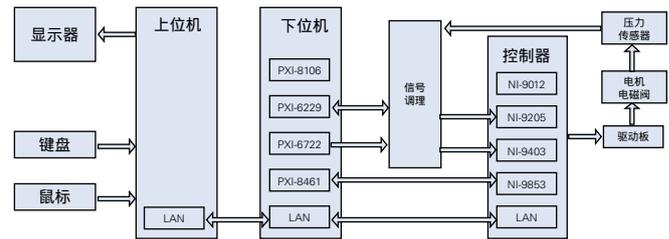


图1 ESP硬件在环仿真平台结构简图

启动仿真后，下位机以1ms的运算周期，根据上位机传过来的道路状况、驾驶员输入、压力传感器信号和整车模型运算出车辆的各个状态参数，输出车辆运行中的各种参数给控制器和上位机；控制器运行ESP控制算法根据这些信号的运算结果实现对车辆运动实际和名义状态的判断，并控制节气门和液压控制单元动作，从而实现主动控制；传感器将轮缸压力、加速踏板、制动踏板等信号再输出给下位机和控制器。如此，ESP硬件在环仿真平台构成了一个闭环控制系统。

ESP硬件在环仿真平台主要包括两个核心算法：

- 1) 整车动力学模型：仿真运算的核心部分，由LabVIEW的仿真模块编写，运行在PXI平台上。这里采用的是课题组开发的15自由度整车动力学模型见图2。这15个自由度分别是：悬上质量3个平动自由度、3个转动自由度、4个轮子的上下跳动自由度和转动自由度、转向系统的非线性1个自由度。仿真运算中还加入了发动机模型、传动系统模型、转向系统模型、悬架模型、轮胎模型等等，综合完成了对整车运动的仿真。经过与实车实验数据对比，15自由度的整车动力学模型能很好地反映车辆在线性及非线性范围内的动力学特征。
- 2) 控制算法是一种基于状态的反馈控制的算法，运行在cRIO平台上。为方便程序移植，控制算法采用LabVIEW通用的逻辑模块搭建，采取状态机的整体结构，方便程序的不断更新和完善。

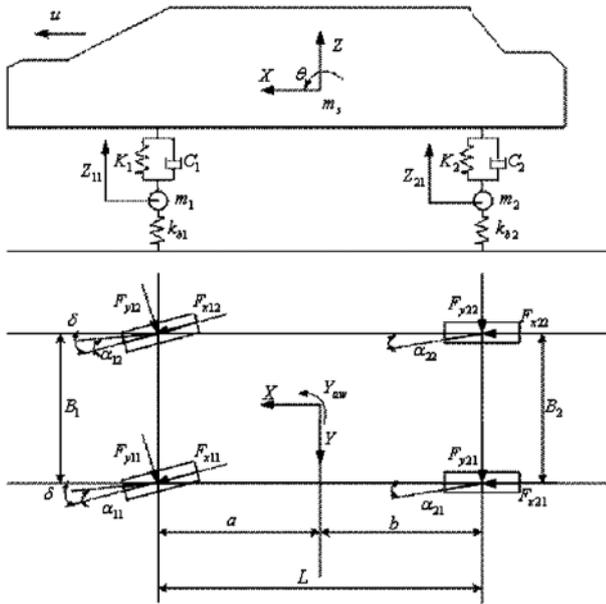


图2 十五自由度整车模型

3、ESP硬件在环仿真平台硬件设计

ESP硬件在环仿真平台硬件主要包括上位机、下位机、控制器、执行器、传感器五部分，这里主要说明下位机、控制器和执行器的构建。

1 下位机

下位机在PXI平台上实现，运行整车动力学模型算法。下位机主要完成以下功能：

- 1) 计算车辆运动状态；
- 2) 采集传感器信息；
- 3) 提供相关信号给控制器。主要有制动信号，主缸压力信号，四个轮速信号，方向盘转角信号，横向加速度信号，横摆角速度信号；
- 4) 通过CAN总线接收控制器发出的发动机控制指令，从而控制发动机模型的输出扭矩。

PXI平台实现上述功能的方式如下：

- 1) 通过仿真模块搭建的整车模型来计算车辆运动状态；
- 2) 通过M系列数据采集卡PXI-6229的模拟输入功能采集主缸和各个轮缸的压力信号以及制动信号；
- 3) 通过模拟输出模块PXI-6722的模拟输出功能输出电压来表示方向盘转角、横向加速度、横摆角速度以及通过变频

转换模块将电压转换成对应的频率信号来模拟四个轮速信号的输出；

- 4) 通过高速CAN接口卡PXI-8461接收和发送CAN总线信号。

2 控制器

控制器先由cRIO平台作为快速原型，执行ESP控制算法，通过模拟输入模块NI-9205采集模拟电压，得到各个传感器的输出信号。通过数字输入输出模块NI-9403的输入功能来获取制动信号和轮速信号，通过NI-9403的数字量输出功能来控制液压控制单元的动作。通过高速CAN接口模块NI9853接收和发送CAN总线信号。

3 执行器

执行器上的液压控制单元采用Bosch的ESP8.0的液压控制单元。制动系统采用金杯客车的制动管路和制动器。整个ESP硬件在环仿真平台搭建在金杯客车上，并对金杯客车的制动管路进行了改造，安装了压力传感器和液压控制单元。

图3为ESP混合仿真试验台外观。图4为试验台内部结构。其中，上位机为蓝色方框圈定，连接有显示器。下位机由红色方框圈定所示。控制器cRIO由黄色方框圈定。上位机、下位机与控制器间连接有网线。由图可见，由PXI和cRIO硬件搭建的硬件在环仿真平台的结构非常紧凑，占地面积小。



图3 ESP混合仿真试验台外观



图4 上位机、下位机及控制器

4、ESP硬件在环仿真平台软件设计

ESP硬件在环仿真平台软件分为三个部分：上位机程序、下位机程序、控制器程序。图形化编程语言LabVIEW的独特优势为系统软件的快速开发现提供了极大的推动力：

- 1) 提供的丰富图形控件，以及图形化编程方法，是开发过程形象生动起来；
- 2) 采用的数据流模型能够自动实现多线程并行处理并行处理，大大缩减了软件开发周期；

- 3) 使用状态机设计模式，使各部分程序便于于进行升级和维护；
- 4) 易于使用的网络共享变量简化了网络编程部分的开发工作，极快地实现了三部分程序的数据交互交互数据所需的开发工作；
- 5) 安装了驱动NI-DAQmx后，丰富的范例程序极具参考价值，易于实现所需的数据采集和数据输出功能，确保了下位机和控制器之间的可靠数据交互。

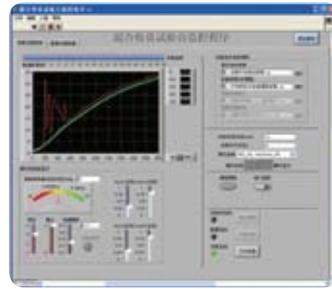


图6 仿真过程控制界面

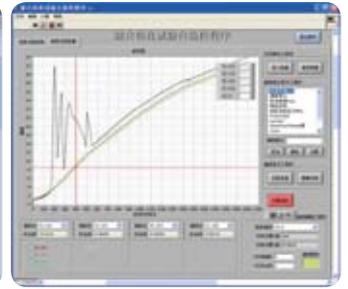


图7 查看仿真数据界面

ESP硬件在环仿真平台的软件整体流程见图5。

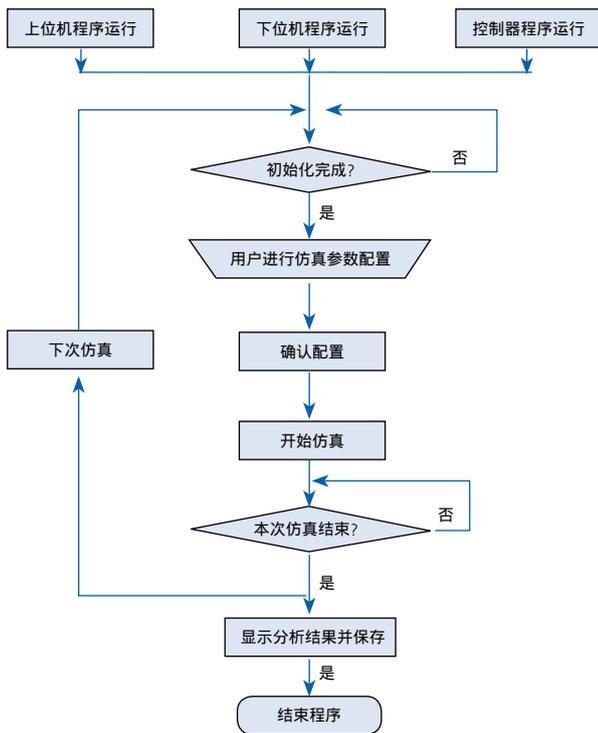


图5 ESP硬件在环仿真平台的软件整体流程

1 上位机监控程序

- 1) 上位机监控程序主要分为两个部分，仿真过程监控和查看仿真数据。仿真过程监控，包括参数调用、仿真控制、参数实时监控、仿真过程中驾驶员输入等功能。并且可以对仿真模式、换档策略、仿真时间、初始状态、路面附着等进行配置。方便灵活地实现各种情况的仿真。仿真过程监控界面见图6。
- 2) 查看仿真数据部分，可以观察对比仿真数据、仿真过程中车辆运动回放、数据保存和调用。查看仿真数据界面见图7。



图8 仿真过程回放界面

图6所示曲线为对开路面驱动防滑系统起作用的情况下的仿真过程。

图7所示的曲线为对开路面驱动防滑系统起作用的情况下的轮速车速曲线。可以观察仿真过程中70个参数的变化曲线。可以保存和调用仿真数据，可以通过点击右下方的“仿真回放”按键，图像化显示车辆运行轨迹。

图8是一个双移线的仿真回放，记录实车试验的转向角的信息，将这些信息在仿真过程中，按照实际的时间间隔输入给系统。仿真得到车辆的响应情况。

2 下位机仿真程序

下位机仿真程序在PXI平台上运行，包括整车模型运算，监测驾驶输入，端口输入输出，仿真数据记录四个部分。在仿真过程中，下位机以1ms为周期通过数据采集卡采集主缸和4个轮缸的压力信号，从而计算车辆受力，得到车辆运

动状态。并将状态参数通过数据采集卡输出给控制器。同时，下位机将车辆运动状态参数以10ms为周期将数据保存在下位机内存中，仿真结束后上传到上位机，并且以10ms为周期不断检测上位机所发出的控制信号，比如转向信号、换档信号、油门信号等。正是由于LabVIEW采用数据流模型，能自动实现多线程的并行处理，使得复杂的功能得以快速实现。



图9 下位机程序框图

3 控制器程序

控制器上运行ESP核心控制算法。控制器通过接收各种传感器的信号，判断车辆状态是否为危险工况，如果检测到危险，就会输出控制指令给执行器，通过电机和电磁阀的动作来对制动系统进行主动干预，同时通过CAN总线发送指令给发动机系统，控制车辆驱动，从而化解危机。控制器首先采用NI公司的cRIO硬件平台作为快速原型，验证合格的算法将移植到我们开发的ESP控制器上。

5、ESP硬件在环仿真平台精度验证

比对ESP硬件在环仿真平台的仿真结果与实车试验结果，可以统计得出仿真平台的测试精度。在ESP硬件在环仿真平台上可以进行多种仿真测试，例包括：

- 1) 通过蛇形试验检验车辆转向响应的仿真精度；
- 2) 通过稳态转向试验验证车辆转向特性的仿真精度
- 3) 通过双移线试验检测仿真横向精度；
- 4) 通过ABS试验检测仿真纵向精度等。

以ABS试验为例，进行了中华尊驰轿车在低附、强制动，ABS作用下的ESP硬件在环仿真。低附ABS起作用时轮速仿

真结果见图10，图中红色和蓝色曲线为两后轮轮速的实车试验数据，绿色和黑色曲线为两后轮轮速的仿真数据。仿真结果与实车试验数据相比得出：纵向加速度的偏差在5%以内，对各制动轮的压力干预体现出完全相同的特征。表明仿真结果与实车试验结果基本吻合，仿真平台精度能够满足动力学分析要求，能够用于指导ESP控制算法的研发。

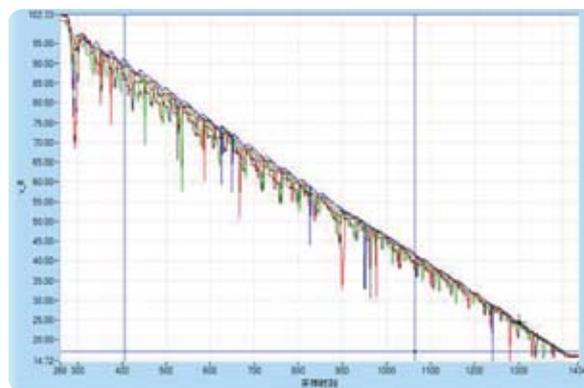


图10 低附ABS起作用时轮速仿真结果

结论

依托NI公司的强大的图形化编程语言LabVIEW，结合先进的PXI和cRIO硬件平台，我们在很短的时间内快速搭建完成了可靠的ESP硬件在环仿真平台。该平台可以将ESP控制器放在仿真回路中，方便对控制器中运行的ESP核心控制算法进行高精度的测试。ESP硬件在环仿真平台的快速搭建完成，极大地加快了ESP控制算法的开发速度，缩短了算法的开发周期。

推荐配置

PXI-6229 M系列数据采集卡

PXI-6722模拟输出功能输出电压

PXI-8461 CAN接口卡

NI-9205 32路单端或16路差分模拟输入

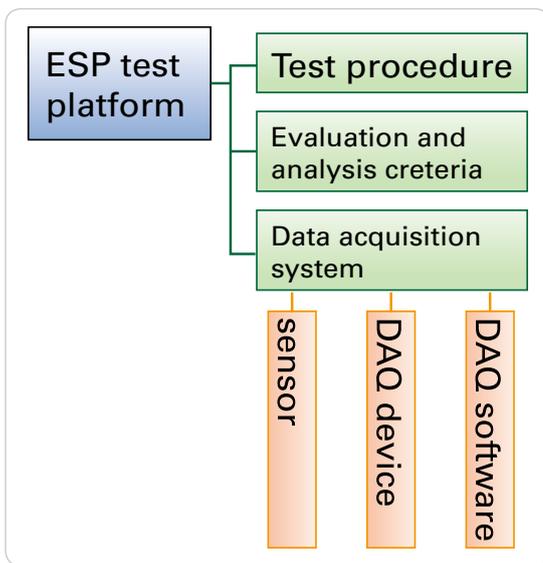
NI-9403 32通道、7 μs的双向数字输入/输出模块

NI9853高速CAN接口模块

吉林大学：电子稳定系统（ESP）性能测试平台

作者：Zhenhai Gao Jun Wang Aixin Cui Jian Guo Jilin University

“ 基于PXI系统良好的可扩展性，我们快速搭建了ESP系统性能试验的测试平台。 ”



ESP系统测试平台架构

挑战：

电子稳定系统（Electronic Stability Program，简称ESP，下同）实车道路试验不仅对场地要求十分苛刻，实验过程具有相当的危险性，而且所需测量的信号较多。实验数据采集系统不仅要能够采集各种信号，还要能够在恶劣的测试环境中（如冲击、震动、高温、高湿度等）稳定可靠的工作。

解决方案：

面对ESP系统试验苛刻的测试环境、众多的测试信号，基于NI PXI和LabVIEW的测试平台，我们在较短的时间内快速融合了模拟信号、数字信号、CAN、串口等多种信号采集与处理。NI数据采集系统在海南试验场成功完成了ESP试验过程的数据采集，保证了试验的顺利进行。

汽车电子稳定控制系统可以辅助驾驶员对车辆的动力学特性进行控制，通过控制车轮的制动力和发动机的输出力矩来控制汽车的横摆角速度并将侧偏角限制在一定范围内，从而协助驾驶员在极限工况下保持汽车的稳定性，防止车辆出现失稳危险。

近年来，随着人们对车辆主动安全性要求的提高和各国相应安全法规的推动，ESP系统在汽车上的标准装配率迅速提高，博世、大陆等国外汽车电子产品供应商均具备了ESP系统的批量化供货能力并占据了市场的主要份额。

国内ESP系统的研究起步较晚，大多停留在理论控制研究与

硬件在环仿真阶段，国内整车及零部件厂商大多直接采用博世、大陆、TRW等的ESP系统与自主开发的整车相匹配。

相对于国内ESP系统策略的研究，ESP系统性能测试评价方法的研究基本空白，大多数验证实验均参考国外零部件商或相应机构的试验方法或直接将测试试验委托供应商实施。目前，国内汽车行业尚无形成统一的ESP测试标准，这使得国内整车厂商很难系统合理的评价ESP控制性能，更无法根据试验的结果在产品阶段对汽车电子供应商提出完善的产品设计技术要求，大大增加了整车厂商与汽车电子供应商的底盘电控系统匹配设计周期和研发成本。

鉴于上述情况，课题组结合当前的研究基础，提出一套汽车底盘电控系统性能评价和实验测试流程规范并构建了一个用于ESP系统试验测试的测控系统平台。

ESP系统测试平台

课题组搭建的ESP系统测试平台主要包括三大部分：

1. ESP试验测试流程规范；
2. 试验数据采集系统；
3. 试验评价标准。

试验测试流程规范规定了ESP测试所需的试验项目、试验目的、测试变量和仪器、试验条件、试验方法，以及实验数据处理方法。

试验评价标准作为电控系统以及整车性能评定的指南，从汽车相关基本理论出发，规定了性能好坏评定的方法与相应原理。

试验数据采集系统包括试验中测量所需变量（车辆参数和运动状态）的传感器及其数据采集卡和相关软件。试验数据采集系统性能好坏在一定程度上决定了整个测试系统能否准确评价整车性能以及ESP系统的优劣。

ESP作为最新一代汽车主动安全系统，ESP是基于汽车动力学对汽车临界失稳状态下施加准确控制来提高汽车稳定性的系统。因此为了验证ESP系统的性能，就需要大量实车试验。完成试验数据采集将面临两大难题：一是，测试设备众多（GPS、陀螺仪、非接触式光电测速仪、轮速传感器、压力传感器、触发器等，如图2所示），二是，测试环境恶劣

（冲击、震动、高温、高湿度等）。通过调研，我们选择了LabVIEW和PXI的测试平台。



图2 测试系统传感器

ESP试验数据采集系统所依赖的数据采集设备采用了NI PXI系统以及相应的PXI数据采集卡，上述系统与测试所需的传感器构成了ESP试验数据采集系统的硬件部分，传感器、触发器通过接线盒及电缆与采集卡或机箱相连。硬件系统搭建的过程中，我们遇到了一个问题：我们采用的PXI机箱需要220V交流供电，而试验测试中车载电源是12V直流蓄电池，对此我们采用了逆变器将12V直流电转变为220V交流电，然后直接供给PXI机箱。为了避免汽车运行过程中蓄电池电压波动对传感器造成损坏以及影响测量准确度，传感器供电没有直接采用蓄电池电源，而是通过稳压器将220VAC转换到12VDC，进而供给相应的传感器，电源系统架构如图3所示。220V交流逆变器和PXI机箱安装在测试车辆后备箱的铝合金支架上，如图4所示，支架通过螺栓与车身地板相连，从而保证机箱在车辆行驶过程中不会晃动。

数据采集系统软件是在LabVIEW中实现的，主要应用了LabVIEW中数据采集模块、及文件IO模块，针对众多的测量信号，编程中我们采用了各信号分别采集、同时存储的架构，由于试验中采样率不高（20Hz），信号同步要求不高，故采用了局部变量进行信号的同步存储。整体程序框架

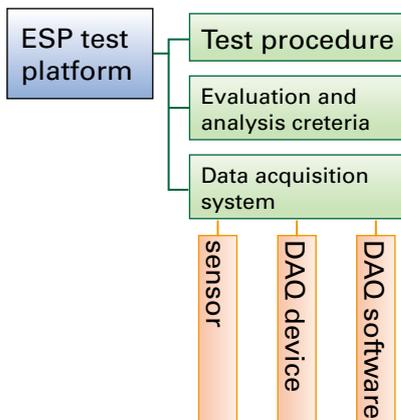


图1 ESP系统测试平台架构

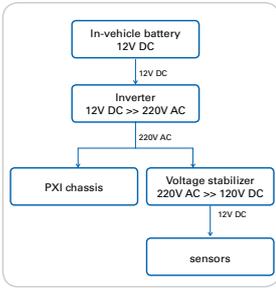


图3 电源系统架构



图4 ESP数据采集系统PXI机箱

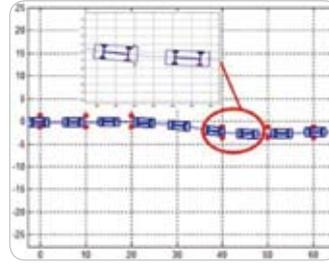


图7 ESP单移线试验车辆轨迹

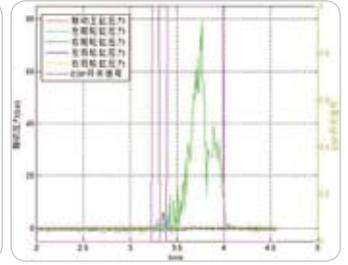


图8 ESP单移线试验轮缸制动压力

过单移线中的所有标桩。图8中品红色的线表示ESP功能是否被激活，以及制动主缸和各轮缸的压力。

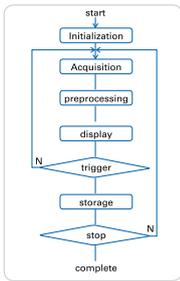


图5 ESP数据采集系统流程图



图6 ESP数据采集系统界面

如图5所示。程序前面板如图6所示，前面板主要分为两个区域，左侧区域为配置区，主要用于试验过程中需要进行输入、更改的量，如信号采集端口的配置选择，如模拟输入通道（AI）的选择，RS232端口的选择，波特率的配置等，以及测量结果文件名称的更改、存储位置的选择等。右侧区域为试验中重要检测量的实时显示，便于试验过程中对试验数据进行监测，当试验数据出现明显的错误时，及时进行仪器调整或检修，并重新进行测试。图7、图8为试验结果曲线。图7中红色点为试验中的标桩，结果显示车辆能顺利通

结论

ESP是未来汽车主动安全系统发展的一大方向，ESP实车道路试验不仅是ESP控制系统优劣的最终评判手段，ESP实车道路试验在ESP控制算法开发阶段也具有一定的指导意义。

基于PXI系统良好的可扩展性，我们快速搭建了ESP系统性能试验的测试平台，夏季在海南汽车试验场、冬季在黑河红河谷试验场极端苛刻的试验环境下，测试系统准确有效的采集了ESP系统试验的测试信号，大大推动了863计划底盘控制系统的研究，为我们自主底盘电控系统进一步的完善提供了有力的支撑。

推荐配置

NI PXI
LabVIEW

Wineman : ABS模块耐久性智能监测

作者 : Wineman Technology Incorporated

“ 我们使用NI最新的FPGA工具来开发和实施一个解决方案，即使用非专用软件架构与COTS硬件提供一个高性价比、高可靠性的ABS监测系统，该系统对于ABS模块耐久性验证测试的性能监测是一个非常有价值的工具。 ”

挑战 :

开发一个系统使其在耐久性测试时，能够独立或同时练习、下载、监测和报告18个电子防抱死系统（ABS）模块的耐久性测试结果。

解决方案 :

基于LabVIEW创建一个单一系统，包括具有NI SCXI调理模块的NI PXI控制器、带有信号调理扩展机箱的NI R系列FPGA系统，以及用于数据管理和报告的LabVIEW数据库连接工具包。

我们已签约提供一个最先进的数据采集和控制系统来监测ABS模块在耐久性测试期间的性能。首先我们建立了如下设计目标：

- 模拟ABS模块（被测试模块[UUT]）的输入；
- 完成与UUT的通信；
- 独立或同时给每个UUT供电和启动，并维持测试时各模块之间的时间间隔；
- 监测模块的输出和载荷，并将结果与期望值比较；
- 配置可以保存、下载和编辑的自定义测试序列；
- 跟踪测试进度，使我们可以暂停、停止，然后从停下的地方重新启动测试；
- 将测试结果保存在中心位置用于离线处理报告；
- 开发一个非常先进的、简单易用且可靠的系统。

系统硬件

我们使用具有高性能的Intel Core 2 Duo T4700 2.16 GHz双核处理器和4GB RAM的NI PXI-8106控制器设计了这个系统。通过NI SCXI - 1102B或SCXI - 1104信号调理模块读取系统中所有的80路模拟输入。通过NI PXI -6259 M系列数据采集（DAQ）模块将NI SCXI-1001机箱连接到系统上，并用该DAQ模块提供数字输出给定制的硬件板卡，该板卡控制输出信号到UUT。NI PXI -2569 100通道继电器模块控制继电器输出，从而控制电源和开关输入到UUT。

我们硬件设计的最大挑战是在18个UUT的90个输出驱动器上完成限度测试。每一个输出驱动器有三种可能的信号类

型：对电池（10到16VDC）恒定直流电压、对地恒定直流电压和100至350Hz且占空比为2%至98%的脉冲宽度调制（PWM）信号。

由于在整个基于用户配置的测试过程中，驱动器的输出不断地变化，所以，不管是何种信号类型，解决方案必须要有足够的适应能力来对任何信号变化类型进行限度测试。

传统的解决方案可能由几个计数器/定时器板卡、数字输入卡和继电器组成，而这个解决方案会增加系统体积的成本和处理器的 workload。考虑到顾客的预算、可用空间和已经提出的处理器密集型软件要求，我们得出的结论是需要一个更好的解决方案。

通过使用与NI PXI-7833R模块连接的NI C系列模块，我们减少了约85%的成本。我们消除了额外的PXI机箱所占用的空间和卸掉了所有针对场可编程门阵列（FPGA）目标的限度测试。NI 9151 R系列扩展机箱装载了几个NI 9425 C系列数字输入模块，提供高速调理信号输入到PXI-7833R上的FPGA以用于板载决策。

除了节省硬件之外，我们利用LabVIEW FPGA模块节省了成本和时间。我们是在LabVIEW程序框图上配置FPGA而不是用诸如VHDL的硬件描述语言（HDL）来编程，这大大减少了我们的开发时间。

使用WTI硬件设计，我们实现了模块化的开发，并提供了一个可扩展的系统，如图1所示，该系统非常灵活，适应性强，且可以针对未来需求进行扩展。

系统软件

该系统是一个全功能的自动监测工具。操作者可以创建测试来完成各种功能，如改变输出电压、改变唤醒状态、生成驱动文件、改变被测模块（UUT）的输入（如车轮转速）、监测输入电压以及可选的变化量监测等。通过这个功能，操作者可以很容易地改变测试所需的参数，以适应多个版本的UUT，如图2所示。

该测试系统也包含了一个高度并行的监测和控制设置。我们通过在应用程序启动（测试控制器）时激活的对应的独立VI来控制每一个UUT，这些VI针对特定UUT发送相应的指令并记录UUT的变化。

我们实施了另一个并行的进程来监测一般的模拟输入和负载监控。该进程不断地检查各通道，并存储相应的测试控制器可以访问的对象的相关信息。

另一个并行的独立VI（FPGA主机）负责所有与R系列卡上的FPGA控制器应用程序（FPGA应用程序）的通信。FPGA应用程序为18个模块中的每一个模块监测5个驱动信号，并将这些信号与理想信号（高电平、低电平或频率为X占空比为X的PWM信号）进行比较，如果信号没有按照用户定义的参数运行，则需要为每一个信号增加相应的计数器的计数。当测试控制器询问FPGA主机计数器的值时，它就访问其控制模块计数器的FPGA应用程序。如果不能达到这种级别的并行机制，测试时间将会大大延长，测试费用也会更昂贵。

我们设计的测试系统是高度可配置的，操作者可以远程地建立一个测试请求。用户可以具体指定测试的时间、测试中需执行的驱动、期望的UUT输出类型以及在测试开发中UUT需要的输入类型。

测试配置完成之后，操作者就可以通过选择测试请求列表中的测试、查看测试详情以及按下启动按钮，开始进行测试。通过用户界面，操作者可以实时地地观察任何变化和任何意想不到的载荷值。当测试完成时，用户可以单独停止端口，将模块拉出测试环境进行更新或检查，而不会干扰其它模块的测试，如图3所示。

我们的测试系统中也包括LabVIEW数据库连接工具包，用于将所有的采集数据和测试设置参数存储在一个通过私有网络连接的数据服务器中。通过这个接口，用户可以给任何一个测试站远程地配置和建立测试，操作者可以选择在该测试站上执行所需要的设置。多个测试站可以将数据存储在一个位置，这样简化了后处理报告。

用NI的FPGA技术实施了一个成功的解决方案

我们使用NI最新的FPGA工具来开发和实施一个解决方案，即使用非专用软件架构与商业现成品（COTS）硬件提供了一个高性价比、高可靠性的ABS监测系统，该系统对于ABS模块在耐久性验证测试期间的性能监测是一个非常有价值的工具。此外，我们通过减少硬件和使用无VHDL编程的FPGA技术节省了额外的成本。



Wineman技术公司实施了模块化开发的理念，提供了一个具有高度适应性、可满足未来扩展需求的柔性系统。

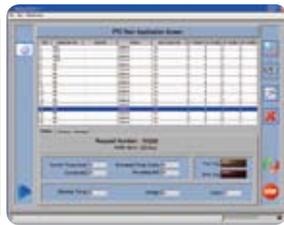
Wineman技术公司通过减少硬件和使用无VHDL编程的FPGA技术节省了额外的成本。

推荐配置

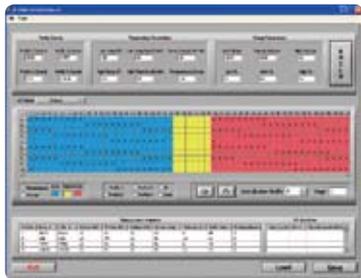
- NI PXI-8106嵌入式控制器
- NI SCXI - 1102B或SCXI -1104 32通道放大器模块
- NI PXI -6259多功能数据采集卡
- NI PXI -2569高密度通用单刀单掷继电器
- NI PXI-7833R R系列多功能RIO
- NI 9151 R系列扩展机箱
- LabVIEW数据库连接工具包



测试请求编辑器



测试正在运行



创建配置文件

德国IAV：无线电与GPS信号测试解决方案

作者：Etienne Frenette Daniel Cox Averno

Hans-Joachim Tepper Jeremy Goddard IAV Automotive Engineering

“如今，NI PXI技术的高吞吐量射频数据流盘能力使我们在记录回放所有使用中常见的模拟和无线广播信号以及各式各样的信号衰减均很有效。”

挑战：

开发一个针对汽车无线电和全球定位系统（GPS）接收器的射频（RF）信号测试解决方案，减少耗时且昂贵的现场测试，同时进一步提高设备的质量。

解决方案：

利用NI PXI产品高带宽的优势，创建一个交钥匙解决方案，记录真实世界的射频信号、信号损失以及环境数据，用于在实验室内很方便地回放；而且，为了从长远的角度提高测试效率，与Averno共同创建用户参考库。

给汽车制造商提供优质产品

全球总部位于德国的IAV汽车工程公司是汽车工业内全球顶尖的工程和设计服务提供商之一，为世界上最有名的汽车制造商和零配件供应商效力，包括奥迪、宾利、宝马、克莱斯勒、戴姆勒、福特、通用汽车、保时捷和大众。该公司最近的项目有一个是为一家德国顶尖的汽车制造商测试和验证车载收音机和导航系统。

IAV必须在这些装置上对常见的模拟和数字无线广播标准进行全面的射频信号测试，包括AM/FM, RDS, TMC, DAB/DMB, GPS和HD Radio (IBOC)。他们利用多种函数测试各种设备模型，覆盖多种类型的广播节目，例如摇滚、爵士、古典和对话类节目。另外，从伦敦市中心阳光明媚的白天到法国阿尔卑斯山盘山公路上的雪夜里，这些设备必须在整个欧洲的所有环境和驾驶条件下进行测试。为满足客户的严格技术规范，IAV必须在成千上万个可能的测试案例中保证一流的产品质量。

寻找可再现和重复的测试方法

作为评估的一部分，首先在实验室里，IAV用典型信号发生器进行静态测试和验证，以测量如临界值、灵敏度和信噪比等指标。然而，许多存在问题的射频信号现象只能在动态环境中，如行驶的车辆中才会出现。这些信号损失包括当信号从城市摩天大厦反弹时产生的多径干扰，或者与天气相关（雾和雨）造成的衰减和失真。数学模型和测试文件库在模拟这些衰减时会有不足之处。

因此，IVA每年派几十名专业听众在公路上对所有可能的测试实例检测信号毛刺。然而，因为这个办法不具有重复性—测试工程师每次都需要为每个特定的无线电模型和信号而奔波，该方法既费时又昂贵。

IAV需要集合不同对照点的信号数据库，在同信号不同条件、同条件不同信号和其它组合下，以协助评估不同设备。他们需要测试方法具有可重复性，尽可能提高测试和验证的效率。

利用NI PXI的记录回放功能

为了帮助解决这些挑战，IAV与来自National Instruments系统联盟伙伴Averna公司的工程师合作。IAV购买Averna射频信号记录回放系统—这是一个记录真实世界信号，并且可以随意回放的交钥匙系统用作实验室分析，以及全球接收机测试仪（URT）平台的一部分。

我们利用NI PXIe-1065机箱、NI PXIe-8106嵌入式控制器、NI PXIe-5672矢量信号发生器和NI PXI-5661矢量信号分析仪创建记录回放系统。这些关键技术能实现从射频模块到硬盘驱动器高达每槽2GB/s的专用带宽实时数据流盘，以及高性能定时和同步功能。另外，我们利用NI LabVIEW软件的灵活性设计软件组件，同时把系统封装在防噪抗干扰的射频屏蔽箱里，可用于可移动用途。该系统有DC/AC转换器、带自动增益控制（AGC）的可优化信号采集的前置放大器系统和多媒体信号记录能力。利用NI的商业现成组件，我们创建了一个交钥匙系统，用户从研发的开始阶段就能使用，这些组件已经预先安装好，且不需要开发应用软件。

建立客户射频测试信号库

IAV的工程师们能携带由带直流电源供电（与车载电池相连）的记录回放系统，在卡车或汽车后座进行测试。将天线连接至系统后，测试工程师通过一台笔记本电脑和局域网访问图形用户界面（GUI），记录动态信号，同时控制信号的频率、带宽和增益。IAV利用此方法记录大量广播和导航信号，以建立一个专有的测试文件库，方便随时回放。

为进一步加强该文件库，IAV记录广播和GPS数据以分析环境背景对信号的影响。例如，IAV能记录当出现信号损失时车辆的准确位置，以及当时的天气和路况。因为不需要进行太多现场测试，通过将待测设备置于真实世界的信号和损失环境中，IAV工程师能投入更多时间进一步提高设备质量。

将检修排故简单化

利用该记录回放系统，IAV现在能立即与设备制造商、零件制造商和汽车制造商分享记录数据，因此，各方可在同样信号、损失和环境背景下充当车载收音机和导航设备的故障检修员，共同找到问题的根源。因此，那些负责产品质

量的工程师，可以远程诊断设备。

“当你与世界上最负盛名的汽车制造商打交道，质量是最受关心的。” IAV一测试工程师Hans Joachim Tepper说，“NI PXI技术的高通量射频信号流盘能力使我们在记录回放所有使用中常见模拟和无线信号以及各色各样的信号损失均很有效。Averna的URT记录回放系统有助于将这些性能整合在一起，并提供我们所需的可重复性，以满足客户严格的标准。我们相信这个方案有助于显著提高长期测试效率。”



抗干扰射频屏蔽箱



基于NI PXI产品的高带宽射频信号记录回放仪



NI PXI技术进行高效的GPS信号测试

江森自控：使用TestStand与PXI开发汽车多媒体设备的测试系统

作者：Wilfried Noffz Certified LabVIEW and NI TestStand Developer NOFFZ ComputerTechnik

“ 用户可使用NI TestStand轻松配置单个测试步骤并调整顺序，使系统始终满足测试需求。 ”

挑战：

开发汽车多媒体设备测试系统，在DVD播放器与相关显示单元上进行多项测试，并轻松更改所需的测试参数。

解决方案：

使用NI TestStand、LabVIEW软件及NI PXI硬件开发测试系统，针对各种汽车娱乐设备的稳定性与功能进行所需的测试。

Johnson Controls公司是汽车工业领域的全球元件制造商。汽车多媒体系统是该公司其中1条产线，其中包括后座娱乐（Rear seat entertainment, RSE）系统。戴姆勒克莱斯勒（DaimlerChrysler）汽车公司的RSE系统包含1个DVD播放器与头枕上的2个薄膜晶体管（Thin film transistor, TFT）显示器。而为欧宝（Opel）汽车公司所开发的系统则是安装在车顶上的反折式TFT显示器。

测试系统需求

在制造电子模块与设备时，测试系统必须具备极高的稳定性与灵活性。在汽车工业中，高品质产品与最短的测试系统转换（Changeover）时间至关重要。此外，软硬件均必须能够适用于新的产品与规格。由于Johnson Controls是一家国际性的公司，其全球测试系统元件是否有效也相当关键。

最终的测试系统必须能够完整地测试DVD播放器，包括AVS机顶盒与相应的TFT显示器，同时还要能够测试所有的电子

连接功能、光学以及机械设备。

完整的测试程序包括：

- 音频I/O，包含水平、THD和SINAD
- DVD播放器与显示屏耗电量
- 塑料外壳色彩控制
- 视频I/O设备
- 使用NOFFZ Display Test Toolkit显示色彩均匀性
- 小型键盘的显示色彩与功能
- 操作小型键盘（MMI按钮）所需的连接组件光学检查
- 显示转轴摩擦力
- TFT显示平行测试（针对DaimlerChrysler）

TAVT测试平台

根据这些需求，NOFFZ公司使用可调整的电信、音频、视频、无线数据（TAVT）测试平台来开发测试系统。并通过软件对测试系统进行配置，以满足多种测试产品需求。

“当我们根据电子、光学和机械标准进行DVD播放器与TFT显示器测试时，完整的电子界面系统连接了PXI模块、测试机箱以及测试转换器，我们通过GPIB界面与高质量的可编程电源供应器，为测试样本进行供电。”

NI TestStand提供了模块化且灵活的软件构架

NOFFZ公司根据多年的测试系统构建经验，开发了音频和视频测试函数库、不同的通信界面、视觉和数字I/O，且这些都可作为自定义步骤类型进一步整合至NI TestStand。因为配置这些测试步骤十分简便，因此无需特别了解某种编程语言也可进行这些步骤类型操作。现场工程师也可通过Limit editor等多种服务工具来扩充NI TestStand环境，它可作为客户数据库与前端之间的界面。

同时NOFFZ开发了一整套显示测试工具包（Display Test Toolkit），将工具包整合至NI TestStand，从而实现简单且可配置的步骤类型。“用户可使用NI TestStand轻松配置单独的测试步骤并调整顺序，使系统随时符合测试需求。”

NOFFZ Display Test Toolkit提供了下列测试步骤：

- 色彩与对比测试
- 像素瑕疵测试
- 图像识别
- 显示调整
- 特性识别

进行后座娱乐(RSE)系统测试

由于系统需要测试不同客户的RSE，因此系统的测试转换器能够互换使用，并能将设置时间缩至最短。测试系统均置于不同的测试室中，有利于进行DVD播放器与显示器的光学测试。

硬件具备下列NI PXI设备：

- PXI-1045机箱
- PXI-8176嵌入式控制器，包含GPIB界面
- PXI-6052E多功能数据采集模块，用于模拟测量与信号生成
- PXI-5431信号生成器，可生成视频信号来测试显示器
- PXI-1411图像采集模块可进行光学检测

- PXI-8420/4序列界面

测试系统支持下列总线系统：

- 高速控制器区域网络（CAN）总线
- 低速CAN总线
- 局域互连网络（LIN）总线

完整的电子界面系统以通用I/O（GPIO）卡为核心，并包含了下列功能：

- 功率控制
- 信号控制
- 视频多路复用器
- 视频多路信号分离器

“我们保留了一些现有的NI TestStand步骤类型，并针对不同的测试与测量需求开发了新的步骤。举例来说，我们针对音频与视频测量扩展了函数库与数字I/O。此外还有多种特殊的测试步骤，如测试TFT显示的均匀性、IR遥控器，或机械式键盘。各测试步骤均在交互式配置窗口中进行参数化设置。”

测试函数与配置窗口均通过NI LabVIEW软件进行构建，并配合相关软件，如统计流程控制或LabVIEW数据库连接工具包等，开发了客户专用的操作界面；此外，NOFFZ还开发了服务面板和相机调整自定义服务面板。

该特殊的RSE测试系统是基于TAVT平台模块化与架构理念，可快速且经济地实现构建。由于相关概念日新月异，因此客户可基于该平台，针对不同的产品决定是否重新设计现有的测试系统。NOFFZ还开发了另一款相似的测试系统，可测试安装在座位中的显示器功能与连接点。目前共有6组测试系统已整合至Johnson Controls美国子公司的产线中。



戴姆勒克莱斯勒（DaimlerChrysler）汽车公司的测试转换器



后座娱乐 (Rear Seat Entertainment, RSE) 系统测试器



欧宝 (Opel) 汽车公司的测试转换器

推荐配置

NI TestStand

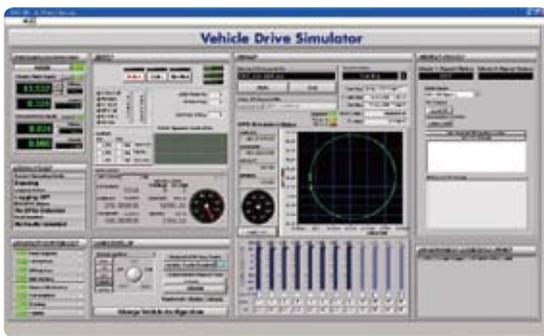
PXI-1045机箱

- PXI-8176嵌入式控制器，包含GPIB界面
- PXI-6052E多功能数据采集模块，用于模拟测量与信号生成
- PXI-5431信号生成器，可生成视频信号来测试显示器
- PXI-1411图像采集模块可进行光学检测
- PXI-8420/4序列界面

DGE：车载信息系统控制单元（TCU）的测试开发

作者：Stephan Tarnutzer DGE公司

“ 利用NI的硬件和软件，我们依靠人数不多的工程师团队迅速地开发了一个复杂的模拟器。 ”



挑战：

设计一个工具，能够快速有效的测试集成在车载信息系统内的控制单元（Telematics control unit, TCU），测试需要在实验室环境里完成，而非道路环境。

解决方案：

使用National Instruments的PXI平台和LabVIEW软件开发一个车辆驾驶模拟器（Vehicle drive simulator, VDS）来测试TCU，测试使用了道路行驶的经验，在可控的环境中进行。

HUGHES Telematics是一所位于亚特兰大的公司，致力于设计、开发并管理以车辆和驾驶员为中心的解决方案，着眼于提升车辆价值，加强驾驭感，增强体验感，增加便利性，提高效能以及保障安全。作为HUGHES Telematics的一部分，DGE公司设计了一个工具，可以快速有效地测试集成在车辆里的TCU，该公司提供全面开发和设计服务，位于密歇根州的罗切斯特山，为车辆和交通运输业提供服务。TCU供应商和OEM制造商使用VDS在一个没有使用测试车辆的可控的环境中验证TCU的接口功能，加快了验证进程。

HUGHES Telematics公司要求DGE公司开发VDS系统，使其能模仿移动电话、人造卫星和在路上行驶车辆的总线（CAN）信号。这个测试系统控制反馈给TCU的信息，以便使用者能加载具有特定车辆细节的配置文件，系统模仿了所有驾驶相关的数据，包含天气、RF信号反射、地理位置和路径。另外一些故障现象，比如开路或者短路，以及卫星和移

动电话信号异常，都可以用来评价TCU行为。这个系统能够远程运行脚本以便在不同地区的设计和测试团队都能使用此系统。

利用VDS监控多个子系统

利用我们的系统，工程师们可以建立一个虚拟驾驶场景来开发和测试车载信息系统控制单元，所模拟的场景里包含GPS卫星、GSM手机网络、硬件I/O接口以及车辆网络通讯。我们使用一台机架式PC来控制多个车载信息系统相关的I/O子系统。该PC上安装有基于LabVIEW软件环境开发的图形化用户界面（Graphical user interface, GUI），使用此GUI能监控以下子系统：

- 车辆配置数据
- TCU（车载信息系统控制单元）界面

- GPS卫星界面
- 移动电话界面
- 车辆CAN仿真
- 车辆诊断
- 故障嵌入
- 能量提供
- 子系统脚本生成/建立模型
- 子系统日志

使用National Instruments的平台 开发VDS

为了逼真地模拟行驶中的车辆，VDS需要结合各种驾驶场景，并合理地安排它们。每个模拟元素中包含大量的选项和设置，是准确复现车辆行驶工况的关键。

由于时间宝贵，因此我们选择LabVIEW来为VDS创建GUI。节省下的时间，可以让我们完成开发GPS卫星和GSM电话网络模拟器复杂子系统接口。验证工程师还需要寻找一种方案，在VDS上运行极其复杂的脚本。对此，我们并不需要发明一种新的脚本语言，而是很快就创建了一个稳定的远程连接，使得工程师能完全访问VDS的GUI中的每一个控制量。使用这一解决方案，工程师们可以用他们熟悉的语言来编写脚本。

利用NI硬件和软件，我们依靠人数不多的工程师团队很快开发了一个复杂的模拟器。LabVIEW的函数库中包含的VI，简

化了VDS子系统的集成。如果没有使用LabVIEW图形化编程环境来迅速开发我们的软件，我们恐怕不能满足项目时间表的要求。LabVIEW还提供了一些接口，以便集成不是由NI生产的第三方系统组件。

此外，NI硬件，包括NI PXI-8105双核2.0 GHz的控制器，NI PXI-6259 M系列数据采集模块，NI PXI-6602计数器/定时器模块和NI PXI-6723模拟量输出模块，是我们系统的核心，我们需要依靠NI产品的速度和精度。

利用VDS改变车载信息系统的测试

利用VDS系统，我们大大减少了将TCU融入车辆环境所需的时间。TCU供应商和OEM制造商使用VDS在一个没有使用测试车辆的可控的环境中验证接口功能，加快了验证进程。没有必要等待完美的时间和地点进行测试，因为VDS可以模拟任何道路、天气、电磁条件。工程师现在可以在实验室中进行模拟，而不必花费高昂的运输费用、调动全球各地的设备和人员进行实地测试。不再需要利用一队OEM车辆进行道路测试，他们也能在实验室环境中验证TCU的功能。

凭借灵活和可扩展的设计，VDS改变了未来车载信息系统的开发平台，测试工程师不再需要依靠从OEM测试车辆获得的经验数据。此外，借助于闭环控制的系统，工程师可以创建可控和可重复的测试场景，而这对于依靠实车道路测试的系统来说是无法实现的。因此，在车载信息系统产业中，VDS的优势是无与伦比的，超越了其它任何测试系统。

为车载仪表控制单元开发自动化测试系统

作者：Hisafumi Nishida 株式会社

“ 使用NI硬件和软件来构建汽车行业产品的HIL测试系统是非常有效的。 ”



车载仪表ECU测试系统

挑战：

为车载仪表电子控制单元（ECU）开发一个自动化测试系统。

解决方案：

使用NI LabVIEW软件和PXI硬件开发一个硬件在环（HIL）测试系统，该系统能测试ECU中的多个计算型功能。

汽车计算机化正在迅速发展，已经成为提高汽车安全技术和二氧化碳和氮氧化物排放控制技术不可缺少的一部分。装有微控制器的ECU是使汽车计算机化的基础，它的发展决定了汽车的性能和驾驭舒适性。

车载控制网络的发展也遵循这一演变过程，随着名为“线控技术(X-by-Wire)”的电气控制机制逐步取代机械传动机制，局域互联网络(LIN)、控制器区域网络(CAN)和FlexRay等通信技术正在引起广泛注意。

在CalsonicKansei（株式会社），我们在日本的扎晃县建立了测试、研究和开发中心，并将我们实验设备扩展到了日本的Sano（三洋）集团。当我们开始开发车载指示器（在下文中叫仪表）ECU的自动化测试系统时，我们也同Peritec公司合作，该公司在ECU测试方面具有很强的实力。

开发车载仪表ECU面临的五大挑战

脱离操作员在环测试

因为在由操作员主导并凭借视觉观察进行判断的测试（操作员在环测试）中更容易产生误差，所以需要自动化的测试系统。然而仪表仅仅是一个显示单元，通常在测试中不提供反馈。

支持不同种类

在可靠性评估部分，必须对不同种类的仪表进行测试。每一个仪表中指针、指示器和LCD的位置和有无都是不一样的。为使我们的设备具有通用性，我们不得不针对每一个产品来改变获取图片的位置。克服这个问题是最大的挑战。

高分辨率的图像处理

为了测试仪表指示器的角度和LCD的显示，我们必须使用高帧率和高分辨率的相机来捕获图像，然后再处理图像。

指示器测试和蜂鸣器测试

我们需要测试仪表中指示器的显示和蜂鸣器的声音模式。

驾驶方案

我们创建了一套驾驶和用户操作方案，并进行了实际车辆行驶仿真。

解决我们的开发中的挑战

构件硬件在环系统

我们使用NI PXI-7833R多功能智能数据采集卡、PXI-4070数字万用表(DMM)、PXI-5402任意函数发生器、PXI-8464 CAN接口、PXI-2569通用开关模块和PXI-6251工业数字I/O模块作为基础硬件，开发了一个PXI系统。为了取代视觉观察测试(操作员在环测试)，我们构建了一个具有图像采集(相机)功能和使用NI LabVIEW开发的图像处理和测试功能的硬件在环(HIL)汽车测试系统。

支持多种仪表种类

为了克服不同种类仪表的差异性问题，我们在安装了一个可以移动照相机位置的台架后重做了测试，在测试开始之前进行了学习和初步测试，并创建了测试配置文件。

高分辨率的图像处理

为了测试仪表指示器的角度和LCD的显示，我们移动台架调整相机位置，让高分辨率相机可以捕获到细节图像。我们使用LabVIEW的图像处理功能来采集和处理图像。

仪表测试和蜂鸣器测试

为了进行仪表测试，我们使用了一个装有仪表的暗箱。为进行蜂鸣器的测试，我们在相机中安装了一个麦克风和一

个扬声器，通过DMM的数字化仪功能来记录声音，并测试了声音的频率和模式。

驾驶方案

在行驶和用户操作方案中，我们通过开发NI TestStand测试序列文件，为每个模块准备了由LabVIEW创建的HIL标准功能。

使用HIL测试系统的结果

使用支持多种仪表种类的“XY工作台控制-移动相机”概念，我们解决了这个问题。此外，我们通过提供一个相机和相机中的一个用于指示器测试的麦克风，构建了一个可以进行所有测试的系统。NI产品包括几个测量模块和可定制的LabVIEW和NI TestStand软件，是实现我们的测试所必要的基本架构。与人工测试相比，完成这个系统我们至少可以减少一半的时间和成本。

| 序号 | 问题 | 有效解决方案 | NI产品 |
|----|-------------|----------------------|-------------------------------|
| 1 | 脱离MIL测试 | 构建一个HIL汽车测试系统 | 以一个CAN通信模块为中心的PXI平台 |
| 2 | 支持多种样式 | XY平台控制和创建设置文件 | IEEE 1394图像采集和记录板 |
| 3 | 高分辨率图像处理 | XY平台控制和使用专用相机 | LabVIEW图像处理功能 |
| 4 | 指示器测试和蜂鸣器测试 | 使用暗箱、专用相机、麦克风和波形记录板卡 | 具有相机接口的图像采集和录音板和LabVIEW频率分析功能 |
| 5 | 驾驶方案 | 使用测试管理软件创建HIL标准功能 | LabVIEW, NI TestStand |

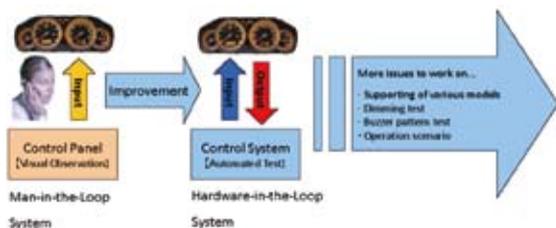
使用NI硬件和软件来构建汽车行业产品的HIL测试系统是非常有效的。我们正在使用自动化测试系统来开发安装在日本国内主要的汽车制造商制造的汽车上的仪表，这些日本汽车制造商是我们的商业伙伴。

随着可靠性管理团队的发展，我们大胆地改进了测试的自动化程度以应付汽车的快速计算机化。这包括ECU测试的HIL标准功能，如电池电压测试和暗电流测试，同时也可应用于其它ECU测试。另外，我们正在考虑展开空调

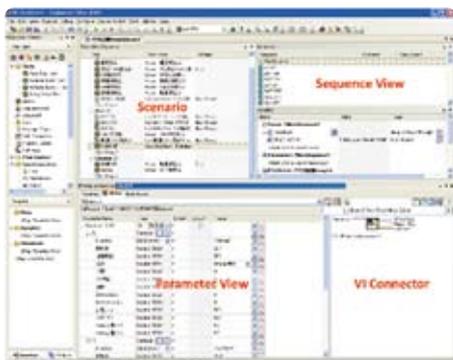
ECU或安全气囊ECU的开发。而且我们期望提供跟汽车行业一致的测量解决方案。



文件创建面板



操作员在环系统与硬件在环系统的比较



驾驶方案

Sony : 蓝光播放器的自动化音视频测试

作者 : Koh Chee Lit Sony EMCS

“ 为了开发更灵活可靠的测试系统，我们基于NI PXI硬件和LabVIEW图形化编程软件设计了测试系统，这样缩短了所需的程序开发时间。 ”



蓝光播放器诊断测试人机界面

挑战 :

为蓝光播放机产品开发一种可靠、全自动且经济合算的测试系统，以缩短质量检验时间。

解决方案 :

使用NI LabVIEW和PXI模块化仪器，包括高速数字化仪、图像采集模块、动态信号采集模块和一个多功能数据采集模块，在预算范围内满足性能和质量要求，同时将测试数据吞吐率提高33%。

蓝光光盘 (Blu-ray Disc, BD) 是下一代刻录、重写和回放高清视频的光学光盘格式。为了使不同供应商生产的蓝光光盘产品具有统一的品质，蓝光光盘协会 (Blu-ray Disc Association, BDA) 制订了设备规格和符合性测试程序。我们使用LabVIEW和PXI模块化仪器来创建满足这些规范的蓝光播放机自动诊断测试程序，利用该程序实现对蓝光播放机产品的可靠、自动且经济合算的测试。

使用传统系统的测试限制

我们以前的测试系统包括一台电脑和一个可用GPIB控制的示波器，在使用这种老式设备的时候我们遇到了一些限制。示波器仅有四个通道，不能同时测试蓝光播放机的多个输出。因此，我们在该系统中集成了一个开关，这导致了工作时间增加。我们还需要建立并行测试站以满足我们的日常生产目标，这将使设备成本变得更高。

使用PXI和LabVIEW开发新系统

为了开发更灵活可靠的测试系统，我们基于NI PXI硬件和LabVIEW图形化编程软件设计了测试系统，这样缩短了所需的程序开发时间。

我们通过RS232接口和RJ45以太网端口来执行设备识别，这同时可用于Windows操作系统下运行的新系统中的PXI嵌入式控制器。该系统还可以检测连接到被测设备 (Device Under Test, DUT) 的USB设备。我们在使用LabVIEW编程时结合了自动键按钮和红外 (Infrared Radiation, IR) 远程检测功能。

对于视频测试，我们使用了高分辨率的NI数字化仪进行复合视频信号测量，包括白电平、色同步幅值以及同步脉冲幅值。每幅获取的视频图像都会显示在用户界面由操作

人员目测检查。这种基于PXI的解决方案还允许我们在同一系统下测量视频分量（Y，Pb，Pr）信号。

此外，我们使用具有24位分辨率的8通道NI动态信号采集模块测量了7+1通道音频输出信号，同时还使用LabVIEW测量并分析了全部8个通道的峰峰值和均方根值（Root Mean Square，RMS）电压和信号频率。日本市场上的蓝光光盘产品附加信号，如D端子信号和控制电压幅值等，可以使用数据采集设备的模拟输入来测量。该系统为每个被测设备的测试结果保存数据记录，以便进行数据共享和跟踪。

对于系统的外部硬件，我们使用了数字I/O模块来为被测设备提供自动控制，使用一个电磁阀和气缸开发了自定义控制箱控制视频和音频插孔、HDMI与USB接头、以太网端口以及连接到每个被测设备的供电电源。我们还使用了一个固体继电器来控制交流输入到被测设备。使用这套系统，操作者只需按下键盘上的一个按键便可以将被测设备上的所有端口连接到测试站，同时该系统还提供故障诊断。

未来发展

使用LabVIEW和PXI，我们大大缩短了蓝光播放机的测试时间。使用新式蓝光光盘诊断测试套件，我们可以同时测量多路音频和视频输出、以太网和USB端口以及诸如冷却风扇等一些其他组件。新的质量测试系统将测试时间最小化以满足日益增加的生产目标，同时能够每天24小时持续可靠运行，这也提高了我们生产的效率。我们正使用NI TestStand测试管理软件来更新当前测试系统，以进一步改善我们的测试时间，提高数据记录效率，并提供完整的用户满意度。这个提供了低成本消耗及现成组件的NI解决方案，可以帮助用户满足不断变化的测试需求和高效的发布新产品。

推荐配置

NI PXI-5922高速数字化仪
NI PXIe-1435图像采集模块
PXI-4462动态信号采集模块
PXI-6259多功能数据采集模
NI LabVIEW
NI TestStand

中国汽车研中心：汽车数字仪表测控系统设计

作者：刘全周 张宏伟 汪春华 中国汽车技术研究中心

“ 本文所介绍的测试系统不仅能够对汽车数字仪表进行在线测试，而且作为具备CAN网络节点的测试设备可以进一步升级为汽车网络诊断测试系统。 ”

挑战：

在汽车智能数字仪表的开发过程中，数字仪表所需要采集的信息量比较多，各种车型的信息参数又差别较大，这些问题的存在给仪表的实车测试和参数标定带来了困难。为了在开发过程中能够快速有效的测试系统的各项功能，提高系统开发效率，我们设计了一套测试系统，它能够模拟产生汽车上的各种参数信息，快速的对设计仪表进行全面的测试，节约台架或实车测试时间，降低测试风险。

解决方案：

利用NI公司的软硬件产品，结合一块自行研发的数据通信转换卡构成数字式仪表在线测试系统，系统模拟数字仪表测试所需要的车辆的各种状态参数和信号，包括模拟、数字、开关量及CAN等信号，驱动待测数字仪表，模拟车辆相关状态工作并反馈数字仪表的工作状态信息。通过NI公司的LabVIEW软件平台对整个测试系统进行开发，最终提供了一个完整的汽车智能数字仪表的测试方案。

系统设计

汽车智能数字仪表测试系统的开发要求针对不同的车型，能够模拟产生出仪表所需的各种采集信号信息，并且能够通过CAN接口与被测仪表进行通信。本文介绍的测试系统包括以下主要功能。

- 1) 车速里程表的脉冲信号模拟产生
- 2) 发动机转速表的脉冲信号模拟产生
- 3) 车辆燃油表信号模拟产生
- 4) 车辆水温表信号模拟产生
- 5) 各种车灯、车窗、车门等车身开关信号模拟产生
- 6) 数字仪表具有CAN通信接口，作为一个CAN节点，可以与车上CAN网络上的其他节点进行通信。

系统硬件设计

数字仪表测试系统的硬件系统主要包括主控制器、PXI板卡、信号接线盒、数据通信转换板卡、供电电源以及被测试仪表等主要部分。NI公司提供的PXI模块化板卡设备具有体积小、速度快、易扩展等特点，因此在硬件设计方面我们采用了PXI板卡产生汽车仪表所需的各种信号。汽车数字仪表的里程表和发动机转速表需要采集的是数字脉冲信号，不同的车型由于采用的传感器不同，所输出的脉冲信号高电平从3V-12V不等。为了能够全面测试设计仪表的信号，采用PXI-6624板卡，配合外部供电电路，产生仪表所需的一系列数字脉冲信号。PXI-6624是工业级隔离的32位定时器/计数器PXI接口板卡，具有8路隔离的通道，我们采用Counter0和Counter1作为车速表和转速表的脉冲信号提供通道。燃油表

和水温表采集的是模拟信号，PXI-6233能够输出4路10V模拟电平信号，PXI-6713能够输出8路10V模拟电平信号，我们选择PXI-6713或者PXI-6233的2个模拟输出通道作为燃油表和水温表的模拟信号提供通道。由于仪表上的开关量信号比较多，如刹车、左右转向灯、燃油报警、水温报警以及左右车门开关信号等，他们之间产生的干扰也比较大。我们选用PXI-6528对仪表的开关量进行控制，PXI-6528是高速隔离的数字I/O通道，输入和输出通道分别独立，有效的抑制了信号之间的干扰。

采用一块数据通信转换卡来完成仪表参数的标定以及作为CAN节点与车上其他CAN节点的数据通信，该卡的主要功能是完成串口信号与CAN信号之间的转换功能，开发数据通信转换卡的目的一是为了节约成本，二是考虑到大多数台式机或笔记本没有CAN接口。通过这个板卡对被控仪表的特征参数，如车辆的特征系数、传感器的传感系数、发动机的速比以及仪表的一些标定参数等进行设定。由于目标车型不确定，仪表的一些特征参数需要实车测试才能最后标定，所以该板卡可作为以后仪表参数标定用。

整个测试系统硬件功能框图如图1所示。

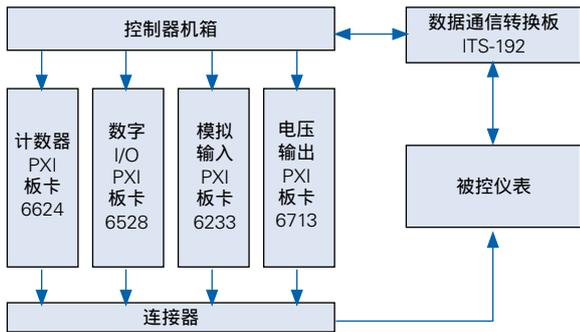


图1 仪表测试系统硬件功能框图

系统软件设计

仪表测试系统软件采用NI公司的LabVIEW 8.20平台。LabVIEW是基于图形化编程语言的虚拟仪器软件开发平台，具有功能强大的函数模块库，特别适用于测试和控制系统的开发。结合NI的硬件模块，能够方便的进行采集和分析相关测试数据。考虑到仪表整体功能测试和模块功能测试的需要，整个系统主要包括界面模块和各个功能测试模块。根据信号类型将仪表功能测试分为：车速表测试模块、发动机转速表测试模块、燃油表测试模块、水温表测试模块、开关量测试模块、CAN通信测试模块以及参数设置模块等主要功能模块。汽车仪表测试系统的软件总体功能框图如图2所示。

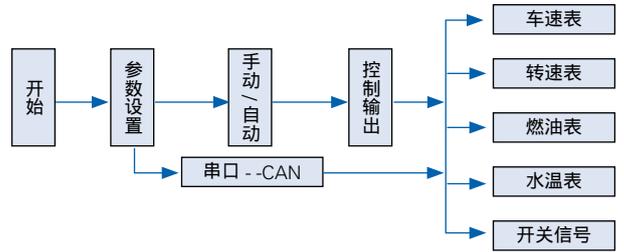


图2 仪表测试平台软件总体功能框图



图3 主界面前面板

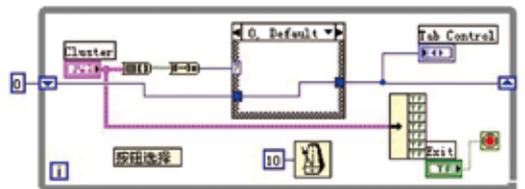


图4 主界面功能控制框图

1. 界面模块

测试平台左侧是各种模块功能测试的切换按键，可以切换到单个功能模块的测试项目。右侧主界面模拟汽车仪表板的显示界面，如车速表、转速表、水温表、燃油表、里程指示以及各种报警和开关信号等信息显示。在进行测试实验中，工作人员通过主界面即可观测到仪表测试的整体功能。主界面前面板如图3所示，控制框图如图4所示。

2. 模块测试设计

车速表的测试需要预先了解设定目标车型的特征参数，如车辆特征系数、车速传感器的传感系数等，然后通过数据通信卡（CAN总线信号）将特征参数下载到被测仪表，按照测试要求产生脉冲信号，信号的幅值、频率可以通过手动/自动

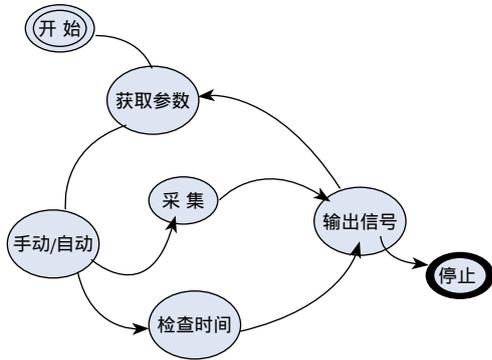


图5 模块软件测试状态转移图

进行调整，车速信号具备超速报警提示功能，根据设定的超速门限值，高于该门限值时，通过主界面前面板上的超速报警灯闪烁来提示。测试过程也可以手动 / 自动进行，测试结果存档以备查询。

车速表测试模块的设计采用状态机设计模式，如图5所示。主要分为开始、获取参数、手动 / 自动选择、采集（手动）、检查时间（自动）、输出信号和停止等状态。其中参数的获取主要是获取前面板上特征系数和传感系数的参数值。通常，这两个值在仪表参数标定的时候需要在线修改。检查时间是指按照程序规定的时间输出规定的信号，本系统中采取三角波模式的车速变化趋势对仪表进行测试，它的控制框图如下图6所示。

发动机转速表测试模块类似于车速表测试模块，区别在于它的特征参数不同。根据特定车型的情况，通过数据通信卡（CAN总线信号）将发动机转速比下载到被测仪表，然后对其进行测试。

燃油表的测试需要预先设定目标车型的燃油测试范围以及燃油门限报警值，通过数据通信卡（CAN总线信号）将参数值下载到被测仪表，然后按照测试要求开始测试。根据设定的燃油门限值，低于该门限值时，通过主界面前面板上的燃油报警灯闪烁提示。测试过程可以手动 / 自动进行。

燃油表的测试采用状态机的设计模式，主要分为开始、获取参数、手动 / 自动、采集、检查报警、输出信号等状态。水温表的测试同燃油表，在此不做具体说明。

3. CAN通信测试模块

所有的模块测试之前首先需要对该模块的参数进行初始化，如进行特征系数、传感系数、发动机速比、超速门限、燃油门限、水温门限以及测量范围等参数的设置。数据通信采用CAN协议，鉴于成本方面的考虑，我们在LabVIEW上对串

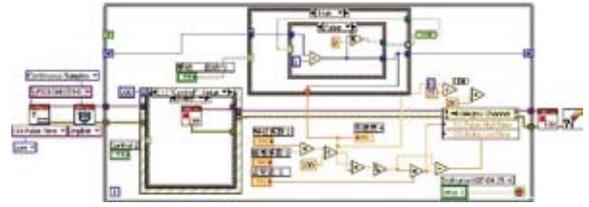


图6 车速测试模块控制窗口

口进行操作，然后通过数据转换板卡输出CAN信号，CAN信号直接与被测仪表进行数据通信，因此，需要定义一个简单的CAN通信协议。测试系统作为CAN网络上的一个节点，节点ID号可以根据需求自行设定，数据区域由命令字、数据长度、数据、校验位组成。以下图7为CAN通信前面板图，表1是仪表参数设定CAN通信简单协议。



图7 CAN通信测试前面板

| 功能 | 字头 | 命令字 | 长度 | 数据 |
|-------|------|-----|------|----|
| 特征系数 | AA75 | 01 | 0x01 | -- |
| 传感系数 | AA75 | 02 | 0x01 | -- |
| 发动机速比 | AA75 | 03 | 0x02 | -- |
| 超速门限 | AA75 | 04 | 0x02 | -- |
| 燃油门限 | AA75 | 05 | 0x01 | -- |
| 水温门限 | AA75 | 06 | 0x01 | -- |
| | | | | |

表1 仪表测试参数设定CAN协议

测试结果分析

通过对现有车辆安装的数字仪表进行测试，各项关键指标如速度传感器和发动机转速传感器的测量误差均满足国标QC/T 727-2004的要求。同时作为CAN节点，根据特定的CAN应用协议，能够有效实现汽车仪表的参数设定及CAN网络通信。

总结

采用NI的PXI平台以及灵活方便的LabVIEW软件系统，使得我们在短期内构建了一套汽车数字仪表产品开发、测试、评估多功能于一体的测试平台。通过对实际仪表的测试，结果表明该套测试系统能够快速准确的完成对被测仪表的各项功能测试，并且该系统具备可扩展性，可以很方便的移植到其他产品的测试方案中，为我们后续汽车电子产品的研发积累了测试经验。

推荐配置

硬件：

PXI-6624 32位定时器 / 计数器PXI接口板卡

PXI-6233输出4路10V模拟电平信号

PXI-6713输出8路10V模拟电平信号

PXI-6528高速隔离的数字I/O通道

软件：

LabVIEW

参考文献：

- [1] 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程[M]. 北京：中国铁道出版社，2004.
- [2] 周浩敏，王睿. 测试信号处理技术[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2004.
- [3] 杨乐平,李海涛,赵勇等. LabVIEW高级程序设计[M]. 北京：清华大学出版社，2005.
- [4] National Instrument Co. LabVIEW Programmer Reference Manual[Z]. 1998.

联创汽车：车身控制器功能测试系统

作者：姜飞荣 联创汽车电子有限公司

“ 我们采用虚拟仪器的设计思想，充分利用LabVIEW图形化编程语言开发周期短、开发方便灵活、稳定可靠等优点，搭建了一套基于LabVIEW的车身控制器功能测试系统，进行各项功能测试。 ”

挑战：

在较短时间内开发一套高性价比的车身控制器功能测试系统，模拟实车电气负载和其它控制器单元，测试各个车身控制器功能是否满足设计需求。被测系统包括雨刮、门锁、车窗、内灯光、外灯光、仪表、防盗安全及其他辅助系统。系统具有测试数据采集、存储和自动报表生成功能，以及良好的人机界面，为车身控制器功能测试和整车集成测试提供支持。

解决方案：

采用National Instruments公司通用模块化的数字I/O、数据采集、CAN等硬件板卡和其他厂商的仪器，在LabVIEW 8.20这个统一的图形化编程语言平台上，开发一套稳定可靠、高性价比、可灵活增添功能的车身控制器功能测试系统。

一．测试系统特点

1. 电压可调。可自动进行9~16V电压输出遍历测试，高、低电压模拟（0~30V）测试及发动机启动电压模拟测试。
2. 故障模拟。CAN/LIN/Kline对地、对电源短路；CAN/LIN/Kline短路；CAN终端电阻变化；CAN+、CAN-短路；碰撞模拟；惯性开关断开模拟等。
3. 可进行手动、自动功能测试，提高测试效率，可靠性高。可通过手工操作按键模拟各种开关和变量进行测试，与传统Labcar测试类似；也可通过计算机控制各继电器模拟各种开关和变量进行自动测试，不需人为干预。
4. 加载模拟负载、实际负载进行测试。一般状态下为加载模拟负载进行测试，并可模拟大电流、过压保护测试等；也可通过变更接线加载实车负载进行测试。
5. 每一个子功能测试项均可在各点火状态（KL30、KLR、KL15、KL50）下进行测试，增加遍历性，减少测试盲点。
6. 测试过程中，可通过诊断（CAN、Kline等）更改车身控制器配置信息，进行不同功能配置项的测试；此外还可进行诊断、刷新数据（Boot loader）等测试。
7. 进行测试数据处理、显示、存储并自动生成测试报表，包括测试数据、时间、各测试项测试状态、故障状态、不同配置信息等。
8. 采用虚拟仪器技术，整个测试系统易于构建、更改和扩展。采用National Instruments公司各种板卡及LabVIEW8.2软件，极大地缩短了自动测试系统构建时间；各模块功能由用户自定义，可根据需求进行更改；还可通过更换、升级板卡或软件编程增加仪器新功能。

二. 测试系统硬件设计

基于LabVIEW的车身控制器功能测试系统硬件设计如图1所示,主要包括:计算机部分、外围辅助电路部分、电源、待测车身控制器。系统机柜实物见图2。

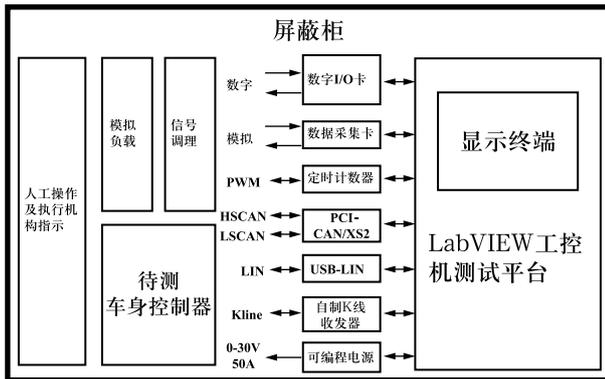


图1 基于虚拟仪器技术的车身控制器功能测试系统硬件设计



图2 系统实际机柜实物图

1. 计算机部分

计算机部分主要包括工控机、各类板卡、显示终端等。

- 1) 为降低成本,选用了工控机加PCI板卡的方式,并通过扩展USB端口、串口、LAN驱动其它模块单元进行数据交互和测试。
- 2) 各类板卡包括数字部分、模拟部分、PWM信号、通信模块等专用板卡。

由于车身控制器大部分为数字I/O信号,选用工业数字I/O卡,以驱动继电器,模拟各种开关及按键的吸合与断开,切

换各种模拟负载及通信回路,检测车身控制器数字电平输入。考虑测试系统复用性和扩展性,模拟部分采用NI M系列多功能数据采集卡,模拟外部环境温度等车身模拟信号,并监测各类模拟信号输入。PWM信号由定时计数器生成或采集,模拟车速等脉冲信号输入,及测量各类PWM信号占空比、脉宽和周期等。通信模块包括CAN、LIN、K线通信模块。CAN模块采用PCI-CAN/XS2,支持标准(11位)和扩展(29位)CAN任意ID,波特率可调,进行CAN网络诊断和通信。LIN模块采用USB-LIN,兼容LIN 1.3、2.0和J2602,波特率可调,进行LIN网络诊断和通信。Kline模块采用自制K线收发器构成,通过工控机串口来进行控制,进行Kline网络诊断和通信。三类总线不同组合,可进行不同的网关测试。

- 3) 显示终端由液晶显示器构成,实时控制各种按钮,显示测试信息及车身控制器各模块工作状态等。

2. 外围辅助电路部分

外围辅助电路部分主要包括信号调理、负载模拟、人工操作及执行机构指示等。

- 1) 信号调理部分主要是将车身控制器的各类信号调理到板卡所能接受的范围。如信号上拉、下拉匹配;各类开关常开、常闭触点匹配;模拟、数字、脉冲电平电压调制;信号滤波、放大等调制。
- 2) 负载模拟主要是模拟实车中各类负载,如外灯光系统就包括转向灯、前雾灯、大灯(远光灯、近光灯)、刹车灯、后雾灯、位置灯(牌照灯)、倒车灯等负载模拟。此外还可进行一些大电流、低电压、高电压模拟。如车窗、雨刮、门锁堵转大电流,低电压部分功能屏蔽等。需接实际负载时,可通过转接头变更接线加载实际负载进行测试。
- 3) 人工操作及执行机构指示,为方便进行手动测试和观测方便,设计了各种按键模拟实车各类开关,同时显示各控制器的工作状态。状态指示部分包括外部灯光系统、内部灯光系统、锁止系统、车窗升降系统、辅助系统、清洗系统、电源供给的指示;为开关输入部分包括外部灯光系统、车门反馈信号、门锁系统、车窗升降系统、辅助系统、清洗系统、多档开关输入等。

3. 电源

电源采用安捷伦可编程电源,具有过流、过压保护功能。通过LAN控制,使控制器在不同电压下进行功能测试。若需进

行非正常电压下测试，可添加一组电源，板卡正常供电，控制器为非正常供电模式。

4. 待测车身控制器

通过配置不同转接头和接线组合，可测试各类集成或分立的车身控制器及网关功能（整车厂一般将网关功能放在车身控制器），即雨刮系统、门锁系统、车窗系统、内灯光系统、外灯光系统、辅助系统、仪表及防盗安全系统等车身控制模块；HSCAN与MSCAN、HSCAN与LSCAN、CAN与LIN、CAN与Kline等网关功能测试。

三. 测试系统软件设计

该车身控制器功能测试系统软件基于LabVIEW 8.2开发完成，采用模块化编程思想，具有良好的人机交互界面，可进行数据采集、存储及自动报表生成等功能。系统测试主要流程如图3所示。

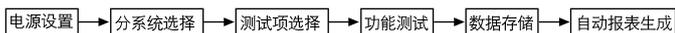


图3 基于虚拟仪器技术的车身控制器功能测试系统软件设计流程

1. 电源设置

如图4右边部分所示，电源设置包括所需电压、最高电压、最低电压、最大电流的设置。设置后运行时即输出所设置电压、电流。



图4 车身控制器功能测试系统电源设置及分系统选择界面

2. 分系统选择

如图4左边部分所示，分系统选择包括辅助系统、内灯光系统、外灯光系统、车窗系统、门锁系统、雨刮系统、防盗安全系统及射频系统选择。需全部测试时，勾选单选/全选按钮即可，否则不勾选。当分系统包含的各测试项均通过时，A~G相应的指示灯会被点亮。

3. 测试项选择

如图5所示，测试项选择针对分系统里进一步划分的子测试项选择，类似分系统选择。如雨刮子系统有间歇式雨刮、慢刮、快刮模式等8项子功能测试项供选择，当某测试项测试通过时，测试项前相应指示灯会被点亮。由于各测试项数目众多，这里不再列出其它分系统测试项。



图5 车身控制器功能测试系统测试项选择、参数设置显示界面

4. 功能测试

功能测试在前三项选择完毕后点击运行即可自动进行测试。每个测试项都封装成一个子VI，方便主VI和TestStand调用，可在不同点火开关状态下进行测试，在测试前及测试过程中可根据需要更改一些变量值，如发动机转速、车速、仪表亮度、要刮雨刮次数等。图4的雨刮测试系统就可变更车速Vehicle Speed及雨刮测试次数Wiper Number。

对于总线通信模块，采用通道模式进行通讯，直接导入.dbc及.ldf文件形式，调用内部信号名来完成CAN、LIN信号的发送和接收，对于K-Line则通过串口通信模块及时序处理来进行模拟。

对于其它车身控制器子VI，在这不一一列出。

5. 数据存储

测试完成后，需将各种测试信息和数据进行记录、处理和存储，包括当前测试日期、时间、测试数据和各测试项状态（未测试、通过、故障信息）等。

6. 自动报表生成

当需要打印或提交测试报告时，可通过LabVIEW报表生成工具包调用相应报表模版文件，或通过TestStand，将存储的数据内容以模版格式自动生成所需的各种报表和文件。

四．结论

本系统采用虚拟仪器技术，通过工控机加NI的数字I/O、数据采集、CAN等板卡的硬件设计，结合LabVIEW的图形化软件编程，在较短时间内有效地构建了一套高性价比车身控制器功能测试系统，弥补了整车厂传统Labcar的测试不足，可进行手动、自动测试并具有良好人机交互界面，极大增加测试便利性，能及早发现车身控制器中潜在的缺陷和不足，提高测试效率和测试复用性，为最终整车集成提供便利。

推荐配置：

PCI-6289 M系列多功能数据采集卡

数字I/O

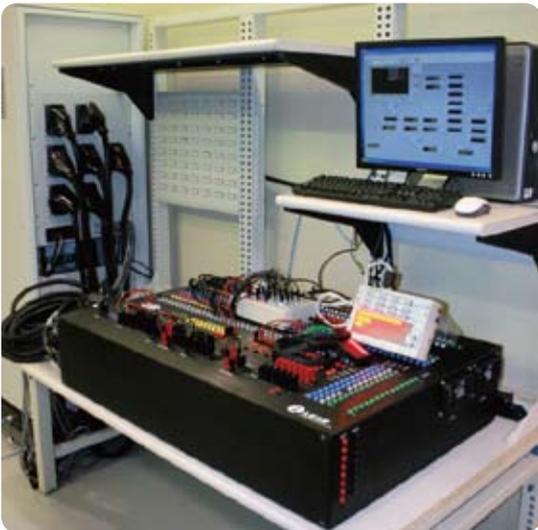
PCI-CAN/XS2 CAN模块

LabVIEW

李尔公司（Lear）使用NI HIL平台 减少嵌入式软件问题

作者：Jason G. Bauman Lear Corporation Darryn LaZar Wineman Technology Inc.

“质量与可靠性标准帮助我们赢得了新的汽车业务，而NI VeriStand在此过程中扮演着至关重要的角色。”



基于NI Veristand结合Real Time自动化测试能力下的我们最新HIL测试平台

挑战：

在我们的嵌入式电子产品复杂程度日益增加的情况下，保持质量和可靠性标准，并实现预算和既定目标。

解决方案：

采用基于NI VeriStand的实时测试软件和PXI硬件的新的硬件在环（HIL）测试平台，具有很好的灵活性，高效性和直观性，完全能满足我们当前的需要，而且对于将来继续扩展的产品，也能很好的支持。

李尔公司的电子部门为汽车应用设计和制造嵌入式控制电子器件，包括内部外部照明控制，电源管理系统，锁定控制，以及轮胎气压监控系统。嵌入式软件是这些产品的主要组成部分，这些软件的功能和复杂性成指数增长。我们广泛地使用硬件在环（HIL）测试，因为它允许我们有效地提高测试能力，增加测试覆盖范围，以应对这些增加的复杂性。然而，我们目前的硬件在环（HIL）测试平台并不能提供稳定性，易用性，以及灵活性兼顾的方案以实现我们期待的质量标准。

NI VeriStand的实时激励框架 （Stimulus Profiles）

在研究了可选的方案后，很明显，NI HIL测试平台所提供的先进方法可以满足我们当前和将来的挑战。我们之所以使用NI VeriStand实时测试软件来完成HIL测试应用，是因为它提供了多种强有力的、基于配置的特性，包括实时I/O接口，可触发的数据记录，一个运行时可编辑用户界面，以及对系统模型的易集成性。不过，使用NI

VeriStand最大的好处是它的实时测试自动化能力。

NI VeriStand提供了几种方法来创建我们的测试策略所要求的复杂的激励框架。VeriStand提供的这些工具非常容易上手，允许我们的测试工程师迅速地执行测试程序，并缩短学习掌握的时间。实时激励框架这个工具按照测试工程师的思路来运行，在使用时并不要求具有额外的程序设计语言知识。正因如此我们的工程师可以专注于他们的工作——识别潜在的模块失效——这些失效会导致更多的问题，并加以识别和解决。此外，环境的开放性允许我们使用其它工具包创建的测试脚本来快速地增加它的功能，从而给了我们很大的自由，可以使用来自其它多个渠道的测试脚本。

当我们使用测试自动化执行大部分测试应用时，NI VeriStand也允许我们很方便地通过测试实例手动地逐步进行，这对于调试所发现的问题来说，无疑是极为有用的。我们可以从自动化的测试快速地转换为交互式的根本原因分析。通过切换到与我们的嵌入式软件调试工具串联，我们可以通过测试脚本和嵌入式软件代码同时执行逐步调试，来更有效地识别和解决问题。

使用NI RIO创建多用途测试系统

此外，只需改变测试软件和接线，我们就可以创建能用于测试多种产品的HIL测试系统，因为我们为模拟和数字I/O通道使用基于现场可编程门阵列（FPGA）的NI可配置I/O（RIO）接口。这种能力使扩大测试系统的应用范围和增加测试量成为可能。

高性能车载总线接口

同样的，我们使用NI-XNET车载总线卡，为车载总线提供高性能的接口，具有使用和更改车载总线数据库文件来快速配置和更新车载网络的能力。NI-XNET与NI VeriStand的开放性相结合，也允许我们更容易地执行自己的协议层。

HIL测试系统定制

为了使用不同的NI-RIO FPGA特性，自定义协议层，以及其它NI VeriStand改进，我们与Wineman Technologies公司开展合作。Wineman Technologies是美国国家仪器有限公司（NI）的区域集成商，它在HIL

测试系统的开发以及NI软硬件工具方面具有丰富的经验。通过及时的沟通和专业的支持，他们帮助我们快速的改进了新的HIL测试系统，以确保我们成功更新产品开发中的关键部件。

未来展望

我们决定使用NI HIL测试平台的主要因素是其开放的硬件和软件环境。当我们的HIL测试系统需求拓展到无线和高压应用时，这种开放式的结构已经在提供我们预期的优势。我们当前正在增加高压负载和电源支持来帮助对我们的混合充电器生产线执行更广泛的测试。我们也在为HIL测试系统增加RF发射和接收能力，使用一个单独的系統来模拟我们的产品将要与之接口的、完备的各种各样的装置以及嵌入更多详细的RF信号和协议缺陷。开放的NI HIL平台软硬件工具使快速有效地扩展这些系统成为可能，利用第三方硬件部件以及在NI开发社区中可得到的大量可用的软件附加工具。

对我们业务的影响

我们已经连续运行NI VeriStand和基于PXI的HIL系统超过一年而没有出现任何检测故障。如此高的稳定性以及使用NI VeriStand和NI硬件产品所实现的高效收益使得我们的团队在开发的初期就能检测出更多的问题并快速解决，从而减少了我们的保修问题，降低了返修率。



我们基于NI工具的HIL硬件平台



PXI可以提供弹性的，有效率的，直接的功能以达到我们现在需求以及利用我们的产品可以扩展到的未来需求的能力。



李尔HIL自动化测试系统突围盒

推荐配置：

硬件：

NI汽车HIL仿真器参考系统

包括： PXI-1042 PXI机箱

PXI-8101RT PXIRT处理器

I/O接口：PXI-7851R 多功能RIO模块提供的可编程FPGA芯片

NI 9932 D-Sub, 螺栓端子和弹簧端子接线盒

NI 9940 D-Sub, 螺栓端子和弹簧端子接线盒

NI 9477 32通道8 μ s漏极数字输出C系列模块

NI 9221 一款具有 ± 60 V电压范围，用于高速测量的C系列模块

NI 9264 NI CompactDAQ和NI CompactRIO的C系列模块

NI 9426 32通道源极数字输入模块，提供针对32路同步采样数字输入的连接

软件：

NI VeriStand

车辆尾气排放分析的车载故障诊断数据提取系统

作者：Edward Casey 都柏林大学机械与电气电子工程学院

“ 使用LabVIEW编写代码比较容易，这使我们可以进行快速的开发、测试和部署又不影响数据采集的质量。 ”

挑战：

开发和部署一个系统用来在行驶工况开发期间与车载故障诊断系统通信，并充分利用现有的车辆传感器，从而减少车辆测试设备成本并能快速、方便地部署到其它车辆中。

解决方案：

使用NI LabVIEW 8.0软件为都柏林大学开发和部署一个能与不同的车载诊断协议通信的直观软件包，并读取、分析、显示和记录行驶工况开发的相关数据。

目前，车辆尾气排放的量化方法是使用车辆时速曲线和排放系数，这些描述的是基于车辆速度的尾气排放量。该方法是在安装有专门仪器的车辆上进行测试，并通过后处理确定了排放量。这种方法成本昂贵并难以实施，而且只能提取有限的车辆数据。

使用LabVIEW编程，我们可以使用现有的内置传感器，同时采集车辆测试时车辆和发动机的数据（发动机转速和负荷，车辆速度），这些传感器在现代车辆上已成标准。LabVIEW接口与车载故障诊断系统(OBD)通信，并提取和记录数据，用于实时分析和后处理分析。LabVIEW的多功能性意味着我们可以分析各种各样的OBD协议，因此，使用专用的硬件不会带来大量的编码开销，车辆制造和建模也容易。

本文探讨了该系统的开发、与OBD诊断代码的交互和分析数据的显示及记录，以及LabVIEW中灵活的实时数据分析功能的好处。

引言

现代汽车都装有连接到发动机控制单元（ECU）的传感器，以评估车辆运行条件，并帮助控制尾气排放。大部分的信息可以通过车载诊断（OBD）系统实时地提取。借助构建行驶工况，这些数据可以用来根据车辆和发动机运行状况来估计车辆的尾气排放。使用这个系统提取数据，我们无需大量昂贵的仪器来测试车辆的尾气排放量。

我们创建了一个LabVIEW行驶工况数据提取系统，它可以与很多OBD协议通信，因此，可从车辆上直接提取数据，不需要专用的软件或昂贵的测试仪器。该系统的灵活性也意味着我们可以测试各种车辆，而不仅仅局限于一种测试车辆。

通信和车载故障诊断数据

所有的车载故障诊断请求或响应都以十六进制格式编码和以

SAE J1979标准描述。Service 01涉及到目前的动力传动系统诊断数据，并被程序所用。请求的一般结构是在Service 01后使用所要求的参数标识符（PID）。针对此请求的响应则是以code 41开头的。

第一个任务是与车辆的ECU建立连接。实物连接如图1所示，它是通过车辆上的一个诊断连接器（DLC）连接到扫描工具，再从那连接到笔记本电脑。信号通过笔记本上一个虚拟的COM端口传送，并由LabVIEW使用虚拟仪器软件架构（VISA）资源指向正确的端口来读取。队列结构以定时序列形式产生和释放数据请求，每个请求间隔333毫秒，这使得请求从LabVIEW程序传递给ECU，并进行解码，然后将响应返回给程序进行解析。这种自动化水平意味着我们可以提取的数据明显多于使用现有的商业软件系统可能提取的数据。



图1 车辆与LabVIEW程序的实物连接

LabVIEW程序

我们最感兴趣的参数是车速（PID 04）、发动机转速（PID 0C）和冷却液温度（PID 05）。软件的功能可以通过下面的例子来描述，并可参照图2。使用请求01 0C，返回的是41 0C 1F 39。该过程的第一部分是检查响应中的共同字符串。对于发动机转速的每一个回复，其共同字符串是41 0C。使用匹配模式（Match Pattern）函数，我们可以除去共同的字符串而仅保留二个数据字节：1F和39。通过并行使用两个在字符串中搜索标记（Scan String for Tokens）函数，其中一个函数的偏移量为3个字符，我们可以分离这两个字节。最后可以使用十六进制数字字符串至数值转换（Hexadecimal String to Number）函数将它们转换成十进制数值，这样产生的两个十进制数值分别是：31和57。根据SAE J1979标准，我们也执行了一个转换方案，将这些十进制数值转换成“真实的”发动机转速为1998 rpm。程序

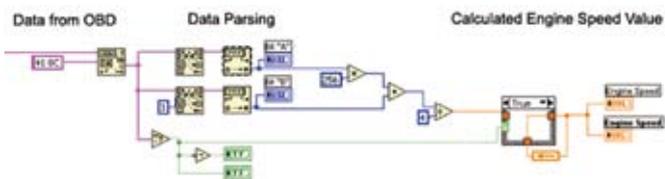


图2 发动机转速(PID 0C)数据分析、处理和显示的LabVIEW程序屏幕截图

中包含了一个反馈回路，用来保证数据在其它参数通过队列结构访问期间的连续性。

我们用类似的一个方法分析了其它感兴趣的参数，即冷却液温度和车速。我们按千米每小时（km/hr）提取车辆速度值，并将其转化成米每秒（m/s），使其与国际公认的行驶工况开发的标准一致。然后，我们可以使用这个值来计算实时行驶距离，也可以使用此参数来描述单个行程的加速和减速曲线。

所有的信息都显示在一个虚拟的仪表盘上，如图3所示，它使得操作者可以直观的比较实际参数值与计算参数值，以确保没有存在明显的异常。虚拟仪表盘也包含了数据文件在硬盘中的存储位置信息，并可以实时选择不同的COM端口或循环定时参数。

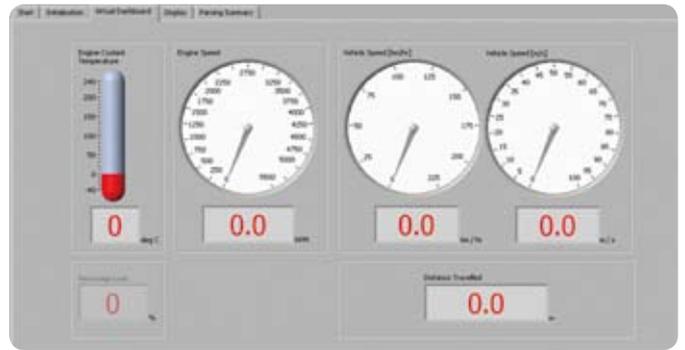


图3 我们使用一个选项卡结构来合理地划分信息，显示的是仪表盘的屏幕截图

数据存储

所有的数据存储都是通过使用写入测量文件快速VI完成。为了保证所有的数据都按1Hz记录，我们在队列操作、分析和显示结构以外的独立while循环中进行数据记录，数据通过局部变量传递到记录结构。每个单元的发动机转速、冷却液温度、车速（公里每小时和米每秒）和行驶距离都被记录下来，元数据也自动地包含了。我们可以很容易地在各种外部程序中读取记录数据，以便进一步分析行驶工况。

结论

使用一个相对简单的装置，我们可以提取各种各样的车辆数据用于行驶工况开发和尾气排放估计。使用LabVIEW编写代码比较容易，这使我们可以进行快速的开发、测试和部署而无损数据采集的质量。事实上，我们可以通过一个易得到的扫描工

具，使用该软件与很多OBD协议进行通信，而不用对编码作任何更改，这使其非常适合于多种车型的测试，这对于那种使用硬接线的和专用的传感器的工具来说是难以实现的。

致谢

本研究中所描述的工作是城市环境项目 (puep.ie) 的一部分，由环境保护局 (epa.ie) 通过国家发展计划 (pndp.ie) 资助。

推荐配置

NI LabVIEW

克莱斯勒智能电源模块终端测试系统

作者：Dave Dodge Focus软件公司

“ 通过使用LabVIEW以及PXI、SCXI开发平台，此测试系统能够在生产线所要求的每个节拍20秒时间内完成严格的测试。 ”

挑战：

为克莱斯勒RS智能电源模块提供一套生产线终端测试系统。此测试系统需要对模块的所有电路和继电器进行测试，测试内容包括验证模块的基本功能以及对短路、开路的故障测试。

解决方案：

通过使用LabVIEW和NI硬件，完成了一个稳定的测试系统。此系统可以在要求的20秒时间内完成模块所需的所有测试步骤。

简介

Focus软件公司联手ET&B公司（由Exemplar Manufacturing公司和Thomas & Betts公司合资）共同设计并实现了一种测试程序，此测试程序主要针对在汽车制造中应用的智能电源模块。此测试系统需要在20秒时间内对每个模块完成所有功能的测试，其中包括短路和开路测试。NI LabVIEW以及PXI、SCXI开发系统具有灵活度高，可用性强和稳定性好的特点，因而被选择为此程序的开发平台。

硬件

测试系统需要循环开关模块中所有的继电器，并对超过60个电路进行开路或短路测试。为了能顺利完成测试，测试系统需要具有72路模拟输入、16路数字输入、16路数字输出、16个机电继电器，并具备SAE J-1850总线通讯能力。

PXI平台能够将稳定的工业计算机与SCXI组建的性能与灵活性结合在一起，因此被选作系统开发的基础平台。PXI-

1010机箱和SCXI-1001 12槽机箱结合在一起，可以满足高通道数信号的需要。

PXI-8156/233及其相关模块用来实现模块的控制和测试，同时完成与其它测试设备的通信。智能电源模块的某些继电器需要SAE J-1850车辆总线协议的支持以进行通信。因此选择J-1850总线通信设备SenseNET以完成通信功能。SenseNET由Netlynx公司制造，具有功能强大的体系结构，并可以与LabVIEW的驱动程序灵活的协作，作为总线通信设备十分合适。系统使用RS-232串口与SenseNET设备通信。

软件

测试软件使用LabVIEW编写。在整个测试过程中，软件需要在没有用户干预的情况下持续运行。软件使用一种高级的状态机架构，通过数字I/O与硬件测试台进行通信，实现无人值守测试。软件中集成了一些实用程序，可以实现系统维护、自检和备份功能。

系统自检

在启动过程中，系统首先自动运行自检诊断程序，以保证测试系统能够正常工作。自检的内容包括检查所有DAQ输入通道、配置和回读SenseNET硬件信息、配置GPIB供电和负载通道，并且检查与测试台的通信状况。系统能够为用户提供反馈信息，以帮助用户对可能发生的问题进行诊断。

系统编辑器

系统编辑器是软件内部集成的一个实用程序，用户可以通过它对系统选项进行自定义配置。系统的一个重要特色是用户可以将测试的模式设置成调试模式。这种模式可以对诊断某些特殊的信号连线问题或智能电源模块的问题提供帮助。

测试过程中，单步执行可以让系统在每步测试之后暂停。暂停只是暂时停止测试，并不影响对数据的获取，因此操作人员可以通过检查电压信号读数来确定系统出现问题的区域。

系统编辑器的升级方式非常简单。如果软件可升级，用户可以通过点击升级键实现一键升级。软件会启动升级工具并终止测试。当程序升级结束后，系统会以新版本自动重启。

执行测试

在常规执行模式下，测试程序的执行界面只是一个状态框，用来显示正在执行的步骤和执行结果（通过或失败）。如果用户将测试系统配置成调试模式，软件则会显示全部模拟通道、数字通道和J-1850总线状态。面向左侧的屏幕为调试模式下的界面。

测试序列中包括50个以上独立的步骤。其中开路 and 短路测试可以识别70个以上的模拟电压输入信号。由于执行时间需要控制的非常紧凑，因此，每个步骤完成后就会立即执行下一步。

如果模块通过测试，测试台会打印标签并粘贴到相应模块上。如果模块测试失败，软件会生成错误代码，以便显示错

误的种类。同时，测试台会将错误代码打印到标签上，并将出错的模块移至测试失败仓。

软件可以通过日志文件中模块对应的编号跟踪所有测试失败的模块。日志文件可以跟踪错误代码、日期、时间和模块的编号。在之后对测试失败的模块进行分析时，日志文件可以对测试失败仓检索功能。在日志文件被移动或改变时，用户需要先将其打印并备份。

文件管理

系统提供一个实用程序，可以对日志文件进行打印、备份和删除。同时，此程序也可以显示文件的大小以及硬盘驱动器的剩余空间。

用户如果想要打印、备份或者删除日志文件，只需选中相应的文件并操作即可。软件同时提供了非常广泛的错误检查功能以帮助用户在使用过程中避免误操作。

结果

Focus软件公司开发了一种智能电源模块的测试系统。此系统为产品测试系统，可以为在克莱斯勒小型货车上使用的电源分配模块提供生产线终端测试。智能电源模块包括数量庞大的固态和机械继电器。这些继电器用来控制汽车内如点火器、前照灯、雨刷、喇叭等各个部件的电源分配。

此终端测试系统非常稳定，可以为产品级模块的功能，短路状态和开路状态进行测试。通过使用LabVIEW以及PXI、SCXI开发平台，此测试系统能够在生产线所要求的每个节拍20秒时间内完成严格的测试。

推荐配置

PXI-1010机箱

SCXI-1001机箱

PXI-8156/233控制器

NI LabVIEW

Global Inventive：为车辆的传感器盒创建自动化 CAN通信测试系统

作者：Joey Nino N. Aguila Global Inventive Technologies Int'l Inc.

“ 由于National Instruments公司的软件和硬件产品有着强大的功能，这使得我们实现测量系统的工作能够毫不费力。NI的产品非常灵活、操作友好，并且能够通过基于LabVIEW的硬件驱动集成第三方产品，而这些驱动在网上可以轻松找到。 ”

挑战：

开发一个针对分布式控制器局域网总线（CAN）信号的高速测试测量系统，对温控箱内多达六个传感器盒实现自动化的同步数据采集。

解决方案：

使用NI LabVIEW软件和PXI硬件平台通过CAN信号从被测设备（DUT）中获取数据，并且在此平台上使用单一的前端软件控制台式温控箱的温度设定。

有了NI PXI模块化仪器，我们不需要担心高速的数据采集和时序同步问题，因为NI产品已经替我们处理了这些问题。这次测试设定中，硬件的执行速率达到了规定的30ms。由于LabVIEW使用了数据流机制，同步和/或并行执行代码现在已经可以用来替代基于文本的顺序编程机制。我们能够同时控制和/或监控多个仪器和设备。仪器的集成已经变得更方便，因为大多数台式仪器（包括本测试系统中所使用的这台），都能在网络上获取相应的LabVIEW驱动。有了这些优势，我们便可以将精力集中在我们系统功能的开发上。

主要概念

该系统中的被测设备是安装在现代车辆中的传感器盒（见图1），这个设备提供了横纵向加速度、摇摆率、滚转率以及xyz方向的测量值。在通过CAN总线将这些测量值传递给引擎控制模块（ECU）之前，被测设备的测量值需要一些内部处理。ECU在车辆中像人脑一样解释信号以及执行动作。

测试的原理是简单的。一个分析工程师将被测设备放置在温控箱中，将其连接到CAN仪器，并将温度设置在设定值。然

后，工程师通过CAN通信查看数据值，并把数据记录在本地硬盘的Microsoft Excel文件上以便今后的分析。因为这个温控箱无法通过编程实现两个或者多个温度设定值，所以工程师必须手动设定。附加测试流程也许包括在某个特殊的时间执行上电复位并观察待测设备的反应情况，以及每30ms读取一次数据，这需要高速运转的硬件支持。



图1 ninoa_Actual Sensor Box DUT

测试的重要性

被测设备的主要功能是在车的运行过程中，尤其是以之字形或者在斜坡上前进时，提供关于车辆重心和速度的信息。ECU评估这些信息，修正车辆轴或者轮的位置，防止车辆侧滑（见图2）。



图2

该被测设备的功能还会涉及到乘客的生命安全，因此设备必须永远精确的运行（甚至在极端的温度下），这一点十分重要。这也是在批量生产之前，我们要在实验室里测试设备功能的原因。

系统描述

我们的系统控制并监视温控箱内温度的上升和下降，提供并测量被测装置的电压，通过CAN通信获取高速的数据（见图3）。其它的系统特性包括实时图像界面和Excel数据记录等。

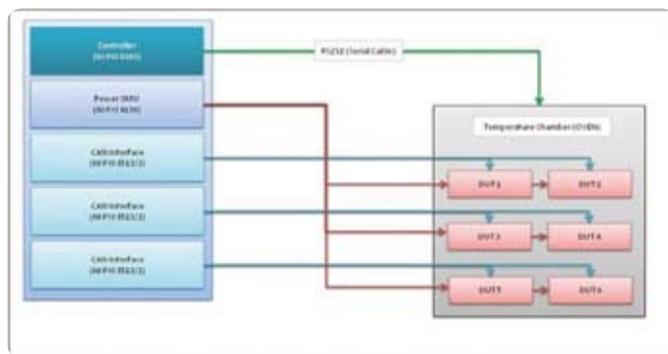


图3

分析工程师完成测试设置（见图4），然后点击OK开始获取数据。该系统会自动停止并将数据保存在本地硬盘中，因此工程师在测试中并不需要干预。该系统还会在测试完成后执行数据分析。NI软件和硬件产品十分适合我们系统的性能指标和配置情况。因为所有的这些硬件是被集成为一个紧凑的机箱中，包括控制器、SMU和CAN接口，因此减少了测试实验室的空间占用，这在小实验室里就是一个巨大的优势。



图4



图5

系统设计

我们创建了一个自动测量系统，这系统能在可控温度下测试多个盒装传感器设备。它在自定义设置的测试中能对多达六个设备执行同步数据采集。

我们选择2槽NI PXI-8101嵌入式控制器来代替商业PC，其坚

固、高性能、模块化的特点以及低价格方面都具有优势。我们使用NI PXI解决方案实现CAN数据采集。NI PXI-8513/2是一个2端口，可通过软件选择的CAN PXI接口。它十分适合实时、高速地控制数百个CAN帧和信号，在硬件在环仿真、快速控制原型设计、总线监控和自动控制都需要使用这种技术。模块的软件可选特性为CAN的发展提供了最好的灵活性，用板载收发器来实现高速、低速/容错、单线的CAN通讯。这种灵活性超过了此应用30ms数据采集要求。

我们使用NI PXI-4130源测量单元（SMU）为DUT（被测装置）提供电源。利用辅助电源接口，该设备能提供最大 $\pm 20V$ 、2A的输出。六个CAN通道共享此供电电源。

ESPEC SU-241台式温控箱使用了平衡温度控制方式。这个系统使用平衡温度来复现测试地区需要的温度环境。这是通过不断控制一个低热负荷加热器来完成的。每个单元通过实时控制，以便平衡温度。接着，制冷器的能力不断更新，以最少的能量逐渐提高来克服样本的热负荷。温控箱通过RS232连接到控制器。

图6展示了测试系统最终的PXI硬件配置。所有需要的模块被安装在一个PXI机箱中，很大程度上减小了总尺寸。这种设置也通过PXI的背板连接到了所有必要的仪器，以便获得更高的速度和吞吐量。



图6

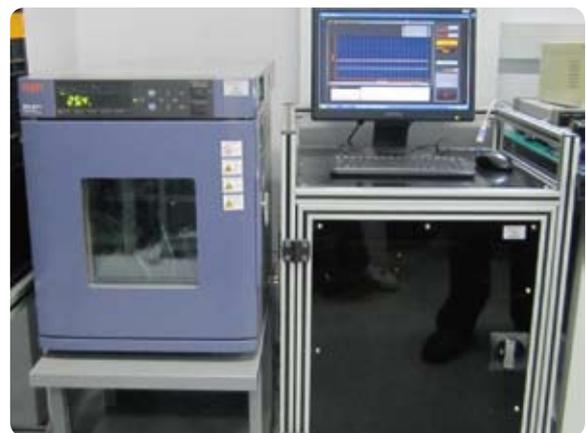
关于CAN、SMU以及温控箱的自动测试的配置依靠前端软件完成，此前端软件是在LabVIEW中开发的。编程语言的数据流执行模式能够同时并行地读取多个盒装传感器的数据。这个功能非常有用，因为它使得软件开发者不仅能读取每个设备的多个CAN信号，也能同步地（而不是顺序地）控制和监视温控箱的温度设定以及SMU的供电电压。

总结

幸亏有了LabVIEW，让编程语法、顺序代码编写以及对心理考验极大的程序调试的过程成为过去。现在，代码的开发变得容易多了，这为我们节省了时间和金钱。LabVIEW也让我们有能力去重新使用以前的代码来减少开发时间。

我们挑选的NI硬件能够满足十分苛刻的工业应用需求。它的模块化、坚固以及高性能的特点，是我们挑选它作为以PXI为基础的工业应用的主要原因。PXI模块和控制器的设计支持长时间运行，十分适合我们的应用。

由于National Instruments公司的软件和硬件产品有着强大的功能，这使得我们实现测量系统的工作能够毫不费力。NI的产品非常灵活、操作友好，并且能够通过基于LabVIEW的硬件驱动集成第三方产品，而这些驱动在网上可以轻松的找到。



东风汽车：基于J1939协议和PXI平台的CAN总线通讯平台开发

作者：周跃钢 东风汽车有限公司东风商用车技术中心

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。

解决方案：

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。

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。

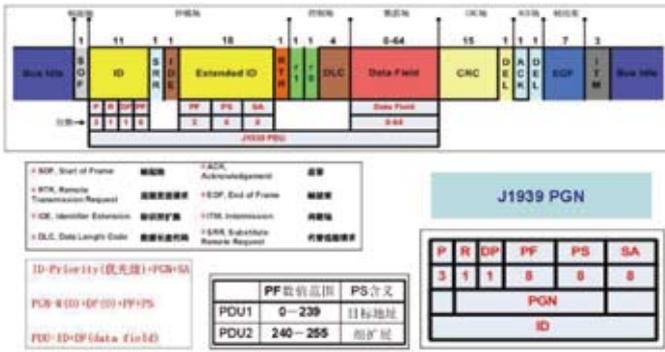


图1 J1939数据帧格式

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SJA1000TCAN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250kBits/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。

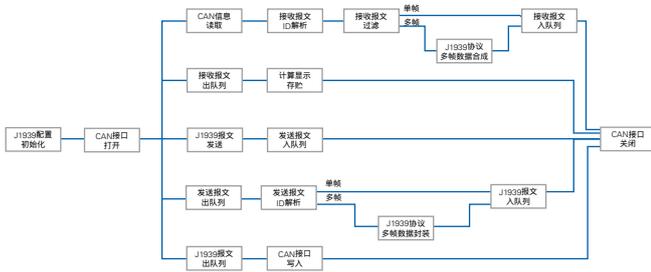


图3 基于LabVIEW和J1939协议的CAN总线通讯报文收发多任务处理

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 |
|----------|-------------------------|-------|----------|
| 11:00:17 | 1 25 82 90 1 0 0 0 | 39208 | 18FF1002 |
| 11:00:17 | 0 0 1 90 1 28 0 0 | 39209 | 18FF1000 |
| 11:00:18 | F1 C0 C0 A8 32 0 F3 C0 | 39210 | CF00400 |
| 11:00:18 | FF 40 17 FF FF FF FF FF | 39211 | 18FF2000 |
| 11:00:18 | FF FF FF FF A0 F FF 77 | 39212 | 18FF3023 |
| 11:00:18 | 0 0 1 9E 1 28 0 0 | 39213 | 18FF1000 |
| 11:00:18 | 1 25 82 90 1 0 0 0 | 39214 | 18FF1002 |
| 11:00:18 | F1 C0 C0 58 32 0 F3 C0 | 39215 | CF00400 |
| 11:00:18 | FF FF FF C FF FF FF 0 | 39216 | 18FEEF00 |
| 11:00:18 | FF 4C 17 FF FF FF FF FF | 39217 | 18FF2000 |
| 11:00:18 | FF FF FF FF A0 F FF 77 | 39218 | 18FF3023 |
| 11:00:18 | 0 0 1 90 1 28 0 0 | 39219 | 18FF1000 |

| 时间 | 报文 | 接收次数 | ID |
|----------|-------------------------|-------|----------|
| 11:00:18 | FF 4E 17 FF FF FF FF FF | 39726 | 18FF2000 |
| 11:00:18 | FF FF FF FF A0 F FF 77 | 39727 | 18FF3023 |
| 11:00:18 | 30 3 0 0 FF FF FF FF | 39728 | 18FF2000 |
| 11:00:18 | 0 0 1 90 1 28 0 0 | 39729 | 18FF1000 |
| 11:00:18 | 1 25 82 90 1 0 0 0 | 39730 | 18FF1002 |
| 11:00:18 | F1 C0 C0 A8 32 0 F3 C0 | 39731 | CF00400 |
| 11:00:18 | C0 86 30 FF FF FF FF FF | 39732 | CF00300 |
| 11:00:18 | FF 4C 17 FF FF FF FF FF | 39733 | 18FF2000 |
| 11:00:18 | FF FF FF FF A0 F FF 77 | 39734 | 18FF3023 |
| 11:00:18 | 0 0 1 9E 1 28 0 0 | 39735 | 18FF1000 |
| 11:00:18 | F1 C0 C0 A8 32 0 F3 C0 | 39736 | CF00400 |
| 11:00:18 | 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

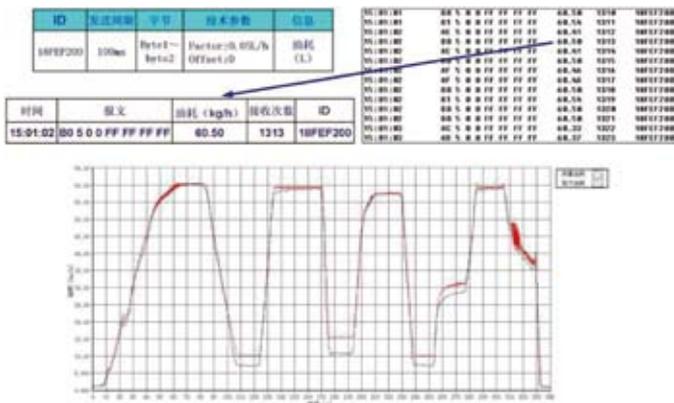


图6 发动机变工况台架试验油耗比对测量

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。

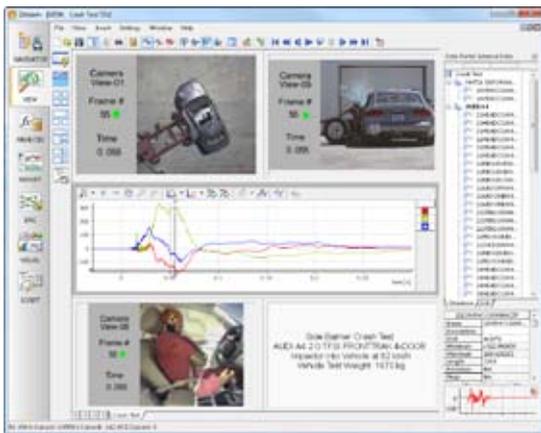
推荐配置

- LabVIEW 2009软件平台
- PXI-1045机箱
- PXI-8108嵌入式控制器
- PXI-8464/2 CAN通讯模块

Autoliv：基于DIAdem软件加速碰撞测试分析

作者：Steve Armstrong Autoliv North America

“在碰撞测试完成后，我们在数分钟之内便可获得经过全面分析的测试数据包。而在使用DIAdem以前，我们有时不得不等待数小时才能完成该任务。”



DIAdem碰撞测试参数

挑战：

快速、高效地获取自动化碰撞测试结果。

解决方案：

使用NI DIAdem软件，实现碰撞测试数据分析和报告的完全自动化。

碰撞测试101

Autoliv是一家领先的汽车安全系统制造商，从事各类汽车安全测试——其中最为著名的是障碍测试，在测试中，一辆整装待发的汽车被拖动撞入坚实的屏障。障碍测试中需要使用上百个传感器，从而以数字化的方式记录碰撞过程中的各类数据。此外，其它测试也具有一定的复杂性，例如测试仪表盘等具体的汽车部件，或者记录气囊压力。

在碰撞数据采集过程中，我们测量了测试物体在不同地点的加速度以及其他参数，并记录了碰撞测试中假人的受力、产生的加速度和位移。然后再根据不同的标准，如NHTSA、SAE和FMVSS，来处理碰撞测试数据。自1996年以来，我们就基于DIAdem进行自动化测试，分析并报告了数千个碰

撞测试结果。DIAdem能够将数据处理时间从几个小时缩短至半个小时，并在测试运行后很短的时间内提供测试结果，从而快速得出结论、运行更多的测试、最终提高开发效率。

DIAdem加速测试进程

由于碰撞测试中涉及一定的费用和安装过程，我们因此一直在探索如何加速并优化测试流程的方法。我们使用了标准的DIAdem功能以及众多的自动化脚本，来准确判定在测安全系统的运作情况，并快速作出明智的决定。自动化的进程可以帮助我们快速分析不同的数据并报告结果。DIAdem具备标准的碰撞分析功能，我们因此可以利用其标准的现成格式，避免了自定义编写代码来处理碰撞测试数据。

利用DIAdem的脚本功能，我们将重复性强的分析任务简缩成一系列的脚本命令。使用DIAdem的对话框编辑器，我们在数据分析程序前端创建了一个直观的用户界面，进一步将数据分析的过程参数化。举例来说，在启动DIAdem后，用户界面上就会弹出一系列选项，包括测试类型和碰撞测试假人的起始位置。

自动化分析的最终产品是一系列的图和一张表格，列出了所有经处理后的假人受伤数值。我们可以对这些图进行配置，将相似的传感器数据组合在一起（例如，将假人的所有头部数据合并在一张图上，腿部数据则合并另一张图上）。头部受伤标准（HIC）值量化了撞击受害者是真人情况下的受伤严重程度。颈部受伤标准和股骨受力标准等受伤值可以帮助我们确定持续测试中受伤的严重程度。目前的标准规定了700以上的HIC值表明受伤超过要求。

DIAdem是如何分析碰撞测试结果的？

DIAdem帮助我们将碰撞测试分析过程流水线化，同时将它们简化为一系列的数据分析前期决策。我们基于DIAdem和其中的脚本功能，实现数据分析进程的完全自动化。数据分析自动化是提高数据管理能力和周转时间的一项最为重要的突破。在碰撞测试完成后，我们在数分钟之内便可获得经过全面分析的测试数据包。而在使用DIAdem以前，我们有时不得不等待数小时才能完成该任务。

随着碰撞测试的需求不断变化以及对安全欲度的要求愈发严格，我们需要采集更多的数据和满足更大的数据处理需求，同时一如既往地希望成本有所降低。DIAdem帮助我们快速处理碰撞测试数据，并为我们提供快速响应用户变化和要求的工具，满足了以上所有需求。

使用DIAdem测试行人头部与车辆引擎盖的碰撞

作者：Dipl. Ing. Lutz Berger ika Institut für Kraftfahrwesen Aachen

“ 通过使用DIAdem进行测量、评估和自动化任务，我们高效地完成了此次研究。该程序易于使用，并且基于对话框的操作方式可以预防许多错误，这节省了大量的时间。 ”

挑战：

在行人撞击的过程中，对比在铝制和钢制的引擎盖下行人的安全等级，这种引擎盖是按照行人与车辆碰撞时车头形变特性相关的特殊结构要求制作的。

解决方案：

在NI DIAdem中使用集成的脚本语言Visual Basic创建一个分析程序来评估头部撞击效果。

我们的研究目的是比较钢制和铝制引擎盖对行人的友好度。测试车辆的引擎盖无法满足行人安全的要求，这意味着比较钢制和铝制产品的结果能用来评价哪种是更适合保护行人引擎盖材料。

我们使用行人头部撞击保护的测试设备，并在DIAdem中创建一个评估程序来执行的头部撞击测试。这个程序处理加速度和光电势垒传感器信号，计算损伤标准，并自动生成图表。头部撞击的分析是此次测试的重点。在这种情况下，确定撞击速度、头部损伤标准（Head injury criterion, HIC）、最大/平均加速的函数都得以应用。测试结果能以各种不同的格式提供，如图表和PDF或者与Microsoft Excel兼容的文件。

为了开发满足行人安全要求的车头，我们必须测试一系列事故类型和撞击位置。由于全身假人的试验需要大量的时间和

费用，我们开发了欧洲标准的基于指定部位的测试程序，如行人的头部、骨盆或腿。我们可以明确地界定测试条件（如速度和撞击角度），因此可以很简单地运行测试程序和分析测试结果。

我们分析了汽车引擎盖制作材料与行人保护能力的潜在关系，所使用的定型车在2002年时被厂商更换了引擎盖的材料，把原先的钢铁换成了铝，而其它方面的设计均没改变。

在1999年到2001年之间生产的车辆与在2002年和以后生产的车辆，都有相同的发动机功率和组件结构，这样就可以单独比较材料方面的影响。

我们使用DIAdem作为测量和评估软件，并使用其中集成的脚本语言Visual Basic自动完成测试任务。

汽车引擎盖的结构测试

在进行行人的测试之前，我们比较了铝制和钢制的引擎盖的结构性能。我们用备用的引擎盖进行结构测试，在其后的行人安全测试中仍然使用它们。我们使用DIAdem评估结果，然后与经过汽车引擎盖基准程序检验的原始引擎盖的测试结果进行比较。这些测试结果显示了铝制和钢制引擎盖之间的差异，以及原件和备用件（烘烤硬化处理）之间结构刚度的差异。批量生产的钢制和铝制引擎盖以及相关备用件的横向刚度和扭转刚度的结果如图1和图2所示。

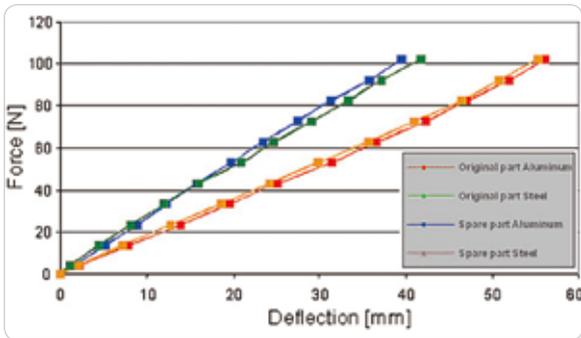


图1

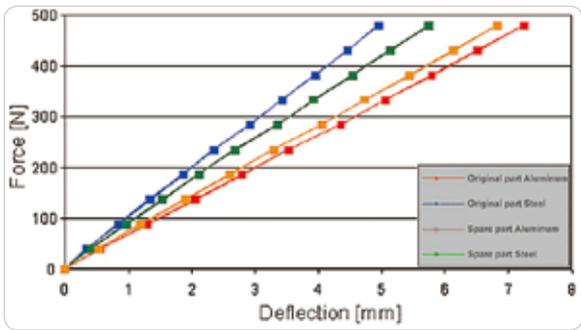


图2

引擎盖材料的对比表明，钢制引擎盖的刚度比铝制高。以下的比例代表了在试验负荷下，钢制引擎盖超出铝制引擎盖的性能：

- 横向刚度+46%
- 垂直刚度+53%
- 扭转刚度+42%

我们还必须考虑到铝制引擎盖要比钢制轻47%。而原始配件和备用件之间的对比则表明结构刚度并没有显著差异。虽然弹性变形测试不能在具有高度的塑性变形（如头部撞击）的动态测试中提供有关硬化效应的任何准确的信息，但是我们在备用的引擎盖和挡泥板上进行行人撞击测试。

头部撞击测试

测试设置如图3所示。我们采用伺服液压试验设备进行测试。在测试过程中，行人保护试验设备以需要的角度被定位在撞击点上，撞击器则安装在活塞的末端。活塞加速头部，使其达到所需的40公里/小时的速度，然后释放头部以使其自由运动着撞击到引擎盖上。



图3

对于两种引擎盖类型，我们均使用成人头部撞击器进行了9次试验和使用儿童头部撞击器进行了9次试验，总共36次测试。我们记录的测试结果，包括HIC值、计算HIC值(a3ms, a_max)的时间间隔、高速录像，以及引擎盖变形的数码照片。我们使用视频序列进行详细分析，分析3ms的最大引擎盖变形行为和主要的（头部对引擎盖）和二次（引擎盖对底层结构）撞击。

我们每个撞击器中心放置一个三维加速度传感器。图4显示了一个例子，我们使用DIAdem进行自动的试验评价。

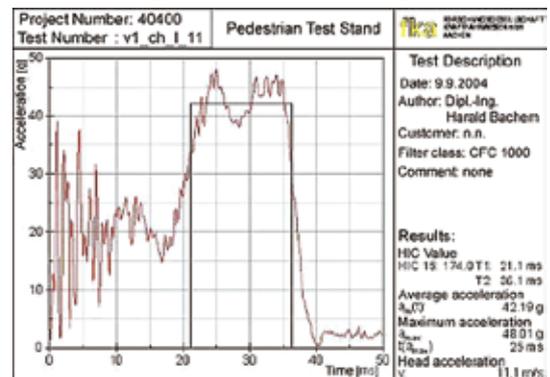


图4

DIAdem可以评估单一的或者一系列的测试值。图5显示了一个例子，用户如何在用户对话框里输入需要评估的测量文件以及需要计算的变量。我们使用在DIAdem中创建脚本定义对话框。



图5

我们还使用DIAdem验证指定的撞击速度。光电势垒传感器记录了活塞上撞击器的加速度。安装在活塞上的反射膜能反射激光。这个反射膜有一个指定的明暗转变网格。用另一个Visual Basic位移-时间曲线计算脚本来分析记录的矩形信号。上述计算确定了矩形信号的峰值和两个连续相等的值之间的时间间隔。我们可以利用明暗转变之间指定的距离来确定速度。

用户在程序的开始就在用户对话框中输入明暗转化的网格和其它变量。这提供了在使用不同的测试类型时所需的灵活性，但本质上总是在执行相同的计算方法。这样可以节省时间并保证高度的一致性，因为用户不需要调整脚本内的变量。

评估在汽车引擎盖上完成的36次测试表明，在18例中有13例，钢制引擎盖对头部的冲击力较低。分析结果时，必须考虑到两种引擎盖的材料的大多数结果大大超出了生物力学的安全极限（HIC1000）。

底层的车辆结构的二次碰撞导致HIC值大大超出安全极限。引擎盖内部金属和底层结构之间的变形位移（5至20毫米），尤其是在弹簧式减震支柱和引擎盖铰链周围的位移特别短。受此影响的组件的高刚度造成了巨大的加速度峰值和HIC值。

通过图6中的加速度曲线和HIC来分析二次碰撞的影响，两

个点被选为钢制和铝制对比的例子。在Ch-M-2点的撞击过程中，底层结构无明显的撞击出现。产生的加速度曲线导致了以下结果：

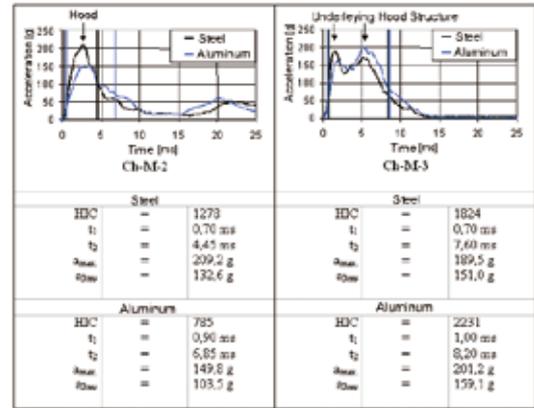


图6

- 铝版的HIC的计算需要更大的窗口
- 钢版的加速度产生更大的峰值
- 铝版多产生15%至20%的变形位移
- 钢版产生更高的HIC值

在Ch-M-3点的撞击过程中，底层结构产生了一次较强的二次碰撞，从而导致以下结果：

- HIC的计算的窗口几乎相等，因为加速度曲线本质上是被底层结构的撞击影响的
- 钢版的第一加速度峰值稍高
- 铝版的二次加速度峰值更高
- 铝版的HIC值更高

总结

此结果反驳了人们广泛认可的观点——铝制引擎盖一般能为行人提供更好的保护。头部撞击试验的结果表明，在18例中有13例，钢制引擎盖对头部的撞击程度较低。

通过使用DIAdem进行测量任务、评估任务以及自动化任务，我们高效低完成了此次研究。用户友好的对话框能够预防了一些错误，而且能够选择分析所有测试系列的结果，这进一步节省了时间。而评价的数据能以图表、PDF格式，或者以Excel格式展示，将对后续工作都有所帮助。

推荐配置

NI DIAdem

发动机系统爆震分析

作者：Alfred Collins Raeburn Technology公司

“ 利用LabVIEW的图形化系统开发功能以及声音和振动工具包，我们快速、方便地开发出了一款可以传达有用信息的显示设备。 ”



挑战：

设计一款汽车发动机爆震分析仪，要求成本低廉，可以准确检测出任何一台发动机是否存在爆震并指示爆震强度，可以方便地在不同发动机之间转换，系统可以实时操作、记录数据，并且直观易用，便于一般的发动机测功机技术人员在快速培训后操作使用。

解决方案：

使用LabVIEW的声音和振动工具包中的FFT分析功能，以及一款具有足够带宽和通道数的NI数据采集卡进行爆震信号的采集和分析。

发动机爆震通常使用发动机燃烧分析仪进行监测。它测量燃烧室内的气体压力和曲柄转角的关系。

内燃机的爆震是在燃烧循环中发生的一种不受控制的空气/燃料混合物的自发点燃现象。爆震产生的极高的燃烧压力峰值，会对发动机的活塞环造成破坏。一个经过仔细调校的发动机（如赛车发动机）中出现少量爆震（初始爆震）是可以接受的，但由于外界压力可能导致初始爆震升级为不可控爆震，我们必需进行深入分析。气缸内径决定了爆震主率。其它因素，如燃烧室的其它尺寸，高层谐波以及活塞的向下运动等则决定了爆震二次谐振频率。

发动机爆震通常使用发动机燃烧分析仪进行监测。它测量燃烧室内的气体压力和曲柄转角的关系。在燃烧循环中，将压力信号或其衍生信号通过一个高通滤波器，我们可以精确测出爆震的强度。但必须在每个气缸的燃烧室内安装一个昂贵

的高温压力传感器，其安装位置也必须经过优化，保证不会出现爆震的测试“死区”。因为通常需要4至10个通道（每个气缸对应一个通道）和高速数据采集系统才能保证实时分析，一套完整的系统往往需要花费超过\$50,000，而且发动机还需要经常调整，以匹配传感器（的位置）。

大多数汽车制造商生产的发动机中使用的另一种方法则是在发动机缸体上安装一个或多个加速度计，用以捕捉爆震引发的高频振动。然而，气阀机构引起的振动通常与爆震信号引起的振动处于相同的主频范围。为了尽量避免气阀机构引起的噪声干扰，并保证对所有气缸的爆震敏感，加速度计的安放位置至关重要。加速度信号将分别通过一个低通和一个高通滤波器。低通信号被整合成一个阈值信号代表由发动机产生的总体振动，这种振动与发动机的转速成正比。高通信号则用于与该阈值信号比较从而判断出是否发生了爆震现象。但由于该系统无法区分气阀噪声和爆震信号，气阀机构引入

的振动将在高转速的情况下引入较多系统误差。另外，该系统还无法检测初始爆震。

设计

为了使装载在缸体上的加速度计准确反映出发动机爆震，爆震信号必须与气阀机构以及任何其它系统（包括曲轴和活塞）引起的振动分开。利用LabVIEW信号处理函数库生成的一个IIR滤波器就可以解决该问题。但由于每个发动机会不同的频率特性，我们使用快速傅立叶变换（FFT）确定发动机的频率特性，并为IIR滤波器设置适当的穿越频率。这套系统完全由LabVIEW开发，表现出了很好的结果，但需要操作者经过一定的技能培训来理解FFT。

平均快速傅里叶变换的使用，大大简化技术人员确定每一台发动机穿越频率的过程。通过比较相同转速下发动机从听到爆震到没有爆震的平均FFT，我们可以迅速得到发动机的穿越频率。我们在测量中使用了NI声音和振动工具包中的平均FFT功能，对每个气缸超过400个燃烧循环过程进行了平均。从这些信息中，技术人员可以准确得到每个IIR滤波器设置中的特有频率。另外，利用LabVIEW的图形化系统开发功能以及声音和振动工具包，我们还快速、方便地开发出了一款可以传达有用信息的显示装置。平均FFT系统不仅降低了对技术人员技能水平的要求，同时也缩减了培训时间。然而，平均FFT仍旧需要依赖历史记录决定穿越频率。

我们最终需要的是一个可以方便技术人员直观操作的实时系统。声音和振动工具包又一次帮助我们极好地实现了FFT分析显示功能。我们使用滑动窗口FFT显示频率和幅度随着时间的变化。通过使用多种颜色来表示信号的强度，结果的解读变得非常直观。适当的实例，可以快速训练技术人员鉴别出发动机爆震甚至初始爆震。三维视图则使我们能够很容易地分离爆震信号和气阀机构以及其它发动机振动引入的干扰。该系统的最大特点是能够区分出初始爆震和高强度爆震。图4中我们可以注意到高强度爆震燃烧周期会伴随高且明亮的红色、黄色或白色的“标识柱”，而初始爆震的燃烧区上方则会出现深蓝和深紫色的斑点。

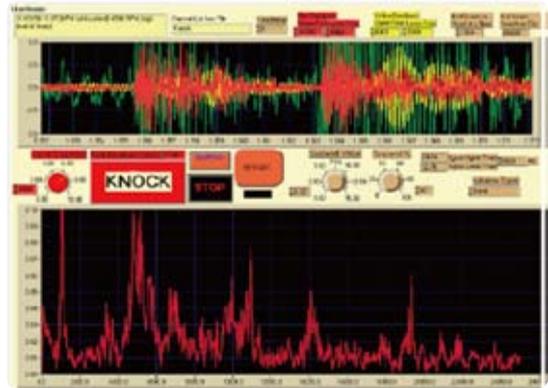
应用

我们曾经改造过一个400马力的四轮驱动保时捷双涡轮增压发动机，使用93#汽油达到了600+的马力，所有排气系统均可操作控制。它的四分之一英里加速时间为10秒以内，最高时速

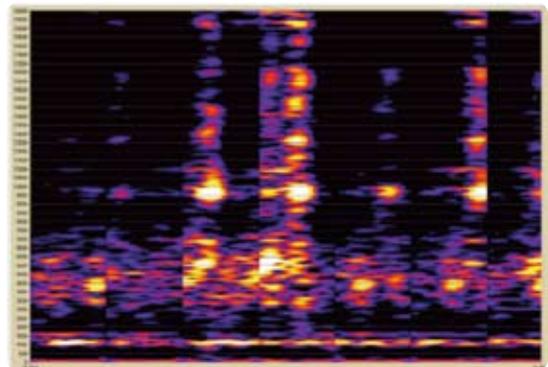
204英里每小时，重达3500磅。我们将该车（如图5）投入One Lap of America比赛，赢得了其中六场。该比赛包括8条赛道和一个阻力带。然而，当使用91#汽油时，发动机在Pikes Peak赛道烧毁了。当然，我狠批了那个给汽车加91#汽油的愚蠢帮手。但那时我竟没意识到真正应该责骂的是我这个愚蠢的发动机制造者啊。

发动机爆震分析仪才揭示了真相！即使加了93#汽油，发动机还是会像我们下图中所示，有大量的爆震存在。我们后来发现因为气流计校准不当，才导致了发动机在高增压时出现爆震。

借助LabVIEW声音和振动工具包，我们已经能够开发出一款实时爆震分析仪，再结合强大的视觉显示，爆震检测将变得直观、准确并且十分经济。



强烈爆震的两个燃烧循环



一个滑动窗口FFT显示了七个燃烧周期，其中三个出现了强烈爆震

推荐配置

- LabVIEW
- NI声音和振动工具包

UFSC：NI平台应用于车辆通过噪声测试的波束成形

作者：Samir N.. Gerges - Federal University of Santa Catarina (UFSC)

“ 我们选择了紧凑且直流供电的NI硬件，它能为阵列中的麦克风提供电源。 ”



声学图像识别50公里时速、1,904.3 Hz下的轮胎和排气噪声

挑战：

开发一款便携且价格合理的声学波束成形器，实现通过噪声测量和其他应用中的噪声源识别。

解决方案：

使用32个麦克风组成的螺旋阵列、NI LabVIEW软件、NI声音和振动测量套件，以及32通道的NI CompactDAQ系统，搭配8个NI 9234 4通道动态信号采集（DSA）模块来获取噪声源的可视化图像，从而识别行驶车辆所产生的信号。

巴西圣卡塔琳娜州联邦大学（UFSC）的噪声和振动实验室从事多种项目研究，并参与汽车行业的研发，使产品能够符合噪音和振动标准。除了支持本地行业的发展之外，我校还大力推动本科生/研究生教学和研究的学术发展。

通过噪声测试经过标准化，可将车辆运行过程中最大的附带噪音水平量化。在许多国家，有关政府机构对声音测试都有限制规定，通常为ISO362——测量道路车辆加速所产生的噪声。这些规定旨在记录车辆在城市交通中正常行驶所产生的主要噪声源水平，通常时速限制为50或70公里/小时。车辆通过噪声测试可以验证，一辆符合标准的汽车，其产生的交通噪音不得超过所规定的限值。

汽车上的很多部件都会产生噪声，包括电机、排气装置、变速器以及轮胎。标准的通过噪声测试无法识别会造成测试失败的源噪声，因此我们需要一项能够可视化呈现声场的技

术，以分辨不同的声源。在该测试中，我们采用了波束成形，可以看到哪些声源会显著增大整体噪音，并对车辆通过噪声产生影响。

波束成形

我们搭建了波束成形器，或称为“声学相机”，其构造是一个32个麦克风组成的螺旋阵列，麦克风间的最大直径距离为1米，可用来捕捉噪声源的视觉成像，我们还组建了一个1.1*1米的金属网格。阵列的定位与单个麦克风在标准测试中的位置相同，距通道中心线的距离为7.5米，其中心距地面距离为1.3m，从而确保通过测试中所有的测量条件相同。

我校学生使用低成本的驻极体盒麦克风搭建了阵列麦克风。传统的定向阵列硬件由市场上的电容麦克风和前置放大器组成，但对于实验室的使用来说过于昂贵。创建完整的阵列麦

麦克风可以节省开支，并为学生提供有价值的项目。美国航空航天局兰利研究中心研究发现，所使用的驻极体盒产生的麦克风频率响应，适用于定向阵列，其音频频谱的幅度和相位响应变化最小，高频变化适中。我们正是基于以上研究完成了该设计。

数据采集

我们采用NI USB-9162高速C系列USB外盒，搭配8个NI 9234 DSA模块进行数据采集。我们选择了紧凑且直流供电的NI硬件，它能为阵列中的麦克风提供电源。模块的无混叠带宽高达20kHz。此外，通道的相位匹配对于声学波束形成来说相当重要，且系统规定任意两个通道间的相位不匹配度不能超过一度。

由于系统是直流供电，所以使用电池操作很方便。在笔记本电脑上运行LabVIEW软件和声音与振动测量套件，可轻松地将电压值转换为噪声测量中使用的工程单位。此外，声音和振动测量套件符合IEC61260（电声、倍频程和分数倍频程带通滤波器）和IEC61672（电声和声级计）声级测量、加权滤波器、倍频程分析的国际标准，其测量结果准确、重复性佳。

分析

数据采集完成后，我们采用了传统的延迟相加波束成形算法对其进行分析。我们对声音信号进行了总结，并描述了从声源到不同麦克风的传播路径。声源以高速通过声学相机（与数据采集系统的采样速度相比，现代汽车的速度仍旧缓慢），可使光束集中并追踪通过麦克风阵列的声源。我们必须校正反多普勒过程的多普勒效应，其中包括幅度和频率校正，从而获取连贯的信号总和。

为了校准声学测量数据和正在测试的车辆照片、叠加噪声幅度，我们启动了蜂鸣器（主件约为2.2千赫下的90分贝）和以50公里每小时匀速运行的车辆，让其像常规通过测试一样通过阵列。

我们采用这种方法替代了稳定测量，正是因为它采集速度快、质量高。它同时还呈现了通过测量中的同类录音。蜂鸣器的位置可允许照片和数据准确对齐。

由于车辆的轮胎和车身周围的湍流运动等在移动过程中会产生噪音，我们将该技术应用到车辆上，对这些噪音进行了精确的评估和识别。鉴于此，我们可以很好地以减少风洞外的车辆通过噪声。

Innosive：开发最先进的测控机控制系统

作者：Shahzad Sarwar Innosiv Engineering

“我们在短短几个月内设计、开发、部署、验证了这个新的控制系统，并完成了文档编写。CompactRIO和LabVIEW给所需的全驱测功机控制系统提供了一个成功且性能卓越的解决方案。”



图1 全驱车测功机系统

挑战：

针对全驱底盘测功机的前后转鼓开发一个复杂的控制系统，用于给所有车轮模拟路面阻力、保持恒定的加速度、速度和距离。该控制系统不仅对驾驶员的生命安全至关重要，而且反映了测功机性能的精度和易用性。

解决方案：

应用NI CompactRIO工业控制平台和NI LabVIEW FPGA和LabVIEW实时模块与超过100种现有信号互连，并提供一个先进的多回路比例积分微分（Proportional integral derivative, PID）控制系统。控制系统中信号每秒测量100万次，控制动作每秒迭代250次，从而提供低延迟、有效和高性能系统控制。

可以通过模拟路面阻力来对行驶中的汽车进行各种测量，包括汽车的功率、燃料消耗和尾气排放效率。被测汽车的车轮被放置于测功机的前后转鼓上。随着操作人员启动汽车，控制系统检测汽车速度、加速度和扭矩，同时控制两个直流电功率吸收系统（电动机和发电机）以控制转鼓，并对汽车施加的载荷。如果要模拟车辆在道路上行驶的情况，可以控制主动减震器来准确模拟路面阻力和空气阻力。系统中配备了先进的采样和分析设备，我们可以测试车辆的废气排放，并在其它研究应用中研究替代燃料的效果。

全驱汽车的出现，增加了测功机控制系统的复杂性。除了要实现实时、低延迟和关键任务的控制性能以外，还需要控制



硬件来管理多变量系统，同时保持前后转鼓具有相同的速度和加速度。开发这样的系统已经被证明是需要大量的开发时间和成本的。

当我们的客户—Environment Canada公司，与我们接洽以开发一个自动全驱测功机系统时，我们使用CompactRIO作为该应用的数据采集和控制平台，基于可编程门阵列（Field-programmable gate array, FPGA）底板和高性能实时控制器的CompactRIO提供了经济的且技术领先的自动化



图2 基于FPGA和实时控制器的CompactRIO平台

控制系统。结合LabVIEW软件所具有的强大的分析和控制能力，我们的目标是尽量减少技术风险和开发时间。

应对工程挑战的创新方案

针对全驱测功机的自动控制系统工程面临几个挑战。作为一个灵活的编程环境，CompactRIO和LabVIEW跨越了Windows操作系统、实时系统和FPGA三种开发平台，是我们的解决方案成功实施的关键因素。

快速实时响应

对快速移动汽车的动力学特性的迅速响应需要在几分之一秒内完成控制循环。在我们的解决方案中，运行于CompactRIO的FPGA循环，执行了所有的测量和安全检查，每秒运行一百万次。实时嵌入式处理器的控制循环为每秒迭代250次，这提供了一个极佳的动态响应。

革新性的测量方法

所有测量信号的质量，特别是速度和加速度信号，直接反映测功机控制和模拟的能力和高保真度。在我们的解决方案中，CompactRIO平台提供了几个独一无二且新颖的测量方法，如下所示：

- FPGA代码实现数字输入的自定义防抖动。
- 一种创新且准确的测量动态加速度值方法，基于编码器的脉冲定时，而不是传统的脉冲计数，在使用了1MHz的循环频率后变得可行。
- 响应速度快、动态范围大、线性度良好和工业级可靠性的模块化I/O通道。

分布式软件

除了小尺寸封装和低成本，基于CompactRIO和Windows

操作系统的控制系统有分布式系统强大的可编程性能，包括三大计算机平台：FPGA、CompactRIO实时控制器和Windows操作系统。我们使用LabVIEW在这些平台之间实现了无缝的集成和编程。图3显示了物理控制器上的任务分配。



图3 控制系统软件的分布式设计

基于以太网的自定义消息传递协议将控制室内的Windows主机和位于I/O柜内的CompactRIO实时控制器连接起来。我们使用CompactRIO进行所有的测量和控制，而Windows操作系统用于显示所有的用户界面和进行数据记录。

验证模拟性能

汽车工程师学会 (Society of Automotive Engineers, SAE) 的行业法规已经详细地描述了，验证测功机的模拟精度的过程。我们遵循标准中的滑行测量方法，将汽车加至达100公里/小时的最高时速，并在空档模式下滑行。然后，我们微调模拟参数以重现车辆在实际道路上运行时的速度与时间曲线，直至车辆逐步滑行停止。模拟过程能否快速收敛，以及观测到的数据与车辆在不同速度下的滑行时间数据之间的接近程度，即为考量一个控制系统模拟精度的标准。

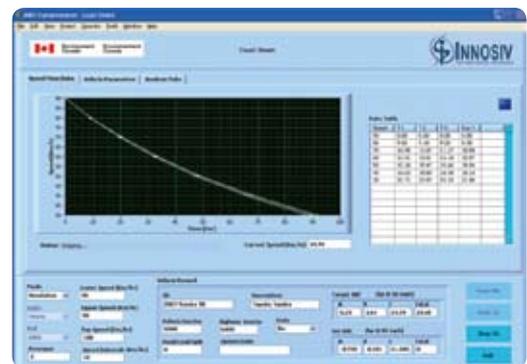


图4 滑行测量方法的详细说明

我们利用新型控制系统和不同汽车模型进行了多组测试。系统都可以成功地快速重现预期的高精度滑行性能。

结论

我们在短短几个月内设计、开发、部署、验证了这个新的控制系统，并完成了文档编写。CompactRIO和LabVIEW给所需的全驱测功机控制系统提供了一个成功且性能卓越的解决方案。汽车滑行测试程序按行业标准在几次迭代后收敛。我们在零点几秒内重现了滑行时间，且实现了小于10N的加载误差。同时，在全驱模式中，前后轮之间速度的差异保持最低的0.07ppm。系统能运行至最高时速为140km/h，且速度差异仅有0.01m/s。运行几公里的后，前后轮前进所产

生的距离差只有几厘米。基于CompactRIO和LabVIEW的系统的灵活性比最终结论更令人印象深刻。针对实施过程中的所有测量和控制挑战，我们快速找到令人满意且新颖的解决方案。

推荐配置

NI cRIO-9022嵌入式实时控制器

NI LabVIEW FPGA

LabVIEW实时模块

西南研究院：开发重型履带式汽车的双测功机道路负载仿真器

作者：Douglas Eberle 西南研究院

“通过高效利用SCXI模块，让我们可以只使用一个DAQ板卡就建立起一个极具成本效益的高通道数的数据采集系统。通过高效利用SCXI模块，让我们可以只使用一个DAQ板卡就建立起一个极具成本效益的高通道数的数据采集系统。”

挑战：

对一个双测功机系统进行更新，为重型履带式车辆（如：推土机或如坦克等装甲军车）提供可重复、可靠的测试。

解决方案：

开发一个基于PC的采集和控制系统，使用由LabVIEW控制的SCXI和DAQ系统。

介绍

西南研究院（SWRI）的一个客户正在着手安装和升级一个20世纪80年代的老式大功率动态车辆测试系统，可以复制履带式车辆的道路负载情况，包括转向阻力负载。很久以来，履带式车辆检测即需要进行改进，因为大多数测试设备只能够测试单个组件，如动力部分，包括：发动机、变速箱以及主减速器。而由于不同的天气条件或驾驶员等因素，道路测试车辆会产生不可重复的结果。在可控的环境条件下测试整车的耐久性和性能已显得越来越重要。

履带式车辆的动力特性与轮式车辆有着很大的区别。当履带式车辆与其它车辆有相同的道路工况下，它还需要经历“擦洗”载荷——车辆转弯时，履带所遇到的摩擦力。在转弯时，当履带转动着推动车辆前进时，履带会沿着地面滑动。很多研究都建立了方程，能够基于车辆几何结构和地面条件，预测克服“擦洗”载荷所需的力矩。

硬件

我们所升级的测试系统包括两个1250马力的直流测功机（dyno）。它模拟道路负载情况，测量被测车辆的速度和转弯半径。我们选择了基于LabVIEW的数据采集系统来升级此系统。我们配置了具有370个数据采集通道的监控测功机，同时监测被测车辆并衡量其性能。感谢SCXI的多路复用技术，采集任务能够在在一块多功能数据采集板卡上完成，这块板卡安装在一个运行Windows NT 4.0（350 MHz奔腾II）的工业PC上的。PCI-MIO-16XE-10板卡将对两个SCXI-100112槽机箱之间的所有信号进行数字化，这两个机箱都处于满载。

- 24 SPDT relay outputs
- 32 digital inputs
- 32 digital outputs

我们使用SCXI经过一些相对简单的设置后便实现了370个通

道。附件SCXI接线端子带有连线接口，让我们能够进行连线以及用手持设备检修故障。虽然公司是不太可能使用的所有通道，但他们仍然希望能够拥有很多选择来配置不同的测试任务。

我们提供：

- 48个K型热电偶输入
- 48个J型热电偶输入
- 96个模拟输入
- 32个隔离的模拟输入
- 16个频率输入
- 42个模拟输出
- 24个SPDT继电器输出
- 32位数字输入
- 32位数字输出

虽然一些通道用于固定的硬件测试任务（控制测功机及其附件），但是用户可以在设置界面上自定义配置大多数通道，包括重命名通道和提供缩放系数。输入通道提供错误检查，上限/下限报警和警报阈值，而输出通道提供可设置的默认值。当输入超过报警阈值时，所有的输出恢复到指定的默认值。

固定的模拟输入通道传感器包括左/右测功机的扭矩、左/右测功机扭矩以及变速箱的温度。固定的数字输入包括油压限位开关、灭火器限位开关、油位开关、油温限位开关、测功机空气温度限位开关，以及测功机气流开关。

用户可能会使用通用输入通道监测车辆的温度、压力、液位和速度等各种信号，以及环境条件，如湿度、气压和温度。

软件

SwRI选择LabVIEW，是因为它能够提供更复杂的图形用户界面，能与NI硬件的简单集成，以及其快速开发环境。拥有了

LabVIEW，我们就不必依靠那些更复杂的基于文本的编程语言，便能够高效地实现测试系统的复杂要求。

我们利用LabVIEW控件大量的显示属性定制自己的图形用户界面。由于此应用程序可能会设计大量通道，在同一屏幕上同时显示所有通道是不可能的；此外，许多通道并不需要在屏幕上看到。通过前面板显示控件的属性节点，操作人员可以将自己需要监视的通道显示在屏幕上指定的位置。我们在设置程序中以可滚动的形式使用数组簇，操作人员可以定义通道的名称和特性。我们使用全局变量来存储所有的系统常量以及将数据从一个子程序传递到另一个。

该程序还包含了校准程序，使得技术人员可以监控和调整每个通道的信号，然后将校准参数存储在文件里。我们使用缓存采集，以100Hz的速度读取所有已定义的输入通道所采集的数值。主程序循环以10Hz的速度运行，并进行10点的平均运算，以帮助消除任何噪声信号。该程序每两秒钟将数据保存到文件中一次。此外，它将最近400个的数据点（10Hz速率）保存在循环缓冲区中。在报警时，这个缓冲区中的数据可以帮助诊断什么地方出了错。

总结

这个系统的开发进展顺利。通过高效利用SCXI模块，使得只需一个DAQ板卡，就可以建成一个极具成本效益的高通道数的数据采集系统。我们的系统利用了PCI-MIO-16XE-10板的多功能特性，包括使用模拟输入和数字I/O通道。LabVIEW和这些NI硬件产品，提供了方便的软件开发和系统集成。我们的客户期待着使用该系统来测试新的原型测试车。

推荐配置

PXI 6030e数据采集板卡

SCXI-1001低噪音机箱，可容纳12个SCXI模块
SCXI模块

华普汽车：混合动力轿车整车标定系统的开发

作者：邵斌 测试工程师 上海华普汽车

挑战：

针对混合动力汽车的特性，开发了基于NI CompactRIO的混合动力汽车整车标定系统，在台架及整车调试阶段，可以利用该系统对整车控制器内部的标定参数变量进行在线修改，以达到优化整车各项性能的目的。

解决方案：

使用NI公司的CompactRIO实时控制器、LabVIEW Real-Time、LabVIEW FPGA、LabVIEW RIO和LabVIEW Real-Time Application工具来开发该自动化测试系统。

介绍

混合动力汽车融合了传统车和电动汽车的优势，其做为较成熟的新能源力量，已经得到广泛的发展。其整车控制器（VCU）用于实现整车能量管理和动力系统控制，是混合动力车的控制中枢。VCU中的控制参数是实现混合动力车性能的关键因素之一，必须进行相应的优化和标定工作。

车用电控单元标定是一个十分复杂的过程，一方面是由于被控系统工作状况的复杂性；另一方面是许多控制参数之间存在着影响。电控单元的运行参数和控制参数的优化需要使用专门的工具进行分析和修改，于是诞生了电控单元的标定系统。标定系统的选用关系到标定质量、标定时间和标定成本。因此选用一个完善、适用的电控单元标定系统是电控系统开发成功的关键因素之一。综合以上因素，最终选择了NI CompactRIO系统，在此平台之上开发混合动力汽车整车标定系统，其小巧的外形可放置在车厢任何空余位置而不影响整车空间；坚固的设计使得在汽车行驶工况比较恶劣的情况下依然可以稳定的运行；抗干扰措施可以消除行车过程中各种干扰对系统的影响；LabVIEW图形化编程语言将工程师从复杂的编程工作中解放出来，大大缩短了开发周期；内置信号调理的可热插播I/O模块使得系统的开放性和灵活性增强，并且工程师可以访问到底层的硬件资源。

混合动力汽车设计方案

本文所研究的单轴并联式混合动力方案是一种前置前驱的中度混合形式。经过大量的方案选型和设计，集成发动机、ISG电机、超级电容和双离合器等部件。将盘式一体化ISG电机直接安装在内燃机曲轴输出端，电机转子和发动机曲轴直接连接，定子固定在发动机机体上，电机取代了飞轮以及原有的起动机和发电机。

本方案混合动力系统的动力以内燃机驱动为主，电机辅助驱动。内燃机动力输出动态响应慢、扭矩输出控制精度差，而电机瞬间动力驱动响应快，扭矩输出控制精度高，能量回收效率高，因此利用电机工作特点对发动机工况进行优，制订了怠速停机、快速起动、减速断油、加速助力、电机常发电和减速制动能量回收等混合动力控制策略。

NI CompactRIO系统的优势

NI CompactRIO是一种小巧而坚固的工业化控制和采集系统，采用可重新配置I/O (reconfigurable I/O, 缩写为RIO) 和FPGA技术实现超高性能和可自定义功能。其包含一个实时控制器与可重新配置的FPGA芯片，适用于可靠的独立嵌入式或分布式应用系统；还包含热插拔工业I/O模块，内置

可直接和传感器/调节器连接的信号调理。这种设计使得低成本的构架具有开放性，用户可以访问到底层的硬件资源。FPGA(Field Programmable Gate Array)，是PAL、GAL、PLD等可编程器件进一步发展的产物，其逻辑功能由内部规则排列的逻辑单元阵列完成。逻辑单元阵列内部包括可配置逻辑模块、输入输出模块和内部连线三个部分。工程师可通过软件编程实现FPGA内部的逻辑模块和I/O模块的重新配置，以实现自定义的逻辑。

FPGA技术有很多优势，包括自定义I/O硬件定时和同步、高度可靠性、数字信号处理和分析等。这些优势为快速增长的汽车电子测试技术提供了灵活的低成本解决方案。FPGA可以直接连接到数字和模拟I/O，并可对各通道定义不同的采样率和触发。应用FPGA技术，可对任何传感器信号进行高级信号处理和分析。在很多信号处理系统中，底层的信号预处理算法要处理大量的数据，对处理速度要求很高，但算法相对简单，可用FPGA进行编程实现。此外，可很方便的在FPGA上实现对所采集的信号作数字滤波运算、快速傅立叶变换、加窗等多种信号处理和分析。

系统的设计方案

混合动力整车标定与传统发动机标定有所不同，由于工况和环境更加复杂，因此对标定系统的稳定性有更高的要求，最终开发的标定硬件环境如图1所示。通信主端由便携式PC机与NI CompactRIO系统组成，通信通过TCP/IP完成；通信从端为整车控制器的msCAN。标定方式采用CCP这一基于CAN总线的车用标定协议，故NI CompactRIO系统通过CAN总线与整车控制器连接。

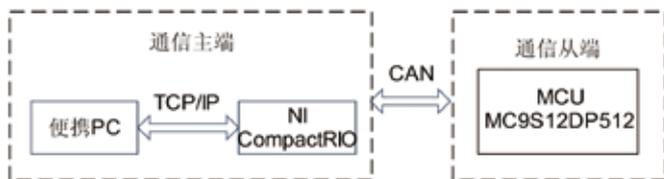


图1 标定系统硬件架构

混合动力汽车CAN网络由4个控制单元组成，其中包括整车控制器（VCU—Vehicle Control Unit）、发动机管理系统（EMS—Engine Manage System）、电机控制器（MCU—Motor Control Unit）、信息状态显示控制器（DPLY），所有这些控制系统通过CAN总线进行通信。在对整车CAN网络进行设计时，预留了一个节点用于开发阶段的整车CAN网络监控，标定系统也是通过该节点连接至CAN网络，从而与整车控制器VCU建立连接的。主控PC机为标

定系统的最上层，可以在线监控整车CAN网络数据，并对整车控制器标定参数进行在线修改，从而对系统进行统一管理。CAN通信模块采用NI 9853两通道高速CAN采集模块采集整车CAN网络信号，分辨率达25ns，支持11位和29位任意ID，该方案具有高集成度的特点，节省了设备投入，并使标定人员的工作环境得到了简化。

系统软件设计

混合动力汽车整车标定系统的软件设计充分考虑了CompactRIO系统的硬件特性，软件编程主要包括底层FPGA程序、RT程序以及上位机Host程序三个部分。

底层FPGA程序实现各个板卡的数据采集、各个IO通道的校正系数的传递，数据与RT的DMA传输等。RT程序负责与底层FPGA通信，RT系统的指示灯闪烁、用户开关的控制，与上位机Host的TCP/IP网络通信、FTP数据传输以及测试数据的标定、解释以及记录等功能。上位机Host程序负责配置整体测试系统通道，与RT通信，并可实时监控采集板卡的特定通道，查看RT上保存的数据等。

整个软件支持不同的采样率，支持CAN帧的记录与转换，以及TDMS文件格式的存储，控制器的数据记录通过前面板指示灯闪烁显示，并可通过前面板自定义开关暂停数据记录。系统已经扩展U盘，数据会自动存储在U盘中，下电后只需将U盘中的数据复制到上位机即可。

在用LabVIEW图形化语言开发完运行在FPGA目标上的程序之后，对该程序进行编译，并将编译后的文件下载到FPGA芯片上。RT程序可通过LabVIEW Real-Time Application工具下载到NI CompactRIO实时系统中，这样系统只要一上电，RT程序就会自动运行。

根据标定系统的基本功能将上位机软件分为以下几个模块：CAN通信控制模块、整车控制器标定模块、CAN网络数据监测模块。CAN通信配置模块的主要作用是配置CAN通道的相关信息，从而驱动NI 9853CAN卡，进行CAN数据的收发；标定的大部分工作都是在整车控制器标定模块下完成的，该模块要执行的任务总体来说有两个：读RAM区域数据，并在PC上显示、以及下载数据到RAM区域。图2所示为标定界面，标定过程中的各项指令均以控件的形式显示在前面板，用户在点击某项指令时，该模块应能够接收用户的标定指令并起动管理相应线程。CAN网络数据监测模块的主要作用是将CAN卡获得的整车CAN网络消息进行处理，最后显示在监测界面上。从CAN卡获得的CAN消息仍然是数据帧的形式，

联合汽车电子：CompactRIO在油泵功能测试线中的应用

作者：代华斌 联合汽车电子有限公司西安厂

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时实性。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时实性。

解决方案：

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。

C-RIO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C-RIO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。

1 概述

XLM2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尤为重要。

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C-RIO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。

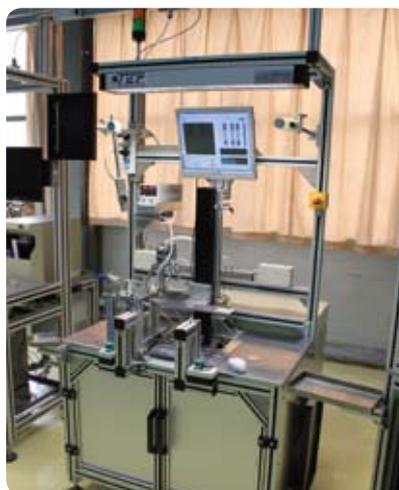


图1 油泵支架功能测试台

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。

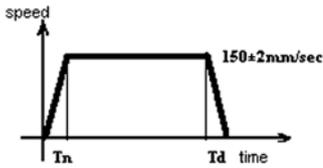


图2 TSG阻值测试过程

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C-RIO测试技术，基于低层FPGA编程的C-RIO 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 | f.t.p.com | | | | |
| NI 9401 | | | | | |
| NI 9476 | | | | | |
| NI 9425 | | | | | |
| NI9870 | | | | | |
| FPGA (9074) | | RT Controller (9074) | | | |

其系统硬件如图3所示：



图3 C-RIO9074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C-RIO模块 |
|-----------|-----------|-------|------------|-------|-----------|
| 伺服脉冲驱动 | 8位数字 I/O | 脉冲 | 0-1000HZ | 1HZ | 9401 |
| 伺服脉冲反馈 | 8位数字 I/O | 脉冲 | 0-100000HZ | 1HZ | 9411 |
| TSG测试电阻电压 | 16位模拟 I/O | 电压信号 | 0-5V | 0.01V | 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 | -- | -- | 9476 |
| 扫码仪 | RS232 | RS232 | ± 1 | -- | 9870 |
| 气缸 | 1位数字 I/O | 开关量 | -- | -- | 9425 |
| 电磁阀 | I/O | 输出 | -- | -- | |

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。

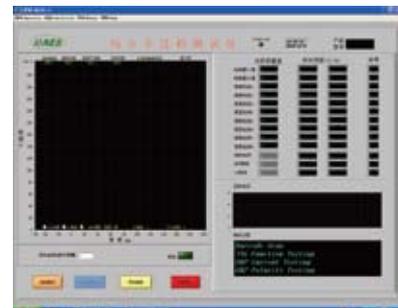


图5 测试系统软件测试界面

其操作功能如图6所示。

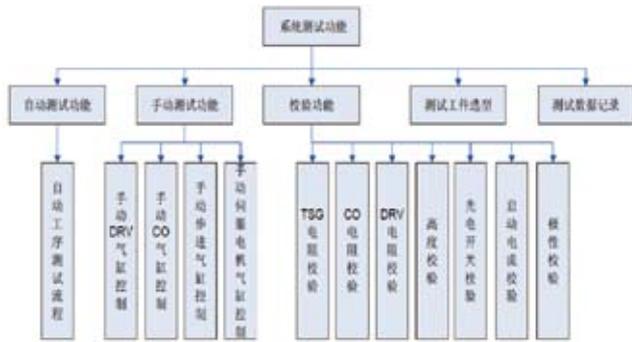


图6 系统测试功能

- 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。
- 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) 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。
- 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。
- 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。

- 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

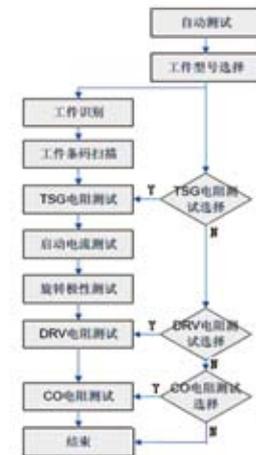


图8 系统自动测试工艺

- 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。

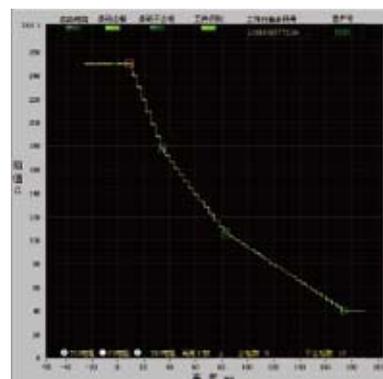


图9 TSG测试曲线与检验范围窗

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C-RIO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。

推荐配置

LabVIEW2009 SP1 RT FPGA
C-RIO 9074
NI 9205
NI 9411
NI 9401
NI9476
NI 9425
NI 9870

汽车座椅调节电机生产线终端噪声测试

作者：Tom 上海崧杰自动化系统有限公司

“随着舒适车司机对功率调节器需求的不断增加，座椅调节电机也继续向模块化设计原则转移，电机工作过程中的噪音成为影响舒适性的决定性因素。我们利用NI的LabVIEW和动态信号采集卡为电机生产线终端量身定制噪声测试设备，集电机运动控制和噪声测量为一体，来满足生产线的快节奏。同时，利用数据存储技术，准确记录每台电机的噪声测量数据，为质量追溯提供保障。”



图1 汽车座椅调节电机

挑战：

座椅调节电机的测试过程中，需要模拟真实的工作状态。同时，生产线终端检测不仅要求测试的准确性，而且要保证设备的稳定性和快节奏，30s的节拍需求使系统集成度的提高面临着一定的挑战。

解决方案：

NI的LabVIEW软件开发平台，专为声音和振动应用设计的高精度数据采集模块PCI-4472，以及多功能数据采集卡PCI-6221为测试系统的高度集成提供了可能。PCI数据采集模块能方便的应用于工业计算机中，为整个系统的可靠性和稳定性提供保证。另外，多功能数据采集卡中提供充足的数字I/O通道，用来响应使用者的信号；控制电机、夹具的运动；以及控制信号灯的指示等。这样，通过灵活的测试应用软件把传感器、数据采集卡、读码器、机械部件以及运动控制完美的结合在了一起，真正实现一键式操作，既方便使用者的操作，又不会影响到生产线的高速运转。

引言

舒适车司机对汽车座椅舒适性的要求不断提高。目前的汽车技术中，基本依赖于不同功能座椅调节电机的组合运动来满足个体对座椅舒适性的需求。常用的座椅调节电机包括：水平电机、调角电机和抬高电机。体积小、重量轻、功率大、噪音低、性能稳定是座椅调节电机的共有特征。在密闭的车

厢环境中，电机的噪音成为了影响用户体验的关键因素。因此，我们基于NI的软硬件平台设计研发了专门应用于电机生产线终端的噪声测试系统，通过测量声压和心理声学参数，以判断电机在运行过程中产生的噪音是否“悦耳”，反映人体对电机使用中噪音感受的满意度。同时，引入了条码识别与数据存储，准确记录每台电机的测量数据，为电机质量的追溯提供保障。

测试参数

汽车座椅调节电机的声压、响度和固声粗糙度

系统结构

汽车座椅调节电机噪声测试系统主要包括控制和测量两大部分。控制部分主要实现计算机对电机和机械部件运动方式的控制，以模拟真实的座椅工作状态。测量部分主要实现电机工作过程中噪音信号的测量、分析和计算。两部分的同步通过测试软件来实现，测量结果通过显示器和指示灯显示给用户。传声器和触摸屏布置在静音室内，供用户采集电机声音和查看测试结果；机柜布置在静音室外，避免工控机或其它电器设备的运转声音的引入。（参见图2）



图2 设备布局

控制部分主要包括：

工业计算机、多功能数据采集卡PCI-6221、专用的集成电路、气缸与可编程直流电源。

测量部分主要包括：

工业计算机、动态信号采集卡PCI-4472、传声器与信号调理器。

NI PCI-6221提供了24路数字I/O线以及16路模拟输入通道，采用16位的分辨率、250kS/s的采样率以及NI-MCal校准技术提高了测量精度。

充足的数字I/O线可满足大部分控制应用。为此，我们设计了专用的集成电路（参见图3）用于扩展NI数据采集卡数字I/O的功能（例如控制固态继电器的工作状态；手动与自动模式的转换；常用温度传感器控制功能；按钮与指示灯应用），同时免除大部分布线的繁琐。另外，延时电路的引入，避免了快速切换I/O线组合时引起的不确定情况的发生。

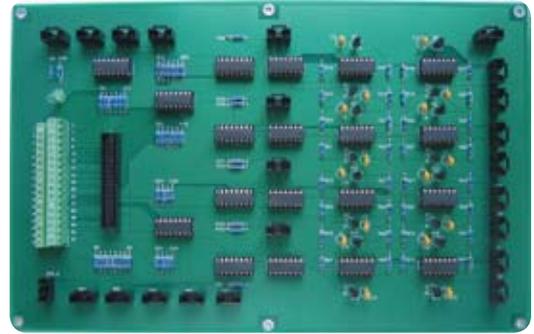


图3 I/O功能扩展电路

可编程直流电源的应用极大的扩展了系统测量对象的范围，并使得用户在使用过程中对电机的配置更加灵活。这样，不仅提高了系统的集成度，同时避免了快速流水线上人工的误操作。

我们根据电机的数学模型为每种电机设计了专用的夹具，在测试的过程中控制气缸固定和释放被测电机，同时模拟真实的汽车座椅工作状态。（参见图4）

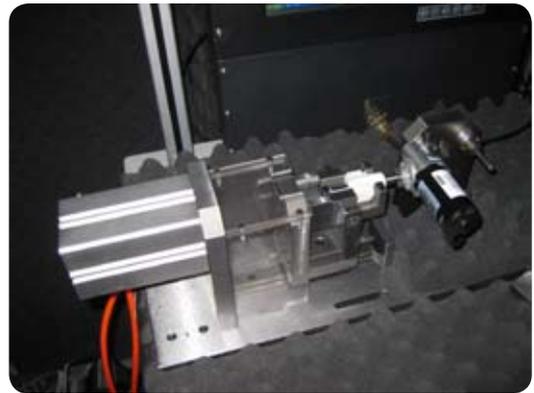


图4 电机夹具

NI PCI-4472提供了8路同步采样模拟输入通道，并采用24位的高分辨率，110dB的动态范围，最高采样速率达到102.4kS/s，45kHz无混叠带宽。因此，适用于从事各种高精度频域的测量。输入通道集成了集成电路压电式（IEPE）信号调理功能，可用于加速度传感器和麦克风的信号采集。与LabVIEW声音及振动工具包共同使用时，为各种时间和频率的准确测量提供了保证，并极大的加快了开发速度。

我们采用NI推荐的PCB Piezotronics（美国压电）公司生产的含有前置放大器的传声器，并配备相应的信号调理器，20英尺长的信号线确保了传声器的信号可以从静音室测试台上传到外部机柜中的信号调理器内，并提供了一定的可调节性。

现场照片



图5 机柜与测试台

测试软件

为满足测试软件能适应不同的座椅电机，通过NI LabVIEW专门设计了一款电机参数配置软件（参见图6）。预先把不同型号电机的参数录入系统中，这样在测试前就可根据电机的型号加载相应的配置参数，保证数据的准确性。

例如，通过配置条码格式，可在测试的过程中校验该条码，控制产品批次的一致性；通过配置电机的配置文件路径，可在测试的过程中读入该配置文件，配置文件中包含了该型号电机各参数的阈值，测试过程中根据该阈值判断产品是否合格；通过配置电机的数据库路径和数据表名称，可在测试过程中读入该路径，并把测试结果保存在相应的数据库中。

启动测试软件时，会首先进入用户设置界面（参见图7），根据配置软件的内容，系统自动读入所有的电机零件编号，操作者选择一个零件后，系统自动读入该零件的配置文件，作为该批次测试的依据。

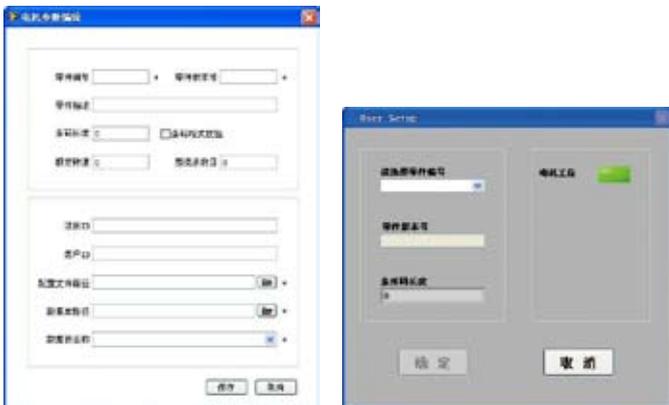


图6 电机参数配置窗口

图7 用户设置界面

零件确定好以后，进入测试主界面（参见图8），同时弹出条码扫描窗口（参见图9），等待使用者扫描被测电机的条形码。



图8 测试主界面

图9 条码扫描界面

如果扫描的条码符合该零件的条码设计规则，并且使用者按下工作台上的“开始测试”按钮，系统自动根据配置文件中设置的运动方式和步骤，控制电机运转，并同时进行测试。测试过程完成后，测试结果显示在软件主界面上，并通过工作台上的指示灯显示给用户。同时，再次弹出条码扫描窗口，等待下一个零件条码的录入。该设计符合流水线快速生产的需求，实现了“一键式测量”，在线工作时，用户无需关心产品失效的原因，所有的测试数据都会实时的保存在数据库中，以供离线分析。

另外，软件中设计了参数设置页面（参见图10），方便用户修改当前零件的测试参数阈值，同时在此页面中提供了传声器校准功能。在系统使用一定时期后，能让用户自行进行校准，降低了系统维护的成本。



图10 参数设置与传感器校准界面

电机噪声所有参数的测试结果均保存在相对应的Access数据库中，原始信号也以WAV格式保存在硬盘中，方便用户进行后处理和数据分析。

结论

汽车座椅调节电机噪声测试系统集成成了数据采集（传感器、信号调理器、数据采集卡）、运动控制（电机、气缸）与各种用户交互（按钮、指示灯、条码扫描、触摸屏），采用“一键式测量”，实现了小于30s的测试节拍，以满足高速运转的生产线应用，为用户极大的提高了生产效率。此方案适用于各种电机生产线全检或抽检的场合。

大众宝来轿车雨刮电机生产测试应用

作者：张伟 设备工程师 上海法雷奥汽车电机雨刮系统有限公司

挑战：

在汽车雨刮器电机生产中，在线测试电机电性能及电机振动量，进行测试数据储存及条形码打印。

解决方案：

使用National Instruments公司的模拟采集卡及数字采集卡，配以振动传感器、磁粉制动器、力矩传感器、编码器及可控稳压电源等开发一个性能可靠的，经济、灵活的基于PC的电机测试系统。

介绍：

宝来A4轿车雨刮器电机为永磁式直流电机。电机工作电压为13V，额定输出功率为40W。电机引线为四线制，分别为高速端、低速端、复位端及接地端。

电机自带减速箱，在减速箱内部有一开关。当复位端接有13VDC电压时，电机将先慢速旋转。当蜗轮凸点到达复位点时，减速箱内复位开关闭合，电机电枢被短路，电机能耗制动，实现雨刮器复位。同时电源断路。

根据项目的技术要求，需要测试电机在一定负载条件下的高低速转速、高低速速差、高低速电流、电压、电机复位角，并使电机停在“装车角”，及测试电机在空载条件下的振动。

一、开发软件的选择：

根据我公司设备的实际使用情况，我们在LabVIEW、VB及其他工控软件中进行论证，最终选择了LabVIEW软件。

其原因为：我公司外方技术人员在对世界上几个优秀工控软件进行了分析对比后，得出结论：“LabVIEW软件最优秀”。并给我们发来了建议，建议用LabVIEW软件来开发制作专用设备。另外我公司也有用LabVIEW软件开发的进

口设备，有关工程师也进行了LabVIEW软件的培训。而最主要的是LabVIEW软件编程简单易学，界面友好，功能强大，性能稳定，开发周期短。

二、选择板卡：

项目共需要模拟输入四路，模拟输出二路，计数二路、数字输入七路，数字输出十二路。选择NI公司的模拟采集卡PCI-6024板卡，它有八路差分模拟输入、二路模拟输出、采样速率为200KS/s，12bits，二路计数，八路数字I/O端。

另一块板卡为数字采集卡PCI-6503：它有24路I/O端。

三、总体设计：

1. 我们首先在C盘中开了几个文本文件，文件中分别存有电机性能参数如电压、电流、转速等指标的上下限；电机振动参数指标的上下限；振动传感器的调校系数；磁粉制动器的非线性调校系数等。每次运行程序时，先读取以上几个文本文件中的数据，作为判别电机好坏的指标及测试系数。这样作的好处是这些关键参数只能由有关工程师才有权修改，而操作工是无法修改的，避免了人为测试误差。电机测试界面如图1。
2. 为了保证测试电机端电压的正确性，在电机端加了两根

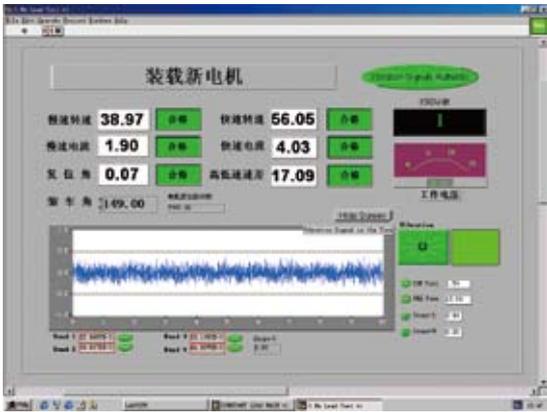


图1 电机性能及振动测试界面

反馈线，由稳压电源自动调整。稳压电源也选择了可控型，即由模拟采集卡输出一个0~5V的可变信号，来控制稳压电源的输出。这样就保证了测试电机端电压的正确性及程序可控性。

3. 磁粉制动器也选择了可控型稳压电源，不同的测试力矩选择不同的工作电压。因为磁粉制动器是非线性元件，为了保证测试力矩的正确性，我们在电机测试端旋转盘的下方安装了经过调校的扭力传感器。并设计了调校程序。

调校方法为：先在电机旋转测试端安装一杠杆，在杠杆的一端吊一500克砝码，读取扭力传感器的电信号作为该点的标准。再依次吊1000克、1500克、2000克等不同的砝码，读取不同点的电信号。

将杠杆和砝码拿去，在测试夹具上安装一只被测电机并通电使其旋转，然后逐渐加高磁粉制动器的输入电压，这时扭力传感器上的输出电信号也逐渐升高，当达到以上不同砝码输出点的电信号值时，分别记录下磁粉制动器的输入电压，这些电压就是这些点的负载电压。再根据二元一次方程，分别计算出相邻两点间的K及B值，即可得到磁粉制动器任意点的近似负载工作电压值。

4. 转速测试用的编码器选用PEPPERL+FUCHS公司的产品，分辨率为每转2500个脉冲。利用模拟采集卡6024的两个计数端，分别测量被测电机的转速及电机转动的角度。这项工作LabVIEW软件的实例中已有，只要拷贝过来就可以使用。

5. 电流信号采样选用30A/75mV 0.2级的电流分流器，再

经过电流变送器，变成0~5V的电压送到采集卡模拟输入端。

6. 电压信号的采样选用0~30V/0~5V电压信号隔离器，将0~5V的电压送到采集卡模拟输入端。
7. 振动测量选用PCB的加速度传感器及放大器，每次测量时将装有传感器的吊袋放下，传感器上的磁铁吸在电机机壳上进行测量。振动信号经“汉宁窗”及“频谱”分析处理后输出振动波形。在10~4500Hz频率范围内分成四个频段，每个频段的振动量设有不同的上下限，用来发现电机不同的缺陷。

同时，连续测量一组电机振动信号，用时间域来进行鉴定分析。CGM (Case Growl Measurement机壳噪音测量)：它用来鉴定电机转子在旋转周期内脉冲信号的波形，可测出电机转子在每旋转一周内振动信号的最大值和最小值。它可以发现许多电机缺陷，如蜗杆齿、换向器缺陷、蜗杆在轴承档有划痕等。PRI (Pulse Ratio Index 脉冲比率系数)：它可以发现轴上两点跳动超差、轴弯曲、换向器表面有伤痕等。

不同的电机产品及不同的测试方法，其振动波形是不同的。只有在积累了大量的经验数据后，才能正确的根据电机振动波形来判断电机的缺陷所在。

在振动测量及噪声测量方面LabVIEW软件具有很强的优势，NI公司提供了振动及噪声测量软件包，用户只要根据自己的实际情况稍加改动即可制成自己的应用程序。

8. 为了保证振动测试的准确性，要定期对加速度传感器及放大器进行调校。调校时进入振动调校程序，用一个159.2Hz 1g (9.8m/s²)的标准振动源对传感器施加振动，同时读取放大器信号，看是否达到1g，并加以修正，将修正系数存入文本文件，以供测试电机时调用修正。

9. 测试数据的储存：在测试时，由于是同时在两个工位上分别对一只电机进行振动测试及对另一只电机进行性能测试，所以数据储存时也用了两个不同的文件，以日期为文件名，分别存储在EXCEL文件中。在这里关键是要正确确定电机的序列号。

10. 条形码打印：电机两项测试全部合格后，控制一台

“斑马”条形码打印机进行打印。条形码上记录着产品型号、序列号、日期等，序列号同存储文件中电机的测试序列号相一致，从而实现产品的可追溯性。

11. 在实际应用中，怎样快速的进行设备故障检测是带有普遍性的

问题。为了较方便、直观地进行设备故障检测，可通过选择主面板上“故障检测”按钮，进入故障检测子程序。该程序的面板上安放了设备所有用到的模拟、数字I/O端及计数端。（如图2）模拟输入端信号选用示波器显示方式；模拟输出端信号选用旋钮控制输出方式；数字输入信号选用指示灯显示方式；数字输出信号选用开关控制输出方式；计数信号选用按钮及数字显示方式。

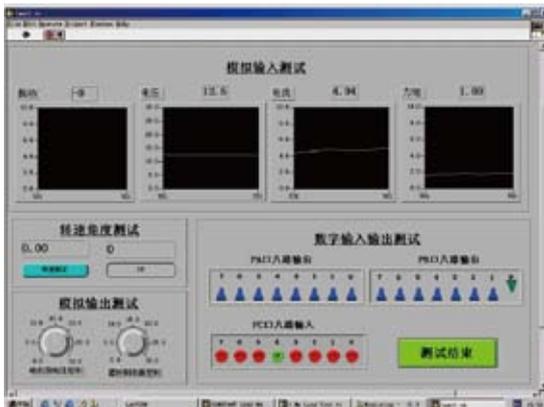


图2 设备故障检测测试界面

这样做非常直观，任何输出旋钮、按钮的动作，都会引起接在相应输出端的电器元件的动作；任何接在外围的开关、电器信号的变化都会在屏幕上显示。这对设备维修来说非常方便。但有一点必须注意：在具体应用时必须注意安全。因为有些电器如：电机、汽缸等，必须要在特定的条件下才可动作，否则则易发生事故。所以在应用时有必要加以一定的限制。

四、结束语：

本项目经过1个多月的开发就已顺利完成，现投入正常生产也已有半年多，设备运行非常稳定。通过这次成功的应用，我们积累了制作经验，提高了信心。我们将在今后用LabVIEW软件开发制作更多的专用测试及生产设备。

推荐配置

模拟采集卡 PCI-6024

数字采集卡 PCI-6503

针对汽车行业应用的 NI产品系列介绍

系统管理软件

NI TestStand、NI VeriStand、NI Switch Executive、DIADEM

LabWindows™/CVI

LabVIEW

Measurement Studio
for Visual Studio

驱动程序与测量服务

NI-DAQmx、NI-VISA、测量与自动化浏览器 (MAX)

数据采集和信号调理



模块化仪器



嵌入式系统

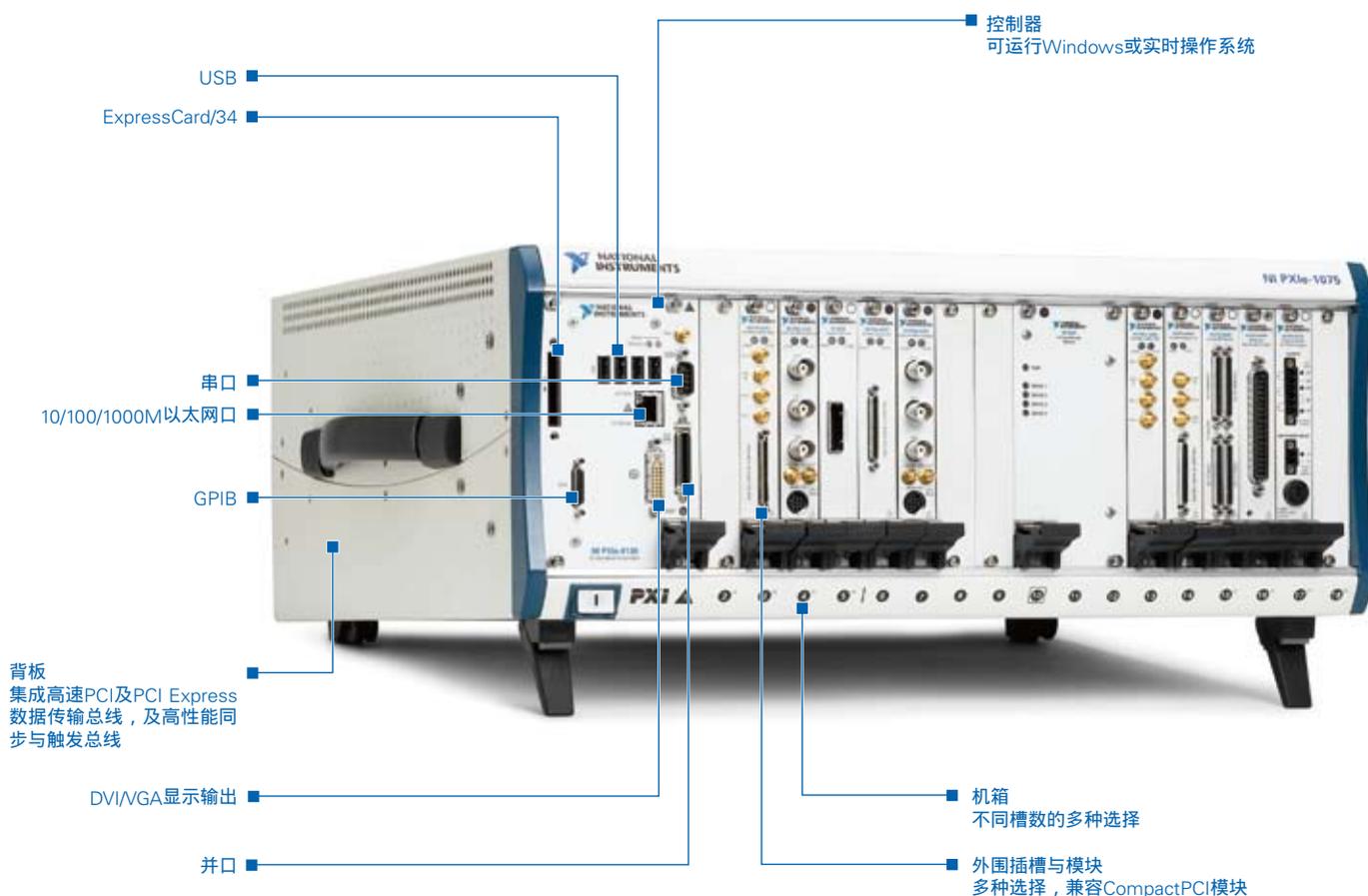


仪器通信



PXI——模块化测试测量与控制平台

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) 是业内领先的自动化测试测量与控制平台。PXI 结合了PCI总线的高吞吐量低延时与CompactPCI的模块化坚固封装形式，同时针对测控应用添加了高性能同步与定时总线以及相应的软件规范，便于汽车行业测控系统开发与集成。经过十多年的发展，如今全球超过70家厂商可提供超过1500种PXI产品供您选择。PXI的模块化架构与“合成仪器”的概念相符合，可根据系统具体指标要求选择不同的模块化仪器，同时可以与基于GPIB, LAN, VXI等总线或平台的其他仪器组成混合总线系统。由于系统采用模块化的架构，便于在系统生命周期中的维护和升级，也便于利用同一系统满足不同型号待测对象的测试要求。此外，采用商业现成的模块也可降低系统开发风险，缩短系统开发时间。



基于PXI平台构建汽车应用系统的优势

系统可靠性

PXI规范的相关定义保证了PXI系统非常适合恶劣的工业环境。PXI采用高性能的IEC连接器和Eurocard封装结构。模块化架构简化了PXI系统的部署和维护，您可以更新或替换单个模块，而不必替换整个系统。

硬件兼容性

PXI基于标准的PC技术（如高速PCI/PCI Express总线，标准CPU与外设等），因此PXI系统可以通过LAN，GPIB，串口等多种方式与其他仪器/设备进行通信。PXI的电气规范是在CompactPCI基础上的扩展，因此与CompactPCI模块完全兼容。

软件兼容性

PXI可运行Windows或实时操作系统。开发和操作基于Windows的PXI系统与基于Windows的PC几乎相同，您可以使用各种通用的应用软件与编程语言，如NI LabVIEW，NI LabWindows/CVI，C/C++，VB.NET等。此外，当从基于PCI的系统转向基于PXI的系统时，不必重新编写已有的应用程序。

针对有严格时间确定性（deterministic）要求或更高可靠性要求（如无外设中断及监视器）的应用，可以基于PXI运行实时操作系统。

更高的数据吞吐量

数据传输带宽和延时通常是选择平台时的两项重要指标。PXI通过采用具有最高带宽和最低延时的PCI/PCI Express数据传输总线，从而具有各种仪器平台中最佳的数据带宽和延时特性。

定时与同步

PXI背板集成了高级的定时与同步特性，易于实现多模块以及多机箱同步测量（详见第147页）。

PXI系统联盟

PXI系统联盟由全球超过60家测试测量厂商及系统集成商组成，负责制定和维护PXI标准体系中的相关规范，并致力于推动PXI产品及应用的发展，同时确保各联盟成员厂商的产品符合PXI规范要求，从而确保这些产品之间的互操作性。关于PXI系统联盟的更多信息，请访问www.pxisa.org。



PXI Express

随着PC总线技术的进一步发展，PXI规范中也引入PCI Express技术，形成PXI Express规范。PXI Express除了利用PCI Express带来更高的数据传输带宽之外，还进一步增强了同步性能，同时仍然保持与PXI系统的兼容性。PXI与PXI Express的标准规范都由PXI系统联盟维护，因此“PXI”一词通常泛指PXI系统或PXI Express系统。

更高的每槽专属带宽

带宽的提升是引入PCI Express所带来的最显著进步之一。它的带宽不同于PCI，所有PCI设备在总线上分享带宽，而PCI Express为每个设备提供了各自的专用带宽。单一的x1 PCIe即可提供250MB/s的数据带宽。多个x1 PCIe通道可以组成x4，x8，x16等配置，从而可进一步提高数据传输带宽。PCI Express Gen2又可在原有PCI Express的基础上将带宽再提升一倍。因此，通过引入PCI Express，PXI Express系统的总带宽相比PXI系统可大幅提升，满足高通道数数据采集、高速多通道数字I/O、高速图像采集、软件无线电等高数据量应用的需求。

业界最佳的同步性能

除了保留PXI背板上所有的定时和触发总线之外，PXI Express额外添加了100MHz的差分系统参考时钟以及差分星型触发总线。差分信号能实现更高的时钟信号速率，低电磁干扰和低抖动。

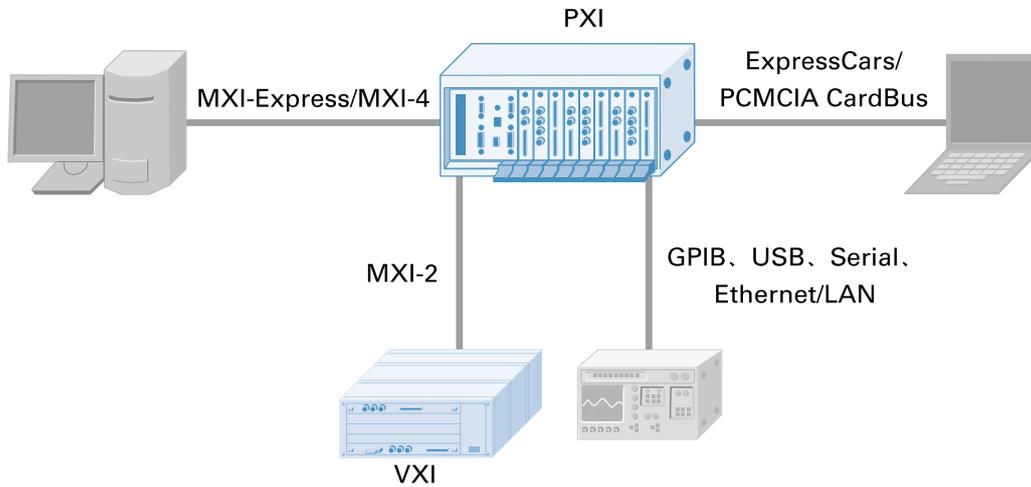
软硬件兼容性

通过PXI Express规范中定义的混合插槽，PXI Express机箱中可兼容PXI与CompactPCI模块，这一点确保了当您系统将平台由PXI转向PXI Express时，原有的PXI模块投资都将得以保留。同时软件方面也与PXI完全兼容，因此应用软件也无需更改。

Peer-to-Peer Streaming

通过PCI Express可实现外围模块插槽之间高达800MB/s的直接的数据传输，不需要占用系统控制器的带宽，从而可利用外围模块实现实时协处理等应用。

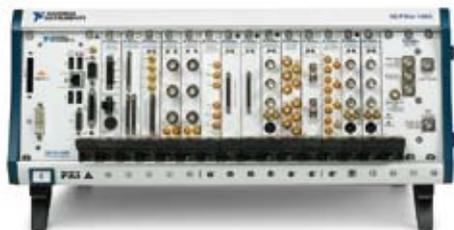
以PXI为中心的混合总线系统



PXI提供了与所有常见测量平台和总线（包括基于PXI, VXI, PCI, USB, LAN, GPIB的仪器）的软硬件兼容性，以实现与既有的、当前的、以及未来系统的充分集成。由于具有与VXI以及各种总线传统仪器的连接能力，基于PXI的系统可以利用现有设备库中的传统设备，以保持已有的投资。同时，由于PXI/PXI Express在各种总线中具有最佳的数据传输带宽和延迟特性，使其更适合作为整个混合总线测试系统的核心平台。



PXI机箱



NI PXI机箱完全符合PXI系统联盟的相关标准，开通过优化的电源设计、散热设计等进一步确保性能及稳定性。

PXI Express机箱

NI PXI Express机箱相比PXI机箱进一步提高了带宽，并集成了行业最佳的定时与同步技术，同时保留了与软件以及1500多种PXI模块之间的兼容性。

- 为高通道数数据采集、高速数字I/O、射频、高速图像采集等高数据吞吐量的应用提供了更高带宽
- 即使在50 的工作环境中，仍能为每一个插槽提供38.25W的散热功率
- 通过混合插槽可以兼容原有的PXI模块以及CompactPCI模块

| | NI PXIe-1075 | NI PXIe-1066 DC | NI PXIe-1065 | NI PXIe-1082 | NI PXIe-1078 | NI PXIe-1062Q | NI PXIe-1071 |
|------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 插槽数 | 18 | 18 | 18 | 8 | 9 | 8 | 4 |
| 温度范围 | 0~55 | 0~50 | 0~55 | 0~55 | 0~50 | 0~55 | 0~50 |
| 功率 | 791 W | 880 W | 700 W | 507 W | 300 W | 354 W | 300 W |
| 噪声等级 | 45.0 dBA | 49.8 dBA | 43.6 dBA | 43.6 dBA | 49.9 dBA | 43.6 dBA | 35 to 50 dBA |
| 备注 | - | 210V - 300V直流供电 | - | - | - | - | - |

PXI机箱

| | NI PXI-1045 | NI PXI-1044 | NI PXI-1056 | NI PXI-1042Q | NI PXI-1036 | NI PXI-1031 | NI PXI-1033 |
|------|-------------|-------------|------------------|--------------|-------------|-------------|------------------|
| 插槽数 | 18 | 14 | 7 (6U) / 17 (3U) | 8 | 6 | 4 | 5 |
| 温度范围 | 0~55 | 0~55 | 0~55 | 0~55 | 0~55 | 0~50 | 0~ 50 |
| 最高功率 | 600 W | 500 W | 600 W | 500 W | 300 W | 400 W | 400 W |
| 噪声等级 | 49 dBA | 49 dBA | - | 43 dBA | 41 dBA | 40 dBA | 38 dBA |
| 备注 | - | - | 兼容6U模块 | - | 可选直流供电 | 可选直流供电 | 集成MXI Express控制器 |

关于NI推出的最新机箱及每款机箱详细指标，请致电NI或访问ni.com/pxi/zhs

PXI机箱附件

为PXI系统在机架安装、便携式应用等方面提供高质量附件选择，请致电NI或访问ni.com/pxi/zhs了解详情

PXI OEM解决方案

NI作为PXI的领导厂商，可为大批量自定义应用提供OEM解决方案，请致电NI了解详情。



PXI控制器

NI为PXI平台提供运行Windows或实时操作系统的嵌入式控制器，以及进程控制器等多种选择，可根据应用需求灵活选择。



PXI嵌入式控制器

PXI嵌入式控制器使用最新计算机技术，在PXI控制器槽位的固定尺寸中，提供最高的性能以及最高的价值。

- 集成硬盘驱动器、内存、以太网、视频、USB、GPIB以及其他外围设备
- 提供业界最高的I/O吞吐量以及最低的延迟
- 可预装软件和驱动程序，完成配置，降低风险

| | NI PXIe-8133 | NI PXIe-8115 | NI PXI-8110 | NI PXI-8109 | NI PXI-8108 | NI PXIe-8108 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 处理器 | 1.73 GHz (3.06 GHz Turbo) quad-core Intel i7-820 | 2.5 GHz dual-core Intel Core i5-2510E processor | 2.26 GHz quad-core Intel Core 2 Quad Q9100 | 2.66 GHz (3.33 GHz Turbo) dual-core Intel i7-620M | 2.53 GHz dual-core Intel Core 2 Duo T9400 | 2.53 GHz dual-core Intel Core 2 Duo T9400 |
| CPU Core | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 总线 | PXI Express | PXI Express | PXI | PXI | PXI | PXI Express |
| 标准内存 | 2 GB 1333 MHz DDR3 | 2 GB 1333 MHz DDR3 | 2 GB 800 MHz DDR2 | 2 GB 1066 MHz DDR3 | 1 GB 800 MHz DDR2 | 1 GB 800 MHz DDR2 |
| 最高内存 | 8 GB 1333 MHz DDR3 | 8 GB 1333 MHz DDR3 | 4 GB 800 MHz DDR2 | 8 GB 1066 MHz DDR3 | 4 GB 800 MHz DDR2 | 4 GB 800 MHz DDR2 |
| 最高单槽带宽 | 1 GB/s | 250 MB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 250 MB/s |
| 最高系统总带宽 | 8 GB/s | 1 GB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 1 GB/s |
| 硬盘 | 120 GB (7200 RPM) minimum | 250 GB SATA (5400 rpm) minimum | 120 GB (7200 RPM) minimum | 120 GB (7200 RPM) minimum | 80 GB (5400 RPM) minimum | 80 GB (5400 RPM) minimum |
| 扩展温度选项 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 以太网口 | 双10/100/1000 | 双10/100/1000 | 10/100/1000 | 双10/100/1000 | 10/100/1000 | 10/100/1000 |
| ExpressCard | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| GPIB接口 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| RS232接口 | 1 | ✓ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 并口 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 高速USB端口 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Watchdog/Trigger SMB | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 操作系统 | Windows 7 Professional, Windows XP Professional SP3 for Embedded Systems ³ | | | | | |

关于NI最新推出的控制器或更多选项，请致电NI或访问ni.com/pxi/zhs

PXI实时控制器



NI实时（RT）系列PXI嵌入式控制器能为确定性的实时测量与控制应用提供灵活而坚固的平台。在专用的PXI实时硬件上运行您的应用程序，可获得更高的稳定性、更优的实时响应、快速循环速率以及极低的系统抖动。

- 高达172 kHz的PID控制循环速率
- 为LabVIEW实时应用及LabWindows™/CVI实时应用提供发布平台
- 循环时间抖动仅有3至4微秒
- 宽温范围以及24/7全天候运行选项

| | NI PXIe-8133 RT | NI PXI-8110 RT | NI PXI-8109 RT | NI PXI-8108 RT | NI PXIe-8108 RT |
|----------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 处理器 | 1.73 GHz (3.06 GHz Turbo) quad-core Intel i7-820 | 2.26 GHz quad-core Intel Core 2 Quad Q9100 | 2.66 GHz (3.33 GHz Turbo) dual-core Intel i7-620M | 2.53 GHz dual-core Intel Core 2 Duo T9400 | 2.53 GHz dual-core Intel Core 2 Duo T9400 |
| CPU Core | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 总线 | PXI Express | PXI | PXI | PXI | PXI Express |
| 标准内存 | 2 GB 1333 MHz DDR3 | 2 GB 800 MHz DDR2 | 2 GB 1066 MHz DDR3 | 1 GB 800 MHz DDR2 | 1 GB 800 MHz DDR2 |
| 最高内存 | 4 GB 1333 MHz DDR3 | 4 GB 800 MHz DDR2 | 4 GB 1066 MHz DDR3 | 4 GB 800 MHz DDR2 | 4 GB 800 MHz DDR2 |
| 最高单槽带宽 | 1 GB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 250 MB/s |
| 最高系统总带宽 | 8 GB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 132 MB/s | 1 GB/s |
| 硬盘 | 120 GB (7200 RPM) minimum | 120 GB (7200 RPM) minimum | 120 GB (7200 RPM) minimum | 80 GB (5400 RPM) minimum | 80 GB (5400 RPM) minimum |
| 扩展温度选项 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 以太网口 | 双10/100/1000 | 10/100/1000 | 双10/100/1000 | 10/100/1000 | 10/100/1000 |
| ExpressCard | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| GPIB接口 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| RS232接口 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 并口 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 高速USB端口 | 4 (Hi-Speed USB) | 4 (Hi-Speed USB) | 4 (Hi-Speed USB) | 4 (Hi-Speed USB) | 4 (Hi-Speed USB) |
| Watchdog/Trigger SMB | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 操作系统 | LabVIEW Real-Time | LabVIEW Real-Time | LabVIEW Real-Time | LabVIEW Real-Time | LabVIEW Real-Time |

关于NI最新推出的控制器或更多选项，请致电NI或访问ni.com/pxi/zhs

远程控制器



NI PXI远程控制器可以通过基于光纤或铜缆的高速串行链路仍PC或便携式计算机上直接控制PXI系统。

- 直接使用PC或便携式计算机控制PXI/CompactPCI与PXI Express/CompactPCI Express系统
- 分布式应用中可选长达200米的光纤连接
- 低延迟、实际连续传输速率可高达5.6G/s的PCI Express链路; 对开发者完全透明

PXI Express远程控制选项

| 型号 | PXIe-PCIe8388/9 | PXIe-PCIe8375 | PXIe-8374 | PXIe-PCIe8371/2 | PXIe-8364 | PXIe-PCIe8361/2 | PXIe-ExpressCard 8360 |
|--------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 通信技术 | x16 PCIe Gen 2 | x4 PCIe | x4 PCIe | x4 PCIe | x1 PCIe | x1 PCIe | x1 PCIe |
| 理论传输速度 | 8 GB/s/direction | 1 GB/s/direction | 1 GB/s/direction | 1 GB/s/direction | 250 MB/s/direction | 250 MB/s/direction | 250 MB/s/direction |
| 连接线缆材质 | Copper | Fiber | Copper/Fiber | Copper | Copper/Fiber | Copper | Copper |
| 备注 | 推荐与NI RMC-8354机架式控制器配合使用 | - | PXI机箱的扩展选项 | - | PXI机箱的扩展选项 | - | 通过便携式计算机控制PXI Express机箱 |

PXI远程控制选项

| 型号 | PXI-PCIe8361/2 | PXI-PCI8366 | PXI-PCI8361 | PXI-ExpressCard8360 |
|--------|--------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| 通信技术 | PCI Express | MXI Express | MXI Express | PCI Express |
| 理论传输速度 | 132MB/s | 132MB/s | 132MB/s | 132 MB/s |
| 连接线缆材质 | Copper | Fiber | Copper | Copper |
| 备注 | 推荐与NI RMC-8354机架式控制器配合使用 | | | |

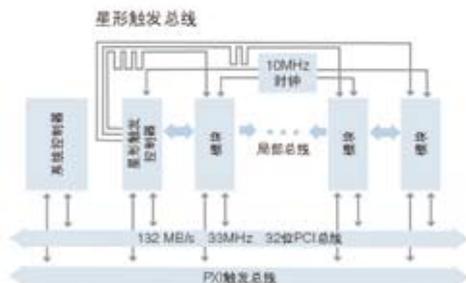
机架式控制器NI RMC-8354 I

- Intel Core i7-860四核处理器 (2.8 GHz Base , 3.46 GHz SC Turbo frequency)
- 可作为进程控制器控制PXI或PXI Express系统
- 最高内存16 GB DDR3-1333 MHz
- 高达4 x 500 GB SATA硬盘,支持多种RAID配置
- 2 Gigabit Ethernet , 4高速USB , 2 PS/2端口 , 串口 , VGA端口
- DVD-ROM (默认) , DVD-RW (可选)
- 扩展插槽支持PCIe x16 , Gen2
- 可运行Windows及实时操作系统

了解更多进程控制以及PXI机箱级联扩展方案, 请致电NI



PXI定时与同步



PXI规范规定了机箱背板集成的同步与触发总线，仍而满足测控应用中的同步需求。

- PXI机箱背板上集成了一个10MHz的专用系统参考时钟，通过等长的背板总线传输到各插槽，各外围模块可锁相至该时钟
- 由定时槽位发出的星形触发总线，等长度路由至其他槽位，可作为其他模块的触发信号或参考时钟
- PXI Express进一步增强了定时与同步性能，包括背板增加100MHz差分参考时钟，同时新增差分触发总线等

NI PXI定时模块

NI提供多种PXI定时与同步模块，可插入定时槽位，结合PXI触发总线、星型触发总线以及系统参考时钟，路由内部与外部时钟及触发信号，仍而实现多模块/多系统之间的高级同步方案，并提高测量精度。

- 以ppb级的更高精度时钟加载替换背板参考时钟
- 控制PXI触发总线
- 同步多个PXI或PXI Express机箱（通过共享时钟信号或通过共享GPS、1588等时间信号）
- 同步集成GPIB、LAN、VXI以及其他总线仪器的混合系统



| 型号 | 板载时钟 | 时钟精度 | DDS时钟合成频率 | 更多特性说明 |
|--------------|------------|-------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PXIe-6674T | OcXO 10MHz | 50ppb | 0.3Hz-1GHz | <ul style="list-style-type: none"> • 可用作多PXI Express机箱同步时的Master或Slave • 支持PXIe-DStar差分星形触发信号路由 • 结合PXI-6682H可将背板参考时钟与GPS，IEEE 1588，或IRIG时间对齐 |
| NI PXI-6653 | OcXO 10MHz | 50ppb | DC-105MHz | 可用作多PXI机箱同步时的Master或Slave |
| NI PXI-6652 | TCXO 10MHz | 1ppm | DC-105MHz | 可用作多PXI机箱同步时的Master或Slave |
| NI PXI-6651 | - | - | - | 可用作多PXI机箱同步时的Slave |
| NI PXIe-6672 | TCXO 10MHz | 1ppm | DC-105MHz | 可用作多PXI Express机箱同步时的Master或Slave |
| PXI-6682 | TCXO 10MHz | 1ppm | - | <ul style="list-style-type: none"> • 可将10MHz参考时钟与GPS，IEEE 1588，或IRIG-B时间对齐，仍而使多机箱同步 • 支持直接连接GPS天线 • PXI-6682H亦可用于PXI Express |
| GFT9404 | 200MHz | 25ppm | - | 8通道PXI Digital Delay Generator，其中4个通道延时控制分辨率为1ps；另4个通道延时控制分辨率为5ns |

关于PXI同步方案的更多信息，请致电NI

PXI数据采集与信号调理

NI作为全球数据采集技术与市场的领先者，提供基于各种总线的数据采集模块，这其中包括多种基于PXI平台的多功能信号采集、信号调理、模拟输出、数字I/O等模块，此外还包括多种信号调理模块，可根据项目需求的指标参数来灵活选择。



- 具有业内领先的稳定性，可提供相关认证
- NIST可溯源的校准
- 驱动支持多种编程语言
- 支持应变、压力、温度、加速度等多种物理信号采集
- 统一的DAQmx驱动便于实现多种传感器信号的同时采集，同时在未来替换或升级模块时无需更改程序
- 基于PXI平台更易于实现多通道同步
- 结合磁盘阵列可以以超过1.2GB/s的速度实现持续数据记录

X系列多功能数据采集模块



- 均采用16 bit分辨率ADC，单模块高达16通道各自独享的ADC，每通道都可达到最高采样率，同时降低相位误差
- 单一机箱中实现272条模拟输入通道同步，基于多机箱同步技术可进一步扩展
- 基于板载100MHz时基可生成精确的采样时钟信号
- 四个32位计数器，可实现PWM脉冲生成，脉冲编码器数据采集，频率测量，脉宽与周期测量等应用
- x1 PCI Express高速接口，提供高达250MB/s的专用带宽，8条DMA通道可供模拟I/O、数字I/O和所有4个计数器使用

| 型号 | AI通道 | 最高单通道采样率 | 最高AI总吞吐速率 | 触发方式 | AO通道 | 最高输出更新速率 | 数字IO | 最高DIO速率 |
|-----------|---------|--------------|-----------|--------|------|-----------|------|---------|
| PXIe-6341 | 16 | 500 kS/s | 500 kS/s | 数字 | 2 | 900 kS/s | 24 | 1 MHz |
| PXIe-6361 | 16 | 2 MS/s | 1 MS/s | 模拟, 数字 | 2 | 2.86 MS/s | 24 | 10 MHz |
| PXIe-6363 | 32 | 2 MS/s | 1 MS/s | 模拟, 数字 | 4 | 2.86 MS/s | 48 | 10 MHz |
| PXIe-6356 | 8 (同步) | 1.25 MS/s/通道 | 10 MS/s | 模拟, 数字 | 2 | 3.33 MS/s | 24 | 10 MHz |
| PXIe-6358 | 16 (同步) | 1.25 MS/s/通道 | 20 MS/s | 模拟, 数字 | 4 | 3.33 MS/s | 48 | 10 MHz |
| PXIe-6366 | 8 (同步) | 2 MS/s/通道 | 16 MS/s | 模拟, 数字 | 2 | 3.33 MS/s | 24 | 10 MHz |
| PXIe-6368 | 16 (同步) | 2 MS/s/通道 | 32 MS/s | 模拟, 数字 | 4 | 3.33 MS/s | 48 | 10 MHz |

ni.com/daq/zhs



M系列多功能数据采集模块

- 提供仍高分辨率到高通道数（最高80模拟输入通道）的多种选择
- 部分型号具有内置隔离电路，并提供电流测量能力
- 集成两个32-bit计数器（最高80MHz时基）

| 型号 | AI通道数 | AI分辨率 | 最高采样率 ² | 模拟触发 | 信号调理 | AO通道 | 最高输出更新速率 | 输出范围 | 数字IO | DIO说明 |
|-------------|----------------|-------|--------------------|------|----------------------------|----------------|----------|----------------------|------|----------------|
| PXI-6289 | 32 | 18 | 625 kS/s | ✓ | 低通滤波 | 4 | 2.8 MS/s | 每通道可编程 | 48 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6284 | 32 | 18 | 625 kS/s | ✓ | 低通滤波 | 0 | - | - | 48 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6281 | 16 | 18 | 625 kS/s | ✓ | 低通滤波 | 2 | 2.8 MS/s | 每通道可编程 | 24 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6280 | 16 | 18 | 625 kS/s | ✓ | 低通滤波 | 0 | - | - | 24 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI(e)-6259 | 32 | 16 | 1.25 MS/s | ✓ | - | 4 | 2.8 MS/s | ± 10, ± 5, ± ext ref | 48 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6255 | 80 | 16 | 1.25 MS/s | ✓ | - | 2 | 2.8 MS/s | ± 10, ± 5, ± ext ref | 24 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6254 | 32 | 16 | 1.25 MS/s | ✓ | - | 0 | - | - | 48 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI(e)-6251 | 16 | 16 | 1.25 MS/s | ✓ | - | 2 | 2.8 MS/s | ± 10, ± 5, ± ext ref | 24 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6250 | 16 | 16 | 1.25 MS/2 | ✓ | - | 0 | - | - | 24 | 5 VTTL, 10 MHz |
| PXI-6239 | 8 ¹ | 16 | 250 kS/s | - | 0 to 20 mA, bank isolation | 2 ¹ | 500 kS/s | 0 to 20 mA | 10 | 24 V, sinking |
| PXI-6238 | 8 ¹ | 16 | 250 kS/s | - | 0 to 20 mA, bank isolation | 2 ¹ | 500 kS/s | 0 to 20 mA | 10 | 24 V, sourcing |
| PXI-6236 | 4 ¹ | 16 | 250 kS/s | - | 0 to 20 mA, bank isolation | 4 | 500 kS/s | ± 10 | 10 | 5 VTTL, static |
| PXI-6233 | 16 | 16 | 250 kS/s | - | Bank isolation | 2 | 500 kS/s | ± 10 | 10 | 24 V, sinking |
| PXI-6232 | 16 | 16 | 250 kS/s | - | Bank isolation | 2 | 500 kS/s | ± 10 | 10 | 24 V, sourcing |
| PXI-6230 | 8 | 16 | 250 kS/s | - | Bank isolation | 4 | 500 kS/s | ± 10 | 10 | 5 VTTL, static |
| PXI-6229 | 32 | 16 | 250 kS/s | - | - | 4 | 833 kS/s | ± 10 | 48 | 5 VTTL, 1 MHz |
| PXI-6225 | 80 | 16 | 250 kS/s | - | - | 2 | 833 kS/s | ± 10 | 24 | 5 VTTL, 1 MHz |
| PXI-6224 | 32 | 16 | 250 kS/s | - | - | 0 | - | - | 48 | 5 VTTL, 1 MHz |
| PXI-6221 | 16 | 16 | 250 kS/s | - | - | 2 | 833 kS/s | ± 10 | 24 | 5 VTTL, 1 MHz |
| PXI-6220 | 16 | 16 | 250 kS/s | - | - | 0 | - | - | 24 | 5 VTTL, 1 MHz |

1. ± 20 mA输入或 0 - 20 mA输出；其他所有型号为电压输入/输出

2. 所有通道共享ADC

ni.com/rseries/zhs

S系列同步数据采集模块

- 每通道专用的ADC，消除了输入通道之间因为共享ADC造成的串扰以及采样保持效应的影响
- 集成两个24-bit计数器（20MHz时基；PXIe-6124的计数器为32-bit，80MHz时基）

| 型号 | AI通道数 | AI分辨率 | 最高采样率 | AI输入范围 | 模拟触发 | AO通道 | 最高输出更新速率 | 数字IO | DIO定时 |
|-----------|-------|--------|----------|--------|------|------|-------------------------|------|--------|
| PXI-6115 | 4 | 12-bit | 10 MS/s | ± 42V | ✓ | 2 | 4 MS/s | 8 | 10 MHz |
| PXI-6120 | 4 | 16-bit | 1 MS/s | ± 42V | ✓ | 2 | 4 MS/s | 8 | 10 MHz |
| PXI-6122 | 4 | 16-bit | 500 kS/s | ± 10V | ✓ | 0 | - | 8 | 10 MHz |
| PXI-6123 | 8 | 16-bit | 500 kS/s | ± 10V | ✓ | 0 | - | 8 | 10 MHz |
| PXIe-6124 | 4 | 16-bit | 4 MS/s | ± 10V | ✓ | 2 | 2.5- 4MS/s ¹ | 24 | 10 MHz |
| PXI-6132 | 4 | 14-bit | 3 MS/s | ± 10V | ✓ | 0 | - | 8 | 10 MHz |
| PXI-6133 | 8 | 14-bit | 3 MS/s | ± 10V | ✓ | 0 | - | 8 | 10 MHz |
| PXI-6143 | 8 | 16-bit | 250 kS/s | ± 5V | - | 0 | - | 8 | 软件定时 |

1. 单通道4MS/s；双通道时2.5MS/s/通道



R系列多功能数据采集模块

集用户可编程FPGA技术的NI R系列多功能RIO设备可实现用户自定义、灵活的系统定时与触发，自定义板载处理等功能。

- 通过LabVIEW FPGA软件可对板载FPGA编程，仍而实现自定义的数字后端
- 数字线路可以独立配置为输入、输出、计数器/定时器、PWM、自定义编码输入或特定通信协议接口
- 可基于FPGA实现高速闭环控制，多个并行PID循环速率可超过200kHz，数字决策速率可达到40MHz
- 在HIL应用中可实现自定义的传感器仿真和特殊信号生成

| 型号 | AI通道数 | AI分辨率 | 最高采样率 | AO通道 | 最高输出更新速率 | 数字IO | DIO说明 | FPGA |
|-----------|-------|-------|----------|------|----------|------|-----------------|----------------|
| PXI-7854R | 8 | 16 | 750 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX110 |
| PXI-7853R | 8 | 16 | 750 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX85 |
| PXI-7852R | 8 | 16 | 750 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX50 |
| PXI-7851R | 8 | 16 | 750 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX30 |
| PXI-7842R | 8 | 16 | 200 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX50 |
| PXI-7841R | 8 | 16 | 200 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-5 LX30 |
| PXI-7833R | 8 | 16 | 200 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-II 3M1门 |
| PXI-7831R | 8 | 16 | 200 kS/s | 8 | 1 M | 96 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-II 1M1门 |
| PXI-7830R | 4 | 16 | 200 kS/s | 4 | 1 M | 56 | 3.3 V, 5 VTTL兼容 | Virtex-II 1M1门 |

ni.com/rseries/zhs



动态信号采集

NI的声音与振动测量硬件为不同的应用提供了灵活的解决方案，例如声学测试与噪声定位、振动分析、动态结构测试、旋转机械状态监测等。

- 高达118 dB动态范围
- 24位ADC和DAC，多种增益设置
- 在单一机箱中可实现高达272个通道的采样
- 通过多机箱同步可实现高达13,000个通道的同步采集（通道之间的相位差小于0.1度）
- 适合传声器（麦克风）、加速度计信号采集以及测量其他动态信号

| 型号 | AI通道 | 动态范围(dB) | 每通道采样率 | 最高信号带宽 | 输入范围 | 耦合方式 | TEDS | IEPE激励 | AO通道 |
|-------------|------|----------|------------|--------|--------------------|-------|------|---------------|------|
| PXI-4461 | 2 | 118 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±316 mV to ±42.4 V | AC/DC | ✓ | 0, 4 or 10 mA | 2 |
| PXI-4462 | 4 | 118 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±316 mV to ±42.4 V | AC/DC | ✓ | 0, 4 or 10 mA | – |
| PXIe-4492 | 8 | 114 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±1 and 10 V | AC/DC | ✓ | 0 or 4 mA | – |
| PXI-4495 | 16 | 113 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±1 and 10 V | DC | – | N/A | – |
| PXI(e)-4496 | 16 | 114 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±1 and 10 V | AC | ✓ | 0 or 4 mA | – |
| PXIe-4497 | 16 | 114 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±1 and 10 V | AC/DC | ✓ | 0 or 4 mA | – |
| PXI(e)-4498 | 16 | 114 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±316 mV to ±10 V | AC | ✓ | 0 or 4 mA | – |
| PXIe-4499 | 16 | 114 | 204.8 kS/s | 92 kHz | ±316 mV to ±10 V | AC/DC | ✓ | 0 or 4 mA | – |
| PXI-4472 | 8 | 110 | 102.4 kS/s | 45 kHz | ±10 V | AC/DC | – | 0 or 4 mA | – |

ni.com/soundandvibration/zhs



光纤传感解调器

NI PXIe-4844光学传感解调器是一个专为基于光纤布拉格光栅（FBG）的光学传感器设计的数据采集模块，用于在长距离或电磁干扰环境下基于光纤传感器的数据采集。

- 具有4个光学通道可同时进行采集，全光谱扫描频率可以达到10 Hz
- 波长范围可仍1510纳米到1590纳米，每个通道可以链接超20个传感器
- 不需要额外的校准（板载NIST验证的参考源）
- NI-OSI驱动软件可以实现传感器的自动识别与轻松配置

ni.com/opticalsensing/zhs



SC Express集成信号调理的数据采集

NI SC Express系列数据采集设备集成了信号调理功能，能够直接测量应变计、压力传感器、测压元件、热电偶的输出以及高电压信号及其它物理信号。为了满足高性能测量系统的要求，这些模块都经过了特别设计，提供了最高的精度，高数据吞吐量以及严格同步性能。

- 分辨率高达24位，采样率高达250 kS/s/通道
- 针对特定的物理信号类型提供隔离以及抗混叠滤波器
- 每一个独立设备都具有高达250 MB/s的专用数据带宽
- 基于PXI Express背板实现多模块同步，极建高通道数数据采集系统

| 型号 | AI通道数 | 功能描述 | AI输入范围 | 滤波器 | 隔离 | 激励 | 测量类型 |
|-----------|----------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|--------------|
| PXIe-4300 | 8 隔离输入 | 同步隔离模拟输入 | $\pm 1\text{ V to } \pm 300\text{ V}^1$ | 10 kHz, 100 kHz, 旁路 | 300 Vrms (CAT II) | - | - |
| PXIe-4330 | 8 差分输入 | 同步电桥输入, 25 kS/s/ch | $\pm 25\text{ mV/V}$ $\pm 100\text{ mV/V}$ | 抗混叠滤波器 | - | 0.625 to 10 V (每通道可编程) | - |
| PXIe-4331 | 8 差分输入 | 同步电桥输入, 102.4 kS/s/ch | $\pm 25\text{ mV/V}$ $\pm 100\text{ mV/V}$ | 抗混叠滤波器 | - | 0.625 to 10 V (每通道可编程) | - |
| PXIe-4353 | 32 差分输入 | 热电偶输入 | $\pm 80\text{ mV}$ | 50/60 Hz | - | - | - |
| PXIe-4357 | 20差分通道AI | 同步RTD输入, 100 S/s/ch | 0-400 Ohm电阻 测量范围 | 低通滤波, 抗混叠滤 波器 | 组隔离 | 0.9 mA 电流激励 | PT100 RTD |
| PXIe-4844 | 4路光学通道 | 光学传感解调器, 用于光纤布拉 格光线10 Hz满频扫描频率 | 1510 - 1590 nm 波长范围 | - | - | - | 光纤温度 光纤应变 |

1. 超过 $\pm 10\text{ V}$ 的输入信号需要使用TB-4300B Terminal Block

续表：各SC Express模块所适应的测量

| 型号 | 毫伏级/伏级 | 中压 (60 V) | 高压 (300 V) | 热电偶 | 应变 | 力, 负载, 扭矩, 压力 |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| PXIe-4300 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | - | - | - |
| PXIe-4330 | - | - | - | - | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PXIe-4331 | - | - | - | - | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PXIe-4353 | <input checked="" type="checkbox"/> | - | - | <input checked="" type="checkbox"/> | - | - |

表示推荐使用该模块进行该项测量 NI SC Express系列产品不断有新模块推出，关于最新产品信息，请致电NI

ni.com/sc-express/zhs

SCXI信号调理

NI SCXI信号调理及开关切换平台，结合PXI数据采集，可实现高通道数应用。
(新系统推荐考虑采用基于PXI Express的SC Express信号调理方案)

- 可扩展至高达3072个通道
- 高达300 V的隔离特性
- 可选择4槽 或12槽机箱方案



高速数字化仪



NI数字化仪利用PXI总线和PXI Express总线高数据吞吐量的优势来缩短测试时间，在模块之间实现了皮秒级别的同步精度，并且能够和所有NI的硬件设备轻松集成，包括任意波型发生器，高速数字I/O以及其它数字化仪，从而可以创建自定义的混合信号系统或高通道数的测试系统。

- 可采集宽频信号，带宽范围可达5 GHz，采样率高达12.5GS/s
- 高分辨率数字化仪可实现大动态范围，低失真的测量，分辨率范围可高达24位
- 高达每通道 512 MB板载内存，实现长时间信号采集
- 基于NI T-Clock技术可实现多设备精确同步
- 结合NI FlexRIO FPGA模块和Peer-to-Peer Streaming技术可实现高速实时信号处理

| 型号 | 特点 | 通道 | 采样率 (S/s) | RIS 采样率 (GS/s) | 带宽 (MHz) | 分辨率 (bits) | 输入范围 | 每通道最高板载内存 |
|---------------|------------------|----|-----------------------|----------------|----------|------------|----------------------|-----------|
| PXIe-5186 | 高速, 高带宽 | 2 | 6.25 G (单通道12.5 G) | 200 | 5000 | 8 | 110 mV FS to 1 V FS | 512 MB |
| PXIe-5185 | 高速, 高带宽 | 2 | 6.25 G (单通道12.5 G) | 200 | 3000 | 8 | 110 mV FS to 1 V FS | 512 MB |
| PXI-5154 | 高速, 高分辨率 | 2 | 1 G (单通道2 G) | 20 | 1000 | 8 | ± 100 mV to ± 2.5 V | 256 MB |
| PXI-5153 | 高速, 高带宽 | 2 | 1 G (单通道2 G) | 20 | 500 | 8 | ± 100 mV to ± 2.5 V | 256 MB |
| PXI-5152 | 高速 | 2 | 1 G (单通道2 G) | 20 | 300 | 8 | ± 50 mV to ± 5 V | 256 MB |
| PXI-5114 | 高速 | 2 | 250 M | 5 | 125 | 8 | ± 20 mV to ± 20 V | 256 MB |
| PXI-5124 | 高速, 高分辨率 | 2 | 200 M | 4 | 150 | 12 | ± 100 mV to ± 10 V | 512 MB |
| PXI (e) -5122 | 高速, 高分辨率 | 2 | 100 M | 2 | 100 | 14 | ± 100 mV to ± 10 V | 512 MB |
| PXI-5142 | 高速, 高分辨率 IF采集 | 2 | 100 M | 2 | 100 | 14 | ± 100 mV to ± 10 V | 512 MB |
| PXI-5105 | 高通道密度 | 8 | 60 M | - | 60 | 12 | ± 25 mV to ± 15 V | 64 MB |
| PXIe-5622 | 高速, 高分辨率 IF采集 | 1 | 150 M | - | 3 - 60 | 16 | ± 350 mV to ± 700 mV | 256 MB |
| PXI-5922 | 高分辨率 | 2 | 15 M | - | 6 | 24 to 16 | ± 1 to ± 5 V | 256 MB |

ni.com/digitizers/zhs

板载可编程FPGA的高速数字化仪



NI带有可编程FPGA的数字化仪由模拟前端和数字后端两部分模块组成。模拟前端是一个带有ADC的前端A/D模块，数字后端是板载高性能Xilinx FPGA与DRAM的FlexRIO FPGA模块。这样，您可以根据应用需要选择合适的前端ADC，同时可通过LabVIEW FPGA模块对数字后端的FPGA进行编程，满足实时在线信号处理或自定义触发等需求。

- 根据需要灵活选择前端A/D模块与后端的PXI (或PXI Express) FlexRIO FPGA模块
- 可通过LabVIEW FPGA模块对数字后端的FPGA进行编程
- 基于高精度PXI同步技术，通道数可从几通道扩展至几百通道，并可与其他模块化仪器集成

可选的前端A/D模块

| 型号 | AI通道数 | 采样率 (S/s) | 分辨率 (bits) | 其他特性 | 应用举例 |
|---------|-------|-----------|------------|------------------------|-------------------|
| NI 5781 | 2 | 100M | 14 | 2通道输出 (100MS/s, 16bit) | 软件无线电中的IF信号处理 |
| NI 5731 | 2 | 40M | 12 | 2 Vpp, 50 Ohm, 12 DIO | 通用时域或频域应用 |
| NI 5732 | 2 | 80M | 14 | 2 Vpp, 50 Ohm, 12 DIO | 通用时域或频域应用 |
| NI 5733 | 2 | 120M | 16 | 2 Vpp, 50 Ohm, 12 DIO | 通用时域或频域应用 |
| NI 5734 | 4 | 120M | 16 | 2 Vpp, 50 Ohm, 12 DIO | 通用时域或频域应用 |
| NI 5751 | 16 | 50 M | 14 | 2 Vpp, 50 Ohm, 8 DIO | 实验物理, NDT检测, 医学成像 |
| NI 5752 | 32 | 50 M | 12 | 2 Vpp, 100 Ohm, 16 DIO | NDT检测, 超声检测 |
| NI 5761 | 4 | 250 M | 14 | 8 DIO | IF信号欠采样 |

可选的后端FlexRIO FPGA模块

| 型号 | 板载FPGA | 板载内存 (DRAM) |
|------------|----------------|-------------|
| PXI-7951R | Virtex-5 LX30 | 0 MB |
| PXI-7952R | Virtex-5 LX50 | 128 MB |
| PXI-7953R | Virtex-5 LX85 | 128 MB |
| PXI-7954R | Virtex-5 LX110 | 128 MB |
| PXle-7961R | Virtex-5 SX50T | 0 MB |
| PXle-7962R | Virtex-5 SX50T | 512 MB |
| PXle-7963R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |
| PXle-7965R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |

关于NI FlexRIO的更多应用信息请参阅第160页

ni.com/flexrio/zhs

模拟输出/信号发生器/任意波形发生器



NI PXI模拟电压和电流输出设备涵盖了从基本的软件定时输出到复杂的高速波形发生的多种应用。

- 对于控制应用，可实现多通道的同步软件定时单点更新
- 基于板载FIFO可实现正弦波、方波、三角波以及自定义波形的生成

| 型号 | 通道数 | DAC位数 | AO输出范围 | 更新率 (S/s) | DIO通道 | 计数器 | 触发 |
|----------|------------|-------|--------------------|-------------|-------|------------|----|
| PXI-6733 | 8 | 16 | ± 10 V | 740k to 1M | 8 | 2个, 24-bit | ✓ |
| PXI-6713 | 8 | 12 | ± 10 V | 740k to 1M | 8 | 2个, 24-bit | ✓ |
| PXI-6711 | 4 | 12 | ± 10 V | 1M | 8 | 2个, 24-bit | ✓ |
| PXI-6723 | 32 | 13 | ± 10 V | 45 to 800k | 8 | 2个, 24-bit | ✓ |
| PXI-6722 | 8 | 13 | ± 10 V | 182 to 800k | 8 | 2个, 24-bit | ✓ |
| PXI-6704 | 16电压, 16电流 | 16 | ± 10 V, 0 to 20 mA | Static | 8 | - | - |



NI信号发生器系列产品提供多种任意波形发生器、函数发生器和时钟发生器。通过配合使用NI模拟波形编辑器，用户可快速生成完全自定义的信号。不管是生成简单的正弦波和时钟信号，还是复杂的通信调制波形，NI信号发生器都可以提供一流的性能和更高的系统吞吐量，进而助力您的原型验证和测试系统。

- 基于PXI Express总线获得高达600 MB/s的数据下载速率
- 利用PXI Express与NI peer-to-peer数据传输技术以400 MS/s (800 MB/s) 的速率从FPGA协处理器上进行持续的数据传输与生成
- PXI同步技术，通道数可从几通道扩展至几百通道，并可与其他模块化仪器集成

| 型号 | 描述 | 通道 | 更新速率 (MS/s) | 带宽 (MHz) | DA位数 (bits) | 阻抗 () | 数字模式输出 | 最高板载内存 |
|-----------|---------------|----|-------------|----------|-------------|----------|--------|---------|
| PXIe-5451 | 任意波形发生器 | 2 | 400 | 135 | 16 | 50 | - | 2048 MB |
| PXIe-5450 | 双通道 I/Q 信号发生器 | 2 | 400 | 145 | 16 | 50 | - | 512 MB |
| PXI-5422 | 任意波形发生器 | 1 | 200 | 80 | 16 | 50 or 75 | LVDS | 512 MB |
| PXI-5421 | 任意波形发生器 | 1 | 100 | 43 | 16 | 50 or 75 | LVDS | 256 MB |
| PXI-5412 | 任意波形发生器 | 1 | 100 | 20 | 14 | 50 or 75 | - | 256 MB |
| PXIe-5442 | 任意波形发生器 | 1 | 100 | 43 | 16 | 50 or 75 | - | 512 MB |
| PXI-5441 | 任意波形发生器 | 1 | 100 | 43 | 16 | 50 or 75 | LVDS | 512 MB |
| PXI-5402 | 函数发生器 | 1 | 100 | 20 | 14 | 50 or 75 | - | 32 KB |
| PXI-5406 | 函数发生器 | 1 | 100 | 40 | 16 | 50 or 75 | - | 32 KB |
| PXI-5404 | 时钟生成器 | 2 | 300 | 105 | 12 | 50 | - | - |

ni.com/signalgenerators/zhs

工业数字I/O 计时器/计数器



NI工业数字I/O (DIO) 设备适用于多种自动化应用, 包括控制开关、继电器、执行器、风扇、照明以及电机。NI DIO设备具有为高可靠性而设计的专用工业特性:

- 可编程的上电启动状态, 以确保执行器和继电器从已知的状态开始工作
- 看门狗定时器监测错误状态并作出响应
- 通过监测变化继而触发应用程序, 占用最少处理器资源
- 可编程输入滤波器移除干扰和毛刺
- 隔离设计, 并且防止接地回路

| 型号 | 通道数 | 隔离 | 电压范围 | Logic Level | Sinking / Sourcing | 最高电流驱动 |
|----------|--------------|-------|-------|-------------|--------------------|--------|
| PXI-6508 | 96 DIO | - | 5 V | TTL CMOS | Both | 2.5mA |
| PXI-6509 | 96 DIO | - | 5 V | TTL CMOS | Both | 24mA |
| PXI-6511 | 64 DI | Bank | 30 V | 24 V | Both | - |
| PXI-6512 | 64 DO | Bank | 30 V | - | Sourcing | 350mA |
| PXI-6514 | 32 DI, 32 DO | Bank | 30 V | 24 V | Sourcing | 350mA |
| PXI-6513 | 64 DO | Bank | 30 V | - | Sinking | 475mA |
| PXI-6515 | 32 DI, 32 DO | Bank | 30 V | 24 V | Sinking | 475mA |
| PXI-6521 | 8 DI, 8 DO | Ch-Ch | 150 V | 24 V | Both | 2 A |
| PXI-6529 | 48 DO | Ch-Ch | 60 V | 5 V | Both | 150mA |
| PXI-6528 | 24 DI, 24 DO | Ch-Ch | 60 V | 5 V | Both | 150mA |
| PXI-6527 | 24 DI, 24 DO | Ch-Ch | 28 V | 5 V | Both | 120mA |

ni.com/dio/zhs



NI计数器/定时器设备具有多达8个32位计数器, 提供一系列与时间相关的测量, 并且作为复杂测量系统的组成部分可以实现所需的严格定时功能。计数器/定时器可用于:

- 频率测量
- 边沿/事件计数
- 脉冲宽度测量
- 事件时间戳
- 正交编码器
- 频率发生
- 分频
- 脉冲序列发生
- 脉冲宽度调制

| 型号 | 计数器数量 | 位数 | 最高计数源频率 | 最高电压范围 | 数字I/O | 光耦隔离 | 晶振精度 | GPS同步 |
|----------|-------|----|---------|--------|----------|------|-------|-------|
| PXI-6602 | 8 | 32 | 80MHz | 5V | Up to 32 | - | 50ppm | - |
| PXI-6608 | 8 | 32 | 80MHz | 5V | Up to 32 | - | 75ppb | ✓ |
| PXI-6624 | 8 | 32 | 20MHz | 48V | 0 | ✓ | 50ppm | - |

基于带有FPGA的NI R系列多功能数据采集模块也可实现自定义计数器/定时器应用, 参见第150页

数字波形发生器/分析仪（高速数字I/O）



NI的高速数字I/O产品以高达1Gbit/s的数据传输率为数字通讯与测试系统提供了高性能，高灵活性的解决方案。您可以将多个模块同步起来，组成一个高通道数的数字系统，并且达到亚纳秒级的同步精度。使用NI的高速数字I/O，您可以进行以下测试：

- 比特误码率测试（BERT）
- 协议仿真及测试
- 时序测试
- 逻辑分析/模式生成
- 电压门限测试
- 通过编写波形脚本实现多个数字波形的循环与连接

| 型号 | 通道数 | 最高速率（MHz） | 电平 | 板载内存（Mb/channel） | 可编程 数据延迟 | 方向控制 |
|------------|-----|---------------|-----------------------------|------------------|----------|----------|
| PXI-6562 | 16 | 200（400 Mb/s） | LVDS | 2, 16, or 128 | ✓ | 每通道 |
| PXI-6561 | 16 | 100（200 Mb/s） | LVDS | 2, 16, or 128 | ✓ | 每通道 |
| PXIe-6556* | 24 | 200（400 Mb/s） | 可编程 | 8 or 64 | ✓ | 每通道, 每周期 |
| PXI-6552 | 20 | 100 | 可编程（10 mV Step） | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道, 每周期 |
| PXI-6551 | 20 | 50 | 可编程（10 mV Step） | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道, 每周期 |
| PXIe-6548 | 32 | 200（400 Mb/s） | 1.2-3.3V（VH可编程100 mV steps） | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道, 每周期 |
| PXIe-6547 | 32 | 100（200 Mb/s） | 1.2-3.3V（VH可编程100 mV steps） | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道, 每周期 |
| PXIe-6545 | 32 | 200（200 Mb/s） | 3.3, 2.5, 1.8, 1.5, 1.2 V | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道 |
| PXIe-6544 | 32 | 100（100 Mb/s） | 3.3, 2.5, 1.8, 1.5, 1.2 V | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道 |
| PXI-6542 | 32 | 100 | 5.0, 3.3, 2.5, 1.8 V | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道 |
| PXI-6541 | 32 | 50 | 5.0, 3.3, 2.5, 1.8 V | 1, 8, or 64 | ✓ | 每通道 |
| PXIe-6537 | 32 | 50 | 5.0, 3.3, 2.5 V | - | - | 每通道 |
| PXIe-6536 | 32 | 20 | 5.0, 3.3, 2.5 V | - | - | 每通道 |
| PXIe-6535 | 32 | 10 | 5.0, 3.3, 2.5 V | - | - | 每通道 |

*同时带有Per-Pin PMU

ni.com/hsdio/zhs

板载可编程FPGA的高速数字I/O



NI带有可编程FPGA的高速数字I/O由前端电路和数字后端两部分模块组成。数字后端是板载高性能Xilinx FPGA与DRAM的FlexRIO FPGA模块。这样，您可以根据应用需要选择合适的数字I/O前端模块，同时可通过LabVIEW FPGA模块对数字后端的FPGA进行编程，为协议感知等应用提供更灵活的解决方案。

- 根据需要灵活选择前端模块与后端的PXI（或PXI Express）FlexRIO FPGA模块
- 可通过LabVIEW FPGA模块对数字后端的FPGA进行编程
- 基于高精度PXI同步技术，通道数可从几通道扩展至几百通道，并可与其他模块化仪器集成

可选的前端I/O模块

| 型号 | 通道数 | 最高速率 (MHz) | 电平 | 方向控制 |
|----------|------------------|------------------|----------------------|------------|
| NI 6581R | 54 | 100 | 5.0, 3.3, 2.5 或1.8 V | 每端口 (8bit) |
| NI 6585R | 32 | 200 (300 Mbit/s) | LVDS | 每通道 |
| NI 6583R | 35 单端 / 19 LVDS | 200 (300 Mbit/s) | 单端与LVDS | 每通道 |
| NI 6584R | 16对RS485 / RS422 | 16 Mbits/s | 与RS485 / RS422兼容 | 每通道 |
| NI 6587R | 20 | 500 (1 Gbit/s) | LVDS | 每通道 |

可选的后端FlexRIO FPGA模块

| 型号 | 板载FPGA | 板载内存 (DRAM) |
|------------|----------------|-------------|
| PXI-7951R | Virtex-5 LX30 | 0 MB |
| PXI-7952R | Virtex-5 LX50 | 128 MB |
| PXI-7953R | Virtex-5 LX85 | 128 MB |
| PXI-7954R | Virtex-5 LX110 | 128 MB |
| PXIe-7961R | Virtex-5 SX50T | 0 MB |
| PXIe-7962R | Virtex-5 SX50T | 512 MB |
| PXIe-7963R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |
| PXIe-7965R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |
| PXIe-7966R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |

关于NI FlexRIO的更多信息请参阅第160页

ni.com/flexrio/zhs

数字万用表 (DMM)

可编程电源与源测量单元 (SMU)



NI的数字万用表 (DMM) 能够达到高吞吐率, 同时保证精确和稳定的测量。NI DMM可用来精确地测量电压、电阻、电流、电容、电感和温度。

- 同级别仪器中最佳的直流精度, 在两年的标定周期中精度可达12.5 ppm
- 结合NI开关模块, 可以方便地构建高通道数的测量系统

数字万用表

| 型号 | 功能 | 位数 | VDC | VAC | 电阻(Ω) | ADC | AAC | 电容 | 电感 |
|----------|---------------------------|----|------|-----|-------|-----|-----|-----------|-----|
| PXI-4071 | 高分辨率DMM, 1.8 MS/s隔离数字化 | 7½ | 1000 | 700 | 5 G | 3 | 3 | - | - |
| PXI-4072 | DMM, 1.8 MS/s隔离数字化仪, LCR表 | 7 | 300 | 300 | 1 G | 1 | 1 | 10,000 μF | 5 H |
| PXI-4070 | DMM, 1.8 MS/s 隔离数字化仪 | 7 | 300 | 300 | 1 G | 1 | 1 | - | - |
| PXI-4065 | DMM | 6½ | 300 | 300 | 1 G | 3 | 3 | - | - |

ni.com/dmm/zhs



NI可编程电源与SMU可作为高精度直流输出, 同时可进行精准的电压和电流测量。这些仪器可在自动测试系统或实验室中提供恒定电流或电压、快速扫描IV特性曲线、或者进行漏电流测量等。

可编程电源与源测量单元 (SMU)

| 型号 | 功能 | 电压范围 | 最高Source功率 | 最高Sink功率 | 电压分辨率 | 电流分辨率 | Remote Sense |
|-----------|-------------|---------------------|------------|----------|--------|--------|--------------|
| PXIe-4141 | 4-ch SMU | -10 to 10 V (四象限) | 1W/ch | 1W/ch | 10 μV | 10 pA | ✓ |
| PXIe-4140 | 4-ch SMU | -10 to 10 V (四象限) | 1W/ch | 1W/ch | 100 μV | 100 pA | ✓ |
| PXI-4132 | SMU | -100 to 100 V (四象限) | 2 W | 2 W | 10 μV | 10 pA | ✓ |
| PXI-4130 | SMU | -20 to 20 V (四象限) | 40 W | 10 W | 100 μV | 1 nA | ✓ |
| PXI-4110 | 三路输出可编程直流电源 | 0 to +20 V | 20 W | - | 400 μV | 400 nA | - |
| | | 0 to -20 V | 20 W | - | 400 μV | 400 nA | - |
| | | 0 to 6 V | 6 W | - | 120 μV | 20 μA | - |
| PXIe-4142 | 4-ch SMU | -24 V, 24 V (四象限) | 3.6W/ch | 3.6W/ch | 200 uV | 100 pA | ✓ |
| PXIe-4143 | 4-ch SMU | -24 V, 24 V (四象限) | 3.6W/ch | 3.6W/ch | 20 uV | 10 pA | ✓ |

ni.com/powersupplies/zhs

NI FlexRIO



NI FlexRIO的解决方案由两部分模块组成——基于PXI或PXI Express的用户可编程FPGA模块（数字后端）及与其对应的前端I/O适配器模块，用户可对NI FlexRIO FPGA模块上的FPGA进行重配置开发，结合不同的I/O适配器模块，可实现自定义实时板载信号处理、高速闭环响应等应用，从而将软件自定义的范围从处理器进一步扩展到I/O模块的数字后端。

- 为需要利用FPGA处理能力的用户提供了无需外围硬件开发的现成解决方案
- 可通过LabVIEW FPGA模块对FPGA进行直观的开发，也可复用先前的HDL代码或Xilinx IP Core Generator生成的IP Core
- Peer-to-Peer Streaming：后端的FlexRIO FPGA模块也作为高速实时协处理器独立使用。NI FlexRIO FPGA模块可通过PXI Express背板的高速PCI Express数据传输通道，以800MB/s的持续传输速度与其他模块化仪器进行实时的直接数据传输，并在FPGA上完成自定义的实时信号处理

NI FlexRIO FPGA模块（数字后端）

| 型号 | 板载FPGA | 板载内存 (DRAM) |
|------------|----------------|-------------|
| PXI-7951R | Virtex-5 LX30 | 0 MB |
| PXI-7952R | Virtex-5 LX50 | 128 MB |
| PXI-7953R | Virtex-5 LX85 | 128 MB |
| PXI-7954R | Virtex-5 LX110 | 128 MB |
| PXIe-7961R | Virtex-5 SX50T | 0 MB |
| PXIe-7962R | Virtex-5 SX50T | 512 MB |
| PXIe-7963R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |
| PXIe-7965R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |
| PXIe-7966R | Virtex-5 SX95T | 512 MB |

NI FlexRIO适配器模块 (前端I/O)

- NI所提供的FlexRIO适配器模块提供了高性能的仪器级别I/O，模拟I/O请参阅第154页，数字I/O请参阅第158页。
- 也可选择第三方公司提供的前端适配器模块；同时，NI提供MDK开发包，可帮助用户自行设计开发所需的前端适配器模块

工业通信总线

汽车总线接口



接受优化的NI-XNET CAN、LIN和FlexRay接口，适合需要数百个CAN、LIN与FlexRay frames帧和信号（如：硬件在环仿真、快速控制原型、总线监控、自动化控制.....）。

- 进行实时、高速操作的应用。高性能PXI CAN接口经优化，适合要求严苛的高通道数应用
- NI-XNET驱动适合在LabVIEW、LabWindows™/CVI和C/C++中开发帧和信号应用程序
- NI-XNET设备驱动型DMA引擎，可搭配CAN总线存储内存，继而使信息延迟降至最低
- 集成的CAN数据库，可导入、编辑并使用源自FIBEX、.DBC、.NCD文件的信号同步，1 μs时间标识适合与NI DAQ、数字化仪、开关以及大型系统集成
- 高速、低速/容错和软件可选式物理层

| 型号 | 总线 | 物理层 | 接收器 | 最小波特率 | 最大波特率 | 外部同步接口 | 接口数 |
|-----------|---------|---------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|-----|
| NI 8511 | CAN | 低速/容错 | TJA1054A | 40 kbits/s | 125 kbits/s | - | 1 |
| NI 8511/2 | CAN | 低速/容错 | 2 x TJA1054A | 40 kbits/s | 125 kbits/s | - | 2 |
| NI 8512 | CAN | 高速 | TJA1041 | 40 kbits/s | 1 Mbits/s | - | 1 |
| NI 8512/2 | CAN | 高速 | 2 x TJA1041 | 40 kbits/s | 1 Mbits/s | - | 2 |
| NI 8513 | CAN | 软件可选 | TJA1054A, TJA1041, AU5790 | 40 kbits/s, 40 kbits/s, 33.3 kbits/s | 125 kbits/s, 1 Mbits/s, 83.3 kbits/s | 2 x SMB | 1 |
| NI 8513/2 | CAN | 软件可选 | 2 x TJA1054A, 2 x TJA1041, 2 x AU5790 | 40 kbits/s, 40 kbits/s, 33.3 kbits/s | 125 kbits/s, 1 Mbits/s, 83.3 kbits/s | 2 x SMB | 2 |
| NI 8516 | LIN | LIN | 2 x ATA6620 | 2400 bits/s | 20 kbits/s | - | 2 |
| NI 8517/2 | FlexRay | FlexRay | 2 x TJA1080 | 1 Mbits/s | 10 Mbits/s | 2 x SMB | 2 |



DeviceNet

NI PXI DeviceNet接口将高性能主控/扫描功能加入DeviceNet网络，以配合NI PXI控制器（配有Windows或实时操作系统）。NI PXI-8532 DeviceNet接口随附面向DeviceNet软件的NI工业通信，可通过LabVIEW Real-Time提供高端API和确定性控制。

| 型号 | 终端 | 接收器 | 最小波特率 | 最到波特率 | 接口数 |
|---------|----|-------------------|-------------|-------------|-----|
| NI 8532 | 内部 | Philips PCA82C251 | 125 kbits/s | 500 kbits/s | 1 |



PROFIBUS

PROFIBUS PXI单端口接口，可将基于PC的控制器作为功能强大的主站或从站，连至PROFIBUS工业网络。NI PROFIBUS接口包含的NI LabVIEW驱动软件，适合人机对话界面（HMI）和SCADA应用。用户可通过这些接口，进行PROFIBUS设备自动化测试。

| 型号 | 终端 | 接收器 | 最小波特率 | 最到波特率 | 接口数 |
|----------------|----|-----|---------------|-------------|-----|
| PXI PROFIBUS接口 | 外部 | - | 12000 kbits/s | 9.6 kbits/s | 1 |

开关（继电器/多路复用器/矩阵）



NI提供了灵活的PXI模块化开关解决方案，帮助您提高仪器的可重用性、测试系统吞吐量以及系统的可扩展性。

- 通过开关管理软件SwitchExecutive可对开关进行快速配置与管理
- 通过NI SwitchBlock大型开关阵列可进一步扩展矩阵容量
- 通过NI Switch Health Center软件对开关进行自检并记录开关历史次数

通用单刀单掷 / 单刀双掷开关

| 型号 | 描述 | 关键指标 |
|-------------|-------------------|----------------------------------|
| PXI-2564 | 16通道，SPST电枢继电器 | 150 VDC/150 VAC CAT II, 5 A max |
| PXI-2565 | 16通道，SPST电枢继电器 | 125 VDC/250 VAC CAT II, 7 A max |
| PXI-2566 | 16/32通道，SPDT电枢继电器 | 150 VDC/125 VAC CAT I, 2 A max |
| PXI-2568 | 31通道，SPST电枢继电器 | 150 VDC/150 VAC |
| PXI(e)-2569 | 100通道，SPST电枢继电器 | 100 VDC/100 VAC |
| PXI-2570 | 40通道，SPDT电枢继电器 | 100 VDC/100 VAC |
| PXI-2586 | 10通道，SPST电枢继电器 | 300 VDC/300 VAC CAT II, 12 A max |

射频与微波开关

| 型号 | 描述 | 关键指标 |
|-------------|-----------------------------|---------------------------|
| PXI-2545/55 | 4x1 RF 多路复用器 (Terminated) | 2.7 GHz, 50 / 2.5 GHz, 75 |
| PXI-2546/56 | 双 4x1 RF 多路复用器 (Terminated) | 2.7 GHz, 50 / 2.5 GHz, 75 |
| PXI-2547/57 | 8x1 RF 多路复用器 (Terminated) | 2.7 GHz, 50 / 2.5 GHz, 75 |
| PXI-2548/58 | 单刀双掷RF开关 (四组) | 2.7 GHz, 50 / 2.5 GHz, 75 |
| PXI-2549/59 | 单刀双掷RF开关 (两组, Terminated) | 2.7 GHz, 50 / 2.5 GHz, 75 |
| PXI-2554 | 4x1 RF 多路复用器 | 2.5 GHz, 75 |
| PXI(e)-2593 | 16x1 RF多路复用器/矩阵 (通过软件配置) | 150 V CAT I, 500 MHz, 50 |
| PXI-2594 | 4x1 RF多路复用器 | 2.5 GHz, 50 |
| PXI-2595 | 4x1 RF多路复用器 | 5 GHz, 50 |
| PXI-2596 | 6x1 RF多路复用器 (两组) | 26.5 GHz, 50 |
| PXI-2597 | 6x1 RF多路复用器 | 26.5 GHz, 50 |
| PXI-2598 | RF转换开关 (两组) | 26.5 GHz, 50 |
| PXI-2599 | 单刀双掷RF开关 (两组) | 26.5 GHz, 50 |

ni.com/switches/zhs

故障注入模块



故障注入单元 (FIU) 的设计, 适合硬件在环 (HIL) 应用和电子可靠性测试。每个模块具有一系列馈通通道, 在关闭状态下使得开关对于系统是透明的。用户可打开或中断连通两条故障总线其中一条的通道, 每条故障总线的多路复用器均配备4种可能的输入。用户可使用这种架构仿真断开或被中断的连接以及管脚之间的短路、针对电池电压的短路和针对各路通道上的对地短路。被NI LabVIEW实时模块控制时, 该FIU非常适合验证控制系统的可靠性, 如: 引擎控制单元 (ECU)、全权数字引擎控制器 (FADEC), 以及更多其它需要带动高负载的应用。

信号注入模块 (用于HIL等应用)

| 型号 | 描述 | 关键指标 |
|-------------|-----------------------|----------|
| PXI-2510 | 68通道, 2A 故障注入模块 (FIU) | 150V, 2A |
| PXI(e)-2512 | 7通道, 10A 故障注入模块 (FIU) | 50V, 10A |
| PXI(e)-2514 | 7通道, 4A 故障注入模块 (FIU) | 28V, 40A |

开关矩阵 / 多路复用器

| 型号 | 描述 | 类型 | 关键指标 |
|-------------|------------------------|----------|----------------------------------|
| NI PXI-2501 | 48通道, FET继电器 | 多路复用器/矩阵 | ± 10 VDC |
| NI PXI-2503 | 48通道, 电枢继电器 | 多路复用器/矩阵 | 60 VDC/30 VAC |
| PXI(e)-2527 | 64通道, 电枢继电器 | 多路复用器/矩阵 | 300 VDC/300 VAC |
| PXI(e)-2529 | 128/256交叉点 (2线), 电枢继电器 | 矩阵 | 150 VDC/150 VAC |
| PXI-2530 | 128/256通道, 簧片继电器 | 多路复用器/矩阵 | 60 VDC/30 VAC |
| PXI(e)-2531 | 512交叉点(1线), 簧片继电器 | 矩阵 | 60 VDC/100 VAC |
| PXI(e)-2532 | 512交叉点(1线), 簧片继电器 | 矩阵 | 100 VDC/100 VAC |
| PXI-2533/34 | 256交叉点固态继电器矩阵 | 矩阵 | 55 VDC, 1 A max |
| PXI-2535/36 | 544交叉点FET矩阵 | 矩阵 | 12 VDC, 100 mA max |
| PXI(e)-2575 | 196通道, 电枢继电器 | 多路复用器 | 100 VDC/100 VAC |
| NI PXI-2576 | 16组4通道电枢继电器 | 多路复用器 | 100 VDC/100 VAC |
| NI PXI-2584 | 12通道, 簧片继电器 | 多路复用器 | 600 V CAT I/300 V CAT II |
| NI PXI-2585 | 10通道, 电枢继电器 | 多路复用器 | 300 VDC/300 VAC CAT II, 12 A max |

NI SwitchBlock



NI SwitchBlock作为灵活的大型开关方案由带有继电器插槽的Carrier和继电器卡组成, 能最大程度减少连线, 简化连接。每个NI SwitchBlock Carrier占用4个PXI槽位并可容纳6块NI SwitchBlock继电器插卡, 通过Carrier背板的模拟总线连接连接这些插卡之后, 可以构建超过2000个交叉点的大型矩阵。通过扩展桥可以进一步连接多个Carrier, 构建更大型的开关矩阵。

| 型号 | 描述 | 关键指标 |
|---------|-----------------------------------|--------------|
| NI 2800 | NI SwitchBlock Carrier | 150 V, 2 A |
| NI 2806 | NI SwitchBlock扩展桥 | 150 V, 1 A |
| NI 2810 | NI SwitchBlock簧片继电器矩阵: 4x43 | 150 V, 1 A |
| NI 2811 | NI SwitchBlock簧片继电器矩阵: 8x21 | 150 V, 1 A |
| NI 2812 | NI SwitchBlock簧片矩阵继电器矩阵: 16x9 | 150V, 1A |
| NI 2813 | NI SwitchBlock簧片矩阵继电器矩阵: 4x21, 2线 | 150V, 1A |
| NI 2814 | NI SwitchBlock簧片矩阵继电器矩阵: 8x9, 2线 | 150V, 1A |
| NI 2815 | NI SwitchBlock簧片继电器矩阵: 4x86 | 100 V, 0.3 A |
| NI 2816 | NI SwitchBlock簧片继电器矩阵: 8x46 | 100 V, 0.3 A |
| NI 2817 | NI SwitchBlock簧片矩阵继电器矩阵: 16x22 | 100V, 0.3A |

运动控制



NI运动控制用于测试、测量和控制等平台。NI提供PCI和PXI插入式运动控制器，以及NI C系列驱动和用于NI CompactRIO的驱动接口模块。工程师使用NI LabVIEW、功能齐全的控制器的、完整的仪器驱动和电机创建高级运动控制程序，开发速度更快，成本更低。

控制器

| 型号 | 类型 | 轴数 | 线性、圆弧、球形、螺旋插补 | 版型 | 圆周插值，电子齿轮 | 板载编程 | 无刷伺服电机换向 | 断点，位置捕捉 | 控制循环率 | PWM通道数 | DIO通道数/AI分辨率 |
|---------|-------|------------|---------------|---------|-----------|------|----------|---------|---------|--------|--------------|
| NI 733x | 步进 | 2, 4 | | 梯形, S曲线 | - | - | - | | 62.5 us | 1 | 32/ 12-bit |
| NI 734x | 伺服/步进 | 2, 4 | | 梯形, S曲线 | | - | - | | 62.5 us | 1 | 32/ 12-bit |
| NI 735x | 伺服/步进 | 2, 4, 6, 8 | | 梯形, S曲线 | | | | | 62.5 us | 2 | 64/ 16-bit |

伺服电机驱动器

| 型号 | 类型 | 轴数 | I/O连接器 | 最大连续电流 | 最大峰值电流 | 隔离 |
|-------------------|---------------|------|-----------------|--------|--------|----|
| MID-7652伺服驱动器 | 直流有刷 | 2 | 68-pin VHDCI 母头 | 5A | 10A | - |
| MID-7654伺服驱动器 | 直流有刷 | 4 | 68-pin VHDCI 母头 | 5A | 10A | - |
| EtherCAT AKD伺服驱动器 | 无刷伺服 | 1 | AKD驱动器线缆 | 6A | 12A | |
| Analog AKD伺服驱动器 | 无刷伺服 | 1 | AKD驱动器线缆 | 6A | 12A | |
| UMI-777x通用运动接口 | 任何第三方有刷/无刷驱动器 | 2, 4 | 68-pin VHDCI 母头 | - | - | |
| UMI-776x通用运动接口 | 任何第三方有刷/无刷驱动器 | 4 | 68-pin VHDCI 母头 | - | - | - |

步进电机驱动器

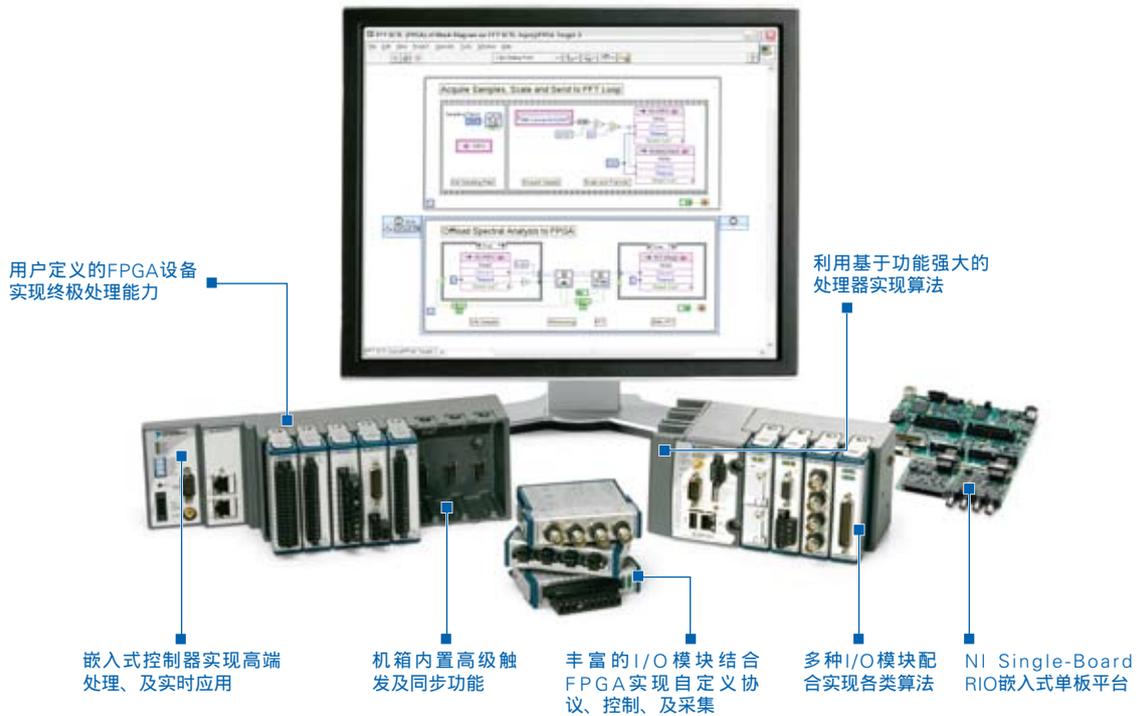
| 型号 | 类型 | 轴数 | I/O连接器 | 每相位最大电流 |
|----------------|---------------|------|------------------|---------|
| MID-7602 | 两相步进 | 2 | 68-pin VHDCI 母头 | 1.4A |
| MID-7604 | 两相步进 | 4 | 68-pin VHDCI 母头 | 1.4A |
| NI P70530 | 步进 | 1 | D-Sub或螺丝端子通用运动接口 | 5A |
| NI P70360 | 步进 | 1 | D-Sub或螺丝端子通用运动接口 | 2.5A |
| UMI-777x通用运动接口 | 任何第三方有刷/无刷驱动器 | 2, 4 | 68-pin VHDCI 母头 | - |
| UMI-776x通用运动接口 | 任何第三方有刷/无刷驱动器 | 4 | 68-pin VHDCI 母头 | - |

NI CompactRIO嵌入式测控平台

平台介绍

NI CompactRIO嵌入式测控平台为工业与嵌入式控制应用提供所需的高性能与高可靠性以及自定义的灵活性。CompactRIO提供了一个开放的嵌入式架构，包括内置的嵌入式控制器、实时操作系统、可编程FPGA以及小型、坚固且可热插拔的工业I/O模块。在汽车行业中，帮助您快速实现如车载数据采集、电控单元设计与原型化、台架控制等测控系统的设计、原型和发布。

CompactRIO提供多种规格与性能，具备多个耐久等级和认证。

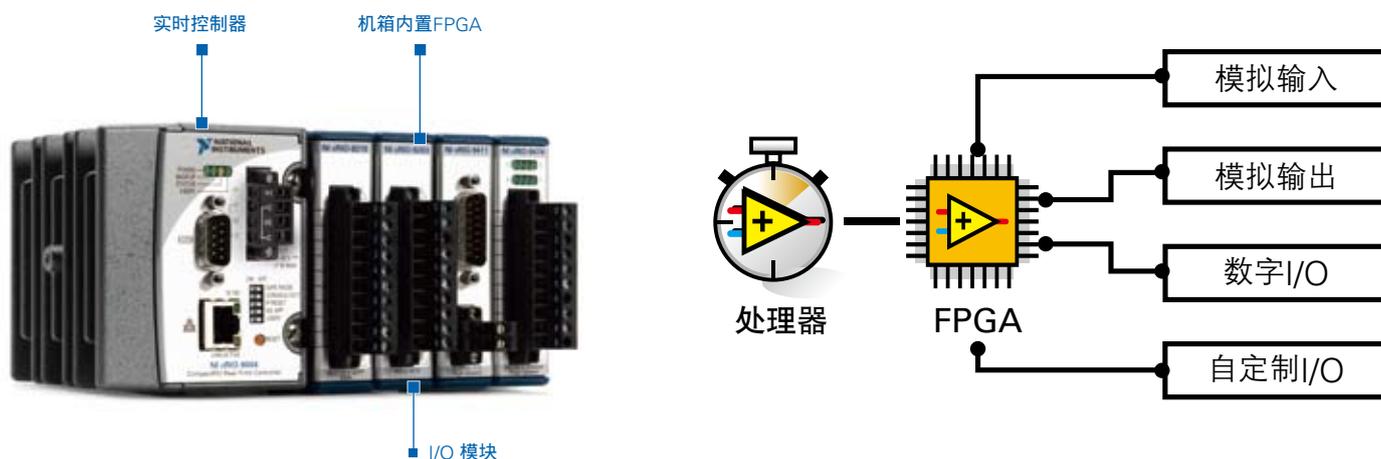


系统规格与认证等级

| 参数 | 规格 | 单位 | 认证描述 | 标准等级 |
|--------------|---------------------------------------|------|------------------------|----------------------------------------------------|
| 典型隔离度 (瞬时隔离) | 2300 | Vrms | 电磁兼容性 (EMC) | 2004/108/EC |
| I/O模块插槽 | 4或8 | 插槽 | | EN 55011 Class A at 10 m |
| FPGA | Xilinx Spartan-3, Vertex II, Virtex-5 | 百万门 | | FCC Part 15A above 1 GHz |
| FPGA时基 | 40、80、120、160或200 | MHz | | Industrial levels per EN 61326-1:1997 |
| 实时处理器 | 266、400或800 | MHz | | + A2:2001, Table A.1 |
| DC供电范围 | 9~35 (上电状态) | V | 产品安全性 | CE、C-Tick、ICES and FCC Part 15 (Class A) Compliant |
| | 6~35 (上电后) | V | | 2006/95/EC |
| 典型功耗 | 7~10 | W | EN 61010-1、IEC 61010-1 | |
| 串口类型 | RS232 | | UL 61010-1、CSA 61010-1 | |
| 以太网口类型 | 10/100/1000 | Mb/s | 危险位置, 类1, 分区2 | Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4 |
| 温度范围 | -40~70 | | | Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4, EEx nC IIC T4 |
| 抗冲击力 | 50 | g | 冲击与振动 | IEC 60068-2-64、IEC 60068-2-27、IEC 60068-2-6 |
| 尺寸 | 179.6 × 88.1 × 88.1 | mm | 平均无故障时间 (MTBF) | Bellcore Issue 6, Method 1, Case 3, MIL-HDBK-217F |
| | 7.07 × 3.47 × 3.47 | 英寸 | Marine认证 | 劳埃德船级社认证 (LR Type Approval System Test Spec No. 1) |
| | | | 质量/环境管理系统 (QMS/EMS) | ISO 9001/14001 |

典型认证——实际规格以不同产品自身规格为准。敬请访问 ni.com/certification 以获取更多细节。

平台构架与主要配置



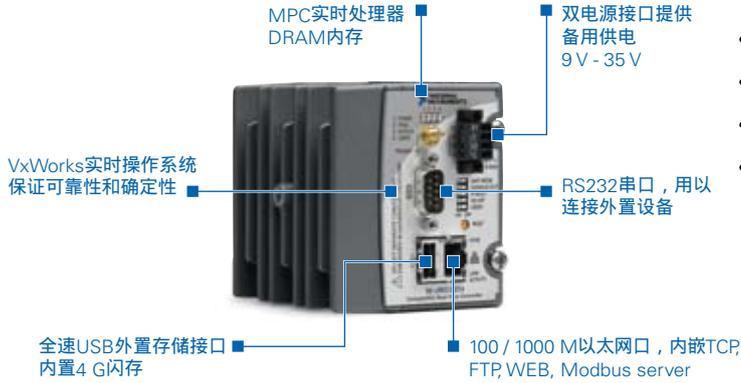
CompactRIO系统构架主要包括实时控制器（内置嵌入式处理器）、可重配置FPGA、及模块化I/O、CompactRIO的RIO（FPGA）核心内置数据传输机制，负责把数据传到嵌入式处理器以进行实时分析，数据处理，数据记录或与联网主机通信。利用LabVIEW FPGA基本的I/O功能，用户可以直接访问CompactRIO硬件的每个I/O模块的输入输出电路。所有I/O模块都包含内置的接口，信号调理，转换电路（如ADC或DAC），以及可选配的隔离屏蔽。这种设计使得低成本的构架具有开放性，用户可以访问到底层的硬件资源。

CompactRIO具有两种主要配置。走性能路线的（CompactRIO模块化系统）产品线具有最高性能表现；最大灵活性；最稳定的CompactRIO版本。该类模块化系统结合了最高性能的实时控制器与用户可升级的背板，包含NI公司所能提供的门数最多、功能最强的FPGA。

走价值路线的（CompactRIO集成系统）是成本最优的，它在一台机箱内集成了CompactRIO实时控制器及一块8槽背板，而其特性集相比CompactRIO模块化系统来说较小。

| | CompactRIO模块化系统 | CompactRIO集成系统 |
|----------------------|--------------------|-----------------------|
| 温度范围 | -40~70 °C | -20~55 °C |
| EMC认证 | | |
| 提供机械封装 | | |
| 混合搭配控制器与底板的能力 | | - |
| C系列插槽或拓展 | 4插槽或8插槽 | 8插槽 |
| 面向基于USB的存储的全速USB主机端口 | | - |
| 内部非易逝性存储 | 高达4 GB | 高达256 MB |
| 电源供应输入范围 | 9~35 VDC双电源 | 19~30 VDC单电源 |
| FPGA | Xilinx Virtex FPGA | Xilinx Spartan-3 FPGA |

实时控制器



- 内置主频高达800 M的微处理器和VxWorks实时操作系统
- 系统进程调度完全按照优先级进行，不会“死机”
- 系统确定性、可靠性高，循环周期抖动在微秒量级
- 内置有高达4 G闪存用于数据存储，还可通过USB接口、SD存储模块或网络硬盘等方式扩展数据存储容量

模块化系统控制器

| 型号 | NI cRIO-9025 | NI cRIO-9024 | NI cRIO-9023 | NI cRIO-9022 | NI cRIO-9014 | NI cRIO-9012 |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| DRAM | 512 MB | 512 MB | 256 MB | 256 MB | 128 MB | 64 MB |
| 内置闪存 | 4 GB | 4 GB | 2 GB | 2 GB | 2 GB | 128 MB |
| 操作温度 | -40..70 | -20..55 | -40..70 | -20..55 | -40..70 | -40..70 |
| CPU时钟频率 | 800 MHz | 800 MHz | 533 MHz | 533 MHz | 400 MHz | 400 MHz |

集成化系统控制器/机箱

| 型号 | NI cRIO-9076 | NI cRIO-9075 | NI cRIO-9074 | NI cRIO-9073 | NI cRIO-9072 |
|---------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| FPGA门数 | Spartan-6 LX45 | Spartan-6 LX25 | 2 M | 2 M | 1 M |
| 插槽 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 |
| DRAM | 256 MB | 128 MB | 128 MB | 64 MB | 64 MB |
| 内置闪存 | 512 MB | 256 MB | 256 MB | 128 MB | 128 MB |
| 操作温度 | -20..55 | -20..55 | -20..55 | -20..55 | -20..55 |
| CPU时钟频率 | 400 MHz | 400 MHz | 400 MHz | 266 MHz | 266 MHz |
| USB接口 | Yes | no | - | - | - |



特别推荐!

NI cRIO-9025 实时控制器

嵌入式控制器运行LabVIEW实时模块 (Real-Time)，进行确定性控制、数据记录和分析

800 MHz处理器，4 GB非易失性存储介质，512 MB DDR2内存

双以太网端口，具有配备了远程用户界面的嵌入式Web服务器和文件服务器

高速USB主机端口可连接至USB闪存及其它存储设备

连接外设的RS232串口；9 VDC到35 VDC双电源输入

操作温度范围：-40 到70

NI cRIO-9118 可重新配置机箱

8槽可重新配置的嵌入式机箱支持所有CompactRIO I/O模块
Xilinx Virtex-5 LX110可重新配置I/O (RIO) FPGA核心，具有高超的处理能力

使用LabVIEW，可自动生成自定义控制和信号处理电路

DIN导轨安装选项

操作温度范围：-40 到70

内置FPGA的机箱



- 提供大容量的可编程逻辑阵列，40 MHz基准时钟，可满足复杂的高速并行处理需求
- 以25 ns时间分辨率执行定时、触发和自定义控制循环，实现高确定、高可靠性的硬件决策
- FPGA直接与I/O模块互连，可进行高速的数据采集、计算和控制操作PID控制速率高达200 KHz

模块化系统机箱

| 机箱型号 | 插槽数 | FPGA | 查找表与触发器 | 乘法器 |
|-----------|-----|----------------|---------|-----|
| cRIO-9111 | 4 | Virtex-5 LX30 | 19,200 | 32 |
| cRIO-9112 | 8 | Virtex-5 LX30 | 19,200 | 48 |
| cRIO-9113 | 4 | Virtex-5 LX50 | 28,800 | 48 |
| cRIO-9114 | 8 | Virtex-5 LX50 | 28,800 | 48 |
| cRIO-9116 | 8 | Virtex-5 LX85 | 51,840 | 48 |
| cRIO-9118 | 8 | Virtex-5 LX110 | 69,120 | 64 |

集成化系统控制器/机箱型号请参见前页

系统的扩展



基于以太网扩展系统

基于EtherCAT为系统扩展确定性分布式I/O。既可以为严格限时的应用获得高通道数，又能利用最少的处理器资源维持高度的确定性。

机箱型号：NI 9144

通过标准以太网扩展I/O，将信号调理和远程I/O添加至工业嵌入式应用。

机箱型号：NI 9148



通过MXI-Express接口进行高通道数扩展

NI MXI-Express RIO系统提供了14插槽可重新配置的嵌入式机箱用于高通道数应用，借助菊花链（daisy-chain）方式能为单一控制器最多连接4个MXI-Express RIO机箱。

机箱型号：NI 9157/9159



R系列扩展系统

CompactRIO R系列扩展系统使用同样的热插拔工业I/O模块，为PCI或PXI / CompactPCI R系列FPGA设备提供高性能的信号调理和工业扩展I/O。

机箱型号：NI 9151

RIO扩展机箱

| 机箱型号 | 插槽数 | FPGA | 特性 |
|-----------|-----|----------------|-----------------------------------------|
| cRIO-9151 | 4 | - | |
| NI 9144 | 8 | Spartan-3 | EtherCAT从机箱，支持菊花链连接 |
| NI 9157 | 14 | Virtex-5 LX85 | MXI-Express x1接口，可源自PXI控制器、工业PC和笔记本电脑控制 |
| NI 9159 | 14 | Virtex-5 LX110 | MXI-Express x1接口，可源自PXI控制器、工业PC和笔记本电脑控制 |

C系列模块化I/O

来自NI的C系列硬件包括了超过50种的可热插拔模块，可连接各类数字I/O、模拟I/O、传感器、执行机构，支持多种通信协议与总线，为工业以及嵌入式应用提供了多样化、模块化的I/O与通信接口。如欲获取C系列模块的完整列表，敬请访问 ni.com/crio/zhs。



I/O 模块选择列表

| 信号类型 | 信号 | 模块 | 通道 | 采样率 | 同步 | 分辨率 | 特性 |
|------------|-------------------------------------------|---------|----------|-----------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模拟输入 | 热电偶 | NI-9211 | 4 | 14 S/s | -- | 24位 | delta-sigma, 14 S/s, 差分 (J, K, R, S, T, N, E, and B 热电偶类型) |
| | | NI-9213 | 16 | 1200 S/s | -- | 24位 | 内置CJC (冷端温度补偿), 250 Vrms通道-地面接地安全隔离, 自动调零通道用于偏移误差补偿, 支持面向J、K、T、E、N、B、R和S型热电偶 |
| | RTD (100) | NI-9217 | 4 | 400 S/s | -- | 24位 | 50/60 Hz去噪, 400 S/s, 3线和4线RTD |
| | 电桥 | NI-9237 | 4 | 50 kS/s | | 24位 | 4路同步采样模拟输入, ±25mV模拟输入, 最高采样率50 kS/s, 1000Vrms瞬态隔离, 半桥和全桥完整编程, 内部激励可达10V, 与智能TEDS传感器兼容 |
| | | NI-9235 | 8 | 10 kS/s | | 24位 | 8路同步采样模拟输入, 10 ks/s每通道, 配有120 Ohm应变片, 适用于1/4 桥传感器 |
| | | NI-9236 | 8 | 10 kS/s | | 24位 | 8路同步采样模拟输入, 10 ks/s每通道, 配有350 Ohm应变片, 适用于1/4 桥传感器 |
| | IEPE输入 | NI-9233 | 4 | 50 kS/s | | 24位 | 兼容智能TEDS传感器, 4路同步采样模拟输入, ±5 V输入范围, 最高采样速率达50 kS/s, 交流耦合, 102 dB动态范围 |
| | | NI-9234 | 4 | 51.2 kS/s | | 24位 | 4路同步采样模拟输入, ±5 V输入范围, 最高采样速率可达51.2 kS/s, 交流耦合, 102 dB动态范围 |
| | 电流 (± 20 mA、0-20 mA可编程输入范围) | NI-9203 | 8 | 200 kS/s | -- | 16位 | 200 kS/s总采样速率, 可在软件中编程实现开环检测 |
| | 电流 (5 Arms, 14 A峰值电流) | NI-9227 | 4 | 50 kS/s | | 24位 | 5 Arms测量 (14 A峰值电流), 内置抗混叠滤波器, 250 Vrms通道间隔离 |
| | 电流 (高通道数) | NI-9208 | 16 | 500 S/s | -- | 24位 | 16路电流输入 (± 21.5 mA), 高分辨率模式, 搭配50/60 Hz工频干扰抑制 |
| | 电压/电流混合 | NI-9207 | 8/8 | 500 S/s | -- | 24位 | 8路电流输入通道 (± 21.5 mA) 和8路电压通道 (± 10 V), 高分辨率模式, 搭配50/60 Hz工频干扰抑制功能, VSUP针用于接入外部电源 (最大2 A/30 V) |
| | 小电压 (± 80 mV) | NI-9211 | 4 | 14 S/s | -- | 24位 | 14 S/s, 多路复选, 差分 |
| | 中电压 (± 10 V) | NI-9215 | 4 | 100 kS/s | | 16位 | 100 kS/s每通道, 同步, 差分 |
| | | NI-9201 | 8 | 500 kS/s | -- | 12位 | 500 kS/s 总采样率, 多路复选, 单端 |
| | 大电压 (± 60 V) | NI-9221 | 8 | 800 kS/s | -- | 12位 | 800 kS/s总采样率, 多路复选, 单端 |
| | 大电压 (高压) | NI-9225 | 3 | 50 kS/s | | 24位 | 300 Vrms 总体测量范围, 实现高压测量, 50 kS/s 每通道高速同步采样, 抗混叠滤波器, 600 Vrms 通道间隔离 |
| | 高速同步输入 | NI-9223 | 4 | 1 MS/s | | 16位 | ± 10V范围, 1MS/s/通道的采样率, 60 VDC通道间隔离 |
| | | NI-9222 | 4 | 500 kS/s | | 16位 | ± 10V范围, 500 kS/s/通道的采样率, 60 VDC通道间隔离 |
| | 电压范围可编程 (± 200 mV、 ± 1 V、 ± 5 V和 ± 10 V) | NI-9205 | 32 | 250 kS/s | -- | 16位 | 32路单端或16路差分模拟输入, 250 kS/s总采样速率 |
| 高精度通道间隔离输入 | NI-9206 | 16 | 250 kS/s | -- | 16位 | 600 VDC (美国) /400 VDC (欧洲) Cat I, 通道-地面隔离, 差分输入, 组隔离, 适于燃料电池测量, 250 kS/s总采样速率 | |
| | NI-9239 | 4 | 50 kS/s | | 24位 | 250 Vrms通道间隔离, 50 kS/s/通道同步输入, 抗混叠滤波器, ± 10 V输入范围 | |
| | NI-9229 | 4 | 50 kS/s | | 24位 | 250 Vrms通道间隔离, 50 kS/s/通道同步输入, 高精度通道间隔离输入, 抗混叠滤波器, ± 60 V输入范围, 128 dB动态范围 | |
| | NI-9219 | 4 | 100 S/s | | 24位 | 250 Vrms通道间隔离, 内置1/4桥、半桥式和全桥式可供选择, 内置电压和电流激励, 热电偶、RTD、电阻、电压和电流测量, 每通道的CJC用于精确的热电偶测量, 100 S/s/通道同步输入 | |

I/O 模块选择列表-续

| 信号类型 | 信号 | 模块 | 通道 | 特性 |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 模拟输出 | 电压 | NI-9263 | 4 | ± 10 V, 16-bit, 100 kS/s每通道, 同步 |
| | | NI-9264 | 16 | 25 kS/s/通道 同步输出, 250 Vrms隔离 (弹簧端子版本), 60 VDC隔离 (D-SUB版本) |
| | 电流 (0-20 mA) | NI-9269 | 4 | 250 Vrms通道间隔离, 100 kS/s/通道的同步更新率 (333 kS/s 单通道), ± 10 V范围 (叠加通道输出最高至 ± 40 V), 16位分辨率 |
| 数字输入 | 24 V | NI-9265 | 4 | 16-bit, 100 kS/s 每通道, 同步, 带中断的开环检测 |
| | | NI-9421 | 8 | 100 μs, 漏极, 12 - 24 V, 40 V保护 |
| | | NI-9422 | 8 | 250 μs, 源极/漏极, 24 - 60 V; 250 Vrms通道间隔离 |
| | | NI-9423 | 8 | 1 μs, 漏极, 11 - 30 V, 35 V保护 |
| | | NI-9425 | 32 | 7 μs, 漏极, 12/24 V |
| | NI-9426 | 32 | 7 μs, 源极, 24 V, 工业标准型37针D-Sub连接器 | |
| | 250 V AC/DC 通用 差分或单端TTL | NI-9435 | 4 | 3 ms, ± 5 to 250 VDC, 10 to 250 VAC, 通用, 源极/漏极 |
| NI-9411 | 6 | 500 ns, ± 5到 ± 24 V, 差分/单端数字输入 | | |
| 数字输出 | 24 V源极 | NI-9472 | 8 | 100 μs, 24 V逻辑, 750 mA最大每通道, 30 V保护, 短路保护 |
| | | NI-9474 | 8 | 1 μs 高速, 24 V 逻辑, 1A 最大每通道, 30 V 保护, 短路保护 |
| | | NI-9475 | 8 | 1 μs, 60 V, 每通道高达1 A的源极电流, 工业标准25针D-Sub连接器 |
| | 24 V漏极 | NI-9476 | 32 | 500 μs数字输出, 6-36 V输出范围, 所有通道的250 mA每通道最大电流驱动 |
| | | NI-9477 | 32 | 8 μs数字输出, 5-60 V输出范围, 每通道625 mA (每个模块20 A) |
| | | NI-9478 | 16 | 5-50 V, 50 μs, 漏极, 输出电流1.2 A/通道 |
| 高速双向 | TTL | NI-9401 | 8 | 100 ns高速数字输入/输出, 5 V/TTL、漏极/源极数字输入/输出, 双向, 可按半字节配置 (4位), 工业标准25针D-Sub连接器 |
| | | NI-9402 | 4 | 55 ns高速数字输入/输出, LVTTTL漏极/源极数字输入/输出, BNC连接用于快速连接, 双向, 可单独配置且不影响当前使用功能 |
| | | NI-9403 | 32 | 7 μs, 5V/TTL、漏极/源极数字输入/输出, 双向, 可按数字线配置, 1000 Vrms瞬态隔离, ± 30 V过压保护 |
| 继电器输出 | A型 (SPST) | NI-9481 | 4 | 1 s, EM Form A机电继电器输出, 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A) 单刀单掷继电器 (SPST), 250 Vrms通道间隔离 |
| | 固态继电器 (SSR) | NI-9485 | 8 | 4通道时每通道的开关电流为1.2 A, 全部通道时每通道的开关电流为750 mA; 60 VDC, 30 Vrms切换电压; 250 Vrms CAT II 无间断通道 - 地面接地、60 VDC通道间隔离 |
| 计数器, 脉冲 | 计数器/定时器 (24 V) | NI-9423 | 8 | 1 μs, 高速, 24 V 逻辑, 35 V 保护 |
| | 计数器/定时器 (TTL) | NI-9411 | 6 | 1 μs, ± 5 to 24 V, 单端TTL或差分, 常规 5V电源输出 |
| | 正交编码器 (差分) | NI-9411 | 6 | 1 μs, ± 5 to 24 V, 单端TTL或差分, 常规 5V电源输出 |
| | PWM (5到30 V) | NI-9474 | 8 | 1 μs, 高速, 24 V逻辑, 1 A 最大每通道, 30 V保护, 短路保护 |
| CAN总线接口 | 2端口高速 | NI-9853 | 2 | 符合ISO 11898标准, 可用于标准 (11位) 和扩展 (29位) 任意ID, 可与任何CompactRIO I/O模块实现硬件同步, Philips SJA1000 CAN控制器, Philips TJA1041 CAN接收器, 1Mb/s的发射/接收速率, 相当于总线载荷的100% |
| | 2端口低速/容错 | NI-9852 | 2 | 符合ISO 11898标准, 可用于标准 (11位) 和扩展 (29位) 任意ID, 记录总线错误和收发器的故障, Philips SJA1000 CAN控制器, Philips TJA1054 CAN收发器, 125 Kb/s的最大传输速率, 软件可选的端接方式 |
| | 1端口低速/容错 | NI 9861 | 1 | 125kB/s的最大传输速率, Philips TJA1054A或外籀收发器, 软件可选的端接方式, NI-XNET驱动 |
| LIN总线接口 | LIN 2.1 | NI 9866 | 1 | 最大20kbts/s波特率, NXP TJA1028收发器, 20MHz同步频率, 时间标注精度1us, 支持LDF数据库信号的导入和使用, 软件可选的端接方式, NI-XNET驱动 |
| 串行接口 | RS232 | NI-9870 | 4 | 14 b/s至961 kb/s的波特率, 数据位: 5, 6, 7, 8; 结束位: 1, 1.5, 2; 控制流: XON/OFF, RTS/CTS, 无; 各个端口上均配有64 B UART FIFO独立缓冲; 8到28 VDC外部供电 |
| | RS485/422 | NI-9871 | 4 | 14 baud至3.684 Mbaud的波特率范围; 数据位: 5, 6, 7, 8; 结束位: 1, 1.5, 2; 流控制: XON/OFF, RTS/CTS, 无; 各个端口上均配有64 B UART FIFO独立缓冲; 收发器模式: 4线, 2线DTR控制, 具有回路的2线DTR控制, 2线自动; 8到28 VDC外部供电 |
| WSN网关 | 无线I/O | NI 9795 | 1 | 具有WSN节点和自动生成的I/O变量, 提供36个WSN部署点连接 |
| PROFIBUS | 主/从模块 | | 1 | 用于PROFIBUS DP网络的主/从接口模块; 支持设备: DPV0 Master Class 1/2, DPV0 Slave; 兼容LabVIEW FPGA 8.5及以上版本; PROFIBUS DP RS485波特率: 9600 bits/s - 12000 kbits/s |
| | 从模块 | | 1 | 支持设备: DPV0 Slave; 兼容LabVIEW FPGA 8.5 及以上版本; PROFIBUS DP RS485 波特率: 9600 bits/s - 12000 kbits/s |
| PROFINET NET接口 | 2端口子模块 | | 2 | 一类类NRT、RT和IRT, 作为设备运行, 非周期性读/写记录通信支持, 将NI可编程自动控制器 (PAC)作为功能强大的从站连接至PROFINET工业网络 |
| 运动控制 | H全桥DC伺服驱动 | NI-9505 | | 借助于LabVIEW的NI SoftMotion开发模块, 创建功能强大的自定义运动控制系统; 配有内置编码器接口和电流传感器的全H桥有刷伺服电机驱动器; 直接连往激励器: 分数倍马力有刷DC伺服电机、继电器、电灯; 借助LabVIEW FPGA, 通过创建自定义电流回路算法优化扭矩控制; 持续电流3 A (40 , 30 V), 或者2 A (70 , 30 V), 峰值达12 A; 借助电流传感器的数据, 可实现电机电流的采样率和滤波器的灵活配置 |
| | | NI-9512 | 1 | 配有编码器反馈的C系列步进驱动接口, 正向限位 (forward limit), 反向限位 (reverse limit), 主开关, 通用输入与输出, 获得专利的步进生成算法适合平滑运动; 高级运动特性, 如: 位置捕捉和位置比较, 可与P7000系列步进驱动直接相连, 可连接第三方步进驱动 |
| | 配有编码器反馈的驱动接口 | NI-9514 | 1 | 配有编码器反馈的C系列伺服驱动接口, 50 μs控制循环率, 正向限位 (forward limit), 反向限位 (reverse limit), 主开关, 通用数字输入, 板载样条插值和高级功能 (如: 位置捕捉和位置比较), 接线板连接第三方伺服驱动 |
| | | NI-9516 | 1 | 配有双编码器反馈的C系列伺服驱动接口, 双编码器, 50 μs控制循环率, 正向限位 (forward limit), 反向限位 (reverse limit), 主开关, 通用数字输入, 板载样条插值和高级功能 (如: 位置捕捉和位置比较), 接线板连接第三方伺服驱动 |
| 存储模块 | | NI-9802 | | 安全数字型可拆卸存储模块, 每个模块最大4 GB的存储量, 持续数据写/读速率达2 MB/s, 专为数据保护设计的开放式外设插槽检测功能, 50 g抗震, 5 g振动评级 |
| Driven引擎控制模块 | 8通道PFI/低端电磁阀驱动模块 | Driven汽油机喷油器驱动模块套件 | 8 | 4通道低阻抗或高阻抗PFI驱动, 具有4 A峰值电流和1 A维持电流, 可调峰值持续时间, 开路/短路检测并报告短路禁用, 4通道通用低端电磁阀驱动, 通过PWM控制, 6V~32 V外部电源 |
| | 带VR/Hall效应传感器的通用AI/DI模块 | Driven AD Combo模块套件 | 21 | 21通道单端12位模数转换, 每通道2kS/s, 2通道自适应可变磁阻 (VR) 传感器输入, 2通道霍尔效应传感器或通用数字输入, 可自定义通道配置, 兼容大部分汽车VR传感器 |
| | 带模拟反馈的2通道H桥节气门控制模块 | Driven节气门驱动模块套件 | 2 | 双电子节气门控制的2通道H桥驱动, 节气门位置反馈的2通道模拟输入, 短路和高温保护, 故障报告, 电池电压、电流感应和模块温度测量, 6V-32V外部电源 |
| | 3通道直接喷射器驱动 | Driven直接喷射器驱动模块 | 3 | 3通道直接喷射器驱动, 2通道压电喷射器驱动, 175V内部增加, 30A峰值电流, 内部校准 |
| | 8路RS485/RS422收发器通道 | Driven差分数字I/O模块 | 8 | 兼容RS485/RS422收发器的8通道差分数字I/O, 单通道方向选择, 5V, 1A电源输出保护, 用于发动机同步, 多脉冲燃油或火花控制 |
| | 用于发动机同步数字输出的8通道TTL输出模块 | Driven发动机同步TTL输出模块套件 | 8 | 命令外部子系统的8通道TTL输出, 用于发动机同步, 多脉冲燃油或火花控制, 200ns分辨率 |
| | Bosch LSU 4.2氧传感器控制模块 | Driven氧传感器模块套件 | 2 | 2通道Bosch LSU宽带传感器控制器, 保险丝保护的加热器控制电路, 4通道窄带传感器差分输入, 1kHz更新率 |

用于汽车行业应用的NI软件

NI一直致力于为汽车行业领域的工程师提供高效的软件工具，帮助其项目开发与应用实现。这些软件涵盖了驱动与硬件资源配置管理、应用开发环境、测试管理、数据管理等不同的系统层次；同时NI也为诸如半实物仿真、射频应用等提供专业的现成软件或工具包，进一步帮助相关领域的工程师提高开发效率。

系统管理软件

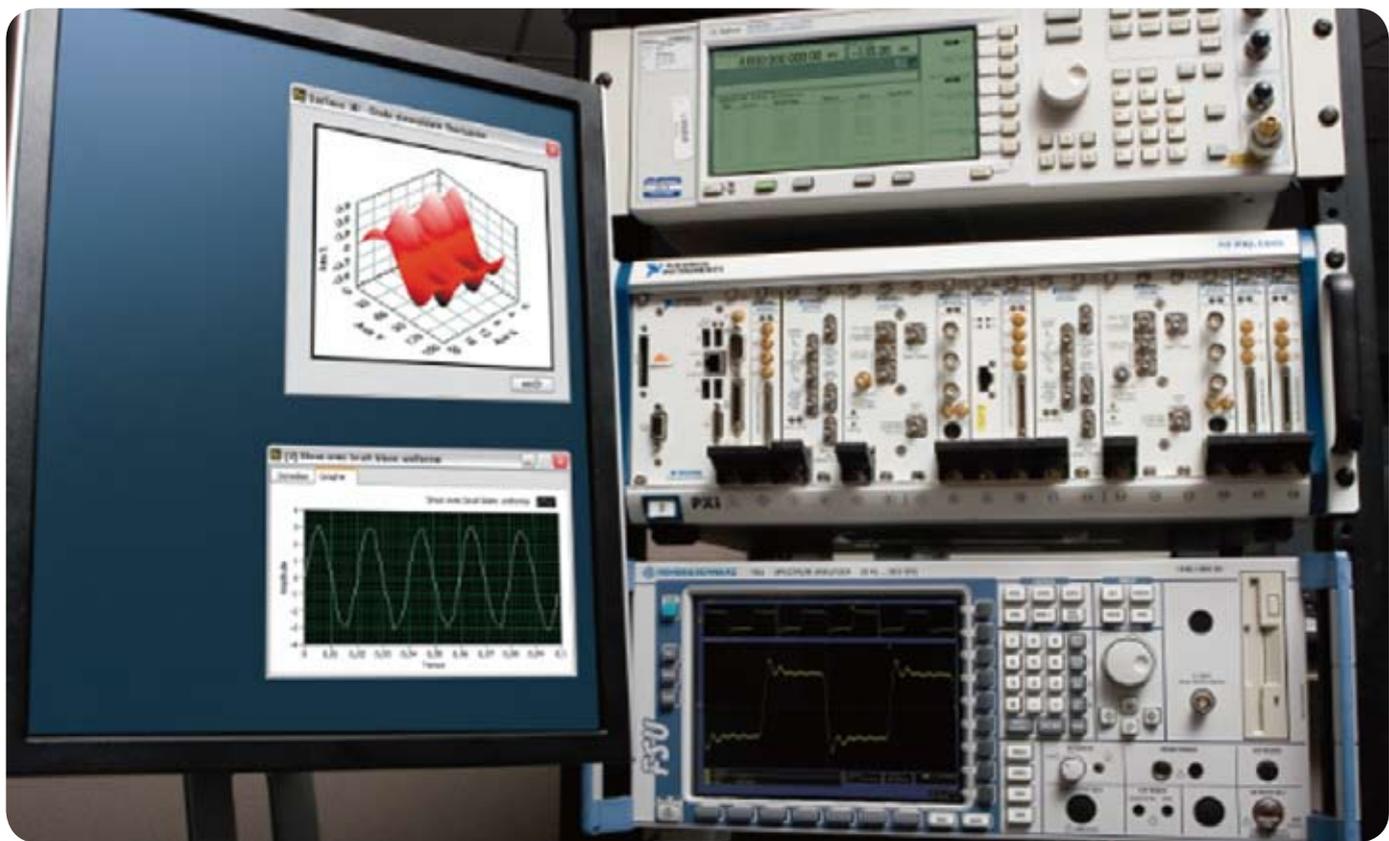
应用开发软件

驱动与硬件配置管理软件

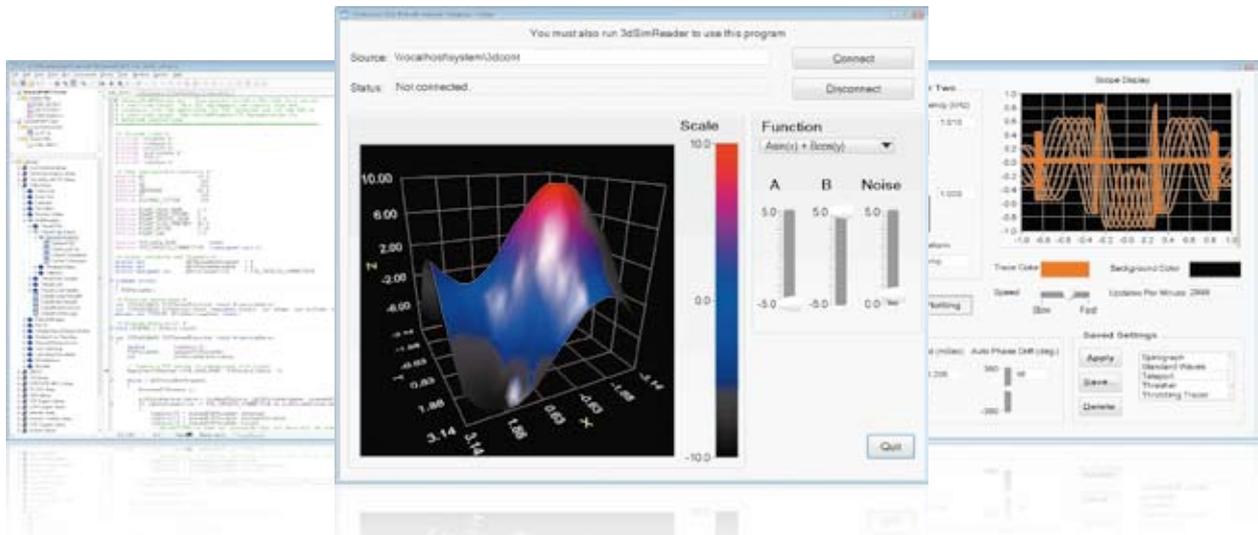
应用开发软件

NI LabVIEW —— 图形化的系统设计与开发软件

- 与硬件无缝连接
- 直观的图形化数据流编程方式, 符合工程思维
- 丰富的模块和工具包, 以及内置超过1,000种信号处理与分析函数, 加速应用开发
- 集成高效的界面与数据显示设计、报告生成与数据库连接等功能
- 参考设计模式、程序代码分析与源代码控制等功能, 保障大型项目开发
- 开放的环境, 支持集成C和Matlab等文本语言编写的代码, 同时易于与第三方软件接口



了解更多LabVIEW模块, 请致电NI或访问ni.com/labview/zhs



NI LabWindows/CVI

LabWindows/CVI是一个专为测试测量与自动化应用设计的ANSI C集成开发环境。结合交互式的开发方式以及自动编译ANSI C代码的编程功能，LabWindows/CVI为工程师提供了完整而高效的编程工具，方便地实现与数据采集、PXI、GPIB等设备的通讯与控制。

- 用于采集、分析以及可视化的内置函数库，包括信号处理在内的分析与数学函数
- 拖放式的用户界面编辑器
- 自动化代码生成工具以及硬件助手
- 开放性:能够整合DLL、ActiveX以及.NET组件
- 内存管理及资源追踪工具
- 通过丰富的模块和工具包,支持实时系统开发、PID控制等功能

访问ni.com/lwcvizhs，了解更多信息

NI Measurement Studio

用于Microsoft Visual Studio开发环境的Measurement Studio是整合测量与自动化控件、工具以及类库的套件。Measurement Studio 提供为工程师们专门设计的Windows Form、Web Form以及ActiveX等用户界面组件、高级科学分析工具以及专为测试应用优化的数据采集和仪器控制助手，大大缩短应用程序的开发时间。

- 支持C++、C#、Visual Basic .NET、Visual Basic 6.0等
- 支持PID控制等工具包

访问ni.com/mstudio/zhs，了解更多信息

LabVIEW模块

LabVIEW拥有多种模块，可以扩展不同应用的功能特性，以及将程序发布到从实时系统到FPGA等其他对象

LabVIEW实时模块

- 程序可下载至专用实时硬件对象，获得可靠性高和确定性高的运行性能
- 程序发布对象包括基于NI PXI或NI CompactRIO的实时系统等
- 内置调试与分析工具

LabVIEW FPGA模块

- 使用图形化编程，无需HDL知识就可以对FPGA进行编程
- 结合NI RIO硬件创建自定义逻辑，实现高级定时与触发、板载硬件决策以及自定义数字接口功能
- 在硬件中以高确定性并行地执行任务
- 内置FFT等现成算法IP，并可通过ni.com/ipnet/zhs下载更多基于LabVIEW FPGA的现成IP



Component Library Node for Third-Party IP

- 借助该工具，您可以快速为LabVIEW FPGA设计导入已有的第三方IP

LabVIEW控制设计与仿真模块

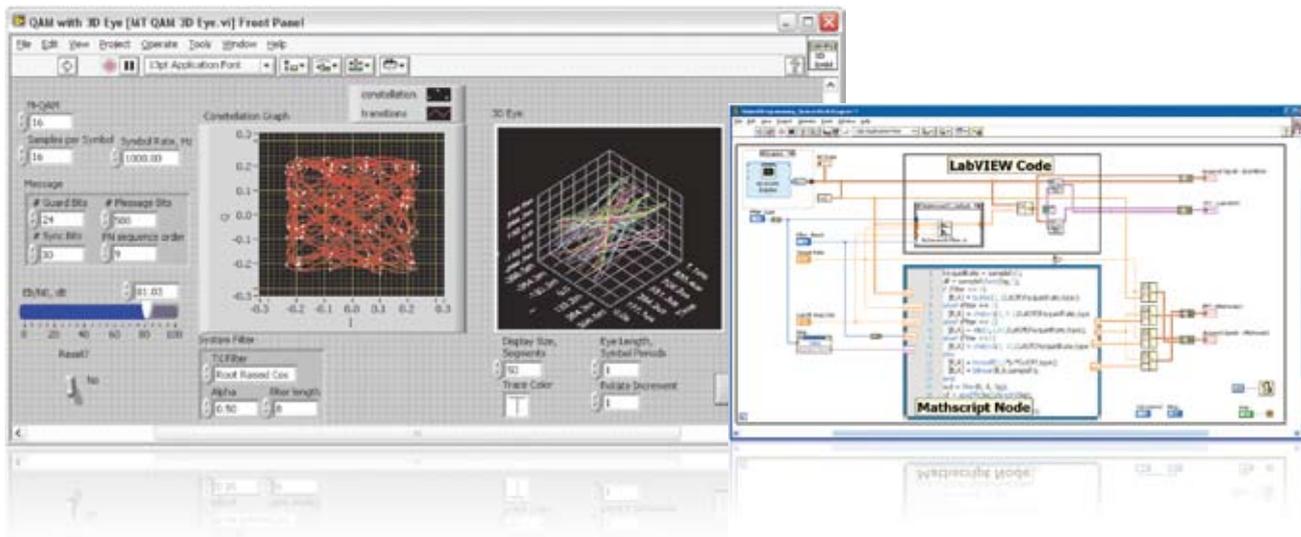
- 可在同一个软件开发环境中完成控制系统的算法设计、原型开发以及产品发布
- 方便与实测信号的集成，帮助完成基于模型或者基于测试信号的控制系统设计

LabVIEW机器人模块

- 通过内置的多种工具，加速机器人应用开发
- 内置现成驱动，支持连接多种机器人常用的传感器与执行器
- 内置路径规划与避障算法
- 结合LabVIEW实时模块和LabVIEW FPGA模块，可快速将程序实现在实时控制器或FPGA上

了解更多的LabVIEW模块，请致电NI或访问ni.com/labview/zhs

针对应用的软件开发工具包



NI针对应用需求提供多种开发工具包，为报表生成、高级分析、数据库通信、振动分析、射频应用等提供附加功能，进一步提升工程师的应用开发效率。这些工具包均可用于NI LabVIEW软件，其中许多亦可用于LabWindows/CVI或Measurement Studio。

声音与振动工具包

- 提供丰富的符合ANSI和IEC规范的功率谱、倍频程和音频分析函数
- 包含THD、SNR、SINAD、扫频分析、阶次谱分析等函数
- 声强及振动级计算，滤波与加权
- 包含众多可立即执行的应用程序范例，缩短开发时间
- 内置声音和振动助手，无需编程即可快速获得分析结果

频谱分析工具包

- 内置的频谱分析功能函数包括带内功率、邻近信道功率、功率谱、峰值功率及频率计算、占用带宽计算等功能
- 高度优化的FFT处理计算，提高程序效率
- 支持3D结果显示控件
- 支持模拟调制解调；支持调制域操作（如IF与I-Q数据转换）

高级信号处理工具包

- 用于高级信号处理与降噪
- 包含时间序列分析、时频分析和小波分析等多种函数

调制工具包

- 多种模拟与数字调制与解调算法函数
- 可仿真或测量DC offset、IQ gain imbalance、BER、MER、EVM等参数
- 3D或2D眼图和星座图显示功能

GPS仿真工具包

- 可仿真生成多达12颗星的C/A codes (L1)，连续时长可达24小时
- 可自定义特定运动轨迹
- 每颗星的信号强度独立可调，以仿真不同情形

ECU测量与校准工具包

NI ECU测量和校准工具包扩展了NI LabVIEW、NI LabWindows™/CVI和Microsoft C/C++开发环境，支持电子控制元件（ECU）设计与验证的测量和校准应用。

- 支持CAN校准协议（CCP）2.1版
- 访问ECU用于测量和模拟应用的物理值（DAQ和STIM列表）
- 通用测量和校准协议（XCP）主控CAN和以太网的功能
- 访问ECU内部特征值（1维至3维），并提供对*.A2L数据库文件的支持
- 与所有NI PCI、PXI、PCMCIA、USB和C系列CAN接口兼容
- 包含适用于NI VeriStand的XCP和CCP主要附加元件

汽车诊断指令集

NI汽车诊断指令集使您能利用CAN的KWP2000（Keyword Protocol 2000）和诊断（Diagnostics）等协议，通过设计和利用各种汽车诊断应用，生产电子控制单元（ECU）。指令集适用于各种汽车诊断应用，典型的内容有：参数读写、诊断故障码（DTC）的访问、ECU固件的闪存和ECU诊断测试模式的初始化。

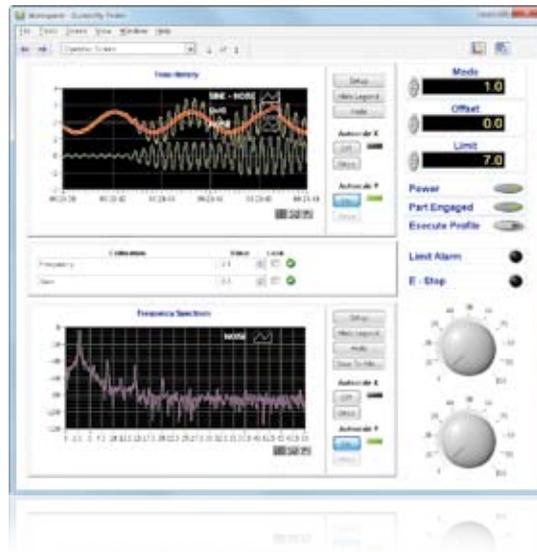
- 能够利用LabVIEW, LabWindows™/CVI, Visual C/C++ 6.0中基于CAN的汽车诊断
- 兼容Windows 7/Vista/XP/2000和LabVIEW Real-Time
- 诊断协议：CAN（ISO 15765, OBD-II）的KWP2000（ISO 14230）和诊断（Diagnostics）
- 传输协议：ISO传输协议15765-2和Volkswagen TP 2.0
- 兼容的接口：NI-XNET CAN、CompactRIO CAN、USB CAN和Series 2 NI CAN（PXI、PCI、PCMCIA）
- KWP2000和UDS的范例，包括一个软件ECU仿真器

更多NI软件开发工具包

- 数字滤波器设计工具包
- 系统辨识工具包
- PID与模糊控制工具包
- 自适应滤波器工具包
- 网络工具包
- NI运动控制助手
- 实时执行跟踪工具包
- 报表生成工具包
- 数据库连接工具包等

了解更多的NI工具包信息，请致电NI或访问china.ni.com/resource/software

NI VeriStand



NI VeriStand是一款专业的实时测试与仿真软件，用于更有效地创建实时测试应用（如硬件在环仿真）。它以简单易用的形式提供用于实现实时测试应用所需的常用功能，用户无需编程，从而降低了开发成本和风险。使用NI VeriStand无需具备编程知识，但是用户可以使用各种软件环境，如LabVIEW、MathWorks公司的Simulink®软件、ANSI C/C++等建模和编程，实现自定义和扩展。

- 实时激励生成
- 闭环控制
- 可触发、多速率数据采集
- 多机箱同步
- 实时硬件 I/O接口
- 可执行仿真模型
- 事件检测和响应程序
- 运行时可编辑用户界面

访问ni.com/veristand/zhs，了解更多信息

相关产品

NI开发者套件——实时测试和硬件在环（HIL）仿真

使用NI VeriStand及其附加工具用于自定义环境。

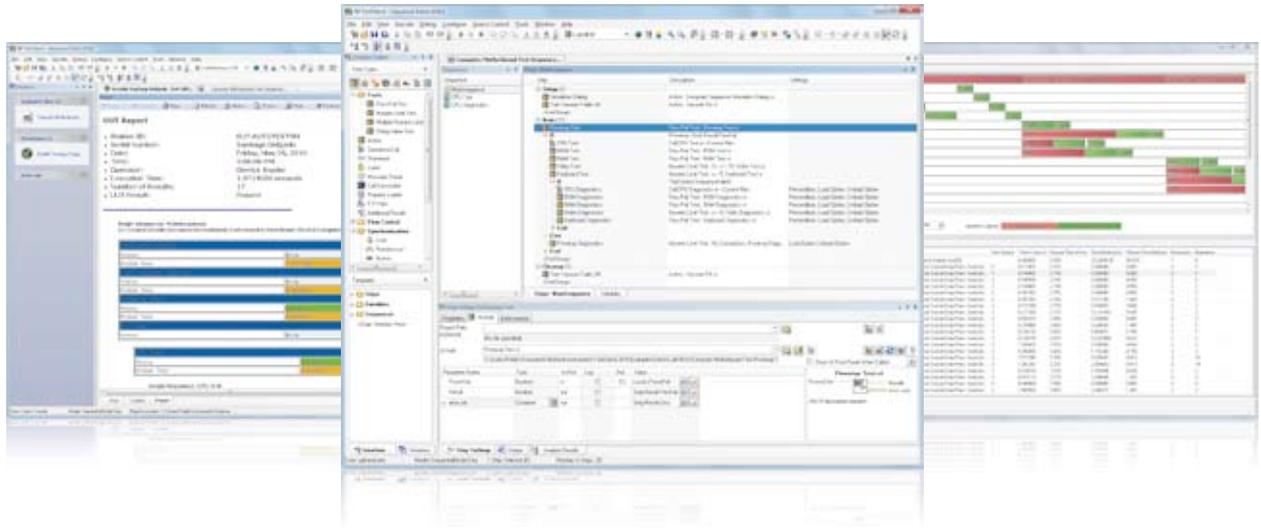
NI TestStand和NI需求管理软件

向您的NI VeriStand应用中添加自动化测试管理和需求管理。

NI VeriStand *INERTIA* 附加工具

增加了针对实时测试单元应用的现成功能，如测功机和伺服液压测试盒。

NI TestStand



NI TestStand是一个专业的测试管理软件，用于组织、控制以及运行自动化测试与验证系统。使用NI TestStand，整合不同编程语言开发的测试程序，快速构建测试序列。NI TestStand基于一个高速的多线程执行引擎构建，其强大的性能可以满足最苛刻的测试吞吐量需求。同时该软件是完全自定义的，您可以对它进行修改与增强，以满足各种特殊需求，包括自定义操作员界面、生成自定义报告以及修改序列执行需求。使用NI TestStand，您只需将精力集中在UUT级别的测试，其他诸如序列优化、执行以及报告生成等任务将由NI TestStand执行。

- 序列开发环境
- 多线程并行测试
- 可自定义的报告
- 源代码控制整合
- 调试
- 用户管理
- 可自定义的操作员界面
- 数据库记录

访问ni.com/teststand/zhs，了解更多信息

相关产品

NI TestStand ATML工具包

将自动化测试标记语言（ATML）测试描述文件翻译成NI TestStand序列文件和代码模块，使系统具有长期性。

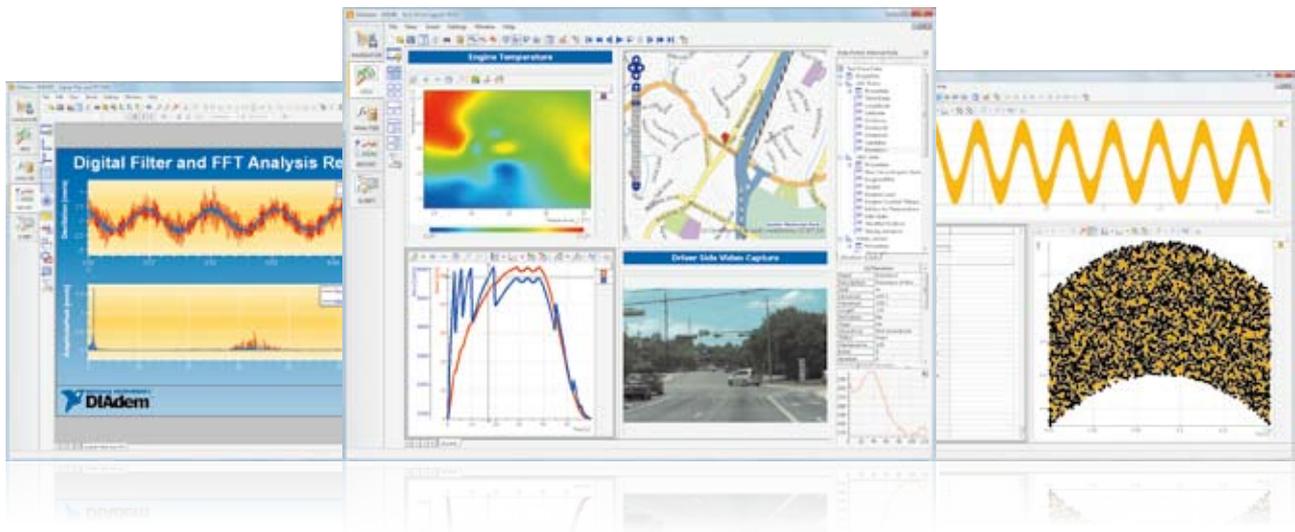
NI Requirements Gateway

可整合Microsoft Excel、Microsoft Word、Adobe Acrobat、Telelogic DOORS及IBM Rational RequisitePro格式的需求文档。

NI Switch Executive

通过交互式地配置和命名开关模块、外部连接以及信号路由，提高您的开发效率。

NI DIAdem



DIAdem提供基于配置的技术数据管理、分析以及报告生成工具，交互式地帮助您对数据进行挖掘和分析。

- 快速进行数据搜索和挖掘，寻找趋势和相关性
- 载入并分析包含超过1000亿个数据点的数据集
- 使用交互式可视化工具研究数据、比较测试运行、寻找异常
- 创建可重用的专业报表，共享您的结果
- 专业的碰撞分析工具包，包含可靠的安全测试分析函数，符合ISO、SAE、NHTSA、FMVSS和ECE等国际标准

访问ni.com/diadem/zhs，了解更多信息

相关产品

NI DataFinder服务器版

在多个小组、多个部门、不同格式之间，管理测试数据。

LabVIEW DataFinder工具包

创建自定义、可发布的数据管理应用。

DIAdem碰撞分析工具包

与国际标准保持一致，自动化碰撞数据分析以及报告生成。









NI全球服务和支持

专业服务

NI的专业服务团队，包括遍布全国的NI工程师和全球600多家系统联盟商，能够帮助您进行原型验证、可行性分析、应用咨询和最终系统集成服务。

更多信息请访问：ni.com/services/zhs

软件维护与支持

敬请访问：ni.com/ssp，了解参加NI标准服务项目（SSP），如何获得免费的软件升级与维护更新、直接通过邮件或电话与NI应用工程师取得优先联系并获得专业的软件咨询服务。

硬件服务

NI硬件服务包括灵活的、可续期的质保、加急维修服务及硬件重新校准等，保证系统长期稳定运行，最大化您的硬件投资回报。

更多信息请浏览：ni.com/services/zhs

培训与认证

NI培训和认证帮助用户缩短了43%维护时间，节省了50%开发时间，加快了66%学习效率，从而可以更高效地使用NI软件和硬件进行应用开发。

更多信息请访问：ni.com/training/zhs

批量许可

对于同一软件拥有多个许可证的企业用户，可通过NI批量许可服务获得集中许可证管理、灵活的预算和采购、可定制到现场培训等服务。更多信息请访问：ni.com/services/zhs/vlp

技术支持

NI为您提供了一流的全球技术资源。敬请访问ni.com/support/zhs和ni.com/zone/zhs了解更多自助技术信息，包括：

- 应用技巧和案例分析
- 范例程序和常见问题
- 故障排除向导、用户论坛和开发者社区

对于软件维护项目会员或批量许可用户，可直接通过电子邮件或电话获得NI应用工程师的专业技术支持

china.ni.com · 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