

NI 结构测试解决方案和 技术



美国国家仪器将结构测试定义为材料、组件或系统在施加刺激下所作响应的机械研究。一般来说，结构测试在研究、原型和验证阶段进行。结构健康监测用于工作结构在正常使用条件下的损坏检测。国家仪器为结构测试和结构健康监测应用提供了解决方案。由于各种应用的要求可能会非常不同，因此本文主要讨论结构测试的解决方案。欲了解 NI 结构健康监测解决方案的更多信息，请访问 ni.com/shm/zhs



图 1. 结构测试与结构健康监测

国家仪器的软硬件工具帮助用户快速开发和自定义结构测试系统，包括静态、疲劳、空气动力、振动、冲击、爆破和弹道测试。NI 将其仪器和工业控制专业经验与 NI LabVIEW 可视化编程环境合而为一，提供了业界最易于使用、性能最佳的结构测试解决方案。NI 工具和测量技术使多个领域从中获益，包括军事、航空、航海、汽车、可再生能源等。

特点

模块化、灵活、精确测量仪器

国家仪器推出的 [PXI 平台](#) 是一个基于 PC 机的坚固平台，为高性能仪器提供了一种模块化方法。模块化实现了测试系统根据结构变化使用市售零件进行调整的灵活性。PXI 架构具有业界最高的带宽和最短的等待时间，包括集成的定时和同步总线。凭借来自 70 多家厂商的 1500 余件产品，PXI 平台为现代结构测试应用提供了一种完整的、高性能、大通道数系统。



图 2. PXI 结构测试系统实例

结构测试充分利用了 PXI 的模块化和灵活性，因为这些测试要求使用多种类型的传感器 – 最常见的是应变和振动测量。通常，应变测量使用全桥、半桥或季桥配置的箔式

电阻应变计。动态振动采集常常使用内置电荷放大器的压电式加速度计。NI PXI 平台使得为大通道数系统设计的应变和振动模块达到每个通道 204.8 kS/s 的采样速率、24 位分辨率和 0.02% 精度。结构系统中经常集成的其他传感器包含了位移或倾斜测量以及载荷和力矩传感器所用的线性电压差动变压器 (LVDT) 以及弦丝电位计。在结构测试应用中, 这些测量类型一般用作反馈, 以控制输入刺激。

动态测试, 例如空气动力和冲击测试, 要求使用高采样速率和高分辨率测量硬件来捕获快速事件。此方法要求将大量数据同时存储到磁盘中。动态事件很难复制, 因为她们包含宝贵的信息。每台设备的专用带宽和短等待时间确保可靠地采集所有数据, 然后再进行离线处理。使用具有专用吞吐量的 PXI Express 等高性能平台确保了用户动态测试系统的保真度。

与此相反, 静态测试一般有低于 1 kHz 的采样速率即已足够, 但是精度要求增加。承载结构的绝对强度和疲劳寿命必须进行测试。这两种测试要求进行精密的测量, 以确保材料发生了正确的应力/应变。一般来说, 结构工程师会用稍微不同的载荷进行多次测试。这些测试从除去滞后的高精度系统中明显获益。这对于理解复杂的机械交互作用, 以及受控刺激对机构的影响, 是至关重要的。疲劳载荷循环极少超过每秒数百个循环, 并且超过此速率 10 倍的采样很好地说明了材料的动作。国家仪器提供的工具能够测量多种传感器类型, 并且满足了各种结构测试的具体要求。

同步性能最佳的可扩缩平台

PXI 平台提供了多种具有 4 ~ 18 个插槽的 3U 和 6U 机箱。机箱包含了高性能 PXI 背板, 这些背板包含有 PCI 总线以及定时和触发总线。PXI Express 提供了附加定时和同步功能, 如 100 MHz 微分系统时钟、微分信令、微分星形触发等。通过采用微分计时和同步, PXI Express 系统从噪声抗扰性能增强和高频传输中获益。最后, 这导致长距离情况时的同步比较紧张。利用这些定时和触发总线, 用户能够为要求在一个机箱内以及大通道数系统的多个底盘之间实现精密同步的应用开发结构测试系统。

静态和动态结构测试需要利用 PXI 同步功能的各个方面。静态测试通常需要许多通道来确定结构的主要应变, 因为复杂的材料特性使其难以预测。另外, 在测试全量程结构时, 通常采用分布式系统, 因为这些结构的尺寸非常大, 例如航空和国防工业。由于电缆复杂度、安装和维护成本等原因, 常常无法将传感器连接到集中式测量系统上。能够轻松地、透明地扩展到多个分布式系统的平台能够节约时间和成本。利用 PXI 平台, 可以用使用现有以太网中枢链路甚至 GPS 的基于信号或时间的同步方法来部署测量硬件。



图 3. 大通道数多机箱 PXI 系统

对于冲击、爆破、弹道测试等动态结构测试，定时和触发能力是至关重要的。在这些测试中，需要用大量数据来捕获如此快速的事件。减轻此负担的一种方法是仅仅在特定事件发生之后才开始触发数据采集。动态测试一般按照此方式启动，通过触发 DAQ 模块来启动采集。PXI Express 桥梁和振动模块可以由模拟或数字信号，采用快速、可靠、内置触发功能来完成触发。

随着采样速率增加，通道差异开始导致更多错误，因为数据变化非常之快。国家仪器使用 PXI Express 实现一个机箱或多个机箱中的设备之间的紧密同步。例如，[NI PXIe-4330](#) 桥梁传感器输入模块的通道差异为单个模块或者单个底盘的不同模块之间低于 100 ns。国家仪器提供功能强大的灵活解决方案，实现各个通道、模块和底盘之间的同步，以满足结构应用的要求。

可靠的、确定性控制施加刺激

高性能同步控制对于静态和疲劳结构测试至关重要。对于许多情况，疲劳测试所用的输入刺激与仪器同样重要。为此，需要用确定性实时系统稳定、不间断地重复相同的载荷型式达数百万次。要实现这一点，通常向液压控制阀（称为伺服阀）发出一个刺激信号，调节液压作动器向结构施加作用力。系统测量并反馈此力，以建立一个控制环路。此环可以在包含仪器的确定性系统上，或者先进的数字式伺服阀上运行。

为了满足这些需要，国家仪器推出一种新型工业控制器，称为可编程自动化控制器（PAC）。PAC 集传统可编程逻辑控制器（PLC）的功能与基于 PC 机的控制系统于一身。



图 4. CompactRIO 系统实例

[NI PAC](#) 基于高度可靠的、坚固的平台，例如 NI CompactRIO 和 PXI。这些模块化平台提供了高级分析与信号处理功能，能够在 Windows 等标准操作系统上运行，或者在实时操作系统上运行以获得更高的可靠性和确定性，或者现场可编程门阵列（FPGA）以获得最高的性能。利用 FPGA，用户可以运行控制算法、进行分析，以及在芯片层次上做出决策，对结构测试进行最高的性能控制。尽管功能强大，然而用户仍然能够使用图形开发环境 LabVIEW 轻松地对这些设备进行编程。LabVIEW 简化了实时操作系统和 FPGA 的复杂度，同时提供拖放控制算法，使用户能够专注于结构专家经验领域。

图形开发环境

成千上万的工程师使用 [LabVIEW](#) 图形编程环境来开发复杂的测试和控制系统，使用类似于流程图的直观图形标记和线条进行结构测试。LabVIEW 实现了与数千种硬件设备的无缝集成，例如使用 CAN 和 EtherCAT 等现场总线的数字式液压伺服阀。LabVIEW 提供数百种内置库用于疲劳及模态测试的高级分析和可视化。LabVIEW 平台可以针对多个目标进行扩缩以满足结构需要，从运行 Windows 的笔记本电脑到运行实时操作系统的 PXI 试验台到使用 CompactRIO 和 FPGA 的液压控制系统。LabVIEW 的灵活性使其特别适合于高级结构测试。



图 5. LabVIEW 图形编程

LabVIEW 对结构测试的益处：

- 快速编程 – 通过拖放图形功能块创建类似流程图的图形表示来进行编程
- 硬件集成 – 将任意仪器或传感器与内置库和驱动程序相连接
- 多个目标 – 开发并重新使用 Windows、Mac、Linux、实时操作系统和 FPGA 代码
- 多个编程架构 – 集成基于文本的代码或其他计算模型
- 专业用户界面 – 使用数百个拖放控件和图形实现与数据的交互

基于配置的实时测试和仿真软件

通过为实时测试和仿真功能添加基于配置的闭环控制和刺激能力，NI VeriStand 简化了实时目标的编程。另外，NI VeriStand 还与硬件集成，以提供确定性 I/O。NI VeriStand 非常适合能够用来构造静态及疲劳测试和控制系统的开箱即用软件架构。



图 6. NI VeriStand 实时测试和仿真软件

结构测试用 NI VeriStand 的益处：

- 闭环控制、刺激产生和模型执行
- 确定性单点 I/O、数据记录和报警
- 运行时间可编辑用户界面

高级分析和信号处理

[LabVIEW](#)、[NI 声音及振动测量套件](#)和 [NI DIAdem](#) 软件具有数百个内置信号处理和分析函数，为用户应用提供具体的算法。下文所述是若干结构测量所用的分析算法：

- 全部及部分八度音阶分析
- 模态分析
- 雨流法
- 峰值及均方根（RMS）检测
- 快速傅立叶变换（FFT）、功率谱、变功率谱和频率响应
- 求均值、过滤、开窗

这些功能的子集可以在实时操作系统和 FPGA 上运行，以提供实时、在线分析。另外，NI 软件还包含先进的可视化技术，以快速显示并分析高级处理技术。

功能强大的数据管理技术

在太多时候，结构测试工程师采集了大量的技术数据，然而却很少考虑数据存储以及将来的使用。数据是昂贵的，特别是对于结构测试应用，因为在这些应用中，需要记录的瞬态事件很难，如果可能的话，进行复制。有用的数据常常遗失、埋藏在没有分类的、难以挖掘的数据文件中。由于缺乏适当的可视化工具，人们甚至可能并不知道有用数据的存在。国家仪器提供了一种三级数据管理解决方案，实现灵活、有组织的文件存储、完善的搜索能力，以及交互式后处理环境。

为了分别满足三个要求，NI 技术数据管理（TDM）解决方案由三个组件组成：使用测试文件存储描述性信息的 TDM 数据模型、搜索和挖掘各种格式的测试数据所用的 NI DataFinder，以及分析、可视化和报告所用的 NI [DIAdem](#) 软件。

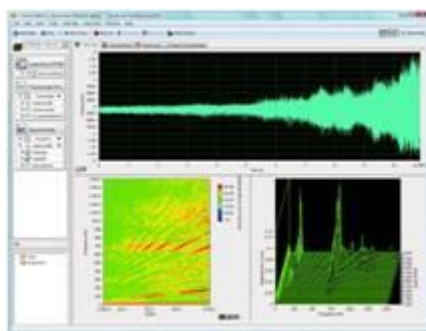


图 7. DIAdem 可视化

专业咨询和系统集成服务

国家仪器专业服务团队包含 NI 应用和系统工程师，以及全球国家仪器合作伙伴计划，构成超过 600 位独立顾问和集成商的网络。用户在开发和部署结构测试解决方案时，从设计和规范一直到应用开发、项目管理，以及第三方软硬件集成，能够充分利用团队关于 NI 产品及应用的深刻知识。

NI 服务团队可以作为用户设计及开发团队的一部分，特别重视设计审查、知识传递和协作开发。用户不论是在设计单个项目，还是在国家仪器软硬件平台上进行标准化开发，还是在 OEM 产品中采用 NI 设计，NI 服务团队可以与用户团队合作，将 NI 软硬件产品集成到用户应用中。

联盟合作伙伴拥有使用 NI 产品提供完整解决方案的资深专家经验。从系统设计和架构到编码、最优化、集成第三方软硬件，一直到部署，NI 服务团队对每个系统进行自定义，以满足用户的具体需要。合作伙伴计划是一个由顾问、系统集成商、开发商、渠道伙伴以及业界专家组成的全球网络，他们与 NI 合作，为客户提供完善的高品质虚拟仪器解决方案。

结论

利用模块化仪器、确定性控制、可定制软件，以及专业集成服务，来自国家仪器的结构测试解决方案能够任意结构进行任何测试。NI 结构测试解决方案提供了无与伦比的软硬件集成、可定制能力、集成智能，以及价值。

