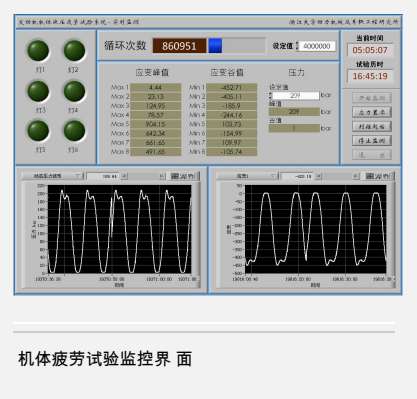


基于CRIO平台的 机体疲劳试验台架自 动控制系统



"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。"

— 刘 震涛, 浙 江大学动力机械及车 辆工程研究所

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。

作者:
刘 震涛 - 浙 江 大学动力机械及车辆 工程研究所
Zhentao Liu - [Power Machinery and Vehicular Engineering Institute, Zhejiang University](#)

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 拟机体承受最高爆 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。钢板上有用 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。

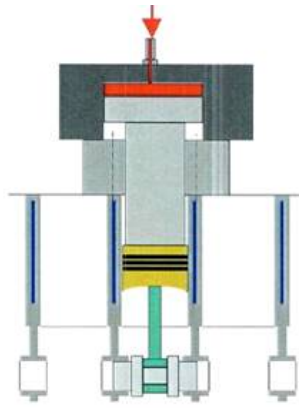


图1 液压加载机构 示意图

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%为机体破坏的判断（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°C到 70°C，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。

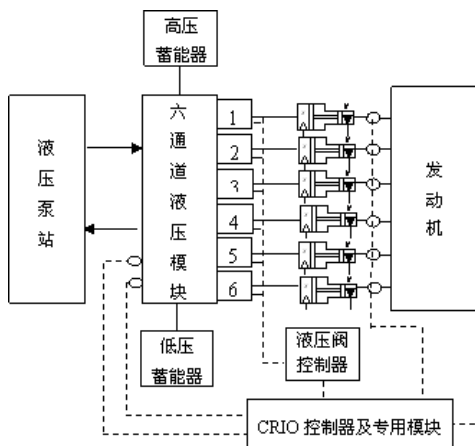


图2 试验系统功能框图

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。

上位 PC
机程序

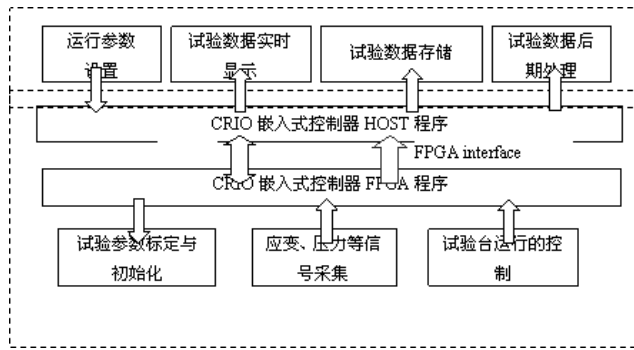


图3 控制系统软件功能框图

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断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断是切实可行的。

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

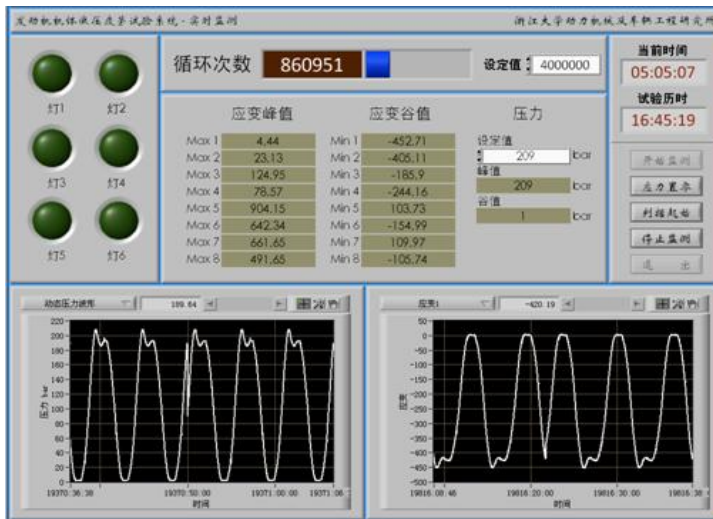


图5 机体疲劳试验监控界面

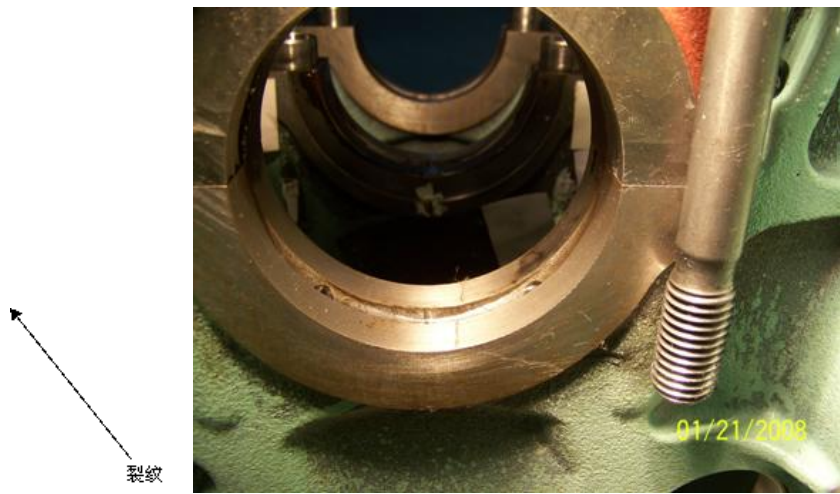
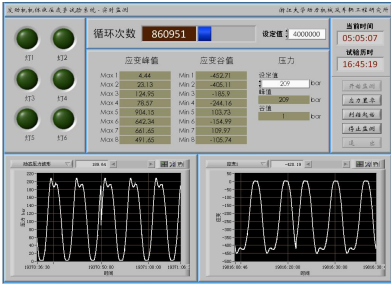


图6 试验结果示意图

欢迎您点击“请NI工程师回电!”, 马上申请NI测控专家的专业技术咨询!

更多获奖征文请访问: www.ni.com/china/papercontest

作者信息:
刘震涛
浙江大学动力机械及车辆工程研究所



机体疲劳试验监控界面

法律条款
本教程由 National Instruments 公司 (简称 "NI") 开发。尽管 National Instruments 可为该程序提供技术支持, 但是该指南的内容并非完全通过测试和验证, NI 不以任何方式保证其质量, 也不保证相关产品或驱动程序的新版本出现时继续为其提供技术支持。本教程 仅以其"现状"向用户提供, 教程没有任何担保。教程使用受 ni.com 网站上《使用条款》的约束。(<http://ni.com/legal/termsfuse/unitedstates/us/>)