

基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统的开发与应用

周跃钢

(东风商用车有限公司东风商用车技术中心 武汉 430056)

摘要:开发基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统,创建部件测试方法、研制部件测试机械装置、制作部件测试传感器,为发动机部件测试复杂技术问题提供有效解决方案。应用比值测量计算、基于队列的数据采集和计算存储、自适应数据采集频率设置和发动机轴向负荷加载控制等创新技术,开展发动机主轴承座和高压油管应力测试、止推片和缸盖温度测试、涡轮增压器压力温度测试,满足发动机部件产品开发测试需求。

关键词:cDAQ 平台;发动机;部件测试;开发;应用

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** U464.13

Development and application of test system for engine components based on cDAQ

Zhou Yuegang

(Dongfeng Commercial Vehicle Technical Center, Dongfeng Commercial Vehicle CO., LTD., Wuhan 430056, China)

Abstract: Developing engine component testing system based on cDAQ platform, creating component testing method, developing component testing mechanism device, and making component test sensors to provide effective solutions for complex engine components test technical problems. In addition, innovative technologies which are the applications of ratio measurement and calculation, data acquisition and computation storage based on queue, the adaptive data acquisition frequency setting and engine axial load control are used to carry out engine tests including the engine main bearing and high-pressure tubing stress test, thrust washer and cylinder head temperature test, the turbocharger pressure and temperature testing that meet the needs of testing of engine components product development.

Keywords: cDAQ platform; engine; component testing; development; application

1 引言

发动机质量水平依赖于各个部件质量优劣,部件测试越深入,整机可靠性、耐久性暴露问题越少。随着商品发动机改进、新品发动机开发和竞品发动机分析的测试需求增加,发动机部件测试的作用日趋凸显。这给传统的发动机部件测试带来了前所未有的挑战,发动机部件测试必须与时俱进、拓展新功能并进行方法创新。

开发基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统,1)需建立一个通用平台满足各种测试需求。用户根据测试对象组合测控模块,进行各种测试的控制程序开发,开展发动机部件测试方法创新。2)解决测试数据重复性差的问题。应用比值测量消除 A/D 量化误差、比值计算增加测量数据稳定,提高测量精度。3)解决如何提高测量效率的问题。创建基于队列的数据采集和计算存储方法,队列的缓

冲作用,兼顾数据采集与计算存储的速率匹配矛盾,采集、计算存储并行进行。创建自适应数据采集频率设置测量方法,设置高频采样和降频采样频率,进行傅里叶功率谱密度函数、互相关函数、相关系数、均方差计算,开展频域时域相关性分析。相关性吻合采用降频采样频率,减少无谓的冗余数据海量计算存储。4)应用于技术难度大过去无法实施的测试项目。发动机轴向负荷加载测试打破技术壁垒封锁,攻克部件传感器制作瓶颈开拓测试新功能,部分项目填补了发动机部件测试的应用空白,是面向特殊测试的创新技术应用范例。

2 测试系统

应用美国国家仪器(NI)公司 cDAQ 开放式模块化数据采集硬件平台和 LabVIEW 图形化编程软件^[1],开发用户软件自定义的发动机部件测试系统,如图 1 所示。该系

收稿日期:2015-12

统体现以 LabVIEW 图形化编程软件为核心的自动化测试系统架构设计,在 cDAQ 平台上根据部件测控参数组合接口模块,用户只做部件测试方法、控制算法和控制程序的顶层设计,以及部件测试机械装置开发和测试传感器制

作的底层设计,为发动机部件测试复杂技术问题提供解决方案,应用创新技术实现部件产品应力、压力、负荷、温度、转速、扭矩、数字 I/O、振动和加速度等性能参数的测试考核。

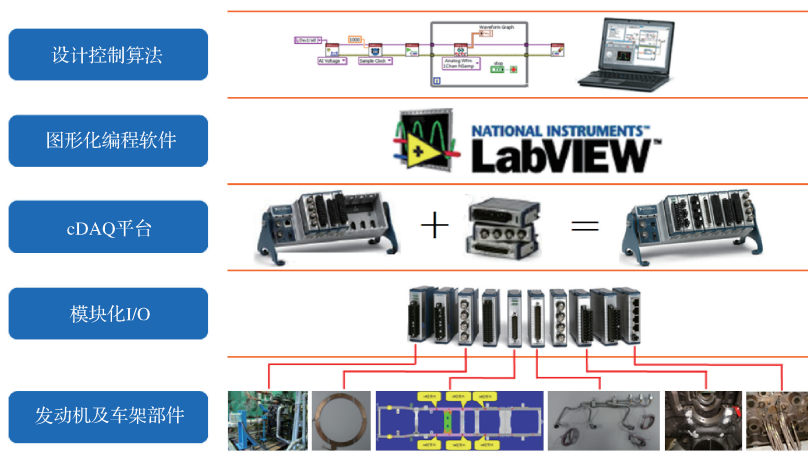


图1 开发基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统

基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统,包含 NI cDAQ 9172^[2] 机箱和 c 系列模块,图形化编程软件 LabVIEW 2011,完成部件测试开发研制的发动机轴轴向负荷加载装置,制作发动机缸盖、止推片 K 型热电偶温度传感器和高压油管应变传感器,以及 Pt100 铂电阻、1/4 桥电阻应变片和应变花、压力变送器、K 型铠装热电偶等传统传感器。cDAQ 9172 机箱 8 槽位,能控制多达 8 个热插拔 c 系列 I/O 模块之间数据传输以及模块数据采集的定时、同步功能。NI c 系列 NI 9219^[3]、NI 9234^[4]、NI 9235^[5]、NI 9237^[6]、NI 9477^[7] 等即插即用模拟、数字 I/O 测控模块,满足发动机部件测试需求。未来还将根据部件测试功能拓展,在线缆式 cDAQ 平台上增加 c 系列模块。主机 PC 运行用户自定义开发的 LabVIEW 测控程序,通过 USB 接口控制 cDAQ 平台实现数据采集,在同一平台实现多参数测量控制和不同采样率设置。LabVIEW 测控程序通过调用系统服务与驱动层底层驱动函数,与硬件 I/O 模块实现无缝集成控制。

3 测试技术

3.1 比值测量计算方法

发动机台架试验扭矩及压力测量、轴向负荷加载测量、主轴承座应力测量、共轨压力测量及燃油消耗量称重测量,所用传感器由 4 个桥臂的惠斯通电桥组成。根据检测组件配置的单桥臂、双桥臂或四桥臂电阻应变片,构成 1/4 桥、半桥或全桥电路,目前存在的问题包括:

1) 测量接口模块与测点应变传感器之间导线压降,导致应变传感器激励电压和 A/D 转换器基准电压非等电位, A/D 转换量化结果引入测量误差; 2) 应变传感器测量值计算,取激励电压设定常数,激励电压波动变化引入计算误差。

上述因素,导致部件同一测量部位,同一测试工况测量数据比对一致性差。

比值测量计算方法,如图 2 所示。比值测量,根据运算放大器输入阻抗高输入电流为零致使传输导线不产生压

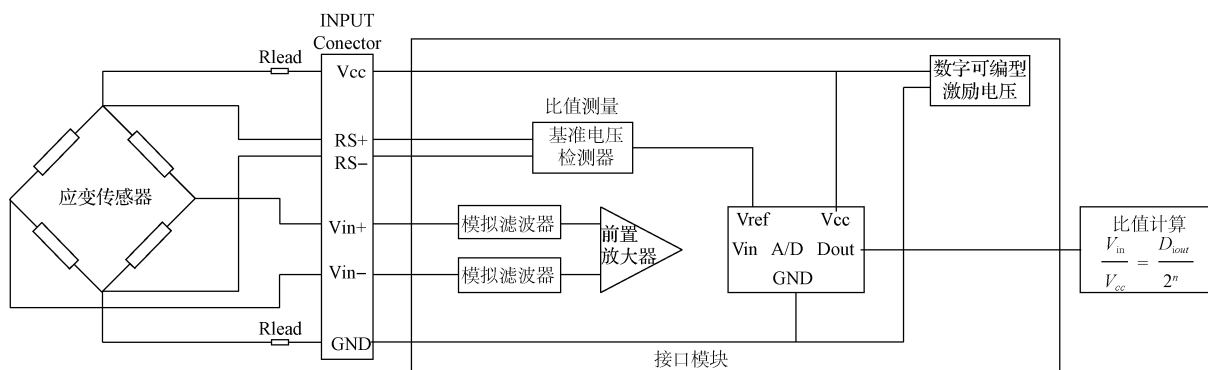


图2 比值测量计算

降特点、应用基准电压检测器检测应变传感器激励电压 V_{cc} , 检测值实时跟踪激励电压波动其输出驱动作为 A/D 转换器基准电压 V_{ref} 。 $V_{cc} = V_{ref}$, A/D 转换补偿激励电压至应变传感器导线电阻 R_{lead} 产生的压降引起的增益误差, 消除激励电压变化和温度漂移对 A/D 量化结果的误差影响。

创建比值计算方法, 用 V_{in}/V_{cc} 无量纲单位的比值计算对应测量参数物理量, 应变传感器激励电压变化 V_{in}/V_{cc} 比值计算保持恒定, 提高测量稳定性和精确度。

比值测量计算方法的优势如下: 1) 增加测量稳定性, 激励电压变化, 应变传感器输出变化, 激励电压被检测并反馈到 A/D 转换器基准电压端, 激励电压 V_{cc} 与 A/D 基准电压 V_{ref} 等电位, A/D 量化精度不受激励电压变化影响; 2) 标定测量数据重复一致性好, 对应 A/D 模拟输入量, 比值测量计算方法与实际变量 V_{cc} 无关, 对应 N 、 N_m 、 I_b 、 k_g 、 P_a 及 P_{si} 各种物理量的检测计算稳定, 减少重复标

定次数或分段标定区域; 3) 能以很高采样率获取测量值, 不需要使用电子开关及 A/D 输入通道对激励电压进行采样的额外测量时间, 提高 A/D 采样率获取更多的测量值。

3.2 基于队列的数据采集和计算存储方法

发动机部件测试, 在数据采集和计算存储并行执行的程序结构中, 通过局部变量传递数据, 数据采集速率大于数据计算存储速率, 产生遗漏计算采集数据; 数据采集速率小于数据计算存储速率, 产生重复计算采集数据。由于存在数据采集与实时计算存储的速度匹配瓶颈, 导致测试效率降低。

设计基于队列的数据采集和计算存储方法, 如图 3 所示。生产者主循环实现数据采集, 并将数据放入队列; 消费者从循环依次从队列中取出数据, 实现数据计算存储。连接两个循环的是基于队列的数据管道, 主循环数据通过队列传递给从循环, 主循环与从循环并行执行。

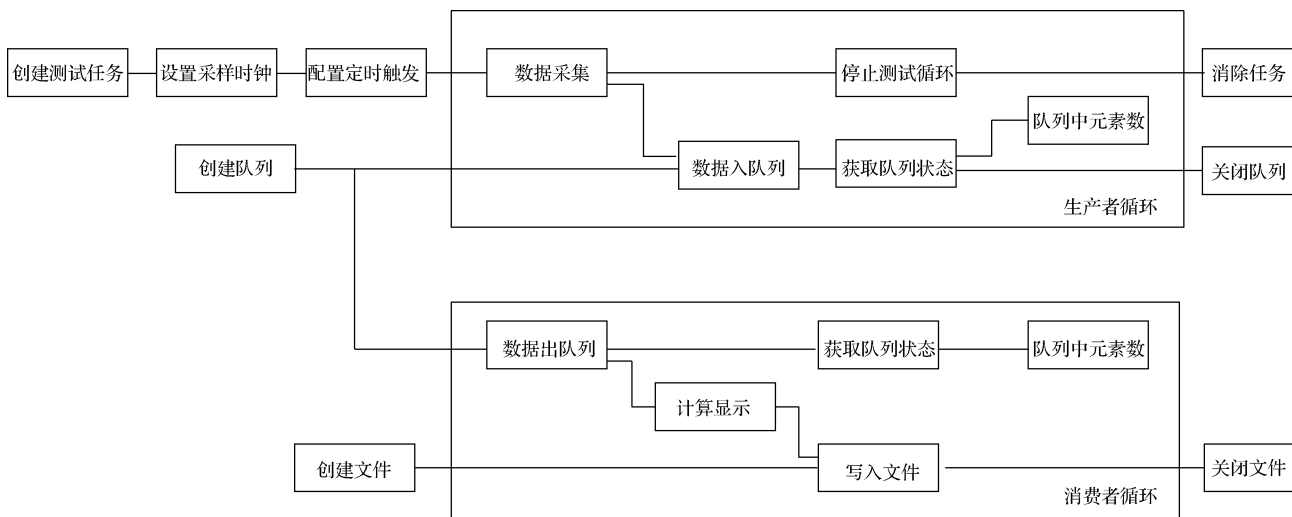


图3 基于队列的数据采集和计算存储

基于队列的 LabVIEW 生产者/消费者循环数据结构^[8], 利用队列构建的 FIFO(先入先出)将数据进行缓存, 当消费者的计算存储执行速率小于生产者数据采集速率, 队列长度将不断增加, 不会遗漏读取采集数据。当消费者的计算存储执行速率大于生产者数据采集速率, 从队列中每取完一组数据队列长度即为空, 不会重复读取采集数据。由于队列的缓存作用, 不管消费者模式的计算存储运行速率如何, 生产者消费者模式始终保证消费者循环处理的是正确的数据。

3.3 自适应数据采集频率设置测量方法

高速数据采集, 导致大量冗余数据涌入。海量数据计算和冗余数据存储, 增加数据处理计算负荷。必须杜绝发动机部件采样频率仅凭经验或靠感觉确定的弊端, 减少冗余数据量无谓计算、节省存储空间并提高数据处理分析效率。

设计自适应数据采集频率设置测量方法, 如图 4 所示, 应用傅里叶功率谱函数和相关性函数分析, 确定测量

信号频率。根据信号频率设置采样率, 达到试验研究和测试结果所需精度要求。

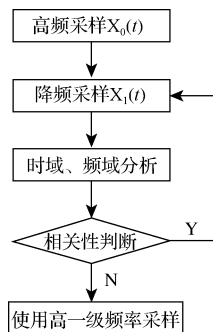


图4 自适应数据采集频率设置

信号参数的频率响应范围, 设定第一高频采样 $X_{0(t)}$ 和第二降频采样 $X_{1(t)}$, 做时域、频域分析。首先应用 FFT 傅里叶功率谱密度函数进行频率响应分析计算, 求出被测参数信号响应频率, 以发动机高压油管应力测试为例, 设

定采集频率 5 kHz, 发动机转速 1 900 r/min, 外特性试验的采集数据, 进傅里叶功率谱密度函数频率响应计算分析, 如图 5 所示, 应变信号频率响应 16 Hz。若不同采样频率的信号可以互换, 等价条件为功率谱图相邻最大幅值间的频率相同。

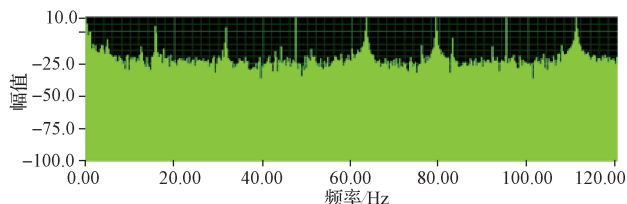


图 5 发动机高压油管应力测试频谱分析

其次进行相关性判断, 互相关函数反映两个样本在不同时刻之间的相互依存关系。运用互相关函数、相关系数、

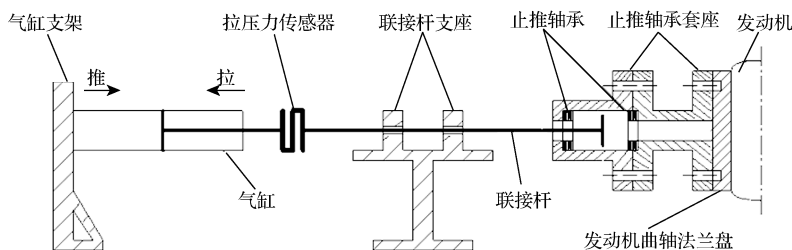


图 6 发动机轴向负荷加载控制

发动机轴向负荷加载测试, 应用于发动机曲轴端面、气缸体端面、轴瓦端面、飞轮端面、变速箱端面施加轴向负荷推拉加载, 考核发动机部件产品耐久性能的专项测试。

3.5 发动机部件传感器制作方法

3.5.1 高压油管应变传感器制作

共轨柴油机燃油供给“大动脉”高压油管, 使用过程中若出现断裂或漏油等失效故障, 不仅影响发动机可靠性, 而且直接关系人身和车辆安全。在发动机高压油管应变测试实践中, 如何选型应变片和制作应变传感器, 是保障测试成功的关键。

应变片选择, 采用输出阻抗 120 Ω 两轴 90°垂直应变花, 测量高压油管轴向和径向应变, 计算应变合力。根据高压油管道径与长度, 选择敏感栅长度 3 mm 以上、自我温度补偿(敏感栅材料与被测物材料热膨胀系数相对应)的三线制金属箔式应变片, 消除应变片阻值和引线电阻随温度变化的影响。

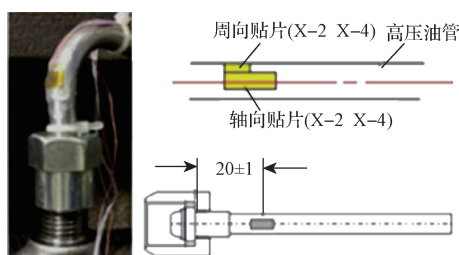
高压油管应变片粘贴部位, 选择能最大感受油管应力的管件端头部位, 其中两轴 90°应变花粘贴位置, 距高压油管端头距离 20 mm, 如图 7(a)所示。针对细径圆管和不规则弯曲形状, 为真实检测应力和防止应变片粘贴不实振动脱落, 设计了应变传感器制作方法。1) 检查分选; 2) 管件打磨; 3) 划线定位; 4) 贴面清洗; 5) 涂剂粘片; 6) 加压固定; 7) 质量检查; 8) 防护处理。制作完成的高压油管应变

均方差计算两种信号波形在不同时刻的相似性和关联性, 判断是否具有互换性。如果高频采样 $X_{0(t)}$ 和低频采样 $X_{1(t)}$ 二者具有极高相关性, 且相关系数和均方差值计算没有超出阈值, 应用低采样频率采样。如果在某些特征参量上差异超出设定阈值, 使用原频率采样。

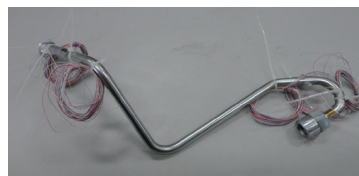
3.4 发动机轴向负荷加载控制方法

发动机轴向加载测试装置设计, 如图 6 所示。气缸支架、联接杆支座安装在发动机试验室铁地板上, 止推轴承装配在止推轴承套座内, 止推轴承套座用螺栓固定在发动机曲轴法兰盘前端。通过 cDAQ 平台 NI 9477 控制气缸气压压力, 实现轴向推拉双向加载。拉压力传感器承载气缸活塞直线行程的推拉力, 并将力矩传递给联接杆, NI 9237 模块检测轴向加载负荷。止推轴承承载联接杆直线行程的推拉力, 并将力矩作用至旋转的发动机曲轴法兰盘端面, 完成发动机运转时轴向负荷推拉力加载的试验考核。

传感器, 如图 7(b)和 7(c)所示。



(a) 应力测量部位



(b) 泵至轨油管应变传感器

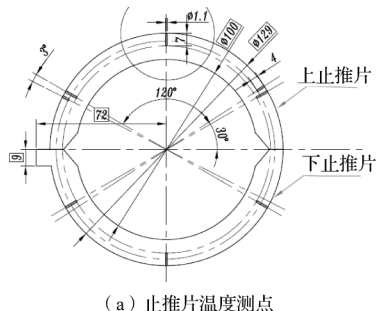


(c) 轨至嘴油管应变传感器

图 7 高压油管应变传感器制作

3.5.2 止推片温度传感器制作

发动机止推片表面磨损,导致发动机曲轴窜动、活塞拉缸、离合器挂档分离困难和运转异响,止推片磨损过程中温度异常上升还会产生严重烧蚀或抱轴;造成曲轴止推面和缸体轴承座侧面摩擦磨损、缸体和曲轴报废的严重故障。在考核止推片材料的止推耐磨性能试验中,如何向发动机曲轴端面施加轴向负荷加载,怎样制作和安装止推片温度传感器,如何准确检测止推片温度,是实现止推片性能测试的关键技术。沿发动机曲轴纵向方向,在发动机主轴承座和主轴承座端盖前后各有两片上、下止推片。发动机止推片温度传感器制作,如图8所示。沿止推片圆周 30° 、 90° 、 150° 处,在上、下止推片壁厚2.5 mm中线位置各钻 $\Phi 1.1$ 、深7 mm小孔3个,沿壁厚圆弧面加工宽1 mm、深4 mm沟槽,在小孔内安装点焊后的镍铬镍硅K型热电偶丝,沿沟槽引出并用密封胶填充固定。止推片温度传感器筛选,设定测量误差 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$,合格产品作为发动机止推片试验样品。



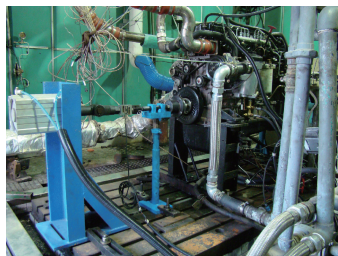
(a) 止推片温度测点
(b) 止推片K型热电偶传感器
图8 发动机止推片温度传感器

4 部件测试

4.1 发动机轴向负荷加载止推片温度测试

发动机轴向负荷加载止推片温度测试系统,如图9所示,NI cDAQ 9172 测试平台,含8种轴向推拉力加载控制NI 9477 模块、轴向力检测NI 9237 模块、12通道K型热电偶温度检测3组NI 9219 模块。cDAQ平台NI 9477 控制轴向负荷,最大轴向推拉力8 800 N,通过止推轴承作用于旋转的发动机曲轴法兰盘端面。

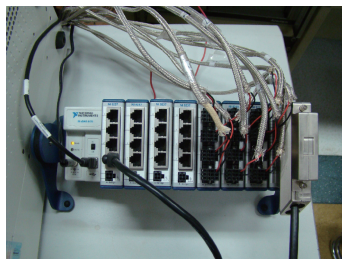
止推片温度传感器安装,见图10。首先在发动机主轴承座安装上止推片,装入曲轴,安装主轴承座端盖的同时装入下止推片。



(a) 发动机轴向负荷加载测试

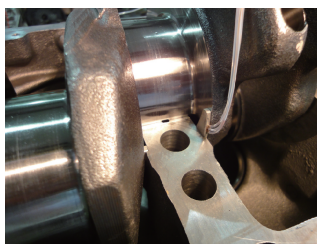


(b) NI cDAQ9172平台



(c) cDAQ平台模块接口

图9 发动机轴向负荷加载止推片温度测试



(a) 上止推片温度传感器安装



(b) 下止推片温度传感器安装



(c) 止推片温度传感器引线封装

图10 发动机止推片传感器安装

发动机轴向负荷加载测量,采用电阻应变桥式拉压力传感器。应用 V_{in}/V_{ex} 比值测量计算方法,发动机台架试验,拉压力传感器激励电压变化时,接口模块 A/D 转换器参考电压同步变化, A/D 转换器模拟输入与激励电压的比值 V_{in}/V_{ex} 保持恒定,测量精度不受激励电压波动的影响。

应用基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统,开展中重型发动机稳定工况、带负荷启动正常润滑工况和边缘润

滑工况轴向负荷加载 12 通道止推片温度测试,考核发动机止推片受轴向负荷作用下的温升及磨损,对止推片可靠性进行判断。

发动机轴向负荷加载台架试验止推片温度测试,稳定工况下止推片最高温度为 131.90℃,如表 1 所示。稳定工况试验,止推片表面未出现擦伤痕迹,亦未出现明显的摩擦痕迹。

表 1 稳定工况止推片温度

轴向力/kg		220	440	660	880
轴向推力	止推片最高温度(℃)	118.00	121.10	124.30	129.10
	止推片稳定温度(℃)	116.70	120.71	123.64	128.71
轴向拉力	止推片最高温度(℃)	123.70	126.10	129.90	131.90
	止推片稳定温度(℃)	123.29	125.62	129.74	131.55

本项目的开发与应用,攻克了发动机止推片性能测试轴向负荷加载控制、止推片温度传感器制作和安装的技术瓶颈,填补了发动机部件专项测试的应用空白。

4.2 发动机主轴承座应力测试

在满足日趋严格的排放法规前提下,柴油发动机缸内燃烧压力的不断提高,缸内最大爆发压力导致发动机疲劳应力分布主要集中在主轴承座区域。

应用基于 cDAQ 平台的发动机主轴承座应变应力测试系统,如图 11 所示,NI 9219、或 NI 9237 和 NI 9944^[9]组

成 1/4 桥应变测量接口模块。建立台架试验工况主轴承座应力分析、主轴承座应力随爆压变化规律分析的测试应用评价体系,开展中型柴油发动机主轴承座螺栓安装应力,外特性工况、负荷特性工况主轴承座应力测量^[10]。

发动机转速 2 400 r/min 负荷特性工况,主轴承座应力峰值测量,如图 12 所示。发动机主轴承座应力响应主要由缸压作用产生,应力峰值的大小与爆压压力大小有关。

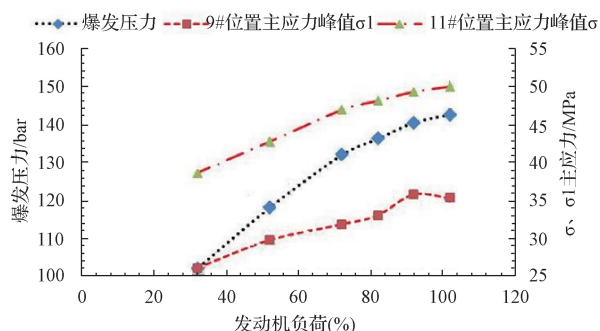


图 12 负荷特性工况主轴承座应力测量



(a) 基于cDAQ平台的应力测试



(b) 主轴承座应变片粘贴



(c) 主轴承端盖应变片粘贴

图 11 发动机主轴承座应力测试

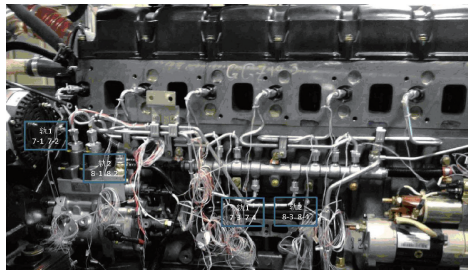
4.3 发动机高压油管应力测试

高压油管产品设计、材料选型、仿真计算、可靠性评价,需要进行应力测试验证。而对这方面的测试技术、试验方法、数据分析过去往往缺乏认识,具体测试过程出现的问题未能解决。为此,进行共轨柴油发动机高压油管应力测试系统的开发,开展测试技术创新和试验方法研究,解决多通道数据采集与实时计算存储的速度匹配瓶颈、高速数据采集与冗余数据产生导致测试效率低下问题。

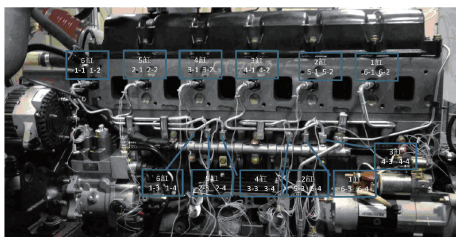
应用基于 cDAQ 平台的 NI cDAQ9172 机箱、NI 9235 1/4 桥应变测量模块、或 NI 9237 应变测量模块和 NI 9944 1/4 桥接线座,组成共轨柴油发动机高压油管应变应力测试系统^[11]。

建立高压油管应力测试评价体系,开展安装强度应力和运行疲劳应力测试。数据分析,应用 Goodman 曲线进行产品强度应力和疲劳应力可靠性评价。同时对运行应

力测试数据开展频谱分析,分析疲劳应力产生原因及确定自适应数据采集频率。重型柴油发动机高压油管应力测试部位,如图13所示。



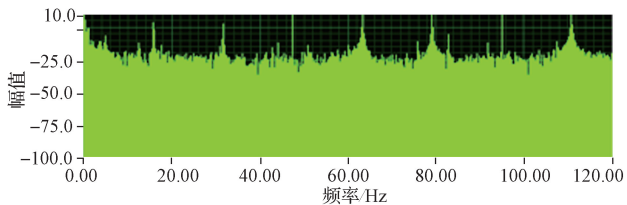
(a) 泵至轨高压油管应力测试



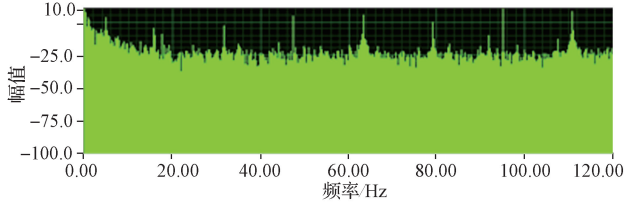
(b) 轨至嘴高压油管应力测试

图13 发动机高压油管应力测试

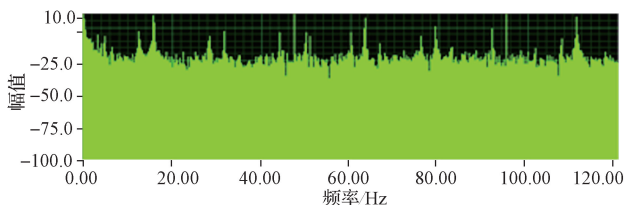
应用自适应数据采集频率设置测量方法,设定第一高频采样 10 kHz 和第二降频采样,进行 FFT 功率谱密度函数频率响应分析和信号相关性^[12]计算,减少无谓的冗余采集数据海量计算存储,提高测试效率。采样频率 5 kHz,对第 6 缸喷嘴端 90°应变花 1-1 和 1-2 测点、共轨端 90°应变花 1-3 和 1-4 测点开展轴向和径向应力频谱分析,如图 14 所示。2 组轴向和 2 组径向应力响应频率均为 15.83 Hz,运行应力周期 0.063 s,与发动机转速 1 900 r/min 的基频吻合。



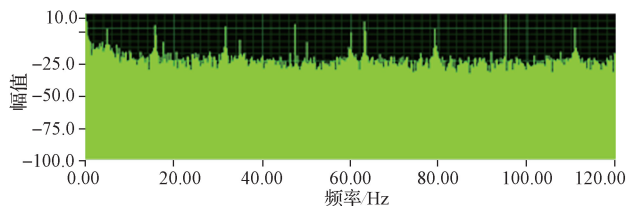
(a) 高压油管测点1-1轴向应力频谱



(b) 高压油管1-2测点径向应力频谱



(c) 高压油管测点1-3轴向应力频谱



(d) 高压油管1-4测点径向应力频谱

图14 发动机高压油管应力测试频谱分析

高压油管运行应力测试频谱分析表明,发动机轨压建立过程,油管工作时受到的周期应力、以及发动机运行振动导致的油管应力幅值变化,是产生油管疲劳失效的主要原因。疲劳应力一方面受到管内轨压的作用,另一方面亦受到喷油、供油压力波动的作用。在疲劳应力的基础上,还有与发动机转速基频对应的周期性应力响应。

多通道数据量采集和存储计算,设计基于队列的数据采集和计算存储方法。首先对 cDAQ 平台接口模块设置初始化,创建数据采集任务、设定采样频率、启动定时采集、循环读取采集数据,数据采集结束删除任务释放资源。多任务并行处理采用 LabVIEW 生产者/消费者循环数据结构,生产者循环使用“元素入队列”函数向数据簇队列中添加采集数据,消费者循环使用“元素出队列”函数从数据簇队列中取出数据。当数据采集速率快于数据计算存储速率,来不及处理的数据缓存于队列中,保证采集数据不丢失。基于队列的循环间数据传输、采集、计算、存储多个任务并行执行,消除后续离线数据处理分析,具有更高测试吞吐量,提高程序效率。

重型柴油发动机高压油管晶粒钢材料 PP600,极限抗拉强度 800 MPa,屈服强度 700 MPa,疲劳极限 240 MPa,0.1 RPH (0.1%失效率下的疲劳极限) 152 MPa。应用 Goodman 应力分析评价如图 15 所示。安装平均应力值(强度应力)作为横坐标、运行平均应力值(疲劳应力)作为纵坐标,0.1%失效的疲劳极限(绿线)与横坐标、坐标原点及纵坐标所组成的区间为安全工作区。

◆各测点应力测量结果 — 屈服线 — 疲劳线 — 0.1% RPH

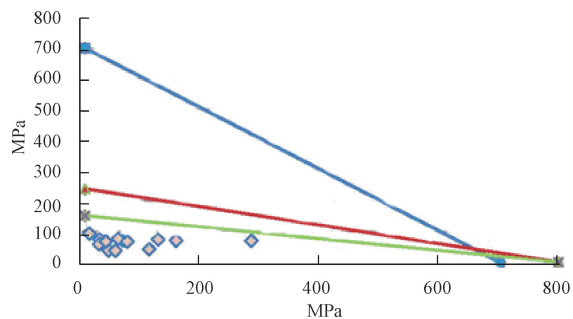


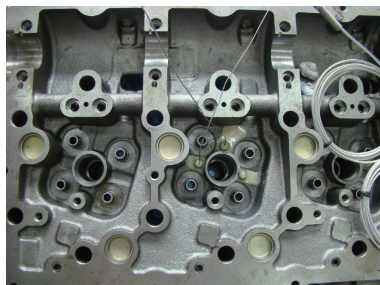
图15 发动机高压油管 Goodman 应力分析

发动机高压油管应力测量值分布在 0.1% 失效的疲劳极限线以下,测量应力满足 Goodman 曲线材料强度与疲劳强度限值要求。

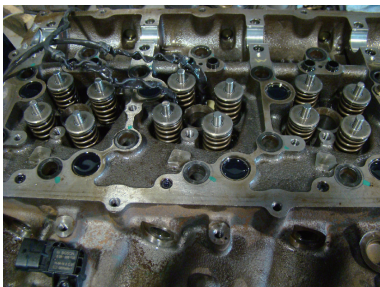
4.4 发动机缸盖温度测试

发动机缸盖设计,鼻梁区热应力情况、水流场工作情况、材料选型等基础工作和仿真计算,需要开展缸盖温度测试,以适应发动机功率提升的高爆压要求。

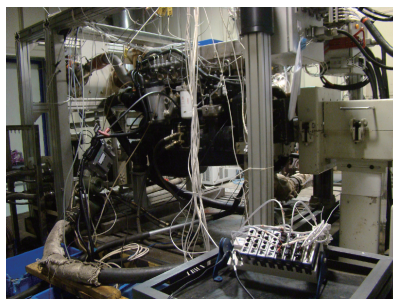
应用基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统,开展中重型柴油发动机缸盖温度测试,如图 16 所示。缸盖温度 K 型热电偶传感器,安装在缸盖进排气道的鼻梁区间,K 型热电偶温度测量模块选用 NI 9219。



(a) 缸盖测温传感器安装



(b) 缸盖测温传感器引出



(c) 基于cDAQ平台的温度测试

图 16 发动机缸盖温度测试

发动机外特性工况、缸盖测点温度及温度梯度变化,如图 17 所示。1 缸排排 3 mm 测点位置,1 700~2 300 r/min 区域,缸盖平均温度 340℃ 以上,最高温度 349.1℃。1 700~2 300 r/min 区域,1 缸排排断面测点位置,缸盖温度梯度 $\geq 17^\circ\text{C}/\text{mm}$ 。据此计算,1 缸排排缸盖表面平均温度在 391°C 以上 ($340^\circ\text{C} + 17^\circ\text{C}/\text{mm} \times 3 \text{ mm} = 391^\circ\text{C}$)。

4.5 发动机涡轮增压器压力温度测试

高压共轨柴油发动机,使用涡轮增压器回收发动机排气能量,驱动排气管道的涡轮带动同轴的进气管道的叶轮,

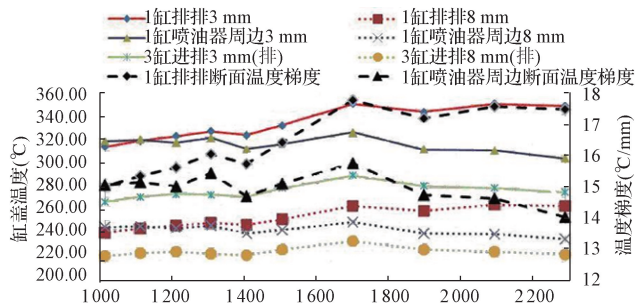


图 17 发动机缸盖测点温度及温度梯度

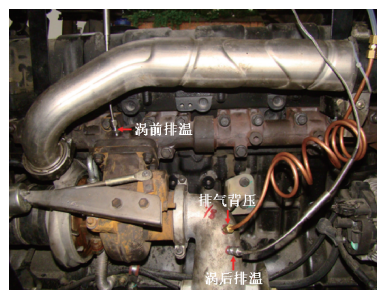
叶轮压送由空气滤清器管道吸进的空气,使之增压进入气缸。提高发动机升功率和燃油经济性,降低发动机油耗和排放,提供高原功率补偿。涡轮增压器出口与发动机进气管之间的中冷器,对进入气缸的空气进行冷却。整车道路试验,发动机电控单元 EECU 的轨压、主喷、预喷和后喷、涡轮增压器限热模式参数调整,需要监测涡轮增压器压力温度参数验证。中重型柴油发动机涡轮增压器压力温度测试部位,如图 18 所示。



(a) 进气压力温度测点



(b) 中冷压力温度测点



(c) 涡轮增压器压力温度测点

图 18 涡轮增压器压力温度测试

基于 cDAQ 平台的发动机涡轮增压器压力温度测试, NI cDAQ9172 测试平台, 压力接口模块 NI 9234, 接口激励电压 24 V 输出量程 0~5 V 的压力变送器, 测量中冷后压、排气背压和进气压力; 温度接口模块 NI 9219, 接口量

程 $\pm 100^{\circ}\text{C}$ 的 Pt100 铂电阻测量进气温度, 接口 K 型铠装热电偶测量中冷后温、涡前排温和涡后排温。

发动机涡轮增压器压力、温度测试数据采集控制程序, 如图 19 所示。

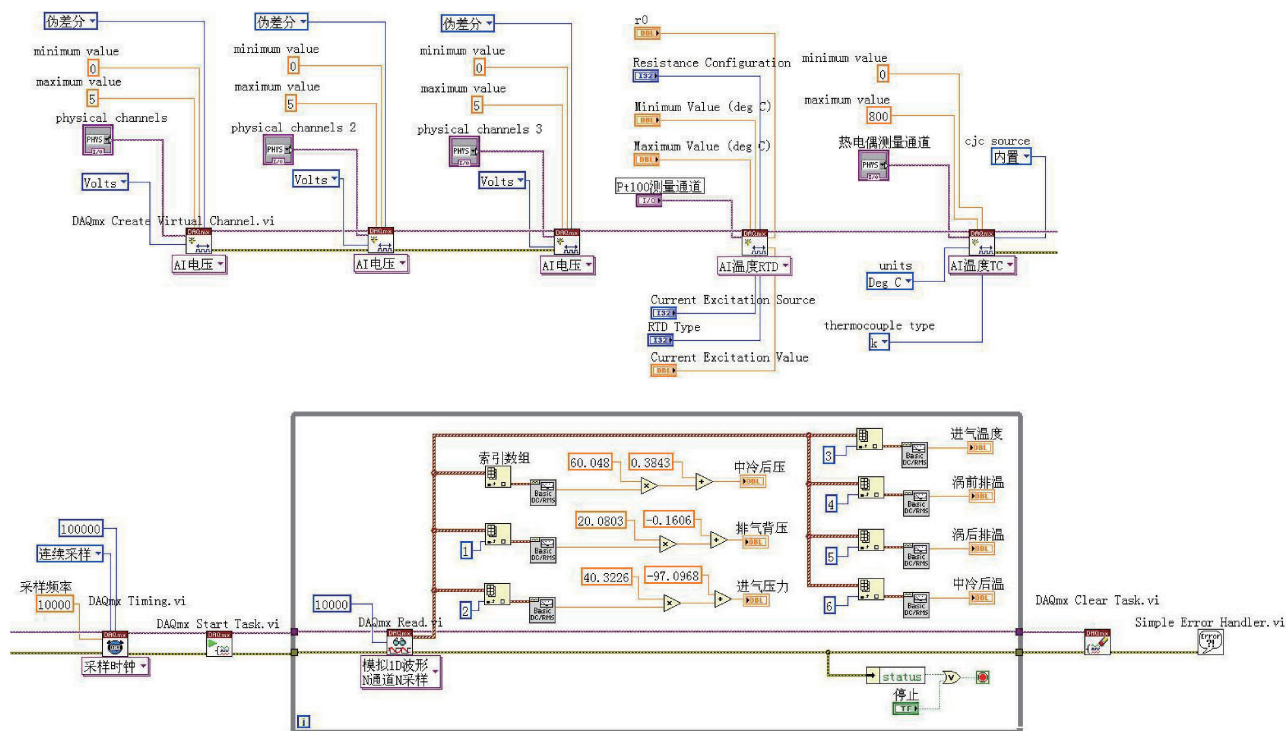


图 19 基于 cDAQ 平台的压力温度数据采集

5 结 论

本文开发了基于 cDAQ 平台的发动机部件测试系统, 应用美国国家仪器(NI)公司 cDAQ 平台和图形化编程语言 LabVIEW 开发软件, 开展发动机部件测试方法的基础技术研究和技术创新, 应用比值测量消除 A/D 量化误差、比值计算增加测量数据稳定, 创建基于队列的数据采集和计算存储方法以及自适应数据采集频率设置方法提高测试效率, 创建发动机轴向负荷加载控制方法攻克技术瓶颈, 创建部件传感器制作方法完成以往无法实施的测量项目, 应用创新技术实现发动机部件产品性能的测试考核, 形成了具有自主知识产权的发动机部件测试系统开发、测试方法创建和测试应用评价体系的建立, 项目综合体现了发动机部件测试系统创新技术的实际应用。

参 考 文 献

- [1] 王树东, 何明. LabVIEW 在数据采集系统中的应用研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(6): 103-106.
- [2] NI cDAQ-9172 User Guide and Specifications[EB/OL]. [2015-12-24]. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371747f.pdf>.
- [3] NI 9219 使用说明和产品规范[EB/OL].[2015-12-

24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374473e_0118.pdf.

- [4] NI 9234 使用说明和产品规范[EB/OL].[2015-12-24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374238c_0118.pdf.
- [5] NI 9235/9236 使用说明和产品规范[EB/OL].[2015-12-24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374645a_0118.pdf.
- [6] NI 9237 使用说明和产品规范[EB/OL].[2015-12-24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374186e_0118.pdf.
- [7] NI 9477 使用说明和产品规范[EB/OL].[2015-12-24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374182c_0118.pdf.
- [8] 周跃钢. 基于 J1939 协议和 NI PXI 平台的 CAN 总线通讯平台的开发[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(增刊 2): 407-411.
- [9] NI 9944 1/4 桥电阻附件用户指南[EB/OL].[2015-12-24]. http://www.ni.com/pdf/manuals/374437a_0118.pdf.

(下转第 41 页)

7 结 论

本文将软件无线电和模式识别相结合,是一种将身份识别应用于现实的新理念。以实现了远程人脸识别系统为目标,构建通信规则,实现人脸识别算法,利用软件无线电设备实现射频通信。

本文主要完成了以下工作:

- 1) 凭借 PCA 算法和 LDA 算法实现了人脸识别的功能。
- 2) 在 LabVIEW 平台上搭建了无线通信系统。其中包括硬件配置、异步通信、编码、解码、同步、校验等模块。
- 3) 通信系统和人脸识别功能测试。测试结果证明本文成功搭建了具有实际功能的通信系统,并且较理想的完成人脸的识别和传输的过程。

由于本系统的主要目的是通信系统的搭建,在识别算法方面并未有太多的创新之处,这是本系统一个薄弱之处。而且,通信子系统的鲁棒性也不够,在距离过大时,传输能力明显减弱,作者在以后研究中将会在此方面做出更深层次的研究。

本系统利用硬件结合软件平台对识别过程进行多次测试,系统运行稳定、高效,但是在传输距离方面还有不足,还有待于后续研究中的改进。

参 考 文 献

- [1] DOHL J. 消除有扰射频:基于 LabVIEW 和 NI USRP 进行射频/通信物理层研究[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9): 60-61.
- [2] 叶长明, 蒋建国, 管曙. 不同姿态人脸深度图识别的研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(10): 870-878.
- [3] 王树东, 何明. 基于 LabVIEW 高速采集系统方法的

研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(7): 84-87.

- [4] 尹飞, 冯大政. 基于 PCA 算法的人脸识别[J]. 计算机技术与应用, 2008, 18(10): 31-33.
- [5] 谢永林. LDA 算法及其在人脸识别中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(19): 189-192.
- [6] 费丹, 熊磊, 吴建强. 基于软件无线电的无线信道仿真仪设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(增刊 1): 93-98.
- [7] 张世一, 黄华, 刘永平. 基于 ZigBee 和 LabVIEW 的智能照明监控系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 63-66.
- [8] 邢开亮, 尹义蓉, 黄永华, 等. 提高网络授时精度的 Kalman 滤波方法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4): 949-954.
- [9] 卢继华, 刘丹, 郑建勇, 等. MIMO-OFDM 系统下新型联合载波频偏估计方法[J]. 北京邮电大学学报, 2013, 36(6): 1-6.
- [10] 李婧, 张永祥, 石炳寅. 基于 LabVIEW 远程校准系统的设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报, 2012 26(增刊 1): 59-62.
- [11] 陈为刚, 李思, 赵干, 等. 基于软件无线电的 Turbo 码编码通信系统实现[J]. 电子测量技术, 2013, 36(11): 110-114.

作 者 简 介

谢轩, 1991 年出生, 北京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为模式识别和基于 WiFi 识别的技术。
E-mail: xiexuan@126.com

(上接第 29 页)

- [10] 周跃钢, 阳松林, 邹利亚, 等. 基于 cDAQ 平台的整车及发动机部件测试系统的的开发与应用[C]. 2014 年 APC 联合学术年会论文集, 2014.
- [11] 周跃钢, 邹利亚, 李全, 等. 柴油机高压油管应力测试装置的开发与应用[C]. 2015 年 APC 联合学术年会论文集, 2015.
- [12] 蔡共宣, 林富生. 工和测试与信号处理[M]. 武汉:

华中科技大学出版社, 2011.

作 者 简 介

周跃钢, 工程硕士, 研究员级高级工程师, 主要研究方向为发动机测试。
E-mail: zhouyg@dfcv.com.cn

(上接第 34 页)

- [14] LIM K H, SENG K P, ANG L M, et al. Lane Detection and Kalman-Based Linear-Parabolic Lane Tracking[C]. 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, 2009: 351-354.
- [15] RAJAMANI R. Vehicle Dynamics and Control [M]. Second edition. USA: Springer US, 2006:

27-29.

作 者 简 介

高锋, 工学博士, 研究员。主要研究方向为汽车电磁兼容、先进驾驶辅助技术、节能驾驶辅助技术、多模型控制理论。
E-mail: gaofeng1@cqu.edu.cn