

## 动力技术

# 基于 LabVIEW 的柴油机燃油性能检测系统

俞文文 梁东 马士友<sup>1</sup> 李天罡<sup>2</sup> 郑海起

(军械工程学院火炮工程系, 石家庄 050003; 防空兵指挥学院防空导弹系<sup>1</sup>, 郑州 450052; 沈阳军代局驻 672 厂军事代表室<sup>2</sup>, 齐齐哈尔 161006)

**摘要** 利用了柴油机燃油系统中油管变化和油压的关系, 进行测取油压曲线, 从而完成柴油机动力性能状态检测, 并构建了以虚拟仪器为核心的柴油机燃油性能状态采集系统, 建立了表征燃油系统性能状态的特征参量、正常故障判定准则和精确定位故障类型的神经网络。采用 LabVIEW 开发了检测与故障判定软件系统。

**关键词** LabVIEW 柴油机 燃油性能 状态检测

**中图分类号** TK421.28; **文献标志码** A

由低压柴油泵、高压喷油泵、高压油管、喷油器等组成的燃油喷射系统是柴油机的重要组成部分, 它直接影响柴油机的燃烧过程, 决定着柴油机的性能。但它的结构复杂, 故障率较高, 据英国柴油机工程师与用户协会提供的柴油机停机的故障中, 燃油系统的故障占 27%<sup>[1]</sup>。因此对于柴油机燃油系统进行实时检测和故障诊断具有极其重要的意义。本文将以实现基于 LabVIEW<sup>[2]</sup> 的柴油机燃油性能故障诊断系统为主线, 简要介绍了柴油机燃油性能检测的机理, 并详细阐述了此诊断系统的结构、组成和开发过程中的主要技术问题及其解决方案。

## 1 柴油机燃油性能故障检测机理

燃油系统的故障很大程度上与柴油机燃油系统的结构和燃油运动方式紧密相关的, 燃油的压力曲线参数能够较好的反映出燃油系统的工作状态。所以, 对于判断燃油系统工作状态, 测取燃油压力的变化曲线测试显得至关重要。

高压油管一般是用厚壁无缝钢管制成, 可视为厚壁圆筒, 在内部压力  $P_1$  和外部压力  $P_2$  的作用下,

根据材料力学厚壁圆筒受力变形理论, 得到油管外表面的径向位移分量  $u$  为:

$$u = \frac{2}{E} \frac{a^2 b}{b^2 - a^2} P_1 - \left[ \frac{b}{b^2 - a^2} \left( \frac{a^2 + b^2}{E} - \frac{a^2 - b^2}{E} \mu \right) \right] P_2 \quad (1)$$

式(1)中  $a$  是油管的内径,  $b$  是油管的外径,  $E$  为油管材料弹性模量,  $\mu$  为泊松比。实际高压油管承受的內部压力为燃油压力  $P_1$ , 外部压力为大气压的力和传感器夹持力之和  $P_2$ , 因为  $P_1 \gg P_2$ , 故  $P_2$  的影响可以忽略不计, 则在喷油过程中, 高压油管的径向膨胀变形与其内部油压成线性关系。同时, 当喷油系统出现漏油、喷油嘴积炭等故障时, 必然引起高压油管内油压的变化。因此, 通过检测油管的膨胀量来诊断燃油系统的故障在理论上是可行的<sup>[3]</sup>。

## 2 基于 LabVIEW 的柴油机燃油性能检测系统

### 2.1 燃油性能检测系统的结构及组成

基于 LabVIEW 的检测系统采用顺序运行和数据传递的结构方式实现对燃油系统性能状态的判断, 其结构框图如图 1 所示。

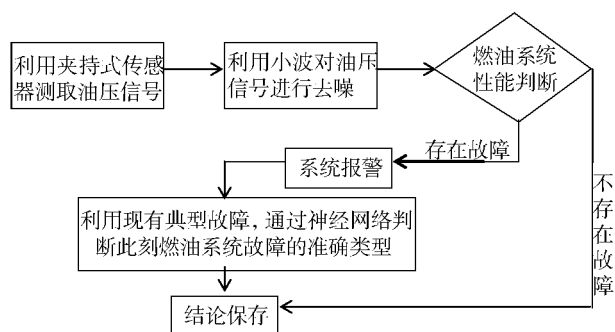


图1 系统结构框图

整个系统分为三大组成部分:第一部分,信号采集及其预处理。本系统采用夹在高压油管上的外卡式压力传感器,通过测量高压油管的膨胀变形量来获取油压的变化曲线。再利用 A/D 采集卡进行时域采样,并将其传入计算机中进行进一步地处理。第二部分,信号除噪及系统性能的判断。由于在第一部分获取的油压信号中夹杂着很多噪声信号,不利于燃油系统性能的判断和相关特征参量的提取,所以在此部分中首先要对已获取的转速信号进行小波处理。降噪后的信号通过取平均和阈值法,判断燃油系统性能是否存在故障。第三部分,燃油系统故障类型识别及后续部分。若检测系统判断燃油系统性能完好,则利用此部分中结论保存程序将检测结论保存到数据库中加以备份;若存在故障,则在此部分中,先将此次检测的特征参量加以提取并利用已经训练完毕的神经网络给予判断,获得此刻燃油系统故障的准确类型,再利用保存程序加以备份。

## 2.2 系统的主要技术问题及其解决方案

纵观整个系统,主要存在以下四个主要技术问题:

- 1) 油压信号的小波去噪;
- 2) 神经网络的建立;
- 3) 故障类型的判断;
- 4) 系统报警及结论保存。

### 2.2.1 油压信号的小波去噪

在实际测试中,单纯地使用外卡式压力传感器直接测取的燃油压力波形是存在着一定问题的,其油压波形如图 2 所示。从图 2 中可以看出,由于噪声的影响,波形中毛刺较多,常用除噪的方法时滤

波,但一般的滤波技术在降低噪声的同时也展宽了波形,平滑了信号中的锐变尖峰成份,损失了这些突变可能携带的重要信息以及原始信息中的高频特征信息。

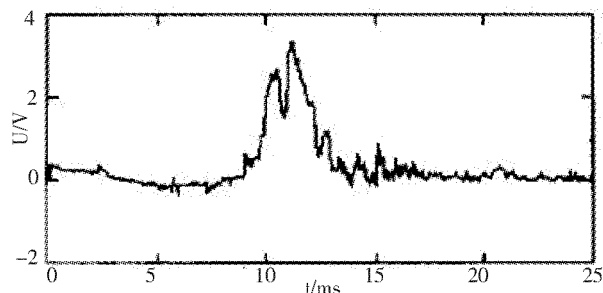


图2 未处理的油压变化曲线

为了满足上述要求,本系统选用了小波变换的去噪方法,它不但保留了时域特性,还很好地保持了频域特性。选定 Daubechis6(D6)为正交小波基,得到它的小波系数  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  和尺度系数  $a_3$ ,其中  $a_3$  能够很好地反映了油管膨胀的低频振荡信号;而  $d_1$ 、 $d_2$  则反映了高压油管压力波动从中频到高频的振荡信息,为噪声信号; $d_3$  含有特征信息。再对高频分量  $d_3$  和尺度系数  $a_3$  进行重构,实现油压波形的恢复。在此检测系统中,笔者分别利用 LabVIEW 中的 wavelet 工具包 Easy Discrete Wavelet Transform .vi 模块和 Easy Inverse Discrete Wavelet Transform .vi 模块实现对初测油压信号的小波分解和重构,最后通过 Waveform Graph 控件将尺度系数  $a_3$  重构的转速波形显示出来,其程序框图如图 3 所示。

### 2.2.2 神经网络的建立

此系统是利用 LabVIEW 数组控件和神经网络相应的算法实现 Bp 神经网络的训练以获取适用于故障诊断的神经网络权值<sup>[4]</sup>。

此系统结合故障识别机构,选择使用三层典型 BP 网络。输入层节点个数  $N$  为小波分解层数,输出层节点个数  $M$  为齿轮箱故障类型个数。而隐藏层节点个数  $H$  是不确定的,它是由输入层和输出层个数共同决定,据经验公式可得

$$H = \sqrt{N + M} + l \quad (2)$$

式(2)中  $l$  为 1—10 之间的整数。

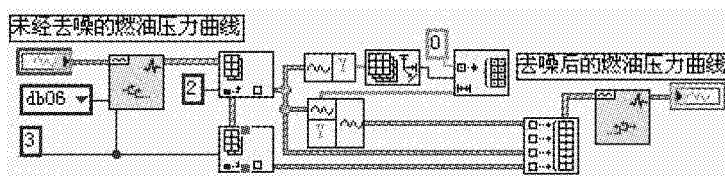


图3 燃油压力曲线去噪程序

在此系统中 BP 网络输入层、输出层和隐藏层节点个数分别取 8、12、8。

BP 网络以典型的故障类型识别为基础可以得到较好的训练。此系统是以燃油系统典型故障信号的特征向量为网络样本输入向量,以燃油系统故障类型为网络的样本输出向量,按照 BP 算法,利用实验样本进行网络训练,获取输入层到隐藏层、隐藏层到输出层的权值和阈值,使得整个网络总体误差达到要求,其中总体误差的变化曲线可以观察到其变化的趋势<sup>[4]</sup>。

### 2.2.3 故障类型的判断

故障类别的判断,即网络确定后的故障识别,是利用 LabVIEW 相关算法来实现的。首先,通过去噪后的油压曲线测取和计算以下特征向量的值,如图 4 所示。

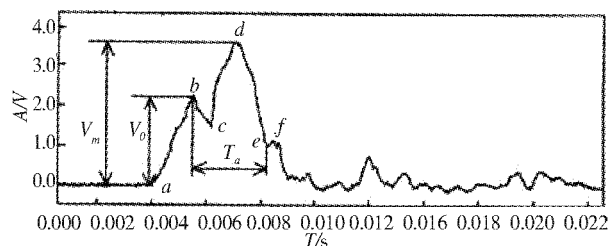


图4 燃油系统正常工作时油压波形

$V_m$ :油压波峰值与残余油压之差; $V_0$ :喷油器开启压力与残余油压之差; $T_d$ :油压最大供油时间; $T_a$ :高压油泵开始供油时间; $T_s$ :喷射时间, $T_s = T_e - T_b$ ; $\Delta V_m$ :两波峰差值; $I_f$ :脉冲因子,为峰值与均值之比; $C_f$ :波峰因子,为峰值与均方值之比。

然后,将上述获得的特征参数输入已经训练完毕的神经网络,实现对测得的信号的判别,获取故障类型。其程序框图如图 5 所示。

此环节是完成燃油系统故障诊断的重要步骤。

它是将实时采集的故障信号特征参量读入,并利用已经训练完毕的 BP 神经网络加以识别,获得最后的故障类型。此过程是一种 BP 网络标准的动力学计算过程。

### 2.2.4 系统报警及结论保存

系统报警及结论保存作用是完成对变速箱状态检测结论的处理。系统报警部分是当变速箱状态检测结论反应变速箱处于故障工作状态时,通过声光信号来提示检测者变速箱处于故障状态;结论保存部分是将获得变速箱状态检测结论通过数据库插入的方式保存到 access 数据库中,便于结论的管理和后期的查询。结论保存部分主要程序片段如图 6 所示。

## 3 柴油机燃油系统性能检测实例

以一燃油系统性能不正常存在积炭的 12150L 柴油机为检测对象,将奥地利 AVL 公司研制的外卡式压力传感器夹在高压油管上,级连电荷放大器和 NI 公司的 NI6013 数据采集卡,利用此系统来完成柴油机燃油系统性能的检测。测取的油压曲线如图 7 所示。

首先,经系统初步判断此柴油机存在一定故障,再将测取的特征参量如下: $V_m = 0.151$ ;  $V_0 = 0.121$ ;  $T_d = 0.020$ ;  $T_a = 0.005$ ;  $T_s = 0.550$ ;  $\Delta V_m = 0.570$ ;  $I_f = 0.995$ ;  $C_f = 0.998$ ,带入已经训练完毕的神经网络,判断出存在积炭故障。与预设情况相符,说明整个检测系统的正确性和可行性。

## 4 结论

此燃油性能检测系统以 LabVIEW 作为虚拟仪

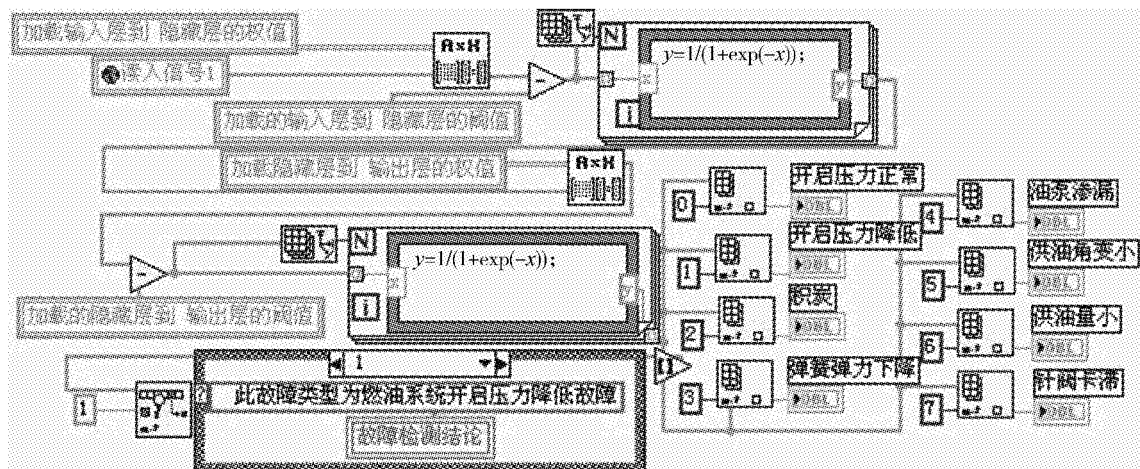


图5 燃油系统故障模式识别程序

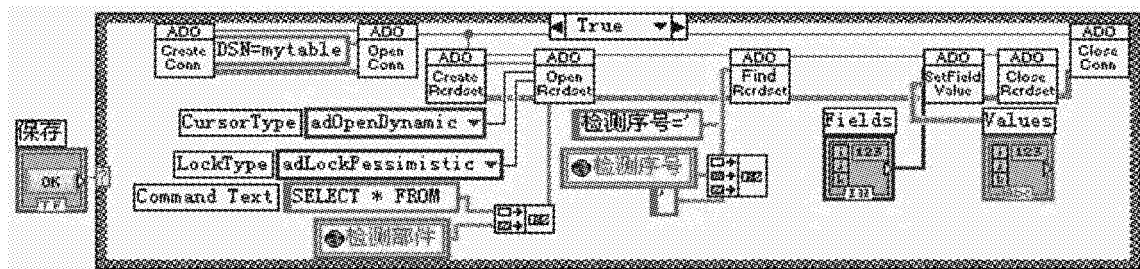


图6 结论保存主要程序片段

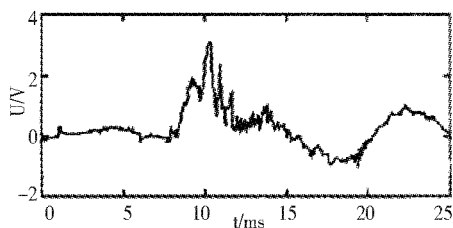


图7 测取的油压曲线

器的开发平台,利用外卡式传感器测取喷油泵在一定转速、手加油杆处于最大供油量位置的情况下油管的膨胀变化,来实现对燃油压力的测试。然后利用小波变换对测取到的压力曲线进行去噪,通过阈值法判断燃油系统工作是否正常,再利用神经网络确定故障的准确类型,最终完成柴油机燃油系统性能的检测。整个系统运用了虚拟仪器的信号采集技术、信号的均值去噪理论、油压测试技术、神经网络技术、实现 LabVIEW 与数据库的接口程序和虚拟仪器仿真报警等多种技术,完成了从信号的实时采集

到状态和故障识别的全过程不解体条件下柴油机燃油系统性能检测的全部工序。

但由于本系统在检测过程中,利用小波去噪存在着一定的误差,与真正理想情况存在一定差别。就其工程运用角度,这种误差也是可以接受的。如要精确,需要做进一步地改进。

#### 参 考 文 献

- 1 张中民,张英堂,张培林,等. 内燃机燃油系统故障诊断的研究. 内燃机工程,1998;
- 2 杨乐平,李海涛,赵 勇,等著. LabVIEW 高级程序设计. 北京:清华大学出版社,2003
- 3 沈寿林,郑海起,张英堂. 基于小波分析的柴油机燃油系统故障诊断研究. 军械工程学院学报,1999
- 4 房立清,徐章遂,米 东,等. 神经网络在自行火炮发动机燃油系统故障诊断中的应用,1999

(下转第 1138 页)

within the boundary layer, as well as induces a velocity component perpendicular to the wall and a favorable pressure gradient in the streamwise direction. This leads to an increased ability of the boundary layer to resist the adverse pressure gradient, which is beneficial to the alleviation of the flow separation. With the rise of the incoming flow velocity, the plasma effect decreases. So in order to obtain an effective flow control using plasma, the intensity of the electric field must be strengthened.

[Key words] plasma boundary layer flow control

---

(上接第 1127 页)

## Design and Simulation for QPSK System Based on MATLAB

GAO Bo, YANG Yan, HU Jian-jun

(Xi'an Institute of Electromechanical Information Technology, Xi'an 710065, P. R. China)

[Abstract] The introduction was done with the principle of the QPSK modulation and demodulation in digital communications, a script was written by using Matlab program to carry out a simulation of the QPSK communication system, which contains the concrete realization of transmit and receive process. The time-domain diagram is drew separately when the signal transmits in the ideal channel and in the channel with noise, spectral analysis of each module is also done, the results obtained with theoretical results in the main, which provides an effective frame of reference for understanding the performance of QPSK systems, and the practical application in the system to make further designed.

[Key words] digital communication QPSK simulation MATLAB

---

(上接第 1131 页)

## Fuel Injection Performance Detecting System of Diesel Engine Based on LabVIEW

YU Wen-wen, LIANG Dong, MA Shi-you<sup>1</sup>, LI Tian-gang<sup>2</sup>, ZHENG Hai-qi

(Mechanical Engineering College, Shijiazhuang 050003, P. R. China; Air Defence Command College<sup>1</sup>, Zhengzhou 450052, P. R. China;

Shenyang Military Representative Bureau Military Representative Bureau Office resided in No. 672 Factory<sup>2</sup>, Qiqihar 161006, P. R. China)

[Abstract] The relationship is researched between elastic deformation of injection line and oil pressures of the diesel engine fuel system, got the oil pressure curve, and then test the dynamic performance of diesel engine. Built the fuel performance collection system of diesel engine based on virtual instrument, established the neural network which can show the characterize parameter and normal-fault diagnosis of fuel system performance. The test and fault diagnosis system is developed by LabVIEW.

[Key words] LabVIEW diesel engine fuel injection performance condition detection