

虚拟仪器技术在飞机燃油系统健康监控中的应用*

万 婧 万方义 宋笔锋 冯蕴雯 (西北工业大学, 西安 710072)

Applied virtual instrument technology to monitor the health of fuel system

WAN jing, WAN Fang - yi, SONG Bi - feng, FENG Yun - wen

(College of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

【摘要】以飞机燃油系统为对象,采用虚拟仪器技术来实现油压的采集和分析,进而判断燃油系统的故障模式。研究表明,虚拟仪器技术不仅为燃油系统的故障监控提供了演示验证的手段,更充分证明了半物理演示验证实验的可行性。

关键词: 燃油系统;健康监控;虚拟仪器

【Abstract】In this paper, taking the fuel system of aeroplane as an example, the faults detection and monitoring had been carried with virtual instrument. By collecting and analyzing the data of fuel pressure, the faults patterns can be estimated. All the results indicate that virtual instrument can offer an effective and convenient means to demonstrate and monitor the faults of aeroplane fuel system. Moreover, half - physical demonstrated experiment, which will be adapted to verify the faults detection and monitoring, can be feasible completely.

Key words: Fuel system; Health monitoring; Virtual instrument

中图分类号: V228 TH156 文献标识码: A

1 引言

各类航空航天飞行器在极其重要的经济、军事领域中发挥着举足轻重的作用。由于飞行器出现故障而导致的事故,轻则降低或失去其预定的某种功能,重则导致灾难性的生命和财产损失。因此,对飞行器进行远程实时健康监控,确保其安全运行是十分迫切的问题[1~3]。美国、欧洲等世界各航空航天技术大国对此投入了大量人力和物力进行研究,其中美国的研究成果降低了美国航天飞机 50% 的飞行风险和 1/3 的运算成本,体现出健康监控与管理所带来的巨大经济效益和安全收益。国内在航天器健康监控与管理研究方面起步较晚,近年来也逐步认识到这方面工作的重要性 and 迫切性,对国外相关技术进行了跟踪研究的基础上,主要在理论方面做了一些研究工作[4~7]。研究现状表明,对各类飞行器甚至其子系统进行健康监控与管理技术研究,是提高飞行安全性、可靠性及可维修性并有效地降低成本的重要途径。

通常航空航天飞行器的运行环境很复杂,所承受的载荷变化很大,使得飞行任务期间的实时健康监控与管理工作的实现很困难。在开展飞行器健康监控与管理研究的过程中,由于受到对象和条件等限制,也不可能采用复杂庞大的飞行器系统来检验相关技术的可行性和应用效果。虚拟仪器技术为此提供了强有力的手段,它是在通用计算机平台上,配上相应的硬件和专用软件,定义和设计仪器的采集、控制、数据分析、结果输出和用户界面等功能,形成既具有普通仪器的基本测试功能,又有一般仪器所没有的特殊功能的新型仪器。

这里以飞机的燃油系统为对象,采用虚拟仪器技术模拟实现燃油系统常见的四种故障的监测,以验证虚拟仪器技术在飞行器远程健康管理研究中的可行性。结果表明,虚拟仪器技术不仅为飞行器远程实时健康管理系统的模拟实现提供重要的手段,而且证明了飞行器半物理的虚拟演示验证方案是完全可行的。

2 飞机燃油系统故障形式

图 1 为飞机燃油系统的简化模型,主要的动态参数有燃油油压、燃油流量、燃油温度等,它们的变化可以准确地表达出燃油系统的健康状况。

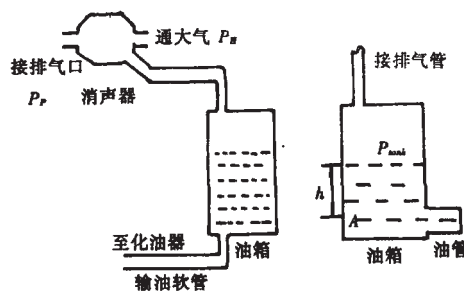


图 1 飞机燃油系统简化模型

其中燃油油箱压力的变化最容易监控,其变化也最敏感,所以这里研究选取油压为主要监控参数,并对其变化进行对比分析。假设飞机在各个飞行阶段视作平稳飞行(不做翻滚、盘旋、侧滑飞行),近似地认为油箱内气体压力 P_{tank} 为:

$$P_{tank} = P_H + P_P \quad (1)$$

其中大气压

$$P_H = f(H) = \left(\frac{288.15 - 0.065H}{288.15} \right)^{5.25588} \cdot P_a$$

排气口压力 P_p 随着发动机活塞在气缸中所处位置的不同呈周期性变化。假设活塞在气缸中近似看作速度为 v 匀速直线运动, 活塞从下止点到达排气口的时间为 T_1 , 完成一个工作循环的时间为 T , 则 $T_1 = a/v$, $T = 2l/v$ 。那么排气口气体压力的函数解析式近似表示为

$$P_p(t) = \begin{cases} k_1 t + b_1, & 0 \leq t < T_1 \\ 0, & T_1 < t \leq T - T_1 \\ k_2 t + b_2, & T - T_1 \leq t < T \end{cases} \quad (2)$$

其中 a 为排气口距下止点的距离, l 为活塞行程。

则油箱中位于 A 点处(压力传感器安装点)的燃油压力值为:

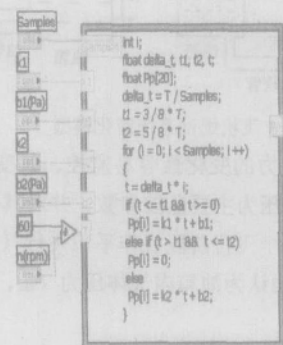
$$P_{fuel} = P_{atm} + \rho gh \quad (3)$$

其中 ρ 为燃油密度, h 为液面高出 A 点的高度差, $h = h_0 - \Delta h$, h_0 为油面初始值, Δh 为经过运行时间 t 后液面下降的高度, q_h 为小时耗油率, A_{tank} 为油箱横截面积, $\Delta h = (q_h t) / (\rho A_{tank})$ 。实际工程应用中的小型无人机、工业柴油发动机燃油系统统计数据表明, 燃油系统的常见主要故障有: (1) 由于材料老化或意外损伤, 从而造成油箱或输油管破裂; (2) 由于安装不当或任务环境影响, 从而造成输油管与油箱、输油管与化油器等连接不牢固或松脱, 或出现输油管扭折堵塞; (3) 由于燃油中含有杂质, 造成输油管堵塞或喷嘴堵塞等; (4) 对应接头处泄漏(或接头松脱)、输油管破裂、油管堵塞、喷嘴堵塞和密封失效等四种常见典型故障, 油箱内 A 点处压力的变化呈现出不同的规律。因此, 采集到 A 点处油压并对其进行分析, 将有助于判断上述四种常见的故障。

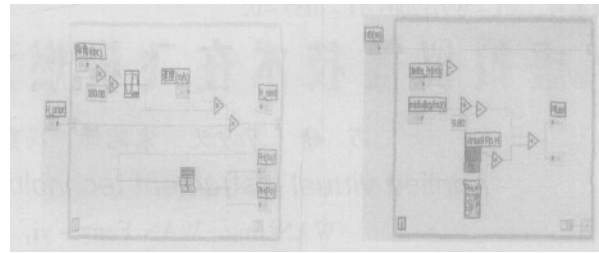
3 飞机燃油系统故障监控的虚拟实现

对于飞机燃油系统的健康监控与管理系统, 首先必须要实现对油压的监测功能, 进而能判断和预测出燃油系统的故障类型, 提出相应的维护措施。其次, 能进行飞行器运行数据库的维护和管理, 指导和控制飞行任务。本文的研究工作主要集中在前者, 以 LabVIEW 软件构建界面, 实现数据采集、数据模拟、状态显示、故障检测诊断、飞行控制、数据存档、生成报表等功能, 完成燃油系统的故障监测和诊断工作(见图 2)。

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是由美国国家仪器公司 (NI) 推出的一种基于图形编程语言 (G 语言) 的开发环境, 它主要用于仪器控制、数据采集、数据分析等领域, 具有强大的数值函数运算、信号处理、输入/输出控制、信号生成、图像的获取、处理和传输等功能。



(a) 虚拟 P_p 实现代码



(b) 虚拟 P_H 实现代码

(c) 虚拟 P_{fuel} 实现代码

图 2 燃油系统测试油压的虚拟实现代码

在模拟实现燃油系统测试油压的过程中, 首先依据飞机的任务曲线, 确定不同高度时的大气压力 P_p , 同时由(2)式确定排气口处压力 P_H , 进而就能确定油箱那气压和油压。由于大气压力 P_H 和排气口处压力 P_p 都简化数值函数形式, 很容易在 LabVIEW 中实现。在模拟系统的四种常见典型故障时, 由 4 个控制按钮来实现, 每个按钮的

开合状态对应一种故障的发生或没发生。这样就可以实现 4 中故障模式情形下, 燃油系统油压的模拟采集过程。对采集到的信号进行 FFT 分析, 并与数据库中已有的不同故障时样本进行比较, 就可以判断出燃油系统所发生的故障。图 3 为实现飞机燃油系统健康管理的主界面, 包括状态显示, 四种故障模拟触发, 油压信号分析结果以及飞行轨迹等。

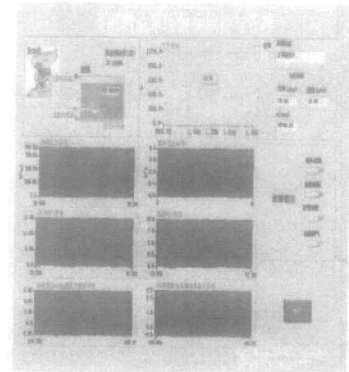


图 3 飞机燃油系统的健康监控与管理主界面

4 结论

这里相关研究结果表明, 虚拟仪器技术在飞行器健康管理系统的演示验证中具有重要的作用, 它不仅提供了演示验证实现的手段, 而且有利于考证所提出的健康管理系统各项功能的完备性和准确性, 降低研究成本。将虚拟仪器技术与物理实验对象相结合, 进行半物理的演示验证工作, 对飞行器远程实时健康管理系统具有重要的理论和实际参考价值。

参考文献

- 1 Raymond G S, William M S. System Health management/Vehicle Health Management, AIAA - 98 - 1928.
- 2 Srimal W, William M S. Reusable launch vehicle system health management, AIAA - 98 - 5239.
- 3 Thomas E. M et al. Health Monitoring for Airframe Structural Characterization, NASA/CR - 2002 - 211428.
- 4 李行善, 高占宝. 航空航天中的综合载体健康管理技术. 电气时代 2003, 11: 84 ~ 85.
- 5 龙兵, 孙振明, 姜兴渭. 航天器继承健康管理系统研究. 航天控制, 2003, 2: 56 ~ 61.
- 6 杨勇, 王小军, 唐一华等. 重复使用运载器发展趋势及特点. 导弹与航天运载技术 2002, 5: 15 ~ 19.
- 7 龙兵, 宋立辉, 荆武兴等. 航天器故障诊断技术回顾与展望. 导弹与航天运载技术 2003, 3: 31 ~ 37.