

VFW 技术在发动机试验系统多余物检测中的应用

单 琳, 乔江晖, 陈海峰

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 论述了发动机试验工艺系统多余物产生机理、多余物控制的基本要求, 提出了一种基于 VFW 技术建立的便携式简易内窥镜多余物图像检测系统。主要对软件设计思路进行了论述, 并详细介绍了该系统在现有试车台工艺系统多余物控制中的应用, 该技术的应用实现了多余检测过程的数字化管理, 提高了试验系统单元部件多余物检测效率。并使检测手段便捷化。

关键词: VFW 技术; 内窥镜; 多余物

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2016) 04-0110-05

Application of VFW technology in detection of foreign objects in rocket engine test system

SHAN Lin, QIAO Jianghui, CHEN Haifeng

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The producing mechanism of foreign objects and the basic control requirements of the foreign objects in the rocket engine test system are described in this paper. A VFW-based portable image detecting system of foreign objects is put forward. The software design thought is mainly described and the application of this system in the control of foreign objects is introduced in the paper. The digital management in foreign objects detection process was realized and the efficiency of foreign objects detection was improved by using this technology. The foreign objects detection measure was also simplified by this technology.

Keywords: VFW technology; speculum; foreign object

0 引言

液体火箭发动机试验系统的主要特点是管路复杂、中间转接环节众多(如气动球阀、过滤器、波纹管、流量计等)、管道空间落差较大、

管道组合件设备体积庞大, 且管道安装方向多与水平面成直角或一定倾斜角。每次对管道进行维护时, 采用目视及其他方法难以发现与度量内部缺陷, 同时由于管道多数转接部件都处于较高安装位置, 拆卸并对其内部进行多余物检查存在诸

收稿日期: 2016-02-15; 修回日期: 2016-03-24

作者简介: 单琳(1981—), 女, 工程师, 研究领域为液体火箭发动机试验测量技术

多不便。

另一方面, 泵压式常规上面级发动机流量小、转速高, 其节流圈直径相对于大推力发动机小很多, 对多余物反应敏感, 要求试验系统严格控制多余物。在以往试验中出现了因多余物影响试验结果的问题, 比如某型号上面级发动机涡轮泵联试, 因氧化剂泵出口管道二级节流孔板被一金属切屑卡住, 导致流量偏小, 出现入口压力偏大的问题; 在某型号发动机试验中因硝酸盐堵塞氧化剂发生器进口过滤器, 导致发动机工况偏低, 紧急关机, 严重影响了型号研制进度。

以上问题的出现, 说明发动机试验需要从全过程自始至终严加预防和控制多余物, 制定合理科学的控制方法, 避免多余物进入发动机内部。采用内窥镜检测多余物是一种简便现实有效的方法, 它利用内窥镜探头及其光源对传感器内部结构进行探照, 进而获得机械结构内部的细节信息。但现有市场上所销售的内窥镜管道检测设备

结构复杂, 所需部件众多, 且价格昂贵。本文在分析和研究了当前内窥镜系统结构的原理基础上, 提出了一种基于 VFW (Video for Windows) 技术设计的简单实用的内窥镜多余物检测系统, 解决现有液体火箭发动机试验台管道多余物可靠性检测的数字化和图像化方法问题, 从而实现发动机试验台管道多余物检测方法由“目测”到“数字化”检测管理的转变, 同时进一步提高试车台管道多余物检测的效率, 从而达到缩短试车台管道检测时间、减少劳动强度的目的。

1 多余物控制方法分析

多余物的产生有多种因素, 因此控制手段必须认真分析系统工艺流程的各环节, 才能采取准确有效的预防和控制措施。对于发动机试验系统来说, 多余物控制主要应从人员、操作、设备、检查、环境和工艺等方面分析。试验系统多余物控制树枝图见图 1。

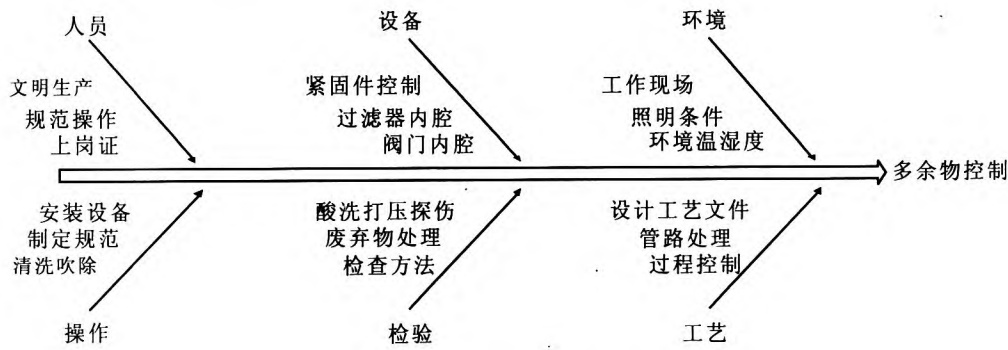


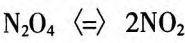
图 1 工艺系统多余物控制树枝图

Fig. 1 Tree diagram of foreign objects control system

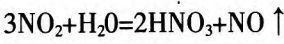
2 工艺系统多余物产生机理

2.1 化学反应产生

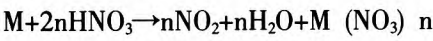
常规发动机试验所用工作介质为偏二甲肼/四氧化二氮, 偏二甲肼自身不易产生多余物, 而四氧化二氮化学机理较为复杂, 四氧化二氮实际上是与 NO₂ 并存的平衡物, 其反应式为



低温时, 以 N₂O₄ (无色) 为主; 高温时, 以 NO₂ (红色) 为主, 遇水生成硝酸, 其反应式为:



硝酸是一种强酸, 具有强烈的氧化和硝化作用, 除金和铂以外, 它对所有金属都有一定的腐蚀作用。氧化剂的吸水性极强, 吸水后浓硝酸变为稀硝酸, 而稀硝酸对金属的化学活性比浓硝酸高。腐蚀的化学反应式为



式中 M 表示在氧化状态下价数为 n 的金属。生成的硝酸盐容易堵塞系统过滤器, 影响推进剂流量, 严重时导致试验失败。图 2 为某次试验前分

解检查氧化剂过滤器结果。



图2 过滤器滤网上白色硝酸盐

Fig. 2 White nitrate on filter screen of a filter

氧化剂（四氧化二氮）贮存的另一个问题就是生成沉淀物。这种沉淀物最初呈凝胶状，然后聚合在一起变成固体颗粒状物质。因此，若彻底隔绝四氧化二氮与水，保持系统正压封存，那么四氧化二氮在系统内产生多余物的可能性就降低了。

2.2 人员操作产生

在工作过程中人员操作可能会产生多余物，若不采取控制措施则可能进入系统，导致系统内存在多余物。例如在新配制相关管路或进行系统改造时，不可避免地有系统与外界接触的过程，管路制作后清洗是否干净，安装过程中是否带进多余物等，防止多余物进入系统就是重中之重。

2.3 系统设备产生

系统内各种阀门的动作导致密封件不可避免的发生磨损。如现阀门密封常用的聚四氟乙烯密封材料，在阀门尤其是球阀等工作过程中，摩擦下来的碎屑等也是多余物，若不采取措施加以控制，可能会对试车结果造成一定的影响。

3 基于 VFW 多余物检测装置简介

3.1 多余物检测装置要求

根据现有的技术水平，笔者认为无损检测将是今后我国液体火箭发动机试车台管道、传感器多余物检测与控制的一个发展必然趋势，该方法可以提高多余物检测效率、降低检测成本。依据上述内容，从方便使用和节约成本的角度进行设计，检测装置应具备如下功能和要求：

- 1) 结构简单、操作方便、便于携带；
- 2) 支持 USB 视频图像传输功能；
- 3) 支持 USB 输入设备（鼠标）对 UI 进行操作；
- 4) 具有本地硬盘图像和视频手动和自动存储功能；
- 5) 可同时支持多个内窥镜头使用；
- 6) 可对视频进行精细化设置和管理。

3.2 内窥镜的功能和组成

工业内窥镜可用于高温、有毒、核辐射及人眼无法直接观察到的场所。它可以把人们的视距延长，突破了人眼观察的死角，可以准确清晰地观察部件内部或内表面的情况，诸如磨破损、表面裂纹、毛刺及异常附着物等，并且能灵活改变视线方向，全方位多角度观察物体内部真实状况。

内窥镜附有照明光源，利用物体的自然孔道或切口导入其内部，可用于液体火箭发动机试验台管道、阀门以及传感器等部件的缺陷和多余物检查。内窥镜组成结构如图3所示。它是通过物镜成像传至 CCD 组件表面上，然后 CCD 再把光像转变成为电信号，而后把数据转送至视频内窥镜控制组，再由该控制组把影像输出至监视器或计算机上。基于 CCD 工业内窥镜有如下特点：内窥镜系统由照明系统、光学镜头系统、CCD 摄像机、计算机 4 个部分组成，其中前 3 个部分可集成在一起，仅引出一根视频信号线和计算机相连，体积小、便于携带。

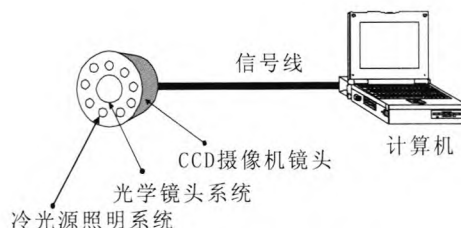


图3 内窥镜组成结构图

Fig. 3 Structure diagram for composition of speculum

3.3 基于 VFW 技术的软件功能

3.3.1 软件设计流程

内窥镜软件是基于结构化程序设计思想，把

系统的采集、控制、通讯、存储、管理、处理和输出等功能设计成为不同的功能性模块。这些模块在功能上是相互独立的, 而在结构上又是相互补充并有机的组合在一起的。软件系统结构如图 4 所示。

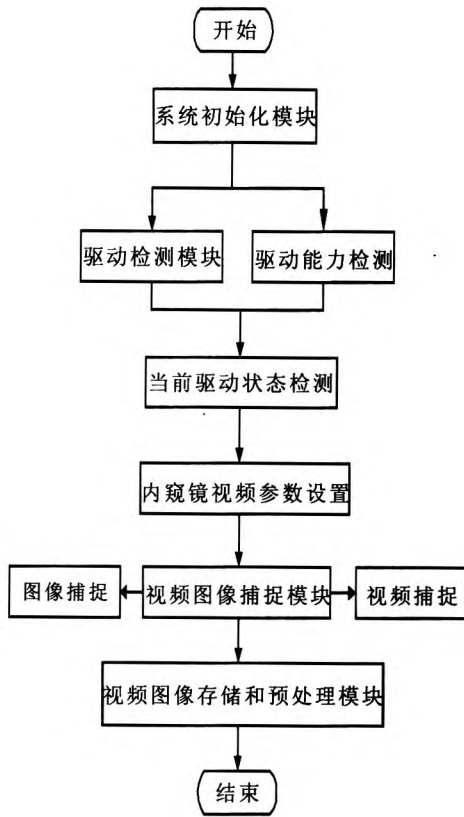


图 4 软件运行流程图
Fig. 4 Flow chart of software

视频图像捕捉模块是软件设计的核心部分, 该部分主要采用 VFW 技术进行程序设计, VFW 的接口主要实现视频采集、视频压缩和 AVI 文件操作等功能, 且播放时不需要专用硬件。Windows 操作系统本身包括了 VFW 开发包, 当用户在安装 Windows 时, 安装程序会自动地安装配置视频所需的视频组件。VFW 技术主要通过 AVICap 窗口类实现视频采集, 通过 Avicap.dllX &mmsystem.dll 进行视频传递, 与视频驱动程序功能交互。

3.3.2 AVICap 视频数据采集方法

视频采集流程分为创建捕获窗口、视频采集

设备的连接和捕获图像到缓存并进行处理过程。视频采集窗口是整个 AVICap 的核心, 首先采用 AVICap 窗口类的创建窗口的函数 capCreateCaptureWindow 创建捕获窗。

视频采集设备的连接是利用 capGetDriverDescription 函数获得视频采集设备的信息, 而后采用 capDriverConnect (m_capwnd,index) 宏将采集设备和窗口连接起来。

数据的采集、显示和处理过程首先调用 capFile 和 capFileAlloc 宏设置数据文件和申请存储空间的大小; 通过调用 capCaptureSequenceNoFile 宏和 capCaptureSequence 宏实现视频数据的采集与保存, 通过 DrawDib 函数解码, 用 DrawDib Begin 函数一帧视频数据显示到视频窗口, 最后用 DrawDibClose () 函数释放资源。

经过以上流程, Windows 系统把 VFW 接口调用传递给 WDM 视频捕获接口, 而后通过 USB 数据线对内窥镜头获得的视频图像进行传输, 计算机所获得的视频数据利用 VFW 技术进行采集处理, 这包括实时的视频流捕获和单帧捕获并提供对内窥镜视频源的控制, 同时, 通过 VFW 技术能直接访问视频缓冲区, 不需要生成中间文件, 实时性很强, 效率很高, 它也可将数字视频保存到事先建好的文件中, 便于对视频结果进行分析和生成检测报告, 同时这也是当前视频采集设备的发展趋势。

4 内窥镜多余物检测方法的应用

4.1 机械损伤多余物检测

裂纹是对试车台管道及部件产品质量影响严重的一种缺陷。这些裂纹的存在, 一方面导致压力管道的气密性达不到要求, 另一方面, 由裂纹所产生的钢屑会留在管道内部形成多余物, 若流入试验系统将对发动机工作性能产生严重影响。

内表面裂纹的检测却是一个较难解决的问题, 利用内窥镜可以深入部件内部进行观察或检测部件内腔表面裂纹和多余物。某次检测管道内部裂纹检测图如图 5 所示。

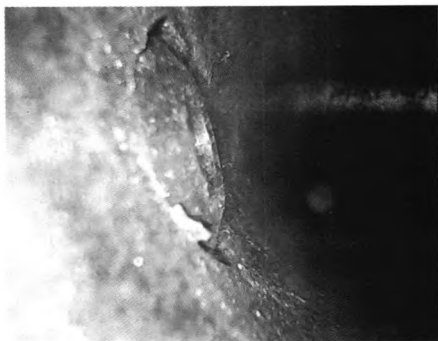


图5 管道内部裂纹图

Fig. 5 Picture of fracture inside pipeline

4.2 化学反应多余物检测

由于试车台在用管道或部件所流经的介质在经过水的清洗后在其内部会产生残留的水渍或略带有酸碱性的水渍,时间长了会对部件表面产生腐蚀或斑点。管道内部腐蚀图如图6所示。这些腐蚀物或斑点通常是由氧化剂与水发生反应后形成白色固态物(硝酸盐结晶)。若在推进剂供应管道中的存在此类多余物,将会堵塞管道和阀门,引起系统流阻变化,进而导致发动机工作性能的不稳定,严重影响试车的成败。

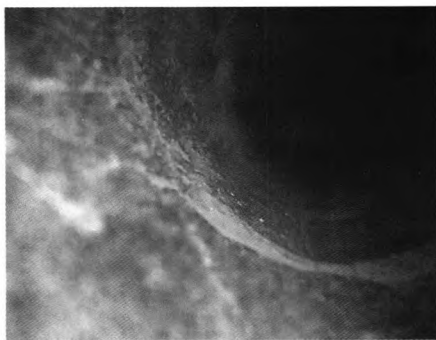


图6 管道内部腐蚀图

Fig. 6 Picture of corroded part inside pipeline

4.3 设备多余物检测

主要氧化剂系统易产生硝酸盐,在未采用内

窥镜之前,每次发动机上台前要定期分解氧化剂和燃料加注过滤器、主管路过滤器以确认系统有无多余物。使用内窥镜之后,每次试车前不需要拆卸过滤器,通过内窥镜头观察管道或过滤器壁上是否存在硝酸盐,并保存记录图像,从而有效地提高了工作效率和试验系统的可靠性。

5 结论

开发研制了一套基于VFW技术的内窥镜装置,其采用了便携式结构,具有低成本、结构简单、精度较高的特点。该装置已多次用于管路内腔和过滤器表面检查,可以直观地检查管路内部多余物的情况,并能够对多余物的形状、位置进行准确判定,在很大程度上改善了现有系统关键部件性能和弥补了现有系统多余物检查方法的不足,大大提高了多余物鉴别率和试验系统可靠性。

参考文献:

- [1] 丁瑞荣. 产品多余物的控制[J]. 航空精密制造技术, 1993 (2): 43-44.
- [2] 艾道高. 对航天产品多余物控制问题的探讨[J]. 质量与可靠性, 1993 (4): 25-27.
- [3] 王辉, 李护林, 崔超海. 发动机总装多余物控制方法[J]. 航天制造技术, 2003 (5): 39-42.
- [4] 郑世才. 航天产品活动多余物的检测[J]. 上海航天, 1997 (5): 56-60.
- [5] 王钟生. 无损检测诊断现场使用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [6] 董务江, 胡诚, 刘洪鑫. 航空发动机维护中的内窥检测[J]. 无损检测, 2001 (4): 167-169.
- [7] 熊涛. 航天器总装多余物控制方法探讨[J]. 航天器环境工程, 2006, 5(23): 277-280.
- [8] 郑宏建. 液体火箭推进剂贮存技术[J]. 上海航天, 2001, 5 (4): 34-36.

(编辑: 陈红霞)