

# 航空发动机计算机辅助试验技术研究\*

西北工业大学 陈桂英\* 李 斌 雷 勇 吴志真

**【摘要】** 本文在论述计算机辅助试验(CAT)技术的基础上,结合航空发动机试车CAT系统研究,探讨CAT技术开发的系统工程方法,介绍数字滤波技术在试验中的应用,通过虚拟仪表技术实现多种信号采集、处理、显示功能。最后展望数据库系统支撑下在发动机试验技术领域中构造人机和諧信息环境的必要性及其发展趋势。

**主题词:** 计算机辅助试验(CAT) 航空发动机 数字滤波方法

**分类号:** TP311

## 1 引言

CAT(Computer Aided Testing)技术有着广阔的应用领域,特别在耗资高、风险大的航空航天试验中倍受青睐。国外CAT技术在航天航空领域内得到了广泛应用<sup>[1~3]</sup>。近年来在我国航空领域也有不少单位开展了此方面探索性的研究工作<sup>[4,5]</sup>。针对不同的试验,CAT系统的功能各有千秋,但其技术特点可综述如下:(1)强调数据采集后的处理工作,通过数字滤波、辨识及过程分析直接提取试验信息。(2)验前依据仿真进行试验设计,验中通过试验考核仿真模型,验后建立数据库。(3)友好的人机界面及虚拟仪器技术,构造人、试验和计算机系统间和谐的信息环境。(4)通过试验数据库,提供可共享的试验信息资源,为开发知识发现系统创造条件。

## 2 CAT系统的总体设计

### 2.1 系统功能分析

根据系统规划,在调研的基础上把其中的功能分析引用“树”的概念将其分解,归类出如图1所示的相关树,给出试车CAT系统的体系结构、各层的概念和在系统中所处位置及承担的功能、系统开发中各项工作的相互依存的秩序。为系统设计完整的空间结构框架,决定自底向上开发的次序。

### 2.2 系统硬件选型与设计

**主机系统:** 选用按照EIA RS-301C工业现场环境标准设计的多槽ISA/PCI总线工控机,其全钢机箱及防逻辑交叉干扰电源,防磁减振的磁盘存贮器,提高主机系统稳定工作能力。

**数据采集系统:** 采用双端输入的高精度信号放大器,16位A/D板,采样率100kHz,精度 $\leq 0.05\%$  F.S.D.(Full Scale Deflection 满刻度偏转,满量程);测频输入通道前端采用锁相倍频技术,系统精度优于0.02%。双绞线信号传输。

1998年12月收稿;1999年4月收到修改稿。 \* 本文系航空科学基金资助项目(编号:5310113-07-3534)

\* 本文曾获得航空工业总公司科技进步三等奖,陕西省国防科工委科研成果二等奖。

\*\* 女 39岁 工程师 西安市西北工业大学207信箱 710072

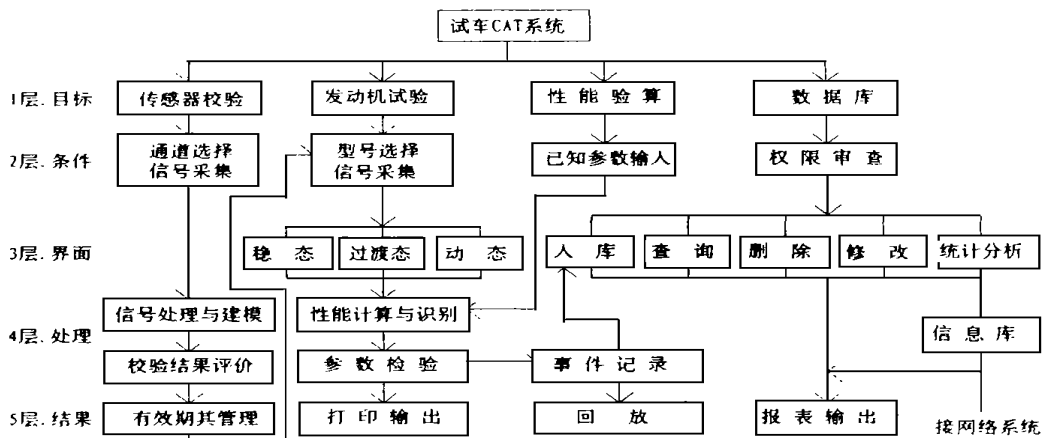


图1 试车 CAT 系统的功能分析

事件记录选用电子盘卡,以固定时间周期循环记录数据,遭遇突发事件记录停止并被保存,通过事件回放,提供故障前一时刻试验运行的情况,起到“黑匣子”的作用。

### 2.3 系统软件设计

(1) 控制界面设计:采用面向对象的软件开发思想,通过信息转接器接受其它功能模块的数据和控制消息,以不同模块的运行过程为主导构成主事件循环。以处理后的数据和控制流去驱动人机界面,使控制界面更贴近试验的真实过程。

(2) 人机界面设计:航空发动机 CAT 系统试验数据种类繁多、显示复杂、实时性高,往往随试验状态的变化而改变,走“分析→设计→实现→评估,再分析→再设计→再实现→再评估”逐步求精、多次迭代之路,体现以用户为中心,以评估为手段的系统的开发思想,达到简捷、一致、完备、自然、友好的人机界面支撑系统的运行。是航空发动机 CAT 系统人机界面开发所遵循的宗旨。

虚拟仪器技术以其崭新的图文并茂的信息显示创造了人机和諧的环境,使计算机功能早已超越了传统仪器的概念,以精度高、响应速度快、表盘美观大方等优点受到广泛重视,还有体积小、功能强和可任意组合变换的优点。

(3) 驱动链环设计:系统软件自上而下的逐级分解控制,系统中的“部件”是指完成相对独立功能的诸元素的一个封装,把最小被重复驱动的部件串称为一个“环”。将某几个物理上彼此靠近的、或有较紧密相联关系的、或在每次循环执行中总是被驱动的部件在驱动环上放在一起单独组成一个小单位“链”。

系统在链环的首部构造了一个环控制器,操作人员向环控制器发送控制信息,环控制器依据信息使几个特定的链以特定的次序构成封闭的链环来反复运行。图2为系统中一个典型的链环。这

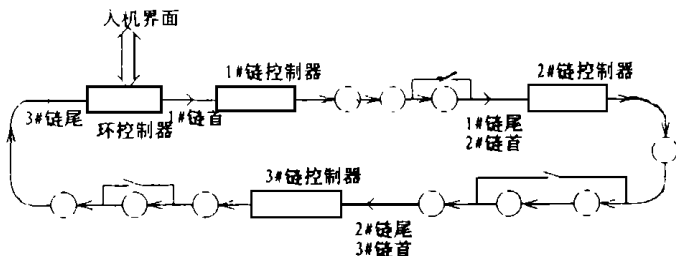


图2 由三条链及环控制器构成的环

些措施的使用使系统的实时性及稳定性都得到了保证<sup>[6]</sup>。

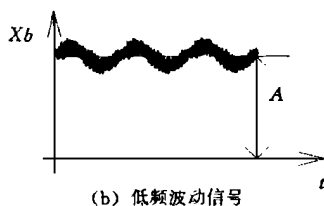
### 3 CAT 系统的数字滤波技术

受发动机工作性质及试验环境的影响, 计算机采集的试验数据受各种干扰而呈现出随机信号的性质, 给信息分析造成困难。数字滤波技术实现去伪存真, 达到在被噪声淹没的数据中提取有用信息的目的。分析发动机试验数据的特征, 受干扰的信号可分成如图 3 所示的四类基本情况, 针对不同性质, 选用不同的滤波方法。

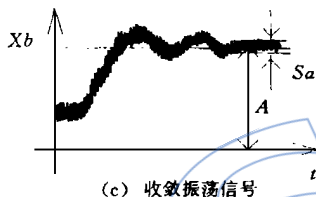
(1) 试车时的大气温度、大气压力和进气道总压等信号, 其采样数据属图 3a 类平稳随机序列, 含有较大的奇异值, 使期望值的估值会出现统计上的涨落。中值滤波和平均滤波去掉奇异值和削减信号上所载的高频干扰, 以求解平均值的最佳估值<sup>[7]</sup>。



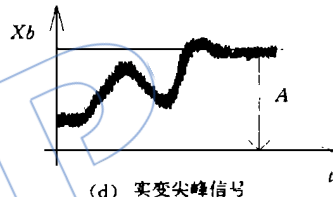
(a) 平稳随机信号



(b) 低频波动信号



(c) 收敛振荡信号



(d) 突变尖峰信号

图 3 发动机试验中四类基本信号

(2) 发动机试验时受调节器及燃烧室工作稳定性等因素的影响, 使发动机推力、排气温度、燃油流量等参数, 即使在发动机稳态工作时也呈现出低频变化, 如图 3 中 b 类所示。采用一阶惯性滤波可收到良好的效果。

(3) 发动机加速过程、加力接通过程等“慢”时变过程, 只要在采样周期内参数变化值相对较小都可看作如图 3 中 c 类信号, 可使用带遗忘因子的渐消记忆递推滤波。

(4) 当发动机进入可操纵性检查时, 对发动机加速过程中的时间、温度突升等参数, 接通加力时的油路和气路压力、涡轮后总压等参数的突变过程来说, 系统的主要目的在于捕捉特征信号“尖峰”值。要求信号处理既要平滑曲线又要保持其凹凸性<sup>[8]</sup>, 此时使用磨光样条函数滤波的方法能较好地满足上述要求。

上述几种滤波方法可嵌套或级联。通过试车 CAT 系统的实际运行的检验, 收到了预期的效果, 有效地提高了系统工作的稳定性和可靠性。通过上述处理, 在选用硬软件的保障下, 发动机试车 CAT 系统的通道精度以达到: 压力 $\pm 0.1 \sim 0.3\%$ ; 排气温度 $\pm 3 \sim 5^\circ\text{C}$ ; 燃油流量 $\pm 0.2\%$ ; 转速 $\pm 0.02\%$ ; 推力 $\pm 0.3\%$ ; 发动机转差、涡轮前燃气总温、台架点、余气系数和性能参数的各种温度修正值计算误差小于 $0.05\%$ ; 通过参数检验, 实时自动地给出结果, 全面地满足了现行工艺规程的技术要求。

### 4 CAT 系统数据库设计

数据库是航空发动机 CAT 系统重要的技术支撑手段, 承担着试验数据的存贮、检索和查询任务, 联网以后也是企业信息系统主要的资源渠道之一。常用的关系数据库管理系统大多选用符合 ISO 标准的 SQL 语言, 要灵活运用 SQL 语言进行数据库开发需要一个较长的过程。本文采用 PowerBuilder 数据库管理系统的前端开发工具, 借助面向对象的开发方法, 可视化、图

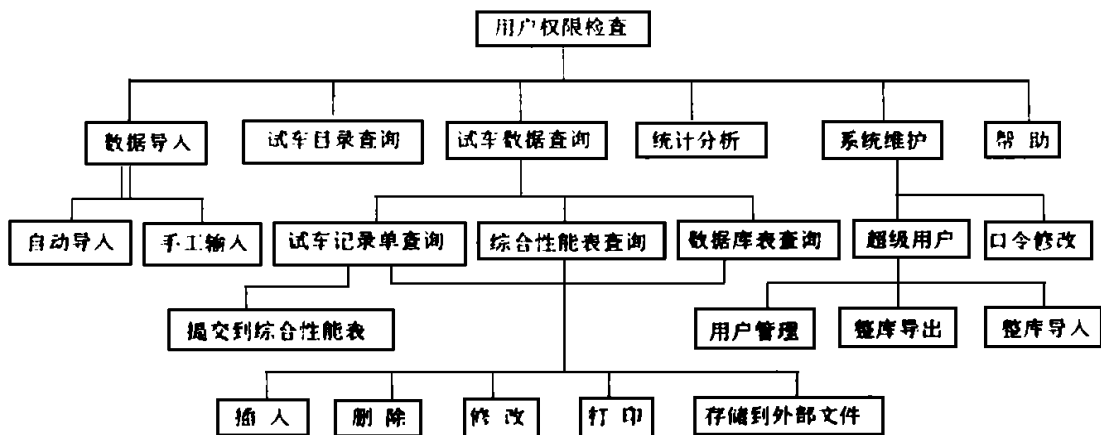


图 4 航空发动机试车 CAT 系统数据库子系统功能图

形化的交互式操作,通过函数、窗口等技术构造了基于 PC 机 Client/Server 体系结构的图形界面应用程序的开发环境,有效地提高了数据库的开发效率。试车 CAT 系统数据库选用发动机号和试车种类为关键字,由日期和时间分别建立发动机各种状态的参数关系表,并存储有关调整记录,取代原有的记录单,停车后自动打印各种报表,受到用户的好评,其功能如图 4 所示。

## 5 结束语

计算机辅助试验以技术上的先进性、完整性和实用性,改变着试验技术中的传统观念,使之向自动化、智能化和信息化方向发展。航空发动机试验规模大、耗能高,投资大、风险性强,因此推广普及 CAT 技术十分必要。由西工大和黎阳发动机公司联合研制的航空发动机试车 CAT 系统,已于 1996 年在黎阳公司投入使用,并在发动机修理厂推广,收到了预期的效果。

## 参 考 文 献

- 1 Dr. Kenneth L. Modesitt. Inductive Knowledge Acquisition Experience with Commercial Tools for Space Shuttle Main Engine Testing. N90- 27326, 1990
- 2 Leonharoft S, Bluhm V. Computer - Aided Test Rig for CSF Shunts. Biomed Tech V39 n7- 8, July- Aug 1994, Fachverlag Schiele & Schoen Gm bH, Berlin, Ger., p188- 195
- 3 MDS Aero Support Corporation, EDAS 9000 Data Acquisition and Control System Technical Specification, 1993
- 4 李斌等. 航空发动机试车 CAT 技术. 航空制造工程, 1996: 29- 31
- 5 郑叔芳. CAT 技术. 测控技术, 1993, 12(2): 42- 46
- 6 李斌等. 航空发动机试车 CAT 系统参数的实时监控. 中国航空科技报告, HK97041
- 7 吴小培等. 一种中值滤波的快速算法. 数据采集与处理, 1995, 10(2): 151- 155
- 8 宗孔德等. 数字信号处理. 北京: 清华大学出版社, 1998

(责任编辑 杨再荣)

cesses. Radiography can hardly resolve the spray cloud, but it is capable of recording the full jet structure and allows to determine the intact core. As examples some liquid jet radiographs have been taken at different fluid pressures and nozzles. The point of cylindrical jet disintegration and the point of annular jet coalescence shift to the nozzle orifice with increasing pressure.

**Key Words** liquid jet Breaking Atomization X- ray Experiments

## **A METHOD FOR CONSTRUCTING TWO- DIMENSIONAL DELAUNAY TRIANGULATION OF COMBUSTOR FLUID**

**Yin He, Chang Lina, Yan Chuanjun**

*(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, xi'an 710072)*

**ABSTRACT** A method is presented here for constructing two- dimensional Delaunay triangulation with a new automatic point creation technique. This technique is based on the idea of advancing- front method to achieve good geometry flexibility. The main steps are as follows: The initial triangulation is generated first, according to the given border set. In the initial triangulation usually there are lots of triangles with very small minimum angles which will seriously decrease computational accuracy. The new nodes are introduced with advancing- front method, and added into the existing mesh according to Bowyer- Watson algorithm simultaneously. The procedure is repeated until no more improvement of the grid can be achieved by inserting the new nodes. Its application to triangulating combustor fluid shows that the resulted grids have great regularity and boundary quality.

**Key Words** Combustion chambers Flow fields Calculations Grids

## **A STUDY OF COMPUTER AIDED TESTING TECHNIQUE FOR AEROENGINE**

**Chen Guiying, Li Bin, Lei Yong, Wu Zhizhen**

*(7th Dept. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)*

**ABSTRACT** A system engineering method for development of the Computer Aided Testing (CAT) technique was discussed in the light of a comprehensive review of CAT technique, and investigation of CAT Systems. The application of digital filtering to the Aeroengine Test was also introduced. The focus was put on the achievements of multi- signal acquisition, processing and displaying according to Virtual Instrument conception. The necessity and trend of a man- machine harmonious information environment development with supporting of database system in the aeroengine Test field were considered.

**Key Words** Computer aided experiment Aeroengine Digital filtering methods

## **A STUDY OF OBJECT- ORIENTED APPROACH FOR AEROENGINE PERFORMANCE SIMULATION**

**Tang Hailong and Zhang Jin**

*(4th Dept. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)*

**ABSTRACT** This paper discusses how to create an extensible, flexible, reliable