

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802266

# 一种进气道畸变测量动态压力采集设计

张亚维<sup>1</sup> 史强强<sup>2</sup> 姚锋刚<sup>1</sup>

(1.西安航空职业技术学院 西安 710089; 2.西安远方航空技术发展有限公司 西安 710089)

**摘要:** 在新机型发动机科目试飞中,发动机进气道畸变特性测试至关重要,其稳定性关系到发动机能否可靠工作。传统方式中将多路进气道壁面总压进行采集,通过后期数据解析提取总压中的动态分量进行分析,此方式延迟较大且提取精度较低。因此设计了一种进气道畸变动态分量实时测量提取方案,在传感器最前端将进气道壁面总压信号中的动态分量进行分离、高增益及滤波处理后采集,与总压信号处于同步状态,保证数据实时相关性,以便评测对比,为发动机进气道畸变测试提供新的思路。经试验与试飞测试验证,动态压力数据采集精度高达0.3%,满足试飞测试要求,目前已成功应用于某机进气道畸变试飞中。

**关键词:** 动态分量;信号提取;进气道畸变;机载测试

**中图分类号:** TN606 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

## The design of an air inlet distortion measure dynamic pressure acquisition

Zhang Yawei<sup>1</sup> Shi Qiangqiang<sup>2</sup> Yao Fenggang<sup>1</sup>

(1. Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China; 2. Xi'an Yuanfang General Aviation Technology Development Co., Ltd., Xi'an 710089, China)

**Abstract:** In new aircraft engine subject test, the engine inlet distortion performance test is important, its stability is related to the engine work reliable. Traditional way, multi-channel acquisition of cylinder inlet total pressure by the late data analysis to analyze the dynamic component of the extraction of total pressure, the way large delay and the extraction precision is low. So we design a dynamic component of inlet distortion real-time measurement extraction scheme, the sensor will the front cylinder inlet total pressure. The dynamic component of signal processing, high gain and filtering after the acquisition, and the total pressure signal in synchronization state, ensure data real-time correlation, in order to measure contrast, providing a new method for the amount of engine inlet distortion test. It has been verified by test and flight test, the dynamic pressure data acquisition precision as high as 0.3%, meet the requirement of flight test, and has been successfully applied in a machine of inlet distortion test.

**Keywords:** dynamic component; signal extraction; inlet distortion; airborne test

## 0 引言

在进气道与发动机相容性飞行试验中,进气道出口压力测量靶集成了动态压力传感器,用于测量进气道出口动态压力畸变<sup>[1-3]</sup>。传感器输出的信号中包含了测量部位的全部总压信号,而在试飞测试中需要重点分析全压力信号中的动态交流小信号分量,二者共同评价进气道畸变的性能<sup>[4-6]</sup>,因此,总压信号中的动态小分量信号分离提取技术成为关注的焦点。

动态分量在总压信号中所占的比例较小,传统技术是直接对总压信号滤波处理后数字采集,再在处理器中通过交流信号提取算法从总压信号中分离提取动态交流压力数

据<sup>[7-10]</sup>。此方法主要缺陷是,一方面动态分量在全压信号中比重仅为1/10,对采集后的全压信号再提取动态分量精度低,且增加了数据处理工作量;另一方面,提取分离算法中,时间延迟性无法确定,实时性较差<sup>[11-12]</sup>。

本文提出了一种进气道畸变动态分量高增益实时提取测量方法,在传感器输出的全压力信号中,第一时间采用高通滤波方式分离交流分量,同时提高信号增益,将脉动小信号分离,使用独立的采集通道,处理器采集精度大幅提高,并与原全压力信号的时间相关性保持一致,便于数据关联性分析<sup>[13-15]</sup>。

## 1 进气道畸变压力测量系统

机上动态压力传感器直接集成在进气道测量靶中,选

用 Kulite 公司的 XCEL 系列的压力传感器,传感器采用四线制连接方式,内部采用惠斯通全桥结构设计,为保证精度与安全可靠性,激励均采用独立恒压源。

在本设计中采用模拟信号分离方式,在传感器输出后端直接对动态交流压力信号进行分离处理,根据预估的被测部位动态交流信号幅值大小,设计适当的增益倍数,将交流信号幅值放大后,与总压信号一同输出给后端机载通用数据采集设备,并进行遥测或记录处理。图 1 所示为进气道畸变压力测量系统示意图。压力测量通道共 30 路。

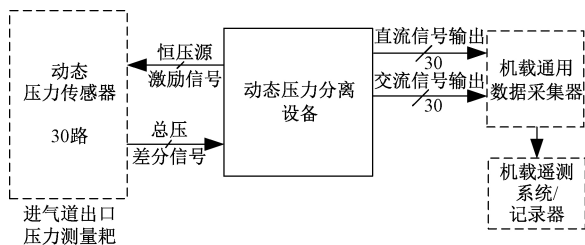


图 1 进气道畸变压力测量系统

动态压力分离设备在功能上由 6 部分组成,分别为差分输入放大电路、增益调整电路、交流信号输出电路、总压信号输出电路(直流输出电路)、恒压源激励电路以及电源电路组成。该设备各模块组成如图 2 所示。

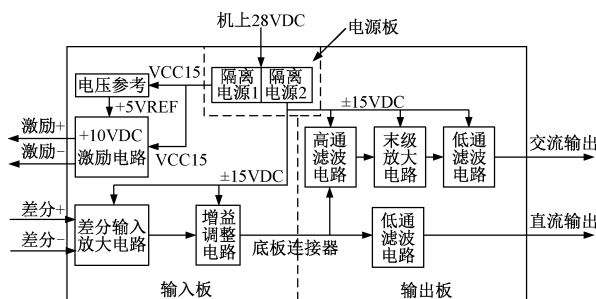


图 2 动态压力分离设备模块组成

## 2 动态压力分离设备模块化设计

通用化采集器中电压采集板卡输入电压范围为  $\pm 10\text{ V}$  时,码值误差最小,因此在设计输出接口电路时,考虑低阻抗输出与电压电平匹配设计。

### 2.1 输入接口及增益电路设计

机上特殊环境下,传感器的安装位置与采集设备存在较长距离,在输入接口设计中首先使用差分信号传输,并增加共模、差模电容,提高设备的 CMRR。

根据要求直流输出总增益为 100 倍,为了避免第一级高增益误差的影响,增加增益调整电路共同将输入信号增益调整到合适范围。

接口端选择 AD 公司经典的仪表放大器 AD620,只需通过一个增益电阻便可实现对增益的精确编程。接口电路输出后连接着增益调整电路,结构为反相比例放大电路,其

无共模输入信号,对运放的共模抑制没有特殊要求,输出电阻近似为 0。接口电路及增益电路设计如图 3 所示。

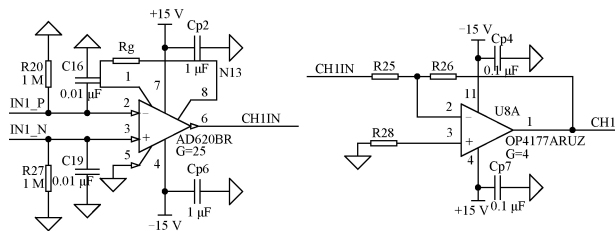


图 3 接口电路及增益电路设计

### 2.2 动态分量分离及总压输出设计

对于动态分量分离输出通道,主要目标是将传感器输出的总压信号中直流量去除,同时对分离出的交流动态分量进行增益匹配。设计中采用高通滤波器-末级放大电路-低通滤波器电路结构分别进行分离、增益、滤波处理 3 个环节。

高通滤波器采用巴特沃斯型滤波器结构,通过计算合适的阻容参数,将 HPF 截止频率选择在  $0.25\text{ Hz}$ ,阶数为二阶。为保证与总压输出相位一致性,动态分量末级放大电路采用同相放大。末端输出采用高阶低通滤波器处理,滤除有效频带之外的频率信号形成抗混叠滤波器,提高输出信号质量,为后端 ADC 数字采集设备提供优质信号。设计中采用四阶巴特沃斯低通滤波器,其截至频率设计在  $1000\text{ Hz}$  处,带内纹波小于  $0.1\text{ dB}$ 。四阶低通滤波器采用 2 个二阶滤波器级联组成,第 1 级滤波器的品质因数  $Q_1$  为  $0.5412$ ,第 2 级滤波器品质因数  $Q_2$  为  $1.3066$ ,四阶滤波器总的品质因数  $Q = Q_1 \times Q_2 = 0.7071$ ,可以保证四阶巴特沃斯低通滤波器具有最佳响应曲线。

直流输出电路直接采用与交流输出电路相同的四阶巴特沃斯低通滤波器,滤除频带中无用的频率信号,输出全压力信号。动态分量分离及总压输出设计如图 4 所示。

### 2.3 恒压源激励电路设计

恒压源激励为传感器惠斯通电桥提供稳定激励。电路采用单运器结合 2 个三级管组成具有限流保护功能的精准恒压源。

过流保护电路功能主要是为防止传感器或者其他情况出现问题时,能够限制桥压输出不超过额定电流,造成不必要的损坏。过流保护电路主要采用两个三极管 T1、T2 与限流电阻  $R_0$  组成。实际应用中根据三极管导通电压配合限流电阻即可计算出限流电流的大小。恒压源激励电路如图 5 所示。

### 2.4 供电电路设计

设备电源来源于机上  $28\text{ VDC}$ ,为了保障调节器工作电源稳定性及抗干扰性,并根据各电路功率大小,电源板采用两路 DC-DC 隔离电源模块,一路经  $+28\text{ VDC}$  转换为  $\pm 15\text{ VDC}$  电源,为输入差分电路及各级运放电路提供电源;另一路由

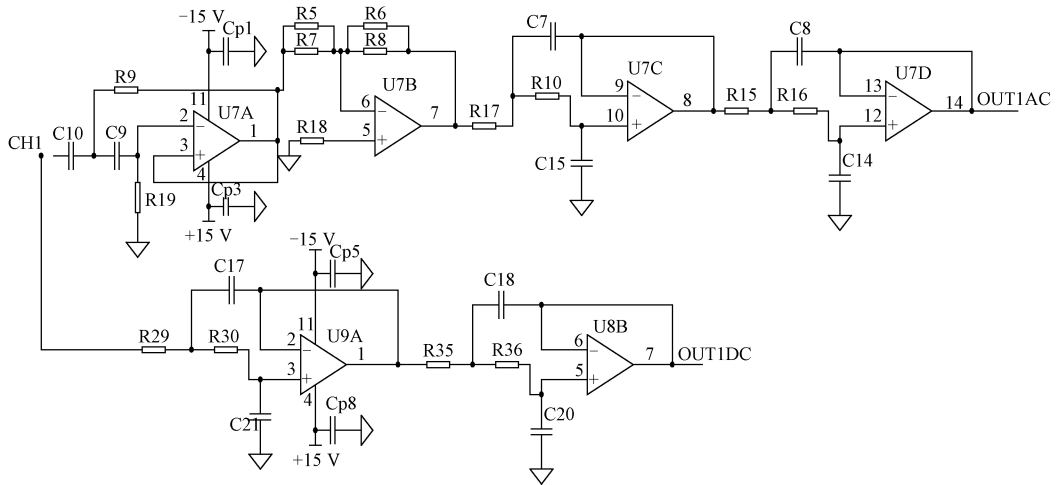


图 4 动态分量分离及总压输出设计

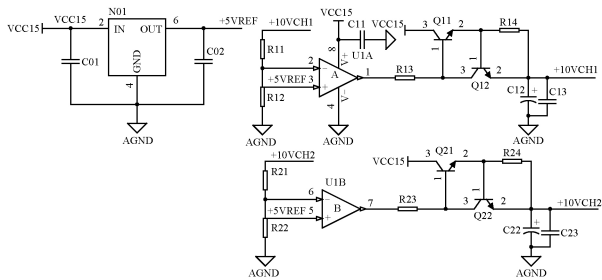


图 5 带限流保护的恒压源设计

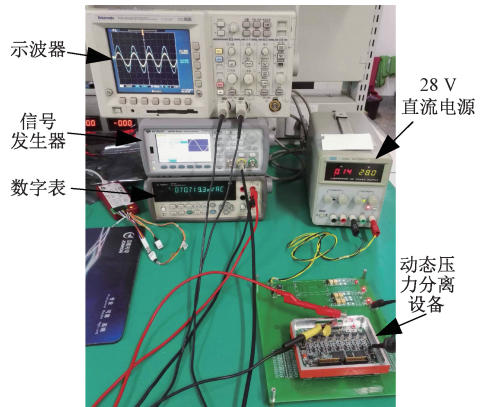


图 7 实验室测试平台

+28 VDC 转换为 VCC15 V 直流电源, 专为桥压激励电路使用。

为了满足机载电磁兼容特性要求, 除采用隔离电源模块外, 电源输入端加入反接保护设计、抑制尖峰毛刺的瞬态抑制电路及 EMI 输入滤波模块配合外部滤波电路解决电磁干扰问题。供电电路结构如图 6 所示。

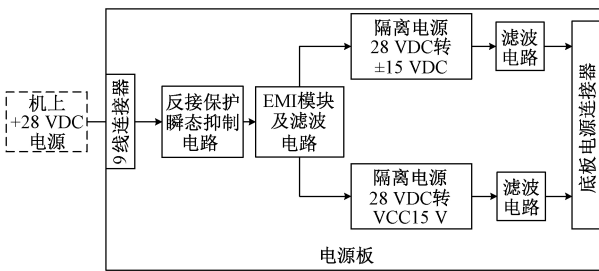


图 6 供电电路结构

### 3 试验测试与结果分析

测试环境在实验室搭建, 前端输入信号采用信号发生器模拟压力传感器输出信号中的直流信号与交流分量, 通过本设备对信号处理之后, 分离出动态交流分量和总压信号(直流输出信号), 输出信号通过示波器与数字表进行测量读取。实验室测试平台实物如图 7 所示。

输入信号采用直流信号叠加交流分量形式产生, 其中直流量从 20~100 mV, 动态分量从 5~23.57 mVrms, 交流频率为 40~600 Hz。直流通道的输出增益 100 倍, 交流通道的输出增益 300 倍。通过数字表分别测量输出的直流量与交流分量。测试试验数据如表 1 所示。

表 1 测试试验数据表

交流输入/ mVrms	交流输出/ mVrms	交流精度/ %	直流输入/ mV	直流输出/ mV	直流精度/ %
5	1 487	0.09	20	1 991	0.09
10	2 984	0.11	40	3 993	0.07
15	4 482	0.13	60	5 992	0.08
20	5 980	0.14	80	7 988	0.12
23.57	7 040	0.22	100	9 983	0.17

通过表 1 测试数据可知, 输入信号中直流信号叠加交流信号经过本设备分离后输出, 经测量交流信号经过 300

倍增益后,输出精度最大为 0.22%,直流信号经过 100 倍增益后,输出精度最大为 0.17%,均满足机载数据采集系统要求的 0.3%精度指标。

使用示波器对输入、输出波形进行动态测量比对,图 8 所示为交流动态分量输出测试波形,其中幅值低的为 ch1 输入信号,幅值高的为 ch2 输出信号。输入信号设置为 100 mV<sub>p</sub>/1 kHz 正弦波,并在输入信号中叠加有 100 mV 直流信号。

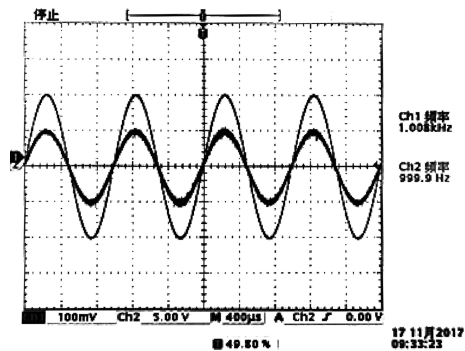


图 8 交流动态分量输出测试结果

通过图 8 交流输出通道试验波形可知,输出波形幅值为 10 V<sub>p</sub>/1 kHz,相位与输入信号一致,增益倍数为 100 倍,并且输出波形中均为交流分量,直流量被滤除。

通过以上结果分析可知,本设计思路合理,符合发动机进气道试飞测试数据分离采集要求,满足机载环境要求。目前已应用在某型机进气道动态性能试飞测试项目中,获取了大量的进气道畸变气流压力数据。下一步将对测试获取的进气道数据进行分析,评测发动机进气道畸变特性。

## 4 结 论

针对新机发动机进气道性能评测时,需要分离提取总压传感器中的动态小信号分量的实际应用问题,本文设计了一种动态分量高增益实时提取测量方法,提取了小信号交流分量用于进气道稳定度测试。与事后软件数据处理方法相比,此方法实时性高、处理方式简单直接、采集精度更高。该方法设计的产品已成功应用于某型发动机测试系统中,获取了可靠的试验参数。下一步可再提高信号处理精度,并对采集数据进行实时计算处理,特性参数实时监控。

## 参考文献

- [1] 吴鸿,陈冲,李超,等.一种基于 PSD 的转速测量新方法[J].电子测量与仪器学报,2014,28(9):1033-1039.
- [2] 姜健,史建邦,李冰.进气道出口可压缩附面层测量及其参数计算方法研究[J].科学技术与工程,2014,14(22):95-100.
- [3] 史建邦,申世才,马燕荣,等.某型涡扇发动机进口空气流量及附面层的测量与计算[J].测控技术,2012,31(6):38-41.
- [4] 张瑞峰,张巍.改进双目视觉在柴油机缸盖毛坯检测中的应用[J].电子测量技术,2011,34(8):48-51.
- [5] 王国林,付晶.发动机进气道三维数值模拟及仿生设计[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2013,32(5):1055-1058,1081.
- [6] 黄朝,许鑫,刘敦歌,等.基于多传感器的微弱磁异常信号提取方法研究[J].电子测量技术,2015,38(10):91-95.
- [7] 张建琳,乔东峰,刘成玉,等.动态信号采集技术研究与应用[J].测控技术,2002(2):21-24.
- [8] 白力强,王士学,王磊,等.火炮行进间射击动态参数测试与数据分析[J].电子测量技术,2016,39(6):141-144.
- [9] 江涛.基于 MSP430 心率测量仪的设计与实现[J].电子测量技术,2018,41(13):129-133.
- [10] 汪成龙,黄余凤,何宣,等.基于 LabVIEW 的应变片数据采集系统[J].电子测量技术,2018,41(14):97-101.
- [11] 阿辽沙·叶,顾君,张小秋.基于数据时空相关性的智能台区识别技术[J].现代电子技术,2018,41(4):30-33.
- [12] 毛雨阳,刘一清.基于 FPGA 的多路磁共振信号采集设计[J].电子测量技术,2018,41(14):128-133.
- [13] 赵静.动态力传感器校准实例——动态信号的采集与分析[J].计测技术,2015,35(S1):99-101.
- [14] 丁男,聂率航,许力,等.面向车联网应用的数据关联性任务调度算法[J].计算机学报,2017,40(7):1614-1625.
- [15] 吴丹丹,金涛.一种高分辨率数字相位计的设计与实现[J].电子测量技术,2018,41(14):113-116.

## 作者简介

张亚维,硕士、讲师,主要研究方向为航空电子、仪器与仪表检测、信号与系统等。

E-mail:125556113@qq.com