

文章编号: 1000-8055(2004) 03-0402-06

数据采集技术在叶轮机械 实验中的应用

袁 巍, 陆亚钧, 周 盛, 李志平
(北京航空航天大学 能源与动力工程学院, 北京 100083)

摘要: 介绍某压气机实验台建设中的测控方案。对于数据采集过程中的各种压力信号, 提出了适用于叶轮机械稳态特性采集的经济性方案。针对各种动态干扰噪音, 详细分析了噪声源的产生及其干扰方式, 发展了利用采集技术判断干扰源的方法, 并采取了具有针对性的抗干扰措施。为后续实验的进一步展开奠定了基础。

关键词: 航空、航天推进系统; 数据采集; 压气机; 屏蔽; 接地; 抗干扰技术

中图分类号: V211.1⁺5

文献标识码: A

An Application of Data Acquisition Technique to Turbomachinery Experiments

YUAN Wei, LU Ya-jun, ZHOU sheng, LI Zhi-ping

(School of Jet Propulsion, Beijing University of Aeronautics and Astronautics,
Beijing 100083, China)

Abstract: A system for measuring and control of some compressor experiments in a test cell is described. An economical scheme, which is effective for the steady data acquisition for turbomachinery, has been demonstrated forward. By dint of the analysis of sources and influencing modes from the dynamic interferential signals, a method that can estimate the jam source is developed, and accordingly the remedies are taken. All this work provides the basis for the further experiments.

Key words: aerospace propulsion system; data acquisition; compressor; shield; grounding; anti-jamming technology

电子技术和微型计算机的迅速发展, 促进了微机测控技术的广泛应用。较之以往的手工测量方式, 数据采集技术具有极大的优势, 表现在速度快、精度高、重复性好, 方便实时显示与控制, 同时也节省人力、物力。特别是对于测量参数较多和实时的动态测量, 则只能通过数据采集技术才能实现。本文根据叶轮机械的测量特点, 利用现代化的数据采集技术, 分别针对稳态和动态测量的不同要求, 建立了某压气机实验台的测控系统。其中的

多通道采集技术和利用数据采集寻找干扰源的方法可为同类测试提供参考。

1 实验目的

图 1 为低速压气机实验台简图^[1], 由异步交流电机提供动力, 它由伺服机构控制转速, 控制操作由计算机完成。根据实验需求, 测量分为稳态测试和动态测试, 前者主要测量定常流场参数, 包括流量管静压、压气机进口总压、压气机出口

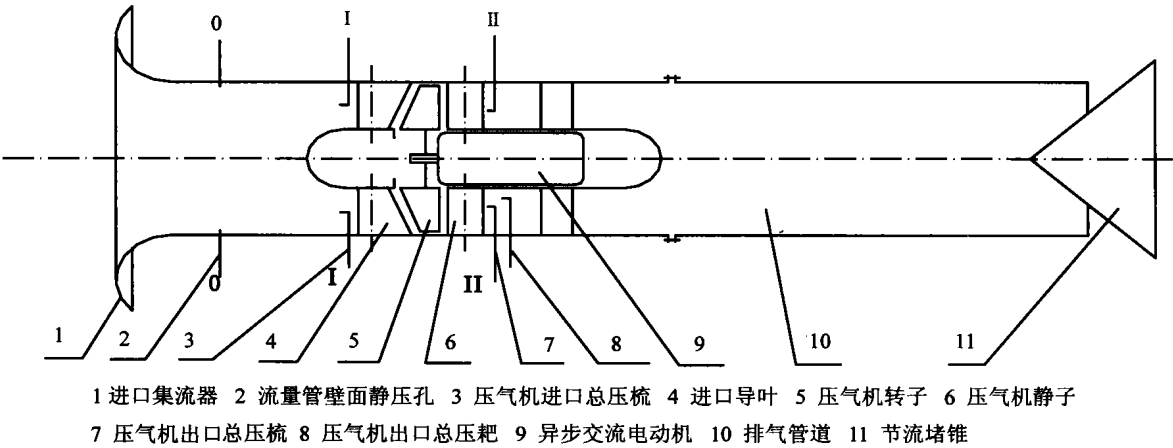


图 1 实验台结构简图

Fig.1 Configuration sketch of experiment platform

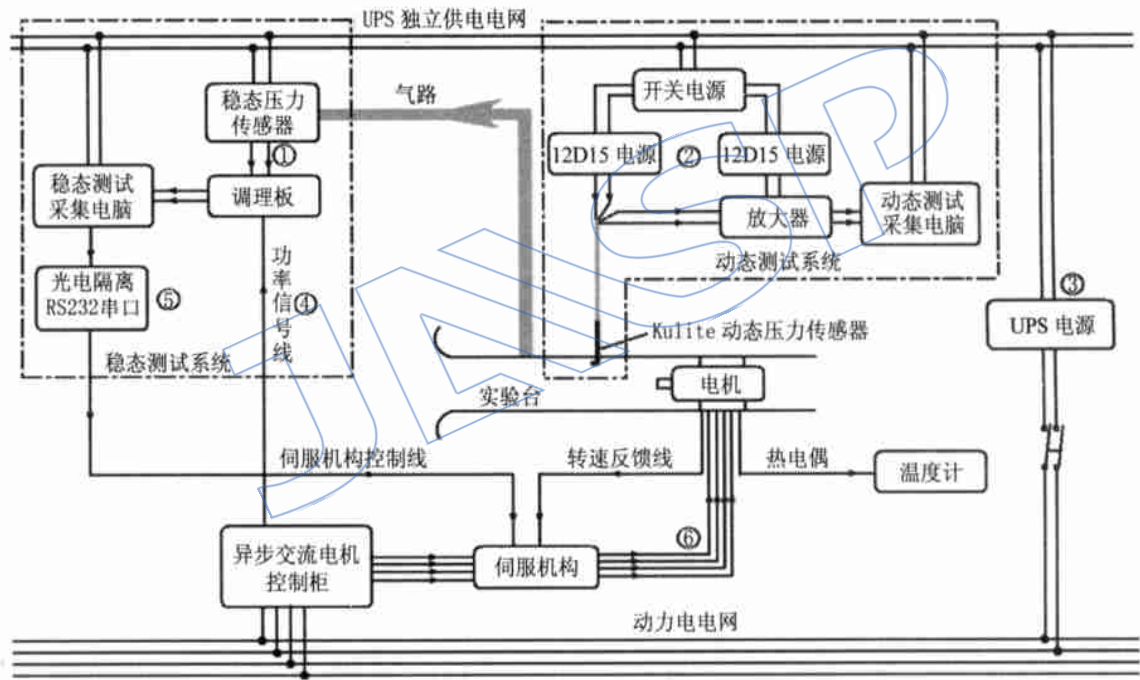


图 2 测试系统总图

Fig.2 Global graph of measurement system

总压梳总压、压气机出口总压靶总压, 静子叶片表面静压、转速和电机输入功率等等, 用来计算各种流场特性参数; 后者主要测量非定常量, 包括各部位的动态总压, 用来分析频谱。

2 实验台测试系统

图 2 为自主开发的测试系统简图。根据实验目的, 测控系统可分为 3 个子系统: 伺服电机控制与测量系统、稳态测试系统和动态测试系统。

伺服电机控制与测量系统包括三相异步交流电机、伺服机构、控制与测量转速的电脑以及监测温度的热电偶仪表。为了测量压气机的等转速特性, 必须稳定地控制转速, 由于选用了异步交流电机, 为了适合实验中转速控制精度较高的要求, 本实验台选择了德国 AMK 公司的 KU10, 其调速方式是通过电流调节, 可实现无极调速, 另外通过高精度的转速测量, 形成自动反馈的闭环系统, 可将实际转速与设置转速的误差控制在 1 r/min 之

内。

稳态测试系统包括稳态压力传感器、信号调理设备、数据采集板以及稳态采集电脑,同时通过串口控制伺服机构调节转速。此外,为了测量效率,还须进行电机功率的测量。

动态测试系统主要包括 Kulite 动态压力传感器、高频响的 Entran 放大器、12 位 800 kHz 的高速采集板以及用于动态测试的电脑设备。

3 多通道采集技术

在叶轮机件的常规稳态测量当中,最重要的参数首推压力的测量。而且少则数十路,多则上百路通道。如果使用压力扫描阀进行测量,当然是一个高效且方便的选择。但此套设备非常昂贵,往往要数十万元,这对于主要从事机理研究的试验台来说,并不现实。因此,目前较为普遍采用的方案是,每路压力传感器都要经过一路放大器和滤波电路^[2],经过多通道的采集板进入电脑。当压力通道较多时,放大器就成为一笔不小的开销,而且数十路甚至上百路通道的采集板也只有 NI 等少数公司才能保证较高的性能指标。这样算来,这套硬

件设备也有数万至十多万元。为了实现经济且实用的数据采集系统,在本实验台系统建设过程中,考虑到稳态压力信号的特点,采用了一种组合扩展的多通道采集方案,实验证明得到了良好的效果。

考虑到稳态压力信号对频响的要求不高,我们可以选择一块有限通道和功能的数据采集板,而对其中的若干个通道进行扩展。例如,研华 PCL-818HD 采集板,虽然此款采集板只有 8 个差分通道,但借助它的四路数字信号 S0~S3,可以片选 16 路通道,于是可以连接多达 16 路通道的 PCLD-789D 调理板。每块 PCLD-789D 只有一路仪表放大器,通过多通道模拟开关切换不同的通道,而且具有二级滤波功能。这样一来,一块 PCL-818HD 最多可以级联 8 块 PCLD-789D,只要在采集程序上合理的控制不同通道之间的延迟时间,就可使采集系统同时具备 128 路的测量能力,而且无需额外的放大器。这套硬件只需几千元的投资,是一种非常经济的实用方案。图 3 为采集板与扩展板的级联示意图。

由于一般的采集板都具备数字 I/O 测量功能,对于用于扩展的调理板,也可根据上述方案,按照图 4 所示的原理图定做,因此这种方法具有普遍的适用性。其中的两级滤波可采用 Π 型低通滤波,为了滤掉高频的干扰,可按(1)式配置电阻和电容。由于大的电容器放电时间过长,不利于快速的采集,因此常选用 $0.1\ \mu$ 的电容。

$$R = \frac{1}{2\pi Cf}$$

(1)

4 抗干扰措施

4.1 传感器电源的阻抗匹配

在稳态测试系统当中,由于压力测量通道较

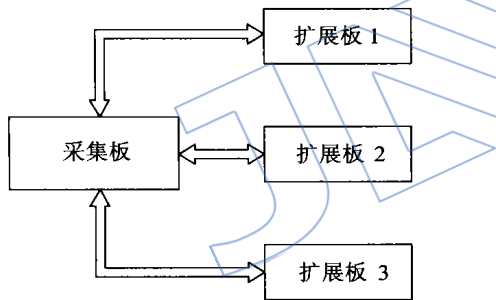


图 3 采集板与多块扩展板的级联

Fig. 3 Alternative cascading of multiple expansion boards with AD boards

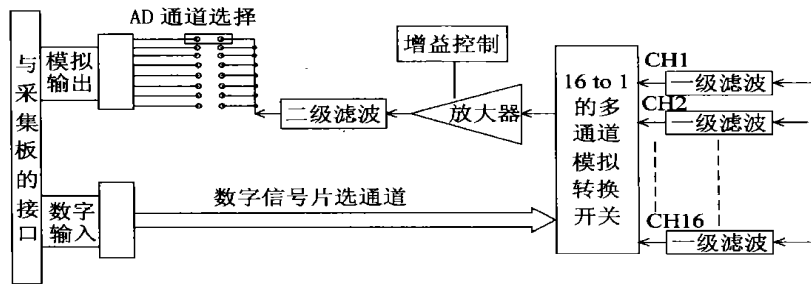


图 4 扩展板原理图

Fig. 4 Scheme graph of expansion board

多,而且量程不同,因此选用了几种不同的传感器,各传感器共用同一个电源,如图 5 所示。而传感器一般为桥式结构,供电的正负极之间的阻抗只有几 $k\Omega$ 其中一种低量程的传感器在通道数目和负荷变化时出现零点漂移,当采集通道增加时使得电压采集出现严重偏差。经过故障测量与分析,发现这是由于该传感器的阻抗特性设计有缺陷,在传感器共用电源时通过电源耦合不同传感器的特性阻抗。为此我们为每个传感器的供电端采用“DC-DC”进行隔离,如图 6 所示,将并联端取在“开关电源”和“DC-DC”之间,于是问题得到解决。

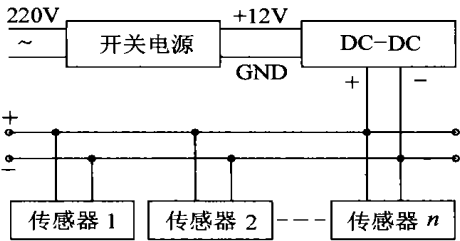


图 5 稳态压力传感器原始供电方案

Fig. 5 Original power supply sketch of steady pressure transducer

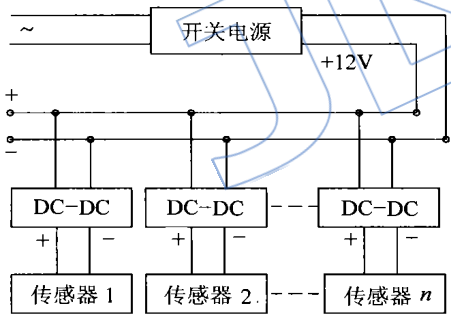


图 6 稳态压力传感器改进供电方案

Fig. 6 Improved power supply sketch of steady pressure transducer

4. 2 长线传输的屏蔽与接地

在动态测试系统当中,按照 Entran 放大器的使用要求,其接线图如图 7 所示,其中电源部分由开关电源和 DC-DC 模块构成,在动态压力传感器和放大器之间的连线之外有金属屏蔽。然而实际使用过程中发现,由于传感器与放大器之间的信号线较长,这种接线方式效果并不理想,放大器的供电端与传感器的供电端的参考地没有明确一致的定

义,容易引入共模干扰^[3],另外屏蔽层没有

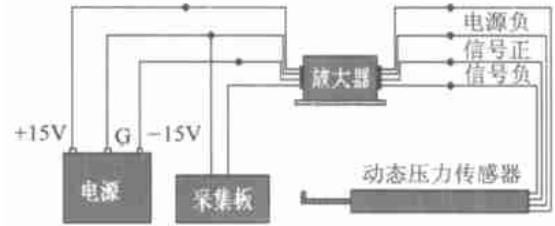


图 7 动态压力传感器接线图

Fig. 7 Wiring diagram of dynamic pressure transducer

针对上述弊端,可知这是来自“地”的干扰,于是采取了图 8 所示的修正线路。对于电源共地,传感器供电采用 DC-DC 模块代替放大器供电,并将放大器与传感器两组地相连,这种双极性的供电方式使之具有明确的参考电位,十分有利于消除共模干扰。对于 1 MHz 以下的电路系统^[4,5],接地的原则是在某一处单点接地,而且接地点越大越好,这可减少多点接地时在屏蔽线中出现的电流^[3]。如图 8 所示,我们将传感器与放大器之间、放大器与采集板的地集中接入采集板输入端的地线,这样连接后,屏蔽网中的感应电荷都可以通过图中唯一的接地点导出。测试结果表明,此种屏蔽接地的措施可使现场的噪音干扰信号下降数倍。

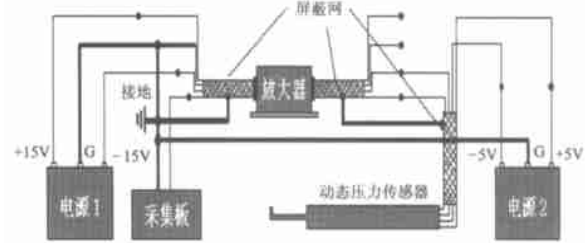


图 8 动态测试系统的屏蔽和接地

Fig. 8 Shield and grounding of dynamic measurement system

4. 3 空间磁场的抗干扰措施

当“地”的干扰被排除之后,电机直接启动到额定转速下的测量结果表明,干扰已经被降到很低的量级。但为了调节转速而加入了伺服机构之后,则出现了比较严重的问题,整个实验间都呈现了很强的干扰。

为了寻找干扰的来源,通过不断的尝试,我们在实践中摸索出了一套结合数据采集自身辅助判

断干扰源的方法。

首先,排除‘地’的干扰,然后在开启伺服机构时用万用表粗测信号电压的幅值,发现其波动范围仍处于采集板的量程之内。于是我们用动态压力传感器采集此时的动态电压信号,并得到图 9 所示的干扰分布。对其进行 FFT 分析,则可得到图 10 所示的频谱特性。可知干扰源的主频率为 800 0 Hz,正好与伺服机构控制转速的频率相一致。由此我们找到了干扰源,即伺服机构通过交变的电流控制转速,380 V 的电源动力线因此以相同的频率发生脉动,在其控制周期过程中出现巨大的电磁干扰,尽管动力线与信号线之间具有相当的距离,这种干扰仍然非常强大。

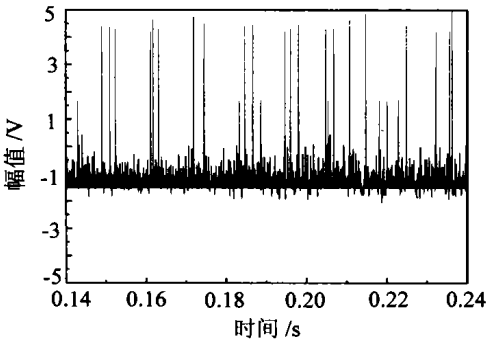


图 9 伺服机构零漂干扰

Fig.9 Offset jam of servo mechanism

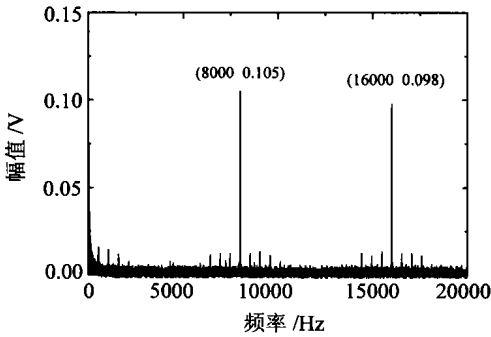


图 10 伺服机构零漂干扰频谱

Fig.10 Offset jam frequency of servo mechanism

针对干扰源,我们采取了两项措施,第一是所有测量仪器及电脑使用 UPS 供电,使其与伺服电机的动力电隔离;第二由于伺服机构和电机之间的动力线是巨大交流脉冲的产生源,我们使用屏蔽网对此段动力线进行屏蔽,并将屏蔽两端接地,使其电磁干扰无法在空间传播。采取上述措施之后仍然使用采集板分析开启伺服机构后的零漂信

号,如图 11 和图 12 所示,伺服机构的干扰信号完全消除。

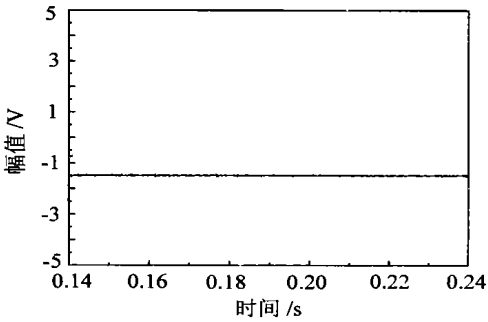


图 11 伺服机构干扰消除后的零漂

Fig.11 Offset without jam of servo mechanism

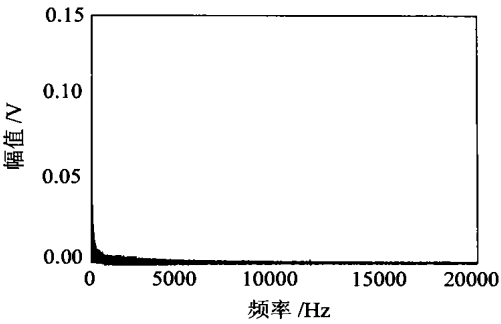


图 12 伺服机构干扰消除后的零漂频谱

Fig.12 Offset frequency without jam of servo mechanism

5 实验测量图例

为了配合实验目的,我们利用 VB 语言自行编写了全部的采集与控制程序和界面。图 13 为稳

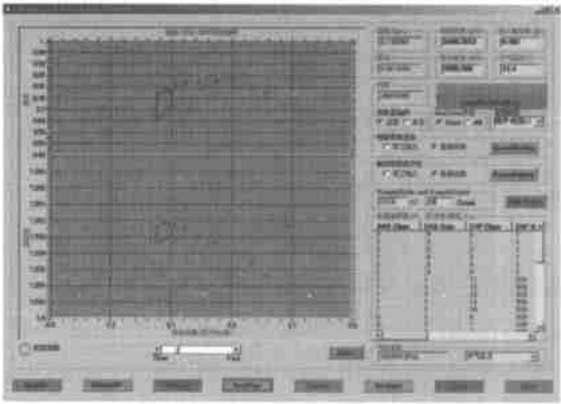


图 13 稳态测试界面

Fig.13 Panel of steady measurement

态压气机特性采集界面,图中采集了两条等转速

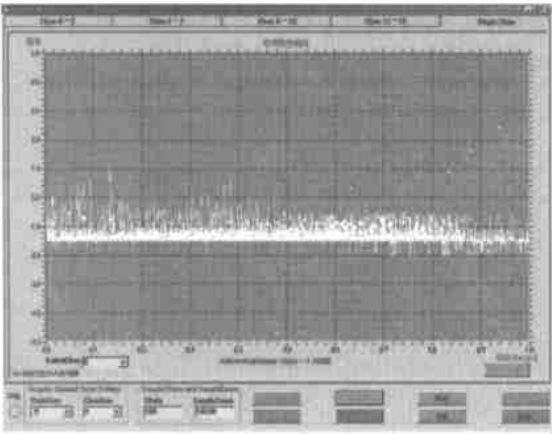


图 14 动态测试界面

Fig. 14 Panel of dynamic measurement

特性及一条失速迟滞回线。图 14 为动态参数采集界面, 该界面等效于示波器的作用, 此外还可进行实时的 FFT 分析。

6 结束语

(1) 通过自行开发的数据采集测控系统实现

了压气机全台试验的稳态与动态测量。
(2) 借助采集板+ 扩展板的级联方式, 巧妙地实现了少量通道采集多通道压力信号的测量系统。为在叶轮机械中开展稳态测试提供了一种十分经济且高效的测试系统方案。
(3) 动态系统中, 从破坏“地”和“场”这两大途径出发, 成功地解决了信号的干扰问题, 特别是结合数据采集技术本身分析场源的方法, 在本文中被证明为是一种克服“场”干扰的有效方法。

参考文献:

[1] 陈武. 低速压气机尾流撞击台的某些实验技术探索[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2003.
[2] 孙嘉兴, 刘艳侠. 数据采集中微弱信号处理[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(4): 19– 22.
[3] 于爱民, 王兰花, 宋岩. 弱回路屏蔽信号线屏蔽层接地方式[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11): 61– 63.
[4] 周雪莲. 电子仪器仪表中电磁干扰的抑制方法[J]. 自动化与仪器仪表, 1999, 34(5): 52– 54.
[5] 杨志忠, 高锡秋, 郭顺华. 电磁干扰的抑制方法[J]. 电力自动化设备, 1994, 14(3): 4– 9.