



中国空气动力学会测控技术专委会

第六届二次学术交流会论文集

(上册)

海南省·三亚 2011年10月

中国空气动力学会测控技术专委会
第六届二次学术交流会

论文集

(上册)

海南省·三亚 2011 年 10 月

中国空气动力学会测控技术专委会

第六届二次学术交流会

主办单位：中国空气动力学会测控技术专委会

承办单位：南京航空航天大学

大会主席：郭隆德

大会副主席：施洪昌 毕志献 熊 健 张 伟 张召明 王 帆

委 员：张 然 邵绍清 马洪强 温渝昌

田于逵 刘应征 王文襄 黄 健

单希壮 罗乐平 刘 伟 王 罗

邱俊文 杨富荣 竹朝霞 张 龙

组织委员会：

主 任：张召明

副 主 任：顾蕴松 史志伟 王洪波

委 员：郑晓旭 陈鹏宇 吴德松

前 言

中国空气动力学会测控技术学术交流会，已经成功地举办了五届，每届召开五次，今年是第六届第二次交流会。目前，测控技术交流会已经成为空气动力学会下测控领域重要的行业年会。交流会的召开，为国内测控领域的专家、学者、研究生及测控系统设计人员提供了很好的交流平台。近年来，专委会的影响越来越大，参会交流的单位和论文数量逐年增加，越来越得到国内同行的重视，为我国空气动力学的发展和测控技术的提高作出了重要的贡献。

中国空气动力学会测控技术专业委员会于2011年5月在云南省腾冲市召开了六届二次全体委员会会议暨审稿会，确定于2011年10月20日在海南省三亚市召开本届学术交流会，由南京航空航天大学航空宇航学院承办。与会专家对本次会议收到的160多篇学术论文进行了认真细致的审阅并提出相应的修改意见，认为投稿的论文符合征文要求。

本次会议收到的学术论文内容广泛，主要包括了测量与控制系统设计研制、软件开发与应用、试验技术、非接触测量技术、传感器及天平设计技术、计量技术、高速列车、风洞建设等相关领域的研究和进展情况，展示了近年来测控技术的应用和取得的成果，有很多文章的研究内容是相关行业的技术前沿，具有很高的学术水平。

本次会议得到了很多单位、论文作者和参会代表的支持，在此表示感谢！

本次会议得到了实业界的积极参与和支持，在此表示感谢！

会务组的工作人员为本次会议的顺利召开和论文集的编排付出了辛勤的工作，在此表示感谢！

中国空气动力学会测控技术专委会

2011年10月

目 录

上 册

测量控制系统及软件

PXI 总线在 HG-4 风洞测控系统中的应用	谭献忠, 施洪昌, 陈少松, 等 (1)
$\Phi 3.2$ 米风洞动态试验装置控制系统实现	聂博文, 沈志洪, 刘志涛, 等 (7)
风洞地面效应试验控制系统的设计	王 晶, 张 伟, 桂 兵 (12)
Application of laser holography and PDPA technology in spray fuel particle field measurement	
.....Zhang Long, Guo Longde, Zhang Lihu, 等 (16)	
振动故障诊断技术在 $\Phi 3.2$ 米风洞长轴安装调试中的应用	刘丽萍, 梁 频 (20)
基于 ModBus 总线的 FL-8 风洞变频控制系统	贾 丹, 周志坚 (25)
0.6 米风洞进气道试验控制系统设计	陈海峰 (30)
快速切换多功能伺服电机驱动系统设计	赵衍庭, 王 玲, 马 飞 (36)
FL-9 风洞双转轴支撑控制系统研制	桂 兵, 张 伟, 王 晶 (40)
基于全集成自动化 (TIA) 的中高压气源综合自动化监控系统的设计与实现	
.....杨龙山, 张铭, 段旭松, 等 (45)	
FL-28 风洞测控系统	刘 烽, 高 川 (52)
风洞数据采集系统常见问题及解决方法	王忠君 (58)
Ethernet Powerlink 在 9400 伺服控制系统中的应用	秦凤波, 张旭超, 魏 艳 (63)
基于虚拟仪器技术的风洞压力测量系统功能实现	王 萍, 张 超, 李 玮, 等 (68)
PSP 旋转叶片压力测量控制系统	项晓杰, 张 锴 (72)
CAN 总线模型姿态角控制软件开发与实现	王丽萍 (77)
单自由度振荡运动控制系统研制	沈志洪, 孙海生, 张 钧, 等 (83)
FL-2 风洞流场控制系统设计	张 锴 (88)
引导风洞流场控制系统设计	纪 涛, 江春茂 (91)
水洞模型姿态控制系统研制	孟 巍, 高 琦, 王维强 (95)
推力转向风洞试验喷流压力控制系统设计	陈雪冬 (100)
基于 CAN 总线的模型姿态控制系统	高 琦 (104)
大型低速翼型风洞侧壁边界层控制系统研制	张传侠, 惠增宏, 柳 雯 (108)
基于 RTX 的车载实时测控系统设计	李 政 (113)

基于 PCC 的多电机同步传动控制技术研究.....罗 强 (116)

Φ0.5 米高超声速风洞新型滚转机构研制.....刘 刚; 冯 明, 张 伟 (121)

PAC 在脉冲燃烧风洞测控系统中的应用.....蒲旭阳, 胡俊逸, 曾来荣 (126)

基于 PLC 技术的风洞速压控制系统.....田 昊, 王 政, 刘晓林 (130)

一种风洞大攻角试验系统研制.....刘晓伟, 秦永明, 徐志文, 等 (135)

Φ3.2 米风洞测量系统改造.....车兵辉, 王新林 (138)

4 米×3 米风洞测控处系统改造卢翔宇, 王新林 (143)

脉冲风洞高速数据采集系统的升级改造.....谢 旭, 谷笏华 (147)

数据侦听技术在设备改造中的应用.....段丕轩, 任晓波, 梁 磊, 等 (151)

2m×2m 超声速风洞流场控制策略研究与实现.....褚卫华, 顾正华 (156)

NF-6 跨音速连续式风洞模型测力实验中的一些典型问题及对策.....刘国元, 高 超, 王 莹 (162)

热烧蚀风洞控制.....郑鲁平, 董永辉, 芮 雪, 等 (166)

基于 PXI 总线的虚拟仪器风洞数据采集系统.....杜洪亮, 李 斐 (170)

基于 Modbus 协议的 PC 机与西门子 S7-200PLC 串行通信的方法研究.....陈树权 (175)

NF-6 跨音速连续式风洞试验数据采集与实时显示系统研制.....王 莹, 高 超, 赵子杰, 等 (181)

基于 Silverlight 和 WCF 的远程风洞解决方案.....樊 昌, 王 晶, 李 玮 (186)

风速风向仪检定用回流式风洞测控系统的设计与研制陈树权 (190)

基于 PSOC 的角位移信号变送仪器的开发贲宝佳, 毛世鹏 (193)

某风洞测控处系统信息化改造.....王新林, 卢翔宇, 顾 艺, 等 (197)

Optotrak 系统在模型变形及姿态测量中的应用研究.....宋 晋, 马 军, 蒋 敏, 等 (200)

旋转天平试验装置电气控制系统.....熊建军, 姜裕标, 马 军, 等 (205)

视频基带传输中 UTP 五类线的应用研究.....陈 希, 陈 强, 侯 凯, 等 (210)

飞机蒙皮测温试验中的红外热图技术.....曹 阳, 蒋甲利, 单永正 (215)

基于 TDLAS 的气体温度和氧原子浓度测试技术研究.....欧东斌 陈连忠 董永晖, 等 (218)

FBG 在热结构应变测量中的初步应用.....陈连忠, 董永晖, 欧东斌, 等 (223)

TsAGI 利用电子束测量稀薄气体的密度分布及局部流动显示.....李 萍, 卢雨淇, 吴 超 (228)

一种新型大振幅试验滚转振动测量装置研制.....徐 明, 潘金柱, 李 勇, 等 (232)

Optotrak 系统在低速增压风洞模型机翼弹性变形测量试验的应用

.....刘 捷 蒋甲利 许相辉, 等 (237)

高速风洞进气道实验测控技术研究.....隋志才 (241)

超燃冲压发动机尾喷流组分采样分析.....伍 军, 任 虎, 谭 宇, 等 (247)

多功能风洞及 CFD 优化设计.....陈作钢, 李金成, 代 赓, 等 (252)

滑流试验系统的开发与应用.....徐龙金, 张 伟, 周志坚, 等 (259)

FL-3 风洞数据处理软件规范化设计.....伊宏伟, 王 军 (263)

风洞电磁干扰对热线风速仪的影响及解决方法研究李 刚, 危 懿 (269)

结冰风洞中冰型测量的三维重建技术研究王大伟, 温渝昌 (274)

液压控制技术在位置控制系统中的应用王 瑶 黄丽静 (279)

基于某实验设备压力调节的液压伺服系统.....李玉秋, 陈良泽, 朱艳艳 (284)

基于视觉的运动控制系统设计及其在控制课程教学中的应用.....龙志强, 梁玉峰, 李晓龙 (287)

激光跟踪技术在风洞建设中的应用.....吴运刚, 姜 春, 张 龙 (291)

形态小波域传声器阵列噪声源定位仿真研究.....李元首, 陈 宝, 樊 昌, 等 (295)

风洞试验中模型位移的视频测量.....张征宇, 孙 岩, 王水亮 (300)

数字表测量电阻的方法.....李祚亮, 刘威伟, 沈景鹏, 等 (306)

多维影像池边采集系统.....贾 渠, 高 翔, 郑鲁平, 等 (310)

池底多维影像采集系统.....高 翔, 郑鲁平, 芮 雪, 等 (314)

软件滤波法在扭矩测试台中的应用.....芮 雪, 杜军令 (320)

高速列车实车表面压力的测量技术进展与应用.....黄志祥, 陈 立, 李 明 (326)

早期轨道段失效静止轨道卫星离轨方案设计与分析.....刘景勇, 杜黎明 (331)

国外风洞试验数据分发与管理系统的设计与实现.....谭飞程 陈丽艳 (336)

PSI8400 系统准动态测试软件开发设计.....田于逵, 何 凌, 宋长友, 等 (343)

某民机风洞试验数据修正软件设计与开发.....王 军, 伊宏伟, 李 勇 (348)

分布式异构数据集成技术研究.....段 宁, 陈 希, 谭 罡, 等 (352)

设备计量信息系统构建.....何增梅 (359)

航空发动机稳定性设计体系集成平台的建设.....何琳楠 (362)

空气动力研究试验网络信息系统.....罗昌俊, 曹征银, 罗兴武, 等 (366)

基于 Web 的试验项目网络信息平台框架结构设计.....冯昕华, 周志坚, 贲宝佳 (372)

基于 B/S 模式的集成型信息网站设计与实现.....岳廷瑞, 李小艳 (376)

基于 RCM 的中低速磁浮列车维护维修策略研究.....包清政, 窦峰山, 谭庆龙 (379)

中低速磁浮列车安全措施研究.....梁玉峰 (386)

实用型磁浮列车车载供电系统可靠性建模与分析.....梁玉峰, 齐洪峰, 吴媚蕊 (391)

汽车风洞测控系统的数据管理技术.....张丽琴, 庞加斌 (397)

非定常气动力建模与动导数仿真计算研究.....马 上, 赵忠良 (403)

下 册

天平、传感器、计量技术

国外风洞天平校准技术研究进展·····	战培国, 谭飞程 (409)
螺旋桨带动力六分量应变天平的研制 ·····	薛 伟 张德久 (414)
盒式测力天平结构设计及优化·····	于 炜, 张 莹 (419)
双圆柱体试验装置及天平设计·····	李发尧 李征初 李晓华 (423)
应力集中结构风洞天平研制技术研究·····	史玉杰, 陈 竹 (428)
杆式应变天平优化设计·····	张海天, 姚 裕 (432)
翼形测力天平的研制 ·····	李 勇, 赵长辉, 李国文, 等 (438)
新型光纤传感测力技术研究·····	戴金雯, 孙良宝, 刘志伟, 等 (441)
喷流干扰试验六分量天平研制·····	谢 飞, 许晓斌, 何 超 (446)
超燃发动机大尺度推力天平研制·····	于时恩, 贺 伟, 李宏斌 (450)
通气模型内流道测力天平研制与应用·····	许晓斌, 谢 飞, 舒海峰 (455)
有限元法在小尺寸应变天平设计中的应用·····	李绪国, 杨彦广, 李志辉 (460)
电桥组桥方式对杆式天平校准系数矩阵的影响研究·····	胡国风, 陈 涛, 戴华南 (465)
高精度天平校准系统控制系统设计·····	江春茂, 纪 涛 (470)
天平体轴校准系统六自由度复位机构研制·····	李付华, 朱本华 (473)
一套高精度全自动风洞天平校准系统的研制·····	李小刚, 赵长辉, 邢汉奇, 等 (478)
高精度天平静校台数采处理系统·····	王 艳 (483)
用于天平校准架的多路线阵 CCD 采集处理板研制·····	梁 磊, 刘丽萍, 李付华, 等 (488)
10T 天平静校台检测及测试天平校准分析·····	刘喜贺, 邱俊文, 梁桂范, 等 (492)
风洞天平校准装置的技术特性和评定方法研究与探讨·····	罗天保, 沈景鹏, 黄 健, 等 (497)
风洞天平校准的计量问题与解决思路研究·····	罗天保, 沈景鹏, 黄 健, 等 (501)
风洞天平校准不确定度评定方法·····	陈 丁, 王金印 (505)
天平静态校准公式的改进探讨·····	高 贺, 马洪强 (512)
翼型测力天平校准设备与天平校准·····	白 静, 解亚军, 高 超 (518)
天平测力系统的安装调试及使用·····	刘国元, 高 超 (521)
流量计发展中的若干流体力学问题与槽道式流量计·····	明 晓 (525)
六维力传感器的支持向量机复合标定方法·····	马迎坤, 张希农, 谢石林 (533)
一种提高压力传感器测量小压力准确度的方法·····	金承信, 竹朝霞, 白 静, 等 (539)
光纤光栅传感器在风洞测试中的应用探讨·····	多 勐, 张 伟 (543)

七孔探针移动测量技术研究.....李 鹏, 刘中华, 明 晓 (548)

磁浮列车绝对定位传感器的优化设计.....张军歌, 薛 松, 陈特放 (555)

高频响高压力传感器研制.....罗义成, 王临平, 周嘉穗, 等 (561)

Φ1mm 同轴热电偶研制刘济春, 秦 峰, 孔荣宗, 等 (565)

单屏蔽总温探针在高超声速风洞的应用.....张绍武, 曹 程, 凌 岗, 等 (571)

具有视频监控功能的智能传感器研究.....蔡利民 (577)

浅论风洞试验中压力传感器的模式选用解其锋, 向素君, 王 军 (583)

Calibration of a Thermal MEMS Shear Stress Sensor Array
.....Liang Jin min, Li Jian qiang, Li Chunyan, 等 (588)

浅论压力传感器检定数据的处理方法.....解其锋 (593)

对 CTS 装置角度误差校准结果的不确定度分析.....黄 健, 黄志阳, 樊 洁, 等 (597)

试验技术与非接触测量

大攻角细长体侧向力主动控制技术研究.....顾蕴松, 陈智铭 (600)

低速空降风洞试验的关键技术.....熊 超, 惠增宏, 张彬乾 (606)

民机机头模型跨声速风洞压敏漆试验.....向星居, 董金刚, 毛 涛, 等 (613)

飞机后机身阻力测量装置研制与应用.....王 超, 林 俊, 王玉花 (619)

模型弹性变形对风洞实验气动特性测量结果的影响分析.....武 洁, 贺济洲, 叶正寅 (623)

低速翼型风洞实验与测试计量.....竹朝霞, 金承信, 惠增宏 (630)

机器视觉在尾旋试验测量技术中的应用研究.....宋 晋, 马 军, 蒋 敏, 等 (635)

飞机低速大攻角机动进气道动态特性试验测量方法研究.....罗顾灵, 张召明 (640)

短舱涡发生器的七孔探针尾流扫描.....印 帅, 顾蕴松, 程克明 (645)

翼型风洞侧壁边界层吹除控制系统与模型实验.....解亚军, 竹朝霞, 惠增宏 (651)

翼伞车载动态试验技术研究.....高春鹏, 马坤昌 (655)

膨胀管测试技术.....王 刚, 唐志共, 吕治国, 等 (660)

基于光纤传输的干涉技术风洞试验应用研究.....姚向红, 吴运刚, 谢伟明 (665)

电弧加热器试验测温干扰信号消除方法.....隆永胜 (669)

前缘材料热性能考核热流测量技术研究杨 鸿, 赵文峰, 周 玮, 等 (673)

超声速条件下煤油与水喷射的对比测量.....张力虎, 关 平, 张 龙 (678)

光流测量技术原理及研究现状.....黄 湛, 王 伟, 王宏伟 (681)

激波风洞振动对光学测量影响初步研究.....吕治国, 李国君, 姜 华, 等 (689)

脉冲型设备摩阻测量技术.....赵荣娟, 吕治国, 姜 华, 等 (693)

气动声学相位阵麦克风测量技术研究.....乔宝英 (697)

雾化喷嘴粒径特性 PDI 测试研究.....何 苗, 李小艳, 胡站伟 (702)

一种基于特征边缘提取的图像处理算法.....梁 磊，段丕轩，朱本华，等（707）

防热试验流场中高温应变测量技术的应用.....吴 东，周 玮，张松贺，等（712）

开口射流风洞中声学测量的剪切层修正.....张 雪（718）

表面热膜壁面摩阻测量技术.....耿子海，朱本华，梁 磊，等（721）

高速风洞采用油膜干涉法测量表面摩擦力技术研究.....张 威，张 然（725）

等离子体流动控制试验研究.....范兴瑞，周志坚（729）

风洞模型变形测量的投影莫尔干涉技术研究.....张 龙，杨建军，张 俊（734）

湍流流场双向全息干涉测量.....岳茂雄，张 龙，陈 勇，等（739）

基于荧光油膜的模型表面摩阻测量和流场显示技术研究.....陈 爽，杨富荣，张 龙，等（744）

表面摩擦应力油膜干涉光学测量试验技术研究.....代成果，张长丰（750）

基于热线仪的跨声速风洞气流湍流度测试技术研究.....朱 博，王如琴（755）

风浪流作用下海上风电场塔架系统的流激振动特性研究.....严根华，赵建平，胡去劣（760）

浙江大学边界层风洞建设与运行.....余世策，蒋建群，楼文娟，等（765）

建筑风洞试验数据的管理与数据库系统的建立.....孙 瑛，武 岳（771）

建筑风荷载测试系统.....贾向阳，施洪昌，王 冰（776）

国外油膜干涉测量技术应用研究综述.....毛京明，战培国（782）

油膜干涉法测量翼型表面摩擦应力的实验研究.....丁 超，史志伟（786）

高速温敏发光热图测热关键技术探讨.....周嘉穗，张扣立，江 涛，等（793）

双目立体视觉在风洞模型姿态测量中的应用.....谢明伟，祝汝松，韩 杰（797）

用红外热成像技术测力通用航空飞行器表面气动加热.....李 明，杨彦广，祝智伟，等（803）

水平风洞模拟自由飞模型姿态确定方法研究.....范利涛，江 峰，蒋娅娟（808）

PXI 总线在 HG-4 风洞测控系统中的应用

谭献忠¹ 施洪昌² 陈少松¹ 贾向阳² 徐琴¹

(1.南京理工大学能动学院, 江苏 南京 210094, 2.江苏技术师范学院, 江苏 常州 213001)

摘 要: HG-4 风洞是一座暂冲式亚跨超声速风洞, 自上世纪 70 年代建成后经 Z80 测控系统、CAMAC 测控系统、386 计算机测控系统、PIII500 测控系统 (PCI 总线) 等几次大的改造, 测试精度和控制精度及自动化程度不断提高。在这次测控系统改造设计中, HG-4 风洞采用了目前应用较广的 PXI 总线平台。本文主要介绍 PXI 总线在 HG-4 号风洞测控系统中的应用。

关键词: 风洞; 测控系统; PXI 总线

1 前言

HG-4 风洞是南京理工大学的一座暂冲式亚跨超声速风洞, 试验段口径为 $300 \times 300 \text{ mm}^2$, 马赫数范围 0.5~4.5, 主要用于弹箭气动力实验研究。该风洞建于七十年代, 其测控系统随着计算机技术、测控技术的发展经过多次改造, 测试精度和控制精度不断提高。

PXI 总线是 PCI 在仪器领域的扩展, 它将 CompactPCI 规范定义的 PCI 总线技术发展成适合于试验、测量与数据采集场合应用的机械、电气和软件规范, 形成了新的虚拟仪器体系结构, 它吸取了 VXI 平台的优点, 是一种开发性、模块化、易于集成、使用灵活、功能强、可靠性好、系统品种多、价格低、软件与个人计算机兼容的测控系统平台。PXI 产品采用高精度、高抗共模的信号调理器, 抗干扰能力强, 它提供了 132MB/s

(32b) 的高速数据速率和即插即用功能的高性能的电器特性, 用于高速定时的系统参考时钟, 用于进行多板精确同步的星形触发总线及相邻仪器模版进行高速通讯的局部总线, 因此, 很适合应用于风洞测控系统。本文主要介绍 PXI 总线在 HG-4 号风洞测控系统中的应用, 介绍 HG-4 风洞 PXI 总线测控系统的组成, 系统调试运行情况 & 关键技术分析。

2 HG-4 风洞测控系统组成

HG-4 号风洞主要由气源系统、洞体、控制系统、测量系统、消声系统等几部分组成。其中控制系统有马赫数控制和攻角控制, 测量系统有风洞天平气动力测量、温度测量、大气压测量、模型转速测量和压力测量等。

根据 HG-4 号风洞测控系统的要求, 采用 PXI 总线组成的 HG-4 号风洞测控系统共包括控制系统、测量系统和监控系统三部分。其中控制系统和测量系统采用分布式结构, 用以太网进行通信, 系统总线平台基于 PXI 总线, PXI 总线控制器采用外置式, 由连接器与工业 PC 机相连接。监控系统也可以接入以太网实现相关操作, 实现监控录像自动化, 还可以将监控信号连接到其他地点如办公室的监视器上, 从而实现远程监控。系统框图见图 1。

控制系统和测量系统软件均采用 LabWindows/CVI 8.5 版本作为开发工具, 它的集成化开发环境、交互式编程方法、函数面板和丰富的库函数大大增强了语言的功能, 是测控领域最受欢迎的软件开发工具之一。两系统通信功能的实现基于以太网、采用 TCP/IP 协议完成数据测量子系统与模型姿态及马赫数控制子系统之间的数据通信。通信采用 C/S (客户机/服务器) 模式。

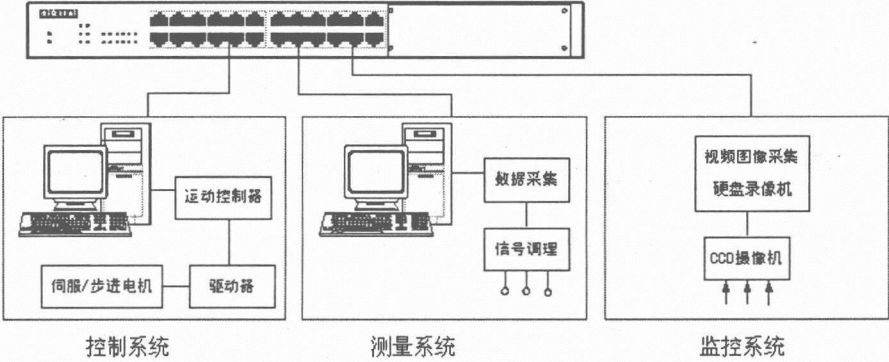


图 1 HG-4 风洞 PXI 总线测控系统组成图

3 HG-4 风洞控制系统

HG-4 风洞控制系统包括马赫数控制和攻角控制，其组成框图见图 2。控制系统主要由工业 PC 机、PXI 主机箱、运动控制卡、数据采集卡、I/O 卡、SCXI 机箱、信号调理板、伺服电机驱动

器、伺服直流电机、步进电机驱动控制器、步进电机、位移传感器、编码器、压力传感器等设备和 PXI 控制软件组成，控制主机采用 PXI 总线外置控制模式，外置计算机通过 MXI-3 多系统扩展接口与 PXI 机箱实现透明的硬件和软件连接。

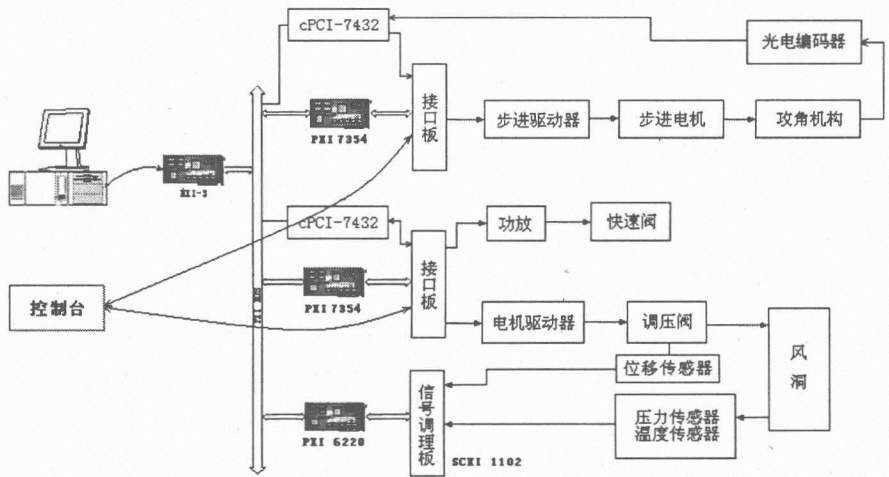


图 2 HG-4 风洞 PXI 总线控制系统结构图

马赫数控制过程如下：由 PXI7354 输出 0-±10V 电压，在开关输出卡配合下驱动伺服电机驱动器。电机驱动器驱动直流伺服电机，改变调压阀门位置，进而调节总压，总压、静压信号通过 SCXI-1102 信号调理板进行放大、滤波后，经 PXI-6220 采集卡 A/D 转换得到总压、静压，反馈实际马赫数，进而实现马赫数的闭环控制。

模型姿态控制过程如下：由运动控制卡 PXI-7354 发出脉冲信号送步进电机驱动器。步进电机驱动器驱动步进电机转动，进而带动攻角机构相应动作，同时，通过光电编码器反馈模型实

际姿态，从而实现模型姿态的控制。
本系统采用 PDC 直流伺服系统，该系统由于采用最新的电力电子器件—智能功率模块（IPM）及混合集成电路，与直流伺服电机相配，具有频带宽、响应速度快、调速范围宽、变流效率高、无噪音等特点。

4 HG-4 风洞测量系统

HG-4 风洞测量系统包括静态信号测试和动态信号测试两部分，其组成框图见图 3。测量系统主要由工业 PC 机、PXI 机箱、静态数采卡、稳静

态信号调理器、动态数采板、动态信号调理器等 动态参数的测试。
设备和 PXI 测试处理软件组成，实现静态参数和

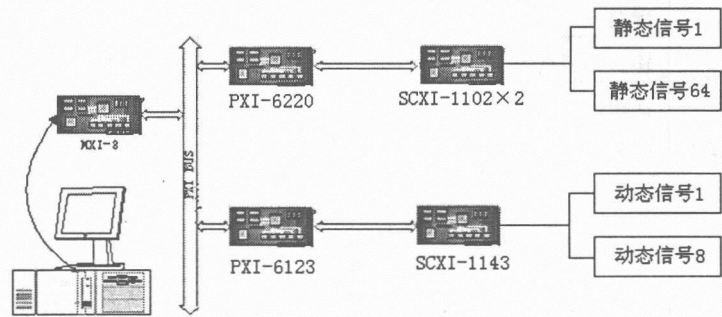


图 3 HG-4 风洞 PXI 总线测量系统结构图

信号调理模块选用 NI 公司的 SCXI-1102，它是一种适用于多种传感器信号的通用信号调理模块。集成有 32 个差分模拟输入通道，每一个通道有独立的滤波、放大电路，带输入电压保护。32

个通道通过多路开关轮流输出，作为调理后的输出信号。需要使用 2 块 SCXI-1102，SCXI-1102 性能指标如表 1 所示。

表 1 SCXI-1102 性能指标

NI-SCXI-1102	输入通道		32 通道差分输入
	输入信号范围		$\pm 100\text{mV} \sim \pm 10\text{V}$
	增益		1、100
	滤波频率		2 Hz
	增益误差	G=1	0.015%
		G=100	0.02%
	非线性度		0.005%
	系统噪声	G=1	50uVrms
		G=100	5uVrms
	温度漂移		10ppm/ $^{\circ}\text{C}$
	输入过电压保护		$\pm 42\text{V}$
	共模抑制比 (50~60Hz) 直流 G=1, G=100		110 dB 75 dB, 100 dB
	工作环境 温度 湿度		0~50 $^{\circ}\text{C}$ 10%~90%

静态部分数据采集卡选用了 NI 公司 PXI-6220 作为静态部分数据采集卡。M 系列多功能 DAQ 采用 NI-MCal 技术，能够在所有范围内进行校准并弥补非线性特性，具有 2 个 DMA 通

道极大地提高了数据传输速率。由于静态采集工作是多路复用方式下，所以只需要 1 块 PXI-6220，PXI-6220 的主要性能指标如表 2 所示。

表 2 PXI-6220 性能指标

NI-PXI6220	通道数	16 路单端输入/ 8 路差动输入
	增益	50、20、10、1
	输入信号范围	4 档: $\pm 0.2V$, $\pm 0.5V$, $\pm 1.0V$, $\pm 10V$
	适用输入方式	单端/差动
	触发方式	内部时钟数字触发
	采样率	$\leq 250KHz$ 可调
	A/D 分辨率	16bit
	输入端过电压保护	$\pm 25V$ (模块带电时), $\pm 15V$ (模块不带电)
	定时/计数器	2 个 32bit, 80MHz

动态数据采集卡选 NI 公司推出的具有多通道同步采样功能。根据动态数据采集部分的技术指标要求,我们选用 1 块多功能 DAQ 卡 PXI-6123 完成动态数据的采集。

SCXI-1143 信号调理模块是适用于动态信号的通用信号调理模块,它实现了对 8 通道信号的程控放大、滤波及输入过压保护,并能实现自校准的功能。由于动态采集通道有 8 路,所以需要使用 1 块 SCXI-1143。

测试原理如下:风洞天平气动力、总压、静压等静态测试信号通过 SCXI-1102 型稳静态信号调理器放大、滤波后,经 PXI-6220 型静态采集卡采样,经高精度 A/D 转换后,实现 64 通道静态信号测试。加速度等动态信号程控放大、滤波后,经 PXI-6123 型动态数采板采样,经高精度 A/D 转换后,实现 8 通道动态信号测试。

5 HG-4 风洞监控系统

HG-4 风洞监控系统主要由数字硬盘录像系统、摄像机、监视器、大屏液晶显示器等组成。监控系统工作过程如下:分布在 HG-4 号风洞间紧闭阀、快速阀、调压阀、攻角机构、模型姿态、风洞全景六个监视点的摄像机将风洞关键

部位运行情况实时传输给数码硬盘录像系统,在监视器和大屏液晶显示器上显示六个监视点的工作状态,便于试验人员准确监控风洞运行情况,保证风洞安全可靠运行。同时,数码硬盘录像系统将图像保存在硬盘上,实现图像的记录与回放,便于分析风洞试验过程中出现的异常情况。

6 HG-4 风洞 PXI 测控系统调试运行情况与关键技术分析

该风洞控制系统调试分超声速部分和亚跨声速部分,超声速部分有马赫数 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 和 4.5 共 6 个名义马赫数,是总压控制方式,其控制精度达 0.2%,图 4 是马赫数 3.0 时某次吹风试验控制曲线图。

亚跨声速部分的控制是马赫数控制方式,且在马赫数 0.5-1.2 之间可以任意设定马赫数进行控制,同时,一次实验还可以进行 2 个马赫数的控制,从而提高效率、节省气源。亚跨声速部分控制精度达 0.3%,

针对 HG-4 风洞的特性选择用模糊 PID 控制器的控制策略,模糊控制器加 PID 控制器组成的模糊 PID 控制器兼有着两者优点。尤其在跨声速阶段,采用模糊 PID 控制器达到较好的控制效果。

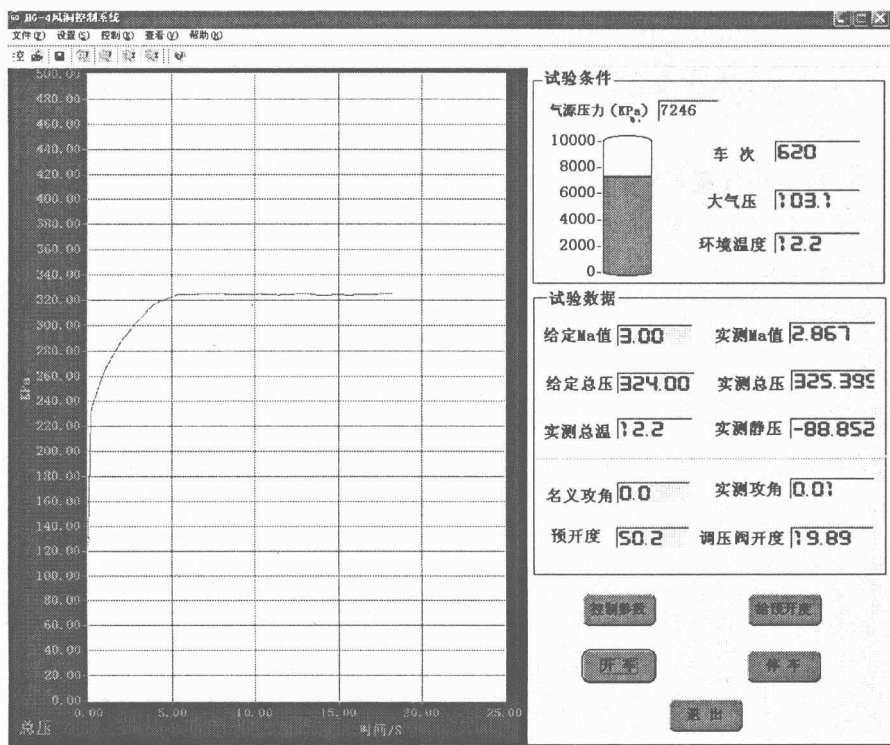


图 4 马赫数 3.0 时总压控制曲线图

控制系统需要对总压、静压等参与控制的参数进行测试，而气动力和力矩等参数均由测量系统根据控制计算机发出的指令进行测试。图 5 为

某模型在马赫数 2.5 时采集的 3 个分量力和力矩数据在 8 个不同攻角时的曲线图。

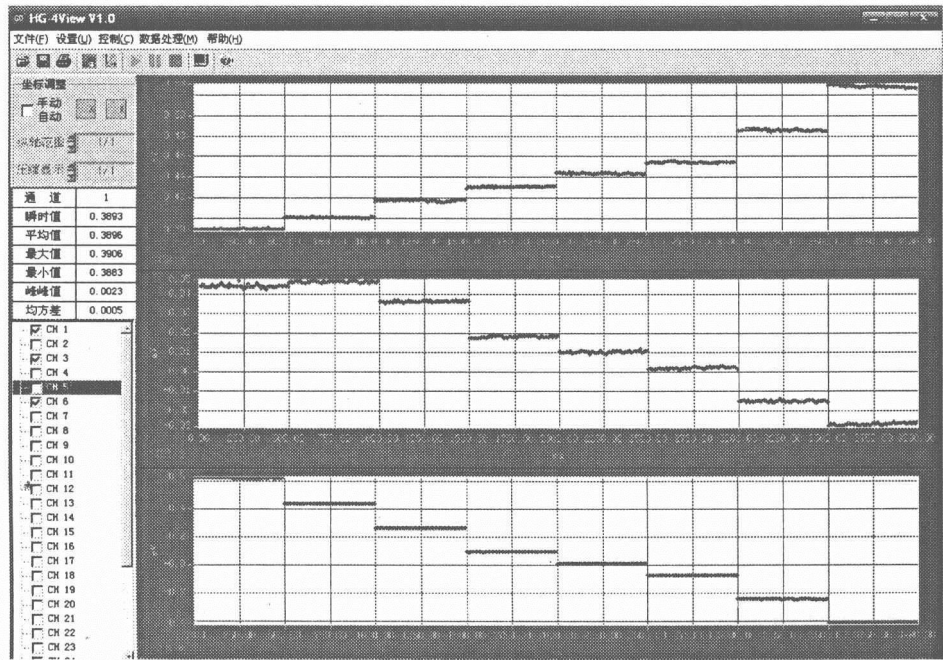


图 5 某模型在马赫数 2.5 时力和力矩 3 个分量测试数据在 8 个不同攻角时的曲线图

不吹风时对测量系统进行测试,其精度如下:
静态信号测试精度≤0.02%, 动态信号测试精度≤

0.3%。
从调试运行情况分析, HG-4 风洞 PXI 总线式

测控系统的控制精度和测试精度均优于原测控系统 (PCI 总线), 完全达到了本次改造设计技术指标。

在这次改造中, 有几项关键技术的应用, 一是采用模糊 PID 控制器用于马赫数控制; 二是干扰问题的解决, 主要措施有以下几点: 信号线采用双芯互绞屏蔽线、选用抗干扰能力强工业 PC 机、动力线和信号线分开走线分别穿桥架单独接地、选用抗干扰能力强的高精度数据放大器和信号调理器。另外, 对测量系统每个通道单独设置量程范围, 使其实际信号大小与其量程范围相一致, 可以有效提高测试精度。

7 结论

HG-4 号风洞采用 PXI 总线式测控系统, 具有较高的性价比, 且精度高, 抗干扰能力强, 可靠

性好, 适应性强, 能够实现测试通道的自动校准, 具备高扩展性; 选用 LabWindows/CVI 8.5 平台作为开发工具, 提高了程序设计的工作效率, 数据处理和图表分析快速、便捷; 测量系统和控制系统独立运行, 提高了风洞控制精度和效率, 节能高效。

参考文献

- [1] 施洪昌, 张学祥, 李尚春等. 高低速风洞测量与控制系统设计[M]. 北京: 国防工业出版社. 2001.
- [2] 施洪昌, 宋旸, 徐镭. PXI 在风洞测控系统中的应用[C]. 全国空气动力测控技术交流会论文集. 2002.
- [3] 宋旸, 舒大斌, 陈少松等. HG-4 跨超声速风洞测控系统[C]. 全国空气动力测控技术交流会论文集. 2002.
- [4] 施洪昌. 风洞数据采集技术[M]. 北京: 国防工业出版社. 2004.

Φ3.2 米风洞动态试验装置控制系统实现

聂博文 沈志洪 刘志涛 梁频

(中国空气动力研究与发展中心第一研究所, 四川绵阳 622662)

摘 要: 本文简要介绍了Φ3.2 米风洞动态试验装置控制系统的功能, 详细介绍了系统组成、工作原理与软硬件实现方案, 最后给出了实际控制效果。

关键词: 动态试验 运动控制卡 交流伺服 LABVIEW

1 引言

Φ3.2 米风洞动态试验装置控制系统主要用于控制俯仰、滚转、偏航三套单自由度动态试验装置, 实现单点步进或正弦振荡运动, 以满足导数、大振幅振荡等动态风洞试验角度控制要求。

2 系统组成与工作原理

Φ3.2 米风洞动态试验装置控制系统采用了“IPC+运动控制器+交流伺服”的组成方式, 其整体结构如图 1, 主要元件包括上位机、运动控制器、伺服驱动器、伺服电机及编码器和电位计。

上位机运行人机界面软件, 主要完成联机通

讯、运动模式选择、运动参数设置和运动起停控制等; 运动控制器安装于上位机插槽中, 通过 100pin 高密度屏蔽电缆与互联模块连接, 主要完成运动轨迹生成和位置闭环控制; 1#与 2#伺服系统的区别在于功率大小不一样, 均设置为速度控制模式, 进行速度闭环控制; 电位计安装于运动装置之上, 直接测量获得运动角度检测信号。

可见, 驱动回路构成了位置、速度双闭环反馈控制系统。位置反馈的作用是保证系统稳态精度和动态跟踪性能, 直接关系到系统的稳定和高性能运行, 是反馈主通道; 速度反馈作为校正, 作用是增加系统的粘性阻尼, 改善其动态特性, 使闭环系统可以得到很高的速度和精度。

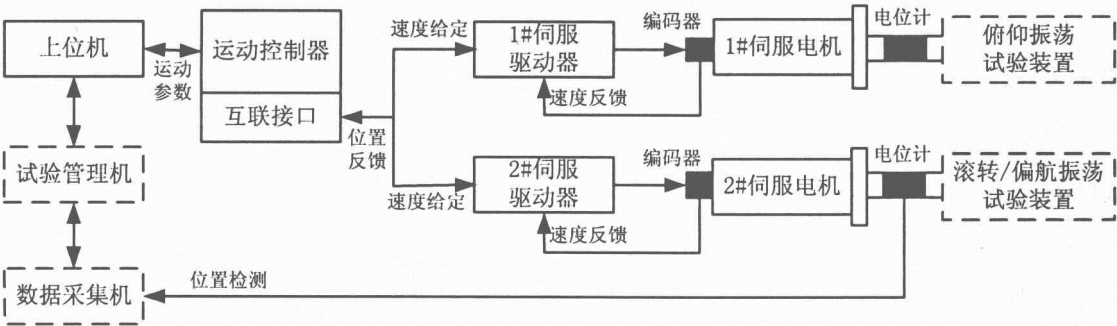


图 1 控制系统结构框图

3 关键硬件选型

3.1 运动控制器

运动控制器是实现运动控制的基础平台, 是实现轨迹跟踪、位置控制的关键。运动控制器的选择主要从以下几方面考虑:

- 运动控制功能: 能够实现多种运动形式, 如直线、圆弧、螺旋线插补、电子齿轮、电子凸轮, 同步跟踪控制、虚拟轴控制等;
- 足够的伺服更新率。一般要求运动频率时间的 64 倍以上;
- 控制器内嵌 PID 调节器;