

doi: 10.7690/bgzdh.2016.06.010

风洞旋转天平试验装置测控系统

宋 晋^{1,2}, 孙棣华¹, 赵 敏¹, 刘 赞², 马 军²

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 中国空气动力研究与发展中心低速所, 四川 绵阳 621000)

摘要: 旋转天平是一种用来模拟飞机尾旋并获取气动力的试验装置, 为使该装置的测控系统具有自动化程度高、测试精度高和抗干扰能力强的特点, 设计并实现了一套应用于风洞旋转天平的测控系统。该系统包括了试验管理、天平数据采集和旋转运动控制 3 个子系统。测试结果表明: 该系统可在试验管理子系统的调度下自动化运行, 能够实现试验所需的多种运动控制, 并能在复杂电磁环境下完成数据采集。该系统操作简单、稳定可靠, 设计思路及所采用的技术具有一定的参考意义。

关键词: 旋转天平; 测控系统; 风洞

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

Measurement and Control System for Rotary Balance Equipment in Wind Tunnel Test

Song Jin^{1,2}, Sun Dihua¹, Zhao Min¹, Liu Yun², Ma Jun²

(1. School of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Low Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

Abstract: The rotary balance is used for simulating spin state in wind tunnel, and getting aerodynamic force data at the same time. In order to make the measurement and control system have the characteristics of high automation, high precision and strong anti-jamming ability, the paper designs and realizes the system for wind tunnel. It includes 3 subsystems, which are the test management, the data acquisition and the motion control. The test result shows, the system can run automatically under the control of test management subsystem, achieve kinds of motion control and get data in complex electromagnetic environment. The system is simple, stable and reliable. The design idea and the techniques have a certain reference value.

Keywords: rotary balance; measurement and control system; wind tunnel

0 引言

φ 5 m 立式风洞是填补国内空白的第一座立式风洞, 主要进行动态试验^[1]。其中, 旋转天平是用来获得尾旋运动中复杂气动特性的重要手段。该装置是模拟飞机在失速状态下, 机身围绕某一轴旋转的同时, 飞机自身同时旋转的复合运动, 通过对旋转天平空气动力学数据进行测量, 进而对尾旋特性进行分析研究^[2]。完成复杂运动测量的核心部分是测控系统, 笔者针对旋转天平试验装置的需求设计了一套测控系统, 该系统不仅是试验装置的重要组成部分, 而且是集测试精度高、自动化程度高和鲁棒性强的机电一体化设备。笔者对该测控系统的设计实现进行了介绍。

1 测控系统总体要求

根据试验需求, 测控系统采用分布式架构, 包括试验管理子系统、运动控制子系统和天平数据采集

子系统。整体结构如图 1 所示。

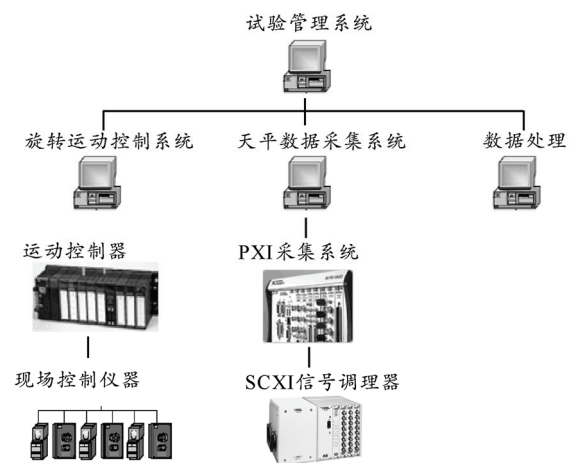


图 1 测控系统结构

试验管理子系统包含多个软件模块, 与其他子系统组成基于 TCP/IP 协议的局域网系统。旋转运动控制采用具有分布式标准结构的监视控制与数据

收稿日期: 2016-01-25; 修回日期: 2016-03-18

基金项目: 总装备部气动专项课题- φ 5 m 立式风洞旋转天平研制

作者简介: 宋 晋(1983—), 男, 陕西人, 在读硕士, 工程师, 从事低速风洞测控技术及非接触测量技术研究。

采集 (supervisory control and data acquisition, SCADA) 系统来实现, 监控软件开发平台为 WinCC 组态软件。天平数据采集系统采用基于 PXI 总线技术的集成采集系统, 实现静态和动态的天平数据异步和同步的数据采集。

2 试验管理子系统

试验管理子系统是一个软件系统, 负责整个试验的调度管理。它由中心调度软件、天平数据采集软件和数据处理软件系统组成。在中心调度软件的控制下运行, 各软件模块通过 DataSocket 通信机制实现指令信息和试验数据的传递, DataSocket 通信机制支持多种通信协议, 并对 TCP/IP 标准进行了很好的底层封装, 开发者不用进行底层编程, 就可以在测控系统中共享和传输现场数据并发送与接收指令信息^[3]。中心调度软件采用 OPC 通信协议与运动控制系统实现通信连接, 共同构成分布式测控局域网, 从而既保障了系统的稳定运行, 又确保了试验数据的安全。试验管理子系统结构组成如图 2。

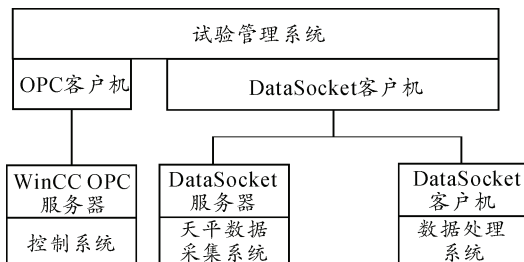


图 2 试验管理软件系统总体结构

试验管理子系统具有以下特点:

1) 整个测控系统软件基于局域网络环境, 采用分布式结构。

试验软件系统与硬件组成结构紧密联系, 系统总体结构采用分布式局域网结构, 由一名用户通过中心调度管理软件统一指挥, 协调执行各子系统软件的相应功能, 综合完成试验任务, 节省了人力成本, 减少操作失误。

2) 各软件能够独立稳定运行。

各软件能够单独、稳定运行。一方面防止网络或个别软件运行过程中发生异常时, 整个系统不会瘫痪; 另一方面, 试验数据的后期计算处理, 如数据复算, 只需要执行数据处理软件, 不需要整个试验管理系统都运行, 节省计算资源。

3) 整个试验管理软件便于维护。

尽可能地减少软件的维护难度和维护工作量, 是整个软件系统设计的出发点和最终目标。对于不

同的试验任务, 数据采集、运动控制和试验运行管理等方面都是相同的, 而数据处理方面则随着试验类型的不同而有所不同。在设计时, 笔者将数据处理软件作为开放式设计, 其他软件则功能固化, 整个子系统的维护工作主要集中于数据处理软件, 从而实现减少软件维护的难度和维护工作量的目的。

3 天平数据采集子系统

天平信号采集系统采用 NI 公司的 PXI 总线仪器和工控机组成的集成系统, 其硬件结构如图 3。

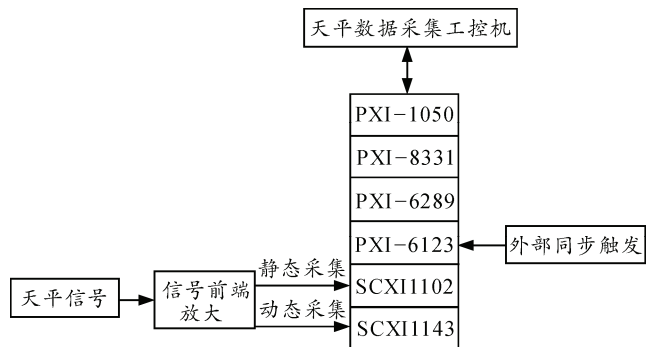


图 3 天平数据采集系统硬件配置

考虑到所需 PXI 仪器和信号调理的规模以及系统的集成性, 采用集 PXI-SCXI 一体的 PXI-1050 机箱, PXI 机箱和工控机通信配置 PXI-8331 实现。天平信号经过前置放大器、滑环引电器到 PXI 仪器系统进行静态 (SCXI-1102 和 PXI-6289) 和动态采集 (SCXI-1143 和 PXI-6123)。由于试验现场复杂的电磁干扰环境以及引电器的影响, 动静态的天平数据采集的技术指标不仅取决于信号调理和采集板卡的硬件配置, 其前端信号放大器的性能也非常重要。

图 4 为增益线性度测试结果, 结果表明线性度优于 0.02%。图 5 为共模增益测试结果。

从测试结果可知, 该放大器满足天平信号前置放大的性能指标。

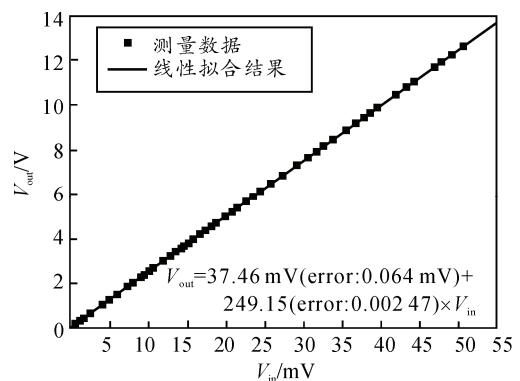


图 4 增益线性度测试结果

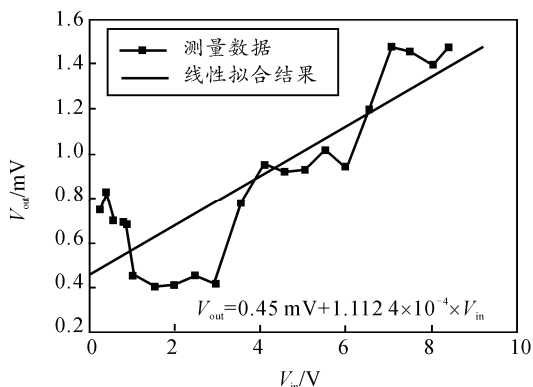


图 5 放大器共模增益测试结果

4 旋转运动控制子系统

旋转运动控制子系统包括弧形轨旋转控制、滑车位置控制、模型滚转控制和模型俯仰控制 4 个部分，如图 6 所示。

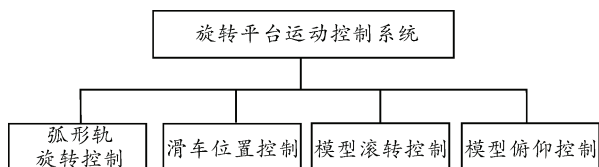


图 6 旋转平台运动控制结构

运动控制的实现采用西门子公司 Sinamics S120 驱动器与技术功能 CPU 317T-2 DP。系统由监控层、现场操作站、前端控制层和执行机构组成，如图 7 所示。

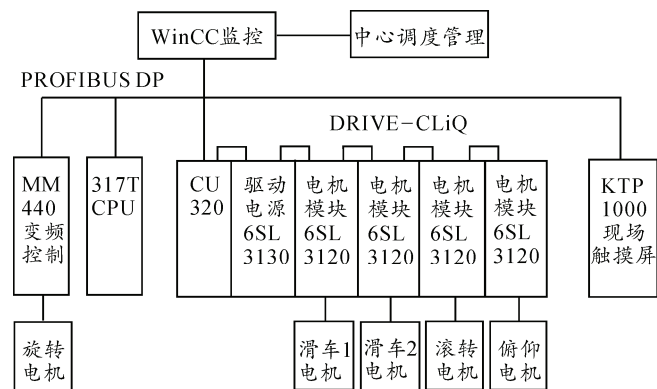


图 7 运动控制系统结构

监控站运行 WinCC6.2 组态软件，接收中心调度系统的试验参数设置和试验进程调度，并完成和前端设备的控制交互。为方便现场调试和操作，设置 KTP1000 现场操作站。前端设备以 CPU 317T-2 DP 为核心，通过具有等时同步功能的接口以 PROFIBUS 和运动控制单元 CU320 连接，CU320 控制驱动系统与同步伺服电机组集成系统，实现精确的、高动态响应的运动控制系统。CPU 317T-2

DP 主要完成运动控制、逻辑动作和联锁保护和上位机通信。

弧形轨主旋转采用 MM440 变频器驱动变频电机的方式来实现，变频器、上位机、现场操作站以及数字仪表通过 CPU 317T-2 DP 上的 DP/MPI 接口进行通信^[4]。

滚转/俯仰振荡运动振荡的频率高达 2.5 Hz，一个振荡周期电机要经历从加速到减速，然后反转运动，电机到静止状态升到最高速度只有 0.1 s，并且无稳速过程，就立即开始减速。采用传统的加速、减速、反向运动的方式不可取，因为振荡的位置、速度曲线呈现三角波，很多频率分量会带来附加的振动，使天平数据会受到干扰^[5]。

因此本系统采用 S120 驱动系统和技术功能 CPU 317T-2 DP 控制器的凸轮同步技术，可方便实现振荡运动的功能。基本思路：以虚轴作为主动轴，振荡运动实轴作为从动轴，主动轴和从动轴的凸轮曲线设定为正弦波，并运行在周期方式。主动轴运动提供凸轮的时间基准，从动轴以正弦波曲线进行跟随同步。振荡的频率同主动轴运动的速度成线性关系，振荡的幅度同从动轴的幅度一一对应，根据试验需要，改变主动轴的运动速度和从动轴的运动幅度，可实现振荡运动的频率和幅度的无极可调。

除此之外，弧形轨上的执行机构动力、旋转编码器和平等等信号，通过滑环引电器引出到风洞流场外，天平旋转装置的伺服执行机构选用西门子伺服系统，天平数据为幅度为 20 mV 的弱小信号，滑环引电器作为伺服编码器的快脉冲低压电平信号和天平测试信号的传输环节，使信号准确有效地传输。

5 关键技术及其解决途径

1) 系统抗干扰设计。

天平微弱信号在进滑环引电器前就进行前置放大。前置放大器安装于天平附近，外加屏蔽盒；前置放大器使得放大后的天平信号达到伏特级。且在旋转运动过程中，由于摩擦的存在，不可避免带来温升，又由于热电效应而产生热电势，对于旋转编码器、天平测量信号会带来信号的畸变；因此，主旋臂上强、弱电电缆必须分开敷设。弱电信号应有良好的屏蔽和接地，使得通道间相互串扰小。

2) 网络化试验管理。