

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.01.019

## 风洞测控系统技术改造

周晓刚, 杨海滨, 黄昊宇, 张伟, 刘刚, 邹涵  
(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对某风洞测控系统存在的不足, 对其进行了相应的技术改造。重点介绍测控系统技术改造的技术指标、实施方案、设备调试情况以及技改后的应用情况。试验结果表明: 该设计方案合理, 技改后的测控系统性能稳定、可靠, 能达到预期效果, 具有一定的应用价值。

**关键词:** 风洞; 测控系统; 技术改造

**中图分类号:** TP274 **文献标志码:** A

## Technology Alteration for Measure and Control System in the Wind Tunnel

Zhou Xiaogang, Yang Haibin, Huang Haoyu, Zhang Wei, Liu Gang, Zou Han  
(High Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to solve the flaw of measure and control system in the wind Tunnel, technology alteration has been made. This paper introduces the main technical indexes, general design scheme, equipment debugging and application after the technology alteration. After some wind tunnel tests are finished, it has been proved that the design scheme of the new system is reasonable, its performance is stable, reliable, the expected effect has been satisfied, and the technology alteration has some application value.

**Key words:** wind tunnel; measure and control system; technology alteration

### 0 引言

某风洞是目前我国航空航天飞行器气动力试验的主力风洞之一, 近年来, 由于试验任务的增加, 风洞设备运行频繁, 尤其是高马赫数和特种试验的增多, 风洞的测控系统逐渐暴露出不足: 数据采集系统不完备; 控制系统结构不尽合理; 风洞的运行状态监测和安全报警连锁设计不完善; 部分设备老化严重, 无法很好地满足试验发展的需求。针对上述问题, 笔者对风洞测控系统进行了改造。风洞测控系统改造由测量系统改造、风洞气流(包括主气流和引射气流)控制系统改造 2 个子项组成。笔者重点介绍了本次测控系统改造的技术指标、实施方案、设备调试情况以及技改后的应用情况。

### 1 改造的技术指标

根据风洞试验对测控系统的性能要求, 新组成的测控系统应达到如下技术指标:

#### 1) 数据采集系统:

采集速率:  $> 100 \text{ kHz}$

系统精度:  $\leq 0.05\% \text{FS} + 1 \text{LSB}$

通道个数: 64

输入电压范围:  $\pm 10 \text{ mV} \sim \pm 10 \text{ V}$

改造后的测量系统应满足风洞常规测力、测压

和测热试验中的数据采集精度要求。

#### 2) 风洞气流控制系统

主气流压力控制精度: 在  $\text{Ma} \leq 6$  时  $\leq 0.5\%$ , 在  $\text{Ma} > 6$  时  $\leq 0.3\%$ 。

引射气流调压阀后压力控制精度:  $\leq 0.5\%$ 。

改造后的控制系统应保证风洞运行的可靠性和安全性, 并能对风洞运行状况进行较为完善的监测与调度。

## 2 改造的实施方案

### 2.1 总体技术方案

1) 建立含 64 通道静态信号采集系统的风洞试验数据采集系统, 研制相关软件。整个测量系统主要包括静态信号测量、模型底压测量、图像采集 3 个子系统。新测量系统采用集中式布局, 系统总线采用目前主流的 PXI 总线。整个系统设计成一个开放系统, 便于升级。

2) 改造主气流控制系统和引射气流控制系统。选用西门子 S7-300 系列 PLC 系统取代原有的以继电控制为主的控制方式, 设计新的控制程序, 以提高风洞控制的可靠性, 并简化控制系统结构。PLC 系统作为下位机, 监测和控制设备的运行, 上设工控机作为上位机, 进行控制参数设定, 监测点状态

收稿日期: 2011-08-06; 修回日期: 2011-09-05

作者简介: 周晓刚(1964—), 男, 湖北人, 硕士, 高级工程师, 从事常规高超风洞试验研究、机电一体化系统设计研究。

及报警信号显示，历史数据的记录等。改造采用 2 套 PLC 系统，第 1 套用于主气流控制系统，第 2 套用于引射气流控制系统。同时，设计更新控制操纵

台；增加风洞运行的监测点和风洞系统的监控管理机，对整个风洞系统的工况进行实时监测和管理。风洞控制系统网络结构见图 1。

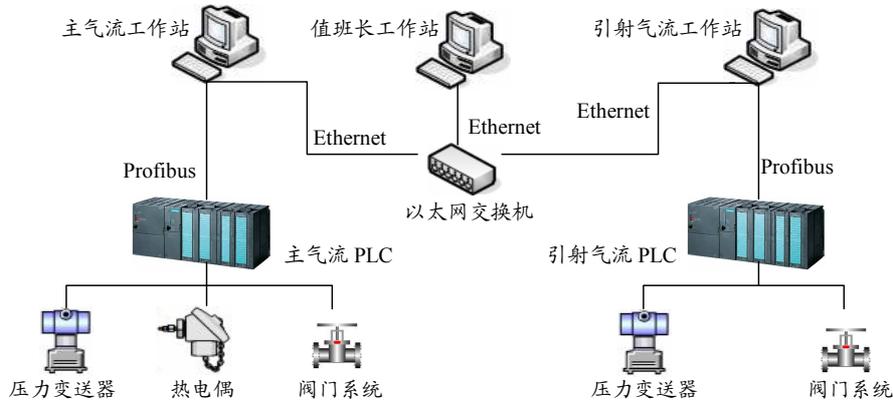


图 1 控制系统网络结构

### 2.2 测量系统硬件设计

测量系统由 1 个 NI 公司的 E 系列 PXI 多功能数据采集模块和 64 通道的信号调理模块及有关的

接线端子板与信号线缆组成，构成一个 64 通道的静态数据采集系统。测量系统配置及原理框图见图 2。

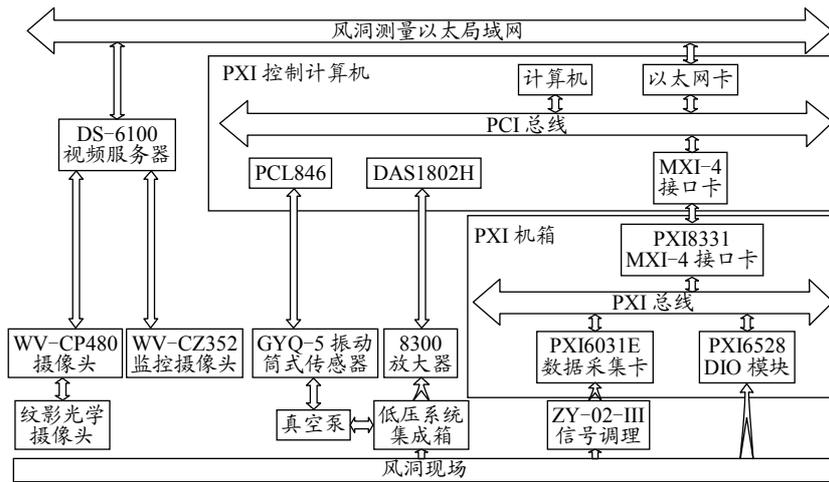


图 2 测量系统配置及原理框图

#### 1) 信号采集与数据处理计算机

系统选用了研华 610H 高性能工控机作为系统信号采集与数据处理计算机。该主机通过 MXI-4 多系统扩展接口组件 PCI8331 控制 PXI 主机箱，以获得各类试验数据。该主机与 PXI 机箱的数据传输速率可达 132 MB/s。此外，该主机还承担试验完成后的数据处理和备份工作。

#### 2) 测控主机箱

系统测控主机箱选用 NI 公司的 PXI-1050 主机箱，它集成了 8 个 PXI 插槽和 4 个 SCXI 插槽。模数转换器是关系到整个系统性能的最关键的部件，该部件的一些技术指标直接影响到整个系统的性能指标。因此，在测控主机箱中，选用了 NI PXI 6031E

多通道高速扫描型 A/D 模块作为主数据采集模块，该模块分辨率为 16 bits，采集速度能达到 100 KS/s。主机箱中还包含 1 个 64 通道的多路转换器，多路转换器控制，64K 采样的 FIFO 存储器等。同时，配置了 PXI 6528 数字 I/O 模块，它含有相互隔离的 24 路输入和 24 路输出。

#### 3) 信号调理模块

信号调理部分主要完成信号的滤波与放大功能，为了保证系统的可靠性和准确性，选用了 8 组（64 个通道）Front ZY-02-III 精密信号调理/滤波器，该放大器是基于耦合差分放大器原理而设计的一种新型低通滤波放大器。其主要特点是具有高共模电压范围、高共模抑制比、低噪音和高精密度。

### 2.3 控制系统硬件设计

主气流控制系统主要监控主气流一级切断阀、一级调压阀、二级切断阀、二级调压阀等。主气流控制的目的是通过两级阀门的调节以实现风洞稳定段总压的精确控制, 而切断阀属于开关阀, 因此两级调压阀的控制是其关键。控制对象有 2 个, 一是一级调压阀后压力, 其目的是给二级调压阀提供稳定的入口气流压力。主气流的另

一个控制对象是稳定段总压。从实际运行情况来看, 由于加热器体积很大, 压力变化滞后效应明显。因此, 利用一个能较快反映扰动和调节作用的二级阀后压力作为控制的中间变量并用调节器加以调节, 这种方式既满足总压的精度要求, 又能大大缩短调节时间<sup>[1]</sup>。调压阀采用电液伺服阀控制, 控制算法采用增量式 PID。主气流控制系统原理见图 3。

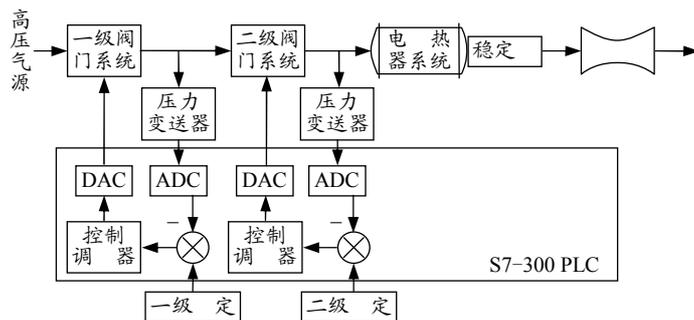


图 3 主气流控制系统原理

引射气流控制系统主要监控引射气流总阀、快速阀、调压阀和 3 个电动调节阀, 以实现三级引射器阀后压力的准确调节, 辅助建立流场。引射气流控制系统原理见图 4。引射气流控制系统的调压阀与主气流调压阀一样, 也采用电液伺服阀控制。为了保证调压阀后压力尽快达到设定值, 调压阀首先

快开到一定压力后再转入电液伺服阀调节, 从而既达到了调节的快速性, 又保证了阀后压力的调节精度。三级电动调节阀分别用于调节三级引射器的入口工作压力, 保证风洞运行时各级引射器的压力需求。采用 D 型操作器完成对 3 个电动阀的调节的方式, 保证了三级引射器后压力的快速调节。

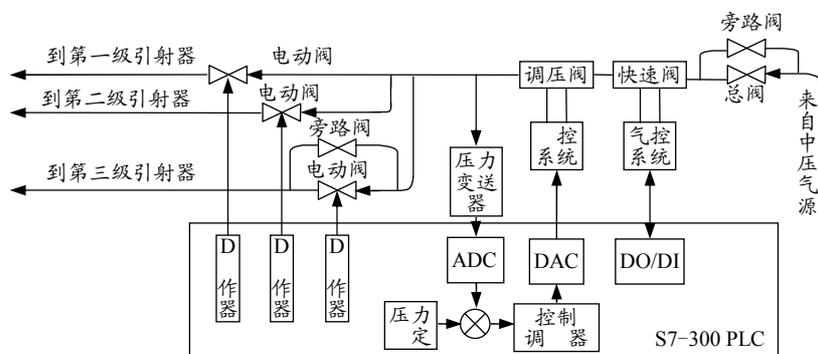


图 4 引射气流控制系统原理

### 2.4 测控系统软件设计

测量系统采用数据采集和数据处理 2 套软件格局进行编制, 以方便程序功能的独立和后期维护使用的方便。新的软件采用了主流的面向对象程序设计, 使用 BORLAND C++ BUILDER 6.0 作为统一的开发平台<sup>[3]</sup>, 设计基于类的体系架构, 较大程度地优化了程序流程, 使参数统一化, 程序模块化, 算法最优化, 功能完善化。

控制系统 PLC 的编程采用西门子编程软件 STEP 7 最新版本 V5.4。SCL 是一种基于 Pascal 的

高级语言, 同时结合梯形图 LAD、语句表 STL 和功能块图 FBD 等语言实现<sup>[4]</sup>。因此, 主要采用结构化编程语言 SCL 进行编程。上位机的人机监控软件采用易控通用版, 通过 Prosave 通讯软件与 PLC 建立连接。

### 3 测控系统调试及应用情况

根据风洞试验对不同状态的要求, 笔者进行了新测控系统各部分的功能调试。