

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.04.022

# 沙尘风洞测控系统

闫文奇<sup>1</sup>, 刘旺开<sup>1</sup>, 何理<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100191;

2. 北京航空航天大学自动化科学与工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 为避免沙尘失效情况的发生, 设计沙尘风洞测控系统。分别从硬件设计和软件设计方面具体介绍测控系统的结构, 针对系统设计过程遇到的困难, 就沙尘浓度控制、串口通信以及报警设计等关键问题的解决办法进行讨论, 并将系统正式投入使用。从使用情况看, 该系统响应速度较快, 控制精度高, 串口通信误码率低, 能很好满足高速率数据采集的要求。

**关键词:** 沙尘; 测控系统; 软-硬件设计; 串口通信

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## Measure and Control System for Wind Tunnel With Sand and Dust

Yan Wenqi<sup>1</sup>, Liu Wangkai<sup>1</sup>, He Li<sup>2</sup>

(1. School of Aeronautics Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. School of Automation Science & Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** Wind tunnel measure and control system with sand and dust is designed to avoid invalidation of weapon in sand and dust. Introduce the system in hardware design and software design. Aiming at the difficulties in system design, discuss the methods for key difficulties such as sand and dust consistency control, serial port communication and alarming design, and apply it. In application, it works well with fast response, high control precision and low bit error ratio in serial communication. It can also satisfy high speed data acquisition demand.

**Key words:** sand and dust; measure and control system; software-hardware design; serial communication

### 0 引言

沙尘环境是引起许多军用武器装备失效的一个重要环境因素, 广泛分布的沙尘环境对军用设备的部件系统以及机载设备具有严重影响。有棱角的颗粒会穿透缝隙、裂纹、轴承、密封处和各种电器的连接处, 进而造成设备的损坏。为了避免沙尘失效情况的发生, 在装备正式投入使用前必须对其进行吹砂吹尘实验。待满足国军标的要求后, 方可投入使用<sup>[1]</sup>。

沙尘风洞可以很好地模拟沙尘环境, 其主体为一个闭口风洞, 通过外围设备可以模拟沙漠中温度、湿度、风速、沙尘浓度等环境条件。沙尘在风洞中高速运动时, 其破坏性相当大, 这对测控系统的硬件布置要求相当高。传感器要在不影响测量结果的前提下尽量位于沙尘不易损坏的位置, 而当损坏后又应该能方便更换。实验对风洞中沙尘深度要求定量控制, 这是整个测控系统中的难点。因此, 笔者针对沙尘这种特殊环境情况下的问题, 设计和实现了一套沙尘风洞测控系统。

### 1 测控系统硬件设计

测控系统硬件设计结构图如图 1。系统采用现

场级响应、下位级控制、上位级管理以及远程级监控的分布式测控系统(distributed control system), 以工业控制计算机为核心, 配合以单元组合仪器及微处理器, 对试验系统进行集中管理分散控制<sup>[2]</sup>。

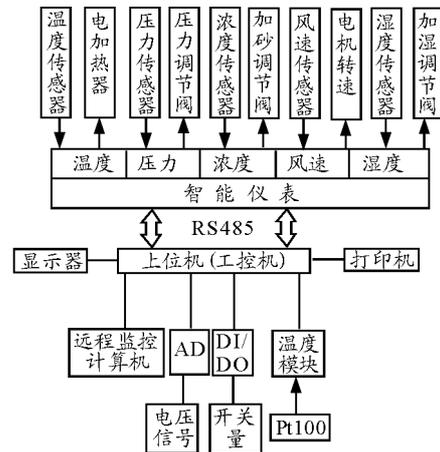


图 1 测控系统硬件结构图

#### 1.1 现场级

沙尘测控系统现场级由温度、压力、湿度、浓度以及风速传感变送器组成, 变送后的信号传送至下位机的智能仪表进行测量与控制。

同为现场级的还有执行机构, 包括电加热器、

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2011-11-18

作者简介: 闫文奇(1988—), 男, 江苏人, 在读硕士, 从事计算机测量与控制研究。

风机、加砂电机等, 它们均由下位控制级根据当前状态与设定状态的关系, 以一定的算法来进行控制。

### 1.2 下位控制级

下位控制级由智能调节控制仪组成, 完成对现场级执行机构的控制。智能仪表可以同时显示所控制状态参量的当前值, 通过 4~20 mA 的信号输出控制执行机构, 达到控制的目的。

下位机同时与上位机通过 RS485 串口(半双工通信模式)与上位机通信, 既可以将测量结果传给上位机, 又可以接收上位机传输来的命令, 无扰实现上下位机控制的转换。下位机同时具有硬件报警功能, 当有参数报警时, 可以通过硬件电路的切断保护设备。

### 1.3 上位管理级

上位管理级为工控机。工控机通过串口与下位机通信, 实现数据采集与系统控制。工控机 PCI 插槽同时插有 DI、DO、AD 板, 测量数字量输入、输出, 以及通过 AD 板卡采集数据。同时还可以动态监控试验状况, 管理试验数据, 生成各种报表、曲线以及向远程监控计算机发送实验数据。

### 1.4 远程监控级

远程监控级由局域网内远程监控计算机组成, 试验过程中, 作为客户端, 可以接收从上位机传过来的数据, 实时监控试验的状态。

## 2 测控系统软件设计

系统软件采用 VC++6.0 开发, 功能模块均封装成特定的动态链接库或者用 ActiveX 控制, 以后不需重新编译便可以升级软件功能。软件整体结构如图 2 所示。

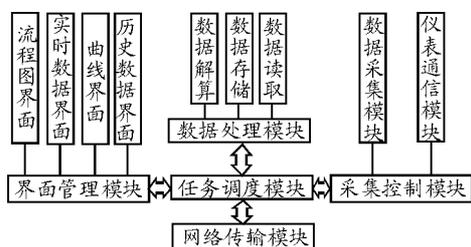


图 2 测控系统软件结构图

### 2.1 界面管理模块

软件分为 4 个界面: 流程图界面、实时数据界面、曲线界面以及历史数据表格界面。

流程图界面绘制了整个系统的流程, 在流程图上相应的设备处显示当前的状态参数值, 让使用者

可以一目了然地明白整个系统的工作状况, 而且还可以在本界面上实现上位机与下位机的通信, 控制整个系统。

实时数据界面实时显示了系统所有状态参数当前的值。正常情况下数据以黑色显示。当有状态参数处于报警状态时, 此数据以红色显示, 可以很清楚看出报警的变量。

曲线界面可以绘制任一参数从开始实验到当前状态的曲线图。曲线的参数范围可以任意调节, 横坐标默认是时间, 也可以改为其它的参数, 观察 2 个参数之间的函数关系。

历史数据表格界面保存了从实验开始的每个周期所有参数的值, 当在实验过程中需要查询之前的任一周期的状态值时, 均可以从此表格中读出参数的具体数值。

### 2.2 采集控制模块

采集控制模块负责与下位机通信, 对下位机发送控制信号并从下位机读取测量值, 主要完成串口通信部分的设计。

### 2.3 数据处理模块

数据处理模块对采集的数据进行一定的处理, 如对受到干扰的数据进行数据滤波, 把采集到的相关数据经过运算后得到一项综合实验参数等。此模块还负责数据存盘的工作, 在每个周期采集到数据的同时, 通过 SQL 语句操作数据库实现数据的存储。当实验过程中需要查阅历史数据时, 还可以从数据库中调取需要的数据。

### 2.4 网络传输模块

使用 socket 套接字, 通过 UDP 技术将上位机的实验数据发送至远程监控计算机。

### 2.5 任务调度模块

任务调度模块负责各个模块(线程)间的同步问题。采用事件变量调度各个模块, 提高系统运行效率, 并通过设置临界区变量, 实现对数据区的安全读写。

## 3 关键问题及解决办法

### 3.1 砂尘浓度控制

测量颗粒物浓度的传感器主要有 2 种: 第 1 种是测量颗粒摩擦传感器接触杆产生静电来测量浓度; 第 2 种是测量颗粒物反射激光的强度来测量。

这 2 种传感器都是在烟尘的环境条件下标定和使用。此处环境与烟尘环境不尽相同，所以要重新标定传感器。经过标定后，再用二者的数据与标定装置同时实验，发现第 1 种传感器准确度更高，因此，系统采用第 1 种传感器。

刚加入的砂尘在风洞中并不能立刻均匀分布，每次加砂时砂尘浓度都有一个高峰，很容易超过实验条件，这是不允许的。尝试过多种方法后，笔者找到一种较好控制的方法：用高压空气吹送加砂管道中的砂料，以与风洞中风速相反的方向从喷嘴中喷出。这样一来，实验段砂尘的均匀度就提高了很多。

对于测控系统，虽然砂尘均匀度好了很多，但是其振荡仍然相当大，加砂的时刻，浓度上升很快，不加砂时浓度又下降很快。若只使用经典 PID 技术，砂尘浓度波动较大，而且会出现振荡至失稳的情况。针对此情况，结合一定经验，采取常规 PID 加专家控制方式<sup>[3]</sup>。

$M_1, M_2, M_3$  为 3 个误差界限， $e(k)$  为当前值与设定值的偏差； $e(k-1)$  为前一个采样时刻的偏差值，采用“IF-THEN”语句描述该专家 PID 算法如下：

规则 1: IF  $|e(k)| \geq M_1$ , THEN 加砂电机全开或者全关。

规则 2: IF  $|e(k)| \leq M_3$ , THEN 系统在误差允许范围内，保持控制器输出不变即可。

规则 3: IF  $M_1 \geq |e(k)| \geq M_3$  AND  $|e(k)-e(k-1)| \geq M_2$ , THEN 采用较强 PID 控制。

规则 4: IF  $M_1 \geq |e(k)| \geq M_3$  AND  $|e(k)-e(k-1)| \geq M_2$ , THEN 采用较弱 PI 控制。

其中  $M_1, M_2, M_3$ ，以及 2 组 PID 参数的取值均依实际情况，可由人机界面设定。随着经验的积累，可不断改进控制规则，使控制效果更加完善。

砂尘浓度设定值  $10 \text{ g/m}^3$ ，运行一段时间后，砂尘浓度控制在  $(10 \pm 3) \text{ g/m}^3$  范围内，且长时间稳定，符合设计要求，如图 3 所示。

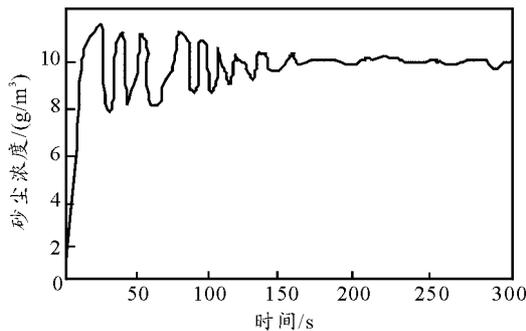


图 3 砂尘浓度控制曲线图

### 3.2 串口通信

上位机通过串口与智能仪表，温度采集模块等进行通信，串口通信部分是软件的重要组成部分。

首先选择串口通信的接口方式，现在主要有 RS232, RS422, RS485 3 种工作方式<sup>[4]</sup>。RS232 采用三线半双工工作方式，由于不能总线的并联，只能单台点对点工作，故在此不能采用。RS422 用差动两线发送，两线接收的四线全双工工作方式，RS485 是 RS422 的变型，采用差动两线发送，两线接收的双向数据总线两线制半双工工作方式。这里 RS485 通信速度可以达到要求，所以采用更为简便的 RS485 接口。

串口通信软件设计主要有 2 种办法：

第 1 种是使用 MSComm 控件，但是这个控件较大，使用时会同加入许多并不需要的功能，而且一个控件只能进行一个串口操作，要进行多个串口操作便要加入多个控件，这样很不方便，故不采用这种方法；

第 2 种是使用 Windows API 函数的方法<sup>[5]</sup>，以文件方式来进行串口的读写操作。笔者用仪表进行通信，要采集它的数据，对其发送控制量，设定值等，对温度采集模块也要读取它的数值，若每次通信都要再写串口通信代码，这样非常不方便。为了使用方便，可以把与串口通信有关的操作全部封装到一个类中，在类中把通信的功能全部实现，这样在每次使用时就很方便了。经过封装的串口通信类如下(参数均略去)：

```
class CCommunicate : public CObject
{
public:
    BOOL ReadADAM (); //读取 ADAM 模块
    BOOL SetPID (); //设置仪表 PID 参数
    BOOL SetCommStates(); //设置通信状态
    BOOL SetToAuto(); //仪表设为自动控制
    BOOL SetToMan(); //仪表设为手动控制
    BOOL CloseCom(); //关闭串口
    void GetValue(); //读取仪表测量值
    BOOL GetStatus(); //获取仪表状态
    BOOL WriteCom(); //写串口
    BOOL CtrlValue(); //发送控制量
    BOOL SetValue(); //发送设定值
    BOOL SetToLocal(); //设置仪表本地状态
    BOOL InitCom(); //初始化串口
```

```

CCommunicate();//构造函数
virtual ~CCommunicate();//析构函数
HANDLE m_hComm; //串口句柄
DCB m_dcb; //DCB结构体
char m_ComOut[100]; //发送命令数组
char m_ComIn[100]; //接收数据数组
};

```

### 3.3 报警设计

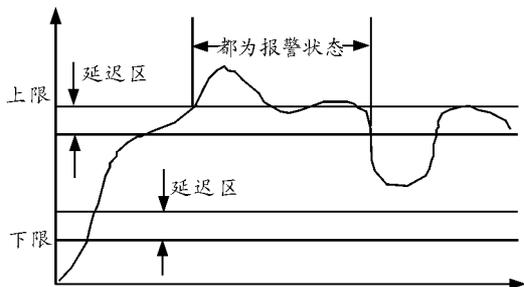


图4 报警原理图

若报警上下限只指定一个固定值，超限立刻报警，反之立刻取消报警，这样会导致一个问题：若测量值在上限或者下限的附近不停做微小波动，报警状态就会一直反复，频繁的开关会导致硬件的损坏。为此，设置了报警延迟带。以超上限为例，测量值从正常范围内超出上限，系统开始报警；若测

\*\*\*\*\*

(上接第77页)

做拾振的响应信号的幅频和相频特性，也进一步验证了系统的正确性，如图10。

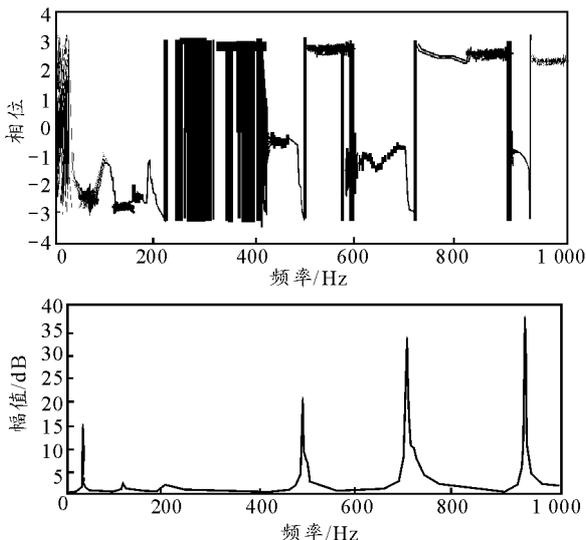


图10 响应信号的幅频相频图

量值回落，则测量值必须回落到延迟带以下系统才取消报警。原理如图4所示。

由于延迟区的存在，使3次报警状态切换变成了1次报警切换，从而保护了报警硬件设备。图4只演示了上限报警，下限报警原理相同。

### 4 结论

目前，测控系统已经调试完毕，正式投入使用。从目前使用的情况看，系统响应速度较快，控制精度高，串口通信误码率低，并很好地满足了高速率数据采集的要求。系统还具有一定的通用性，经过少量的修改后便可以应用于别的测控系统中。

### 参考文献:

- [1] 李可, 刘旺开, 沈为群. 砂尘风洞试验中粒子系统的OpenGL喷砂模拟[J]. 微计算机应用, 2009, 30(4): 67-71.
- [2] 刘旺开, 史京玲, 郭英军. 环境模拟测控系统的分布式测控系统[J]. 兵工自动化, 2005, 24(3): 87-89.
- [3] 蒋平, 沈为群, 刘旺开. 座舱压调试验台测控系统的设计[J]. 兵工自动化, 2007, 26(1): 65-67.
- [4] 高传善, 郭建民, 陈章龙. 接口与通信[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1989.
- [5] 北京博彦科技发展有限公司. MFC Windows 程序设计[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2001.

实验结果表明：该虚拟火炮振动测试分析系统运行结果良好，实验结果与理论相符合，具有良好的正确性与可靠性。

### 3 结束语

基于 LabVIEW 的振动测试分析系统将虚拟仪器的概念引入火炮振动测试中，是对传统的火炮振动测试分析系统的改进和提高，具有较高的测量精度和稳定性，能降低火炮振动测试成本。

### 参考文献:

- [1] 秦树人. 工程信号处理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [2] 张强. 随机信号分析的工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [3] 陈敏. 虚拟仪器开发环境LabVIEW及其数据采集[J]. 计算机工程与设计, 2001(5): 61-63.
- [4] 翟庆林. 毫米波PD雷达多目标分辨技术研究[J]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.