

doi: 10.7690/bgzd.2016.06.013

## 高低温环境模拟系统中稳定舱压问题的研究

彭超<sup>1</sup>, 张元生<sup>2</sup>, 马光远<sup>1</sup>, 马亮<sup>1</sup>, 刘旺开<sup>1</sup>

(1. 北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100191; 2. 西安空间无线电技术研究所, 西安 710100)

**摘要:** 针对在高低温环境模拟系统综合试验中如何稳定大型空间的压力这一关键问题, 采用专家 PID 系统控制算法进行研究。介绍高低温环境模拟系统, 引用专家系统的控制方法, 建立知识库和推理机, 模拟专家利用知识进行推理, 并对未使用专家系统控制和使用专家系统控制 2 种效果进行比较分析。目前, 该系统已顺利完成试验, 并通过专家验收投入运行。运行结果表明: 该算法能控制舱内压力稳定维持在微正压, 达到了试验要求。

**关键词:** 测控系统; 软-硬件设计; 专家系统; 舱压

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## Research for Stability of Cabin Pressure in High/Low Temperature Environment Simulation System

Peng Chao<sup>1</sup>, Zhang Yuansheng<sup>2</sup>, Ma Guangyuan<sup>1</sup>, Ma Liang<sup>1</sup>, Liu Wangkai<sup>1</sup>

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

2. CAST-Xi'an Institute of Space Radio Technology, Xi'an 710100, China)

**Abstract:** How to stabilize the pressure of the large space in the comprehensive experiment of high/low temperature environment simulation system is a critical problem, to meet the test requirements, the expert PID system control algorithm is studied. This paper introduces high/low temperature environment simulation system, references to the control method of expert system, establishes the knowledge base and reasoning machine, simulates expert knowledge reasoning, and compares the used expert system control with the unused expert system control effect. At present, the system has been successfully completed test, passed the expert examination and put into operation. The running results show that the algorithm can maintain in micro positive pressure and control cabin pressure stability, reached the test requirement.

**Keywords:** measurement and control system; software-hardware design; expert system; cabin pressure

### 0 引言

高低温环境模拟系统主要用于大型空间可展开天线的高低温极限环境下的展开功能试验、机械性能测试及其他相关试验。低温时系统采用空气制冷技术, 试验舱可在 $-100\sim+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间任一温度稳定保持。高温时采用舱内空气通过循环风机送入电加热器加热后, 舱内空气自循环不断升温, 试验舱可在 $+20\sim+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间任意温度稳定保持。低温时舱内空气露点温度 $\leq-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且升降温过程及保温过程中不结露、不结冰和不结霜。

由于实验环境是一个大型空间, 舱内压力是一个非常重要的参数, 当舱内压力(文中均指表压)过高(大于 $300\text{ Pa}$ )或过低(小于 $-300\text{ Pa}$ )时, 都会对大舱整体结构产生致命损坏; 特别是当舱内压力变为负压时, 则会使外界空气进入舱内, 连带空气中的水分也进入大舱, 由于系统在降温过程中, 尤其低温(小于 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )时, 舱内空气露点要求非常高, 此时进入的空气会使舱内空气露点升高, 导致大舱起

雾, 这是不允许的; 因此, 在试验过程中保持舱内压力稳定在微正压的水平, 才能保持系统达到指定要求。

针对舱内压力这一关键问题的解决方案, 传统的 PID 控制很难取得满意的控制效果。笔者采用专家 PID 系统控制算法, 很好地解决了舱内压力控制这一关键技术问题。

### 1 高低温环境模拟系统简介

高低温环境模拟系统主要包括气源系统(含除湿系统)、制冷系统、加热系统、排风系统及试验舱。

气源系统是由空压机提供连续的压缩空气, 经过过滤干燥器除油除湿后进入制冷系统。

制冷系统将空气露点温度等于或低于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的气体, 通过涡轮膨胀机进行空气制冷。通过空气制冷后的冷气进入试验舱并通过舱内循环风和试验舱内的冷板系统使试验舱达到设计要求的试验温度。

加热系统用于高温试验时给试验舱加温或低温试验时对试验舱温度微调。舱内空气经循环风道进

收稿日期: 2016-02-25; 修回日期: 2016-03-24

作者简介: 彭超(1988—), 男, 重庆人, 硕士, 从事计算机测量与控制方向的研究。

入电加热器加热后通过孔板注入舱内，形成自循环使得舱内空气升温达到规定温度。

排风系统用于保证试验舱压力稳定在微正压水平，通过控制排气风机抽出试验舱内空气，从而控制舱内压力。

试验舱是试验的场所平台，能够提供稳定的低温、高温环境，满足相应的技术性能指标要求，在舱内完成相应的环境试验。图 1 是测控系统试验舱流程。

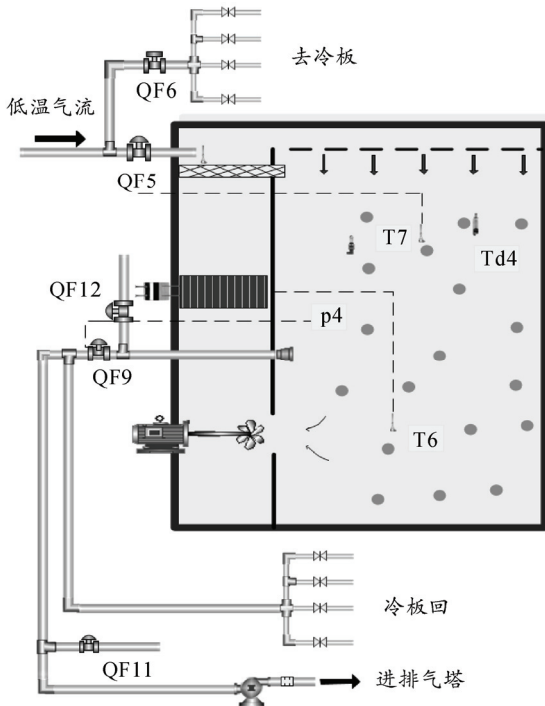


图 1 测控系统试验舱流程

## 2 测控系统结构设计

### 2.1 系统硬件结构

本系统采用分布式控制系统技术来解决其中的复杂控制问题。分布式控制系统的特点是集中管理，分散控制。以工业级计算机为核心，再通过由各种内装微处理器的数字智能调节仪分散对各个现场信号进行控制。系统可分为检测与执行级、下位控制级、上位管理级<sup>[1]</sup>。硬件结构如图 2 所示。

检测与执行级：它是现场采集各种数据单元和控制执行设备。包括压力、温度和露点等参数测量设备以及气动调节阀、电加热器和调功器等设备。

下位控制级：它主要由装有微处理器的智能数字仪表构成，和现场检测与执行级相连，既可以直接显示现场的测量参数，又担负着给现场设备发送控制量而控制现场设备。

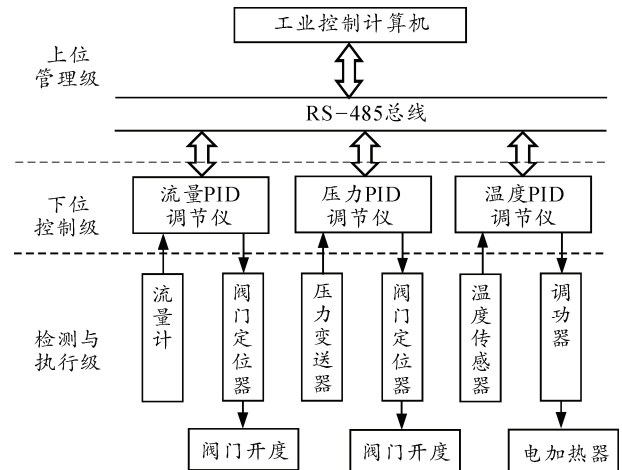


图 2 测控系统硬件结构

上位管理级：它由计算机及接口电路组成。通过 RS-485 通信接口与下位控制级相连，直接从下位控制级获得各种试验数据，将其存储到计算机的数据库中，并进行数据处理和分析。一方面实时显示到计算机窗口界面；另一方面将这些数据与初始设定值相比较，然后对相应智能仪表发送控制信号，实现对测控参数的自动控制功能。

### 2.2 系统软件结构

测控系统软件是基于 VC++ 开发，利用 COM 技术将各个功能模块封装与对应的 DLL 文件，这样设计的测控软件系统具有可移植性高和更新方便的特点，软件结构如图 3 所示。

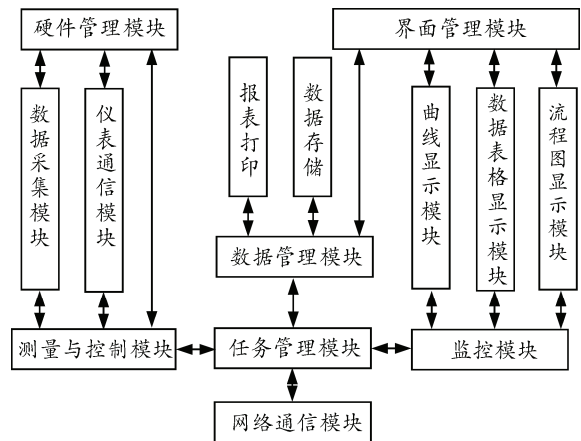


图 3 测控系统软件结构

该系统软件具有以下功能：

- 1) 系统具备自动/手动控制的双重操作功能；
- 2) 试验过程可随时修正参数或重新设置；
- 3) 实时显示试验参数和试验流程；
- 4) 试验数据能够实时存储；
- 5) 实时显示数据曲线及打印；
- 6) 软件具有超限报警及保护功能；

7) 系统具有自测试和自诊断功能。

### 3 专家系统的设计

#### 3.1 专家系统简介

专家系统是一种“基于知识”(knowledge-based)人工智能系统,是智能控制的一个分支,其实质是应用人类专家的知识和推理方法求解复杂的实际问题的一种人工智能计算机程序。图4是专家系统的一般结构。

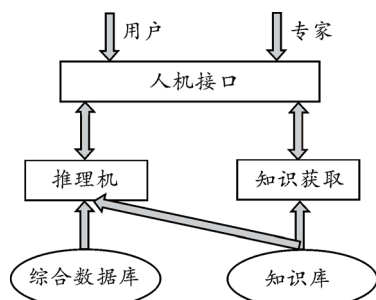


图4 专家系统一般结构

专家系统由人机接口、推理机、知识库和知识获取等部分组成,其核心是知识库与推理机。知识库与推理机的分离使得系统具有很好的灵活性和可扩充性,节省了耗时费力的开发工作<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 知识库的构建

知识库是专家知识、经验的存储器,用来存放被求解问题的相关领域的原理性知识或专家的经验性知识<sup>[3]</sup>。它存放在程序的特定区域。知识常采用产生式规则表示。

本系统中的试验舱,在关闭舱门之后,大舱处于封闭状态。当进行高温试验时,舱内空气经加热后会膨胀,从而导致试验舱压力上升产生正压。从高温恢复到常温时,舱内空气冷却,气体收缩,试验舱压力下降,此时若无气流补充,舱内就会产生负压。当进行低温试验时,通过涡轮机的低温气流从管道不能直接进入大舱,而需要先通过管道进入冷板,再从冷板缓慢切入大舱之中,使得试验舱压力不至于突然因大量高速气流的进入而猛涨,超过压力上限,对舱体造成破坏。

大舱压力是一个多变量的控制参数,不仅与从涡轮机组过来的低温气流流量、大舱进气阀门开度和大舱排气阀门有关,还与排气风机频率有关,因此其控制较为复杂,尤以低温气流从冷板切入大舱过程中的控制最为复杂,下面是该过程的规则。

相关参数有舱内压力上限  $p_{max}$ , 舱内压力额定值  $p_0$ , 舱压下限  $p_{min}$ (大于 0 Pa), 舱压测量值  $p$ ,

切换过程如下:

冷板进气阀每次按给定差值减小开度,大舱进气阀按相同差值增大开度,二者同时进行,每隔一定时间通过检测。若  $p=p_0$ ,则2个调节阀按差值相应减小/增加开度,直至冷板进气阀关闭,大舱进气阀完全打开。规则采用“IF-THEN”语言描述:

规则1:

IF:  $p \leq p_{min}$ , THEN: 减小出口阀开度;

(IF: 出口阀已经关闭, THEN: 减小排气风机频率)。

规则2:

IF:  $p_{min} \leq p \leq p_0$  时, THEN: 减小出口阀开度。

规则3:

IF:  $p \geq p_0$ , THEN: 增大出口阀开度;

(IF: 出口阀已全打开, THEN: 增大排气风机频率);

规则4:

IF:  $p \geq p_{max}$ , THEN: 增大超压保护阀开度。

用户可以通过人机交互界面输入相关参数具体数值,通过推理机在知识库中进行不断搜索,检查是否满足规则的条件部分,并根据条件执行接下来的操作,这样模拟专家解决问题的思路,从而实现专家智能控制。

#### 3.3 推理机的构建

推理机是专家系统中解决问题时的思维推理核心部分,它在程序中某一特定区域,用以记忆所采用的规则和控制策略,使得整个专家系统能够以逻辑方式进行问题的求解。在本程序中,由C++“if”语法结构的功能来实现推理机的作用。

### 4 控制效果

图5是未使用专家系统控制而靠智能仪表自动控制时,低温气流从冷板切入大舱时舱内压力曲线。

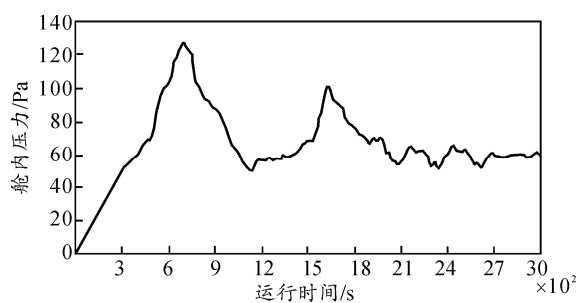


图5 舱内压力控制曲线