

doi: 10.7690/bgzdh.2013.04.014

## 基于两种通信协议的加热器温控系统

杨海滨, 邹涵, 周立

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为解决原加热器温控系统自动化程度低、温控精度不高的缺点, 对温控系统进行重新设计。新系统由工作站、PLC 主站、从站、交流调功器、温控仪和总线桥等部分组成。介绍 2 种通信协议基础上的加热器温控系统方案、硬件构成、总线桥等单元的配置、编程设计及投运后的试验情况, 并进行试验验证。结果表明: 该系统设计合理, 可靠性高, 温控精度高, 目前已正式投入使用。

**关键词:** 通信; 硬件; 软件; 配置; 总线桥

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## Heater Temperature Control System Based on Two Communication Protocols

Yang Haibin, Zou Han, Zhou Li

(High Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** To improve automatic degree and temperature control precision in the heater temperature control system, a new temperature control system is designed. The new system is composed of work station, PLC main and secondary stations, AC power regulator, temperature controller, bus bridge and so on. This paper introduces temperature control system scheme based on two communication protocols, hardware structure, configuration of bus bridge, programme design and application test situation. Use test to verify. The results show that the system is reasonable, the reliability and temperature control precision is very high. Now this system has been employed.

**Key words:** communication; hardware; software; configuration; bus bridge

### 0 引言

现场总线是控制技术、网络技术与通信技术的综合体现, 是将自动化最底层的现场控制设备、智能仪表与传感器实现实时控制的通信网络<sup>[1]</sup>。在一般的工业控制系统中, 往往只有一种现场总线将若干个智能设备连接起来, 系统通过一种通信协议就可以完成所有的通信和工艺控制功能。但在有些复杂控制系统中, 往往包含有不同厂家、不同通信协议的智能控制单元, 这就必然涉及到这些控制单元的相互通信问题。笔者在加热器温控系统设计时, 采用了 2 种通信协议的智能设备, 通过正确配置这些设备的通信参数, 顺利地解决了设备之间数据的通信传输问题<sup>[2]</sup>, 从而圆满完成了温控系统的设计, 该系统已正式投入使用。

### 1 加热工况简介

风洞试验要求的气源压力为 20 MPa, 经调压阀后将压力调整到不同的试验要求值(0.5~10 MPa)。为了防止高压压缩气体释放后出现冷凝而影响正常试验, 在压力调节过程中需要同时对气流加热。这样, 高压气流经过调压阀后再经过大功率直热式电加热器, 从而在加热器出口端就得到了压力和温度

都满足试验要求的高压气流。由于试验要求的状态不同, 因此需要加热器的出口温度值也不同(80~800 °C), 这就要求加热器能根据试验要求进行各种功率匹配。从而既满足温度要求, 又能保证加热元件的安全运行。

加热器共有 5 级, 每级有 9 个加热元件, 按三相对称供电, 每 3 个元件为一组, 即每级加热器有 3 组。由于加热器各级功率较大, 所以每级加热器都采用独立的有载调压变压器供电, 便于进行供电电压的调节。

### 2 系统实现方案

由于加热器元件投入的功率是前高后低, 对应每一个试验状态, 可事先由理论计算加热器需要的总功率和各级加热器分配的功率; 因此, 加热器供电方式简化为: 前三级加热器采取变压器有载调压和负载的 Y-Δ 转换相结合调节功率, 此方式可实现阶梯调整功率, 每组元件设 1 台低压开关柜。后两级加热器采取变压器有载调压和交流调功器相结合调节功率, 此方式可实现无级调节功率, 每组元件设 1 台调功柜。运行时前三级投入的加热元件和负载接线方式在试验中不再改变, 以额定功率投运, 采取开环控制进行气流的加热。后二级加热器采取

收稿日期: 2012-10-16; 修回日期: 2012-11-28

作者简介: 杨海滨(1972—), 男, 四川人, 硕士, 高级工程师, 从事加热器温度控制、气流压力控制方法研究。

功率闭环控制进行出口温度的精调，从而达到试验要求的出口温度值。

加热器的温控系统采用基于 PROFIBUS 现场总线的主、从控制系统(如图 1)。主站为西门子 300 系列 PLC，从站为 ET200M(各级加热器共用)，监控层设工控机一台。主站与温控仪位于中控室，从站与低压开关柜、调功柜等位于设备现场。

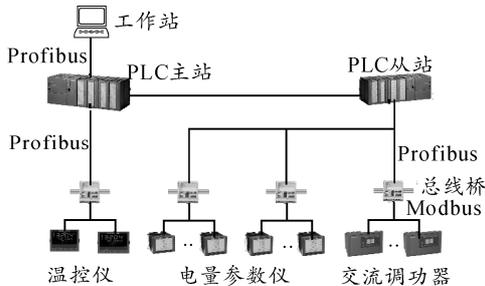


图 1 加热器温控系统网络结构

系统中温控仪主要完成温度信号采集、PID 运算和控制电流输出。调功器是以可控硅作为交流电源过零无触点开关的控制设备，它根据温控仪的控制信号调整输出功率。电量参数仪主要用于测量回路的三相电压、电流、功率等参数。

系统运行分为温控模式和待机模式 2 种，而温控模式又分为自动和手动方式。试验时进入温控模式，对高压气流进行快速加热，控制方式为：对于前三级数字量的监控，主站通过接口模块 IM153-1 与 ET200M 进行通信，从而完成对空气断路器、交流接触器、调功器的启/停以及风机的监控。根据试验状态的要求，选择投入功率的元件以及进行 Y-Δ 2 种负载接法的转换，从而实现对气流进行加热。对于模拟量的控制(后二级加热器)，采取温控仪与调功器相结合的方式。在第四级和第五级加热器出口各设置一个铠装热电偶，用于反馈气流温度值，温控仪采集到温度值后，在内部进行 PID 运算，并输出 3 路 4~20 mA 电流信号，作为调功器的控制信号，这样每只温控仪可同时完成对 3 台调功器的控制(如图 2)。2 只温控仪通过对 6 台调功器的控制，实现了对后两级加热器的功率控制，从而实现了加热器出口温度的闭环自动调节。

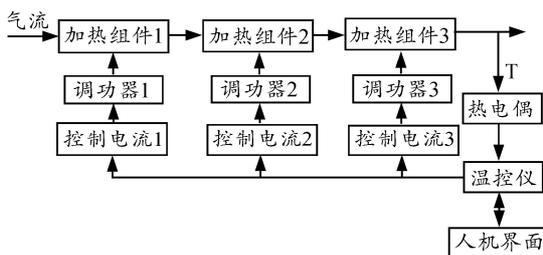


图 2 温度闭环控制原理

由于温控仪、调功器以及电量参数仪仅支持 MODBUS 通信协议，因此 PLC 需要通过 PB-B-MODBUS 总线桥，建立与这些设备的通信，从而能够读写这些智能设备的相关参数。

### 3 系统设计

#### 3.1 硬件设计

系统硬件设备配置如下：9 台低压开关柜(对应前三级加热器)，每台开关柜内含 1 台施耐德 MTE 空气断路器、1 只 PM810 电量参数仪和 2 台施耐德 F800MW 交流接触器。6 台调功柜(对应后二级加热器)，每台调功柜内含 1 台施耐德 MTE 空气断路器、1 只 PM810 电量参数仪和 1 台交流调功器。

PLC 主站包含 CPU315-2DP、数字量模块 SM321(16DI)和 SM322(16DO)，从站包含接口模块 IM153-1、4 个数字量模块 SM321(32DI)和 3 个数字量模块 SM322(其中 2 个为 32DO，1 个为 16DO)<sup>[3]</sup>。各级加热器出口测温元件为铠装 NiCr-NiSi 热电偶，2 只温控仪采用欧陆 3204，4 只总线桥采用鼎实创新公司的 PB-B-MODBUS/V33。

#### 3.2 温控仪及调功器参数设置

温控仪需设置的参数主要包括输入输出参数、工作参数和通信参数等。首先，仪表的初始参数应设置测温元件为 K 型热电偶，三路输出均为 PID 加热输出。然后，进入配置菜单，设置相关参数，主要的工作参数设定值及意义见表 1。

表 1 温控仪工作参数

参数	设定值	意义
SP.RAT	60	设定值变化率，显示单位/分钟
1.ID、2.ID、3.ID	dc.op	3 路输出信号均为直流输出
1.FUN、2.FUNC、3.FUNC	HEAt	3 路输出功能均为加热
1.ANG、2.ANG、3.ANG	4.20	3 路输出信号值范围均为 4~20 mA
CTRL.H	Pid	加热类型为 PID 调节
PB.UNT	Perc	比例带单位为百分比

其中设定值变化率应根据加热速度的快慢合理地设置其大小，变化率太小加热时间会过长，太大加热元件负荷过大，容易损坏元件。

在通信参数中，应设置温控仪的通信接口为 RS485，通信地址分别为 1 和 2，通信速率为 19.2 K，无校验。

调功器运行时采取联机功率分配的方式，比如将第 4 级加热器的 3 台调功器通过 RS485 通讯接口以菊花链的形式连接起来(第 5 级加热器的 3 台调功器与此类似)。设置第 1 台为主机，其余 2 台为从

机, 主机根据从机的输出要求合理安排主、从机的输出时间段, 即 3 台调功器轮流输出功率, 使对主回路供电电源的冲击降低到最小程度。主机的地址设为 1, 从机地址分别为 2、3, 再设置控制器的通讯模式为联机通讯。

本例中所有调功器触发选择为调功(过零)控制, 选择此方式, 实现纯过零触发。在过零触发周期内根据斜坡输出的大小, 通过调节输出周波数的多少, 来控制输出功率, 此时调功器输出波形为完整的正弦周波。

### 3.3 总线桥原理及组态

PB-B-MODBUS/V33 总线桥是智能型 PROFIBUS 到 MODBUS 的协议转换接口。在接口 RAM 中建立了 PROFIBUS 到 MODBUS 映射数据区, 由软件实现 PROFIBUS 和 MODBUS 协议转换及数据交换。

本例中共有 4 个总线桥, 均采用 RS485 接口。所有总线桥均作为 MODBUS 主站使用, MODBUS 是主/从通信协议, 主站主动发送报文, 只有与主站发送报文中呼叫地址相同的从站才向主站发送回答报文。本例以地址为 3 的总线桥为例, 说明总线桥的组态步骤:

1) 建立一个 PLC 项目, 将总线桥设备的 GSD 文件加入设备 Catalog 中。进行 CPU 的硬件组态, 设置 CPU 特性, 通信参数等。系统中 PLC 主站与从站的 PROFIBUS 总线传输速率为 1.5 Mbit/s。

2) 配置总线桥作为 PROFIBUS 从站。选中 PROFIBUS(1)DP master system(1)后, 在 Hardware Catalog 中找到 PB-B-MM/V33 并双击, 将此总线桥作为 PROFIBUS 的一个从站并确定此从站的站号。

3) 配置总线桥的 RS485 接口。双击总线桥, 设置通信波特率为 19.2 kbit/s, 选择总线桥为 MODBUS 主站方式, 无校验, 数据更新模式为每条 MD 回答后。

4) 配置总线桥的 MODBUS 报文队列。3 号总线桥对应的 MODBUS 设备为 2 只温控仪, 在 Hardware Catalog 中打开 PB-B-MM/V33 目录, 其中的每一个 MODBUS 模块对应一种功能的 MODBUS 报文, 可双击插入某一槽中。

5) 通过报文读写 MODBUS 设备的参数。PB-B-MM/V33 有 37 个槽供用户使用, 每个槽可用来插入一条 MODBUS 通信报文。如图 3, 在 3 号槽中插入报文 read 1 Words(4xxx), 双击报文, 完成“从站地址”和“起始地址”的参数设定。

至此, 总线桥配置完毕。

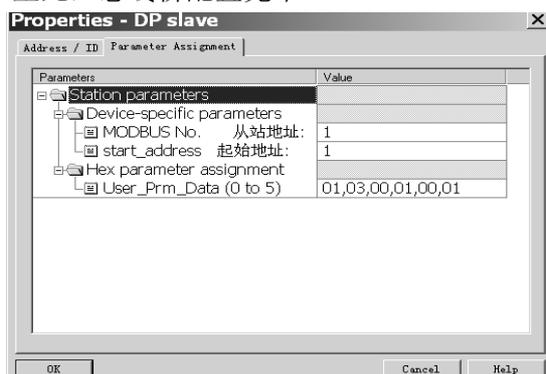


图3 通过报文读写 MODBUS 设备的参数

### 3.4 程序设计

PLC 编程采用西门子编程软件 STEP7, 编程时采用 SCL 语言, 便于实现复杂的最优化算法<sup>[4]</sup>。

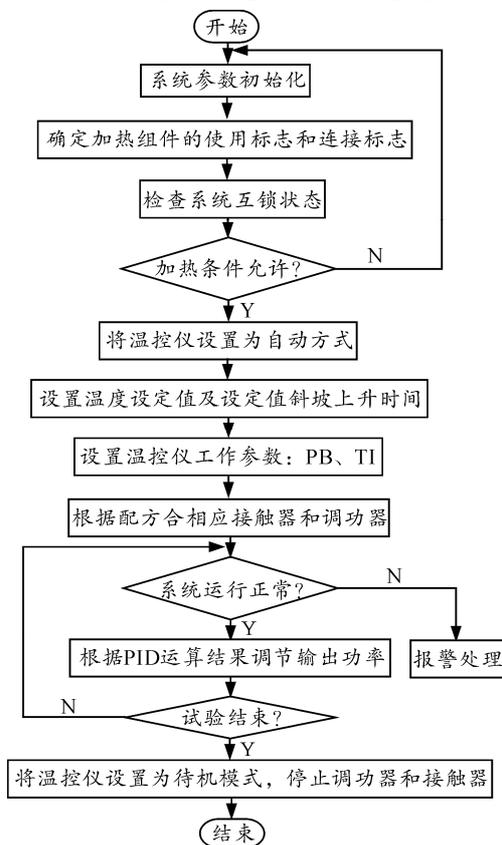


图4 加热控制流程

主程序的扫描周期为 150 ms, 通信扫描周期为 100 ms, 其中通信扫描是通过组织块 OB35 的定时中断实现的。加热工艺要求各级加热器投入功率时应有一定延时, 以尽量减少大负荷同时投入对电网的影响。实践证明: 在加热器这种大惯性、纯滞环节, 采用微分环节对调节效果没有太大改进, 因此本例中采用 PI 调节, 并适当地设置设定值变化率将会得到较好的调节效果<sup>[5]</sup>。图 4 是以温控模式

自动方式为例的系统工艺流程，运行时加热器根据不同的试验状态配置相应的加热组件和负载接线方式(加热器前三级)，同时设定相应的出口温度(加热器后两级)。因加热器属于高温高压设备，运行时具有一定的危险性，PLC 程序在每个执行周期都要检测加热器供电回路三相电流是否平衡，空气开关、调功器及风机等设备运行是否有故障，如果出现故障则按故障的严重程度进行相应的报警处理。

温控系统上位机的监控软件采用易控，监控界面具备自动和手动开车功能。因不同试验状态要求的功率不一样，笔者采用参数配方的形式设计人机界面，在试验运行前将此配方写入控制流程中<sup>[6]</sup>。

#### 4 试验结果

通过温控系统的设计，完成了加热器功率的优化配置和温度的自动控制。改造后，不仅设备得到了更新，而且所采用的技术更加先进，温控精度大大优于改造前，满足了所有试验任务的要求。

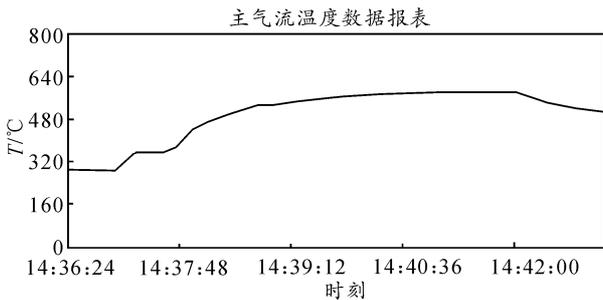


图 5 加热器出口温度

目前，已经成功完成了 3 000 余次试验任务，取得了满意的效果。图 5 为某次试验时工作站采集到的加热器出口温度值，从图中可见，从试验开始(14:40:36)到结束(14:42)这段时间内，加热器出口温控精度达到了 0.5%，可见温控精度是非常高的。

#### 5 结束语

加热器温控系统设计包括硬件构成和软件设计，其主要难度在于软件设计。软件设计中主要牵涉到 PLC 编程设计、温控仪及调功器参数设置和总线桥的组态。在整个温控系统中涉及到 PROFIBUS 和 MODBUS 2 种通信协议，笔者通过采用总线桥的方式，圆满地解决了 2 种协议的通信问题。经过试验运行证明：该温控系统设计合理、可靠性高、运行稳定、温控精度高，具有很高的实用价值。

#### 参考文献：

[1] 陈在平, 等. 现场总线及工业控制网络技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 1-5.  
 [2] 赵伟, 庞思伟. 智能化指挥控制系统问题[J]. 四川兵工学报, 2010, 30(2): 56.  
 [3] 廖常初. S7-300/400 PLC 应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 20-31.  
 [4] 刘华波, 张贺宁. 基于 SIMATIC S7 的高级编程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 225-228.  
 [5] 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998: 42-45.  
 [6] 段慧芬, 孙丰, 王华, 等. 一种分布式任务软件系统的远程控制方法[J]. 兵工自动化, 31(11): 47-49.

\*\*\*\*\*

(上接第 34 页)

[2] 张晶晶, 张礼敬, 陶刚. 人的可靠性分析研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(1): 76-81.  
 [3] 谢建. 导弹发射技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 33-35.  
 [4] 曹伟国, 刘维平, 孙伟. AHP 定权的模糊综合评价法在装甲车辆舱室人机系统中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(5): 36-39.  
 [5] 白雅娟, 吴圣钰, 祁丽霞. 装甲车辆驾驶舱人机界面评价方法研究[J]. 装甲兵装备技术研究, 2003(6): 6-9.  
 [6] 吕杰锋, 陈建新, 徐进波. 人机工程学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 150-155.  
 [7] 梁葆华, 侯玉宏, 周新华. 显控系统试飞评价方法研究[J]. 航空电子技术, 2011, 42(3): 12-16.  
 [8] 夏德安, 罗金亮. 提高武器装备系统可靠性的容错法[J]. 兵工自动化, 2007, 26(9): 18-19.  
 [9] 张宇声, 孙丰瑞, 于键. 故障诊断和容错技术在控制系统

中的应用研究[J]. 海军工程大学学报, 2001, 13(5): 65-70.  
 [10] 许开立, 陈宝智. 人机环境系统安全性评价的模糊数学方法[J]. 人类工效学, 1999, 5(2): 16-19.  
 [11] 夏春艳, 颜声远, 李庆芬, 等. 核电厂主控室人机界面评价实验研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(8): 109-113.  
 [12] 肖慧鑫, 王静滨, 焦利明. 基于层次分析与模糊评价法的防空 C3I 系统作战效能综合评估[J]. 兵工自动化, 2006, 25(6): 13-15.  
 [13] 朱磊, 张显奎, 杨利芳. 汽车仪表盘的人机工效多级模糊评价研究[J]. 计算机测量与控制, 2004, 12(7): 654-656.  
 [14] 曾光奇, 胡均安, 等. 模糊控制理论与工程应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 23-27.  
 [15] 周前祥, 姜国华. 基于模糊因素的载人航天器乘员舱内人-机界面工效学评价研究[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(1): 99-103.  
 [16] 周前祥. 载人航天器人-机界面宜人设计方法的研究[J]. 上海航天, 2002, 3.