

基于 LonWorks 的 PTFE 烧结炉计算机控制系统

马 超, 龚成龙

(淮海工学院电子工程系, 连云港 222005)

摘要: 采用 LonWorks 技术设计现场总线控制系统, 可同时对 4 台 PTFE 树脂成型烧结炉实施控制。控制算法采用变结构控制器, 可根据系统误差及其变化率的大小自适应选择通断控制、模糊控制、积分控制等控制策略。应用效果表明, 系统温度控制精度达到 $\pm 0.5\%$, 可实现对烧结温度、烧结时间、冷却速率等烧结工艺条件的精确控制。

关键词: 聚四氟乙烯烧结成型; 烧结炉; 变结构控制; 模糊控制; LonWorks

PTFE Sintering Furnace Microcomputer Control System Based on LonWorks

MA Chao, GONG Chenglong

(Dept. of Electronic Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005)

【Abstract】 This paper introduces a fieldbus microcomputer control system used in PTFE (Polytetrafluoroethylene) molding sintering process. System design adopts LonWorks technique, and the system can achieve 4 PTFE molding sintering furnace temperature control at the same time. System control arithmetic adopts variable-structure-control, which can choose on-off-control and fuzzy-control and integral-control strategy automatically. The application effect shows that the temperature control precision is $\pm 0.5\%$. The system can achieve accurate control to techniques condition of molding sintering process such as sintering temperature, sintering time, cooling speed.

【Key words】 PTFE sintering molding; Sintering furnace; Variable-structure-control; Fuzzy-control; LonWorks

聚四氟乙烯(PTFE)具有优良的耐腐蚀、耐介电和阻燃性能, 并具备良好的自润滑性和宽温度范围等特点, 被广泛用作机械密封圈等部件。各种加工方法制得的聚四氟乙烯预成型品, 都需经过烧结才能成为具有各种优良性能的制品。聚四氟乙烯树脂的烧结就是将预成型品加热至晶体熔点 327 以上^[1], 并在此温度下保持一定时间, 使聚合物分子由结晶形转变为无定形。采用悬浮法制备的 76mm 、厚度 $2.0 \pm 0.2\text{mm}$ PTFE树脂O型圈制品, 其烧结工艺条件为:

- (1)升温速度: $120 \text{ }^\circ\text{C/h}$, 升温至烧结温度;
- (2)烧结温度: $380 \sim 405 \text{ }^\circ\text{C}$, 烧结温度下保温时间 $30\text{min} \sim 45\text{min}$, 可调节;
- (3)第 1 次冷却速率: $110 \text{ }^\circ\text{C/h}$, 冷却至保温温度;
- (4)保温温度: $295 \text{ }^\circ\text{C}$, 保温时间 30min , 可调节;
- (5)第 2 次冷却速率: $110 \text{ }^\circ\text{C/h}$, 冷却至室温。

烧结加工过程中, 需要对烧结温度、烧结时间、冷却速率等按照工艺条件进行控制, 以保证制品的物理、机械和电气性能。本文探讨一种应用 LonWorks 现场总线网络设计的聚四氟乙烯树脂烧结炉计算机控制系统。

1 控制系统组成

控制系统结构如图 1。4 台聚四氟乙烯树脂烧结电阻炉相关输入输出信号通过 AI、DI、DO 网络节点设备, 工控计算机通过内插于机箱扩展槽的网络节点设备 PCLTA-10PC 卡接入 Lon 网络。主机负责整个系统共 4 台烧结炉的参数设置、人机界面交互、控制算法运算、运行数据显示与记录等工作。前端现场控制设备实现对烧结炉的温度信号、PWM 施动信号的输入输出。主机调用控制算法运算获得前端机 PWM 控制

占空比, 该数据由 Lon 网络下传至前端设备 DO-10 节点。烧结炉前端控制系统 Lon 网络节点设备根据接收到的 PWM 占空比信号, 控制固态继电器的通断, 从而实现对烧结炉炉温的控制。

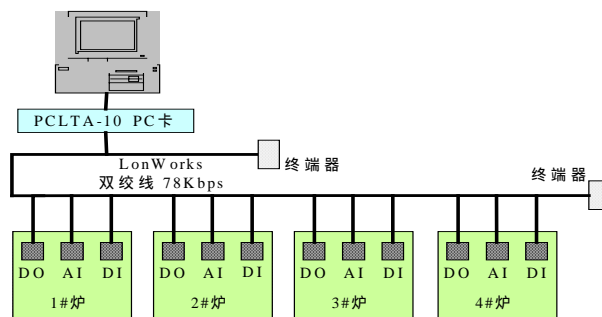


图 1 控制网络系统结构

4 台聚四氟乙烯树脂烧结工艺烧结炉的控制系统结构相同, 如图 2。其输入输出信号包括:

- (1)温度信号, 1 路。由 16 位 A/D 转换网络节点设备 AI-10 接入 LonWorks 总线。主控计算机通过通信总线获取此信号, 实现对炉温的实时监控。温度变送器选择优倍 NPWD-ID, 热电耦选择 E 型热电偶;
- (2)转盘电机、通风电机驱动以及电阻炉固态继电器

基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目(03KJB510010); 江苏省高校高新技术产业发展基金资助项目(JHB05-49)

作者简介: 马 超(1973 -), 男, 硕士生、讲师, 主研方向: 计算机自动检测与控制; 龚成龙, 教授

收稿日期: 2006-01-16 **E-mail:** keyan439@sohu.com

PWM 调制等开关量信号 3 路。由 4 输出网络节点设备 DO-10 接入 LonWorks 总线。主控计算机通过通信总线输出此信号，实现对炉内工件载盘转动、炉腔通风控制，同时实现对三相电阻炉固态继电器的开关控制。固态继电器选用 SSR-3-480D25 过零型三相固态继电器，转盘电机、通风电机驱动固态继电器选用 SSR-220D5 单相固态继电器；

(3)三相电阻炉炉丝通断开关量信号，3 路。由 4 输入网络节点设备 DI-10 接入 LonWorks 通信总线。由于电阻炉经常发生炉丝烧蚀断裂故障，因此通过检测电流的有无，可反映出炉丝是否正常。此信号经通信总线由主控计算机获取，实现对炉丝工作状态的实时监控。

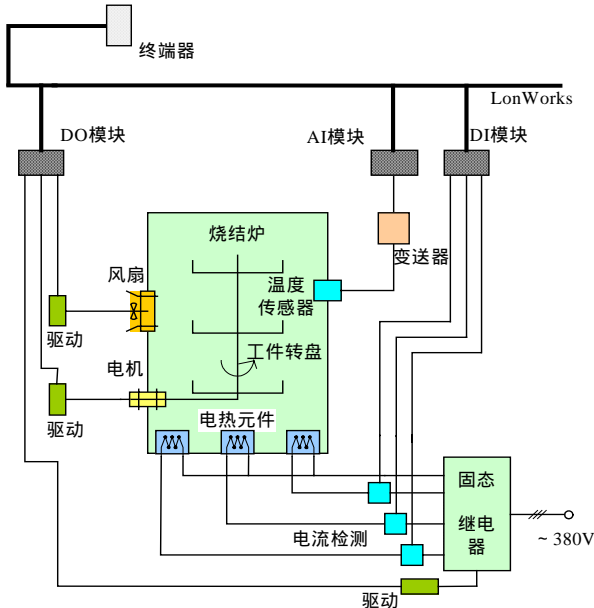


图 2 烧结炉前端控制结构

2 LonWorks 组网设计

FCS 控制系统(Fieldbus Control System)应用网络变量实现网络设备间的组态与互联。其网络通信协议 LonTalk 符合 EIA709.1 标准，它通过对节点地址分配、网络变量连接信息及消息标签的配置,实现各现场设备节点间的双向信息交换,从而使网络系统的组建简化为对系统内节点网络变量的参数设置。

2.1 LonPoint 模块的应用选型

LonPoint 是具备 AI、AO、DI、DO 等功能的节点，是 Lon 网络的基本元素。Echelon 公司的 LonPoint 模块支持 LNS 及 LonMark，系统设计中需要根据系统传感层、施动层的具体应用需求选用 LonPoint 模块。本系统前端烧结炉控制装置设计中，选用的 LonPoint 输入输出模块为 LON41100 DI-10、LON41200 DO-10 及 LON41300 AI-10，主要特性参数见表 1。

LonPoint 模块可以在 LonMark 中直接组网，应用起来非常快速、方便。神经元芯片(Neuron 芯片)是 LonPoint 的核心，它内含 3 个 8 位 CPU 核，分别管理通信介质协议、网络映像和应用系统，其编程语言为 Neuron C 语言，编制好的程序及配置参数在节点安装时由网络管理工具通过网络下载到节点 Neuron 芯片中。每个节点中的软件都包括 3 个部分：

(1)系统映像：包括 LonTalk 协议、Neuron C 库函数及任务调度程序；

(2)应用映像：包括 Neuron C 编译应用程序产生的对象代码及应用程序指定的有关参数；

(3)网络映像：它定义节点与网络上其它节点的关系。包括 4 个部分：节点地址分配，网络变量的连接信息及消息标签的连接信息，安装时要设置的网络 LonTalk 协议的参数以及应用程序的配置变量等。

表 1 DI-10、DO-10 及 AI-10 主要特性参数

	LON41100 DI-10	LON41200 DO-10	LON41300 AI-10
处理器/存储器	Neuron3150 芯片, 10MHz, 56KB flash memory		
I/O	4 路, 数字输入	4 路, 数字输出	2 通道 16-bit ADC
I/O 信号范围	0~32VDC 或干式接点	100mA 拉/灌电流或 110mA 拉/400mA 灌电流	0~15mV、0~625mV、0~10V、0~20V 或 0~24mA 输入模拟信号
收发器类型	FTT-10A 78Kbps 双绞线收发器		
电源	16-30V AC/DC, 内置隔离电源		
	2.2VA	3.2~6.5VA	2.1VA
使用环境	-40~+85, 10%~95%相对湿度		

2.2 网络系统的组建

LonWorks 网络的组建需要应用包括节点开发工具、组网工具(Lonmark)、LNS 及协议分析仪等 LonWorks 网络工具，建立网络节点间的拓扑结构。主控 PC 机与 Lon 网的连接通过 PCLTA-10PC 适配卡实现，该卡内插于 PC 机箱内，实现 PC ISA 总线到 Lon 总线的转换。PCLTA-10PC 内含 Neuron 芯片和 FTT-10A 78Kbps 双绞线收发器，提供 Lon 网络协议的 1~5 层，主应用程序实现网络协议的 6 和 7 层，PC 机与 PCLTA-10PC 的数据交换通过 PCLTA-10PC 上的双口 RAM 实现。通过程序设置数据库网络变量，使之与网络节点变量连接起来，并对节点模块 LonPoint 的网络变量进行设置。本文论述的聚四氟乙烯树脂烧结工艺计算机控制系统的 LonMark 网络拓扑如图 3。

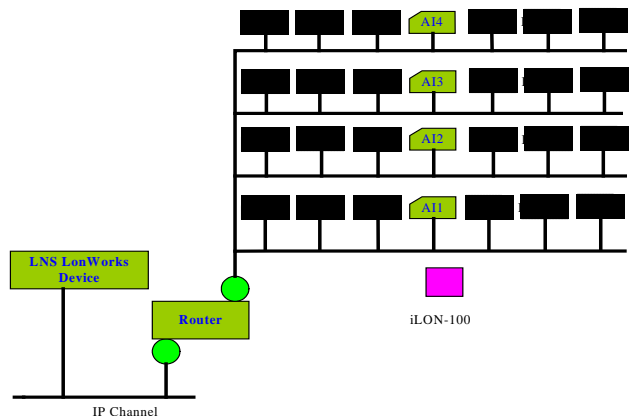


图 3 网络拓扑

3 控制算法与程序设计

本文控制系统的主要技术指标要求为：

- (1)控制功率：0 ~ 10 kW；
- (2)输入电压范围：380V±10%；
- (3)温度控制范围：室温 ~ 600 ；
- (4)温度检测精度：± 0.5 ，温度控制精度：± 0.5%；
- (5)温度、加热时间工艺过程显示：实时图形温控曲线与数码显示，采样时间 1s ~ 200s 可调；
- (6)温度控制设定：最多 10 段温控曲线段设定；
- (7)故障报警：声、光双通道报警；
- (8)记录方式：磁盘数据记录和针式打印记录；
- (9)工作环境温度：- 15 ~ +75 。

3.1 控制算法

对炉温的控制主要通过电炉丝的通断以及通风电机的启停来进行，热电偶采集的炉温信号经变送器、AI-10 上传到主机，主机根据控制算法计算出电炉丝(降温时为通风电机)的通断占空比参数，再经 DO-10 下传至前端驱动电路，从而控制烧结炉炉温按给定温度曲线变化。烧结炉炉温系统数学模型为典型一阶系统，系统热容量随烧结工件的不同也有所不同。经实验测得系统时间常数约为 200s~300s，纯滞后约 40s~60s，系数 $K=180\sim 220$ 。为达到系统要求的 0.5% 温度控制精度，控制算法采用变结构模糊控制，如图 4 所示。

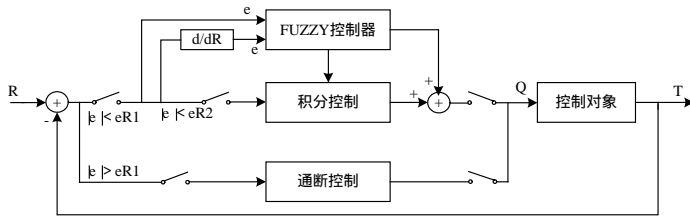


图 4 控制算法结构

R 是给定温度， T 是实际温度， e 是温度误差， \dot{e} 是温度误差变化率， e_{R1} 是通断控制与模糊控制的切换边界， e_{R2} 是在模糊控制中加入积分控制的边界， $e_{R2} < e_{R1}$ 。此控制算法包含 3 种控制策略，分别为通断控制、模糊控制和积分控制。控制思想为：(1) 当温度误差 $e > e_{R1}$ 时，采用简单的通断控制，以保证系统在温度误差较大时有最快的跟踪速度；(2) 当温度误差 $e < e_{R1}$ 时，采用模糊控制，以克服大惯性系统的迟滞效应；(3) 当温度误差 $e < e_{R2}$ 时，同时采用积分控制对模糊控制算法进行修正，以保证稳态精度。

3.2 控制参数的整定

通断控制和模糊控制策略切换边界为 e_{R1} ，其值的整定对整个控制器的性能至关重要。整定是通过现场试验完成的，本系统取值为 $e_{R1}=30$ 。模糊控制算法需要确定 e 变化速率范围，其值的确定也是通过实验得到的，本系统整定值为 $e = \pm 3 / 10s$ 。

当温度误差较大时，控制算法为通断控制，电阻炉加热占空比可选择为 $Q=0$ 或 1。但对于模糊控制算法，占空比 Q 则不能按照理论上的 0~1 取值。实现占空比控制的执行元件是固态继电器，为保证其正常工作，控制时必须使其可靠关断后再开通，可靠开通后再关断。本系统选择为 $Q=0.05\sim 0.95$ ，开关周期 10s。另外，模糊控制算法还需要确定占空比零点 Q_0 ， Q_0 实际表明加热功率和散热功率的平衡点。通过反复试验直到找到一种占空比，利用它控制加热，被控对象温度基本恒定，则它的占空比就是 Q_0 ，本系统 $Q_0=0.25$ 。

表 2 模糊控制规则

e \ Q	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NS	NS	PS	PB
NM	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PB
NS	NB	NM	NS	NS	Z	PM	PB
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	NB	NM	Z	PS	PS	PM	PB
PM	NB	NS	Z	PS	PM	PB	PB
PB	NB	NS	PS	PS	PM	PB	PB

将 e 、 \dot{e} 和 Q 模糊化为 7 个等级，制定出模糊控制规则如表 2。模糊控制本质上属于分级的比例微分控制，不能保证稳态精度，为此，需要在系统进入稳态时即温度误差很小时

引入积分控制对其进行修正。修正方法是在模糊控制算法输出的占空比上叠加一个积分项，积分系数取为 $I=0.05$ ，边界条件是模糊控制中温度误差判断为小(正小 PS、负小 NS)或零时，即达到 $e < e_{R2}$ 条件。

3.3 程序设计

系统控制软件采用 VB6.0 编写，各功能模块的配合通过事件触发完成对子程序的调用。主程序触发事件如图 5 所示，共可以触发 10 个事件，其中 Form_Load 事件主要完成一些变量的初始化。通过相关事件的触发，弹出功能界面，完成炉号选择、参数设定、使能运行、温度显示等。

系统数据采集采用软件触发方式，采样周期选择为 5s。控制算法输出占空比脉冲的开关周期选为 10s，输出方法是利用采样和控制驱动函数库中的数字量输出函数，由输出端口 DO 输出脉冲。每次控制算法运算后，将输出端口均置 1，然后为输出端口配置一个定时器，并启动定时器，定时时间由控制算法计算的占空比乘以 10s 得到。定时时间到后，将相应控制端口置 0，同时禁止该端口对应的定时器。

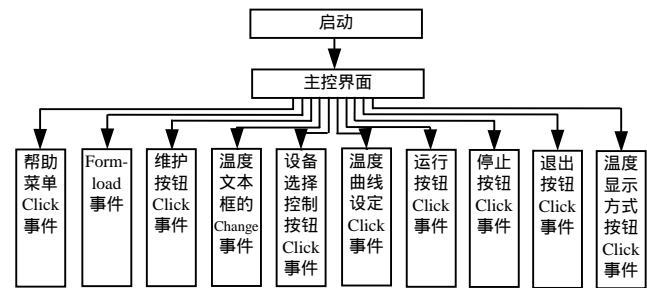


图 5 主程序界面中的事件触发

温度显示包括温度设定显示和实际温度显示两部分，实际温度的图形显示主要利用了动态数组和画线函数。首先将数据存入动态数组中，如果数组的长度增加，则在温度曲线中增加一个小线段，起点和终点分别是动态数组的最后两个数。当动态数组的长度达到设定阈值时，动态数组只保留最近 30min 的数据，前期数据自动存入硬盘以实现实时数据记录。图 6(a)~(c) 分别给出数据采集、控制算法以及控制输出等主要程序模块的流程。

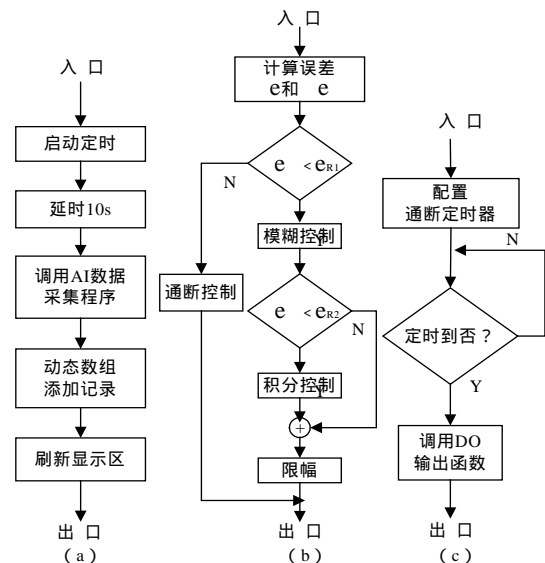


图 6 数据采集、控制算法、控制输出程序流程

(下转第 265 页)