

# 基于 CAN 总线的分散式高精度 温度控制系统设计

杨小强,高亚明,金美华,韩 军

(解放军理工大学 工程兵工程学院,江苏 南京 210007)

**摘要:**介绍了一种基于 CAN 总线的温度控制系统,讨论了该系统在多用户条件下的智能化现场控制器的具体设计,现场控制器通过 CAN 总线与主控计算机相连,构成一种基于 CAN 总线的分散式高精度温度控制系统。系统由上位管理机、CAN 适配卡和智能节点组成,采用网络拓扑结构的总线方式,以 AT89C52 单片机为温度控制器,通信位速率为 125 kbit/s。详细分析了温度控制器的技术指标与各种测温元件热端温度  $t$  的测量技术,应用二次抛物线插补法求温度  $t$ ,采用积分分离消除超调及长时间振荡。论述了 PID 调节器参数的获得方案、自整定方法及益处等。最后,进行了仿真实验与实际应用。该系统已应用于热电厂的热网控制电路中,提高了电厂运行效率。

**关键词:** CAN 总线; PID 控制; 温度测量; 分散式控制系统; 现场控制器

**中图分类号:** TP 273

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2006)03-0054-03

本文以某热电厂控制系统为例,将其热网上用汽量最大的 7 个用户,以及 3 条输汽管线的出口端上各安装 1 个智能化现场控制器,这些现场控制器通过 CAN 总线与厂监控室内的 1 台主控计算机相连,构成一个分散式计算机控制系统。

## 1 系统总体结构及工作原理

系统由上位管理机、CAN 接口适配卡和多个智能节点组成,最多可接 100 只温度控制器<sup>[1-3]</sup>。采用 CAN 总线作为通信网络将各节点连成一个分布式智能控制系统<sup>[4-5]</sup>。系统的总体结构如图 1 所示。

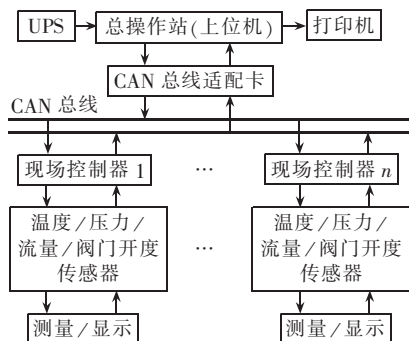


图 1 分布式温度控制系统框图

Fig.1 Distributed temperature control system

网络拓扑结构采用总线驱动方式,上位管理机采用工控机,19 英寸大屏幕彩色显示器、键盘、打印机和在线式不停电电源(UPS)组成。以 AT89C52 单片机为温度控制器,传输介质为双绞线,通信位速率为 125 kbit/s。

上位机 CAN 接口适配卡与 CAN 总线相连,进

行数据设定、修改,从而交换信息,负责对整个系统监视管理。温度控制器通过 CAN 总线接收上位机的各种控制命令和设定参数;实时采集各模拟量输入通道温度,并把测量结果及运行状态不断上传到上位机中显示。工作结束后,上位机将结果存档、打印。

### 1.1 现场控制器操作功能设计

现场控制器是以单片机 AT89C52 为核心的具有 CAN 总线通信功能的温度控制器<sup>[4,6-8]</sup>。它适应于 B、S、K、E 4 种分度号的热电偶及 Pt100、Cu50 热电阻等测温元件。现场控制器的输出有 4~20 mA 线性输出信号及时间比例式的开关信号。前者可控制单相或三相晶闸管触发器(移相或过零触发),后者可控制交流接触器。

现场控制器可恒温控制,也可程序温度控制,在程序温度控制时,最多可设定 8 段折线化的温度-时间曲线。

### 1.2 面板-显示和键盘功能设计

采用 BC7281 的 13 位 LED 数码显示及 6 键盘电路<sup>①</sup>。面板布置图见文献[9]。

#### 1.2.1 脱网状态下的键盘操作

初始化时不设置初始值,上电时有一随机状态“运行”或“监控”。“运行”状态时,“运行”指示灯亮,“监控”指示灯灭。单片机运行,温度测量,显示设定温度值,PID 运算,送输出 0~10 mA,同时 P2.5 出低,风扇电机工作。

#### 1.2.2 监控状态下的键盘操作

“监控”状态时,“监控”指示灯亮,“运行”指示灯灭。上述运行状态下的一切工作停止,只进行程序温度曲线设置。温度程序曲线用折线化的形式表示。

2 温度测量具体算法与实现

2.1 热电偶热端温度  $t$  的测量

热电偶热电势的基本关系式为

$$e(t,0)=e(t,t_a)+e(t_a,0) \tag{1}$$

式中  $e(t,0)$  为热电偶热端温度为  $t$ 、冷端温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的热电势,根据热电偶的温度-毫伏特性手册<sup>[10]</sup>上提供的热电偶的温度-毫伏特性算出  $e(t,0)$  即可查得  $t$ ;  $e(t,t_a)$  为热电偶热端温度为  $t$ 、冷端温度为环境温度  $t_a$  时的热电势,即从热电偶输出端测得的电势;  $e(t_a,0)$  为热电偶热端温度为环境温度  $t_a$ 、冷端温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的热电势,可在测得环境温度  $t_a$  后,由热电偶的温度-毫伏特性手册<sup>[10]</sup>上查到。

本仪器输入设备是装在一起的 2 只同型号热电偶,分别测出温度  $t_1$  和  $t_2$ 。如果  $|t_1-t_2|<5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,则最后显示的温度等于  $t_1$  和  $t_2$  的平均值。

测量过程如下:当 P1.0 计数至 100 时,即时间到达 1 s,产生中断;随后送出 C,B,A 选通,  $t_1$ ,延时约 4 ms,由 P 3.0 送出测量信号 MEST,82C53 的计数/定时器 2 便产生 40 ms 的负脉冲,反相后控制 6N137 计数时间,P 3.1 查到读信号电平由高变低后,就可读取计数值  $n$ 。

2.2 热电阻热端温度  $t$  测量

用热电阻测量温度时,接法如图 2 所示<sup>[10]</sup>。测得

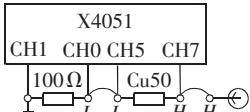


图 2 热电阻测温电路原理图  
Fig.2 Temperature measuring with thermal resistor

$n_H, n_L, n'_L$  及  $n_0$  后,则

$$R_t=110\frac{n_H-n_L}{n_L-n_0} \tag{2}$$

3 PID 调节器算法与分析

该控制器采用 PID 控制算法,且具有参数自整定功能。在开始使用时,根据最大的设定工作温度,进行自整定操作,就会产生合适的比例、积分、微分参数。

3.1 PID 算法分析

现场控制器的输出用 PWM 输出器构成,82C53 的定时/计数器 1,工作方式 1,其  $G_1$  为 100 Hz 的触发信号,每触发 1 次,  $O_1$  送出一个可编程宽度的负脉冲,作为 PWM 输出信号。

现场控制器的 PWM 输出由温度偏差  $e=t_{SV}-t_{PV}$  ( $t_{SV}$  为设定温度值;  $t_{PV}$  为实际测量值)经 PID 运算得到,变送器在按设定温度曲线进行控制时,采用积分分离、不完全微分的 PID 控制算法,传递函数为

$$\phi(s)=K_p\frac{1+\tau_d s}{1+\tau_d/K_d}(1+\frac{1}{\tau_i s}) \tag{3}$$

微分增益  $K_d$  一般选择 10~30,本变送器选  $K_d=10$ ,将式(3)写成比例带形式为

$$\phi(s)=\frac{100}{P}\times\frac{1+Ds}{1+0.1Ds}(1+\frac{1}{Is}) \tag{4}$$

式中  $P=100/K_p$ ;  $I=\tau_i$ ;  $D=\tau_d$ 。

PID 调节器的方块图如图 3 所示。

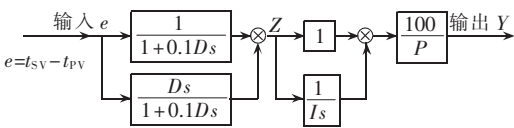


图 3 PID 调节器框图  
Fig.3 PID adjustor

由图 3 可知:

$$Z=\frac{1+Ds}{1+0.1Ds}e, \quad Y=\frac{100}{P}(1+\frac{1}{Is})Z$$

经过推导,可得出:

$$Z_k=ae_k+b(e_k-e_{k-1})+cZ_{k-1}$$
$$Y_k=P'Z_k+I'\sum_{k=0}^kZ_k$$

上述两式是编写 PID 运算程序的数学依据。

3.2 PID 参数的获得、自整定益处及分析

上述 PID 运算中,参加运算的参数不再是输入的  $P,I,D$ ,而转化为  $a,b,c,P',I'$  这 5 个参数,整个运算采用定点运算。

PID 的取值范围:  $P=0.01\sim10$ ;  $I=1\sim1800(s)$ ;  $D=0\sim600(s)$ 。

运算中,  $a,b,P,I'$  取双字节,一字节为整数,一字节为小数;  $c$  为单字节小数;  $e_k,e_{k-1},Z_{k-1}$  为双字节带符号位,一字节整数,一字节小数;  $\sum Z_k$  取三字节带符号位,两字节整数,一字节小数。

3.2.1  $P,I,D$  参数

$P,I,D$  参数由 2 种方法获得,一是由上位机下达,另一方法是变送器执行 PID 自整定操作,求得控温系统的  $P,I,D$  值。自整定操作结束后,将得到的  $P,I,D$  值上传至上位机,然后进入正常的 PID 工作。

PID 调节器程序流程如图 4 所示。

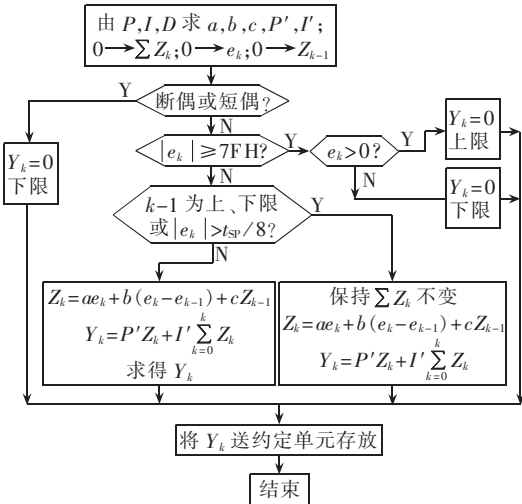


图 4 PID 调节器程序流程图

Fig.4 Flowchart of PID adjustor program

3.2.2  $P,I,D$  自整定方法

设控温仪的最大设定量为  $t_{SVmax}$ 。自整定操作开始时( $t_{PV}$  值很低),对  $t_{PV}$  采样,在  $e_k=0.9t_{SVmax}-t_{PV}<0$

时,输出最大,即  $Y = Y_{\max}$ ,  $I_0 = 10 \text{ mA}$ ; 当  $t_{\text{PV}}$  上升到  $0.9t_{\text{SVmax}}$  时,使  $Y=0$  即  $I_0=0 \text{ mA}$ , 测出  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  及  $t_{\text{PVmax}}$ ,  $t_{\text{PVmin}}$ , 则

$$a = \frac{1}{2}(t_{\text{PVmax}} - t_{\text{PVmin}}), \quad \tau = t_2 - t_0$$

$$K_c = \frac{1}{\pi a} \sqrt{2 - 2 \cos \omega \tau_1}$$

得  $P = 0.6 K_c$ ,  $I = 0.5 \tau$ ,  $D = 0.12 \tau$ 。

### 3.2.3 参数调节步骤

- 先调节比例  $P$ , 后调节积分  $I$ , 最后调节微分  $D$ ;
- 当温度曲线振荡频繁时, 要调大比例  $P$ , 反之, 调小  $P$ ;
- 当温度曲线波动周期长时, 要增加积分参数  $I$ , 反之, 调小  $I$ ;
- 当温度曲线振荡频率快时, 要减小微分时间  $D$ , 反之增加  $D$ 。

## 4 仿真实验与应用实例

针对以上描述的采用积分分离、不完全微分及 PID 自整定控制系统, 选择某一被控系统做仿真实验。该被控系统的传递函数为

$$G(s) = \frac{10e^{-s}}{(s+1)(2s+1)}$$

从系统的传递函数可以看出, 该系统非线性较强、纯滞后大 ( $\tau=1 \text{ s}$ )。由于该 PID 控制器采用积分分离、不完全微分控制及自校正功能, 与纯 PID 控制器算法相比, 它快速响应, 减少或消除系统稳态误差。

为了保证温度的正常控制范围, 由控制室的 PID 调节器调整 PID 参数, 经过执行机构控制温控对象实现。温度 PID 调节器如图 5 所示。

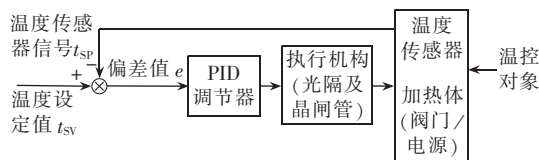


图 5 温度 PID 调节器示意图

Fig.5 Temperature PID adjustor

## 5 结语

本文所研制的系统现场控制器可对所在地点的压力、温度、流量和阀门开度等参数进行测量及显示, 并将这些参数通过网络送至主控计算机, 供主监控人员了解及掌握相关信息。系统的使用也使温度控制与计量更加科学合理, 从而节约生产成本, 避免不必要的经济损失。该系统具有较大优越性和实用价值, 以及广泛的工业应用前景。

### 参考文献:

- [1] 陈杨, 刘曙生, 龙志强. 基于 CAN 总线的数据通信系统研究[J]. 测控技术, 2000, 19(10): 53-55.  
CHEN Yang, LIU Shu-sheng, LONG Zhi-qiang. Study on

technology of CAN-bus based data communication[J].

**Measurement & Control Technology**, 2000, 19(10): 53-55.

- [2] 禹春来, 许化龙, 刘根旺, 等. CAN 总线冗余方法研究[J]. 测控技术, 2003, 22(10): 28-30.

YU Chun-lai, XU Hua-long, LIU Gen-wang, et al. Study on CAN bus redundancy method[J]. **Measurement & Control Technology**, 2003, 22(10): 28-30.

- [3] 王毅峰, 李令奇. 模糊控制在基于 CAN 总线的数据采集与控制系统中的应用[J]. 电子技术应用, 2001, 27(3): 30-32.

WANG Yi-feng, LI Ling-qi. Application of fuzzy control on CAN-bus data acquisition and control system[J]. **Application of Electronic Technique**, 2001, 27(3): 30-32.

- [4] 余兴智, 朱昌明, 毕晓亮. 分布式系统中的 CAN 总线应用设计[J]. 机械与电子, 2003(1): 59-61.

YU Xing-zhi, ZHU Chang-ming, BI Xiao-liang. Design of CAN bus application in distributed system[J]. **Machinery & Electronics**, 2003(1): 59-61.

- [5] 吴繁红. 基于 AT89C51 和 SJA1000 控制器实现 CAN 总线接口[J]. 电子技术应用, 2003, 29(7): 51-52.

WU Fan-hong. Realization of CAN-bus interface based on controller of AT89C51 and SJA1000[J]. **Application of Electronic Technique**, 2003, 29(7): 51-52.

- [6] 李建晓, 孙红辉, 张振仁. 基于 CAN 总线的温度、压力控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2002(10): 38-40.

LI Jian-xiao, SUN Hong-hui, ZHANG Zhen-ren. The temperature and pressure control system with CAN bus[J]. **Instrument Technique & Sensor**, 2002(10): 38-40.

- [7] 王红蕾. 基于 CAN 总线技术的温度控制系统[J]. 现代机械, 2002(3): 16-17.

WANG Hong-lei. Temperature control system based on CAN bus technology[J]. **Modern Machinery**, 2002(3): 16-17.

- [8] 罗耀华. CAN 总线在智能传感器中的应用[J]. 应用科技, 2002, 29(9): 16-18.

LUO Yao-hua. Application of CAN bus on smart sensor[J]. **Technique of Application**, 2002, 29(9): 16-18.

- [9] 金美华. 基于 CAN 总线的分布式温度控制系统设计[D]. 南京: 解放军理工大学, 2005.

JIN Mei-hua. Design of distributed temperature control system based on CAN bus[D]. Nanjing: PLA Science and Technology, 2005.

- [10] 国家标准化计量委员会. 中华人民共和国国家计量检定规程汇编 热电偶(温度专业)[S]. 北京: 中国计量出版社, 2000.

- [11] 沙占友. 智能温度传感器的发展趋势[J]. 电子技术应用, 2002, 28(5): 6-7.

SHA Zhan-you. Development trend of intelligent temperature transducer[J]. **Application of Electronic Technique**, 2002, 28(5): 6-7.

(责任编辑: 李育燕)

### 作者简介:

杨小强(1967-), 男, 山西永济人, 副教授, 机械实验中心主任, 博士, 主要研究方向为机械装备检测与故障诊断技术 (E-mail: yangchief@126.com)。

# Design of distributed high precision temperature control system based on CAN

YANG Xiao-qiang, GAO Ya-ming, JIN Mei-hua, HAN Jun

(Engineering Institute, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

**Abstract:** A temperature control system based on CAN bus is introduced and the design of multi-user field controller is described. The field controller connects to the host computer via CAN bus to build a distributed high-precision temperature control system based on CAN interface. The system consists of host computer, CAN adapter, and intelligent nodes with networked bus interface. The temperature controller is made up of single chip computer of AT89C52 with communication rate of 125 kbit/s. The technical characteristics and measuring solution for different temperature sensors are analyzed. The temperature  $t$  is worked out through quadratic parabola interpolation and the over-adjustment and long duration oscillation are removed via integral separation. The parameter acquisition of PID adjuster, self-configuration method and its benefits are presented too. The simulation and application are performed. This system has been used in the thermal network of a thermal power plant, increasing the operation efficiency.

**Key words:** CAN; PID control; temperature measurement; distributed control system; field controller