

# S7-300 PLC 在精馏塔温度控制系统中的应用

Application of S7-300 PLC in Temperature Control System for Fractionating Tower

陈 曦 赵德瑞 吕湘晔

(河北工业大学电气与自动化学院,天津 300130)

**摘 要:** 针对精馏塔温度系统结构复杂和精确度要求高等特点,采用西门子 S7-300 可编程控制器 PLC 对系统温度进行控制。控制回路采用单参数模糊 PID 调制法;同时,将单参数模糊 PID 控制和可编程控制器的逻辑判断指令结合起来,使 PID 控制更为灵活,较好地满足了生产过程的要求。实际运行结果验证了 PLC 应用于精馏塔温度控制系统的可行性及精确性。

**关键词:** 可编程逻辑控制器 PID 控制 模糊控制 温度控制系统 人机界面

中图分类号: TP202

文献标志码: A

**Abstract:** Aiming at the features of the temperature system of fractionating tower, i. e. complex structure and high precision requirement, the temperature is controlled by adopting Siemens S7-300 programmable controller. The single parameter fuzzy PID modulation method is used in the control loop. In addition, the single parameter fuzzy PID control is combined with the logic judgment instruction in programmable controller, thus PID control becomes more flexible, and better meets the requirements of productive process. The result of practical operation verifies the feasibility and precision of using PLC in temperature control system of fractionating tower.

**Keywords:** Programmable logic controller(PLC) PID control Fuzzy control Temperature control system Human machine interface(HMI)

## 0 引言

精馏塔温度控制系统主要由 PLC 控制程序和 WinCC 人机监控界面实现塔内温度的实时调节与监控。在精馏塔产品的分馏过程中,温度是一个最为关键的控制量。当塔底温度过高且塔顶温度过低时,过多的原料会以气体的形式蒸发;反之,当塔底的温度过低时,则会形成过多的釜残,导致物料损耗大<sup>[1]</sup>。

目前,国内精馏塔设备的温度控制系统一般采用温控仪+继电器进行控制,虽具有价格优势,但在控制功能上受到许多限制,如精度差、超调量大以及无法实施综合控制与监控等,因此,很难满足生产的要求。针对以上情况,开发了一种以西门子 SIMATIC S7-300 PLC 为核心的精馏塔温度控制系统<sup>[2]</sup>。该控温系统具有控温精度高和硬件简单的特点。

## 1 系统结构及硬件构成

### 1.1 系统结构

系统包括上位机和下位机两部分。其中,上位机

采用西门子的组态软件 WinCC 6.0<sup>[3]</sup>。通过该组态软件,我们可以对现场信息进行操作和处理,根据现场数据对整个生产流程进行实时监测,并通过反馈信息采取相应措施。下位机采用西门子 300 系列 PLC。PLC 由 CPU 模块和 I/O 模块两部分组成,其中,I/O 模块包括模拟量输入/输出模块,这两种模块通过 Profibus 总线与 CPU 模块进行通信。下位机完成现场的数据采集、预处理、过程控制以及向上位机传送数据等任务,上位机则负责全系统的控制、管理和信息综合。

### 1.2 硬件构成

本系统中电源采用 S7 系列 PS 307 10A(电源);中央处理单元采用 315-2DP(CPU),其带有 1 个 MPI 接口,可以连接编程器、PC 机和操作面板;模拟量输入模块选用 SM331, AI 8 × 13 位,模拟量输出模块选用 SM332, AO 8 × 12 位;参数可通过模板上的量程模块或编程软件设定,输入的热电偶类型可以通过 STEP7 设定;温度传感器选用 K 型热电偶,其测温范围适中,线性度较好,温度补偿方式采用内部补偿。温度控制方案采用 PID 调温原理。在一个采样周期中,热电偶输出的温度信号经过模拟量输入模块 SM331,由 CPU 读入并与设定值比较,然后根据偏差的大小,结合所给的 P、I、D 参数进行 PID 运算<sup>[4-7]</sup>,得到控制信号。执行机构按照控制信号的大小产生相应的输出力,使阀杆

修改稿收到日期:2010-08-18。

第一作者陈曦,男,1963 年出生,2000 年毕业于河北工业大学电气专业,获博士学位,教授;主要从事智能检测和智能仪表方面的研究以及嵌入式控制系统的开发。

产生移动,以控制阀门开度。阀体直接与管道中的介质相接触,介质的流量通过改变阀芯和阀座间的节流面积调节。调节阀控制主要为闭环控制 PID 调节,由模拟量输出模块给出信号。系统采用 4~20 mA 电流信号,4 mA 对应阀门开度为 0,20 mA 对应阀门开度为 100%。系统通过阀门开度的变化来调节管路介质的流量,实现闭环控制,达到改变控制阀大小的目的,从而实现温度调节。系统硬件配置图如图 1 所示。

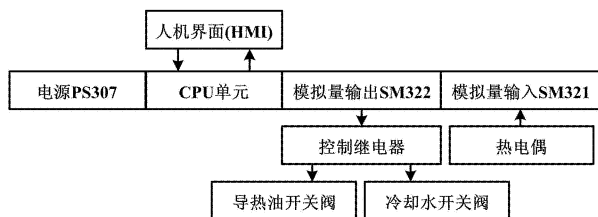


图 1 系统硬件配置图

Fig. 1 System hardware configuration

## 2 系统工作原理和温度控制策略

### 2.1 系统工作原理

精馏塔主要由塔底和塔顶两部分组成,其中塔底为加热区,采用导热油加热方式;塔顶为冷却区,采用循环水冷却方式。按照工艺要求,每个分区的温度设定各不相同。温度控制系统是一个闭环反馈控制系统。温度传感器首先将检测到的塔底和塔顶温度信号送给温度采集模块,PLC 从温度模块中读取温度值  $c(t)$ ,并与设定温度  $r(t)$  进行比较,得到偏差  $e(t) = r(t) - c(t)$ ,再对偏差  $e(t)$  进行 PID 运算,然后通过线性组合形成控制量  $u(t)$ ,最后经过量程变换转换得到物理值毫安电流。阀门则根据得到的信号大小将阀门开到指定位置,达到控制温度的目的。

### 2.2 温度控制策略

PID 控制具有算法简单、易于实现和鲁棒性好的特点,在温度控制领域应用十分广泛<sup>[4-7]</sup>。本系统采用智能 PID 控制策略,控制效果如图 2 所示。

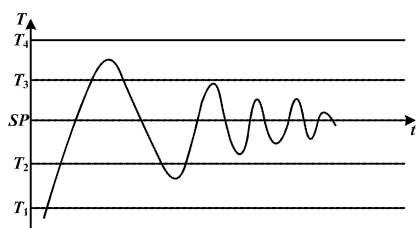


图 2 温度控制效果图

Fig. 2 Temperature control effects

塔底加热区的温度调节如下:①当实际温度低于

$T_1$  时,为加快响应速度,阀门开度调到最大,使导热油的流量最大,完全加热;②当实际温度位于  $T_1 \sim T_2$  范围内时,为避免积分饱和,分离积分项,采用 PD 控制;③当实际温度位于  $T_2 \sim T_3$  范围内时,采用 PID 控制,并根据温度偏差的实际值,采用不同的 PID 参数;④当实际温度位于  $T_3 \sim T_4$  范围内时,采用 PD 控制;⑤当实际温度高于  $T_4$  时,阀门开度调小,降低导热油的流量。

塔顶冷却区的温度调节如下:①当实际温度低于  $T_1$  时,阀门开度调小,降低冷却水的流量;②当实际温度位于  $T_2 \sim T_3$  范围内时,采用 PID 控制,并根据温度偏差的实际值,采用不同的 PID 参数;③当实际温度高于  $T_4$  时,阀门开度调大,增大冷却水的流量(注意: $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  可以根据设定温度( $SP$ )的不同分别选取)。

## 3 PLC 软件编程

本系统编程工具采用 SIMATIC STEP7 V5.4;温控系统采用梯形图语言进行编程。在温控系统中,为使程序清晰、简洁,易于修改和调试,我们通过结构化方法将每一回路的编程模块化,并通过 FB 模块封装各温度控制段控制功能。下面就程序编制中几个关键问题及技术处理进行说明。

① 首先设计一个比例调节功能块 FB1,它主要由功能块 FB41 和 FB2 组成。FB41 根据温度偏差进行 PID 运算,计算出被控量,再由 FB2 将其转换成模拟信号,完成阀门开度调制功能。在闭环控制程序中,由 PID 程序块 FB41 处理后给出的输出值为 0~100(0 对应新量程的 0,100 对应新量程的 27 648),这个输出值需经 CPU 给出到模拟量输出模块,且在给出前需要将 FB41 的计算值进行量程变换给到 CPU。线性变换如下。

$$Out = \frac{In - L_0}{HI - L_0} \times 27\ 648 \quad (1)$$

式中: $In$  为经计算得出的值; $L_0$  为输出值的上限; $HI$  为输出值下限。根据式(1)可知,若输出值上限为 100,下限为 0,当计算给出值为 10 时,经量程变换输出到 CPU 值为 2 764.8。CPU 将其转换为 16 位 2 进制补码给到 D/A,经过 D/A 转换为物理值毫安电流,则阀门根据得到的信号大小将阀门开到指定位置。本系统中比例调节功能块 FB1 应用在一个固定间隔循环的组织块(OB35)中,当允许循环中断时,OB35 以固定的时间间隔(等于系统的采样周期,为 1 s)循环运行。

② 功能块 FB41 完成 PID 计算,PID 控制算法如式(2)所示,对应的传递函数如式(3)所示。

$$u(t) = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] =$$

$$K_C e(t) + \frac{K_C}{T_I} \int_0^t e(t) dt + K_C T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_C \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] \quad (3)$$

式中:  $u(t)$  为控制的输出;  $K_C$  为比例系数;  $T_I$  为积分时间常数;  $T_D$  为微分时间常数。PLC 中的 PID 是数字 PID。数字 PID 控制系统结构图如图 3 所示。

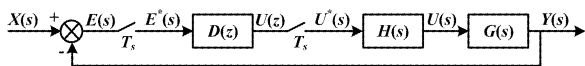


图 3 PID 控制系统结构图

Fig. 3 Structure of PID control system

由图 5 可知,  $G(s)$  为被控对象的传递函数;  $H(s)$  为零阶保持器的传递函数;  $G(z)$  为数字控制器。数字 PID 控制规律采用增量型算法, 与位置型控制算法相比, 其不需要作累加, 控制量仅与最近几次误差采样值有关, 对控制量的计算影响较小。数字 PID 控制规律的增量型算法如式(4)、式(5)所示。

$$\Delta u(k) = K_C [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (4)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (5)$$

式中:  $K_I = \frac{K_C T_0}{T_I}$  称为积分系数;  $K_D = \frac{K_C T_D}{T_0}$  称为微分系数, 其中,  $K_C$ 、 $T_I$ 、 $T_D$  分别为 PID 控制器的比例增益、积分时间和微分时间,  $T_0$  为采样周期。

③ 在工程项目中, 主要应用稳定边界法进行闭环系统 PID 控制参数的确定及修正。该方法基于纯比例控制系统临界振荡实验得到数据, 即根据临界比例带  $\delta_{cr}$  和临界振荡周期  $T_{cr}$ , 利用一些经验公式, 求取调节器最佳参数值。

PID 控制参数的确定的具体步骤为: ① 置调节器积分时间  $T_I$  到最大值, 微分时间  $T_D$  为零, 比例带  $\delta$  置较大值, 使控制系统投入运行; ② 待系统运行稳定后, 逐渐减小比例带, 直到系统出现等幅振荡, 即临界振荡, 记录下此时的比例带  $\delta_{cr}$  (即临界比例带), 并计算出两个波峰间的时间  $T_{cr}$  (即临界振荡周期); ③ 利用  $\delta_{cr}$  和  $T_{cr}$  值, 按表 1 给出的计算公式, 求出调节器各整定参数  $\delta$ 、 $T_I$  和  $T_D$  的数值。

表 1 计算公式

Tab. 1 Calculation formula

参数整定	$\delta$	$T_I$	$T_D$
P	$2\delta_{cr}$		
PI	$2.2\delta_{cr}$	$0.85T_{cr}$	
PID	$1.67\delta_{cr}$	$0.50T_{cr}$	$0.125T_{cr}$

在进行 PID 调解时, 比例调节反映系统偏差的大小, 只要偏差存在, 比例调节就会产生控制作用, 以减少偏差; 微分调节根据偏差的变化趋势来产生控制作用, 它可以改善系统的动态响应速度; 积分调节根据偏差积分的变化来产生控制作用, 对系统的控制有滞后的作用, 可以消除静态误差。增大积分时间常数可提高静态精度, 但积分作用太强, 特别是在系统偏差较大时会使系统超调量较大, 甚至引起振荡。因此, 依据上述理论初步确定 PID 控制中所需的参数  $K_C$ 、 $T_I$  和  $T_D$  后, 还需要结合现场实际情况不断的加以修正, 才能达到较好的温控效果。

## 4 人机监控系统

为了使所开发的监控系统有一个良好的用户界面, 便于用户操作和集中监控, 本文选用的人机界面 HMI (human machine interface) 组态软件为西门子 WinCC 6.0, 它包括主监控画面、控制参数修改界面和历史报警记录画面。

主监控画面主要显示各控制区的实际温度和设定温度, 其通过图形编辑器和相应的标签管理实现。控制参数修改界面用来修改各控制参数, 包括工艺设定温度、PID 控制参数及采用不同工作模式时的实际温度的上、下限位。历史报警记录画面用于记录一段时间间隔内的设备报警信息。

## 5 结束语

在上述理论和设计基础上, 由 S7-300 组成的精馏塔温控系统在实际应用中能够取得良好的控温效果, 并能将系统温度的波动很好地控制在允许误差范围之内, 温度超调小, 在设定温度为 208 ~ 209 °C (塔底温度)、135 ~ 136 °C (塔顶温度) 时, 温度超调不超过 1.5 °C, 静差小于  $\pm 1$  °C。系统充分利用了 S7-300 PLC 编程简单可靠和参数整定方便迅速的优点, 将输入输出信号通过简单的编程实现联锁, 可以对各种情况及时作出反应, 使得控制系统更加稳定可靠。同时, 该系统具有良好的操作界面, 方便操作人员在较短时间内掌握整个操作过程。

### 参考文献

- [1] 戴连奎. 精馏塔的控制[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2000: 45-49.
- [2] 刘轲, 周海. 深入浅出西门子 S7-300 PLC[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [3] 苏昆哲. 深入浅出西门子 WinCC V6[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 1-10.

(下转第 46 页)

样本,经过训练建立起神经网络分类器。另外,在生产过程中如果产生了新的缺陷类型,需要把新的缺陷类型添加到样本集中,用新的样本集对分类器进行重新训练。

### 2.2.2 服务器端

服务器工作过程如图3所示。

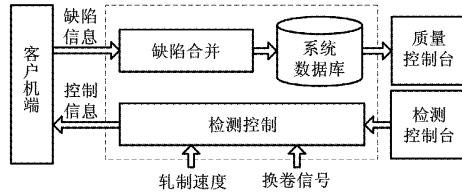


图3 服务器工作示意图

Fig. 3 Sketch map of the server

摄像头客户端通过以太网传递给服务器的缺陷信息分别是单个摄像头的处理结果。由于缺陷分布在不同摄像头采集到的图像中,所以需要在服务器中对这些缺陷进行合并,并对钢板表面质量进行评估,将缺陷图像及评估结果保存在数据库中。服务器还可以发出控制指令,控制整个检测工作过程,如检测的开始、停止、暂停、缺陷报警以及钢板的加入和结束等。此外,服务器还具有其他重要功能,如离线缺陷数据分析、统计报表汇制以及整套系统的各种交互控制等,从而使质检部门工作人员通过控制台就可以直接了解到当前钢板的表面缺陷检测情况。

(上接第41页)

[4] 姚振群,杨东方. PLC 闭环控制系统中 PID 控制器的实现[J]. 现代机械, 2005(4): 20-25.  
 [5] 章丽英. PID 算法在 PLC 过程控制中的实现[J]. 张家口职业技术

(上接第43页)

实际控制偏差分别为  $\pm 0.08 \text{ mm}$ 、 $\pm 0.06 \text{ mm}$ , 实际控制精度远远高于考核值  $\pm 1 \text{ mm}$ 。

### 3 结束语

本套 CVC 中间辊窜动系统采用位置反馈闭环控制系统与上、下中间辊同步控制系统相结合的控制方法,为中间辊窜动的位置精度控制,速度控制及上、下位置偏差控制提供了有力保障,且避免了轧制中因伺服阀发生漂移而导致位置发生偏移的问题。上、下中间辊位置控制精度达  $\pm 1 \text{ mm}$ , 上、下中间辊位置偏差控制精度达  $\pm 1 \text{ mm}$ , 对获得高质量板形和最优使用设备起到了重要作用。

在实际应用中,可将本控制系统中的位置控制替换

### 3 结束语

介绍了一种新的基于图像处理的带钢表面自动监测系统。综合利用图像处理、模式识别和人工神经网络等现代化信息技术,使系统具有适用性好、检出率高等优点;采用由多台摄像头计算机和一台服务器组成的并行计算机处理系统,保证了对带钢表面的实时检测;特征量是对带钢表面缺陷进行分类的关键,尽可能多地提取各种类型的特征量并对其进行优化选择,可实现缺陷的准确分类和处理。

#### 参考文献

[1] 张洪涛,段发阶,丁克勤,等. 钢板表面缺陷在线视觉检测系统研究[J]. 传感技术学报,2007,20(8):1989-1902.  
 [2] 徐科,徐金梧,梁治国,等. 冷轧带钢表面质量自动检测系统的在线应用研究[J]. 冶金自动化,2003(1):51-53.  
 [3] 欧阳奇,张兴兰,陈登福,等. 高温连铸坯表面缺陷的机器视觉无损检测[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(11):27-31.  
 [4] 王崇涛. 基于机器视觉的表面缺陷检测仪在冷轧生产的应用[J]. 河南冶金,2007,15(9):57-60.  
 [5] 刘伟嵬,颜云辉,孙宏伟. 冷轧带钢表面缺陷在线检测软件体系结构设计[J]. 计算机工程与设计,2008,29(5):1276-1278.  
 [6] 徐科,徐金梧,鹿守理,等. 冷轧带钢表面自动监测系统的研究[J]. 钢铁,2000,35(10):63-66.  
 [7] 徐科,徐金梧,班晓娟. 冷轧带钢表面质量自动监测系统的模式识别方法研究[J]. 钢铁,2002,37(6):28-31.

术学院学报, 2007,20(1): 47-50.

[6] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社, 1998.  
 [7] 刘金琨. 先进 PID 控制与 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.

为其他变量控制,用于其他工程应用,具有广泛的应用性。

#### 参考文献

[1] 郭京林,王治国. CVC 技术在现代冷轧机中的控制策略和手段[J]. 轻合金加工技术,2003,31(12):12-15.  
 [2] 曹建国,顾云舟,张杰,等. 1700mm 冷轧带钢轧机板形控制能力研究[J]. 钢铁研究,2002,30(3):16.  
 [3] 刘佳伟,王军生,张殿华,等. 六辊 UC 轧机中间辊轴向移动速度的研究[J]. 钢铁,2009,44(12):59-61.  
 [4] 刘玉礼,胡锡增,赵永和. HC 轧机辊间接触压力分布及辊系变形计算[J]. 燕山大学学报,1989,13(4):12.  
 [5] 赵家骏,魏立群. 冷轧带钢生产问题[M]. 北京:冶金工业出版社,2005:1-25.  
 [6] 李晓燕,张杰,陈先霖,等. 冷轧平整机板形问题的特点及对策[J]. 钢铁,2003,38(12):26-29.  
 [7] 华建新,王贞祥. 全连续式冷轧机过程控制[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.