

基于智能数字 PID 算法的温度控制系统

黄颖, 杜润生

(华中科技大学 机械学院, 湖北 武汉 430074)

摘要 :针对化工生产过程的特殊性,提出了一种通过恒温供水系统来实现温度控制的方法和智能数字 PID 控制算法,达到对生产过程温度控制的要求。实践证明此方法适合该类生产工作要求,并具有一定的通用性。

关键词 :智能控制;数字 PID;PLC

中图分类号 :TP273 **文献标志码** :B

1 引言

化工生产中,温度是重要的参数,直接影响产品的质量,因此建立一套实用可靠的供水温控系统是保证正常生产的一个基本条件。在恒温供水系统的方案中,供水系统采用一个恒温水箱(温度可以根据工艺要求进行设定)对生产对象进行水循环,通过控制水箱的温度来间接控制生产对象的温度。保证在生产过程中水箱温度恒定,达到控制生产对象的工艺温度的目的。

整个控制系统分为三层:设备层、控制层、数据采集和监控层(SCADA)如图1所示。

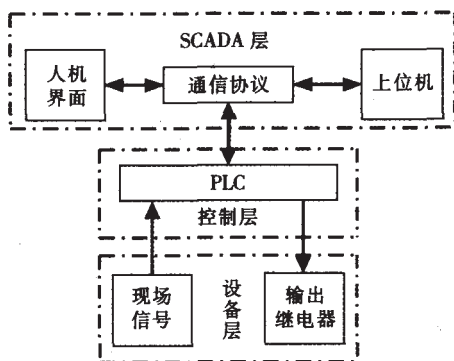


图1 系统结构图

设备层用以完成现场数据的采集和控制动作的执行。控制层根据现场情况按照特定的控制算法

给出相应的控制策略。数据采集和监控层(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)主要完成过程监控、极限报警(Scan Alarm and Control program, SAC)与图形动态显示等功能。

另外由于在生产过程中要求现场无人操作,该温控系统能实现远程操作。

2 管路设计(设备层)

恒温供水系统是一个闭式循环系统。系统中控制水箱主要完成给生产对象供应恒温水,电锅炉对控制水箱进行加热,软水水箱具有二个功能:一方面可以对控制水箱进行降温,另一方面保证控制水箱的水位不低于正常工作水位。管路如图2所示。

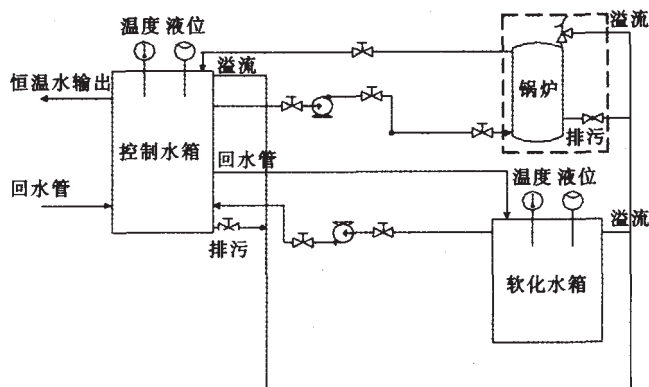


图2 管路简图

系统由三个相对独立的回路组成：①控制水箱加热回路，包括控制水箱、锅炉、水泵、手阀。②控制水箱降温及补水回路，包括控制水箱、软水箱、水泵、手阀。③控制水箱输出回路，包括控制水箱、水泵、蝶阀、手阀、供水管。

使用过程中，PLC 根据安装在生产对象和控制水箱内的温度、液位传感器测得的实际数据与设定值比较，根据特定的算法对生产对象和控制水箱的温度、液位进行控制。

3 控制系统设计(控制层)

3.1 数据采集

数据采集主要依靠安装在现场的传感器完成。生产对象设备内壁装有温度传感器，控制水箱中分别装有液位和温度传感器，在生产对象供水管路的出水口和入水口也都装有温度传感器。这些传感器测得的信号经信号调理模块转换成 4~20 mA 的标准信号，再送入 PLC 中进行分析。PLC 按照相应的控制算法对各个水泵、阀门和锅炉进行控制，使浇注系统在规定的温度范围内正常运行。

3.2 数据处理

3.2.1 数字 PID 控制算法

常规 PID 控制器，其控制规律为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

式中 $u(t)$ 为 PID 控制器输出，被控对象输入； $e(t)$ 为 PID 控制器输入，误差信号。

由于 PLC 控制是一种离散控制，只能根据采样时刻的偏差值计算控制量，因此常规 PID 控制中的积分和微分项不能直接使用，需要进行离散化处理。以一系列的采样时刻点 kT 代替连续时间 t ，以和式代替积分，以增量代替微分，则对式(1)可作离散化处理

$$t \approx kT \quad (k=0, 1, 2, \dots)$$

$$\int_0^t e(t) dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^k e(j) \quad (2)$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e((k-1)T)}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

式中 k 为采样序号 $k=0, 1, 2, \dots$ ； T 为采样周期。

显然，上述离散化过程中，采样周期 T 必须足够短，才能保证有足够的精度。由于被控对象具有

大惯性，且 PLC 也能满足一定的采样频率，所以这样近似变换适合使用在本控制系统中。

以下将 $e(kT)$ 简化为 $e(k)$ ，将式(2)代入式(1)，得离散 PID 表达式

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] \quad (3)$$

增量形式为

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \quad (4)$$

式中： $u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算机输出值； $e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差值； $\Delta u(k)$ 为第 k 次采样时刻的计算机输出增量； $\Delta e(k)$ 为第 k 次采样时刻输入的偏差增量； K_p 为比例系数； K_i 积分系数； K_D 微分系数。

Z 变换式为

$$U(z) = K_p E(z) + K_i \frac{E(z)}{1-z^{-1}} + K_D [E(z) - z^{-1} E(z)]$$

可得数字 PID 控制器 Z 传递函数

$$G(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}} + K_D (1-z^{-1})$$

3.2.2 智能 PID 控制算法

由于被控对象的数学模型难以建立，常规的 PID 控制无法满足要求，引入智能控制的概念，提出一种适合本系统的智能 PID 控制算法。图 3 为智能 PID 控制的系统结构图。对经 A/D 转换的偏差量进行趋势判断，通过判断调整 PID 控制参数。

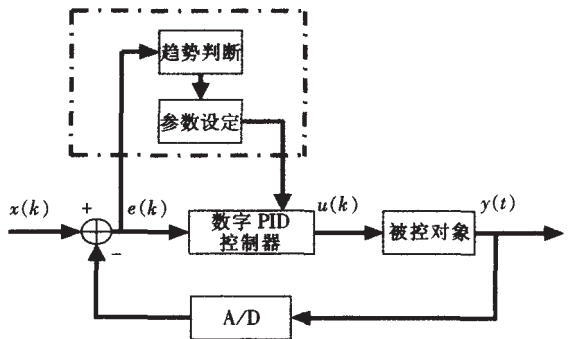


图 3 智能 PID 控制系统

定义 $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$

$$\Delta u(k) = p K_p \Delta e(k) + i K_i e(k) + d K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

式中参数 p, i, d 分别为调整系数。

设定二个误差界限 M_1, M_2 ，且 $M_1 > M_2$ ：

(1) 当 $e(k) \times \Delta e(k) > 0$ 时，说明误差在朝误差绝对值增大方向变化。

1) 如果 $|e(k)| < M_2$ ，说明尽管误差朝绝对值增大

的方向变化,但误差绝对值本身并不大,控制器实施一般的控制作用,控制器输出为

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

此时 $p=i=d=1$ 。

2) 如果 $|e(k)| \geq M_2$, 说明误差较大, 加强比例环节的作用, 以达到并迅速减小误差绝对值的目的, 控制器输出为

$$\Delta u(k) = k_0 K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_D [\Delta e(k) + \Delta e(k-1)]$$

此时 $p=k_0$ $i=1$ $d=1$ k_0 为放大系数。

(2) 当 $e(k) \times \Delta e(k) < 0$, $\Delta e(k) \times \Delta e(k-1) > 0$ 或者 $e(k) = 0$ 时, 说明误差的绝对值朝减小的方向变化, 或者已经到达平衡状态。此时保持控制器输出不变

$$u(k) = u(k-1)$$

(3) 当 $e(k) \times \Delta e(k) < 0$, $\Delta e(k) \times \Delta e(k-1) < 0$ 时, 说明误差处于极值状态。

1) 如果误差的绝对值较大, 即 $|e(k)| \geq M_2$, 实施较强的控制作用。

$$\Delta u(k) = k_1 k_p \Delta e(k)$$

此时 $p=k_1$ $i=0$ $d=0$ 。

2) 如果误差的绝对值较小, 即 $|e(k)| < M_2$, 实施较弱的控制作用。

$$u(k) = u(k-1) + k_2 K_p e(k)$$

此时 $p=k_2$ $i=0$ $d=0$ 。式中 k_1 为增益系数 $k_1 > 1$ k_2 为抑制系数 $0 < k_2 < 1$ 。

(4) $|e(k)| > M_1$ 时, 说明温度误差的绝对值已经很大。此时无论误差变化趋势如何, 控制器都应按最大(或最小)输出, 以达到迅速调整误差的目的, 使误差绝对值以最大速度减小。

$$u(k) = u(k-1) + k_3 K_p e(k)$$

式中 k_3 为放大系数。

3.2.3 开关量输出

PID 输出的是数字量, 而对于系统的执行机构都是接受开关量的控制。所以对数字 PID 的输出作域值判别, 也可以看成是一种 BANG-BANG 控制, 如图 4 所示。

图中曲线 x 表示智能 PID 控制的输出, 对输出分别设定 4 个门槛值——MX_HIGH, MX_LOW, MN_LOW, MN_HIGH。对应的开关量输出为 MX_IND 和 MN_IND。MN_LOW 和 MX_LOW 之间为输出死区, 目的是减少开关量输出的频繁启停。

3.3 数据管理(SCADA)

通过 PLC 支持的网络与上位机通信, 完成对

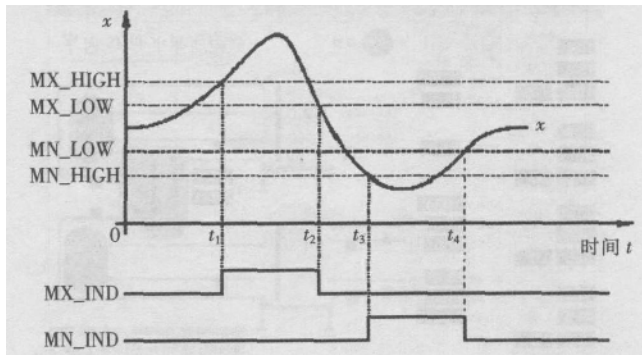


图 4 开关量输出

PLC 地址读和写的功能。

4 工程应用

本控制方案在化工厂实际设备进行应用。

系统使用 OMRON 公司的 CJ 系列 PLC 和人机屏(触摸屏)。工控机(IPC)上使用 Intellution 公司的专业组态软件 FIX 实现数据实时显示和历史数据记录的功能。

CJ 系列 PLC 自带逻辑控制、定时计数控制、A/D、D/A 转换、数据处理功能, 同时具有 PID 控制模块。

友好的人机界面(HMI)是衡量一个系统的重要指标。HMI 和 PLC 采用同一厂家的产品, 可以保证二者之间的连接稳定可靠, 所有对 PLC 写的操作都在 HMI 上进行。控制系统中的按钮操作、参数设置、调试操作都在 HMI 上完成, 同时显示各种采样值和报警值。

工控机不参与控制, 只完成数据采集和监控的功能(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)。具体功能包括所有采集数据的实时显示和动态显示, 对过程数据的报警, 以及对所有数据(包括报警)形成历史数据库(包括历史数据的显示和历史数据的报表打印)。整个 SCADA 系统功能完善, 界面合理简洁。图 5 为其主页面, 图中控制水箱(料斗水箱、缸水箱)分别为料斗和缸(大缸 1 个、小缸 3 个)二套生产对象供水, 两套系统共用一个软水箱, 画面上显示了所有过程数据的实时采样值和进入各个子功能的功能按钮。图 6 为系统部分运行情况的历史记录。

图中为某天的连续生产过程数据, 记录了同一个生产设备上 3 个不同位置的温度(3 条温度曲线几乎重合)。温度曲线有几处明显下降, 每次下降即为一次生产过程的开始。

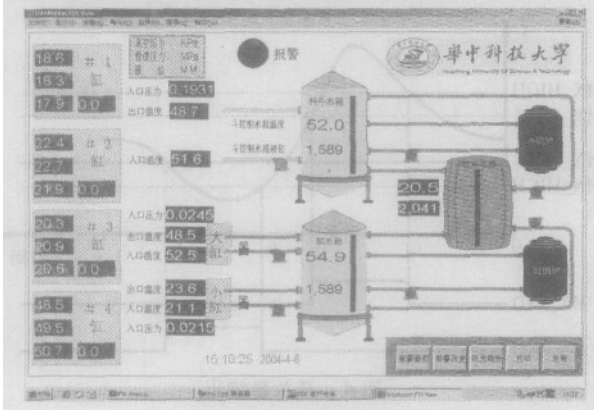


图 5 监控程序主页面

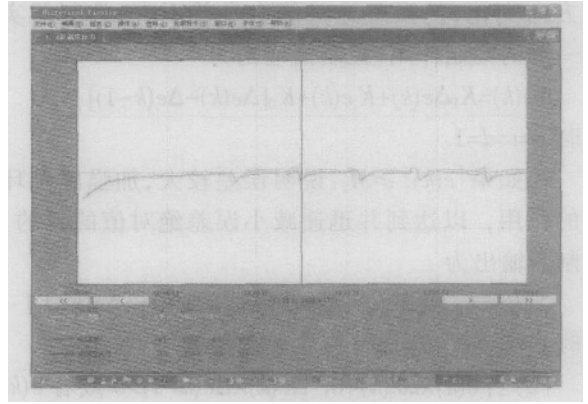


图 6 历史数据

5 结束语

化工生产过程对温度的要求很高也很普遍。恒温控制方法和智能数字 PID 控制算法具有一定的通用性,经过实际生产检验能够达到工艺要求,控制精度高,稳定性强,保证了控制设备使用寿命,适合一般的化工生产过程。

(上接第 23 页)温度控制设备有热风炉、湿帘-风机和天窗,湿度控制的设备有喷雾机、风扇和天窗^[5]。程序运行时,天窗关闭。温度要求控制在 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$,湿度要求控制在 $(65 \pm 2)\% \text{RH}$ 。由于每个设备对其影响因子的作用都有延时,所以设定温度控制上限为 $(28 + 0.5)^\circ\text{C}$,下限为 $(28 - 0.5)^\circ\text{C}$;湿度控制的上限为 $(65 + 1)\% \text{RH}$,下限为 $(65 - 1)\% \text{RH}$ 。由图可见温度和湿度均控制在要求的范围内。

6 结束语

温室监控系统是以 CAN 总线为通信平台的分布式控制系统,实践证明该系统性能稳定、结构灵活、调试方便、经济实用,具有广阔的推广空间。

参考文献:

- [1] 邬宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [2] Phillips Semiconductor. Data Sheet PC82C250 [Z]. 1997.
- [3] 广州周立功单片机发展有限公司 CAN-Bus 实验室. CAN 的基本知识 [DB/OL]. <http://www.zlgmcu.com/philips/philips-can.asp>, 2003-09.
- [4] 符冬阳, 贺贵明. 增强并行口 EPP 协议及其应用[J]. 计算机应用, 2001, 21(10).

参考文献:

- [1] 威廉斯 F A, 黄 N C, 巴雷尔 M. 固体推进剂火箭发动机的基本问题[M]. 京固群, 译. 北京: 国防工业出版社, 1976.
- [2] 王成刚. 大型混合设备监视系统的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2001.
- [3] 章卫国. 先进控制理论与方法导论[M]. 西安: 西北工业大需出版社, 2000.
- [4] Intellution 公司. FIX 使用手册[Z].

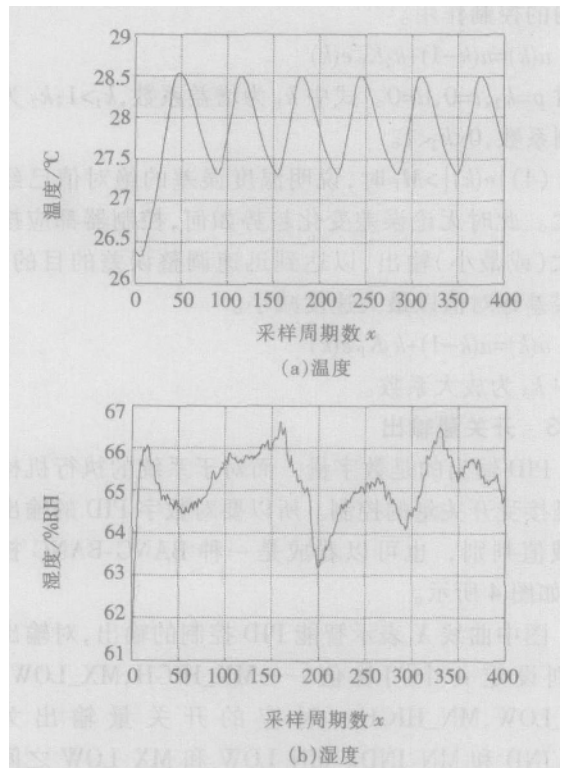


图 6 温度、湿度控制曲线

- [5] 李萍萍, 毛罕平, 王多辉. 温室小气候要素的计算机自动控制效果分析 [J]. 中国农业气象, 1998, 19(6):19-20, 38.