

动力技术

生产工艺流程中基于 PID 算法 的温度控制方法

孙士明 刘新平 纪友芳
(中国石油大学计算机与通信工程学院, 东营 257061)

摘 要 生产工艺流程中常常既有恒温要求,也有温度按照特定曲线变化要求。在生产工艺流程不同阶段的温度拐点,传统的 PID 控制会出现较为严重的超调。针对这一问题,设计了一种改进的 PID 算法,在临近温度拐点适时变更为 PD 控制作为过渡,以抑制超调。实验表明这种方法可以大大降低超调量,显著改善控制品质;同时,算法简单,计算量小,经济适用,可广泛应用于以单片机为核心的温度控制系统中。

关键词 生产工艺流程 温度控制 PID 算法

中图法分类号 TK323.1; **文献标志码** A

生产工艺流程中常常既有恒温要求,也有温度按照一定的比例变化要求。因此,温度控制不但包括恒温控制,还包括控制温度按照一定的比例变化。图 1 为某印染厂溢流机在处理某种布时的生产工艺流程要求的温度变化情况。

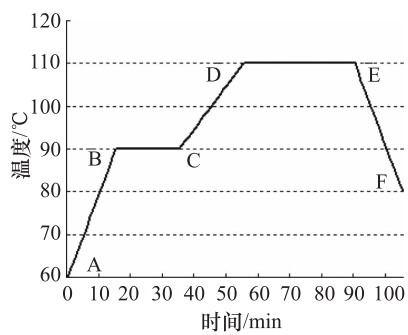


图 1 生产工艺流程温度变化过程

首先,溢流机在常温下加热升温至 60 ℃,然后要求温度以 2 ℃/min 升温到 90 ℃(A→B),在 90 ℃保温 20 min(B→C),再以 1℃/分钟升温到 110 ℃

(C→D),在 110 ℃保温 35 min(D→E),再以 3℃/min 降温到 80 ℃(E→F),其后自然降温。在这个生产工艺流程中,温度控制不但包含恒温控制(B→C、D→E),而且包含升温控制(A→B、C→D)和降温控制(E→F)。

1 传统 PID 算法在生产工艺流程温度控制中的不足

在工程实际中,应用最为广泛的调节器控制规律为比例、积分、微分控制,简称 PID 控制。连续 PID 控制的一般算式为式(1)所示:

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

式(1)中: $\mu(t)$ 为控制器的输出; $e(t)$ 为偏差,即设定值与实际值之差; K_c 为控制器的放大系数,即比例增益; T_I 为控制器的积分时间常数; T_D 为控制器的微分时间常数。PID 控制的原理即为调节 K_c , T_I , T_D 三个参数使系统达到稳定。

在以微控制器为核心的控制系统中,采用离散数字 PID 控制器,离散 PID 控制器算式为式(2)所示。

$$P(K) = K_p \{ E(K) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k E(j) + \frac{T_d}{T} [E(K) - E(K-1)] \} \tag{2}$$

式(2)中: T 为采样周期,必须使 T 足够小,才能保证系统有一定的精度(采样定理); $E(K)$ 为第 K 次采样时的偏差值,记 $S(K)$ 为设定值, $R(K)$ 为实际值,那么 $E(K) = S(K) - R(K)$; $E(K-1)$ 为第 $K-1$ 次采样时的偏差值, $E(K-1) = S(K-1) - R(K-1)$; $P(K)$ 为第 K 次调节器的输出^[1]。

在实际应用中,采样时间 T 常常是固定的,那么可将式(2)改写为式(3)。

$$P(K) = K_p E(K) + K_I \sum_{j=0}^k E(j) + K_D [E(K) - E(K-1)] \tag{3}$$

式(3)中: K_p, K_I, K_D 分别称为比例系数,积分系数和微分系数,积分时间通过偏差的累加次数决定。PID 控制器通过调节 K_p, K_I, K_D 三个参数使系统达到平衡。

PID 控制器以其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便而成为工业控制的主要技术之一。当被控对象的结构和参数不能完全掌握,或得不到精确的数学模型,控制理论的其他技术难以采用,系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定时,应用 PID 控制技术最为方便^[2]。

目前,模糊控制与 PID 控制器相结合^[3-5],神经网络与 PID 控制器相结合^[6,7]产生了一系列基于 PID 算法的改进控制算法,这些算法在调整 PID 控制器的系数,增强 PID 算法的自适应性,抑制超调^[8]等方面取得了较好的效果。但是,这些算法也大大增加了系统的计算量,在以资源有限的单片机为中心的控制器中很难采用;同时,这些算法主要适用于恒温控制,应用于包含升温、保温、降温控制的生产工艺流程温度控制中存在一些问题。典型的问题是在升温阶段向保温阶段过渡的控制过程中容易产生超调,造成控制稳定时间增长,控制品质达不到要求,从而影响产品质量。

笔者曾经为印染行业的溢流机生产工艺流程温度控制中开发温控器,溢流机是印染常用的一种生产设备,如前所述,溢流机生产工艺中温度控制

既有恒温要求,又有按一定比例升温或降温要求,在升温 and 保温阶段使用油加热和自然降温的方式控制温度;在降温阶段使用冷水降温的方法加快降温。因此,溢流机具有在升温 and 保温阶段升温速度快,降温慢,大滞后的特点。

由于升温、保温和降温阶段系统的特性具有明显不同,控制过程中为三个阶段各自设定了不同的 PID 控制器参数,并且取得了较好的控制效果,其控制效果如图 2 所示。

但是,在控制中同时出现一个较为严重的问题,在升温阶段和保温阶段的温度变化拐点,如图 2 中的 AB 阶段到 BC 阶段的过渡时期和 CD 阶段到 DE 阶段的过渡时期,经常会出现严重的超调。试验中发现在 90 ℃ 的升温阶段和保温阶段的过渡时期,由于系统的滞后量很大,超调有时达到 2 ℃ 以上,超出工艺要求的范围,造成产品质量下降;同时,超调造成后面控制的稳定时间变长,整个保温阶段的控制品质显著下降,产品质量无法保障。

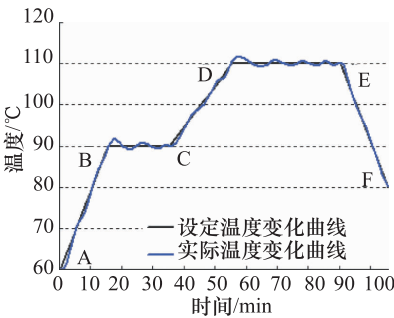


图 2 采用传统 PID 算法的控制效果图

2 PID 控制算法的改进

采用模糊控制与 PID 相结合的控制方法或神经网络与 PID 相结合的控制方法可以改进过渡阶段的控制效果,但是会大大增加系统的计算工作量,致使实时性下降^[5,6]。仔细分析图 2 的控制流程,发现造成超调的主要原因是由于升温阶段 PID 的系数选择和积分项累计造成的。在升温阶段 PID 控制器的比例和积分项选择较大,微分项选择较小,这有效地适应了升温阶段的控制要求,但在过渡阶段有

时会造成积分项累计过大,对微分项不敏感,从而引起系统的超调。考虑到在过渡阶段主要抑制系统温度过快增长,防止超调,因此在 PID 控制中采用积分分离的思想,选择 PD 两项且相对增大微分项的作用。实际应用中,由于控制的升温速度不同,仅仅调整为 PD 参数是不够的,还必须考虑系统的切换时机,从而得出过渡阶段的控制策略如式(4)所示。在升温阶段,当温度接近保温阶段一定范围时切换到 PD 控制器,切换的时机与系统的升温速度有关,增加一个常数项系数 α 作为调节。

$$p(k) = \begin{cases} \text{PID}, & \text{当 } |E(K)| > \alpha[E(K) - E(K-1)] \text{ 时;} \\ \text{PD}, & \text{当 } |E(K)| \leq \alpha[E(K) - E(K-1)] \text{ 时。} \end{cases}$$

对于不同的被控对象,选择合适的 α 以调整进入 PD 调节的时机,可以有效地消除升温阶段 PID 参数的影响,降低过渡阶段的超调。

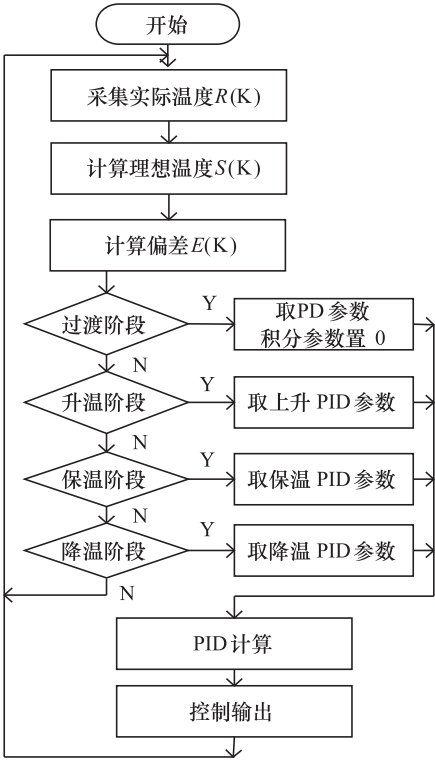


图3 改进PID控制器的控制流程图

改进后的PID控制器的控制流程如图3所示。首先,PID控制器通过A/D获得系统的实际温度 $R(K)$,根据系统时钟和生产工艺流程要求计算得到系统的设定温度 $S(K)$,求的系统的温度偏差 $E(K)$;

然后判断系统是处于过渡阶段、升温阶段、保温阶段还是降温阶段,在过渡阶段取出过渡阶段设定的PD参数,将 K_I 参数设置为0;升温阶段、保温阶段或降温阶段各自选取适合不同阶段设定的PID参数,最后统一由离散型PID算式(4)计算出PID控制器的输出,控制升温或降温继电器工作以调节系统温度按生产工艺要求变化。

3 现场试验结果

试验装置示意图如图4所示,控制器以ST89C52单片机为核心,配置A/D转换器和D/A转换器、热电偶以及加热、降温控制继电器、控制装置^[9],控制对象为溢流机。

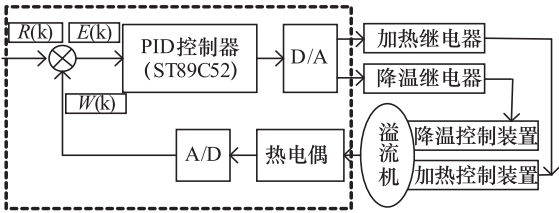


图4 试验装置示意图

控制器由热电偶采集实际温度信号,放大后由A/D转换器变为数字信号,控制器按图3所示流程图处理,根据结果控制加热或降温装置,实现闭环控制溢流机温度。在试验中, $\alpha = 3.56$, $K_c = 3.2$, $K_I = 0$, $K_D = 7.6$,过渡阶段按式(4)计算得出。控制装置简单、成本低。由于控制器资源的限制,控制算法不能过于复杂。经过多次试验,典型控制流程如图5所示。

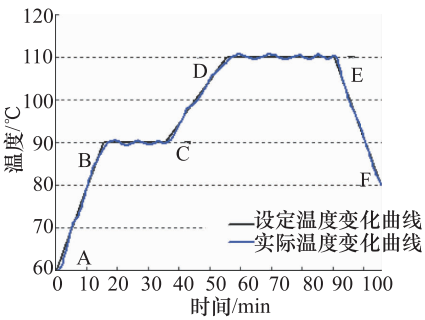


图5 采用改进PID算法的控制效果图

从图 5 可以看出,在过渡阶段超调量明显减少,系统稳定时间(达到控制要求的时间)缩短,控制品质得到明显改善。根据控制效果,我们统计了改进的 PID 算法与传统的 PID 控制算法的超调量,对两种控制方法的效果做了对比,结果如表 1 所示。

表 1 改进的 PID 算法与传统 PID 算法控制效果对比				
	60 ℃	80 ℃	90 ℃	110 ℃
传统 PID 算法	1. 21	1. 12	1. 06	0. 95
改进的 PID 算法	0. 55	0. 52	0. 5	0. 47
超调量减少	54. 5%	53. 6%	52. 8%	50. 5%

表 1 中第一行为温度拐点,我们分别选择了 60 ℃、80 ℃、90 ℃、110 ℃ 四个过渡点做了对比测试,下面分别是两种不同方法的最大超调量,单位为℃。可以发现超调量减少 50% 以上。

4 结论

采用 PID 与 PD 相结合的算法,可以有效防止生产工艺流程中温度拐点处的超调量,在温度控制中的升温阶段到保温阶段的过渡阶段尤其明显,能够显著改进控制效果,提高控制品质,保障产品质

量。系统控制方法具有简单、计算量小、经济、适应性强等特点,可以满足很多生产工艺场合下,尤其使用于线性升温、降温情况下的温度控制。

参 考 文 献

1 李建海,张大为,张 凯,等. 数字 PID 控制器在温度控制系统中的应用. 电子测量技术, 2009;(4): 100—104

2 张艳艳. 基于 PID 算法和 89C52 单片机的温度控制系统. 现代电子技术,2008;9(21):216—218

3 张定学. 基于模糊 PID 控制的小流量水温控制系统设计. 自动化与仪表,2010;(12):33—36

4 张晓峰,杨 明,李辽沙. 无超调模糊 PID 控制器的设计. 仪器仪表用户,2009;(3):36—37

5 王 肖,李郝林,丁 慧. 基于模糊控制理论的 PID 控制器参数的确定方法. 现代制造工程,2010;(10): 111—114

6 吕楠楠,曾荣周,肖 珊. 基于单神经元模糊自适应 PID 控制的加热炉温度控制器设计. 现代电子技术,2009;32(23):161—164

7 方志鹏. BP 神经网络 PID 温度控制在恒温振荡器中的应用. 苏州大学学报,2010;30(6):54—59

8 董瑞洪,梁 磊,任旭鹏. 温度控制系统的无超调模糊-PID 控制器设计. 科学技术与工程,2009;9(2):267—271

9 刘 迪,谭春亮,李建海,等. 基于数字 PID 和 89C52 单片机的温度控制系统. 电子设计工程,2010;(4):28—30

Temperature Control Method Based on PID Algorithm in Production Process

SUN Shi-ming, LIU Xin-ping, JI You-fang

(College of Computer and Communication Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, P. R. China)

[Abstract] During production process, the process often not only requires constant temperature, but also requires the temperature change according to certain curve, the traditional PID algorithm is appear overshoot in transition of different stages. For this problem, an improved PID algorithm is used, which change to PD control, to suppress overshoot during the transition phase. Experiments show that this method can reduce the overshoot and improved control quality significantly. Meanwhile, the algorithm is simple, low complexity and economic. It can be applied to temperature control system which SCM is the core.

[Key words] production process temperature control PID algorithm