

Smith 预估控制在炉温控制系统中的应用

吴兴纯, 李江涛

(昆明理工大学 信息工程及自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 分析用煤气作为燃料、同一煤气总管道给多台加热炉加热引起炉温变化的原因, 传统 PD 控制普遍存在的时间滞后问题, 介绍史密斯 (Smith) 预估控制原理, 介绍串级控制与史密斯 (Smith) 预估控制相结合的自动控制技术在炉温控制系统的应用及实现。

关键词: 史密斯 (Smith) 预估控制; 串级控制; 炉温控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2005)03 - 0060 - 04

Application of Smith Estimating Control Technology to Furnace Temperature Control System

WU Xing-chun, LI Jiang-tao

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: The reasons for changes of temperature in furnaces, which use gas as fuel and are heated through one pipe, are firstly analyzed. Secondly, the problem of time lags in the traditional PD control is examined, and the theory of Smith estimating is introduced. Finally, Smith estimating and cascaded temperature control technology are applied to the furnace temperature control system.

Key words: Smith estimating control; cascaded control; furnace temperature control

0 引言

由于 PD 调节器调节规律简单、运行可靠、易于实现等特点, 传统 PD 控制器仍是工业过程控制应用最广泛的一类控制器。然而, 随着工业过程对控制性能要求的不断提高, 传统的 PD 算法已不能完全满足生产实际的要求。为此, 不少学者在现代控制理论的基础上建立了一些新的控制算法, 但许多算法在工程应用中比较复杂, 特别是对被控对象具有不同程度的纯滞后, 又不能及时反映系统所承受的扰动的控制问题, 即使测量信号能到达控制器, 执行机构接受信号后立即动作, 也需要经过一个滞后时间, 才能影响到被控制量, 使之受到控制。这样的过程必然会产生较大的超调量和较长的调节时间, 使过渡过程变坏, 系统的稳定性降低。我们通常将纯滞后时间与过程的时间常数 T_p 之比大于 0.3 的过程认为是具有大滞后的过程。传统的 PD 控制^[1], 一般也不能解决过程控制上的大滞后问题, 因此具有纯滞后的过程控制被认为是较难的控制问题, 成为过程控制研究的热点。

在工业生产中, 广泛采用煤气作为燃料, 同一煤气总管道给多台加热炉加热。当某一台加热炉的供气阀门的开度位置发生变化时, 煤气压力也相应地发生变化, 其他加热炉也要相应地调整其阀门的开度来保证煤气流量的恒定以保证炉温的恒定。如果采用传统的 PD 单回路控制, 煤气压力的变化导致流量的变化, 流量的变化随之引起炉温的变化, 炉温变化以后才调节煤气阀门的开度改变煤气的供给量, 因此产生了过程上的时间滞后问题, 使对象的等效纯滞后时间很长, 从而达不到预期的控制效果。对于这类具有时变参数和非线性的大滞后、大惯性环节的控制问题, 国外比较流行的控制方法是 Dahlin 算法和 Smith 预估控制。史密斯 (Smith) 预估控制的特点^[2]是预先估计出过程在基本扰动下的动态特性, 再由预估器进行

收稿日期: 2005 - 01 - 24

第一作者简介: 吴兴纯 (1974 ~), 男, 硕士, 主要研究方向: 计算机控制。

补偿的过程控制技术. 它的基本思想是按过程特性设计出一种模型加入到反馈控制系统中, 以补偿过程的动态特性, 然后由预估器进行补偿, 力图使滞后了的被控量超前反映到控制器, 使控制器提前动作, 从而明显地减少超调量, 加速调节过程. 特别是对于那些被控对象具有不同程度的纯滞后, 而被控对象又不能及时反映系统所承受的扰动的控制系统, 史密斯 (Smith) 预估控制技术获得了广泛的运用.

煤气流量的控制过程内在机理复杂, 对控制作用的响应缓慢, 参数间关联密切. 本文针对这类工业加热炉温度控制系统的设计和技术改造的现状, 提出采用主控回路和副控回路相配合、二次扰动 (主要扰动) 设计在副控回路、一次扰动 (次要扰动) 设计在主导回路的史密斯预估串级控制, 可以获得较好的控制效果.

1 史密斯 (Smith) 预估控制算法^[2]

图 1 为具有纯滞后的对象进行传统 PD 调节的反馈控制系统, 设对象的特性为

$$G_{PC}(s) = G_p(s) e^{-s} \tag{1}$$

其中, $G_p(s)$ 为对象传递函数中不含纯滞后的部分, 调节器的传递函数为 $G_c(s)$, $G_c(s)$ 为 PD 控制规律, 干扰通道的传递函数为 $G_D(s)$.

系统给定作用下的闭环传递函数为

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s) G_p(s)}{1 + G_c(s) G_p(s) e^{-s}} \tag{2}$$

系统对干扰的传递函数为

$$\frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G_D(s)}{1 + G_c(s) G_p(s) e^{-s}} \tag{3}$$

(3) 式的特征方程为

$$1 + G(s) G(s) e^{-s} = 0 \tag{4}$$

在反馈回路中设计一个补偿通路, 其传递函数为 $G_L(s)$, 如图 2 所示.

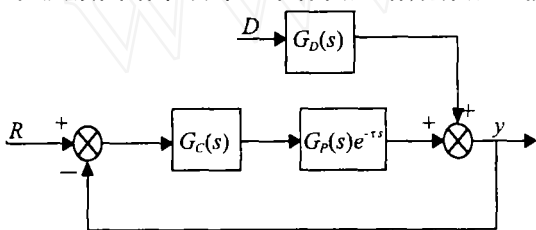


图1 具有纯滞后的常规PID调节的反馈控制系统

Fig.1 Routine PID feedback control system in time lags

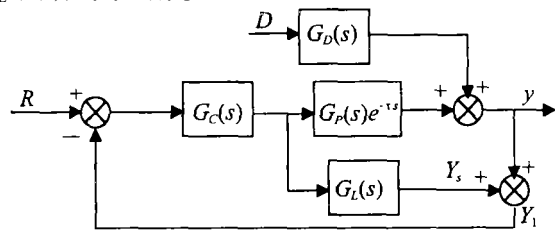


图2 具有时间补偿的反馈控制系统

Fig.2 Feedback control system compensated in time

为了补偿对象的纯滞后, 要求

$$\frac{Y_1(s)}{U(s)} = G_p(s) e^{-s} + G_L(s) = G_p(s) \tag{5}$$

得史密斯 (Smith) 补偿函数为

$$G_L(s) = G_p(s) (1 - e^{-s}) \tag{6}$$

于是, 史密斯 (Smith) 预估控制结构图如图 3 所示. 经史密斯补偿后, 纯滞后的影响已被消除, 从而使系统可以使用较大的调节增益来改变调节品质.

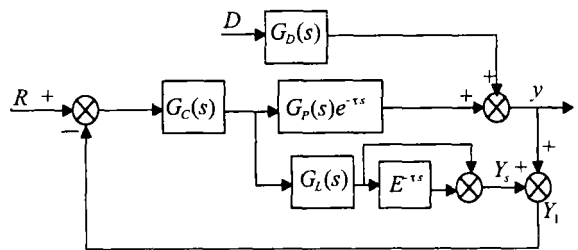


图3 Smith 预估控制结构图

Fig.3 Block diagram of Smith estimating control system

设 $G_p(s) = \frac{K_p}{T_p s + 1}$, 由 (6) 式得

$$G_L(s) = G_p(s) (1 - e^{-s}) = \frac{K_p (1 - e^{-s})}{T_p s + 1} \tag{7}$$

(7) 式相应的微分方程为

$$T_p \frac{dy_s(t)}{dt} + y_s(t) = K_p [u(t) - u(t - T)] \quad (8)$$

(8) 式相应的差分方程为

$$y_s(kT) - ay_s[(k-1)T] = b[u(k-1)T - u[(k-1)T - T]] \quad (9)$$

式中 $a = \exp(-\frac{T}{T_p})$, $b = K_p [1 - \exp(-\frac{T}{T_p})]$, (9) 式为史密斯 (Smith) 预估控制算式。

由上分析,史密斯 (Smith) 预估控制克服了传统 PD 控制在处理过程上具有时滞、非最小相位或非典型的动态特性时在性能上会受到的限制。对于一些较为复杂的系统,可采用史密斯 (Smith) 预估控制策略。

2 系统的构成^[2~5]

试验和经验表明,炉温控制对象可近似为一个纯滞后环节和一个一阶积分环节组成。现选用出料温度 y 与煤气流量 Q 来构成计算机串级随动控制,并辅以史密斯 (Smith) 预估控制技术设计该系统。如图 4 所示,图中 TC 表示温度调节器,FC 表示煤气流量调节器。温度调节器 TC 通常按 PD 调节规律,煤气流量调节器 FC 按 PI 调节规律,SC 是史密斯预估器。史密斯 (Smith) 预估控制器作为一种模型加入到反馈控制回路中,以补偿过程的动态特性,使被炉温对象的纯滞后时间超前反映到控制器,有效地解决了大惯性环节的时间滞后问题,起到了减少系统的超调量、加速系统的调节过程的作用。当温度发生变化时,由主调节器 (温度调节器 TC) 进行控制,其输出作为副调节器 (煤气流量调节器 FC) 的给定值,最终控制煤气阀门的开度。主控回路的输出作为副控回路设定值修正的依据,副控回路的输出作为真正的控制量作用于被控对象。煤气流量一旦发生变化,副控回路及时地控制阀门的开度位置,较快地克服了煤气流量的变化对出料温度的影响。

在这个史密斯 (Smith) 预估串级控制系统中,阀位与煤气流量得到了及时的调节,并且具有一定的自适应能力,有效地解决了对对象的等效纯滞后时间很长的问题。二次干扰为系统的主要扰动,该系统把主要扰动包含在副控回路中,通过副控回路的调节作用,在扰动影响到主控回路被

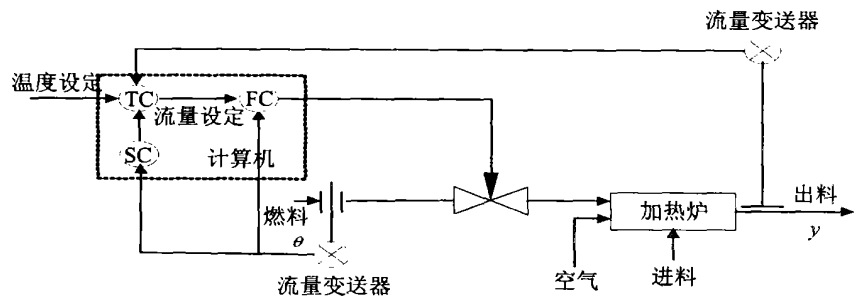


图4 Smith预估串级炉温控制系统

Fig.4 Smith estimating and string furnace temperature control system

调参数之前,大大地削弱了扰动作用的影响。副控回路中包含积分环节,减少了相角滞后,从而改善了系统的动态品质。当扰动发生在副回路内,例如煤气流量发生波动引起炉温变化时,由于有副控回路的存在,煤气流量调节器能及时地动作,快速消除了扰动的影响;当扰动发生在副控回路以外时,如物料、能量的运输变化引起温度变化,由史密斯 (Smith) 预估控制器推算出其测量值发生的变化,通过温度调节器改变其输出信号,由副控回路改变煤气流量,克服了扰动影响。该系统有效地解决了对对象等效纯滞后时间很长的问题。串级控制技术和史密斯 (Smith) 预估控制技术的引入改善了控制系统的调节品质,增强了系统的抗干扰能力,克服了因副对象惯性大、滞后大而引起的调节品质差的问题。另外,通过增大煤气流量调节器 FC 的比例增益 K_p ,系统的等效时间常数可以获得较小的数值,从而增加了副控回路的响应速度,提高了系统的工作频率。

该系统的串级控制结构图如图 5 所示。图中, $Q_r(k)$ 为煤气流量的给定值, $D_1(z)$ 、 $D_2(z)$ 是由计算机实现的温度数字控制器和流量数字控制器,一般采用主控回路的采样周期 $T_{主}$ 与副控回路的采样周期 $T_{副}$ 相

等的办法进行控制. 如果采用主控回路的采样周期 $T_{主}$ 与副控回路的采样周期 $T_{副}$ 不等进行控制时, 为了避免主控回路和副控回路之间发生相互干扰和共振, 应使 $T_{主}$ 与 $T_{副}$ 之间相差 3 倍以上^[1].

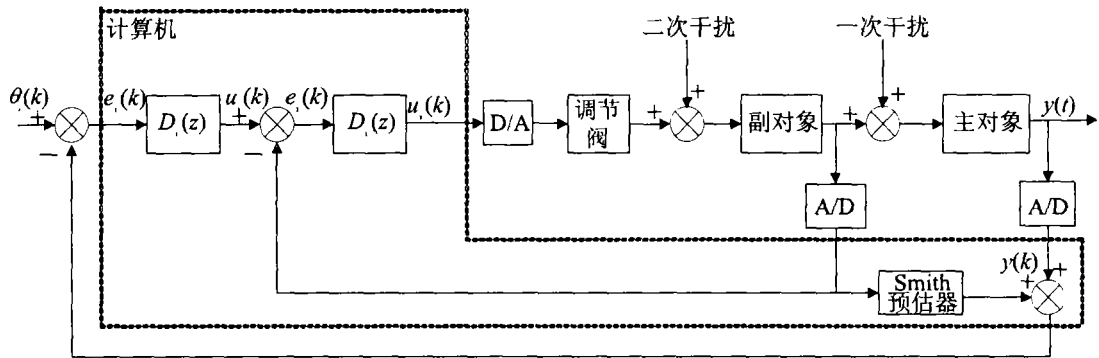


图5 Smith 预估炉温串级控制系统结构图

Fig.5 Block diagram of estimating and string furnace temperature control system

3 结束语

在工业生产过程中,物料、能量的运输所带来的时间延迟问题是传统 PD 控制器所不能很好解决的控制问题. 常规的 PD 控制系统对于延迟大、非线性强、控制信号反应慢的复杂热加工过程往往不能获得令人满意的控制效果. 加热炉的炉温控制问题是一个典型的时间滞后问题. 史密斯 (Smith) 预估控制技术和煤气流量串级控制技术在该系统应用,起到及时检测系统中可能引起被控制量发生变化的一些因素并加以控制,有效地克服了对象等效时间 很长的问题,并且具有鲁棒性强的特点,改善了控制系统的调节品质. 该系统把主要的扰动包含在副控回路中,通过副控回路的调节作用,在扰动影响到主控回路被调参数之前,大大地削弱了扰动作用的影响. 这种控制方法在热处理、化工、机械加工、金属冶炼等行业中也具有广泛的用途和推广价值.

参考文献:

- [1] 肖隽. 锅炉温度串级控制系统 [M]. 机电工程, 2002, 20 (1): 30 ~ 32
- [2] 李正军. 计算机测控系统的设计与应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 2004. 316 ~ 320, 343
- [3] 孟华. 工业过程检测与控制. 北京:航空航天大学出版社, 2000. 168 ~ 175, 220 ~ 226
- [4] 黄胜. 改进型史密斯 (Smith) 预估器在过热汽温度控制中的应用 [M]. 自动化仪表, 2003, (24): 1, 42 ~ 45.
- [5] 金以慧. 过程控制 [M]. 北京:清华大学出版社, 2001. 103 ~ 117.

(上接第 59 页)

参考文献:

- [1] 王春元,杨永江. 水资源经济学及其应用 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999. 54 ~ 58
- [2] 水利部,国家计划发展委员会. 全国水资源综合规划任务书 [R], 2002
- [3] 左其亭,陈曦. 面向可持续发展的水资源规划与管理 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003. 123 ~ 147.
- [4] 翁文斌,蔡喜明,等. 宏观经济水资源规划多目标决策分析方法研究及应用 [J]. 水利学报, 1995, (2). 1 ~ 11.
- [5] 薛小杰,于长生,等. 水资源可持续利用模型及其应用研究 [J]. 西安理工大学学报, 2000, (3). 301 ~ 305.
- [6] 何士华. 美国的水库及其管理体制简介 [A]. 《中国人口、资源、环境与可持续发展战略研究》电力专集 [C]. 北京:中国环境科学出版社, 2001.
- [1] 冯尚友. 多目标决策理论方法与应用 [M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990. 10 ~ 22