

微分先行计算机串级控制在精馏塔 提馏段温控中的应用

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: 分析精馏过程中传统 PD 控制普遍存在的时滞问题, 介绍基于微分先行算法的计算机串级控制技术原理以及它在精馏塔提馏段温度控制系统应用及实现。

关键词: 串级控制; 微分先行; 温度控制; 精馏过程

中图分类号: PT273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2005)04 - 0051 - 04

Application of Computer String Temperature Control Technology Based on Previous Difference to Distillation in Rectification Column

WU Xing-chun, LI Jiang-tao

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

Abstract: The problem of time lags in distilling progress is firstly discussed and analyzed. The principles of computer string control technology based on the previous difference are then introduced. Its application to the temperature control of distillation in rectification column is finally expounded.

Key words: string control; previous difference; temperature control; distilling progress

0 引言

精馏过程^[1]因其经济、高效等特点, 精馏塔一直是化工生产过程中十分重要的设备之一, 在石油、化工等流程工业中应用非常广泛。精馏过程^[1]是一个将组分复杂的混合物经过传热、传质分离成纯度相对较高的单一化工产品的过程, 其原理是利用混合物各组分相对挥发度不同, 在一定的温度与压力下通过蒸发和冷凝, 使液相中轻组分与气相中的重组分相互转移, 从而实现分离。精馏过程由于内在机理复杂, 对控制作用的响应缓慢, 参数间关联密切, 因此控制要求高, 难度大。又由于其非线性、强耦合、质量参数在线检测困难等特点, 使得精馏塔的自动控制问题成为过程控制界研究的热点^[2]。精馏过程中, 物料、能量的传输所带来的时间延迟问题是传统 PD 调节器所不能解决的问题。传统 PD 控制, 由于纯滞后的存在, 使被控对象不能及时地反映系统所承受的扰动, 即使是测量信号到达控制器, 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。这样的控制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。

精馏塔借助于再沸器的加热蒸气来保持其提馏段的温度恒定, 由于再沸器的传热和精馏塔的传质过程, 使对象的等效纯滞后时间很长。实验和经验表明, 塔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。在精馏塔提馏段温度控制系统中, 保持蒸气流量的恒定与塔温发生变化能及时地调节蒸气阀门的开度使塔温保持恒定是我们的最终控制目的。如果采用传统的 PD 控制, 蒸气流量得不到及时地调节, 温度变化以后才调节蒸气阀门的开度来改变蒸气的供给量, 产生了过程上的时间滞后问题, 使被控对象的等效时间很长不能及时地反应系统所承受的扰动, 从而达不到预期的控制效果。本文针对这个问题, 提出采用主控回路和副控回路相配合、副控回路采用微分先行算法、二次扰动即主要扰动设计在副控

收稿日期: 2004 - 07 - 14

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

回路、一次扰动即次要扰动设计在主控回路的计算机串级随动控制技术来设计一个温度控制器,解决控制对象因惯性大而引起的调节品质差的问题。

1 控制算法^[3]

控制框图如图1所示。图中, $D_1(z)$ 、 $D_2(z)$ 和 $D_{2d}(z)$ 是由计算机实现的数字控制器, $D_1(z)$ 通常是PD控制规律, $D_2(z)$ 是P控制规律。 $D_{2d}(z)$ 是微分先行控制器, $H(s)$ 是零阶保持器, T 为采样周期。

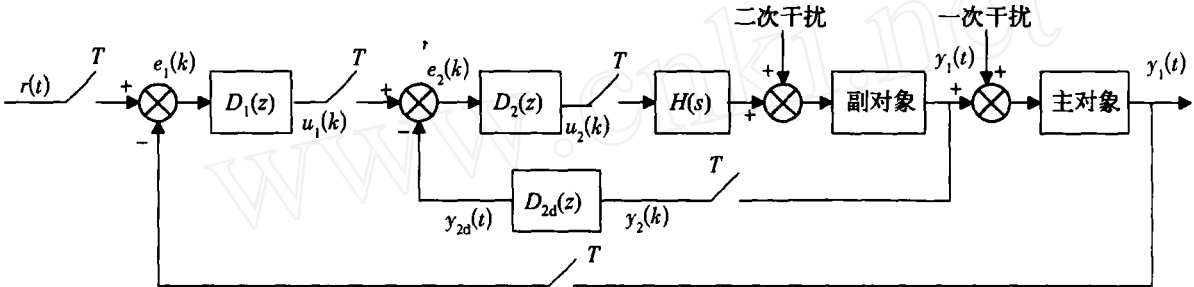


图1 副回路微分先行的计算机串级控制系统结构图

Fig.1 Block diagram of computer string control system added previous difference controller in the minor string circuit

微分控制器的传递函数 $D_{2d}(s)$

$$D_{2d}(s) = \frac{Y_{2d}(s)}{Y_2(s)} = \frac{T_2 s + 1}{aT_2 s + 1} \quad (1)$$

式中, a 为微分放大系数,作为副控回路的被调参数。

(1)式相应的微分方程为

$$aT_2 \frac{d_{2d}y(t)}{dt} + y_{2d}(t) = T_2 \frac{d_2(t)}{dt} y_2(t) \quad (2)$$

改写成差分方程为

$$aT_2 [y_{2d}(kT) - y_{2d}(kT - T)] + y_{2d}(kT) = T_2 [y_2(kT) - y_2(kT - T)] + y_2(kT) \quad (3)$$

整理得

$$\begin{aligned} y_{2d}(kT) &= \frac{aT_2}{aT_2 + T} y_{2d}(kT - T) + \frac{T_2 + T}{aT_2 + T} y_2(kT) - \frac{T_2}{aT_2 + T} y_2(kT - T) \\ &= {}_2 y_{2d}(kT - T) + {}_2 y_2(kT - T) - {}_3 y_2(kT - T) \end{aligned} \quad (4)$$

系数 ${}_1 = \frac{aT_2}{aT_2 + T}$, ${}_2 = \frac{T_2 + T}{aT_2 + T}$, ${}_3 = \frac{T_2}{aT_2 + T}$ 采用先离线计算的办法,并把他们存入计算机指定的内存指定单元,以被计算机随时调用。

主控回路的偏差 $e_1(kT)$

$$e_1(kT) = r_1(kT) - y_1(kT) \quad (5)$$

主控回路控制器 $D_1(z)$ 的输出 $u_1(kT)$

$$u_1(kT) = u_1(kT - T) - u_1(kT) \quad (6)$$

$$u_1(kT) = K_{p1} [e_1(kT) - e_1(kT - T)] + K_{i1} e_1(kT) + K_{d1} [e_1(kT) - 2e_1(kT - T) + e_1(kT - 2T)] \quad (7)$$

式中 K_{p1} 为比例增益, $K_{i1} = K_{p1} \frac{T}{T_{i1}}$ 为积分系数, $K_{d1} = K_{p1} \frac{T_{d1}}{T}$ 为微分系数。

微分先行控制器的输出 $y_{2d}(kT)$

$$y_{2d}(kT) = {}_1 y_{2d}(kT - T) - {}_2 y_2(kT) - {}_3 y_2(kT - T) \quad (8)$$

副回路的偏差 $e_2(kT)$

$$e_2(kT) = u_2(kT) - y_{2d}(kT) \quad (9)$$

副回路控制器 $D_2(z)$ 的输出 $u_{2d}(kT)$

$$u_2(kT) = u_2(kT - T) + u_2(kT) \tag{10}$$

$$u_2(kT) = K_{p2} [e_2(kT) - e_2(kT - T)] + K_{i2} e_2(kT) \tag{11}$$

式中 K_{p2} 为比例增益, $K_{i2} = K_{p2} \frac{T}{T_{i2}}$ 为积分系数.

2 系统的构成^[1,3~6]

我们的控制目的是使塔温保持恒定, 现选用提馏段的温度 y 与蒸气流量 来构成串级随动控制, 并辅于微分先行算法控制技术来设计该系统. 如图 2 所示. 图中 TC 表示再沸器温度调节器, FC 表示蒸气流量调节器, DP 是微分先行控制器. 温度调节器 TC 通常按 PD 调节规律, 蒸气流量调节器 FC 按 PI 调节规律.

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 (蒸气流量调节器 FC) 的给定值, 最终控制蒸气阀门的开度. 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. 蒸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, 较快地克服了蒸气流量的变化对出料温度的影响. 如果蒸气流量是恒定的, 只需测量实际温度, 并使其与温度设定值相比

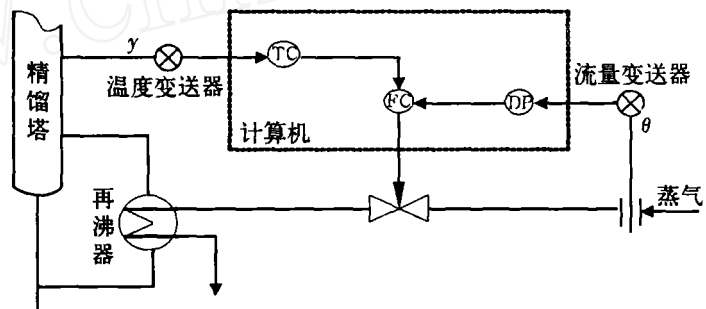


图2 精馏塔提馏段的计算机微分先行串级温控系统
Fig.2 Previous difference and string computer temperature control system in distillation

较, 利用二者的偏差控制蒸气管道上的阀门就能保持温度的恒定. 微分先行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, 使被控对象的滞后时间 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, 减少了系统的超调量, 加速了系统的调节过程. 另外, 通过增大蒸气流量调节器 FC 的比例增益, 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.

在这个计算机串级随动控制系统中, 串级控制起到了及时检测系统中可能引起被控量发生变化的一些因素并加控制, 阀位与蒸气流量得到了及时的调节, 使塔温的控制达到了良好的控制效果, 并且使系统具有一定的自适应能力, 有效地解决了对象的等效纯滞后时间 很长的问题. 二次干扰为该系统的主要扰动, 副控回路有效而快速地克服二次扰动的影晌. 当扰动发生在副回路内, 例如蒸气流量发生波动引起提馏段的温度变化时, 由于有副控回路的存在, 蒸气流量调节器能及时地动作, 快速消除了扰动的影晌; 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提馏段的温度变化, 经微分先行控制器、再沸器温度调节器及时改变其输出信号, 由副控回路去改变蒸气流量, 克服了扰动影晌.

该系统的微分先行串级控制结构图如图 3 所示. 其中 $r(k)$ 为温度给定值.

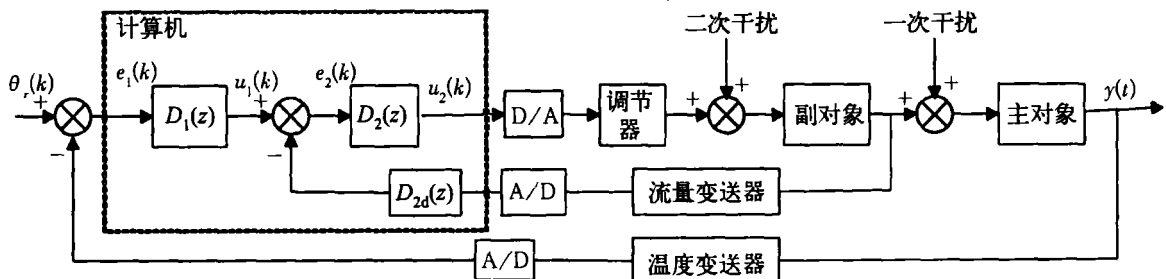


图3 精馏塔提馏的计算机微分先行串级温控系统结构图
Fig.3 Block diagram of previous difference and string computer temperature control system in distillation

图中, $D_1(z)$ 、 $D_2(z)$ 、 $D_{2d}(z)$ 为计算机实现的温度数字控制器、流量数字控制器和微分先行控制器. 一

般采用主控回路的采样周期 $T_{\text{主}}$ 与副控回路的采样周期 $T_{\text{副}}$ 相等的办法进行控制. 如果采用主控回路的采样周期 $T_{\text{主}}$ 与副控回路的采样周期 $T_{\text{副}}$ 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 $T_{\text{主}}$ 与 $T_{\text{副}}$ 之间相差 3 倍以上^[3].

3 结束语

该系统有效地解决了对对象等效纯滞后时间很长的问题, 能及时检测到系统中可能引起被控制量发生变化的许多因素并加以控制. 实践表明, 串级控制技术是改善自动控制系统调节品质的有效方法之一. 精馏塔提馏段温度控制问题是一个典型的时间大滞后问题, 微分先行串级控制技术应用, 有效地抑制惯性、迟延性的影响, 并且鲁棒性强的特点, 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. 副控回路中包含了积分环节减少了相角滞后, 从而改善了系统的动态品质. 该系统还采用了一个测量中间变量作为副控回路的被调参数. 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] 刘长龄. 精馏塔现场总线控制系统的实现 [J]. 自动化仪表, 2000, 22(8): 39~41.
- [2] 孟华. 工业过程检测与控制 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000. 168~175, 220~226.
- [3] 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.
- [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 [J]. 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.
- [6] 张玉明. 计算机控制系统与设计 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. 270~278.

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] Amit Y, German D. A Computational Model for Visual Selection [J]. Neural Comp, 1999, 11(1): 691~1715.
- [2] Campbell Jr J. Speaker Recognition: A Tutorial [J]. Proceeding of IEEE, 1997, 85(8): 1437~1462.
- [3] Jain A K, Hong L, Bolle R. On-line Fingerprint Verification, IEEE Trans [J]. Pattern Analysis Machine Intelligent, 1997, 19(4): 302~314.
- [4] Hong L, Wan Y, Jain A. Fingerprint Image Enhancement Algorithm and Performance Evaluation [J]. IEEE Trans Pattern Analysis Machine Intell, 1998, 20(8): 777~789.
- [5] Gorman L Q, Nikerson J V. An Approach to Fingerprint Filter Design [J]. Pattern Recognition, 2000, 22(1): 29~38.
- [6] Karu K, Jain A. Fingerprint classification [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(3): 389~404.
- [7] Wang S, Zhang W W, Wang Y S. Fingerprint classification by directional fields [M]. In Proc 4th IEEE Int Conf Multimodal Interface, Pittsburgh, PA, 2002. 395~398.
- [8] 王玮, 李见为, 张腾. 指纹图像的预处理算法 [J]. 计算机应用, 2004, 24(5): 72~75.
- [9] 林国清, 李见为, 王崇文. 指纹图像预处理方法的研究 [J]. 光电工程, 2002, 29(6): 56~58.