

文章编号:1000-582X(2005)09-0061-03

基于 MATLAB 的 PID 算法在串级控制系统中的应用

唐贤伦^{1,2},仇国庆²,李银国²,曹长修¹

(1.重庆大学自动化学院,重庆 400030;2.重庆邮电学院自动化学院,重庆 400065)

摘要:串级控制系统具备较好的抗干扰能力、快速性、适应性和控制质量,因此在复杂的过程控制工业中得到了广泛的应用.对串级控制系统的特性和主副回路设计进行了详述,设计了双容无自衡串级液位控制系统,并将基于 MATLAB 的增量式 PID 算法应用在控制系统中.结合基于计算机控制的 PID 参数整定方法实现串级控制,控制结果表明系统具有优良的控制精度和稳定性.

关键词:增量式 PID;串级控制;MATLAB

中图分类号:TP273

文献标识码:A

在一般的数字 PID 控制系统中,数字调节器的输出是盘输出,是执行机构所应达到的位置,由于数字调节器的输出跟过去的状态有关,尽管现在 PC 机的运算速度有极大提高,能够满足运算工作要求,实现对输入偏差的累加.但当计算机出故障时,可能使输出控制量产生大幅度的变化,这种情况为生产过程所不允许,可能会造成设备的严重损坏^[1].笔者设计了双容无自衡串级贮槽液料控制系统,采用增量式 PID 控制,利用基于增量式 PID 算法的 MATLAB 控制程序,结合基于计算机控制的 PID 参数整定方法实现双容无自衡串级液料液位控制系统,可获得较好的控制效果.

1 串级控制系统

1.1 串级控制系统的优点

串级控制系统适用于时间常数及纯滞后较大的对象.串级系统与单回路系统的区别在于前者可获得可测中间变量,并利用它构成副反馈回路,对影响中间变量的干扰进行预先调节,从而改善整个系统的动态品质.串级控制系统在提高系统控制质量方面主要表现在:1)对进入副回路的二次干扰有很强的克服能力;2)改善了被控过程的动态特性,提高了系统的工作频率;3)串级控制系统减小了对象时间常数;4)对负荷或操作条件的变化有较强的适应能力.

串级控制系统的抗干扰能力、快速性、适应性和控制质量都比单回路要好,一般应用在下列情况:1)控制通道纯延迟时间较长;2)对象容量滞后大;3)负荷变化大,被控对象又具有非线性;4)系统存在变化剧

烈的干扰^[2].

1.2 串级控制系统的设计

串级控制系统的设计主要是副参数的选择和副回路的设计以及主、副回路关系的考虑^[3].

1.2.1 主参数的选择和主回路的设计

主回路是一个定值控制系统,对于主参数的选择和主回路的设计,基本上可以按照单回路控制系统的设计原则进行.凡直接或间接与生产过程运行性能密切相关并可直接测量的工艺参数均可选择作主参数.若条件许可,可以选用质量指标作为主参数,因为它最直接也最有效.否则应选用一个与产品质量有单值函数关系的参数作为主参数.另外,对于选用的主参数必须具有足够的灵敏度,并符合工艺过程的合理性.

1.2.2 副参数的选择和副回路的设计

串级控制系统副回路具有调节速度快、抑制扰动能力强的特点.在副回路设计时,要充分发挥这一特点,把生产过程中的主要扰动(并可能多的把其它一些扰动)包括在副回路中,以尽量减少对主参数的影响,提高主参数的控制质量.在选择副参数进行副回路设计时,必须注意主、副过程时间常数的匹配问题.因为它是串级控制系统正常运行的主要条件,是保证安全生产、防止共振的根本措施.

2 基于 MATLAB 的串级控制系统

2.1 控制系统框架

笔者研究的对象是一个串联式双容无自衡液位过程,液料流量从上方进料管流进液料贮槽 S_1 ,贮槽 S_2

• 收稿日期:2005-03-09

基金项目:国家 863 计划基金资助项目(2004AA1Z2380)

作者简介:唐贤伦(1977-),男,四川安岳人,重庆大学博士研究生,重庆邮电学院讲师,主要研究方向为控制理论与应用、实时控制技术、数据挖掘.

的液料经管道流入液料贮槽 S_2 , 贮槽 S_2 的泄流管与调速泵相连, 液料排出量大小受变频调速器控制. 令该变频调速器工作频率恒定, 则贮槽 S_2 即构成一个积分时间常数不变的积分环节. 现在工艺要求控制贮槽 S_2 的液体料位 h 为某一定值, 即以 h 为被控量. 若选择高位贮槽 S_1 的进料体积流量 q 为控制变量, 则此双容液位过程的数学模型结构式如下:

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{K}{T_c S(TS + 1)} e^{-\tau s} \quad (1)$$

从模型可知, 该系统是一个有时间延迟的无自衡二阶系统, 自身不稳定. 若按单回路方法设计控制系统, 则因作用于系统的扰动要经过一个滞后时间才能使被控量有所反应, 而调节器的控制作用又不能及时反映出来, 因此将导致控制过头, 产生振荡. 理论分析表明, 用单回路方法对上述过程进行控制是难以奏效的. 该分析结果, 也得到实验证实, 经现场反复调试得知, 在有干扰作用或给定值变化的情形下, 系统是无法稳定的. 而且由于该串联式双容无自衡液位过程两贮槽串联而存在容量滞后, 这些因素致使单回路控制方案难以实施. 与单回路方案相比, 串级控制系统具有明显优点, 在克服容量滞后和纯滞后对控制质量的影响方面有其独到之处, 据此设计了如图 1 所示的串级控制系统.

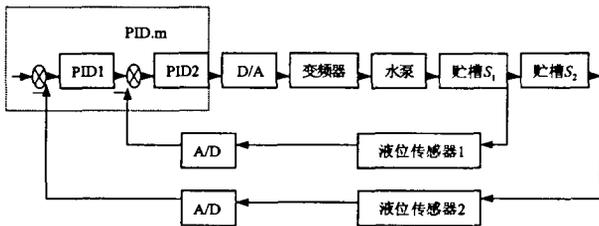


图 1 基于 MATLAB 的串级 PID 控制系统框架

该系统是以贮槽 S_1 的液位为副参数、以贮槽 S_2 的液位 h 为主参数构成的串级控制系统. 系统工作时, 变频器通过采集来自反馈的贮槽液位测量值, 与给定值作比较, 送入 PID 模块运算, 自动改变输出频率, 调整电机的转速, 从而控制液料流量, 达到稳定液位的作用. 液位传感器 1 和液位传感器 2 分别将检测到的上位贮槽 S_1 液料位信号和贮槽 S_2 的液料位信号通过 A/D 转换传送到计算机, 使其分别与两个 PID 调节器的设定值比较, 判断有无偏差存在或者计算偏差大小.

上位机调用 MATLAB 的 PID 算法程序, 该程序包含了两个 PID 运算程序段. 首先将系统设定值与贮槽 S_2 液料位信号进行比较, 得到的偏差作为 PID1 的输入信号; PID1 对该偏差进行运算后的输出信号, 作为贮槽 S_1 的液料位的设定值. 将该设定值与上位贮槽 S_1 的液料位信号进行比较, 由 PID2 对偏差实现 PID 运算, 运算结果通过 D/A 转换, 改变电机的输出频率, 调整水泵转速, 从而调整上位贮槽 S_1 的液料位, 达到控制贮槽 S_2 液料位的目的.

2.2 控制算法

由于位置式 PID 控制算法很不安全, 如果计算机出现故障, 可能引起执行机构位置的大幅度变化, 容易引起生产事故. 此外就算法本身而言, 当前的控制量输出与过去的状态有关, 因为要对偏差 $e(i)$ 进行累加, 需要占用比较多的内存单元^[4]. 因此, 本系统采用增量式 PID 控制算法, 其算法为:

$$\begin{aligned} \Delta u(k) = & u(k) - u(k-1) = \\ & K_c [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + \\ & K_d [e(k) - 2e(k-1)] + e(k-2)], \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $e(k)$, $e(k-1)$, $e(k-2)$ 用于存放 (k) 、 $(k-1)$ 、 $(k-2)$ 次的偏差值.

增量式 PID 控制算法中, 每次只求出, 且其值只与前两次采样值有关, 占用较少的内存单元. 在计算机出现故障时, 只对 $\Delta u(k)$ 有影响, 而对整个控制 u 影响不大, 因此可靠性高.

在实际编程时, 为节省运算时间, 可写为:

$$\Delta u(k) = K_c * \Delta e(k) + K_i e(k) + K_c * [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)], \quad (3)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1). \quad (4)$$

2.3 串级系统的参数整定

串级系统的整定比单回路复杂. 因为两个调节器串在一起工作, 各回路之间相互联系, 相互影响. 改变主、副调节器中的任何一个整定参数, 对主、副回路的过渡过程都有影响, 这种影响程度取决于主、副对象的动态特性, 而且待整定的参数比单回路多, 因此, 串级系统的整定必然比较困难和繁琐^[5]. 常用的工程整定方法有: 试凑法, 两步整定法和一步整定法. 两步法就是在主、副回路都闭合的情况下, 按单回路系统方法各整定一次副回路和主回路, 然后按这两步求得特征值查表计算, 就可以取得较为满意的主、副调节参数. 而一步整定法就是根据经验先将副调节器参数一次设置好, 然后按一般单回路系统的整定方法直接整定调节器参数. 一步整定法具体步骤为: 选择一个合适的副调节器放大倍数 $KC2$, 按纯比例控制规律设置副调节器; 主调节器也先置于纯比例作用, 使串级控制系统投入运行, 用整定单回路的任何方法整定主调节器参数; 加干扰, 观察运行过程, 根据 $KC1$ 和 $KC2$ 相互匹配原理, 适当调整调节器参数, 使主调节器满足控制质量最好.

本系统采用 4:1 衰减曲线法整定主调节器参数, 参数设定如表 1.

表 1 4:1 衰减曲线整定参数表

控制规律	$\delta/\%$	Ti/min	Td/min
P	δ_s		
PI	$1.2\delta_s$	$0.5T_s$	
PID	$0.8\delta_s$	$0.3T_s$	$0.1T_s$

2.4 控制结果

对系统进行反复调试, 使液料贮槽 S_2 液位快速稳

定在给定值上,这时给定值应与反馈值相同.待液位稳定后,在上位液料贮槽 S_1 上加扰动,如果扰动比较大或参数并不理想,虽经过副回路的校正,还将影响液位,此时再由主回路进一步调节,从而完全克服上述扰动,使液位调回到给定值上.当扰动加在液料贮槽 S_2 时,扰动使液位发生变化,主回路产生校正作用,克服扰动对液位的影响.由于副回路的存在加快了校正作用,使扰动对液位的影响较小.

在上位机监控软件中可得到如图 2 所示实时控制曲线.

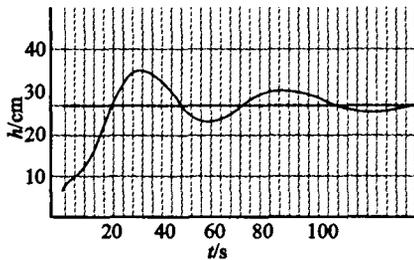


图 2 系统实时控制曲线

根据串接系统调节器参数的工程整定方法一步整定法对系统进行整定.首先将副调节器的放大倍数 K_{c2} 取为 2,积分系数 K_{i2} 为 1 000.然后将主调节器按 4:1 衰减曲线法进行整定.得 $\delta_{s1} = 12.5\%$, $T_{s1} = 7$ s.其运行曲线如图 3 所示.

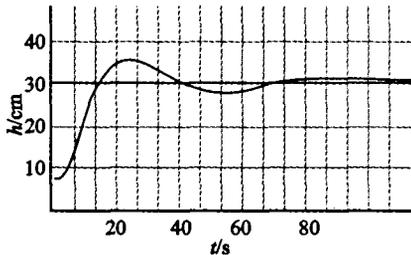


图 3 参数整定后的实时控制曲线

主调节器采用 PID 调节规律,经整定后的系统曲线如图 4 所示.

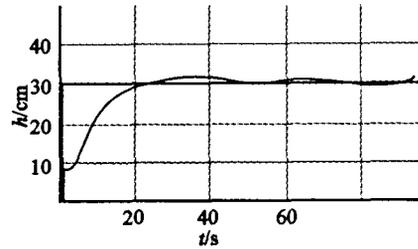


图 4 主调节器整定后的实时控制曲线

3 结 论

1) 对于含有纯滞后的双容无自衡过程,采用单回路控制系统方案是难以奏效的,而采用串级控制方案则可获得较为理想的控制效果.

2) 将基于 MATLAB 的 PID 控制算法应用在双容无自衡串级液位控制系统中,结果表明,利用计算机实现的数字 PID 调节器,由于软件系统的灵活性,控制灵活方便^[6].上位机直接调用 MATLAB 控制程序,即可实现控制过程.

参考文献:

- [1] RICHARD C DORF, ROBERT H BISHOP. Modern Control Systems (9th edition) [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [2] GRAHAM C GOODWIN, STEFAN F GRAEBE, MARIO E SALGADO. Control System Design [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [3] LEE Y H, OH S G, PARK S W. Enhanced Control with a General Cascade Control Structure [J]. Industrial Engineering & Chemical Research, 2002, 41(11): 2 679 - 2 688.
- [4] HUANG H P, CHIEN I L, LEE Y C. Simple Method for Tuning Cascade Control Systems [J]. Chemical Engineering Communications, 1998, 165(1): 89 - 121.
- [5] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [6] 刘金锟. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

Implementation of PID Algorithm Based on MATLAB in Cascade Control System

TANG Xian-lun^{1,2}, QIU Guo-qing², LI Yin-guo², CAO Chang-xiu¹

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. College of Automation, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper presents the character of cascade control system and the design of the main loop and subloop. A cascade PID control system based on MATLAB is designed, which is controlled by MATLAB control program based on incremental PID control algorithm and PID parameter tuning method based on computer control. The results show that the control system has good performance.

Key words: incremental PID algorithm; MATLAB; cascade control