

成分闭环控制的计算机控制算法研究

陈锡周

(南京动力高等专科学校计算机系·南京, 210042)

摘要: 对于分析周期长, 时滞严重的成分控制对象, 本文给出了一个新的计算机控制算法, 可以补偿由于取样时间间隔不确定的不利影响以及离线分析造成的不确定纯滞后的不利影响。本文还以混合金成分串级比值控制系统为例, 介绍了实现该控制算法的成分数字调节器的具体方法。

关键词: 成分控制; 控制算法; 性能参数

1 前 言

化工过程控制最直接的质量指标是产品的成分和有关性质。选择产物成分作为被控变量, 实现成分控制, 是最理想的控制方式。但成分控制回路中的过程较为复杂, 且分析周期较长, 滞后大, 在实际应用中有很大局限性。工程中常采用测量其它变量用于产物成分的闭环控制。这种间接推断控制方法的成功与否取决于整个操作条件范围内, 被测变量和产物成分之间关联程度的好坏。当找不到合适的工业分析仪表或者找不到和产物成分之间关联程度好的被测变量时, 就只能采用离线分析控制方法将产物成分控制在给定值。

用成分离线分析结果作为被测变量与给定值比较进行成分闭环控制, 要求从生产装置采集试样, 在实验室进行成分分析。再将离线分析结果输入控制系统进行调节。当取样时间间隔与对象时间常数相差不大时, 应考虑过程的动态特性及成分分析结果确定控制作用的大小, 这是常规控制仪表难以胜任的。故成分闭环控制系统见之文献的不多。本文给出了一种满足上述要求的计算机数字控制算法, 并可采用单片机控制系统加以实现。

2 控制算法讨论

最常用的过程计算机控制算法是数字 PID 算法和大林(Dahlin)算法^[1]。但这两种算法用于成分控制时, 其算法格式要求假定取样时间间隔以及系统时滞都为常数, 即等于算法中的步长。且要求在取样的同时将上次分析结果输入系统, 计算产生控制作用。适用的控制算法的关键是考虑由不确定的取样时间间隔和离线分析造成的不规则的时滞所引起的不利影响, 并能加以补偿。作为一种控制算法, 还应该能提供结合某一控制指标进行优化或整定的参数。由化工过程控制知识可知, 连续搅拌槽反应釜或者连续搅拌槽混合釜这类一阶惯性加时滞对象, 暂时不考虑过程的时滞, 并且忽略扰动的影响, 其成分过渡过程可以用一阶微分方程表示:

$$T \frac{dc}{dt} + c = Ku. \quad (1)$$

当采用成分离线分析方法构成控制系统时, 取样时间间隔 $(t_i - t_{i-1})$ 是随机的, 取样与控制作用产生的时间间隔以及由离线分析方法带入的不规则的时滞 $\theta_i = (t_j - t_i)$ 都不为常数。分析结果通过人机接口进入系统后即计算产生新的控制作用。据此进行一阶惯性加时滞成分对象控制系统的综合。

从微分方程(1)出发, 第一步求出满足上述要求的离散数学模型。方程(1)这类定常系统

有正规解法的前提是右端函数在积分区间内为连续函数.但在上述成分控制系统中,作为输入变量的 u 显然是分段连续函数.求解时^[2]应把不连续点去掉,并进行分段积分.进行分段积分时还要考虑输出函数 c 在该点是否连续.从工程角度考虑,连续搅拌槽混合釜中的物料成分 c 在任何时候都不可能跳变, c 实际上是连续函数.为了消除右端函数的不连续点,在方程(1)两边乘以积分因子 $e^{t/T}$,进行分段积分:

$$ce^{t/T} = c_{i-1}\exp\left(\frac{t_{i-1}}{T}\right) + \frac{K}{T}\left[\int_{t_{i-1}}^{t_{j-1}} u_{j-2}e^{t/T}dt + \int_{t_{j-1}}^t u_{j-1}e^{t/T}dt\right]. \quad (2)$$

式中 $c_{i-1}\exp\left(\frac{t_{i-1}}{T}\right)$ 为积分常数, c_{i-1} 为方程(1)的初值,是前一次(t_{i-1} 时取样)成分离线分析结果.积分区间为前一次取样时间 t_{i-1} 至当前时间 t ,以求出当前浓度 c .求出定积分后,在方程两边除以 $e^{t/T}$,经整理可得到在时间 t 时的浓度 c 的计算式:

$$c = c_{i-1}\exp\left(-\frac{t-t_{i-1}}{T}\right) + K\left[\exp\left(-\frac{t-t_{j-1}}{T}\right) - \exp\left(-\frac{t-t_{j-1}}{T}\right)\right]u_{j-2} + K\left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_{j-1}}{T}\right)\right]u_{j-1}. \quad (3)$$

求 t_i 时的浓度 c_i ,令 $\exp\left(-\frac{t_i-t_{j-1}}{T}\right) = \exp\left(-\frac{t_i-t_{j-1}}{T} + \frac{t_{j-1}-t_{i-1}}{T}\right) = A_{i-1}B_{i-1}$,代入算式(3)并经整理,可求得简化模型算式(4):

$$c_i = K(1 - A_{i-1})u_{j-2} + A_{i-1}c_{i-1} + K(1 - A_{i-1}B_{i-1})(u_{j-1} - u_{j-2}). \quad (4)$$

第二步是确定所需的过渡过程,即系统的性能指标.这里规定输出变量 c 在取样后经过时间 $t_s = t_{i+1} - t_i$ 到达 $c(\infty)$ 的 5% 范围内,或与给定值近似相等.以 t_s 作为一种性能指标.应说明一点,这一性能指标与通常定值系统中的过渡过程时间的含义不完全相同,它包含了 θ 这一不确定时滞时间.此时的浓度计算式为

$$c_{i+s} = K(1 - Q)u_{j-1} + Qc_i + K(1 - QB_i)(u_j - u_{j-1}). \quad (5)$$

式中 $Q = \exp\left(-\frac{t_s}{T}\right)$,可充分表达 t_s 变化造成的影响.将 Q 用于系统参数整定或参数优化,称 Q 为性能参数.

从公式(4)和(5)求得用于计算产生控制作用的增量公式(6)

$$\Delta u_j = \frac{A_{i-1}(1 - Q)\Delta e_i + (1 - A_{i-1})e_i + KA_{i-1}(1 - Q)(1 - B_{i-1})\Delta u_{j-1}}{K(1 - A_{i-1})(1 - QB_i)}. \quad (6)$$

3 应用实例

以某塑料厂聚合车间连续搅拌槽混合釜的出口浓度的控制为例.设混合釜有两路进口物料.第一路为工艺中循环回收使用的低浓度物料(流量 f_1 , 浓度 c_1),其流量和浓度有一定波动;第二路为新鲜的高浓度物料(流量 f_2 , 浓度 c_2).出口物料流量为 f , 浓度为 c .原料在混合釜中配制成规定浓度的聚合原料送聚合釜进行聚合反应.在工程实践中发现,此类成分对象的数学模型中时间常数项与釜中液位有关,故还需对混合釜的液位进行控制.建模时假设混合釜内理想混合并且密度均匀,实际过程基本能满足这一假设.通过总质量物料衡算和溶质的物料衡算,求出浓度对象的过程动态数学模型^[3]:

$$Ah \frac{dc}{dt} = f_1(c_1 - c) + f_2(c_2 - c). \quad (7)$$

式中 h 为液位.保持液位恒定可简化成分对象数学模型的计算.故液位控制采用由两个控制回路构成的串级控制系统^[4].成分控制采用三个闭环控制回路.构成一个串级比值控制系统.以

成分调节回路为主回路,以双闭环比值控制系统为副回路.主被控变量是混合釜中物料的浓度,以进口两种物料的流量比值作为控制成分的手段.成分调节器(主调节器)的输出(控制作用)作为比值系数 k 的给定值.由于计算机控制系统的数字调节器是用软件实现的,采用上述串级比值控制方案并不增加硬件投资.包括液位控制在内的五个控制回路可用同一个单片机系统实现.控制流程图见图1.

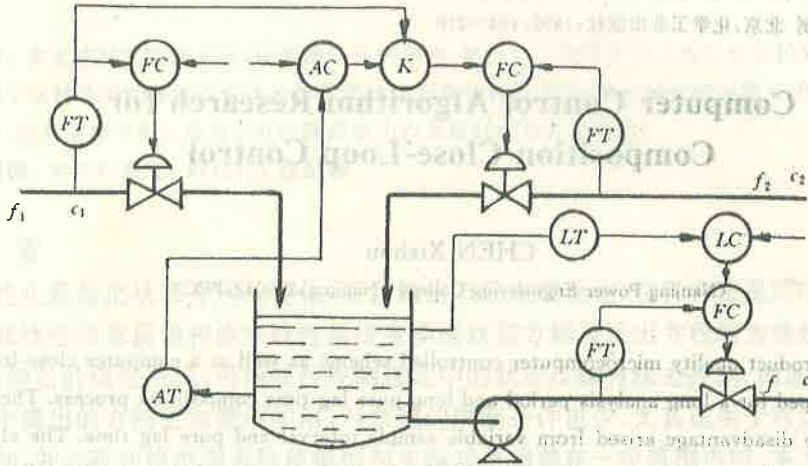


图1 混合釜装置控制方案流程图

混合釜成分对象的过程时滞一般可忽略不计.故成分离线分析控制算法[算式(6)]的实现只要求给出方程(7)中对应于方程(1)的两个参数的计算式即可,它们是过程时间常数和过程放大系数.

用化学工程分析方法,将方程(7)重排成方程(1)的形式:

$$\frac{Ah}{f_1 + f_2} \frac{dc}{dt} + c = \frac{c_2 + c_1}{(1+k)^2} \frac{f_1}{f_2}$$

式中

$$\frac{Ah}{f_1 + f_2} = T, \quad \frac{f_1}{f_2} = k = u, \quad \frac{c_2 + c_1}{(1+k)^2} = K.$$

在方程(1)中,过程放大系数 K 是产物成分的稳态增量与控制作用增量之比.但本例中成分与比值系数 k 之间为非线性关系.对于比较复杂的过程如连续搅拌槽反应釜,则可能要求用实验方法测定过程放大系数.

由算式(6)可知,本文给出的成分数字调节器只有一个性能参数 Q .一般以偏差绝对值积分指标(IAE)最小为目标进行整定.可用一维最优化方法进行寻优,求得最佳 Q 值.

4 结束语

以本文控制算法的实现构成的数字调节器,用成分离线分析结果作为其测量值,其输出用作比值系数的给定值,可构造有效的成分闭环控制系统.当在线工业分析仪表价格昂贵或性能不可靠或根本买不到时,利用本文给出的算法配合不同的控制对象及具体工艺要求可开发出经济实用的成分离线分析计算机闭环控制系统.

参 考 文 献

- 1 Dahlin, E. B. . Designing and tuning digital controllers. Instrum. Control Syst. ,1968, (41):77—83
- 2 吴麒等. 自动控制原理. 北京:清华大学出版社,1991,34—39
- 3 Law, A. M. and Kelton, W. D. . Simulation, modelling and analysis. McGraw Hill, 1982, 252—258
- 4 蒋慰孙. 过程与控制. 北京:化学工业出版社,1992,194—210

Computer Control Algorithm Research for Composition Close-Loop Control

CHEN Xizhou

(Nanjing Power Engineering College • Nanjing, 210042, PRC)

Abstract: A product quality microcomputer controlled scheme as well as a computer close-loop control algorithm is developed for a long analysis period and long pure lag time composition process. The algorithm can compensate the disadvantage arised from variable sample interval and pure lag time. The algorithm is applied to controlling the product composition of a CSTB, as main controller of the cascade and ratio control system, to demonstrate the implementation of the digital controller based on the algorithm.

Key words: computer control; big time lag; algorithm

本文作者简介

陈锡周 1951年生, 1982年于化工部上海化工研究院获化工系统工程专业硕士学位. 现为南京动力高等专科学校计算机系软件教研室主任. 主要从事化工应用数学, 过程计算机控制, 直流调速整系统教学和工程应用研究.