

陶瓷膜中试流程控制系统开发

张亚锋, 何亚峰

(常州工学院 江苏省数字化电化学加工重点建设实验室, 江苏 常州 213002)

摘要: 为了满足新型陶瓷膜中试流程各操作参数处于最优值, 在分析陶瓷膜中试流程结构与工作原理的基础上, 分别对控制系统总体方案和系统软硬件展开设计; 提出采用三回路专家 PID 控制算法, 实现对压差、流量的精确控制; 系统由 PLC 为控制器, 触摸屏为上位机, 压力变送器、流量变送器及温度变送器为反馈单元, 电动调节阀为执行机构等部分组成; 运行结果显示, 对进料泵出口流量、循环泵出口流量跟踪控制时, 误差在 5% 内, 对陶瓷膜回路进出口模拟差压跟踪控制时, 误差在 3.3% 内, 表明系统控制精度高, 且鲁棒性好。

关键词: PLC; 陶瓷膜中试; 专家 PID; 控制系统

Development of Control System for Ceramic Membrane Pilotscale Experiment

Zhang Yafeng, He Yafeng

(Jiangsu Key Lab of Numeric Electrochemical Machining, Changzhou Institute of Technology,
Changzhou 213002, China)

Abstract: In order to obtain the optimal values of the operating parameters of the new ceramic membrane, on the basis of analysis of the structure and working principle of the ceramic membrane, the overall plan of the control system and the hardware subsystem and software subsystem are designed severally. A method was presented to achieve accurate control of differential pressure and flow through three loop expert PID control algorithm. Control system was designed with PLC for main controller, touch screen as the upper computer, pressure transmitter, flow transmitter and temperature transmitter for feedback device and electricity-controlled ratio valve for actuator. Running results show that when the value of the feed liquid pump outlet flow and circulation pump outlet flow are set, tracking error is within 5%, when the simulated import and export differential pressure value of ceramic membrane loop is set, tracking error is in 3.3%, and the system has the virtue of high control precision and good robustness.

Keywords: PLC; ceramic membrane; expert PID; control system

0 引言

陶瓷膜以抗污染强、清洗彻底、膜孔径集中、能精确分离某一组分广泛用于炼油石化、废水处理等工业领域^[1-3], 其过滤方式属于错流过滤, 在压力作用下, 原料液在管壁密布微孔的膜管内或外侧与膜平行或沿膜的切线方向流动, 小分子物质(或液体)透过膜, 大分子物质(或固体颗粒、液体液滴)被膜截留, 从而达到固液分离、浓缩和纯化之目的, 为了提高膜通量, 原料液经陶瓷膜, 除产生渗透液外, 其它作为循环流体在循环泵的作用下, 以高速度在膜表面流动, 以使料液流经膜面时产生的剪切力把膜面上滞留的颗粒冲刷带走, 防止浓差极化、膜孔堵塞等膜污染现象的发生, 但同时也会带来料液温度的迅速提升。因此为了让膜具有最佳的膜通量和截留率, 须让膜处于最佳的操作参数环境下工作, 其最佳的操作参数为过滤压差、错流速度和温度。对一种陶瓷膜, 其存在临界压力, 低于临界压力, 压差越大膜通量越大, 高于临界压力, 一方面不利于膜过滤过程能耗的降低且反而易于产生膜污染, 另一方面受限于炼化厂某些料液的限制以及膜结构本身的限制。错流速

度虽然带来较高的剪切速度, 但过高的速度一方面增加能耗, 另一方面反而会使膜孔易被堵塞。温度升高会使料液粘度下降, 利于膜通量的增加, 但过高的温度又会使料液中的某些成分吸附污染加剧, 并改变料液的性质, 影响料液温度的主要因素是料液的速度。因此, 需设计控制系统, 让陶瓷膜处于最佳操作参数下工作。

1 陶瓷膜中试流程与工作原理

图 1 所示为陶瓷膜中试流程管道图, 流量变送器 FT001、压力变送器 PT001 分别安装于进料泵 101 出口管道处, FT002 安装于循环泵 102 出口管道处, PT002、PT003 压力变送器分别安装于电动调节阀 V15 前和电动阀 V5 前。TT001 温度变送器安装于循环泵进口处。经回路 1 陶瓷膜和回路 2 陶瓷膜出来的渗透液进入清洗箱渗透液容器中, 该容器上方安装有液位开关, 当液位至位时电动阀 V17 关闭。回路 1 工作时, 电动阀 V9、V11、V13 打开, 料液经进料泵 101, 进入陶瓷膜回路 1 进行错流过滤。回路 2 工作时, 电动阀 V10、V12、V14 打开, 料液经进料泵 101, 进入陶瓷膜回 2 进行错流过滤。设置两个回路的陶瓷膜, 目的是当一个回路膜发生严重膜污染时, 该回路停止工作, 进入冲洗流程, 另一个回路的陶瓷膜投入工作。冲洗两回路的膜时, 由清洗泵 P103 及相应的电动阀 V18、

收稿日期:2015-12-18; 修回日期:2016-01-17。

作者简介:张亚锋(1976-),男,江苏泰兴人,讲师,研究生,主要从事光机电一体化方向的研究。

4 系统软件设计

4.1 控制算法

PID算法离散表达式^[4-5]如式(1)所示:

$$U(k) = k_p e(k) + k_I \sum_{i=1}^k e_i + U_{initial} + k_D [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

参数 k_p 、 k_I 、 k_D 分别为PID比例项系数、积分项系数和微分项系数。 $U(k)$ 为在第 k 个采样时刻PID回路输出的计算值, $e(k)$ 为在第 k 个采样时刻的偏差值, $e(k-1)$ 为在第 $k-1$ 个采样时刻的偏差值(偏差前值), $U_{initial}$ 为PID回路的输出初值。设采样周期为 T_s 。

由式(1)看出,积分项包含从第1个采样到当前采样的所有偏差,实际计算时不可能保存所有采样的偏差,因此将式(1)转化为递推方程,如式(2)所示:

$$U(k) = k_p e(k) + k_I e(k) + UX + k_D [e(k) - e(k-1)] \quad (2)$$

式(2)中 UX 为第 $k-1$ 个采样时刻的积分项,即积分项前值,将式中比例项改为式(3)所示,积分项改为式(4)所示,微分项改为式(5)所示。式(3)中 SP_k 为第 k 个采样时刻的给定值, PV_k 为第 k 个采样时刻的过程变量反馈值。式(4)中的 T_I 为积分时间常数,第一次计算时 UX 的初值被设置为 $U_{initial}$ 。式(5)中的 T_D 为微分时间常数, SP_{k-1} 第 $k-1$ 个采样时刻的给定值, PV_{k-1} 第 $k-1$ 个采样时刻的过程变量反馈值,即过程变量前值。

$$k_p e(k) = k_p (SP_k - PV_k) \quad (3)$$

$$k_I e(k) + UX = k_p T_s / T_I (SP_k - PV_k) + UX \quad (4)$$

$$k_D [e(k) - e(k-1)] = k_p T_D / T_s [(SP_k - PV_k) - (SP_{k-1} - PV_{k-1})] \quad (5)$$

给定值和过程变量都是实际工程物理量,其数值大小、范围和测量单位都可能不一样,在PID程序执行前必须把它们转换成无量纲、标准的浮点型实数,其范围即为 $0.0 \sim 1.0$,同理,在PID程序执行结束前需将回路输出的标准化实数值转换为实数,并进一步转换成写入模拟量寄存器的16位整数,以利于获取驱动执行机构的模拟量信号。

因此执行PID程序时,确定采样周期 T_s 和设定值 SP_k 的前提下,给定比例项系数 k_p 、积分项系数 k_I 和微分项系数 k_D ,经传感器获取实际变量反馈值 PV_k 就可以得到PID回路的输出。

由于陶瓷膜中试流程需通过不同物理性质的料液验证膜的性能,系统会在不同的工作状态和误差情况、多种环境、不同的对象特性及非线性、大偏差情况下工作,上述PID回路在灵活性、适应性及鲁棒性等方面显然不能满足,因此利用专家经验来设计PID显然可以满足系统任务需求第(2)条,而P101、P102泵的出口流量则可以采用上述PID算法。针对陶瓷膜进出口差压控制的专家PID控制原理实则是在上述PID算法的基础上,进行控制区域划分,原理如下:

1) 当 $0_+ < e(k) < 0.3$ MPa时,说明调节阀V15的开度应为 0.0 ,不论误差变化趋势如何,PID控制器的输出按定值(如 0.0)输出。

2) 当 -0.1 MPa $< e(k) < 0_-$ 时,调节阀V15应进入动态

调节范围,PID实施一般的控制作用,减小误差的变化趋势。

3) 当 $e(k) \leq -0.1$ MPa时,PID控制器保持输出不变或按某一定值(如 0.5)输出,脱离PID调节作用。

上述输出定值通过现场试验,在针对不同料液的错流过滤处理时作为经验值进行存储。PID的各项参数,通过现场试凑法^[6]获取,作为经验值进行存储。图3所示为陶瓷膜差压控制模型,图中压力变送器输出信号为 $4 \sim 20$ mA,电动调节阀驱动信号也为 $4 \sim 20$ mA。

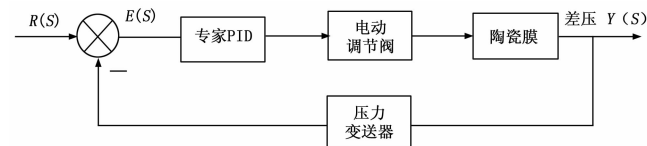


图3 陶瓷膜差压控制模型

4.2 程序设计

对101泵、102泵的出口流量控制采用一般PID控制即可,对陶瓷膜压差控制采用专家PID,因此系统采用三回路的PID控制。三回路PID在同一个定时中断程序中执行,并采用同一个采样周期,中断程序中对各回路PID以使能方式控制,这种方案的优点一方面利于系统以同样的采样周期采集信号,实现同步控制,利于陶瓷膜性能的稳定,另一方面,中断程序中采用使能方式控制PID,有利于PID实现无扰动的自动/手动切换,在专家PID执行过程中,也有利于获取专家经验参数。

图4所示为专家PID程序结构图,图中初始化主要是对PID参数、采样周期、定时中断时间和被控量设定值进行初始化,其中采样周期与定时中断时间须一致。表2为专家PID回路参数表,占用36个字节的存储空间,表中变量类型为输入/输出,表明在手动状态下,可以给相应的变量赋值,目的是为了实现在手动状态下,可以无扰动的PID输出控制,同时也是为了获取PID专家经验参数。

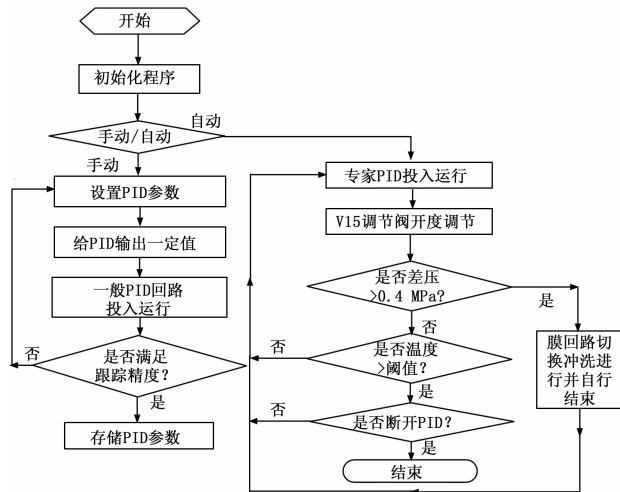


图4 专家PID程序结构

4.3 监控画面设计

为了实现三回路PID控制,必须通过上位监控画面进行参数设置和数据显示,因此系统采用威纶触摸屏TK6070IH

进行设计。图 5 所示为三回路 PID 参数设置及操作画面。

表 2 专家 PID 回路参数表

偏移地址	变量名	数据类型	变量类型	描述
VD400	PV_k	实数	输入	0.0~1.0 之间
VD404	SP_k	实数	输入	0.0~1.0 之间
VD408	$U(k)$	实数	输入/输出	0.0~1.0 之间
VD412	K_P	实数	输入	比例常数
VD416	T_S	实数	输入	单位秒,正数
VD420	T_I	实数	输入	单位分钟,正数
VD424	T_D	实数	输入	单位分钟,正数
VD428	UX	实数	输入/输出	0.0~1.0 之间
VD432	PV_{k-1}	实数	输入/输出	0.0~1.0 之间

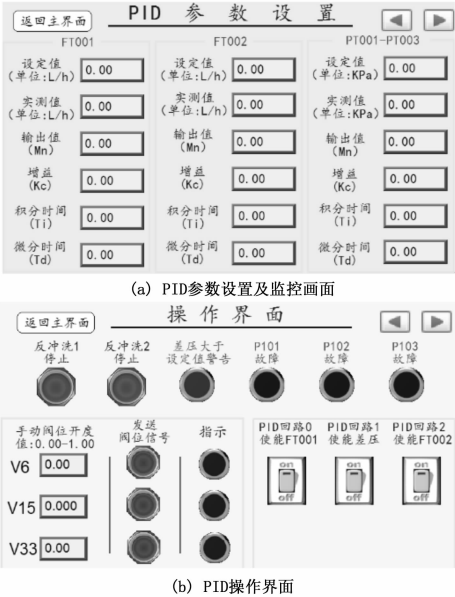


图 5 三回路 PID 参数设置及操作画面

图 5 (a) 中实测值即为过程变量实时反馈值,图 5 (b) 中可手动设置阀位开度,按下发送阀位信号按钮,使得 PID 回路输出一定值,一方面类似于信号发生器,可以验证阀的开度,另一方面可使 PID 输出一固定值,有利于 PID 的调节。按下各回路 PID 使能切换开关,可以方便操作 PID 的手动/自动无扰动切换。

4.4 试验结果与分析

试验时,系统中进料 101 泵的参数为流量为 2 m³/h,扬程为 200 m,循环 102 泵的参数为流量为 25 m³/h,扬程为 30 m,以满足系统任务需求第 (1) 条。运行时,进料泵和循环泵的出口流量两回路 PID 控制器的参数易获取,对应的比例增益分别是 30、28,积分参数分别是 7 分钟,10 分钟,微分参数都为 0,跟踪精度均小于 5%。但由于陶瓷膜不可能在短时间内就有较大的差压,因此获取差压 PID 回路的参数是在差压设定值为 0.06 MPa 的情况下获取,增益为 20,积分参数为 14 分钟。通过在触摸屏上设置采样周期 0.2 秒,由采样通道建立取样数据库并保存到 U 盘,将数据进行整理,获取图 6 所示差压专家 PID 回路曲线图。

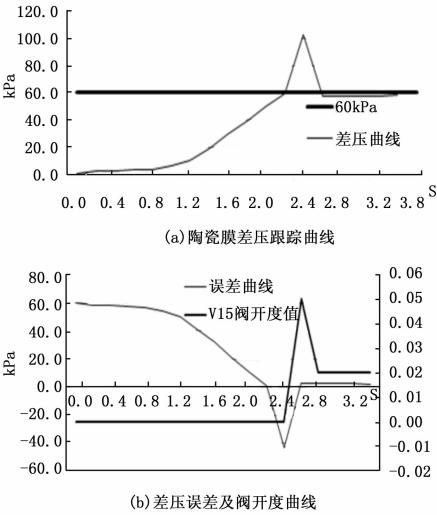


图 6 专家 PID 运行结果曲线

由图 6 (a)、(b) 所示,在 2.2 秒之前,差压变量过程反馈值小于 60 KPa 时,PID 输出使得 V15 调节阀开度一直是零,在 2.4 秒时,由于受陶瓷膜的截留率影响,差压迅速上升至 103 KPa,相当于给系统一阶跃信号,PID 迅速给出信号,调节阀开度从关闭状态迅速至 0.05 开度,让差压维持在 60 KPa 附近,在约 3 秒时,V15 阀的开度保持在 0.02 附近,差压误差也迅速由 -43 KPa 至 0 附近,在约 3.4 秒时,系统完全稳定,差压值稳定在 58.1 KPa,跟踪精度达 3.3%。由图 6 所示曲线看出,系统无超调现象发生,证明了专家 PID 控制策略的优越性,提高了系统的鲁棒性能。

5 结束语

该系统的开发,成功运用了三回路 PID 控制策略,有效提高了系统的鲁棒性、灵活性及适应性。系统在青岛炼化厂和宁波镇海炼化厂进行了无人化值守运行,运行稳定、可靠,在处理不同料液的过程中获取了该新型陶瓷膜有价值的实验数据,为系统接下来的小批量生产打下了坚实的基础。

参考文献:

[1] 潘艳秋,王文娟,王婷婷,等. 基于油水分离的陶瓷膜基双层复合动态膜的制备和应用 [J]. 天津大学学报 (自然科学与工程技术版), 2015, 48 (3): 269-273.

[2] 王文春,王 伟,程 翼,等. 陶瓷膜法处理退浆废水工艺研究及工业化装置运行评价 [J]. 膜科学与技术, 2015, 35 (4): 26-28.

[3] 范益群,邢卫红. 陶瓷膜表面性质研究进展 [J]. 膜科学与技术, 2013, 33 (5): 1-4.

[4] 黄永红. 电气控制与 PLC 应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[5] 刘金琨. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

[6] 张亚锋. 电厂空冷岛喷雾冷却控制系统开发 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 3983-3984.