

基于 PLC 的吹脱法脱氨塔内 污水温度模糊控制器的设计

全卫卫¹, 郝建新², 王少辉¹

(1. 河南理工大学 数学与信息科学学院, 河南 焦作 454000;

2. 解放军理工大学 国防工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要:针对吹脱塔内污水温度是影响吹脱法脱氨效率的主要因素,而传统 PID 控制无法精确控制污水温度的问题,设计了基于 PLC 的污水温度模糊控制器. 该设计在 PLC 中采用定时中断组织块实现离散论域二维模糊控制,通过改变蒸汽调节阀开度调节蒸汽加入量,进而实现对污水温度的精确控制. 实验结果表明,该设计控制精度达 1.5 °C,可有效提高吹脱法的脱氨效率,且节省成本.

关键词:PLC;模糊控制;吹脱法;脱氨

中图分类号:TP29 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.3/4.028

Design of sewage temperature fuzzy controller in the Ammonia removal tower for Stripping based on PLC

TONG Wei-wei¹, HAO Jian-xin², WANG Shao-hui¹

(1. College of Mathematics and Informations, Henan Polytechnics University, Jiaozuo 454000, China;

2. College of National Defense Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: For Stripping is the main factor of the efficiency of ammonia removal, and the traditional PID control can't get good control on sewage temperature, the sewage temperature fuzzy controller based on PLC was designed. The design adopted the timer interrupt block to implement two-dimensional fuzzy control of discrete domain, and adjusted steam addition amount by changing steam regulation value opening to realized precise control of sewage temperature. The experimental results showed that the practical control precision could reach 1.5 °C, the design could effectively improve the efficiency of the deamination of Stripping and cost savings.

Key words: PLC; fuzzy control; stripping; ammonia removal

0 引言

化工企业的工业废水中氨氮含量非常高,将工业废水排入污水处理厂之前需要先脱氨. 脱除废水中高浓度氨氮的常用方法是吹脱法. 影响吹脱法吹

脱效率的主要因素有两个,即污水的 pH 值和塔内污水温度,其中塔内污水温度控制是难点. 平凡^[1]比较了超声吹脱法、单独超声法和单独吹脱法在氨氮去除效果上的差异,以及超声吹脱法氨氮去除率随污水 pH、污水温度、声能密度和时间等因素的变

化规律.上海新奥托实业有限公司生产的 EFPT 过程控制实验装置采用模糊 PID 控制方法对吹脱塔顶温度控制进行了仿真研究,得到了比传统 PID 控制方法更好的控制效果^[2].路桂明^[3]研究了基于单片机的模糊 PID 在电锅炉温度控制系统中的应用.钟汉如等^[4]研究了基于 PLC 的染色机温度控制系统,采用温度补偿解决控制系统的时间滞后问题,利用分块控制思想,在目标温度附近进行模糊控制,但其控制对象是气体.

本文拟以某化工企业高浓度氨氮废水处理过程为例,设计基于 PLC 的吹脱法脱氨塔内污水温度模糊控制器,以保证废水在脱氨过程中温度恒定,从而有效提高脱氨效率.

1 吹脱法脱氨流程

吹脱塔内温度控制示意图如图 1 所示,其脱氨流程为:调节好 pH 值的污水被进水泵提升至吹脱塔的顶部,然后从塔内填料的间隙流入塔底的蓄水池;风携带着蒸汽从塔底吹入塔内,沿塔内填料间隙逆流而上,蒸汽将污水加热到一定温度;污水中溶解的氨氮在合适的 pH 值和温度的环境中会游离出来,从吹脱塔底部吹入的风将游离态氨从塔顶排气筒吹出,从而实现脱氨的目的.

2 模糊控制器设计

由于进水量、进风量和进蒸汽量不稳定,而且

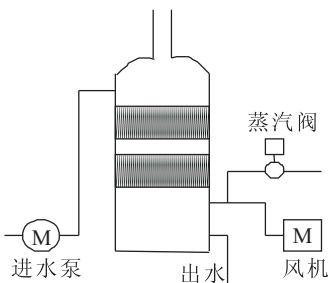


图 1 吹脱塔内温度控制示意图

温度变化本身具有非线性、滞后性,故很难建立精确的数学模型,对于这类控制对象,PID 控制系统的控制效果并不理想.但是,操作工人熟练的手动调节却能实现良好的控制,在各种控制器中,能够模仿人工控制功能的是模糊控制器^[10].模糊控制器在一定控制规则下,通过模糊推理得到控制量,其控制规则是在分析总结操作工人控制经验和专家设计经验的基础上得到的.模糊控制器对被控对象的数学模型没有要求,是吹脱法脱氨污水温度控制的最佳选择.

2.1 模糊控制器结构

二维模糊控制器对被控对象参数变化具有较强的适应能力,且具有控制性能较好、设计简单等特点^[5].因此,本文采用二维模糊控制器作为塔内污水温度控制器,其结构见图 2.

模糊控制器的二维输入量为设定值与反馈值的偏差和偏差变化率,输出量为蒸汽阀门的开度增量.根据实际情况,模糊控制器输入和输出的隶属函数与模糊控制规则表采用模糊集合及论域来表示,从而得到模糊控制器的模糊控制查询表.通过定时查询模糊控制查询表得到蒸汽阀门开度的控制量,从而实现吹脱塔底污水温度的恒温控制.

2.2 方案设计

本文以 PLC 控制为主,采用模糊控制方法,利用蒸汽作为热源加热吹脱塔底的污水.为了使系统得到最优的脱氨效果,在气液比和吹脱时间相同的条件下,考察不同 pH 值和不同温度对脱氨效率的影响,结果见图 3.

由图 3 可知,吹脱法脱氨效率为 80% 时的 pH 值在 10 左右,污水温度在 42 °C 左右;而 pH 值在 11 ~ 13 之间时,影响脱氨效率的主要因素是污水温度;当 pH 值保持在 12 ~ 13 之间、污水温度保持在 40 ~ 50 °C 之间时,脱氨效率在 98% 以上.从加碱量和蒸汽量的综合成本考虑,设定吹脱塔内污水 pH 值

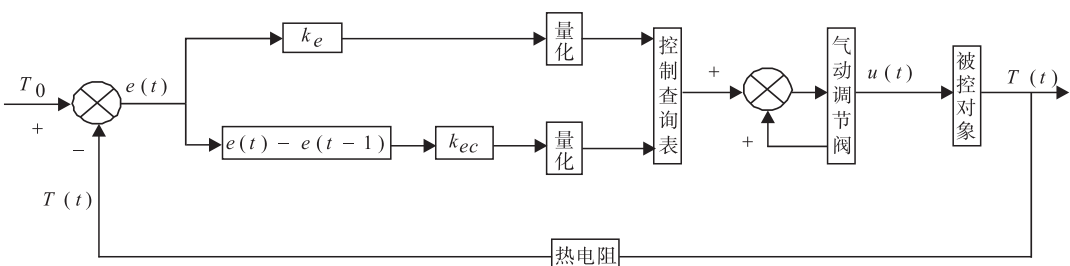


图 2 模糊控制器结构的示意图

为 12, 污水温度为 42 ℃.

二维模糊控制器的偏差输入 e 和偏差变化率输入 Δe 以及蒸汽阀门开度增量输出 u 的模糊语言变量各分为 7 个:

[NB, NM, NS, O, PS, PM, PB]

设其模糊论域为

[-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6]

吹脱塔的进水温度随着季节的变换而变化, 模糊控制器的给定值设为 42 ℃, 因此 e 的基本论域为 [-12, 12], Δe 的基本论域为 [-5, 5], u 的基本论域为 [-12, 12].

偏差的量化因子

$$k_e = \frac{n_e}{e_{\max}} = \frac{6}{12} = 0.5$$

偏差变化率的量化因子

$$k_{ec} = \frac{n_{\Delta e}}{ec_{\max}} = \frac{6}{5} = 1.2$$

蒸汽阀门开度增量的量化因子

$$k_u = \frac{u_{\max}}{n_u} = \frac{12}{6} = 2$$

其中 $n_e, n_{\Delta e}, n_u$ 分别为其模糊论域中正值或负值的个数.

模糊控制器控制变量的语言值隶属函数采用三角函数, e 和 Δe 的语言值隶属度见图 4. u 的输出变量的语言值隶属度见图 5. 模糊控制器的控制规则见表 1. 采用合成推理法计算控制查询表见表 2.

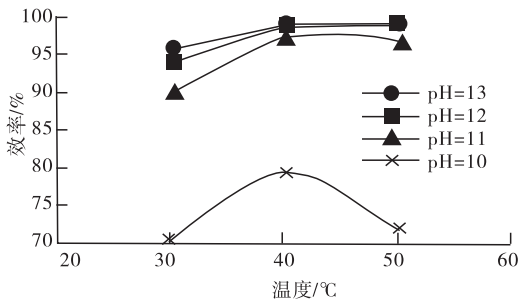


图 3 不同 pH 值、不同温度下的吹脱效率

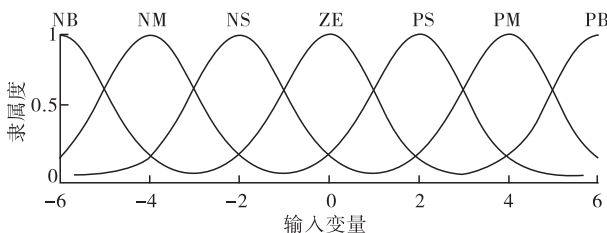


图 4 输入变量语言值隶属度

3 PLC 程序编制

3.1 编程思路

因为 S7-300 可编程控制器只能按地址顺序进行数据存储, 且地址没有负数, 因此将 e 和 Δe 的模糊量加 6, 这样就将模糊控制器的模糊论域转化为 (0, 12).

把控制查询表的数据存储在可编程控制器数据块的方法为:

$e = 0$ 时, Δe 从 0 到 12;

$e = 1$ 时, Δe 从 0 到 12;

……;

$e = 12$ 时, Δe 按照从 0 到 12 的顺序存储在可编程控制器数据块中.

若控制查询表中的数据只占 1 B, 则存储到可编程控制器数据块的控制查询表内数据地址为 0, 1, 2, ..., 168.

根据上面的分析, 确定可编程控制器数据块与控制查询表内数据的对应关系:

当 $e = 0$ 时, 控制数据在可编程控制器数据块中的地址等于 ec 的模糊量;

当 $e = 1$ 时, 控制数据在可编程控制器数据块中的地址等于 $13 + ec$ 的模糊量;

当 $e = 2$ 时, 控制数据在可编程控制器数据块中的地址等于 $13 \times 2 + ec$ 的模糊量;

……;

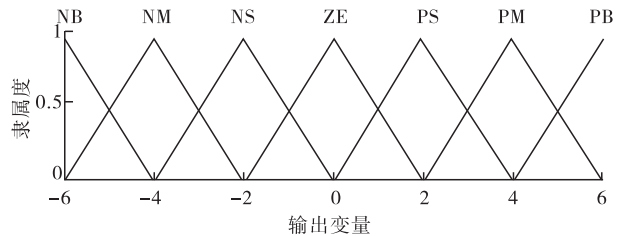


图 5 输出变量语言值隶属度

表 1 控制规则

ec	e						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NS	ZE	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB	PB

表2 控制查询表

ec	e												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-5.370	-5.230	-4.910	-4.710	-4.280	-3.900	-3.200	-2.670	-2.000	-0.997	0.000	0.359	0.342
-5	-5.230	-5.140	-4.710	-4.270	-3.940	-3.280	-2.690	-1.970	-1.300	-0.955	0.00	0.998	1.030
-4	-4.910	-4.710	-4.280	-3.940	-3.680	-3.000	-2.040	-1.300	-0.465	0.000	0.465	1.300	2.000
-3	-4.310	-4.270	-3.940	-3.280	-3.000	-2.920	-1.950	-0.957	0.000	0.955	1.300	1.970	2.670
-2	-4.020	-3.990	-3.680	-3.000	-2.040	-1.950	-1.530	-0.659	0.464	1.300	2.000	2.670	3.170
-1	-3.960	-3.900	-3.550	-2.920	-1.950	-1.000	-0.695	0.000	0.997	1.970	2.670	2.970	3.550
0	-3.660	-3.550	-3.170	-2.630	-1.530	-0.695	0.000	0.695	1.530	2.630	3.170	3.550	3.660
1	-3.550	-2.970	-2.670	-1.970	-0.997	0.000	0.695	1.000	1.950	2.920	3.550	3.900	3.960
2	-3.170	-2.670	-2.000	-1.300	-0.464	0.659	1.530	1.950	2.040	3.000	3.680	3.990	4.020
3	-2.670	-1.970	-1.300	-0.955	0.000	0.957	1.950	2.920	3.000	3.280	3.940	4.270	4.310
4	-2.000	-1.300	-0.465	0.000	0.465	1.300	2.040	3.000	3.680	3.940	4.280	4.710	4.910
5	-1.030	-0.998	0.000	0.955	1.300	1.970	2.690	3.280	3.940	4.270	4.710	5.140	5.230
6	-0.342	-0.359	0.000	0.997	2.000	2.670	3.200	3.900	4.280	4.710	4.910	5.230	5.370

当 $e = n (n = 3, \dots, 12)$ 时,控制数据在可编程控制器数据块中的地址等于 $13 \times e + ec$ 的模糊量。

因此,将 e 和 Δe 模糊与量化之后,将其模糊论域从 $(-6, 6)$ 转化为 $(0, 12)$,可以得到模糊控制器的输出量在可编程控制器数据块中的地址,其算法为

$$Address_1 = (e + 6) \times 13 + (ec + 6) \quad \textcircled{1}$$

实际上,模糊控制器控制查询表中的数据均为浮点数,所以在可编程控制器数据块中每个数据占 4 B 的地址。根据 $\textcircled{1}$ 式可得,可编程控制器数据块中的实际地址为

$$Address = [(e + 6) \times 13 + (ec + 6)] \times 4$$

基于以上分析,可编程控制器中模糊控制器的程序可按下述步骤编写:

1) 将控制查询表中的数据按顺序放入可编程控制器数据块中;

2) 循环采样现场仪表的温度值,在每次循环过程中将采样值与设定值运算后得到 e 和 ec ;

3) 将得到的 e 和 ec 进行模糊化与量化后,根据 $Address$ 的算法计算出输出控制量在可编程控制器数据块中的地址;

4) 利用存储区间接寻址的方法读出存储在可编程控制器数据块中的数据;

5) 将得到的控制增量与阀门当前开度相加后写入阀门控制程序中,从而实现对被控量的模糊控制。

3.2 编程方法

西门子 S7-300 系列 PLC 可调用循环中断组织块 OB30—OB38,再在循环中断组织块中调用模

糊控制子程序 FC65。本程序采用缺省时间为 100 ms 的 OB35。

1) 采样部分。根据采样的温度值和温度给定值计算出 e 和 ec ,根据量化因子将 e 和 ec 模糊化,然后将模糊化的 e 和 ec 量化成离散论域内的模糊量。

2) 指针部分。由 Address 算法算出 e 和 ec 的模糊控制量在可编程控制器数据块中的地址,作为模糊控制量的指针。

3) 查表部分。利用模糊控制量的指针,采用存储区间接寻址方式读出存储在可编程控制器数据块中的模糊控制量。

4) 输出部分。解模糊后的模糊控制量加上当前的阀门开度得到阀门的控制量。利用 S7-300 中的功能块 SFC15 将阀门控制量写入阀门定位器,以控制阀门开度,进而控制进入吹脱塔的蒸汽量,实现吹脱塔内污水温度的调节与控制。

在上述查表程序中,由 1) 和 2) 可以得到输出量在可编程控制器数据块中的地址,采用指针方式取出控制量。程序见图 6。

图 6 中可编程控制器数据块 DB65。DBD720 内存储双字格式的模糊控制器输出控制量指针。因为双字格式的 0—2 b 是位编号,故 Network 37 将 DB65。DBD720 向左移 3 位。Network 38 读出指针对应的控制增量,存储到可编程控制器数据块 DB65。DBD724 中。

4 实验结果与分析

本设计应用于某公司污水预处理实验,实验采

Network 37: Title:

Comment:

```

L L#3
L DB65,DBD 720
SLD
T DB65,DBD 720
NOP 0

```

Network 38: Title:

Comment:

```

OPN DB 65
L DBD [DBD 720]
T DB65,DBD 724

```

图 6 存储器间接寻址查表程序

用饱和蒸汽作为热源,压力 0.1 MPa,温度 100 ℃. 实验过程为:首先打开调节池提升泵,控制调节池气动调节阀的开度,使进水流量保持 15 m³/h;然后打开风机,等风量达到稳态后,投入模糊控制功能. 实验时,污水温度设定值为 42 ℃,采样时间为 1 s,得到吹脱塔内温度曲线如图 7 所示. 由于污水温度低于 40 ℃时,脱氨效率显著下降,高于 42 ℃时脱氨效率增加较慢,且蒸汽的消耗量增加,故控制精度要选择 ±2 ℃. 根据实验结果,采用离散论域二维模糊控制器的控制精度为 1.5 ℃,控制效果明显优于超定量 3 ℃左右、调节时间较长、采用经典控制理论的 PID 控制方式.

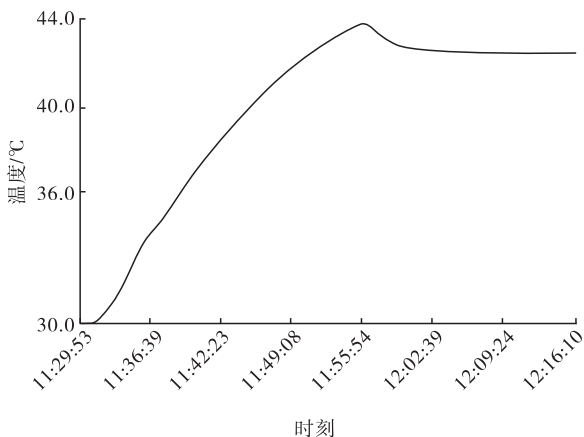


图 7 吹脱塔内温度曲线

5 结论

本文以某化工企业吹脱法脱氨进行废水处理为例,设计了基于 PLC 的污水温度模糊控制器. 该设计以蒸汽作为热源,在 PLC 中采用定时中断组织块实现了离散论域二维模糊控制,通过改变蒸汽调节阀的开度来调节蒸汽的加入量,进而实现对污水处理过程中水温的精确控制,使污水温度保持在设定的范围内. 实验结果表明,该设计控制精度为 1.5 ℃,满足了吹脱塔内污水温度控制精度的要求,有效提高了吹脱法的脱氨效率,且节省成本. 下一步的研究重点是采用在线模糊控制器或神经网络等更为智能的控制方法,进一步提高控制精度.

参考文献:

- [1] 奥斯曼·吐尔地,杨令,安迪,等. 吹脱法处理氨氮废水的研究和应用进展[J]. 石油化工,2014,43(11):1348.
- [2] 平凡. 超声吹脱去除水中高浓度氨氮的方法研究[D]. 天津:天津大学,2012.
- [3] 左爱武. 一种用于蒸氨生产的智能控制系统[D]. 武汉:武汉科技大学,2004.
- [4] 路桂明. 基于模糊 PID 控制的电锅炉温度控制系统的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2007.
- [5] 钟汉如,蔡杰. 基于 PLC 的染色机温度模糊控制器的设计[C]//2013 全国染整可持续发展技术交流会议论文集,北京:1994—2015 China Academic Journal Electronic Publishing House,2013:286—289.
- [6] 吴成强,任国芬,王宏宇,等. 高氨垃圾渗滤液的吹脱条件控制研究[J]. 环境污染与防治,2006,28(8):592.