

自动化

热法海水淡化温度控制系统的设计与仿真

曹美杰, 孙 静

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北唐山 063200)

【摘 要】介绍了热法海水淡化工艺流程和温度控制情况, 然后针对海水淡化主体浓盐水温度控制系统的特点和难点, 对系统进行了研究分析, 设计了一个模糊自适应整定 PID 温度控制器, 并通过 MATLAB 仿真实验验证了所设计的控制器具有良好的控制效果, 可以实现调节时间短、超调量小、稳定性好的控制目标。

【关键词】海水淡化; 温度控制; 自适应 PID 控制器; 仿真

【中图分类号】P747

【文献标识码】B

【文章编号】1006-6764(2017)09-0069-05

DOI:10.13589/j.cnki.yjdl.2017.09.021

Design and Simulation of the Temperature Control System
of Thermal Seawater desalination

Cao Meijie, Sun Jing

(Shougang Jingtang United Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063200, China)

【Abstract】The process flow and temperature control condition of thermal seawater desalination in Shougang Jingtang Steel is introduced. Through study and analysis of the characteristics and difficult points in seawater desalination brine temperature control, a fuzzy adaptive tuning PID temperature controller was designed to control the temperature of the first unit concentrated brine. The good control effect of the controller was proved by MATLAB simulation and it can achieve the control target of short tuning time, small excessive tuning and high stability.

【Keywords】seawater desalination; temperature control; adaptive PID controller; MATLAB simulation

引言

首钢京唐公司的热法低温多效海水淡化日产 5 万 t 的海水淡化一期工程已于 2010 年竣工投产, 目前即将进行海水淡化二期工程建设, 规模为 2.5 万 t/d。对于首钢京唐这样的沿海钢铁厂来说, 通过海水淡化技术可以取得充足的淡水资源从而降低钢铁制造成本。

海水淡化生产过程中对温度、液位、压力等控制要求非常高, 如果控制不好会影响产量甚至产水质量不合格或者对设备造成损害。尤其是海水淡化蒸发器第一效浓盐水温度的控制, 要求温度必须自动控制控制在 63 ± 2 °C, 过高或过低都会对生产和设备产

生不利影响。因此本文将针对该控制难点进行研究分析, 设计了一个温度控制器并进行仿真, 验证了其性能良好。

1 首钢京唐海水淡化工艺流程及温度控制现状

首钢京唐公司低温多效海水淡化主体工艺流程如下图 1 所示。海水淡化系统在正常运行时进入主体装置介质为海水和蒸汽, 系统的产出介质为成品水、冷凝水和浓盐水。

海水淡化蒸发器主体的主要温度测点及其设计值如表 1 所示。

表 1 蒸发器主要温度测点及设计值

°C

蒸发器	末效出口海水温度	补给水加热器后海水温度	一级冷凝器后海水温度	二级冷凝器后海水温度	第一效浓盐水温度	末效浓盐水温度	第一效进蒸汽温度
U1	39	50	56	60	63	41	74
U2	39	50	56	60	63	41	74

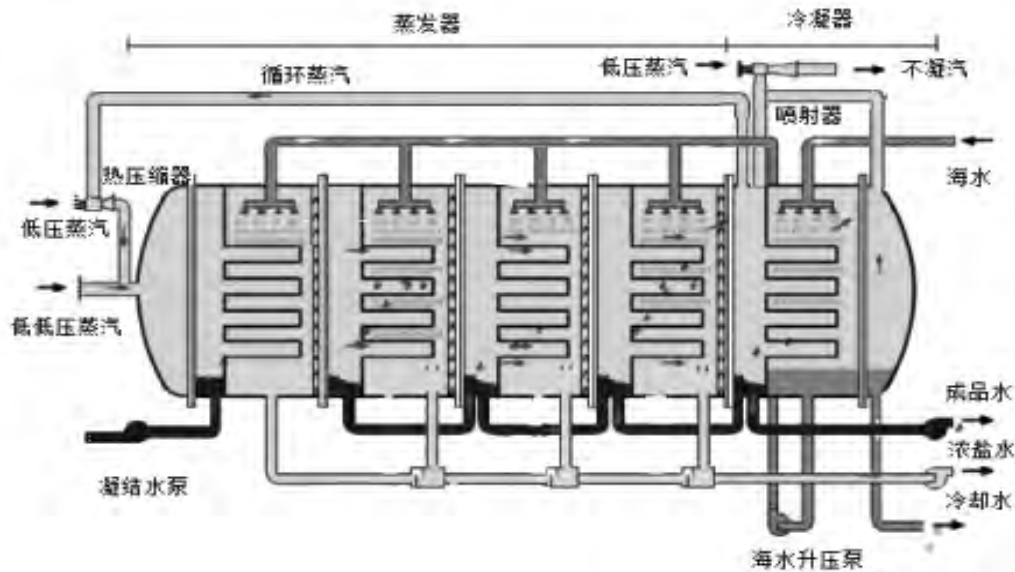


图1 低温多效海水淡化流程示意图

在海水淡化主体中,海水首先进入主体的末效冷凝器经过换热后温度达到 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$,并经过分支流入第五、六、七效,再经过补给水加热器加热到 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 分支流入二、三、四效,然后继续由一级冷凝器和二级冷凝器加热到 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后流入第一效。在整个海水路由中必须严格控制各个部位海水的温度在设计值,才能使海水淡化主体保持最优的性能发挥最大的生产效益。

在这里最重要的还是第一效浓盐水和末效浓盐水温度的控制,其温度必须分别控制在 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 才能保证海淡主体有一个最优的热动力平衡和能量转换状态,从而发挥最大的生产效益。目前这两个温度的控制主要是由人来参与控制,当发现温度值偏离设定值时运行人员通过对流量调节阀开度的控制实现对海水流量的控制,从而使温度最终再恢复到设定值。这样调节的一个缺点就是调节时间相对较长,而且也容易产生较大的温度波动,从而无法保证最大生产效益的发挥。

所以有必要对这些重要温度点尤其是第一效浓盐水温度的控制进行深入研究。由于海水蒸发器可以看成是一个换热器,该被控对象是非线性、时变性系统,并具有一定的滞后性,要想实现对其温度的快速、准确控制,必须要运用到先进智能控制理论才能实现。

2 第一效浓盐水温度控制策略

2.1 浓盐水温度控制系统特点

海水淡化蒸发器的内部处于负压状态。其中第一效浓盐水的温度不仅与进入本效的海水流量和海

水加热达到的温度有关,而且与进入本效的汽轮机乏汽温度、压力、流量有关,同时还与海水淡化主体内蒸汽与海水的换热空间分布有关;另外,钢铁厂蒸汽管网蒸汽量很容易产生波动,从而会使进入第一效的蒸汽流量发生变化,给第一效的平稳运行造成扰动,因此它是一个大滞后、非线性、时变系统。在第一效温度控制器设计中,决定采用模糊自适应PID控制器,根据浓盐水实际温度变化情况,通过模糊规则进行推理和决策,在线实时自动调整PID控制参数,从而实现对第一效浓盐水温度的自适应控制。

2.2 模糊自适应PID控制原理

模糊自适应PID控制是以偏差和偏差变化率作为输入变量,PID的三个参数作为输出变量,控制器根据输入偏差和偏差变化率的不同情况及建立好的模糊控制规则进行自动调整和整定PID参数,其控制原理结构如图2所示。

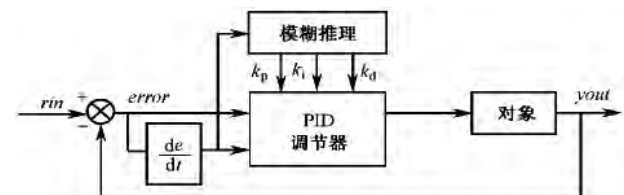


图2 模糊自适应PID控制器框图

由图2可知,该控制器是通过控制对象的实际反馈值和目标设定值作比较运算得到误差和误差的变化率 ec ,然后以上述两个变量为输入语言变量,通过模糊控制器的规则库及相应算法对PID调节器的三个整定参数 k_p 、 k_i 、 k_d 的进行实时在线调整,以满足在不同误差和误差变化率情况下对PID参数的

不同要求,从而使被控对象具有良好的动、静态性能。

3 浓盐水温度控制器设计

3.1 首效模型及温度控制系统建立

蒸发器第一效模型示意图如图 3 所示。海水淡化主体蒸发器每一效内部有换热管束,海水补给水通过调节阀从上部流进效内,与进入换热管的蒸汽进行换热蒸发,其中海水有一部分受热产生的蒸汽进入下一效作为生产蒸馏水的热源,未蒸发的海水形成浓盐水最后聚集到浓盐水槽通过浓盐水泵排出;第一效的换热管内的蒸汽冷却形成冷凝水最后也被冷凝水泵排出。

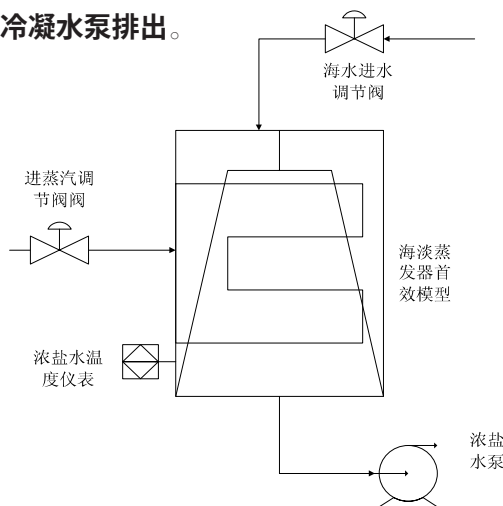


图 3 海淡蒸发器第一效模型示意图

假设 G_1 和 G_2 分别是进效海水和汽机排汽的流量, C_1 和 C_2 分别是进效海水和排汽的比热容, T_{11} 和 T_{21} 分别是海水和排汽的温度, T_{10} 浓盐水温度, 也是

我们重点控制目标。

对于图 3, 其输入变量 T_{11} 、 T_{21} 、 G_1 、 G_2 和输出变量 T_{10} 的函数关系为:

$$T_{10} = f(T_{11}, T_{21}, G_1, G_2) \quad (1)$$

蒸汽经换热管束将热量传给进入海水淡化主体内的海水, 首先蒸汽将热量传到换热管的管壁上, 使管壁温度升高, 再通过热传导方式将热量传递给海水, 因此蒸发器内部蒸汽与海水的换热是经过两次热传递的过程, 从而形成了二阶惯性环节, 而且海水通过受热蒸发变为浓盐水的过程所经历的时间较短, 系统具有纯滞后特点。因此对于海水淡化蒸发器第一效的动态特性, 可用如下的二阶惯性环节加滞后公式来描述:

$$G_2(s) = \frac{ke^{-t_3s}}{(t_1s+1)(t_2s+1)} \quad (2)$$

3.2 首效浓盐水温度控制系统设计

前面已经提到, 由于钢厂其他主工序的生产情况随时都有可能变化, 因此蒸汽管网的蒸汽压力和蒸汽量会发生变化, 从而会造成送给海淡主体的供汽量发生变化。由于蒸发器首效为二阶惯性滞后系统, 属于典型的纯滞后、非线性和时变性系统, 在系统运行过程中, 如果不及时对相应的 PID 参数做出调整, 则浓盐水的温度控制效果会很不理想, 所以必须由模糊参数自适应控制器根据控制对象的变化实时对 PID 参数做出调整, 从而克服控制对象的时变性、滞后性难点, 使浓盐水温度自动稳定在设定值。首效浓盐水温度模糊自适应 PID 控制系统如图 4 所示。



图 4 第一效浓盐水温度控制系统框图

示。

4 模糊自适应 PID 控制器的 MATLAB 仿真^[1]

4.1 控制器的 MATLAB 仿真

在 3.1 节中, 将海水淡化蒸发器第一效换热系统简化为了二阶惯性滞后系统。假设时间常数 $t_1=8$, $t_2=6$, $t_3=1$ 静态增益 $k=3$, 则蒸发器第一效换热系统

的传递函数为

$$G_2(s) = \frac{3e^{-s}}{(8s+1)(6s+1)} \quad (3)$$

下面用 MATLAB 仿真软件来验证模糊自适应 PID 控制器的控制效果。在 MATLAB 的 SIMULINK 环境下搭建系统模型并进行仿真^[2]。

模糊规则编辑器, 将模糊控制规则以 if-then... 的形式添加进去, 存盘后将其输出到工作空间。并通

过规则浏览器来进行 k_p, k_i, k_d 的清晰量的计算, 可得出模糊控制表。在 Simulink 模块库窗口下, 创建新仿真图。在 Simulink 中有仿真所需要的各种功能的模糊逻辑控制器方块图, 可根据需要将其添加到建

立的仿真模型中, 在建立仿真模型过程中必须使模糊逻辑控制器方块图的模糊推理矩阵名称与建立的模糊推理系统名称一致, 从而完成模糊推理系统与 Simulink 的连接。搭建系统仿真模型见图 5。

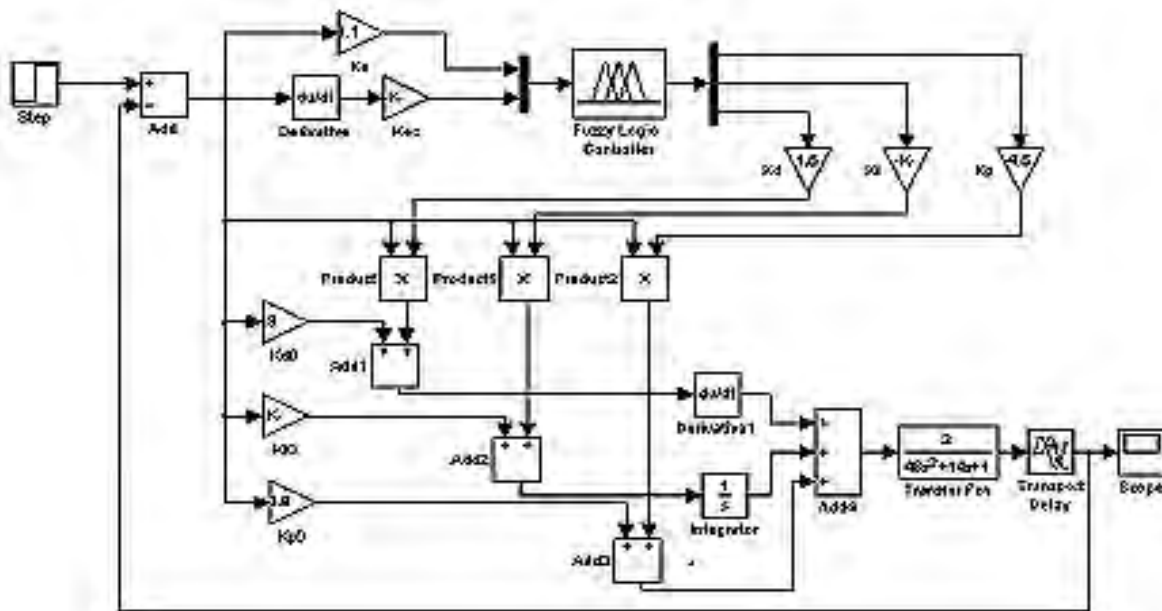


图5 仿真模型

4.2 仿真结果分析

仿真结果见图 6。

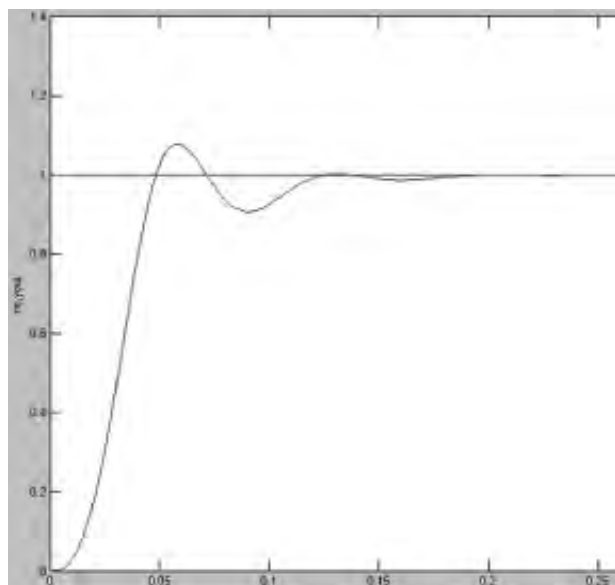


图6 仿真效果曲线

通过仿真结果曲线可看到, 模糊自适应 PID 控制系统可以根据系统误差和误差 e 变化率 ec 对 PID 的三个参数 k_p, k_i, k_d 实时在线修正, 系统的超调量小, 可以稳定在 5% 以内, 而且系统的调节时间 t_s

约为 0.25T, 快速性和稳定性较好, 因此该所设计的控制器具有抗参数变化的鲁棒性, 其动态性能、静态性能均能够达到预期目标, 能够满足海水淡化蒸发器第一效浓盐水温度控制的要求。

5 总结与展望

针对海水淡化主体首效浓盐水温度的控制难点, 本文提出了相应的控制策略, 并设计了海水淡化主体蒸发器第一效浓盐水温度控制器, 并利用 MATLAB 仿真软件对设计的控制器进行了仿真, 仿真结果表明该控制器控制性能良好, 能够实现预期的控制效果。本文的设计成果对首钢京唐二期海水淡化工程的建设 and 控制难点的解决具有一定的指导意义。

[参考文献]

- [1] 刘金琨. 先进 PID 及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社. 2003: 49-125.
- [2] 郭军平, 吴勇等. 基于模糊 PID 的随动系统优化设计与仿真[J]. 计算机仿真. 2005, 22(11): 157-160.

收稿日期 2017-05-16

作者简介: 曹美杰 (1983-), 男, 毕业于安徽工业大学电气信息学院自动化专业, 大学本科学历, 工程师, 现从事电气自动化专业管理工作。