

# 油田直热炉温度/流量的模糊控制

庞丽萍, 王 浚

(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

**摘 要:** 如果控制不当直热炉燃烧过程中会出现偏流现象, 将导致加热管内结焦, 多次烧焦后就必须更换加热管。在分析直热炉燃烧过程中的偏流成因和处理手段的基础上, 提出油田直热炉温度/流量的模糊控制方案。该方案实施后偏流问题得到了彻底的解决, 使得加热管一直连续使用而无须更换。另外, 还提出采用离散模糊控制器的新方法, 完全可以解决其它流体的流量分配控制系统运行中的偏流问题。实际运行表明该方案是合理和有效的。

**关 键 词:** Fuzzy 控制; 均匀控制; 直热炉; 偏流

中图分类号: TE963; TP273 文献标识码: A

## 1 前 言

直热炉是油田现场应用比较广泛的加热设备, 其工艺流程主要是将采油厂输送来的原油经三根不同的管线送入直热炉, 加热后在出口处汇合到同一根管线中为原稳装置提

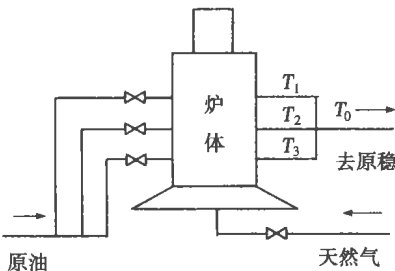


图 1 控制系统工艺流程

供温度稳定的加热原油, 简易原理如图 1 所示。

直热炉加热系统对自动控制提出的主要指标是: 出口汇管温度  $T_0$  的控制和三管流量均匀控制。出口汇管温度  $T_0$  和三管流量均匀性直接影响原稳装置的产量和质量。出口汇管温度  $T_0$  的平稳状态是通过调整天然气调节阀的开度来实现的, 以控制原油总体加热量合适。而三管流量均匀性控制的实现方法是通过测三管出口油温 ( $T_1, T_2, T_3$ ) 来分别控制三管入口给油量。

三管流量的偏流将导致加热管内结焦, 结焦后

会造成更大的偏流直至导致无法正常进行生产, 这时要进行烧焦处理。由于烧焦会严重缩短加热管的使用寿命, 若干次烧焦后就需要更换加热管。从前的手动控制主要依赖操作人员的经验, 生产过程极不稳定, 经常出现出口原油温度的不稳定和加热管的频繁更换的现象, 造成很大的经济损失。

由于流量控制问题不易建立清晰的控制模型, 为了解决此问题, 笔者拟采用模糊控制方案。模糊控制器通过模糊逻辑和模糊推理把操作者的经验形式化和模型化, 变成计算机能接受的控制模型, 适合于用来解决难于建模的模糊对象的控制问题<sup>[1~3]</sup>。近年来, 模糊控制器在理论和应用方面均有长足进展<sup>[3~5]</sup>。所以在直热炉上述控制问题中, 出口汇管温度  $T_0$  采用普通 PID 控制即可得到满意的效果, 而针对流量均匀控制, 文中提出了模糊控制方案。下面将重点介绍模糊控制方案。

## 2 直热炉模糊控制方案的建立

### 2.1 直热炉模糊控制方案

根据直热炉操作经验, 流量控制的响应速度快, 而温度响应慢, 我们是用控制温度的方法来间接控制流量, 控制周期较长, 采用一维模糊控制可以满足控制要求, 实验也证明如此。选取三管出口温度 ( $T_1, T_2, T_3$ ) 为检测量, 三管输入调节阀开度 ( $K_1, K_2, K_3$ ) 为控制量。控制方案框图见图 2。

下面举例说明直热炉模糊控制方案。首先将三管温度的测量值在系统状态识别中排列出大、中、小三种状态。例如当  $T_1$  最大,  $T_3$  最小, 则  $T_{\max} = T_1$ ,  $T_{\text{mid}} = T_2$ ,  $T_{\min} = T_3$ 。此时系统状态识别输送给三个模糊控制器的输入为:  $e_1 = T_1 - T_{\text{mid}} > 0$ ,  $e_2 = T_2 - T_{\text{mid}} = 0$ ,  $e_3 = T_3 - T_{\text{mid}} < 0$ 。输出给选择开关的控制端  $c_1 = 1 (T_1 = T_{\max})$ , 表示需要经过模糊控制器计算, 此时开关的输出为模糊控制器的输出  $u_1$ , 即

$K_1 = u_1$ , 实现温度最高管所对应的阀全开大, 使该管原油流量增大, 温度必然减小; 而  $c_2 = 0 (T_2 = T_{mid})$ , 表示该管温度处于中间值;  $c_3 = -1 (T_3 = T_{min})$ , 表示需要经过模糊控制器计算, 此时开关的输出为模糊控制器的输出  $u_3$ , 即  $K_3 = u_3$ , 实现温度最低管所对应的阀全关小, 使该管原油流量减少, 温度必然升高。

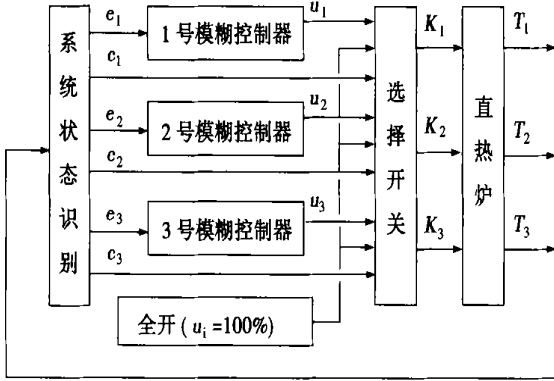


图 2 直热炉模糊控制方案框图

从以上分析可知, 系统状态识别环节容易实现, 控制方案实现的重点是模糊控制器的设计。

### 2.2 模糊子集的选取

选取单管温度与三管中中间温度的差值为模糊控制器输入量, 阀的开度为控制量, 输入和输出的模糊子集分别记为:

输入: {NB 小偏流, ZO 中偏流, PB 大偏流};  
输出: {PB 大开, PM 中开, PS 小开}。

根据操作工人的控制经验和现场实验, 输入量与输出量的论域为:

$$e \in [-6, 6] \quad u \in [0, 100]$$

## 3 模糊控制器设计

### 3.1 模糊化

输入变量  $e$  离散化分为  $[-5, -3, -1, 0, 1, 3, 5]$  7 挡, 输出变量  $u$  离散化分为  $[40, 50, 60, 70, 80, 90]$  6 挡。输入和输出模糊集合的隶属函数选为三角形(在分析实际情况后多次修改所得), 见图 3。由此可得到  $e$  和  $u$  的模糊子集赋值表, 见表 1。对于一个精确输入量, 先将其量化, 再通过查表可得其隶属度, 于是该输入量被模糊化。

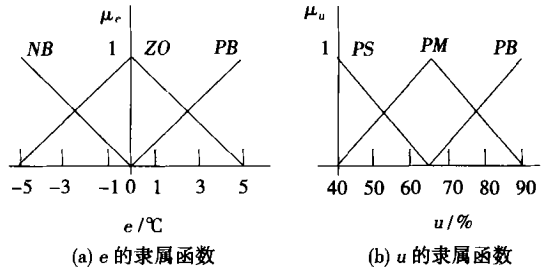


图 3 隶属函数

### 3.2 模糊推理

模糊推理由三条控制规律组成:

$$R = \bigcup_{i=1}^3 R_i$$

$R_1$ : if  $e = NB$  then  $u = PB$ ;

$R_2$ : if  $e = ZO$  then  $u = PM$ ;

$R_3$ : if  $e = PB$  then  $u = PS$ 。

计算单一规则的隶属函数, 将 then 一部分的隶属函数用条件部分的满足度加以限制, 限制方法采用最大最小推理规则<sup>[2]</sup>, 依次可计算出所有输入离散点的模糊输出, 见表 2。同样可计算出规则  $R_1, R_2, R_3$  的模糊关系阵, 见表 3 和表 4。由于规则  $R_1, R_2, R_3$  是由 or 算子联接的, 故总的模糊输出为三个隶属函数的最大值, 见表 5。

表 1 模糊子集赋值

$e$	NB	ZO	PB	$u$	PS	PM	PB
-5	1	0	0	40	1.0	0.0	0.0
-3	0.6	0.4	0	50	0.6	0.2	0.0
-1	0.2	0.8	0	60	0.2	0.8	0.0
0	0	1	0	70	0.0	0.8	0.2
1	0	0.8	0.2	80	0.0	0.2	0.6
3	0	0.4	0.6	90	0.0	0.0	1.0
5	0	0	1				

表 2 规则  $R_1$  模糊输出关系阵

$e$	$u$					
	40	50	60	70	80	90
-5	0	0	0	0.2	0.6	1
-3	0	0	0	0.2	0.6	0.6
-1	0	0	0	0.2	0.2	0.2
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0

表 3 规则  $R_2$  模糊输出关系阵

$e$	$u$					
	40	50	60	70	80	90
-5	0	0	0	0	0	0
-3	0	0.2	0.4	0.4	0.2	0
-1	0	0.2	0.8	0.8	0.2	0
0	0	0.2	0.8	0.8	0.2	0
1	0	0.2	0.8	0.8	0.2	0
3	0	0.2	0.4	0.4	0.2	0
5	0	0	0	0	0	0

表 4 规则  $R_3$  模糊输出关系阵

$e$	$u$					
	40	50	60	70	80	90
-5	0	0	0	0	0	0
-3	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
1	0.2	0.2	0.2	0	0	0
3	0.6	0.6	0.2	0	0	0
5	1	0.6	0.2	0	0	0

表 5 总规则  $R$  模糊输出关系阵

$e$	$u$					
	40	50	60	70	80	90
-5	0	0	0	0.2	0.6	1
-3	0	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6
-1	0	0.2	0.8	0.8	0.2	0.2
0	0	0.2	0.8	0.8	0.2	0
1	0.2	0.2	0.8	0.8	0.2	0
3	0.6	0.6	0.4	0.4	0.2	0
5	1	0.6	0.2	0	0	0

3.3 去模糊化

采用面积重心法去模糊化方法, 即:

$$u^* = \frac{\sum_{j=1}^n u_j \mu_U(u_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_U(u_j)}$$

其中  $n$  是输出离散化的阶数。对于  $e = 1$  模糊控制器输出的非模糊值为:

$$u^* = (0.2 \times 40 + 0.2 \times 50 + 0.8 \times 60 + 0.8 \times 70 + 0.2 \times 80 + 0 \times 90) / (0.2 + 0.2 + 0.8 + 0.8 + 0.2 + 0) = 58.64$$

表 6 总模糊输出查询

量化前 $e / ^\circ\text{C}$	量化后 $e / ^\circ\text{C}$	$K$ 阀开度 / %	$I / \text{mA}$
[-6 -4)	-5	84.44	6.49
[-4 -2)	-3	74.55	8.07
[-2, -0.5)	-1	67.27	9.24
[-0.5 0.5)	0	65.00	9.60
[0.5, 2)	1	58.64	10.62
[2 4)	3	55.45	11.13
[4 6]	5	45.56	12.71

计算所有输入值得查询表, 见表 6。表中  $I$  为阀的输入电流信号(调节阀为输入信号是 4 ~ 20 mA 的

气关阀)。

4 系统构成和软件设计

本系统由 PC 工控机实现, 采用 VB 语言编制软件, 控制周期选为 90 s, 每个量每秒采样 20 次, 求平均作为一个样本, 将 90 s 所得数据经滤波处理后作为检测量。根据采集到的信息, 将直热炉的实际工作状态在屏幕上显示出来。系统框图见图 4。

本系统在大庆天然气公司杏树冈油气处理站投入运行。运行结果表明: 三管流量在微机控制下达到平稳, 减少了结焦现象, 每年的烧焦量都非常少, 7 年来加热管一直连续使用而无须更换, 使烧焦周期延长了 1 倍, 加热管的使用寿命延长了 4 倍以上。同时减轻了工人的劳动强度。

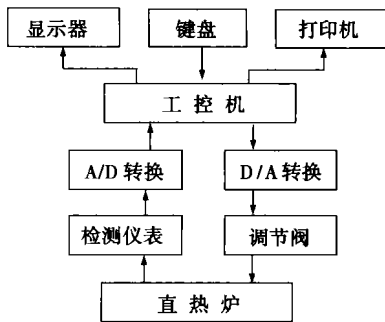


图 4 系统实现框图

5 结 论

直热炉模糊控制系统的使用, 实现直热炉生产的自动化, 达到了提高供料质量、降低能耗的要求, 解决了偏流和结焦问题, 取得了一定的经济效益和社会效益。证明模糊控制方案是合理的和有效的。此外其它流体的流量分配控制系统运行中的偏流问题, 完全可以采用离散模糊控制器的新方法来解决。

参考文献:

[1] 王 磊, 王为民. 模糊控制理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.  
 [2] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.  
 [3] 袁铸钢, 王孝红. FUZZY 控制理论在水泥机立窑煅烧过程的应用[J]. 自动化学报, 1999, 25(1): 25-31.  
 [4] 刘志强, 关学忠. 一种克服大范围随机扰动的全信息 FUZZY 控制器[J]. 大庆石油学院学报, 1993, 17(3): 87-90.  
 [5] 关学忠, 唐国维. FUZZY 控制器在液位控制中的应用[J]. 黑龙江自动化技术与应用, 1998, 17(3): 85-86.

(何静芳 编辑)

[刊, 汉] / SHEN Xiang-zhi, YAN Jian-hua (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027), LU Tai (Power Engineering Department, Northeast Electric Power Institute, Jilin, China, Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 497 ~ 500

On the basis of experimental research a method for designing J-shaped refeed valve was developed from the perspective of structural dimensions, air-charging pressure and quantity. Some engineering calculation examples are given, which can serve as reference data during the design of circulating fluidized bed boilers. **Key words:** circulating fluidized bed boiler, J-shaped refeed valve, design method

单级叶片倾角对百叶窗浓缩器分离特性影响的工业试验 = **Industrial Tests For Clarifying the Impact of Single-stage Blade Dip Angle on the Separation Characteristics of a Louver Concentrating Device** [刊, 汉] / YANG Long-bin, LI Zheng-qi, CHEN Li-zhe, et al (College of Energy Science & Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 501 ~ 503

On a 670 t/h bituminous coal-fired boiler equipped with a race pulverizer-based direct-fired pulverized-coal preparation system, single-stage blade and gas-solid two-phase tests were conducted to determine the separation characteristics of a louver concentrating device. It is found that with the dip angle of a single-stage movable blade set at  $32^\circ$  the share of fuel-rich primary air is relatively low, the separation and concentrating efficiency are relatively high. Meanwhile, the comprehensive resistance loss factor and pressure loss is respectively 0.92 and 471 Pa. **Key words:** boiler, concentrating device, louver, gas-solid flow

油田直热炉温度/流量的模糊控制 = **Fuzzy Control of the Temperature and Flow Rate of an Oil Field Direct-heated Furnace** [刊, 汉] PANG Li-ping, WANG Jun (Department of Flight Vehicle Design and Applied Mechanics, Beijing University of Astronautics and Aeronautics, Beijing, China, 100083) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 504 ~ 506

The improper control of a direct-heated furnace installed at an oil field will give rise to bias-flows during its combustion, often resulting in coke formation in the heating tubes, which eventually have to be replaced. On the basis of analyzing the underlying causes of bias flows during the operation of the direct-heated furnace and possible measures for dealing with such flows a fuzzy control scheme for the temperature and flow rate has been proposed for the furnace. The implementation of the scheme has thoroughly solved the problem of bias-flows, eliminating the need for replacement of the heating tubes. Moreover, the use of a discrete fuzzy controller proposed by the authors can also solve the bias-flow problems in other control systems involving the distribution of fluids. **Key words:** fuzzy control, uniformity control, direct-heated furnace, bias flow

电厂负荷调度的智能决策方法 = **Intelligent Decision-making Methods for Load Dispatching in Power Plants** [刊, 汉] / YU Guo-qiang, LU Jian-hong (Department of Power Engineering, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), GONG Cheng (Tiansheng Harbor Power Generation Co. Ltd., Nantong, Jiangsu Province, China, Post Code: 226000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(5). — 507 ~ 511

Iso-micro increase approach and dynamic planning are two methods of optimized dispatching of power plant loads currently in common use. After a comparison of the above two methods the authors have pointed out their defects in the actual dispatching of plant loads. On this basis an intelligent decision-making strategy is proposed to reduce the cost of power generation, taking advantage of the actual experience gained in load dispatching. With respect to four units of 125MW plant installed at Tiansheng Harbor Power Generation Co. Ltd in Nantong City an optimized load dispatching system was developed, based on load intelligent decision-making strategy. **Key words:** load dispatching, iso-micro increase method, dynamic planning method, intelligent decision-making strategy, rules base

用于现场测量深层岩土导热系数的简化方法 = **A Simplified Method for On-site Measurement of the Thermal**