

文章编号: 1003-7837(2006)04-0292-04

# 连续碳酸化分解工序进料流量的智能集成控制系统

何 卉, 桂卫华, 阳春华, 彭 勃

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:** 连续碳酸化分解的生产过程控制复杂, 具有长流程、大滞后、非线性、强干扰、强耦合的特性, 对其难以建立精确描述的数学模型. 针对这些问题提出了一种实时智能控制方案, 将专家系统与基于模糊联想记忆(FAM)的模糊控制进行综合决策, 设计成一个集成环境的实时智能控制系统, 并应用于碳酸化分解过程的进料流量控制中. 运行结果表明, 该方法是有用的.

**关键词:** 连续碳酸化分解; 模糊控制; 专家系统; 综合智能决策

**中图分类号:** TP273      **文献标识码:** A

氧化铝生产过程中的分解工序主要有加晶种分解(简称种分)和碳酸化分解(简称碳分)两类, 拜耳法生产氧化铝一般采用种分, 而混合法与烧结法都采用碳分. 国内对分解过程自动控制的研究起步较晚, 且大多数是在种分过程中的研究, 而对碳分过程自动控制的研究很少. 目前, 碳分过程主要是操作工人根据成分检测结果, 手动调节各项参数, 自动化水平低, 受人为因素的影响较大.

由于碳分过程的流程长、滞后大、耦合性与干扰强, 当工况发生变化或出现较大的扰动时, 用传统的控制方法不能满足要求. 因此, 我们提出了一种并联决策结构的智能集成控制方法<sup>[1-2]</sup>, 即根据过程控制情况对专家系统和模糊控制进行综合决策, 确定当前时刻用到的控制模块. 在模糊控制器中, 构造模糊联想记忆(FAM)规则, 建立并行推理机制. 在实际运行中, 取得了令人满意的应用效果.

## 1 碳分过程

在烧结法生产氧化铝的工艺中, 碳分是一个非常重要的中间生产过程, 接受上游车间的精液(铝酸钠溶液), 并向下游车间提供碳分母液. 在铝酸钠溶

液中通入  $\text{CO}_2$ , 中和溶液中的苛性碱, 降低溶液的分子比, 从而降低溶液的稳定性, 使铝酸钠分解.

某氧化铝厂碳分工序有 2 个高位槽和 3 组分解槽(每组有 6 个分解槽). 3 组分解槽的工作过程相同, 都是利用压缩空气提料, 使料浆从首槽(1 号分解槽)依次流向末槽(6 号分解槽). 6 号分解槽作为出料槽, 对分解的料浆进行缓冲, 最后得到  $\text{SiO}_2$  杂质含量较少的氢氧化铝沉淀和碳酸化分解母液(主要成分为碳酸钠), 料浆从入槽到出料大约需要 4 h. 对料浆每小时取样一次, 成分分析检测一般离线进行, 检测结果滞后取样时间 30~40 min.

碳分过程的优化控制主要包括对进料流量的调节和对 4 号、5 号分解槽  $\text{CO}_2$  通气量的调节, 其关键是对进料流量的调节. 调节进料流量主要是为了保证首槽的分解率、整体的分解率梯度及分解槽液位的稳定.

## 2 智能集成控制模块

智能集成控制模块的整体设计如图 1 所示. 其基本工作原理是: 当高位槽液位与 1 号分解槽液位正常时, 智能集成控制器的输出为模糊控制器的输

出,专家系统不起作用;当高位槽液位过低或过高时,智能集成控制器的输出为专家系统的输出,模糊控制器不起作用。

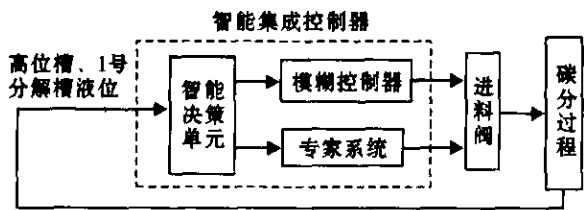


图 1 整体控制框图

Fig. 1 Block diagram of whole control system

### 2.1 模糊控制器的设计

当高位槽与 1 号分解槽的液位正常时,启动模糊控制器。以由 2 号高位槽供料的 II 组对象为例,模糊控制器的结构如图 2 所示。

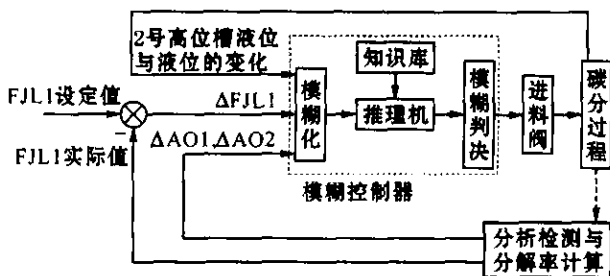


图 2 模糊控制器结构图

Fig. 2 Diagram of fuzzy controller

影响进料流量的因素很多而且复杂,文献[3]对此进行了分析,得出的结论是,1 号分解槽分解率的设定值(FJL1 设定值)、1 号分解槽的分解率(FJL1 实际值)、1 号分解槽氧化铝含量变化(ΔAO1)、2 号分解槽氧化铝含量变化(ΔAO2)和高位槽液位及其变化是影响进料流量调节的关键因素。

为了改善知识表示和推理能力,应用模糊系统方法建立知识表示框架及并行模糊推理机制,构造基于 FAM 规则的进料流量模糊控制器<sup>[4]</sup>。FAM 是一种有效的模糊系统建模方法,被广泛用于模糊控制、人工智能中的知识描述和模式识别中的建模等<sup>[5-7]</sup>。

#### 2.1.1 FAM 规则的构造

知识样本中包括 2 号高位槽液位(H2),2 号高位槽液位的变化(ΔH2),ΔAO1,ΔAO2,ΔFJL1 及进料阀门的改变量(ΔU)。FAM 规则的物理形式为:

万方数据

$$(H2, \Delta H2, \Delta AO1, \Delta AO2, \Delta FJL1; \Delta U), \quad (1)$$

式(1)中,H2,ΔH2,ΔAO1,ΔAO2 和 ΔFJL1 为规则的条件部分,ΔU 为规则的结论部分。

为构造 FAM 规则,采用三角隶属函数对输入输出变量进行模糊量化。H2 和 ΔH2 分别用 3 个语言变量表示;ΔAO1,ΔAO2,ΔFJL1 分别用 5 个语言变量表示;ΔU 用 7 个语言变量表示。为叙述方便,分别用  $A_1 \sim A_5$  和  $B$  表示 H2, ΔH2, ΔAO1, ΔAO2, ΔFJL1 和 ΔU 论域上的模糊集。

这样, $A_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$  和  $B$  可用模糊模式向量表示为:

$$A_i = (a_{i1}, a_{i2} \dots a_{in_i} \in [0, 1]^{n_i}) \quad (i=1, 2, 3, 4, 5), \quad (2)$$

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_7) \in [0, 1]^7, \quad (3)$$

式(2)和式(3)中, $n_i$  为  $A_i$  的子集个数,  $a_{ik} = \mu_{A_i}(x_{ik})$  表示  $x_{ik}$  对  $A_i$  的隶属度,  $b_k = \mu_B(y_k)$  表示  $y_k$  对  $B$  的隶属度。

此时, FAM 规则 (H2, ΔH2, ΔAO1, ΔAO2, ΔFJL1; ΔU) 可用模糊映射来表示,即

$$F(A_1, A_2, A_3) = [A_1 \circ W_{A_1 B}] \cap [A_2 \circ W_{A_2 B}] \cap [A_3 \circ W_{A_3 B}] \cap [A_4 \circ W_{A_4 B}] \cap [A_5 \circ W_{A_5 B}]. \quad (4)$$

式(4)中,运算符“ $\circ$ ”表示极大极小合成运算,  $W_{A_i B} (i=1, 2, 3)$  为连接权矩阵,其值在  $[0, 1]$  范围内。

FAM 规则 (H2, ΔH2, ΔAO1, ΔAO2, ΔFJL1; ΔU) 可用公式表示为:

$$[A_1 \circ W_{A_1 B}] \cap [A_2 \circ W_{A_2 B}] \cap [A_3 \circ W_{A_3 B}] \cap [A_4 \circ W_{A_4 B}] \cap [A_5 \circ W_{A_5 B}] = B. \quad (5)$$

#### 2.1.2 FAM 规则的推理

图 3 为进料流量的推理系统结构。这是一个以二值输入输出模糊联想系统(BIOFAMS)为核心的 6 维非线性 FAM 系统,能实现模糊映射  $F(A_1, A_2, A_3, A_4, A_5) = B$ 。BIOFAMS 把确定的输入变量  $x_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$  转化为二值单位向量  $I_{x_i}^k (I_{x_i}^k$  的第  $k$  个分量为 1,其余分量为 0,其维数由所属论域的离散量化表示而定)。应用式(5)分解模糊映射,输出可表示为:

$$\begin{aligned} B' &= F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = F(I_{x_1}^1, I_{x_2}^1, I_{x_3}^1, I_{x_4}^1, I_{x_5}^1) \\ &= [I_{x_1}^1 \circ W_{A_1 B}] \cap [I_{x_2}^1 \circ W_{A_2 B}] \cap [I_{x_3}^1 \circ W_{A_3 B}] \cap [I_{x_4}^1 \circ W_{A_4 B}] \cap [I_{x_5}^1 \circ W_{A_5 B}] \\ &= a_{1i} \wedge B \cap a_{2j} \wedge B \cap a_{3k} \wedge B \cap a_{4l} \wedge B \cap a_{5t} \wedge B \\ &= \min(a_{1i}, a_{2j}, a_{3k}, a_{4l}, a_{5t}) \wedge B. \end{aligned} \quad (6)$$

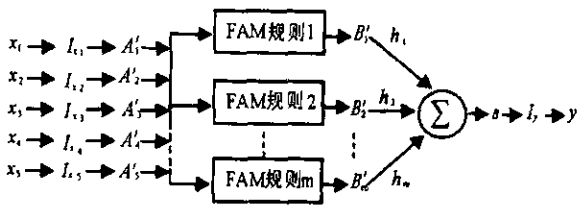


图3 FAM推理原理图

Fig. 3 Reasoning principle of FAM

式(6)即为多条件规则的分解推理结果,其推理过程为:

(1)输入转化:根据相应的离散化值域向量,将确定的输入值  $x_i (i=1,2,3,4,5)$  转化为一维二值向量  $I_{xi}$ .

(2)求出模糊模式向量  $A'_i$ .

(3)匹配与推理:激活规则库中所有匹配的FAM规则  $(A_{1k}, A_{2k}, A_{3k}, A_{4k}, A_{5k}; B_k)$ ,激活原则为  $a_{ik} \neq 0 (i=1,2,3,4,5)$ . 然后根据式(7)推理求出,  $B'_1, B'_2, \dots, B'_m$ .

(4)求出输出向量:对每条规则所得的加权求和,可得输出向量  $B$ ,即

$$B = \sum_{k=1}^m h_k \cdot B'_k, \quad (7)$$

式(7)中,  $h_k$  为一非负常数,反映FAM规则  $(A_k, B_k)$  的可信度.

(5)解模糊:根据重心法对  $B$  进行解模糊处理,可得到表示确定值  $y$  的一维二值单位向量  $I_y^k$ ,进而得到进料阀门开度的改变量  $y$ .

## 2.2 专家系统的设计

碳分工艺要求高位槽与1号分解槽的液位均必须稳定在一定的范围内,如高位槽的液位一般要求在6~9 m,高于9 m容易冒槽,危及人身安全;低于6 m则不能给分解槽提供足够的碳酸化分解原液.当高位槽与1号分解槽的液位不正常时,启动专家系统,应用“IF-THEN”规则进行应急处理,如:

R1: If 2号高位槽液位 > 8.9 m and 2号高位槽液位上升

Then 减小进料阀开度并通知上游车间减少进料;

R2: If 1号高位槽液位 > 9.1 m and 1号高位槽液位上升

Then 减小进料阀开度并通知上游车间减少进料;

万方数据

R3: If 1号高位槽液位 < 6 m and 1号高位槽液位下降

Then 保持进料阀开度并通知上游车间增加进料;

R4: If 1号分解槽液位 > 13.5 m

Then 减小进料阀开度并将CO<sub>2</sub>排空;

R5: If 1号分解槽液位 < 10 m

Then 增大进料阀开度.

## 3 运行结果分析

本系统已成功投入生产运行,现取同一时间段内的II组(智能集成控制器调节)和III组(人工调节)的生产数据进行对比分析.图4和图5分别为1号和2号分解槽的分解率对比曲线.由图4和图5可见,II组比III组的分解率波动小,稳定性更好.

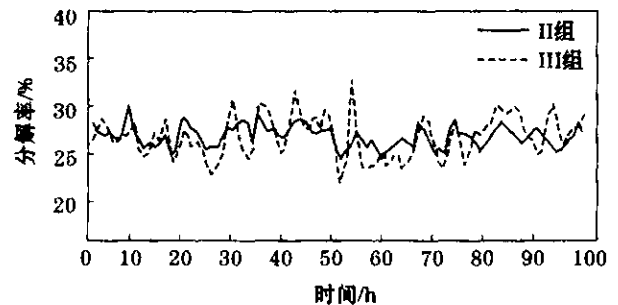


图4 II组、III组1号槽分解率比较

Fig. 4 Comparison of FJL1 between group II and group III

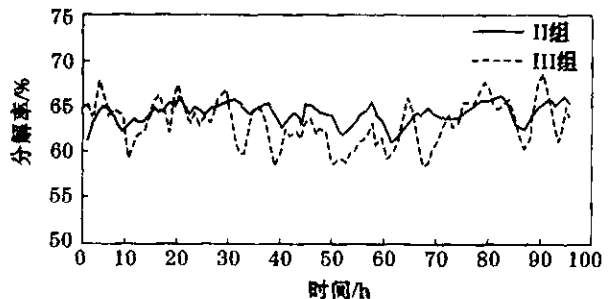


图5 II组、III组2号槽分解率比较

Fig. 5 Comparison of FJL2 between group II and group III

## 4 结论

并联决策结构的智能集成控制方法,适用于烧结法生产氧化铝的连续碳酸化分解工序.该控制方法不依赖于被控对象的数学模型,实现了对长流程、大滞后、强耦合性与强干扰对象系统的控制,取得了令人满意的结果.

## 参考文献:

- [1] 王耀南, 王辉, 彭建春, 等. 复杂工业过程的综合集成智能控制[J]. 信息与控制, 1999, 28(4): 298-304.
- [2] 杜玉晓, 吴敏, 曹卫华, 等. 煤气加热炉分布式智能优化控制系统[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 25(9): 1647-1651.
- [3] 张毅, 桂卫华. 连续碳酸化分解过程进料流量的软测量与控制[J]. 自动化与仪表, 2005(3): 13-16.
- [4] KOSKO B. Neural Networks and Fuzzy System[M]. London: Prentice-Hall, Inc, 1992.
- [5] 朱晓琳, 许汉珍. 船舶避碰的自适应模糊专家系统研究[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(8): 71-73.
- [6] 王士同. 神经模糊系统及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1998.
- [7] 周成容, 杨大地. 基于模糊神经网络的设备故障诊断分析[J]. 重庆科技学院学报: 自然科学版, 2005, 7(3): 81-85.

## Synthetic intelligent control system for flow in process of continuous carbonization precipitation

HE Hui, GUI Wei-hua, YANG Chun-hua, PENG Bo

(School of Information Science & Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** For real complex industrial process plants with long time delay, nonlinear, multi-disturbance, and strong coupling, it is hard to develop practical mathematical models, and the complex plants are difficult to control automatically. Therefore, a new type of synthetic intelligent control system is developed by integrating expert system with fuzzy control based on fuzzy associative memory (FAM), and can be used in the process of continuous carbonization precipitation. The results of actual runs show the effectiveness.

**Key words:** continuous carbonization precipitation; fuzzy control; expert system; synthetic intelligent control