

贫化电炉节能降耗智能决策支持系统^①

苏代雄 梅 焱 彭小奇

(中南工业大学应用物理与热能工程系, 长沙 410083)

摘 要 介绍了渣贫化电炉生产过程智能决策支持系统(IDSS)的结构和功能, 论述了以模糊决策规则为基础的知识库和模型库。该系统具有自学习和自适应功能。仿真结果表明, 用该系统优化出的操作参数指导生产可有效降低单位产品的能耗和有价值金属的随渣损失, 获得良好的生产指标。

关键词 电炉 节能 优化 决策

某厂有 2 台额定功率为 5 000 kW 的贫化电炉, 其主要输入输出量如图 1 所示。其中: 转炉渣为贫化对象; 硫化剂用来硫化贫化过程中还原出的有价值金属; 石英石作为熔剂起造渣和调控渣型作用; 焦粉作还原剂; 贫化过程所需能量由电能供给; 钴、镍和贫化渣为产物。决策目标是使“吨转炉渣耗电量”及“贫化渣含钴、镍量”降至最低。实际生产过程中常利用物料平衡与热平衡模型进行决策, 这对于生产虽然有较大的指导作用, 但这种模型本质上是静态的, 难以适应实际的动态生产过程。因现场检测计量设备不完善、测量结果误差和滞后较大, 很难建立精确的数学模型, 而模糊模型对多变量、非线性、大滞后系统则有良好的描述能力, 故笔者在建立生产过程动态模糊优化决策模型的基础上开发出了贫化电炉生产过程智能决策支持系统。仿真结果表明, 该系统能对实际生产过程进行优化决策, 达到节能降耗、提高有价值金属回收率的目的。

1 智能决策支持系统结构与功能

系统结构见图 2。人机接口实现用户和计算机间的信息交换, 接收并检查由用户输入的各种信息, 输出决策结果及其它有用信息。

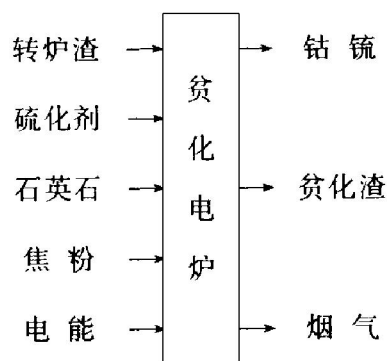


图 1 贫化电炉功能示意图

知识库子系统包括知识库管理系统(KBMS)和知识库(KB)。KBMS 控制数据、知识、模型和方法的综合运用, 将不同子系统有机地联系起来。KB 中存贮的知识被分为决策知识和管理、维护及改进 IDSS 所需的启发性知识, 二者均以产生式规则表示, 其中决策知识用模糊决策规则表示, 以便能更确切地反映实际生产情况。

数据库子系统包括数据库管理系统(DBMS)和数据库(DB)。DBMS 从事编辑、修改和组织数据库文件及文件中的数据, 将数据库与其它子系统联接起来, 输出各种图表或报告。DB 存储生产过程决策所需的全部数据。

模型库子系统包括模型库管理系统(MBMS)和模型库(MB)。MBMS 管理和修改

① 中国有色金属工业总公司高新技术科研基金资助项目
苏代雄, 男, 29 岁, 硕士

收稿日期: 1996- 02- 04; 修回日期: 1996- 06- 06

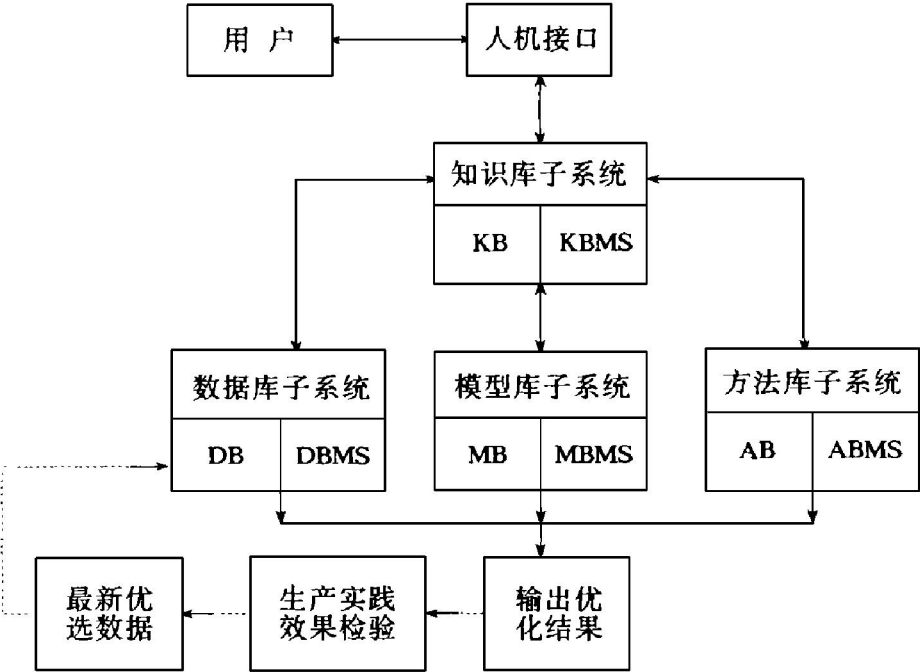


图 2 贫化电炉生产过程智能决策支持系统(IDSS)

模型库的内容。它与知识库的交互作用，可使用户控制对模型的操作和使用；它与数据库子系统的交互作用，能提供各种模型所需要的数据，实现模型输入、输出和中间结果存取自动化；它与方法库子系统的交互作用，可使用相关的方法进行模型辨识等。MB 存放生产过程决策所需的各种模型，由于其内容可自动修改，故 MB 具有自学习和自适应能力。

方法库子系统包括方法库管理系统 (ABMS) 和方法库(AB)。ABMS 的功能类似于 DBMS。AB 存放决策所需的各种方法，如逐步回归分析方法、最小二乘辨识算法等，其内容可由用户增删、修改和调用。

IDSS 具有下述功能:

- (1) 优选样本的格式化采集。
- (2) 工艺与热工过程的基本技术分析(物料平衡、热平衡、元素平衡、物相组成等) 。
- (3) 以节能降耗为目标实现生产过程的优化决策。

2 知识库与模型库

2.1 知识库

以模糊决策规则为例介绍知识库。
定义 1 系统中需进行优化决策的变量称为广义输出变量，记为 y ；决定广义输出变量值的变量称为广义输入变量，记为 x 。

设系统有 n 个广义输入变量 $x_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 和 m 个广义输出变量 $y_j(j = 1, 2, \dots, m)$ ，则确定 y_j 的第 q 条模糊决策规则 R^q 为^[1]:

If x_1 is A_1^q, x_2 is $A_2^q, \dots, x_n$ is A_n^q
Then $y_j^q = a_0^q + a_1^q \cdot x_1 + a_2^q \cdot x_2 + \dots + a_n^q \cdot x_n$ (1)

其中 $A_i^q(i = 1, 2, \dots, n)$ 是在 x_i 的论域上适当定义的模糊子集； y_j^q 是由第 q 条模糊决策规则确定的输出量； $a_0^q, a_1^q, a_2^q, \dots, a_n^q$ 是待辨识的结论参数。

如果关于 y_j 的模糊决策规则数为 L ，那么这 L 条规则的集合即可构成 y_j 的动态模糊决策模型。

2.2 模型库

以动态模糊优化决策模型为例介绍模型库^[2]。

在(1)式中，令
 $\theta_q = [a_0^q \ a_1^q \ a_2^q \ \dots \ a_n^q]^T$ (2)

$\phi = [1 \quad x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n]^T$ (3)

则 $y_j^q = \phi^T \cdot \theta_q$ (4)

对给定的一组输入量 ϕ , 由 L 条模糊决策规则确定的 y_j 为:

$$y_j = \sum_{q=1}^L \lambda_q \cdot y_j^q / \sum_{q=1}^L \lambda_q$$
$$= \sum_{q=1}^L \lambda_q \cdot \phi^T \cdot \theta_q / \sum_{q=1}^L \lambda_q$$
 (5)

加权系数 λ_q 为:

$\lambda_q = \bigwedge_{i=1}^n A_i^q(x_i)$ (6)

式中 “ $\wedge$ ” 表示模糊“与”运算; $A_i^q(x_i)$ 表示 x_i 对 A_i^q 的隶属度。

令 $\phi_q = \lambda_q \cdot \phi^T / \sum_{q=1}^L \lambda_q$ (7)

$\Phi_q = [\phi_1 \quad \phi_2 \quad \dots \quad \phi_L]^T$ (8)

$\theta = [\theta_1^T \quad \theta_2^T \quad \dots \quad \theta_L^T]^T$ (9)

则 $y_j = \Phi_q^T \cdot \theta$ (10)

式(10)即为广义输出变量 y_j 的决策模型。其中 Φ_q 是由第 q 组输入量决定的常数向量, θ 为待辨识的参数向量。

为确定模型结构, 根据残差平方和判定模型阶次^[3]; 用逐步回归分析法辨识影响输出变量的主要因素; 用模糊优化决策模型辨识算法确定模型结论参数。

定义 2 设某班入炉转炉渣量为 $d_1(t)$, 吨转炉渣耗电量为 $d_2(kWh)$, 电价为 V_z (元/ kWh), 贫化渣量为 $Z_a(t)$, 渣含钴量为 Z_c (%), 渣含镍量为 Z_n (%), 钴价为 V_c (元/ t),

镍价为 V_n (元/ t), 则定义该班耗损函数 h 为:

$$h = [d_1 \times d_2 \times V_z + (Z_c \times V_c + Z_n \times V_n) \times Z_a / 100] / d_1 \quad (\text{元}/t)$$
 (11)

耗损值越低, 生产状况越好, 故以 h 为衡量指标, 从实际生产数据中优选出 N 组数据($N \geq \theta$ 中待辨识的参数个数), 利用参数估计的最小二乘法^[3]求得 θ 。

外部条件及系统结构参数的缓慢时变可能使模型决策效能逐渐下降。为使模型具有自适应性, 利用生产中获得的新的优化数据重新求解 θ 。因求解 θ 过程中所用数据均是优选数据, 故所得模型为优化模型。

3 仿真结果

从实际生产数据中选择 40 组优化数据进行仿真, 结果如附表所示。因仿真用数据均为优选数据, 故仿真平均值与操作最佳平均值很接近, 说明所开发的系统能对实际生产过程进行优化决策, 达到节能降耗、提高有价金属回收率的目的。

4 结论

(1) 以智能模糊控制原理、系统辨识技术及计算机信息处理技术为基础开发出的贫化电炉生产过程 IDSS 具有自学习和自适应性, 能对多变量、非线性、大滞后的生产过程进行优化决策, 有效地降低有价金属随渣损失和吨转炉渣耗电量, 快速准确地提供生产过程有关报表, 便于改进生产工艺和条件。

附表 仿真结果及误差

	转炉渣 /包	硫化剂 /t	石英石 /t	焦粉 /t	化料时间 /h	贫化时间 /h	放铀量 /包	放渣量 /包
操作最佳值 (平均)	6.0	8.4	2.9	1.9	4.14	1.34	0.1	3.1
仿真平均值	6.0	9.2	3.0	2.2	4.20	1.40	0.2	3.2
平均误差 百分数/%		10.5	4.7	16.1	5.8	7.0	- *	8.1

* 现场放铀不连续, 故放铀量的相对误差值无实际意义, 表中未予比较。

(2) 动态模糊优化决策模型克服了以物料平衡和热平衡为基础的静态模型难以适应动态生产过程的缺陷, 特别有助于积累有大量生产数据和丰富的操作控制经验, 但很难建立精确数学模型的有色冶炼过程实现优化决策。

(3) 系统具有很好的通用性。计算所用原始数据可由用户根据现场具体情况随时修改, 决策模型可随时利用新的优选数据进行修正。因此, 本系统的结构和方法库可以很方便地应

用于各种不同具体用途的贫化电炉。

参考文献

- 1 Tomohiro Takagi, Michio Sugeno. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1985, 15(1): 116–132.
- 2 Mei Chi, Peng Xiaoqi, Zhou Jiemin. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1994, 4(3): 9–12.
- 3 徐南荣. 系统辨识导论. 北京: 电子工业出版社, 1986: 183–186, 84–141.

AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM(IDSS) FOR ENERGY SAVING AND METAL LOSS REDUCTION OF SLAG CLEANING FURNACE

Su Daixiong, Mei Chi, Peng Xiaoqi

*Department of Applied Physics and Heat Engineering,
Central South University of Technology, Changsha 410083*

ABSTRACT The structure and function of an intelligent decision support system(IDSS) were introduced for the process of slag cleaning furnace. The knowledge-base and model-base, based on fuzzy decision rules, were specially presented. Simulation results showed that the IDSS has ability of self-learning and self-adapting and can be applied to process decision to decrease the metal loss in slag and the power consumption.

Key words electric furnace energy saving optimization decision

(编辑 李 军)