

模糊智能控制在磨矿分级系统中的应用研究

黄伟, 魏镜波, 王庭有, 蔡晓明

(昆明理工大学机电工程学院, 云南昆明 650093)

摘要: 文章研究了模糊控制在锡石-多金属硫化矿磨矿分级系统中的应用. 磨矿分级系统控制的最终目标是获得最佳的分级溢流浓度和粒度. 为了实现这个目标, 设计了一个双输入双输出的二维模糊控制器, 并采用模糊优化算法得到给矿量的设定值和排矿水量, 很好地实现了对分级溢流浓度和粒度的控制, 同时达到了节能降耗的效果. 另外整个控制系统采用了串级控制的方式, 提高了系统抗干扰能力, 增加了灵敏度.

关键词: 模糊控制; 磨矿; 锡石; 矿粒

中图分类号: TD921 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2009)04-0096-05

Application of Fuzzy Intelligent Control to Grinding Classification System

HUANG Wei WEI Jing-bo WANG Ting-you CAI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract The application of fuzzy control to a grinding-classification system in a cassiterite-polymetallic sulfide ore is studied in this paper. The final goal of the control to the grinding-classification system is the best density and particle size of classification overflow. In order to achieve this goal, a two-dimensional fuzzy controller with dual input and dual output is designed. The fuzzy optimization algorithm is used to get the initialization of mine supply and the volume of water in exhausting minerals, which realizes very well not only in controlling the density and particle size of classification overflow but also in attaining the effects of energy saving and consumption reduction. In addition, the whole system adopts cascade control to improve the anti-interference ability and the sensitivity of the system.

Key words fuzzy control; grinding; cassiterite; mineral particle

0 前言

磨矿是选矿工艺的重要一环. 对它的良好控制可以稳定磨矿效率, 节能降耗, 为提高选矿厂的效益创造有利条件, 因而倍加受到世界选矿行业的重视^[1]. 但由于磨矿过程是一个复杂的多变量、非线性和大时滞过程, 不易建立精确的数学模型和控制模型, 这也就意味着一般的控制方式无法对其实施良好的控制, 为此, 采用了模糊智能控制的方式. 模糊控制即模糊逻辑控制, 是一种基于模糊数学理论的新型控制方法. 模糊控制只要求掌握现场人员或专家的经验, 不需要建立数学模型, 不用传递函数和状态方程且鲁棒性好、抗干扰能力强, 因而获得了广泛的应用^[2].

1 磨矿系统工艺流程分析

云南某锡石-多金属硫化矿选矿厂采用分阶段进行磨选, 一段采用棒磨机对锡石进行粗磨, 后进入螺

收稿日期: 2009-04-16 基金项目: 1540中段信号系统改造(项目编码: 20070012).

第一作者简介: 黄伟(1982-), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 矿山机电控制. E-mail: huangwei_8888@163.com

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

旋分级机进行溢流分级; 二段采用球磨机对锡石进行细磨, 后进入旋流器溢流分级, 磨矿控制的最主要目标是分级溢流的浓度和粒度. 只要一段磨机分级溢流浓度和粒度控制稳定了, 二段磨机的分级溢流浓度和粒度随之稳定. 所以磨矿分级控制的主要环节是一段磨机分级溢流浓度和粒度的控制, 一段闭路磨矿典型工艺流程如图 1 所示.

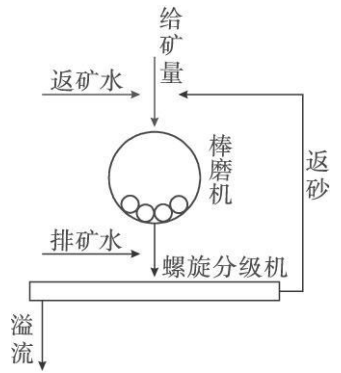


图 1 一段闭路磨矿典型工艺流程

Fig 1 Typical process of the first closed circuit grinding

2 磨机给矿量的控制

在选矿过程中, 流程的稳定相当重要. 对给矿量进行长期有效的控制, 能使回路对矿石性质的变化得到满意的处理效果, 同时提高磨矿系统的处理量^[3]. 为了提高抗干扰能力, 增强灵敏度, 系统采用串级控制的方式, 如图 2 所示.

在多数与磨矿分级相关的文章中, 都将磨机给矿量作为一个恒定不变的量来处理, 实际磨机给矿量并不是一个恒定不变的量, 它随溢流浓度和溢流粒度的变化做反向变化. 磨机溢流浓度和粒度都受给矿量的影响, 鉴于溢流浓度和粒度有同样的变化趋势^[4], 故仅采用溢流粒度对给矿量设定值进行控制. 对磨机给矿量设定值的控制采用模糊控制的方法. 矿量控制系统原理, 如图 3 所示.

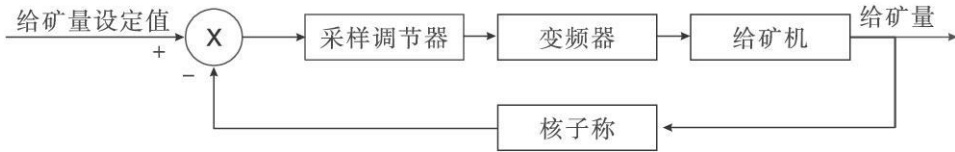


图 2 给矿系统框图

Fig 2 Diagram of the ore feeding system

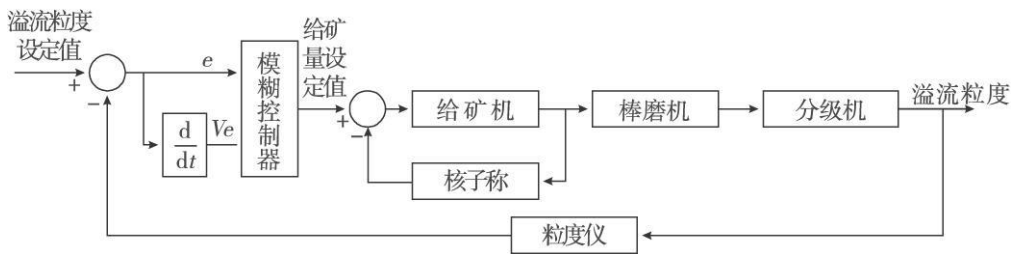


图 3 给矿量控制系统原理图

Fig 3 Schematic diagram of the ore feeding control system

3 磨机浓度的控制

磨机磨矿浓度的大小影响矿粒在钢球周围的粘着程度, 矿浆的比重及其流动性, 直接影响到排矿合格粒度的比率, 对避免矿石过粉碎, 提高选别指标至关重要^[3]. 为了保证磨机工作效率, 该选矿厂将磨机浓度控制在 80% 左右.

影响磨机浓度的因素有给矿量、分级机返砂量和返矿水量^[5]. 在闭路条件下, 磨机给矿量是由新给矿量和返砂量组成, 而返砂量的测定如图 4 所示是在磨机排矿 (即分级机的给矿)、分级机溢流和分级机返砂 3 处取样作筛分分析, 找出指定级别的矿料在他们中的含量分别为 $\alpha\%$, $\beta\%$, 和 $\theta\%$. 根据进入分级机的物料必须等于从它排出的物料, 可以列出:

$$(Q + S)\alpha = Q\beta + S\theta \tag{1}$$

(1) 式中, Q 为新给矿量, S 为返砂量.

$$\text{从而得到 } S = \frac{\beta - \alpha}{\alpha - \theta} Q \tag{2}$$

因此在新给矿量确定的情况下, 返砂量也可确定, 要控制磨机浓度, 必须控制返矿水量, 按磨机浓度的要求计算出返矿水量, 具体计算公式如下:

$$W_f = Q_g \left(\frac{1}{K_m} - \frac{1}{K_g} \right) + Q_f \left(\frac{1}{K_m} - \frac{1}{K_f} \right) \quad (3)$$

$$W_f = Q_g N_1 + C Q_g N_2 \quad (4)$$

$$W_f = Q_g (N_1 + C N_2) \quad (5)$$

(3)式中, W_f 为需要的返矿水量, Q_g , Q_f 分别为磨机给矿量和返砂量, K_m , K_g , K_f 和 C 分别为磨机浓度、给矿浓度、返砂浓度和磨机返砂比, 最佳磨机浓度值由磨机分级过程的工艺指标分析得到, 几个参数均认为是常数, 计算出的 N_1 和 N_2 值也为常数, 因此, 如果给矿量和返砂量确定的情况下, 返矿水量也就随之确定^[6].

4 分级溢流粒度的控制

高质量的分级溢流粒度控制是磨矿控制最主要的目标. 该选矿厂要求溢流粒度 - 200目在 40% 左右, 而 2次溢流浓度过低会导致浮选药剂不起泡^[7], 因此在保证溢流粒度的同时, 还必须使溢流浓度稳定在 40% ~ 45% 的范围之内.

影响溢流粒度因素主要是磨机给矿量和排矿水量. 由于溢流粒度和磨机给矿量及排矿水量存在非线性和不确定性关系一般控制方式控制难度较大, 考虑采用被控对象、结构变化适应能力较强的智能控制方式.

在长期生产过程中, 操作人员积累了一套控制经验并记录了大量的生产数据, 一般的自动控制系统不能完全的利用这些经验和数据, 但是模糊控制可以实现. 模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量和模糊推理为基础的计算机控制. 磨机排水量的控制原理如图 5 所示.

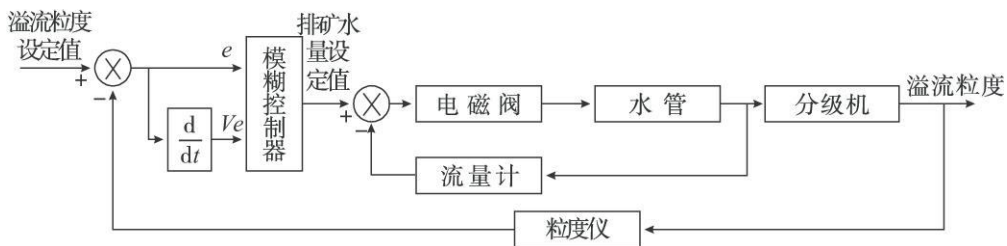


图 5 排水量的控制系统原理图

Fig 5 Schematic diagram of the water in exhausting minerals control system

5 模糊控制器的建立

为了提高系统性能, 模糊控制器采用二维模糊控制器, 即双输入双输出结构, 输入变量为 e , Δe 输出变量为 u_1 , u_2 结构框图如图 6 所示.

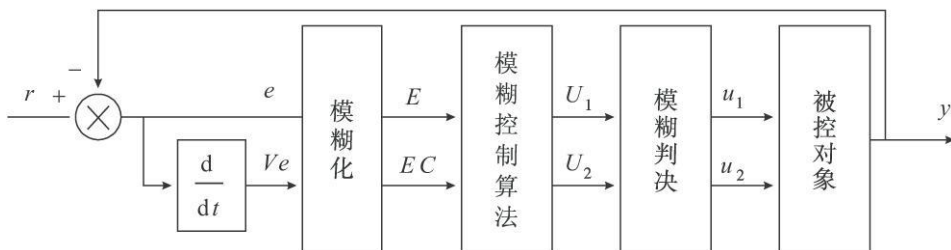


图 6 模糊控制器结构框图

Fig 6 Structural diagram of fuzzy controller

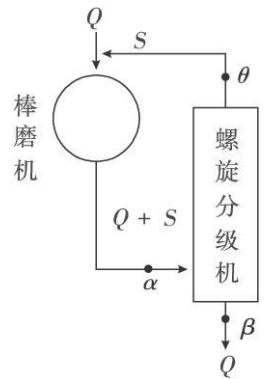


图 4 闭路磨矿循环的产物分配图

Fig 4 Product distribution diagram of closed-circuit grinding

对溢流粒度误差 e 、溢流粒度误差的变化 Δe 、控制量 (给矿量) u_1 以及排矿水量 u_2 的模糊集以及其基本论域定义如下:

- e 、 Δe 和 u_1 的模糊集均为 $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$
- u_2 的模糊集为 $\{PB, PS, ZO, NS, NB\}$
- e 和 Δe 的论域均为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- u_1 的论域为 $\{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$
- u_2 的论域为 $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$

考虑对论域覆盖程度和灵敏度与鲁棒性原则, 以三角形为隶属函数曲线, 如图 7 所示。

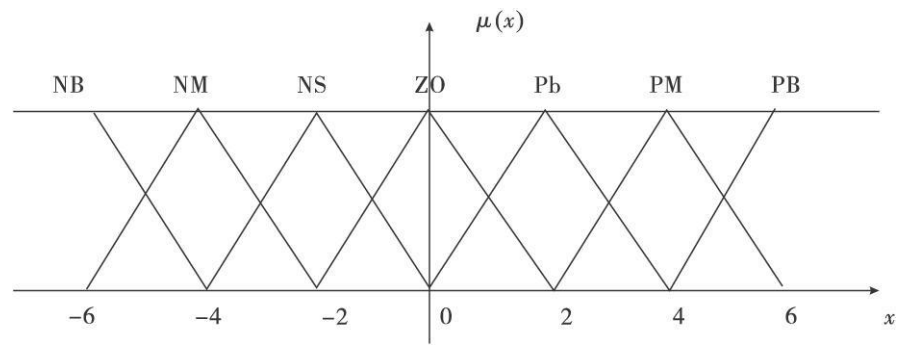


图 7 模糊集隶属函数曲线

Fig. 7 Curve of fuzzy membership function

通过对控制经验和相关数据的总结, 采用如下给矿量模糊控制规则如表 1 和排矿水量的模糊控制规则如表 2

表 1 给矿量 U_1 模糊规则控制表

Tab. 1 Fuzzy rules control table of the ore feeding quantity U_1

EC	E						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NM	NM	ZO	ZO
PM	NB	NB	NB	NM	NM	ZO	ZO
PS	NM	NM	NM	NM	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NS	PS	PS	ZO	PM	PM	PM	PB
NS	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB
NB	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB

表 2 排矿水量 U_2 模糊控制规则

Tab. 2 Fuzzy rules control table of the water's quantity U_2 in exhausting minerals

EC	E						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PS	PS	PS	ZO	ZO
PM	PB	PB	PS	PS	ZO	ZO	ZO
PS	PB	PB	PS	PS	ZO	ZO	ZO
ZO	PB	PS	PS	ZO	NS	NS	NB
NS	ZO	ZO	ZO	NS	NS	NB	NB
NS	ZO	ZO	ZO	NS	NS	NB	NB
NB	ZO	ZO	NS	NS	NS	NB	NB

根据工程隐含, 给矿量控制最后有 38 条规则在实际中出现, 而排矿水量有 34 条规则在实际中出现, 给矿量控制每一条规则对应一个关系 R_i , 模糊关系矩阵为:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \dots, \cup R_{38} \tag{6}$$

排矿水量控制每一条规则对应一个关系 R_i' , 模糊关系矩阵为:

$$R' = R_1' \cup R_2' \cup R_3', \dots, \cup R_{34}' \tag{7}$$

当实际测量到和后, 输出控制模糊集为:

$$U_{d1} = (E \times EC) \cdot R \tag{8}$$

$$U_{d2} = (E \times EC) \cdot R' \tag{9}$$

采用加权平均的反模糊化策略:

$$u(k) = \frac{\sum_n \mu(n) \times U(n)}{\sum_n \mu(n)} \quad (10)$$

可得到溢流粒度所对应的给矿量的设定值和排矿水量。

6 结论

文中针对磨矿分级系统是具有特性多变、非线性、大滞后的特点,设计了双输入双输出的二维模糊控制器,采用模糊控制的方法获得了给矿量设定值和排矿水量,从而满足了对溢流浓度和溢流粒度的控制,排除了以往人工观察和经验操作的主观性,同时达到了节能降耗的效果。另外整个控制系统采用了串级控制的方式,提高了系统抗干扰能力,增加了灵敏度。

参考文献:

- [1] 于军琪. 磨矿分级系统溢流浓度的模糊智能控制[J]. 交通大学学报: 1999 33(9): 30-34
- [2] 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990: 78-90
- [3] 李启衡. 碎矿与磨矿[M]. 曹胜利, 译. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 68-70, 161-164
- [4] Craig I.K, Hullbert D.G. Optimal multivariable control of an industrial run-of-mine milling circuit[J]. Journal of South African Inst. of Mine and Metall, 1992 192(6): 12-16
- [5] 叶彦斐. 磨矿过程优化控制及信息集成的应用研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004: 27-28
- [6] 苏霞. 选矿自动化[M]. 2版北京: 冶金工业出版社, 1995: 87-98
- [7] 方仕雄. 磨矿分级给矿模糊控制的设计和应用[J]. 微计算机信息: 2002 18(9): 18-24

(上接第 95 页)

2) 依法保护耕地, 稳定粮田面积. 耕地面积及其质量的大幅变动会加重粮食产量的波动程度. 因此要认真贯彻和真正落实有关法律法规, 实行最严格耕地保护制度, 在县级以上的地方政府建立地籍档案, 建设“专家+政府+农户”的耕地质量信息沟通系统和耕地质量监测网络, 以确保基本农田总量不减、用途不变、质量不降。

3) 加快农业产业化进程. 走集约发展道路, 发展规模经济, 提高土地产出率; 延伸农产品链条, 提高附加值; 完善政府支持农业发展的政策体系, 建立结构合理、分工明确、运转高效的农业服务体系。

4) 加快农业现代化进程. 建立采用现代科学技术、运用现代工业装备、推行现代管理理念和方法的农业综合体系. 建立病虫害疫情监控、旱涝监控、农药监控等构建生态农业、高技术农业、信息农业、“精准农业”等新型农业发展模式。

5) 充分挖掘农业生产潜力, 对中低产田进行集中开发. 加快中低产田改造, 实施新一轮“沃土工程”, 建设高标准农田, 确保粮食生产的根基稳定. 事实证明, 推进中低产田的集中连片开发, 既避免了过去农业综合开发资金使用分散、效果不好的弊端, 提高了农业生产的综合效益, 也有利于建立优势和特色农产品基地, 推进农业区域化布局、专业化生产和产业化经营, 促进农业结构调整和增长方式转变, 加快现代农业产业体系建设。

参考文献:

- [1] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999
- [2] 刘斌, 刘思峰, 党耀国, 等. 基于灰色系统理论的时序数据挖掘技术[J]. 中国工程科学. 2003, 3(9): 32-35
- [3] 杨军, 刘斌, 尚曼龙. 中国大豆进口的预测与分析[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(6): 141-144
- [4] 刘斌, 刘思峰, 翟振杰, 等. GM(1, 1) 时间响应函数的最优化[J]. 中国管理科学, 2003, 11(4): 54-57
- [5] 张越杰, 王军. 吉林省粮食产量波动分析[J]. 农业技术经济, 2007, 3: 75-79