

文章编号 1000-5013(2000)04-357-04

# 立窑水泥煅烧过程的控制策略

方千山<sup>①</sup> 王永初<sup>②</sup>

(① 华侨大学电气工程与自动化系, ② 华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

**摘要** 从机械化立窑水泥煅烧过程的特点及其控制系统的现状出发, 运用神经网络和模糊控制技术, 提出基于神经网络的立窑水泥煅烧过程的模糊控制策略。据此, 设计出以控制策略为核心的立窑水泥煅烧过程自组织控制器。系统仿真及运行结果表明, 该控制系统具有很好的鲁棒性、稳定性, 其控制效果较为满意。

**关键词** 立窑, 煅烧过程, 神经网络, 模糊控制, 自组织模糊控制器

**中图分类号** TQ 172.6<sup>+</sup>23: TP 273<sup>+</sup>.5: TP 273<sup>+</sup>.4

**文献标识码** A

在水泥立窑生产过程中, 煅烧是一个关键的环节。严格控制煅烧过程中的各种参量, 是提高水泥质量、节能降耗的主要途径。然而, 水泥立窑是一个连续进出料的高温热工设备。其理化反应复杂, 热工参数离散, 是一个非线性、多变量、大滞后、强干扰的复杂系统, 难以获得精确的数学模型。本文介绍利用动态竞争神经网络优化模糊控制规则, 借助工业控制计算机, 实现立窑水泥煅烧过程的自动控制。

## 1 控制与建模

### 1.1 模糊控制

立窑水泥的生产, 从生料成球喂入窑内至熟料由窑底卸出, 经历了 8.5 ~ 12.0 m 的高度。按其设计产量计算, 一般下沉速度为  $1.2 \sim 1.3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ 。生料球一般是全黑料或半黑料, 入窑后自上而下运动, 而窑底鼓入的高压空气则由下而上, 两者相对运动。随着料球向下运动, 煤在料球中由表及里燃烧, 温度渐渐升高。根据沿窑高度分布的温度和所进行的理化反应, 可分为预热带、高温带和冷却带, 预热带和高温带一般在 1.5 ~ 2.0 m 左右。熟料在这一高度的时间内要求基本形成, 其中最关键的是高温带反应, 温度为 1 300 到 1 450 再到 1 300。此时, 部分物料出现熔融, 在上部物料的挤压下, 粘结成厚实的烧结层, 形成所谓的“底火”。当料球进入“底火”, 其表面温度可达 1 300 左右, 逐步完成  $\text{C}_2\text{S}$  吸收  $\text{fCaO}$  形成  $\text{C}_3\text{S}$  的反应。立窑要稳质高产, 必须保持窑高温带的厚度, 确保窑“底火”以群体形式均匀地向下沉落<sup>[1]</sup>。它有 3 条主要的控制途径。(1) 根据高温带窑壁的温度, 调节腰风阀以纠正“偏火”。(2) 根据窑内物

料平衡关系, 控制卸料速度, 使“底火”在合理的位置上。(3) 根据料面位置及烟气温度, 控制进料速度, 以保证“暗火”操作。由此可见, 在立窑内它具有形状一定, 但边界不明、温度分布不等的传热过程。由于底风的作用, 高温料层向上发展, 又随卸料过程而向下运动。因此, 难以用某一精确的数学方程来描述。一般的模糊控制规则, 是在总结人工操作经验的基础上经优化处理而形成的<sup>[2,3]</sup>。这样设计出的模糊控制器, 与该领域专家的经验有密切的关系。工业过程的控制工况复杂多变, 如何从复杂的实际问题中发现蕴含的模糊知识来修正专家的经验不足, 是人们一直为之探讨的问题<sup>[4]</sup>。

## 1.2 自组织模糊控制器

模糊控制器采用的模糊规则, 是以模仿人在不确定性环境的决策行为。其从经验中自动产生规则, 并修改其控制决策的自学习功能较薄弱。神经网络的引入为模糊控制器提供了一种良好的学习功能, 弥补模糊控制的不足, 形成一个基于神经网络自组织模糊控制系统<sup>[5]</sup>。图1为

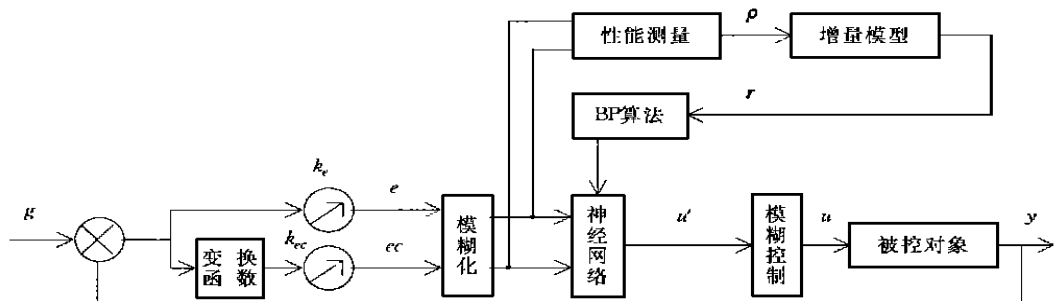


图1 自组织模糊控制器框图

自组织模糊控制器, 它由3个部分组成。(1) 一个基于模糊规则推理算法的Fuzzy控制器。(2) 用来对控制器自身作用进行评估的性能测量部分。(3) 一个增量处理模型, 用于修改模糊控制器的规则, 以对控制作用给出增补。自组织模糊控制器中的性能测量, 通常采用判决表的形式。

根据误差 $e$ 和变化率 $ec$ 值来确定如何校正输出。由判决表得到的输出校正量, 需要转换成输入增量。通常使用一种近似的处理模型 $M$  (矩阵表示)。它和系统的雅可比矩阵相关。由它把修正环节的输入变化矢量 $r$ 和性能测量部分的输出矢量 $\rho$ 联系起来, 即

$$r = M^{-1} \rho.$$

图2为自组织模糊控制网络示意图。网络中每一个接点的总输入是它

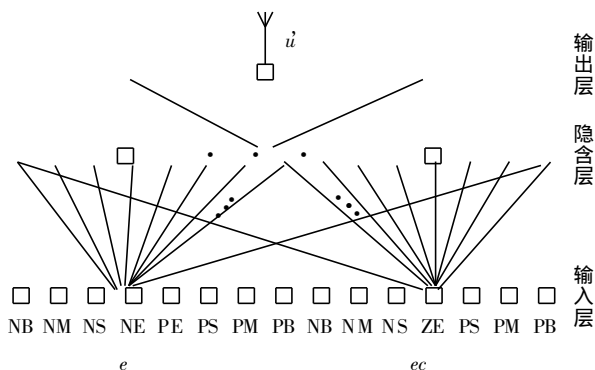


图2 自组织模糊控制网络组成

所有输入的加权和, 每一个接点的传递函数可用Sigmoid非线性函数来表示。设

$$x_k = [x_{0k}, x_{1k}, \dots, x_{nk}], x_{0k} = 1$$

是网络第 $k$ 个输入样本, 则第 $j$ 个隐含层的输出可表示为

$$Z_{jk} = \Phi \left( \sum_{i=1}^n w_{ij} x_{ik} \right),$$

式中 $w_{ij}$ 是第 $i$ 个输入单元和第 $j$ 个隐含层单元的连结权值。 $\Phi(\cdot)$ 是Sigmoid函数, 可定义为

$$\Phi(v) = 1/[1 + e^{-v}].$$

隐含层单元的输出, 又作为输出层单元的输入. 当网络接受输入样本后, 就向后传播, 生成输出信号

$$y_k = [y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{nk}].$$

网络通过训练后, 使一组给定输入映射到一组目标输出上, 修正权值使输出平方差最小.

2 实验分析

对于“偏火”操作, 取 150 个样本组成训练集, 网络形式如图 3 所示. 所有控制规则都可用一系列输出、输入数字信号来表示. 反向传播算法(BP)用于网络训练, 使输入信号对应于期望信号的输出值. 通过训练, 原本  $21 \times 10$  的元素现构造 14 条模糊规则(表 1), 而其它的状态

表 1 偏火操作模糊控制规则

偏火状态	底火情况	腰风控制	偏火状态	底火情况	腰风控制
正常	中心火柱	适中	正常	底火正常	适中
正常	底火上移	适中	正常	底火下移	适中
轻微	上偏底火	稍大	轻微	下偏底火	稍大
较大	全厚底火	加大	较大	上厚底火	加大
较大	下厚底火	加大	较大	中薄底火	加大
较大	上薄底火	加大	较大	下薄底火	加大
严重	高温底火	最大	严重	低温底火	最大

由于通过性能测量、增量模型修改而被忽略. 经过训练的网络就相当于一个模糊关系存储器. 因此, 它体现了智能自学习能力.

图4为VLP型机械化立窑采用本文中提出的方法, 其偏火在腰风控制下. 由图可见, 最高

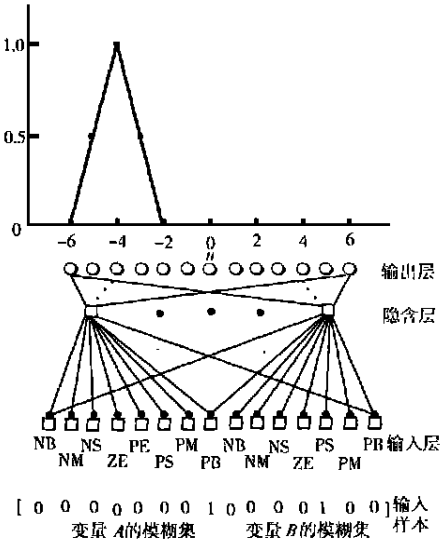


图 3 多层前馈网络结构图

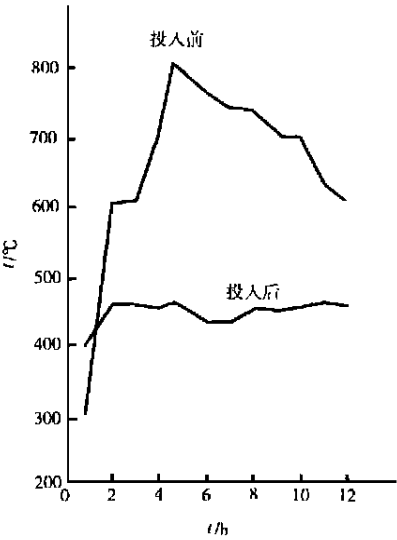


图 4 系统投入前后 1# 位温度变化曲线

温度与最低温度的差值被控制在 70℃ 以内, 实现了偏火的自动控制.

### 3 结束语

本文将模糊控制理论与人工神经网络技术相结合, 实现了控制规则的自动获取. 充分反映了样本集中蕴含的客观规律, 有效地克服了人为的主观因素对知识获取的影响. 实验表明, 采用文中提出的方法具有很好的动、静态性能指标、鲁棒性和抗干扰能力, 具有广泛的适用性和实用性. 本系统应用在 VLP 型盘塔式水泥机立窑煅烧过程上, 运行效果良好, 大大提高了生产过程的自动化控制水平, 具有明显的社会效益.

### 参 考 文 献

- 1 杨利群. 立窑稳产高标号水泥熟料技术途径探讨[J]. 水泥, 1998, (4): 25 ~ 28
- 2 袁铸钢. 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): 48 ~ 51
- 3 刘立志. 立窑水泥煅烧的微机模糊控制[J]. 工业控制计算机, 1995, (4): 18 ~ 21
- 4 方千山. 基于 BP 算法的水泥配料调优操作模型[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1998, 19(4): 350 ~ 353
- 5 诸 静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995. 561 ~ 575

## A Study on Strategy of Controlling

## Cement Calcination in Shaft Kiln

Fang Qianshan<sup>①</sup>      Wang Yongchu<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> Dept. of Elec. Eng. & Auto., Huaqiao Univ.,

<sup>②</sup> Dept. of Electromech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** A fuzzy strategy based on neural network is advanced for controlling calcination of cement in shaft kiln. In accordance with the peculiarity of cement calcination in mechanized shaft kiln and the present state of its control system, the strategy is advanced by comprehensive utilization of neural network and fuzzy control technique. And a self-organizing controller with this control strategy as core is designed for cement calcination in shaft kiln. As shown by system simulation and result of operation, this control system has very good robustness and stability, it has achieved satisfactory effect of control.

**Keywords** shaft kiln, calcination, neural network, fuzzy control, self-organizing controller