

· 经验交流 ·

doi:10.3969/j.issn.1000-7059.2013.04.016

# 基于模糊控制的套筒窑温度均衡自动控制系统

宋鹏宇, 彭伟革, 齐保杰

(北京首钢自动化信息技术有限公司 自动化事业部, 北京 100041)

**摘要:**根据套筒窑燃烧系统的生产规律,深入分析了套筒窑燃烧控制的难点,设计开发了温度均衡控制系统,并在首钢迁安钢铁有限责任公司套筒窑获得应用。应用结果表明,系统实现了套筒窑温度均衡控制和煅烧热量的合理分配,提高了套筒窑煅烧过程的稳定性,达到了节能降耗、提升活性石灰生产质量的目的。

**关键词:**套筒窑;活性石灰;燃烧控制;温度均衡;模糊控制

**文献标志码:**B **文章编号:**1000-7059(2013)04-0070-03

## Sleeve-type limekiln temperature equilibrium fuzzy automation control system

SONG Peng-yu, PENG Wei-ge, QI Bao-jie

(Automation Department, Beijing Shougang Automation & Information Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** According to the rule of sleeve kiln, the difficulties of sleeve kiln combustion control were analyzed. The equilibrium temperature control system was designed and developed which was used in sleeve kiln of Qiangang. Practical application results show that a reasonable distribution of sleeve kiln temperature balance control and calcining heat can be achieved and the stability of sleeve kiln calcining process can be improved which achieve energy saving and enhance the quality of active lime production.

**Key words:** sleeve-type limekiln; active lime; combustion control; temperature equilibrium; fuzzy control

### 0 引言

首钢迁安钢铁有限责任公司(以下简称迁钢)套筒窑是日产 600 t 活性白灰的大型工艺设备,分为上下两层燃烧层,每层各有 7 个燃烧室,于 2010 年投入生产。套筒窑投入时温度采用人工控制方式,人工方式对于温度变化的响应滞后,容易造成窑内燃烧不完全受控,产生过烧或生烧现象,影响产品质量。为此,我们通过对套筒窑燃烧过程和人工操作习惯的分析,于 2011 年利用模糊控制技术对老系统进行了改造。

### 1 工艺及控制难点

套筒窑是生产活性石灰的大型工艺设备,生产过程连续性很强。套筒窑主要由上料装置、窑

体、燃烧室、出料装置以及风机等系统构成。生产过程大致可以分为上料、燃烧、出灰等主要环节。套筒窑由上料装置上料,石灰石经过窑顶布料器进入窑内煅烧,并由密封系统隔绝外界空气,保持窑内的负压状态。石灰石在窑内要经过预热带、煅烧带和冷却带<sup>[1]</sup>。两层烧嘴将窑内分成两个煅烧带,在上煅烧带燃烧气体与物料运动方向相反(为逆流),在下煅烧带循环气体与物料运动方向相同(为并流),石灰石在煅烧带受热分解。煅烧带下面为冷却带,在冷却带石灰将自身热量传递给冷却空气。冷却空气由废气风机抽吸上去,而石灰则在冷却带底部通过液压推杆系统推出到位于套筒窑底部的石灰仓内,再经过振动出料机定

收稿日期:2013-03-25

作者简介:宋鹏宇(1980-),男,河南洛阳人,工程师,主要从事自动控制研发工作。

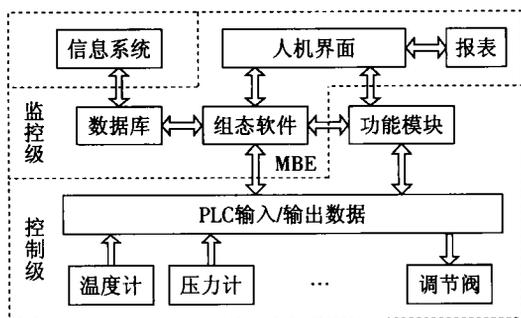
时排出。

从石灰石分解的反应来看( $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{CaO} + \text{CO}_2$ ),石灰石的煅烧似乎是一个并不复杂的化学反应过程。其实不然,石灰石煅烧首先是  $\text{CaCO}_3$  的分解,同时伴有  $\text{CaO}$  的再结晶和晶体生长。当煅烧温度偏低时,温度梯度小,热量向中心传输速度慢,此时若恒温时间短,未达到  $\text{CaCO}_3$  的分解速度,就会发生生烧现象;而当温度较高时,温度梯度大,中心达到较高的温度,  $\text{CaCO}_3$  快速分解,  $\text{CaO}$  的再结晶和晶体生长也较快,此时若恒温时间过长,易形成  $\text{CaO}$  晶粒过大,活性度降低,则会发生过烧现象。

因此,生产高质量的活性石灰需要先进的燃烧技术与控制手段。作为一个整体,燃烧与控制是不可分割的,燃烧过程中的温度控制非常重要。在实际生产中,随着生产条件的改变(如物料流动的不均匀性),需要经过一段时间的滞后,才会反映到温度的变化,因此,温度反映和调节控制存在一定滞后性,如:可能刚刚调节好燃气和空气流量,此时生产条件回到正常值,温度又会偏离所要达到的控制值,继而需要再次调节燃气和空气流量。这种情况不但增加了操作人员控制的强度与难度,同时还加大了出现生烧、过烧的可能性。针对迁钢3号套筒窑存在的问题,结合套筒窑生产工艺和燃烧过程中的温度控制难点,我们开发了基于模糊控制的温度均衡控制系统。

## 2 系统设计

根据套筒窑工艺流程,我们对套筒窑温度均衡控制系统进行模块化结构设计,系统功能架构如图1所示。



MBE—通信接口软件。

图1 系统功能架构

Fig.1 System function architecture

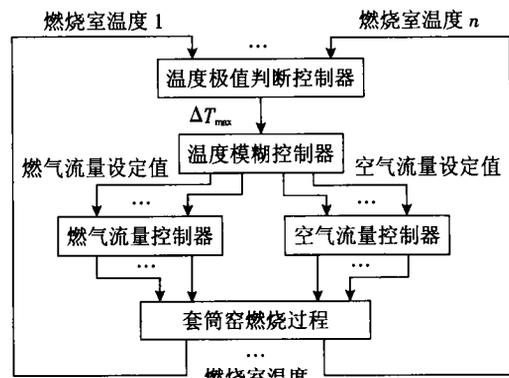
套筒窑温度均衡控制系统包括监控级和控制级。监控级由工业控制计算机(HMI)组成,每台

工业控制计算机都配置了PLC与HMI机的通信接口卡,通过工业以太网采用TCP/IP协议实现监控级与控制级之间的数据传输,实现套筒窑燃烧系统的自动控制,并预留与三级系统的设备接口,接收和发送相关信息。控制级主要完成套筒窑各工艺环节控制,采用施耐德公司的Quantum系列PLC,控制级包括本地站和远程站,采用远程I/O扩展方式。

控制系统监控软件采用Wonderware公司的InTouch10.0,控制软件采用Unity ProXL 4.0,监控级与控制级之间采用MBE通信接口软件进行通信;同时,监控级与数据库使用ODBC的方式连接,实现对生产数据的存储和过程分析。

## 3 温度均衡控制

模糊控制是以操作人员的经验为基础的,它并不需要用精确的数学模型去描述系统的动态过程<sup>[2]</sup>。我们通过总结人工控制温度时的经验,确定了温度均衡模糊控制的基本实现策略:用工业控制机跟踪套筒窑各燃烧室温度变化,对其温度进行控制。在PLC中设立温度极值判断控制器、温度模糊控制器、燃气流量调节控制器和助燃空气流量控制器,通过判断燃烧室温度变化自动修正各燃烧室燃气分配系数,根据该系数调节燃烧室的燃气流量和助燃空气流量,以控制调节温度。温度均衡控制框图如图2所示。



$\Delta T_{\max}$ —最大温度偏差; $n$ —燃烧室个数, $n=1,2,\dots,7$ 。

图2 温度均衡控制框图

Fig.2 Temperature equilibrium control diagram

将各燃烧室温度作为温度极值判断控制器的输入。通过温度极值判断控制器计算出当前单个燃烧室温度  $T_n$  与同层燃烧室温度平均值  $T_{\text{avg}}$  的偏差  $\Delta T_n$ , 选取其中超出工艺要求的最大偏差值  $\Delta T_{\max}$  作为温度极值判断控制器的输出。将  $T_{\text{avg}}$  作为系统调节的参考值,将最大偏差 ( $\Delta T_{\max}$ ) 作为温

度模糊控制器的输入变量  $E$ , 选择具有最大偏差燃烧室的燃气分配系数作为温度模糊控制器的输出变量  $U$ 。将输入输出变量的值定位在相应模糊集合<sup>[3]</sup>的语言变量值上, 其中输入变量的模糊集合为:

$$E = \{PB: \text{正大}, PM: \text{正中}, PS: \text{正小}, 0: \text{零}, NS: \text{负小}, NM: \text{负中}, NB: \text{负大}\}$$

输出变量的模糊集合为

$$U = \{PB: \text{正大}, PM: \text{正中}, PS: \text{正小}, 0: \text{零}, NS: \text{负小}, NM: \text{负中}, NB: \text{负大}\}$$

输入变量的隶属度函数选择三角形隶属度函数。

以生产经验为基础, 产生的模糊控制规则集<sup>[4]</sup>见表 1。

表 1 模糊控制器控制规则表

Table 1 Control rule of fuzzy controller of temperature difference

$E$	$PB$	$PM$	$PS$	0	$NS$	$NM$	$NB$
$U$	$NB$	$NM$	$NS$	0	$PS$	$PM$	$PB$

我们通过对套筒窑运行情况的长期实际观察和分析, 总结所控物理参数的变化特点, 确定出模糊控制器的论域和相关参数。根据温度均衡理论、模糊控制器输入信号的量程和正常燃烧状态下采样周期变化的大小, 确定相关输入变量  $E$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 的论域范围为  $(-60, 60)$ ; 根据输出信号对温度的影响程度, 确定输出信号  $U$  (%) 的论域范围

为  $(-6, 6)$ 。

#### 4 结束语

基于模糊控制的套筒窑温度均衡控制系统在迁钢套筒窑投入运行后, 实现了活性石灰生产过程中温度均衡自动控制。该系统投入实际使用后, 对提高石灰质量、节能降耗、降低人工劳动强度具有重要意义。主要体现在生烧降低、活性度提高。温度均衡控制系统投入前后石灰质量对比如表 2 所示, 烧碱平均降低 0.47%, 活性度平均提高 11 ml。

表 2 温度均衡控制系统投入前后石灰质量对比

Table 2 Lime quality before and after using temperature equalization control system

阶段	烧碱率/%	活性度/ml
控制系统投入前	1.48	407
控制系统投入后	1.01	418

#### 参考文献:

- [1] 常杰, 李道忠. 套筒窑用石灰石的煅烧试验研究[J]. 河北冶金, 2006(增刊): 112-113.
- [2] 李洪兴, 汪群, 段钦治, 等. 工程模糊数学方法及应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993: 670-673.
- [3] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 2版. 武汉: 武汉大学出版社, 2010: 330-466.
- [4] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995: 197-206.

[编辑: 沈黎颖]

(上接第 69 页)

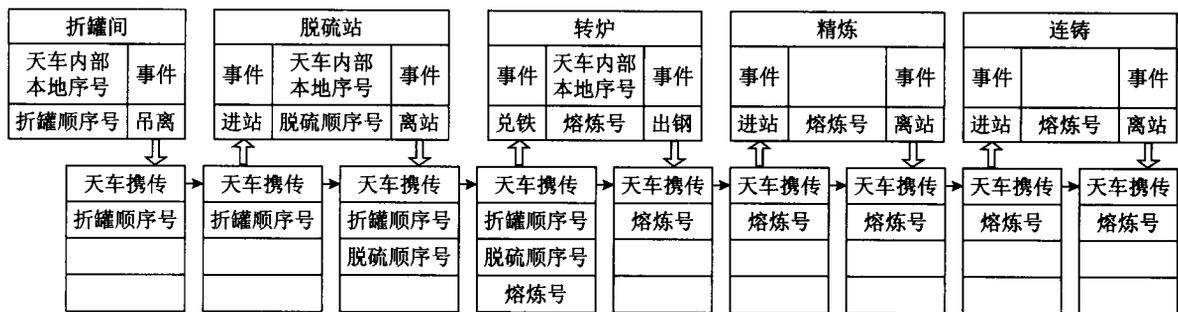


图 3 炼钢物流跟踪过程

Fig. 3 Steel logistics tracking process

#### 参考文献:

- [1] 吴学礼, 王钰生, 张静, 等. 炼钢生产物流信息自动

化采集与分析系统的设计与实现[J]. 河北工业科技, 2010, 27(5): 336-339.

[编辑: 沈黎颖]