

带式焙烧机生产过程中预热焙烧优化控制

周 卫

(北京首钢自动化信息技术有限公司 自动化研究所, 北京 100041)

摘要:针对首钢京唐钢铁联合有限公司球团厂带式焙烧机,通过对废气温度的曲线拟合分析,首次提出了预热结束点的概念,作为定量划分预热和焙烧过程的度量;基于时间序列的方法建立样本库,采用数据挖掘的方法确定了预热结束点合理值;同时根据生球入机量和水分等因素的变化调整主引风机转速,对预热结束点进行自动控制,最终使预热结束点稳定在合理值附近,保证了热工制度的稳定,提高了球团矿的质量。

关键词:带式焙烧机;热工制度;预热结束点控制

中图分类号:TF325.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1000-7059(2014)03-0072-03

Optimal control of preheating and firing process of the traveling grate

ZHOU Wei

(Automation Institute of Beijing Shougang Automation and Information Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: The conception of preheating end point is first proposed by analysis of curve-fitting of flue gas temperature over traveling grate of Shougang Jingtang United Iron & Steel Co., Ltd., which can be regarded as quantitative classification of preheating and firing process. The sample database is founded based on time series. Reasonable value of preheating end point is determined by the method of data mining. Preheating end point is controlled by adjusting the revolving speed of draught fan according to green pellet and water which can make heating process stable and increase the quality.

Key words: traveling grate; thermal regulation; control of preheating finished point

0 引言

我国在带式焙烧机优化控制方面的研究相对较少,更多的是一些基础自动化的研究^[1]。带式焙烧机球团生产过程中,在烧嘴温度一定的情况下,准确判断预热过程结束即焙烧过程开始时刻并合理控制,可以使球团的氧化焙烧过程更为合理,减少爆裂,提高球团矿质量。

首钢京唐钢铁联合有限公司球团厂 504 m² 带式焙烧机是由首钢国际技术研究院和德国奥图泰公司共同研发设计的,于 2010 年 8 月投产,

也是我国自 20 世纪 70 年代以来在国内建设的第 3 套带式焙烧机。该焙烧机投产时,烧嘴段的预热和焙烧过程之间并没有一个明确的划分,而是靠参考单个风箱温度来控制,为此,我们从 2010 年 12 月开始对带式焙烧机球团生产过程中预热和焙烧过程时间的合理分配进行了优化控制研究。通过对球团矿氧化过程理论研究并结合生产实践,对 11 组测点的风箱废气平均温度进行曲线拟合分析,首次提出了预热结束点 (PHF) 的概念,用预热结束点来划分预热和焙烧

收稿日期:2013-03-13

作者简介:周 卫(1979-),男,辽宁铁岭人,工程师,硕士,主要从事冶金过程智能控制的研究与应用工作。

过程,并对样本库采用数据挖掘的方法确定了预热结束点的合理值,同时研发了预热结束点自动控制模型,实现了预热和焙烧过程的合理控制。

1 数据采集和分析

数据采集是模型建立的基础,为了使模型更加准确,我们在带式焙烧机烧嘴段每个风箱(共9个风箱)和烧嘴段之后的2个风箱处,沿宽度方向均匀分布5支热电偶并尽量靠近台车篦条,

以获得更加准确的废气温度。对检测得到的每个风箱的5个温度检测值求平均值,得到每个风箱的废气平均温度,如表1所示,表1中的距离是指检测点到焙烧机机头的距离。然后,再对11个风箱的废气平均温度采用最小二乘法进行曲线拟合分析,得到风箱废气温度的变化趋势曲线,如图1所示,图1中, x_1 和 x_2 分别为拟合曲线最小最大极值点横坐标,PHF为预热结束点。

表1 用于曲线分析的实际温度数据
Table 1 Temperature data for curve analyzing

距离 X/m	21	27	33	39	45	51	57	63	69	75	78
废气平均温度 $T/^\circ\text{C}$	111	96	100	122	171	242	342	403	484	556	526

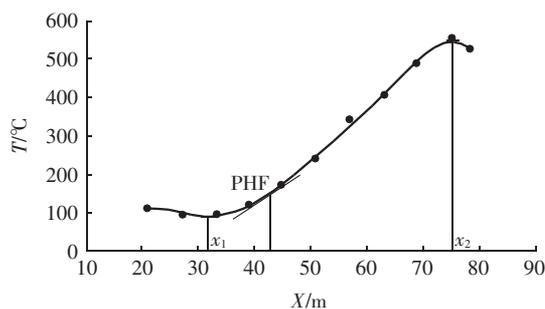


图1 曲线拟合及预热结束点示意图

Fig. 1 Fitting curve and PHF

采用最小二乘法得到的图1拟合废气平均温度(T)曲线的拟合函数

$$T = (-4 \times 10^{-7})x^6 + 0.0001x^5 - 0.0154x^4 + 0.9457x^3 - 31.084x^2 + 513.75x - 3224.5 \quad (1)$$

经过测试,采用这条6次曲线能够真实地反映温度变化趋势。

2 预热结束点确定

由式(1)可以得到风箱废气温度的一般表达式

$$f(x) = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g \quad (2)$$

式中, a, b, c, d, e, f, g 为多项式系数。

根据球团矿氧化过程机理^[2-3],当预热过程结束后,废气温度有一个快速变化的过程,预热结束点应取温度曲线 $f(x)$ 上的斜率最大点,因此,首先对曲线函数式(2)求一阶导数,得到斜率函数

$$f'(x) = 6ax^5 + 5bx^4 + 4cx^3 + 3dx^2 + 2ex + f \quad (3)$$

然后对式(3)再次求导,以得到式(3)的最大值点。

$$f''(x) = 30ax^4 + 20bx^3 + 12cx^2 + 6dx + 2e \quad (4)$$

令 $f''(x) = 0$ 后,即可根据实际检测的废气温度平均值确定多项式的系数,从而求解出预热结束点位置。由于曲线的最低点是生球水分消失预热开始的点^[4-5],最高点是焙烧终点,因此,在由式(4)求解出的结束点位置中,只有在极值点之间的点才能作为预热结束点。

3 预热结束点合理值的确定

由于工况波动,因此由式(4)计算出来的预热结束点位置是一个变值,直接影响成品矿的抗压强度和FeO质量分数这两个主要指标,因此必须确定一个合理的预热结束点,并通过控制手段确保预热结束点为合理值,才能保证热工制度的稳定和改善球团矿质量。

带式焙烧机球团生产的一个显著特点就是生产流程长,一般从预配料开始到成品球从机尾翻下大约需要2~3h。为此,我们将料流分为若干个质点,然后对质点进行跟踪。当某个质点到达不同工艺段的时候获得相应的工艺参数,当质点到达机尾时获得的工艺参数是最全的。工艺流程的时间序列如图2所示,图中 $t_0 \sim t_6$ 为各工艺段之间的时间间隔。

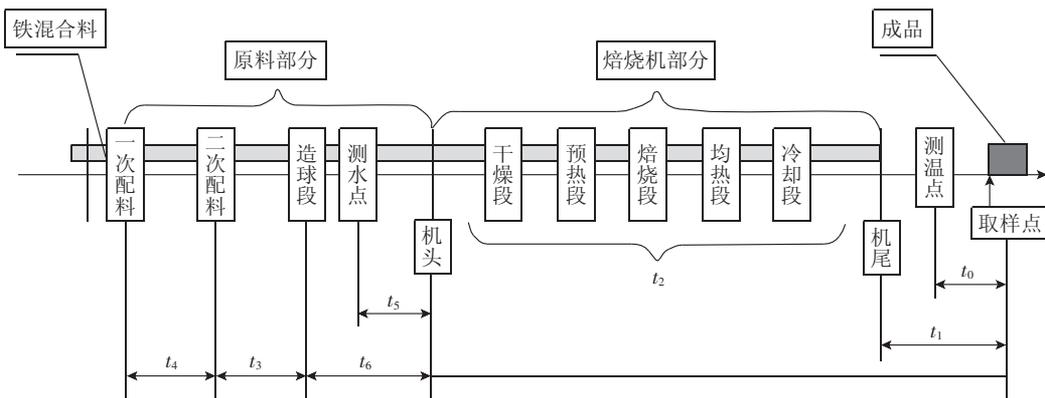


图 2 工艺流程的时间序列

Fig. 2 Time serial of technological flow

基于上述工艺流程,采用时间序列的方法构造样本,经过生产过程的积累会形成一个拥有多条记录的样本库,样本形式如表 2 所示。每 2 h

采样一个批次,每个批次包含成品指标和操作参数信息。

在实际生产过程中影响 FeO 和抗压强度的

表 2 样本形式
Table 2 Sample form

标志	成品指标				操作参数			
批次	TFe	FeO 质量分数	抗压强度	...	生球入机量	焙烧温度	PHF _x	...

操作参数除了 PHF_x 以外还有生球入机量和焙烧温度等,为了研究 PHF_x 的影响,选择其他操作参数相对稳定的样本,也就是只把 PHF_x 作为变量来考虑。

样本库建立后,首先根据控制目标范围和样本筛选条件(即取与当前工况类似的样本),取最近的若干条有效记录,然后对记录分别以抗压强度和 FeO 质量分数为横坐标做线性回归分析,得到预热结束点与抗压强度和 FeO 质量分数的回归方程。

FeO 质量分数 z_1 与预热结束点 X_1 回归方程式:

$$X_1 = a_1 z_1 + b_1 \quad (5)$$

抗压强度 z_2 与预热结束点 X_2 回归方程式:

$$X_2 = a_2 z_2 + b_2 \quad (6)$$

上述式中, a_1, b_1, a_2, b_2 均为回归系数,根据筛选的有效样本进行线性回归分析得到。

由于合理的预热结束点取值 X 应同时满足抗压强度和 FeO 质量分数的要求,因此,设置权重系数为 0.5,得到最终的预热结束点合理值

$$X = 0.5X_1 + 0.5X_2 \quad (7)$$

将 z_1 和 z_2 的控制目标中线(如工艺要求抗压在 2 700 ~ 2 900 之间,此处中线就取 2 800, FeO 中线算法类似)代入式(5)~(7),最终得到的 X 就是合理的预热结束点。

4 预热结束点自动控制

由于主引风机的转速直接影响风箱废气温度,而预热结束点是根据风箱温度计算的,另外考虑到造成预热结束点波动最主要的原因就是产能(入机量)波动和生球水分变化(水分的蒸发和气化需要大量热),因此,我们根据预热结束点合理值,综合考虑生球入机量和生球水分,通过调整主引风机转速来实现预热结束点自动控制,使预热结束点稳定在合理值。主引风机转速调整值经验公式如下:

$$y_s = y_c \times \frac{P_a}{P_c} \times \frac{K_m M_c}{M_a} \times \frac{0.95 W_a}{W_c} \quad (8)$$

式中, y_s 为主引风机变频器输出比例设定调整值,%; y_c 为主引风机变频器输出比例设定当前值(2 min 平均值),%; P_a 为目标 PHF 的横坐标

(预热结束点合理值), $m; P_c$ 为根据实际废气平均温度由式(4)计算的当前 PHF(实际生产中的过程参数)的横坐标(2 min 平均值), $m; K_m$ 为修正参数,取值范围是 $[0.95 \sim 1.2]$,考虑到铁矿石反应自身放热的影响,如果原料铁矿石配比以磁铁矿为主则取值略小,如果以赤铁矿为主则取值略大; M_c 为当前生球入机量(2 min 平均值), $t/h; M_a$ 为上一控制周期生球入机量(5 min 平均值), $t/h; W_a$ 为上一控制周期生球水分(5 min 平均值), $\%; W_c$ 为当前入机的生球水分(2 min 平均值), $\%$ 。

模型根据当前工况和预热结束点的合理值,计算主引风机的转速输出值,并发送到一级 PLC 系统,进而实现预热结束点的自动控制。

5 应用效果

上述方法投入实际应用后,实现了焙烧机预热结束点的自动控制。图3分别给出了投入使用前10d和投入使用后20d的抗压强度和 FeO 质量分数对比(图中 2012/11/20 0:00 是方法投用的开始时间点)。从图3可以看出抗压强度升高,FeO 质量分数下降,指标得到明显改善。

表3为模型投入前后指标对比。从表3数据可以看出,预热结束点自动控制模型投入后,预热结束点的稳定率提高,标准偏差降低,抗压强度平均值提高,FeO 质量分数平均值降低,取得了较好效果。

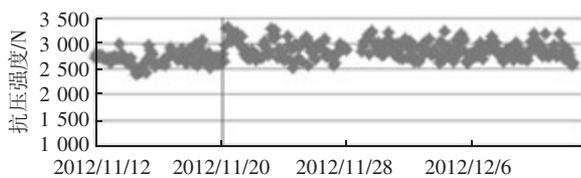
以上数据说明,引入预热结束点控制模型对带式焙烧球团生产过程预热和焙烧过程进行控制,可以提高生产过程的稳定性,改善成品的抗压强度和 FeO 质量分数。

(上接第71页)

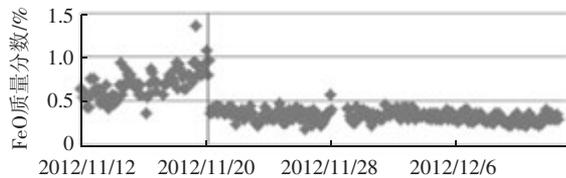
异常切头后定位在非剪切区,由此避免了因飞剪长时间连续异常切头而导致飞剪后导槽出现卡钢现象,实际使用效果很好。

参考文献:

[1]林艳生,李杰,易泽龙.棒材轧线冷飞剪 PLC 控制



(a)抗压强度



(b)FeO 质量分数

图3 投用前后指标变化趋势

Fig. 3 Index varied trend before and after the model used

表3 模型投用前后指标对比

Table 3 Index comparison

项目	PHF 标准偏差/ m	抗压强度均值/ N	FeO 质量分数 均值/%
使用前	1.15	2 721	0.69
使用后	1.08	2 876	0.33

参考文献:

[1]苟卫东.鞍钢球团自动化控制系统的改造[J].烧结球团,2011,26(6):25-27.
 [2]青格勒.焙烧制度对球团抗压的影响[J].金属矿山,2006(8):300-303.
 [3]冯俊小.链篦机-回转窑系统的热诊断与节能分析[J].烧结球团,2007(12):29-34.
 [4]王筱留.钢铁冶金学(炼铁部分)[M].北京:冶金工业出版社,1991.
 [5]周取定,孔令坛.铁矿石造块理论及工艺[M].北京:冶金工业出版社,1989.

[编辑:沈黎颖]

系统[J].冶金自动化,2013,37(4):49-52.

[2]隆凭.小型棒材生产线起停式倍尺剪的电气控制[J].冶金自动化,2008,32(5):63-65.
 [3]朱玲,宋明,渠济华.2号飞剪剪切方式的改进[J].冶金自动化,2009,33(5):62-65.

[编辑:薛朵]