

顶底复吹转炉底吹流量优化控制技术

赵 舸 何 平

(钢铁研究总院冶金工艺研究所,北京 100081)

摘 要 通过理论与实践相结合,开发出一种性能优良的流量调节算法-专家变参数 PID 调节算法,实现顶底复吹转炉底吹流量优化控制。在 30 ~ 120 t 顶底复吹转炉的实际应用表明,专家变参数 PID 控制技术具有优良调节性能,实际底吹流量曲线控制平稳、迅速,流量控制精确,有效防止底枪堵塞,明显提高了经济效益。

关键词 顶底复吹转炉 底吹流量控制 专家变参数 PID 控制

Optimal Control Technique for Bottom Blowing Flow Rate of Top and Bottom Combined Blown Converter

Zhao Ge and He Ping

(Institute of Metallurgical Technology, Central Iron and Steel Institute, Beijing 100081)

Abstract An excellent arithmetic for flow rate control - expert and alterable parameter PID control arithmetic has been developed by combining theory with practice to realize optimal control for bottom blowing flow rate. The practical application of 30 ~ 120 t top and bottom combined blown converter indicated that the expert and alterable parameter PID control technique had nice control performance i. e. smooth and quick to control bottom blowing flow rate curves, precisely modify flow rate, effectively prevent bottom lance blocking and obviously increase economic benefit.

Material Index Top and Bottom Combined Blown Converter, Bottom Blowing Flow Rate Control, Expert and Alterable Parameter, PID Control

顶底复吹转炉底吹系统的供气强度即气体流量的控制是该系统最关键的参数。目前常见的转炉底吹流量调节控制方法主要有:(1)开环调节,即操作人员根据经验在监控画面上设定调节阀开度,通过人工判断作出相应的修改(开大或关小),以达到流量调节的目的。(2)传统 PID(闭环)调节,即根据预先设好的气体流量,系统通过 PID 调节控制器自动调节到相应底吹流量,这种方法比开环控制改进很多,具有一定的调节性能,如响应较快、达到稳定时间较短等优点。但由于复吹工艺的发展,对底吹流量调节的响应速度、精确性、稳定性等都提出了更高的要求,通过理论与实践相结合开发出一种性能更优的流量调节算法。

1 顶底复吹转炉底吹控制系统

转炉底吹系统通过固定在转炉底部的若干支底枪(钢铁研究总院专利产品环缝式供气元件),向转炉吹入惰性气体搅拌钢水。系统主要包括:(1)阀门站:减压阀、调节阀、切断阀、压力传感器、流量传感器等;(2)底枪及配管:双层套管式底吹供气元件等;(3)电控柜:PLC、二次仪表、变送器、稳压电源等;(4)人机界面:工业控制计算机与监控软件等。

控制系统采用西门子 S7-300 系列 PLC + WINCC 组态软件 + 工业计算机方案,并通过 MPI 网进行数据通讯。根据复吹转炉的特点,把整个冶炼过程分成:装料、吹炼(分为 1、2、3、4 四个阶段)、测温取样、补吹、出钢、溅渣、倒渣、等待等 11 个阶段。在不同阶段从转炉底部吹入相应的气种及流量。转炉底吹阀门系统简图如图 1 所示。

2 顶底复吹转炉底吹流量动态控制原理

2.1 顶底复吹转炉底吹流量控制特点

为了达到顶底复吹转炉底吹高效控制能力,在手动(开环)调节、普通 PID 调节的基础上,开发了专家变参数 PID 相结合的底吹流量动态控制技术。

顶底复吹转炉底吹流量控制特点为:(1)全自动流量调节;(2)各阶段供气强度变化较大,且阶段比较多,因此设定流量变化比较频繁;(3)供气元件(底吹枪)出口处情况复杂(因底吹枪直接从炉底插入炉内钢水中),渣层厚度及底吹枪孔堵塞程度等都会影响底吹流量。

2.2 PID 控制原理

PID 控制系统原理如图 2 所示。PID 控制器是一种线性控制器^[1],它根据流量设定值 $f_m(t)$ 和流

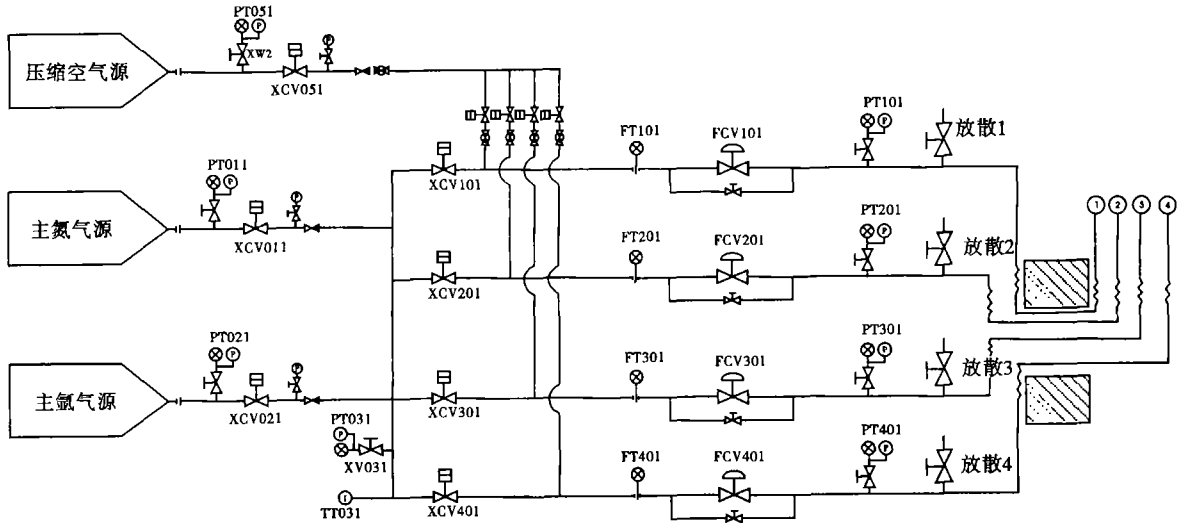


图1 顶底复吹转炉底吹控制阀门仪表系统示意图

Fig.1 Schematic of bottom blowing control valves and instrument system for top and bottom combined blown converter

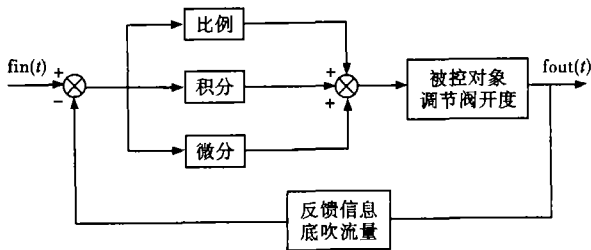


图2 PID 调节原理图

Fig.2 Schematic of PID control principle

量实际值(反馈信息) $f_{out}(t)$ 构成控制偏差:

$$f_{err}(t) = f_{in}(t) - f_{out}(t) \quad (1)$$

式中: $f_{err}(t)$ - 流量偏差; $f_{in}(t)$ - 流量设定值; $f_{out}(t)$ - 流量实际值。

PID 控制规律为:

$$u(t) = k_p \left[f_{err}(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t f_{err}(t) dt + \frac{T_D}{dt} df_{err}(t) \right] \quad (2)$$

式中: $u(t)$ - 输出值; k_p - 比例系数; T_i - 积分时间常数; T_D - 微分时间常数。

因计算机不能精确实现积分算法,所以必须对(2)式进行离散化,使用数字 PID 控制器:按模拟 PID 控制算法,以一系列的采样时刻点 kT 代替连续时间 t ,矩形法数值积分近似代替积分,以一阶向后差分近似代替微分,即可得离散表达式:

$$u(k) = k_p \left\{ f_{err}(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k f_{err}(j) + \right.$$

$$\left. \frac{T_D}{T} [f_{err}(k) - f_{err}(k-1)] \right\} =$$

$$k_p f_{err}(k) + k_i \sum_{j=0}^k f_{err}(j) + k_d [f_{err}(k) - f_{err}(k-1)] \quad (3)$$

式中: $k_i = \frac{k_p}{T_i} T$; $k_d = \frac{k_p T_D}{T}$; T - 采样周期; k - 采样序号, $k=0,1,2,\dots$; $f_{err}(k)$ 和 $f_{err}(k-1)$ - 分别为第 k 时刻和第 $k-1$ 时刻的偏差信号。

增量式 PID 控制算法^[2]:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = k_p [f_{err}(k) - f_{err}(k-1)] + k_i f_{err}(k) + k_d [f_{err}(k) - 2f_{err}(k-1) + f_{err}(k-2)] \quad (4)$$

式中: $\Delta u(k)$ - k 时刻的输出增量值; $u(k)$ 和 $u(k-1)$ - 分别为第 k 时刻和第 $k-1$ 时刻的输出值。

2.3 专家变参数 PID 调节

变参数 PID 控制就是指式(5)中 k_p 、 k_i 、 k_d 不是常数,而是随流量偏差 $f_{err}(t)$ 改变的控制方式。根据误差及其变化,该控制器可以分以下情况进行设计:(1) $|f_{err}(k)| \geq f_{err_{max}}$ 时,底吹流量误差的绝对值已经很大,不论其变化趋势如何,都应该以最大增量输出;(2) $|f_{err}(k)| \leq f_{err_{min}}$ 时,底吹流量误差的绝对值已较小,应缓慢调节,应该以最小的增量输出;(3) $f_{err_{min}} < |f_{err}(k)| < f_{err_{max}}$ 时,应该根据误差大小来动态调整输出增量,误差越大动作越快,误差越小动作越慢,使输出跟误差成 2 次方关系;(4) $f_{err}(k) < f_{err_{dead}}$ 时,说明已基本接近目标值,为了避免震荡,输出增量为 0。

根据以上设计原则,可得专家变参数 PID 算法:

k_{min} 。

$$\Delta u(k) = \begin{cases} k_{max} ferr(k) \dots\dots\dots (|ferr(k)| \geq ferr_{max}) \\ k_m \{ k_p [ferr(k) - ferr(k-1)] + k_i ferr(k) \} \dots\dots\dots (ferr_{min} < |ferr(k)| < ferr_{max}) \\ k_{min} ferr(k) \dots\dots\dots (ferr_{dead} \leq |ferr(k)| \leq ferr_{min}) \\ 0 \dots\dots\dots (|ferr(k)| < ferr_{dead}) \end{cases} \quad (5)$$

式中: k_{max} - 最大放大倍数; $ferr_{max}$ - 最大流量误差; $ferr_{dead}$ - 死区流量误差; k_{min} - 最小放大倍数; $ferr_{min}$ - 最小流量误差; $k_m = (k_{max} - k_{min}) \frac{ferr(k) - ferr_{min}}{ferr_{max} - ferr_{min}} + k_{min}$ 。

3 工厂应用

三明钢厂 1# 顶底复吹转炉装入量为 30 t, 原采用顶吹工艺, 现改为顶底复吹工艺进行吹炼, 因此设计一套 3 支枪(支路)底吹系统, 供气模式见表 1。

操作人员根据目标终点碳含量选择对应的底吹供气模式(A、B、C、D、E), 底吹控制系统根据转炉炉体位置和吹氧状态等实时数据, 自动判断底吹当前冶炼阶段, 然后结合所选模式, 从表 1 中自动选择对应的设定流量进行底吹供气。若所炼钢种不变的话, 系统即可自动顺利进行, 无需人工操作。

表 1 30 t 转炉复吹工艺底吹供气模式和总供气量/($m^3 \cdot h^{-1}$)

Table 1 Pattern of bottom blowing of top and bottom combined blowing process for a 30 t converter / ($m^3 \cdot h^{-1}$)

模式	条件 C/%	兑铁 装料	吹炼期				测温 取样	点吹	测温 取样	出钢	溅渣	倒渣 等待
			1	2	3	4						
A	<0.10	80	80	80	120	160	80	160	80	80	160	80
B	0.10~0.25	80	80	80	100	120	80	120	80	80	160	80
C	≥ 0.25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	160	80
D	试验	80	80	80	80	80	80	80	80	80	160	80
E	试验	80	80	80	80	80	80	80	80	80	160	80
底吹气源种类		N ₂	N ₂	N ₂	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	Ar	N ₂	N ₂

图 3 为该项目中采用专家变参数 PID 控制技术的底吹流量控制曲线图。该图显示为底吹总供气量从 160 m^3/h (单支 53.3 m^3/h) 降到 80 m^3/h (单支 26.7 m^3/h), 然后再升到 160 m^3/h 的调节过程, 3 条曲线基本重合, 且都稳定在 53 m^3/h 或 26 m^3/h 左右, 从中可看出在底吹流量大范围调节情况下, 实际底吹流量曲线控制十分平稳且迅速, 其控制性能远优于普通 PID 调节器。

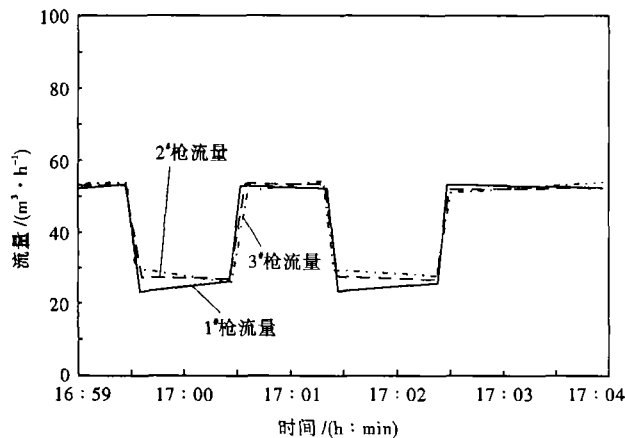


图 3 30 t 转炉底吹流量控制曲线

Fig.3 Control curves of bottom blowing flow rate control for a 30 t converter

而且该控制技术具有以下几个方面的优势:

- (1) 在整个转炉生产过程中实现了底吹流量全自动控制, 有效防止了底吹枪堵塞;
- (2) 在底吹流量调节范围达到 1: 10 时, 均能实现 3 ~ 5 s 以内迅速平稳达到目标值;
- (3) 在等待阶段可以把流量控制在较小范围(保证不堵枪就行), 从而降低生产成本。

通过在莱钢、武钢、唐钢、临钢、三钢等多家钢铁企业顶底复吹转炉(30 ~ 120 t)上的应用, 专家变参数 PID 控制器凭借其优良的调节性能, 充分发挥了顶底复吹工艺优势, 明显提高了经济效益。

4 结语

开发的专家变参数 PID 底吹流量优化控制技术具有优良的调节性能, 能较好满足底吹系统对流量调节的严格要求。应用表明, 顶底复吹工艺具备响应时间快、达到稳定时间短、基本无震荡等优点。

参考文献

1 刘金钺. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真. 北京: 电子工业出版社, 2002

赵 舸(1979-), 男, 硕士研究生, 工程师, 2001 年北方交通大学毕业, 冶金自动化开发研究。

收稿日期: 2007-04-09