

高炉热风炉交错热并联自主创新工艺技术简介

唐文权 银汉 杨世祥

(原北京钢铁设计研究院, 武汉中达制铁有限公司, 北京亿美博科技有限公司)

摘要: 四座热风炉采用交错热并联新技术于正在广泛使用的常规交错交联工艺相比, 不兑冷风就能将送风温度稳定在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以下, 并且在不变原来各种操作参数的前提下, 提高 $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ 风温

关键词: 高炉, 热风炉, 热并联送风

2009年1-7月, 在武钢5号高炉(3400m^3)上进行了5次热风炉热并联送风工业性试验, 均取得了相同的预期效果。该系统自2009年7月投入生产使用。本文对这项自主创新技术作一个简单的介绍:

1 四座热风炉采用交错热并联新工艺与常规交错并联送风工艺有什么不同?

采用常规交错并联送风工艺时, 四座热风炉两烧两送, 两座送风热风炉都分成前半周期和后半周期两段时间, 在送风时间上交错半个周期并联送风。例如: 当No.1热风炉后半周期与No.2热风炉前半周期并联送风, 各送50%热风, 当No.1热风炉终止送风转到燃烧, No.2热风炉后半周期与No.3热风炉前半周期并联送风, 各送50%热风。随着热风炉格子砖蓄热量的减少, 在整个并联送风周期中, 进入高炉的风温始终在逐渐降低。国内外绝大部分大中型高炉为了让进入高炉的风温保持基本恒定, 都采用兑入冷风的方法来满足这一要求。在每一个送风周期开始时, 由于两座热

风炉的混合风温较高，要多兑冷风，随着混合风温逐渐降低相应减少兑入冷风，到了单炉送风周期到达终点时停止兑入冷风。不兑冷风这一点的风温就成了进入高炉的相对恒定风温。采用这种常规工艺，必然使得整个送风周期内都在将已经得到的风温进行兑冷降温使用，只是降温程度前后不同而已。

采用交错热并联新工艺，同样也是两座热风炉交错并联送风，不同的是两座热风炉的送风量都不是固定在 50%，同一时间，处在前半周期的热风炉送风温度较高，处在后半周期的热风炉送风温度较低。通过高精度液压调节阀控制冷风阀开度，采用改变两座热风炉送风量比值的方法来保持进入高炉的风温相对恒定。处在前半周期热风炉的风量从 0% 逐渐增加到 100%，同时，处在后半周期热风炉风量从 100% 逐渐减少到 0%，任何时间两座热风炉送风量相加都是 100%，采用调节两座热风炉通过风量比例的方法同样可以达到进入高炉风温的相对恒定的目的，就因为不兑冷风，所以取得了提高风温的效果。

2 四座热风炉采用热并联新工艺技术有哪些具体效果？

2.1 在不改变原有热风炉参数的条件下（同样的煤气热值和燃烧器能力，同样的拱顶烟气温度和废气温度，同样的格子砖重和送风初温），可以提高热风温度的基本值约为单炉送风温降的 25%（例如单炉送风温度降 60℃，可提高风温 15℃，单炉

送风温降 100°C ，可提高风温 25°C)。

请参见附图：热并联工艺的控制原理图

2.2 采用了高精度的数字液压冷风调节阀、热风炉智能热工模型，结合模糊控制系统，可以将热风温度波动值控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内。

2.3 热风炉由燃烧转换为送风时，受充压冷风的影响，炉内初始热风温度降低。采用传统交错并联送风时，两座热风炉各送 50% 风量不能改变，因此在送风周期开始的 2-3 分钟内，即使不兑冷风也会产生 $> 50^{\circ}\text{C}$ 的热风降温。采用热并联新工艺后，送风周期开始时，处在前半周期热风炉的风量从 0% 慢慢增加，短时热风温降可从以前的 $> 50^{\circ}\text{C}$ 降到现在的 10°C 左右甚至更低。

3 四座热风炉采用交错热并联新工艺的效益计算举例（提高风温 20°C ）

3.1 经济效益

提高风温具有节省焦炭和多喷煤粉双重经济效益

计算设定参数：

高炉有效容积 3400m^3 ，年产铁水 $294 \times 10^4\text{t/a}$ ，燃料比 523kg/tHM ，不富氧时吨铁耗风量 $1250\text{Nm}^3/\text{tHM}$

自产入炉焦炭成本 1400 元/t，焦炭灰份 12%

外购喷吹煤到厂价 750 元/t，原煤灰份 9%，原煤水份 12%

煤粉制备喷吹加工费 80 元/t, 煤粉水份 1%

高炉煤气 0.07 元/Nm³

焦/煤置换比 0.97

宝钢风口前理论燃烧温度公式 (喷吹混合煤)

$$T_F = 1559 + 0.839T_B + 4.972O_2 - 6.033W_B - 3.15P_C$$

其中 T_B 是热风温度℃, P_C 是喷煤量 kg/1000Nm³, 鼓风提高风温 20℃, 节省焦炭 3Kg/tHM

年经济效益=2940000×0.003×1400=12348000 元/年

提高风温 20℃, 多喷煤粉

$$=0.839 \times 20 \times 1.25 / 3.15 = 6.7 \text{ kg/tHM} (T_F \text{ 值不变})$$

年经济效益=[2940000×

$$0.0067 \times 0.97 \times 1400] - [2940000 \times 0.0067$$

$$\times (\frac{750}{0.89} + 80)]$$

$$=26749880 - 18175280 = 8574600 \text{ 元/年}$$

提高风温 20℃, 多耗高炉煤气 16Nm³/tHM

年增加成本=2940000×16×0.07=3292800 元/年

总经济效益=12348000+8574600-3292800=17629800 元/年

3.2 节能减排效益

计算设定参数:

炼焦工序能耗 142kg 标煤/吨, 喷煤工序能耗 35kg 标煤/吨

节约能耗

$$=2940000 \times (0.003 + 0.0067 \times 0.97) \times 0.142 - 2940000 \times 0.006$$

$$7 \times 0.035$$

$$= 3965 - 689 = 3276 \text{ t 标煤/年}$$

减排效果

1kg 标煤燃烧约产生 3.1kgCO₂, (12kgC 燃烧生成 44kgCO₂)

$$\text{减排 CO}_2 \text{ 量约} = 3276 \times 3.1 = 10156 \text{ tCO}_2 \text{ /年}$$

备注：各厂生产情况不同，焦煤价格波动很大，运输条件也有差异，上述计算仅是举例，准备采用热并联新工艺的工厂须自行计算各种效益，供决策人参考。

4 除了提高风温，采用热并联新工艺还有什么别的功能？

当采用热并联提高风温的主要功能受到限制时（例如：炉前送风装置或热风管路系统已经处在最高风温下工作，没有再提风温的可能性，或是担心晶间应力腐蚀的危险性……），采用热并联工艺还可以有别的功能：①对于风温已经达到 1250-1300℃ 的高炉来说，可以降低拱顶温度，降低钢板焊缝产生晶间应力腐蚀的危险性；②对于高热值煤气不够用的工厂来说，可以减少高热值煤气的用量；③不提高风温时，可以延长送风时间，减少换炉次数，减少换炉时排放的高压高温风量，节能减排；④新设计不要求最高风温的热风炉时，可以减少格子砖重量节省投资。

5 三座热风炉怎样采用热并联新工艺？

三座热风炉原来就有三种烧炉送风制度：①两烧一送；②一烧两

送；③半交错并联送风。国内外三座热风炉绝大部分采用两烧一送制，极少采用一烧两送制（济南铁厂，邯郸钢铁厂曾用过三座热风炉自身预热工艺，一烧，一送，一预热。接近于一烧两送）。三座热风炉采用热并联工艺时，应该选用一烧两送制。选用一烧两送制的关键是燃烧器要有足够的能量，新建热风炉时，设计人员就可以提供与热并联工艺相匹配的燃烧器能力。

现有热风炉改成热并联后燃烧器能力是否足够？不能一概而论，要看热风炉的型式，当前使用的热风温度，设计燃烧器能力有多大富裕，格子砖重量有无富裕，送风时间是否太长等等条件通过理论计算，或可参照实例后才能确定。

热风炉三种型式中，顶燃式和外燃式的燃烧器能力大于内燃式。如果燃烧器能力不够，可以将换炉时间从燃烧周期内移到送风周期内，既增加了烧炉时间又缩短了送风时间。改变以后，在换炉时间内为单炉送风，当一次换炉总时间为 10-15 分钟时，会出现约 $\pm 10-15^{\circ}\text{C}$ 的波动值，其余送风时间均为热并联 $< \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的相对恒定风温。

三座热风炉两烧一送，单炉送风无法实现交错并联，在格子砖总重量与四座热风炉格子砖总重相等，换炉时间 ≥ 45 分钟的条件下，三座热风炉采用热并联工艺提高风温的效果应该比四座热风炉还好。

我国 $\geq 1000\text{m}^3$ 大中型高炉中，三座热风炉占大多数。我们期待着三座热风炉采用交错热并联工业性试验早日出现在中国高炉上。

- 6 完成工业性试验的单位有：北京亿美博科技有限公司、武钢科技处、武钢炼铁厂、武钢设计研究院。

供稿人：唐文权 银汉

杨世祥

联系电话：010-63331966

亿美博科技