

# 三座热风炉采用“一烧两送热并联”创新工艺

唐文权<sup>1</sup> 冯燕波<sup>1</sup> 陈秀娟<sup>1</sup> 杨 涛<sup>2</sup>

(1.中冶京诚工程技术有限公司, 北京, 100176)

(2.北京亿美博科技有限公司, 北京, 100053)

**摘要:**我国大多数钢铁企业一座高炉配置三座热风炉,并且全部采用“两烧一送”传统操作制度,存在的缺点是浪费了大量燃烧时间和不能交错并联送风,与四座热风炉“两烧两送”交错并联相比,在相同拱顶温度和相等换炉排放能耗的条件下,向高炉提供的热风温度低 20~25℃。三座热风炉如果采用“一烧两送热并联创新工艺”,可以取得的效果有多条,其中主要的一条是在原有拱顶温度不变时,既可以提高风温,同时可以降低换炉排放能耗,而且可以自定分配份额。本文表 1 举例:提高风温 25℃,同时减排 50%;表 2 举例:提高风温 40℃,同时减排 38.3%。

**关键词:** 热风炉 一烧两送 热并联 高风温 节能减排

将三座热风炉“两烧一送”传统操作制度改为“一烧两送热并联创新工艺”可以同时获得节能减排和提高风温的双重效果。

## 1 高炉热风炉的座数

高炉热风炉的座数有三种配置形式:一座高炉配两座热风炉、一座高炉配三座热风炉以及一座高炉配四座热风炉。

二十世纪 50~60 年代,日本和德国的高炉都只建两座热风炉。当时,日本有 6 座高炉均只配套建设两座热风炉,其中最大高炉容积为 1790m<sup>3</sup>。直到现在,我国冶炼镍铁的小高炉还在使用两座热风炉。两座热风炉一烧一送,采用了间接传热的基本操作制度,任意时间段内都有一座热风炉在送风,另一座热风炉在换炉或燃烧。一座热风炉的换炉时间加燃烧时间等于送风时间,即燃烧时间小于送风时间。当高炉的入炉风量和风温设定以后,热风炉的烟气温度(拱顶温度)和烟气流量是可以随之确定和调节的。

两座热风炉的最大问题是没有考虑热风炉需要检修时如何保证高炉的正常生产,当一座热风炉需要检修时,高炉只能停炉。为了满足单座热风炉检修时高炉不停产和满足提高风温的需要,日本、韩国等国家的高炉改为一座高炉配建四座热风炉的形式,热风炉系统采用两烧两送的工作制度。两座热风炉送风时可以采用交错并联的操作制度,与两座热风炉同时送风相比,还可以提高 20~25℃的风温。

俄罗斯 3200 m<sup>3</sup> 以上的大高炉都配套建设四座热风炉，德国和欧洲的一些国家一座高炉大多配套建设三座热风炉。我国 3000 m<sup>3</sup> 级以上的高炉大多数配套建设四座热风炉，3000 m<sup>3</sup> 级以下的高炉大多数配套建设三座热风炉。

在有关文献资料上可查得，三座热风炉有两种操作制度：一种是两烧一送操作制度，另一种是半交错并联操作制度（1/2 时间一座热风炉送风，1/2 时间两座热风炉同时送风）。也许是因为后者控制复杂，也不能提高风温，使用有局限性。我国配套建设三座热风炉的炼铁厂几乎全部都采用了两烧一送操作制度。国外情况可能大致相同。

## 2 三座热风炉和四座热风炉的比较

### 2.1 建三座热风炉的投资比建四座热风炉省

配套建设三座热风炉的投资要比建四座热风炉省，但是不能简单说成是省掉了一座热风炉的投资。首先，设计三座或四座热风炉的格子砖总重大体上是相当的，例如德国蒂森公司斯韦尔根 N02 5513 m<sup>3</sup> 高炉三座热风炉格子砖总重 9782t，我国京唐钢铁厂 5576 m<sup>3</sup> 高炉四座热风炉格子砖总重 9951t。也就是说，高炉容积相同时，配套建设三座热风炉的其中一个热风炉要比配套建设四座热风炉的其中一个热风炉大 33.3%。其次，当三座热风炉采用两烧一送操作制度时，一座热风炉送 100% 的热风；而四座热风炉采用两烧两送操作制度时，每座热风炉送 50% 的热风，三座热风炉配置的所有阀门和支管面积要比四座热风炉配置的阀门和支管面积大一倍，因此不能简单说成是省掉了一座热风炉。

2.2 三座热风炉采用两烧一送操作制度，送出的稳定风温是单炉送风末温；四座热风炉采用两烧两送交错并联操作制度后送出的稳定风温  $\approx$  单炉送风末温 + 1/4（单炉送风初温 - 单炉送风末温）。在拱顶温度相同、换炉排放总能耗相等的条件下，三座热风炉两烧一送时的送风温度要比四座热风炉交错并联时低 20~25℃。

2.3 四座热风炉可以看成是两套热风炉系统，每套热风炉系统中的两座热风炉采用一烧一送操作制度，使用合理的烧/送时间比；而三座热风炉采用两烧一送的操作制度，实际上是把一座热风炉放入到了燃烧行列，不能不说是浪费了大量燃烧时间。

2.4 三座热风炉两烧一送时在理论上有一个潜在的优点，即拱顶温度受到限制时可以用缩短送风时间来提高风温，但是要付出耗能增排的代价（后面再讨论）。

## 3 最小烧/送时间比

两座热风炉和四座热风炉都采用了基本操作制度——一烧一送。对单座热风炉来说，燃

烧期后接着送风期，前面已经讨论过燃烧时间可以小于送风时间。

宝钢 4000 m<sup>3</sup> 级高炉配置四座热风炉，采用两烧两送交错并联操作制度时，燃烧时间 86min、换炉时间 14min、送风时间 100min，烧/送时间比=0.86，在不产生晶间应力腐蚀的前提下，获得了 1250℃的高风温。笔者暂且把 0.86 看作为最小烧/送时间比。

三座热风炉如果采用一烧两送热并联操作制度时，单座热风炉送 50%的高炉用热风，暂且把最小烧/送时间比定为 0.43。

## 4 现在必须重视换炉排放能耗

对这个问题过去触及甚少，人们也不太重视，如今刚在巴黎开过世界应对气候变化大会，各国都要提出减排目标，我国作为能耗大国，要求更高。炼铁行业要推出一项新工艺离不开这方面的论证。

高炉热风炉采用间接换热方式，一座热风炉先燃烧后送风，在送风结束转换到燃烧时必须放掉炉内的高压高温空气（含富化的氧气）。一座 4000 m<sup>3</sup> 级高炉配套的四座热风炉，按照单炉送风时间 100min 计算，每天排放次数=1440/100×2=28.8 次，年排放能耗约 2000 多吨标煤。

4.1 三座热风炉和四座热风炉比较排放能耗时不能只比排放次数，因为三座热风炉的单座热风炉炉内空间约为四座热风炉的 4/3 倍。三座热风炉两烧一送单炉送风时间为 66.7min 时（21.6 次/天）的排放总能耗与四座热风炉两烧两送单炉送风时间 100min 时的排放总能耗相等。

### 4.2 提高热风温度不能靠增排

九十年代初，德国曾有文章说“三座热风炉两烧一送，拱顶温度在 1350℃条件下就足以达到 1250℃的高风温，单炉送风时间定为 30min”，“建第四座热风炉就是多余的了”。但是，单炉送风时间从 66.7min 缩短到 30min，每天需排放 48 次，排放总能耗要增加到原来的 2.22 倍。

济钢 1750 m<sup>3</sup> 高炉采用顶燃式热风炉，国外设计书中写有“风温 1200℃，送风时间取 45min”，计算可得换炉排放次数将增加到 1440/45=32 次/天，这也等于用增排换风温，在实际操作时同样也是不可取的。

## 5 三座热风炉采用“一烧两送热并联”新技术后的效果

三座热风炉采用“一烧两送热并联”新技术后的效果如表 1、表 2 所示：

表 1 热风炉换炉排放次数和高炉围管前风温比较表一

序号	名称	操作制度		
		两烧一送	一烧两送交错并联	一烧两送交错热并联
1	单炉送风时间	65min	260min	260min
2	换炉时间	15min	15min	15min
3	单炉燃烧时间	115min	115min	115min
4	烧/送时间比	1.77	0.442	0.442
5	单炉送风初温	1330℃	1330℃	1330℃
6	平均单位送风温降	1.2℃/min	0.6℃/min	0.6℃/min
7	单炉送风末温	1252℃	1174℃	1174℃
8	混合后送出风温	/	$1174 + (1330 - 1174) / 4 = 1213℃$	$(1330 + 1174) / 2 = 1252℃$
9	管路散热损失	10℃	10℃	10℃
10	混风蝶阀漏风损失	25℃	25℃	/
11	高炉围管前风温	1217℃	1178℃	1242℃
12	风温变化	/	降 39℃	升 25℃
13	换炉排放次数	22.2 次/天	11.1 次/天	11.1 次/天
14	换炉排放变化	/	降 50%	降 50%
15	进入主管最高风温	1330℃	1213℃	1252℃
16	采用后的效果	/	大幅度减排, 大幅度降温	减排 50%, 升温 25℃

表 2 热风炉换炉排放次数和高炉围管前风温比较表二

序号	名称	操作制度		
		两烧一送	一烧两送交错并联	一烧两送交错热并联
1	单炉送风时间	65min	210min	210min
2	换炉时间	15min	15min	15min
3	单炉燃烧时间	115min	90min	90min
4	烧/送时间比	1.77	0.43	0.43
5	单炉送风初温	1330℃	1330℃	1330℃
6	平均单位送风温降	1.2℃/min	0.6℃/min	0.6℃/min
7	单炉送风末温	1252℃	1204℃	1204℃
8	混合后送出风温	/	$1204 + (1330 - 1204) / 4 = 1235.5℃$	$(1330 + 1204) / 2 = 1267℃$
9	管路散热损失	10℃	10℃	10℃
10	混风蝶阀漏风损失	25℃	25℃	/
11	高炉围管前风温	1217℃	1200.5℃	1257℃
12	风温变化	/	降 16.5℃	升 40℃
13	换炉排放次数	22.2 次/天	13.7 次/天	13.7 次/天
14	换炉排放变化	/	降 38.3%	降 38.3%
15	进入主管最高风温	1330℃	1235.5℃	1267℃
16	采用后的效果	/	减排, 但降低风温	减排, 升温较多

5.1 表 1 举例：换炉排放能耗减少 50%，同时提高风温 25℃。

表 2 举例：换炉排放能耗减少 38.3%，同时提高风温 40℃。

先比较一下三种操作制度向高炉送出的稳定风温：

两烧一送操作制度=单炉送风末温。

一烧两送交错并联操作制度=单炉送风末温+ $\frac{\text{单炉送风初温} - \text{单炉送风末温}}{4}$

一烧两送热并联操作制度= $\frac{\text{单炉送风初温} + \text{单炉送风末温}}{2}$

一烧两送操作制度要靠延长单炉送风时间来满足最小烧/送时间比，但是延长送风时间会降低送风温度。因为单纯将两烧一送改为一烧两送交错并联，虽然可以减少换炉排放能耗，但要降低送风温度，顾此失彼，显然不是上策，所以也没有人提出这种操作制度。

采用两烧一送或一烧两送交错并联操作制度时，为了要向高炉送出稳定风温，需要不断掺入冷风降温（混风）。我国炼铁行业中，热风炉混风管上装的调节阀几乎都是刚性密封蝶阀，在需要阀门全关时关不死也不敢关死（冷风温度~200℃）。因此，混风蝶阀（调节阀）在全关时（阀门处在零位时）还在漏入冷风，导致热风温度又要降低 25℃或更多。采用热并联时，两座送风温度高低不同的热风炉自己互兑，不需要混入冷风，操作时可以把混风管完全切断，不但可以把送风时间长引起的风温降弥补回来，还可以进一步提高送风温度。

5.2 使进入热风主管的最高风温降低 60~80℃

我国热风炉的混风点大都设在主管的中下部，两烧一送操作制度时，混风点以前的热风主管接受的是送风初温，改用热并联后接受的是混合后的风温，减轻了这一部分热风主管承受高风温的负担。

5.3 改善了高炉的不稳定工况

高炉风机如果采用等风量操作时，在充压时间（约 10min）内，约有 10%的风量用作充压，进入高炉的风量和热量减少了 10%，使用热并联后，这种不稳定工况可以减少 50%。

5.4 采用热并联，可以向高炉提供误差<±3℃的稳定风温。

5.5 采用热并联操作后大大延长了单炉送风时间，很大程度提高了中下部格子砖的利用率，在新设计热风炉时可以减少格子砖数量，节约投资。

## 6 本文在叙述和附表中采用数据的来源

6.1 最小烧/送时间比

2009年5月，宝钢4000 m<sup>3</sup>级高炉四座热风炉两烧两送交错并联操作，单炉送风时间100min、换炉时间14min、燃烧时间86min，烧/送时间比=0.86，围管风温~1250℃。

2015年5月，北满特钢450m<sup>3</sup>高炉配套的三座热风炉采用两烧一送时，单炉送风时间50min，换炉时间8~14min；改为一烧两送交错并联操作制度时（约两个星期），单炉送风时间110min，换炉时间8min，燃烧时间47min，烧/送时间比=0.427。

### 6.2 采用热并联可以大大延长单炉送风时间

2009年1~7月，武钢N05 3400m<sup>3</sup>高炉试验热并联，在限制1200℃围管风温的条件下，单炉送风初温1330℃，单炉送风时间240min，送风末温1090℃，围管风温1200℃。

### 6.3 混风蝶阀在全闭状态下仍然漏风，造成风温降~25℃

在我国绝大多数钢铁企业中，混风管上都不装流量计。因此，混风调节阀全关闭时漏不漏风、漏多少风，都说不清楚。2015年5月，在首钢设计院的建议下，某厂4000m<sup>3</sup>高炉热风炉混风管上加装了一个流量计。该高炉入炉风量~6400Nm<sup>3</sup>/min（含富化氧气量），当混风蝶阀在全闭状态时，测得的漏风量为~240 Nm<sup>3</sup>/min（约占全部入炉风量的3.8%）。

2014年2月，天钢3200 m<sup>3</sup>高炉配套的四座热风炉采用交错并联操作制度时，在混风蝶阀（全关闭时）前的热风主管上测得的热风温度与围管前热风温度的平均差值为39℃，其中包括了一段管壁的散热损失。

2015年3月，唐山建龙750 m<sup>3</sup>高炉配套的三座热风炉采用两烧一送操作制度时，平均单炉送风末温1156℃，围管风温1118℃，风温损失38℃，其中包括了管壁散热损失。

说明：本文暂未计算因节能降低的成本以及提高风温可以节焦降低的成本，使用单位可以根据本厂成本情况自行计算。

联系人：冯燕波，电话：15801421536

联系人：沈国忠，电话：18511907305

亿美博科技有限公司

010-64738812 / 63331966

北京朝阳区，望京SOHO中心，塔1-C座306，www.hydraulic.com.cn