

首钢使用进口矿粉的合理配比方案

唐志勇 陈秀琨 郭和宝

(首钢技术研究院)

摘要: 首钢于 2000 年使用了进口矿粉。通过对矿粉熔融特性, 不同进口矿粉的配比烧结和搭配烧结试验, 以及对烧结矿和综合炉料的冶金性能检测, 确定其合理的配比和炉料结构, 并分析了工业生产情况。

关键词: 精粉 配比 烧结 冶金性能 应用

1 前言

首钢长期在烧结生产中使用迁安精矿粉, 其含铁品位达 68%, 二氧化硅含量为 4.2%, 成品烧结矿铁品位为 57%左右, 二氧化硅含量约 6%, 要保持 1.6 的碱度, 氧化钙含量约为 9.5%。

为提高综合入炉品位, 首钢于 1999 年试用了巴西 CVRD 南部精粉, 但用后使烧结矿冶金性能变差, 低温还原粉化率上升, 开始软化温度降低。2001 年, 继续在烧结生产中配加巴西粉并首次配加印度粉矿, 以生产高铁和低二氧化硅的烧结矿。为保持生产顺稳, 对进口矿粉的合理配比方案进行了研究。

2 矿粉熔融特性试验

2.1 软化特性试验

迁安, 巴西精矿粉和印度矿粉的开始软化温度较高, 澳大利亚富矿粉相对较低; 迁安, 巴西精矿粉的软化终了温度较高, 印度矿粉居中澳大利亚富矿粉最低; 印度矿粉的软化区间最窄, 有利于提高烧结产量。试验结果见表 1。

表 1 矿粉的软化试验结果

项 目	软化开始温度	软化终了温度	软化区间
迁 安 精 矿 粉	1 184	>1 400(33%)	>216
巴 西 精 矿 粉	1 217	>1 400(35%)	>183
印 度 矿 粉	1 247	1 395	148
澳大利亚富矿粉	1 046	1 334	288

2.2 同化性试验

迁安精矿粉, 巴西精矿粉和印度精矿粉的同化温度相同, 同化性能接近; 澳大利亚富矿粉同化温度低于其它三种矿粉 100℃,

其同化性能与上面三种矿粉的同化性能相差较大。试验结果见表 2。

表 2 矿粉的同化性试验结果

项 目	同化温度/℃	同化时间/min
迁 安 精 矿 粉	1 320	10
巴 西 精 矿 粉	1 320	9
印 度 矿 粉	1 320	9
澳大利亚富矿粉	1 220	9

2.3 熔融性能

综合比较 4 种矿粉的软化特性和同化性能可看出, 迁安精矿粉, 巴西精矿粉和印度精矿粉的熔融特性较为接近, 而澳大利亚矿粉的熔融特性与上述三种矿粉相差较大。

3 烧结杯烧结试验

试验配比及条件

以二烧结车间料比为基础共进行 5 种配矿方案: (1) 配加巴西精矿粉替代迁安精矿粉; (2) 配加巴西精矿粉替代澳大利亚富矿粉; (3) 配加印度富矿粉替代迁安精矿粉; (4) 配加印度富矿粉替代澳大利亚富矿粉; (5) 配加巴西精矿粉替代迁安精矿粉的不同碱度烧结杯烧结试验。

3.2 试验结果分析

3.2.1 巴西精矿粉替代迁安精矿粉

用 5%-20%巴西精矿粉替代等量迁安精粉, 烧结矿 TFe 从基础时的 57.8%上升到 58.4%, 二氧化硅含量从 5.51%降到 4.88%, 利于提高烧结矿的成品率, 但须保证氧化亚铁含量在较高水平上。其原因是巴西精矿粉配比超过 10%, 对烧结矿的转鼓强度产生影响, 烧结矿中二氧化硅含量减少, 碱度保持不变, 导致氧化钙的配入量减少, 含量仅为

7.36%-8.00%，烧结过程中形成液相量也相应减少。当巴西精矿粉配比达到 20%时，吨矿燃料消耗增加 5.33kg。

3.2.2 巴西精矿粉替代澳大利亚富矿粉

用 10%-20%巴西粉替代澳粉，烧结矿品位从 57.8%上升到 59.8%，二氧化硅含量从 5.51%降到 4.95%，利于提高烧结矿的成品率；为保证烧结转鼓强度，需保持氧化压铁含量在 10%以上。随着巴西粉比例的增加，吨矿燃料消耗降低 1.65kg，比基础料比降低 1.3kg。

3.2.3 印度富矿粉替代迁安精矿粉

用印度矿粉替代 15, 20, 25%迁安精矿粉后，烧结矿品位从 59.1%上升到 59.6%，二氧化硅含量从 4.89%降到 4.61%，三氧化二铝从 1.2%提高到 1.55%，对结矿成品率有负面影响。烧结矿存在形成液相量减少的问题，在现有碱度条件下增加氧化压铁含量，以保证烧结矿强度。配加印度富矿粉燃料消耗增加。

3.2.4 印度富矿粉替代澳大利亚富矿粉

用印度矿粉替代 15%，20%澳粉的烧结试验，烧结矿品位从 59.1%上升到 59.6%，二氧化硅含量从 4.90%降到 4.80%，与基础试验相比，品位提高 1.8%，二氧化硅含量降低 0.71%，比用 15%巴西精粉替迁安精粉时烧结矿品位提高 1.2%，二氧化硅含量降低 0.26%，对结矿成品率有负面影响。试验中尽管氧化压铁控制水平已达 10%以上，烧结矿成品率仍仅有 78%左右，能耗比基础料提高 5.26kg/t。

3.2.5 配加巴西精矿粉不同碱度烧结杯烧结试验

在当前碱度条件下，二氧化硅含量降至 4.6%-5.0%后，烧结矿中的液相量不足，解决办法是提高烧结矿碱度，发展铁酸钙。首钢烧结矿适宜碱度为 1.7-1.9，试验烧结矿碱度定为 $R=1.8, 1.9$ ，考虑提高烧结矿碱度公司的原料平衡，进行了 $R=0.6, 0.8$ 酸性烧结矿烧结试验，料比采用以 20%巴西精矿粉替代迁安精矿粉。烧结矿碱度提高后，二氧化硅变化不大，品位有所降低，成品率，转鼓指数基本不变，烧结燃料消耗降低。而

当烧结矿碱度降至 0.6-0.8 时，品位升高，二氧化硅降低，转鼓指数降低，成品率基本不变，烧结燃料消耗大幅度升高。

3.2.6 综合比较

用巴西粉替代迁安粉，澳粉，或用印度粉替代澳粉，迁安粉均可提高烧结矿品位，降低二氧化硅含量。用巴西粉替代迁安粉降二氧化硅效果明显；以巴西粉替代澳粉对提高烧结矿品位效果交好；用巴西粉替代迁安粉时，以印度粉替代澳粉对提高烧结矿品位和降低其二氧化硅含量效果显著。

4 烧结矿冶金性能

4.1 试验结果分析

4.1.1 巴西精矿粉替代迁安精矿粉

对烧结矿低温还原粉化性能的影响：随巴西粉替代迁安粉数量的增加，烧结矿的低温还原粉化性能变差， $RDI-3.15$ 从基准时的 34.14%增加到配加 20%巴西粉时的 41.74%，低于优质铁烧结矿标准。同时配加 20%澳粉和 20%巴西粉，使烧结矿的低温还原粉化性能变差。

对烧结矿还原性能的影响：随着巴西精矿分配比的增加，烧结矿还原指数呈上升趋势。

对综合矿料入炉品位，熔滴性能的影响：本组综合炉料随巴西精矿粉配比增加，烧结矿品位提高；二氧化硅降低，综合炉料的品位和二氧化硅也相应变化。依据二烧料配 5, 15, 20%巴西粉的烧结矿配成的炉料融融区间，熔滴带厚度等两项指标与基础炉料接近，熔融状态的最大压差偏高，配 10%巴西粉的烧结矿配成的综合炉料的三项指标比基础炉料均差。

4.1.2 巴西精矿粉替代澳大利亚富矿粉

对烧结矿低温还原粉化的影响：随巴西粉替代澳粉配比的增加，烧结矿低温还原粉化性能改善， $RDI-3.15$ 从替代 10%时的 39.03 降低到替代 20%时的 30.52%。

对烧结矿还原性能的影响：烧结矿还原度指数低于基础料比，原因是以巴西粉替代澳粉原料的氧化度没有变化，而烧结矿氧化亚铁含量较高，因而对烧结矿的间接还原度产生了一定影响。

综合炉料入炉品位, 熔滴性能的影响: 随巴西精矿粉配比增加, 烧结矿品位提高, 二氧化硅含量变化不大, 综合炉料的品位提高。按烧结矿碱度 1.60 配成的综合炉料熔融状态的最大压差均高于基础炉料, 对高炉顺行产生影响, 主要原因是该组炉料中烧结矿的氧化亚铁较高, 增加生矿配比至 17.6%, 降低氧化亚铁含量, 试验各项指标趋好。

4.1.3 印度富矿粉替代迁安精矿粉

对烧结矿低温还原粉化率的影响: 逐步增加印度矿配比, 烧结矿低温还原粉化率呈上升趋势, 提高烧结矿中氧化亚铁含量至 11%, 可有效降低烧结矿的低温还原粉化率。

对综合炉料入炉品位, 熔滴性能的影响: 随印度富矿粉配比增加, 烧结矿品位提高, 二氧化硅含量降低; 综合炉料的品位, 二氧化硅也相应变化。熔滴性能的指标中, 除按配加 25% 印度粉的烧结矿配成的炉料结构的熔融带略后外, 其余各综合组炉料的指标均好于基础料比。

4.1.4 印度富矿粉替代澳大利亚富矿粉

对烧结矿低温还原粉化性能的影响: 随印度粉配加比增加, 烧结矿低温还原粉化率上升, 从配加 15% 印度粉的 34.64% 上升到配 20% 印度粉时的 41.35%, 高于配 20% 澳粉时的 38.73%, 并低于优质烧结矿标准。

对烧结矿还原性能的影响: 与基础试验比, 配加印度矿粉后烧结矿还原度指数呈上升趋势, 但印度富矿粉配比从 15% 升至 20% 时变化不明显。

对综合炉料入炉品位, 熔滴性能的影响: 随印度富矿粉配比增加, 烧结矿品位提高, 二氧化硅含量降低, 综合炉料品位明显提高, 二氧化硅降低明显。综合炉料熔滴性能各项指标均优于基础料比。

4.1.5 不同碱度的烧结矿试验

对烧结矿低温还原性分化性能的影响: 与 $R=1.6$ 时配 20% 巴西精矿粉替代迁安精矿粉烧结矿相比, $R=0.6, 0.8$ 和 $R=1.8, 1.9$ 时烧结矿的低温还原粉化率均降低, 其中碱度烧结矿的低温还原粉化率已达到优质烧结矿的指标, 酸性烧结矿的低温还原粉化率降低更为明显。

对烧结矿还原性能的影响: 试验中

$R=0.6, 0.8$ 的烧结矿的间接还原性能明显低于高碱度烧结矿, $R=1.8, 1.9$ 的烧结矿的间接还原性能与 $R=1.6$ 的烧结矿的间接还原性能基本相当。

4.1.6 最佳炉料结构

在高碱度烧结矿搭配 15% 生矿和 7% 球团矿的炉料结构下, 综合料的熔滴性能明显好于生矿, 球团矿, 略好于烧结矿。

碱度为 1.6 的以 5, 15, 20% 巴西精矿粉替代迁安的烧结矿配成的综合炉料熔滴性能较好, 但 20% 巴西精矿粉配比的烧结矿低温还原粉化率较高, 而 5% 巴西精矿粉配比的烧结矿的全铁和二氧化硅分别低于和高于 15% 巴西精矿粉配比的烧结矿, 因此以 15% 巴西精矿粉配比的烧结矿配成的炉料结构是该组配比下的最佳炉料结构; 烧结矿碱度为 1.8, 1.9 时, 20% 巴西精矿粉替代迁安粉的烧结矿所配成的综合炉料则是该种配比的最佳炉料结构。

碱度为 1.6 的按一烧结比以 20% 和 25% 印度矿粉替代迁安粉的烧结矿适当调整结矿氧化亚铁含量, 组成的综合炉料高铁而低硅, 熔滴性能较佳, 对高炉增产、节焦及生产顺稳都十分有利。碱度为 1.6 的按而烧料比以 15% 和 20% 印度粉替代澳粉并配以 15% 巴西粉的烧结矿配成的综合炉料同样具有较佳的熔滴性能, 但因配 20% 印度粉的烧结矿低温还原粉化率较高, 所以配 15% 印度粉替代澳粉的烧结矿组成的综合炉料为该种配比的最佳炉料, 提高烧结碱度后, 还可进一步提高印度粉的配比。综合二烧配比来看, 印度粉与巴西粉组合生产的烧结矿无论在全铁和二氧化硅的指标上, 还是在综合炉料的熔滴性能上均优于澳粉与巴西粉的组合。

5 工业应用情况

5.1 配加巴西精矿粉的烧结生产实践

5.1.1 巴西精矿粉替代迁安精矿粉

配加巴西精矿粉后, 烧结矿的铁品位没有升高, 配加 10% 的巴西精矿粉替代迁安精矿粉后, 烧结矿品位提高约 0.4%, 而配会灰对烧结矿的品位影响在 0.3% 左右, 因此其提高品位的作用难以体现。配加巴西精矿粉后烧结矿二氧化硅降低, 烧结过程燃料消耗增

加。试验数据见表 3。

表 3 配加巴西精矿粉烧结生产数据

Table 3 Data of sintering production by proportioning Brazil concentrate

项 目	巴西粉配比/ %	TFe/ %	SiO ₂ / %	燃 耗 / kg·t ⁻¹	灰配比/ %	折算 TFe/ %	折算 SiO ₂ / %	折算燃耗/ %
基准期	0.00	57.60	5.71	43.85	2.2	57.76	5.71	45.90
过渡期	1.71	56.80	5.97	40.79	2.6	57.01	5.97	43.79
试验期 I	7.11	57.40	5.62	44.51	2.4	57.73	5.62	50.33
试验期 II	6.72	57.40	5.67	44.64	2.1	57.71	5.66	48.26

5.1.2 烧结矿的冶金性能

烧结矿的化学成分见表 4

表 4 烧结矿化学成分

Table 4 Chemical composition of the sinter %

项 目	TFe		FeO		CaO		SiO ₂	
	一烧	二烧	一烧	二烧	一烧	二烧	一烧	二烧
不配富矿烧结矿	55.99	56.51	10.16	10.91	9.80	9.49	6.24	6.11
配 5% 巴西粉	57.63	56.92	9.97	9.92	8.83	8.79	5.59	5.53
配 10% 巴西粉	57.20	57.28	11.28	10.47	9.00	8.99	5.45	5.37

在实际生产中，巴西精矿粉替代迁安精矿粉的配比逐渐升高，烧结矿的低温还原粉化率随巴西精矿粉配比的增加而提高，当巴西精矿粉配比达到 10% 时，烧结矿的低温还原粉化率明显上升，间接还原度指数基本保持不变。

5.2 配加印度矿粉的烧结生产实践

5.2.1 印度矿粉替代迁安精矿粉

在实际生产中，印度矿粉替代迁安精矿粉的配比逐渐升高后，烧结矿的铁品位降低，但扣除灰配加比后烧结矿的铁品位是增加的；配加印度矿粉后烧结矿中的二氧化硅没有降低，与烧结试验的结果有差别，分析原因主要是试验期间迁安精矿粉的二氧化硅产生了波动，烧结燃耗从过渡期开始有所下降，扣除灰带人的碳后，实际燃耗上升，这与烧结试验结果相符。试验数据见表 5。

5.2.2 烧结矿的冶金性能

烧结矿的低温还原粉化率随印度矿粉配比的增加而增加，当印度矿粉配比达到 25% 时烧结矿的低温还原粉化率明显上升，提高烧结矿的氧化亚铁至 10.5% 以上，可有效降低烧结矿的低温还原粉化率。烧结矿的间接

还原度指数基本保持不变，这与烧结杯烧结试验的结果也大体相同。试验数据见表 6。

5.3 炼铁生产实践

5.3.1 烧结矿所配加炉料结构的熔滴性能

配加巴西矿粉比未配加巴西矿粉的烧结矿所组成的综合炉料软化区间宽 26℃，滴落温度高 28℃。两组炉料的滴落区间相同，软熔带厚度和最大压差相近，说明烧结矿配加 10% 巴西精矿粉对综合炉料在高炉中下部的熔滴性能影响不大。用配加 25% 印度矿粉的烧结矿配成的综合炉料的滴落区间较上面两组宽 13℃，这与本组炉料中澳矿配比较上面两组炉料中多 5% 有关。

表 6 烧结矿的化学成分

Table 6 Chemical composition of the sinter %

项 目	TFe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃
不配富矿烧结矿	55.99	10.16	9.80	6.24	-
配 10% 印度粉	56.96	9.45	9.86	5.73	-
配 25% 印度粉	57.21	9.56	9.14	5.75	1.55

5.3.2 炼铁

在炉料结构基本保持不变及风温稳定的前提下，使用配加巴西精矿粉的烧结矿后，炼铁生产在过渡期和第一试验期内塌坐料次数明显增多，休风率上升。造成这种波动的原因是焦比大幅降低，喷煤比提高，综合冶炼强度提高，而同期使用的配加巴西粉的烧结矿的软化区间较宽，对高炉的透气性有不利影响。在第二试验期提高了焦比，降低了喷煤比和综合负荷，炉况趋于稳定。烧结矿中配加了巴西精矿粉后铁品位升高，二氧

化硅降低, 体现在炼铁生产中就是渣比降低, 试验期的渣比降低了 10kg/t 以上。使用配加印度矿粉的烧结矿后, 焦比, 喷煤比, 综合负荷, 渣铁比等各项指标基本稳定, 休风率虽有所上升, 但塌坐料次数明显减少, 高炉顺行并朝着好的方向发展。

由于烧结矿品位受迁安精矿粉铁品位

和二氧化硅波动的影响产生了波动, 所以炼铁生产的渣铁比也产生了波动。由于配加巴西粉和印度粉的生产过程中增加了灰的配比, 烧结矿的实际品位没有增加, 因而炼铁生产也无明显增产和降低焦比。试验数据见表 7。

表 5 配加印度矿粉的烧结生产数据

Table 5 Data of sintering production by proportioning India concentrate

项 目	印度粉配比/%	TFe/%	SiO ₂ /%	燃 耗/kg·t ⁻¹	灰配比/%	折算 TFe	折算 SiO ₂	折算燃耗/kg·t ⁻¹
基准期	0	56.80	5.80	42.94	4.6	57.08	5.83	48.04
过渡期	3.67	57.20	5.97	37.23	4.92	57.56	6.02	41.23
试验期 I	11.07	56.40	5.62	38.62	5.33	56.87	5.65	45.64
试验期 II	6.25	56.80	5.85	36.21	7.68	57.86	5.88	45.96
试验期 III	11.49	56.80	6.02	34.97	7.87	57.85	6.05	45.61

表 7 炼铁生产的数据统计表

Table 7 Data of ironmaking production

指 标	配 用 巴 西 精 矿 粉 对 比				配 用 印 度 矿 粉 对 比			
	基准期	过渡期	试验期	试验期	基准期	过渡期	试验期	试验期
利用系数/(m ³ ·d) ⁻¹	2.149	2.153	2.141	2.200	2.152	2.121	2.144	2.182
综合焦比/kg·t ⁻¹	496.3	489.4	485.2	493.4	482.9	489.8	481.8	487.7
喷煤比 /kg·t ⁻¹	120.6	123.1	99.1	105.3	116.4	113.1	108.4	113.4
综合负荷/t·t ⁻¹	3.354	3.42	3.436	3.385	3.446	3.442	3.453	3.442
热风温度/℃	1 061	1 069	1 062	1 068	1 056	1 054	1 053	1 059
渣铁比/kg·t ⁻¹	318	326	308	308	304	323	203	327
塌坐料/次	0	8	13	5	4	2	1	1
休风率/%	2.92	2.84	3.16	1.06	0.52	2.32	4.13	1.52
熟料比/%	83.40	85.86	85.93	86.03	82.99	84.74	85.02	84.25

6 结 论

- (1) 在配加 20%澳大利亚富矿粉条件下, 以巴西精矿粉替代迁安精矿粉, 随巴西精矿粉配比增加, 烧结矿品位提高, 二氧化硅降低, 烧结矿转鼓强度, 产量基本不变, 在 R=1.6 的碱度条件下, 巴西粉的合理配比应在 20%以下。
- (2) 用巴西精矿粉替代澳大利亚富矿粉, 随巴西精矿粉配比增加, 烧结矿的含铁品位升高, 二氧化硅降低, 燃料消耗降低, 烧结矿的低温还原粉化率降低, 应注意控制氧化铁水平, 氧化铁含量超过 11%对烧结矿的其它冶金性能又不利影响。
- (3) 用印度矿粉替代迁安精矿粉, 随印

- 度矿粉配比升高, 烧结矿铁品位提高, 二氧化硅降低, 烧结矿转鼓强度不变, 烧结利用系数有上升趋势, 燃料消耗提高。在烧结过程中多加工散料可达到不降低烧结矿铁品位, 降低燃料消耗的目的。
- (4) 在配加 15%巴西精矿粉的条件下, 以印度矿粉替代澳大利亚富矿粉, 烧结矿铁品位提高及二氧化硅含量降低明显, 烧结矿转鼓强度基本保持不变, 烧结利用系数有所上升的趋势, 燃料消耗提高, 烧结矿的低温还原粉化率提高, 烧结矿的间接还原性能有所改善。烧结矿和综合炉料的熔滴性能较好。
- (5) 发展高铁低硅的烧结矿, 多配高铁

低硅的富矿粉应适当调整炉料结构，提高烧结矿的碱度，既可有效解决配加富矿粉后烧结矿低温还原粉化率升高的问题，又可进一步改善烧结矿的间接还原性能，还可多配加高品位的酸性矿以提高炉料的人炉品位。