

首钢高炉增加生矿比例的试验研究

单泊华 王颖生 马泽军 张卫东
(首钢技术研究院 北京 100041) (首钢炼铁厂)

摘 要 在首钢 1、3、4 号高炉进行了增加入炉生矿比例的试验研究,生矿比例达到 20% 以上,取得一定经济效益。同时探索出首钢高炉配加澳块矿的适宜比例、季节特点及生产规律。

关键词 高炉 生矿

1 前言

首钢高炉使用澳大利亚块矿(简称澳矿)始于上世纪 70 年代,入炉比例曾达 25%,当时最大高炉有效容积仅 1327m³。后因生产规模扩大导致原燃料供应紧张而质量下降,入炉生矿比例降低,1999 年~2001 年仅为 13~15%。澳矿是生矿,冶金性能比人造富矿差。因其有价格优势,为降低生铁成本,国内外很多高炉采取增加生矿入炉比例代替酸性球团的措施并取得一定成效。为了探索首钢大型高炉配加生矿的适宜比例、季节特点及生产规律,炼铁厂和技术研究院进行了高炉增加生矿(主要指澳矿,4 号高炉还有钛矿)入炉比例的工业试验研究。

2 试验研究的目的与意义

从提高高炉冶炼技术指标分析,应该提高入炉矿石熟料比例,因为烧结矿、球团矿在成分稳定和冶金性能方面明显优于生矿。由于人造富矿成本高于生矿,高炉全部采用人造富矿冶炼尽管各项技术指标优异,但综合经济效益并非最佳。因此国内外一些高炉不再追求高炉全部使用人造富矿,而是配加部分生矿冶炼以获得最佳经济效益。2002 年首钢氧化球团矿入炉价格约 400 元/t,澳大利亚块矿约 302 元/t,采用一定比例澳块矿代替氧化球团矿是有效益的。关键是以澳块矿代替球团矿产生的正效益与配加一定比例澳块矿后,对高炉顺行状况及对技术经济指标的影响而产生的负效益相抵后的实际效益。试验研究目的与意义是,通过工业试验探索首钢高炉配加生矿的适宜比例、季节特点及生产规律。为此,2002 年 1~5 月在 1、3、4 号高炉进行了提高配加澳块矿比例试验,最高比例达到 20%。

3 近年来首钢高炉炉料结构及配加生矿情况

表 1 显示首钢高炉 1986~2002 年的炉料结构及配加生矿比例。此期间生矿比例逐年增加,至 2000 年达到最高(15.2%)。2002 年 1~5 月进行了提高澳块矿比例的试验,上半年生矿比达到 16.3%。下半年开始焦炭质量下降,生矿比下降。

表 1 首钢高炉 1987~2001 年炉料结构(%)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002.1~5
烧结矿	99.9	99.8	99.1	94.5	91.4	88.0	83.0	77.1	76.9	71.1	74.8	77.5	76.5	76.9	77.8	74.7
球团矿	0	0	0	4.7	8.1	9.1	12.4	22.1	20.2	19.7	10.8	7.9	9.4	8.0	9.1	9.0
生矿	0.1	0.2	0.9	0.8	0.5	2.9	4.6	0.8	2.9	9.2	14.4	14.6	14.1	15.2	13.1	16.3

联系人 单泊华 男 首钢技术研究院钢研所 高工 科研人员,北京石景山区厂东门内(邮编 100041)。

4 提高入炉生矿(澳矿)比例的工业试验研究

4.1 1、3、4 号高炉提高入炉生矿比例的技术经济指标

表 2 1、3、4 号高炉增加澳块矿入炉比例的有关技术经济指标

高炉	时间	澳块矿率 %	利用系数 t/m ³ ·d	焦比 kg/t	煤比 kg/t	风温 ℃	渣比 kg/t	透气性 指数
1 号	1999 年	15.29	2.137	386.7	124.1	1071	317	37813
	2000 年	15.55	2.254	374.9	122.1	1103	314	37621
	2001 年	14.34	2.119	372.2	134.6	1100	302	36625
	2002 年 1~5 月	18.22	2.357	328.4	158.4	1120	287	35226
	2002 年 5 月	20.59	2.334	331.3	160.3	1124	291	34970
3 号	1999 年	15.02	2.240	388.9	109.6	1059	321	36256
	2000 年	15.63	2.187	379.8	115.4	1086	317	36021
	2001 年	16.02	2.309	353.6	141.2	1118	309	36551
	2002 年 1~5 月	16.93	2.352	332.0	156.4	1117	302	36185
	2002 年 5 月	18.46	2.369	336.2	164.5	1138	306	36405
4 号	1999 年	13.28	2.177	409.2	107.4	1054	347	34789
	2000 年	14.63	2.150	397.4	117.7	1065	332	35045
	2001 年	13.28	2.238	387.1	115.0	1069	322	34706
	2002 年 1~5 月	18.24	2.296	376.5	118.5	1068	319	33994
	2002 年 5 月	19.91	2.232	380.0	123.2	1076	318	34027

表 2 列出了 1999~2002 年三座高炉澳块矿入炉比例及相关的技术经济指标。可见进入 2002 年后,1、3、4 号高炉生矿入炉比例明显提高。三座高炉的澳块矿比例达到了 18%~20%。

4.2 提高入炉生矿比例的原因分析

三座高炉在提高澳块矿入炉比例的同时,取得了较好的技术经济指标。如反映高炉操作水平的利用系数、焦比、煤比、风温等指标并没有恶化。可见 2002 年上半年提高入炉澳块矿比例的工业试验是成功的。下面分析其原因和规律。

4.2.1 焦炭质量的改善

做为高炉料柱骨架的焦炭,其质量在所有入炉原燃料中是最重要的,其中主要是对顺行的影响。表 3 显示了近年来自产焦炭的改进情况。反映焦炭质量的指标均有所改善。其中一炼焦改干熄焦后,转鼓强度由湿熄焦的 78% 提高到 85.5%,反应性 CRI 降低到 20%~22%,反应后强度 CSR 提高到 68%~70%,均达到或接近国内先进水平。此外,对外购焦炭质量严格把关也起到了重要作用。焦炭质量改善是生矿入炉配比提高的最主要原因。澳块矿具有较严重的低温(400~600℃)爆裂现象,大量入炉后块状带透气性会恶化。而焦炭质量改善的作用主要体现在改善了炉料透气性,为多加澳块矿、多喷煤、高风温创造了条件。由表 2 可见,尽管澳块矿加入比例明显增加,但 3 号高炉透气性基本未变,4 号高炉透气性略有降低,1 号高炉透气性仅比 2001 年降低 3.8%。由于焦炭质量改善,三座高炉均保持了顺行。反之,2002 年末~2003 年受煤炭市场紧张的影响,外购焦炭质量恶化,导致入炉澳块矿比例明显下降,也证明了焦炭质量好是高炉多吃生矿的基本保证。

表 3 自产焦炭指标的改善

年	产量 万 t	灰份 %	S %	M ₄₀ %	CRI %	CSR %
1999	1927	12.31	0.60	77.6	28.2	64.6
2000	1883	12.11	0.58	78.1	27.4	64.8
2001	1875	12.02	0.58	80.2	24.1	65.5

4.2.2 矿石质量的改善

表 4 是近年入炉矿石品位变化情况。近年来烧结矿铁品位和碱度逐年提高。澳块矿和球团矿品位也逐

年提高。使入炉矿综合品位提高到 59.55%。矿石综合品位提高及焦炭灰份降低,体现于渣量减少。表 2 显示,1999~2002 年,1、3、4 号高炉渣铁比逐年降低。2003 年 1~5 月,1、3 号高炉分别达到 287kg/t_铁、302kg/t_铁 的国内先进水平。4 号高炉因加钡块矿护炉,渣铁比高于 1、3 号高炉,但也降低了。渣量的降低改善了料柱透气性,为增加澳块矿入炉比例创造了条件。烧结矿碱度提高又使其强度提高,促进了炉料透气性改善。可以说渣量减少是高炉增加澳块矿比例的第二个原因。

4.2.3 澳块矿冶金性能的提高

近年来澳块矿冶金性能的变化情况见表 5。

表 4 入炉铁矿石质量的提高

时间 年	综合品位 %	渣铁比 kg/t	自产烧结矿		矿山烧结矿		澳块矿		氧化球团	
			TFe%	R ₂	TFe%	R ₂	TFe%	SiO ₂ %	TFe%	SiO ₂ %
1999	58.58	322	56.92	1.60	56.80	1.58	65.05	2.68	64.52	6.62
2000	58.64	319	57.02	1.63	57.23	1.59	64.95	2.80	64.92	6.27
2001	59.01	314	57.58	1.68	57.36	1.63	65.48	2.44	65.34	5.20
2002	59.55	302	58.01	1.73	57.55	1.68	65.46	2.35	65.30	5.10

注 2002 年为 1~5 月数据。

表 5 澳块矿冶金性能的提高

时间	矿种	RI	RDI %			T _{10%}	T _s	T _d	ΔP _m	ΔT
		%	+ 6.3mm	+ 3.15mm	- 3.15mm	℃	℃	℃	Pa	℃
1996.5	澳块矿	69.48	51.87	75.05	24.95	997	1084	1424	4748	340
1999.9	澳块矿	71.65	53.30	75.60	24.40	1000	1057	1384	4225	327
2000.2	澳块矿	76.54	56.37	75.92	24.08	998	1050	1359	3484	309
2001.4	澳块矿	77.51	58.30	76.15	23.85	1002	1068	1362	3235	294
2000.9	氧化球	64.28	64.85	81.63	18.27	992	1240	1387	2691	147
2002.4	烧结矿	73.45	40.12	64.08	35.92	1150	1323	1451	3232	128

由此可见：

- ① 澳块矿的还原性能优势明显。其 RI 值比球团矿高约 12 个百分点,对降低焦比有利。
 - ② 澳块矿开始熔融温度较低,软熔温度区间较宽,对料柱透气性不利。但其滴落时压差值逐年降低,2001 年 4 月已达到烧结矿水平,比 1996 年 5 月降低 30%,很大程度上缓解了压差的升高。
 - ③ 澳块矿在低温区还原粉化指数(- 3.15mm 值)一直比较稳定,该值介于球团矿和烧结矿之间。
- 澳块矿品位的提高及冶金性能的改善,是高炉能够多配加澳块矿的第三个原因。

4.3 利用系数、焦比、煤比、风温等指标变化分析

表 2 显示,与 2001 年相比,2002 年澳矿入炉比例增加后,高炉利用系数提高。高炉能够增产,主要原因是焦炭质量改善、炉渣量降低后炉况顺行状况改善,高炉具备强化冶炼条件,与多吃澳矿并无直接关系。高炉配加澳块矿的多少,很大程度取决于高炉顺行状态。

同样,与 2001 年相比,2002 年澳矿入炉比例增加后,入炉焦比降低、喷煤量增加,风温(指 1 号高炉)提高了。其主要原因也应归于高炉顺行状况的改善。顺行改善,使高炉允许加重焦炭负荷,为提高喷煤量和入炉风温创造了条件。利用系数、焦比、煤比、风温等主要技术指标的改善则证明在高炉顺行的条件下允许入炉澳块矿比例提高到 18%~20%。

工业试验中 1、4 号高炉生矿率均超过 20%,炉况可以保持顺行。下面通过 1、4 号高炉的工业试验,分析生矿率超过 20% 后高炉主要技术经济指标的变化规律。

4.3.1 1 号高炉工业试验分析

表 6 示出 1 号高炉澳块矿率超过 20% 的有关指标变化情况。可见,在澳块矿率超过 20% 以后,尽管透气性指数有所下降,炉况仍能保持顺行,这一点必须肯定并且非常重要。但是,由于澳块矿毕竟是生矿,在入炉比例达到 20% 以上时,其焦比、煤比及燃料比均有所升高,在入炉风量、风温和富氧率略有升高、休风率降

低的情况下,平均日产降低 71t。这就是生矿率提高后的代价。由于燃料比仅升高 6.3kg/t,还是比较理想的。

表 6 1 号高炉有关试验数据

时间	澳矿率	焦比	焦丁比	煤比	燃料比	日产	矿石 TFe	风温	风量	富氧率	透气性	[Si]	塌料	坐料
2002 年	%	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	√d	%	℃	m ³ /min	%	指数	%	次	次
1~4 月	17.6	327.7	18.3	157.9	503.9	5990.9	59.87	1119	4922	0.70	35290	0.411	1	0
5 月	20.6	331.3	18.6	160.3	510.2	5919.9	59.96	1125	4975	0.94	34970	0.413	0	0
比较	+2.99	+3.6	+0.3	+2.4	+6.3	-71.0	+0.09	+6	+53	+0.24	-320			

注 因冶炼条件变化不大,焦比及燃料比未做校正。

4.3.2 4 号高炉工业试验情况

① 试验期主要技术经济指标 试验数据见表 7。

表 7 4 号高炉较高生矿率的工业试验数据

试验期	日产	焦比	煤比	燃料比	结矿	球团	生矿率	矿石	焦 A	焦炭负	风温	风量	透气性	η _{co}	[Si]	塌料
	√d	kg/t	kg/t	kg/t	%	%	%	TFe %	%	荷 √t	℃	m ³ /min	指数	%	%	次
基准	4944.0	405.6	120.7	526.3	77.1	8.4	14.5	59.53		4.342	1077	4535	34767	42.6	0.360	0
I 期	4946.4	396.5	108.6	505.1	77.6	4.4	18.0	59.46	12.24	4.284	1063	4474	33317	43.0	0.376	1
II 期	4794.1	406.0	121.3	527.3	77.8	1.8	20.4	59.10	12.21	4.334	1077	4505	33389	42.8	0.383	0

注 ① 基准期 10.1~10.31 试验 I 期 3.14~4.30,扣除 4 月 8 日(停风 270 分) 试验 II 期 5.10~6.23,扣除 6 月 11~13 日(计划检修及恢复)。② 焦比和焦炭负荷中均含焦丁。③ 日产扣除了休风影响。

由表 7 可见 4 号高炉 2002 年 3~6 月期间较高生矿率(澳矿和钛矿)的试验情况。两个试验期生矿率分别为 18.0%和 20.4%。基准期为 2002 年 10 月数据。

② 试验分析

第一点,入炉生矿比例超过 20%高炉能够保持顺行。

4 号高炉 2002 年上半年生矿率较高,其中 5 月 10 日~6 月 23 日期间生矿率达到 20.4%,炉况仍然能够顺行。这一点与 1 号高炉工业试验结果一致。

第二点,试验 II 期燃料比升高原因分析。

与基准期相比,试验 I 期日产水平基本未变,但焦比降低约 9kg/t,燃料比降低约 21kg/t。试验效果很好。但试验 II 期比 I 期的冶炼指标变差。试验 II 期比 I 期生矿率增加了 2.4 个百分点,焦炭负荷重于试验 I 期,风温、风量优于试验 I 期,但日产水平下降了约 150√d,燃料比升高了约 20kg/t。透气性指数试验 I 期和试验 II 期均比基准期差,这是生矿比例增加后的高炉冶炼特点之一。试验 II 期的透气性略强于试验 I 期,这是为了保持顺行,装料制度进行了调整。

日产水平下降和燃料比升高,这其中有矿石含铁量降低的影响,也有生矿增加后还原性变差的影响。还有一个影响因素是煤气利用变差。4 号高炉澳块矿筛分设备能力不足,筛网面积比 1 号高炉小 30~40%,未筛净的澳矿粉末入炉后导致压差升高,高炉被迫改变装料制度以改善透气性,造成燃料比升高。另一个影响因素是焦炭的变化。试验 I 期正值 2 号高炉大修,全厂焦炭用量减少,4 号高炉焦炭质量有所改善,冶炼指标相对较好。试验 II 期正处于 2 号高炉开炉不久,4 号高炉焦炭随之变差,致使冶炼指标受到影响。

4.4 继续提高入炉生矿率的限制性环节及措施

现以 4 号高炉 2002 年生矿率变化情况为例,分析继续提高生矿率的限制性环节。4 号高炉 2002 年上半年平均生矿率 18.4%,其中 1~4 月平均生矿率 17.8%,5~6 月平均为 19.5%。生矿中约 90%为澳块矿,10%为钛矿。7~9 月进入雨季,原、燃料(包括生矿)过筛受到影响,高炉被迫退负荷,生矿率只能维持平均 12.3%的水平。进入第四季度,10 月生矿率增加到 14.5%,炉况顺行。11 月后全厂外购焦炭质量严重变差,强度下降,灰份升高,炉况变差,生矿率未能提高。

1、3 号高炉入炉澳块矿比例的变化情况与 4 号高炉相似,规律一样。其中 1、3 号高炉上半年生矿率分

别达 18.08% 和 16.22%，第三季度(雨季)生矿率仅为 12.13% 和 13.30%，第四季度受焦炭质量影响，生矿率仅为 11.90% 和 13.63%。

综上所述，在首钢条件下提高入炉生矿率的限制性环节主要有三点：

其一，焦炭质量。自产焦炭质量基本能够保证，但外购焦炭质量明显变差会影响炉况顺行，从而限制生矿率提高。其中主要是焦炭冷、热强度。当焦炭强度变差后，高炉顺行受到影响，被迫减轻焦炭负荷，此时难以接受较高比例的生矿。因此，焦炭质量是提高入炉生矿率的第一个限制性环节，保持焦炭质量是保持较高入炉生矿率的首要条件。增加干熄焦比例无疑对提高生矿率有利。

其二，雨季。首钢炼铁厂生矿仓包括各高炉生矿仓总共可储存 12000t 澳块矿。按 18% 的澳矿比例计算仅够高炉 36 小时用。通常，70% 的澳矿只能卸在露天料场。逢雨季，生矿变湿后粉末难以筛净，入炉后影响炉况顺行，使较高的生矿率难以维持。为了维持较高的生矿率而退焦炭负荷则得不偿失。同时，雨季其他原燃料质量也受影响，尤其是焦炭水份波动导致炉况波动。因此，目前条件下雨季是提高首钢高炉生矿率的第二个限制性环节。生矿储存的防雨工作应引起重视并得到解决。

其三，生矿筛分能力。生矿入炉比例增加后筛分能力也应相应提高。否则生矿筛不净将影响炉况顺行。相对于前两个限制性环节，这个环节容易解决，只需投资改造即可。

综合以上分析可以得出结论，在首钢目前条件下，在冬、春季原燃料条件正常时，高炉入炉生矿率 20% 是可行的，炉况可以保持顺行并取得较好的技术经济指标。如欲进一步增加入炉生矿率还需继续探索研究。雨季入炉生矿率只能保持 10~15%。如果原燃料条件(主要是焦炭强度)变差，视其变差程度，入炉生矿率应维持在 10~15%，必要时降到 10% 以下。其前提条件是高炉能够接受及不大幅度退焦炭负荷(即增加焦比)。

4.5 提高入炉澳矿率的生铁成本变化计算

以表 6 和表 7 中 1、4 号高炉的工业试验数据分别计算入炉澳矿率提高后生铁成本变化情况。

4.5.1 基础数据

2002 年氧化球团矿与澳块矿二者差价约 100 元/t。入炉矿比平均 1650kg/t_铁。

入炉焦炭平均价 930 元/t，焦丁 660 元/t，煤粉平均 300 元/t。

4.5.2 计算

① 根据 1 号高炉试验数据计算吨铁综合经济效益

澳块矿入炉比例从 17.6% 提高到 20.6% 代替氧化球团矿的效益：

$$1.650 \times (0.206 - 0.176) \times 100 = 4.95 \text{ 元/t}_{\text{铁}};$$

$$\text{燃料比升高的负效益 } 0.0036 \times 930 + 0.0003 \times 660 + 0.0024 \times 300 = 4.27 \text{ 元/t}_{\text{铁}};$$

$$\text{吨铁综合效益 } 4.95 - 4.27 = 0.68 \text{ 元/t}_{\text{铁}}$$

$$\text{相当于入炉澳矿率每提高 1 个百分点的效益 } 0.68 \div 3 = 0.23 \text{ 元/t}_{\text{铁}}$$

② 根据 4 号高炉试验数据计算综合经济效益

澳块矿入炉比例从 14.5% 提高到 20.4% 代替氧化球团矿的效益：

$$1.650 \times (0.204 - 0.145) \times 100 = 9.74 \text{ 元/t}_{\text{铁}};$$

$$\text{燃料比升高的负效益 } 0.0004 \times 930 + 0.0006 \times 300 = 0.55 \text{ 元/t}_{\text{铁}};$$

$$\text{吨铁综合效益 } 9.74 - 0.55 = 9.19 \text{ 元/t}_{\text{铁}}$$

$$\text{相当于入炉澳矿率每提高 1 个百分点的效益 } 9.19 \div (20.4 - 14.5) = 1.56 \text{ 元/t}_{\text{铁}}$$

③ 平均吨铁效益

现根据 1 号和 4 号高炉试验数据计算平均吨铁效益。入炉澳块矿率(14.5%~20.6%)每提高 1 个百分点的效益为： $(1.56 + 0.23) \div 2 = 0.9 \text{ 元/t}_{\text{铁}}$

④ 三点分析

其一，根据 1、4 号高炉的试验数据分别计算出的效益相差较大，试验数据也存在一定误差，故二者平均的吨铁效益值有一定误差。

(下转第 348 页)

分及一些特殊的规定来编制计划的,使计划更趋合理、可行,具有一定的科学性,也减轻了制作计划的烦琐工作。同时,在堆积中始终指导操作人员的生产操作,根据切出成分的不同,不断对堆积品种进行优化,使堆积品种的成分和大堆的预想成分保持一致,从而提高了混匀矿成分的稳定性。

2、充分利用低品位原料和厂内发生的含铁原料

由于混匀矿堆积中配入厂内废弃料对混匀矿成分的稳定性影响很大,原来混匀矿堆积时只能使用杂矿等少数废弃料。采用了混匀智能堆积系统后,扩大了废弃料的使用范围,不仅能使用杂矿等废弃料,还能使用高炉灰、粒铁、高炉二次灰、铸铁泥浆等废弃料,而且混匀矿的质量也没有因使用了这么多的废弃料而受到影响。这为降低生产成本,改善环境奠定了良好的基础。

3、实现报表全自动打印功能,全程监督配料工作

改造后的原料计算机控制系统能自动收集生产实时过程数据并整理产生报表,在混匀矿堆积过程中能自动生成原料场生产作业记录、班报、日报等报表,供打印机输出,使一钢公司办公自动化管理迈进了一大步。全程监督配料工作,便于及时进行修正,完善堆后分析。

5 结束语

为了使混匀矿的质量能够赶上宝钢股份,使混匀矿堆积的新技术得到更好地贯彻、执行,炼铁厂制定了一系列切实可行的措施和规定,从而保证了混匀矿的质量,同时通过学习,锻炼一支技术过硬的职工队伍,为混匀矿堆积闯出了一条全新的路子。改造后的混匀矿智能堆积系统控制技术是切实可行的,它对提高混匀矿堆积质量起到的作用将会日益显现。

(上接第 338 页)

其二,分析 1、4 号高炉试验数据可知,随着入炉生矿比例的逐渐增加,所得效益逐渐降低。

其三,随着球团矿与进口块矿差价的变化,吨铁效益也变化。如二者差价过小将无效益,应根据二者差价变化通过计算以确定取舍。

5 结论

5.1 在非雨季节,首钢高炉配加生矿(主要是澳块矿)达到 20.5% 仍能保持炉况顺行。继续增加澳矿入炉比例需进行工业试验。

5.2 以澳块矿代替氧化球团矿入炉,燃料比会有所升高、料柱透气性会有所降低。提高焦炭和入炉矿石质量可为提高入炉澳矿率创造条件。

5.3 提高生矿(澳块矿)入炉率的主要限制环节是焦炭质量、雨季和块矿筛分能力。

5.4 工业试验表明,在目前首钢条件下,非雨季生矿(澳块矿)入炉率可保持 20%,雨季生矿(澳块矿)入炉率可保持 10~15%,焦炭质量变差时生矿(澳块矿)入炉率可保持 10~15% 或更低。

5.5 随着生矿入炉比例的增加,所得经济效益逐渐降低。初步计算表明,澳块矿入炉比例从 14.5% 提高到 20.6%,每提高 1 个百分点的效益约为 0.90 元/t_铁。

参 考 文 献

1 马泽军等,首钢高炉使用澳块矿的生产实践,炼铁,2003 年 No.5。