

专家论坛

铁矿石综合评价方法及其在鞍钢的应用

周明顺¹, 韩淑峰², 王义栋³, 王宝海⁴, 李仲², 喻爱国³

(1. 鞍钢集团钢铁研究院, 辽宁 鞍山 114009; 2. 鞍钢股份有限公司炼铁总厂, 辽宁 鞍山 114021; 3. 鞍山钢铁集团有限公司, 辽宁 鞍山 114021; 4. 鞍钢股份有限公司鲅鱼圈钢铁分公司, 辽宁 营口 115007)

摘要: 依据鞍钢炼铁工艺参数, 利用铁矿石综合品位法和模拟单烧计算法对鞍钢自产精矿和常用外购铁矿粉进行经济性评价; 利用修正后的冶金价值评价法对鞍钢常用块矿进行经济性评价, 对铁矿石综合品位和模拟单烧计算品位的关系进行拟合。以模拟单烧计算品位为依据, 分别对自产精矿和外购粉矿综合品位计算公式进行修正, 修正后的评价方法能够指导企业铁矿石采购和降低炼铁成本。

关键词: 铁矿石; 冶金价值; 综合品位; 经济性

中图分类号: TF04 文献标识码: A 文章编号: 1006-4613(2017)02-0001-07

Comprehensive Evaluation Method for Iron Ore and Its Application in Ansteel

Zhou Mingshun¹, Han Shufeng², Wang Yidong³, Wang Baohai⁴, Li Zhong², Yu Aiguo³

(1. Iron & Steel Research Institutes of Ansteel Group Corporation, Anshan 114009, Liaoning, China; 2. General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China; 3. Anshan Iron & Steel Group Corporation Limited, Anshan 114021, Liaoning, China; 4. Bayuquan Branch of Angang Steel Co., Ltd., Yingkou 115007, Liaoning, China)

Abstract: The economic evaluation for the concentrates prepared by Ansteel and frequently-used iron ore powders purchased was carried out by the comprehensive assessment method for the grade of iron ore and simulation calculation method for sintering the one single iron ore according to the ironmaking process parameters used by Ansteel. The economic evaluation for frequently-used lump ore used in Ansteel was also done by the revised metallurgical value evaluation method and then the relationship between the comprehensive iron ore grade and the calculation grade of sintering the single iron ore by the simulation method matched. Based on the calculation grade of sintering the single iron ore by the simulation method, the formulas for respectively calculating the comprehensive grades of the iron ore concentrate and the powder ore purchased are revised. So the revised calculation method can be helpful to the enterprises in purchasing the iron ore and reducing the cost of ironmaking.

Key words: iron ore; metallurgical value; comprehensive grade; economical nature

针对国际铁矿石市场质量和价位差别较大以及鞍钢自产铁精矿种类较多的实际, 如何评价这些铁矿石的价值, 如何按质论价, 过去仅按品位论价的方法已不适用。例如, 在铁矿石贸易过程中经

常会遇到这样的情况, 即有两种烧结用铁矿粉供选择, 第一种铁矿粉的品位为 61.5%, SiO_2 为 5.00%, 烧损为 5.5%; 第二种铁矿粉的品位为 62.5%, SiO_2 为 7.00%, 烧损为 2.45%。如果按过去仅按品位论价的方法选择, 会选择品位为 62.5%的第二种铁矿粉, 但其 SiO_2 较高为 7.00%, 生产相同碱度烧结矿, 就需要多加熔剂, 高炉渣量也会相

周明顺, 工学博士, 教授级高工, 鞍山钢铁集团公司一级专家。E-mail: zms4652@163.com

应增加,因此,选择采购第二种铁矿粉是否合理就值得研究了。

虽然铁矿石的全铁品位是铁矿粉最重要的冶炼指标之一,全铁品位高低是影响铁矿粉性价比的重要因素,但是 SiO_2 和 Al_2O_3 含量也是影响铁矿粉性价比的重要因素, SiO_2 含量的高低直接影响烧结过程中熔剂的配加量和高炉渣二元碱度; Al_2O_3 含量高低直接影响炉渣的稳定性和流动性,当 Al_2O_3 含量升高时,需要提高炉渣中的 MgO 量,会导致高炉入炉品位降低,焦比升高等^[1-4]。传统铁矿石品位评价方法,仅考虑铁元素对炼铁成本的影响,没有考虑 SiO_2 和 Al_2O_3 对炼铁成本的影响,更没有考虑配加熔剂有效性以及铁矿石自身烧损对铁矿粉经济性的影响^[5]。随着高品质铁矿石价格不断上涨,鞍钢炼铁系统不断开拓低品质铁矿的使用方法,以满足降低铁水成本的需要,低品质铁矿突出表现在 SiO_2 、 Al_2O_3 含量高,因此对传统铁矿石评价方法进行修正,指导企业使用高性价比的铁矿对于降低炼铁成本至关重要。

1 铁矿石性价比评价方法

含铁量是铁矿石最重要的经济指标,应用吨

矿价格与含铁量的比值,即用每 1% 铁的价格来比较矿石的经济价值,是目前采用的主要方法^[6],但该方法忽略了非铁元素对铁矿石冶金价值的影响,常用的铁矿石评价方法有以下几种。

1.1 扣除 CaO 和 MgO 后的铁矿石品位法

该方法将扣除铁矿石中 CaO 和 MgO 后计算出的铁品位视为铁矿石的含铁量,见式(1):

$$\text{TFe}_{\text{扣}} = \frac{\text{TFe}}{100 - (\text{CaO} + \text{MgO})} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $\text{TFe}_{\text{扣}}$ 为扣除 CaO 和 MgO 后的铁矿石品位,%; TFe 、 CaO 和 MgO 分别为铁矿石中 Fe 、 CaO 和 MgO 中的含量,%。由于 CaO 和 MgO 是冶炼造渣的必要组分,碱性脉石的增加相当于铁品位增加,所以该方法更能反映铁矿石的冶炼价值,但其没有考虑酸性脉石的影响,难以完全反映铁矿石的入炉冶炼效果。

1.2 铁矿石品位综合评价方法

铁矿石品位的综合评价方法是考虑了高炉造渣碱度应加入的熔剂量所得出的铁矿的含铁量,该方法不仅考虑了碱性脉石对铁矿石经济性的影响,还考虑了酸性脉石的影响^[7]。其计算公式见式(2):

$$\text{TFe}_{\text{综合}} = \frac{\text{TFe}}{100 + [R_{\text{渣}}(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{CaO} + \text{MgO})] / (\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{有效}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, $\text{TFe}_{\text{综合}}$ 为综合考虑脉石的铁矿品位,%; SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 为铁矿石中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 中的含量,%; $R_{\text{渣}}$ 为高炉渣的四元碱度; $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{有效}}$ 为配加碱性熔剂中有效含

量,%。以鞍钢高炉炼铁造渣碱度以及烧结使用的石灰石、生石灰的使用比例和有效性等工艺参数代入综合品位计算公式(2),则公式(2)变为公式(3):

$$\text{TFe}_{\text{综合}} = \frac{\text{TFe}}{100 + [1.1(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{CaO} + \text{MgO})] / 0.56} \times 100\% \quad (3)$$

1.3 铁矿石的冶金价值评价法

巴甫洛夫提出关于铁矿石冶金价值的评价方法,该方法考虑了矿石的含铁品位、熔剂的用量以及焦比的影响,能计算出铁矿石的最高到厂价格^[8],其计算公式见式(4):

$$P_1 = \frac{F}{f} (P - KP_2 - CP_3 - g) \quad (4)$$

式中, P_1 为铁矿石的冶金价值,元/t; F 为铁矿石的品位,%; f 为生铁含铁量,%; P 为生铁控制成本,元/t;

K 为焦比,t/t; P_2 为焦炭价格,元/t; C 为熔剂消耗,t/t; P_3 为熔剂价格,元/t; g 为生铁加工费,元/t。

用鞍钢炼铁工艺参数对巴甫洛夫的铁矿石冶金价值计算方法进行修正,将焦比分为两项:一项是焦比,另一项是喷煤比,在计算时考虑品位升高对产量以及加工费和燃料比的影响,按品位提高 1%,增加产量 2.5%,节约焦炭 2%,喷煤增加 15 kg/t,高炉炉渣碱度取值 1.1 计算,则公式(3)变为公式(5):

$$P_1 = \frac{F}{f} \left[P - C_1(1-0.02\delta)P_2 - (C_2+0.015\delta)P_3 - \frac{f}{F} \left(\frac{1.1(\text{SiO}_2 \text{ 矿} + \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 矿}) - (\text{CaO 矿} + \text{MgO 矿})}{(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔剂}}} \right) P_4 - g(1-0.025\delta) \right] \quad (5)$$

式中, P_1 为铁矿石的冶金价值, 元/t; F 为铁矿石的品位, %; f 为生铁含铁量, %; P 为生铁控制成本, 元/t; C_1 为计算期焦比, t/t; δ 铁矿品位与入炉品位之差, %; P_2 为焦炭价格, 元/t; C_2 为高炉喷煤比, t/t; P_3 为煤粉价格, 元/t; $\text{SiO}_2 \text{ 矿}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ 矿}$ 、 CaO 矿 和 MgO 矿 分别为铁矿中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 的含量, %; $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{熔剂}}$ 为熔剂中 CaO 和 MgO 含量和, %; P_4 为熔剂价格, 元/t; g 为生铁制造费用。用修正过的巴甫洛夫的铁矿石冶金价值评价公式(5)评价直接入炉铁矿石是比较科学的, 它考虑了矿石的含铁品位、熔剂用量以及其对焦比、喷煤比和产量的影响。铁矿石冶金价值评价公式计算出的矿石利用价值, 其含义就是这种铁矿石在特定工艺技术和控制参数的条件下, 该铁矿石到达厂

区所允许的最高价。

2 对鞍钢炼铁含铁原料的评价

2.1 对鞍钢自产铁精矿的评价

鞍钢自产精矿的产量已不能满足生产要求, 外购粉矿使用比例逐渐提高, 达到 30%~40%; 随着钢铁企业利润空间缩小, 低品质铁矿的合理使用成为降低炼铁成本的重要方法, 用修正过的铁矿石综合品位计算公式(3)计算鞍钢自产精矿的综合品位, 并根据综合品位比较铁精矿的经济性; 为了更准确的掌握鞍钢自产精矿的性质, 对其进行模拟单烧试验计算, 以掌握其烧结性能; 鞍钢自产精矿和单烧化学成分及品位排名分别见表 1 和表 2 所示。

表 1 鞍钢自产铁精矿化学成分及综合品位排名

铁精矿	$\omega(\text{TFe})$	$\omega(\text{FeO})$	$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$	TFe 排名	综合品位	综合品位排名
GF	68.4	6.82	2.38	0.053	0.01	0.26	1	65.10	1
DJT	67.99	20.47	3.85	0.19	0.34	0.18	2	63.56	2
AQ	67.43	15.09	3.23	0.056	0.10	0.34	3	63.18	3
QJ	67.33	12.75	4.44	0.11	0.056	0.27	4	61.80	4
GBS	65.47	7.36	4.18	0.08	0.05	0.31	6	60.29	5
DC	66.73	27.3	6.24	0.30	0.24	0.092	5	59.86	6
DAS	64.99	11.07	6.1	0.10	0.18	0.66	7	57.63	7
K 精矿	64.22	27.66	8.57	0.33	0.41	0.26	8	55.35	8

表 2 鞍钢铁精矿单烧化学成分及铁精矿综合品位排名

铁精矿单烧	$\omega(\text{TFe})$	$\omega(\text{FeO})$	$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$	碱度	单烧 TFe 排名	铁精矿 TFe 综合排名
GF 单烧	62.89	8	2.690	5.516	1.500	0.423	2.05	1	1
DJT 单烧	60.41	8	3.987	8.172	1.504	0.362	2.05	3	2
AQ 单烧	60.57	8	3.451	7.0740	1.501	0.501	2.05	2	3
QJ 单烧	59.57	8	4.563	9.356	1.504	0.456	2.05	4	4
GBS 单烧	59.26	8	4.411	9.042	1.500	0.497	2.05	5	5
DC 单烧	56.00	8	5.95	12.190	1.500	0.315	2.05	6	6
DAS 单烧	55.60	8	5.945	12.180	1.508	0.805	2.05	7	7
K 矿单烧	52.61	8	7.865	16.120	1.529	0.486	2.05	8	8

由表 1 和表 2 可知, 鞍钢自产精矿的全铁品位和综合品位的排序除 GBS 和 DC 精矿不同外, 其它精矿基本一致, 这是因为自产精矿全铁含量

高, 有害脉石 SiO_2 和 Al_2O_3 含量低, 是优质的炼铁原料; 鞍钢自产铁精矿模拟单烧计算全铁品位排名与原精矿综合品位的排名除 AQ 与 DJT 不同外,

其它精矿基本一致; 对铁精矿综合品位和模拟单烧计算品位进行线性拟合, 分析得出模拟单烧试验计算品位 $TFe_{\text{单}}$ 和铁精矿综合品位 $TFe_{\text{综合}}$ 具有如下线性关系见式(6):

$$TFe_{\text{单}} = 1.024TFe_{\text{综合}} - 3.9996 \quad (6)$$

相关系数 $R=0.966$

以公式(6)为依据对公式(3)进行再次修正得铁精矿综合品位计算公式见式(7):

$$TFe_{\text{精矿修正}} = \frac{1.024TFe}{100 + [1.1(SiO_2 + Al_2O_3) - (CaO + MgO)] / 0.56} \times 100\% - 3.9996 \quad (7)$$

相关系数 $R=0.966$

2.2 对鞍钢外购富矿粉的评价

对鞍钢常用外购富矿粉进行综合品位计算和

模拟单烧试验计算, 外购富矿粉化学成分和综合品位排名如表 3 所示。

表 3 鞍钢外购富矿粉化学成分和综合品位排名

富矿粉	$\omega(TFe)$	$\omega(FeO)$	$\omega(SiO_2)$	$\omega(CaO)$	$\omega(MgO)$	$\omega(Al_2O_3)$	I_g	TFe 排名	综合品位	综合品位排名
高巴西粉	64.34	0.36	2.96	0.130	0.100	1.69	2.01	1	59.18	1
南非粉	63.96	0.18	5.33	0.047	0.059	1.82	1.95	2	56.18	2
伊朗粉	59.08	18.04	5.77	3.600	1.500	1.55	2.18	9	56.12	3
低巴西粉	62.96	2.24	5.26	0.110	0.020	1.57	2.05	3	55.63	4
IOUR 粉	62.70	2.24	5.00	0.110	0.020	2.50	2.05	4	54.76	5
纽曼粉	61.89	0.36	4.80	0.140	0.170	2.33	4.69	6	54.55	6
罗伊山粉	61.14	0.18	4.59	0.120	0.220	2.37	4.68	8	54.08	7
PB 粉	61.50	0.18	5.00	0.050	0.090	2.80	5.50	7	53.45	8
SSFG 粉	62.50	1.80	7.00	0.370	0.076	2.30	2.45	5	53.20	9
小扬迪粉	57.30	0.18	5.90	0.120	0.080	1.50	10.70	12	50.18	10
FMG 超特粉	57.95	0.18	6.54	0.060	0.110	2.93	7.70	10	48.99	11
阿特拉斯粉	57.50	0.18	7.00	0.230	0.140	2.20	10.20	11	48.97	12

由表 3 可知, PB 粉的全铁品位比罗伊山粉高 0.36 个百分点, 但 PB 粉的综合品位比罗伊山粉矿低 0.63 个百分点, 即 PB 粉有害的酸性脉石含量高, 冶炼性能不如罗伊山矿; IOUR 粉与 SSFG 粉的全铁品位相当, 但其综合品位比 SSFG 粉高 1.56 个百分点, 这是因为 IOUR 粉酸性有害成分 SiO_2 含量比 SSFG 粉低, 冶炼性能较好; 伊朗粉的全铁品位比低巴西粉和纽曼粉都低, 但其综合品位比低巴西粉和纽曼粉均高, 这是因为伊朗矿中有益的碱性脉石 CaO 和 MgO 含量较高, 分别达到 3.6% 和 1.5%, 有利于烧结过程进行; FMG 粉超特粉和阿特拉斯粉的全铁品位相当, 均超过 57%, 但 FMG 超特粉和阿特拉斯粉的综合品位均低于 49%, 说明这两种矿品位低且有害脉石含量高, 使用时应考虑其经济性。鞍钢外购富矿粉全铁品位和综合品位排序差别较大, 这是因为不同外购富矿粉碱性脉石和酸性脉石含量较高, 且差别较大,

而铁矿石综合品位评价法考虑了碱性脉石对冶炼的有益作用和酸性脉石对冶炼的有害作用, 并依据工艺条件对铁品位进行修正。以烧结矿碱度 2.05, MgO 含量 1.5%, 对鞍钢常用富矿粉进行模拟单烧试验计算, 其结果如表 4 所示。

由表 3 和表 4 可知, 模拟单烧试验计算得到的烧结矿全铁品位排名与原铁矿粉综合品位排名不同; 伊朗粉模拟单烧计算后的烧结矿品位排名第 9, 而其综合品位排名第 3; 纽曼和 PB 粉模拟单烧计算后的烧结矿品位排名分别为第 2 和第 3, 而其综合品位排名分别为 6 和第 8。这是因为模拟单烧试验计算时既考虑了铁矿石自身酸性和碱性脉石对其经济性的影响, 也考虑了烧结配加熔剂有效性以及铁矿粉自身烧损对铁矿粉经济性的影响。同时对外购粉矿综合品位和模拟单烧计算品位进行线性拟合, 其关系如图 1 所示。

表4 鞍钢外购富矿粉单烧化学成分和综合品位排名

富矿粉	$\omega(\text{TFe})$	$\omega(\text{FeO})$	$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$	碱度	TFe 排名	外购粉矿 TFe 综合排名
高巴西粉单烧	59.85	8	3.294	6.752	1.501	1.766	2.05	1	1
南非粉单烧	56.43	8	5.402	11.07	1.500	1.838	2.05	4	2
伊朗粉单烧	54.38	8	5.845	11.98	1.895	1.630	2.05	9	9
低巴西粉单烧	55.69	8	5.349	10.96	1.501	1.620	2.05	7	3
IOUR 粉单烧	55.76	8	5.13	10.51	1.500	2.450	2.05	6	4
纽曼粉单烧	56.76	8	5.071	10.39	1.501	2.364	2.05	2	6
罗伊山粉单烧	56.36	8	4.881	10.01	1.493	2.408	2.05	5	8
PB 粉单烧	56.47	8	5.286	10.84	1.500	2.804	2.05	3	7
SSFG 粉单烧	53.68	8	6.80	13.96	1.500	2.230	2.05	10	5
小扬迪粉单烧	54.73	8	6.421	13.17	1.502	1.694	2.05	8	12
FMG 超特粉单烧	52.56	8	6.731	13.80	1.489	2.917	2.05	12	10
阿特拉斯粉单烧	52.87	8	7.271	14.91	1.503	2.294	2.05	11	11

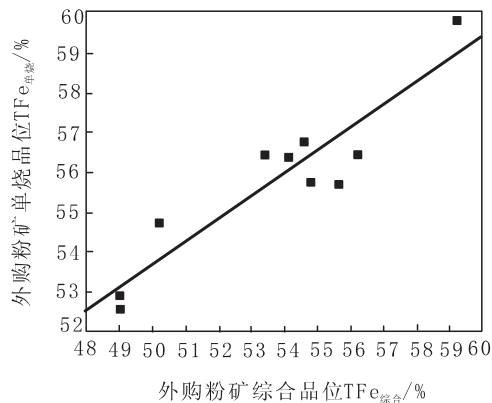


图1 外购粉矿综合品位和模拟单烧计算品位线性拟合

以模拟单烧试验计算品位为依据,对外购粉矿综合品位计算公式进行修正,经过线性拟合分析得出单烧试验烧结矿计算品位 $\text{TFe}_{\text{单}}$ 和外购粉矿综合品位 $\text{TFe}_{\text{综合}}$ 具有如下线性关系见式(8):

$$\text{TFe}_{\text{单}} = 24.721 + 0.578 \text{TFe}_{\text{综合}} \quad (8)$$

相关系数 $R=0.925$

以公式(8)为依据对公式(3)进行再次修正得外购粉矿综合品位计算公式见式(9)。

2.3 对鞍钢常用块矿进行评价

铁矿石冶金价值评价法不仅考虑了酸性和碱性脉石对造渣的影响,还考虑铁矿石性质对高炉

$$\text{TFe}_{\text{粉矿修正}} = 24.721 + \frac{0.578 \text{TFe}}{100 + [1.1(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) - (\text{CaO} + \text{MgO})] / 0.56} \times 100\% \quad R=0.925 \quad (9)$$

产量和燃料比的影响,计算出的铁矿石冶金价值更能反映铁矿石的经济性。用修正过的巴甫洛夫铁矿石冶金价值计算公式(5)评价鞍钢常用块矿的冶金价值。以生铁含铁量 95%,焦比 0.334 t/t,焦丁

比 0.067 t/t,铁料入炉品位 59%,高炉喷煤比 0.152 t/t。假设焦炭价格 953 元/t,煤粉价格 630 元/t,熔剂价格 156 元/t,假设生铁制造费用为 158 元/t,用公式(5)计算鞍钢常用块矿的冶金价值,其结果见表 5。

表5 鞍钢经常使用块矿化学成分和冶金价值

品名	$\omega(\text{TFe})/\%$	$\omega(\text{FeO})/\%$	$\omega(\text{CaO})/\%$	$\omega(\text{SiO}_2)/\%$	$\omega(\text{MgO})/\%$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$I_{\text{f}}/\%$	冶金价值/(元 \cdot t $^{-1}$)
南非块	67.59	0.18	0.10	2.44	0.10	0.64	0.57	597.07
巴西块	67.46	0.9	0.53	1.13	0.10	0.64	1.19	590.74
PB 块	64.24	0.27	0.09	1.98	0.10	1.17	4.71	559.97
纽曼块	63.26	0.18	0.10	3.04	0.10	1.17	5.49	553.00
印度块	63.54	1.61	0.07	3.92	0.11	3.21	2.01	552.13
罗伊山块	61.14	0.18	4.59	0.12	0.22	2.37	4.68	506.35

铁矿石的冶金价值是该种铁矿石在某厂条件下的最高到厂价格, 如果超过此价格购买铁矿石炼铁, 就没有经济效益。由表 5 可知, 假设在鞍钢炼铁工艺参数和生铁成本控制在 1 450 元/t 的条件下, 南非块矿和巴西块矿的冶金价值最高超过 590 元/t, 其购买价格低于 590 元/t 时, 使用该块矿有经济效益; 罗伊山块矿的冶金价值最低只有 506.35 元/t, 其购买价格高于 506.35 元/t 时,

使用该块矿将会亏损。

3 不同铁矿石应用效果比较

以炼铁厂二烧车间配料结构为依据, 研究使用综合品位不同的铁矿石对烧结矿成本和高炉造渣的影响。二烧车间铁料结构为 70% 自产精矿配加 30% 的 PB 粉矿, 二烧车间原料化学成分和价格, 如表 6 所示。

表 6 炼铁厂二烧车间原料化学成分及价格

品名	$\omega(\text{TFe})/\%$	$\omega(\text{FeO})/\%$	$\omega(\text{SiO}_2)/\%$	$\omega(\text{CaO})/\%$	$\omega(\text{MgO})/\%$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	$I_g/\%$	综合品位/ $\%$	价格/(元 $\cdot\text{t}^{-1}$)
小扬迪粉	57.30	0.18	5.90	0.12	0.08	1.50	10.66	50.18	445.5
阿特拉斯	57.50	0.18	7.00	0.23	0.14	2.20	10.02	48.97	410.9
SSFG 粉	62.50	1.80	7.00	0.37	0.08	2.30	2.45	53.21	497.8
PB 粉	61.30	0.18	5.00	0.05	0.09	2.80	5.50	53.35	491.0
AQ	67.43	15.09	3.23	0.06	0.10	0.34	-1.02	63.18	530.0
GBS	65.47	7.36	4.18	0.08	0.05	0.31	2.07	60.29	530.0
混料	51.23	25.68	6.14	2.13	1.74	7.71	8.15	42.59	120.0
石灰石	0.28	0.18	2.22	51.00	2.98	0.55	42.64		60.0
生石灰	0.28	0.18	2.91	65.64	4.05	1.01	25.82		349.0
镁石	0.14	0.18	3.80	5.38	40.92	0.50	47.22		349.0
焦粉	1.27	0	6.80	0.27	0.08	4.23	86.45		314.0

以 PB 粉为基准, 分别用 30% 的小扬迪粉、阿特拉斯粉和 SSFG 粉替代 PB 粉, 烧结矿碱度和

MgO 含量以现场为准, 分别控制在 2.05 和 1.5%, 烧结矿化学成分和吨烧结矿原料成本见表 7。

表 7 烧结矿化学成分和吨烧结矿原料成本

品名	$\omega(\text{TFe})/\%$	$\omega(\text{FeO})/\%$	$\omega(\text{SiO}_2)/\%$	$\omega(\text{CaO})/\%$	$\omega(\text{MgO})/\%$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	碱度	成本/(元 $\cdot\text{t}^{-1}$)
PB30%	57.37	8.00	4.64	9.51	1.50	2.37	2.05	442.35
小扬迪 30%	56.71	8.00	4.95	10.12	1.50	2.03	2.05	433.87
SSFG 粉 30%	56.48	8.00	5.13	10.51	1.50	2.20	2.05	436.23
阿特拉斯 30%	56.29	8.00	5.23	10.73	1.50	2.21	2.05	421.05

由表 6 和表 7 可知, 尽管 SSFG 粉的全铁品位比 PB 粉高 1.2 个百分点, 但是用 30% SSFG 粉替代 PB 粉后, 烧结矿全铁品位降低 0.89 个百分点, 这是由于 PB 粉烧损比 SSFG 粉高, 烧结时全铁品位提高; 分别用 30% 的小扬迪粉和阿特拉斯粉替代 PB 粉, 烧结矿全铁品位降低 0.66 个百分点和 1.08 个百分点。例如, 假设鞍钢高炉炉料结构是 73% 的烧结矿配加 22% 的球团矿和 5% 的块矿, 球团和块矿的化学成分如表 8 所示。

分别用配加 30% 小扬迪粉、SSFG 粉和阿特拉

表 8 球团与块矿化学成分

品名	$\omega(\text{TFe})$	$\omega(\text{FeO})$	$\omega(\text{SiO}_2)$	$\omega(\text{CaO})$	$\omega(\text{MgO})$	$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$
球团矿	64.67	0.18	6.34	0.22	0.23	0.25
PB 块矿	64.24	0.27	1.98	<0.1	<0.1	1.17

斯粉的烧结矿替代配加 30% PB 粉的烧结矿, 与球团矿和块矿一起入炉冶炼, 替代后原料入炉品位变化和高炉渣量变化如表 9 所示。由生产经验可知, 入炉品位提高 1 个百分点, 炼铁燃料比下降 1.5%, 高炉产量提高 2%; 渣量每增加 100 kg, 炼铁燃料

比增加3%。

表9 替代PB粉后原料入炉品位和高炉渣量变化

项目	入炉品位/ %	品位变化/ %	渣量/ (kg·t ⁻¹)	渣量变化/ (kg·t ⁻¹)
PB30%	59.32	0	303.41	0
小扬迪 30%	58.84	-0.48	312.64	+9.23
SSFG 粉 30%	58.67	-0.65	321.83	+18.42
阿特拉斯 30%	58.53	-0.79	326.51	+23.1

由表9可知,小扬迪粉替代PB粉后,入炉品位降低0.48个百分点,高炉渣量增加9.23 kg/t,假设生铁成本按1450元/t计算,高炉炼铁燃料成本按395元/t计算,高炉成本增加17.86元/t;而小扬迪粉替代PB粉后,烧结成本降低8.48元/t,即使用小扬迪粉后炼铁成本增加9.38元/t。SSFG粉替代PB粉后,入炉品位降低0.65个百分点,高炉渣量增加18.42 kg/t,高炉炼铁成本增加24.88元/t;而SSFG粉替代PB粉后,烧结成本降低6.12元/t,即使用小扬迪粉后炼铁成本增加18.76元/t。阿特拉斯粉替代PB粉后,入炉品位降低0.79个百分点,高炉渣量增加23.1 kg/t,高炉炼铁成本增加30.33元/t;而阿特拉斯粉替代PB粉后,烧结成本降低21.3元/t,即使用阿特拉斯粉后炼铁成本增加9.03元/t。

SSFG粉的全铁品位比PB粉高,但其综合品位比PB粉低,且购买价格比PB粉高,因而其替代PB粉后炼铁成本增加18.76元/t,经济性比PB粉差;阿特拉斯粉的综合品位比小扬迪粉低1.21个百分点,但是阿特拉斯粉的价格比小扬迪粉低34.6元/t,使用阿特拉斯炼铁的成本比小扬迪粉低0.35元/t,其经济性比小扬迪粉好;用小扬迪粉和阿特拉斯粉替代PB粉,炼铁成本分别增加9.38元/t和9.03元/t,小扬迪粉和阿特拉斯粉经济性均不如PB粉。

4 结论

(1) 利用铁矿石综合品位法和模拟单烧算法对鞍钢自产精矿进行评价,GF、AQ、DJT精矿经济价值较高,QJ、GBS、DC精矿居中,DAS、K精矿

经济价值较低。

(2) 利用铁矿石综合品位法和模拟单烧算法对鞍钢常用外购富矿粉进行评价,高巴西粉、纽曼粉和PB粉经济价值较高,SSFG粉、阿特拉斯粉和FMG粉经济价值较低。

(3) 以模拟单烧试验计算品位为依据,分别在铁精矿条件和外购富矿粉条件下,对铁矿石综合品位计算公式进行修正,修正后的综合品位计算公式既考虑了铁矿石自身脉石对其经济性的影响,也考虑了烧结配加熔剂有效性以及铁矿粉自身烧损对铁矿粉经济性的影响,能够合理、全面对铁矿石进行评价。

(4) 用修正过的巴甫洛夫的铁矿石冶金价值计算公式对鞍钢常用块矿进行评价,南非块矿、巴西块矿经济价值较高,PB块矿、纽曼块矿、印度块矿居中,罗伊山块矿冶金价值较低。

(5) 以炼铁总厂二烧车间配料结构为依据,以PB粉矿为基准,分别用小扬迪粉矿、SSFG粉矿和阿特拉斯粉矿替代PB粉矿,炼铁成本分别增加9.38元/t、18.76元/t和9.03元/t;外购铁矿粉的使用,除考虑其自身冶金价值外还要考虑其采购价格。

参考文献

- [1] 毕学工,廖继勇,周进东,等.铁矿石烧结性能评价方法的新进展[J].烧结球团,2016,41(3):1-7.
- [2] 秦立国.铁矿石经济性评价分析[J].山东冶金,2016,38(2):67-68.
- [3] 傅菊英,姜涛,朱德庆.烧结球团学[M].长沙:中南大学出版社.1995.
- [4] 刘宇林,杨波,王永贵,等.铁矿石经济性评价简易模型的优化[J].河北冶金,2015(12):30-32.
- [5] 李来生,欧珍红.建立矿石评价体系优化矿石供应链管理[J].烧结球团,2010,35(4):17-21.
- [6] 武铁.对进口铁矿石评价的新法初探[J].烧结球团,2003,28(3):4-8.
- [7] 石国星.铁矿石经济性评价[J].烧结球团,2007,32(4):1-4.
- [8] 孔令坛.高炉的合理炉料结构[M].中国钢铁年会论文集.北京,2001.

(编辑 贺英群)

修回日期:2016-12-07