

Current Situation and Analysis of Iron Ore Performance-Price Ratio Evaluation Method

Xiaogao Ren, Xiaolei Zhou*

Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan
Email: *zhouxiaolei81@163.com

Received: Jan. 29th, 2019; accepted: Feb. 11th, 2019; published: Feb. 18th, 2019

Abstract

The cost of iron making accounts for about 70% of the production cost of BF-BOF process, and optimized burden structure is the basis for maximizing the benefits of iron making. The performance-price ratio evaluation of iron ore is an important content for optimizing burden structure. The performance-price ratio evaluation of iron ore is based on tonnage price, gradually considering increasing beneficial, and harmful elements in iron ore, and the influence behavior of various elements of various valence states in steel metallurgical production. Finally, the effective value of metallurgical properties of iron ore is analyzed through various reaction behaviors and reactor characteristics. Through the study of iron ore cost performance evaluation methods, such as the tonnage price evaluation method, the comprehensive correspondence between iron ore grade and price is analyzed and summarized, and it can provide reference for the improvement and optimization of iron ore performance-price ratio evaluation method in the future.

Keywords

Iron Ore, Performance-Price Ratio, Evaluation Method, Mathematical Model

铁矿石性价比评价方法现状及分析

任小告, 周晓雷*

昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明
Email: *zhouxiaolei81@163.com

收稿日期: 2019年1月29日; 录用日期: 2019年2月11日; 发布日期: 2019年2月18日

摘 要

炼铁成本占高炉-转炉冶炼流程生产成本的70%左右, 优化的炉料结构是获得炼铁最大效益的基础。铁

*通讯作者。

矿石性价比评价是开展炉料结构优化的重要内容。铁矿石性价比评价是以吨度价格为基础, 逐步考虑增加铁矿石中含有的有益元素和有害元素, 以及多种价态的各种元素在钢铁冶金生产中的影响行为。最终通过多种反应行为和反应器特征分析铁矿石的冶金性能的有效价值。通过研究吨度价格评价法等铁矿石性价比评价方法, 对铁矿石品位和价格综合对应关系进行了分析和总结, 为未来铁矿石性价比评价方法完善和优化提供参考。

关键词

铁矿石, 性价比, 评价方法, 数学模型

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

炼铁成本占高炉-转炉冶炼流程(见图1)生产成本的70%左右, 优化的炉料结构是获得炼铁最大效益的基础。优化炉料结构要解决两个问题: 一是确定采购的炉料的经济性是否合理[1]; 二是各炉料相互搭配结构是否合理和经济[2], 其中铁矿石性价比评价最为主要, 是决定和影响高炉经济冶炼的关键。本文主要从目前常见的铁矿石性价比评价方法进行论述分析, 为未来铁矿石性价比评价方法完善和优化提出方向。



Figure 1. Pangang Group Xichang Steel Vanadium Co.Ltd.. No.1 Blast furnace
图1. 攀钢集团西昌钢钒有限公司1号高炉

2. 评价方法

2.1. 吨度价格评价法

吨度价格是指铁矿石价格与品位的比值, 吨度价格评价法是衡量铁矿石经济性相对比较简单的方法。高炉冶炼所需的包括块矿、烧结矿、球团矿等炼铁用原材料, 其含铁量的高低是铁矿石非常重要的指标, 因此用吨度价格来评价高炉铁矿石的经济性是相对比较简单的方法, 能直观反映铁矿粉铁元素的价值, 缺点是不能反映铁矿粉脉石含量的影响。用公式表示:

$$\text{吨度价格} = Jt/100F \quad (1)$$

式中: Jt —铁矿石的单价(元/吨)

F —铁矿石的品位(%)

2.2. 考虑扣除 CaO、MgO 影响的铁品位法

由于铁矿石中通常含有 CaO、MgO 碱性脉石, 而 CaO、MgO 碱性脉石是高炉造渣所必需的有用原料, 扣除 CaO、MgO 碱性脉石后的品位更能真实反映铁矿石的含铁量。扣 CaO、MgO 铁品位法就是将扣除铁矿石中 CaO、MgO 碱性脉石后计算出的品位视为铁矿石的含铁量。用公式表示:

$$\text{吨度价格} = Jt/100[F/(1-\text{CaO}-\text{MgO})] \quad (2)$$

式中: CaO—铁矿石的 CaO 含量(%)

MgO—铁矿石的 MgO 含量(%)

(其他符号与式(1)一致)

该方法虽然考虑了 CaO、MgO 碱性脉石的影响, 但是没有考虑 SiO₂、Al₂O₃ 酸性脉石的影响, 存在一定的局限性。

2.3. 铁矿石品位综合评价法

SiO₂、Al₂O₃ 酸性脉石含量越高, 所需造渣的熔剂也越多, 从而影响高炉实际入炉品位。铁矿石品位综合评价法, 就是综合考虑铁矿石中碱性和酸性脉石含量对高炉冶炼的影响, 将吨度价中的铁矿石的品位根据其碱性和酸性脉石含量进行修正用公式(3)或(4)表示:

$$\text{综合吨度价格} = Jt/100[F/(1+2R_2\text{SiO}_2-2\text{CaO})] \quad (3)$$

$$\text{综合吨度价格} = Jt/100\{F/[1+2R_4(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)-2(\text{CaO}+\text{MgO})]\} \quad (4)$$

式中: R_2 —高炉渣二元碱度

R_4 —高炉渣四元碱度

SiO₂—铁矿石的 SiO₂ 含量(%)

CaO—铁矿石的 CaO 含量(%)

Al₂O₃—铁矿石的 Al₂O₃ 含量(%)

MgO—铁矿石的 MgO 含量(%)

(其他符号与式(2)一致)

式(3)和式(4)考虑了高炉造渣碱度应匹配的熔剂量对应的铁矿石的含铁量; 熔剂的有效性, 即熔剂中的 CaO 和 MgO 的含量以 50% 计算。式(3)和式(4)分别为炉渣采用二元碱度和四元碱度时的计算公式。

该方法缺点是不能正确反映烧结过程的变化和高炉冶炼过程中矿石品位或产生的渣量对冶炼焦比的影响。

2.4. 考虑铁矿石 FeO 含量的综合评价法

考虑铁矿石中 FeO 含量影响, 宜将 FeO 影响折算成为对铁品位的影响, 具体影响程度按 FeO 中 30%~50% 的铁不计入铁含量, 其计算公式分别如下[3]:

$$\text{综合吨度价格} = Jt/100\{[F-(0.3\sim 0.5)\text{FeO}]/(1+2R_2\text{SiO}_2-2\text{CaO})\} \quad (5)$$

$$\text{综合吨度价格} = Jt/100\{[F-(0.3\sim 0.5)\text{FeO}]/[1+2R_4(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)-2(\text{CaO}+\text{MgO})]\} \quad (6)$$

式中: FeO—铁矿石 FeO 含量(%)

(其他符号与式(3)、式(4)一致)

式(5)和式(6)不仅全面考虑了铁矿石中酸性脉石和碱性脉石对高炉冶炼的影响,同时也考虑了 FeO 含量对高炉冶炼的影响,确实用此方法对铁矿石进行评价比常规方法有较大进步。但是,因为对每种矿石的熔剂用量估算不准,矿石烧损及高炉焦比、实际渣量等不能在该方法中得到体现;此外,反映铁矿石价格的吨度价格也不是铁矿石真正价值。

2.5. 铁矿石冶金价值评价法

基于以上评价方法存在的不足,前苏联巴甫洛夫院士提出了针对铁矿石冶金价值的计算方法,其公式如下:

$$PI = (F \div f) \times (P - C_1 \times P_1 - C_2 \times P_2 - g) \quad (7)$$

式中: PI —铁矿冶金价值(元/t)

F —铁矿石品位(%)

f —生铁的含铁量(%)

P —生铁的控制成本(元/t)

C_1 —焦比(t/t)

P_1 —焦炭的价格(元/t)

C_2 —生铁熔剂消耗(t/t)

P_2 —熔剂的价格(元/t)

g —生铁的加工费(元/t)

此方法考虑了矿石的含铁品位、熔剂的用量以及焦比的影响,并直接计算出矿石的利用价值,其含义就是这种矿石在现场工艺技术和控制参数的条件下,该铁矿到达厂区所允许的最高价,如果超过此价购买铁矿就意味着要亏本。此方法可对直接入炉的铁矿(含块矿、烧结矿、球团矿)评价进行评价,但由于需要对矿石进行冶炼后方可评价,不适用使用前的采购决策[4]。此外,该方法对非直接入炉的烧结矿(见图 2)、球团矿的铁矿石就存在一定的局限性,因为各种铁矿石的单烧性能不一样,烧结过程中发生的费用就不同,另外公式中没有考虑高炉喷煤与否以及产量大小对制造费的影响[5] [6]。

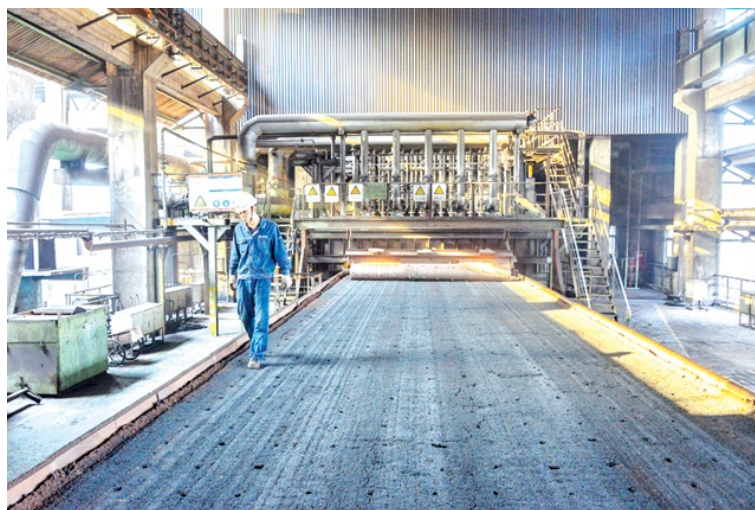


Figure 2. Pangang Group Xichang Steel Vanadium Co. Ltd. sinter machine
图 2. 攀钢集团攀枝花钢铁有限公司烧结机

2.6. 铁矿石冶金价值评价的修正

巴甫洛夫铁矿石冶金价值评价方法, 可将焦比分成两项: 一是焦比, 二是喷煤比, 同时在计算时考虑品位上升对产量及加工费用和焦比影响, 按品位每提高 1%, 增产 2%, 节焦 1.5% 来计算[7], 高炉炉渣碱度取 1.15, 公式(7)即变成如下形式[8] [9]:

$$PI = (F \div f) \times \left\{ P - C_1 (1 - 0.015\delta) P_1 - C_2 \times P_2 - g (1 - 0.02\delta) - \left[(1.15 \times \text{SiO}_{2\text{矿}} - \text{CaO}_{\text{矿}}) \div \text{CaO}_{\text{熔剂}} \right] P_3 \right\} \quad (8)$$

式中: C_1 —基准期焦比(t/t)

δ —铁矿品位与入炉品位的差(%)

P_1 —焦炭的价格(元/t)

C_2 —喷煤比(t/t)

P_2 —煤粉的价格(元/t)

$\text{SiO}_{2\text{矿}}$ —铁矿石中 SiO_2 的含量(%)

$\text{CaO}_{\text{矿}}$ —铁矿石中 CaO 的含量(%)

$\text{CaO}_{\text{熔剂}}$ —熔剂中 CaO 的含量(%)

P_3 —熔剂价格(元/t)

g —基准期制造费用(元/t)

(仅其他符号与式(7)一致)

如果是自熔性块矿或者自熔性球团矿, 公式(8)即变成:

$$PI = (F \div f) \times \left[P - C_1 (1 - 0.015\delta) P_1 - C_2 \times P_2 - g (1 - 0.02\delta) \right] \quad (9)$$

式(9)中各符号代表的意义和式(8)一致。

2.7. 铁矿粉单烧法

对于烧结原料进行评价, 应采用其单烧值进行经济分析。即, 在一定碱度下单独针对一种矿石烧结, 再用生产出的烧结矿成分与烧结矿成本作为入炉的铁矿进行分析, 以确定该矿种冶金及经济价值。

但是采用单烧值进行分析时, 应当注意在进行烧结配料中应考虑该种矿石烧结性能, 同时还应通过调整熔剂和燃料以满足其烧结性能, 并且应按自熔性烧结矿进行比较[10]。在计算该种矿石价格时, 可套用目前高碱度烧结矿加工成本或球团矿加工成本、吨烧结矿所需该矿粉到厂价格, 以及熔剂消耗费[11]。

各种铁矿石烧结性能一般应以试验数据为依据进行单烧值计算, 这样计算较为妥当。如果没这些数据, 也可通过烧结配料计算公式进行计算, 并用烧结加工成本及熔剂消耗量计算其冶金价值[12] [13]。

2.7.1. 烧结用铁矿粉冶金价值评价公式

利用铁精矿单烧成自熔性烧结矿化学成分以及铁料、熔剂消耗计算其冶金价值, 其计算公式为:

$$P_1 = (F_{\text{烧}} \div f) (P - C_1 (1 - 0.015\delta) P_2 - C_2 \times P_3 - g (1 - 0.02\delta)) \quad (10)$$

式中: P_1 —单一铁矿粉单烧成为烧结矿的冶金价值(元/t)

$F_{\text{烧}}$ —铁矿单烧成为自熔性烧结矿的含铁量(%)

f —生铁的含铁量(%)

P —炼铁工序允许最高生产成本(元/t)

C_1 —基准期焦比(t/t)

δ —烧结矿品位与入炉品位的差(%)

P —焦炭的价格(元/t)

C_2 —喷煤比(t/t)

P —煤粉的价格(元/t)

g —基准期的制造费用(元/t)

2.7.2. 烧结铁料换算为入炉矿到厂价计算公式

$$P_0 = D \times P_{\text{矿}} + H \times P_{\text{生石灰}} + S \times P_{\text{生石灰}} + G_{\text{烧}} \quad (11)$$

式中: P_0 —铁矿粉单烧成为烧结矿的价格(元/t)

D —单烧成为一吨烧结矿的铁矿石消耗量(t/t)

$P_{\text{矿}}$ —铁矿粉到厂的价格(元/t)

H —烧结矿生石灰单耗(t/t)

S —烧结矿石灰石的单耗(t/t)

$P_{\text{生石灰}}$ —石灰石粉的价格(元/t)

$G_{\text{烧}}$ —烧结矿的加工成本(元/t)

在实际生产中,不可能将单一的劣质矿进行烧结,而是将其以一定量配入混匀料,这样有利于铁矿石之间的优势搭配。特别是在对低品质杂质元素含量较高的矿石进行单烧模式评价时,必须配入大量熔剂,不能反应其实际冶炼经济性。

2.8. 铁矿粉资源价值评定法

北京科技大学根据对于已有的含铁原料资源进行百分制的铁矿粉资源价值评定,评定的基准以含铁原料的基础性能和高温性能的影响权重分配进行单项评分,最后根据总的平均加权成绩得到单种含铁原料的评价分数,并进行排名。对于铁矿粉、块矿和球团矿分别给出不同的性能评价指标,并根据其影响作用大小给出不同的权重,最终计算出加权成绩结果[14]。

评价系统包括的四个子项分别为:评价指标,指标基准值,指标权重值,指标影响因子。根据矿粉指标实际值与指标基准值之间的波动幅度,根据评价原则相应地计算得到该项的分数,最终将各单项分数进行加和排名。

根据烧结铁矿粉的化学成分和基础及冶金性能的测定,制定出以普氏指数 PB 粉(品位 61.5%)为基准的铁矿粉综合性价评定系统。分数采用百分制, PB 的分数在 100,采取分数无上限,分数越高代表铁矿粉的综合性价越高,反之越低(见表 1)。

项指标分数的两个计算公式为:

$$\text{单项得分} = \text{权重比例} + \text{影响因子} \times (\text{实际数值} - \text{基准数值}) / \text{变化幅度} \quad (12)$$

$$\text{单项得分} = \text{权重比例} + \text{影响因子} \times (\text{基准数值} - \text{实际数值}) / \text{变化幅度} \quad (13)$$

使用式(12)进行分数计算的评价指标有: TFe, FeO, CaO, MgO; 其余指标用式(13)进行分数计算。单种铁矿粉评价分数等于各单项得分之和。

2.9. 全流程炼铁评价法

重庆大学开发的全流程炼铁评价系统(见图 3),其基本思路为:首先根据工艺流程的相对独立性划分工艺单元;其次,确定每个单元系统内涉及的经济性和技术性参数,将铁矿石在炼铁系统中的所有表现

Table 1. Table of iron ore powder evaluation index developed by Beijing University of Science and Technology (physical and chemical index is 100%)

表 1. 北京科技大学研究制定的铁矿粉评价指标情况表(理化指标为 100%)

序号	评价指标	指标权重值	指标影响因子	指标基准值	波动幅度评价原则
1	TFe	40%	0.5	61.5	波动 0.5, 增减 0.5 分
2	FeO	6%	0.01	0	波动 0.1, 增减 0.01 分
3	SiO ₂	20%	2	4	波动 0.5, 增减 2 分
4	Al ₂ O ₃	10%	0.25	2	波动 0.5, 增减 0.25 分
5	S	6%	0.5	0.05	波动 0.01, 增减 0.5 分
6	Ni	2%	0.5	0.005	波动 0.001, 增减 0.5 分
7	Cr	2%	0.5	0.005	波动 0.001, 增减 0.5 分
8	As	2%	0.5	0.005	波动 0.001, 增减 0.5 分
9	TiO ₂	2%	0.01	0.1	波动 0.001, 增减 0.01 分
10	CaO	2%	0.5	0	波动 0.1, 增减 0.5 分
11	MgO	2%	0.5	0	波动 0.1, 增减 0.5 分
12	K ₂ O	2%	0.5	0.01	波动 0.01, 增减 0.5 分
13	Na ₂ O	2%	0.5	0.01	波动 0.01, 增减 0.5 分
14	流动性	2%	0.1	2	波动 0.1, 增减 0.1 分

都以货币的形式定量地表现出来; 然后, 在单元系统衔接的界面上, 建立前一个单元系统的技术性参数和后一个单元系统内技术性和经济性参数的关联模型[15] [16]; 最后, 将每个单元系统的经济性指标相加, 得到最终的经济性评价指标[17]。

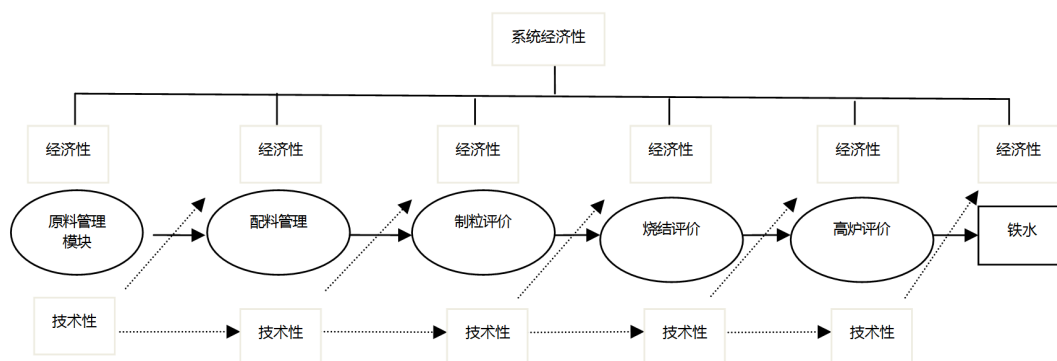


Figure 3. The relationship between module division and convergence of iron making evaluation system

图 3. 炼铁评价体系模块划分与衔接关系

3. 结论

根据以上分析, 按照先后顺序, 前七种铁矿石性价比评价方法的科学性和合理性, 依次有所提高; 第八种北京科技大学的铁矿粉资源价值评定法, 对于铁矿石的指标适宜值均靠经验选取, 对燃料的评价有不足之处; 第九种重庆大学的全流程炼铁评价法, 相对比较完整和优化, 但需在模型分析所需数据获取、输入参数确定等方面给予重点关注。

基金项目

云南省教育厅资助性项目 KKJB201752017; 云南省教育厅科学研究基金产业化培育项目 2016CYH07; 云南省科技计划项目 2017ZE033; 云南省科技厅其它项目 KKST201852002。

参考文献

- [1] 王炜, 等. 高炉精料与炼铁成本的关系研究[J]. 中国冶金, 2006, 15(5): 41-43.
- [2] 刘正平. 铁矿石经济价值合理评价方法的探讨[J]. 烧结球团, 2004, 29(5): 1-3.
- [3] 石国星. 铁矿石经济性评价[J]. 烧结球团, 2007, 32(4): 1-4.
- [4] 孔令坛. 高炉的合理炉料结构[C]//2001 中国钢铁年会论文集(上卷), 北京, 2001: 189-192.
- [5] 唐先觉. 浅谈高炉炉料结构的优化[J]. 烧结球团, 2002, 27(1): 1-3.
- [6] 郭豪, 张建良, 等. 韶钢合理炉料结构的研究[J]. 钢铁, 2008, 43(1): 9-12.
- [7] 宋建成. 高炉理论与操作[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005: 138-176.
- [8] 俞晓林. 铁矿石性价比评价方法的研究[J]. 浙江冶金, 2016(Z1): 16-19.
- [9] 孟世民. 铁矿石评价方法分析[J]. 河北冶金, 1993(6): 16-18.
- [10] 梁迪超. 进口铁矿的物化性能及技术经济评估[J]. 烧结球团, 1992, 17(2): 10-12.
- [11] 杨毓英. 鞍钢自熔性烧结矿的生产及应用. 中国炼铁三十年[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981: 15.
- [12] 梁栋, 周小辉, 张毅, 曾晖, 罗霞光. 高炉炉料结构分析及性价评估体系的研究及应用[J]. 武汉科技大学学报, 2013(3): 171-177.
- [13] 王跃飞, 吴胜利, 韩宏亮. 高褐铁矿配比下提高烧结矿产质量指标[J]. 北京科技大学学报, 2010, 32(3): 292-297.
- [14] 吕学伟, 白晨光, 邱贵宝, 等. 烧结配料优化模型求解方法研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2008, 16(5): 695-702.
- [15] 雷磊, 吕学伟, 白晨光, 黄小波. 铁矿石评价系统的建立及软件开发[C]//第八届(2011)中国钢铁年会论文集, 北京, 2011: 4214-4221.
- [16] 许宝栋, 许波. 钢铁企业的生产预算模式与控制模式研究[J]. 东北大学学报, 2001, 22(2): 196-199.
- [17] 楼辉映. 钢铁经济学[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1999.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1478, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: meng@hanspub.org