

提高铁精矿质量实现高炉节能减排增效*

余永富^{1,2}, 陈雯^{1,2}, 麦笑宇²

(1. 武汉理工大学, 武汉, 430070; 2. 长沙矿冶研究院, 长沙, 410012)

摘要: 阐述了提高铁精矿质量的重要性和高效分选新工艺及新设备。国内众多选矿厂进行铁矿石提铁降硅(杂)生产系统的改造与扩建, 生产出含铁 66%~69%、含 SiO₂ 4% 左右的高质量铁精矿, 有效地提高了炼铁高炉入炉铁品位, 减少了高炉炼铁废气、废渣的排放量, 实现了高炉炼铁节能减排及集团经济效益高效化。

关键词: 反浮选; 磁选柱; 磁场筛选机; 高频振网筛; 磁选机; 铁精矿质量; 高炉节能

中图分类号: TD951.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0076(2009)01-0013-04

To Realize Energy Saving, Emission Reduction and Efficiency Increasing by Production of Further Pure Iron Concentration

YU Yong-fu, CHEN Wen, MAI Xiao-yu

(Wuhan University of Technology, Hubei province 430070, China)

Abstract: In this article, the importance of improving quality of iron concentration and new high-efficient technologies and equipments for it are discussed. The high-quality iron concentration of 66%~69% TFe and about 4% SiO₂ was produced by production system improved and expanded for increasing iron grade and reducing SiO₂ content in many domestic concentrators. Thus, the iron grade of blast furnace charge was increased, and emission of waste gas and slag of blast furnace was reduced effectively. By these, energy saving, emission reduction, efficiency increasing and economic benefits maximization were realized.

Key words: reverse flotation; magnetic separation column; magnetic field screen; high frequency vibrating screen; magnetic separator; the quality of iron concentration; energy saving of blast furnace

新中国成立后, 大力发展钢铁工业生产, 带动了铁矿开采逐年快速发展。改革开放 30 年间, 铁矿石的需求量呈现快速增长、回落、再急剧增长的局面, 从 1980 年生产铁矿石 11 258 万吨到 1995 年铁矿石产量增加到 26 190 万吨, 到 2001 年铁矿石生产量又降低到 21 701 万吨, 而生铁产量 1995 年为 10 529 万吨, 到 2001 年生铁产量快速增长到 14 893 万吨(见表 1), 增加了 4 364 万吨, 然而国产铁矿石生产量反而下降了^[1-3], 这其中的原因可以由表 1 看出, 2001 年国产铁矿石虽然减少了, 但进口成品矿铁矿石却增加了很多。自 1978 年我国高炉炼铁开始使用进口

表 1 1990 年以来我国铁矿石、生铁产量与铁矿石进口量(万吨)

年份	国产铁矿石	进口铁矿石	生铁	占生铁用量比
1990	18000	1434	6237	15.32
1994	24061	3734	9741	25.55
1995	26190	4155	10529	27.43
1996	25228	4387	10531	29.24
2000	24000	6997	13103	34.45
2001	21701	9230	14893	40.05
2002	23143	11149	17079	42.51
2007	70700	38309	46944	52.08
2008	81500		47500	

铁矿石以来, 尝到了进口铁矿石炼铁效益高的好处,

* 收稿日期: 2009-02-05

基金项目: 国家“十五”(课题编号: 2006BAB02A05); “973”攻关项目(项目编号: 2007CB613502)

作者简介: 余永富(1932-), 男, 河南南召人, 中国工程院院士, 长期从事矿物特别 J 铁矿、稀有金属矿加工科研工作。

一段时期有条件的钢铁公司都争取多购买巴西、澳大利亚进口铁矿石,尽量减少用国产铁精矿,结果导致1998年至2001年期间,我国国产铁精矿积压,卖不出去,一些铁矿山停产和萎缩,一些钢铁公司把自有的铁矿山当成包袱,数十万铁矿山工人曾面临下岗待业的局面。

1 提高我国国产铁精矿质量的重要性

针对我国铁矿山选矿生产面临的局面,我们进行了深入的研究和分析后,发现其主要原因是国产铁精矿质量较低,不仅铁品位低,更重要的是 SiO_2 含量高。我国磁铁精矿一般含铁62%~66%,含 SiO_2 7%~10%;氧化铁矿石铁精矿一般含铁55%~63%,含 SiO_2 8%~12%。而国外巴西粉矿铁品位65%~66%、块矿铁品位66%~67%,其 SiO_2 含量仅0.5%~1.5%;澳大利亚粉矿铁品位63%,块矿64%~65%,其 SiO_2 含量只有3%~4%。由于国产铁精矿质量低,从而导致我国高炉入炉铁品位低,消耗矿石、煤和焦炭量大,高炉利用系数低、效益低;而国外成品铁矿石品位高、 SiO_2 含量低,从而使高炉利用系数高、效益高(见表2)^[2]。

表2 1999年国内外重要炼铁厂技术指标对比

厂名	鞍钢	瑞典
铁精矿 TFe 品位 (%)	63.80	
铁精矿含 SiO_2 (%)	8~10	
入炉铁品位 (%)	54.26	66.0
高炉利用系数 ($\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$)	1.840	3.476
矿耗 (kg/t)	1.875	
焦比 (kg/t)	439	
渣铁比 (kg/t)	497	146

为了改变国产铁精矿不受国内钢铁公司欢迎的局面,我们分析认为,国内铁矿山选矿厂必需转化思路,把选矿厂的生产方向转变到以提高铁精矿品位、

降低 SiO_2 等杂质含量为中心上来,彻底抛弃从前只在选矿厂内部讨论所谓的“合理铁精矿品位和回收率”框框的束缚,而应当把铁精矿质量高低扩展到选矿~炼铁的大范围来研究和讨论,以达到炼铁成本最低、集团利润最大化的学术思想^[2],提高国产铁精矿的竞争力,这样才能保持国内铁矿山的持续发展。2002年在珠海由《金属矿山》编辑部组织召开了2002年全国铁精矿提质降杂学术研讨及技术交流会^[4],认识提高了,全国铁矿山选矿界掀起了一场“提铁降硅”选矿生产技术改造的黑色风暴。

2 选矿厂提高选矿铁精矿质量的措施

2.1 反浮选工艺研究与生产^[3,5,6]

磁性铁矿物和石英脉石连生体的存在影响了磁选精矿品位,单靠多次磁选无法把连生体分选出去,阳离子或阴离子捕收剂反浮选法利用连生体中石英和浮选药剂作用后,石英表面疏水可以粘附在气泡上易于浮选的特性,实现连生体与铁矿物的分选,达到脱硅提高铁精矿质量的目的。该工艺效果好,从2002年到2008年我国铁矿山选矿厂用反浮选工艺改建和扩建的选矿厂生产技术指标见表3。

2.2 高效新型选矿设备的研究与生产^[3,7,8]

进一步提高国产铁精矿质量的需求,带动了高效新型选矿设备的研究与发展,磁力和重力结合的磁-重脉动低磁场的磁重选矿机(通称磁选柱)、磁力和粒度筛分相结合的磁场筛选机、细筛孔MVS电磁高频振网筛以及多磁极的BX弱磁选机、SLON立环脉动高梯度强磁选机等研制成功,促进了工业生产选矿指标的明显提高,这些都是我国自主创新的高效分选设备,在选矿厂得到大量的应用,为我国提高铁精矿质量或简化工艺流程、提高经济效益起了重大作用,其中一些选矿厂生产指标见表4。

表3 阴(阳)离子捕收剂反浮选脱硅工艺选矿厂生产指标(%)

厂名	给矿 TFe 品位	给矿含 SiO_2	精矿 TFe 品位	精矿含 SiO_2	铁回收率	矿石类型	工艺类型
鞍钢弓长岭	65.50	8.31	68.89	3.62	97.58	磁铁矿	阳离子反浮选
鞍钢齐大山	40.50	31.10	67.59	3.85	79.71	磁、赤铁矿	阴离子反浮选
太钢尖山	65.92	8.50	69.10	3.80	98.62	磁铁矿	阴离子反浮选
莱钢鲁南	63.00	11.25	67.22	5.65	97.00	磁铁矿	阴离子反浮选
新余良山	61.57	10.61	66.77	4.50	95.18	磁铁矿	阴离子反浮选
酒钢选矿厂	55.76	10.50	60.61	5.76	94.33	磁铁矿	阳离子反浮选

表4 新设备分选铁精矿技术指标(%)

厂名	给矿 TFe 品位	给矿含 SiO ₂	精矿 TFe 品位	精矿含 SiO ₂	铁回收率	矿石类型	工艺及设备
南芬选矿厂	67.50	6.50	69.31	3.30	98.50	磁铁矿	磁选柱
歪头山选矿厂	65.94	8.05	69.20	3.98	98.00	磁铁矿	磁选柱
首钢水厂	24.74	51.75	68.22	4.12	83.00	磁铁矿	细筛再磨—弱磁选
大孤山选矿厂	29.73	48.00	67.44	53.00	77.27	磁铁矿	MVS 细筛—BX 弱磁选机
唐钢庙沟铁矿	62.50	9.80	65.50	6.50	95.60	磁铁矿	磁场筛选机

注:注:庙沟铁矿为极细粒嵌布,原工艺为三段磨矿十段磁选精矿品位为 62%~63%,采用磁筛精选后磨矿能力提高了 10%。

我国铁矿选矿厂在“提铁降硅(杂)”的学术思想引导下,经过选矿生产技术改造使我国铁精矿质量有了大幅度提高,磁铁矿选矿的铁精矿品位达到了 67%~69%,SiO₂ 降到 3%~5%,达到或超过了进口成品铁矿石的质量,使我国选矿技术指标进入了世界先进的行列。过去把自有铁矿山当作包袱的钢铁公司现在则把自有的铁矿山当成了摇钱树,成了为公司挣钱盈利的宝贝。更值得指出的是,在 2008 年来临的金融风暴中,具备自有铁矿山的钢铁公司较主要依靠外购铁矿石的公司损失最小。

3 炉料品位提高促使高炉节能减排

3.1 鞍钢所属选矿厂提质降杂实效

鞍山钢铁集团鞍山矿业公司齐大山、大孤山、东鞍山选矿厂及弓矿公司弓长岭选矿厂从 2001 年经过技术改造后,铁精矿质量有了明显提高,直接影响到高炉炼铁的效果,如表 5 所示。

表5 鞍钢高炉炼铁主要技术指标

时间	1999年	2000年	2001年	2002年	2002年
	年	年	年	上半年	四季度
铁精矿 TFe 品位(%)	63.80	65.47	66.78		
铁精矿含 SiO ₂ (%)	8~10	6.60	5.39		
炉料铁品位(%)	54.26	54.79	55.44	57.50	58.92
高炉利用系数 t/(m ³ ·d)	1.840	1.887	1.942	2.013	
矿耗(kg/t)	1.875	1.830	1.792	1.705	1.666
综合焦比(kg/t)		548	540	521	
焦比(kg/t)	439	432	415	400	
渣铁比(kg/t)	497	470	425	357	314

从表 5 可以看出,鞍山选矿厂 2002 年 1~6 月份比上年铁精矿品位有明显提高,提高了 1.31 个百分点;SiO₂ 含量也明显下降,下降了 1.21 个百分点;高炉的各项技术指标均创出了历史最好水平,入高炉炉料品位提高了 2.06 个百分点,每吨生铁消耗炉料少 87 kg、渣铁比下降 68 kg、焦比下降了 15 kg/

t,高炉利用系数提高了 0.07 t/(m³·d)。

鞍钢铁矿山 2001 年进行一系列“提铁降硅”改造后,从 2002 年元月份起铁精矿质量大幅度提高,高炉入炉品位提高(比 1999 年高 3.24 个百分点)、利用系数提高(比 1999 年提高 1.73 t/(m³·d)),导致鞍钢每吨生铁成本降低 49.92 元,原主材料降低 28.88 元,燃料成本降低 9.94 元,动力成本降低 3.2 元,详见表 6。若是把 2002 年 4 季度的指标和 2001 年比较,入炉铁品位提高到 58.92%,渣铁比降低到 314 kg/t,减少了 111 kg/t。

表6 炼铁成本构成情况(元/t)

年份	生铁成本	原主材料	燃料	动力	其他	制造费
2001	958.73	589.18	205.64	90.6	3.83	69.48
2002	908.81	560.30	195.70	87.40	1.99	63.42
差值	-49.92	-28.88	9.94	-3.2	-1.84	-6.01

3.2 酒钢选矿厂铁精矿提质降杂实效^[9]

3.2.1 焙烧磁选铁精矿提铁降硅工艺指标

酒钢选矿厂块矿(150~15 mm)入竖炉磁化焙烧,焙烧矿经弱磁选得到的铁精矿铁品位 56%,含 SiO₂ 11%;粉矿(-15 mm)经强磁选得到的强磁铁精矿铁品位 48%,弱磁选、强磁选综合铁精矿品位 52%(扣除烧损为 57%),致使酒钢高炉入炉铁品位 50%,处于全国最低水平,严重影响了炼铁的技术指标和经济效益。

2007 年酒钢选矿厂对焙烧磁选铁精矿进行了阳离子反浮选提质降杂改造,2007 年 12 月建成投产,工业生产指标见表 7。

3.2.2 提质降杂直接经济效益^[9]

与原流程相比,实施提质降杂改造后焙烧精矿经反浮选铁品位提高 4.04 个百分点,SiO₂ 降低 4.74 个百分点,这样就可使强磁铁精矿+反浮选铁精矿综合铁品位提高到 56%,由于每年少生产出 SiO₂

10.25 万吨, 烧结工序每年可节约石灰石 18.8 万吨, 少加工烧结矿 24.32 万吨, 两项合计节约成本 1 642 万元。炼铁工序高炉入炉品位提高 1.57 个百分点, 焦比降低 13.4 kg/t, 每年可节约焦炭 6.7 万吨, 增产生铁 22.48 万吨, 两项合计炼铁增效 17 012 万元。

表 7 酒钢选矿厂反浮选工业生产指标(%)

时间 (年,月)	铁品位(%)			精矿含精矿		作业 回收率	品位 提高
	给矿	精矿	尾矿	SiO ₂	产率		
2008,4	55.57	60.01	23.43	6.19	87.76	94.77	4.44
2008,5	55.04	59.75	21.75	6.61	87.60	95.10	4.71
2008,6	55.55	60.23	22.53	6.17	87.59	94.97	4.68
2008,7	54.61	59.96	22.91	5.83	85.56	93.94	5.35
平均	55.19	59.99	22.66	6.20	87.14	94.72	4.80

由于焙烧磁选铁精矿反浮选, 铁精矿产率降低、须增加原矿处理量, 原料费及选矿加工费增加 9 129 万元, 提质后从选矿至炼铁工序, 烧结及炼铁节约成本 18 654 万元, 扣去选矿增加原料及加工费 9 129 万元, 合计成本降低了 9 525 万元, 效益显著。

3.2.3 节能减排效益^[9]

实施提质降杂后, 选矿工序每年增加电力消耗 3 142 kW·h, 折合标准煤 3.86 万吨, 烧结工序由于减少加工量和节约石灰石每年可节约标准煤 1.16 万吨, 炼铁工序由于节约焦炭而节约标准煤 5.8 万吨, 合计总节约标准煤 3.12 万吨。

实施提质降杂后, 高炉渣每年减少 18 万吨, 由于精矿中硫减少 1 678 t, 烧结工序可减少 SO₂ 排放 2 181 t, 炼铁工序可减少 SO₂ 排放 1 092 t; 由于节约焦炭, 炼铁工序可减少 SO₂ 排放 1 099 t, 三项合计可减少 SO₂ 排放 4 372 t。由于少消耗石灰石, 烧结工序可减少 CO₂ 排放 6.85 万吨; 由于节约焦炭, 炼铁工序可减少 CO₂ 21.7 万吨, 两者合计每年可减 CO₂ 28.85 万吨。由于铁精矿中每年减少 K₂O 1 789 t, Na₂O 678 t, P 180 t, 可降低高炉碱负荷 0.516 kg/t、P 负荷 0.038 kg/t。

4 结语

我国自 2001 年在铁矿山选矿领域开展“提铁降硅(杂)”以来, 激发了我国选矿界科研人员及生产厂矿极大的热情和关注, 研发并制造出了众多新型

高效分选设备及工艺, 几十家大小选矿厂采用新设备新工艺的生产改造和扩建, 大幅度地提高了我国磁铁矿及氧化铁铁矿石精矿的质量, 使国产铁精矿的质量进入国际先进行列, 国产铁精矿的质量达到或超过了从国外进口成品铁矿石的质量。

国产铁精矿质量的提高, 提高了高炉炼铁效益, 国内炼铁厂由从前不愿意使用国产铁精矿转变为欢迎使用, 具备自有铁矿山的钢铁公司由把铁矿山当包袱看待转变为公司的宝贝和摇钱树。如当前鞍钢炼铁原料使用自产铁精矿率已占 80%~90%。

国产铁精矿质量的提高有力地推动了高炉炉料“精料方针”的实现, 减少了高炉废气、废渣的排放, 降低了煤和焦炭的使用量, 提高了炼铁的经济效益, 有效地实现了高炉炼铁的节能降耗及高效化。

我国目前 607 亿吨铁矿资源储量中 97.5% 为贫铁矿, 并且具有“贫、细、杂”的特点, 矿石比较难选。为保证持续地向炼铁提供高质量铁精矿, 仍需中国选矿工作者针对我国铁矿石性质继续努力工作, 开发出更多的、更合理的创新工艺和装备。

参考文献:

- [1] 余永富. 我国铁矿资源有效利用及选矿发展的[J]. 金属矿山, 2001, (2): 9-11.
- [2] 余永富. 从炼铁工业发展讨论我国铁选矿发展方向[J]. 金属矿山, 2002, (8): 5-9.
- [3] 余永富. 我国铁选矿技术进步与发展前景[R]. 金属学会选矿分会, 2008.10.
- [4] 余永富, 段其富. 降硅提铁对我国钢铁工业发展的重要意义[J]. 矿冶工程, 2002, (3): 1-6.
- [5] 刘动. 鞍钢地区铁精矿提铁降硅工艺改进的思考[J]. 金属矿山, 2002, (增刊): 80-84.
- [6] 王义达, 马厚辉, 高林章. 鞍钢提铁降硅的研究与实践[J]. 金属矿山, 2002, (增刊): 85-89.
- [7] 熊大和. SLON 闭环脉动高梯度磁选机在提高红矿质量的应用[J]. 金属矿山, 2002, (增刊): 238-241.
- [8] 刘秉裕. 磁选柱在铁精矿提质降杂的作用[J]. 金属矿山, 2002, (增刊): 250-253.
- [9] 唐晓玲, 等. 酒钢选矿厂焙烧磁选铁精矿阳离子反浮选生产实践[J]. 金属矿山, 2008, (11): 43-45.
- [10] 余永富. 我国铁矿矿冶形势及技术发展现状[J]. 矿产保护与利用, 2005, (6): 43-46.