

Study of the Carol Lake Concentrate Sintering Test in Baosteel

Lijuan Yan¹, Shengli Wu²

¹Manufacturing Management Department of Baosteel Co. Ltd., Shanghai

²School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing

Email: yanlijuan@baosteel.com

Received: Nov. 24th, 2017; accepted: Dec. 9th, 2017; published: Dec. 25th, 2017

Abstract

In this paper, by means of x-ray diffraction, scanning electron microscope, mineral phase microscope and micro-sintering, the performance of the Canadian carol lake concentrate was studied. On this basis, the sintering pot test and industrial test were carried out. The results show that the Carol lake concentrate can meet the needs of Baosteel in a certain extent.

Keywords

Concentrate, Productivity, Strength of Sinter

加拿大卡罗尔湖精粉在宝钢的试验研究

阎丽娟¹, 吴胜利²

¹宝山钢铁股份有限公司制造管理部, 上海

²北京科技大学 冶金与生态工程学院, 北京

Email: yanlijuan@baosteel.com

收稿日期: 2017年11月24日; 录用日期: 2017年12月9日; 发布日期: 2017年12月25日

摘要

本文通过采用X射线衍射、扫描电子显微镜和矿相显微镜以及微型烧结等方法对加拿大卡罗尔湖精粉矿的试验研究, 了解该种精粉矿的性能, 在此基础上进行了烧结杯试验和工业试验, 试验结果表明: 卡罗尔湖精粉在一定的使用比例范围内可满足宝钢生产使用。

文章引用: 阎丽娟, 吴胜利. 加拿大卡罗尔湖精粉在宝钢的试验研究[J]. 冶金工程, 2017, 4(4): 221-229.

DOI: 10.12677/meng.2017.44032

关键词

精粉矿, 生产率, 烧结矿强度

Copyright © 2017 by authors 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. 前言

近年来, 随着对铁矿石需求的持续增加, 世界铁矿石的年生产能力也随之有较大幅度增加, 超过 27 亿吨, 2016 年铁矿石的海运贸易量在 14.4 亿吨。在世界铁矿石市场上, 巴西和澳大利亚为主要的两大出口国, 不断进行扩产, 随着产量的增加, 原有矿山高品位资源逐渐减少甚至枯竭, 取而代之的新矿山铁矿石质量均有所下降。因此, 寻找其他矿石资源作为补充。加拿大铁矿公司生产的卡罗尔湖精粉具有品位较高、低 Al_2O_3 和低 P 的特点, 卡罗尔湖铁矿位于拉布拉多北极圈内, 矿床赋存于高于邻湖面以上 150~305 米的丘陵之中, 矿石为镜铁矿和磁铁矿, 平均品位 38.4% [1]。为此, 对加拿大卡罗尔湖精粉进行了实验室试验和工业试验。

2. 卡罗尔湖精粉的基础性能

2.1. 卡罗尔湖精粉的理化性能

将卡罗尔湖精粉与目前使用的部分巴西和澳大利亚几种粉矿进行了比较。从主要化学成份来看, 卡罗尔湖精粉品位较高, 与巴西卡拉加斯粉矿相近, SiO_2 略高于力拓公司的杨迪粉矿, 其 Al_2O_3 、磷和烧损均很低。卡罗尔湖精粉粒度组成细, 小于 0.5mm 的粒级比例大于 93%, 中间颗粒比例为 30% 左右。详细情况如表 1 和表 2 所示。

2.2. 卡罗尔湖精粉的矿物组成和显微结构

从图 1 卡罗尔湖精粉 X 射线衍射图谱看, 其含铁矿物主要为赤铁矿, 同时还含有部分磁铁矿。就脉石矿物而言, 卡罗尔湖精粉中石英的衍射峰数量相对较多且峰值相对较高, 说明其脉石矿物主要是石英。根据表 3 中各能谱点的化学成分, 并结合卡罗尔湖精粉 X 射线衍射图谱分析结果可知, 白色区域(能谱点 1)的元素表明, 该区域的主要矿物为赤铁矿; 灰色区域(能谱点 2)的主要矿物为石英。此外, 从图 2 卡罗尔湖精粉矿相结构可以看出, 卡罗尔湖精粉矿结构致密, 且其含铁矿物和脉石矿物是独立分离的。

采用扫描电镜观察卡罗尔湖精粉微观形貌如图 3, 其细颗粒大多呈块状, 表面光滑, 粗糙度较低, 棱角分明, 结构致密。

2.3. 卡罗尔湖精粉的成球性

卡罗尔湖精粉全粒级中 $< 0.5 \text{ mm}$ 粒级占比例大于 93%, 在烧结混匀矿中配加一定比例后, 烧结混合料的细粉比例大幅升高, 可能导致烧结料层透气性恶化, 最终影响烧结产质量。首先测定了卡罗尔湖精粉及混匀矿细粉的成球性指数(表 4), 相比于混匀矿细粉, 卡罗尔湖精粉的成球性指数则远低于混匀矿细粉。在此基础上进一步研究混匀矿细粉中配加不同比例的卡罗尔湖精粉矿时其成球性的影响规律。混合细粉的成球性指数随着卡罗尔湖精粉比例在混匀矿细粉中配加比例的升高, 其成球性指数呈现大幅降低的趋势, 具体如图 4 所示。这主要是由于其颗粒结构致密, 表面光滑有关。

Table 1. Comparison of main compositions between Carol lake concentrate and Brazilian and Australian fine
表 1. 卡罗尔湖精粉与巴西和澳大利亚粉矿主要成份比较(%)

品名	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	LOI
卡拉加斯粉	65.79	1.74	1.37	0.059	2.2
杨迪粉	58.28	4.35	1.53	0.053	10.5
皮尔巴拉粉	61.28	3.74	2.38	0.095	5.5
卡罗尔湖精粉	65.65	4.55	0.16	0.007	0.1

Table 2. Comparison of size distribution between Carol lake concentrate and Brazilian and Australian fine
表 2. 卡罗尔湖精粉与巴西和澳大利亚粉矿粒度组成比较(%)

品名	核颗粒(>1 mm)	中间颗粒(0.25~1 mm)	粘附粉(<0.25 mm)	MS
	%	%	%	mm
卡拉加斯粉	53.4	24.1	22.5	2.8
杨迪粉	66.1	22.0	11.9	3.6
皮尔巴拉粉	60.3	23.3	16.4	2.7
卡罗尔湖精粉	1.2	32.3	66.5	0.3

Table 3. Element content of each energy spectrum point in the phase structure of Carol lake concentrate
表 3. 卡罗尔湖精粉矿相结构中各能谱点的元素含量(%)

能谱点	Fe	O	Si	Al
1	68.42	31.58	---	---
2	0.85	52.4	46.75	---

Table 4. Carol lake concentrate and blend Granulating index
表 4. 卡罗尔湖精粉矿与混匀矿成球指数

	卡罗尔湖精粉	混匀矿
成球指数	0.059	0.145

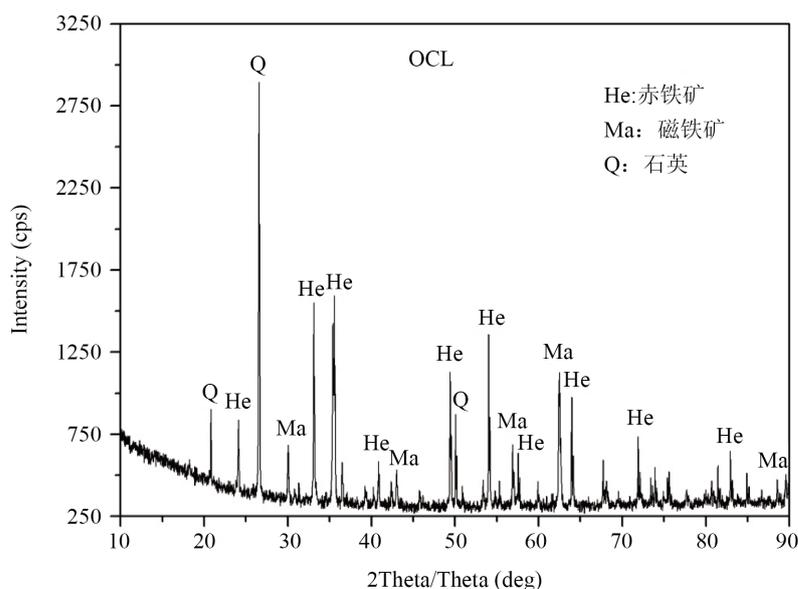


Figure 1. X-ray diffraction atlas analysis of Carol lake concentrate
图 1. 卡罗尔湖精粉 X 射线衍射图谱

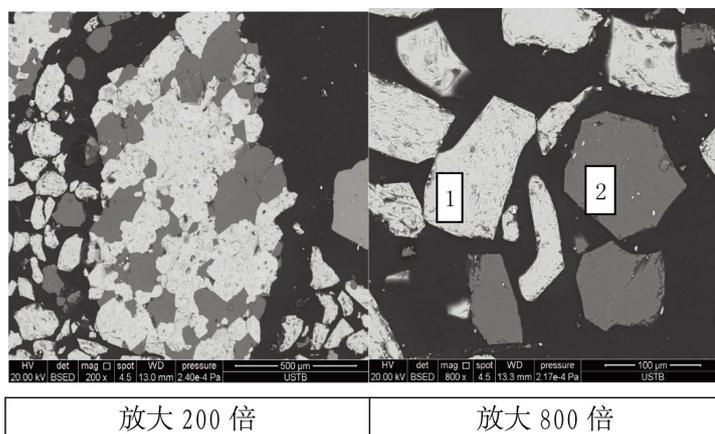


Figure 2. Microstructure of Carol lake concentrate

图 2. 卡罗尔湖精粉矿相结构

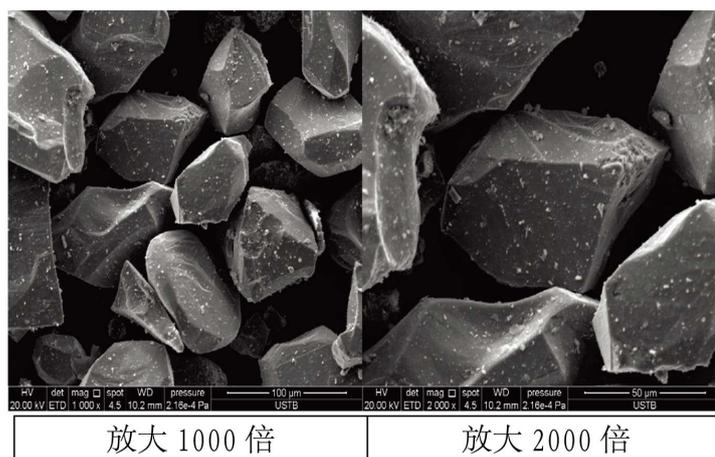


Figure 3. Microscopic morphological structure of Carol lake concentrate

图 3. 卡罗尔湖精粉微观形貌

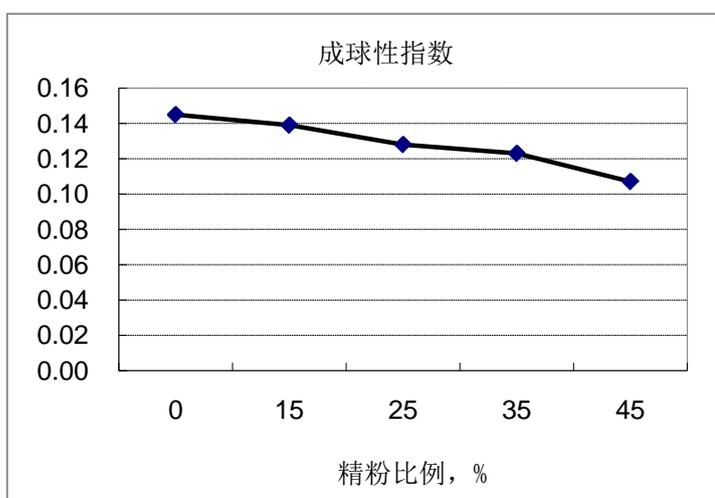


Figure 4. The influence on the Granulating Index of Carol lake concentrate ratio

图 4. 卡罗尔湖精粉比例对成球性指数的影响

2.4. 卡罗尔湖精粉的烧结基础特性

2.4.1. 卡罗尔湖精粉的同化性[2] [3] [4]

如表 5, 卡罗尔湖精粉的同化温度远高于其他铁矿粉, 是因为卡罗尔湖精粉含有部分磁铁矿, 含有较高含量的 Fe_3O_4 , 而 Fe_3O_4 几乎不与 CaO 发生固相反应, 这就大大地减弱了卡罗尔湖精粉生成铁酸钙液相的能力, 进而大大地抬高了卡罗尔湖精粉的同化温度。通过在混匀矿细粉中添加一定比例的卡罗尔湖精粉, 并对混匀矿细粉的同化温度测定, 以考察卡罗尔湖精粉配比对混匀矿细粉同化温度的影响规律。从如图 5 中可以看出, 随着混匀矿细粉中卡罗尔湖精粉配比的增加, 混匀矿细粉的最低同化温度呈现先大幅升高后基本保持不变的规律。当卡罗尔湖精粉的配比超过 35% 以后, 同化温度的增加较为缓慢。这是因为卡罗尔湖精粉的同化温度明显高于其它粉矿, 进而导致随着卡罗尔湖精粉配比的增加, 混合矿细粉的最低同化温度显著提高。

2.4.2. 卡罗尔湖精粉的液相流动性[2] [5]

在 1280°C 、碱度为 5.0 时分别测定了卡罗尔湖精粉与其它三种铁矿粉的液相流动性指数。从表 5 的试验结果看出, 卡罗尔湖精粉的液相流动性指数明显高于其它三种铁矿粉, 如表 6。这是因为卡罗尔湖精粉 SiO_2 含量较高, 更多的 SiO_2 用于生成复合铁酸钙液相, 增加了液相量, 进而提高了液相流动性。另外, 由于卡罗尔湖精粉含有部分磁铁矿, 含有较多的 FeO , 在 SiO_2 含量较多的情况下, 容易生成低熔点物质钙铁橄榄石, 进一步增加了卡罗尔湖精粉的液相流动性。从图 6 中可以看出, 在相同碱度条件下, 混匀矿细粉液相流动性随着卡罗尔湖精粉配比的增加呈现逐渐增大的趋势, 但在碱度为 4 时, 粘附粉的液相流动性随卡罗尔湖精粉配加比例的增加幅度较小, 碱度为 5 和 6 时, 粘附粉的液相流动性增加幅度逐渐扩大。在铁精粉配比一定的情况下, 随着粘附粉碱度提高, 粘附粉的液相流动性指数逐渐升高, 在卡罗尔湖精粉配比较高的情况下, 粘附粉液相流动性随着碱度的升高增加幅度较大。

2.4.3. 卡罗尔湖精粉的粘结相强度[2] [6]

分别测定了 1280°C 下碱度为 5.0 时卡罗尔湖精粉和混匀矿细粉的粘结相自身强度, 从表 7 可以看出, 在相同碱度下, 卡罗尔湖精粉的粘结相自身强度均显著高于现用混匀矿细粉。

为了明晰卡罗尔湖精粉配比对粘附粉粘结相自身强度的影响, 研究粘附粉碱度为 5 时不同卡罗尔湖精粉配比下混匀矿细粉粘结相自身强度结果如图 7。从图 7 中可看出, 随着粘附粉中卡罗尔湖精粉配比的增加, 粘结相自身强度逐渐升高。根据单独卡罗尔湖精粉和混匀矿的粘结相自身强度的研究可知, 单独卡罗尔湖精粉粘附粉的粘结相强度高于原始粘附粉的粘结相自身强度, 因而当卡罗尔湖精粉配比增加时, 会导致新粘附粉粘结相强度的提高。

3. 卡罗尔湖精粉烧结杯试验研究

为了解卡罗尔湖精粉的烧结性能, 分别以卡罗尔湖精粉 3%、6%、9%、12% 代替巴西烧结粉矿的烧结杯试验, 试验结果如表 8 所示。

从表 8 的数据可以看出, 随着卡罗尔湖精粉使用比例提高, 由于其粒度细、成球性差, 造成烧结料层透气性变差, 垂直烧结速度下降, 烧结生产率降低。由于其粘附粉的粘结相强度较高, 烧结矿强度提高, 成品率提高。烧结矿 RDI 呈降低趋势。由于其含有部分磁铁矿, 燃料单耗呈下降趋势。实验结果表明, 卡罗尔湖精粉使用比例在 6% 以下时, 对烧结的影响较小, 烧结的各项指标均保持基本稳定; 继续增加卡罗尔湖精粉的比例, 烧结速度和生产率明显下降, 但烧结矿强度、成品率、燃料单耗和烧结矿 RDI 改善。

Table 5. Assimilation temperature of Carol lake concentrate

表 5. 卡罗尔湖精粉矿同化性

	卡罗尔湖精粉	卡拉加斯粉	皮尔巴拉粉	扬迪粉
最低同化温度℃	1320	1270	1235	1205

Table 6. Liquid phase fluidity of Carol lake concentrate

表 6. 卡罗尔湖精粉矿液相流动性

	卡罗尔湖精粉	卡拉加斯粉	皮尔巴拉粉	扬迪粉
液相流动指数	5.39	0.74	2.46	3.72

Table 7. The bonded phase strength of Carol lake concentrate

表 7. 卡罗尔湖精粉粘结相强度

	卡罗尔湖精粉	混匀矿
粘结相强度 N	199.8	74.1

Table 8. Sinter pot test data of Carol lake concentrate

表 8. 卡罗尔湖精粉烧结杯试验结果

试验配比	垂直烧结速度	生产率	成品率	TI (+10 mm)	RDI (-3 mm)	燃料单耗
单位	mm/min	t/m ² ·d	%	%	%	Kg/t
基准	27.0	39.3	77.5	56.2	36.3	52.7
3%	26.2	38.5	78.1	56.6	35.9	52.3
6%	26.4	38.7	77.9	57.0	33.1	52.2
9%	24.7	36.8	78.8	57.1	35.8	51.8
12%	23.7	35.7	79.3	59.7	34.4	51.5

注：烧结矿的 TI、RDI 为 JIS 标准。

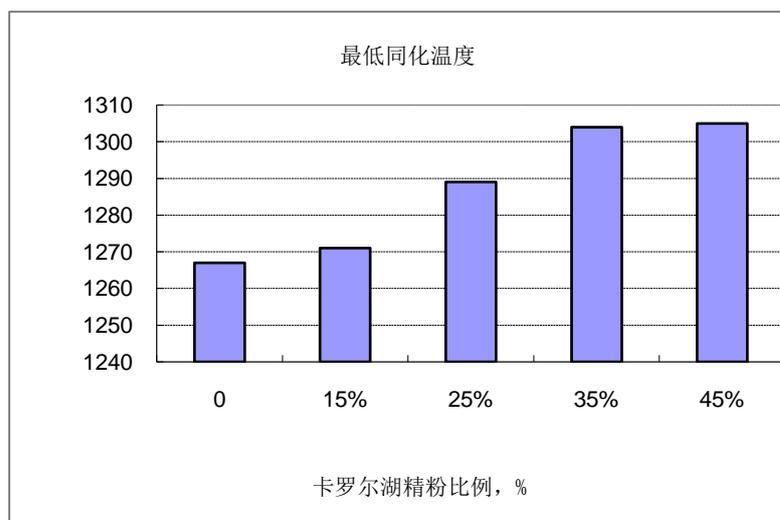


Figure 5. The influence on the Assimilation temperature of Carol lake concentrate ratio

图 5. 卡罗尔湖精粉比例对同化性的影响

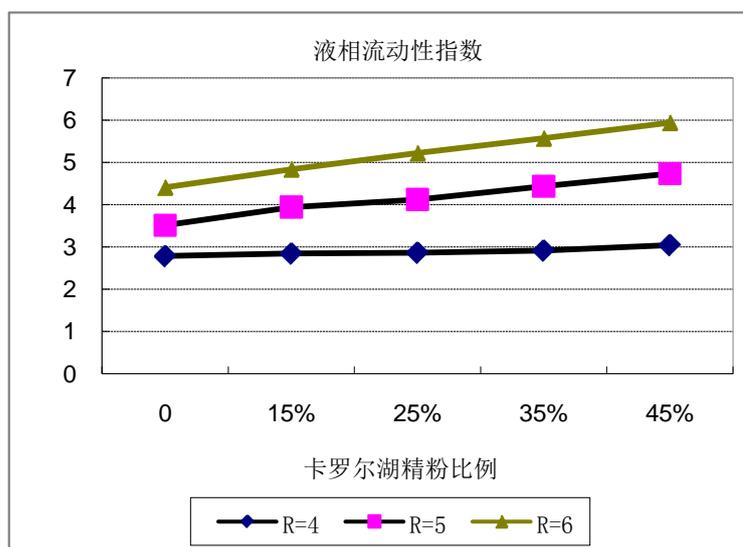


Figure 6. The influence on the Liquid flowing fluidity of Carol lake concentrate ratio

图 6. 卡罗尔湖精粉比例对液相流动性的影响

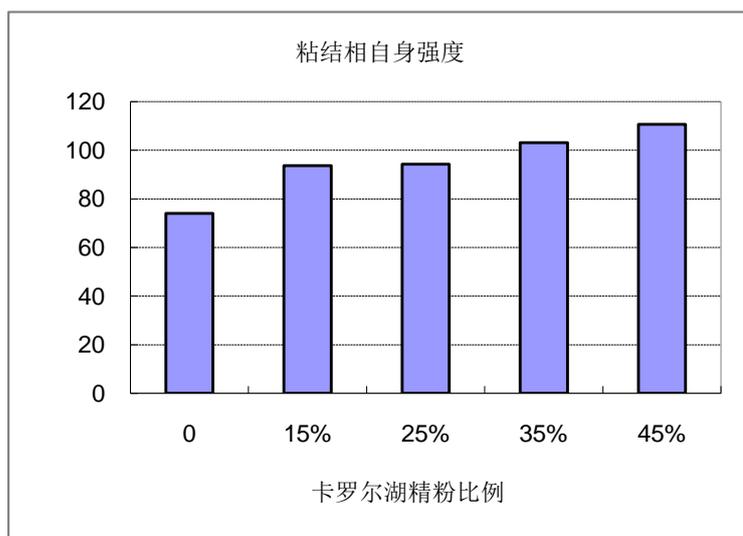


Figure 7. The influence on the bonded phase strength of Carol lake concentrate ratio

图 7. 卡罗尔湖精粉比例对粘结相强度的影响

4. 卡罗尔湖精粉工业试验研究

根据以上烧结杯试验的结果, 2015 年 7 月至 8 月份, 在二烧结开展工业性试验。在二烧结试验期间用卡罗尔湖精粉按 3%, 5% 和 6% 三种不同的比例替代其它精粉。

从二烧结的试验情况看, 增加卡罗尔湖精粉替代其它精粉, 澳洲粉矿等结构保持稳定。在层厚、机速保持稳定情况下, 垂直烧结速度呈下降趋势, 生产率有所降低。烧结返矿有所降低, 成品率呈上升趋势, 燃料单耗基本稳定, 烧结矿质量保持稳定。具体如表 9 和表 10 所示。综上所述, 烧结生产过程中, 用卡罗尔湖精粉在 6% 的使用比例以内基本可以满足烧结生产。

Table 9. Industrial experimental data of Carol lake concentrate sintering
表 9. 卡罗尔湖精粉工业试验期间烧结矿质量

配比	TFe	SiO ₂	R	MgO	TI (+10 mm)
单位	%	%	倍	%	%
基准	58.52	5.03	1.76	1.45	76.46
3.4%	58.29	4.96	1.83	1.42	76.58
4.8%	58.30	5.00	1.78	1.43	77.64
6.1%	58.38	4.97	1.81	1.41	77.28

注：烧结矿的强度为 JIS 标准。

Table 10. The main technical indexes of Carol lake concentrate sintering during industrial experiment
表 10. 卡罗尔湖精粉工业试验期间烧结主要技术指标

配比	层厚	机速	成品率	生产率	燃料消耗
单位	mm	m/min	%	t/m ² ·d	kg/t
基准	717	2.47	77.1	29.4	54.47
3.4%	701	2.48	80.1	31.4	51.45
4.8%	717	2.22	79.7	26.4	53.23
6.1%	713	2.38	78.4	28.8	55.87

5. 结语

在通过对卡罗尔湖精粉基础性能和烧结试验研究，可以得出：

1) 从主要化学成份来看，卡罗尔湖精粉品位较高，与巴西卡拉加斯粉矿相近，SiO₂ 较高为 4.5% 左右，其 Al₂O₃、磷和烧损均很低。卡罗尔湖精粉粒度组成细，小于 0.5 mm 的比例大于 93%。

2) 卡罗尔湖精粉含铁矿物主要为赤铁矿，含有部分磁铁矿；其脉石矿物主要是石英。含铁矿物和脉石矿物是独立分离的。从矿相结构看，其颗粒大多呈块状，表面光滑，结构致密。成球性指数则远低于混匀矿细粉。

3) 烧结基础特性试验结果表明：卡罗尔湖精粉的同化温度远高于其他铁矿粉；液相流动性指数明显高于其它巴西和澳洲铁矿粉；粘结相自身强度均显著高于现用混匀矿细粉。

4) 分别以卡罗尔湖精粉 3%、6%、9%、12% 代替巴西烧结粉矿的烧结杯试验，随着卡罗尔湖精粉使用比例提高，烧结生产率降低。烧结矿强度提高，成品率提高。烧结矿 RDI 呈降低趋势。燃料单耗呈下降趋势。卡罗尔湖精粉使用比例在 6% 以下时，对烧结的影响较小，继续增加卡罗尔湖精粉的比例，烧结生产率明显下降。

5) 在二烧结开展工业性试验。在二烧结试验期间用卡罗尔湖精粉按 3%，5% 和 6% 三种不同的比例替代其它精粉。生产率有所降低。烧结矿质量保持稳定，成品率呈上升趋势，燃料单耗基本稳定。

参考文献 (References)

- [1] 焦育书. 加拿大卡罗尔湖露天的铁矿生产系统[J]. 矿业工程, 1995(3): 12-15.
- [2] 吴胜利, 刘宇, 杜建新, 等. 铁矿石的烧结基础特性之新概念[J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(3): 254-257.
- [3] Debrincat, D., Loo, C.E. and Hutchens, M.F. (2004) Effect of Iron Ore Particle Assimilation on Sinter Structure. *ISIJ International*, **44**, 1308-1317.

-
- [4] 吴胜利, 刘宇, 杜建新, 等. 铁矿粉与 CaO 同化能力的试验研究[J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(3): 258-261.
- [5] 吴胜利, 杜建新, 马洪斌, 等. 铁矿粉烧结液相流动特性[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(3): 291-293.
- [6] Loo, E. and Leung, W. (2003) Factors Influencing the Bonding Phase Structure of Iron Ore Sinters. *ISIJ International*, **43**, 1393-1402

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