

冶金研究



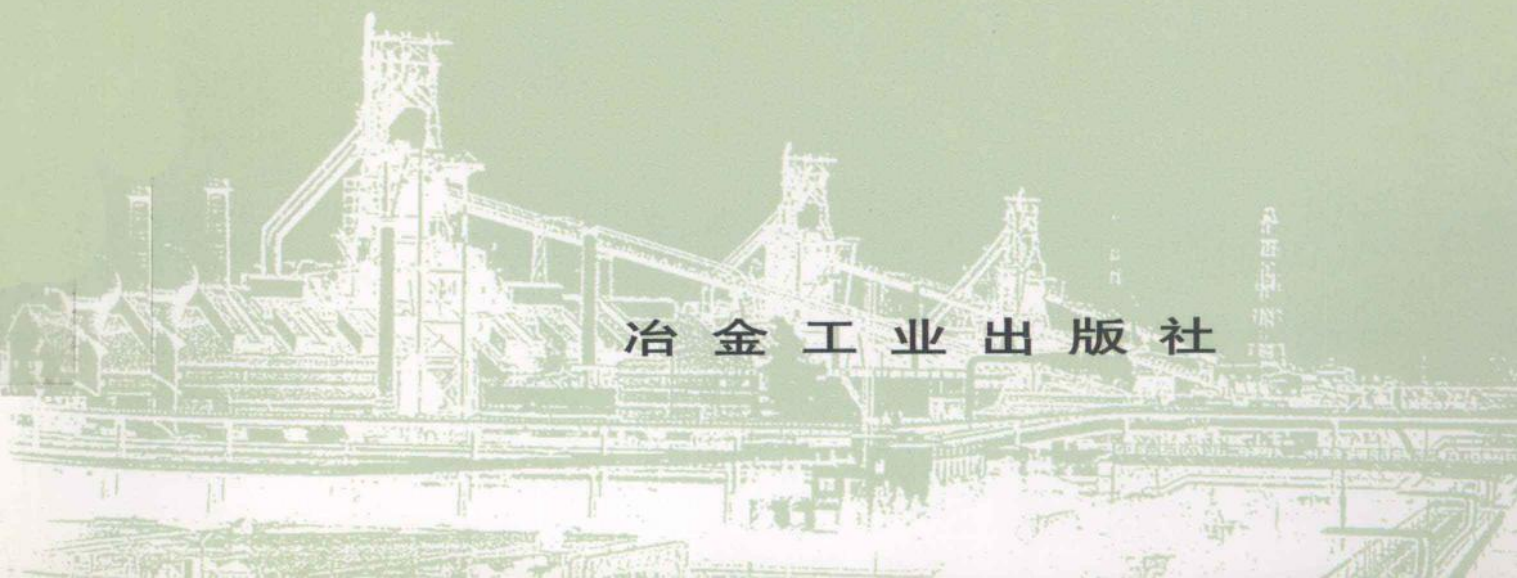
METALLURGY RESEARCH

(2010 年)

主 编 朱鸿民

副主编 郭占成 李京社

冶金工业出版社



冶金研究

(2010 年)

主 编 朱鸿民

副主编 郭占成 李京社

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 提 要

本书收录了冶金方面的学术论文 79 篇,内容涉及钢铁冶金、有色金属冶金、冶金物理化学、冶金生态等专业;重点对炼铁原料与工艺优化、炼钢工艺优化、渣的精炼功能和钢中夹杂物控制、冶金生态等课题进行了深入探讨;所选论文内容均为近一两年的科研成果。

本书可供冶金、环保、能源、管理等领域的科研、生产、教学人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金研究. 2010 年/朱鸿民主编. —北京:冶金工业出版社,
2010. 12

ISBN 978-7-5024-5503-3

I. ①冶… II. ①朱… III. ①冶金—文集 IV. ①TF-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 020654 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 赵世强 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 刘 倩 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5503-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 12 月第 1 版, 2010 年 12 月第 1 次印刷

210 mm×297mm;21.5 印张;747 千字;331 页

80.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《冶金研究》编委会名单

主 编 朱鸿民

副主编 郭占成 李京社

委 员 (以姓氏笔画为序)

王新华	王福明	包燕平	邢献然
成国光	朱鸿民	苍大强	李京社
杨天钧	吴胜利	宋 波	张建良
郭占成	梅建军		

前 言

金属作为重要的基础原材料,在社会发展和人民生活中发挥着举足轻重的作用。尽管面临着其他材料的竞争,由于在资源储量、生产成本、回收再利用和综合性能等方面的明显优势,金属材料仍将在可以预见的将来占据材料工业中的统治地位。

冶金工业是国民经济发展的一个重要基础产业,二十多年来我国冶金工业取得了令人瞩目的成就,已发展成为世界第一产钢大国和重要的有色金属生产大国。可以预计,今后10~20年是中国冶金工业更快发展、整体实现现代化、走在世界前列的重要时期。为实现这一目标,冶金高等学校应该在人才培养和科学研究方面做出重要的贡献。

北京科技大学冶金学科是国内历史最悠久的冶金学科,渊源于1895年伊始的北洋大学矿冶系。1952年全国高校院系调整时,北洋大学、唐山交通大学、西北工学院等5所高校的矿冶学科组建成北京钢铁学院(1988年改名为北京科技大学)并设立冶金系。冶金学科是北京科技大学的优势特色学科,师资雄厚,治学严谨,与冶金工业联系密切,半个世纪以来培养了大批高质量毕业生,获得了大批重要科学研究成果,为冶金工业的发展和冶金科技进步做出了重要的贡献,在国内外享有很高声誉。

2002年4月值北京科技大学建校50周年之际,北京科技大学发起举办了第一届“冶金工程科学论坛”,并对会议中发表的部分学术论文进行收录整理,由冶金工业出版社出版了《冶金研究》(2002年)一书,受到了国内企业、院校、广大科技人员和冶金专业师生的欢迎。此后,北京科技大学决定今后每年3月上旬都将定期举办“冶金工程科学论坛”,并对论坛上发表的学术论文进行整理,编辑出版《冶金研究》一书,以增强冶金学术交流,促进冶金科技发展,同时作为北京科技大学校庆的纪念。

“冶金工程科学论坛”学术报告范围包括冶金物理化学、钢铁冶金、有色金属冶金、冶金能源技术、冶金环境保护等领域的科学研究成果、新工艺、新技术、新产品等,欢迎国内冶金院校和企业的广大科技工作者踊跃投稿,共同办好“冶金工程科学论坛”。

为容纳更多的冶金前沿信息和冶金科研成果,更全面地反映冶金先进技术工艺和技术进步,并更好地保证文章的学术水平,《冶金研究》从2006年起设立了编委会,编委会负责文章的组织、审定等工作。为便于读者查阅,在目录中对文章进行了粗略的分类。希望《冶金研究》能为广大冶金工作者提供更多的信息,为推动冶金技术进步,为推动技术创新,提供有益的参考。

编 者
2010年12月

目 录

炼铁原料与工艺过程研究

烧结气氛对铁矿石烧结过程黏结相的影响(李瑞雨 张 俊 郭兴敏)	1
鞍钢配加白云石熔剂性球团的研究(张立国 张宗旺 任彤旭)	4
进口朝鲜煤在鞍钢烧结生产中的应用研究(任彤旭 张宗旺 张立国)	8
邯邢地区精矿粉配加伊朗矿造球研究(张新兵 高 斌 宋延琦)	12
碱金属对高炉炉料冶金性能的影响研究(余 松 程树森 赵宏博)	16
添加金属化球团的炉料熔滴性能实验研究(史 远 薛庆国 余雪峰 等)	19
基于工程计算法的理论焦比模型研究(吴 婕 张丽华 徐 健 等)	23
高炉风口理论燃烧温度计算方法研究(陈化宝 李 振 王 尚 等)	30
提高安阳钢铁厂7号高炉喷煤比的实践(牛占宇 吴 铿 湛文龙 等)	34
燃料结构对高炉排放 CO ₂ 影响的研究(王 尚 高 斌 李 振 等)	37
高炉 TiO ₂ 渣铁间分配率分析研究(李 振 陈化宝 王 尚 等)	40
基于移动床还原模型氧气高炉炉身间接还原度的计算分析(李燕珍 韩毅华 王静松 等)	44
天钢 2000 m ³ 高炉改善铁水质量生产实践(鄂继明 吴 铿 万 鹏 等)	48
高炉开炉料流和料面测量数字化技术(张建良 朱国峰 侯海成 等)	52
炉缸流场数值模拟研究(刘一力 张建良 陈杉杉 等)	56
首钢3号高炉炉体热负荷在线监测系统的开发及应用(陶 涛 程树森 赵宏博 等)	61

炼钢、精炼与连铸工艺过程研究

铁水包喂线脱硫的应用研究(郑全振 李 晶 杨明生 等)	65
专用转炉脱磷预处理的实验研究(陈 洁 田乃媛 徐安军)	69
兑铁包调度系统(黄帮福 田乃媛 时一钧 等)	74
AOD 双联法冶炼不锈钢用能分析与应用(柯飞飞 徐安军 贺东风 等)	78
90t 钢包内混匀时间的水模型研究(王学柱 李京社 林晓川 等)	83
基于 BP 神经网络的钢水精炼目标温度优化(时一钧 贺东风 邵俊宁 等)	86
韶钢 LF 炉钢水温度预报模型的开发(肖超平 包燕平 元鹏飞 等)	91
LF 渣面加铝对超低硫管线钢深脱硫的影响(区洪辉 王 建 李 强 等)	96
影响精炼及连铸过程钛稳定性控制的因素分析(杨 蕊 李 晶 王亮亮 等)	99
水口浸入深度变化对 CSP 结晶器的瞬态流场的影响(巴 茜 程子建 程树森)	103
钢凝固收缩特性及其连铸结晶器工艺参数研究(张小欢 李 阳 张家泉)	108
链式异型坯结晶器内凝固传热特点的研究(姚海英 张胜生 许荣昌 等)	112
一种柔性控制的连铸动态二冷配水模型(张卫华 李京社 付建勋 等)	117
基于西门子 PLC 的 PID 控制在喷镁设备上的应用(朱传斌 李京社 杨宏博 等)	121
双金属复合管件浇铸过程模拟研究(符 坚 李京社 杨宏博)	128
感应炉技术在冶金铸造行业中的应用(朱传斌 张同波 李 娇)	132
超超临界高中压转子钢 1Cr12W2NiMoVNbN 试验研究(范 倚 韩建军 王松伟 等)	136
合金元素对中低碳齿轮钢中带状组织的影响机理及趋势分析(白李国 张延玲 刘海英 等)	140

钢中氢危害的研究和防范措施(徐 剑 史寅秋 储少军)	146
电脉冲细化取向硅钢晶粒组织探析(王文波 苍大强 孔 为 等)	149

冶金物理化学研究

MnO-FeO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 渣系作用浓度的计算模型(马小春 于春梅 成国光 等)	152
Multiphase Modeling of the Fluid Dynamics in an Argon Stirred Ladle with a Slit-plug(Zhang Peng Cheng Shusen)	156
CaO-MgO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 精炼渣黏度研究(柳彩枫 宋 波 毛璟红 等)	160
“三七渣”精炼硅铁脱铝、脱钙能力的实验研究(徐 锋 王静松 薛庆国 等)	165
迁钢 X70 管线钢 LF 脱硫精炼渣研究(马小乐 郭汉杰 韩桂印)	169
CaO-MgO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 精炼渣系热力学成分优化(孙彦辉 钱宇婧 李啸磊)	173
顶渣成分对高强度低合金钢中总氧和夹杂物的影响研究(张 静 于会香 王新华 等)	177
超低氧合金钢 LF-VD 过程炉渣成分对非金属夹杂物的影响(唐 宇 王新华 王万军 等)	182
X80 管线钢 LF 精炼过程夹杂物的行为研究(王 建 区洪辉 李 强 等)	188
高洁净特殊钢中稀土变质夹杂物的规律研究(杨晓红 吴鹏飞 成国光)	193
冷轧深冲用钢 RH 精炼过程钢夹杂物去除研究(李啸磊 孙彦辉 钱宇婧 等)	198
弹簧钢 55SiCr 夹杂物研究(欧西达 高 宇 孙彦辉)	202
刀剪材料 9Cr14Mo 电渣大头夹杂物的分析研究(周 文 李 晶 王亮亮 等)	205
SAPH440 钢凝固过程中 TiN 析出模型(王龙岗 孙彦辉 赵晓亮)	209
Nb-C-O 系的热力学优势区图(刘 岭 闫柏军 张家芸)	213
钛氧化物在熔渣中的热力学行为及 Ti-C-O 系的热力学优势区图(樊腾飞 闫柏军 张家芸)	216
Al-氧化物体系中金属铝含量的分析(李新平 宋 波 黄 凯 等)	219
Zr ₃₆ Cu ₆₄ 合金熔体黏度特性的实验研究(王精华 王静松 曹立军 等)	222

有色冶金研究

超声波辅助电解水溶液制氢过程阳极电压—气泡行为的研究(李吉刚 薛济来 谭振军 等)	226
铝电解用高石墨质冷捣糊钠及电解质渗透性能的研究(蒋刚强 薛济来 朱 骏)	231
添加剂对铝用炭阳极氧化反应性影响的热力学分析(韩美枝 薛济来 朱 骏)	235
高温熔体环境下 MSZ 管的电导率的研究(李 菲 曹务勇 郑汉良 等)	240
三氧化二锰制备尖晶石型锰酸锂及其电性能的研究(马 莉 陈 贵 邹 兴)	244
镍湿法冶金过程中沉镍方法的探讨(孙宁磊 岳 明 王魁珽 等)	247
直接电化学脱氧法制备 TiC ₂ O ₃ (张琳琳 焦树强 朱鸿民)	250
碳氧化钛固溶体 TiC _x O _{1-x} 的制备研究(苏 峰 焦树强 朱鸿民)	254
Fe ³⁺ 浸出高砷金精矿的工艺参数研究(邓恺琳 薛济来 张广积 等)	257
MoSi ₂ 材料的制备、应用及发展趋势(章菊萍 马瑞新)	261
CIS(CIGS) 薄膜太阳能电池的制备技术(马瑞新 赵素丽)	265
高价态元素掺杂透明导电薄膜的研究现状(王永刚 马瑞新)	269
用于显示技术的 TFT 及其沟道层 IGZO 的研究现状(王媛媛 马瑞新)	272
交指形流场质子交换膜燃料电池的数值模拟及物质分布研究(张 超 唐 玲 庞国耀 等)	276

冶金生态研究

钢铁熔渣热能回收技术回顾及其发展趋势(杨志杰 苍大强 李 宇 等)	281
---	-----

钢渣对盐藻与原甲藻混合培养的生长影响(李晓晖 资春芳 黄 凯 等)	288
转炉渣水浸解吸收二氧化碳的初步研究(阳 铤 徐安军 李建强)	291
焦化废水处理技术研究进展(王 俏 李素芹 骆诗梅)	295
无机高分子絮凝剂表征方法及研究进展(骆诗梅 李素芹 朱 芳)	300
生物强化技术在焦化废水中的研究进展与应用(朱 芳 李素芹 骆诗梅)	306
反渗透预处理技术研究进展(张 雪 李素芹)	310
焦化脱硫废液回收副盐转化的探讨(徐 刚 李士琦 陈海勇 等)	314
糖醇相变储能材料晶体形态与结晶性能的研究(段 赞 白 皓 黄 腾 等)	319
高温下超级电容器老化过程中的阻抗行为(和丽志 李建玲 高 飞)	325
我国电解锰行业清洁生产方案评估案例研究(刘 斌 但智钢)	329

烧结气氛对铁矿石烧结过程黏结相的影响^①

李瑞雨 张 俊 郭兴敏

(北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083)

摘 要:本实验采用 X-ray 定性分析相比较的方法,研究了各因素对两种铁矿石混合烧结过程中铁酸钙生成量的影响。结果表明,增加氧化性气氛、赤铁矿/磁铁矿比和 SiO₂ 含量等因素对混合烧结矿中铁酸钙生成有促进作用,为赤铁矿与磁铁矿混合烧结生产提供理论指导。

关键词:铁矿石;混合烧结;X-ray 定性分析;铁酸钙

Influence of Sintering Atmosphere on Bonding Phase in Iron Ore Sintering

Li Ruiyu Zhang Jun Guo Xingmin

(School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing ,Beijing 100083)

Abstract: In this paper, effects of various factors on calcium ferrite formation in the blended iron ores sintering process were investigated by X-ray qualitative analysis method. The results show that oxidizing atmosphere, the increase in the ratio of hematite/magnetite, and appropriate increasing of SiO₂ content can promote the calcium ferrite formation in sintering process of iron ores. This study can provide some references for sintering of hematite and magnetite mixture.

Key words: iron ores; blended sintering; X-ray qualitative analysis; calcium ferrite

1 引言

随着我国钢产量的日趋增加,以磁铁矿为主的国产铁矿资源现在已经远远不能满足我国钢铁工业的发展,以赤铁矿为主的外矿进口量也越来越大^[1]。因此,如何更好地综合利用两种铁矿石,越来越受到钢铁行业的关注。铁酸钙是高碱度烧结矿的主要黏结相,其生成量和结构是烧结矿质量好坏的重要影响因素^[2]。本实验通过改变烧结气氛、烧结原料中磁铁矿和赤铁矿配比以及其中 SiO₂ 的含量等因素,研究了两种类型铁矿石混合烧结后生成铁酸钙的规律。

2 实验方法

为与实际生产更加接近,预先进行含杂质赤铁矿和磁铁矿制备,化学成分如表 1 所示。

表 1 含杂质赤铁矿粉和磁铁矿的化学组成 (%)

成分 编号	Fe ₂ O ₃ 或 Fe ₃ O ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃
1	98	0	2
2	96	2	2
3	92	6	2
4	90	8	2

2.1 赤铁矿的制备

按表 1 配出四种含 Fe₂O₃不同的试样,混匀后放入压样模具中,在 5MPa 压强下加压 10 min 后取出,放入马弗炉中,1250℃下焙烧 2 h,得到赤铁矿样。

2.2 磁铁矿的制备

按表 1 配出四种含 Fe₃O₄不同的试样,混匀后放入压样模具中,与 2.1 节相同,压制成块。根据热力学计算公式^[3]:

$$t > 570^{\circ}\text{C}$$



$$\Delta_r G_m^{\ominus} = -52131 - 41.07T(\text{J/mol})$$



$$\Delta_r G_m^{\ominus} = 35380 - 40.16T(\text{J/mol})$$

经计算,当焙烧温度为 1220℃时,要得到 Fe₃O₄需满足:

$$12.130\% > \text{CO}/(\text{CO} + \text{CO}_2) > 0.0108\%$$

所以,通入 $\text{CO}/(\text{CO} + \text{CO}_2) = 10\%$ 。

① 国家自然科学基金资助(No. 50574012)。

将电炉升温至1220℃,通入CO、CO₂(CO:CO₂=1:9),放入试样,焙烧3h后取出并立刻用木炭粉掩埋,使其在隔绝空气下冷却至室温,得到磁铁矿矿样。

2.3 烧结条件

根据矿粉中SiO₂含量的不同,改变Fe₃O₄与Fe₂O₃配比,在不同气氛下烧结,如表2所示。

表2 原料配比和烧结条件

实验号	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂ /%	0		2		6		8	
磁铁矿/%	10	50	10	50	10	50	10	50
赤铁矿/%	90	50	90	50	90	50	90	50
烧结气氛	空气(A)或氮气(N)							

把含有杂质的磁铁矿和赤铁矿研磨至0.074 mm(200目)以下,碱度取2.0、外配2.0% MgO,其中因1号、2号矿粉内不含SiO₂,为了与其他相比较,均外配6% SiO₂。

将混匀试样每次取2g放入压样模具中,在压样机5MPa压强下,加压2 min后取出;在铁铬铝丝炉中1215℃烧结10 min,气体流量都控制在2 l/min,烧结气氛分别选择空气和氮气。达到烧结时间后,试样在空气中冷却,研磨至0.074 mm(200目),在X射线衍射仪上进行衍射分析。

3 实验结果及讨论

3.1 烧结气氛的影响

图1和图2所示可以分别比较A1和N1、A2和N2、A3和N3、A4和N4、A5和N5、A6和N6、A7和N7、A8和N8的XRD曲线。相同化学成分的试样,在不同的气氛下烧结后,空气下烧结得到的铁酸钙明显多于氮气气氛下烧结得到的铁酸钙。另外,在氮气下烧结的矿样,磁铁矿含量偏高,赤铁矿含量偏低甚至是微量的,这表明赤铁矿有分解现象。氧化性气氛下,磁铁矿可以部分氧化成赤铁矿,Fe₂O₃与Al₂O₃、CaO和SiO₂在烧结过程中逐步形成SFCA^[4,5]。含铁酸钙较多的烧结矿,其强度就会较高,而且也不易在炼铁时发生低温还原粉化。所以,氧化性气氛下烧结要优于惰性气氛下烧结。

3.2 铁矿石的比例对烧结的影响

由图1可以比较A1和A2、A3和A4、A5和A6、A7和A8的XRD曲线可得,在相同气氛下(空气)烧结,当SiO₂含量相同,而磁铁矿和赤铁矿比例不同时,赤铁

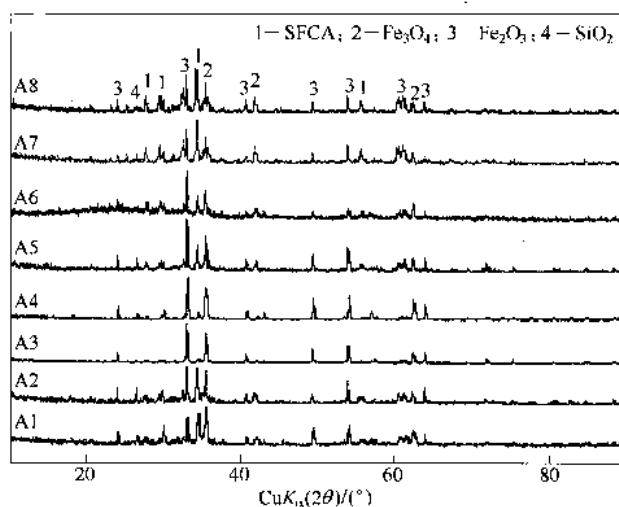


图1 在空气气氛下烧结试样的XRD曲线

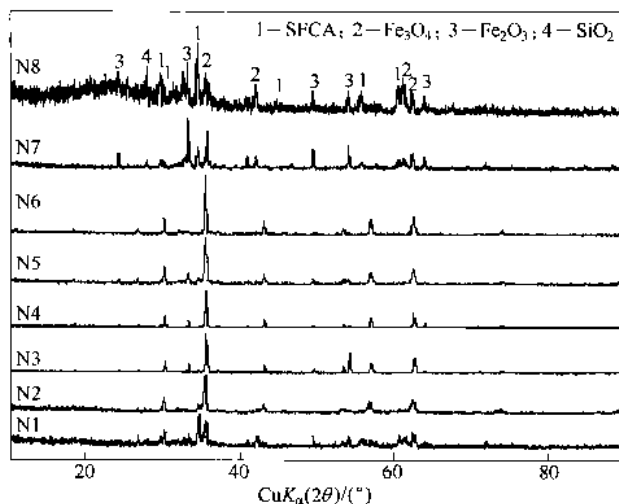


图2 在氮气气氛下烧结试样的XRD曲线

矿含量偏高时,烧结试样中铁酸钙的含量增加。根据SFCA的形成机理:CaO与Fe₂O₃反应形成CaO·Fe₂O₃、CaO·2Fe₂O₃;随后,Al₂O₃与SiO₂固溶其内形成SFCA(1200~1250℃)^[6]。而绝大部分Fe₃O₄需进一步氧化成Fe₂O₃才可以反应形成SFCA,所以当试样中Fe₂O₃含量降低、Fe₃O₄含量升高时,铁酸钙的生成反应就会受阻,进而生成量下降。这样,必然使得烧结矿还原性降低,黏结性不足。

3.3 SiO₂含量变化对烧结的影响

由图1可以分别比较A3、A5和A7以及A4、A6和A8的XRD曲线可得,在同种气氛下(空气)烧结,当磁铁矿和赤铁矿比例相同,SiO₂含量逐步升高时,烧结试样中铁酸钙的含量也随之增加。

随着SiO₂含量的升高,在相同碱度(2.0)条件下,配入的CaO量较高,而内配的SiO₂破碎后会被包裹在矿石颗粒内部,很难与CaO接触反应,这样CaO与Fe₂O₃接

触的几率增大, SFCA 生成量也随之增大^[5]。烧结矿中合适的 Al_2O_3 含量与 SiO_2 含量具有一定的关系, 要有合适的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比^[7]。

4 结论

(1) 相同类型铁矿石在两种气氛下烧结, 氧化性气氛下烧结生成的铁酸钙含量明显多于惰性气氛下烧结生成的铁酸钙。

(2) 同在空气气氛下烧结, 当 SiO_2 含量也相同时, 试样中赤铁矿含量越高、磁铁矿含量越低, 就越有利于铁酸钙的生成。

(3) 当赤铁矿和磁铁矿配比都相同时, 在空气气氛下烧结, 相同的碱度条件下, SiO_2 含量适当增高有利于铁酸钙的生成。

参考文献

- [1] 李新创. 对利用两种铁矿资源的思考[J]. 炼铁, 2004, 23(1): 25 ~ 30.
- [2] 范晓慧, 孟君, 陈许玲, 等. 铁矿烧结中铁酸钙形成的影响因素[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2008, 39(6): 1125 ~ 1131.
- [3] 黄希枯. 钢铁冶金原理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [4] 杨李香, 麦休斯 E, 等. 磁铁矿在不同气氛下的烧结行为[J]. 钢铁, 1997, 32(9): 1 ~ 6.
- [5] 刘振林. 铁矿石烧结的铁酸钙生成特性研究[J]. 山东冶金, 2003, 25(6): 46 ~ 49.
- [6] 郭兴敏. 烧结过程铁酸钙生成及矿物学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [7] 于原浩, 冯根生, 苏东学, 等. 改善烧结矿质量降低高炉炼铁能耗[J]. 钢铁, 2008, 43(12): 99 ~ 102.

鞍钢配加白云石熔剂性球团的研究

张立国^{1,2} 张宗旺¹ 任彤旭^{1,3}

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2. 鞍钢股份技术中心,鞍山 114009; 3. 鞍钢股份炼铁总厂,鞍山 114021)

摘 要:在鞍钢烧结生产原料条件下,针对不同碱度的白云石熔剂性球团矿进行了系列研究,并采用数学优化方法确定添加白云石球团的焙烧制度,同时对球团矿低温粉化性能、还原性能、膨胀性能和荷重软化性能进行了研究。试验结果表明,配加白云石的熔剂性球团质量良好。
关键词:球团矿;熔剂;冶金性能

Study on Proportional Use of Dolomite Flux on Pellet in Ansteel

Zhang Ligu^{1,2} Zhang Zongwang¹ Ren Tongxu^{1,3}

(1. School of Metallurgy and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083; 2. Technology Center of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114009; 3. General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021)

Abstract: On the base of Angang sintering materials, a series of studies was carried out with different alkalinity in dolomite fluxed pellets. And using mathematical optimization method to determine the added dolomite pellet firing systems as well as low-temperature powder pellet performance, restore performance, inflation softening properties and load properties were studied. The results show that the quality of dolomite pellet is favourable.
Key words: pellet; flux; metallurgical properties

1 引言

随着现代高炉的大型化,对入炉原燃料的要求越来越严格,球团矿也不例外,现代化的高炉生产期望球团矿有良好的冶金性能,进而促进高炉生产稳定运行^[1]。而国外的生产和研究都已证明,在球团中添加定量的熔剂,对消除球团矿可能产生的膨胀和低温还原粉化现象十分有利,同时可改善高炉炉渣的流动性,改进煤气流的分布,降低焦比,促进高炉的顺行,增加高炉的产量^[2]。本次研究依托鞍钢技术中心中间试验厂球团实验室相关实验设备和鞍钢厂内现有球团生产设备,在鞍钢原燃料条件下,添加白云石作为熔剂,进行球团的实验室和工业试验研究。

2 试验条件

2.1 铁精矿性能

(1) 铁精矿化学成分组成。鞍钢球团矿生产使用的自产铁精矿,TFe 品位稳定在 67% 以上,粒径小于 0.050 mm 的占 85% 以上,是生产球团的优质原料。本

次研究采用自产大孤山磁铁精矿(以下简称大磁)和调军台精矿(以下简称调精),试验用原料取自球团生产现场。铁精矿的化学成分分析详见表 1。

表 1 铁精矿化学成分 (%)

组成	化 学 成 分						
	TFe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Ig
大磁	67.29	28.56	5.95	0.19	0.35	0.12	-2.52
调精	67.29	19.39	4.85	0.05	0.18	0.20	0.50

(2) 铁精矿矿物形貌组成。为进一步了解铁精矿的微观形貌,采用扫描电镜对两种铁精矿的颗粒形貌进行分析,图 1 和图 2 所示为放大 1000 倍的精矿粉的颗粒外观形貌。

由图 1 和图 2 可见,调精颗粒为大小不一的块状,颗粒较粗大,表面比较光滑,粘有少量细颗粒。大孤山铁精矿颗粒多为粒状,表面黏附很多微细颗粒。

2.2 膨润土

(1) 化学成分分析。膨润土是目前国内外球团生产中使用最广、效果最好的一种黏结剂,具有很强的黏

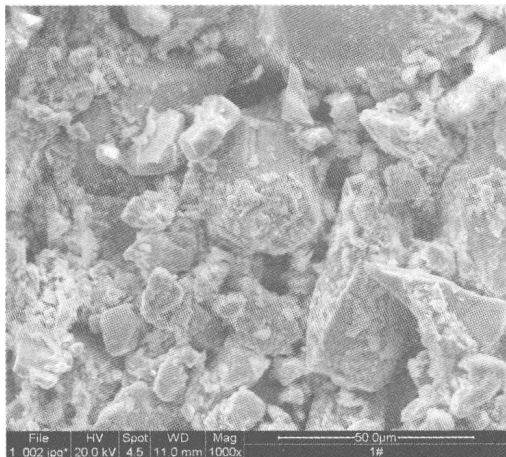


图1 调军台铁精矿

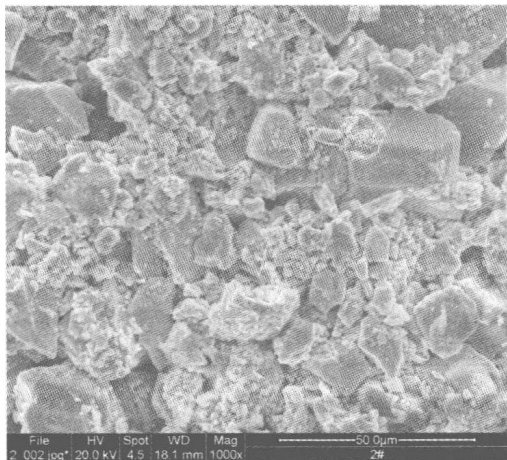


图2 大孤山精矿

结性、吸附性、分散性和膨胀性,主要矿物组成是蒙脱石,化学结构式为 $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$,试验采用鞍钢球团车间的造球用钠基膨润土。其化学成分分析详见表2。

表2 膨润土化学成分 (%)

项目	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig
含量	4.72	60.00	15.95	3.20	3.15	1.24	0.90	9.20

(2) 粒度组成及物化性能。粒度组成对于混合均匀具有重要的意义。采用孔径0.071 mm和0.050 mm的圆孔组合筛,利用顶击式标准振筛进行筛分。另外,其特殊的分子结构使其能够吸附大量的层间水,膨润土的物化性能(吸水率、膨胀倍数、胶质价、吸蓝量、蒙脱石含量等)是衡量其品质优劣的重要标志,分析结果详见表3。

表3 膨润土粒度组成及物化性能

项目	粒度 <0.074 mm (200目)/%	粒度 <0.042 mm (320目)/%	水分 /%	2h吸水 率/%	膨胀倍数 /mL·g ⁻¹	吸蓝量 /g·g ⁻¹	蒙脱石 含量/%
膨润土	98.0	82.8	12.2	576	38	38.0	85.2

2.3 熔剂白云石

试验通过采用PEF型颚式破碎机对块状白云石进行破碎,后经过圆盘磨粉机进行进一步的研磨,制成粒度小于0.074 mm(200目)的占总量80%以上的粉末。通过BT-2001(干法)型激光粒度分布仪,对实验所用白云石粉末的粒度分布进行了分析,分析结果见图3。

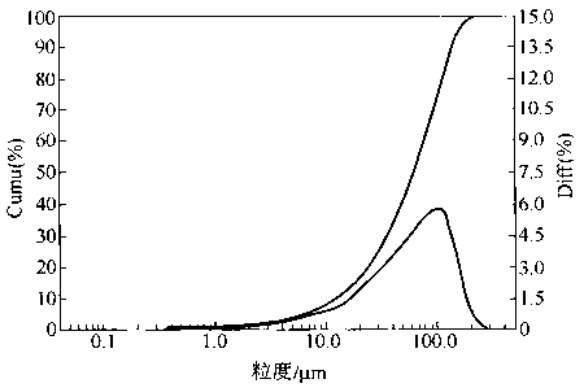


图3 白云石粒度组成

3 实验结果

3.1 不同碱度对生球性能的影响

目前鞍钢生产所用球团的碱度范围在0.03~0.04之间,本次研究设计三种不同的碱度,分别为0.037、0.2和0.4,考察三种不同碱度下添加白云石熔剂的球团性能指标变化规律。

(1) 不同碱度球团配料方案及配料比。不同碱度球团配料方案及配料比详见表4。

表4 不同碱度球团配料方案及配料比

碱度	大磁		调精		白云石		膨润土	
	配比 /%	湿量 /kg	配比 /%	湿量 /kg	配比 /%	湿量 /g	配比 /%	湿量 /g
0.037	65	7.12	35	3.71	0	0	1.4	156
0.2	65	6.92	35	3.61	2.92	280	1.4	151
0.4	65	6.69	35	3.48	6.6	611	1.4	146

(2) 不同碱度球团试验结果。检测混合料水分、生球水分、生球落下强度、生球抗压强度、干球抗压强度五项指标。不同碱度球团造球试验结果详见表5。

表5 不同碱度球团造球试验结果

熔剂 种类	碱度	混合料 水分/%	生球 水分/%	生球落下 强度 /次·球 ⁻¹	生球抗压 强度/N	干球抗压 强度/N
白云石	0.037	8.4	9.8	6.2	12.2	59.2
	0.2	8.7	9.9	9.0	17.8	37.2
	0.4	9.1	10.3	9.7	15.9	40.9

3.2 熔剂不同对比对生球质量的影响

膨润土固定按干配比的 1.4% 配加,将白云石熔剂分别按 0.5%、1.0%、2.0%、3.0% 和 4.0% 配比进行造球试验,试验方案及造球试验结果详见表 6。从表 6 中可以看出:随着熔剂配比的增加,生球抗压强度先降低,再逐渐增大;生球落下强度逐渐增大;干球抗压强度逐渐降低。

表 6 试验方案和造球试验结果

铁料配比/%		皂土 配比 /%	配比 /%	混合 料水分 /%	生球 水分 /%	生球 落下 强度 /次· 球 ⁻¹	生球 抗压 强度 /次· 球 ⁻¹	干球 抗压 强度 /次· 球 ⁻¹
人磁	调精							
64.1	34.5	1.4	0	8.4	9.5	4.6	16.9	66.5
63.8	34.3	1.4	0.5	8.6	9.6	4.5	14.1	63.0
63.4	34.2	1.4	1.0	8.6	9.8	4.7	15.1	53.4
62.8	33.8	1.4	2.0	8.7	9.8	4.9	15.7	47.4
62.1	33.5	1.4	3.0	8.7	9.7	5.5	16.1	44.3
61.5	33.1	1.4	4.0	8.8	9.8	5.8	17.0	43.2

3.3 最佳焙烧制度的确定

试验采用三因数和三水平数学优化方法,白云石熔剂球团焙烧试验因数分析详见表 7。

表 7 白云石焙烧试验因数分析

因素 实验编号	预热 时间 A /min	焙烧 时间 B /min	焙烧 温度 C /℃	熔剂 配比 D /%	抗压 强度 /N·球 ⁻¹
1	4	8	1200	1	1934
2	4	10	1230	2	2385
3	4	12	1260	3	2648
4	6	8	1230	3	2395
5	6	10	1260	1	2584
6	6	12	1200	2	1983
7	8	8	1260	2	2436
8	8	10	1200	3	1996
9	8	12	1230	1	2480
K ₁	6967 6255	6765 6187	5913 5476	6998 6418	
K ₂	6962 6481	6965 6480	7260 6552	6804 6283	
K ₃	6912 6437	7111 6606	7668 7145	7039 6472	
极差 R	55 226	346 419	1755 1669	235 189	
因素主次			CBAD		
优方案			C ₃ B ₃ A ₂ D ₃		

从极差数据可知,影响成品球团抗压强度主次因素为:焙烧温度、焙烧时间、预热时间、熔剂配比;理论

上优方案为焙烧温度 1260℃、焙烧时间 12 min、熔剂配比 3%、预热时间 4 min。

但在实际生产中,成品球抗压强度随焙烧温度升高而提高,但 1230℃ 即可满足要求;焙烧时间在 8~10 min 内时,随时间延长球团强度提高,但从 10 min 延长到 12 min,球团抗压强度提高不大。为提高生产率,焙烧时间应确定为 10 min;同理,预热时间确定为 6 min,焙烧温度确定为 1230℃,熔剂对比对成品球团抗压强度影响不大,考虑球团矿品位和配入熔剂的成本问题,熔剂对比确定为 1%。

4 白云石球团冶金性能检测

4.1 熔剂对比对球团还原粉化性能的影响

熔剂球团低温还原粉化性能原始数据见表 8。

表 8 球团低温还原粉化指标

球团种类	熔剂配比/%	低温还原粉化指标/%		
		RDI _{+6.3}	RDI _{+3.15}	RDI _{-0.5}
实验球	1	91.53	95.74	3.47
	2	85.23	94.60	3.92
	3	80.36	93.81	3.89
现场球	0	84.65	90.35	8.22

从表 8 中可以看出:随着熔剂配比的增加,球团 RDI_{+6.3} 几乎呈直线下降趋势,球团 RDI_{+3.15} 下降幅度较大,球团 RDI_{-0.5} 呈上升趋势。与现场球团相比,熔剂球团 RDI_{+3.15} 指标均好于现场球团,熔剂球团 RDI_{-0.5} 指标均低于现场球团。

4.2 熔剂对比对球团矿还原性能的影响

熔剂球团中温还原度测定结果见表 9。

表 9 熔剂球团中温还原度测定结果

熔剂 种类	熔剂 配比/%	还原 前重/g	还原 后重/g	减重/g	TFe /%	FeO /%	还原度 /%	碱度
实验球	1	500	398.3	101.7	64.77	1.62	73.68	0.10
	2	500	400.4	99.6	64.77	1.62	72.17	0.16
	3	500.3	401.2	99.1	64.77	1.62	71.82	0.22
现场球	0	500.1	401.5	98.6	64.98	0.28	70.69	0.04

从表 9 中可以看出:随熔剂配比的增加,熔剂球团矿的还原度明显降低,与现场球团相比,熔剂球团的还原性能高于现场球团。

4.3 熔剂对比对球团矿还原膨胀性能的影响

在相同焙烧制度条件下,通过对熔剂球团的焙烧试验,获得合格成品球团,并采用直径法测得球团膨胀率结果见图 4。

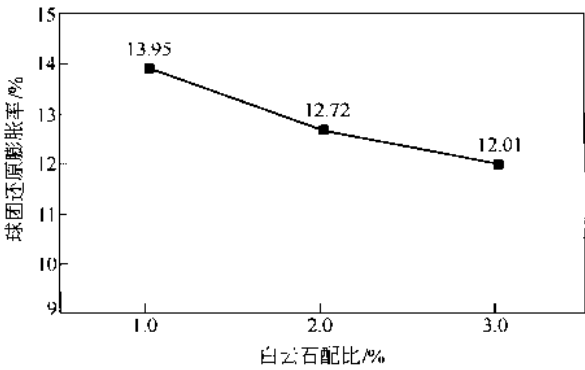


图4 熔剂球团还原膨胀率测定结果

由图4可以看出:随着熔剂配比的增加,球团还原膨胀率指标逐渐减小。因为在焙烧过程中,最初形成的固相产物 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 在冷却过程中发生晶形转变,其密度相应发生变化,体积膨胀,致使球团矿自行破碎与粉化^[4]。添加 MgO 后,球团矿内存在足够数量的 MgO ,在焙烧过程中就会形成稳定的铁酸镁(熔点为 1713°C),在还原时不会发生 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$,而生成的是 MgO 和 FeO_x 的固溶体。而且 Mg^{2+} 离子半径($0.6 \times 10^{-10}\text{m}$)小于 Fe^{2+} 离子半径($0.74 \times 10^{-10}\text{m}$)和 Ca^{2+} 离子半径($0.99 \times 10^{-10}\text{m}$), Mg^{2+} 能均匀分布在浮氏体内,不引起局部化学还原反应。随着 MgO 添加量的增加,可以提高 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 稳定存在的限量,因此在一定程度上可以改善球团矿膨胀性能,白云石球团矿的还原膨胀率随熔剂配比的增加逐步降低。

4.4 熔剂比对球团荷重软化性能的影响

球团矿的荷重软化性能是球团矿最为重要的一项冶金性能,它直接关系到球团在高炉生产过程中软化及熔化情况,对形成高炉软熔带有着至关重要的意义。熔剂球团熔滴试验检测结果见表10。

表10 熔剂球团熔滴试验检测结果

试验数据	白云石		
熔剂配比/%	1	2	3
收缩4%温度 $T_4/^\circ\text{C}$	1029	1048	1049
收缩10%温度 $T_{10}/^\circ\text{C}$	1075	1085	1083

续表10

试验数据	白云石		
收缩40%温度 $T_{40}/^\circ\text{C}$	1171	1159	1154
软化区间 $(T_{40} - T_{10})/^\circ\text{C}$	96	74	71
滴落温度 $T_d/^\circ\text{C}$	1425	1411	1366
熔融区间 $(T_d - T_s)/^\circ\text{C}$	222	188	138
熔融带厚度 $\Delta H/\text{mm}$	16.3	19.21	21.65
最大压差 $\Delta P_m/\text{Pa}$	15492	6363	21148
最大压差温度 $T_m/^\circ\text{C}$	1369	1346	1325
总特性值 $S/\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}$	651	377	825

从表10中可以看出:随着熔剂配比的增加,白云石球团软化温度、滴落温度均呈下降趋势,软化区间宽,熔滴特性值较大。

5 结论

(1) 随着白云石熔剂配比的增加,生球抗压强度先降低而后再逐渐增大;生球落下强度逐渐增大;干球抗压强度逐渐降低。

(2) 从极差数据可知,理论上优方案为焙烧温度 1260°C 、焙烧时间12 min、熔剂配比3%、预热时间4 min。

(3) 与现场球团相比,熔剂球团 $RDI_{+3.15}$ 指标均好于现场球团,熔剂球团 $RDI_{-0.5}$ 指标均低于现场球团。

(4) 随着白云石熔剂配比的增加,成品熔剂球团矿的还原度明显降低,对比现场球团,熔剂球团的还原性能高于现场球团;球团还原膨胀率指标逐渐减小;球团软化温度、滴落温度均呈下降趋势,软化区间宽,熔滴特性值较大。

参考文献

[1] 叶国吾. 高炉炉料结构与精料[J]. 烧结球团,2001,26(3): 6~7.
[2] 肖炸和,吴胜利,等. 改善南(吕)钢球团矿冶金性能的研究[J]. 烧结球团,2006,31(1): 6~9.
[3] 于淑娟,于素荣,等. 改善鞍钢球团矿冶金性能的研究[J]. 烧结球团,2007,32(3): 13~16.
[4] 王荣成,何明杰,等. 添加蛇纹石和白云石对烧结矿质量影响的研究[J]. 烧结球团,2006,31(1): 15~18.

进口朝鲜煤在鞍钢烧结生产中的应用研究

任彤旭^{1,2} 张宗旺¹ 张立国^{1,2}

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083; 2. 鞍钢股份公司, 鞍山 114000)

摘要:以鞍钢原料条件为基础,通过对不同燃料条件下两种朝鲜煤粉不同配比的烧结试验,得出 1 号煤粉的最佳配比为 4.5%,用 1 号煤粉代替焦粉后的各项指标好于 2 号煤粉,同时除成品矿的转鼓强度外,也优于配焦粉的各项指标。

关键词: 朝鲜煤; 烧结试验; 转鼓强度

Study on Korea Coal Using in Angang Sinter Production

Ren Tongxu^{1,2} Zhang Zongwang¹ Zhang Ligu^{1,2}

(1. School of Metallurgy and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083; 2. Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114000)

Abstract: Relying on the basis of Angang material conditions, sintering experiment was carried out under different fuel ratio of coke coal powder and two kinds of North Korea. Results show: the best ratio of No. 1 coal was 4.5%, and with No. 1 coal instead of coke powder all index were better than No. 2 coal, taking into finished products mines drum strength, but also better than the targets with coke powder.

Key words: Korea coal; sintering experiment; drum strength

1 引言

今天,降低企业生产成本成为企业生存关键^[1],为此,鞍钢炼铁总厂烧结车间在加强生产的同时,不断深挖潜力,多方寻找渠道。而寻求廉价的燃料作为最为有效的手段之一,能够起到降低生产成本、增加利润的目的。由于目前鞍钢化工厂的焦炭生产 70% 以上为干熄焦,产生的焦粉数量大为减少,同时外购的焦粉又比较紧张,并且价格昂贵,因此扩大燃料的选择范围,尤其是寻找价格便宜的煤粉成为企业的首要任务,根据炼铁总厂的安排,本次研究以三烧车间现场生产配比为基准,在实验室开展了使用进口朝鲜无烟煤在烧结生产中的可行性研究烧结试验,以探讨朝鲜无烟煤对烧结生产的影响及探讨其是否经济合理。

2 试验条件

2.1 原料化学成分组成

本试验采用三烧车间原料条件,所用原料取自三烧车间配料室原料料仓,试验用原料条件化学组成详见表 1。

表 1 试验用原料化学成分 (%)

名 称	TFe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	lg	H ₂ O
调军台	67.17	21.3	4.05	0.14	0.4	0.3	5.0
弓青粉	62.85	30.9	4.49	0.84	0.57	3.17	1
齐大山	67.50	19.18	3.93	0.18	0.25	0.71	8.5
澳 粉	63.88	0.7	3.34	0.14	0.15	2.98	2.5
生石灰	0.69		3.35	80.00	2.37	16.20	0
菱镁石	1.25		3.07	2.80	41.83	49.52	2.1
石灰石	0.56		1.89	51.93	1.93	43.44	0.7

2.2 燃料分析

(1) 燃料工业分析。试验用焦粉取自三烧车间配料室焦粉料仓,煤粉取自灵山煤场,试验用燃料的工业分析详见表 2。

表 2 试验用燃料工业分析 (%)

项目名称	固定碳 (FC _{ad})	挥发分 (V _{ad})	灰分 (A _{ad})	硫 (S _{t,ad})	水分 (M _t)
基准焦粉	85.84	14.4			4.0
朝鲜 1 号煤	75.2	14.81	5.23	0.25	4.8
朝鲜 2 号煤	69.8	14.68	12.12	0.76	4.6

从表2中可以看出,进口朝鲜煤的固定碳含量较低(尤其是朝鲜2号煤粉),灰分较高,挥发分含量超标,将对烧结矿的生产产生不利的影响。

(2) 燃料粒度组成。本次试验用的煤粉为朝鲜进口的无烟煤和焦粉,粒度组成详细分析结果见表3。

表3 不同燃料的粒度组成 (%)

粒度/mm 项目	>10	10~8	8~5	5~3	3~1	1~0.5	<0.5
基准焦粉	0	0	2.30	16.39	40.98	14.43	20.00
朝鲜1号煤	10.60	2.36	7.95	10.90	29.46	12.22	26.51
朝鲜2号煤	5.23	0.48	3.80	13.30	33.73	10.21	33.25

从表3中可以看出,原煤粒度较粗,粒级分布不

尽合理,其中大粒级和碎末级含量较高,尤其是小于0.5 mm的小粒级,分别达到26.51%和33.25%。煤粉粒度较粗,试验前先将大于5 mm的部分筛除,只保留小于5 mm的部分,以便于开展烧结试验。

3 试验方案

试验期以等量的进口煤代替自产的焦粉,其他原料条件不变,保持烧结碱度不变。确定煤粉配比为4.5%,基准所用燃料为焦粉,试验所用燃料为进口朝鲜无烟煤,代替焦粉进行不同燃料条件的烧结对比试验。然后再进行高固定碳煤粉的不同配比的烧结试验,将煤粉配比定为4.0%、4.5%和5.0%三个水平,寻求适于烧结的该煤粉的最佳配比。各种条件的试验配料比见表4。

表4 试验用烧结配料比 (%)

原料配比		齐混	调精	澳粉	弓青粉	生石灰	镁石	石灰石	焦(煤)粉	返矿
基准期		35	20	20	5	6	4	5.2	4.5	18
煤1号	4.0%	35	20	20	5	6	4	5.1	4.0	18
	4.5%	35	20	20	5	6	4	5.3	4.5	18
	5.0%	35	20	20	5	6	4	5.4	5.0	18
煤2号		35	20	20	5	6	4	5.6	4.5	18

4 试验结果与分析

4.1 对混合料指标的影响

不同燃料条件下的烧结混合料指标见表5,高固定碳煤粉的不同配比的混合料指标见表6。

表5 不同燃料条件下混合料指标变化

指标	粒度组成/%							H ₂ O /%	粒径 /mm	静态料层阻力/Pa	
	>10 mm	10~8 mm	8~5 mm	5~3 mm	3~1 mm	<1 mm	>3 mm			5 m ³ /h	10 m ³ /h
基准	2.95	4.13	19.12	32.51	38.98	2.32	58.59	7.1	4.08	600	1700
1号	3.57	3.24	17.08	31.14	41.85	3.13	55.02	7.0	3.95	700	2000
2号	4.50	2.46	16.16	28.67	45.33	2.88	51.79	7.2	3.90	700	1900

表6 高FC_{ad}煤粉不同配比的混合料指标变化

指标	粒度组成/%							H ₂ O /%	粒径 /mm	静态料层阻力/Pa	
	>10 mm	10~8 mm	8~5 mm	5~3 mm	3~1 mm	<1 mm	>3 mm			5 m ³ /h	10 m ³ /h
4.0%	2.44	2.86	18.85	30.29	43.22	2.34	54.44	7.0	3.88	750	2025
4.5%	3.57	3.24	17.08	31.14	41.85	3.13	55.02	7.0	3.95	700	2000
5.0%	2.52	2.33	20.31	36.82	36.80	1.22	61.98	7.1	4.06	550	1475

4.2 对烧结各项指标的影响

不同燃料条件下烧结主要指标见表7,不同配煤

量的烧结主要指标见表8。

从表7可知,用煤粉代替焦粉后,成品率提高,从60.20%提高到65.68%和62.40%,分别提高了