

# 铁矿粉造块

## 理论与实践

TIEKUANGFEN ZAOKUAI  
LILUN YU SHIJIAN

张玉柱 胡长庆 著

河北省教育厅学术著作出版基金资助出版

# 铁矿粉造块理论与实践

张玉柱 胡长庆 著

北京

冶金工业出版社

2012

## 内 容 提 要

本书是作者及其课题组近 20 年在铁矿粉造块领域理论研究与生产应用成果的总结。该书主要内容涉及课题组在铁矿粉造块复合添加剂工艺技术、冀东铁矿粉与进口矿烧结特性和配矿结构优化、小球团烧结工艺技术、低硅烧结成矿机理与关键技术、膨润土理化性能及改性技术等领域的理论研究成果和生产应用实践。绝大多数科研成果被企业采用转化为生产力,取得了可观的经济效益。

本书可作为铁矿粉造块领域研究人员、技术人员和管理决策人员的重要参考书,也可作为高等院校相关专业研究生、本科生的教学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

铁矿粉造块理论与实践/张玉柱,胡长庆著. —北京:  
冶金工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-5024-5298-8

I. ①铁… II. ①张… ②胡… III. ①铁粉—造块  
IV. ①TF124. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085466 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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 李新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5298-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 1 月第 1 版, 2012 年 1 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 10.25 印张; 302 千字; 314 页

38.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

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)

# 前 言

20 世纪 90 年代以来，中国钢铁工业快速发展，是世界上最大的钢材生产国和消费国。与全球钢铁工业相比，中国钢铁工业特点之一是流程结构以高炉-转炉流程为主，铁钢比高。2010 年我国粗钢产量为 6.27 亿吨，占全球粗钢产量的 44.3%；生铁产量为 5.90 亿吨，占全球生铁产量的 57.3%。20 世纪 90 年代以来，非高炉炼铁工艺在技术上有所进步，其中 COREX 商业化生产能力有望达到 150 万吨/年，传统的高炉炼铁工艺面临直接还原、熔融还原的挑战，但由于高炉炼铁工艺成熟，具有生产效率高优点，在可预见的将来，高炉仍将是炼铁的主流工艺。

原料是高炉炼铁的基础，精料就是全面改进原燃料的质量，为降低焦比和提高冶炼强度打下物质基础，保证高炉能在大风、高压、高风温、高负荷的生产条件下仍能稳定、顺行。从目前国内高炉的炉料结构来看，大多采用高碱度烧结矿和酸性球团矿合理搭配，一部分生矿作为调剂，并以烧结矿为高炉的主要炉料。烧结和氧化性球团是铁矿粉造块的主要工艺，是现代钢铁制造流程中物质流、能量流量最大的工序之一。铁矿粉造块工艺技术进步不仅关系炼铁生产的效率、成本，还直接影响到企业整体的经济效益、资源能源利用效率、环境负荷，乃至工业生态链构筑和可持续发展能力。

《铁矿粉造块理论与实践》一书是作者和课题组多名人员近 20 年在铁矿粉造块领域理论研究与生产应用成果的总结。课题组成员在数以千计的实验室试验和大量理论分析的基础上，提出了铁矿粉造块工艺优化技术措施，促进了烧结矿、球团矿质量改善

和高炉精料技术发展。该书主要内容涉及课题组在铁矿粉造块复合添加剂工艺技术、冀东铁矿粉与进口矿烧结特性和配矿结构优化、小球团烧结工艺技术、低硅烧结成矿机理与关键技术、膨润土理化性能及改性技术等领域的理论研究成果和生产应用实践。

**铁矿粉造块复合添加剂工艺技术：**探明了烧结矿中 SFCA 相及正硅酸钙对烧结矿质量的影响机理，发现了磁铁矿烧结过程中玻璃相成分的变化规律，找出了烧结矿微观矿物组成及结构与质量间的依存关系与规律，明确了矿相对烧结矿产生的有益与有害影响，进而通过实验确定了促进有益矿物生成、抑制有害矿物生成的主要条件，再通过实验室模拟工业生产过程制定技术措施。以理论研究成果为依据，对生产现场工艺及设备进行改造。

**小球团烧结工艺技术：**通过小球团烧结燃料与熔剂分加方式等研究，弄清了燃料及熔剂添加方式对小球团烧结矿质量影响的原因；揭示了适宜的小球团烧结燃料及熔剂添加方式。此外，熔剂全部外加的烧结矿强度、冶金性能明显改善，具有酸性球和高碱度矿的矿物组成和显微结构特点，阐明了其改善烧结矿质量的原因，揭示了其合理的工艺参数。

**冀东铁矿粉与进口矿烧结特性和配矿结构优化：**对磁铁矿烧结过程中强度—碱度低凹区的成因提出了新的见解，解决了冀东磁铁矿烧结时产品易粉化，常温强度低，矿相结构不合理这一技术难题。系统研究分析了冀东矿和澳矿、巴西矿等典型进口矿烧结特性，结合冀东矿和进口矿烧结特性和铁矿粉造块的生产实际，有的放矢地开发出综合控制烧结矿微观结构新工艺，优化了烧结配矿结构。

**低硅烧结成矿机理与关键技术：**定量解析了碱度、配碳量、MgO 含量等对低硅烧结矿液相生成、矿物组成、微观结构的影响，提出低硅烧结成矿机理为针状铁酸钙液相黏结和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  再结晶固结；进而提出改变固体燃料分布状态、厚料层烧结、适当延

长点火时间、添加铁矿粉造块复合添加剂及喷洒  $\text{CaCl}_2$  等低硅烧结生产关键技术措施。

膨润土改性工艺技术：深入系统地研究了膨润土理化性能对铁矿球团生产过程及球团矿质量的影响，并对钙基膨润土不同改性方法进行了系统研究，提出了铁精粉与膨润土的最佳匹配以及两者之间的关系，优化出了最佳的生产工艺条件。

以上研究分别获得国家自然科学基金、河北省自然科学基金、河北省科技攻关项目等多项课题资助，并与多家钢铁企业展开合作，绝大多数科研成果被企业采用转化为生产力，取得了可观的经济效益。研究成果相继获得河北省省长特别奖 1 项、河北省科技进步一等奖 2 项、二等奖 1 项、三等奖 1 项和多项市厅级奖励，发表论文近百篇，培养博士研究生 2 名、硕士研究生近 20 名。

值此书出版之际，作者谨向多年来为本课题组在铁矿粉造块领域研究成果作出重要贡献，并在本书完成过程中一起讨论、修改，从而使本书内容得以进一步丰富和完善的合作伙伴：李振国高级工程师、尹海生高级工程师、郎建峰教授、邢宏伟博士和李杰、王丽丽等，一并致以深深的谢意。

张玉松

2011 年 9 月

# 目 录

1 硼镁交互作用规律及复合添加剂开发 .....	1
1.1 硼、镁对铁矿粉造块的作用 .....	1
1.1.1 硼对烧结矿和球团矿的作用效果 .....	2
1.1.2 镁对烧结矿和球团矿的作用效果 .....	7
1.1.3 含硼、镁烧结矿和球团矿的工业应用试验效果 .....	14
1.2 铁矿粉造块应用硼镁添加剂工艺试验 .....	16
1.2.1 硼源、镁源的选择 .....	16
1.2.2 烧结应用硼镁添加剂工艺试验 .....	20
1.2.3 氧化性球团应用硼镁添加剂工艺试验 .....	34
1.3 硼、镁在烧结矿中的分布规律 .....	38
1.3.1 烧结矿中硼含量的测定与分布规律 .....	38
1.3.2 烧结矿中镁的分布规律及其对主要矿相的影响 .....	48
1.4 硼、镁对烧结矿主要矿物形成的影响规律 .....	50
1.4.1 硼、镁对铁酸钙形成的影响规律 .....	50
1.4.2 硼、镁对正硅酸钙形成的影响规律 .....	57
1.4.3 硼、镁对玻璃相成分及含量的影响 .....	63
1.5 硼、镁对球团焙烧温度的影响 .....	72
1.5.1 硼、镁对球团矿质量的影响 .....	72
1.5.2 球团矿的矿相特征 .....	73
1.5.3 加镁球团矿的扫描电镜和能谱分析 .....	74
1.5.4 硼、镁对球团矿氧化速率和焙烧温度的影响机理 .....	76
1.6 硼、镁复合添加剂工业应用 .....	77
1.6.1 改进烧结工艺的技术措施 .....	77

1.6.2 推广实施效果 .....	80
参考文献 .....	81
<b>2 小球团烧结燃料和熔剂添加方式 .....</b>	<b>83</b>
2.1 小球团烧结工艺特征与应用 .....	83
2.1.1 小球团烧结工艺特点 .....	84
2.1.2 小球团烧结的固结成矿机理 .....	88
2.1.3 小球团烧结工艺在生产上的应用 .....	89
2.2 小球团烧结制粒参数的确定 .....	91
2.2.1 铁精矿制粒理论基础 .....	91
2.2.2 制粒参数的确定 .....	92
2.2.3 制粒参数及结果 .....	94
2.3 小球团烧结燃料添加方式 .....	94
2.3.1 小球团烧结燃料添加方式试验 .....	95
2.3.2 燃料添加方式对烧结矿强度影响的显著性分析 .....	99
2.3.3 燃料用量 .....	100
2.3.4 燃料分加比例 .....	103
2.3.5 外滚焦粉粒度 .....	108
2.4 小球团烧结熔剂添加方式 .....	109
2.4.1 小球团烧结熔剂分加工工艺 .....	110
2.4.2 小球团烧结熔剂外加工工艺 .....	113
2.4.3 熔剂外加小球团烧结与普通烧结的比较 .....	124
参考文献 .....	130
<b>3 冀东矿与进口矿烧结特性和配矿结构优化 .....</b>	<b>131</b>
3.1 国内外铁矿资源与烧结配矿 .....	131
3.1.1 国内外铁矿资源状况 .....	131
3.1.2 烧结配矿研究 .....	135
3.2 冀东矿烧结成矿机理及强度分析 .....	139



3.2.1	冀东铁精粉烧结成矿过程解剖研究 .....	139
3.2.2	冀东矿烧结强度的影响因素及技术措施 .....	142
3.3	典型进口铁矿粉烧结特性 .....	150
3.3.1	南非粉 .....	150
3.3.2	MAC 矿 .....	152
3.3.3	杨迪矿 .....	155
3.3.4	巴西矿 .....	158
3.3.5	印度粉 .....	159
3.3.6	哈默斯利粉 .....	163
3.4	冀东矿与进口矿配矿结构优化 .....	165
3.4.1	冀东矿配加澳矿 .....	165
3.4.2	冀东矿配加巴西精粉 .....	168
3.4.3	冀东矿配加印度矿 .....	172
3.4.4	冀东矿与印度粉、巴西粉合理配矿方案 .....	174
3.5	司家营铁精粉烧结特性 .....	180
3.5.1	原燃料条件与制粒性能 .....	180
3.5.2	司家营精粉烧结性能 .....	184
3.5.3	司家营铁精粉烧结合理炉料结构 .....	195
	参考文献 .....	196
4	低硅烧结成矿机理与关键技术 .....	198
4.1	低硅烧结技术特点及生产现状 .....	199
4.1.1	$\text{SiO}_2$ 含量对铁矿粉烧结和炼铁生产的影响 .....	199
4.1.2	低硅烧结技术措施 .....	200
4.1.3	矿物组成及显微结构对烧结矿质量的影响 .....	204
4.2	低硅烧结矿矿物组成及显微结构 .....	209
4.2.1	$\text{SiO}_2$ 含量对烧结矿矿物组成及显微结构的影响 .....	209
4.2.2	碱度对低硅烧结矿矿物组成及显微结构的影响 .....	212
4.2.3	配碳量对低硅烧结矿矿物组成及显微	

结构的影响 .....	216
4.2.4 MgO 含量对低硅烧结矿矿物组成及微观 结构的影响 .....	219
4.2.5 工艺制度对低硅烧结矿矿物组成及微观 结构的影响 .....	222
4.3 低硅烧结关键技术 .....	230
4.3.1 低硅烧结工艺参数优化 .....	230
4.3.2 低硅烧结矿冶金性能 .....	237
4.4 低硅烧结分形研究 .....	240
4.4.1 低硅烧结分形维数的测定 .....	241
4.4.2 不同 SiO <sub>2</sub> 含量下烧结矿粒度分布分形 维数的研究 .....	243
4.4.3 不同 MgO 含量下低硅烧结矿粒度分布分形 维数的研究 .....	248
4.4.4 不同配碳量下低硅烧结矿粒度分布分形 维数的研究 .....	251
4.4.5 不同碱度下低硅烧结矿粒度分布分形 维数的研究 .....	253
参考文献 .....	256
<b>5 膨润土理化性能对球团矿质量的影响及改性技术 .....</b>	<b>258</b>
5.1 铁矿球团用膨润土理化性能和质量评价 .....	259
5.1.1 膨润土理化性能参数 .....	260
5.1.2 膨润土质量评价 .....	263
5.1.3 膨润土改性及其处理方法 .....	264
5.2 膨润土理化性能对球团矿质量的影响 .....	268
5.2.1 原料条件 .....	268
5.2.2 膨润土配比与理化性能对球团矿质量的影响 .....	270
5.2.3 球团矿质量与膨润土理化性能指标的关系 .....	277

5.3 膨润土改性技术及工艺 .....	283
5.3.1 钙基膨润土高温焙烧活化改性 .....	283
5.3.2 钙基膨润土钠化改性 .....	285
5.3.3 钙基膨润土酸活化改性 .....	290
5.3.4 钙基膨润土锂化改性 .....	295
5.3.5 钙基膨润土有机改性 .....	298
5.3.6 改性膨润土在球团中应用效果对比 .....	304
参考文献 .....	306
<b>附录 铁矿粉造块试验方法与设备 .....</b>	<b>307</b>
附录1 烧结杯试验 .....	307
附录2 铁矿氧化性球团试验 .....	309
附录3 成品矿质量检验 .....	311

# 1 硼镁交互作用规律及复合添加剂开发

---

我国铁矿资源多为贫磁铁矿，选分困难，造成铁精矿粉品位低， $\text{SiO}_2$  含量高，成球困难，致使产品强度低，易粉化，冶金性能差，成为冶金界长期未能解决的一大技术难题。众所周知，烧结矿粉化的主要原因是因为正硅酸钙在降温过程中发生相变而产生膨胀，怎样有效地促进有益矿物的生成和抑制有害矿物的产生及转化是解决粉化和强度问题的关键。

为了减少粉化，提高强度，厂家及研究人员曾寻求利用添加剂的办法加以解决。在铁矿粉造块中应用硼、镁添加剂改善铁矿粉的造块质量已是不争的事实。但硼、镁在烧结矿中的分布规律及其对铁酸钙、硅酸钙及玻璃相等主要矿物生成的影响规律和作用机理等问题尚缺乏较为系统的研究，特别是对磁铁矿烧结时各个矿相的生成及相互转化的机理以及对外部条件的依存关系不甚清楚。因此，配加含硼镁添加剂的烧结矿和球团矿在实验室和工业试验中产生的一系列冶金现象，至今还不能全部从根本上给出合理的解释。

为此，与唐山国丰钢铁公司、唐山钢铁公司及宣化钢铁公司合作，于 20 世纪 90 年代初便开始投入该领域的研究，至今已开发出一系列的科研成果并广泛应用于工业生产，取得了显著的经济效益和社会效益。

## 1.1 硼、镁对铁矿粉造块的作用

在铁矿粉造块中，通过添加某种添加剂生产复合型烧结矿或球团矿，可以有效地改善铁矿粉造块质量及提高造块设备利用系数，这方面的研究越来越受到重视。国外所开发的添加剂主要是蛇纹石、有机黏结剂、橄榄石、钢渣等。含硼、镁的添加剂则是根据我国不同地区资源情况开发的添加剂。我国硼镁矿、低品位磁铁矿储量丰富以及硼化工厂每年都排出大量的含硼废渣（称为硼泥），我国冶金

工作者正是根据这一资源特点而开发出各种含硼及硼镁复合添加剂,既利用了工业废料,创造了良好的社会效益,又可以生产优质球团矿和烧结矿,为企业带来了良好的经济效益,是适合我国磁铁矿粉造块的一种非常好的添加剂<sup>[1]</sup>。

硼、镁在铁矿粉造块中应用的历史可追溯到含硼添加剂的使用,早在 20 世纪 70 年代末,凌源钢铁厂为改善保国铁精矿的焙烧性能而提出了添加硼泥,并与东北工学院合作,在 8m<sup>2</sup> 球团竖炉及 100m<sup>3</sup> 高炉上进行了添加含硼添加剂焙烧工艺实验及冶炼试验<sup>[1]</sup>。在实验中,通过在难于焙烧的竖炉球团配料中加入少量硼泥,取得了明显降低焙烧温度及改善其冶金性能的效果。80 年代初,北台钢铁厂为解决自熔性烧结矿粉化问题而添加了贫硼铁矿粉,取得了明显效果,有效地抑制或降低了烧结矿的粉化。

应用硼镁复合添加剂始于 20 世纪 80 年代末,在鞍山钢铁公司与鞍山钢铁学院合作进行的加硼烧结矿性能研究及高炉冶炼试验中,以硼镁矿粉作为添加剂,取得了显著改善烧结矿质量的效果。1991 年东北大学与鞍钢烧结厂合作,进行了 MgO 质酸性球团矿焙烧性能的研究。结果表明, MgO 质酸性球团矿比普通球团矿有较好的软熔性能和中温还原性能;而配加含硼添加剂后 MgO 质球团焙烧温度可降低 50℃ 以上,球团矿的滴落温度可保持不变,熔化温度有所降低,而且初渣流动性好,软熔带透气性改善,料层压差明显降低;试验还发现,镁质球团加入含硼添加剂后生球爆裂温度有所降低<sup>[2]</sup>。

## 1.1.1 硼对烧结矿和球团矿的作用效果

### 1.1.1.1 硼对烧结矿的影响

#### A 抑制烧结矿的风化

国内首钢等钢铁企业烧结配加硼泥的试验与工业生产均表明:加入硼泥可使烧结矿的自然粉化得到抑制或降低。1975 年首都钢铁公司钢铁研究所与北京钢铁学院合作进行的试验表明:在烧结矿中配加极少量的硼(元素 B 含量为 0.006% ~ 0.01%)便可抑制烧结矿的风化,硼泥的最小加入量为 1.0% ~ 1.6%;随着硼泥加入量的增加,烧结矿的风化基本消除<sup>[3]</sup>。张店钢铁厂在烧结混合料中配加

1.5%和2.0%的硼泥,可使烧结矿的24h风化率分别减少到3.34%和0.24%,10天的自然粉化率分别减少到6.47%和2.42%<sup>[2]</sup>。

### B 对烧结矿的常温强度的影响

张店钢铁厂在烧结料中配加1.5%和2.0%的硼泥,使烧结矿的转鼓指数分别提高了2.06%和1.3%<sup>[2]</sup>。本溪钢铁厂在烧结料中配加3.0%的硼灰泥粉,使转鼓指数提高了8.4%。邢台钢铁厂烧结矿配加4.0%~4.5%硼泥,在24m<sup>2</sup>烧结机上进行的试验结果为:转鼓指数增加了3.72%<sup>[4]</sup>。二六七二工厂配加2.0%硼泥在24m<sup>2</sup>烧结机上进行的试验结果表明:烧结矿的转鼓指数提高了0.35%。但1988年鞍钢东鞍山烧结厂在烧结混合料中配加1.5%~2.0%的硼镁铁矿,使烧结矿中平均硼含量达到0.032%,实验室试验及75m<sup>2</sup>烧结机试验均表明:烧结矿的常温强度未见提高,特别是工业试验,烧结矿的转鼓指数还降低了0.44%<sup>[5]</sup>。

### C 对烧结矿还原性的影响

张店钢铁厂在烧结矿中配加2.0%硼泥后,其900℃还原度提高了3.24%<sup>[2]</sup>。宣化钢铁厂在烧结矿中配加2.0%硼泥,其900℃还原度提高了5.99%,关系见图1-1<sup>[6]</sup>。但鞍山钢铁厂在烧结矿中配加1.5%~2.0%硼铁矿粉,其900℃还原度下降了0.38%<sup>[5]</sup>。

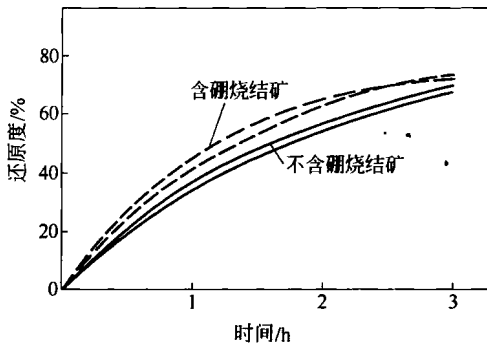


图1-1 含硼烧结矿的还原度与时间的关系

### D 对烧结矿软熔性的影响

张店钢铁厂配加2.0%硼泥烧结矿的软化开始温度提高了68℃,

软化终了温度提高了 65℃，软化温度区间缩小了 3℃<sup>[2]</sup>；宣化钢铁厂配加 2.0% 硼泥烧结矿的软化开始温度提高了 30℃，软化温度区间缩小了 10 ~ 20℃，如图 1-2 所示<sup>[6]</sup>。但鞍山钢铁厂配加 1.5% ~ 2.0% 硼镁铁矿的烧结矿，其软化开始温度却稍有降低<sup>[5]</sup>。总的来说，含硼添加剂能够改善烧结矿的软熔性。

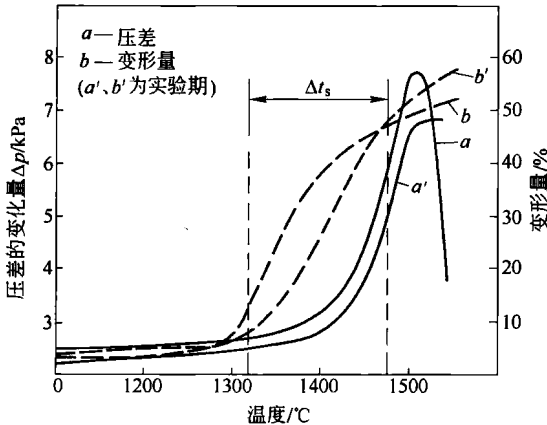


图 1-2 含硼烧结矿的软熔滴落曲线

### E 对烧结矿低温还原粉化率的影响

张店钢铁厂配加 2.0% 硼泥的烧结矿，其 550℃ 的还原粉化率由 21.35% 下降到 13.65%<sup>[2]</sup>；鞍山钢铁厂配加 1.5% ~ 2.0% 硼镁铁矿，烧结矿的低温还原粉化率下降了 5.01%<sup>[5]</sup>；宣化钢铁厂的实验室结果为：配加 2.0% 硼泥的烧结矿，其低温还原粉化性能未得到改善<sup>[6]</sup>。

#### 1.1.1.2 硼对球团矿的影响

##### A 显著提高球团矿的冷强度

实验室试验研究及工业试验表明<sup>[7,8]</sup>：对于采用某些原料生产球团矿时配加一定数量的硼，可显著提高球团矿的冷强度。如：1979 年 9 月至 1980 年 4 月，凌源钢铁厂在保国铁精矿生球中加入 2.0% 硼泥及消石灰，碱度为 0.53，分别在 1150℃、1200℃ 和 1250℃ 温度

下焙烧, 抗压强度较未加硼泥时分别提高了 1.25、0.29 和 0.26 倍。硼对提高石灰石熔剂性球团矿冷强度的作用更加明显, 如 1992 年北京科技大学试验表明, 配加石灰石粉、碱度为 1.0 的铁精矿生球, 在 1160℃ 温度下焙烧, 球团矿的抗压强度为 2354N/个球, 而配加 1.5% 和 3.0% 硼泥后, 在 1160℃ 温度下焙烧, 抗压强度分别达到了 2693N/个球和 3332N/个球, 较未加硼泥时分别提高了 339N/个球和 978N/个球。

### B 改善球团矿的化学成分

由于硼泥中含有对炼铁有用的矿物, 如  $B_2O_3$ 、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $Fe_2O_3$  等, 这些矿物总量可达到 50% 以上, 尤其含  $MgO$  量较高, 且含  $SiO_2$  和  $Al_2O_3$  之和也显著低于膨润土。因此, 在球团配料中加入一定数量硼泥, 并适量减少膨润土数量时, 球团矿的铁含量没有多大变化, 而扣除  $CaO$  和  $MgO$  以后的含铁量及二元、三元、四元碱度有所提高, 尤其以  $MgO$  量增加得较多。

### C 对球团矿焙烧温度及焙烧区间的影响

试验表明<sup>[7-9]</sup>: 加硼后, 球团的焙烧温度降低、焙烧温度的区间扩大。这可以从表 1-1 和表 1-2 看出。由于硼可以降低球团的焙烧温度、扩大焙烧温度区间, 从而可扩大低温焙烧区间, 因此可以显著提高低温焙烧球团矿的强度, 减少欠烧球和过熔块的产生, 球团矿的质量均匀性得以改善。硼泥对球团矿的各种性能影响见表 1-1 和表 1-2<sup>[9]</sup>。

表 1-1 凌钢加硼泥球团矿原料配比及生球性能

样号	保国铁精粉 /%	华铜铁精粉 /%	消石灰 /%	沈阳硼泥 /%	膨润土 /%	抗压强度 /kg·个 <sup>-1</sup>	落下强度 /次
基准期	75.0	20.9	3.5	—	1.5	2.2	—
试验期	93.2	—	4.8	2.0	1.0	1.8	4.3

表 1-2 凌钢加硼泥球团矿试验结果

样号	抗压强度 /N	转鼓指数 /%	还原度 /%	还原转鼓 /%	最大膨胀 率/%	膨胀后 状态	$T_{10\%}$ /℃	$T_{40\%}$ /℃	$\Delta T$ /℃
基准期	1850	77.3	92.4	38	6.1	完好	1040	1118	78
试验期	2270	86.7	92.9	49	7.7	完好	1050	1118	69



### 1.1.1.3 含硼球团矿、烧结矿的高炉冶炼效果

#### A 高炉顺行稳定、产量提高

凌源钢铁厂高炉冶炼配加硼泥球团矿和烧结矿时，炉况稳定顺行，料柱透气性指数平均提高了11%，崩、悬料次数显著减少，入炉风量增加，产量平均提高了8%左右<sup>[9]</sup>。邢台钢铁厂、宣化钢铁厂等冶炼配加硼泥球团矿和烧结矿亦获得类似效果。

#### B 生铁质量提高

高炉冶炼配加硼泥球团矿和烧结矿时，在炉渣碱度维持不变或稍有降低的情况下，由于渣铁的热量充沛、流动性好、炉渣活性高、脱硫能力强，因此使生铁含硫量有所降低。

另外，在高炉冶炼条件下有极少量的硼元素被还原进入生铁，生铁中含有少量的硼元素有其独特的好处：将大大提高钢的淬透性，增加钢的硬度和抗拉性能。而且，在生产铸造生铁过程中，生铁中含有微量硼元素会显著提高铸铁的耐磨强度，且符合铸造生铁对硼的最大允许限度为0.005%~0.01%的要求。

#### C 金属铁损失减少

由于冶炼加硼球团矿和烧结矿时，渣铁热量充沛、流动性好，因此在渣铁沟和铁水罐中的凝铁数量会减少，金属铁的消耗量相应地降低。

#### D 石灰石等辅助材料消耗量减少

由于冶炼配加硼泥球团矿和烧结矿时，炉渣脱硫能力加强，允许降低炉渣碱度进行操作，从而可降低焦比，这样就可使石灰石消耗量减少，并可减少或取消为改善炉渣流动性而加入的炉渣稀释剂。

#### E 焦比降低

凌源钢铁厂和鞍钢等的一些高炉冶炼配加硼泥球团矿和烧结矿时，焦比都有所降低，有的降低得很明显。

#### F 炉尘吹出量减少

由于配加硼泥的球团矿和烧结矿冷强度高、自然粉化被抑制、低温还原粉化得以改善等原因，高炉透气性改善，从而使高炉冶炼时煤气灰吹出量减少。

鞍钢高炉冶炼配加硼泥试验指标校正结果见表1-3<sup>[5]</sup>。