

应用试验技术指导生产问题的探讨

汇报人：刘晓明

2020年8月



河钢邯钢
HBIS HANSTEEL

汇报目录

1

邯钢铁前研究所简介

2

烧结原料结构优化

3

球团原料结构优化

4

高炉炉料结构优化

5

问题探讨

— 邯钢铁前研究所简介



河钢邯钢
HBIS HANSTEEL

1、工作职能

邯钢铁前研究所（原技术中心铁前研究室，现属铁前优化技术保障中心）建成于上世纪七十年代末，曾经历过三次搬迁，经过多年的发展形成了具备烧结杯、球团矿、烧结球团原料基础性能、高炉原料冶金性能、高炉喷煤等五大类、近30项试验能力的铁前试验基地。

工作职能

主要负责炼铁系统的工艺试验和科研工作，包括炼铁新工艺、新技术、技术攻关、科技进步项目的试验和研究等；重点围绕烧结、球团、喷吹煤粉及高炉入炉料开展基础试验研究、结构优化研究、关键共性问题的研究；**负责为炼铁系统现场应用型研究、重大技术决策预研、生产经营提供技术支撑**；负责了解国内外烧结、球团、炼铁技术的发展动态，掌握新技术、新工艺，提出推广新工艺、新技术的改进建议。

2、试验室介绍

2.1、实验楼



占地约
580m²，是集
办公、试验于
一体的综合性
实验楼。

2、试验室介绍

2.2、冶金性能试验室



承担高炉入炉料冶金性能试验，包括荷重软熔滴落、中温还原性、还原膨胀率等性能。

2、试验室介绍

2.3、球团试验室



承担球团
爆裂、抗
压强度、
预热焙烧
等性能试
验。

2、试验室介绍

2.4、煤粉燃烧率试验室



承担高炉喷
吹煤粉在设
定配煤结构、
风煤比、富
氧率等参数
条件下燃烧
率性能试验。

2、试验室介绍

2.5、微型烧结试验室



承担铁矿粉
高温性能试
验，包括同
化性、液相
流动性、连
晶强度、粘
结相强度、
铁酸钙生成
特性等性能
试验。

2、试验室介绍

2.6、矿相制片及显微镜室



承担矿物光
片制备及组
织结构鉴定。

2、试验室介绍

2.7、煤粉性能试验室



承担煤粉着火点、爆炸性、哈氏可磨性指数等性能试验。

2、试验室介绍

2.8、原料间



承担原燃料
加工处理、
精粉造球试
验等任务。

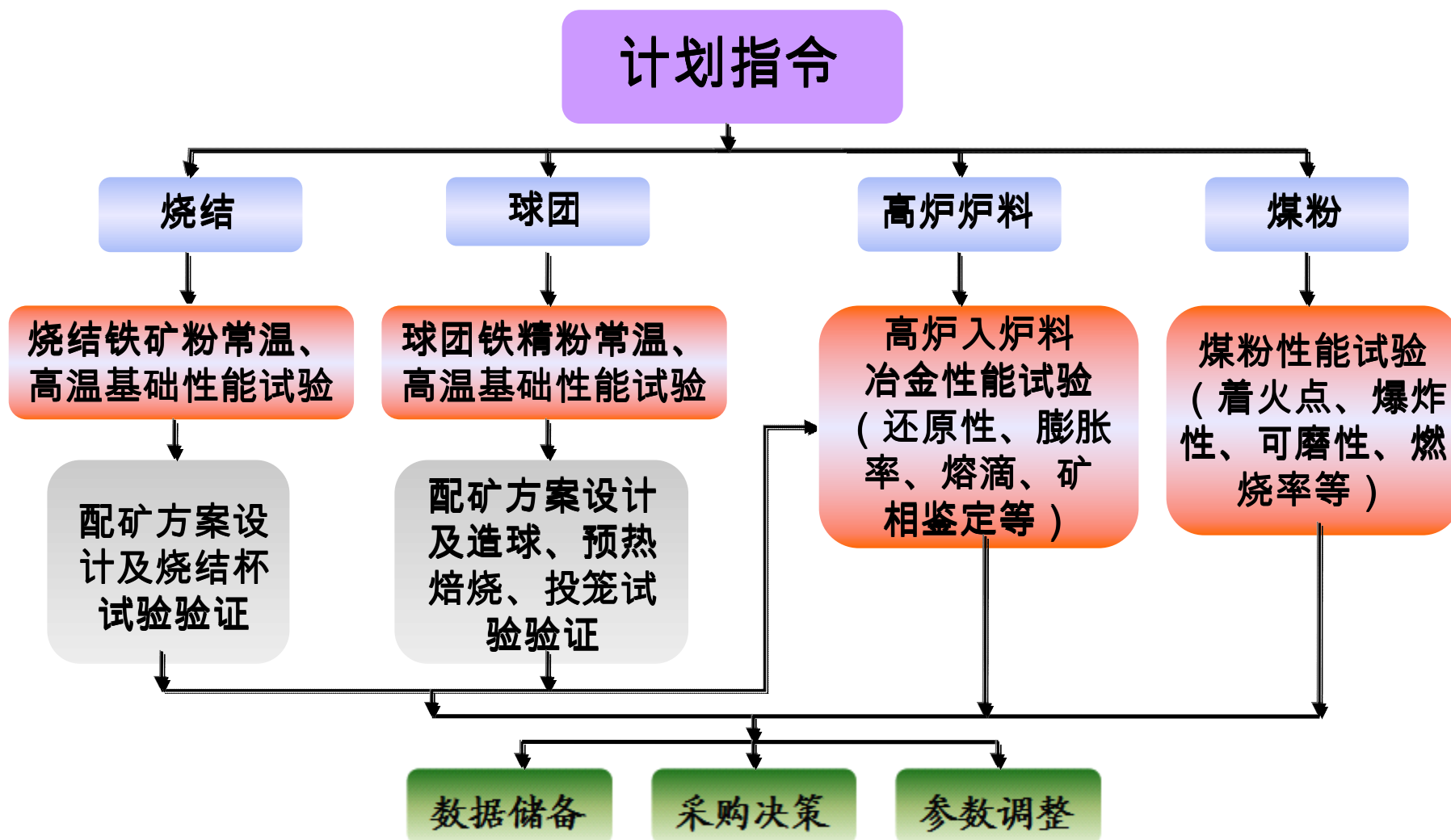
2、试验室介绍

2.9、烧结杯试验室



承担烧结杯
试验及烧后
烧结矿性能
检测任务。

3、工作流程



二 烧结原料结构优化

烧结过程

烧结过程是一个复杂的成矿过程，其基本原理是以物理化学、传输原理、结晶矿物学为理论基础。**物理化学**—烧结过程中燃料燃烧、矿物结晶水及碳酸盐分解、氧化还原、水分蒸发冷凝等反应规律；**传输原理**—烧结过程气体运动规律、蓄热现象等热量传输规律；**结晶矿物学**—烧结过程固相反应、液相生成、冷凝固结的成矿过程规律。

烧结矿固结机理

液相固结—烧结过程中低熔点矿物在高温下熔化成液相，在冷却过程中凝固并固结部分未熔颗粒的过程。因此，液相生成是烧结固结的基础，液相量及性质是影响烧结矿固结好坏、性能优劣的最重要因素。

优化配矿原则

1

烧结过程理论为基础

2

掌握可获得的资源信息及性能特点，合理高效利用国内外铁矿资源

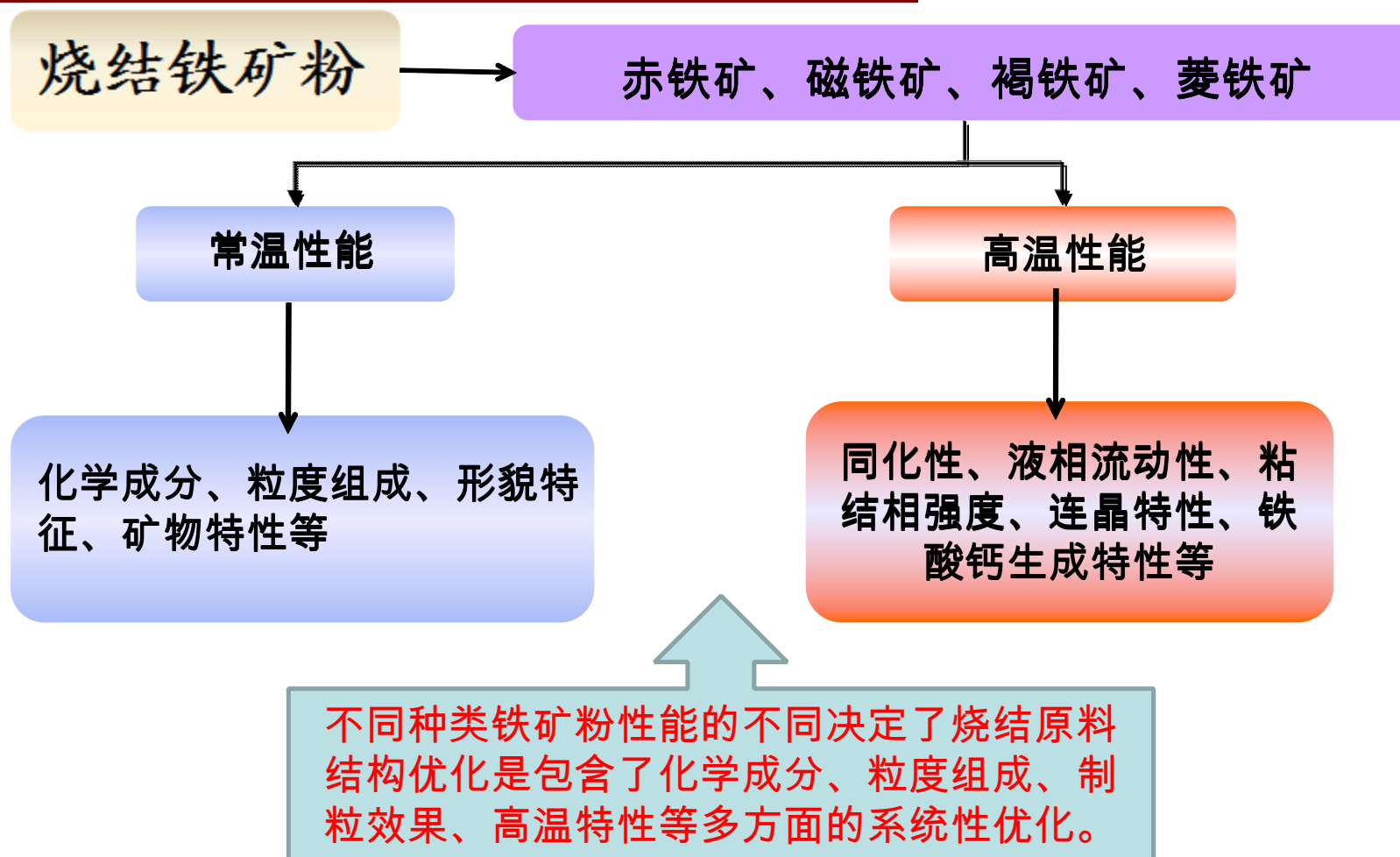
3

依据不同铁矿石的常温、高温烧结特性进行优化配矿

4

满足烧结产质量稳定或提升的要求，为高炉稳定顺行、高效率高效益生产创造条件

1、烧结用铁矿粉基础性能



2、粒度组成对混匀料制粒效果的分析

粒度组成决定制粒效果

制粒工艺是混匀料烧结前的重要环节，决定了混合料的透气性和粒度分布，对烧结矿的质量起着至关重要的作用。国内外在该领域已经进行了大量的研究，其中一部分注重混匀料粒度分布和透气性的预测，而另外一部分研究主要集中在制粒工艺的参数选择和优化。目前，在矿种变化频繁的情况下，**生产中所关注的问题更侧重于矿种对混匀料粒度分布的影响。**

原料结构的变化对烧结工艺过程会产生什么样的影响？为应对下一步铁矿石资源的变化，有必要对现状进行了解。

2、粒度组成对混匀料制粒效果的分析

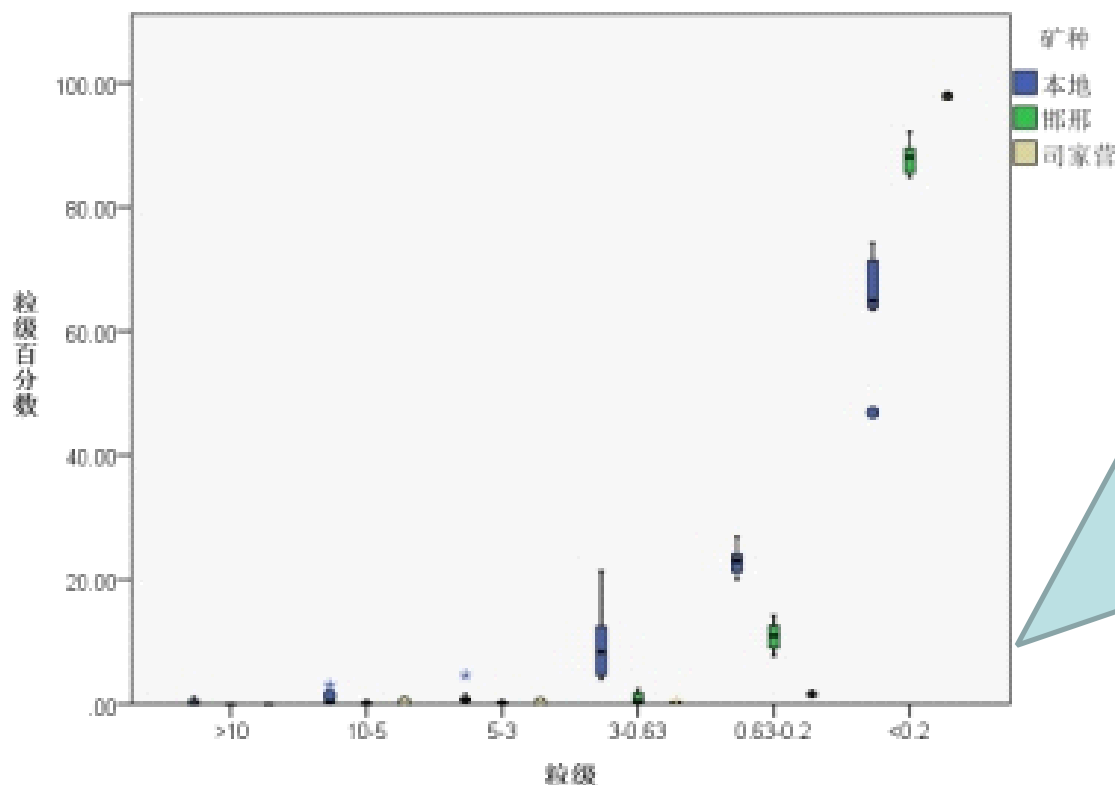
研究背景

邯钢烧结常用铁矿粉主要由国内精粉和进口矿粉组成，国内精粉有邯邢、本地、司家营等，以铁精粉为主；进口矿粉有澳粉、杨迪、麦克、巴粗、南非等赤、褐铁矿粉，这些矿种在较长时期内保持稳定，进口矿配比基本在80%以上。之后资源市场变化、铁矿石价格变化对邯钢入烧料的影响主要表现在：**一是铁矿粉在化学成分和粒度组成上有较大的波动，二是原料结构变化频繁，出现较多新的矿种，如巴西高硅、火箭粉、土耳其等低价矿粉。**

为了掌握目前原料结构条件下铁矿粉的制粒效果，通过大量的试验，对邯钢烧结常用铁矿粉及混匀料制粒前后的粒度分布规律进行了研究。

2.1、邯钢烧结常用铁矿粉粒度分布特征

测定方法：为了掌握铁矿粉粒度组成的变化情况，对邯钢烧结用铁矿粉进行粒度检测，按照10mm、5mm、3mm、0.63mm、0.2mm的粒级进行统计。



从图中可以反映出三种精粉粒级分布主要以<0.2mm部分为主，按该部分比例由高到低的顺序排列为：司家营>邯邢>本地；由箱体长短可知，<0.2mm部分比例稳定性由强到弱排列为：司家营>邯邢>本地；以0.2~0.63mm粒级比例反映矿粉对料层透气性的影响，其影响程度由强到弱排列为：本地>邯邢>司家营；同时，从图1中可见，**本地精粉在较多粒级范围内粒度组成波动较大**，这与其组成结构不稳定有关，**司家营精粉粒度组成最稳定**。

图1 邯钢烧结常用铁精粉分类箱形图

2.1、邯钢烧结常用铁矿粉粒度分布特征

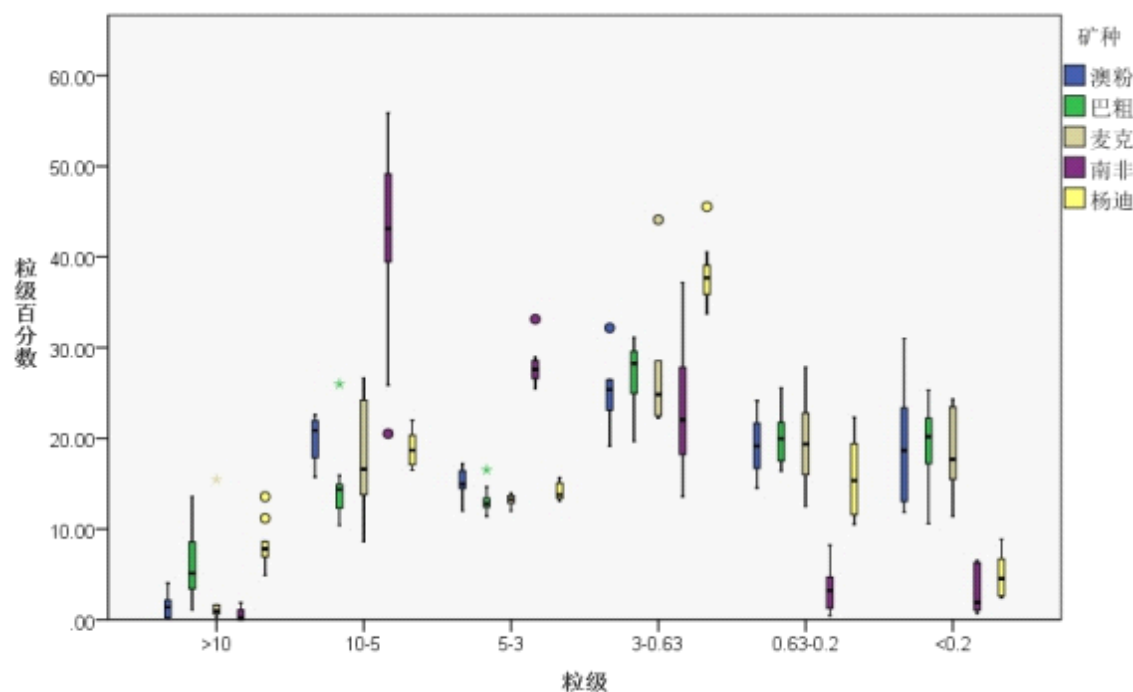



图2 邯钢烧结常用进口铁矿粉分类箱形图

从图中可以看出，除了3~5mm粒级上五种进口矿粉比例较为稳定以外，其它粒级范围矿粉比例存在较大波动，如南非在5~10mm及0.63~3mm粒级上，巴粗在>10mm及<0.2mm粒级上，澳粉在<0.2mm粒级上有较大波动；<0.2mm粒级中，澳粉、巴粗、麦克比例接近，约占20%，南非与杨迪接近，但含量不足5%；以0.2~0.63mm粒级比例反映矿粉对料层透气性的影响程度，由强到弱排列为：澳粉>巴粗>麦克>杨迪>南非，可见南非矿的使用能够有效提高料层的透气性。

2.1 、邯钢烧结常用铁矿粉粒度分布特征

理论认为：制粒过程中，铁矿粉颗粒主要以三种状态存在，即形核粒子、中间粒子和粘附粉，研究表明：粘附粒子多附着在核粒子表面，形核粒子不断粘附细小颗粒而长大，中间粒子既不易成核，又不易被粘附，在烧结中对料层透气性有不利影响。



烧结常用铁矿粉粒度分布特征表现为，精粉粒级分布呈指数形，在制粒中多以粘附粉状态存在；进口矿粉整体上呈中间高、两头低的分布规律，其核矿石比例明显大于粘附粉，制粒中多以核矿石存在，充当料层的骨架，有利于改善初始料层透气性。

2.2、烧结混匀料制粒前后粒度组成变化规律

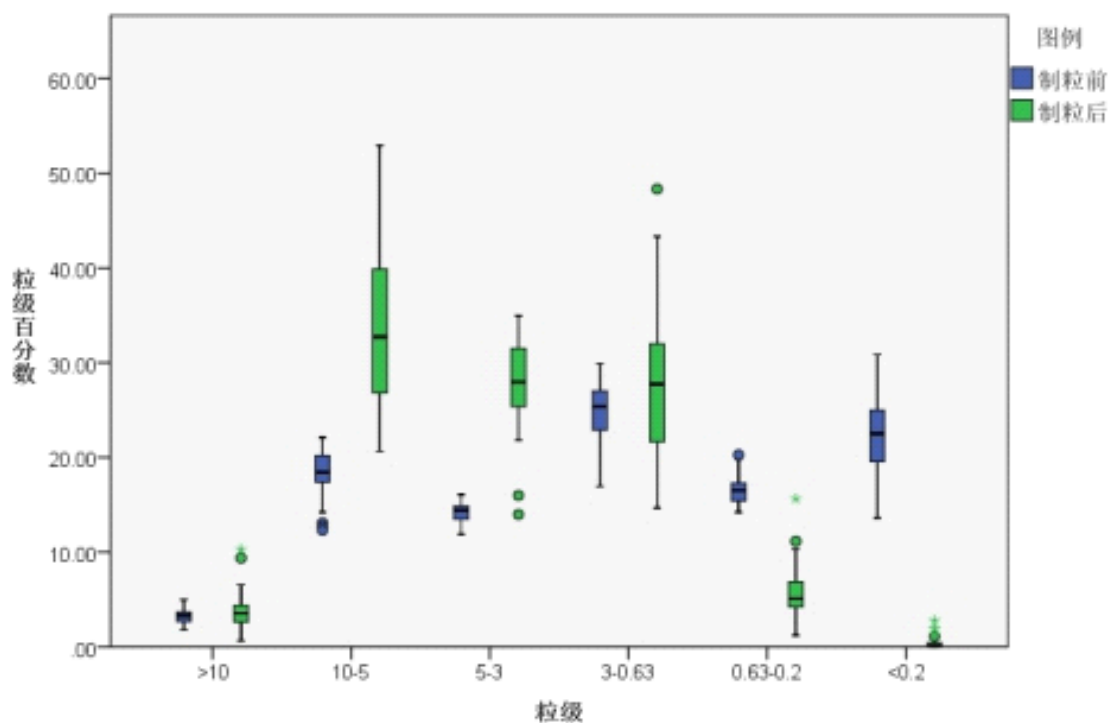


图3 烧结用铁矿粉制粒前后粒度分布箱形图

(1) 制粒后混匀料粒度呈中间大、两头小的山形分布特征，粒度大都集中在0.63~10mm的范围；

(2) 粒度>10mm部分在制粒前后变化不大，表现特征为含量少、波动小；粒度<0.2mm部分在制粒前后变化最大，制粒后几乎全部消失，不受制粒前粒度分布的影响；0.2~0.63mm部分有所减少，但箱体上下界加长，说明波动较大；3~10mm粒级数量增加明显，0.63~3mm部分有所增加；

(3) 制粒后0.63~10mm部分数量增加，但波动幅度增大，这说明矿种和配水量的变化对0.63~10mm粒级的分布有较大影响。

2.2 、烧结混匀料制粒前后粒度组成变化规律

引入参数P（核粉比）： $P=H/F$

其中：P：核粉比；H：矿粉中0.63～10mm粒级百分数；
F：矿粉中<0.2mm粒级百分数。

矿种	邯邢	司家营	本地	南非	澳粉	杨迪	麦克	巴粗
P	0~0.03	0~0.01	$\frac{0.06 \sim 0.6}{2}$	13~148	1.7~5.4	8~30	2.2~5.3	2.1~5.6

经统计，烧结混合料中核粉比一般在1.5～2.5之间时烧结具有较好的生产指标；因此，以**粘附粉和核矿石为主要存在形态的矿粉互补使用**是烧结原料结构粒度优化、降低生产成本的重要手段。

3、铁矿石基础特性对烧结过程影响规律研究

问题的提出：

烧结用铁矿粉在高温性能试验中的表现是否与实际烧结过程中的表现特征相一致？

烧结混匀料在制粒以后，各种原料的粒度分布实际上是不均匀的。由于对烧结过程液相产生起关键作用的矿化反应与矿粉的种类、粒度、温度气氛条件、碱度等因素有关，因此在形成的粉状物料包裹核矿石的结构中，对更易于接触燃料和熔剂的被粘附粉状物料而言，其对烧结过程的影响方式应不同于核矿石。

为了更多地掌握铁矿粉在实际烧结过程中的变化规律，我们对选择的磁铁矿和赤铁矿在改变试验条件的情况下，对铁矿粉液相流动性和同化性两个高温性能指标进行了深入的研究。

两个有趣的试验：第一个为气氛条件对铁矿粉液相流动能力的影响，第二个为铁矿粉存在状态对同化性能的影响。

3.1 、气氛条件对铁矿粉液相流动能力的影响

表1 试验用原料的化学成分及基础特性

矿种	代号	化学成分										基础特性	
		TFe	S	SiO2	CaO	MgO	Al2O3	P	烧损	FeO	TiO2	流动性指数（1280℃，R=4.5）	同化性
磁铁矿	A	66.31	0.092	6.36	0.27	0.41	0.5	0.005	-2.84	29.17	0.25	5.53	1295
	B	64.46	0.161	4.08	1.24	1.44	0.66	0.007	-0.77	26.01	0.599	1.48	1300
	C	63.03	0.14	6.82	0.45	1.13	0.54	0.013	-0.33	15.23	0.18	8.46	1326
	D	65.58	0.119	3.43	1.36	2.24	0.54	0.001	-1.73	27.52	0.072	0.26	1328
赤铁矿	E	62.88	0.053	4.51	0.08	0.07	2.27	0.072	3.41	0.22	0.13	2.47	1246
	F	66.12	0.031	4.16	0.19	0.07	1.41	0.062	1.06	0.57	0.12	2.23	1215
	G	66.69	0.103	1.31	0.05	0.05	1.14	0.034	2.13	0.14	0.09	0	1278
分析纯CaO		-	-	0.04	94.37	0.31	-	-	1.22	-	-	-	-
混合灰		-	-	3.37	53.09	10.01	-	-	24.51	-	-	-	-

为了增加对比性，分别选择了流动性和同化性存在较大差异的磁铁矿和赤铁矿进行试验。

A、B矿和C、D矿的同化性能接近，流动性能差别大，E、F矿与G矿流动性指数有较大差别。

3.1 、气氛条件对铁矿粉液相流动能力的影响

表2 液相流动性温度及气氛控制制度（T=1280℃）

试验制度	温度（℃）	室温～600	600～1000	1000～1150	1150～T	T		T～1150	1150～1000	1000～室温
制度1	时间min	4	1	1.5	1	4		2	1.5	自然降温
	气氛5L/min	空气	氮气	氮气	氮气	氮气		空气	空气	空气
制度2	时间min	4	1	1.5	1	4		2	1.5	自然降温
	气氛5L/min	空气	氮气	氮气	氮气	氮气		氮气	氮气	氮气
制度3	时间min	4	1	1.5	1	4	2	2	1.5	自然降温
	气氛5L/min	空气	氮气	氮气	氮气	氮气	空气	空气	空气	空气

3.1 、气氛条件对铁矿粉液相流动能力的影响

表3 铁矿粉在不同温度气氛条件下的液相流动性

矿种	A	B	E	F	G
制度1	5.53	1.48	2.47	2.23	0
制度2	3.16	0	2.42	2.03	0
制度3	-	1.65	2.42**	2.03*	0

磁铁矿A、B对气氛条件的敏感程度要高于赤铁矿E、F、G，具有强流动能力的磁铁矿A在制度2的氮气条件下，流动能力下降了40%，由5.53降低到3.16；而具有较弱流动能力的磁铁矿B在制度2的氮气条件下，流动指数由1.48降为0。赤铁矿E和F在制度2的氮气条件下，流动指数变化不大，而在制度3的条件下试样上部均发生了变形，在试验中观察E矿变形程度高于F矿，但两种矿的液相流动范围并没有发生变化。G矿在三种制度下没有发生变化。

气氛条件对磁铁矿液相流动能力的影响要强于赤铁矿。

3.2 、铁矿粉存在状态对同化性能的影响

试验设计思路：

选择同化性能差别不大，流动性指数有较大差别的C、D矿和E、G矿进行同化性试验。将制成的铁矿粉样柱及少量同种散状矿粉均置于CaO灰饼上，然后放入试验装置中，在给定条件下焙烧。以样柱和散状料与CaO小饼接触面发生形变为特征，测定不同铁矿石达到这一特征的温度。由此评价不同铁矿石的同化性。

表4 同化性试验温度及气氛条件

温度（℃）	室温～600	600～1000	1000～1150	1150～T	T	T～1150	1150～1000	1000～室温
时间min	4	1	1.5	1	4	2	1.5	自然降温
气氛5L/min	空气							

3.2 、铁矿粉存在状态对同化性能的影响

表5 同化性试验数据（℃）

矿种	C	D	E	G
样柱	1326	1328	1246	1278
散状	1218~1233	1227~1241	1145~1166	1161~1207
散状料消失区间	15	14	21	46

表中散状料温度区间表示矿粉开始反应温度和小料堆消失时的温度间隔

铁矿粉以柱状和分散状存在的情况下，磁铁矿C、D的同化温度均高于赤铁矿E、G，分别高出70℃和60℃左右，磁铁矿C与D同化温度接近，赤铁矿E比G低22℃；矿粉以散状方式存在时，其开始变形温度比样柱方式存在时低约100℃，从表5可见，这种特征与矿粉的种类无关；磁铁矿C与D散状料消失的温度区间接近，约为15℃，而且低于赤铁矿E和G，G矿散状料消失区间最大，为46℃，这与该矿液相流动性差（流动指数为0）有关。

粉状物料对液相的产生能力、数量及性能等方面有更重要的影响，烧结中应当更加注重对粉状铁矿物的优化。

4、铁矿石液相流动性的多元线性回归分析

在烧结过程中所产生的液相对烧结矿的产质量具有重要的作用。铁矿粉在烧结过程中形成液相的流动能力，将**直接体现在以液相固结为基础而形成烧结矿的强度、成品率等指标方面。**

影响液相流动性的因素很多，有外界条件如烧结温度、气氛条件、烧结矿碱度等的变化而使铁矿石表现出不同的流动能力，也有铁矿石自身特性如化学成分、矿物类型、致密程度等的不同而使矿种间液相流动性存在差异。

遇到新的问题：烧结所用铁矿粉的化学成分并不是固定不变的，在不同的时期或不同阶段，即使是同一种矿其化学成分也不稳定，能否按照当时试验条件下铁矿粉的流动性指数对烧结过程进行指导？

4、铁矿石液相流动性的多元线性回归分析

我们对邯钢烧结常用铁矿粉分别进行了单矿及混合矿的流动性试验，产生的数据应用SPSS对铁矿石中主要化学成分对液相流动指数的影响进行了回归分析，结果表明矿石中 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 、 CaO 对流动性指数影响显著，经检验回归模型预测流动性指数效果明显，在一定成分范围内可作为液相流动能力的预测工具。

回归公式：

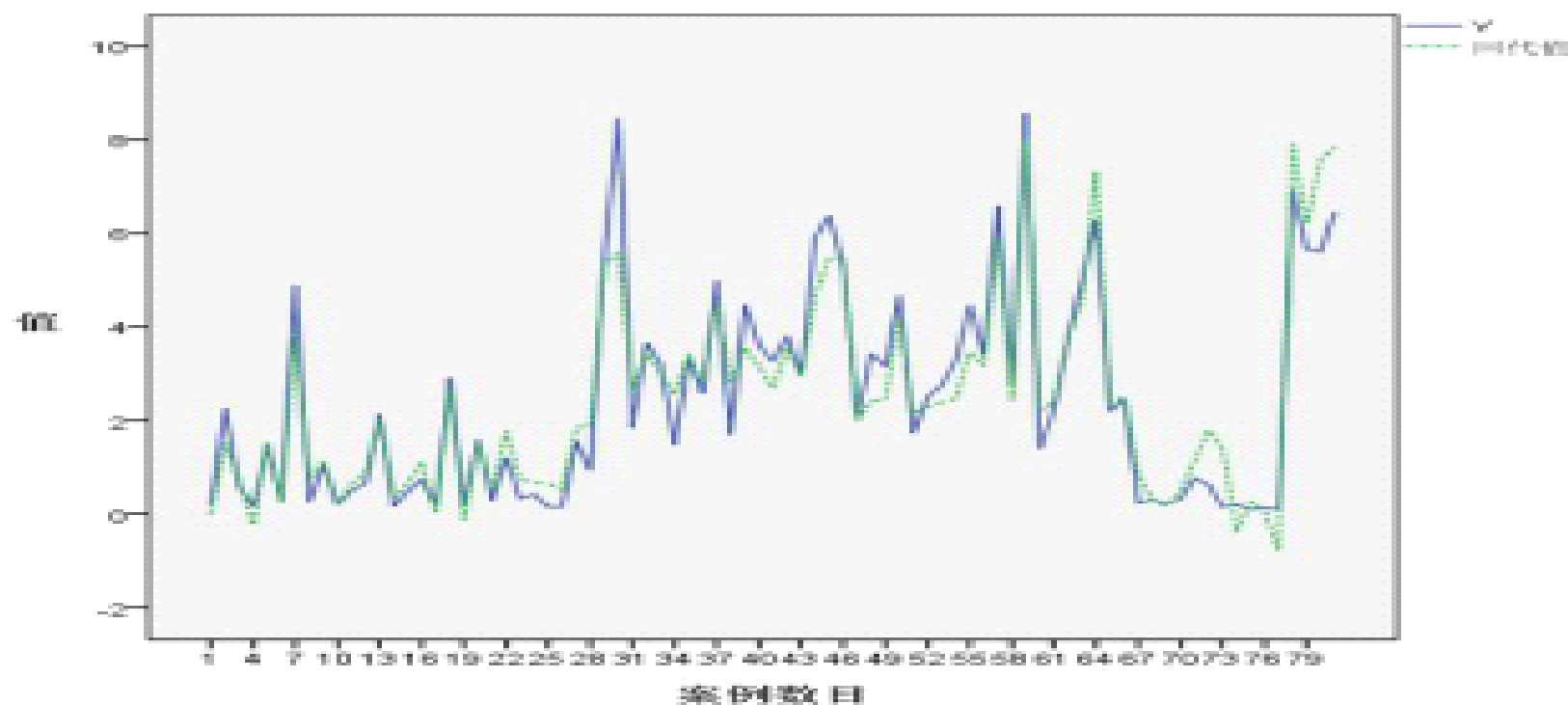
$$L = 1.231\text{SiO}_2 - 0.585\text{CaO} - 0.484\text{MgO} - 0.43\text{Al}_2\text{O}_3 - 1.83$$

其中：L—液相流动性指数

$\text{SiO}_2 = 1.3\% \sim 9.2\%$ ； $\text{CaO} = 0.05\% \sim 1.85\%$ ； $\text{MgO} = 0.04\% \sim 5.47\%$ ；

$\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.16\% \sim 2.68\%$

4、铁矿石液相流动性的多元线性回归分析

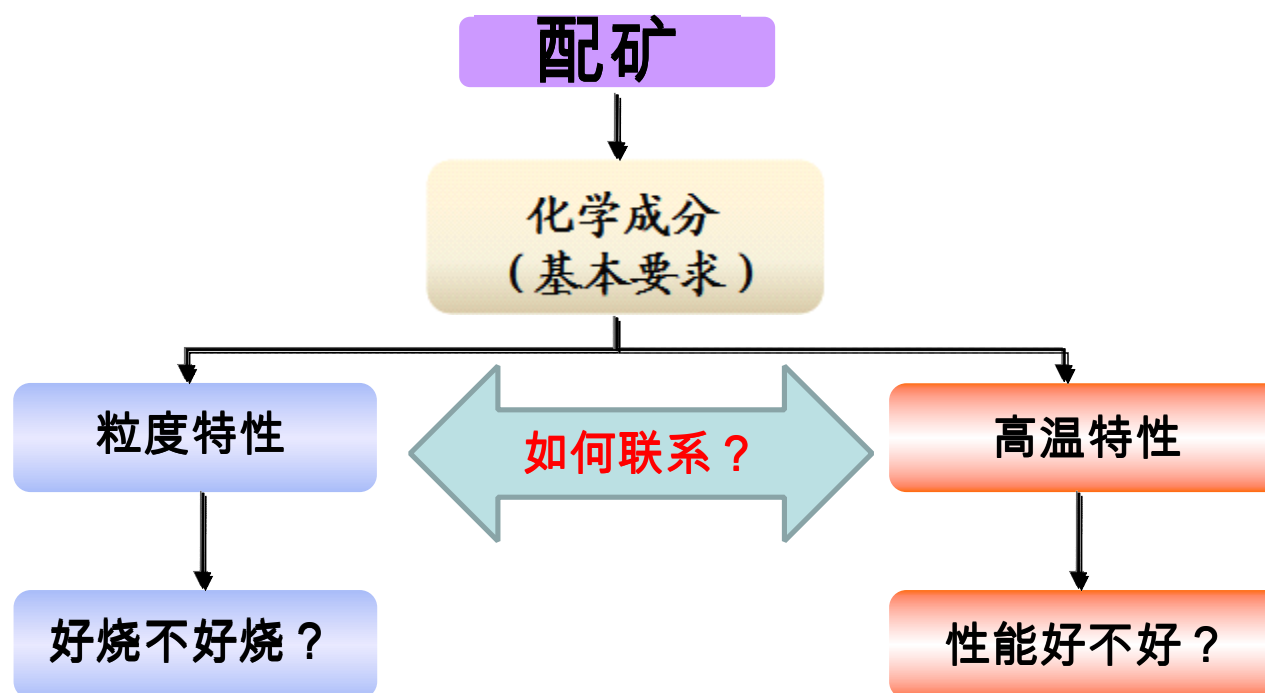


预测值能够较好的反映实际值的变化趋势，
具有较高的拟合程度。

5、基于核粉比和液相流动性的配料结构优化

需要思考的问题：

实际生产中，如何兼顾铁矿粉的常温特性和高温特性，做到烧结原料结构的系统性优化？



5、基于核粉比和液相流动性的配料结构优化

试验案例：

以混匀料核粉比与液相流动性为主要调控参量，对结构进行调整，试验方案见表1所示；试验在烧结杯中进行，控制相同的试验条件。

表1 烧结杯试验方案

方案	混匀料配比 (%)										烧结优化参数		
	PB	纽曼	杨迪	巴卡	南非	邯邢	司家营	高碱	返矿	合计	核粉比	流动性指数	焦粉
基准	13	13	26	14	10	9	2	4	9	100	3.22	1.52	4.9
方案1	13	13	26	9	10	8.5	8	4	9	100	2.48	2.5	4.9
方案2	13	13	26	9	10	8.5	8	4	9	100	2.48	2.5	4.3

表2 烧结矿化学分析

方案	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	P	S	TiO ₂	R ₂
基准	56.95	5.22	10.41	1.99	2.06	7.62	0.063	0.039	0.174	1.99
方案1	57.04	5.37	10.8	2.13	2.08	8.9	0.059	0.038	0.11	2.01
方案2	57.07	5.23	10.55	1.93	2.15	7.04	0.064	0.049	0.1	2.02

5、基于核粉比和液相流动性的配料结构优化

表3 烧结杯试验结果

方案	烧结矿粒度组成 (%)						平均 粒径 mm	转鼓 (%)		成品 率 (%)	垂直烧 结速度 mm/分
	>40mm	40-25mm	25-16mm	10-16mm	5-10mm	<5mm		>6.3mm	<0.5mm		
基准	8.3	15.0	14.1	15.3	18.0	29.4	15.1	62.5	5.0	70.6	19.3
方案1	9.4	15.3	16.6	18.1	16.8	23.9	16.3	64.1	4.1	76.1	18.5
方案2	6.7	10.5	15.6	17.1	19.3	30.7	13.8	61.3	4.7	69.3	22.0

方案1通过对基准方案中核粉比和液相流动性两个参量的调整，使之接近前期试验中的理想值后，烧结矿强度及成品率指标有明显提高，其中，转鼓强度提高了1.6%，成品率提高5.5%，耐磨强度也有所改善；方案2在方案1的基础上降低了0.6%的焦粉量，与基准相比，烧结矿强度及成品率指标相差不大，而垂直烧结速度增加了2.7mm/分，可以在一定程度上提高生产效率。

混匀料中核粉比和液相流动性参数的优化不仅可以作为改善烧结矿生产指标的有效手段，而且是烧结过程节焦降耗的有效方法。

三 球团原料结构优化

球团特点

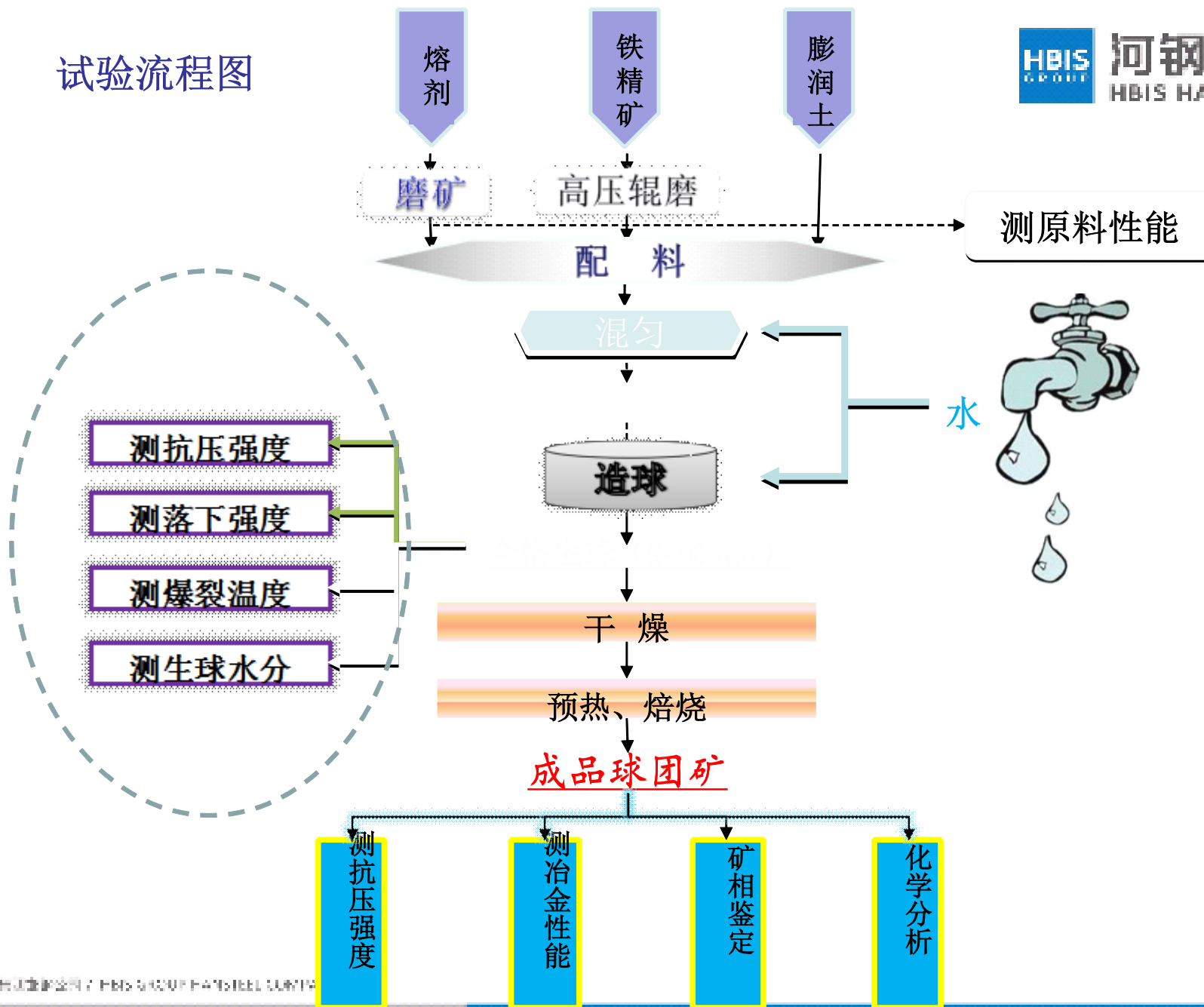
球团矿作为良好的高炉炉料，不仅具有**品位高、强度好、易还原、粒度均匀等优点**，而且酸性球团矿与高碱度烧结矿搭配，可以构成经济合理的高炉炉料结构。

经济合理的氧化球团焙烧方法：**链篦机-回转窑法、带式焙烧机法、竖炉法**。邯钢有两条年产200万吨链篦机-回转窑，目前在用产线一条。
球团固结机理：**铁精矿固相再结晶（为主）**；**熔剂性球团-部分液相固结**。

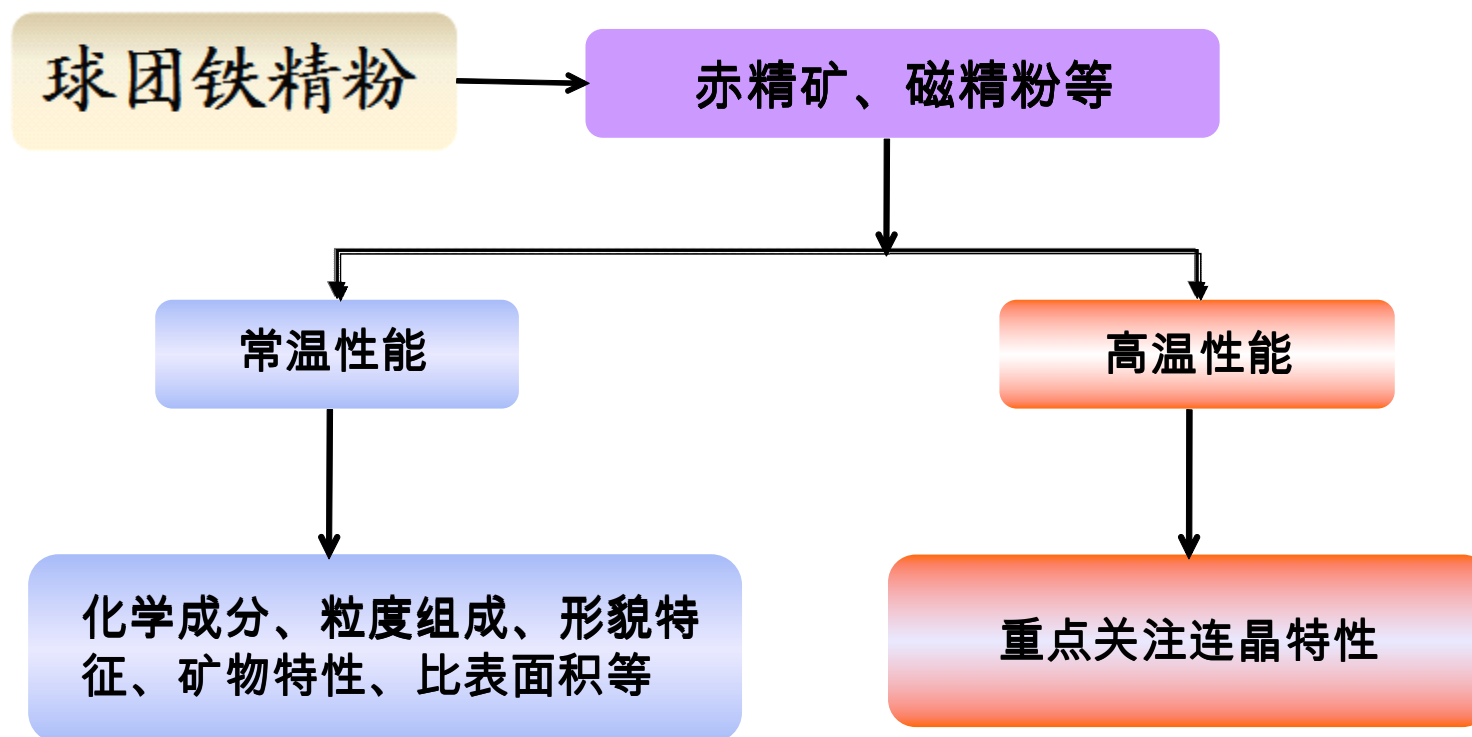
球团优化配矿

基于球团矿固结机理，应用固相再结晶特性的优化技术，合理利用资源。

试验流程图



1、球团用铁精粉基础性能



2、铁精粉成球性评价方法

静态成球性

成球性指数是利用最大毛细水和最大分子水对细粒物料成球难易作静态评价。前者表明试验用料粒度和孔隙率的情况，后者表明试料的表面对水的吸附能力，二者皆说明试料的润湿特性，因此成球性指数能很好地说明固相与液相间相互作用的性质及细粒物料的聚集过程。

$$K = \frac{W_{\text{分}}}{W_{\text{分}} - W_{\text{干}}}$$

$K < 0.2$ ，无成球性；

$K = 0.2 \sim 0.35$ ，弱成球性；

$K = 0.35 \sim 0.6$ ，中等成球性；

$K = 0.6 \sim 0.8$ ，良好成球性；

$K > 0.8$ ，优等成球性。

动态成球性

在迪克逊法基础上加以改进。

具体方法：将一定量配制好的造球原料全部倒入造球盘中，在固定造球参数（造球时间、加水量、倾角、转速等）条件下进行造球，造球结束后按照20mm、16mm、12.5mm、10mm、9mm及5mm圆孔筛进行筛分，以大于9mm粒级百分数作为成球性指数，以9mm ~ 16mm粒级百分数作为成品球率，取10mm ~ 12.5mm生球进行落下强度及抗压强度性能检测。以此评价单种矿或混合矿的成球性。

3、改善球团质量的技术攻关

背景

邯钢球团用原料结构中**40%**以上来自于进口矿，虽然其具有较好的造球性能，但价格较高，迫于成本压力，不得不降低其配比而加大低价精粉的用量；而国产精粉则存在矿点儿多、优质资源少，大多粒度粗且均匀性差、品质低、供应不稳定的问题。司家营精粉相比优质铁精粉不仅具有价格优势，而且资源供给稳定可靠，但由于其属于半磁铁矿，配加后出现了生球表面粗糙、易脱落、生球强度下降，导致链篦机透气性变差、回转窑内粉尘增多、严重影响焙烧效果，生产指标曾一度下滑，作业率下降到**47.63%**，能耗增加到**45.8m³/t**，利用系数仅为**5.08 t/m².台时**；为维持生产的稳定顺行，司家营精粉配比长期维持在**5%~10%**。在成本、稳产双重压力下，提高司家营精粉配比生产优质球团，提高经济技术指标成为球团攻关的主要内容。

3.1、铁精粉基础性能

结构类别	矿种	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	S	FeO	K	Na	Zn	磁性率
进口精粉	乌克兰	64.78	8.4	0.33	0.48	0.3	0.002	0.114	27.45	0.022	0.043	0.001	2.36
	智利	65.93	4.31	0.59	0.41	1.26	0.008	0.437	26.44	0.29	0.12	0.013	2.49
自有资源	司家营	64.63	6.94	0.28	0.46	0.49	0.021	0.041	16.67	0.059	0.038	0.016	3.88
本地酸精	密云	66.58	5.03	0.43	0.61	1.13	0.002	0.142	25.72	0.075	0.073	0.014	2.59
	东北	65.48	7.61	0.38	0.35	0.32	0.005	0.124	27.3	0.024	0.03	0.013	2.4
	和耀	65.51	6.56	0.68	0.36	0.7	0.014	0.412	33.48	0.048	0.053	0.011	1.96
	五矿	62.88	6.56	0.35	0.76	1.16	0.004	0.104	3.59	0.088	0.017	0.004	17.52
	鹏捷	61.83	5.63	1.21	1.08	1.09	0.027	0.087	23.06	0.082	0.072	0.12	2.68

为衡量铁矿石的氧化程度，通常用磁性率，即全铁和亚铁含量的比值大小来衡量，比值越大，铁矿石的氧化程度也越高。当 $TFe/FeO < 3.5$ 为原生磁铁矿， TFe/FeO 为 $< 3.5 \sim 7.0$ 时，属半磁矿，当 $TFe/FeO > 7.0$ 时为氧化矿，由表可知**司家营为半磁矿**，五矿精粉为氧化矿，其余均为磁铁矿。

3.1、铁精粉基础性能

结构类别	矿种	目数（目数累计百分数）					
		-325	-270	-200	-100	-70	-50
进口精粉	乌克兰	78.99	85.02	94.95	100.00	100.00	100.00
	智利	76.94	83.54	94.45	100.00	100.00	100.00
自有资源	司家营	59.43	67.17	83.21	99.78	100.00	100.00
本地酸精	密云	51.65	57.71	71.99	96.29	99.82	100.00
	东北	44.87	51.78	68.58	97.23	99.96	100.00
	和耀	41.40	47.64	63.11	92.00	98.59	100.00
	五矿	65.28	72.57	86.24	99.56	100.00	100.00
	鹏捷	51.35	57.56	71.55	94.13	98.97	100.00

两种进口精粉小于200目粒级占比达94%以上，具有良好的造球条件；司家营-200目粒级占83.21%；本地酸精中除五矿200目粒级超过80%以上，其余粒度相对较粗。

3.1、铁精粉基础性能

矿种	乌克兰	智利	司家营	密云	东北	和耀	五矿	鹏捷
最大毛细水 (%)	16.14	16.93	14.89	14.93	14.31	14.73	15.51	19.72
最大分子水 (%)	6.2491	5.1097	4.2812	4.1074	3.7004	2.7937	4.6223	4.8032
静态成球性指数 (K)	0.63	0.43	0.40	0.38	0.35	0.23	0.42	0.32

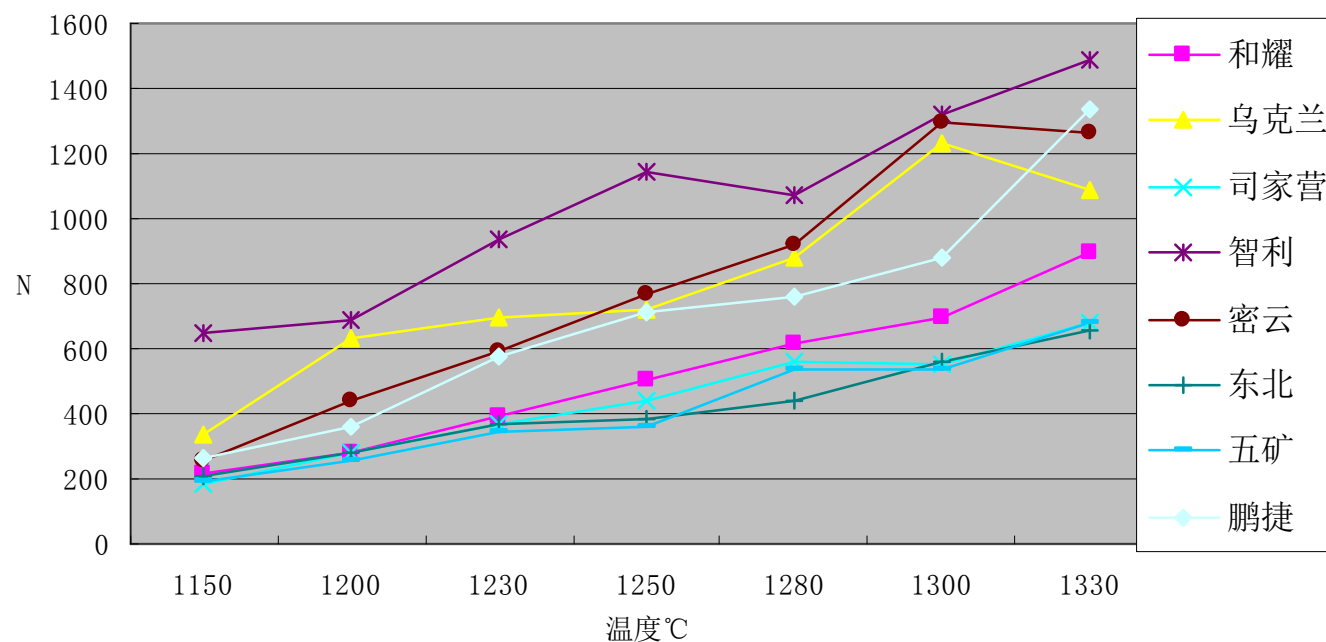
8种矿粉中成球性指数K均小于0.8，说明当时邯钢球团用精粉中没有优等成球性矿粉。相比之下乌克兰的成球性指数最大，为0.63，属良好成球性；成球性指数最小的为和耀，指数为0.23，其次为鹏捷，指数为0.32，属于弱成球性；其余精粉K值在0.35-0.6之间，属于中等成球性。

3.1、铁精粉基础性能

矿种	生球粒级 (%)							成球性 指数	成品球 率 (%)	生球落下强度 (次/个)	生球抗压强 度 (N/个)
	>20mm	20—16mm	16—9mm	9—5mm	<5mm	粘料	合计				
司家营	0	0.25	38.78	9.13	0.25	51.58	100	39.0	38.78	1.8	5.8
首云	0	5.07	28.64	0.13	0.13	66.03	100	33.7	28.64	3.1	7.4
威克	0	0.51	36.19	1.01	0.51	61.79	100	36.7	36.19	2.3	6.9

司家营静态成球性指数略高于两种密云精粉，表现出动态成球性指数及成品球率高于其它两种密云精粉；但是两项强度指标是三种精粉中最差的，容易造成后续链篦机透气性变差，破坏回转窑焙烧气氛，因此球团提高司家营配比在造球阶段需要解决的技术关键是改善生球强度指标。---静态成球性指数反映不出生球强度指标。

3.2、铁精粉高温性能



八种矿粉的连晶强度在不同的温度区段各有差异，这由矿种自身特性决定的。从图中变化趋势可见，司家营、东北、五矿、和耀随温度的升高强度稳定增加，在整个温度区间内强度表现较差，处于温度特性曲线图的下方，而智利、乌克兰、密云强度较高，处于趋势图上方。-----球团提高司家营配比在预热焙烧阶段需要解决的技术关键是采取适宜的热工制度及连晶特性互补原则以改善球团强度指标。

3.2、铁精粉高温性能

链篦机-回转窑生产球团工艺过程中，球团表面由于挤压、摩擦或滚动造成不同程度的矿粉脱落，严重时会影响料层透气性、破坏窑内焙烧气氛、增大粉尘量，从而影响球团的焙烧效果，甚至结圈，球团表现为存在一定程度的未反应核，还原性等冶金性能指标下降。为了达到定量评价球团脱落程度的目的，在大量试验的基础上设计了一种球团表面脱落性的检测方法，通过模拟链篦机料层及温度场在加热炉中对球团进行预热，然后模拟回转窑球团滚动磨损状况，对球团表面脱落程度进行定量评价，以脱落量与初始球团重量的比值作为脱落性指数K，同时建立了K与预热温度T之间的对应关系，可对不同温度下的脱落程度进行预测。

回归方程为： $K=b_0e^{b_1T}$ ，其中 **$b_0=1.389E10$** ， **$b_1=-3.041$** ，相关系数为**0.992**。

矿种	司家营	密云	智利
脱落指数 (K)	4.7	3.75	2.27

从表可知智利脱落程度最低，为2.27，首云精粉略好于司家营，而司家营最差。因此，球团提高司家营配比工艺上需要采取相应措施，减少球团表面矿粉脱落造成料层透气性变差，改善焙烧气氛。

3.3、优化试验

对球团配加**30%司家营精粉**的工艺优化分为两个部分进行，第一部分利用正交试验技术确定造球工艺参数，以改善生球性能；第二部分利用高温连晶特性优化技术确定合理热工制度，以提高成品球性能。

3.3.1、造球优化

针对球团配加司家营后对生球强度、预热球团抗压强度和表面脱落等性能的影响，选择膨润土、水分和造球时间作为主要影响因素，正交试验表头设计如表所示。正交试验所用混匀料结构为司家营30%+智利25%+本地酸精45%。

因素 平	水	A 造球时间(min)	B 造球水分(%)	C 膨润土配比(%)
1		8	8.5	1.5
2		10	9.0	2.0
3		12	9.5	2.5

对混匀料而言，最佳工艺条件为膨润土配比为2.5%，水分为8.5%，造球时间为12分钟。

3.3.2、热工优化

预热温度 ℃	预热时间 min	焙烧温度 min	焙烧时间min	连晶强度N
950	10	1280	10	686
1000	10	1280	10	1016.8
1050	10	1280	10	933
950	10	1280	15	1070.8
950	15	1280	10	1155.2

对司家营配比30%的混匀料通过延长预热时间和焙烧时间均能显著精粉连晶强度

3.3.2、热工优化

焙烧条件	焙烧后强度 (N)	预热后强度 (N)
预热950 (10分) 焙烧1280 (10分)	3016.9	446.4
预热950 (10分) 焙烧1280 (15分)	3110.3	446.4
预热950 (15分) 焙烧1280 (10分)	3278.6	535.7
预热1000 (10分) 焙烧1280 (10分)	2859.8	496.3

通过改变温度制度后预热球强度均超过400N，延长预热时间和焙烧时间均能提高球团强度，而延长预热时间不仅对预热球强度提高明显，而且在不改变焙烧温度和时间的前提下对提高焙烧球团强度也有明显作用；因此，对配加司家营30%的原料结构可通过延长预热时间，在改善预热球强度的情况下，达到提高球团强度的目的。

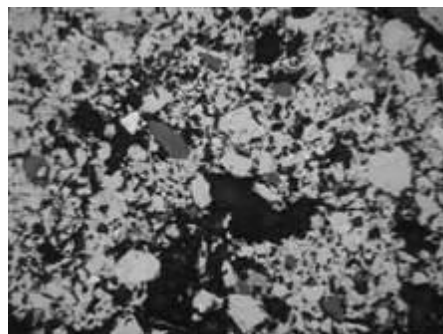
3.4、措施及效果

- 1、采取原料结构互补优化措施，强化原料预混匀。
- 2、适当提高球团混合料中的膨润土配比及水分。膨润土配比提高了0.2个配比。
- 3、调整生产过程中造球工艺参数。球盘倾角调整到了47度，转速调为8.2转/分，给料量每小时降了5吨左右
- 4、焙烧热工制度进行了调整优化。系统温度提高到15~20度，同时对链篦机的温度梯度也做了适当调整，抽干段和预一段的风箱温度相应提高了25度。

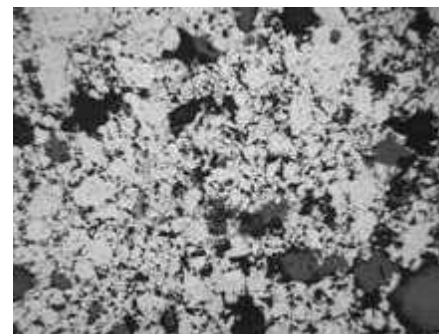
台时产量提高了61.42t/h，利用系数提高2.55t/m².台时，日历作业率提高15.2%

3.4、措施及效果

	优化前				优化后			
矿物名称	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	脉石	孔洞	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	脉石	孔洞
平均	8	74	18	29	2	80	18	28
中心	23	59	18	35	5	79	16	25
一环	32	51	17	30	4	78	18	28
二环	2	80	18	29	1	80	18	28
三环	<1	81	18	28	<1	81	18	28



优化前



优化后

4、熔剂性球团技术攻关

熔剂性球团：在配料过程中添加含有CaO、MgO矿物生产的球团矿。**常见添加熔剂**：石灰石、生石灰、消石灰、白云石、高镁粉、菱镁粉、蛇纹石粉等。

矿物特征：与酸性球团矿相比，其矿物组成较为复杂，除赤铁矿为主外，还有铁酸钙、硅酸钙、钙铁橄榄石；含镁熔剂球团中含有铁酸镁、钙镁橄榄石等。

固结方式：矿物特征决定——固相固结+液相固结。

熔剂性球团优点：

- 1、球团矿还原性得到改善；
- 2、含镁熔剂球团有较高的软化和熔融温度；
- 3、降低高炉焦比、提高高炉产量；
- 4、与烧结相比，球团能耗低、污染小、品位高，氧化球团工序能耗为烧结能耗的一半。

随着球比增加，
发展熔剂性球团
条件的日趋成熟，
熔剂性球团
的发展势在必然。

4、熔剂性球团技术攻关

邯钢开展熔剂性球团技术攻关背景：

- 1、限产季烧结产能受限，烧结矿碱度进一步提高，低烧比+高酸性料比的炉料结构造成高炉经济技术指标下降。
- 2、熔剂部分转移，提高烧结产质量。

4、熔剂球团攻关

熔剂：生石灰细磨-200目；铁精粉：现有精粉；
球团SiO₂控制：小于4%；碱度水平：0.5，0.8，1.0。

造球方案

方案	碱度R	配土/%	用料	成球时间/min
方案1	0.50	老土 3%	实验室	8
方案2	0.50	老土 3%	实验室	8
方案3	0.80	老土 3%	实验室	8
方案4	0.50	新土 2%	实验室	15
方案5	0.80	新土 2%	实验室	15
方案6	1.00	新土 2%	实验室	15
方案7		(湿基)老土 3.2%	现场	15

4、熔剂球团攻关

造球结果

方案	生球粒级(%)						合计	成球性 指数 (%)	成品球 率(%)	生球落 下强度 (次/ 个)	生球抗 压强度 (N/个)
	>20	20—16	16—9	9—5	<5	粘料					
方案1	0.00	9.06	58.75	11.26	0.24	20.93	100.00	67.81	58.75	2.20	9.21
方案2	0.00	4.53	52.67	17.14	1.47	25.66	100.00	57.20	52.67	2.05	9.04
方案3	0.00	6.36	55.78	10.77	0.24	27.09	100.00	62.14	55.78	1.85	8.96
方案4	0.00	2.44	59.51	12.44	0.24	25.61	100.00	61.95	59.51	1.85	8.46
方案5	0.00	7.55	61.14	6.33	0.24	24.98	100.00	68.69	61.14	1.85	8.75
方案6	0.00	0.97	53.82	21.82	32.00	23.39	100.00	54.79	53.82	1.60	7.92
方案7	0.00	0.74	39.60	39.09	1.98	20.56	100.00	40.35	39.60	3.15	9.05

4、熔剂球团攻关

造球结果

方案	球团强度 (N)				
	第一次投笼	第二次投笼	第三次投笼	第四次投笼	第五次投笼
方案1 (R=0.5), 老土3%	1424	1594			
方案2 (R=0.5), 老土3%	1411	1757	1236		
方案3 (R=0.8), 老土3%			1788		
方案4 (R=0.5), 新土2%				1438	
方案5 (R=0.8), 新土2%					1817
方案6 (R=1.0), 新土2%					1363
现场生产酸球, 老土3.2%				3991	
现场球粉试验室造酸球, 老土3.2%					3582

- 1、配生石灰球团强度均不达标；
- 2、经过现场验证，自制球笼是有效的。
- 3、相同结构精粉，试验室造球和现场造球投笼后强度指标明显高于熔剂球团。

4、熔剂球团攻关

改进措施：

- 1、以现场混合料为基准，考察添加白云石对造球性能及焙烧强度的影响；
- 2、白云石粒度要求：-200目大于95%；
- 3、控制球团MgO分别为1.5%、2.0%、2.5%。

造球结果

方案	生球粒级(%)						合计	成球性 指数 (%)	成品球率 (%)	生球落下 强度（次/ 个）	生球抗压 强度（N/ 个）
	>20	20—16	16—9	9—5	<5	粘料					
方案 1(MgO1.5%)	0.00	5.18	50.52	19.96	1.60	24.34	100	55.70	50.52	1.80	8.46
方案 2(MgO2.0%)	0.00	1.95	45.44	26.14	7.09	26.46	100	47.40	45.44	2.00	7.58
方案 3(MgO2.5%)	0.00	9.05	55.75	13.94	0.86	21.27	100	64.79	55.75	1.70	8.71

4、熔剂球团攻关

投笼球化学成分

	Tfe	SiO2	CaO	FeO	S	MgO	TiO2	Al2O3	R2
方案1	63.86	3.31	1.31	0.36	0.025	1.36	0.53	0.95	0.40
方案2	63.42	3.92	1.98	0.29	0.01	1.72	0.5	0.99	0.51
方案3	62.32	3.82	3.03	0.29	0.02	2.35	0.54	0.95	0.79

投笼球性能指标

方案	方案1 (MgO1.5%)	方案2 (MgO2.0%)	方案3 (MgO2.5%)
抗压强度 (N)	1959	1560	1452
膨胀率 (%)	-	52.5%	-



4、熔剂球团攻关

- 继续改进措施：
- 1、按照球团中**R2=1.0**，**MgO=1.8%~2.0%**进行调整。
 - 2、利用试验室现有球粉进行配料，配料原则：以混合精粉自带**MgO**达到**1.8%~2.0%**范围，不再另外添加含镁熔剂；混合料粒度**-200目**控制在**75%**以上水平。
 - 3、熔剂采用细磨石灰石（**-325目**粒级占**75%**以上）和消石灰（自制），在碱度**1.0**条件下考察混合球粉造球性能、焙烧后强度及还原膨胀率指标。
 - 4、改变热工参数，提高预热焙烧温度水平。

造球试验结果

方案	生球粒级(%)						合计	成球性 指数 (%)	成品球 率(%)	生球落下强 度(次/个)	生球抗压强 度(N/个)	生球水 分(%)
	>20	20— 16	16—9	9—5	<5	粘料						
基准	0.00	0.25	46.42	30.62	1.48	22.72	100	46.67	46.42	1.7	8.0	7.20
石灰石球 团	0.00	2.46	61.50	15.25	0.49	20.79	100	63.96	61.50	2.7	8.1	7.76
消石灰球 团	0.00	0.49	75.43	15.57	0.49	8.52	100	75.91	75.43	2.9	9.1	8.24

4、熔剂球团攻关

试验室热工制度

预热温度 (℃)	预热时间 (min)	焙烧温度 (℃)	焙烧时间 (min)	缓冷温度 (℃)	缓冷时间 (min)
950	10	1250	10	950	5

球团性能指标

指标	实验条件	基准	石灰石球团	消石灰球团
强度 (N/球)	试验室	2186	2742	2516
	现场投笼	笼子漏	2999	3672
膨胀率 (%)	试验室	13.03	14.87	13.42
	现场投笼	笼子漏	17.61	16.08

离现场应用面临更多困难!

成功!

四 高炉炉料结构优化

高炉炉料结构优化的目的就是选择合理的炉料结构，也就是在一定时期和一定资源条件下，合理搭配烧结矿、球团矿和天然块矿，优化高炉入炉铁矿石的综合冶金性能，使高炉炼铁获得最佳的技术指标和经济效益的含铁炉料使用结构。

优化方向

各种含铁炉料其冶金性能不同，各有优缺点，通过改善冶金性能、炉料间的合理搭配，发展间接还原，提高煤气利用率，降低高炉燃料消耗；改善炉料高温冶金性能，进一步提高软化和熔融温度，降低软融带位置，从而提高煤气利用率；改善透气性，降低高炉冶炼压差和阻力损失，稳定顺行，达到进一步降低能耗的作用。

总之：冶金性能是高炉炼铁系统高产、低耗、高效的关键。

原料质量是基础：强度、粒度、粉末；化学成分及稳定性；有害元素含量；还原性；烧结矿低温还原粉化；块矿爆裂性；球团还原膨胀；铁矿石高温软融滴落性能等。

1、高炉炉料冶金性能

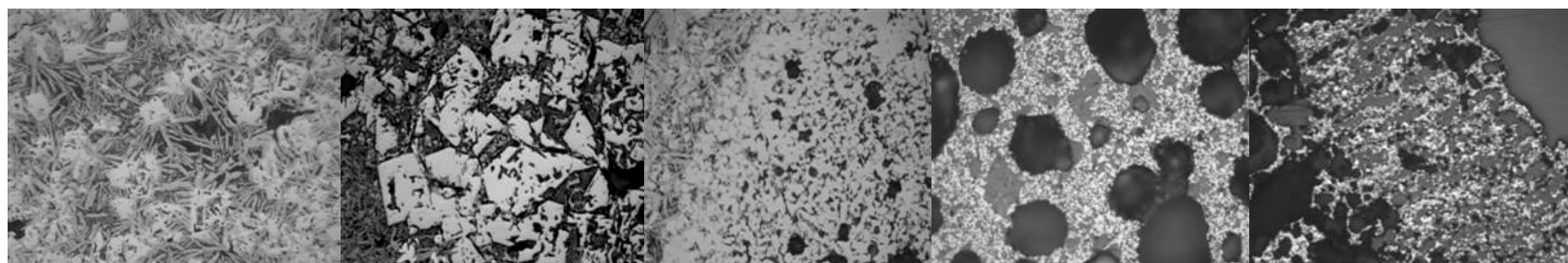
冶金性能：铁矿石在高炉冶炼条件下，表现的高温物理和化学性能。

目标：间接还原性好；良好的高温软化和熔滴性能；烧结矿低温还原粉化率低；球团矿还原膨胀率低；块矿热裂小，炉料搭配合理。

还原性：铁氧化物变成铁的难易程度的度量。

提高间接还原度，降低直接还原度。邯钢烧结矿还原度85%左右，球团65%左右。

组织结构决定矿物的冶金性能表现。



2 高炉入炉生矿还原行为

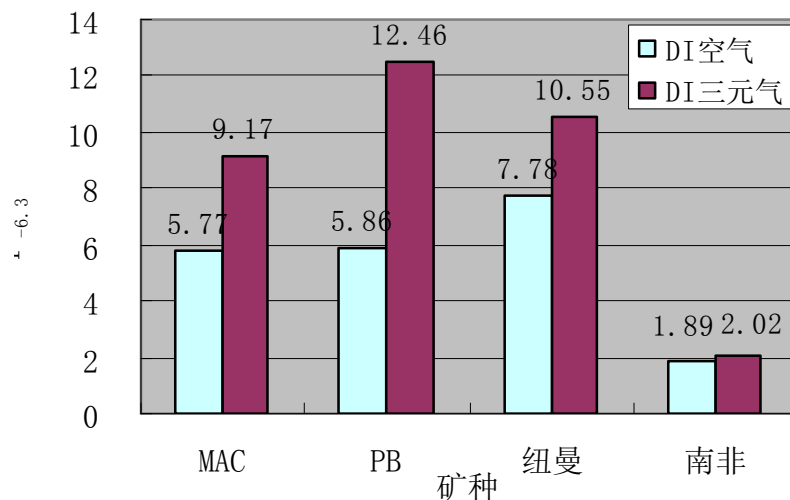
近年来国内外不少钢铁企业高炉的炉料结构中熟料比却有所下降，天然块矿的使用比例增加，有资料显示，进入**21世纪**以来，日本、韩国及欧洲部分高炉块矿比例甚至超过**20%**，国内部分高炉生矿比例也在**15%~20%**，甚至更高。上述炉料结构的变化无外乎是**资源可获取性、技术可行性及经济性**等作用的结果。

天然块矿在价格上较为便宜，在工艺上不需造块就可直接入炉；而且，有研究表明天然块矿使用比例提高到**23%甚至27%**时，综合炉料仍有较好的软化熔滴性能，能够满足高炉冶炼的要求。由此，钢铁企业将增加块矿配比作为降本增效、减轻环保压力的有效手段而竞相采纳。

但同时需要注意到天然块矿在粒度组成、有害成分、热爆裂性及软熔性能等方面存在的诸多不利因素对高炉生产的影响，而且不同矿种的影响程度各有差异，在**实际应用中应当加以区别对待**。

2 高炉入炉生矿还原行为

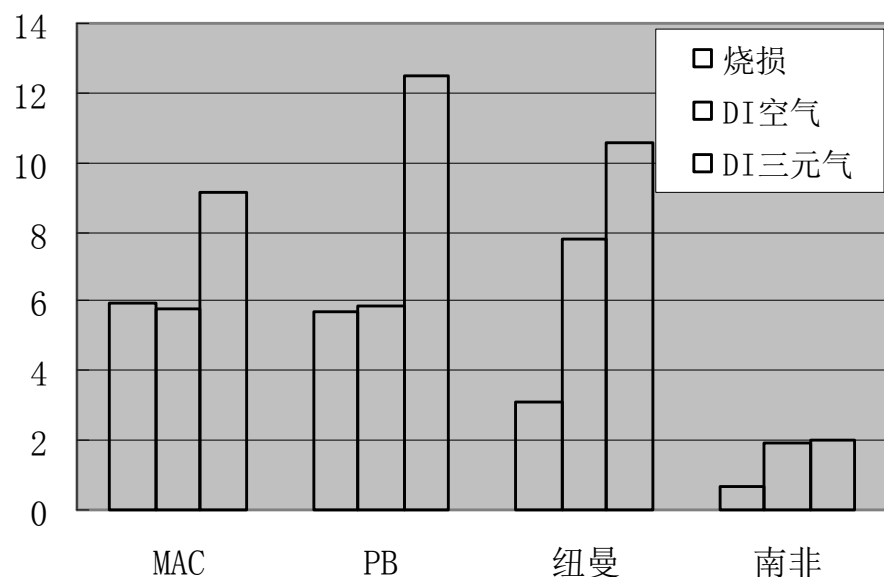
在邯钢高炉炉料结构中，澳块被视为一种生矿而使用，但实际生产中，由于资源条件方面的原因其组成并不是单一矿种，而是由PB、MAC、纽曼构成，三个矿种的具体情况由资源量的变化而有所改变。为掌握三个矿种对高炉生产的影响，在空气和还原两种气氛条件下对包括南非矿在内的四种块矿进行了热爆裂性能试验，以此对四种块矿爆裂性能进行对比。



两种条件下块矿热爆裂指数柱状图

在空气条件下四种块矿热爆裂性能排序由好到差为：南非>MAC>PB>纽曼，南非的 $DI_{6.3}$ 值最低，PB和MAC接近，纽曼最差为7.78；而在三元气条件下各矿都表现出爆裂性能变差的趋势，说明还原气氛对生矿爆裂指数有不利影响，还原条件下爆裂性能排序由好到差为：南非>MAC>纽曼>PB，南非的 $DI_{6.3}$ 值最低，而PB最差，为12.46。

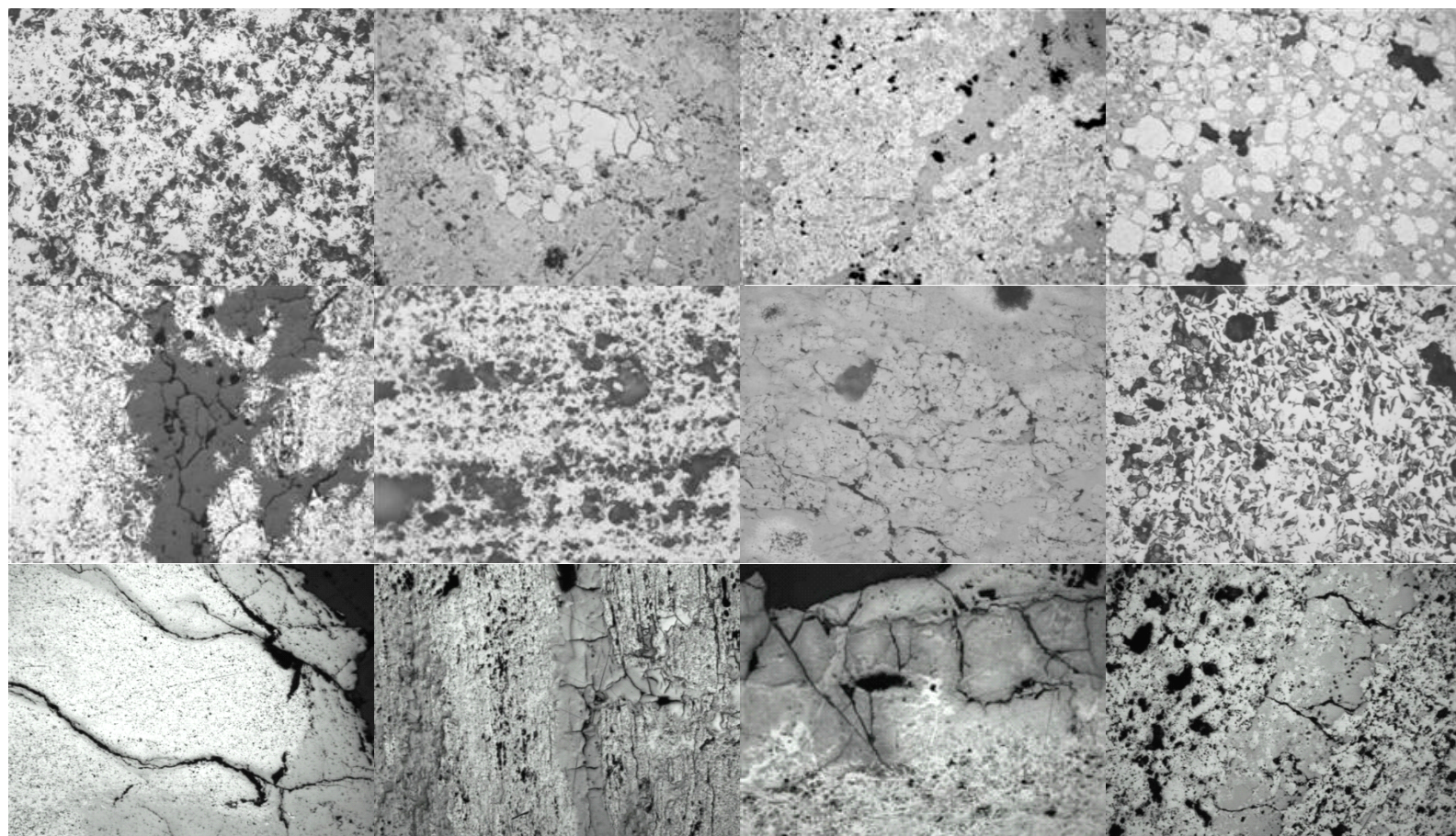
2 高炉入炉生矿还原行为



四种块矿烧损与热爆裂指数对照图

在两种条件下，南非矿烧损最低，热爆裂指数也最低；但**MAC、PB、纽曼**三种矿相比，**DI_{6.3}**与烧损之间没有明显的对应关系，不能说明烧损低热爆裂性能就好。纽曼矿烧损低于**MAC**和**PB**矿，但其在空气条件下的爆裂性能最差，在三元气还原条件下的爆裂性能却比**PB**好；而**MAC**和**PB**烧损相近，虽然在空气条件下两者爆裂性能也接近，但在三元气还原条件下，**PB**矿爆裂性能明显变差，说明还原气氛对**PB**矿的爆裂性能影响显著。

2 高炉入炉生矿还原行为



原矿

空气
爆裂

还原
爆裂

南非

MAC

PB

纽曼

2 高炉入炉生矿还原行为

生矿自身组织形态特征是其爆裂行为存在差异的根本原因，而裂纹的产生和分布是生矿爆裂的根源。由矿相分析可知，三种澳矿与南非相比，试验前后矿样中裂纹的存在方式和分布是有区别的，南非矿中裂纹大多出现于脉石颗粒上，其分布受限于交织状赤铁矿组织，该组织有良好的强度，使裂纹难于进一步发展，还原气氛仅对矿样影响不大；也即，两种条件下南非矿 $DI_{6.3}$ 值差别不大，在四种矿中具有最好的爆裂性能。而三种澳矿产生裂纹的主要原因是其矿物组织中均含有褐铁矿，褐铁矿在受热的条件下结晶水会分解，从而使组织受到破坏，其破坏程度与褐铁矿的存在方式有关，由图可见MAC、PB与纽曼矿中褐铁矿区域均存在较多纵横交错的裂纹，但结构上MAC和PB矿比纽曼较为疏松，结晶水分解反应不如纽曼强烈，而纽曼矿中致密的褐铁矿组织受热后剧烈的分解反应会造成更大的破坏，使纽曼 $DI_{6.3}$ 值明显高于MAC和PB矿；此外，三种矿中褐铁矿分解后产生的裂纹为还原气体提供了条件，使块矿组织需要承受结晶水分解和晶形转变两种应力，因此三种生矿在还原气氛下 $DI_{6.3}$ 值普遍升高，尤其PB矿 $DI_{6.3}$ 值达到12.46，增加了一倍多，这与其褐铁矿含量高有关，在选择PB矿作为入炉料时，不得不考虑其爆裂行为对高炉炉况的影响。

2 基于氧化镁转移的炉料结构优化

主体思路：

将烧结矿中部分MgO转移到球团中，分别考察烧结降低MgO前后产质量变化情况，以及球团矿提高MgO前后球团性能的变化情况；在此基础上，按照同一炉渣条件考察炉料结构的熔滴性能，最后评价MgO转移后低烧比条件下炉料结构优化方案。

2 基于氧化镁转移的炉料结构优化

烧结杯试验方案

方案	烧结料配比 (%)				计算成分 (%)				R ₂
	混匀料	白云石	生石灰	焦粉	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	
高镁	82.38	5.48	7.54	4.6	54.81	5.01	11.27	2.05	2.15
低镁	84.21	1.75	9.44	4.6	55.53	4.98	11.21	1.55	2.15

烧结杯试验结果

方案	烧结矿粒度组成 (%)						平均 粒径 mm	烧结料 水分 (%)	转鼓 (%) >6.3 mm	成品率 (%)	垂直 烧结速度 mm/分	真空室 最高温度 ℃
	>40 mm	40-25 mm	25-16 mm	10-16 mm	5-10 mm	<5 mm						
高镁	6.0	23.9	22.6	16.4	14.0	17.2	18.4	7.44	69.2	82.8	19.4	381
低镁	9.2	25.6	22.8	14.3	12.6	15.5	19.9	7.26	72.1	84.5	19.7	428

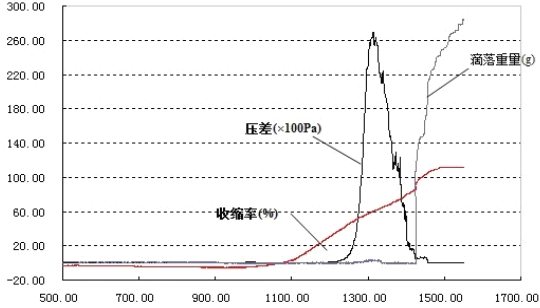
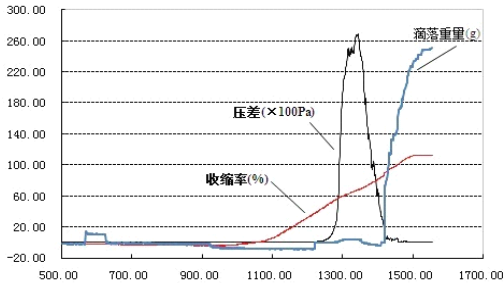
与基准方案相比，MgO由2.05降低到1.55后，在垂直烧结速度略增0.3mm/分的情况下，烧结矿转鼓强度提高了2.9%，成品率提高1.7%；表明：在相同碱度条件下，低镁烧结可以在一定程度上改善烧结产质量指标。

2 基于氧化镁转移的炉料结构优化

镁转移前后炉料熔滴性能

结构	T10	T40	Ts	Td	△T软	△T熔	△T	△Pmax	S	5分钟 滴落量
1	1119.2	1228.8	1258.85	1419.5	109.6	160.65	300.3	26.84	2154.69	137.8
2	1130.3	1231.75	1239.55	1426.35	101.45	186.8	296.05	27	2121.93	172.4

铁矿石高温荷重还原熔滴试验报告				铁矿石高温荷重还原熔滴试验报告			
试验编号: NO.20191023		检验日期: 20191023		试验编号: NO.20191024		检验日期: 20191024	
委托单位		委托人员		委托单位		委托人员	
送样日期		样品名称	普烧:高镁烧65低镁球20块15	送样日期		样品名称	64低镁烧21高镁球15块
检验单位	生产制造部铁前研究所	检验依据	GB/T 34211-2017	检验单位	生产制造部铁前研究所	检验依据	GB/T 34211-2017
检验人	贾文君、曹小波	审核人	刘晓明	检验人	刘晓明、魏琼花、张红闻	审核人	刘晓明
检测结果				检测结果			
	收缩率 (%)	温度 (°C)	压差 (kPa)		收缩率 (%)	温度 (°C)	压差 (kPa)
软化开始	10.00	1119.20	0.01	软化开始	10.00	1130.30	0.01
软化结束	40.00	1228.80	0.11	软化结束	40.00	1231.75	0.34
压差陡升	48.96	1258.85	0.50	压差陡升	42.21	1239.55	0.50
最大压差	68.18	1343.75	26.84	最大压差	60.46	1313.90	27.00
开始滴落	86.63	1419.50	2.11	开始滴落	87.56	1426.35	1.73
软化区间 T40-T10(°C)	109.60	滴落5分钟重量 (g)	137.81	软化区间 T40-T10(°C)	101.45	滴落5分钟重量 (g)	172.36
软化区间 Ts-T40(°C)	30.05	熔融带厚度 (mm)	22.98	软化区间 Ts-T40(°C)	7.80	熔融带厚度 (mm)	27.21
熔融温度区间 Td-Ts(°C)	160.65	总特性值 S (kPa·°C)	2154.69	熔融温度区间 Td-Ts(°C)	186.80	总特性值 S (kPa·°C)	2121.93



邯钢炼铁部
生产实践表
明高炉顺行
状况良好。

五 问题探讨

- 1、如何更加有效的提高铁前试验技术在生产中的指导性？
- 2、铁矿石经济性的系统性评价？

Thanks !

谢谢 !



河钢邯钢
HBIS HANSTEEL