



# 高比例褐铁矿烧结机理分析及试验研究

裴元东<sup>1</sup> 赵志星<sup>1</sup> 马泽军<sup>1</sup> 安钢<sup>2</sup> 赵勇<sup>1</sup> 潘文<sup>1</sup>

(1. 首钢技术研究院 2. 首钢京唐公司)

**摘要:**阐述了高比例配用褐铁矿对烧结过程的影响机理。褐铁矿比例提高时,由于其高同化性,不仅烧结过程中液相生成量增多,而且液相性质也发生改变,烧结过程中出现液相粘度升高、气泡难以溢出等现象,最终导致烧结利用系数下降,成品率降低;通过采取压料、厚料层、高碱度、防止过度同化等措施,可以为提高褐铁矿配比提供支撑。针对首钢某地料比的实验室研究表明,通过优化配矿,烧结配加50%褐铁矿后,生产指标较配30%褐铁矿时有所改善。

**关键词:**铁矿粉;褐铁矿;杨迪粉;烧结试验;同化性

中图分类号: TF046.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-8764(2011)05-0001-07

## Mechanism Analysis and Experimental Research on High Ratio Limonite Sintering

Pei Yuan-dong et al.

**Abstract** Mechanism of effect of high ratio limonite on sintering process was reviewed. When the limonite ratio increases, due to its high assimilability, not only does the liquid phase produce increase in the sintering process, but the liquid phase behavior also changes. In the sintering process, the liquid phase viscosity increases and the bubbles are difficult to escape, which finally result in decrease of sintering productivity and product yield. By taking such measures as pressing feed, deep bed layer, high basicity and preventing excess assimilation, support is provided for high ratio of limonite. The experimental study in Shougang on material ratio shows that, through proportioning optimization, after addition of 50% limonite, the production indexes are somewhat improved in comparison with addition of 30% limonite.

**Keywords** iron ore fines, limonite, Yandi fines, sintering test, assimilability

## 1 前言

近年来,随着优质铁矿粉资源日趋减少,低品质矿粉的使用量逐渐增加。在澳矿当中,褐铁矿和马拉曼巴矿已经逐步取代布鲁克曼赤铁矿,成为市场供应的主体矿种。

褐铁矿(典型代表为杨迪矿)的性能被众多烧结工作者所关注,其具有含铁品位低但烧后品位高、粒度粗、结构疏松气孔多、堆密度小、含结晶水多、易熔化、还原性高等特性,这决定了它在烧结(高炉冶炼)过程中与赤铁矿、磁铁矿等的表现存在差异。当褐铁矿在烧结料中的比

例升高到一定程度后,已被反映出将造成利用系数降低、成品率下降、转鼓指数降低、固体燃耗升高等问题。

从上世纪80年代起,国内外众多学者对褐铁矿烧结进行了大量研究。C. E. Loo等人对杨迪矿进行了系统全面的机理研究和总结<sup>[1~4]</sup>,吴胜利开发了烧结基础特性的评价体系并对褐铁矿的性能进行了研究,其成果已用于众多企业的优化配矿指导中<sup>[5~7]</sup>。褐铁矿在国内众多企业中的配比已经超过30%,而围绕继续提高其使用配比的研究和实践仍在继续<sup>[8~9]</sup>。

## 2 褐铁矿特点概述

常见的进口褐铁矿为BHP提供的杨迪粉和力拓提供的哈默斯利杨迪粉(简称哈杨迪)与马

收稿日期:2011-07-14 联系人:裴元东(100043)

北京市石景山区杨庄大街69号首钢技术研究院907

基金项目:国家十一五项目支撑计划(2006BAE03A01)

萨杰粉(即罗布河粉)。各种铁矿粉的主要特点列于表1。由表可见,由于褐铁矿具有不同于赤铁矿与磁铁矿的基本性质,这必然导致他们在烧结过程中的表现不同。值得注意的是,这些

特性之间可能互相联系和关联,如常温特性影响着高温特性。最终,这些特性共同决定铁矿粉在烧结高温过程中的行为和表现。

表1 褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿的基本特点及其对烧结过程影响

特性评价项目		基本特点	褐铁矿对烧结过程影响
常温特性	成分	TFe 褐较低(约58%);赤相对较高;某些磁精可达69%	尽管SiO <sub>2</sub> 是粘结相的主要组分,但发展精料技术、高铁低硅烧结是趋势。故褐铁矿因TFe含量低(尽管烧后品位高,但单位体积含TFe低)而影响产量,其配加比例不能太高,通常与低硅的赤铁矿搭配
	SiO <sub>2</sub>	褐约5%,与国内普通磁接近,进口赤SiO <sub>2</sub> 含量一般较低	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	褐的Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 在澳洲矿中相对较低;但仍较巴西赤和国内磁要高	在1.5%左右,高于普通磁(0.8%)和巴烧粉(1.2%),但低于澳洲赤(2.0%);Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 是SFCA的组成部分,但含量过高易引起烧结矿指标变差,尤其是RDI指标恶化
	烧损	褐、赤、磁的烧损一般约为10%、3%和-2%	烧结过程中结晶水的分解消耗能量,褐结晶水含量较高,分解后易形成裂缝,加速其高温下的同化反应
	粒度	平均粒径 褐、赤、磁的平均粒径分别约为3.5、2.2和0.1mm	褐较赤为粗,均属于富矿;磁一般为精粉,很细;褐铁矿有利于改善烧结原始料层透气性,但若粒度过大(褐>8mm比例较高),对烧结过程中的高温反应也不利
	气孔	气孔率 褐、赤、磁的气孔率一般约为35%、20%和10%	高气孔率导致褐铁矿制粒过程中需要较多水;高气孔率有利于烧结矿的还原性
	气孔分布	褐微细孔较多;褐和布鲁克曼赤气孔的平均孔径分别约14nm和500nm	褐铁矿微气孔较多,毛细现象强,致使褐易吸水,故需在制粒过程中配加更多水
	其它	堆密度 褐、赤、磁的密度分别约为3.5、5和5.2t/m <sup>3</sup> ,褐和赤的堆密度分别约为1.7和2.3t/m <sup>3</sup>	由于烧结机按容积装料,故褐铁矿烧结时直接影响烧结利用系数
	亲水性	褐和布鲁克曼赤的接触角分别约为15°和45°	不仅接触角小,其表面粗糙,这些因素使得褐铁矿较赤铁矿更易吸水
微观特性	晶粒大小	褐、赤、磁的晶粒直径分别约2μm、10μm和15μm	褐晶粒小,有利于与熔剂发生反应;巴西矿较粗的晶粒,对强度有利。
	脉石类型	SiO <sub>2</sub> 和Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 在褐中以高岭土形式存在,SiO <sub>2</sub> 在巴西赤和国内磁中通常以石英存在,Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 则多为三水铝石形态	褐的脉石(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和SiO <sub>2</sub> )为粘土性质,故反应性较强
	微观结构	布鲁克曼赤为二次微细板状赤铁矿围绕的多孔假象赤铁矿构成;褐为多孔针铁矿围绕和胶粒状多孔针铁矿粘结的多孔针/赤矿构成	褐中90%为针铁矿,反应性高;赤铁矿较致密,反应性低;磁铁矿最致密,反应最弱;该显微结构使褐铁矿极易反应
高温特性	同化性	褐铁矿易熔化、同化性高;赤铁矿次之;磁铁矿最低	褐铁矿与熔剂CaO在较低温度即发生反应,反应所需的能量少,有利于降低能耗;液相生成较多,对高温状态下透气性不利,影响烧结利用系数;对气泡的排除也不利,影响成品率和强度
	液相流动性	就粘附粉而言,褐最大,赤与磁次之;就颗粒而言,则相反	烧结过程中需要适宜的液相流动性,以形成较好的粘结相结构。改善高褐铁矿烧结时的液相流动状况很重要

### 3 高配比褐铁矿烧结影响烧结矿质量的机理分析

从上世纪八九十年代以来,众多研究者对高比例褐铁矿的烧结表现进行了评价,归纳阐述如下<sup>[11]</sup>。

#### 3.1 液相生成问题

烧结过程中,赤铁矿与褐铁矿最重要且明显的差异就在同化性上。褐铁矿结构疏松、多孔且结晶水含量高,故其与熔剂的反应动力学条件更好,在烧结过程中的同化性较赤铁矿为高,致使其在烧结过程中产生的液相发生变化,主要体现在液相量增加和液相性质改变两方面。

(1)液相量增加。检测表明,褐铁矿的最低同化温度远低于巴西赤铁矿和国内磁铁矿<sup>[7]</sup>。故当烧结温度一定时,褐铁矿将比赤铁矿更多地被液相所同化,使液相生成量更多。

(2)液相的成分和性能发生变化。不仅液相量增加,液相的成分也发生变化,进而导致液相性能发生变化。<sup>①</sup>从  $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$  二元相图<sup>[12]</sup>看,液相中更多的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  将使液相线温度升高,这将导致在一定的烧结温度条件下液相过热度有所降低——液相粘度将因此而升高,最终对气孔的生成、长大、排除以及粘结相的固结等产生影响。<sup>②</sup>高褐铁矿配比下,烧结过程中的(最高)温度可能比赤铁矿烧结时要低(同等配碳量条件下),这与液相线温度升高带来的后果相叠加,最终将导致液相粘度的增幅更大。S. Machida 等模拟烧结料层温度的研究表明<sup>[9]</sup>:在 50% 褐铁矿配加条件下,料层下部的高温带较不配加褐铁矿时明显变窄,即配加高比例褐铁矿时料层下部热量不足。这与很多研究者从“料层下部蓄热增加”角度得到的结论可能相反:即高褐铁矿、高料层条件下,料层下部的热量并不是过多。这将对生产操作提出一系列的考验,如燃料的偏析程度是否应调整? 料层厚度多少合适?

#### 3.2 透气性和利用系数

尽管褐铁矿较粗的粒度对改善烧结原始料层透气性有益,但是,<sup>①</sup>褐铁矿多孔、密度低、吸

水多的特点直接影响其在台车内的装料量;<sup>②</sup>制粒过程中多配加的物理水和褐铁矿本身带来的结晶水,在离开料层的过程中,可能加重过湿,从而对料层透气性造成影响;<sup>③</sup>烧结中产生的很多液相减少了料层中的透气空隙,故使得料层高温透气性也有所降低。这些因素共同作用,最终使烧结成品矿的数量减少。

日本使用褐铁矿的实践表明<sup>[13]</sup>,褐铁矿配比小于 50% 时,烧结产量的下降与结晶水含量基本呈线性关系;配比超过 50% 后,产量将超出线性关系地大幅降低,这表明不单是结晶水,褐铁矿的自身烧结性能也影响着烧结矿的产量。

C.E. LOO 等设计了一种杯体内侧含硅砂、能减少漏风的烧结杯进行烧结高温区的透气性试验。结果表明,高针铁矿下(达到 35%)烧结过程中的透气性并未恶化<sup>[10]</sup>;他们认为,通过采取改善制粒等提高原始料层透气性的措施,高褐铁矿配比下烧结产量不一定降低<sup>[3]</sup>。

#### 3.3 成品率和强度

肥田行博等认为,褐铁矿的高同化性,使液相粘度增加并在其中包裹了大量气体,这造成了许多大孔的形成,使得起着粘结作用的同化部分脆化。这是烧结矿强度和成品率降低的主要原因。同时,褐铁矿的高同化封闭了烧结料层液相带的空隙,不仅降低了料层透气性,而且加剧了烧结料层中焦粉燃烧形成的横向不均匀性,这也导致成品率下降。

一般来讲,配加褐铁矿后,烧结料层上部的成品率会因褐铁矿易熔、易同化的特点而改善,但料层下部的成品率则可能由于热量不足而下降(如前所述)。在高褐铁矿配比下适当提高配碳量可使高温液相生成时具有一定的过热度,从而有利于提高烧结矿强度。

#### 3.4 固体燃耗

高比例配加褐铁矿时,带给烧结中较多的水分(物理水和结晶水),这些水分在烧结过程中蒸发、脱除,需消耗一定的能量。但事实上,烧结中去除这些水所耗的能量并不高,远小于熔剂分解所消耗的能量,并且,C.E. LOO 对烧结过程中水分挥发的机理进行分析后,发现水

分更多以液态而不是气态的方式从料层溢出，如此可缓解对高褐铁矿配比时水分离开料层耗热的过大担忧。并且，褐铁矿易于熔化的特性对节省能耗起了不小的作用。

在生产实践中，使用高比例褐铁矿时配碳量(固体燃料)是否增加，结论并不一致，这可能取决于各厂的生产操作和原料条件，甚至是使用褐铁矿前后的工艺变化。从促进SFCA生成的角度来看，较少的配碳量有利于营造低温、高氧化的适合铁酸钙生成的气氛；而从避免欠烧、保证成品率和强度的角度出发，较多配碳量也是可取的。

### 3.5 冶金性能

配加褐铁矿以后，由于影响因素较多，故冶金性能的变化可能需视情况而定。褐铁矿有利于改善烧结矿的还原性(RI)已被广泛认可，但对低温粉化性能(RDI)的影响而言，结论并不一致，因为影响冶金性能的因素自身在配加褐铁矿后就可能有多种变化。如烧结矿中的FeO含量是影响烧结矿耗、强度、RDI和RI的重要参数之一。C.E.LOO分析了配加褐铁矿后影响烧结矿FeO含量的一系列因素的变化情况<sup>[2]</sup>：①矿物还原性改善，故磁铁矿含量提高，从而提高烧结矿FeO含量；②烧结温度降低，故赤铁矿向磁铁矿的分解减少，从而降低烧结矿FeO含量；③同化性提高，熔相中碱度下降， $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值下降，从而提高烧结矿FeO含量；④火焰前锋速度加快、热容降低，使冷却速度提高，减少了磁铁矿向赤铁矿的再氧化，从而提高烧结矿FeO含量。

## 4 应对高比例褐铁矿烧结的技术措施

### 4.1 抑制同化、利用同化的策略

一方面，考虑到褐铁矿高同化性给烧结过程带来的诸多问题，发展抑制褐铁矿同化的技术，成为提高褐铁矿使用比例的重要手段。日本新日铁上世纪90年代开发的褐铁矿自致密化和高熔点液相烧结工艺(SHS)，即实现了“抑制”褐铁矿的同化。

另一方面，褐铁矿的易熔、高同化性，对于烧结节能也有一定的积极作用。烧结中配加致密难熔、同化性较低的矿粉，如巴西赤铁矿、国内磁铁矿等与褐铁矿搭配使用，可使混合料的同化性不至于过高。而当混合料同化性较低时，则可以提高杨迪粉的使用比例，使混合料的同化性改善，此即“利用”了褐铁矿的同化性。

### 4.2 具体工艺措施

为克服使用高比例褐铁矿对烧结矿质量的影响，烧结工作者根据褐铁矿的特点，采取了相应的工艺措施，如提高配水量、高碱度烧结、压料等。

上世纪80年代，针对国内褐铁矿资源的使用，韶钢的实践表明<sup>[14,15]</sup>，高碱度(2.0~2.6<sup>[14]</sup>；1.9~2.0<sup>[15]</sup>)、高水分(10%)、高碳量(比磁铁矿高约20%)、高料层(从350 mm提高到450 mm)、高液相量烧结( $\text{SiO}_2 + \text{FeO}$ 含量约35%， $\text{FeO}$ 在9%~13%)、抓好水碳平衡、降低漏风率、添加瓦斯灰、铁皮、转炉钢渣等废料(熔点低、促进液相生成，节约燃料)是保证褐铁矿烧结质量稳定的重要方式。张清岑认为，褐铁矿粉烧结时，在适宜的水、碳配比基础上，应采用高料层，高碱度，配加生石灰及适当压料等措施，才能保证各项指标良好<sup>[16]</sup>。

虽然上述结论是在与现前不同的原料和设备条件下得到的(国内褐铁矿、高硅条件、小烧结机)，致使研究结果中各数据无法直接作为当前的参考，但其分析和判断，到目前仍基本适用。90年代以来，随着国外褐铁矿资源不断进入国内市场，包括国内高校、研究院所和钢铁厂、国外企业在内的研究人员对褐铁矿的研究越来越全面和具体。宝钢通过对褐铁矿性能的研究和一系列工艺措施的改进，使得褐铁矿使用水平达到国内领先<sup>[17~19]</sup>。各钢铁厂根据自身条件，也得到了高褐铁矿配比条件下属于各自最佳的操作方式，概括如下：

(1)安钢的试验表明，褐铁矿配比为31%时，在压料、增加燃料、降低抽风负压和加厚料层等几项措施当中，加厚料层措施效果最为明显，各项指标均有所提高<sup>[20]</sup>。

(2)鞍钢在褐铁矿配比为30%时,在压料、延长点火时间和降低抽风负压三项措施中,尤以压料措施对烧结指标改善效果大<sup>[21]</sup>。

(3)胡洪天总结了攀钢强化褐铁矿烧结的几项措施:强化混合料偏析(使褐集中在料层中下部)、高氧位厚料层操作(720 mm)、高碱度烧结(提高生石灰配比,使碱度>1.9)、适当放宽燃料粒度上限(延长高温时间)等,褐铁矿比例8%时,指标良好<sup>[22]</sup>;蒋大军通过优化试验找出适合的工艺参数为:褐铁矿配比10.2%,焦粉5.03%,水分7.17%,料层582 mm<sup>[23]</sup>。

(4)永通公司通过采取优化配矿(配加致密难熔矿)、提高燃料用量和放宽燃料粒度上限(配比控制在4.1%~4.4%,0~3 mm比例从85%调至75%)、提高配水(8%~9%)、提高点火温度(1 050 °C增至约1 100 °C)和延长点火时间(1.5 min延至2.0 min)、提高料层(压料后在500~550 mm)、适当压料(15~30 mm)、高碱度烧结(1.7提至2.1)、改善生石灰质量(提高有效CaO量及活性度)等措施,最终在褐铁矿配比为40%时,取得了较好的生产效果<sup>[24]</sup>。

(5)越南太钢在碱度2.0,生石灰11%,焦粉7.3%,混合料水分7.0%,料层400 mm的条件下,配用37.5%褐铁矿,获得了利用系数1.26 t/(m<sup>2</sup>·h),筛分指数小于3%的良好效果<sup>[25]</sup>。

(6)太钢在混合料水分(约7.1%),配碳量约3.8%,料厚720 mm,机速约1.1 m/min,烧结负压10.5~11.0 kPa,外配燃料50%的条件下,对扬迪矿采取喷水预润湿(使水分达8%~9%)、压料操作(从10 mm增到20~30 mm)等措施,将其与细磁精矿(45%)搭配,实现了37%的配加<sup>[26]</sup>。

(7)型钢采取压料、高碱度(2.0)、控制混合料合适水分、控制合适MgO(2.08%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1.6%)和SiO<sub>2</sub>(4.8%)含量,强化制粒、厚料层高负压(780 mm)等操作,使褐铁矿比例达41%<sup>[27]</sup>。

(8)梅钢实践表明,通过采取提高料层(600 mm提到620 mm),适当加强压料、提高混合料水分、燃料粒度适当放粗等方式,褐铁矿比例达

到8%<sup>[31]</sup>。与不配杨迪矿时相比,配加20%杨迪矿的烧结矿强度提高,RI增加,RDI略有下降,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>降低0.3%左右。烧结矿质量有所提高;在配加杨迪矿的情况下,应进行高料层操作,燃料配加量不宜偏低,应控制合理的水分<sup>[32]</sup>。

(9)宝钢和科大合作的实验室研究表明,在褐铁矿配比51.5%时,提高烧结矿碱度至2.0,并采取适当增加生石灰比例(取代石灰石)以及提高烧结抽风负压和烧结料层厚度(从550 mm提高到700和850 mm)的配合措施,能够改善烧结矿产质量指标;认为不宜通过增加配碳量来应对高褐铁矿配比下的烧结产质量问题<sup>[6]</sup>。

以上经验总结归纳列于表2。由表2可见,在烧结生产实践中,通过采取各种工艺措施,可较大程度地缓解因配加高比例褐铁矿带来的生产问题。值得注意的是,不同的措施是基于不同生产条件下获得的,而且各种措施之间存在匹配关系,故随生产工艺和条件的变化,针对褐铁矿的措施也可能变化。

表2 烧结生产中应对褐铁矿的技术措施

影响因素	措施一	措施二
水分	基本均采取提高混合料水分措施,配水量不小于7% <sup>[26]</sup> ;在制粒中加含糖10%的水也是一种较好的方法。	
矿粉粒度	上限以-9 mm为宜	可放宽至-12 mm <sup>[28]</sup>
燃料配入量	燃料配加量不宜偏低 <sup>[14,15][24][32]</sup>	不宜通过提高燃料配入量来改善烧结矿质量
燃料粒度	燃料粒度适当放宽 <sup>[24][31]</sup>	
熔剂粒度	熔剂粒度控制在2 mm以下 <sup>[29]</sup>	使用大颗粒熔剂是高褐铁矿配比下提高利用系数的最佳方式
压料	采取压料效果明显 <sup>[21][24][26][31]</sup>	
碱度	基本均采取高碱度措施 <sup>[14~15][23~25][27][30][33]</sup>	
料层	基本均采取厚料层措施 <sup>[14~15][20][23~25][27]</sup>	可采取“薄料快烧”
烧结负压	适当降低烧结负压 <sup>[20~21][33]</sup>	可采取高负压 <sup>[27]</sup>

## 5 烧结配加高比例褐铁矿实验室研究

以首钢常用矿粉作为试验原料,设计了8组方案进行烧结杯试验,铁矿粉的主要成分和

配矿方案列于表3。考虑到杨迪粉较高的同化性,故配加了一定量的致密铁矿粉,即同化性较低的铁矿粉如巴西矿和国内矿。试验结果列于表4。

表3 各铁矿粉主要成分及配矿方案(%)

方案	TFe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	LOI	基准	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5	方案6	方案7
杨迪粉	57.0	5.50	1.70	0.22	11.2	30	40	40	50	50	50	50	50
澳粉A	61.6	4.10	2.20	0.36	4.70	30	20	30	20	10	10	0	0
澳粉B	61.7	3.53	1.99	0.22	5.61	0	0	0	0	0	10	20	0
澳粉C	63.2	3.65	2.17	0.32	0.32	0	0	0	0	0	0	0	20
巴西粉A	66.0	1.41	1.18	0.29	2.30	15	15	15	15	15	15	15	15
巴西粉B	67.6	2.55	0.61	7.94	0.03	15	15	15	15	15	15	15	15
国内粉	67.0	5.02	0.52	27.77	-2.87	10	10	0	0	10	0	0	0

表4 烧结杯试验结果

试验 编号	TFe /%	SiO <sub>2</sub> /%	MgO /%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	R	10~5mm /%	<5mm /%	垂烧速度 /mm·min <sup>-1</sup>	成品率 /%	转鼓指数 /%	固体燃耗 /kg·t <sup>-1</sup>	利用系数 /t·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup>
基准	56.19	4.93	2.06	1.82	2.03	11.00	18.07	19.94	81.93	82.40	59.98	1.35
方案1	56.71	4.96	2.06	1.70	2.04	16.12	18.88	20.62	81.12	82.00	60.64	1.38
方案2	56.43	4.99	2.08	1.78	2.06	14.74	17.26	20.52	82.74	84.80	60.52	1.36
方案3	56.83	4.80	1.92	1.73	2.06	14.38	18.77	18.56	81.23	82.40	61.55	1.20
方案4	57.06	4.70	1.95	1.88	2.05	13.50	16.52	19.29	83.48	81.60	59.48	1.30
方案5	56.74	4.88	2.12	1.73	1.93	15.21	18.13	21.03	81.87	82.40	60.94	1.38
方案6	57.01	4.87	1.94	1.69	1.99	13.84	18.63	18.86	81.37	82.80	61.04	1.22
方案7	56.86	4.92	1.93	1.71	2.01	12.97	17.23	20.70	82.77	84.00	60.52	1.37

由表4可知,与基准方案(30%杨迪粉)相比,在配加50%杨迪粉中,较好的方案为方案5和方案7,二者的配矿结构分别为“30%巴西粉+10%澳粉A+10%澳粉B+50%杨迪粉”和“30%巴西粉+20%澳粉C+50%杨迪粉”。

## 6 结论

通过归纳、总结前人的研究结果及实践经验,并针对首钢料比,进行了高杨迪粉配比的烧结杯试验,得到结论如下:

(1)由于褐铁矿具有高同化性的特征,故在烧结过程中高比例使用时将带来液相量增多和液相成分(性质)改变的问题,“利用”或“抑制”这种高同化性特征需以生产需求而定,即要充分考虑使用前混合料的液相是过少还是过多。

(2)对于褐铁矿的高温特性,不同的试验方法很可能得到不同的结论。褐铁矿作为核矿石

熔入液相造成液相流动性较小,而褐铁矿作为粘附粉时液相的流动性较大。

(3)综合考虑褐铁矿与其它常用铁矿粉在常温特性、微观特性和高温特性方面呈现出的不同,可以针对这些特性采取一定的优化配矿和工艺措施予以应对,如采取配加致密矿、低同化性矿粉、提高混合料水分、放宽燃料粒度、采取压料、高碱度烧结等措施。实际生产中应根据自身条件和背景制定适宜的配矿和操作措施。

(4)传统上对高褐铁矿配比烧结带来的生产率低、成品率低和固体燃耗高的担忧,在一定程度上可通过优化配矿来缓解。实验室研究表明,在杨迪粉配比达50%时,烧结指标较配比30%时为好。

## 参考文献

- [1] C.E.LOO. Some progress in understanding the science of

- iron ore sintering[C]. ISS Technical Paper:1 – 18.
- [2] C.E.LOO. A Perspective of Goethitic Ore Sintering Fundamentals[J]. ISIJ International, 2005, 45(4): 436 – 448.
- [3] C.E.LOO, D.Witchard, G.C.Penny. Improving sintering performance of ore blend containing pisolitic ore [J]. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section C: Mineral process and Extractive metallurgy. 1994, 103:135 – 146.
- [4] C.E.LOO, D.J.WONG. Fundamental insights into the sintering behavior of goethitic ore blends [J]. ISIJ International, 2005, 45(4):459 – 468.
- [5] 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.
- [6] 王跃飞,吴胜利,韩宏亮,等.高褐铁矿配比下提高烧结矿产质量指标[J].北京科技大学学报,2010,(3):13 – 17.
- [7] 阎立娟,吴胜利,尤利,等.铁矿粉的同化性及其互补配矿方法的研究[J].北京科技大学学报,2010, 32(3): 298.
- [8] 沈红标.高褐铁矿配比烧结实验研究[C].第29届十一钢研院长联席会——高炉炉料质量劣化条件下的对策研究技术交流,2009:13 – 20.
- [9] Satoshi MACHIDA, Takahide HIGUCHI, Nobuyuki OYAMA, etc. Optimization of Coke Breeze Segregation in Sintering Bed under High Pisolate Ore Ratio [J]. ISIJ International, 2009, 49(5):650 – 658.
- [10] C.E.LOO, M.F.HUTCHENS. Quantifying the Resistance to Airflow during Iron Ore Sintering [J]. ISIJ International, 2003, 43(5):630 – 636.
- [11] 裴元东,赵志星,赵勇.杨迪粉高配比烧结试验研究[C].第5届中国金属学会青年学术年会论文集,2010, 北京:17 – 23.
- [12] B.Phillips, A.Muan. Phase Equilibria in the System CaO-Iron Oxide-SiO<sub>2</sub> in Air[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1959, 42(9):413 – 423.
- [13] T.Matsumura, K.Morioka, M.Shimizu, etc. Mechanism of non-uniform sintering on using a low-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pisolite ore[J]. Tetsu-to-Hagane, 1996, 82:23 – 28.
- [14] 伍建军.褐铁矿粉烧结生产[J].烧结球团, 1991(4):56 – 59.
- [15] 风浜.提高褐铁矿烧结产率和降低能耗的措施[J].南方金属,1991,5:11 – 12,5.
- [16] 张清岑.关于褐铁矿粉烧结的若干问题[J].烧结球团, 1992(3):44 – 46,43.
- [17] 朱彤等.宝钢混匀矿增配褐铁矿对烧结生产的影响[J], 矿冶工程,1998,(9):126 – 127.
- [18] 朱仁君等.提高宝钢烧结配矿中褐铁矿比例的研究[C].2000年炼铁生产技术工作会议暨炼铁年会论文集, 131 – 136.
- [19] 胡晓鸣.杨迪粉烧结性能研究与应用[C].2003年中国钢铁年会论文集,2003:330 – 334.
- [20] 杨玉兵,张红丽,周永平.高配比褐铁矿烧结的实验研究[J].河南冶金,2009, 17(5):4 – 5,8.
- [21] 李艳茹,周明顺,翟立委,等.褐铁矿用于烧结的试验研究[J].烧结球团,2005(1):4 – 7.
- [22] 胡洪天.强化褐铁矿烧结措施研究[J].四川冶金, 2004,5:39 – 42.
- [23] 蒋大军,何木光,张义贤,等.运用均匀设计试验优化不同褐铁矿烧结性能与工艺参数[J].四川冶金, 2009, 31: 1 – 6.
- [24] 邱家用,李新兵,徐杨斌,等.永通公司高比例褐铁矿烧结的生产试验[J].烧结球团,2010(2):1 – 5.
- [25] 刘正平,高瑞芳,温洪杰,等.越南太钢褐铁矿的烧结研究与生产实践[J].烧结球团,2005(2):20 – 22.
- [26] 贺淑珍.高比例褐铁矿与细磁精矿粉配矿技术研究[J].钢铁,2010(45):9:22 – 26.
- [27] 陈书峰,崔永诗,翟所莲.型钢 265m<sup>2</sup> 烧结机高配比褐铁矿烧结技术的应用[C].2008年全国炼铁生产技术会议暨炼铁年会文集,2008:532 – 534.
- [28] 刘振林,杨金福,冯根生,等.高配比褐铁矿的烧结试验研究[J].钢铁,2004, (39)12:9 – 13.
- [29] 卢森超.褐铁矿烧结矿矿相组成对冶金性能的影响[J].烧结球团,1988(4):34 – 39.
- [30] 侯拥和.用褐铁矿生产优质烧结矿[J].烧结球团, 1992,(3):13 – 17.
- [31] 李和平,刘佩秋.梅钢烧结配加杨迪矿的生产试验[J].烧结球团,2006,(6):9 – 11.
- [32] 殷吉余,许永梅.配加杨迪矿的烧结试验研究[J].梅山科技,1994,4:9 – 13.
- [33] 洪益成.褐铁矿烧结合理工艺参数的研究[J].中国冶金,2010,20(11):4 – 8.