

优化入炉煤结构试验研究

付利俊¹, 江鑫¹, 何晓义¹, 尚乐乐²

- (1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司制造部, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢庆华煤化工有限公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015400)

摘要: 针对高炉炼铁对焦炭质量的严苛要求, 文章在某公司焦炉入炉煤基础上, 通过配加 XN 肥煤和 SX 焦煤 S1.3, 系统研究了入炉煤结构优化对焦炭冶金性能的影响。试验结果表明, 方案 1 和方案 2 均能显著提高焦炭反应后强度 (CSR) 和机械强度 (M_{40}), 其中方案 2 较基础方案 CSR 提高 7.7 个百分点, M_{40} 提高 6.4 个百分点, 大中块粒级占比增加 7.64 个百分点。该研究为工业配煤优化提供了理论与实践依据。

关键词: 入炉煤; 配煤优化; 焦炭质量; 焦炭反应后强度

中图分类号: TQ533.6

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)05-0010-04

Experimental Study on Optimizing Structure of Coal As Fired

Fu Lijun¹, Jiang Xin¹, He Xiaoyi¹, Shang Lele²

- (1. Manufacturing Dept. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Inner Mongolia Baotou Steel Qinghua Coal Chemical Industry Co., Ltd., Bayannur 015400, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the effects of optimizing structure of coal as fired on metallurgical performances of coke are systematically studied by adding XN fat coal and SX coking coal S1.3 based on the coal as fired of coke oven in a company aiming at the strict requirements of coke quality for blast furnace ironmaking. The experimental results showed that the coke strength after reaction (CSR) and mechanical strength (M_{40}) could be significantly improved with both scheme 1 and 2, therinto, CSR was increased by 7.7 percentage point, M_{40} was increased by 6.4 percentage point as well as proportion of large and medium coke size was increased by 7.64 percentage point with scheme 2 compared with those of basic scheme. This study provides theoretical and practical basis for industrial coal blending optimization.

Key words: coal as fired; coal blending optimization; coke quality; coke strength after reaction

焦炭作为高炉炼铁的主要原料之一, 其质量直接影响高炉稳定顺行、能耗水平及铁水质量。随着钢铁工业对低碳冶炼和高效生产要求的提高, 焦炭需具备更高的抗碎强度 (M_{40})、耐磨强度 (M_{10}) 和

反应后强度 (CSR)。入炉煤的煤质特性与配煤结构是决定焦炭质量的核心因素, 通过优化配煤结构, 引入优质炼焦煤种提高焦炭质量, 已成为炼焦行业的研究热点。

国内外学者针对配煤优化开展了大量研究。日本学者通过控制镜质组反射率分布,提出“均质化配煤”理论,认为合理的煤岩组成可改善焦炭显微结构^[1];国内研究表明,肥煤和焦煤的配加可显著提高煤料黏结性,但配加比例需与其他煤种协同考虑^[2]。现有研究多聚焦于单一煤种特性分析,对多煤种协同作用下胶质体形成机理及焦炭显微结构演变的研究仍需深化。

以某公司焦炉入炉煤为基础,配加 XN 肥煤和 SX 焦煤 S1.3,旨在探究优质炼焦煤配加比例对焦

炭灰分、硫分、反应性及机械强度的影响规律,优化入炉煤结构,形成可工业化应用的配煤方案。

1 试验原料与方法

1.1 试验原料

试验用入炉煤、XN 肥煤和 SX 焦煤 S1.3 均取自国内主流炼焦煤产区,其工业分析、元素分析及结焦特性指标见表 1。其中,XN 肥煤具有高黏结指数和厚胶质层,SX 焦煤 S1.3 的镜质组反射率较高,二者均为优质炼焦煤种。

表 1 煤种技术指标

煤种	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$S_{t,d}/\%$	G	Y/mm	X/mm	$R_{\max}/\%$
入炉煤	9.31	29.10	0.78	71	17.5	41.5	1.125
XN 肥煤	9.60	25.50	1.43	91	26.5	26.0	1.346
SX 焦煤 S1.3	10.29	20.27	1.29	79	18.5	23.0	1.591

1.2 配煤方案设计

基于煤种特性,设计 3 组配煤方案,见表 2。其中基础方案为 100% 的入炉煤,方案 1 和方案 2 分

别配加不同比例的 XN 肥煤和 SX 焦煤 S1.3。配煤原则为在控制成本的前提下,通过配加优质煤种提高煤料的黏结性和结焦性。

表 2 配煤方案

方案	入炉煤/ $\%$	XN 肥煤/ $\%$	SX 焦煤 S1.3/ $\%$	单价/(元·t ⁻¹)	价差/(元·t ⁻¹)
基础方案	100	0	0	863.00	0
方案 1	85	10	5	912.05	+49.05
方案 2	70	20	10	961.10	+98.10

1.3 试验方法

1.3.1 煤质分析

对试验煤样进行工业分析及黏结指数、胶质层指数、镜质组反射率(R_{\max})测定。依据 GB/T 212—2008《煤的工业分析方法》测定灰分(A_d)、挥发分(V_{daf});依据 GB/T 214—2007《煤中全硫的测定方法》分析硫分($S_{t,d}$);依据 GB/T 5447—2014《烟煤黏结指数测定方法》测试 G 值;依据 GB/T 479—2016《烟煤胶质层指数测定方法》进行测定 Y 值和 X 值;使用 Leica DM2500M 显微镜分析镜质组反射率(R_{\max})。

1.3.2 炼焦试验

采用 40 kg 加热釜式小焦炉(KXJL-HZ-40-02 型)进行炼焦试验,执行冶标 YB/T 4526—2016《炼焦试验用小焦炉技术规范》,具体工艺如下。

样品准备:将接收到的送检样品全部倒堆三次使之混匀,倒堆时,铁锹需从煤堆底部铲起,倒下时需从倒堆后的煤堆顶部倒下,尽可能使每一锹煤样均匀地从煤堆顶部四周落下。

样品缩分:从混匀后的样品中缩分出 50 kg 煤样作为试验样品,剩余 50 kg 作为副样装袋并做好标识,按规定进行保存。

装煤量为 40.5 ± 0.3 kg(干基),堆密度约 750 kg/m^3 。

加热制度:室温至 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 升温速率为 $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, $800 \sim 875 \text{ }^\circ\text{C}$ 升温速率为 $0.50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,升温时间为 150 min; $875 \sim 950 \text{ }^\circ\text{C}$ 升温速率为 $0.278 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$,升温时间为 270 min;炉温到 $950 \text{ }^\circ\text{C}$ 后,恒温 30 min。

冷却方式:当焦饼中心温度达到 $950 \text{ }^\circ\text{C}$ 后,保持当前炉温恒温 30 min 后,停止加热,设备自动提高

煤甑出炉,按照自动提炉程序每 10 min 提炉 20 cm,煤甑自动升到上限位时,操作人员将炉盖盖好,试验结束。

1.3.3 焦炭性能检测

对小焦炉冶炼的焦炭进行工业分析及机械强度、热性能检测。依据 GB/T 2001—2013《焦炭工业分析测定方法》分析灰分(A_d)、挥发分(V_{daf});依据 GB/T 2286—2017《焦炭全硫含量的测定方法》分析硫分($S_{t,d}$);依据 GB/T 2006—2008《焦炭机械强度的测定方法》测定 M_{40} 和 M_{10} ;依据 GB/T 4000—2017《焦炭反应性及反应后强度试验方法》进行反应性(CRI)和反应后强度(CSR)测试。

焦炭粒度分析:使用标准筛分设备(孔径

10 mm、25 mm、40 mm、60 mm、80 mm)进行筛分,计算平均粒径及各粒级占比。

2 结果与讨论

2.1 配合煤技术指标分析

配合煤的工业分析与结焦特性见表 3。与基础方案相比,方案 1 和方案 2 配合煤的灰分分别升高 0.21 个百分点和 0.24 个百分点,主要是 SX 焦煤 S1.3 的灰分高于入炉煤,但配合煤灰分能够控制在 10.00% 以下,满足配合煤要求;方案 1 和方案 2 配合煤硫分分别升高 0.07 个百分点和 0.14 个百分点,与 XN 肥煤的高硫特性有关,但配合煤硫分均控制在 1.00% 以内,满足配合煤的要求。

表 3 配合煤技术指标

煤种	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$S_{t,d}/\%$	G	Y/mm	X/mm	$R_{\max}/\%$
基础方案	9.31	29.10	0.78	71	17.5	41.5	1.125
方案 1	9.52	28.24	0.85	72	15.5	46.5	1.064
方案 2	9.55	27.71	0.92	75	17.0	41.5	1.141

黏结指数(G)随优质煤配加比例增加而提高,方案 2 配合煤的 G 值达 75,较基础方案提高 4 个百分点,表明煤料黏结性改善。方案 1 配合煤的胶质层厚度较基础方案降低 2.0 mm,因 SX 焦煤 S1.3 的 Y 值低于 XN 肥煤,且配煤比例增加导致胶质体流动性协同效应减弱。方案 2 配合煤的 Y 值达到 17.0 mm,说明 20% XN 肥煤与 10% SX 焦煤 S1.3 的配加比例更有利于胶质体形成。

2.2 焦炭冶金性能分析

2.2.1 热性能与杂质控制

焦炭性能指标见表 4。方案 1 和方案 2 的反应后强度(CSR)分别为 59.2% 和 62.1%,较基础方案提高 4.8 个百分点和 7.7 个百分点,反应性(CRI)分别降低 2.2 个百分点和 5.1 个百分点,表明优质煤种配加显著改善了焦炭的抗高温劣化能力。这与配合煤黏结指数提高及镜质组反射率分布优化有关,XN 肥煤和 SX 焦煤 S1.3 的加入使焦炭显微结构中各向异性组织增多,碳结构有序度提高^[3]。

表 4 焦炭性能指标(质量分数)

方案	M_{ad}	A_d	V_{daf}	$S_{t,d}$	CRI	CSR	M_{40}	M_{10}
基础方案	0.13	12.06	1.10	0.70	33.2	54.4	68.8	17.6
方案 1	0.17	12.21	1.18	0.78	31.0	59.2	71.2	16.8
方案 2	0.11	12.08	1.08	0.85	28.1	62.1	75.2	15.2

焦炭灰分均控制在 13.00% 以下,方案 2 的硫分高于基础方案,但未超过焦炭标准硫分($S_{t,d} < 0.9\%$)要求。挥发分均小于 1.5%,表明焦炭成熟度良好,这与小焦炉加热制度的精准控制密切相关。

2.2.2 机械强度演变规律

方案 1 和方案 2 焦炭的抗碎强度(M_{40})分别为

71.2% 和 75.2%,较基础方案提高 2.4 个百分点和 6.4 个百分点;耐磨强度(M_{10})分别降低 0.8 个百分点和 2.4 个百分点,表明焦炭抗破碎和抗磨损能力显著增强。机械强度的提高主要机理是优质肥煤和焦煤配比增加改善了煤料塑性阶段的胶质体流动性,促进煤粒间黏结,形成更致密的焦炭结构。SX

焦煤 S1.3 的高镜质组反射率使焦炭显微结构中镶嵌组织结构增多,提高了焦炭的抗冲击性能^[4]。

2.3 焦炭粒度分布

焦炭粒度组成见表5。方案1和方案2焦炭的平均粒径分别为56.60 mm和56.19 mm,较基础方案增加1.24 mm和0.83 mm;大中块粒度

(>40 mm)占比分别增加4.41个百分点和7.64个百分点,粉焦率(<25 mm)基本持平。粒度优化的原因在于优质煤配比增加提高了焦炭的抗碎强度,减少了炼焦过程中的碎裂;胶质体数量与质量的改善使焦炭收缩应力降低,裂纹生成量减少。

表5 焦炭粒度组成

方案	粒度组成(质量分数)/%					平均粒径/mm
	>80 mm	80~60 mm	60~40 mm	40~25 mm	<25 mm	
基础方案	10.95	28.62	40.99	12.72	6.72	55.36
方案1	9.09	34.97	40.91	8.04	6.99	56.60
方案2	7.29	32.99	47.92	5.55	6.25	56.19

大中块粒度增加对高炉冶炼具有重要意义,一方面可改善高炉料柱透气性,降低煤气流动阻力;另一方面减少粉焦对炉墙的磨损,延长了高炉使用寿命。

2.4 经济效益与生产适配性分析

2.4.1 成本对比

方案1和方案2的配煤成本分别较基础方案增加49.05元/t和98.10元/t,但焦炭质量提高带来的高炉指标改善可抵消成本增加。以方案2为例,焦炭CSR提高7.7个百分点,可使高炉焦比降低3~5 kg/t,高炉年产100万t铁水,焦炭价格按1500元/t计算,年经济效益可达450~750万元。

2.4.2 工业生产适配性

考虑到包钢庆华生产场地的原料仓储与调度能力,配煤种类宜控制在3种以内。方案2虽成本略高,但焦炭质量提高幅度更大,且配煤结构稳定,适合作为工业试验的优选方案。若工业试验中焦炭质量指标过剩,可换至方案1降低成本,体现了配煤方案的灵活性。

3 结论

(1)通过优化配煤结构,增加XN肥煤和SX焦煤S1.3配比,可显著改善焦炭质量指标,尤其反应后强度(CSR)和耐磨强度(M_{10})提高突出。

(2)工业应用中可采用“先方案2后方案1”的递进式实施策略,根据高炉对焦炭质量需求动态调整配煤比例,实现质量与成本的优化平衡。

(3)方案实施过程中需严格控制配煤准确性,入炉煤和配加煤种数量以3~4种为宜,避免因生产调度复杂导致焦炭质量波动。

参 考 文 献

- [1] 佐藤健司. 炼焦煤的岩相学特征与焦炭质量的关系[J]. 炭素技术, 2001, 20(3): 1-5.
- [2] 徐振明. 肥煤配加比例对焦炭质量的影响研究[J]. 煤炭转化, 2019, 42(2): 45-51.
- [3] 刘振江. 镜质组反射率分布对焦炭热性能的影响[J]. 钢铁, 2016, 51(11): 13-18.
- [4] 彭金辉. 冶金焦炭显微结构与性能的关联研究[J]. 金属学报, 2009, 45(7): 885-890.