

煤炭加工

# 热改质低阶烟煤对配煤及型煤炼焦影响研究

高志芳<sup>1</sup>,袁晓波<sup>2</sup>,郑明东<sup>2</sup>,张代林<sup>2</sup>,张小勇<sup>2</sup>

(1. 安徽工业大学 冶金工程学院,安徽 马鞍山 243002;2. 安徽工业大学 化学与化工学院,安徽 马鞍山 243002)

**摘要:**为了提高低阶煤在配煤炼焦中的配入比例,以低灰低硫低阶烟煤为原料,通过热改性预处理工艺得到提质改性煤。将低阶煤与改性煤按照不同比例混合成炼焦用煤,通过5 kg 焦炉试验,研究了改质低阶煤对配煤及炼焦的影响。结果表明,在保证焦炭质量的前提下,低阶烟煤配入比例由小于3%提高到5%,5%以后焦炭质量明显劣化;改性煤添加比例为6%时,混煤黏结性最好,反应后强度增加约4%,而冷态强度变化不大。采用型煤技术可使改性煤配入量达到7%~10%,由于提高了混煤的密度,使炭化过程中半焦化阶段的收缩降低而使焦炭裂纹减少,煤中黏结组分和惰性组分的胶结作用得到改善,提高了煤的结焦性能。

**关键词:**低阶烟煤;热改性;型煤;焦炭

中图分类号:TQ52

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)06-0001-05

## Effects of thermally upgraded low rank coal on coking of mixed coal and briquette

GAO Zhifang<sup>1</sup>, YUAN Xiaobo<sup>2</sup>, ZHENG Mingdong<sup>2</sup>, ZHANG Dailin<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoyong<sup>2</sup>

(1. School of Metallurgy and Resource, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

**Abstract:** In order to improve the utilization rate of low rank coal in coal blending for coking, a modified bituminous coal was obtained by thermal pretreatment process from low ash and sulfur bituminous coal, and the modified coal was mixed in different proportions for coking by 5 kg coke oven experimental. In order to ensure the quality of coke, the proportion of low rank bituminous coal was increased from 3% to 5%, while the ratio was more than 5%, the quality of coke degradation become worse. When the proportion of modified coal was 6%, the caking property of mixed coal was the best, the strength increased about 4%, while the cold strength remained unchanged. The use of briquette technology improved the proportion of modified coal from 7% to 10%. The increased density reduced the crack of coke, it also improved the agglutination between viscous components and inert components which helped to improve coking property.

**Key words:** low rank bituminous coal; thermally upgraded; briquette; coke

## 0 引 言

我国煤炭资源丰富,但优质炼焦煤资源相对短缺,因此扩大适用于炼焦的煤炭资源的研究与探索是国内外学者关注的焦点<sup>[1-2]</sup>。我国低阶煤储量丰富,具有低硫、低灰、价格低廉等优点,但低阶烟煤本

身不适于炼焦生产,因此对于低阶煤的研究,一方面从工艺入手,如煤预热、配型煤、捣固等<sup>[3]</sup>;另一方面在配煤中使用高硫强黏煤或低阶弱黏煤等<sup>[4-5]</sup>。陈忠峰等<sup>[6]</sup>研究了长焰煤替代少量气煤配煤炼焦的可行性,结果表明,随着长焰煤配入量的增加,焦炭质量变差;当长焰煤添加量控制在7%以内时,焦

收稿日期:2015-03-09;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.001

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51404003,U1361128)

作者简介:高志芳(1978—),女,河北沧州人,副教授,博士,从事煤炭清洁利用工作。E-mail:cancan20071007@163.com。通讯作者:郑明东,男,安徽亳州人,教授,从事煤化工相关工作。E-mail:Zhmd118@ahut.edu.cn

引用格式:高志芳,袁晓波,郑明东,等.热改质低阶烟煤对配煤及型煤炼焦影响研究[J].洁净煤技术,2015,21(6):1-5.

GAO Zhifang, YUAN Xiaobo, ZHENG Mingdong, et al. Effects of thermally upgraded low rank coal on coking of mixed coal and briquette[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6):1-5.

炭质量劣化趋势一致,没有出现迅速劣化的拐点。张代林等<sup>[7]</sup>,Heinz等<sup>[8]</sup>、郑昫辉等<sup>[9]</sup>对低阶煤热解及配煤炼焦进行研究,结果表明,由于低阶煤结构松散、氧含量高、黏结性低甚至没有,在煤热解过程中,挥发分大量析出,既消耗有效氢,又损坏胶质体质量,焦炭质量下降。针对这些问题,有学者开始对低阶烟煤进行预热处理方面的研究。朱子宗等<sup>[10]</sup>利用自主研发的煤粉改性剂对非炼焦煤进行改性后配煤炼焦。以上研究说明低阶烟煤经过预热处理后,煤中有机官能团发生裂解,以小分子形式脱除,同时煤中氧含量降低,煤结构发生“低分子化”现象,大大减缓对混煤黏结性的破坏,增加低阶烟煤用量<sup>[11-12]</sup>。虽然有关低阶煤热改性的研究取得了一定成果,但鲜见将改性提质后低阶煤应用于配煤炼焦,分析其与焦炭质量关系的研究。鉴于此,笔者以内蒙古低阶烟煤为试验原料,通过对低阶煤进行提

质改性,利用配型煤技术,分析低阶改性烟煤对配煤焦炭质量的影响,以期低阶烟煤有效参与配煤炼焦提供理论和试验依据。

## 1 试验部分

### 1.1 试验原料

试验原料低阶烟煤取自于内蒙古,煤样用塑料袋层层裹住,保存于水中,避免煤自然氧化对试验结果产生影响。改性煤由低阶煤经过热处理工艺制备得到,混煤是由低阶煤与改性煤混合而成。

由表1可知,低阶煤改性后,水明显降低,预处理后低阶煤挥发分由35.79%降至29.02%,氧含量由19.56%降至12.45%;黏结指数由9.12提高至53.23,热处理改性后的煤样黏结性显著提高。

表1 煤样基本性质

样品	工业分析/%			元素分析/%					胶质层最大厚度 Y 值/mm	黏结指数 G
	$M_{ad}$	$A_d$	$V_{daf}$	$w(N_{daf})$	$w(C_{daf})$	$w(S_{daf})$	$w(H_{daf})$	$w(O_{daf})$		
低阶煤	10.40	8.74	35.79	1.14	74.97	0.55	3.78	19.56	5.14	9.12
混煤	1.53	10.46	30.51	1.04	87.42	0.83	5.52	4.79	33.90	78.56
改性煤	2.50	9.20	29.02	1.41	80.73	0.66	4.75	12.45	10.25	53.23

### 1.2 试验设备

煤样改性热处理仪器为自制加热仪(图1),炼焦试验在自制的5 kg 焦炉上进行。

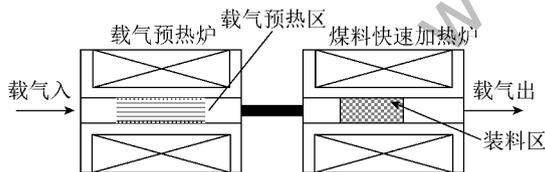


图1 煤炭预处理试验装置

### 1.3 试验条件及方法

热改性试验条件为:煤样破碎至0.2~3 mm,开始以5 L/min 流速通入 $N_2$ 以排除空气,载气温度控制在450~500℃,煤样温度约420℃,预处理时间控制在40 min左右,处理后煤样的干燥无灰基挥发分控制在29%左右。

焦炉试验条件为:改质煤配煤炼焦在5 kg 焦炉内进行,结焦时间18 h,水分10%,细度为90%,红焦采用氮气干法熄焦。采用自行开发研制的5 kg 试验焦炉和I型转固装置对焦炭进行反应性、反应后强度指标测试。

型煤炼焦过程为:型煤制备采用的冷压成型黏结剂为石油沥青,加入量为3%,成型压力约为25 MPa,制备型煤(球形)的堆积密度约1.08 t/m<sup>3</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 低阶煤对混煤黏结性的影响

低阶烟煤不具有黏结性,在强黏结性煤中加入低阶烟煤势必会影响混煤的黏结性。低阶烟煤比例对混煤黏结性的影响如图2所示。

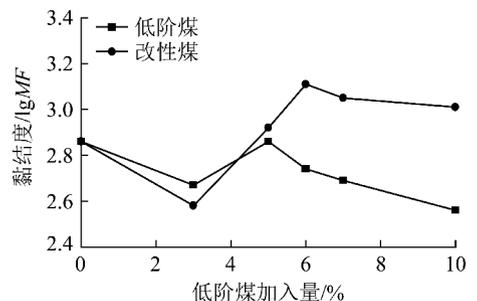


图2 低阶烟煤比例对混煤黏结性的影响

由图2可知,相对于原焦煤,配入低阶煤后,混煤黏结性变差,但并不是线性下降,而是呈转折趋

势,低阶煤配入比例达到5%以后,焦炭质量明显劣化,这与已有研究结果吻合<sup>[13]</sup>。添加改性煤样也会降低混煤黏结性,改性煤样添加比例为6%时,混煤黏结性最好。这是由于煤的黏结性与煤中氧含量直接相关,煤中氧多以含氧官能团的形式存在,使得煤在热解过程中极易分解为小分子物质溢出,难以形成具有黏结作用的胶质体物质,且热解过程中氧大量吸收分解氢,进一步减少了生成胶质体的可能性。而预处理过程中,煤结构中的含氧官能团以及小分子侧链开始裂解,随着热解终温的升高,大分子侧链开始断裂并脱除,产生大量气体和焦油,半焦结构中的 $\text{>C=O}$ 逐渐减少直至消失,半焦结构有增强的趋势,因此添加改性煤样后,混煤黏结性增强,但继续

增大改性煤样后,大分子碎片之间发生聚合反应生成芳香性更高的半焦结构减少,因此当改性煤样比例超过6%后,混煤黏结性变差。

## 2.2 低阶煤对焦炭质量的影响

低阶煤配入比例大于5%时,在炼焦生产中没有意义。因此,试验分别用0、3%、5%的低阶烟煤替代等量气煤在5 kg 焦炉中炼焦,对应的配煤分别为A1、A2、A3。焦炭的基本性质和光学组织见表2。

由表2可知,试验所选低阶烟煤具有低灰低硫的特点,随着低阶烟煤的加入,焦炭硫分下降0.10%。焦炭中细粒镶嵌组织含量明显降低,可能是由于低阶煤的煤芳香度低,胶质层易分解,生成的细粒镶嵌缺乏进一步聚集的条件。

表2 焦炭的基本性质和光学组织

%

样品	$A_d$	$w(S_{t,d})$	焦炭光学组织(质量分数)							光学组织指数 OTI
			各向同性	细粒镶嵌	中粒镶嵌	粗粒镶嵌	纤维	片状	丝炭与破片	
A1	12.11	0.66	9.4	19.7	27.9	11.2	0	2.2	29.6	106.7
A2	12.30	0.57	5.0	14.7	32.7	18.0	0.6	1.7	27.3	124.7
A3	12.15	0.56	0.7	12.7	31.3	17.6	0	0.7	37.0	113.3

焦炭的冷、热态强度如图3所示,使用低阶煤代替气煤炼焦,导致焦炭质量下降,其中焦炭冷态强度变化不大,随着低阶煤比例的提高,所得焦炭的热反应性(CRI)增大,反应后强度(CSR)下降。低阶煤比例为3%时,CSR明显下降,这是由于低阶煤热解液相产物和气相产物增多,膨胀压力大,导致颗粒间隙减小,有利于热解产生的液相润湿煤颗粒,并将煤颗粒牢固黏接起来,导致气孔率下降,比表面积降低,焦炭反应后强度降低。

## 2.3 改性煤对配煤炼焦的影响

为进一步验证改性煤对配煤炼焦的影响,在5 kg 焦炉上对比同条件研究改性煤质量分数分别为

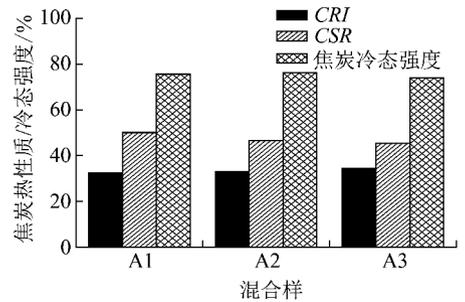


图3 焦炭的冷、热态强度

0、3%、5%、6%、7%、10% (对应的配煤分别命名为B1、B2、B3、B4、B5、B6)时对应的焦炭质量。焦炭的基本性质和光学组织见表3。

表3 焦炭的基本性质和光学组织

%

样品	$A_d$	$w(S_{t,d})$	焦炭光学组织(质量分数)							OTI
			各向同性	细粒镶嵌	中粒镶嵌	粗粒镶嵌	纤维	片状	丝炭与破片	
B1	12.11	0.66	9.4	19.7	27.9	11.2	0	2.2	29.6	106.7
B2	11.87	0.58	3.7	10.7	37.0	15.0	0	1.0	32.7	118.7
B3	12.44	0.60	18.9	25.0	24.3	15.5	0	2.7	13.5	115.4
B4	12.26	0.64	3.5	10.4	30.0	16.5	1.2	1.5	36.9	113.0
B5	12.00	0.65	4.6	11.2	32.3	11.9	1.2	1.2	37.7	108.0
B6	12.12	0.63	4.6	15.4	30.8	10.4	0	0.8	38.1	101.0

由表3可知,添加改性煤样可降低焦炭硫分,但降低较小,仅为0.03%,在焦炭光学组织检测中,添加改性煤样所得焦炭的各向同性与细粒镶嵌组分减少,各向异性增加,焦炭质量变好<sup>[14]</sup>。

改性煤加入量对焦炭性质的影响如图4所示,与低阶煤相比,改性煤配入量为6%时,反应后强度增加约4%。而冷态强度变化不大,原因是预处理后的低阶煤挥发分降低,胶质层最大厚度、黏结指数明显增大,所以焦炭的CSR增加。因此,在保证焦炭质量的前提下,预处理工艺可使低阶烟煤添加比例达到6%。

### 2.4 改性煤对型煤炼焦的影响

在保证焦炭质量的条件下,采用型煤工艺可进一步提高改性煤的使用量。型煤制备采用的冷

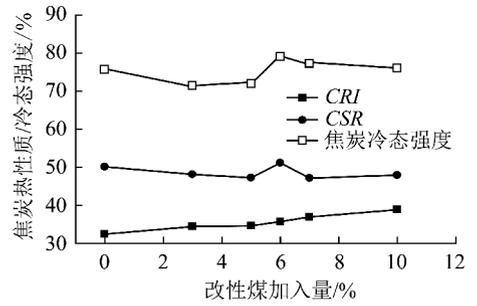


图4 改性煤加入量对焦炭性质的影响

压成型黏结剂为石油沥青,加入量为3%,成型压力约为25 MPa,所制备的型煤(球形)堆积密度约为1.08 t/m<sup>3</sup>,其中C0~C6为改性煤、型煤及黏结剂不同配比下的混煤。型煤配煤方案及焦炭性质见表4、表5。

表4 型煤配煤方案及焦炭性质

样品	改性煤添加量/%	型煤添加量/%	黏结剂添加量/%	配煤			焦炭		
				A <sub>ad</sub> /%	V <sub>daf</sub> /%	黏结指数G	A <sub>ad</sub> /%	V <sub>daf</sub> /%	w(S <sub>1,d</sub> )/%
C0	0	0	0	9.36	30.51	81.78	12.11	1.17	0.66
C1	7	10	0				12.21	1.31	0.57
C2	7	10	3	8.58	30.5	75.81	12.13	1.33	0.63
C3	7	20	3				12.49	1.32	0.60
C4	10	10	0				12.01	1.28	0.58
C5	10	10	3	9.06	30.92	73.66	11.96	1.48	0.64
C6	10	20	3				11.16	1.72	0.58

表5 型煤焦炭的光学组织 %

焦炭光学组织 (质量分数)	7%的预处理煤							10%的预处理煤		
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6			
各向同性	9.4	15.9	14.4	11.1	5.4	16.9	16.7			
细粒镶嵌	19.7	25.4	30.7	33.9	11.2	35.3	28.8			
中粒镶嵌	27.9	25.8	25.9	24.7	26.9	18.8	28.0			
粗粒镶嵌	11.2	10.6	8.9	9.2	16.2	8.1	8.0			
纤维	0	1.5	0	0	3.0	0	0			
片状	2.2	2.7	1.1	1.8	0.8	1.8	1.5			
丝炭与破片	29.6	18.2	18.9	19.2	36.5	19.1	17.0			
OTI	106.7	113.5	104.7	108.9	109.6	96.3	106.8			

由表5可知,配型煤炼焦所得焦炭中,丝炭与破片大幅降低,OTI值有所提高。所得光学组织以细粒镶嵌和中粒镶嵌为主,细粒镶嵌所占比例均在11%以上,中粒镶嵌所占比例多在20%以上。丝炭和破片相对较多,在15%以上。低变质程度煤的镜质组多形成具有各向同性的焦炭,而惰质组分则主要形成丝炭与破片,丝炭与破片含量多导致焦炭质

量下降。

添加7%、10%低阶煤配型煤炼焦所得焦炭的热性质如图5、图6所示。

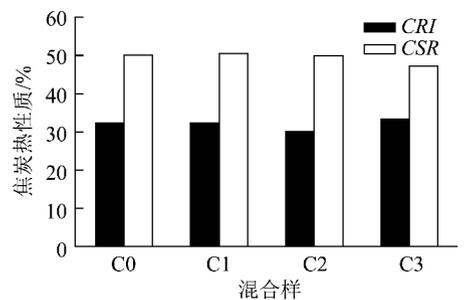


图5 添加7%改性煤的混煤焦炭热性质

由图5、图6可知,使用配型煤炼焦工艺后,焦炭质量提高,由于配入型煤块后,提高了入炉煤的密度,炭化过程中半焦化阶段的收缩降低使焦炭裂纹减少,型煤块中煤紧密接触。在炭化过程中从软化到固化的塑性区间,煤中黏结组分和惰性组分的胶结作用得到改善,提高了煤的结焦性

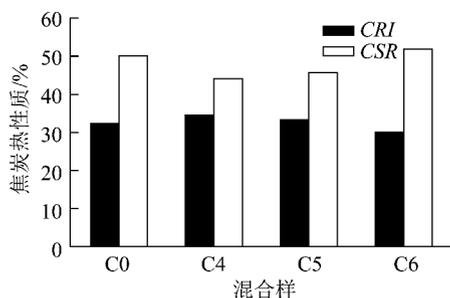


图6 添加10%改性煤的混煤焦炭热性质

能<sup>[15-16]</sup>。改性煤添加比例相同时,不加黏结剂的焦炭质量差,对比方案C5和C6,当型煤添加量由10%提高到20%时,焦炭质量提高。在型煤比例相同的情况下,对比方案C2和C5,增加改质煤用量会增加焦炭反应性,冷态强度下降,焦炭质量变差。在保证焦炭质量的前提下,引入型煤工艺可使改性煤添加比例达到7%。

### 3 结 论

1) 低阶煤黏结性差,添加低阶煤会降低配煤的黏结性,应控制低阶煤配入量在3%以下,对焦炭质量影响较小。改性煤配入量为6%时,反应后强度增加约4%,而冷态强度变化不大,原因是预处理后的低阶煤挥发分降低,胶质层最大厚度、黏结指数明显增大,所以焦炭的CSR增加。

2) 采用型煤工艺可增加炉煤堆密度,在合理的配煤结构下,采用型煤技术可使改性煤配入量达到7%~10%。由于提高混煤的密度,使炭化过程中半焦化阶段的收缩降低,焦炭裂纹减少,型煤块中煤紧密接触,在炭化过程中从软化到固化的塑性区间,煤中黏结组分和惰性组分的胶结作用得到改善,提高了煤的结焦性能。

#### 参考文献:

- [1] 何选明,付鹏睿,王春霞,等.用于高炉喷吹的低阶煤梯级转化半焦的燃烧性能[J].钢铁,2014,49(9):92-97.
- [2] Jianglong Y, Arash T, Yanna H, et al. A review on water in low rank coals; the existence, interaction with coal structure and effects on coal utilization[J]. Fuel Processing Technology, 2013, 106: 9-20.
- [3] 姚怀伟,郑明东,张小勇,等.捣固焦炭内在质量及等反应后强度指标[J].钢铁,2013,48(12):16-19.
- [4] 徐君,邵国庆,白金锋,等.配入低阶煤炼焦对焦炭性能影响的研究[J].燃料与化工,2013,44(3):1-4.
- [5] Wang S J, Wu F, Zhang G, et al. Research on the combustion characteristics of anthracite and blended coal with composite catalysts

[J]. Journal of the Energy Institute, 2014, 8(2): 96-101.

- [6] 陈忠峰,郑明东,张代林,等.长焰煤配煤炼焦的可行性研究[J].选煤技术,2010(6):27-30.
- [7] 张代林,曾涛,李伟锋,等.煤焦显微结构特征与焦炭性质的关系[J].钢铁,2011,46(1):14-18.
- [8] Heinz J Neuburg, Rafael Kandiyoti, R John O'Brien, et al. Release of chloroform-extractable materials from a bituminous coal after mild heating[J]. Fuel, 1987, 66(4): 486-492.
- [9] 郑响辉,戴中蜀.低温热解处理后煤的热重分析[J].煤炭转化,1998,10(4):48-51.
- [10] 朱子宗,徐军,李硕,等.不黏煤改性及配煤炼焦优化[J].煤炭学报,2012,37(7):1195-1200.
- [11] Matsuura M, Sasaki M, Saito K. Effects of rapid preheating on coal structure and coke strength[J]. Fuel and Energy Abstracts, 2004, 45(4): 242-243.
- [12] 戴中蜀,马立红,罗明.低温热解处理对兖州煤孔结构的影响[J].燃料与化工,1998,29(1):1-6.
- [13] 郑庆荣,刘鸿福,薛光武.多种中变质煤配煤炼焦的生产实验研究[J].煤炭转化,2013,36(3):35-38.
- [14] Ahmed I I, Gupta A K. Experiments and stochastic simulations of lignite coal during pyrolysis and gasification[J]. Applied Energy, 2013, 102: 355-363.
- [15] 任学延.炼焦配煤中配入长焰煤的研究[J].煤化工,2012(1):31-33.
- [16] 吕劲,虞继舜.大同煤预热改质工艺及炼焦实验研究[J].钢铁,2004,39(2):1-3.

### 《洁净煤技术》杂志征订启事

《洁净煤技术》杂志是由煤炭科学研究总院与煤炭工业洁净煤工程技术研究中心联合主办,经国家科委与新闻出版署正式批准,向国内外公开发行的国家级专业科技刊物(大16开),双月刊,为中国科技核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊。已被美国《乌利希期刊指南》(Ulrichsweb)、美国《化学文摘》(CA)、美国《史蒂芬斯数据库》(EBSCO host)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)收录。

邮局汇款:北京市朝阳区和平街13区煤炭大厦1204室

收款人:《洁净煤技术》编辑部 邮编:100013

银行汇款:户名:煤炭科学研究总院

开户行:工行和平里支行营业室

账号:0200004209089115910

请您在汇单上注明“订洁净煤技术款”!

2016年本刊每期定价20元,全年6期,合计120元。

地址:北京市朝阳区和平街13区煤炭大厦1204室

电话:010-84262927,84262909

传真:010-84262114

投稿网址:www.jjmjs.com.cn

E-mail: jjmjs@263.net QQ群:309163437

微信:jjmjs84262927