

# Study on the Coke-Forming Characteristic of 1/3 Coking Coal and Its Coal Blending Scheme for Coking

Mingyou Wu<sup>1,2</sup>, Yongjian Bai<sup>1</sup>, Chu-an Xiong<sup>3</sup>, Deping Xu<sup>1</sup>, Yonggong Wang<sup>1</sup>

1.School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing, 100083, China

2. Heilongjiang LongMay Mining Group Co., Ltd. Haerbin, 150090, China

3.School of Resource and Environmental Engineering, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin, 150027, China

1. wumingyou@163.com, 2. xca3662@2126.com

**Abstract:** Proximate analysis, petrographic analysis and maceral composition analysis of four different 1/3 coking coal, marked as LM1, LM2, LM3, LM4, were carried out firstly in this paper. And then the coke-forming characteristic of single 1/3 coking coal and Coal blending coking performance of different 1/3 coking coal were tested based on the stamp-charge coking test in small iron-box and 40 kg small coke-oven experiments separately. Mean maximum reflectance of vitrinite and caking index were used for making the coal blending scheme. The result showed that the LM1 and LM4 had good Coke-forming characteristic of single coal, and its Coke-forming characteristic could be promoted with the increasing of the amount of homoeollinite and desmocolinite. It was practicable that coal blending for coking of different 1/3 coking coal with different caking property and adding small proportional coke powder. The scheme of coal blending for coking, which met the standard of the grade-1 or grade-2 metallurgical coke, were selected according to the coke quality of small coke-oven test.

**Keywords:** 1/3 coking coal; coke-forming characteristic; petrographical coal blending; coal blending coking

## 1/3 焦煤成焦特性及配煤炼焦方案的研究

吴明有<sup>1, 2</sup>, 白永健<sup>1</sup>, 熊楚安<sup>3</sup>, 许德平<sup>1</sup>, 王永刚<sup>1</sup>

1. 中国矿业大学化学与环境工程学院, 北京, 中国, 100083

2. 黑龙江龙煤矿业集团有限公司, 哈尔滨, 中国, 150090

3. 黑龙江科技学院资源与环境工程学院, 哈尔滨, 中国, 150027

1. wumingyou@163.com, 2. xca3662@126.com

**摘要:** 论文采用 LM1, LM2, LM3, LM4 四个 1/3 焦煤为原料, 在对其进行工业分析煤岩分析及显微组分分析与讨论后, 利用小铁箱实验, 评价其单煤成焦特性, 利用 40KG 小焦炉实验, 研究其配煤炼焦特性, 利用煤岩及粘结指标进行配煤方案制订。研究结果表明, LM1, LM4 具有良好的单煤成焦特性, 煤岩显微组分中均质镜质体和基质镜质体的含量增加, 有利于其成焦特性的提高, 不同粘结性的 1/3 焦煤配煤炼焦及少量焦粉的配入是可行的, 通过对小焦炉焦炭质量的分析研究, 筛选出多个一级或二级冶金焦的配煤方案。

**关键词:** 1/3 焦煤; 成焦特性; 煤岩配煤; 配煤炼焦

### 1 引言

中国的焦煤和肥煤资源呈紧缺的趋势且分布不均, 这导致焦煤和肥煤的价格不断攀升, 肥煤和焦煤的价格比 1/3 焦煤的价格高出 350 元/吨左右, 因此, 许多现代焦化厂都根据就近资源的特点, 采用配煤炼焦<sup>[1,2,3]</sup>, 并呈蓬勃发展的形势。配煤技术的发展, 主要包括区域性配煤, 精确配煤<sup>[4,5]</sup>, 扩大炼焦煤范围及

配煤专家系统<sup>[6]</sup>等几个方面。传统的配煤方法主要考虑以煤的煤质指标为参数, 依据某些指标的加和特征指导配煤炼焦, 而煤岩配煤<sup>[7]</sup>则是从煤岩组成与分析的角度出发, 以煤的镜质组平均最大反射率及反射率分布直方图为依据, 对炼焦原料煤进行分析研究, 指导配煤。在炼焦生产中, 常规配煤技术主要以焦煤和肥煤<sup>[8]</sup>为主, 配入少量低阶或高价煤, 从长远的发展

看, 肥煤和焦煤资源日益缺乏。因此, 如何大量利用贮量丰富的 1/3 焦煤进行炼焦, 或以 1/3 焦煤为主, 混配少量的肥煤或焦煤进行炼焦, 实现资源的合理、高效利用, 可增大企业的经济效益和满足炼焦工业可持续发展的要求。论文以不同矿井的 1/3 焦煤为主要原料, 研究其成焦特性, 并用煤岩分析的方法, 结合传统的配煤方法, 研究以 1/3 焦煤互配而制备优质冶金焦的配煤方案。

## 2 实验原料、设备及方法

### 2.1 实验原料

实验原料为某矿区不同 1/3 焦煤和焦粉, 分别标识为 LM1, LM2, LM3, LM4, JF。

### 2.2 实验设备

实验主要设备包括电热恒温鼓风干燥箱; XPZ-200×75 双辊破碎机, AY220 型电子天平 (精度 0.1mg), 标准套筛, 手动捣固装置, 40 公斤成套小焦炉, 小铁箱, 煤岩分析显微镜, 工业分析装置 (水分, 灰分, 挥发分, 胶质层厚度, 粘结指数, 硫分)。焦炭分析装置 (转鼓实验机, 落下实验机, 筛分设备)。

### 2.3 实验方法

对现场提供的不同原料煤, 按照国标进行工业分析、煤岩分析及显微组分分析及研究, 然后采用小铁箱实验, 研究 1/3 焦煤的单种煤成焦特性, 根据其成焦特性, 以煤岩配煤的方法, 结合传统配煤的方法和经验, 初步制订配煤方案, 再以 40Kg 小焦炉进行捣固炼焦实验, 通过对焦炉质量指标分析研究, 最终得到优化的配煤方案。

## 3 结果和讨论

### 3.1 原料分析

四种不同的 1/3 焦煤及焦粉 (LM1, LM2, LM3, LM4, JF) 的工业分析见表 1, 煤岩显微分析数据见表 2, 显微组分分析见表 3。

由表 1 可以看出, 灰分以 LM1 为最低, 胶质层指数以 LM1 为最大, 而粘结性以 LM3 稍差, 挥发分比较相近 (JF 除外), 所有煤样的硫分在 0.4-0.6 范围, 符

Table 1: Industrial analysis of 1/3 coking coal and coke powder  
表 1 原料煤工业分析

煤样	灰分 (Ad/%)	挥发分 (Vdaf/%)	全硫 (Std/%)	粘结指数 (G)	胶质层厚度 (Y/mm)	收缩度 (X/mm)
LM1	7.54	31.54	0.45	86	16	37
LM2	8.08	33.1	0.46	84	12	41
LM3	10.81	33.62	0.44	69	11	26
LM4	8.27	32.81	0.48	92	11	17
JF	15.4	1.58	0.56	0	0	0

合国家一级冶金焦的硫分要求, 由于部分煤样的粘结性较高, 还可以考虑加入少量的焦粉瘦化剂, 以提高焦炭强度和实现焦粉再利用。

由表 2 数据可看出, 1/3 焦煤的镜质组最大反射率区间为 0.826-0.914, 而焦粉的镜质组平均最大反射率达 5.719%, 其变质程度甚至超过无烟煤, 在配煤过程中会产生较强的瘦化效应, 从标准偏差 (SD) 的值可见, 除焦粉以外, 其它四种原料煤的标准偏差均小于 0.1, 表明现场提供的四种 1/3 焦煤均为单一煤种。

Table 2: Mean maximum reflectance of vitrinite and mean square deviation  
表 2 原煤镜质组平均最大反射率及均方差

煤样	镜质组平均最大反射率, %	均方差	总点数
LM1	0.826	0.053	123
LM2	0.893	0.074	155
LM3	0.881	0.087	200
LM4	0.904	0.086	203
JF	5.719	2.1	245

煤岩显微组分与亚显微组分的定量统计数据见表 3。可以看出, 惰质组中没有发现菌类体, 发现了少量的粗粒体和细粒体及大量的丝质体, 半丝质体, 孢子体和碎屑惰质体; 而镜质组分包括 T 结构镜质体, C1 均质镜质体, C2 基质镜质体, C3 团块镜质体; C4 胶质镜质体; VD 碎屑镜质体。壳质组中没有发现荧光体, 有 Sp 孢子体, Cu 角质体, Re 树脂体, ED 碎屑壳质体; 而矿物质主要为粘土矿和菱铁矿。

Table3: Quantitative Analysis of maceral and submaceral composition  
表3 煤样显微组分与亚组分定量分析

煤样	镜质组						惰质组					壳质组			矿物	
	T	C1	C2	C3	C4	VD	SF	F	Mi	Ma	ID	Sp	Cu	Re	ED	M
LM1	0.7	54.8	22.6	1.8	0.5	0.9	1.8	5.5	0.1	0.3	2.3	2.7	0.8	-	1.1	4.1
LM2	1.1	69.2	11.2	0.7	0.9	0.5	1.4	4.8	-	-	3.1	1.4	0.5	0.2	2.2	2.8
LM3	20.8	41.6	14.1	1.2	2.8	1.4	2.3	5.6	0.1	0.5	1.6	1.1	1.6	0.2	2.4	2.7
LM4	1.7	80.1	4.8	0.4	0.3	2.9	-	1.8	-	-	2.2	0.9	0.8	-	1.6	2.5

### 3.2 1/3 焦煤的成焦特性

研究单种煤的成焦特性与焦炭质量的关系，探讨其炼焦过程中的行为变化，可以为不同煤种以及同类煤种的配煤炼焦提供参考依据，对指导配煤具有重要意义。为此，在生产现场，利用小铁箱，在100万吨/年捣固炼焦焦炉上进行了单煤种的成焦实验。

#### 3.2.1 1/3 焦煤小铁箱实验

根据现场生产经验，原料煤的粒度控制 3 mm (87%) 以下，焦粉粒度 0.2mm 以下，水分调配在10%左右，将原料混合均匀后，加入自制的小铁箱

(0.23×0.23×0.23m)，边加入边捣固，将原料密度捣固至 1.05g/cm<sup>3</sup>，然后将整个小铁箱放入焦炉的炭化室中炭化，炭化条件为：初始炉温为 800 °C，升温至 1050 °C，在 1050 °C 恒温 18h，湿法熄焦，焦炭冷却后进行质量分析，主要检测焦炭的灰分，挥发分，硫分，焦炭的筛分粒度组成以及抗碎强度 (M40,M25),耐磨强度 (M10)。

#### 3.2.2 1/3 焦煤成焦特性

小铁箱成焦实验的入炉煤的煤质特征及焦炭质量分析数据见表 4。

LM1 焦煤具有良好的成焦特性，其焦炭成银灰色

Table 4 Coking test data of single coal  
表4 单种煤样成焦试验数据

煤种	入炉煤					出炉焦					
	Ad %	Std %	Vdaf %	G	R <sub>max</sub> <sup>0</sup> %	Ad %	Std %	Vdaf %	M40 %	M25 %	M10 %
LM1	7.54	0.45	31.54	86	0.826	11.70	0.48	1.20	90.5	92.6	5.3
LM2	9.03	0.48	30.08	78	0.914	12.01	0.45	1.21	80.0	87.4	8.4
LM3	10.49	0.42	35.41	83	0.881	12.42	0.40	1.42	67.1	84.2	12.1
LM4	7.78	0.48	31.63	78	0.904	11.92	0.43	1.54	72.0	94.0	4.0

光泽，断面融合良好；裂纹较少；块度大，可以用于单独成焦，也可用于配煤制备二级焦。

LM1 焦煤具有良好的成焦特性，其焦炭成银灰色光泽，断面融合良好；裂纹较少；块度大，可以用于单独成焦，也可用于配煤制备二级焦。

LM2 具有较好的成焦特性，其焦炭块度大，呈银灰色光泽；断面融合好；裂纹少；强度好。其强度指标符合国标二级焦，可以作为配煤原料。

LM3 的成焦性较差；焦炭块度中等，而粒焦高达 8.2%；裂纹多；耐磨强度差，只能用于配煤。

LM4 具有良好的成焦特性，但其块度相对较小，但分布均匀，焦末含量低，表现了很好的耐磨特性，其焦炭表面呈银灰色光泽；断面融合好；裂纹少；强度好，其强度指标符合国家一级焦，故其可单独成焦或作配煤原料。

综合小铁箱的实验数据，可知成焦特性的优劣顺序为：LM1>LM4>LM2>LM3。从表 1 可知，LM1 的粘结指数与胶质层厚度较大，故其成焦性最好，而 LM4 的粘结指数好于 LM1,但其成焦块度即不如 LM1,说明成焦性能除与焦结性有关外，还与活性组分的结构有关，由表 3 可看出，LM3 中，由于存在大量的结

构镜质体，降低了其成焦特性，而均质镜质体与基质镜质体可以有效地提高其成焦特性。

### 3.3 1/3 焦煤配煤炼焦

随着高炉的大型化，对冶金焦质量提出了更高的要求，单种煤炼焦的矛盾也日益突出，如膨胀压力大，焦饼收缩量小，炉墙易损坏，成推焦困难等。因此配煤炼焦已成共识。上述研究结果表明，不同 1/3 焦煤的成焦特性不同，可对其进行配煤炼焦，实现资源的高效利用。

#### 3.3.1 配煤方案的制定

配煤方案的制订，遵循如下原则：（1）焦炭质量符合国家标准一级或二级。（2）配煤炼焦末期要有足够的收缩度，避免推焦困难和损坏炉体；（3）充分利用本地资源，降低生产成本；（3）尽量少用或不用肥煤和焦煤资源，（4）考虑加入焦粉，实现综合利用。在配煤方案制定过程中，以煤岩分析数据为基础，对煤的镜质组平均最大反射率进行加权计算，将配煤的煤岩指标确定为 0.85%左右，同时要求灰分指标  $Ad < 9\%$ ，挥发分  $Vdaf$  在 28-32%之间，配煤粘结指数加权值  $G$  在 58%到 72%左右，胶质层指数  $Y$  在 15mm-20mm 左右。确定的配煤方案入炉煤的煤质数据见表 5。

Table 5 Coal blending scheme for 40 kg small coke-oven and property of coal as fired  
表 5 配煤方案（40Kg 小焦炉）及入炉煤煤质

方案	LM1(%)	LM2(%)	LM3(%)	LM4(%)	JF(%)	Ad %	St %	Vdaf%	G %	$R_{max}^0$ (%)
PM1	100					7.6	0.46	30.99	87	0.826
PM2	90				10	10.36	0.60	23.44	80	1.26
PM3	94				6	9.68	0.46	27.29	80	1.20
PM4	50	50				10.11	0.43	32.18	83	0.87
PM5	80	20				10.01	0.43	31.72	83	0.84
PM6	48	48			4	10.49	0.52	32.99	80	1.06
PM7	30	70				8.55	0.45	32.49	85	0.89
PM 8	70		30			10.34	0.42	32.40	82	0.84
PM 9	80		20			9.49	0.53	31.71	85	0.84
PM 10		80	20			9.53	0.44	33.09	80	0.91
PM 11	78		20		2	10.82	0.44	32.02	77	0.94
PM12	60			40		8.67	0.44	31.80	80	0.86
PM 13	58			40	2	8.37	0.49	31.49	83	0.96
PM 17		100				7.75	0.46	32.48	84	0.914
PM 19	50		15	35		8.46	0.44	31.4	74	0.86
PM 20			15	70		8.81	0.45	31.17	77	0.90
PM21	50		50			8.84	0.44	32.21	82	0.85
PM22				100		7.63	0.48	30.69	82	0.904

#### 3.3.2 40 Kg 小焦炉配煤试验

配煤实验在 40kg 的小焦炉上进行。根据现场经验，将煤饼的捣固密度模拟为  $1.05g/cm^3$ 。

配煤粒度和水分如上述，炼焦时间控制在 22 h，40kg 小焦炉加热制度为，从室温以  $3^\circ C/min$  速率升温至  $1000^\circ C$ ，然后在此温度下恒温 5h。焦炭采用湿熄焦的方法。

### 3.3.3 40 Kg 小焦炉配煤试验入炉煤及焦炭质量

由表 5 可见，在加入焦粉以后，由于焦粉的反射率数据较大，其配合煤的镜质组平均反射率的数据 0.85%较大，而硫分，灰分，挥发分及粘结指数的值均在合适的范围。表 6 为出炉焦的质量指标，可见所有方案的焦炭灰分指标和硫分指标均符合要求，挥发分个别指标超过了熟焦的指标范围 (<1.9%)，而配煤方案的好坏主要决定于强度指标和焦炭的块度，由表

6 可见，方案 PM1 达到一级焦的标准，方案 PM5,PM13 达到二级焦的标准，而方案 PM4, PM6, PM7, PM10, PM12, PM22 达到准二级的方案，所谓准二级方案是指其 M40 指标暂未能达标，根据现场生产经验，如果小焦炉 M10 的指标合格，其在大焦炉上的 M40 指标也能合格，其原因主要是小焦炉的焦化室面积太小。

Table 6 Coke quality of different coal blending scheme for 40 kg small coke-oven  
表 6 配煤炼焦出炉焦质质量

方案	Ad %	St %	Vdaf %	>80 mm	>60 mm	>40 mm	>25 mm	>10 mm	<10 mm	M40 %	M25 %	M10 %	备注
PM1	10.7	0.46	1.2	62.3	24.1	9.2	1.8	0.9	1.7	90.2	93.1	4.9	一级
PM2	12.2	0.55	1.1	86.0	8.8	0.9	1.7	0.9	1.7	88.9	89.8	9.3	-
PM3	11.2	0.42	1.3	12.1	35.9	40.6	6.4	1.3	3.7	66.3	88.4	9.7	-
PM4	11.4	0.42	1.39	58.5	22	11.9	2.5	1.7	3.4	74.6	88.2	8.4	准二
PM5	11.52	0.38	1.22	60.7	24	10.6	2.9	0.9	0.9	77.2	89.2	7.8	二级
PM6	12.08	0.44	1.92	64.5	18.6	11.9	2.5	1.7	0.8	74.5	86.7	8.2	准二
PM7	11.74	0.43	1.14	45.7	30.7	15.7	3.9	1.6	2.4	69.2	86.8	7.7	准二
PM8	11.68	0.41	2.54	38.9	26.7	23.3	6.0	1.7	3.4	72.6	87.7	9.6	-
PM9	11.7	0.43	1.3	36.2	37.1	15.2	7.6	1.0	2.9	71.2	87.9	10.6	-
PM10	11.58	0.42	1.30	49.6	15.4	21.4	8.5	1.7	3.4	56.2	85	6.8	准二
PM11	12.48	0.43	1.39	60.7	17.9	9.4	1.7	0.9	9.4	68.1	80.6	16.6	-
PM12	11.26	0.43	2.55	66.1	18.8	8.0	4.5	0.9	1.7	74.4	89.0	6.1	准二
PM13	11.56	0.43	1.56	38.2	41.8	12.7	2.7	1.9	2.7	77.1	89.6	8.3	二级
PM17	11.02	0.40	1.28	3.4	18.9	52.5	17.8	2.7	4.7	42.1	84.2	10.5	-
PM19	11.76	0.42	1.28	45	24	24	2.0	2.0	3.0	65.9	88.6	7.3	-
PM20	12.16	0.43	1.5	50.5	18.7	22.4	2.8	1.9	3.7	69.1	92.7	5.8	-
PM21	12.2	0.37	1.15	5.4	22.0	52.7	13.5	2.0	4.4	63.1	84.6	12.3	-
PM22	9.09	0.43	1.64	42.6	24.3	16.3	15.0	0.9	0.9	72.9	92.9	4.5	准二

## 4 结论

通过对现场提供的 1/3 焦煤的工业分析，煤岩分析，显微组分分析，单种煤的小铁箱实验以及 40Kg 的小焦炉的配煤炼焦实验，得到以下结果：

1) 煤样的煤岩分析数据表明，现场提供的 1/3 焦煤为单一煤种，属于低灰低硫的洗精煤，粘结性较好，其单独成焦的能力不同，其成焦优劣的顺序为：

LM1>LM4>LM2>LM3，其中 LM1 和 LM4 可用于单独炼焦，而 LM2 及 LM3 可用于配煤炼焦。

2) 1/3 焦煤单独成焦能力的不同，除于原料的粘结指数有关外，还与其显微组分的数量与组分有关，显微组分的分析结果表明，均质镜质体及基质镜质体的数量增加，其成焦性能增强。

3) 配煤方案的制订，采取煤岩配煤理论与传统理论相结合的方法，将配煤的镜质组平均最大反射率控

制在 0.85%左右。而灰分,挥发分,硫分,粘结性指标可以参考传统配煤的方法。

4) 配煤方案中,没有采用肥煤或焦煤作为基础配煤,而是采用不同的 1/3 焦煤及焦煤进行配煤炼焦,仍可获得国家一级或二级标准的冶金焦。通过小焦炉的实验,最终筛选出 9 个效果较好方案,其中有两个方案符合一级冶金焦的标准,三个方案符合二级焦的标准,还有四个方案可以作为准二级焦的方案。

## References (参考文献)

- [1] SHAO You-hui . Preliminary study on weakly caking coal-blending coking and production practice[J], *Clean coal technology*,2005,11(3),P41-44.  
邵有辉.弱粘煤配煤炼焦的初步研究与生产实践[J],*洁净煤技术*,2005,11(3),P41-44.
- [2] Zhang dailin, Cui Ping, Li Ting. Study on optimal ratio between reactive component and inert component in coal blend for coking [J], *Fuel & chemical process*,2002,33 (6) ,P283-284.
- [3] C. Barriocanal, M.A. Di'ez, R. Alvarez, etc. Relationship between coking pressure generated by coal blends and the composition of their primary tars[ J],*Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*,2009, 85,P514-520.
- [4] Guo Yi-nan, Gong Dun-wei, Cheng Jian. Predictive model of coke quality based on distributed Neural Network[J],*Journal of China University of Mining & Technology* ,2005,34(4),P514-517.  
郭一楠,巩敦卫,程健.基于分布式神经网络的焦炭质量预测模型[J],*中国矿业大学学报*,2005,34(4),P514-517.
- [5] GUO Yi-nan, WANG Ling, TAN De-jian, etc. Coal Blending Control Based on Mixed Optimization of Genetic Algorithm and Neural Network[J], *Journal of China University of Mining & Technology*, 2002,31(5),P404-406.  
郭一楠,王 凌,谭德健,等.基于遗传算法和神经网络混合优化的配煤控制[J],*中国矿业大学学报*, 2002, 31(5),P404-406.
- [6] Hengfu Shui, Changhui Lin, Meng Zhang, etc. Comparison of the associative structure of two different types of rich coals and their coking properties [J],*Fuel* ,2010,89,P1647-1653.
- [7] S. Nomura, T. Arima. Coke shrinkage and coking pressure during carbonization in a coke oven [J], *Fuel*,2000,79,P 1603-1610.
- [8] S. Richard. Interactions between coking coals in blends [J],*Fuel*,2003,82,P439-450.