

# 基于加权计算的焦煤煤岩亚组分基础特性

王 岩<sup>1,2,3</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 煤化工分院,北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室,北京 100013;  
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室,北京 100013)

**摘要:**为了深层次解析煤岩组成对原料煤加工利用过程的影响,选取煤岩亚组分作为考察因素并研究其基础特性,基于煤岩亚组分真相对密度、挥发分、元素组成等指标的加权特性,采用试验分析与数学计算相结合的方法研究了代表性焦煤均质镜质体、基质镜质体、丝质体、粗粒体等煤岩亚组分基本工艺性质。结果表明,同等变质程度下,丝质体和粗粒体的真相对密度较大,半镜质组次之,均质镜质体和基质镜质体的真相对密度较小;不同煤岩亚组分挥发分由大到小依次为:均质镜质体>基质镜质体>半镜质组>丝质体>粗粒体;碳元素含量及芳碳率关系为:均质镜质体<基质镜质体<半镜质组<丝质体、粗粒体,氢氧元素含量、H/C原子比及O/C原子比与此相反。

**关键词:**焦煤;加权计算;煤岩亚组分;真相对密度;挥发分;元素组成

**中图分类号:** TQ520.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1006-6772(2017)01-0013-06

## Basic characteristics of coking coal submaceral based on weighted calculation

WANG Yan<sup>1,2,3</sup>

(1. Research Institute of Coal Chemistry, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China;  
2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China;  
3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of coal lithotypes on coal utilization, the submaceral was selected as investigation factor, its basic characteristics were investigated. Based on submaceral's weighting characteristic of true relative density, volatile matter and elementary composition, the basic characteristics of typical coking coal were analyzed by experimental analysis and mathematical calculation. The results showed that under the same metamorphic grade F and Ma had larger true relative density, then SV, C1 and C2 had relative smaller true relative density. Volatile matter of different submacerals from big to small was C1, C2, SV, F, Ma. Carbon element content and aromatic-carbon ratio from small to big was C1, C2, SV, F, Ma. Hydrogen content, oxygen content, H/C and O/C were different from carbon element content.

**Key words:** coking coal; weighted calculation; submaceral; true relative density; volatile matter; elemental composition

## 0 引 言

高炉炼铁技术的日益发展对冶金焦热态性能提出了更高要求<sup>[1]</sup>;煤岩组成对焦炭热态性能产生重要影响<sup>[2-4]</sup>。研究者对煤岩组成及其特性的研究多集中于煤岩有机显微组分层面,鲜见关于煤岩亚组分特性研究进展的报道。学者普遍根据煤在炼焦受热过程中的变化将煤岩有机显微组分分为活性组分及惰性组分两类,其中镜质组、壳质组受热熔融并能

黏结其他组分,称之为活性组分;惰质组受热过程中形貌特征基本不发生变化,称之为惰性组分<sup>[5]</sup>;有时还划分出介于二者之间的半镜质组<sup>[6]</sup>。煤岩组成对焦炭热态性能影响的研究多以镜质组、惰质组为主要因素,各种预测模型均以显微组分为基础,但对于预测结果的精准把握及性质异常炼焦煤的合理剖析尚存在一定难度<sup>[7-8]</sup>。煤岩亚组分是根据有机显微组分成因及形态进一步细分的微观单元,深入煤岩亚组分层开展研究将更加科学、准确表

收稿日期:2016-09-19;责任编辑:白娅娜      DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2017.01.003

基金项目:国家自然科学基金-神华集团有限公司煤炭联合基金资助项目(U1361122)

作者简介:王 岩(1987—),男,辽宁岫岩人,助理研究员,硕士,从事煤炭热解及焦化技术研究工作。E-mail:wy7894492@163.com

引用格式:王 岩.基于加权计算的焦煤煤岩亚组分基础特性[J].洁净煤技术,2017,23(1):13-18.

WANG Yan. Basic characteristics of coking coal submaceral based on weighted calculation[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(1): 13-18.

征煤岩组成对焦炭热态性能的影响<sup>[9]</sup>;且对于揭示性质异常炼焦煤具有积极作用<sup>[10-11]</sup>。笔者以代表性主焦煤为研究对象,通过显微组分富集得出不同煤岩组成样品,基于煤岩亚组分真相对密度、挥发分及元素组成等指标具有加权性,分析并计算出均质镜质体、基质镜质体、丝质体、粗粒体等煤岩亚组分基本工艺特性。该研究对丰富煤化学及煤岩学基础数据具有重要意义,为从原料煤性

质方面合理指导配煤炼焦并有效调控焦炭热态性能提供了新的方向<sup>[12]</sup>。

## 1 试验

### 1.1 试验样品

试验选取不同产地的3种焦煤作为研究对象,分别命名为XJM25、XJM15及QJM25。3种样品基本煤质分析见表1。

表1 试验原煤煤质分析

Table 1 Coal quality analysis of raw coals

煤样	工业分析/%			元素分析/%					油浸平均最大 反射率 $\bar{R}_{o,max}$	真相对 密度	煤岩组成(体积分数)/%			
	$M_{ad}$	$A_d$	$V_{daf}$	$C_{daf}$	$H_{daf}$	$O_{daf}$	$N_{daf}$	$S_{daf}$			镜质组	壳质组	惰质组	矿物质
XJM25	0.79	9.59	24.80	78.40	4.80	15.25	1.02	0.53	1.31	1.290	69.1	0	29.5	1.4
XJM15	0.75	12.00	19.38	79.80	3.55	15.22	1.08	0.35	1.42	1.354	59.3	0	37.6	3.1
QJM25	1.30	5.85	26.89	78.38	5.32	15.26	0.62	0.42	1.25	1.245	57.8	0	40.9	1.3

### 1.2 试验方法

为获取不同煤岩亚组分含量的样品,选取<1.20、1.20~1.25、1.25~1.30、1.30~1.35、1.35~1.40及>1.40 g/cm<sup>3</sup>等6个密度级段ZnCl<sub>2</sub>重液进行煤岩显微组分富集;富集试验依据GB/T 478—2008《煤炭浮沉试验方法》进行。3种原煤通过富集试验可分别获得6种不同煤岩组成的样品。真相对密度测定依据GB/T 217—2008《煤的真相对密度测定方法》进行。

将每种原煤分离富集出的6个密度级下煤样经开水冲洗干净后,编号、烘干并分析化验。分离富集出的煤样按照重液密度由小至大分别记为XJM25-1、XJM25-2、XJM25-3、XJM25-4、XJM25-5、XJM25-6;XJM15-1、XJM15-2、XJM15-3、XJM15-4、XJM15-5、XJM15-6;QJM25-1、QJM25-2、QJM25-3、QJM25-4、QJM25-5、QJM25-6。

### 1.3 显微组分富集样品煤质及煤岩组成试验

煤岩显微组分富集所得样品基本煤质分析见表2。

表2 显微组分富集样品煤质分析

Table 2 Coal quality analysis of coal after float-and-sink analysis

样品	工业分析/%			元素分析/%					真相对密度
	$M_{ad}$	$A_d$	$V_{daf}$	$C_{daf}$	$H_{daf}$	$O_{daf}$	$N_{daf}$	$S_{daf}$	
XJM25-1	0.71	3.65	26.76	79.68	4.96	13.68	1.11	0.57	1.260
XJM25-2	0.72	3.06	26.47	80.34	4.98	13.01	1.10	0.57	1.268
XJM25-3	0.74	3.90	25.73	79.64	4.90	13.84	1.07	0.55	1.284
XJM25-4	0.71	7.14	24.30	77.06	4.68	16.74	1.00	0.52	1.306
XJM25-5	0.86	10.08	22.92	74.50	4.46	19.61	0.94	0.49	1.366
XJM25-6	0.91	32.86	17.41	57.55	3.41	37.23	0.86	0.95	2.197
XJM15-1	0.70	7.98	21.11	79.09	3.69	15.73	1.15	0.34	1.319
XJM15-2	0.73	7.14	20.71	80.25	3.68	14.61	1.14	0.32	1.332
XJM15-3	0.68	8.90	19.94	78.98	3.58	16.04	1.10	0.30	1.352
XJM15-4	0.76	8.92	19.04	79.43	3.51	15.70	1.07	0.29	1.395
XJM15-5	0.79	8.58	18.53	80.20	3.49	14.97	1.06	0.28	1.420
XJM15-6	0.80	27.09	16.22	62.44	3.25	32.88	0.86	0.57	1.767
QJM25-1	1.24	2.50	29.30	77.31	5.29	16.47	0.64	0.29	1.220
QJM25-2	1.28	2.24	29.38	79.14	5.37	14.55	0.65	0.29	1.238
QJM25-3	1.27	1.80	28.68	79.78	5.35	13.95	0.64	0.28	1.235
QJM25-4	1.32	2.50	27.24	79.42	5.23	14.48	0.60	0.27	1.270
QJM25-5	1.38	5.06	25.13	77.55	4.99	16.67	0.55	0.24	1.306
QJM25-6	1.09	32.09	19.36	48.03	2.82	47.02	0.62	1.51	2.061

煤岩显微组分富集所得样品,煤岩组成分析依据 GB/T 8899—2013《煤的显微组分组和矿物测定方法》进行,并根据 GB/T 15588—2013《烟煤显微组分分类》得出均质镜质体 C1、基质镜质体 C2、丝质

体 F 及粗粒体 Ma 等显微亚组分含量,结果见表 3。为使煤岩组成分析结果更加精确,将半镜质组 SV 单独作为一组分加以分析,并在煤岩亚组分分析计算结果中一并体现。

表 3 显微组分富集样品煤岩组成

Table 3 Submaceral of coal after float-and-sink analysis

%

样品	镜质组含量			半镜质组含量	惰质组含量			壳质组含量	矿物质含量
	均质镜质体	基质镜质体	其他		丝质体	粗粒体	其他		
XJM25-1	47.8	35.2	0.2	6.6	7.0	2.9	0.1	0	0.2
XJM25-2	44.5	33.9	0.1	9.2	8.3	3.7	0	0	0.3
XJM25-3	38.2	32.3	1.1	11.5	9.6	4.9	0.6	0	1.8
XJM25-4	34.6	27.3	0.9	13.2	13.9	7.3	0.5	0	2.3
XJM25-5	31.3	20.4	0.2	16.3	18.0	9.6	0.1	0	4.1
XJM25-6	19.4	11.6	0	14.3	8.0	3.1	0	0	43.6
XJM15-1	50.5	31.9	1.2	12.5	2.6	0.8	0.2	0	0.3
XJM15-2	43.2	30.8	1.0	16.4	5.5	2.1	0.4	0	0.6
XJM15-3	40.0	22.6	1.5	20.8	9.2	3.5	0.3	0	2.1
XJM15-4	32.0	15.9	0.8	26.4	15.8	5.3	0.2	0	3.6
XJM15-5	28.9	10.4	0.3	28.6	20.3	6.9	0.2	0	4.4
XJM15-6	24.9	7.9	0.1	17.2	7.1	2.3	0	0	40.5
QJM25-1	57.3	28.7	1.2	8.3	2.6	1.1	0.3	0	0.5
QJM25-2	53.8	25.4	0.8	12.6	4.9	1.5	0.1	0	0.9
QJM25-3	48.7	21.0	1.7	15.2	9.5	2.2	0.4	0	1.3
QJM25-4	41.8	16.3	1.0	17.5	16.6	4.4	0.2	0	2.2
QJM25-5	30.3	13.3	0.9	18.6	24.8	7.6	0.6	0	3.9
QJM25-6	17.9	8.4	0.5	10.7	15.7	3.7	0.3	0	42.8

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 煤岩亚组分真相对密度

煤可以看作是显微亚组分与矿物质的混合物,则有下列关系式成立

$$\sum_{j=1}^n V_j d_j + V_k d_k = d_M \times 100 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中, $j$ 为显微亚组分; $n$ 为从一种煤分离得到的显微亚组分数; $V_j$ 、 $V_k$ 为显微亚组分 $j$ 和矿物质的体积分数,%; $d_j$ 、 $d_k$ 为显微亚组分 $j$ 和矿物质的平均真相对密度; $d_M$ 为煤样真相对密度。

从一种煤分离得到 $n+1$ 个显微亚组分组成不同的煤样,则可列出如下线性方程组

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n V_{1j} d_j + V_{k1} d_k = d_{M1} \times 100 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n V_{(n+1)j} d_j + V_{k(n+1)} d_k = d_{M(n+1)} \times 100 \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

显微亚组分和矿物质的体积分数可由显微镜下统计得到,煤样真相对密度可测得,解方程组即得显微亚组分和矿物质的平均真相对密度。

试验样品各显微亚组分真相对密度如图 1 所示。试验样品煤岩亚组分真相对密度值分别为 1.14~1.35、1.24~1.38 及 1.30~1.52。同一变质程度下,各试验样品煤岩亚组分真相对密度表现出如下大小关系:丝质体、粗粒体>半镜质组>基质镜质体、均质镜质体。此外,计算结果显示 3 种煤样中矿物组的真相对密度都较大,均在 2.00 以上。

同种煤岩亚组分真相对密度随变质程度的变化如图 2 所示。由图 2 可知,随着变质程度的升高,各煤岩亚组分的真相对密度均呈现增大的趋势,这与煤岩显微组分真相对密度随变质程度的变化趋势一致。这是由于随着煤变质程度的增高,煤的分子结构变得紧密且有规则,分子结构中侧链及官能团逐渐减少,从而引起煤的真相对密度变大。

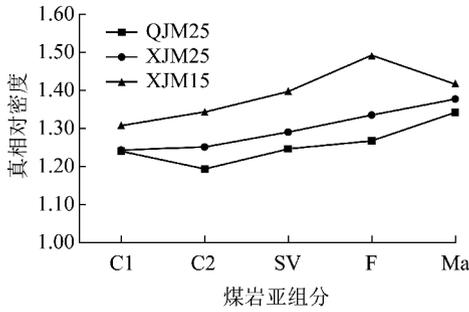


图1 煤岩亚组分真相对密度

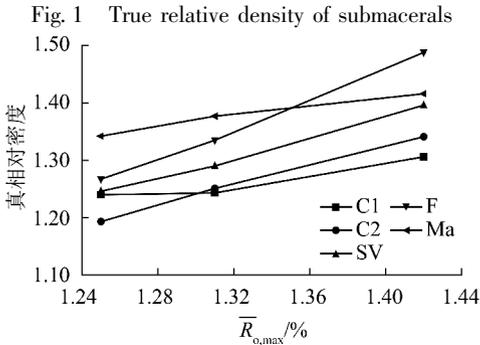


图2 煤岩亚组分真相对密度与变质程度的关系

Fig.2 Relationship between true relative density and metamorphic grade

## 2.2 煤岩亚组分挥发分

煤中挥发分或元素组成有如下关系

$$\sum_{j=1}^n G_j X_j = X_M \times 100 \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中,  $G_j$  为显微亚组分  $j$  的含量, %;  $X_j$  为显微亚组分  $j$  中某一元素含量或挥发分, %;  $X_M$  为煤样中同一元素含量或挥发分, %。

对分离得到的  $n$  个煤样有如下线性方程组

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n G_{1j} X_j = X_{M1} \times 100 \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n G_{nj} X_j = X_{Mn} \times 100 \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

式中,  $G_{ij}$  为第  $i$  个试验样品显微亚组分  $j$  的含量, %;  $X_{Mn}$  为第  $n$  个试验样品的同一元素含量或挥发分, %。

$G_{ij}$  可由下式计算得到

$$G_{ij} = V_{ij} d_j / \left( \sum_{j=1}^n V_{ij} d_j \right) \quad (5)$$

计算时,元素组成与挥发分均需换算为无水无矿物基。煤中矿物质含量  $MM$  与灰分  $A$  的关系近似为  $MM = 1.1A$ 。

以碳含量为例,无水无矿物基碳含量为

$$w(C_{dmmt}) = w(C_{ad}) \times 100 / (100 - M_{ad} - 1.1A_{ad}) \quad (6)$$

无水无矿物基挥发分为

$$V_{dmmt} = (V_{ad} - 0.1A_{ad}) \times 100 / (100 - M_{ad} - 1.1A_{ad}) \quad (7)$$

煤岩亚组分挥发分如图3所示。由图3可知,试验样品煤岩亚组分挥发分分别为 19.00% ~ 33.00%、17.00% ~ 31.00% 及 14.00% ~ 24.00%。针对同一样品,各煤岩亚组分挥发分大小关系为:均质镜质体 > 基质镜质体 > 半镜质组 > 丝质体 > 粗粒体。均质镜质体挥发分大于基质镜质体挥发分的原因是前者在一定程度上保存了成煤原始植物的细胞结构,且基质镜质体所受到的凝胶化程度略大于均质镜质体;丝质体的挥发分大于粗粒体的挥发分,则是由于二者的不同成因、来源于成煤植物的不同部分及所受丝炭化程度不同所导致的<sup>[13]</sup>。

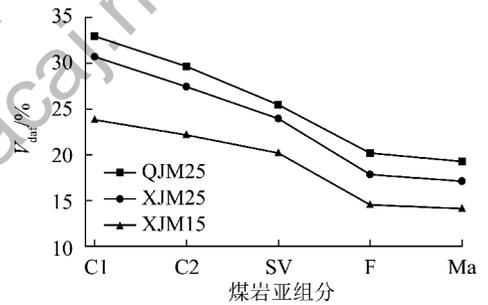


图3 煤岩亚组分挥发分

Fig.3 Volatile of submacerals

煤岩亚组分挥发分与变质程度的关系如图4所示。由图4可知,随着变质程度的升高,同种煤岩亚组分的挥发分均呈现降低趋势。随着煤化程度的提高,芳香稠环体系的缩合程度逐渐增高,侧链官能团等逐渐脱落,煤岩显微亚组分的挥发分呈现出降低的趋势。

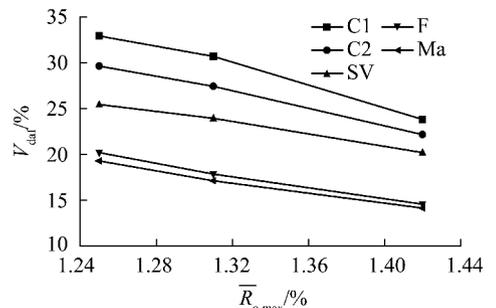


图4 煤岩亚组分挥发分与变质程度的关系

Fig.4 Relationship between submacerals volatile and metamorphic grade

### 2.3 煤岩亚组分元素组成

煤岩亚组分元素组成与挥发分计算方法相同。计算试验样品各煤岩亚组分碳、氢、氧、氮及硫元素含量后可知,同一试验样品、不同煤岩亚组分碳元素含量如下:均质镜质体<基质镜质体<半镜质组<丝质体<粗粒体;氢、氧元素含量呈现出与碳元素相反的趋势。

煤岩亚组分碳、氢、氧含量与变质程度的关系如图5所示。由图5可知,随着变质程度的升高,煤岩

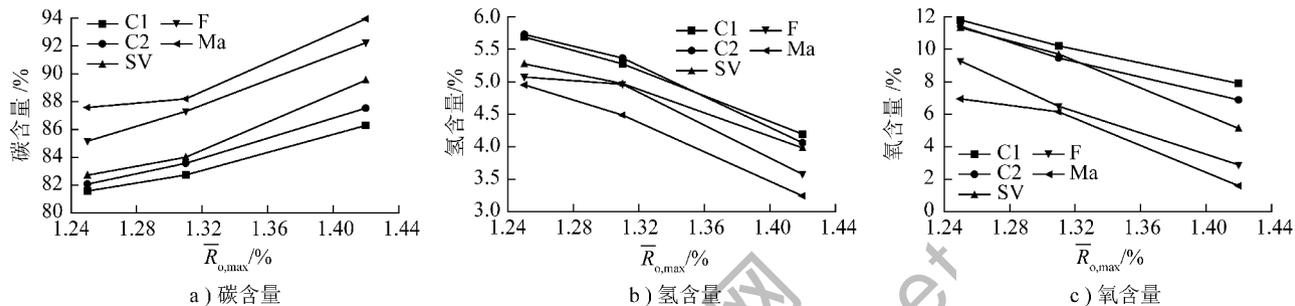


图5 煤岩亚组分碳、氢、氧含量与变质程度的关系

Fig.5 Relationship between C, H, O content and metamorphic grade

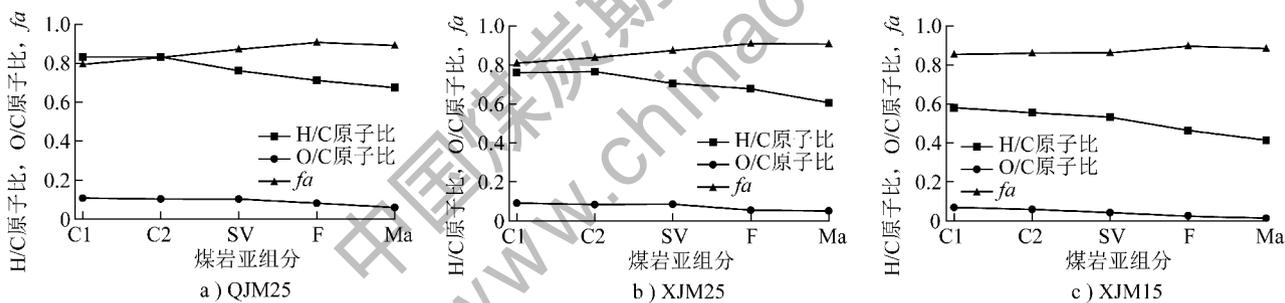


图6 试验煤样煤岩亚组分相关参数关系

Fig.6 Relevant parameters of coals submacerals

### 3 结 论

1) 同等变质程度下,丝质体和粗粒体的真相对密度较大,半镜质组次之,均质镜质体和基质镜质体的真相对密度较小;随着煤化程度的升高,同种煤岩亚组分真相对密度均变大。

2) 当变质程度相同时,不同煤岩亚组分挥发分由大到小依次为:均质镜质体>基质镜质体>半镜质组>丝质体>粗粒体;随着煤变质程度的升高,同种煤岩亚组分的挥发分降低。

3) 相同变质程度下,不同煤岩亚组分的碳元素含量及芳碳率大小关系为:均质镜质体<基质镜质体<半镜质组<丝质体、粗粒体,H/C原子比、O/C原

子比大小关系均为:均质镜质体>基质镜质体>半镜质组>丝质体>粗粒体;当煤的变质程度升高时,相同煤岩亚组分的碳元素含量增加,氢氧元素含量均降低。

试验煤样的煤岩亚组分相关参数之间的关系如图6所示。

由图6可知,相同变质程度下,不同煤岩亚组分H/C、O/C原子比大小关系均为:均质镜质体>基质镜质体>半镜质组>丝质体>粗粒体;芳碳率 $fa$ 由小至大依次为:均质镜质体<基质镜质体<半镜质组<丝质体、粗粒体。

子比大小关系均为:均质镜质体>基质镜质体>半镜质组>丝质体>粗粒体;当煤的变质程度升高时,相同煤岩亚组分的碳元素含量增加,氢氧元素含量均降低。

#### 参考文献 (References):

- [1] 田英奇,张卫华,沈寓韬,等. 镜质组反射率指导优化配煤炼焦方案的研究[J]. 煤炭科学技术,2016,44(4):162-168.  
Tian Yingqi, Zhang Weihua, Shen Yutao, et al. Research on optimization of coal blending coking guided by vitrinite reflectance[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4): 162-168.
- [2] 任学延,张代林,王 坤,等. 不同变质程度炼焦煤的镜质组特性研究[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版),2016,33(1):38-42.  
Ren Xueyan, Zhang Dailin, Wang Kun, et al. Study on vitrinite

- properties of different rank coking coals[J]. Journal of Anhui University of Technology and Science ( Natural Science ), 2016, 33(1):38-42.
- [3] 郝卫鸣. 炼焦煤的煤岩特征对焦炭质量的影响[J]. 煤化工, 2015, 43(2):53-55.  
Hao Weiming. The influence of coal maceral on coke quality[J]. Coal Chemical Industry, 2015, 43(2):53-55.
- [4] Li Wu, Zhu Yanming, Chen Shanbin, et al. Research on the structure characteristics of vitrinite in different coal ranks[J]. Fuel, 2013, 107(9):647-652.
- [5] Xin Haihui, Wang Deming, Qi Xuyao, et al. Structural characteristics of coal functional groups using quantum chemistry for quantification of infrared spectra[J]. Fuel Processing Technology, 2014, 118(2):287-295.
- [6] 赵伟, 张晓欠, 周安宁, 等. 神府煤煤岩显微组分的浮选分离及富集物的低温热解产物特性研究[J]. 燃料化学学报, 2015, 42(5):527-532.  
Zhao Wei, Zhang Xiaoqian, Zhou Anning, et al. Flotation separation of Shenfu coal macerals and low temperature pyrolysis characteristics of different maceral concentrate[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2015, 42(5):527-532.
- [7] 李德平, 姚伯元, 张代林, 等. 不同变质程度煤镜质组活性质量研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(10):1862-1866.  
Li Deping, Yao Boyuan, Zhang Dailin, et al. Study on vitrinite ac-
- tivity quality in different metamorphic grade coals[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(10):1862-1866.
- [8] Yao Boyuan, Li Deping. Features and correct application of coal vitrinite reflectance index[J]. Journal of Coal Science & Engineering( China ), 2012, 18(4):400-406.
- [9] 周师庸, 赵俊国. 炼焦煤性质与高炉焦炭质量[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [10] 倪志强, 孙章, 谢全安, 等. 炼焦煤中镜质组活性质量的研究[J]. 煤炭转化, 2015, 38(4):58-61.  
Ni Zhiqiang, Sun Zhang, Xie Quanan, et al. Study on activity quality of vitrinite in coking coal[J]. Coal Conversion, 2015, 38(4):58-61.
- [11] 赵悦, 王杰平, 季斌, 等. 煤岩配煤技术研究进展[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(6):22-25.  
Zhao Yue, Wang Jieping, Ji Bin, et al. Progress of blending based on coal petrography[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6):22-25.
- [12] Slawomira Pusz, Roman Buszko. Reflectance parameters of cokes in relation to their reactivity index (CRI) and the strength after reaction (CSR), from coals of the Upper Silesian coal basin, Poland[J]. International Journal of Coal Geology, 2012, 90(90/91):43-49.
- [13] 韩德馨, 任德贻, 王延斌. 中国煤岩学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1996.

(上接第12页)

- [10] 李蓉生. 落煤塔式圆形封闭煤场应用于火力发电厂的探讨[J]. 中国电力, 2013, 46(12):79-82.  
Li Rongsheng. Discussion on tower type of enclosed circular coal yard applied in coal-fired power plants[J]. Electric Power, 2013, 46(12):79-82.
- [11] 谭振云. 大型燃煤电厂封闭式贮煤场技术性能比较[J]. 电力建设, 2012, 33(5):67-70.  
Tan Zhenyun. Performance comparison of enclosed coal yards in large-scale coal-fired power plant[J]. Electric Power Construction, 2012, 33(5):67-70.
- [12] 罗宇东. 方形煤仓并列群仓贮煤技术在大型燃煤电厂的应用[J]. 华电技术, 2010, 32(12):64-67.  
Luo Yudong. Application of coal storing technology using paralleling multi-square bunkers in large coal-fired power plant[J]. Huadian Technology, 2010, 32(12):64-67.
- [13] 李春晖, 赵鹏年. 混煤仓在电厂的应用[J]. 电力建设, 1981(3):16-21.
- [14] 姚斯亮, 杨涛, 张燕平, 等. 多煤种掺烧智能配煤系统的设计与开发[J]. 发电设备, 2010, 24(3):157-160.  
Yao Siliang, Yang Tao, Zhang Yanping, et al. Research and development of intelligent automatic coal blending system[J]. Power Equipment, 2010, 24(3):157-160.