

新疆与内地炼焦煤的差异性

王峰^{1,2}, 武强¹, 朱子宗¹, 石国京¹, 白大勇²

(1. 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400044; 2. 新兴铸管股份有限公司, 河北 武安 056300)

摘要: 由于新疆炼焦煤所炼制的焦炭反应性高、反应后强度低, 使得丰富的新疆炼焦煤资源难以发挥成本优势。为探究新疆炼焦煤的特性, 对比研究了4种典型的新疆炼焦煤和4种同牌号的内地炼焦煤, 并分别进行煤质、镜质组随机反射率和红外光谱 (FTIR) 分析。结果表明: 低煤阶新疆炼焦煤与内地炼焦煤之间没有明显的差异, 然而中、高煤阶新疆炼焦煤的灰分和硫含量均低于同牌号的内地炼焦煤, 故使用新疆炼焦煤炼焦有利于降低焦炭中的灰分和硫含量; 同时中、高煤阶新疆炼焦煤的镜质组平均最大反射率、胶质层最大厚度和芳香缩合度均低于同牌号的内地炼焦煤, 脂肪族侧链和羟基的数量均高于同牌号的内地炼焦煤, 说明中、高煤阶新疆炼焦煤的变质程度低于同牌号的内地炼焦煤。

关键词: 新疆炼焦煤; 焦炭; 煤质分析; FTIR; 变质程度

中图分类号: TQ530 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2018)01-0080-05

Differences between Xinjiang and inland coking coals

WANG Feng^{1,2}, WU Qiang¹, ZHU Zizong¹, SHI Guojing¹, BAI Dayong²

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. Xinxing Ductile Iron Pipes Co., Ltd., Wuan 056300, China)

Abstract: Xinjiang has abundant coking coal resource, but Xinjiang coke used by Xinjiang coking coals exhibits high reactivity and low strength after reaction. So it is difficult to translate effectively the resource advantage of Xinjiang into cost advantage. In order to obtain the specificity of Xinjiang coking coal, four typical Xinjiang coking coals and another four inland coking coals of same rank were studied by coal properties analysis, vitrinite reflectance analysis and FTIR analysis. The results show that the differences between low-rank Xinjiang coking coal and low-rank inland coking coal are not obvious. Ash and sulfur content of medium-rank Xinjiang coking coal are lower than medium-rank inland coking coal, which is benefit for decreasing ash and sulfur content of coke. Furthermore, medium-rank Xinjiang coking coal has relatively lower mean maximum vitrinite reflectance, maximum thickness of plastic layer and aromatic condensation in comparison with medium-rank inland coking coal, while the amount of branched aliphatic side-chains and hydroxyl of medium-rank Xinjiang coking coal is higher than medium-rank inland coking coal. It indicates that metamorphism degree of medium-rank Xinjiang coking coal is lower than that of medium-rank inland coking coal. The similar phenomenon is also observed in high-rank Xinjiang coking coal.

Key words: Xinjiang coking coal; coke; coal properties analysis; FTIR; metamorphism degree

0 引 言

新疆因其独特的成煤地质条件和较晚的成煤期, 使新疆炼焦煤炼制的焦炭反应性高、反应后强度低, 如新疆艾维尔沟煤的焦炭反应性 CRI > 70%, 反

应后强度 CSR < 25%^[1], 应用于 380 m³ 小高炉尚且困难, 更难适用于大型高炉。为此, 新疆多数大型钢铁企业 (如宝钢八一钢铁、首钢伊犁、新兴铸管等) 不得不从疆外 (宁夏、内蒙、山西等) 远程购买炼焦用煤, 疆外煤配比高达 50% 以上, 使得新疆地区炼

收稿日期: 2017-12-15; 责任编辑: 张晓宁 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2018.01.014

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51044005)

作者简介: 王峰 (1970—), 男, 湖南衡山人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事煤炭改性新工艺新技术研究。E-mail: 183322684@qq.com。通讯作者: 朱子宗 (1966—), 男, 河南淮阳人, 教授, 博士生导师。E-mail: zhuzizong@163.com

引用格式: 王峰, 武强, 朱子宗, 等. 新疆与内地炼焦煤的差异性[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(1): 80-84.

WANG Feng, WU Qiang, ZHU Zizong, et al. Differences between Xinjiang and inland coking coals[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(1): 80-84.

焦煤资源难以得到高效利用,同时也严重制约新疆钢铁工业的可持续发展。

新疆煤主要为早、中侏罗系煤,变质时间与内地石炭-二叠纪煤成煤期相比,相差1亿多年,区域上呈“北富南贫”分布^[2]。总体以低变质程度的低灰、低硫、低磷的长焰煤、不黏煤和弱黏煤为主,约占80%^[3]。而中等变质程度的炼焦煤资源相对较少,约占资源储量的19%^[4]。四大含煤区中仅库车和拜城煤田主产炼焦煤,而且煤种以高挥发分的气煤居多。目前针对新疆炼焦煤煤质的研究多集中在艾维尔沟煤^[1,5-9],对其他煤田以及煤质特异性研究涉及较少,新疆炼焦煤特异性原因至今尚未有明确定论。因此,开展新疆炼焦煤的特异性等基础研究,对新疆钢铁工业扩大炼焦用煤资源具有重要意义。

本文对比研究了4种典型的新疆炼焦煤和4种同牌号的内地炼焦煤,并分别进行煤质、镜质组随机反射率和红外光谱分析,以期新疆炼焦煤的高效利用提供参考。

1 煤质分析

共选取8种炼焦煤煤样为分析对象,其中,科兴(QM)、库车(FM)、东兴泰(25JM)和弘扬(15JM)为新疆库车和拜城两地的炼焦煤;老虎台气煤(QM)、林胜肥煤(FM)、滴道焦煤(25JM)和红菱15JM为内地用炼焦煤。

煤样的制备参照GB 474—2008;工业分析参照GB/T 212—2008,结果如图1(a)所示;黏结指数分析参照GB/T 5447,胶质层指数参照GB/T 479,结果如图1(b)所示;全硫测定参照GB/T 214—2007,结果如图1(c)所示。

由图1(a)可知,新疆炼焦煤与内地炼焦煤的灰分均随着变质程度的加深而增加。除气煤外,新疆炼焦煤的灰分均低于相同牌号的内地炼焦煤,故使用新疆炼焦煤炼焦有利于降低焦炭灰分。同时新疆炼焦煤与内地炼焦煤的挥发分均随着煤化度的增加而降低,其中新疆气煤的挥发分低于内地气煤,其余3个新疆炼焦煤的挥发分均高于内地炼焦煤,表明在中高煤阶阶段,新疆炼焦煤的变质程度均低于同牌号的内地炼焦煤。对比新疆炼焦煤与内地炼焦煤的固定碳含量可以发现,两类煤种的固定碳含量均随着变质程度的加深而增加,其中新疆气煤的固定碳含量比内地气煤高3%,其余3种新疆炼焦煤的固定碳含量均低于同牌号的内地炼焦煤,表明在低

煤化阶段新疆炼焦煤的变质程度略高于内地牌号炼焦煤,而在中高煤化阶段新疆炼焦煤的变质程度均低于同牌号的内地炼焦煤,这也与上述挥发分变化的结论一致。

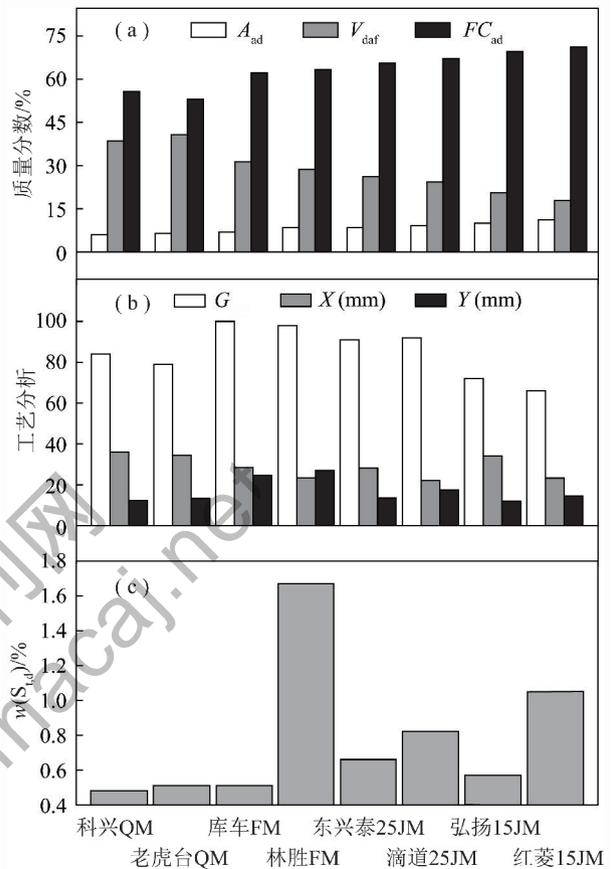


图1 新疆、内地炼焦煤的工业、工艺及硫含量分析
Fig. 1 Proximate, process and sulfur content analysis of Xinjiang and inland coking coals

由图1(b)可知,两类炼焦煤的黏结性指数 G 值均随着变质程度的增加先升高后降低,在肥煤阶段达到最大值,其中东兴泰25JM的 G 值略低于滴道25JM,其余新疆炼焦煤的 G 值均高于同牌号的内地炼焦煤,表明新疆炼焦煤的黏结性并不是制约其焦炭质量的关键因素。两类炼焦煤的焦炭最终收缩度指数 X 值均随着煤化度的增加,呈现出先降低后增加的趋势,在焦煤阶段两类煤种的 X 值达到最低值。其中新疆科兴QM的 X 值略高于内地老虎台QM,另外3个新疆炼焦煤的 X 值明显高于同牌号的内地炼焦煤,尤以高煤阶炼焦煤最为突出,如弘扬15JM的 X 值比红菱15JM高10.8%,表明高煤阶新疆炼焦煤所制焦炭更容易产生收缩,进而形成更多的裂纹。两类炼焦煤的胶质层厚度 Y 值随着煤化度的增加呈现出先增加后减少的趋势,在肥煤阶段

达到最大值,其中新疆炼焦煤的 Y 值均低于同牌号的内地炼焦煤,特别在中高煤阶阶段,其差异尤为突出。新疆炼焦煤较低的胶质层厚度可能是制约其焦炭质量的主要原因之一。

由图1(c)可知,新疆炼焦煤的硫含量均低于内地炼焦煤,且肥煤阶段尤为显著。炼焦煤中硫含量的高低将直接影响焦炭中的硫含量,所以高硫炼焦煤所制焦炭硫含量往往较高,进而影响焦炭的质量。因为高硫焦炭在高炉中使用时将增加高炉的硫负荷以及铁水中的硫含量,为了降低铁水中的硫含量,需要加大脱硫溶剂的用量,进而消耗更多的热量化渣,增加了焦比,减少了铁水产量,所以在炼焦中应控制高硫炼焦煤的用量。对于新疆炼焦煤而言,硫含量普遍较低,用该类炼焦煤炼焦时,能有效控制焦炭中的硫含量,减少焦炉煤气脱硫的成本,故使用新疆炼焦煤炼焦有利于改善焦炭中的硫含量,提高焦炭的质量。

2 煤化度分析

煤的镜质组平均最大反射率 \bar{R}_{\max} 是标志煤变质程度的一个指标,通过测定煤的镜质组平均最大反射率可准确地判定新疆炼焦煤的变质程度。煤的

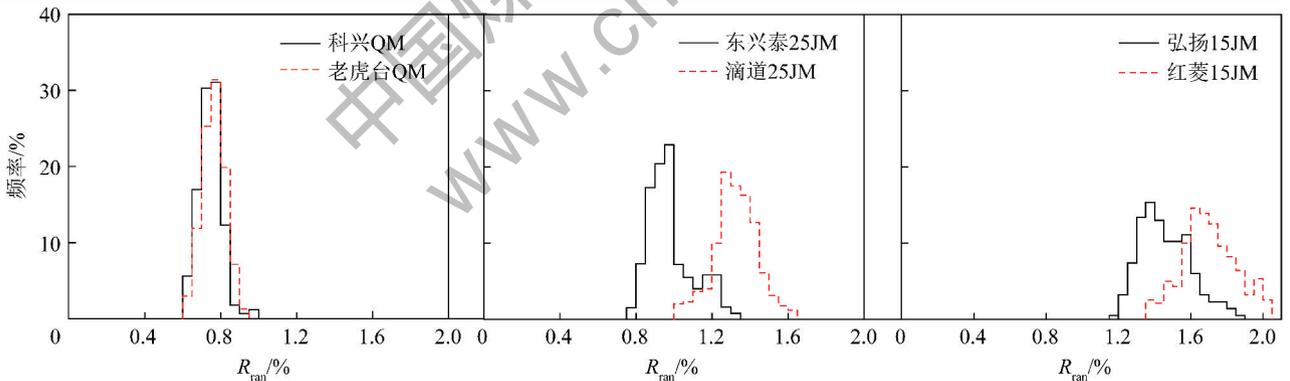


图2 6种煤镜质组随机反射率分布

Fig. 2 Vitrinite reflectance random distribution of six coals

从表1可知,科兴QM、东兴泰25JM和弘扬15JM的镜质组平均最大反射率(\bar{R}_{\max})依次增大,说明随着变质作用的增加,新疆炼焦煤的煤化度依次增大。同样,内地炼焦煤的镜质组平均最大反射率也有类似的变化规律。对比相同牌号的新疆炼焦煤与内地炼焦煤的 \bar{R}_{\max} 值,可以发现新疆炼焦煤的 \bar{R}_{\max} 值均低于内地炼焦煤,且二者的差异在焦煤阶段尤为显著。表明新疆焦煤的变质程度低于内地焦

镜质组反射率测定参照GB/T 6948—2008,参照标准MT/T 1053—2008判断煤阶,参照标准GB/T 15591—1995对煤类型进行判别。试验分别对具有代表性的3种新疆炼焦煤及相应的3种内地炼焦煤进行分析,其测定结果见表1,6种煤的镜质组反射率随机分布如图2所示。

表1 煤岩镜质组反射率分析

Table 1 Analysis of the vitrinite reflectance

煤种	煤类型	$\bar{R}_{\max}/\%$	差值/%
科兴QM	单一煤层煤	0.73	0.12
老虎台QM	单一煤层煤	0.85	
东兴泰25JM	简单混煤	0.94	0.48
滴道25JM	简单混煤	1.42	
弘扬15JM	简单混煤	1.45	0.36
红菱15JM	简单混煤	1.81	

由图2可知,新疆科兴QM和内地老虎台QM的镜质组随机反射率分布差异较小,而新疆东兴泰25JM的镜质组随机反射率分布滞后于内地滴道25JM,同样新疆弘扬15JM的镜质组随机反射率分布也滞后于内地红菱15JM。表明中高阶新疆炼焦煤的镜质组随机反射率低于同牌号的内地炼焦煤,主要原因是新疆炼焦煤成煤时间较短。

煤,故其在炼焦过程中所体现出来的物理和化学性质与内地炼焦煤有一定的差别。另外,新疆气煤和内地气煤均为单一煤层煤,而另外6个煤种均为简单混煤。表明新疆炼焦煤和内地炼焦煤的混煤情况一致,其镜质组随机反射率分布具有代表性。

3 官能团分析

煤中含有大量的官能团,其中含氧官能团及其氧存在形式对煤的性质影响很大,而氧的存在形式

通常与其煤化程度相关。为此开展了新疆炼焦煤和同牌号内地炼焦煤的傅里叶变换红外光谱试验研究,检测了3种新疆炼焦煤和3种对应牌号的内地炼焦煤,检测仪器为 Nicolet iS5 型傅里叶变换红外光谱仪。试验前将煤样磨至 0.074 mm,同时将磨制好的煤样和载体 KBr 放置在 80 °C 的真空干燥箱中干燥 24 h,以尽量避免水分对试验带来的干扰。取 1 mg 干燥煤样与干燥 KBr 粉末按 1 : 150 混合均匀,在玛瑙研钵中研磨成细粉,装入磨具内,在压片机上压制成片。样品扫描范围 4 000 ~ 400 cm^{-1} ,分辨率 4.0,扫描次数 32。为比较煤样之间的差异,对光谱图进行基线校正,校正结果如图 3 所示。

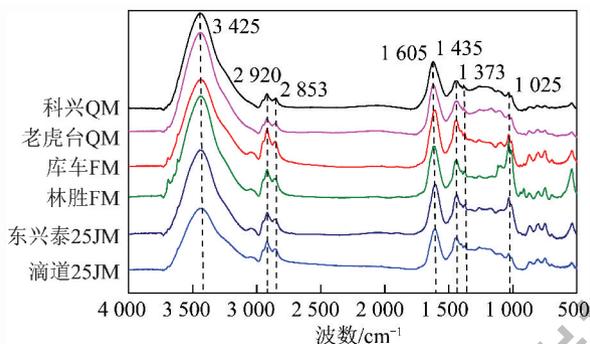


图3 6种炼焦煤的FTIR图谱

Fig. 3 FTIR spectra of six coking coals

由图3可知,6种试验煤种的官能团吸收峰的位置基本相似,但其强度却有明显的差异。具体表现为:①在波数为 3 425 cm^{-1} 处有一个最强的吸收峰,该峰归属于—OH(醇、酚)的伸缩振动^[10-11],从新疆QM到新疆东兴泰25JM,峰值先缓慢降低后急剧降低,说明随煤化程度的增加,该基团的含量先缓慢减少,后急剧减少;同样在内地炼焦煤中也有类似的变化规律。对比同牌号的新疆炼焦煤与内地炼焦煤在波数为 3 435 cm^{-1} 处的吸收峰可以发现,在气煤和肥煤阶段,两类煤粉在该处的吸收峰强度没有明显的差异,然而在焦煤阶段时,新疆东兴泰25JM在波数为 3 435 cm^{-1} 处的吸收峰明显高于内地的滴道25JM,表明高煤阶新疆炼焦煤中羟基的含量高于同牌号的内地炼焦煤。②在波数为 2 920、2 853、1 435、1 373 cm^{-1} 处均有吸收峰,其中 2 920 cm^{-1} 和 2 853 cm^{-1} 处的吸收峰归属于脂肪族—CH₂和—CH₃的伸缩振动峰^[12],1 435、1 373 cm^{-1} 处的吸收峰归属于—CH₂和—CH₃的伸缩振动^[13]。从新疆科兴QM到东兴泰25JM,以上4个吸收峰强度均呈现出先增加后降低的变化趋势,表明新疆低

煤阶炼焦煤向中煤阶炼焦煤转变时,脂肪族甲基和亚甲基官能团的含量有所增加,随着煤化作用的进一步增加,脂肪族甲基和亚甲基官能团含量逐步减少,这可能是因为低煤阶煤向高煤阶煤转变时,先经历脱氧作用,后经历脱脂肪族作用。同样在内地炼焦煤中也有类似的变化规律。对比同牌号的新疆炼焦煤和内地炼焦煤可以发现,科兴QM的甲基和亚甲基官能团含量与老虎台QM没有明显的差异,然而库车FM和东兴泰25JM的甲基和亚甲基含量均高于同牌号的内地炼焦煤,所以中高煤阶新疆炼焦煤脂肪族侧链的数量较多且变质程度较低。③在波数为 1 605 cm^{-1} 处的吸收峰归属于芳香族 C=C 的伸缩振动峰^[14],在两类炼焦煤中,该峰的强度均随着煤阶的增加而增加。通过对比相同牌号的两类炼焦煤可以发现,新疆炼焦煤在 1 605 cm^{-1} 处的峰值低于同牌号的内地炼焦煤,所以新疆炼焦煤的芳香缩合度要低于同牌号的内地炼焦煤。④在波数为 1 025 cm^{-1} 处的吸收峰归属于 Si—O 的振动峰^[15],该峰的强度与煤中 SiO₂ 的含量直接相关, SiO₂ 的含量越高,该峰越强。通过对比以上6种试验煤种在 1 025 cm^{-1} 处的峰强可以发现,林胜FM和东兴泰25JM的峰强明显高于其余4个煤种,表明林胜FM和东兴泰25JM中 SiO₂ 含量较高,而另外4个煤种中 SiO₂ 含量相对较低。

4 结 论

1)从煤质分析可以看出新疆炼焦煤的灰分、硫含量和胶质层最大厚度 Y 值较低,焦炭最终收缩度指数 X 值较高,而黏结性指数 G 相对正常。

2)从煤化度分析可知中高煤阶新疆炼焦煤的镜质组平均最大反射率明显低于同牌号的内地煤,证明其变质作用相对较低。

3)从红外光谱分析可知新疆中高煤阶炼焦煤中羟基和脂肪族侧链的数量较多,芳香缩合度较低,说明其变质程度低于同牌号的内地炼焦煤。

参考文献(References):

- [1] 周师庸. 炼焦煤性质与高炉焦炭质量[M]. 北京:冶金工业出版社,2005:213-216.
- [2] 王忠萍. 浅析新疆煤炭煤质特征及利用方向[J]. 煤质技术,2009(S1):6-9.
WANG Zhongping. Preliminary discussion on coal quality and utilization direction for Xinjiang coal[J]. Coal Quality and Technology,2009(S1):6-9.

- [3] 李慧智. 新疆煤炭资源开发思路与建设水平探讨[J]. 煤炭工程, 2012, 44(S2): 4-6.
LI Huizhi. Study on Xinjiang coal resources development ideas and construction level[J]. Coal Engineering, 2012, 44(S2): 4-6.
- [4] 张娜. 新疆炼焦用煤供需展望[J]. 科技信息, 2013(20): 469.
ZHANG Na. Xinjiang coking coal supply and demand outlook [J]. Science and Technology Information, 2013(20): 469.
- [5] 吕柏炎. 八钢焦炭质量的现状、对策和思考[J]. 新疆钢铁, 1996(2): 10-14.
LYU Boyan. The status quo, countermeasure and thinking of the quality of Bayi Steel coke[J]. Xinjiang Iron and Steel, 1996(2): 10-14.
- [6] 郝晋, 张伟林. 西北地区炼焦煤资源调查研究与配置[J]. 新疆钢铁, 2008(1): 16-18.
HAO Jin, ZHANG Weilin. Research and configuration of coking coal resources survey in Northwest China[J]. Xinjiang Iron and Steel, 2008(1): 16-18.
- [7] 李培铨, 冯进. 八钢焦炭的光学组织特征及其成因分析[J]. 新疆钢铁, 2004(4): 13-16.
LI Peicheng, FENG Jin. Optical microstructure characteristics and genetic analysis of Bayi Steel coke [J]. Xinjiang Iron and Steel, 2004(4): 13-16.
- [8] 郝晋. 提高焦炭热态性能的途径和措施[J]. 新疆钢铁, 2007(2): 13-16.
HAO Jin. Ways and measures to improve the thermal properties of coke[J]. Xinjiang Iron and Steel, 2007(2): 13-16.
- [9] 邱健. 改善冶金焦炭热态性能的研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2004.
- [10] 王利斌. 新疆焦化行业现状及节能减排建设绿色焦化[C]//“十二五”我国煤化工行业发展及节能减排技术论坛文集. 伊犁: [s. n.], 2010: 151.
- [11] SOLOMON P R, CARANGELO R M. FTIR analysis of coal. 1: Techniques and determination of hydroxyl concentrations[J]. Fuel, 1982, 61(7): 663-669.
- [12] YAO S, ZHANG K, JIAO K, et al. Evolution of coal structures: FTIR analyses of experimental simulations and naturally matured coals in the Ordos Basin, China[J]. Energy Exploration & Exploitation, 2011, 29(1): 1-20.
- [13] MISRA S K, MOHANTY J K, NANDA B. FTIR study of lower Gondwana coal from Talcher, Orissa[J]. Journal of the Geological Society of India, 1998, 3: 371-376.
- [14] BINOY K SAIKIA, BORUAH R K, P K GOGOI. FT-IR and XRD analysis of coal from Makum coalfield of Assam[J]. Journal of Earth System Science, 2007, 116(6): 575-579.
- [15] XIA W, ZHANG W. Characterization of surface properties of Inner Mongolia coal using FTIR and XPS[J]. Energy Sources Part a Recovery Utilization & Environmental Effects, 2017, 39(11): 1190-1194.