

# 煤岩配煤技术研究进展

赵悦,王杰平,季斌,倪志强,谢全安  
(华北理工大学化学工程学院,河北唐山 063009)

**摘要:**针对传统配煤方法繁琐、效率低等问题,从成焦机理方面论述了煤岩配煤的理论基础,阐述了具有代表性的几种煤岩配煤方法,分析了煤岩分析指标与焦炭光学组织之间的关系,并对煤岩配煤的前景进行展望。煤岩配煤理论主要包括煤的不均一性、煤中活性组分质量的差异性、惰性组分的不可或缺性。国外应用较好的煤岩配煤方法为夏皮洛法,适用性强,相关系数达0.93;国内的叶道敏煤岩配煤方法相关系数达到0.98。镜质组反射率与焦炭显微结构之间存在着定性关系,煤中镜质组与焦炭光学组织关系密切,直接影响焦炭光学组织的类型和各向同性与各向异性的比例,最终影响焦炭质量。

**关键词:**炼焦配煤;活性组分;惰性组分;光学组织;煤岩配煤

中图分类号:TQ520.62 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)06-0022-04

## Progress of blending based on coal petrography

ZHAO Yue, WANG Jieping, JI Bin, NI Zhiqiang, XIE Quanan

(School of Chemical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China)

**Abstract:** To improve efficiency of traditional coal blending method, the theoretical basis of blending based on coal petrology was explained by mechanism of coke formation. The relationship between coal petrology indicators and coke optical texture was analyzed. Some typical methods of blending based on coal petrology were compared. A better method overseas, Schapiro's coal-petrography-based blending technology had good applicability, and the related coefficient was up to 0.93. In domestic, many researchers had made a lot of experimental studies, and some related coefficient could be up to 0.98. Some coal petrology indicators directly affected the formation of coke optical texture, thus affected the quality of the coke. Using the coal petrology was a breakthrough in the process of coal blending. The research played a decisive role in coke quality prediction.

**Key words:** coal blending for coking; active constituent; inert constituent; optical texture; blending based on coal petrology

## 0 引言

传统的配煤理论主要基于煤化学指标,煤的结焦性是用煤化程度指标(挥发分、水分等)和黏结性指标(胶质层最大厚度 $Y$ 值和黏结指数 $G$ 等)来反映,以此为基础形成了利用挥发分与黏结指数指导配煤炼焦的方法。随着计算机技术的发展,自动化配煤技术应用于炼焦生产。为了保证焦炭质量,合理利用炼焦煤资源,开发了很多配煤比控制-焦炭检测的专家系统。自动化配煤技术以传统配煤理论为基础,结合工业生产数据和专家定性知识规则,建

立预测焦炭质量模型。利用这些模型,在生产前提出配煤比计算方法,生产中实时控制配煤流量,具有效率高、准确度高、成本低等优点,已应用于大部分企业<sup>[1]</sup>。与传统经验配煤方法相比,利用煤岩学配煤以及对焦炭质量预测,是由经验配煤到科学配煤的补充,国内外的学者利用煤岩学开发了一系列煤岩配煤的方法,如阿莫索夫-夏皮洛法、日本小岛鸿次郎法和周师庸煤岩配煤法等。煤岩配煤方法的优势为:①可通过镜质组反射率分布及标准差 $S$ 来区分混煤;②在煤种、煤质不均一的情况下,可利用煤岩显微组分的活惰比及配煤反射率分布直方图加和

收稿日期:2015-01-09;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.005

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U1361212)

作者简介:赵悦(1990—),女,河北唐山人,硕士研究生,从事煤化工新技术及下游产品开发工作。E-mail:zhaoyuekate@163.com。通讯作者:谢全安(1969—),男,河北唐山人,副教授,从事煤化工新技术及下游产品开发工作。E-mail:xqa69@163.com

引用格式: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.

性,建立科学、准确的配煤方案,使焦炭质量趋于稳定,从而优化配煤结构,指导配煤炼焦生产<sup>[2]</sup>。煤岩配煤在配煤技术方面发挥着越来越重要的作用。笔者基于煤岩配煤原理,论述了国内外主要煤岩配煤方法,并分析了煤岩分析指标与焦炭光学组织的关系,以期利用煤岩法进行配煤炼焦提供参考。

## 1 煤岩配煤原理

迄今为止,在成焦过程中炼焦结焦原理可归纳为塑性成焦机理、表面结合机理、中间相成焦机理3种。表面结合机理是煤岩配煤的基础,煤岩配煤理论主要包括:

1)煤的不均匀性。煤是一种有机物质的复杂混合物,各显微组分存在差异,在炭化过程中镜质组和壳质组能软化熔融生成胶质体,被称为活性组分;惰质组不能熔融,被称为惰性组分。

2)煤中活性组分质量的差异性。任何单一种类的煤,其活性组分所经过的成岩、变质作用基本相同,煤化程度相近,所以当其活性组分质量有差异时,镜质组反射率分布图呈正态分布,这一分布特征充分验证了煤中镜质组质量的非均匀性。

3)惰性组分的不可或缺性。惰性组分是极其重要的组成部分,不足或过量都将不利用炼焦配煤,降低焦炭质量。活性组分和惰性组分比例合适时才能有较好的配煤方案<sup>[3]</sup>。

## 2 国内外煤岩配煤方法进展

### 2.1 国外煤岩配煤方法

#### 2.1.1 阿莫索夫-夏皮洛法

20世纪50年代,阿莫索夫<sup>[4]</sup>提出了定量分析煤中煤岩组分来预测焦炭强度的方法,将煤岩成分按结焦性分为可熔组分和瘦化组分两类。依据一系列煤的基础试验引入了2个预测焦炭质量的煤岩参数:瘦化指数和结焦性系数。以大量工业试验为依据,绘制了可直接预测焦炭强度的等强度曲线。阿莫索夫法奠定了夏皮洛法的基础,同时验证了煤岩学在焦炭强度预测中的作用。

基于阿莫索夫法,夏皮洛<sup>[5]</sup>对煤岩配煤方法进行完善,将煤的显微组分分为活性组分和惰性组分。活性组分中镜质组反射率按0.1%为间隔,将煤从0.3%~2.1%分为18个组型,以此来标志煤的变质程度。随后又引入2个配煤参数:强度指数 $SI$ 和组成平衡指数 $CBI$ , $SI$ 代表了活性组分的平均强度,

$CBI$ 表示的是惰性组分的适宜性。 $CBI=1$ 时表示惰性组分的含量最合适; $CBI>1$ 时表示惰性组分含量偏高; $CBI<1$ 时表示惰性组分含量偏低<sup>[6]</sup>。夏皮洛分别以 $CBI$ 和 $SI$ 为横纵坐标绘制等强度曲线进行焦炭强度的预测,其相关系数达到0.93。

江中砥等<sup>[7]</sup>根据阿莫索夫-夏皮洛配煤原理,结合我国煤炭资源特点,完成了煤岩组成半自动分析、配煤比自动计算并优化等5个软件,通过软件测出煤岩显微组分,反射率,计算出 $CBI$ 、 $SI$ 等参数,利用配煤软件找出最佳配煤比或接近最佳配煤比,并进行煤岩配煤及焦炭质量检测系统的研究与开发。王翠萍等<sup>[8]</sup>也以此方法进行了煤岩配煤研究,根据27组有效试验数据分别绘出镜质组平均反射率 $R$ 与抗碎强度 $M_{25}$ 、 $R$ 与反应后强度 $CSR$ 、 $CBI$ 与 $M_{25}$ 以及 $SI$ 与 $CSR$ 关系曲线。研究表明,镜质组平均反射率 $R$ 控制在1.20%~1.50%,焦炭机械强度和反应后强度基本满足要求; $CBI$ 为1.25时, $M_{25}$ 最大; $SI$ 为5.0时, $CSR$ 值接近最大。研究证明可通过 $CBI$ 和 $SI$ 预测焦炭质量。

#### 2.1.2 日本小岛鸿次郎的方法

在 $CBI-SI$ 预测法的基础上,小岛鸿次郎和宫津隆根据日本煤源的特点又引入一个新的参数(日本焦炭的转鼓指数),并根据试验作出了预测焦炭强度的 $CBI-SI$ 曲线,找到最合适的配煤区域,这种方法可使小量煤样在其预测值上得到较高的准确度,精确度达 $\pm 0.5\%$ 。

日本小岛鸿次郎的方法是以 $CBI-SI$ 为基础改进的煤岩配煤方法,科学、可靠,不足在于工作量较大,且比较繁琐。

#### 2.1.3 美国伯利恒钢铁公司的方法

美国Thompson除了用镜质组反射率表示变质程度外,还引入惰性组分含量 $IC$ ,其原理与上述方法相同。考虑到镜质组含有大量半惰性-惰性组分,提出了有效惰性组的概念,分别以有效惰性组分和焦炭转鼓稳定性 $ASTM$ 为横纵坐标,绘制了0.8%~1.3%共13条等反射率曲线,发现焦炭强度随镜质组反射率的提高而增大,当镜质组反射率大于1.4%时,焦炭强度随镜质组反射率的提高而降低。

#### 2.1.4 引入最大流动度 $MF$ 的方法

宫津隆认为用最大流动度 $MF$ 和镜质组平均反射率预测焦炭强度比 $CBI$ 和镜质组平均反射率预测更有规律性,因此在用镜质组平均反射率表示变质

程度的同时引入了  $MF$  来综合反映煤的结焦性,分别以镜质组平均反射率和  $MF$  为横纵坐标,设计了  $MOF$  图指导配煤,在图中煤被分成了4类,最终得出在  $MF = 200 \sim 1000$  ddpm,反射率在  $1.2\% \sim 1.3\%$  时为最适宜的配煤区域。

在引入最大流动度  $MF$  这一参数后,加拿大 Leeder 认为以半丝质组的 50% 作为活性组分时,用  $R-MF$  法预测焦炭强度可以得到较好的效果,并在  $R-MF$  图上绘制了等稳定度线。

## 2.2 国内煤岩配煤方法

### 2.2.1 周师庸煤岩配煤方法

周师庸<sup>[9]</sup>认为,煤化程度和煤岩组成是影响烟煤结焦性能的2个主要因素,当上述2个因素不足以解释这个问题时,还取决于第3个原因即煤的还原度。20世纪80年代初,周师庸利用镜质组反射率和惰性组分分别作为煤化程度及煤岩组成指标表征煤的特性,利用容惰能力或罗加指数作为煤的还原程度指标,发现新疆钢铁公司配煤过程中镜质组平均反射率小于  $0.6\%$  时,煤加热过程中不软化熔融,因此将镜质组平均反射率等于  $0.6\%$  时作为划分镜质组属于活性组分还是惰性组分的指标。预测方程中抗碎强度  $M_{40}$  的相关系数可达  $0.86$ ,耐磨强度  $M_{10}$  的相关系数达到  $0.94$ 。

1985年,周师庸提出了新的配煤计算方法,该配煤方法引入了2个配煤指标:惰性组分总量  $I$  和活性组分平均结焦指数  $MB$ 。用  $200$  kg 焦炉进行炼焦试验,以  $I$  和  $MB$  作为横、纵坐标作出等耐磨强度曲线,建立了焦炭强度预测模型。

### 2.2.2 叶道敏配煤方法

1998年起,煤炭科学研究总院叶道敏等<sup>[10]</sup>对不同成煤时期煤的特点进行对比分析,利用数理统计的方法择优选出3个基本参数:标准活性组分  $V_{i,sl}$ ,平均随机反射率  $R_{\text{ran}}$  和标准差  $S$ 。建立模型之后,选用一系列回归分析方法判断所选参数的优劣程度。试验发现模型的相关系数可达  $0.98$ 。

### 2.2.3 刘运良配煤方法

1994年,刘运良等<sup>[11]</sup>指出,只利用镜质组反射率来判断混煤或配煤的煤质不准确,周师庸煤岩配煤方法中引入的惰性组分总量  $I$  这一参数,只能单独反应惰性组分的量,而活性组分的质与量并不能表示。所以,他首次引入了容惰指数  $Ih_i$  来表示活、惰性组分的质量,同时也引入了活性组分配合度  $D_m$  与容惰指数配合来进行焦炭强度的预测。

### 2.2.4 张学礼煤岩配煤方法

2000年,张学礼<sup>[12]</sup>以煤岩学为基础,考虑到煤加热过程中活性组分与惰性组分之间存在的差异,申请了“一种生产优质焦炭的方法”专利。通过该专利炼出的焦炭质量全部达到一级冶金焦标准。

### 2.2.5 武钢工艺煤岩法

2007年,薛改凤等<sup>[13]</sup>发现单独利用煤的工艺指标或煤岩参数作为评定单种煤煤质的指标并不全面,应将单种煤的黏结指数  $G$ 、胶质层最大厚度  $Y$  和镜质组反射率的各分布区间之间的比例作为评定单种煤煤质的指标,根据特征区间集中度,保证了单种煤的合理配用,提高焦炭质量。

### 2.2.6 提取煤中活性组分的配煤技术

为节省优质炼焦煤资源,2012年刘文礼等<sup>[14]</sup>发现可在储量相对丰富的低变质程度煤中分选出活性组分,再配入一定量的优质炼焦煤进行配煤炼焦。这种配煤方法需了解低变质程度煤的煤岩活性组分分布规律及煤活性组分与优质炼焦煤配煤炼焦规律。试验表明该配煤技术最终能使低阶煤的配入比例超过  $20\%$ ,且炼出的焦炭质量合格。

## 3 煤岩分析指标与焦炭光学组织的关系

煤结焦过程中的黏结形式分为固化后没有保留粒子原形的流动结合型和固化后保留粒子轮廓的接触结合型,其中前者多是以活性组分为主的煤粒,后者则是以惰性组分为主的煤粒。煤中所含活性组分和惰性组分含量不同,最终焦炭的质量也不同。

项茹等<sup>[15]</sup>发现镜质组反射率与焦炭显微结构之间存在着定性关系。将炼焦煤镜质组最大平均反射率分为4个区域,使每个区域对应成焦后不同的焦炭显微结构。反射率小于  $0.75\%$  的比例直接影响成焦后焦炭的同性结构和细粒结构;反射率  $0.75\% \sim 0.95\%$  的比例则对应了焦炭的粗粒结构,同时,粗粒结构随着该比例的增加而增加;反射率  $0.95\% \sim 1.35\%$  的比例增加时,粗粒、纤维、片状结构增加;反射率大于  $1.35\%$  的比例增加时,则片状、纤维和惰性结构增加。张代林等<sup>[16]</sup>在此基础上也做了定量研究,发现镜质组反射率与焦炭光学组织指数 ( $OTI$ ) 呈正线性关系。

煤中镜质组与焦炭光学组织关系密切,直接影响焦炭光学组织的类型和各向同性与各向异性的比例。煤结焦过程中壳质组大部分析出,仅保留少量在焦炭中,成焦后形成气孔并保留原来的形状。煤

中惰质组在结焦过程中保持原有的丝质和小片状结构,最终以丝质与破片状形式存在于焦炭中,同时惰性组分含量会影响到加热过程中形成的中间相小球体的质量,从而直接影响同性结构。

## 4 结 语

将煤岩学知识与化学分析结合能较全面、精确评定煤质,利用煤岩学方法预测焦炭质量是配煤技术的一大突破。国内外都在不断完善煤岩分析方法和测定装备,许多煤岩学方法已应用于焦化企业生产。随着煤岩分析仪器的改进,仍需加强研究煤岩参数与焦炭性质之间的关系,从而提高煤岩配煤方法的适用性,以更好预测焦炭质量。

### 参考文献:

- [1] 申明新. 中国炼焦煤的资源与利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 齐洪涛. 煤岩配煤技术开发及参数的初步确定[J]. 煤化工, 2013(5): 14-17.
- [3] 王海燕. 煤岩学与炼焦配煤技术的发展[J]. 煤质技术, 2004(6): 39-41.
- [4] 姚昭章, 郑明东. 炼焦学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.

(上接第21页)

功率 391 kW, 进料 50~300 mm、出料 0~50 mm; 可逆锤式细碎机功率 317 kW, 进料 0~50 mm、出料 0~10 mm。

4) 利用 Aspen Plus 软件模拟河坡电厂的破碎工艺。模拟出料物流 0~5、5~10 mm 颗粒分别占物料总质量的 38% 和 62%, 电厂实测值则分别为 23% 和 68%。环式碎煤机和细碎机的建议电机功率分别为 327 和 1000 kW, 电厂实际使用电机功率为 315 和 1000 kW。粒度分布和能耗均很好地拟合。因此, Aspen Plus 软件模拟结果可以很好地预测河坡电厂的煤矸石破碎生产状况, 进一步验证了模拟模型的可行性。

### 参考文献:

- [1] 岳林, 秦斌. 谈煤矸石发电技术的现状及展望[J]. 中国科技投资, 2012(30): 86.
- [2] 王心义, 杨建, 郭慧霞. 矿区煤矸石堆放引起土壤重金属污染研究[J]. 煤炭学报, 2006, 31(6): 808-812.
- [3] Li Jianping, Du Changlong, Bao Jianwei. Direct-impact of sieving coal and gangue[J]. Mining Science and Technology (China), 2010, 20(4): 611-614.

68-74.

- [5] 杨永珍. 煤岩配煤技术的发展与现状[J]. 煤化工, 2004(3): 6-9.
- [5] 江中砥, 赵焕栋, 李明富. 煤岩配煤中 CBI 和 SI 指数的意义及其应用[J]. 燃料与化工, 1998, 29(4): 188-191.
- [7] 江中砥, 李明富. 煤岩配煤及焦炭质量检验系统的开发与应用[J]. 山东冶金, 2010, 32(4): 1-4.
- [8] 王翠萍, 李雅楠. 煤岩配煤的试验研究[J]. 燃料与化工, 2011, 42(2): 10-12.
- [9] 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, 2008.
- [10] 叶道敏, 肖文钊, 罗俊文, 等. 煤岩配煤和焦炭强度的预测[J]. 燃料与化工, 1998, 29(5): 233-236.
- [11] 刘运良, 崔之栋, 王慧英, 等. 论煤岩配煤中煤岩参数的选择[J]. 燃料与化工, 1994, 25(2): 63-67.
- [12] 张学礼. 一种生产优质焦炭的方法: 中国, 1277985[P]. 2000-12-27.
- [13] 薛改凤, 陈鹏, 魏松波, 等. 一种炼焦配煤方法: 中国, 101081989[P]. 2007-12-05.
- [14] 刘文礼, 张磊, 门东坡. 一种扩大炼焦煤资源的方法: 中国, CN102627977A[P]. 2012-08-08.
- [15] 项茹, 薛改凤, 陈鹏, 等. 炼焦煤镜质组反射率分布对焦炭显微结构和热性能的影响[J]. 煤化工, 2007(5): 47-49.
- [16] 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.

- [4] 陆军. 煤矸石发电是扩大煤矸石综合利用的有效途径[J]. 中国煤炭, 2001, 27(7): 36-42.
- [5] 刘志刚. 沸腾炉电厂煤矸石燃料破碎机的设计[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(S1): 67-68.
- [6] 蔡赞烽, 胡明振, 刘超, 等. 破碎理论与数学模型发展综述[J]. 黑龙江科技信息, 2008(4): 48-49.
- [7] 高强, 张建华. 破碎理论及破碎机的研究现状与展望[J]. 机械设计, 2009(10): 72-75.
- [8] 魏永英. 单齿辊破碎机设计与计算[J]. 机械设计与制造, 2008, 5(5): 18-20.
- [9] 黄冬明, 武殿梁, 范秀敏, 等. 圆锥破碎机的多目标规划设计[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 204-211.
- [10] 陈天虎, 庆承松, 黄明康. 煤矸石的特性及其选择性破碎分选[J]. 矿产保护与利用, 1994(4): 39-41.
- [11] Vuthaluru H B, Brooke R J, Zhang D K, et al. Effects of moisture and coal blending on hardgrove grindability index of Western Australian coal[J]. Fuel Processing Technology, 2003, 81(1): 67-76.
- [12] 张妮妮. 煤的可磨性指数变化及破碎机机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [13] 张清涛. 燃煤粒径对循环流化床锅炉(CFB)运行的影响[J]. 能源研究与管理, 2010(1): 32-34.
- [14] Duan Wenjun, Yu Qingbo, Wang Kun, et al. ASPEN Plus simulation of coal integrated gasification combined blast furnace slag waste heat recovery system[J]. Energy Conversion and Management, 2015, 100: 30-36.