基氏流动度在配煤炼焦中的应用

高亚芳（山西焦化股份有限公司配煤实验中心，山西　临汾　041600）

摘　要：基氏流动性是表征煤在热解过程中产生的流动特性的量，它反映了煤在热解过程中形成胶质体的黏度，表征了煤的塑性，是研究煤的流变性和热解动力学的有效手段。当煤隔离空气加热到一定温度时，煤粒开始软化，出现胶质体，胶质体随着热解反应不断增加，粘度不断降低，直至出现最大流动性。胶质体的流动性程度，即胶质体中出现的最大流动性，最早由德国人 K.Gieseler 提出，并在 1934 年至 1943 年间逐渐发展和完善。通过测量煤在塑性状态下的流动特性来表征煤的粘附性。

关键词：基氏流动度；配煤炼焦；问题分析；解决措施

1 引言

随着国家综合国力的提升，各个方面对于人们的生活质量水平的提高都有着全面的提升，极大的促进了人们在日常的生活，工作过程当中能够有着良好的生活体验，并且能够取得更加充足的技术满足，对于配煤炼焦方面来说也是重要的问题，不断增强技术的应用能力，才能更好的提高本行业在发展时的动力，能够为持续的发展提供更加可靠的能量，并且也能够为日后我国相关配煤炼焦行业的发展提供更好的帮助和支持。

2 基氏流动度对中强黏结性煤的性能区分

通常用于中等用途的 1/3 焦煤为中等强度煤。表 1。两种焦碳的 G、Y、b 指标比较接近。如表 2 所示，B 煤的焦炭（简称 B 焦炭）

虽然 B 焦炭的冷态强度 M10 优于 A 焦炭（简称 A 焦炭），但 A 焦炭的热态强度 CSR 优于 B 焦炭。总的来说，两种 1/3 焦煤之间的距离相对较近，因此可以在煤中相互替换。然而，在实际使用过程中，证明使用 B 煤代替 A 煤后，焦炭的冷态强度劣化显著。实践证明，B 煤不能代替 A 煤。

采用 js1-1 型基氏流动度测定仪对两种 1/3 焦煤进行检测分析。两种 1/3 焦煤的基式流动度指标见表 3。从表 3 可以看出，A 煤的最大基氏流动度和塑性温度范围优于 B 煤，表明 A 煤在炼焦过程中可以产生更多的胶质体，塑性温度范围较宽。

上述分析表明，以上两种 1/3 焦煤在区分识别黏结能力方面，基式流动度指标优于 G、Y、b 等指标。

3 实验

3.1 试样及其制备

根据 GB/T 19494.1 或 GB 475 采集样品，并根据 GB/T 19494.2 或 GB 474 制备出粒径＜ 6mm 的 4kg 煤样。将煤样在盘中摊开成薄层，于不超过 40℃的温度下干燥，使之与实验室大气达到平衡。达到平衡后，就可以确保煤样品的可塑性不会因氧化而改变，进而不再继续进行干燥。干燥后，将煤样缩分出 500g。将 500g 煤的样品分成四份，取其一份用逐级破碎方法破碎到通过 0.425mm 的筛子。粉碎时要最大限度地减少粉煤的产率。所得试样中粒度＜ 0.2mm 细粒应少于最后试样的 50%。用多点取样法从不同部位充分混合煤样，取出 5g 试样，在样品制备后 8h 内完成重复测定。尽量避免拖延，以免煤样变质或氧化而对塑性产生显著影响。

3.2 仪器和方法原理

js-01 型基氏流动测试仪，采用国家标准进行测试。基氏流动测量仪是一个单液浴、全自动操作系统、计算机输出测试结果、数据可靠和能够准确显示瞬时温度、温度速度和即时胶质流动性数值。

4 常用煤种基式流动度与塑性指标的关系

基氏流动度反映煤在干馏时形成胶质体的黏度，能表征煤的塑性，是研究煤的流变性和热分解动力学的有效手段，可以指导炼焦配煤。对炼焦煤可塑性的研究，国内主要采用奥亚膨胀度、黏结指数和胶质层最大厚度等指标，国外则重点研究煤的基氏流动度指标，并将其用于指导配煤炼焦。但随着炼焦煤资源的国际化和国内

表 1　两种 1/3 焦煤的常规煤质指标

	灰分 /%	挥发分 /%	硫分 /%	G	X/mm	Y/mm	b/%	Rmax/%	标准偏差 /%
A 煤	10.38	34.54	0.50	92	28	22	143	0.811	0.097
B 煤	8.50	31.04	0.38	93	18	22	145	1.077	0.092

表 2　40kg 小焦炉炼焦实验结果（%）

	M_{40}	M_{10}	CRI	CSR
A 焦炭	76.9	10.4	28.5	50.4
B 焦炭	76.3	8.9	34.2	46.2

表 3　两种 1/3 焦煤的基氏流动度指标

	软化温度 /℃	固化温度 /℃	塑性温度区间 /℃	最大流动度（a_{max}）/ddpm
A 煤	390	486	96	7209
B 煤	410	484	74	829

优质炼焦煤资源的短缺，不得不进口炼焦煤补充国内优质炼焦煤的不足；因此，基氏流动度作为国外炼焦煤的关键控制指标，逐渐被接受，也成为炼焦配煤关注的指标之一。

4.1 基式流动度与黏结指数（G 值）的关系

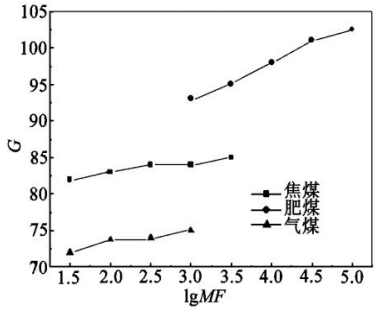

图 1 lgMF 与 G 值的关系图

从图 1 可以看出，总体上随着 lgMF 的提高，G 值呈升高的趋势，这种趋势的原因是由于软化熔融产生塑性体可以将惰质组分包裹、黏结，流动性越大，塑性体发展越好，可以黏结更多的惰质组分。

从煤种可以看出：

对于气煤，G 值随着 lgMF 提高的幅度很小，G 值在 80~85 之间变化，lgMF 在 1.5~3.5 之间变化，可以说明 G 值对气煤评价区分度差，而 lgMF 能够表达气煤之间的差别。

对于焦煤，G 值在 80~87 之间变化，lgMF 在 1.2~3.5 之间变化，可以说明 G 值对焦煤评价区分度较差，而 lgMF 对焦煤的评价区分度较好。对于肥煤，G 值在 90~100 之间变化，lgMF 在 3.0~4.5 之间变化，两者对肥煤均有较好的区分能力。

4.2 基氏流动度与胶质层最大厚度（Y 值）的关系

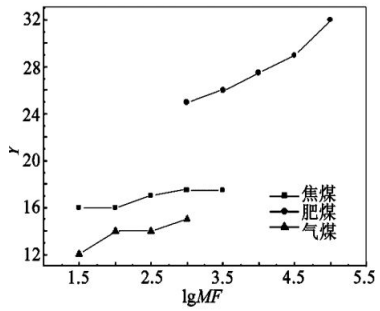

图 2 lgMF 与 Y 值的关系图

从图 2 可以看出：总体上随着 lgMF 的提高，Y 值呈升高的趋势，呈线性关系，随着受热产生的胶质体数量的增多，流动度逐渐增大。肥煤产生的胶质体数量最多，流动度也最大。

从煤种可以看出：

对于气煤，Y 值随着 lgMF 提高的幅度较小，可以说明 Y 值对气煤评价区分度差，lgMF 对气煤区分度好。

对于焦煤，Y 值随着 lgMF 提高的幅度较小，可以说明 Y 值对焦煤评价区分度差，lgMF 对气煤区分度好。

对于肥煤，Y 值在 20mm~40mm 之间变化，两者对肥煤均有较好的区分能力。

4.3 基氏流动度与与奥亚总膨胀度（DT，即 a+b）的关系

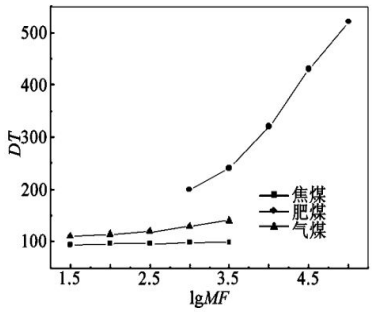

图 3 lgMF 与 DT 的关系图

从图 3 可以看出：总体上 lgMF 与 DT 呈对数关系。当 lgMF ＜ 3.0 时，奥亚全膨胀度 DT 变化缓慢；当 lgMF ＞ 3.5 时，DT 激增；lgMF 从 3.5 增到 4.5，DT 从 100% 增到 600%。从煤种可以看出：焦煤和气煤的 DT 变化小，lgMF 变化较大，肥煤的 lgMF 与 DT 差异都较大。从图 3 可以看出，基氏流动度对气煤和焦煤的区分能力优于奥亚膨胀度。

4.4 基氏流动度最大流动度温度 Tmax 与干基挥发分（Vd）的关系

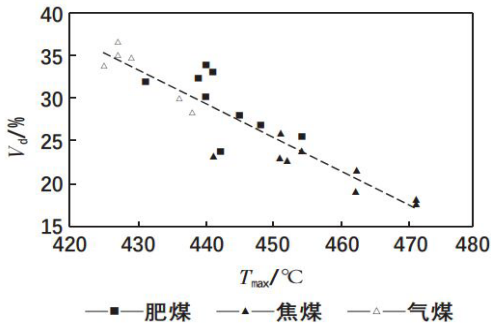

图 4 Tmax 与 Vd 关系图

由图 4 可知：总体上随着 Tmax 提高，Vd 呈下降趋势，Tmax 在 440℃左右时，Vd 出现较大范围波动，波动范围从 25%~35%，在其他温度区段内，Vd 波动范围较小。

4.5 基氏流动度最大流动度温度 Tmax 与镜质组反射率（Rran）的关系

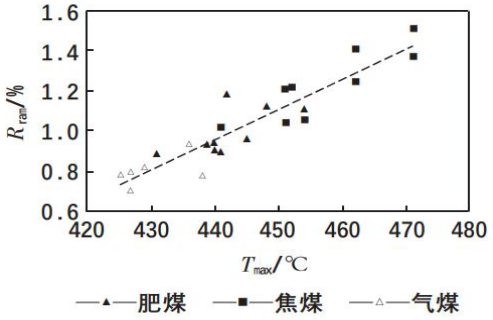

图 5 Tmax 与 Rran 关系图

由图 5 可知：总体上随着 Tmax 提高，Rran 呈升高趋势。气煤 Tmax 在 425℃ ~438℃，肥煤 Tmax 在 430℃ ~450℃，焦煤 Tmax 在 450℃ ~470℃，可以看出，不同煤种的炼焦煤的基氏流动度 Tmax 有一定分布规律，这对于煤分类有一定的指导意义。

5 实践与验证

对旧煤和新近采购的煤进行了试验。通过与流动度

数据库对比，我们开发了煤炭分配模型。把实验的结果与六组实际运行情况进行了比较分析，发现了以下几点情况。

5.1 初始软化温度（Ts）、最终流动性温度（Tf）

理论的初始软化温度为 423.37℃，但是实际的平均初始软化温度为 413.67℃，理论值和实际值偏差为 9.70℃，把 6 个实验数据进行对比，有一组偏差仅为 4.21℃，而另外几组的偏差在 10~11.29 之间。进而分析除了可以消除误差的偏差外，理论值和实际值偏差在 10~11.29℃之间相对稳定，并且具有更好的再现性。

而理论的初始软化温度高达 494.03℃。实际的最后一个流动性温度为 494.83℃，理论值和实际值偏差为 –0.8℃，把 6 个实验数据进行对比，有一组偏差为 –6.71℃。由于其他组的偏差在 –1.05℃ ~2.5℃之间，因此理论值和实际值偏差在 –2.0℃ ~2.0℃之间相对稳定，但由于误差消除而产生的偏差除外，理论值和实际值偏差在 –2.0~2.0℃℃之间相对稳定，并且具有更好的再现性。最后的流动性温度可以作为指导配煤。

5.2 煤的塑性区间

理论煤塑性区间（Tr–Ts）平均为 73.66℃，由使用理论复合煤拟合数据和实际共存煤数据相比而得出。在 9.5℃ ~10.5℃之间的理论结果和实际偏差的比较中，理论和实际偏差之间的差异是稳定的，并且比误差消除引起的偏差具有更好的再现性，因此 Tr 和 Ts 之间的分布，可以将其作为指导配煤。

5.3 最大流动性

如果使用理论混合煤拟合数据与实际混合煤数据进行比较，当生产三级焦时：理论最大流动值（Amax）平均为 4430dd/min，实际最大流动值（Amax）为 1421dd/min，理论值和实际值偏差 2409dd/min，当生产定制冶金焦：理论最大流动值（Amax）平均为 2746dd/min，实际流动值（Amax）平均值为 544dd/min，理论值与实际值相对比偏差为 2202dd/min。

从实验数据来看，理论数据与实际数据的偏差在 2202~2409dd/min 之间，而在实际生产过程中，三级焦炭的最大流动度≮ 1100dd/min，定制冶金焦混煤的最大流动值速率不应≤ 300dd/min，这样生产出来的焦炭的质量才能够满足用户的要求。

5.4 把实验与实际生产相互比较分析，进而制定出了配合煤质控的参数需求

具体的参数如下所示：定制冶金焦配合煤质量要求。

灰分：13.5%~14%，挥发性：26%~29%，硫含量：0.4%~0.75%，G：73%~78%，X：＞ 34mm，Y：12mm~16mm，煤的细度（＜ 3mm 比率）＞ 85%，最大流动值 Amax：＞ 300dd/min，煤的塑性区间段（Tr~Ts）＞ 82℃，初始软化温度 Ts：410℃ ~430℃，最终流动值温度 Tf：490℃ ~500℃。而三级焦煤的最大流动值为 Amax：＞ 140dd/min，煤塑性区间（Tr~Ts）：＞ 85℃，初始软化温度 Ts 为：410℃ ~430℃，最终流动值温度 Tf 为：490℃ ~502℃。

6 结束语

①基氏的流动度是评价炼焦煤质量特性的重要指标，其特点在于检测自动化程度高，操作方便，人为影响因素小，评价客观；②对于弱黏煤和强黏煤，具有较好的区分能力，特别是对于中等黏结程度的煤，其区分识别能力优于其他黏结性指标；③基氏的最高流化温度与炼焦煤的变化程度有很好的相关性，通过在恒定范围内反映炼焦煤的变化程度来评价炼焦煤的质量是一个参考；④基氏的流动度可以从初始软化温度、最终流动温度、煤塑性区间和最大流动性得出，可以指导配煤炼焦，尽管理论和实践上都有一定的偏差，但偏差值波动比较小，可以作为配煤炼焦的理论依据；⑤因为炼焦煤一般要经过开采、冲刷、运输、储存和使用这个过程，其间肯定是需要一段的时间，如果再制定采购计划时不够周密，一些煤炭因此将长时间储存在煤场中。煤与空气接触时会被氧化，煤的质量会发生变化，并最终影响产品的质量。基氏流动度能够检测煤的质量，及存放的时间周期。据此我们可以使用此特性来指导指定煤种的采购计划；⑥在配煤炼焦生产过程中，为了保证焦炭的均匀性，充分考虑了不同煤种的焦炭间隔，不同煤种的软化温度段充分衔接，惰性组分充分粘附，保证了焦炭的质量，降低焦炭成本，提高经济效益。

参考文献：

[1] 王超，庞克亮，谭啸，等．一种高效利用复杂混煤的炼焦配煤方法：中国，CN110295049A[P].2019.

[2] 张哲，李书震．基氏流动度指标分析及应用研究 [J]. 燃料与化工，2018,49(02):8-11.

[3] 朱丽芳．煤的镜质组反射率及其分布图在配煤炼焦中的应用浅谈吉氏流动度特征指标在炼焦配煤中的应用 [J]. 化工管理，2020,56(17):46-47.

[4] 隋月斯，王刚，刘波．浅谈吉氏流动度特征指标在炼焦配煤中的应用 [J]. 金属世界，2019(04):27-31+36.

[5] 王春晶．一种测试炼焦煤在热塑状态下的自由流动性的装置及方法 [J]. 煤质技术，2020(4).

[6] 孙维周，郑明东，崔平，等．低阶煤在炼焦配煤中的应用研究：中国，CN110887763A[P].2020.

[7] 张明星，周俊兰，杜屏．基氏流动度在配煤炼焦中的应用 [J]. 中国冶金，2018(10).

[8] 王春花，张文成，任学延．利用基氏流动度指标进行配煤炼焦的方法：中国，CN102559227A[P].2012.

[9] 付建华，张振国，薛立民．基氏流动度分析在炼焦配煤中的应用 [C]// 全国炼铁生产技术会议暨炼铁年会，2008.

[10] 吕青青，杜屏，周俊兰．基氏流动度特征指标分析及指导配煤炼焦研究 [J]. 煤质技术，2014(2):1-5.

[11] 刘克辉，梁开慧，李仲文．炼焦煤基氏流动度指标在韶钢的应用 [J]. 燃料与化工，2012(05):10-13.