

# “三高”煤用于科林炉加压煤气化降低灰熔点的研究

倪 永（陕煤集团榆林化学有限责任公司，陕西 榆林 719000）

**摘要：**本文在对“三高”煤与科林炉加压煤气化技术分析基础上，通过实验分析，对“三高”煤在科林炉加压煤气化降低灰熔点中的应用及其具体实施的方案效果进行研究，为有关实践及研究提供参考。

**关键词：**“三高”煤；科林炉；加压煤气化；灰熔点；降低

## 0 引言

我国煤炭探明储量约 1 万亿 t，我国低品质煤包括褐煤、高硫原煤、高灰原煤以及部分分选产品，占煤炭资源总量的 40% 左右，是中国不可或缺的煤炭资源。无烟煤保有储量约为 1156 亿 t，约占我国煤炭储量 11.5%，在全国有 20 多个省都不同程度的赋存。“三高”煤作为具有高硫、高灰以及高灰熔点的煤炭资源，对于“三高”煤的高效与清洁利用，不仅能够有效缓解我国社会经济发展与煤炭资源开采利用之间所存在的生态与环境矛盾，而且有效减轻我国各项建设与发展中所面临的能源压力，促进各企业的稳定与持续发展等方面，有着十分积极的作用和意义。

## 1 科林炉加压煤气化技术分析

科林炉加压煤气化技术就是一种较为典型的气流床气化技术类型，它不仅具有较为先进的技术特性，而且其设计的烧嘴结构使煤种适应性较为广泛，科林炉加压煤气化技术的工艺原理为：气化炉长明灯烧嘴开车采用天然气与高压  $N_2/CO_2$  按一定的比例预混，经循环燃料气压缩机加压到 5.30MPaG 进入燃料气缓冲罐，长明灯烧嘴点火，气化炉升温升压，气化炉在 3.5~4.0MPaG 的高压力下投料。经三个工艺煤粉烧嘴喷入气化炉的煤粉与氧气、蒸汽在高温高压的条件下发生部分氧化反应，产生以一氧化碳和氢气为主的粗合成气。科林炉在结构方面的特点：科林气化炉顶部，点火烧嘴设置在气化炉的中央位置，三个工艺烧嘴以  $120^\circ$  的角度分布在点火烧嘴的周围，燃烧温度场范围更宽，气化炉整体温度和反混效果更加均匀，煤粉颗粒的有效停留时间、转化率、挂渣效果都得以保证，这样灰捕捉率高，提高成渣率，三个工艺烧嘴的氧气和煤粉单独控制，实现各个烧嘴氧煤比的精确控制，并极大提高了气化炉运行的稳定性和抗煤质波动的能力。

## 2 “三高”煤用于科林炉加压煤气化降低灰熔点的研究

### 2.1 实验分析

以晋城寺河 2# “三高”煤（表 1）的特点分析，煤灰的组成对煤灰熔融性起决定性作用和影响，对煤灰（表 2）的化学组成成分进行合理的改进与优化，以实现煤灰熔点降低，是有关技术研究和应用中关注的重点。煤灰分中酸性氧化物占 80%，碱性氧化物占 20% 不到，硅含量与铝含量比为 1.27，导致“三高”煤的煤灰熔融

温度在  $1500^\circ\text{C}$  以上，科林炉加压煤气化装置中的粉煤气流床，其气化温度约为  $1500^\circ\text{C}$ ，为满足其气化炉的操作温度需求，就需要进行合理的助熔剂选择和应用，通过对煤炭灰渣的熔融特性改进，促进其煤灰熔融温度降低于  $1400^\circ\text{C}$  的标准，又满足科林炉生产过程中的液态排渣要求。本文选用寺河“三高”煤，石灰石为助熔剂进行降低灰熔点的实验。

表 1 寺河“三高”煤分析如下

| 单位 %             | 空干基 (AD)              | 干基 (MF)                | 无水无灰 (MAF)              | 收到基 (AR) |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------|
| 固定碳              | 69.85                 | 72.33                  | 91.42                   | 68.63    |
| 水分               | 3.35                  |                        |                         |          |
| 灰分               | 21.58                 | 22.27                  |                         | 21.24    |
| 挥发分              | 5.22                  | 5.4                    | 6.79                    | 5.13     |
| 碳                | 65.38                 | 67.68                  | 85.36                   | 64.25    |
| 氢                | 2.3                   | 2.38                   | 2.99                    | 2.26     |
| 氮                | 0.85                  | 0.88                   | 1.11                    | 0.84     |
| 硫                | 2.83                  | 2.93                   | 3.68                    | 2.78     |
| 氧                | 4.5                   | 4.66                   | 5.85                    | 4.42     |
| 全水               | 5                     |                        |                         |          |
| 氯                | 0.021                 |                        |                         |          |
|                  | Q <sub>gr, v, d</sub> | Q <sub>gr, v, ar</sub> | Q <sub>net, v, ar</sub> |          |
| MJ/kg            | 26.04                 | 24.74                  | 24.13                   | 5764Kcal |
| 哈氏可磨             | 35                    | 焦渣指数                   | 2                       |          |
| 灰熔融性             | DT                    | ST                     | HT                      | FT       |
| $^\circ\text{C}$ | 1384                  | 1413                   | 1442                    | > 1500   |

表 2 煤样灰的成分组成

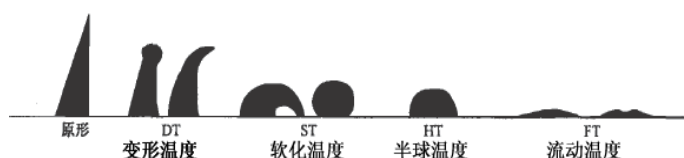
| 灰成分    | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | $SO_3$   | CaO   | $Fe_2O_3$ |
|--------|---------|-----------|---------|----------|-------|-----------|
| 含量 (%) | 43.18   | 33.79     | 1.08    | 1.95     | 7.31  | 10.41     |
| 灰成分    | MgO     | $K_2O$    | $Na_2O$ | $P_2O_5$ | 合计    |           |
| 含量 (%) | 0.33    | 0.82      | 0.13    | < 0.05   | 99.05 |           |

## 2.2 实验过程

### 2.2.1 灰熔融温度测量

取 150g 粒度合格的粉煤, 分成五等份, 按照 1%、2%、3%、4%、4.5% 的比例添加石灰石, 使粉煤和石灰石充分混合, 放进 HR-5 型微机灰熔点测定仪中, 开始以 15℃/min 升温到 900℃, 再以 3℃/min 升温完全流动状态。每次实验过程由摄像系统、计算机系统监视控制, 观察灰锥在受热过程中的形态变化, 判定它的四个熔融温度。变形温度 (DT): 灰锥尖开始变圆或弯曲时的温度; 软化温度 (ST): 灰锥弯曲至锥尖触及托板或灰锥变成球形时的温度; 半球温度 (HT): 灰锥变形到近似半球形, 即高约等于底长一半时的温度; 流动温度 (FT): 灰锥熔化展开形成 1.5 mm 以下的薄层时的温度。灰熔融性的四个指标中, 最常用的是流动温度 (FT)。根据灰锥的受热变化的实时图像, 自动判断特征熔融温度, 如表 3:

表 3 石灰石添加不同比例的熔融温度表



| 灰熔融性<br>添加比例 | DT<br>变形温度 | ST<br>软化温度 | HT<br>半球温度 | FT<br>流动温度 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|
| 1%           | 1370       | 1403       | 1417       | 1439       |
| 2%           | 1364       | 1377       | 1382       | 1399       |
| 3%           | 1360       | 1372       | 1375       | 1393       |
| 4%           | 1317       | 1332       | 1340       | 1386       |
| 4.5%         | 1390       | 1396       | 1410       | 1424       |

### 2.2.2 黏温特性测定

表 4 添加助熔剂后灰渣的特征温度

| 添加比例 | 特征温度/℃ |                 |                |
|------|--------|-----------------|----------------|
|      | FT     | T <sub>25</sub> | T <sub>5</sub> |
| 1%   | 1439   | 1430            | 1435           |
| 2%   | 1399   | 1385            | 1389           |
| 3%   | 1393   | 1367            | 1383           |
| 4%   | 1386   | 1347            | 1375           |
| 4.5% | 1424   | 1415            | 1418           |

称取 480g 粒度合格的粉煤, 分成五等份, 按照 1%、2%、3%、4%、4.5% 的比例添加石灰石, 使粉煤和石灰石充分混合煤灰放入预熔刚玉坩埚在氧化气氛下, 采

用高温炉以最高温度 1500℃ 按程序进行预熔, 取 40g 左右预熔后渣样进行黏度测试。采用 RVDV—III 型旋转高温黏度计, 按照 V(CO<sub>2</sub>):V(CO)=20:30 通入仪器, 形成弱还原性气氛, 通过连续降温法测量五种样品黏度。添加不同比例的助熔剂煤灰黏度对应的三个特征温度, 如表 4, t<sub>25</sub> 代表黏度 25Pa·s 对应的温度, t<sub>5</sub> 代表降温过程中由于固相生成导致黏度急剧上升所对应的温度。

### 2.3 结果与讨论

根据表 3 进行研究和分析, 通过选取寺河“三高”煤样品, 依次添加不同含量的石灰石助熔剂, 对粉煤的熔点变化进行检测分析, 显示粉煤熔融温度存在明显的下降变化。助熔剂主要成分为 CaCO<sub>3</sub>, 煤灰中氧化钙含量变化幅度较大, 氧化钙对煤灰熔融特性的影响, 可按 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 值来比较, 比值在 1.55~2.3 时, 煤灰熔融温度最低。而寺河“三高”煤灰中 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)/(CaO+MgO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 值都远大于上述范围。CaO 是形成低熔融温度共熔体的主要组分, 氧化钙对煤灰熔融特性的影响与 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值有关联, 当 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 2.8 时, CaO (MgO 及 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 并入 CaO) 29%~34%, 煤灰的流动温度最低。这时 CaO 以形成 CaO·FeO 和 CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 类型的低熔融盐类物质, 随着 CaO 比例增加, 与煤灰中的 SiO<sub>2</sub> 相互反应后生成低温共熔物, 致使煤灰的灰熔点降低。当助熔剂的加入比例达到 4% 后, 又以 CaO 为氧化剂, 对硅聚合物形成破坏, 促进具有高熔点的硅酸钙等形成, 造成煤灰熔点升高。

其次, 本次实验所选取的“三高”煤为结晶煤, 通过分析煤灰渣的黏温特性温度变化, 发现加入不同比例的助熔剂, 按照科林炉正常操作所需灰渣黏温特性 5Pa·s~25Pa·s 所对应的温度范围, 当“三高”煤样品中加入 4% 含量的石灰石, 会使煤灰渣呈玻璃渣的状态, 临界黏度与所对应的临界温度不仅降低, 还使得温度操作窗口变宽, 这更加符合科林炉加压煤气化生产的排渣要求。

### 3 结论

对“三高”煤用于科林炉加压煤气化降低灰熔点的分析, 结合“三高”煤的物质组分与科林炉配套三个烧嘴的结构特点, 通过合理的石灰石配制方案, 更好的满足“三高”煤在科林炉加压煤气化中的应用, 并促进粉煤灰熔点降低, 达到更好的煤炭资源清洁利用与高效转化需求, 为煤化工企业的发展及其技术优化提升提供良好的支持, 具有十分积极的作用和意义。

#### 参考文献:

- [1] 汪寿建, 现代煤气化技术发展趋势及应用综述 [J]. 理工 B(化学化工冶金环境矿业), 2016(03):01.
- [2] 贾或智. 科林 CCG 粉煤气化技术特点及应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(08).
- [3] 王国夺, 樊广燕, 郭然, 等. 晋城“三高”煤用作航天炉原料煤的技术研究 [J]. 中氮肥, 2018(6):19-21.