

# 煤气化细渣制备水泥熟料技术的研究与应用

王小亮

焦作千业水泥有限责任公司 河南 焦作 454100

**摘要：**以千业公司4500t/d水泥厂生产实际为例，介绍了煤气化细渣在水泥厂生料配料设计应用效果以及对熟料强度的影响。主要从煤气化细渣的化学成分，矿物组成，发热量等方面进行了详细地介绍。煤气化细渣在水泥生料配料中的应用，可以降低窑尾分解炉的控制温度，降低熟料煤耗，减少和减缓窑系统结皮，保证了窑系统的高质量运行，提高了煤气化渣的使用量，实现了煤气化细渣规模化利用，为解决煤气化渣产出量大、利用成本高，利用量小、大量堆存污染环境等问题提供一条有效渠道。

**关键词：**煤气化渣；细渣；发热量；生料配料；节能；环保

## 1 项目研究背景及意义

煤气化是煤或煤焦在高温下，通入氧气、水蒸气等氧化剂，经过高温以及化学反应使煤或煤焦的可燃部分合成煤气的过程。煤在气化炉中经历高温、高压、燃烧、气化等热转化过程后，煤中的矿物质和其他无机组分先后经历了破裂、团聚和熔融等过程，最终与部分未参与反应的煤或煤焦形成灰渣，这些灰渣就是煤气化渣。煤气化渣分为粗渣和细渣，从气化炉排渣口获得的废渣通常称为粗渣，随合成气离开的飞灰称为细渣。<sup>[1]</sup>

现在煤气化渣资源化再利用主要应用在建筑材料、活性炭、复合材料、锅炉掺烧、生态治理以及农业等方面，因其含煤量高、杂质多，导致建筑材料掺配量低、质量稳定性差，易造成二次环境污染等严重问题。我国煤气化渣的利用相对落后，有效利用率低，规模化利用量不高，大部分被堆放和填埋。煤气化渣长期堆放会造成灰尘飞扬，同时产生的大量有毒有害气体污染大气，气体或一些微小颗粒易被吸入，直接影响人类身体健康；填埋的煤气化渣会随雨水渗入地下水系统，废渣中的有害物质、重金属元素造成地下水污染，水土污染，形成严重的土地资源浪费和环境污染等社会问题。

因此，研发绿色环保、低碳、经济的煤气化渣规模化和产业化再利用技术是煤化工企业以及全面推进美丽中国建设的内在要求，煤气化渣的无害化处置产业化已迫在眉睫。

## 2 存在问题

在煤气化渣资源化利用方面，结合煤气化渣的成分

含量和特性，目前主要应用于含碳材料的碳提取利用、磨细后用于特种陶瓷原料、提取的铝或硅用于生产含铝或硅基质复合材料等等，虽有一定的经济效益，但不够显著，还有一些技术研究处于实验室研究或试验阶段，暂时没有应用到工业生产中。目前煤气化渣的再利用技术主要存在生产成本高、工艺复杂、产品质量控制稳定性差等问题，导致现在煤气化渣无法实现规模化生产利用<sup>[2]</sup>。

## 3 主要研究内容：提高煤气化渣的利用率和使用量

在水泥领域研发无害化处置煤气化渣的技术，可以解决煤气化渣产量大、利用率低、处理成本高且存在环境污染的问题。

## 4 煤气化细渣制备水泥熟料技术的研究与应用

### 4.1 煤气化渣情况

煤气化渣是煤气化生产过程产生的废渣，煤在气化炉内经过高温，燃烧反应转化后，一部分不完全燃烧或反应的细煤颗粒，其中粒度较大的煤颗粒与熔渣一起冷却形成粗渣，粒度较小的煤颗粒被快速上升的气流带出反应炉后形成颗粒较小的细渣，这些被排出的粗渣和细渣统称为煤气化渣。

煤颗粒和熔渣在形成煤气化粗渣的过程中，熔渣的温度比较高，且处在上升气流中的煤颗粒比较容易充分反应，因此粗渣中碳含量比较低，发热量低。粗渣的粒径比细渣的粒径大，粗渣粒径分布在1.4mm~4.75mm，细渣粒径均小于1.4mm，其中小部分细渣颗粒甚至小于0.075mm。

表1 用煤质工业分析仪分析数据结果如下

|            | Mar | Mad  | Aad   | Cad   | 发热量     |
|------------|-----|------|-------|-------|---------|
| 煤气化渣粗渣     | 26  | 0.06 | 94.76 | 5.24  | 量热仪无法点火 |
| 煤气化渣细渣（饼状） | 52  | 0.47 | 82.25 | 17.75 | 277大卡   |

备注：1.Cad数据为计算数据，按照煤干基Cad=100-Aad计算。

2.使用量热仪进行发热量做样分析,煤气化渣粗渣做样两次均无法正常点火,煤气化渣细渣(饼状)发热量为277大卡。

表2 煤气化渣和煤矸石化学分析数据结果如下

|            | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  |
|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|
| 煤气化渣粗渣     | 48.23            | 18.61                          | 8.3                            | 15.78 | 1.33 |
| 煤气化渣细渣(饼状) | 52.20            | 19.65                          | 5.87                           | 10.67 | 1.74 |
| 煤矸石        | 53.3             | 17.79                          | 3.49                           | 4.72  | 0.91 |

从烧过灰分的化学分析数据来看,与煤矸石成分类似,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和CaO成分略有差异,可作为硅质原材料进行使用。

#### 4.2 煤气化渣主要化学成分

煤气化渣按煤气化后形成粒度大小分为煤气化粗渣和煤气化细渣。煤气化粗渣是煤炭颗粒在气化炉里经过高温高压等条件反应后,由气化炉底部排出的颗粒度较

大的废渣,含水量较大。煤气化粗渣中未燃烧炭中碳的质量分数较低,在2%~10%,粗渣产量占煤气化渣总量的80%左右。煤气化细渣即由气化炉内快速上升的气流携带一部分细小的颗粒通过气化炉顶部排出,并经初步洗涤净化、沉淀产生含有一定水分的细废渣,其中未燃尽炭中碳质量分数较高,一般可达20%以上,细渣产量占煤气化渣总量的20%左右。

表3 煤气化渣的一般化学组成见下表

| 名称 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | 烧失量   | 发热量  |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|
| 细渣 | 51.73            | 25.36                          | 8.42                           | 7.58  | 1.11 | 22.97 | 337  |
| 粗渣 | 48.51            | 21.81                          | 7.73                           | 10.61 | 1.27 | 8.25  | 小于80 |

由表中数据可知,煤气化渣的主要化学组成为硅、铝、铁、钙、镁等,烧失量可代表煤气化渣中碳燃烧后失去的质量数值,即代表煤气化渣的碳含量。

煤气化渣的化学成分主要有二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁、氧化钙和未燃烧的煤,由于原煤产地不同、燃烧环境不同,产生的煤气化渣的各元素含量也略有所不同。使用中马矿煤在气化炉生成的粗渣中SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO总含量都小于89%,细渣中SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO总含量都大于93%,残碳在粗渣、细渣中含量相差较大,分别为8.25%、37.64%,粗渣的发热量小于80kcal/kg,细渣的发热量均高于粗渣。

#### 4.3 煤气化渣的矿物组成

煤气化渣主要由含硅和铝的矿物质和一部分未燃烧

的碳颗粒组成,含硅和铝矿物质种类和形态多而复杂,对矿物组成进行分析,有利于煤气化渣的资源规模化利用。煤气化废细渣中矿物质的主要成分有石英、莫来石、炉渣玻璃相以及少量的方解石和斜长石等晶相,粗渣中矿物质有石英、莫来石、方解石、少量的钙长石。<sup>[1]</sup>

不同的煤种,煤气化渣即煤气化细渣和煤气化粗渣的矿物组成含量略有不同,但是都以石英矿物为主,其次为莫来石或方解石。

#### 4.4 煤气化渣的应用

目前公司使用的煤气化渣为中新化工产的煤气化渣细渣,粗渣由于发热量低,暂不考虑使用。中新化工产的煤气化细渣的化学分析以及发热量见表1。

表4 公司进购的10批次煤气化细渣化学分析以及发热量检测数据

| 名称  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | 发热量(kcal/kg) |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|--------------|
| 1   | 51.73            | 25.36                          | 8.42                           | 5.07 | 1.01 | 286          |
| 2   | 56.52            | 27.94                          | 6.41                           | 4.22 | 0.91 | 217          |
| 3   | 50.50            | 25.6                           | 8.42                           | 8.17 | 1.32 | 532          |
| 4   | 50.17            | 27.64                          | 9.22                           | 5.21 | 1.11 | 240          |
| 5   | 50.73            | 28.67                          | 9.82                           | 4.79 | 1.01 | 624          |
| 6   | 52.36            | 26.42                          | 7.53                           | 5.16 | 1.07 | 209          |
| 7   | 50.47            | 27.82                          | 8.54                           | 8.24 | 1.01 | 497          |
| 8   | 53.12            | 25.73                          | 9.06                           | 7.46 | 1.20 | 425          |
| 9   | 50.06            | 28.72                          | 8.65                           | 5.46 | 1.01 | 250          |
| 10  | 51.09            | 26.01                          | 7.52                           | 6.05 | 1.04 | 333          |
| 平均值 | 51.57            | 26.99                          | 8.36                           | 5.98 | 1.07 | 361          |

中新化工产的煤气化细渣中二氧化硅含量在50%~56%，三氧化二铝含量在25%~28%，三氧化二铁含量在6%~9%，氧化钙含量在4%~8%，含水量在8%~10%，发热量在200kcal/kg~600kcal/kg（干基），含有少量的玻璃体，挥发分较少。从表1中可知，近10批次的煤气化细渣中的SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO含量差别不大，经过预均化后，煤气化细渣完全满足水泥厂在生料配料中作为硅质原材料使用的要求。

由于煤气化细渣的发热量比煤矸石发热量高，且价格相近，故用煤气化细渣逐步替代煤矸石进行生料配料试验。在保持熟料三率值确定的情况下，KH = 0.920±0.02，n = 2.45±0.1，p = 1.5±0.1，同时兼顾煤的质量情况合理调整生料三率值。根据石灰石、硅质砂岩、煤矸石、煤气化细渣、铁质原料化学结果分析，确定生料配料方案如下：

表5 生料配料方案对比

|       | 石灰石  | 硅质砂岩 | 铁质校正料 | 煤矸石 | 煤气化细渣 |
|-------|------|------|-------|-----|-------|
| 配料方案一 | 82.1 | 5.9  | 4.0   | 8.0 | 0     |
| 配料方案二 | 82.0 | 6.0  | 3.8   | 4.0 | 4.2   |
| 配料方案三 | 82.1 | 6.2  | 3.7   | 0   | 8.0   |

通过煤气化细渣逐步替代煤矸石进行生料配料，研究煤气化细渣对熟料化学成分的影响，特别是对熟料强

表6 熟料化学分析和率值与配料方案对应表

|       | 化学成分% |                  |                                |                                |       |      | 率值    |      |      |
|-------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|------|
|       | Loss  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | KH    | n    | p    |
| 配料方案一 | 0.29  | 21.45            | 5.13                           | 3.20                           | 64.75 | 3.06 | 0.919 | 2.58 | 1.60 |
| 配料方案二 | 0.37  | 21.64            | 4.96                           | 3.25                           | 65.07 | 3.10 | 0.920 | 2.64 | 1.53 |
| 配料方案三 | 0.45  | 21.58            | 5.25                           | 3.23                           | 65.52 | 3.12 | 0.922 | 2.54 | 1.63 |

从熟料化学分析和率值与配料方案对应表，在化学成分和三率值基本相同的情况下，分析煤气化细渣逐步

表7 熟料强度统计表

|       | 3d抗折强度 | 3d抗压强度 | 28d抗折强度 | 28d抗压强度 |
|-------|--------|--------|---------|---------|
| 配料方案一 | 6.9    | 34.5   | 9.2     | 56.3    |
| 配料方案二 | 6.7    | 34.9   | 8.9     | 56.1    |
| 配料方案三 | 6.8    | 34.7   | 9.0     | 56.0    |

从熟料强度统计表中，煤气化细渣逐步替代煤矸石后，由于煤气化细渣和煤矸石的SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO等化学成分基本相同，也都含有碳元素，在煤气化细渣替代煤矸石后，在熟料化学分析和三率值基本相同的情况下，熟料的强度基本不变。

结束语

(1) 使用煤气化细渣进行水泥生料配料，由于煤气化细渣含碳量较高，生料里含有一定量的煤粉，注意降低窑尾分解炉和窑尾烟室的控制温度，减少和减缓窑系统结皮，降低工人清理结皮劳动强度，保证了窑系统的高质量运行。

(2) 使用煤气化细渣进行水泥生料配料，由于煤气化细渣含碳量较高，参与燃烧，可以减少窑尾煤的使用

量，节约原煤使用量，达到降低生产成本的目的。

(3) 煤气化细渣在水泥企业的应用，有力地提高了煤气化渣使用量，实现规模化利用，为解决煤气化渣产量大、利用率低、处理成本高且存在环境威胁的问题提供一条高效方法。

参考文献

[1]袁傲,杨靖,张庆,等.煤气化细渣资源化利用途径及发展趋势[J].应用化工2022,51(3):891-896  
 [2]徐世焯,李贺东.超高韧性水泥基复合材料研究进展及其工程应用[J].土木工程学报.2008,(6)45-60  
 [3]高淑玲,徐世焯.利用水平外力总功研究PVA纤维增强水泥基复合材料韧性[J].东南大学学报(自然科学版).2007,(2).324-329