

煤质对航天炉运行的影响

Influence of coal quality on space gasifier operation

王有斌 鲁得鹏 乔二浪 曹 梯 郑永利 (陕西榆能化学材料有限公司, 陕西 榆林 719000)

Wang Youbin Lu DePeng Qiao Erlang Cao Ting Zheng Yongli (Shaanxi Yuneng

Chemical Material Co.,Ltd.ShaolinCity,Shanxi yulin 719000)

摘 要: 在我国的能源结构中, 煤炭占有很大的比重, 在煤炭高效清洁利用的工业化生产中, 煤气化技术是煤化工技术的核心组成部分, 其中航天炉粉煤气化技术兼具多方面优势: 煤种适用性强、经济性高、碳转化率高、氧耗低、操作弹性大等特征, 现已被应用于很多生产企业当中, 下面我将通过这些年的运行经验分析原煤中水份、灰份、固定碳、黏温特性、灰熔点、热值等指标, 选择适用于航天炉的煤种。

关键词: 水份; 灰份; 灰熔点; 挥发份; 黏温特性

Abstract: Coal occupies a large proportion in China's energy structure. In the industrial production of efficient and clean utilization of coal, coal gasification technology is the core component of coal chemical technology. Among them, the pulverized coal gasification technology of space furnace has many advantages: Coal applicability, high efficiency, high carbon conversion rate, low oxygen consumption and large elasticity of operation, has now been applied in many manufacturing enterprises, below I will through the years of operating experience analysis raw coal moisture, ash, the temperature characteristics of fixed carbon, sticky, ash melting point, heat value and other indicators, choose suitable for aerospace coal furnace.

Key words: moisture; Ash; The ash melting point; Volatile; Sticky temperature characteristics

1 煤的简析

煤是千百年前远古时代植物和其它植物生命形式的残骸, 经过地质作用, 而最终转变形成的可燃性生物岩。它是由碳、氢、氧、硫、氮、氯和其它化学元素结合形成的复杂的有机化合物的混合物。

煤中的有机质是复杂的高分子有机化合物, 煤的有机结构是由交连的高聚物形成, 即缩合的多环芳烃和脂肪侧链(亚甲基环烷)及官能团, 如羰基($C=O$), 胺基($-NH_2$), 硫醇($-SR$)等煤炭的种类繁多, 根据它们不同的形成地质条件、成煤植物、化学组成以及物化性质, 大致可分为以下几类: 无烟煤, 烟煤, 褐煤, 泥炭, 石煤以及藻煤等。

2 煤的物理性质

对于煤的工业利用价值, 可以通过工业分析和元素分析来判断。工业分析的内容包括水分、固定碳、挥发分、灰分、发热值、灰熔点、热稳定性、机械强度等。元素分析包括 C、H、O、S、N、Cl 等以及灰分中各物质的百分含量。

2.1 水分对气化过程的影响

根据煤中水分的结合状态, 可分为内在水分、外在水分和结晶水 3 大类。水分对气化过程影响主要体现在以下几方面:

2.1.1 煤的水分直接影响煤的使用、运输和储存

煤的水分增加, 增加了无效运输, 并且给卸车带来了困难, 特点是冬季寒冷地区, 经常发生冻车, 影响卸

车, 影响生产, 影响车皮周转, 加剧了运输的紧张。其次, 容易引起煤炭沾黏在原煤仓壁上, 而减小煤仓容量, 尤其在冬天甚至发生挂壁冻仓。

2.1.2 干燥粉煤用的热风炉燃料气消耗增加

为了满足粉煤的加压输送, 避免在输送和贮存过程中产生结块、架桥, 磨煤机干燥单元必须控制合格的粉煤水分含量, 一般要求粉煤水分含量 $\leq 2\%$ (质量分数, 下同)。为控制合格的粉煤水分, 对于制出相同质量的粉煤, 水分越高的原煤消耗量就越多, 用于原煤干燥的燃料气消耗量也就越多。根据我公司的实际情况, 通过估算, 每烘干 1t 水, 需耗燃料气约 $255m^3$, 我公司的 4 套气化装置的日投煤量在 6000t 左右, 若原煤水分增加 1%, 则每天多耗燃料气 $15300m^3$ 。

2.1.3 磨机功耗增加

原煤水分越高, 对于磨出水分合格的相同质量的煤粉, 所需要的原煤量也就越多, 磨机的功耗和磨损就会增加。

2.1.4 煤单耗增加

对于同一种煤, 原煤水份含量越高, 出粉率越低, 水份含量高的煤, 要想与水份含量低的煤出的粉质量一样, 就需要消耗很多的原煤, 所以磨煤机的磨损及功耗也会增加。总之, 为了使原料煤从原煤仓进入称重给料机过程中, 避免出原煤仓底部棚架、出现断煤情况以及减少磨煤机能耗和磨损, 通过这些年的运行经验总结, 原煤中水份控制 $\leq 17\%$ 。

2.2 灰分对气化过程的影响

灰分是煤中矿物质的术语。取一煤样在在 $800 \pm 20^\circ\text{C}$ 时, 灼烧至恒重时残留物的重量分率, 煤中所有的可燃物质完全燃烧后以及煤中的矿物质在高温下产生分解、化合等复杂反应后剩下的残渣。从气化反应角度来说, 灰分在气化反应中是有害而无用的物质, 不参加化学反应, 也不产生合成气的有效成分, 灰分熔融要消耗热量, 增大比氧耗和比煤耗。灰分越高, 原煤中的有效成分就相对降低, 同样的原煤量所产的气量就下降, 原料煤消耗就会越高。根据资料介绍, 在同样反应条件下, 灰分增加 1%, 氧增大 0.7%~0.8%, 煤耗增大 1.3%~1.5%, 灰分越高气化煤耗、氧耗越高, 灰渣对炉内构件的冲刷磨蚀越快; 但对于采用以渣抗渣原理的航天炉来说, 煤中的灰分尤其重要且具有特殊的意义。

航天炉燃烧室内设有水冷盘管, 水冷盘管上有密集的抓钉, 用于固定炉内向火面的耐火材料以保护水冷壁的安全运行。在实际运行过程中, 单靠耐火材料保护水冷壁是不够的, 还要通过气化燃烧后的熔渣被甩到耐火材料上形成相对稳定的隔热层来有效保护水冷盘管的安全运行, 因此原煤中必须要有足够的灰分才能够在粉煤燃烧后产生足够的渣用于保护气化炉水冷盘管。

粉煤进入气化炉和氧气燃烧后产生的渣一部分进入渣锁斗被排出, 一部分进入灰水系统, 少量的渣被甩到气化炉水冷壁的耐火材料上, 用于保护水冷壁, 这部分渣量虽少, 但作用却很大。原煤中的灰分过少时, 燃烧后形成的渣量少, 导致水冷壁耐火材料上无法挂渣, 水冷壁盘管受辐射热较高而使耐火材料损坏, 严重时对水冷盘管造成损害, 因此, 对于灰分较低的煤种, 只能采取降低气化炉操作温度的方法维持运行; 灰分过高会影响原料煤的消耗及增大灰处理系统的负荷, 造成产生的灰渣不能及时排出, 影响气化装置的正常运行甚至导致停车。灰份含量过高会使煤耗增大及水系统的负荷增大。另外, 水系统中的灰份含量过高, 会加速对机泵、管道、阀门等设备的磨损。给气化装置长周期稳定运行埋下隐患。

通过这些年来的航天炉实际运行过程中发现, 入炉煤中(单煤种或配煤)灰份建议控制在 10%~15% 气化炉运行较为稳定。

2.3 灰熔点对气化过程的影响

煤的灰熔点是指煤中的灰分达到一定温度以后, 发生变形、软化和熔融时的温度, 它与煤灰组成有关。

在煤灰成分中, Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 及 K_2O 属碱性组分, SiO_2 、 Al_2O_3 及 TiO_2 属酸性组分。一般而言, 煤灰中酸性氧化物越多, 煤的灰熔融性温度就越高; 碱性氧化物越多, 煤的灰熔融性温度就越低, 当这个比值约为 0.8 时适宜使用。

灰渣熔融性温度 FT(流动温度), 是气化炉操作的重要依据, 在大于渣的流动温度 $50\sim 100^\circ\text{C}$ 时, 气化炉才能顺利排渣, 否则会堵塞排渣口, 影响气化炉的安全稳

定运行。过高的操作温度, 会导致灰渣的黏度降低, 使气化炉内表面渣层减薄水冷壁使用寿命会缩短。实践表明, 气化炉操作温度每提高 100°C , 单位产品(H_2+CO)的氧耗约增加 6%~7%; 航天炉操作温度一般要求控制在高于煤灰流动温度 $50\sim 100^\circ\text{C}$, 以保证气化炉液态排渣的正常。对于低灰熔点($< 1300^\circ\text{C}$)的煤, 气化炉操作温度可以控制在 1400°C 左右, 这个温度对于气化炉来说还是比较容易控制的, 同时也能有效地保护耐火材料及水冷壁的安全运行, 气化炉操作弹性空间较大, 而对于高灰熔点($> 1450^\circ\text{C}$)的煤, 要想提高操作温度(在其灰熔点以上 100°C 操作)难度就会很大, 1550°C 对航天炉耐火材料和水冷盘管来说, 短时间不会造成损害, 但很难维持长周期的安全运行, 所以, 为确保装置安全稳定运行, 使用煤种的灰熔点最好在 1450°C 以下。

由于 SiO_2 能与 CaO 形成低熔点的物质 CaSiO_3 , 因此, 在一定的范围内可以通过加入 CaCO_3 使煤的灰熔点降低, 但若加入的 CaCO_3 过量, 生成了 CaO 会使灰熔点升高。除了添加 CaCO_3 外, 还可以采用配煤技术来降低煤的灰熔点, 在实际生产中, 为追求经济利益的最大化, 公司通过不同煤种的混烧达到降低灰熔点的目的, 高灰熔点的煤也可以通过添加石灰石来降低灰熔点。在实际生产中添加无效成分石灰石是不经济的, 既增加了设备损耗, 又增加了煤耗; 因此对于经济运行来说, 配煤是比较有效的途径。然而在混煤过程中, 由于设备、人为等因素的制约很难实现均匀配比, 加上煤质本身的波动, 在燃烧过程中, 操作温度已经超过低灰熔点煤的流动温度, 低灰熔点的煤形成玻璃丝, 而高灰熔点的煤还没有流动, 这就会造成碳的转化率降低, 灰渣残炭上升。为追求经济运行就必须提高操作温度, 使高灰熔点的煤达到流动温度, 这就使得气化炉维持在较高的温度下运行, 一旦煤质或煤量出现稍大波动, 就会对气化炉工况造成很大影响; 因此, 气化炉很难在较高的温度下长周期稳定运行, 同时炉温高, 合成气中 CO_2 含量高, 有效气体成分偏低, 消耗会有所上升。鉴于此, 在配煤时尽量选择灰熔点较为接近的煤进行混烧, 这样有利于气化操作, 可以有效降低灰渣残炭, 降低消耗。当然, 煤场的管理也十分重要, 要确保煤分类堆放, 不同的煤按不同的比例掺烧, 尽量避免煤种和掺烧比例的频繁调整, 为气化炉稳定、经济、长周期运行创造条件。

通过这些年来的航天炉实际运行过程中发现, 入炉煤中(单煤种或配煤)灰熔点建议控制在 $1250\sim 1300^\circ\text{C}$ 气化炉运行较为稳定。

2.4 挥发分对气化过程的影响

挥发分是煤化程度的一种表现。挥发分高, 煤炭变质程度低, 发热量低, 水分高; 挥发分低, 煤炭变质程度高, 其发热量高, 密度大, 碳含量高。挥发分是煤在 900°C 隔绝空气加热 7min 煤样的失重率扣除水分后的数量, 煤在一定的温度下加热后将分解出水、氢、碳的氧化物和碳氢化合物。人们把除去分解水后的分解物称作

挥发分。对于单烧嘴顶喷式的气化烧嘴来说,粉煤从烧嘴喷出后,挥发分就会迅速燃烧释放出大量的热量。挥发分高的煤一般固定碳含量相对偏低,如此,粉煤喷出烧嘴后大量的挥发分迅速燃烧,释放出热量,为固定碳的反应提供更多热能,从而提高了碳的转化率,降低了粗渣的残炭量,有利于煤耗的降低,挥发分越高这种效果就越明显。但对航天炉来说,由于航天炉煤烧嘴采用顶喷式结构,挥发分燃烧释放出的大量热量使烧嘴处在较高的辐射热中,烧嘴头部容易出现破裂、泄漏,影响其使用寿命;再者,挥发分过高,燃烧后的火焰刚性差,容易造成气化炉拱顶超温,影响装置的安全稳定运行,其次煤的挥发分过高,不利于煤存放,高挥发分煤大量堆积煤容易自燃。所以说煤中挥发分也不宜太高。

通过装置近几年所使用的煤种当中,挥发份基本稳定在 30%~35% 之间,由于目前还没有具体分析出挥发份对气化炉内部反应的影响,建议将入炉煤挥发份控制在 30%~35% 之间。

2.5 热值对气化过程的影响

发热值是指单位重量的煤,完全燃烧时所能放出的热量。影响煤的发热量的主要因素是固定碳和挥发分含量的高低。煤的发热量高,对于气化反应来说,相同的煤量所产生的热量也就越多,气化合成气产量也就越高,原煤消耗就会随之降低。航天炉气化炉结构设计成形后,其各项参数就相对确定,对于煤种使用及热值的利用也就有了一定适应性。粉煤从烧嘴喷出与氧气混合燃烧后,在炉膛停留的时间约 5s,由于停留时间短,高热值的煤在炉膛得不到充分利用,这就造成系统粗渣、滤饼残炭升高。

通过近几年装置的实际运行分析,建议将入炉煤的热值控制在 4800~5200Kcal/Kg 较为合适。

2.6 固定碳

煤样在 900℃左右的温度下隔绝空气加热 7min 后,残余物扣除灰分后所得的百分率即为煤的固定碳含量。煤样除去水分、挥发分和灰分后剩下就是固定碳的含量。随变质程度的增高而增高。固定碳越高的煤,其发热量也越高,因为煤的固定碳主要由元素碳组成,另外固定碳是煤的发热量的重要来源,所以有的国家以固定碳作为煤发热量计算的主要参数。

2.7 热稳定性

热稳定性是指煤在高温下燃烧或气化过程中,对温度剧烈变化的稳定程度,也就是块煤在温度急剧变化时,保持原来粒度的性能,是指煤经受高温和温度急剧变化时所产生的粉碎程度。热稳定性与煤的变质程度和矿物质组成有关。热稳定性好的煤,在燃烧或气化过程中,能以原来的粒度烧掉或气化,而不碎成小块,而热稳定性差的煤,则迅速碎裂成小块或粉煤。一般烟煤的热稳定性较好,褐煤、无烟煤和贫煤的热稳定性较差。因为褐煤中水分含量高,受热后水分迅速蒸发使煤块碎裂。无烟煤则因其结构致密,受热后内外温差大,膨胀不均

产生应力,使块煤碎裂。贫煤急剧受热也容易爆裂,即热稳定性也较差。热稳定性差的煤种在气化炉内容易粉化,有利于充分反应,因此热稳定性差的煤碳转化率高。

2.8 粘温特性

灰渣的粘度与操作温度有一定的关系。操作温度升高,灰渣粘度降低。一般情况下,为保证达到稳定的液态排渣,最佳粘度范围是 50~100Pa.s. 最高不易超过 250Pa.s., 最佳粘度对应的操作温度为最佳温度。如果灰渣粘度过高,灰渣流动不畅,易堵渣口;另外,灰渣只有在最佳粘度范围内才能在水冷壁表面形成一定厚度的灰渣保护层,以保护炉管、延长炉管和渣口的寿命。与灰渣组成有关,要选择灰渣粘温特性范围较宽的煤,这样有利于操作。原煤的黏温特性曲线要平缓。

2.9 灰渣的粘结特性

灰渣在气化装置中是液态排渣,进入激冷室遇水凝固后再排出。有的灰渣凝结性好,不易分散为细灰颗粒随水带走。容易形成大的渣块堵塞管道和设备;有的灰渣粘结性不好,与水易形成细灰颗粒,容易随水带走,造成后续工号的磨蚀结垢。这两种情况操作时都应该仔细分析,找到最佳的操作工艺参数来克服解决。

3 结论

通过以上运行数据分析总结得出,适合于航天炉的原料煤种应有特性如下:

①原煤的水份含量越低越好,一般要求 $\leq 17\%$; ②根据气化炉水冷盘管的挂渣需要,同时兼顾气化原煤消耗,入炉煤中(单煤种或配煤)灰份控制在 10%~15% 气化炉运行较为稳定; ③入炉煤中(单煤种或配煤)灰熔点建议控制在 1250~1300℃ 气化炉运行较为稳定。④入炉煤的挥发份一般控制在 30~35% 为宜; ⑤入炉煤的热值控制在 4800~5200Kcal/Kg 较为合适; ⑥热稳定性差的煤碳转化率高; ⑦根据装置运行情况,灰渣黏度范围是 50~100Pa.s. 为最宜,最高不易超过 250Pa.s.

参考文献:

- [1] 童维凤. 浅析煤质对航天炉运行的影响 [J]. 安徽晋煤中能化工有限公司, 2010, 2(01).
- [2] 常亚平. 配煤的煤种煤质变化对壳牌气化炉工况的影响及工艺调整措施 [Z]. 中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油股份公司.
- [3] 王龙. 煤质对壳牌煤气化工艺操作的影响 [J]. 山西化工, 2018, 38(02): 122.
- [4] 李显辉. 浅析煤质对煤气化工艺选择的影响问题 [J]. 石河子科技, 2018(01): 31-33.
- [5] 诸葛杰源, 汤吉祥. 煤质变化对壳牌粉煤气化工艺的影响 [J]. 企业技术开发, 2014, 33(24): 169-170.
- [6] 许清波, 王吕利, 邵洪兴; 恩德粉煤气化技改攻关总结 [J]. 中氮肥, 2005(01).
- [7] 黄晓伟. 原料煤质对粉煤气化工艺的影响 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018(19).
- [8] 沈昌炽. 粉煤气化的几个主要问题 [J]. 煤化工, 1979(03).