

水煤浆气化过程渣-水平衡系统的模拟

陈 权*, 仝胜录, 王晓雷, 霍卫东

(北京低碳清洁能源研究所, 北京 102211)

摘要:利用 Aspen Plus 软件建立了水煤浆气化过程的全流程模型, 通过该模型可以看出, 在煤质和灰渣分析基础上可以很方便地计算出各个流股的灰渣量, 通过合理简化, 建立的气化灰水的循环体系能达到很好的平衡。通过该模型, 可以为气化过程渣、水系统的设计、优化和运行提供支持。

关键词:水煤浆; 气化; 模拟; 黑水; 灰渣

中图分类号: TQ546.5; TQ018

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)03-0152-03

Simulation of slag-water system in coal-water slurry gasification process

CHEN Quan*, TONG Sheng-lu, WANG Xiao-lei, HUO Wei-dong, LIU Jian

(National Institute of Clean and Low Carbon Energy, Beijing 102211, China)

Abstract: The model of coal-water slurry gasification process is established with Aspen Plus. Based on the model, the amount of slag and solid content of each stream can be readily obtained. In addition, the circulating water system can reach good balance by reasonable simplification. This model can also provide support for the design, optimization and running of coal-water slurry gasification process.

Key words: coal-water slurry; gasification; simulation; black water; slag

随着我国煤化工产业的发展, 水煤浆气化技术在国内得到广泛的应用, 与此同时, 利用过程模拟软件也建立了水煤浆气化过程的模型, 但大部分模型主要集中在气化方面^[1-2], 或者虽然建立了全流程模型, 但对渣水系统没有系统分析。水煤浆气化过程伴随着灰渣的生成, 同时需要大量的水进行激冷和洗涤, 围绕灰渣和水的处理形成了气化过程的辅助系统即合成气洗涤系统、锁斗系统、闪蒸系统。气化过程的正常运行严重依赖这些辅助系统, 运行实践表明, 辅助系统的故障也是影响气化过程长周期运行的重要因素。

为了系统分析气化过程中粗渣、细渣生成量以及各个流股气化黑水特性, 本文中以某煤化工公司有效期产量为 $1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$, 气化压力为 6.6 MPa 的水煤浆气化炉为原型, 建立水煤浆气化过程的模型, 为水煤浆气化过程的设计、优化和正常运行提供支持^[3]。

1 模型建立

1.1 灰渣的生成

水煤浆气化过程产生的灰渣分为细渣和粗渣, 细渣是经闪蒸系统处理的灰渣, 粗渣是从锁斗系统排出并在渣池沉淀的灰渣, 它们除粒径上的差异外,

含碳量也有较大差异, 正常工况下, 细渣含碳质量分数为 29% 左右, 粗渣含碳质量分数为 8% 左右。在 ASPEN 中, 灰分的原子质量默认为 1, 所以细渣和粗渣可以用下面 2 个反应表示^[4]:



式中, CSLAG 为粗渣, FSLAG 为细渣。

模型中, 粗渣和细渣的生成采用 RStoic 反应器, 其中转化率以灰组分计, 生成粗渣转化率 0.84, 生成细渣转化率 0.16。

1.2 气化反应器

水煤浆的气化通过 2 步实现, 首先利用 RYield 反应器将煤分解为 H_2O 、 H_2 、C、S、 N_2 、 O_2 和灰分, 然后进入 RGibbs 反应器, 基于 Gibbs 自由能最小化原理计算气化炉出口粗煤气组成和温度, 同时对化学反应平衡采用平衡温距法进行了修正^[5]。

1.3 激冷与锁斗

激冷反应器采用 Flash2 进行模拟, 并串联一个 Sep 模块, 对气化产生的细渣以及激冷黑水进行分割。细渣共分为 3 部分, 一部分随合成气进入洗涤塔, 另一部分直接进入高压闪蒸系统, 还有一部分经渣池进入真空闪蒸。激冷室内的激冷黑水分 2 部分, 一部分进入高压闪蒸, 另一部分进入渣池。在激

冷反应器与锁斗之间通过 Pump 模拟锁斗循环水泵实现黑水的循环。

由于冲渣过程是间歇进行的,锁斗冲洗水罐水中的灰水一部分在冲渣的过程中直接进入渣池,另一部分在锁斗中通过锁斗循环泵打循环,根据该特征,本模型将锁斗冲洗水也分为 2 部分,通过该方法,可以很好地模拟锁斗的间歇操作过程。

1.4 洗涤塔和除氧器

本工作主要分析渣和水的平衡系统,所以洗涤

塔和除氧器采用简易的 Flash2 模块模拟,经分析,能满足模拟需求。

1.5 黑水闪蒸系统

激冷黑水和洗涤水经减压后依次进入高压闪蒸、低压闪蒸和真空闪蒸处理,一方面降低了黑水的温度,另一方面对其中的酸性气进行了解析。

整个气化模型采用 RK-SOAVE 物性方法,具体流程见图 1,其中煤流量为 64 898 kg/h(干基),煤的元素分析见表 1,气化压力为 6.6 MPa。

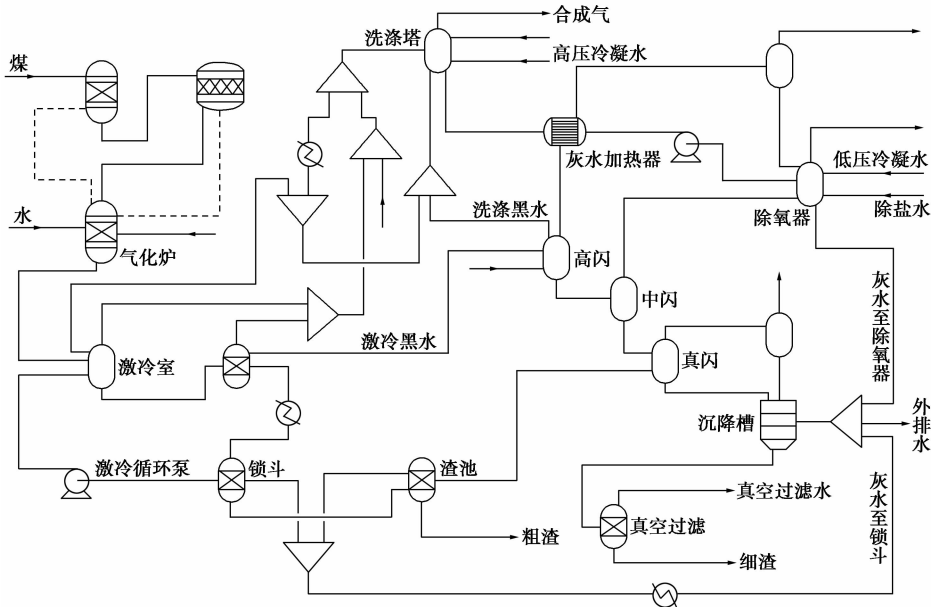


图 1 水煤浆气化模拟流程图

表 1 煤的元素分析(质量分数) %

C	H	O	N	S	ASH
70.67	4.24	11.26	0.82	1.00	12.00

2 模拟结果与分析

2.1 可靠性验证

为了验证模型的可靠性,首先将洗涤塔出口合成气与工艺包数据进行比对,结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出,合成气主要气体组成与工艺包数据接近,表明气化过程的模型是可靠的,可以进行渣和水平衡的分析。

表 2 合成气流量及组成

项目	流量/ (kmol·h ⁻¹)	摩尔分数/%						
		CO	H ₂	CO ₂	H ₂ O	Ar	N ₂	H ₂ S
模拟值	14097	18.20	14.10	7.70	59.30	0.05	0.10	0.10
工艺包	14087	18.39	15.42	8.04	57.93	0.05	0.11	0.12

2.2 灰渣结果

气化过程生成细渣和粗渣量见表 3。从表 3 中可以看出,模拟结果与工艺包的数据吻合较好,其中细渣生成量在 20% 左右,粗渣约占 80%。

表 3 气化粗渣、细渣生成量 kg/h

项目	渣量	
	粗渣	细渣
模型值	7110	1738
工艺包	7082	1770

实际运行中,渣生成量与工艺包数据会有一些差别,主要是由于原煤中灰分以及气化反应条件不同造成的。在分析原煤灰分和粗渣、细渣的含碳量基础上,通过改变模型中煤的工业分析数据以及粗渣和细渣生成反应器中的反应系数,可以很方便地模拟实际工况,为开展粗渣、细渣等相关工作提供帮助。

尽管气化细渣最终在沉降池收集,但在气化过程中,细渣实际上分为 3 个流股,第一部分由合成气携带至洗涤塔,第二部分随激冷黑水排入高压闪蒸塔,第三部分经锁斗排放至渣池,然后被泵送至真空闪蒸塔,从模型可以看出,3 股细渣量分别占总细渣量的 16.7%、43.0% 和 40.3%。

2.3 水系统平衡

水煤浆气化过程耗用大量的水,为了节约用水,水煤浆气化过程设置了水循环体系。最优化各个流股的流量,对于装置的稳定运行有重要影响,表 4 是模拟的气化过程的水系统平衡表。在表 4 中,进、出系统水仅差 6 kmol/h,说明整个水系统能很好地平衡,进一步说明模型的可靠性。

表 4 气化过程总水平衡 kmol/h

项目	煤水分	制浆水	反应耗水	外排水	合成气水	粗渣水
流量	645	1658	-751	-1497	-8356	-361
项目	细渣水	真空过滤	高压凝液	低压凝液	脱盐水	高闪补充
流量	-151	-252	5930	1719	906	504

注:表中负号表示从气化系统输出的水。

在表 4 输出的流股中,真空过滤水可以用于制浆,最终气化工段的水耗主要用于反应耗水(751 kmol/h)、外排水(1 497 kmol/h)、粗细渣携带水(512 kmol/h)以及合成气携带水(8 356 kmol/h),由于合成气携带水通过变换工段后以高压冷凝液和低压冷凝液的形式返回气化系统,在此过程中仅有 707 kmol/h 的实际消耗,所以气化过程总的水耗为 3 567 kmol,约合每吨煤(湿基)0.839 t 水。

在气化过程中,激冷水和洗涤水经多级闪蒸系统处理后进行循环使用,一部分回用至除氧器,用作洗涤和激冷水,另一部分回用至锁斗,用于冲洗灰渣和补充锁斗用水,只有约 15% 的灰水由于含盐量较高,外排处理,回用的气化灰水各股流量见表 5。

表 5 气化灰水流量分配 kmol/h

项目	水量		
	外排	去锁斗	去除氧器
模型结果	1497	3333	4830
工艺包	1437	3302	4834

返回锁斗冲洗水罐的气化灰水主要有 2 个方面的作用,一是用于冲渣,直接排至渣池,另一方面用于充满锁斗。通过本模型发现,当锁斗冲洗水罐的水 20% 用于冲渣,直接排至渣池,80% 用于填充水

进入锁斗用于循环,可以很好地模拟间歇排渣过程。

2.4 固含量分析

在气化过程中,粗渣和细渣由水携带最终排出系统,为了保证系统稳定,渣水比需要保证一定的比例,尤其是激冷排渣由于携带粗渣,在设计、操作过程中更要合理,否则将出现渣的沉积等问题,影响设备的运行。含渣流股气化过程中的固含量见表 6。

表 6 气化水系统固含量(质量分数) %

	激冷室 排渣水	激冷 黑水	渣池 后仓	洗涤 黑水	高闪 黑水	低闪 黑水	真闪 黑水	沉降 渣水
固含量	19.69	0.53	1.36	2.20	0.78	0.09	1.10	19.33

从表 6 中可以看出,激冷排渣水含固量很高,为了保证灰渣顺利排入锁斗,需要将锁斗上部清液通过锁斗循环泵送回激冷室,通常,锁斗循环泵循环量在 30 ~ 50 t/h。气化黑水经多级闪蒸处理后,固含量逐步提高,最终在真空闪蒸排除的固含量达到 1.1%,经沉降槽浓缩至 19.33%,最终排出系统。

3 总结

利用 Aspen Plus 建立了水煤浆气化过程的全流程模型,可以方便地计算粗渣、细渣量以及各个流股的固含量,并通过合理简化,建立了气化灰水的循环体系,该模型为气化过程的设计、优化和运行提供了支持。

在水系统中只包含灰渣,对于其中钙离子、镁离子、氯离子等暂时没有考虑,在下一步工作中,将通过实验建立水中含各种离子的模型,为解决管道腐蚀、结垢等问题提供帮助。

参考文献

[1] 余海清. 水煤浆气化工艺过程的模拟研究与分析[J]. 山东化工, 2011, 40(7): 20 - 23.
 [2] 彭伟锋, 钟伟民, 孔祥东, 等. 德士古水煤浆气化过程的建模与优化分析[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(7): 779 - 783.
 [3] 林立. AspenPlus 软件应用于煤气化的模拟[J]. 上海化工, 2006, 31(8): 10 - 13.
 [4] Chao Chen. A technical and economic assessment of CO₂ capture technology for IGCC power plants[D]. Pennsylvania: Carnegie Mellon University, 2005.
 [5] 张磊, 汪根宝, 谢东升, 等. GE 水煤浆气化全流程模拟[J]. 化学工程, 2011, 39(7): 78 - 82. ■