

油水煤浆在新型气化炉内气化过程的数值模拟

于海龙¹, 刘建忠²

(1. 中原工学院能源与环境学院, 河南 郑州 450007;

2. 浙江大学能源洁净利用与环境工程国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要: 在多喷嘴入口新型水煤浆气化炉内对油水煤浆(COW)的气化过程进行了数值模拟计算研究, 分析了气化炉内的温度分布, 各种气化产物浓度分布规律。数值模拟计算结果证明, 同浓度的油水煤浆气化与普通水煤浆气化相比, 气化炉内平均温度略有上升, 碳转化率提高 1.81%, 气化炉出口粗煤气中有效气(CO+H₂)含量提高 10.58%, CO₂和 H₂O 浓度大幅下降, 水分解率大大提高, 气化效果明显优于普通水煤浆。

关键词: 油水煤浆; 气化; 气化炉; 数值模拟

中图分类号: TQ534 文献标识码: A

引言

由于受到德士古水煤浆气化技术专利的制约, 国内如采用水煤浆为原料利用德士古炉进行气化, 都要为德士古公司支付昂贵的专利费。要改变这一状况, 解决问题的良好途径就是利用现有的气化技术寻求不同原料的气化。笔者对有关这方面技术的国内外资料和文献进行了研究和分析后认为, 油水煤浆气化技术是目前非常有发展前景的技术之一。因此, 油水煤浆的气化技术在社会生产中具有一定的现实意义。

1 油水煤浆的性能

近年来, 人们又开始着眼于一种新型煤浆——油水煤浆技术(COW)的研究, 因为它能在一定程度上改善煤炭的品质。这种油、煤、水三元混合燃料是加拿大人 O. Trass 和 G. Papachristodoulou 提出的, 国内对这方面的研究是近几年来才开始的^[1]。

用燃料油、细磨煤粉和水组成的新型三元混合燃料作为未来的一种洁净燃料前景看好。这一合成

燃料是一种加入不同量的水和少量分散剂、乳化剂的分散在燃料油中的煤的浓浆。与现行的取代燃料, 如油煤浆和水煤浆相比, 油水煤浆的使用有以下优点: (1) 具有良好的燃烧效率, 且对于锅炉和喷嘴都有较低的粘度; (2) 作为工业燃料, 燃烧效率高, 微粒煤烟少, 环境污染小; (3) 颗粒远远小于油煤浆和水煤浆中煤的颗粒粒度, 这一特性使油水煤浆不仅可以直接用于燃油锅炉, 而且能够替代柴油机用柴油; (4) 是适用于通过喷嘴雾化的悬浮液—乳化混合物, 在燃烧过程中能产生微爆炸和水—汽, 这些效应结合在一起使油水煤浆成为高热值燃料; (5) 可扩大烟煤种使用范围, 采用挥发分较低的无烟煤等; (6) 由于燃料油的加入, 比水煤浆具有较低的燃点。

2 目前国内油水煤浆开发现状及特点

COW 由油、水、煤 3 种成分和少量添加剂经过物理加工处理而成。根据煤浆外相成分, 可将油水煤浆分为油基油水煤浆与水基油水煤浆两种, 两者的煤含量一般都在 35%~50%, 水的含量不低于 15%。目前, 有资料显示, 油水煤浆与油煤浆以及水煤浆相比, 具有易点燃、热值高、节省用油、粘度低等优点^[1~5]。而且由于其内相为煤和另一种液体, 其稳定性机理有所变化, 稳定因素也有所增加。由于受技术水平的限制, 我国在油水煤浆技术方面的研究现大多集中在油基油水煤浆上, 其特点如下:

(1) 油基 COW 燃料为屈服假塑性流体, 对于锅炉和喷嘴都有较低的粘度; 这种煤浆燃料同样具有剪切降粘性质, 此外这种浆体的粘度明显地低于水煤浆和油煤浆;

收稿日期: 2006-12-30; 修订日期: 2007-03-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(2004cb217701)

作者简介: 于海龙(1975-)男, 吉林人, 中原工学院副教授, 博士

(2) 油基油水煤浆的燃点较水煤浆低, 实验所得的浆体稍经加热即能直接点燃, 且其燃烧热值也较高, 一般均能接近甚至超过动力用煤热值标准, 水煤浆则达不到这样的热值标准。

(3) 油水煤浆的煤种适应性较广。本文所述实验中已经成功地利用无烟煤、烟煤、褐煤等多种煤种制得了油基油水煤浆, 其各种性能较好。

(4) 油基油水煤浆在流变性质上, 完全不同于水煤浆, 这表明其内部结构与水煤浆也有较大的差异。实验证明, 这种内部结构使体系的稳定性大大增加。

(5) 与普通水煤浆相比, 燃烧效率有所提高, 洁净程度也进一步增加。

3 油水煤浆气化过程数值模拟

利用水煤浆气化的数值模拟计算方法对油水煤浆在新型水煤浆气化炉内的气化过程进行了数值模拟, 数值模拟计算的物理模型为 600 kg/h 的新型水

煤浆气化炉炉内三维空间。气化炉内径为 0.5 m, 净高 1.5 m, 高径比为 3, 气化炉炉顶设置有一个水煤浆喷口, 在气化炉侧距气化炉顶部 0.9 m 处有 4 个对称布置的倾角为 45° 的喷嘴, 其具体模型如图 1 所示; 计算用数学模型见文献[6~9]。制油水煤浆用油可以为渣油、重油、原油, 也可以是轻质柴油或汽油; 计算采用的油水煤浆中油含量 35%, 采用渣油, 煤含量 45%, 水含量 20%; 制浆用原煤成分分析结果如表 1 所示。在进行数值模拟计算时气化炉的运行工况为: 油水煤浆流量 600 kg/h、气化压力 4.0 MPa、氧碳原子比 0.94、炉顶喷嘴氧气流量 118 m³/h、炉侧单只喷嘴氧气流量 36 m³/h。

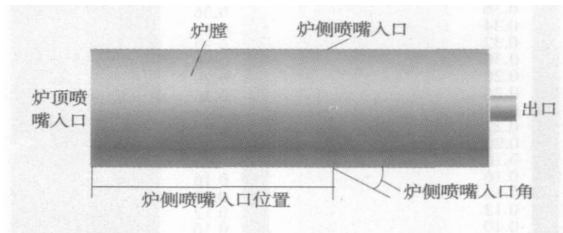


图 1 数值模拟计算的物理模型

表 1 制浆用煤粉成分分析数据

工业分析/%					元素分析/%					
M _{ad}	V _{ad}	A _{ad}	FC _{ad}	Q _{ad, net} /kJ·kg ⁻¹	C _{ad}	H _{ad}	O _{ad}	N _{ad}	S _{ad}	
3.40	27.05	7.73	61.82	24 268	75.90	3.50	7.42	1.21	0.84	

3.1 气化炉内温度分布

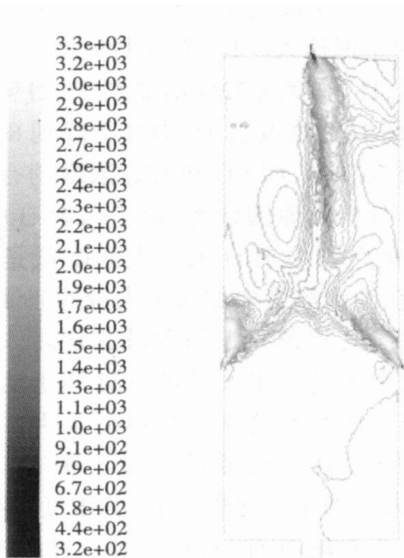


图 2 气化炉内温度分布等高线图

区、折返流区和管流区的位置及形成进行了详细的说明, 归纳气化炉内流场分布规律。图 2 是油水煤浆气化时气化炉内温度分布的等高线图。从图中可以看出, 与普通水煤浆气化相比, 油水煤浆气化时喷嘴射流入口附近局部高温区明显增加, 而且火焰黑区拉得更长, 除喷嘴射流流场内温度分布变化较大外, 回流区、管流区、折返流区内温度分布都非常均匀。分析其原因, 这是由于在油水煤浆中加入大量的油, 油水煤浆的着火温度明显降低, 着火提前, 同时油又是高挥发性物质, 遇热后很快挥发, 这更加剧了油水煤浆的燃烧着火进程, 而且由于油水煤浆粘度很低, 雾化效果非常好, 也使得油水煤浆在一进入气化炉后很快着火燃烧, 而油燃烧时火焰黑区相对煤要长, 这也是油水煤浆燃烧火焰黑区较长的一个主要原因。油水煤浆中固体物质—煤的含量相对焦水煤浆和普通水煤浆要低, 因此挥发性物质燃烧完毕剩余的焦炭量也大幅度降低, 易于挥发的物质很快在射流区和撞击区内燃烧完毕, 氧气也消耗殆尽, 大部分没有燃烧掉的焦炭即进入还原性气氛当中,

文献[10]中对气化炉内射流区、撞击区、回流

进行的是还原性反应而不能燃烧, 因此使得除射流区和撞击区外其它区域温度分布非常均匀, 均匀的温度分布不仅大大增加气化炉内耐火砖的使用寿命, 而且更加有利于后期焦炭还原反应的进行, 这是油水煤浆气化时的一个重要特点也是一大优点。

3.2 气化炉内各种物质浓度分布

图3中(a)、(b)、(c)、(d)依次为气化炉内各种主要物质CO、CO₂、H₂、H₂O的浓度分布的数值模拟

计算结果。从图中可以看出, 各种物质在气化炉内的浓度分布规律与水煤浆相比并无大的差别, 只是在量上有所不同。CO和CO₂浓度分布规律依然相反, 而H₂和H₂O的浓度分布也呈相反状态。各种物质除在喷嘴射流区和撞击区内浓度差别较大外, 在其它区域尤其是管流区内浓度分布非常均匀, 均匀的物质浓度分布给后期焦炭还原反应的进行提供了良好的条件。

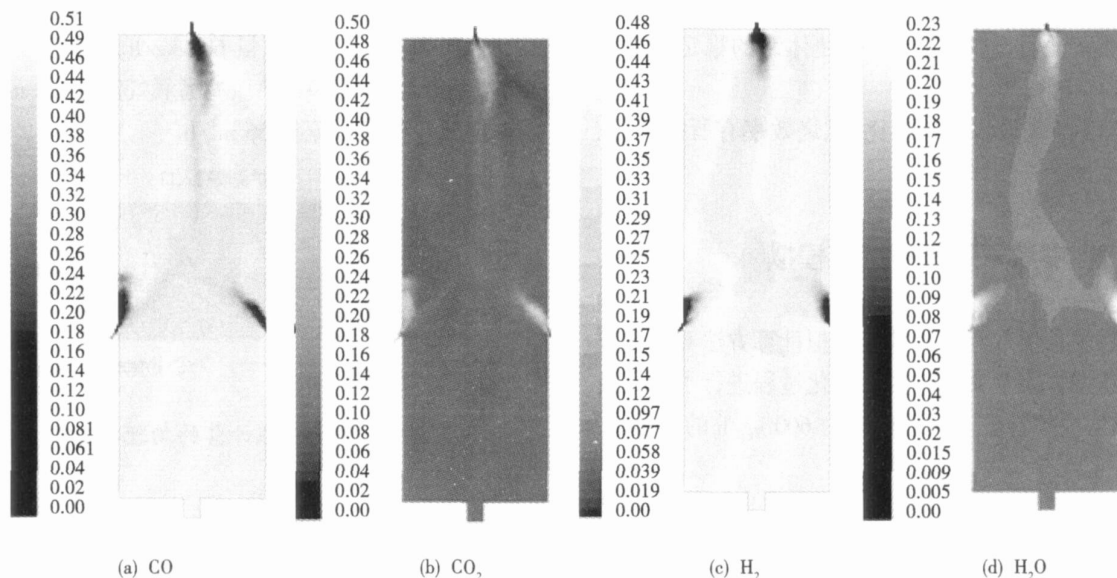


图3 气化炉内各物质浓度分布

3.3 气化炉出口粗煤气组成

表2是油水煤浆气化时出口粗煤气组成、气化炉内平均温度、碳转化率、颗粒平均停留时间等的数值模拟计算结果与普通水煤浆的对比。

表2 油水煤浆和普通水煤浆气化时出口粗煤气组成等的数值模拟计算结果对比

		油水煤浆	普通水煤浆(65%)
出	CO	42.14	45.77
口	H ₂	36.21	22.00
粗	CO ₂	11.70	13.43
煤	H ₂ O	8.06	18.71
气	CH ₄	0.03	0.08
组	O ₂	≈0	≈0
成	COS和H ₂ S等	1.86	0.01
湿有效气组成(CO+H ₂)		78.35	67.77
干有效气组成(CO+H ₂)		88.73	79.33
水分解率/ %		61.35	53.08
炉内平均温度/K		1 657.4	1 594.6
颗粒平均停留时间/s		6.315	6.234
碳转化率/ %		99.35	97.54

从表2中可以看出, 油水煤浆气化时出口粗煤气组成和普通水煤浆气化有较大的差别, 尤其是H₂和H₂O浓度差别较大。H₂浓度明显增加而H₂O浓度明显降低, H₂浓度从22%增加到36.21%, 增幅达到64.6%, 而H₂O浓度从18.71%下降到8.06%, 降低幅度达到56.9%, 而CO和CO₂浓度稍有降低, 但幅度不大。分析其原因认为, 由于入炉H₂O量就很少, 因此气化产物中H₂O浓度大幅降低是必然的; 另外, 由于在油水煤浆中加入了大量的渣油, 而渣油中烷烃、环烷烃、芳香烃等的含量非常高, 这些易挥发的烃类大大提高了油水煤浆中H原子的含量, 同时这些烃类在还原性气氛下很容易发生C-C键的断裂, 断裂后的C-H在还原性气氛下很容易分解出H₂, 因此大大增加了气化炉内H₂的浓度。在油水煤浆气化时气化产物中H₂的来源与水煤浆气化有所不同, 除了来自水的分解和焦炭还原反应外, 烃类的分解也占很大一部分。这对于那些对出口粗煤气中氢气浓度要求很高的企业来说是存在很大优势的。同时也看到, 出口煤气中有效气(CO+H₂)含量与水

煤浆气化相比也大幅度提高, 从 67.77% 增加到 78.35%, 提高了 10.58%, 达到了预期目标。

从表 2 中也可以看出, 与水煤浆气化相比, 油水煤浆气化时气化炉内平均温度有所增加, 这是因为油水煤浆的热值高于普通水煤浆, 它增加了气化炉内的单位容积热强度。因此, 为了降低气化炉内平均温度, 增加气化炉内耐火砖的使用寿命, 应适当降低油水煤浆的入炉量, 也即降低负荷, 或者说对于同样容积的气化炉在作为油水煤浆气化炉设计时, 气化炉额定负荷的设计值要低于普通水煤浆。油水煤浆气化时碳转化率明显增加, 达到了 99.35%, 这可能是因为大量易燃、易挥发的烃类的加入, 使得气化炉内固体物质浓度大幅下降, 大大降低了气相与固相之间传质的难度, 因此焦炭的还原反应进行得更彻底, 这就大大提高了气化炉的碳转化率。

对油水煤浆与普通水煤浆气化相比较, 前者的较大优势在于其可以获得较多的 H_2 , 而 CO 浓度又不至于降低太多, 气化产物中总的有效气含量大幅度增加, 同时所需 O_2 量也有所下降, 氧碳原子比可以在较低情况下运行。

4 结 论

对油水煤浆目前国内外发展的概况进行了分析, 并且对油水煤浆的特点和优势进行了总结。从其特有的特点和目前发展的状况来看, 油水煤浆是未来比较有发展前景的新型燃烧和气化原料。鉴于此, 作者利用数值模拟计算方法对油水煤浆的气化过程进行了数值模拟, 数值模拟计算的结果显示:

(1) 油水煤浆气化时气化产物和普通水煤浆气化有较大的差别, 尤其是 H_2 和 H_2O 浓度差别较大, H_2 浓度明显增加而 H_2O 浓度明显降低, H_2 浓度从 22% 增加到 36.21%, 增幅达到 64.6%, 而 H_2O 浓度从 18.71% 下降到 8.06%, 降低幅度达到 56.9%;

(2) 合成气成分中 CO 和 CO_2 浓度稍有降低, 但幅度不大;

(3) 在油水煤浆气化时气化产物中 H_2 的来源与水煤浆气化有所不同, 除了来自水的分解和焦炭还原反应外, 烃类的分解也占很大一部分;

(4) 与水煤浆气化相比, 油水煤浆气化时气化炉内平均温度有所增加, 碳转化率则增加较大, 达到了 99.35%。

参考文献:

- [1] 王俊玲, 齐祥明, 宗志敏, 等. 新型油水煤浆燃料的研究与探索 [J]. 矿业快报, 2002(11): 11-13
- [2] 朱红, 陈公伦, 松全元. 煤浆燃料的新进展 [J]. 选煤技术, 2000(1): 8-9
- [3] 陈业泉, 朱红, 孙正贵, 等. 油基油水煤浆的流变性质研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(6): 608-612
- [4] 朱红, 赵炜, 闫学海. 油水煤浆三元混合体系的制备及特性研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(6): 579-582
- [5] 闫学海, 胡卫新, 朱红. 油-水-煤浆制备过程中规律性探索 [J]. 江苏煤炭, 2000(1): 28-30
- [6] 于海龙, 赵翔, 周志军, 等. 氧煤比和煤浆浓度对水煤浆气化影响的数值模拟 [J]. 燃料化学学报, 2004, 32(4): 370-374
- [7] 于海龙, 赵翔, 周志军, 等. 氧煤比对水煤浆气化影响的数值模拟 [J]. 煤炭学报, 2004, 29(5): 606-610
- [8] 于海龙, 赵翔, 周志军, 等. 煤浆浓度对水煤浆气化影响的数值模拟 [J]. 动力工程, 2005, 25(2): 217-220, 238
- [9] 于海龙, 刘建忠, 张桂芳, 等. 喷嘴位置对新型水煤浆气化炉内流场影响的数值模拟 [J]. 动力工程, 2006, 26(1): 135-140
- [10] 于海龙, 刘建忠, 张桂芳, 等. 水煤浆气化炉的形式和新型气化炉的开发 [J]. 煤炭转化, 2007, 30(1): 21-25

(编辑 柴舒)

· 书 讯 ·

循环流化床锅炉运行与检修

本书由多年从事循环流化床燃烧技术的理论研究、技术开发、产品设计、运行调试等第一线工作的技术人员编写。本书是有关循环流化床锅炉原理、运行及维修方面的专著, 总结了循环流化床燃烧技术基本理论, 纠正了目前流行的一些错误的概念, 介绍了循环流化床锅炉的典型结构、特点、安装要求、运行技术和规程、调试经验、性能试验方法、检修与维护要点以及运行事故的处理等。本书既有基础理论, 又有实践经验, 深入浅出, 比较贴近实际, 通俗易懂。本书适用于从事循环流化床锅炉的设计、制造、运行、安装、调试、维修和设计院的专业技术人员及管理人员, 也可供循环流化床锅炉基本理论研究的科研人员和动力工程专业的师生学习、参考。

(Sichuan Chenguang Engineering Design Institute, Chengdu, China, Post Code: 610041)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(5). — 551 ~ 556

As an equipment item in the emergency trip system, a large-sized three-eccentricity butterfly valve has gradually found its use in the steam turbine security system of thermal and nuclear power plants. The dynamic response characteristics and reliability of its hydraulic control system are vital to the safe operation of a power plant. In the light of the functional need of the three-eccentricity butterfly valve as an equipment item in the emergency shutoff valve system, a hydraulic control version meeting the requirement of an emergency trip has been designed. A simulation model of the hydraulic control system has been set up. The simulation of systematic dynamic characteristics during the valve opening and closing process was conducted and the full-dynamic response of the developed emergency shutoff valve system tested. During the opening process of the valve, the maximal displacement of the actuator piston being measured was 0.2 mm greater than that of the simulation result and the longest time measured for the quick shutoff valve for both “full open” and emergency shutoff was without exception 0.01 s longer than that of the simulation result. The foregoing shows that the adoption of simulation technology during the design process can accurately forecast the dynamic response characteristics of the designed three-eccentricity butterfly valve system and also its optimized design versions. **Key words:** three-eccentricity butterfly valve, emergency cutoff valve, hydraulic system design, dynamic response characteristics, simulation of hydraulic system

高参数锅炉给水预热器的改造=Modification of the Feedwater Preheater of a High-parameter Boiler[刊, 汉]/TAN Hong, LIN Lin, WANG Jing-fu (Steam Turbine Design and Research Department, Harbin No.703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(5). — 557 ~ 559

Concerning the imported 100E11 boiler feedwater preheater, there exist such problems as the failure of its thermodynamic performance to meet the requirement of process systems and the leakage of tube boxes. In response to the request of end-users, a modification of the boiler was performed. Through a renovation and change of the materials, structure and manufacturing technology of the equipment items, the intractable problem concerning the sealing of high pressure tube boxes was resolved, the thermodynamic performance of the equipment items improved, and the heat exchange areas were enlarged, thus meeting the requirement of the relevant technological systems. The long-time operation has shown that the modification has achieved good results. **Key words:** high-parameter boiler, preheater, thermodynamic performance, high pressure seal

油水煤浆在新型气化炉内气化过程的数值模拟=Numerical Simulation of the Gasification Process of Coal-Oil-Water Slurry in a New Type Gasifier[刊, 汉]/YU Hai-long (College of Energy Source and Environment, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou, China, 450007), LIU Jian-zhong (National Key Laboratory on Clean Utilization of Energy Source and Environment Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027)//Journal of Engineering for Thermal Energy &Power. — 2007, 22(4). — 560 ~ 563

A study of numerical simulation and calculation was performed of the gasification process of coal-oil-water slurry in a new type of water-slurry gasifier incorporating multiple nozzle inlets. A law governing the temperature distribution in the gasifier and concentration distribution of various gasification products has been analyzed. The results of the numerical simulation calculation show that when the gasification of oil-water-coal-slurry is compared with that of common water-coal-slurry both having the same concentration, the average temperature in the gasifier has undergone a slight increase. The carbon transformation rate shot up by 3.39% and the effective gas ($\text{CO} + \text{H}_2$) content in the raw gas at the outlet of the gasifier rose by 10.58%. The concentration of CO_2 and H_2O was reduced by a great margin with water decomposition rate being enhanced greatly. The gasification effectiveness has been obviously better than that of conventional water-coal-slurry. **Key words:** oil-water-coal-slurry, gasification, gasifier, numerical simulation