

工艺与设备

多喷嘴对置式水煤浆气化技术

于广锁 龚欣 刘海峰 王亦飞 王辅臣 于遵宏

(华东理工大学洁净煤技术研究所, 上海 200237)

摘要: 煤气化是实现煤炭洁净利用的关键。简要评述了多喷嘴对置式水煤浆气化技术的应用基础研究, 包括大型冷模研究、小型热模试验、雾化性能研究及合成气初步净化研究等, 介绍了多喷嘴对置式水煤浆气化炉的中试概况。阐述了多喷嘴对置式水煤浆气化技术的工艺特点及其与引进水煤浆气化技术的区别, 并对该技术的工程应用进行了介绍。

关键词: 煤气化; 水煤浆; 对置式多喷嘴; 气流床

中图分类号: TQ545

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)10-0046-04

Coal-water slurry gasification with opposed multi-burners

YU Guang-suo, GONG Xin, LIU Hai-feng, WANG Yi-fei, WANG Fu-chen, YU Zun-hong

(Institute of Clean Coal Technology, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Coal gasification is a key technology in clean utilization of coal. The fundamental research for application of water-coal slurry gasification plant with opposed multi-burners, which includes large cold-model test, bench test, atomization test and syngas primary purification, was briefly reviewed. The operational situation in the pilot-plant of coal-water slurry gasification with opposed multi-burners was introduced. The characteristics of this technology, and the differences between this technology and the imported one were described, the industrial application of this technology was also demonstrated.

Key words: coal gasification; water-coal slurry; opposed multi-burners; entrained-bed

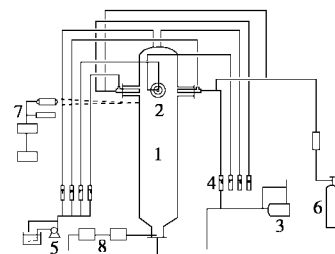
煤炭气化, 即在一定温度、压力条件下利用气化剂(O_2 、 H_2O 或 CO_2) 与煤炭反应生成洁净合成气(CO 、 H_2 的混合物), 是对煤炭进行化学加工的一个重要方法, 是实现煤炭洁净利用的关键^[1]。“九五”期间, 华东理工大学、兖矿鲁南化肥厂(简称鲁南)、中国天辰化学工程公司承担了国家重点科技攻关项目“新型(多喷嘴对置)水煤浆气化炉开发”(22 t/d 装置)。运行结果表明, 中试装置在水煤浆气化领域达到了国际领先水平。依托本成果, 兖矿集团有限公司、华东理工大学正承担“十五”863 课题“新型水煤浆气化技术”, 建设日处理 1 150 t 煤的多喷嘴对置水煤浆气化技术商业示范装置(气化压力 4.0 MPa), 将于 2005 年上半年开始运行。

1 应用基础研究

1.1 大型冷模研究

大型冷模实验流程如图 1 所示。

大型冷模对置气化炉直径为 1 m, 采用激光多普勒三维粒子动态分析仪(Dual PDA)、热线风速仪



1—冷模气化炉; 2—喷嘴; 3—鼓风机; 4—流量计; 5—水泵; 6—示踪剂; 7—Dual PDA 测试系统; 8—停留时间测试系统

图 1 大型冷模实验流程

(Streamline 4)、毕托管等仪器研究测试气化炉内的撞击射流湍流速度场、浓度场、压力场、停留时间分布等, 获得气化炉内水煤浆流动与混合规律, 为气化炉的研究开发提供科学依据。流场可划分为射流区(I)、撞击区(II)、撞击流股(III, 上下 2 股)、回流区(IV)、折返流区(V)、管流区(VI) 6 个区, 流场结构见图 2。

1.2 小型热模实验

小型热模实验装置流程如图 3 所示。

收稿日期: 2004-06-30

基金项目: 上海市青年科技启明星计划(03QF14013)、国家高新技术研究发展计划(2003AA521020)项目

作者简介: 于广锁(1970-), 男, 博士, 副教授, 从事气流床气化技术的研究和开发, 021-64252974, gsyu@ecust.edu.cn。

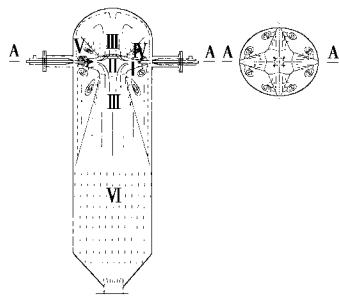
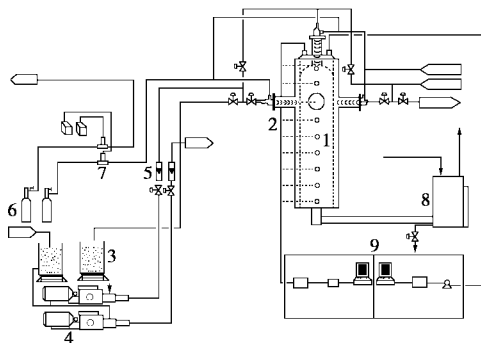


图2 四喷嘴对置气化炉流场结构



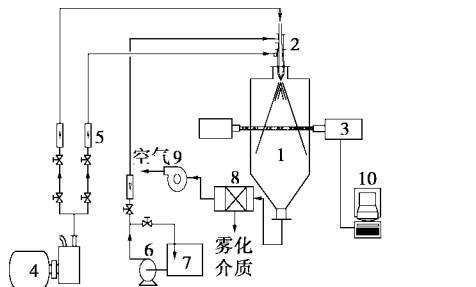
1—热模气化炉;2—喷嘴;3—储槽;4—泵;5—流量计;6—氧气钢瓶;7—气体质量流量计;8—冷却室;9—数据采集系统

图3 热模实验流程

在小型热模实验装置上研究对置式热模气化炉内的火焰特性与温度分布,获得操作参数、结构参数与流动混合状态对气化反应结果及温度分布的影响规律^[2]。

1.3 雾化性能研究

基于大型冷态模型($\Phi 1\ 500\ \text{mm} \times 4\ 500\ \text{mm}$),借助 Malvern 激光衍射颗粒测试仪,以水、甘油及水煤浆为介质,对几何结构与尺寸不同的喷嘴进行雾化性能研究,开发与气化炉结构尺寸相匹配、雾化性能优异的气化喷嘴。实验流程图如图4所示^[3]。



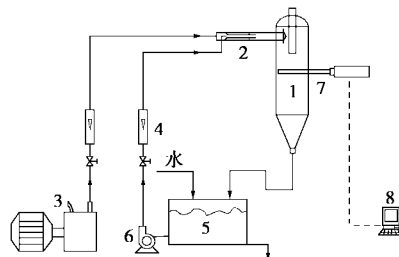
1—冷模气化炉;2—喷嘴;3—Malvern 测试仪;4—鼓风机;5—流量计;6—泵;7—储槽;8—过滤器;9—引风机;10—计算机

图4 喷嘴雾化实验流程

1.4 合成气初步净化研究

实验研究了合成气“分级”初步净化工艺(先粗

分,再精分)的混合、分离及洗涤效果^[4]。图5为合成气初步净化实验流程。



1—旋风分离器;2—混合器;3—鼓风机;4—流量计;5—水槽;6—水泵;7—取样探针;8—计算机

图5 合成气初步净化实验流程

2 中试试验

2.1 工艺简介

由工业气化装置界区来的煤浆经两级煤浆振动筛筛分后,储存在煤浆槽内。由空分装置来的液氧经液氧泵加压送至液氧气化器,气化后分4路送至气化中试装置气化炉的4个工艺烧嘴。煤浆槽内的煤浆分别经4台高压煤浆泵加压后计量送至4个工艺烧嘴。水煤浆与氧气一起通过工艺烧嘴进入气化炉,在气化炉内进行部分氧化反应,生成的粗合成气、熔渣并流向下进入气化炉激冷室,熔渣在底部水浴中激冷固化,由锁斗收集,定期排放。粗合成气经脱水喷淋降温后送洗涤塔洗涤除尘。在洗涤塔中部有1个黑水引出管,固含量较低的黑水由此引出,经洗涤塔循环泵加压后送入激冷室,作为粗合成气的激冷水使用。

2.2 中试结果及其与引进水煤浆气化技术的比较

多喷嘴对置式气化炉中试装置的72 h中试结果见表1。多喷嘴对置式气化炉与引进水煤浆气化技术的比较结果见表2。

表1 72 h中试结果

	工况1	工况2
中试装置生产能力/ $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$	22.6	22.6
(CO + H ₂)体积分数/%	82.9	82.4
碳转化率/%	98.8	97.7
比氧耗 ^① / m^3	382	374
比煤耗 ^② / kg	540	545
产气率 ^③ / $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	2.225	2.226

注:①和②分别指生成1 000 m^3 (CO + H₂)所消耗的氧气体积和煤质量;③是指1 kg煤生成的干气体积。

表 2 多喷嘴对置式气化炉与引进水煤浆气化技术的比较

	装置能力/ $t \cdot d^{-1}$	有效 γ (CO + H ₂) 体积分数/%	比氧耗/ m^3	比煤耗/ kg	碳转化率/ %	备注
多喷嘴对置式 γ 化炉 鲁南化肥厂	22	83	380	550	> 98	落陵、北宿、井亭、级索混煤,煤浆质量分数为 61%
引进中试装置	15	80 ~ 81	410	600	95	落陵、北宿、井亭、级索混煤,煤浆质量分数为 61%
生产装置	400	81	—	—	—	落陵、北宿、井亭、级索混煤,2000 年 10 月 12 日因故障煤浆质量分数为 61.6% ~ 63.6%
生产装置	400	83	410	590	95	落陵、北宿、井亭、级索混煤,煤浆质量分数约为 65%
上海焦化有限公司	500	80	410	640	95	神府煤,煤浆质量分数约为 60%
渭河化肥厂	800	80	410	630	95	华亭煤,煤浆质量分数约为 62%

2.3 技术优势

多喷嘴对置式气化炉中试装置的运行结果表明该装置具有如下技术优势:①操作方便,易于控制。原来操作过引进装置的人员,经过熟悉与了解,就可很快驾驭多喷嘴对置式气化炉。②炉内耐火砖维护良好,下渣口光滑。该气化炉最大优势是整个炉膛温度分布均匀,最高与最低温度差一般为 50 ~ 150℃,最高温度也不超过 1300℃,为延长耐火砖使用寿命创造了条件。③运行安全平稳,未出现因工艺原因引起的被迫停车。④技术指标先进,较引进气化炉节省 7% 的氧气耗量和煤用量。

3 工艺流程及特点

水煤浆气化压力为 3.0 ~ 6.5 MPa,温度为 1 300℃。在此高温下化学反应速率相对较快,而气化速率为传递过程控制。为此,采取的技术对策是:通过喷嘴配置优化炉型结构及尺寸,在炉内形成撞击流来强化混合(热质传递)过程,并在炉内形成合理的流场结构,从而达到良好的工艺与工程效果,有效气成分高、碳转化率高,耐火砖寿命长。

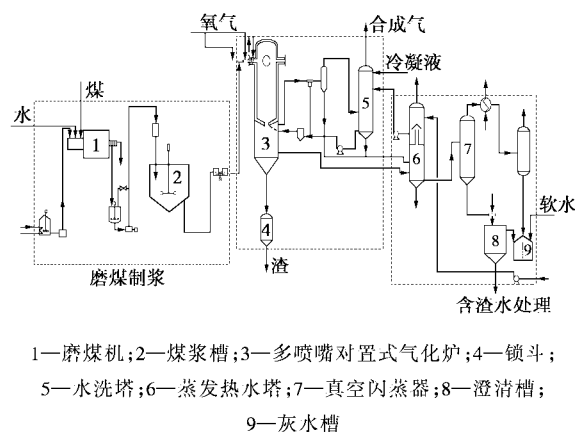
具有自主知识产权的多喷嘴对置式水煤浆气化示范装置已在建设之中,技术特点是:多喷嘴对置的水煤浆气流床气化炉及复合床煤气洗涤冷却设备;分级净化的煤气初步净化工艺;蒸发分离直接换热式含渣水处理及热回收工艺。

多喷嘴对置式水煤浆气化技术工艺流程见图 6。

3.1 多喷嘴对置式气化及煤气初步净化

煤浆经隔膜泵加压,通过 4 个对称布置在气化炉气化室中上部同一水平面的工艺喷嘴,与氧气一起对喷进入气化炉。煤浆颗粒在气化炉内的气化过程经历了以下步骤:颗粒的湍流弥散、振荡运动、对流

加热、辐射加热,煤浆蒸发、颗粒中挥发分的析出、挥发产物的气相反应、煤焦的多相反应、灰渣的形成等。



1—磨煤机;2—煤浆槽;3—多喷嘴对置式气化炉;4—锁斗;
5—水洗塔;6—蒸发热水塔;7—真空闪蒸器;8—澄清槽;
9—灰水槽

图 6 多喷嘴对置式水煤浆气化技术工艺流程

气化反应是串并联反应同时存在的极为复杂的反应体系,可分为一次反应与二次反应:

(1)一次反应区(燃烧区)。进入该区的反应物有工艺氧、煤浆以及回流流股和折返流流股中的 CO、H₂ 等。水煤浆进入气化炉进行雾化,同时接受来自火焰、炉内壁、高温气体、固体物等的辐射热,以及回流流股及折返流流股的热量,煤浆瞬间蒸发,煤粉发生热裂解并释放出挥发分。裂解产物、挥发分及其他易燃组分在高温、高氧浓度下迅速完全燃烧,放出大量热。这个过程进行得相当短促,主要发生在射流区与撞击区,其结束的标志是氧消耗殆尽。

(2)二次反应区。进入该反应区的组分有煤焦、CO₂、CH₄、H₂O、CO 以及 H₂ 等组分,这时主要进行的反应是煤焦、CH₄ 等与 H₂O、CO₂ 发生的气化反应,生成 CO 和 H₂,这是有效气成分的主要来源。二次反应主要发生在管流区。

(3)一次反应与二次反应共存区。多喷嘴对置

式气化炉中射流区与撞击区、撞击流股、回流区、折返流区共存,不时进行质量交换,再加上湍流的随机性,射流区的反应组分及产物都有可能进入撞击区、撞击流股、回流区、折返流区,导致这些区域既进行一次反应,也进行二次反应。

二次反应以吸热为主,致使二次反应发生的区域温度较低,相对起到保护耐火砖的作用。出气化室的、夹带熔融灰渣的高温合成气,在复合床结构的洗涤冷却室内完成合成气的洗涤冷却和熔渣的初步分离。采用混合器、旋风分离器和水洗塔相结合的节能高效煤气初步净化系统,使煤气中灰、渣的含量降到最低,并且减少压力损失。

3.2 含渣水处理

由气化炉及煤气初步净化系统来的含渣水分别经减压后导入含渣水处理系统,首先进入蒸发热水塔蒸发室,并在蒸发室内大量气化,然后与溶解在水中的酸性气体一起解吸。蒸发室产生的蒸汽进入热水室与循环灰水直接接触换热,使灰水得到最大程度的升温。蒸发室底部固含量得到提高的液相产物再进行真空闪蒸,进一步降低含渣水温度并浓缩含渣水的固含量,将酸性气体完全解吸。

4 与引进的水煤浆气化技术的区别

该技术与引进水煤浆气化技术比有以下不同:

(1)引进的水煤浆气化技术为单喷嘴,流场为受限射流,停留时间分布宽,碳转化率低,射流以较大速度冲刷耐火砖。多喷嘴对置式水煤浆气化技术采用撞击流,旨在加强混合,强化热质传递。实践证明气化效果优于引进的水煤浆气化技术。

(2)引进的水煤浆气化技术采用文氏管与筛板塔组合初步净化煤气方案,多喷嘴对置式水煤浆气化技术采用混合器、旋风分离器、泡罩塔组合方案,采用“分级”净化,属于高效、节能型净化工艺。

(3)引进的水煤浆气化技术采用间接换热方案回收黑水余热,而多喷嘴对置式水煤浆气化技术采用直接换热方案回收黑水热量,有助于解决换热器结垢堵塞问题,提高热传递效率。

(4)多喷嘴对置式水煤浆气化技术专利转让费仅为引进的水煤浆气化技术专利转让费的1/3左右。

5 工程应用实例

5.1 在兖矿集团有限公司的应用

兖矿集团有限公司在兖矿鲁南化肥厂建设多喷嘴对置式水煤浆气化炉及配套工程,利用2台日处

理150 t煤的多喷嘴对置式水煤浆气化炉(气化压力为4.0 MPa)配套生产24万t甲醇、联产71.8 MW电,总投资为16亿元。空分装置由中国华陆工程公司设计,气化装置由中国天辰化学工程公司设计,示范装置于2003年5月1日正式开工建设。中国化学工程第三建设公司负责气化装置、空分装置的建设,气化炉由哈尔滨锅炉厂制造完成,耐火砖由洛阳耐火材料研究院高耐厂、新乡耐火材料厂制造完成;6万m³/h空分装置由杭氧液空有限公司生产,已开始现场安装。磨煤、气化、渣水框架土建已完成,设备已开始安装;2台多喷嘴对置式气化炉已由哈尔滨锅炉厂制造完成;气化装置将于2005年3~4月开始试车。

5.2 在山东华鲁恒升化工股份有限公司的应用

在山东华鲁恒升化工股份有限公司大氮肥国产化工程中,建设1台多喷嘴撞击流气化炉(气化压力为6.5 MPa,日处理煤750 t)。4万m³/h空分装置由开封空分集团有限公司生产,现处于试车阶段;气化装置由中国华陆工程公司设计;气化炉已由哈尔滨锅炉厂制造完毕;喷嘴由航天部十一所(北京)制造,耐火砖由新乡耐火材料厂生产,均已加工完成。现气化炉已安装就位,耐火砖已基本砌筑结束,预计气化装置2004年底可投入试运行。

6 结语

经过研究开发单位的长期科技攻关与通力合作,具有自主知识产权的多喷嘴对置式水煤浆气化技术不久将实现大规模产业化,将扭转我国煤气化技术长期依赖进口的局面。同时它也将为拓宽氮肥的原料来源、减少对无烟块煤的依赖提供先进、经济的支撑技术。该技术煤种适应性强,可采用资源丰富、分布广泛的烟煤或褐煤,并对粒度、灰分和含硫量有较大的兼容性,可作为核心技术集成为大宗化学品生产装置(合成氨、甲醇等)、联合循环发电(IGCC)装置、煤基“多联产”装置,也可为煤直接液化、间接液化提供气源,具有十分广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 于广锁,牛苗任,王亦飞,等.[J].现代化工,2004,24(5):23-26.
- [2] 马波.撞击式气流床气化炉热态模试及停留时间模型化研究[D].上海:华东理工大学,2004.
- [3] 王少云.气流式雾化过程的实验研究与模拟计算[D].上海:华东理工大学,2004.
- [4] 吕术森.合成气洗涤净化工艺研究[D].上海:华东理工大学,2004. ■