

气流床煤气化的技术现状和发展趋势

于广锁 牛苗任 王亦飞 梁钦锋 于遵宏
(华东理工大学洁净煤技术研究所, 上海 200237)

摘要:气流床煤气化是煤高效洁净利用的关键技术。综述了具有代表性的气流床煤气化技术的应用现状,探讨了影响水煤浆气化的主要因素,如烧嘴、耐火砖、激冷环等,分析了干煤粉气化的技术优势和存在的问题,并阐述了发展趋势。水煤浆气化已积累丰富经验,而干煤粉气化的实践较少,应用于化工领域还有待工程检验。基于国内煤气化技术的研究开发现状和工业运行情况的分析,提出了发展我国煤气化技术的战略。

关键词:煤气化;气流床;水煤浆;干煤粉

中图分类号:TQ545

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)05-0023-04

Application status and development tendency of coal entrained-bed gasification

YU Guang-suo, NIU Miao-ren, WANG Yi-fei, LIANG Qin-feng, YU Zun-hong

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

Abstract: Coal entrained-bed gasification, the key technology of clean utilization of coal, meets the challenge of energy safety and sustainable development in China. The application status of coal entrained-bed gasification technologies was described briefly. The major affecting factors of the coal water slurry gasification, such as feed injector, refractory and quench ring, were analyzed. The advantages and disadvantages of the dry pulverized coal gasification were pointed out. The development tendency of coal entrained-bed gasification technologies was also introduced. A lot of experience has been accumulated in the coal water slurry gasification, while the feasibility and operability of the dry pulverized coal gasification will be examined in the chemical industry. Based on the analysis of development status and industrial operational aspect of the coal gasification in China, the development strategy was brought forward.

Key words: coal gasification; entrained-bed; water coal slurry; dry pulverized coal

煤炭气化是对煤炭进行化学加工的重要方法。高压、大容量气流床气化技术,显示了良好的经济和社会效益,代表着发展趋势,是现在最清洁的煤利用技术之一,是洁净煤技术的龙头和关键^[1]。

气流床气化具有较大的煤种与粒度适应性和更优良的技术性能,是煤基大容量、高效洁净的燃气与合成气制备的首选技术。它采用 1 300 ~ 1 700 °C 的气化温度,液态排渣,使气化过程由约 900 °C 的化学反应控制、约 1 100 °C 的化学反应与传递共同控制(900 ~ 1 100 °C 为固定床、流化床的通常温度范围)跃升为传递控制。此时,煤的化学活性已退居次要地位;而采用约 90 μm 的粉煤或煤浆进料,对原料煤已不再有大粒度要求;粉煤的比表面积比粒度 6 mm 左右的粒煤增加了近 2 个数量级,对提高热质传递速率、消除内扩散极为有利。

1 国外技术现状和发展趋势

气流床气化的共同特点是加压、高温、细粒度,

但在进料形态与方式、实现混合、炉壳内衬等方面对策迥异,从而形成不同风格的技术流派。迄今已商业化的整体煤气化燃气-蒸汽联合循环发电(IGCC)大型(250 MW 以上)电站都是采用气流床煤气化,可见其技术上具有优势。它们是以水煤浆为原料的 ChevronTexaco、Global E-Gas(以前称 Destec)气化炉,以干粉煤为原料的 Shell、Prenflo、Noell(以前称 GSP,德文 Gaskombiant Schwarze Pumpe 的简称)及 Eagle 气化炉^[2-4]。

1.1 技术现状

1.1.1 ChevronTexaco 气化炉

美国 Texaco 公司(2002 年初成为 Chevron 公司一部分)开发的水煤浆气化工艺是将煤加水磨成水煤浆,用纯氧作气化剂,在高温高压下进行气化反应,液态排渣,煤气成分 CO + H₂ 为 80% (体积分数)左右,不含焦油、酚等有机物质,碳转化率 96% ~ 99%,气化强度大,炉子结构简单,煤适应范围较宽。目前 Texaco 最大商业装置是 Tampa 电站,1989 年立

收稿日期:2003-12-31;修回日期:2004-03-08

基金项目:上海市启明星计划(03QF14013)、国家高技术研究发展计划(2003AA521020)、上海市青年科学基金(01QN29)资助项目

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,021-64252521,gsyu@ecust.edu.cn。

项,1996年7月投运,12月宣布进入验证运行。该装置为单炉,日处理煤2 000~2 400 t,气化压力为2.8 MPa,冷煤气效率约76%。

喷嘴、气化炉、激冷环等为Texaco水煤浆气化的技术关键。提高更大尺寸Texaco气化炉的碳转化率方案为:增加气化炉的停留时间、气化炉直径给定条件下增加长径比。

Texaco水煤浆气化工艺自工业化以来,先后在世界各地建成多套生产装置^[5],表1为Texaco水煤浆气化的应用情况,表2总结了拟建设的气化装置。

表 1 Texaco 气化的应用情况

工厂名称	国家	投产年份	气化炉台数	进料类别	产品应用
鲁南化肥厂	中国	1993	3	煤	氨、甲醇
上海焦化厂	中国	1997	4	煤	甲醇、城市燃气
渭河化肥厂	中国	1996	3	煤	氨
淮南化工厂	中国	2000	3	煤	氨
Delaware Clean Energy Cogeneration Project	美国	2001	2	石油焦	发电
Polk Country IGCC Project	美国	1996	1	煤	发电
Ville Methanol Plant	德国	1985	3	煤	甲醇
Ube City Ammonia Plant	日本	1984	4	煤	氨
Coffeyville Syngas Plant	美国	2000	1	石油焦	氨
Kingsport Integrated Coal Gasification Facility	美国	1983	2	煤	醋酸酐、甲醇
El Dorado IGCC Plant	美国	1996	1	石油焦	发电

表 2 拟建设的 Texaco 气化装置

工厂名称	国家	投产年份	进料类别	产品应用
Gliberton Fuels Plant	美国	2004	煤	制柴油、发电
Marifu IGCC Plant	日本	2004	石油焦	发电
Lake Charles IGCC Project	美国	2005	石油焦	制 H ₂ 、发电
Polk County	美国	2005	石油焦	发电
Normandie IGCC Plant	法国	2005	燃料油	制 H ₂ 、发电
Bhatinda IGCC	印度	2005	焦炭	发电
Deer Park GCC Plant	美国	2006	石油焦	发电、合成气
Europoort IGCC Plant	荷兰	2006	废弃物	发电、制 CO
黑龙江浩良河化肥厂	中国	2004	煤	氨
金陵石化化肥厂	中国	2005	煤	氨、制 H ₂
南京化学工业集团	中国	2005	煤	氨
陕西榆林甲醇项目	中国	2005	煤	甲醇
内蒙古鄂尔多斯甲醇项目	中国	—	煤	甲醇
安徽淮北甲醇项目	中国	—	煤	甲醇

从已投产的水煤浆加压气化装置的运行情况看,由于工程设计和操作经验的不完善,还没有达到长周期、高负荷、稳定运行的最佳状态,存在的问题还较多^[2,6]。

(1) 烧嘴

烧嘴是Texaco气化工序的关键,烧嘴寿命决定着装置的长期、经济运行。烧嘴寿命很短,延长寿命是目前亟待解决的一个问题。烧嘴通常都是三通道结构,中间通道走水煤浆,外层和内层通 O₂。内层通 O₂ 量小于 8%,且无法调节,这使烧嘴和耐火砖寿命、气体组成和碳转化率都受到了影响。

(2) 耐火砖

耐火砖的寿命对Texaco气化过程也很重要^[7]。高温气化炉中,耐火砖在一个较短时间内(6~18个月)就会经历较大的毁坏。换砖大概要花1个多月时间,维修费用中耐火砖的更换占了很大份额,所以延长耐火砖的寿命很有必要。

(3) 煤种

煤的性质对Texaco气化装置的长期稳定运行具有极大的影响。煤的灰分低、灰熔点低、黏温特性好及成浆性好,这种煤可很好地气化。所以利用合适的煤质对气化的长期、经济运行也十分必要。

(4) 激冷环

激冷环也是气化过程中的重要设备。目前仍有不少问题,如激冷室带水、液位保不住、内环易变形、布水缝隙不均匀、下降管易烧坏变形等。

1.1.2 Global E-Gas 气化炉

Global E-Gas 气化炉由美国 Dow Chemical 公司开发成功,1989年更名为 Destec,2000年开始为美国 Global Energy 公司拥有。已建设2套商业装置:LGTI(1987年运行,1995年停运)与 Wabash River(2台炉,一开一备,单炉容量2 500 t/d,2.8 MPa,1995年投运)。炉型类似于K-T,分第一段(水平段)与第二段(垂直段)。第一段2个喷嘴呈180°对置,最高反应温度约1 400℃。第二段采用总煤浆量的25%(质量分数)进行冷激,反应温度约1 040℃。采用压力螺旋式连续排渣系统。

该技术的缺点是:二次水煤浆停留时间短,碳转化率较低;设有一个庞大的分离器,以分离一次煤气中携带灰渣与二次煤浆的灰渣与残炭。

倒T字型炉其水平段与垂直段交接处,难以承受高压,随着IGCC工厂中CO₂的排放标准日趋严格,高压气化生产将会使这种炉型的应用受到限制。如果把倒T字型改为直圆柱型,气化炉的设计和制

造费用降低,气化炉可以承受较高的压力。

美国 Port Arthur GCC Project 计划采用 E-Gas 气化技术气化石油焦,将于 2005 年建成 3 台气化炉,生产的煤气用于发电。

1.1.3 Shell 气化炉

1988 年 Shell 煤气化技术用于 Buggenum IGCC 电站,单炉,日处理煤 2 000 t。1990 年 10 月开工建设,1993 年开车,1994 年 1 月进入为时 3 年的验证期,目前已处于商业运行阶段,2003 年运转时间仅约 6 500 h。Shell 气化炉壳体直径约 4.5 m,高约 30 m,4 个喷嘴位于炉子下部同一水平面上,沿圆周均匀布置,借助撞击流以强化热质传递过程,使炉内横截面气速相对趋于均匀。炉衬为水冷壁,总质量 500 t^[8-9]。

其技术优势在于:干粉进料系统采用的是膜式水冷壁气化炉而非耐火砖,使高温气化(1 700℃)可行,所以原料选择范围较宽。由于是干粉进料,不受制浆难易的限制。炉内壁采用水冷壁技术,无须耐火砖,节省了运行费用。气化后产生的煤气中 CO₂ 含量低,有效气体(CO + H₂)的体积分数约 90%,氧耗比水煤浆气化低约 10%。Shell 气化炉膜式壁的设计寿命据说至少为 25 年,烧嘴寿命为 1 年。

表 3 拟建设的干粉气化装置

工厂名称	投产年份	进料类别	产品应用
Indian H ₂ /Power Plant	2004	石油焦	制 H ₂ 和发电
Italy Agip IGCC Plant	2004	石油焦	制 H ₂ 和发电
湖南洞庭氮肥厂	2005	煤	制氨
Italy Sulcis IGCC Project	2004	煤	发电
湖北双环化工厂	2004	煤	制氨
广西柳州化工厂	2004	煤	制氨
安庆石化总厂	2005	煤	制氨
湖北化肥厂	2005	煤	制氨
云南天然气化工厂	2006	煤	制氨
云南沾化化工厂	2006	煤	制氨
大连化学工业集团	2006	煤	制氨

其存在的问题主要是:煤粉的干燥、制备、存储和输送、计量系统复杂,比较容易发生故障;需要专门设置高纯度 N₂ 的制造和增压系统,耗电增多,并使空分系统复杂化;密相输送煤粉所带入的 N₂ 影响后续化工过程;气化炉的压力低于 4.5 MPa,不能与后续过程相衔接(如等压合成甲醇);高压干法供粉系统的调节控制系统复杂;干法进料系统的粉尘排放远大于水煤浆进料系统;一次性设备投资费用高,

远高于水煤浆气化技术;气化炉结构过于复杂,加工难度极大;运行经验不够丰富。目前世界上只有 Buggenum 在运转,而且是用于 IGCC 发电,没有应用于化工领域的经验;国内技术基础较差,无合作设计、建设和生产的经验。今后几年世界上采用 Shell 技术拟建设的干粉气化装置见表 3。

1.1.4 Prenflo 气化炉

1986 ~ 1992 年 Krupp-Koppers(现 Krupp-Ubde)公司在德国 Furstenhausen 建成并运转 Prenflo 日处理 48 t 加压气化装置并取得成功。1992 年西班牙 Elco-gas 公司(由西班牙、法国、葡萄牙的 6 家能源工程公司组成)采用 Prenflo 气化技术在西班牙 Puertollano 建设 IGCC 电站,这也是 Prenflo 的第一个商业化装置。Puertollano IGCC 发电装置为单炉,日处理 2 500 t 混合燃料(煤与石油焦各半)。气化压力为 2.6 MPa,温度约 1 700℃。气化炉壳直径 5 m,高 45 m。1997 年 12 月 19 日第一次生产煤气,1998 年 6 月备煤、气化、脱硫三单元连续运转 198 h。至 2001 年底,Prenflo 气化累计运行时间超过 11 400 h。2002 年开始进入商业运行。

1.1.5 Noell 气化炉

Noell 气化炉由原东德的燃料研究所(Freiberg Fuel Institute)开发,炉型与 Texaco 激冷型气化炉酷似,采用干粉进料。炉衬采用水冷壁,含一薄层起保护作用的特殊 SiC 填充物质。据称喷嘴与水冷壁炉衬的寿命可达 5 年以上,碳转化率 99%。1996 年在德国 Schwarze Pumpe 运行以煤、油为原料的 40 MW IGCC 装置。

1.1.6 Eagle 气化炉

Eagle(原 Hycol)气化炉由日本 J-Power/EPDC (Japan Power/Electric Power Development Company)开发,采用干粉给料,一室二级旋转流式气流床气化。气化炉分热回收段、气化段和激冷段。气化炉下部有蒸汽喷嘴,气化高温熔渣中的碳。已建设日处理煤 150 t 试验装置,气化压力 2.5 MPa,2002 年 5 月开始运行,共累计运行 840 h,最长连续运行 291 h。将运行至 2006 年初,试烧 5 个煤种。

1.2 发展趋势

水煤浆气流床气化的发展趋势为^[2]:开发/改善耐火材料系统;改善气化炉测量和控制仪表;开发/改善高压和其他气化炉的多固体给料系统,包括煤和生物质给料;开发寿命长、投资低、燃料和负荷弹性好的烧嘴;开发不同气化炉给料的流量、组成和其他特征的连续在线分析的技术;开发气化炉模型。

干煤粉气流床气化的发展趋势为^[2-3]:干煤粉进料系统用二氧化碳或合成气、天然气作为传输介质;煤粉输送问题能否很好解决是干煤粉气化装置的关键,建议设计出密封的、可在高压下运行的干煤粉进料泵;增加二段进料;采用激冷法提供变换反应的水蒸汽,省去合成气冷却器;当前基于锁斗系统的干煤粉进料,限制了其操作压力(4 MPa),建议运用耗能低的、高压操作的浆体(CO₂)进料气化。

2 国内技术现状和发展趋势

2.1 研究开发现状

中国自煤的商业化和社会化迄今已 100 余年,但没有形成能与国际抗衡的商业化自主知识产权煤气化技术。近 40 年来在研究与开发、消化引进技术方面进行了大量工作,有代表性的是:20 世纪 70 年代起西北化工研究院研究开发水煤浆气化技术并建设了中试装置,为此后 4 家厂引进 Texaco 水煤浆气化技术提供了丰富的经验;“九五”期间就“整体煤气化联合循环(IGCC)关键技术(含高温净化)”立项,有 10 余个单位参加攻关;1999 年科技部立项“煤的热解、气化及高温净化过程的基础研究”正在进行中。

“九五”期间华东理工大学、兖矿鲁南化肥厂、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”,中试装置的结果表明:有效气成分约 83%;碳转化率 > 98%;比煤耗、比氧耗降低 7%^[10]。依托本成果,“十五”期间兖矿集团有限公司、华东理工大学承担“863”课题——新型水煤浆气化技术,建设日处理 1 150 t 煤的四喷嘴对置水煤浆气化技术商业示范装置(4.0 MPa)。

2.2 工业运行情况

20 世纪 80 年代末以前,我国的煤气化完全依赖常压固定床技术,国内有常压固定床气化炉数千台,配套小型合成氨生产装置及少量甲醇和联醇装置,这些气化装置中相当一部分至今仍在运转。80 年代初我国开始引进第二代煤气化技术,1 家引进加压 Lurgi 技术,于山西潞城建厂;共有 4 家引进 Texaco 水煤浆气化装置,分别建于山东鲁南、上海吴泾、陕西渭河、安徽淮南。这 4 套装置均用于生产合成气,制氨或甲醇。目前正在引进的煤气化技术仍有多套。

2.3 发展我国煤炭气化技术的战略

我国发展煤炭气化技术的总体目标是基于我国

煤炭自身的特点,形成具有自主知识产权的产业化技术,为新型煤化工和能源转化提供满足不同需要的龙头技术。

常压固定床气化技术只能在现有基础上挖潜改造,应有条件地放弃进一步使用。加压固定床气化技术因受到煤种资源影响和煤气处理费用高而限制其用途。使用活性高的粉煤为原料的加压流化床技术,目前在开发和使用上有些问题尚未得到很好解决。相对而言,加压气流床气化工工艺在大型煤炭气化工工艺研究及开发中处于优势地位,也符合目前世界上煤炭气化技术的发展趋势。

我国煤炭气化的发展要顺应国际上煤炭气化技术的发展趋势,并要结合中国的国情,重点应放在大型、高效、对环境友好、易于工业化的气流床气化技术的开发和应用。加速开发和应用具有自主知识产权的加压气流床气化技术不仅迫在眉睫,而且时机成熟。国内自主知识产权的新型煤气化示范装置已在建设之中。待示范成功,将扭转我国煤气化技术长期依赖进口的局面,为发展我国的洁净煤技术奠定良好的基础。

参考文献

- [1] 杜铭华,舒歌平.[J].现代化工,2002,22(9):1-5.
- [2] Stewart J Clayton, Gary J Stiegel, John C Wimer. Gasification Markets and Technologies-Present and Future[R/OL]. US Department of Energy Report, 2002. <http://www.netl.doe.gov/coalpower/gasification/pubs/pdf/Gasification-Technologies.pdf>.
- [3] Neville A H Holt. Coal Gasification Research Development and Demonstration Needs and Opportunities[DB/OL]. Presented at the Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2001. <http://www.gasification.org>.
- [4] Sadao Wasaka, Eiki Suzuki. Operational Experience at the 150 t/d EAGLE Gasification Pilot Plant[DB/OL]. Presented at the Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2003. <http://www.gasification.org>.
- [5] Dale Simbeck, Harry Johnson. World Gasification Survey: Industry Trends & Development[DB/OL]. Presented at the Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2001. <http://www.gasification.org>.
- [6] 许令奇.[J].中氮肥,2003,(3):19-21.
- [7] Eastman Chemical Company. Kingsport Plant, Fine Tuning to Improve Availability and Reliability of Coal Based Gasification[DB/OL]. Presented at Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2001. <http://www.gasification.org>.
- [8] 王弘卫.[J].煤化工,2002,30(增刊):52-57.
- [9] 郑振安.[J].煤化工,2003,31(2):7-11.
- [10] 林彬彬,孙永奎,于广锁.[J].煤化工,2002,30(增刊):19-21.