

IGCC 多联产项目煤气化技术选择

黄习兵*

(中石化宁波工程有限公司, 浙江 宁波 315103)

摘要:对整体煤气化联合循环多联产的各种可用煤气化技术进行了比较分析,并结合具体项目进行了详细的技术经济比较。结果表明,在整体煤气化联合循环多联产方案中虽然粉煤废锅流程在经济性上具有一定优势,但综合项目各方面因素,选择粉煤激冷流程相对更为适宜。

关键词:整体煤气化联合循环;IGCC 煤气化;对比分析

中图分类号:TQ546

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2021)11-0197-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2021.11.041

Selection of coal gasification technology for IGCC polygeneration project

HUANG Xi-bing*

(Sinopec Ningbo Engineering Co., Ltd., Ningbo 315103, China)

Abstract: Various kinds of available coal gasification technologies used in integrated coal gasification combined cycle (IGCC) plant are compared and analyzed, and their technical economic performances are compared combined with specific projects. The results indicate that the pulverized coal gasification with waste heat boiler has comparative advantages in economy, but the pulverized coal gasification with quench process is relatively more appropriate if considering comprehensively various factors of a project.

Key words: integrated coal gasification combined cycle; IGCC coal gasification; comparative analysis

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国,煤炭在我国一次能源生产和消费结构中一直占 70% 以上,预计今后半个世纪内,煤炭仍将是我国的主要一次能源^[1]。整体煤气化联合循环(IGCC)是最重要的洁净发电技术之一^[2-4]。IGCC 在国外已有 30 多年的研究和试运行经验,已有多套商业 IGCC 装置投产,实践证明 IGCC 技术是一种可行、先进、无污染的洁净发电技术^[5-7]。IGCC 多联产项目的研发和建设始于 20 世纪末^[8],IGCC 多联产方案可以实现多种产品和动力生产过程的优化耦合,在化工产品、燃料和电力之间可以按一体化项目的需求进行适当调节,具有很好的灵活性。IGCC 系统不仅可以很好地解决氮、硫氧化物、汞排放带来的环境污染问题,而且通过气化与变换反应组合(新一代氢气燃机为基础的 IGCC 系统)可实现 CO₂ 富集,为 CO₂ 捕集提供最现实的途径^[9-10]。

国内已进入商业运行的 IGCC 装置有中国石化福建炼油乙烯项目 IGCC 装置和华能绿色煤电项目。中国石化福建炼油乙烯项目 IGCC 装置在国内首先采用了 IGCC 多联产技术,装置原料为上游炼油装置产生的脱油沥青,向整个炼化一体化项目供应电力、所有等级蒸汽和 40% 的氢气(8 万 m³/h),同时供给整个炼厂的氮气,并外售惰

性气体氩气^[11]。

1 气化技术简介

煤的气化技术就是利用空气或氧气,使煤炭发生部分氧化反应,生成以 CO+H₂ 为主要成分的粗合成气过程,气化反应器(气化炉)是煤气化的核心设备,依据气化炉的操作状态不同,按照最常用的流体力学状态分类,主要有固定床、流化床和气流床 3 种类型。

固定床(移动床)的代表炉型有 Lurgi 炉(现被液空收购),以及经过改进的 BGL(泽码克)液态排渣炉。固定床气化的局限性是对床层均匀性和透气性要求较高,入炉煤要有一定的粒(块)度(6~80 mm,最大 100 mm)及均匀性。因此固定床气化炉对入炉原料有较多限制。

流化床(沸腾床)代表炉型有山西煤化所灰熔聚技术、U-Gas 等。流化床气化进料为小颗粒煤,在炉内处于流化状态,炉内物料返混强烈,实现脱挥发分、气化、焦油裂解等过程。但气化温度较低,要求原料煤有较好的反应活性。同时碳转化率低,且飞灰多,残碳高,灰渣分离困难。从工业化运行情况来看,流化床关键技术环节还不够成熟,一般不推荐采用该技术。

收稿日期:2020-12-21;修回日期:2021-08-24

作者简介:黄习兵(1980-),男,硕士,高级工程师,研究方向为煤化工工程技术研究,通讯联系人,huangxb.snec@sinopec.com。

气流床又分为水煤浆气化和粉煤气化,是当今先进煤气化技术,气化效率高、合成气产量大,无有机物等副产品,环保性能好;液体排渣、符合大型化要求,是化工产品煤气化技术的应用主流。

2 气化技术种类选择

固定床和气流床技术对比如表 1。

表 1 2 种气化技术对比

技术类型	固定床加压气化	气流床气化
煤的进料粒度/mm	5~50	0.04~2
操作压力/MPa	2.0~4.0	2.0~8.7
O ₂ /煤比/(kg·kg ⁻¹)	0.52	0.82~0.90
蒸汽消耗/煤比/(kg·kg ⁻¹)	0.36	—
碳转化率/%	~96	94~99
典型合成气(干基)摩尔分数/%		
H ₂	27.1	25~43
CO	54.1	45~65
CH ₄	10.0	0.01
CO ₂	2.8	0.8~11
N ₂	6.0	1.0~8
副产物	焦油、酚等	—
框架高度/m	58	54~90

从表 1 中的数据比较可以看出,固定床块煤气化技术合成气中的甲烷含量相对高得多,可达到摩尔分数 10% 以上,因此气体的热值相对较高,适用于生产燃料气和生产 SNG。而 IGCC 多联产项目气化炉出口的粗合成气应以 H₂+CO 为主,其他成分应尽可能少,因此在 IGCC 多联产中不推荐采用固定床气化工艺。

3 气流床技术选择

3.1 激冷流程和废锅流程对比

气流床技术按合成气冷却方式的不同,可分为废锅流程、半废锅流程(废锅+激冷)、激冷流程。废锅流程副产高压蒸汽,粗合成气水气比低。半废锅流程的高温合成气经过辐射废锅副产高压蒸汽后温度降至 850℃ 以下再进入水浴激冷,达到气渣分离、降温增湿的目的。激冷流程的高温热量都以合成气携带的水蒸汽体现,粗合成气水气比高。目前应用的废锅气化技术主要有 Shell、华能炉;半废锅气化技术主要为晋化炉 3.0;而激冷流程的技术相对较多,主要有 SE 东方炉(粉煤或水煤浆)、GE、华理四喷嘴、科林炉、HTL 等。从运行的情况来看,废锅和半废锅均存在废锅段积灰结垢的问题,单炉长周期运行不如激冷流程。废锅流程、半废锅流程和激冷流程的对比如表 2。

表 2 废锅、半废锅和激冷流程的对比

对比项目	废锅流程	半废锅流程	激冷流程
煤种适应性	粉煤较强,水煤浆差	水煤浆流程差	粉煤很强,水煤浆较差
气化装置热效率	最高	高	粉煤低,水煤浆最低
合成气水气比	0.1~0.2	0.7~0.8	粉煤 0.7~1.0,水煤浆 1.1~1.4
适合产品	蒸汽、化工产品	蒸汽、化工产品	化工产品
应用业绩	Shell 应用业绩较多,华能炉和 GE 废锅应用业绩少	很少,目前投入运行的仅有金大地 1 套	非常多
运行稳定性	稳定性较差,废锅易积灰结垢,单炉运行周期短	稳定性最差,目前运行业绩少,废锅易积灰结垢	稳定性好,煤质稳定时,操作比较平稳;粉煤单炉运行周期在 6 个月以上;水煤浆烧嘴、耐火砖寿命短,一般 3 个月为 1 个运行周期
投资	最高	高	粉煤低,水煤浆最低

由上述比较可见,在 IGCC 或多联产项目中废锅流程和激冷流程各有优势,半废锅流程由于工业运行不是非常成熟,一般不推荐使用。

某项目进行了粉煤废锅流程和粉煤激冷流程对

比,主要内容列举如表 3、表 4。

表 3 产品方案

蒸汽参数	4.4 MPa, 415℃	13.7 MPa, 540℃	合计
用量/(t·h ⁻¹)	500	230	730

表 4 废锅流程和激冷流程对比

项目	粉煤废锅方案	粉煤激冷方案
方案配置		
工艺装置		
煤气化装置	建设 2 台公称日投煤 2000 t 的废锅流程粉煤气化炉;气化压力为 4.0 MPa	建设 2 台公称日投煤 2000 t 的激冷流程粉煤气化炉;气化压力为 4.0 MPa
净化装置	处理有效气 21.0 万 m ³ /h	处理有效气 24.5 万 m ³ /h
硫回收	设置 2 系列,单系列设计产能 5000 t/a 硫磺	设置 2 系列,单系列设计产能 5000 t/a 硫磺
空分装置	设置 2 套,单套产氧能力 50000 m ³ /h	设置 2 套,单套产氧能力 55000 m ³ /h
热电中心		
燃气轮机	设置 1 台,额定发电量 126 MW	
燃气锅炉	设置 2 台,单台额定蒸汽产量 410 t/h	
蒸汽轮机	设置 3 台 25 MW 背压汽轮机,2 开 1 备	
燃煤锅炉	设置 1 台 440 t/h 锅炉(备用)	
主要指标		
系统可靠性	各工况下满足 100% 供汽需求	各工况下满足 100% 供汽需求
总投资/万元	491536	421208
建设投资/万元	458005	391305
净利润/(万元·a ⁻¹)	33181	27602
内部收益率(税后)/%	10.74	10.53

从上述对比中可以看出,废锅流程在经济性上优势并不显著,但自身由于投资高、运行稳定相对较差、煤种适应性相对较窄等问题,再考虑若联产氢气等化工原料气,经济性优势将进一步减小,从减小项

目风险角度,建议采用激冷流程的煤气化技术。

3.2 激冷流程的粉煤和水煤浆技术对比分析

粉煤激冷和水煤浆激冷流程均有广泛的应用业绩,具体的对比如表 5。

表 5 水煤浆和粉煤气化技术对比

指标	水煤浆	粉煤气化
技术概况		
气化温度/℃	1300~1400	1400~1600
气化压力/MPa	4.0~8.7,6.5 为主	2.0~4.0,4.0 为主
烧嘴运行周期	烧嘴 60~90 d 进行更换	烧嘴寿命 150~200 d
单炉运行周期	60~90 d	150~200 d
煤种适应性	成浆性好且煤浆质量分数宜大于 58%;灰熔点宜低于 1250℃;灰分质量分数宜低于 8%	灰分质量分数宜大于 8%、小于 25%;以烟煤、无烟煤、次烟煤为主
能效	较高,碳转化率 94%~98%;有效气体积分数 81%~82%;同样煤质下,煤耗比粉煤通常多 7%,氧耗多 15%。	高,碳转化率 96%~99%,有效气体积分数 86%~91%
可靠性	设置备炉、多炉切换操作,装置可靠性较高	设置合理的备用炉后,装置可靠性高
开工灵活性	耐火砖冷态至热态开工时间长(2~3 d)	水冷壁启动迅速,冷态到热态开车~4 h
环保性	废水 COD、氨氮含量高,进生化处理前需预处理	废水中 COD、氨氮含量低,可直接排入生化处理
投资强度	1	1.15~1.20
技术成熟	成熟	成熟

粉煤气化和水煤浆气化工工艺各具特色,从目前的运行来看,水煤浆和粉煤气化的技术可靠性、运行周期都是有保障的。水煤浆气化技术的优势在于单系列投资较低、气化压力范围广;粉煤气化工艺的优势在于煤种适应范围广、有效气体成分和热值较高、操作和维护费用较低,特别是对于沿海项目,可利用海运优势,拓展煤炭资源,有利于控制原料成本。

某 IGCC 多联产项目进行了粉煤和水煤浆方案对比,摘录如表 6、表 7。

表 6 产品方案

名称	规格	产量
蒸汽		
超高压蒸汽	12.5 MPa, 540℃	230 t/h
高压蒸汽	4.7 MPa, 430℃	350 t/h
次高压蒸汽	2.7 MPa, 310℃	160 t/h
中压蒸汽	1.2 MPa, 230℃	400 t/h
一氧化碳	2.4 MPa	15000 m ³ /h
氢气	2.4 MPa, 体积分数 ≥ 99.9%	7000 m ³ /h
氧气	6.0 MPa, 体积分数 ≥ 99.6%	9500 m ³ /h
氮气	6.0 MPa, O ₂ 体积分数 ≤ 10 × 10 ⁻⁶	14000 m ³ /h

表 7 粉煤和水煤浆气化方案对比

单元	粉煤方案	水煤浆方案
工艺装置		
煤气化	产有效气 32 万 m ³ /h; 3 台 2000 t/d 气化炉 (3 开热备), 单炉检修时可保证装置 85% 的负荷生产	产有效气 32.8 万 m ³ /h; 3 台 2500 t/d 气化炉 (2 开 1 备)
净化	设计处理有效气 32 万 m ³ /h	设计处理有效气 32.8 万 m ³ /h
空分	设置 2 系列, 单系列产氧 5.5 万 m ³ /h	设置 2 系列, 单系列产氧 7.0 万 m ³ /h
硫回收	设置 2 系列, 单系列 1.1 万 t/a	设置 2 系列, 单系列 1.25 万 t/a
热电中心		
燃气轮机	配置 E 级燃机, 额定发电量 126 MW; 设置 1 台	配置 E 级燃机, 额定发电量 126 MW; 设置 1 台
余热锅炉	与燃气配套	与燃气配套
燃气锅炉	2 台 410 t/h 高压锅炉	2 台 410 t/h 高压锅炉
蒸汽轮机	3 台 40 MW 抽背式汽轮发电机组	3 台 40 MW 抽背式汽轮发电机组
除氧系统	锅炉给水 1250 t/h	锅炉给水 1250 t/h
燃煤锅炉	3 台 440 t/h 高压锅炉	3 台 440 t/h 高压锅炉
脱盐车站	7 × 250 m ³ /h	7 × 250 m ³ /h
公辅设施		
煤储运	2 座 10 万 t 级圆形料场	2 座 10 万 t 级圆形料场
循环水站	31500 m ³ /h	49500 m ³ /h
其他	配套	配套
主要指标		
总投资/万元	454419	450167
建设投资/万元	428450	422750
净利润/(万元·a ⁻¹)	29680	16495
内部收益率(税后)/%	10.60	7.04
投资回收期(税后)/a	9.12	10.99

从上述比较可以看出,粉煤方案经济性较水煤浆优。另外,粉煤激冷气化对原料煤适应性强,对拓宽原料煤来源、控制原料煤采购价格更有利。

4 结语

经过计算和分析,气流床是最优选择,其中从经

济性上粉煤废锅流程最具优势,水煤浆激冷流程最差;从投资、运行稳定性、原料来源、项目风险等角度,粉煤激冷流程优势更为明显。

IGCC 多联产项目由多个单元相互集成为一个整体,系统依赖度高,对装置稳定性、可靠性要求高。

(下转第 205 页)

- NGL recovery process configuration (with a self-refrigeration system (open closed cycle)) with minimum energy requirement[J]. Chem Eng Process Intensif, 2010, 49: 376-388.
- [4] 李允, 诸林, 穆曙光, 等. 天然气地面工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [5] 丁丽萍, 郝平. 提高伴生气液烃收率的途径探讨[J]. 天然气化工: C1 化学与化工, 2007, 33(1): 47-48.
- [6] 徐志刚, 尚玉明, 杨晓辉, 等. 提高鄯善轻烃回收装置收率研究[J]. 天然气工业, 2001, 21(6): 83-85.
- [7] 黄思宇, 蒋洪, 巴玺立, 等. 英买天然气处理装置提高丙烷收率工艺改进研究[J]. 石油与天然气化工, 2005, 44(4): 1-7.
- [8] Jibril K L, Al-Humaizi A L, Idriss A A, et al. Simulation study determines optimum turboexpander process for NGL recovery[J]. Oil Gas J, 2006, 104: 58-62.
- [9] 付秀勇. 对轻烃回收装置直接换热工艺原理的认识与分析[J]. 石油与天然气化工, 2008, 37(1): 18-22.
- [10] 王治红, 吴明鸥, 李涛, 等. 提高天然气轻烃回收装置 C₃+ 收率方案比选—以中坝气田为例[J]. 天然气工业, 2016, 36(3): 77-86.
- [11] 尚玉明. 轻烃回收装置优化方案研究与应用[J]. 石油与天然气化工, 2006, 35(5): 347-349.
- [12] 王遇冬, 王璐. 我国天然气凝液回收工艺的近况与探讨[J]. 石油与天然气化工, 2005, 34(1): 11-13.
- [13] 华贲, 熊永强, 李亚军, 等. 液化天然气轻烃分离流程模拟与优化[J]. 天然气工业, 2006, 26(5): 127-129.
- [14] 徐强. 从天然气中回收液烃的工艺流程设计体会[J]. 天然气工业, 1990, 10(3): 56-59.
- [15] 周学深, 孟凡彬. 轻烃回收装置中 DHX 工艺的应用[J]. 石油规划设计, 2002, 13(6): 62-65.
- [16] 全淑月. 春晓气田陆上终端天然气轻烃回收工艺介绍[J]. 天然气技术, 2007, (1): 75-80. ■

(上接第 200 页)

激冷煤气化技术工艺成熟、运行业绩多、环保效果好, 可有效保障装置运行的稳定性, 是对 IGCC 多联产项目适用性较优的煤气化技术。

参考文献

- [1] 郑建涛, 徐越, 任永强. 国内外 IGCC 技术现状和发展动向[J]. 石油化工建设, 2010, (6): 20-21.
- [2] Frey H C, Zhu Y. Improve system integration for integrated gasification combined cycle (IGCC) systems[J]. Environmental Science & Technology, 2006, 40(5): 1693-1699.
- [3] Robin E S, Chen C, Xiao A. Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage[J]. Energy Policy, 2007, 35(9): 4444-4454.
- [4] Zhang L, Furinsky E. Comparison of shell, texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulation[J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46(11/12): 1767-1779.
- [5] 焦树建. 整体煤气化燃气-蒸汽联合循环(IGCC)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [6] 段立强, 林汝谋, 金红光, 等. 整体煤气化联合循环(IGCC)技术进展[J]. 燃气轮机技术, 2000, 13(1): 9-17.
- [7] 林汝谋, 金红光, 邓世敏, 等. 整体煤气化联合循环技术研究方向与进展[J]. 燃气轮机技术, 2002, 15(2): 15-22.
- [8] 聂向锋. IGCC 多联产技术发展现状及应用前景分析[J]. 石油化工建设, 2012, (2): 43-46.
- [9] 焦树建. IGCC 技术发展的回顾与展望[J]. 电力建设, 2009, 30(1): 1-7.
- [10] 宿建峰, 李和平, 负小银, 等. IGCC 的特点与 CO₂ 捕捉技术[J]. 华电技术, 2009, 31(1): 62-63.
- [11] 朱勤, 张红良, 孙宏. 国内首套 IGCC 汽电联产装置[J]. 石油化工建设, 2010, (1): 10-14. ■

索尔维 KetaSpire® PEEK 在新冠疫苗生产中发挥关键作用

索尔维的医用 KetaSpire® PEEK (聚醚醚酮) 树脂被 Malema Sensors® 选中用于生产 SumoFlo® 一次性科里奥利流量计, 该流量计在新冠疫苗的生产中发挥了至关重要的作用。

Malema 评估了多款有竞争力的 PEEK 产品, 最终选择了索尔维的高性能树脂, 因为它们具有卓越的物理特性, 例如极高的杨氏模量——这有助于确保传感器的测量精度和塑料在持续振动环境下的完整度。索尔维 KetaSpire® 树脂产品符合美国药典第 6 类标准, 可承受伽马射线灭菌, 并且浸出物和溶出物含量极低, 有助于实现高洁净度。

“从不锈钢生物工艺基础设施向一次性组件的转变, 说明高性能热塑性塑料在医疗保健行业的重要性与日俱

增。”索尔维特种聚合物事业部医疗保健全球市场经理 Anna Maria Bertasa 表示, “索尔维 KetaSpire® PEEK 产品满足 Malema 科里奥利流量计的严苛要求, 帮助该公司在市场竞争中成功脱颖而出, 并为疫苗快速量产等行业活动提供了支持。”

Malema Sensors® 为其注塑生产商和挤出生产商提供 KetaSpire® PEEK 树脂, 并明确要求使用该树脂生产 SumoFlo® 科里奥利流量计的液体流道组件。该流量计是第一款也是唯一一款面向生命科学行业的 PEEK 一次性流量计, 同时也是迄今为止测量精度和重复精度最高的一次性流量计, 显著提升了切向流过滤、深层过滤和色谱分析等关键生物制药工艺。

(王璐嘉)