

# 煤制天然气煤气化技术的研究现状及分析

蔡东方,王黎,徐静,王梓召

(西安交通大学 能源与动力工程学院 陕西 西安 710049)

**摘要:** 为有效选取适合煤制天然气项目的煤气化技术,对国内已工业化生产的 Lurgi, BGL, U-Gas, GSP, Texaco 5 种气化技术进行了对比分析。分别从有效气含量及组成、下游产品需要、下游变换工段需要、环保、投资等因素分析, BGL 碎煤熔渣气化技术具有明显优势,是一种较为理想的技术,为煤制天然气气化技术的选择提供参考。

**关键词:** 煤制天然气; 煤气化技术; 对比分析; 选择

中图分类号: TQ54

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2011)05-0044-04

中国天然气消费量近年来呈快速增长态势, 2010 年国内天然气的消耗量达到 1100 亿  $m^3$ , 天然气消费缺口为 300 亿  $m^3$ 。天然气消费结构也在不断优化, 城市燃气和发电用气明显增加, 工业燃料和化工原料用气逐步减少。预计中国 2015 年、2020 年对天然气的需求分别达到 1700 亿  $m^3$  和 2000 亿  $m^3$ , 天然气缺口分别为 650 亿  $m^3$  和 1000 亿  $m^3$ <sup>[1-2]</sup>。

中国进口天然气的途径为: 一是从俄罗斯和中亚国家通过长输管道进口; 二是在东南沿海等地进口的液化天然气, 但这仍无法缓解这种供求矛盾。这就要求必须多渠道、多方式扩大资源供给, 因此, 发展煤制合成天然气( Substitute Natural Gas, SNG) 非常必要。

煤制天然气就是煤经过气化生产合成气, 再经过净化处理, 最后甲烷化合成发热量大于 33.49 MJ/ $m^3$  的合成天然气。煤制天然气技术成熟、可靠; 煤耗低, 能源转化率高。另外天然气产品可以依赖国内完善的天然气管网系统进行运输、分配、销售, 使天然气产品具有很大的市场空间。可以充分利用国内的低热值褐煤或者地处偏远、运输成本高的煤炭资源, 就地建设煤制天然气项目。因此煤制天然气不仅能解决国内天然气资源供应的紧张局面, 同时也是一种高效清洁利用煤炭资源的途径。

煤气化工艺是发展煤制天然气项目的关键技

术, 正确选择煤气化技术, 对于煤制天然气项目的健康发展具有重要的现实意义。

## 1 煤制天然气工艺简介

煤制天然气工艺流程如图 1 所示。

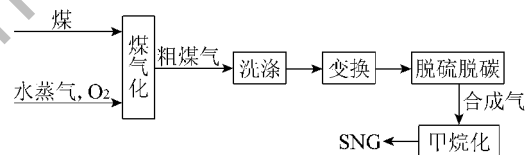


图 1 煤制天然气工艺流程

煤制 SNG 技术是利用褐煤等劣质煤炭, 通过煤气化、一氧化碳变换、酸性气体脱除、高温甲烷化工艺生产代用天然气。主要流程为: 煤经气化炉气化后, 生成粗合成气, 其主要组成为  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  油和高级烃。粗合成气经急冷和洗涤送变换单元, 经过部分变换和工艺废热回收, 进酸性气体脱除单元脱除  $H_2S$ ,  $CO_2$  及其它杂质, 最后送甲烷化单元进行甲烷化反应, 得到合格的天然气产品<sup>[3]</sup>。

## 2 气化技术

煤气化技术种类繁多, 这里仅介绍在国内已工业化、技术成熟的 5 种典型煤气化技术。

### 2.1 Lurgi 碎煤加压气化技术

Lurgi 碎煤加压气化技术产生于 20 世纪 30 年

代,由联邦德国鲁奇公司开发<sup>[4]</sup>,属第一代煤气化工艺,技术成熟可靠。Lurgi 加压煤气化是一个自热式、逆流移动床生产工艺,采用氧气-水蒸气为氧化剂。块煤通过顶部的闸斗仓进入煤锁中,然后煤进入加压气化炉,依次经历干燥、干馏、气化、燃烧、灰渣排出等物理化学过程之后,生产的灰渣经过炉篦子的刮刀排向灰锁。气化剂通过喷嘴进入气化炉底,经炉篦分布均匀后与煤逆流接触和反应。生成的粗煤气从气化炉上部煤裙外围环形空间出来,进入洗涤冷却器<sup>[5]</sup>。Lurgi 碎煤加压气化炉如图 2(a)所示。

## 2.2 BGL 碎煤熔渣气化技术

BGL 碎煤熔渣气化技术产生于 20 世纪 70 年代末,由英国煤气公司(British Gas Corporation)与德国鲁奇(Lurgi)公司合作,在原鲁奇固定床加压气化炉 2 型、3 型和 4 型炉技术基础上进行开发的液态排渣固定床加压气化技术<sup>[6]</sup>。BGL 碎煤熔渣气化炉炉体结构比传统的固态排渣固定床加压气化炉简单,煤锁和炉体的上部结构和固态排渣的鲁奇炉大致相同,不同的是用渣池代替了炉篦<sup>[7]</sup>。煤通过顶部的闸斗仓进入加压气化炉,当煤逆着向上的气流在气化炉中由上向下移动时,依次经历干燥、干馏、气化、燃烧过程。在气化炉的下部设有喷嘴,喷嘴将气化剂喷入燃料层底部,形成一个处于扰动状态的燃烧空间,并生成一个高温区,高温可以使灰熔化,并提供热量以支持气化反应。生成的粗煤气从气化炉上部煤裙外围环形空间出来,进入洗涤冷却器。液态灰渣先排到炉底收集池里,然后再自动排入水冷装置形成熔渣状固体,最后排出<sup>[8]</sup>。BGL 碎煤熔渣气化炉如图 2(b)所示。

## 2.3 U-Gas 气化技术

U-Gas 流化床气化工工艺产生于 1974 年,由美国燃气工艺研究所(GII)自主研发,属于单段循环流化床粉煤气化工艺<sup>[9]</sup>。气化炉内借助吹入的  $O_2$ 、蒸汽、 $CO_2$  等气化剂,使粉煤固体在床层中沸腾流化。在高温条件下,气化剂与粉煤充分混合接触,发生煤的热解和氧化还原反应,最终达到煤的气化。煤灰在气化炉内中心高温区黏聚形成灰球,借助煤和灰的密度差,使灰球与煤粉分离并从炉底排出。同时,随粗煤气带出的煤粉尘,经旋风除尘分离器分离后再返回气化炉内与新加入的煤粉一起进行气化反应,从而提高煤的利用率和碳转化率<sup>[10]</sup>。U-Gas 气化炉如图 2(c)所示。

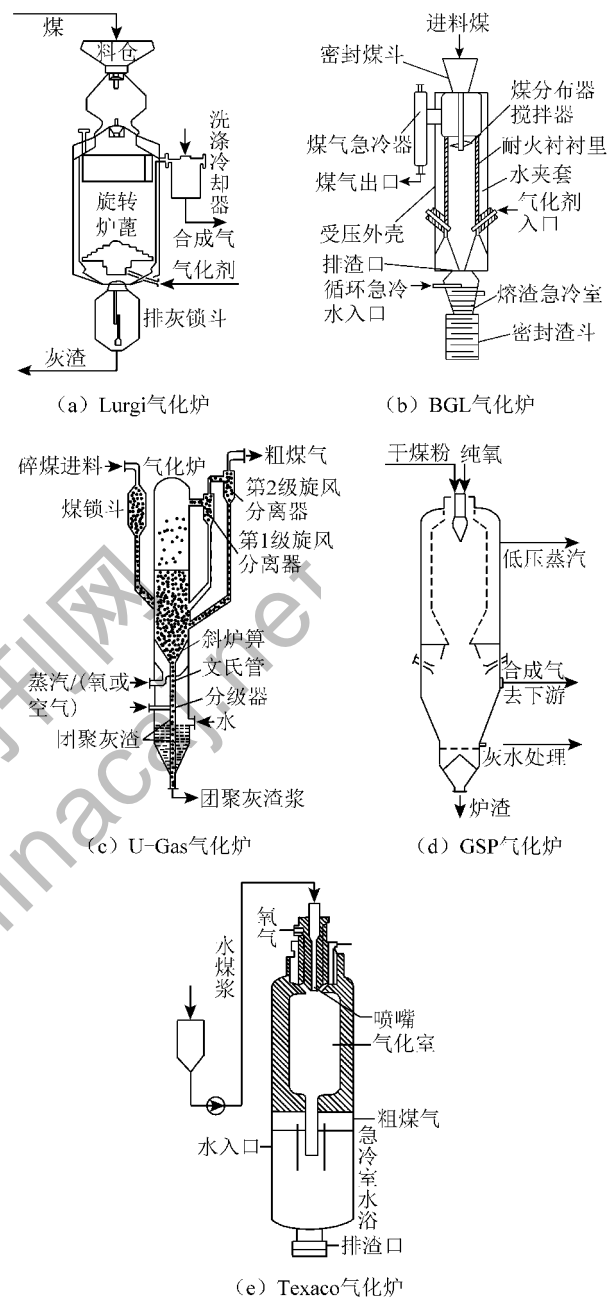


图 2 5 种气化炉结构

## 2.4 GSP 干煤粉气化技术

GSP 干煤粉气化技术始于 20 世纪 70 年代,由前民主德国的德意志燃料研究所开发<sup>[11]</sup>。该技术中,煤炭原料被碾磨成煤颗粒,经过干燥,通过浓相气流输入系统送至烧嘴。气化原料与气化剂经烧嘴同时喷入气化炉内的反应室,并快速发生气化反应,产生热粗煤气。高温气体与液体渣一起离开气化室向下流动直接进入激冷室,被喷射的高压激冷水冷却,液态渣在激冷室底部水浴中成为颗粒状,定期从排渣锁斗中排出。从激冷室出来的达到饱

和的粗合成气经两级文氏管洗涤,达到要求后送入下一工段<sup>[12]</sup>。GSP 干燥粉气化炉如图 2(d) 所示。

### 2.5 Texaco 水煤浆加压气化技术

20 世纪 50 年代,美国德士古公司成功开发了 Texaco 水煤浆加压气化技术<sup>[13-15]</sup>。该技术中,将原料煤、水及添加剂等送入磨机磨成水煤浆,由高压煤泵送入气化炉喷嘴,与来自空气的 O<sub>2</sub> 经烧嘴一并送入炉中,在高温高压条件下发生部分氧化反应。离开

气化炉的粗合成气和熔渣进入激冷室,粗合成气经第一次洗涤并被水淬冷后,温度降低被水蒸汽饱和后出气化炉;煤灰在炉内高温熔融成液体,经下降管进入激冷室,被水激冷成粒状玻璃体,然后排出<sup>[15]</sup>。Texaco 水煤浆气化炉如图 2(e) 所示。

## 3 不同气化工艺的比较及分析

5 种气化技术的对比见表 1。

表 1 5 种气化技术对比

气化技术	Lurgi	BGL	U-Gas	GSP	Texaco	
反应床	固定床	固定床	流化床	气流床	气流床	
气化温度/℃	700~1100	1400~1600	1100~1150	1350~1750	1360~1450	
气化压力/MPa	2~4	2~4	1~2	2.5~4.0	2.6~8.5	
合成气出口温度/℃	约 40	约 220	约 200	约 220	约 210	
原料煤粒度/mm	5~50	5~50	<6	干燥粉<0.2	水煤浆	
气化剂	纯氧+水蒸气	纯氧+水蒸气	O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +水蒸气	纯氧+水蒸气	O <sub>2</sub>	
碳转化率/%	90	≥99	>92	≥98	≥96	
有效气体积分数/%	65.3	90.7	79	88.8	77.45	
粗煤	CO	14.5	55.5	39	56.2	40.2
	H <sub>2</sub>	38.3	28.9	38	32.5	37.2
气组	CH <sub>4</sub>	12.5	6.3	2	0.1	0.05
成/%	CO <sub>2</sub>	32	7.8	19	6.7	21.8
	其他	2.7	1.5	2	4.5	0.8
排渣	干粉,灰渣含碳量约 5%	液态,渣中几乎不含碳	灰渣,渣中几乎不含碳	液态,渣中几乎不含碳	熔渣,渣中几乎不含碳	
废水	多,难处理	少,较难处理	少,易处理	少,易处理	少,易处理	
国产化水平	全部国产化	国产化率>95%	全部引进	关键技术设备引进	关键技术设备引进	
相对投资比较	低	最低	较高	最高	高	

注:①天然气主要成分为 CH<sub>4</sub>,故合成气中含有的 CH<sub>4</sub> 可视为有效气;②表中数据均为以褐煤为原料煤,国内煤化工企业气化数据;③因煤质的差别及数据出处不同,表中数据存在一定的偏差,仅供参考。

从表 1 可以看出,5 种气化技术中,Lurgi 气化技术生成的粗煤气中 CH<sub>4</sub> 含量最高,BGL 气化技术次之。天然气是目标产品,因此粗合成气中 CH<sub>4</sub> 含量高能够有效地控制后续装置的规模及相关工艺过程的消耗,有利于降低煤制天然气项目工程造价及运行成本<sup>[4,16]</sup>。所以,相比于流化床和气流床技术而言,煤制天然气项目中采用固定床气化技术更具有优势。而 Lurgi 与 BGL 气化技术相比,BGL 气化技术生成的粗煤气含有的有效气体积分数远远大于 Lurgi 气化技术,因此 5 种气化技术中,BGL 气化技术更具优势。

从与变换工段温差大小来分析,Lurgi 气化炉气化温度为 700~1100℃,故 Lurgi 炉内存在干馏区。干馏部分产生的焦油和轻油会随粗合成气排出,需要洗涤装置进行分离。降低粗合成气的温度可以达到更好的分离效果。经过分离洗涤工艺后,符合要求的合成气温度约为 40℃。相比较而言,其他 4 种气化技术生成的合成气出口温度都高于 200℃。

煤制天然气下游变换温度约为 260℃<sup>[17]</sup>,Lurgi 气化技术合成气的出口温度与下游变换温度相差最大,温差大,损失的焓多。因此,Lurgi 气化技术需要补充更多的能量来满足变换的要求。

从环保方面分析,固定床、流化床、气流床气化工艺废渣的排放量、废水的排放量及处理难易情况有很大差别,需进行对比分析。

流化床、气流床气化工工艺产生的废渣无污染、含碳量低、处理工艺成熟。而 Lurgi 气化技术由于碳转化率低,干粉废渣中含碳高达 5% 以上,仍需后续处理。BGL 气化技术是熔融排渣,碳转化率大于 99%,排出的渣呈玻璃球状,无污染。

由于 Lurgi 气化炉内存在干馏区,干馏部分生成焦油、轻油等成分。因此洗涤粗煤气会产生较多废水,而且废水中又含有高浓度的挥发性酚、多元酚、氨氮等组分。需经过酚、氨回收处理后,才能进污水处理装置,同时,处理污水还存在难度大,投资大,工艺流程长等缺点<sup>[18]</sup>。而 BGL,U-Gas,GSP,

Texaco 气化技术在生产过程中产生的废水量少且易处理。因此,从环保因素分析,Lurgi 气化技术存在一定的劣势。

从投资的角度分析,在煤气化制合成气工段中,GSP 气化技术装置投资最高,约是 Texaco 气化技术的 1.5 倍<sup>[19]</sup>。流化床、气流床气化技术的投资明显大于固定床气化技术,尤其是气流床气化技术,其投资至少是固定床的 2 倍以上,因此固定床气化技术在投资方面具有明显的优势,其中又以 BGL 气化技术的投资最低。同时 BGL 气化技术具有工程经验,国内技术支撑程度高。

#### 4 结 语

在中国天然气资源供需矛盾日益严重的情况下,选择以褐煤为原料,采用 BGL 碎煤熔渣气化技术制取天然气的原料气,从有效气含量及组成、下游产品需要、下游变换工段需要、环保、投资等因素分析,BGL 碎煤熔渣气化技术具有明显优势,是较为理想的技术。

#### 参考文献:

- [1] 车长波,杨虎林,李玉喜,等.中国天然气勘探开发前景[J].天然气工业,2008,28(4):35-46.
- [2] 王旭,李现勇.煤制合成天然气发电系统技术和前景分析[J].洁净煤技术,2010,16(4):19-22.
- [3] 钱卫,黄于益,张庆伟,等.煤制天然气(SNG)技术现状[J].洁净煤技术,2011,17(1):27-32.
- [4] Wuriel T. Lurgi Mega Methanol Technology [J]. Oil Gas European Magazine, 2007, 33(2):92-96.
- [5] 王鹏,戢绪国.鲁奇煤气化技术的发展及应用[J].洁净煤技术,2009,15(5):48-51.
- [6] Thompson B H, Vierrath H E, Schroepel J. 英国液态排渣鲁奇炉(BGL)在联合循环发电系统中的应用[J].国外煤气,1989(1):27-33.
- [7] 罗承先,周韦慧.煤的气化技术及其应用[J].中外能源,2009(1):28-35.
- [8] 傅斌. BGL 碎煤熔渣气化技术及工业化应用[C].中国煤炭加工与综合利用技术、市场、产业化信息交流会暨煤化工产业发展研讨会.昆明:中国科学技术期刊编辑学会青年工作委员会,2007.
- [9] 徐京磐,鲍礼堂.流化床和气流床气化技术综述(上)[J].小氮肥技术设计,2002,23(1):11-22.
- [10] 汪家铭. SES 煤气化技术及其在国内的应用[J].化肥设计,2010,48(5):14-17.
- [11] 徐振刚,宫月华,蒋晓林. GSP 加压气流床气化技术及其在中国的应用前景[J].洁净煤技术,1998,4(3):9-11.
- [12] 章荣林.对 GSP 干法粉煤加压气化工艺的评述[J].氮肥与甲醇,2006,1(3):9-12.
- [13] 章荣林.对水煤浆加压气化工艺的评述[J].氮肥与甲醇,2006,1(6):1-3.
- [14] Comils B, Hibbel J, Ruprecht P, et al. Gasification of hydrogenation residues using the Texaco coal gasification process [J]. Fuel Proc. Tech., 1984, 9(3):251-264.
- [15] 王永康,李正平,任文平,等. Texaco 煤气化工艺的影响因素[J].洁净煤技术,2010,16(1):47-51.
- [16] 晏双华,双建永,胡四斌.煤制合成天然气工艺中甲烷化合成技术[J].化肥设计,2010,48(2):19-21.
- [17] 于光元.煤气化过程中 CO 变换工艺探讨[J].化学工程师,2010(9):45-47.
- [18] 陈赞,余振江,盖恒军,等.煤气化污水化工处理新流程[J].化工进展,2009,28(12):2253-2256.
- [19] 章荣林.基于煤气化工艺技术的选择与评述[J].化肥设计,2008,46(2):3-8.

## Present status and analysis on coal gasification technology for SNG

CAI Dong-fang, WANG Li, XU Jing, WANG Zi-zhao

(School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** In order to choose applicable coal gasification for SNG, compare and analyze five industrialization coal gasification technologies in China, which are Lurgi, BGL, U-Gas, GSP and Texaco. Based on the comparison of content and component of effective gas, the requirement for down-dream products and conversion section, as well as the environmental protection and economic benefits, find that BGL technology has a big advantage over others. The results can be taken as a reference for the selection of gasification technology for coal based SNG.

**Key words:** coal based SNG; coal gasification technology; compare and analyze; selection