

煤制合成天然气工艺技术经济分析

张晓伟（河北峰煤焦化有限公司，河北 邯郸 056202）

摘要：煤制合成天然气的工艺路线主要利用了制备 CH_4 的原理，以原煤为材料制备得到含有 CH_4 的合成气，再将合成气进行压缩、干燥处理后获得合成天然气。煤制合成天然气的最佳原料为褐煤，产能可达到 $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。传输集成式气化、碎煤熔渣气化、干燥粉气化作为煤制合成天然气的主要技术类型具有不同的特点，应结合实际情况对投资进行量化评估，在此基础上选择合适的工艺技术，以此获得最大的经济效益。

关键词：合成天然气；甲烷；气化技术

0 引言

鉴于我国能源资源“富煤、贫油、少气”的特点，近年来，煤制合成天然气作为国家能源保障和技术示范得到了极大重视。合成天然气以煤炭作为主要原料，配合相应的工艺技术将煤炭转化为 CH_4 ，同时含有少量的 H_2 、 CO_2 。煤制合成天然气包括备料、煤气化、粗煤气转换、去除 CO_2 、合成 CH_4 、回收硫等环节，不同的环节需要使用对应的设备。通过对煤制合成天然气各环节内容进行细致分析，在此基础上确定相应的设备投资，以此最大限度上降低投资消耗，为提升经济效益提供支持。

1 煤制合成天然气的工艺路线与项目特点

1.1 工艺路线

以煤为原料制备粗煤气，粗煤气予以变换、净化，将此过程中产生的 H_2 、 CO_2 、 CO 作为制备甲烷的原料，并获得富含甲烷合成气。通过天然气压缩、干燥处理，将甲烷合成气转换为合成天然气。煤气化技术、甲烷化技术是现阶段煤制合成天然气工艺技术的重要内容。煤气化技术是最终形成合成天然气的重要环节，鉴于煤气化技术的类型不同，相应的工艺配置、工程消耗、经济成本存在一定差异^[1]。

1.2 项目特点

①煤质：煤制合成天然气通常使用褐煤作为原料，每 36 m^3 的褐煤当中含有的水占比为 39.75%、灰分占比为 9.14%、软化温度 1204°C 、流动温度 1263°C ；②规模。煤制合成天然气项目规模天然气产能 $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

2 煤制合成天然气的工艺技术类型

2.1 传输集成式气化技术

以流化床气化为技术、褐煤为原料，以传输集成式气化装置为反应器，可制备获得合成天然气。传输集成式气化装置是一种新型的循环流化床，相比常规的循环流化床具有更高的固体循环速率、更高的碳转

化率、更快的气体速度，管密度提升幅度更大，在保障高效生产的同时，还实现合成气的均匀混合。传输集成式气化装置可任选在空气、氧气的条件下工作，其中传输集成式气化装置在空气下运行更适用于整体煤气化联合循环发电（IGCC），而制备煤制合成天然气时更倾向于在氧气条件下运行。

2.2 碎煤熔渣气化技术

碎煤熔渣气化技术以传统固定床气化技术为基础，在煤制合成天然气中展现出一系列优势：①产生 $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ 的效率 $> 78\%$ ，石油焦气化产期效率 $> 90\%$ 、 CH_4 产气率 $> 90\%$ ；②碎煤熔渣气化区平均温度 1450°C ，蒸汽消耗量相比传统固定床气化技术下降 12.5%、蒸汽分解率 $> 90\%$ ^[2]；③冷煤气效率 $> 89\%$ 、碳转化率 $> 99\%$ ；④适用于气化石油焦、无烟煤、烟煤、次烟煤、褐煤等多种类型煤作为合成天然气的制备原料；⑤鉴于碎煤熔渣气化技术的蒸汽分解率 $> 90\%$ ，相应的污水处理负荷有所下降。

虽然使用碎煤熔渣气化技术制备合成天然气中展现出一系列优势，但是仍存在一些不足：①对原煤热强度具有高要求，提升原煤热强度需要开展型煤处理，在型煤处理的过程中会增加成本；②尽管碎煤熔渣气化技术极高的蒸汽分解率可以控制污水处理负荷，但是在气化、后续处理单元中产生的废水量仍然较大，不仅增加了处理难度，还提升了作业成本。

2.3 干燥粉气化技术

干燥粉气化工艺制作合成天然气时，使用干燥粉作为气化原料，鉴于干燥粉输送介质为惰性气体，因此干燥粉输送过程展现出较高的安全性。可使用灰分高、水分高、硫含量高的褐煤、次烟煤、烟煤、石油焦作为合成天然气制作原料。干燥粉气化技术要求的平均气化温度为 1500°C ，相应的碳转化率 $> 99\%$ ，可制备获得高质量的合成天然气。干燥粉气化技术合成

天然气蒸发水分环节无需在炉内进行,因此在合成天然气耗氧量下降约 20%,有助于控制氧气供应成本。干燥粉气化炉使用水冷壁结构制作而成,且无耐火砖衬里,无需频繁维护保养,不仅控制了维护保养成本,还延长了气化炉运行周期。每 1 台干燥粉气化炉配有 5 个烧嘴,调节灵活度、范围宽度显著提升。干燥粉气化炉平均冷煤气效率为 80.5%,热效率高达 98%。干燥粉气化合成天然气时并无废气排出,产生的气化污水当中未检测到焦油、酚等物质,展现出高度的环保价值。

2.4 多喷嘴对置式气化技术

多喷嘴对置式气化技术属于我国自主研发的煤制气技术。对气化用煤没有特殊要求,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。只要煤的灰含量、灰熔点、可磨性和成浆性等方面满足要求即可,这项技术能满足未来大型煤化工装置和其他装置制备合成气和燃料气的需要。

3 煤制合成天然气的工艺技术方案分析

3.1 技术方案

褐煤含有大量的水分,使用褐煤作为原材料,在传输集成式气化技术、碎煤熔渣气化技术、干燥粉气化技术合成天然气,需要使用原煤预处理装置降低褐煤中水分含量,同时还需要配合煤气化装置、空分装置、净化装置、甲烷化装置、硫回收装置完成煤制合成天然气。

3.2 配置原则

煤制合成天然气项目体系较大,在超限设备运输、制造能力等因素的影响下,为进一步提升煤制合成天然气综合效率,应当对系统进行科学的配置,在此期间应当遵循以下原则:①适配性原则具体表现为系统设备尺寸、工艺管道等应当与工艺技术相匹配。参照传统的煤制合成天然气技术方案,当管道公称直径(DN)≥1000mm,此时应使用焊接钢管作为管道,而制作焊接钢管需要消耗较多的时间,且伴有一定的制造难度。现阶段我国可自主生产 DN=800mm 的管道,相应的 DN=800mm 的管道使用成本降低,但是 DN≥800mm 的管道具有更大的管壁厚度与刚度,导致管口荷载会相应增加,因此热应力管道以 DN<800mm 为宜。为兼顾工艺的经济性与有效性,建议选择 DN<800mm 的管道,当合成天然气流量较大的情况下,可结合实际情况适当降低管道尺寸。控制合成天然气流速≤15m/s,当管道尺寸降低时,可将合成

天然气流速提升至 25m/s。流速 25m/s 的合成天然气在一定程度上会冲刷、腐蚀管道弯头,为降低管道弯头的损坏程度,可使用高性能材料制作管道弯头;②协调性原则具体表现为合成天然气的上游、下游装置之间应当实现密切配合,以此支持设备、管道的配套衔接。上游、下游的变换装置、净化装置和甲烷化装置为一对一的关系,煤制合成天然气工艺中,上游的低温甲醇洗装置与下游的甲烷化装置相对应,不仅能够提升天然气合成效率,还可对合成气流程、装置进行有效的管理、维护;③经济性与可靠性原则:煤制合成天然气过程中使用的装置数量越少、规模越小,相应的成本需求越低。因此煤制合成天然气应当结合实际情况,最大限度上减少装置使用量,在此基础上兼顾合成气制造的可靠性,以此减少使用成本。

3.3 配置方案

结合煤制合成天然气的适配性原则、协调性原则、经济性与可靠性原则,对传输集成式气化技术、碎煤熔渣气化技术、干燥粉气化技术的配置情况进行综合对比,对煤制合成天然气选择工艺配置方案进行量化分析。表 1 所示为煤制合成天然气工艺配置方案。

4 煤制合成天然气工艺投资预估与经济分析

4.1 不同工艺原料消耗分析

以 $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 的合成天然气产量为基准,对不同工艺技术原料消耗量进行分析。①传输集成式气化技术。原料煤消耗量 637.5t/h、燃料煤消耗量 175.4t/h、水消耗量 1674t/h、用电 $5.69 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$;②碎煤熔渣气化技术。原料煤消耗量 659.3t/h、燃料煤消耗量 271.5t/h、水消耗量 1722t/h、用电 $7.34 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$;③干燥粉气化技术。原料煤消耗量 674t/h、燃料煤消耗量 152.7t/h、水消耗量 1010t/h、用电 $5.41 \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

以 1 km^3 的合成天然气产量为基准,对不同工艺技术原料消耗量进行分析。①传输集成式气化技术。原料煤消耗量 3.82t/h、燃料煤消耗量 1.05t/h、水消耗量 10.04t/h、用电 $4.8 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 、总煤耗 4.87t;②碎煤熔渣气化技术。原料煤消耗量 3.97t/h、燃料煤消耗量 1.63t/h、水消耗量 10.33t/h、用电 $5 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 、总煤耗 5.60t;③干燥粉气化技术。原料煤消耗量 4.05t/h、燃料煤消耗量 0.92t/h、水消耗量 6.06t/h、用电 $6.5 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 、总煤耗 4.97t。

4.2 投资预估

结合煤制合成天然气工艺配置方案与不同工艺原料消耗分析情况,对煤制合成天然气的投资进行估算,估算项目包括预干燥装置、煤气化装置、空分装置、

净化装置、甲烷化装置等,同时对不同工艺的主要经济指标进行分析。表2所示为不同煤制合成天然气工艺投资预估与经济测算。

4.3 经济测算

以市场煤炭、天然气价格为基准,确定原煤价格120元/t、天然气售价2.0元/m³,对不同煤制合成天然气的经济指标进行分析,分析内容包括总投资、建设投资、年均收入等。

4.3.1 传输集成式气化技术

①总投资728420万元;②建设投资673084万元;③年均销售收入269649万元;④年均总成本157412万元;⑤投资收益率17.32%;⑥包含副产品的天然气单位成本1.11元/m³;⑦不包含副产品的天然气单位成本1.18元/m³。

4.3.2 碎煤熔渣气化技术

①总投资821869万元;②建设投资764588万元;③年均销售收入304889万元;④年均总成本172446万元;⑤投资收益率16.09%;⑥包含副产品的天然气单位成本1.04元/m³;⑦不包含副产品的天然气单位成本1.39元/m³。

4.3.3 干燥粉气化技术

①总投资873890万元;②建设投资815258万元;③年均销售收入266903万元;④年均总成本196413万元;⑤投资收益率12.46%;⑥包含副产品的天然气单位成本1.43元/m³;⑦不包含副产品的天然气单位成本1.47元/m³。

5 结束语

煤制合成天然气的工艺技术选择,应当兼顾技术的可靠性、安全性、经济性、环保性。传输集成式气化、碎煤熔渣气化、干燥粉气化是现阶段煤制合成天然气的主流技术,不同的技术展现出不同的特点。不同的工艺技术经济分析结果显示,原料煤、装置投资在项目总成本中占比>90%,对最终的经济收益产生直接影响,因此选择煤制合成天然气工艺技术时,应当从综合角度出发进行分析,最大限度上降低成本消耗。

参考文献:

- [1] 王亚龙.煤制天然气甲烷合成催化剂防积炭工艺的优化分析与探讨[J].煤化工,2023,51(06):1-4+16.
- [2] 侯鹏飞,黄明.低阶煤分质利用多联产项目可行性技术经济分析探讨[J].煤化工,2023,51(06):5-8+24.

表1 煤制合成天然气工艺配置方案

序号	装置	传输集成式气化技术	碎煤熔渣气化技术	干燥粉气化技术
1	预干燥装置	—	—	—
	处理原煤(t/d)	15300	15823	16176
	水分控制(%)	≤18	≤10	≤8
2	煤气化装置	—	—	—
	气化炉数量(台)	4	7+2	4
	气化压力(MPa)	4.0	4.0	4.0
	单台气化炉投煤量(t/d)	2710	1492	2621
	单台炉产有效气量	2710	1492	2621
	(CO+H ₂ +CH ₄)/m ³ ·h ⁻¹	143526	76089	159810
	甲烷化装置	—	—	—
	总处理净化气量(m ³ /h)	571644	537168	645715
	系列数	2	2	2
	硫回收装置	—	—	—
	总处理酸气量(m ³ /h)	12894	23538	13780
	系列数	2	2	2
	硫磺产能(t/h)	7.84	7.79	8.18

表2 不同煤制合成天然气工艺投资预估与(万元)

序号	项目及费用名称	传输集成式气化技术	碎煤熔渣气化技术	干燥粉气化技术
1	固定资产费用			
2	工程费用	626978	713814	762863
3	预干燥装置	28460	93600	36120
4	空分装置	74160	65070	119470
5	煤气化装置	148560	163800	216000
6	净化装置	65770	62115	79830
7	甲烷化装置	51590	50704	60690
8	硫回收装置	6687	13127	7150
9	供排水	34930	47930	26890
10	工艺外管	10765	10765	10765