

焦炉煤气制 LNG 技术和经济性分析

黄茂邦 (贵州盘江电投天能焦化有限公司, 贵州 盘州 553531)

摘要: 焦炉煤气制 LNG 技术是焦化企业平衡收益的关键, 因 LNG 市场容量大, 符合国家减排和环保要求。因而该技术的施用, 具有选择路径和产品定位的问题, 产品定位适当投资费用相对少。应用焦炉气液化二氧化碳 (脱碳)、液化甲烷技术上, 省去转化过程, 先生产甲醇, 脱去 CO。再经过甲烷化脱去 CO 合成氨。本文概述了焦炉煤气生产 LNG 技术, 概述了焦炉煤气生产 LNG 联产氢气工艺路线, 并就其经济性进行分析, 以为该技术的应用和推广提供可行性借鉴。

关键词: 焦炉; 煤气制; LNG 技术; 经济性

随着时代的发展, 我国的焦化行业也随之得到了迅捷发展。综合利用焦炉煤气技术, 以保障炼焦企业的生存与发展。焦炉煤气制 LNG 技术是一种清洁、高效的能源, 以 -162°C 的冷却天然气为主。炼焦生产过程中, 焦炉煤气为其主要副产品, 每吨干煤大约会产生约 400m^3 的焦炉煤气, 而在科学技术的发展中, 焦炉煤气可用于制造 LNG, 提高其利用价值, 提升焦化企业的综合收益, 达到环保要求。通过对该技术的生产和制备工艺进行探究, 以在多元化的能源结构改革中, 提升经济和社会效益提供有效借鉴。从当下的工艺步骤出发, 以提升焦炉煤气制 LNG 经济性。现就焦炉煤气制 LNG 技术和经济性阐述如下:

1 焦炉煤气生产 LNG 技术概述

在 LNG (LNG) 产业发展进入战略机遇的发展期, 一批 LNG 接收站、管网和储气调峰项目加快推进, 为天然气行业企业的发展奠定了坚实的基础。而在新的市场机遇, 为 LNG 技术装备产业带来了全新的发展空间。该技术的应用, 以其甲烷转化省略方法, 来达到有效缩减成本的相关。而为进一步提高操作性格, 以在技术层面提高其操作性、也让其安全性更高, 并让其运行的稳定性更高。而从生物利用度来讲, 氢气焦炉能在热力和动力支持上, 实现生产装置的配套使用, 且在成本支出中, 还以其 $1 \times 10^6\text{m}^3/\text{d}$ 的预处理量效果, 并可明显降低人工成本。

2 焦炉煤气生产 LNG 工艺细则

焦化 LNG 工程选用世界先进工艺, 具有成熟、稳定、可靠性强的特点。压缩煤气净化环节, 以煤气为主原料, 并在催化反应中, 有效降低甲烷液化并实现有效分离, 生产出液化天然气。工程整套工艺, 具有施工标准高, 管道材质多变, 施工细节多等难点。在建设过程中, 焦化部和 E+PCM 管理方中国天辰工程

有限公司针对施工难点, 开展专题讨论, 重点梳理施工过程难点, 灵活应对, 编写 LNG 试车计划, 并定期组织参建各方召开“热试投产动态推进会”, 各项问题逐项落实到位。在热试过程中, 操作人员熟记工艺参数, 冷静处理现场问题, 严格落实工作票、特殊作业票等安全制度, 保障施工进度。重点关注气密性实验、自动阀门执行状况、煤气升温速度等关键因素。严抓安全管理, 理顺生产程序, 积极进行外部协调, 对煤气用量, 气体去向进行对接沟通。

2.1 工艺流程

该技术的应用, 能以液化天然气预处理的方式, 以在焦化企业的生产中, 对其在天然气和工业技术上的施用效果。它常以液态形式存在, 体积仅为气态的 $1/625$ 。从 LNG 的原料供应来看, 主要以煤层气 (矿井瓦斯)、合成氨放散气、焦炉煤气等为焦炉煤气的基本出发点。

2.2 工艺步骤

在焦化厂中, 焦炉煤气以氢气、甲烷、烃类、CO 和 CO_2 。为对焦炉煤气的综合利用效果, 以化工原料和高热值燃料在性能上的特征, 将 LNG 列为首选燃料。全天候重点关注气密性实验、自动阀门执行状况、煤气升温速度等关键因素, 及时解除出现的各类问题。在生产环节, 反复演练操作中, 严抓安全管理, 理顺生产程序, 积极进行外部协调, 对煤气用量, 气体去向进行对接沟通, 确保热试顺利。具体工艺流程图式如图 1 所示。为降低二氧化碳的排放量, 要求依据焦炉气氢多碳少、煤气化合成气氢少碳多等优势, 在产品生产及其工艺上, 着力降低二氧化碳排放量, 并以此达到充分利用焦炉气资源的效果。通过 LNG (液化天然气) 工艺装置, 以在煤气制环节, 实现对氢资源的合理利用。据此, 以煤气化技术的施用, 来达

到脱除酸气单元、实现深冷分离单元，并在煤焦化单元、焦炉气净化单元及其乙二醇合成单元等的技术改进。而在现有的焦化原料煤入口、焦炭气化单元中，实现有效连接。

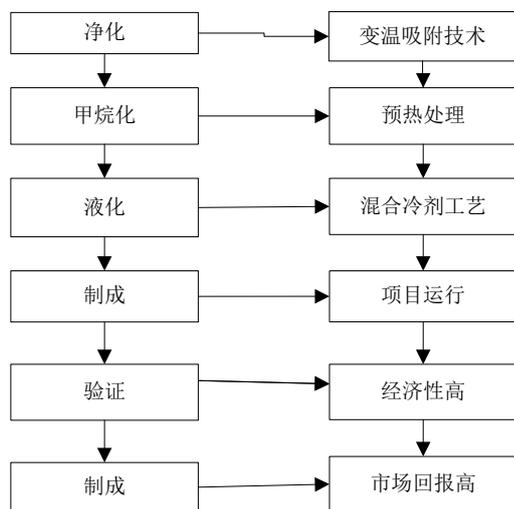
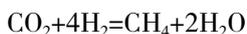
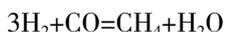


图1 焦炉煤气制 LNG 工艺流程图

2.3 技术应用详解

焦炉煤气制 LNG，分析压缩、脱硫、合成、液化的工艺，通过工艺路线改进，以在技术层面，达到经济性和适用性效果。以 $30 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 焦炉煤气生产 LNG 的生产规模进行投资估算和运行成本分析，得出主要经济技术指标表。净化流程上，采用变温吸附技术才能使其从吸附剂上彻底解吸出来。脱除萘及焦油和苯系统的再生气经蒸汽加热后进入吸附塔作为再生热源。加热再生后的吸附塔用上述净化气体冷吹，冷吹后的气体送出界区。甲烷化中，进料中的高级烃转化为一氧化碳和氢气。所涉及的化学方程式为：

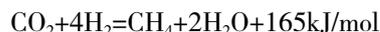


一级甲烷化反应器前进行预热采用喷射器利用副产蒸汽作为热源，将出口产品气循环到反应器入口，稀释反应物；二级甲烷化反应器中，两级预热换热器、锅炉给水预热、脱盐水预热后，分离掉部分冷凝出来的水分，再预热、进入三级甲烷化反应器。液化环节，通过板翅式换热器换热、低温精馏实现分离液化。

焦炉煤气压缩与净化工序，焦炉煤气经过焦化厂内的常规处理流程后，甲烷化工序，绝热多段甲烷化技术，采用废热锅炉回收高温热源以在前段甲烷化绝热炉后产生中压蒸汽，回收能量 $1.561 \times 10^7 \text{kJ/h}$ ，同时一氧化碳转化率可达到 100%，二氧化碳的转化率为 99.67%，反应器出口甲烷含量为 63.35%。

2.4 原理及流程

焦炉煤气制 LNG 的化学原理为：



通过对甲烷化反应热的回收利用及其控制及回收，使用与保护甲烷化催化剂的主要活性成分是镍基。其中催化剂一般由活性组分 Ni（或 NiO）、载体、助剂几部分组成。该技术应用上，对原料气中的 H_2 和 CO 的含量之比要求较高；活性高、转换率较高；不耐硫，对原料气脱硫要求高；抗积碳能力差；反应压力低；反应器的空速比较高；选择性较高。

2.5 焦炉煤气制 LNG 低温分离生产优势

LNG 技术低温分离生产中，从循环经济、节能减排到具体的工作思路；先深冷再提氢方案总投资相对较低，收益率相对较高。沿海地区进口煤炭发展煤制天然气应加强建设煤制天然气（SNG）/LNG（LNG）工厂、建立整体煤气化联合循环发电系统、发展煤制天然气为依托的分布式能源等。一方面，焦炉煤气制 LNG 技术上，以低温分离为例，运输成本上，在内陆地区与市场的接近度较高，且成本运输降低效果更佳。而反观能耗，在氢气、氮气等原材料中，以提前脱除或采用 MRC 制冷流程，回收利用大机组及其氢气综合利用等的动力效应突出，同时也可一定程度降低能耗。另一方面，焦炉煤气以其在原料价格上得到突出优势，达到明显降低生产成本及其能耗的突出效果，竞争性优势突出。天然气液化建设上，强化在节能减排上的综合利用和支持力度。通过优化焦炉煤气制 LNG 离心压缩机的操作、研究 MRC 压缩机制冷剂组分的配比组成、优化冷箱温度梯级、优化系统热量平衡、攻克大功率设备安全可靠运行的不利因素、对高压变频器技术改造等方式方法，降低各方面能耗，从而提高各项能源综合利用水平。

3 经济性分析验证

焦炉煤气制 LNG 技术通过深冷液化工艺生产出高品质的液化天然气的技术；经焦炉煤气净化、甲烷合成和天然气液化等基础，以从生产工序上加以简化。反观制作工艺，在解决焦化工业污染问题，以实现焦化企业的清洁生产，提高 LNG 焦炉煤气产品附加值。经焦炉煤气净化、甲烷合成和天然气液化等，以达到有效衔接和科学配合效果。

3.1 高转化率、高选择性

该技术以甲烷合成催化剂，且转化率 $\geq 99\%$ ，

选择性 $\geq 99\%$ ，空速 1000~8000h/l；耐热型催化剂在 700℃下，催化剂强度 $\geq 100\text{N/cm}$ ，磨损更低 $\leq 1\%$ ；催化剂寿命 ≥ 3 年；不同成分的煤基合成气，在转化率及其选择性上更高。

3.2 高效节能、热回收率高

通过梯级换热网络方法，充分利用反应热，可产生高品质蒸汽，同时副产低压更低。因设备运行环节的能耗低，故在床层温度分布中，性能更优化、建设投资力度更高、排放工艺及其清洁性能更高，也更能达到预期的回收和利用效果。

具体投资和收益情况如表 1 所示：

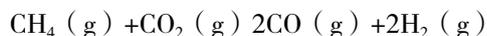
表 1

建设工厂规模	$10 \times 10^5 \text{m}^3/\text{d}$
投资	1.5 亿元
主要设备	LNG 储罐、卸液机、气化器、调压设备、计量设备、加臭设备、放散塔，还应配有消防设施
对比	甲醇项目的 1/2
降本增效方法	复压缩机组，节约设备投资
收益分析	液化成本 1.0 元 / m^3
	利润在 1.5 元 / m^3
	年利润约 4950 万元
	收回成本时间 3 年

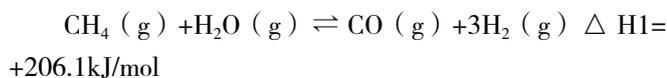
利用原煤加工，使之转化生成天然气资源。经过处理的天然气，相比于传统直接开采的天然气资源，有着开发耗能低和使用高效的优点。与此同时，也兼顾了传统天然气作为清洁燃料的特点。以“绿色、环保、低碳、节能、清洁、高效”为核心，以清洁煤为原料，使用先进的常压富氧循环流化床气化技术取代二段炉制取清洁工业燃气，在极大地降低生产成本的同时，解决了环境污染问题，不产生废水和焦油酚水，实现真正意义上的零排放。

建设先进的除尘、脱硫、余热利用系统。采用深度烟气治理技术与余热发电技术，达到了特别限值排放要求；采用稀土磁盘及复合膜陶瓷过滤等国际最新水处理工艺技术，实现了生产用水的全部循环利用。环形加热炉余热发电为全国首创，与太阳能屋顶发电一起满足企业 50% 的用电量，助推绿色工厂建设。

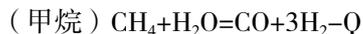
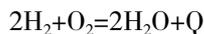
以天然气为原料生产的合成气有多种方法，其中 Sparg 工艺的原理为：



焦炉中，合成气的主要成分是一氧化碳和氢气，用于合成二甲醚等清洁燃料。从天然气获得合成气过程：



煤气化的主要方程式是 $\text{C} + \text{H}_2\text{O}$ 生成气态的 CO 和气态的 H_2 。



即焦炉煤气必须进行高质量的净化脱硫和精脱，然后在催化剂的作用下，把焦炉气中的一氧化碳、二氧化碳转化为甲烷；把转后的气体进部分分离，使气体达到天然气组份的标准，即可生产天然气。焦炉气转化成甲烷的主化学方程式：



生产环节：进入装置的原料气经过主换热器冷却、冷凝后，进入低温分离器分离大量的氢气，再进入精馏塔精馏出氮气。塔底的液相出精馏塔返回主换热器过冷后出冷箱节流，降压去液化天然气储罐。

4 结束语

利用焦炉煤气生产 LNG 技术以达到缩小投资成本、开拓产品市场、降低能耗和风险的效果，并在装置操作弹性及其投资回报率上更高，以达到综合利用炼焦企业对焦炉煤气的效果。

参考文献：

- [1] 田世龙. 焦炉煤气制 LNG 的探讨 [J]. 当代化工研究, 2022(12):116-118.
- [2] 郑智阳. 焦炉煤气制 LNG 技术经济性分析——以平顶山京宝焦炉煤气制 LNG 项目为例 [D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [3] 黄志伟. 焦炉煤气制 LNG 工艺研究 [D]. 山东: 青岛科技大学, 2019.
- [4] 刘保伟. 焦炉气制 LNG 联产氢气技术及经济性分析 [J]. 化肥设计, 2015(4):32-36.
- [5] 高振, 侯建国, 王秀林, 等. 我国沿海地区进口煤炭发展煤制天然气前景分析 [J]. 洁净煤技术, 2016, 22(3): 65-68.
- [6] 冀传玖. 焦炉煤气制 LNG 节能技术的研究与应用 [J]. 山东化工, 2022, 51(21):182-183, 199.
- [7] 王磊, 张红伟, 李希勤, 等. 焦炉煤气提纯制 H_2 联产 LNG 技术 [J]. 燃料与化工, 2022, 53(2):42-44.
- [8] 戴果. 焦炉煤气制 LNG(LNG) 装置技术过程研究 [J]. 化工管理, 2019(1):170-171.
- [9] 罗宏. 焦炉煤气液化制 LNG 工艺及生产研究 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(10):1-3.