

现代煤化工工艺选择与成本分析

井玲彬（山西焦化股份有限公司化产品回收厂第三煤气回收车间，山西 临汾 041000）

摘要：煤炭资源的开发利用对于我国能源结构调整具有非常关键的作用。为了更好地提高煤炭资源利用率，提高产品效能，本文对现代煤化工的主要工艺进行了分析。通过阐述现代煤化工产业发展的现状，提出了煤炭资源深度加工的重要性，并从煤制天然气、煤制烯烃以及煤制乙二醇等三个方面，具体分析了进行煤炭资源深加工的方法，旨在更好地推动我国能源结构调整，保障能源供给安全。

关键词：现代煤化工；煤炭深度加工；成本分析

现代煤化工是我国在能源结构调整中必须发展的产业，是我国替代石油资源、发展能源化工的重要方向，是我国重要的能源安全保障。随着世界能源结构的不断调整，煤炭资源的开发利用已成为保障国家能源安全的重要手段。与传统的煤化工工艺相比，现代煤化工工艺由于装置规模较大、生产效率高、生产清洁能源以及具有极大发展潜力等优势，在充分利用我国的主体能源优势，保证国家的能源供给安全方面发挥着非常重要的作用^[1]。目前，煤炭工业正处于高速发展阶段，对石化工业起到了积极的促进作用。煤制烯烃是现代煤化工产业的一个主要领域，在最近几年里，其技术推广和工业水平发展都得到了很大的提升，在煤化工生产中的地位也越来越高，已经成为了目前煤化工产业分支中经济效益最好并且产能非常高的部分。中国目前的国际原油依赖水平已经达到了72%，因此，国际上对中国的能源安全提出了更高的要求。在这种情况下，继续推动煤制烯烃技术进步和产业快速高效发展是非常关键的。

1 现代煤化工产业发展现状

1.1 行业整体规模保持增长

目前，我国现代煤化工产业主要包括煤制乙二醇及煤制乙醇等煤制化学品以及煤制油、煤制天然气等新型清洁能源。其中，煤制天然气和煤制烯烃发展较快，但已趋于饱和，而煤制乙二醇发展较为缓慢。目前已建成投产的煤制气项目共有9个，总产能约为300亿m³；已建成投产的煤制油项目共有5个，总产能为200万t。据统计，截至2017年底我国煤炭生产能力为11.16亿t，据预测，到2020年我国煤炭产能将达到11亿t以上。此外，根据《“十三五”现代煤化工产业发展规划》，到2020年我国将有五十多个项目投产，总产能将超过1.5亿t^[2]。其中煤制天然气技术包括费托合成（FIT）法和鲁奇法（LU）法；煤

制烯烃技术包括费托合成法、鲁奇法和费托合成+甲醇法（FCM）；煤制乙二醇技术主要包括费托合成法和鲁奇法及费托合成+甲醇法（FCM）等。此外，我国还有多个煤制油项目处于在建或即将建设阶段。从煤制烯烃技术来看，目前我国煤制烯烃技术已趋于成熟。以煤间接液化为例，截至2017年底我国已建成投产煤间接液化项目共有12个，总产能约为5100万t；煤直接液化项目共有12个，总产能约为4500万t。

1.2 生产运行水平不断提高

对于已经投入运营的现代化煤化工产业项目，通过对其工艺体系进行了改进和优化，并加强对工厂的运营和操作方面的管理，能够有效提升处理系统运行的稳定性。目前，我国大部分项目系统都已经具有了安全、长久的运营和管理能力，并且实现了对成本的有效控制^[3]。比如，“十三五”时期，全国煤炭工业各个子系统的生产效率逐步提升，资源利用率持续攀升，取得了令人可喜的成果。

1.3 综合技术水平国际领先

经过十多年的技术攻坚，目前，我国已经建立了较为完备的煤化工处理工艺和体系，在工程实施中应用的大型气化炉等核心设备已经可以实现使用国产制造的水平，技术装备水平整体上处于国际领先地位。煤炭的大规模液化已经达到了工业化的程度。虽然我国煤制烯烃技术在规模、工艺及催化剂方面均已达到国际领先水平，但与美国、日本等发达国家相比还存在一定差距。例如，在甲醇制烯烃技术方面，目前我国甲醇生产装置平均效率达到45%左右；而美国的平均效率则达到50%以上，目前我国在甲醇市场上还没有形成具有竞争力的价格体系，需要进一步进行完善和提高。

1.4 清洁生产和环保水平不断提高

现代煤化工行业对于生产过程中产生的污染物清洁治理水平的要求越来越高，其中高技术污水处理工

艺, 高效率的苯酚-氨回收工艺以及高盐水的回收处理工艺, 在发展过程中都已经逐渐趋于成熟。在完成了一系列的示范性实验后, 我国的酚氨资源化回收利用技术已经能够保证煤制气系统在生产中稳定高效运转, 技术已经达到相当成熟的水平。

2 现代煤化工的主要工艺及成本分析

2.1 煤制天然气

2.1.1 发展现状

由于国内工业结构的持续升级和国家对能源资源保护意识的加强, 国家油气消费需求与市场需求之间的差距将会随之越来越大。目前, 国内的天然气产能仍处于极度短缺状态, 一些资料表明, 今后很长一段时间内, 中国仍将面临着严重的能源短缺问题。短缺的天然气供应需要用煤制天然气作为补充, 而恰好我国具有较为非常丰富的煤炭资源, 随着科技的发展, 技术装备水平已经达到较为先进的水平。充分发挥中国的能源优势, 大力发展煤制天然气工业, 是解决中国能源短缺问题的一个重要途径, 也是未来能源发展的一个重大趋势。煤制天然气就是将原煤和催化剂在一定条件下混合进行煤气化和甲烷化反应生成代天然气(SNG), 这种方法转化效率较高, 生产过程对环境也很友好^[4]。在我国实行可持续发展、加大环境保护力度的方针下, 我国燃气使用需求将继续扩大, 并呈现逐渐增加的趋势。通过多渠道和多种途径增加天然气的供应, 已经成为国家调整能源结构的重大发展策略。煤制天然气是一种替代和补充液化石油气的方式, 不仅可以实现生产过程和生产产品的清洁化, 还可以提高化石能源利用率, 这与国际上煤化工生产发展趋势是相吻合的, 对于有效解决国内能源紧缺问题, 保证国家的能源安全有着非常重要的促进作用。

2.1.2 成本分析

对于某煤制天然气项目而言, 总投资约为 246 亿元, 其中建设投资占比 93%, 以及占比 6% 的建设期利息。该项目所用的原煤为疆、蒙以及陕三地的煤炭资源, 总材料成本为 80 亿元, 最终生产的天然气经过西气东输管网运送至无天然气供应的地区, 但是由于天然气价格太低, 以及输气管线和人工设备的投入, 最终获得的毛利率只有 12%。导致利润过低的主要原因是原煤价格和天然气价格, 需要政府进行进一步扶持^[5]。为了保障煤制天然气行业健康可持续发展, 特提出以下建议: ①合理规划布局: 在综合考虑项目建地煤炭资源含量、输气管网系统以及市场需求等

情况下, 根据市场需求以及相关政策合理规划布局煤制天然气项目, 项目要有规划, 要综合考察, 避免盲目发展; ②推进合作共赢: 通过与大型石油企业合作, 合理利用天然气管道运输设施, 进而减少管道铺设成本, 增大利润空间, 实现互利共赢; ③促进工艺研发: 加强与科研相关单位的合作, 尽快研发出原煤利用率更高、产能更好的煤制天然气工艺, 由此降低资源浪费, 提高经济效益。

2.2 煤制烯烃

2.2.1 主要工艺

当前, 煤制烯烃是国内最主要的一种制备烯烃的方法, 通过将煤经过气化、变换、提纯以及合成等步骤, 先制得甲醇, 然后将甲醇转化为烯烃^[6]。当前, 市场中以甲醇为原料生产烯烃的方法主要有两种, 一种是 MTO 法, 另一种是 MTP 法。MTO 是指将甲醇转变为乙烯和丙烯等组分的过程中, 除了产生主要产物, 还产生丁烯组分; 而 MTP 是指以丙烯为主要产物的过程, 还产生乙烯组分和液化石油气^[7]。这两种方法的产品侧重点不同, 在进行选择的时候, 需要对最终的产物需求有一个清晰的了解。当前, 具有代表性的甲醇制烯烃技术有: UOP/HydroMTO 工艺, DMTO 工艺, SHMTO 工艺以及循环流化床甲醇制丙烯(FMTP)工艺等^[8]。

2.2.1.1 UOP/HydroMTO 工艺

在 400–500℃, 0.1–0.3MPa 的流化床反应器中, 使用粗制甲醇为原材料, SAPO-34 为催化剂, 反应生产聚合乙烯和丙烯, 产品产率最高可达 46% 和 45%, 并可实现批量化生产。在此基础上通过技术革新, 可实现双烯的产率高达 85% 甚至达到 100% 甲醇转化率, 具有非常广泛的应用前景。

2.2.1.2 DMTO 工艺

经过技术革新, 在 SAPO-34 分子筛作为催化剂的条件下, 密相床循环流化床作为反应器, 直接将甲醇催化转化为烯烃, 于 2006 年试验, 甲醇转化率近 100%, 并且 DMTO 催化剂具有极强的耐磨性^[9], 损耗较少, 并推动了后续 DMTO-II 以及 DMTO-III 技术的发展, 后者可实现单个流化床反应器中实现 1150kt/a 的低碳烯烃产能, 提高了 DMTO 工艺生产烯烃的经济性。

2.2.1.3 SMT0 工艺

与 DMTO 工艺不同, SMT0 工艺是将 MTO 级甲醇经流化催化反应后生成轻烯烃混合气体, 并且 4.5MPa

的蒸汽具有更高的产物产出量,通过使用 SMT0 工艺,每年可处理 183.3 万 t 甲醇,生产 60 万 t 的烯烃产物,市场潜力较大。

2.2.1.4 FMTP 工艺

采用 SAPO-18/34 作为催化剂,在流化床反应器的作用下,可以实现甲醇 99.99% 的转化率,并可以调节丙烯:乙烯的比例从 1.2:1 到 1:0,主要用于丙烯,在不调节时,可以达到双烯的总产率为 88%。

2.2.2 成本分析

对于拥有较为丰富的煤炭资源的企业,可以将原煤作为原料,通过制成合成气而制得甲醇,再通过甲醇制得烯烃;对于煤炭资源欠缺的企业,可以通过直接从国外购买甲醇的方法来直接制取烯烃,如此一来,成本也相对提高。据统计,在煤制烯烃的成本组成中,原煤成本只占 22%,而企业的固定资产折旧和财务支出却占 49%。而对于直接从国外购买甲醇用于生产烯烃的项目中,设备的折旧和财务费用只占了 9%,而生产的甲醇原材料成本却占了 74%。煤制烯烃的生产流程很长,设备投资成本很高,设备成本在总成本中占比较大;而直接由甲醇制备烯烃的项目,由于流程相对较短,所以生产成本很大程度上依赖于甲醇的价格波动。此外,由于烯烃价格较高,所以煤制烯烃具有较好的经济水平。

2.3 煤制乙二醇

2.3.1 主要工艺

过去很长一段时期,我们国家 70% 以上的乙二醇都依靠国外进口,而从 2012 年开始,走过逐渐实现了乙二醇生产自主化。据 2016 年的统计资料表明,我国每年的乙二醇消费总量在 1150 万 t 左右,到 2020 年,该产业的产能还将出现 20% 的剩余。煤制乙二醇主要是采用煤炭气化后产生的合成气来生产乙二醇,主要方法有甲醛羰化法、合成气直接合成法和草酸酯合成法。甲醛羰化法是以 CO、甲醛和水为原料,在强酸催化剂的作用下,生成羟基乙酸,后生成羟基乙酸甲酯,制备乙二醇的方法。该技术理论上可用于工业生产,但由于技术的限制,目前市场应用程度较低。而合成气直接合成法会释放大量的酸酯类副产物,对环境危害较大;草酸酯合成法是目前较为常用的方法,该方法通过原煤制取草酸酯,再加入氢气制取乙二醇,可以实现工业批量生产。

2.3.2 成本分析

目前国内由于原油价格较高、乙二醇价格较低以

及资源存在缺口等问题,未来几年仍需进口。我国主要的煤制乙二醇项目所在地多为具有丰富的煤炭资源的西北地区,而乙二醇主要消耗区域是我国东部及沿海地区,运输费用较高,加上运输费用后,乙二醇价格为 4500~5000 元/t,而成本为 3950~4200 元/t,在运输线路一次建设投资之后,运输成本会大大降低,如此一来,乙二醇未来有着较大的发展前景。

3 结语

随着世界能源结构的不断调整,加之我国较为丰富的煤炭资源,推进煤炭资源的深度开发可以更好地保障我国的能源安全。现代煤化工产业主要包括煤制天然气、煤制烯烃、煤制乙二醇及煤制乙醇。煤制天然气有非常广阔的市场前景,并且可以用于部分地区短缺的天然气供应,但其存在利润较低的为,需要政府进行相应的扶持;而煤制烯烃具有非常高的原料转化率,最高可达 99.99%,可广泛用于工业生产,提高煤炭资源利用率;煤制乙二醇结合进口乙二醇可以有效满足我国先行的市场的需求。

参考文献:

- [1] 张彩丽. 现代煤化工工艺路线竞争力分析 [J]. 石化技术, 2015, 22(07): 49-50.
- [2] 王孝峰. 科学规划布局稳步推动现代煤化工产业安全、绿色、创新发展——解读《现代煤化工产业创新发展布局方案》 [J]. 中国经贸导刊, 2017(12): 54-56.
- [3] 王明华, 蒋文化, 韩一杰. 现代煤化工发展现状及问题分析 [J]. 化工进展, 2017, 36(08): 2882-2887.
- [4] 吴唯, 郭庆杰, 常国璋, 胡修德. 基于 AspenPlus 的一步法煤制天然气工艺优化研究 [J]. 天然气化工 (C1 化学与化工), 2019, 44(05): 70-75.
- [5] 李振宇, 黄格省, 乔明. 我国煤制天然气技术发展现状与经济性分析 [J]. 国际石油经济, 2013, 21(12): 65-71+105.
- [6] 梁涛. 煤化工发展趋势——以煤制烯烃为例 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(04): 263-265.
- [7] 朱伟平. 甲醇制烯烃技术开发进展 [J]. 现代化工, 2022, 42(04): 82-86+92.
- [8] 陈洪派, 商辉, 孔志媛. 甲醇制烯烃工艺技术发展现状 [J]. 现代化工, 2022, 42(08): 80-84+88.
- [9] Hao J, Zhao Y, Ye M, Liu Z. Influence of temperature on fluidized-bed catalyst attrition behavior. Chem Eng Technol, 2016, 39(5): 927-34.