

我国煤化工产业的技术发展现状

王璐

(公安部天津消防研究所, 天津, 300381)

摘要: 在国际油价高企的今天, 以煤炭为原料的新型煤制油、煤制烯烃、煤制天然气等煤化工产业不仅成为可以获利的商业项目, 而且更成为保障国家经济命脉和能源安全的重要战略项目。本文对我国煤制油、煤制烯烃、煤制天然气的技术现状进行了分析。

关键词: 煤化工, 煤直接液化, 煤间接液化, 煤制烯烃, 煤制天然气

随着我国经济的飞速发展, 对石油及其产品的需求量越来越大, 目前我国的石油消费量仅次于美国位于世界第二位。然而, 我国石油、天然气资源的相对不足, 石油供应量与消费量之间的矛盾十分突出, 对外依存度较高。石油问题已成为经济、政治、外交领域的重要议题, 也关系到我国的安全稳定。在国家战略层面上, 必须具备石油替代能源的产能, 以取得战略平衡。

与此同时, 中国煤炭资源丰富, 已探明的煤炭可采量位居第二, 产量位居世界第一位。按同等发热量计算, 煤炭储量相当于我国石油和天然气储量总和的 17 倍。因此, 近年来, 我国大力发展以煤制油、煤制烯烃、煤制天然气为代表的新型煤化工项目, 以煤炭为原料生产汽油、柴油、烯烃、天然气等石化产品, 作为石油能源的有效补充, 缓解了我国石油短缺的困境。此外, 新型煤化工项目的实施也有利于降低燃煤而造成的环境污染, 在人们越来越重视环境保护的今天, 煤化工项目的环境友好性更加引人注目。可以预测, 随着我国社会经济的不断发展, 煤化工产业将会成为中国能源结构构成中的重要组成部分, 有利于保障我国的能源稳定, 其必将进入大规模有序建设发展期。

新型煤化工主要包括煤制油、煤制烯烃、煤制天然气等几种类型, 本文分别对这些煤化工工程的技术现状进行分析。

1 煤直接液化

煤制油是以煤炭为原料, 通过化学加工过程生产油品和石油化工产品的一项技术, 主要包括煤直接液化和煤间接液化两种形式。煤直接液化是将煤炭磨成粉

后与自身产生的液化重油（循环溶剂）配成煤浆，在高温和高压下通过催化加氢直接反应生成液体产品。

世界范围内的煤直接液化技术工艺主要包括 IGOR、SRC 和 NEDOL 工艺，并基于这些工艺技术，完成了 100t/d 级的中试试验，但是由于各国的能源特点，并没有工业化项目建成投产。而我国能源特点是缺油、少气、多煤，因此煤直接液化项目在我国的发展前景光明。经过多年的研发，我国已开发出了具有自主知识产权的煤直接液化技术^[5]。

一般来说，煤直接液化的工艺流程如下（如图 1 所示）：首先液化备煤装置将原料煤磨制成粒度很细的液化煤粉，催化剂制备装置将原料煤和催化剂原料合成并磨制成含催化剂的催化剂煤粉；然后液化煤粉及催化剂煤粉分别与溶剂油混合生成油煤浆，油煤浆与氢气在煤液化装置中反应生成液化粗油；液化粗油进入加氢稳定装置（T-Star）中进一步加氢反应生成液化油；液化油中大部分作为溶剂油使用，其余部分进加氢改质装置，与氢气混合后进行脱硫、脱氮、芳烃饱和、结构重整等反应，生成煤油、柴油等成品油；煤液化装置、加氢稳定装置及加氢改制装置中的轻烃组分均进入轻烃回收装置进行回收。

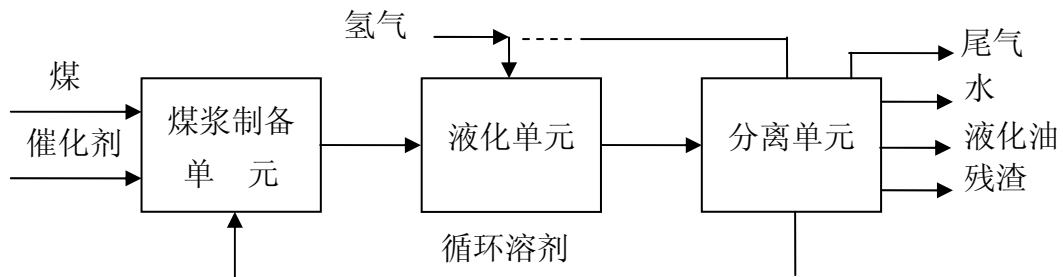


图 1. 煤直接液化工艺流程简图

目前，世界范围内只有我国神华煤直接液化项目投入商业运行，一期工程建设规模为年产油品 320 万吨，由三条主生产线组成，包括煤液化、煤制氢、溶剂加氢、加氢改质、催化剂制备等 14 套主要生产装置。

与石油炼制的工艺流程相比，由于煤直接液化反应器生产出的液化粗油保留了液化原料煤的一些性质特点，芳烃含量高，氮、氧杂原子含量高，稳定性差、十六烷值低，需要对其加氢稳定和加氢改质处理，因此煤直接液化工艺经过三次加氢，而石油炼制基本只经过一次加氢。

2 煤间接液化

煤间接液化是将原料煤通过煤气化反应制得合成气，再通过费托合成反应将合成气制得油品及其他化学制品。煤间接液化根据费托合成反应温度的不同，可以选择性的合成汽油、柴油、煤油、航空燃油、润滑油等油品，还可以副产烯烃、石蜡等其他化工产品。

在煤间接液化领域，南非 SASOL 具有世界领先的技术工艺。据统计，SASOL 三座煤间接液化工厂年产能已达 760 万吨，其中油品占 60%，化工产品占 40%。除此之外，美国埃克森-美孚（Exxon-Mobil）、大陆石油公司（ConocoPhillips），英荷皇家壳牌（Shell），英国石油（BP-Amoco）等公司也都开发了自己的煤间接液化技术工艺。

我国的煤间接液化技术研发也取得了令人瞩目的成绩。其中，中科院山西煤化所研发的浆态床—固定床两段法工艺（SMFT）以及适用于浆态床的一系列催化剂都取得了良好的实验室及小规模放大试验效果，并开始了千吨级浆态床合成油中试装置^[6]。

煤间接液化是通过下列步骤进行的，如图 2 所示，即：(1) 煤与氧气、水蒸汽反应（部分氧化）将煤全部气化；(2) 制得的粗煤气经变换、脱碳、净化制成洁净的合成气($\text{CO}+\text{H}_2$)；(3) 合成气在催化剂作用下发生合成反应生成产物；(4) 将合成的产品进行分离；(5) 产品经进一步加工可以生产汽油、柴油和 LPG 等产品。其中通过水煤气转化来解决增加 H/C 比的难题。

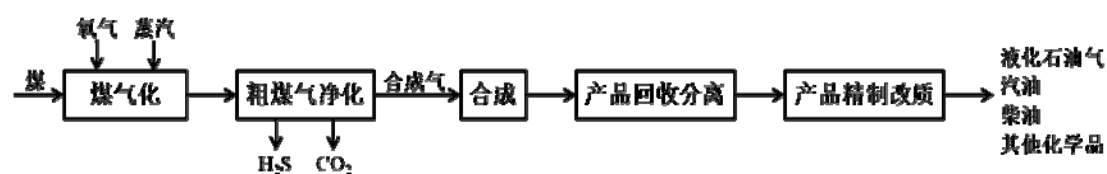


图 2. 煤间接液化的工艺流程图

经过多年的发展，煤间接液化技术工艺已经日趋完善，尤其是以 SASOL 为代表的一些企业已经掌握了整个工艺流程，煤间接液化工艺已经成为一种成熟可靠的替代传统石油加工过程的方法；而且相对于煤直接液化，间接液化对于原料煤粉的质量要求不高，在实际应用中具有更大的实用价值。

目前世界范围内投产的煤间接液化项目包括：南非 Mossgas 100 万吨/年项目和壳牌在马来西亚 Bintulu 的 50 万吨/年项目。2008 年，我国伊泰煤制油公司建

成了一条 $16 \times 10^4 \text{t/a}$ 的煤间接液化示范生产线，并作为我国首条煤间接液化产业化项目投入运行。

3 煤制烯烃

煤制烯烃即煤基甲醇制烯烃，是指以煤为原料合成甲醇后再通过甲醇制取乙烯、丙烯等烯烃的技术。目前，我国煤制烯烃工程发展迅速，经过国家发改委批准的项目主要有年产 46 万吨聚丙烯大唐多伦 MTP 项目、年产 50 万吨聚丙烯神华宁煤 MTP 项目及年产 60 万吨烯烃神华包头 MTO 项目。

与煤制油工艺相比，煤制烯烃的工艺链更长，涉及反应和装置也更复杂。煤基甲醇制烯烃工艺主要由煤气化制合成气、合成气制甲醇、甲醇制烯烃及烯烃聚合等关键技术组成。以神华包头煤制烯烃项目为例，其采用了 GE 水煤浆气化、德国林德公司低温甲醇洗、英国 DAVY 公司甲醇合成、中科院大连化学物理研究所 DMTO 甲醇制烯烃、陶氏 Unipol 聚丙烯等多项国际领先的技术^[7]。

其中甲醇制烯烃是工艺链中最关键的步骤，其以甲醇为原料，在分子筛催化剂作用下，利用甲醇脱水反应制取乙烯、丙烯。其具体可分为甲醇制烯烃（MTO）和甲醇制丙烯（MTP）两种。以 MTO 系统为例，其工艺流程如图 3 所示。

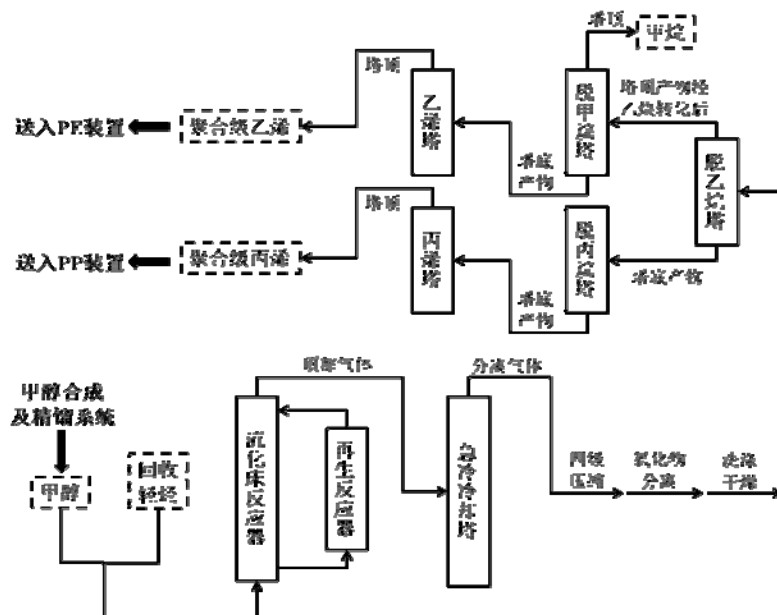


图 3 MTO 系统的工艺流程示意图

4 煤制天然气

煤制天然气指利用煤气化技术制得合成气，再经过净化和甲烷化反应得到热值高于 33.36MJ/立方米 的代用天然气（SNG）的过程。自 20 世纪 70 年代起，国

外开始研究利用煤生产天然气的可行性，但由于经济上的劣势，最终实现商业化运行的装置仅美国北达科他州大平原煤制天然气厂（GPSF）一家。

与煤制油、煤制烯烃、煤制二甲醚相比，煤制天然气具有能源转化效率高，技术成熟工艺简单，单位热值投资成本低的优势。在这一背景下，煤制天然气产业受到了国家的大力支持。大唐内蒙古克什克腾旗（40 亿立方米/年），汇能内蒙古鄂尔多斯（16 亿立方米/年），大唐辽宁阜新（40 亿立方米/年）和庆华新疆伊犁（55 亿立方米/年）等四大煤制天然气示范项目先后获得国家发改委核准。

煤制天然气主要的流程简图如图 4 所示，可以简单的分为气化用煤制备单元，煤气化单元、粗煤气变换单元、低温甲醇洗单元和甲烷化单元，以及锅炉系统、空分系统、冷却系统、压缩机系统、灰处理系统、废水处理系统和火炬系统等公用工程和附属装置。

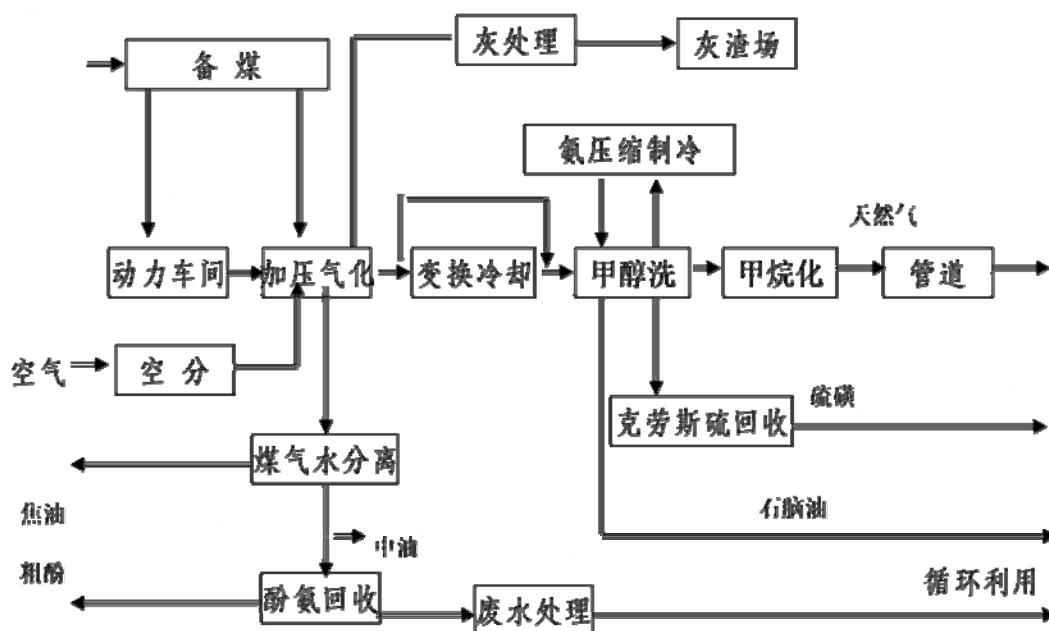


图 4. 大唐国际克什克腾旗煤制天然气项目主要工艺流程简图

甲烷化反应是煤制天然气的关键环节，净化煤气在甲烷化反应器中镍基催化剂的作用下反应生成甲烷气体。目前应用较广泛的工艺主要有戴维甲烷化技术（CRG）、丹麦托普索甲烷化技术（TREMP™）和鲁奇甲烷化技术三种，三种工艺反应原理相同，在镍基催化剂选用和流程布置上有所不同。目前国内在建煤制天然气装置主要以戴维甲烷化技术（CRG）和丹麦托普索甲烷化技术（TREMP™）为主。

5 总结

通过本文的分析,可以发现以煤制油、煤制烯烃、煤制天然气为代表的新型煤化工产业在我国尚处于起步阶段,但是其发展前景不可限量。这些新型煤化工产业的进一步发展,不仅有利于满足我国不断扩大的能源需求,降低对国外原油的依赖程度,进而从根本上保障我国能源安全和国家战略利益,还有利于实现清洁能源的有效利用,降低煤炭对环境的污染,实现国家的可持续性发展。因此在可以预见的将来,煤化工产业必将得到更大更快的发展。而对于煤制油、煤制烯烃、煤制天然气等技术工艺,在世界范围内已经工业化运营的项目很少,可供我们参考利用的经验不多,还有大量的问题需要科研工作者进行深入研究。

参考文献

- [1] 韩维建,杨淑红,申威,丁艳军,柴沁虎,我国原油需求预测及乘用车柴油化的影响分析, [J]中国能源, 2013(6), 35~40
- [2] 崔村丽,我国煤炭资源及其分布特征, [J]科技情报开发与经济, 2011(21), 181~182
- [3] 赵剑锋,低碳经济视角下煤炭工业清洁利用分析及政策建议, [J]煤炭学报, 2011(3), 514~518
- [4] 周溪华,我国现代煤化工技术发展路线探讨, [J]中外能源, 2008(3), 25~34
- [5] 任相坤,房鼎业,金嘉璐,高晋生,煤直接液化技术开发新进展, [J]化工进展, 2010(2), 198~204
- [6] 孙启文,吴建民,张宗森,庞利峰,煤间接液化技术及其研究进展, [J]化工进展, 2013(1), 1~12
- [7] 张殿奎,煤化工发展方向——煤制烯烃, [J]化学工业, 2009(2), 18~22
- [8] 蔺华林,李克健,赵利军,煤制天然气高温甲烷化催化剂研究进展, [J]化工进展, 2011(8), 1739~1743

——本文发表于 2013 年第 7 期《煤炭与化工》