

浅析双碳目标下现代煤化工行业 CO₂ 减排思路

Analysis of CO₂ Emission Reduction Ideas in the Modern Coal Chemical Industry under the Dual-carbon Target

姜泊 孙庆华

Bo Jiang Qinghua Sun

陕煤集团榆林化学有限责任公司 中国·陕西 榆林 719000

SHCCIG Yulin Chemical Co.,Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

摘要: 在国家“3060”双碳治理目标的推动下,针对中国现代煤化工行业的发展现状,对现代煤化工行业的 CO₂ 排放过程和排放数据进行了分析和研究,从煤化工技术选型、CO₂ 资源化利用和化学转化等方面,针对性地对现代煤化工工艺过程产生 CO₂ 的处置途径和方案进行了初步探讨。

Abstract: Driven by the national “3060” dual-carbon governance goal, in view of the development status of China’s modern coal chemical industry, the CO₂ emission process and emission data of the modern coal chemical industry are analyzed and researched, and the coal chemical technology is selected. In terms of type, CO₂ resource utilization and chemical conversion, a preliminary discussion was carried out on the disposal methods and schemes of CO₂ produced by modern coal chemical processes.

关键词: 现代煤化工; 二氧化碳; 碳排放; 减排; 3060

Keywords: modern coal chemical industry; carbon dioxide; carbon emissions; emission reduction; 3060

DOI: 10.12346/etr.v3i10.4394

1 引言

回顾去年 9 月份联合国第 75 届大会,习近平总书记做出中国 CO₂ 排放总量要在 2030 年以前达到峰值,2060 年以前实现中和的历史性承诺。为中国推动“全球绿色低碳发展”行动提出了奋斗目标,也为中国能源行业发展转型指明了方向。

“富煤、少油、缺气”决定了中国的能源战略结构必须以煤炭开发和深加工为主体,适度发展煤化工产业,通过技术手段实现煤炭的清洁与高效利用,是保障中国能源安全的一项重要举措。

2 现代煤化工发展现状

按照最终产品路线和技术先进性的不同,煤化工可分为传统煤化工和现代煤化工,现代煤化工包括煤制油、煤制烯烃、煤制芳烃、煤制乙二醇和煤制天然气等,具有技术领先、

规模大、耗能低、环境污染小和产品链长等特点,现行的大规模、工业化现代煤化工技术路线如图 1 所示。

随着近几十年中国现代煤化工的产业发展和技术探索,多数已经投产的装置开工率和技术水平不断提高,能源消耗不断下降,工厂安全环保管控不断加强,使得煤制化学品的行业贡献逐渐凸显,整体产业规模和技术水平在国际上已经处于绝对领先的地位。但现代煤化工的发展仍存在如下典型问题。

2.1 二氧化碳排放体量大

从煤炭与石油的元素组成分析,煤炭的氢、碳原子比例在 0.2~1.0 区间,石油的氢、碳原子比例在 1.6~2.0 区间。因此,通过煤化工工艺替代传统的石油化工制取化工产品,必须对工艺生产过程中的碳、氢比例进行调整。该调整过程主要通过水煤气的 CO 变换反应实现,CO 和 H₂O 反应会产生大量的 CO₂ 排入大气。

【作者简介】姜泊(1987-),男,中国陕西蒲城人,硕士,工程师,从事煤气化、净化及甲醇合成等方面的工艺技术管理和生产运行管理工作等研究。

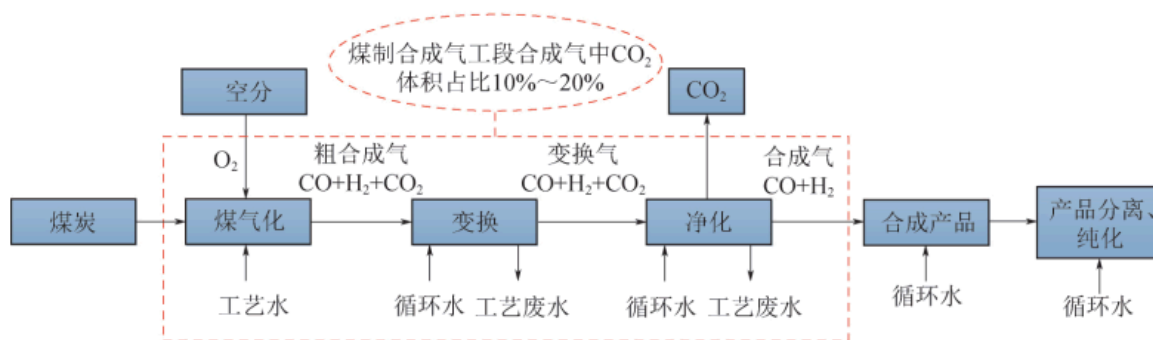


图1 现代煤化工技术路线示意图

2.2 单位水耗和整体需水量大

中国现代煤化工企业绝大多数分布在陕西、内蒙古和宁夏等水资源短缺区域，据有关文献数据分析^[1]，当前在建运行项目中煤制油单位产品需水量 9.4m³/t、煤制烯烃单位产品需水量 20m³/t、煤制乙二醇单位产品需水量 20.8m³/t，水资源短缺的问题已然凸显。

2.3 经济性受原油市场影响大

煤制化学品的利润盈亏点受国际原油价格的影响十分明显，一般煤制油和煤制乙二醇的盈亏点分别为 70 美元 / 桶原油、55 美元 / 桶原油，使得现代煤化工的经济性不够稳定。

2.4 新建项目审批难度大

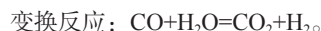
双碳政策一经推出，部分在建或已建成项目因为能耗指等问题，建成以后不能按计划投入生产，行业竞争愈发激烈，产能规模下和技术落后的企业将尽快被淘汰，未来行业竞争将主要集中在国内几家煤化工巨头之间。

在“30/60”双碳目标治理的严峻形势下，现代煤化工企业如何进行CO₂减排已成为有效解决行业发展的首要问题。

3 现代煤化工 CO₂ 的排放过程

现代煤化工的一次能源消耗主要分为“原料煤”和“燃料煤”。“原料煤”主要在气化炉内与氧气发生化学反应生

成水煤气，为保证后续产品合成气的氢碳比要求，水煤气需要经过CO变换反应，上述过程会产生大量的CO₂气体，常规的工艺流程CO₂会在低温甲醇洗装置进行脱除并排放大气，排放浓度75%~98%。



“燃料煤”主要在锅炉内经过燃烧产生热量，热量被水吸收后产生蒸汽用于发电，为化工生产提供必需的动力和能量，上述过程中绝大多数碳经过燃烧产生CO₂气体，随锅炉烟气直接排入大气，CO₂排放浓度大约为15%左右。

据有关文献记载和测算^[2]，2020年中国现代煤化工行业CO₂气体的排放总量约为3.2亿吨，占中国整个石油和化工行业碳排放总量的22.5%。现代煤化工行业CO₂排放总量中，燃料煤燃烧产生的CO₂约占排放总量的33%，外购电（折算排放CO₂）约占排放总量的3.5%，原料煤经气化反应和CO变换反应排放的CO₂约占排放总量的63.5%，表1列出了现代煤化工不同工艺流程的CO₂排放数据^[3]。

因此，现代煤化工行业的CO₂排放主要集中在工艺生产过程，由水煤气的CO变换反应产生，在后续的低温甲醇洗装置被解析排放，具有排放集中和浓度高的特点，可以作为治理煤化工CO₂排放的主要技术切入点。

表1 现代煤化工不同工艺流程CO₂排放数据分析

工艺路线	单位	工艺过程CO ₂ 排放	公用工程CO ₂ 排放	总CO ₂ 排放
煤直接液化	吨/吨	3.33	2.23	5.56
煤间接液化	吨/吨	5.1	1.76	6.86
煤制天然气	吨/千立方	2.7	2.1	4.8
煤制乙二醇	吨/吨	3.5	2.1	5.6
煤制甲醇	吨/吨	2.06	1.79	3.85
煤制烯烃	吨/吨	6.41	4.11	10.52
煤制二甲醚	吨/吨	2.8	2.2	5.0

4 现代煤化工 CO₂ 减排思路探讨

现代煤化工的 CO₂ 减排是一项复杂工程, 需要从工艺上多点切入、多种途径进行处理, 目前研究比较广泛, 处于初步实施阶段的方案有以下几种。

4.1 煤气化技术的优化选择

粉煤加压气化技术由于气化效率高、运行周期长等优点, 已成为当前现代煤化工最主流的气化技术。常规的粉煤气化装置使用氮气作为煤粉的输送介质, 目前部分企业已将同为惰性气体的 CO₂ 作为输送介质, 实现后续低温甲醇洗装置产生 CO₂ 废气的循环利用, 有效地降低了整个系统 CO₂ 排放量。

4.2 二氧化碳资源化利用

资源循环利用是可持续发展的有效途径。现代煤化工装置产生的 CO₂ 含有 CO、CH₄ 等有毒有害杂质, 可以利用变温吸附和低温精馏相结合的技术手段去除 CO₂ 内的杂质组分^[4], 对 CO₂ 进行干燥和提纯, 用于食品级液体 CO₂、CO₂ 干粉灭火器等产品的原料生产, 但受市场需求限制, 该途径碳减排量十分有限。

4.3 二氧化碳直接化学转化

CO₂ 气体结构稳定, 常规条件下基本没有反应活性。CO₂ 需要直接参与化学转化, 关键点和难点在于高效性和经济性催化剂的研发和工业化量产。目前国外的巴斯夫和日本三井等专利商, 以及国内的中科院山西煤化所均已在 CO₂ 与 H₂ 直接合成甲醇的催化剂研发方面取得突破性成功^[5]。H₂ 可通过电解水装置获得, 这也是国内当前太阳能光伏和风能可再生能源发电领域资源化发展的重要途径之一。CO₂ 直接合成制甲醇技术的工业化发展, 将会改变甲醇合成行业格局, 实现 CO₂ 清洁高效转化。

4.4 绿氢补充作为合成原料

现代煤化工中 CO 变换反应生成的 H₂ 主要用于调整合成气的氢碳比, 变换反应过程中产生大量 CO₂。如果利用可再生能源制取 H₂, 将生成的 H₂ 用于调整合成气的氢碳比, 将 CO 变换反应环节取消, 煤化工工艺过程只留存少量煤气

化反应时 C 燃烧生成的 CO₂ (大约 5% 左右), 将大大降低了整个煤化工工艺过程的 CO₂ 排放量。

4.5 二氧化碳地下封存

CO₂ 封存技术是当前碳减排领域应用较为广泛的一种 CO₂ 减排技术^[6], 可以将煤化工工艺排放的暂时没有办法资源化利用的高浓度 CO₂ 进行地下封存。主要原理是将收集的高浓度 CO₂ 气体压缩至超临界状态, 使其同时具有液体的高密度和气体的扩散性, 然后将其注入到地下深层。目前, 比较常见的做法是注入到濒临枯竭的油田深层, 可以提升油气的回采率; 另外, 可以注入深海咸水层, 与底部的金属离子反应生成碳酸盐, 达到 CO₂ 隔离和封存的目的。

5 结语

在国家双碳治理目标的严峻形势下, 煤炭资源的开采和利用势必要受到国家法规政策的严格约束, 而煤炭清洁、高效转化为发展方向的现代煤化工产业压力与机遇并存。因此, 如何通过技术选型、工艺优化和转化利用等有效途径实现煤化工工艺过程的规模化、资源化 CO₂ 减排, 已经成为“十四五”以后现代煤化工行业发展的关键突破口。

参考文献

- [1] 霍婧,赵卫东.对黄河流域现代煤化工产业绿色低碳发展的建议[J].科技中国,2021(8):22-24.
- [2] 刘殿栋,王钰.现代煤化工产业碳减排、碳中和方案探讨[J].煤炭加工与综合利用,2021(5):67-72.
- [3] 张媛媛,王永刚,田亚峻.典型现代煤化工过程的二氧化碳排放比较[J].化工进展,2016,35(12):60-64.
- [4] 田树杰.脱碳解吸气提纯食品级CO₂在我公司的应用[J].化工设计通讯,2006,32(4):13-15.
- [5] 王西明,张宏伟.CO₂综合利用技术及在煤化工领域的选用[J].煤炭加工与综合利用,2017(10):25-27.
- [6] 王建秀,吴远斌,于海鹏.二氧化碳封存技术研究进展[J].地下空间与工程学报,2013,9(1):81-90.