

煤制甲醇工艺现状及市场发展趋势

常小伟 方建国 周兵兵 李 杰 李 勇

(内蒙古黄陶勒盖煤炭有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017300)

摘 要: 随着我国经济的快速发展, 煤制甲醇产业迎来广阔的发展前景。本文首先分析了煤制甲醇生产工艺的基本流程, 在此基础上, 梳理了我国甲醇工业发展的现状, 指出煤基甲醇占据主导地位, 但区域分布不均衡等。面对新形势下的挑战和机遇, 提出未来煤制甲醇产业的发展策略, 包括淘汰落后产能、整合提升产业集中度, 坚持自主创新、攻克关键技术瓶颈, 延伸产业链条、拓展多元化应用市场, 以及坚持绿色发展、推进循环经济, 以期实现煤制甲醇产业的高质量可持续发展。

关键词: 煤制甲醇; 工艺流程; 产业发展; 绿色能源

中图分类号: TQ223.12

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 016-0004-03

Process status and market development trend of coal to methanol

Chang Xiaowei, Fang Jianguo, Zhou Bingbing, Li Jie, Li Yong (Inner Mongolia Huangtaolegai Coal Co., Ltd., Ordos Inner Mongolia 017300, China)

Abstract: With the rapid development of China's economy, the coal-to-methanol industry is facing broad prospects for growth. This paper first analyzes the basic process of the coal-to-methanol production technology. On this basis, it reviews the current status of China's methanol industry, pointing out that coal-based methanol dominates but is unevenly distributed regionally. In the face of new challenges and opportunities, this paper proposes development strategies for the future of the coal-to-methanol industry, including eliminating backward production capacity, integrating and enhancing industrial concentration, insisting on independent innovation to overcome key technological bottlenecks, extending the industrial chain, expanding diversified application markets, and adhering to green development to promote a circular economy, with the aim of achieving high-quality and sustainable development of the coal-to-methanol industry.

Keywords: Coal-to-methanol; Process flow; Industrial development; Green energy

甲醇是重要的基础化工原料和清洁燃料, 在国民经济中占据着不可或缺的战略地位。随着全球能源革命的深入推进和低碳经济的快速发展, 以甲醇为代表的清洁燃料的战略价值日益凸显。特别是在我国双碳目标的引领下, 发展绿色低碳的甲醇产业, 对于推动煤炭清洁高效利用、促进能源结构优化、助力交通运输脱碳减排具有重要意义。因此, 准确把握煤制甲醇产业发展的现状与趋势, 探索高质量发展的路径与对策, 对于保障国家能源安全、推动化工产业转型升级、服务构建新发展格局具有重要的理论价值和实践意义。

1 煤制甲醇生产工艺现状

1.1 煤制甲醇工艺流程

①气化。在气化过程中, 煤和水在高压氧的共同作用下, 在气化炉内发生部分氧化反应, 生成以 CO 和 H₂ 为主要成分的合成气, 还包括 CO₂、H₂O 和少量 CH₄、H₂S 等气体。气化反应在空分装置提供的纯氧气氛下进行, 主要反应如式 (1) - (3) 所示:



气化反应在极短时间内完成, 高温合成气离开气

化炉后迅速冷却, 经洗涤除尘后进入后续变换工序。

②变换。合成气进入变换工序后, 在变换炉内, CO 与水蒸气发生水煤气变换反应, 生成 H₂ 和 CO₂, 调节合成气中 H₂/CO 的比例, 反应式如 (4) 所示。



变换后合成气的 H₂/CO 比通常控制在 2 左右, 以满足甲醇合成要求。

③甲醇合成。经变换净化后的合成气, 在加压和催化剂作用下, 发生甲醇合成反应:



工业上常采用 Cu/ZnO/Al₂O₃ 催化剂, 在 5 ~ 10MPa、200 ~ 300℃条件下进行。反应生成的粗甲醇含有少量水、酸和醇等杂质。

④甲醇精制。粗甲醇经精馏塔脱水、脱轻、脱酸等多级精制后, 可得到高纯度 (≥ 99.9%) 的优等品甲醇。精甲醇作为化工原料广泛应用于下游有机合成、燃料掺烧等领域。

1.2 煤制甲醇工艺特点

1.2.1 原料优势明显

我国拥有丰富的煤炭资源禀赋, 煤炭探明储量高

达 1.5 万亿吨, 位居世界第三。充足、经济的煤炭资源为发展煤制甲醇产业提供了坚实基础。利用国内煤炭生产甲醇, 可以充分利用本土资源, 降低生产成本, 也有助于保障国家能源安全, 减少对外依存度。相比之下, 虽然天然气制甲醇工艺较为成熟, 但受制于国内天然气资源相对匮乏, 开采难度大, 导致价格居高不下^[1]。因此, 从资源储备和经济性角度看, 以煤为原料发展甲醇工业无疑具有明显优势。今后相当长一段时期煤制甲醇仍将是我国甲醇工业的主体。随着产业规模的不断扩大, 煤基原料的优势将进一步凸显。

1.2.2 工艺流程成熟

经过几十年的技术创新和工程实践, 煤制甲醇核心工艺如气化、变换、合成等均已达到工业化水平。尤其近几年, 围绕制约产业发展的技术难点, 开展大量卓有成效的攻关工作, 气化炉热效率、合成气转化率等关键指标不断刷新, 生产效率大幅提升。在气化技术方面, 国产化水煤浆气化炉实现了重大突破, 单套日处理能力由最初的 300t 提高到目前的 2500t 以上, 并在多个百万吨级煤制甲醇项目中成功应用。变换工艺方面, 开发高效节能的水煤气变换新工艺, 单程转化率超过 95%。催化剂技术创新也取得显著进展, 自主研发的甲醇合成铜基催化剂性能已接近国际先进水平, 寿命超过 5 年。成熟完善的工艺技术为煤制甲醇产业的高质量发展提供了强力支撑。

1.2.3 规模效益显著

基于煤炭资源分布和下游市场需求等因素, 我国煤制甲醇项目普遍具有投资规模大、生产能力强的特点。大型化的生产装置有利于充分发挥规模效应, 降低产品单位成本, 提升企业市场竞争力。以神华榆林 100 万吨/年煤制甲醇项目为例, 通过合理配置系统功能、优化工艺路线, 每吨甲醇的综合电耗、水耗分别比常规装置降低 20% 和 30% 以上。另外, 超大型项目对生产运营管理也提出了更高要求, 需要企业在生产组织、质量控制、安全环保等方面不断创新完善。近年来, 随着一批百万吨级煤制甲醇项目的建成投产, 龙头企业的市场地位进一步巩固。未来, 煤制甲醇产业将向着集约化、园区化方向发展, 通过原料互供、产品互用等方式实现化工与化工、化工与能源的协同耦合, 最大限度发挥规模效益, 实现高质量发展。

2 我国甲醇工业发展现状

2.1 产业规模快速增长

在国民经济快速发展和化工行业不断壮大的带动下, 我国甲醇工业步入了高速增长期。当前, 无论是企业数量还是装置规模, 我国甲醇工业在全球都已占据举足轻重的地位。然而, 在甲醇产能高速扩张的同时, 国内市场需求增速相对缓慢, 新增产能消化压力

不断加大。近年国内甲醇产能利用率已由 2015 年的 80% 下降至 2020 年的 70% 左右, 产能过剩问题日益凸显。同时, 受新冠疫情和国际市场波动等因素影响, 甲醇价格呈现大幅震荡走势, 给企业生产经营带来较大挑战。未来, 甲醇行业高质量发展任重道远, 亟需加快结构优化和转型升级步伐, 推动产业迈向高端化、绿色化、差异化发展。

2.2 煤制甲醇占据主导

由于我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋特点, 煤炭作为甲醇生产的主要原料具有得天独厚的优势。经过多年发展, 煤基甲醇已成为我国甲醇工业的中流砥柱。据权威机构统计, 2021 年我国煤制甲醇产能占比高达 73.8%, 在甲醇总产能中占据绝对主导地位, 这一比例远高于全球平均水平 (约 50%)。相比之下, 国内以天然气为原料的甲醇产能则较为有限, 仅占 5% 左右, 与欧美等天然气资源丰富的国家差距明显^[2]。导致这一现象的主要原因在于, 一是, 国内天然气资源探明储量不足煤炭的 1/10, 常年依赖进口, 供应保障性和经济性都不及煤炭。二是, 现阶段国内天然气管网建设滞后, 输配能力不足, 而甲醇生产又多分布在内陆地区, 受运输半径限制, 以天然气为原料的甲醇项目多难以为继。

2.3 区域分布不均衡

受资源分布、运输半径、下游市场等多重因素影响, 我国煤制甲醇产业呈现出较为明显的区域性特征。总体来看, 我国中西部地区煤炭资源丰富, 是煤制甲醇项目布局的“主战场”。其中, 内蒙古、山西、新疆、陕西等省区凭借雄厚的资源优势, 成为全国最主要的甲醇生产基地, 上述四省区甲醇总产能已占全国的 60% 以上。相比之下, 华东、华南等经济发达但煤炭资源相对匮乏的地区, 由于缺乏原料基础, 甲醇工业发展相对滞后, 主要依赖外购甲醇来满足本地市场需求。受此影响, 我国甲醇产品区域间调运格局基本形成了“西煤东运”的特点, 大量煤制甲醇从内蒙古、陕西等地长途跨区输送至沿海地区。这种不合理的产销布局导致甲醇运输成本居高不下, 企业物流费用负担沉重。并在一定程度上加剧了甲醇区域市场的供需失衡和价格分化。

2.4 应用领域有待拓展

作为重要的基础化工原料和清洁燃料, 甲醇在国民经济中发挥着日益突出的作用。目前, 我国甲醇下游应用主要集中在化工领域, 近 70% 的甲醇被用于生产甲醛、醋酸等有机化工品, 而在新能源领域的使用比例还较低。具体来看, 约 50% 的甲醇用于合成甲醛, 25% 左右用于乙酰化合成和 MTBE 生产, 而甲醇汽油、甲醇燃料电池等能源消费量则不足 10%。究其原因, 主要在于传统化工路线技术成熟、市场稳定, 而以甲醇为代表的新型清洁燃料的应用开发还处于起

步阶段,配套基础设施建设滞后,市场培育和产业政策有待进一步加强。从长远来看,以甲醇为原料生产烯烃、芳烃等高端化学品,将成为推动传统煤化工转型升级的重要抓手。

3 煤制甲醇未来趋势分析

3.1 淘汰落后,整合提升

面对新一轮能源革命和产业变革,煤制甲醇行业正处于转型发展的关键期。当前,国内甲醇市场供大于求的局面依然存在,落后和过剩产能仍然较多。

“十四五”期间,国家将进一步优化甲醇产业结构,严格控制新增产能,加快淘汰能耗高、环保不达标的落后产能。同时,政府还将引导行业向规模化、集约化方向发展,鼓励龙头骨干企业通过兼并重组、联合改造等方式,整合区域内分散的中小企业,最大限度发挥协同效应。预计到“十四五”末,全国甲醇产能将进一步向内蒙古、山西、陕西等煤炭资源富集区集中,大型煤制甲醇企业的市场占有率将进一步提高,产业集中度显著增强。另外,对标国际先进水平,企业还需着力优化工艺路线,加强全流程管控。通过源头减量、过程增效、末端减排等系统优化手段,进一步降低煤耗、电耗等指标,在保障装置高负荷稳定运行的同时,实现清洁高效生产。

3.2 坚持创新,突破瓶颈

我国煤制甲醇生产技术虽然整体上已经较为成熟,但在气化、净化、合成等核心环节还存在不少技术难题有待攻克。比如原料适应性差,劣质煤利用率低;含硫、含氮等杂质净化不彻底,极易引起催化剂中毒失活;合成反应转化率和选择性有待进一步提高等。对此,未来必须坚持创新驱动,强化产学研用一体化协同攻关^[3]。在基础研究方面,针对原料性质和工艺条件对化学反应机理的影响规律开展深入研究,为工艺优化和放大提供理论指导。在共性技术方面,重点围绕高效水煤浆气化、深度净化、甲醇合成新催化剂等关键环节,加大研发投入力度,力争取得新的突破,进一步提升产业的核心竞争力。同时,还应积极探索煤炭清洁高效利用的新途径、新模式。以煤制甲醇为平台,通过向下游延伸发展煤制烯烃、煤制芳烃等新兴煤化工产业,实现资源的梯级利用和价值最大化。技术创新要立足国情,满足产业发展的现实需求,也要紧跟国际前沿。通过深化国际合作,引进消化吸收国外先进技术,推动行业迈向国际中高端水平。

3.3 延伸产业,拓展市场

从长远看,煤制甲醇下游应用前景广阔,仍有巨大的市场潜力有待释放。传统的化工领域固然大有可为,如以甲醇为原料生产甲醛、醋酸等大宗有机化学品,以及发展甲醇制烯烃(MTO)、甲醇制芳烃(MTA)

等新型煤化工路线,进一步丰富煤基高附加值产品种类。但更为重要的是,要顺应低碳经济发展大势,大力拓展甲醇在清洁能源领域的应用。应积极推广甲醇汽油、甲醇柴油等车用替代燃料,提高甲醇在交通运输领域的消费比重。并加快发展甲醇燃料电池,探索甲醇发电、供热等分布式能源的应用模式。同时,还要注重发挥甲醇的化学氢载体作用,把甲醇制氢作为构建氢能产业链的重要环节,支撑燃料电池汽车等领域发展。未来应立足“以化促能”,实现“化能并举”,推动甲醇由基础化工原料向清洁交通燃料、电力燃料等领域拓展渗透,培育形成新的经济增长点。当然,企业要顺应市场需求变化,及时调整发展思路和商业模式,在巩固提升现有市场份额的同时,积极抢占新兴领域的制高点,不断做大做强甲醇产业链条。

3.4 绿色发展,循环利用

当前,煤制甲醇产业作为化石能源深加工利用的重要途径,要主动适应绿色低碳发展要求,加快转型升级步伐。在生产环节,要树立“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念,通过源头减量、过程控制、末端治理等综合措施,最大限度降低污染物排放和碳足迹。如优化工艺流程,提高煤炭利用效率;开展水资源梯级利用,实现废水近零排放;推广应用节能环保新技术,如低温甲醇洗、富氧燃烧等,实现污染减排与降本增效双赢。在资源利用方面,要大力推进“煤化工+循环经济”发展模式,促进化工园区内部及产业链上下游的资源循环利用。如加强煤制甲醇与煤化工副产物气化的耦合,将合成气、干气等富含CO、H₂的尾气回收利用,生产额外的甲醇产品。再如发展煤-甲醇-烯烃(MTO)-聚烯烃一体化产业链,实现资源的多级利用和全程增值。

4 结束语

在“富煤、贫油、少气”的资源背景下,发展煤制甲醇产业是我国优化能源结构、保障基础化工原料供应的必然选择。经过多年发展,我国已建成较为完善的煤制甲醇工业体系,产业规模和技术水平稳步提升。未来应在做好存量优化的基础上,着力延链补链强链,拓展多元化的下游应用市场。同时,坚持创新引领,突破关键核心技术,并贯彻绿色发展理念,推动产业高质量发展。

参考文献:

- [1] 贾成成.SBR工艺处理煤制甲醇废水及试验研究[J].山西化工,2025,45(01):250-252.
- [2] 王文朝.焦炉煤气制甲醇工艺模拟及优化[J].山西化工,2024,44(05):108-110+113.
- [3] 司云飞.大型煤制甲醇工艺技术探讨[J].天津化工,2023,37(04):22-25.