

煤制甲醇与二甲醚过程中的节能减排策略探究

李永魁

河南开祥精细化工有限公司, 中国·河南 三门峡 472300

摘要: 煤制甲醇与二甲醚作为煤化工的重要产品, 在能源转化和清洁能源发展中占有重要地位。然而, 传统的煤制甲醇和二甲醚工艺存在高能耗和高排放问题, 因此如何提高能效、减少排放, 成为工业生产中的关键课题。论文通过对煤制甲醇与二甲醚工艺的分析, 探讨了不同阶段的节能减排策略, 提出了在生产过程中提高资源利用率、优化反应条件以及推动技术创新的有效途径。通过实践案例分析, 论文进一步验证了节能减排措施的可行性, 为煤化工企业实现绿色转型提供参考。

关键词: 煤制甲醇; 二甲醚; 节能减排; 工艺优化; 清洁能源

Research on Energy Conservation and Emission Reduction Strategies in the Process of Coal-to-Methanol and Dimethyl Ether Production

Yongkui Li

Henan Kaixiang Fine Chemical Co., Ltd., Sanmenxia, Henan, 472300, China

Abstract: As important products of coal chemical industry, coal-to-methanol and dimethyl ether (DME) play a significant role in energy conversion and the development of clean energy. However, traditional coal-to-methanol and DME processes suffer from high energy consumption and high emissions. Therefore, how to improve energy efficiency and reduce emissions has become a key issue in industrial production. This paper analyzes the coal-to-methanol and DME processes, discusses energy-saving and emission-reduction strategies at different stages, and proposes effective approaches to enhance resource utilization, optimize reaction conditions, and promote technological innovation during production. Through case studies, the feasibility of the energy-saving and emission-reduction measures is further verified, providing a reference for coal chemical enterprises to achieve green transformation.

Keywords: coal-to-methanol; Dimethyl ether (DME); energy conservation and emission reduction; process optimization; clean energy

0 前言

伴随全球能源需求持续增长以及环境污染问题的日趋恶劣, 煤化工行业背负着节能减排及可持续发展的双重压力。煤制甲醇及二甲醚作为关键化工原料与替代能源, 大量应用在化工、能源、环保等领域, 但传统工艺存在的高能耗与高排放问题不容漠视。启动煤制甲醇与二甲醚生产阶段的节能减排研究, 探求新的技术途径及优化策略, 已成为现今煤化工行业亟须应对的重大课题。论文旨在分析煤制甲醇与二甲醚生产环节中的能耗与排放特点, 设定对应的节能减排方针, 为行业的绿色化进程提供理论支撑与实践指引。

1 煤制甲醇与二甲醚生产工艺分析

1.1 煤气化过程的能效优化

煤气化是煤制甲醇和二甲醚流程中极为关键的首步, 也是整个进程中能耗及排放最为集中的时段。开展煤气化反应需高温和高压的条件支持, 这表明煤气化过程要耗费大量热能及压力以维系反应开展。传统煤气化技术往往存在能源利用效率欠佳、二氧化碳排放量较大等问题, 因传统气化工艺

未对热能进行充分利用, 从而往往会造成大量能源的无效消耗, 而且所排放的二氧化碳让环境面临较大压力。

为处理此类问题, 采用先进气化技术, 以提升煤气化的效率和环保表现。当前应用较广的高效气化炉为航天炉和 GSP 气化炉, 其中 GSP 气化炉运行温度约为 1350 °C ~1450 °C, 热效率可达 80% 以上, 相比传统固定床气化炉 (温度约 1500 °C ~1600 °C), 能耗降低约 10%~15%, 同时具有良好的环境友好性和适应多种煤种的能力。除去先进的气化技术, 改进气化反应器的结构设计和反应条件, 同样是提高煤气化能效的有效策略^[1]。合理调节反应器内温度、压力及气流分布等参数, 可以增进煤气化反应的稳定水平和效率, 继而减少能源的无谓消耗, 减少二氧化碳的排放水平, 由此实现更绿色且高效的煤气化流程。这些技术跟设计优化的联合呈现, 不仅增进了煤气化的整体能效, 还在降低环境影响这件事上作用重大。

1.2 合成气制备与甲醇合成的能效提升

在煤制甲醇过程, 合成气制备阶段能耗需求最为集中, 一般利用煤气化反应制取合成气后, 继而实施甲醇的合成。

煤气化工艺要大量能源消耗,主要含有热能与压强,以保证煤充分转化为合成气。合成气中如氢气和一氧化碳的气体成分,将在催化剂的催化下反应合成甲醇,合成反应自身能耗居高不下,把催化剂的活性和稳定性提升上去是降低能耗的关键。高效催化剂如 Cu/ZnO/Al₂O₃ 体系可将甲醇合成反应的最佳温度从传统的 270℃~300℃ 降低至 220℃~240℃,反应压强由原先的 8~10 MPa 降至 5~7 MPa,催化剂寿命可由 1~2 年延长至 3 年以上,整体能耗降低约 10%~15%。

优化合成气的组分同样是提高甲醇产率的关键手段,合成气中氢气与一氧化碳比例直接关联着甲醇合成的效率。采用精准管控气体比例,可提高甲醇的生产数量,减少过剩气体的消耗,进一步增进能源运用效率。在甲醇的合成阶段,采用多级加热及热回收技术也是提升能源使用效率的有效方法,把反应中的废热回收利用,用来预热反应物或加热其他过程阶段,可最大程度减少对外部能源的依赖,减少整体能耗规模。热回收技术包括高温余热锅炉回收煤气化炉出口烟气余热、高效换热器实现工艺流程间显热交换、有机朗肯循环 (ORC) 系统和蒸汽透平进行余热发电、热泵系统回收低品位热能;优化途径主要为采用 PINCH 分析构建最小热耗换热网络、配置多级热能梯级利用系统和构建蒸汽动力系统;目前行业最优路线为“煤气化—余热锅炉—热集成换热网络—蒸汽透平发电”一体化系统,热效率提升 5%~10%,系统能耗降低 8%~12%。

1.3 二甲醚合成的能效提升与排放控制

二甲醚合成是紧跟在甲醇合成之后进行,以往的二甲醚合成工艺多依赖高温高压反应环境,此合成过程要消耗大量的能量资源,尤其体现在加热和维持高压条件期间。该种高能耗工艺造成资源浪费和环境的沉重负担,增强工艺能源利用效率及环保性刻不容缓。

通过优化反应器的设计及催化剂的挑选,可显著减少二甲醚合成阶段的能耗。现代化的反应器设计能更有效地控制反应条件,带动反应效率增长,降低能量的闲置浪费。应用新型催化剂能在较低温压下提升反应速率,由此降低能源的耗用。除了对反应器与催化剂加以优化,对反应过程中废热的回收与利用也是减少能耗的有效手段。借助废热回收手段,回收反应阶段释放的热量,用以预热原料或给其他环节升温,可减少对外部能源的需求量,进一步提高整个流程的能源利用效能^[2]。在二甲醚合成过程中,尤其要重点留意氮氧化物 (NO_x) 等污染物的排放情况,惯用的高温反应条件容易催生 NO_x 生成,进而引起环境的污染。采用低 NO_x 燃烧技术能显著降低 NO_x 生成量,借助废气处理设施可进一步对排放进行净化,保障对环境的影响达到最小化。运用这些技术的综合采用,不仅能增强二甲醚合成步骤的能源效率,还可有效管控住环境污染,推动绿色化学工业迈向新台阶。

2 煤制甲醇与二甲醚过程中的节能减排技术

2.1 节能技术的应用

提高能源利用效能是降低煤制甲醇与二甲醚生产能耗的核心途径之一。伴随能源成本持续上涨以及环保要求愈发严苛,如何在保障产能与产品质量的阶段降低能源消耗,成为各大化工企业急需攻克的关键课题。导入先进的热能回收系统乃提升能源效率的有效手段之一,采用余热锅炉跟热泵技术达成,能充分回收生产期间所产生的废热,且可把它用在预热反应物或是加热别的生产环节。该热能回收系统的运用可极大减少对外部能源的依赖,减少燃料的耗用,减低生产支出,同时减少环境背负的压力。

使用高效催化剂同样可大幅提升生产过程的能源利用效率。高效催化剂可促进反应速率提升,降低反应所需的温压,进而减少能量的支出。优化反应器设计同样是提高能源效率的关键举措,对反应器内部流体流动及热交换条件优化,可提升热效率水平,减少能源的无谓消耗,增强热交换体系,促使热量在各个环节间实现更高效传递,也能协助进一步降低能耗水平。综合应用这些技术,可降低煤制甲醇与二甲醚生产时的能源消耗,还能提高整个生产效率以及环保水平,助力可持续发展目标达成。

2.2 二氧化碳捕集与利用技术

在煤制甲醇与二甲醚的生产工艺中,二氧化碳排放是极为突出且紧迫的环保问题之一。在煤气化的操作中,产生大量作为副产品的二氧化碳,其排放进一步恶化了温室效应,还会给环境造成长期的负面后果。如何切实降低二氧化碳排放量,成为煤化工领域亟须处理的关键事项。

为化解这一困境,落实二氧化碳捕集技术成为提升环保水平的有效手段。化学吸收法是现今应用最为普遍的二氧化碳捕集技术之一,采用吸收剂(如胺类溶液)在高温高压环境中与二氧化碳起反应,让二氧化碳从气流中分离出来^[3]。膜分离技术为另一种先进的捕集途径,它依靠选择性透过性膜把二氧化碳从别的气体中分离,实现高效集聚。除了完成二氧化碳捕集操作外,利用捕集的二氧化碳同样是减少排放的关键途径。所捕集的二氧化碳能充当甲醇合成的原料,也可用以合成别的化工产品,如合成气、尿素之类,这不仅有益于削减温室气体排放,还可实现资源的循环复用。二氧化碳捕集与利用 (CCU) 技术在一定程度上可提升生产效率,采用将二氧化碳转化为有价值的化工产品举措,既减少了排放数量,还增进了经济成效。

2.3 尾气余热与副产资源的高效利用

在煤制甲醇与二甲醚过程中,尾气和副产物中仍包含一定热值与资源潜力,若加以高效回收利用,不仅可提升能源综合利用效率,还能实现“变废为宝”的节能减排目标。一方面,尾气中残余的 CO、H₂ 等可燃组分可通过燃气锅炉、燃气轮机等设备进行余热发电,构建联合循环能源系统,实

现热—电—冷的联供布局。另一方面,合成过程中产生的副产蒸汽、高温冷凝水等低品位能源可供装置区供暖、再沸器加热或脱盐系统预热使用,形成完整的能量梯级网络。此外,部分副产物如合成过程生成的粗甲醇杂质油、闪蒸气、蒸馏残液等,经过提纯与精细处理后可作为其他化工产品的原料,如用作溶剂、助燃剂或再进入气化装置循环使用。通过建设副产物处理回用装置,不仅降低排放负荷,也提升了资源综合利用水平。

3 节能减排的优化与实际应用

3.1 过程集成与系统优化

针对现代制造业而言,过程集成技术是提升能源效率的重要手段,它对生产过程各工艺环节实施优化设计,让各环节彼此能源流动变得更有效率,降低能源的无谓消耗。在煤气化与甲醇合成的生产活动中,采用引入热交换系统的方式,可以把甲醇合成反应产生的余热回收起来,且能用以预热煤气化需要的原料气,进而减少对外部能源的依赖,降低能源的消耗水平。凭借先进的模拟及优化软件对生产工艺流程实施建模和仿真,可精准地调节各个环节的操作参数,实现能源合理的分配,实现生产效率和能源利用的双重高效化。此举措不仅能提升能源利用效率,还可在保证产品质量跟产量过程中,降低环境受污染水平,顺应现代工业绿色低碳发展的要求。

3.2 智能化控制与管理系统

伴随数字化与智能化技术的迅猛进步,智能化控制与管理系统对能效优化及排放控制的作用愈发重要。借助先进传感器技术、自动化控制系统以及大数据分析技术的集成,可以对生产进程中的能源使用情况进行实时监测与动态解析^[4]。经传感器采集实时数据,能监测到能源实时的消耗情形,及时找出异常现象或潜在的能源浪费情形。经由自动化控制系统迅速实施调整,利用大数据分析,这些系统可预测能源需求与排放的变化,呈现优化规划,由此达成能源利用的最优布局与排放的最小化目标。智能化管理系统还能借助自学习与自适应特性,逐步优化生产工序,达成能效与排放控制的精准高效,为企业可持续发展奠定坚实技术后盾。

3.3 实际案例分析与经济效益

实施节能减排技术在煤化工行业中意义极为关键,不仅可切实减少能源消耗与环境污染,还会在增进企业经济效

益方面发挥关键功效。在煤化工生产的过程中,能源消耗、碳排放为最大的两个难题,传统的煤气化和合成气制备流程经常要消耗大量能源,同时伴随较高的二氧化碳排放^[5]。采用对工艺流程的优化方法,如提升催化剂的实际效率、改进反应器的整体设计、增强热回收系统的效果等,能切实削减能源的需求,降低废热跟废气的排放规模,进而减弱生产过程对环境的负面干扰。二氧化碳捕集及利用技术的采用,可把二氧化碳捕集之后转化为有价值的化工产品,既降低了温室气体的排放规模,还产生了新的经济价值增长点。

以一些煤化工企业举例,应用节能减排技术后,获得了明显的成效。借助优化煤气化工艺及合成气制备进程,提升了反应器热效率与催化剂性能,成功把能源消耗削减了15%以上。该企业还采用了二氧化碳捕集及利用技术,所捕集的二氧化碳被转化成附加值颇高的化工产品,就如尿素与合成气,切实降低了碳排放强度,也提升了经济红利。依靠这些技术的采用,该企业在减少环境负面影响的同时,增大了市场竞争砝码,提高了整体经济成效,展现了节能减排技术在煤化工行业的庞大潜力。

4 结语

煤制甲醇与二甲醚生产过程中节能减排的措施既需要技术创新,又要依靠工艺的优化与合理的管理。通过提高能源利用效率、降低污染物排放以及推动清洁能源的应用,煤化工行业可以在实现经济效益的同时,推动绿色低碳发展。随着相关技术的不断成熟和推广,煤制甲醇与二甲醚的生产过程有望在节能减排方面取得更大突破,为实现可持续发展目标作出积极贡献。

参考文献:

- [1] 路明,吴金华,刘磊.煤基甲醇制乙醇工艺路线分析研究[J].化工与医药工程,2025,46(1):18-22.
- [2] 李航杰,肖月华,肖佳乐,等.镓改性的铜基疏水催化剂用于CO₂选择性加氢制二甲醚的研究[J].Chinese Journal of Catalysis,2023,54(11):178-187.
- [3] 贾强,任献涛.甲醇气相脱水制二甲醚装置运行中问题及技改措施[J].河南化工,2024,41(6):49-51.
- [4] 洪波,程良日,李玉婷.均温型反应器在二甲醚装置改造中的应用[J].煤化工,2023,51(2):72-76.
- [5] 郑泽宇,崔灵瑞,刘操,等.基于热力学计算的CO₂催化加氢制二甲醚流程分析[J].低碳化学与化工,2024,49(10):103-109.