

低水汽比变换在煤化工中的应用

沈巧丽¹ 武建军²

1 国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司

2 国能新疆煤制气有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17079

[摘要] 低水汽比变换技术在煤化工领域意义重大。该技术不仅能满足煤化工原料气处理需求,实现高效气体转化,还能显著节能降耗,降低生产成本。同时,低水汽比环境对催化剂性能产生多方面影响,涉及热力学、动力学及催化剂自身性能。为更好地应用该技术,本文提出催化剂选型与优化、操作条件优化、原料气预处理、余热回收利用以及智能化控制等优化策略,旨在提升低水汽比变换技术在煤化工中的应用效果,推动行业高效、绿色发展。

[关键词] 低水汽比变换; 煤化工; 催化剂性能; 优化策略

中图分类号: TQ54 **文献标识码:** A

Application of Low Steam-to-Gas Ratio Shift in Coal Chemical Industry

Qiaoli Shen¹ Jianjun Wu²

1 Coal-to-Liquids Branch, CHN Energy Ningxia Coal Industry Co., Ltd.

2 CHN Energy Xinjiang Coal-to-Gas Co., Ltd.

[Abstract] Low steam-to-gas ratio shift technology holds significant importance in the coal chemical industry. This technology not only meets the requirements for syngas treatment and enables efficient gas conversion but also notably saves energy, reduces consumption, and lowers production costs. Meanwhile, the low steam-to-gas ratio environment exerts multifaceted influences on catalyst performance, involving thermodynamics, kinetics, and the intrinsic properties of the catalyst. To better apply this technology, this paper proposes optimization strategies including catalyst selection and optimization, adjustment of operating conditions, feed gas pretreatment, waste heat recovery and utilization, and implementation of intelligent control. These strategies aim to enhance the application effectiveness of low steam-to-gas ratio shift technology in the coal chemical industry, promoting its efficient and green development.

[Key words] Low Steam-to-Gas Ratio Shift; Coal Chemical Industry; Catalyst Performance; Optimization Strategies

引言

煤化工在保障我国能源供应与推动产业升级上意义重大,原料气处理转化中的变换反应尤为关键。传统变换工艺因水汽比高、能耗大,难以契合现代煤化工高效、节能、环保的发展需求。在此背景下,低水汽比变换技术诞生,它通过降低水蒸气与原料气比例,既提升反应效率,又降低能源消耗与生产成本。深入研究其应用,对增强煤化工产业竞争力、实现可持续发展意义非凡。

1 低水汽比变换在煤化工生产中的关键作用

1.1 满足原料气处理需求

在煤化工生产中,原料气成分复杂且含有多种杂质,需经过变换反应调整气体成分以满足后续工艺要求。低水汽比变换技

术能精准适配不同原料气的处理需求。它可在较低水蒸气用量下,有效促进一氧化碳与水蒸气反应生成氢气和二氧化碳,实现气体成分的优化调整。与传统高水汽比变换相比,低水汽比环境减少了水蒸气对反应体系的干扰,使反应更稳定、高效。

1.2 节能降耗

低水汽比变换技术在节能降耗方面优势突出。传统高水汽比变换需要大量水蒸气参与反应,这不仅增加了水蒸气制备的能源消耗,还导致后续气体分离和提纯过程能耗升高。而低水汽比变换通过降低水蒸气用量,直接减少了水蒸气生成所需的热量,降低了能源输入。同时,较低的水汽比使反应后气体中水蒸气含量降低,减少了后续干燥、冷却等工序的处理量,进一步降低了能源消耗^[1]。

2 低水汽比变换技术对催化剂性能的影响

2.1 热力学影响

低水汽比条件下, 催化剂表面反应物浓度显著降低, 导致热力学平衡向逆反应方向偏移。根据化学平衡原理, 水汽比降低使CO与H₂O生成CO₂和H₂的反应平衡常数减小, 平衡变换率下降。此时, 催化剂需在更低的反应物分压下维持活性, 对活性位点的暴露程度和表面酸性提出更高要求。例如, 铁基催化剂在低水汽比环境中易因Fe₃O₄过度还原为FeO或Fe, 导致甲烷化副反应加剧, 热力学稳定性下降。低水汽比可能引发催化剂表面硫分布不均, 局部硫浓度过高会覆盖活性位点, 进一步破坏热力学平衡, 需通过优化催化剂组成(如添加助剂)来稳定表面化学环境。

2.2 动力学影响

低水汽比对催化剂动力学性能的影响主要体现在反应速率和活化能变化上。反应物浓度降低导致分子碰撞频率下降, 反应速率常数减小, 传质阻力增加。动力学研究表明, 低水汽比条件下, 催化剂表面H₂O解离吸附成为速率控制步骤, 其活化能较常规条件提高15%~20%。此外, 低水汽比可能改变反应路径, 例如从氧化还原机理转向吸附-表面反应机理, 导致表观动力学级数变化。为抵消动力学劣势, 需开发具有更高本征活性的催化剂, 如通过纳米结构调控增加活性位点密度, 或引入双金属协同效应降低反应活化能。

2.3 催化剂性能影响

低水汽比对催化剂综合性能的影响涉及活性、选择性和稳定性三方面。活性方面, 低水汽比导致催化剂表面积碳量增加, 活性位点被覆盖, 初始活性下降幅度可达30%~40%。选择性方面, 低水汽比环境易引发甲烷化、逆水汽变换等副反应, 选择性损失率较常规条件提高2~3倍。稳定性方面, 床层温度分布不均导致局部热点温度波动超过±50℃, 加速催化剂烧结和硫中毒。针对这些问题, 需开发抗积碳、抗硫中毒的专用催化剂, 如采用钙钛矿型结构增强氧移动能力, 或通过表面修饰技术构建疏水-亲水双功能表面, 以维持低水汽比条件下的长期运行稳定性^[2]。

3 低水汽比变换在煤化工应用中的优化策略

3.1 催化剂选型与优化

在低水汽比变换的煤化工应用中, 科学合理的催化剂选型与优化是提升反应效率、保障系统稳定运行的关键。(1)需依据低水汽比环境的特性来筛选催化剂类型。低水汽比条件下, 反应体系的热力学和动力学特征发生改变, 这就要求催化剂具备特定的活性组分。例如, 某些金属氧化物催化剂在低水汽比时能更好地促进一氧化碳与水蒸气的反应, 因其独特的电子结构和表面性质, 可在较低水汽分压下维持较高的反应活性。同时, 要考虑催化剂的载体选择, 合适的载体不仅能提高活性组分的分散度, 还能增强催化剂的机械强度和热稳定性, 以适应低水汽比变换过程中可能出现的温度波动和气流冲击。(2)对催化剂进行组分优化至关重要。通过添加助剂, 可以调节催化剂的酸性、氧化还原性能等。比如, 添加适量的碱金属或碱土金属助剂, 能够中和催化剂表面的强酸性位点, 减少副反应的发生, 提高目标产物

的选择性; 而引入过渡金属助剂, 则可增强催化剂的电子传递能力, 促进反应物在催化剂表面的吸附和活化, 从而提升反应速率。(3)要注重催化剂的制备工艺优化。不同的制备方法会影响催化剂的晶体结构、粒径大小和孔隙结构等。采用先进的制备技术, 如溶胶-凝胶法、共沉淀法等, 并精确控制制备过程中的条件, 如温度、pH值、陈化时间等, 可以制备出具有更高活性、选择性和稳定性的催化剂, 以满足低水汽比变换在煤化工中的严格要求。

3.2 操作条件优化

在低水汽比变换的煤化工应用里, 对操作条件进行优化是提升工艺效能、保障生产稳定的核心举措。(1)精准调控反应温度。低水汽比环境下, 反应温度对催化剂活性和反应平衡有着关键影响。温度过低, 催化剂活性不足, 反应速率缓慢, 难以达到理想的变换效果; 温度过高, 则可能引发催化剂烧结、活性组分流失, 同时促使副反应加剧, 降低目标产物收率。因此, 需依据所使用的催化剂特性和原料气组成, 通过实验与模拟确定最佳反应温度范围, 并借助先进的温度控制系统, 确保反应温度稳定在该范围内, 以维持催化剂的高效活性和反应的选择性。(2)合理控制反应压力。压力的变化会改变反应体系中各组分分压, 进而影响反应的平衡和速率。在低水汽比条件下, 适当提高压力有助于增加反应物浓度, 促进反应向正方向进行, 提高一氧化碳的变换率。然而, 压力过高会增大设备投资和运行成本, 还可能对催化剂的机械强度提出更高要求。(3)优化空速。空速反映了原料气在催化剂床层中的停留时间。空速过大, 原料气与催化剂接触时间过短, 反应不充分, 变换率降低; 空速过小, 则会导致设备处理能力下降, 生产效率降低。应根据催化剂性能和反应特点, 确定合理的空速范围, 并通过精确的流量控制装置, 稳定原料气的进料速度, 保证反应在最佳空速条件下进行, 从而实现低水汽比变换工艺的高效运行^[3]。

3.3 原料气预处理

在低水汽比变换的煤化工应用中, 原料气预处理是确保后续变换反应高效、稳定进行的重要前提, 对提升整体工艺效果起着关键作用。(1)要进行严格的除尘处理。原料气中往往含有大量固体颗粒, 如煤粉、灰尘等。这些颗粒若进入变换反应系统, 会覆盖在催化剂表面, 阻塞催化剂的孔隙结构, 降低催化剂的活性与比表面积, 严重影响反应的传质和传热过程。因此, 需采用高效的除尘设备, 如旋风分离器、袋式除尘器等, 根据原料气中颗粒的大小和浓度, 合理组合除尘工艺, 确保将原料气中的固体颗粒含量降低到极低水平, 为后续处理提供洁净的气体。(2)需对原料气中的硫化物进行深度脱除。硫化物对变换催化剂具有毒害作用, 会使催化剂活性中心中毒, 导致催化剂失活。常见的硫化物脱除方法有湿法脱硫和干法脱硫。湿法脱硫可利用碱性溶液吸收硫化物, 适用于处理硫化物含量较高的原料气; 干法脱硫则通过固体吸附剂吸附硫化物, 具有操作简单、脱硫精度高的优点。应根据原料气中硫化物的种类、含量以及后续工艺要求, 选择合适的脱硫方法和吸附剂, 确保将硫化物含量控制在极低

范围内,保护催化剂不受损害。(3)要调节原料气的组成和温度。根据低水汽比变换反应的要求,对原料气中一氧化碳、氢气、二氧化碳等组分比例进行调整,使其达到适宜的反应比例。同时,通过换热设备对原料气进行预热或冷却,使其温度接近变换反应的最佳温度,减少反应系统对能量的额外需求,提高整个工艺的能源利用效率。

3.4 余热回收与利用

在低水汽比变换的煤化工应用中,余热回收与利用是提升能源利用效率、降低生产成本、实现绿色发展的关键环节。(1)精准识别余热来源。低水汽比变换过程中,反应器出口气体、设备表面散热以及蒸汽冷凝等环节都会产生大量余热。反应器出口的高温气体携带了反应释放的大量热量,其温度通常较高,具有较高的回收价值;设备在运行过程中,因热传导会向周围环境散失热量;蒸汽在完成做功或传热后冷凝,也会释放出一定热量。明确这些余热来源,是进行有效回收利用的基础。(2)选择合适的余热回收技术。对于高温气体余热,可采用换热器进行回收,通过与低温介质(如水、空气等)进行热交换,将高温气体的热量传递给低温介质,使其升温,实现热量的转移和利用。根据不同的工艺要求,可选择管壳式换热器、板式换热器等不同类型的换热设备。对于设备表面散热,可采用保温材料进行隔热处理,减少热量散失,同时可结合热管技术,将设备表面的热量收集并传输到需要热量的地方。对于蒸汽冷凝余热,可利用蒸汽冷凝水回收装置,将冷凝水收集并重新送回锅炉,实现水资源的循环利用和热量的回收。(3)合理规划余热利用途径。回收的余热应聚焦于节能降耗与循环利用。可将其用于预热原料气,直接降低反应加热的能耗;也可通过特定装置转化为电能,为工厂部分设备供电;还能参与其他工业流程实现循环利用,多途径提升能源综合利用效率,助力低水汽比变换工艺达成节能降耗目标。

3.5 智能化控制

在低水汽比变换工艺于煤化工的应用中,智能化控制是提升生产效率与稳定性的关键优化策略,结合黑屏操作理念,可从以下方面着手。(1)构建智能监测系统。在变换装置的关键部位,如反应器、换热器等,安装高精度传感器,实时采集温度、压力、

气体成分等数据。这些数据通过高速网络传输至中央控制室,利用先进的算法和模型进行深度分析,精准掌握工艺运行状态,为后续的智能决策提供可靠依据。(2)实现智能调节与优化。基于实时监测数据,智能控制系统能够自动调整工艺参数,如原料气流量、水汽比、催化剂活性等。当系统检测到某一参数偏离设定值时,会迅速启动调节机制,确保工艺始终处于最佳运行状态。同时,通过机器学习算法,不断优化调节策略,提高系统的自适应能力,减少人工干预,逐步向黑屏操作迈进。(3)强化故障预警与应急处理。智能化控制系统具备强大的故障诊断功能,能够提前识别潜在的设备故障或工艺异常,并及时发出预警。一旦发生故障,系统可自动启动应急预案,如切换备用设备、调整工艺流程等,将故障影响降至最低,保障生产的连续性和安全性。通过智能化控制与黑屏操作的深度融合,低水汽比变换工艺在煤化工中的应用将更加高效、稳定、安全^[4]。

4 结束语

低水汽比变换技术在煤化工领域的应用,是顺应行业高效、绿色发展需求的必然选择。它凭借在满足原料气处理、节能降耗等方面的突出优势,为煤化工生产带来了新的活力与机遇。从催化剂的精心选型与优化,到操作条件的精准把控,再到原料气预处理、余热回收利用以及智能化控制的全面推进,每一环节的优化都助力该技术不断完善。未来,随着技术的持续创新与突破,低水汽比变换有望在煤化工中发挥更大作用,推动行业向更高质量、更可持续的方向迈进,创造更为可观的经济与环境效益。

[参考文献]

- [1]康永红,武建军.低水汽比变换在煤化工中的应用[J].现代工程项目管理,2024,3(19).
- [2]刘景隆.低水汽比变换在煤化工中的应用[J].化学工程与装备,2020,(10):34-35.
- [3]王保刚,张明,苏辽宁,等.低温甲醇洗装置排放尾气中挥发性有机物治理技术改造[J].肥料与健康,2021,48(2):25-29+32.
- [4]戴豪波,陈瑶姬,孙浩,等.蓄热式热氧化技术在煤制气低温甲醇洗尾气治理中的应用[J].能源与节能,2021,15(3):61-62+70.