

煤化工技术发展与新型煤化工技术研究

白皓宇

中科合成油内蒙古有限公司 内蒙古鄂尔多斯 010321

摘要: 随着工业化进程的不断推进, 能源需求持续增长, 化石能源作为主要能源来源, 面临着资源枯竭和环境污染的双重挑战。在这样的背景下, 煤化工技术作为一种重要的能源转换技术, 成为全球关注的焦点。煤化工技术不仅能够高效利用煤炭资源, 还能为清洁能源的生产提供技术支撑, 对实现能源结构优化和可持续发展具有重要意义。本文旨在探讨煤化工技术的发展历程及其在现代工业中的应用, 希望为煤化工技术的进一步发展提供理论支持和实践参考, 为推动我国能源结构优化和工业转型升级提供新的思路。

关键词: 煤化工; 新型煤化工; 技术发展

引言

21世纪以来, 全球能源需求持续增长, 化石能源的过度依赖导致了严重的环境问题和资源枯竭的风险。煤炭作为我国的主要能源和重要的工业原料, 其高效清洁利用成为实现可持续发展的重要课题。然而, 传统的煤化工技术在生产和应用过程中存在能耗高、污染严重、资源浪费等问题, 已经无法满足现代工业对高效、清洁、绿色能源技术的需求。在“双碳”目标的推动下, 我国能源结构转型迫在眉睫。新型煤化工技术作为煤炭清洁高效利用的重要途径, 能够将煤转化为清洁的气体燃料、液体燃料和化工产品, 为实现煤炭资源的高效利用和污染物排放的减少提供了技术保障。此外, 新型煤化工技术的应用还能够减少对石油等不可再生资源的依赖, 提高国家能源安全水平。

一、煤化工技术的发展历程

随着工业化进程的不断推进, 煤化工技术经历了从传统到现代的深刻演变, 逐步从简单的煤炭加工向高效、清洁、资源化利用方向迈进。早期的煤化工技术主要以气化、液化和焦化为核心, 这些技术在工业革命期间为能源和化工产品的生产提供了重要支撑。例如, 煤气化技术通过将煤炭转化为气体燃料, 成为当时重要的能源供给方式; 煤液化技术则将固体煤炭转化为液体燃料, 为交通运输领域提供了新的能源选择; 而焦化技术则通过高温炼焦制得冶金焦炭, 为钢铁工业的发展奠定了基础。然而, 这些传统技术普遍存在能耗高、污染严重、效率低的问题, 难以满足现代工业化对能源清洁化和高效化的需求。

进入21世纪以来, 现代煤化工技术得到了飞速发展。以气化炉为代表的大型化装置逐步取代了小型化设备, 效率和产量显著提升。同时, 清洁化技术的应用使得煤化工过程中的污染物排放大幅减少, 例如烟气脱硫、脱硝技术和除尘设备的普及有效降低了大气污染。此外, 煤气化合成液体燃料、煤制天然气以及煤基多联产技术的突破, 为煤炭的高效转化提供了新的途径。与国外相比, 国内煤化工技术在气化和液化领域取得了显著进展, 但在部分核心技术和装备水平上仍存在差距。总体来看, 煤化工技术的发展趋势正朝着智能化、绿色化和资源化方向迈进, 为全球能源结构的优化和低碳经济的实现提供了重要支撑。

二、新型煤化工技术研究

(一) 煤气化技术的创新

煤气化技术的创新突破了传统工艺的局限性, 通过优化反应条件与设备设计显著提升了能源转化效率。新型气化炉采用高温高压环境增强碳转化率, 结合高效催化剂的应用, 将煤气化产物中的有效气比例提高至90%以上; 气流床技术依托高速气流与粉煤的充分混合, 实现反应温度精准控制, 拓宽了原料煤种适用范围, 灰渣残碳率降低至5%以内。单炉煤气化技术通过模块化设计整合多工序流程, 缩短反应路径的同时减少设备占地规模, 工业示范项目验证其日处理量可达3000吨级。低排放技术路径的探索进一步耦合碳捕获单元, 使每吨合成气生产的二氧化碳排放削减40%, 灰水闭路循环系统实现废水零排放。这些技术革新推动煤气化从单一燃料生产向制氢、化学品合成等高端领域延伸, 形成煤基产业链的清洁化重构。

（二）煤液化技术的突破

煤液化技术的突破聚焦于高效转化与低碳路径的协同创新，间接液化通过费托合成催化体系的优化实现产物选择性调控，高活性钴基催化剂的应用使柴油馏分收率提升至60%以上，工艺能耗较传统方法降低25%；直接液化技术针对高温高压条件下的煤浆预处理技术取得进展，微界面强化反应器设计缩短停留时间至30分钟以内，残渣率降至10%以下。煤制芳烃技术通过分子筛催化剂定向调控芳环结构，液相产物中BTX（苯、甲苯、二甲苯）占比突破35%，拓展了煤基化学品的高值化路径。工艺废水处理环节引入超临界水氧化技术，COD去除率超过99%，废热回收系统同步降低能耗15%。神华百万吨级煤制油示范项目验证了全系统能效达42%，单位产品水耗较国际标准削减30%，标志着煤液化技术向规模化、清洁化迈入新阶段。

（三）煤炭清洁利用技术

煤炭清洁利用技术通过多路径融合推动污染物排放与资源浪费的双重削减，超临界燃煤发电机组采用高温高压参数使供电效率突破45%，同步降低煤耗10%；循环流化床燃烧技术整合炉内脱硫与分级燃烧，氮氧化物排放浓度压缩至50mg/Nm³以下，灰渣活性提升后转化为水泥掺混料利用率达90%。化学链燃烧技术借助载氧体实现碳捕集内嵌式设计，燃烧过程二氧化碳富集度提升至95%以上，捕集能耗降低40%。煤气化联产系统中，合成气净化单元集成低温甲醇洗与膜分离技术，硫化氢脱除率超过99.8%，硫资源回收制备硫酸实现循环经济。煤基固废资源化领域，粉煤灰提取氧化铝联产硅胶技术将铝硅分离效率提高至85%，酸浸渣用于土壤改良剂开发拓宽应用场景。多污染物协同控制平台整合除尘、脱硝与重金属吸附模块，烟气超低排放指标稳定优于国家标准，推动煤炭利用从末端治理向全过程清洁化转型。

三、煤化工技术中的碳减排与资源化利用

（一）煤化工过程中的碳排放问题

煤化工过程中的碳排放问题主要集中在煤炭加工与转化的各个环节，涉及燃料燃烧、工艺反应和设备运行等多个方面，导致其碳排放强度显著高于其他能源利用方式。据研究显示，吨煤入厂的碳排放系数在不同工艺中差异较大，传统煤化工装置的碳排放强度通常在1.5至2.5吨二氧化碳当量之间，而现代煤制燃料技术虽有所优化，仍难低于1.8吨二氧化碳当量。主要碳排放来源包括煤炭气化、液化和焦化过程中的高温反应，以及合成气体的净化与下游产品的生产环节。此外，煤化工装置的能耗高，间接导致了额外的碳排放。碳排放强度的量化

研究表明，合成氨和煤制油工艺的碳排放强度较高，而煤制天然气和化学品合成工艺的排放相对较低。这些排放不仅加剧了温室效应，还面临着越来越严格的环境政策和市场对低碳技术的迫切需求。因此，如何通过技术升级和管理优化大幅降低煤化工过程的碳排放强度，已成为行业可持续发展的关键挑战。

（二）碳捕获与封存（CCS）技术在煤化工中的应用

碳捕获与封存（CCS）技术在煤化工中的应用成为减少产业碳排放、应对气候变化的关键手段。通过化学吸收、物理吸收或膜分离等方法，二氧化碳在煤化工装置的烟气或工艺尾气中被高效捕获，随后通过压缩、运输至合适的地质封存地点，如枯竭的油气田或深海沉积层，实现长期储存。这一技术不仅有效降低煤化工过程中的二氧化碳排放强度，还能推动能源结构的低碳转型，为实现碳中和目标提供重要支持。现有研究表明，不同煤化工工艺对CCS技术的需求和适应性各异，例如煤气化与煤液化装置的二氧化碳浓度较高，适合采用吸收法或膜分离法进行捕集；而煤燃烧电厂的低浓度排放则适宜使用化学吸收法。尽管CCS技术在部分示范项目中展现出显著的减排效果，但其大规模应用仍面临捕获成本高、能耗大以及封存场地有限等挑战。未来，随着技术的不断进步和减排政策的完善，CCS在煤化工领域将发挥更大的作用。

（三）煤化工副产物的资源化利用

煤化工过程中的副产物种类繁多，包括粉煤灰、煤矸石、合成气、煤化工废水及副产氢气等，其资源化利用不仅能够减少环境污染，还能创造经济价值，推动循环经济发展。以粉煤灰为例，其中富含二氧化硅和氧化铝，可被用于提取高附加值的氧化铝或制备硅基材料；同时，粉煤灰也可作为水泥掺合料或生产新型建材如保温材料。煤矸石则可通过矸石发电、制作矸石砖或用于土地复垦，实现资源化与生态化利用。合成气（CO和H₂）作为煤气化的重要产物，可被用于制备液体燃料、化工原料或作为氢能来源，进一步提升煤化工产品的高值化水平。煤化工废水经深度处理后可回用至生产系统，同时资源化提取其中的有机物制备化工原料或燃料。此外，煤化工过程中的副产余热还可用于发电或供暖，实现能量的梯级利用。通过这些资源化途径，煤化工副产物不仅减轻了环境负担，还推动了产业链的延伸与升级，为实现绿色低碳发展提供了重要支撑。

四、未来煤化工技术的发展方向

（一）智能化与数字化技术的应用

智能化与数字化技术的应用为煤化工行业带来了显

著的提升和变革。通过引入智能化监控系统,企业能够实时监测生产设备的运行状态,及时发现并解决潜在问题,显著提高了生产效率和设备利用率。数字化技术的应用使得生产流程更加透明,通过数据分析和建模,优化了工艺参数,降低了能耗和物耗,提升了整体的资源利用效率。智能化控制系统实现了生产过程的自动化,减少了人为操作的偏差,提高了产品质量的稳定性。数字化平台整合了各个生产环节的数据,为企业管理者提供实时的决策支持,帮助制定更加精准的生产计划和调度策略。同时,数字孪生技术的应用,使得企业可以在虚拟环境中模拟不同生产条件下的系统表现,从而优化工艺设计和设备布局。

智能化与数字化技术还推动了煤化工行业的绿色转型。通过智能预测和优化,企业能够更有效地控制污染物排放,减少对环境的影响。此外,设备维护的智能化延长了设备使用寿命,降低了维修成本,进一步提升了企业的经济效益。

(二) 可再生能源与煤化工的结合

可再生能源与煤化工的结合为行业绿色转型提供了新的可能性。通过将太阳能、风能等可再生能源引入煤化工生产流程,企业能够减少对化石燃料的依赖,降低碳排放强度,推动低碳发展。例如,可再生能源发电系统可以为煤化工装置提供清洁电力,替代传统燃油发电,从而减少温室气体排放。此外,可再生能源的不稳定特性可以通过储能技术与煤化工过程相结合,实现能源的平滑供应。在工艺优化方面,可再生能源与煤化工的结合也可体现在热能利用上。余热回收系统的升级能够更高效地利用煤化工过程产生的余热,结合可再生能源的热能输入,提升整体能效。同时,可再生能源驱动的电解技术可以用于合成气的纯化和提升,进一步优化生产流程。这种多能互补的生产模式不仅降低了能源消耗,还减少了污染物排放,助力煤化工行业实现清洁生产。

此外,可再生能源与煤化工的协同还体现在能源梯级利用和循环经济上。通过整合可再生能源发电、热电联产以及煤化工副产物的资源化利用,企业能够构建更加完整的绿色生产链。这种综合性能源利用模式不仅提升了能源利用效率,还促进了产业链的延伸和高值化发展,为实现低碳经济和可持续发展目标提供了有力支持。

(三) 绿色低碳技术的突破

近年来,随着全球对环境保护和气候变化的关注度不断提高,煤化工行业面临着减少碳排放、提高能效和实现资源化利用的迫切需求。绿色低碳技术的创新不仅有助于降低煤化工过程中的碳排放,还能推动行业的整

体向清洁、高效和可持续方向转型。

首先,碳捕获与封存(CCS)技术的突破为减少煤化工碳排放提供了新的可能性。通过化学吸收、物理吸收或膜分离等方法,二氧化碳在煤化工装置的烟气或工艺尾气中被高效捕获,随后通过压缩、运输至合适的地质封存地点,如枯竭的油气田或深海沉积层,实现长期储存。这一技术不仅有效降低煤化工过程中的二氧化碳排放强度,还能推动能源结构的低碳转型,为实现碳中和目标提供重要支持。尽管目前CCS技术在部分示范项目中展现出显著的减排效果,但其大规模应用仍面临捕获成本高、能耗大以及封存场地有限等挑战。

其次,能源高效利用技术的进步显著提升了煤化工生产的能效。通过优化工艺流程、提高设备能效和实施能量梯级利用,煤化工企业能够更高效地利用能源,减少能源浪费。例如,改进气化炉的设计和操作条件可以提高煤炭的气化效率,同时,余热回收系统的应用能够将煤化工过程中的余热回收再利用,进一步提升整体能效。

另外,清洁燃烧技术的发展也对减少污染物排放和提高燃烧效率起到了积极作用。新一代的清洁燃烧设备能够更高效地燃烧煤炭,并通过脱硫、脱硝和除尘等技术,大幅降低污染物的排放。这不仅有助于改善环境质量,还能提高煤化工生产的清洁度。

结束语

总之,煤化工技术的发展不仅关乎能源的高效利用,更是实现低碳经济和可持续发展的重要途径。随着技术的不断进步和研究的深入,煤化工行业将迎来更广阔的发展前景,为构建绿色、低碳、循环的未来能源体系奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 陈艾, 焦洪桥, 王秀江, 等. 新型煤化工产业生态化发展的政策分析, 技术路径研究[J]. 煤化工, 2023, 51(3): 1-5.
- [2] 李昂. 煤化工技术发展现状与新型煤化工技术分析[J]. 化工管理, 2023(2): 70-72.
- [3] 张广金. 基于环保理念的新型煤化工技术研究[J]. 煤炭新视界, 2023(1): 142-144.
- [4] 牛志军. 双碳背景下的新型煤化工技术分析[J]. 山西化工, 2024, 44(1): 266-268.
- [5] 牛志军. 煤化工技术发展新型煤化工技术探讨[J]. 山西化工, 2024, 44(2): 41-43.