

煤气化技术应用现状及发展趋势

陈 飞

国家能源集团宁夏煤业有限公司煤制油分公司 宁夏 银川 750011

摘 要：本文综述了煤气化技术的基本原理、分类及在各行业的应用现状，包括电力行业、化工行业、钢铁行业及其他行业。同时，文章深入探讨了煤气化技术的发展趋势，包括技术创新与工艺优化、环保与可持续发展、智能化与数字化发展以及多联产与综合利用。这些趋势不仅展现了煤气化技术的广阔前景，也为煤炭资源的高效清洁利用提供了重要方向。

关键词：煤气化技术；应用现状；发展趋势

引言

煤气化技术作为煤炭清洁高效利用的关键途径，近年来得到了快速发展。本文首先介绍了煤气化的基本原理和工艺分类，随后详细阐述了煤气化技术在电力、化工、钢铁等行业的应用现状。在此基础上，文章进一步分析了煤气化技术的发展趋势，旨在为推动煤炭资源的绿色转化和高效利用提供理论支撑和实践指导。

1 煤气化技术原理及分类

1.1 煤气化基本原理

煤气化基本原理涵盖了化学反应过程与热力学、动力学原理两大核心方面。在高温（通常超过1000℃）、高压（数兆帕至数十兆帕）及气化剂（如水蒸气、氧气或二氧化碳等）的协同作用下，煤炭经历热解、氧化与还原等一系列复杂的化学反应。热解过程中，煤的大分子结构断裂，生成小分子烃类及焦油；氧化反应则涉及煤与气化剂中的氧发生作用，生成一氧化碳与二氧化碳，伴随大量热能释放；而还原反应主要是水煤气反应，即一氧化碳与水蒸气反应生成氢气和二氧化碳。这些反应相互交织，其方程式如 $C+H_2O\rightarrow CO+H_2$ 、 $C+O_2\rightarrow CO_2$ 等，均需在特定温度、压力及气化剂浓度条件下进行。热力学上，煤气化过程伴随着显著的能量转换，需精确调控以优化能量利用效率。动力学方面，反应速率受温度、压力、催化剂及煤的物化特性等多重因素影响，需深入理解各反应间的竞争与协同关系，以及化学平衡的移动规律，从而为煤气化工艺的优化设计提供坚实的理论基础^[1]。

1.2 煤气化工艺分类

煤气化工艺分类主要涵盖固定床、流化床与气流床三大类。（1）固定床煤气化工艺中，煤炭在气化炉内呈固定状态，气化剂通过炉内料层进行反应。以鲁奇炉为例，其工艺流程成熟，技术参数稳定，产品气富含甲烷，适用于城市煤气及合成氨生产。然而，固定床工艺

对煤种要求较高，且炉内气流分布不均，易导致反应不充分。（2）流化床煤气化工艺则利用煤炭颗粒在气化剂作用下的流化状态，实现高效混合与传热。温克勒炉与循环流化床气化炉作为代表，展现出良好的煤种适应性与传热效率，尤其在处理高灰分、低热值煤时具有显著优势。但流化床工艺存在设备磨损、气固分离难题等挑战。

（3）气流床煤气化工艺以煤炭与气化剂的高速混合、瞬间气化反应为特点，如Texaco水煤浆气化、Shell干粉气化等。这些工艺气化强度高，合成气有效成分高，且污染排放低。不同工艺间在工艺参数、设备结构、运行稳定性等方面存在差异，需根据原料特性、产品需求及经济成本等因素综合选择。气流床工艺因其高效、环保特性，成为未来煤气化技术发展的重要方向^[2]。

2 煤气化技术在各行业的应用现状

2.1 电力行业

电力行业中，IGCC（整体煤气化联合循环）发电技术展现出了高效清洁的发电魅力。该技术通过煤气化单元将煤炭转化为合成气，随后进入燃气轮机发电，同时利用余热产生蒸汽驱动蒸汽轮机发电，并实现余热回收，各单元协同工作，构成了高效的联合发电系统。以美国Duke能源公司IGCC电站及中国华能绿色煤电天津IGCC电站为典型案例，这些项目不仅建设规模大，而且运行性能优异，经济指标良好，环境效益显著，实现了煤炭的高效清洁利用。然而，IGCC发电技术也面临着成本压力、技术可靠性及政策支持等挑战。在未来能源结构调整中，IGCC技术需不断创新，提高经济性与可靠性，以在与传统燃煤发电及新兴可再生能源发电的竞争中脱颖而出，展现出更广阔的发展前景。

2.2 化工行业

在化工行业，煤气化技术发挥着举足轻重的作用。以合成氨生产为例，通过煤气化制得合成气，再经变

换、净化及氨合成等工序，实现了从煤炭到氨的高效转化。不同煤气化工艺的选择直接影响合成氨的成本、能耗及产品质量，而煤气化技术的原料气供应稳定灵活，为合成氨生产提供了可靠保障。此外，煤气化技术还广泛应用于甲醇及其他化学品的合成，如通过合成气转化技术制备甲醇、二甲醚、烯烃等，极大地拓展了煤化工产业链。以神华包头煤制烯烃项目、陕西煤化工集团甲醇及下游产品项目为代表，煤气化技术不仅推动了化工产品的多元化、高端化发展，还带来了显著的经济效益，彰显了其在化工行业中的重要地位与广阔应用前景。

2.3 钢铁行业

在钢铁行业，煤气化技术同样展现出了其独特的应用价值。高炉喷吹煤气化技术通过合成气替代部分焦炭，不仅降低了焦炭消耗，提高了高炉产量与铁水质量，还实现了显著的节能减排效果。以宝钢、鞍钢等企业的应用实践为例，不同煤气化工艺在高炉喷吹中展现出了各异的应用效果，虽面临技术难点，但通过不断创新与解决方案的提出，有效提升了钢铁企业的生产成本效益与环保水平。此外，煤气化技术还被应用于直接还原铁生产，其以合成气为还原剂，相较于传统高炉炼铁，具有原料灵活、产品优质、能耗低及二氧化碳排放少等优势。随着钢铁行业对绿色低碳发展的追求，煤气化技术在直接还原铁生产中的应用潜力巨大，新型直接还原工艺的开发与煤气化技术的优化集成将成为未来发展的重要趋势^[3]。

2.4 其他行业

在其他行业，煤气化技术同样发挥着重要作用。城市煤气供应方面，从早期的焦炉煤气到如今多种煤气化工艺的应用，煤气化技术一直是满足城市居民燃气需求、保障燃气供应安全的关键。然而，随着天然气等清洁能源的普及，煤气化技术面临着市场竞争与技术升级的挑战，其转型发展方向如煤气化与天然气掺混供应、煤气化制氢用于燃料电池汽车等新兴领域正逐步探索。同时，在工业燃料气领域，煤气化合成气以其灵活可调、清洁高效的特点，广泛应用于玻璃、陶瓷、建材等行业的工业窑炉、锅炉等设备中。具体工业企业的应用项目表明，煤气化技术不仅能提高工业能源利用效率、降低燃料成本，还能显著减少污染物排放，展现出良好的经济效益与环保优势，其在工业领域的推广应用与技术改进前景广阔。

3 煤气化技术发展趋势

3.1 技术创新与工艺优化

(1) 新型气化工工艺的研发正不断涌现，其中超临界

煤气化技术以其独特的优势吸引了广泛关注。该技术通过超临界条件下的气化反应，有望显著提高煤炭的转化率，同时降低气化反应的温度与压力，进而减少设备投资并提升合成气的品质。但超临界煤气化技术也面临着技术挑战，如反应条件的精确控制、设备材料的耐高压高温性能等，这些都需要进一步的研究与探索。另一方面，等离子体煤气化技术以其高温高活性的特点，为处理难气化煤种、生产高附加值化学品提供了新的可能。尽管等离子体技术存在能耗较高、设备复杂等难题，但其应用前景依然广阔。(2) 在现有工艺的改进与优化方面，气化炉的结构优化成为关键。针对固定床、流化床、气流床等不同类型的煤气化炉，科研人员正致力于提高气化炉的热效率、降低设备磨损、改善气固接触效果及增强反应稳定性。通过调整气化炉的内部结构、优化气流分布、选用耐磨材料等措施，气化炉的性能得到了显著提升。此外，气化剂的创新与优化也是煤气化技术发展的重要方向。富氧空气、二氧化碳、水蒸气与氢气混合气化剂等新型气化剂的开发与应用，不仅丰富了气化剂的选择，还使得煤气化反应过程更加灵活可控，合成气成分调节更为精确，从而提高了工艺的经济性。这些技术创新与工艺优化共同推动了煤气化技术的不断进步与发展^[4]。

3.2 环保与可持续发展

(1) 在低碳化与碳减排方面，煤气化技术与碳捕集、利用与封存(CCUS)技术的结合成为研究热点。通过煤气化合成气制氢与二氧化碳加氢合成化学品、二氧化碳地质封存等耦合应用模式，不仅有望实现煤气化过程的二氧化碳近零排放，还能推动低碳合成气生产工艺的研发，如生物质与煤共气化、煤制合成气的深度脱碳技术等。这些技术创新方向不仅减少了煤气化过程的碳排放，还为生产绿色清洁燃料与化学品提供了新路径。

(2) 在污染物控制与减排方面，煤气化过程中的脱硫、脱氮及除尘技术不断升级。湿法脱硫、干法脱硫、选择性催化还原脱硝、布袋除尘及电除尘等先进技术与设备的应用，有效确保了煤气化装置的污染物达标排放与超低排放。同时，针对煤气化废水的水质特点与处理难点，科研人员正积极探索生物处理、膜分离、高级氧化等先进技术与工艺，以提高废水处理效率，实现酚类、氨氮等污染物的有效去除。废水回用技术的发展更是推动了水资源的循环利用，助力实现零排放目标。这些环保与可持续发展的技术措施，不仅符合当前绿色发展的要求，也为煤气化技术的长期健康发展奠定了坚实基础。

3.3 智能化与数字化发展

(1) 在智能化系统构建方面,煤气化装置广泛采用了各类传感器、仪表及数据采集系统,实现了对气化过程中温度、压力、流量、成分等关键参数的实时、准确监测。这些数据为智能化控制提供了坚实的基础。同时,基于大数据分析、人工智能算法及模型预测控制等技术的智能控制算法与模型,如神经网络模型、模糊控制模型等,正在被研究开发。这些模型能够实现对煤气化过程的优化控制、故障预测与诊断,从而显著提高气化装置的运行稳定性、安全性与经济性。(2) 在数字化工厂建设方面,数字化技术被广泛应用于煤气化工厂的虚拟仿真与优化。通过构建工厂的虚拟仿真模型,可以对工厂的设计、建设、运行及维护进行全生命周期的模拟与优化。这不仅包括工艺方案的优化、设备选型与布置的优化,还涉及操作规程的优化等,从而有效降低项目投资风险与运行成本。此外,煤气化工厂还积极建立数字化管理平台,该平台集成了生产管理、设备管理、安全管理、质量管理、供应链管理等多个功能模块。这一平台的实施,实现了工厂管理的信息化、智能化与高效化,极大地提升了企业的综合竞争力。智能化与数字化的发展,不仅为煤气化技术带来了前所未有的机遇,也为行业的可持续发展注入了新的活力^[5]。

3.4 多联产与综合利用

(1) 煤气化多联产技术通过电力、化工产品及热能的联合生产,如合成氨-发电-供热、甲醇-二甲醚-发电等多联产系统,显著提高了煤炭资源的综合利用效率,降低了生产成本,并增强了系统的灵活性与抗风险能力。这一技术的核心在于实现煤气化过程与其他产业的耦合与协同发展,如煤化工与石油化工、盐化工、钢铁、建材等产业的集成创新,不仅促进了资源共享与优势互补,还推动了产业链的延伸与循环发展。例如,煤制烯烃与石油炼制的联合生产,以及煤气化合成气制氢在燃

料电池与氢燃料电池汽车产业中的协同应用,都展现了多联产技术的广阔前景。(2) 煤气化过程中的废弃物资源化利用也备受关注。通过粉煤灰制建材、废气二氧化碳捕集利用、废水处理回用或提取有用化学品等途径,构建了煤气化产业的循环经济产业链。这不仅实现了废弃物的减量化、无害化与资源化,还提高了产业的可持续发展能力。从区域层面来看,煤气化多联产技术在区域能源供应、资源综合利用及环境保护方面发挥着重要作用。在工业园区、能源化工基地等区域内,构建以煤气化为核心的能源与资源综合利用体系,有助于实现区域内能源、资源、环境与经济的协调发展,推动煤气化技术向更高层次迈进。

结语

综上所述,煤气化技术作为煤炭清洁利用的重要手段,其发展前景广阔。通过技术创新与工艺优化、环保与可持续发展、智能化与数字化发展以及多联产与综合利用等方向的不断探索与实践,煤气化技术将为煤炭资源的高效、清洁、可持续利用作出更大贡献。未来,应继续加强技术研发与示范应用,推动煤气化技术与相关产业的深度融合,助力实现碳中和目标。

参考文献

- [1]张能,乔二浪,鲁得鹏,高虎飞.煤气化技术应用现状及发展趋势[J].化工设计通讯,2022,48(07):1-3.
- [2]王利峰.我国煤气化技术与展望[J].洁净煤技术,2022,28(02):115-121.
- [3]程晓磊,张鑫.现代煤气化技术现状及发展趋势综述[J].煤质技术,2021,36(01):1-9.
- [4]杨殿阁.现代煤化工技术应用现状及发展趋势分析[J].造纸装备及材料,2021,50(9):94-95.
- [5]王石刚.环保理念下的新型煤化工技术发展分析[J].现代盐化工,2022,49(1):3-4.