

煤制气技术现状及工艺探究

赵 勋

河南龙宇煤化工有限公司 河南 商丘 476600

摘要: 本文详细阐述了煤制气技术的现状及工艺。首先介绍了煤制气技术的发展背景与意义, 凸显其在能源结构调整和煤炭清洁利用方面的重要性。深入分析了多种常见煤制气工艺, 探讨了煤制气技术面临的挑战, 对煤制气技术的发展前景进行了展望, 指出其在新型催化剂研发、工艺优化创新、多联产与耦合发展等方面的潜在发展方向, 旨在为煤制气领域的研究、开发与应用提供全面参考与指导, 促进该技术的可持续发展。

关键词: 煤制气; 气化工艺; 技术现状; 挑战与前景

引言: 在全球能源格局深刻变革与环境问题日益严峻的背景下, 寻求清洁、高效的能源利用方式已成为当务之急。煤炭作为我国储量丰富的传统能源, 其粗放式利用带来了严重的环境污染与资源浪费问题。煤制气技术作为煤炭清洁高效转化的关键途径之一, 通过一系列复杂工艺将煤炭转化为合成气(主要成分是一氧化碳和氢气), 进而可用于生产合成氨、甲醇、天然气等多种高附加值产品。这不仅有助于提升煤炭资源的利用价值, 减少对石油和天然气的依赖, 还能在一定程度上降低污染物排放, 对推动我国能源结构调整、实现煤炭产业可持续发展具有极为重要的战略意义与现实价值。

1 煤制气工艺技术分析

1.1 固定床气化工艺

1.1.1 技术原理

固定床气化工艺又称移动床气化工艺, 其以块煤或碎煤为原料, 从气化炉顶部加入, 气化剂(通常为氧气、水蒸气或空气与水蒸气的混合气)则从底部或底部侧面进入。在气化炉内, 原料煤与气化剂逆流接触, 在高温(一般为1000-1300°C)和一定压力下发生一系列复杂的化学反应。主要反应包括碳与氧气的燃烧反应, 生成二氧化碳并释放大量热量, 为后续反应提供热源; 碳与水蒸气的反应, 生成一氧化碳和氢气。随着反应的进行, 原料煤逐渐下移, 经过干燥、热解、气化和燃烧等不同区域, 最终形成灰渣从底部排出, 而生成的合成气则从顶部离开气化炉^[1]。

1.1.2 工艺流程

原料煤经预处理(如破碎、筛分)后, 通过提升设备送入气化炉顶部的煤仓, 再由加煤装置均匀加入气化炉内。气化剂经加压、预热后从气化炉底部鼓入, 与下落的煤料进行反应。反应生成的粗合成气首先经过炉内的余热回收装置, 利用其高温热量产生蒸汽或预热其他

介质, 然后进入后续的净化系统。净化系统通常包括除尘、脱硫、脱碳等工序, 以去除合成气中的固体颗粒、硫化氢、二氧化碳等杂质, 得到符合要求的合成气产品。灰渣则通过排渣装置定期排出, 并进行后续处理, 如填埋、综合利用等。

1.1.3 优缺点

固定床气化工艺的的优点显著, 其技术成熟度高, 经过长期的工业实践检验, 操作相对稳定可靠。对原料煤的适应性较强, 能够处理不同种类和品质的块煤或碎煤, 尤其是对高灰熔点、高硫煤具有一定的耐受性。此外, 该工艺产生的合成气中甲烷含量相对较高, 在生产代用天然气时具有一定优势。然而, 其缺点也不容忽视。由于原料煤为块状, 气化反应速率相对较慢, 导致气化炉的生产能力有限。单炉规模通常较小, 难以满足大规模工业生产的需求。在气化过程中, 需要使用大量的水蒸气作为气化剂, 这不仅增加了能耗, 还使得后续的水处理成本较高。而且, 该工艺存在较为严重的环境污染问题, 废气、废水、废渣中含有多种有害物质, 需要进行严格的处理和处置。

1.2 流化床气化工艺

1.2.1 技术原理

流化床气化工艺以粒度较小的粉煤为原料, 气化剂(空气、氧气、水蒸气或它们的混合气)以较高的流速从气化炉底部进入, 使炉内的煤颗粒处于流化状态, 即煤颗粒在气化剂的作用下悬浮并剧烈翻滚, 如同液体在沸腾状态下一般。在这种流化状态下, 煤颗粒与气化剂充分接触, 在高温(900-1100°C)条件下迅速发生气化反应。反应过程中, 煤颗粒中的碳与气化剂中的氧气反应生成二氧化碳和一氧化碳, 与水蒸气反应生成氢气和一氧化碳。由于煤颗粒在炉内不断运动和混合, 使得反应能够较为均匀地进行, 提高了气化效率^[2]。

1.2.2 工艺流程

粉煤经干燥、研磨等预处理后，储存于粉煤仓。气化剂经加压、预热后从气化炉底部的分布器进入炉内，使粉煤流化并开始气化反应。反应生成的合成气携带部分未完全反应的细颗粒和煤灰从气化炉顶部离开，进入旋风分离器等气固分离装置，将固体颗粒分离出来并返回气化炉继续反应。分离后的合成气再经过后续的净化系统，去除其中的杂质，得到纯净的合成气产品。流化床气化炉底部的灰渣通过排渣装置排出，可进行进一步的处理或综合利用。

1.2.3 优缺点

流化床气化工艺具有多方面的优点。其对原料煤的粒度要求相对宽松，能够处理粒度较小的粉煤，拓宽了原料煤的来源范围。气化炉内温度分布较为均匀，有效避免了局部过热现象，使得气化反应更加稳定和高效。具有较高的碳转化率，能够充分利用煤炭资源。此外，该工艺的负荷调节范围较宽，可以根据市场需求和生产实际情况灵活调整生产负荷。然而，流化床气化工艺也存在一些不足之处。合成气中的带出物较多，导致后续的气固分离和除尘工艺较为复杂，增加了设备投资和运行成本。与固定床气化工艺相比，其合成气中的甲烷含量较低，在生产天然气等富含甲烷的产品时需要进一步的甲烷化处理。而且，由于气化温度相对较低，对煤的活性有一定要求，不适用于高灰熔点、低活性的煤种。

1.3 气流床气化工艺

1.3.1 技术原理

气流床气化工艺采用极细的粉煤（通常小于0.1毫米）或水煤浆（将粉煤与水混合制成）为原料，与纯度较高的氧气（或富氧空气）在高温（1300-1800℃）、高压（2-8兆帕）下进行快速气化反应。原料和气化剂通过特殊设计的喷嘴高速喷入气化炉内，在极短的时间内完成混合、着火和气化过程。由于反应温度极高，煤中的矿物质迅速熔融并形成液态渣，沿着气化炉壁流下并排出。在这种高温高压且剧烈混合的条件下，气化反应几乎完全进行，碳转化率极高，生成的合成气主要成分是一氧化碳和氢气，杂质含量相对较低。

1.3.2 工艺流程

对于粉煤气流床气化工艺，粉煤经干燥、研磨、加压后与氧气分别通过独立的管道输送至气化炉的喷嘴，在喷嘴处混合并喷入气化炉内进行气化反应。而水煤浆气流床气化工艺则是先将粉煤与水、添加剂等混合制成水煤浆，然后经高压泵送至高压，再与氧气一同通过喷嘴喷入气化炉。反应生成的高温合成气和液态渣在气

化炉底部的激冷室中被水或其他冷却介质迅速冷却，合成气中的大部分固体颗粒和液态渣被分离出来。合成气随后进入后续的净化系统，进一步去除残余的杂质，得到高质量的合成气产品。液态渣则经固化处理后可进行填埋或综合利用^[3]。

1.3.3 优缺点

气流床气化工艺具有众多突出优点。其气化强度极高，单炉生产能力大，能够满足大规模工业生产对合成气的大量需求。碳转化率可高达98%以上，煤炭资源利用充分。合成气质量好，杂质含量少，后续净化工艺相对简单，降低了生产成本和设备投资。对煤种的适应性强，几乎可以处理各种不同类型的煤炭，包括高灰分、高硫分、高灰熔点的煤种。此外，由于气化过程在高温高压下进行，反应速度快，停留时间短，使得气化炉的体积相对较小，占地面积少。然而，该工艺也存在一些缺点。设备投资较大，由于需要高压设备、高精度的喷嘴以及复杂的冷却系统等，初期建设成本较高。对气化剂（氧气）的纯度要求较高，增加了制氧成本。而且，高温高压的操作条件对设备的材质和制造工艺提出了严格要求，设备维护和运行难度较大。

1.3.4 应用实例

德士古（Texaco）气化炉和壳牌（Shell）气化炉是气流床气化工艺的典型代表，在全球范围内得到广泛应用。我国的许多大型煤制油、煤制烯烃、煤制天然气项目均采用了气流床气化工艺。例如，神华集团的煤制油项目采用了德士古气化炉，以当地的煤炭为原料，成功生产出高品质的油品。该项目充分发挥了气流床气化工艺的优势，实现了煤炭的大规模、高效转化。但在项目运行过程中，也面临着设备磨损、运行稳定性等方面的挑战，需要不断加强设备维护、优化操作参数和改进工艺技术。

2 煤制气技术面临的挑战

2.1 碳排放与环保压力

煤制气过程中不可避免地会产生大量二氧化碳排放，这与全球日益严格的碳排放控制目标背道而驰。尽管煤制气相对于传统煤炭直接燃烧在污染物排放方面有所减少，但二氧化碳的减排任务依然艰巨。此外，煤制气工艺中的其他污染物，如二氧化硫、氮氧化物、粉尘等，也需要进行严格的处理和控制在满足环保要求。随着环保标准的不断提高，煤制气项目面临着巨大的环保压力，如何降低碳排放、实现污染物的超低排放是当前亟待解决的关键问题^[4]。

2.2 水资源消耗与污染

煤制气工艺属于高耗水行业,无论是原料煤的处理、气化过程中的冷却与洗涤,还是合成气的净化等环节,都需要大量的水资源。在我国一些水资源短缺的地区,煤制气项目的大规模建设和运营可能会加剧当地水资源供需矛盾。同时,煤制气过程中产生的废水含有多种有害物质,如酚类、氨氮、重金属等,如果处理不当,将会对水环境造成严重污染。因此,开发高效的节水技术和废水处理技术,实现水资源的循环利用,是煤制气技术可持续发展的重要保障。

2.3 投资成本与经济效益

煤制气项目的投资成本巨大,包括气化炉等核心设备的购置与安装、配套的净化系统、输送系统、公用工程设施等方面的建设费用。而且,煤制气的生产成本也相对较高,主要体现在原料煤采购、气化剂消耗、能源消耗、设备维护等方面。在当前能源市场竞争激烈的环境下,煤制气产品的价格受到石油、天然气等其他能源产品的制约,使得煤制气项目的经济效益面临较大的不确定性。如何降低投资成本、提高生产效率、优化产品结构,以增强煤制气项目的盈利能力和市场竞争力,是投资者和企业关注的焦点问题。

3 煤制气技术发展前景展望

3.1 新型催化剂研发

研发高效的新型催化剂是提高煤制气工艺性能的重要方向之一。催化剂可以加速气化反应速率,降低反应温度和压力,提高碳转化率和合成气产率。例如,开发针对特定煤种或气化工艺的专用催化剂,能够更好地适应不同原料和工艺条件的需求。同时,研究具有抗中毒性能强、使用寿命长的催化剂,可减少催化剂的更换频率,降低生产成本。此外,探索催化剂在二氧化碳转化、甲烷重整等方面的应用潜力,有助于实现煤制气过程中的二氧化碳减排和合成气组分优化,为后续产品合成提供更有利的条件。

3.2 工艺优化创新

持续推进煤制气工艺的优化创新是提高其技术竞争力的关键。通过改进气化炉的结构设计,如优化喷嘴结构、改善炉内流场分布等,可提高原料与气化剂的混合效果,增强气化反应的均匀性和稳定性。开发新型的气化工艺组合,如将不同气化工艺的优点相结合,形成复合气化工艺,有望在一定程度上弥补单一工艺的不足。例如,将固定床气化工艺与气流床气化工艺串联或并联使用,实现对不同煤种的梯级利用,提高煤炭资源的整

体利用效率。此外,在合成气净化工艺方面,研发更加高效、低成本的净化技术,如新型吸附剂、膜分离技术等,能够进一步提高合成气的质量,降低净化成本^[5]。

3.3 多联产与耦合发展

煤制气与其他产业的多联产与耦合发展是未来的一个重要趋势。例如,将煤制气与发电、供热相结合,形成“煤制气-电-热”三联供系统,实现能源的梯级利用,提高能源综合利用效率。与化工产业耦合,如煤制气-合成氨-尿素联产、煤制气-甲醇-烯烃联产等,通过优化产品链,提高产品附加值,增强项目的盈利能力。此外,探索煤制气与可再生能源(如太阳能、风能)的耦合利用模式,利用可再生能源产生的电能或热能为煤制气过程提供部分能源支持,降低对传统化石能源的依赖,实现能源结构的多元化和可持续发展。

结束语:煤制气技术作为煤炭清洁高效利用的重要途径,在当前能源结构调整和环境保护的双重压力下具有极为重要的战略意义。通过对固定床气化、流化床气化、气流床气化等主要煤制气工艺的深入分析可知,每种工艺都有其各自的特点和适用范围,在不同的煤制气项目中发挥着重要作用。然而,煤制气技术目前仍面临着碳排放、水资源、投资成本等诸多挑战,需要在新型催化剂研发、工艺优化创新、多联产与耦合发展等方面不断探索和突破。展望未来,随着技术的不断进步和创新,煤制气技术有望在能源领域发挥更大的作用,实现煤炭资源的清洁、高效、可持续利用,为我国乃至全球的能源安全和环境保护做出积极贡献。在煤制气技术的发展过程中,需要政府、企业、科研机构等各方协同合作,加大研发投入,加强技术创新,完善政策支持,以推动煤制气技术的健康、快速发展。

参考文献

- [1]王华.煤制气工艺技术的发展与应用分析[J].化工管理,2024,(15):183-185.
- [2]李刚.现代煤制气技术的研究现状与创新策略[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(07):23-25.
- [3]张宇.煤制气技术现状及工艺优化探讨[J].当代化工研究,2024,(06):149-151.
- [4]赵强.煤制气工艺的技术要点与实践应用[J].化工设计通讯,2024,50(03):1-3.
- [5]陈晨.新型煤制气技术的发展趋势与挑战[J].山东化工,2024,53(04):89-91.