

精确性和稳定性,因而须从以下几方面着手强化其精密维护管理。针对变送器类设备根据国家计量检定规程,周期性实施零点、满度以及中间点的三点校准,旨在保证其输出线性度及灵敏度达标。同时校准作业环节需采用具备有效溯源证书的标准源与数字校验仪,并且要保证环境温度处于相对恒定的状态,以此减小外界温漂干扰的影响。针对信号传输环节的维护须检测其导线绝缘电阻、接地电阻以及屏蔽是否完好情况。现场信号线除采用耐酸碱、防油、防水的电缆外,还应定期检查护套的老化情况。而气动信号系统的维护则是要保证供气的洁净度,及时排空气源罐内积水,及时更换过滤器芯,以避免杂质进入定位器节流孔^[4]。同时针对电缆端子、接线箱等外露金属表面要定期涂抹防氧化保护剂,防止铜端子氧化增加接触电阻。在日常巡检或是生产过程中发现信号传输存在漂移、噪声、间歇式丢失等问题时要马上把传输链路分成多个部分来进行测试,查找出故障点并进行维修。最后,精密维护管理工作要编制校准记录表及测试数据曲线并形成系统性档案,一方面便于后续开展仪表自动化设备性能定期分析,另一方面则有助于及时发现潜在问题并采取预防措施。

4.3 完善设备清洁、防腐与机械部件润滑维护体系

不少化工仪表自动化设备是处在高温、高湿、高腐蚀等环境下运行,如果没有做到及时清洁和防腐维护往往容易引发如电气接触不良、外壳生锈、机械部件卡滞等一系列故障,因而基于保证化工仪表自动化设备的长久正常运行须形成完善的清洁、防腐与机械部件润滑维护体系,具体为:以防静电中性清洗剂清洁仪表外壳和端子部分,同时该过程应防止水气渗入。针对酸雾或盐雾环境下运行的化工仪表自动化设备须每季度检查其防腐涂覆情况,若出现脱皮、针孔等现象应采用环氧富锌底漆和氟碳面漆两层防腐的涂覆体系开展补漆处理,从而提高防腐寿命。执行机构、调节阀、连杆机构等则须按维护计划定期注入专用的高温防腐润滑脂以使摩擦副运转灵活稳定,而齿轮传动机构则采用闭式润滑系统并对润滑油的黏度变化进行监控。防腐措施要兼顾密封件的老化问题,在选型上可使用氟橡胶或者聚四氟乙烯密封圈,并且按规定的时间换新密封件。此外,仪表接线盒里面可放一小包防潮硅胶随后在下次维护时更换,在避免绝缘体内部凝露同时防止导电短路现象的发生。针对处于高温环境

下运行的化工仪表自动化设备则加装隔热罩,并经常检查固定螺栓的紧固情况。

4.4 强化现场巡检与应急处置机制

强化现场巡检与应急处置机制是另外一项化工仪表自动化设备顺利运行的重要维护措施,具体为:建立分级责任巡检机制,运维人员每天对重点化工仪表自动化设备展开巡检,并对照巡检表核对每个设备指示值与工艺参数对应值是否一致,巡检内容包括但不限于检查压力、温度、流量、液位等各个关键仪表外观状态、信号是否正常、接线是否牢固等^[5]。应急处置环节则编制好仪表自动化设备异常响应手册,并将各类突发故障的快速隔离、旁路启用及控制切换程序予以明确,比如针对控制阀卡涩及执行机构失效设置的手动旁通阀。同时为避免多点连锁误动作现场实行应急联动机制,让运维人员和生产操作人员时刻保持信息互通,二者共同对现场突发状况第一时间作出处置决定,如停止离心泵的运行、改变反应釜等容器中的投料模式,罐区切换出料流向等。另外,运行日志中须及时录入巡检记录、应急操作,留底备查作为后期故障分析与维护的依据。

5 结语

综上所述,化工仪表自动化设备的故障预防和维护作为一项系统性、长期性且涉及内容较多的工作,科学的故障预防与规范维护措施有利于提升其可靠性,保证化工生产装置的安全性。在今后化工生产的自动化、精细化管理中应当不断加强设备的全生命周期管理,完善仪表自动化设备标准化操作体系与数据化维护记录,最终为我国化工行业的安全、绿色发展以及高质量发展提供强有力的技术保障。

参考文献

- [1] 蔡成锐.化工仪表自动化设备的故障预防与维护[J].Mechanical & Electronic Control Engineering, 2022, 4(10).
- [2] 罗朝珠.化工仪表自动化设备的故障预防与维护策略[J].科学与信息化, 2025(3):19-21.
- [3] 梁广,刘金庆,伍世友.预防性维护措施在化工仪表自动化设备中的实施分析[J].辽宁青年, 2023(13):0253-0255.
- [4] 吴亮.石油化工业仪表自动化设备的故障预防与维护探讨[J].中国石油和化工标准与质量, 2024(7).
- [5] 柴国仪.化工自动化仪表维护策略与故障预防措施[J].建筑与施工, 2024(21).

Exploration of Control and Application of Coal Chemical Gasification Products

Ningkang Zhang

Henan Longyu Coal Chemical Co., Ltd. Shangqiu, Henan, 476600, China

Abstract

Against the backdrop of the accelerated transformation of the global energy structure towards low carbonization and cleanliness, China's energy system still exhibits characteristics dominated by coal. In this context, clean and efficient utilization technology of coal has become a key link between traditional energy systems and carbon neutrality goals. Gasification technology, with its core advantages of efficient conversion, low emissions, and diversified products, has become the core path for upgrading the coal chemical industry. This article systematically reviews the formation mechanism, regulation technology system, and application path of gasification products, with a focus on analyzing the synergistic mechanism of process parameters, catalysts, and auxiliary technologies. Combining cutting-edge directions such as tar resource utilization, high-value utilization of synthesis gas, and CCUS coupling, a technological development framework driven by digitalization and low-carbon dual drivers is proposed, providing theoretical support and practical guidance for building a "clean, efficient, and sustainable" coal chemical system.

Keywords

energy; Coal chemical industry; sustainable

煤炭化工气化产物调控及应用探索

张宁康

河南龙宇煤化工有限公司, 中国·河南 商丘 476600

摘要

在全球能源结构加速向低碳化、清洁化转型的大背景下, 中国能源体系仍呈现以煤炭为主体的特征。在此情境下, 煤炭清洁高效利用技术成为衔接传统能源体系与碳中和目标的关键纽带。其中气化技术凭借其高效转化、低排放及产物多元化的核心优势, 成为煤炭化工产业升级的核心路径。本文系统梳理气化产物形成机理、调控技术体系及应用路径, 重点分析工艺参数-催化剂-辅助技术协同作用机制, 结合焦油资源化、合成气高值利用及CCUS耦合等前沿方向, 提出数字化与低碳化双重驱动下的技术发展框架, 为构建“清洁-高效-可持续”的煤炭化工体系提供理论支撑与实践指引。

关键词

能源; 煤炭化工; 可持续

1 引言

煤炭气化过程通过热化学转化将固态煤转化为气态、液态及固态产物, 其核心反应路径包括热解、气化及重整阶段。合成气主要源于煤中碳与水蒸气/氧气发生的水煤气反应及部分氧化反应, 其组分比例受氧煤比与蒸汽/碳比调控。焦油作为热解阶段的不完全转化产物, 由单环至多环芳烃及含氧/含氮杂环化合物组成, 其产率与热解温度呈负相关。炭黑则通过气相成核与表面生长机制形成, 其粒径分布与比表面积受反应器流场特性影响。液体燃料通过费托合成或甲醇制烯烃路径衍生, 其产率与合成气中 H_2/CO 比密切相关。原料特性方面, 高挥发分煤促进焦油生成, 高灰分煤通过催

化作用改变气化反应路径, 而硫分易导致催化剂中毒, 进而影响产物分布与系统稳定性。

2 产物调控技术

煤炭气化产物调控技术通过工艺参数优化、催化剂设计及辅助技术协同作用, 实现对合成气组分、焦油产率及炭黑特性的精准控制。工艺参数方面, 温度是影响反应路径的关键变量: 在流化床气化中, 提高反应温度可促进水煤气变换反应, 使合成气中 H_2/CO 比从1.5提升至2.8, 但温度超过 $1200^{\circ}C$ 时焦油裂解加剧, 导致炭黑颗粒因表面能降低而团聚, 粒径分布宽化至50-100 nm。压力调控通过改变气体分压影响反应平衡, 加压至4-6 MPa可强化气固接触效率, 使碳转化率提高12%-15%, 但过高压力会抑制挥发分释放, 增加焦油二次裂解难度。氧/蒸汽比作为氧化剂与气化剂的配比参数, 直接影响合成气产率与组成: 当氧/蒸汽比从0.3

【作者简介】张宁康(1995-), 男, 中国安徽淮北人, 本科, 助理工程师, 从事化工工程研究。

增至 0.6 时, 部分氧化反应增强, 合成气热值提升 25%, 但过量氧气会导致燃烧反应占优, H_2/CO 比骤降至 1.2 以下。原料预处理技术通过脱灰、脱硫及热解预处理改善反应活性, 例如酸洗脱除煤中 30% 灰分后, 气化反应速率常数提高 1.8 倍, 硫分降低至 0.5% 以下可避免 Ni 基催化剂中毒失活。

催化剂体系的设计聚焦于活性组分与载体协同效应。金属催化剂中, Fe 基催化剂因成本低廉被广泛应用于费托合成, 但其活性位点易因积碳失活, 需通过 CeO_2 掺杂构建氧空位, 将 CO 转化率从 75% 提升至 92%; Ni 基催化剂在 1100°C 下仍保持 95% 以上活性, 但需控制 Ni 粒径以抑制烧结, La_2O_3 载体通过强金属-载体相互作用将 Ni 分散度提高至 45%。双功能催化剂结合金属活性中心与酸性位点, 例如 Ni-Mo/ Al_2O_3 催化剂通过 MoO_3 提供 Brønsted 酸位, 同步实现焦油加氢裂解与合成气甲烷化。氧化物催化剂中, CeO_2 凭借优异的储氧能力促进水煤气变换反应, 在低温下即可将 CO 浓度降至 5% 以下; La_2O_3 通过表面碱性位吸附 CO_2 , 使合成气中 H_2 纯度提高至 90%。

3 焦油深度转化与资源化

煤炭气化过程中产生的焦油是复杂多环芳烃类有机物的混合物, 其组分构成直接影响后续转化路径与资源化效率。从化学结构特征看, 焦油主要由芳香族化合物、烷基取代物及含氧/含氮杂环化合物组成。其中, 芳香族核心以萘、菲及蒽等稠环芳烃为主, 这类物质因共轭 π 键结构稳定, 需在高温或催化剂作用下才能实现深度裂解; 烷基侧链则包含甲基、乙基至长链烷基的取代基团, 其断裂能显著低于芳环开环能, 是加氢脱烷基反应的主要靶点; 含氧组分以酚类和酮类) 为主, 含氮组分则涵盖吡啶、喹啉等碱性杂环化合物, 这类物质易导致催化剂中毒, 需通过预脱除或抗中毒催化剂设计解决。焦油组分的分布特性与原料煤阶密切相关: 低阶煤气化焦油中烷基侧链占比高达 35%, 酚类物质含量超过 12%, 而高阶无烟煤焦油则以稠环芳烃为主, 这种差异导致不同煤种焦油转化需采用差异化工艺。

针对焦油深度转化, 催化裂解、加氢裂化与等离子裂解技术形成互补体系。催化裂解工艺在流化床反应器中, 以沸石分子筛或金属氧化物为催化剂, 通过酸中心促进 C-C 键断裂, 将焦油转化为小分子气体, 但稠环芳烃转化需结合水蒸气重整以抑制积碳。加氢裂化技术则在高压氢气环境下, 采用 Ni-Mo/ Al_2O_3 或 Co-Mo/ SiO_2 双功能催化剂, 通过金属活性中心实现加氢饱和, 酸性位点促进裂解, 使焦油脱除率达 95% 以上, 产物以饱和烃为主, 但氢耗较高。等离子裂解技术通过电弧或微波产生高能电子, 在非平衡状态下使焦油分子直接电离解离, 生成 H_2 与单环芳烃, 该技术无需催化剂且反应速率快。催化剂设计方面, 针对催化裂解的积碳问题, 开发了核壳结构催化剂, 通过硅壳限域效应将

Ni 粒径控制在 5 nm 以下, 使积碳速率降低 70%; 加氢裂化催化剂则通过引入 P 助剂调节金属分散度, 将加氢活性提高 30%。

4 合成气后续利用

合成气作为煤炭气化的核心产物, 其后续利用路径涵盖费托合成、甲醇/二甲醚制备、氨合成及电解制氢四大方向, 各路径对合成气组分的调控需求及经济环境效益差异显著。费托合成工艺通过钴基或铁基催化剂将合成气转化为长链烃类, 其活性窗口要求 H_2/CO 比为 1.8-2.2: 当 H_2/CO 比低于 1.5 时, 催化剂表面碳沉积速率提升 30%, 导致活性中心覆盖率超过 80% 而失活; H_2/CO 比高于 2.5 则会促进甲烷生成, 降低液体燃料产率。甲醇/二甲醚合成采用 Cu/ZnO/ Al_2O_3 催化剂, 需严格控制 CO_2/CO 比为 0.3-0.5: CO_2 过量会通过水煤气变换反应消耗氢气, 使甲醇单程转化率从 75% 降至 60%; CO_2 不足则导致催化剂表面碳酸盐物种积累, 活性位点覆盖率超过 50% 后引发不可逆失活。氨合成工艺依赖铁基催化剂, 要求 N_2/H_2 比为 1:3, 但合成气中 CO 和 CO_2 需深度脱除: CO 会与铁催化剂形成羰基化合物, 导致活性位点减少 40%; CO_2 则通过生成碳酸铵堵塞催化剂孔道, 使压降增加 25%。电解制氢技术通过碱性电解槽或质子交换膜电解槽) 将合成气中的 H_2 提纯, 要求输入气体中 CO 浓度 <2%: CO 在阳极氧化生成 CO_2 会导致膜电极铂催化剂中毒, 使电解效率从 85% 降至 70%, 同时增加膜降解速率。

从经济性评估看, 费托合成路线资本支出较高, 但当原油价格 >60 美元/桶时, 其产品毛利率可达 25%; 甲醇合成路线单位投资较低, 在甲醇价格 >300 美元/吨时具有经济性; 氨合成路线受天然气价格波动影响显著, 当煤制合成气成本 <150 美元/吨时, 其氨产品成本较天然气路线低 15%。环境效益方面, 生命周期评估显示: 煤基合成气制甲醇的碳排放强度为 2.8 tCO₂/t 甲醇, 较天然气路线高 40%, 但通过碳捕集与封存技术可降至 1.5 tCO₂/t; 费托合成制液体燃料的碳排放强度为 3.2 tCO₂/t 油当量, 若结合生物气耦合技术, 碳足迹可减少 35%。

5 产物分离与纯化

合成气产物分离与纯化技术涵盖变压吸附、膜分离、低温冷凝及化学吸收四大方向, 其技术性能由分离效率、能耗及资本成本三项核心指标综合表征。变压吸附技术通过吸附剂对 CO_2 、 CH_4 的选择性吸附实现气体分离, 单级分离效率可达 90%-95%, 但需多级串联以满足高纯度需求, 其能耗主要集中在循环压缩机, 资本成本约为 800-1200 美元。膜分离技术依赖聚酰亚胺、聚砜等高分子膜的选择性渗透特性, 对 H_2/CO 分离因子可达 15-20, 但膜材料耐温性限制导致其仅适用于低温合成气体体系, 且长期运行易因膜污染导致分离效率衰减, 资本成本较低但更换周期短。低温冷凝技术