

煤制油气化废水处理与液化工艺及应急处置技术研究

肖鹏

国家能源集团宁夏煤业煤制油气化一厂

DOI: 10.32629/jpm.v7i7.8986

[摘要] 煤制油气化废水组分繁杂且污染负荷偏高，长期阻滞煤化工行业绿色可持续推进，围绕气化废水处理、油品液化加工、异常工况风险管控关键工序梳理全生产链条废水污染特质与液化工艺运行参数，筛选适配规模化投产的废水净化成套技术并调整液化加工操作流程。依托厂区实际生产条件摸排各类潜在安全隐患搭建完备应急处置框架填补工艺运维与风险管控现存缺口，成套技术方案能够抬高煤化工项目环保管控标准与生产稳定系数，为气化装置连续作业及污染物深度消减提供技术依托。

[关键词] 煤制油气化；废水处理；液化工艺；应急处置

Research on Wastewater Treatment, Liquefaction Processes, and Emergency Response Technologies for Coal-to-Gas-and-Oil Conversion

Xiao Peng

First Plant of Ningxia Coal Industry Division, China National Energy Group

[Abstract] The wastewater generated during coal-to-gas-and-oil conversion processes features complex composition and a relatively high pollution load, which has long hindered the green and sustainable development of the coal chemical industry. This study focuses on analyzing the characteristics of wastewater pollution across the entire production chain—particularly in key processes such as gasification wastewater treatment, oil liquefaction processing, and risk management under abnormal operating conditions—while examining the operational parameters of the liquefaction process; it aims to screen comprehensive wastewater purification technologies suitable for large-scale industrial operation and optimize the operational procedures for the liquefaction process. By leveraging the actual production conditions of the plant site, this study identifies various potential safety hazards and establishes a comprehensive emergency response framework to address existing gaps in process operation and risk management. The developed integrated technical solution can elevate the environmental control standards and production stability coefficients of coal chemical projects, providing a technical foundation for the continuous operation of gasification units and the deep reduction of pollutants.

[Key words] coal-to-oil-and-gas conversion; wastewater treatment; liquefaction process; emergency response

引言

现代煤化工产业构成煤炭洁净高效转化的主流渠道，承载国内能源保供与能源架构调整核心职能，煤制油气化工序生成大量难生化降解工业污水，水体裹挟多重有机无机污染组分。常规处置手段难以达成排放限值及资源回收目标，煤制油液化加工工序步骤繁复，现场管控标准严苛，装置设备、生产参数、外部环境均会诱发运行异动，行业实操普遍存在污水处置匹配度偏低、液化流程管控粗疏、突发险情处置缺乏统一标准。深挖匹配气化装置的污水净化方案，调校液化整套工艺，搭建完整应急处置框架，化解煤化工生产环保安全双重阻碍，推动行业走向稳定低碳标准化发展。

一、煤制油气化废水污染特性与现存处理短板

（一）煤制油气化废水核心污染物组成特征

煤制油气化生产会发生多重理化反应，煤炭内部各类杂质经气化、转化、冷凝工序不断溶出，生成成分复杂的工业废水。水体中富集酚类、芳烃、杂环类难降解有机物，还含有氨氮、硫化物、氰化物等高危无机毒物，多种污染物共存叠加，大幅增加处理难度。废水水质受生产负荷、气化操作条件影响显著，污染物浓度与组分占比波动剧烈，水质稳定性差。该类污染物毒性持久、自然降解周期漫长，直排会持续损伤水土生态系统，也是限制废水资源化循环利用的关键瓶颈。

（二）煤制油气化废水常规处理工艺应用局限

当前煤化工气化废水处理普遍采用传统水处理技术，针对废水特性的适配改造不足，工艺针对性较弱。预处理单元难以高效脱除高毒有机物与胶体杂质，残留有毒物质极易冲击后端生化系统^[1]。生化单元抗水质波动能力薄弱，面对复杂污染物易引发微生物活性衰减，出水稳定达标难以保障。现有深度处理技术整合程度偏低，微量难降解污染物去除效果有限，整套工艺水资源回收率偏低，药剂投加成本偏高，无法同步满足污染物达标排放、水资源循环利用与生产节能降耗多重需求。

（三）废水处理工序配套运行管控漏洞

煤制油气化废水处理由多单元联动构成，工序衔接管控水平决定整体处理效果。多数厂区管控精细化程度不足，各单元运行参数未随化工况、水质变化动态优化，工艺运行与废水实际水质不匹配。水质在线监测体系覆盖不全，微量隐性超标污染物难以实时捕捉，系统异常滞后发现。设备运维与定期巡检制度落实不到位，管路堵塞、设备老化故障频发，持续削弱处理系统运行效率，长期积累会造成出水超标、整套系统运行失稳，衍生各类环保与生产安全隐患。

二、煤制油核心液化工艺运行现状与关键问题

（一）煤制油液化主流工艺技术运行原理

煤制油液化包含直接液化、间接液化两大主流工艺路线，是煤炭转化液态燃料的核心技术路径。直接液化在高温高压条件下，让原煤与氢气完成加氢裂解，打破煤炭大分子有机质结构，直接生成液态烃类产物，整体工艺流程短，煤炭转油效率突出。间接液化先将煤炭气化制取粗合成气，经过净化脱硫、调节氢碳比后，借助催化合成反应制取油品与配套化工品。两类工艺均依赖严格调控温度、压力、反应空速等关键参数，依靠专用催化剂保障转化效率，整套装置工况控制精度要求高，共同构成现代煤制油产业实现煤转油的核心技术支撑体系。

（二）液化工艺生产过程核心管控难点

煤制油液化生产对反应条件、设备性能、原料品质管控标准严苛，现场运行存在诸多管控难题。反应全程处于高温高压环境，设备长期承压受热易出现构件磨损、密封泄漏等故障，难以长期维持稳定反应条件。催化合成阶段，原煤携带杂质、工况频繁波动会造成催化剂积碳、活性快速衰减，直接降低出油率与成品油品质^[2]。整套生产线工序联动性极强，原料预处理、催化合成、油品分馏、尾气回收等环节环环相扣，任一单元参数偏离标准值，都会传导至全流程引发生产波动，大幅提升日常稳定管控难度。

（三）现有液化工艺体系存在的核心缺陷

现阶段已工业化落地的煤制油液化工艺，在原料适配、运行成本、绿色生产层面短板显著。多数工艺对原煤灰分、硫分等杂质指标限定严苛，仅能加工特定优质煤种，难以适配多品类煤炭加工，原料适用范围狭窄。工艺全程维持高温高压反应，热能、电力消耗规模大，长期生产运行成本偏高。生产产生的

废水、固体废渣、工艺尾气资源化综合利用水平偏低，副产物回收处置效率不足，既造成煤炭资源与能源浪费，也加重末端环保治理负荷，从根本上限制煤制油工艺低碳化、绿色化转型升级进程。

三、煤制油气化废水高效处理优化技术路径

（一）适配复杂水质的废水预处理优化技术

针对煤制油气化废水污染物种类繁多、生物毒性突出的特性，对预处理整套技术体系开展定向优化改造，能够有效削减有毒物质对后端生化、深度处理单元的冲击负荷。结合废水污染物分布规律，融合混凝沉淀、溶气气浮、高级氧化多种技术搭建多级预处理流程，高效截留水体悬浮颗粒物、胶体悬浮物，同步降解大量高浓度有毒有机组分。同步依据气化装置生产负荷实时波动，动态调节药剂投加配比、反应停留时长、操作压力等关键运行参数，增强系统应对水质大幅波动的适配性能。经过整套预处理工艺优化后，废水综合毒性与污染物总量显著下降，各项水质指标趋于平稳，为后续生化降解、末端深度处理长期稳定运行提供可靠前置保障。

（二）生化处理单元效能提升关键技术

以改性复合微生物菌群为核心，搭配多级复合生化工艺完成生化单元整体优化，强化体系对各类难降解污染物的分解去除效果。筛选培育适配煤化工废水高毒、高盐恶劣水环境的抗逆微生物菌种，通过长期驯化、多菌种复配改良提升菌群降解有机污染物的综合能力。串联厌氧、缺氧、好氧分段生化处理单元，精细化调控各池溶解氧浓度、水力停留时间等核心参数，形成多级协同降解的高效生化系统^[3]。配套设置水质冲击缓冲调控机制，缓冲进水水量、污染物浓度波动带来的冲击，避免高毒性底物造成微生物活性丧失、处理失效，持续稳定提升生化单元对各类有机污染物的降解去除效率。

（三）废水深度处理与资源化利用技术

针对预处理与生化处理后残留的微量难降解污染物，采用吸附、膜分离、催化深度氧化耦合工艺完成末端净化，彻底脱除水体残余难降解有机物、微量重金属离子等有害杂质。建立分级净化、分质回用一体化体系，将处理达标后的净水按照水质标准划分层级，分别回用于装置循环冷却、工艺生产补水、设备冲洗等生产场景，全方位提高水资源循环复用比例。同步优化深度处理设备布局与工艺流程，精简处理工序，减少电能消耗与化学药剂投加量，在持续保障出水稳定满足排放标准的前提下，最大化实现气化废水资源化循环利用，有效削减厂区新鲜水取用规模与废水外排总量。

四、煤制油液化工艺优化升级与工况管控技术

（一）液化工艺核心反应参数精准优化

聚焦煤制油液化核心反应单元实施精细化参数调控，以此提升原煤转化效率与装置连续运行稳定性。结合进厂煤灰分、挥发分等原料品质差异，差异化调整反应温度、系统压力、

氢煤配比、物料停留时间关键指标，适配不同煤种裂解转化需求，解决固定参数运行带来的转化不完全、成品油品质参差不齐等弊端。搭建参数动态智能调控机制，依托在线监测数据实时反馈修正参数偏差，让液化反应长期维持最优反应区间。依托整套参数精准优化手段，显著提高煤炭液化转化率与目标油品收率，减少低效副产物产出，从反应源头优化整套装置综合生产运行效能。

（二）高效耐损耗催化体系升级改良技术

针对液化生产中催化剂易中毒、积碳、快速损耗等突出痛点，完成整套催化体系迭代改良，强化加氢裂解催化效能。调整催化剂原料配比与成型制备工艺，优化内部孔隙结构与表面活性位点数量，大幅提升催化活性、热稳定性与抗杂质侵蚀能力，延缓原料杂质造成的催化剂中毒失活^[4]。配套应用在线再生活化工艺，对活性衰减催化剂就地循环再生，延长催化剂使用周期，减少更换频次与耗材投入成本。同步配套适配温和稳定的催化反应工况，削弱高温、杂质冲击对催化载体的损耗，保障液化催化反应长期保持高效稳定运行状态。

（三）液化全流程闭环管控优化方案

搭建煤制油液化全链条闭环管控体系，实现各生产工序协同联动、精细化统一管控。理顺原料预处理、催化液化、油品分馏精制、尾气及固废回收全流程衔接逻辑，梳理各环节管控重点，补齐工序衔接不畅、管控脱节等现存漏洞。搭建全覆盖实时在线监测平台，同步采集设备运行状态、反应工况、油品产品指标、环保排放数据，实现生产故障提前预警、问题精准定位处置。完善全岗位标准化操作细则，细化各环节操作流程与管控阈值，规范一线操作行为，降低人为操作失误引发的工况波动，全方位提升煤制油液化装置整体运行稳定性与生产管理规范化水平。

五、煤制油气化生产应急处置技术体系构建

（一）生产风险隐患全面排查识别技术

统筹煤制油气化废水处理装置与液化生产全工艺流程，构建全覆盖、长效化风险隐患排查识别体系，精准甄别各类安全及环保类风险源头。排查工作重点覆盖废水系统管路渗漏、构筑物堵塞、处理单元失效造成污水超标外排等环保隐患，同时核查液化装置高压设备泄漏、反应工况失衡、催化剂失活失效等重大生产安全风险。从生产设备运行状态、工艺运行参数、末端环保设施、现场标准操作流程四大维度开展系统性排查，系统梳理隐蔽性长期隐患与瞬时突发风险，明确各类风险的诱发诱因、爆发特征及扩散影响范围。同步建立标准化风险隐患动态台账，完成风险分级建档、实时更新跟踪，清晰划分风险管控责任，为后续应急预案编制、风险治理整改、突发事件应急处置提供完整、精准的数据支撑。

（二）分级分类应急处置核心技术方法

按照煤制油气化生产风险危害程度与事故类别，搭建分级

分类专项应急处置技术框架，提升各类突发事件处置的针对性与响应效率。针对废水系统停运、污水渗漏、出水超标等环保突发事件，运用应急污水截流、原位快速净化、全天候水质应急监测等配套技术，快速阻断污染物扩散路径，同步调整修复废水处理装置运行工况。针对液化工艺压力骤变、高压设备介质泄漏、反应工况失控等高危安全事故，严格执行紧急泄压、进料快速切断、惰性气体隔绝保护、故障设备隔离抢修等标准化处置技术，快速遏制事故扩大^[5]。结合不同事故演化特征细化分级处置步骤与技术操作规范，明晰各环节处置时限与管控要求，确保各类突发险情能够快速响应、精准操作、有效控制，最大限度降低事故带来的生产与环境损失。

（三）应急保障与常态化防控强化举措

健全煤制油气化一体化应急保障体系，补齐应急软硬件配套短板，持续夯实日常常态化风险防控综合能力。足额配置应急抢修机具、污染快速治理装置、安全防护器具等专用物资，定期开展设备检修、药剂校验与物资更新，确保突发状况下各类物资设备可即时投入处置作业。组建专职化应急处置班组，定期组织专业技术培训与实景实战演练，全面提升一线人员隐患识别、故障抢修、污染管控实操水平。建立源头常态化长效防控机制，深度融合应急处置机制与日常生产管控，依托日常工况动态监管、周期性隐患排查、工艺技术持续优化多重手段，从生产前端减少安全环保事故发生概率，打造源头预防、过程管控、应急兜底相结合的全维度安全环保综合管控体系。

结语

本文系统研究煤制油气化废水处理、液化工艺运行及生产应急处置三大核心环节，梳理了生产过程中的技术短板与管控漏洞，提出了适配工业化应用的技术优化路径与管控方案。通过优化多级废水处理体系，有效解决气化废水处理效果差、资源化利用率低的问题；通过精准调控液化参数、升级催化体系，显著提升油品生产稳定性与转化效率；依托系统化应急体系建设，全面强化生产全过程风险防控能力。相关技术优化方案可有效破解煤化工安全环保痛点，为煤制油气化产业高质量可持续发展提供有力技术支撑。

【参考文献】

- [1]刘跃杰,马顺德.推动新疆煤制油气产业高质量发展,筑牢国家能源安全屏障[J].煤炭加工与综合利用,2026,(4):88-91.
- [2]张劲冬.煤制油厂换热器防腐技术的现状与发展趋势[J].全面腐蚀控制,2026,40(3):255-257.
- [3]宋美慧.国家能源安全视角下煤制油煤制气企业竞争力研究[D].北京科技大学,2025.
- [4]宋云飞.煤制油多元气体泄漏非接触式三维红外遥测系统研究[J].安全,2025,46(3):34-39.
- [5]煤制烯烃及油气单位产品能源消耗限额强制性国家标准发布[J].上海化工,2024,49(3):33.