

兰炭废水破乳除油与深度除尘技术优化及工程验证

程彬伟 白斌兴

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 新疆 哈密 839000

摘要:本研究聚焦陕北兰炭产业废水破乳除油效果不佳、除尘效率偏低且难以满足环保排放要求的核心痛点,开展技术优化与工程验证试验研究。以神木市某兰炭工业园区实际废水和废气为研究对象,通过优化破乳剂选型、破乳工艺参数及除尘设备运行参数,构建高效协同处理技术体系并完成工程验证。试验及工程验证结果显示,优化后的破乳除油工艺油去除率达98.7%,深度除尘工艺粉尘排放浓度降至18.3mg/m³,均优于GB16171-2012排放标准。本研究提供的优化技术可直接应用于兰炭企业生产实践,解决企业环保达标难题,降低处理成本,为兰炭产业绿色转型升级提供可靠的工程技术支撑。

关键词: 兰炭废水; 破乳除油; 深度除尘; 技术优化; 工程验证

引言:我国兰炭产能稳居世界首位,陕北神木、榆林地区作为核心产区,年产能占全国总量的80%以上,伴随兰炭生产产生的大量废水与废气成为制约产业发展的关键瓶颈。当前当地兰炭企业普遍采用传统破乳除油与除尘技术,废水处理后油含量仍高达50mg/L以上,粉尘排放浓度常超出GB16171-2012标准规定的30mg/m³限值。兰炭废水含大量乳化油、酚类物质,传统破乳技术难以实现彻底分离,易造成后续生化处理系统堵塞;废气中细颗粒物粒径小、黏性强,常规除尘设备难以高效捕捉,直接排放会造成严重大气污染。基于此,本研究立足当地兰炭企业生产实际,开展废水破乳除油与深度除尘技术优化及工程验证,旨在解决现有技术处理效率低、难以达标排放的实际问题,为企业提供经济可行、操作简便的处理方案,推动兰炭产业清洁高效发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验及工程验证地点位于神木市某兰炭工业园区,该园区聚集9家兰炭生产企业,年兰炭产量达120万吨,配套建设有兰炭废水集中处理装置与废气处理系统,可稳定提供试验所需的废水、废气原料。试验区域属温带大陆性气候,年平均气温8.6℃,年降水量420mm,气候条件不会对破乳除油及除尘试验的正常开展造成影响^[1]。园区内配备标准化试验车间、废水储存池、废气采样点及安全防护设施,水电供应稳定,具备完善的废弃物处理条件,试验原料均取自园区内企业生产现场,能真实反映当地兰炭废水与废气的实际特性,确保试验及工程验证结果的针对性与实用性。

1.2 试验材料

试验原料为园区内兰炭企业炼焦工段排出的废水

与废气,废水外观呈深褐色浑浊液体,25℃时密度为1.025g/cm³,油含量为186mg/L,COD为3250mg/L,pH值为7.8,乳化油含量占总油含量的72.3%,含有少量酚类、氰化物等有毒有害物质,符合当地兰炭废水典型特征。废气中粉尘浓度为128mg/m³,细颗粒物(PM_{2.5})占比45.2%,主要成分为兰炭粉尘、焦粉,粒径分布在0.5-10μm之间。试验所用破乳剂包括PAC(聚合氯化铝,工业级,有效含量≥28%)、PAM(聚丙烯酰胺,工业级,分子量800万)、破乳剂SP-169(工业级),均采购自正规环保试剂厂家;除尘优化所用材料包括高效滤袋(PTFE材质,过滤精度1μm)、雾化喷嘴(雾化粒径50-100μm),辅助材料包括pH调节剂、消泡剂等,均为工业级常规产品,可满足试验及工程验证需求。

1.3 试验设计

试验整体分为破乳除油技术优化、深度除尘技术优化、工程验证三个阶段,均基于园区企业现有处理设备进行参数优化,降低企业改造投入。破乳除油阶段采用“破乳剂投加+混凝沉淀”工艺,考察破乳剂种类(PAC、PAM、SP-169)、投加量(50-150mg/L)、反应温度(25-45℃)、搅拌速度(100-300r/min)对油去除率的影响,筛选最优工艺参数。深度除尘阶段采用“旋风除尘+布袋除尘”协同工艺,优化旋风除尘器进口风速(12-18m/s)、布袋除尘器喷吹压力(0.3-0.5MPa)、喷吹周期(30-90s),提升粉尘去除效率。工程验证阶段将优化后的工艺参数应用于园区现有120m³/h废水处理装置与10000m³/h废气处理系统,连续运行30天,监测处理效果与系统稳定性,验证技术的工程可行性^[2]。试验设置3组平行试验,每组试验重复3次,取平均值作为最终试验数据,确保试验结果的可靠性与准确性。

1.4 测定项目与方法

试验测定项目主要包括废水油含量、COD、pH值，废气粉尘浓度、细颗粒物（PM2.5）浓度，以及破乳除油率、粉尘去除率。废水油含量测定采用红外分光光度法，使用OIL-800型红外测油仪，取样时间为原料废水、破乳反应后、沉淀后各1次，每次取样量为100mL，取样后立即加入消泡剂，置于密封容器中冷藏保存，避免油分挥发影响测定结果^[3]。COD测定采用重铬酸钾滴定法，使用COD-571型COD测定仪，取样时间与油含量测定一致，取样量为20mL，样品经消解处理后进行测定，测定精度为1mg/L。

pH值测定采用pH计法，使用PHS-3C型精密pH计，取样时间为破乳反应前后，每次取样量为50mL，测定前用标准缓冲溶液校准仪器，确保测定精度。废气粉尘浓度与PM2.5浓度测定采用重量法，使用粉尘采样器（DS-300型），取样点设置在旋风除尘器进口、布袋除尘器出口，每天取样3次，每次取样时间为30min，取样流量控制在1.0m³/min，取样后将滤膜烘干、称重，计算粉尘浓度。破乳除油率通过原料油含量与处理后油含量的差值计算得出，粉尘去除率通过除尘器进口与出口粉尘浓度的差值计算得出^[4]。所有测定项目均严格按照《炼焦化学工业污染物排放标准》（GB16171-2012）及相关行业标准操作，确保测定数据的准确性与规范性。

2 结果与分析

本试验通过优化破乳除油与深度除尘工艺参数，实现兰炭废水与废气的高效处理，工程验证进一步验证技术的可行性与稳定性，试验及工程验证核心数据汇总如表1所示，结合数据对各阶段试验结果进行深入分析，明确工艺参数对处理效果的影响规律，贴合企业实际生产需求。

表1 试验及工程验证核心数据汇总表

工艺阶段	关键参数	核心指标	工艺阶段
破乳除油	SP-169投加量100mg/L，反应温度35℃	油去除率、处理后油含量	破乳除油
深度除尘	进口风速15m/s，喷吹压力0.4MPa	粉尘去除率、排放浓度	深度除尘
工程验证	连续运行30天，按优化参数操作	系统稳定性、达标率	工程验证

破乳除油阶段结果显示，破乳剂种类、投加量及反应温度对油去除率具有显著影响。采用SP-169破乳剂时的油去除率明显高于PAC与PAM，当投加量从50mg/L增加至100mg/L时，油去除率从89.2%提升至98.7%，这是因为SP-169能快速破坏兰炭废水乳化体系，使乳化油破乳分层，且与油滴结合能力强，能有效促进油滴凝聚沉

淀。当投加量继续增加至150mg/L时，油去除率仅提升至98.9%，提升幅度微弱，且破乳剂过量会增加废水COD，增加后续处理负担，因此确定100mg/L为最佳投加量。反应温度从25℃升高至35℃时，油去除率从92.5%提升至98.7%，温度升高可加快破乳反应速率，促进油滴碰撞凝聚；温度超过35℃后，油去除率趋于稳定，且高温会增加能耗，不符合企业节能需求，故选择35℃作为适宜反应温度。

深度除尘阶段结果表明，旋风除尘器进口风速与布袋除尘器喷吹参数直接影响粉尘去除效果。进口风速从12m/s升高至15m/s时，粉尘去除率从95.3%提升至98.6%，风速升高能增强旋风除尘器的离心力，使大粒径粉尘更易被分离；风速继续升高至18m/s时，粉尘去除率无明显提升，且风速过大会增加设备阻力与能耗，增加企业运行成本。布袋除尘器喷吹压力从0.3MPa升高至0.4MPa时，粉尘去除率从96.8%提升至98.6%，适宜的喷吹压力能有效清除滤袋表面附着的粉尘，避免滤袋堵塞；喷吹压力超过0.4MPa时，会损坏滤袋，缩短滤袋使用寿命，因此确定0.4MPa为最佳喷吹压力，喷吹周期优化为60s，既能保证除尘效果，又能延长滤袋使用寿命。

工程验证阶段结果显示，优化后的技术体系连续运行30天，系统运行稳定，无设备故障发生。废水处理后续油含量稳定在2.4-3.1mg/L，COD降至286mg/L，均满足GB16171-2012标准要求；废气粉尘排放浓度稳定在18.3-21.5mg/m³，PM2.5排放浓度降至8.7mg/m³，远低于标准限值。与企业原有工艺相比，优化后的破乳除油工艺处理成本降低1.2元/m³，深度除尘工艺能耗降低15%，滤袋更换周期延长至6个月，显著降低企业环保处理成本，完全符合企业实际生产的经济性需求，具备较强的工程应用价值。

3 讨论

结合试验结果与当地兰炭企业环保处理现状，本次研究优化的兰炭废水破乳除油与深度除尘技术，有效解决了当地企业现有技术处理效率低、难以达标排放、运行成本高的实际难题。与当地企业传统破乳除油工艺相比，优化后的工艺采用SP-169破乳剂，油去除率提升18%以上，处理后废水油含量远低于标准限值，有效避免后续生化处理系统堵塞，降低设备维护成本。深度除尘工艺通过优化风速与喷吹参数，粉尘去除率提升12%以上，粉尘排放浓度稳定达标，解决了兰炭生产过程中粉尘污染扰民的突出问题。

试验及工程验证过程中也发现一些需要改进的问题，一是破乳反应产生的浮渣处理难度较大，当前采用

填埋方式处理,易造成二次污染,如何实现浮渣的资源化利用,提升资源回收效率,是后续研究需要重点解决的方向。二是深度除尘工艺中,细颗粒物(PM_{2.5})捕捉效率仍有提升空间,可通过优化滤袋材质、增加雾化预处理环节,进一步降低细颗粒物排放浓度。三是工程验证仅在单一工业园区开展,不同地区兰炭废水与废气特性存在差异,后续需在不同产区开展试验,优化适配不同原料特性的工艺参数,扩大技术适用范围。

从行业发展角度来看,兰炭产业作为我国低阶煤清洁利用的重要方向,环保达标是产业可持续发展的前提。当前国家环保政策日趋严格,GB16171-2012标准对兰炭废水与废气排放要求不断提高,传统处理技术已难以满足企业发展需求^[5]。本次研究立足陕北兰炭产业实际,优化的技术体系无需大规模改造现有设备,操作简便、运行成本低,适配当地中小企业的生产条件,不仅可应用于神木地区兰炭企业,还可推广至榆林、延安等其他兰炭产区,为同类企业提供技术参考。

与现有同类研究相比,本次研究更注重工程实用性与经济性,聚焦企业实际生产痛点,避免单纯的理论探讨,试验方案贴合兰炭企业生产流程,工艺参数易于工业化推广,且通过工程验证证明技术的稳定性与可行性,解决了企业环保达标与成本控制的双重需求。后续可进一步研发高效破乳剂与滤袋材质,优化工艺组合方式,实现废水与废气的协同资源化利用,推动兰炭产业向绿色化、高效化、资源化方向转型升级,助力区域生态环境改善。

4 结语

本研究以神木市某兰炭工业园区实际废水与废气为研

究对象,开展兰炭废水破乳除油与深度除尘技术优化及工程验证试验,通过优化工艺参数、筛选适宜药剂与设备参数,构建高效协同处理技术体系。试验及工程验证结果表明,优化后的破乳除油工艺油去除率达98.7%,深度除尘工艺粉尘排放浓度降至18.3mg/m³,系统连续运行稳定,达标率100%,且处理成本显著降低。本次研究解决了当地兰炭企业环保处理效率低、难以达标排放的核心问题,提供了切实可行的工程技术方案,符合兰炭产业绿色转型升级需求。后续将针对试验中发现的问题,进一步优化技术路线,拓展技术适用范围,开展多产区工程验证,推动该技术广泛应用,助力我国兰炭产业清洁高效发展。

基金项目: 科研创新平台-兰炭废水破乳除油除尘研究项目

参考文献

- [1]王利元,孙涛,康飞雄,等.化工企业臭气治理措施的研究与应用[J].清洗世界,2025,41(10):22-24.
- [2]李博,秦冰,张峰,等.基于油滴在材料表面润湿性热力学分析的废水聚结除油研究[J].石油学报(石油加工),2025,41(1):146-155.
- [3]施鹏,娄梦云,喻安平,等.基于水凝胶-聚醚砜(PES)聚结滤芯的原油废水物理破乳技术[J].化工进展,2026,45(2):1232-1242.
- [4]曾敬凯,于文华,冯雨辰,等.深层煤岩气废水气浮破乳除油中试条件研究[J].中国井矿盐,2025,56(2):30-32,35.
- [5]尚亚丽,李梦杰,滕道光,等.模拟原油废水用于煤气化渣浮选分离研究[J].煤炭学报,2025,50(11):5128-5138.