

煤化工干馏废水除油除尘一体化中试装备的开发与应用

卢静 聂素婷 黄丽霞

北京今大禹环境技术股份有限公司, 中国·北京 100095

摘要: 煤化工低温干馏废水具有成分复杂、焦油等油分含量高、煤粉等悬浮物多的特点, 若直接进入后续酚氨回收单元, 会造成设备严重堵塞及萃取溶剂大量乳化, 严重影响生产运行与资源回收效率。针对该废水的特性, 本文研发了一套以“超声破乳(破乳剂)+聚结除油+除浊过滤器”为核心工艺的除油除尘一体化中试装置。该系统由除油一体化装备、静流除油器及除尘一体化装备协同运行, 有效去除了废水中的重质油、轻质油及煤粉悬浮物。中试连续运行结果表明, 该组合工艺处理效果稳定, 系统抗冲击负荷能力强, 整体除油率 $\geq 80\%$, 除尘率(悬浮物去除率) $\geq 90\%$, 出水水质满足后续酚回收单元的进水要求, 为该工艺的工程化放大与工业应用提供了可靠的数据支撑和理论依据。

关键词: 干馏废水; 超声破乳; 除油除尘; 一体化装备; 油水分离

Development and Application of Integrated Pilot-Scale Equipment for Oil and Suspended Solids Removal from Coal Chemical Carbonization Wastewater

Lu Jing, Nie Suting, Huang Lixia

Beijing Jindayu Environmental Technology Co., Ltd., China Beijing 100095

Abstract: Low-temperature carbonization wastewater in the coal chemical industry is characterized by a complex composition, high oil content (e.g., tar), and abundant suspended solids (e.g., coal dust). If directly discharged into the subsequent phenol and ammonia recovery unit, it will cause severe equipment blockage and massive emulsification of extraction solvents, thereby seriously affecting production operations and resource recovery efficiency. Addressing these wastewater characteristics, an integrated pilot-scale equipment for oil and suspended solids removal was developed in this study, featuring a core process of "ultrasonic demulsification (with demulsifier) + coalescing deoiling + turbidity-removal filtration." The system operates synergistically through an integrated deoiling unit, a static flow deoiler, and an integrated solids removal unit, achieving effective removal of heavy oil, light oil, and suspended coal dust. Continuous pilot-scale operation results indicate that the combined process demonstrates stable treatment performance and strong resistance to shock loadings. The overall oil removal rate is $\geq 80\%$, and the suspended solids removal rate is $\geq 90\%$. The effluent quality meets the influent requirements of the subsequent phenol recovery unit, providing reliable data support and a theoretical basis for the engineering scale-up and industrial application of this process.

Keywords: Carbonization wastewater; Ultrasonic demulsification; Oil and suspended solids removal; Integrated equipment; Oil-water separation

0 引言

我国能源构成以煤炭为主, 煤炭在一次能源消费中长期居于主导地位。新疆吐鲁番-哈密煤炭(简称吐哈煤)储量丰富, 具有低灰、低硫、高挥发分、高油含量及高热值的特征, 是煤化工的优质原料。低温干馏工艺作为煤炭资源高效利用的重要途径, 在新疆地区具有广泛的代表性与战略意义。然而, 在低温干馏过程中, 会产生一部分热解水, 经过洗涤净化后, 形成含氨废水^[1], 即干馏废水。该废水不仅含有高浓度的酚类、氨氮及焦油类物质, 还夹

杂大量细煤粉等悬浮物。

在干馏废水的资源化处理流程中, 酚回收是核心环节, 通常采用溶剂萃取法, 不仅能回收高附加值化工原料, 还能大幅降低后续生化处理系统的负荷。然而, 废水中高浓度的油分(特别是乳化油)和煤粉会导致萃取剂发生严重乳化, 使得油水相分离困难, 萃取剂消耗量剧增; 同时, 煤粉等微小悬浮物极易堵塞萃取塔填料、管线及阀门, 导致系统阻力增大。因此, 在酚回收前进行高效的除油除尘预处理至关重要。

为此,针对煤化工干馏废水高浓组分的特性,本研究开发了一套除油除尘一体化中试系统。文中将详细论述该系统的工艺路线、装备结构设计及连续运行效果,重点考察除油率与除尘率等关键指标,以期为该类废水的预处理提供新的技术途径与装备支撑。

1 废水水质与处理难点

1.1 废水水质特性

低温干馏废水的水质随干馏温度、煤种及工艺操作条件的不同而存在波动,但总体表现出以下典型特征:

(1) 油分含量高且形态复杂:废水中含油量通常在 1000~3000 mg/L 之间,包括轻质油、重质焦油及乳化油。其中,重质焦油密度大于水易沉底,轻质油密度小于水易上浮,两者多可以通过重力分离去除;而乳化油则因废水中表面活性物质及微细煤粉的界面包裹,形成极其稳定的油水乳化液,难以通过常规自然沉降实现分离。

(2) 悬浮物浓度高:废水中含有大量随煤气带出的细煤粉和焦粉,粒径分布广,浓度通常在数百至数千毫克每升。这些微细颗粒比表面积大,极易吸附油分,形成密度接近于水的“油-煤粉”复合体,悬浮于水相中,大幅增加了固液与油水分离的难度。

(3) 成分复杂:废水中含有大量酚类、氨氮、硫化物等,不仅具有强烈的生物毒性和腐蚀性,且这些极性有机物易与油分协同形成复杂的复合污染体系,严重制约后续酚氨回收及生化处理单元的稳定运行。

本文以新疆某企业兰炭干馏废水为研究对象,其原水主要水质特征指标如表 1 所示。

表 1 原水主要水质特征指标

项目	单位	指标	备注
温度	℃	50~65	
油含量	mg/L	≤3500	含乳化油
SS含量	mg/L	≤350	主要为煤粉
pH	无量纲	9~10	

1.2 处理难点分析

目前煤化工废水除油工艺有多种,但由于干馏废水中油类的组成复杂,单一处理方法都存在局限性。如传统重力隔油技术仅能有效去除粒径大于 100 μm 的浮油及部分重质油,常规凝气浮工艺虽能去除部分乳化油,但存在药剂消耗量大、浮渣夹带严重且难以二次分离等弊端。因此,可考虑两种除油方法相结合的工艺^[2]。

干馏废水的核心处理难点在于“油-煤粉”复合体及高度稳定乳化油的去除。一方面,煤焦油中的胶质和沥青质作为天然表面活性剂,吸附于油水界面形成具有一定强度的界面膜^[3],同时油滴表面带有同种电荷,双电层静电

斥力与界面膜空间位阻共同维持了乳状液的稳定,阻碍了油滴的碰撞聚结;另一方面,煤粉与油分结合后,改变了颗粒原本的沉降特性,导致自然沉降耗时极长,且易随水流波动流失。

因此,必须开发一种既能从微观尺度破除乳化状态、又能从宏观尺度实现高效固液与液液分离的组合工艺。这正是本研究开展干馏废水除油除尘一体化中试装备开发的核心出发点与技术突破点。

2 中试工艺路线设计

鉴于干馏废水中油分与煤粉相互包裹,复合乳化体系极其稳定,单一破乳难以奏效,本中试工艺采用分阶段、多机理协同的组合工艺进行处理。

首先,利用隔油沉淀池对废水中的浮油、重油及大颗粒煤粉进行初步重力分离,降低后续处理负荷。针对残余的稳定乳化油,采用超声协同化学破乳技术。破乳剂先中和油滴表面负电荷、压缩双电层,降低油水界面张力;超声波随后产生的空化效应利用局部高温、高压及微射流的极端物理冲击,强力撕裂已被削弱的乳化膜,促使微小油滴碰撞聚结。

破乳后废水进入聚结填料段,利用粗粒化机理对微细油滴进行深度处理。当吸附的油滴聚集到一定厚度时,在浮力作用下脱离填料表面,形成大油滴。随后,水流流入静流除油器,该装置依靠极低流速提供稳定的重力分离环境,聚结增大的油滴,依据斯托克斯定律,其上浮或沉降速率大幅提升,从而在静流状态下高效实现轻质油上浮、重油及解体后的煤粉沉降,完成油、水、渣宏观分离。

最后,残余的煤粉等悬浮物在多层滤料床中经机械截留、表面吸附及接触絮凝作用被深度去除。

综上所述,确定本系统整体工艺流程如下:



图1 工艺流程图

3 中试装备结构设计

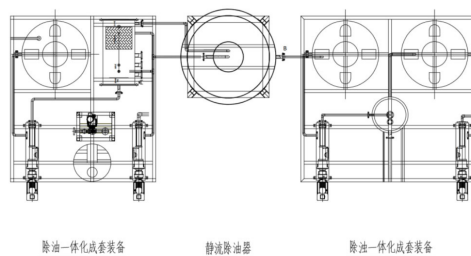


图2 系统平面布置图

为实现上述工艺路线的高效实施,本研究开发了处理规模为 $1.0\text{ m}^3/\text{h}$ 的集成化系统。该系统由除油一体化成套装备、静流除油器及除油一体化成套装备组成,各功能单元采用模块化撬装设计,以便于现场的快速组装与灵活调试。

3.1 除油一体化成套装备的结构设计

该装备高度集成加药混合、超声破乳与聚结除油功能。

加药系统采用隔膜计量泵精准投加除油剂,并通过管道混合器实现药剂与废水的快速均匀混合。

超声波聚结除油器主体为圆柱形罐体,依据流体力学特性内部分区:进水缓冲区设穿孔布水板以稳定流态;超声破乳区于侧壁阵列排布换能器形成高能超声场,协同药剂破坏稳定乳化体系;聚结填料区装填不锈钢波纹板并辅以刚性支架固定,利用大比表面积促使微细油滴聚结长大;顶部设半圆管式集油槽与排气阀,出水口增设防涡流装置,防止出水抽吸导致上层浮油卷入或已聚结油滴被剪切破碎。

3.2 静流除油器的结构设计

该装置采用竖流式沉淀池结构,依靠极低水力负荷实现深度三相分离。废水经中心导流筒向下引入,底部反射板消能后平稳折流向上。在极低上升流速下,聚结油滴上浮至顶部环形集油槽溢流排出,重相微细煤粉则克服水流推力沉降入下部大锥角泥斗浓缩排出。出水经周边出水堰均匀排出,实现油、水、渣的高效分离。

3.3 除油一体化成套装备的结构设计

该装备承担最终的固液深度分离任务,核心为复合滤料过滤器。罐体内部自下而上依次铺设砾石承托层、核桃壳滤料层及纤维球滤料层。该复合滤床级配遵循“上轻下重”原则,下层砾石用于稳固支撑及均匀布水,中层核桃壳利用其多孔吸附特性与机械截留能力,强化对残余油渣的去除,上层纤维球凭借高孔隙率与柔韧结构发挥优异的深层纳污及接触絮凝能力,实现沿水流方向的精细化深度过滤。此外,底部配置气水分布系统,可按设定周期或压差信号自动执行气水反冲洗,有效剥离滤料表面附着的煤粉与油泥,快速恢复滤床性能,保障系统长周期连续稳定运行。

4 中试装置运行效果

该中试装置搭建于某兰炭生产企业现场,以实际生产废水为原水开展连续流试验。系统设计处理规模为 $1.0\text{ m}^3/\text{h}$,

连续稳定运行 15d,期间对各单元进出水进行了定期采样监测,重点考察整体除油率与除尘率(SS去除率)。

中试期间原水水质波动显著,具体参数为:含油量 $2500\sim 3500\text{ mg/L}$,悬浮物(SS) $150\sim 350\text{ mg/L}$ 。对连续运行数据统计分析结果如下:

在除油效果方面,进水含油量平均按 3000 mg/L 计,最终出水含油量平均降至约 550 mg/L 左右,整体除油率稳定在 $\geq 80\%$ 的水平,最高可达 83% 以上。

在悬浮物去除方面,进水悬浮物平均按 250 mg/L 计,最终出水悬浮物平均降至约 25 mg/L ,整体除尘率(SS去除率)稳定在 $\geq 90\%$ 的水平,最高可达 92% 。

上述运行指标充分验证了该中试工艺路线的合理性与装备的可靠性。超声与药剂的协同破乳、聚结除油及精密过滤除尘的组合,有效突破了干馏废水中高含油及微小悬浮物难以分离的技术瓶颈。

5 结语

(1) 针对煤化工低温干馏废水高油高悬浮物及高度乳化特性,研发了处理规模为 $1.0\text{ m}^3/\text{h}$ 的除油除尘一体化中试装置。构建了“超声破乳(破乳剂)+聚结除油+除油过滤器”为核心的工艺路线,装备集成度高,实现了连续流稳定运行。

(2) 中试连续运行结果表明,系统处理性能优异且稳定,整体除油率 $\geq 80\%$,除尘率(悬浮物去除率) $\geq 90\%$,出水水质有效满足后续酚回收单元进水要求。本研究验证了该工艺装备化的可行性,为煤化工干馏废水的深度预处理提供了可靠的工程化解决方案与技术支撑。

参考文献:

- [1] 赵俊学,马成,胡冰等.以低温干馏为基础的低阶煤分质高效利用技术分析[J].煤炭加工与综合利用,2017(6):1-6,95.
- [2] 罗金华,盛凯.兰炭废水处理工艺技术评述[J].工业水处理,2017,37(8):15-19.
- [3] 李斌,王茂生,王志埃等.中低温煤焦油预处理技术研究进展[J].炭素技术,2023,42(5):7-10,15.

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发任务专项项目(2023B01012-2)资助。

作者简介:卢静(1995.02-),女,汉族,河北邯郸,本科学历,中级工程师/注册公用设备工程师(给排水),研究方向:主要从事市政与工业污水处理工艺设计及技术研发方面的工作。