

# 煤化工干馏废水处理工艺优化与资源化利用技术研究

上官国青 张 海

新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司 新疆 哈密 839000

**摘要:** 针对煤化工干馏废水成分复杂、处理难度大、资源回收率低且运行成本偏高的实际痛点,通过优化现有处理工艺参数、改良核心处理单元、整合资源化利用路径,实现废水处理达标与资源高效回收的双重目标。本文聚焦干馏废水处理全流程优化与资源化技术落地,结合工业实际运行痛点,重点分析预处理、生化处理、深度处理各环节的优化方向,探索酚、氨、盐及水资源的回收利用路径,解决工艺运行不稳定、资源浪费、处理成本过高的实际问题,为煤化工企业干馏废水处理提供可落地的技术参考,助力行业绿色低碳发展。

**关键词:** 煤化工;干馏废水;处理工艺优化;资源化利用技术

引言:煤化工干馏工艺产生的废水含有高浓度酚类、氨氮、氰化物及多环芳烃等污染物,水质波动大、毒性强、可生化性差,处理难度远超普通工业废水。当前多数企业采用的处理工艺存在运行稳定性不足、污染物去除不彻底、资源回收不充分等问题,既造成水资源与有价资源浪费,也增加企业环保成本与合规风险。基于此,本文立足工业实际运行场景,围绕干馏废水处理工艺优化与资源化利用展开研究,聚焦实际操作中的工艺改良、参数调整与资源回收技术,提出切实可行的优化方案,解决企业实际运行中的痛点难点,推动干馏废水处理向高效化、资源化、低成本方向发展。

## 1 煤化工干馏废水处理工艺优化

### 1.1 预处理工艺优化

预处理作为干馏废水处理的首要环节,核心任务是去除废水中浮油、悬浮物及部分毒性物质,降低后续处理单元负荷,其处理效果直接决定整个处理系统的稳定性与处理效率。当前工业运行中预处理工艺普遍存在除油不彻底、悬浮物去除率低、药剂消耗量大等问题,导致后续生化系统菌群活性受抑制,处理效果波动明显。针对该痛点,优化方向聚焦于除油工艺改良与药剂投加优化,摒弃传统单一隔油模式,采用斜板隔油与溶气气浮耦合工艺,调整斜板倾斜角度至 $45^\circ$ ,控制气浮压力在 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$ ,延长废水停留时间至 $30\text{min}$ ,可使浮油去除率提升至 $95\%$ 以上,乳化油去除率达到 $92\%$ 以上<sup>[1]</sup>。同时优化混凝药剂投加方案,采用PAC与PAM复合投加模式,调整PAC投加量为 $80\sim 120\text{mg/L}$ ,PAM投加量为 $5\sim 8\text{mg/L}$ ,

控制反应pH值在 $7.0\sim 8.0$ ,将悬浮物浓度降至 $100\text{mg/L}$ 以下,减少后续单元堵塞与磨损问题。此外,在预处理环节增设水质缓冲调节池,配置在线监测仪表,通过pH调节、温度控制及营养盐投加,将水质波动幅度控制在 $\pm 15\%$ 以内,为后续生化处理提供稳定进水条件,避免水质突变对生化系统造成冲击。

### 1.2 生化处理工艺优化

生化处理是干馏废水降解有机污染物的核心环节,主要通过微生物代谢作用分解废水中的酚类、氰化物等可生化污染物,其处理效果直接影响废水最终达标情况。当前工业应用中生化处理工艺存在菌群活性低、抗冲击能力弱、污染物降解不彻底等实际问题,尤其是高浓度酚类物质对微生物的毒性抑制,导致COD、氨氮去除率难以达到设计要求。针对该问题,优化重点集中在菌群驯化与工艺参数调整,筛选耐酚菌株与反硝化聚磷菌构建人工微生物菌剂,投加至生化系统中,提升菌群对高浓度酚类、氰化物的耐受能力,使菌群活性提升 $50\%$ 以上,缩短系统启动时间至 $15\text{天}$ 。调整厌氧池水力停留时间至 $12\text{h}$ ,控制ORP值在 $-300\sim -250\text{mV}$ ,实现吡啶、吡啶等杂环化合物开环率达到 $75\%$ 以上,提升废水可生化性。优化好氧池运行参数,控制溶解氧浓度在 $2\sim 4\text{mg/L}$ ,水温维持在 $25\sim 35^\circ\text{C}$ ,调整污泥回流比至 $150\%$ 、内回流比至 $300\%$ ,使COD去除率提升至 $85\%$ 以上,氨氮去除率达到 $90\%$ 以上,解决生化处理不彻底的痛点。同时,采用反应-沉淀耦合一体化装备,构建污染物梯级生物降解处理工艺,显著提高生化处理效率和稳定性,延长系统稳定运行周期。

### 1.3 深度处理工艺优化

深度处理的核心目标是去除生化处理后残留的难降解有机物、微量重金属及盐分,确保废水达标排放或满

**基金项目:** 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目-典型煤化工干馏废水资源化回用全流程工艺研究与示范应用(2023B01012-3)

足回用要求,当前工业深度处理工艺普遍存在处理效率低、运行成本高、易产生二次污染等问题。针对该现状,优化方向聚焦于高级氧化技术改良与膜处理系统优化,摒弃传统单一臭氧氧化模式,采用非均相催化臭氧氧化技术,合成基于官能团定向转化的高效催化剂,使臭氧利用率由不足40%提高到90%以上,COD去除率由20-30%提高到40-60%,同时高效去除废水中的难降解有机污染物和苯并芘。优化膜处理系统,采用超滤-纳滤-反渗透三级膜组合模式,配套 $O_3$ -BAC预处理降低膜污染,控制超滤产水SDI < 3,纳滤对二价离子去除率 > 90%,反渗透产水电导率 <  $50\mu\text{S}/\text{cm}$ ,满足工业循环冷却水补充水标准。调整膜清洗周期,采用碱洗与酸洗交替清洗模式,碱洗采用0.5%NaOH溶液,酸洗采用0.3%盐酸溶液,延长膜使用寿命至3年以上,降低膜更换成本<sup>[2]</sup>。此外,优化深度处理药剂投加量,减少氧化剂与助凝剂用量,降低药剂消耗的同时,避免二次污染产生,确保深度处理出水水质稳定达标。

## 2 煤化工干馏废水资源化利用技术

### 2.1 酚类物质回收利用技术

干馏废水中含有大量酚类物质,包括单元酚、多元酚等,具有较高的回收价值,当前多数企业对酚类物质回收不充分,既造成资源浪费,也增加废水处理难度。立足工业实际,采用酚油协同萃取技术,研发新型多元复合萃取剂,实现酚类物质的高效回收与高值化利用,针对酚浓度 >  $1000\text{mg}/\text{L}$ 的废水,采用三级逆流萃取模式,控制萃取剂与废水体积比为1:5,萃取温度维持在 $30\text{-}40^\circ\text{C}$ ,萃取时间为 $20\text{-}30\text{min}$ ,使总酚回收率达到96.5%以上。对萃取后的酚类物质进行精制处理,去除其中的杂质与水分,生产工业级苯酚,产品纯度可达99%以上,可直接用于酚醛树脂生产等工业领域,实现资源回收利用。同时,优化萃取剂回收工艺,采用蒸馏法回收萃取剂,回收率达到98%以上,循环用于萃取环节,降低萃取剂消耗成本,减少资源浪费,实现酚类物质回收与废水处理的协同推进,提升企业经济效益。

### 2.2 氨氮资源回收利用技术

干馏废水中氨氮含量较高,若直接处理会造成氮资源浪费,且增加脱氮处理成本,当前工业运行中氨氮回收技术存在回收率低、能耗高、产品附加值低等问题。针对该痛点,采用蒸氨塔-余热回收协同技术,优化蒸氨工艺参数,采用石墨填料蒸氨塔,在 $105^\circ\text{C}$ 、 $0.05\text{MPa}$ 条件下实现氨氮汽提,控制蒸氨塔停留时间为 $60\text{min}$ ,氨氮去除率达到98%以上,回收的氨氮经冷凝处理后制备成浓度超过20%的氨水,可直接用于企业生产过程中的脱硫、

脱硝环节,或作为化工原料出售,提升资源利用价值。配套溴化锂制冷机组回收蒸氨过程中的余热,用于废水预热或厂区供暖,使蒸汽消耗降低至 $0.3\text{t}/\text{t}$ 废水,较传统工艺节能40%,降低氨氮回收过程中的能耗成本<sup>[3]</sup>。优化蒸氨尾气处理工艺,将尾气收集后送至VOCs处理装置统一处理,避免氨气泄漏造成的环境污染,实现氨氮资源回收与环保达标的双重目标。

### 2.3 水资源与盐分回收利用技术

干馏废水处理产生的中水与盐分具有较高的回收利用价值,当前企业普遍存在中水回用率低、盐分处置难度大等问题,既浪费水资源,也增加固废处置成本。针对该现状,构建“多膜脱盐-蒸发结晶”集成工艺,优化中水回用路径,将深度处理后的中水经过滤、消毒处理后,用于厂区绿化、设备清洗及循环冷却水补充水,使中水回用率提升至98%以上,减少新鲜水资源开采,降低企业用水成本<sup>[4]</sup>。对于膜处理产生的高浓盐水,采用机械蒸汽再压缩技术进行蒸发结晶处理,控制蒸发温度为 $80\text{-}90^\circ\text{C}$ ,蒸发压力为 $0.1\text{-}0.2\text{MPa}$ ,实现NaCl结晶纯度 > 98.5%,可作为工业盐回用,用于企业生产或出售,实现盐分资源化利用。优化蒸发结晶系统运行参数,减少蒸汽消耗,降低运行成本,同时对蒸发结晶过程中产生的杂盐进行规范处置,避免二次污染,构建水资源与盐分循环利用体系,推动企业实现节水减排目标。

## 3 工艺优化与资源化利用的协同保障措施

### 3.1 运行参数动态调控保障

工艺优化与资源化利用的稳定落地,对于提升工业生产效率、降低环境影响意义重大。而实现这一目标,离不开运行参数的动态调控。在当前工业运行中,普遍存在参数设定固定、缺乏灵活性的问题,难以适应水质波动,进而导致处理效果与资源回收效率不稳定,给企业带来经济损失的同时,也对环境造成潜在威胁。立足实际运行需求,构建基于数字孪生的工艺优化平台十分必要。该平台集成pH、DO、ORP等20余个在线监测参数,能实时获取生产过程中的各类数据。通过机器学习算法,可依据数据变化实现曝气量动态调节,将误差控制在5%以内,还能精准控制药剂投加量,节省化学药剂15%以上,真正实现运行参数的实时优化。安排专业运维人员定期巡检各处理单元至关重要,要监测水质、水量及设备运行状态,及时调整工艺参数。针对干馏废水水质波动特点,建立参数应急调整机制,当废水COD、酚类浓度突变时,能快速调整药剂投加量与停留时间,避免系统运行波动。还要建立运行参数档案,详细记录不同水质条件下的最优参数,为后续工艺优化提供有力的数据

支撑,推动工艺持续改进。

### 3.2 设备运维与技术升级保障

设备运行状态直接影响工艺优化效果与资源化利用效率,当前企业普遍存在设备老化、运维不到位、技术更新滞后等问题,导致处理系统故障频发,资源回收效率下降。针对该问题,建立完善的设备运维体系,定期对萃取塔、蒸氨塔、膜组件、催化反应器等核心设备进行检修、清洗与维护,及时更换老化部件,避免设备故障影响系统运行,延长设备使用寿命至5年以上。加强运维人员专业培训,提升其对工艺参数调整、设备运维及故障处理的能力,确保运维工作规范高效,减少人为操作失误造成的损失<sup>[5]</sup>。加大技术升级投入,跟踪行业先进技术动态,逐步引入高效催化剂、抗污染膜材料等新型技术与材料,优化工艺集成模式,解决传统工艺存在的痛点难点,提升工艺优化与资源化利用的技术水平,确保处理系统长期稳定运行。

### 3.3 成本控制与环保合规保障

工艺优化与资源化利用需兼顾成本控制与环保合规,当前部分企业存在优化方案落地成本过高、环保达标不稳定等问题,难以实现可持续运行。立足企业实际效益,优化成本控制方案,通过药剂循环利用、余热回收、参数优化等方式,降低处理成本,使整个处理系统运行直接成本控制在50元/吨废水以下,低于行业当前70元/吨废水的处理水平。优化资源回收路径,提升酚、氨、中水及盐分的回收效率,增加资源回收收益,抵消部分处理成本,提升企业参与工艺优化与资源化利用的积极性。严格遵循国家及地方环保排放标准,加强废水处理全流程监测,确保预处理、生化处理、深度处理各环节出水水质达标,对处理过程中产生的废气、固废进行规范处置,酚氨单元尾气送至VOCs处理装置处理,生化、混凝单元产生的污泥

脱水后规范处置,蒸发结晶单元产生的杂盐委托专业机构处理,避免环境污染,确保企业环保合规,实现经济效益与环境效益的协同发展。

### 结语

煤化工干馏废水处理工艺优化与资源化利用是解决企业环保痛点、提升资源利用效率、推动行业绿色发展的关键举措。本文立足工业实际运行场景,聚焦预处理、生化处理、深度处理各环节的工艺优化,探索酚、氨、水资源及盐分的回收利用技术,提出针对性的协同保障措施,解决了传统工艺运行不稳定、资源浪费、处理成本高、环保达标难的实际问题。工艺优化与资源化利用技术的落地,可实现废水处理达标与资源高效回收的双重目标,降低企业环保成本与运行成本,提升企业经济效益与环保水平。后续可进一步优化工艺集成模式,研发更高效、低成本的处理与资源化技术,推动干馏废水处理向更高效、更节能、更环保的方向发展,为煤化工行业绿色低碳转型提供支撑。

### 参考文献

- [1]康压群.煤化工过程中化学污染废水处理技术研究[J].化工设计通讯,2021,47(4):146-147.
- [2]张志宝.煤化工高盐废水处理工艺的研究及优化运行[J].清洗世界,2022,38(12):26-28.
- [3]徐洁,张宝莹,魏继苗.高效混凝沉淀技术在煤化工废水处理中的应用[J].百科论坛电子杂志,2021(24):5561-5562.
- [4]王吉忠,王志勇,王永登.煤化工高盐废水处理工艺的研究及优化运行[J].电脑爱好者(电子刊),2021(8):1757-1758.
- [5]苏东.煤化工废水处理现状及发展方向[J].百科论坛电子杂志,2020(19):4665.