

污水脱烃技术开发与应用

马继鹏*, 王江鹏, 邵治堂, 高云云, 杨震, 刘建明, 高立贵
(陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司, 陕西榆林718500)

摘要:针对渣油催化热裂解装置产生的含硫氨污水中溶解油脱除难题,行业内常规脱除技术存在明显局限,难以实现溶解油深度脱除与硫化氢、氨的有效留存。为此,开发出新型污水脱烃脱油技术,该技术以筛板形式作为塔盘,重点通过精准控制脱烃塔塔顶压力及塔内温度,构建最优脱油工况。通过温压协同调控,最大限度减少污水中硫化氢、氨的挥发流失,同时显著增强污水中溶解油的挥发度,实现溶解油高效深度脱除。工业应用结果表明,对该污水脱烃技术的温度与压力进行协同精准调控,可实现溶解油脱除率达到91.34%~92.78%,同时验证了脱油的可行性和稳定可靠性。该技术的开发与应用,解决了含硫氨污水中溶解油的处理难题,对减污降碳协同增效起到显著推动作用。

关键词:含硫氨污水;溶解油;脱烃脱油技术;筛板塔盘

中图分类号:X703

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)S2-0355-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.S2.058

Development and application of wastewater hydrocarbon removal technology

MA Ji-peng*, WANG Jiang-peng, SHAO Zhi-tang, GAO Yun-yun, YANG Zhen,
LIU Jian-ming, GAO Li-gui
(Shaanxi Yanchang Zhongmei Yulin Energy Chemical Co., Ltd., Yulin 718500, China)

Abstract: Aiming at the difficult problem of removing dissolved oil from sulfur-containing ammonia wastewater produced in residue catalytic pyrolysis units, conventional removal technologies in the industry have obvious limitations and are difficult to achieve deep removal of dissolved oil while effectively retaining hydrogen sulfide and ammonia. Therefore, a new wastewater dehydrocarbonization and deoiling technology has been developed. This technology adopts sieve trays, and focuses on establishing an optimal deoiling condition by precisely controlling the top pressure and internal temperature of the dehydrocarbonization tower. Through the cooperative regulation of temperature and pressure, the volatilization loss of hydrogen sulfide and ammonia in wastewater are minimized, whereas the volatility of dissolved oil is significantly enhanced, thus realizing the efficient and deep removal of dissolved oil. Industrial application results show that through the precise cooperative control of temperature and pressure in this wastewater dehydrocarbonization technology, the removal rate of dissolved oil can reach 91.34%–92.78%, which verifies the feasibility, stability and reliability of deoiling. The development and application of this technology solve the treatment problem of dissolved oil in sulfur-containing ammonia wastewater, and play a significant role in promoting the synergistic effect of pollution reduction and carbon reduction.

Key words: sulfur-containing ammonia wastewater; dissolved oil; dehydrocarbonization and deoiling technology; sieve tray

渣油催化热裂解装置在生产过程中会伴随产生大量含硫氨污水,含硫氨污水组分复杂,溶解有大量来源于反应过程的渣油,油与水本是不互溶的两相,但在现代化工工业中,油与水两相易在特定条件下形成稳定的乳化液^[1],溶解油浓度可达500 mg/L以上。含硫氨污水中溶解油的存在,未有效脱除和回收会造成资源浪费,若在溶解油回收脱除过程中, H₂S、NH₃ 大量挥发流失或性质发生改变会造成资源浪费。未来研究方向应着重围绕废剂的低能耗、低污染资源化利用处理模式展开^[2],因此,开发一种能够深度脱除含硫氨污水中溶解油,同时要有效避免 H₂S、NH₃ 流失还要保证性质稳定的脱除技术,

实现资源回收利用、推动减污降碳协同增效的关键,对促进石油化工行业绿色低碳转型具有重要的现实意义和工程价值。

1 含硫氨污水中的组分分析

1.1 含硫氨污水中溶解油的组分

含硫氨污水中的溶解油通过《水质石油类和动植物油脂的测定红外分光光度法》(HJ 637—2018)^[3]分析,主要组分为 C₅~C₁₂ 的轻质烃类,包括烷烃、环烷烃和少量芳烃,具体组分及含量有:烷烃(正戊烷、正己烷、正庚烷等)占比 65%~75%,环烷烃(环己烷、甲基环己烷等)占比 15%~20%,芳烃

收稿日期:2026-03-25;修回日期:2026-06-08

基金项目:陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司2024年研发/技改项目(YNHKJ2024-A-008)

作者简介:马继鹏(1986-),男,本科,助理工程师,研究方向为炼油和煤化工生产,通讯联系人,592000756@qq.com。

(苯、甲苯、二甲苯等)占比5%~10%,此外还含有少量胶质和沥青质(占比 $\leq 5\%$)。这些溶解油组分均具有较低的沸点和水溶性,其中轻质烷烃和环烷烃的水溶性较差,但在污水中以溶解态形式存在,难以通过常规物理方法脱除。

1.2 含硫氨污水中溶解油的回收难题

含硫氨污水中溶解的油分子均匀分散在水中,形成稳定的溶液,溶解油粒径在 $10\sim 3\ \mu\text{m}$ 以下^[4],难以通过重力、离心力等物理方法分离,常规分离技术对溶解态油滴的脱除效果极差,因此,要实现溶解油的深度脱除,关键是解决溶解态油滴的分离问题。

1.3 溶解油的挥发特性

溶解油的挥发特性主要受温度、压力、油组分等因素影响。温度:温度升高,油在水中的溶解度降低,油的饱和蒸气压升高,挥发度增强,溶解油的挥发速率加快,当温度升高至 60°C 以上时,溶解油的挥发速率显著提升,但同时会导致 H_2S 、 NH_3 的挥发速率也大幅增加;压力:压力降低,油的饱和蒸气压降低,挥发度增强,溶解油的挥发速率加快;但压力过低会导致 H_2S 、 NH_3 大量挥发,造成资源浪费;油组分:轻质烷烃和环烷烃的挥发度高于芳烃,沸点越低的油组分挥发速率越快,越容易从水中脱除。

因此,要实现溶解油的高效脱除,同时避免 H_2S 、 NH_3 大量挥发,需要合理调控温度和压力,找到最优的温压匹配关系。

2 含硫氨污水中硫氨特性分析

2.1 H_2S 和 NH_3 的含量与存在形态

渣油催化热裂解装置含硫氨污水中 H_2S 含量为 $2\ 300\sim 3\ 000\ \text{mg/L}$, NH_3 含量为 $3\ 300\sim 4\ 200\ \text{mg/L}$,其存在形态主要受污水pH影响。 H_2S 主要以 HS^- 和 S^{2-} 的形式存在,少量以 H_2S 分子形式存在; H_2S 分子具有较强的挥发性,易从污水中挥发逸出,形成剧毒废气。 NH_3 主要以 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4^+ 的形式存在,少量以 NH_3 分子形式存在; NH_3 分子具有较强的挥发性,易从污水中挥发逸出,形成刺激性废气。

2.2 H_2S 和 NH_3 的挥发特性

H_2S 和 NH_3 的挥发特性主要受温度、压力因素影响。温度升高, H_2S 和 NH_3 的挥发速率显著加快;当温度升高至 70°C 以上时, H_2S 和 NH_3 的挥发率可达80%以上,造成大量资源浪费。压力降低, H_2S 和 NH_3 的挥发速率加快;压力每降低 $0.1\ \text{MPa}$,

H_2S 和 NH_3 的挥发率增加15%~20%。

3 国内外除油技术

目前国内外常用的废水除油方法主要有物理法、化学法、物理化学法和生物化学法^[5-6]。针对含油污水中溶解油的分离脱除技术已开展了大量研究,常规分离技术主要包括在污水处理过程中需使用大量化学药剂^[7],结合静置分离、旋液分离、气浮除油、膜分离、吸附除油等,这些技术在不同类型含油污水处理中得到了一定应用,但针对含硫氨污水的特殊要求性,仍存在诸多局限。含硫氨污水在除油过程中还必须保证设备投资低、操作简便、运行成本低、分离效率高,同时在分离过程中,可降低污水中的 H_2S 、 NH_3 挥发,也要具备运行成本低,无二次污染问题。

4 污水脱烃技术开发

4.1 技术开发思路

基于含硫氨污水的特性和常规技术的局限,为石化行业废水治理的“减污降碳协同增效”提供数据支撑与路径优化依据^[8]。研究新型污水脱烃脱油技术的开发思路如下。

(1)采用筛板形式作为脱烃塔塔盘,强化气液接触,提升溶解油挥发效率,同时减少塔内阻力,保障污水稳定流通,避免设备堵塞。

(2)采用间接加热方式,避免直接加热导致的局部过热,减少设备腐蚀,同时实现温度的均匀调控。

(3)通过精准控制脱烃塔塔顶压力和塔内温度,找到最优的温压匹配关系,在增强溶解油挥发度、提高脱除率的同时,最大限度抑制 H_2S 、 NH_3 的挥发。

(4)通过传热传质充分交换,使各种状态的油蒸发进入气相,从而达到油水分离,同时有部分水蒸气、硫化氢及氨也蒸发进入气相,通过控制合适的塔顶冷凝温度及回流比,使油气从污水中分离出来,同时尽可能减少硫化氢及氨的逸出。

4.2 技术原理

(1)筛板塔盘的作用:筛板塔盘上设有均匀分布的筛孔,含硫氨污水从塔上部进料,自上而下流经各层筛板,在筛板上形成液层;加热后的污水产生的油气(主要为溶解油挥发形成的气态烃类)自下而上穿过筛孔,与液层充分接触,实现气液传质;筛板的设计可增大气液接触面积,延长气液接触时间,提升溶解油的挥发和分离效率,同时可拦截污水中的

悬浮颗粒,避免设备堵塞。

(2)温压协同调控的作用:温度升高,溶解油的挥发度增强,脱除率提高,但同时 H_2S 、 NH_3 的挥发率也会增加;压力升高, H_2S 、 NH_3 的挥发率降低,保留率提高,但同时溶解油的挥发度会降低,脱除率下降。因此,通过精准调控塔顶压力和塔内温度,实现温压协同匹配,可在保证溶解油深度脱除的前提下,最大限度抑制 H_2S 、 NH_3 的挥发,实现两者的协同优化。

(3)间接加热的作用:采用 0.45 MPa 蒸气间接加热脱烃塔底,可实现塔内温度的均匀调控,避免直接加热导致的局部过热,同时可节约能耗,降低运行成本。

综上所述,新型污水脱烃脱油技术的核心原理是基于溶解油和 H_2S 、 NH_3 的挥发特性差异,通过筛板塔盘强化气液接触,结合温压协同调控,实现溶解油的深度脱除和 H_2S 、 NH_3 的有效留存。

4.3 污水脱烃技术工艺简述

对污水脱烃技术开发工艺流程如图 1,含硫氨污水经加压后,进入换热器与脱烃塔出料污水进行换热,预热至设定温度,预热后的污水从脱烃塔上部进料口进入脱烃塔,自上而下流经各层筛板塔盘;脱烃塔底采用 0.45 MPa 蒸气间接加热,使塔底温度维持在设定范围,污水中的溶解油在加热和筛板气液接触的作用下,挥发形成气态烃类(油气);脱烃塔塔顶压力通过压力调节阀精准调控,维持在设定范围,抑制 H_2S 、 NH_3 的挥发;塔内气液在筛板上充分接触,油气自下而上穿过筛孔,从塔顶排出,脱烃塔塔顶排出的油气进入冷凝器,进行冷却冷凝,冷凝后的油液进入油回收罐,实现溶解油的回收利用;未冷

凝的少量油气进入尾气处理;污水则自上而下流经各层筛板,从塔底排出,经换热器与进料污水换热后,进入缓冲罐进行下一步处理。

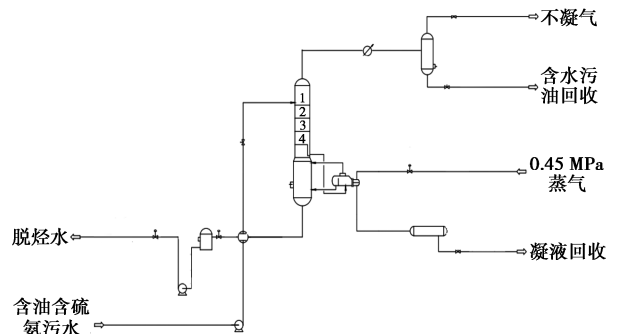


图 1 污水脱烃技术开发工艺流程

4.4 污水脱烃技术操作条件控制

污水脱烃脱油工艺中,升高操作温度有利于提升溶解油脱除效率,但同时会加剧污水中 H_2S 、 NH_3 的挥发;而提高脱烃塔操作压力,则可同时抑制溶解油、硫化氢及氨的挥发损失。在进料流量恒定、塔顶压力控制在 0.08 MPa 的条件下,对一定操作温度区间的运行效果进行对比分析,由表 1 可见,操作温度为 96~99℃时,溶解油脱除率为 80%~83%,硫损失率为 0.25%~0.27%,氨损失率为 0.05%~0.08%。温度提升至 99~102℃时,溶解油脱除率提高至 91.34%~92.78%,硫损失率为 0.14%~0.25%,氨损失率为 0.07%~0.28%。温度进一步升高至 102~105℃时,溶解油脱除率可达 92.24%~93.85%,但硫损失率急剧上升至 27.52%~34.18%,氨损失率亦大幅增加至 13.29%~23.47%。在等压条件下,随着进料温度升高,溶解油脱除率逐步提升,但硫化氢与氨的损失率亦随之显著增大。

表 1 0.08 MPa 下一定操作温度区间的运行效果

进料温度/ ℃	进塔水中油/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出塔水中油/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	除油率/ %	进塔硫含量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出塔硫含量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	硫损率/ %	进塔氨含量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出塔氨含量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氨损率/ %
96~99	387	67.0	82.69	2854	2848	0.21	3956	3953	0.08
96~99	436	78.0	82.11	2859	2852	0.27	3842	3839	0.07
96~99	393	75.5	80.79	2763	2756	0.25	3991	3989	0.05
99~102	433	37.5	91.34	2865	2859	0.21	3863	3852	0.28
99~102	452	33.6	92.57	2932	2928	0.14	3872	3866	0.15
99~102	503	36.3	92.78	2943	2938	0.17	3831	3828	0.07
102~105	465	28.6	93.85	2987	2165	27.52	3899	2984	23.47
102~105	389	30.2	92.24	3106	2103	32.29	3672	3184	13.29
102~105	412	31.5	92.35	2832	1864	34.18	3986	3263	18.56

在进料流量恒定、塔顶压力控制在 0.1 MPa 的条件下,在一定操作温度区间的运行效果进行对比分析。由表 2 可见,操作温度为 96~99℃时,污水中溶解油脱除率为 80.34%~80.38%,硫损失率为 0.11%~0.23%,氨损失率为 0.03%~0.13%。温度提升至 99~

102℃时,溶解油脱除率为 80.37%~80.50%,硫损失率为 0.26%~0.42%,氨损失率为 0.27%~0.51%。温度进一步升高至 102~105℃时,溶解油脱除率提升至 86.50%~86.85%,但硫损失率显著上升至 20.60%~21.19%,氨损失率亦大幅增加至 20.45%~27.76%。

表 2 0.1 MPa 下一定操作温度区间的运行效果

进料温度/ ℃	进塔水中油/ (mg·L ⁻¹)	出塔水中油/ (mg·L ⁻¹)	除油率/ %	进塔硫含量/ (mg·L ⁻¹)	出塔硫含量/ (mg·L ⁻¹)	硫损率/ %	进塔氨含量/ (mg·L ⁻¹)	出塔氨含量/ (mg·L ⁻¹)	氨损率/ %
96~99	362	71.0	80.38	2751	2746	0.18	3856	3851	0.13
96~99	369	73.0	80.22	2653	2650	0.11	3752	3751	0.03
96~99	402	79.0	80.34	2567	2561	0.23	3331	3328	0.09
99~102	359	70.0	80.50	2332	2326	0.26	3561	3551	0.28
99~102	361	68.0	81.16	2864	2852	0.42	3765	3755	0.27
99~102	321	63.0	80.37	2654	2643	0.41	3701	3682	0.51
102~105	305	40.1	86.85	2762	2193	20.60	3678	3592	23.38
102~105	346	46.2	86.64	2894	2316	19.97	4106	3992	27.76
102~105	397	53.6	86.50	2615	2061	21.19	3906	3107	20.45

现场工业应用结果表明,随着进料温度升高,脱烃塔溶解油脱除率有所提升,但提升幅度有限,同时氨与硫化氢的损失率随温度升高明显增大。综上,仅通过提高操作压力与温度来强化污水除油效果,会造成硫、氨组分大量流失。因此,对脱烃塔操作温度与压力进行协同精准调控,对实现溶解油高效脱除与硫氨资源有效保留具有至关重要的意义。

4.5 能耗

污水脱烃技术工艺运行阶段,开展了能耗监测与数据记录,具体数据见表 3,主要能耗包括电能、循环水、0.45 MPa 低低压蒸气的消耗,由表 3 可以看出污水脱烃工艺加工能耗仅为 298.25 kgce/h,由此看出污水脱烃工艺是一个低能耗的除油技术工艺。

表 3 污水脱烃技术的能耗

项目	消耗量/ (t·h ⁻¹)	能耗折算值/ (kgce·h ⁻¹)	能耗/ (kgce·h ⁻¹)
0.45 MPa 蒸气	2300	0.1286	295.78
电	12 ^[1]	0.1229	1.4748
循环水	10	0.1	1
合计			298.25

5 结论

(1)工业运行结果表明,等压条件下,进料温度

升高可提升溶解油脱除率,但提升幅度有限,且会导致硫化氢与氨的损失率显著增大,二者呈现明显负相关关系,能耗为 298.2 kgce/h 是一个低能耗的除油技术工艺。

(2)脱烃技术对污水中溶解油具有良好的脱除效果,可有效抑制硫化氢与氨的挥发损失,且具备工艺操作简便、工况适配性强等优势,是实现减污降碳协同增效的关键支撑,对推动石油化工行业绿色低碳转型具有重要的现实意义与应用价值。

参考文献

- [1] 秦朝晖,李世伟.芳烃装置污水除油净化技术的研发与应用[J].石油化工技术与经济,2025,41(6):19-22.
- [2] 普彩云,方智煌,王辉,等.催化裂化废催化剂资源化利用技术研究进展[J].石油炼制与化工,2025,56(9):149-158.
- [3] 练玟,毛存彪,郭振宇,等.催化裂解污水深度净化及浊蒸汽回注组合工艺的开发与应[J].石油炼制与化工,2025,56(11):121-130.
- [4] 韩雨露.煤化工废水中油类物质的赋存状态及去除特性分析[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [5] 王建兵,段学娇,王春荣,等.煤化工高浓度有机废水处理技术及工程案例[M].北京:冶金工业出版社,2015.
- [6] 张光明.超声波水处理技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [7] 黄代存.炼化企业污水处理厂碳排放分析及降碳对策[J].石油炼制与化工,2024,55(12):103-108.
- [8] 全永帅,陈义龙.石化含油废水处理技术的应用研究进展[J].中国科技论文,2025,20(10):799-812.■