

炼化企业含氨氮污水运行难点与改进措施

郑媛媛¹ 邹伟²

1. 山东泰亚环保科技有限公司; 2. 山东清晏生态环境有限公司

摘要: 随着环保标准不断提升, 含氨氮污水的稳定达标排放已成为炼化企业污水处理中的核心难题。本文以辽河石化公司为研究对象, 系统分析了含氨氮污水的来源、水质特征及处理现状, 梳理了当前污水处理系统运行中存在的氨氮负荷高、反硝化效率低、工艺衔接不足等问题。

关键词: 炼化企业; 含氨氮污水; 脱氮处理; 运行难点; 优化对策

本文以辽河石化公司为典型案例, 结合现场运行数据与处理系统构造, 对各类含氨氮污水的水质组成、处理路径及系统性能进行全面分析, 识别出运行中存在的主要问题, 并针对性地提出优化措施。通过研究, 旨在为炼化企业含氨氮污水的稳定、高效处理提供技术支撑和实践借鉴。

1 炼化企业含氨氮污水特点与处理难点

1.1 含氨氮污水的来源与水质特性

炼化企业在石油加工与化工生产中会产生大量含氨氮污水, 主要来源包括脱硫脱氮等化学处理环节、循环冷却水排污、污水处理站回流液、初期雨水和事故排水等。化学加药过程常导致废水中氨氮浓度升高; 循环水排污则因原水水质、系统浓缩倍率等因素造成氨氮波动较大; 污泥脱水和厌氧消化产生的回流液往往氨氮浓度较高, 是典型的点源污染; 而突发性排水或雨水径流则易将氮污染物冲入处理系统^[1]。此类污水具有水质波动大、氨氮浓度高、COD/N 比例失衡、缺碳、高盐和抑菌物质多等特点, 部分高浓度废水中氨氮可达 500 ~ 2000

mg/L, 远超一般生化系统的处理能力, 给后续脱氮处理带来较大压力。

1.2 生化系统处理难点

虽然炼化企业普遍采用 A/O、A²/O、MBR 等生化工艺, 但在实际运行中仍面临诸多挑战。氨氮浓度波动大, 易造成系统冲击, 特别是高浓度废水或回流液未经调节直接进入系统时, 可能导致硝化菌失活, 影响系统稳定性。硝化与反硝化之间对氧气和碳源的需求不同, 若溶氧控制不当或碳源不足, 会抑制反硝化过程, 影响总氮去除。部分废水中有机污染物和毒性物质对微生物构成抑制, 导致菌群失衡、活性下降。部分污水站仍采用手动或半自动控制方式, 缺乏对溶氧、泥龄、pH 值等关键参数的动态调节能力, 运行调控滞后, 难以适应水质变化。还有些系统存在设计能力与处理负荷不匹配的问题, 设备长期高负荷运行, 存在运行风险。要实现对含氨氮污水的有效控制, 除了工艺本身, 系统运行管理与精准调控同样关键。

2 试验材料与方法

2.1 试验仪器与设备配置

为确保含氨氮污水的水质分析准确

可靠, 本研究选用了性能稳定、适用于高盐高氮背景水样检测的常规水质分析设备。主要仪器包括紫外可见分光光度计, 用于测定氨氮、总磷、总氮等指标; 可见光分光光度计, 适用于总磷、总氮等常规污染物的比色分析; 电导率测定仪 (DAK-3), 用于分析水样的导电性与盐分情况; 总有机碳分析仪, 用于测定水样中的 TOC 指标; 氨氮专用测定仪则对氨氮的快速测定起到重要作用^[2]。试验中还配备了 AX-90H 型 pH 计, 用于水样酸碱度的连续监控。具体设备信息详见表 1。

2.2 主要监测指标与分析方法

试验过程中重点监测了反映污染强度和脱氮效率的几个核心指标见表 2, 包括氨氮、总氮、总磷、COD 和 TOC 等, 涵盖有机物与营养盐污染两个方面。各项指标的测定方法均采用国家标准, 氨氮采用纳氏试剂分光光度法, 总磷采用钼酸铵分光光度法, 总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, COD 测定采用重铬酸钾法, TOC 指标则使用非分散红外吸收法进行分析。

2.3 研究内容与试验方案设计

本研究以辽河石化公司污水处理系

表 1 试验所用主要仪器与设备

序号	仪器与设备名称	型号	生产商
1	紫外可见分光光度计	TU-1990	北京普析通用仪器有限责任公司
2	可见光分光光度计	T6	北京普析通用仪器有限责任公司
3	电导率测定仪	DAK-3	大连依利特分析仪器有限公司
4	总有机碳分析仪	MLS-3750	日本 SANYO 公司
5	氨氮测定仪	ET1200A	长沙同立分析仪器有限公司
6	酸度计 (pH 计)	AX-90H	大连依利特分析仪器有限公司

统为实例，围绕其在含氨氮污水处理过程中的运行难点及优化对策开展系统性分析与实验研究，主要包括以下 4 个方面内容：

1) 对辽河石化公司不同水源污水特性进行分析。通过对高盐高氨氮水、低含盐清污水、厂区其他工艺排水等典型水样进行采集和检测，分析其在 pH 值、氨氮、总氮及 COD 等核心指标方面的差异及变化范围，明确各类污水对系统运行的潜在影响。

2) 完成辽河石化公司污水处理系统现状分析与工艺单元评估。系统梳理其现有污水处理流程，包括预处理单元、生化处理单元及深度处理系统等，评估各单元对氨氮的去除能力和运行负荷，从整体上掌握系统瓶颈和关键控制环节。

3) 结合现有水质特征与工艺评估结果，进行系统结构优化与强化构建。通过对生化系统中的脱氮单元结构、污泥回流方式、碳源投加路径等进行调整，拟定适用于高氨氮水体的改进方案，并建立工艺提升模型。

4) 开展 CAST 工艺与一体化反硝化 / 硝化工艺的小试验证研究。通过对比不同工艺路径在氨氮去除效率、污泥沉降性能、运行稳定性及投药经济性等方面的表现，提出适用于炼化企业的脱氮优化技术方案，为工程应用提供实验支撑和理论依据。

3 含氨氮污水来源与特征分析——以辽河石化公司为例

3.1 含氨氮污水的主要来源分类

根据辽河石化公司污水处理系统的

运行现状及不同生产装置的排水特征，可将含氨氮污水分为 3 类：含硫污水、高含油污水和低含油污水。含硫污水是氨氮污染最为集中的水源，主要来源于加氢装置、催化裂化、常减压、脱硫装置等工艺单元；高含油污水则来自储罐、焦化炉冷却水和脱盐排水，油脂含量高，对后续生化系统影响较大；低含油污水则包括循环水排水、清洗废水和地面冲刷水等，水量大但污染负荷相对较低^[3]。通过现场调研与数据统计，辽河石化公司各类含氨氮污水的水量分布见表 3。可见，含硫污水占总含氨氮污水的近半，是当前脱氮处理的重点对象。该类污水除氨氮外，还伴随硫化物、酚类、COD 等高负荷有机物，对生化系统形成显著冲击。

3.2 各类污水的氮污染特征分析

为深入掌握各类污水中氮污染物的浓度与组成，对辽河石化公司不同典型污水样品进行了水质检测，测定指标包括总氮、氨氮、硝氮及亚硝氮等。检测结果见表 4。

表 2 主要监测指标与分析方法

序号	指标	分析方法	方法标准来源
1	氨氮	纳氏试剂分光光度法	HJ 536—2009
2	总磷	钼酸铵分光光度法	HJ 671—2013
3	总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636—2012
4	COD	重铬酸钾法	GB/T 11914—1989
5	TOC	非分散红外吸收法	HJ 501—2009

表 3 各类含氨氮污水水量分布

污水类型	流量 / (t/h)	比例 / (%)
含硫污水	61.5	48.8
高含油污水	52.3	41.5
低含油污水	11.8	9.7
合计	125.6	100

结果表明，含硫污水中氨氮浓度极高，平均值超过 15 000 mg/L，远高于高含油与低含油污水数十倍，是系统氮负荷的主要来源。高含油污水虽然氨氮浓度相对较低，但有机物含量高，油脂等组分也会间接干扰硝化反应过程。低含油污水总体污染程度较低，但在污水总量中占比较大，在系统总氮平衡中亦不可忽视。

3.3 含氨氮污水的排放现状与处理挑战

辽河石化公司的含氨氮污水主要采用分流预处理 + 集中生化脱氮工艺进行处理。但由于污水来源复杂、水质波动剧烈，氨氮浓度常超过系统设计负荷，造成脱氮系统频繁超标或运行异常。特别是在高氨氮水源未充分削峰调节时，极易引起硝化菌中毒、反硝化不完全等问题。部分高浓度污水如酸性气装置排水、含硫装置汽提废水等，在未经稀释或调节的情况下直接进入生化系统，会造成菌群结构紊乱、处理效率骤降。多数含氨氮废水还存在 C/N 失衡（COD 偏低），碳源不足成为限制反硝化反应的重要因素^[4]。

4 含氨氮污水处理系统运行现状与评价分析

4.1 系统工艺概况与处理流程

辽河石化公司为应对炼化过程中高浓度有机物和氨氮污染物，构建了包

表 4 各类含氮污水水质特征 (单位: mg/L)

污水类型	COD	总氮	氨氮	硝氮	亚硝氮
含硫污水	1232.1	15 985.7	15 653.2	117.6	4.8
高含油污水	707.9	646.2	588.6	38.3	2.1
低含油污水	389.1	165.8	129.6	31.5	1.7

含预处理与生化深度处理的成套污水处理系统。预处理部分设置了高含油污水强化处理装置和酸性水汽提装置,对含油、含氮废水进行削峰、脱除悬浮物和挥发性污染物,有效减轻生化系统负荷。其中酸性水汽提装置设计处理能力为 80 m³/h,采用汽提+冷凝的方式脱除 NH₂ 和 H₂S 等污染物,NH₃-N 去除率高达 92.7%。在生化段,系统采用“调节池—混凝气浮—CAST 反应池—BAF—二沉池”的组合工艺(见图 1),实现了从硝化、反硝化到深度抛光的全过程控制。

4.2 氨氮与总氮污染控制效果评估

为全面掌握氨氮及总氮污染物的削减效果,对各处理单元设置了多个监测断面,包括调节池出水、气浮单元出水、CAST 池出水、BAF 出水及最终外排口。监测结果表明,氨氮在 CAST 反应池中得到显著削减,由进水的 81.2 mg/L 降至出水的 4.71 mg/L,平均去除率为 77.5%;其中 CAST 反应池内单元去除效率高达 91.3%,是系统中的脱氮核心单元。相关数据详见表 5、表 6。

与氨氮处理效果相比,总氮削减效果不甚理想。尽管 CAST 池对有机氮和氨氮的削减较好,但硝酸盐积累现象明显,导致总氮在系统末端去除率仅为 45.9%,最终外排总氮平均仍高达 32.0 mg/L,未能稳定达到排放标准《GB 31570—2015》总氮限值为 30 mg/L。系统各段氮素污染物变化趋势如图 2~图 4,其中图 3 显示硝酸盐在 CAST 池后阶段显著升高,反映出反硝化过程受限,需强化碳源补充或调整运行策略。

4.3 存在问题与阶段性结论

综合运行数据及污染物变化趋势可见,辽河石化公司污水处理系统在氨氮去除方面运行稳定、处理效果明显,核

心处理单元 CAST 池与 BAF 滤池联合运行可实现出水氨氮控制在 5 mg/L 以内,符合排放要求。但系统在总氮削减方面仍存在运行难点,尤其是 CAST 池后段反硝化作用受限,导致硝酸盐积累,外排水中总氮常高于标准限值^[5]。系统在高负荷工况下对水质波动响应迟缓,反映出前端调节功能和工艺耦合机制仍需优化。进一步分析表明,限制总氮去除效率的核心问题主要包括:碳氮比失衡、缺乏外部碳源补充机制、反硝化菌活性不稳定,以及控制系统对 DO、回流比等关键参数响应不及时。为解决上述问题,应在后续研究和工程改造中重点引入智能调控策略,优化碳源投加路径,强化 CAST 及 BAF 段的协同反硝化能

力,从而全面提升含氮污水的深度脱氮水平。

5 含氮污水运行难点剖析与优化措施建议

5.1 系统运行主要难点

炼化企业含氮污水来源复杂、水质波动大,给污水处理系统带来了较大挑战。通过对辽河石化公司实际运行情况的分析发现,当前系统存在 4 个主要难点:一是前端水质调节能力不足,无法有效削峰减负;二是反硝化过程受碳源限制,导致总氮去除率偏低;三是部分深度处理单元如 BAF 功能发挥有限,出水总氮仍高;四是系统自动化水平不高,难以及时响应水质变化。这些问题直接影响了生化系统的稳定运行和脱氮达标效果。

5.2 优化对策与建议

针对上述问题,应从源头到末端进行系统性优化。可通过设置调节池和分

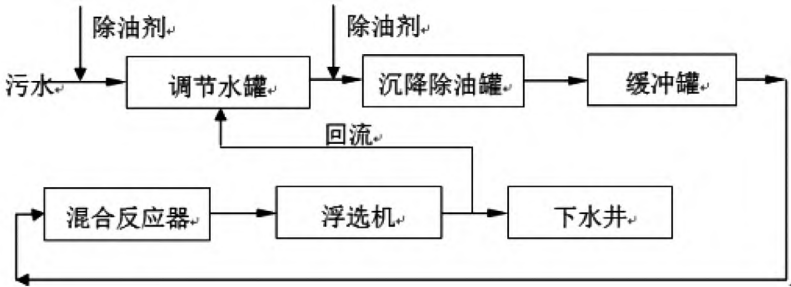


图 1 污水处理系统简化工艺流程图

表 5 污水处理过程水质监测数据 (单位: mg/L)

项目	进水 最大值	进水 最小值	进水 平均值	隔油池 出水	二浮 出水	一级水 解出水	CAST 池 出水	外排 出水
COD	688	453	531	449	418	282	55.4	57.0
总氮	81.20	41.70	63.29	57.71	57.16	56.08	48.95	45.95
氨氮	70.30	33.34	51.96	49.18	48.60	49.57	4.24	1.67
硝态氮	9.64	3.15	5.03	5.12	5.17	5.55	43.39	40.99

表 6 污水处理厂各单元污染物去除率 (单位: %)

项目	进水	隔油池出水	二浮出水	一级水解出水	CAST 池出水	外排水
COD 去除率	—	15.40	6.90	32.50	80.40	—
总氮去除率	—	8.80	1.00	1.90	12.60	45.95
氨氮去除率	—	5.40	1.20	4.60	91.70	96.80
硝态氮去除率	—	—	—	—	—	5.50

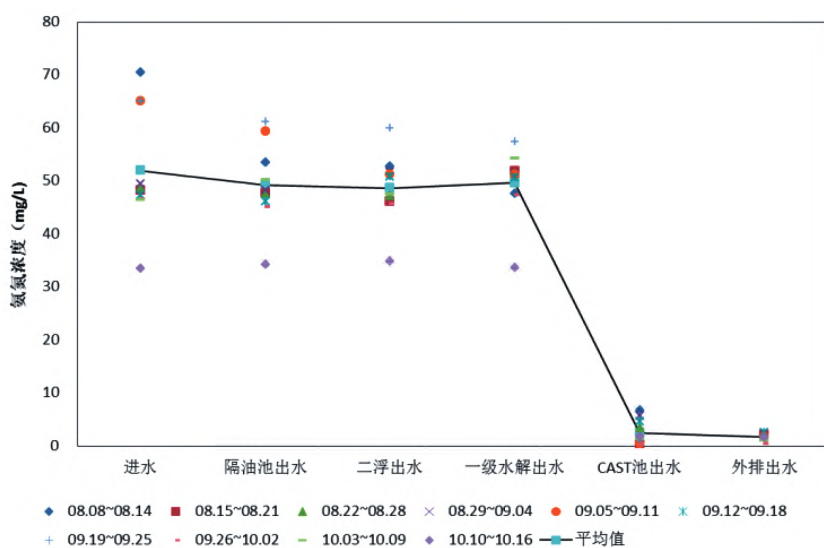


图2 氨氮变化曲线图

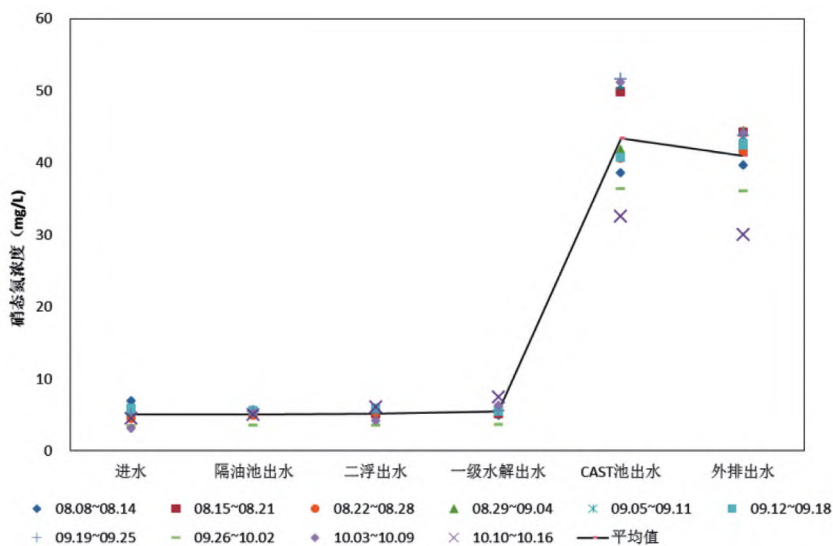


图3 硝氮变化曲线图

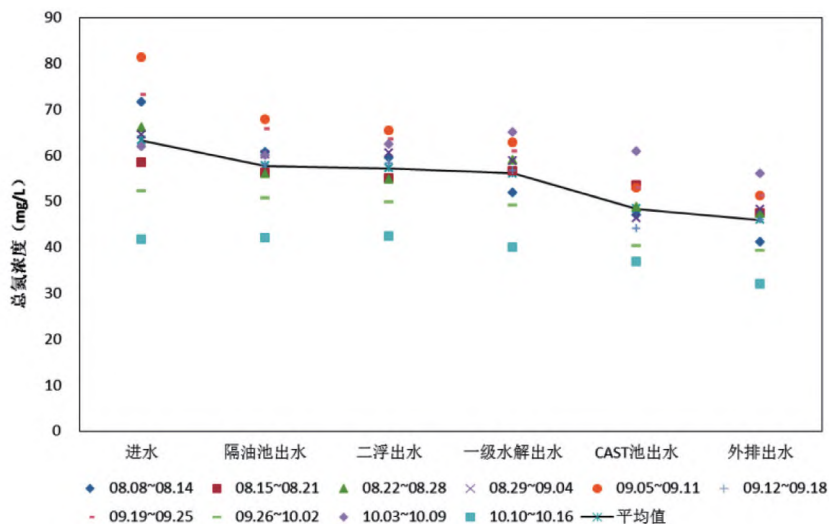


图4 总氮变化趋势图

流措施,对高氨氮废水进行分类调控,降低系统冲击负荷;建议配置外加碳源并建立精准投加机制,以提升反硝化效率;应优化CAST与BAF等关键单元的运行参数,强化硝化与反硝化过程协同;推进自动化控制系统建设,实时监测氨氮、硝氮等关键指标,提升运行响应能力。条件允许的情况下,也可探索短程硝化或Anammox等新型脱氮技术,进一步提高总氮削减效率。

6 结语

本文结合辽河石化公司污水处理系统的运行实际,分析了含氨氮污水的来源构成、水质特性和脱氮处理效果。研究发现,虽然现有系统在氨氮去除方面已具备一定处理能力,但总氮控制效果仍有待提升,主要问题集中在碳源不足、反硝化路径不畅、工艺耦合不完善及调控响应不及时等方面。针对上述问题,本文提出了水质分流、碳源补充、工艺优化与智能调控等改进策略,具有良好的实际可行性与推广价值。

参考文献:

- [1] 宋虎堂.含氨氮污水处理设施运行与管理培训[C].中国水污染治理技术装备论文集(第十七期).北京:中国环境保护产业协会水污染治理委员会,2011:4.
- [2] 肖晶晶.固定化脱氮菌群处理含氮污水的研究[D].北京:中国农业科学院,2011.
- [3] 钱雪明.利用含氨氮废水处理技术生产氯化铵高技术产业化示范项目[D].浙江:浙江大洋生物科技集团股份有限公司,2010-11-11.
- [4] 郭栋.给排水污水处理技术问题及处理方法研究[J].流程工业,2024(11):38-41.
- [5] 郝大明,谢进宁.高氨氮污水处理技术的应用[J].石油化工安全环保技术,2008(03):39-42+69.