

化工生产废水处理工艺设计与运行控制

文府¹ 魏玲² (通讯作者) 闵宏南³

1. 四川菲尔检测技术有限公司 四川省 成都市 610052

2. 陕西红马科技有限公司 陕西省 渭南市 715400

3. 攀枝花恒威化工有限责任公司 四川省 攀枝花市 617000

【摘要】：化工生产废水具有 COD 负荷高、盐分抑制明显、可生化性差及水质波动大等特征，单一处理单元难以实现稳定达标。本文围绕分质收集、均质调节、A/O 生物处理与活性炭吸附的组合工艺开展设计与运行分析，并对关键单元参数及运行控制策略进行讨论。运行监测结果表明，系统进水 COD 均值为 3200 mg/L，出水 COD 均值降至 75 mg/L，去除率达到 97.7%；氨氮由 105 mg/L 降至 4.0 mg/L，去除率达到 96.2%；SS、总磷和色度出水均满足设计控制目标。研究表明，该组合工艺对高 COD、高氨氮和高色度化工废水具有较好的污染物削减能力，配合 DO、pH、污泥回流和碳源补充等联动控制，可提升系统在负荷波动条件下的运行稳定性。

【关键词】：化工废水；A/O 工艺；活性炭吸附；运行控制；污染物去除

引言：

化工行业生产链条长、原料种类多，废水中常含有难降解有机物、氨氮、总磷、盐分及色度组分，若处理不当将对受纳水体和后续回用系统造成持续影响。随着排放标准趋严，传统单一生化处理在抗冲击能力、深度削减能力和运行稳定性方面逐渐暴露不足。因此，结合废水水质特征构建预处理、生化处理与深度处理协同衔接的工艺体系，对提高化工废水治理效果和降低运行风险具有重要意义。

1 化工生产废水特性分析与处理工艺设计基础

化工生产废水的水质形成受原料路线、反应单元、分离提纯方式以及清洗排放制度共同影响，煤制甲醇、氯碱以及有机硅生产环节通常会把高盐度、难降解有机物、含氮含磷组分带入排水系统。鉴于此类废水呈现水量波动大、化学需氧量负荷高、毒性抑制明显以及可生化性差等特性，工艺设计不能仅把达标排放当作单一目标来处理，还需围绕污染物分级削减来开展流程组织。可生化性是指废水中有机物被微生物降解的难易程度，通常关系到后续生化单元的稳定运行。设计基础应把源头分质收集、均质调节、预处理强化以及深度处理衔接起来考虑，并且结合盐分、挥发酚、氨氮、重金属离子等指标进行边界条件设定，从而为后续工艺选择以及参数计算提供较为可靠的依据。

2 化工生产废水处理工艺系统设计

2.1 处理工艺选择与流程设计

农药中间体缩合母液、染料合成重氮化洗涤水以及精馏冷凝排水进入综合废水系统后，通常表现为 COD 2000-5000 mg/L、氨氮 50-150 mg/L、总磷 10-30 mg/L 的复合污染特性，水体色度较深，盐分对微生物活性存在持续抑制。鉴于该类废水中可

溶性难降解有机物占比较高，单独运用 A/O 生物处理难以承担全部负荷，MBR 膜分离对悬浮物截留能力较强但膜污染控制成本偏高，芬顿氧化适宜把难降解大分子转化为较易降解组分，却不宜作为长期主体单元承担全量处理。结合进水波动以及运行维护需求，本研究把格栅、调节池、A/O 生物处理以及活性炭吸附串联为主流程。格栅拦截树脂颗粒以及包装纤维，调节池开展水量均衡以及 pH 缓冲，缺氧段借助反硝化去除硝态氮，好氧段完成有机物氧化以及硝化反应，沉淀出水再进入活性炭吸附单元削减残余色度和微量有机物，具体流程见图 1。为评价各单元对有机负荷的削减贡献，可运用 COD 去除率进行过程核算，公式如下：

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

其中， η 表示 COD 去除率， C_{in} 表示处理单元进水 COD 浓度，单位为 mg/L， C_{out} 表示处理单元出水 COD 浓度，单位为 mg/L。

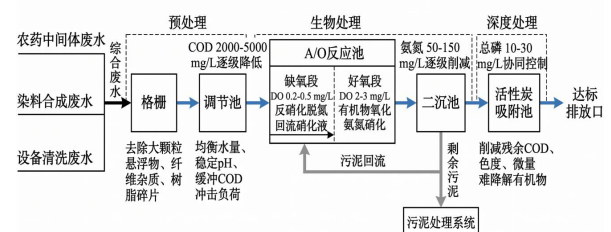


图1 化工生产废水处理工艺流程图

2.2 关键单元参数计算

A/O 反应池的尺度确定需要把日处理水量、有机物削减目标以及污泥系统承载能力放在同一计算框架内开展核算。以设

计水量 1000 m³/d 为计算边界,综合废水经预处理后 COD 按 3000 mg/L 计,生化出水控制目标按 300 mg/L 计,污泥负荷选取 0.20 kgCOD/kgMLSS·d,混合液悬浮固体浓度控制在 3500 mg/L 时,反应池容积不宜仅按停留时间经验值进行放大,而应依靠污泥负荷法校核微生物量是否能够承担有机物氧化需求。A/O 系统中缺氧段承担反硝化以及水质缓冲功能,好氧段承担 COD 降解和氨氮硝化功能,容积分配可按缺氧段占 30%-40%、好氧段占 60%-70% 进行工程化调整。反应池有效体积计算公式如下:

$$V = \frac{Q \times (S_{in} - S_{out})}{F / M \times X}$$

其中, V 表示 A/O 反应池有效体积,单位为 m³, Q 表示日处理水量,单位为 m³/d, S_{in} 表示进水 COD 浓度,单位为 kg/m³, S_{out} 表示出水 COD 浓度,单位为 kg/m³, F / M 表示污泥负荷,单位为 kgCOD/kgMLSS·d, X 表示反应池污泥浓度,单位为 kg/m³。曝气系统计算则需围绕 COD 氧化耗氧、氨氮硝化耗氧以及氧转移效率开展修正,工程设计中可把标准供气量折算至现场水温、池深以及微孔曝气器利用率条件下,再据此确定罗茨风机或磁悬浮风机的风量、风压以及备用配置。

2.3 运行控制策略制定

化工生产废水进入 A/O 系统后,水质冲击往往不是单一指标波动,而是 COD、盐度、氨氮以及 pH 同步偏移所形成的复合扰动,运行控制策略需围绕生物相稳定和负荷缓释开展设置。好氧段 DO 浓度宜维持在 2-3 mg/L,过低会限制硝化菌对氨氮的氧化速率,过高则容易提高能耗并削弱缺氧段反硝化所需的低氧环境;缺氧段 DO 宜控制在 0.2-0.5 mg/L,使反硝化菌能

够把硝态氮作为电子受体开展脱氮反应。系统 pH 保持在 7.0-8.0 较为适宜,进水酸碱度偏离该范围时,自动加药装置应按照在线 pH 反馈进行碱液或酸液投加,避免硝化过程受到抑制。污泥回流比可控制在 50%-80%,当二沉池泥位升高或出水悬浮物增加时,应提高回流泵运行频率并缩短排泥间隔;当污泥浓度持续偏高且沉降性能下降时,则需开展剩余污泥排放。在线 COD、氨氮、DO 以及 pH 仪表应接入 PLC 控制系统,把曝气量、回流量以及加药量纳入联动调节,使工艺在进水负荷变化时保持较平稳的处理状态。

3 化工生产废水处理工艺运行效果评估与优化建议

3.1 运行效果监测与数据分析

综合废水系统进入稳定运行阶段后,运行评价以连续 30 天在线仪表记录以及实验室复核数据作为基础,监测对象囊括调节池进水、二沉池出水以及活性炭吸附出水,指标选取 COD、氨氮、SS、总磷以及色度等能够反映有机负荷、生物脱氮和固液分离状态的项目。COD 是表征水体还原性有机物污染程度的综合指标,SS 是水中悬浮颗粒物含量指标,二者共同影响后续排放稳定性以及吸附单元负荷。由表 1 可知,进水 COD 均值为 3200 mg/L,出水 COD 均值降至 75 mg/L, COD 去除率达到 97.7%,高于设计阶段提出的生化出水控制目标以及深度处理排放需求;氨氮进水均值为 105 mg/L,出水均值为 4.0 mg/L,去除率为 96.2%,说明缺氧反硝化以及好氧硝化在碳氮负荷波动条件下仍保持较强协同。SS 出水均值控制在 18 mg/L,表明沉淀分离以及活性炭前端截留状态较稳定。结合设计目标对比,系统对高 COD、高氨氮以及高色度复合废水具有较好的达标能力。

表1 化工废水处理工艺运行效果监测结果

监测指标	进水均值	出水均值	去除率	设计控制目标	运行评价
COD	3200 mg/L	75 mg/L	97.7%	≤100 mg/L	达到排放控制要求
氨氮	105 mg/L	4.0 mg/L	96.2%	≤8 mg/L	硝化反应较稳定
SS	280 mg/L	18 mg/L	93.6%	≤30 mg/L	固液分离效果较好
总磷	22 mg/L	1.2 mg/L	94.5%	≤2 mg/L	除磷效果满足要求
色度	300倍	25倍	91.7%	≤50倍	深度吸附削减明显

3.2 工艺优化方向与措施

运行数据虽然反映出主体工艺具备较好的污染物削减能力,但从低温季节的氨氮曲线来看,好氧段硝化效率仍容易受到水温下降以及盐度升高的共同影响,主要表现为出水氨氮短时抬升、硝酸盐回流后缺氧段反硝化速率不足以及曝气能耗增加。鉴于硝化菌世代周期较长,冬季运行不宜单纯依靠提高回流比来消纳氮负荷,而应把溶解氧控制、污泥龄维持以及碳源补充放在同一调节框架内开展优化。好氧段可把 DO 控制区间由常规 2-3 mg/L 细化为 2.3-2.8 mg/L,并且借助变频风机按照氨氮在线值进行曝气强度联动调节,以减少低 DO 造成的硝

化受限。缺氧段若出现反硝化碳源不足,可选用乙酸钠或水解酸化液作为补充碳源,把投加量同进水 COD 和硝态氮负荷进行动态匹配,避免过量投加导致二沉池出水 COD 回升。针对盐分冲击,还需延长调节池均质时间,并且保留高盐废水分批进入生化系统的运行方式。经过上述调整后,系统预期可把冬季氨氮去除率稳定维持在 95% 以上, COD 出水浓度保持在 80 mg/L 以内,为长期连续运行提供较可靠的控制条件。

结语

本文结合化工生产废水复合污染特征,构建了格栅、调节池、A/O 生物处理和活性炭吸附组合工艺,并从参数核算、运



行调控和效果评价等方面进行了分析。运行结果显示,系统能够稳定削减COD、氨氮、SS、总磷和色度,整体出水达到设计控制要求。后续运行中,应重点关注低温和高盐冲击对硝化反

应的影响,通过优化DO区间、维持合理污泥龄、动态补充碳源和强化均质调节,进一步提升系统长期连续运行的稳定性。

参考文献

- [1]高映海,陈满意,周正胜,童志远,庄思逸,陆志豪. 制剂类农药废水处理工程设计及调试运行实例[J]. 山东化工, 2024, 53(05):237-239.
- [2]霍宗浩. 煤化工高盐废水纳滤分盐零排放项目设计及运行分析[J]. 煤化工, 2025, 53(04):59-63.
- [3]骆和昭. 基于某化工企业的耐碱膜污水处理工艺设计[J]. 大众标准化, 2025, (22):37-39.
- [4]余悦. 石油化工企业含油污水处理和回用水处理工艺设计研究[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(10):81-83.
- [5]赵宁华. 宁夏某煤制甲醇生产废水处理工程实例[J]. 中国给水排水, 2023, 39(24):140-144.
- [6]杨凯. 炼油及化工废水资源化工程实例[J]. 广州化工, 2023, 51(24):83-86.
- [7]周洋洋,郭磊,程志刚. 石化园区综合废水工程实例[J]. 水处理技术, 2025, 51(03):147-151.
- [8]叶涛,吴蒙. 煤制油化工高盐废水处理工艺技术的优化研究[J]. 石油化工应用, 2025, 44(10):93-98.
- [9]姜艳明. 石油化工污水处理厂恶臭废气处理工艺要点分析[J]. 石化技术, 2024, 31(10):254-256.

作者简介:文府(1990—),男,本科,研究方向为化工工艺。