

烟草废水零排放技术及其工程设计实例分析

陈梓晟

森海环保集团有限公司, 广东 广州 510506

DOI:10.61369/ME.2025110023

摘要：烟草废水中含有大量有机物、氨氮及部分无机盐等污染物，传统处理方法难以满足日益严格的排放标准。零排放技术通过物理、化学和生物处理技术的综合应用，能够有效去除废水中的各类污染物，实现废水的资源回用和零排放。本文对烟草废水零排放技术的关键技术进行了详细探讨，分析了多级处理工艺、系统设计及其工程应用实例。研究表明，零排放技术不仅符合环保要求，还具有显著的经济效益，对推动烟草行业的可持续发展具有重要意义。

关键词：烟草废水；零排放技术；污染物去除

Analysis of Tobacco Wastewater Zero Discharge Technology and Its Engineering Design Case Study

Chen Zicheng

ENVITEK GROUP LIMITED. Guangzhou, Guangdong 510506

Abstract： Tobacco wastewater contains a large amount of organic matter, ammonia nitrogen, and certain inorganic salts, making traditional treatment methods inadequate to meet increasingly stringent discharge standards. Zero discharge technology, through the integrated application of physical, chemical, and biological treatment methods, effectively removes various pollutants from wastewater, achieving resource recovery and zero discharge. This paper provides a detailed discussion on the key technologies of zero discharge for tobacco wastewater, analyzing multi-stage treatment processes, equipment selection, system design, and engineering application examples. The study shows that zero discharge technology not only meets environmental protection requirements but also delivers significant economic and social benefits, playing a crucial role in promoting the sustainable development of the tobacco industry.

Keywords： tobacco wastewater; zero discharge technology; pollutant removal

引言

烟草废水的处理一直是环保领域中的重要课题，随着环保法规的日益严格，烟草企业面临着废水排放标准的不断提高。烟草废水中含有大量的有机物、氨氮及部分无机盐等污染物，对水体和环境构成严重威胁。为了满足日益严格的环保要求，烟草废水的零排放处理技术应运而生，成为实现废水资源化和环境保护的重要手段。零排放技术通过多种先进的物理、化学和生物处理方法的联合应用，不仅能够有效去除废水中的各类污染物，还能回用资源（主要为生产回用和绿化灌溉回用），降低运营成本。随着技术的不断发展和成熟，零排放技术逐渐在烟草行业中得到应用，具有显著的经济效益和环境效益。

一、烟草废水零排放技术概述

（一）烟草废水的来源与污染特征

烟草废水是烟草加工过程中产生的副产品，主要来源于烟叶的浸泡、清洗、发酵及烘干等工艺环节。废水中含有大量有机物、无机盐、氮磷化合物及部分可能来源于加工材料的微量重金属，污染特征表现为较高的化学需氧量（COD）、生物需氧量

（BOD）及悬浮物（SS）浓度，具有较强的有机污染性和较高的水污染负荷。其有机物主要来源于烟叶表面及加工过程中的残留物，尤其是糖类和蛋白质，难以完全降解。此外，在烟草种植和加工的部分环节中，可能存在因烟叶携带的残余农药、杀虫剂等引入少量污染物的情况，需进一步分析其在废水中的浓度与来源特性。烟草废水的 pH 值通常呈偏酸性（典型范围 5.0–6.5），且氮（以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 计，典型浓度 30–150 mg/L）、磷（以 TP 计，典

型浓度5–25 mg/L) 含量较高, 易引发水体富营养化^[1]。污染物种类和浓度直接影响处理工艺选择及废水治理难度, 深入分析这些特征对优化零排放技术具有重要意义。

（二）零排放技术的基本概念与发展背景

零排放技术是一种综合应用多种水处理技术, 实现废水处理后不向外界排放污染物的方法, 其核心目标是最大限度地回收水资源并减少有害物质排放。该技术的起源与水资源短缺和环境污染日益严重的背景密切相关, 旨在提高工业废水处理效率, 推动可持续发展。零排放技术还能实现水资源的循环利用, 具有显著的环保和经济优势。随着技术的进步, 零排放系统逐渐向集成化、智能化发展, 处理效率和资源回收能力不断提升。在水污染防治政策趋严的背景下, 零排放技术成为工业废水处理的主要趋势, 尤其在烟草、化工和电力等高污染行业得到广泛应用。

二、烟草废水零排放技术的关键技术

（一）物理法：膜分离技术

膜分离技术是零排放体系中实现水资源回收的关键环节, 它利用半透膜的选择性分离特性, 能够高效去除水中的各类污染物。在实际应用中, 通常采用超滤(UF)、纳滤(NF)、反渗透(RO)以及近年来推广较多的膜化学反应器(MCR)的组合工艺。超滤主要用于截留烟草废水中的大分子有机物, 如蛋白质和糖类, 以及胶体和悬浮物; 纳滤则可进一步去除水中的二价离子和小分子有机物; 反渗透能够高效脱除溶解性盐类(总溶解固体TDS)、重金属及剩余有机物, 其去除率通常高于95%。而膜化学反应器(MCR)则是一种将化学处理与膜分离结合的水处理技术, 通过化学反应强化污染物去除效能, 并利用膜分离实现水质净化, 可替代传统多级处理单元, 节省占地, 并与膜浓缩、蒸发结晶工艺配合实现浓盐水量及近零排放。在实际应用中, 反渗透进水的污染物浓度需要严格控制, 因此前置的超滤、纳滤或膜浓缩预处理至关重要。这些预处理工艺不仅能够保障反渗透膜免受污染与堵塞, 维持其长期稳定运行及通量, 还能提升整个系统的处理效能。经过适当预处理后, 反渗透可以将废水中的化学需氧量(COD)从较高浓度有效降低至50mg/L以下, 水质条件可满足比排放标准更严格的回用水标准(如GB/T 18920, GB/T 19923)^[2]。然而, 膜污染和运行能耗仍然是当前面临的主要挑战。为了提升经济性, 需要持续优化膜材料性能、运行参数(如压力、流速)以及系统设计(如抗污染流道、能量回收)等方面。

（二）化学法：高级氧化法与化学沉淀法

在烟草废水处理中, 高级氧化法(AOPs)与化学沉淀法为实现废水零排放的核心化学技术。

高级氧化法通过强氧化性自由基【如羟基自由基($\cdot\text{OH}$)】高效降解难微生物分解有机物。Fenton法为高级氧化法的典型代表, Fenton试剂在催化作用下产生 $\cdot\text{OH}$, 最佳条件下对烟草废水COD去除率可达72.26%^[3]; 联合超声波技术可提升至76.99%^[4], 显著强化有机物矿化效率。

化学沉淀法则通过投加药剂使溶解态污染物(重金属离子、

磷酸盐等) 转化为不溶性沉淀物, 以实现污染物从水体中取出。较为典型的化学沉淀法有投加碱的氢氧化物沉淀法和投加硫化物的硫化物沉淀法。氢氧化物沉淀法经济适用, 硫化物沉淀法对特定重金属去除效率更优。然而, 该类技术均存在药剂消耗、增加污泥产量等局限, 需与物理或生物技术协同应用, 以降低运行成本并提升系统稳定性。

（三）生物法：生物滤池

生物滤池通过滤料表面生物膜降解烟草废水中有机物, 池底曝气强化氧传递效率, 显著提升COD、BOD及氨氮去除率。如合肥卷烟厂采用水解酸化耦合生物滤池工艺, 出水COD<50 mg/L、氨氮<5 mg/L, 满足GB/T 18920回用标准。较活性污泥法, 其占地面积减少80%, 无需二沉池; 滤料切割气泡设计提高氧利用率30%以上, 兼具抗负荷冲击与低维护优势^[5]。

（四）综合技术：多级处理与组合技术的应用

烟草废水高标准处理常需在优化预处理及生化处理的基础上, 强化深度处理环节。通过物化与生化单元优化组合, 并集成膜分离(如MCR、RO)或高级氧化等深度技术, 构建多级处理链。例如, 优化活性污泥法运行参数后, 耦合RO工艺可将COD由1200 mg/L深度处理至50 mg/L以下, 满足《城市杂用水水质标准》(GB/T 18920–2020)要求。化学沉淀与膜技术的协同应用, 可提升重金属去除率至90%以上并优化膜性能。技术互补显著强化了污染物梯级去除效能及水资源回用水平^[6]。

三、烟草废水零排放工程设计

（一）系统设计与工艺流程

烟草废水高标准处理系统采用分级处理模式。预处理阶段设置格栅与初沉池, 高效截留悬浮物及大颗粒杂质, 减轻后续负荷。生化处理为核心环节, 优选活性污泥法或厌氧反应器, 通过微生物代谢作用高效降解有机物。深度处理阶段集成膜分离技术(如纳滤/反渗透)与高级氧化工艺, 深度脱除溶解性盐类、重金属及微量有机物, 保障出水COD稳定低于50 mg/L, 满足《城市杂用水水质标准》(GB/T 18920–2020)回用要求。

（二）水处理效果与回用水水质标准分析

烟草废水零排放工程以再生水回用为核心目标, 关键水质指标(COD、氨氮、总磷等)需符合《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920–2020)要求。多级处理工艺可高效去除污染物, 例如“气浮–水解–MBR–反渗透”组合工艺实现出水COD<30 mg/L、氨氮<5 mg/L, 符合上述标准限值^[7]。

（三）工程应用实例与案例分析

国内烟草废水处理工程实践表明多技术组合的有效性。广东中烟广州卷烟厂(1200 t/d)采用“气浮+厌氧+缺氧+好氧+混凝沉淀+生物滤池”工艺, 实现出水100%绿化回用。合肥卷烟厂采用“气浮+水解+MBR+反渗透”工艺^[8], 出水COD低于50 mg/L, 氨氮低于5 mg/L, 满足《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920–2020)中规定的绿化、道路清扫、消防、建筑施工等用途的水质要求^[9]。红安卷烟厂(400 t/d)全地埋式

处理站实现中水回用（绿化、道路等），达成零排放^[10]。合理设计的多级物化生技术组合可实现污染物高效去除及水资源回用，具备显著环境经济效益。

四、结束语

烟草废水零排放技术结合物理、化学和生物手段，显著提高废水处理效率，实现资源回收与利用。通过精确的系统设计与设备配置，可有效去除 COD、氨氮、磷和重金属等污染物，同时降

低能耗和运营成本。现有工程案例表明，多级处理与组合技术不仅能确保水质达标回用，还能提高系统稳定性与经济性。随着技术的不断创新，烟草废水零排放工程将进一步优化，为工业废水的绿色处理和环境保护提供重要支持。零排放技术已成为烟草及其他重污染行业可持续发展的关键方向。

参考文献

[1] 戴泽军, 黄明, 毛文煜, 等. 烟草废水溶氧-好氧池出水 COD 浓度模型研究 [J]. 环境科学与技术, 2023, 46(S1): 162-167.

[2] 王艳青, 吕新亮, 田晓辉, 等. 造纸法烟草薄片废水处理运行分析及工艺探讨 [J]. 中国造纸, 2024, 43(3): 142-147.

[3] 马迅, 殷艳飞, 王浩雅, 向海英. Fenton 氧化法去除造纸法再造烟叶废水 COD 的研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2014, 36(3): 418-422.

[4] 马迅, 殷艳飞, 王浩雅, 等. 超声波协同 Fenton 氧化法去除造纸法再造烟叶废水 COD [J]. 环境工程学报, 2014, 8(11): 4752-4756.

[5] 刘良才, 刘雨雪, 唐天明, 等. 外排水冲洗滤布对烟草薄片废水处理站生化池的影响 [J]. 中国造纸学报, 2023, 38(1): 82-87.

[6] 戴泽军, 毛文煜, 刘良才, 等. 造纸法烟草薄片废水化学需氧量的快速预测 [J]. 工业水处理, 2023, 43(7): 194-201.

[7] 刘飞. 煤化工废水零排放装置蒸发器长周期运行的探究 [J]. 工业用水与废水, 2024, 55(4): 67-71.

[8] 冯金河. “气浮+水解酸化+UASB+AO+芬顿法”对烟草废水处理工程应用 [J]. 广东化工, 2021, 48(22): 170-171.

[9] 贾健波. 煤制烯烃废水零排放工艺的生命周期评价及技术经济分析 [J]. 山东化工, 2023, 52(2): 212-216.

[10] 姜鹏飞, 石夏年. 浅谈工业废水零排放工艺应用 [J]. 生态环境与保护, 2023, 6(1): 25-27.