

高浓度有机废水处理技术研究进展

卫国伟 王珂

摘要:近年来,国内工业化高速推进,水环境污染问题日益突出,高浓度有机废水排放量持续增加,生态环境与人体健康受到严重威胁,开展高效废水处理技术研究极具现实意义。本文梳理高浓度有机废水的分类与环境危害,系统综述物化、生物、化学三大主流处理技术的作用原理、应用现状与技术短板,结合行业发展趋势,为高浓度有机废水污染管控与工艺优化提供参考。

关键词:高浓度有机废水;物化处理;化学处理;生物处理

1 引言

水资源是人类生存与社会发展的核心基础资源,当前国内水污染治理形势严峻,大量工业、农业生产废水未经达标处理直接排放,是水体污染的主要诱因。其中,高浓度有机废水污染问题最为突出,该类废水污染物成分复杂、有机物浓度极高,COD 含量最高可达数十万 mg/L,毒性强、可生化性差异大,治理难度远高于常规污水。

现阶段,国内外学界与环保企业针对高浓度有机废水开展了大量试验与工艺研发。随着环保设施不断升级、治理体系逐步完善,我国废水整体减排成效显著,但工业企业废水超标排放、难降解有机污染物管控不足等问题依旧存在。因此,持续优化处理工艺、探索复合治理技术,是破解高浓度有机废水污染难题、改善水环境质量的关键举措。

2 高浓度有机废水类型及其危害

2.1 高浓度有机废水类型

根据污染物来源与生物降解特性,可将高浓度有机废水划分为三类:第一类为易生物降解型,主要包含碳水化合物、蛋白质、脂肪等天然有机物,广泛存在于食品、农副加工行业废水中。该类物质无生物毒性,可被水体微生物快速分解,最终转化为二氧化碳、水及氨氮等无害无机物,常规生物处理工艺即可实现有效降解。第二类为缓慢生物降解型,以纤维素、聚乙烯醇等高分子有机物为主,微生物分解周期长、降解效率低,单一生物法处理难以达到排放标准,需配合预处理工艺强化治理效果。第三类为难生物降解型,多产生于精细化工、农药、医药合成等行业,主要涵盖氯代芳香族化合物、多环芳烃、有机磷农药等物质。

2.2 高浓度有机废水危害

高浓度有机废水来源广泛、污染周期长、生物累积性强,兼具感官污染、水质破坏与生物毒性多重危害,对水生生态系统和人体健康形成持续性威胁。一是感官污染。废水携带大

量悬浮物、有色物质与恶臭气体，排入水体后会降低水体透光性、抑制水生植物光合作用，造成河道淤积、水体发黑发臭；高温生产废水会改变水体温度，降低溶解氧含量，破坏水生生物生存环境，大幅削弱水体景观价值。二是水质恶化。废水中酸碱物质、无机盐类含量偏高，直接排放会破坏水体酸碱平衡，提升水质硬度，抑制水生生物代谢功能，导致水体自净能力持续下降。高盐环境会破坏生物细胞渗透压，阻碍微生物与水生生物正常代谢，进一步加剧生态失衡。三是毒性危害。化工、医药类高浓度有机废水含有氰化物、芳香烃、重金属络合物等有毒物质，易造成水生生物急性中毒或慢性病变。有毒污染物可通过食物链逐级富集，最终侵入人体，损伤神经系统、代谢系统，长期接触会诱发各类慢性疾病，严重威胁公共卫生安全。

3 高浓度有机废水处理技术

3.1 物化处理技术

混凝沉淀法通过投加聚合硫酸铁、复合硅酸盐、高分子絮凝剂等药剂，使废水中胶体微粒、悬浮污染物发生水解、凝聚、絮凝反应，形成大颗粒絮体并沉降分离，快速去除悬浮物、色度及部分大分子有机物。相关研究以聚丙烯酸钠为絮凝剂，搭配沸石吸附改性处理有机废水，COD去除率可达69%。该工艺操作简便、成本低廉，普遍应用于废水预处理与生化后端沉淀环节，但处理效果易受水质波动、药剂配比影响，对可溶性小分子有机物去除能力有限。

萃取法依托相似相溶原理，选用煤油、有机溶剂等萃取剂，将水体中有机污染物转移至液相萃取剂中，通过两相分离实现污染物回收与废水净化。有研究采用液液萃取工艺处理含氯酚废水，污染物去除率达77.5%。该技术处理效率高、能耗低、可回收有用物料，既能降低废水有机物浓度，又能减少生化处理前的废水稀释比例，节约水资源，适合高浓度有机工业废水资源化处理。

吸附法利用活性炭、大孔树脂、硅藻土等多孔吸附剂的物理吸附与化学吸附作用，截留水体色素、异味及难降解有机物。试验表明，活性炭投加量200mg/L时，废水色度去除率可达86%。但吸附剂再生难度大、运营成本高，饱和吸附剂易随污泥流失造成二次污染，限制了该技术的规模化推广。

浓缩法通过蒸发浓缩分离水体水分，富集污染物并实现有用物质回收，工艺简单、资源化优势突出。但该技术能耗极高，仅适用于小流量、高价值组分废水处理，现阶段如何利用工业废热、降低能耗是其核心研究方向。

3.2 好氧生物处理技术

好氧工艺在有氧条件下，利用好氧微生物以有机物为碳源与能量来源，通过氧化分解实现污染物降解。核心工艺包含活性污泥法与生物膜法。活性污泥法模拟水体自净原理，依靠悬浮絮凝微生物群落净化水质，工艺适配性强；生物膜法将微生物固定于滤料载体，形成稳定生物膜，抗冲击负荷强、出水水质稳定。但传统好氧工艺存在明显短板，高浓度废水直接处理易引发污泥膨胀、供氧不足，且曝气能耗高、剩余污泥产量大，针对高盐、有毒有机废水的耐受能力较差，需结合预处理工艺使用。

3.3 厌氧生物处理技术

厌氧生物滤池以填料为微生物附着载体，废水流经填料层完成降解反应。试验数据显示，在适宜水力停留时间下，该工艺可有效改善废水可生化性，稳定去除部分COD，适合中低浓度有机废水预处理。EGSB厌氧污泥床反应器增设出水循环系统，提升水流上升流速，强化微生物与废水接触效率，抗负荷冲击能力强。在高浓度抗生素废水处理试验中，长期稳定运行后，容积负荷可达 $9.5\text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，COD平均去除率91.4%。IC反应器采用双层厌氧结构设计，复合分区运行可提升水力负荷、减少污泥流失，对COD、氨氮均有良好去除效果，现已广泛应用于啤酒、乳制品、酿造等高浓度有机废水治理，工业化应用成熟。

3.4 化学处理技术

Fenton 氧化法依靠羟基自由基的强氧化性，快速分解大分子、难降解有机物，脱色与降解效果显著。试验证实，Fenton试剂可高效处理高浓度复合有机废水，结合超声、紫外催化改性后，工艺性能大幅提升，染料废水处理中COD去除率可达92.26%。但该药剂消耗量较大、运行成本偏高，高盐、高浊度废水会大幅削弱氧化效果。

超临界水氧化技术利用高温高压下超临界水的特殊理化特性，彻底破坏有机污染物分子结构，降解彻底、无二次污染，适用于农药、多氯联苯、染料中间体等剧毒难降解废水。但该技术反应条件苛刻，设备耐高温、耐腐蚀要求高，易出现盐类堵塞、传热效率低等问题，催化剂研发与设备优化是其工业化应用的突破重点。

4 结论

综上，高浓度有机废水成分复杂、浓度跨度大、毒性差异显著，单一处理工艺存在局限性，难以兼顾治理效果、运行成本与环保要求。物化法适合预处理减量化，生物法经济环保、适合常规有机污染物降解，化学氧化法可实现难降解污染物深度处理，当前组合工艺协同治理已成为行业发展主流。

参考文献

- [1] 梁启煜, 等. 多段式生物接触氧化法处理焦化废水实验研究 [J]. 广州化工, 2020, 48 (11): 98-100.