

# 高浓度有机废水处理技术研究进展

李雁鸿, 马 凯, 冯春晖, 张志平, 韩继勇

神美科技有限公司, 河北 河间  
Email: liyanhong@shenmeikeji.com

收稿日期: 2021年6月20日; 录用日期: 2021年7月21日; 发布日期: 2021年7月28日

## 摘 要

近年来, 随着我国经济和工业化的快速发展, 水环境污染事件较为突出, 高浓度有机废水排放逐渐增多, 对人类健康的威胁加剧, 所以对高浓度有机废水处理技术深入研发显得尤为必要。本文概述了高浓度有机废水的类型及危害, 系统地介绍了高浓度有机废水污染处理技术中的物化、生物和化学处理技术的原理及其应用情况, 对高浓度有机废水污染控制技术的发展提出了建议与参考。

## 关键词

高浓度有机废水, 物化处理, 化学处理, 生物处理

# Research Progress of High Concentration Organic Wastewater Treatment Technology

Yanhong Li, Kai Ma, Chunhui Feng, Zhiping Zhang, Jiyong Han

Smedic Technology Co., Ltd., Hejian Hebei  
Email: liyanhong@shenmeikeji.com

Received: Jun. 20<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jul. 21<sup>st</sup>, 2021; published: Jul. 28<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In recent years, with the rapid development of China's economy and industrialization, the water environment pollution incidents are more prominent, among which the discharge of high concentration organic wastewater is gradually increasing, and the threat to human health is intensified. Therefore, it is particularly necessary to research and develop the treatment technology of high concentration organic wastewater. The types and hazards of high concentration organic wastewater are summarized, and the principles and applications of physicochemical, biological and chemical treatment technologies in the treatment of high concentration organic wastewater pollution are syste-

matically introduced. Suggestions and references for the development of high concentration organic wastewater pollution control technologies are put forward.

## Keywords

High Concentration Organic Wastewater, Physico-Chemical Treatment, Chemical Treatment, Biological Treatment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

水资源是人类生活赖以生存的资源，随着生态环境被破坏，水体污染日益加剧，水资源保护和治理问题逐渐成为关注的焦点。我国人均淡水占世界平均水平的 1/4，仅 900 m<sup>3</sup> 可用淡水，且地域分布极不均衡[1]。在我国水资源的合理开发和利用是可持续发展的重要一环。

我国目前水资源主要有水资源不足和水污染严重的现状。通过对现行废水治理调查发现，废水不经任何处理直接排放和经过一定处理但达不到排放标准而排放是导致污染严重的主要原因。在排放的废水中以工业、农业等领域为主所排放的高浓度有机废水占比较高，其 COD 最高可到达几十万 mg/L [2]，面对这类含有繁杂的组成成分和较高的污染物浓度，且在实际处理中有很大难度，如何处理这类废水成为当前环境科学与工程方向的研究热点[3]。

近年来国内外学者针对高浓度有机废水进行了广泛研究，《中国环境年鉴》的调查显示，虽然废水污染物的排放总量在逐年下降，新型的处理设施也在逐年增加，企业和国家的污染物处理能力逐年增强，在有效治理有机废水方面有很大进展，但废水排放未达标问题仍然严重，因此加大对高浓度有机废水处理技术进行深入研究显得尤为重要。

## 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

以来源及其性质分类：

- 1) 长期存在于自然界的天然有机物包含碳水化合物、脂肪和蛋白质等，对微生物无毒害作用，废水生物处理构筑物中的微生物能在短期内分解利用，转化为二氧化碳、水和氨氮等无机物的易生物降解型；
- 2) 部分能被微生物缓慢降解的有机物如纤维素、聚乙烯醇等能被生物降解型；
- 3) 有机合成化学和农药生产工业等排放的产品如氯代芳香族化合物、有机磷农药、对氯联苯等难生物降解有机物，具有生物毒性，很难被自然界固有的微生物分解转化[4]的难生物降解型。

### 2.2. 高浓度有机废水危害

高浓度有机废水有较为广泛的来源，具有残留时间长、生物积累性强和毒性大的特点，对环境有持久性危害[5]。具体危害分：

- 1) 感官污染：有机废水的恶臭、色度、水温等会对人造成感官上的危害。如水体恶臭导致水体丧失观赏功能；悬浮物覆盖在水面上，导致水体透光性降低，不仅危害水中生物的生长，还会沉积污染河床；

色度会使水体颜色浑浊,影响观赏性,降低水体透光度,阻碍水生植物进行光合作用;高温废水的排入对水生生物造成危害,水体溶解氧浓度大幅降低,阻碍需氧型生物生长,加快厌氧微生物的繁殖。

2) 水质污染[6]: 有机废水的成分复杂多样,酸类、碱类、盐类物质繁杂。直接排进水体会改变水体的 PH 值,使水质的硬度变大,水体生物的新陈代谢会受到抑制,导致自我净化能力降低。细胞的渗透压会受盐浓度过高的影响,而导致生物不能从自然界正常获取营养物质。废水中部分有机物可在微生物作用下被分解消耗大量溶解氧,使水体厌氧。

3) 毒性污染[7]: 废水中一般含大量氰化物或芳香化合物和多环芳烃化合物等有毒物质,将会导致生物急性或慢性中毒;对微生物产生较大的毒害作用。其含有的有毒物质会在自然界中残留,在生物体内积累通过自然界存在的食物链,最终进入人体,危害人体健康。

### 3. 高浓度有机废水处理技术

#### 3.1. 物化处理技术

指废水中的污染物利用相转移变化在处理过程中进行处理,以达到分离去除有机污染物的方法,主要用于用在生物处理的预处理工艺中。

混凝沉淀法是向高浓度有机废水中按比例投加混凝剂,如聚合硫酸铁、聚硅酸复盐与粉煤灰等混凝剂引发的水解、水解等反应使胶体、悬浮颗粒发生凝聚等一系列反应,最终沉降以达到处理废水的目的。黄民生等[8]用聚丙烯酸钠为主要絮凝剂,木质素为助凝剂、沸石为吸附剂来预处理有机废水,吸附后的 COD 去除率达到 69%。该方法在反应前的预处理过程及生物处理沉淀池中应用较多,废水中的悬浮物或不同混凝剂间的相互作用等会影响其效果。

萃取法是利用相似相溶原理,将废水与对有机污染物有强溶解能力的混合萃取剂进行混合,转为有机溶剂相中,通过分离处理达到去除有机污染物的目的。Hosseinzadeh [9]等用煤油为萃取剂,以液液萃取法去除对苯氯酚,去除率达到了 77.5%,超出了预期计划。该技术具有处理效率高、操作简单方便、投资较少等特点,在高浓度有机废水处理中有着广泛的应用。另外运用生物法处理废水中有机物前废水需要稀释,萃取法在应用上可将经过预处理的废水直接加到生物处理装置上,不仅在节约水资源的同时可以有效回收废水中的有用物质,并降低了废水的处理费用。

吸附法是利用吸附剂的吸附作用来去除废水中的污染物质,常用吸附剂有大孔树脂、活性炭和桂藻土等在处理高浓度有机废水时有较好的处理效果。陈刚[10]等研究活性炭吸附效果时发现,活性炭的投加量为 200 mg/L 时,色度的去除率达到了 86%,且去除率随投加量的增加而上升。但使用的吸附剂很难再生且费用较高,另外吸附剂还有可能被生物体吸附,进而随着污泥排放到环境中,因此吸附法在国内外的实际应用较少。

浓缩法[11]是通过把废水中部分水蒸发浓缩、分离析出技术,利用污染物在水中溶解度小的优势。具有操作简单,可实现对有用组分回收的特点被广泛应用。但由于能耗过高,如何将废热加以利用或降低能耗是现在的研究热点。

#### 3.2. 生物处理技术

利用微生物自身的代谢作用使有毒、有害的化学物质进行转化、分解,降解场所在微生物的活性污泥、生物膜及其相应的反应器等,分为好氧和厌氧两类。

##### 3.2.1. 好氧生物处理技术

指在有氧条件下异养型好氧微生物把废水中的有机物当电子供体,电子受体一般用游离态的氧,以氧化有机物释放的能量来维持生命,达到降低有机物浓度及实现有机物降解、去除的目的[12]。

活性污泥法是在自然界中水体自净化模拟技术的基础上, 利用悬浮微生物的絮凝体的降解去除作用实现处理目的。而生物膜法是细菌、真菌等微生物依附在滤料载体上生长和繁育, 最终在载体上形成膜状活性污泥(生物膜), 实施时工艺参数简便, 处理后的水质较好。在实际应用中进行的改造方法如提高气池对水质、水量及冲击负荷的适应能力, 最大限度减少污泥产生, 缩短曝气时间, 提高氧向混合液中的传递能力及利用率, 减少污泥膨胀现象的发生等又造成了处理效果不理想等缺点, 故该法较难实际应用。

生物接触氧化法具备活性污泥法与生物滤池法两者优点处理技术, 有较高处理负荷能力。梁启煜[13]等处理进水 COD 在 2800~3000 mg/L 的废水时发现出水 COD 能降至 200~260 mg/L, 去除率最终在 90% 左右。与传统方法相比, 该法具有出水水质好、工艺参数易于控制、设备紧凑及污泥产率低等优点, 应用较为广泛。

RBS 是腐植化环境中独有的一类高活性兼性土壤菌, 再通过生化反应能有效去除有机物的方法[14]。因操作简便、处理 BOD<sub>5</sub> 在 1000~15000 mg/L 以上的废水时有突出效果, 故在实际应用处理垃圾渗滤液已经广泛应用, 取得较为理想的功能。

DSP 他同样是一种活性污泥法, 利用深井充当曝气池, 具有动力效率高、能耗低、无污泥膨胀等特点被广泛应用。李志洪[15]等处理高浓度炼油废水时的出水 COD<sub>Cr</sub> 为 59~239 mg/L, 超额达到了排放要求。

### 3.2.2. 厌氧生物处理技术

指在厌氧环境下厌氧和兼性厌氧微生物通过氧化水中含有的有机物释放的能量来维持本身的生命活动和生长需求, 并将有机物转化为二氧化碳以此降低废水中有机物浓度的处理方法[16]。具有运行负荷高、产生的污泥量少且易于脱水处理、反应过程中不需曝气故能量消耗较低等特点[17]。

厌氧生物滤池法是将有微生物附着的填料添加到厌氧反应器上, 浸没在水中, 水从厌氧反应器的端口进入, 固定填料床。有机物在厌氧微生物的作用被分解达到降低污染物浓度的处理方法。付志敏[17]等在实验室模拟试验时发现进水 COD 浓度 500~1000 mg/L, 停留时间在 8~15 h 时, 出水的 COD 去除率最终稳定在 20% 左右, 且明显改善了废水的可生化性。

厌氧污泥床反应器在构造上添加出水再循环部分, 整个反应仪器由进水区、反应区、三相分离区、沉淀区等多部分共同组成了 EGSB, 反应器内有明显上升的液体流速, 废水与微生物之间的接触面提升了数倍。杨丽英[18]等在实验室模拟处理高浓度抗生素制药废水的实验时发现逐步提高容积负荷, 运行 90d 后成功启动, 9.5 kg COD/(m<sup>3</sup>·d) 的容积负荷下, COD 平均去除率能达 91.4%。

IC 反应器在两厌氧污泥床反应器的基础上进行相互重叠制成, 由精处理和回流等不同功能的各个区组成, 分别分担不同的压力, 在增大水力负荷防止污泥大量流失。管锡珺[19]等在调试运行后发现 COD 和氨氮的去除率分别达到 84% 和 45%。目前在高浓度有机废水的处理过程中已经开始广泛应用, 并已经成功应用于啤酒、乳制品及酒精等行业的废水处理过程。

### 3.3. 化学处理技术

化学处理技术是以化学处理或采用化学处理法来将废水中大量的污染物转化为无害物质, 达到净化污染物的目的。

Fenton 氧化法是利用试剂的强氧化性将其氧化分解以达到去除污染物的目的, 去除废水中的各种有机物有较为理想的效果, 但当废水中含有大量时, 处理效果会出现明显下降。李启武[20]处理多种有机化合物混合的废水, COD 进水 51 g/L, 2 h 后 COD 降至 25.5 g/L。戴丽雅利用超声催化 Fenton 氧化法处理染料废水的试验, COD 浓度从 6500 mg/L 降至 500 mg/L, 去除率达 92.26%, 色度也由 800 倍降至 1 倍。

超临界水氧化技术[21]是利用水在超临界状态(T > 347°C, P > 22 MPa)所特有的超临界性质氧化分解有机物, 在降低传质阻力、提高氧化性的同时把有机结构彻底破坏。其对难降解的有机物有较好的处理

效果, 实际应用领域涉及酯类化合物、多氯联苯、农药及染料中间体苯胺的处理。但也存在一系列问题, 包括苛刻的反应条件、对金属有强的腐蚀性、盐堵塞、热量传递及氧化部分化学性质稳定的化合物时间较长等问题, 所以寻找广泛催化性能的催化剂是广泛应用的重大难题。

焚烧法[22]是利用燃料将有机废水单独或者与其他物质混合进行燃烧。废水中的大分子有机物在高温下会氧化分解为二氧化碳、水、氮氧化物等小分子物质, 达到无害排放目的。该处理技术的主要特点为处理效率高、处理速度快等。如能燃烧完全, 可以将废水中的有机物质彻底转化为二氧化碳和水。由于运行成本较高很难实际广泛应用。

### 3.4. 高浓度有机废水处理技术总结

在实际应用中生物、物化及化学处理技术均存在优缺点, 如表 1 所示。使用单一的处理方法很难对含量较高的有机物, 可生化性较低的高浓度有机废水达到理想的处理效果。

**Table 1.** Comparison of advantages and disadvantages of various processing techniques

**表 1.** 各处理技术的优缺点比较

处理方法	优点	缺点
生物处理技术	运行成本低, 应用范围广	处理周期长, 处理难降解有毒物质时效果较差
物化处理技术	运行简单, 处理效果稳定, 操作管理简单	只适用于某一类物质的分离, 成本较高, 容易产生二次污染
化学处理技术	COD 去除率高, 其中焚烧法的去除率可达 99.99%, 有机物浓度越高越经济	能耗大, 成本高

## 4. 结论与展望

本文概述了高浓度有机废水的类型及危害, 从高浓度有机废水处理技术(物化、生物、化学处理技术)等方向的原理及优缺点分别进行了论述。

高浓度有机废水有较为广泛的来源, 具有残留时间长、生物积累性强和毒性大的特点, 对环境有持久性危害, COD 最高可到达几十万 mg/L, 处理方法只用生物, 化学和物化处理技术之一很难处理干净污染物。因此能够充分利用多种方法的优势总结出一套既经济有效, 有简单操作的处理方案极为重要。

我国在走可持续发展之路, 为了国家的繁荣富强例如高浓度有机废水中蕴藏着大量的有机盐, 若将其回收利用, 可创造出更大的价值, 不仅降低了处理成本, 且增加了经济效益。所有走发展和持续相结合道路, 对于高浓度有机废水处理技术也是一种创新, 也是高浓度有机废水处理的发展方向。

## 参考文献

- [1] 侯燕飞. 当代中国的水问题和解决对策[J]. 海河水利, 2009(5): 16-17.
- [2] 公彦猛, 姜伟立, 李爱民, 等. 高浓度有机废水湿式氧化处理的研究现状[J]. 工业水处理, 2017, 37(5): 20-25.
- [3] Zhu, Q., Guo, S., et al. (2014) Stability of Fe-C Micro-Electrolysis and Biological Process in Treating Ultra-High Concentration Organic Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, **255**, 535-540.
- [4] 任南琪. 高浓度有机工业废水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [5] 王明星, 廖昌建. 高浓度有机废水生物处理技术[J]. 当代化工, 2011, 40(8): 820-823.
- [6] 王绍文, 钱雷, 何莉, 等. 冶金工业焦化废水处理存在的问题与解决的途径和对策[C]//中国金属学会. 2005 中国钢铁年会论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2005: 4.
- [7] 朱军平, 魏营, 周塘祈. 水污染的危害及防治[J]. 科技视界, 2015(4): 81-103.
- [8] 黄民生, 朱莉. 味精废水的絮凝吸附法预处理试验研究[J]. 水处理技术, 2000(5): 299-302.

- [9] 廉宁霞. 造纸废水的毒性评价以及废水处理工艺中的毒性变化研究[J]. 环境与生活, 2014(20): 227-228.
- [10] 陈刚, 李丹阳, 张光明. 高浓度难降解有机废水处理技术[J]. 工业水处理, 2003, 23(3): 88-93.
- [11] 王萍, 郭麦平, 王理想, 等. 高浓度有机废水处理方法研究[J]. 绿色科技, 2012, 12(3): 172-174.
- [12] 焦盼盼. 溶剂萃取法处理高浓度含酚有机工业废水[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2016.
- [13] 梁启煜, 王迎春, 赵佳悦, 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.
- [14] 单明军, 张勇. RBS 在高浓度有机废水处理上的应用[J]. 工业水处理, 2002, 22(10): 48-49.
- [15] 李志洪, 张彤炬. 深井曝气技术处理炼油废水工程实例[J]. 净水技术, 2018, 37(11): 116-119.
- [16] 李娜. 农村混合废物干式厌氧发酵工艺优化及沼渣的综合利用[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2018.
- [17] 付志敏, 张玉高, 汪晓军, 等. 厌氧滤池处理纺织印染废水的中试研究[J]. 环境工程学报, 2012, 6(2): 535-539.
- [18] 杨丽英, 刘伟东, 王红梅, 等. EGSB 反应器处理抗生素制药废水的性能研究[J]. 工业水处理, 2020, 40(5): 52-56.
- [19] 管锡珺, 仇模凯, 张明辉, 等. IC 反应器处理水果罐头废水发生酸化及恢复措施[J]. 中国给水排水, 2019, 35(5): 78-81, 87.
- [20] 孙文全, 刘展华, 徐炎华, 等. 絮凝法预处理含酚高浓度有机废水[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 115-120.
- [21] 孙佳峰, 宋小燕, 郁强强, 等. 间歇曝气序批式活性污泥法处理农村废水及其效果的模拟预测[J]. 环境污染与防治, 2020, 42(2): 152-158.
- [22] 郑效旭, 李慧莉, 徐圣君, 等. SBR 串联生物强化稳定塘处理养猪废水工艺优化[J]. 环境工程学报, 2020(6): 1503-1511.