

# 工业污水处理工艺及其回用利用技术

张悦

兰州寰球工程有限公司 甘肃 兰州 730060

**摘要:** 本文聚焦工业污水处理与回用利用技术。首先阐述工业污水来源广泛,不同行业特性差异大,普遍具有污染物浓度高、成分复杂等特性。接着介绍主流处理工艺,物理法通过物理作用分离污染物;化学法利用化学反应转化污染物;生物法借助微生物代谢分解有机物。然后说明回用需预处理去除杂质,深度处理进一步净化水质。最后指出工业污水回用途径多样,包括工业生产、市政、生态回用等,实现水资源循环利用,兼具经济与环境效益。

**关键词:** 工业污水处理;回用利用技术;物理法;化学法;生物法

引言:在工业高速发展的当下,工业污水排放量与日俱增,其成分复杂、污染物浓度高,对生态环境和人类健康构成严重威胁。有效处理工业污水并实现回用利用,成为缓解水资源短缺、减少环境污染的关键举措。不同行业工业污水来源与特性差异显著,这要求采用多样化的处理工艺。从基础的物理法、化学法到应用广泛的生物法,再到针对回用的预处理、深度处理技术,每一种方法都有其独特的原理和适用范围。深入了解工业污水来源、特性,掌握主流处理工艺及回用利用技术,对于推动工业可持续发展、实现水资源的高效循环利用具有重要的现实意义。

## 1 工业污水的来源与特性

工业污水是工业生产活动产生的废水,其来源广泛,贯穿于工业生产的各个环节。不同行业因生产工艺、原料及产品的差异,污水来源与特性也大相径庭。(1)在钢铁行业,炼铁、炼钢、轧钢等工序是污水的主要产生源。炼铁过程中,高炉煤气洗涤会产生大量含悬浮物的污水;炼钢时,转炉除尘、精炼等环节会排放含重金属离子和油类物质的废水;轧钢工序中,冷却和润滑操作会产生含油及金属氧化物的污水。化工行业污水源于原料预处理、化学反应、产品分离与精制等多个阶段,成分极为复杂,包含多种有毒有害的有机物,如卤代烃、芳香烃等,还可能含有酸、碱、盐等无机物。纺织行业污水主要来自印染和漂洗工序,含有高浓度的染料、助剂以及悬浮物,且色度极高,处理难度较大。食品加工行业污水则富含有机物、蛋白质、油脂等,这些物质易被微生物分解,导致水体富营养化。(2)工业污水普遍具有一些显著特性。污染物浓度高,部分行业污水中COD(化学需氧量)、BOD(生化需氧量)浓度可达数千甚至上万mg/L,远超生活污水标准。成分复杂多样,常同时包含无机物、有机物、重金属等多种污染

物,且不同污染物间可能发生化学反应,进一步增加处理难度。水质水量波动大,受生产工艺、生产周期等因素影响,污水的水质和水量会出现较大幅度的变化。其四,毒性强,部分工业污水中含有氰化物、酚类、重金属等有毒物质,对生物和环境危害极大<sup>[1]</sup>。

## 2 主流工业污水处理工艺

### 2.1 物理法

物理法是工业污水处理中最基础的工艺,主要通过物理作用分离污水中的污染物,不改变污染物的化学性质。常见的物理法包括沉淀法、过滤法、气浮法等。

(1)沉淀法是利用重力作用使污水中的悬浮物自然沉降,从而实现固液分离。该方法设备简单、操作方便、成本较低,适用于处理含有大量悬浮物的工业污水,如钢铁行业的高炉煤气洗涤水、选矿行业的尾矿废水等。根据沉淀过程的不同,可分为自然沉淀、混凝沉淀等类型,其中混凝沉淀通过添加混凝剂使细小悬浮物凝聚成大颗粒,提高沉淀效率。(2)过滤法是借助过滤介质截留污水中的悬浮物和胶体物质,常用的过滤介质有石英砂、活性炭、滤布等。过滤法可进一步去除沉淀法未能去除的细小颗粒,常用于污水处理的预处理或深度处理阶段。例如,在化工行业污水治理中,过滤法可有效去除污水中的固体杂质,为后续处理工艺创造良好条件。

(3)气浮法是通过向污水中通入大量微小气泡,使气泡附着在悬浮物表面,形成密度小于水的浮体,从而将悬浮物带到水面并去除。气浮法适用于处理含有比重接近水的悬浮物或油类物质的污水,如炼油行业的含油废水、造纸行业的白水等。该方法处理效率高、占地面积小,但运行成本相对较高<sup>[2]</sup>。

### 2.2 化学法

化学法是利用化学反应去除污水中的污染物,使污染物转化为无害物质或易于分离的形态。常见的化学法

包括中和法、氧化还原法、化学沉淀法等。(1)中和法主要用于处理酸性或碱性工业污水,通过添加酸性或碱性药剂,使污水的pH值调整至中性范围。对于酸性污水,通常采用石灰、氢氧化钠等碱性药剂进行中和;对于碱性污水,则可使用硫酸、盐酸等酸性药剂。中和法操作简单,成本较低,是处理酸碱污水的常用方法,如化工行业的酸洗废水、电镀行业的碱性废水等均可采用中和法进行处理。(2)氧化还原法是利用氧化剂或还原剂将污水中的有毒有害污染物转化为无毒或低毒物质。常用的氧化剂有臭氧、氯气、过氧化氢等,还原剂有亚硫酸钠、铁屑等。例如,采用臭氧氧化法可有效去除化工污水中的酚类、氰化物等有机物;使用铁屑还原法可将电镀污水中的六价铬还原为三价铬,便于后续处理。氧化还原法处理效果好,但药剂成本较高,且可能产生二次污染。(3)化学沉淀法是通过向污水中投加化学药剂,使污水中的溶解性污染物转化为不溶性沉淀物,从而实现分离去除。该方法常用于处理含有重金属离子的工业污水,如电镀行业的含铬、含镉废水,冶金行业的含铅废水等。通过投加氢氧化钠、硫化钠等药剂,使重金属离子形成氢氧化物或硫化物沉淀,然后通过沉淀、过滤等方法将其去除。化学沉淀法处理效果稳定,但需要严格控制药剂投加量,避免产生新的污染。

### 2.3 生物法

生物法是利用微生物的代谢作用分解污水中的有机物,将其转化为二氧化碳、水等无害物质,是工业污水处理中应用最广泛的工艺之一。根据微生物的生存环境,生物法可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。(1)好氧生物处理法是在有氧条件下,利用好氧微生物分解污水中的有机物。常见的好氧生物处理工艺包括活性污泥法、生物膜法等。活性污泥法是通过曝气使微生物形成活性污泥,利用活性污泥吸附、分解污水中的有机物,具有处理效率高、适应范围广等优点,广泛应用于化工、纺织、食品等行业的污水处理。生物膜法则是使微生物附着在载体表面形成生物膜,污水流经生物膜时,有机物被生物膜上的微生物分解,该工艺具有运行稳定、污泥产量少等特点,适用于处理低浓度或水质波动较小的工业污水。(2)厌氧生物处理法是在无氧条件下,利用厌氧微生物分解污水中的有机物,最终产生甲烷等气体。该方法适用于处理高浓度有机工业污水,如啤酒行业的废水、造纸行业的黑液等。厌氧生物处理法具有能耗低、可回收能源等优点,但处理周期较长,对环境条件要求较高。常见的厌氧处理工艺有UASB(上流式厌氧污泥床)、IC(内循环厌氧反应器)等。(3)

在实际应用中,往往采用多种生物工艺组合的方式,如厌氧-好氧组合工艺,先通过厌氧处理去除大部分高浓度有机物,再通过好氧处理进一步降低污水中的污染物浓度,达到排放标准或回用要求<sup>[3]</sup>。

## 3 工业污水回用利用技术

### 3.1 回用预处理技术

工业污水在回用之前,必须开展预处理工作,目的是去除污水中的悬浮物、油脂、重金属等各类杂质,为后续深度处理工艺的稳定运行提供保障。常用的预处理技术与污水处理的物理法工艺有相似之处,但在处理精度和要求方面更为严苛。(1)格栅和筛网是预处理中用于去除粗大悬浮物和漂浮物的关键设备。像塑料碎片、纤维杂质等,若不加以去除,极易堵塞后续处理设备。依据格栅间隙大小,可划分为粗格栅、中格栅和细格栅。在工业污水回用预处理环节,通常选用细格栅,它能有效拦截更小颗粒的杂质,确保污水中的大颗粒物质被初步清除。(2)沉淀和过滤是预处理阶段的核心步骤。沉淀可去除污水中大部分悬浮物,降低污水的浊度;过滤则能进一步去除细小颗粒,提升水质。对于一些对水质要求极高的回用场景,还会采用精密过滤技术,例如微滤、超滤等。这些技术能有效去除污水中的胶体物质和微生物,使水质得到进一步净化。(3)气浮法在预处理中主要用于处理含油污水以及去除比重较小的悬浮物,在含油工业污水回用预处理中发挥着重要作用。气浮装置通过向污水中通入空气,使污水中的油类物质和悬浮物附着在气泡上并上浮至水面,从而实现分离。经过气浮处理,污水中的油类物质去除率可高达90%以上,为后续处理工艺创造了良好的条件<sup>[4]</sup>。

### 3.2 深度处理技术

经过预处理的工业污水仍含有一定量的有机物、氮、磷等污染物,需要进行深度处理以达到回用标准。常见的深度处理技术包括活性炭吸附法、膜分离法、高级氧化法等。(1)活性炭吸附法是利用活性炭的多孔结构吸附污水中的有机物、色度、异味等污染物。活性炭具有较大的比表面积和较强的吸附能力,可有效去除污水中的难降解有机物。该方法操作简单、处理效果好,但活性炭需要定期更换或再生,运行成本较高。在工业污水回用中,活性炭吸附法常作为深度处理的末端工艺,进一步提升水质。(2)膜分离法是利用膜的选择性透过特性分离污水中的污染物,主要包括微滤、超滤、纳滤和反渗透等。微滤和超滤可去除污水中的悬浮物、胶体物质和微生物;纳滤可去除小分子有机物、重金属离子和部分硬度离子;反渗透则能去除几乎所有的

溶解性盐类和有机物，产出高纯度的回用水。膜分离法处理效果好、出水水质稳定，但膜易受污染，需要定期清洗和更换，投资和运行成本较高。目前，膜分离法在电子、电力、化工等行业的污水回用中得到广泛应用。

(3) 高级氧化法是通过产生具有强氧化性的羟基自由基，氧化分解污水中的难降解有机物。常见的高级氧化技术包括臭氧氧化法、芬顿氧化法、光催化氧化法等。臭氧氧化法可有效去除污水中的有机物、色度和异味，且不会产生二次污染；芬顿氧化法通过亚铁离子和过氧化氢反应产生羟基自由基，对难降解有机物具有良好的处理效果；光催化氧化法则利用光催化剂在光照条件下产生羟基自由基，实现对有机物的氧化分解。高级氧化法处理效率高，但能耗和药剂成本较高，适用于处理难降解工业污水的深度处理。

### 3.3 回用途径

工业污水经针对性处理并达到相应标准后，能依据水质状况与回用需求，灵活应用于多个领域，常见的回用途径涵盖工业生产回用、市政回用以及生态回用等。

(1) 工业生产回用是工业污水回用的核心途径。不同生产工艺对水质要求各异，回用水可精准应用于冷却用水、洗涤用水、工艺用水等环节。以钢铁行业为例，处理后的污水可用于高炉冷却，保障高炉稳定运行，还能用于转炉除尘，减少粉尘排放；电力行业中，回用水能作为锅炉补水，满足锅炉运行的水质要求，也可用于循环冷却系统，维持设备正常温度；化工行业则可将回用水用于原料预处理，确保原料纯净度，还能用于设备清洗，降低清洗成本。工业生产回用既能大幅减少新鲜水资源的取用，又能降低废水排放量，实现经济效益与环境效益的双赢。(2) 市政回用是将处理后的工业污水应用于城市相关领域，如城市绿化灌溉、道路冲洗、市政设施用水等<sup>[5]</sup>。市政回用对水质要求相对宽松，经深度处

理后的工业污水基本能达标。此举可有效缓解城市水资源紧张局面，提高水资源的综合利用效率，促进城市的可持续发展。(3) 生态回用是将回用水用于河道补水、湿地生态修复等生态领域。由于直接涉及生态系统，生态回用对水质要求颇高，必须确保回用水中的污染物不会对生态环境造成破坏。通过生态回用，可增加水体水量，改善水体生态环境，促进水体生态系统的恢复与稳定，维护生态平衡。

### 结束语

工业污水处理与回用利用是一项复杂且意义重大的系统工程。通过对其来源与特性的深入剖析，我们能够精准把握处理方向；主流处理工艺的合理运用，为污水达标排放提供了坚实保障；而回用利用技术的不断发展，更是开启了水资源循环利用的新篇章。工业生产回用减少了对新鲜水资源的依赖，降低了生产成本；市政回用缓解了城市水资源压力，提升了资源利用效率；生态回用则有助于恢复和稳定水体生态系统。未来，我们应持续加大技术研发和创新力度，优化处理工艺，提高回用标准，推动工业污水资源化利用向更高水平迈进，实现经济发展与环境保护的良性互动。

### 参考文献

- [1] 初宪宝. 人工智能在智慧校园建设中的应用[J]. 计算机产品与流通, 2025(9):38-40.
- [2] 于姗姗. 工业污水处理工艺及其回用利用技术[J]. 石化技术, 2026, 33(1):421-423.
- [3] 吴昊雨. 工业区工业污水处理厂工程工艺技术研究[J]. 科学与信息化, 2025(1):111-113.
- [4] 王伟, 闫涛. 工业微生物在污水处理中的应用与优化研究[J]. 清洗世界, 2025, 41(7):100-102.
- [5] 储凌威. 市政污水处理工艺与污水回用利用技术探讨[J]. 环球市场, 2021(24):391.