

论化学工艺废水处理方法

李彦斌

陕煤集团榆林化学有限责任公司 陕西 榆林 719300

摘要：化学工艺废水因生产工艺复杂呈现出成分复杂、水质水量波动大、毒性强及可生化性差等显著特点，其排放会对水体、土壤、大气环境造成污染，并威胁人类健康。目前，针对此类废水的处理方法主要分为物理、化学和生物处理法三大类：物理处理法通过沉淀、过滤、气浮、离心分离等手段去除悬浮物或杂质；化学处理法利用中和、混凝、氧化还原、化学沉淀等反应改善水质；生物处理法则借助好氧或厌氧微生物降解有机污染物。本文系统分析化学工艺废水的特性与危害，详述各类处理技术的原理及应用场景，为化学工业废水治理提供理论参考与技术借鉴。

关键词：论化学；工艺废水；处理方法

引言：在化工生产过程中，由于原料多元化、反应路径复杂及合成工艺多样，产生的废水往往含有大量有机物、重金属、酸碱污染物及有毒有害中间体，导致其处理难度显著高于其他工业废水。随着环保标准的日益严格，化学工艺废水的有效治理成为化工行业可持续发展的关键挑战。此类废水若未经妥善处理直接排放，不仅会破坏水生态系统、造成土壤盐碱化或重金属富集，还可能通过挥发作用污染大气，甚至通过食物链危及人体健康。因此，深入研究化学工艺废水的特性，梳理现有处理技术的原理与适用性，对优化废水处理工艺、降低环境风险具有重要的现实意义。

1 化学工艺废水的特点

1.1 成分复杂

化学工艺生产流程繁多，涉及多种原料、催化剂和反应中间体，致使废水成分极为复杂。一方面，废水中往往含有高分子有机物、脂肪烃、芳香烃及其衍生物，这些物质结构稳定，相互交织形成复杂体系；另一方面，还可能包含重金属离子（如汞、镉、铬）、无机酸碱和盐类等。以精细化工行业为例，产品合成过程中常使用特殊溶剂和添加剂，其残留成分与反应副产物共同存在于废水中，使得不同批次废水的化学成分差异显著。这种复杂性不仅增加了水质分析的难度，也导致单一处理技术难以满足净化需求，需采用组合工艺才能实现有效治理。

1.2 水质水量变化大

化学工艺生产常受生产周期、原料配比、设备运行状态等因素影响，造成废水水质和水量呈现显著波动。在生产阶段，反应初期、中期和末期产生的废水污染物浓度差异巨大，例如酯化反应过程中，反应前期废水中可能以未反应原料为主，后期则以高浓度的有机酯类和

催化剂残余物为主。同时，间歇性生产模式使得废水排放呈现明显的周期性特征，瞬时流量波动可达数倍甚至数十倍。这种水质水量的不稳定性，容易冲击废水处理系统的运行稳定性，要求处理工艺具备较强的抗负荷冲击能力，否则会降低处理效率，甚至导致处理设施瘫痪。

1.3 毒性强

化学工艺废水中含有大量有毒有害物质，对生态环境和生物体具有显著毒性。部分有机污染物如多环芳烃、卤代烃等，具有致癌、致畸、致突变效应，即使在低浓度下也会对水生生物的生长、繁殖和代谢产生抑制作用。重金属离子进入水体后，会通过生物富集作用在食物链中逐级传递，最终危害人体健康。此外，废水中的酸碱物质、强氧化剂或有机溶剂，不仅会破坏水体的酸碱平衡，还会对微生物的活性产生毒害作用，导致生物处理工艺难以正常运行。因此，化学工艺废水的毒性治理是保障生态安全和人体健康的关键环节。

1.4 可生化性差

化学工艺废水中多数有机污染物结构复杂、稳定性高，难以被微生物分解利用，导致其可生化性较差。例如，含苯环、杂环的有机化合物，其化学键能较高，微生物分泌的酶难以对其进行有效降解；部分人工合成的高分子聚合物，如聚氯乙烯、聚四氟乙烯等，在自然环境中几乎不发生生物降解。此外，废水中的重金属离子、高浓度盐类及有毒有机物，会抑制微生物的生长和代谢活性，进一步降低废水的可生化性。这种特性使得单纯依靠生物处理技术难以达到理想的处理效果，常需结合物理、化学预处理手段，改善废水的可生化性，为后续生物处理创造条件^[1]。

2 化学工艺废水的危害

2.1 对水体环境的危害

化学工艺废水一旦排入水体,便会引发诸多严重问题。废水中高浓度的重金属离子,如汞、镉、铅等,会在水体中不断积累,干扰水生生物的正常生理代谢,导致鱼类等生物的神经系统、生殖系统受损,甚至造成生物死亡,严重破坏水生态系统的物种多样性。大量的有机污染物会被微生物分解,这一过程会消耗大量溶解氧,使水体出现缺氧状况,致使依赖氧气生存的水生动物窒息而亡。此外,废水中的氮、磷等营养物质,还易引发水体富营养化,藻类过度繁殖,形成水华或赤潮,进一步恶化水质,严重影响水体的自净能力与生态功能。

2.2 对土壤环境的危害

当化学工艺废水通过地表径流、灌溉等途径进入土壤,会对土壤环境产生极大破坏。废水中的重金属会吸附在土壤颗粒表面,改变土壤的理化性质,降低土壤孔隙度,影响土壤通气性与透水性,阻碍植物根系的正常生长与呼吸。有毒有害物质会抑制土壤中微生物的活性,破坏土壤生态系统的平衡,使土壤的自然肥力下降,影响农作物对养分的吸收,导致农作物减产甚至绝收。

2.3 对大气环境的危害

化学工艺废水在处理、储存或排放过程中,部分挥发性污染物会挥发至大气中,对大气环境造成污染。例如,废水中的有机溶剂、含硫化合物等,挥发后会形成有害气体,如二氧化硫、硫化氢等,这些气体不仅具有刺鼻气味,还会与大气中的其他物质发生化学反应,形成酸雨、光化学烟雾等二次污染物。酸雨会腐蚀建筑物、破坏植被,影响农作物生长;光化学烟雾则会降低大气能见度,对人体呼吸系统、眼睛等造成刺激和损害,严重影响空气质量与人体健康,同时也会对全球气候产生不利影响。

2.4 对人类健康的危害

化学工艺废水对人类健康的威胁途径多样且危害严重。人们若饮用了受污染的地表水或地下水,废水中的重金属、有机毒物等有害物质会直接进入人体,在人体内不断积累,损害人体的各个器官和系统。例如,汞会损害神经系统,导致记忆力减退、肢体麻木;铅会影响儿童的智力发育。通过食物链的传递,人类食用了受污染水体中的鱼类、农作物等,有害物质也会在人体内富集,增加患癌症、心血管疾病等重大疾病的风险。长期接触含有刺激性气味废水挥发的的气体,还会刺激呼吸道,引发咳嗽、哮喘等呼吸系统疾病,严重威胁人类的生命健康与生活质量^[2]。

3 化学工艺废水处理方法

3.1 物理处理法

3.1.1 沉淀法

沉淀法基于废水中悬浮颗粒与水的密度差异,利用重力作用使颗粒自然沉降,实现固液分离。当废水静置或缓慢流动时,密度较大的泥沙、金属氢氧化物等颗粒逐渐下沉至容器底部。在化工园区的废水预处理中,沉淀法常作为首道工序,快速截留大颗粒悬浮物,降低后续处理负荷。该方法操作简便、成本较低,适用于去除粒径较大、浓度较高的不溶性杂质。但对微小颗粒及胶体物质的去除效果不佳,且处理效率受水质、温度和颗粒特性影响显著,常需投加混凝剂强化沉淀效果,同时会产生大量污泥需后续处理。

3.1.2 过滤法

过滤法是借助石英砂、活性炭、膜材料等多孔介质,拦截废水中的悬浮固体,实现固液分离。废水通过过滤介质时,悬浮物被截留在介质表面或孔隙中,净化后的水则透过滤材流出。在制药行业,过滤法可去除发酵残渣;在电镀废水处理中,反渗透膜能截留重金属离子和大分子有机物。该方法分离效率高、出水水质稳定,可有效去除微小颗粒和部分溶解性杂质。然而,过滤介质易堵塞,需定期清洗或更换,处理高浓度废水时通量受限,且精密过滤设备投资及运行成本较高,对操作管理要求也较为严格。

3.1.3 气浮法

气浮法通过向废水中通入大量微小气泡,使其附着于疏水性悬浮颗粒表面,形成气-固或气-液-固复合体系,利用气泡浮力将颗粒带至水面,从而实现污染物与水的分离。根据气泡产生方式,可分为溶气气浮、电解气浮等。在石油化工废水处理中,气浮法能有效去除乳化油;在印染废水处理中,结合絮凝剂可高效去除染料颗粒。该方法特别适用于处理密度接近水、难以沉淀的悬浮物及乳化油类污染物,但运行过程中需消耗大量药剂和能源,且气泡的大小、稳定性直接影响处理效果,水质波动时易降低分离效率。

3.1.4 离心分离法

离心分离法利用高速旋转产生的离心力,加速废水中不同密度物质的分离。当废水在离心机内高速旋转时,密度较大的固体颗粒或液滴被甩向离心机转鼓壁,密度较小的液体则聚集在转鼓中心,通过不同出口分别排出。该方法分离效率高,可处理高浓度、高黏度废水,常用于生物发酵废水中微生物菌体的回收,以及化工废水中催化剂颗粒的分离。相较于沉淀法,离心分离不受重力场限制,分离速度快、占地面积小。但离心设备投资成本高,运行时能耗大,且设备维护要求严格,需定期

检查转鼓磨损情况，以防止高速运转引发安全事故。

3.2 化学处理法

3.2.1 中和法

中和法是利用酸碱中和反应调节化学工艺废水 pH 值的技术。对于酸性废水，常投加石灰、氢氧化钠等碱性药剂；处理碱性废水时，则采用硫酸、盐酸等酸性物质。例如，在酸洗钢材产生的强酸性废水中，投加氢氧化钙可中和过量酸，降低腐蚀性；造纸厂排放的碱性废水，通过硫酸调节 pH 至中性，为后续处理创造条件。该方法操作简单、成本可控，能快速改善废水酸碱度，但处理过程中会产生大量化学污泥，若酸碱投加量控制不当，易引发二次污染，需配合污泥处理及精准的 pH 监测系统。

3.2.2 混凝法

混凝法通过向废水中投加聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等混凝剂，利用压缩双电层、吸附架桥等作用，使微小悬浮颗粒和胶体聚集为大絮体，实现固液分离。在印染废水处理中，混凝法可有效去除染料分子与悬浮物；食品加工废水中的蛋白质、淀粉等有机胶体，也能通过该方法沉淀去除。其对浊度、色度和部分重金属离子的去除效果显著，可提升废水可生化性，但混凝剂的选择和投加量需根据水质精准调控，否则会影响处理效果，且大量污泥产生增加了后续处置成本。

3.2.3 氧化还原法

氧化还原法借助强氧化剂（臭氧、过氧化氢等）或还原剂（亚硫酸氢钠、铁粉等），通过电子转移改变污染物价态，将有毒有害物质转化为无害或低毒物质。例如，含氰电镀废水采用臭氧氧化，可将剧毒氰化物分解为二氧化碳和氮气；含六价铬废水通过投加硫酸亚铁还原为三价铬，降低毒性后便于沉淀。该方法对难降解有机物、重金属离子的去除能力强，但氧化还原药剂成本较高，部分反应需特定温度、pH 条件，且可能产生副产物，需进一步处理以确保出水达标。

3.2.4 化学沉淀法

化学沉淀法是向废水中投加化学试剂，使其与污染物反应生成难溶性沉淀物，经固液分离去除污染物。在含重金属离子的化工废水中，投加硫化钠、氢氧化钠，可生成重金属硫化物或氢氧化物沉淀；磷肥厂废水中的磷酸根离子，通过投加石灰乳形成磷酸钙沉淀。该方法对重金属、磷酸根等污染物去除效率高，操作简便，常用于工业废水预处理和深度处理。但沉淀剂消耗量大，易产生大量化学污泥，若污泥处置不当会造成二次污

染，且部分沉淀物溶解度较高，需与其他技术联用才能满足严格排放标准。

3.3 生物处理法

3.3.1 好氧生物处理法

好氧生物处理法在有氧环境下，利用好氧微生物（如细菌、真菌、原生动物）的新陈代谢活动，将化学工艺废水中的有机物分解为二氧化碳和水，同时转化氮、磷等营养物质。常见工艺包括活性污泥法和生物膜法，前者通过曝气使微生物形成的活性污泥与废水充分接触，如在城市污水处理厂和部分化工废水处理中广泛应用；后者则依托填料表面附着的微生物膜降解污染物，适用于处理水质波动较大的废水。该方法处理效率高、出水水质好，能有效降低废水的生化需氧量（BOD）和化学需氧量（COD），但对难降解有机物处理能力有限，运行过程需持续供氧，能耗较高，且会产生大量剩余污泥需后续处理。

3.3.2 厌氧生物处理法

厌氧生物处理法在无氧条件下，借助厌氧微生物（产酸菌、产甲烷菌等）的协同作用，将有机物逐步分解为甲烷、二氧化碳等气体。整个过程分为水解、酸化、产乙酸和产甲烷四个阶段，适用于处理高浓度有机废水，如食品加工废水、酿酒废水，以及污泥处理和部分难降解废水的预处理。其显著优势在于能耗低，可回收沼气作为清洁能源，污泥产量仅为好氧处理的 1/10 - 1/6。然而，该方法处理周期长，微生物对温度、pH 等环境变化敏感，启动时间可达数月，且出水通常含有较高浓度的有机物和氨氮，需与好氧处理工艺联用才能达到排放标准^[3]。

结束语

化学工艺废水成分复杂、危害严重，单一处理技术难以满足需求。物理处理法作为预处理环节，可快速分离悬浮物；化学处理法能针对性去除特定污染物；生物处理法则在有机物降解方面优势显著。然而，面对高毒性、难降解污染物，亟需研发高效、绿色的处理工艺。

参考文献

- [1]谢燕蔓.化工工业废水的处理工艺分析[J].当代化工研究, 2021(10): 186-187.
- [2]田庄.化工企业废水处理现状及处理工艺分析[J].山西化工, 2021(3): 180-182.
- [3]王蕾蕾.化工废水处理技术及控制对策研究[J].资源节约与环保, 2021(4): 95-96.