

化工废水的处理与回用工艺研究

赵夏冰¹ 韩春霞²

1. 河南鑫安利职业健康科技有限公司 河南 郑州 450000

2. 上海市光明律师事务所 上海 200070

摘要: 随着化工行业的快速发展, 化工废水的排放量日益增加, 对环境和生态造成了严重威胁。因此, 化工废水的处理与回用工艺的研究显得尤为重要。本文综述了化工废水的特性、常用处理方法、回用技术, 旨在为化工废水的有效处理和资源化利用提供理论依据和技术支持。

关键词: 化工废水; 处理方法; 回用工艺; 资源化利用

引言

随着化工行业的快速发展, 化工废水的排放量日益增加, 对环境和水资源造成了严重污染。化工废水成分复杂, 含有大量有机物、无机盐、重金属等污染物, 处理难度大。因此, 研究化工废水的处理与回用工艺, 对于实现水资源的循环利用和环境保护具有重要意义。本文综述了化工废水的处理与回用工艺, 以期对相关研究和工程实践提供参考。

1 化工废水特性分析

化工废水是化工生产过程中不可避免产生的废弃物, 其主要来源于原料制备、化学反应、产物分离纯化以及设备清洗等多个环节。这些废水的特性极为复杂且多变。首先, 其成分涵盖了各类有机物, 如单体、反应中间体、副产物以及溶剂等, 同时还含有无机盐、重金属离子、高分子化合物、酸碱物质以及热稳定剂等多种成分。这些成分随化工产品的种类和生产工艺的不同而有所差异, 使得废水的处理难度大大增加。其次, 化工废水中的部分有机物具有持久性、生物累积性和毒性, 即所谓的PBT特性, 难以被微生物降解, 对生态环境构成长期潜在威胁。此外, 部分新材料生产过程中会产生大量含盐废水, 其盐分含量极高, 对常规的生物处理工艺及设备产生严重的抑制作用, 进一步增加了废水处理的难度和成本。

2 化工废水处理技术

2.1 物理处理法

2.1.1 沉淀法

沉淀法是利用重力作用使废水中的悬浮物沉淀到底, 从而去除部分污染物。这种方法简单易行, 对于颗粒较大、比重较大的悬浮物去除效果较好。在化工废水处理中, 沉淀法常用于去除废水中的泥沙、金属氢氧化物沉淀等。为了提高沉淀效率, 有时需要投加絮凝剂,

使悬浮物凝聚成较大颗粒, 加速沉淀过程。

2.1.2 过滤法

过滤法是利用过滤介质截留废水中的悬浮物和胶体物质, 使废水得到净化。过滤介质可以是砂、石、活性炭等, 也可以是人工合成的纤维膜、陶瓷膜等。过滤法可以去除废水中的细小悬浮物、胶体物质以及部分有机物, 提高废水的清澈度^[1]。在化工废水处理中, 过滤法常用于预处理阶段, 去除废水中的大颗粒杂质, 为后续处理提供便利。

2.1.3 气浮法

气浮法是通过微小气泡将废水中的污染物浮至表面加以去除。这种方法适用于处理密度接近或小于水的悬浮物、胶体物质以及溶解性有机物。气浮法的工作原理是向废水中通入空气或其他气体, 产生大量微小气泡, 气泡在上升过程中附着在污染物上, 将其带至水面形成浮渣, 然后通过刮渣设备将浮渣去除。气浮法具有处理效率高、占地面积小等优点, 在化工废水处理中得到广泛应用。

2.2 化学处理法

2.2.1 混凝法

混凝法是向废水中投加混凝剂, 使废水中的胶体和细微悬浮物凝聚成较大颗粒, 然后通过沉淀或气浮等方法将其去除。混凝剂可以是无机盐类(如硫酸铝、氯化铁等)或有机高分子化合物(如聚丙烯酰胺等)。混凝法可以有效去除废水中的悬浮物、胶体物质以及部分有机物, 提高废水的清澈度和净化效果。在化工废水处理中, 混凝法常用于预处理阶段, 为后续处理提供有利条件。

2.2.2 氧化还原法

氧化还原法是利用氧化剂或还原剂将废水中的有机物、重金属等污染物进行氧化或还原处理, 使其转化为无害或易于处理的物质。氧化法常用的氧化剂有氯气、

臭氧、过氧化氢等，可以去除废水中的有机物、色度、臭味等。还原法常用的还原剂有亚硫酸钠、硫化钠等，可以用于处理含重金属的废水，将重金属离子还原为金属沉淀物而去除。氧化还原法具有处理效率高、适用范围广等优点，在化工废水处理中发挥着重要作用。

2.2.3 中和法

中和法是通过投加酸碱药剂，调节废水的酸碱度，使其达到中性或接近中性，以便后续处理或回用。化工生产过程中产生的废水往往具有酸性或碱性，如果直接排放会对环境造成污染。通过中和处理，可以将废水的pH值调节到适宜范围内，有利于后续的生物处理或化学沉淀等处理过程。中和法常用的酸碱药剂有氢氧化钠、氢氧化钙、硫酸等，选择合适的药剂和投加量是实现中和处理的关键。

2.3 生物处理法

2.3.1 好氧生物处理法

好氧生物处理法是在有氧条件下，利用好氧微生物的代谢作用将废水中的有机物分解为二氧化碳和水等无害物质。常见的好氧生物处理工艺有活性污泥法、生物膜法等。活性污泥法是一种广泛应用的好氧生物处理工艺，其原理是将废水与含有大量好氧微生物的活性污泥混合，通过曝气提供氧气，使微生物在废水中生长繁殖并分解有机物。活性污泥法具有处理效率高、运行稳定等优点，适用于处理各种类型的化工废水。生物膜法是利用附着在载体表面的生物膜来去除废水中的有机物。生物膜是由微生物、有机物和无机物等组成的复杂生态系统，具有强大的降解能力^[2]。生物膜法具有占地面积小、处理效率高、抗冲击负荷能力强等优点，在化工废水处理中得到广泛应用。

2.3.2 厌氧生物处理法

厌氧生物处理法是在无氧条件下，利用厌氧微生物的代谢作用将废水中的有机物分解为甲烷和二氧化碳等。常见的厌氧生物处理工艺有厌氧消化、厌氧滤池等。厌氧消化是一种高效的厌氧生物处理工艺，其原理是将废水引入密闭的消化池内，在无氧条件下利用厌氧微生物分解有机物并产生甲烷气体。厌氧消化具有处理效率高、能源回收利用率高等优点，适用于处理高浓度有机废水。厌氧滤池是一种利用厌氧微生物附着在填料表面形成生物膜来去除废水中有机物的工艺。厌氧滤池具有结构简单、运行稳定、处理效率高等优点，在化工废水处理中具有一定的应用前景。

2.4 膜分离技术

膜分离技术是一种利用膜的选择透过性去除废水中

污染物的高效处理方法。根据膜孔径的大小和分离机理的不同，膜分离技术可分为微过滤、超滤、纳滤、反渗透等。微过滤是一种用于去除废水中较大颗粒物质的膜分离技术，其膜孔径一般在0.1-10微米之间。微过滤可以有效去除废水中的悬浮物、胶体物质以及部分细菌等，提高废水的清澈度和卫生质量。超滤是一种用于去除废水中较小颗粒物质的膜分离技术，其膜孔径一般在0.001-0.1微米之间。超滤可以去除废水中的胶体物质、大分子有机物以及部分病毒等，进一步提高废水的净化效果。纳滤是一种介于超滤和反渗透之间的膜分离技术，其膜孔径较小，可以去除废水中的小分子有机物、部分无机盐以及重金属离子等。纳滤在处理含有低分子量有机物和盐的化工废水方面具有独特优势^[3]。反渗透是一种高效的膜分离技术，其原理是利用半透膜的选择透过性，在压力作用下使废水中的溶剂（如水）通过膜而溶质（如盐类、有机物等）被截留。反渗透可以去除废水中的大部分污染物，使废水达到回用标准或排放标准。反渗透技术在化工废水处理、海水淡化等领域得到广泛应用。

3 化工废水回用技术

化工废水经处理达到相应标准后，可通过回用技术实现水资源的循环利用。常用的回用技术包括工艺回用、物料回收和零排放系统等。

3.1 工艺回用

工艺回用是指将处理后的废水用于非产品接触环节，以替代部分新鲜水需求。这种回用方式在化工行业中具有广泛的应用前景。处理后的废水可用于设备清洗。在化工生产过程中，设备清洗是必不可少的一环，而使用处理后的废水进行清洗，既可以满足清洗要求，又可以减少新鲜水的消耗。同时，废水中的部分残留物质还可能对设备起到一定的保护作用，延长设备的使用寿命。废水还可作为冷却水的补充。化工生产中的冷却系统需要大量的水来维持正常运行，而使用处理后的废水作为冷却水的补充，可以有效降低新鲜水的消耗量。此外，废水中的热量还可以被回收利用，提高能源利用效率。处理后的废水还可用于地面冲洗和绿化灌溉。化工企业的厂区内需要大量的水进行地面冲洗和绿化灌溉，而使用处理后的废水可以满足这些需求，同时减少了对新鲜水的依赖。工艺回用技术的实施需要确保处理后的废水水质符合相关标准，避免对生产设备、产品和环境造成不良影响^[4]。此外，还需要根据具体的生产工艺和用水需求，制定合理的回用方案，确保回用水的有效利用。

3.2 物料回收

物料回收是指通过膜分离、蒸馏、结晶等技术回收废水中的有价值物质,如有机溶剂、金属盐、高价值中间体等,重新投入生产过程,实现资源的循环利用。膜分离技术是一种高效的物料回收技术。通过选择合适的膜材料和操作条件,可以实现废水中不同物质的分离和回收。例如,使用超滤膜可以回收废水中的大分子有机物;使用纳滤膜可以回收废水中的小分子有机物和部分无机盐;使用反渗透膜可以进一步提纯废水,回收其中的纯净水资源。蒸馏技术也是一种常用的物料回收方法。通过加热废水使其中的水分蒸发,然后冷凝收集蒸汽,可以得到纯净的水和浓缩的溶质。蒸馏技术适用于回收废水中的挥发性有机溶剂和某些金属盐类物质。结晶技术则适用于回收废水中的可溶性固体物质。通过调节废水的温度和浓度,使其中的溶质达到过饱和状态,然后析出晶体并进行分离和提纯,可以得到高纯度的固体产品。物料回收技术的实施需要综合考虑废水的成分、回收物质的性质和价值、回收技术的成本和可行性等因素。通过合理的物料回收方案,可以实现废水中有价值物质的最大化利用,降低生产成本,提高资源利用效率。

3.3 零排放系统

零排放系统是一种高度集成的废水处理与回用技术,旨在实现废水的全量回用和固体废弃物的安全处置。对于水质要求极高的生产环节,可采用反渗透、EDI(电去离子)等深度净化技术将废水转化为高品质纯水回用。反渗透技术是一种压力驱动型的膜分离技术,通过施加高压使废水中的溶剂(如水)透过反渗透膜,而溶质(如盐类、有机物等)被截留在膜的一侧。反渗透技术可以得到高品质的纯水,满足高水质要求的生产环节的需求。EDI技术是一种将电渗析与离子交换相结合的水处理技术。通过施加电场作用,使废水中的离子在离子交换树脂中进行迁移和交换,从而去除废水中的盐分和其他杂质。EDI技术可以得到超低电导率的纯水,适用于对水质要求极高的电子、半导体等行业。在零排放系统中,浓缩液的处理也是关键一环。浓缩液经蒸发结晶、干燥等手段处理,可以实现固液分离。固体废弃物经过安全处置,如填埋、焚烧或资源化利用;液体部分则回流至前端处理系统,进行再次处理或回用,形成闭环的“零排放”模式。零排放系统的实施需要综合考虑废水的水质、处理技术的成本和可行性、固体废弃物的

处置方式等因素。通过合理的零排放方案设计和实施,可以实现废水的全量回用和固体废弃物的安全处置,最大限度地减少对环境的影响。

4 案例分析:某精细化工厂废水处理实例

某精细化工厂在生产过程中产生了含有高浓度有机物和盐分的废水。为了有效处理这类废水,工厂采用了“铁碳微电解技术+UASB反应器+好氧生物处理+混凝沉淀法”的组合工艺。在预处理阶段,工厂选择了铁碳微电解技术。这一技术通过铁碳之间的微电解作用,产生了具有强还原性的氢原子和具有强氧化性的羟基自由基,有效破坏了废水中难降解的有机物结构,提高了废水的可生化性,为后续生化处理创造了有利条件。生化处理阶段,工厂采用了UASB(上流式厌氧污泥床)反应器和好氧生物处理。UASB反应器在厌氧条件下,通过厌氧菌的作用,将大部分有机物转化为沼气,实现了有机物的有效去除。随后,好氧生物处理进一步氧化分解剩余的有机物,确保废水中的有机物含量降至较低水平。深度处理阶段,工厂采用了混凝沉淀法。通过投加混凝剂,使废水中的悬浮物和残留污染物凝聚成较大颗粒,然后通过沉淀作用去除,确保废水达到排放标准。处理后的废水不仅满足了环保要求,还实现了回用,提高了水资源的利用效率。

结语

化工废水的处理与回用是实现水资源循环利用和环境保护的重要途径。通过综合运用物理、化学、生物等多种处理技术,可以有效去除废水中的污染物并达到回用标准。未来,随着技术的不断进步和政策的持续推动,化工废水处理与回用技术将迎来更广阔的发展前景。同时,加强技术创新和工艺优化也是提高废水处理效率和水质的关键所在。

参考文献

- [1]吕小芳.高浓度化工废水处理及回用工程实例[J].广东化工,2022,49(19):163-165.
- [2]李伟.化工废水分质处理技术与资源化利用研究[J].工业用水与废水,2025,56(01):71-74+79.
- [3]李志峰,孙维成,王如思,等.精细化工废水处理技术与控制策略分析[J].当代化工研究,2024,(23):89-91.
- [4]朱伟,丁红丹.高浓度精细化工废水处理工程实践[J].山东化工,2024,53(16):260-263.