

# 化工废水处理技术及资源化利用进展

樊 柯

开普工程技术有限公司 河南 郑州 450100

**摘要:** 随着化工行业的快速发展,大量工业废水的产生对环境和生态造成了严重威胁。因此,化工废水处理技术及资源化利用的研究显得尤为重要。本文旨在探讨当前化工废水处理技术的最新进展,分析其技术原理、应用效果及资源化利用潜力,以期对未来化工废水处理提供科学、高效、可持续的解决方案。

**关键词:** 化工废水; 处理技术; 资源化利用

## 引言

化工废水因其成分复杂、毒性强、处理难度大,一直是环境保护领域的难点和热点。随着环保法规的不断完善和公众环保意识的增强,化工废水处理技术及资源化利用已成为化工行业绿色发展的重要方向。本文将从化工废水处理技术现状、先进技术应用、资源化利用途径及未来发展趋势四个方面进行详细论述。

### 1 化工废水处理技术现状

#### 1.1 现有处理技术概述

目前,化工废水处理技术主要包括物理法、化学法、生物法及物化处理法。物理法如重力沉淀、过滤、气浮等,主要用于去除废水中的悬浮物;化学法如中和、混凝、氧化还原等,通过化学反应去除废水中的溶解物;生物法如好氧处理、厌氧处理等,利用微生物代谢作用降解有机污染物;物化处理法则结合物理与化学过程,如吸附、膜分离等,实现废水的深度净化。

#### 1.2 存在问题与挑战

尽管现有化工废水处理技术取得了一定成效,但仍面临诸多问题和挑战。首先,对有毒害元素的检测不足是一个突出问题。许多化工废水中含有重金属、有毒有机物等有害元素,这些元素对人体和环境具有严重危害。然而,由于检测技术的限制和成本的考虑,往往无法对这些元素进行有效监测和去除。其次,处理工艺和方法的不完善也是制约化工废水处理效果的重要因素。目前,许多处理工艺和方法仍存在缺陷和不足,如处理效率不高、能耗大、占地面积大等。这些问题导致处理成本高昂,且难以满足日益严格的环保要求<sup>[1]</sup>。此外,随着化工行业的快速发展和新产品的不断涌现,化工废水的成分日益复杂。传统处理技术往往针对特定的污染物进行设计,难以适应废水成分的复杂变化。因此,缺乏高效低耗、适应性强的处理技术成为制约化工废水处理效果的关键因素。

## 2 化工废水先进处理技术的进展及应用

### 2.1 生物处理技术

生物处理技术作为化工废水处理领域的重要分支,近年来取得了显著进展。这一技术主要依赖于微生物的代谢作用来降解废水中的有机污染物,具有成本低、效率高、无二次污染等优势。在高浓度有机废水的处理中,高负荷活性污泥法(HRAS)展现出了卓越的性能。该方法通过提高活性污泥的负荷率,即增加单位体积污泥中的有机物降解量,从而实现了高效处理。HRAS系统内的微生物种群丰富,能够降解多种难降解有机物,且处理效果稳定。生物膜法则是一种有效的生物处理技术。它利用附着在固体载体表面的微生物膜来降解废水中的污染物。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。在实际应用中,生物膜法常用于处理含有难降解有机物的化工废水,如印染废水、制药废水等。厌氧消化法作为一种成熟的生物处理技术,也在化工废水处理中得到了广泛应用。该方法在无氧条件下,利用厌氧微生物的发酵作用将有机物转化为沼气(主要成分为甲烷和二氧化碳)。厌氧消化法不仅能够有效去除废水中的有机物,还能回收能源,具有显著的经济和环境效益。近年来,随着微生物学和基因工程技术的快速发展,生物处理技术不断创新。例如,通过筛选和培育高效降解菌,提高了生物处理系统对特定污染物的降解能力;利用基因工程技术改造微生物,使其能够降解原本无法降解的污染物;以及开发新型生物反应器,优化生物处理过程,提高处理效率和稳定性。

### 2.2 高级氧化技术

高级氧化技术(AOPs)作为处理难降解有机污染物的有效手段,近年来在化工废水处理领域得到了广泛关注和应用。这类技术主要通过产生高度氧化性的自由基或强氧化剂,将废水中的有机物氧化分解为无害或易处理的物质。光催化技术是高级氧化技术中的一种重要

方法。它利用紫外光或可见光作为能量源, 激活催化剂(如二氧化钛、氧化锌等), 使其表面产生电子-空穴对。这些电子-空穴对与水分子或氧气反应, 生成高度氧化性的自由基(如羟基自由基), 进而将有机物降解为二氧化碳、水等无害物质。光催化技术具有反应条件温和、无二次污染、催化剂可重复使用等优点, 特别适用于处理低浓度、难降解的有机废水。臭氧氧化技术则是利用臭氧(O<sub>3</sub>)作为强氧化剂, 与废水中的有机物发生氧化反应。臭氧分子具有较高的氧化电位, 能够破坏有机物的分子结构, 将其氧化成更容易处理的产物(如羧酸、醛类等)。此外, 臭氧氧化过程中还可能产生羟基自由基等强氧化性物质, 进一步增强氧化效果。臭氧氧化技术具有处理效率高、占地面积小、无二次污染等优点, 特别适用于处理高浓度、难降解的有机废水。在实际应用中, 高级氧化技术常与其他处理技术联用, 以形成更为高效、经济的处理工艺。例如, 光催化技术可以与生物处理技术联用, 利用光催化产生的自由基促进微生物的降解作用; 臭氧氧化技术则可以与混凝、沉淀等物理处理技术联用, 实现废水的深度净化。

### 2.3 膜分离技术

膜分离技术作为化工废水处理领域的一种高效手段, 近年来得到了快速发展和广泛应用。该技术主要依赖于半透膜的选择性透过性, 将废水中的不同组分进行分离, 从而实现废水的净化。微滤、超滤、纳滤和反渗透是膜分离技术中的几种主要方法。微滤膜能够去除废水中的悬浮物和部分大分子有机物; 超滤膜则能进一步去除废水中的胶体、蛋白质等较小分子量的物质; 纳滤膜则具有更高的选择性, 能够去除废水中的多价离子和小分子有机物; 而反渗透膜则能够去除废水中的几乎所有溶质, 包括离子、有机物和微量污染物, 得到高纯度的清水。膜分离技术具有分离效率高、操作简便、能耗相对较低等优点。与传统的废水处理方法相比, 膜分离技术不需要添加化学药剂, 避免了二次污染的问题; 同时, 该技术占地面积小, 处理过程易于自动化控制, 降低了运行成本<sup>[2]</sup>。在化工废水处理中, 膜分离技术特别适用于高浓度废水的深度处理。例如, 在制药、印染、化工等行业中, 废水往往含有高浓度的有机物和盐类, 传统的处理方法难以达到理想的处理效果。而膜分离技术则能够有效地将这些污染物从废水中分离出来, 得到高质量的清水, 满足环保要求和回用水质标准。此外, 随着膜材料的不断研发和创新, 膜分离技术的性能也得到了不断提升。例如, 新型的高分子膜材料、陶瓷膜材料等具有更高的耐腐蚀性、耐高温性和机械强度, 能够适

应更为恶劣的废水处理环境。

## 3 化工废水资源化利用途径

### 3.1 能源回收

化工废水中蕴含的能源潜力巨大, 通过合理的回收与利用, 不仅可以降低生产成本, 还能减少对外部能源的依赖, 实现可持续发展。厌氧消化技术是回收化工废水中能源的有效途径之一。在厌氧条件下, 废水中的有机物被微生物分解, 产生沼气。这种沼气主要成分为甲烷和二氧化碳, 是一种清洁的可再生能源。通过收集和处理, 沼气可以用作发电、供热或作为燃料直接使用, 从而实现废水中能源的回收利用。这一过程中, 不仅减少了废水中有机物的含量, 降低了处理难度, 还实现了能源的再生利用, 具有显著的经济和环境效益。除了沼气回收外, 废水中的热能也是一种可回收利用的资源。许多化工生产过程中产生的废水温度较高, 蕴含着丰富的热能。通过热交换器等设备, 可以捕获这些热能, 并将其用于预热原料、加热反应釜等, 从而节约大量的蒸汽或电能。这种热能回收技术不仅简单易行, 还能显著降低生产成本, 提高能源利用效率<sup>[3]</sup>。在实际应用中, 能源回收技术的选择与化工废水的具体成分和性质密切相关。对于含有高浓度有机物的废水, 厌氧消化技术是一种有效的能源回收方法; 而对于温度较高的废水, 则可以考虑采用热能回收技术。此外, 还可以将多种能源回收技术综合运用, 以实现更高效的资源化利用。

### 3.2 材料回收

在化工废水处理过程中, 材料回收是一项重要的资源化利用途径, 其中电化学方法因其高效、环保的特点而备受关注。这种方法特别适用于回收废水中的金属离子, 尤其是重金属如铜、银、镍等。电化学回收金属离子的基本原理是利用电解作用, 使废水中的金属离子在电场作用下发生定向移动, 并在电极上发生氧化还原反应。具体来说, 通过向废水中施加电压, 金属离子会被电化学还原, 并在阴极上沉积形成金属单质。这一过程中, 不仅实现了金属离子的有效去除, 还实现了金属的回收和再利用。电化学回收技术的优势在于其选择性和高效性。通过调整电解条件, 如电压、电流密度、电解时间等, 可以实现对特定金属离子的选择性回收。同时, 电化学方法不需要添加化学药剂, 避免了二次污染的问题, 是一种环保的回收方式。在实际应用中, 电化学回收技术通常与其他处理技术联用, 以形成更为高效、经济的回收工艺。例如, 可以先通过混凝、沉淀等物理处理方法去除废水中的悬浮物和杂质, 提高电解效率; 再通过电化学方法回收废水中的金属离子。此外,

还可以利用膜分离技术等手段对回收的金属进行进一步提纯和处理,提高其纯度和利用价值。

### 3.3 水资源循环利用

水资源循环利用是化工废水资源化的重要途径之一,旨在通过适当处理工业废水,使其达到再利用标准,从而减少对新鲜水资源的需求,降低废水排放量。在化工生产过程中,大量的水资源被用于冷却、清洗等环节。这些用过的水往往含有各种污染物,如果直接排放,不仅会造成环境污染,还会浪费宝贵的水资源。因此,通过适当处理,将这些废水转化为可再利用的水资源,具有重要的经济和环境意义。实现水资源循环利用的关键在于废水的有效处理。针对化工废水的特点,可以采用物理、化学、生物等多种处理方法,去除废水中的悬浮物、有机物、重金属等污染物,使水质达到再利用标准<sup>[4]</sup>。例如,通过混凝、沉淀、过滤等物理处理方法,可以去除废水中的悬浮物和杂质;通过氧化、还原等化学处理方法,可以去除废水中的有机物和重金属;通过生物处理方法,可以利用微生物的降解作用,去除废水中的有机物和氮、磷等营养物质。经过适当处理的废水,可以用于化工生产过程的冷却水、清洗水等,实现水资源的循环利用。这不仅能显著减少新水的取用量,降低生产成本,还能减少废水的排放量,减轻对环境的压力。同时,水资源循环利用还有助于提高企业的环保形象,增强企业的社会责任感。

## 4 未来发展趋势

### 4.1 技术创新与集成应用

未来,化工废水处理技术的发展将步入一个全新的阶段,更加注重技术创新与集成应用。随着材料科学、生物技术、信息技术等多学科的交叉融合,新的处理技术和方法将不断涌现。这些技术将致力于提高废水处理效率,降低能耗,减少污染物排放,并实现废水中有价值资源的有效回收。同时,技术的集成应用也将成为趋势,通过优化组合不同技术,形成更为高效、经济的废水处理与资源化利用系统。

### 4.2 智能化管控与信息技术融合

智能化管控将成为推动化工废水处理技术进步的重要力量。利用大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术,可以实现对废水处理过程的实时监测、数据分析与优化控制。这将有助于提升废水处理的数字化管理水平,实现网络化协同作业,使废水处理过程更加自动化、智能化。通过智能化管控,可以更加精准地调控处理参数,优化处理流程,提高处理效果,降低运行成本。

### 4.3 政策支持与标准体系完善

在未来,政府将继续加大对环保技术的支持力度,出台更多鼓励政策和激励措施,以推动化工废水处理技术的研发和应用。这些政策将涵盖技术研发、示范推广、产业化应用等多个环节,为行业发展提供有力保障。同时,政府还将不断完善废水处理与资源化利用的标准体系,包括处理技术标准、排放标准、资源化利用标准等,为行业发展提供科学指导和规范引导。这将有助于推动化工废水处理行业的健康发展,实现经济效益与环境效益的双赢。

## 结语

化工废水处理技术及资源化利用是当前化工行业绿色发展的重要课题。通过技术创新、智能化管控和政策支持等措施的推动,化工废水处理技术将不断进步和完善,为实现废水的高效处理与资源化利用提供有力保障。未来,随着环保意识的增强和技术水平的提升,化工废水处理将迎来更加广阔的发展前景。

## 参考文献

- [1]耿晓玲,李奇聪.化工废水处理技术研究[J].皮革制作与环保科技,2024,5(07):15-17.
- [2]陈文林,于洋,周林成.化工废水处理与科技创新[J].当代化工研究,2024,(03):92-94.
- [3]许磊,孙凌凌,李辰,等.化工废水的资源化综合处理工艺[J].化学工程与装备,2023,(09):256-258.
- [4]陈长斌,典型化工废水资源化利用关键技术研究工程示范.安徽省,安徽省安庆市曙光化工股份有限公司,2023-02-02.