

1,4-丁二醇生产废水的处理与资源化利用

茹文杰

河南开祥精细化工有限公司 河南 三门峡 472300

摘要: 本文围绕1,4-丁二醇生产废水展开研究。分析了废水来源、成分及水质特点,如含多元醇、金属离子等,具有高COD、低可生化性、毒性等特点。探讨了物理、化学、生物处理技术及资源化利用途径,包括溶剂回收、能源转化、中水回用等。最后提出处理与资源化利用的优化策略,涵盖技术与管理两方面,以实现废水高效处理与资源化。

关键词: 1,4-丁二醇废水; 处理技术; 资源化利用; 优化策略

引言: 1,4-丁二醇在化工领域应用广泛,其生产规模不断扩大,但随之产生的废水问题日益凸显。1,4-丁二醇生产废水成分复杂,含多种有机污染物与无机离子,处理难度大。若废水处理不当,会对环境造成严重危害。深入探究1,4-丁二醇生产废水的处理与资源化利用技术,对环境保护和资源循环利用具有重要意义,也有助于推动该产业的可持续发展。

1 1,4-丁二醇生产废水特性分析

1.1 废水来源与成分

1,4-丁二醇生产工艺中,废水主要源于多个关键环节。以乙炔法为例,炔醛化反应阶段,乙炔与甲醛在催化剂作用下生成1,4-丁炔二醇,此过程需水洗分离未反应物质和副产物,产生的洗涤水即为废水来源之一。后续的加氢还原工序,将1,4-丁炔二醇转化为1,4-丁二醇,催化剂分离及产品精制过程中也会产生含杂质的废水。废水中成分复杂,有机污染物占据主导。其中,未反应完全的甲醛、乙炔,以及反应过程中产生的副产物如1,2-丁二醇、丁烯二醇等多元醇类物质,构成了有机污染物的主要部分^[1]。这些有机化合物化学结构多样,部分具有较强的稳定性,难以被常规处理方法分解。除有机物外,废水中还存在无机离子,催化剂制备和使用过程引入的金属离子,如铜、铋等,以及反应过程中添加的碱性物质带来的钠离子、氢氧根离子等,都成为废水中无机成分的重要组成。

1.2 废水水质特点

1,4-丁二醇生产废水的酸碱度呈现明显的偏碱性特征,主要因工艺中添加碱性助剂调节反应条件,后续处理未完全中和所致。高化学需氧量(COD)是这类废水的突出特性,大量难降解有机污染物的存在,使得氧化分解这些物质需要消耗大量的氧化剂。相比之下,生物需氧量(BOD)较低,反映出废水中可被微生物直接

利用的有机物质较少,可生化性差。废水的毒性不容忽视。其中含有的甲醛等物质对微生物具有抑制作用,会干扰废水生物处理过程中微生物的代谢活动,降低生物处理效率。重金属离子的存在,不仅会影响水体生态平衡,对水生生物造成毒害,还会在环境中累积,通过食物链传递,对生态系统产生长期潜在危害。处理这类废水面临诸多挑战,既要有效去除高浓度的有机污染物和重金属离子,又需解决其低可生化性问题,开发针对性的处理技术迫在眉睫。

2 1,4-丁二醇生产废水处理技术

2.1 物理处理技术

物理处理技术基于物质的物理特性差异,实现废水中污染物的分离与去除。吸附法利用多孔性固体材料的表面吸附力,对废水中的部分有机物和重金属离子进行富集。活性炭因具备丰富的孔隙结构和巨大的比表面积,常被用于吸附废水中残留的小分子有机污染物,通过范德华力与污染物分子结合,将其从液相转移至固相表面。过滤技术通过设置不同孔径的滤材,截留废水中的悬浮物和胶体物质。深层过滤采用颗粒状滤料,如石英砂、无烟煤等,利用滤层内部曲折的孔隙通道,使悬浮物在惯性、扩散和筛分等作用下被拦截;而精密过滤则借助微孔滤膜,截留粒径更小的颗粒杂质,为后续处理减轻负荷^[2]。沉淀过程依靠污染物与水的密度差实现分离。重力沉淀是最基础的方式,废水中的悬浮颗粒在重力作用下沉降至池底,形成污泥层;对于难以自然沉降的细微颗粒,可通过添加助凝剂改变颗粒表面性质,促使其聚合成较大絮体后加速沉降。膜分离技术利用半透膜的选择透过性,根据分子大小、电荷性质等差异实现物质分离。反渗透膜能截留几乎所有的溶解性盐类和大分子有机物,超滤膜则主要分离胶体、蛋白质等大分子物质,有效降低废水的浊度和部分有机负荷。

2.2 化学处理技术

化学处理技术借助化学反应改变污染物的化学性质,使其转化为无害或易处理的物质。化学氧化法通过强氧化剂与有机物发生氧化还原反应,破坏有机污染物的分子结构。芬顿氧化利用亚铁离子和过氧化氢反应产生的羟基自由基,具有极强的氧化性,能将复杂难降解的有机污染物逐步氧化为小分子物质,最终矿化为二氧化碳和水。臭氧氧化同样凭借臭氧的强氧化性,直接与有机物反应或分解产生羟基自由基间接氧化,实现污染物的降解。中和处理用于调节废水的酸碱度。酸性废水可投加碱性药剂,如石灰、氢氧化钠等,与废水中的酸发生中和反应,生成盐和水;碱性废水则通过添加硫酸、盐酸等酸性物质调节pH值。混凝技术向废水中投加混凝剂,如聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等,通过压缩双电层、吸附架桥等作用,使废水中的胶体颗粒和细微悬浮物聚集形成较大絮体,便于后续沉淀分离。在混凝过程中,混凝剂的水解产物与污染物发生化学反应,改变其表面性质,促进凝聚和絮凝过程的进行。

2.3 生物处理技术

生物处理技术利用微生物的代谢活动降解废水中的有机物。厌氧处理过程中,厌氧微生物在无氧条件下将有机物分解为甲烷、二氧化碳等物质。水解酸化阶段,复杂的大分子有机物被发酵细菌分解为小分子有机酸、醇类等;产氢产乙酸菌进一步将这些产物转化为乙酸、氢气和二氧化碳;最后产甲烷菌利用前阶段的代谢产物生成甲烷。厌氧处理对高浓度有机废水具有良好的处理效果,不仅能去除大量有机物,还能产生可作为能源的沼气。好氧处理依赖好氧微生物在有氧环境下的代谢活动。活性污泥法是典型的好氧处理工艺,通过曝气使废水中保持充足的溶解氧,活性污泥中的微生物群体吸附、分解废水中的有机物,将其转化为二氧化碳、水和微生物自身细胞物质。生物膜法也是常见的好氧处理方式,微生物附着生长在填料表面形成生物膜,废水流经生物膜时,其中的有机物被微生物摄取利用。将厌氧处理与好氧处理组合形成的工艺,可发挥两者优势。先利用厌氧处理降低废水的有机负荷,将大分子有机物分解为小分子,提高废水的可生化性,再通过好氧处理进一步去除剩余的有机物,使出水水质达到排放标准。这种组合工艺既能应对1,4-丁二醇生产废水的高浓度、难降解特性,又能在保证处理效果的同时降低运行成本。

3 1,4-丁二醇生产废水资源化利用途径

3.1 资源回收

从1,4-丁二醇生产废水中提取有价值物质是实现资源

再利用的重要方向。溶剂回收可采用蒸馏与萃取相结合的方式。蒸馏利用废水中各组分沸点差异,通过加热使低沸点溶剂先蒸发成气态,经冷凝后重新收集液态溶剂。对于沸点相近难以直接蒸馏分离的溶剂,可引入萃取剂,利用相似相溶原理,将目标溶剂从水相转移至萃取相,再通过反萃取或二次蒸馏实现溶剂与萃取剂分离,实现溶剂循环使用。盐分回收聚焦于废水中的无机成分^[3]。蒸发结晶是常用手段,对含盐废水进行加热蒸发,水分不断汽化,溶液中盐分浓度逐渐升高达到过饱和状态,进而结晶析出。通过控制蒸发温度、时间与搅拌强度等条件,可使不同盐类分步结晶,实现多种盐的分离提纯。膜技术也在盐分回收中发挥作用,纳滤膜能选择性截留特定价态的离子,将废水中盐分浓缩富集,为后续结晶回收创造条件,分离后的清液还可进入下一处理环节。

3.2 能源转化

将废水中的有机成分转化为能源,厌氧发酵是成熟技术路径。1,4-丁二醇生产废水中大量有机污染物,在厌氧环境下,微生物群落协同作用实现能源转化。水解阶段,发酵细菌分泌胞外酶,将大分子有机物分解为小分子糖类、氨基酸和脂肪酸;产酸阶段,产酸菌进一步代谢这些小分子,生成挥发性脂肪酸、醇类与二氧化碳;产甲烷阶段,产甲烷菌将乙酸、氢气和二氧化碳转化为甲烷。整个厌氧发酵过程需严格控制环境条件。温度影响微生物活性,中温发酵(30-40℃)和高温发酵(50-60℃)各有优势,中温适合多数常规厌氧微生物,高温则能加快反应速率、提高甲烷产量。pH值需维持在6.8-7.2的弱碱性范围,过酸或过碱都会抑制微生物代谢。对废水中有毒有害物质的预处理也至关重要,去除重金属离子和高浓度难降解有机物,防止其毒害厌氧微生物,确保发酵过程稳定进行,持续产出可作为燃料的沼气。

3.3 中水回用

处理后的废水回用于生产环节,可显著减少新鲜水使用量。中水回用需多工艺协同处理确保水质达标。先通过物理处理去除悬浮物和部分胶体杂质,降低废水浊度;化学处理阶段,采用氧化技术降解残留有机污染物,中和调节pH值;生物处理进一步去除溶解性有机物和氨氮。膜处理技术在中水回用中起关键作用。反渗透膜能截留绝大部分溶解性盐类、有机物和微生物,使出水水质接近纯水标准。超滤膜可去除大分子有机物、细菌和病毒,保障后续反渗透膜不受污染。不同生产环节对回用水水质要求不同,冷却用水对硬度、浊度要求较低,只需经过沉淀、过滤和消毒处理;而参与生产反应的工艺用水则对水质要求

严苛,需通过多级膜处理、离子交换等深度处理,确保水中无影响反应的杂质,满足生产工艺对水质的严格要求,实现废水资源化高效利用。

4 处理与资源化利用的优化策略

4.1 技术优化

物理处理技术的改进可从吸附材料和膜工艺着手。开发新型吸附剂,通过调整孔隙结构与表面性质,增强对特定污染物的吸附选择性,降低材料使用量。例如对活性炭改性,引入特殊官能团,提升对重金属离子或难降解有机物的吸附能力。膜分离技术则通过研发复合膜材料,结合不同材质优势,既保证分离效果又延长膜寿命;优化膜组件结构,减少污染物附着,提高膜通量,降低更换成本。化学处理技术需优化反应条件与药剂。针对化学氧化反应,精确调控温度、pH值等参数,寻找最佳反应环境,减少氧化剂用量。开发复合氧化剂,针对不同有机污染物特性提高降解针对性。在混凝处理中,研制新型高效混凝剂,降低投加量,增强混凝效果,减少污泥产量,降低后续处理成本。生物处理技术通过微生物优化和反应器改良提升效率。筛选培育适应高盐、高毒环境的微生物菌株,增强其降解能力^[4]。改进厌氧、好氧反应器结构,优化传质效率,为微生物创造良好生存条件。如在厌氧反应器设置内循环装置,促进泥水混合;好氧处理采用生物膜-活性污泥复合工艺,发挥两者优势。资源化技术方面,优化溶剂回收流程缩短时间,改进厌氧发酵参数提升沼气产量,提高资源转化效益。

4.2 管理优化

生产源头管理以工艺优化和原料管控为核心。改进生产反应条件与催化剂体系,提高原料转化率,减少未反应物质和副产物进入废水。采用清洁生产技术,改造设备减少物料泄漏。严格管理原料用量,避免过量使

用;探索低污染替代原料,从源头降低废水污染强度。废水收集预处理阶段,按水质分类收集,防止不同废水混合增加处理难度。对高浓度、高毒性废水单独预处理,建立效果评估机制,动态调整处理参数。处理过程中,构建完善监测体系,实时监控设备运行参数与水质指标,依据数据调整工艺。加强设备维护,定期检查性能、更换部件,引入智能化管理系统,实现预测性维护,避免故障影响处理效果。资源回收环节制定科学规程,确保回收资源质量。建立严格检测机制,防止不合格产品回流。拓展回收产品应用领域,对回收盐分深加工,对溶剂进一步精制,提升产品附加值。通过优化各环节管理流程,实现生产、处理与回收协同,降低成本,推动废水处理与资源化可持续发展。

结束语

1,4-丁二醇生产废水的处理与资源化利用是一项复杂且意义重大的工作。通过对其特性分析,采用多种处理技术,并探索资源化利用途径,能实现废水有效治理与资源回收。而优化策略的实施,可进一步提升处理效果与资源化效益。未来,需持续技术创新与管理完善,以推动该领域向更高效、环保、可持续方向发展。

参考文献

- [1]杨延雄,冯文煜,闫娟丽.1,4-丁二醇、聚四氢呋喃、乙二醇生产废水处理工艺优化工程实例[J].应用化工,2024,53(10):2512-2515.
- [2]邱敏燕,李建铎,于红平.1,4-丁二醇废水处理工程设计与运行[J].石化技术,2024,31(11):1-3.
- [3]蒋里锋.BDO生产废水处理工艺及多元协同催化氧化技术应用实例[J].内江科技,2023,44(9):19-21,52.
- [4]马元刚.BDO生产过程中废水处理技术研究[J].科海故事博览,2024(16):49-51.