

环氧丙烷HPPO工艺废水废气处理技术优化研究

周洪华

江苏高研环境检测有限公司盐城分公司 江苏盐城 224000

摘要: 环氧丙烷HPPO工艺是一种在医药、化工领域广泛应用的生产工艺,其生产过程中会产生大量的废水和废气,这些污染物对环境和人体健康构成了严重威胁。为了深入研究和优化环氧丙烷HPPO工艺废水废气处理技术,本文首先阐述了HPPO工艺的原理及废水废气产生特点,接着对现有处理技术进行了全面分析,包括废水的物理、化学、生物处理技术以及废气的吸收法、吸附法、催化燃烧法。在此基础上,提出了废水处理技术、废气处理技术以及处理系统运行管理的优化策略。研究旨在为环氧丙烷HPPO工艺的绿色可持续发展提供理论支持和实践指导,以降低该工艺对环境的影响,提高资源利用效率。

关键词: 环氧丙烷; HPPO工艺; 废水废气处理; 技术优化

引言

环氧丙烷(PO)是丙烯腈和聚丙烯之外的第三大丙烯衍生物,它是有机化工的关键原料,并且其衍生物在汽车、建筑、食品和烟草等领域都有广泛的应用,在医药和化妆品等多个行业中,已经生产出近100种的加工产品,这些产品是精细化学品的关键原料。随着工业发展对环氧丙烷需求量越来越大。在所有环氧丙烷的生产流程中,过氧化氢直接氧化(HPPO)方法因其简洁的工艺流程、高的产品收获率和零污染的特点,已经成为新建PO装置经常使用的生产方法,这是一种清洁的生产方法,无论是在经济、环境还是未来的发展上,它都展现出了不可替代的竞争力。但是,HPPO工艺生产时,会产生一定的废水、废气。这些废水、废气如果处理不好就会严重污染环境。因此,对环氧丙烷HPPO工艺废水废气处理技术进行深度研究和优化具有显著的现实重要性,这不仅能够有效减少对环境的污染,还能促进环氧丙烷生产行业朝着可持续发展的方向前进。

一、环氧丙烷HPPO工艺概述

1. HPPO工艺原理

HPPO法是以双氧水(H_2O_2)直接氧化丙烯制取环氧丙烷(PO)的工艺,属于经济、节能、绿色、环保的环氧丙烷生产工艺。该工艺主要是在催化剂的作用下,由过氧化氢(双氧水)催化环氧化丙烯制得环氧丙烷。具体反应过程中,过氧化氢作为氧化剂,在合适的反应条件和催化剂的协同作用下,将丙烯环氧化生成环氧丙烷。与其他传统生产工艺相比,HPPO法具有工艺流程简单、产品收率高、无污染等显著优点,避免了传统工艺

中复杂的反应步骤和大量副产物的生成,是一种符合现代绿色化学理念的生产方法。

2. HPPO工艺废水废气产生特点

(1) 废水产生特点

HPPO工艺生产废水除了大部分为环氧丙烷废水(简称PO废水)外,还有小部分为含残留双氧水的酸性废水(简称HP废水)^[1]。PO废水中可能含有未反应完全的丙烯、环氧丙烷以及一些反应副产物,如丙二醇等。HP废水中残留的双氧水具有氧化性,且废水呈酸性,这使得废水的成分较为复杂,处理难度相对较大。此外,废水的水量和水质可能会随着生产工况的波动而有所变化,给废水处理系统的稳定运行带来挑战。

(2) 废气产生特点

在HPPO工艺中,废气的产生主要来源于反应过程中的挥发以及设备的泄漏等。废气中可能含有丙烯、环氧丙烷等有机污染物,这些有机物具有易燃、易爆的特点,对生产安全构成一定威胁。同时,废气中的有机污染物若直接排放到大气中,会对空气质量造成严重影响,可能导致光化学烟雾等环境问题。而且,废气中有机物的浓度和组成也会因生产工艺的不同阶段和设备运行状况的差异而有所不同。

二、现有HPPO工艺废水废气处理技术分析

1. 废水处理技术

(1) 物理处理技术

物理处理技术多应用于废水中悬浮物、油类和其他杂质的脱除,常用的处理方法包括沉淀、过滤和气浮。沉淀法就是利用重力作用将废水中悬浮物天然沉降下来以实现分离。过滤法则主要是利用过滤介质,例如砂滤

和活性炭过滤，来拦截废水中的微小颗粒和不纯物质。气浮法就是将空气通入污水中，让污水中微小颗粒吸附于气泡表面，并随着气泡一起浮到水面而达到固液分离的目的。物理处理方法虽然操作简便且成本相对较低，但在去除溶解性有机物和某些小分子污染物方面效果并不理想。这种方法通常被视为废水处理的初步步骤，为后续的化学和生物处理提供了有利条件。

(2) 化学处理技术

化学处理技术主要包括酸碱中和、氧化还原、化学沉淀等方法。在HPPO工艺废水处理中，酸碱中和法可用于调节废水的pH值，使其达到后续处理工艺的要求。对于含残留双氧水的酸性废水，可通过加入碱性物质进行中和反应。氧化还原法是利用氧化剂或还原剂将废水中的有机物氧化或还原为无害物质。例如，可采用高级氧化技术，如芬顿氧化、臭氧氧化等，将废水中的难降解有机物分解为小分子物质，提高废水的可生化性。化学沉淀法是通过向废水中加入沉淀剂，使废水中的某些金属离子或其他物质形成沉淀而去除。化学处理技术对废水中的有机物和重金属等污染物有较好的去除效果，但可能会产生化学污泥，需要进一步处理，且处理成本相对较高。

(3) 生物处理技术

生物处理技术通过微生物代谢作用使废水中有机物分解成二氧化碳、水及其他无害物质。常用生物处理方法包括活性污泥法和生物膜法。活性污泥法就是将大量活性污泥培养于曝气池内，利用活性污泥内微生物吸附废水有机物并将其分解代谢掉。生物膜法就是让微生物吸附于载体表面而形成生物膜，当污水经过生物膜后，污水中有机物会被微生物所分解。生物处理技术处理效果良好，成本比较低，但是对于废水水质、水温等情况要求比较高，而且微生物生长代谢容易受到外界因素干扰，处理周期比较长。

2. 废气处理技术

(1) 吸收法

吸收法就是用吸收剂溶解或者反应吸收废气中污染物来实现废气净化。在处理环氧丙烷废气的过程中，可以选择适当的吸收剂，例如有机溶剂或水溶液，以吸收废气中的丙烯、环氧丙烷等有机物。在吸收时，废气和吸收剂充分接触，有机物在吸收剂的作用下进入液相。吸收法具有装置简单、操作简便等优点，对于废气中污染物具有很高的脱除效率。然而，在吸收法中，选择合适的吸收剂和进行再生是至关重要的一环。如果选择不恰当的吸收剂或不及时进行再生，将会对吸收效能和处理成本产生不良影响。

(2) 吸附法

吸附法就是通过吸附剂的吸附作用使废气中污染物被吸附到吸附剂表面。常见吸附剂为活性炭和分子筛。活性炭比表面积大、孔隙结构丰富、吸附有机物能力强。废气经过吸附剂床层的过程中，有机物吸附到吸附剂的表面上，实现对废气的净化。吸附法具有吸附效率高、吸附容量较大等优点，可以有效地脱除废气中低浓度有机物。但吸附剂达到吸附饱和后需要进行再生，再生过程可能会产生二次污染，且吸附剂的使用寿命有限，需要定期更换。

(3) 催化燃烧法

催化燃烧法就是在催化剂存在下让废气中有机物在低温条件下燃烧并把有机物变成二氧化碳与水。催化燃烧法燃烧效率高，能耗小，不产生二次污染。环氧丙烷尾气治理时，选用适当催化剂可以降低有机物燃烧温度和能源消耗。然而，催化剂的活跃性和稳定性是催化燃烧过程中的核心要素。由于废气中的杂质可能导致催化剂失效，因此需要定期更换或再生催化剂，同时，催化燃烧设备的投资成本也相对较高。

三、环氧丙烷HPPO工艺废水废气处理技术优化策略

1. 废水处理技术优化

环氧丙烷HPPO工艺废水处理技术的优化可以从物理、化学和生物处理技术多个方面入手，以实现废水处理的高效和稳定。就物理处理技术而言，可以更新已有的流程。格栅除渣部分可以使用较细的格栅以加强拦截大颗粒杂质及悬浮物，减轻后续加工负担。调节池内可以安装先进监测设备实时了解水质水量的变化情况，更加准确地实现均质均量调节。在混凝沉淀时，对混凝剂的投加方式及投加量进行优化，并选择高效沉淀池以提高悬浮物及某些有机物去除效率。还可以采用膜分离技术，例如微滤、超滤、反渗透等，以进一步去除废水中的溶解性有机物、无机盐和微生物等杂质，从而降低无机盐的浓度，满足排放的要求。

在化学处理中，高级氧化技术至关重要。通过芬顿氧化和臭氧氧化使污水中难降解有机物变成易生物降解形式，以改善污水的可生化性。同时在废水pH值调节过程中，准确控制酸碱中和剂投加量，以免给处理设备及微生物带来不利影响。针对那些含有高浓度无机盐的废水，研发特定的化学沉淀剂，以消除盐分对微生物处理过程的抑制效果。

生物处理技术的优化，需要重视微生物的生存环境。厌氧处理时保持稳定的无氧条件，促使厌氧菌把大分子

有机物分解成小分子。好氧处理是指在活性污泥法或者生物膜法中,通过对曝气设备供氧量进行合理调控来保证微生物的正常生长与代谢。也可以筛选培养特殊微生物菌群,以提高降解废水有机物的能力,满足水质波动较大的要求。此外,通过采用深度处理技术,例如利用活性炭进行吸附,可以有效地去除残留的有机物和异味,从而提高出水的质量。

2. 废气处理技术优化

环氧丙烷 HPPO 工艺的废气处理技术的优化是减少废气污染和实现绿色生产的关键环节。在材料研发上,研发耐腐蚀、耐高温、吸附性能好等新型环保材料,可有效改善废气处理效果、提高设备使用寿命及稳定性等。

在处理流程方面,预处理技术作为一个重要的起点,利用这一技术除去废气中的绝大部分颗粒物及有害物质,可以显著减少后续处理的困难,使主要处理单元能够更加有效地发挥其应有的作用。针对废气成分及特点,选择适当的处理单元,如活性炭吸附、催化氧化及生物滤池。活性炭吸附能有效地除去废气中有机污染物;催化氧化可以使废气中有害物质变成无害物质;生物滤池采用微生物的代谢机制来分解废气中的有害物质。

在优化中,要降低设备和材料成本、提高整体工艺经济性,同时保证处理效果,能提高企业对先进处理技术应用的热情。通过使用高效热交换器或者热回收系统来回收待加热或者待冷却废气处理流程的热能,并回收利用废气热量,这可以用来加热其他工艺或预热空气,从而降低额外的能量消耗。同时对风机与泵进行能效优化,利用高效、变频驱动风机与泵并调节风量与流速等参数,可以有效地减少能耗。

对于废气处理技术的优化,智能化控制也是不可或缺的。运用现代信息技术对废气处理设备进行智能化控制,并对处理过程进行实时监测及优化,可以及时地调节处理参数以提高处理效率及稳定性。此外,通过运用预测性维护技术,并根据设备当前的运行状况和性能预测来提前进行检修,可以有效地避免因设备故障导致的停机时间和维修成本,从而确保废气处理系统能够持续稳定地运行。

3. 处理系统运行管理优化

环氧丙烷 HPPO 工艺处理系统的运行管理优化需要多方面的共同努力,以确保废水和废气处理系统能够稳定且高效地运行。以优化水质监测系统为依托,通过在废水废气排放口和治理关键节点安装先进的传感器对酸碱度、化学需氧量和废气浓度进行实时监控,利用大数据分析技术对水质的变化趋势进行准确的预测,并为处

理工艺参数的调整提供科学依据。

设备的维护管理是不可忽视的,要建立详细的设备档案来记录设备的运行状况、维护时间和更换零件的情况。根据档案建立预防性维护计划并定期维护、大修及校准设备。对关键设备储备易损部件以缩短突发故障的停运时间。同时培训专业的维修团队和提高应急处理能力,以保证设备一直保持良好的工作状态。

员工培训可增强操作规范性及应急处理能力,并进行经常性的业务培训,培训范围包括处理工艺原理、设备操作方法及安全注意事项。通过案例分析、模拟演练,加强职工对异常情况判断与处理。建立激励机制,鼓励职工提出改进意见,启发创新思维,共同提高处理系统的效率。在成本管理上,对药剂采购流程进行优化,并与优质供应商建立长期合作以降低采购成本。需要合理地规划设备的运行周期和负荷,采纳节能的设备和技术手段,以降低能源的使用,从而达到经济和环境双重效益的目标。

结论

尽管环氧丙烷 HPPO 工艺在环保方面具有明显优势,但在废水和废气处理方面仍需给予高度关注。对已有处理技术的分析表明,物理、化学和生物处理技术以及吸收、吸附和催化燃烧等方法各有优缺点。所提出的废水处理技术优化主要从物理、化学和生物三个层次出发,废气处理技术优化包括材料研发和流程改进,运行管理优化则包括监控、维修、培训和成本控制。这些优化策略能够促进处理效率和稳定性的提高,并降低污染物的排放。今后需要不断进行创新研究并加大工程应用和推广力度,才能为环氧丙烷的绿色生产提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 夏长久, 于佳元, 林民, 等. 中国石化双氧水法制环氧丙烷工业开发及关键科技问题[J]. 石油炼制与化工, 2024, 55(1): 130-134.
- [2] 杨建平, 汪薇, 何琨, 等. 优化 HPPO 装置工艺技术降低 CO₂ 排放[J]. 石油化工, 2024, 53(4): 572-578.
- [3] 高爽. HPPO 生产环氧丙烷新技术研究进展[C]// 第七届聚醚(环氧丙烷)科研、生产、技术交流大会. 0[2025-10-26].
- [4] 于剑昆, 李志刚. 国内异丙苯过氧化氢制备环氧丙烷工业化技术进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2017, 15(6): 19.
- [5] 无. 中国石化 HPPO 法制环氧丙烷成套技术实现首次技术许可[J]. 石油炼制与化工, 2021, 52(12): 78-78.