

CHP 法制环氧丙烷过程中副反应抑制策略

代 媛

中石化(天津)石油化工有限公司化工部环氧丙烷车间 天津 300270

摘要: 在CHP法制环氧丙烷过程中,副反应影响目标产物收率与工艺效率。本文围绕副反应抑制展开研究,分析主反应原理、副反应类型与生成路径及核心影响因素,提出反应体系调控、催化剂优化、反应条件管控等抑制思路,并从催化剂改性、工艺参数调控、杂质控制、过程精准管控等方面给出具体策略,同时阐述策略实施的技术、人才、资源支撑条件,为提升CHP法制环氧丙烷工艺水平提供参考。

关键词: CHP法; 环氧丙烷; 副反应抑制; 催化剂优化; 工艺参数调控

引言: CHP法制环氧丙烷是重要的化工生产方法,其主反应以过氧化氢异丙苯与丙烯为反应物,在特定催化剂作用下生成环氧丙烷。然而,该过程存在多种副反应,生成丙酮、丙醛等副产物,降低目标产物收率,影响工艺效率与产品质量。深入研究副反应抑制策略,减少副产物生成,提高主反应选择性,对提升CHP法制环氧丙烷工艺水平、增强企业经济效益具有重要意义。

1 CHP法制环氧丙烷反应体系核心特征

1.1 CHP法制环氧丙烷主反应原理

CHP法制环氧丙烷主反应以过氧化氢异丙苯与丙烯为核心反应物,在特定催化剂作用下发生环氧化反应生成环氧丙烷与异丙苯醇^[1]。反应过程遵循亲电环氧化反应机理,催化剂通过活化CHP中的过氧键,促使氧原子向丙烯分子中的双键发生亲电进攻,形成三元环氧结构的环氧丙烷产物。主反应具有选择性反应特征,反应进程受催化剂活性中心结构、反应体系环境影响较大。反应过程中需控制反应路径的专一性,减少活性中间体的非选择性反应,确保主反应高效推进,为后续副反应抑制提供基础。该反应原理是CHP法制环氧丙烷工艺的核心,明确主反应的反应路径与反应规律,是精准调控副反应、提升工艺效率的前提。

1.2 副反应的主要类型与生成路径

CHP法制环氧丙烷过程中副反应类型较为集中,主要围绕反应物、产物及中间产物的副反应转化形成。一类是CHP自身分解反应,在反应条件不适宜时,CHP易发生均裂分解,生成丙酮、苯酚等副产物,消耗原料同时降低主反应效率。另一类是丙烯深度氧化反应,丙烯分子在催化剂作用下偏离环氧化路径,被氧化生成丙醛、丙酸等含氧衍生物,破坏主反应选择性。此外,环氧丙烷自身易发生开环反应,在水或酸性条件下生成丙二醇等副产物,进一步降低目标产物收率。副反应生成路径

与主反应路径相互关联,多由主反应中间产物的非选择性反应引发,或因反应条件失控导致反应路径偏移,形成不同类型的副产物。

1.3 副反应生成的核心影响因素

副反应生成受多种因素综合影响,核心因素集中在催化剂、反应条件与反应体系组分三个方面。催化活性能直接影响副反应生成,催化剂活性中心结构不合理、活性过高或过低,都会导致反应选择性下降,诱发副反应发生;催化剂失活或被杂质污染,也会破坏主反应路径,促进副反应推进。反应条件的波动是诱发副反应的重要因素,反应温度过高会加速CHP分解与丙烯深度氧化,温度过低则会导致反应不完全,增加中间产物的副反应转化;反应压力、反应时间的不合理控制,同样会打破反应平衡,推动副反应发生。反应体系组分的比例失衡也会促进副反应,反应物配比不合理、杂质含量过高,会加剧副反应竞争,同时反应体系中微量水分、酸性物质的存在,会诱发环氧丙烷开环等副反应,进一步增加副产物生成量。

2 CHP法制环氧丙烷副反应抑制的核心思路

2.1 反应体系调控思路

反应体系调控思路核心是通过优化体系组分与状态,减少副反应发生的物质基础,强化主反应选择性。聚焦反应体系中各组分的配比优化,合理调整过氧化氢异丙苯与丙烯的比例,避免单一组分过量导致副反应竞争加剧。严格控制反应体系中杂质含量,通过预处理工艺去除原料中的微量水分、酸性物质等杂质,减少此类物质诱发的环氧丙烷开环、CHP分解等副反应。优化反应体系的介质环境,调节体系酸碱度与极性,营造利于主反应推进、抑制副反应发生的体系氛围。同时,合理引入助剂调控反应体系,通过助剂与催化剂的协同作用,稳定反应中间产物,减少非选择性反应,推动反应路径向

主反应方向倾斜,从体系层面构建副反应抑制的基础。

2.2 催化剂优化思路

催化剂优化思路以提升反应选择性、抑制副反应为核心,围绕催化剂结构与性能优化开展。聚焦催化剂活性中心结构调控,优化活性中心的数量与分布,增强活性中心对主反应的专一性,减少对副反应的催化作用^[2]。改进催化剂制备工艺,通过改性处理提升催化剂的稳定性,减缓催化剂失活速率,避免失活催化剂诱发的副反应。优化催化剂的负载量与分散性,确保催化剂在反应体系中均匀分散,提升催化效率的同时,减少局部活性过高导致的丙烯深度氧化等副反应。此外,通过筛选适配的催化剂载体,增强催化剂与反应体系的相容性,进一步强化主反应催化选择性,从催化层面阻断副反应生成路径。

2.3 反应条件管控思路

反应条件管控思路核心是通过精准调控反应参数,维持反应平衡,避免条件波动诱发副反应。严格控制反应温度,确定适宜的温度区间,既能保证主反应高效推进,又能抑制CHP分解、丙烯深度氧化等副反应,避免温度过高或过低导致反应路径偏移。精准调控反应压力,优化压力参数以稳定反应体系状态,减少压力波动对反应选择性的影响,避免压力过高加剧副反应竞争,压力过低导致反应不完全引发的副反应。合理控制反应时间,确保主反应充分进行的同时,避免反应时间过长导致产物过度转化,减少环氧丙烷开环等副反应发生。建立反应条件动态调控机制,根据反应进程中的参数变化,实时调整反应条件,维持反应体系稳定,从过程层面实现副反应有效抑制。

3 CHP法制环氧丙烷副反应抑制具体策略

3.1 催化剂改性与优化策略

催化剂改性与优化聚焦提升催化选择性与稳定性,从源头阻断副反应生成路径。采用金属掺杂改性工艺,选取适配的掺杂元素对催化剂活性中心进行修饰,优化活性中心电子结构,增强对主反应的专一催化作用,削弱对CHP分解、丙烯深度氧化等副反应的催化活性。通过载体改性优化催化剂分散性,选用高比表面积载体负载活性组分,避免活性组分团聚导致局部活性过高诱发副反应。优化催化剂制备过程中的焙烧温度与时间,调控催化剂晶粒尺寸与活性中心分布,提升催化剂稳定性,减缓失活速率,避免失活催化剂引发的副反应加剧。同时,对失活催化剂进行再生处理,恢复催化性能,降低催化剂损耗的同时,维持反应体系催化效率的稳定性,实现副反应持续抑制。金属掺杂元素的种类与掺杂量需

经过精准筛选,避免掺杂元素过量或不适配导致催化剂活性下降,载体的选择需兼顾分散性与相容性,再生处理工艺需兼顾再生效果与成本,确保催化剂改性与优化策略兼具有效性与经济性。

3.2 反应工艺参数调控策略

反应工艺参数调控以精准控制反应条件为核心,避免参数波动诱发副反应。优化反应温度调控方式,采用分段控温工艺,根据反应进程不同阶段的需求设定适宜温度,在主反应快速推进阶段维持适宜温度,在反应后期适当降温,抑制副反应发生。精准调控反应压力,稳定反应体系气压环境,避免压力骤升骤降导致反应平衡打破,减少副反应竞争。合理调整反应物料进料速率,控制反应物在反应体系中的停留时间,确保主反应充分进行的同时,避免物料过量积累引发副反应。优化搅拌速率,提升反应体系混合均匀性,避免局部反应物浓度过高或催化剂分布不均,减少局部副反应集中发生的现象。分段控温的温度区间需结合主副反应的反应规律精准设定,进料速率与搅拌速率需与反应温度、压力参数协同匹配,避免单一参数优化导致反应体系失衡,确保各工艺参数相互配合,实现副反应高效抑制。

3.3 反应体系杂质控制策略

反应体系杂质控制重点在于去除有害杂质,减少副反应诱发因素。原料进入反应体系前,采用精密过滤、吸附等预处理工艺,去除丙烯、CHP原料中的微量水分、酸性物质、金属杂质等有害组分,避免此类杂质诱发环氧丙烷开环、CHP分解等副反应。优化反应体系溶剂选择,选用与主反应适配、不易诱发副反应的溶剂,减少溶剂与反应物、产物的副反应作用。定期对反应体系进行净化处理,及时分离反应过程中生成的微量副产物,避免副产物积累引发连锁副反应。建立杂质检测机制,实时监测反应体系中杂质含量,一旦超标及时采取净化措施,维持反应体系洁净度,为副反应抑制提供稳定环境^[3]。预处理工艺的选择需结合杂质类型与含量,确保杂质去除效果的同时,避免损伤原料组分,溶剂的选择需兼顾溶解性与环保性,净化处理的频率需根据反应进程与杂质积累速度合理设定,确保杂质控制贯穿反应全周期。

3.4 反应过程精准管控策略

反应过程精准管控通过实时监测与动态调整,确保副反应始终处于可控范围。搭建反应过程在线监测系统,实时检测反应体系中反应物、产物及副产物的含量,精准掌握反应进程与副反应发生情况。根据监测数据动态调整反应参数与物料配比,及时纠正反应偏差,避免反应体系失衡诱发副反应加剧。优化反应过程的搅拌与传

质效率,提升反应物接触均匀性,促进主反应高效进行,减少因传质不足导致的副反应。建立反应异常预警机制,针对温度、压力、杂质含量等关键参数异常,及时发出预警并采取调控措施,避免异常情况导致副反应大量发生,保障反应过程稳定推进。在线监测系统需具备高精度与实时性,能够精准捕捉反应体系的细微变化,预警机制需明确各类异常情况的判定标准与处置流程,搅拌与传质效率的优化需结合反应体系特性,确保管控措施精准、高效,实现反应过程的动态稳定。

4 副反应抑制策略实施的支撑条件

4.1 技术支撑条件

技术支撑是副反应抑制策略顺利实施的核心保障,需构建完善的技术支撑体系。加强CHP法制环氧丙烷副反应抑制相关技术研发,聚焦催化剂改性、工艺参数调控、杂质控制等关键技术环节,优化现有技术流程,研发适配工业生产的高效抑制技术,填补技术应用空白。搭建技术研发与转化平台,推动实验室研发技术向工业生产落地,解决技术实施过程中的实操难题,提升技术应用的可行性与稳定性。完善技术监测与调控体系,研发精准的反应过程监测技术,实现对反应参数、杂质含量、副产物生成量的实时精准检测,为策略调整提供数据支撑,确保抑制策略高效落地。

4.2 人才支撑条件

人才支撑是副反应抑制策略有效实施的关键,需打造一支专业素养过硬的复合型人才培养体系。建立多层次人才培养体系,结合副反应抑制技术应用需求,开展针对性专业培训,重点提升技术人员、操作人员对催化剂改性、工艺调控、杂质控制等技术的掌握程度,规范操作流程,提升实操能力。拓宽人才引进渠道,吸引具备化工工艺、催化工程等相关专业背景的高端人才,充实人才队伍,弥补专业人才缺口^[4]。健全人才激励机制,鼓励人才投身副反应抑制技术的研发与应用,激发人才创新创造活力,提升人才队伍的稳定性与专业水平,为策略实施提供坚实人力保障。人才培养需注重理论与实操结合,针对性提升人才解决实际生产难题的能力,人才引进需聚焦核心技术领域,重点吸纳具备丰富行业经验的

高端人才,激励机制需兼顾物质激励与职业发展,确保能够吸引、培育并留住核心人才。

4.3 资源支撑条件

资源支撑为副反应抑制策略实施提供物质保障,需构建高效、可持续的资源供给体系。优化资源供给结构,加大对优质催化剂、精密监测设备、高效净化材料等核心资源的供给力度,优先保障副反应抑制策略实施所需关键资源,满足技术应用与生产需求。搭建资源整合平台,打通资源供给渠道,推动催化剂、监测设备等资源的高效流通与合理配置,降低资源获取成本。建立资源保障长效机制,根据策略实施进度与生产需求,动态调整资源供给策略,确保资源供给的稳定性与可持续性。加强资源循环利用,推动催化剂再生、废弃净化材料回收等资源循环利用,提升资源利用效率,减少资源浪费,为副反应抑制策略持续实施提供坚实支撑。

结束语

CHP法制环氧丙烷副反应抑制策略的实施是一个系统工程,需从反应体系调控、催化剂优化、反应条件管控等多方面协同推进。通过催化剂改性优化、工艺参数精准调控、杂质有效控制以及反应过程动态管控等具体策略,结合完善的技术、人才与资源支撑,可有效减少副反应发生,提高主反应选择性与目标产物收率,推动CHP法制环氧丙烷工艺向高效、稳定方向发展,提升行业整体竞争力。

参考文献

- [1]中国石化有机原料科技情报中心站.天津石化CHP法制环氧丙烷工业示范装置标定成功[J].石油化工技术与经济,2024,40(4):8.
- [2]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(01):130-134.
- [3]丁晖殿,王皓,李强,等.双氧水法制环氧丙烷装置废水醇醚回收技术与经济效益分析[J].石油炼制与化工,2024,55(12):81-87.
- [4]高海洋,焦阳,史建公,等.丙烯气相直接氧化制环氧丙烷铜基催化剂研究进展[J].中外能源,2024,29(3):67-76.