

PTA生产氧化与精制过程问题分析

李旭有 赵家明 李 杰 姜利滨 徐 军
嘉兴石化有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘 要: PTA生产核心依托PX氧化与加氢精制工序,工艺管控、设备运行及催化剂状态直接决定产品质量与生产效益。本文系统梳理生产全过程,重点剖析氧化转化率低、杂质去除不彻底、设备结垢腐蚀、能耗成本偏高等核心问题,从工艺参数、催化剂、设备工况、操作管理四方面深挖成因,针对性提出参数优化、催化剂管控、设备改造等改进方案,有效提升生产稳定性、产品纯度与企业经济效益。

关键词: PTA; 生产氧化; 精制过程问题

引言: PTA是聚酯产业的核心基础原料,氧化与精制是其生产的关键核心工序,工序运行质量直接影响产品品级、生产能耗与环保达标水平。实际工业化生产中,受工艺参数波动、催化剂失效、设备老化及操作管控不当等因素影响,常出现转化率不足、产品杂质超标、能耗损耗高等问题,制约装置长效稳定运行。基于此,本文全面分析生产痛点与成因,制定科学优化方案,为工业提质降本增效提供参考。

1 PTA 氧化与精制生产工艺基础

1.1 PTA整体生产工艺流程

(1) PX原料预处理工序流程:以对二甲苯(PX)为核心原料,通过过滤、提纯去除原料中的机械杂质、轻组分杂质,精准调控原料纯度与含水率,为后续氧化反应提供合格原料,保障反应稳定性。(2)氧化、精制、分离干燥全工序衔接逻辑:预处理后的PX进入氧化单元生成粗对苯二甲酸,粗品送入精制单元提纯除杂,再通过过滤、固液分离、干燥工序,最终得到高纯度PTA产品,各工序连续闭环运行,逐级完成反应与提纯。(3)辅助系统运行机制:溶剂回收系统通过精馏、冷凝回收乙酸溶剂,循环复用降低原料损耗;尾气处理系统针对氧化工序含烃、含溴尾气,通过吸附、焚烧净化,达标后排放,兼顾环保与资源利用^[1]。

1.2 PX氧化工序工艺原理与参数

(1)液相催化氧化反应机理:PX在乙酸液相体系中,与氧气发生分步氧化反应,甲基逐步氧化为羧基,最终生成对苯二甲酸,属于自由基链式氧化反应。(2)氧化反应核心工艺参数:反应温度控制在180-200℃,压力维持1.0-1.5MPa,精准调控PX、乙酸、氧气配比,平衡反应速率与副反应生成量。(3)催化剂体系作用原理:采用钴锰溴复合催化体系,钴、锰离子激活氧气,加速PX甲基氧化,溴离子作为助催化剂,降低反应活化

能,提升氧化反应效率与选择性。

1.3 PTA精制工序工艺原理与流程

(1)粗对苯二甲酸主要杂质成分及危害:核心杂质为4-CBA、对甲基苯甲酸等,杂质会降低产品纯度,影响后续聚酯合成的色泽与力学性能。(2)加氢精制反应机理与除杂原理:高温高压下通过加氢反应,将4-CBA等不饱和杂质还原为易分离的稳定物质,彻底去除氧化工序残留杂质。(3)精制后关键流程:精制物料经降温结晶析出高纯PTA晶体,通过过滤分离母液,再经热风干燥去除残留溶剂与水分,得到成品PTA。

2 PTA 氧化与精制过程主要生产问题

2.1 氧化工序生产运行问题

(1)氧化反应转化率偏低、副产物过多问题:PX液相氧化反应过程中,若催化剂配比失衡、氧含量不足,会导致原料氧化不完全,整体转化率下降。同时易引发过度氧化、异构化等副反应,生成大量有机酸类副产物,不仅降低原料利用率,还会增加后续精制工序除杂压力。(2)反应参数波动导致工况不稳定问题:氧化工序对温度、压力、气液配比敏感度极高。生产中负荷调整、进料流量波动易造成参数偏移,破坏自由基氧化反应平衡,引发反应剧烈或滞后,造成反应器工况波动,影响生产连续性与稳定性。(3)醋酸溶剂损耗高、尾气污染物超标问题:高温高压反应工况下,醋酸溶剂易挥发、分解,造成溶剂大量损耗,提升生产成本。同时挥发的醋酸、溴化物及未反应烃类会随尾气排出,若尾气处理系统负荷不足,极易出现污染物排放超标的问题。

2.2 精制工序质量与运行问题

(1)4-CBA、对甲基苯甲酸杂质去除不彻底问题:粗品中残留的4-CBA与对甲基苯甲酸结构稳定,若加氢反应条件不足,杂质无法完全转化去除,残留于产品中,是影响PTA成品质量的核心隐患。(2)加氢反应效率

低、氢气消耗偏高问题：加氢精制过程中，物料纯度、反应温度压力控制不当，会降低加氢反应活性，反应效率大幅下降。为达到除杂标准，需持续补充氢气，造成氢气无效消耗，增加生产能耗^[2]。（3）精制产品纯度波动、批次质量差异问题：生产负荷切换、结晶过滤参数微调偏差，会导致不同批次产品的杂质含量、纯度存在差异，出现产品质量不稳定、批次差异性大的问题，影响产品统一品级。

2.3 设备运行与系统匹配问题

（1）氧化反应器结垢、腐蚀影响运行周期问题：反应体系中的酸性介质、金属盐催化剂易对反应器内壁造成腐蚀，同时反应副产物易附着内壁形成结垢，堵塞反应通道，降低反应效率，缩短设备连续运行周期。（2）加氢催化剂失活快、再生频率高问题：原料杂质、高温工况易造成加氢催化剂表面积碳、活性位点失效，导致催化剂快速失活，需频繁停机再生或更换，大幅降低装置运行效率。（3）工序物料输送、温控系统匹配失衡问题：各工序物料输送流量不均、温控系统响应滞后，会造成前后工序工况不匹配，出现物料堆积、温度调控滞后等问题，扰乱整套生产系统的稳定运行。

2.4 生产能耗与成本管控问题

（1）氧化高温高压工况能耗居高不下问题：氧化工序需持续维持高温高压环境，设备加热、增压系统能耗基数大，长期连续运行导致整体生产能耗偏高，是装置能耗管控的重点难点。（2）催化剂、溶剂耗材成本损耗过大问题：生产过程中催化剂易流失、失效，醋酸溶剂持续挥发损耗，且耗材回收利用率有限，造成耗材频繁补充，大幅增加生产物料成本。（3）废料、母液处理增加生产附加成本问题：生产产生的副产物废料、精制母液需经过过滤、净化、无害化处理，工艺流程繁琐，设备运维、药剂消耗均会产生额外费用，提升生产附加成本。

3 PTA 氧化与精制过程问题成因分析

3.1 工艺参数管控偏差成因

（1）反应温度、压力精准控制不足的影响机制：氧化反应对温压要求严苛，温控滞后、压力调节滞后会打破自由基链式平衡。温度偏低致反应动力不足、转化不完全；温度压力过高则加剧热分解，催生副产物，造成工况紊乱。（2）PX进料配比、空气供氧比例失衡的负面影响：进料流量波动、供氧风量不当致氧油比失衡。PX过量、氧气不足引发局部缺氧反应，生成杂质；氧气过剩加剧溶剂焚烧，提升能耗与尾气处理压力。（3）加氢温度、氢气压力参数调控不合理成因：精制加氢参数设定偏差、调节不及时是加氢效率低的主因。温度压力偏

低时，加氢活化不充分，杂质还原不彻底；参数过高造成氢气无效损耗，引发产品物性波动。

3.2 催化剂体系运行异常成因

（1）氧化催化剂配比失衡、活性衰减过快原因：钴锰催化剂配比失调、体系杂质累积，会破坏催化反应环境。长期高温运行会造成催化剂离子流失、活性位点钝化，导致催化活性快速衰减，氧化反应速率大幅下降。

（2）溴系引发剂损耗、失效导致反应不完全问题：溴系引发剂易随醋酸挥发、被副产物消耗，持续损耗且补充不及时，会降低反应活化效率，PX氧化反应中断链现象增多，中间产物无法完全转化，造成粗品杂质含量升高。（3）加氢钨碳催化剂中毒、失活的核心诱因：物料中残留的硫化物、重金属及有机杂质会吸附在钨碳催化剂表面，造成催化剂中毒结焦，覆盖活性位点。同时长期高温加氢工况会加速催化剂老化，导致催化效率持续降低^[3]。

3.3 设备与工况环境成因

（1）反应器腐蚀、结垢导致反应传质效率下降：酸性溶剂与高温介质长期侵蚀设备内壁，产生腐蚀碎屑，同时反应副产物持续附着结垢，缩小反应接触面积，阻碍气液固相传质传热，大幅降低反应转化效率。（2）温控、自控系统精度不足引发参数波动：自控仪表老化、传感器精度偏差、阀门调节滞后，无法实时精准匹配生产工况，造成温压、流量参数频繁波动，破坏生产系统的稳定性与连续性。（3）结晶、分离设备工况异常造成杂质残留：结晶器温控不均、过滤设备滤网堵塞、干燥系统工况异常，会导致晶体结晶粒度不均，母液杂质无法彻底分离，最终残留于成品中，造成产品纯度不达标。

3.4 原料与操作管理成因

（1）PX原料纯度不达标引发副反应增多问题：进厂PX原料含芳烃杂质、水分超标时，杂质会参与氧化反应，诱发异构化、过度氧化等副反应，增加系统杂质负荷，严重影响产品质量与反应稳定性。（2）操作人员工艺管控不规范、运维不到位问题：操作人员参数调节经验不足、巡检运维不细致，未能及时发现参数偏移、设备异常等隐患，小问题持续累积，最终引发工况波动、质量超标等生产问题。（3）生产负荷频繁波动导致系统适配性不足问题：装置升降负荷频繁，工艺系统、催化剂体系、设备工况无法快速适配负荷变化，反应平衡持续被打破，造成转化率、产品质量、能耗指标出现大幅波动。

4 PTA 氧化与精制过程优化改进方案与应用

4.1 工艺参数精准优化方案

(1) 氧化工序温度、压力、物料配比最优参数设定: 结合装置负荷特性, 固化氧化反应最优温压运行区间, 规避参数随意调整带来的工况波动。精准匹配PX原料、乙酸溶剂与氧气配比, 稳定液相氧化反应体系, 提升原料转化率, 从源头减少副产物生成。(2) 分级供氧、分段控温优化氧化反应工况: 根据氧化反应不同阶段的反应速率差异, 采用分段控温、分级供氧模式, 替代传统恒定参数运行方式。有效改善局部缺氧、局部过热问题, 平衡反应进度, 降低溶剂分解损耗与副反应发生率^[4]。(3) 精制加氢参数精细化调控方案: 针对加氢除杂不彻底、氢气消耗偏高问题, 细化加氢温度、操作压力、物料停留时间等核心参数。依据粗品杂质含量动态微调工艺条件, 保障4-CBA等杂质充分还原去除, 提升精制提纯效率。

4.2 催化剂体系优化与管控措施

(1) 钴锰溴催化剂配比优化与活性维持技术: 优化钴、锰、溴三元催化体系配比, 适配PX氧化反应特性。定期监测体系催化剂活性浓度, 及时微调组分比例, 稳定催化活性, 延缓催化剂衰减速度, 保障氧化反应高效进行。(2) 催化剂在线补加、损耗管控方案: 建立催化剂实时监测与在线微量补加机制, 替代传统间歇补加方式。精准把控催化剂损耗量, 按需定量补加, 有效稳定体系浓度, 减少催化剂浪费, 降低生产成本。(3) 加氢催化剂再生、防护与更换优化策略: 严格把控进料杂质指标, 做好钨碳催化剂防护, 避免杂质造成催化剂中毒。定期开展催化剂在线再生, 清除表面积碳杂质, 同时依据活性衰减规律制定合理更换周期, 保障加氢反应稳定性。

4.3 设备改造与系统运维优化

(1) 反应器防腐蚀、防结垢改造技术: 对氧化反应器进行防腐衬里改造, 抵御酸性介质腐蚀。增设在线冲洗装置, 优化设备内部流场, 减少副产物附着结垢, 提升设备传质传热效率, 延长装置连续运行周期。(2) 自动化控制系统升级与精准调控优化: 升级现场自控设备与高精度传感仪表, 缩短参数响应滞后时间, 实现温度、压力、流量等参数的实时精准调节, 有效解决工艺

参数波动问题。(3) 母液回收、尾气处理系统提质改造: 优化母液提纯回收工艺, 充分回收残留有效物料, 降低原料损耗。升级尾气净化系统, 强化有机废气、溴化物处理效果, 保证尾气稳定达标排放^[5]。

4.4 优化方案应用效果与效益分析

(1) 产品质量提升效果验证: 优化方案落地后, PTA产品纯度显著提升, 4-CBA等有害杂质含量大幅降低, 彻底改善批次质量差异问题, 产品整体品级与合格率稳步提升。(2) 能耗、物料损耗降低的经济效益分析: 工艺与设备优化后, 乙酸溶剂、催化剂、氢气等物料损耗明显下降, 装置综合能耗有效降低, 大幅减少生产耗材与能源成本, 经济效益显著提升。(3) 装置稳定性、环保达标提升的综合效益: 设备故障频次显著减少, 装置连续运行时长增加, 生产稳定性大幅提升。同时三废处理效果改善, 环保排放稳定达标, 实现安全生产与绿色生产协同提升。

结束语

本文全面分析了PTA氧化与精制工序的各类生产问题, 厘清了工艺、设备、催化剂及管理层面的核心成因, 配套制定了精细化工工艺调控、催化剂优化、设备升级改造等针对性改进策略。优化方案可有效解决产品质量波动、物料能耗损耗大、装置运行不稳定等难题, 显著提升产品合格率与生产效率, 降低生产成本与环保压力, 为PTA行业安全生产、绿色生产与高效稳产提供可靠技术支撑。

参考文献

- [1] 李明, 马强. PTA装置和工艺流程[J]. 化工设计通讯, 2022, 46(2): 82-85.
- [2] 雷玲, 钱枝茂. 对苯二甲酸装置氧化反应系统的激波行为[J]. 石油化工, 2023, 48(4): 401-404.
- [3] 郭亚琴, 向丽娟. 精对苯二甲酸生产工艺的发展研究[J]. 化工管理, 2024, 21(33): 194-197.
- [4] 张文. 粗苯加氢精制生产工艺的优化与探究[J]. 生物化工, 2025, 2(1): 27-29.
- [5] 赵海军. 焦化粗苯加氢精制生产工艺操作经验[J]. 化学工程与装备, 2024, 13(9): 59-63.