

# 精对苯二甲酸 (PTA) 装置工艺危险性分析

王 博

浙江逸盛新材料有限公司 浙江 宁波 315201

**摘 要:** 本文深入探讨了PTA装置工艺危险性分析的创新点,包括新颖的评价方法与技术如定量风险评估结合仿真模拟、大数据与人工智能预警系统,以及对工艺安全性的新认识,如强调本质安全设计、关注人为因素及全生命周期管理。基于这些分析,提出了优化工艺设计与布局、加强设备选型与维护保养、强化安全管理与培训及推广智能化与自动化技术应用等建议,旨在为PTA装置的安全运行提供有力支持。

**关键词:** PTA; 基本原理; 装置工艺; 分析

## 1 PTA 装置工艺介绍

### 1.1 PTA生产的基本原理

PTA(精对苯二甲酸)生产的基本原理是基于对二甲苯(PX)的氧化反应。在催化剂的共同作用下,PX在高温、高压及醋酸溶剂存在的条件下,与空气中的氧气发生液相氧化反应,生成粗对苯二甲酸(CTA)。随后,CTA经过加氢还原处理,进一步精制成为高纯度的PTA。具体反应方程式如下:主反应:PX(对二甲苯)+O<sub>2</sub>(氧气)→TA(对苯二甲酸)+2H<sub>2</sub>O(水)(催化剂、醋酸溶剂);副反应可能包括生成苯甲酸、偏苯三酸以及部分燃烧产物如CO和CO<sub>2</sub>。值得注意的是,这个反应过程中PX的氧化转化率在理论上相当高,据估算,转化率可以达到96%-97%的范围,但也需要考虑到未完全反应的PX和其他副产物的生成。

### 1.2 PTA装置的主要工艺单元

PTA装置主要包括以下几个主要工艺单元:(1)原料准备单元:将二甲苯(PX)和空气送入反应器前进行预处理,以去除杂质和水分,确保原料的纯净度和反应的顺利进行。(2)氧化单元:包括二甲苯氧化反应、水洗和脱苯等工艺装置。在氧化反应器中,PX与空气(通常是空气与纯氧的混合气)在催化剂(如醋酸钴、醋酸锰和四溴乙烷)的作用下,进行液相氧化反应,生成粗对苯二甲酸(CTA)和醋酸混合物。反应温度通常控制在185°C~195°C,压力在1.1~1.3MPa之间。反应过程中,热量通过蒸发溶剂来带走,反应器的顶部设有脱水塔用于除去生成的水<sup>[1]</sup>。(3)还原单元:包括还原、重结晶和脱水工艺装置。粗对苯二甲酸(CTA)经过加氢还原处理,在钯-碳(Pd/C)催化剂的作用下,与氢气反应,将CTA中的杂质转化为可溶于水的物质(如对甲基苯甲酸),并通过结晶、过滤等工序分离出来,得到高纯度的PTA。(4)废气处理单元:用于处理氧化和还原过程

中产生的废气,确保生产过程中的环保和安全。(5)辅助单元:包括溶剂和催化剂回收系统、热交换系统、循环水系统等,以确保整个生产过程的连续性和高效性。

## 2 精对苯二甲酸 (PTA) 装置工艺危险因素分析

### 2.1 生产过程危险因素

在PTA装置的生产过程中,存在多种危险因素,高温高压环境是主要的危险因素之一,氧化反应通常在高温(约185°C~195°C)和高压(1.1~1.3MPa)条件下进行,这增加了设备爆炸、泄漏和火灾的风险。氧化反应是放热反应,若反应热不能及时移出,可能导致局部过热,进而引发安全事故。催化剂的使用也可能带来风险,如催化剂中毒、失效或异常反应,都可能影响生产稳定性和安全性。生产过程中的物料输送、搅拌、混合等操作也可能因设备故障或操作不当而引发事故。精制单元的主要目的是去除原料中的杂质,提高产品的纯度和质量。在这个过程中,加氢反应器是核心设备,通常在高温、高压条件下运行。与氧化单元类似,这种极端的工作条件增加了设备发生爆炸、泄漏的风险。加氢反应也是一种放热反应,如果不能及时移除反应热,可能导致反应器内温度升高,进而引发安全事故。在精制单元中,物料的输送、搅拌、混合等操作也需要特别注意。设备故障或操作不当可能导致物料泄漏、混合不均等问题,进而影响生产效率和产品质量,同时也可能引发安全事故。

### 2.2 原辅材料和产成品的危险性

PTA装置的原辅材料,如二甲苯(PX)和醋酸,以及产成品PTA,均具有一定的危险性。二甲苯是易燃易爆物质,其蒸汽与空气混合后,在特定浓度范围内可形成爆炸性混合物,遇明火、高热极易发生燃烧爆炸。醋酸则具有腐蚀性,可能对设备和管道造成腐蚀破坏,进而引发泄漏事故。PTA粉末在干燥状态下也易产生静电,若

处理不当可能引发粉尘爆炸。

### 2.3 设备与操作条件的风险

设备与操作条件的风险是PTA装置安全运行的关键因素之一。设备方面,反应器、换热器、储罐等关键设备的材质、设计、制造和安装质量必须符合相关标准和规范,否则可能因设备缺陷而引发泄漏、爆炸等事故。设备的维护保养和定期检查也至关重要,任何疏忽都可能导致设备故障或性能下降。操作条件方面,温度、压力、流量、液位等工艺参数的波动都可能影响生产过程的稳定性和安全性。

## 3 精对苯二甲酸 (PTA) 装置工艺安全防范措施

### 3.1 工艺优化与安全设计

通过深入分析和研究PTA生产过程的反应机理和动力学特性,对工艺参数进行精细调整和优化,确保反应在最佳条件下进行,以减少副产物的生成和能耗,同时提高产品的质量和产量。这涉及调整如温度、压力、催化剂的选择(如钴基、钼基等)和用量等关键参数,以及调整物料配比和反应时间等,以最大限度地降低安全风险。安全设计方面,需遵循“本质安全”的原则,从源头上消除或减少危险源。在设备选型上,应优先考虑具有防爆、防腐、耐高温高压等特性的材料,确保设备在恶劣工况下仍能稳定运行<sup>[2]</sup>。合理布局设备管线,避免物料在输送过程中形成死角或积聚,减少泄漏和爆炸的风险。还应设置必要的安全联锁装置和紧急停车系统,一旦检测到异常情况,能立即切断危险源,防止事故扩大。

### 3.2 安全操作与应急预案

安全操作是保障PTA装置安全运行的关键环节。首先,应制定详细、可操作性强的操作规程和作业指导书,明确各岗位的操作步骤、注意事项和应急处置措施。操作人员必须经过严格培训,掌握相关知识和技能,熟悉设备性能和工艺流程,确保能够正确、熟练地进行操作。应建立严格的交接班制度,确保生产信息的准确传递和问题的及时发现解决。应急预案的制定和演练也是必不可少的,针对PTA装置可能发生的各类事故,如火灾、爆炸、泄漏等,应制定相应的应急预案,明确应急指挥体系、应急队伍组成、应急物资储备和应急处置流程等。定期组织应急演练,检验预案的可行性和有效性,提高员工的应急反应能力和自救互救能力。在事故发生时,能够迅速启动应急预案,有序开展救援工作,最大限度地减少人员伤亡和财产损失。

### 3.3 安全管理体系建设

建立健全的安全生产责任制,明确各级管理人员和岗位员工的安全生产职责,确保安全生产责任层层落

实。通过签订安全生产责任书、制定安全生产考核奖惩制度等方式,强化员工的安全意识和责任感。应建立全面的安全管理制度和操作规程体系,涵盖设备管理、作业管理、危险源管理、应急管理等多个方面。通过制定和完善相关制度和规程,规范员工的行为和操作,确保生产活动的有序进行。同时应加强对制度和规程执行情况的监督检查,及时发现和纠正违规行为,防止事故的发生。还应加强安全教育培训工作,定期组织开展安全教育培训活动,提高员工的安全意识和技能水平。培训内容应涵盖安全生产法律法规、安全操作规程、事故案例分析等多个方面,确保员工能够全面掌握安全生产知识和技能。应鼓励员工积极参与安全管理和技术创新活动,为企业的安全生产贡献智慧和力量。应建立持续改进的安全管理机制,通过定期评估安全生产状况、分析事故原因和隐患排查治理情况等方式,及时发现和纠正安全生产中的问题和不足。积极引进和应用先进的安全管理理念和技术手段,不断提升企业的安全生产管理水平。

## 4 PTA 装置工艺危险性分析的创新点

### 4.1 新颖的评价方法或技术

在PTA装置工艺危险性分析中,引入新颖的评价方法或技术是提高分析准确性和有效性的关键。传统的风险评估方法如HAZOP(危险与可操作性分析)、FMECA(故障模式与影响分析)等虽已广泛应用于化工领域,但针对PTA装置的具体特性和复杂性,可进一步探索和应用更为精细和先进的评价方法<sup>[3]</sup>。第一、定量风险评估(QRA)结合仿真模拟技术:利用定量风险评估方法,结合先进的仿真模拟技术,对PTA装置进行动态模拟和风险评估。通过建立详细的数学模型和仿真平台,模拟不同操作条件下的工艺流程和设备运行状态,预测潜在的危险源和事故场景,评估其发生的概率和后果严重程度。这种方法能够更直观地展示危险源的变化趋势和事故演化过程,为制定有效的防控措施提供科学依据。第二、基于大数据和人工智能的风险预警系统:随着大数据和人工智能技术的快速发展,可以构建基于大数据的风险预警系统,实时监测PTA装置的运行数据和环境参数,通过数据分析和机器学习算法,自动识别异常模式和潜在风险,提前发出预警信号。该系统能够实现对装置运行状态的全面监控和智能分析,提高风险预警的准确性和及时性,为操作人员提供有力的决策支持。第三、综合运用多种评价方法:在PTA装置工艺危险性分析中,还可以综合运用多种评价方法,如LOPA(保护层分析)、SIL(安全完整性等级)评估等,从不同角度和层面评估装置的安全性能。通过结合使用这些评价方法,

可以更加全面、系统地识别潜在的危險源和风险因素,评估其对装置安全性的影响程度,为制定综合防控措施提供多维度的参考。

#### 4.2 对工艺安全性的新认识

在PTA装置工艺危险性分析中,应更加重视本质安全设计的重要性。通过优化工艺流程、选择安全的原料和催化剂、采用防爆防腐的设备和材料等措施,从源头上减少或消除危險源,提高装置的本质安全水平。这种理念的转变将推动PTA装置设计理念的革新和工艺技术的升级。在PTA装置的事事故案例中,人为因素往往扮演着重要角色。在工艺危险性分析中应更加重视人为因素的分析 and 评估。通过加强员工的安全教育培训、提高操作技能水平、建立完善的岗位责任制和奖惩机制等措施,减少人为失误和违规操作的发生,降低事故发生的概率。PTA装置的安全管理不应仅局限于生产阶段,而应贯穿于装置的全生命周期。从设计、建设、运行到退役等各个阶段都应充分考虑安全因素,制定相应的安全管理措施和应急预案。

#### 4.3 可能为装置设计和操作提供的新建议

基于PTA装置工艺危险性分析的结果和创新点,可以为装置设计和操作提供一系列新的建议和改进措施。(1) 优化工艺设计和布局:针对PTA装置中存在的高温高压、易燃易爆等危险因素,建议优化工艺设计和布局。(2) 加强设备选型和维护保养:在设备选型方面,建议优先选择具有防爆、防腐、耐高温高压等特性的材料和设备;在设备维护保养方面,建议建立完善的维护保养制度和规程,定期对设备进行检查、维修和更换零部件等工作,确保设备的正常运行和安全性能<sup>[4]</sup>。(3) 强化安全管理和培训:针对人为因素在事故中的关键作用,建议加强安全管理和培训。建立健全的安全管

理制度和操作规程体系;加强员工的安全教育培训工作,提高员工的安全意识和操作技能水平;建立完善的应急管理体系和预案体系,提高应对突发事件的能力。

(4) 推广智能化和自动化技术的应用:随着智能化和自动化技术的不断发展,建议将其应用于PTA装置的生产和管理中。例如,利用自动化控制系统实现对生产过程的实时监控和智能调控;利用智能巡检机器人等设备对装置进行巡检和故障排查等工作;利用大数据分析技术对生产数据进行深度挖掘和分析等。这些技术的应用将提高生产效率和产品质量的同时,也将提高装置的安全性和可靠性。

#### 结束语

综上所述,PTA装置工艺危险性分析的创新点不仅提升了我们对装置安全性的认识,更为装置设计和操作提供了宝贵的建议。随着技术的不断进步和理念的持续更新,相信PTA装置的安全管理水平将不断提升,为化工行业的可持续发展贡献更多力量。未来,应继续探索和用新的评价方法和技术,不断完善安全管理体系,确保PTA装置的安全稳定运行。

#### 参考文献

- [1]葛长喜.精对苯二甲酸(PTA)装置工艺危险性分析[J].广州化工,2023,51(14):137-139.DOI:10.3969/j.issn.1001-9677.2023.14.040.
- [2]马铁钢.风险评估技术在石化装置在用安全阀上的应用[J].压力容器,2018,35(9):50-54.
- [3]胡晓琴.向阳.PTA装置氧化反应器进料泵压力控制系统改进[J].聚酯工业,2018,23.
- [4]谭帅.刘小微.王绪海.PTA加氢反应进料泵轴承磨损原因及对策[J].聚酯工业,2019,28(003):56-58.