

精细化工生产过程中危险源的识别与防控

张 娜

古文(宁夏)科技有限公司 宁夏 银川 750021

摘 要:精细化工生产过程中危险源的识别与防控是保障生产安全、减少事故风险的关键环节。加氢工艺作为精细化工生产中的重要环节,其高温、高压及涉及易燃易爆物质的特点,使得生产过程中存在诸多危险源。本文以加氢工艺为例,从危险源分析、识别方法以及防控措施三个方面,深入探讨加氢工艺中的危险源识别与防控策略,旨在提高加氢工艺的安全生产水平。

关键词:加氢工艺;精细化工;危险源识别;防控措施

引言

随着化工行业的迅速发展,精细化工生产过程中的安全问题日益受到重视。加氢工艺作为化学工业和石油炼制工业中的重要环节,因其高温、高压、易燃易爆等特性,使得安全生产成为企业必须面对的重大挑战。危险源的识别与防控是确保加氢工艺安全生产的关键环节。本文将深入探讨加氢工艺中的危险源识别与防控策略,旨在为相关企业提供科学的安全管理指导,提高加氢工艺的安全生产水平。

1 精细化工加氢工艺概述

加氢工艺是指在一定的温度、压力和氢气条件下,原料和氢气在反应器内催化剂的作用下,通过化学反应达到产品性能要求的工艺技术总称。加氢工艺主要包括不饱和键加氢、芳环化合物加氢、含氮化合物加氢、含氧化合物加氢、氢解等。这些工艺在化学工业和有机合成中具有广泛的应用,但同时也伴随着高风险。

2 精细化工加氢工艺中的危险源分析

2.1 原料及产品的危险源

加氢工艺中使用的原料和产品,如氢气、一氧化碳、苯、环戊烯等,均为易燃易爆物质。这些物质在高温或高压条件下可能发生爆炸或燃烧,对设备和人员造成严重威胁。例如,氢气的爆炸极限为4.1%~74.2%,一旦泄漏并与空气混合,极易引发爆炸。加氢工艺中涉及的原料和产品,如苯酚、环戊二烯等,具有毒性,可能对人体健康造成危害^[1]。长期接触或吸入这些有毒物质可能导致中毒,甚至危及生命。部分原料和产品,如硫化氢、氨气等,具有腐蚀性,可能对设备和管道造成腐蚀,导致设备损坏或泄漏。

2.2 工艺过程的危险源

2.2.1 高温高压环境带来的危险源

(1) 设备受损风险。加氢反应通常在高温(250-

500°C)和高压(50-70atm)条件下进行,这种极端环境对设备材质和结构设计提出了极高的要求。长时间处于高温高压状态,设备可能会因热应力而受损,产生裂纹、变形甚至熔化,导致设备失效或引发安全事故。

(2) 泄漏与爆炸风险。高压环境增加了设备泄漏的风险。一旦设备出现泄漏,高温高压的加氢反应物可能会迅速喷出,与空气中的氧气混合后达到爆炸极限,从而引发爆炸事故。此外,泄漏的加氢反应物还可能对操作人员造成严重的灼伤或中毒。

2.2.2 强放热反应带来的危险源

(1) 反应失控风险。加氢反应为强放热反应,其反应速度和放热量极大。若反应温度、压力等关键参数控制不当,如加料速度过快、冷却水流量不足等,都可能导致反应失控。反应失控将引发体系温度快速上涨,达到物料的二次分解温度后,容易造成冲料和爆炸事故。

(2) 超温超压风险。由于加氢反应放热量大,若反应热不能及时导出,可能导致体系温度持续上升,超过设备或物料的承受极限,从而引发超温超压事故。超温超压不仅会损坏设备,还可能引发火灾或爆炸。

2.2.3 催化剂毒化带来的危险源

(1) 催化剂失活风险。加氢反应中使用的催化剂在某些情况下可能会被毒化,如接触重金属、有机物或其他杂质。催化剂毒化会导致其活性下降或完全失活,从而影响工艺过程的正常进行。这不仅会降低产品产量和质量,还可能引发副反应,产生有毒有害物质。

(2) 工艺波动风险。催化剂毒化还可能引发工艺波动。由于催化剂活性下降,反应速度减慢,可能需要调整反应条件以维持正常的生产速度。然而,这种调整可能使工艺过程变得更加复杂和不稳定,增加安全事故的风险。

2.3 设备的危险源

加氢工艺中使用的设备，如反应器、压缩机、换热器等，若设计不合理、制造质量差或维护不当，可能导致设备故障，引发安全事故。加氢工艺中的管道系统若存在设计缺陷、材质问题或安装不当，可能导致管道泄漏，引发火灾、爆炸或中毒事故。

2.4 操作的危险源

操作人员若缺乏培训或经验不足，可能导致操作失误，如投料速度过快、温度压力控制不当等，从而引发安全事故。在加氢工艺过程中，若遇到紧急情况（如设备故障、泄漏等），若操作人员缺乏应对经验或设备缺乏应急措施，可能导致事故扩大或人员伤亡。

3 危险源识别方法：风险矩阵分析法（Risk Matrix Analysis）

3.1 确定评估范围

明确加氢工艺的具体流程，包括原料准备、加氢反应、产物分离、废弃物处理等各个环节。确定评估涉及的设备，如反应釜、氢气储罐、管道、阀门等。识别评估中的操作环节，如原料投加、温度控制、压力调节、产品出料等。

3.2 识别危险源

通过现场勘查，记录设备状态、操作条件、环境因素等潜在危险源。

3.3 评估事故发生可能性（L）

制定详细的事故发生可能性评估标准，包括设备故障率、操作失误率、环境因素（如温度、湿度、风速等）对事故发生的影响^[2]。考虑危险源之间的相互作用和连锁反应，对可能导致的复合风险进行评估。

3.4 评估事故后果严重性（S）

制定事故后果严重性评估标准，考虑人员伤亡（如死亡、重伤、轻伤等）、财产损失（如设备损坏、产品损失、环境污染治理费用等）、生产中断（如停产时间、经济损失等）等因素，根据评估标准给出具体的评分值。

3.5 计算风险值（R）

根据公式 $R = L \times S$ ，计算每个危险源的风险值。对计算出的风险值进行排序，确定风险等级。

3.6 判定风险等级

根据风险值的大小，将风险分为低风险、中风险、高风险、极高风险等四个等级。制定风险等级划分标准，如低风险（ $R \leq 5$ ）、中风险（ $6 \leq R \leq 10$ ）、高风险（ $11 \leq R \leq 15$ ）、极高风险（ $R > 15$ ）。然后，针对每个危险源的风险等级，制定具体的风险控制措施。

3.7 示例表格

以下是一个示例表格（表1），用于评估加氢工艺中某个反应釜的危险源：

表1 示例表格

危险源描述	L	评估依据	S	评估依据	风险值 $R = L \times S$
反应釜超温导致爆炸	4	历史数据：曾发生过超温事故	5	可能导致人员伤亡、设备损坏	20（极高风险）
氢气泄漏引发火灾	3	设备老化，存在泄漏风险	4	可能导致火灾、人员伤亡	12（高风险）
催化剂失效导致反应不完全	2	催化剂使用周期较长，性能下降	2	产品纯度下降，经济损失较小	4（低风险）
操作人员误操作导致超压	3	操作人员培训不足，操作不熟练	3	可能导致设备损坏，生产中断	9（中风险）
反应釜搅拌器故障导致沉积	2	搅拌器维护不当，存在故障风险	3	可能导致反应不均匀，产品质量下降	6（中风险）

4 精细化工加氢工艺中的危险源防控措施

4.1 原料安全管理

4.1.1 氢气储存与运输。氢气储罐应安装在通风良好、远离火源和热源的区域，且周围设有防撞设施。储罐顶部应安装呼吸阀和安全阀，以防止超压和氢气泄漏。储罐区应设置氢气泄漏检测探头，与报警系统相连，一旦检测到泄漏立即报警。储罐应定期进行压力测试、壁厚检测和腐蚀检查，确保结构完整。氢气运输车辆应装备有氢气泄漏报警装置、紧急切断装置和防火装置。驾驶员和押运员应接受专业培训，熟悉氢气的性质和应急处理措施。运输过程中避免颠簸和急刹车，确保氢气瓶稳固。到达目的地后，应进行氢气泄漏检查，确认无误后方可卸载。

4.1.2 氢气使用。加氢反应前，应用氮气对氢气管道进行吹扫，排除空气和杂质。氢气流量和压力应通过

调节阀精确控制，避免剧烈波动导致反应失控。反应过程中应定期检测氢气浓度，确保在安全范围内，同时记录检测数据。泄漏发生时，应立即关闭氢气管源，切断电源，疏散人员。使用便携式氢气检测仪检测泄漏点，佩戴防护面罩和手套进行封堵。如泄漏无法控制，应立即启动紧急疏散程序，并通知相关部门。

4.2 设备安全管理

4.2.1 严格设计与制造质量控制。根据加氢工艺的特点，设备选型应选择国家相关规范、标准和行业要求，耐高温、高压、耐腐蚀的材质制作设备，确保设备在极端条件下的稳定性和安全性。

4.2.2 加强设备运行监测与维护。为设备配置压力表、温度计、安全阀等必要的安全附件，并定期校验其准确性和可靠性。采用先进的监测技术，如振动监测、

噪音分析、红外测温等,实时监测设备的运行状态,及时发现并处理异常。制定详细的设备维护保养计划,包括定期清洗、除锈、更换密封件、润滑剂等,确保设备处于良好状态。

4.2.3 强化设备安全防护措施。在设备设计中考虑防爆措施,如设置防爆片、安全阀等,防止设备超压引发爆炸。对关键设备或危险区域进行隔离和防护,如设置防爆墙、防爆门等,减少事故的影响范围。建立完善的泄漏监测和处理系统,及时发现并处理设备泄漏,防止泄漏引发火灾、爆炸或中毒事故。

4.3 加氢反应釜工艺安全管理

4.3.1 温度与压力控制。温度和压力传感器应安装在反应釜的关键部位,确保数据准确。控制系统应设置多级报警和联锁机制,一旦超标立即采取措施。报警信号应同时传递给现场操作人员和中央控制室,确保信息畅通^[3]。应急泄压阀应设置在反应釜的顶部,与控制系统相连,一旦超压自动开启。冷却系统应采用冗余设计,确保在紧急情况下能够迅速降温。应急处理人员应熟悉泄压和降温的操作流程,定期进行演练。

4.3.2 搅拌与混合。搅拌电机应设有过热保护和过载保护,确保电机安全运行。搅拌速度应根据反应阶段进行调整,避免局部过热和混合不均。应在反应釜的不同位置设置取样口,定期取样分析混合效果。可使用在线监测仪器实时监测反应釜内的物料浓度和分布。如发现混合不均,应立即调整搅拌方式和速度,必要时加入助混剂。

4.3.3 催化剂选择与使用。催化剂的选择应综合考虑反应类型、温度、压力等因素,进行性能测试和筛选。催化剂的粒度、比表面积和孔结构等物理性质应符合反应要求。催化剂应存放在干燥、通风的仓库中,避免受潮和污染。催化剂的用量应根据反应规模和催化剂活性进行精确计算。催化剂应均匀分布在反应体系中,可通过搅拌或喷射等方式实现。使用过程中应定期检测催化剂的活性和选择性,及时更换失效的催化剂。

4.4 操作安全管理

4.4.1 人员培训。安全培训应涵盖加氢工艺的全过程,包括原料准备、反应操作、产品处理等环节。培训内容应包括安全操作规程、危险源识别、应急处理措施等。培训方式可采用课堂讲解、案例分析、实操演练等多种形式。技能培训应针对操作人员的岗位需求进行定制,提高其操作水平和故障处理能力。培训内容应包括设备操作、仪表使用、数据分析、故障排除等。技能培训应定期进行,确保操作人员的技能水平持续提高。

4.4.2 应急演练细节。应急演练计划应明确演练的时间、地点、内容、参与人员和评估标准。演练内容应涵盖

加氢工艺中可能发生各种突发事件,如火灾、爆炸、泄漏等。演练过程中应模拟真实场景下的应急处理过程,包括报警、疏散、救援等环节。参与人员应按照应急预案和操作规程进行演练,确保动作迅速、准确。演练过程中应记录关键数据和操作过程,以便后续分析和总结。演练结束后,应组织相关人员进行总结和分析,评估演练的效果和存在的问题。根据总结结果,应完善应急预案和措施,提高应急处理能力。演练总结和改进应形成书面报告。

4.5 安全监测与预警

4.5.1 监测系统构建。在线监测系统应采用先进的传感器和仪表,确保数据准确可靠。监测系统应覆盖加氢工艺的全过程,包括原料储存、反应操作、产品储存等环节。监测数据应实时上传至中央控制室,便于管理人员进行监控和分析。监测设备应定期进行校准和维护,确保其准确性和稳定性。校准和维护工作应由专业人员进行,并遵循相关标准和规范。校准和维护记录应详细记录并存档备查。

4.5.2 预警机制。预警阈值应根据加氢工艺的危险性和安全要求进行设置,确保合理有效。预警阈值应根据实际情况进行动态调整和优化,避免误报和漏报。当监测数据超过预警阈值时,应立即触发预警信号,并传递给相关人员和中央控制室。相关人员应立即按照应急预案和操作规程进行应急处理,确保事态得到有效控制。应急处理过程中应保持通信畅通,及时汇报处理进展和结果。定期对预警机制进行评估和改进,提高其准确性和有效性。评估应包括预警阈值的合理性、预警信号的传递效率、应急响应的及时性等方面的内容。根据评估结果,应完善预警机制和措施,提高安全监测和预警能力。

结语

加氢工艺作为精细化工生产中的重要环节,其危险源识别与防控工作至关重要。通过加强原料安全管理、设备安全管理、工艺安全管理、操作安全管理等措施,可以有效降低加氢工艺中的事故风险,确保安全生产。未来,随着技术的不断进步和管理的不断完善,加氢工艺的安全性将得到进一步提升。

参考文献

- [1]胡茂华.化工生产过程中危险源分析与控制措施研究[C]//中国智慧工程研究会.2024智慧施工与规划设计学术交流会议论文集.浙江普洛生物科技有限公司,2024:3.
- [2]孔祥龙.石油化工企业重大危险源管理流程[J].生物化工,2024,10(01):160-163.
- [3]李明.分析化工企业危险源辨识与风险评估[J].当代化工研究,2021,(18):109-110.