

一种降解塑料生产过程的安全分析

杨红宾

河北科防治金安全评价有限公司, 河北 石家庄 050011

[摘要]本研究针对聚碳酸亚丙酯 (PPC) 的生产过程中的安全风险进行了深入探讨。通过对原料及辅助材料、聚合工艺的细致分析, 本研究识别并讨论了引发泄漏、火灾、爆炸和中毒等事故的关键因素。基于此, 本研究设计了一系列针对性的安全措施, 包括防泄漏、防火、防爆和防毒措施, 并提出了安全设计、安全管理以及事故应急救援措施的具体要求。通过实施这些严格的安全措施, 能够显著提高安全系数, 确保聚碳酸亚丙酯 (PPC) 生产过程的安全性。本研究为聚合工艺过程的安全性提升提供了理论基础和实践指导。

[关键词]降解塑料; 聚合工艺; 风险分析; 安全设计; 风险控制; 应急处理

DOI: 10.33142/sca.v9i1.18950

中图分类号: TQ32

文献标识码: A

Safety Analysis of a Degradable Plastic Production Process

YANG Hongbin

Hebei Kefang Metallurgy Safety Evaluation Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050011, China

Abstract: This study conducted an in-depth exploration of the safety risks in the production process of polypropylene carbonate (PPC). Through detailed analysis of raw materials, auxiliary materials, and polymerization processes, this study identified and discussed the key factors that cause accidents such as leaks, fires, explosions, and poisoning. Based on this, this study designed a series of targeted safety measures, including leak prevention, fire prevention, explosion prevention, and gas defense measures, and proposed specific requirements for safety design, safety management, and emergency response measures for accidents. By implementing these strict safety measures, the safety factor can be significantly improved to ensure the safety of the production process of polypropylene carbonate (PPC). This study provides a theoretical basis and practical guidance for improving the safety of polymerization processes.

Keywords: degradable plastics; aggregation process; risk analysis; safety design; risk control; emergency response

引言

自二十世纪起, 塑料因其卓越的性能、低密度以及易于加工等特性, 在工业及日常生活中得到了广泛的应用。然而, 鉴于目前大多数塑料产品缺乏有效的回收处理手段, 塑料制品的使用量激增导致了环境问题的日益严峻。大量废旧塑料包装膜、塑料袋以及一次性不可降解塑料餐具的随意丢弃, 造成了严重的“白色污染”。该污染现象已与汽车尾气排放、含磷洗涤剂的使用并列为我国环境保护治理的三大重点问题。

聚碳酸亚丙酯 (PPC), 作为一种以二氧化碳和环氧丙烷为原料的聚合物, 其生产成本相对较低。经过物理改性后, PPC 的性能可达到通用塑料的水平, 预示着其在包装材料、光电子化学、精细化工等高科技领域的潜在广泛应用前景。PPC 作为一种热塑性聚合物, 展现出良好的生物相容性、高阻隔性、抗冲击韧性、透明度以及无毒性等众多优异特性。此外, PPC 还具备显著的生物降解性, 是生物降解塑料研究领域中极为活跃的材料之一。利用 PPC 的完全生物降解特性替代传统非生物降解塑料, 其应用范围可广泛涵盖包装、餐饮用具、日用杂品、一次性医疗材料、手术缝合线等多个方面, 对于缓解“白色污染”问题具有划时代的意义。

聚碳酸亚丙酯的生产过程通常采用间歇式聚合工艺,

该工艺为二氧化碳 (CO₂) 和环氧丙烷 (PO) 在催化剂作用下的聚合反应, 属于重点监管的危险化工工艺。聚合反应通常伴随着强烈的放热效应, 若反应过程中产生的热量未能及时有效地移除, 将导致反应体系温度急剧上升, 进而加速反应速率, 形成恶性循环, 最终可能引发爆炸事故。环氧丙烷 (PO) 在特定条件下易发生自聚反应, 一旦发生自聚, 将在短时间内释放大热量和生成聚合物, 可能导致设备堵塞、压力升高, 甚至引发爆炸。本研究具体分析了聚碳酸亚丙酯生产过程中的危险有害因素, 并基于消除、预防、减弱、隔离、连锁、警告等安全技术措施的优先级顺序, 提出了相应的对策措施。

1 生产工艺流程

PPC 合成反应原理为二氧化碳、环氧丙烷在聚合反应釜中, 在一定温度和压力及催化剂的作用下发生聚合反应, 然后通过乙醇洗涤的方式终止聚合反应, 再通过离心、干燥, 生成 PPC 产品。

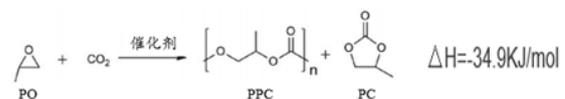


图1 反应方程式

2 安全风险分析

2.1 物料的危险有害因素分析

聚碳酸亚丙酯的生产过程主要原料为环氧丙烷(PO)、二氧化碳、乙醇、催化剂(二乙基锌)等。

环氧丙烷危险性说明:极易燃液体和蒸气, 吞咽有害, 皮肤接触有害, 吸入有害, 造成皮肤刺激, 造成严重眼刺激。

二氧化碳危险性说明:内装加压气体:遇热可能爆炸, 可能引起昏昏欲睡或眩晕

乙醇危险性说明:高度易燃, 其蒸气与空气混合, 能形成爆炸性混合物。

二乙基锌危险性说明:暴露在空气中自燃, 遇水放出可自燃的易燃气体, 造成严重的皮肤灼伤和眼损伤。

2.2 生产过程的危险有害因素分析

(1) 火灾、爆炸

环氧丙烷、乙醇、二乙基锌等输送过程中产生泄漏, 可与空气形成爆炸性混合气体, 遇明火、静电火花、碰撞火花等可能产生火灾爆炸。

环氧丙烷、乙醇、二乙基锌在管道内流速过快, 可能在管道内产生静电, 管道若未采取静电导出措施, 当静电积累达到一定量时, 产生静电放电有可能引起火灾、爆炸事故。

二乙基锌暴露在空气中自燃, 遇水放出可自燃的易燃气体, 应在惰性气体中操作, 如氮气保护系统失效, 可能造成火灾爆炸事故。

未使用防爆电器或防爆电器选择级别、组别达不到要求, 可能引起火灾、爆炸事故。

未安装可燃气体报警器或报警器失灵, 泄漏后不能及时发现, 易发生火灾、爆炸事故。

(2) 中毒和窒息

环氧丙烷、乙醇、二乙基锌属于有毒危险化学品, 如果发生泄漏或防护不当可能发生人员中毒和窒息事故。

未安装有毒气体报警器或报警器失灵, 泄漏后不能及时发现, 易发生中毒和窒息事故。

(3) 灼烫

环氧丙烷、二乙基锌等属于腐蚀性危险化学品, 如果发生泄漏或防护不当可能发生人员中毒和窒息事故。

生产系统中的高温设备、装置、管道若不采取隔热防护措施, 有灼伤的危险。

(4) 容器爆炸

环氧丙烷性质活泼, 受热、接触酸、碱等杂质物质可引发自聚反应, 反应生成热进一步加速诱发连锁反应而发生危险。如果没有严格控制反应温度, 导致温度过高环氧丙烷出现自聚产生大量热量, 同时冷却系统装置故障可能会发生超温超压爆炸。

聚合反应为放热反应, 绝热温升较高, 如果一次性投料过多容易引起反应物料沸腾导致冲料危险的发生, 甚至

导致体系瞬间压力的升高; 如果不严格控制二氧化碳和环氧丙烷的通入速率, 可能出现二氧化碳或环氧丙烷通入速率过快导致体系温度和压力瞬间升高的危险情况; 如果没有监控反应温度、压力, 设置冷却系统与压力和温度之间的联锁, 未设置防止进料速率过快导致反应体系温度过高, 可能导致反应体系出现憋压、超压的危险情况甚至发生容器爆炸。

综上所述聚碳酸亚丙酯的生产过程中存在的主要危险有害因素为火灾、爆炸、中毒和窒息、灼烫、容器爆炸等。

3 安全设计措施

3.1 防泄漏措施

(1) 生产过程中尽量采用密闭操作, 减少易燃易爆物质的逸出, 减少形成爆炸混合物的可能性, 同时也减少装置内有毒物质的浓度。

(2) 产生易燃易爆的生产过程和设备, 尽量机械化和自动化, 设计可靠排风和净化回收装置、加强密闭、负压等综合措施, 防止物料跑、冒、滴、漏, 杜绝无组织排放, 避免直接操作, 并结合生产工艺采取通风措施。

(3) 为确保取样操作人员的安全, 针对有毒有害、易燃易爆的介质, 采用成套密闭取样系统。

(4) 管道布置尽量避免气袋或液袋, 对工艺物料管线尽量采用“步步高或步步低”的设计原则。管道布置有“盲肠”处根据操作、检修要求设置必要的放空、排净。

(5) 在装置区内可能的泄露点处, 设置可燃气体检测器。

3.2 防火、防爆措施

(1) 在非正常条件下, 可能超过设计压力的设备设安全阀。

(2) 安全阀泄放危险物料安全排放。有可能被物料堵塞或腐蚀的安全阀, 在安全阀前设爆破片或在其出入口管道上采取吹扫、加热或保温等防堵措施。

(3) 聚合釜一旦发生停水、停电、停气和火灾等非正常工况, 控制室可通过 SIS 系统紧急切断进料和紧急泄放、以手动或自动方式实施杀死催化剂, 实现装置的有序停车。

(4) 催化剂在氮气保护的条件下进行分装及输送与使用, 严格杜绝与空气、水等介质接触, 防止发生燃烧、爆炸事故。

(5) 工艺过程设有防超温、超压、防超液位的措施。

3.3 防毒措施

(1) 主厂房采用敞开式, 局部设排风装置, 以降低操作场所有害物质的浓度。

(2) 有毒有害作业环境设计必要的淋洗器、洗眼器等防护设施, 服务半径要小于 15m。根据作业特点和防护要求配置事故柜、急救箱和个人防护用品, 如防毒面具、防护服、呼吸供应系统、事故排风系统。应急救援预案、

急救药品等。

3.4 联锁保护、紧急切断、反应失控

本项目聚合反应工艺参数联锁因果关系主要包括：

如果出现了严重的故障（如停水、停电、火灾），可以通过紧急排放连锁系统，以手动或自动方式紧急加入反应终止剂。

对于不太严重的问题，停注主催化剂和助催化剂就可以逐步停止聚合反应。但是反应器还处在安全的操作下，只需要重新加入催化剂，反应就可以恢复。注意，在反应器停注催化剂期间，聚合反应可能仍然延续一段时间，（产出率持续下降），所以搅拌原则上不要停止。反应器料位出料控制也要继续进行，避免反应器满釜。

紧急情况下，反应器物料进出要切断。这可以由操作员手动操作，也可以由连锁控制系统自动进行。在这种情况下，反应器所有进料都要停止。反应器切断以后，没有急冷液加入到反应器中进行汽化冷却，但是反应通常继续进行。为了阻止粉末层过热，在紧急排气期间必须往反应器中加入阻聚剂，阻止反应进行，同时反应器也在泄压。

4 安全管理和事故应急救援措施

（1）操作人员必须经过专业培训，考核合格并取得相关资格证书。

（2）主管生产、设备、技术、安全的负责人及安全生产管理人员必须具备化学、化工、安全等相关专业大专及以上学历或化工类中级及以上职称，新入职操作人员必须具备高中及以上学历或化工类中等及以上职业教育水平，要按规定配备化工相关专业注册安全工程师。

（3）要主动识别和获取与本项目有关的安全生产法律法规、标准和规范性文件，结合本项目安全生产特点，将法律法规的有关规定和标准的有关要求转化为本项目安全生产规章制度或安全操作规程的具体内容，规范员工的行为。

（4）为作业人员提供的劳动防护用品，必须符合国家标准或者行业标准，不得超过使用期限，生产经营单位应当督促、教育从业人员正确佩戴和使用劳动防护用品。

（5）健全完善生产经营单位重大事故隐患自查自改常态化机制，生产经营单位主要负责人要每月至少 1 次带队对本单位重大事故隐患排查整治情况，完善并落实生产经营单位全员安全生产岗位责任制。完善行业领域专家、企业退休技安人员以及专业技术服务机构参与排查整治工作的长效机制，加大支撑保障力度，提高排查整治专业性。

（6）应依据《危险化学品单位应急救援物资配备要求》（GB 30077—2023）配备应急救援物资。

（7）建立事前预防数字化安全生产监管模式，应用人工智能、大数据、物联网等技术与安全生产融合，建立安全风险监测预警系统。

（8）提升从业人员疏散逃生避险意识能力，每半年至少组织开展 1 次疏散逃生演练，让全体从业人员熟知逃生通道、安全出口及应急处置要求，形成常态化机制。应依法建设安全生产应急救援队伍，满足安全风险防范和事故抢险救援需要。

5 结论

聚碳酸亚丙酯（PPC）生产过程的聚合工艺属于重点监管的危险化工工艺，存在的主要风险为聚合原料环氧丙烷具有自聚和燃爆危险性，如果反应过程中热量不能及时移出，随物料温度上升，发生裂解和暴聚，所产生的热量使裂解和暴聚过程进一步加剧，进而引发反应器爆炸。重点防范的危险因素为火灾、爆炸及中毒事故，一旦发生将会造成较大的经济损失、较为严重的人员伤亡，应该引起注意，通过采取安全仪表系统，建立健全安全监测监控体系、采用防爆电气设备、采用 DCS 自动化控制系统和安全仪表 SIS 系统及有毒气体检测报警系统、加强操作工人防护措施等，各种危险、有害因素能够得到有效控制，可以有效降低和减少事故的发生，风险可以达到可接受程度。

【参考文献】

- [1]孙万付.危险化学品安全技术全书[M].北京:化学工业出版社,2017.
 - [2]GB51283-2020.精细化工企业工程设计防火标准[S].
 - [3]GB/T50493-2019.石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准[S].
 - [4]GB50058-2014.爆炸危险环境电力装置设计规范[S].
 - [5]HG/T20675-1990.化工企业静电接地设计规程[S].
 - [6]SH/T3012-2011.石油化工金属管道布置设计规范[S].
 - [7]GB39800.2-2020.个体防护装备配备规范第 2 部分:石油、化工、天然气[S].
 - [8]GB/T29639-2020 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则[S].
- 作者简介：杨红宾，毕业院校：中国石油大学（华东），所学专业：安全工程，当前就职单位：河北科防冶金安全评价有限公司，职称级别：中级职称。