

# 气相法聚乙烯反应静电控制措施及经济性分析

李金龙 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

**摘要:** 气相法聚乙烯生产过程中由于气-固流化床中粒子之间以及粒子和壁面之间的频繁摩擦与撞击很容易引起静电累积, 继而造成粒子团聚, 设备粘壁和流化不稳, 严重情况下甚至会造成火花放电和爆炸等事故的发生, 危害了生产的安全性也影响了产品的质量。本文对气相法聚乙烯反应过程静电问题进行了综合论述, 深入分析其产生机理, 对各种静电控制措施进行了详尽说明, 多维度地对其经济性进行了分析, 以期为企业提供全面深入的借鉴, 帮助企业提高自身的经济效益。

**关键词:** 气相法聚乙烯; 反应静电; 经济性分析

**中图分类号:** TQ325.1+2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5167 (2026) 004-0052-03

## Static Control Measures and Economic Analysis for Gas-Phase Polyethylene Reaction

Li Jinlong (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

**Abstract:** During the production process of gas-phase polyethylene, frequent friction and collisions between particles and between particles and the wall in the gas-solid fluidized bed can easily lead to static electricity accumulation. This may subsequently cause particle agglomeration, wall adhesion, and unstable fluidization, with severe cases even resulting in spark discharges and explosions, endangering production safety and affecting product quality. This paper provides a comprehensive discussion on the static electricity issues in the gas-phase polyethylene reaction process, delving into their generation mechanisms. It offers detailed explanations of various static electricity control measures and conducts a multi-dimensional economic analysis, aiming to provide relevant enterprises with thorough and insightful references to enhance their economic benefits.

**Keywords:** Gas-phase polyethylene; Reaction electrostatic; Economic analysis

气相法在聚乙烯这一应用广泛的高分子材料制造中占有重要地位, 但气相法聚乙烯在反应中静电的存在对生产提出了许多难题, 静电不但会诱发严重安全事故危害人员及设备的安全, 并且会对产品的质量以及生产效率造成影响。所以对气相法聚乙烯反应中静电控制措施开展深入的研究以及经济性的分析对确保生产过程平稳运行提升企业的经济效益有着十分重要的意义。

### 1 气相法聚乙烯反应中静电产生的原因

#### 1.1 物料流动引发的静电

气相法聚乙烯生产过程中的静电主要是由于物料在管路中快速运动而引起, 气相材料如乙烯、共聚体、氢气和其他材料在运输时都会和管路内侧发生摩擦作用, 使电子从材料向管壁移动, 导致静电荷聚集到材料表面, 材料流速快, 管道材料, 光滑度和材料纯净度等因素会对静电生成有显著作用, 通常情况下材料流速大则摩擦强烈, 静电产量高, 管道材料的表面电阻也较大, 则静电易于累积, 管道内壁的粗糙程度加大还会加重摩擦, 从而促进静电生成, 如果在材料中有污染物也会改变材料导电性能并影响其产生和消失。

#### 1.2 颗粒摩擦与碰撞导致的静电

在气相流化床反应器中当聚乙烯颗粒呈流化状态

时, 粒子间及粒子同反应器内的挡板、分布板和换热管等构件经常会有摩擦和冲击。因聚乙烯颗粒尺寸小且比表面积高, 这一经常性的作用很容易引起静电, 颗粒的粒径分布和形态、表面性质和流化状态均能影响静电生成量。

#### 1.3 环境因素对静电产生的影响

环境条件对静电的生成与消失有深远的影响, 其中一个关键要素就是周围的湿度状况, 当周围空气变得比较干的时候, 其导电能力就会减弱, 这使得静电很难有效地通过空气进行释放, 从而导致电荷会在物件表面累积起来。通常情况下, 如果相对湿度低于40%, 那么静电的聚集趋势就会变得更为明显, 此外温度也会以间接的方式对静电的形成产生作用, 而环境中存在的各种电磁场和其他物理因素, 都会进一步对静电的产生方式及分布模式造成一定的干扰, 进而影响到静电在不同地方的积累或消散<sup>[1]</sup>。

#### 1.4 工艺设备相关的静电产生因素

工艺设备材料、结构及运行情况等因素与其静电的发生有密切关系, 不同材料的装置对于静电的发生与消散有不同的作用, 而装置内的构造设计会影响到物质的流动状态及粒子运动的轨迹从而又会影响到静电的形成, 比如挡板设置不合理会造成局部区域内物

料及粒子流速过快或者冲击过猛,加大静电发生概率,装置的工作状态还会使装置表面性质发生变化,物料流动特性变化进而影响静电发生。

## 2 气相法聚乙烯反应中静电的危害

### 2.1 安全危害

静电累积达到一定的程度就会发生静电放电,而气相法聚乙烯生产环境下有易燃、易爆乙烯气体及聚合物粉尘等,静电放电所释放出来的能量能够引燃上述物料,引起火灾或者爆炸事故的发生。火灾与爆炸既可使生产设备遭到严重的损害,造成设备维修、替换和停产等巨大的经济损失,又会造成人的死亡,对企业造成沉重的社会、经济负担。

### 2.2 产品质量影响

静电会导致聚乙烯颗粒之间互相吸附而团聚从而对产品粒径分布及流动性产生影响,团聚后的小颗粒将阻塞反应器出口或者下游装置造成生产中断,静电也会吸附反应器内部的杂质从而对产品质量与性质产生影响使得所生产的聚乙烯制品从力学性能到透明度都不能达到市场所需的要求,降低了产品在市场上竞争力。

### 2.3 生产效率降低

因静电引起的生产中断将缩短装置有效工作时间而影响生产效率,每一次停产后都要对机器进行检验、清洗及调试以恢复正常生产,这样不仅浪费了时间与精力而且会造成产品的质量不够稳定,从长远看经常发生生产中断会加大生产成本和降低企业经济效益。

## 3 气相法聚乙烯反应静电控制措施

### 3.1 工艺操作优化

通过对物料输送泵的速度进行合理的调整,对管道尺寸和配置进行优化来严格监控气体物质在管道中的移动速度从而保证其在安全范围之内。依据不同的管道直径和材料特性准确地计算出适合自己的流速,安装流量传感器及调节阀等实时监控并调节物料流速以保证物料流速稳定于设定值上有效地降低物料快速流动而产生静电。对流化床反应器进行操作时需要的气体流量、温度和压力等操作参数进行优化,以保证聚乙烯粒子有较好的流化状态并减小粒子间及粒子与反应器内构件间的摩擦,通过对气体分布板开孔率、孔径尺寸及气流分布等进行准确控制,使得颗粒能够均一地流化于反应器中,并且定期检查气体分布板是否发生堵塞并及时对其进行清除,确保气体流动均一。合理调节反应温度及压力使聚合物颗粒流化性能最优,在加入一定量的流化助剂及其他手段下提高了颗粒流化效果并降低了静电的生成<sup>[2]</sup>。合理地调节反应温度、压强以及催化剂浓度等因素,防止由于温度过

高而导致物料化学活动加强而产生静电。

### 3.2 设备改进

在反应器和管道的重点部位使用抗静电材料制作或者对抗静电材料处理,选择了具有良好导电性的不锈钢作为反应器的材料,以减少表面电阻并加快静电的消失速度,对有些不能用整体抗静电材料制成的装置可涂上抗静电涂料在装置内壁增强静电的消散能力。管道连接部位要保证良好的电气联系,并利用金属编织带之类的跨接方式以保证管道系统电气连续性,以免由于接触不佳造成静电累积。在管道、反应器和其他地方装设静电消除器,离子风棒经过电离后的空气形成了正负离子并把这些离子吹到带有静电的材料表面上达到静电中和的目的,静电消除刷是靠与材料表面直接接触把静电荷导出的一种方法,利用放射性物质发射出的射线,让空气中发生电离从而生成离子以中和静电的放射性静电消除器。考虑生产环境、物料性质和设备布局全面选用适宜的静电消除装置,对要求防爆的地区要选用满足防爆标准静电消除器,对口径小的管线要选用小巧精致静电消除刷,静电消除装置要经常保养和检测以保证正常工作<sup>[3]</sup>。为了构建一个全面而稳固的接地系统需要确保关键装置都能稳定地连接到地面,从而有效地引导设备上累积的静电进入地下以达到安全目的,此外接地电阻必须严格按照既定的标准执行,通常其值不应超过 $4\Omega$ 。

### 3.3 抗静电剂注入调控

在气相法聚乙烯反应时,在反应器上加入定量抗静电剂是最为常用和有效的静电防护措施,其主要作用机理在于促进静电快速分散以保证反应器内部静电总是处于低位,大量研究表明传统流化床上地面对床体的静电没有明显降低。造成这种情况的主要原因是系统中的绝缘颗粒与金属壁面之间的物理接触导致电荷的扩散变得困难,另外,床内静电大小受颗粒之间接触荷电行为主导,但是,抗静电剂能够直接参与这一流程,并通过颗粒表面电荷分布进行调整来从根本上降低静电。实际使用时必须严格按照精确控制标准执行,综合考虑反应负荷,原料性质以及即时静电检测信息对注液量及速度做出动态调节,这样才能避免因注射不足造成防护措施失效或者过度注射给产品质量造成不良影响,要筛选出能适应反应体系并符合热稳定性高、与聚乙烯粉料配伍性好的技术指标以保障它们不对聚合反应产生扰动,也不带来任何有害成分。

### 3.4 催化剂性质优化控制

在聚合反应这一工艺中,催化剂被认为是至关重要的原料之一,其特性特别是形态与粒度分布对静电

产生起着决定作用,聚烯烃粉料粒子具有“复制效应”,使得粉料粒子形态能基本模拟出催化剂粒子的属性。催化剂表面形状不规整、粒径大小分布不均等因素会使这些不良特性随化学反应过程而逐渐放大,这样就会使粉料颗粒形状变坏、差异性变大的同时还会造成大粒径颗粒所占比例过大,细粉浓度加大等现象发生,并进一步明显加强了颗粒之间双极荷电行为和静电累积程度。生产时要筛选形态规范、粒径分布均匀催化剂,建立完善质量监控系统,严格把关催化剂进厂前外观及粒径分布情况,从而有效降低了静电发生的几率,与此同时,还需要深入研究催化剂的反应活跃度、触发反应的速度、对抗毒素的干扰能力、它的流动性以及分散特性等多个方面,以确保它在整个反应体系中的整体表现能够得到充分的满足。

### 3.5 极性介质注入调节

采用注水注醇系统来对反应体系静电特性进行针对性调整是一种常用动态控制方法,其基本原理是利用水及醇极性不同对充电平衡进行调节,在具体操作过程中需要使用实时静电监测工具确定反应器静电主导方式,当正电荷积聚占主导地位时,可由注醇系统灌注适量醇类物质以中和过剩正电荷。在负电荷积累为主的场合,采用注水系统加入一定量水分达到负电荷有效中和耗散的目的。为了保证聚合反应的高效性和产品的优质,调控的核心思想是确保“精准匹配”,并依据收集到的监控信息,适时地对注入的体积和速度做出相应调整,从而可以有效避免因过多注射而造成反应体系湿度或者酒精含量异常,另外还要选择高纯度的水以及醇类化合物来避免外加杂质干扰反应过程<sup>[4]</sup>。

## 4 气相法聚乙烯反应静电控制措施的经济性分析

### 4.1 成本分析

①设备采购与安装成本。使用抗静电材料制造或者加工装备,安装静电消除装置等等均需投入一定经费,选用高质量抗静电不锈钢材料加工反应器其成本会高于一般不锈钢材料,大约为20%~30%,安装一个高级的离子风棒静电消除系统的费用范围可能从几万到几十万不等,这主要受到设备的技术规格和品牌的差异而有所不同<sup>[5]</sup>。②运行与维护成本。湿度调节设备和温度控制系统及其他环境控制设备工作时都要消耗能量,静电消除装置要进行经常性的维修,主要有洁净和校准等方面并更换易损部件等,这就加大了操作和维护的费用。③工艺调整成本。为改善工艺操作而不断调整生产流程时会涉及人力成本和由于生产调整而引起的短期内产量波动等问题,比如调节物流速就有可能要重新整定输送泵和其他设备并花费一

些人力时间和成本,在初始调节过程中有可能影响到生产效率使产量小幅减少。

### 4.2 效益分析

①安全效益。采取静电控制措施之后极大地减少了火灾和爆炸等各类安全事故出现的概率,在发生安全事故时企业会面对很大的经济损失,其中包括设备损坏的修理成本、人的伤亡赔偿成本、生产中断带来的损失和潜在的法律诉讼等。通过对事故的防范来规避这些可能带来巨大危害的损失,尽管很难以一个具体的数值来准确地测量出来,但是其对安全的好处是明显的。②产品质量及生产效率效益。在静电被有效控制的情况下,该产品的粒径分布更加均匀、流动性能更加良好以及纯度与性质都有了提高,这就使产品更能适应市场需要,并能以较高价格对外销售进而提高销售额,降低静电造成的生产中断数量和增加设备连续工作时间以达到提高生产效率的目的,比如没有采取静电控制措施的时候一个月可能会因为静电问题造成生产中断2~3次且每一次中断都可能会对几个小时的产出造成影响,采取控制措施以后生产中断的数量会降到每个月不到一次,极大地增加生产时间和产品产量。

## 5 结论

在气相法聚乙烯制造过程中,静电现象会对生产的稳定性及产品质量造成显著的影响,因此,为了确保生产的安全性和产品的品质,必须采取多种静电管理策略能有效降低静电的发生,减少安全隐患,改善产品质量与生产效率,企业要充分意识到对静电进行控制的意义,并根据其具体情况合理地选择并落实静电控制措施,促进企业发展经济效益增强市场竞争力同时保证生产安全使企业得到可持续发展。

### 参考文献:

- [1] 郭晓亮. 气相法聚乙烯反应静电探究及对策措施 [J]. 塑料包装, 2024, 34(02): 7-11.
- [2] 宋伊梦, 张云龙, 刘正家等. 气相法聚乙烯工艺静电产生及控制 [J]. 合成树脂及塑料, 2024(01): 52-56.
- [3] 阳永荣, 王靖岱. 乙烯气相聚合工艺研究与技术进展 [J]. 化学反应工程与工艺, 2021(01): 73-88.
- [4] 袁安民, 杨俊春, 曹颂. 气相法聚乙烯装置反应静电问题及对策 [J]. 山东工业技术, 2023(05): 77-81.
- [5] 刘军平, 王欢, 尉晓荣. 气相法聚乙烯装置排放回收系统改造效益研究 [J]. 广州化工, 2021, 49(15): 171-173.

### 作者简介:

李金龙(1994-), 男, 贵州织金人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 技术操作。