

聚乙烯生产工艺技术分析

张洪磊

(中石化英力士(天津)石化有限公司, 天津 300270)

摘 要 随着全球石化工业的快速发展, 聚乙烯作为重要的热塑性塑料, 在包装、建筑、电线电缆、汽车制造等众多领域发挥着不可替代的作用。本文全面剖析了聚乙烯生产工艺技术的现状、特点及应用措施, 重点探讨了高压聚乙烯生产工艺、冷凝与超冷凝技术、UNIPOL 气相法工艺技术、共聚技术与双峰技术、原位法与激光法技术、淤浆法与溶液法技术等关键领域, 以期为聚乙烯行业的可持续发展提供助力。

关键词 聚乙烯; 生产工艺技术; 高压法; 气相法; 共聚技术

中图分类号: TQ325.12

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.020

0 引言

聚乙烯作为世界上产量最大、应用最广泛的塑料类型, 其生产工艺技术的不断革新与优化对于提高生产效率、降低生产成本、提升产品质量具有重要意义。近年来, 随着全球对环保和可持续发展的日益重视, 聚乙烯生产工艺技术正朝着高效、环保、节能的方向发展。因此, 在新时期的环境下, 需重点分析聚乙烯生产工艺技术的应用措施, 为提升生产水平做出贡献。

1 聚乙烯生产工艺技术现状

化学工业中聚乙烯(PE)作为重要的热塑性塑料, 因其优良的物理、化学性能、广泛的应用领域, 成为全球塑料行业中重要的一部分。聚乙烯的生产工艺技术, 依据操作压力的不同, 主要划分为高压法、低压法、中压法, 每种方法都有其独特的技术特点和应用范畴, 共同促进聚乙烯行业的持续发展。其中高压法聚乙烯生产工艺, 以独特的自由基聚合机理成为生产低密度聚乙烯(LDPE)的主流技术, 数十至数百兆帕高压和高温 100 ℃至 300 ℃的条件下, 乙烯分子利用自由基链式反应进行聚合, 形成具有支链结构、密度较低的聚乙烯产品, 核心在于高效催化剂的使用和精密的反应器设计。近年来, 随着催化剂技术的不断革新, 采用茂金属催化剂、齐格勒-纳塔催化剂提高聚合反应的速率, 还显著改善产品的性能, 提高拉伸强度、抗撕裂强度和热封性能。现代高压聚乙烯反应器通常采用管式反应器或釜式反应器, 精确控制温度、压力、停留时间等反应条件, 实现对聚合过程的精细调控。不仅如此, 为应对能源紧张和环境保护的挑战, 高压法聚乙烯生产工艺正积极探索节能降耗的新途径, 利用余热回收系统、优化冷却流程有效降低生产过程中

的能耗及碳排放。低压法聚乙烯生产工艺, 以其高度的灵活性和高效性, 在聚乙烯行业中占据举足轻重的地位; 气相法聚乙烯生产采用气体作为反应介质, 乙烯在气相中以催化剂作用进行聚合, 优点在于生产过程连续、自动化程度高、产品纯度高且易于调节产品牌号。随着双峰聚乙烯、茂金属聚乙烯等高性能产品的开发, 气相法聚乙烯工艺不断升级, 改进催化剂体系、优化反应器结构实现对分子量和分子量分布的精确控制, 满足市场对高性能聚乙烯材料的需求; 淤浆法聚乙烯生产中, 乙烯在含有惰性溶剂的淤浆中进行聚合, 生成的聚乙烯颗粒悬浮于溶剂中, 适用于生产各种密度的聚乙烯, 尤其是 HDPE。淤浆法工艺稳定, 易于操作, 且生产出具有优良机械性能和加工性能的聚乙烯产品^[1]。

2 聚乙烯生产工艺技术特点

聚乙烯生产工艺技术的多样性与高效性特点明显, 是其在全球塑料市场中占据领先地位的关键因素。高压法聚乙烯生产工艺以其独特的自由基聚合机理为基础, 利用高压和高温条件促进乙烯分子的快速聚合, 形成具有支链结构的 LDPE 产品。由于自由基聚合反应速率快, 高压法聚乙烯生产线的产能通常较高, 满足大规模生产的需求; LDPE 产品具有优异的柔韧性、耐冲击性和热封性能, 广泛应用于包装材料、电线电缆绝缘层、薄膜等领域; 高压聚乙烯生产过程中的高温高压条件对设备材质和自动控制系统的要求极为严格, 需要采用先进的耐高压、耐腐蚀材料、高精度的控制仪表和算法。低压法聚乙烯生产工艺以其高度的灵活性和高效性, 成为生产多种类型聚乙烯产品的首选方法, 气相法、淤浆法和溶液法各有千秋, 共同构成低压法聚乙烯生产的丰富体系。低压法聚乙烯工艺可按

照不同的原料、催化剂和工艺条件,灵活调整生产参数,生产出从低密度到超高分子量的各种聚乙烯产品,满足不同应用领域的需求;低压聚乙烯生产工艺采用连续化、自动化的生产方式,生产效率高,产品质量稳定可靠,优化反应器设计和催化剂性能,可进一步缩短生产周期,提高能效;低压法聚乙烯产品具有优良的机械性能、加工性能和化学稳定性,广泛应用于管道、容器、汽车部件、电线电缆护套等领域。随着全球对环保和可持续发展的日益重视,聚乙烯生产工艺技术正积极融入绿色、低碳的发展理念,采用先进的催化剂技术、优化反应器设计、提高能效,聚乙烯生产过程中的能耗和排放得到有效控制,同时开发可回收聚乙烯材料、实施循环经济模式等创新实践,为聚乙烯行业的可持续发展提供有力支撑,在减少环境污染与资源消耗的基础上,还提升聚乙烯产品的市场竞争力,促进行业的健康稳定发展^[2]。

3 聚乙烯生产工艺技术应用措施

3.1 高压聚乙烯生产工艺技术

高压聚乙烯生产工艺技术是基于自由基聚合机理的技术,是聚乙烯工业中的重要组成部分,利用高压和高温条件,促使乙烯分子链在特定条件下发生聚合,进而生成低密度聚乙烯(LDPE)。此工艺不仅生产效率高,且所生产出的LDPE产品性能稳定,被广泛应用于包装、电线电缆、薄膜等领域。在高压聚乙烯的生产流程中,精密的设备扮演着至关重要的角色,压缩机负责将乙烯气体压缩至所需的高压状态,为后续的聚合反应提供动力;聚合反应器作为整个工艺的核心,其设计与操作参数直接决定产品的质量及生产效率。在此环节中,乙烯分子在高压和催化剂的作用下,逐步聚合成高分子量的聚乙烯蜡;分离器则负责将聚合产物与未反应的乙烯气体进行分离,保证产品的纯净度;造粒机将聚乙烯熔融并切割成均匀的颗粒,便于后续的存储运输。为进一步提升高压聚乙烯生产工艺的能效,可从多个方面入手,精确控制反应温度、压力和停留时间等参数,可显著提高乙烯的转化率,进而提升聚合产物的分子量,同时反应器的结构设计也需考虑良好的混合效果与传热性能,以保证聚合反应的均匀性。先进的催化剂技术可降低聚合反应的活化能,提高乙烯分子的聚合效率,而催化剂的稳定性与再生能力也是评估其性能的重要指标,不断研发改进催化剂技术,可进一步推动高压聚乙烯生产工艺的发展。同时定期对压缩机、聚合反应器、分离器和造粒

机等关键设备进行检查维修,发现并排除潜在故障,可延长设备的使用寿命,降低生产成本,同时建设完善的设备管理制度与维护流程,也是提高生产效率、产品质量的重要保障^[3]。

3.2 冷凝与超冷凝技术

冷凝与超冷凝技术在聚乙烯生产工艺中的应用,为提升乙烯转化率和聚合产物分子量提供新的途径。在聚合反应器中引入冷凝态的乙烯气体,可有效降低反应器的温度和压力,优化聚合反应条件,提高乙烯的利用率,减少能耗与排放,增强生产过程的可持续性。在实施冷凝与超冷凝技术时,需要精确控制冷凝态乙烯气体的引入量和温度。过少的引入量可能无法充分降低反应器温度,而过多的引入则可能导致反应器内压力过高,影响聚合反应的进行,因此需要按照实际生产情况和工艺要求,合理调整冷凝态乙烯气体的引入参数。与此同时,加强反应器内的传热和传质过程也是提高冷凝与超冷凝技术效果的关键,优化反应器的结构设计和操作条件,使乙烯气体在反应器内均匀分布,并与催化剂充分接触,提高聚合反应的速率;定期对反应器进行清洗维护,防止积垢、堵塞等问题对生产效率的影响,也是保障冷凝与超冷凝技术稳定运行的重要措施。

3.3 UNIPOL 气相法工艺技术

UNIPOL 气相法工艺技术以其高效、灵活的特点,在聚乙烯行业中得到广泛应用,采用单台流化床反应器,精确控制反应器的温度、压力和气体组成等条件,可生产出不同种类和规格的聚乙烯产品。在实施 UNIPOL 气相法工艺技术时,温度是影响聚合反应速率和产物分子量的关键因素,调整反应器的加热和冷却系统,可精确控制反应温度,优化聚合反应条件。与此同时,压力也是影响聚合反应的重要因素,调整反应器的压力控制系统,可保证反应器内气体组成的稳定,进而提升聚合产物的性能。先进的催化剂技术可降低聚合反应的活化能,提高乙烯分子的聚合效率;而合适的助剂配方则可进一步改善聚乙烯产品的加工性能与机械性能,满足市场对高品质聚乙烯产品的需求。在设备维护和安全生产管理方面,UNIPOL 气相法工艺技术需高度重视,定期对流化床反应器、分离器、造粒机等关键设备进行检查维修,发现并排除潜在故障,可保证生产过程的稳定运行,同时建设完善的安全管理制度与应急预案,加强员工的安全培训演练,也是保障生产过程安全的重要举措^[4]。

3.4 共聚技术与双峰技术

共聚技术与双峰技术是聚乙烯生产工艺中的两项重要技术，为生产具有特殊性能的聚乙烯产品提供可能。共聚技术在聚合反应中引入其他单体与乙烯进行共聚反应，可生产出具有更高的耐热性、更好的耐化学腐蚀性或更优异的加工性能的聚乙烯产品，应用范围广泛，可满足市场对聚乙烯产品的多样化需求。在实施共聚技术时，选择合适的单体和催化剂体系、工艺条件至关重要，主要由于不同的单体和催化剂体系会对共聚产物的结构及性能产生显著影响。因此，需要按照产品的性能要求与市场需求，精心挑选合适的单体和催化剂体系，并优化工艺条件，以保证共聚反应的顺利进行及产物的质量控制。双峰技术则采用双峰催化剂体系或双反应器工艺等方法，生产出具有双峰分子量分布的聚乙烯产品，分子量分布的特点使得聚乙烯产品在加工过程中具有更好的流动性，同时提高产品的机械性能与耐热性，为聚乙烯产品的性能提升提供新的途径。需要注意的是，在实施双峰技术时，挑选合适的催化剂体系和工艺条件。双峰催化剂体系的选择需要考虑其催化活性、分子量分布调控能力、产物的性能要求等因素，精确控制反应温度、压力和停留时间等参数，优化聚合反应条件，生产出具有优异性能的聚乙烯产品^[5]。

3.5 原位法与激光法技术的创新应用

原位法与激光法技术是近年来聚乙烯生产工艺中出现的新技术，为聚乙烯产品的功能化和改性提供新的思路，在聚合反应器中直接加入功能性助剂或填料等方法，在聚合过程中实现产品的功能化，在提高聚乙烯产品的性能的基础上，还可简化生产工艺流程，降低生产成本。在实施原位法技术时，选择合适的功能性助剂或填料、精确控制其加入量和加入时机至关重要。不同的功能性助剂或填料会对聚乙烯产品的性能产生不同的影响。因此，需要按照产品的性能要求和市场需求，精心挑选合适的功能性助剂或填料，并优化其加入量和加入时机以促进产品的质量控制和性能提升。

激光束的高能量密度和精确可控性使得激光法技术在聚乙烯材料的表面改性、切割、焊接等方面具有独特优势，调整激光束的功率、频率和扫描速度，可精确控制处理效果，满足不同应用场景的需求。在实施激光法技术时，激光束的参数选择需要考虑材料的性质、处理效果的要求、设备的性能等因素，同时处理条件的优化也是保证激光法技术效果的关键，精确

控制处理时间、处理温度等参数，可优化处理效果，进一步提高聚乙烯产品的性能质量。

3.6 淤浆法与溶液法技术

淤浆法与溶液法技术是聚乙烯生产工艺中的传统技术，在聚乙烯工业中仍占据重要地位。淤浆法技术在聚合反应器中加入稀释剂使聚乙烯颗粒悬浮在淤浆中进行聚合反应，具有生产灵活性和适应性较强的优点，可生产出不同粒度和形态的聚乙烯产品，同时淤浆法技术还可利用稀释剂调节反应器的温度和压力等条件，优化聚合反应过程。稀释剂的选择需要考虑其溶解性、挥发性、对聚合反应的影响等因素；催化剂体系的选择则需要考虑其催化活性、稳定性、对产物的性能影响等因素。溶液法技术则是将乙烯溶解在溶剂中进行聚合反应形成均相溶液后再进行分离和干燥等处理过程得到聚乙烯产品，具有聚合反应均匀、产物分子量分布窄等优点，还可利用溶剂的溶解性及挥发性调节反应器的温度和压力等条件，优化聚合反应过程，而溶液法技术也存在溶剂回收和能耗较高等问题。在实施溶液法技术时，溶剂的选择需要考虑其溶解性、挥发性、对环境的影响等因素；催化剂体系的选择则需要考虑其催化活性、选择性、对产物的性能影响等因素，优化参数可进一步提高溶液法技术的生产效率，并降低生产成本及环境影响。

4 结束语

随着全球石化工业市场需求的不断变化，聚乙烯生产工艺技术受到广泛重视，创新生产工艺技术，提高生产效率和产品质量，降低生产成本和能耗，减少环境污染，聚乙烯行业将为实现可持续发展和绿色发展目标做出更大贡献。未来聚乙烯生产工艺技术将继续朝着高效、环保、节能的方向发展，为全球石化工业的繁荣和可持续发展注入新的动力。

参考文献:

- [1] 李瑞鹏. 聚乙烯生产工艺技术发展及其经济效益分析[J]. 中国化工贸易, 2025, 12(09): 34-36.
- [2] 杨高蕾. 聚乙烯生产技术进展及国内外市场分析[J]. 中国化工贸易, 2025, 23(08): 19-21.
- [3] 孙莹莹. 氯化聚乙烯生产工艺分析及发展建议[J]. 中文信息, 2023, 11(06): 125-129.
- [4] 王林, 袁炜, 李孟瑶, 等. 1-己烯共聚聚乙烯产品市场及生产技术现状[J]. 煤化工, 2023, 51(06): 25-28, 64.
- [5] 马金欣, 韩超, 张得栋, 等. 煤基石脑油裂解乙烯/丙烯/丁烯共聚三元聚丙烯生产工艺的研究[J]. 煤化工, 2024, 52(03): 16-19.