

# 聚乙烯生产工艺技术发展及其经济效益分析

李瑞鹏（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

**摘要：**聚乙烯产品在当前多个行业与领域的发展中发挥着重要的作用。依据新时期市场对聚乙烯产品应用提出的要求，本文从聚乙烯生产工艺的角度，介绍当前用于聚乙烯产品生产的工艺技术类型，进而结合国外聚乙烯生产工艺技术的发展情况，为我国聚乙烯生产工艺技术的应用发展提出建议，旨在助力我国聚乙烯生产工艺技术水平的提升，满足不断增长的聚乙烯产品市场需求，促进企业经济发展。

**关键词：**聚乙烯；生产工艺技术；聚合反应；经济效益分析

## 0 引言

伴随聚乙烯产品在当前多个行业领域中应用范围的不断扩大，为满足不同行业领域对于一些产品的应用要求，在生产聚乙烯产品时，运用不同的生产工艺技术，可以获得呈现出不同密度、不同性能的聚乙烯产品类型。对聚乙烯生产工艺技术进行研究，探索不同工艺技术生产的聚乙烯产品在性能、产量、质量、社会经济效益等方面的优势和特点，对助力新时期聚乙烯生产工艺技术的改进与优化具有积极的意义。

## 1 聚乙烯生产工艺技术类型

### 1.1 溶液法

溶液法主要在应用催化剂和较高的压力溶液环境中生成聚乙烯。将乙烯原料溶解在循环环乙烷和丁烯-1溶液中，在高强度返混的双反应器中，经由进料泵加压后，将混合后的溶液送入反应器内部。溶液在压力和催化剂的作用下，发生聚合反应。

依据我国以溶液法生产聚乙烯的企业生产经验，为保障溶液法的应用效果，要求加强对生产原料纯度、催化剂浓度活性、反应设备加强管控。生产原料纯度主要指乙烯纯度，要求乙烯原料中的水、甲醇、二氧化碳等杂质的总含量与乙烯比例为 $2 \times 10^{-6}$ ：1，在反应前利用合适直径的分子筛，将乙烯保护床中的痕量杂质去除；催化剂浓度与其活性有着密切的联系，该方法生成的聚乙烯中往往残留有活性的催化剂，需要在反应出料时，加入去活剂，用于提升聚乙烯的生产纯度；反应设备则涉及溶剂净化器、乙烯进料保护床、吸附器、丁烯保护床，要求按照设备标准进行规范操作，延长设备以及生产工艺整体的使用寿命。

反应器中能够助力聚合反应的条件，以200-300℃、10-14MPa为标准，溶液在反应器中的停留时间在2min左右。经由聚合反应生成的聚乙烯产品熔体流动速度在0.15-150.00g/10min之间，生成的聚乙

烯产品密度在0.905g/cm<sup>3</sup>左右。该工艺的单程转化率能够达到95.0%，且生产中更多应用碳六混合烃作为聚合溶剂，能够进一步提升工艺应用的效果，更多用于生产对纯度和密度要求较高的辛烯MDPE系列产品和辛烯LLDPE。

### 1.2 淤浆法

淤浆法主要指在惰性稀释剂中让乙烯原料发生聚合反应，在以氢气为相对分子质量调节剂的作用条件下，在烃类悬浮液中生成聚合物颗粒。在当前国外聚乙烯生产领域，淤浆法的具体应用形式有所差异，通常涉及淤浆法环管乙烯聚合工艺、Hostalen串并联搅拌式工艺、CX聚合工艺技术等类型。依据具体淤浆工艺类型的不同，实际生产的产品类型也有所差异。

淤浆法下，其反应器内部温度需要控制在80-110℃之间，压力以1.5-4.5MPa为标准，溶剂在反应器中的停留时间在1h左右，聚乙烯产品熔体流动速度为0.05-18.00g/10min，聚乙烯产品密度在0.939-0.961g/cm<sup>3</sup>之间。该工艺方法的转换率在98.0%-99.5%之间，能够满足HDPE系列产品的生产需求。

环管乙烯聚合工艺在实际应用中，将两个环管淤浆反应器串联起来，选择异丁烷作为稀释剂，搭配铬系催化剂，形成用于乙烯聚合反应的环境条件。该工艺采用1-己烯为共聚单体，更多用于生产高品质的聚乙烯100管材料。聚合反应中，溶解在反应溶剂中的聚合物组分，通常会附着在粉料表面和反应器内壁，影响反应效果。因而在工艺生产中，需要选择具有更高共聚性能的催化剂，满足聚乙烯的生产需求。同时，也受到工艺技术水平和催化剂种类的影响，使得该工艺的应用成本较高，难以在现阶段大范围的企业生产中推广应用。

Hostalen串并联搅拌式工艺则主要采用双釜串联或并联的方法，搭配外盘管和外冷却器的方式，对釜

内的环境问题进行调节。该工艺不受原料纯度的影响，聚合温度与压力也较低，仅以丙烯、丁烯等共聚单体，即可用于生产相对分子质量分布的产品。但由于其应用成本较高，在实际应用中呈现出一定的局限性。

CX 聚合工艺技术则主要采用内循环式反应器，搭配旋转式干燥器，实现对树脂材料的干燥处理。这种工艺技术的生产规模较小，为满足聚乙烯产品的生产需求，通常需要对其以釜外循环技术进行改进，从而达到提高产能的目的。因而从这一方面来看，CX 聚合工艺技术的适用范围要小于前两种方法。我国在引入该技术时，搭配应用自主研发的催化剂和对工艺流程的改造，生产了 UHMWPE 系列、L5050 的高端聚乙烯产品，有效提升了聚乙烯的耐热性等生产性能。

### 1.3 超临界法

超临界法是现阶段用于聚乙烯生产的新型工艺技术，该工艺需要将预聚反应器、环管反应器、气相反应器串联起来，搭配反应器夹套冷却水、乙烯循环气制热的方式，为乙烯发生聚合反应提供条件。在该工艺技术中，对预聚反应器的压力未有明确要求，而环管反应器的压力，以 4.5-6.5MPa 为标准，内部温度应控制在 90-109℃ 之间，气相反应器压力应控制在 2.0MPa 左右，以二氧化碳为气相反应器中应用的主要气体类型，其温度应控制在 80-110℃ 之间。

经由该工艺生产获得的聚乙烯产品熔体流动速度在 0.10-100.00g/10min 之间，产品密度范围标准为 0.918-0.970g/cm<sup>3</sup>。由于该方法生成的聚合物溶解度较低，不存在结片结块的问题，因而其转化率最为接近 100%，能够满足单峰与双峰 LLDPE/HDPE 产品的生产需求。该工艺现阶段更多在国外企业的生产中应用，我国对该工艺的研究和探索较少，有着更为广阔的发展空间。

## 2 聚乙烯生产工艺技术发展建议

在探究当前常见聚乙烯生产工艺技术类型的前提下，依据不同生产工艺技术的应用优势与限制条件，总结国外聚乙烯生产工艺技术的发展趋势，进而结合我国的实际情况，能够为我国聚乙烯生产工艺技术的发展指明方向。

### 2.1 国外聚乙烯生产工艺技术发展概况

国外对聚乙烯产品生产工艺技术的研究和探索起步较早，现阶段，已经能够依据乙烯聚合反应的压力条件、生产产品密度等划分为多种技术类型。不同企业在应用适合其自身规模的工艺技术时，也积累了一

定的经验，能够依据相应工艺技术的缺陷问题，进行工艺流程、工艺设备的改进与优化调整，从而保障满足聚乙烯产品的生产需求。

例如，某企业应用 SABIC 工艺，以气相法为基础，引入冷凝态技术，在构建由单体净化、树脂脱气等单元构成的装置后，搭配单台反应器，在对催化剂和应用氢气的数量进行调节后，控制反应生成的聚乙烯产品的整体性能。而经由聚合反应生成的液化共聚单体，则被喷射到粉料气体流化床中。在此基础上，基于淤浆法的原理，开发 CSTR 工艺，让生成的聚乙烯产品直接在淤浆法 CSTR 平台中进行生产和加工，用于进一步提升聚乙烯产品的抗裂性能。这种工艺技术不仅能够保障聚乙烯产品的生产质量，实际投入的资金成本也较少。

在市场中应用不同工艺技术生产聚乙烯的企业数量不断增加的背景下，聚乙烯产能也呈现出较快的增长趋势，且除传统的乙烯原料外，越来越多其他形式的原料也被发现能够满足聚乙烯的生产要求。这种生产原料的多元化发展趋势，进一步加剧了聚乙烯市场的竞争。

这使得企业需要加强对聚乙烯工艺技术的改进与优化，兼顾先进技术引入与控制工艺生产成本。从当前国外聚乙烯生产企业的发展情况来看，企业依据不同工艺技术的产能大小，规划将其用于不同类型聚乙烯产品的生产。例如，产能转化率较高的溶液法、淤浆法等，主要用于生产通用低端牌号的聚乙烯产品，而产能较小的工艺技术，则更多用于生产中高端的聚乙烯产品。

### 2.2 我国聚乙烯生产工艺技术展望

对比国外企业生产聚乙烯产品应用的工艺技术，我国在聚乙烯生产技术方面与其存在较为明显的差距。现阶段，我国企业应用的聚乙烯生产工艺技术水平整体不高，缺乏先进的工艺技术支持。考虑影响聚乙烯产能与质量的生产原料纯度、技术成本等因素，尚未掌握成熟的研究与开发体系。

例如，在聚乙烯产品的生产原料方面，当前国内企业除以乙烯聚合反应为基本的聚乙烯生产技术外，在共聚制备聚乙烯中，仅熟练掌握依靠 1-丁烯、1-己烯的生产工艺，对更高级的烯烃工业生产技术研究与应用，仍处于初步发展阶段，对 1-辛烯、1-癸烯等物质用于聚乙烯生产的尝试较少；在聚乙烯产品的生产成本方面，在生产技术水平的限制下，国内生产

的聚乙烯产品大多为低端牌号，即便能够生产高端的聚乙烯产品，也因生产原料和工艺成本较高，难以在企业中推广应用。

受到以上因素的影响，在未来的聚乙烯生产工艺技术发展中，我国应积极吸取国外聚乙烯生产工艺技术的研发与应用经验。作为生产企业，积极借鉴国外同规模、同工艺技术的聚乙烯生产模式，再结合生产企业自身的运营发展目标和方向，明确对聚乙烯生产工艺技术进行改进的重点内容。

这一过程中，应进一步加大对技术研发的投入和重视，尤其强调对聚乙烯高端产品的实践开发。从生产工艺应用的材料设备角度，在明确聚乙烯生产工艺技术原理的基础上，以压力、催化剂为基本的聚合反应条件，可以加大对聚乙烯生产中催化剂的自主研发力度，注重减轻催化剂的应用残留，降低催化剂应用受到生产原料中各类杂质的影响，例如，2021年，我国自主研发的钛系聚乙烯催化剂，搭配用于聚乙烯生产的大中空容器，为生产高端的聚乙烯产品提供了有效的支持。

聚乙烯产品类型的划分，主要受到其不同应用行业和领域发展需求的影响。对聚乙烯生产工艺技术的研发，也可以结合聚乙烯产品的具体应用领域，对工艺技术中的具体环节和材料设备进行改进。例如，低压电缆生产中，通常以聚乙烯为绝缘层的构成材料，为确保发挥绝缘层在低压电缆运行中的作用，重点围绕其中对聚乙烯密度、拉伸性能的要求，选择能够生产较高密度的工艺技术类型，进而围绕生产工艺中的耐热、耐高温、延展性等，选择合适的原料与催化剂的搭配组合。

### 3 聚乙烯生产工艺技术的经济效益分析

#### 3.1 成本构成

聚乙烯生产成本主要包括原料成本、能源成本和固定成本（如设备折旧和维修费用）。乙烯是最主要的原料，其价格波动对生产成本影响最大。乙烯价格主要受石油和天然气市场价格的影响。包括电力和热能，是生产过程中必不可少的部分。高效的能源管理和使用先进的节能技术可以显著降低这部分成本。与生产设备的投资和维护有关。现代化的大型生产装置通过规模效应降低了单位产品的固定成本。

#### 3.2 技术进步带来的经济效益

新型催化剂（如茂金属催化剂）的应用大幅提高了聚合反应的选择性和产率，减少了副产品的生成，

提高了产品质量和生产效率。现代聚乙烯生产技术（如气相流化床工艺）通过优化反应条件和改进工艺流程，降低了能耗，减少了生产成本。通过共聚和改性技术，可以生产多种性能各异的聚乙烯产品，满足不同市场需求，提高产品的附加值和竞争力。

#### 3.3 市场需求与经济效益

全球需求增长，特别是发展中地区对聚乙烯需求的持续增长带来了可观的市场机会。通过扩大产能和提高产品质量，生产企业可以获得更大的市场份额和收益。高端产品的开发，如双峰技术和茂金属聚乙烯的开发，不仅提升了产品的性能，还在高端应用领域（如食品包装和工业包装）中获得了更高的溢价，增强了企业的盈利能力。

此外，回收以及可持续发展上也表现明显，随着环保法规的日益严格，聚乙烯的循环利用和生物降解技术的发展也为行业带来了新的经济增长点。通过减少环境污染和满足绿色消费需求，企业在社会责任和经济效益上实现了双赢。

### 4 结论

聚乙烯生产工艺技术的发展不仅体现在生产效率和产品质量的提升上，还体现在对市场需求变化的适应能力和环境保护的责任担当上。通过技术创新和市场拓展，聚乙烯行业在全球范围内展现出强大的生命力和竞争力。经济效益的实现依赖于科学的成本控制、高效的技术创新和敏锐的市场洞察力，这为行业的持续繁荣奠定了坚实的基础。

#### 参考文献：

- [1] 刘革. 超高分子量聚乙烯生产工艺进展 [J]. 精细石油化工进展, 2024, 25(06):41-45.
- [2] 王俊, 田波, 刘军平, 等. 高密度聚乙烯生产工艺对比分析与研究 [J]. 聚酯工业, 2024, 37(01):58-60.
- [3] 崔侨. 国外高密度聚乙烯生产工艺对比 [J]. 石化技术, 2023, 30(07):251-253.
- [4] 李晓莲. 聚乙烯生产工艺技术及行业发展现状 [J]. 化工管理, 2023(2):33-35.
- [5] 金栋, 吕效平. 世界聚乙烯工业现状及生产工艺研究新进展 [J]. 化工科技市场, 2023(12):58-61.
- [6] 陶水元, 江慧娟. 乙烯及聚乙烯生产技术进展概述 [J]. 化工管理, 2023(1):115-117.
- [7] 李连野. 高密度聚乙烯生产现状的研究 [J]. 科技展望, 2024(20):89-91.