

基于高值化与市场适配的 乙烯加工方案比选

李 维*

(中海石油宁波大榭石化有限公司, 浙江 宁波 315812)

摘要:针对某千万吨炼厂25万t/a聚合级乙烯下游空白,比选5种聚烯烃方案。结果表明:UHMWPE投资最低(5.4亿元)、需求增速快(CAGR>20%),为首选;POE盈利最强(年毛利3.72亿元),但受技术壁垒及产能过剩风险制约,宜择机推进;LDPE投资强度高(26.3亿元),回报周期长,宜作审慎备选;LLDPE和HDPE市场同质化竞争激烈,应避免新增通用料产能。建议企业遵循“优选UHMWPE、稳慎推进POE、储备LDPE”的梯次发展策略,实现乙烯高值化利用。

关键词:聚乙烯;超高分子量聚乙烯;聚烯烃弹性体;高值化

中图分类号:TQ325.1

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)10-0011-06

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.10.003

Selection of ethylene downstream processing schemes based on high-value utilization and market adaptability

LI Wei*

(CNOOC Ningbo Daxie Petrochemical Co., Ltd., Ningbo 315812, China)

Abstract: Aiming at the vacant downstream utilization of polymer-grade ethylene with an annual capacity of 250 000 tons in a ten-million-ton oil refinery, five polyolefin processing schemes were compared and screened in this paper. The results show that ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) enjoys the lowest investment of 540 million yuan and a rapid demand growth rate with a compound annual growth rate (CAGR) exceeding 20%, which is taken as the preferred scheme. Polyolefin elastomer (POE) delivers the strongest profitability with an annual gross profit of 372 million yuan; nevertheless, its development is restricted by technical barriers and overcapacity risks, so it is advisable to promote the construction at an appropriate time. Low-density polyethylene (LDPE) features high investment intensity (2.63 billion yuan) and a long payback period, which shall be regarded as a cautious alternative. Linear low-density polyethylene (LLDPE) and high-density polyethylene (HDPE) are confronted with fierce homogeneous market competition, and new production capacity of general-grade products should be avoided. It is recommended that enterprises adopt a stepwise development strategy of prioritizing UHMWPE, steadily and prudently promoting POE, and reserving LDPE projects, so as to realize high-value utilization of ethylene.

Key words: polyethylene; ultra-high molecular weight polyethylene; polyolefin elastomer; high-value utilization

某千万吨炼厂富余25万t/a聚合级乙烯,由于缺乏下游配套化工装置,目前只能作为原料销售。乙烯作为原料销售不仅增加了销售储运的压力,也降低了企业的经济效益。在“减油增化”的市场环境下,“延链、补链、强链”已成为石化企业提升竞争力、推动转型升级的重要举措。当前,聚乙烯市场同质化竞争日益加剧,如何立足有限的乙烯资源,选择差异化、高附加值的产品加工方案,对于企业规避市场风险、实现“专精特新”转型具有重要意义。本文聚焦低密度聚乙烯(LDPE)、低密度线性聚乙烯(LLDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、聚烯烃弹性体(POE)和超高分子量聚乙烯(UHMWPE)5种加工方案,从技术来源、市场前景、投资估算、经济效益和风险评价等方面进行了系统分析,明确了适宜的加工路径,以期同类石化企业的项目决策提供借鉴与参考。

1 工艺概述

1.1 LDPE

LDPE是在高温高压(100~350 MPa, 130~280℃)条件下,以有机过氧化物为引发剂,经自由基聚合制得的热塑性树脂^[1]。其分子链含有大量长支链,大量长支链带来密集分子链缠结效应,赋予了LDPE突出的熔体强度与优异膜泡稳定性。然而,相较于LLDPE等品种,其薄膜的拉伸强度与撕裂强度较低。因此,LDPE常作为加工助剂引入共混体系,以改善共混物的加工流动性及吹膜过程中的运行稳定性。目前世界上主要有高压管式和高压釜式2种工艺生产。高压管式法反应器内部存在较大的压力梯度和温度分布,反应时间短,所生产的LDPE具有长支链少、分子量分布较窄的特点,光学

收稿日期:2026-04-08;修回日期:2026-08-04

作者简介:李维(1995-),男,本科,工程师,研究方向为大型炼油化工企业的投资规划,通讯联系人,15867485859,liwei178@cnooc.com.cn。

性能好,适合生产膜类产品;高压釜式法生产的 LDPE 支链较多、分子量分布较宽且具有较好的抗冲击强度,常用于专用牌号和挤出涂层等相关领域,但单线产能低于管式法^[2]。《产业结构调整目录》(2024)明确指出,限制 20 万 t/a 以下聚乙烯生产装置的建设。因此,从技术发展趋势看,未来 LDPE 将朝着大型化、管式法方向发展。利安德巴塞尔开发的高压釜式工艺(Lupotech A)和高压管式工艺(Lupotech T)技术上积累深厚,工业应用广泛,可作为 LDPE 装置首选技术来源。

1.2 LLDPE

LLDPE 是乙烯与 α 烯烃(1-丁烯、1-己烯、1-辛烯)在催化剂的作用下合成的直链结构共聚物^[3]。LLDPE 与 LDPE 产品密度存在一定重叠,但在 LDPE 基础上改良了分子结构,主链上不保留长支链结构,因此整体结构比 LDPE 规整很多,分子量也相对较窄。微观结构决定了 LLDPE 更为优异的宏观力学性能,与 LDPE 相比,LLDPE 的拉伸强度与抗穿刺性能显著占优,且受密度影响较小;然而,其分子链缺乏长支链,导致熔体强度偏低,挤出成型过程缺乏应变硬化效应,成型操作窗口期更窄,加工性能逊于 LDPE。尽管如此,凭借卓越的力学强度,LLDPE 已成为通用薄膜(如复合膜内层、购物包装袋)的主导材料,应用最为广泛。目前气相法和溶液法是 LLDPE 的主流生产工艺。气相法凭借流程简洁、投资强度低、牌号切换灵活等优势,已成为全球应用最广的 LLDPE 生产技术。相比之下,溶液法虽在反应传热控制、分子量分布精准调控及高性能牌号(如 1-辛烯共聚产品)开发方面更具竞争力,但核心技术长期被国外专利商垄断,尚未对外许可。值得注意的是,Univation 公司的 Unipol 气相工艺不仅是全球最具影响力的聚乙烯技术之一,且具备全密度聚乙烯(FDPE)生产能力。引进该技术建设 LLDPE 装置,可有效拓宽产品覆盖范围,为企业实施差异化发展战略提供技术支撑。

1.3 HDPE

高密度聚乙烯(HDPE)是由乙烯与共聚单体(1-丁烯、1-己烯、1-辛烯等)发生共聚反应生成,特点是分子链以线性为主,没有支链,因此具有较高的密度,结晶度可达 80%~90%,密度范围为 0.94~0.97 g/cm³。HDPE 化学性质稳定,机械强度高,同时具有良好的耐寒性和耐热性,因此 LLDPE 被广泛应用于中空制品、食品包装容器、管材及高强度薄膜等领域^[4]。目前世界上生产 HDPE 的主流技术有

淤浆法、气相法和溶液法。3 种工艺在能耗、单耗、产品质量、操作灵活度以及投资强度上各有优缺点且均具有相应的工业业绩。综合比选后,利安德巴塞尔 Hostalen Acp 工艺在多峰技术和管材技术优势明显,可作为高端路线的技术来源,Univation 的 Unipol 技术可灵活生产全密度聚乙烯,可作为差异化发展的技术来源。

1.4 POE

主流 POE 是以乙烯为原料,高碳 α -烯烃(1-丁烯、1-己烯、1-辛烯)作为聚合单体,在茂金属催化剂的作用下,通过溶液聚合引发无规共聚反应而获得的具有弹性体特征的乙烯基共聚物。 α -烯烃含量的增加,削弱了碳碳主链的结晶区,形成呈现橡胶弹性的无定型区的结构特点,因此该聚合物既具有类似橡胶的力学性能和使用性能,又具有热塑性塑料的加工性能,是塑料和橡胶优点的优势组合,能广泛用于光伏封装、增韧改性等应用领域。近年来,随着 α -二甲基亚胺镍系催化的开发,使用溶液反应对乙烯进行均聚,也可得到超支化的乙烯基弹性体(如 H-POE 和 E-POE),目前已在部分应用领域替代主流 POE。该类新型 POE 技术仅以乙烯为单一原料,无需复杂的 α -烯烃精制工序,不仅简化了工艺,还显著降低了原料成本与装置建设投资,已成为 POE 合成的重要技术路线之一^[5-7]。通过实地调研与访谈发现,智英石化、中国化学东华科技、京博石化、中科科乐及杭州星传均具备提供 POE 技术的能力。然而,与成熟的聚乙烯工艺相比,国产 POE 技术在工程放大、溶液聚合工艺控制及催化剂体系调控等方面仍与国际主流供应商存在一定差距。因此,建设 POE 项目可能面临试车周期长、副牌品率高等生产风险。

1.5 UHMWPE

UHMWPE 是由乙烯单体聚合而成、粘均分子量在 150 万以上的线性聚乙烯。其独特的线性链状结构与超高分子量,赋予材料卓越的耐磨性、抗冲击性及自润滑性^[8],作为聚乙烯系列中唯一的工程塑料,UHMWPE 已被广泛应用于国防军工、新能源及海洋工程(如高强绳索)等领域。

近年来,我国 UHMWPE 产业发展迅速。以上海有机所唐勇院士团队为代表,已在高效催化剂体系构建及聚合反应精准调控等方面积累了丰富经验,其开发的淤浆聚合工艺包已成功实现工业化应用,可作为 UHMWPE 技术的重要来源。与其他聚乙烯品种相比,UHMWPE 单套装置规模偏小,但产

品附加值高,属于典型的“小体量、高价值”特种工程材料路线。

2 市场分析

2.1 供需分析

2021—2025 年中国聚乙烯总产能呈阶梯式上

涨,2025 年中国 PE 总产能增至 3 892.8 万 t/a,五年内累计新增产能达 1 657 万 t/a,复合增长率为 11.64%。LLDPE、LDPE、HDPE 总产能分别提升至 1 564.8 万 t/a、493.5 万 t/a、1 834.5 万 t/a。其中 LDPE、LLDPE、HDPE、POE 以及 UHMWPE 产品过去五年市场供需情况如图 1~3 所示。

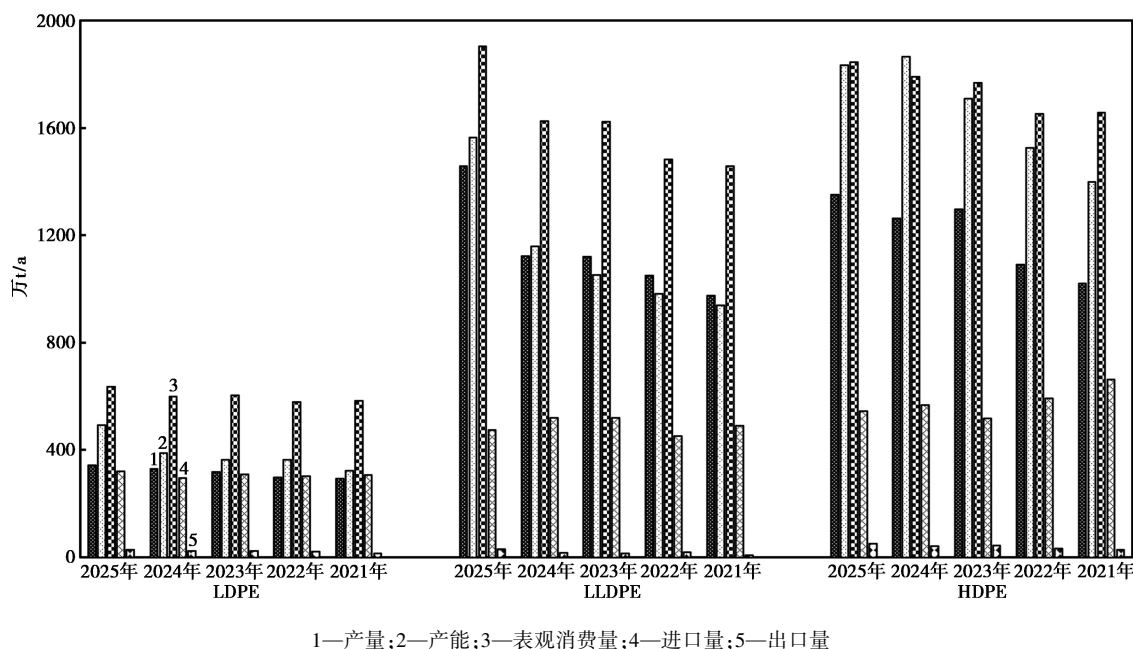
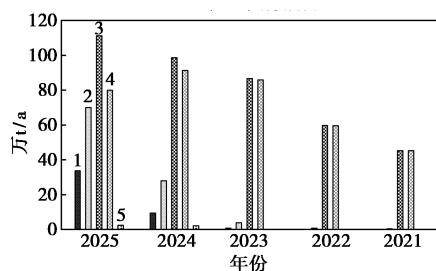
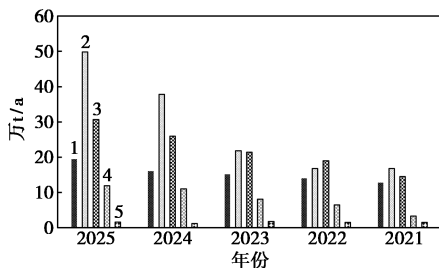


图 1 2021—2025 年中国 LDPE、LLDPE、HDPE 市场供需图



1—产量；2—产能；3—表观消费量；4—进口量；5—出口量

图 2 2021—2025 年 POE 市场供需图



1—产量；2—产能；3—表观消费量；4—进口量；5—出口量

图 3 2021—2025 年 UHMWPE 市场供需图

基于过去 5 年上述产品的供需分析,得出以下结论。

(1)通用聚乙烯体量庞大,但进口依赖程度呈现分化。从供给结构分析,HDPE 进口量由 2021 年的 663.1 万 t 下降至 2025 年的 544.6 万 t,进口依存度由 40%降至 29%,自给能力稳步提升;而 LDPE 在 2025 年进口量达 320.9 万 t,进口依存度维持在 50%左右。上述分化格局表明,在 LDPE 及高端 HDPE 领域,国产替代仍存在明确的发展空间。

(2)高端聚烯烃具有“小体量、高增速”的典型特征,目前正处于国产替代的关键窗口期。以 POE 为例,近 5 年来其市场经历了从完全依赖进口到国产产能初步释放的转变。2025 年国内产量提升至 33.8 万 t,但同期进口量仍高达 80 万 t,进口依存度超过 70%。这表明,下游光伏、汽车等领域的旺盛需求与当前国产供给能力之间,仍存在显著的结构缺口。UHMWPE 市场规模虽相对较小,但表观消费量从 2021 年的 14.5 万 t 增长至 2025 年的 30.7 万 t,年均复合增长率超过 20%,进口依存度维持在 40%左右,表明高端材料领域同样具有显著的国产替代空间。

综上,产品方案的选择需统筹考量市场容量与竞争格局的差异。通用料市场容量大但竞争趋于饱

和,利润空间受同质化压力制约;高端料当前体量较小,但受益于进口替代与下游新兴产业驱动,具备更高的成长性与盈利潜力。

2.2 价格分析

2025年,受国内 POE、UHMWPE 及 PE 产能集中释放与部分下游需求增速放缓的双重影响,上述5种产品价格均呈震荡走低态势。其中,POE 价格下行尤为显著:随着盛虹石化、茂名石化及鼎际得合计 35 万 t/a 产能相继投产,市场供应格局改变推动价格明显回落。预计未来随着国内 POE 产能进一步释放,价格仍存在下行压力。2025 年国内 PE、POE 以及 UHMWPE 的价格走势如图 4~6 所示。

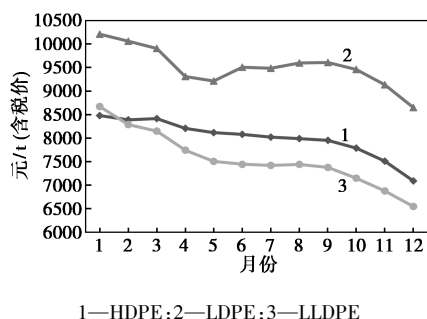


图 4 2025 年国内市场 PE 月度均价

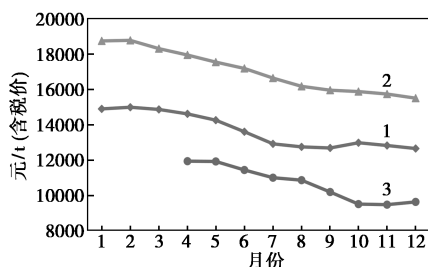


图 5 2025 年国内市场 POE 月度均价

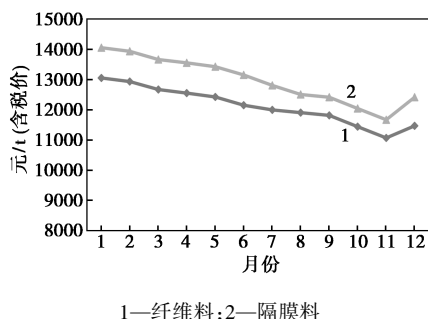


图 6 2025 年国内市场 UHMWPE 月度均价

基于 2025 年上述产品市场价格的数据分析,得出以下结论。

(1) 通用聚乙烯价格呈现单边下行态势,全年跌幅明显。LLDPE 和 HDPE,全年累计跌幅分别达

24.4% 和 16.3%。通用料价格的整体走弱,反映出产能扩张背景下供需矛盾加剧、同质化竞争白热化的市场格局。

(2) 高端聚烯烃品种价格承压下行,但国产与进口产品价差显著。受国内产能释放影响,进口 POE 虽持续走低,但和国产 POE 相比,整年维持 5 000 元/t 以上价差,反映出国产产品在品质、品牌及下游认证方面仍存在提升空间,同时也反应出高端聚烯烃在国产替代仍有明确的发展空间。

(3) 不同产品价格波动幅度差异明显,反映出各自市场供需基本面的不同特征。通用料价格波动主要受成本端与供应端双重挤压,全年持续走弱;POE 价格受国产产能释放冲击,下半年跌幅加快,但进口高端型号仍保持相对高位;UHMWPE 隔膜料价格韧性较强,全年跌幅相对温和,体现了新能源领域需求对价格的支撑作用。

综合市场供需及价格走势来看,UHMWPE 虽市场规模有限,但消费增速显著(近 5 年复合增长率超 20%),尤其在锂电隔膜与高端纤维领域存在较强的刚性需求。其价格水平及抗跌韧性均显著优于通用聚乙烯,且具备进口替代的价差优势。因此,从市场维度分析,建设 UHMWPE 装置是实现乙烯资源高值化利用、提升企业差异化竞争能力的优选路径。当前我国 POE 产能尚处爬坡期,中长期面临潜在供应过剩风险;但高端 POE 产品仍存在显著的价格优势与进口替代空间。因此,若能突破核心技术壁垒并把握建设窗口期,择机布局 POE 装置将成为企业迈向“专精特新”转型升级的重要抓手。与此同时,应审慎规避通用聚乙烯产能的同质化扩张;但对于具备大型乙烯裂解装置的企业,从市场容纳角度考量,优先布局 LDPE 装置仍是优化产品结构、规避经营风险的务实选择。

3 投资经济

除工艺技术和市场因素外,投资概算和经济效益是企业投资决策的重要依据。某石化企业针对上述产品,对目前主流规模装置进行了投资估算和经济效益的考察。LDPE 装置设置为 20 万 t/a 管釜结合法、LLDPE 装置设置为 40 万 t/a 气相法、HDPE 设置为 40 万 t/a 釜式淤浆法、POE 装置设置为 10 万 t/a 溶液法、UHMWPE 装置设置为 4 万 t/a 釜式淤浆法。原料及产品价格采用 2025 年主流市场销售均价,其他数据来自相关专利商提供的物料平衡和装置消耗,详见表 1、表 2。

表 1 原料产品价格表 元/t

原料名称	原料价格	产品名称	产品价格
乙烯	6848	LDPE	9447
丙烯	6515	LLDPE	7553
丁烯	6722	HDPE	8004
己烯	10408	POE	10681(C ₄) 13598(C ₈)
辛烯	10833	UHMWPE	12120(纤维料) 12966(隔膜料)

表 2 投资效益估算表

产品方案	20 万 t/a LDPE	40 万 t/a LLDPE	40 万 t/a HDPE	10 万 t/a POE	4 万 t/a UHMWPE
典型技术	管釜结合	气相法	釜式淤浆	溶液聚合	釜式淤浆
建设投资含配套/亿元	26.3	12.0	13.8	13.0	5.4
投资强度/(万元·t ⁻¹)	1.315	0.3	0.345	1.3	1.35
原料消耗/(t·a ⁻¹)					
乙烯	206905	371200	40300	67273	40000
丙烯	1200	—	2266	—	—
丁烯	—	3200	1466	26582	—
己烯	—	11200	—	—	—
丁烯	—	—	—	8022	—
原料成本/(亿元·a ⁻¹)	14.24	28.73	27.84	7.26	2.73
动力消耗/(亿元·a ⁻¹)	1.80	1.97	1.85	1.10	0.34
产品产量/(t·a ⁻¹)	200000	400000	400000	28500(C8 POE) 66500(C4 POE)	40000
产品销售/(亿元·a ⁻¹)	18.89	30.21	32.01	12.08	4.84
装置毛利/(亿元·a ⁻¹)	2.85	-0.49	2.32	3.72	1.77

注:装置毛利不含折旧、人工、三剂消耗等相关费用。

表明在当前原料与产品价格体系下,通用线型低密度聚乙烯已处于亏损边缘,投资回收风险较高。

综上,从经济角度分析,POE 与 UHMWPE 方案具备明显的盈利优势。其中,UHMWPE 以低投资、高单位毛利的特点,成为资源受限条件下的优先选择;POE 尽管投资较高,但其高毛利水平可支撑合理的投资回报,适合作为中长期发展方向。LDPE 方案可作为备选,但需审慎评估市场风险。

4 综合评价和风险分析

综合工艺技术、市场前景、投资估算及经济效益等因素,对 LDPE、LLDPE、HDPE、POE、UHMWPE 5 种乙烯下游加工方案进行了系统评价,得出以下结论。

(1)UHMWPE 方案:首选实施。采用上海有机所和中石化上海工程公司联合开发的 UHMWPE 技

从投资角度看,20 万 t/a LDPE 装置因采用高压管式工艺,建设投资高达 26.3 亿元;而 4 万 t/a UHMWPE 装置投资仅为 5.4 亿元,投资门槛最低,适宜优先布局。从装置毛利看,各方案盈利水平分化显著,高端产品路线优势突出。POE 装置年毛利约 3.72 亿元,主要得益于其产品价格显著高于通用聚乙烯;UHMWPE 装置虽规模最小,年毛利仍达 1.77 亿元,单位乙烯毛利高达 4425 元/t,盈利能力较强。相比之下,LLDPE 装置测算结果为负毛利,

术,技术来源可靠,投资门槛低(建设投资 5.4 亿元),下游锂电隔膜和高端纤维需求旺盛,存在国产替代的发展空间,具备较强的经济性和价格韧性,可作为首选发展方案尽快实施。但 UHMWPE 作为战略性新兴产业,在纤维料和隔膜料等高端应用领域的产品品质与国外龙头企业(如塞拉尼斯)仍存在差距,主要表现在分子量分布控制、杂质含量、批次稳定性等方面。装置投产后,若产品无法通过下游客户(如锂电池隔膜厂商、高端纤维制品企业)的认证,将面临产品降级销售或库存积压的风险,影响项目预期收益,建议通过“先通用后高端”的渐进策略加以实施。

(2)POE 方案:择机推进。目前国内已有多家企业实现工业化生产,可选择合适技术来源,装置毛利在几个方案中居于首位且存在国产替代的发展空间,从经济角度具备较强的实施性。但效益与风险

并存,一方面 POE 生产采用溶液聚合工艺,催化体系复杂,反应条件苛刻,目前国内工业化装置尚处于产能爬坡与工艺优化阶段。工程放大过程中普遍存在反应器传热传质不均、催化剂活性波动、产品牌号切换困难等技术瓶颈。此外,高端 POE 牌号(如光伏级 C8-POE)的催化剂构效关系及聚合工艺调控能力与国外领先企业(如陶氏、三井化学)仍存在明显差距,自主知识产权体系的完整性与稳定性有待验证;另一方面,2025 年,国内 POE 产能已快速扩张至 105 万 t/a,未来两年仍有多套装置规划在建,产能增速显著高于需求增速,存在阶段性供过于求的风险。若下游光伏、汽车等应用领域需求不及预期,POE 产品价格可能进一步承压,侵蚀装置盈利能力,因此采取择期推进的实施策略。

(3) LDPE 方案:审慎备选。该方案虽具备显著的经济效益,且鉴于国内 LDPE 进口依存度长期高于 50%,国产替代空间广阔;但受限于极高的投资强度,导致投资回收期较长,叠加实施 UNMWPE 及 POE 方案后将挤占原料资源,故确立为审慎备选方案。

(4) LLDPE 和 HDPE 方案:应避免新增通用料产能。尽管技术成熟,但 40 万 t/a LLDPE 装置在当前价格体系下已呈现负毛利,市场同质化竞争白热化,新增产能难以获得合理回报。除非企业能开发高端差异化牌号(如 mPE、己烯/辛烯共聚产品),否则不建议新建此类装置。

5 结论

本文以某千万吨炼厂富余的 25 万 t/a 聚合级

乙烯资源为研究对象,围绕 LDPE、LLDPE、HDPE、POE、UHMWPE 5 种下游加工方案,从工艺技术、市场前景、投资经济及风险评价等维度进行了系统比选,得出以下主要结论:

建议企业按照“首选实施、择机推进、审慎备选”的梯次推进策略,首先发展 UHMWPE 装置(4 万 t/a),充分利用其低投资、高单位毛利的优势,快速实现乙烯资源高值化利用;其次择机布局 POE 装置(10 万 t/a)抢占进口替代窗口期;将 LDPE 作为备选方案,待市场环境改善或企业具备规模优势后再行决策。应避免新增 LLDPE 等通用料产能。该方案兼顾了短期可实施性与长期成长空间,可为同类炼化企业的乙烯下游产业布局提供参考。

参考文献

- [1] 王卉群.高压聚乙烯生产技术及其新进展[J].石油化工设计,2017,34(3):62-66.
- [2] 杨成兵.聚乙烯生产技术及应用研究[J].石油化工,2025,51(10):28-37.
- [3] 于瑶瑶,孟凡涛,胡泽政,等.影响 LLDPE 薄膜光学性能因素的研究进展[J].塑料工业,2019,47(11):5-9.
- [4] 刘志强,朱维权,刘晓亮.高密度聚乙烯生产工艺对比[J].石油化工,2025,51(3):27-29.
- [5] 于洪博,于洋,于绍先,等.溶液法聚烯烃弹性体的制备及性能[J].当代化工,2025,54(3):655-656.
- [6] 宋艳萍,陈伟,陈慧敏,等.中国聚烯烃高端化产品发展现状及前景分析[J].油气与新能源,2022,34(4):12-13.
- [7] 詹小燕,李维.聚烯烃弹性体的工业化现状与发展趋势[J].现代化工,2026,46(3):7-12.
- [8] 谢院洋,钟璐玮,韩松涛,等.超高分子量聚乙烯材料研究进展[J].塑料科技,2025,53(5):188-192.■

西南院承建全球最大绿色甲醇项目首批产品正式发运

近日,由西南化工研究设计院(以下简称“西南院”)总承包的全球最大绿色甲醇项目——金风绿能化工(兴安盟)有限公司绿氢制绿色甲醇项目首批产品正式发运。

该项目分三期建设,预计 2027 年底形成年产 145 万 t 绿色甲醇的能力,已被列入国家能源局首批绿色液体燃料技术攻关与产业化试点名单,填补国内新能源耦合生物质

制备绿色甲醇的工业化空白。

依托兴安盟风电、生物质资源优势,项目打造“风力发电-电解水制绿氢-生物质气化-绿色甲醇合成”完整绿色产业链,以可再生能源替代化石原料,助力化工、航运产业绿色转型,为落实“双碳”战略、培育能源领域新质生产力提供工程样本。图为首批产品发运现场。(西南院)