

乙二醇生产工艺发展现状与未来市场趋势分析

李明 (国能榆林化工有限公司, 陕西 榆林 719319)

摘要: 现阶段, 传统石油基路线凭借成熟稳定的工业体系占据主流, 而基于资源禀赋特征的煤基合成技术通过工程放大验证正加速产业化进程。与此同时, 生物基路线的技术突破为碳中和目标提供了新的解决方案, 催化体系创新与原料多元化探索持续推动示范装置落地。随着智能制造理念的渗透, 工艺集成优化与数字化控制系统的融合正重塑生产效能评估体系。本文系统梳理乙二醇主要生产工艺路线的发展现状, 分析未来市场关键趋势, 希望为产业技术升级与发展路径选择提供参考。

关键词: 乙二醇; 生产工艺; 石油基法; 煤基法; 生物基法

中图分类号: TQ223.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 029-0007-03

Analysis of the Current Development Status and Future Market Trends of Ethylene Glycol Production Technology

Li Ming (Guoneng Yulin Chemical Co., Ltd., Yulin Shaanxi 719319, China)

Abstract: At present, the traditional petroleum-based route dominates with its mature and stable industrial system, while the coal-based synthesis technology based on resource endowment characteristics is accelerating its industrialization process through engineering scale-up verification. Meanwhile, technological breakthroughs in bio-based routes have provided new solutions for the carbon neutrality goal, and the innovation of catalytic systems and the exploration of diversified raw materials continue to drive the implementation of demonstration facilities. With the infiltration of the concept of intelligent manufacturing, the integration of process integration optimization and digital control systems is reshaping the production efficiency evaluation system. This article systematically reviews the current development status of the main production process routes of ethylene glycol, analyzes the key trends in the future market, and hopes to provide references for the technological upgrading and development path selection of the industry.

Key words: Ethylene glycol Production process; Petroleum-based method Coal-based method Bio-based method

全球乙二醇生产体系正经历技术代际更替的关键阶段。现有产能格局中, 石油基氧氯化法依赖成熟工艺包维持成本优势, 煤基合成气羰基化法则通过关键催化剂迭代实现能效提升, 生物发酵路线借力基因编辑技术突破原料转化瓶颈。值得关注的是, 模块化工程设计与实时优化算法的融合, 正推动不同工艺路线在能耗基准测试中拉开代差。未来竞争焦点将转向碳税政策驱动下的绿氢耦合工艺商业化进程, 区域原料定价权差异导致的乙烷/煤炭路径分化, 以及聚酯光学材料纯度标准提升引发的特种分离技术革新。

1 乙二醇生产工艺概述

乙二醇主流工业化生产依托石油基、煤基及生物基三条技术路线。石油基路线以乙烯为初始原料, 经环氧化生成环氧乙烷后催化水合, 其技术核心在于高选择性催化剂体系与大型固定床反应器设计, 产品纯度高但受制于原油市场波动。煤基路线通过煤气化制取合成气, 经草酸二甲酯中间体催化加氢合成, 重点突破方向在羰基化催化剂寿命提升及草酸酯分离纯化效率的提高。生物基路线以生物质糖类经微生物发酵或催化脱水转化, 技术瓶颈集中于木质纤维素水解抗逆性与发酵抑制剂脱除工艺, 虽具低碳属性仍处工程

放大验证阶段^[1]。

2 乙二醇生产工艺发展现状

2.1 传统石油基工艺主导地位稳固

目前, 乙烯氧化法仍是全球乙二醇生产的绝对主力。该传统工艺凭借数十年的成熟度、规模效应及高度完善的配套产业链, 在全球产能中占据诸多份额。尤其是在中东、北美等油气资源富集区域, 其原料成本优势依然突出。大型跨国化工巨头及成熟化工园区持续依赖该工艺进行稳定供应, 下游聚酯等产业也形成了与之深度绑定的加工应用体系, 保证了其主流地位的延续性。

然而, 其主导地位并非不受挑战。高度依赖石油资源使其运营成本直接受原油价格剧烈波动的冲击, 盈利稳定性受到影响。近年在“双碳”目标及炼化一体化的驱动下, 生产企业的关注点转向优化升级: 通过精馏节能改造、新型催化剂应用、废热深度回收等措施, 挖掘现有装置的降耗降碳潜力。乙烯原料来源多元化探索也成为业内提升韧性的实践方向。虽然面临新兴路线的冲击, 石油基乙二醇凭借深厚根基与持续革新, 仍在当下市场供应格局中扮演着至关重要的角色。

2.2 煤基合成工艺规模化应用加速

中国“富煤缺油少气”的资源格局构成了煤制乙二醇发展的底层逻辑。经多年发展，国内煤制乙二醇技术已步入大规模工业化应用的快速发展通道，总产能占比大幅跃升，成为支撑国内乙二醇自给率的重要支柱。“十四五”期间多地规划的现代煤化工项目中，煤制乙二醇项目尤为突出，煤化工企业依托该路线延伸煤炭价值链成为现实选择^[2]。

技术层面，以合成气为源头的“草酸酯法”路线已成为绝对主流。其核心技术持续进化，体现在羰基化催化剂寿命显著延长、加氢催化剂活性不断提升、反应系统整体能效持续优化等方面，有效提高了运行稳定性并逐步压降了生产成本，当前部分优质项目已具备与传统石油路线在特定区域的成本竞争力。但必须正视的挑战是：水耗大、废水组成复杂且难处理、副产品价值挖掘尚未充分、整体工艺在综合能效及环境表现上与最优水平尚存差距等核心问题依然是产业可持续发展的关键瓶颈。

2.3 生物基工艺技术突破与示范应用

在绿色低碳转型的时代强音下，以生物质资源为原料的生物基乙二醇工艺取得系列标志性技术突破。核心路径聚焦于“糖—乙醇—生物基乙烯—生物基EG”及“糖/纤维素—生物基合成气—生物基EG”两条主线。突破点尤其体现在高效纤维素预处理与酶解技术、特定工程菌构建实现高选择性发酵转化，以及高性能生物基催化剂的成功开发与应用。美国及欧洲在该领域的研究起步较早，部分企业已达到中小规模量产水平。

在中国，生物基乙二醇的发展主要处于技术验证与示范装置建设阶段。近年来，国家能源集团、中科院体系研究所等机构牵头启动了数条关键示范生产线，在打通工艺流程、实现稳定运行、验证产品质量等方面取得积极进展，为评估技术可行性、经济性潜力和环境效益积累了宝贵数据。现阶段的核心瓶颈仍是成本问题，高昂的生物质原料预处理、转化效率有待提升、产业化经验缺乏导致初始投资巨大等因素叠加，使其经济性尚难与化石原料路线大规模抗衡，需通过政策倾斜和持续的技术迭代寻求突破^[3]。

2.4 工艺技术集成化与智能化升级

面对成本、效率与环境的三重压力，乙二醇生产工艺技术不再是单点突破，而是向更深层次的集成化与智能化协同演进。“工厂级”集成成为显著趋势：大型煤基项目普遍将气化平台、合成气净化、乙二醇合成装置、空分乃至热电联产等单元进行紧密耦合设计与一体化运行管理，显著提升资源利用率、降低公

用工程消耗并简化物料传输流程。

智能化赋能则体现在生产全流程。借助先进的在线监测仪器、实时数据库与智能化算法，对原料特性变化、复杂反应参数、精馏操作条件进行动态优化调整，最大化生产效率与收率。关键设备的状态监测与智能诊断系统也在加速部署，预测性维护明显降低了计划外停车风险，提升了运行可靠性。

3 乙二醇生产工艺未来市场趋势分析

3.1 绿色低碳工艺成为主流发展方向

低碳化转型已非可选课题，而成为决定乙二醇产业未来生存与竞争力的核心。欧盟碳关税、国内碳市场扩容及日趋严格的环保法规，将从政策端形成硬约束，大幅提升高碳排工艺的成本。碳捕集、利用与封存技术将成为现有化石基路线延续生命周期的关键手段，示范项目正加快部署，未来十年有望实现规模化应用。更为关键的是，生物基与CO₂直接催化转化等颠覆性技术路线将获得前所未有的战略优先级。政策补贴、绿色溢价机制，以及产业链龙头将多措并举，显著改善其商业可行性。

为抢占绿色赛道先机，行业必将加速推进两大关键路径。一方面，全力打通生物基规模化壁垒。重点突破非粮纤维素糖化效率低、生物质收运储成本高，以及生物基乙烯/EO工艺系统集成度不足等瓶颈。以万华化学、中石化等为代表的企业正加码投资生物炼制一体化装置，目标在于2025–2030年间实现生物基乙二醇在总成本上与石油基平价。另一方面，积极探索“负碳”技术路径。利用可再生能源驱动的CO₂电催化转化制EG技术虽仍处于实验室阶段，但其终极减碳潜力巨大，正吸引国家实验室与风险资本加速布局。而利用城市废弃塑料化学再生制乙二醇单体已进入万吨级示范，其原料可持续性与“变废为宝”的环保形象极具吸引力^[4]。

3.2 原料多元化与区域化布局深化

全球供应链韧性危机与区域冲突频发，促使主要经济体将关键化工原料的供应链安全置于战略高位，单纯依赖单一资源或进口的模式风险陡增。因此，基于本地资源禀赋、贴近市场需求的区域化、分布式EG产能布局趋势加速形成。北美依托丰富页岩气资源，乙烷裂解制乙烯–EG路线仍具成本基础；中东将继续发挥原油资源优势，但其下游发展策略趋向高附加值一体化；中国依托煤炭基础叠加技术升级，短期仍将巩固煤基EG份额，但长远看煤炭高效清洁利用及“煤化—石化”联产协同，如利用石化副产氢气优化煤制气过程成为优化重心。东南亚、印度等增长型市场则倾向利用当地煤/天然气资源建设EG装置以

满足本土聚酯业扩张需求。

更具潜力的原料革命在于“再生与循环”。除前述废弃 PET 塑料闭环回收路线外,工业尾气制 EG 技术已在中国试点验证,以较低成本利用“废碳”开辟合成气来源。绿氢与 CO₂ 合成制 EG 亦为前沿探索方向。同时,EG 与 PTA/醋酸等联合生产布局增多,利用上下游能量与物料互供显著降本增效。未来 EG 项目选址将高度依赖“资源—市场—政策”三角耦合评估模型。靠近低成本资源、贴近主要消费区,或坐拥政策洼地的装置将具备压倒性竞争力。全球贸易流将从“中东/北美集中生产—全球销售”模式,逐渐向“多极生产、区域自平衡+特定品类调剂”演变,区域化特征日益鲜明。

3.3 技术创新驱动成本竞争力重构

未来 EG 市场的核心战场在于“单位成本+碳足迹”综合竞争力的比拼。新进入者具备后发优势,能以最先进工艺和更大规模摊薄成本。现有装置的生死存亡将取决于其通过持续性技术迭代降本增效的能力,而非单纯依赖原料价格波动。核心创新聚焦三大维度。催化剂革命、反应工程强化与数字化深度赋能。纳米结构催化剂、单原子催化剂研发热度不减,目标直指大幅提升关键反应的选择性及转化效率,削减副产物与物耗;电化学催化技术,如常温常压下 CO₂/CO 电还原制 EG 作为潜在颠覆性路线,虽远期商业化尚需时日,但实验室效率突破不容忽视;微通道反应器等传质强化设备的引入将突破传统反应器局限,使反应更精准可控、提升时空收率并缩小设备规模与投资。

更为现实且已在见效的突破在于智能化改造。AI 驱动分子模拟正加速催化剂的“定向设计”,大幅缩短研发周期;在生产运营端,基于海量运行数据的 APC、RTO 及数字孪生系统深度融合,实现精准动态调优以稳定运行于最佳经济点,据统计优质应用可使物耗能耗削减 3%~8%。智能预测性维护系统监控大型机组与反应器状态,精准规划检修策略,显著减少非计划停车损失。同时,智慧能源管理系统集成厂内风电/光伏/储能的波动性绿电供应与高波动负荷的协调优化,削减外购电成本。未来十年,“技术杠杆”对 EG 制造盈利能力的放大效应将远超单纯扩大规模,不具备持续创新能力的产能将被加速淘汰出局^[5]。

3.4 下游应用拓展催生高端化需求

随着聚酯行业从大规模通用品转向高附加值、功能性产品领域,其对乙二醇原料的纯度、稳定性和特定性能指标提出前所未有的严苛要求。下游龙头对原材料性能的一致性与可追溯性高度敏感,催生对“专用化”“定制化”和“超高品质”EG 的巨大需求。

PETG、共聚酯、生物可降解塑料等高端聚酯材料及高性能 PET 纤维的兴起,要求配套的 EG 单体必须具备极低杂质含量以及特定分子链结构特性。光刻胶载体、锂电池隔膜涂层材料、医疗透析膜等尖端应用场景对单体纯度的要求逼近电子级标准。

面对这一趋势,乙二醇生产工艺的“精细化控制”能力将成为核心竞争力。传统的大规模通用级 EG 装置难以满足此类需求,差异化高端 EG 产线的设计与运营逻辑将发生根本转变。超精馏技术,如耦合精密分子筛吸附、深度催化脱醛/脱色反应器的应用将成为标配;原料端需严格甄选,如高纯度乙烯、纯氧氧化;全流程在线分析监控结合柔性生产控制系统的引入,确保每一批次品质恒定;密闭化、惰性气体保护传输流程杜绝任何外来污染风险。部分具备技术前瞻性的企业正布局“一套裂解—多规格 EO/EG”的组合模式,实现高中低端产品的灵活排产与切换,精准匹配细分市场的需求。此外,构建涵盖原料溯源、生产过程记录与品质检测结果的数字化全生命周期追溯体系,以满足高端客户对供应链透明度的严苛要求。

4 结束语

聚酯产业的高端化浪潮正倒逼乙二醇生产体系向精尖化迈进。满足电子级纯度、分子级定制与供应链全链追溯的严苛要求,已非传统粗放工艺所能承载。超精馏、智能监控与柔性生产线的深度协同,是打开高端市场的钥匙;闭环品控、数字化追溯与原料严选则构成差异化竞争的护城河。企业唯有在纯化工艺、品控体系与柔性响应能力上同步变轨升级,方能在同质化困局中开辟高附加值赛道,抢占新材料产业的价值高地。未来的竞争格局将清晰分野,大规模通用品战场日渐红海,而精细化、定制化、超净化的高端领域,才是真正决定企业价值突围的核心战场。

参考文献:

- [1] 黑冬梅. 煤制乙二醇工艺技术及其生产装置运行 [J]. 科学技术创新, 2025(03):1-4.
- [2] 宋海龙. 乙二醇生产工艺的节能减排技术探索 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(18):178-180.
- [3] 聂辉. 合成气制乙二醇产品品质提升方法的应用研究 [J]. 云南化工, 2023, 50(03):134-137.
- [4] 杨勇. 探究乙二醇生产工艺的现状与发展趋势 [J]. 化工管理, 2019(32):193.
- [5] 马祥林. 国内乙二醇生产技术与发展现状 [J]. 炼油与化工, 2019, 30(04):6-7.

作者简介:

李明(1995-), 男, 汉族, 陕西榆林人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 煤制乙二醇。