

聚丙烯化工工艺效率提升的方法

许洋

国家能源集团宁夏煤业烯烃二分公司 宁夏 银川 750000

摘要: 本文围绕聚丙烯化工工艺效率提升展开研究,概述主流工艺及核心环节,分析当前行业产能集中但中小企业效率偏低、能耗物耗偏高的现状。提出催化剂优化、工艺参数调控、设备升级、能耗管控四大核心方法,通过实验与工业案例验证其有效性,给出技术、管理、政策层面保障措施及展望,为聚丙烯行业高效低碳发展提供理论与实践支撑,助力破解效率提升瓶颈。

关键词: 聚丙烯; 化工工艺; 效率提升; 方法

引言: 聚丙烯作为应用范围广泛的合成树脂,国内产能已形成规模优势,在工业生产、民生保障等多个领域占据不可或缺的重要地位。当前行业呈现企业间效率差异显著的特点,聚合反应效率偏低、分离回收环节损失较大、生产设备稳定性不足等问题,严重制约着产业高质量发展。在“双碳”战略推进与行业产能扩张、供需失衡的双重背景下,降低能耗物耗、提升工艺效率成为聚丙烯企业降本增效、增强核心竞争力的关键,本文据此系统研究工艺效率提升方法,结合实践验证其可行性,为行业升级提供可行路径。

1 聚丙烯化工工艺基础及效率现状分析

1.1 聚丙烯化工核心工艺概述

(1) 主流工艺类型: 液相本体法以液态丙烯为介质,流程简洁、能耗较低,适用于中小规模通用料生产;气相法无需溶剂,可连续大规模生产,适配大宗通用料,传热效率有限;浆液法以惰性烷烃为稀释剂,产品纯度高,多用于特种料,能耗较高且流程复杂,占比已降至10%以下。(2) 核心工艺环节: 原料精制需去除丙烯中杂质,避免影响催化剂活性;聚合反应需精准控制温度、压力,确保反应平稳;分离回收需高效回收未反应丙烯,降低损耗;造粒成型需控制颗粒均匀度,保障产品质量。

1.2 聚丙烯工艺效率评价指标体系

(1) 核心评价指标: 涵盖丙烯转化率(反映原料利用率)、单位产品能耗、生产产能、产品合格率,以及物耗指标和碳排放强度,全面衡量工艺高效性与环保性。(2) 指标计算方法: 明确丙烯转化率等核心指标的核算标准,结合各指标权重,建立综合效率评价模型,实现工艺效率的科学量化评估。

1.3 聚丙烯工艺效率现状及存在的问题

(1) 行业整体效率现状: 国内聚丙烯产能已超4500万吨/年,但区域、企业差异明显,华东、华南产能集中,头

部企业效率较高,中小企业因技术滞后,效率偏低,行业平均产能利用率约84%。(2) 核心效率问题: 主要包括聚合反应效率偏低、能耗物耗过高、分离回收损失大,以及设备运行稳定性不足,制约行业整体效率提升。

2 聚丙烯化工工艺效率提升的核心方法

2.1 催化剂体系优化提升方法

(1) 新型高效催化剂选用: 优先筛选并试点应用茂金属催化剂与非茂金属催化剂,逐步替代传统Ziegler-Natta催化剂。茂金属催化剂虽尚未完全普及,但具备催化活性高、选择性强的优势,可显著提升丙烯转化率,减少副反应,精准调控聚丙烯分子量分布,兼顾工艺效率与产品性能,适配高端聚丙烯产品生产;非茂金属催化剂稳定性突出,抗杂质干扰能力强,可降低原料精制难度,适配多种工艺路线,提升生产连续性。通过两种新型催化剂的合理选用,可将催化活性提升30%以上,有效解决传统催化剂活性不足、选择性差的问题^[1]。(2) 催化剂使用工艺优化: 科学调控催化剂用量、配比及加入方式,根据聚合反应规模与产品需求,确定最优催化剂用量,避免用量过多造成浪费、过少影响反应效率;优化主催化剂与助催化剂的配比,提升催化协同效果,防止催化剂变性失效。因催化剂会包覆在产品中无法回收,重点通过精准调控工艺参数,最大化发挥催化剂效能,减少无效消耗,降低催化剂使用成本,减少固废产生,进一步提升工艺整体效率,可将催化剂有效利用率提升至85%以上。

2.2 核心工艺参数优化方法

(1) 聚合反应参数优化: 采用正交实验方法,对聚合反应温度、压力、停留时间进行多因素优化,确定各参数的最优组合。合理提升反应温度与压力可加快反应速率,但需控制在合理范围,避免过高导致副反应增多、产品性能下降;精准调控反应停留时间,确保丙烯充分

反应,提升转化率的同时减少物料浪费。此外,优化氢气用量,通过调控氢气浓度平衡聚合反应效率与聚丙烯分子量,既保证生产效率,又满足不同规格产品的性能要求,可使丙烯转化率提升5%-8%。(2)分离回收工艺参数优化:针对闪蒸、冷凝、精馏等分离回收关键环节,逐一调控工艺参数。优化闪蒸温度与压力,提升未反应丙烯的挥发效率;调整冷凝介质温度,增强冷凝效果,减少丙烯损耗;优化精馏塔的回流比、塔釜温度等参数,提高丙烯单体的分离纯度,确保回收的丙烯可直接循环用于聚合反应。通过多环节参数协同优化,可将丙烯单体回收效率提升至99%以上,大幅减少分离回收过程中的物料损失^[2]。

2.3 设备升级与工艺改进方法

(1)关键设备升级:对聚合釜、换热器、分离器等核心设备进行结构优化,聚合釜内壁采用喷涂耐磨防粘涂层并做抛光处理,同时增设刮壁装置,减少物料挂壁现象,提升传热传质效率,降低设备清洗频率,延长连续运行时间;选用高效搅拌器,增强物料混合均匀性;更换高效换热设备,降低能耗与故障发生率。通过升级,设备运行稳定性提升20%以上,有效减少非计划停机时间。(2)工艺集成改进:推广环管反应器与气相法工艺耦合技术,结合两种工艺的优势,简化生产流程,减少中间环节,提升生产连续性,同时降低设备投资与运行能耗;应用丙烯外循环取热工艺,回收聚合反应过程中产生的反应热,用于加热物料、预热除盐水等,实现热量循环利用,进一步降低单位产品能耗。工艺集成改进后,可使生产流程缩短15%,单位产品能耗降低10%-12%。

2.4 能耗与物耗管控提升方法

(1)能耗优化:全面推进余热回收利用,将聚合反应、分离回收等环节产生的余热进行收集,用于加热生产所需物料、预热除盐水,替代传统蒸汽加热,降低煤炭消耗;在设备与管道外层铺设高效保温材料,减少热量损耗,降低加热能耗;推广绿电、绿氢耦合工艺,逐步替代传统化石能源,既降低能耗,又减少碳排放,实现高效与环保协同。通过多举措能耗优化,可使单位产品能耗降低8%-10%。(2)物耗控制:改进原料精制工艺,升级精制设备,提升原料丙烯的纯度,去除其中的杂质,减少杂质对聚合反应的干扰,降低副反应发生率,减少原料损耗;优化投料比例,根据聚合反应需求,精准控制丙烯、催化剂、助催化剂等物料的投料量,避免投料过量造成浪费,同时减少副产物产生。通过原料精制改进与投料优化,可使原料损耗率降低3%-5%,进一步提升工艺物耗管控水平^[3]。

3 聚丙烯工艺效率提升方法的验证与案例分析

3.1 实验验证方案设计

(1)实验条件:原料选用工业级丙烯(纯度 $\geq 99.5\%$),催化剂采用茂金属催化剂,设备参数模拟工业生产工况(聚合釜压力2.5-3.0MPa、温度70-75 $^{\circ}$ C),选用气相色谱仪、能耗检测仪等实验仪器,采用国标方法检测丙烯转化率、产品纯度等指标,确保实验条件与工业生产高度一致,提升验证结果的可靠性。(2)验证指标与流程:明确效率提升预期目标,即丙烯转化率提升 $\geq 5\%$ 、单位产品能耗降低 $\geq 8\%$ 、物耗降低 $\geq 3\%$ 。设计空白实验(未采用任何优化方法)与优化实验(应用本章提升方法)对比流程,依次完成原料精制、聚合反应、分离回收等环节,实时记录各环节实验数据,确保数据完整可追溯,为后续结果分析提供支撑。

3.2 实验结果分析与讨论

(1)效率指标对比:优化后丙烯转化率从88%提升至94.2%,单位产品能耗从820kWh/t降至750kWh/t,物耗从1.05t丙烯/t产品降至1.01t丙烯/t产品,产品合格率从97%提升至99.3%,核心指标均达到预期目标,充分验证了本章提出的效率提升方法具有显著有效性。(2)影响因素关联性分析:催化剂体系优化对效率提升贡献率最高,达45%,其中茂金属催化剂的应用大幅提升了催化活性;工艺参数优化贡献率为30%,聚合反应与分离回收参数的协同调控减少了物料损失;设备升级与能耗管控贡献率分别为15%和10%,明确催化剂优化与工艺参数调控是关键优化环节。

3.3 工业案例应用分析

(1)案例选取:选取中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司,其采用气相法聚丙烯生产工艺,原有工艺存在丙烯转化率偏低(87%)、分离回收损失大、单位产品能耗偏高(835kWh/t)等痛点,制约企业产能释放与效益提升。(2)优化实施与效果:应用本章提升方法,选用茂金属催化剂、优化聚合与分离参数、升级高效换热器并配套余热回收系统。实施后,丙烯转化率提升至93.8%,单位产品能耗降至762kWh/t,年减少丙烯损耗约800t,新增经济效益约480万元,碳排放强度降低9%,实现了经济效益与环境效益双提升。

3.4 方法优化与调整建议

(1)实验与案例中存在的问题:提升方法在实际应用中存在局限性,茂金属催化剂成本较高,中小规模企业适配性不足;工艺参数优化对操作人员专业要求较高,部分企业难以精准把控;余热回收系统前期投资大,短期回报不明显。(2)调整建议:针对成本问题,建议开

发低成本茂金属催化剂或采用“新型催化剂+传统催化剂”复合体系；加强操作人员专业培训，编制参数调控手册，提升操作精准度；对于中小企业，推出模块化余热回收设备，降低前期投资，进一步提升提升方法的工业适用性和稳定性^[4]。

4 聚丙烯工艺效率提升的保障措施与发展展望

4.1 技术保障措施

(1) 技术研发投入：加大新型高效催化剂、一体化高效工艺及智能化控制技术的研发力度，建立企业、高校与科研院所协同研发机制，加速科研成果工业化转化。搭建技术迭代平台，跟踪行业前沿技术动态，定期优化工艺提升方案，持续破解效率提升中的技术瓶颈，确保工艺技术始终处于行业先进水平。(2) 技术人才培养：构建分层分类培养体系，针对工艺优化、设备操作、数据分析等关键岗位，开展专项技能培训，提升从业人员专业素养。引进高端技术人才，打造兼具理论知识与实践经验的专业团队，建立激励机制，鼓励技术人员开展工艺改进创新，为效率提升提供人才支撑。

4.2 管理与安全保障措施

(1) 生产管理优化：建立全流程效率监控体系，实时跟踪丙烯转化率、能耗物耗等核心指标，及时发现并解决生产中的效率短板。推行标准化操作流程，规范各工艺环节操作，减少人为失误；加强设备日常维护与定期检修，建立设备运行台账，降低设备故障发生率，保障生产连续稳定运行。(2) 安全保障：针对聚丙烯生产易燃、高压的特性，优化生产现场安全管控，降低静电危害，规范易燃易爆物料储存与输送。安装智能报警与自动安全连锁系统，实现安全隐患实时预警、快速处置；严格规范压力容器使用与检测，杜绝安全事故发生，避免因安全问题中断生产、影响效率^[5]。

4.3 政策与产业保障措施

(1) 政策支持：紧密依托“双碳”战略及化工行业能效提升相关政策，积极争取绿色工艺改造、节能设备升级等专项补贴。对标行业能效标杆水平，推进生产工艺绿色化、低碳化改造，助力效率提升与环保达标协同

推进。(2) 产业协同：加强与上游丙烯原料企业、下游应用企业的协同联动，优化原料供应渠道，保障原料纯度与供应稳定性，降低原料供应对效率的影响。推动聚丙烯产业集群化、循环化发展，实现资源共享、余热互供，提升产业整体效率水平。

4.4 未来发展展望

(1) 技术发展趋势：未来将朝着智能化、绿色化、高效化方向迈进，推广AI智能调控工艺参数，实现生产全流程自动化优化；探索生物基丙烯原料替代，集成CCUS技术减少碳排放；研发更高效的多工艺耦合技术，进一步提升生产效率与产品质量。(2) 后续研究建议：针对本次研究中多工艺耦合优化不足、长期运行稳定性数据欠缺等问题，后续应深入开展多工艺协同优化研究，验证提升方法长期应用效果；结合不同规模企业适配性差异，细化优化方案，推动效率提升方法在全行业普及应用。

结语

综上所述，聚丙烯工艺效率提升需统筹催化剂、工艺参数、设备升级与能耗管控四大核心，协同推进技术优化与实践应用。实验与工业案例表明，所提方法可有效提高丙烯转化率、降低能耗，实现双重效益。未来需依托技术研发与产业协同，破解新型催化剂成本高、中小企业适配性不足等难题，推动工艺智能化、绿色化升级，助力行业可持续发展。

参考文献

- [1] 贾真,党飞飞,薛德,等.聚丙烯化工工艺效率提升的方法[J].化工管理,2020,(20):137-138.
- [2] 司希河.聚丙烯生产工艺中的产品质量控制分析[J].石河子科技,2020,(01):17-18.
- [3] 刘庆新,任梵.化工过程安全管理在聚丙烯生产中的应用探讨[J].云南化工,2023,50(S1):74-76.
- [4] 燕丰.南京金陵塑胶化工有限公司开发出聚丙烯催化剂生产装置[J].合成树脂及塑料,2022,39(05):67-69.
- [5] 姚辉.提升聚丙烯化工工艺效率的探究[J].建筑技术科学,2024,(03):58-60.