

聚丙烯生产过程中节能减排技术应用及经济效益分析

黄召林（中国石化海南炼油化工有限公司，海南 洋浦 578101）

摘要：随着全球对环境保护和可持续发展的重视程度不断提高，聚丙烯生产环节中的节能减排问题也成为业界瞩目的焦点问题，作为重要的塑料原料，聚丙烯在生产过程中所产生的能源消耗和排放对环境的影响不容忽视。因此，节能减排技术的探索和实施，在为环境减负的同时，也将促进企业经济效益的提升，通过对聚丙烯生产过程中产生的直接经济效益的分析以及节能减排技术的应用，对企业经济效益的提高和可持续发展有一定的意义。

关键词：聚丙烯生产；节能减排；经济效益

中图分类号：TQ325.1

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）016-0115-03

Application and Economic Benefit Analysis of Energy saving and Emission Reduction Technologies in Polypropylene Production Process

Huang Zhaolin (Sinopec Hainan Refining and Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578101, China)

Abstract: With the increasing global attention to environmental protection and sustainable development, energy conservation and emission reduction in the production of polypropylene have become a focus of attention in the industry. As an important plastic raw material, the energy consumption and emissions generated during the production process of polypropylene cannot be ignored for its impact on the environment. Therefore, the exploration and implementation of energy-saving and emission reduction technologies will not only reduce the burden on the environment, but also promote the improvement of enterprise economic benefits. Through the analysis of the direct economic benefits generated in the production process of polypropylene and the application of energy-saving and emission reduction technologies, it has certain significance for the improvement of enterprise economic benefits and sustainable development.

Keywords: polypropylene production; conserve energy ,reduce emissions; economic benefits

作为重要的热塑性树脂，聚丙烯广泛应用于包装、汽车、建筑等诸多领域，聚丙烯生产的相关企业面临着能源消耗减少和排放减少的压力，全球对环境保护和可持续发展的关注度不断提高。利用节能减排技术，是增强企业竞争力，实现可持续发展的关键一步，不仅是企业对环保政策的响应要求，通过有效节能减排技术的实施，企业在降低生产成本的同时，还可以降低对环境的负面影响，在经济和社会上创造良好的效益。

1 聚丙烯生产工艺及能耗排放分析

1.1 聚丙烯生产工艺的概括

聚丙烯的耐化学性、耐热性、电绝缘性、高强度

机械性能以及良好的高耐磨加工性能等，被广泛的应用于生产中，聚丙烯的主要原料为丙烯，丙烯主要通过石脑油、甲醇及丙烷制取，鉴于反应介质与反应器结构的差异，聚丙烯生产技术主要呈现出多样化的工艺：浆液法工艺、本体法工艺、气相法工艺三大类（如表1所示），不同的生产工艺在能耗、产品质量和生产成本等方面存在差异，但都面临着节能减排的需求^[1]。

1.2 能耗与排放分析

聚丙烯产品综合能耗等于生产过程中消耗的各种能源总量，减去回收并供统计范围外装置利用的各种能源总量。聚丙烯单位产品综合能耗等于统计报告期

表1 聚丙烯生产的主要工艺

工艺类型	特点	典型工艺
浆液法	将丙烯溶于惰性烃类稀释剂（如丁烷、戊烷、己烷、庚烷或壬烷）中进行聚合	意大利的 Montedison 工艺、美国 Hercules 工艺、日本三井化学工艺、美国 Amoco 工艺、日本三井油化工艺以及索维尔工艺等
本体法	使液态丙烯发生聚合反应，此工艺创新在反应过程中摒弃了传统溶剂的使用，而是将催化剂直接悬浮于液态丙烯介质内，以此执行高效的丙烯液相本体聚合过程。	巴塞尔公司的 Spheripol 工艺、日本三井化学公司的 Hypol 工艺、北欧化工公司的 Borstar 工艺等
气相法	丙烯直接气相聚合生成固相的聚合物产品	DOW 的 Unipol 工艺、德国 BASF 的 Novolen 工艺、意大利 Basell 的 Spheripol 工艺、英国 BP 的 Innovene 工艺等

内聚丙烯产品综合能耗除以报告期内聚丙烯合格产品产量,具体计算按照《聚丙烯单位产品能源消耗限额》(GB 31826)标准执行。

根据 PAS 2050 碳足迹方法标准和 ISO 14067 国际标准等要求,应用全生命周期方法对三种聚丙烯生产路径碳排放进行分析与对比。结果显示, MTO 工艺制聚丙烯碳排放值最大,炼化一体化次之,催化裂化最小,在炼化一体化工艺中,蒸汽裂解制丙烯的碳足迹值要高于催化裂化。聚丙烯生产流程中,涉及的主要原料包括丙烯、己烷和乙烯等碳氢化合物,以及可能的其他烃类物质。

这一过程中,由于化学反应和物料处理的特性,会生成挥发性有机化合物作为潜在的环境污染源。挥发性有机化合物对人类健康的影响极为显著,尽管这类化学物质在缓慢释放过程中不易察觉,一旦其浓度达到临界值,便能在短时间内引发个体出现一系列不适症状,包括但不限于头痛、恶心、呕吐和乏力感。更为严重的情形下,过量暴露可能导致抽搐、昏迷,并对肝脏、肾脏、大脑以及神经系统造成长期损害,进而引发记忆力衰退等问题。

PM_{2.5} 浓度的升高导致局部区域雾霾现象频发,极端情况下甚至引发地表臭氧浓度的异常增加,进而催化城市光化学烟雾的形成。长期暴露在这种环境下,公众健康面临着显著风险,尤其是慢性呼吸道疾病的发病率显著增高。聚丙烯生产设施挥发性有机化合物的排放源主要涵盖高浓度丙烯、含有氮元素的干燥尾气、富含氧气的物料仓排气,以及各类密封系统中的非计划无组织排放。针对不同生产工艺,不同 VOC 排放源有相应的防治措施。

2 节能减排技术在聚丙烯生产中的应用

2.1 高效催化剂的应用

在提高反应速率和选择性,减少副反应的发生情况,从而减少能源消耗和废弃物的聚丙烯生产中催化剂起着至关重要的作用,传统的 Ziegler-Na 催化剂被广泛应用于聚丙烯生产中,但这些催化剂往往活性较低,需要大量催化剂来促进反应,从而导致成本较高,废料也较多。研制新一代高性能催化剂解决相关科研人员的研究问题。例如,由过渡金属(如锆、钛)和茂基配体组成的茂金属催化剂,其活性和选择性更高,而这种结构又赋予催化剂以独特的性能,与传统催化剂茂金属催化剂的活性高出数倍,并能实现高效的聚合反应,催化剂浓度更低,如大连石化 20 万吨聚丙烯装置成功应用了中石油自主研发的聚丙烯催化剂 PSP-01,在提高生产降低生产成本的同时,显著降低了生产过程中的温室气体排放^[2]。

2.2 先进的聚合工艺

液相本体聚合法是相对于传统气相法和溶液法,在节能减排方面具有显著优势的先进的聚合工艺,溶剂法聚合工艺存在投入大、能耗高、环境污染大、生产效率提高、产品质量改善等问题这些问题主要是由先进的聚合工艺来解决的,丙烯单体在液态下不需使用大量有机溶剂,在液相本体聚合法中发生聚合反应,从而减少了挥发性有机物的排放。通常液相本体聚合法在降低能源需求的温度和压力较低条件下进行。同时,超临界 CO₂ 技术的新兴聚合工艺是以具有类似液体的密度和类似气体的超临界 CO₂ 作为反应介质,与无毒、不易燃、易从反应体系中分离的传统有机溶剂相比,超临界 CO₂ 是一种理想的聚合反应介质,减少了对环境的影响,超临界 CO₂ 技术还能改善聚合物的反应速度和质量。

2.3 余热回收系统

聚丙烯在生产过程中会产生大量的废热将废热回收利用,通过热交换器等设备进行原料预热或蒸汽生产,从而提高能效,例如,聚合物浆料在闪蒸和脱气过程中通过蒸汽加热的方式从丙烯单体中分离出来,对于需要热能的其他工艺环节,可以通过热交换器回收释放出的热量。通过透平膨胀机等设备,将这部分压力能量转化为机械能或电能,在聚合反应中高压气体的膨胀过程中释放出大量的压力能量实现能量的循环利用,降低外界对能量的需求。

2.4 废气处理和水循环利用

聚丙烯在生产过程中会产生一些废气可以通过洗涤塔、活性炭吸附等设备进行处理,去除其中的有害物质,使之符合排放标准,还可以通过精馏等工艺回收废气中的丙烯等宝贵成分,用于生产过程中的再利用,提高原料利用率。此外,通过优化切粒水供应系统,设置备用水箱因水箱故障造成停机,提高生产效率,水循环利用是节能减排的重要措施之一,同时,生产过程中产生的蒸汽凝液回收装置进行收集,经处理后用于生产的再利用,从而降低了新鲜水的使用量。

2.5 智能化生产技术

DCS 系统可实时监控和控制聚丙烯生产过程中的温度、压力、流量等参数,使生产过程实现自动化调节,生产效率和产品质量得到优化控制算法, MPC 技术是根据预测结果对生产过程的未来行为进行预测,并对控制进行优化,使用数学模型,在 PP 生产中可采用 MPC 对反应器的运行条件进行优化,使产品的单体转化率和质量得到提高。同时,充分利用智能传感器和执行器,能够对生产过程中的各项参数进行实时监控,并向控制系统传输数据,智能执行器能够自动调节阀

门开度、泵转速等操作,根据控制系统的指令实现精确控制生产过程,例如,智能调节阀能够自动调节开启度,使生产效率提高,并根据流量的能源的浪费^[3]。此外,通过分析历史数据、构建生产流程模型、前瞻预测设备故障与产品质量问题,并据此实施预防策略是确保生产效率与产品质量的关键步骤。通过分析生产过程中产生的大量数据,可以发现潜在的优化机会和生产瓶颈,智能生产优化生产降低生产周期、提高设备利用率,从而使单位产品的能源消耗和排放直接降低。

2.6 新型发泡技术

发泡聚丙烯通过引入 COE 或 NE 形成微孔结构,实现了材料性能的突破性提高,是一种新型的高性能泡沫材料,将气体(通常是 CO₂ 或氮气)引入聚丙烯基体形成微小的气泡结构,这种发泡技术不仅使材料重量降低,其隔热、缓冲和吸能性能也得到了显著提高,对汽车、航天等对重量敏感行业尤为重要,发泡后的聚丙烯材料密度明显降低,最多可减重 70%。EPP 材质独特的泡孔结构,使其吸能极佳,能有效吸收并在受到冲击时将能量分散,从而保护内部物品免受损害,而此特性使其在多次循环使用中,仍能保持性能稳定的 EPP 材质,在受到挤压后,又能迅速恢复到原来的状态,当然,符合环保要求的 EPP 材料完全可以循环再利用,可以帮助减少废弃物对环境的冲击。

3 节能减排技术应用的经济效益分析

3.1 降低生产成本

先进的催化剂技术、能量回收优化技术等应用于聚丙烯生产工艺,降低了聚丙烯生产环节的能耗,直接降低了企业的能源采购成本,很多环节都涉及能耗,如聚合反应的物料的输送等,采用节能技术,如优化反应釜的加热系统,使用高效的热交换器,可以减少能源的损耗。节能技术是一种节能技术,其主要特点是举个例子,如果传统的加热方式需要消耗 100 单位的能量,那么可能只需要 80 单位的能量,经过节能技术的改进就可以直接降低 20 单位的能源费用^[4]。先进的节能减排技术包括有助于保证原料充分反应未反应原料的精确的原料配比系统和高效的反应控制技术,节能减排技术往往使生产过程变得更效率更高,从而使生产出的废料减少,如果以前每天产生 1t 每吨处理费用为 1000 元,采用新技术后每天仅产生 0.5t 垃圾垃圾处理费用每天可节省。

3.2 提高产品竞争力

先进的催化剂技术可以帮助聚丙烯产品生产出更好的性能,使产品价格提高,扩大市场占有率,从而

提高产品的市场竞争力。一些节能减排技术有助于更精确地控制生产条件,如温度、压力、反应时间等,这些都对聚丙烯产品的积极的影响,如能改善分子量分布均匀性的聚丙烯,而分子量分布均匀性会使聚丙烯在加工过程中流动性更稳定性更强,从而满足高端塑料制品或纤维生产中应用需求,若新添加剂的引入或生产工艺的改进,节能减排技术能使聚丙烯的性能得到竞争力得到提高^[5]。

3.3 减少原料和水资源成本

丙烯单体等原料的回收再利用,使废气处理循环利用技术得以实现,节约原料成本。同时,节水技术降低水资源消耗,减少污水处理成本。

3.4 提升企业形象及环保要求

在环保日益受到社会关注的今天,节能减排的积极实践,将赢得广大市民的认可。消费者更愿意选择那些注重环保生产的良好企业,良好的企业形象有助于提升消费者对企业的认同度,为企业赢得更多的合作机会和市场份额以及消费者对企业的品牌价值认可度。此外,在环保法规日益严格的情况下,应用节能减排技术确保企业符合环保要求、规避罚款支出、节约企业成本,如果排放不达标,企业将面临高额罚款。

4 结论

综上所述,本文通过采用先进的催化剂技术、能量回收优化技术、废气处理回收技术等,聚丙烯生产过程中节能减排技术的应用,在环境效益和经济效益上都显著提升,不仅有效降低了能源消耗,降低了污染物排放,而且为企业带来了直接的节约成本和间接的效益提高。对于聚丙烯生产企业来说,为实现可持续发展,增强企业竞争力,加大对节能减排技术研发和应用是必然的选择,随着技术的不断进步,聚丙烯生产领域将会应用更多高效的节能减排技术,从而推动该产业进一步向绿色低碳方向迈进,当然,鼓励企业积极采用节能减排技术,共同推动聚丙烯产业可持续发展,政府和行业协会应加强引导和支持。

参考文献:

- [1] 田军涛. 气相聚丙烯装置长周期稳定运行措施研究[J]. 当代化工研究, 2024(05):116-118.
- [2] 中超群, 张守辉. 国内聚丙烯装置先进控制技术研究及应用进展[J]. 合成树脂及塑料, 2022(01):82-86.
- [3] 刘晓旭. 聚丙烯装置建模与优化[J]. 合成树脂及塑料, 2022(04):22-28+34.
- [4] 刘硕. 聚丙烯装置风险因素分析及安全管理研究[J]. 化工设计通讯, 2025, 51(02):129-130+134.
- [5] 王正勇. Spheripol 装置聚丙烯汽车料产品气味控制[J]. 山东化工, 2024, 53(10):202-204.