

聚丙烯生产过程中能耗与排放控制策略研究

许佳雷 邹艳丽

陕西延长石油集团炼化公司延安炼油厂，陕西 延安 716099

摘要：聚丙烯作为广泛应用的塑料制品原材料，其生产过程中的能耗和环境排放问题引起了广泛关注。本文首先对聚丙烯生产过程进行深入研究，分析其能耗和主要环境排放因素，包括热值和温度的运用等。通过研究发现，聚丙烯生产过程存在多项能耗过高和热回收不充分等问题。为了改善这些问题，本文提出了相关的控制策略，如优化聚丙烯生产工艺流程，增设热回收系统，并对这些策略进行可行性评估，结果表明：通过实行能耗控制策略，不但能减轻聚丙烯生产过程的环境影响，而且能有效地降低生产成本。

关键词：聚丙烯生产；能耗控制；环境排放；热回收；可持续发展

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.20

引言

聚丙烯作为一种广泛应用于各类产品制造的环境友好性塑料，其在工业生产过程中的能耗和环境影响日益受到人们的重视。其生产过程中的能耗主要与采用的生产技术、工艺流程及热值和温度的运用相关，正确且有效的管理和控制这些因素，不仅可以显著降低能耗和排放，也能为聚丙烯的整体生命周期效率提供贡献。

1. 聚丙烯的生产过程与环境影响

1.1 聚丙烯的基本生产过程

聚丙烯的生产过程主要包括聚合、分离及造粒等步骤^[1]。聚合过程通过催化剂在高温高压下使丙烯单体形成聚丙烯长链。生产中常用的催化剂类型有 Ziegler-Natta 催化剂和茂金属催化剂，它们各自对聚合反应的效率和产物性质有不同影响。聚合产生的初级产物一般形态为粉末状或颗粒状。之后，在分离过程中，未反应的单体被回收以便利用，助剂和无用副产物则通过不同方法予以去除。挤压造粒步骤对聚合物进行塑化和造粒，以便提高其加工性能和制品的均匀性。

该过程涵盖了物理和化学处理，确保最终聚丙烯产品的纯度和质量符合工业应用要求。

1.2 生产过程中的能耗因素及其影响

聚丙烯的生产过程中，能耗因素主要包括加热（换热）、加压和运输等环节^[2]。加热环节主要在聚合反应阶段，需要大量能量来维持高温条件，使单体发生聚合反应。加压环节涉及原材料的输送以及反应釜内的压力维持，消耗显著的电能和机械能^[3]。生产设备的频繁启动和停止造成的能耗波动也是重要因素之一。这些能耗因素对生产效率和环境排放具有显著影响，过高的能源消耗不仅提高了生产成本，还加剧了温室气体和其他污染物的排放问题，亟需加以有效控制。

聚丙烯的生产过程中，耗能因素主要包括循环水、电和蒸汽。循环水用量较大单元主要为反应单元，需要大量温度相对较低的循环水及时撤走反应热，此外循环水消耗量较大为高压丙烯回收单元塔顶冷却。生产过程中需要维持容器压力及原材料的输送，消耗显著的电能和机械能^[3]。生产设备的频繁启动和停止造成的能耗波动也是重要因素之一。这些能耗因素对生产效率和环境排放

具有显著影响，过高的能源消耗不仅提高了生产成本，还加剧了温室气体和其他污染物的排放问题，亟需加以有效控制。

1.3 聚丙烯生产与环境排放之间的关系

聚丙烯的生产过程中，环境排放主要体现在废气、废水及固体废物等多个方面。生产反应阶段通常伴随大量挥发性有机化合物的排放，这些化合物对大气环境构成直接威胁，可能引发光化学烟雾及细颗粒物污染。加工过程中的能源消耗也与温室气体排放密切相关，尤其是在石化燃料的使用中，二氧化碳是主要的温室气体排放种类。废水则主要源于冷却系统和化学品溶液的排放，含有多种污染物，对水体质量造成不良影响。固体废物则包括未反应的催化剂及废弃的包装材料，若处理不当会带来土壤和水源的长期污染。

2. 聚丙烯生产过程中的能耗问题

2.1 能耗问题的表现及成因

聚丙烯生产过程中能耗问题主要体现在多个方面，主要原因复杂多样。聚丙烯生产常采用高温高压反应条件，这些条件需要消耗大量的能源，如蒸汽和电力，以维持反应塔和催化剂的活性。这导致了单位产量对应的能源消耗较高，增加了生产成本。当前生产工艺中存在热能利用效率低下的问题，持续的能量损失进一步增加了能耗。例如，在聚合反应和后续工艺处理过程中，无法有效回收和重利用的废热直接排放，导致总体能耗过高。工厂设备的老化和维护不当也会导致能效降低，设备运行效率减弱则进一步加剧了能耗问题。以 2024 年 11 月为例，液相本体-气相法（釜式）能耗最低为 88.85kgE0/t，液相本体-气相法（管式）能耗最低为 62.34kgE0/t，气相法能耗最低为 51.50kgE0/t；SPG 工艺能耗最低为 28.92kgE0/t，不同的工艺能耗差别也是比较

大的。这些因素共同作用，形成聚丙烯生产中能耗问题的主要成因，需要针对性措施予以解决。

2.2 热回收不充分的问题分析

在聚丙烯的生产过程中，热回收不充分是导致能耗过高的主要问题之一。热回收不充分主要表现在三个方面：一是工艺设计不合理，导致废热未能充分利用；二是热回收装置效率低，部分热能流失；三是缺乏先进的热回收技术支撑，使得余热难以被有效捕获和再利用。这些因素直接导致热能在生产过程中无效消耗，增加了整体能耗^[4]。工艺流程中各环节之间的热量传输不畅也是制约热回收效率的关键因素。通过改进工艺设计和提高热回收装置的效率，能够显著改善热回收不充分的问题，降低能耗。

2.3 生产过程中如何控制能耗

聚丙烯生产过程中控制能耗的关键在于优化生产流程和提高设备效率。通过改进反应器设计，实现催化剂高效利用，能够显著降低能量消耗。采用先进的监控系统以实时监测生产参数，可以及时调整工艺条件，避免不必要的能量浪费^[5]。对传热设备进行定期维护和升级，以提高热交换效率，从而减少热能损失。借助温度和压力自动控制技术，确保生产过程在最佳条件下进行，有效降低能耗。通过这些方法，可以实现聚丙烯生产过程中能耗的有效控制。

3. 排放控制策略的提出

3.1 优化聚丙烯生产工艺流程的策略

在优化聚丙烯生产工艺流程的策略中，重点在于通过技术改进和工艺调整以降低能耗和控制排放。工艺流程的优化应导入先进的反应技术，使催化剂效率最大化，并减少不必要的能量消耗。引入先进的自动化控制系统，实时监测和调节生产参数，能够有效降低因操控误差导致的能量损耗，按照笔者

了解，延安炼油厂聚丙烯装置自动化程度提升自 42%至 65%，能耗降低约为 5kgE0/t。应重视反应器的温度和压力管理，确保反应过程的能量使用最小化。实施精益生产管理，通过简化流程减少中间环节的能耗和排放^[6]。创新的净化和分离技术可以在后续处理阶段减少废气和废水的排放。优化物流和原料供应链管理，通过减少原料运输和储存过程中的损耗，进一步降低生产影响。

3.2 增设热回收系统的策略

余热利用是减少聚丙烯生产过程中的能源浪费和降低环境排放的一项有效策略。通过在聚丙烯生产装置中引入先进的热回收技术，可有效捕捉和再利用废气和废热。其最佳改进单元为催化剂配制单元，将此单元蒸汽伴热技改为凝结水伴热，冬季节约蒸汽约 11t/h。这不仅能显著降低能源消耗，还能减少温室气体及其他有害排放物的释放。热回收系统通常通过换热器、回热锅炉等装置实现余热回收，优化热能利用效率。热回收系统的整合需要根据聚丙烯生产工艺的特性进行精确设计，以确保既能实现能耗的优化，又不影响生产的连续性和效率。此策略的成功实施将为生产企业带来显著的经济效益和环保效益。

3.3 排放控制策略如何降低环境影响

聚丙烯生产中的排放控制策略通过多方面降低环境影响。优化生产工艺流程可减少废气和废水的产生，并提高原材料利用率，从而降低污染物排放。增设热回收系统能够有效回收生产过程中产生的余热，减小对能源的需求，减少温室气体的排放^[7]。采用清洁生产技术和更高效的催化剂，有助于减少有害化合物的排放。这些策略共同作用，显著减轻了聚丙烯生产对环境的负面影响。

4. 控制策略的实施与效果预测

4.1 聚丙烯生产过程中实施控制策略的具

体步骤

在聚丙烯生产过程中，实施控制策略涉及多个关键步骤。需要对现有生产工艺进行全面的能耗审核，以识别能耗高的环节和潜在的热能回收机会。通过收集并分析生产过程中的能耗数据，可以明确能源使用的具体情况和热点问题。优化生产工艺流程，以减少能源消耗^[8]。具体措施包括采用节能设备和先进生产技术，调整操作参数以提升工艺效率以及缩短加热和冷却周期。需在关键生产环节增设热回收系统，通过废热回收提高能源利用率。实施过程中，应制定详细的工程改造方案，与设备制造商和技术专家合作，确保系统的兼容性和安全性^[9]。在实施控制策略的建立实时监测和反馈机制，以便及时调整策略，有效控制能耗水平并减少环境排放，从而实现可持续发展的目标。

4.2 控制策略实施后能耗与排放的变化

实施聚丙烯生产控制策略后，能耗和排放均显著下降。优化工艺流程使得能源利用效率提高，减少了不必要的能量损耗。增设热回收系统有效回收了生产过程中产生的废热，提高了热能的再利用率，从而降低了总能耗。通过更高效的生产工艺和废气处理装置的应用，废气和污染物的排放显著减少。与传统生产过程相比，改进后的能耗降低约 15%，排放减少 20%以上。这些变化不仅优化了资源使用，也为生产成本的降低提供了新的契机。

4.3 对控制策略效果的预测与说明

实施控制策略后，聚丙烯生产过程中的能耗与排放有望显著降低，具体效果可从以下几个方面预测。能耗方面，生产工艺流程的优化和热回收系统的增设，将有效减少单位产品的能耗，有助于提升能源利用效率。排放方面，通过工艺改进和能效提升，有望减少二氧化碳及其他有害气体的排放量，降

低生产对环境的影响。综合评估表明，这些控制策略不仅在降低能耗成本上具有明显的经济效益，还在环境保护上显示出积极作用，对实现化工行业的持续发展具有重要意义。

5. 对化工行业的绿色化和可持续发展的意义

5.1 控制策略对化工行业的影响及其意义

控制策略在化工行业的应用具有重要的影响和意义。通过优化生产工艺流程和增设热回收系统，有效控制了聚丙烯生产过程中的能耗和环境排放。这一策略的实施促进了生产效率的提升和资源的合理利用，从而降低了生产成本^[10]。因为能耗的减少直接反映在经济效益的提升上。这些策略的应用减少了有害气体和废物的排放，对环境保护产生了积极作用。

在化工行业中，能源消耗和污染排放一直是关注的重点。通过采用这些控制策略，企业不仅符合日益严格的环保法规标准，还提升了自身在市场中的竞争力。这种可持续发展的生产模式为其他化工产品的生产提供了示范作用，推动整个行业向绿色化和可持续发展方向发展。控制策略不仅限于聚丙烯生产，还具有广泛的行业适用性，可在其他化工领域推广应用，促进化工行业整体的环保转型和资源节约。

5.2 对聚丙烯生产能耗与排放控制在化工行业应用的建议

在化工行业中应用聚丙烯生产能耗与排放控制策略具有重要意义。企业应积极采用优化的工艺流程，提高生产设备的能效，将能耗降至最低。建议在生产过程中引入先进的热回收系统，以充分利用反应过程中释放的热能，从而降低整体能源消耗。对排放物进行有效管理，通过技术升级减少有害物质排放，对于满足环保法规和提高企业市场竞争力具有积极作用。行业内的企业应加强技术创新，鼓励研发低能耗、低排放的新技术，并且在生产过程中实施严格的能耗监控和排放标准，建立可持续发展管理体系。

结束语

本文通过对聚丙烯生产过程的深入研究，详细探讨了其过程中能耗和环境排放问题，并提出了相应的控制策略。研究显示，优化聚丙烯生产工艺和增设热回收系统等控制策略具有高度的可行性，不仅能够降低生产过程中的环境污染，还能有效降低生产成本。这些控制策略的提出对于推动化工行业绿色、可持续发展具有重要的意义。然而，如何在实际生产中有效执行这些控制策略、如何进一步优化这些策略以适应生产过程中的变化，仍需进一步研究。可以期待的是，这些控制策略的实施将使聚丙烯生产过程真正走向高效、绿色的道路。

参考文献

- [1]段扶中周田峰. 聚丙烯生产过程中 VOC 防治措施[J]. 石油石化绿色低碳, 2019, 0(05): 56-60.
- [2]郑朱平. 聚丙烯生产过程的质量保证[J]. 化学工程与装备, 2023, (05): 28-30.
- [3]关远华陈招. 聚丙烯材料生产过程中增韧改性效果研究[J]. 当代化工, 2023, 52(05): 1052-1056.
- [4]付莹, 付传玉, 张彬, 王楠, 刘忠全, 赵胤衡, 庄松, 李峰荣, 殷志华. 锂电池隔膜专用聚丙烯生产过程的研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(11): 31-34.
- [5]陈向魁. 蓄电池 PE 隔板生产过程中 TCE 回收与排放控制[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(03): 155-156.