

聚丙烯脱灰工艺的成本效益分析及优化建议

赵倩倩（黄河三角洲京博化工研究院有限公司，山东 滨州 256500）

杜飞飞（山东京博聚烯烃新材料有限公司，山东 滨州 256500）

李兴龙（滨化集团股份有限公司，山东 滨州 256600）

摘要：聚丙烯作为一种广泛应用于注塑、管材挤出、薄膜吹塑、涂层、纤维和改性工程塑料等领域的高分子材料，其产品质量的好坏会直接对下游的应用产生重要影响，而其中灰分含量就是其影响聚丙烯纯度及性能的关键因素之一，因此本文将通过深入分析聚丙烯脱灰工艺的成本效益，去提出优化建议，希望可以在保证产品质量的同时，降低生产成本，提高企业经济效益。而且通过对不同脱灰工艺的成本构成、效益评估以及影响因素的研究，本文还将为聚丙烯生产企业提供一些科学的决策依据，希望能够对广大企业有所帮助。

关键词：聚丙烯脱灰工艺；成本效益；性能

0 引言

随着工业化的快速发展，聚丙烯作为一种重要的化工原料，其市场需求在不断增长，但是聚丙烯生产过程中产生的灰分，不仅会影响产品的纯度，还可能对其力学性能、加工性能等产生不利影响。因此，脱灰工艺成为聚丙烯生产过程中不可或缺的一环。然而脱灰工艺的实施不仅涉及技术难题，还直接关系到生产成本和经济效益，所以如何在保证产品质量的前提下，降低脱灰工艺的成本，提高生产效率，成为聚丙烯生产企业急需解决的问题。

1 聚丙烯脱灰工艺概述

1.1 脱灰工艺的重要性

聚丙烯（Polypropylene，简称PP）作为一种重要的热塑性塑料，其在日常生活和工业生产中扮演着不可或缺的角色，但是聚丙烯在生产和加工过程中，往往会受到原料、催化剂、生产环境等多种因素的影响，导致产品中残留一定量的灰分。而灰分，作为一种非挥发性残留物，其主要来源于原料中的杂质、催化剂残留以及生产过程中引入的无机物等^[1]。这些灰分不仅会影响聚丙烯的纯度，还会对其物理性能、化学稳定性以及加工性能产生不利影响。

其中从化学角度来看，灰分中的金属元素（如铁、铜、铝等）和无机非金属元素（如硅、钙、镁等）可能以离子或化合物的形式存在于聚丙烯分子链中，形成缺陷或杂质点。这些缺陷或杂质点会破坏聚丙烯的分子结构，降低其力学强度、热稳定性和电绝缘性等。灰分还会作为催化剂的残留物，促进聚丙烯在加工和使用过程中的降解，缩短产品的使用寿命。

1.2 脱灰工艺的主要方法

1.2.1 物理法

物理法脱灰主要是利用物理手段，如过滤、离心、洗涤等，将聚丙烯中的灰分杂质分离出来，其中，洗涤法作为其最常用的物理脱灰方法之一。其主要是通过选用合适的洗涤溶剂（如正己烷、异丙醇等），将聚丙烯粉料或粒料浸泡在溶剂中，利用溶剂对灰分的溶解或分散作用，使灰分与聚丙烯分离；然后再通过过滤或离心等手段，将含有灰分的溶剂与聚丙烯分离，从而达到脱灰的目的^[2]。而且物理法脱灰操作简单，成本较低，但脱灰效果可能受到灰分种类和含量的影响。

1.2.2 化学法

化学法脱灰则主要是利用化学反应的原理，将聚丙烯中的灰分杂质转化为可溶或易挥发的物质，从而将其从聚丙烯中去除，其中常用的化学脱灰方法包括酸洗、碱洗、氧化处理等；酸洗法主要利用无机酸（如盐酸、硫酸等）或有机酸（如醋酸、柠檬酸等）与灰分中的金属元素或无机非金属元素发生化学反应，生成可溶性的盐类或氧化物，然后通过洗涤或过滤的方式将其去除；碱洗法则是利用碱液（如氢氧化钠、氢氧化钾等）与灰分中的酸性氧化物或酸性盐类反应，生成可溶性的盐类或水，同样通过洗涤或过滤的方式将其去除；氧化处理法则是利用氧化剂（如过氧化氢、高锰酸钾等）将灰分中的还原性物质氧化为可溶或易挥发的物质，从而将其从聚丙烯中去除。化学法脱灰效果较好，但由于操作过程较为复杂，且可能引入新的杂质或对环境造成污染，因此需要严格控制反应条件和后续处理过程。

1.2.3 物理-化学结合法

物理-化学结合法则是将物理法和化学法相结合的一种脱灰工艺,这种方法结合了物理法和化学法的优点,既能够去除聚丙烯中的大部分灰分杂质,又能够控制操作过程和成本。例如,可以先采用物理法将聚丙烯中的大部分灰分杂质分离出来,然后再采用化学法对剩余的少量灰分进行深度处理。亦或者,可以先采用化学法将聚丙烯中的灰分杂质转化为可溶或易挥发的物质,然后再采用物理法将其从聚丙烯中去除,这样物理-化学结合法的脱灰效果特好,但由于操作过程相对复杂,所以仍然需要综合考虑多种因素以确定最佳工艺条件^[3]。

2 聚丙烯脱灰工艺的成本效益分析

2.1 成本构成分析

聚丙烯脱灰工艺的成本构成复杂多样,主要包括原材料成本、化学试剂成本、能源成本、设备折旧与维护成本以及人工成本等。以下是其讲话的成本构成表格及其分析。

表1 聚丙烯脱灰工艺成本构成分析数据表

成本构成元素	成本细分	大致估值(单位:元/吨聚丙烯产品)
原材料成本	聚丙烯原料	800
	洗涤溶剂(如正己烷、异丙醇)	150
	其他辅助材料	50
化学试剂成本	酸洗或碱洗试剂	100
	氧化剂或其他催化剂	100
能源成本	电力	100
	蒸汽/热水	50
设备折旧与维护成本	洗涤设备折旧	100
	维护与保养费用	100
人工成本	操作工人工资	80
管理人员工资	管理人员工资	20
总成本	总成本	1750

从表1可以看出,聚丙烯脱灰工艺的成本主要集中在原材料成本上,占总成本的近60%。其中,聚丙烯原料本身占据较大比例,洗涤溶剂和其他辅助材料也是不可或缺的一部分;化学试剂成本虽然占比较小,但在某些特殊脱灰工艺中可能会明显增加;而能源成本则是随着生产规模的扩大和能源价格的波动而有所变化;设备折旧与维护成本是长期投资的一部分,对于保持生产设备的稳定运行至关重要;人工成本则随着劳动力市场的供需变化和工资水平的调整而有所波动。

2.2 效益评估

聚丙烯脱灰工艺的效益评估需要从多个维度进行考量,包括产品质量提升、市场竞争力增强、环保效

益以及经济效益等。以下是对这些效益的详细分析:

2.2.1 产品质量提升

脱灰工艺能够显著降低聚丙烯产品中的灰分含量,提高产品的纯度和性能稳定性,这对于高端市场来说特别的重要,因为高纯度的聚丙烯产品能够满足更加严格的质量标准和性能要求。据估计,脱灰后的聚丙烯产品在电子器件、医疗用品和食品包装等领域的应用将更加广泛,市场需求量将显著增加^[4]。

2.2.2 市场竞争力增强

随着市场竞争的加剧,产品质量和性能成为企业竞争的关键因素。脱灰工艺的应用使得聚丙烯产品在市场上更具竞争力,据市场调研显示,高纯度的聚丙烯产品价格通常比普通产品高出20%-30%,且需求量稳定增长。这意味着聚丙烯生产企业通过脱灰工艺可以获得更高的经济效益。

2.2.3 环保效益

脱灰工艺不仅能够提高聚丙烯产品的质量,还有助于减少生产过程中的环境污染,而且通过减少灰分等杂质的排放,还可以降低对大气、水体和土壤的污染风险。除此以外,洗涤溶剂和化学试剂的回收利用也是环保效益的重要体现。

2.2.4 经济效益

从经济效益角度来看,脱灰工艺虽然增加了生产成本,但带来的收益往往超过成本增加,以某聚丙烯生产企业为例,该企业通过脱灰工艺将产品灰分含量从300 $\mu\text{g/g}$ 降低至50 $\mu\text{g/g}$ 后,产品价格提高了25%,且市场需求量增加了30%。这表示企业每吨产品的收益将增加约1000元(基于上述成本构成分析中的总成本1750元/吨和价格提升后的收益计算)。考虑到生产规模的扩大和长期的市场需求增长,脱灰工艺将为企业带来可观的经济效益。而且随着新能源汽车和电子信息产业的快速发展,聚丙烯在这些领域的应用也将进一步扩大。预计未来几年内,高纯度的聚丙烯产品市场需求量将以年均10%以上的速度增长,这将为聚丙烯脱灰工艺的应用提供更加广阔的市场空间和经济效益。

3 聚丙烯脱灰工艺的优化建议

3.1 优化洗涤溶剂体系

洗涤溶剂的选择对脱灰效果和经济成本具有重要影响,因为传统的洗涤溶剂体系如“正己烷+乙醇+乙酰丙酮”复合洗涤剂虽然脱灰效果较好,但洗涤过程较为复杂,成本较高。而且单一的洗涤溶剂往往难以满足聚丙烯脱灰的所有要求,因此通可以过

复配多种溶剂,可以形成具有协同作用的溶剂体系,从而提高脱灰效果^[5]。例如,正己烷和异丙醇的组合就是一种常用的溶剂体系。正己烷具有良好的溶解能力,能够有效溶解聚丙烯中的灰分杂质;而异丙醇则具有较低的挥发性和较好的稳定性,有助于减少溶剂损失并保护聚丙烯产品的性能。通过实验发现,当正己烷与异丙醇的体积比为 21:4 时,洗涤效果最佳,总灰分含量可降至 $30.81 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,灰分脱除率达到 79.99%。

其次,溶剂的溶解能力与其溶度参数密切相关。溶度参数相近的溶剂之间更容易形成互溶体系,从而提高对聚丙烯中灰分杂质的溶解能力,例如,二乙二醇单丁醚和异丙醇胺等溶剂的溶度参数与聚丙烯的溶度参数相近,能够更有效地进入聚丙烯分子链中,与灰分杂质形成稳定的络合物,从而提高脱灰效果。不过要注意的是,过多的溶剂会导致生产成本增加,而过少的溶剂则可能无法充分溶解灰分杂质,其中通过实验发现,每 1g 聚丙烯使用 5mL 洗涤溶剂时,洗涤效果最佳。此外,洗涤温度和时间也是影响脱灰效果的重要因素。一般来说,洗涤温度越高,溶剂分子运动越快,越有利于溶解灰分杂质;但过高的温度可能会导致聚丙烯产品性能下降,因此需要通过实验确定最佳的洗涤温度和时间。

除此以外,在聚丙烯脱灰工艺中,洗涤溶剂的回收与再利用不仅有助于降低生产成本,还有助于减少环境污染。而通过蒸馏、萃取等方法,可以将洗涤溶剂中的灰分杂质分离出来,从而实现溶剂的回收与再利用,同时对于无法回收的溶剂,应采取安全、环保的处理方式,避免对环境造成污染;最后如今随着环保意识的提高,绿色溶剂的开发与应用逐渐成为研究热点,在聚丙烯脱灰工艺中,探索新型绿色溶剂不仅有助于降低生产成本,还有助于减少环境污染。例如,离子液体、超临界流体等新型溶剂在聚丙烯脱灰工艺中展现出良好的应用前景,这些溶剂具有低挥发性、高溶解能力、可循环利用等优点,有望成为未来聚丙烯脱灰工艺中的主流溶剂。

3.2 改进洗涤设备

在聚丙烯脱灰工艺中,洗涤设备的设计与性能效果好坏会直接影响着洗涤效果和生产效率,所以为了进一步提升脱灰效果,降低生产成本,对洗涤设备进行改进是非常有必要的,其中具体来说企业可以从以下几个方面入手:

第一,优化洗涤设备的结构设计,采用多级、多

层塔体结构,增加气液接触面积,提高洗涤效率,然后引入先进的填料技术,如环状填料、球状填料等,因为这些填料能提供更大的表面积,促进气液之间的充分混合与接触,所以可以加速灰分杂质的溶解与分离;除此以外洗涤设备应配备高效的搅拌系统和温度控制系统,确保洗涤过程中溶剂与聚丙烯粉料的均匀混合与适宜的反应温度,以提高洗涤效果。

第二,在化学工程领域,洗涤设备的材质选择也是至关重要,因为聚丙烯作为一种化学性质稳定的材料,其设备应选用耐腐蚀、耐高温的材质,如不锈钢、钛合金等,以延长设备使用寿命,减少维护成本;于此哦给你是考虑到溶剂回收与再利用的重要性,洗涤设备应设计合理的溶剂回收系统,利用蒸馏、萃取等化学分离技术,实现溶剂的高效回收与循环使用,降低生产成本,符合绿色化学的发展理念。这样通过这些改进措施,洗涤设备将能更高效地服务于聚丙烯脱灰工艺,提升产品质量,降低生产成本,从而达到推动聚丙烯行业可持续发展的目的。

4 结语

总而言之,通过对聚丙烯脱灰工艺的成本效益分析及优化建议的深入探讨,我们可以得出以下结论:首先聚丙烯脱灰工艺对于提升产品质量、增强市场竞争力、实现环保效益和经济效益具有重要意义,因为成本构成分析揭示了脱灰工艺的主要成本来源,这些来源可以为成本控制提供下方向;而效益评估则证明了脱灰工艺在提升产品价值、拓展市场应用方面的巨大潜力;与此同时针对洗涤溶剂体系和洗涤设备的优化建议,为降低生产成本、提高生产效率提供了具体可行的方案。未来,聚丙烯生产企业应继续加强技术研发,探索更加高效、环保的脱灰工艺,以满足市场对高质量聚丙烯产品的需求,推动聚丙烯行业的持续健康发展。

参考文献:

- [1] 权志杰. 聚丙烯粉体纯化工艺研究 [D]. 杭州:浙江大学,2024.
- [2] 周昌浩. 聚丙烯灰分脱除技术与过程机理研究 [D]. 天津:天津科技大学,2023.
- [3] 吴岩松. 高活性高定向度丙烯聚合催化剂性能及聚丙烯脱灰工艺研究 [D]. 沈阳:东北石油大学,2022.
- [4] 叶新新,邢照亮,姜涛,等. 聚丙烯洗涤脱灰工艺研究 [J]. 化学工业与工程,2023,40(04):122-128.
- [5] 陈思. 聚丙烯生产工艺及其市场应用的研究 [D]. 沈阳:东北石油大学,2013.