

Research Progress on the Effect of Catalysts on the Performance of Polypropylene

Ke Ye

Hunan Petrochemical, Yueyang, Hunan, 414000, China

Abstract

This paper takes the polypropylene unit of Hunan Petrochemical Company as the research object, using triethyl aluminum (TEAL) and donor as co-catalysts, DQ-3, CS-1, and HR as main catalysts, and polypropylene as an additive, studying the influence rules of these substances on the performance of polypropylene. It systematically studies the characteristics and action mechanisms of the main catalysts and additives, as well as their impact on the properties of polypropylene homopolymers and polypropylene copolymer particles. The paper analyzes the impact of high catalyst consumption on the production cost and product quality of polypropylene. Based on this, it summarizes existing research results in combination with current domestic and international research status, and looks forward to future development trends, aiming to provide theoretical basis and technical references for optimizing polypropylene production processes, improving product quality, and reducing costs.

Keywords

polypropylene; catalyst; performance impact; loop reactor process; catalyst consumption

催化剂对聚丙烯性能影响的研究进展

叶可

湖南石化, 中国·湖南 岳阳 414000

摘要

本文以湖南石油化工公司聚丙烯装置为研究对象,以三乙基铝(TEAL)和给电子体(DONOR)为助催化剂,以DQ-3,CS-1,HR为主要催化剂,以聚丙烯为助剂,以三乙基铝(TEAL)和给电子体(DONOR)为助催化剂,研究其对聚丙烯性能的影响规律。系统研究主催化剂、助剂的特点及作用机理,以及它们对聚丙烯均聚物、聚丙烯共聚物本色粒子特性的影响规律,分析高催化剂单耗对聚丙烯生产成本及产品品质的影响。在此基础上,结合国内外的研究现状,对现有的研究成果进行总结,并对未来的发展趋势进行展望,以期为聚丙烯生产工艺的优化、产品品质的提升、成本的降低提供理论基础和技术参考。

关键词

聚丙烯; 催化剂; 性能影响; 环管法工艺; 催化剂单耗

1 引言

聚丙烯(PP)是一种综合性能优异的热塑性树脂,具有低密度,高机械强度,良好的化学稳定性,耐热性,可加工性好等优点。在日常生活中,聚丙烯被广泛地应用于塑料产品,包装材料,纺织纤维等行业;在工业上,它广泛应用于汽车配件,医疗设备,家用电器外壳等。湖南石化公司聚丙烯生产装置采用了国内首创的环管法聚丙烯生产工艺,该技术流程简单,能耗低,产品质量稳定。以丙烯、氢和丁烯为主要原料,选择了DQ-3,CS-1,HR为主催化剂,三乙基铝(TEAL)和给电子体(DONOR)为助催化剂,制得聚丙烯均聚物、丙丁共聚物天然颗粒。但近年来,该装置普遍存

在催化剂消耗偏高的问题,导致聚丙烯生产成本上升,产品中灰分偏高,严重影响产品品质和市场竞争力。因此,在此基础上,研究催化剂对聚丙烯性能的影响,探索降低催化剂消耗,提高产品品质的途径,具有十分重要的实际意义。

2 主催化剂对聚丙烯性能的影响

2.1 DQ-3 催化剂

DQ-3 催化剂是齐格勒-纳塔(Ziegler-Natta)催化剂,具有高催化活性和高取向性。结果表明,该催化剂具有较好的催化活性位点分布均匀,可降低催化剂用量,提高聚合速度。该催化剂以氯化镁($MgCl_2$)为载体,可有效分散活性位点,提高催化剂的稳定性及催化活性;用DQ-3催化剂制得的聚丙烯等规性能良好,一般大于95%。高规整度使聚丙烯分子链规整性好,结晶度高,使其具有较好的抗拉强度、抗弯强度及硬度等力学性能。同时,该催化剂具有较高的反

【作者简介】叶可(1989-),男,中国湖南长沙人,本科,工程师,从事聚丙烯生产技术研究。

应活性,能迅速引发聚合,从而使聚丙烯的分子量分布变窄。分子量分布越窄,加工性能越好,制品在注塑和挤出成型时具有良好的尺寸稳定性和良好的表面质量。但是,由于分子量分布较窄,在加工过程中需要一定的流动性,因此需要对其进行改性处理^[1]。

2.2 CS-1 催化剂

CS-1 催化剂同属齐格勒-纳塔体系,但其制备方法独特,使其具有良好的颗粒形貌和高堆密度。结果表明,该催化剂具有中等的氢敏感性,可以通过调节氢含量实现对聚丙烯分子量的控制;用 CS-1 催化剂制得的聚丙烯分子量分布比较宽。分子量分布宽,使聚丙烯具有较好的流动性和加工性,可用于吹塑和纺丝。另外,以 CS-1 为催化剂所制得的聚丙烯具有一定的抗冲击性能。由于分子链结构中含有不同分子量的链段,当受到外力作用时,这些链段之间会产生协同效应,吸收更多的能量,从而提高材料的冲击韧性。但是,随着分子量分布的增大,聚丙烯的拉伸强度和硬度都有所下降^[2]。

2.3 HR 催化剂

HR 催化剂是一种集两种催化剂优点于一体的新型聚丙烯催化剂。结果表明,该催化剂具有较好的反应条件适应性,在较宽的温压范围内具有较好的催化活性;用 HR 催化剂制得的聚丙烯具有更好的综合性能。从力学性能上看,该材料既能保持一定的抗冲击强度,又能满足一些对综合力学性能要求很高的应用场合。从热性能来看,HR 催化剂制备的聚丙烯熔点高、热变形温度高,可以保证高温度下的尺寸稳定性。同时,该催化剂对聚丙烯等规度、分子量分布的控制也有较好的效果,可满足不同产品的要求。

3 助催化剂对聚丙烯性能的影响

3.1 三乙基铝 (TEAL)

三乙基铝 (TEAL) 是聚丙烯聚合中的活化剂,可与主体催化剂中的过渡金属化合物反应生成活性位点,是目前研究的热点之一。TEAL 能提供烷基,活化主体催化剂的活性位点,促进单体丙烯聚合。另外,TEAL 对聚合体系中的杂质也有一定的清除作用,使催化剂活性位中毒,使催化剂活性及选择性下降 (图 1); TEAL 是影响聚丙烯性能的重要因素。适量的 TEAL 能充分激活主催化剂,加快聚合反应速度,制得分子量适中、分布合理的聚丙烯。当 TEAL 加入量不足时,主催化剂的活化不充分,聚合反应速度慢,聚丙烯相对分子质量偏高,加工性能下降。但 TEAL 加入量过大,聚合反应过猛,分子量分布过宽,导致制品力学、热学性能下降。另外,过多的 TEAL 也会使产品灰份增加,从而影响产品品质^[3]。

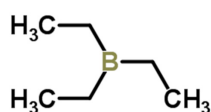


图 1 三乙基铝 (TEAL) 化学原理

3.2 给电子体 (DONOR)

给电子体 (DONOR) 是调控聚丙烯聚合反应活性的重要手段。以过渡金属为配体,通过改变催化剂中电子云密度、空间结构等因素,调控丙烯单体插入模式及聚合选择性。不同结构的给电子体对其催化性能有较大影响,选择适当的给电子体,可实现对聚丙烯等规度和立构规整性的精确调控。电子给体的类型及加入量对聚丙烯的立体规整性有直接影响。合适的给体电子能显著改善聚丙烯的等规性,使其分子链更加规整,结晶度更高,从而提高制品的力学与热学性能。例如,选择适当的电子给体,可使聚丙烯的等规度大于 98%,从而显著地提高制品的抗拉强度和弯曲模量。但是,如果给电子体加入量不合适,则会造成催化剂活性降低、聚合反应速率降低、产品质量稳定性降低等问题。

4 催化剂单耗与聚丙烯性能及生产成本的关系

4.1 催化剂单耗对聚丙烯性能的影响

随着催化剂单耗的增加,聚丙烯的性能会受到各方面的不利影响。催化剂残留过多,产物中灰分含量升高。灰分降低了聚丙烯的纯度,降低了产品的外观质量,降低了产品的质量。在食品包装和医疗器械等对产品纯度有很高要求的场合,如果灰分含量过高,就会导致产品达不到质量标准,不能满足市场需求。另外,催化剂单耗的改变也会对聚合反应的均匀性及稳定性产生一定的影响。在催化剂单耗不稳定的情况下,聚合反应速度及产物分子结构波动,使聚丙烯分子量及分布、等规性等性能指标波动较大,难以控制产品质量^[4]。

4.2 催化剂单耗对生产成本的影响

催化剂在聚丙烯生产中占有重要地位,其单耗的增加直接影响到生产成本的提高。随着催化剂消耗率的不断提高,企业为维持生产而增加了催化剂的采购成本。另外,随着催化剂单耗的增加,后续的一系列费用也会随之增加。例如,为了解决因催化剂残留而造成的产品质量问题,企业可能需要在产品后处理过程中加入洗涤、过滤等工序,这样就会使设备的运行费用、能耗以及人工成本增加。与此同时,由于产品质量的下降,可能会降低产品的销售价格,降低市场份额,进而影响到企业的经济效益。

5 当前研究现状与存在的问题

5.1 研究现状

目前,有关聚丙烯催化剂的研究已取得较大进展。在主催化剂方面,我们将继续开发新的、高效的催化剂,提高催化剂的活性,选择性,定向性。从催化剂载体制备、活性位结构优化等方面入手,发展高性能聚丙烯催化剂。在助催化方面,探索给电子单元的结构与作用机理,发展一系列新的给电子单元,实现对聚丙烯性能的精准调控。同时,结合聚丙烯生产过程,探索最优催化剂用量及配比,提高产品质量,提高生产效率^[5]。

5.2 存在的问题

近年来,聚丙烯催化剂的研究取得了一些进展,但是仍然存在一些不足之处。湖南石化公司聚丙烯生产装置采用第一代国产环管法工艺所配套的催化剂系统,在长时间运行中存在催化剂消耗高,产品质量不稳定等问题。现有催化剂对聚合反应条件的适应性较差,难以应对原料品质波动和设备操作参数多变等问题。在此基础上,对聚丙烯的性能进行精细调控,揭示催化剂与聚丙烯性能的内在联系。同时,催化剂回收与循环使用技术尚未成熟,造成了催化剂资源浪费、生产成本上升等问题。

6 未来研究方向

6.1 开发新型高效催化剂

催化剂在聚丙烯生产过程中起着关键作用,它能够显著降低反应活化能,加快聚合反应速率,同时还能调控聚丙烯的分子结构和性能。不同类型的催化剂会使聚丙烯具有不同的微观结构,如等规度、分子量及其分布、立构规整性等,进而影响聚丙烯的宏观性能,如力学性能、热性能、加工性能等。今后应加大对聚丙烯新催化剂的研究和开发,将材料科学、化工等交叉学科交叉,设计合成高活性、高选择性、高稳定性的催化剂。例如,发展以纳米材料为基础的催化剂载体,改善催化剂活性位点的分散性及稳定性;以新型过渡金属络合物为主体催化剂,实现聚丙烯分子结构的精确调控。在此基础上,探索新型助催化剂体系,优化给体材料的结构与性能,进一步提升催化剂的定向性能及聚合效率。

6.2 优化催化剂使用工艺

对环管法聚丙烯生产过程中催化剂的使用过程进行深入研究,并结合实验与模拟,确定最优配方及反应条件。研究原料品质、反应温度、压力、氢及丁烯用量对聚丙烯性能及产品品质的影响规律,建立准确的数学模型,实现聚合过程的精确调控。在此基础上,建立催化剂在线监测与调控技术,实时监测催化剂活性及聚丙烯性能指标,并根据监控结果对催化剂用量及反应条件进行实时调整,保证生产过程稳

定、产品质量稳定。

6.3 加强催化剂回收与再利用研究

为降低催化剂的生产成本,减少资源浪费,开展催化剂的回收与循环利用技术研究。利用膜分离、吸附分离等技术,实现催化剂与聚合产物的有效分离与回收。通过物理化学等手段使催化剂活性与性能恢复,实现其多次循环利用。在此基础上,构建催化剂循环利用经济性评价体系,对其进行经济与环境效益评价,促进催化剂循环利用技术的推广应用。

7 结论

总之,催化剂是影响聚丙烯性能的重要因素,湖南石油化工有限公司聚丙烯生产过程中,助催化剂 DQ-3,CS-1,HR,以及三乙基铝(TEAL),DONOR 等助剂的性质及用量,直接影响聚丙烯均聚物、丙丁共聚物的分子结构及宏观性能。但是,现有装置普遍存在着催化剂消耗高、生产成本低、产品质量差等问题。从目前的研究情况来看,聚丙烯催化剂的研究虽然取得了一些进展,但是仍然有许多问题亟待解决。在此基础上,深入开展新型高效催化剂的研发,优化催化剂的使用工艺,强化催化剂的循环利用,实现聚丙烯生产过程的优化,提高产品质量,降低生产成本,促进我国聚丙烯产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 谢佩潭.不同催化剂在聚丙烯工艺中的应用与性能对比研究[J].化工管理,2025(15):140-143.
- [2] 苟均龙.BCZ-208催化剂在Hypol工业装置上开发高性能聚丙烯产品[J].石油化工,2025,54(4):536-542.
- [3] 王路生,罗永剑,张晓萌,等.HR催化剂制备高性能聚丙烯的研究[J].合成树脂及塑料,2021,38(5):10-13.
- [4] 高金龙,张眉,王勇,等.载体活化方式对高性能聚丙烯催化剂性能的影响研究[J].合成材料老化与应用,2024,53(1):42-44.
- [5] 王飞虎,刘恒,王升.国产HR催化剂在高性能聚丙烯EP548RQ生产的应用[J].山东化工,2024,53(15):202-205.