

炼油化工丙烷脱氢工艺技术措施

李智超

浙江石油化工有限公司 浙江 舟山 316200

摘 要: 本文综述了浙石化丙烷脱氢工艺的原理、主要技术及技术措施。通过对比不同工艺技术特点,分析了催化剂选择与优化、反应条件控制及工艺过程改进对提升丙烷脱氢效率和经济性的重要性。同时,探讨了仪表在反应监测、催化剂再生和产物分离中的应用,为实现工艺自动化和智能化提供了支持。本文为丙烷脱氢工艺的技术创新和可持续发展提供了参考。

关键词: 炼油化工; 丙烷脱氢; 工艺技术; 措施

引言

丙烷脱氢作为丙烯生产的关键途径,在浙石化占据重要地位。随着市场对丙烯需求的不断增长,提高丙烷脱氢工艺的效率和经济性成为行业关注的焦点。本文旨在深入探讨丙烷脱氢的工艺原理、常见技术及其技术措施,特别是催化剂的优化、反应条件的精确控制以及工艺过程的创新改进。同时,本文还将关注仪表在工艺过程中的关键作用,为实现丙烷脱氢的高效、绿色生产提供理论支持和实践指导。

1 炼油化工丙烷脱氢工艺原理及主要工艺技术

1.1 工艺原理

(1) 丙烷脱氢反应的主要机理是表面反应,并伴有丙烷在催化剂内进行扩散的过程。丙烯的生成依赖于丙烷和催化剂表面活性位点之间的相互作用;这个反应过程主要涉及催化剂表面上氢和烷基的吸附解离、反应以及生成物的脱附等一系列步骤。(2) 丙烷脱氢反应的主要热力学性质是为吸热反应,平衡常数随温度的提高而增加,是一种热分子数增多的可逆反应。所以,增加反应温度和降低压力都有助于反应朝正方向推进,但如果反应温度太高则会导致非催化热裂和深度脱氢反应的增加,从而导致选择性减少。一般的催化脱氢反应温度约在590~630℃之间。(3) 丙烷脱氢反应的动力学特点表现为反应速率受温度、压力和催化剂性质等因素的影响。选择合适的催化剂和反应条件对于提高反应的选择性和催化活性至关重要。

1.2 常见工艺技术

目前,丙烷脱氢工艺主要包括UOP公司的Oleflex工艺、Lummus公司的Catofin工艺、Uhde公司的Star工艺等。(1) Oleflex工艺:采用移动床工艺和Pt-Al₂O₃催化剂,催化剂可以连续再生,类似炼油厂的连续重整装置。反应温度550~650℃,反应压力0.1MPa;该工艺操

作连续、负荷均匀,但使用了贵金属催化剂,对原料要求苛刻,单程转化率较低。(2) Catofin工艺:采用固定床工艺和Cr₂O₃-Al₂O₃催化剂,反应温度为560~620℃,反应压力为0.05MPa。该工艺操作稳定可靠,催化剂对原料的容忍性较好,但反应器台数多,占地面积大。(3) Star工艺:采用固定床管式反应器和Pt-Ca-Zn-Al₂O₃催化剂,反应温度为500℃,反应压力为0.35MPa。该工艺在管式反应器后面增加了一台氧化脱氢反应器,采用较高的压力,使催化剂用量减少,反应器容积减小。每种工艺都有其独特的技术特点和适用条件,选择适合的工艺对于提高丙烷脱氢的效率和经济效益具有重要意义^[1]。浙石化选用的是UOP公司的Oleflex工艺和CCR连续再生技术,选用DeH-16催化剂。

2 炼油化工丙烷脱氢工艺中的仪表应用

2.1 反应过程监测仪表

(1) 温度仪表:在丙烷脱氢反应中,温度是影响反应速率、转化率和产物选择性的关键因素。由于该反应通常在590~630℃的高温范围内进行,对温度仪表的精度和稳定性提出了极高的要求。热电偶作为最常用的温度测量元件,凭借其宽测量范围、良好的线性度和长期稳定性,成为丙烷脱氢反应釜中的首选。特别是贵金属热电偶(如铂铑热电偶),能在高温环境下保持更稳定的测温性能,减少因温度测量误差导致的工艺波动。此外,热电阻温度计,尤其是铂热电阻,也因其高精度和快速响应的特点,在某些需要更高测量精度的场合得到应用。这些温度仪表通过与Honeywell EPKs控制系统的紧密集成,实现了对反应温度的精确调控,为优化反应条件提供了数据支持。(2) 压力仪表:反应压力是影响丙烷脱氢反应动力学和热力学平衡的另一个重要参数。为了维持反应在0.05~0.35MPa的适宜压力范围内,必须采用高精度、高稳定性的压力测量仪表。压力变送器因

其能够将压力信号转换为电信号进行远距离传输和精确控制,成为现代工业中的主流选择。它们不仅具有宽测量范围、高分辨率的特点,还能适应恶劣的工作环境,如高温、腐蚀等,确保压力数据的实时性和准确性。传统的压力表作为现场指示仪表,也常被用于快速直观地监测反应压力,为操作人员提供即时反馈。(3)流量仪表:在丙烷脱氢工艺中,丙烷、氢气等原料的流量控制对于维持适宜的空速、保证反应效率和产物分布至关重要。孔板流量计因其结构简单、成本低廉、适用性强,常被用于大流量的初步计量。但对于需要更高精度和稳定性测量的场合,质量流量计则成为更优选择。它能够直接测量流体的质量流量,不受温度、压力变化的影响,为精确控制物料比例、优化反应条件提供了可靠依据。通过先进的流量控制系统,可以实现对反应物进料的精细调节,从而提高丙烷的转化率和丙烯的产率。

2.2 催化剂再生过程中的仪表应用

(1)料位仪表:催化剂的再生是维持丙烷脱氢工艺长期稳定运行的关键环节。在这一过程中,料位仪表的作用不容忽视;以VEGA非接触式同位素测量仪表为例,它利用放射性同位素发出的射线穿透物料并衰减的原理,间接测量料位高度,无需与物料直接接触,避免了因物料粘附或堵塞导致的测量误差。这种仪表能够精确控制催化剂在分离料斗、再生器及再生催化剂料斗中的料位,确保催化剂的均匀分布和有效再生,同时减少催化剂的浪费和设备的磨损。(2)温度和压力仪表:催化剂再生过程中的温度和压力控制同样至关重要。过高的温度可能导致催化剂结构破坏,而过低的温度则影响再生效果;因而,选用能够承受高温、高压环境的温度和压力仪表显得尤为重要。通常,会采用耐高温的热电偶和压力变送器,结合Honeywell EPKs控制系统,实现对再生温度和压力的精确调控。这不仅保证了催化剂的再生质量,还延长了其使用寿命,降低了生产成本^[2]。

2.3 产物分离与精制过程中的仪表应用

(1)液位仪表:在产物分离阶段,液位仪表对于控制分离塔和精馏塔内的液位至关重要。浮筒液位计因其结构简单、维护方便,常用于初步液位监测,但在需要更高精度和远程监控的场合,雷达液位计则展现出其优势。雷达液位计利用微波信号反射原理测量液位,不受介质密度、粘度等物理性质的影响,能够在复杂工况下提供准确的液位数据;通过精确控制液位,可以优化分离效率,确保丙烷、丙烯等产品的纯度和收率。(2)成分分析仪表:产物中各组分的准确分析是评价丙烷脱氢工艺效果的关键。气相色谱仪和质谱仪作为高灵敏度的

成分分析仪表,能够在线监测产物中的丙烷、丙烯、氢气等成分的浓度变化。气相色谱仪通过样品在色谱柱中的分离和检测,实现对各组分的定量分析;而质谱仪则通过测量离子的质荷比,对未知组分进行定性分析。这些仪表的实时数据为工艺参数的调整提供了科学依据,有助于及时纠正生产偏差,提高丙烯的回收率和产品纯度,从而提升整体工艺的经济性和环保性。

3 浙石化丙烷脱氢工艺的技术措施

3.1 催化剂的选择与优化

(1)贵金属催化剂,尤其是铂系催化剂,凭借其卓越的催化活性和高选择性,成为丙烷脱氢工艺中的首选。铂的高度分散性和对丙烷分子的高效活化能力,使得反应能够在相对较低的温度下进行,从而减少了副反应的发生,提高了丙烯的收率。但贵金属的高昂成本限制了其广泛应用,因而,通过添加助剂如铈、锡等,不仅能有效提升铂的催化效率,还能增强其抗烧结能力,延长催化剂寿命,进而降低长期运营成本。(2)金属氧化物催化剂,如铬系催化剂,虽成本较低且热稳定性良好,但在活性上往往不及贵金属催化剂。通过对其组成和结构的精细调控,如调整铬的氧化态、引入其他金属元素形成复合氧化物,或是选用具有高比表面积的载体,可以显著提升其催化性能,尤其是在提高丙烯选择性和降低副产物生成方面展现出潜力。此外,采用沉淀法、溶胶-凝胶法等先进的制备方法,能够进一步优化催化剂的孔隙结构和表面性质,进而提高其催化活性和稳定性。(3)近年来,新型催化剂的研发为丙烷脱氢工艺带来了革命性的变化。纳米催化剂因其独特的尺寸效应和表面效应,展现出极高的催化活性和选择性;通过精确控制纳米粒子的尺寸和形貌,可以最大化地暴露活性位点,同时减少贵金属的用量,有效降低成本。复合催化剂则是通过结合不同催化材料的优势,实现催化性能的协同提升。例如,将贵金属与金属氧化物或稀土金属复合,既能保持贵金属的高活性,又能利用金属氧化物或稀土金属的稳定性,从而在保证催化效率的同时,显著提高了催化剂的稳定性和耐用性^[3]。

3.2 反应条件的控制与优化

(1)温度作为丙烷脱氢反应的关键参数,对反应速率、转化率和产物选择性具有显著影响。在适宜的温度区间内,随着温度的升高,反应速率加快,丙烷转化率提高,但同时副反应也会增加,导致丙烯选择性下降。因而,必须通过高精度的温度仪表对反应温度进行实时监测与精确控制,以确保反应在最佳温度点或温度范围内稳定运行。此外,还需根据原料组成、催化剂性能以

及反应设备的特点,灵活调整温度设定值,以应对不同工况下的需求变化,实现反应效率与产物质量的双重优化。(2)反应压力对丙烷脱氢反应的平衡状态和反应速率同样具有重要影响。降低反应压力有利于反应向生成丙烯的方向移动,提高丙烷转化率和丙烯选择性;在实际生产过程中,应利用先进的压力仪表对反应压力进行实时监测,并通过精确的压力控制系统实现低压操作。这种低压操作技术不仅能够显著提高反应效率,还能有效降低能耗和生产成本,为丙烷脱氢工艺的节能减排提供有力支持。(3)空速和氢烃比作为丙烷脱氢反应中的另外两个重要参数,其优化同样至关重要。空速的大小直接影响到催化剂的接触时间和反应物的转化率,而氢烃比则关系到反应的选择性和催化剂的稳定性;于是,需要通过精确的流量仪表测量反应物的流量,进而确定最佳的空速和氢烃比范围。在此基础上,通过优化反应器的设计和操作参数,如反应器的结构、催化剂的装填方式以及反应气体的分布等,实现空速和氢烃比的精确控制。这不仅能够提高催化剂的利用率和产物选择性,还能进一步提升丙烷脱氢工艺的经济性和环保性,为炼油化工行业的可持续发展贡献力量。

3.3 工艺过程的改进与创新

(1)反应器作为丙烷脱氢工艺的“心脏”,其设计与优化直接关系到反应效率的高低与能耗的大小。传统反应器如固定床反应器、流化床反应器等,在丙烷脱氢反应中虽有一定应用,但各自存在局限性。近年来,微通道反应器和膜反应器等新型反应器逐渐崭露头角。微通道反应器凭借其极高的传热传质效率,能够实现快速、高效的丙烷脱氢反应,显著降低能耗并减少副反应;而膜反应器则通过膜的选择透过性,实现反应与分离的一体化,进一步提高了丙烯的收率和纯度。于是,结合生产实际,对反应器进行针对性设计与优化,是提升丙烷脱氢工艺水平的关键。(2)在丙烷脱氢过程中,会产生大量的热能等能量资源。这些能量的有效回收与利用,对于降低生产成本、提高能源利用效率具有重要意义。通

过构建高效的热交换网络,实现热能在不同工艺环节间的合理分配与利用;同时,利用余热发电技术,将剩余热能转化为电能,为工艺提供辅助动力;此外,蒸汽的回收利用也是降低能耗的有效途径。在这一过程中,相关仪表如温度传感器、压力计、流量计等发挥着至关重要的作用。它们能够精确测量能量回收过程中的各项参数,为系统的优化控制提供数据支持,确保能量回收的高效与稳定。(3)工艺流程的集成与优化则是从系统层面提升丙烷脱氢工艺经济性和环保性的重要手段。通过将丙烷脱氢工艺与其他相关工艺如丙烯精制、废气处理等进行有机集成,可以实现物料的循环利用和废弃物的集中处理,显著降低物料消耗和废弃物排放。在集成过程中,仪表系统的整合与优化同样重要;通过合理设计仪表系统的配置和监测要求,实现工艺流程的自动化控制和智能化管理,进一步提高丙烷脱氢工艺的整体运行效率和环保性能。

结束语

综上所述,丙烷脱氢工艺的技术措施对于提升工艺效率、降低生产成本及增强环保性能具有重要意义。通过催化剂的优化选择、反应条件的精确控制以及工艺过程的不断创新,丙烷脱氢工艺正逐步向高效、绿色、可持续发展的方向发展。同时,仪表的广泛应用为工艺的自动化和智能化提供了有力支持。未来,随着技术的不断进步和市场的持续发展,丙烷脱氢工艺将迎来更加广阔的应用前景和更高的经济价值。

参考文献

- [1]葛长喜.丙烷脱氢(PDH)制丙烯工艺装置危险性分析及对策[J].化工管理,2022(000-003):49-51.
- [2]周彤,邓德刚,秦丽姣.丙烷脱氢装置含硫废碱液处理技术的开发及工业应用[J].石油炼制与化工,2019,50(08):79-83.
- [3]郭玉峰,望红星,祝志华.浅析化工工艺设计中的安全问题及控制措施[J].清洗世界,2021,37(11):139-140.