

# 化工空分中分子筛的选型与使用性能研究

谭吉明 仵亚锋

江苏盛虹石化产业集团有限公司 江苏 连云港 222000

**摘要:** 本文详细探讨了化工空分系统中分子筛的选型原则及其使用性能。通过分析不同类型分子筛的结构特点、吸附性能及再生条件,为化工空分设备的优化设计和运行提供了理论依据。文章首先概述了分子筛的基本概念与分类,随后深入探讨了分子筛的选型标准,并结合实际使用情况分析了其性能表现,最后对分子筛在化工空分中的应用前景进行了展望。

**关键词:** 分子筛; 化工空分; 选型; 使用性能; 吸附

## 引言

化工空分系统作为现代化工生产中的重要组成部分,其核心功能是将空气中的氧气、氮气等组分进行有效分离。在这一过程中,分子筛作为关键的吸附材料,发挥着不可替代的作用。因此,合理选型分子筛并充分发挥其性能优势,对于提高空分系统的运行效率和产品质量具有重要意义。

## 1 化工空分中分子筛的基本概念与分类

### 1.1 分子筛的定义与结构特点

分子筛,作为一种独特的硅铝酸盐晶体材料,其显著特征在于其内部均匀分布的微孔结构,这些微孔的尺寸巧妙地与多种分子的尺寸相契合,从而赋予了分子筛依据分子大小进行高效筛分的能力。从结构层面剖析,分子筛的基石由 $\text{SiO}_4$ 和 $\text{AlO}_4$ 两种四面体构成,它们之间通过氧原子的桥梁作用紧密相连,共同编织出一个复杂而精密的三维空间网络骨架。这一特殊结构不仅为分子筛提供了稳定的物理化学性质,还使其成为了化工领域中不可或缺的分选与催化材料。通过调整四面体的排列与组合方式,可以进一步调控分子筛的孔径大小与形状,以满足不同应用场景下的分选与催化需求。

### 1.2 分子筛的分类

分子筛作为一类功能强大的材料,其种类繁多,主要依据孔径尺寸和化学组成的差异进行划分。其中,A型分子筛是一个重要系列,它包含了3A、4A、5A等多种亚型。这些亚型之间的主要区别在于其孔径大小,这一特性直接影响了它们对分子的吸附选择性。例如,3A分子筛因其较小的孔径,特别适合于吸附水分子,而在干燥和脱水过程中发挥着关键作用。相比之下,4A和5A分子筛的孔径略大,能够吸附更大的分子,如氨气、甲烷等,因此在气体分离和纯化领域有着广泛的应用。除了A型分子筛外,X型和Y型分子筛也是工业上常用的类型。

它们通常具有较大的孔径和更为复杂的内部结构,这使得它们在催化反应中表现出色,特别是在石油炼制和化工生产过程中,作为催化剂或催化剂载体,显著提高了反应效率和产物选择性。此外,ZSM系列分子筛以其独特的孔道结构和优异的催化性能而著称。这类分子筛在择形催化领域具有显著优势,能够精准控制反应物的进入和产物的生成,从而在精细化学品合成和环境保护等领域展现出巨大的应用潜力。

## 2 化工空分中分子筛的选型标准

### 2.1 原料气成分

在化工空分过程中,原料气的成分复杂多样,其各组分的含量与性质直接决定了分子筛的选型策略。首先,必须深入分析原料气的具体组成,这是确保后续分离效率与产品纯度的前提。当原料气中含有大量水蒸气时,水分的去除成为首要任务。此时,应优先考虑那些具有强吸水性能 of 分子筛。3A分子筛,凭借其极小的孔径,能够有效吸附并固定水分子,是脱水过程中的理想选择。而4A分子筛,虽然孔径稍大,但在处理含有一定量水蒸气且需兼顾其他小分子吸附的场景时,同样表现出色。这两种分子筛的应用,能够显著降低原料气中的水分含量,为后续的分选步骤创造有利条件<sup>[1]</sup>。对于需要精确分离氧气和氮气的场合,选型则更为讲究。氮气与氧气在分子大小、极性 etc 物理性质上存在差异,这就要求所选分子筛必须具备高度的选择性吸附能力。13X分子筛,作为一种高性能的沸石分子筛,其独特的孔道结构使得氮气分子能够更容易地进入并被吸附,而氧气分子则相对较难进入。这种选择性吸附的特性,使得13X分子筛在空分领域,尤其是氧气与氮气的分离中,发挥了不可替代的作用。此外,原料气中还可能含有二氧化碳、烃类化合物等其他杂质。这些杂质的存在,不仅会影响目标产品的纯度,还可能对分子筛的吸附性能造成

干扰。因此,在选型时,还需综合考虑分子筛对这些杂质的吸附能力,以及其在复杂气体环境中的稳定性。

## 2.2 吸附容量

在化工空分领域,吸附容量作为衡量分子筛性能的一项重要指标,其重要性不言而喻。它直接关联到分子筛对原料气中各组分吸附的多少,进而影响分离效果与产品纯度。因此,在选择分子筛时,对其吸附容量的考量显得尤为重要。对于空分系统而言,目标在于高效、精准地分离出氧气和氮气。这一过程中,分子筛的吸附容量成为了决定分离效果的关键。若分子筛的吸附容量不足,将无法充分吸附原料气中的氮气或氧气,导致分离不彻底,产品纯度大打折扣。反之,具有高吸附容量的分子筛,能够更多地吸附目标组分,使得分离过程更为高效,产品纯度也得以提升<sup>[2]</sup>。在实际应用中,为了获得高纯度的氧气和氮气,往往需要选择那些经过特殊设计或优化的分子筛。这些分子筛通过调整其孔径大小、孔道结构以及表面性质,实现了对氮气或氧气的高效吸附。同时,它们还具备较高的比表面积和孔容,进一步提升了吸附容量,确保了分离过程的顺利进行。此外,吸附容量还与分子筛的再生性能密切相关。在空分系统的连续运行过程中,分子筛需要经历多次吸附-脱附循环。若分子筛的吸附容量在循环过程中显著下降,将严重影响分离效果和系统的稳定性。因此,在选择分子筛时,还需考虑其再生性能和长期使用的稳定性,以确保系统的持续高效运行。

## 2.3 再生条件

在化工空分领域,分子筛的再生条件是其选型过程中不可忽视的一环。随着使用时间的推移,分子筛的吸附性能会逐渐下降,这是由于其孔道内被吸附的组分逐渐饱和所致。为了恢复其原有的吸附能力,分子筛需要定期进行再生处理。而再生条件,尤其是温度和压力,直接决定了再生的难易程度和能耗大小,进而影响到整个空分系统的运行成本和经济性。再生温度是分子筛再生过程中的一个关键参数。一般来说,较低的再生温度意味着更少的能耗和更温和的操作条件,这对于降低生产成本和提高系统稳定性至关重要。因此,在选择分子筛时,应优先考虑那些能够在较低温度下实现有效再生的类型。这类分子筛通常具有更好的热稳定性和化学稳定性,能够在再生过程中保持结构完整,避免高温下的结构破坏和性能下降。除了温度外,再生压力也是影响分子筛再生效果的重要因素。在低压条件下进行再生,有助于减少再生过程中能耗,同时避免高压对分子筛结构的潜在损害。因此,选择能够在低压下高效再生的分

子筛,对于提高空分系统的整体能效和长期稳定性具有重要意义。此外,分子筛的再生条件还与其材质、结构以及吸附组分的性质密切相关。在选择分子筛时,应综合考虑其再生条件与实际应用场景的匹配度,确保所选分子筛既能够满足分离要求,又能够在经济合理的条件下实现高效再生。

## 3 化工空分分子筛的使用性能分析:影响因素及对策

### 3.1 吸附性能

在化工空分过程中,分子筛的吸附性能是评价其使用性能的核心要素之一,它直接关系到分离效率、产品纯度和系统稳定性。分子筛的吸附性能受多种因素影响,包括其孔径大小、孔道结构、比表面积以及表面性质等。孔径大小是决定分子筛吸附选择性的关键因素。不同的分子筛具有不同的孔径尺寸,这使得它们对原料气中各组分的吸附能力存在差异。在空分系统中,为了高效分离氧气和氮气,需要选择孔径适中、能够选择性吸附氮气的分子筛。过大的孔径可能导致氧气等小分子也被吸附,影响产品纯度;而过小的孔径则可能无法充分吸附氮气,导致分离效率下降。孔道结构对分子筛的吸附性能同样具有重要影响。复杂的孔道结构可以增加分子筛的比表面积,提供更多的吸附位点,从而提高吸附容量。同时,特殊的孔道结构还可以实现择形吸附,即只允许特定形状和大小的分子进入孔道并被吸附,进一步提高了分离的选择性。比表面积和表面性质也是影响分子筛吸附性能的重要因素。较大的比表面积意味着更多的吸附位点,有利于提高吸附容量和分离效率。而表面性质则决定了分子筛与原料气中各组分之间的相互作用力,进而影响吸附的难易程度和选择性。针对以上影响因素,可以采取相应的对策来优化分子筛的吸附性能<sup>[3]</sup>。例如,通过调整分子筛的制备工艺和参数,控制其孔径大小和孔道结构;通过表面改性技术,改善分子筛的表面性质,增强其吸附选择性和容量。此外,还可以根据实际应用需求,选择合适的分子筛类型和组合方式,以实现更高效、更精准的分离效果。

### 3.2 再生性能

在化工空分领域,分子筛的再生性能是衡量其长期应用效果与经济效益的重要指标。良好的再生性能意味着分子筛能够在多次吸附-脱附循环后,依然保持较高的吸附容量和选择性,从而确保空分系统的持续高效运行。分子筛的再生性能主要受其材质、结构以及再生条件的影响。优质的分子筛材质应具备良好的热稳定性和化学稳定性,能够在高温、高压或化学腐蚀等恶劣条件下保持结构完整,避免再生过程中的性能损失。同时,

合理的孔道结构和比表面积也是提高再生性能的关键因素。它们能够确保分子筛在再生过程中,吸附的组分能够顺利脱附,孔道得以有效疏通,为下一次吸附做好准备。再生条件对分子筛的再生性能同样具有重要影响。适宜的再生温度和压力能够减少能耗,避免对分子筛结构的潜在损害,同时确保吸附组分的彻底脱附。此外,再生过程中的气体氛围和流速也需要严格控制,以避免对分子筛造成不必要的污染或损伤。为了优化分子筛的再生性能,可以采取一系列措施。例如,通过改进分子筛的制备工艺,提高其材质的热稳定性和化学稳定性;通过调整孔道结构和比表面积,改善其吸附-脱附特性;通过优化再生条件,降低能耗并保护分子筛结构。同时,定期的维护和检测也是确保分子筛再生性能的重要环节。通过定期检查分子筛的吸附容量和选择性,及时发现并处理潜在问题,可以避免因性能下降而导致的系统效率降低或产品纯度不达标等问题。

### 3.3 稳定性

在化工空分领域,分子筛的稳定性是确保其长期可靠运行的关键因素。稳定性不仅关乎分子筛在使用过程中的性能保持,更直接影响到空分系统的整体效率、产品纯度和运行成本。因此,对分子筛稳定性的深入分析与提升,是优化空分工艺、提高经济效益的重要一环。分子筛的稳定性主要体现在其结构稳定性和化学稳定性两个方面。结构稳定性是指分子筛在长期使用和再生过程中,能够保持其孔道结构、比表面积和孔径大小的稳定,从而确保吸附性能和选择性的持续发挥。化学稳定性则是指分子筛在接触不同气体组分、高温、高压或化学腐蚀等恶劣条件下,能够抵抗这些外界因素的影响,保持其化学性质和性能的稳定。为了提高分子筛的稳定性,可以从多个方面入手。首先,优化分子筛的制备工艺和材质选择,是提高其稳定性的基础。通过选用高质

量的原料、精确控制制备过程中的各项参数,可以制备出结构稳定、化学性质优良的分子筛<sup>[4]</sup>。其次,对分子筛进行表面改性或涂层处理,也是提高其稳定性的有效途径。这些处理可以增强分子筛的抗腐蚀能力、减少其与气体组分之间的不良反应,从而延长其使用寿命。此外,合理的操作条件和再生策略也是保障分子筛稳定性的重要措施。在空分系统中,应严格控制操作温度和压力,避免分子筛因过热或过压而受损。同时,制定合理的再生计划,确保分子筛在吸附饱和后能够及时得到再生,恢复其吸附性能,也是保持其长期稳定性的关键。通过深入分析影响稳定性的因素,并采取相应措施进行优化和提升,可以确保分子筛在长期使用过程中保持高性能、高稳定性和高经济效益。

### 结语

本文通过对化工空分中分子筛的选型与使用性能进行深入研究,得出了以下结论:合理选型分子筛并充分发挥其性能优势,对于提高空分系统的运行效率和产品质量具有重要意义。未来,随着新型分子筛材料的研发和应用以及空分技术的不断进步,分子筛在化工空分中的应用前景将更加广阔。

### 参考文献

- [1]赵毅.浅谈三代高效分子筛在空分装置的运用[J].冶金动力,2023,(04):43-44+56.
- [2]刘雪玲,张喜文,王继锋.加氢裂化催化剂中分子筛的研究进展[J].当代化工,2020,49(06):1184-1188. DOI:10.13840/j.cnki.cn21-1457/tq.2020.06.043.
- [3]宋治乾,李刚,边明昕,等.空分装置分子筛运行能耗浅析[J].上海化工,2022,47(05):20-22.
- [4]王伟,刘德清.空分分子筛运行分析及保护措施[J].中氮肥,2021,(06):75-77.