

# 变压吸附技术在合成氨行业的应用及经济效益探讨

刘 军 (山西天脊潞安化工有限公司, 山西 长治 047500)

**摘要:** 本文主要介绍了氢气的纯化技术—变压吸附技术及其在合成氨生产中的应用和经济效益。首先, 我们简要介绍了合成氨的工艺流程和原材料, 然后重点介绍了变压吸附技术在氢气纯化中的应用, 包括吸附剂的选择、氢气纯度的影响因素以及提高产品纯度的措施等方面。最后, 我们总结了合理调整吸附时间、增加吸附剂选择性和吸附容量、调整吸附温度和压力、保证吸附剂质量和使用寿命等措施可以有效提高氢气的纯度和产量和变压吸附技术的经济效益。

**关键词:** 变压吸附技术; 合成氨; 应用; 经济效益

## 0 引言

随着环保意识的不断增强和全球气候变化的加剧, 氢能作为一种清洁能源备受瞩目。而氢气的制备过程中, 需要进行高效的纯化处理, 以提高氢气的纯度和产量。在各种氢气纯化技术中, 变压吸附技术具有能耗低、自动化程度高、装置调节能力强等特点, 在合成氨生产等领域得到广泛应用。因此, 深入研究变压吸附技术在氢气纯化中的应用, 对于推动氢能产业的发展和环境保护具有重要意义。

## 1 变压吸附技术的原理

变压吸附技术 (Pressure Swing Adsorption, PSA) 是一种常见的气体分离和纯化技术, 广泛应用于空气分离、天然气纯化、氢气制备等领域。其原理基于不同气体在吸附剂上的吸附能力不同, 通过调节压力来实现不同气体的分离。

PSA 工艺通常包括两个步骤: 吸附和脱附。

在吸附步骤中, 混合气体经过压力逐渐升高的吸附器, 其中设有有一定吸附能力的吸附剂, 如分子筛、活性炭等。不同气体在吸附剂表面的吸附能力不同, 因此在不同压力下, 不同的气体会被吸附到吸附剂表面上, 从而实现气体分离。在脱附步骤中, 降低吸附器中的压力, 吸附剂会释放吸附的气体, 从而实现气体的纯化。

## 2 变压吸附技术的优点

### 2.1 能耗低, 适应压力范围大

PSA 技术在能耗方面有着很大的优势。传统的气体分离技术, 如膜分离、吸收等需要高温、高压等条件下的能量消耗, 这种方式会消耗大量的能源, 同时还有环保问题。而 PSA 技术采用了吸附剂选择性吸附的原理, 只需通过调节压力就可以实现气体的分离和纯化, 其能耗相比于其他技术要低得多。PSA 技术能

够适应不同压力下气体的分离和纯化, 这也使得它的应用范围更加广泛。除此之外, PSA 技术的设备结构简单, 操作方便, 维护成本低等特点, 也使得它成为许多行业中气体分离和纯化的首选技术。

### 2.2 自动化程度高, 工艺流程简单

PSA 技术的自动化程度高和工艺流程简单, 使其在生产应用中具有重要的优势。PSA 技术的工艺流程简单, 仅涉及气体的吸附和脱附两个步骤, 容易实现自动化控制, 减少人工干预的需要。此外, PSA 技术的自动化程度高, 可以实现快速启动和停机, 提高生产效率。

### 2.3 开停车方便, 装置调节能力强

PSA 技术具有开停车方便和装置调节能力强的特点。PSA 装置具有模块化的结构, 方便进行扩展和调节。同时, PSA 技术的启停过程非常方便, 能够实现快速启动和停机, 满足不同生产需求。此外, PSA 技术的装置调节能力强, 可以实现气体分离和纯化的灵活调节。

### 2.4 环境友好, 节省原料

PSA 技术的环境友好和节省原料, 是其重要优点之一。由于 PSA 技术在气体分离和纯化过程中不需要使用化学试剂等材料, 可以避免污染和浪费。同时, PSA 技术可以通过气体的回收和再利用, 实现资源的节约和环境的保护。因此, PSA 技术在可持续发展和环境保护方面具有广泛的应用前景。

## 3 变压吸附技术在合成氨行业生产中的应用

### 3.1 合成氨的原理

合成氨的制备是一项历史悠久的工业化学过程, 最初是由德国化学家弗里德里希·维勒在 1913 年发明的。合成氨的制备过程中, 主要依靠高压高温下的反应条件, 催化剂的作用以及反应动力学和热力学等多

方面知识的协同作用。在反应过程中，氮气和氢气在催化剂存在下发生反应，经过一系列复杂的物理化学反应，最终生成氨气。该反应式为  $N_2+3H_2 \rightarrow 2NH_3$ ，该过程中氢气充当还原剂，氮气则作为被还原的物质参与反应。合成氨的制备不仅要求反应产率高，还要求反应速度快，且反应的选择性高。因此，在反应过程中需要考虑多个因素的影响，例如催化剂种类和活性、反应温度、压力、气体比例以及反应时间等因素。此外，反应过程中还涉及到放热和吸热等热力学问题，因此，合成氨的制备是一项极具挑战性的工业化学过程。

合成氨的制备过程中，氢气和氮气是制备合成氨的原材料。氢气是一种无色、无臭、不可燃的气体，可以通过水解天然气、石油等方式制备。氮气是空气的组成部分之一，可以通过空气分离技术分离得到。氢气和氮气是合成氨制备过程中的重要原材料，其纯度和比例直接影响到反应产率和产品质量。因此，在合成氨生产中，需要使用高纯度的氢气和氮气，以确保反应顺利进行。

### 3.2 合成氨的原材料

合成氨的原材料对合成氨的产量和质量有重要的影响。首先是氢气，它是制备合成氨的关键原料之一。氢气通常由天然气、煤炭、液化石油气等能源资源中制备得到，但在制备氢气的过程中产生的二氧化碳、硫化氢等有毒物质会对环境造成影响。为了降低这些有害物质的排放，现在越来越多的企业采用生物质、垃圾等可再生资源作为氢气的生产原料，以达到低碳环保的目的。

另一个关键原料是氮气，它通常来自于空气分离。由于空气中的氮气含量很高，但不容易被利用，因此需要采用空气分离技术将其分离出来。常见的空气分离方法包括常规空分和膜分离等。常规空分主要是通过低温制冷将空气液化，然后利用分离设备将氮气和氧气等组分分离开。而膜分离则是通过薄膜分离技术将氮气和氧气等组分分离开，其优点是工艺简单、能耗低、设备小型化。

对于合成氨生产中的氢气和氮气，其纯度也是十分重要的。氢气的纯度直接影响其对反应的影响，而氮气的纯度则会影响反应速率和催化剂寿命等因素。因此，为了保证合成氨的产量和质量，需要对氢气和氮气进行高效的分离和纯化，以满足反应过程对氢气和氮气纯度的要求。

### 3.3 合成氨工艺流程简介

在合成氨工艺流程中，气体分离和纯化环节是至关重要的一环。传统的分离和纯化方法主要包括低温分馏、吸附分离和膜分离等技术。低温分馏法是利用气体的沸点差异实现分离，但能耗高，不适用于大规模生产。膜分离技术虽然具有能耗低和操作简单的特点，但其分离效率低，对气体纯度和气体流量要求高。吸附分离技术则是将气体通过固定相吸附剂，利用吸附剂对气体的亲和力差异实现分离。其中，变压吸附技术是一种应用较为广泛的技术，其优点在于能耗低、自动化程度高、工艺流程简单、开停车方便、装置调节能力强、环境友好、节省原料等。

### 3.4 变压吸附技术提纯氢气与其他技术的比较

在合成氨生产中，氢气是一种重要的原材料。由于氢气来源的不同，其纯度和杂质含量也会有所不同。在氢气的分离和纯化过程中，常用的技术包括低温分馏、吸附分离和膜分离等。与传统的分离和纯化技术相比，变压吸附技术具有能耗低、自动化程度高、工艺流程简单等优点。变压吸附技术在合成氨生产中主要用于提纯氢气。

变压吸附技术通过在固体吸附剂表面形成可逆吸附，实现了气体分离和纯化。变压吸附技术的优点在于其适应压力范围广、开停车方便、装置调节能力强等特点，使其在氢气纯化过程中具有广泛的应用前景。与低温分馏相比，变压吸附技术的设备成本更低、操作更方便，并且能够在相对较高的压力下实现氢气的纯化。与膜分离相比，变压吸附技术的分离效率更高，而且不需要高压下的膜材料，节省了原材料成本。在合成氨生产中，变压吸附技术的应用可以提高氢气的纯度，增加产量，并且降低了生产成本，具有重要的经济和社会意义。

## 4 变压吸附技术工艺参数的影响和工艺优化措施

### 4.1 吸附时间影响氢气制取率和处理量

吸附时间是变压吸附技术中一个非常重要的工艺参数，它对氢气制取率和处理量有着直接的影响。通常情况下，吸附时间的选择应该基于吸附剂和氢气流量、气体含杂质的程度、吸附剂的类型和形态等因素进行考虑。一般而言，在工业生产中，吸附时间的范围为几分钟至几小时不等。如果吸附时间过短，吸附剂没有足够的时间来吸附氢气，从而导致制取率下降；如果吸附时间过长，吸附剂表面的可吸附空间会被占满，处理量也会随之下降。因此，合理选择吸附时间

非常重要。同时,还需要根据实际生产情况对吸附时间进行调整,以满足不同生产批次的需求。为了获得最佳的制取率和处理量,还需要结合吸附剂的性质和气体流量等因素,进行综合考虑和优化。

#### 4.2 氢纯度的影响因素

在变压吸附技术中,氢气的纯度是影响产品质量的重要指标。其中,吸附剂的选择是影响氢气纯度的关键因素之一。一般来说,具有高选择性和高吸附容量的吸附剂能够提高氢气的纯度。例如,具有高选择性的分子筛可以优先吸附杂质分子,从而提高氢气的纯度。此外,氢气的压力也是影响氢气纯度的因素之一。

在较高的压力下进行吸附,氢气可以更充分地被吸附剂选择性地吸附,从而提高氢气的纯度。相反,较低的压力则可能导致吸附剂选择性下降,影响氢气的纯度。此外,温度也是影响氢气纯度的因素之一。较高的温度可以使得氢气分子在吸附剂表面的吸附位置上产生位移,从而降低氢气的纯度。因此,在实际生产中需要综合考虑这些因素,并制定相应的工艺参数以获得最佳的氢气纯度。

#### 4.3 提高产品纯度的措施

为了提高合成氨生产中氢气的纯度,需要采取一系列的措施。其中,增加吸附剂的选择性和吸附容量是最为常用的方法之一。通过调整吸附剂的化学组成、物理结构和表面性质等因素,可以提高吸附剂对于杂质气体的选择性,从而实现对氢气的高效纯化。此外,通过调整吸附温度和压力也能够提高氢气的纯度。通常情况下,较低的温度和较高的压力能够使得吸附剂更加选择性地吸附杂质气体,从而提高氢气的纯度。同时,保证吸附剂的质量和使用寿命也对于提高产品纯度具有重要作用。在实际生产中,还可以采用多级吸附和膜分离等技术,进一步提高氢气的纯度。总之,在合成氨生产中,提高氢气的纯度是保证产品质量的重要环节,需要通过合理的工艺控制和技术手段来实现。

#### 4.4 调整装置参数

在变压吸附技术中,装置参数的调整对于工艺流程和产品质量的影响非常大。常见的装置参数包括操作压力、吸附剂种类、吸附剂层数、吸附剂用量等。其中,操作压力是影响变压吸附工艺性能的重要因素之一,通常会根据氢气纯度、氢气回收率和吸附剂的性能等因素进行调整。此外,吸附剂种类、层数和用

量也会对变压吸附工艺性能产生显著影响。通常情况下,吸附剂种类和层数越多,氢气回收率和纯度越高,但是会增加设备成本和能耗。因此,需要对吸附剂种类、层数和用量进行适当的调整,以达到在保证高回收率和高纯度的同时,降低设备成本和能耗的目的。

### 5 变压吸附技术带来的经济效益

随着环保意识的日益增强和能源消耗的不断增长,氢能作为一种新型清洁能源受到了越来越广泛的关注和应用。而变压吸附技术作为氢气制备和提纯领域中的一种关键技术,不仅能够提高氢气的回收率和纯度,还可以在降低生产成本和能耗的同时,实现良好的经济效益。

首先,采用变压吸附技术能够实现氢气的高效回收,提高生产效率和产品质量,从而降低生产成本和能耗。其次,变压吸附技术具有自动化程度高、工艺流程简单、装置调节能力强等优点,能够降低人工操作和管理成本。此外,变压吸附技术对环境的污染较小,符合现代社会对于环保、可持续发展的要求,有利于企业树立良好的品牌形象和社会形象。

### 6 结语

在氢气的纯化过程中,变压吸附技术具有广泛应用前景。通过对吸附剂的选择、氢气纯度的影响因素以及提高产品纯度的措施进行分析,我们可以更好地理解和掌握这项技术的基本原理和工艺特点。在今后的实际生产中,应根据不同的工艺要求,结合变压吸附技术的优势和特点,采取合适的措施,提高氢气的纯度和产量,推动氢能产业的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 马英桂. 变压吸附技术在合成氨行业的应用和发展 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 43(03): 149-151.
- [2] 殷文华, 罗英奇, 吴巍, 伍毅, 曾凡华, 李克兵, 部豫川. 变压吸附技术在合成氨行业的应用和发展 [J]. 低温与特气, 2015, 33(01): 45-49.
- [3] 黄立新. 变压吸附技术在合成氨中的工艺研究及其优化设计 [J]. 江西化工, 2008(03): 188-191.
- [4] 毛薛刚, 张玉迅, 周洪富, 管建平. 变压吸附技术在合成氨厂的应用 [J]. 低温与特气, 2007(05): 39-43.
- [5] 计成斐. 变压吸附技术在合成氨工业中的应用 [J]. 小氮肥, 1994(11): 3-8+10.
- [6] 部豫川, 陈健. 变压吸附技术在我国的应用现状及发展方向 [J]. 低温与特气, 1993(03): 1-9.