

# 探究分子筛变压吸附制氮的适宜条件

钱宏青 (杭州鼎岳空分设备有限公司, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 氮气源于空气, 是一种稳定又廉价的保护性气体。金属冶炼、高温合成过程中, 氮气可以起到简单保护性氛围的作用; 在高温条件下, 还可合成氮化物。其化合物还可用于农业肥料生产, 液态氮还可用于冷却。因此, 氮气有着非常重要的作用。本文主要阐述 PSA 制氮技术的适宜条件, 从原理、工艺、过程逐项叙述, 并进行分析, 得出最优结论, 希望对制氮技术的发展有所帮助。

**关键词:** 分子筛; 变压吸附; 制氮; 适宜条件

在工业上, 制氮技术主要应用的是空气分离方式(简称空分)。当前主要空分制氮技术有三种方式: 变压吸附法、深冷空分法、薄膜分离法。传统的方式为深冷空分法, 在工业上的大规模制氮选用此种方式居多。膜分离法在上世纪八十年代中期逐渐成熟。分子筛变压吸附制氮方式则为空分制氮技术提供了一条新途径。因选取的吸附剂不同, 又可分为沸石分子筛法、碳分子筛法<sup>[1]</sup>。

## 1 分子筛变压吸附制氮简介

分子筛吸附制氮技术是以空气为气源, 吸附剂选用碳分子筛, 之后运用变压吸附的原理, 利用碳分子筛对氮气、氧气的选择性吸附特性, 最后使得两种气体分离的方式。这种方式又叫做 Pressure Swing Adsorption (PSA) 制氮。

当前, 制氮领域使用主要为沸石分子筛、碳分子筛。由于氮气、氧气在分子筛的表面经过时, 其扩散速度不同, 所以, 分子筛可依据此特性对该两种气体进行分离。碳分子筛是一种碳基吸附剂, 同时具备分子筛特性、活性炭特性。其具有的微孔孔径在 0.3-1nm 之间。氧气直径较小, 扩散较快, 进入分子筛固相较多。这样一来, 气相中的氮就成为富集成分。分子筛工作一段时间之后, 对氧气的吸附达到平衡条件。因为压力不同碳分子筛吸附气体的效率不同, 此时降低压力, 可解除分子筛对氧气的吸附作用, 这个过程叫做再生。为了使得生产有持续性, 得到持续性的氮气流, 依据碳分子筛该特性使用两塔并联的方式, 轮换进行加压吸附与解压再生工作。

分子筛吸附制氮是 70 年代所出现的技术, 跟传统的制氮方式相比, 其工艺流程相对简单、自动化程度高、能耗低、产气快速、产品纯度调节范围大、灵活。而且设备的运行成本低, 操作及维护工作也简单方便, 对于中小型的氮气用户十分适宜。PSA 制氮当前已成为该用户群体的首选。

近年来, 经济的发展促使人们对于氮气的需求量也增加了, 且对于氮气的纯度也愈发重视。本文通过分析在碳分子筛变压吸附制氮过程中, 各环节对于氮气纯度所产生的影响, 得出最适宜制氮的工艺参数。

## 2 分子筛变压吸附制氮实验

### 2.1 实验仪器与原料

实验仪器选用空气缓冲罐、空气压缩机、冷干机、吸附塔、碳分子筛、氮气缓冲罐。原料选用压缩空气。

### 2.2 实验原理及工艺简介

#### 2.2.1 实验原理

PSA 制氮技术是利用加压吸附、降压解吸的原理来进行氮气的制造的。其吸附剂为碳分子筛, 分子筛从气源中在高压状态下吸附氧气, 在降压状态下解吸氧气, 进而将氮气分离出来。

碳分子筛的作用十分重要, 其主要原料是煤, 在经过氧化、研磨、碳化、成型之后, 再经过特殊的孔型处理步骤才能制作完成。碳分子筛的表面、内部均布满了微孔的柱形颗粒状吸附剂, 其颜色为黑色, 孔径在 3Å 左右最为适宜, 超过这个范围, 不论大或者小, 微孔的分布都会变差。

碳分子筛的这种孔径分布特性使得不同气体在其中扩散的速度不同, 而且并不会对任何一种气体产生排斥。

从动力学直径的角度看, 氧分子的直径小于氮分子的直径, 因此, 氧分子和氮分子在碳分子筛微孔中的扩散速率不同, 且氧快于氮。压缩空气中的水和二氧化碳在碳分子筛中的扩散速度与氧气几乎一样。

变压吸附制氮工艺便是基于气体动力学直径上的差异来进行氮生产的。在装置中, 利用碳分子筛的选择吸附性, 加压吸附、减压解吸两个步骤循环, 使得气源交替进入到吸附塔内来实现空分, 最后, 从吸附塔富集得到氮气。

#### 2.2.2 工艺简介

制氮工艺流程如图 1 所示。

首先经过除尘装置, 清除气源中的杂质, 而后进入空气压缩机。将气源压缩至所需压力后, 还要进行除水、除油、净化处理, 严格保证气源的洁净度, 以确保吸附塔内分子筛可持续性的使用。经过净化之后的压缩空气才能进入吸附塔进行吸附处理。

吸附塔有两个, 装有碳分子筛, 循环使用, 可获得

持续的氮气流。经过净化处理之后的洁净气源进入吸附塔,流经分子筛的时候,氧、水、二氧化碳都会被吸附到分子筛上,那么到出口端的气体就只剩下了氮气、少量惰性气体氩<sup>[2]</sup>。之后减压至常压,使得之前在分子筛中所吸附的氧、二氧化碳、水都脱离并排出至大气中,或者进入仪表空气缓冲罐进行下一步利用。两塔的循环配合使用,将氮气、氧气进行分离,可产生持续的氮气流。使用变压吸附装置所获得的氮气产品纯度在 95% 至 99.9% 之间。想要获得纯度更高的氮气,那么就需要增加氮气的净化设备。增加设备之后,最高可获得 99.995% 纯度的氮气。

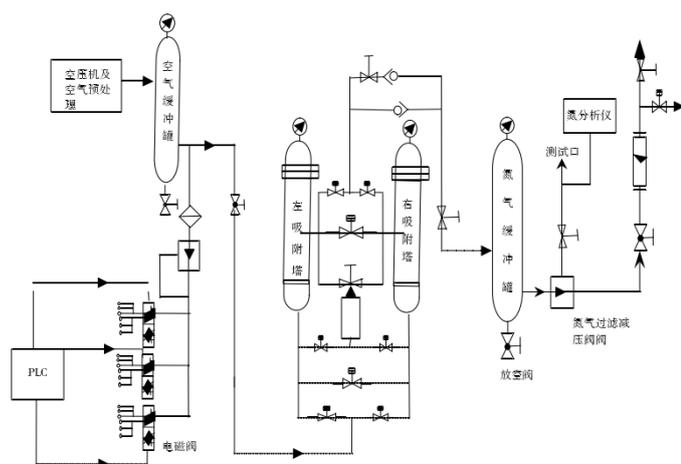


图 1 制氮工艺流程简图

## 2.3 实验过程与讨论分析

### 2.3.1 进口温度影响

装置正常运行状态下,吸附压力设置为 0.7MPa,进料流量控制在 200m<sup>3</sup>/h,进口温度设置为零下 10℃。记录装置稳定状态时出口的氮气纯度值。然后调节进口温度,分别至零下 5℃、10℃、20℃,并将每次调节后出口的氮气纯度值记录好。

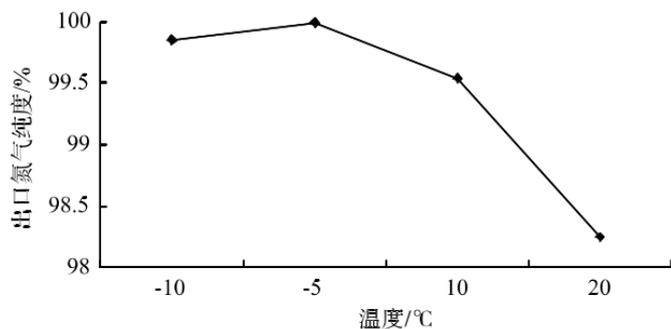


图 2 不同进口温度下的出口氮气纯度

由实验得出,吸附压力和进料流量一定时,进口温度越高,氮气纯度越高。当温度升高至零下 5℃时,氮气纯度为最大值。之后进口的温度升高,则导致了氮气

纯度的快速下降。因此,进口温度最佳设置应为零下 5℃。

### 2.3.2 吸附压力影响

装置正常运行状态下,压缩空气的进料流量设置为 200m<sup>3</sup>/h,进口温度设置为零下 5℃,吸附压力设置为 0.5MPa。记录装置稳定状态时出口的氮气纯度值。然后调节吸附压力,分别至 0.6MPa、0.7MPa、0.8MPa,并将每次调节后出口的氮气纯度值记录好。

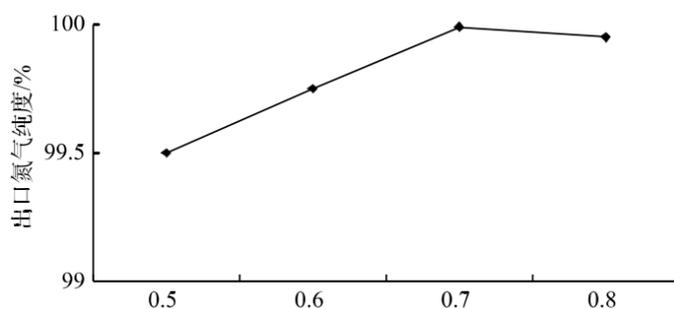


图 3 不同吸附压力下的出口氮气纯度

由实验得出,进口温度和进料流量一定时,吸附压力越大,氮气纯度越高。当吸附压力升高至 0.7MPa 时,氮气纯度为最大值。之后吸附压力升高,则导致了氮气纯度的逐渐下降。因此,吸附压力最佳设置应为 0.7MPa。

### 2.3.3 进料流量影响

装置正常运行状态下,吸附压力设置为 0.7MPa,进口温度设置为零下 5℃,压缩空气的进料流量设置为 100m<sup>3</sup>/h。记录装置稳定状态时出口的氮气纯度值。然后调节进料流量,分别至 150m<sup>3</sup>/h、200m<sup>3</sup>/h、250m<sup>3</sup>/h,并将每次调节后出口的氮气纯度值记录好。

由实验得出,进口温度和吸附压力一定时,进料流量越大,氮气纯度越高。当进料流量达到 200m<sup>3</sup>/h,氮气纯度为最大值。之后进料流量增加,则导致了氮气纯度的逐渐下降。因此,进料流量最佳设置应为 200m<sup>3</sup>/h。

## 3 结束语

综上所述,经过严谨的实验过程得出结论如下:碳分子筛变压吸附制氮过程中,进口温度、吸附压力、进料流量都会对氮气的纯度产生影响。在实际的生产过程中,进口温度设置为零下 5℃,吸附压力设置为 0.7MPa,进料流量设置为 200m<sup>3</sup>/h,该种条件下所制造的氮气纯度最高,是最佳的工艺参数<sup>[3]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 毛娜,朱继宣.对分子筛变压吸附制氮最适宜条件的初步探究[J].合成材料老化与应用,2017,46(01):63-66.
- [2] 顾飞龙,张力钧,张丽华.变压吸附制氮装置用于工业生产中的惰性保护[J].化工机械,2002(02):87-88+71.
- [3] 李薇,陈学云,李清彪,魏刚.PSA 碳分子筛制氮技术的应用和发展[J].化工设计通讯,2000(01):46-47+51.