

# 气体分离膜技术手册

编制：王海

二零零二年 1 月

# 目录

- 一、 气体分离膜技术概述
- 二、 气体分离膜分离机理
- 三、 气体分离膜计算
- 四、 气体分离膜分离过程的影响因素
- 五、 气体分离膜流程设计
- 六、 流程描述
- 七、 主要设备
- 八、 控制说明
- 九、 符号说明
- 十、 膜分离氢回收装置安装说明及要求
- 十一、 报警及联锁
- 十二、 仪表符号说明
- 十三、 吹扫及检漏程序
- 十四、 开车程序
- 十五、 停车程序
- 十六、 注意事项
- 十七、 安全问题

# 一、 气体分离膜技术概述

膜技术即是一项古老的技术，又是一项新兴的高新技术，代表了二十一世纪分离技术的发展方向。膜在自然界中，特别是生物体内广泛而恒久地存在着，它与生命起源和生命活动密切相关，是一切生命活动的基础。膜过程在许多自然现象中发挥了重大的作用，在现代经济发展和人民的日常生活中扮演着重要的角色。膜技术是现代仿生技术研究的一项重要内容。

近 30 年来，作为一门新型的高分离、浓缩、提纯及净化技术，新的膜过程不断地得到开发研究，如渗透汽化、膜蒸馏、支撑液膜、膜萃取、膜生物反应器、控制释放膜、仿生膜、生物膜等。而传统的膜过程也更加成熟，进一步得到工业化，产业化，市场化，如微滤、超滤、纳滤、反渗透、渗析、电渗析、气体分离等等。

各种膜过程具有不同的机理，适用于不同的对象和要求。其共同特点是：

- 1、工艺流程简单、设备少，经济性好，操作方便、开停车灵活。
- 2、一般无相变，分离系数较大，动力及传动设备少，耗电低，占地面积小，维修方便。
- 3、无“三废”，无二次污染，不会对环境造成危害。
- 4、系统放大简单，可以大规模集成，无放大效应。

从广义上来说，膜就是一种介质，可以是气体、液体或者固体，但固体膜应用得较为广泛，目前我厂使用的膜即为一种固体膜。膜能够成为真正意义上的分离膜，必需具备两个条件，一是必需很薄，对所分离的物质具有很高的透过性，二是必需对所分离的物质中的不同组分具有不同的透过性。气体分离膜技术是利用不同气体通过某

一特定膜的透过速率不同而实现物质分离的一种化工单元操作。其传质推动力为膜两端的分压差。因此，从理论上说，任何一种气体混合物都可以用气体分离膜技术这种化工单元操作实现分离，只要我们找到一种合适的膜。

气体分离膜技术 70 年代初即有工业应用，真正奠定其在气体分离市场地位的是美国 Monsanto 公司 1979 年推出的“Prism”H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>膜分离装置。目前膜法分离回收氢在工业上除用于合成氨弛放气中氢分离回收外，还用于炼油工业尾气中氢的分离、回收及合成气 H/CO 比例调节。另外还有天然气脱湿，CO<sub>2</sub> 分离、回收，空气分离等。目前气体分离膜技术已经被大多数工程技术人员所接受和认可，并且将该技术作为气体分离过程中较为优先考虑的单元操作。

气体分离膜技术与其它分离技术相比具有许多独特的优势，如分离过程中无相变，因此一般说能耗较低。传质推动力为压差，因此分离过程较为容易实现，如果气源本身就具有压力，分离过程的经济性更加明显。从宏观上来说，气体分离膜技术是一种物理分离过程，并且是一种静态过程，因此流程一般比较简单，实现起来更加容易，日常工耗很低，其操作费用低是最大的优势。气体分离膜技术开停车迅速是其它分离技术所无法比拟的，从理论上说气体分离膜技术可以实现瞬间开停车。气体分离膜技术同时也具有占地面积小，节能、环保等独特的优势。

目前气体分离技术的集成日益成为工程技术人员研究的重点。气体分离技术集成是指将不同气体分离膜技术合而为一，实现经济性最

佳，而气体分离膜技术是该项技术的核心，其它分离技术作为该技术的补充。

## 二、 气体分离膜分离机理

气体分离膜是以溶解扩散机理进行分离的。即：气体首先在膜表面进行溶解，溶解在膜表面的气体进一步在膜主体内扩散。气体对膜的溶解能力越强以及气体在膜内的扩散速度越快，都将导致该种气体更加容易的透过膜。一般来说，根据相似相溶性原理，由于膜大多是由有机高分子材料制成的，因此有机气体更易溶解在膜内，也就是有机气体溶解性更强；小分子气体，由于其分子半径小，因此更容易在膜内扩散，也就是小分子气体扩散性更强。图 1 是一些常见气体对某一特定膜的渗透速度比较。

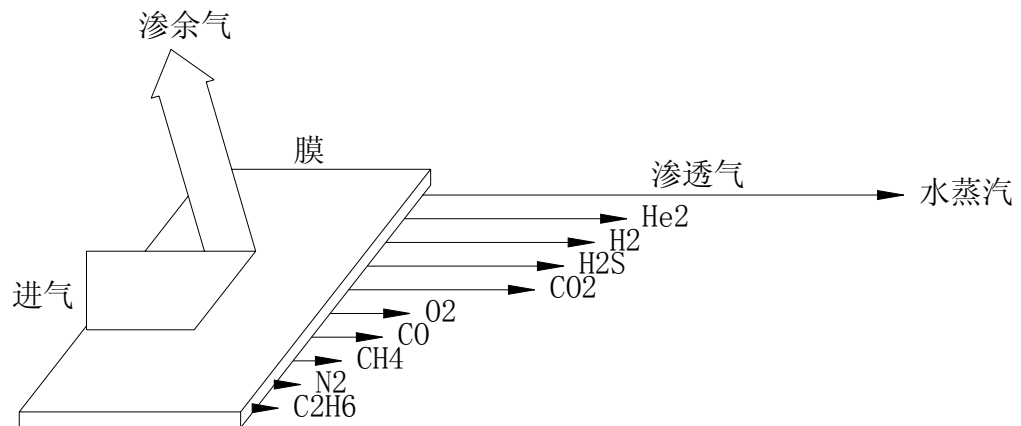


图 1 气体透过 Seperex 膜的相对渗透速度

为了能够定量的表征各种气体的渗透速度，并且将溶解性及扩散速度量化，我们定义： $P = D \times S$ 。其中  $P$  是渗透系数， $D$  是扩散系数， $S$  是溶解度系数。 $P$  是表征膜性能的一个重要参数。表征膜性能的另外一个重要参数是分离系数  $\alpha$ ， $\alpha = P_1 / P_2$ ，其中  $P_1$  为快气的的

渗透系数， $P_2$  为慢气的渗透系数，因此  $\alpha \geq 1$ 。 $\alpha$  越大，表明膜的分离能力越强。一般来说，渗透系数的大小代表了膜技术的经济性，因为膜的渗透系数越大，意味着所用膜数量的减少，而分离系数的大小代表了膜技术的可行性，因为膜的分离系数越大，所能达到的分离效果越好。而往往这两个参数也是互相影响的，并不是绝对的，也就是说渗透系数也有可能决定了技术的可行性，分离系数也有可能决定了技术的经济性，但那都是间接的。

### 三、 气体分离膜计算

传统的气体分离膜简单单级流程可以简化为图 2 的形式。

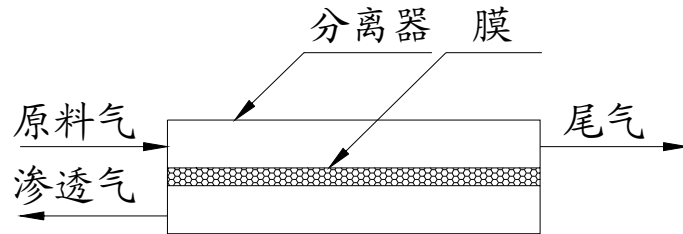


图 2 气体分离膜简单单级流程（流程 I）

首先分析流程变量。

在该流程中有以下几个变量：

原料气流量 ( $F$ )，原料气氢浓度<sup>1</sup> ( $X$ )，尾气流量 ( $R$ )，尾气氢浓度 ( $Z$ )，渗透气流量 ( $Q$ )，渗透气浓度 ( $Y$ )，原料侧压力 ( $p_1$ )，渗透侧压力 ( $p_2$ )，膜面积 ( $a$ )，氢渗透系数 ( $J_{H_2}$ )，氮渗透系数 ( $J_{N_2}$ )。

在流程设计中，原料气流量 ( $F$ )，原料气氢浓度 ( $X$ )，原料侧压力 ( $p_1$ )，渗透侧压力 ( $p_2$ )，氢渗透系数 ( $J_{H_2}$ )，氮渗透系数 ( $J_{N_2}$ ) 为已知量，渗透气流量 ( $Q$ )，渗透气氢浓度 ( $Y$ ) 为设计要求，尾气流量 ( $R$ )，尾气氢浓度 ( $Z$ ) 为未知量，膜面积 ( $a$ ) 为流程设计所需确定的值，在该值下，流程应满足设计要求。

<sup>1</sup> 在流程设计中，将原料气简化为氢气（快气）和氮气（慢气）双组分处理。



因此在单级流程中有 11 个变量，其中 6 个是已知量，2 个为设计要求，3 个未知量，在 3 个未知量中，膜面积是流程设计所必须确定的变量。

其次确定流程设计方程及边界条件。在该流程中可以得到以下 4 个方程：

质量衡算微分方程

$$\frac{dq}{dz} = \frac{df}{dz} \quad (3-1)$$

原料侧总流量微分方程

$$\frac{df}{dz} = -76 \cdot J_{H_2} \cdot a \cdot \left[ \frac{p_1 \cdot x - p_2 \cdot y}{l} + \frac{p_1 \cdot (1-x) - p_2 \cdot (1-y)}{l \cdot \alpha} \right] \quad (3-2)^2$$

原料侧氢浓度微分方程

$$\frac{dx}{dz} = 76 \cdot J_{H_2} \cdot a \cdot \left\{ \frac{[p_1 \cdot (1-x) - p_2 \cdot (1-y)] \cdot x}{l \cdot \alpha \cdot f} - \frac{(p_1 \cdot x - p_2 \cdot y) \cdot (1-x)}{l \cdot f} \right\} \quad (3-3)$$

渗透侧氢浓度微分方程

$$\frac{dy}{dz} = -76 \cdot J_{H_2} \cdot a \cdot \left\{ \frac{(p_1 \cdot x - p_2 \cdot y) \cdot (1-y)}{l \cdot q} - \frac{[p_1 \cdot (1-x) - p_2 \cdot (1-y)] \cdot y}{l \cdot \alpha \cdot q} \right\} \quad (3-4)$$

边界条件

在  $z=0$  时：

$$x = X \quad (3-5)$$

$$f = F \quad (3-6)$$

$$y = Y \quad (3-7)$$

---

<sup>2</sup> 式中  $\alpha = J_{H_2} / J_{N_2}$

$$q = Q \quad (3-8)$$

在  $z = l$  时：

$$q = 0 \quad (3-9)$$

$$y = \frac{p_1 \cdot Z - p_2 \cdot y}{p_1 \cdot Z - p_2 \cdot y + [p_1 \cdot (1 - Z) - p_2 \cdot (1 - y)] / \alpha} \quad (3-10)$$

对于上述流程，有 4 个独立的方程，意味着在 11 个变量中可以有 4 个是未知量。通过前面流程变量的分析，可以确定在 11 个变量中，有 6 个是已知量，3 个是未知量（其中膜面积是流程设计所必须确定的量），两个为设计要求。如果将 2 个设计要求都设定为已知量，即要求流程同时达到两个设计要求，则在 4 个方程中只有 3 个未知量，此时方程无解<sup>3</sup>，因此传统流程无法同时达到两个设计要求。为了确定在满足设计要求时流程实际所需的最小膜面积，应将两个设计要求中的一个作为已知量，另一个作为未知量，这样 4 个方程解 4 个变量，可以确定满足该设计要求（设为常量的设计要求）时所需的膜面积，同时也得出在该设计要求下另一个设计要求的变量值，如果该值小于该变量的设计要求，则说明在此膜面积下，流程不能满足设计要求；如果该值大于该变量的设计要求，则说明在此膜面积下，流程满足设计要求，然而即使在该膜面积下，流程能够满足设计要求，该膜面积也并不一定是流程实际所需的最小膜面积。为了确定流程实际所需的最小膜面积，应将另一个设计要求作为已知量，按

照上述方法确定流程所需的膜面积，比较两个膜面积的大小，其中最小的膜面积为流程实际所需的最小膜面积。按照上述方法确定流程实际膜面积时会出现以下 3 种情况，一是流程实际膜面积由渗透气流量确定，即将渗透气流量设计要求作为已知量所确定的流程膜面积小于将渗透气浓度设计要求作为已知量所确定的流程膜面积；另一种情况是流程实际膜面积由渗透气浓度确定；最后一种情况是无论是将渗透气流量设计要求作为已知量还是将渗透气浓度设计要求作为已知量所计算出的另一个设计要求变量都小于设计要求，此时流程无法满足设计要求。

在工程设计中回收率是经常被提到的参数，下面对回收率作一简单说明。顾名思义，回收率表示的是回收回来的物质占原来物质的比率。对于简单单级流程，渗透气为回收气，如氢回收，其回收率（SL）为：

$$SL = (Q \cdot Y) / (F \cdot X) \quad (3-11)$$

对于简单单级流程，尾气为回收气，如富氮，天然气脱湿，其回收率（SL）为：

$$SL = (R \cdot Z) / (F \cdot X) \quad (3-12)$$

但是在某些情况下，流量测量是很难达到计算精度要求的，而浓度的测量则较为精确，因此由 3-11 式及 3-13、3-14 式可以得到 3-15 式，由浓度计算的回收率公式。

---

<sup>3</sup> 由于 4 个方程都是独立方程，任意 3 个方程都能确定未知量的值，而该值无法同时满足第 4 个方程

$$F = S + R \quad (3-13)$$

$$F \cdot X = S \cdot Y + R \cdot Z \quad (3-14)$$

$$SL = [Y \cdot (X - Z)] / [X \cdot (Y - Z)] \quad (3-15)$$

由式 3-15，可以通过原料气浓度、渗透气浓度、尾气浓度 3 个浓度值来计算系统的回收率。

## 四、 气体分离膜分离过程的影响因素

### 1、 膜面积对分离过程的影响

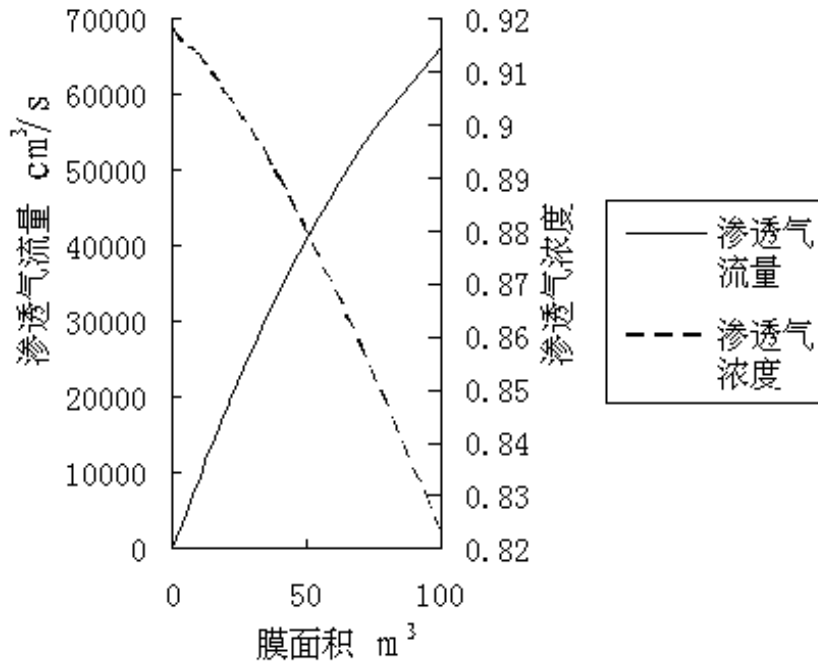


图 3 膜面积对渗透气浓度和渗透气流量的影响

由图 3 可见，膜面积越大，渗透气浓度越小，渗透气流量越大，即回收率越大。同时渗透气浓度在膜面积为零时有一个最大浓度。

### 2、 分离系数对分离过程的影响

由图 4 可见，在产气量一定时，膜组件的分离系数越大，渗透气浓度越高，所需膜组件的膜面积也越大。当分离系数达到一定值后，分离系数对渗透气浓度影响不大。

由图 5 可见，当分离系数较大时，分离过程主要是在分离器前半段完成的。因此，在分离器中，前半段完成了提浓过程，而后半段主要是为了增加回收率。

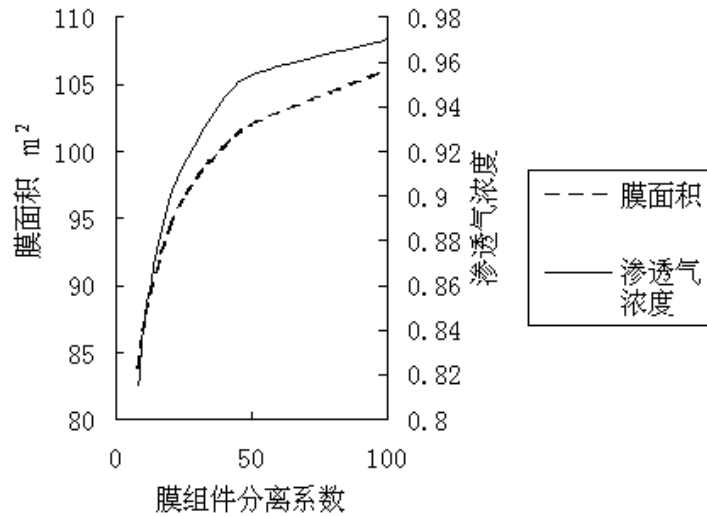


图 4 膜组件分离系数对渗透气浓度和膜面积的影响

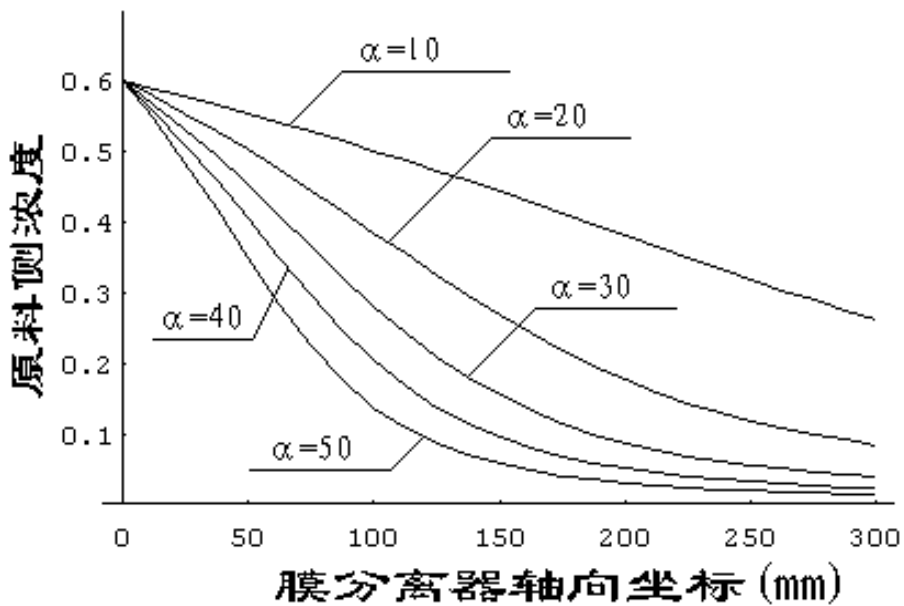


图 5 分离器原料侧浓度变化曲线

由图 6 可见，当原料气流量、原料气浓度、原料侧压力、渗透侧压力、渗透气浓度一定时，随着分离系数的增加，系统所能达到的回收率增加，所需的膜面积增大。由图 6 我们也可以知道，从工程的济性角度考虑，膜分离过程有它自身

的最佳工作条件，当产品气浓度一定，即使膜组件的分离性能得到了很大的提高，回收率的增加，也会导致系统造价直线上升。

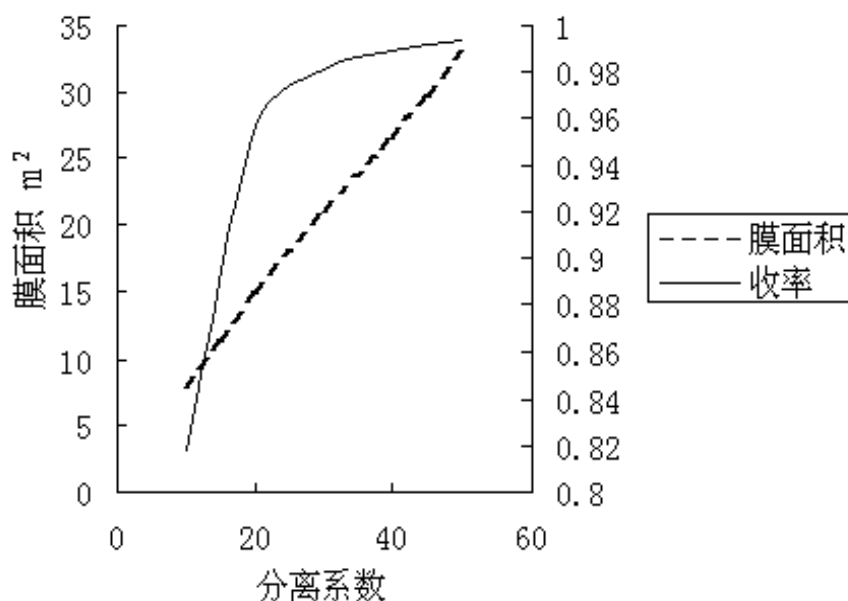


图 2-5 分离系数对收率和膜面积的影响

### 3、温度对分离过程的影响

温度的提高会极大的促进渗透过程的进行。因为随着温度的提高，分子的运动速度增快，膜中高分子链段的震动频率加快、震动幅度加大，因此分子将更快、更容易地通过膜，但是，由于高分子链段震动幅度的加大，使膜对各种气体分子选择性通过的能力减弱，即分离系数降低。一般来说，温度提高后，最终的结果将导致回收率显著地提高，渗透气浓度降低。

### 4、压差对分离过程的影响

由于渗透过程的推动力是气体分子在膜两端的分压差，因此压差的增大会使渗透过程的推动力变大，从而导致产品气量增大，同时产品气浓度也会略微提高。

以上所说的是正向压差，由于在膜设计时，为了降低气体分子在膜内的透过阻力，因此膜被做得很薄，同时为了满足工程中对其耐压性能的要求，在膜的下面增加了结构较为疏松的支撑层，当膜受到正向压力时，膜会受到支撑层的支撑作用，不被压坏，但是，当受到反向压力时，膜就很容易损坏了。

#### **5、压比对分离过程的影响**

压比的提高，将直接导致产品气浓度的提高。在膜分离过程中，压比是非常重要的，提供更高压比的操作条件，将会获得更好的分离效果，但是当压比超过 6 以后，其意义就不大了。

作为一种定性的理解，提高压比与增加膜的分离系数类似，提高压差与增加膜的渗透系数类似。

#### **6、原料气流量对分离过程的影响**

原料气流量越大，渗透气浓度越高，回收的氢气总量越多，但是，回收率降低，这时，如果渗透气浓度大于产品气所要求的浓度，可以考虑增加膜组件的数量，来提高回收率，也可以提高操作温度，增大压差等办法，但如果渗透气浓度不大于产品气所要求的浓度，这时提高回收率只能用



增大压差或压比的办法。当原料气流量减少时，为了保证渗透气浓度和充分发挥膜组件的性能，减少膜组件的数量是一个比较好的方法。

## 7、操作条件对尾气冷凝的影响

由于尾气冷凝在我厂氢回收装置操作中对膜组件性能有重要影响，因此这里单独作一下讨论。尾气中氢等难冷凝气体组分越少， $C_4^+$ 等易凝气体的分压越大，它们在膜表面冷凝的可能性越大。而这些  $C_4^+$  的冷凝液对膜有极大的破坏作用，因此在操作中一定要避免  $C_4^+$  在膜组件内冷凝。下面是几个主要导致尾气在膜组件内冷凝的因素：

- (1)、原料气中  $C_4^+$  浓度增加。
- (2)、原料气流量降低。
- (3)、膜组件数量增加。
- (4)、原料气压力升高。
- (5)、渗透气压力降低。
- (6)、原料气温度升高。

以上 6 个因素都有可能导致尾气在膜组件内冷凝，因此当上述情况发生后一定要对尾气成分进行全组分分析，并通过露点计算，确定尾气在膜组件内是否会冷凝。如果尾气在膜组件内会冷凝，我们可以通过减少膜组件的数量来避免这种情况的发生。

## 五、 气体分离膜流程设计

气体分离膜一般是由有机高分子材料制成，因此存在着强度问题和化学侵蚀问题以及机械冲刷问题。强度问题包括膜所能承受的绝对压力和所能承受的压差，由于膜结构的特殊性，强度问题还包括防反压问题，即膜的高压侧压力始终不能小于低压侧。为了避免膜受到化学侵蚀，一定要对入膜气体进行前处理，去掉那些对膜有害的物质，或者控制其含量。高速的机械冲刷，特别是带机械颗粒的气体会对膜表面造成一定的损害，减少膜的使用寿命，因此降低气体流速，去掉气体中的机械颗粒，对延长膜的使用寿命具有重要意义，大量的工程实践证明，当膜组件内的流速小于 1.5~2 米/秒时，气体的机械冲刷不会对膜表面造成任何伤害。

气体膜分离流程一般包含两个单元，即前处理单元和膜分离单元，前处理单元要解决的问题是，避免膜受化学侵蚀，延长膜的使用寿命，使气体膜分离过程长久稳定的运行。膜分离单元是气体膜分离过程的核心，不同气体的分离是在该单元完成的，该单元要解决的主要问题是，如何在现有的总压差下，对膜组件进行优化组合，对气体流动形式、方式进行优化组合，以达到分离要求，同时使所用的膜组件数量最少，以达到最经济的设备投资目的。一个成功的膜分离流程设计，一定是前处理单元和膜分离单元的完美结合。

由于压力是气体分离过程中的重要因素，因此降低系统压力降对流程设计和配管设计至关重要，特别是对于低压膜分离过程，0.1~0.2MPa 的压力降就会对分离效果造成极大的负面影响。

在对气体膜分离流程进行设计时，一定要考虑安全问题，该问题包括两层含义，一是设备安全，一是人员安全。在设备安全中，膜组件的损坏往往会给厂方带来巨大的经济损失，因此在流程设计时，一定要对该问题给予足够的重视，使装置在开车、运行、停车过程中，膜始终处于安全的保护中。同时设备的超压损坏，以及气体的局部严

重泄露，又会直接或间接地对人员的安全造成威胁，这些问题也应该在流程设计时给予足够的重视。

## 六、 流程描述

含氢的原料气自界外来（压力 2.9MPa, 流量 110000NM<sup>3</sup>/h, 氢气浓度 66%, 温度 73℃），流经管道过滤器（L-101A），除去大颗粒机械杂质。由水冷器（E-106）降温到 40℃后，进入旋风分离器（D-102A），初步除去较大的水滴及油滴，再由高效过滤器（D-102B）有效地除去气体中夹带的细小固体颗粒和油雾、水雾以及气溶胶，滤除精度可达 0.01 微米，残余含油量小于 0.01 毫克/米<sup>3</sup>。此时，气体中已经基本不含液态的水和油，但是在膜分离过程中，仍会有部分的水和油由气相冷凝于膜表面，降低膜的分离性能，并对膜造成永久损坏，因此在高效过滤器（D-102B）后加一 U 型加热器（E-103），使入膜原料气远离露点，避免这种情况发生，一般提高温度 5℃以上即可满足要求。以上为该流程的前处理部分。经过前处理后的气体，已经满足入膜要求，再经由一道过滤器（L-101B），进一步保证入膜气中不含机械颗粒。气体经过一段膜分离器组（M105A1-3）的分离后，渗透气（压力 1.15MPa, 流量 6800NM<sup>3</sup>/h, 氢气浓度 92%）去氢管网，做加氢精制原料气。尾气（压力 2.8MPa, 流量 5300NM<sup>3</sup>/h, 氢气浓度 35%）再经二段膜分离器组（M105B1-3）分离，渗透气（压力 0.8MPa, 流量 1100NM<sup>3</sup>/h, 氢气浓度 78%）去膜前压缩机，重新增压，再进入膜分离系统，回收其中的氢气。尾气（压力 2.7MPa, 流量 4200NM<sup>3</sup>/h, 氢气浓度 23%）去瓦斯管网，做制氢原料气。

## 七、 主要设备

- 1、管道过滤器(L-101A),其作用为去除原料气中较大颗粒机械杂质。该管道过滤器平时可不必经常清洗,在全厂一年大修时清洗一次即可。
- 2、水冷器(E-106),其作用为将较高温度的原料气(设计温度可定为75℃)冷却到40℃以下,以保证该气体升温5℃后,仍能低于膜正常使用温度。该设备的设计裕度为150%。该设备在正常使用条件下,根据不同冷却水质,2~3年清洗一次。
- 3、旋风分离器(D-102A),其作用为初步除去较大的水滴及油滴。该设备要求操作工根据原料气中液体含量的多少,以及旋风分离器液位指示,定期手动排液。
- 4、高效过滤器(D-102B),其作用为有效地除去气体中夹带的细小固体颗粒和油雾、水雾以及气溶胶。其对机械颗粒的滤除精度要达到0.01微米,残余含油量要小于0.01毫克/米<sup>3</sup>。该设备要求操作工根据原料气中液体含量的多少,以及差压指示,定期手动排液,严禁过滤器被击穿的现象发生。该过滤器的使用寿命应不小于12000小时。
- 5、U型加热器(E-103),其作用为提高气体(设计温度可定为35℃)温度5℃以上,使入膜原料气远离露点,避免部分水和油由气相冷凝于膜表面。
- 6、管道过滤器(L-101B),其作用为去除原料气中由管道造成的较大颗粒机械杂质,是膜前面的最后一道屏障。该管道过滤器平时可不必经常清洗,在每年大修时清洗一次即可。
- 7、膜分离器组(M105A1-3)、(M105B1-3),该装置为膜分离单元的核心设备。

## 八、 控制说明

- 1、**水冷器（E-106）的温度控制。**由于原料气温度尽可能的低可以使原料气中重烃组分在入膜前得到更充分的冷凝，以防止这些组分由于在分离过程中分压升高而冷凝下来，造成对膜的损害，因此该管路的阀门应全开
- 2、**旋风分离器（D-102A）的液位调节。**该控制回路由液位变送器和气动调节阀组成。该液位正常时由操作工定期手动排放完成，当液位达到 50%时报警，当液位达到 70%时，气动调节阀开启 10 秒钟后关闭，当液位达到 90%时联锁停车。
- 3、**原料气压力控制。**该控制回路由压力变送器和二段尾气调节阀组成。其控制原料气压力为 2.9MPa，当原料气压力大于 3.1MPa 时报警，当原料气压力大于 3.3MPa 时联锁停车。二段尾气调节阀操作方式为，压力大于控制压力时，调节阀开启，压力小于控制压力时，调节阀关闭。
- 4、**U 型加热器（E-103）的温度控制。**该控制回路由温度变送器和气动调节阀组成。其控制出气温度为 45℃，当温度大于 50℃时报警，当温度大于 55℃时联锁停车。调节阀操作方式为，温度大于控制温度时，调节阀关闭，温度小于控制温度时，调节阀开启。
- 5、**一段渗透气的流量和压力控制。**该控制回路由压力变送器，流量变送器以及调节阀组成。一般情况下，调节阀是全开的，以便渗透侧压力最低，从而获得最大的压差。但是在某些特定的条件下，需要控制一段渗透气的流量或压力时，调节阀与压力变送器或流

量变送器一起，可以实现这种要求。当控制一段渗透气的流量时，调节阀操作方式为，流量大于控制流量时，调节阀关闭，流量小于流量控制时，调节阀开启。当控制一段渗透气的压力时，调节阀操作方式为，压力大于控制压力时，调节阀开启，压力小于控制压力时，调节阀关闭。以上的压力和流量必需在一定范围内，根据现场条件及膜组件性能再作具体确定。

- 6、**二段渗透气的流量和压力控制。**该控制回路由压力变送器、流量变送器以及调节阀组成。一般情况下，调节阀是全开的，以便渗透侧压力最低，从而获得最大的压差。但是在某些特定的条件下，需要控制二段渗透气的流量或压力时，调节阀与压力变送器或流量变送器一起，可以实现这种要求。当控制二段渗透气的流量时，调节阀操作方式为，流量大于控制流量时，调节阀关闭，流量小于流量控制时，调节阀开启。当控制一段渗透气的压力时，调节阀操作方式为，压力大于控制压力时，调节阀开启，压力小于控制压力时，调节阀关闭。以上的压力和流量必需在一定范围内，根据现场条件及膜组件性能再作具体确定。

## 九、符号说明

### 1、图例

	截止阀		截流阀
	止回阀		变径
	调节阀		管道过滤器
	双截止阀		玻璃板液位计
	疏水阀		限流孔板
	电磁阀		
	安全阀		
	孔板流量计		
	变送器		

### 2、设备位号说明

D——分离器

E——换热器

L——管道过滤器

M——膜分离器

### 3、主物料代号

PG

原料气

HG

回收氢气

FG

尾气

VT

放空气

LS

蒸汽

IA

仪表空气

NG

氮气

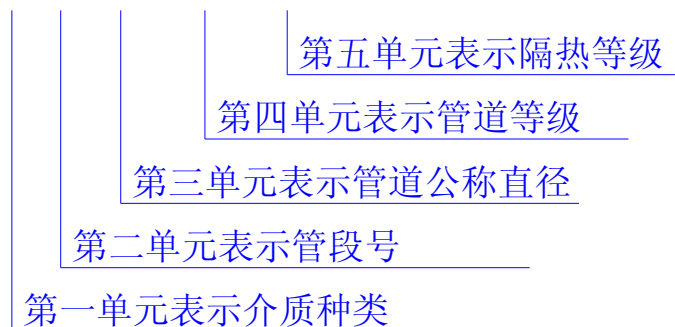
DL

分离液



SC	蒸汽冷凝水
DR	排液
CWR	循环冷却水回水
CWS	循环冷却水上水

LS101-40-B3RF1-H3



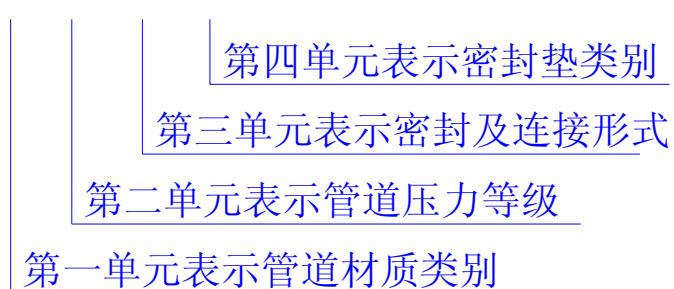
#### 4、管段号说明

##### a、第一单元说明

详见主物料代号。

##### b、第四单元说明

B 3 RF 1



(a) 第一单元表示管子材质

代号	A	B
材料	Q235-A	20

(b) 第二单元表示管道公称压力等级

公称压力 MPa	0.25	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6.4
压力等级代号	00	0	1	2	3	4	6

(c) 第三单元表示管道主要的一种密封或连接形式

代号	密封或连接形式
RF	凸面法兰连接
MF	凹凸面法兰连接
GT	榫槽面法兰连接
TJ	管螺纹连接
HF	高压螺纹法兰及螺纹连接

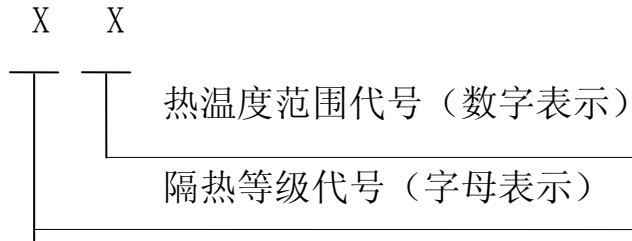
(d) 第四单元表示密封垫类别

代号	密封垫类别
1	平垫
2	透镜垫
3	椭圆型密封垫
4	F <sub>4</sub> 带

C、第五单元说明（若无此单元，则说明管路无需保温）

等级代号	介质温度℃	选用材料
H1	<100	岩棉
H3	151~200	岩棉

### 5、隔热表示方法



#### a、隔热保冷 (防烫、防冻) 等级代号

H——隔热 C——保冷 P——防烫

F——防冻 T——伴热保温

#### b、隔热等级

等级代号	介质温度℃	选用材料
H <sub>1</sub>	<100	岩 棉
H <sub>3</sub>	151—200	岩 棉

#### c、伴热等级

等级代号	介质温度℃	选用材料
T <sub>1</sub>	<100	岩 棉
T <sub>2</sub>	101—150	岩 棉
T <sub>3</sub>	151—200	岩 棉
T <sub>4</sub>	201—250	岩 棉

## 十、膜分离氢回收装置安装说明及要求

本装置工艺管道压力等级中等，但直径较大，阀门多、仪表多、接点密，因此应严格按照施工程序及注意事项进行。

- 1、管材管件应符合国家有关标准及规定。
- 2、设备及管道焊接按照现场设备、工艺管道焊接工程施工及验收规范 GBJ236—82 执行。
- 3、管道及阀门的安装与管道的吹扫、试压，按照工业管道工程施工及验收规范 GBJ235—82 执行。
- 4、膜分离器安装时，吊装时应小心谨慎，避免撞击或敲打的情况发生。不得在膜分离器的壳体动火、焊接。
- 5、膜分离器配管时，随时将膜分离器接口加封盲板，以免焊渣、灰尘，雨水等物质进入膜分离器内。
- 6、管道安装前应进行除锈，清理干净。
- 7、阀门安装前做水压强度和气密性实验，检查泄漏情况，按相关标准进行。
- 8、管道敷设中注意横平竖直，美观大方、固定牢靠。
- 7、管道安装完毕由设计单位及施工单位技术负责人共同进行外观检查后进行水压强度试验、气密性试验，本装置管道压力等级为  $P_N = 6.4\text{MPa}$ ;  $4.0\text{MPa}$ ;  $2.5\text{MPa}$ ;  $1.6\text{MPa}$  级别，试压时分别进行。
- 10、管道安装完毕，做水压试验前，必须将仪表，安全阀隔开。
- 11、管道试压合格，清除铁锈、焊渣、毛刺后，进行涂漆施工，一般采用铁红醇酸防锈底漆一道，面漆为各色醇酸磁漆两道。

- 12、保温工作现场进行，保温材料为岩棉，保温厚度为 40mm，保护层为  $\delta = 0.5\text{mm}$  镀锌铁皮。
- 13、前处理模块及膜分离模块为壳装结构。模块基础预留地脚螺栓孔，设备就位时，地脚螺栓二次灌浆固化。
- 14、模块安装不垂直度、平行度 $\leq 2\text{mm}$ ；模块安装高度以及相对位置偏差 $\leq 2\text{mm}$ 。

## 十一、报警及联锁

### 1、报警列表

水冷器温度上限报警 (TT202)	45 °C
原料气压力上限报警 1 (PT302)	3.1MPa
原料气压力上限报警 2 (PT302)	2.5MPa
旋风分离器液位上限报警 (LT501)	50%
高效过滤器差压上限报警 (PdT801)	0.05MPa
U型加热器温度上限报警 (TT201)	50°C
仪表空气压力下限报警 (PT301)	0.2MPa
入膜前压力上限报警 (PT306)	3.1MPa
一段压差上限报警 (PT306- PT303)	2.0MPa
一段反压报警 (PT303-PT306)	>0
二段压差上限报警 (PT307- PT305)	2.0MPa
二段反压报警 (PT305-PT307)	>0

### 2、联锁列表

水冷器温度上上限联锁 (TT202)	50°C
原料气压力上上限联锁 1 (PT302)	3.3MPa
旋风分离器液位上上限联锁 (LT501)	90%
高效过滤器差压上上限联锁 (PdT801)	0.1MPa
U型加热器温度上上限联锁 (TT201)	55°C
入膜前压力上上限联锁 (PT306)	3.3MPa
一段压差上上限联锁 (PT306- PT303)	2.2MPa
二段压差上上限联锁 (PT307- PT305)	2.2MPa

### 3、联锁

当控制系统接到联锁指令后，调节阀同时关闭，膜分离单元处于联锁保护状态。

## 十二、 仪表符号说明

### 1、位号列表

1XX	现场压力表
2XX	温度变送器
3XX	压力变送器
4XX	流量变送器
5XX	液位变送器
6XX	现场差压表
7XX	现场温度表
8XX	差压变送器

### 2、仪表符号说明

T	温度
P	压力
F	流量
L	液位、下限
LL	下下限
H	遥控、上限
HH	上上限
A	信号、报警
I	指示
C	调节
Pd	差压
S	联锁
R	记录



## 十三、吹扫及检漏程序

本套装置在第一次开车及长时间停车后重新开车前必须进行管道及设备吹扫。吹扫步骤如下：

### 一、准备

#### 1、仪表准备

- (1)、检查电网电压是否在 220 士 10V 之内,电源箱电压是否为 24VDC, 仪表气源压力是否在 0.4~0.6MPa 之间。
- (2)、启动 DCS 控制系统,给现场一次仪表供电、供气(在给一次仪表供气前,将以表供气管道吹扫干净)。
- (3)、检查各仪表状态是否正常。

#### 2、工艺准备

- (1)、确定流程中各盲板处于关闭位置。
- (2)、关闭各工艺阀门。
- (3)、关闭各现场仪表连接在工艺管道上的截止阀。

### 二、吹扫

#### 1、原料气放空管道 VT101、P202 及调节阀 MB2 的吹扫

- (1)、缓慢开启 F35,对管线 VT101P 进行吹扫。
- (2)、关闭 F35。
- (3)、全开 F39。
- (4)、缓慢开启 F40,对调节阀 MB2 进行吹扫。
- (5)、关闭 F39、F40。
- (6)、全开 MB2、F39。
- (7)、缓慢开启 F42,对管线 P202 进行吹扫。
- (8)、关闭 MB2、F39、F42。
- (9)、缓慢开启 F41,对管线 P202 支线进行吹扫。
- (10)、关闭 F41。

## 2、管道过滤器滤 20 前管道的吹扫

卸下滤 20 前法兰，并用石棉盲板堵住滤 20 入口，进行吹扫，直到确认干净为止。

## 3、水冷器（E-106）及其管道的吹扫

## 4、管道 P203 及调节阀 MB3 的吹扫

## 5、旋风分离器（D-102A）及其管道的吹扫

## 6、高效过滤器（D-102B）及其管道的吹扫

## 7、U 型加热器（E-103）及其管道的吹扫

## 8、管道过滤器（L-101B）及其管道的吹扫

## 9、膜分离器组（M105A1-3）、（M105B1-3）及其管道的吹扫

该部分吹扫应使用氮气。

## 三、检漏

系统吹扫完毕后，用氮气应对系统进行检漏。具体方法为，将系统充压至 3MPa，充压一定要在原料侧进行，防止膜处于反压状态，造成膜组件的损坏，同时充压过程中一定要缓慢进行，始终保持膜两侧的压差小于 2 MPa。

系统充压后，可对管道及设备连接点进行泄漏检查，并做好泄漏标记，以便在系统泄压后，能够将所有泄漏处一并上紧，或作其它防泄漏工作。

重新对系统充压，当压力稳定后，应在 4 小时内，系统无明显降压，此时检漏过程完成，泄去系统中的压力。

## 十四、 开车程序

- 1、用氮气进行预开车，其目的是置换系统内的易燃气体，并对系统预热。
- 2、前处理正是开车。当前处理开车正常后，系统稳定 5~10 分钟，对入膜气进行检测，当气体温度、压力、油含量满足要求后，气体可以入膜。

气体入膜后，务必控制膜单元升压速度和气体流速，并随时注意超压、超压差、反压等情况的发生。

## 十五、 停车程序

停车可分为正常停车及联锁停车两种。这两种停车除了触发方式不同外,其它都相同。当停车命令发出后,调节阀(MB7)、调节阀(MB8)关闭,调节阀(MB3)开启,原料气压力下降,由于调节阀(MB4)此时处于自调状态,因此逐渐关闭,3秒钟后,将调节阀(MB4)、调节阀(MB1)、调节阀(MB2)、调节阀(MB5)、调节阀(MB6)、调节阀(MB9)关闭,调节阀(MB3)处于自调状态,其控制原料气压力为2.3MPa。此时前处理单元、膜分离单元处于自保护状态。停车后应对管路进行检查,将集液排景。

如果长时间停车,此时操作工应到现场将所有调节阀前的根部阀关闭,同时用氮气对系统进行置换。

## 十六、 注意事项

- 1、系统升压时要缓慢，特别对膜分离单元的升压一定要缓慢，避免因膜组件内气体流速过快，造成膜表面破坏。
- 2、前处理单元开车没有完成或稳定时，气体一定不能入膜，以免气体中油污染和损坏膜，同时也有可能造成膜超温、超压。
- 3、在系统运行过程中，应对旋风分离器液位，以及高效过滤器压差给予足够的重视，定期到现场对上述设备排液。
- 4、系统一定不能憋压，保持各出气口畅通。
- 5、长时间停车后，务必将调节阀前根部阀关闭。
- 6、系统放空时，一定避免膜超压差及反压的情况发生。
- 7、定期对仪表系统进行检查，确保仪表在完好状态下运行。
- 8、避免一段尾气冷凝现象的发生。

## 十七、 安全问题

设备最重要的安全问题是，系统超压、憋压。由于原料气是由柱塞泵引出，因此在任何情况下，系统必须有一个出口保持畅通。而憋压情况最有可能发生在系统联锁停车，因此联锁停车后的调节阀开关必须按一定顺序，以避免憋压情况发生。考虑到仪表在某些情况下会失灵，因此在系统中必需安装安全阀，作为最后一道安全屏障。