

五、發明說明 (1)

本發明係關於氣體的乾燥。更詳細的說就是關於一種用於提高空氣和其它氣體之乾燥程度的薄膜方法和系統。

先前技藝的說明

可選擇性滲透氣體混合物中之成份的可滲透膜，已被視為是用來達成令人滿意之氣體分離的一種方便且極度有利的方法。為了實現在實際商業操作上的潛力，所使用的薄膜系統必須能夠達到所需程度的加工效率。已知有如水蒸汽和其它可冷凝的氣體（如二氧化碳）可在許多薄膜材料中高度滲透，空氣或其它氣體的乾燥就是屬於薄膜的重要應用範圍，而且需要以乾燥效率的提升來滿足此技藝中日益提高的要求。

薄膜材料在實用上常以一多量的中空纖維的形式存在，其排列方式可使得進入的加壓氣體能暴露於大的薄膜表面積之下，而氣體中可選擇性通過中空纖維的成份可做為低壓的可滲透氣體而被除去。而基本上，不可滲透氣體的壓力則被認為是與滲透壓為同一等級。在此種操作中，進料氣體一般會通過中空纖維的外側，或是管際空間；然而滲透的氣體則是由纖維內徑中除去的；這種方法被稱為“由外向內”的流態。但是也有可能將加壓的進料氣體通入纖維內徑中，而由纖維之外的管際空間中將滲透氣體除去，易言之也就是“由內向外”的流態。這兩種方式均已曾在此技藝中商用的薄膜滲透方法中

五、發明說明 (2)

使用過。

如果在靜滯或不流動的情況下以薄膜來進行分離高壓進料氣體與較低壓的滲透氣體，則較易滲透成份的分壓（例如水或者是被處理的進料氣體中的雜質）會在薄膜的兩端接近一共同的平衡壓力，並且較易滲透之成份將不再發生滲透的現象。因此在實際的操作上，須使進料的氣體能沿著中空纖維的薄膜通過，不論是在內部或是外緣，如此一來，較易滲透成份的分壓才能持續下降，並且使其持續由進料氣體中分離出來。這也需要較低壓力的滲透氣體中對於較易滲透之成份具有逐漸降低的分壓。在此技藝中，這種情況已知可用將可滲透薄膜置於模組或管柱中的方式來達成，薄膜的排列方式可使得較高壓力的進料氣體和較低壓力的滲透氣流以相反的方向流動。這種操作方式一般是稱為逆流操作。

在乾燥操作中，水份或是可高度滲透的任何雜質可由空氣或其它種進料氣體中被分離出來；通常在實用上，也可將一種乾燥或不含雜質的氣體通過薄膜較低壓力的滲透面，其係做為清淨的氣體以易於維持薄膜兩端的分壓差，而產生滲透的驅壓力。

逆向流動及潔淨空氣氣流所使用的薄膜模組已用來在實驗室或分析儀器中乾燥少量的空氣。此種薄膜組乾燥器為包括四個汽門的管柱形設計，亦即（1）進料氣體入口的汽門，（2）未滲透產物氣體出口的汽門，（3）潔淨

五、發明說明 (3)

氣體進入的汽門，和(4)潔淨氣體和滲透氣體出去的汽門。此種乾燥器係使用均質的聚合中空纖維，而這些纖維則具有足夠的厚度來支撐橫跨薄膜兩側所需的壓力差。此種薄膜的滲透速率非常的小（其係以滲透度/厚度(P/t)的比值來表示），即使是對於高滲透性的氣體也是一樣的，這是因為此種均質材料的薄膜所需的厚度之故。因此，此種均質的中空纖維薄膜並不適用於大規模的商用氣體乾燥方面。

在此技藝中，用於氣體乾燥和其它流體之分離的薄膜技術亦已為人所熟知，其中所使用的薄膜構型與那些以均質或均勻密度的單一薄膜材料為基材之薄膜構型不同。因此，已有複合的和不對稱的中空纖維可用於所需的流體分離方面。複合的薄膜是在一個多孔基板上含有一層薄的分離層，或者是在此多孔基板上塗佈一層合適的可滲透薄膜材料。這層薄的分離層決定了此複合結構的分離特性，而靠著多孔基板可提供此分離層物理上的支撐。在另一方面，所謂的不對稱薄膜則是由單一的可滲透薄膜材料所構成，其具有（與均質薄膜不同）一層薄的，緊密的半滲透的表皮區域，而此區域決定了薄膜的分離特性，以及一層較不緊密，多孔的，一般非篩選的支撐區域，其作用與複合薄膜中的多孔基板相同，是為了避免加壓時薄的表皮區域發生崩潰。兩種非均質的中空纖維薄膜，即複合的和不對稱的薄膜，與那些均質

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

.....裝.....訂.....線.....

五、發明說明 (4)

的薄膜相比，可表現出相當高的滲透度／厚度比值，特別是關於可冷凝氣體的滲透度方面。

在實際商業的操作使用上，上述之型式的薄膜結構一般常以組合薄膜或一細薄膜的方式來使用，通常是將其置入封裝內以形成薄膜模組，這是整個薄膜系統中的主要組成元件。此種薄膜系統一般包括一個薄膜模組，或者是數個這種薄膜模組，可以平行的方式或串聯的方式來運用。

非均質中空纖維使用於氣體的分離時，高壓的進料氣體通常是使用於薄膜中空纖維的那一側，其係薄膜分離部分所在的位置，而無論是在中空纖維的內側或外側。因此，滲透過分離層或表皮區域的氣體則通入薄膜的多孔基板內，並且由薄膜結構中的非分離側中被移去。

中空纖維薄膜模組之製造通常可使得每一個單獨中空纖維的附近之流態近似於交叉流，雖然整體的流態仍呈現出逆流的方式。在交叉流動的操作中，在薄膜之滲透側的滲透氣體之流動方向係垂直於薄膜之進料側的進料氣體之流動方向。舉例來說，當進料氣體是通入中空纖維薄膜的外側，則在纖維內徑中之滲透氣體的流動方向一般是與流過中空纖維之外表面的進料氣體的方向垂直。相同的，在“由內向外”的處理方法中（其中的進料氣體係通過中空纖維的內徑），滲透氣體一般是由中空纖維的表面以垂直於中空纖維的內徑中進料氣體的流動

五、發明說明 (5)

方向之方向流動，然後，在外層的區域中，以用於滲透氣體之出口的方向流動。此種交叉流式的流態是與逆流式的流態是不同的。在逆流的流態中，進料氣體或滲透氣體（視其所欲的操作方式為由內向外或由外向內而定）是以逆向流動的方式沿著中空纖維的外表面流動，而與在中空纖維內徑中的滲透氣體或進料氣體的流動方向平行。例如，在中空纖維束外層的進料氣體就是以平行於中空纖維之中心軸的方向流動，而非垂直於中空纖維的中心軸。

在上述型式的薄膜乾燥操作中，當使用的是複合的或不對稱的薄膜時（與緊密，均質的薄膜纖維相對照），趨向於考慮橫跨薄膜基板部分之兩端的濃度極化作用以及在交叉流式的滲透特性下操作。此種濃度極化的現象在薄膜之基板的兩端相當明顯，亦即在該基板兩端存在了濃度梯度，因此跨越複合薄膜的薄分離層或是不對稱薄膜之薄的表皮區域的驅動力也就降低了。若沒有此種濃度極化現象的發生，則在薄膜兩邊的進料氣體和滲透氣體之間的壓力差可有效地用來將進料空氣中的水份做選擇性的滲透，或是進行其它所欲的乾燥操作。關於此方面值得一提的是：即使在基板兩端的滲透成份濃度相同，亦即0%的濃度極化（這種情況有時也可稱為“完全徑向混合”），但是橫跨薄膜束之兩端的流態仍為交叉流式，而整體的滲透結果也將與一般用於交叉流滲透的數

五、發明說明 (6)

學模式相同。相同的，若薄膜束的流態被安排成逆流式的操作，但是纖維的形態設計使得橫跨基板的兩端產生完全濃度極化的話（亦即100%的濃度極化），則薄膜的整體特性將再次的與交叉流滲透的模式相同，而非逆流滲透的模式。熟習此技藝者將可了解：逆流滲透的操作（其可達到明顯程度的徑向混合）一般是較想要的操作方式且可提供比交叉流滲透操作更高的滲透程度，這可由兩種操作形式的數學模式而得到確認。

當使用上述的均質緊密的纖維薄膜來進行薄膜乾燥操作時，會達到明顯程度的逆流度，並且此種緊密的纖維薄膜一般可配合在滲透側使用潔淨的氣體（如前所述），或者是不使用此種潔淨氣體，在後面的例子中，要達到良好的乾燥效果須在相當高的階段損失情況下操作，亦即將有不少被乾燥的氣體將隨著水份一起共滲透，以使該水份能由薄膜系統的廢氣流中沖出。當需要高的產物回收率時，這樣的操作方式並不適合。

有一點要認知的是：緊密纖維的薄膜厚度（也就是它的壁厚）比不對稱薄膜的表皮部分或是比複合薄膜的分離層要大得多。對於緊密的纖維而言，必須有相當大的壁厚度以獲得足夠的耐壓能力。因此，緊密纖維的滲透速率極低，並且在商業操作上須要使用極大的表面積才能達到足夠的乾燥程度。這成為商業應用上的一個極大缺點，因為隨著薄膜面積的增加，也相對的提高了成本

五、發明說明 (7)

。與前面所說相反的是：不對稱薄膜或是複合薄膜的薄膜分離層極薄，而靠著其較多孔的支撐部分，提供了所需的機械強度，以及支撐了非常薄的分離層部分，而這層分離層則決定了薄膜的分離特性。因此，不對稱薄膜或複合薄膜與緊密均質的薄膜相較，所需的表面積要小得多。

然而在其實際的應用上，緊密薄膜在其表面的兩端並不會遭遇到濃度極化的現象，因此使得此種薄膜表現出逆流方向的滲透；而不對稱薄膜和複合薄膜都會發生濃度極化的現象，並且趨向於表現出交叉流滲透通量（亦即滲透度／時間）的特性。由於使用不對稱薄膜或複合薄膜先天上就比緊密薄膜具有較佳的改良滲透率，所以想要在此技藝中進一步的改善不對稱薄膜和複合薄膜之特性，以利於達到實際商業操作上薄膜乾燥和其它分離操作的好處。

用於分析薄膜特性的數學模式可參考 C. Y. Pan 和 H. W. Habgood 所著之“滲透的氣體分離法，第一部分”計算方法和參數分析”，加拿大化工期刊，第 56 冊，四月，1978 年，197-209 頁，文中有詳細的說明。使用此種數學模式的分析技術，G. Y. Pan 以不對稱薄膜的分析為基礎得到以下的推論：不論流態和進料氣流及滲透氣流的流動方向為何，該種薄膜總是進行交叉流式的滲透操作。這些結論和其數學理論基礎皆記載於“高通量不對稱

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (8)

薄膜滲透器的氣體分離”中，C.Y.Pan，美國化工學會期刊(AICHE)，第29冊，第4號，七月，1983年，545-552頁。

基於以上的分析，通常我們可做一推論：空氣和其它氣體的分離操作須以交叉流的方式來操作，並且為了提高此種操作的效率，可將薄膜束設計成適合提高此種交叉流滲透操作的形式。因此，許多薄膜束之設計常沿著其縱向長度上打許多的小孔，以利於進行交叉流式的滲透流態。如前所述，即使基板的形態可在此種情況下排除濃度極化的現象，使用此種薄膜束設計所能達到的整體薄膜特性仍會符合交叉流滲透的數學模式。

但是就在最近卻觀察到與先前所須預期相反的現象，許多薄膜在操作中顯現出明顯程度的逆流度，並且濃度極度現象也比所預期的情況輕微。因此，M.Sidhoum, W. Sengapta和K.K.Sirkar在“不對稱的醋酸纖維素中空纖維：氣體滲透之研究”，美國化工學會期刊，第34冊，第3號，三月，1988年，417-425頁中即討論了早期用於不對稱薄膜的數學模式和所指出交叉流滲透流態之產生（與用於較不想要的對稱性薄膜或均質薄膜之流態不同）。作者指出：此種原先以為具有交叉流滲透流態特徵的薄膜，其流態行為並不完全遵守用於交叉流操作的數學模式，反而較符合均質薄膜的模式，也就是與逆向流動的行為模式較吻合。因此，與先前所預期相反的是

五、發明說明 (9)

：實際上，許多不對稱薄膜和複合薄膜確實具有一明顯程度的逆流度。基於這個新模式的觀點，極須在此技藝中發展出改良之薄膜乾燥和其它氣體分離的方法和系統以提高逆流滲透效率。

因此，本發明的目的之一即提供一種用於薄膜乾燥和其它分離用途的改良式方法和系統。

本發明的另一個目的是提供一種複合的或不對稱的中空纖維薄膜分離方法和系統，而此種方法和系統擁有加強的乾燥能力。

本發明進一步的目的尚包括提供一種薄膜方法和系統，其可使要達到所需乾燥（或類似分離方法）程度薄膜表面積及產物滲透損失降至最低。

記著這些和其它目的，本發明將在下文中做更詳盡的描述，而關於本發明的新穎特色將特別在附加的申請專利範圍中指出。

發明概述

使用整體縮合的加工方法及系統特色，以不對稱或複合的中空纖維薄膜來進行空氣的乾燥或是其它氣體的分離，而達到提高乾燥程度或其它純化的目的。此類的特色包括一種特定的薄膜基板形態，其可產生明顯的徑向混合效果；沿著薄膜的滲透而和支滲透面之逆向流態；使用潔淨氣體；以及一種中空纖維的排列方法，其可使得進料氣體在橫跨薄膜表面時能均勻的流動。

五、發明說明 (10)

本發明將進一步的以下列的圖示做更詳細的說明：

圖 1 為本發明所使用之薄膜系統中流體的流動曲線圖，包括在其滲透側之潔淨氣體的供應；以及

圖 2 為用來說明跨越薄膜兩側的逆流流態程度與分離因子，基板的形態，以及滲透速率之間的關係圖。

本發明之目的係藉著使用中空的薄膜系統而達成的；此系統可包括不對稱或是複合的薄膜，且具有之基板形態可在基板兩側建立明顯程度的徑向混合，以及使用潔淨氣體，及逆向氣流式的流態，和橫跨薄膜兩側之均勻流態。以這種方式來進行操作的中空纖維薄膜系統，可以在高產量的情況下增進所欲達到產物的乾燥程度或其它純化的程度。此種薄膜的特性將會遵循（至少部分遵循）逆流式的數學模式，而非交叉流式的數學模式。由於以前薄膜特性的交叉流式數學模式被認為是適用於氣體分離方面，所以在早期的模組設計上均是將其設計成可產生交叉流動的方式。其它的設計則是使整體流動形式能成為逆向流動，但是卻在每一個中空纖維的局部附近會產生交叉流的流態。與這些先前的實際應用情形相反的是：本發明的整個逆流滲透特性將導致在薄膜的交叉流動操作中，有少量有價值產物氣體（例如氮氣／氧氣）會減少。

有一點可預期的是：薄膜特性的逆流數學模式及交叉流數學模式可由那些熟習此技藝的人用來計算任何薄膜

五、發明說明 (11)

材料及構型，其係以已建立的模式準則為基礎，如所引用的先行技藝中所述。任何薄膜系統的薄膜特性皆可以慣用的測試法來決定，並與該數學模式的預測結果相比較。以逆流模式應用在本發明的實際應用上，在薄膜的低壓，滲透側所使用的乾燥回流潔淨氣體取代了所需的產物氣體由進料氣流（以交叉流的操作方式）中共滲透出來，而由薄膜的分離層中將水蒸汽，或其它的滲透氣體帶走，因此而可使除去水份或雜質的驅動力維持在相當高的數值。這不僅僅是可將須達到所需乾燥程度或純化程度的產物滲透損失降至最近，也可將達到此種操作所需的薄膜面積減至最小。雖然近年來已有人將潔淨空氣實際用於工業上的乾燥程序或其它類似的操作程序中；在此技藝中關於薄膜兩側的交叉流態相對於逆流流態，如同前面所討論的，將缺少具有明顯程度之薄膜特性的潛在優點，或者是缺少用於提高此種實際工業操作之逆流度的方法。

因此，在本發明的實際應用上，用於空氣乾燥或其它氣體純化的薄膜將可以改進氣體分離的效率，而具有高的產物（未滲透之氣體）回收率，並且顯現出明顯逆流度的特性。這個參數或特性的量測在此之定義為（與此技藝中所已知者相同）：薄膜特性對於用於薄膜之逆流數學模式的逼近程度。當逆流度為100%時，則此薄膜的特性將與逆流模式所預測的完全相同。而當逆流度為0%

五、發明說明 (12)

時，該薄膜的特性將與交叉流模式所預測的結果完全相同。在本發明之實際應用上，所能達到的逆流程程度一般至少約為20%，通常為50%或更高，最好是約為80%或更高；而具有這麼高的逆流程程度之薄膜特性係表示在薄膜乾燥技藝方面的極大改善。所以須了解：在任何特別用途上所觀察到的逆流程程度是會隨著該應用上的整體情況而定，包括用來分析薄膜特性所使用的特定數學模式。因此，逆流程程度可反映出本發明的好處，而非指要達到本發明之實用利益所要使用之限制。

如前所述，可利用下列的方式來改進空氣的乾燥或其它種氣體純化的特性，(1) 薄膜的基板形態，其可在薄膜的基板之兩端達到明顯的徑向混合；以及(2) 在橫跨薄膜的滲透面和未滲透面時具有逆流的流態，而此薄膜係由表皮部分和基板部分所構成，亦即纖維的外部和其內徑的內部；(3) 在薄膜的滲透側使用潔淨氣體；以及(4) 一種中空纖維薄膜的排列方式，可使得氣體橫跨薄膜的進料側(未滲透側)和滲透側時能產生均勻的流動，而該薄膜係由該表皮部分(或是在複合薄膜中的分離層)和該基板部分所構成。綜合這些新穎的特色可提高薄膜的特性，並且以高的回收率得到所要的產物氣體(即未滲透氣體)。

關於本發明的氣體純化操作(例如空氣的乾燥或是由進料氣流中分離出雜質)特別適合用於下列情形：即所

五、發明說明 (14)

透氣體則由中空纖維的內徑中流出。所欲乾燥的潮濕進料氣流 5 係通入薄膜的高壓側 3，且係由其末端的進料口通入的；並且經乾燥過的產物氣體 6 則是由薄膜高壓側的另一末端或是產物端流出的。乾燥的潔淨氣流 7 係通入薄膜的低壓側，且係由其末端的產物口進入的，而載滿水氣的廢氣流 8 則係以低壓由薄膜的另一末端或是進料端流出。當水份或其它分離成份相對於被乾燥或純化之進料氣流具有如上述的分離因子時，使用這樣的薄膜系統，或是如本文中所述的相關變化方法，可以在實用上提高氣體乾燥程度或純化程度。如前所述，如果基板兩端的滲透成份濃度相同，則可產生完全的徑向混合，也就是 0% 的濃度極化。真正可達到的徑向混合程度可以下列的公式來表示：

$$RM = \frac{y_{\max} - y}{y_{\max} - y_{\text{bore}}}$$

其中 y_{\max} 是表示以薄膜特性的交叉流模式所計算出在薄膜基板的低壓滲透側之濃度； y 是指在基板的低壓側之真正濃度；而 y_{bore} 是指在纖維內徑中的濃度。當沒有徑向混合發生時， y 將會等於 y_{\max} ，且在基板表面將發生濃度極化的現象。如果是完全徑向混合的話，則在基板兩側將會產生濃度極化，且 y 將等於 y_{bore} 。

該種徑向混合相對於基板的孔隙度，代表性複合中空

五、發明說明 (15)

纖維薄膜的分離因子（選擇率）及對於空氣乾燥之滲透通量的關係皆已找出，並繪於圖2中以用於氣體乾燥方面。在本文中所謂的“滲透通量”是指用於空氣乾燥方面的水份滲透率相對於厚度之比值，或者是在氣體純化操作中之雜質滲透率相對於厚度之比值，其係以立方英尺／天／（磅／平方英尺）／平方英尺的工程單位來表示。圖2中的橫座標為薄膜基板的孔隙度除以該滲透通量，而以對數座標來表示。圖中的曲線說明了不同分離因子的效應，亦即用於該空氣乾燥用途上的不同分離層材料之選擇率。分離因子的些微差異之效應可視為適當的，因為由50到1000之分離因子的曲線事實上是非常接近的。對於具有明顯徑向混合程度的情況而言，亦即約在10%以上，則基板孔隙度除以 P/T 的數值將大於0.005。而如圖2中所示，對於高度徑向混合的情況而言，亦即約80%或甚至於接近完全的徑向混合，則基板孔隙度除以該滲透通量將大於0.1。水的滲透通量值一般約為5到50之間（以該工程單位來表示）。因此，為了達到高度的徑向混合，基板的孔隙度應約為0.5%到5%或更高；以及孔隙度應約為0.05%或更高，以達到如前所述的明顯程度之徑向混合。此種基板孔隙度的範圍不僅是適用於空氣的乾燥，也適用於其它的氣體純化。雖然此數值是基於所使用之基板皆具有均勻孔隙度的情況下所決定的，此數值一般也可用於如不對稱薄膜或複合薄膜基板

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝
訂
線

五、發明說明 (16)

之低密度之支撐區域的平均孔隙度，此類的基板顯現出某種程度的不對稱性，其具有不同等級的基板孔隙度。

圖 2 中的曲線是基於基板置於中空纖維薄膜系統的低壓側（亦即滲透側）之情況下所決定出來的。事實上，如果基板是置於中空纖維薄膜系統的高壓側（亦即未滲透側），則易於達到高度的徑向混合。在這樣的體系中，圖 2 中的曲線將以中空纖維薄膜兩端高壓 / 低壓之比例向左移動。因此如果情況允許，一般較有利之方法是將基板置於薄膜的高壓側，也就是進料側。此外，為了降低高壓和低壓氣流的壓力降，通常較好是將高壓的進料氣流通入中空纖維薄膜的內徑，而潔淨 - 滲透氣流則是在薄膜的管際空間中流過；而不對稱薄膜的薄且緊密之分離區域和複合薄膜的薄分離塗佈層係置於薄膜的外側。

雖然薄膜基板的形態（欲在基板兩端達到明顯程度的徑向混合）對於改進乾燥程度或其它氣體純化特性是非常重要的，但是此種成就本身並無法提供這種改良的特性。在上述所提出的其它因素中，最重要的是能在薄膜的滲透面和未滲透面的兩端產生逆流流態。此種逆流流態可藉著將中空纖維素裝入一個不可滲透的障壁中而產生，其係沿著其縱向的外表面置放的，除了未封裝的流體通過區域之外。在歐洲專利公告書第 0226431 號（在 1987 年 6 月 24 日所公佈）：此種逆流流態的產生將視所需

五、發明說明 (17)

的操作方式而定(亦即由內向外流動或由外向內流動),使得進料氣體或滲透氣體以逆流方式流過中空纖維的外側,而平行於中空纖維內徑中的滲透氣體或進料氣體之流動方向。舉例來說,中空纖維束外側的進料氣體之流動方向係平行於纖維束的中心軸,而非與中心軸垂直。此種不可滲透的障壁材料可以是一種非滲透的包裝膜,例如聚亞乙烯等。另一種可能性是:此種不可滲透的障壁材料可以為一種非滲透的塗料(例如聚矽氧烷)用於無害的溶劑中;或者是在薄膜纖維束上裝置一個收縮套管並且將纖維束予以束緊。也可在中空纖維束和薄膜模組的管際空間之間裝置一個O型環或是其它的障壁,如結構的填料;或者是將中空纖維的殼側置於非常靠近薄膜束的位置,以形成所需的障壁效果。在這樣的體系中,不可滲透的障壁物係裝入中空纖維束中,而非在其上開孔以允許氣體由纖維束中流入或流出,因此基本上流體係沿著所有纖維束中的中空纖維之外表面,以平行於中空纖維束之中心軸的方向流動。所得到的流態為:潮濕的進料氣流(空氣)和滲透氣體的逆向流動,滲透氣體中含有潔淨氣體及水份或氣體雜質,而這些水份或氣體雜質係滲透穿過薄膜的。

對於本發明之提高空氣乾燥程度或氣體純化操作的第三個要求是在薄膜的滲透側使用乾燥的潔淨氣體。如果是進行交叉流式的滲透,則潔淨氣體的使用對於所能達

五、發明說明 (18)

到的乾燥量並無影響。另一方面，在操作時若顯現出明顯程度的逆流度，則潔淨氣體可輕易地將滲透氣體（例如在空氣乾燥應用中的水份）由薄膜的表面上除去。潔淨氣體可使薄膜兩端維持高的驅動力，以使水份或雜質能繼續由進料氣流中除去。關於整個發明的這個特色可將所需的薄膜表面積降低最低，並且可將因需達到所需乾燥程度或純化程度的產物（例如乾燥空氣）的損失也降至最低。我們很容易地可以了解：須將因該氮氣／氧氣由進料空氣中共滲透出來所導致氮氣／氧氣的產物損失盡可能將其減至最小。例如，想要將因共滲透而導致的產物損失能維持在薄膜系統之滲透產物氣體總流量的1%下，較好是能低於0.5%。關於本發明之潔淨的進一步規定情形，將在下面的例子中做一說明。

在本發明實際應用上所需的第四個特色為：中空纖維薄膜的排列方式可使得進料氣體和滲透氣體能在薄膜表面的兩端均勻流過。在本發明這個特色的一個良好的體系中，中空纖維薄膜係以內含等長之中空纖維的螺旋式纏繞中空纖維薄膜筒的方式來安置。此種螺旋式的纏繞方式是由Coplan等人在美國專利第4,631,128號中所揭露，而得以在此技藝中聞名的。熟習此技藝者將不難了解：光是以平行或直線的排列方式將中空纖維置入薄膜筒中並不足以在薄膜兩端產生所需的氣體均勻流速分佈，除非是以上述的特別螺旋纏繞的方式。因此在實際上

五、發明說明 (19)

，以直線方式排列的中空纖維將含有不同纏曲程度的特別中空纖維，阻礙了所需均勻流態的形成。然而要知道：其它種較不經濟的方法也可用來達成該氣體的均勻流動。因此，可使用篩網或其它限制流動的方式，例如使用檔板，來產生該種均勻流動的路徑。中空纖維的排列方式也可類似於繩索的編結方式，而其結構的型態可達成所需的均勻氣體流動。

要了解：在本發明的細節上可以和這裡所描述的內容稍有些變化和修改，只要沒有偏離本發明附錄之申請專利範圍之觀點即可。因此，薄膜材料可以為任何種的合適材料，只要其可以在適合的分離因子程度的情況下，選擇性的將水份或所欲除去的雜質由空氣或其它氣流中滲透出即可。複合的中空纖維薄膜通常是以聚矽或是其它所要的基質和乙基纖維素，纖維素醋酸酯或其它種此類的薄膜材料之分離層來製備。不對稱薄膜的材料包括如纖維素醋酸酯，聚矽等也可以使用。然而，值得注意的是：此種材料只是在此技藝中眾多合適材料中的一種代表性物質，其可實際應用於本發明，無論是做為複合薄膜的基板或分離層材料或者是做為不對稱薄膜中所使用的材料。此種材料的中空纖維可依此技藝中常用的著名程序來防織。例如，多孔的聚矽中空纖維可以依 Cabasso 等人在“複合中空纖維薄膜”，應用聚合物科學期刊，第 23 冊，1509-1523 頁中所述之程序，而在聚矽

五、發明說明 (20)

的三元溶液中紡織而成。著名的管中噴射技術也可在該紡織程序中使用，以約 21℃ 的水做為纖維的外側淬冷介質。在纖維內徑中心的淬冷介質一般常為空氣。淬冷之後，接著再以水將纖維予以沖洗。清洗之後，將此中空纖維通入熱的空氣乾燥塔中，而在 30℃ 的溫度下乾燥。為了製備複合薄膜，經乾燥的中空纖維可以立即在管線中以適合的分離層溶液予以塗佈，例如以一種乙基纖維素的聚合物溶液來塗佈。可以將約百分之一的乙基纖維素溶於異丙醇中而製得此溶液，並且在施用於聚砜中空纖維的支撐層或基板上之前，先以 1.5 毫微米的玻璃濾器予以過濾。中空纖維基板可直接通入放在塗佈容器中的經過濾之塗料溶液中，然後在纖維被送入纏繞機中纏繞之前，將塗好的纖維在空氣烤箱中乾燥。因此而製備好的聚砜中空纖維複合薄膜具有非常薄的塗佈厚度，例如約 0.2 微米或更小。此種複合中空纖維薄膜（使用纖維素三醋酸酯做為代表性的薄膜材料）在氧氣和氮氣之間的分離因子約為 5.9，並且對於氧的滲透通量約為 0.08 立方英尺 / 平方英尺 · 磅 / 平方英尺 · 天。中空纖維係用來纏繞在滲透器的筒子上，而在薄膜模組中置入一個或多個這樣的筒子；而薄膜模組修正成可讓進料氣體和潔淨氣體通入，並且可讓未滲透氣體，和滲透氣體及潔淨氣體的綜合氣體被分離除去。熟習此技藝者將可了解；所有用的薄膜模組為一種合適的四汽門模組，其可

五、發明說明 (21)

適合進料氣體和潔淨氣體的通入，以及該滲透—潔淨氣體和未滲透氣流的分離除去。同時有一點要了解的是：進料氣體可以通入中空纖維的內徑（由內向外的流動方式），或者是通入薄膜的管際空間（由外向內的流動方式）。

有一點須了解的是：除了在本文中所討論的重要空氣乾燥用途之外，本發明尚具有許多實用的商業用途。因此，例如由氮氣或甲烷中快速滲透出二氧化碳的氣體分離程度，以及由氮氣中分離出氫，均是關於本發明的其它應用實例。

在下文中將以特殊的實例來敘述本發明的實際應用情形。這些例子只是用來說明本發明以及本發明的優點，而不應視為如附錄之申請專利範圍一樣的限制了本發明的範圍。

例 1

在這個例子中，使用含有等長中空纖維的螺旋式纏繞筒，此筒被置入壺中，並且將纖維束予以切割使得纖維的兩端可以該氣體流體，而此模組可以如圖 1 中所顯示的四汽門模組一樣的運作。所使用的中空纖維薄膜為一種複合薄膜，其係由一種聚砜中空纖維基板所構成，而在基板上塗覆了一層乙基纖維素分離層。這些中空纖維是以螺旋的方式纏繞，而其具有相同的有效長度。環繞中空纖維束的周圍上置有一層不可滲透的聚亞乙烯薄膜

五、發明說明 (22)

，以確使中空纖維外表面的進料氣體和未滲透氣體能逆向流動，亦即平行於在中空纖維內徑中流動的滲透氣體和潔淨氣體。因此所使用薄膜的流態為由外向內。如同在滲透乾燥法中所使用的，進料空氣和未滲透的氣流或保留下來的氣流之計示壓力約為150磅/平方英吋，然而滲透氣體的壓力則幾乎接近大氣壓力或是其計示壓力為0磅/平方英吋。在這樣的情況下，會有少許空氣中的成份（亦即氧氣和氮氣）和進料空氣中的水蒸汽一起滲透出來。因此，為了達到所需的乾燥程度，會有不少具價值的產物氣體滲透出來。

為了減少空氣中主要成份的滲透量，所以使用潔淨空氣來進行試驗，並且潔淨空氣和滲透氣流的計示壓力約為149磅/平方英吋，所以在薄膜兩端的壓力差只有1磅/平方英吋。未滲透氣流的流速則為21到85NCFH，但是即使是在較低流速的情況下，此種乾燥空氣的階段損失只有2%。在試驗中同時也改變潔淨空氣的流速，並且使用分析儀器來測量進料氣體，未滲透氣體，潔淨氣體和廢滲透氣流中的水蒸汽濃度。所測得進料氣流中的水份含量只有小幅的變動，平均值為1073ppm。而基本上乾燥潔淨氣流的水份含量約為0.85到1.50個ppm之間，平均值約為1.29ppm。對於所使用的薄膜材料而言，水份相對於氧氣之滲透率的比值，亦即水和氧氣的分離因子將大於100，並且水和氮氣的分離因子將比這個數值要

五、發明說明 (23)

大得多。水的有效 P/t 值為介於 4 和 8 之間，其單位為上述的工程單位。而聚矽基板的孔隙度約介於 0.5% 到 1% 之間。

許多試驗的測試時間甚至於超過三個月。因為濃度要達到穩定狀態是很緩慢的，所以以下的數據所代表的測試時間至少為 20 個小時，或甚至於數百個小時。這些結果皆列於下面的表 I 中。

表 I

進料流 (NCFH)	未滲透之水份		
	清潔比	(ppm)	除去水份的 %
23	0.02	1075.0	13.31
24	1.02	53.80	95.37
	1.73	1.48	99.86
21	1.27	4.97	99.57
	1.66	2.05	99.81
44	1.10	32.85	96.91
	1.23	14.98	98.61
	1.70	1.38	99.86
65	1.15	38.40	96.24
	1.25	14.10	98.62
	1.71	1.38	99.87

五、發明說明 (24)

上面所使用的清潔比是指潔淨比除以薄膜滲透側之較低壓力相對於其未滲透側之較高壓力的比值，亦即， $CR = \text{潔淨比} \div (\text{低壓} / \text{高壓})$ 。在這裡的潔淨比是指在STP狀況下的潔淨體積流相對於STP狀況下的產物體積流之比值。而這裡所指的STP是指在0℃和一大氣壓的標準狀態。這些結果說明了：使用潔淨氣體且清潔比大於一時，在本發明的所有操作條件下，幾乎可將進料氣流中的水份完全除去。此種操作條件將包括，如前面所討論及在這個例子中所使用的，一種薄膜基板形態，使其可在薄膜的基板兩端達到明顯程度的徑向混合；在薄膜兩端形成逆流的流態；以及一種中空纖維薄膜的排列方式，可使得氣體通過薄膜時能達到均勻的流動。如果並不須將水份（或雜質）幾乎完全除去的話，則可使用小於一的清潔比，例如在部分乾燥的應用方面。因此，經常使用約為0.9的清潔比，甚至於低於至約0.6或0.5也可用於某些特定用途上。

在第一次測試時，並不使用潔淨空氣，並且所實施的機構為一種滲透型的清潔，而非潔淨型的清潔。結果，所被除去的水量很少，大約只有13%的水份被進料空氣中的氧氣和氮氣的滲透效應所除去。在所有其它的試驗中，以潔淨型的清潔方式將可有超過95%的水份被除去，這是視所使用的清潔比來決定乾燥或純化的程度的。當清潔比為1.7時，超過99%的水份可被廢潔淨氣流所

五、發明說明 (25)

除去，而未滲透的氣流則幾乎與所使用的潔淨氣流一樣乾燥。值得注意的是：這種以潔淨氣體來進行乾燥的方式，可獲得相當良好的結果，卻只會造成極微量產物氣體的損失，在所有例子中均小於2%。所測量出在廢氣流中的水份含量，使得可針對水份做一質量平衡，其平衡的結果更肯定了在進料空氣中絕大部分的水份皆已被移入廢氣流中。有一點值得注意的是：在薄膜以及交叉流方式操作的情況下，潔淨氣體對於乾燥量並無影響，並且此種乾燥操作將伴隨著發生氧氣和氮氣由被乾燥的進料空氣中滲透而出的現象。

例 2

在這個例子中所使用的薄膜模組與例 1 中所使用的模組類似，除了所使用的中空纖維係特別用一種乙基纖維素材料塗上非常厚的一層材料之外。由於薄膜厚度的大幅增加，因此氧氣和氮氣的滲透通量被大幅的降低。這個較厚的薄膜可使用一般的壓力差（在薄膜的兩端），而不會有明顯量的空氣發生滲透。在另一方面，水蒸汽具有相當大的滲透率，而表現出高的傳輸速率，即使是透過較厚的薄膜。令人驚訝的，水的有效 P/t 值為 3-5 個工程單位，並不比例 1 中的數值低很多。這暗示了在例 1 中有其它的障礙影響了水份的傳輸，例如可能是毛細凝結的作用。基板的材料與例 1 中所使用者相同，基板的孔隙度也一樣，亦即 0.5-1%，並且本發明的其它特

五、發明說明 (26)

色均與例 1 體系中的特色相同。

例 2 的測試實驗均是依圖 1 中的流動曲線圖來進行的，而高壓進料氣流和未滲透氣流之絕對壓力均為 114.7 磅/平方英吋，低壓的潔淨氣體和滲透氣流之絕對壓力則為 14.7 磅/平方英吋，亦即大氣壓力。乾燥空氣的階段損失經測量後得知約為 2%。進料空氣氣流中的水份含量約為 3,000 ppm，而基本上用來做為潔淨用途的乾燥空氣之水份含量為 2.7 ppm。這些測驗的結果列於下面的表 II 中。

表 II

進料流 (NCFH)	清潔比	未滲透之水份	
		(ppm)	除去水份的 %
21.2	0.18	2619.0	16.00
21.2	1.17	51.1	98.42
	1.56	5.38	99.84
	1.95	3.69	99.87
42.4	1.17	121.8	96.36
	1.56	21.96	99.30
	1.95	11.46	99.64
63.6	1.17	188.0	93.51
	1.56	66.06	97.92
	1.95	19.80	99.45

五、發明說明 (27)

84.8	1.17	258.0	91.29
	1.56	128.9	95.03
	1.95	34.2	99.00

這樣的結果顯示：幾乎空氣中的所有水份皆可被除去，在使用更實用的壓力差之條件下，潔淨氣流只是產物流的一部份。在第一次的測試中並未使用潔淨氣體。如表中所示的清潔比只有18%，所發生的潔淨效果是由於氫氣和氮氣共滲透的緣故。這些結果看起來很差，只有16%的水份被除去，再一次地證實了：光靠空氣中之成份的共滲透作用並不足以達到滿意的空氣乾燥所需除去水份的要求。與此種不良型式的滲透乾燥結果相反的，其它清潔比大於一之測試結果，一般皆幾乎可將進料空氣中的水份完全除去。在這些例子中的清潔比係指（潔淨流／產物流）的比值除以（低壓／高壓）的比值。要注意：雖然在增加壓力差的情況下其清潔比大於一（係與在例1中所使用的壓力差相比），潔淨流仍只是構成產物流的一部份。

由表II的結果可看出：乾燥或其它純化的程度將視所使用的潔淨氣體（具有極高的清潔比）以及本發明的其它特色而定，同時也會受特殊用途中所使用的工業氣體量而定，該數量係以進料的流速來決定。值得注意的是：在實際的商業操作中，各種程度的純化效果與交叉流

五、發明說明 (28)

或滲透清潔操作相比，其具有高的整體純化程度，可以藉著調整進料流速，清潔比和／或潔淨氣流流之相關數值來改變純化的效果。無論如何，清潔比值高時（如想要幾近完全乾燥時，其數值可大於一），空氣中的水份含量，或是氣體中的雜質含量可降至非常低的數值，而只會有極少量的產物氣體因為滲透清潔之操作而損失。

在上面的兩個例子中，進料空氣的流動方向是由外向內，並且薄膜的分離層是位於纖維的外表面。要了解：使用由內向外的流態時，一般也可獲得類似或較佳的結果，其中進料氣體是通入中空纖維的內徑中。在後者的體系中，複合薄膜的分離層或不對稱薄膜的薄且緊密的表皮區域一般是位於薄膜的外側。

雖然這些關於空氣乾燥的例子是使用乾燥的空氣氣流來做為潔淨氣體，但是事實上進料氣流不一定要為空氣，也可以是任何在操作條件下具有比水或所需除去雜質還要低的多的滲透率之氣體。因此，在工業設備中可取得之具價值的工業氣體皆可以乾燥空氣做為潔淨氣流而予以乾燥的。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

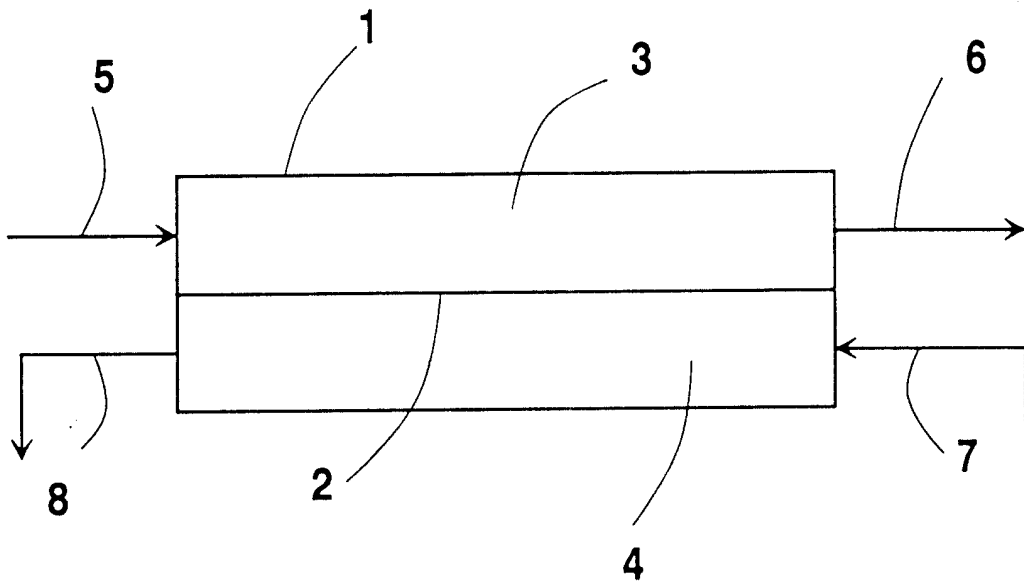
裝
訂
線

201703

80108230

公告本

80108230



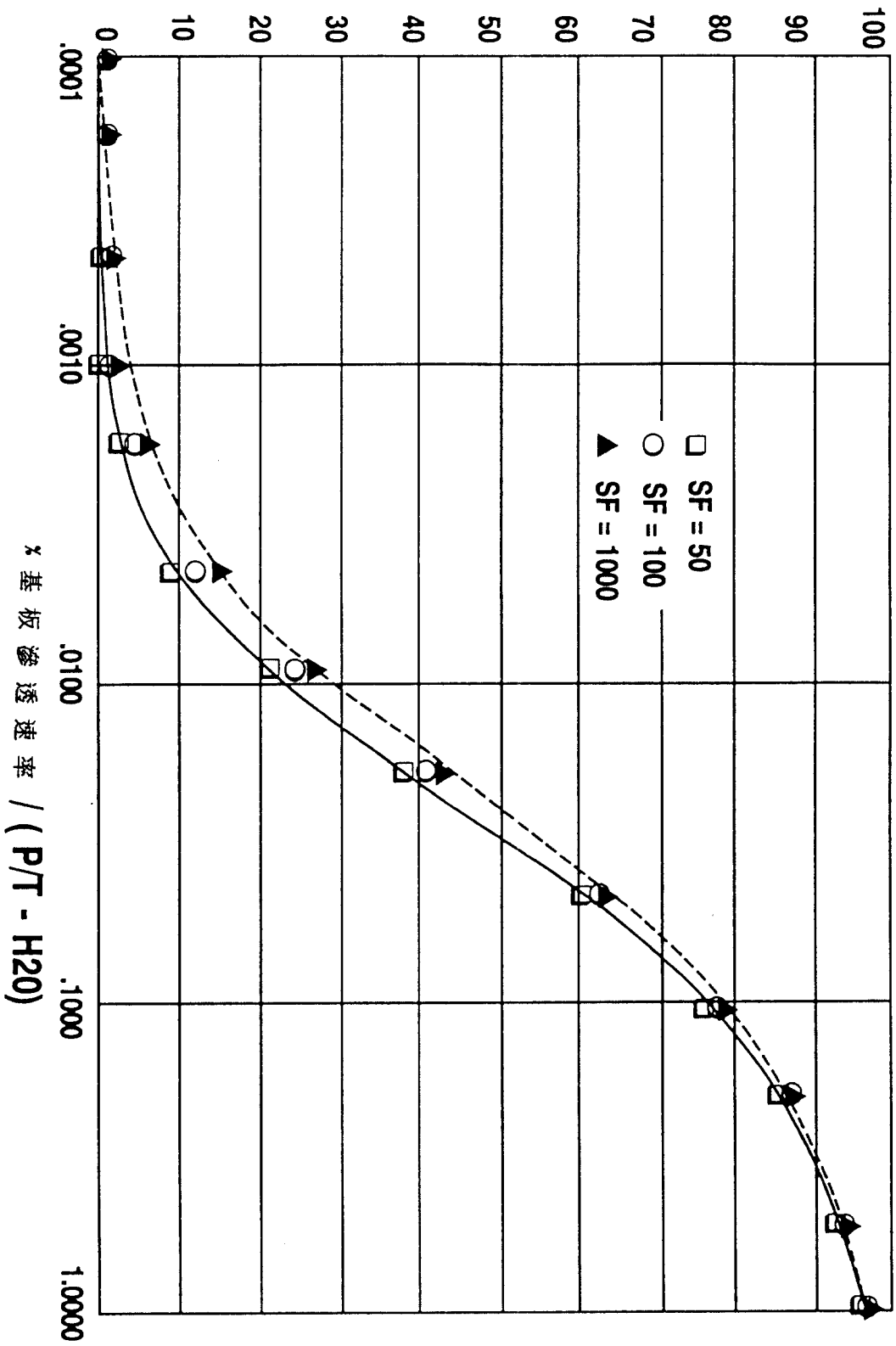
第1圖

201703

公告本

80108230

隨可補中*



201703

公告本

81年9月5日 修正
補充

申請日期	80.10.18
案號	80108230
類別	B01D 3/2

A4
C4

(以上各欄由本局填註)

發明
新型 專利說明書 (81年9月修正)

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

一、發明名稱	中文	純化氣體之方法及系統
	英文	A PROCESS AND SYSTEM FOR PURIFICATION OF GASES
二、發明人	姓名	雷弗普拉沙 (Ravi Prasad)
	籍貫 (國籍)	美國
	住、居所	美國紐約州14051東右門亞德利巷12號
三、申請人	姓名 (名稱)	聯合電石工業瓦斯科技公司 Union Carbide Industrial Gases Technology Corporation
	籍貫 (國籍)	美國
	住、居所 (事務所)	美國康乃狄格州丹柏里蓄里居柏里路
	代表人姓名	汀馬斯安必夏 (Timothy N. Bishop)

經濟部中央標準局員工消費合作社印製

四、中文發明摘要(發明之名稱：

純化氣體之方法及系統)

本發明係利用薄膜系統配合基體經由潔淨氣體而並非產物氣體來達成提高氣體之乾燥或其他氣體的純化；而此薄膜系統具有的基質適合達到徑向的混合，並且在薄膜的表面上具有逆流的流態及均勻流動的氣體。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

英文發明摘要(發明之名稱：

A PROCESS AND SYSTEM FOR
PURIFICATION OF GASES)

Enhanced air drying or other gas purifications are achieved using purge gas, rather than product gas, to facilitate permeation in membrane systems having substrates adapted to achieve radial mixing and having countercurrent flow patterns and uniform flow of gas over the surface of the membranes.

訂

線

附註：本案已向 美 國(地區) 申請專利，申請日期：1990年 案號：7,596,098
10月11日

201703

81+9月15日 修正 補充

A7
B7
C7
D7

六、申請專利範圍

第 80108230 號「純化氣體之方法及系統」專利案

(81年 9月 修正)

1. 一種薄膜用於提高進料氣流之純化之方法，其包括：
- a) 將一種含有欲分離之雜質的進料氣流通入一個可滲透的薄膜系統，其可選擇性的滲透該雜質；該雜質在該系統中關於該進料氣流和/或其成份具有至少約為 15 的分離因子；該薄膜系統包括一種複合薄膜或是不對稱薄膜，其具有一塊基板區域或是不緊密的區域，孔隙度大於 0.05%，以在該薄膜的基板兩端達到明顯程度的徑向混合；
 - b) 在該薄膜的外側提供一種方法可使其在薄膜的滲透面和未滲透面的兩端產生逆流流態，而此薄膜包括該基板部分和其表皮區域或分離層部分；該薄膜系統含有的中空纖維薄膜之排列方式可使得薄膜的進料側和滲透側達成均勻的氣體流動，而該薄膜包括該基板部分和其表皮區域或是分離層部分；
 - c) 將潔淨氣體通入薄膜的滲透側，該潔淨氣體可使滲透易於進行並且透過薄膜而除去該雜質，所使用的該潔淨氣體的清潔比至少為 0.5；該清潔比係指在標準溫度壓力 (STP) 狀態下，潔淨氣體的體積流速對於 STP 狀態下未滲透產物之體積流速之比值除以薄膜低壓，滲透側之壓力相對於薄膜的高壓，進料側之壓力的比值之數值；
 - d) 將未滲透氣體由薄膜系統中移去，並做為所要的產物氣體；以及

六、申請專利範圍

- e) 將潔淨氣體和該滲透氣體由薄膜系統中分別移去，因此而提高了所要的純化程度，並且具有高的未滲透產物氣體之回收率，此薄膜系統顯現出明顯程度的逆流特性，而潔淨氣體取代了所要產物氣體的共滲透作用，而易於雜質的滲透及其由薄膜的表面被除去，因此而維持了使雜質通過該薄膜的驅動力。
2. 如申請專利範圍第1項之方法，其中該清潔比為0.6到1.7之間。
 3. 如申請專利範圍第2項之方法，其中該清潔比大於一。
 4. 如申請專利範圍第1項之方法，其中該雜質關於該進料氣流的分離因子大於100。
 5. 如申請專利範圍第4項之方法，其中該雜質關於該進料氣流和其成份的分離因子大於1,000。
 6. 如申請專利範圍第1項之方法，其中該進料氣體包括空氣，該雜質為水和該純化操作包括空氣的乾燥。
 7. 如申請專利範圍第6項之方法，其中該水份關於進料空氣以及其氧氣和氮氣成份的分離因子大於1,000。
 8. 如申請專利範圍第7項之方法，其中該清潔比大於一，該水份幾乎可由該產物空氣中完全除去。
 9. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該中空纖維為螺旋式纏繞，其基本上具有相同的有效長度，因此可使薄膜表面的兩端氣體達到均勻的流動。

六、申請專利範圍

10. 如申請專利範圍第8項之方法，其中該種用來在薄膜表面之兩端建立逆流流態的方法包括一個不可滲透的障壁物，係沿著其縱向的外表面將薄膜裝入。
11. 如申請專利範圍第1項之方法，其中該基板的孔隙度大於0.5%。
12. 如申請專利範圍第11項之方法，其中該基板的孔隙度為0.5%到5%或更高。
13. 如申請專利範圍第1項之方法，其中該進料氣體包括空氣，該雜質包括水，該潔淨氣體基本上為乾燥的，清潔比大於一，該中空纖維是螺旋式纏繞，且基上具有相同的有效長度，該中空纖維係沿著不可滲透障壁物的縱向外表面置入。
14. 如申請專利範圍第13項之方法，其中該基板的孔隙度大於0.5%。
15. 如申請專利範圍第14項之方法，其中該基板的孔隙度為0.5%到5%或更高。
16. 一種用於提高進料氣流之純化程度的薄膜系統，其包括：
 - a) 用於將含有一種欲分離之雜質的進料氣流通入一個可滲透的薄膜系統中之導管方法；
 - b) 一可滲透的薄膜系統，其可適合讓該進料氣體進入；該系統可選擇性的滲透該雜質；該薄膜系統的材料可使得雜質對於該進料氣體和/或其成份

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

的分離因子至少為15；該薄膜系統包括一種複合薄膜或是一種不對稱薄膜，其具有一塊基板或較不緊密的區域，孔隙度大於0.05%以在薄膜的基板部分之兩端達到明顯程度的徑向混合；該種複合薄膜或不對稱薄膜係由中空纖維薄膜所構成，此中空纖維薄膜的排列方式可使得包含該基板部分和其表皮或分離層部分的薄膜兩端基本上能達到氣體的均勻流動；

- c) 在該薄膜外側的方法，以在薄膜的滲透面和未滲透面之兩端建立逆流流體，此薄膜包括該基板部分和其表皮或分離層部分；
- d) 用於薄膜滲透側之潔淨氣體的導管方法，以提供至少為0.5的清潔比；該清潔比係指在STP狀態下，潔淨氣體的體積流速對於STP狀態下未滲透產物之體積流速之比值除以薄膜的低壓，滲透側之壓力相對於薄膜的高壓，進料側之壓力的比值之數值；
- e) 由薄膜系統中除去未滲透氣體的方法，而未滲透的氣體係做為所要的產物氣體；以及
- f) 由薄膜系統中除去潔淨氣體和該滲透氣體的分離方法，其中此薄膜系統係用來提高所要的純化程度，並且具有高的未滲透產物氣體之回收率，此薄膜系統顯現出明顯程度的逆流特性，而潔淨氣

六、申請專利範圍

體取代了所要產物氣體的共滲透作用，而易於雜質的滲透及其由薄膜的表面被除去，因此而維持了使雜質通過該薄膜的驅動力。

17. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該薄膜材料為可使雜質相對於進料氣流具有大於 100 的分離因子之材料。
18. 如申請專利範圍第17項之薄膜系統，其中該分離因子大於 1,000。
19. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該種用於潔淨氣體的導管方式可提供之清潔比為 0.6到 1.7 之間。
20. 如申請專利範圍第19項之薄膜系統，其中該清潔比大於一。
21. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該中空纖維為螺旋式纏繞，而其中空纖維的有效長度基本上是相同的，因此可使得薄膜兩端易產生氣體的均勻流動，而該薄膜包括該基板部分和其表皮區域或分離層部分。
22. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該種可在薄膜表面之兩端建立逆流流態的方法包括一個不可滲透的障壁物，其係將薄膜沿著其縱向的外表面置入。
23. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該表面的

六、申請專利範圍

孔隙度大於0.5%。

24. 如申請專利範圍第23項之薄膜系統，其中該表面的孔隙度為0.5%到5%或更高之間。
25. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該薄膜系統包括一種複合的薄膜系統。
26. 如申請專利範圍第25項之薄膜系統，其中該基板係由聚矽所構成。
27. 如申請專利範圍第16項之薄膜系統，其中該薄膜系統包括一種不對稱的薄膜系統。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線