

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 084**

51 Int. Cl.:

F25J 3/04 (2006.01)

F25J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.06.2006 PCT/US2006/023509**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.12.2006 WO06138577**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2006 E 06785005 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **05.01.2022 EP 1902264**

54 Título: **Separación criogénica del aire**

30 Prioridad:

17.06.2005 US 154630

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:

20.04.2022

73 Titular/es:

**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC. (100.0%)
10 Riverview Drive
Danbury, CT 06810, US**

72 Inventor/es:

**CHAKRAVARTHY, VIJAYARAGHAVAN
SRINIVASAN;
JIBB, RICHARD JOHN;
LOCKHETT, MICHAEL J. y
ROYAL, JOHN H.**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 663 084 T5

DESCRIPCIÓN

Separación criogénica del aire

5 Campo técnico

Esta invención se refiere generalmente a la separación criogénica del aire y, más particularmente, a la separación criogénica del aire empleando una doble columna.

10 Antecedentes de la técnica

Los sistemas de separación criogénica del aire que emplean condensadores principales de flujo vertical típicamente emplean bombas de recirculación para garantizar una humectabilidad adecuada de los conductos de ebullición durante un funcionamiento normal y también con carga parcial. La recirculación de líquido desde el sumidero de la columna a través de los conductos de ebullición resulta en un buen rendimiento de la transferencia del calor y además permite satisfacer los criterios de seguridad para prevenir que el oxígeno hierva hasta que se seque. Sin embargo, las bombas de recirculación aumentan los costes, reducen la fiabilidad y reducen la eficacia del sistema debido a la penalización por el consumo energético necesario para hacer funcionar la bomba.

20 El documento US 5 699 671 divulga un método para operar una planta de separación criogénica del aire que tiene una columna de presión más alta y una columna de presión más baja que comprende:

pasar vapor de nitrógeno desde la columna de presión más alta a la parte superior de un condensador principal de un solo paso que tiene conductos de ebullición con superficies de ebullición mejoradas, hacer fluir oxígeno líquido a la parte superior del condensador principal de un solo paso, pasar el vapor de nitrógeno y el oxígeno líquido por el condensador principal de un solo paso en una relación de intercambio de calor donde al menos parte, pero no todo, el oxígeno líquido que fluye en descenso se vaporiza, y retirar tanto el vapor de oxígeno como el oxígeno líquido del condensador principal de un solo paso en una proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor dentro del intervalo de 0,05 a 0,5.

30

Resumen de la invención

La presente invención es un método para operar una planta de separación criogénica del aire como se define en la reivindicación 1.

35

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "sección de separación" significa una sección de una columna que contiene bandejas y/o empaques y está situada sobre el condensador principal.

40 Tal como se utiliza en el presente documento, el término "superficie de ebullición mejorada" significa una geometría de superficie especial que proporciona una transferencia de calor más alta por área de superficie unitaria de lo que lo hace una superficie simple.

45 Tal como se utiliza en el presente, el término "superficie de ebullición de flujo alto" significa una superficie de ebullición mejorada caracterizada por una lámina metálica delgada que posee una alta porosidad y una gran área de superficie intersticial que está unida metalúrgicamente a un sustrato de metal por medios como la sinterización de un revestimiento de polvo metálico.

50 Tal como se utiliza en el presente, el término "columna" significa una columna o zona de destilación o fraccionamiento, es decir una columna o zona de contacto, donde las fases líquida y de vapor se ponen en contacto a contracorriente para efectuar la separación de una mezcla de fluidos, como por ejemplo, poniendo en contacto las fases de vapor y líquida sobre una serie de bandejas o placas espaciadas verticalmente montadas dentro de la columna y/o sobre elementos de empaque como un empaque estructurado o aleatorio. Para obtener una explicación adicional de las columnas de destilación, véase el Manual del ingeniero químico, quinta edición, editado por R. H. Perry y C. H. Chilton, McGraw-Hill Book Company, Nueva York, Sección 13. El proceso de destilación continua. El término doble columna se utiliza para referirse a una columna de presión más alta que tiene su extremo superior en relación de intercambio de calor con el extremo inferior de una columna de presión más baja. Una explicación adicional de las dobles columnas aparece en Ruheman "The Separation of Gases", Oxford University Press, 1949, Capítulo VII, Commercial Air Separation.

60 El vapor y el líquido que entran en contacto con los procesos de separación dependen de la diferencia en las

presiones de vapor para los componentes. El componente de alta presión de vapor (o más volátil o baja ebullición) tenderá a concentrarse en la fase de vapor mientras que el componente baja presión de vapor (o menos volátil o alta ebullición) tenderá a concentrarse en la fase líquida. La condensación parcial es el proceso de separación por el cual el enfriamiento de la mezcla de vapor puede utilizarse para concentrar el componente o componentes volátiles en la fase de vapor y así el componente o componentes menos volátiles en la fase líquida. La rectificación, o destilación continua, es el proceso de separación que combina vaporizaciones y condensaciones parciales sucesivas tras ser obtenidas mediante un tratamiento contracorriente de las fases de vapor y líquido. El contacto contracorriente de las fases de vapor y líquido es generalmente adiabático y puede incluir contacto integral (por etapas) o diferencial (continuo) entre las fases. Las disposiciones del proceso de separación que utilizan los principios de la rectificación para separar las mezclas a menudo son columnas de rectificación, columnas de destilación o columnas de fraccionamiento denominadas indistintamente. La rectificación criogénica es un proceso de rectificación realizado al menos en parte a temperaturas de o por debajo de los 150 grados Kelvin (K).

Breve descripción de los dibujos

La única Figura es un diagrama esquemático representativo simplificado de una realización preferida del método de operación de separación criogénica del aire de esta invención.

Descripción detallada

En la práctica de la separación criogénica del aire con condensadores principales de flujo vertical, es necesario que el oxígeno líquido que fluye hacia abajo del condensador no se vaporice completamente para así evitar la ebullición ineficaz y peligrosa a una condición de sequedad. Para conseguir esta humectación, una proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor (L/V) de más del 0,5 y preferiblemente de 1 a 4 es necesaria para el fluido que sale de los conductos de vaporización del condensador, y este criterio generalmente requiere la recirculación de cierta cantidad de líquido desde el sumidero de la columna a los conductos de ebullición del condensador principal de flujo vertical.

La invención permite la operación de un condensador principal de flujo vertical en una planta de separación criogénica del aire con una L/V dentro del intervalo de 0,05 a 0,5. Durante una operación normal, el requisito de L/V reducida elimina la necesidad de recircular líquido desde el sumidero de la columna a los conductos de vaporización del condensador principal de flujo vertical. El condensador principal de un solo paso de esta invención procesa el oxígeno líquido desde solo la sección de separación de la columna y emplea conductos de ebullición que tienen una superficie de ebullición mejorada, preferiblemente, una superficie de ebullición de flujo alto.

La invención se describirá con más detalle con referencia al Dibujo. Haciendo referencia ahora a la Figura, se muestra una vista esquemática parcial de una planta de separación criogénica del aire con doble columna, que tiene una columna de presión más alta 30 y una columna de presión más baja 31, y se muestra la colocación de condensadores principales de un solo paso, también denominadas como condensadores/rehervidores, dentro de la columna de presión más alta y la de presión más baja. El condensador principal/rehervidores vinculan térmicamente las columnas de presión más alta y la de presión más baja. El vapor de nitrógeno, a una presión generalmente en el intervalo de desde 310,3 a 2068 kPa (45 a 300 libras por pulgada cuadrada absolutas (psia)), se pasa en la línea 10 desde la columna de presión más alta 30 a la parte superior del condensador o condensadores principales de un solo paso donde el vapor de nitrógeno intercambia el calor con oxígeno líquido a medida que ambos fluidos fluyen hacia abajo a través del condensador o condensadores de un solo paso. El oxígeno líquido, que está a una presión generalmente dentro del intervalo de desde 108,2 a 790 kPa (1 a 100 libras por pulgada cuadrada de manómetro (psig)) se vaporiza parcialmente y el vapor de oxígeno resultante y el oxígeno líquido restante se retiran del condensador o condensadores principales de un solo paso como se muestra mediante las flechas de flujo 34 y 33 respectivamente. El vapor de nitrógeno se condensa completamente mediante el conducto de flujo vertical a través del condensador principal de un solo paso y el nitrógeno líquido resultante se retira del condensador principal de un solo paso en la línea 11 y se pasa por las líneas 35 y 36 respectivamente como reflujo en las columnas de presión más alta y de presión más baja.

En la columna de presión más baja 31, el oxígeno líquido desciende por la columna a través del empaque 12 o las bandejas (no mostradas) se recoge en el colector/distribuidor 13. Los elevadores abiertos 14 se extienden hacia arriba desde el suelo de la caja recolectora para que el vapor de oxígeno generado en el condensador principal fluya hacia arriba a través de la columna. El oxígeno líquido desde el recolector fluye a través de la tubería distribuidora 15 y se recoge en la sección del distribuidor 16 de los módulos individuales. El oxígeno líquido desde la sección del distribuidor de flujo fluye a través de los tubos individuales o los conductos de transferencia de calor donde se vaporiza parcialmente. Estos conductos tienen superficies de ebullición mejoradas lo que aumenta significativamente

la capacidad del líquido para humedecer la superficie del lado de ebullición y reduce la cantidad de flujo de líquido necesaria para conseguir la humectación. El líquido no vaporizado 17 se recoge en la parte inferior de la columna y se retira de la columna como un producto. La caldera del producto 18 se utiliza para elevar la presión de oxígeno a la presión requerida del producto. La proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor (L/V) a la salida de los tubos o conductos de vaporización del condensador principal varía de entre 0,05 a 0,5 y está preferiblemente en el intervalo de desde 0,2 a 0,4.

Es esencial mantener una tasa de flujo de líquido mínima sobre las superficies de ebullición para garantizar una humectación adecuada por las siguientes razones:

10

1. Para evitar la ruptura de la lámina líquida de forma que la superficie de transferencia de calor se utilice de forma eficaz en la transferencia de calor por evaporación convectiva forzada o ebullición. Las regiones sin humedecer pierden su efectividad en términos de transferencia de calor al torrente de vaporización.
2. Para garantizar que el máximo contenido de contaminantes, especialmente hidrocarburos, en el oxígeno líquido no vaporizado no alcance niveles peligrosos. La concentración de hidrocarburos en el oxígeno líquido aumenta progresivamente a medida que el oxígeno se vaporiza en los conductos de transferencia de calor.
3. Para minimizar las incrustaciones (depósitos de contaminantes sólidos como el óxido nítrico, el dióxido de carbono, etc.) garantizando una humectación adecuada de las superficies de ebullición. Las incrustaciones también se minimizan manteniendo la concentración de los contaminantes en el depósito de líquido por debajo de sus límites de solubilidad.

20

Por las razones dadas anteriormente, la tasa de flujo de líquido especificada debe ser suficiente para proporcionar una lámina de líquido estable sobre la superficie de ebullición. También debería ser suficiente para garantizar una humectación adecuada, es decir, que el líquido se propague de forma uniforme por la superficie de ebullición en cada canal individual. Si el flujo de líquido es suficiente o no para mantener las superficies de ebullición adecuadamente humedecidas es una consideración clave del diseño. La tasa de flujo para una humectación adecuada (definida como el flujo de masa por el ancho de unidad de la superficie de transferencia de calor en la dirección del flujo), depende de:

25

1. El tipo de superficie (superficie mejorada versus superficie simple). Las superficies mejoradas se humedecen mejor que las superficies simples debido a los efectos capilares que ayudan a propagar el líquido.
2. La geometría del conducto de flujo (circular versus no circular). En un conducto no circular, el grosor de la lámina no es uniforme. Las fuerzas de tensión de la superficie atraen al líquido a las esquinas. Por tanto, el área de la superficie donde el grosor de la lámina sea inferior a la media tiende a secarse primero, lo que resulta que el líquido hierva a un secado parcial. Por tanto, el flujo mínimo requerido para la humectación completa de un conducto no circular es normalmente más alto que el requerido para un conducto circular. Entre los conductos no circulares, se prefieren aquellos con menos esquinas, por ejemplo, sin aletas;
3. Las propiedades del fluido (particularmente la tensión de la superficie y la viscosidad del líquido) y
4. El ángulo de contacto que es una función de la combinación fluido-superficie; y
5. El método usado para distribuir el líquido en los conductos de transferencia de calor.

35

La anchura de la tasa de flujo por unidad (Γ_L) es:

$$\Gamma_L = M_L / W$$

45

donde: M_L = Tasa de flujo de masa de líquido, [kg/s] y

W = Anchura total o perímetro del flujo de la superficie de transferencia de calor por ebullición, [m].

Las ecuaciones para predecir el flujo mínimo de líquido requerido para la humectación de una superficie se expresan en términos de un número Reynolds de lámina de líquido, que se relaciona con Γ_L como sigue:

50

$$Re_L = \frac{4\Gamma_L}{\mu_L}$$

donde: Γ_L es la tasa de flujo por anchura de unidad [kg/ms],

55

y μ_L es la viscosidad del líquido [NS/m²].

De forma alternativa, la tasa de flujo de líquido mínima para garantizar una humectación adecuada también puede

expresarse como una proporción sin dimensión L/V (proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor) a la salida de los conductos de ebullición.

La relación entre la proporción de flujo de masa de líquido a vapor L/V, el número Reynolds Re_L y la anchura del flujo (o perímetro) de la superficie de transferencia de calor W se obtiene mediante:

$$\frac{L}{V} = \frac{[Re_L] W \mu_L}{4M_v}$$

donde: M_v es la tasa de flujo de masa de vapor, [kgs^{-1}] y

10 W es el perímetro humedecido, [m].

Para un grupo de módulos casco y tubo, el perímetro humedecido se calcula a partir de

$$W = N_t N_m \pi D_i$$

15

donde:

N_t = número de tubos por módulo

N_m = número de módulos

20 D_i = diámetro interior de los tubos, [m].

Para otras geometrías W = Número de canales de ebullición X el perímetro de los canales.

25 Ya que la humectación adecuada de las superficies de ebullición es importante por razones de seguridad, debe mantenerse un mínimo de flujo de líquido. Así, puede establecerse un criterio en términos de número Reynolds (Re_L) de lámina de líquido o salida mínima L/V (proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor) para operar el condensador principal/rehervidor de forma segura.

30 Trabajos experimentales han demostrado que con la práctica de la invención se puede operar a una L/V más baja debido a lo siguiente: inesperadamente el mejor rendimiento de la transferencia de calor requiere menos área de superficie, reducción en el perímetro humedecido debido a la menor área de superficie y mayor longitud del tubo, e inesperadamente mejores características de humectabilidad de las superficies de ebullición mejoradas.

35 En resumen, la Figura muestra las partes relevantes de un sistema para la destilación criogénica del aire que tiene las siguientes características:

- emplea un condensador principal de flujo vertical de un solo paso, ya sea del tipo casco y tubo de alto flujo o del tipo BAHX de alto flujo
 - no emplea una bomba de recirculación para garantizar la humectabilidad de los conductos de ebullición durante el funcionamiento normal
 - no todo el oxígeno líquido que fluye por los conductos de ebullición hacia abajo se vaporiza y, por tanto, el flujo de líquido está presente a la salida de los conductos de ebullición a una L/V en el intervalo de 0,05 a 0,5.
- 40

45 Cuando la planta de separación criogénica del aire se opera a ciertas cargas parciales y cuando el flujo de líquido que descendiendo por los conductos de ebullición no es suficiente para satisfacer el criterio de humectación, la bomba de oxígeno de producto 18 se usa para bombear algo de oxígeno líquido a la superficie de ebullición mientras que el resto del oxígeno líquido extraído se pasa por la línea 38 para su recuperación.

50 Aunque la invención ha sido descrita con detalle haciendo referencia a ciertas realizaciones preferidas, aquellos expertos en la técnica reconocerán que existen otras realizaciones de la invención dentro del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para operar una planta de separación criogénica del aire que tiene una columna de presión más alta (30) y una columna de presión más baja (31) que comprende:
- 5 pasar vapor de nitrógeno (10) desde la columna de presión más alta a la parte superior de un condensador principal de un solo paso que tiene conductos de ebullición con superficies de ebullición mejoradas, hacer fluir oxígeno líquido (15) a la parte superior (16) del condensador principal de un solo paso, pasar el vapor de nitrógeno y el oxígeno líquido hacia abajo por el condensador principal de un solo paso en relación
- 10 de intercambio de calor donde al menos parte pero no todo el oxígeno líquido que fluye en descenso se vaporiza, y retirar el vapor de oxígeno (34) y el oxígeno líquido (33) desde el condensador principal de un solo paso en una proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor dentro del intervalo de desde 0,05 a 0,5, donde
- 15 - durante la operación normal de la planta de separación criogénica del aire, el oxígeno líquido fluye desde solo la sección de separación de la columna de presión más baja a la parte superior (16) del condensador principal de un solo paso, donde el oxígeno líquido se retira a través de una bomba de oxígeno de producto (18) como producto y no se produce ninguna recirculación del líquido del sumidero desde la columna de presión más baja a dicha parte superior; y
- 20 - durante la operación de carga parcial de la planta de separación criogénica del aire y cuando el líquido que fluye en descenso por los conductos de ebullición no es suficiente para mantener una proporción de tasa de flujo de masa de líquido a vapor dentro del intervalo de 0,05 a 0,5, entonces parte del oxígeno líquido (33) se bombea a través de la bomba de oxígeno de producto (18) a los conductos de ebullición del condensador principal de un solo paso, mientras que el resto del oxígeno líquido extraído se retira a través de la bomba de oxígeno de producto (18) como
- 25 producto.
2. El método de la reivindicación 1, donde la proporción de la tasa de flujo de masa de líquido a vapor durante la operación normal de la planta de separación criogénica del aire está dentro del intervalo de entre 0,2 a 0,4.
- 30 3. El método de la reivindicación 1, donde el condensador principal de un solo paso es un módulo casco y tubo.
4. El método de la reivindicación 1, donde el condensador principal de un solo paso es un intercambiador
- 35 de calor de aluminio soldado.
5. El método de la reivindicación 1, donde el condensador principal de un solo paso comprende una pluralidad de módulos de condensador.

